2020年10月10日印刷　2020年10月15日発行（毎月1回15日発行）
ISSN 0447-8053

IPSJ MAGAZINE

情報処理

2020 11
Vol.61 No.11
通巻 668 号

特集　DX（デジタルトランスフォーメーション）

巻頭言　会誌のハイブリッド刊行に向けて

電子版もご覧ください
電子版を読む（会員無料）情報学広場
iPhoneなどで読む（有料）Kindle
電子版を購入（有料）Fujisan

巻頭コラム
AI時代の教育はどうなるか?
川上量生

デジタルプラクティスコーナー：スポーツテック
教育コーナー：ぺた語義
連　載：5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み／情報の授業をしよう!／ゼロからはじめるアルゴリズム／
　　先生，質問です!／<Info-WorkPlace委員会企画>働き方を共有しよう!／ビブリオ・トーク
会議レポート

一般社団法人 情報処理学会
Information Processing Society of Japan

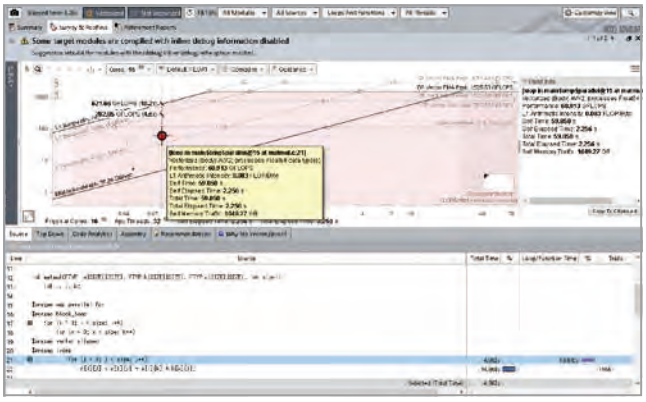
C/C++、Fortran プログラムの
ベクトル化 / マルチスレッド化を支援

インテル® Advisor

intel Software

インテル® プロセッサーでは、ループで一度に複数の配列要素を演算する機能があります。この機能を使えるようにすることをベクトル化と言い、最新のマルチコア・プロセッサーの性能を引き出すためにはマルチスレッド化に加え、ベクトル化が必要です。

コンパイラーはベクトル化を試みます。しかしループの記述方法などにより、必ずしも成功するとは限りません。そういったコンパイラーがベクトル化できない箇所については、インテル® Advisor を使用してベクトル化のためのアドバイスを手に入れることでパフォーマンスの向上を目指すことができます。インテル® Advisor はインテル® Parallel Studio XE の Professional Edition および Cluster Edition に含まれています。



性能に影響が大きい処理は、ルーフライン・グラフ上では赤い点で表示されるため、最適化候補をすぐに見つけられます。

各ループの最適化状況と性能への影響度合いをリストします。
クリックすることで、より詳細な情報を表示します。

■ 最適化の候補を特定

計算処理の性能を一覧で表示して、ループ処理の性能改善に向けたアドバイスを提示します。

■ 最適化できない原因の調査

ループ処理を解析して、最適化を制限する変数や配列の依存関係を報告します。

■ 性能を可視化するルーフライン解析

システムが達成できる性能上限と、計算処理の性能差をグラフ化し、最適化の余地を素早く検証できます。

■ マルチスレッド化の性能向上を予測

簡単な注釈を挿入することで、該当する処理の並列実行時の予測性能と、マルチスレッド化した時の問題点を報告します。

製品詳細、無料評価版はこちらから
www.xlsoft.com/intel/ipsj10

並列化、最適化に関する無料セミナー開催中
www.xlsoft.com/intel/seminar

製品の詳細に関するお問い合わせ先：

XLSOFT エクセルソフト株式会社
〒108-0073 東京都港区三田 3-9-9 森伝ビル 6F
Tel: 03-5440-7875　Fax: 03-5440-7876　E-mail: intel@xlsoft.com

© 2020 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。
Intel、インテル、Intel ロゴ は、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。
インテル® ソフトウェア製品のパフォーマンス / 最適化に関する詳細は、http://software.intel.com/en-us/articles/optimization-notice/#opt-jp を参照してください。
XLsoft のロゴ、XLsoft は XLsoft Corporation の商標です。© 2020 XLsoft Corporation.

Classembly Devices®

Interface Made in 日本

タフでなければフィールドの課題は解決できない。
エッジ領域で計測制御を任せられる、それが「タフコン CD」

タフコン® Classembly Devices®

VPU 搭載画像解析モデル登場

充実のインタフェース
・USB 6 ポート
・デジタル入出力 8 点
・LAN 3 ポート

耐環境性
・広い温度範囲
−40℃～+70℃
・耐振動 5G
・耐衝撃 100G

ディスプレイ出力
その場で映像確認できます。

電源ブチ切り® 自動再起動
自動再起動時に無線通信が確立できる、進化した「電源ブチ切り®」を搭載。

不安定な電源環境に強い
DC+6V～DC+37V のワイドな電源入力

エッジコンピューティング
タフコン®CD のデータ解析、情報処理能力が業務効率化と生産性向上に貢献します。

NEW

VPU 搭載画像解析モジュール

最大 3 モジュール
(6 コントローラ)

各種 OS に対応
・Interface Linux system
・Windows 10 IoT

VPU 搭載画像解析モデル

VPU 搭載画像解析タフコン®CD は、画像処理に特化した VPU 搭載モジュールを内蔵。
カメラから得た情報を AI の推論処理による超高速な解析ができます。
VPU は標準 1 モジュール (2 コントローラ)、最大 3 モジュール (6 コントローラ) 搭載できます。
Intel OpenVINO(TM) ツールキット※を利用することで簡単に VPU が活用できます。

※Intel OpenVINO(TM) に関するお問い合わせはお気軽にご相談ください。

型式：ITC-J5612

CPU：Atom E3950
メモリ：ECC 付き 8GB
ストレージ：SSD32GB

ディスプレイ出力：
Displayport×1

各種インタフェース：
USB2.0×2
USB3.0×4
デジタル入出力 8 点
RS-232C×1
CAN/CANFD×1

ネットワーク
LAN×3
LTE×1
920MHz×1

タフコン® とは？

タフコン®CD は、車載 CD に I/O を搭載した計測制御コンピュータです。
CD 部 (CPU 部分) や I/O 部の組合せを自由に選択できます。
2011 年発売から 10 年の実績が重ねられようとしています。

I/O 部

デジタル入力 / カウンタ / DeviceNet / HDLC(RS-485)
TEDS / UART(RS-485) / アナログ入力 / モーション
RS-232C / デジタル出力 / 高速 CAN / アナログ出力

CPU 部

Atom E3950 / Core i7 4650U / Atom E3845 / Atom E680T / Atom N2800

Interface® Vision & Freedom 株式会社 インタフェース

詳しくはwebsiteまで www.interface.co.jp

URL：www.interface.co.jp ✉ E-mail：support@interface.co.jp

製品の仕様、デザイン、価格については、予告なく変更する場合があります。本広告に記載した会社名、商品名は、各会社の商標または登録商標です。

SAMT-20-001031-01

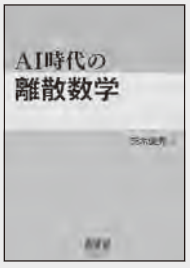
情報処理学会編集の教科書シリーズ！

IT Text（一般教育シリーズ）一般情報教育

情報処理学会一般情報教育委員会 編／稲垣知宏・上繁義史・北上 始・佐々木 整・髙橋尚子・中鉢直宏・徳野淳子・中西通雄・堀江郁美・水野一徳・山際 基・山下和之・湯瀬裕昭・和田 勉・渡邉真也 共著
A5判／264頁／定価（本体2,200円＋税）／2020年9月1日発売

情報処理学会一般情報教育委員会で編纂した、これからの一般情報教育に対応した標準テキストです。情報ネットワークや情報機器の基礎知識から、プログラミングの考え方、情報倫理、データサイエンス等、社会生活で不可欠な教養ともいえる知識を幅広く網羅します。

これからのエンジニア、研究者にとって必須となる離散数学の知見をわかりやすく解説！



AI時代の離散数学

茨木俊秀 著　　A5判／288頁／定価（本体2,700円＋税）

全分野で活用が必須となるAI、ICTの理解を深めるためには、基礎となる数学（離散数学）の知識が不可欠です。本書は、論理関数（ブール関数）、ニューラルネットワーク（ディープラーニング）、グラフ理論とネットワーク最適化等について、大学学部生が理解できるよう懇切に、かつ、詳しく解説を行っています。

知らないでは済まされない！機械学習エンジニアに必要な知財と法務の知識を習得！

機械学習エンジニアのための 知財&契約ガイド

渡辺知晴・齊藤友紀・大堀健太郎 共著　　A5判／208頁／定価（本体2,300円＋税）

機械学習にかかわる知財と法務の基礎知識をコンパクトに、わかりやすくまとめた書籍。機械学習に関連する分野では、エンジニア自身が知財活動や法務活動に積極的にかかわることが必要不可欠です。エンジニアが知っておくべき法律的な考え方や知識を、主に実務的な観点から丁寧に解説しています。

データサイエンスを実応用するための基本を押さえる！

Pythonデータエンジニアリング入門 高速化とデバイスデータアクセスの基本と応用

橋本洋志・牧野浩二・佐々木智典・横田 祥 共著　　B5変判／318頁／定価（本体3,600円＋税）

データサイエンスを機器や分析に実応用するには、Pythonスクリプトの高速化の知識や、センサ信号の取得、アクチュエータ制御に必須となる通信、デバイスとのデータアクセスの基本と応用スキルの修得が必要です。本書は、これらのデータをエンジニアリングするための入門的な知識を解説するものです。

Pythonを使って線形代数学を見える化して学ぼう！

Pythonで学ぶ線形代数学

塚田 真・金子 博・小林美治・髙橋眞映・野口将人 共著
B5変判／344頁／定価（本体3,200円＋税）

大学初年次に学ぶ基礎数学科目の一つであり、機械学習やコンピュータグラフィックス、ゲームプログラミングなどの基礎となる線形代数を、Pythonを使って学べるようにまとめたものです。2次元や3次元のベクトルを視覚的に表現する、面倒なベクトルや行列の計算をプログラミングで表現するなどの工夫を施しています。

オーム社 | 〒101-8460 東京都千代田区神田錦町3-1　www.ohmsha.co.jp
TEL 03(3233)0853　FAX 03(3233)3440　定価は変更になる場合があります。

JNTO 日本政府観光局

国際会議の誘致・開催に関わるみなさまへ

変化の時代における 国際会議のカタチとは

新型コロナウィルスの影響により、国際会議の誘致・開催を取り巻く環境が急激に変化しています。
日本政府観光局（JNTO）では、時代の変化に応じた会議運営と、その将来像を模索するために、
JNTO の MICE アンバサダー※のご協力で、緊急アンケートを実施しました。

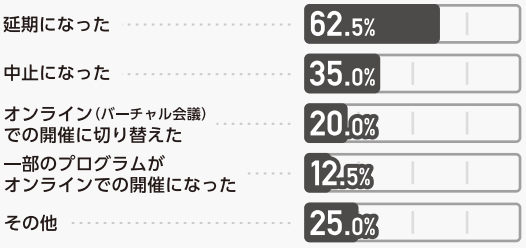
実施期間：5 月 22 日（金）～ 6 月 2 日（火）/ 対象：MICE アンバサダー

Q1 新型コロナウィルスの影響で、ご自身が関わっておられる国際会議の誘致・開催状況に変更はございましたでしょうか？

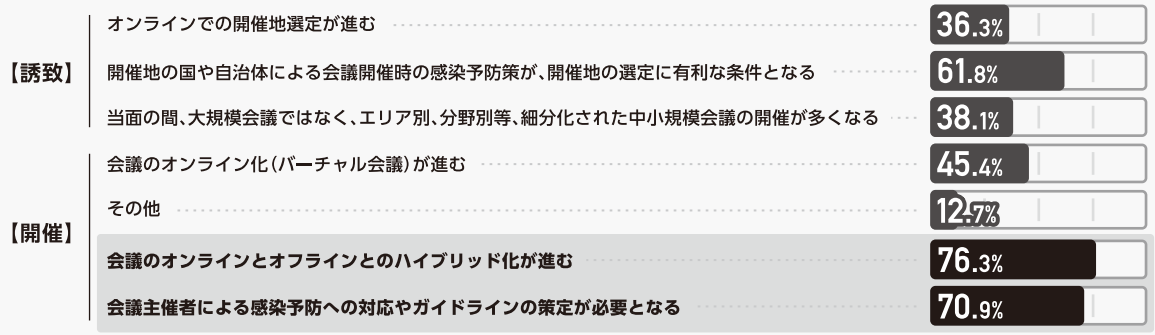
（回答数：56 ）

はい | 71.4%　いいえ | 28.6%

Q2 Q1 で、「はい」と回答された方は、詳しい状況をお知らせください。



Q3 新型コロナウィルスの影響で、全体的な傾向として、今後の国際会議の在り方にどのような変化が生じると思われますか？



国際会議の「これから」を考える 特設サイトを公開中

特設サイト「変化の時代における国際会議のカタチとは」では、アンケートにて特に回答の多かった「オンラインとオフラインとのハイブリッド化」や「感染予防への対応やガイドライン」など、コロナ禍の国際会議誘致・開催に役立つ情報を提供しています。

https://mice.jnto.go.jp/features/newnormal/

※「MICE アンバサダー」とは、国内外に影響力のある学術界のグローバルリーダーの方々にご就任いただき、「日本の顔」として、MICE 開催国としての日本の広報活動や国際会議の誘致活動を行っていただくプログラムです。これまで、「国際義肢装具協会世界大会」、「第17回世界地震工学会議」、「国際自動制御連盟世界大会」等の会議の日本誘致に成功しています。

日本政府観光局（JNTO）とは

国土交通省（観光庁）所管の日本政府観光局（JNTO、正式名称：独立行政法人 国際観光振興機構）は、訪日外国人旅行者を日本へ誘致することを目的に1964年に設立された専門機関です。訪日外国人旅行者向けのプロモーション業務の一環として、国際会議の誘致・開催支援を無償で行っています。

ご相談・お問い合わせは

日本政府観光局（JNTO） MICE プロモーション部 MICE 相談窓口
TEL：03-5369-6015　Mail：convention@jnto.go.jp

https://mice.jnto.go.jp/
JNTO MICE 検索

Japan. Meetings & Events
New ideas start here

IT Text シリーズ　情報処理学会編

大学・工業高校・専門学校などで
教科書・参考書としてお使いいただけるシリーズです。

新刊

コンピュータグラフィックスの基礎
宮崎大輔・床井浩平・結城　修・ 吉田 典正 著
A5判／292頁／本体3,200円(税別)

オペレーティングシステム(改訂2版)
野口健一郎・光来健一・品川高廣 共著
A5判／256頁／本体2,800円(税別)

ネットワークセキュリティ
菊池浩明・上原哲太郎 共著
A5判／206頁／本体2,800円(税別)

ソフトウェア工学
平山雅之・鵜林尚靖 共著
A5判／214頁／本体2,600円(税別)

応用Web技術(改訂2版)
松下 温 監修／市村 哲・宇田隆哉 共著
A5判／192頁／本体2,500円(税別)

基礎Web技術(改訂2版)
松下 温 監修／市村 哲・宇田隆哉・伊藤雅仁 共著
A5判／196頁／本体2,500円(税別)

画像工学
堀越　力・森本 正志・三浦康之・澤野弘明 共著
A5判／232頁／本体2,800円(税別)

人工知能(改訂2版)
本位田真一 監修／松本一教・宮原哲浩・
永井保夫・市瀬龍太郎 共著
A5判／244頁／本体2,800円(税別)

音声認識システム(改訂2版)
河原達也 編著
A5判／208頁／本体3,500円(税別)

**ヒューマンコンピュータ
インタラクション(改訂2版)**
岡田謙一・西田正吾・葛岡英明・仲谷美江・塩澤秀和
共著　A5判／260頁／本体2,800円(税別)

ソフトウェア開発(改訂2版)
小泉寿男・辻 秀一・吉田幸二・中島 毅 共著
A5判／224頁／本体2,800円(税別)

情報と職業(改訂2版)
駒谷昇一・辰己丈夫 共著
A5判／232頁／本体2,500円(税別)

情報通信ネットワーク
阪田史郎・井関文一・小高知宏・甲藤二郎・
菊池浩明・塩田茂雄・長 敬三 共著
A5判／288頁／本体2,800円(税別)

数理最適化
久野誉人・繁野麻衣子・後藤順哉 共著
A5判／272頁／本体3,300円(税別)

情報とネットワーク社会(一般教育シリーズ)
駒谷昇一・山川　修・中西通雄・北上 始・佐々木整・
湯瀬裕昭 共著　A5判／196頁／本体2,200円(税別)

情報とコンピュータ(一般教育シリーズ)
河村一樹・和田　勉・山下和之・立田ルミ・岡田 正・
佐々木整・山口和紀 共著
A5判／176頁／本体2,200円(税別)

メディア学概論
山口治男 著
A5判／172頁／本体2,400円(税別)

情報ネットワーク(一般教育シリーズ)
岡田 正・駒谷昇一・西原清一・水野一徳 共著
A5判／168頁／本体2,300円(税別)

離散数学
松原良太・大嶌彰昇・藤田慎也・小関健太・
中上川友樹・佐久間雅・津垣正男 共著
A5判／256頁／本体2,800円(税別)

HPCプログラミング
寒川 光・藤野清次・長嶋利夫・高橋大介 共著
A5判／256頁／本体2,800円(税別)

ユビキタスコンピューティング
松下 温・佐藤明雄・重野 寛・屋代智之 共著
A5判／232頁／本体2,800円(税別)

**Java/UMLによる
アプリケーション開発**
森澤好臣 監修／布広永示・高橋英男 共著
A5判／208頁／本体2,600円(税別)

情報理論
白木善尚 編
村松 純・岩田賢一・有村光晴・渋谷智治 共著
A5判／256頁／本体2,800円(税別)

Java基本プログラミング
今城哲二 編　布広永示・
マッキン ケネスジェームス・大見嘉弘 共著
A5判／248頁／本体2,500円(税別)

システムLSI設計工学
藤田昌宏 編著
A5判／242頁／本体2,800円(税別)

組込みシステム
阪田史郎 著　高田広章 編著
A5判／280頁／本体3,000円(税別)

情報システム基礎(一般教育シリーズ)
神沼靖子 編著
A5判／228頁／本体2,500円(税別)

Linux演習
前野譲二・落合 昭・生野荘一郎・塩澤秀和・
高畠俊徳 共著
A5判／224頁／本体2,500円(税別)

インターネットプロトコル
阪田史郎 編著
A5判／272頁／本体2,800円(税別)

分散処理
谷口秀夫 編著
A5判／240頁／本体2,800円(税別)

情報とコンピューティング
(一般教育シリーズ)
川合 慧 監修／河村一樹 編著
A5判／228頁／本体2,500円(税別)

情報と社会(一般教育シリーズ)
川合 慧 監修／駒谷昇一 編著
A5判／236頁／本体2,500円(税別)

コンピュータアーキテクチャ(改訂2版)
小柳 滋・内田啓一郎 共著
A5判／256頁／本体2,900円(税別)

コンピュータグラフィックス
魏 大名・先田和弘・Roman Durikovic・向井信彦・
Carl Vilbrandt 共著
A5判／280頁／本体3,000円(税別)

アルゴリズム論
浅野哲夫・和田幸一・増澤利光 共著
A5判／242頁／本体2,800円(税別)

データベース
速水治夫・宮崎収兄・山崎晴明 共著
A5判／196頁／本体2,500円(税別)

ソフトウェア工学演習
伊藤 潔・廣田豊彦・冨士 隆・熊谷 敏・川端 亮 共著
A5判／228頁／本体2,800円(税別)

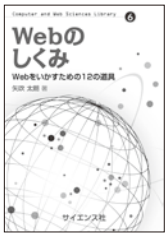
データベースの基礎
吉川正俊 著
A5判／288頁／本体2,900円(税別

本体価格（税別）は変更する場合があります。

注文はオーム社Webサイトまで ▶https://www.ohmsha.co.jp/tbc/text_series_0202.htm

〔前付最終〕

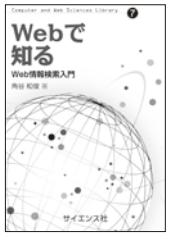
サイエンス社　近刊・新刊のご案内



Webのしくみ　Webをいかすための12の道具

矢吹太朗著　予価1800円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において，教養となる基礎的な部分を，専門家が一般読者向けにやさしく解説．ウェブには何があるのか，それを「道具」として一つずつ紹介し，しくみを学ぶことができる．



Webで知る　Web情報検索入門

角谷和俊著　本体1200円

初等教育から始まる情報系の教育改革が進む現代において，教養となる基礎的な部分を，専門家が一般読者向けにやさしく解説．本書では，検索エンジンや情報推薦システムがどのような考え方や方針によって構築されているかを学ぶことができる．

近 刊

ソーシャルメディア論　行動データが解き明かす人間社会と心理

土方嘉徳著　予価2200円

本書ではWebやソーシャルメディアのデータが持つ社会性に着目し，それからわかることや，それらの知的な利用方法に関して，1つの学問として体系化を試みた．社会性を持つデータを取り扱う，学生・研究者・ビジネスパーソン必読の書．

プログラム意味論の基礎　電子版あり*

小林直樹・住井英二郎共著　本体1900円

プログラム意味論を初めて学ぶ学生のための入門書．本書で扱う意味論はプログラムに対して数学的な意味を与えることにより，プログラムの動作についての厳密な議論を可能にする．適宜演習問題を配置するなどわかりやすく工夫された教科・参考書．

＊弊社ホームページのみでご注文を承っております．ご注文の際には「電子書籍ご利用のご案内」をご一読頂きますようお願い致します．

実習 R言語による統計学

内田　治・笹木　潤・佐野雅隆共著　本体1800円

データの分析があらゆる分野で一層求められている昨今において，その分析の拠り所となる統計学の手法を概説し，R言語を使用して例題・練習問題を解きながら学習できるテキスト．

数理工学社　新刊のご案内　発売：サイエンス社

レクチャー オペレーティングシステム

福田　晃著　本体2300円

情報系の学部生向けに，オペレーティングシステムの基礎的な事項を中心に簡潔かつ丁寧に解説．各章末には学習を深める設問と，巻末にはその略解を掲載した．斯学を学ぶにはうってつけのテキスト・参考書．

Rプログラミングマニュアル [第2版](電子版)

Rバージョン3対応

間瀬　茂著　本体4200円

＊弊社ホームページのみでご注文を承っております．ご注文の際には「電子書籍ご利用のご案内」をご一読頂きますようお願い致します．

〒151-0051　東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25　TEL 03-5474-8500　FAX 03-5474-8900
ホームページで注文ができます．　https://www.saiensu.co.jp　＊表示価格は全て税抜きです．

サイエンス社

〔目次前〕

11

PREFACE

巻頭コラム

1096 AI 時代の教育はどうなるか？ 川上量生

巻頭言

1098 会誌のハイブリッド刊行に向けて 稲見昌彦・中田眞城子

SPECIAL FEATURES

特 集

DX（デジタルトランスフォーメーション）

1100 編集にあたって―DX or Die？：読者の皆様へのメッセージ― 青山幹雄・位野木万里・和泉憲明
1102 概要

お知らせ

今号から特集記事はオンラインのみの掲載となります（本誌には「編集にあたって」「概要」のみ掲載されます）．オンライン記事（電子図書館）の閲覧方法につきましては本誌 1106 ページに掲載しておりますのでご確認くださいますようお願いいたします．

DIGITAL PRACTICE

デジタルプラクティスコーナー

スポーツテック

1108 編集にあたって 相原伸平
1111 概要

連載：ゼロからはじめるアルゴリズム

1114 高校生が学ぶアルゴリズム―情報の教科書から― 山口健二

教育コーナー：ぺた語義

1119 CC2020 プロジェクトと情報系カリキュラムについて 高田眞吾
1120 脳科学からプログラミング教育を考える―プログラミング的思考は汎化するのか?― 細田千尋
1126 遠隔環境による高大接続プログラミング演習の実践報告 赤澤紀子・久野 靖

連載：情報の授業をしよう！

1130 ウイルス感染をシミュレーションする 井手広康

連載：<Info-WorkPlace 委員会企画> 働き方を共有しよう！

1136 CASE 1：地方大学教員の場合 倉本 到

連載：ビブリオ・トーク―私のオススメ―

1140 子供の科学★ミライサイエンス 人工知能と友だちになれる?
―もし，隣の席の子がロボットだったら…マンガでわかる AI と生きる未来― 竹中 崇

連載：5 分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

1142 Anil Madhavapeddy et al. : Unikernels : Library Operating Systems for The Cloud 杉木章義

会議レポート

1146 ICASSP 2020 参加報告 京地清介

1148 連載：先生，質問です！

1106 【ご案内】会誌「情報処理」の特集記事について
1139 論文誌ジャーナル掲載論文リスト／論文誌トランザクション掲載論文リスト
1150 会員の広場
1152 IPSJ カレンダー
1154 人材募集
1155 英文目次
1156 アンケート用紙
1158 編集室／次号予定目次
1159 掲載広告カタログ・資料請求用紙
1160 賛助会員のご紹介

《記号の説明》

基 応 専 般 Jr. ■ 基礎 ■ 専門家向け ■ 応用 ■ 一般（非専門家）向け Jr. ジュニア会員向け

※各記事に指標がついていますのでご参考になさってください

IPSJ MAGAZINE
情報処理学会誌
Vol.61 No.11（2020 年 11 月号）
通巻 668 号

情報処理

「情報処理」オンライン版　目次　常時更新中!

https://www.ipsj.or.jp/magazine/contents_m_e.html

※オンラインでのみ掲載している記事の目次を掲載しております（目次から電子図書館の各記事へリンクしております）.

特集：DX（デジタルトランスフォーメーション）

第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は？

e1　1. DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何か？—DX の現状と展望，情報処理技術の課題と機会—（青山幹雄）

e8　2. 政府における DX の推進施策と政策展開（和泉憲明）

e13　3. 国内における DX の現状と分析— DX 推進指標を用いた計測と分析結果の考察—（岡村輝太・河野太基・室脇慶彦・浅野絢子）

第 2 部　DX の技術と教育，人材育成

e19　4. イノベーション創出のための要求工学の課題—エンジニアリング，デザイン，サイエンス，アート視点の融合による解決へのアプローチ—（位野木万里）

e26　5. DX に向けた既存システム分析・活用の最新技術（松尾昭彦）

e32　6. DX が提起する人材，教育，雇用のデジタル化（青山幹雄）

第 3 部　DX の実践

e37　7. 製造業におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の現在と将来（浦本直彦）

e42　8. 航空会社における DX の取り組み—イノベーションによる ES と CS の実現—（三浦明彦）

e47　9. 製薬業界におけるデジタルトランスフォーメーション先進事例—中外製薬における事例—（志済聡子）

e52　10. DX による部品加工プラットフォーム—高精度部品加工技術における脱・属人化と共有知—（山本勇輝）

第 4 部　デジタルプラットフォーム

e57　11. Society 5.0 時代の価値協創型 DX の実現に向けて〜 Lumada への取り組み〜（馬場貴成・長岡晴子・小川秀人）

e62　12. クラウドコンピューティングの役割（岡嵜　禎）

デジタルプラクティスコーナー：スポーツテック

招待論文

1. 3D センシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化（桝井昇一・手塚耕一・矢吹彰彦・佐々木和雄）
2. 日本野球市場に練習革命を起こす—センサ内蔵野球ボールを活用した野球指導効率化に向けた取り組みから—（柴田翔平・加瀬悠人・稲毛正也）
3. バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える（木村聡貴）
4. 単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム（髙橋弘毅・大前佑斗・酒井一樹・秋月拓磨・塩野谷明）
5. カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究（桝井文人・伊藤毅志・山本雅人・河村　隆・竹川佳成・松原　仁）

座談会：スポーツテック（参加者：木村聡貴・柴田翔平・髙橋弘毅・桝井昇一・桝井文人／司　会：吉野松樹・相原伸平）

JISA アワード招待論文

声の権利化と流通を実現する音声合成サービス—一般人から有名人まで多種多様な声が使える新しいプラットフォーム—（金子祐紀・平林　剛）

■会誌編集委員会

編集長：稲見　昌彦

副編集長：大山　恵弘・加藤　由花・中田眞城子

担当理事：清水　佳奈・井上　創造

本号エディタ：

青山　幹雄・五十嵐悠紀・位野木万里・和泉　憲明・江渡浩一郎・大石　康智・大川　徳之・太田　智美・岡本　雅子・折田　明子・角田　博保・桂井麻里衣・金子　格・川上　玲・河原　亮・楠　房子・欅　惇志・須川　賢洋・関谷　貴之・袖　美樹子・高木　拓也・高木　正則・戸田　貴久・中島　一彰・西川　記史・坂東　宏和・細野　繁・堀井　洋・福地健太郎・坊農　真弓・水野加寿代・山本ゆうか・湯村　翼

理事からのメッセージ：
https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/riji_message.html

■情報処理学会事務局本部

〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F
Tel(03)3518-8374（代表）　Fax(03)3518-8375
E-mail: soumu@ipsj.or.jp　https://www.ipsj.or.jp/
郵便振替口座　00150-4-83484
銀行振込（いずれも普通預金口座）
みずほ銀行虎ノ門支店　1013945
三菱 UFJ 銀行本店　7636858
名義人：一般社団法人　情報処理学会
名義人カナ：シヤ）ジヨウホウシヨリガツカイ

■規格部　情報規格調査会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8　機械振興会館 308-3
Tel(03)3431-2808　Fax(03)3431-6493
E-mail: standards@itscj.ipsj.or.jp　https://www.itscj.ipsj.or.jp/

■支　部　北海道／東北／東海／北陸／関西／中国／四国／九州

電子版
-DIGITAL VER-

Kindle

Fujisan

情報学広場

Copyright 2020 IPSJ　本誌に出てくる製品名等は，各社の商標または登録商標です.

AI 時代の教育はどうなるか？

■川上 量生

ディープラーニングの大成功により，AIブームが日本でも始まった2015年頃は，ちょうど，ぼくはN高等学校の設立準備をしていた．人間の大脳新皮質では6層といわれていたニューラルネットワークが，コンピュータだと，もっと多段にも簡単にでき，しかも，そのほうが学習の精度が高いなどの結果が，次々と報告されていて，研究者の方の話を聞くと，もはや，AIが人間の脳を参考にする時代は終わったという空気が出てきている，とのことだった．

であれば，AIの研究者が目指しているだろうニューラルネットワークの学習理論の完成とは，機械知性も人間知性も含めた一般的な知性の学習理論の完成を意味し，そのなかの，ほんの一部分，かつ，かなり特殊なニューラルネットワークについての学習理論として，人間の教育というものが解釈されるようになるのだろうと，ぼくは当時から考えていた．

きっと，未来の教育は現在の生徒の知識レベルを正確に把握した上で，コンピュータへのアプリケーションのインストールのようにして，こういう勉強を何時間すれば，どのような知識レベルに到達できるのか，かなり正確に予測できるようになるはずだ．

そういう未来に向けて，なにが必要か？　そのためには学習やテストができるだけすべてディジタル化さ

■川上 量生
（株）ドワンゴ　顧問

1968 年生．大阪府出身．京都大学工学部卒業．1997 年（株）ドワンゴ設立．通信ゲーム，着メロ，動画サービス，教育などの各種事業を立ち上げる．（株）ドワンゴ顧問，学校法人角川ドワンゴ学園理事．

れることが大前提となるだろう．あと，生徒が理解しているかどうかをどうやって把握するか，問題の正否だけだと解像度が低すぎて，精度をあげるためには，時間をかけて，たくさんテストが必要とかいう本末転倒なことになりかねない．

問題の解決には生徒の生体情報のモニタリングが必要だと思っていて，そういう意味でVR空間で学習させるというのが，いずれ必要になるんじゃないかと思っている．

まあ，VR下での学習は未来だとしても，ファーストステップとして有望だと考えているのは，アイトラッキングだ．最新のスマホにはすでに機能として入っていて，時期的にも，そろそろちょうど良さげだ．

生徒が問題のどの部分をどれぐらいの時間，眺めていたかの情報で，生徒がなにを理解していて，なにを理解していないかを推定できるんじゃないかという仮説だ．

現場のエンジニアと話すと，『理解の把握もある程度はできるでしょうが，より簡単に成功しそうなタスクとして，問題を読む生徒の最初の5秒間だけのアイトラッキングで，その生徒が問題を解けるかを，きっと，かなりの精度で予測できますよ』，なんてアイディアを出してきた．

本来，教育とは時代の最先端の知識を与える場であるべきだと思うが，現実は，最も社会の進歩についていけていない分野のひとつになっている．N高がそういう現状を打破する一助になればと願っている．

会誌のハイブリッド刊行に向けて

稲見昌彦 編集長　中田眞城子 副編集長

本会がめでたく 60 周年を迎えましたが，同時に会誌である「情報処理」も 1960 年に第 1 巻目が創刊し，休刊することなく通巻 668 冊目を迎えております．

この間，歴代の担当編集が会員の皆様のさまざまなご意見，ご要望を取り入れつつ，時代に即した改変を行ってくださったことに敬意と感謝を申し上げます．

近年では 2017 年に西尾章治郎元会長の命により，塚本昌彦編集長がこれまで単色印刷であった記事ページをカラー化し，全ページフルカラーが実現しました．また本会が小・中学生を含む若い世代へのアプローチとしてジュニア会員制度を始めてからは，その世代に向けた情報発信についても取り組みを進めております．

このたび 60 周年という区切りをきっかけとしまして，新たな取り組みとして行った本誌の紙とオンラインでのハイブリッド刊行についてご報告させていただきたいと思います．

多くの出版物は徐々に紙媒体からオンラインへと移行していると思います．本会でもこれまで幾度となく議題に上げ検討を重ねてくださっていました．すでに学会には 2000 年から「電子図書館」という形でオンライン化は進んでおります．ただ，これまでの電子化は紙媒体として印刷されたものを pdf 化して公開するという形であり，公表形態としては紙媒体を正本とするものでした．

そもそも，学会において会誌を発行する意義はなんであるか．その 1 つは，情報処理にまつわる話題をその時代に記事としてアーカイブしておくという役目であり，また，ジュニア会員を含める新たな会員獲得に資するというのも大きな目的でしょう．

しかし，本来一番の目的というのは，誌面を通じて会員同士が繋がる交流の場としての役割ではないか．そういう意味では，紙に印刷された誌面を楽しみにしてくださっている方々もいらっしゃるのですが，ソーシャルメディアにおいて活発な議論が行われている現状を踏まえ，オンラインという軸足を強化しても良い時期だと思います．

では今，手にしてくださっている本誌をやめてしまうのかといえば，そう言うわけではありません．取り組もうとしているのは「会誌のハイブリッド化」つまり，紙媒体とオンライン双方の特性を活かした誌面作りです．

「ソサエティ 5.0」で示されているのは「物理世界と情報が重畳され，有機的に統合された」社会であり，決して情報世界の中だけですべてを捉えようという方向ではありません．本誌の出版の在り方としてもどちらか一方を選択するのではなく，記事の特性に合わせて適切な媒体を選ぼうと考えています．現在の誌面でも話題になっている事象に関して「緊急記事」という名目で可能な限り「即時性」を求め

て発信しています．とはいえ紙媒体では編集会議を経て印刷，配布という手順ではタイムラグが生じてしまいます．即時性を重んじる話題については印刷配布という手順を省く方が良く，どんどん移行して行こうと思っていますが，紙媒体という物理には情報のポータルとしての役目があり，今後も大いに活かそうと考えています．

さらに，会誌をオンラインで始めるにあたり同時に「note」という Web 上のサービスの活用も進めます．紙媒体でのある意味かしこまった形式では中々筆が進まなかった事柄も，カジュアルな「note」を利用することで比較的容易にまとめられるということもありそうです．本誌原稿との中間的な存在として活用できるのではないかと考え，これから実験的に執筆を進めていくとともに，すでに活用されている会員の方も多くいらっしゃるようですので，会員同士の議論の場にしたいと考えています．

さらに，このたびソーシャルメディアも編集委員会の活動の一部と考え，学会や本誌への入り口の役目として twitter の発信も積極的に進めます．すでに本会のアカウントがありますが，これまでは事務局からのお知らせのみの利用に限られていました．今後は，編集委員会の責任の下で学生会員主体の発信に切り替え，学生たちの素朴な疑問なども親しみのある言葉で発信し，情報処理に携わっていない方や，ジュニア会員にも情報処理を身近なものと認識してもらえるようにしたいと考えています．

以上のように会誌は，紙媒体と，電子記事，note，twitter をハイブリッドに組み合わせて刊行することにいたします．すべて，これからスタートの取り組みであり今後も試行錯誤を続けるかと思います．私自身，紙に印刷された活字は大好きで，紙という物理メディアに対する想いもあります．会誌自体が薄くなることは残念でもありますが，情報処理に携わる者のスキルとしても Web メディアを使いこなすことは必須だと考えております．

まずは，一旦本誌を置き，PC やスマホの中の「情報処理」にも目を通していただくことをお願いいたします．

（2020 年 9 月 11 日）

◆情報処理学会 Web サイト：https://www.ipsj.or.jp/
◆情報処理学会電子図書館「情報学広場」：https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/
◆ note『情報処理』：https://note.com/ipsj
◆情報処理学会 Twitter：@IPSJcom

電子図書館
（情報学広場）

特集

DX（デジタルトランスフォーメーション）

編集にあたって

― DX or Die?：読者の皆様へのメッセージ―

青山幹雄 | 南山大学　位野木万里 | 工学院大学　和泉憲明 | 経済産業省

本特集は DX（Digital Transformation）［デジタル変革］に関する包括的な解説である．DX は顧客や社会の課題の解決，事業価値の増大を目的として，デジタル技術の研究開発と活用，経営と組織，人材育成と企業文化など多面的な変革の総称である．そのため，DX にかかわる立場でさまざまな捉え方ができる．本特集では，DX に取り組まれている研究開発部門，経営部門，IT/ デジタル技術ベンダ，行政，教育，それぞれの立場から DX の実像を解説する．そのため，次の 4 部からなる．

第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は？

まず，DX の意味と提起する課題，DX 推進のアプローチと情報処理研究の機会など，DX の全体像を示す（青山）．次いで，政府における DX 推進の政策展開を紹介する（和泉）．DX 推進の尺度である DX 推進指標を企業で適用したデータの分析から国内における DX の現状を紹介する（岡村ほか）．

第 2 部　DX の技術と教育，人材育成

DX では顧客と直接接点を持ち，顧客の問題発見と解決による価値創出が期待される．この技術として，要求工学，デザイン思考などを紹介する（位野木）．一方，DX 推進の大きな阻害要因としてレガシーシステムがある．これをリエンジニアリングするための分析技術などを紹介する（松尾）．さらに，DX が提起する人材，教育，雇用の問題とアプローチを解説する（青山）．

【本特集記事について】

本編はオンライン版（電子図書館）のみに掲載しております．
こちらからご覧ください．
https://www.ipsj.or.jp/magazine/contents_m_e.html

オンライン総目次

【チケットコード】

賛助会員，購読員，本誌を購入いただいた方がご覧になるにはチケットコードが必要です．
次の URL からチケットコードを取得してください．
https://www.ipsj.or.jp/magazine/magazineticket/m-202011.html

11 月号チケットコード

第 3 部　DX の実践

（株）三菱ケミカルホールディングス（浦本），全日本空輸（株）（三浦），中外製薬（株）（志済）における DX の先進的取り組みを CDO（Chief Digital Officer）の立場から紹介する．大企業における DX 推進の課題，アプローチ，知見を共有できる．また，中小製造業における先進的取り組みとして工場の完全自動化を実現している HILLTOP（株）の事例を紹介する（山本）．

第 4 部　デジタルプラットフォーム

DX の基盤となるデジタルプラットフォームの事例として IoT に着目した価値創出プラットフォーム Lumada（馬場ほか）とクラウドコンピューティング（岡嵜）を紹介する．

DX or Die?

ゲストエディタの 3 名は国や産業界の研究会などにおいて DX の調査研究やレポートにより DX の啓蒙，普及に努めてきた．本特集を企画した動機は我が国における DX への取り組みが欧米諸国から立ち後れているのではないかという危機感にある．一方，DX を先行した組織では顧客や機器から得たデータとデジタル技術を活用した事業創出やデジタルプラットフォームの提供を実現している．

DX には研究開発，教育，経営とその実践に至る幅広い問題があり，産学官の協力が必須である．皆様が本特集から DX の意義と提起する問題，研究開発の新たな機会を理解いただき，挑戦されることを期待する．

自動車業界では「100 年に 1 度の，死ぬか生きるか」の変革が進行中といわれている．これは，すべての産業と社会全体にも波及している．私たちは「デジタル革命」の最中にあるといえる．

最後に，本特集に寄稿いただいた著者の皆様ならびに関係各位に感謝します．また，本特集の実現にご尽力をいただきました会誌編集委員会の河原亮氏はじめ委員の皆様に感謝します．

なお，著者紹介は執筆している各解説記事を参照願います．

（2020 年 8 月 18 日）

DX（デジタルトランスフォーメーション）概要

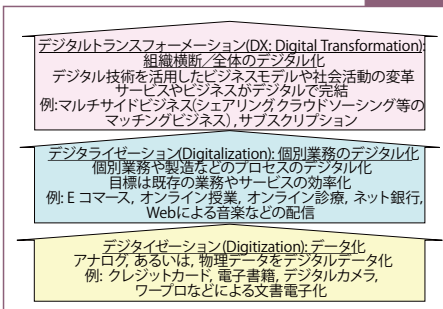
第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は？

1 DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何か？

―DX の現状と展望，情報処理技術の課題と機会―

青山幹雄 | 南山大学

本稿は DX（Digital Transformation）の全体像を示し，DX とは何か，その構造，課題，ならびに，情報処理技術の研究開発の課題を解説する．DX［デジタル変革］とはデジタル技術による組織全体の変革を意味する．DX は包括的な概念であることから，技術，事業，製品の 3 つの視点からその問題とアプローチの構造を明らかにする．さらに，DX 推進のモデルとそれを支援するデジタルプラットフォームを解説する．最後に，DX で活用されているデータ駆動の概念とその情報処理の研究開発へのインパクトを示す．

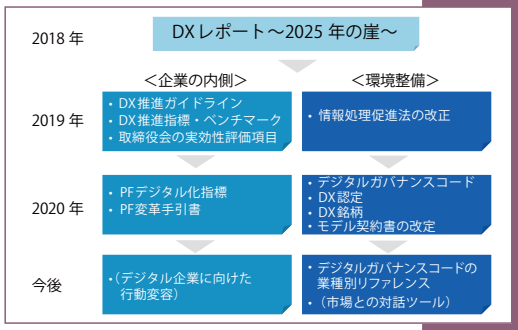


第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は？

2 政府における DX の推進施策と政策展開

和泉憲明 | 経済産業省

経済産業省では，2018 年 5 月に「デジタルトランスフォーメーションに向けた研究会」を設置し，産業界や大学の有識者により我が国における DX（デジタルトランスフォーメーション）の在り方と課題を討議し，同年 9 月に「2025 年の崖」という副題を付した「DX レポート」として発行した．これに基づき，2019 年 7 月には「DX 推進指標」の発行，さらには，同年 11 月に「情報処理の促進に関する法律の一部改正」など，DX を推進するためのさまざまな施策と政策を展開してきた．本稿では，このような DX 推進施策と政策展開について解説する．



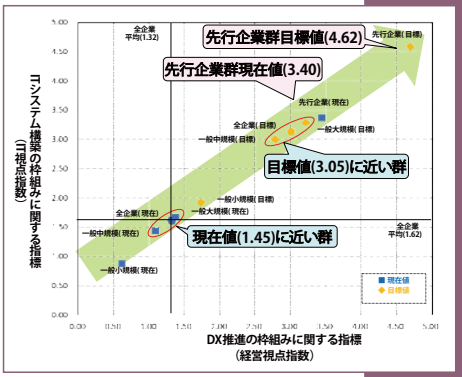
第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は？

3 国内における DX の現状と分析

― DX 推進指標を用いた計測と分析結果の考察―

岡村輝太　河野太基　室脇慶彦　浅野絢子 | （独）情報処理推進機構

国内で行われた調査「DX 推進指標　自己診断」に基づきその結果を集計した．これらのデータの分析を行った結果，大きく 3 つの集団が形成されていることが分かった．この中でも特に特徴的な特性を示す「先行企業」に着目して解説を行う．また今後の DX の展開として現在 IPA で取り組んでいる，あらたな施策などについても紹介する．



第 2 部　DX の技術と教育，人材育成

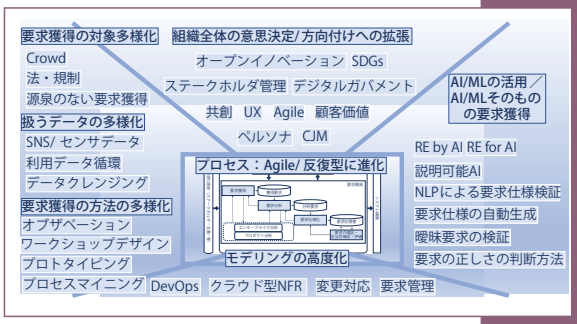
基 専 般

4 イノベーション創出のための要求工学の課題

―エンジニアリング，デザイン，サイエンス，アート視点の融合による解決へのアプローチ―

位野木万里 | 工学院大学

DX の社会実装には，イノベーションのアイディアの創出が重要である．そのための技術として，ユーザ視点での問題発見解決など，ソフトウェア工学の中でも，要求工学を中心に新たな研究課題や解決策へのアプローチが提示されている．本稿では，そのような研究の現状と動向を示す．



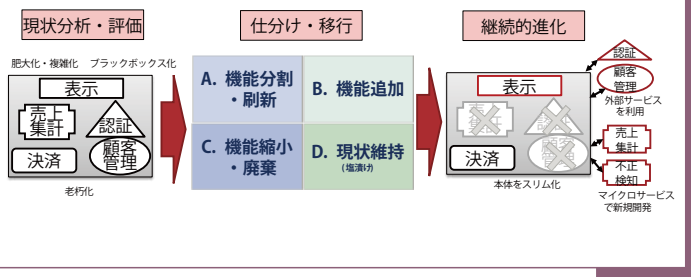
第 2 部　DX の技術と教育，人材育成

基 応 専 般

5 DX に向けた既存システム分析・活用の最新技術

松尾昭彦 | （株）富士通研究所

多くの企業では社内システムの老朽化が課題となっており，DX に求められる変化のスピードについていけないと言われている．本稿では既存システムが抱える問題を解説し，DX を推進する上で不可欠な現状分析・連携・移行などを支える最新の技術を紹介する．



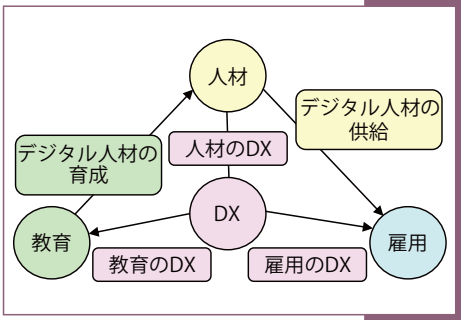
第 2 部　DX の技術と教育，人材育成

基 応 専 般

6 DX が提起する人材，教育，雇用のデジタル化

青山幹雄 | 南山大学

DX（Digital Transformation）の広がりに伴い，DX を推進する人材不足が指摘されている．デジタル人材に求められるスキル，能力は従来の IT 人材とは異なる．これはデジタルスキルギャップと呼ばれる．また，DX の推進では，経営者，事業部門，デジタル /IT 部門のすべてにおいて必要とされるデジタル技術の活用が求められる．このようなスキルギャップは情報処理を中心に大学教育にも変革が求められる．本稿では，DX を推進するデジタル人材像，その人材を育成するための情報処理を中心にした教育システムの改革，デジタルによる雇用形態の変化のもたらす課題と解決へのアプローチを解説する．



DX（デジタルトランスフォーメーション）概要

第 3 部　DX の実践

7 製造業におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の現在と将来

浦本直彦 | 三菱ケミカルホールディングス

デジタル技術を活用して業務や組織を変革するデジタルトランスフォーメーション（DX）への取り組みが活発に行われている．社会や産業構造の予期せぬ大きな変化に直面する企業や組織にとって，DX は重要な役割を果たすが，特に既存のビジネスを持つ企業においては，DX の遂行には現実的な課題も多い．本稿では，製造業において DX を推進する筆者の取り組みを通じて，DX の本質と現実的な課題や将来に向けた方向性について考察する．

応用

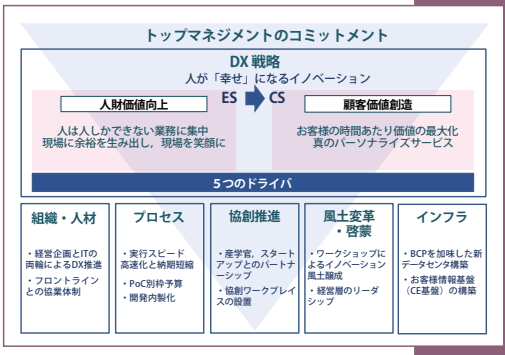
第 3 部　DX の実践

8 航空会社における DX の取り組み

―イノベーションによる ES と CS の実現―

三浦明彦 | 全日本空輸（株）

デジタルトランスフォーメーション（DX）を進める柱は，DX を通じた人財価値向上と顧客価値創造であると定義した DX 戦略の下，DX を強力に推進するためのトップマネジメントのリーダシップと，5 つのドライバを示し，デジタル技術を相互に関係づけ視覚化した当社独自のイノベーションハニカムや，デジタル技術を活用した変革事例を紹介するとともに，昨今の社会環境の変化を踏まえた New Normal に向けた課題について論じる．



応用

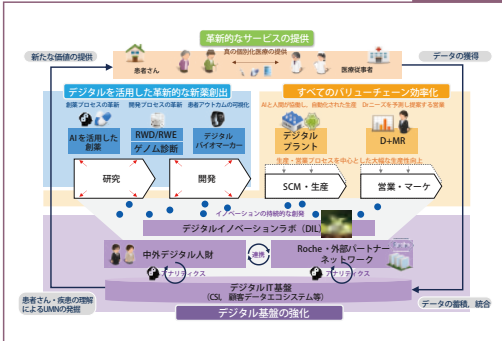
第 3 部　DX の実践

9 製薬業界におけるデジタルトランスフォーメーション先進事例

―中外製薬における事例―

志済聡子 | 中外製薬（株）

デジタル技術による変化の波は製薬産業にも押し寄せており，デジタルトランスフォーメーション（DX）を迅速に実践できるか否かが生き残りのカギとなる．本稿では，製薬産業における DX の事例として，中外製薬における「CHUGAI DIGITAL VISION 2030」および「3 つの戦略：デジタルを活用した革新的な新薬創出，すべてのバリューチェーン効率化，デジタル基盤の強化」を軸にして，その具体的実行策をさまざまな角度から概説する．



応用

► 本編はオンライン版でご覧いただけます

第 3 部　DX の実践

応 般

10 DX による部品加工プラットフォーム

―高精度部品加工技術における脱・属人化と共有知―

山本勇輝　HILLTOP（株）

製造工程のデジタルトランスフォーメーションは省力化と最適化を促すだけではなく，多くの人材が製造業界に参入できるためのプラットフォームや，遠隔での協業体制を可能にする．HILLTOP（株）では，製造加工データ 20 万件を蓄積・解析・最適化した上で，アプリケーションを通して誰もが使える加工プラットフォームを構築している．製造場所や人材に制約されず，難易度の高いカスタムメイドの加工部品を量産工場のように製造しつづけることが可能となった．製造工程のデジタル化は全・半自動加工，遠隔での製造分業体制，を多品種少量生産の分野にもたらした．技術の属人化を防ぎ，部品供給と品質の安定性をもたらした生産最適化システムの HILLTOP System の基本概念を紹介する．

第 4 部　デジタルプラットフォーム

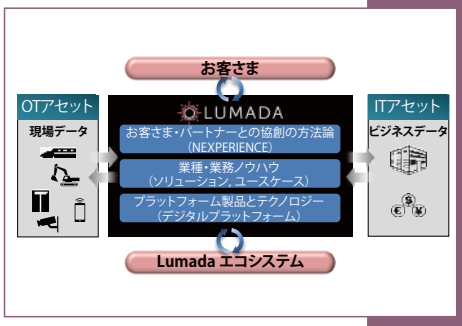
応 専 般

11 Society 5.0 時代の価値協創型 DX の実現に向けて

～ Lumada への取り組み～

馬場貴成　長岡晴子　小川秀人　（株）日立製作所

Society 5.0 時代の社会課題解決には多様な主体の知見をデジタル技術で統合する価値協創型 DX が求められる．価値協創には協創方法論，知識ベース，デジタルプラットフォームなどを要する．Lumada は協創方法論 NEXPERICE，ソリューションを蓄積する Lumada Solution Hub，新たなソリューションを実現する Node-RED 等からなり他社ソリューションとも連携し顧客協創 DX を実現する．



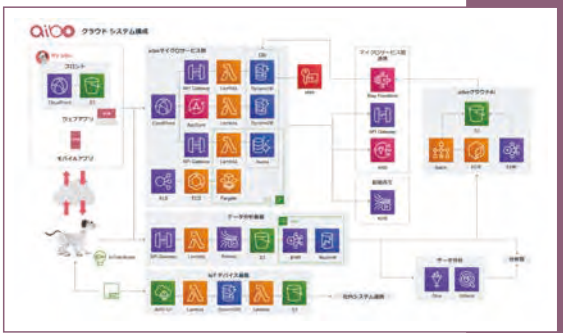
第 4 部　デジタルプラットフォーム

応 専 般

12 クラウドコンピューティングの役割

岡嵜　禎　アマゾン ウェブ サービスジャパン（株）

DX を実践している企業は，クラウドサービスを活用し新しいアイディアを迅速にチャレンジしている．クラウドを活用することにより，1. 迅速な実験，2. 先進的な機能の活用，3. 最も重要なことにフォーカス，4. アイディアを素早くスケールすること，が可能となり，DX の実行能力を向上できる．また，DX の推進・クラウド活用を推進するためには，人材・組織の意識変革・スキル向上を同時に行っていく必要性に関して解説を行う．



出典：https://aws.amazon.com/jp/solutions/case-studies/sony/

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は ?］

1 DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何か

基 応 専 般

― DX の現状と展望，情報処理技術の課題と機会―

青山幹雄 | 南山大学

本稿は DX の全体像を示し，DX とは何か，その構造，課題，ならびに，情報処理技術の研究開発の課題を解説する．

DX とは ?

DX へ至る 3 段階モデル

DX（Digital Transformation）［デジタル変革］とはデジタル技術による組織全体の変革を意味する☆1．我が国では，著者らがとりまとめに参画し，2018 年 9 月に発行された「DX レポート」☆2 により広く知られるようになった．このレポートは「2025 年の崖」という副題を付け，我が国おける DX への立ち後れに警鐘を鳴らした．

DX は包括的概念で，その意味は現在も進化し続けている．現時点での DX とそれに関連する概念の定義を図 -1 に示す．この定義はインダストリー 4.0 などで 2015 年頃に盛んに議論されたが，おおむね共通の理解となっている☆3．

(1) デジタイゼーション（Digitization）

情報のデジタル化．紙などに記録されている情報をデジタル化し，コンピュータによる処理とネットワークによる交換を可能とする．

(2) デジタライゼーション（Digitalization）

業務のデジタル化．特定，あるいは，一連の業務でデータを利用しコンピュータで遂行可能とする．

(3) DX（Digital Transformation）

組織全体にわたる業務のデジタライゼーション．2020 年の新型コロナ禍は，我が国の多くの組織がデジタイゼーションさえも達成できていないことを明らかにした．

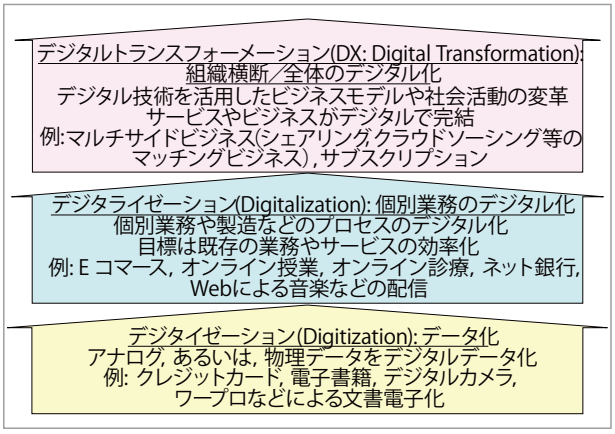
DX の目標

DX には主として次の 2 つの目標がある．目標 (1) に焦点が当てられることが多いが，それを実現するためには，目標 (2) の達成も必要となる．

(1) 顧客や社会の問題の発見と解決による新たな価値創出

顧客や機器とスマートフォンや IoT で直接接点を持つこと（Engagement）により顧客や社会の問題をデジタル技術で発見，解決することによる新たな価値創出．このような DX の目標はデジタルビジネス，あるいは，デジタル企業（Digital Enterprise）の実現ともいわれる．

☆1 http://www.dxresearch.jp/
☆2 http://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010.html



■図 -1　DX, Digitalization, Digitization の定義

☆3 https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2018/04/29/digitization-digitalization-and-digital-transformation-confuse-them-at-your-peril/#14b048042f2c

© 2020 Information Processing Society of Japan

(2) 組織内の業務生産性向上や働き方の変革

この目標は従来の企業内生産性向上の延長でもある．しかし，意思決定や業務の変化への俊敏な(Agile)対応など，目標 (1) の実現を支援する．

DX の発展

DX と関連するビジネス，プラットフォームの発展を図 -2 に示す．DX が現在的な意味で捉えられるようになったのは 2010 年頃である．DX の概念形成やプラットフォームの発展には次の 2 つの流れがある．

(1) EU を中心とする DX の研究開発の発展

2011 年に発表されたインダストリー 4.0 の概念の下，ドイツの製造業の DX に端を発し，EU における DX の多面的で継続的な研究開発が現在まで続いている．ここでは，概念形成，研究開発と実践，標準化などの成果が多数の論文や書籍として発表されている．これに対して，米国でも製造業を中心に IIoT (Industrial IoT) コンソーシアムが 2014 年に結成され，主として実践に焦点を当てた開発が行われている．

(2) 米国におけるデジタルビジネスの発展

米国のいわゆるメガプラットフォーマーやデジタル技術を活用できるデジタルプラットフォームとビジネスモデルを基盤とするスタートアップの急速な発展がある．たとえば，Amazon の E コマースはあらゆる製品やサービスへと拡大された結果，多くの実店舗が廃業に追い込まれ，デジタル破壊 (Digital Disruption) が顕著になっている．スマートフォンを介して顧客と直接接点を持ち，そのデータを活用したマルチサイド (Multi-Sided) プラットフォームと呼ばれるビジネスモデル，すなわち仲介を実現したスタートアップが出現し，発展した．これらのビジネスは複数の顧客と組織が顧客 A- 組織 - 顧客 B のようにエンドツーエンドで結ばれ，リアルタイムに収集したデータに対して機械学習を応用して顧客行動の正確な予測を可能にした．たとえば，Uber では予約時に目的地への料金と到着時刻を正確に予測して，利用したい顧客に提示することにより，不安を解消している．

マルチサイドプラットフォームは市場などとして古代から社会活動の基盤として存在した．それが，近年，ビジネスモデルの一パターンとして定義され，デジタルプラットフォーム上で新ビジネスの創出に活用されている．

DX のフレームワーク

DX は包括的な概念であることから，それに関与する立場により理解が異なることがある．ここでは，その全体像を DX フレームワークとして示し，その構造に基づき DX の内容を解説する．

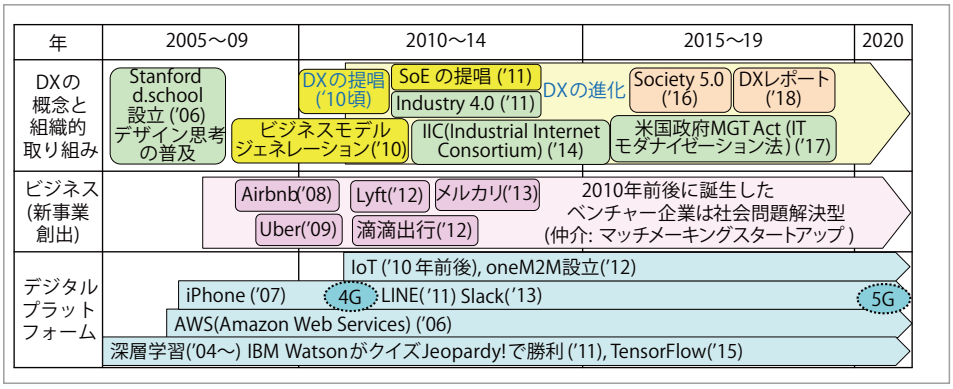
DX フレームワーク

DX の主たる対象である次の 3 つからなるフレームワークを図 -3 に示す．以降の各節でその内容を説明する．

(1) ビジネスモデル／業務のデジタル化

(2) 製品のデジタル化

(3) プラットフォームのデジタル化



■図 -2　DX の発展

プラットフォームのデジタル化

DX では IT に代わり「デジタル」を用いる．IT とデジタルの境界は必ずしも明確ではないが，次の点からデジタルを用いている．まず，概念的には，デジタイゼーションから DX へ至

© 2020 Information Processing Society of Japan

る共通概念がデジタルであることによる．具体的には，DX の目標 (1) で示した，データを活用した価値創出のための情報処理技術を意味している．したがって，DX におけるデジタルとは図 -4 に示すように技術とその利用方法の 2 面から従来の IT との違いがある．

(1) デジタルの利用面

デジタルビジネスを実現するために，顧客行動や機器の稼働データの収集と活用に焦点が当てられている．業務から経営判断に至る組織全体でデータを活用する．このようなアプローチはデータ駆動 (Data-Driven) と呼ばれる．

一方，旧来の情報処理システムを含む利用の視点から SoR (Systems of Record) と SoE (Systems of Engagement) の概念が提唱された☆4．SoR とは企業内の記録 (Record) を利用し，現行業務の生産性向上を目標とするシステムである．それに対し，SoE は顧客との接点を拡張し，顧客の問題解決を目標とするシステムである．この 2 つの概念は IT とデジタルの利用と対応している．

(2) デジタルの技術面

SoR では，RDB (Relational Data Base) による構造化データを利用する業務支援アプリケーションや ERP (Enterprise Resource Planning) などが技術の中核である．

SoE では，データ駆動アプローチから顧客や機器のデータ収集のための Web，スマートフォン，IoT やデータの分析と予測のための機械学習，管理のためのクラウドコンピューティングなどが技術の中核となる．

ここでデータの収集単位が個人や個々の製品／機器である点が重要である．私たち個人や個々の製品のデジタルコピーが生成される．このようなデジタルコピーはデジタルツイン (Digital Twin) と呼ばれている[1]．この概念は製造業から他の多くの分野へ広がっている．実世界のデジタイゼーションである．

プラットフォームではこれらの技術が連携する必要がある．そのため，データ配信サービス (DDS: Data Distribution Service) やセキュリティなども統合される必要がある．

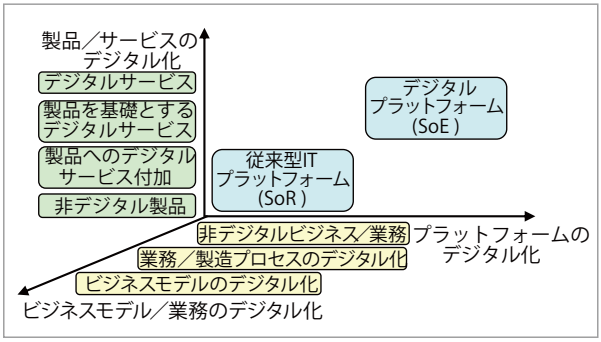
このようなプラットフォーム上でデータを活用して問題解決をするためのソフトウェアを俊敏に開発する必要がある．アジャイル開発，DevOps，サービス指向などとともに顧客の問題発見と解決のために要求工学やデザイン思考，機械学習を組み込んだソフトウェアの開発技術[2]など，ソフトウェア工学が拡張され，実践されている．要求工学に関しては本特集の位野木氏の解説を参照願いたい．

ビジネスモデルと業務のデジタル化

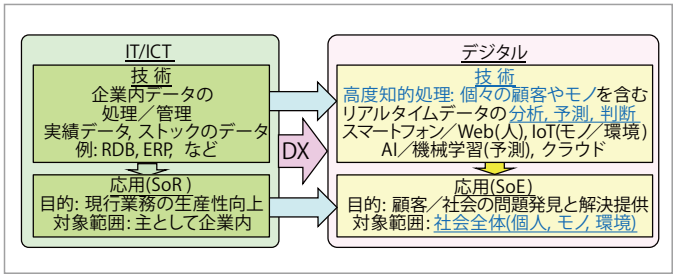
DX により顧客起点の新たな価値を創出するためには，顧客接点の拡大を図り，顧客データを活用できるビジネスモデルや企業全体の事業構造を実現する必要がある．このような企業全体の事業構造をビジネスアーキテクチャと呼ぶ．図 -5 は DX によるビジネスアーキテクチャの変革の概念を示す．

現行の多くの企業は機能階層構造をとる．機能を業

☆4 https://info.aiim.org/systems-of-engagement-and-the-future-of-enterprise-it



■図 -3 DX トライアングルフレームワーク



■図 -4 プラットフォームのデジタル化

© 2020 Information Processing Society of Japan

務として担務する部門が，その業務を支援する個別業務支援アプリケーションや ERP を利用して業務を遂行する．

これに対して，図 -5 の右側にセンス／レスポンス (Sense and Response) と呼ばれるビジネスアーキテクチャ [3] の概念を示す．顧客データの流れに沿って組織横断的に業務を連携して遂行するデータ駆動ビジネスアーキテクチャの例である．Gothelef らは，現在のように変化が早く，かつ，不確実性の高い環境ではこのビジネスアーキテクチャが適していると主張している [3]．そのため，センス／レスポンスアーキテクチャはある範囲のデータ駆動ビジネスアーキテクチャの参照アーキテクチャとなる．

ここで留意すべきは，ビジネスモデルやビジネスアーキテクチャがソフトウェアと同様に工学の対象であることである [4]．

製品／サービスのデジタル化

ビジネスとプラットフォームのアーキテクチャの変革は製品／サービスの変革が目標である．図 -6 に Schaeffer らが示した製品価創出の源泉の変化 [Fig. 1.1][7] を筆者が書き直して示す．ここで，デジタル技術とは機械学習, 音声アシスト, 自然言語処理, ビッグデータの収集と処理技術などを指す．

このような変化は多くの製品で見られる．

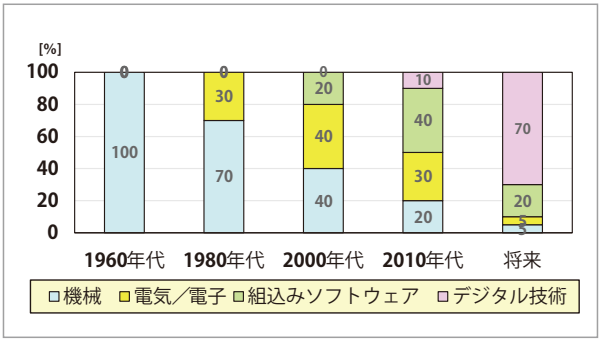
たとえば，自動車産業では主要なイノベーションとして CASE (Connectivity, Autonomous driving, Sharing, and Electric drive systems) が 2016 年に提唱されている．コネクティビティとは自動車がインターネットに常時接続されてデータ収集とサービス提供が可能となり，顧客接点が拡大する．自動化では，先進運転支援システム (ADAS: Advanced Driver Assistance System) などで機械学習が応用されている．今後，自動運転を実現するために，スマートフォンのアプリケーションの更新と同様 OTA (Over The Air) を利用したソフトウェア更新が拡大する．さらに，自動車をプラットフォームとする移動サービスとして MaaS (Mobility as a Service) が展開されている．このサービスでは定額で一定期間利用できるサブスクリプションビジネスモデルが適用されている．

このような製品／サービスの実現にはそれを提供する企業のビジネスアーキテクチャの変革も必要となる．この結果，自動車産業が製造業から情報サービス業へ進出する [5]．デジタル産業革命と呼ばれる所以である．

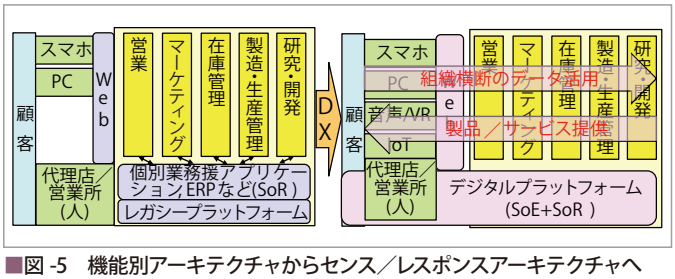
DX 推進モデルとアプローチ

DX 推進モデル

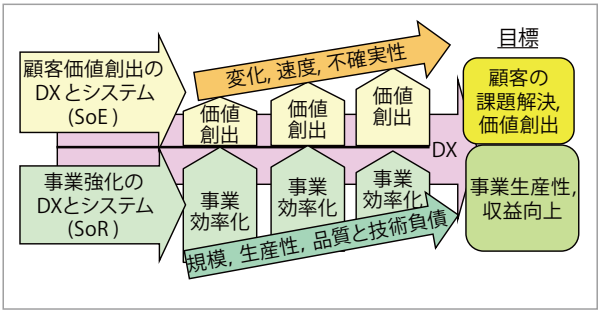
DX の推進には組織変革とともにプラットフォームと製品の変革という多面的な推進が必要となる．しかし，現実には既存の製品やサービスのビジネスも継続する



■図 -6　製品価値創出の源泉変化 [文献 20) Fig. 1.1 より]



■図 -5　機能別アーキテクチャからセンス／レスポンスアーキテクチャへ



■図 -7　DX 推進モデル

© 2020 Information Processing Society of Japan

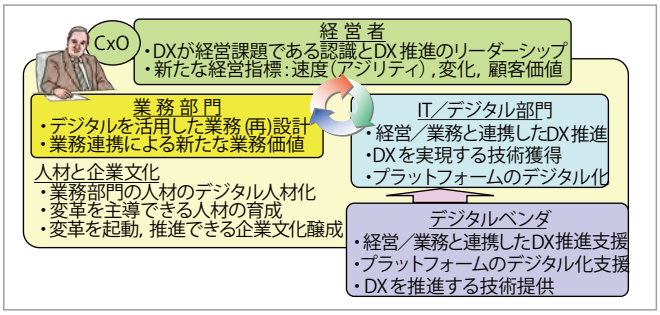
必要もある．DX の目標で示した DX の 2 つの目標に基づき，DX の推進は図 -7 に示す 2 つの変革を同時並行に推進する必要があるといえる． O'Reilly III らは米国企業におけるイノベーションの事例研究からこのような二面的アプローチの重要性を指摘している [6]．

ここで留意すべきは顧客の問題解決による価値創出と既存事業の生産性向上は性質が異なることである．価値創出には PoC（Proof of Concept）などを手段とし，変化と速度を重視し，不確実性に対して失敗からフィードバックする意思決定や組織文化が必要である．既存事業の改善では，ソフトウェアの規模や品質の問題に対応し，生産性向上とともに後述する技術的負債の軽減も必要となる．

三位一体の DX 推進アプローチ

図 -7 に示した DX の推進は組織全体で行う必要がある．DX の成功事例を組織の視点から見ると，経営者，事業部門，IT ／デジタル部門が協調して推進する成功パターンが見られる．筆者はこれを図 -8 に示す三位一体の DX 推進アプローチと呼んでいる [2]． さらに，これを支えるのが人材と企業文化の変革である．これに関しては本特集の筆者による別稿を参照願いたい．また，従来の IT ベンダにはデジタルベンダとしてデジタル技術の提供や事業変革のコンサルティングが求められる．

DX を推進するために 6 段階の目標を定義した DX 推進指標が公開されている☆5．この指標も経営，業務，IT ／デジタル，人材育成／企業文化の 4 つの軸で目標を設定している．詳細は本特集の和泉氏らの解説と岡村氏らの解説を参照願いたい．



■図 -8　三位一体の DX 推進アプローチ

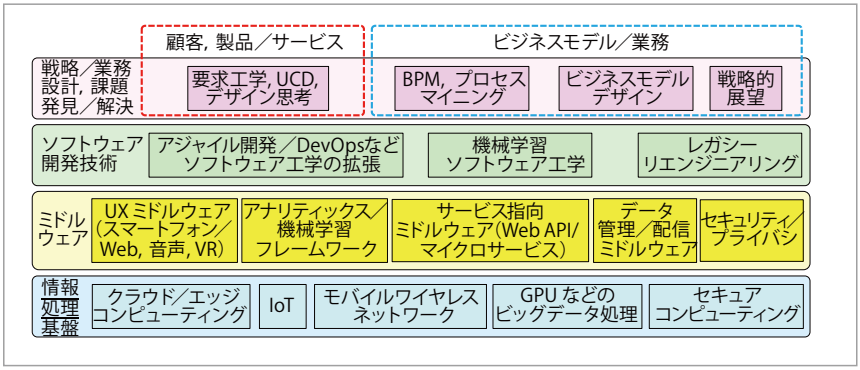
デジタルプラットフォームとその課題

デジタルプラットフォームの展開

デジタルプラットフォームとは図 -3 に示したプラットフォームのデジタル化である [8]．デジタルプラットフォーム上に統合されるのは，情報処理技術に加え，それを利用してビジネスモデル／業務，製品／サービスのデジタル化を実現するためのソフトウェア工学などの諸技術である．これをビジネスモデル／業務，製品／サービスとともに抽象化の軸に沿って図 -9 に示す．

デジタルプラットフォームの役割は，DX の目標 (1) の価値創出を実現するサービスや機能の提供にある．一方，DX の目標 (2) として現行業務の遂行支援もある．

これらのハードウェア，ソフトウェア，技術を 1 つの組織が提供することは困難である．優れたソフトウェアが OSS（Open Source Software）として提供されている．図 -8 に示すデジタルベンダにはこのような多様なソフトウェアや技術を適切に統合して提供する役



■図 -9　デジタルプラットフォームと技術

© 2020 Information Processing Society of Japan

割が期待される.

技術的負債がもたらす課題

技術的負債 (Technical Debt) とは不適切な技術により開発されたソフトウェアがそれを適切なソフトウェアとするために必要とするコストである[9]. ソフトウェア工学の概念として提案された.

我が国では, 業務支援アプリケーションが現行業務の効率化に主眼が置かれ, 企業ごとに個別に開発されてきた. ERP も我が国では現行業務に適合するように導入コストの約 75% がカスタマイズに費やされてきた. 一方, 海外企業では 10 ～ 25% にとどまっている[10]. カスタマイズはその機能の維持に多くの費用を費やし, 業務の変更や新技術の導入などを妨げる一因ともなる. DX 推進の最大の技術課題であるといえる. このため, レガシーシステムのリエンジニアリングの研究開発が行われている. 具体例は本特集の松尾氏の解説を参照願いたい.

データ活用技術

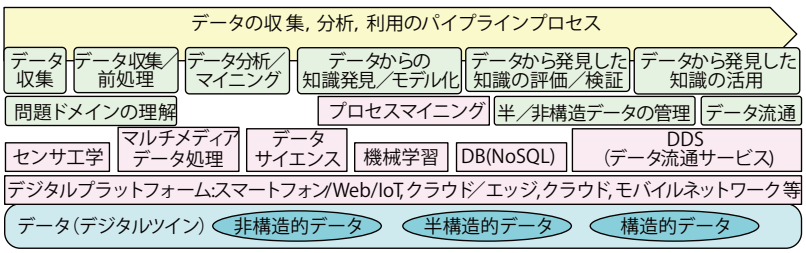
これまでの説明において DX におけるデータ活用の重要性を指摘してきた

顧客の行動データの活用には多くの課題がある. デジタルプラットフォームの中で, データの収集から利用へ至るパイプラインに沿って主要な技術を抽出して図 -10 に示す.

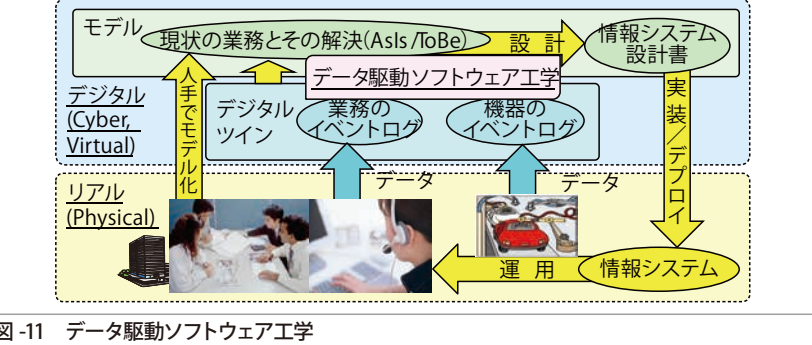
データ収集技術では LiDAR (Light Detection and Ranging) を用いて工場内をまるごとデジタルツイン化するシステムなどが開発, 提供されている. 自動運転分野では 3 次元高精細度ダイナミック地図が開発, 提供されている. 静的な地図上に交通情報や工事, 規制, 天候などの動的データを重ね合わせ, さまざまなサービスのデジタルプラットフォームとなる.

データからの知識やモデルの発見技術では機械学習の研究開発が活発である. 機械学習のアルゴリズムの研究も重要であるが, それを組み込んだソフトウェアには従来のソフトウェアとは異なる課題があり, その開発技術の研究と開発が求められる.

データ駆動アプローチに基づきデータを活用する対象は社会全体に広がっている. 研究開発の課題は多い.



■図 -10 データ活用デジタルプラットフォーム



■図 -11 データ駆動ソフトウェア工学

データ駆動工学 : デジタルがもたらす新たな研究開発パラダイム

DX の中核概念であるデータ駆動アプローチは研究における新たなパラダイムを創出している. データ駆動科学(Data-Driven Science),データ駆動工学 (Data-Driven Engineering) である[11]. 筆者の研究分野の例としては, データ駆動ソフトウェア工学, データ駆動要求工学である. このパラダイムついて筆者が考えている研究の構造を図 -11 に示す.

ソフトウェア工学を含めて従来の工学では問題のコンテキスト (対象範囲) を限定することにより, 人に

© 2020 Information Processing Society of Japan

よるモデル化を可能としてきた．対象範囲内のインスタンス（この場合は個人）として教師 A と教師 B がいると，その共通属性から教師というモデルを得る．モデル化では対象範囲内の関心のある情報を取り出す抽象化とともにその範囲内での一般化と表現の形式化が行われる．

このモデルがすべての基礎である．

それに対して，データ駆動では，収集したデータからデジタルツインが生成される．これはモデルではなくインスタンスである．インスタンスを基礎とすることは，これまでの研究の基礎とは異なる．新たな研究パラダイムといえる．

たとえば，プロセスマイニングはある業務や機器の実行イベントログを入力として，その実行プロセスのグラフ表現を生成する[12]．ここで，表現の変換と形式化は行われるが，振舞いの抽象化は限定的で一般化は行われていない．

機械学習は画像などのインスタンスの集合から学習によりパターンとしてのモデルを生成すると解釈できる．しかし，データを収集する対象のコンテキストは閉じているとはいえない．人の行動が変わればデータも変わる．実際に，機械学習を組込んだ 400 以上のアプリケーションの 34% でコンセプトドリフトが発生しているとの報告がある[2]．このようなソフトウェアを開発する新たな方法論が求められる．

データ駆動アプローチは科学，工学における新たな研究パラダイムとして従来の研究パラダイムの拡張といえる．情報処理のあらゆる分野における新たな研究の機会としてデータ駆動アプローチに関心を持っていただきたい．

DX がもたらす新たな研究開発の機会

DX の必要性が社会全体で認識されるようになっている．このような現状に対して，デジタルによる社会問題の解決のために，情報処理の研究，開発，実践がますます必要，かつ，重要となっている．

自動車業界では「100 年に一度の，死ぬか生きるかの大変革の時代」との認識が広がっている．これは，私たち情報処理の研究者，技術者には「100 年に一度の研究開発の機会」と捉えることができるのではないか？　DX が提起する課題を起点として，皆様が新たな研究開発へ挑戦されることを期待する．

参考文献

1) Grieves, M. et al. : Digital Twin : Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, Kahlen, F. -J. et al. (Eds) : Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, pp.85-113 (2017).
2) 青山幹雄：ソフトウェア工学基礎から機械学習ソフトウェア工学基礎への考察，ソフトウェア工学の基礎 XXVI, 日本ソフトウェア科学会／近代科学社, pp.139-144 (Nov. 2019).
3) Gothelf, J. et al. : Sense and Response, HBR Press (2017).
4) 青山幹雄：ビジネス要求工学の展望, 電子情報通信学会研究報告ソフトウェアインタプライズモデリング, Vol.SWIM2014, No.1, pp.1-6 (May 2014).
5) 青山幹雄：我が国自動車産業の DX（デジタルトランスフォーメーション）に関する考察，2020 年春季大会学術講演会予稿集，No.238, 自動車技術会, pp.1-6 (May 2020).
7) Schaeffer, E. et al.：Reinventing the Product: How to Transform Your Business and Create Value in the Digital Age, Kogan Page (2019)［河野真一郎（監訳）：ものづくり「超」革命, 日経 BP (2019)］.
8) M. de Reuver1 et al. : The Digital Platform: A Research Agenda, J. of Information Technology, Vol.33, pp.124-135 (Jun. 2018).
9) Kruchten, P. et al. : Managing Technical Debt, Addison-Wesley (2019).
10) 村田聡一郎（監修）:Why Digital Matters?, プレジデント社 (2018).
11) Brunton, S. L. et al. : Data-Driven Science and Engineering, Cambridge University Press (2019).
12) W. M. P. van der Aalst：Process Mining, 2nd ed., Springer (2016)［青山幹雄（監修），プロセスマイニング，インプレス，2019］.

(2020 年 8 月 19 日受付)

■青山幹雄（正会員）　mikio.aoyama@nifty.com

南山大学理工学部ソフトウェア工学科教授．博士（工学）．ソフトウェア工学，要求工学，機械学習を Web ソフトウェア，自動車ソフトウェアなどを対象に研究と教育に従事．2018 年経済産業省「DX に向けた研究会」座長．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は ?］

2 政府における DX の推進施策と政策展開

応般

和泉憲明 | 経済産業省

DX 推進政策の重要性

産業界におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進は，あくまで企業個社の成長戦略そのものとして議論されるべき内容であり，一義的には，民間企業の問題として位置づけられるべきものである．このような民間企業の問題に対する政策サイドのスタンスは，言うまでもなく，市場経済・競争原理を活性化させることにより，個社の競争力強化と新たな産業構造への転換を促進することである．これは既存の産業構造を維持するために特定の産業・企業を保護することを意図していないことに注意すべきである．

Society 5.0 と銘打って実現される高度にデジタル化された社会（以下，デジタル社会と呼ぶ）においては，データと新たなデジタル技術を駆使することが企業競争力の源泉であると想定される．デジタル技術による競争力を得た企業は，あらゆる産業分野に対してゲームチェンジを起こし続けると考えられる．

このようなデジタル社会においては，今後，ソフトウェアの重要性がますます高まると考えられる．しかし，その無形物としての性質も相まって，多くの企業においては，ソフトウェアの重要性が個社のビジネスにおける新たな価値創出やビジネス変革につなげられていないのではないかとの指摘が数多く寄せられている．IT システム，ならびに，それを構成するソフトウェアに関する課題は，アカデミアを中心とした活動に加えて，民間のオープンなコミュニティでも活発に議論されている．しかし，DX 推進に対する問題は，産業構造や取引構造に関する課題として表出するため，技術的・学術的なコミュニティでは議論の中心とはなっていないと考えられる．

そこで，政策の課題認識を広く共有し，それに関する議論や課題解決に関して多くの参画を求めるため，経済産業省では 2018 年 5 月に「デジタルトランスフォーメーションに向けた研究会」を設置した．ここで，IT システムの在り方を中心に，日本企業が DX を実現していく上での現状の課題の整理とその対応策の検討を行い，2018 年 9 月に『DX レポート～ IT システム「2025 年の崖」の克服と DX の本格的な展開～』と題した報告書として公開した [1]．

本稿では「DX レポート」策定の背景となった危機感や DX 推進の意義，ならびに，「DX レポート」策定後の政策展開に関して概説し，今後の政策展開の方向性に関して論じる．

DX 推進政策の方向性

政策推進における課題認識

デジタル社会に向けて生じている変化の特徴は，Smart X や XaaS（X as a Service）の普及により，あらゆる情報がデータとして把握できることにある．海外のプラットフォーマー，特に，デジタルプラットフォーマーとも呼ばれる巨大 IT 企業は検索エンジンや EC サイトの顧客インタフェースからデータやサービス連携のすべてを囲い込み，プラットフォームを活用した新たな事業戦略を展開している．サイバー空間を主戦場としたデジタル化の波は，デジタルプラットフォーマーにとって良い世界であり，それにどのように接するかは政策的な論点の 1 つである．

一方，我が国の産業は依然としてものづくり中心の取引構造になっていると言っても過言ではなく，IT シ

© 2020 Information Processing Society of Japan

ステムでさえ個別に作り込む傾向が強い．他方，デジタル空間を主戦場とする企業は，ものと機能を分離し，サービスやコンテンツを仮想化されたインフラ上で提供するなど，サイバー空間でのメリットを最大化し，高い利益率を維持している．この構図は，特定の製品･サービスにとどまらず，IoT の普及・導入により，あらゆる産業に広がりつつある．

DX レポートと DX 推進政策

上述の政策論点を俯瞰するために，まず，我が国の企業における IT 投資の動向に着目する．デジタル技術の導入により，新たなビジネスモデルを確立するためには，「攻めの IT 投資」の戦略が不可欠である．しかし，一般社団法人 日本情報システム･ユーザー協会(JUAS)の「企業 IT 動向調査報告書 2020」[2] においても，我が国企業の IT 関連予算の 80% は現行ビジネスの維持・運営（ラン・ザ・ビジネス）に割り当てられていることが分かる（図 -1）[2]．このことは，新たな付加価値を生み出すために必要な IT 戦略に対して，資金・人材を十分に振り向けられていないという課題を浮き彫りにしている．加えて，現行の IT システムが現行ビジネスと密結合している点を考慮すると，新たな競争力を得るためのサービスシステムが企業で活用できにくい状況にあるとも言える．

図 -2 から，我が国企業は米国企業に比べて，「業務効率化／コスト削減」のための「守りの IT 投資」に重点を置いていることが分かる [3]．

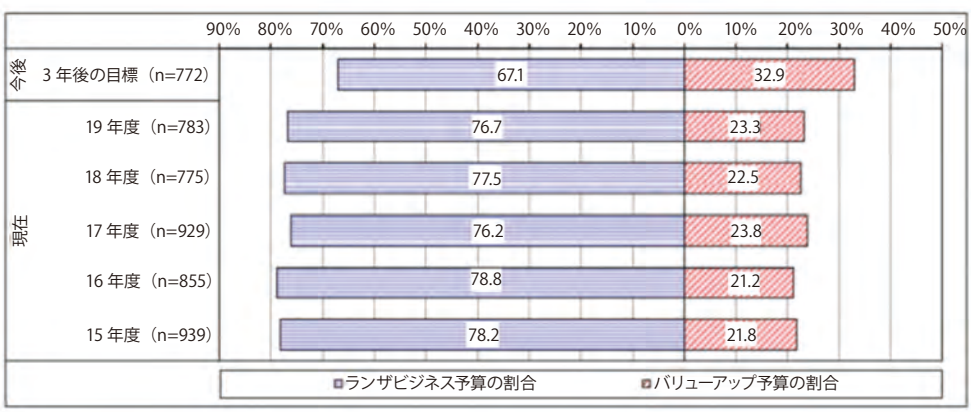
これらの傾向から，IT を活用した新たなビジネスモデルの構築やサービスの開発を行うための「攻めの IT 投資」が進みにくく，バリューアップに向けた投資が進められていないという実態が浮かび上がる．

このことを情報サービス産業における国際動向から俯瞰してみる．まず，2018 年 11 月の中国工業和信息化部による国内状況の報告によると，業種別平均給与が金融分野を追い越して情報サービス業（ソフトウェア業）が第 1 位になっており，年率 11% 増加の傾向にある．また，ソフトウェア業そのものが 15% 成長している．米国 IT 産業の成長率が 6%と言われ，我が国の情報サービス産業の成長率が 2% 前後であることを考えると，構造的な課題として捉えるべきとの論点が浮かび上がる．

2025 年の崖問題の指摘

新たなデジタル技術を活用して新しいビジネスモデルを創出するためには，既存ビジネスと密結合した IT システムを柔軟に改変できる状態にすることが求められる．しかし，何をいかになすべきかの見極めに苦労しているだけでなく，複雑化・老朽化・ブラックボックス化した既存の IT システムが足かせとなっているとの指摘がある．

DX レポートにおいて，複雑化･老朽化･ブラックボックス化した既存システムが残存した場合，2025 年までに予想される IT 人材の引退やサポート終了等によるリスクの高まり等に伴う経済損失は，2025 年以降，最大 12 兆円／年(現在の約 3 倍)にのぼると推定している．

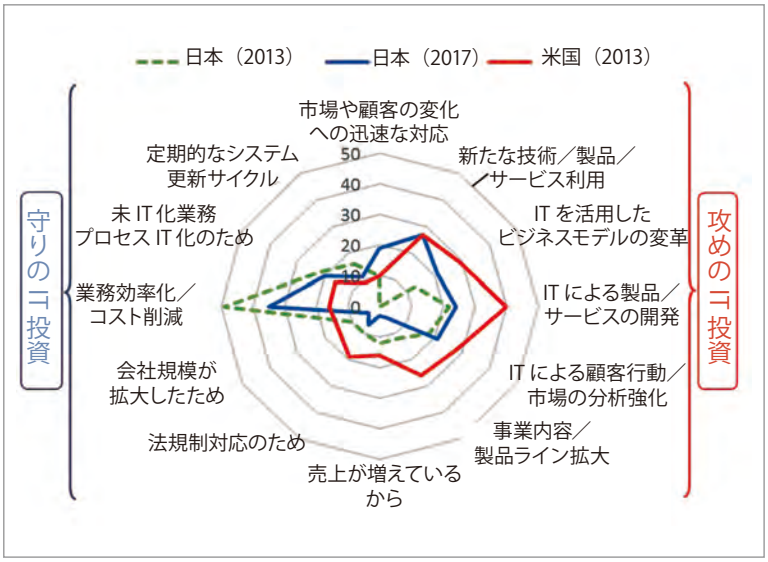


■図 -1　年度別の IT 予算配分

© 2020 Information Processing Society of Japan

これによって，既存システムでは爆発的に増加するデータを活用できず，企業はデジタル競争の敗者となる恐れがある．多くの技術的負債を抱えるだけでなく，運用・保守の担い手が不足し，業務基盤そのものの維持・継承が困難になることが想定される．さらに，サイバーセキュリティや事故・災害によるシステムトラブルやデータ滅失・流出等のリスクも高まると考えられる．特に，重要インフラ企業におけるシステム刷新は，リスクが大規模に広がることのないように十分な配慮の下で計画的に進める必要があり，政策的な措置が求められる．他方，ベンダ企業は，既存システムの運用・保守にリソースを割かざるを得ず，レガシーシステムのサポート継続に伴う人月ベースの多重下請構造から脱却できないと予想される．

以上の状況を「2025 年の崖」問題として指摘するとともに，ユーザ企業が新たなデジタル技術への切り替えによる競争力強化が困難になっていること，ならびに，ベンダ企業においては成長領域であり主戦場となっているクラウドベースのサービス開発・提供を攻めあぐねる状態になっていることを課題として指摘した．ここでの問題の中心はユーザ企業の IT 投資が競争力強化の領域へ振り向けられていないという産業構造にある．



■図 -2　IT 投資における日米比較

経済産業省における DX 推進の政策展開

DX の実現シナリオの設定

DX レポートでは，クラウド化を加速させるデジタルプラットフォーマーに対峙して我が国企業の成長戦略とその取り組みの方向性を DX 実現シナリオとして示している．

2018 年時点では，2020 年まではオリンピック・パラリンピックを中心とした好景気が続くと考えられたため，それまでの 2 年間を準備期間とし，変革の計画立案にあてるべきとした．続く 5 年間を DX 実現のための集中期間と位置づけ，システムの刷新と経営の改革を計画的に行うよう求めた．

IT 投資に関しては，ラン・ザ・ビジネスとバリューアップの割合を現在の 8:2 から欧米並みの 6:4 にすること，ならびに，GDP に占める割合を現在の 1.5 倍に押し上げることを目標として定めた．また，IT 人材に関しては，ベンダ企業の IT 人材の規模を維持しつつ，ユーザ企業に対して IT システム内製のための人材登用を促すことで，ユーザ企業・ベンダ企業間の割合を現在の 3:7 から欧米並みの 5:5 にすることを目標とした．一方，ベンダ企業は，既存システムの維持・管理ではなく，最先端のデジタル技術分野が主戦場になっていると考えられるため，IT 人材の平均年収は米国並みまで，すなわち，2017 年時点から 2 倍程度まで，押し上げられていることを目標とした．

これらの方向性や目標を定めて DX を推進することで 2025 年にはあらゆる企業がデジタル企業へ変革することを政策として目指している．

DX 推進ガイドラインの策定

経営トップは，クラウドや AI，IoT などの重要性は理解しているとしても，それらを活用して新規ビジネス創出などについて明確なビジョンを描いているとは限らない．このような場合，IT 部門が積極的に経営に参画し，

© 2020 Information Processing Society of Japan

経営改革を主導することが望まれるが，現実的にはそのようにIT部門が機能することは難しい．結果として，経営トップからIT部門が改革に消極的であると見なされてしまい，DX推進に進まない状況に陥ってしまう．

このような状況を打開するために，「デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン」（DX推進ガイドライン）を2018年12月に策定した[1]．

DX推進ガイドラインは次の2つから構成されている．

(1) DX推進のための経営の在り方，仕組み．

(2) DXを実現する上で基盤となるITシステムの構築．

前者では，経営側が明確なビジョンを持ち，どのような価値を創出するかを提示しているか，変革に対する強いコミットメントがあるか，などを主眼としている．

後者では，全社的な体制・仕組みを整えているか，システム刷新そのものではなくビジネスへの貢献度で評価する仕組みができているか，などを中心としている．

DX推進指標の策定

DX推進ガイドラインにより，DX推進において経営者が抑えるべき事項が明確化するとともに，取締役会や株主がDXの取り組みをチェック可能になることが期待される．ただし，経営者が具体的にアクションを起こすためには，企業がDX推進においてどのような状態にあるのかを把握するための指標が必要となる．このような目的のために，2019年7月にDX推進指標を定め，公表した[1]．

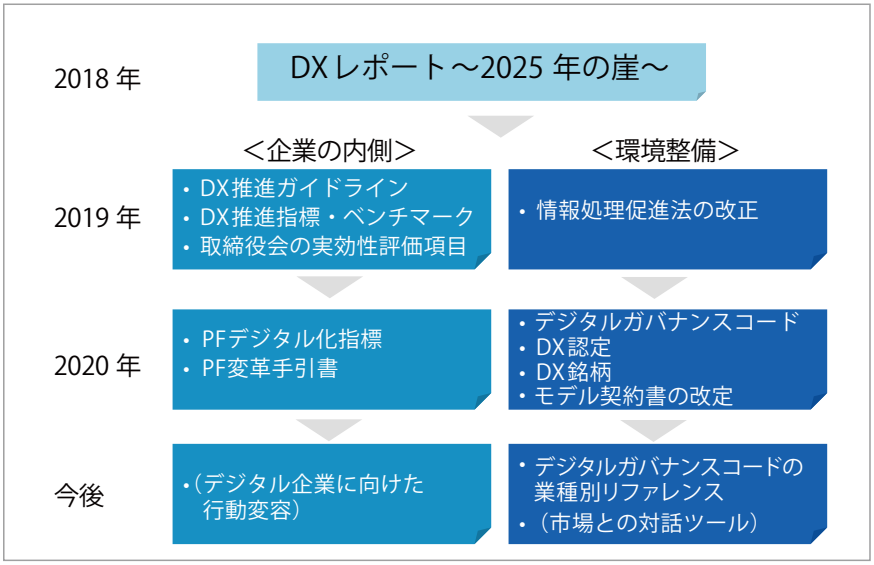
本稿に続く事例でも見られるように，DX推進は単に技術だけではなく，それを利用して顧客視点での価値を創出することに要点がある．そのためには，システムだけでなく，ビジネスモデルや企業文化などの変革も必要となり，経営者の意識改革が不可欠となる．

そこで，簡単な質問による自己診断を基礎として，経営者・事業部門・DX推進部門・情報システム部門など，DXにかかわる関係者がどう連携し，何に取り組むべきかの指針とそれに関する成熟度の基準をDX推進指標として提示した．DX推進指標は，DX推進に関して企業がどのような状態にあるのかを具体的に示す指標であり，DXにかかわる関係者の共通理解を促す．同時に，事業部門や情報システム部門から経営トップに対して，あるいは，ベンダ企業からユーザ企業に対して，DX推進の取り組みについて共通の指標で指摘として共有することで，関係者のコミュニケーションが活性化されることを策定の狙いとしている．

DX推進の外部環境の整備

個社におけるDX推進は民間企業の問題として位置づけられるべきものであるという考えから，DX推進ガイドラインやDX推進指標は，あくまで，企業が自ら変革を推進するための道具として定めたものである．これに対して，DX推進に関する企業経営の外部環境を整備する観点から，政策を整備している（図-3）．

企業のデジタル化による経営改革，社会全体でのデータ連携・共有の基盤づくり，安全性の確保を官民双方で行い，社会横断



■図-3　DX推進政策の全体像

© 2020 Information Processing Society of Japan

的な基盤整備を行うための措置を講ずるという観点から，DX 推進の社会的な環境整備を行うことを目的として，「情報処理の促進に関する法律の一部を改正する法律」（令和元年法律第 67 号）が施行された[4]．この法律の柱は，次の 3 つである：(1) 企業のデジタル面での経営改革，(2) 社会全体でのデータ連携・共有の基盤づくり，(3) 安全性の構築．

本法律では，(独) 情報処理推進機構 (IPA) が担う役割の強化を目的としており，上述の (1) から (3) について定義している．

(1) 企業経営における戦略的なシステムの利用の在り方を提示した指針を国が策定し，指針を踏まえ，申請に基づき，優良な取り組みを行う事業者を認定する制度を創設．
(2) 異なる事業者間や社会全体でのデータ連携・共有を容易にするために必要な共通技術仕様（デジタルアーキテクチャ）の策定を IPA の業務に追加．具体的には，本業務追加を受けて，IPA に「デジタルアーキテクチャ・デザインセンター」を設立．
(3) 政府調達におけるクラウドサービスの安全性評価制度の実施業務を IPA に追加．

上記の法律改正を契機として，今後の IPA においては，経済産業省所管の機関としての役割だけでなく，デジタル社会において DX 推進を目指す企業全体や政府システム全体に対しての専門的な役割を担い，中立的な機関として企業間を調整したり，DX 推進にかかわる人材を育成したりする拠点としての役割を担うことが期待されている．政策展開の詳細は，本特集の岡村ほかによる解説を参照されたい．

DX 推進政策の今後の展開

企業において DX が進まない問題の本質を考えると，デジタル技術に関する本質の理解に起因する問題が主たる論点になると考えたことが，「デジタルトランスフォーメーションに向けた研究会」を設置する契機となった．DX レポートの発行から 2 年が経過した現在，2020 年初頭からの新型コロナウイルスの世界的な流行は，企業の事業環境を不安定化させており，DX の推進が待ったなしとなっている．

このため，経済産業省では，コロナ禍における企業の事業環境の変化を明らかにするとともに，産業界において戦略的なビジネス展開を進めていくために必要となるデジタルトランスフォーメーションを促進するために，課題とその対策の在り方を検討するための「デジタルトランスフォーメーションの加速に向けた研究会」を設置した．

ここで，筆者が意図したデジタル技術に関する本質の理解に関しては，デジタル技術を構成するソフトウェアが無形物であること，結果として，ソフトウェアが大規模化することによる問題の質的な変化，などを含んでいる．この観点から，アカデミア，特に，本会による貢献が求められるところであり，本稿ならびに本特集が議論，ならびに，解決の糸口になれば幸いである．

参考文献

1) 経済産業省：産業界におけるデジタルトランスフォーメーションの推進，https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/dx/dx.html
2) 一般社団法人日本情報システム・ユーザー協会：企業 IT 動向調査報告書 2020.
3) 一般社団法人電子情報技術産業協会：2017 年国内企業の「IT 経営」に関する調査（2018 年 1 月）．
4) 経済産業省：「情報処理の促進に関する法律の一部を改正する法律」（令和元年法律第 67 号）が施行されました https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200515001/20200515001.html

（2020 年 9 月 23 日受付）

■和泉憲明　izumi-noriaki@meti.go.jp

経済産業省商務情報政策局 情報経済課 アーキテクチャ戦略企画室長．静岡大学情報学部 助手，産業技術総合研究所（産総研）サイバーアシスト研究センター研究員，産総研情報技術研究部門・上級主任研究員などを経て 2017 年より経済産業省商務情報政策局情報産業課企画官，2020 年より現職．博士（工学）（慶應義塾大学）．その他，これまで，東京大学大学院・非常勤講師，北陸先端科学技術大学院大学・客員准教授，大阪府立大学・文書解析・知識科学研究所・研究員，先端 IT 活用推進コンソーシアム（AITC）顧問などを兼務．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 1 部　DX とは何か，我が国の現状は ?］

3 国内における DX の現状と分析

応般

― DX 推進指標を用いた計測と分析結果の考察―

岡村輝太*　河野太基*　室脇慶彦*　浅野絢子☆1

*（独）情報処理推進機構

DX 推進指標の取り組みの背景

「DX レポート」[1] に続いて，企業などにおいて経営幹部が事業部門，DX 部門，IT 部門等と議論をしながら自社の DX の取り組みの現状や課題についての認識を共有し，次のアクションにつなげるための気付きの機会を提供することを目的とした「『DX 推進指標』とそのガイダンス」[2] が経済産業省から 2019 年 7 月に公開された．

こうしたデータの収集，分析については（独）情報処理推進機構（以下，IPA）が 2019 年 10 月から各社の自己診断結果の収集を経済産業省より引継いだ．2019 年末時点で集計した 287 件のうち，272 件の有効回答データを元に分析し，ベンチマークを行った[3]．

本稿ではこれらの分析結果，結果から読み取れる DX 推進の実態，展望について述べる．

これまでこうした規模でかつ一定の指標に基づいて DX に関する調査分析が行われたことはなく，初の試みである．本統計のデータ公開は企業の DX 推進に寄与すると確信している．

☆1 （独）情報処理推進機構出向中に本研究に従事．

DX 推進指標による調査

DX 推進指標の構成

DX 推進指標の構成概要

「DX 推進指標」は，DX の推進に際し日本企業が直面している課題やそれを解決するために取り組むべき事項を中心に，大きく以下の 2 つから構成されている．

(1) DX 推進のための経営の在り方，仕組みに関する指標
　a)「DX 推進の枠組み」（定性指標）
　b)「DX 推進の取組状況」（定量指標）
(2) DX を実現する基盤となる IT システムの構築に関する指標
　a)「IT システム構築の枠組み」（定性指標）
　b)「IT システム構築の取組状況」（定量指標）

DX 推進指標は主に定性指標（35 項目）からなり，取り組みに対する基本的な内容が記載されている．定量指標（3 項目）はそれを裏付ける内容で構成されている．このため，以降の分析では定性指標を中心に扱う．

定性指標とは

定性指標は以下の 2 階層のクエスチョンとして設定している．

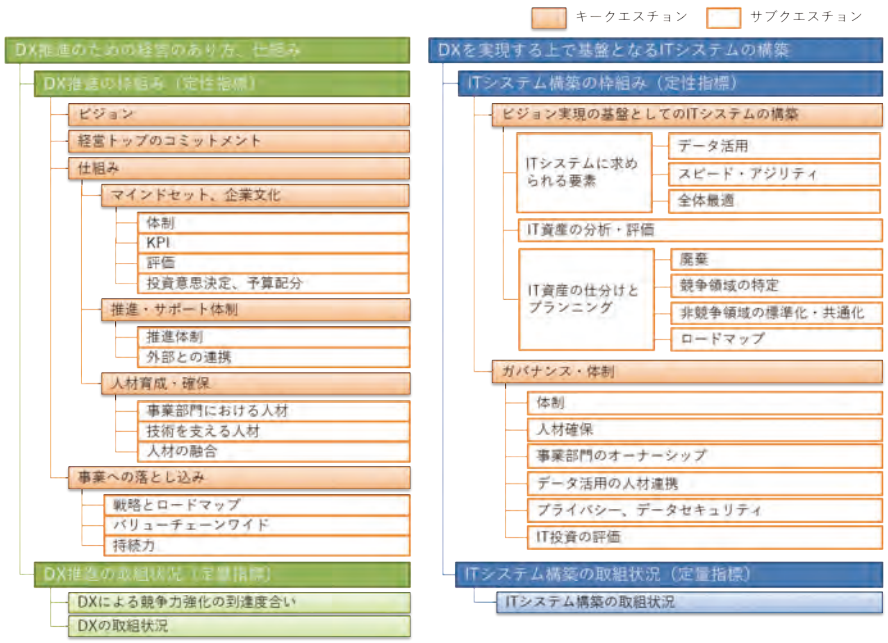
© 2020 Information Processing Society of Japan

(1) キークエスチョン
経営者自ら回答することが望ましいもの
(2) サブクエスチョン
経営者が経営幹部，事業部門，DX 部門，IT 部門等と議論をしながら回答するもの
項目の構成を図 -1 に示す．

指標と成熟度レベル

定性指標においては，DX 推進の「成熟度」を 6 段階で評価する仕組みになっている．最終的なゴール（レベル 5）は「デジタル企業として，グローバル競争を勝ち抜くことのできるレベル」となっている．表 -1 に成熟度レベルの考え方を示す．

これらの指標は企業が自己分析を行うことを想定している．自己分析で評価した成熟度を利用することで，自社が現在どのレベルにあるか（以下現在値）を客観的に認識することが重要である．さらに，この指標を元に議論を行い達成可能な目標レベル（以下目標値）を設定し，項目ごとに次の目標レベルに達成するための具体的なアクションを起こすことが期待できる．



■図 -1 「DX 推進指標」の内容 [4]

■表 -1 成熟度レベルの考え方

成熟度レベル		特性
レベル 0	未着手	**経営者は無関心か，関心があっても具体的な取り組みに至っていない**
レベル 1	一部での散発的実施	**全社戦略が明確でない中，部門単位での試行・実施にとどまっている** （例）PoC の実施において，トップの号令があったとしても，全社的な仕組みがない場合は，ただ単に失敗を繰り返すだけになってしまい，失敗から学ぶことができなくなる．
レベル 2	一部での戦略的実施	**全社戦略に基づく一部の部門での推進**
レベル 3	全社戦略に基づく部門横断的推進	**全社戦略に基づく部門横断的推進** 全社的な取り組みとなっていることが望ましいが，必ずしも全社で画一的な仕組みとすることを指しているわけではなく，仕組みが明確化され部門横断的に実践されていることを指す．
レベル 4	全社戦略に基づく持続的実施	**定量的な指標などによる持続的な実施** 持続的な実施には，同じ組織，やり方を定着させていくということ以外に，判断が誤っていた場合に積極的に組織，やり方を変えることで，継続的に改善していくということも含まれる．
レベル 5	グローバル市場におけるデジタル企業	**デジタル企業として，グローバル競争を勝ち抜くことのできるレベル** レベル 4 における特性を満たした上で，グローバル市場でも存在感を発揮し，競争上の優位性を確立している．

指標値の調査結果

全体平均と項目別平均

集計方法

成熟度レベルの値は等差，等倍関係を示す絶対尺度ではなく相対尺度（Likert Scale）を用いている．

まず現状を把握するため，回答企業ごとの評価結果をもとに，全企業の経営視点（DX 推進のための経営の仕組み），IT 視点（DX 推進のための IT システムの構築），企業規模別☆2 などを基準として分類，集計を行った．

企業規模別集計を進める中で，特に大企業については現状値，目標値とも高い部分集

☆2 大規模企業：従業員 1,000 人以上．
中規模企業：従業員 100 人以上 1,000 人未満．
小規模企業：従業員 100 人未満．
その他：企業規模が不明なものを分類．

© 2020 Information Processing Society of Japan

合があることが分かってきた．このため多くの回答が集積した部分集合の特徴がよく分かるようクラスタリングを行った．

集計結果

先に述べた定性指標を全体，経営指標，IT 指標に分けて，企業規模別に現状値と目標値それぞれの平均値を算出した．現状値，目標値ともに高い部分集合は DX が進んでいる企業であることから「先行企業[☆3]」とし，各属性に該当するデータの平均値も算出した．その結果を表 -2 に示す．

DX 推進指標値の分布

集計結果の分布図化

表 -2 に示した企業群ごとの DX 推進指標の平均値を俯瞰することにより，全体の傾向が分析できる．そのため，経営の指標の成熟度を横軸，IT の指標の成熟度を縦軸にして分布図に表したところ，図 -2 となった．図中，現状値に注目すると，象限の右上に位置する先行企業，平均値周辺に位置する一般大規模と一般中規模，象限の左下に位置する一般小規模の 3 グループに分布していることが分かる．一般小規模グループは，他のグループと比べ指標値が低い特異なグループとなっている．このため，IPA では今後小規模企業の実態に合った指標となるよう見直しが必要であると考えている．したがって，本稿では先行企業および一般大規模と一般中規模の企業を対象に分析する．

先行企業の平均現在値

先行企業の数は 13 社であり，全体の 5% 程度である．先行企業の平均現在値は 3.40 であり，そのうち，平均現在値 4 以上の企業数は 2 社である．先行企業において，経営視点指標の平均現在値は 3.44，IT 視点指標の平均現状値は 3.37 であった．指標のレベル 3 とは「全社戦略に基づく部門横断的推進のレベルに達している」ことを示している．

先行企業と全企業の比較

クラスタごとの特徴の抽出

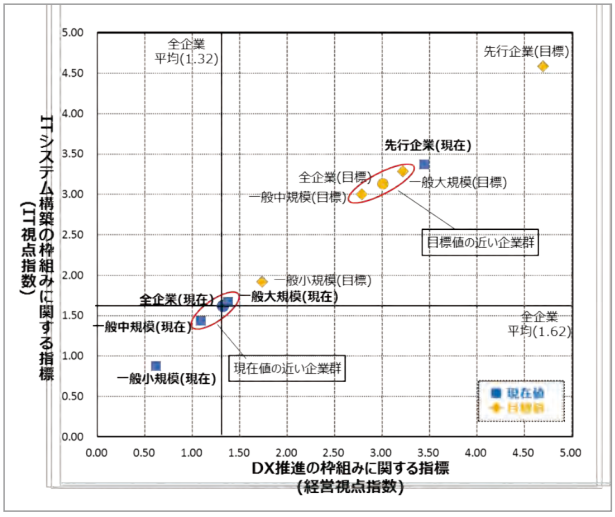
図 -2 に示したように全企業と先行企業の成熟度には乖離がある．

先行企業の特徴を抽出するため，全企業と先行企業群それぞれについて項目単位での平均値を求めた．この分析から現状値の平均値の差が他の項目に比べて大きい項目があることが分かった．その特徴を明らかにするため，項目ごとに全企業を対象とした平均値と先行企業を対象とした平均値，それらの標準偏差を算出した．その中で経営視点と IT 視点の指標の平均値を図 -3 に示す．これにより，それぞれ

☆3 先行企業：分析対象の企業のうち，現在値の全体の平均点の数値が全社戦略に基づいて実践できているレベル 3 を超えている 13 企業（全体の約 5%）．

■表 -2　クラスタごとの平均現状値と平均目標値

	規模	数	現在			目標		
			全体	経営	IT	全体	経営	IT
全企業		272	1.45	1.32	1.62	3.05	3.00	3.14
先行企業		13	3.40	3.44	3.37	4.62	4.69	4.58
一般企業	大	124	1.50	1.37	1.67	3.24	3.21	3.28
	中	93	1.24	1.09	1.44	2.87	2.78	3.00
	小	27	0.74	0.61	0.88	1.83	1.73	1.92
	その他	15	1.82	1.74	1.93	3.43	3.36	3.47



■図 -2　経営視点指標× IT 視点指標のポジション

© 2020 Information Processing Society of Japan

の指標値の分布が平均値付近に集中しており平均値が特徴として利用できることを確認した．

乖離の大きかった指標

「クラスタごとの特徴の抽出」の節で述べた方法で全企業と先行企業の成熟度を比較した．図 -3 に示すように，平均値の差が特に大きかった項目を，乖離の大きい項目と定義した．この乖離の大きい項目名と括弧内に値の差を示す．

経営視点の指標においては，No.2 危機感共有（2.32），No.4-4 予算配分（2.27），No.5 推進・サポート体制（2.34），No.6-1 事業部門の人材（2.26），No.6-3 人材の融合（2.32）が該当した．

IT 視点の指標で先行企業との差が大きい項目は，No.8-2 スピード・アジリティ（2.05），No.8-5 廃棄（2.08），No.9-3 事業部門のオーナーシップ（2.00）である．廃棄の対応は，No.8-3 全体最適や No8-4IT 資産の分析・評価と比較して成熟度が低く，先行企業との成熟度の差が特に大きい．

分析結果の考察と示唆

以上の分析結果に対する考察を以下に述べる．

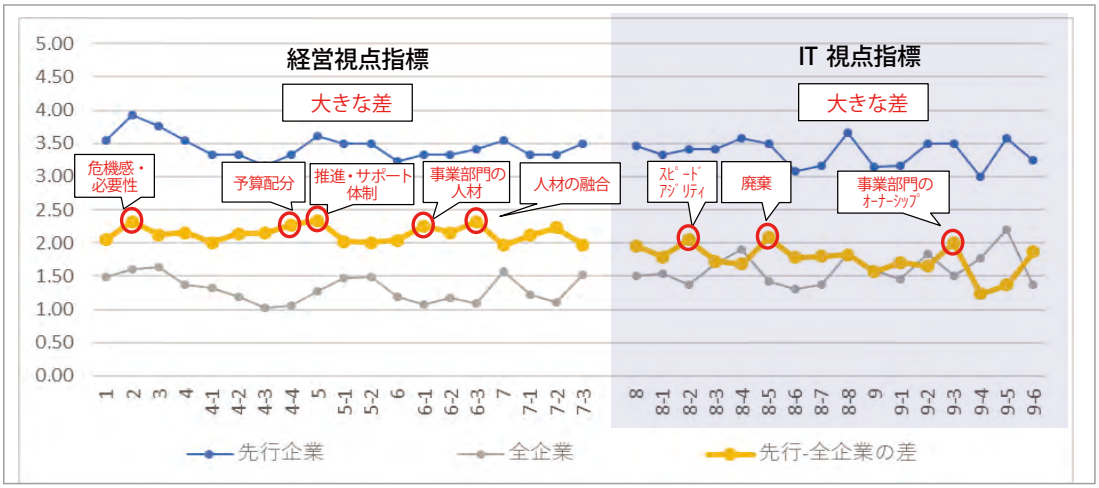
経営の行動変革の必要性

図 -2 に示すように DX 推進指標の調査結果として 3 つのグループが存在することを明らかにした．

全企業の平均現状値において差分の大きな項目のうち，予算配分や，事業部門の人材，人材の融合の項目などは一般には短期間に進むものではないと認識されている．こうした項目は継続的に自己診断を繰り返して成果の進捗状況を確認していくことが重要であろう．

大規模企業，中規模企業の多くが，DX 推進の変革の項目の半数について，未着手または，部門単位での試行，実施のレベルにある．全社戦略に基づく DX 推進を展開する段階への移行は，これから取り組むべき段階にあると思われる．先行企業は一般企業が目標としている成熟度以上のレベルへすでに到達しているとともに，グローバル市場におけるデジタル企業となることを目指していることも確認できた．先行企業の取り組みは，多くの企業にとって参考となると考えられる．特に，経営視点指標における特徴として，経営トップのコミットメントや危機感の共有に関する成熟度が高いことが挙げられる．

経営層においては，DX だけに注力するわけにはいかず事業部門や IT 部門に任せたいという意識が働きがちである．しかし，経営層が率先して DX 推進に高い優先順位を維持する必要がある．たとえばビジョンを明確化し共有する，経営トップが具体的施策に対するコミットメントをする，組織体制や



■図 -3
各項目の全企業と先行企業との平均現状値の差

© 2020 Information Processing Society of Japan

人材育成の在り方を検討し実行する，適切な投資を行うなどが挙げられる．

こうした行動変革が求められる中では，DX 推進の実行状況を正確に把握する必要がある．DX 推進指標を用いて定期的に自己診断を実施し，客観的に進捗を見える化することで，課題に的確に対応していくべきである．

IT システム変革の必要性

IT 視点の指標で先行企業との差が大きい項目としてスピード・アジリティや廃棄，事業部門のオーナーシップが明らかになった．全企業と先行企業では，具体的な活動や施策の実施において大きな差があるといえる．

日本企業の多くは DX に関して IT システムの現状調査までは行っているが，具体的な計画立案や施策実施まで着手できていないと考えられる．

回答のコメントを分析したところ，コストをかけて IT システムの現状調査のコンサルティングを受けるなどの施策を行っても，廃棄などの実際の変革に踏み出せていないという回答が多かった．実態としては IT システムの変革に足踏みをしている状態から脱却できていない．この阻害要因として，IT システム変革の方向性が見えないこと，変革の方法論が不明であることが挙げられる．

DX 推進指標の展望

本稿では DX 推進指標の調査データ分析に焦点を当てて報告した．これらの自己診断結果だけでは DX を推進することは難しい．自己診断結果を受けて，実行可能な DX 推進計画を策定し，経営がリーダシップを発揮して推進することが重要である．さらに，確実に進捗を確認するためには DX 推進指標を継続的に活用する必要がある．なぜなら現在の達成状況を客観的に把握しながら目標の見直しを行い，着実に推進することが重要だからである．

本稿で分析した DX 推進指標についても，引き続きより多くの情報を収集していきたい．収集された情報の母数が増大することにより精度の高い分析が期待できる．業種ごと，企業規模ごとの特性など，より詳細な特徴や課題も明らかにできると考えている．

本稿の報告は単年度の調査であるが，今後継続的な調査分析を進め，経年での傾向，新たな課題の発見，進捗状況も明らかにできると考えている．

ここまで述べてきたように DX 推進指標を基準に数値化することによって，現状を見える化できたが具体的な問題の抽出には至っていない．IPA ではより詳細に問題点を明らかにするための指標策定を行っている．

今後のさらなる展望と取り組み

図 -4 に DX に関する今後の取り組みを示す．

DX 推進には，各企業がどこに具体的な問題や課題があるのかを明らかにしなければならない．現在あらたに取り組んでいる指標は，これらの DX 推進の課題や，技術的負債，IT システムへの対応を見える化するものである．この指標は「プラットフォームデジタル化指標」と呼び，今後一般公開していく．

統計分析から見えてきた課題を解決していくために，IPA では DX 推進のための技術的方法論をガイドする「プラットフォーム変革手引書」の作成も始めている．IT システムの仕様が分からない状態をどう解明し，情報を復元するかといったブラックボックス化した現状システムへのアプローチや，新たなデジタル技術の活用に向けての方法論確立のために検討を進め，順次公開する予定である．

DX を推進するには経営者自身の意識改革が重要である．多様化しているステークホルダの視点も踏まえたコミットメントが重要になっている．このため IPA では 2020 年 5 月より経済産業省とともに DX 企業認定制度の策定を進めている．経営者自身

© 2020 Information Processing Society of Japan

が DX 推進に関する自社の課題に確実に取り組んでいける仕組み作りをしている．この仕組みでは経営者自ら DX 推進の問題を把握し，計画を策定し，第三者に宣言することを条件として認定する．IPA はこうした施策により経営と技術の課題を解決できるように今後も活動を続けていく予定である．

IT システムの構築についてはさらなる見える化が必要である．これらを進めるための課題や具体的なアクション，新たなデジタル技術の確立を目指し，あるべき姿の整理も進めている．こうしたさまざまな取り組みにより経営と IT システムが両輪となって DX を推進できるようになると確信している．

参考文献

1) 経済産業省：DX レポート～IT システム「2025 年の崖」の克服と DX の本格的な展開～（2018 年 9 月），https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation/pdf/20180907_03.pdf
2) 経済産業省：DX 推進指標とそのガイドライン（2019 年 7 月 ），https://www.meti.go.jp/press/2019/07/20190731003/20190731003-1.pdf
3) 情報処理推進機構（IPA）：DX 推進指標自己診断結果分析レポート（2020 年 5 月），https: //www.ipa.go.jp/ikc/reports/20200528.html
4) 経済産業省，DX 推進指標の内容（2019 年 7 月），https://www.meti.go.jp/press/2019/07/20190731003/20190731003.html

（2020 年 7 月 31 日受付）

■**岡村輝太**　k-okamu@ipa.go.jp

佐賀大学農学部卒業．（株）ワークスアプリケーションズにて ERP パッケージ営業を経て，SCM 周辺のコンサルティングに従事．DX に関する新規事業立案，マーケティング，新サービスの立ち上げ，DADC 設立メンバと多岐にわたる活動を実施．現在 IPA 研究員．

■**河野太基（正会員）**　t-kono@ipa.go.jp

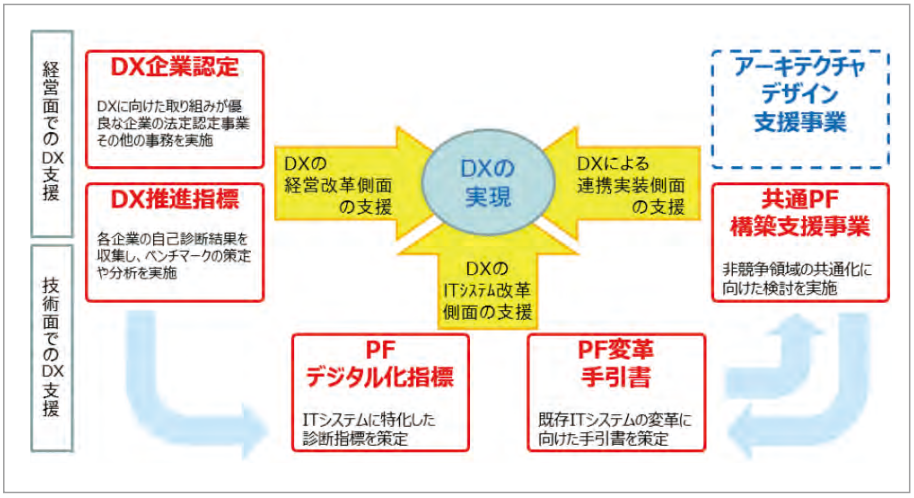
東洋大学大学院工学研究科修了．東横学園女子短大講師，富士通株式会社兼任を経てミッションクリティカルシステムの設計構築などに従事．近年は先端技術の研究開発から社会実装，基盤技術標準化まで多岐にわたる活動を実施．現在 IPA 研究員．

■**室脇慶彦**　y-murowa@ipa.go.jp

大阪大学基礎工学部卒業，野村コンピュータシステム（株）（現野村総合研究所）生産革新センター長，常務執行役員・生産革新本部長を経て現在 IPA 参与．専門は IT プロジェクトマネジメント，IT 生産技術，年金制度など．

■**浅野絢子**

コンサルティングファームにて消費財・流通業界を中心に，新規事業立案，中計立案，M&A，等の幅広い戦略案件に従事．近年は企業の DX を支援するプロジェクトに多く参画．2019 年より IPA に出向し，DX 推進指標のベンチマーク策定業務等に従事．



■図 -4　DX に関する今後の取り組み

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第２部　DX の技術と教育，人材育成］

4 イノベーション創出のための要求工学の課題
―エンジニアリング，デザイン，サイエンス，アート視点の融合による解決へのアプローチ―

位野木万里 | 工学院大学

イノベーション創出のための アイディアはどこからくるのか

DX の社会実装には，イノベーションのアイディアの創出が重要である．そのための技術として，ユーザ視点での問題発見解決など，ソフトウェア工学の中でも，要求工学を中心に新たな研究課題や解決策へのアプローチが提示されている．本稿では，そのような研究の現状と動向を示す．なお，ソフトウェア工学，要求工学については『情報処理』Vol.58 No.8 の「特集：ソフトウェア工学の最前線～ソフトウェアが社会のすべてを定義する時代～」を参照されたい．

ソフトウェア工学では，分割統治，段階的詳細化により，あらゆる問題解決が可能であること，また，ソフトウェアを構成するアルゴリズムは，順次，判断，反復のロジックの組合せにより構成されるとして，開発プロセスやモデリング手法などの技術体系が構築されてきた．ソフトウェア開発プロセスは，企画・分析，要求獲得，設計，プログラム開発，テスト，運用・保守に至るライフサイクルに対して，タスクや主要成果物の在り方を定義し，生産性や品質を向上させるための手法や自動化技術に取り組んできた．

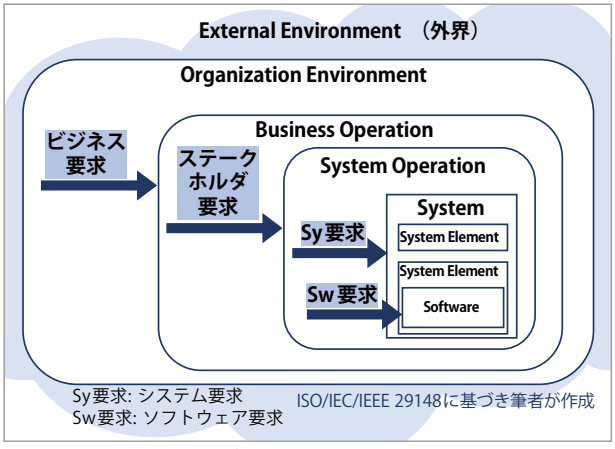
ソフトウェア工学の研究開発の１つのゴールとはソフトウェア開発の工業化であり，パターン化された開発，成果物の再利用，作業自動化により高品質な製品を短期間で効率的に開発することを目指している．このような従来型のソフトウェア工学，要求工学のみに固執すれば，DX を実践し，イノベーションを起こす新たな価値創出のアイディアの創出は困難であると考えられる．

新たな付加価値を創出するとは，課題を解決することではなく，問題を発見することである． DX の社会実装には「問題の発見」を重視した，開発プロセスが重要であると考えられる．ソフトウェア工学の中でも，要求工学を中心に，要求獲得の手法や考え方を拡張するような新たな研究課題や解決策へのアプローチが提示されている．以下，本稿では，要求獲得プロセスに注目し，従来型の要求獲得の考え方を踏まえ，今後どのように拡張すべきか，その方向性について最近の話題を取り上げて解説する．

従来の要求工学

要求工学が扱うスコープ

図 -1 に，要求定義に関する国際標準（ISO/IEC/



■図 -1　29148 のスコープ

© 2020 Information Processing Society of Japan

IEEE 29148 2ndEdition，以下 29148 と略す）による要求のスコープの関係性を示す．29148 では，対象となる要求のスコープの例として，外界，組織，ビジネス，システム，ソフトウェアが対象であることを示している．要求は，開発対象のソフトウェアシステムの働きを示す機能要求と，各機能に横断して性能や使用性などの特性について示す非機能要求から構成される．29148 では，それらの機能要求，非機能要求の根拠を明らかにし，真の顧客要求に合致しているかどうかを確認可能にすることを目指し，外界ニーズ，市場，組織，ステークホルダとの関係性も考慮し，要求のスコープを捉えている．

要求開発プロセス

ここで，具体的に要求工学を実践して要求を定義する要求開発プロセスについて説明する．図 -2 に要求工学知識体系 REBOK による要求開発プロセスを示す[1]．REBOK では，要求定義は，要求の源泉であるステークホルダや関連文書を入力として，要求獲得，要求分析，要求仕様化，要求の検証・妥当性確認・評価のプロセスで構成され，要求の獲得状況に基づいて，これらのプロセスを相互に反復する．システム構築は，ここで獲得した要求に基づいて実施される．

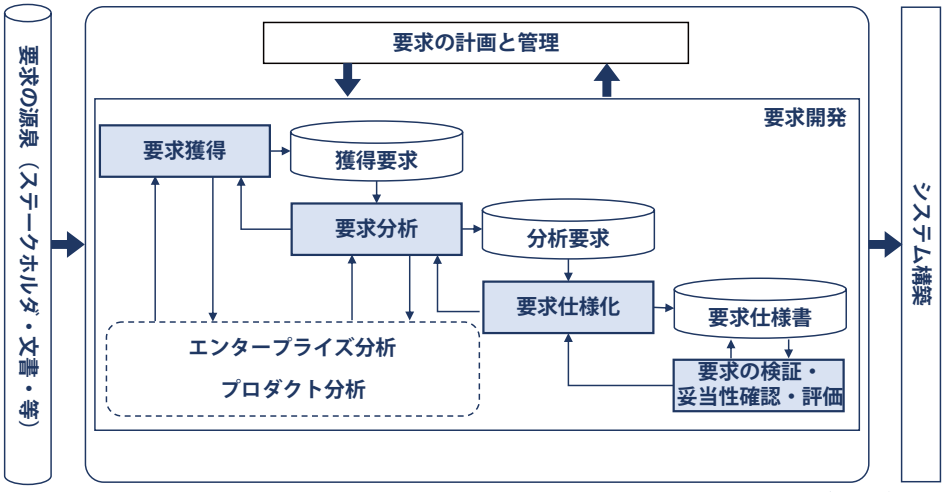
29148，REBOK で示すように，ソフトウェア工学，要求工学では，必ずしも技術者視点の解決策を開発することを目的としてきたわけではない．しかし，エンジニアリングが目指す 1 つのゴールとして，開発の工業化があり，対象業務やドメインに精通する一部の専門家でなくても，顧客にソリューションを提供する要求を合理的に獲得・仕様化し，システム開発へとスムーズに接続することが求められてきた．現状のソフトウェア工学，要求工学の狭い理解のままでは，DX を実践するため望ましい要求獲得は困難であると考えられる．

デザイン思考による要求獲得

デザイン思考と要求獲得

前述した REBOK[1] によれば，要求獲得における代表的な技術として，要求の源泉となるステークホルダの識別のためのステークホルダマトリクスやペルソナ分析，現状業務やシステム化後の業務の流れを明らかにするためのシナリオ分析，課題発見，解決策の考案のためのゴール指向分析等が取り上げられている．これらの技術は，分析手法と分析結果の可視化等のモデリング技術が中心であり，現状，実開発において活用され，DX の実践でも重要な技術と考えられる．

ところで，ここ数年で，顧客の要求は，「品質向上」や「コスト削減」，「納期短縮」だけでなく，「使用する際の心地よさ，楽しさ」等，多様化している．DX を実践するための



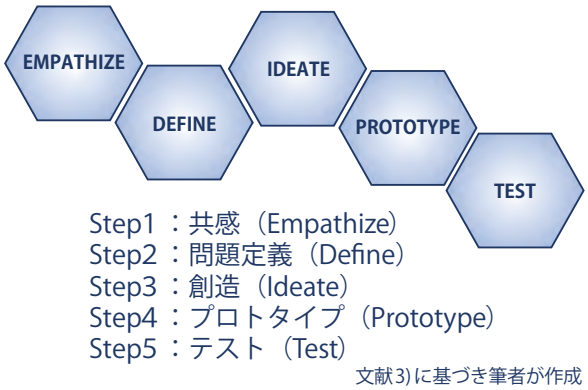
■図 -2　REBOK による要求開発プロセス

© 2020 Information Processing Society of Japan

イノベーションの創出には，問題発見が必要である．たとえば，「使用する際の心地よさ，楽しさ」に応えるなら，従来型のモデリング技術に加えた，新たな取り組みが必要であり，そのためにデザイン思考による要求獲得が有効であると考えられる．

デザイン思考とは，Tim Brown が提案した思考法であり[2]，創造的な問題解決のための方法論である．デザイン思考は，顧客視点でアイディアを発想する考え方として，さまざまな場面で活用されている．デザイン思考による問題解決のプロセスは，図 -3 に示す 5 つの要素から構成され，実際の問題解決ではこれらの要素の反復によって実践される[3]．

ところで，デザイン思考に基づくユーザ中心設計手法として，カスタマージャーニーマップ（以下，CJM と略す）を用いた要求の抽出手法がある．カスタマージャーニー（Customer Journey）概念が最初に適用されたのは，1999 年 IDEO による Amtrak の鉄道，Acela プロジェクトであったとされている[2]．文献 2）によれば，鉄道を利用するユーザの旅（Journey）をいくつかのステップに分けて分析する過程で，新たなサービスの考案に至ったと述べられている．具体的には，「座席」のデザインのために，ユーザの旅を工程に分けて分析したところ，ユーザが座席に着席する前に，座席への価値提供が可能な多くの機会の存在に気づかされた，と示されている．



■図 -3　デザイン思考による開発プロセス

図 -4 に CJM の記述例を示す．CJM は，商品を購入するまでの顧客行動の分析等，マーケティング分野でさかんに使われるようになった．IT に基づく情報システムやサービス開発の場面でも，顧客を含めたアイディアソンや開発初期のワークショップ等で，CJM が利活用されている．特に，CJM に基づく要求獲得では，Customer Journey（顧客の旅）と呼ぶ一連の具体シーンを通して，顧客に価値を提供できる「顧客接点」を特定する機会を発見しやすい点が有効である．

デザイン思考と要求工学の融合の取り組み

Heln らは，デザイン思考と要求工学による開発プロセスで作成される成果物を比較分析し，デザイン思考と要求工学による接続性を示す成果物モデルを提供している．表 -1 に，提示された成果物モデルの一部を示す．なお，本表は，Heln らによる文献 4）の内容に基づき，筆者らにより成果物の対応関係を記述したものである．

表 -1 に示すように，デザイン思考によって作成される成果物が Context Layer に示され，従来型の要求工学プロセスによって作成される成果物が Requirements Layer に，システム開発全体で共有される成果物が System Layer に定義されている．提案されたモデルでは，Context Layer，Persona，Customer Journey，Low-Fidelity Prototype，Medium-Fidelity Prototype があり，Requirements Layer には，High-Fidelity の Prototype，Usage Model, Service Model がある．これらの成果物が，デザイン思考と要求工学プロセスとの間の橋渡しの役割となり，連続性をもってデザイン思考によるユーザ中心の開発作業と，機能中心・技術中心の要求工学型による開発作業を結びつけることが提案されている．

© 2020 Information Processing Society of Japan

■表 -1　デザイン思考と要求工学の接続性を考慮した成果物モデル

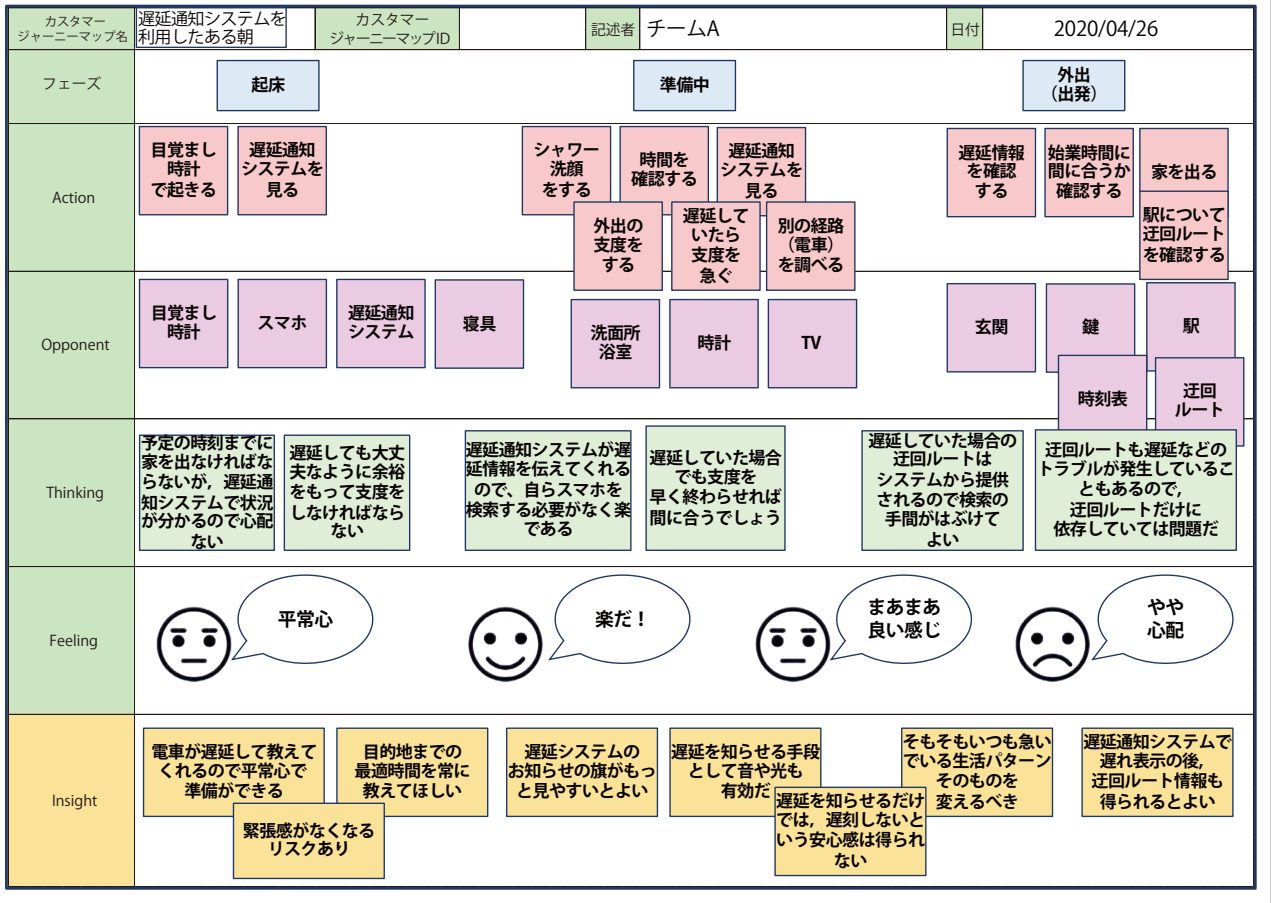
	Context Layer	Requirements Layer
Define	Design Challenge/Project Scope, Constraints/Constraint & Rules, Business Model/Case, Stakeholder Map/Stakeholder Model, Objectives & Goals, Domain Model, Design Space Map, Assumptions	High-Fidelity Prototype, Usability-Oriented Test Results, System Vision, Usage Model, Service Model, Process Requirements, Functional Hierarchy, Data Model, Deployment Requirements, Risk List, System Constraints, Quality Requirements, Glossary
Need Finding	Secondary Research, Field Studies	
		System Layer
Synthesis	Thematic Clusters, Personas, Customer Journey, Insights, Opportunity Areas	Architecture Overview, Function Model, Data Model, Component Model, Behavior Model, Glossary
Ideation	Solution Ideas	
Prototype and Test	Low-Fidelity Prototypes, Scope-Oriented Test Results, Medium-Fidelity Prototypes, Feature-Oriented Test Results	

文献4)に基づき筆者が作成

クリエイティブなアイディアを創出するには

発想の循環モデル

デザイン思考では，ユーザ視点で課題を解決することに取り組むアプローチであるが，独創的なアイディアの創出や社会への問題提起については強く意識されていない．クリエイティブな成果を生み出すための思考のフレームワークとして，Krebs Cycle of Creativity（KCC）が提案されている．KCC は，「Krebs Cycle（クエン酸回路）」と呼ばれる生物の代謝の化学反応のモデルにアナロジーを適用した，イノベーションを社会実装するためのクリエイティブな発想の循環のモデルである．これは，人間で例えれば，食事でとった栄養の一部が，消化の過程で



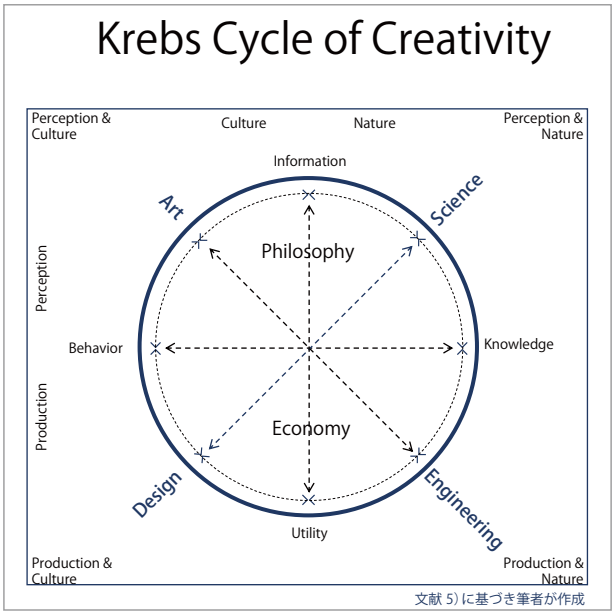
■図 -4　カスタマージャーニーマップの記述例

© 2020 Information Processing Society of Japan

クエン酸回路に取り込まれて，エネルギーに代わる，というものである．

図 -5 は KCC のモデルの図式化したものである．KCC は，SEDA と呼ばれることもある，Science，Engineering，Design，Art の領域が絡みあうことで，創造性のエネルギー循環が起こるとしている．KCC はクリエイティブであり続けるための考え方の羅針盤として位置づけることができる．

KCC は，たとえば，自分自身（または組織）の位置づけを確かめ，時計回りや反時計回りに問い続けて，思考と行動を実行する羅針盤としての活用が重要である．たとえば，本稿はソフトウェア工学，要求工学視点での DX 実践のためのプロセスについて論じているが，イノベーションの社会実装のためには，Engineering 領域の中だけで行動しているのでは，イノベーションが起こせる可能性は低い．Science 領域で得られた科学技術が Art の領域においてどのような思想に影響し，その結果どのような行動が観察可能かを検討する．そして，そのような中でユーザに提供できるソリューションを創造し，そのソリューションを実現するためにエンジニアリングを実践するというように，視点を多様化し気づきを得ることに有効であると期待できる．



■図 -5　KCC：Krebs Cycle of Creativity（創造のエネルギーを生み出す思考のフレームワーク）

アートの視点の導入

エンジニアリングとデザイン思考はいずれも，課題を解決して実践することを目的とし，イノベーションを起こす圧倒的な起爆剤になるような「問題提起」をすることに軸足は向いていない．思考のプロセスにおいて，従来型の課題解決アプローチとは異なる，新たなアプローチの創出の可能性への期待から，「アート」思考の導入が注目されている．

アート思考を備えたアーティストは，自己の哲学，こだわりを作品に昇華させようとするメタ認知やマインドセットに特徴がある．表 -2 に，Jacobs によるアート思考での特徴を示す．Jacobs によれば，アート思考が可能な能力とは，認知の視点から，メタ認知が可能で，アイディアのリソース（引き出し）を持つこと，美的感覚を内に秘めながら自ら何かを生み出そうと行動し，作品に向き合い，内省と作品への反映を継続できることが特徴として挙げられている．また，アーティストには，自己共感，直感重要，曖昧さを許容するというマインドセットを備えていることも強調されている．

アート思考による考え方のアプローチを，教育やモノづくりの一連のプロセスに適用することで，創

■表 -2　アート思考の特徴

アート思考における特徴

Cognitive strategies	Mindset
• Metacognition • Use of resource banks • Prolonged research • Problem-creation • Use of constraints and generators • Conversation with the work • Delaying closure • Reflection and evaluation of thematic coherence	• Emotional engagement • Intuition • Tolerance of ambiguity

Jessica Jacobs, Intersections in Design Thinking and Art Thinking: Towards Interdisciplinary Innovation, CREATIVITY Vol. 5, Issue 1, 2018, に基づき作成

© 2020 Information Processing Society of Japan

造的なモノづくりに活かす取り組みが今後さらに重要になると考えられる.

メタエンジニアリングプロセスフレームワーク

DX の実現には，従来型の工業化を追求したエンジニアリング視点では不十分であるとして，エンタープライズアーキテクトにとって必要と考えられるモデリングフレームワークに関する研究がなされている．Barba らは，DX に関する体系的な研究調査を通して，エンタープライズモデリングフレームワークへの要求を提示した（表 -3）．表 -3 の要求を満たすエンタープライズプロセスを備える組織は，ステークホルダの動機や意図を考慮し高度な IT と複雑なビジネスプロセスを，データ主導による意思決定と，組織の柔軟性や適応力でコントロールして，DX の実践が期待できる，としている．

また，国内では，従来型のソフトウェア開発プロセスを進化・拡張させる取り組みとして，DX（Digital Transformation）時代に向けた新たなソフトウェア工学（Software Engineering for Business and Society: SE4BS）に向けた枠組みと価値駆動プロセス[6]やトランスフォーメーションに対応するためのパターン・ランゲージ☆1が提案されている．これらは，組織のプロセス標準を超えて，組織風土や個人のマインドセットに対してイノベーティブな行動に影響を及ぼす知見を共有しようとする重要な取り組みで，今後さらなる議論や普及展開が期待される．

■表 -3　DX を実践するエンタープライズプロセスフレームワークへの要求

Framework Requirements	説明（筆者が作成）
(R1) Process Architecture	ソフトウェアエコシステム全体を表すこと
(R2) Multi -Level Process Dynamics	さまざまなタイプやレベルのプロセスで構成すること
(R3) Enterprise and Process Goals	企業戦略とビジネスモデルを製品サービスの開発プロセスと連携させること
(R4) Trade -off Analysis	ステークホルダの優先度，システムの複雑さ，企業が目指すゴール等のトレードオフ分析を行うこと
(R5) Abstract Software Artifact Design	外界の変化に柔軟に適応することを考慮してソフトウェア設計を抽象化すること
(R6) Design -Use	創る（Design）プロセスと使うプロセスを区別すること
(R7) Plan -Execute	計画のプロセスと実行のプロセスを区別すること
(R8) Feedback and Feedforward Paths	過去からの指摘と未来への展望を反映できること
(R9) Process Cycles	開発プロセスサイクル（期間，頻度，リリースサイクル等）に基づいて改善すること
(R10) Social Actors	顧客を含むSocial Actorsを巻き込むこと

Zia Babar, Eric Yu, Digital Transformation – Implications for Enterprise Modeling and Analysis, 2019 IEEE 23rd International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW), 2019, に基づき作成

要求獲得技術の進化拡張の方向付け：今後の展望に変えて

ここまでの解説を踏まえて，改めて「従来の要求工学」で述べた従来型の要求工学プロセスがどのように進化・拡張されるべきなのかを考察しまとめとする．

図 -6 は，図 -2 の要求開発プロセスに対して，進化・拡張の方針と，関連する技術やテーマのキーワードを記述したものである．要求開発プロセスは，ウォーターフォール型から，実際に動かし体験することで明らかになる要求を重視し，Agile 型，反復型の要求獲得プロセスがより求められると考えられる．社会に対する問題提起をするといった観点からの新たな要求の創成という意味での意思決定や方向づけへのアプローチが重要である．

要求獲得については，獲得の対象，扱うデータ，獲得方法そのものが幅広く多様化している．要求はそもそも決定が困難であることを受け入れた上で，

☆1 https://www.ipa.go.jp/files/000082043.pdf

© 2020 Information Processing Society of Japan

あいまいな要求を合理的に獲得する手法が求められている．要求のモデリング手法は，開発や運用と一体化した要求獲得管理や，非機能要求と変更対応も含めたさらに高度なモデリングが必要である．そのような高度なモデリングには，AI に基づく推論や自然言語処理技術を積極的に活用して，仕様生成・検証の自動化を取り込むことも有効である．AI や機械学習を活用したソリューションの提供が要求にもなることから，そのようなソリューションの要求獲得・仕様化・検証の技術の開発も重要なテーマとなると考えられる．

DX を実践するには，問題提起，アイディア創出，プロトタイプ作成だけでは不十分であり，製品として具現化し，実社会で運用され，人々の行動の変革に至るまでをやりきる能力が必要である．ソフトウェア工学の重厚長大な開発プロセスを維持管理することにリスクはあるものの，組織のあるべき姿をエンタープライズプロセスフレームワークとして理解し，実現し，しなやかに実践しきることが求められている．

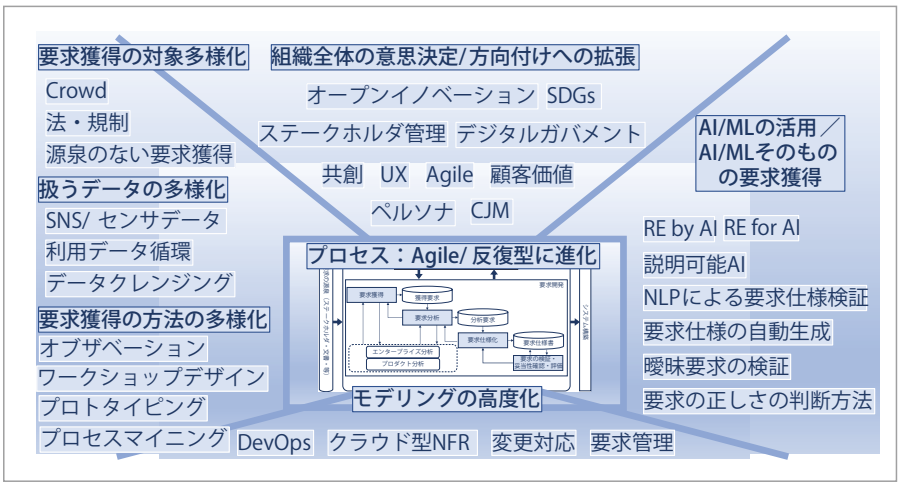
参考文献

1) 情報サービス産業協会 REBOK 企画 WG，要求工学知識体系 (Requirements Engineering Body Of Knowledge：REBOK)，近代科学社 (2011)．
2) Brown, T.: Change by Design, Revised and Updated : How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation, Harper Business (Revised, Updated) (2019).
3) HASSO PLATTNER Institute of Design at Stanford, Design Thinking Bootleg, https://dschool.stanford.edu/resources/design-thinking-bootleg (2020/02/29 参照)．
4) Hehn, J., Mendez, D., Uebernickel, F., Brenner, W. and Broy, M. : On Integrating Design Thinking for Human-Centered Requirements Engineering, in IEEE Software, Vol.37, No.2, pp.25-31 (Mar.-Apr. 2020).
5) Oxman, N. : Age of Entanglement, Journal of Design and Science -MIT Press (2016).
6) 鷲崎弘宜，萩本順三，濱井和夫，関　満徳，井上　健，谷口真也，小林　浩，平鍋健児，羽生田栄一：DX 時代の新たなソフトウェア工学 (Software Engineering for Business and Society: SE4BS) に向けた枠組みと価値駆動プロセスの提案，情報処理学会，研究報告ソフトウェア工学 (SE)，2020-SE-204，No.17，pp.1-8 (2020).

(2020 年 7 月 31 日受付)

■位野木万里（正会員）　m_inoki@cc.kogakuin.ac.jp

工学院大学情報学部コンピュータ科学科教授．2008 年早稲田大学大学院理工学研究科情報・ネットワーク専攻博士課程修了．博士（工学）．



■図 -6　要求工学プロセスの進化拡張

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 2 部　DX の技術と教育，人材育成］

5 DX に向けた既存システム分析・活用の最新技術

基 応 専 般

松尾昭彦 | （株）富士通研究所

DX に向けた関心の高まり

デジタルトランスフォーメーション（DX），すなわちデジタル技術の活用によるビジネスの変革が注目を集めており，企業は競争力の維持・強化のために DX を進め，自らのビジネスモデルを変えようとする動きを強めている．世界のビジネスリーダー 900 人に対する調査[☆1]によると，過去 3 年以内に DX の検討，試行，実践を行ったという回答が 87％を占めている．

ところが，日本では多くの企業が DX に取り組んでいるにもかかわらず実際の変革には結びついていないと言われている．この問題を「2025 年の崖」として指摘した DX レポート[☆2]の公開をきっかけに，老朽化・複雑化した既存の業務システムが DX を疎外する大きな要因であるとされるようになった．

だが，現代の企業はその業務の多くがすでにシステム化されており，その企業独特の業務知識やノウハウが実装された既存システムを捨てて新しく作り直すのは現実的ではない．いかに既存システムを活かしつつビジネスの変革を進められるかが DX 成功の鍵となる．

本稿では既存システムが抱える問題を解説し，既存システムを活かした DX を成功させる上で不可欠な現状分析・連携・移行などを支える最新の技術を紹介する．

既存システムの問題点

企業内で運用されている既存システムの多くは SoR（Systems of Record）と呼ばれ，取引・受発注等の伝票処理を中心とした業務をシステム化しており，企業のビジネスそのものを表す貴重なデータを扱っている．DX が話題となる以前から，このような既存システムのモダナイゼーションが課題とされており，たとえば「システム再構築を成功に導くユーザガイド」[☆3]では，技術面の老朽化，システムの肥大化・複雑化，ブラックボックス化という観点を挙げて調査を行っている．以下に，これらの観点から見た既存システムの問題について述べる．

技術面の老朽化

実装された当時は最新のプラットフォームや言語・ミドルウェアであっても，技術の進歩に伴い新しいものに置き換わっていくため，どうしても技術面での老朽化は避けられない．たとえば，実装時期が古い業務システムでは COBOL が使われていることが多いが，現在では COBOL 技術者が減少する傾向にあって保守を続けるのが難しく，対応できるベンダも限定されるため維持・運用費が高くなりがちになると言われている．また，新しい技術やビジネスモデルに対応することが難しく，全社的なデータ利活用が困難である場合もある．

このような問題は COBOL で実装されたシステムに限った話ではなく，より新しいプログラム言語

☆1 グローバル・デジタルトランスフォーメーション調査レポート 2019, https://www.fujitsu.com/jp/vision/insights/survey3/，富士通（株）．

☆2 DX レポート ～ IT システム「2025 年の崖」克服と DX の本格的な展開～，https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation/20180907_report.html，経済産業省．

☆3 システム再構築を成功に導くユーザガイド　第 2 版，https://www.ipa.go.jp/sec/reports/20180226.html，情報処理推進機構．

© 2020 Information Processing Society of Japan

を使っていても，依存しているアプリケーションフレームワークなどが一般的でなくなると理解できる技術者が減り，保守が困難になってしまうことがある．旧バージョンのサポート切れによるセキュリティ等のリスクも問題となる．

肥大化・複雑化

業務システムは障害対応や業務の変更・追加のため，プログラムの修正がしばしば行われる．このため，システムの規模は次第に増加し，機能も複雑化していく傾向にある．他の機能のデータを参照するなど，設計当初の想定を超えた変更によって修正の影響が思わぬ個所にまで及ぶようになると，確認のための調査やテストを広範囲に実施する必要が出てくる．新機能を開発する際に既存のプログラムを流用して実装することもあり，使われない処理や重複する処理があっても削除や集約を行わずに残してしまうケースも見られる．利用頻度の低い機能があってもシステム部門だけでは必要性が判断できず，いつまでも削除できずに残ってしまうこともある．

このような要因から，既存システムは肥大化していく傾向にあり，修正やテストにますます多くのコストと時間が必要となって迅速なリリースが行えなくなる．

ブラックボックス化

機能追加や修正，障害対応などの案件が続くうちに，ドキュメントの更新にまで手が回らなくなるケースがよく見られる．いったん実態と乖離したドキュメントを更新するには多大な工数が必要になるため，最新の仕様は保守担当者の頭の中にしかないことが多い．このような状況で担当者の異動や退職が発生すると，システム内部がブラックボックス化してしまい，現在の仕様が分からずに影響調査や業務仕様確認，問題個所の洗い出しに時間を要することになる．設計されて久しいシステムでは，要件定義ができる有識者がすでにいなくなり，モダナイゼーションの際に現行仕様の踏襲が難しいという問題もある．

DX 推進のためのアプローチ

DX レポートでの提言を元にとりまとめられた DX 推進ガイドライン[☆4]では，DX の実現やその基盤となる IT システムの構築を行っていく上で経営者が押さえるべき事項を以下の構成で説明している．

DX 推進のための経営の在り方，仕組み

DX 実現のためには経営層自らがあるべき姿（グランドデザイン）を示し，その実現のための体制を整備して責任を持って推進していく必要がある．

グランドデザインを実現するためには，基盤となる体制作りと IT システムの構築が必要となる．DX は全社的な取り組みとなるため，事業部門ごとの個別最適に陥らず全社最適となるように全社的な体制を整備することが必要となる．

DX を実現する上で基盤となる IT システムの構築

IT システムを構築するプロセス（図 -1）では，IT 資産の現状の分析・評価を行い，その分析に基づいて IT 資産の仕分けと移行戦略の立案を行うことが必要になる．また，刷新後の IT システムがビジネスの変化に追従して継続的に進化でき，ビジネスの状況を常に評価できるようにすることが求められる．

既存システム分析・活用のための技術

DX 推進のステップのうち，特に IT システムの構築プロセスにおいては既存システムの分析や活用のための技術が必要となる．以下に，これらの分析

☆4 DX 推進ガイドライン，https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004.html，経済産業省．

© 2020 Information Processing Society of Japan

や技術について紹介する．

システムの現状の分析・評価のための技術

DX 推進ガイドラインに続き，DX に向けた現状診断のための DX 推進指標が公開されており，約 300 件の企業の自己評価結果も収集・公開されている☆5．しかしながら，この指標は主に経営や推進体制にかかわるもので，この指標だけで既存システムの現状を定量的に把握することは難しい．システムの現状を分析し，定量的な評価や現状理解を支援する技術が必要となってくる．

ブラックボックス化が進んだ既存システムの現状分析は，これまでもモダナイゼーションの際に必要とされており，システムのプログラム資産や保守状況を調査して品質評価を行うサービスが各社から提供されている（図 -2）．システムのどこに保守コストがかかっており，品質上の問題を抱えているのかを把握することは，システムの継続利用の可否を判断する上でも重要となる．

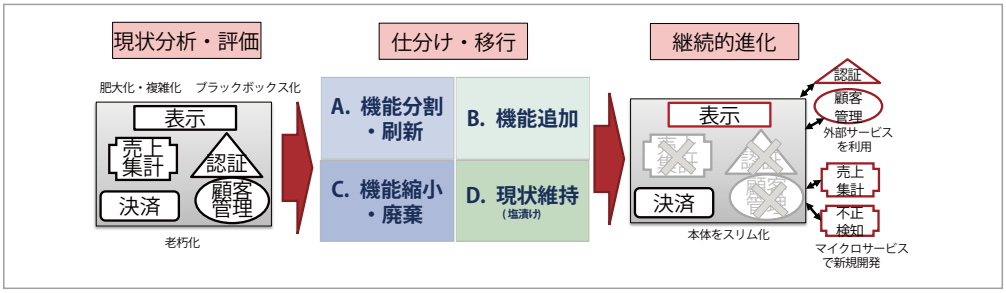
DX に向けた現状分析では，経営視点・業務視点での現状分析と紐づけてシステムを評価する必要があるため，プログラム単位の品質評価だけでなく，業務の観点で全体像を把握し，業務間の関係を分析することが重要となってくる．このため，プログラム間の関係を分析し，その構造を抽出・可視化することで，全体像の把握を支援するような技術が有用である（図 -3）．システム全体の構造を図示し，その上で品質指標などを重ねて表示することで，プログラマでなくても問題個所の把握や移行方針の検討に参加することができる．

さらに，システムの構造だけでなく実装されている機能がどのくらい使われているのか，業務に役立っているのかを定量的に評価することも必要となるため，プログラム資産の分析だけでなく障害対応状況や実行状況を表す動作ログなどの情報，あるいは処理対象のデータなども合わせて分析することも有用である．

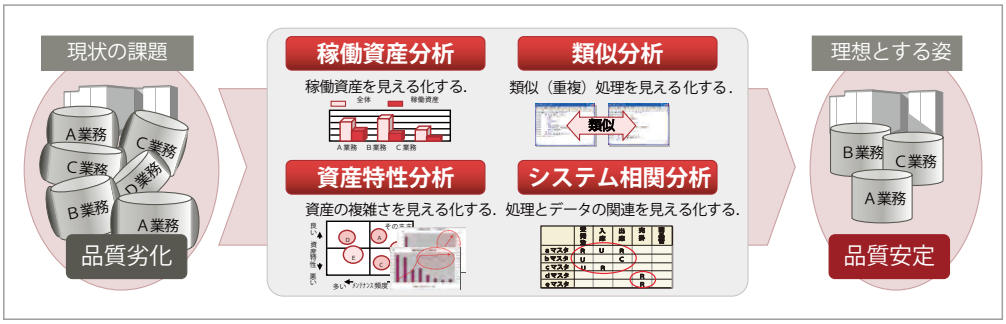
システムの仕分けと移行のための技術

DX レポートでは，現状分析の次のステップとして，機能ごとに評価を行い，頻繁に変更が発生する機能はクラウド上で再構築，新たに必要になる機能はクラウド上に追加，不要な機能は廃棄，変更が不要な機能は塩漬けするなどの方針を決める例が示されている．

これを行うためにはシステム全体の構造や内部の仕様，機能間の関係を把握した上での評価と，現状を踏まえたモダナイゼーションが必要となる．既存システムのモダナイゼーション手法としては，



■図 -1　IT システム構築の実行プロセス



■図 -2　プログラム資産分析サービスの例

© 2020 Information Processing Society of Japan

リホスト・リライト・リビルドが典型的だが，さらにシステムを継続して利用するリインタフェース・ラッピング・リファクタリング・リドキュメント，リプレースなどもあり[☆6]，適切な手法を選ぶ必要がある．

以下に，それぞれの仕分けのパターンで重要となる技術や手法を紹介する．

機能分割・刷新

既存システムは修正に時間とコストがかかることが多く，頻繁に変更が発生する機能は切り離して新しいプラットフォームに移行し，変更しやすくすることが望ましい．

しかし，既存システムの多くは肥大化・複雑化が進み，多くの機能が複雑に絡み合い一体となった構造となっているので，1つの機能だけを切り離すのは容易ではない．機能間の関係を詳細に解析し，リファクタリングによって関係を整理した上で，必要な関係をインタフェースとして実装する必要がある．

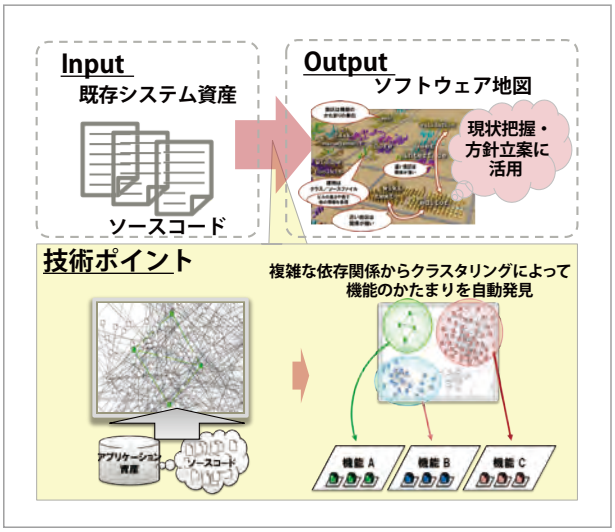
このような分割を実施するためには，システムを構成するプログラム資産を分析し，プログラム間やデータ・画面間などの相関関係を抽出する技術が有用であり，現状分析のサービスにおいて提供されていることも多い．また，より高度な分析として，分割しやすい境界，すなわちインタフェースが少なくなる境界を自動的に見つけ出す疎結合化分析という技術もあり，業務観点だけでは分割が難しい既存システムに対して有用である（図 -4）．

機能を新しいプラットフォーム上に移行する際には，現行の仕様を再現する必要があるが，ブラックボックス化したシステムでは最新の仕様がドキュメント化されていないことが多い．このため，現行システムのプログラムを機械的に変換するか，実装されている仕様を抽出して再現する必要がある．

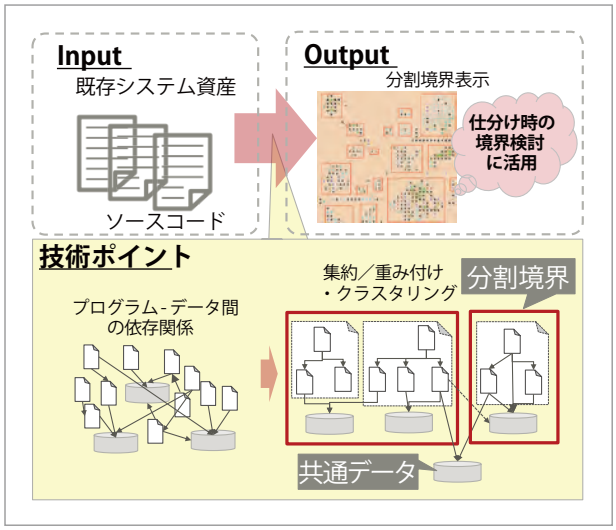
プログラムを変換して移行する手法はリライトと呼ばれ，その実現方法は実装言語や動作環境に大きく依存する．既存システムで多く見られる COBOL から Java などの新しい言語への変換に対するニーズは高いが，言語仕様がまったく異なるため，機械的に変換すると不自然で可読性が低いプログラムになってしまうという問題がある．このため，このような変換サービスを提供するベンダは変換仕様を個別に調整することで対応していることが多い．

機械的な変換が難しい場合，リドキュメント，すなわち実装されている仕様をプログラムから復元してドキュメント化し，この仕様に基づいて新しいプログラムを実装することが考えられる．

☆6 モダナイゼーションの実践事例，https://xtech.nikkei.com/it/atcl/column/15/040200056/040200002/，（株）日経 BP.



■図 -3 ソフトウェア可視化技術の例



■図 -4 疎結合化分析技術の例

© 2020 Information Processing Society of Japan

機能追加

既存システムにデジタル技術を活用した新しい機能を追加する場合，老朽化したプラットフォームでそうした機能を利用するのは難しいため，既存システムの外に新しい機能を実装し，両者を連携させるのが有用である．このためには，既存システムの機能を API（Application Programming Interface）として呼び出せるようにするか，既存システムのデータを新機能側からアクセスさせるための仕掛けが必要となる．

既存システムの機能を API として呼び出すためにはインタフェースを実装する必要があるが，システムの変更が難しい場合，すでに持っているインタフェースを変換して呼び出せるようにするラッピングという手法が有効であり，メインフレーム上のシステムを WebAPI として呼び出せるようにする製品や，既存システムの画面インタフェースを API 化する製品などが提供されている．

逆に，既存システムから新機能を呼び出す必要がある場合，CDC（Change Data Capture）と呼ばれる技術を用いればシステムを変更しなくてもデータベースの更新をトリガにして新機能を呼び出すことができるので，比較的容易に連携を実現できる（図 -5）．ただしデータの更新処理を行う場合は既存システム側の対応も必要となる．

機能縮小・廃棄

既存システムは肥大化していることが多く，利用されていないプログラムも含めて使い続けたり移行したりするのはコストと時間の負担となる．

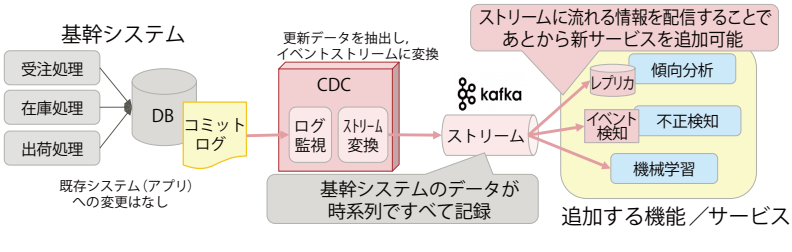
このため，稼働資産分析と呼ばれる手法によって使われなくなったプログラムを特定し，取り除くことが有用であり，これによって肥大化が進んだシステムでは 30 ～ 40％のスリム化が行えることもある．また，動作実績のないプログラムを稼働ログ等から特定したり，業務を見直して利用頻度が低い画面や帳票を削減することで，より効果的なスリム化が実現できるが，この判断のためには業務部門も巻き込んだ分析と判断が必要となる．

さらに，必要であっても他社との差異化要素がない業務はパッケージソフトウェアや SaaS（Software as a Service）でリプレースして，自社の強みとなる競争領域に集中することが望ましい．このためには，現行機能とパッケージなどが提供する機能との違いを把握する Fit&Gap 分析を行った上で，違いにどう対応するか業務的な判断が必要となる．

現状維持

既存システムをすべて置き換えるのではなく，更新が発生しないような機能は現行のまま運用を続けることが合理的である．運用コストが問題となる場合，アプリケーションは変更せずに実行環境を仮想化してプライベートクラウドやパブリッククラウドに移行させるリホストと呼ばれる手法があり，移行に必要な情報を自動的に収集して仮想化を支援する機能を提供しているクラウドベンダもある．ただし，既存システムが動作している OS やミドルウェアがサポートされていない場合はこの手法は適用できない．また，パブリッククラウドへの移行ではデータ漏洩などのセキュリティリスクに注意する必要がある．

DX においてはデータの活用が重要となるので，システムとしては現状維持のままでも，個々のシステムのデータを統合して活用する基盤を導入することが望ましい．データの参照のみであればリプリケーションで実現できるが，更新が必要な場合は，既存システム側



■図 -5　CDC（Change Data Capture）技術の応用例

© 2020 Information Processing Society of Japan

の更新処理を呼び出すなどの仕組みが必要となる．また，データの標準化などの処理が必要になる場合もある．

継続的進化の維持のための技術

刷新後のシステムが DX で求められる変化のスピードに対応できるように，変化に対応しやすいマイクロサービスアーキテクチャを採用するのが効果的と言われている．開発体制も，従来型の大規模開発ではなく小規模なチームによるアジャイル開発にし，リリース手順を自動化する CI/CD（Continuous Integration/Continuous Delivery）環境によって高速なリリースを実現することが望ましい．OS などの修正パッチへの対応の自動化や潜在バグの自動検出・修正などを行う技術も実用化が進んでおり，これらを適用することで開発者の負担軽減が期待できる．

DX の実現に向けて

DX の実現に向けては，本稿で取り上げたような個々の既存システムの移行だけでなく企業全体のアーキテクチャをデザインしていく必要があり，このためには多数の業務システムが絡み合った企業システムの全体像を把握することも必要になる．また，移行後のシステムではビジネスの状況を常に把握できることが求められるため，データや動作状況を全社的にモニタリングするような仕組みも必要となる．これらの実現には全社的な取り組みを継続していく必要がある．

2025 年の崖を超えるためには，既存システムの現状を踏まえた上であるべき姿に向けて実現可能な移行パスを定め，実行していかなければならない．本稿で紹介した技術が DX 実現の助けになれば幸いである．

（2020 年 7 月 31 日受付）

■松尾昭彦（正会員） a_matsuo@fujitsu.com
（株）富士通研究所サービスビジネス開発・運用ユニット．業務システムの保守や再構築に関する研究開発に従事．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 2 部　DX の技術と教育，人材育成］

6 DX が提起する人材，教育，雇用のデジタル化

基応専般

青山幹雄 | 南山大学

はじめに：DX が提起する人材と教育，雇用の課題

DX（Digital Transformation）とはデジタル技術による事業／社会の変革により社会や顧客の問題解決，価値創出を図ることである☆1．DX の広がりに伴い，DX を推進する人材不足が指摘されている．DX を推進する人材とはデジタル技術を活用する人材という意味でデジタル人材とも呼ばれることから，以下，デジタル人材と呼ぶ．これまで IT 人材と呼ばれてきた受託型開発の人材に対しデジタル人材に求められるスキル，能力は異なる．これはデジタルスキルギャップと呼ばれ，その不足はデジタルスキル危機（Digital Skill Crisis）と呼ばれている．デジタルスキルギャップは大学を含む教育，雇用へも影響する．

我が国でもさまざまな立場からデジタル技術を活用できる技術者，あるいは，データサイエンティストの育成に関する議論がある．しかし，DX は組織全体の変革であることから，組織内のすべての人が必要なデジタル技術のリテラシを身につけ，活用できる必要がある．このような参画こそが DX の目標であり，事業／社会変革が成功する鍵である．

一方，DX の進展はデジタル破壊（Digital Disruption）と呼ばれる非デジタル事業を廃業に追い込む作用もある．これは雇用にも影響する．

本稿では，図 -1 に示すように，相互に関係する人材，教育，雇用に対する DX の影響と提起されている課題，取り組みを解説する．あわせて，DX が提起する情報処理教育の課題について述べる．

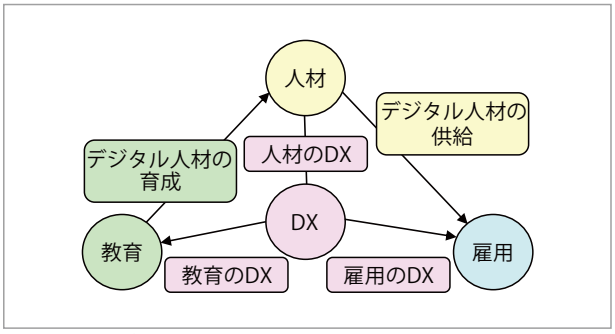
人材の DX

DX の目指す組織変革はビジネスモデルや業務とともに，人材と企業文化の変革も求められる．図 -2 は著者が三位一体の DX と呼ぶ DX 推進アプローチである．

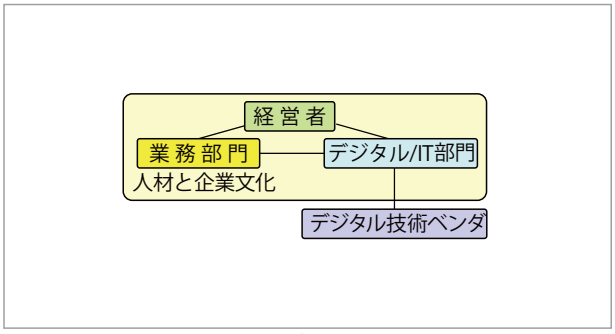
本稿では，図 -2 に基づき次の 4 つの組織におけるデジタル人材像を示す．

(1) 経営者

DX 推進には経営層のリーダシップが不可欠であることが広く認識されている．DX に焦点を当てれば DX の実務的推進役として CDO（Chief Digital Officer）を設ける企業が増えている．国内の企業では CDO の設置比率はまだ低いが金融分野が最も多く，約 13.6% の



■図 -1　DX が提起する人材，教育，雇用の変革



■図 -2　三位一体の DX 推進アプローチ

© 2020 Information Processing Society of Japan

企業で設置している[☆2]．CIO（Chief Information Officer）が兼務をする事例もある．CDO, CIO の能力としてはともに技術と経営の両面に通じている必要がある．

一般に CDO と CIO の役割は表 -1 のように異なる．

技術面では CDO はデジタル技術を活用し，顧客接点（Engagement）を拡張する SoE（Systems of Engagement）を担当する．一方，CIO は企業内業務システムや ERP（Enterprise Resource Planning）などの SoR（Systems of Record）に対し，業務の生産性向上などを担当する．しかし，本特集の著者による別稿で示したように，DX を成功させるにはこれらの 2 つを並行して進める必要がある．DX 推進のためには，この 2 つの責務の位置づけと経営の視点からの連携が求められる．

Kane らは，DX 推進を初期，発展，成熟の 3 段階に分け，初期段階で CDO の強いリーダシップが求められることを明らかにした [1]．Wade らはグローバルな CDO 調査に基づき，CDO に求められる最も重要な資質としてデジタル技術に関するコンピテンシと信用性（Credibility）を明らかにした[☆3]．また，CDO の 70% が外部からの雇用であることも示している．我が国では CDO に求められるデジタルコンピテンシを持った人材はユーザ企業には限られることから，いわゆるベンダ企業からの人材流動が起きている．

(2) 事業部門

事業部門では業務内容に応じてデジタル技術を活用できる人材への転換が求められる．たとえば，HILLTOP 社では，工場の製造をプログラム化することにより，工場を無人化するとともに，製造に従事していた人がオフィスからプログラミングですることで遠隔製造を可能とした．工場のオペレータからプログラマへの転換である．詳細は本特集の山本氏による別稿を参照願いたい．

Kane らは DX 初期段階の企業は 72% が人材不足と回答しながら，組織内の人材を活用している割合は 20% 未満であることを明らかにした [1]．これに対して，DX 成熟企業では 80%以上がデジタル技術を活用しており，人材不足は 20% 未満である．このことから，人材がデジタル化の進展に対応できるように企業内での継続的学習（Continuous Learning）の重要性が示唆されている．

経済産業省の「DX レポート」ではユーザ企業とベンダ企業でのデジタル人材の比率を現在の 30 対 70 から 50 対 50 にするように提言している[☆4]．これは，ユーザ企業の IT/ デジタル部門に加え業務部門でもデジタル人材の育成を示唆したものである．

(3) デジタル /IT 部門

我が国ではユーザ企業の情報システム開発をベンダ企業が受託開発するビジネス構造が長年続いてきたことから，IT 人材の約 70% がベンダ企業に所属している．さらに，ユーザ企業における IT 投資の約 80% がレガシーシステムの保守に費やされている．このため，ユーザ企業，ベンダ企業ともに，IT 人材が新たな技術を学び，スキルアップする機会の妨げとなっている．このような保守に従事する人材の高齢化とそれに伴う退職による保守継続性も問題である．

(4) デジタル技術ベンダ

デジタル技術ベンダには DX を推進するパートナーとしての役割が期待されている．DX は事業変革であることから，経営層者のビジネスモデル変革，事業部門の業務変革，IT のプラットフォーム変革に至る広範な問題に対応できる人材が求められる．デジタル人材と従来の受託開発人材との間にはデジタルスキルギャップがある．

従来の IT ベンダの役割は主としてシステム開発であった．しかし，DX はその目標が業務変革であることから，業務変革を支援できるコンサルティンタントな

☆2 https://juas.or.jp/activities/research/it_trend/
☆3 https://sloanreview.mit.edu/article/how-to-choose-the-right-digital-leader-for-your-company/

■表 -1 CDO と CIO

比較	CDO	CIO
責務	DX を推進し，新たな価値創出	業務の生産性向上
起点	顧客	組織内の業務部門
技術	デジタル技術	IT（ERP など）

☆4 https://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010.html

© 2020 Information Processing Society of Japan

どの人材が必要になっている.

デジタル人材には，新事業創出のために顧客を起点とする要求工学やデザイン思考などを PoC（Proof of Concept）を通して実践できる技術が求められる．このプロセスでは顧客行動データなどを収集し，問題発見や要求の獲得に活用できる必要もある．このための人材としてデータサイエンティストへの期待が高まっている．しかし，データサイエンティストが職務名を起源とすることから，その人材像，役割は多様である[2]．また，データを活用して実世界の問題を解決するためにはデータサイエンティストのみでは不十分である．データサイエンティスト，データエンジニアなどの関連する人材に必要なスキル，能力を明確にする必要がある．

さらに，問題解決を実装するためのアジャイル開発や DevOps，これらを支援するクラウドなどを含む技術を活用できる新たな技術者像も明らかにする必要がある．

一方，従来から利用されてきたレガシーシステムの保守やリエンジニアリングも必要である．しかし，レガシーシステムの保守は今後成長が見込まれず，技術者のモチベーションを維持することも困難であることから，人材の転換が課題である．

教育の DX

DX が提起する教育の課題を企業内教育と大学教育に分けて解説する．

企業内教育

DX 推進のために企業内で新たな教育プログラムの開発と実践が行われている．このような教育の目標は次の 3 つに分類できる．

(1) デジタル技術を活用できる人材の育成

DX における重要な技術はデータの活用であることから，データサイエンティストなどの育成．また，実装面ではアジャイル開発などを実践できる人材の育成．

(2) 顧客の問題を発見，解決できる人材

デザイン思考や要求工学とデータ分析，機械学習などの技術を応用して，顧客の問題の発見と解決を主導できる人材．

(3) 経営問題の解決

DX が事業変革であることから，ビジネスモデルデザインや BPM（Business Process Management）などを応用して業務の分析とリエンジニアリングを主導できる人材の育成．

DX 推進の観点からは CDO に求められる信用性などのように非認知能力と呼ばれる意欲，メタ認知，リーダシップなどの社会的適性，創造性も重要である．

また，企業内教育では教育プログラムが実務と連携している必要がある．GE（General Electric）社で長年実践されてきた Work-Out は教育プログラムの成果を組織変革と直結させている．古畑らと著者は，Work-Out の概念を発展させ，2004 年から企業内でのトップレベル人材育成プログラムを開発し，実践してきた[3]．このプログラムでは，技術，実践（問題発見と解決），哲学（リーダシップなど）の 3 つの目標を設定している．受講者は業務改革を具体的課題として設定し，その解決策を約 9 カ月間で提案する．

このような人材育成プログラムは開発と実践に技術，人材，コストを要することから，産学連携も実現の一方法である．

大学教育

デジタル時代の大学教育の課題

人材のスキルシフトは世界的に大学教育を含むすべての教育の見直しを提起している．新型コロナ禍により授業がオンラインになったことを契機に，改めて大学教育の価値が問われている．大学教育における DX の主要な問題は次の 3 つがある．

(1) 教育内容

デジタル人材を育成できる教育内容が必要である．デジタル技術を活用して問題発見，解決ができるカリキュラムが求められる．

(2) 教育方法

デジタル技術を活用した教育方法や問題発見などの能

© 2020 Information Processing Society of Japan

力育成方法，教育評価方法などの研究開発が必要である．

(3) 教師の能力とスキル

教師がデジタル人材を育成する教育内容を，デジタル技術を活用して教えられる能力が必要である．

情報処理教育とデータサイエンティスト教育

我が国でも大学においてデータサイエンティスト教育を行う専門学科の設立が増えている．しかし，データサイエンティスト教育は統計などの数理的教育に傾きがちであるため，それを応用してシステムを開発する情報処理技術の教育は限られている．一方，従来の情報処理教育では実世界のデータ分析などが入っていない．このことから，デジタル人材の育成ではどちらも不十分であるとの指摘がある[4]．Krishnamurthi らはコンピュータ科学における CS1 クラス（初年度）でデータサイエンスとデータ構造をまとめてデータ中心コンピューティングとして教える科目を導入し，実践している[4]．

情報処理技術の新たな研究機会

DX は情報処理技術の研究にも変革をもたらす．データ駆動科学，工学（Data-Driven Science and Engineering）の考えを敷衍すればデータ駆動アプローチによる情報処理研究の新たな機会の幕開けとなる．

社会のデジタル化に対応した包括的教育改革

デジタル社会ではあらゆる人にデジタルリテラシーを求められる．社会全体の包括的な教育の在り方の議論が必要である．

EU ではインダストリー 4.0 を背景に，デジタルコンピテンシの定義とそれに基づく包括的教育改革が進められている．2018 年に改訂された DigComp 2.1[☆5] では基礎から高度専門家までの 8 段階のコンピテンシレベルを定義している．2018 年に発表された Digital Education Action Plan[☆6] では，次の 3 領域で 11 のアクションプランが提示されている．

a）デジタル技術を活用した教育訓練

b）デジタルコンピテンシとスキルの開発

c）データ分析／予測技術を応用できる教育（AI，戦略的予測など）

また，初等中等教育の改革に関するレポートも 2019 年に発行されている[☆7]．

英国政府は 2018 年にオンライン授業による新たな教育プログラム“The Institute of Coding（IoC）”[☆8] を開始した．対象は大学生と社会人である．

一方，米国では個々の大学による新たな教育の取り組みがある．たとえば，ジョージア工科大学はオンラインによるコンピュータ科学修士課程 OMS CS（Online Master of Science in Computer Science）を 2014 年に創設し，これまで 1 万人以上の学生が入学している[☆9]．このようなオンラインコースは他大学へも広がっている．オンライン授業は距離や教室の物理的制約がないことから，従来の制約で守られてきた大学のデジタル破壊を招く可能性がある．

雇用の DX

DX がもたらす雇用構造の変化

人材シフトは雇用シフトをもたらす．米国の代表的金融企業である Goldman Sachs の New York 本社では 2000 年に 600 名いたトレーダを，2 名を残して解雇し，2017 年時点で 200 名のデジタル /IT 技術者がそれを代替している[☆10]．同社の約 9,000 名の従業員の約 1/3 がデジタル /IT 技術者となっている．

このような背景から，近年，DX による雇用への影響に関する研究が欧米を中心に活発となっている．DX は社会全体の雇用に影響するとともにデジタル /IT 技術者の雇用にも影響している．この 2 つの雇用を分けて解説する．

(1) 社会全体の雇用への影響

DX による雇用の消失，いわゆる，雇用のデジタル

☆5 https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/ eur-scientific-and-technical-research-reports/digcomp-21-digital-competence-framework-citizens-eight-proficiency-levels-and-examples-use

☆6 https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en

☆7 https:// eacea.ec.europa.eu/ national-policies/eurydice/content/digital-education-school-europe_en

☆8 https://instituteofcoding.org/

☆9 https://omscs.gatech.edu/

☆10 https://www.technologyreview.com/2017/02/07/154141/

© 2020 Information Processing Society of Japan

破壊と DX が創出する新たな雇用に関する多くの議論がある．Larsson らはデジタル技術が雇用にもたらす正負の影響を指摘している[5]．その中の上位 5 つの影響を表 -2 に示す．

(2) IT/ デジタル産業内の雇用への影響

IT/ デジタル技術者の雇用に関して経済産業省のレポートでは従来型 IT 人材とデジタル人材（レポートでは先端 IT 人材と呼ぶ）に分けて，2030 年までの雇用需給を予測している☆11．2030 年時点で，デジタル人材は 55 万人の不足に対し，従来型 IT 人材は 10 万人余剰となる．これは，IT 産業内でも雇用の変動が起こることを示唆している．

DX がもたらす雇用形態の変化

Uber などのデジタルプラットフォームを活用した仲介型ビジネスモデルが広がっている．これらのビジネスモデルでは，たとえば，車で移動したい人も車を提供する人もともに顧客である．車を提供する人は雇用者とはならない．ソフトウェア開発におけるクラウドソーシングも同様である．このような新たな労働形態は次のような特徴と課題がある．

(1) 車の運転者やソフトウェア開発者などサービス提供者の労働機会は短期間，動的，不安定：いつ，どれだけの期間働く機会があるか分からない．

(2) 仕事がタスク単位に細分化．画像のタグ付けやデータ入力など高度なスキルを必要とせず，単純労働となる．賃金低下を招き，スキル向上の妨げとなる．

(3) 仲介者（プラットフォーマ）の優位性．仲介者が機会を提供することから，仲介料率の設定などで仲介者が優位となる．

米国では 2015 年に約 2,000 万人が何らかの形でこのような仕事に従事しているとの報告がある☆12．しかし，これらの仕事はいまだカテゴリが明確になっていない．Gray らはこのような仕事をゴーストワーク（Ghost Work）と呼び，新たな低賃金労働を生むなどの問題を指摘している[6]．

情報処理教育の変革を

DX が提起する人材，教育，雇用は社会全体の課題である．特に，欧米の大学で進んでいる大学における情報処理教育の見直しは，今後，我が国においても問題となるであろう．皆様がこのような問題に関心をもたれ，情報処理教育の変革に取り組まれることを期待する．

参考文献

1) Kane, G. C., et al. : The Technology Fallacy, MIT Press (2019).
2) Fayyad, U., et al. : Toward Foundations for Data Science and Analytics, Harvard Data Science Review, pp.1-34 (Jun. 2020).
3) Kobata, K., et al. : Curriculum Development Methodology for Professional Software Engineers and Its Evaluation, Proc. of TALE 2014, IEEE, pp.480-487 (Dec. 2014).
4) Krishnamurthi, S., et al.: Data-Centricity: A Challenge and Opportunity for Computing Education, CACM, Vol.63, No.8, pp.24-26 (Aug. 2020).
5) Larsson, A., et al. : The Digital Transformation of Labor, Routledge (2020).
6) Gray, M. L. et al., Ghost Work, Houghton Mifflin Harcourt (2019).

(2020 年 8 月 30 日受付)

☆11 https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/houkokusyo.pdf

■表 -2　デジタル技術がもたらす雇用への影響

アドバンテージ（正の影響）	チャレンジ（負の影響）
自動化によるすべての雇用の代替	ある種の労働や業務プロセスはより大きく影響を受ける
自動化や AI が新たな専門家の雇用機会を増大	自動化や AI は新たな専門家を生むが，その他の雇用機会を奪う
自動化に影響される労働者はスキルシフトにより雇用機会を確保	スキルシフトができない，あるいはその意欲がない労働者がいる
リスキルできない労働者が新たな労働に従事	社会の中であるグループ間での格差を生む
新たな，より自由な雇用を生む	非定型／非定常的で劣悪な雇用

☆12 https://www.pewresearch.org/internet/2016/11/17/gig-work-online-selling-and-home-sharing/

■青山幹雄（正会員）　mikio.aoyama@nifty.com

南山大学理工学部ソフトウェア工学科教授．博士（工学）．ソフトウェア工学，要求工学，機械学習を Web ソフトウェア，自動車ソフトウェアなどを対象に研究と教育に従事．2018 年経済産業省「DX に向けた研究会」座長．2020 年経済産業省「デジタルトランスフォーメーションの加速に向けた研究会」座長．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 3 部　DX の実践］

7 製造業におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の現在と将来

応般

浦本直彦 | 三菱ケミカルホールディングス

注目を集める DX

デジタル技術を活用して業務や組織を変革するデジタルトランスフォーメーション（DX）への取り組みが企業を中心に現在活発に行われており，複数の事例も生まれつつある[1), 2)]．IPA が 2020 年 5 月にまとめた「デジタル・トランスフォーメーション（DX）推進に向けた企業と IT 人材の実態調査」において，約 2,000 社へのアンケートの結果，全体では 4 割強の企業が DX への取り組みを実施中である．特に従業員が 1000 名を超える企業（アンケート回答数約 900 社）においては 77.6% となっており，大企業を中心に DX への取り組みは確実に広がりつつある．

企業や社会が，予測できない大きな変化に直面している現在，大きな価値を生み出し，競争的優位性を確保するために，DX は企業経営の観点からも必須のものになりつつある．本稿では，著者が Chief Digital Officer（CDO）として所属する製造業における DX の取り組みを紹介しながら，DX の現在と将来，そして，CDO の果たす役割について議論する．

DX とは何か？

2004 年に DX の概念を最初に提唱したスウェーデンのウメオ大学のエリック・ストルターマン（Eric Stolterman）教授によれば，DX とは「IT の浸透が，人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる」ものである．この定義はかなり抽象的であり，首を傾げる読者もいるかもしれない．トランスフォーメーションの一般的な訳語は変革であり，何かから何かへ大きく変化する語感を持つ．経済産業省が公開している DX を推進するためのガイドライン（DX 推進ガイドライン）における定義は，「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し，データとデジタル技術を活用して，顧客や社会のニーズを基に，製品やサービス，ビジネスモデルを変革するとともに，業務そのものや，組織，プロセス，企業文化・風土を変革し，競争上の優位性を確立すること」である．DX によって変革される対象が具体的に示されている．つまり，変革されるのは，製品やサービス，ビジネスモデル，すなわち企業におけるビジネスや組織や企業文化・風土であり，変革の原動力となるのがデジタル技術である（技術そのものが変革する場合もある）．また，IT とデジタル技術という表記には本質的な差異はないと思われるが，ビッグデータ分析，AI，IoT，5G などの近年注目を浴びている技術やサービスとの組合せを意味していることが多い．

© 2020 Information Processing Society of Japan

製造業における DX の取り組み

DX の定義として，「新たなビジネスモデル」や「業務や企業の変革」という大上段の言葉が並び，Uber や Amazon のような欧米の新興企業が引き合いに出されることも多い．しかし，既存ビジネスを持たない新興ネット企業がデジタル技術を最大限に活用しまったく新しいサービスを提供するのと異なり，多くの製造業においては，既存のビジネスが存在する．既存のビジネスをすべて捨て新しいビジネスモデルを構築するということは実際には考えにくく，既存ビジネスを維持成長させながら，新しい製品やサービス，ビジネスモデルの構築を探る，という経営戦略になる．既存のビジネスに DX を適用する場合には，たとえば，製造トラブルを最小限にする，新製品の研究開発期間を短縮する，サプライチェーンの最適化を行う，といったように，業務プロセスそのものがまったく新しいものへ変革するわけではない．もちろん，モノ売りからコト売りへの変化，持続型／循環型社会への変化に対応する新しいエコシステムの構築など，社会の要求や産業構造の変化を背景に大きな変化を伴う取り組みも同時に行っている企業が多い．

そのような観点から，本稿では，DX を連続的 DX と非連続的 DX の 2 種類があると捉える（あるいは持続的 DX と破壊的 DX）．連続的 DX は，業務プロセスそのものが大きく変わるわけではないが，コスト削減，市場への投入までの時間の短縮などの観点で，大きな価値を産むものである．非連続 DX は，新しいサービスやビジネスモデルの構築など業務プロセスが大きく変わるもの，また，量子コンピューティングやマテリアルズ・インフォマティクスなど，最終的な実用化には時間がかかるかもしれないが，これまでの研究開発製造のやり方を大きく変える可能性がある技術の適用などが含まれる．連続的 DX が非連続 DX に繋がらないと DX でない，という見方はとらず，高い（競争的）価値を継続的に生み出すことを DX の目的としている．

以下に，筆者の所属組織が用いている DX の 3 つのパターンを示す．

(1) オペレーショナルエクセレンス

製造現場における生産工程でのトラブル削減や品質情報，事業部門におけるビジネスプロセスの可視化，自動化，最適化などを含む，連続的な DX であることが多い．たとえば，製造工程に設置された多数のセンサから得られるデータを分析することで設備の異常検知を行ったり，故障の可能性の予測を行う．また，製品の画像データを分析して異常品を検知する取り組みも行われている．ここで特記したいのは，大量データに深層学習を含む統計的機械学習を適用する手法が多く使われるが，データが必要不可欠ではないということである．たとえば，物流の最適化を強化学習などのアルゴリズムで解くアプローチが提案されているが，制約の集合からなる古典的な組合せ最適化アルゴリズムを用いて解ける課題も多い．組合せ最適化が DX かについては一般的には意見が分かれると思われるが，本稿では，これらの技術もオペレーショナルエクセレンスの 1 つとして捉えている．

(2) デジタルビジネスモデル

DX における成功パターンの 1 つは，顧客の声の重視やソーシャルの活用など，B2C で成功したビジネスモデルを B2B に持ち込むことである．たとえば，B2B 企業でも，最終消費者の動向を SNS や直販サイトを用いてデータとして収集し分析することで，競合や下流にある企業に対する競争的価値を高めることに成功した企業が出始めている．また，COVID-19 の影響で今後，これまでの対面重視のビジネス形態が変化すると思われる．このような変化の中で，新しい顧客接点のあり方，サプライチェーンの可視化，自動化，最適化，従来のモノ売りからサービスや新しいビジネスモデルと組み合わせたコト売りのソリューション化などが検討されている．ここでは，連続的 DX と非連続的 DX の両方が含まれる．

© 2020 Information Processing Society of Japan

(3) デジタルパラダイム

社会と企業に大きな変化をもたらす革新的な技術を探索，評価し，適用を行っていくことを目的とする．量子コンピュータや 3D プリンタなどの企業の研究開発や製造流通を大きく変える可能性がある技術に備えるため，スタートアップや IT 企業との提携も含めて検討を行っている．また，データ科学を用いて新規材料の探索を加速するマテリアルズインフォマティクスも活動の柱の 1 つである．それらの技術の一般的な評価や宣伝文句に踊らされることなく，自社やグループ会社にとってどのようなインパクトを持つのか，いつどの程度の投資を行うべきか，といった観点からの検討が重要となる．ここでは非連続 DX が志向される．

現実の DX における課題

筆者は，2017 年より，化学製品，産業ガス，ヘルスケアなどを事業領域とする企業において DX を推進してきた．この活動の中で，現在の DX が直面している現実的な課題について考察したい．

業務プロセスや組織に関する課題

前述したように，既存ビジネスを持つ企業においては，DX は，既存のビジネスの成長と，新しいビジネスの構築の両方に適用される．これを実現するのに，連続的 DX と非連続的 DX があることはすでに述べた．これは，チャールズ・オライリー（Charles O'Reilly）とマイケル・タッシュマン（Michael Tushman）が提唱する「両利きの経営」における深化と探索の活動に対応つけることができるだろう[3]．両利きの経営戦略が示唆するように，どちらか一方だけに注力するのではなく両者を「分けて両方やる」ことが既存のビジネスを抱える企業にとって重要であると考える．

DX プロジェクトは，小さく始めること，始めはうまく行かなくとも諦めずにやることが重要である．一方で，小さく始めた取り組みを全社的に展開し大きな価値を生み出していく過程についてはいまだ試行錯誤が続いているのが現状であり，大きな課題となっている．たとえば，プロジェクトを小さく始め継続することは重要であるが，その過程で成果を現場や経営層に明確に示す必要がある．しかし，定量的な評価や投資対効果を示すことが難しい．プロジェクトの優先順位，成功条件や終了条件を明確にしながら，関係者にとって納得感のある評価の仕組みを早い段階で組み込むなどの対応が必要である．

本質的には組織や人の意識を変えていく必要があるが，トップダウンに強制してもうまく行かないことが多い．現場の社員が，いかに DX を自分事として感じられるかが，企業全体としての DX の成功を左右する．2 つの DX を同時に推進する理由の 1 つは，現場においていきなり不連続な DX から始めると，現実の業務との解離が大きく，なかなか自分事にならないからである．まずは連続的 DX から始めて，その価値を体感することで当事者の思考の幅が広がり，不連続な DX も身近で実行可能であると思うようになることが期待される．繰り返しになるが，連続的 DX，不連続的 DX のどちらかだけを実行するのではなく，両方をバランスよく継続的に行っていく必要がある．もちろん，経営層の強い意志も必要であり，トップダウンとボトムアップの両輪が機能する必要がある．

DX の取り組みと経営戦略，事業戦略をどのように関連付けていくかも，DX を大きな変革に変えていくための現実的な課題である．多くの製造業においては，経営戦略とデジタルあるいは IT 戦略はいまだ不可分となっておらず，まず企業としての経営戦略や事業戦略（あるべき姿）があり，それを達成する道具としてデジタル戦略があることが多い．しかし，この変化と競争の時代に，この道具が経営戦略に不可欠であるという認識をいかに経営層や管理者層が持つかが DX 推進の鍵となる．

データとその分析に関する課題

前節でデータが DX にとって必要不可欠なもの

© 2020 Information Processing Society of Japan

ではないと述べたが，データの分析と利活用が DX の重要な要素であることは確かである．社内に眠る膨大な構造データ（表データなど）や非構造データ（テキストデータや画像データなど）の活用が，紙データの電子化も含めて始まっている．本節では，特にデータとその分析に関して実際に直面している課題をいくつか挙げる．

(1) データの整備と知識への変換コスト

多くの企業で過去のデータが何らかの形で保存されており，それらを使ってデータ分析を行う DX のプロジェクトは多い．しかし，元々「保存するため」のデータであることが多く，質あるいは量の観点からそのままで処理ができず期待された成果がでないことがある．過去のデータを利活用するために保存すること，文献 1）でも指摘されているように，データを段階的に整備していくことが大事である．

また，人間の頭の中にある経験や知識をデジタル化しデータと合わせて活用していくことは，現場における技能継承の観点からも重要である．

(2) データポリシーとカタログ

たとえば，製造業においては，機器から出力される数値データと人間の作業によるテキストデータの両方が存在しており，それらを組み合わせることで大きな価値を作り出すことが可能である．さまざまな組織や場所で生成され，必ずしも 1 カ所に集めることができないデータを連携するためにはデータ活用に関する全社的なポリシーとカタログ（メタデータ）が必要となる．

(3) 課題の理解と運用の重要性

図 -1 にデータ分析プロジェクトの標準プロセスモデルとして知られている CRISP-DM によるデータ分析プロジェクトのプロセスモデルを示す．データ分析においては，図の中央にあるモデルの作成や評価が注目され，これを行うデータサイエンティストの不足が叫ばれている．しかし，AI や機械学習技術の民主化が進み，分析のかなりの部分を自動化するツールが増えてきており，今後課題になってくるのは，中央部のモデル作成ではなく，その両端，すなわちビジネス課題の理解（あるいはその前のビジネス課題の発見）と展開・共有（運用）にあるのではないかと考える．

ビジネス課題が経営層から来るトップダウンなものであっても，現場から上がってくるボトムアップなものであっても，その本質は何なのかを見極めるのは難しい．また，いくらデータをワンショットで分析し結果が出たとしても，それが現場の日常業務プロセスの中に組み込まれて企業活動に影響を与えないとしたら，大きな価値創出には繋がらない．さらに，機械学習を用いたシステムを現場に導入した後で，モデルの更新などを含めてどのように運用していけばよいかについては，まだ十分な知見が集まっていない．学習モデルの管理や運用を含むライフサイクルを管理する MLOps の議論などに注目したい．

データ分析を含む DX 全体を遂行するために必要なスキルは多岐にわたっており，内部での育成，外部からの支援両方の観点からの取り組みが必要となる．

DX の将来と CDO の役割

DX という言葉を用いるかどうかは別として，IT 技術を用いた業務や組織の改革，新しいビジネスモデルの構築は，従来から行われてきた．ビジネスや社会を変えるテクノロジー，あるいはテクノロジーとビジネスの結合の萌芽は，インターネット技術や Web が生まれた 1990 年代，それに続く Web 2.0 の時代から続くものであり，現在の AI ブームを支える統計的機械学習，IoT, 5G もその延長にある．それでも現在我々の中にある危機感と期待感の葛藤の原因は，2 つあると考える．1 つは，事業経営とテクノロジーによるイノ

■図 -1　CRISP-DM に基づくデータ分析の流れ

© 2020 Information Processing Society of Japan

ベーションがこれまでになく不可欠になってきたことである．データの分析や利活用を通じて，あるいは新しいビジネスモデルやエコシステムの基盤（プラットフォーム）として，企業活動になくてはならないものになりつつある．もう1つは，企業活動や社会がこれまでにない大きな変化の波にさらされていることである．特に，予想することが難しく不可逆的な変化をも引き起こす出来事が確実に起きるようになってきた．DXの本質は，企業や組織がこの変化に対応し成長を続けることにある．Chief Digital Officer（CDO）の分類や役割は企業ごとに異なり得るが[4]，最も重要な役割は，企業や社会の成長を支えるため，直面する変化に対応すること，変化に備え自らが変わることの両方を推進するにあると考える．

CEO，CIO，CTOといったCxOに比べてCDOは新しい役割である．社内にこれまでとは違う価値観やスピードを持ち込む存在でもある．一方で，企業にとって異質の存在であるからこそ，本当に企業を変えるために，以下に示す企業内外の機能を「繋げる」役割を担う必要がある．

(1) 経営戦略，事業戦略とDXを繋ぐ．

テクノロジーを道具として捉えるならば，まず経営／事業戦略を策定し，それを実現するためにDXを活用する戦略と戦術を考えるべきである．CDOの役割はさらに，経営戦略にとってテクノロジーが表裏一体となりつつあることを経営陣とともに理解し，脅威を機会に変えながら，変革を進めることにある．

(2) IT部門とDXを繋ぐ．

社内IT部門とDXを推進する部門の関係は，組織によって異なる．現時点では目標もスピード感も違う2つの組織なれど，多様性を維持しながら，最終的には強いシナジーを持ったチームとなるべきである．

(3) 現場とDXを繋ぐ．

DXが大きな価値を生み出すには，IT部門やDXを推進するチームだけではなく，現場が自分事として捉え実行する組織風土を作り出していく必要がある．人間と技術の健全な協調状態を作り出し，熱を与える．

(4) DXで社内と社外，社会を繋ぐ．

DXが最終的に目指すのは，組織横断，全体最適，そして企業境界を超えた新しい繋がりを作り出すことである．新しい技術と多様性を取り込み，従来のCIOやCTOとは異なる観点，スピード感を持ち込む．

DXの今後に向けて

以上，予測困難な変化に直面する組織におけるDXの現実と将来，CDOの役割について著者の思いを述べた．連続的なものであれ不連続的なものであれ，予測が難しい社会や産業構造の大きな変化に向き合い対応すること，さらには受け身ではなく，自らが変化することで価値を創出していく必要がある．COVID-19が社会や企業に与えた影響は大きく，これから何年もかけて，我々は不可逆的に，新しい社会や企業の姿（ニューノーマル）へと変化していくだろう．その変化の過程において，DXは重要な役割を果たす．DXの将来に期待するとともに，その遂行に貢献していきたい．

参考文献

1) 青山幹雄：DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何か―DXの現状と展望，情報処理技術の課題と機会―，情報処理，Vol.61, No.11, pp00-00 (Nov. 2020).
2) Urbach, N. and Roeglinger, M. : Digitalization Cases : How Organizations Rethink Their Business for the Digital Age, Springer (2019).
3) チャールズ・オライリーマイケル・タッシュマン（著），入山章栄，渡部 典子（訳）：両利きの経営 (2019).
4) 神岡太郎：デジタル変革とそのリーダーCDO，同文社出版 (2019).

(2020年8月21日受付)

■浦本直彦（正会員） uramoto@gmail.com

1990年日本IBM入社，東京基礎研究所で，自然言語処理，情報統合，Web技術などの研究開発に従事．2017年三菱ケミカルホールディングス入社，2020年より執行役員CDO．2018～2020年人工知能学会会長．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 3 部　DX の実践］

8 航空会社における DX の取り組み —イノベーションによる ES と CS の実現—

応用

三浦明彦 | 全日本空輸（株）

航空業界における DX の必要性

航空業界は，多くの従業員からなる労働集約型の産業である．運航乗務員（パイロット）や客室乗務員（CA）を始め，航空整備士や，空港の地上係員（旅客サービスや，荷物の積み込み，車両の運転，航空機内の清掃等，さまざまである），さらには予約センタで応対する係員等，多くの職種のスタッフがかかわることで，はじめて 1 便のフライトを飛び立たせることができる．それぞれが専門的な技能や経験を要する職場であるが，少子高齢化の時代が訪れると，その労働力を確保すること自体が難しいだけでなく，仕事のプロセスやスキルの養成も効率化し，省力化や省人化を行わなければ，産業を維持していくことも困難となる．当社にとって，より少人数で効率的に事業を運営するために，DX を活用した BtoE（Business to Employee）施策を推進することは喫緊の課題となっている．

一方，航空会社は予約・発券・チェックイン・搭乗・機内と数多くの接点を通じて顧客に直接サービスを提供している，典型的な BtoC（Business to Customer）企業ということができる．スマートフォンでの航空券予約・購入はもとより，オンラインによるチェックインや空席待ちも可能となり，デジタルを使ったいつでもどこでも簡単・便利に航空を利用できる仕組みは生活の一部にもなっている．空港では，顔認証を用いた，搭乗までの一連のプロセスでパスポートや航空券の提示を一切必要としない，新しい搭乗モデルの開発が進んでいる．また，顧客一人ひとりのニーズに応じたきめ細やかな情報提供もサービスの差別化には必須となっている．

このように，我々は BtoE と，BtoC の 2 つの側面において，DX を推進することが求められているのである．

ANA の DX 戦略

戦略の 2 本柱

当社が目指す DX の柱は，人財価値向上と顧客価値創造である．DX を通じて働き方改革を推進し，人は人にしかできない業務に集中することで，現場に余裕を生み出すというのが人財価値向上の考え方である．一方 DX を通じてサービスを改善し，真のパーソナライズドサービスを提供することが顧客価値創造につながる．ここでの重要なポイントは，従業員満足（ES：Employee Satisfaction）が実現することで，はじめて顧客満足（CS：Customer Satisfaction）が実現できるという考え方にある．航空会社は，予約センタ，空港，機内など，顧客との接点が多い業態である．先進のテクノロジーを活用し

© 2020 Information Processing Society of Japan

て，フロントラインの従業員が働きやすい環境を作ることが，業務の質を向上させ，結果として顧客満足につながるサービスを提供できると当社では考えている．この2本柱をトップマネジメント自らがコミットし，全社的な取り組みとして推進している．

5つのドライバ

DXを強力に推進するためのドライバとして，以下に示す5つの取り組みを行っている（図-1）．

(1) 組織と人材

デジタルはIT技術とのつながりが深いこともあり，以前はIT部門主導でDXを推進していた．しかし，IT部門のいわゆる「情報システム」中心の思考では，新たなデジタルテクノロジーを活用する発想が乏しく，また意思決定プロセスも，基幹システムの開発を念頭においた重厚長大なものとなり，イノベーションに適したものではなかった．

このため，デジタルがビジネスそのものを変革する時代となると，IT部門主導で進めることには限界があると考え組織改正を行った．具体的には経営企画部門にイノベーション統括機能を置き，IT部門との両輪で全社的なDXを推進する体制に変革した．また両部門の担当役員を同一の取締役（筆者）が務めることで，DXを推進するための強力なリーダシップが発揮できる体制とした．

さらに，現場との協業でアイディアを成長させるべく，ニーズを持つフロントラインとの協業体制も構築した．具体的には，マーケティング，運航，客室，整備の各部門におけるイノベーション推進のキーパーソンに，イノベーション統括兼務の人事発令を行い，活動に対する組織的な裏付けを与えることで，担当者がアイディアの実行を推進しやすい環境を整えた．

(2) 実行プロセス

IT部門が従前から行っているウォータフォール型のシステム開発プロセスでは，要件定義や開発計画，投資判断などに複数の組織が関与し，また精緻なプロジェクト計画が求められ，結果として意思決定までに長い時間を要していた．

一方，DX案件では判断や実行のスピードが重要となるため，従来のシステム開発とは切り離したプロセスを新たに構築した．たとえば実証実験についてはシステムとは別枠の予算を設定し，事前検証に時間を費やすのではなく，「まずはやってみる」というトライ＆エラーの考えで実行する．実現性や効果が期待できるものは，早期に実施の判断をする．実装においては，システム開発を担うグループ会社内にDX案件のための専任組織を設置し，内製力を強化する，等である．

これらによって従来型のシステム開発と較べ，意思決定までの期間が大幅に短縮（1/2以下）され，迅速なサービス投入と費用抑制が可能となった．

(3) 社外との共創推進

オープンイノベーションには，自社の仕組みと，社外の技術・ノウハウを組み合わせることが不可欠である．当社では社内外のパートナーとイノベーションを創出する空間として，2019年オープンした総合トレーニングセンタ内に「ANA Innovation Garage」を設

■図-1　ANAにおけるDXのフレームワーク

© 2020 Information Processing Society of Japan

置した．ここでは航空機の客室や空港カウンターなどの訓練施設（モックアップ）を活用することが可能で，アイディアやプロトタイプの実証が即座に実現できることに特徴があり，すでにいくつかの共創が始まっている．

(4) 風土変革と啓蒙

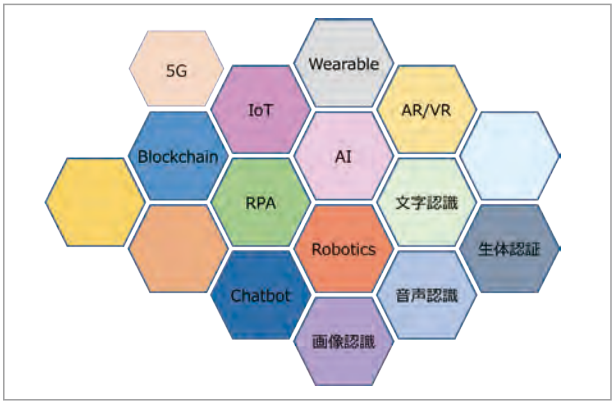
担当者・現場任せではイノベーションは進まない．当社ではデザイン思考などのワークショップを実施しているが，経営層自らが行うことから始めている．役員全員が参加する経営会議でワークショップを行い，そこで出たアイディアはすぐに実行に向けた検討が行われ，実際のサービス改善へと繋げている．

また，ワークショップを体験した役員を通して，デザイン思考が社内各部門に浸透するという，副次的な効果もあり，経営層のリーダシップが発揮されている．

ワークショップのプログラムは，社外のリソースに委託したものではなく，すべて自社内で考案・作成している．DX 部門のメンバが，ワークショップのファシリテーションができるよう訓練されており，社内からの開催の要請や支援にも応えている．

(5) システムインフラの構築

当社では 2018 年度までの足掛け 5 年をかけて，BCP に対応した新データセンタへのシステム移転を行った．その際，メインフレーム等のレガシーシステムの刷新を図るため，プライベートクラウドの導入やシステム構成の標準化を行い，アーキテクチャの整理，統合を行った．これによりシステム間の連携を安価で容易に実現することが可能となり，社内に分散していた顧客情報を仮想データベースにより一元化する，お客様情報基盤（後述）の構築も短期間で実現した．



■図 -2　イノベーションハニカム

イノベーションハニカム

通常のシステム開発では，ユーザ部門からの要求，要件を受けてから開発をスタートするという受け身のプロセスが中心である．しかし DX を進めるためには，絶えず進化をしているデジタル技術を活用してビジネスをどう変革していけるか？　という視点が重要になってくる．そのため，DX を担う組織は，テクノロジードリブンの仕事の仕方を意識する必要がある．

当社では，AI や IoT といったビジネスに導入し得るデジタル技術を，六角形を隙間なく並べたハニカム図の中にマッピングし，それを「イノベーションハニカム」と呼んで整理をしている（図 -2）．これは単に新技術を並べているだけでなく，関連する技術を隣同士に並べることで，複数のテクノロジーを相互に組み合わせてイノベーションを起こすことができるような効果も狙っている．たとえば，空港に案内ロボットを配置する際，白杖を持った顧客を認識したら特別の案内をする，という事例は，ロボティクスと画像認識の組み合わせによる発想である．

このイノベーションハニカムを活用することで DX 部門が主体的にイノベーション提案を行うことが可能となった．また RPA（Robotic Process Automation）・チャットボットやアプリの開発はグループ会社による内製が実現しており，これにより迅速なサービス投入が可能となっている．

変革の事例

お客様情報基盤（CE 基盤）

当社では空の旅の始まりから目的地到着までの各

© 2020 Information Processing Society of Japan

シーンにおいて，28 の顧客とのタッチポイントを定めている．予約センタでの応答，空港での搭乗案内，機内でのサービス等，あらゆるタッチポイントで，顧客それぞれのニーズにあった One to One のサービスを提供することが究極の目標である．そのためには各係員が，顧客のマイレージ会員情報や過去の搭乗履歴等を的確に参照できる仕組みが必要となるが，従来顧客情報はシステムごとに管理され，部門横断的にデータを活用できる環境になかった．

そこで，社内に分散している顧客情報や運航情報などを一元化し，各係員にタイムリーに情報提供することが可能な，お客様情報基盤（CE 基盤：CE は Customer Experience）の構築を行った．この CE 基盤では，中央の巨大な物理データベースに各システムからアクセスする方式ではなく，仮想データベースという仕組みを導入した．必要なデータをそれぞれの基幹システムと API（Application Programming Interface）連携することで取得し，統合してユーザに提供するという，仮想的なデータ基盤である．これによって費用のかかる大規模データベースを用意せずとも，社内の各システムそれぞれが持つデータを統合して利用することが可能となった（図 -3）．

■図 -3　お客様情報基盤のコンセプト

この CE 基盤によって，ほぼリアルタイムでさまざまなシステムを連携させ，それぞれのシーンに応じた顧客情報を各係員に提供できる環境が整った．現在では，CE 基盤を活用して新たな One to One のサービスを次々に開発し，顧客価値を向上させることに取り組んでいる．CE 基盤は当社が選定された「攻めの IT 経営銘柄 2019　DX グランプリ」における評価施策の 1 つである．

コンタクトセンタシステム

当社のコンタクトセンタ（予約センタ）は，日米に拠点を持ち，あわせて 1 日平均 2 万件以上の問合せを受ける，顧客とのチャネルである．複雑な旅程に関する問合せや，マイレージプログラムに関するもの，運航にイレギュラーが発生したときの質問など内容はさまざまであり，リアルな顧客チャネルとしてコンタクトセンタは重要な存在である．当社は今年，このコンタクトセンタのシステムを，デジタル技術と融合させる形で，刷新した．

新システムでは，コンタクトセンタのベースである音声基盤を刷新したことに加え，AI を搭載したチャットボットによって，24 時間 365 日「いつでも・どこでも」顧客からの質問に対し回答できる仕組みを導入した．これにより顧客のデジタルシフトを促進し，生産性向上も実現した．また，これまで音声データやメール履歴は顧客データとして活用できていなかったが，音声をテキスト化し分析可能な形への変換を行った．これらの情報を CE 基盤に取り込み，顧客情報と組み合わせて分析（テキストマイニング）することで，チャットボットやオペレータの応対品質を向上させることができ，さらには顧客の潜在ニーズを抽出することも

© 2020 Information Processing Society of Japan

可能となった．

かつては電話でリクエストや質問に応えるだけのチャネルであった予約センタを，リアルとデジタルの融合によって，顧客一人ひとりにサービス提案を行う，マーケティングセンタとしての位置づけに進化させることができたのである（図 -4）．

New Normal に向けて

最後に次なる挑戦として 2 件の取り組みを紹介する．

1 点目は，ローカル 5G の活用である．当社は，パートナーと協業し，先述した総合トレーニングセンタに，日本の航空業界として初めてローカル 5G を導入し，社員の訓練のパーソナライズ化に活用していく考えである．ローカル 5G の利用によって，これまで実施していた訓練では収集しきれなかった，訓練生の感情，視線，姿勢の変化や動作手順などのデータを，カメラや VR ゴーグルといった IoT デバイスからリアルタイムに収集・分析することが可能となる．この結果を訓練生一人ひとりにフィードバックすることにより，苦手領域の克服や得意領域の伸長などが行え，訓練の高度化や効率化を図っていく．

2 点目は，MaaS（Mobility as a Service）である．昨年社内に MaaS 事業部門を新設し，地上交通事業者と連携したサービスの提供を開始した．MaaS を推進する上での当社の強みとして，これまでグローバルなサービスで培ってきた他社提携（コードシェア）のノウハウや，行程でイレギュラーが発生した場合の対応ノウハウをあげることができる．またユニバーサルサービス等，グローバル基準でのサービス経験も豊富にある．このような強みを活かし，海外に渡航する人や訪日外国人，またお体の不自由な方等，さまざまな人々のために，デジタルテクノロジーを活用したオープンなプラットフォームを構築し，多くの交通事業者との連携を図ることで，目的地までのシームレスな移動の実現を目指していく．

今後はこれらの取り組みに加えて，New Normal に対応した新たなサービスへのデジタルテクノロジーの活用が主要なテーマになると考えている．航空においては，テレビ会議の普及による出張需要の減少や，社会的距離やタッチレスを意識した空港・機内でのサービスが求められる等，顧客の移動ニーズやサービスニーズが大きく変化することが予想される．

このような環境変化の中では，迅速にかつ的確に DX を推進できる企業だけが生き残っていけると覚悟すべきである．当社ではこれまで培ってきたイノベーション活動に更に磨きをかけ，全社一丸となって DX を推進していきたいと考えている．

（2020 年 7 月 26 日受付）

■図 -4　コンタクトセンタ

■三浦明彦

1981 年東大工学部卒業．同年全日本空輸入社．整備部門・マーケティング部門・調達部門を経て，取締役常務執行役員 企画・デジタル変革担当．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 3 部　DX の実践］

9 製薬業界におけるデジタルトランスフォーメーション先進事例 ―中外製薬における事例―

応用

志済聡子 | 中外製薬（株）

製薬産業におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）

製薬産業のおかれている状況

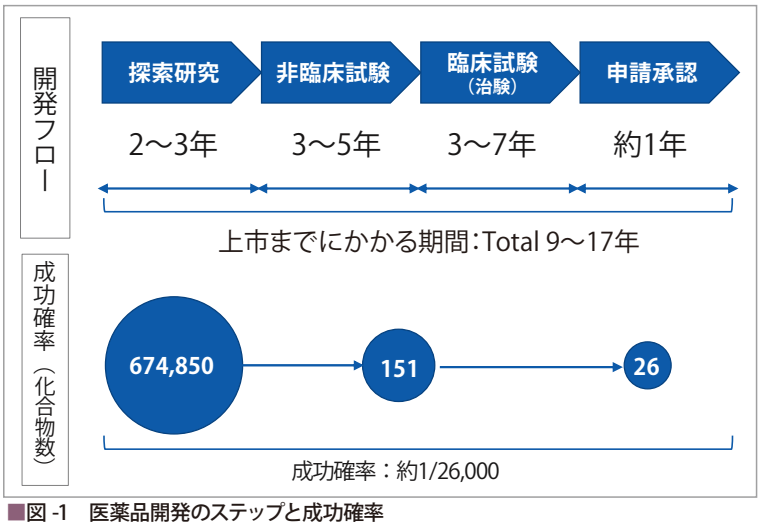
製薬産業の特徴

製薬産業は新薬創出を通じて医療に貢献する生命関連産業である．革新的な医薬品の継続的な研究開発と安定的な供給を通して，世界の人々の健康と福祉の向上に貢献をしている．

医薬品は生命や健康に直接関連するため，その有効性や安全性を長いプロセスをかけて慎重に確認する必要がある．そのため，1 つの医薬品の開発には 9 年以上という長い歳月と，2,500 億円以上もの費用がかかると言われており，候補となる新薬が実際に市場に出る成功確率も約 3 万分の 1 と非常に低くなっている（図 -1）．

製薬産業が直面する課題

製薬産業を取り巻く状況は，再生医療やゲノム等のライフサイエンスやデジタル技術の飛躍的進歩，少子高齢化等の人口動態の劇的変動などをメガトレンドとして大きく変化してきている．これにより製薬産業は，最新の技術を反映した高品質かつ迅速なイノベーション創出への対応，医療費抑制や費用対効果の厳格化への対応等の課題に直面している．



■図 -1　医薬品開発のステップと成功確率
（日本製薬工業協会「てきすとぶっく 製薬産業 2018-2019」より中外製薬作成）

製薬産業における DX

DX とは，デジタル技術を活用して，顧客や社会のニーズを基に，製品やサービス，ビジネスモデルを変革するとともに，業務プロセス，企業文化・組織風土を変革し，競争上の優位性を確立することである．先に示した通り，新薬の開発には多くのプロセスと長い年月と費用がかかっている．製薬産業ではこの創薬プロセスを，AI などデジタル技術を活用し，さまざまなデータを高速に分析することにより，短期間に高い成功率で，低いコ

© 2020 Information Processing Society of Japan

ストで実現する可能性が模索されている．加えて医療関係者や患者とのコミュニケーションアプリや，疾患のモニタリング・治療を目的としたデジタルヘルスアプリの開発なども始まっている．

中外製薬におけるデジタルトランスフォーメーション

中外製薬について

中外製薬は，東京に本社を置き，医療用医薬品の開発・製造に特化したバイオ医薬品に強みを持つ研究開発型の東京証券市場一部上場の製薬企業である．2002 年にスイスに拠点を置くロシュ社と戦略的アライアンスを開始している．いまだ有効な治療方法がない疾患に対する医療ニーズを満たす革新的な医薬品の創製に取り組み，ヘルスケアのトップイノベータを目指している．

なぜ今中外製薬はデジタル戦略に取り組むのか

近年の IT・デジタル技術の急速な進展により，AI やリアルワールドデータ／エビデンスなどを活用した新たな科学的手法が台頭しつつあり，実際にビジネスに活用できる段階になってきた．デジタル技術は社会を変え，製薬産業を変えるゲームチェンジャーになり得る．国内外の製薬各社はデジタル技術の積極的な導入・活用を開始し，生産性向上，新規価値創出に乗り出している．

当社もこの流れを捉え，これまでに培った技術力，サイエンス力に加えて，デジタル技術を強化し，イノベーションを推進していく．具体的には，治療薬のない，あっても効果が不十分な疾患に対して，画期的な新薬を創製するとともに，すべてのバリューチェーンの効率化・最適化を目指していく．併せて革新的なサービスなどへの応用も模索する．

これらのデジタルを用いたイノベーションを推進するにあたり，10 年後の 2030 年の社会や業界の変化を捉え，そこにあるリスクと機会を見据えながら，中外製薬のあるべき姿を描いたビジョンが「CHUGAI DIGITAL VISION 2030」である．

CHUGAI DIGITAL VISION 2030 とは

「CHUGAI DIGITAL VISION 2030」では“デジタル技術によって中外製薬のビジネスを革新し，社会を変えるヘルスケアソリューションを提供する”ことを目指している．ビジネス革新として，AI 等の最先端技術を活用した革新的医薬品の継続的な提供や革新的なサービスの提供を目指していく．社会変革として，個々人に寄り添った最適な個別化医療の提供や，超早期診断・予防・治癒の実現によるライフタイムを通じた高い QOL（Quality of Life）の実現，持続可能な社会保障制度の実現を目指す．

DX の実行にあたって

DX の推進において重要な点は，全社戦略との整合性と実行する組織の存在である．この 2 点が明確かつ最適でないと推進は難しい．今回私たちが策定したビジョンは，当社の中期経営計画“IBI 21”でも言及される“デジタルを活用した高度な個別化医療の実現と R&D プロセスの革新”に沿ったものとなっており，全社的な DX を推進しやすい下地が形成されている．

実行組織については“ IT ×ビジネス”によるイノベーションを推進する新しい組織“デジタル戦略推進部”をビジネス部門とは独立させる形で 2019 年 10 月に設立した．各自ビジネス部門から独立することで，部門の枠にとらわれすぎず，全社最適での意思決定・推進ができる体制となっている．

中外製薬の DX に向けた具体的な取り組み

中外製薬では「CHUGAI DIGITAL VISION 2030」の実現に向けて，「デジタルを活用した革新

© 2020 Information Processing Society of Japan

的な新薬創出」,「すべてのバリューチェーン効率化」,「デジタル基盤の強化」の3つの戦略を策定・推進している（図-2）.

デジタルを活用した革新的な新薬創出

創薬におけるデジタルの活用

創薬分野における①新たな価値の創造，②創薬の成功確率向上と期間短縮，③創薬業務の省力化を目指し，AIやロボティクス等の最先端技術を用いた革新的新薬の創出・開発期間および費用の削減を目指している．当社ではすでに自社抗体プロジェクトに機械学習を用いることで最適な分子配列を得ることが可能となっている．

リアルワールドデータの利活用

Clinico-Genomicデータベース（臨床アウトカムと遺伝子データが統合されたデータベース）へのアクセスやリアルワールドデータ／エビデンスの解析を通じて，医薬品の承認申請戦略への落とし込み，臨床開発戦略の刷新，実臨床における新たな知見の取得などに取り組んでいる．

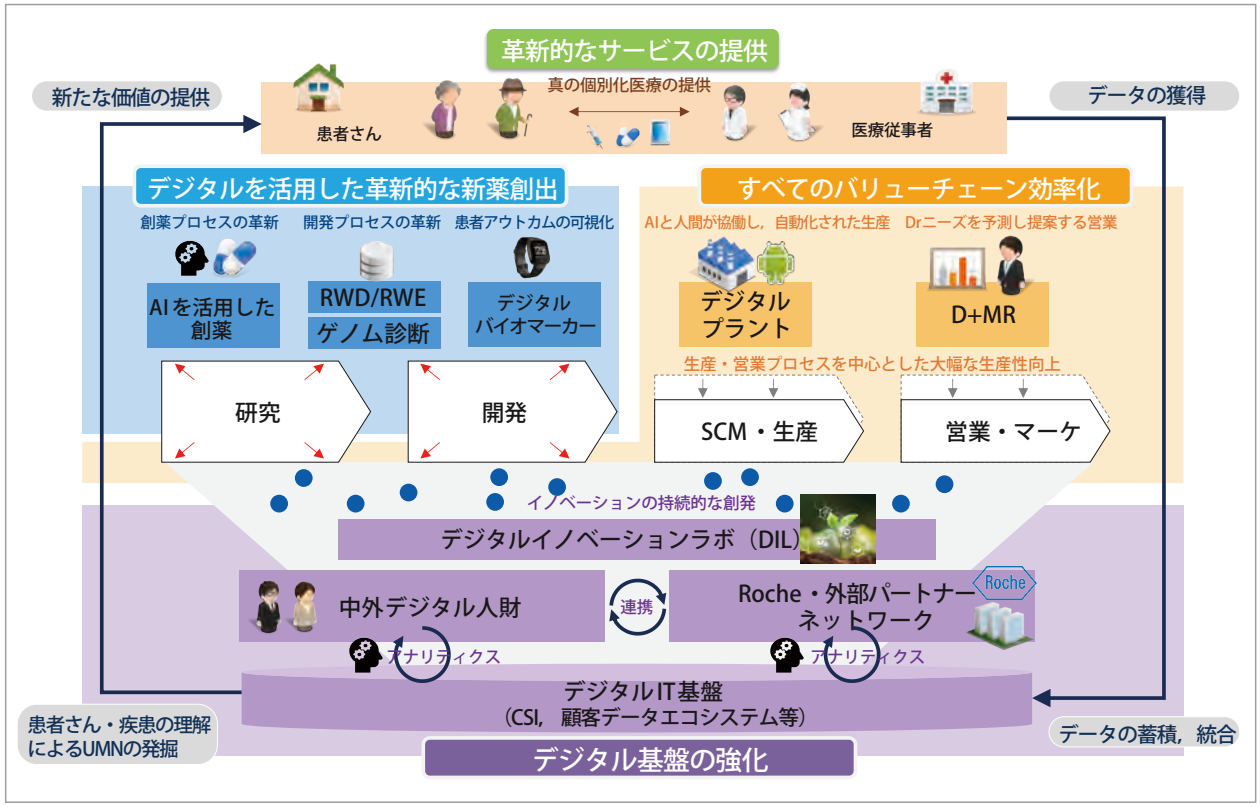
デジタルバイオマーカーへの取り組み

デジタルバイオマーカーとは，ウェアラブルデバイス等によって取得可能となる疾患の状態・発症の把握等に利用可能なヒトの生体データの総称である．主に製品価値の証明，臨床への実装，疾患理解の深化の観点から，複数製品において患者さんの身体活動データの評価等にウェアラブルデバイスを用いている．また，ある臨床研究では血友病における運動と出血の関連性を評価する電子的な患者情報アウトカム（electronic Patient-Reported Outcome：ePRO）アプリケーションを活用している．

すべてのバリューチェーン効率化

生産におけるデジタルの活用

現場に豊富にあるデジタルデータの統合，ロボティクス，データ分析の活用により，①製造・分析



■図-2　中外製薬が目指すDXの絵姿

© 2020 Information Processing Society of Japan

記録の自動作成や設備状態のデータ分析による予知保全，②機械とヒトとの協働による生産工程・品質試験の省人化，③あらゆるデータを繋げることで現場をリアルタイムで把握・分析して，生産・試験指示，要員計画等の最適化に取り組んでいく．

営業プロセスにおけるデジタルの活用

医師向け会員制サイト PLUS CHUGAI の開設，24 時間対応のチャットボット MI Chat の活用，患者さん・医療関係者向けの疾患アプリの開発等，デジタルを活用した高度な情報提供やコミュニケーションを促進し，患者さん・医療関係者の治療支援に貢献していく．

各バリューチェーンでの AI 活用促進

高精度の予測と自動化を実現する機械学習プラットフォーム「DataRobot」を全社導入し，研究，生産，営業等で活用している．たとえば，工場における最適な製造条件決定等にも使用されており，従来の手法では困難であった最適な製造条件の抽出が可能となり，製剤の規格が不適合となるリスクが減少している．

デジタル基盤の強化

データ活用基盤の強化

DX を支えるシステムとして，Chugai Scientific Infrastructure（CSI）というクラウド技術（Amazon Web Services）を活用した基盤を構築しており，大容量データへのセキュアなアクセス，移動，保管が可能となった．これにより，ゲノムデータ等の高いセキュリティが要求されるデータの安全な取り扱い，医療機関やパートナー企業等，外部の共同研究プロジェクトの迅速な推進，情報流出・外部攻撃等のリスク低減等を実現している．

コンプライアンス面の対応

データ活用にともなうリスク，中でも個人情報にまつわるコンプライアンスリスクをどう低減するかが課題となる．特にゲノム情報，治験データ，電子カルテに代表されるようないわゆる“ヒト由来”データの取り扱いには注意が必要で，当社では“デジタルコンプライアンス委員会”を立ち上げて活用ルール・ガイドラインを策定するとともに，リスクに応じた適切な対応ができる体制を整えている．

人財の育成・強化

特にデータサイエンティストの採用・育成に力を入れている．優秀な人財の採用に向けて，戦略に紐づけて人財要件を明確化し，インターンやダイレクトソーシング等のさまざまな採用体制を整備している．育成の面では，OJT/Off JT 両面からの育成プログラムやキャリアパスの整備を進めている．

外部との積極的な連携

戦略提携をしているスイスのロシュ社は，デジタルに積極的に投資しており，業界でもトップランナーである．そのロシュ社との連携や，深層学習の分野で日本トップクラスの技術を持つ Preferred Networks 社，自然言語解析技術を有する FRONTEO 社等の社外のデジタル先進企業との協働も推進している．

社員の発想や挑戦を後押しする仕組み

人財やチームの育成には，実際のビジネス課題を通したトレーニング（OJT）が一番重要である．そのためにはデジタルを活用しやすい組織風土への変革が重要となる．その打ち手の 1 つとして Digital Innovation Lab という仕組みを今年 6 月から本格スタートさせた．これは個人や組織から公募したアイディアの種にデジタル部門が伴走することで，短い期間で PoC（Proof of Concept，コンセプトが正しいか否か）を回し，トライ・アンド・エラーを通じて，挑戦する風土を形成するとともに，業務の実効性のあるソリューションに育てる経験の場とすることを狙っている（図 -3）．

今後の DX の見通し

増加する異業種からの参入

GAFA 等の Tech Giant と呼ばれる企業は，膨大なデータと，巨大な投資力を背景に，ヘルスケアの

© 2020 Information Processing Society of Japan

世界で大きな役割を果たしていくことになるだろう．彼らが収集する日々の大量のデータは，ヘルスケアに役立つ情報が多く含まれる．たとえばスマホで収集される運動情報（歩数，距離等）はもはや当たり前になりつつあり，ウェアラブルデバイスを活用すれば脈拍や心電図等も測定可能となっている．これらのデータを解析してフィードバックすることで個々人の健康に貢献することが可能となる．また，特定のデジタル技術に特化したスタートアップ企業の中から，これまでにない発想・技術でヘルスケアを変革するプレイヤも出現すると思われる．私たちにとって最も大切なことは，患者さんへの貢献であるため，その達成に向けては異業種とも，時には競争し，時には共創するという柔軟な姿勢で臨んでいきたい．

新型コロナが与える影響

新型コロナウイルスの社会，経済に与える影響は大きく，ビジネスのあらゆる面を見直す契機になる．見直しにあたってはデジタル技術の活用が必要不可欠であり，今回の経験は製薬産業各社の DX を加速させるであろう．医療機関，アカデミア，当局，取引先，提携先等々，我々を取り巻く種々のステークホルダの行動や価値観（移動やコミュニケーション，ビジネススタイル等）の変化を捉えて先手を打っていくことが重要となる．

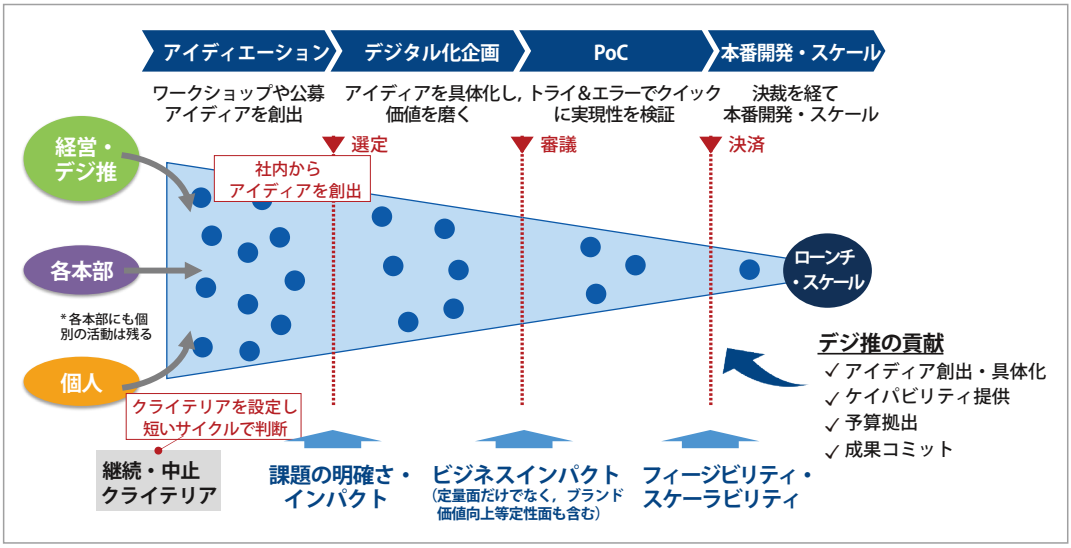
中外製薬の展望

当社の DX 推進にあたって重要なことは“ビジネス×デジタル”により当社の新しい価値創造をリードすることである．その基盤となるテクノロジーを強化するとともに，多様な人財獲得と新たなスキルの習得強化，デジタルリテラシーの向上を推進し，組織風土・カルチャーの変革を加速していく．そのために，全社デジタル投資案，投資対効果の可視化などを通じて，当社ビジネスへの積極的な提言を行っていく．また，自社のみならずロシュ社を含む外部パートナーとの積極的な連携を通じ新たな価値創造を推進していく．

（2020 年 7 月 29 日受付）

■志済聡子　shisai.satoko22@chugai-pharm.co.jp

1986 年日本 IBM に入社．官公庁システム営業部長，ソフトウェア事業部長などを歴任後，2009 年から同社執行役員として公共やセキュリティ事業を担当．2019 年，中外製薬に入社．同社執行役員デジタル・IT 統轄部門長に就任，現在に至る．



■図 -3　Digital Innovation Lab の概要

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第 3 部　DX の実践］

⑩ DXによる部品加工プラットフォーム

応用

―高精度部品加工技術における脱・属人化と共有知―

山本勇輝 | HILLTOP（株）

HILLTOP（株）（以下「HILLTOP」）はアルミニウム材の部品加工分野の中小ものづくり企業であり，主に，研究開発や新製品開発の試作品段階から製品化までのサポートを行う．本稿では，HILLTOP がどのような目的のためにデジタルトランスフォーメーション（以下 DX と略記）を製造工程に組み込み，どのように製造業ビジネスに新しい可能性と展望を創出したかを紹介する．

クリエイティブな時間創出のための技術革新

製造業での無人化・自動化は人件費などのコストダウンの文脈から語られることが多い．HILLTOP では，80 年代からデジタル化を進めて部品製造技術の刷新を目指してきた[1]．その中心にある考え方は「クリエイティブな時間の創出」である．システムを構築し最適化することで余暇時間が生まれ，その時間を他の事業創出・育成にあてる．

HILLTOP では加工事業以外に，装置開発事業部，医療機器事業部，企画開発推進部などが誕生している．これらは機械加工の DX が，加工従事者に加工作業以外の時間をもたらしたことで，新事業やソフトウェア開発などに使う時間が生まれたことによる．

HILLTOP では部品加工に DX を応用するにあたって次の 2 つの点に重点をおいている．

(1) 誰でも使うことができる高度な製造技術とプラットフォーム
(2) 多様な人材が活躍できるワークスタイル

一般に，部品加工の世界では，技術が高度化するほど次のような問題がある．

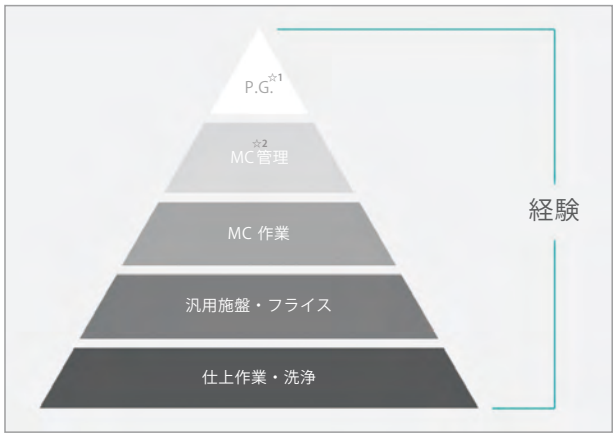
(1) 加工技術者に属人化されやすく，技術習得に必要な時間の膨大さからなり手も減少
(2) 技術者が常時不足
(3) 製作コストと失敗リスクの大きさから経営上必要な利益と稼働率を十分に保つのが難しい

HILLTOP は，加工技術者に技術を占有させることなく，誰もが使える「共有知」化を DX によって実現している．

DX による職人技のツール化

図 -1 に示すように，高度な部品加工を行う際に必要とされる条件として次の 3 つがある．

A）部品形状と加工アプローチの知識（機械プログラム）
B）高精密加工が可能な加工機械
C）加工機械を扱える知識



■図 -1　加工現場での経験値に基づく技術の 5 階層

☆1 プログラマ
☆2 マシニングセンタ（machining center）は，主として回転工具を使用し，フライス削り，中ぐり，穴あけおよびネジ立てを含む複数の切削加工ができる

© 2020 Information Processing Society of Japan

ここでいう知識は「経験」という言葉と置き換えることも可能だろう．図 -1 は加工現場において，経験値に基づく技術を 5 つに階層化したものである．上から 3 つが先ほどの（A）～（C）に対応する．ピラミッド型になっている理由は上段へいくほど高度な技術が要求されるため，その分習熟している技術者が少なくなることを示している．

しばしば熟練工の技術レベルの高さは「職人技」と呼ばれ，その語には「真似のできない技術」というニュアンスが含まれている．はたして職人技を再現することは不可能だろうか．

HILLTOP の加工技術の方向性として，加工職人ロボットのような高度な加工技術を寸分たがわずにハードウェア的に再現することはない．ソフトウェア的に数値化できる部分を分析し，加工条件という観点からその技術をデジタル化し集積していく．データベース化されたビッグ・データから確率論的に最適化された加工条件をユーザ（工程設計者やプログラマ）に提供する，誰もが使える加工アルゴリズムとプラットフォームの構築を目指している．

HILLTOP System

HILLTOP は自社開発した生産最適化システム「HILLTOP System」を通して部品製造を行う．システム内の加工データベースには過去 30 年間約 20 万件のデータが格納されており，新規部品製造の際には最適化された製造工程が自動で計算され，加工者に提供される．機械・工具選択，プログラム作成などの設計・実装部分が自動化・半自動化されることから，大幅に製作時間と作業者負担が削減される．アルミ材の取り付けや機械の保全部分といった基礎的なオペレーション部分以外はシステムによってほぼカバーしている（図 -2）．システムの使用法を簡単に習得するだけで，高品質の加工品を製作することができる．経験による技術レベルの差が，システムを通じた「共有知」によって補われ，誰がユーザであっても安定した品質のものづくりが実現できる．

ユーザは，熟練工の経験や知識を HILLTOP System の活用により「共有知」として使用することができる．最適化されたアルゴリズムにより，加工パターンのサンプルがユーザに提供され，きわめて簡単な操作で高度な加工プログラムを作成できる．

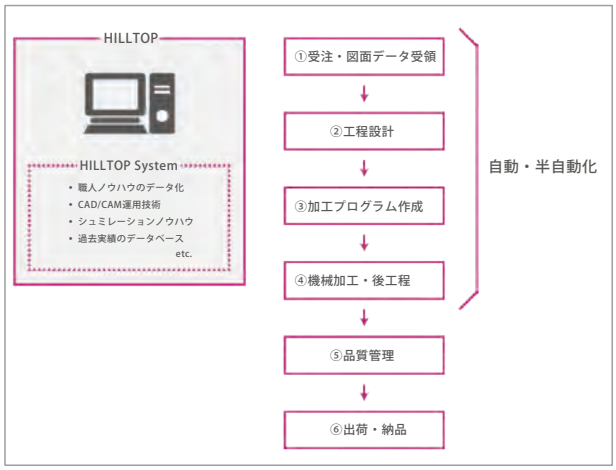
またシステム内で機械や工具の状態や全製造工程がバーチャル化されていることから，プレビュー・再現機能で実際の加工の前段階で失敗も回避できる．

これによって，生産工程の属人化を回避しながら高い生産性を得ることができる．HILLTOP System の利用プロセスを図 -3 に示す．

システムの機能として代表的なものは以下のものがある．

(1) 加工技術の数値化：参照・再利用可能なデジタルデータ化

■図 -2　HILLTOP System の構成
受注してから製品ができるまでシステム上で管理

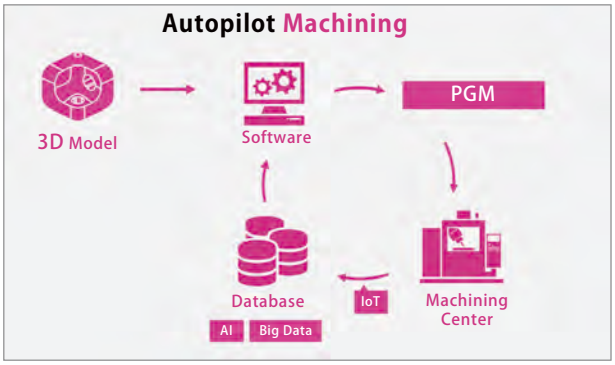


■図 -3　HILLTOP System の利用プロセス

© 2020 Information Processing Society of Japan

(2) 機械工程のバーチャル化：加工プレビュー・失敗や損失の防止．工場内の無人化を促進
(3) 工程実績のデータベース化：実績のある加工データ群
(4) アルゴリズムを用いた最適化：加工条件についてはデータベースをもとに工程の最適化・標準化を行う

また HILLTOP System はその最適化されたアルゴリズムにより，部品が製作されるごとにシステム自身がアップデートされ，さらに加工精度と加工時間の短縮に向けた最適化が実行される（図 -4）．これを，Autopilot Machining と呼んでいる．



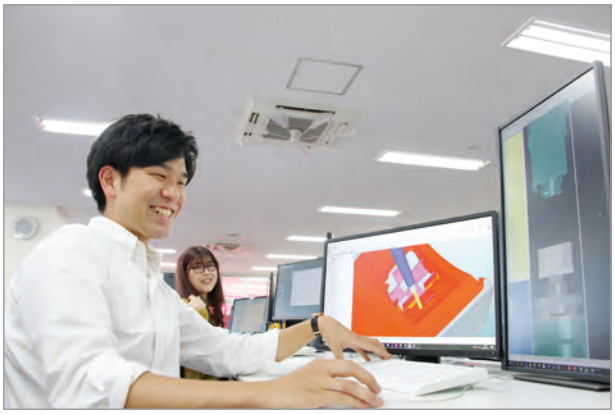
■図 -4　Autopilot Machining

多様な分野の顧客創出・多様な人材が活躍できるワークスタイル

HILLTOP System による自動化・半自動化の工程短縮により，必然的にワークスタイルの変化も促すものとなっている．ワークスタイルの変化を過去と比較すると以下のようになる．

(1) 昼夜 3 交代制を廃止：廃止後は 8 時から 5 時の営業時間のみ労働時間になるが，機械は 24 時間稼働
(2) 工場（ハードウェア）とオフィス（ソフトウェア）の現場の分離：バーチャル化機能により工場の無人化・省人化を実現したため，機械の隣に人が常駐する必要がなくなった[2]．遠隔での製造分業体制も可能
(3) 人材の採用幅の広がり：工業化，機械工学の知識・経験の有無は問わずに採用し，即戦力化できる

一般に 5 軸加工機などを使用した部品試作にかかる製作時間は，1 品完成まで 1 ～ 2 週間かかり，また失敗リスクも高く，経験のある熟練工のみが携われる世界でもある．HILLTOP では，上記の方式で一日に約 100 種，ひと月に約 4,000 種の単品を安定して製作し続けている．その製作に携わるのは文系学部卒も含めた加工の経験のないプログラマたちである（図 -5，6）．


■図 -5　製造をプログラマが実行

■図 -6　無人化工場の様子

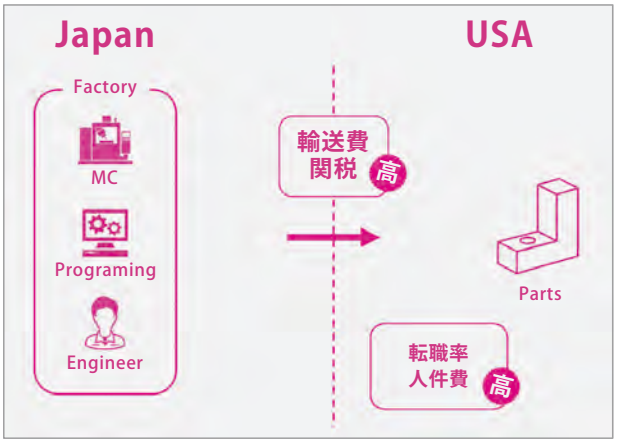
© 2020 Information Processing Society of Japan

海外進出を可能とするもの：シリコンバレーへの進出

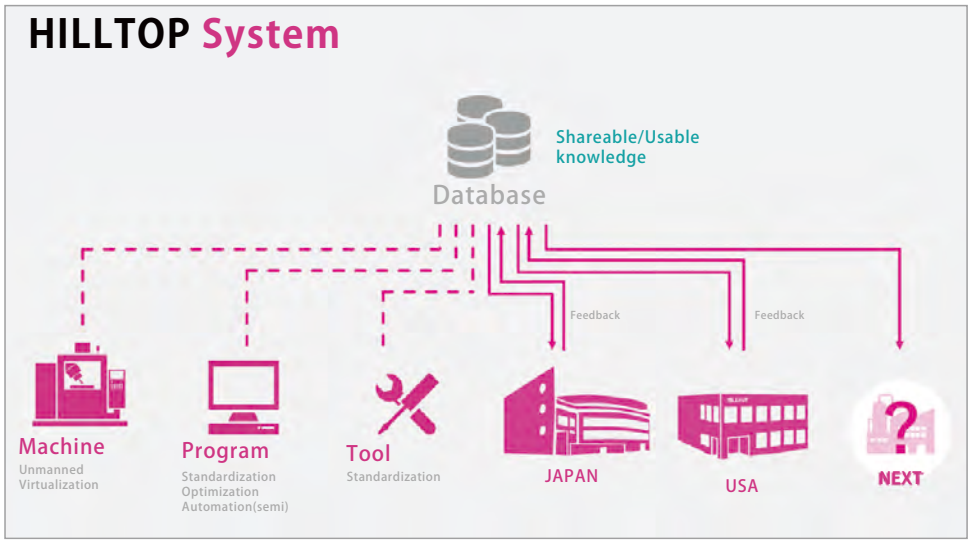
HILLTOP System での生産方法は，バーチャル化や自動化に加え，ハードウェアとソフトウェアが分離されていることから，海外工場を設立した場合に現地の生産体制をすぐに確立することが可能である．2013 年に HILLTOP は米国カリフォルニア州に現地法人を設立した．一般に，海外工場を設立することの課題として，現地生産の品質の安定化がある．日本で製作して米国に輸送する方法は物理的には可能である．しかし，関税と輸送料，輸出規制の影響も受けやすい．一般に、試作品の国外製作は技術移転と管理コストの問題から顧客側にも抵抗感もあり，現地での生産体制を確立することが望まれる（図 -7）．

通常であれば，現地生産体制を確立するにはハードウェアとソフトウェアの設備投資，その設備を正しく有効に扱える優秀なエンジニアの確保，その高いコストを補うだけの営業力，チーム内の一定の技術水準の維持が必要である．HILLTOP 米国法人では属人化されない技術のプラットフォームによってそうした制約を受けずに，日本工場と同じ品質のものを製作することが可能である．製造工程と加工技術の DX によって，ハードウェア（加工機械）の設置場所による質の差は生じにくく，加工担当者が誰であってもプラットフォームを通して得られる結果に差は生じない（図 -8）．

HILLTOP の米国法人は，まさにその方式で短期間・低コストで現地生産体制を確立させた．システムの理解には高度な技術的，語学的能力は問われないことから現地スタッフの採用幅も飛躍的に広がる．この方式は米国工場だけでなく，他社，あるいは他国の工場への応用も可能である．



■図 -7　HILLTOP の米国進出
アメリカには日本と同じような機械があるため，日本でプログラムを組み現地で加工が可能



■図 -8　HILLTOP System の展開

© 2020 Information Processing Society of Japan

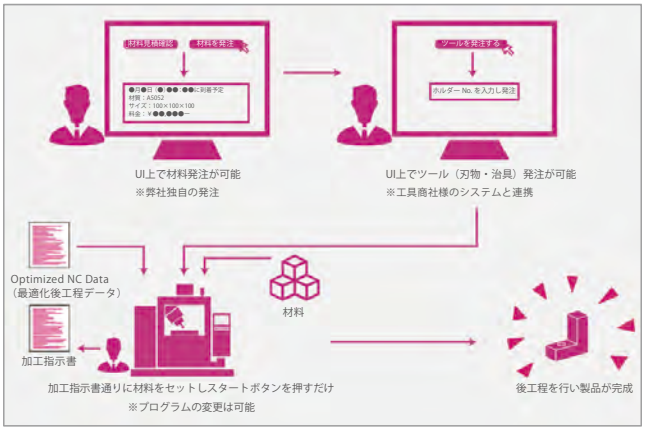
HILLTOP System の一般ユーザへの公開

2020 年現在，先に見た HILLTOP System を HILLTOP 外部にいるユーザが使用できる，公開用アプリケーションの開発を進めている（図 -9）．対象ユーザは，同業者である加工業者，あるいは自社で開発機能を持つメーカであり，本アプリケーションを通して加工技術を提供する．

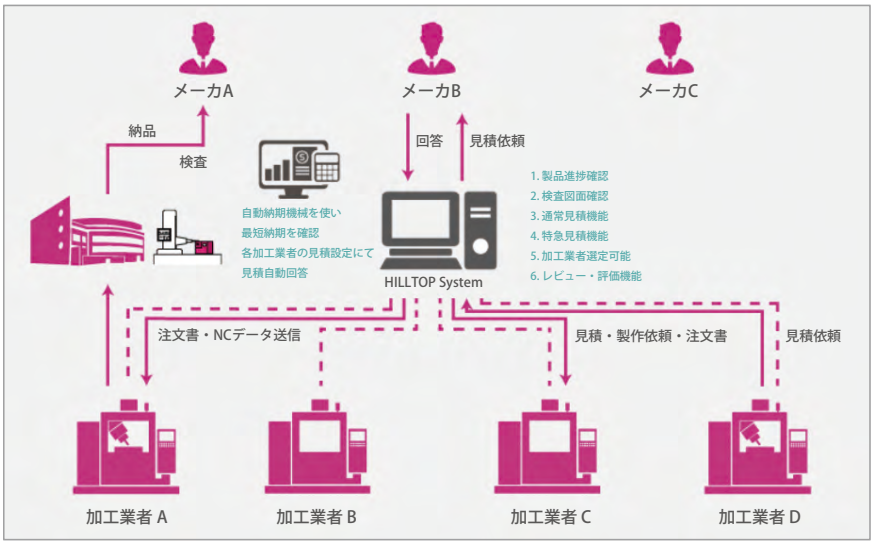
プログラム作成を含む工程設定が完全自動化され，ユーザは加工機械に材料をセットするだけで高品質の加工品を完成させることができる．ユーザの生産能力を向上させるだけではなく，次のような効果が期待できる．

(1) 国外進出や工場移転を容易化
(2) 日本国内・米国内の共通の課題である製造業の後継者・技術者不足への対応
(3) これから製造業を育成したい発展途上国の開発サポート，など本システムを使用することで技術・人材育成のコスト負担の削減

本システムが普及するにつれユーザのネットワークが形成されている（図 -10）．それを俯瞰して見ると，遠隔の工場同士での加工協業体制で構築することと同義となる．それにより顧客の開発スピードを向上させ，ユーザのクリエイティブな時間を創出することができる．



■図 -9　HILLTOP System の外販モデル



■図 -10　HILLTOP System のユーザコミュニティの形成

参考文献
1) 山本昌作：遊ぶ鉄工所，ダイヤモンド社（2018）．
2) 完全無人で機械加工するためにシステムをつくり上げる，The ROBOT，日刊工業新聞社，pp.52-54（2020 年 1 月）．

(2020 年 7 月 9 日受付)

■山本勇輝　yuki-y-htp@hilltop21.com

HILLTOP（株）常務取締役，兼 HILLTOP Technology Laboratory, Inc. CEO/CTO/President．2006 年山本精工（株）入社．2010 年製造部長に就任し生産システムと組織編成の抜本的な改革を主導．2013 年 HILLTOP Technology Laboratory, Inc. 設立とともに CEO/CTO/President 就任．2020 年より現職に就任．現在，AI，Iot，Big Data を活用した新しい形の製造サービスや HILLTOP System の公開用アプリケーションの開発などを主導．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第４部　デジタルプラットフォーム］

11 Society 5.0 時代の価値協創型 DX の実現に向けて～ Lumada への取り組み～

応用 専門 一般

馬場貴成　長岡晴子　小川秀人

（株）日立製作所

価値協創型 DX

Eric Stolterman 教授が「デジタル技術が人々の生活のあらゆる面に影響を与える変化」として DX を提唱して以来，自社の DX 推進とともに，保有するデジタル技術を活用して顧客企業の DX を実現し，人々の生活向上に寄与することが，IT 企業の経営目標の１つとなっている．また，COVID-19 の影響で人々の活動が制限された一方，リモートワークや業務合理化などデジタル技術による社会変化も急速に進んでいる．これを機に DX を推し進め，持続可能な社会に向けた課題解決と経済成長とを両立していくことが期待される．

経済界では 2020 年 5 月に日本経済団体連合会が「Digital Transformation（DX）～価値の協創で未来をひらく～」を提言した．同提言では DX を「デジタル技術とデータの活用が進むことによって，社会・産業・生活のあり方が根本から革命的に変わること．また，その革新に向けて産業・組織・個人が大転換を図ること」と定義し，Society 5.0 時代の産業構造 DX の必要性を示している．また，産業の裾野が広くリアルワールドに強みを持つ日本では，巨大プラットフォーマが革新的サービスを提供する米国，強み分野中心に DX を進める欧州，国家主導で巨大企業がデータを収集する中国などとは異なり，「多様な主体の協創による生活者価値の実現（価値協創）」型 DX が必要であるとしている．これは「既存の部門や業種の垣根をなくし，生活者価値を共有する同業種・異業種，スタートアップ，政府・自治体などさまざまな主体が有機的かつ自律的に協創を進めるモデル」である．

価値協創型 DX の実現には，複数の主体がデジタル技術を最大限に活用して互いの強みを補完し合えるエコシステムを作り出すことが重要となる．

本稿では，価値協創の事例とそこに見られる価値協創に必要な要素を示すとともに，価値協創を実現する仕組みの例として Lumada の概要を紹介する．

価値協創の実現に向けて

価値協創の先進事例

産業界ではデジタル技術の進展により，これまでは考えられない異業種からの参入が相次いでいる．たとえば，AI（Artificial Intelligence）技術による自動車業界参入，ブロックチェーンを活用した仮想通貨による決済サービス参入など，既存の業界常識を覆す新サービスが次々と登場している．今後の 5G 時代の本格到来により，この潮流はグローバ

© 2020 Information Processing Society of Japan

ル規模でさらに加速すると見込まれる．

このような事業環境の変化の中で企業が存続していくには，ビジネスモデルを柔軟に変え続ける必要がある．しかし，単独の組織ではケイパビリティやリソースが限られ，ビジネスモデルの変革には限界がある．そこで，複数の主体が強みを相互補完し合い，協創型で変革を進めることが望ましいが，自社の強みや弱みを客観的に分析し，複数のパートナーと新しいビジネスを創出する活動は，多くの企業にとって容易ではない．このような背景から，デジタル技術を活用して協創型で新たな事業創出を支援するサービスへの注目が高まっている．

一例としてアクセンチュアは“Innovation as a Service”をコンセプトに，最先端技術を活用してビジネスアイディアを創出するサービスと場を提供している．この場では同社と連携する多数の企業やスタートアップの知見，技術専門家の支援を受けながらデジタル技術を活用したアイディアを描き，試行・体感を通じてアイディアを具現化できるとしている[1]．

またSAPは，デジタル戦略実現のためのトータルサービスとして“SAP Leonardo”を展開している．本サービスは「顧客のビジネスの“あるべき将来の姿”に向け，顧客とともにイノベーションを推進していくための活動全体」であり，デザイン思考により発想したアイディアをAIやブロックチェーン，ビッグデータなどのデジタル技術を用いてSAP Cloud Platform上でスピーディに試行できるとする[2]．同社は世界6カ国にSAP Leonardo Centerを置き，これらの技術を体験・体感できる場として提供している．

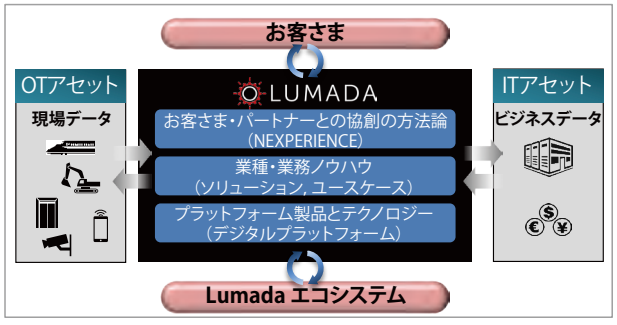
そして日立製作所はIoTの進展で加速度的に増え続ける社会やビジネスが生み出すデータに着目し，これらのデータを活かして新しい価値を創出する“Lumada（ルマーダ）”を展開している[3),4)]．Lumadaは，NEXPERIENCE（ネクスペリエンス）と呼ぶ顧客協創方法論，これまでに蓄積された業種や業務のノウハウ，それらを活用してデジタルソリューションを構築するデジタルプラットフォームから成る（図-1）．これらにより，顧客や日立が有するOT（Operational Technology）やIT（Information Technology）のアセットを活用して顧客の新しいニーズに対応した新しいビジネスの迅速な立ち上げを実現する．

価値協創に必要な要素

前節で述べた3社の事例を横並びに見てみると，価値協創を実現するための共通項が存在することに気づく．1つは，取り組むべき課題やニーズを捉え，それを解決する新たなビジネスモデルを導き出すための「プロセスや手法・ツール」である．次に，アイディア創出を促進し，実現性検討やプロトタイプによる有効性検証に用いる業務データや過去の経験から得られる「知識ベース」，そして，デジタル技術を用いてアイディアを簡易・迅速に体感できるように具現化する「デジタルプラットフォーム」である．

また，協創により新事業の種を見つけ出したときには実現までのスピードが肝となる．発想したアイディアをプロトタイピングにより迅速に可視化できるアジャイル開発は，事業背景や経験，思考も異なるステークホルダーの間で納得・共感・合意を得る重要なツールとなる．

さらに，参加者間の距離感を縮め信頼感を高める「協創空間・場」，参加者それぞれの強みや要求を把握し，スムーズに納得や合意を得られるようにする



■図-1　Lumadaの全体像

© 2020 Information Processing Society of Japan

「オーガナイザー」が潤滑油としての役割を果たすことで，検討を促進している（図 -2）.

Lumada による価値協創

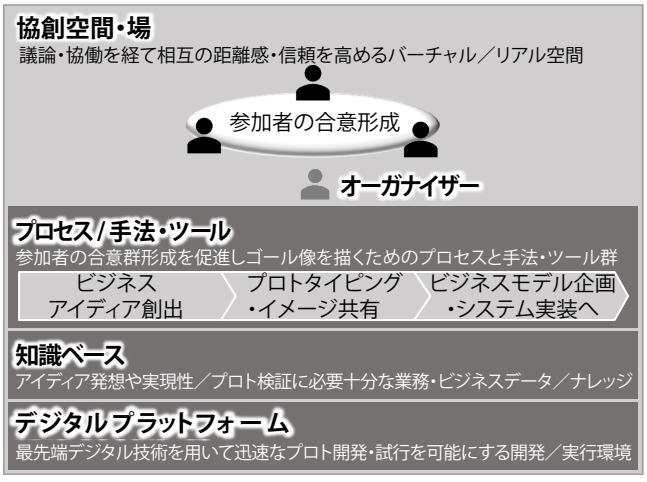
本章では前章に示した顧客協創に必要な要素を体系化した例として日立製作所の Lumada を紹介する.

日立製作所は，鉄道・ビル・電力プラントをはじめとする社会インフラの OT システム，および公共・金融・産業向け IT システムなどの広範なソリューションを提供してきた．このような知見を蓄積・活用し協創を通してデータから価値を創出する仕組みとして Lumada に取り組んでいる .

ここで蓄積されるソリューションやノウハウは再利用可能な単位に分解されており，顧客協創方法論 NEXPERIENCE により顧客課題と日立のソリューションが紐づけられ，デジタルプラットフォーム上でそれらを再構成する．これらにより，過去のノウハウを活用しつつ，顧客の新しいニーズに対応した新しいビジネスの迅速な立ち上げが可能である.

顧客協創方法論 NEXPERIENCE

NEXPERIENCE は，顧客が抱えるビジネス課題を浮き彫りにし，解決に導くビジネスモデルを描くことを目的としたデザイン思考ベースの顧客協創方法論である．お客さまやパートナーといったステークホルダーのさまざまな知見を多角的に見える化し，協創を円滑に行うためのプロセス，手法・ツール，空間を体系化している．NEXPERIENCE の手法・ツールは，①事業を取り巻く環境から課題を発見する事業機会発見，②お客さまの経営や現場における課題分析，③課題を解決するサービスアイディア創生，④アイディアを実現するビジネスモデル設計，⑤事業性評価，そして，⑥アイディアの効果をビジュアルに見える化する事業価値シミュレーションの各手法から成り，日本国内のほかグローバル各極で実践している（図 -3）.



■図 -2　価値協創 DX に必要な要素

デジタルソリューションの創生と活用を加速する Lumada Solution Hub

NEXPERIENCE で得たアイディアをもとに，これまでの多岐にわたる事業領域で長年培ったソリューションと 1,000 件を超えるユースケースからなる業種・業務ノウハウを活用して新たなソリューションを創生する仕組みとして Lumada Solution Hub がある．Lumada Solution Hub は以下の機能を持つ（図 -4）.

(1) 知識ベースから成功モデルを簡単に検索できる機能

ソリューションを利用可能な単位のカタログアイテムに分解してソリューションカタログに登録し，

PoC：Proof of Concept

■図 -3　NEXPERIENCE の構成

© 2020 Information Processing Society of Japan

利用者が業種や課題，解決策の観点で検索可能にする．カタログアイテムには，実行可能なプログラムコードと環境設定情報等をパッケージ化し，必要なときにクラウドなどの実行環境にデプロイすることで迅速に環境を構築できるようにする．これにより，ソリューションに必要な部品の検索，それらを再構成した新たなソリューションの創出，創出したソリューションの再登録という創生サイクルを実現する．

(2) アイディアを簡単に検証できる機能

前出の NEXPERIENCE により導出した顧客課題の解決のため，(1) で得られたソリューションや部品をつなぎ合わせる仕組みを提供する．実績あるソリューションを業務プロセスが異なる他の適用先に流用するため，ソリューションや部品，組合せのノウハウを分解してブロックのように自在につなぎ合わせたり組み換えたりして再利用できるようにする．たとえば，データ収集や分析の方法が異なる場合には，それらに対応するソフトウェア部品のみを組み替えられるようにし，ニーズを満たすシステムを手早く構成し効果を検証できる．

(3) 検証したソリューションの本稼働を支援するサービス運用機能

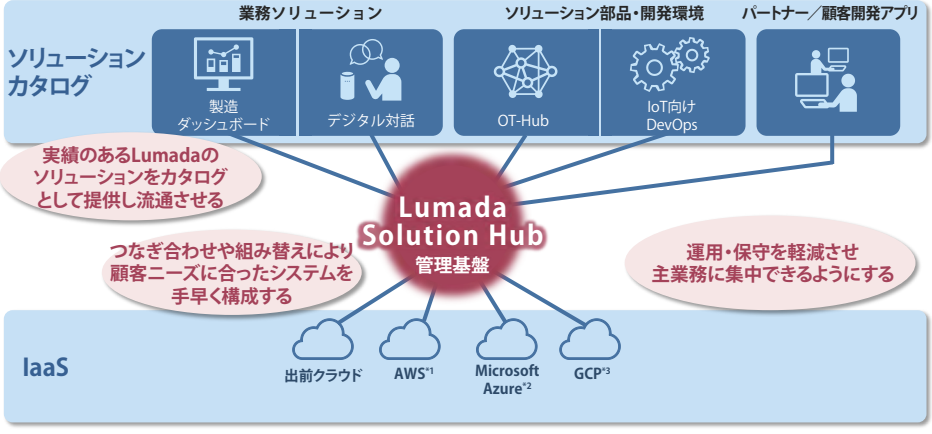
マネージドサービスや業務支援サービスを提供し，運用・保守を軽減させ，主業務に集中できるようにする．IT インフラの運用保守について Lumada Solution Hub のサービスとして共通のツールや手順を提供することで，それぞれのサービスの運営者が個別に実施する負荷を軽減する．

Lumada のプラットフォーム

Lumada Solution Hub で実現されるような多様なアセットを活用したソリューション構築のためには，既存の OT/IT システムと AI や IoT を応用した新しいシステムとの連携が必要である．既存のシステムと新しいシステムでは，採用しているハードウェアもソフトウェアも技術的に大きく異なる．これらの異なる文化を橋渡しすることが，Lumada のプラットフォームの重要な役割である．Lumada のプラットフォームでは，データからの価値創出に必要な機能コンポーネントを，Edge，Core，Data Management，Analytics，Studio，Foundry の 6 種に分類している（図 -5）．

迅速なソリューション開発を可能とする Node-RED

ここでは，Lumada のプラットフォームのうち，アイディア検証のためのプラットフォームについて取り上げる．価値協創の取り組みには，IT 分野以外のさまざまな分野の専門家がかかわる．分野



■図 -4 Lumada Solution Hub による課題解決のアプローチ

© 2020 Information Processing Society of Japan

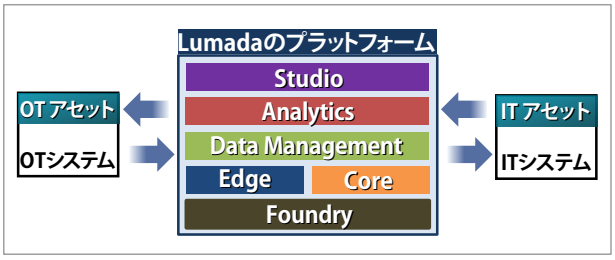
の異なる専門家がアイディアの試行錯誤を行うには，メンバ全員が理解できる共通言語が必要となる．Lumada では，基本的な機能ブロック間の入出力の組合せにより複雑で高度な機能を表現でき，対象システムを人間が理解しやすいアーキテクチャ図を，協創メンバの共通言語とする．

具体的には，開発環境層である Studio に Node-RED を導入し，人間に理解しやすいアーキテクチャ図を，コンピュータで実行可能なアーキテクチャ図としても利用する．Node-RED は，「ノード」と呼ばれる高機能な部品をビルディングブロックとして画面上で組み合わせるだけでアプリケーションを作成できるプログラム開発環境である．

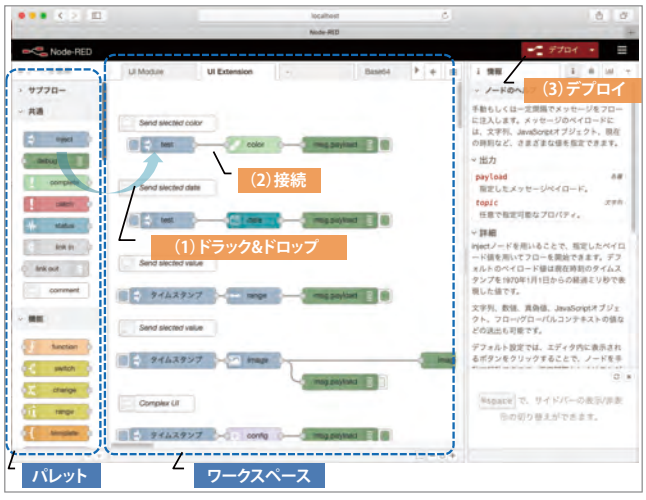
従来のプログラム開発では，専門のプログラマがプログラミング言語を駆使してプログラムを作成する必要があった．Node-RED では図形を組み合わせることにより，IT 分野の専門家でなくても容易にプログラムを作成でき，実績のあるソリューションを活用したアイディアの具現化と価値検証を繰り返すことで価値協創を実現する（図 -6）．

今後の展望

SDGs（Sustainable Development Goals）に示されているようなさまざまな社会課題の解決が求められる Society 5.0 時代には，企業単独でのシステム開発から，多様な企業や組織が持ち寄った知恵を組み合わせることによる新しい解決策の創出へと考え方を変える必要がある．本稿で示したように，Lumada は他社のプラットフォーム上のソリューションとも連携した System of Systems による価値創造を指向している．デジタル技術がこのような多様な主体の連携を加速させ，人々の生活をより良い方向へ変革させる真の DX を実現していくと考えている．



■図 -5　Lumada のプラットフォーム



■図 -6　Node-RED の開発環境

参考文献
1) https://www.accenture.com/jp-ja/about/ventures-index
2) https://www.sapjp.com/blog/archives/18449
3) https://www.hitachi.co.jp/products/it/lumada/about/index.html
4) Digital Solutions for a Better Future Society, 日 立 評 論, Vol.102, No.3 (2020), https://www.hitachihyoron.com/jp/archive/2020s/2020/03/index.html

（2020 年 8 月 12 日受付）

■**馬場貴成（正会員）**　takashige.baba.hh@hitachi.com
（株）日立製作所研究開発グループデジタルテクノロジーイノベーションセンタ 部長．データマネジメント研究に従事．本会専門委員．

■**長岡晴子**　haruko.nagaoka.yk@hitachi.com
（株）日立製作所研究開発グループ東京社会イノベーション協創センタ主任研究員．サービス工学，ビジネスモデル研究に従事．サービス学会，システム・ダイナミックス学会各会員．

■**小川秀人（正会員）**　hideto.ogawa.cp@hitachi.com
（株）日立製作所研究開発グループシステムイノベーションセンタ主管研究員．ソフトウェア工学研究に従事．本会ソフトウェア工学研究会幹事，電子情報通信学会，ソフトウェア科学会各会員．

© 2020 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［DX（デジタルトランスフォーメーション）：第4部　デジタルプラットフォーム］

12 クラウドコンピューティングの役割

応用 専門 一般

岡嵜　禎 | アマゾン ウェブ サービスジャパン（株）

DX におけるクラウドの役割

DX の本質とは，デジタル技術を活用し新しいビジネスモデル・プロセスを生み出すことである．しかし，新しいビジネスモデル・プロセスを生み出すことが簡単にできるのであれば苦労はない．クラウドサービスを提供する AWS（Amazon Web Services）の CEO である，Andy Jassy（アンディ・ジャシー）は，“発明には，**たくさん実験できること**と，**実験が失敗したときの影響が少ないこと**”の必要性を述べているように，いかに試行錯誤をしながら新しいアイディアにチャレンジし，その中から成功するビジネスモデルを見つけ，迅速に磨きあげることが重要となる．クラウドサービスをうまく活用することで，**1. 迅速に実験を行うことができる**，**2. 先進的な機能を誰もが利用可能になる**，**3. 最も重要なことにフォーカスすることができる**，**4. アイディアを素早くスケールすること**が可能となる．これらの4つの能力を身につけることで，デジタルトランスフォーメーションを加速する支えになるのかを解説する．

迅速に実験を行うことができる

クラウドサービスがもたらした最大の価値の 1 つは，必要な IT 基盤を自前で構築することから，必要なときに必要なだけ利用できるシェアリング（共有）モデルに変えたことである．初期費用なし，従量課金で，大企業で利用されるような IT 基盤を誰もが利用可能となった．先にも述べたように，新しいビジネスモデル・プロセスを思いついたとしても，それが必ずしも上手くいくとは限らない．むしろ失敗することの方が多いかもしれない．クラウドサービスを活用すれば，新しいビジネスを開始するのに必要な IT リソースに，数千万，数億といった初期投資をすることなく，ビジネスを開始することができる．上手くいけば，そのビジネスの成長とともに，IT リソースも一緒に拡張できる．このメリットは，新しいチャレンジを行う上では大きい．スタートアップが 2000 年前半から多く出現するようになったのも，クラウドサービスの誕生が大きく関係している．最初に必要な投資コストが減り，大企業が持つような堅牢な IT サービスを誰もが活用できるようになったことで，数多くのスタートアップがさまざまなチャレンジを迅速に行うことが可能となった．実際に，多くのスタートアップ企業は，採用する IT はクラウド技術をベースに自分たちのサービスを構築している．

クラウドサービスの重要なポイントは，ビジネスの需要に対して，必要なリソースを調整でき，上手くいかないと思えば利用をやめることができる点である．IT 資産を自分たちで保持していれば，このような意思決定を迅速に行うことは難しい．投資してしまった分を回収したい，もしくは 5 年のハードウェアの償却期間が終わるまではサービスを継続したいといった考えも珍しくない．しかし，このような考え方は迅速なビジネスの意思決定を行うための制約になる．クラウドサービスの活用により，このような制約から解放され，迅速な意思決定を行えるようになる．DX を推進する上で必要な能力の 1 つになると考える．

先進的な機能を誰もが利用可能になる

DX を推進する上で，最新の IT（IoT，ML（機械学習）/AI，Blockchain，AR/VR，Robotics など）を誰もが自分たちのビジネスに迅速に・簡単に取り込めるようにすることが重要となる．DX の本質は，企業のビジネスイノベーションを加速することであるが，現在の世の中において，これらの IT の活用なくして新しいイノベーションを考えるのは難しいだろう．今まではインターネットサービス等の業

© 2020 Information Processing Society of Japan

界などがITの活用が特に重要だったが，現在は，その流れがすべての業界にきているのも，DXを考える上で重要な点であろう．

企業として，これらの最先端の技術を簡単に・スピーディに自分たちのビジネスに取り込めるようにできるかは企業の競争力に大きな違いをもたらす．多くの先進的なクラウドサービスでは，これらの最先端のサービスが利用可能になっており，また日々進化をとげている．たとえば，企業が自分たちのアプリケーションをクラウドサービス上で稼働させていれば，クラウドサービスの機能進化・強化を迅速に活用していくことが可能となる．AWSであれば，画像認識，音声活用，文字認識，不正検知，パーソナライゼーション・レコメンテーション等のAI/MLのサービスが提供されている．クラウドサービス側で新しい機能が日々機能追加されていくので，ユーザは自分たちが必要なものを組み合わせることにより，迅速に新しい技術を自分たちのビジネス・アプリケーションに活用することが可能である．

先進的なサービスを，試行錯誤しながら活用できることも大事な点である．クラウドサービスを利用すれば，AI/MLなどの新しい技術を利用するために，新しい基盤などを投資して構築する必要性はない．初期費用なし・従量課金で新しい技術の活用も開始することができる．オンプレミスなどの従来のやり方であれば，新技術を利用するのにも，必要なハードウェア，ミドルウェアを調達し，基盤として構築する必要性があった．必ずしもその技術がビジネスに役に立つか確信を持っていない状態で大きな投資を意思決定しないといけないケースもある．その結果，いつの間にか目的と手段が逆転してしまい，その技術を利用することを前提にビジネスを進めないといけないという制約になるケースも珍しくなかった．クラウドであれば，新技術の活用も試行錯誤しながら進めることができる．たとえば，アプリケーションに音声活用を行うAI/ML技術を活用して，ユーザの顧客体験向上を行うチャレンジを考える．もちろん上手くいけば，活用を加速すればよい，ただし，思うような結果が出ない可能性もある．その場合は，音声活用のAI/ML技術の活用にこだわらず，新しいアプローチを考えるといった柔軟な思考を行うことが可能となる．

新しい技術を簡易に扱えるような仕組みを提供することも重要である．AI/MLを活用する場合には，スキルの高いデータサイエンティスト，機械学習のエンジニアが企業にいた方がよいのは間違いない．一方で，“デジタルトランスフォーメーションの40%はAI/MLが活用される”というデータもあるように，多くのビジネス・アプリケーション領域に対して可能性があると考えられる．その要望に対応すべく，エキスパートだけでなく，通常のアプリケーションエンジニアでもAI/ML機能を活用できるような仕組みが，クラウドサービス上で提供されている．たとえば，AWSではAmazonで20年以上培った機械学習のノウハウを活用できるAPIサービスを提供しており，機械学習のエキスパートでなくても，画像認識，音声活用，パーソナライゼーションといった機械学習をアプリケーションに組み込むための仕組みを提供している．クラウドサービスがさまざまな先進的なITをより簡易に利用できるような仕組みを提供しているので，新技術の活用という観点でもアドバンテージを得ることが可能である．

最も重要なことにフォーカスすることができる

新しいビジネスプロセス・モデル，アプリケーションを生み出すことができるかが，DXを実現する上では最も重要な点である．その実現に対して，企業の貴重な人的リソースを集中させることが重要である．クラウドサービスを利用することにより，今までは自分たちで行っていた，DCのオペレーション，サーバの設置・構築，NWの管理，セキュリティ管理といった部分の多くはクラウド側に任せることが可能となる．AWSでは，“Undifferentiated Heavy Lifting，価値のない重労働の解放”と呼んでいる．多くのお客様にとって，それらの作業はビジネス的な付加価値には繋がりにくい．であれば，それらの作業をクラウドサービスに任せることによって，企業にとって，貴重な人的リソースを自分たちのビジネスの差別化を生む部分に集中させることが可能となる．たとえば，Globalでオンデマンド型のビデオ配信サービスを手掛けるNetflixもAWSを全面的に活用して，

© 2020 Information Processing Society of Japan

ビジネスを展開している一社である．Netflix は IT のインフラの部分は AWS を活用することにより，その構築・運用にかかわる人的コストを最小化し，リソースをビジネスモデルの検討やアプリケーションの機能強化に集中することにより，短期間でグローバル有数のオンラインビデオ配信サービスになることを実現している．

日本国内では「2025 年の崖」でも課題として挙げられているように，必要な IT 人材の不足が問題視されている．企業によっては，人材が不足しているのではなく，既存の IT 人材が現行の IT の管理・運用に多くの時間を費やしており，新しい領域に人的リソースを回すことが難しいという話も少なくない．できるだけ自社の貴重な IT 人材を有効活用するためにも，クラウドサービスの活用を積極的に推進していくことは有益であると考える．

ここ最近では，さらにユーザが自分たちのビジネスによりフォーカスできるように，クラウドネイティブアーキテクチャ，サーバレスアーキテクチャという考え方が，システム構築のトレンドとなってきている．クラウドサービスが多くの部分をカバーするアーキテクチャの考え方である．たとえば，プログラムであれば，お客様はプログラムを書く部分に集中すればよい，DB であれば DB の設計を考える部分にフォーカスをする，AI/ML であればどのように活用するという部分に開発者はフォーカスできる．ミドルウェアの導入，パッチ管理，バックアップ管理，拡張設計といった IT 基盤設計・構築・運用の部分はクラウドサービス側に任せ，ビジネスプロセス，アプリケーションといった，差別化したい部分にフォーカスできる（図 -1）．このアーキテクチャを採用することにより，ユーザはビジネスアプリケーションを今までよりも短期間，低コストで構築，運用が可能となり，従来の開発手法と比較して，50% 以上，開発スピード，運用コストを削減できた事例も少なくない．DX を推進する上で，ビジネスアイディアをスピーディに低コストで実現できれば競争力の向上につながる．クラウドサービスをさらに使いこなし，クラウドネイティブのアーキテクチャで，より早くビジネスアイディアを実現していくことが可能になれば，より高い競争力を持つことができると考える．

■図 -1　サーバレスアーキテクチャ活用のメリット

アイディアを素早くスケールすることができる

試行錯誤のすえ，可能性のあるアイディアを見出すことができれば，そのアイディアをいかに早くスケールさせるかが重要である．1）ビジネス規模の増加に迅速に対応，2）グローバルにビジネスをスケール，3）パートナーエコシステムの 3 つの観点で，クラウドサービスの活用は DX の加速に有効である．

1）ビジネス規模の増加に迅速に対応．ユーザ数の増加，デバイス数のデータ数など，ビジネスの規模が増えたとしても，クラウドサービスであれば即時に拡張し，ビジネスの拡張に対応していくことが可能である．たとえば，コネクテッドカー等の IoT のシナリオで考えてみる．最初は数台～数百台で，まずは考えているビジネスアイディアが上手く稼働するかを試してみることも多いだろう．ただし，上手くいくとなれば，数万台～数千万台という規模でシステムが迅速にスケールし，ビジネスニーズに迅速に対応できなければ，

© 2020 Information Processing Society of Japan

ビジネス機会を失うことになる．クラウドサービスは元々，ビジネスをスケールすることが前提に設計されているため，このような要件に適している．また，アーキテクチャを小規模なものと大規模なものでも，拡張性を考慮されていれば，同じ仕組みで対応可能である．従来までであれば，数千万人，数千万台の規模にスケールするシステムを組む場合，そのインフラ設計・構築にかかる時間・リソースはかなりの規模になるケースも多かったであろう．しかし，クラウドサービスを活用すれば，スケーラブルなシステムを誰もが構築・展開可能な力を手にいれることができる．スタートアップが世界に通用するようなサービスを生み出し，迅速にビジネスを展開できるのも，クラウドサービスなしでは難しかったであろう．

2) グローバルにビジネスをスケール．日本の人口は減少しており，少子・高齢化という社会的課題を抱えている．多くの企業が，今後のビジネスの成長を考えれば，グローバルを意識しながら，ビジネスをスケールさせていくことは必然の流れである．クラウドサービスを活用することにより，米国，欧州，アジアと全世界に迅速にビジネスをスケールすることが可能となる．たとえば，AWS では，24 以上の地域にリージョンという拠点があり，Web ブラウザや API で迅速にサービスを展開することが可能となっている．同じクオリティ，セキュリティレベル，信頼性でグローバルに展開可能である．国内であれば，まだコントロールがきくかもしれないが，海外になればその地域の業者と個別に交渉をしていく必要性があるかもしれない．そのような負荷からも解放されるため，よりビジネス展開のスピードを上げることが可能となる．

3) 新しいビジネスを展開していく上で，さまざまなパートナーとの連携が，今後の企業の競争力を実現していく上での 1 つの重要な鍵となっていく．“協創”というキーワードを掲げる企業が増えている．たとえば，多くの大手企業はスタートアップや大学機関との連携による，新しいビジネスモデルを生み出そうとしている．このような異なる企業間連携も，クラウド上で行うことで加速することが可能である．

クラウドを活用する人材・組織の必要性

DX を加速するために，クラウドを活用することで，DX を加速させる自社の能力を強化できることを理解していただけただろうか．実際に，DX が上手く推進できている企業が本番系システムでクラウドを活用している割合は 9 割を超えており，DX を実現する企業でのクラウド活用は“New Normal”になってきている．その流れは今後も加速していくであろう．

しかし，DX を実現する上でクラウドも手段の 1 つである．実際に推進を行うためには，人材・組織もあわせて強化をしていく必要がある．“社長をはじめ，経営層の意識改革”，“最新技術を活用できる Builder（ビルダー）の育成”，の 2 つが重要となる．DX の本質は，クラウドをはじめ最新技術を活用することにより，ビジネスプロセス・モデルを変革することである．IT の活用が，今までのような業務システムとよばれるバックオフィス領域への活用だけでなく，ビジネスそのものに直結するサービス・システム，車であればコネクテッド・カー，MaaS，自動運転や，工場・生産ラインの改革にも必要不可欠となってきている．これらの活動は企業の今後を大きく左右するもので，全社で取り組むべきテーマである．“IT のことは，自分たちはよく分からない”と社長・経営陣が言っているようでは，変化のスピードについていけなくなる可能性が高い．AWS の年間の最大のテックカンファレンスでは，ゴールドマン・サックス，Verizon といった企業の CEO 自らが，自社のデジタルトランスフォーメーション戦略，クラウド技術の活用を語っている．米国では社長や経営層を選ぶ場合は，ある一定の IT リテラシーを備えていることが条件となってきている．日本でも同様のことが今後求められてくるであろう．DX を推進する上では，推進を行うための人材の育成や獲得，組織変革なども同時に行っていくことが求められる．つまり，社長・経営陣自らが，IT の可能性を理解し，自分たちがそれらを活用して今後どのようなビジネスを展開・変革を推進していく Vision を語り，リーダシップをとっていくことが求めら

© 2020 Information Processing Society of Japan

れている.

一方で，DX を支える開発者，エンジニアの存在も必要不可欠である．求められる重要な資質としては，新しい道を切り開いていくマインドセットを持つことを最初に挙げる．技術に強いが言われたものを作るのではなく，ビジネスを作り出す，もしくはビジネスサイドと連携しながら，新しいサービス，アプリケーションを自らリードをして作り出すというマインドセットを保持していることが何より重要である．開発手法としては，アジャイル開発，DevOps を活用できる能力が必要となるだろう．思いついたアイディア・ビジネスが必ずしも成功するかは分からない．実現したいアイディアをスピーディに具現化をし，そしてお客様からのフィードバックをベースに継続進化していくことが，成功に近づく一歩となる．クラウドと，アジャイル開発・DevOps を組み合わせながら，ビジネス要件に柔軟に対応していくことができれば，DX を推進していく上で強力な武器になる．新しい技術を活用できる，目利きできる力も必要となる．OSS（オープンソースソフトウェア）に関する知識・経験も強化していくのが望ましい．適材適所で必要な技術を活用するべきだが，特にクラウド技術と OSS 技術は相性が良いため，今後より活用が進むと考える．DX は，新規の取り組みになるケースも多いため，既存の利用技術が制約になることも少なく，OSS を中心に取り組みやすいだろう．

では，DX を推進する上で，内製化の取り組み，自社でこのようなエンジニアを抱えることは必須だろうか．筆者の回答としては，できればその方が望ましいが，必須ではないと考える．大切なのは，“技術の目利きが自分たちでできること”と，“同じ仲間として一体感を持って DX を推進できること”の 2 点が満たせれば，必ずしも内製化を推進する必要性はないと考える．確かに，Amazon もデジタルネイティブカンパニー（デジタル技術の活用が当たり前となっている会社）であり，多くのエンジニアを自社に抱えて，日々新しいビジネスを生み出している．ただし，多くの，特に今後 DX を推進していく必要性のある日本の企業にとって，同じような体制をすぐに整備できるところは限られているだろう．また，日本には非常に素晴らしい SI（システム・インテグレータ）の存在がある．1 つのモデルとしては，ビジネスに必要な目利き力のために，アーキテクトなどは自社で揃えながら，足りないリソースは SI を含めパートナーと協調するモデルは，多くの企業にとって現実的な選択肢になるだろう．大手 SI も DX 推進のために，一括請負モデルから，お客様と一緒にアジャイル開発・DevOps を推進する施策を推進している．このモデルの課題は，ビジネス創出・成長のために一体感を出せるかが鍵となるであろう．一体感を出すためにも，実際にビジネスを推進する主体であるユーザ側でも，技術を理解し，進むべき方針をタイムリに出していくことが求められている．

すでに変化は始まっている

大きくクラウドを活用した DX の取り組みはすでに始まっている．たとえば，ソニー（株）も DX を推進している代表的な会社の 1 社であろう．2018 年 1 月 11 日に発表された，エンタテインメントロボットの新型「aibo」もその 1 つである．この犬の形をしたロボットには，さまざまなセンサがついており，さまざまな「aibo」の行動やセンサデータをクラウド上に収集・分析することにより，「aibo」が日々進化をしていくことが可能である（図 -2）．実際には，クラウド上ではその進化のためにさまざまな分析や，開発が行われている．少ないリソースでやりたいことを実現するためには，クラウドの利用，サーバレスアーキテクチャなどを活用したクラウドネイティブな開発は，ビジネススピードの貢献に役立っている．ソニーは，2020 年 CES（Computer Electronics Show）で，VISON-S という新しい EV（電気自動車）Platform を発表した．この仕組みの特徴の 1 つは，IoT デバイスという観点では，「aibo」と同じで，クラウドと接続し，ソフトウェアでさまざまな処理を行うようになっている．「aibo」との違いは，安全性が要求されるため，エッジコンピューティングのテクノロジーを活用して，サーバサイドと車両側の処理を組み合わせている点であろう．いずれにせよ，IT の活用，ソフトウェアの開発がプロダクトの大きなウェイトを占めているのが特徴である．

海外では，フォルクスワーゲンが取り組む DPP（デジタルプロダクションプラットフォーム）の取り組みが進んでい

© 2020 Information Processing Society of Japan

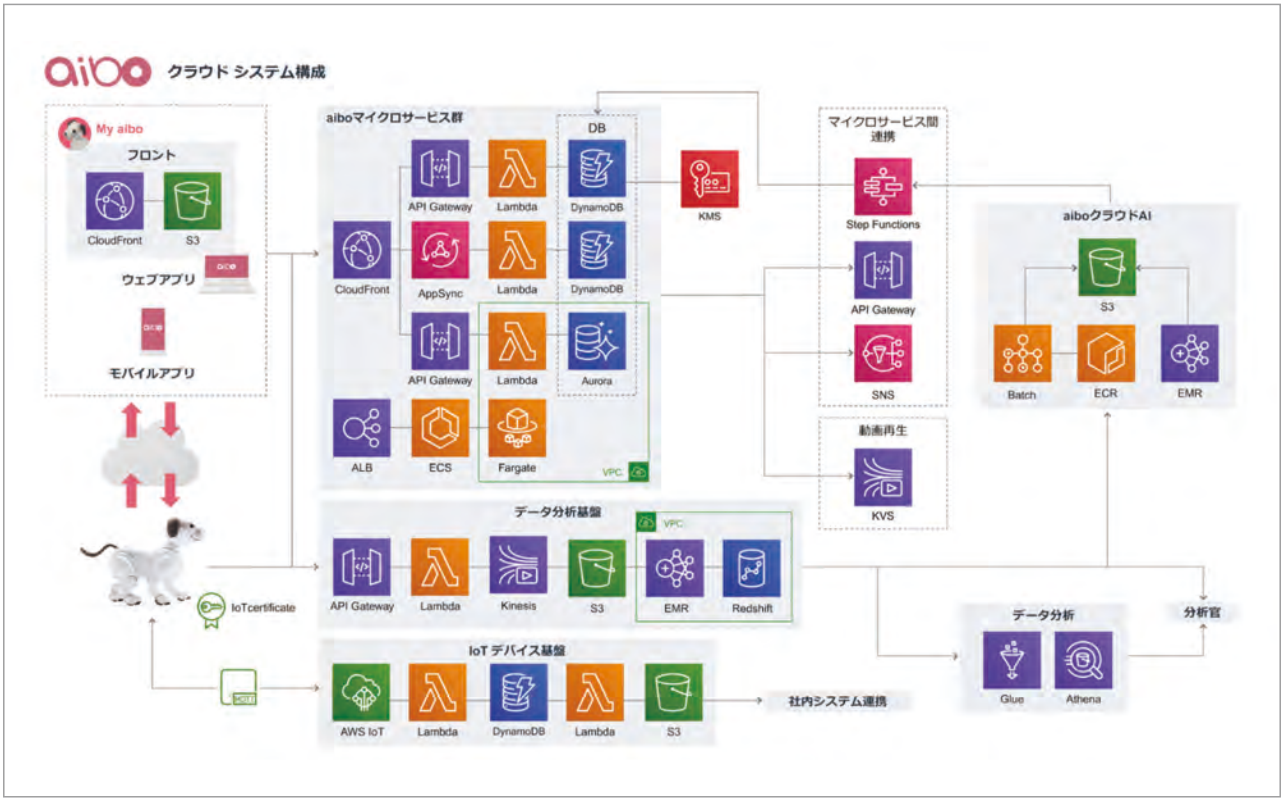
る．このシステムは 122 カ所ある同社の製造工場からリアルタイムでデータを収集，組み立て機械の全体的な効率の管理，部品や車両の追跡をグローバルで行う仕組みを AWS 上に構築する取り組みである．将来的には，この仕組みを介して，同社のグローバルなサプライチェーンに属する 3 万以上の施設，1,500 以上のパートナーとも接続し，2025 年までに，製造コストを 30% 以上最適化することを目標としている．まさしくクラウドの特徴が活かされている取り組みである．その他にも特徴的な点は 2 点ある．1 つは取り組みのスケールである．スマートフォクトリー，インダストリー 4.0 に関する取り組みはここ数年話題となっているが，まだまだ部分最適に閉じているケースが多い．同社の取り組みでは，CEO のリーダシップのもと全社的な変革として推進されている．2 つ目は，自社の IT の組織文化・取り組みを大きく変えようとしている点である．具体的には，クラウドや最新の技術を活用するだけでなく，Amazon と同じようなイノベーション文化・開発手法を自社に取り組み，DX の推進能力を自社で保持しようとしている点である．

この 2 つの事例はあくまでも一例であり，さまざまな企業が，今後の企業の生き残りをかけて，DX を今まさに推進をしている．この変化はすべての方にとって大きなチャンスである．また，今後の不確定な世の中においては，より変化に柔軟に対応する能力を身につけていく必要がある．このチャンス・変化を楽しむための，ヒント・きっかけが，少しでも提供できていれば幸いである．

（2020 年 8 月 31 日受付）

■岡嵜　禎　okazakit@amazon.co.jp

AWS の技術統括責任者として，エンタープライズからスタートアップの技術部隊をリード．技術だけでなく，経営的な視点で，クラウドや最新技術を適用していくための活動も推進している．



■図 -2　aibo のクラウドシステム構成
出典：https://aws.amazon.com/jp/solutions/case-studies/sony/

© 2020 Information Processing Society of Japan

【ご案内】会誌「情報処理」の特集記事について

会誌「情報処理」の特集記事は，これまで冊子，オンライン（電子図書館）の両方に掲載しておりましたが，次のとおり**オンラインのみへの掲載**に変わります．

◆**開始月**：**2020 年 11 月号**（発行日：2020 年 10 月 15 日）
◆**閲覧方法**：会員区分によって異なりますので以下をご確認ください．

【個人会員の皆様】

電子図書館（情報学広場：https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/）にログインし，該当記事の pdf をダウンロードしてください．
すでに電子図書館をご利用いただいている方は今までどおりです．
電子図書館を初めて利用される方は，会員としてのユーザ登録が必要になります．
未登録の方には毎月上旬に次の件名のメールを送信しておりますので，到着次第，登録してください．

- 件名：[情報学広場 : 情報処理学会電子図書館] ユーザー登録のご案内
- 差出：ipsj-ixsq@nii.ac.jp

【個人会員】
電子図書館
（情報学広場）

★詳細：電子図書館利用方法（個人用）－利用までの流れ（https://www.ipsj.or.jp/e-library/ixsq.html#anc2）
ご案内メールをお急ぎの方や閲覧方法が分からない方は，会員サービス部門（E-mail: mem@ipsj.or.jp）に会員番号を添えてご連絡ください．

【賛助会員各位・購読員の皆様】

賛助会員・購読員の企業・大学に所属されている方に「情報処理」（冊子）を貸し出しした場合，特集の閲覧方法について照会がございましたら，次の手順をお知らせください．

＜手順＞

(1)「情報処理」の特集ページ（扉または概要ページ）を開く．
(2) 閲覧申込の URL にアクセスする（または QR コードを読み取る）．
(3) 必須事項を入力し送信する．
(4) 次の件名（11 月号の場合）の受信メールに従って，電子図書館から特集の pdf をダウンロードする．

- 件名：情報処理 2020 年 11 月号（Vol.61, No.11）「チケットコード」とご利用方法のご連絡

★注意事項

- 法人アカウントではご利用いただけません．
- 閲覧される方が電子図書館のユーザ ID をお持ちでない場合は，ご自身でユーザ登録する必要があります．

本件に関する問合せ先：一般社団法人情報処理学会　会員サービス部門　E-mail: mem@ipsj.or.jp

https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0104s.html

情報処理学会トランザクションデジタルプラクティス

特集号論文募集

「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」

〔投稿締切〕2020 年 11月 18 日（水）17：00

近年はクラウドサービスの普及に伴って、これまで以上に大規模な情報システムに集中化が進み、システム提供側の運用管理者は負担が増大しております。
そのような中で、インターネット上でサービスを行うソフトウェアの開発に関して、継続的インテグレーション(CI)や継続的デリバリー(CD)を行って作業を自動化・効率化する手法が用いられるようになってきました。また、さらにそのサービスをスケーラブルに運用するためにコンテナ仮想化やそのオーケストレーション技術を用いる情報システムが増加しています。
これらの技術によって運用者の労力が軽減されつつありますが、基盤システムの運用に携わる提供側の負担は今なお高い状況です。

本特集号では、インターネットや情報システムの運用管理を効率化し、利用者だけでなく提供側も快適に運用管理を行うための実践的技術に焦点を当て、これからの情報通信基盤の構築および活用に向けた実証研究、開発、実験、運用等に関するプラクティス論文を掲載します。また、実践の中で問題解決を図っており、他の環境においても有用な知見が述べられた論文を積極的に評価します。以上のことにより、情報システム等に関連する様々な運用技術の発展に寄与することを目指します。具体的には以下のようなトピックを対象としますが、必ずしもこれらに限定するものではありません。

- 運用管理を効率化する技術
- 運用管理者の労力を軽減する技術
- システムの運用管理における人材教育
- その他，快適なシステム運用管理に関連する話題

インターネットや情報システムの運用管理について、設計・開発・運用してこられた技術者・研究者の皆様は、この機会にぜひ、ご自身の経験と知見を論文としてご発表ください。本特集は、情報処理学会 インターネットと運用技術研究会が企画したものです。本特集がインターネットや情報システムの運用管理の発展の一助となれば幸いです。

※投稿要領：Web サイトをご覧ください→ https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0104s.html （応募資格は問いません）
※掲 載 号：2021 年 7 月号（Vol.1 No.4）
※特集エディタ：敷田幹文（高知工科大学）、中村　豊（九州工業大学）
※特集号編集委員：編集委員長：吉野松樹（日立）
副編集委員長：細野　繁（東京工科大学）
編集委員：青木学聡（京都大学）、荒木拓也（日本電気）、西山博泰（日立製作所）、
鎌田真由美（日本マイクロソフト）、飯村結香子（NTT）、石井一夫（久留米大学）、今原修一郎（東芝）、
江谷典子（Peach・Aviation）、大嶋嘉人（NTT）、鬼塚　真（大阪大学）、上條浩一（日本IBM）、
斎藤彰宏（日本IBM）、坂下　秀（アクタスソフトウェア）、佐藤　聡（筑波大学）、佐藤裕一（富士通研究所）、
澤谷由里子（東京工科大学）、澤邉知子（日本大学）、立床雅司（三菱電機）、新田　清（ヤフー）、
浜　直史（日立製作所）、濱崎雅弘（産業技術総合研究所）、平井千秋（日立製作所）、藤瀬哲朗（三菱総研）、
藤原一毅（国立情報学研究所）、横井直明（日立製作所）
アドバイザ：喜連川優（国立情報学研究所・東京大学）
（論文募集公開時点 (2020 年 9 月)）

特集

スポーツテック

編集にあたって

相原伸平 | 国立スポーツ科学センター

スポーツテックとは

グローバルなスポーツ市場は近年，着実に成長を続けており，スポーツ先進国のアメリカでは，スポーツ市場の規模は約 50 兆円程度[1]に達していると言われている．

日本においても，政府が掲げる「日本再興戦略 2016」で，環境・エネルギー，IoT／人工知能と並び，官民戦略プロジェクトの 1 つに「スポーツの成長産業化」が挙げられ，2015 年に 5.5 兆円であったスポーツ市場規模を 2025 年には 15.2 兆円まで拡大する方向性が示されている[2]．

このような流れの中，スポーツ産業を後押しするための施策として，スポーツ（Sports）とテクノロジー（Technology）をかけ合わせたスポーツテック（SportsTech）が，注目を集めている．テクノロジー，特に情報技術は，スポーツにおける競技レベルの向上に貢献するばかりでなく，ファンの獲得やファンのコア化においても有用であり，スポーツ産業の成長には必要不可欠な要素である．

近年は，AI やビッグデータ解析，カメラ，センサ等の技術の発展に伴い，スポーツ分野において，これらの技術が積極的に活かされた事例が数多く報告されている．

たとえば，動画撮影技術の発展により，テニス，野球，サッカー等のスポーツでは，ビデオ判定等が一般的なものになっており[3]，より正確な判定が可能になっている．

また，センサの小型化技術により，動作を阻害することなく，運動中のセンシングが可能となっている．多くのメーカから発売されているウェアラブルセンサ機器では，歩数や心拍数の計測，実施した運動の自動識別などが可能である[4]．アスリートにとって日々の練習は最も重要なものであり，パフォーマンスを正確に把握することにより，適正なトレーニングを行うことができる．

さらに，ビッグデータ解析は，スポーツ分野にも取り入れられている．すでに多くのプレー中のデータが分析されており，スポーツ専門のデータ分析会社も存在する．サッカーやラグビーを中心に，試合中のパスの動線や選手の位置などを可視化するサービスを提供している[5]．

これらに限らず，スポーツ分野に，情報技術を始めとするテクノロジーを適切に掛け合わせることが

【デジタルプラクティスコーナー】
各記事の概要のみ掲載しております．本文は電子版
https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/44/S1104-index.html をご覧ください．

できれば，スポーツテックは，さらに広がっていくだろう．日本で開催される国際的なスポーツイベントを起爆剤として，スポーツ産業が発展していくように，スポーツテックの波も今後ますます加速していくはずだ．

本特集号の論文について

本特集号は，日本国内におけるスポーツテックに対する注目度の上昇ないしは，スポーツの成長産業化の流れを汲み，スポーツ産業における情報技術活用の実例を示すことで，スポーツテック開発に関心を持つ方々にとって，何らかのヒントとなることを願い，企画された．

本特集号は，招待論文5編，招待論文の著者らによる座談会の記事からなる．また，論文誌トランザクションデジタルプラクティスに本特集の投稿記事2編が掲載されている．

採録した解説論文・招待論文は次のとおりである．

桝井氏らの招待論文「**3D センシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化**」では，富士通・国際体操連盟・日本体操協会が連携して推進する，体操競技における正確かつ公平な採点の実現を目指した取り組みについて報告しており，採点支援システムが国際体操連盟に正式採用されるまでのプラクティスを論じている．

柴田氏らの招待論文「**日本野球市場に練習革命を起こす―センサ内蔵野球ボールを活用した野球指導効率化に向けた取り組みから―**」では，球質を計測可能なセンサ内蔵野球ボールを用いた投球データ解析システムの開発について報告している．また，技術的なプラクティスのみならず，アンケート調査結果から，日本のアマチュア野球市場にデータ活用の文化を広めていく施策案について論述している．

木村氏の招待論文「**バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える**」では，バーチャルリアリティ（VR）を用いて，スポーツパフォーマンスに関する脳機能を評価したり向上させることを目指した取り組みについて報告している．テニスや野球・ソフトボールにおいて，VR が有するリアリティや自由度などの特徴を活かした活用事例やプラクティスを紹介するとともに，VR システムが抱える課題や今後の展望を論述している．

髙橋氏らの招待論文「**単一慣性センサを用いた競**

［特集：スポーツテック］編集にあたって

泳指導サポートシステム」では，初級から中級競泳選手の競技力向上を目指し，単一慣性センサから泳法の判定，泳動作の検出，泳動作の良し悪しの評価を実現する技術の開発と実証について報告している．また，作成したシステムの可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査の結果や，そこから見えてきたトレーニング現場で使用する際の課題について論述している．

桝井氏らの招待論文**「カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究」**では，カーリングの戦術・戦略面を支援することを目的に，開発と実証に取り組んできた技術（デジタルスコアブック，ストーンの実時間位置計測，戦術シミュレーション，戦術推論 AI，他）について報告している．また，現行技術の課題や次のステップへ向けた取り組みについて論述している．

これらの論文に加えて，招待論文の著者らによる座談会の内容を記事の形式で掲載している．本座談会は，新型コロナウイルス感染症対策のため，オンライン会議システムを使用して実施し，スポーツテックの可能性や課題についての議論を行った．

本特集号の論文，座談会記事では，産学さまざまな立場から，非常に貴重な示唆に富む知見を共有いただいた．本特集号において価値あるプラクティスを惜しみなく発表いただいた皆様に，謝意を申し上げたい．

この特集号で共有されたプラクティスが，数多くのスポーツテックの実践へとつながり，さらなる知見の共有へとつながっていくこと，そのサイクルがスポーツの成長産業化の一助となることを願っている．

参考文献

1) 日本貿易振興機構：米国スポーツ市場・産業動向調査，https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2018/36336636325a9892/201803usrp.pdf（2020年7月27日現在）
2) スポーツ庁：新たなスポーツビジネス等の創出に向けた市場動向，https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/houdou/30/05/__icsFiles/afieldfile/2018/05/31/1405699.pdf (2020年7月27日現在)
3) 森　享宏：スポーツ競技の映像技術との関わり，映像情報メディア学会誌，Vol.69, No.4, pp.309-312 (2015).
4) 伊藤浩志：日常生活からスポーツまで！ウェアラブル身体活動センサでわかること，Interface, Vol.42, No.9, pp.20-27 (2016).
5) 国立研究開発法人科学技術振興機構：ビッグデータでスポーツが変わる！，https://sciencewindow.jst.go.jp/articles/2019/05/article033.html（2020年7月27日現在）

(2020年8月7日受付)

■**相原伸平**（**正会員**）shimpei.aihara@jpnsport.go.jp

（独）日本スポーツ振興センター ハイパフォーマンススポーツセンター 国立スポーツ科学センター スポーツ科学部，研究員．早稲田大学大学院先進理工学研究科修士課程修了．（株）日立製作所中央研究所，研究員を経て，2016年より現職．専門はスポーツ工学．競技スポーツを対象としたITシステムの研究・開発に従事．

論文誌 デジタルプラクティス「特集：スポーツテック」はこちらで
ご覧いただけます（電子図書館）
https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_opensearch&index_id=10328

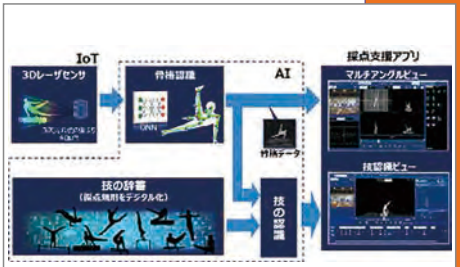
概要

► 続きは電子版でご覧いただけます

1 3D センシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化

桝井昇一・手塚耕一・矢吹彰彦（（株）富士通研究所） **佐々木和雄**（富士通（株））

富士通は，国際体操連盟・日本体操協会との連携により，体操競技における公平な採点の実現を目指して，採点支援システムの開発に取り組んでいる．採点支援システムは，LiDAR 方式の 3D レーザセンサによって取得された 3 次元点群から，Deep Learning と幾何モデルフィッティングにより選手の 3D 骨格座標を求める 3D センシングと，3D 骨格座標の時系列情報から実施技の特定を行う技認識の両技術で構成される．



2 日本野球市場に練習革命を起こす

—センサ内蔵野球ボールを活用した野球指導効率化に向けた取り組みから—

柴田翔平・加瀬悠人・稲毛正也（ミズノ（株））

日本アマチュア野球市場では，アメリカ市場ほどデータ計測・活用の文化が醸成されておらず，非合理的な指導も依然多い．そこで我々は，簡便に球質を計測可能なセンサ内蔵野球ボールを用いた投球データ解析システムを開発した．一般販売によりスピードガンのみの計測文化に新たな選択肢を与えた．しかし，データを分析し指導に活かす等，データ活用の文化構築には至っておらず，今後は新たな分析手法を提案し文化の醸成を目指す．

3 バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える

木村聡貴（日本電信電話（株））

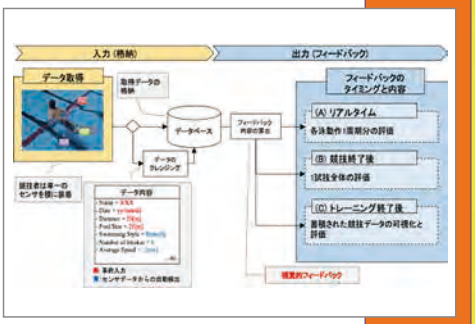
スポーツで高いパフォーマンスを発揮するためには，頑健な身体を備えるだけでなく，適切な状況判断や予測，巧みな運動調節などを実現する脳情報処理機能が不可欠である．筆者の研究グループでは，先進的な情報通信技術を活用して，スポーツパフォーマンスを支える脳機能を解明し向上させる取り組みを進めている．本稿では，テニスや野球・ソフトボール用のバーチャルリアリティシステムを用いた取り組み事例を紹介する．

［特集：スポーツテック］概要

4 単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム

髙橋弘毅（長岡技術科学大学）　大前佑斗（日本大学）　酒井一樹（長岡工業高等専門学校）
秋月拓磨（豊橋技術科学大学）　塩野谷明（長岡技術科学大学）

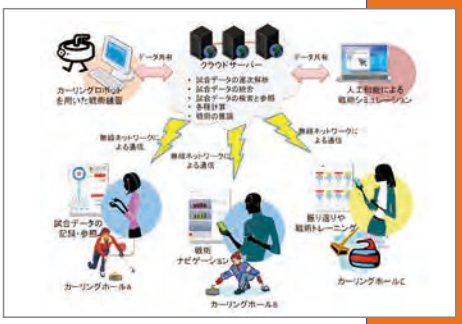
我々は，特に初級から中級競泳選手の競技力向上を目指して，防水の単一小型慣性センサを用いた安価，かつ，手軽に使用可能な競泳指導サポートシステムの開発を進めている．本稿では，競泳指導サポートシステムの構想や必要な手法についてレビューする．また，競泳指導サポートシステムのプロトタイプを作成し，その可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査の結果から見えてきた課題についてもレビューする．



5 カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究

桝井文人（北見工大）　伊藤毅志（電気通信大学）　山本雅人（北海道大学）　河村　隆（信州大学）
竹川佳成（はこだて未来大）　松原　仁（はこだて未来大）

本稿では，カーリング競技の戦術面を支援することを目指す「カーリングを科学する」研究プロジェクトについて，研究活動を開始した背景とこれまで開発と実証を進めてきた技術（デジタルスコアブック，ストーンの実時間位置計測，戦術シミュレーション，戦術推論 AI，ほか）について報告する．本研究では競技者の支援を志向するため，手掛ける技術には利便性や実用性が求められる点が通常の研究とは異なる．



●座談会：スポーツテック

参加者：木村聡貴（日本電信電話（株））　柴田翔平（ミズノ（株））　髙橋弘毅（東京都市大学）
桝井昇一（（株）富士通研究所）　桝井文人（北見工業大学）
司　会：吉野松樹（（株）日立製作所）　相原伸平（国立スポーツ科学センター）

スポーツテックは，スポーツ分野における異分野・異業種の融合により生み出される．その過程には，貴重な示唆に富むプラクティスが数多く存在するが，誌面の制限等で論文に書かれるプラクティスは一部に過ぎない．そこで，本特集号の招待論文を補完するため，スポーツテック開発の経験談，スポーツ分野における IT 利活用の実態，スポーツ分野における異分野連携を議題として，招待論文の著者らによる意見交換を行った．

► 続きは電子版でご覧いただけます

JISA 招待論文

声の権利化と流通を実現する音声合成サービス

―一般人から有名人まで多種多様な声が使える新しいプラットフォーム―

金子祐紀・平林　剛（コエステ（株））

本稿では，一般人から有名人まで多種多様な声を収集・蓄積し，それをさまざまなサービス企業に提供する音声合成プラットフォーム「コエステーション」について，プラットフォームの内容やそれを実現するためのコア技術，具体的な導入事例，今後の展開などを報告する．合成音声の権利に関する法的な見解や不正利用対策の取り組みにも言及する．

会誌「デジタルプラクティスコーナー」が始まりました

論文誌デジタルプラクティスは，2020 年 10 月に生まれ変わりました．
この度，論文誌デジタルプラクティスを改め，新設する論文誌トランザクション デジタルプラクティスと，会誌デジタルプラクティスコーナー，既存の DP レポートを通じて，質の高い論文，速報性の高い論文をより分かりやすく皆様にお届けして参ります．
本号から「会誌デジタルプラクティスコーナー」がスタートいたしました．
会誌「デジタルプラクティスコーナー」は概要を本誌に掲載し，論文本体は電子版として公開いたします．
会誌デジタルプラクティスコーナー（電子版）の購読は無料ですのでみなさまぜひ御覧ください．

2020 年 7 月刊行分まで		2020 年 10 月刊行分以降
論文誌デジタルプラクティス	特集号投稿論文，一般投稿論文，推薦論文［採録審査あり］	論文誌トランザクション デジタルプラクティス［採録審査あり］（電子版） https://www.ipsj.or.jp/dp/
	特集号招待論文（共同編集あり）	会誌デジタルプラクティスコーナー（共同編集なし）． 概要を会誌紙媒体に掲載し，論文本体は電子版として公開
	JISA 招待論文	
	その他招待論文	
DP レポート［採録審査なし］		DP レポート［採録審査なし］（電子版） https://www.ipsj.or.jp/dp/DPreport/index.html

高校生が学ぶアルゴリズム
―情報の教科書から―

山口健二 | お茶の水女子大学

高校生とアルゴリズム

高校の教科「情報」

本稿では，アルゴリズムの基本構造について述べる．筆者は高校の教員でもあるため，高校の教科「情報」の科目についての説明と，主に普通科で使用されている教科書において，アルゴリズムがどのように位置付けられ，どのような説明がされているのかを交えながら解説する．最後に将来のアルゴリズム教育の展望を述べたい．

2020 年現在，高校の教科「情報」は，まず大きく 2 つに分類される．1 つは共通教科情報科，もう 1 つは，専門教科情報科である（表 -1）．前者は主に普通科で，後者は主に専門学科で履修する教科である．今回は前者の共通教科情報科の科目を見ていく．

「社会と情報」と「情報の科学」

共通教科情報科では，「社会と情報」，「情報の科学」の 2 科目が存在し，どちらかを週 2 単位で選択必修することになっている．たとえば，平成 31 (2019) 年度の東京都立高校については，それぞれの教科書の採択数が，「社会と情報」は 156，「情報の科学」は 106 となっており，東京都立高校の 3/5 程度は，「社会と情報」の教科書で学んでいることになる [1]．

「社会と情報」の目標は，情報機器や情報通信ネットワークなどを適切に活用して情報を収集，処理，表現し，コミュニケーション力を養い，情報社会に積極的に参画する態度を育てることである [2]．情報を処理・表現する過程で，2 進法や文字・音・画像のディジタル化は学ぶが，学習指導要領にアルゴリズムの扱いに関して記載がないため，アルゴリズムに関する内容がない教科書が大半である．したがって，アルゴリズムという言葉を知らずに高校を卒業する生徒も一定数存在することになる．

一方，「情報の科学」の目標は，情報と情報技術を問題の発見と解決に効果的に活用するための科学的な考え方を習得させ，情報社会の発展に主体的に寄与する能力と態度を育てることである．こちらは，「社会と情報」のディジタル化の内容に加えて，学習指導要領にアルゴリズムやモデル化とシミュレーションといった記載があり，流れ図（フローチャート）やプログラミング言語を使って，アルゴリズムが説明されている．

表 -1　情報科の科目

共通教科情報科の科目	専門教科情報科の科目	
社会と情報	（基礎的科目）	情報産業と社会
情報の科学		情報の表現と管理
		情報と問題解決
		情報テクノロジー
	（総合的科目）	課題研究
	（システムの設計・管理分野）	アルゴリズムとプログラム
		ネットワークシステム
		データベース
		情報システム実習
	（情報コンテンツの制作・発信分野）	情報メディア
		情報デザイン
		表現メディアの編集と表現
		情報コンテンツ実習

アルゴリズムの基本構造

「情報の科学」の教科書においてアルゴリズムの定義は，「問題を解くための処理手順」[3]，「手順が有限個の処理からなり，各処理にあいまいさがなく，必ず結果を出して終了するときの手順」[4]，「問題を解決するための効率的な手順を整理し，定式化したもの」[5] と説明されている．

アルゴリズムにおける各処理を１つのブロックと考え，このブロックを繋げて手順を可視化したものをフローチャートという．

まず，アルゴリズムの３つの基本構造を，フローチャートを用いて説明する．どのアルゴリズムもこの３つの基本構造の組合せからなる．

順次構造

各処理が直線で繋がっている構造である．上から順番に処理が実行される．図 -1 では，処理１を実行した後に，処理２を実行する．処理は四角形の記号で描かれる．

選択構造

菱形の記号に条件（条件式）があり，条件が真か偽によって処理が分岐する．図 -2 では，条件が真であれば処理１を実行し，偽であれば処理２を実行する．処理後の手順を同じにしたい場合は，どちらかの直線に矢印を付けて，もう１つの直線に合流させる．

反復構造

上の角が切り取られた四角形の記号①と，下の角が切り取られた四角形の記号②との間に処理を挟んだものである．

図 -3 は，①の条件が真である間は，処理を実行し，②まで進んだら①に戻る．また，①の条件が偽であれば，処理は実行せずに②まで飛び，そのまま進む．

教科書で扱う内容

次に，教科書では，どのような題材でアルゴリズムを学んでいるか，いくつか紹介する．

• ２つの整数の合計を求めるアルゴリズム（図 -4）

フローチャートの開始部分と終了部分は，角丸長方形の記号が描かれる．また，上辺が斜めになった四角形の記号①は，キーボード入力といった手入力操作を表す．そして，記号②は，出力装置への表示を表す．a や b，c は変数と呼ばれ，数値や文字を格納する箱と考えてほしい（図 -4A）．

• 偶奇判定アルゴリズム（図 -5）

入力された整数を２で割ったときの余りが０か０でないかで，偶数か奇数かを判定するアルゴリズムである．選択構造の題材としてよく使われる．

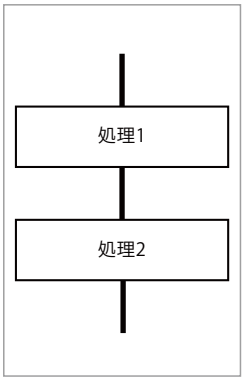


図 -1　順次構造

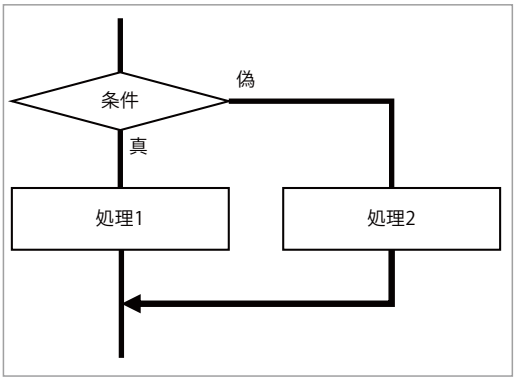


図 -2　選択構造

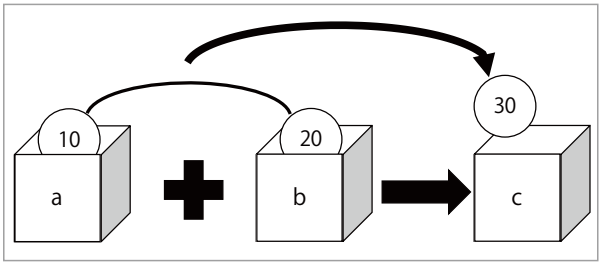


図 -4A
変数のイメージ

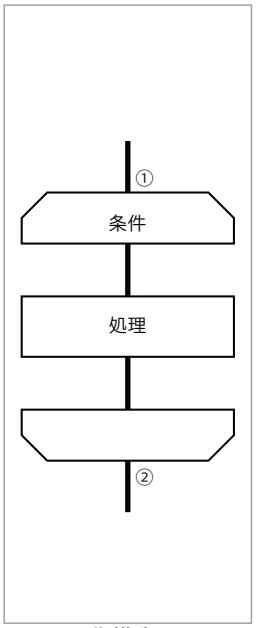


図 -3　反復構造

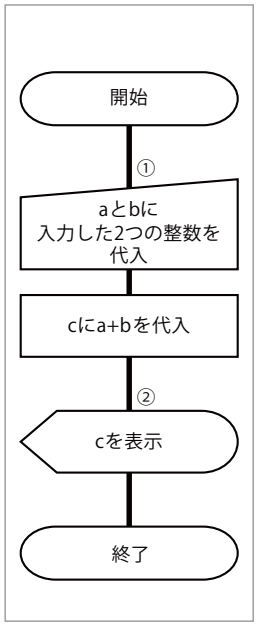


図 -4　２つの整数の合計を求めるアルゴリズム

•1 から n までの和を求めるアルゴリズム（図 -6）

入力した整数 n に対し，1 から n までの和を表示するプログラムである（n が 0 以下の場合は 0 を表示）．ここで面白いのは，1 から n を足す順番によって，処理を 1 つ少なくできることである．条件を i<=n として，1, 2, …, n の順番で足す方法（図 -6 の左）と，条件を n>0 として，n, n-1, …, 1 の順番で足す方法（図 -6 の右）とでは，後者の方が，i を定義しない分，フローチャートが短いことが分かる．

また，i に i+1 を代入といった，プログラミング独特の処理も登場し，生徒によっては興味を惹かれるかもしれない．

•交換法（バブルソート）のアルゴリズム（図 -7）

複数の数値を昇順（小さい数から大きい数の順にする）や降順（大きい数から小さい数の順にする）に並べ替える．フローチャートに従って，4 つの数値 34, 92, 11, 75 を昇順に並べ替えた場合の実行の様子を表 -2 に示す．表 -2 の行が下がる(アルゴリズムが進む)に従い，大きい数（たとえば 92）が右方向に移動していることが分かる．このように数値が右方向に移動することを泡が水面に浮かび上がることに例えて，バブルソートと名付けられている．

また，扱う数の個数が増えるため，変数ではなく配列（a[ ]）を使用している．配列は，変数の箱が順番に並んでいて，中に数値や文字が書かれている球が入っている様子をイメージするとよい（図 -7A）．

表 -2 の赤字の部分は，図 -7 の選択構造の条件式の部分（a[j] ＞ a[j+1]）で比較対象となっている数値である．最初は，a[1] ＞ a[2] が条件式となる．a[1] の中の数値は 34 で，a[2] の中の数値は 92 のため，条件式は偽となる．よって，a[1] の中の数値と a[2] の中

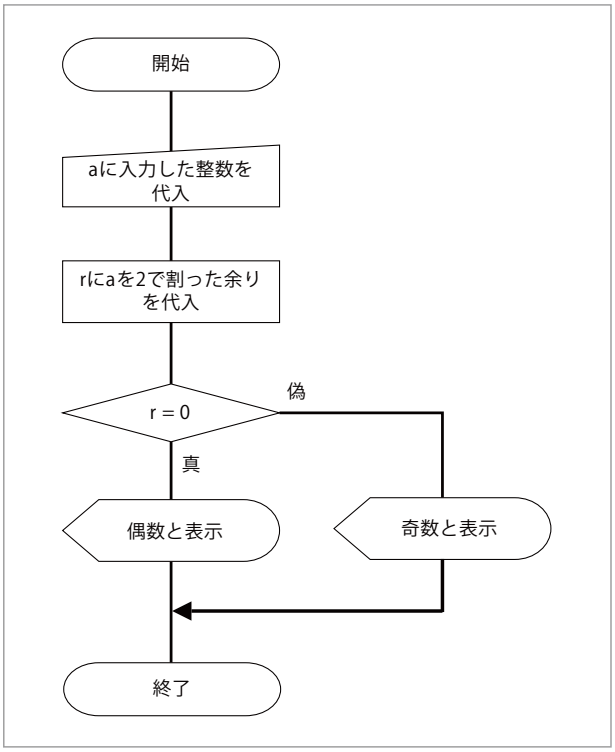


図 -5　偶奇判定アルゴリズム

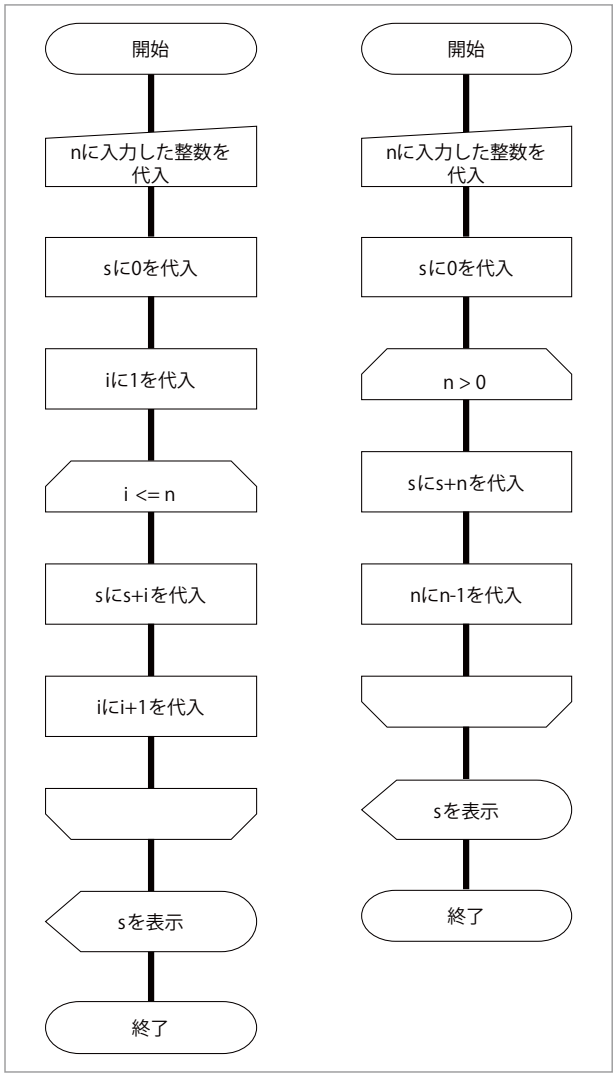


図 -6　1 から n までの和を求めるアルゴリズム

の数値の入れ替えはしない．次に，a[2] ＞ a[3] が条件式となる．a[2] の中の数値は 92 で，a[3] の中の数値は 11 のため，条件式は真となる．よって，a[2] の中の数値と a[3] の中の数値の入れ替えをする．入れ替えの際には，temp という変数を用いる．temp に a[2] の中の数値を代入した後，a[2] に a[3] の中の数値を代入する．そして，a[3] に temp の中の数値を代入する．コンピュータは，変数や配列に入っている数値を入れ替える際，このように一時的に使用する変数を用意する必要がある．これは，オレンジジュースが入ったコップの中身と，リンゴジュースが入ったコップの中身を入れ替えるとき，もう 1 つコップがないと入れ替えられないことをイメージするとよいだろう．

ソーティングのアルゴリズムまで来ると，かなりフローチャートが長くなるので，教科書によっては，図 -7 の右のようにして，反復構造の条件を表記することもある．

また，これ以外にも，逐次探索や二分探索，エラトステネスのふるいをはじめとした素数を求めるアルゴリズムなども掲載している教科書もある．どのような内容や題材が扱われているのかを表 -3 にまとめた．

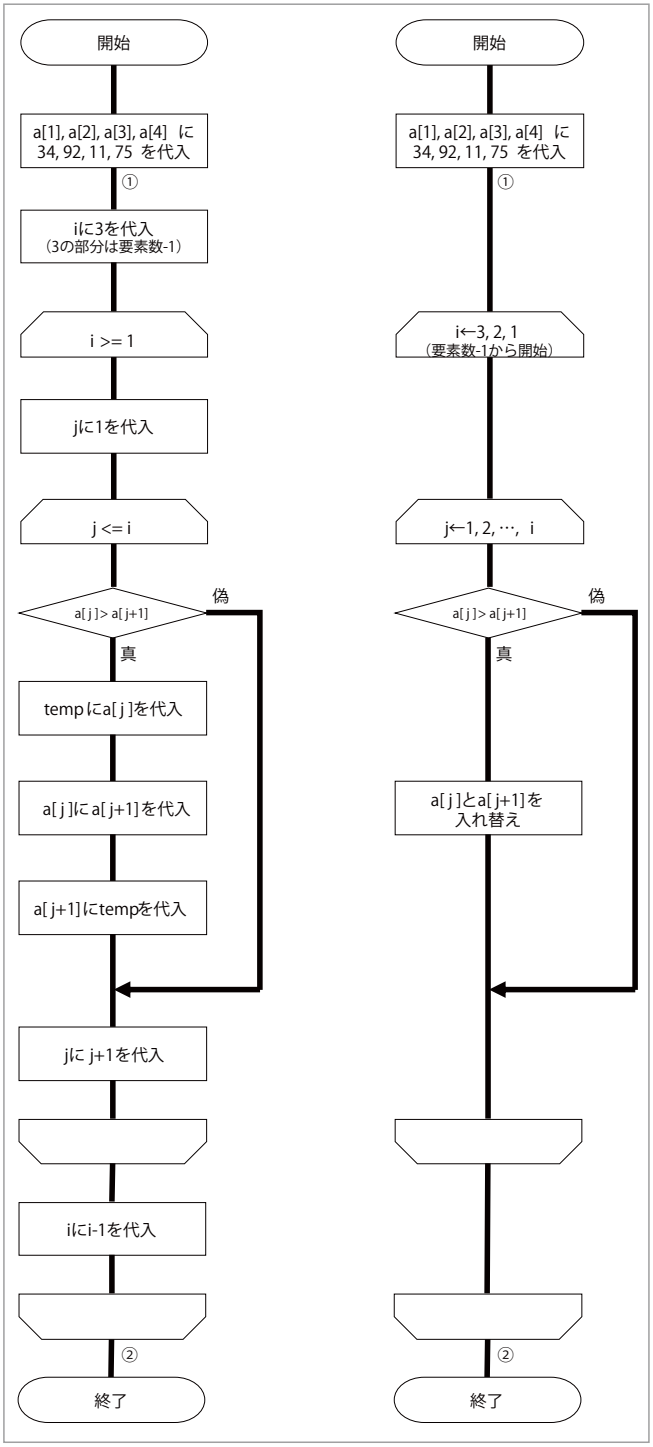


図 -7　交換法（バブルソート）のアルゴリズム

教科書でのプログラミング言語

「情報の科学」の教科書では，これまで紹介したフローチャートと合わせて，プログラミング言語により，コンピュータ上でアルゴリズムを実際に動かせるようにしている．手元にある教科書を確認したところ，JavaScript または Microsoft Excel のマクロ機能

表 -2　図 -7 のバブルソートの実行の様子

a[1]	a[2]	a[3]	a[4]	i	j	条件式 a[j] > a[j+1]	a[j] と a[j+1] を入れ替え
34	92	11	75	←①の時点での状態			
34	92	11	75	3	1	34 > 92 …偽	しない
34	92	11	75	3	2	92 > 11 …真	する
34	11	92	75	3	3	92 > 75 …真	する
34	11	75	92	2	1	34 > 11 …真	する
11	34	75	92	2	2	34 > 75 …偽	しない
11	34	75	92	1	1	11 > 34 …偽	しない
11	34	75	92	←②の時点での状態			

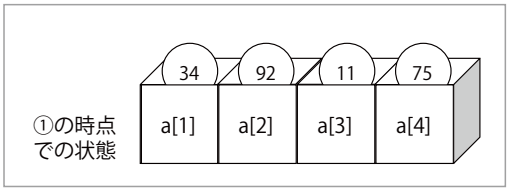


図 -7 A 配列のイメージ

（VBA）のいずれかがプログラミング言語として使用されていた（図 -8）[3]．これらは，ブラウザや Excel がインストールされていれば使用可能というメリットがあるが，JavaScript は，デバッグの際にブラウザの開発ツールを使用する必要があり，少しハードルが高い．また，情報系学部への進学を目指す生徒，国際情報オリンピック（使用できる言語は C/C++，Pascal のみ）出場を目指す生徒は，JavaScript，VBA 以外の言語も学ぶ必要がある．

学習指導要領の改訂とこれからのアルゴリズム教育

ところで，2020 年度から，小学校では新学習指導要領に基づいた授業を実施している．中学校は 2021 年度から，そして高等学校は 2022 年度から実施される予定である．その際，共通教科情報科の科目は，現在の「社会と情報」，「情報の科学」から「情報Ⅰ」，「情報Ⅱ」に変更となる．「情報Ⅰ」は必修科目で，これまでの「社会と情報」，「情報の科学」の両方の内容を取り入れたものとなり，「情報Ⅱ」は選択科目で，「情報Ⅰ」の発展的な内容となる予定である．

また，新学習指導要領から，小中高でプログラミング教育が導入される．といっても，小学校 1 年生からプログラミング言語を用いたコーディングを行うのではなく，まずは，コンピュータに意図した処理を指示するという体験や，既存の教科と連携して，プログラミング的思考を深めることを行う．小学校段階におけるプログラミング的思考とは，「自分が意図する一連の活動を実現するために，どのような動きの組合せが必要であり，1 つ 1 つの動きに対応した記号を，どのように組み合わせたらいいのか，記号の組合せをどのように改善していけば，より意図した活動に近づくのか，といったことを論理的に考えていく力」[6] とされており，まさにアルゴリズム構築力といえるであろう．このような教育を受けた児童・生徒がどのようなアルゴリズムを創造するのか，将来に期待したい．

表 -3　教科書で扱われているアルゴリズム関連

探索	逐次探索，二分探索
ソート	バブルソート，コームソート
数値	複数の数値の合計を表示，複数の数値の中で最も大きい数値を表示，偶奇判定
素数	入力した数より小さい素数を表示，双子素数の表示，エラトステネスのふるい
配列	シーザー暗号で暗号化・復号
その他	巡回セールスマン問題の解説，入力金額を満たす紙幣と硬貨の枚数を表示
	パズル（4x4 の数独）を解く，製造数を上手く調整して売上を最大化（線形計画法）

参考文献

1) 東京都教育庁：平成 31 年度使用都立高等学校（都立中等教育学校後期課程及び都立特別支援学校高等部を含む．）用教科書の採択結果について，https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2018/08/24/05.html（2020 年 7 月 30 日閲覧）
2) 文部科学省:高等学校学習指導要領解説情報編,pp.16-34（2010）.
3) 水越敏行，村井　純，生田孝至 他:新・情報の科学，日本文教出版，pp.109-134（2016）.
4) 山口和紀 他：高等学校情報の科学，第一学習社，pp.34-41，pp.114-117，pp.132-135（2016）.
5) 岡本敏雄，山極　隆 他：最新情報の科学新訂版，実教出版，pp.78-91（2016）.
6) 文部科学省：小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ），https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/__icsFiles/afieldfile/2016/07/08/1373901_12.pdf（2020 年 7 月 30 日閲覧）

（2020 年 7 月 30 日受付）

山口健二（正会員）　yamaguchi.kenji@ocha.ac.jp

お茶の水女子大学サイエンス＆エデュケーションセンター特任講師．同附属高等学校教諭（情報科）を兼務．2010 年千葉大学大学院自然科学研究科単位取得退学．2017 年お茶の水女子大学附属高等学校教諭（情報科）．2019 年から現職．情報教育教材の開発や機械学習による企業情報データサイエンスに興味を持つ．修士（理学）．
「どうぶつ並べ替えアプリでアルゴリズムを学ぼう」
https://ocha-algo.com/


```
<html>
<body>
<script>
var a, r;
a = prompt("整数を入力してください");
r = a%2;
if(r==0){
    alert("偶数");
}else{
    alert("奇数");
}
</script>
</body>
</html>
```

```
Sub evenodd()
    Dim a, r As Integer
    a = InputBox("整数を入力してください")
    r = a Mod 2
    If r = 0 Then
        MsgBox ("偶数")
    Else
        MsgBox ("奇数")
    End If
End Sub
```

図 -8　偶奇判定アルゴリズムのプログラム

べた語義

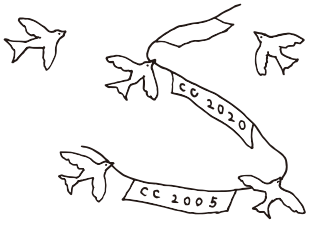
Vol. 110

CONTENTS

【コラム】CC2020 プロジェクトと情報系カリキュラムについて…高田 眞吾
【解説】脳科学からプログラミング教育を考える―プログラミング的思考は汎化するのか？―…細田 千尋
【解説】遠隔環境による高大接続プログラミング演習の実践報告…赤澤 紀子・久野 靖

COLUMN

CC2020 プロジェクトと情報系カリキュラムについて



基般

CC2020（Computing Curricula 2020）は，情報分野の大学のカリキュラムにかかわる国際的なプロジェクトであり，ACM および IEEE-CS を中心に 2016 年に開始しました．そのプロジェクトに日本からは，（当時 IPA，現在早稲田大学および VJP（株）取締役の）林口英治さんと私が参加しています．本来は，本年（2020 年）3 月 7 日（土），全国大会のイベント企画において紹介する予定でしたが，新型コロナウイルスによる現地開催中止を受け，その企画自体が中止となりました．そこで，本コラムで CC2020 を簡単に紹介しようと思います．

15 年前，ACM および IEEE-CS を中心に CC2005 プロジェクトのレポートが公開されました．本会が策定した J07 や J17 はこの CC2005 を基にしています．CC2020 は CC2005 のレポートを更新することを主目的としており，2020 年末または 2021 年初めにレポートが公開される予定です．その中で，現在の情報分野を俯瞰し，今後について議論しています．なお，CC2020 はあくまでも情報分野を俯瞰することを目的としており，コンピュータサイエンスなど，特定の分野の詳細を決めるプロジェクトではありません．

さて，CC2020 の大きな柱に，コンピテンシがあります．従来は，知識に基づいた教育だったのに対し，今後はコンピテンシに基づいた教育への移行を提言しており，コンピテンシの枠組みを提案しています．コンピテンシに基づいた教育では，単に知識を学生に詰め込むのではなく，カリキュラム自体が，スキルやディスポジション（disposition）を意識するべきという考え方です．知識があるだけでは不十分であり，それをどの程度活用できるか（＝スキル），また，積極性・情熱・柔軟性など気質や態度（＝ディスポジション）にかかわる事項も重要視するべきということです．

実際にコンピテンシに基づいた教育に移行するためには，情報の各分野がカリキュラムガイドラインを今後更新する必要があります．IT（Information Technology）分野[☆1]では，2017 年にすでにコンピテンシを中心としたカリキュラムガイドラインを公開しています． IS（Information Systems）分野では，次期カリキュラムガイドラインをコンピテンシに基づくように，現在策定作業が行われている最中です．

CC2020 が提言しているコンピテンシは，一夜で根付くとは思えません．すでに書いた通り情報の各分野の新しいカリキュラムガイドラインが必要ですし，そもそも考え方を変える必要があります．日本に CC2020 で定義したコンピテンシをそのまま取り込むのではなく，日本流にアレンジしないといけないことも考えられます．少なくとも数年はかかるでしょうが，変化の波が近づいています．

高田眞吾（慶應義塾大学）

☆1 ここでいう IT は，日本国内でよく言葉として聞く IT と対象が異なります．

LOGOTYPE DESIGN...Megumi Nakata, ILLUSTRATION&PAGE LAYOUT DESIGN...Miyu Kuno

ARTICLE

応
般

脳科学からプログラミング教育を考える —プログラミング的思考は汎化するのか?—

細田千尋
帝京大学戦略的イノベーション研究センター／東京大学総合文化研究科

プログラミング教育が目指すものとは?

2020 年から全国で施行され始めた小学校学習指導要領総則において「自分が意図する一連の活動を実現するために，どのような動きの組合せが必要であり，一つ一つの動きに対応した記号を，どのように組み合わせたらいいのか，記号の組合せをどのように改善していけば，より意図した活動に近づくのか，といったことを論理的に考えていく力」が「プログラミング的思考」と定義され，それを育成するための一手法としてプログラミング教育が採用された．ここでは，プログラミング言語を覚えたり，プログラミングの技能を習得したりといったことではなく，「論理的思考力を育むとともに，プログラムの働きや良さ，情報社会がコンピュータをはじめとする情報技術によって支えられていることなどに気付き，身近な問題の解決に主体的に取り組む態度やコンピュータ等を上手に利用してよりよい社会を築いていこうとする態度などを育むこと，さらに，教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせることにある」と示されている．つまり，プログラミング能力（コーディングなど）自体を伸ばすことが目的ではなく，学習の場で直面するさまざまな事象において，自分の意図する行動を実現するための手続きを考えるといった論理的思考（プログラミング的思考）を養う方法としてプログラミング教育を採用し，それを通して主体的・対話的で深い学びを実現することを目的としている，というのである．

実際のところ，プログラミングを通じて学べることは何か？　実際にプログラミングを学ばせたことで，論理的思考力や，創造性が高まったか？　さらには，その他の教科（数学など）での成績が上がったか？　といった因果関係をダイレクトに実験的に調査し，結論を出しているものはない．ただし，プログラミングを学ぶことで，新しいアイディアを試す創造性，複雑な問題を紐解くための推論，いかに最小手数で目的にたどり着けるかという合理的で論理的な考え方，粘り強く前に進む方法，物事を深く理解する方法，ほかの人と協力して物事を進める方法を学ぶことができる，と述べているものは多い．さらに，プログラムを作成していく中で身に付いていくものとして，数学的概念の獲得，アルゴリズム的思考，自己の知識状態を把握する力，明確な表現力や説得力，デバッグ体験による柔軟な思考，などが挙げられている．

確かにここに挙げられたような要素は，プログラミングをしていく上で必須のものであり，プログラミングのスキル獲得・向上の際には，これらの能力も獲得できている，あるいは，そもそもこれらの要素についての素養の高い人たちはプログラミングの獲得が早いという相関関係が存在すると考えられる．しかし，このプログラミングスキルと深く関連のある上述のような能力が，プログラミング以外の場にも汎用し得るものなのだろうか（プログラミング教育を通してプログラミング的思考が構築できれば，それ以外の場でもプログラミング的思考に沿った論理的思考で物事を進めていけるのか）？　そしてそもそも，プログラミング教育によって，大半の人が

プログラミング的思考やプログラミングスキルを獲得することができるのだろうか．プログラミング教育，プログラミング的思考が，すべての教科を学んでいく上での手段，手法として初等教育から用いられていく場合，仮に，プログラミングに対する適正が著しく低い特性を持つタイプの人がいたとしたらどうなるのだろうか．

こうした背景および疑問を踏まえて本稿では，プログラミング的思考（自分が意図する一連の活動を実現するための論理的に考える力）の獲得を目的としたプログラミング教育の実施について筆者の考えを，これまでの認知科学，社会科学，脳科学の研究成果の観点から述べる．

領域固有の知識が他の領域の問題解決に有用なのか？

認知科学の分野では，資質・能力・思考には，教科や学習領域固有のものもあれば，一般的，汎用的なものも存在する，とされている． 特に近年，日本だけでなく諸外国でも教科固有ではなく，教科に依存しない汎用的な能力の育成が強調されていることは間違いない．プログラミング教育の導入は，この流れの中で決定したことであろう．実は，認知科学の分野では，古くは，学習が習熟する過程における，「領域固有の知識」の重要性が説かれてきた．ある領域の問題解決を図るとき「他の領域に固有の知識」を習得していても，問題解決には活かされない(転移しない) と考えられていたためである．加えて，複数の領域に汎用される「一般的な知識」の蓄積は，習熟過程における問題解決には，効果的ではないことが研究から示されてきた歴史も持つ．これは，ちょっと想像してみると納得がしやすい．たとえば，今現在プログラミング教育と同程度に，幼児―児童期の子どもを持つ親の関心の１つに将棋がある．我が子を将棋士にしたいということではないにもかかわらず，将棋教室に入れたい，藤井聡太二冠が幼少自体に学んでいた方法と同じことを我が子にさせたい，という教育熱心な親御さんが多い．では，将棋を学んで得られる戦術的な知識や直感力，想像力が，学習科目における問題解決に役立つのか？　もっと端的にいうなら，将棋を習っていた子どもは，学校での学習成績が良くなるのであろうか？これについては，残念ながら，その関係性を示すような科学的根拠はない．似たような話では，バイリンガルの方が記憶力が良く，学校成績が良くなるという研究についても，いまだにその関係性は明確になっていない．また，論理的思考の育成を目的とした教育では，プログラミング以前には，数学が効果的であるとされている流れが存在していたが，これもいまだに，数学の獲得によって，論理的思考力が向上するかについて，決定的な結果は出ていない．

一方で，汎用性が高いと考えられているものの中に，メタ認知がある．メタ認知とは，認知や知識に関する認知である．自分の思考や行動そのものを対象化して認識することにより，自分自身の認知行動を把握する思考である．これにより，認知，知識，プロセス，認知状態・感情状態を意識的，熟慮的にモニタし，自分自身の状態を判断することで，自分の考えの矛盾に気づき，課題の特性を把握した上で解決方略を修正していくといった活動を行うことができる．しかし，子どもは最初から一般的なメタ認知能力を発揮できるわけではないようだ．研究によれば，14 歳頃まで，子どものメタ認知スキルは領域固有あるいは課題固有なものである[1]．つまり，14 歳頃までは，たとえば，プログラミング学習におけるメタ認知は，あくまでもプログラミングという教科に限って利用できるものだということである．それが，15 歳頃からは，領域一般的なメタ認知スキルにまとまる，という．つまり，そこで得たメタ認知スキルを，その他の学習や生活行動の中でも利用できるようになるという結果が示されている．しかし別の研究では，大人でもメタ認知の正確さが課題の種類や，教科間で異なることも示されている[2]．つまり，概して汎用性があると言われるメタ認知でも，必ずしも汎用，一般的とは言いきれない．特に，この知見をもとにプログラミング的思考を考えたとき，年齢

によって領域固有なのか汎用的なのか（転移できる能力なのか?）が変わってくるという所見はきわめて重要であろう．また，プログラミング的思考という名称で定義された中身が，本当にすべて汎化し得るのかに加え，そもそもこの思考が，プログラミング教育によって得られるものなのか，を見極めることは重要であろう．特に，小学校から，プログラミング的思考が汎用性のあるものであり，かつ，プログラミング教育によって獲得できる思考である，として教育することの最適性にかかわる問題にもなり得る．単純にプログラミング的思考という，それ自体の定義に曖昧性が残るものに対し，この思考が教科横断的スキルと見なし，すべてを決定していくことは早計かもしれない．プログラミング教育によるプログラミング的思考の育成，を教育目標として，カリキュラムを構成するのならば，その特徴や構造，プロセスについての実証的な吟味が必要不可欠だと考える．

これらを踏まえ，次に，脳科学の観点から，プログラミングについて研究されているものについて紹介する．

プログラミングスキルと脳

❑ プログラミングスキル獲得を予測する要因と脳の特徴

プログラミング自体の学習能力には個人差が大きく，優れた生徒と苦手な生徒に大きく分かれることが経験的な観点からも知られている．この傾向は実際のデータを用いた研究でも実証されており，情報系大学生であっても約4割はプログラミングスキルを十分に獲得できないという報告すらある[3]．こういったプログラミングの学習能力の個人差はどのような因子に求めることができるのだろうか．

プログラミング能力にかかわる因子の研究は古い歴史を持ち，過去何十年間にも渡って活発に行われてきた．主な因子として，性別，抽象化能力，因果関係の理解能力，自閉症的性格傾向の有無，短期的に記憶を貯蔵するといったワーキングメモリ容量，一般知能，理解の深達度，認知的要素が，どのくらい周りの環境による影響を受けやすいかという，場依存性―場独立性，などがある．さらに，問題を定式化して解決する能力であるメンタルモデルの構築・運用能力，自分はプログラミングができる，というプログラミング学習自体に関する自己効力感，空間情報処理能力，数学的能力がプログラミング能力獲得に密接にかかわると考えられている．実際，プログラミングに関する自己効力感，高校卒業試験における数学の能力，一週間のコンピュータゲーム時間の3因子によって8割以上の確率で履修結果の予測に成功したことを報告した研究もある．数学的能力と，プログラミング能力，空間情報処理能力が相関することは双生児を用いた研究からも報告されており，数学的能力の優れたものは，空間情報処理課題においても，その正答率が高く，課題実施時には，左右の頭頂葉の活動が高まることが分かっている．さらに，頭頂葉の中にある頭頂間溝は，数的情報の処理と空間情報の処理の両方で重要な役割を果たす場所でもあり，この脳領域はプログラミング学習処理の個人差を担っていると考えられる．事実，プログラミング未経験者に約12週間にわたってJAVAプログラミング学習介入を実施した筆者の実験から，頭頂葉の一部と前頭前野の発達度合いが，プログラミングスキル獲得可否の予測要因である可能性が示唆されている[4]．

❑ プログラミング実施時の脳活動

次に，プログラミング実施時に脳が活動する部位について考えてみる．脳活動は，神経活動に伴う脳血流の変化を主に計算することで，ダイナミックな脳活動を可視化することのできる非侵襲的脳機能イメージング（functional Magnetic Resonance Imaging fMRI や functional Near-infrared spectroscopy：fNIRS など）により計測ができる．プログラミングでは，データ構造の操作能力が必要と考えられ

る．このデータ構造操作課題時の神経活動についてfMRIやfNIRSを用いて調査した結果，運動前野（BA6/図-1の6番の領域））や補足運動野（BA6），上頭頂小葉（BA5），ウェルニッケ野（BA22），ブローカ野（BA44，45），前部島皮質（BA13），背外側前頭前野（BA9）などが活動することが示されている．また，被験者にソースコードの理解課題を行わせた際には，運動前野（BA6），下頭頂小葉（BA40），下前頭回（BA44），中側頭回（BA21）の活動が増加し，帯状回前部と後部の活動が低下することが示された．下頭頂小葉（BA40）および運動前野（BA6）は，一般に注意力，作業記憶，または問題解決を必要とする認知作業においてしばしば活性化される領域である．特に下頭頂小葉はソースコードに見られるような数字と文字の組合せによる関係性把握課題において活動し，中でも数学的アルゴリズムの運用課題においてその活動が顕著であることが報告されている．また運動前野は構文理解におけるワーキングメモリ機能に加え，注意ネットワークの一部として注意機能にもかかわっており，ソースコードに注意を払いながら理解するような状況で，これらの領域の活動が高まっていたと考えられる．下前頭回（BA44），中側頭回（BA21）はいずれも言語処理の異なる側面に対応した領域である．中側頭回後部に位置するブロードマン21野（BA21）は単語レベルでの意味処理に関連しており，下前頭回に位置するブロードマン44野（BA44）は統語レベルでの意味処理にかかわる．人工言語を用いた課題でもこれらの領域がかかわることが報告されている．この下前頭回（BA44）と中側頭回後部（BA21）は相互性の神経接続がなされており，この接続により，適切な語彙が選択され，全体的な文脈に統合することが考えられおり，プログラム理解課題においても同様の活動が示されたと考えられる．

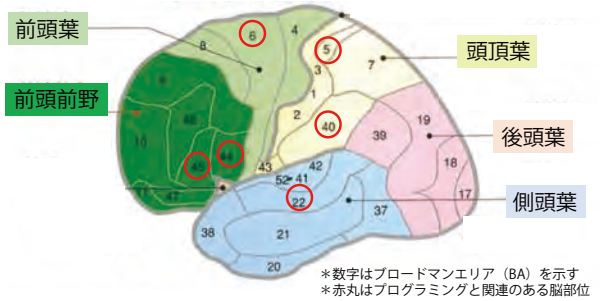


図-1　プログラミングに関連する脳領域

では，帯状回前部と後部の活動の低下は何を意味しているのだろうか．帯状回前部と後部はともにデフォルトモードネットワークと呼ばれる自己意識にかかわるシステムを構成しており，何らかの認知課題を行うときには活動が低下することが知られている．この実験ではソースコードが複雑になるほど，これらの領域の活動が低下しており，プログラミングの理解を妨げないように抑制的に活動していたことが考えられる．以上のように総じてプログラミング理解には言語処理機能や注意機能にかかわる領域の活動増大と自己意識にかかわる領域の活動低下が見られたものの，自然言語処理と人工言語処理にかかわる脳活動は異なるという議論もあり，この面でのさらなる研究が望まれている．

このようにfMRIを用いてプログラミング理解過程を調査した研究がなされているものの，fMRIは測定が時間的にも金銭的にもコストが高く，近年では他の生理学的指標を用いる試みもなされている．その中で，fMRIと瞳孔の変化について同時測定を行ったものがある．そこでは，瞳孔の散大がプログラミング課題の難易度および脳活動を反映する傾向があることを報告している．また脳波や皮膚電気抵抗，心拍信号を用いて自然言語とプログラミング言語の理解の違いを検出できるかについて研究を行い，心拍信号がプログラミング理解の最も高い予測精度を示した研究もある．

❑ プログラミングスキル獲得によって脳が変化する?!

可塑性はヒトの脳が本来的に持ち合わせている性質である．内的・外的環境に合わせて，脳の解剖学

的構造や機能が変化していくことを示す．近年，アスリートのように，何年にもわたるトレーニングの末，高度な能力を持ち合わせたスポーツ選手の脳で，どのような脳可塑性を表象しているのか研究が進んでいる．実際，スポーツ選手だけでなく，音楽家など高度な技術を持ったプロの脳機能構造特性が明らかにされていると同時に，それらの技術を獲得することによって，どのように脳が可塑的に変化するかが示されてきている．スポーツや楽器演奏などの運動技術に限らず，筆者の研究から認知能力（英語力など）および非認知能力（やり抜く力など従来定量的に測る指標のなかったもの）の獲得による脳の可塑性[5]も明らかにされ，学習効果を示す客観的指標としても，脳機能構造が有用である可能性が提唱されてきた（図 -2）．

それでは，プログラミング能力，あるいは，プログラミング的思考に関連する要素における，脳の可塑性はあきらかにされているのだろうか？　プログラミング的思考を構成する要素のキーワードである，創造性，論理的思考については，いくつもの研究が示されている．たとえば論理的思考（推論）については，前頭葉下部の賦活が示され，右前頭葉下部が強く賦活する被験者ほど推論成績が良いという正の相関が認められている．また，創造性についても，創造性が高い人では，デフォルトモードネットワークや背外側前頭前野などを含む実行機能ネットワークの活動が高いことが分かっている．

また，プログラミングエキスパート（職業プログラマー）では，初心者に比べて，プログラミングコード理解時に，左前頭葉下部，右中前頭回，右下前頭回三角部に活動が見られていたことが報告されている．この脳活動の差はエキスパートと初心者の認知戦略の違いを示していると考えられる．また，初心者がプログラミング学習をし，能力を獲得することで，前頭葉下部などの領域に可塑的変化が見られた．さらに，プログラミングエキスパート（日常的にプログラミングを行う大学院生）では，初心者に比べてこの領域が発達していたことも明らかになっている（図 -3）[4]．

これらの脳領域は，先に示した論理的思考力を司る領域でもある．ただし，筆者の研究では，プログラミング学習に伴って，一般的な論理的思考力の向上が見られるというところまでは明らかにできなかった．しかし，プログラミングスキルの獲得に伴って可塑的変化が見られた前頭葉下部が，論理的思考の神経基盤の重要な一部でもあることを考慮すると，少なくとも，プログラミングスキル獲得に必要な領域固有の論理的思考は向上している可能性が考えられる．

プログラミング教育に対する提言

世界的にプログラマーの需要が増している現代において，早いうちからプログラミング教育を行うこと自体は，子どもの視野や将来的な職業の幅を広げるという点からも，早期教育によるハイスキルの獲得，という観点からも良いことである．ただし，プログラミングを教育することの意義を，プログラミ

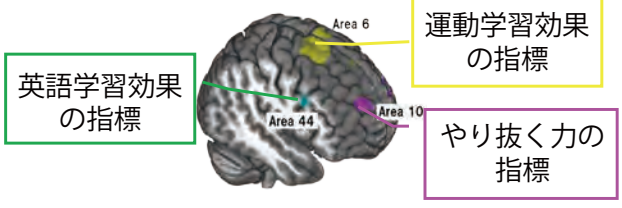


図 -2　脳構造情報が能力の個人差を示す定量的指標になり得る

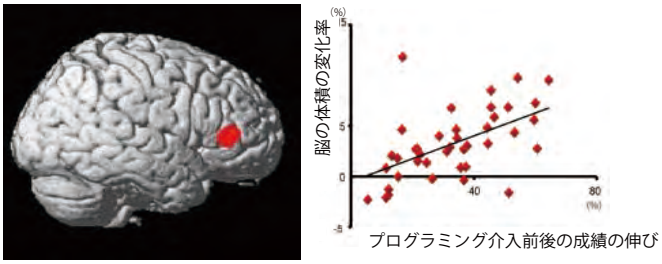


図 -3　プログラミングスキル獲得によって変化する脳構造

ングスキルの獲得以外の，そこから汎用される能力とし，さまざまな科目において利用する仕組みを作るには，もう少しその妥当性を検討していく必要もあるのではないだろうか．数学や運動，英語などと同様，プログラミングも得意不得意が生じることは明らかである．さらに，筆者らの研究から，そこには，脳神経基盤差(脳機能や脳構造の違い)が存在している可能性が示唆されている．そのようなスキルをすべての科目に導入すれば，いくらそれが必要な能力だとはいえ，不得意な人が，すべての科目において自己効力感を失っていくことにもつながりかねない．そうなれば，元の木阿弥である．事実，学校生活においては，たった１つの失敗による自己効力感の低下が，生活全般の自己効力感の低下に結びつくことが知られている．

一方で，自分の作りたいもの(目標)に対し計画をたて実行することで，目標が達成されていくプロセスは，自己効力感を一気に高める作業であり，より一層の学習を促進する素晴らしい経験ができる教育にもなり得る．文部科学省の 2007 ～ 2018 年度の全国学力・学習調査によれば，年々，学生の自己効力感が上がってきている中で，プログラミング教育の導入が，この傾向に良い影響を及ぼすことが重要であろう．そのためには，科学的にも実証し得る，効果的なプログラミング教育法，プログラミング的思考育成法を早急に明らかにしていくことも重要課題の１つである．今後，プログラミング的思考育成のために取り入れるプログラミング教育がどのような影響・効果をもたらすのか見極めながら詳細に検討していく必要があるだろう．

参考文献

1) Veenman, M. V. J., Hesselink, R. D., Sleeuwaegcn, S., Liem, S. I. E. and Van Haaren, M. G. P : Assessing Developmental Differences in Metacognitive Skills With Computer Logfiles : Gender by Age Interactions, Psychological Topics, 23(1), pp.99-113 (2014).
2) Veenman, M. V. J., Van Hout-Wolters, B. H. and Afflerbach, P. : Metacognition and Learning : Conceptual and Methodological (2006).
3) Hook, L. J. and Eckerdal, A. : On the Bimodality in an Introductory Programming Course: An Analysis of Student Performance Factors, 2015 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering, IEEE (2015).
4) Hosoda, C., Hamada, M., Maeshima, H., Nonaka,Y. and Okanoya, K. : Predictor of Programming Language Learning success : The Development of The Inferior Frontal Cortex and The Supramarginal Cortex Organization for Human Brain Mapping (2018).
5) Hosoda, C., Tsujimoto, S. and Tatekawa, M. et al. : Plastic Frontal Pole Cortex Structure Related to Individual Persistence for Goal Achievement, Commun Biol 3, 194 (2020).

(2020 年 8 月 6 日受付)

細田千尋　chihirohosoda@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

帝京大学戦略的イノベーション研究センター講師／兼 東京大学大学院総合文化研究科特任研究員．脳機能・構造から，認知能力（英語やプログラミング等）や非認知能力（やり抜く力）の個人差を予測し効果的な学習法について研究．

2020 年度小中高教員【秋】のキャンペーン

https://www.ipsj.or.jp/member/kyoinwaribiki-aki-2020.html

期間　2020 年 10 月 1 日～ 11 月 27 日　（最終日は 15 時まで）

対象　小中高校（相当する教育機関を含む）に教職員として勤務されている方（現職）に限ります

キャンペーン内容

☆**新規**の正会員：**入会金（2,000 円）が免除**となります
2020 年度と 2021 年度の**会費（10,800 円）が半額（5,400 円）に割引**されます

☆**既存**の正会員：2021 年度の**会費（10,800 円）が半額（5,400 円）に割引**されます

※会員サービス内容は正会員と同じです

教員にとってのメリットとは

- 会誌「情報処理」（毎月）や「ジュニア会員通信」などの本会のお知らせが読める
- 教員免許更新講習を会員価格で受けられる
- 中高生情報学研究コンテスト／ Exciting Coding! Junior ／初等中等教員研究発表セッションなど生徒向けや教員向けイベントを情報教育に活用できる
- 『情報』に関する豊富な知識を得ることができる
- 情報処理学会の教育委員会が発信するトピックスやパブリックコメントをいちはやくキャッチできる

ARTICLE

遠隔環境による高大接続プログラミング演習の実践報告

赤澤紀子　久野　靖
電気通信大学

プログラミング教育と高大連携

学習指導要領が改訂され，2020 年度から小学校でプログラミングが必須の内容となった．中学校，高等学校でも，改訂が順次行われ，2022 年度からすべての高校生が情報 I にて，プログラミングを学習することになる．プログラミングについて，強い意欲を持つ高校生も今以上に増えると考えられる．そこで，筆者らは，所属する大学の初年次情報基礎科目の内容を，そのまま e- ラーニングにより提供する「大学授業科目先取学修」の環境を整備し，「高大連携・基礎プログラミング」を 2018 年度の試行を経て，2019 年度から正式実施した．プログラミングに興味のある，進んだ内容を学びたい高校生に活用してもらうことを目的としている☆1．

遠隔環境でのプログラミング演習

❑ 実施概要

「高大連携・基礎プログラミング」は，本学の初年次の情報基礎科目「基礎プログラミングおよび演習」の内容を高校生に提供するものである．

初年次の情報基礎科目

「基礎プログラミングおよび演習」は，Ruby 言語と C 言語を用いてプログラミングの基礎概念を演習しつつ一定水準まで「自力でコードが書ける形で」身につけることを目標にする．この科目は，反転授業形式の全 15 回で実施している．授業前に，LMS（Learning Management System）上にて提供されている教材を用いて各回の内容を予習してくることを前提として，授業（対面）時，学生はプログラム作成演習を行い，教員は補足説明と質問に対する回答を行う．授業後に，課題演習に取り組み，LMS にて課題レポートを提出する．

「高大連携・基礎プログラミング」

「高大連携・基礎プログラミング」は，表 -1 のスケジュールで実施し，本学での 3 回のスクーリング以外は，高校生の学校や自宅で学習できるように配慮している．教材と提出課題は，初年次の情報基礎科目と同じものを LMS に用意した．

(1) テキスト：各回 A4 判 10 ページ前後
(2) 演習ガイド：各回の演習で注意すべきことや進行案を記載したもの
(3) 講義動画：板書，スライド，コンソール画面を用いて，プログラムおよび実行結果を示し，各回の内容を講義形式で解説する．
(4) 確認問題：前回の演習内容を復習するための短冊形式の確認問題

表 -1　スケジュール

日程	内容
2018.12	Web ページで広報開始
2019.04.01 ～ 25	応募受付期間
2019.05.07	選考結果の通知
2019.06.08	第 1 回スクーリング
2019.06 ～ 07	受講期間前半（遠隔） #1 ～ #6 の学習・課題提出
2019.07.27	第 2 回スクーリング
2019.07 ～ 12	受講期間後半（遠隔） #1 ～ #15 の学習・課題提出
2019.12.21	第 3 回スクーリング

☆1 本稿は国立情報学研究所【第 5 回】4 月からの大学等遠隔授業に関する取り組状況共有サイバーシンポジウムの発表に基づく．
https://www.youtube.com/watch?v=ewlcCXb7Q6Q

(5) 質問フォーラム：演習内容に関して不明なことがあるなどの場合には，フォーラムを使って質問をする．質問に対応したアドバイスを教員やティーチングアシスタントから回答する．

(6) 提出課題：各回，複数の難易度の課題を出題し，高校生は，その中から 1 つ以上を選択してプログラムを作成し，レポートとして提出する．

高校生は遠隔で内容の理解，課題演習を行う．質問は，LMS のフォーラムにて随時受付，回答するようにした．これにより，本学から遠い高校であっても参加することができる．また，学習内容は，大学初年次のままであるが，取り組む演習には自由度があり，高校生にも学習できる内容となっている．

❑ 募集形態

対象は高等学校 1 ～ 2 年生（中等教育学校 4 ～ 5 年生）とし，特定学校への偏りを避ける観点から，各校定員は，3 ～ 8 名とした．教材は前述のとおり高校や自宅等で利用できるよう配慮しているが，Ruby や C 言語のプログラムを作成し動かすための環境については，一定のサポートが必要であり，なおかつ学校や個人ごとに環境が異なる．そこで，参加募集を高校単位で行い，高等学校ごとに窓口担当の教員の配置と，遠隔環境で受講するため，次の 3 点をお願いすることとした．

(1) 演習環境構築のサポート：受講に必要なプログラミング言語処理系および実習に使用するアプリケーションを生徒が使用でき，問題なく実習が行えるようにサポートを行う．

図 -1　スクーリングの様子

(2) 進捗確認：定期的に（少なくとも 2 週間に 1 回以上，ただし休暇期間中は除く）ミーティングを開催し，受講の様子を聞き取り，受講上の問題等について相談にのる．

(3) 問題解決サポート：受講上の問題が生じた場合は，本学と連絡をとり，問題の解決にあたる．

プログラミング演習の実施の様子

❑ 参加生徒について

参加校 9 校 44 名（1 年生 14 名，2 年生 30 名）であった．参加した時点での進路希望は，理系だけではなく文系の生徒もいた．また，部活動や委員会活動や習い事をしているか調査したところ，プログラミングに関係する部活動を行っている生徒もいたが，吹奏楽部，バスケット部，社会部など異なる部活動を行っている生徒が多く，「生徒会，文化祭実行委員会，自転車競技部」「マンドリン部，保健委員，ダンス」など放課後に複数の活動を行っている生徒が多数いた．

❑ 環境構築

演習環境の構築は，学校によってさまざまであった．生徒にノートパソコンを必携させている学校では，生徒のノートパソコンに環境を構築した．学校のコンピュータ教室などのコンピュータに演習環境を構築した学校もあった．一方で，生徒必携のノートパソコンもなく，さらに，コンピュータ教室のパソコンに，自由にソフトウェアをインストールできず，高校で生徒の演習環境構築のサポートができない学校もあった．この学校の生徒たちは，自宅のパソコンに環境を構築していた．

❑ 第 1 回スクーリング

大学のコンピュータ演習室にて実施した（図 -1）．はじめに，本学の教員より，LMS 上の教材の使い方および，学習の進め方の説明を受け，教材 #1 の内容を授業形式で学んだ．

❑ 学習の様子

スケジュールに沿って，高校や自宅など生徒の学習環境にて，学習内容 #1 ～ #15 の学習を行い，LMS を使い課題提出を行った（表 -2）．また，大学のコンピュータ教室にて，第 2 回，第 3 回スクーリングを実施し，総合演習に関するプレゼンテーションを行った（図 -2）．学習時に分からないことがあれば LMS 上のフォーラム（掲示板）で質問してもらうこととした．毎週，1 回分の課題の提出を目安として提示したが，各回の課題は特に期限は設けず，でき次第提出してもらい本学側で採点しフィードバックを与えるようにした．

課題を毎週提出する高校生はほぼおらず，受講期間前半は，7 月の定期考査が終わったあたりから提出が増え，第 2 回スクーリング（プレゼンテーション）に向けて，ピッチを上げて課題に取り組んでいる様子であった．#6 の課題を提出した高校生は 21 名（全参加生徒のおよそ半数）であった．

#6 の総合演習の課題は，“自分（たち）が「美しい」と思う画像の生成”である．通常より詳しい課題レポートを作成した上で，プレゼンテーションを実施することとした（図 -2）．7 月下旬に実施したが，スクーリング日までに学習が進まなかった高校生もいたため，追加のスクーリングと高校単位のプレゼンの機会を用意した．

高校生は，再帰呼び出しを使ってフラクタル図形を生成したものや，基本の図形を使い美しい絵を作成したものなど，各自のレベルにあった絵を作成した（図 -3）．

第 2 回スクーリングには，プレゼンテーションを実施した高校生だけでなく，#6 の課題まで提出できなかった高校生も出席していた．そこで，これまでの学習内容（#1 ～ #6）の補足説明や，#10 から始まる C 言語の学習方法についての説明を行った．#7 ～ #10 はやや高度であるので，難しい場合は，飛ばして C 言語に進む学習方法もあるとアドバイスを行ったため，そのように学習を進めた高校生もいた．#15 の総合演習の課題を提出した高校生は 14 名，プレゼンテーションを行った高校生は 12 名であった（全参加生徒の 1/3 程度）．

また，全 15 回の学習のうち，最初の 3 回は入門部分でやさしい内容であったため，30 名程度が課

表 -2　学習内容と課題提出数

各回の課題		言語	課題提出
#1	プログラミング入門；さまざまな誤差	Ruby	30
#2	分岐と反復；数値積分	Ruby	31
#3	制御構造；配列とその利用	Ruby	29
#4	手続きと抽象化；再帰呼び出し	Ruby	24
#5	2 次元配列；レコード；画像	Ruby	21
#6	画像の生成（総合演習）	Ruby	21
	プレゼンテーション (1)	Ruby	21
#7	整列アルゴリズム；計算量	Ruby	11
#8	計算量 (2)；乱数とランダム性	Ruby	7
#9	オブジェクト指向	Ruby	7
#10	動的データ構造；情報隠蔽	Ruby	7
#11	C 言語入門；f(x)=0 の求解	C	15
#12	さまざまな型；動的計画法	C	16
#13	文字列の操作；2 次元配列 (2)	C	14
#14	構造体；動的データ構造 (2)	C	11
#15	チームによるソフトウェア開発（総合演習）	C	14
	プレゼンテーション (2)	C	12

図 -2　プレゼンテーションの様子

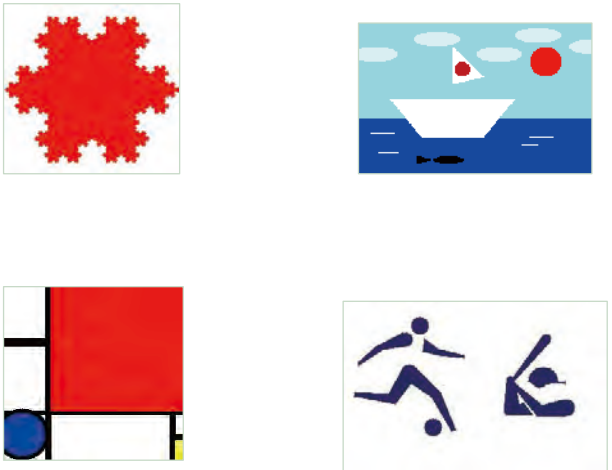


図 -3　生徒の作成した美しい絵

題を提出した．しかし，全参加生徒の 2/3 であり，最初から自分で学習し課題を提出することが難しい生徒も一定数いたことが分かる．学習時に分からないことがあれば LMS 上のフォーラム（掲示板）で質問を受け付けていたが，ほぼ利用されていなかった．利用されなかった理由として，LMS のフォーラムはほかの人に内容を見られているので，投稿ができなかった，どんなことを質問してよいのか分からないなど，投稿したときの他校の高校生や，大学の教員やティーチングアシスタントの反応が気になり投稿を躊躇したことも挙げられる．

第 3 回スクーリングに出席した高校生にアンケートを実施した（21 名中 19 名回答）（表 -3）．e- ラーニングでの受講はおおむね好意的に捉えられていた．また，初年次のテキストと課題をそのまま使用したが，テキストの内容は難しく感じるものの，知識を広げることができるなど興味を持って取り組むことができたことが分かる．複数の課題を用意し，提出する課題の選択，課題数を高校生に任せることにより，自分に適切な難易度の課題に興味を持って取り組んでいたことも分かった．

また，友だちや後輩にこの講座を勧めるかとの問いに，19 名中 13 名が勧めると回答した．勧める理由として次の回答があった．

- 基礎から順に行っていくので，初歩からしっかり固めていけると感じたため
- 中等教育のうちに，触れることのない経験できないことができるので，ぜひ受講したほうがよいと思う
- 情報系に興味のある方はとてもためになることが多く学べるから
- インターネットや本だけでは難しい学習を映像授業という形で受けられるため
- プログラミングに興味のある人なら，難しくても楽しめるかなと思う

プログラミングに興味のある，進んだ内容を学びたい高校生に活用してもらうことを目標にしている「高大連携・基礎プログラミング」の運営方法もおおむね適切であったと考える．

勧めないと回答した理由としては，学習を進める上で，分からないことを尋ねる相手がおらず，一人で取り組むことが難しかったことを挙げていた．今後，フォーラムを活用しやすくするなど，分からないことがあるときのサポート体制の充実も必要であると考える．

2020 年度の実施

2019 年度は「高大連携・基礎プログラミング」の正式実施初年度であったが，全参加生徒の 1/3 程度の高校生が最終（#15）まで課題を提出することができ，単位取得水準まで到達するという，良い結果が得られた．2020 年度は，フォーラムを活用してもらえるよう高校生とティーチングアシスタントのアイスブレイクを行うなど細かい改良をしつつ，進めている．

（2020 年 8 月 3 日受付）

赤澤紀子（正会員） akazawa@uec.ac.jp

電気通信大学共通教育部特任准教授．博士（工学）．1997 年電気通信大学電気通信学研究科博士前期課程修了．同年日本電気（株）入社，ソフトウェア開発等に従事．2015 年電気通信大学情報理工学研究科博士後期課程修了．プログラミング教育，情報教育に興味を持つ．

久野　靖（正会員） y-kuno@uec.ac.jp

1984 年東京工業大学理工学研究科情報科学専攻博士後期課程単位取得退学．同大学助手，筑波大学講師，助教授，教授を経て現在，電気通信大学大学院情報理工学研究科，筑波大学名誉教授．理学博士．プログラミング言語，プログラミング教育，情報教育に興味を持つ．

表 -3　講座のテキスト，課題等に関する調査

	当てはまる	やや当てはまる	分からない	やや当てはまらない	当てはまらない
この講座が e- ラーニングでの学習でよかった．	7　(36.8%)	9　(47.4%)	3　(15.8%)	0	0
テキストの内容は難しかった．	12　(63.2%)	6　(31.6%)	0	1　(5.3%)	0
テキストの内容は知識を広げることができるなど，面白く感じた．	13　(68.4%)	6　(31.6%)	0	0	0
自分の取り組みたい難易度の課題を選ぶことができた．	11　(57.9%)	6　(31.6%)	1　(5.3%)	1　(5.3%)	0
取り組んだ課題の内容は面白かった．	15　(78.9%)	4　(21.1%)	0	0	0

連載

情報の授業をしよう！

本コーナー「情報の授業をしよう！」は，小学校や中学校で情報活用能力を育む内容を授業で教えている先生，高校で情報科を教えている先生や，大学初年次で情報科目を教えている先生が，「自分はこの内容はこういう風に教えている」というノウハウを紹介するものです．情報のさまざまな内容について，他人にどうやって分かってもらうか，という工夫やアイディアは，読者の皆様にもきっと役立つことと思います．そして「自分も教え方の工夫を紹介したい」と思われた場合は，こちらにご連絡ください．
（E-mail：editj@ipsj.or.jp）

基般

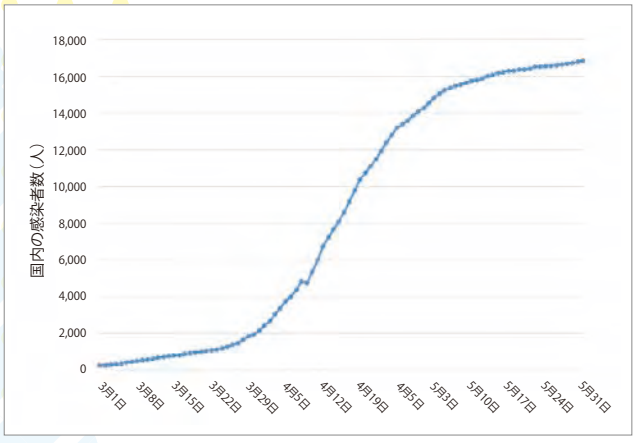
ウイルス感染をシミュレーションする

井手広康　愛知県立小牧高等学校

ウイルス感染とシミュレーション

ウイルスはどのように拡大していくのか？

はじめに図-1を見ていただきたい．これは2020年3月1日から5月31日までの新型コロナウイルス感染症「COVID-19」による日本での感染者数の推移（累積値）を表している．感染者数は3月から徐々に増え始め，4月に入ると指数関数的に急増し，4月7日に緊急事態宣言が発令された．5月に入ると徐々に感染者数は収束していき，5月25日に緊急事態宣言が解除されている．



■図-1　ウイルス感染者数の推移（累積値）

今回の新型コロナウイルス感染症に限らず，一般にウイルス感染者や人口の増加は図-1のようなグラフ形状を示すことが多い．このようなグラフ形状（モデル）は，1838年にベルギーの数学者ピエール＝フランソワ・フェルフルスト（Pierre-François Verhulst）によって発案され，現在はロジスティック曲線やロジスティック関数という名前で知られている．

ではなぜウイルス感染者は指数関数的に増加するのだろうか．これは「ねずみ算」のようなマルサスモデルを考えると分かりやすい．たとえば1人が1日に別の2人に感染させる場合を考えてみる．このとき1日目にウイルス感染者が1人だとすると，何日目に日本中がウイルスに感染するだろうか．それは想像よりも遥かに短く，28日目には日本の人口（約1億3,000万人）を超え，さらに34日目には世界の人口（約77億人）を超える計算となる．このようにウイルスに対して何も対策を講じなかった場合，ウイルス感染者が指数関数的に増加することは容易に想像できるだろう．

artisocのプログラムファイルを含め，本稿で紹介されている教材データは，電子図書館の本稿のページからダウンロードできます．

授業でウイルス感染をシミュレーションする

今回はマルチエージェント・シミュレーションを使用して，ウイルス感染拡大の様子をシミュレーションする授業を実践した．なおマルチエージェント・シミュレーションとは「個々のエージェントが独自のルールを持って行動し，相互作用した結果を分析するためのシミュレーション」のことを指し，災害や交通をはじめ，流通，通信，医療，教育などさまざまな分野のシミュレーションに活用されている．今回の授業では，マルチエージェント・シミュレーションの1つであるartisoc[☆1]を使用した．なお今回使用したartisocのプログラムファイルは独自に作成したものである．

今年に入ってからというもの連日メディアで新型コロナウイルス感染症に関する報道がされており，ウイルス感染者が指数関数的に増加することは生徒にとっても周知の事実である．しかし実際にシミュレーションを実行し，ウイルス感染者の推移を自身の目で確認する機会は恐らくないだろう．本授業ではウイルス感染に関するシミュレーションを通して，シミュレーション結果を集計する力や集計後のデータに対して考察する力を育成するとともに，ウイルス感染に対する予防意識を高めることを目的としている．

授業の実践

授業計画

本稿で紹介する授業は，愛知県立小牧高等学校の普通科1年生7クラス280名を対象とし，普通教科「情報」の共通科目「社会と情報」において2時間（50分×2）かけて実践したものである．ここで2時間分の授業計画を表-1に示す．

1時間目には，まずシミュレーションの意味やシミュレーションがどのような場面で活用されているのか説明する．次にシミュレーションソフトの簡単な操作方法，シミュレーションのパラメータ（後述），シミュレーション結果を記録していくシミュレーションシート（後述）について説明する．その後，各自が各パラメータを変更後，シミュレーションを実行して結果をシミュレーションシートに記録させる．最後に1時間目までの授業のまとめを行う．

2時間目には，まず前回の授業の振り返りを行う．次に各自が各パラメータを変更後，シミュレーションを実施し，結果をシミュレーションシートに記入させる．なおシミュレーションシートNo.1の作成が終わってない人はNo.1の続きを，すでに終わっている人はシミュレーションシートNo.2，No.3に記入させる（No.2およびNo.3はNo.1と同じ内容である）．その後，完成したシミュレーションシートを近くの人と交換させ，結果の違いや感想を共有させる．最後に授業のまとめを行った後，授業アンケートを実施する．

シミュレーションのパラメータ

図-2にウイルス感染のシミュレーション画面を示す．図-2①に示した4つのスライドバーはそれぞれ「全体人数」，「初期感染者数」，「ウイルス感染率」，「マスク着用率」を表し，生徒はこれらのパラメータを任意の値に変動させてシミュレーションを実行する．各パラメータの詳細は次の通りである．

パラメータ1：全体人数

シミュレーションで実行する全体のエージェント数（人数）のパラメータであり，100～2,000人の間で変更が可能である．なお図-2②にある小さな丸がエージェントを表しており，シミュレーション

■表-1　授業計画

時間	配分	内　容
1時間目	5分	・シミュレーションとは
	10分	・シミュレーションソフトの操作方法と各パラメータについての説明
	10分	・シミュレーションシートの説明
	20分	・シミュレーションの実施（シミュレーションシートNo.1の作成）
	5分	・授業のまとめ
2時間目	5分	・前回の授業の振り返り
	30分	・シミュレーションの実施（シミュレーションシートNo.2～3の作成）
	5分	・分析結果の考察
	10分	・授業のまとめと授業アンケート

☆1 https://mas.kke.co.jp/，artisocは教育で使用する場合に限り，無償でダウンロードおよびインストールが可能である．

中は画面上をランダムに動き回る．なお図 -2 はシミュレーション終了時のものであり，すべてのエージェントがウイルス感染者となっている．

パラメータ 2：初期感染者

シミュレーション開始時にすでにウイルスに感染している人数のパラメータであり，0 ～ 100 人の間で変更が可能である．なお黒色のエージェント●は「ウイルス未感染者」，赤色のエージェント●は「ウイルス感染者」をそれぞれ表している．

パラメータ 3：ウイルス感染率

ウイルス未感染者がウイルス感染者と接触した場合にウイルスに感染する確率のパラメータであり，0.1 ～ 1.0 の間で変更が可能である．たとえば，ウイルス感染率が 0.3 のときにウイルス未感染者●とウイルス感染者●が接触した場合，30% の確率でウイルス未感染者●はウイルスに感染してウイルス感染者●に変化する．

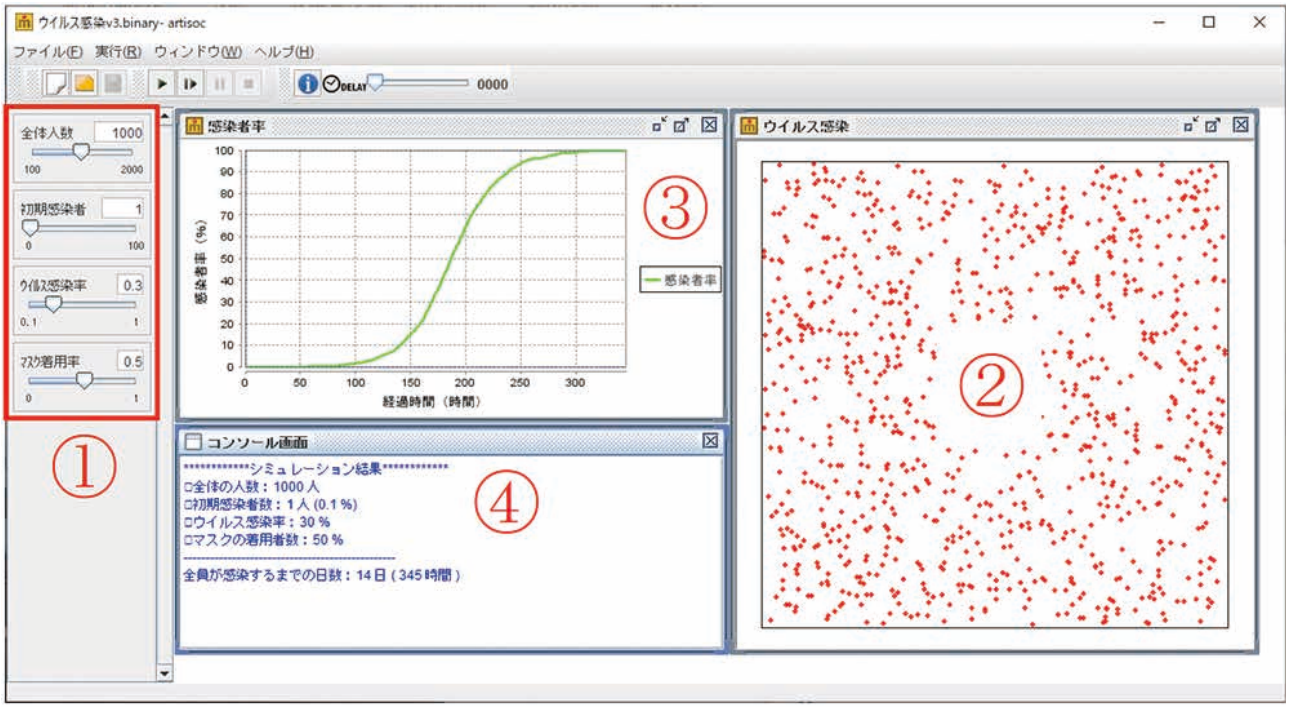
パラメータ 4：マスク着用率

全体人数に対するマスク着用率のパラメータであり，0.0 ～ 1.0 の間で変更が可能である．なお緑色のエージェント●が「マスク着用者」を表している．ウイルス未感染者とウイルス感染者が接触したとき，片方がマスクを着用しているとウイルス感染率を 1/2，両者とも着用していれば 1/4 に抑えることができる（この効果はウイルス感染後も有効である）．たとえば，ウイルス感染率が 0.3 のときにウイルス未感染者とウイルス感染者が接触した場合，ウイルス感染率は片方がマスクを着用していると 15%，両者がマスクを着用していると 7.5% まで減少させることができる．

シミュレーションの実行

各パラメータを任意の値に設定して実行ボタンを押すとシミュレーションが開始され，シミュレーション画面のエージェントがランダムに動き始める．次第に感染者数が増加していき，図 -2 ③の感染者率（全体人数に対するウイルス感染者の割合）を表すグラフが変化する．なお図 -2 ③のグラフはどのようなパラメータ値でシミュレーションを実行しても，多くの場合図 -1 のようなグラフ形状（ロジスティック曲線）を描くことになる．

すべてのエージェントがウイルス感染者に変化す



■図 -2　ウイルス感染のシミュレーション画面

るとシミュレーションは終了し，図 -2 ④のコンソール画面に「全員が感染するまでの日数」が表示される．これはシミュレーションを実行してからすべてのエージェントがウイルス感染者となるまでに要した日数を表している．なおシミュレーションの設定では，各エージェントが 1 マス移動する時間を「1 時間」であるとし，全員が感染するまでに要した合計時間を 24 で割った値（日数）が表示されるようにしている．

ここで図 -3 にシミュレーションによるウイルス感染拡大の様子（感染者率：0 ～ 100%）を示す．なお図 -3 のシミュレーションは各パラメータを「全体人数：1,000」，「初期感染者：1」，「ウイルス感染率：0.3」，「マスク着用率：0.2」に設定している．図 -3 を見ると，ウイルス未感染者である●（マスク未着用者）および●（マスク着用者）が徐々にウイルス感染者●に変化していることが分かる．

シミュレーションシートの作成

生徒は任意のパラメータを少しずつ変化させながらシミュレーションを実行し，その結果（全員が感染するまでの日数）の推移を図 -4 の右側に示したシミュレーションシートに記録し，結果をグラフ化する作業を行う．なお図 -4 の左側はシミュレーションの説明に使用した部分である．以下，パラメータの設定からシミュレーションシートの作成および共有までの手順を示す．

手順 1：パラメータの決定

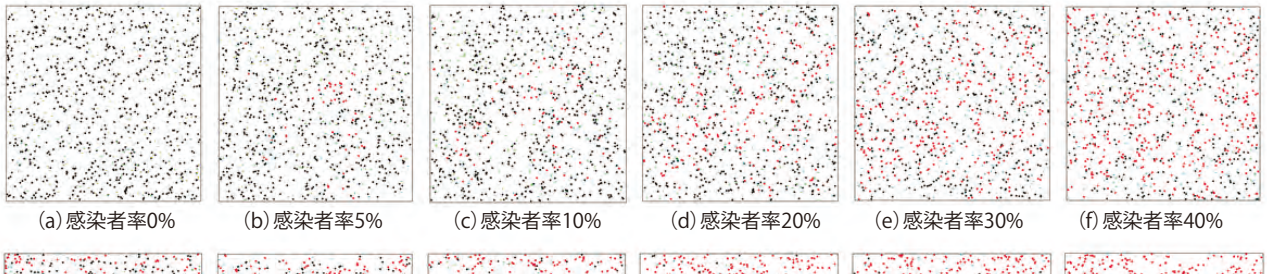
シミュレーションに使用する 4 つのパラメータを任意の値に設定し，これらの値をシミュレーションシートの図 -4 ①に記入する．また 4 つのパラメータの中から，変動させるパラメータを 1 つ決定し，該当する数値に○を付ける．さらに変動させるパラメータ値をシミュレーションシートの図 -4 ②に記入する．

手順 2：シミュレーションの実行

手順 1 で決定した変動させるパラメータ値に沿ってシミュレーションを順に実行し，シミュレーション結果をシミュレーションシートの図 -4 ③に記録していく．なお 1 つのパラメータ値ごとにシミュレーションは 3 回実行し，3 つの結果の平均値を算出する．これはシミュレーションにおいて毎回決まった結果になるとは限らないということを理解するためである．

手順 3：シミュレーション結果のグラフ化

手順 2 で記録したシミュレーション結果から折れ線グラフを作成する．グラフの横軸は変動させるパラメータ値（図 -4 ②の数値），縦軸は全員が感染するまでの日数（図 -4 ③の平均値）を表す．なお使用する各パラメータ値および変動させるパラメータ



■図 -3　シミュレーションによるウイルス感染拡大の様子（感染者率：0 ～ 100%）

によってグラフ形状は大きく異なる．

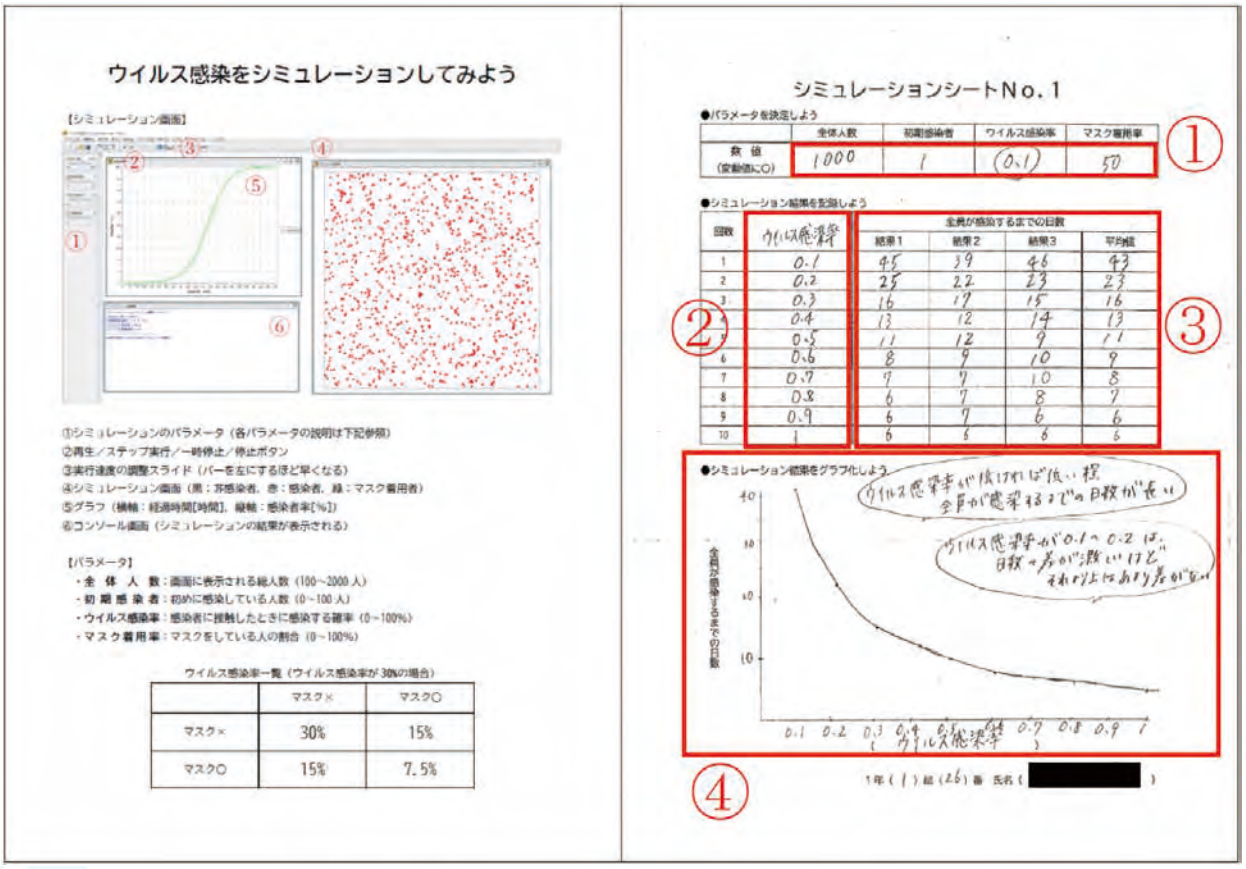
手順 4：シミュレーションシートの共有

手順 3 でシミュレーション結果をグラフ化したものを周りの生徒と共有する．ここでほかの生徒とシミュレーションシートを共有している様子を図 -5 に示す．変動させるパラメータが同じであってもほかのパラメータ値が少しでも異なるとグラフ形状が大きく変化するため，「なんで私のグラフと違うの？」，「私の結果って間違ってるの？」と声を発する生徒が多かった．ほかの人とシミュレーションシートを共有することで，シミュレーション結果がいつも同じにならないことや，少しのパラメータ値の変化が結果に大きく影響するということに気付くことができた．

授業の評価

授業アンケート

2 時間目の授業が終了した後に授業アンケートを実施し，授業が面白かったかどうかを 1 ～ 5 の 5 段階で回答してもらった．対象者 280 名のうち 270 名（欠席者 10 名）の回答を図 -6 に示す．回答者全体に対して 5 が 163 名（60.4 %），4 が 88 名（32.6%），3 が 19 名（7.0%），2 と 1 はそれぞれ 0 名（0.0%）という結果となった．このうち肯定的な回答（4 と 5）は全体の 93.0% となり，非常に高い数値を示している．また否定的な回答（2 と 1）が 1 つもなく，すべての生徒にとってシミュレーションの体験，加えて新型コロナウイルス感染症というタイムリーな題材が，大きく興味・関心を引き立てる内容であったことが分かる．



■図 -4　授業プリント（左側：シミュレーションの説明，右側：シミュレーションシート）

生徒の感想

今回のウイルス感染を題材としたシミュレーションの授業に対する生徒の感想を紹介する．次に示す生徒の感想例①のように，シミュレーションでは毎回同じ結果にならないことや，結果が異なってくるためシミュレーションすることが大切であると思ったと回答した生徒が多かった．

生徒の感想例①

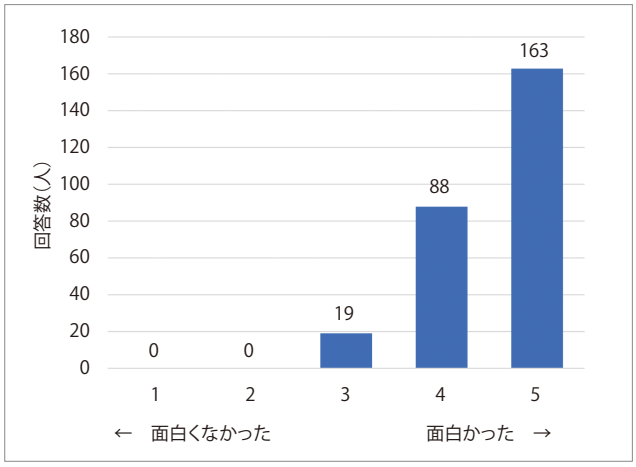
- ウイルス感染のシミュレーションをして，実際に試せないことをさまざまな場合を予想して実験するのが楽しかったです．
- 自分が思ったのと違うシミュレーション結果になったり，同じ設定内容でも違う結果になったりして面白かったです．コロナ以外でもシュミレーションしてみたいと思いました．
- シミュレーションごとに結果は全然変わってくるし，ほかの人と比べても結果は全然違っていたので，シミュレーションすることは大事だなと改めて思ったし，何回も実験して確認することが大切だなと思いました．

また次に示す生徒の感想例②のように，シミュレーションを通じて新型コロナウイルス感染症に対する予防意識が高まったという回答も多かった．

生徒の感想例②

- 危機感も高くなったけど，シミュレーションでこんなに一瞬で感染していくのだと思い恐ろしく感じました．日本人はマスクをすることに抵抗がないことが救いになっているのだと分かりました．しかしマスクをしていてもまったく感染しないわけではないので，今後も手洗いうがい消毒を徹底しようと思います．
- 今もコロナウイルスが流行している中で，このような授業をして国や県が「不要不急の外出を控えるように」と言っていた意味がよく分かったのでよかったです．シミュレーションを通してウイルス感染症の恐ろしさを改めて感じることができました．

■図 -5　シミュレーション結果の共有の様子



■図 -6　授業アンケートの結果（n=270）

授業を振り返って

生徒は今回の授業を通して，「予測」→「実験」→「分析」→「考察／共有」の 4 つのサイクルを複数回繰り返し，シミュレーションの流れに関して身をもって理解することができた．またシミュレーションシートをほかの人と共有することで，シミュレーション結果に対して深く考察できたことに加えて，新型コロナウイルス感染症に対する予防意識が高まったことも大きな効果があったと感じる．今後はウイルス感染の題材に限らず，さまざまな社会現象を取り入れたシミュレーションの授業を検討し，実践していきたい．

（2020 年 8 月 2 日受付）

井手広康（正会員）　k619154u@gmail.com
愛知県立小牧高等学校教諭（情報科）．愛知県立大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了，博士（情報科学）．主に情報教育，ゲーム情報学の研究に従事．日本産業技術教育学会，日本情報科教育学会各会員．

応
般

CASE 1：地方大学教員の場合

倉本　到（福知山公立大学）

はじめに：環境の大変化

福知山公立大学情報学部は，今年度（2020 年度）開かれた新しい学部であるが，それを置き去りにするほど今年の環境は大きく様変わりした．早い段階から全学の科目を遠隔講義に移行することを決断し，Zoom アカウントを全教員に配布した．移動の自粛が求められるようになると同時に在宅勤務が認められるようになった．筆者は自宅に子供が 2 人おり（中 1 ／高 1 の姉妹），子供たちもまた自宅待機で遠隔講義を受けているという状況であったので，早速在宅勤務を申請して家に引きこもることとなった．

これは，普通の大学教員が，遠隔での活動を強いられた環境でどのように働き方を変えたかの記録である．

私の働き方

筆者の在宅勤務状況は 100％在宅ではない．週に 1 日だけ，2 コマの遠隔講義とその講義をビデオに収録するために，片道 2 時間半の経路で大学に通っている．これは，自宅に講義実施のための十分な環境を整備できなかったためである．一方，それ以外の活動はすべて自宅からの活動となっている．講義は週 3 コマで，残る 1 コマは収録したビデオによる講義である（カリキュラム更新のために同一科目を複数コマ講義することになったため）．それ以外に，弊学では 1 年次からゼミ配属があるのでそのミーティングが週 1 コマ，あとは会議等がある．ほとんどの会議は大学で実施されているが，筆者は遠隔から参加している．

在宅勤務を始めるに際し，物置になっていた自宅の一部屋を勤務のために解放し，机と椅子，外部ディスプレイ 1 台を設置した環境を構築した．Web カメラはすでに通販では手に入らなくなっていたので，知り合いの先生にお借りして急場を凌いでいる．在宅勤務当初は普段使いのノート PC1 台で活動する予定だったのだが，会議や作業をしながら資料を広げようとすると画面の広さがまったく足りないことが早々に苦痛になってきたので，慌てて導入した次第である．

最初のうち，筆者はできれば在宅勤務は避けたいと考えていた．これは，大学に出勤するという行為が「これから仕事をするんだ」という意識の切り替えにつながっていて，在宅になるとその切り替えがうまく働かずに仕事が疎かになってしまうのではないか，という不安があったからである．実際，最初の数日はうまく日常生活とのバランスがとれずにいた．

しかしそれもせいぜい数日のことで，すぐに仕事と日常がうまく混ざり合い始めた．会議やゼミ活動の時間だけは部屋の扉を閉めて対応しているが，それ以外の時間は扉を開け放したままでも十分仕事ができるようになっていた．むしろ，開け放した扉の向こうに子供たちが遠隔講義を受けている様子を確認できるので，安心して作業ができるようになっていった．互いに仕事／学業へのプレッシャーをかけ合うこともなく，まるで以前からそれが普通だったかのようにそれぞれ遠隔作業／学習環境を受け入れていた．

在宅勤務になって，これまで自宅でほとんどしたことがなかった活動をするようになった．代表的なものとしては，1) 買い物，2) 料理 である．在宅し

ているということは，これまで勤務先にいる間ほとんど見ることがなかった家事を目の当たりにすることになる．平日妻がどんなふうに買い物をしているかを知る機会はこれまでまったくなかったわけで，筆者はそういう「これまでまったくなかったこと」には興味があるので，邪魔を覚悟で買い物についていくようになった．ちょうどお昼前に買い物に出て，お昼ご飯を作って家族で食べるようになった．

そういえば昼ごはんを家族全員で食べる機会もこれまでほとんどなかったわけで，子供たちがどんな食事の仕方をしているか（量や食べる速さなど）を初めて知ることとなった．上の娘は比較的おしゃべりなのでよく話をするが，無口な下の娘と話をする機会が一挙に増えた．現職についてからは単身赴任だったし，前職でも帰宅時間は家族の夕食が終わったあとが多かったことを思い出すにつけ，在宅勤務が家族の時間を確保してくれるようになったのは想定外の収穫だった．

料理は単身赴任の身であるので普段から作っているが，特に夕食では，家族全員分となるとやはり勝手が違う．筆者と妻は料理の得意分野が違うので（妻は煮込み系が得意）得意ジャンルに合わせて誰が料理するかは変わる．その方が互いに美味しいものが食べられるのだから問題はない．煮詰まった会議などで重たい仕事をしたあとは料理などやってられない，と思うことも単身赴任時は多かったように思うのだが，自宅で家族の分の料理を作るのは不思議に気分転換になる．あと，外食ができないせいで料理のレパートリーが増えてきたことも収穫である．

現状を思い返すと，最初に考えていた「意識の切り替え」が，筆者が思っていたほど仕事の集中に役に立っていたわけではなく，むしろ日々の生活にうまく折り合わせるほうが，日常生活と仕事とのバランスを適度に調整でき，精神的な観点ではより良い作業環境になっているように考えられる．これで自宅に講義収録ができる環境が実現したら……部屋のサイズを考えると不可能なのが残念だが……おそらく週１日の通勤もなくしてしまうだろう．

私以外の家族の働き方・学び方

家族の働き方（子供の場合は勉強の仕方）もずいぶん変わった．

上の娘はほぼ丸一日 LINE でビデオチャットである．勉強をしていないという意味ではなく，気の合う友達とビデオチャットを繋ぎっぱなしにして互いに勉強している様子を確認しあったり，分からない個所を気軽に質問したりしている．むしろ積極的に勉強している様子が分かるので，黙って机に向かっているよりも安心感が高い．このやり方は誰が教えたわけでもなく，在宅学習が始まった直後からすぐにこのスタイルに定着しており，教室ではなかなかできなくて苦労しているアクティブラーニング的な構造を自発的に組み立てていることがとても興味深かった．時折，LINE の向こうからくる質問に子供がうまく答えられないでいる場面で筆者や妻が答えることもあり，娘の交友関係を知る機会としても機能している．このような機会は，子供たちが学校で生活している限り絶対になかったはずの機会である．

下の娘は LINE をまだ利用していないのでそのような交友関係はないのだが，それでもたとえば Zoom/Google Hangout などのツールをさも当たり前のように利用していることに今更ながら驚かされる．ミュートやビデオのオン・オフの切り替えなどでプライベートを適度に確保する方法を肌感覚として知っているらしく，何も教えていなくても，すっとミュートを入れて筆者らに声をかけるなどの行動を違和感なく行っていた．筆者ですら時折ミュートを忘れてキーボードを叩いてしまい，オンライン会議の参加者諸氏に迷惑をかけることがあるというのに，である．

もう１点興味深かったのは，ビデオ講義を「流す」ことである．彼女らの使っている LMS（Learning

Management System）では，知っている範囲や分かっている内容であっても，ビデオ講義の映像をすべて再生しないと課題に回答できないようになっているようなのだが，よく考えるとそれらは時間の無駄である（厳密には，自分の理解の確認ができるので無駄と言うわけではないのだが，効率は悪いと考えているのであろう）．そこで彼女らは，複数のタブを開き，ビデオ講義を見ていないタブで「流し」，その間は YouTube を BGM に別の科目や課題をやるようになっていた．この辺りも遠隔講義ならではの対応と言えそうだ．

繰り返しになるが，最も驚いたのは，これらの対応について筆者も妻も何も教えていないにもかかわらず，自らそれらの工夫を編み出して，自分なりに効果的な新しい学習（仕事）環境を作っていることである．言葉として「ディジタルネイティブ」とは聞いていたが，彼女らの世界では遠隔通信環境がまったく特殊でない，本当に普通の世界なのだなと深く感じ入った次第である．

なお，妻は相対的に仕事が減ったのでゴキゲンである．

おわりに：アフターコロナの世界

不便やプレッシャーの中での生活を想像していた在宅勤務（在宅学習）は，蓋を開けてみるとたくさんの財宝を抱えていたのだが，それを今年の初めに想像できていただろうか．筆者はぼんやりと「メリットもデメリットもあるんだろうなあ」ぐらいのイメージでいたのだが，想像以上にメリットがある環境であることが体感できた．作業効率や内容が良くなったわけではないのだが，それをとりまく QoL（Quality of Life）の向上は明らかである．もちろん，設備や活動によっては出勤・出張のほうが効果的な場面は多数考えられるが，ルーチンとしての日常と仕事の融合には，思った以上に得るものがあるようである．また，ネイティブ世代にとっては，座学講義とは異なる環境にうまく適合した学習形態を実現する環境として新たな価値が付加されているとも言えるだろう．

アフターコロナの世界は「元には戻れない」のような悲観的な表現が目に付く．もちろんそういう側面もあるが，筆者やその娘たちにとっては，アフターコロナの世界は「元に戻したくない」新しい実りのある世界であるように感じられるし，そうありたいと願っている．子供たちの在宅学習が解かれ，今は朝からお弁当を作って通学している．それはそれで学校生活を楽しんでもらいたい一方で，この数カ月の経験を単なる一過性にせずに活用できるようになってほしいと思うばかりである．

筆者はと言えば，通常の仕事環境にはもう戻れないかもしれないことを，大学各位に覚悟していただければ幸いである．

（2020 年 6 月 26 日受付）

倉本　到（正会員）　uramoto-itaru@fukuchiyama.ac.jp

2019 年より福知山公立大学教授．HCI/HRI/ エンタテインメントコンピューティング技術の研究に従事．本会 Info-workplace 委員会副委員長．なお，所属大学は 2020 年 5 月より全学が遠隔講義に移行しており，著者は現在ほぼ在宅勤務中．2 児の父．

情報処理学会 <Info-WorkPlace 委員会 > とは

働き方に関する取り組みを実施する委員会です．具体的にはさまざまなメディアを通じて，個々人の働き方を紹介し，イベント企画を積極的に行っていきます．

Facebook：　https://www.facebook.com/ipsjInfoWP
Twitter　：https://twitter.com/ipsjInfoWP
note　　：https://note.com/info_wp2020　（本連載記事は note にも掲載されております）
※ SNS のアカウント・アドレスは事前の連絡なしに変更になる可能性があります．

● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト
Vol.61 No.10（Oct. 2020）

【特集：ユビキタスコンピューティングシステム（IX）】

■ 特集「ユビキタスコンピューティングシステム（Ⅸ）」の編集にあたって　井上創造
■ IoT Area Network Simulator For Network Dataset Generation　Van Cu Pham 他
■ Annotation Method for Human Activity and Device State Recognition based on Smartphone Notification Removals　Ryota Sawano 他
■ 足音と慣性データに基づく路面状況認識手法　三嶽寛人 他
■ 社交ダンスの動作特性を考慮したマルチモーダルセンサによるダンスフィガー認識　松山　仁 他

【一般論文】

■ Jact：JavaScript フレームワーク理解支援のためのプレイグラウンド型ツール　中島　望 他
■ 命令削除ミューテーションに基づく欠陥局所化の産業用ソフトウェアにおける評価　徳本　晋 他
■ 共有アンテナを用いた異種無線多重 MIMO チャネル動的構成方式*　奥本裕介 他
■ Detecting Energy Depriving Malicious Nodes by Unsupervised Learning in Energy Harvesting Cooperative Wireless Sensor Networks*　Boqi Gao 他
■ メタデータを利用したソーシャルメディア内グループのネットリスク検知　西口真央 他
■音韻検査のための非語の音声認識に有効な特徴量の検討　多々納俊治 他
■ Survey on Psychological Effects of Appreciative Communication via Voice Agent　Koichi Furukawa 他

*：推薦論文　Recommended Paper
†：テクニカルノート　Technical Note

● 論文誌トランザクション掲載論文リスト
（Oct. 2020）

【論文誌 コンシューマ・デバイス＆システム Vol.10 No.3】

■ 製造現場の作業分析結果を利用したカメラと深層学習による作業手順のリアルタイム監視システム　村井浩一 他
■ 拡張現実技術を用いた物流ピッキング作業支援システムの開発と HMD 表示画角の影響の分析　松本紀子 他
■ 植物体内水分の変化を考慮した灌水制御手法の提案　後藤将弥 他
■ 生活圏を考慮した施設情報検索システム　大西杏菜 他
■ 組込みシステムにおける熟練者知見を基にした優先度付きテストケース自動生成手法の提案　斎藤英美 他
■ データ同化による浸水位推定手法の提案と都市型水害での精度検証　廣井　慧 他

【論文誌 データベース Vol.13 No.4】

■ 主成分距離行列シルエットクラスタリングによる潜在因子ラベル付けモデル　大槻　明
■ 試行錯誤を許容するデータ解析支援システムと電気自動車の走行ログ解析　植村智明 他

【論文誌 デジタルプラクティス Vol.1 No.1】

■ ペナルティーキックの自動方向予測における重要特徴点とゴールキーパーの予測精度向上　伊藤慶明 他
■ 沿岸海上域における作業船建設工事（漁港，魚礁，港湾）への情報技術の活用　長野晋平 他
■ 大学教育用ソリューションの共創開発―開発から保守に至る 6 年間の共創の軌跡―　佐藤悦志 他
■ SINET 広域データ収集基盤を用いたオンラインビデオ処理実証実験　竹房あつ子 他
■ マーカレス 3 次元骨格位置推定のためのカメラキャリブレーション手法とバドミントン競技映像処理への実践　宍戸英彦 他

【論文誌 プログラミング Vol.13 No.4】

■ Centaurus: A Dynamic Parser Generator for Parallel Ad Hoc Data Extraction　Shigeyuki Sato 他
■ 実行時リージョン解析による動的言語 Ruby のメモリ割付け最適化　齋地崇大 他

【論文誌 教育とコンピュータ Vol.6 No.3】

■ 特別支援学校教員を対象としたプログラミング講座の教育的効果と特別支援学校で必要な配慮　大橋裕太郎 他
■ ジグソー法を用いた研究倫理教育　鈴木大助
■ スマートスピーカーを題材にした高等学校におけるプログラミング学習環境の提案　島袋舞子 他
■ Split-Paper Testing：A Novel Approach to Evaluate Programming Performance　Yasuichi Nakayama 他

…› 竹中　崇（日本電気（株）バイオメトリクス研究所）

子供の科学★ミライサイエンス

人工知能と友だちになれる？

―もし，隣の席の子がロボットだったら…マンガでわかるAIと生きる未来―

新井紀子 監修

誠文堂新光社（2018），160p.，1,200円＋税，ISBN：978-4-416-51818-2

この本を手に取ったきっかけは，小学校4年生の娘の夏休みの自由研究であった．夏休みの宿題の中でも自由研究は，読書感想文と双璧をなす「ラスボス」的な存在である．多くの家庭がそうであるように，我が家でも親が手伝うこととなった．せっかく手伝うなら親子で楽しめる題材が良いと考え，人工知能を題材とすることにした．最近はAmazon EchoやGoogle Homeなどスマートスピーカが身近にあり，娘も人工知能に対して興味を持っていたようである．まずは人工知能について調べることとし，本書を手に取った．人工知能に関する子供向けの書籍が数多くある中で，人工知能の概略から，その得意領域と限界，アプリケーション，付き合い方までをバランス良く取り上げられていると感じたためであった．

Part 1では，人工知能の概略について，チューリングテストなどの古典や，深層学習や強化学習など最近のトピックを交えてさらりと述べている．あまりにさらりとしていて，子供がどの程度理解できているか不安を感じるものがあるが，人工知能は大量のデータを学習することによって能力を発揮することができるということを理解したようである．

Part 2では，「もしクラスにAIがいたら？」と題して，現在の人工知能ができること・できないこと，得意なこと・不得意なことについて，本書の大部分のページを割いて，説明をしている．現在の人工知能が，人間には絶対に真似できないような膨大なデータを記憶し，大量の計算を処理し，統計的な手法で情報を出力していること，一方で，人間と同じように自ら考えているように見えてはいても，その意味までは理解をしていないことを，例を挙げながら丁寧に説明をしている．娘にとっては，人工知能が「経験したことのない問題に臨機応変に対応することはできない」ことに衝撃を覚えたようである．本書中で，“フレーム問題”（「ある仕事を実行するとき，人工知能がそれに必要な知識や情報だけを取り出して使うことができないという問題」）として紹介されている「自分の行動が引き起こしてしまうあらゆる可能性を考え始め，時間切れになってしまう」という点が，自身が日頃から付き合っている人工知能であるAmazon Echo（Alexa）の，「頻繁に聞き取り間違えをするものの，いつも瞬時に答えを返してくる」という挙動から想起しているイメージと違いがあったようであった．

Part 3では，「AIで未来はどうなる？」と題し，現在開発されている人工知能のアプリケーションが列挙されている．自動運転，スマートホーム，ヘルスケア，病理診断，レジレス決済，在庫管理，生体認証やパブリックセーフティ，物流，農業，金融の各領域において人工知能がどのように利用されるのかが説明されているのだが，小学生の娘には若干難しかったらしく，そのほど興味を持ってもらえなかった．

最後の Part 4 では，「AI と友だちになるには」と題し，Part 2 で紹介した「人工知能が得意なこと・不得意なこと」に基づき，人工知能と共存し役割分担をしていくために，現在の人工知能が苦手な論理的思考を伸ばすことが必要であると主張している．さらに，論理的思考を伸ばすために「教科書に書いてあることを理解する力が大事」と説いている．主な内容は監修者の別著[1]に基づいており親には非常に興味深かったのであるが，娘がどの程度理解しているかは疑問であった．いずれにしても，娘は主に Part 1 と Part 2 の内容をもとにしてレポートを仕上げることができた．

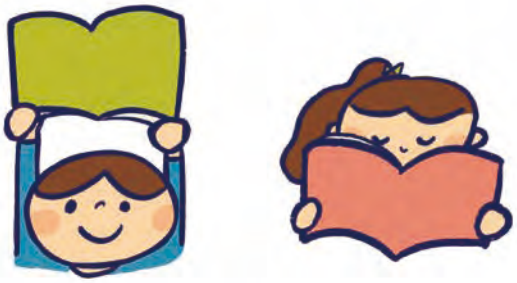
最後に，本書とは直接関係ないが，ドーナツの種類判別をする人工知能を「工作」として作ったので，簡単に紹介する．レポートだけでなく，人工知能に関する一連の手順を体験することで，より理解が深まると考えたためである．Google 社から，Do-it-yourself artificial intelligence プロジェクト（AIY プロジェクト）[☆1]の一環として，工作用のキット[☆2]が提供されているのでこれを利用した．このキットでは，Raspberry Pi Zero をベースに，カメラと Intel 社の深層学習アクセラレータを搭載しており，カメラで撮影した画像に対するリアルタイムな画像認識を簡単に体験できる．オールドファッションやフレンチクルーラーなど数種類のドーナツを撮影し，これらの画像を覚えさせる（学習させる）ことにより，ドーナツの種類を識別できるさまを体験した．ドーナツ画像を増やすことで正確に判別できるようになってくることを体験し，本書で述べられている通り，大量のデータを学習することで能力が発揮されることを肌で感じてもらえたようである．実際には工作の方がメインの自由研究となった．もしも，我が家と同様に夏休みの自由研究に人工知能に取り組もうとされているのであれば，本書とともに，このキットを試してみることもお勧めする．

参考文献
1）新井紀子：AI vs. 教科書が読めない子どもたち，東洋経済新報社（2018）．

（2020 年 8 月 31 日受付）

☆1 https://aiyprojects.withgoogle.com
☆2 https://aiyprojects.withgoogle.com/vision/

竹中　崇（正会員） takashi.t@nec.com
日本電気（株）バイオメトリクス研究所主幹研究員．



連載

5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

杉木章義（北海道大学情報基盤センター）

Anil Madhavapeddy et al. : Unikernels : Library Operating Systems for The Cloud

ACM ASPLOS (2013)

OS 研究の不思議

オペレーティングシステム（OS）やシステムソフトウェアの研究者は一体何の研究をしているのだろうか？　と疑問を抱かれるのではないかと思う．OS は依然として脆弱性などの問題を抱えており，アプリケーションソフトウェアから見れば，OS の設計や実装は枯れていて，特に大きく進歩しているようにも思えない．しかしながら，OS の世界では，新しいアーキテクチャの検討が進行中である．

クラウド時代のライブラリ OS

ライブラリ OS は，モノリシックカーネルやマイクロカーネルに次ぐ，新しい OS 設計の模索である．その特徴は，OS をライブラリとしてアプリケーションに組み込み，単体でマシン起動可能とする点である（図 -1）．

ライブラリ OS 自体はまったく新しい概念ではない．1990 年代の Exokernel や Nemesis など古くからあるアイディアである．今回紹介する Unikernel に代表される研究が画期的なのは，クラウドコンピューティングが広く普及したので，仮想化ハイパーバイザの存在を仮定する点である．クラウドの時代においては，仮想マシンの作成や破棄が容易となり，アプリケーションごとに仮想マシンを立ち上げることも簡単である．また，従来のライブラリ OS の大きな弱点であったさまざまなハードウェアのサポートも，仮想マシンの中ではエミュレートされた仮想デバイスとして標準化されているため，大きな問題とはならない．

本論文の Unikernel，そのプロトタイプ実装としての MirageOS は，まさにクラウド時代のライブラリ OS である．また，単一アドレス空間上でライブラリ OS とアプリケーションをリンクし，マシン起動可能としたものに Unikernel と名付け，専門用語として広めたのも著者らの貢献であると言える．

クラウド世代のライブラリ OS，Unikernel に共通する特徴は次のとおりである．

- 単一目的のアプリケーション：仮想マシン 1 台

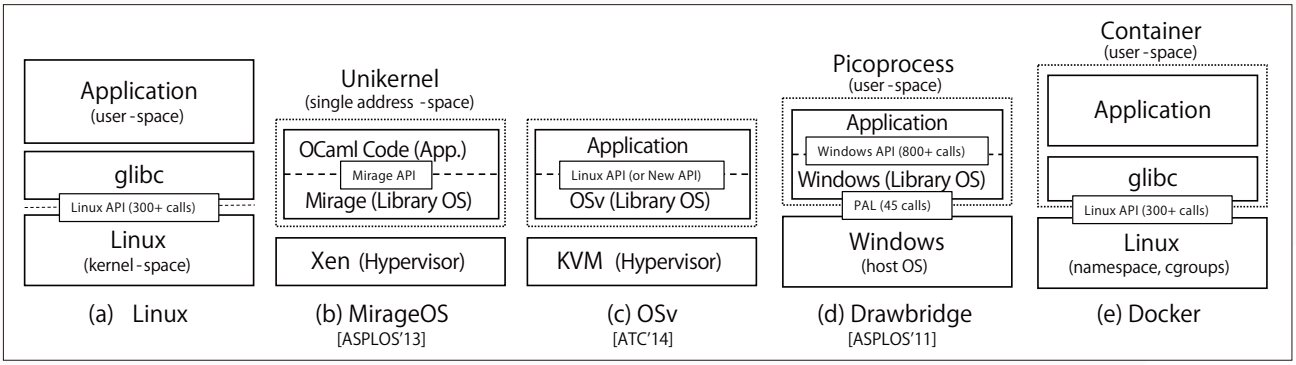


図 -1　OS 設計の比較

あたり起動するのは，1つのアプリケーションのみとする．近年のクラウドシステムは，Webサーバ，データベースなどの複数のアプリケーションで構成されている．そのそれぞれに仮想マシンを割り当てる．従来のOSでは，マルチユーザ，マルチアプリケーションを想定していたのに対して，単一ユーザ，単一アプリケーションを仮定する．

- 単一アドレス空間：従来のOSでは，ユーザ空間とカーネル空間を明確に分離し，実行していた．ライブラリOSでは，単一アドレス空間上でアプリケーションとカーネルを共存させる．従来OSのシステムコール呼び出しは単なる関数呼び出しとなる．システムコール呼び出しに伴うオーバヘッドは大幅に削減され，性能が向上する．
- TCB（Trusted Computing Base）の削減：近年のモダンOSは非常に巨大である．OS分野のセキュリティでは一般にコード量を削減するアプローチが有効である．ライブラリOSでは，冗長な抽象化レイヤを削減し，全体をコンパクトにすることができる．これはセキュリティの向上だけではなく，起動時間の短縮，メモリやディスク使用量の削減にも繋がる．

一方でUnikernelの実現には，いくつかの設計上の選択肢があり，MirageOSでは下記の選択を行っている．

- 高水準言語の利用：新しいOSを開発する上で大きな課題となるのが，既存のアプリケーションとの互換性である．MirageOSでは，この従来のアプリケーションとの互換性をきっぱりと諦め，OCamlで記述されたアプリケーションのみを対象とする．強い静的型付けを備えた高水準言語の利用は，過去のSingularityの研究とも関連している．また，本論文が採択されたASPLOSは，OSとアーキテクチャ，プログラミング言語分野の境界領域のトップ会議であり，その点でも本論文の採択は適切である．ここで面白いのは，ほぼ同時期に登場したOSvでは，LinuxのABI（Application Binary Interface）との互換性を重視していたのに対して，MirageOSでは言語的なメリットを重視しており，まったく正反対のアプローチとなっている．
- コンパイル時特化（specialization）：OCamlのような静的特化をサポートする言語を用いれば，OSとアプリケーションを結合し，大域的な最適化や不要コードの削減を実施することが可能である．また，コンパイル時に設定情報も静的にに埋め込めば，改変や改竄は不可能となる．これは一時期流行したイミュータブルインフラストラクチャの概念とも関連している．

一般にOS分野の評価では，マイクロベンチマークとマクロベンチマークの2つを実施するというのがお約束である．マクロベンチマークでは，DNSサーバ，OpenFlowコントローラ，WebとDBの統合サーバを実装し，評価しているが，既存の本格的なアプリケーションと比較すると機能は最小限であり，かろうじて動いていたというのが実情だろう．

その後の展開について

MirageOSはライブラリOSの中でも極端なアプローチをとったため，広く普及するには至らなかった．一方で，論文としては非常に面白く，ライブラリOSの可能性と限界を示しているといえる．実際，MirageOSの開発元スタートアップであるUnikernel Systemsは2016年にDocker社に買収されたが，現在までその成果が広く知られるに至っていない．

これまでのライブラリOSはあくまで研究用OSのポジションであり続けた．Drawbridgeで実現されたピコプロセスを除き，ライブラリOSはほとんど実用化には至っていない．一方で近年，既存のLinuxのABIと互換性を保ったライブラリOSが複数登場してきている．つまりは当初のOSvに近

い研究が増加している．経験の蓄積も大幅に進んでおり，ライブラリ OS は実用化目前かもしれない．ピコプロセスは，既存のホスト OS 上に最小限のマシン抽象化インタフェースのみを設け，Windows や Linux などをライブラリ OS として実行する方式である．これは，ホスト型ハイパーバイザに近いアプローチであり，ベアメタル型に近い MirageOS や OSv とは異なる．

今回の執筆依頼にあたり，ACM SIGOPS の The Hall of Fame Award なども調査したが，OS のコミュニティでは評価を得るまで最低 10 年間，実際には 20 ～ 30 年以上の時間を要するようである．ライブラリ OS の登場は 2010 年代前半であるので，そろそろ本格的に実用化されてもおかしくはない．また，IoT やエッジコンピューティング，マイクロサービスなどのライブラリ OS 向きの新しい文脈も登場している．ライブラリ OS は単一アドレス空間でコンパクトであることから，学生や若手研究者にも理解しやすく，参入しやすいであろう．私の本来の専門は OS よりやや上層のシステムソフトウェアであり，私自身がナナメ読みをしてしまっているかもしれないが，今後の OS 研究の発展に期待していただきたい．

(2020 年 7 月 31 日受付)

杉木章義（正会員） sugiki@iic.hokudai.ac.jp

2007 年電気通信大学電気通信学研究科博士後期課程修了．博士（工学）．科学技術振興機構 CREST 研究員，筑波大学学術情報メディアセンターを経て，北海道大学情報基盤センターに着任．システムソフトウェアと OS に関する研究に従事．

ご寄付のお願い

情報処理学会は、情報処理に関する学術および技術の振興をはかることにより、
学術、文化ならびに産業の発展に寄与することを目的に各種事業を戦略的に展開しております。
今回、学会活動の更なる活性化を図る上で会員の皆様からご寄付を頂戴いたしたく、お願いを申し上げる次第です。

皆様から頂きますご寄付は

情報技術を通じて、人類及び世界の発展に資するため
情報技術を中心に学術および技術の振興に資するため
将来を担う人材の育成に資するため

などの観点に照らし、下記の項目に活用させて頂く所存です。

今回ご寄付をお願いしたいのは現金に加えて、情報技術に関わる有形無形の資産（著作物、電子的コンテンツ、特許、ソフトウェア等）、ボランティアで提供いただける役務提供（経験や知識に基づく役務）なども含みます。
お預かりいたしましたご寄付のうち使途のご指定のあるものは、そのご意向に沿った活用をさせて頂き、
ご指定のないものは、その使途を学会活動の活性化に有効な諸事業で活用させて頂きます。
今後も会員の皆様の絶大なるご支援・ご協力を頂きながら、学会発展のために努力して参る所存でありますので、
何卒よろしくお願い申し上げます。

＊ご注意 情報処理学会は寄付金に対する税金が優遇される特定公益増進法人ではございません。

IPSJ　寄付

会員他寄付

現金
資産
役務

IPSJ
学会活動に活用
役務提供

活用先

教育・育成
情報入試　子ども教室　パソコン教室
社会貢献
表彰
国際活動
規格標準化
情報資産保存
学会諸事業
その他

詳しくはこちら

https://www.ipsj.or.jp/annai/other/donation.html

お問合せ

一般社団法人　情報処理学会　管理部門
〒101-0062　東京都千代田区神田駿河台1-5　化学会館4F
TEL 03-3518-8374　FAX 03-3518-8375
soumu@ipsj.or.jp

ICASSP 2020 参加報告

会議概要

ICASSP (International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing) は IEEE Signal Processing Society が開催する信号処理分野最高峰の国際会議で，本会議で開催 45 回を数える．対象分野は会議名に含まれる「音声・音響信号処理」を始めとして，画像・映像・通信・医療など多岐にわたって工学分野のための信号処理をカバーしている．ICASSP における投稿論文採否の競争率は他の信号処理分野の国際会議と比べると高く，今回の採択率は約 47% であった．例年の ICASSP と異なる今回の会議の大きな特徴として，バーチャル開催であったことが挙げられる．本稿では，ICASSP 2020 のセッションの紹介に加えて，本バーチャル会議の実施方法，様子などを紹介する．

バーチャル開催に伴う実施方法の変更点

本会議は当初 2020 年 5 月 3 日から 5 月 8 日の間，スペインのバルセロナにて開催される予定であったが，昨今の新型コロナウイルス感染拡大のため，バーチャル開催となった．

オンデマンド動画配信形式のプレゼンテーション

論文採択通知時点ではオンサイト開催を予定していたため，発表形式は通常通り「オーラル形式／ポスター形式」に分かれていたが，バーチャル開催への変更後は全発表がオンデマンド動画配信形式となった．発表者は動画を 15 分以内で録画し，投稿専用システムからアップロードする．なお学会からは「指定された期日以内に投稿できなかった場合，No Show 扱いにする」との厳しい警告があり，注意を要した（動画作成の指示からアップロード締切日まで日数が少なかったため焦った発表者も多かったと思う）．

会議開催中は，発表動画が埋め込まれた専用ページが各発表に対して開設され，質疑応答用のコメント投稿欄も設けられていた．詳しい質疑応答の方法は次節で説明する．

公開／非公開形式の質疑応答

各発表の質疑応答は，各発表に開設された専用ページ内の質疑応答フォームを介してやりとりが行われた．質問の方法には「公開」「非公開」の 2 つの形式が用意された．公開質問は発表者・質問者間のすべてのやりとりがページ上に掲載されるため全聴講者が閲覧できる．一方非公開質問はページ上には掲載されず，発表者・質問者間のみでやりとりを行う．なお，学会からは「72 時間以内に質問への回答を投稿できなかった場合，No Show 扱いにする」との警告があり注意を要した．最終的にすべての質疑応答に回答することで，発表は完了する．後日学会からは，発表したことの証明として，**図 -1** の証明書が送られた．

参加費用

バーチャル開催に伴い，参加費に関しても大きく変更された．従来のオンサイト開催の ICASSP では，参加者は必ずそれぞれのステータス（学生･非学生，学会員･非学会員）に応じた参加費を支払い，各発表論文につき必ず 1 名以上の著者がフルレジストレーション（非学生価格での参加登録）していることが必要であった．今回は「著者 1 人がフルレジストレーションすれば，その著者を含む論文（4 本まで）の共著者は無料で参加可能」となり，さらに聴講のみの参加者の参加費も無料となった．

リモートライブ配信による公式ソーシャルイベント

今回のバーチャル会議では，例年のオンサイト開催における対面式ソーシャルイベント（レセプション・バンケットなど）の実施ができなかったため，代わりの公式イベントとしてヨガ・バーチャル観光ツアーなどが Zoom によってライブ配信された．

セッション紹介

ICASSP 2020 は 193 のレギュラーセッション，29 のスペシャルセッション，12 件のチュートリアル，5 件の基調講演，9 件の Show & Tell（デモンストレーション）などで構成された．

チュートリアル

ICASSP 2020 のチュートリアルでは 12 件のうち 5 件が深層ニューラルネットワークに関連する内容であった．このことからも，深層ニューラルネットワークの注目度が依

Certificate of Presentation

Paper ID SPTM-L4.4: titled 'EPIGRAPHICAL REFORMULATION FOR NON-PROXIMABLE MIXED NORMS' was presented virtually at ICASSP 2020 during 4-8 May 2020.
Authors: Seisuke Kyochi, University of Kitakyushu, Japan; Shunsuke Ono, Tokyo Institute of Technology, Japan; Ivan Selesnick, New York University, United States

IEEE Signal Processing Society
2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing
May 4 - 8, 2020
Virtual Barcelona, Spain

IEEE

IEEE Signal Processing Society

Ana I. Pérez-Neira
ICASSP 2020 General Co-Chair

Xavier Mestre
ICASSP 2020 General Co-Chair

図 -1　発表証明

然として高いことがうかがえる．個人的には特にグラフ信号処理に関心を寄せているため，「Graph Filters with Applications to Distributed Optimization and Neural Networks」と「Graph Neural Networks」を聴講した．これらの講演の中では近年注目されている「グラフニューラルネットワーク（グラフ信号向け深層ニューラルネットワーク）」が取り上げられた．

基調講演

ICASSP 2020 の 5 件の基調講演では Yoshua Bengio 教授による「Deep Representation Learning」を始め，Yonina Eldar 教授による「From Compressed Sensing to Deep Learning: Tasks, Structures, and Models」，Georgios Giannakis 教授による「Gauss-Fourier-Wiener-Kalman Ensembles for Adaptivity and Robustness」，Björn Ottersten 教授による「Multiantenna Precoding in Wireless Communication Systems」，Mari Ostendorf 教授による「Conversational Systems and the Marriage of Speech and Language」など，旬の深層学習から，信号処理本流のサンプリング，適応信号処理，通信，音声言語処理など多岐にわたる内容が各々の分野の開拓者から提供され，有意義な機会となった．

スペシャルセッション・レギュラーセッション

ICASSP 2020 のスペシャルセッションは口頭発表：27 セッション，ポスター発表：2 セッションで構成された．ICASSP 2019 での 40 セッションからセッション数は減少となったが，深層学習の最前線や，ポスト 5G，IoT などさまざまな最先端の話題が取り上げられた．レギュラーセッションに関しては口頭発表，ポスター発表ともに 10 分野で構成された（分野インデックスの詳細に関しては https://2020.ieeeicassp.org/wp-content/uploads/2020/05/OnDemandIndex.pdf を参照されたい）．各分野の発表件数をまとめた**表 -1** から分かるように，口頭・ポスター発表合計件数で最多の分野は SPE（Speech and Language Processing）であった．次いで MLSP（Machine Learning Signal Processing）が多く，機械学習と信号処理の学際領域の話題が大きなウェイトを占めている点にも，近年の機械学習分野の勢いが表れていることが分かる．

表 -1　各分野の発表件数と公開質問数

口頭発表			ポスター発表		
分野	発表件数	質問数	分野	発表件数	質問数
AUD	54	70	AUD	140	120
BIO	30	9	BIO	72	29
CI	12	5	CI	11	2
COLL	12	3	DIS	48	36
HLT	18	5	HLT	60	11
IDSP	9	4	IDSP	11	1
IFS	12	4	IFS	33	7
IVMSP	58	32	IOT	11	8
ISS	9	1	IVMSP	136	66
MLSP	68	15	MLSP	184	45
MMSP	12	1	MMSP	29	8
SAM	23	16	SAM	68	34
SPCOM	11	8	SPCOM	60	28
SPE	102	109	SPE	271	252
SPTM	47	36	SPTM	111	27
SS	162	99	SS	20	4
			S&T	27	17

所感

今回の ICASSP 2020 に参加して筆者が感じたバーチャル開催のメリット，課題を以下に述べる．

メリット

1. 参加聴講費無料のため，分野外の研究者，研究室未配属の学部生，企業の開発者など，誰でも気軽に聴講できる．特に学部生に関しては，世界の研究者が集う本会議の聴講を通じて，アカデミアのダイナミズムを体感できるため，大学院進学への大きなモチベーションになると期待できる．
2. 従来の国際会議では，同時刻に開催されている別セッションの口頭発表を同時に聴講することができないが，オンデマンド動画配信であれば後から聴講可能である．

課題

1. 全体的に質疑応答の活発さに乏しく，またセッション・発表者によって温度差が激しい傾向があった．表 -1 の公開質問数が示すように，多くの分野で 1 発表あたり 1 質問を下回っている（実際には公開質問数 0 のセッションもあった）．もちろん非公開での質疑応答が活発に行われている可能性もあるが，通常のオンサイト開催での国際会議のように気軽に質問することが難しくなっていると感じる．
2. 他の研究者（特に海外研究者）との交流を通じてネットワークを広げるのが国際会議に参加する 1 つの醍醐味である．オンサイト開催であればセッション中・コーヒーブレイク中に雑談ができるが，バーチャル開催では難しい．
3. オンサイト開催のポスター発表では，会場内を目的なく歩きながら想定外の興味深い研究を目にする機会があるが，バーチャル開催ではその機会が中々得られない．

ICASSP 2021 への期待

本稿ではバーチャル開催となった ICASSP 2020 の内容紹介と，バーチャル会議に参加して得られた気づきを述べた．もしこの新型コロナウイルス感染が終息し，次回 ICASSP 2021 がオンサイト開催となった場合でも，ぜひオンデマンド動画配信を導入し，オンサイト・バーチャル開催の両メリットを活かした会議を実現してほしいと期待している．一方で，次回もバーチャル開催となる場合は，発表に関する議論，研究者間の交流を活性化させるためにより一層の工夫を期待したい．

（京地清介／北九州市立大学）

連載

先生，質問です！

最近よく聞く量子コンピュータについて，異なる観点から語っていただきました．

量子コンピュータは実現しますか？

匿名希望
〔正会員〕
社会人

Q

A

はい，すでに実現しています．といっても，これはどのような量子コンピュータか？ということによって答えは変わります．たとえば，みなさんが使っているスマホの中でも，半導体というスイッチみたいなものを動かして計算をしています．この半導体は量子なくしては動きません．でも，やっている計算はみなさんがやっている足算や掛け算に似たようなもので，さすがに量子コンピュータとは呼べないでしょう．ほかにも，カナダの D-wave という会社が量子を使って新しい方法で計算をするコンピュータを実現しています．これこそ量子コンピュータが実現したといってもいいかもしれません．しかし，量子の力を完全に引き出せているわけではなく，僕たちが普段使っているコンピュータにまだ勝てていません．量子コンピュータたるもの，私たちが使っているコンピュータよりも速くあるべきでしょう．昨年，Google が最先端のスーパーコンピュータを超える速さの量子コンピュータを実現したと発表して話題になりました．今度こそ，量子コンピュータが実現したといってもいいかもしれません．しかし，Google がやった実験は量子コンピュータを使ってデタラメな数字を計算することです．量子コンピュータたるもの，役に立つ計算で私たちの使っているコンピュータよりも速くあるべきでしょう．そのような量子コンピュータはまだ実現していません．このように，量子コンピュータとは何か，どうあるべきか，何ができるのか，というのを考えるのも私たちのやっている研究です．そして，私は量子コンピュータはいずれ必ず実現すると思っています．少なくとも，量子コンピュータの実現を邪魔する物理法則はいまだ見つかっていません（もし見つけることができれば歴史に名前が刻まれます）．なので，時期が熟せば実現すると思います．

藤井啓祐
大阪大学基礎工学研究科／大阪大学先導的学際研究機構量子情報・量子生命研究センター

門脇正史
(株) デンソー
AI 研究部

A

自動車の中には，たくさんのコンピュータが入っていることを知っていますか？安全安心快適な移動手段をみんなに使ってもらうために，自動車の中の色々なところでコンピュータが働いています．量子コンピュータも，実現したら，いずれ自動車の中にたくさん入ってくるかもしれません．量子コンピュータの研究者は，古典力学と量子力学とを区別するのと同じように，私たちが普段使っているコンピュータを古典コンピュータと言ったりします．ちょっと偉そうですね．コンピュータは今から 70 年以上も前に誕生して，当時は倉庫 1 つ分の大きさだったそうです．ですから，量子コンピュータがあちこちでみんなの役に立つまでには，少し時間がかかるかもしれません．その準備として自動車の会社では，量子コンピュータを使うと，都市の交通渋滞や工場での製品の生産にとって，どんないいことがあるのかを研究しています．他の会社でも，たとえば新素材の開発や，より良いサービスのために使えないかなどを研究しています．必要は発明の母といいますから，たくさんの人に必要と思ってもらえば，日本や世界中の研究者が協力して量子コンピュータを実現してくれると思います．

A

きっと実現すると思います．量子コンピュータは量子力学と呼ばれる原理に従って計算をするコンピュータです．ふだんの生活の中で皆さんは気にしていないと思いますが，実は私たちの住んでいる世界そして宇宙も同じ量子力学の原理に従って動いていることが知られています．それなので宇宙全体がすでに量子コンピュータであって，私たちが生きているのはその計算動作の一部（！）と言えるのかもしれません．このような考え方は SF 映画のように聞こえるかもしれませんが，実は宇宙の成り立ちにも深くかかわっている可能性もあります．一方で，実際に量子コンピュータを作ろうという研究では，そのように自然に造り上げられたものではなく，人間が設計して作り上げた装置で，量子力学の持つ計算能力を最大限に引き出そうという試みが行われています．自然を支配する最も根本的なルールを自在に使いこなす究極の機械が量子コンピュータと言ってもいいでしょう．

中村泰信
東京大学先端科学技術研究センター／理化学研究所創発物性科学研究センター

「先生，質問です！」への質問・回答募集

＜質問＞

- **Web から質問：** 下記の Web ページ内の投稿フォームから質問をご記入ください．
- **Twitter ハッシュタグで質問：**「# IPSJ 先生質問です」とハッシュタグをつけてツイートしてください．

「先生，質問です！」への質問・回答はこちら↓

＜回答＞

- **公開質問：1. 学校の勉強で、一番何が重要だと思いますか？**
  2. 技術を発展させるには、どういうことをしたらいいですか？
  300 ～ 500 字程度でご回答をお待ちしております．
  なお，一部加工の上掲載させていただく可能性がありますので，あらかじめご了承ください．
- **質問・回答フォーム：** https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q.html
- **本企画の問合せ先：** 新世代企画委員会／会誌編集委員会 「先生，質問です！」係 E-mail: sensei-q@ipsj.or.jp

今月の会員の広場では，8月号へのご意見・ご感想を紹介いたします．まず，巻頭コラム「パタゴニアのキャンプで『自宅待機』」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■非常に興味深かったです．発掘調査という，情報屋の我々からかけ離れた研究手法の話だけでも興味深いですが，それがよりによってコロナによる「自宅待機」という非常事態に遭遇してしまったというのは，巻頭コラムのような短い文章だけでなく1冊の本として読みたいくらいの内容です．複数の選択肢を準備しておくことという教訓は，実体験からくる説得力がすごかったです．（服部充洋）

特別解説「特別定額給付金―何が問題か，今後どう改善すべきか」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■社会的な問題がシステムにあるかどうかをきちんと検証することは重要と思います．システム開発だけでは解けない法律，社会的な問題があることを認識した上で，今後の改善に取り組むべきと思いますが，それを研究者だけでなく広く一般の方にも平易に伝える機会があればよいのにと思います．（除補由紀子）

■現行のマイナンバー（カード）制度の問題点についてもっと明らかにしてほしいと感じました．（松浦満夫）

■時事的で社会的関心の高い話題について専門家の解説が得られるのは，社会的にも大変有意義であると思います．（金子雄介）

■個人を特定するためにマイナンバーを用いることができず，システム間の連携もできなかったことが書かれているが，なぜそのようなことになっているのかという問題を，技術的・歴史的な観点から明らかにしてほしい．その背景知識がないと，この記事を読んでも，なぜそんな悲惨な状況なのかが理解できないので．（風間一洋）

■今回のように社会と情報技術の兼ね合いについて理解が進むような記事を期待します（一般的な専門知識については，論文なり教科書なりで読むことができるため，です）．（平澤将一）

連載「買い物自慢：日本最高峰でのセミナー『富士山頂AIセミナー』に必要なものを安く手に入れるには？」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■「買い物自慢」という連載なのに，「自慢」の要素がまったく入っていなかった．（伊藤雅樹）

特集「プログラミング教育の最前線」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■自分が小学生だったときにはまったく影も形もなかったプログラミング教育が小学校で始まるということで，自分もこれから小学校に送り込む子供がいるので興味を持って読みました．プログラミングというとコーディングまで含まれるのかと考えていましたが，プログラミング的思考を育むことであり，さまざまな教科の学習においてプログラミング的な考え方や知識，理解を深めることであると知り，納得いきました．ただ，これらを進めるにおいても教員のスキルや知識が不足していると感じており，指導要領の改訂だけでなく，教員の教育および専門的な知識を持ち教員を補佐するエンジニアを雇用する仕組みを作るべきと考えます．（除補由紀子）

■ビスケットやScratchを代表とするビジュアルプログラミング環境，micro:bitやtoioといった教育用ハードウェアなど，最近のプログラミング教育環境は本当に恵まれていると思う．このような環境で学んだ者たちが，創造的にものを考え，現実の問題を解決するための手段としてプログラミングを選んでくれると嬉しいと思っている．（佐伯嘉康）

「1．ついに始まった小学校プログラミング教育」
■特に，詳細な手順に落とし込む際に曖昧さが残る問題については，さらに深掘りしてうかがい知りたい．別途，業務手順書を作成する際に，適切性や充足性の問題と関連して重要な事象と思う．（匿名希望）

「2．プログラミングの大衆化が始まった」
■原田さんの記事は，世代が近いことや私自身が若いころにPrologに触れて感動した経験などもあり，大変共感を持って読ませていただきました．小学校の田んぼと同じという話や，体験授業の最後にコンピュータサイエンス的な解説を入れてらっしゃるという話に感銘を受けました．（匿名希望）

「4．楽しいロボットプログラミングを目指して」
■大人でもJavaScriptや技術仕様をもとにロボットプログラミングを楽しめることが分かり，誰でも気軽に体験できる点で興味を持ったから．（匿名希望）

小特集「中高生の情報教育に関する支援活動」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■研究レベルや内容，年齢など関係なしに，中高生のアイディアを元に行った研究活動はとても面白く日本の可能性を感じた．海外と比べて遅れがあるとはいえ，こうした活動・発表の場があることはとても良いことだと感じる．（笹部聖也）

「4．中高生情報学研究コンテストの作品紹介」
■紹介されている上位入賞チームの研究はどれもレベルが高く，このように優秀な中高生が多数育っていることを大いに心強く感じた．情報分野は若いうちから才能を伸ばすことが

重要であり，その点からも本会でジュニア会員制度や中高生情報学研究コンテストなどが実施されていることは大変有意義であると思う．今後さらなる発展・充実を期待したい．
（丹羽邦彦）

連載「IT 紀行：つくばとオンラインで Maker 魂を感じてみた！」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■ IT 紀行を読んで，Maker Faire に行きたくなりました．コロナの影響下で開催が難しいのではと思っていましたが，5 月にオンライン開催されていたらしいので，東京も楽しみです．人の動きや無人決済システムなど，今後の三密回避を担保できるシステムとして注目を集めるのではと考えています．新しい技術を受け入れ活かすため，今後もいろいろな情報の提供を楽しみにしています．（匿名希望）

その他については以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました．

■大浦圭一郎先生，マイクロソフト情報学研究賞受賞おめでとうございます．私は CeVIO の大ファンです．あのリアルでなめらかな歌唱を支えるメカニズムが高く評価されているのが本当に嬉しいです（音声合成の専門家でもないのにこんなことを言ってしまって大丈夫でしょうか……）．（小野晶子）

■サイバー犯罪の現状など興味があります．
（席定大翔／ジュニア会員）

■成人教育（企業人への技術教育）に向けてのアプローチなど．（木村良一）

■近年，ソフトウェアエンジニアという職業に脚光があたり，多くの人がこの業界に入ってきています．その中には，コンピュータサイエンスを学習して，実業務，キャリアアップに役立てたいと志を持っている方も少なくありません．そんな状況の人への学習のヒント，よりプラクティカルな記事などがあれば，大変役立つと思いますし，会員数の維持にも寄与すると考えます．（中川　岳）

■藤井聡太氏の大活躍によって，近年将棋が脚光を浴びています．人工知能によって最適解を演算するなど，将棋とコンピュータは密接につながっていると思うので，棋士による視点で人工知能などコンピュータに関してのことを語っていただけたら興味深いです．（花田広生／ジュニア会員）

■生涯学習の 1 つとしてのプログラミング教育・プログラミング学習というテーマで記事をつくってほしいと思います．
（松浦満夫）

オンライン版で読みたい記事，期待するコンテンツについて以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました．

■高校の先生を取り上げているのが分かりやすい．
（席定大翔／ジュニア会員）

■会誌記事の一部（たとえば，各特集冒頭の「編集にあたって」や「報告」など）を無料公開し，会誌閲覧・購読のキッカケにつなげるのはどうか．（金子雄介）

■プログラムが掲載されていれば，紙面を表示しているWeb ブラウザで実行できるようになっているなど．
（佐伯嘉康）

■（ありきたりですが，）動画などのメディアを用いたコンテンツは有用かもしれません．（平澤将一）

【本欄担当　上田　俊・梁　　俊／会員サービス分野】

これらのコメントは Web 版会員の広場「読者からの声」< URL : https://www.ipsj.or.jp/magazine/dokusha.html > にも掲載しています．Web 版では，紙面の制限などのため掲載できなかったコメントも掲載していますので，ぜひ，こちらもご参照ください．会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は学会 Web ページでも受け付けております．今後もより良い会誌を作るため，ぜひ皆様のお声をお寄せください．

皆様にとって会誌をより役立つものとするため，
・記事に対する感想，意見　・記事テーマの提案　・会誌または学会に対する全般的な意見，提言
・その他，情報処理技術についての全般的な意見，提言
など自由なご意見，ご感想をお待ちしております．
なお，「道しるべ」については
<URL：https://www.ipsj.or.jp/magazine/sippitsu/michishirube.html>で
これからのテーマ案を募集しており，いただいたご意見をまとめております．
※ご意見，ご感想を会誌に掲載させていただいた方には薄謝または記念品を進呈いたします．

掲載に際しては，編集の都合上，ご意見に手を加えさせていただくことがありますので，あらかじめご了承ください．
なお，意見の投稿に伴う，住所，氏名，所属などの個人情報については，学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いいたします．　<URL：https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html>

応募先　〒 101-0062　東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F
一般社団法人　情報処理学会　会誌編集部門　E-mail : editj@ipsj.or.jp　Fax (03) 3518-8375
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html

IPSJ カレンダー

※新型コロナウイルス感染症拡大を受け，開催方法の変更，開催中止などの可能性がありますので，最新情報を Web でご確認いただきますようお願いいたします．

開催日	名　称	論文等応募締切日	参加締切日	開催地
	2020年度情報処理技術研究開発賞候補者推薦募集 https://www.ipsj.or.jp/topics/re-award_boshu2020.html	11月6日（金）		
	2020年度情報処理学会フェロー候補者推薦募集 http://www.ipsj.or.jp/topics/fellow_boshu2020.html	11月6日（金）		
	2020年度マイクロソフト情報学研究賞候補者推薦募集 https://www.ipsj.or.jp/topics/microsoft-award_boshu2020.html	11月6日（金）		
	論文誌「Society 5.0を実現するコンピュータセキュリティ技術」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-N.html	11月16日（月）		
	論文誌トランザクションデジタルプラクティス「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0104s.html	11月18日（水）		
10月15日（木）	量子ソフトウェア研究会 発足記念講演会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/s-qs2020.html		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
10月15日（木）	東海支部講演会「SNSにおける情報拡散の俯瞰的分析 ～ Twitter上では誰がどんな情報を拡散しているのか～」 https://www.ipsj-tokai.jp//jigyou/lecture/			★オンライン開催
10月16日（金）	第1回量子ソフトウェア研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/qs1.html	8月20日（木）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
10月22日（木）～ 10月23日（金）	第133回音声言語情報処理研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/slp133.html	8月31日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
10月24日（土）	2020年度（第71回）電気・情報関連学会中国支部連合大会 https://rentai-chugoku.org/index.html	8月7日（金）		★オンライン開催
10月26日（月）	連続セミナー 2020「人工知能技術と人間の思考・感性」 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
10月26日（月）～ 10月29日（木）	コンピュータセキュリティシンポジウム（CSS2020） https://www.iwsec.org/css/2020/index.html			★オンライン開催
10月29日（木）～ 10月30日（金）	第131回プログラミング研究発表会 https://sigpro.ipsj.or.jp/pro2020-3/	8月28日（金）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月2日（月）～ 11月3日（火）	第129回音楽情報科学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mus129.html	9月23日（水）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月5日（木）～ 11月6日（金）	第180回コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学・ 第26回デジタルコンテンツクリエーション・ 第223回コンピュータビジョンとイメージメディア合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cg180dcc26cvim223.html	9月18日（金）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月7日（土）～ 11月8日（日）	第157回コンピュータと教育研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/	9月28日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月9日（月）～ 11月10日（火）	Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform http://www.sigemb.jp/APRIS/2020/			★オンライン開催
11月11日（水）	連続セミナー 2020「AI技術の産業応用: 現在と未来」 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月11日（水）～ 11月13日（金）	マルチメディア通信と分散処理ワークショップ（DPSWS2020） https://www.dpsws.org/2020/	7月17日（金）	10月5日（月） 当日可 要マイページより申込	ホテル暖香園- 伊東市観光会館 ／オンライン
11月13日（金）～ 11月15日（日）	ゲームプログラミングワークショップ 2020（GPW-20） https://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/~tsuruoka/sig-gi/gpw/2020/	7月27日（月）		★オンライン開催
11月17日（火）～ 11月18日（水）	第192回システムとLSIの設計技術研究発表会 （デザインガイア2020） https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/sldm192.html	9月7日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月20日（金）	連続セミナー 2020「ブロックチェーンの社会実装とそのインパクト」 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催

11月21日（土）	情報処理北海道シンポジウム2020 https://hokkaido.ipsj.or.jp/info2020/			★オンライン開催
11月24日（火）～ 11月26日（木）	第97回モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム・ 第83回高度交通システムとスマートコミュニティ合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mbl97its83.html	9月28日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月25日（水）～ 11月26日（木）	第180回アルゴリズム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/al180.html	9月15日（火）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月25日（水）～ 11月26日（木）	第91回コンピュータセキュリティ・第40回セキュリティ心理学とトラスト・ 第90回電子化知的財産・社会基盤合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/csec91spt40eip90.html	9月25日（金）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月26日（木）～ 11月27日（金）	第111回オーディオビジュアル複合情報処理研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/avm111.html	9月14日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月27日（金）	第206回ソフトウェア工学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/se206.html	10月12日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
11月27日（金）～ 11月28日（土）	第32回教育学習支援情報システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cle32.html	9月28日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月2日（水）	連続セミナー2020「実世界のインタラクションを支える ファブリケーションとアクチュエーション技術」 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月2日（水）～ 12月3日（木）	第246回自然言語処理・第134回音声言語情報処理合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/nl246slp134.html	10月2日(金)	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月3日（木）～ 12月4日（金）	インターネットと運用技術シンポジウム https://www.iot.ipsj.or.jp/symposium/iots2020/	9月14日（月）		★オンライン開催
12月3日（木）～ 12月4日（金）	第29回コンシューマ・デバイス＆システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cds29.html	10月12日（月）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月8日（火）～ 12月9日（水）	第190回ヒューマンコンピュータインタラクション・ 第68回ユビキタスコンピューティングシステム合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hci190ubi68.html	10月16日（金）		淡路夢舞台国際会議場 and/or オンライン
12月11日（金）	第119回ドキュメントコミュニケーション研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/DC119.html	10月11日（日）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月12日（土）～ 12月13日（日）	人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん2020」 http://jinmoncom.jp/sympo2020/index.html	9月7日（月）		★オンライン開催
12月14日（月）	連続セミナー2020「量子コンピュータとソフトウェア」 https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2020/		当日可 要マイページより申込	★オンライン開催
12月21日（月）～ 12月22日（火）	第177回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hpc177.html	10月20日（火）	当日可 要マイページより申込	★オンライン開催

2021年

1月18日（月）～ 1月21日（木）	26th Asia and South Pacific Design Automation Conference（ASP-DAC 2021） http://www.aspdac.com/aspdac2021/			日本科学未来館
3月10日（水）～ 3月12日（金）	インタラクション2021 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/s-hi2021.html		当日可	学術総合センター 一橋講堂
3月18日（木）～ 3月20日（土）	情報処理学会　第83回全国大会 https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/83/			★オンライン開催

Webページ（https://www.ipsj.or.jp/）更新情報

［トピックス］

9月18日	連続セミナー2020 聴講マニュアル公開のお知らせ
9月18日	CITP（個人認証）2020年度第2回の申請受付を開始しました
9月15日	人材募集情報（Vol.61 No.10）
9月15日	会誌「情報処理」Webカタログ（Vol.61 No.10）
9月10日	2020年5月15日から7月31日までの豪雨による災害について
9月9日	第83回全国大会オンライン開催について
9月7日	論文誌トランザクションデジタルプラクティス「快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」特集論文募集
9月2日	本日のFIT2020 船井業績賞受賞記念講演および特別講演の配信について
9月2日	［プレスリリース］情報処理学会とIBM Community Japanにおける企業実践論文の提携開始について
9月1日	トランザクションデジタルプラクティスWebサイト公開のお知らせ

人材募集
（有料会告）

有料会告

申込方法：任意の用紙に件名，申込者氏名，勤務先，職名，住所，電話番号および請求書に記載する「宛名」，Web 掲載の有無などを記載し，掲載希望原稿（[募集職種，募集人員，（所属），専門分野，（担当科目），応募資格，着任時期，提出書類，応募締切，送付先，照会先]）を添えて下記の申込先へ，E-mail，Fax または郵送にてお申し込みください．
＊都合により編集させていただく場合がありますので，ご了承ください．

申込期限：毎月 15 日を締切日とし翌月号（15 日発行）に掲載します．

掲載料金：国公私立教育機関，国公立研究機関　税抜 20,000 円（税込 22,000 円）
賛助会員（企業）　税抜 30,000 円（税込 33,000 円）
賛助会員以外の企業　税抜 50,000 円（税込 55,000 円）
＊本会誌へ掲載依頼いただいた場合に限り，追加料金 税抜 4,000 円（税込 4,400 円）で同一内容を本会 Web ページに掲載できます．

申 込 先：情報処理学会　会誌編集部門（有料会告係）　E-mail: editj@ipsj.or.jp　Fax(03)3518-8375
＊原稿受付の際には必ず原稿受領のお知らせを差し上げています．もし 3 日以内（土日祝日除く）に返信がない場合は念のため確認のご連絡をください．

＊特に指定がないかぎり履歴書には写真を貼付のこと

■理化学研究所

募集人員　チームリーダー　1 名
所　　属　情報統合本部 先端データサイエンスプロジェクト データサイエンスデザイン研究チーム（仮称）
＊ 2021 年 4 月 1 日発足予定
専門分野　情報学，情報科学，メタデータ，オントロジー，データサイエンス，データ駆動，オープンサイエンス
応募資格
- 博士号取得者で，当該研究を統括，推進するために相応しい知識，経験，実績を有している方
- データサイエンス研究の経験がある方
- 社会課題の解決を現場で行った経験がある方
- 学問分野に広く興味があり何事にも挑戦できる方

着任時期　2021 年 4 月 1 日以降（応相談）
応募締切　2020 年 11 月 2 日（17 時必着）
照 会 先　理化学研究所 情報システム研究推進室
E-mail: isr_core@ml.riken.jp
そ の 他　【詳細】提出書類等は以下 URL を参照ください
https://www.riken.jp/careers/researchers/20200831_1/index.html

IPSJ MAGAZINE Vol.61 No.11 (Nov. 2020)

CONTENTS

Preface

1096 **Reimagining Education in The Age of AI**
Nobuo KAWAKAMI (DWANGO Co., Ltd.)

1098 **Notification for Issuing Our IPSJ Magazine on The Web and Printed Paper**
Masahiko INAMI (Tokyo Univ.) and Makiko NAKATA (mplusplus Co., Ltd.)

Special Features
DX (Digital Transformation)

1100 **Foreword**
Mikio AOYAMA (Nanzan Univ), Mari INOKI (Kogakuin Univ.) and Noriaki IZUMI (Ministry of Economy, Trade and Industry)

1102 **Outline**

Digital Practice Corner
SportsTech

1108 **Foreword**
Shimpei AIHARA (Japan Institute of Sports Sciences)

1111 **Outline**

Algorithm Starting from Scratch

1114 **Algorithms for High School Students Studies**
Kenji YAMAGUCHI (Ochanomizu Univ.)

"Peta-gogy" for Future

1119 **CC2020 Project and Computing Curriculum**
Shingo TAKADA (Keio Univ.)

1120 **Thinking about Programming Education from The Perspective of Brain Science**
Chihiro HOSODA (Teikyo Univ.)

1126 **Practice Report of Programming Exercise for University-High School Collaboration by Remote Environment**
Noriko AKAZAWA and Yasushi KUNO (The Univ. of Electro-Communications)

Let's Learn Informatics

1130 **Simulate The Virus Infection**
Hiroyasu IDE (Aichi Prefectural Komaki High School)

Let's Share Working Styles! <by Info-WorkPlace Committee>

1136 **CASE 1 : A Professor of a Certain Local University**
Itaru KURAMOTO (The univ. of Fukuchiyama)

1140 **Biblio Talk**
1142 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
1146 **Conference Report**
1148 **Questions for Experts**

Special Features（Online）
DX (Digital Transformation)

1 **An Introduction to DX (Digital Transformation) : The Structure of Problems and Approaches, and Its Implication to The Research and Development of Information Science and Engineering**
Mikio AOYAMA (Nanzan Univ.)

2 **DX Promotion Initiatives and Policy Development by The Ministry of Economy, Trade and Industry**
Noriaki IZUMI (Ministry of Economy, Trade and Industry)

3 **Current Status of DX in Japan - Via Analysis of DX Promotion Index -**
Kouta OKAMURA, Taki KONO, Yoshihiko MUROWAKI (Information-technology Promotion Agency, Japan) and Ayako ASANO

4 **Requirements Engineering Issues for Creating Innovation Approach to Solution by Entangling Engineering, Science, Design, and Art Viewpoints**
Mari INOKI (Kogakuin Univ.)

5 **Latest Technology for Analyzing and Utilizing Existing Systems for DX**
Akihiko MATSUO (Fujitsu Laboratories Ltd.)

6 **Digital Transformation of Human Resources, Education Systems, and Employment**
Mikio AOYAMA (Nanzan Univ.)

7 **The Present and Future of Digital Transformation (DX)**
Naohiko URAMOTO (Mitsubishi Chemical Holdings)

8 **Digital Transformation in Airline Industry Increasing Customer and Employee Satisfaction with Digital Technology**
Akihiko MIURA (All Nippon Airways Co., Ltd.)

9 **Advanced Digital Transformation in The Pharmaceutical Industry - Chugai Pharmaceutical CO. LTD.**
Satoko SHISAI (Chugai Pharmaceutical Co., Ltd.)

10 **CNC Machining Platform by Digital Transfomation ; De-personalization with Sharable Knowledge and High-precision CNC Machining Technology**
Yuki YAMAMOTO (HILLTOP Technology Lab., Inc.)

11 **Towards The Value Co-creation DX in The Society 5.0**
Takashige BABA, Haruko NAGAOKA and Hideto OGAWA (Hitachi, Ltd.)

12 **Why Cloud Computing Can Accelerate DX?**
Tadashi OKAZAKI (Amazon Web Services Japan, K.K.)

読後のご意見をお送りください

本誌では，現在約 200 名の方々に毎号のモニタをお願いしておりますが，より多くの読者の皆さんからのご意見，ご提案をおうかがいし，誌面の充実に役立てていきたいと考えておりますので，毎号巻末に掲載しております所定の用紙または Web ページ（https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html）をお使いいただき，奮って事務局までお寄せください.

一般社団法人 情報処理学会　会誌編集部門
〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F　E-mail: editj@ipsj.or.jp　Fax(03)3518-8371

ご意見をお寄せください！

【11 月 10 日頃までにお出しください】

宛　先　一般社団法人 情報処理学会　モニタ係（下記のいずれからも送付できます）
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html　Fax(03)3518-8375　E-mail: editj@ipsj.or.jp
（E-mail で送信される場合は，10-1-a のようにコードでお答えください）
※ご意見の投稿に伴う，住所，氏名，所属などの個人情報については，学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いいたします．
https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html

［コード］

〔1〕ご氏名

〔2〕ご所属　　Tel.（　　）　　-

〔3〕E-mail:

〔4〕業種：（a）企業（サービス業）（b）企業（製造業）（c）研究機関　（d）教育機関（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
（e）学生　（f）学生（ジュニア会員）（g）その他 …… 4-［　］

〔5〕職種：（a）研究職　（b）開発・設計　（c）システムエンジニア　（d）営業　（e）本社管理業務
（f）会社経営・役員・管理職　（g）教職員（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
（h）学生　（i）学生（ジュニア会員）　（j）その他 …… 5-［　］

〔6〕年齢：（a）10 代　（b）20 代　（c）30 代　（d）40 代　（e）50 代　（f）60 代以上 …… 6-［　］

〔7〕性別：（a）男性　（b）女性 …… 7-［　］

〔8-1〕あなたはモニタですか？：（a）はい　（b）いいえ …… 8-1-［　］

〔8-2〕あなたのご意見は「会員の広場」（会誌および Web）に掲載される場合があります．その場合：
（a）実名可（氏名のみ掲載）（b）匿名希望　（c）掲載を希望しない …… 8-2-［　］

〔9〕どちらの媒体で記事をお読みになりましたか？
（a）冊子版　（b）情報学広場（電子図書館）（c）Kindle　（d）fujisan　（e）その他 …… 9-［　］

〔10〕今月号（2020 年 11 月号）の記事は良かったですか．下記の記事すべてについて評価をご回答ください．
［a …大変良い　b …良い　c…普通，どちらとも言えない　d …悪い　e…読んでいない］

巻頭コラム：AI 時代の教育はどうなるか？ …… 10-1-［　］
巻頭言：会誌のハイブリッド刊行に向けて …… 10-2-［　］
特集：DX（デジタルトランスフォーメーション）
0. 編集にあたって …… 10-3-［　］
オンライン 1. DX（デジタルトランスフォーメーション）とは何か？ …… 10-4-［　］
オンライン 2. 政府における DX の推進施策と政策展開 …… 10-5-［　］
オンライン 3. 国内における DX の現状と分析 …… 10-6-［　］
オンライン 4. イノベーション創出のための要求工学の課題 …… 10-7-［　］
オンライン 5. DX に向けた既存システム分析・活用の最新技術 …… 10-8-［　］
オンライン 6. DX が提起する人材，教育，雇用のデジタル化 …… 10-9-［　］
オンライン 7. 製造業におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の現在と将来 …… 10-10-［　］
オンライン 8. 航空会社における DX の取り組み …… 10-11-［　］
オンライン 9. 製薬業界におけるデジタルトランスフォーメーション先進事例 …… 10-12-［　］
オンライン 10. DX による部品加工プラットフォーム …… 10-13-［　］
オンライン 11. Society 5.0 時代の価値協創型 DX の実現に向けて …… 10-14-［　］
オンライン 12. クラウドコンピューティングの役割 …… 10-15-［　］
デジタルプラクティスコーナー：スポーツテック
0. 編集にあたって …… 10-16-［　］
オンライン 1. 3D センシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化 …… 10-17-［　］
オンライン 2. 日本野球市場に練習革命を起こす …… 10-18-［　］
オンライン 3. バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える …… 10-19-［　］
オンライン 4. 単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム …… 10-20-［　］
オンライン 5. カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究 …… 10-21-［　］
オンライン 座談会：スポーツテック …… 10-22-［　］
オンライン 声の権利化と流通を実現する音声合成サービス …… 10-23-［　］
ゼロからはじめるアルゴリズム：高校生が学ぶアルゴリズム …… 10-24-［　］
ぺた語義：CC2020 プロジェクトと情報系カリキュラムについて …… 10-25-［　］
ぺた語義：脳科学からプログラミング教育を考える …… 10-26-［　］
ぺた語義：遠隔環境による高大接続プログラミング演習の実践報告 …… 10-27-［　］
情報の授業をしよう！：ウイルス感染をシミュレーションする …… 10-28-［　］
<Info-WorkPlace 委員会企画> 働き方を共有しよう！：CASE 1：地方大学教員の場合 …… 10-29-［　］
ビブリオ・トーク：子供の科学★ミライサイエンス　人工知能と友だちになれる？ …… 10-30-［　］
5 分で分かる !? 有名論文ナナメ読み：Anil Madhavapeddy et al. : Unikernels : Library Operating Systems for The Cloud …… 10-31-［　］
会議レポート：ICASSP 2020 参加報告 …… 10-32-［　］
連載：先生，質問です！ …… 10-33-［　］

〔11〕本号で最も良かった記事は何ですか？　上記〔10〕の設問の記事番号から 1 つだけ選び（例：10-8 の記事の場合は「8」と記入），その理由をご回答ください．上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください．

〔11-1〕良かった記事 …… 11-1-［　　］
〔11-2〕この記事に対する貴方の立場：a）専門家　b）非専門家 …… 11-2-［　　］
〔11-3〕選んだ理由（下記から，いくつでも選択可）…… 11-3-［　　］
a）技術・研究動向がよく分かった　b）知的興味をかきたてられた　c）新たな知識を得ることができた　d）内容が平易で理解しやすかった
e）その他（具体的に下記にご記入ください）

〔12〕本号で最も良くなかった記事は何ですか？　上記〔10〕の設問の記事番号から 1 つだけ選び（例：10-8 の記事の場合は「8」と記入），その理由をご回答ください．上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください．

〔12-1〕良くなかった記事 …… 12-1-［　　］
〔12-2〕この記事に対する貴方の立場：a）専門家　b）非専門家 …… 12-2-［　　］
〔12-3〕選んだ理由（下記から，いくつでも選択可）…… 12-3-［　　］
a）記事の内容に誤りがあった　b）ありきたりの内容だった　c）記事が難しすぎた　d）何を言いたいのか分からなかった　e）宣伝の意図が強すぎる
f）テーマに興味が持てなかった　g）その他（下記に具体的にご記入ください）

〔13〕今月の特集に対する貴方の立場を教えてください．

〔13-1〕DX（デジタルトランスフォーメーション）：a）専門家　b）非専門家 …… 13-1-［　　］

〔14〕設問〔10〕で読んでいないと答えた記事について，その理由を教えてください．

〔15〕会誌のオンライン版ができたらどのような記事を読みたいか，どのようなコンテンツが期待できるか，などご意見がございましたら教えてください．

〔16〕会誌に対するご意見やご感想，著者への質問，巻頭コラムに登場してほしい人物，今後取り上げてほしいテーマなどありましたらご記入ください．
（スペースが足りない場合はお手数ですが別紙を追加してください）

■ 各種問合せ先 ■

一般社団法人 情報処理学会（本部）　※支部所在地等詳細はリンクされている各支部ページでご参照ください．
〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F　　Fax(03)3518-8375　https://www.ipsj.or.jp/

担　当	E-mail	Tel(ダイヤルイン)	取り扱い内容
■ 会員サービス部門			
会　員	mem@ipsj.or.jp	03-3518-8370	入会，会費，変更連絡，退会，在会証明，会員証，会誌配布，会員特典，会費等口座振替，海外からの送金，賛助会員，電子図書館
■ 会誌編集部門			
会誌編集	editj@ipsj.or.jp	03-3518-8371	会誌「情報処理」の掲載内容，広告掲載，出版，コンピュータ博物館（情報処理技術遺産）
著作権	copyright@ipsj.or.jp		転載許可，著作権
デジタルプラクティス	editdp@ipsj.or.jp		デジタルプラクティス（DP）の編集・査読，DP レポート
図　書	tosho@ipsj.or.jp	03-3518-8374	出版物購入
■ 研究部門			
論文誌	editt@ipsj.or.jp	03-3518-8372	論文誌（ジャーナル／ JIP ／トランザクション）の編集・査読
調査研究／国際／教育	sig@ipsj.or.jp		研究会登録，研究発表会，研究グループ，シンポジウム，国際会議，IFIP 委員会，情報処理教育委員会，アクレディテーション対応
■ 事業部門			
事　業	jigyo@ipsj.or.jp	03-3518-8373	全国大会，FIT，プログラミングコンテスト，プログラミング・シンポジウム，協賛・後援
技術応用	event@ipsj.or.jp		連続セミナ，短期セミナ，IT フォーラム，ソフトウエアジャパン，その他講習会
認定情報技術者制度	ipsj.citp@ipsj.or.jp		認定情報技術者制度
■ 管理部門			
総務／庶務	soumu@ipsj.or.jp	03-3518-8374	総会・理事会，支部，選挙，総務系選奨，関連団体，アドバイザリーボード
経　理	keiri@ipsj.or.jp		出納，送金連絡
システム企画	sys@ipsj.or.jp		システム企画，セキュリティ，電子化委員会，電子図書館，IPSJ メールニュース
■ 情報規格調査会			
規格部門	問合せフォーム https://www.itscj.ipsj.or.jp/contact/index.html		ISO/IEC JTC 1での情報技術の標準化業務 〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8　機械振興会館308-3 Tel (03)3431-2808　Fax (03)3431-6493　https://www.itscj.ipsj.or.jp/

■ 編集室 ■

数年前のエピソードを紹介したい．写真は朝の渋滞時にサンフランシスコ市街からシリコンバレーへ向かう 101 号線(ワンオーワンと呼ばれる)の風景である．大学院夏季海外研修の最終日，帰国のためにサンフランシスコ空港へ行くために利用した Uber の車内から写した．朝，ホテルで学生たちが「先生，Uber で行きましょう」と申し出た．当初，地下鉄 BART を利用する予定であった．ホテルが BART の駅までやや距離があり，荷物もお土産などで重くなり，最終日で疲れもたまっており，駅まで重いキャリーバッグを引いて歩くのはツライ！　何より，シリコンバレーで Uber の便利さにはまった学生たちは，移動のたびに Uber が当たり前になっていた．

国際線に乗るため空港に行く．最大の心配事は到着時刻である．私もサンフランシスコ空港へ行くタクシーで冷や汗をかいた経験がある．

Uber を予約しようとした学生からスマホに表示された予想到着時刻を見て，余裕があるからよいと判断して Uber を予約した．人数は私を含めて 10 名であるので，UberXL を 2 台予約した．1 台 6 名まで乗れ，大型キャリーバッグが人数分搭載できるからである．しかも，料金は Uber の数割増しで，これも予約時に分かる．

途中は写真のように大渋滞であった．しかし，空港の到着時刻は予約時の予想時刻と分単位しか違わなかった！　地下鉄か車かを選択する決め手になる．

Uber の競争力の源泉は時空間ビッグデータとそれを用いた機械学習による乗車リクエストの発生場所と時刻や到着時刻などの正確な予測と言われている．そもそも，移動したい人が，なぜ，自分で車を探さないといけないのか？　国内では多くのタクシーが空車の表示をしながら街中を流している．人も燃料も無駄ではないか？　環境に負担ではないか？これまで当たり前であったことが，デジタル技術で当たり前でなくなった．それこそ DX の価値である．もちろん，経営や雇用の問題など議論の余地がある．それは，いわば社会実装の過程にあるからである．最初から正解はないのである．実装しながら問題を解決していく不断の努力が，新たな価値を生み，育てる．

私たち，情報処理技術の研究者・技術者に今求められているのは，技術に加え，技術を活用する方法を提供し，社会問題の解決や価値の創出へ貢献することではないでしょうか？

（青山幹雄／本特集ゲストエディタ）

次号（12 月号）予定目次

編集の都合により変更になる場合がありますのでご了承ください．

特別解説：現実世界のスポーツと融合した eSports：バーチャル・ツール・ド・フランスを技術からひもとく　…… 西薗良太

「特集」情報技術と防災，研究者が展望する未来像　※本編はオンライン版のみ掲載となります
災害と情報処理のこれまでと若手研究者への今後の期待／「防災×情報」の基盤と将来への期待／これからの ICT 防災をどのように育てていくか―求められるシステム像は何か―／災害に強いネットワーク・システム／使う人間が情報処理技術に期待することや，防災研究者側からの今後の期待・展望

教育コーナー：ぺた語義
連　載：IT 紀行／ 5 分で分かる !? 有名論文ナナメ読み／情報の授業をしよう！／先生，質問です！／ビブリオ・トーク
コラム：巻頭コラム

複写される方へ

一般社団法人情報処理学会では複写複製および転載複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています．当該利用をご希望の方は，学術著作権協会（https://www.jaacc.org/）が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください．
尚，本会会員（賛助会員含む）および著者が転載利用の申請をされる場合については，学術目的利用に限り，無償で転載利用いただくことが可能です．ただし，利用の際には予め申請いただくようお願い致します．

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会
〒 107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41　乃木坂ビル
E-mail : info@jaacc.jp　Tel (03)3475-5618　Fax (03)3475-5619

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡してください．
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923　USA
Phone : 1-978-750-8400　Fax : 1-978-646-8600

Notice for Photocopying

Information Processing Society of Japan authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (http://www.jaacc.org/en/) and confirm appropriate organizations.
You may reuse a content for non-commercial use for free, however please contact us directly to obtain the permission for the reuse content in advance.
<All users except those in USA>
Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052　Japan
E-mail : info@jaacc.jp
Phone : 81-3-3475-5618　Fax : 81-3-3475-5619
<Users in USA>
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923　USA
Phone : 1-978-750-8400　Fax : 1-978-646-8600

掲載広告カタログ・資料請求用紙

広告のお申込み

■広告料金表

掲載場所	4 色	1 色
表 2	330,000 円（税抜）	—
表 3	275,000 円（税抜）	—
表 4	385,000 円（税抜）	—
表 2 対向	300,000 円（税抜）	—
表 3 対向	265,000 円（税抜）	155,000 円（税抜）
前付 1 頁	250,000 円（税抜）	135,000 円（税抜）
前付 1/2 頁	—	80,000 円（税抜）
前付最終	—	148,000 円（税抜）
目次前	—	148,000 円（税抜）
差込（A4 変形判 70.5kg 未満　1 枚）	275,000 円（税抜）	
差込（A4 変形判 70.5kg ～ 86.5kg　1 枚）	350,000 円（税抜）	
同封（A4 変形判　1 枚）	350,000 円（税抜）	

■「情報処理」

発　　行　一般社団法人 情報処理学会
発行部数　20,000 部
体　　裁　A4 変形判
発 行 日　毎当月 15 日
申込締切　前月 10 日
原稿締切　前月 20 日
広告原稿　完全版下データ
原稿寸法　1 頁　天地 250mm ×左右 180mm
　　1/2 頁　天地 120mm ×左右 180mm
雑誌寸法　天地 280mm ×左右 210mm

■問合せ・お申込み先

〒 169-0073　東京都新宿区百人町 2-21-27
アドコム・メディア（株）（Tel/Fax/E-mail は下に記載）

＊原稿制作が必要な場合には別途実費申し受けます.
＊同封のサイズ・割引の詳細についてはお問合せください.

掲載広告の資料請求

掲載広告の詳しい資料をご希望の方は，ご希望の会社名にチェック ☑ を入れ，送付希望先をご記入の上，Fax にて（または E-mail にて必要事項を記入の上）アドコム・メディア（株）宛にご請求ください.

■「情報処理」 61 巻 11 号　掲載広告（五十音順）

□ JNTO …… 前付 3
□インタフェース …… 表 2 対向
□エクセルソフト …… 表 2
□オーム社 …… 前付 2
□サイエンス社 …… 目次前
□ すべての会社を希望

■資料送付先

フリガナ
お 名 前 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

勤 務 先 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿ 所属部署 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

所 在 地 （〒　　-　　）＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

TEL（　　）　　-　　FAX（　　）　　-

ご専門の分野 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

お問合せ・お申込み・資料請求は
広告総代理店 アドコム・メディア（株）
Tel.03-3367-0571　Fax.03-3368-1519　E-mail: sales@adcom-media.co.jp

賛助会員のご紹介

本会をご支援いただいております賛助会員をご紹介いたします．
Web サイト（https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/sanjo.html）「賛助会員一覧」のページからも
各社へリンクサービスを行っておりますので，ぜひご覧ください．

照会先　情報処理学会　会員サービス部門　E-mail: mem@ipsj.or.jp　Tel.(03)3518-8370

●●● 賛助会員（20 ～ 50口）

（株）日立製作所

富士通（株）

日本電気（株）

三菱電機（株）

（株）サイバーエージェント

日本アイ・ビー・エム（株）

●●● 賛助会員（10 ～ 19口）

（株）リクルート

グーグル合同会社

（株）NTT ドコモ

（株）東芝

日本電信電話（株）

日本マイクロソフト（株）

（株）フォーラムエイト

●●● 賛助会員（3 ～ 9口）

（一社）情報通信技術委員会

（株）NTT データ

グリー（株）

楽天技術研究所

（一財）インターネット協会

情報サービス産業協会

トレンドマイクロ（株）

NTT コムウェア（株）

NTT テクノクロス（株）

（株）うえじま企画

沖電気工業（株）

キヤノンマーケティングジャパン(株)

コアマイクロシステムズ（株）

三美印刷（株）

（株）セプテーニ

ソニー（株）

チームラボ（株）

（株）テクノプロ
テクノプロ・デザイン社

パナソニック（株）

みずほ情報総研（株）

一般社団法人
情報処理学会
Information Processing Society of Japan

「情報処理」カタログ同封サービスのご案内

カタログ同封サービスとは？

毎月会員に配布している学会誌に貴社 / 貴校のカタログや広告を同封し、直接読者にお届けするサービスです。
通常の DM と異なり学会誌に同封しますので、**読者の開封率は格段に上がります。**
また，カタログ送付にかかる**コストを最小に抑えることができ**、なおかつ情報処理を専門とする読者に**ターゲットを絞った効果的な案内を出すことが可能**となります。

お申し込み方法と掲載までの手続き

❶封入希望月の**前月 15 日**までに下記事項を記載の上、問合せ先までお申し込みください。
- ◆会社名，担当者，連絡先（住所、Tel、Fax、E-mail）　◆封入希望号
- ◆サイズ　◆カタログの簡単な内容説明
- ◆割引対象にあたる場合はその旨記載ください。

❷封入希望月の遅くとも**前月末日**までに下記事項について手配をお願いします。
- ◆カタログ見本を問合せ先までお送りください（PDF、Fax 可）。
- ◆納品業者をお知らせください。

❸**納品日は封入希望月の 5 日（土曜、日曜、祝日の場合は翌営業日）です。**
日付指定にて必要枚数（20,000 枚）を印刷し指定の納品先へお送りください。
※納品先は、お申し込み後にご連絡いたします。
※納品が遅れますと同封ができない場合がございます。その場合はキャンセルとさせていただきます。

❹カタログを同封した学会誌を発行日にお送りしますので、ご確認ください。

❺後日請求書をお送りしますので振込手続きをお願いします。

1 通あたり約17.5 円！

基本価格　350,000 円（税抜）

対象：全会員　20,000 通 配布
（正会員 / 名誉会員 / 学生会員 / 賛助会員）

大学や共催事業はさらに割引も！

大学 / 研究所 / 賛助会員または情報処理学会主催・共催事業は、下記のとおり割引料金が適用されます。

大学 / 研究所 / 賛助会員（基本価格の 40% Off ！）	210,000 円（税抜）
情報処理学会主催・共催事業*（基本価格の 80% Off ！）	70,000 円（税抜）

＊情報処理学会研究会主催、共催を含む

サイズ：A4 変形判または A4 判二つ折り（その他についてはご相談ください）
用紙：色上質厚口（四六判 80kg）またはコート紙（四六判 90kg）相当

問合せ先

［広告代理店］アドコム・メディア（株）　E-mail: sales@adcom-media.co.jp
〒 169-0073 東京都新宿区百人町 2-21-27
Tel.(03)3367-0571　Fax.(03)3368-1519

一般社団法人情報処理学会 会誌編集部門　E-mail: editj@ipsj.or.jp
〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F
Tel.(03)3518-8371　Fax.(03)3518-8375

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台一―五
編集人 稲見昌彦
発行所 東京都千代田区神田駿河台一―五 一般社団法人 情報処理学会
発行人 木下泰三
電話 東京（〇三）三五一八―八三七四 振替口座 〇〇一五〇―四―八三四八四
印刷所 東京都荒川区西日暮里五―九―八 三美印刷株式会社
会員外発売所 東京都千代田区神田錦町三―一 株式会社オーム社

近代科学社 好評既刊

IT研究者のひらめき本棚
ビブリオ・トーク：私のオススメ

2017年9月発売　定価 1,980円（本体1,800円＋税）

編：情報処理学会 会誌編集委員会

判型　A5変　152頁　ISBN 978-4-7649-0548-1 C3004

月刊『情報処理』の人気連載をまとめた本がついに登場！

情報処理学会誌『情報処理』で好評連載中の「ビブリオ・トーク　−私のオススメ−」がついに一冊の書籍に！

この連載でIT研究者の方々が紹介した，デマルコやカーニハン，ヘネシー＆パターソン，更にはアシモフやホーガン，伊藤和典，というバラエティに富んだラインナップを40本収録．

序文は，第一回担当である人工知能研究者・中島秀之．

さらに帯に，メディアアーティスト・落合陽一の推薦文をいただき,IT研究者を目指す学生にもオススメの一冊！

■紹介書籍（一部）

- ◇ ハッカーと画家
- ◇ プログラム書法（第2 版）
- ◇ Computer Networks 5th Edition
- ◇ ディジタル作法
- ◇ 珠玉のプログラミング
- ◇ Computer Architecture, 5thEdition A Quantitative Approach
- ◇ Operating Systems Design andImplementation (3rd Edition)
- ◇ 機動警察パトレイバー風速40メートル
- ◇ ピープルウエア 第3 版
- ◇ Computer Lib /Dream Machines
- ◇ 未来の二つの顔
- ◇ 生体用センサと計測装置（ME 教科書シリーズ）
- ◇ Cooking for Geeks―料理の科学と実践レシピ
- ◇ ハッカーのたのしみ
- ◇ ぼくの命は言葉とともにある（9歳で失明18歳で聴力も失ったぼくが東大教授となり，考えてきたこと）
- ◇ 部分と全体 私の生涯の偉大な出会いと対話
- ◇ 夜明けのロボット（上）（ 下）
- ◇ ポスト・ヒューマン誕生
- ◇ 理科系の作文技術
- ◇ 現代倫理学入門

を含む40銘柄を紹介。

※ご注文は、お近くの書店様へ

□　お問合せ先
〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-7-15
株式会社近代科学社 営業部　TEL 03-3260-6161 ／ FAX 03-3260-6059
sales-corporate@kindaikagaku.co.jp　　http://www.kindaikagaku.co.jp

定価（本体 1,600 円＋税）
本誌広告一手取扱い アドコム・メディア株式会社
〒169-0073 東京都新宿区百人町 2-21-27　TEL.03-3367-0571　FAX.03-3368-1519

雑誌　05269-11
4910052691100
01600

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

招待論文

3Dセンシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化

桝井 昇一[1]　手塚 耕一[1]　矢吹 彰彦[1]　佐々木 和雄[2]

[1]（株）富士通研究所　[2]富士通（株）

富士通は，国際体操連盟・日本体操協会との連携により，体操競技における正確かつ公平な採点の実現を目指して，採点支援システムの開発に取り組んでいる．採点支援システムは，LiDAR（Light Detection and Ranging）方式の3Dレーザセンサによって取得された3次元点群から，Deep Learningと幾何モデルフィッティングにより選手の3D骨格座標を求める3Dセンシングと，3D骨格座標の時系列情報から実施技の特定を行う技認識の両技術で構成される．本稿では，体操競技における採点手法と審判による正確な採点実施の難しさを説明し，課題とディジタル化による対策をまとめた後，採点支援システムの概要を解説する．次に，高精度な3D骨格座標認識を可能とし各種スポーツに適用可能な3Dセンシング技術，および，体操採点ノウハウを取り込んだ技認識技術について説明し，最後に，本採点支援システムが国際体操連盟に正式採用されるまでの取り組みを紹介する．

1. 体操採点のディジタルトランスフォーメーション

国際体操連盟は，2019年8月23日に，マナグア（ニカラグア）における執行委員会会合にて，富士通が開発した採点支援システムをあん馬，つり輪，男女跳馬の4種目で正式に採用することを承認し，2019年10月にシュツットガルトで開催される世界選手権から使用を開始した[1]．この世界選手権に先立つ10月2日には，国際体操連盟と富士通との共同で採点支援システムの正式採用に関するプレス発表も実施された．これまでにニューヨーク・タイムズ，ワシントン・ポスト，ウォールストリート・ジャーナルをはじめとする国内外650以上のメディアが，本採点支援システムに関するニュースを取り上げ，スポーツにおける新たな歴史の幕開けに対して大きな期待が寄せられた．

スポーツにおけるICT活用に関する人やモノの認識技術としては，テニスやサッカー等におけるボールの接地・通過点の判定システム（ホークアイ・システム）や，サッカーやバスケットボールにおけるアスリートの2次元の動きを解析するトラッキングシステムなどが実用化されているが，アスリートの3次元の動きをマーカやセンサを装着せずに高精度に認識し，採点競技に適用した例は今回の体操競技を除いて存在しない．

男女体操競技は，スプリング構造によりはずむ床などの器具の進化や，メダル獲得のための高得点化への拍車により技が高速化・複雑化し，審判員が判定に迷うケースが増加しており，採点結果の正確性・公平性担保が国際体操連盟での長年の課題となっているものの，未解決のままであった．ここで期待されるのは，従来は「経験と勘」に頼っていた判定・強化を「客観的なデータ」に基づいて実

施することであり，換言すれば，スポーツ向けにIoT （Internet of Things）／AI技術を適用することである．我々は，当該技術として着目される3Dセンシング技術の体操競技への適用と，国際機関との共創によって体操採点ノウハウを集結して技認識技術を確立し，スポーツICT市場のグローバルトッププレーヤーとしての地位確立を目指している．

2. 体操採点支援への取り組み

2.1 体操採点の概要

体操競技は，陸上競技や水泳競技のように時間や距離を競う競技ではなく，演技（アスリートの動き）の複雑さを採点してその高さを競う採点競技である．男子6種目（ゆか，あん馬，つり輪，跳馬，平行棒，鉄棒），女子4種目（ゆか，跳馬，平均台，段違い平行棒）のそれぞれの演技に対して，技の難度を示すD（Difficulty）スコア，演技の出来映えを反映するE（Execution）スコア，および，演技領域からの逸脱（線審が判定）や時間超過（計時審判が判定）などによる減点の合計によって採点される[2],[3],[4].

男子を例にとると，Dスコアは，採点規則に記載された技の難度価値点（たとえば，A難度であれば0.1，B難度は0.2というように，難度のランクが1レベル上がれば得点も0.1ずつ増加する）にしたがって演技された10技の価値点の合計に加え，高難度の技の連続実施による組合せ加点と，実施された技のグループの価値点の合計により求められる．各技は，終末技を含めて4つの技のグループに分類され，各グループに属する技の実施に0.5の加点が与えられるため，技認識の正確さはDスコアに大きな影響を与える．

Eスコアは，10点を満点として，美しさ，実施，技術，構成上の欠点による減点を合計したものとなる．減点の対象となるのは，着地における完璧な姿勢からの逸脱，演技における膝・腕・体等のまがりや脚の開き，静止技における完璧な姿勢からの逸脱などであり，逸脱の量やまがり角度により，減点の量が決まっている．減点は演技の難度とは関係なく，0.1単位で算出される．

現在，Dスコア，Eスコアの採点は，それぞれ，D審判，E審判によって独立に行われている．D審判は，選手の実施した技を目視で認識し，速記記号に相当するシンボルマーク（技記号）を用いてDスコアシートに記録し，演技終了後にシートに記載された結果に加点項目を加えてDスコアを決定する．E審判も同様な目視・手作業によってEスコアを算出している．

2.2 体操採点の課題とディジタル化による解決

国際審判資格を持った審判員は高い技能を備えているが，採点の基準を記載した採点規則が，人が審判することを前提とするために元来としてあいまいさを持っていることや，採点規則に減点要素として記載されている関節の理想からのまがり角度を人が目視で正確に認識することが不可能であることから，採点は経験に頼らざるをえず，正確性・公平性の担保には本質的な困難さが存在する．**図1**では採点規則の腕・脚・体のまがりに対する実施減点の表記のあいまいさ（「まっすぐ」「わずかにまがる」「明らかにまがる」など）を示しており，この課題に対して，後述する3Dセンシング技術により出力される18関節の3D座標位置によって決まる関節のまがり角度を定義し，採点規則をディジタル化することによって，審判ごとの個性を排除する仕組みを示している．現在，富士通は国際体操連盟と協議しながらICTにより採点基準を解釈するための判定基準の明確化を進めている．

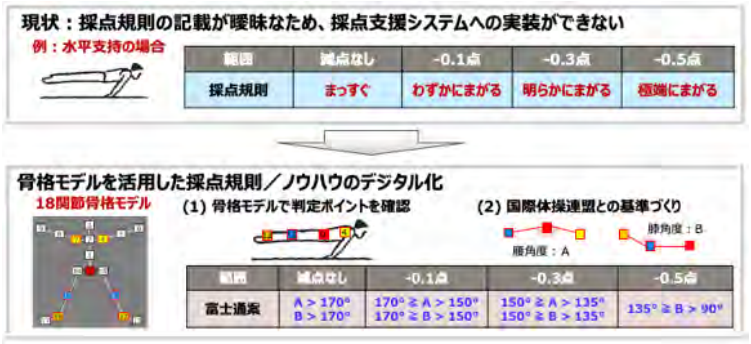
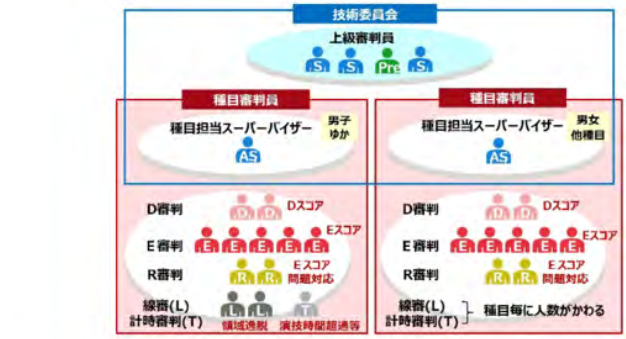


図1　採点規則におけるあいまいさのディジタル化

また，高得点化に向けた体操選手の競技力向上も目覚ましく，最高難度は，2019年の世界選手権でJ難度に塗り替えられた．加えて，複雑で速い動きを持った高難度の新技は増え続けており，全技数は2017年版採点規則で，男子6種目で819，女子4種目で549となっている[2],[3]．こうした状況の下，国際大会では監督からの問合せ（インクエリ）によっていったん決定したチーム順位（メダリスト）が変更となる事例も発生しており，技の高度化による競争が厳しさを増す中で，選手や観客に対して納得できる採点結果を遅滞なく提示する必要が高まっている．

国際体操連盟では高まる採点の品質向上への要求に応えるため，オリンピックや世界選手権において，**図2**に示す体制で採点を行っている．種目毎に種目担当スーパーバイザー（AS．採点規則を策定する技術委員会に所属する）が置かれ，配下にDスコアを決定する2名のD審判，Eスコアを決定する5名のE審判，Eスコアに問題を生じた際に対応するR審判，線審，計時審判が割り当てられている．D審判間でDスコアに矛盾が生じ，両者が調整しても採点結果が決まらない場合（ブロッキング・スコア）には，種目担当スーパーバイザーが最終決定を行う．種目担当スーパーバイザー全員の業務を監督し，採点に介入することが可能な上級審判員を除いても，審判員の総数は112名となっており，採点の正確性・公平性担保のために審判員をこれ以上増やすことは有効ではない．こうした状況を踏まえ，センサによって選手の動きを取得し，AI技術の活用により審判作業を支援する採点支援システム実現への要求が高まってきていた．



種目		種目担当スーパバイザ	審判団												
			D審判		E審判					R審判		線審		計時審判	
男子	ゆか	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	L1	L2	T	
	あん馬	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	ゆかでのライン踏み越し		ゆかでの演技時間	
	つり輪	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2				
	跳馬	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	L1		平行棒ウォーミングアップ時間	
	平行棒	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	跳馬でのライン踏み越し		T	
	鉄棒	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2				
女子	ゆか	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	L1	L2	T	
	段違い平行棒	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2			T	段違い・平均台での落下時間
	平均台	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	ゆか・平均台での演技時間		T1	T2
	跳馬	AS1	D1	D2	E1	E2	E3	E4	E5	R1	R2	L1			

図2　審判員の構成

採点支援システム実現に向けて必要な技術要素は，アスリートの動きの可視化である．アスリートの3D骨格座標を1cmレベルの高精度にディジタル化する従来手法としては，モーションキャプチャが主流であった．この技術は，関節近傍の体表面に反射マーカを取り付け，10台以上の赤外線ビデオカメラで撮影した後，人手による補正作業を含めた後処理を経て，3D骨格座標を求める．ただし，反射マーカはアスリートの精密な動きを妨げるために実際の競技で適用できず，研究開発用途に限られる．富士通研究所は，自動車向けに開発してきた3Dレーザセンサと，リハビリ向けに開発してきた骨格認識ソフトウェアを組み合わせて，反射マーカの必要なく3D骨格座標をリアルタイムに計測する3Dセンシング技術の開発に成功し，体操採点支援システム構築に向けて精度・速度を向上してきた．さらに，得られた3D骨格座標の時系列情報から，実施演技の技を認識する技術についてもDeep Learning技術を取り入れながら実用化した．3Dセンシングと技認識技術については第4章以降で詳しく解説する．

3. 体操採点支援システムの概要

3Dセンシング技術や技認識技術による体操採点支援システムの模式図を**図3**に示す．反射マーカを使用せずにアスリートの3次元の動きを数値化するため，3Dレーザセンサを使用して人体表面の凹凸情報を表す深度画像を取得する．この深度画像から骨格認識により主要関節の3D座標を高精度に求め，肘や膝，背骨等のまがり角度を正確に決定する．さらに，得られた角度の時系列変化を入力とし，技のデータベース（辞書）を参照することで技認識を行っている．このように，3DセンシングはIoT／AIの複合技術で構成されており，後述する技認識にもAI技術が採用されている．

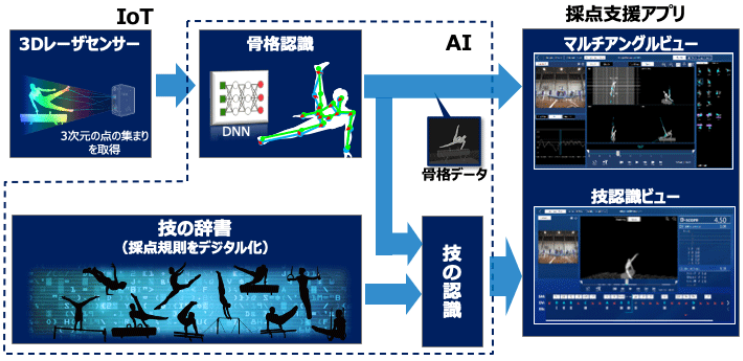
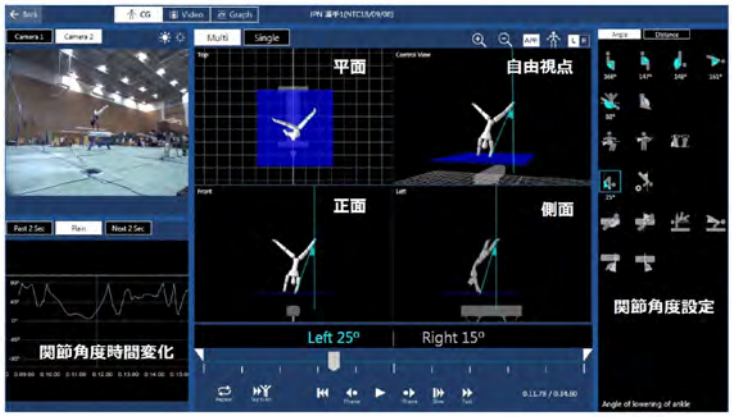


図3　3Dセンシング・技認識による体操採点支援システム概要

3Dセンシング・技認識技術によって得られた3D骨格座標と技認識結果から採点支援アプリを駆動する．図3に示すように，採点支援アプリには，体操選手の演技におけるフレームごとの関節角度を詳細に確認できるマルチアングルビューと，実施された技ごとに技認識結果により得られる技名等を示す技認識ビューが存在する．マルチアングルビューでは，3Dセンシングの出力である3D骨格座標を，**図4**（a）に示すように，正面・側面・平面などの視点から表示できる．図では，あん馬における左手と左足を結ぶ直線が鉛直方向となす角度を示しており，あん馬上での倒立の成立・非成立の判定に利用される．こうした解析は，審判の判定に対するインクエリやブロッキング・スコアが生じた際に，選手の演技において問題となるフレームを検索し，判定の基準となる関節角度を満たしているか，否かを確認するために利用でき，正確性・公平性の担保に役立っている．一方，技認識ビューでは，図4（b）に示すように時系列での技認識結果を示すとともに，その技のグループ番号，技の難易度，難易度価値点を示し，全演技技のDスコアを生成することで，審判業務の負担を軽減する．



（a）マルチアングルビュー

（b）技認識ビュー

図4　採点支援アプリのUI

採点支援アプリの価値の展開に関しては，体操以外の採点競技への適用に加え，トレーニングアプリと放送・エンターテイメントコンテンツが存在する．従来の体操のトレーニングにはビデオ映像を使用してきたが，好不調時の差を数値化して比較できなかった．3Dセンシング技術によりアスリートの動きを客観的な関節角度として提示できるため，データに基づく科学的なトレーニングに活用でき，スランプからの早期脱出，怪我をしない動きの習得，新技開発のスピードアップにつなげることなどが期待できる．また，観客や視聴者の視点からは，現状の視聴プログラムはアスリートの技の難易度や判定基準がわかりにくく，解説を聞いて何とか理解できる状態と言える．採点支援システムにより演技構成や難易度をリアルタイムに提供することで，アスリートの驚異的な身体能力を目に見える形で伝え，視聴プログラムの魅力をより向上することができる．

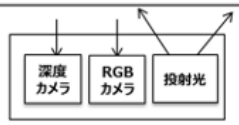
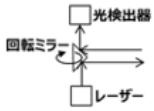
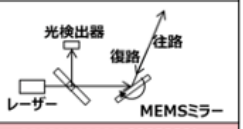
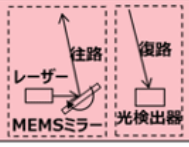
4．3Dセンシング技術

4.1　3Dレーザセンサ技術

アスリートの素早い動きを正確に捉えるため，高いフレームレートで，遠距離に位置するアスリートを高い解像度でスキャンできる深度画像取得方式が必要である．**表1**は，各種の深度画像取得方式を比較している．深度画像カメラとは，投射光からの反射を解析して得られる深度情報を集積化イメ

ージセンサ[5]により取得するカメラであり，ゲーム用途向けに市販されている[6]．深度画像カメラでは，高速・高分解能の深度情報が得られるが，5m以上の遠距離に対応することはできないため，スポーツへの応用には制約がある．

表1　深度画像取得方式の比較

方式分類			特長	課題	構成
深度画像カメラ			高速 高分解能	短距離 (5m以下) 耐光性	
LiDAR	回転モーター型		遠距離 耐光性	低速 (低分解能)	
	MEMS ミラー型	投受光 同軸型	遠距離 耐光性	低速 (低分解能)	
		投受光 分離型	遠距離 高速 高分解能	耐光性	

スポーツ全般に応用可能な15m離れた場所からの深度画像を得るために，LiDAR（Light Detection and Ranging）技術を採用したレーザセンサが広く注目されている．LiDARは，パルス照射されたレーザ光の反射を利用して，対象物との距離やその外形などの性質を分析することができる．LiDARは，採用される投光側のスキャン方式と受光側の光学系の構成によって，速度や分解能が変わる．スキャンにポリゴン・ミラーなどを用いる回転モータ型では，1ラインの走査後次の走査まで回転待ちが発生するため，高速化が困難である．この問題を克服するために，走査範囲内でのみ機械的な変位を行うMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）ミラー型が有効となる．

スポーツ用途では，高分解能化のため従来のLiDARよりも走査点数を10倍以上に増やす必要があり，MEMSミラーのスキャン速度をさらに高速化しなければならない．このため走査角度拡大レンズを使用すると同時にMEMSミラーも小型化する必要があるが，投受光が同軸となるように光学系を設計すると，受光系に使用されるMEMSミラーもスキャン速度高速化のために小型化されるので，散乱の影響を受けた対象からの反射光すべてを捕捉できず，光検出器での光量低下を起こす．そこで，受光量確保のため投受光を分離した光学系を採用した．富士通研究所が開発したMEMSミラー・投受光分離型3Dレーザセンサの構成を**図5**に示す[7]．対象物の距離測定には，レーザパルス投射から反射光検出までの時間を測定するToF（Time-of-Flight）方式を採用している．レーザパルスが投射されてから対象物に反射し，受光ユニットで検出されるまでの時間差をΔT，光速をc（約30万km／s）をとすると，対象物までの距離はΔTc/2で与えられる．

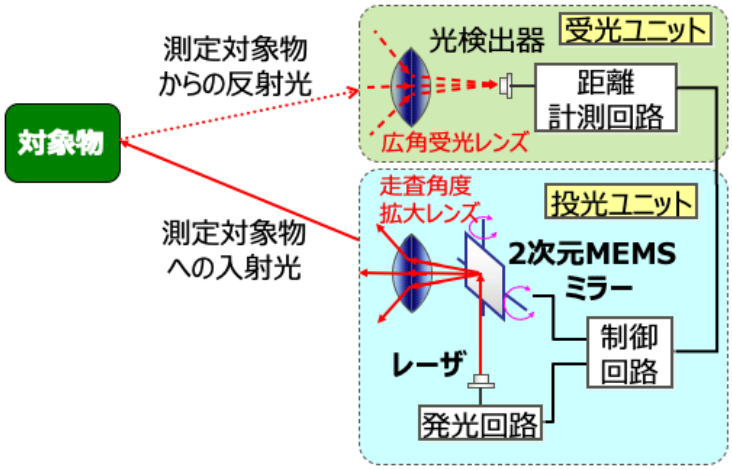


図5　3Dレーザセンサの構成

また，さまざまなスポーツ競技に対応するために，3Dレーザセンサの配置には自由度を持たせる必要があり，結果として幅広い距離と領域にわたって高解像度を実現する3Dレーザセンサ技術が必要となる．つまり，**図6**（a）に示すように，人が近距離に存在する場合には，高い解像度で深度情報を取得できるが，遠距離の場合に同じ画角では解像度が低くなってしまう．このため，図6（b）に示すように，遠距離に人が存在する場合は，MEMSミラーの制御により画角を絞り，人の解像度を近距離と同等のレベルまで向上させる画角制御技術が必須となる．**図7**では近距離の深度画像における人の解像度を基準として，遠距離において画角制御をON／OFFした場合の比較を行っている．画角制御を行うことにより，人の動きを近距離と同じレベルの高い解像度でセンシングできることを示している．

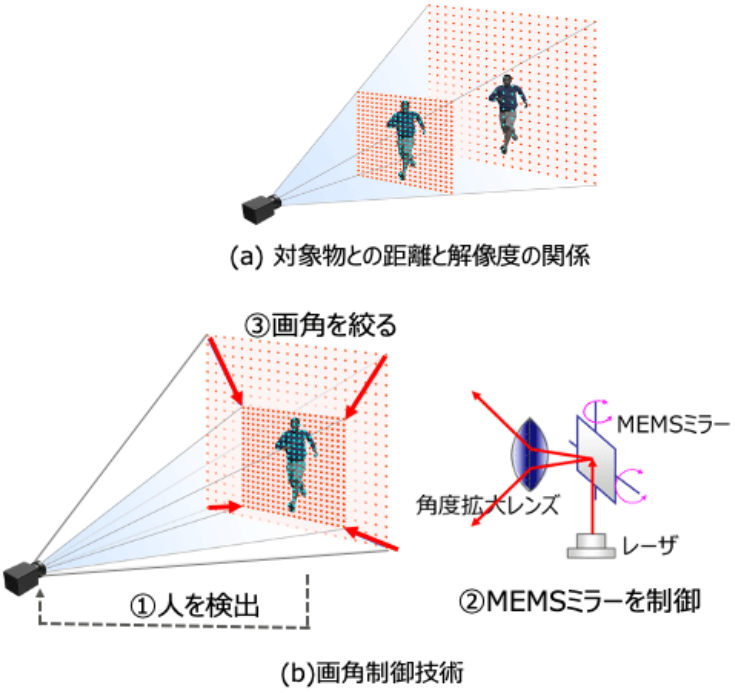


図6　画角制御技術の概要

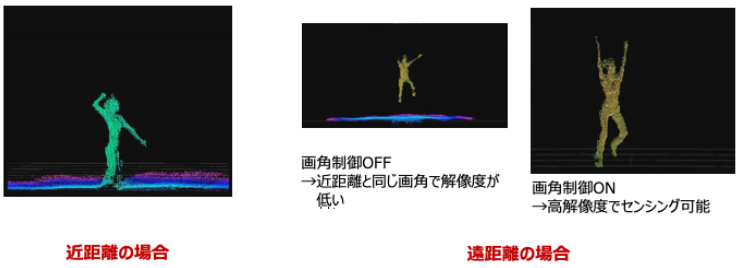


図7　画角制御による効果

4.2　骨格認識技術

3Dレーザセンサが取得した深度画像から人体を構成する各関節の3D座標を抽出するのが骨格認識技術である．採点支援システムでは，演技終了後ただちに審判員の判定を支援可能な高精度の3D骨格座標や関節角度を出力しなければならず，その認識精度はゲーム用途などに比べて抜本的な向上が要求される．また，演技中の選手の姿勢は他のスポーツで見られないものであることから，既存の機械学習を利用した骨格認識システムでは，体操特有の姿勢が学習されていないために誤認識の多発が予想された．本要件を満たす高速・高精度骨格認識技術として，**図8**に示す学習型骨格認識とフィッティングを組み合わせたハイブリッド方式を開発した．

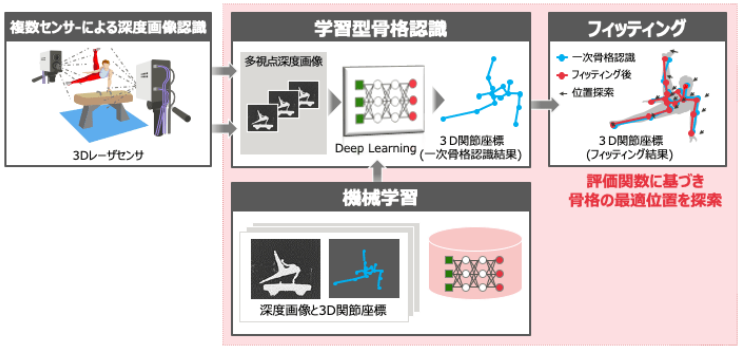


図8　骨格認識技術の概要

学習型骨格認識の学習フェーズでは，深度画像を入力として関節座標の推定値を出力する推論モデルを，あらかじめ設計されたCNN（Convolutional Neural Network）系Deep Learningネットワーク上に作成する．このため，取得した体操演技の3D骨格座標からCGによって深度画像を作成し，体操姿勢を含む学習用のトレーニングセットを用意する．認識フェーズでは，体操器具やアスリート自身によるオクルージョン（隠れ）を克服するように設置された多視点の3Dレーザセンサから提供される多視点の深度画像から，推論モデルを用いて3D骨格座標の推定を行う．

続くフィッティングでは，学習型骨格認識出力や前フレームにおけるフィッティング結果などを初期値とし，各センサからの深度画像を統合した3D点群に対して，人体モデルを当てはめる．ここでは，統合点群座標と人体モデルの表面座標の一致度を表す評価関数（尤度）を定義し，最も尤度が高くなる関節角度を最適化により求めることで，最終的な3D骨格座標を決定する．**図9**では，あん馬演技における点群への人体モデルのフィッティングの様子を示している．ここでは，わかりやすくするため，人体モデルの初期関節位置を故意に点群から離してフィッティングした例を示している．

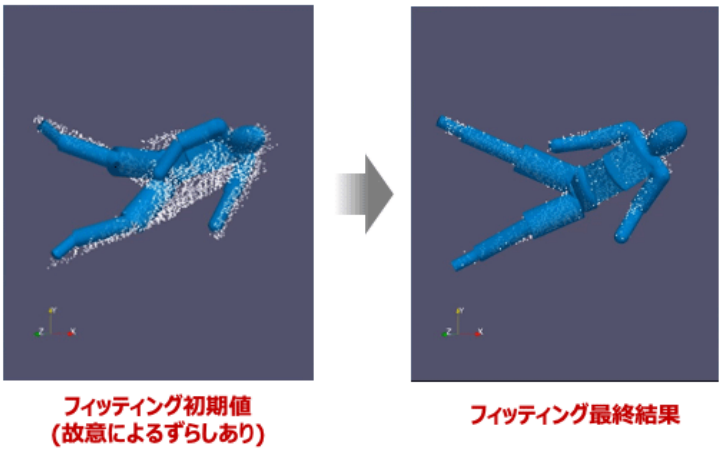


図9　あん馬演技におけるフィッティング例

学習型骨格認識では，推論モデルに基づいて関節位置を推定するため，準備したトレーニングセットの品質によって精度が左右される場合がある．図8のように後段にフィッティングを実施することにより，統合点群に合わせて関節位置を実測値に合わせこむことができ，採点支援に要求された精度を達成できる．一方，フィッティングのみでは最初のフレームで初期値が存在しないことや，前フレームからのトラッキングがはずれた場合の対処ができないため，事前の学習型骨格認識は必須である．

フィッティングにおける最終精度は，人体モデルの精度に依存する．人体モデルは図9に示すように円柱・楕円柱などで構成されており，円柱の長さ・半径等をアスリートの体型に合わせて最適化する必要がある．富士通は，国際体操連盟・日本体操協会と連携して，競技データのみならず，競技に参加する選手の体型データの取得を進め，採点支援の精度向上を実現している．

5. 技認識技術

採点支援向け技認識技術の概要を，あん馬を例にして**図10**を用いて説明する．新しい技が追加された際に最小限のデータ追加で対応することが要求されるため，まず1つ1つの演技を構成する基本運動を定義し，基本運動に関連した特徴量（図10の例では手の支持位置と体躯とあん馬のなす角度）をパラメータとして基本技を認識し，連続する基本技を技の辞書と時系列照合して採点の対象となる技を認識する構成となっている．図10の左下の例では，最初の基本運動として「正交差倒立」，続いて「下ろして開脚支持」が認識された結果，最初に演技された技が「セア倒立」であると判定している．

基本運動の数は，男子6種目819技に対して475，女子4種目549技に対して318と，技総数と比較して削減できており，基本運動認識による共通要素の抽出によって技認識精度の向上が期待できる方式となっている．図4（b）に示したように，いったん採点対象となる技として認識できれば，採点規則から技のグループ番号，技の難易度，難易度価値点は一意に決まり，演技で実施された全技から採点規則にしたがって価値点を合計することでDスコアを自動的に生成できる．

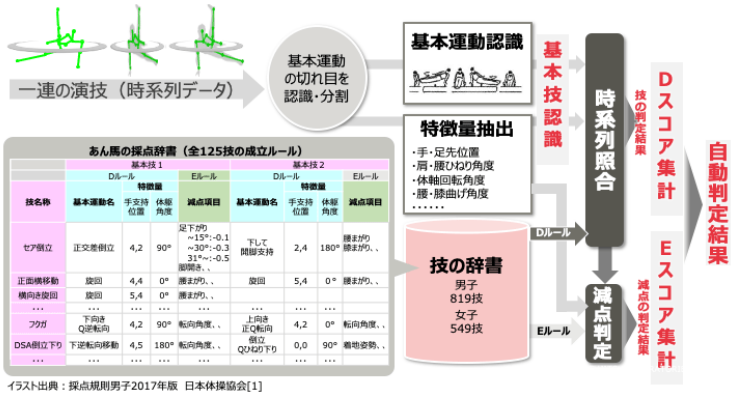


図10　技認識技術の概要

技認識において最も重要な技術要素は，フィッティング結果である3D骨格座標の時系列データから，基本運動間の切れ目を認識し，分割された時系列データに対して特徴量と基本運動を決定することにある．基本運動間の切れ目や特徴量，基本運動，特徴量を決定するアルゴリズムには，ルールベース（判定ロジックと閾値により決定）と機械学習（Deep Learningによる学習・識別の実施）の2つの手法があるが，我々は種目によって使い分けている．たとえば，平均台の採点では，単純な技の判定に加え，技と技の組み合わせの成否から加点の有無を判定する必要がある．組み合わせの成否は，技と技の間の「つなぎ動作」の経過時間と姿勢の乱れの有無により判定されるが，技とつなぎ動作の境界や姿勢の乱れの厳密な定義ができないため，ルールベースによる定式化が困難である．そこで我々は，**図11**に示す2台（Dual）のCNNオートエンコーダ（Auto Encoder, AE）を併設し，技とつなぎ動作の境界にマージンを持たせて両動作領域を抽出し，技認識と，技と技の組み合わせ成否判定を高精度に実施する手法を開発した[8].

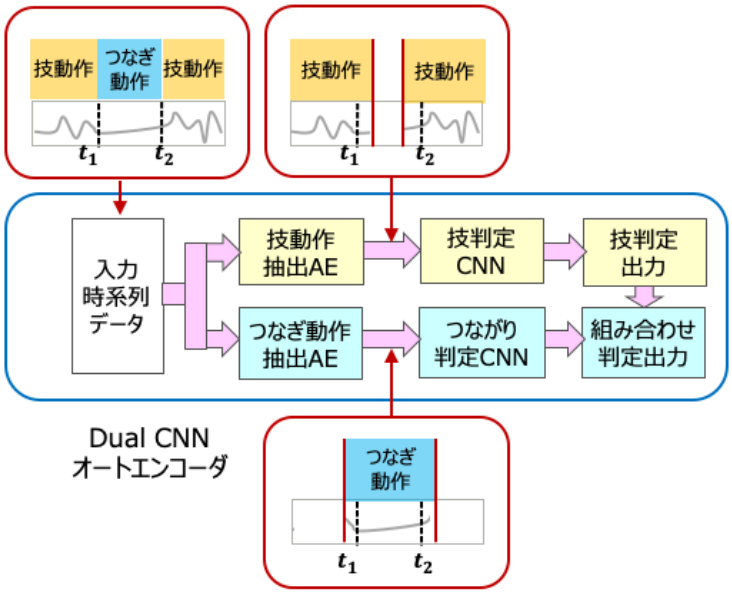


図11　Dual CNNオートエンコーダの構成

6. 正式採用までの取り組み

富士通は，2016年5月に日本体操協会と3Dセンシング技術を使用した採点支援技術の共同研究に合意し，同年10月には，日本体操協会から提供を受けた審判ノウハウ，選手データなどにより採点支援のプロトタイプシステムを構築し，国際体操連盟総会における概念実証に成功し，正式採用に向けた開発を開始した．2017年10月に開催されたモントリオール世界選手権では，国際体操連盟と共同で大会データを取得し，つり輪演技における3Dセンシング技術適用の有効性を実証することで，国際体操連盟と富士通との採点支援システム構築に向けた業務提携を発表した．

2018年11月のドーハ世界選手権では，国際体操連盟の技術委員会幹部と，マルチアングルビューを使用したつり輪・あん馬での採点支援システムの技術（精度，UI，システム統合）検証を実施した．**図12**は，ドーハ世界選手権における技術検証の様子を示している．ここでは，3Dレーザセンサの配置状況が示されているが，センサの配置は，センサの画角・測定可能距離（範囲）や選手の最大

可能演技範囲だけでなく，種目ごとのオクルージョン，ポディウム（器具の置かれた演台）の形状やTVカメラ・審判席の配置を考慮する必要がある．そこで，センサ配置チェックツールを用意し，現場での事情によりセンサの配置換えが必要になった場合にも，即座に配置の正当性を確認できるようにしている．

図12　2018年ドーハ世界選手権における技術検証の様子

つり輪において3Dセンシング技術を利用することで正確性・公平性が改善される例を**図13**に示す．この図は，ドーハで実施された4選手の中水平静止技とみなされる演技において，つり輪水平線と腕のなす角度の時間平均値θavを示している．採点規則によれば，肩がつり輪の位置まで下りれば（θavは理想的には0°となる）難度価値点の高い中水平静止，肩がつり輪の位置よりも高ければ難度価値点の低い上水平静止と判定されるべきであるが，体の位置がつり輪と水平になっていると，肩とつり輪との水平位置の関係が目視で検知されにくくなっている．こうした人では検知困難な技を正確に認識するため，3Dセンシング技術を利用したマルチアングルビューでの採点支援が有効であることが確認された．なお，実際の判定では，国際体操連盟技術委員会との協議を進めた結果，審判員の見方に合わせて輪の上端と肩関節の高さの差分値により判定を行うように決定された．

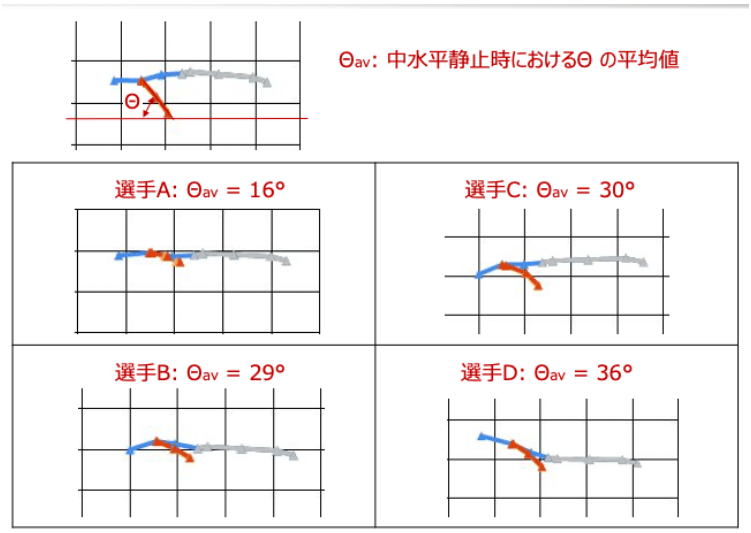


図13　つり輪静止技判定におけるマルチアングルビューの有効性

この後，2019年4月の東京ワールドカップでは，マルチアングルビューの対応種目に平均台を加え，さらにつり輪技認識ビューを国際体操連盟技術委員会幹部と検証し，高評価を受けた．同年6月のハンガリーでのジュニア世界選手権ではマルチアングルビューと技認識（Dスコア採点）の対象種目を，男女跳馬を含めた5種目に広げてシステム検証を行い，順調な技術の進化を提示した．こうした検証の成果が，冒頭に述べた国際体操連盟における採点支援システムの正式採用につながり，同年10月のシュツットガルト世界選手権における実運用へと結実した．実運用にあたっては，審判の判定に対する監督側からのインクエリや審判間でのブロッキング・スコアが生じた際に，マルチアングルビューから関節角度を正確に確認することができ，採点の正確性・公平性の担保に大いに役立った．

6. まとめと今後の展開

今後の高まりが予測されるスポーツICT市場に対し，富士通がグローバルトッププレーヤーとしての地位確立を目指して開発している体操採点支援システムを紹介した．本システムは体操採点ノウハウとIoT／AI技術を結集したディジタル分野の最新の研究開発事例にあたり，マルチアングルビューと技認識ビューを活用して，正確性・公平性への要求が高い体操採点を支援できることを実証した．前者は，3Dレーザセンサが取得した深度画像に，学習型骨格認識とフィッティングの組み合わせにより高精度で3D骨格座標を抽出した結果を表示し，体操選手のフレームごとの詳細な動き解析に使用される．後者は，3D骨格座標の時系列変化を技のデータベースと照合して，演技の技認識を行って採点結果を表示する．学習型骨格認識，技認識の両者ともDeep Learningを活用している． 体操採点支援システム開発で培った3Dセンシング・技認識技術を，さまざまなスポーツ競技，スポーツ以外の他の業界に展開することで，より良い社会の構築に貢献することを目指していきたい[9]．

参考文献

1）The International Gymnastics Federation : https://www.gymnastics.sport/site/news/displaynews.php?idNews=2587（2020年5月27日確認）
2）日本体操協会：採点規則 男子 2017年年版

3）日本体操協会：2017-2020　採点規則 体操競技女子 2017年
4）桝井昇一，手塚耕一，矢吹彰彦，佐々木和雄：3Dセンシング・技認識による体操採点支援，電子情報通信学会誌，Vol.103, No.1, pp.5-14 (Jan. 2020).
5）Payne, A., Daniel, A., Mehta, A., Thompson, B., Bamji, C., Snow, D., Oshima, H., Prather, L., Fenton, M., Kordus, L., O'Connoer, P., McCauley, R., Nayak, S., Acharya, S., Mehta, S., Elkhatib, T., Meyer, T., O'Dwyer, T., Perry, T., Chan, V.-H., Wong, V., Mogallapu, V., Qian, W. and Xu, Z. : A 512x424 CMOS 3D Time-of-Flight Image Sensor with Multi-Frequency Photo-Demodulation up to 130MHz and 2GS/s ADC, IEEE International Solid-State Circuits Conference, No.7.6, pp.134-135, San Francisco, U.S.A. (Feb. 2015).
6）Han, J., Shao, L., Xu, D. and Shotten, J. : Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor: A Review, IEEE Trans. on Cybernetics, Vol.43, No.5, pp.1318-1334 (Oct. 2013).
7）Iida, K., Morikawa, T., Hano, T., Shimizu, S. and Tezuka, K. : Development of 3D Range Sensor with Super-wide Angle Detection to Observe Vehicle Surrounding, 19th ITS World Congress, No.AP-00079, Vienna, Austria (Oct. 2012).
8）阪田雅人，本田　崇，矢吹彰彦，桝井昇一，佐々木和雄：Dual CNNオートエンコーダーによる体操競技の技認識，Dicomo2020シンポジウム（発表予定）
9）富士通：体操採点支援システム, https://sports-topics.jp.fujitsu.com/sports_digital_solution/gymnastics-scoring-support/

桝井 昇一（非会員）masui.shoichi@fujitsu.com
昭和57年名古屋大学工学部電気学科卒業．昭和59年同大学院修士課程修了．平成2年スタンフォード大・客員研究員．平成11年富士通．平成18東工大・博士（工学）．平成19年東北大電気通信研究所・教授，平成24年（株）富士通研究所．現在は3Dセンシング・運動認識にかかわる研究に従事．平成16年文部科学大臣表彰研究功績者．現在，同社Gプロジェクト，シニアリサーチエキスパート．

手塚 耕一（非会員）ktezuka@fujitsu.com
昭和57年東京大学工学部精密機械工学科卒業．昭和59同大学院修士課程修了．同年（株）富士通研究所入社．以来，光ストレージ，光センシングシステムの光学系，機構系の研究開発に従事．現在，同社Gプロジェクト，シニアリサーチエキスパート．

矢吹 彰彦（非会員）ybk@fujitsu.com
昭和58年同志社大学工学部機械工学科卒業．昭和60年阪大大学院・工学研究科修士課程修了．同年（株）富士通研究所入社．以来，産業用組立ロボットの制御に関する研究などを経て現在，3Dセンシングデータを用いた運動解析の研究に従事．現在，同社Gプロジェクト，シニアリサーチエキスパート．

佐々木 和雄（非会員）sasaki.kazuo@fujitsu.com
平成6年神戸大学大学院工学部システム工学科修士課程修了．同年（株）富士通研究所入社．以来，ユビキタス端末，ネットワーク，エッジコンピューティングの研究に従事．近年，アスリートのスキル分析の研究に従事．現在，富士通（株）スポーツビジネス統括部，シニアディレクター．

採録決定：2020年7月29日
編集担当：青木 学聡（京都大学）

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

招待論文

日本野球市場に練習革命を起こす —センサ内蔵野球ボールを活用した野球指導効率化に向けた取り組みから—

柴田 翔平[1]　加瀬 悠人[1]　稲毛 正也[1]

[1]ミズノ（株）

近年のアメリカ野球市場では，弾道測定器やセンサを用いて，投手の球質や動作を分析し，データに基づき指導者が合理的に指導を行う，いわばデータ野球が進んでいる．一方，日本野球市場，特にアマチュアの現場では，データ計測・活用の文化が醸成されておらず，非合理的な指導も依然多い．そこで我々は，データ計測・活用文化を拡げるために，誰もが気軽に自身の球質を計測可能なセンサ内蔵野球ボールを用いた投球データ解析システムを開発した．一般消費者への販売（社会実装）により，球速以外の新たな指標の存在が認知され，従来のスピードガンのみの計測文化を変えることができた．一方，データを分析し，指導するといった環境までは構築できておらず，今後適切なデータ分析方法を提案していく構想である．

1. 日本野球市場の課題

野球というスポーツにおいて投手は，打者を打ち取るためにさまざまな速度や軌道のボールを投球する．投手のスキルの中でも特に球速を高めることは，打者を打ち取るために重要な要素の1つであり，日本の多くのアマチュアチームにおいても，以前からスピードガンを用いて球速を計測する文化が構築されてきた．しかし，計測される球速は投手のパフォーマンスを表す指標の1つにすぎない．投手から投げ出されたボールの軌道を決める要因は，1.球速，2.回転，3.投射角度，4.空気の状態の4つの要素であることが明らかになっている[1]．さらに回転は，回転数・回転軸・スピン方向（トップスピン，バックスピン）の3つの要素で構成される．また，さまざまな投手の投じるストレートの球速と回転数には正の相関関係があることが報告されており[2]，この球速と回転数の相関関係から大きく逸脱するような高い回転数かつ純粋なバックスピン（鉛直方向の回転軸角度（仰角）および進行方向の回転軸角度（方位角）がともに0°）で飛翔するボールは，打者がバットの芯で捉えづらいことを報告している[3]．これらの研究結果より，投手が打者を打ち取る技術や戦術スキルを獲得するために行う投球練習では，球速だけでなく，球質（以下，ボールの回転数や回転軸とする）データを指導者とともに把握することが重要であると考えられる．

近年，アメリカ野球市場ではレーダードップラー式弾道測定器やカメラ，センサ等の計測機器を用いて，投手の球質や動作を分析し，選手に対してデータに基づいた指導を行う或いは戦術に活かすといった取り組みが盛んに進められている．たとえば，メジャーリーグでは，2015年に全球場にレー

ダードップラー式弾道測定器およびカメラが設置され，投手の投じたボールの球速や回転数，回転軸といった球質データが瞬時に計測されるようになった（解析システム名：STATCAST[4]）．このシステムによって，試合のTV中継時には従来の球速以外のデータも表示されるようになり，選手や指導者，データアナリストはもちろん，視聴者や野球ファンもデータに触れる機会が多くなった．さらにアメリカのアマチュア野球においても，高校生投手の球質データが公開され[5]，スカウト活動に活用されるなど，データ野球文化が進んでおり，データに基づいた合理的かつ効率的な練習がより普及していくと考えられる．

総務省の予測では，日本の2020年コンシューマ向けIoTデバイス（家電，プリンタなどのパソコン周辺機器，ポータブルオーディオ，スマートトイ，スポーツ・フィットネス，その他）数は，61.5億台になると見込んでいる[6]．

一方，課題として現在の日本野球市場では，IoTデバイスの普及は進んでおらず，球速以外のさまざまなデータを活用したデータ野球の文化が十分根づいているとは言えない．そのため， 未だ合理的な指導と非合理的な指導が混在するケースが多いと言われている[7]．プロ野球では2020年現在，11球団がレーダードップラー式弾道測定器を導入するなど，徐々にデータに基づいた指導や戦術への活用が試みられているが，アマチュア野球の現場では，各チームが高額な弾道測定器を導入することは困難であり，科学的根拠に基づかない感覚的な指導・旧態依然とした練習法を現在も実施しているチームが多いというのが現状である．

これらの課題を解決し，球速以外のデータ計測・活用文化を日本のアマチュア野球に拡げるために，我々は，誰もが気軽に自身の球質を計測可能なセンサ内蔵野球ボールを用いた，投球データ解析システムの開発を行った．本システムの一般消費者への販売（社会実装）にあたり，我々は次のような仮説を立てた．

仮説：①センサ内蔵の野球ボールを用いた投球データ解析システムを開発し，製品化することで，市場が球速以外の計測項目（回転数・回転軸）の存在を認知し，②データに基づいた合理的かつ効率的な指導が普及する．

2. 投球データ解析システムについて

2.1 システム構成および構造

本研究で開発されたシステム（名称：MA-Q（以下，MA-Qと呼ぶ））はセンサ内蔵野球ボール，ワイヤレス充電器およびスマートフォン用アプリケーションで構成される．

センサ内蔵野球ボールには，3軸加速度センサ，3軸ジャイロセンサ，3軸の高レンジ加速度センサおよび3軸の高感度磁気センサ（Magneto-Impedanceセンサ（以下，MIセンサと呼ぶ），愛知製鋼社製）の計12軸のセンサが搭載されている．さらにセンサ内蔵野球ボールには，マイコン，電池およびBluetooth Low Energyが搭載されている．充電は電磁誘導方式によるワイヤレス充電器によって行う．また，投球時の加速度，角速度，磁気はサンプリング周波数500 Hzで収録され，Bluetooth Low Energyによって無線でスマートフォンに送信される．システムの概観は**図1**に示すとおりである．

図1　開発された投球データ解析システムの外観

また，センサ内蔵野球ボールは通常の硬式球と同様の質量・慣性モーメント・材質（牛革，綿糸）・縫い目の高さである．また，センサをポリカーボネート製カプセルおよびシリコーンゲルで固定することで，耐衝撃性を高めた構造を実現した．ボールの構造は**図2**に示すとおりである．

図2　通常の硬式球とセンサ内蔵ボールの構造

2.2　アプリケーションによる解析方法

本研究で開発されたアプリケーションはiPhoneおよびiPad専用アプリケーションとして，Apple Storeにて無料で公開されている．専用アプリケーションによる投球データ解析方法は以下に記したとおりである．

（1）選手の名前や投球法などの入力をし，選手登録を行う
（2）投球距離を設定する．ここで入力した距離は球速算出時に利用される
（3）専用アプリケーションと接続するセンサ内蔵ボールを選択する
（4）選手名および球種を選択する

（5）回転軸を測定する場合，2段階で加速度センサおよび地磁気センサのキャリブレーションを行う
このキャリブレーションは，測定場所や日付が変わらなければ，1回限りでよい
（6）センサ内蔵ボールを投球する．ボールの投球が完了すると，スマートフォンにデータが送信される．計測項目はボールの「投手から見た回転軸角度（仰角）」「上から見た回転軸角度（方位角）」「回転数」「球速（平均球速）」の4項目である（**図3**）

図3　アプリケーション内の投球結果画面

測定距離に関しては，少年野球等にも対応している．また,専用アプリケーションでは，ユーザは連続して投球する，もしくは1球毎に詳細結果を確認することを選択できる．さらに，過去計測した複数人のデータを一元管理し，全計測データをCSVで出力できる．

2.3　アルゴリズム

計測項目のアルゴリズムは，それぞれ下記のように構築した．加速度センサの特徴量から，ボールのリリースおよび捕球時刻を算出し，その差分を投球時間とした．あらかじめ設定された投球距離を，算出された投球時間で除した値を球速とした．回転数はMIセンサによって得られる地磁気の生データから算出した．まず，生データを変化量（時間差分）データにし，0点と交差する時点をカウントする．このアルゴリズムでは，0点と交差する時点の3点分を1回転とし，ボール回転数（rpm）に変換した．回転軸（仰角）はMIセンサの出力値・1回微分値・2回微分値をインプットとして，拡張カルマンフィルタにより推定した[8]． 回転軸（方位角）は加速度センサおよびMIセンサから，独自アルゴリズムにより推定した．それぞれの計測項目の精度は，高い時間分解能や位置測定精度が得られ,センサの精度検証として主流となっている光学式モーションキャプチャーシステムとの比較[8]を行い，検証した．MA-Qによる球速と回転数，モーションキャプチャーシステムによる球速と回転

数は，それぞれ同様の値を示していたこと（球速r = 0.95，回転数r = 0.90）や，回転軸は平均絶対誤差が10°程度であったことから，本システムは野球現場において，投手の球質を判断する上で実用に足る精度であることを確認した．

3. 社会実装により得られた成果

本章では，センサ内蔵野球ボールの社会実装により得られた成果である下記の2点について説明する．

- 投球パフォーマンスの新たな評価指標の提供およびその一般化
- 導入事例から見えたコミュニケーションツールとしての新たな可能性

3.1 投球パフォーマンスの新たな評価指標の提供およびその一般化

センサ内蔵野球ボールの一般市場へのリリースは非常に大きな効果をもたらした．従来の測定機器は，非常に高価という事もあり，ボールの回転情報はプロ野球選手など一部の選手しか計測することができなかった．しかし，センサ内蔵野球ボールにより，一般ユーザも，これまでより安価な値段で，そして比較的簡易に取得することができるようになった．すなわち，球質評価をする上で，どのユーザでも今まで以上に粒度の高い分析を行うことができるようになった．

また，センサ内蔵野球ボールの登場以降，TwitterやYouTubeなどのSNSをはじめ，Web，雑誌など各種メディアにも多く取り上げられられるようになった．そのため，これまで以上に回転数や回転軸に関する情報が拡散され，新たな評価指標の存在が広く知れ渡ったと考えられる．また，2019年3月に，筆者の所属する企業の営業部門17名を通じてMA-Qを導入したチームに野球現場でのデータ活用についてのアンケートを実施した．上記チームの内訳は，**図4**で示すように，高等学校が80%，中学校と大学が4%ずつとなっており，球速をより重要視する傾向のあった高等学校で，より導入が進んでいることが分かった．また導入したチームの中で，MA-Qで計測できる3項目の球質（球速・回転数・回転軸）すべてを活用しているチームが88%に上ることも明らかになった．

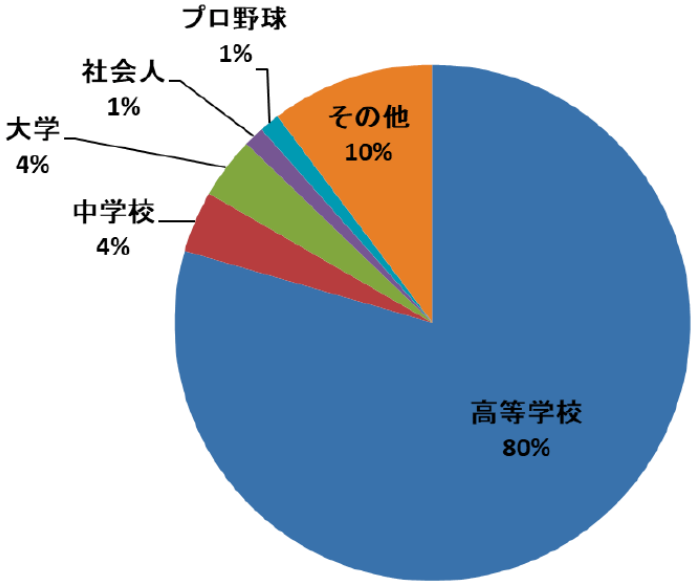


図4　アンケート結果におけるMA-Qを導入したチームの内訳

この結果から，これまで計測することができなかった回転数や回転軸という新たな評価指標が多くのユーザに利用されるなど，今まで以上により身近な存在になってきたと考えられる．すなわち，センサ内蔵野球ボールの社会実装により，球速以外の計測項目の一般化が進んでおり，第1章で述べた仮説①が立証されたと考えられる．

3.2　導入事例から見えたコミュニケーションツールとしての新たな可能性

本節では，MA-Qを導入したアマチュアのチームを対象に行った，2019年9月の現場ヒアリングの結果から，MA-Qの新たな可能性について述べる．

これまでの野球市場，取り分けアマチュアレベルにおける指導現場では，どこか感覚的な表現で選手に対してフィードバックすることが多く，更には自身の経験論やWebサイトの情報などから選手に指導をするなど，定性的な指導に偏るシーンが多く見られてきた．

しかし，センサ内蔵野球ボールの開発や普及により，これまで感覚でしか伝えることのできなかった投手のスキルや球質が数値化されるようになり，選手のパフォーマンスが可視化されるようになってきた．

更には定量的なデータを計測できるため，より具体的な目標設定も行いやすくなった．これは運動学習の観点から見ても，“単に全力でやれと指示され動作を行うより，目標設定をすることでより高いパフォーマンスが発揮される”[9]と示されているように，効率的なパフォーマンスアップを目指すには非常に有効であり，指導者としてもこれまで以上に定量的な指導が行えるようになったと考えられる．

また，こうしたセンサ内蔵野球ボールは，**図5**に示すように過去のデータの管理や，PCへのデータの出力も可能であることが多い．そのため過去の投球データと比較することで，今の自身のコンディション確認や，トレーニング前後でデータを比較することで，そのトレーニングが本当に効果があったのか，効果検証にも使用できたりと，データを用いることで選手と指導者の間でこれまで以上に

質の高いコミュニケーションが行える可能性が増したと考えられる．またそのような指導を行うことで，選手も自身のパフォーマンスを客観的に見つめ直すことができ，目標とするパフォーマンス達成のために練習で何を重点的に取り組むべきなのか考えるきっかけにもなると考えられる．実際にこれまで導入いただいた学校からも“得られたデータを選手自身が客観的に分析し，目標とする数値を達成するためには何をすべきか，これまで以上に指導者と密にコミュニケーションを取るようになった．”とコメントをいただくなど，センシングデバイスの導入は，新たな評価指標の可視化や練習の効率化など多くのメリットをもたらすと同時に，指導・練習の現場において指導者と選手とを結ぶ新たなコミュニケーションを生み出す可能性を示すことができた．

図5　データ管理画面と出力後のデータ例

4. 日本野球市場のデータ活用普及における課題

本章では，MA-Qを導入した野球チームについて実施したアンケート結果から見えてきた課題について述べる．

まず，MA-Qを使用して普段どおりの練習ができているか，という質問に対しては，56%のチームが少し練習の邪魔になることがあると回答した．この理由としては，部活動では，限られた時間の中で練習を行う必要があるが，計測をすることにより，時間や人手が必要になることもあるため，今まで以上に煩わしさを感じてしまうことが要因であると考えられる．

また，日本のアマチュア野球の現場でのヒアリング結果から，チーム全体の練習メニューやタイムスケジュールは事前に決められていることが多く，普段の練習を阻害してしまう機器は，導入への障壁が高くなってしまうことが分かった．これらの理由から，MA-Qを活用したデータ計測を拡げるためには，スムーズなデータ計測のためのUI改善が必要であると考えられる．

さらに，計測したデータを表計算ソフト等で分析を行っているか，という質問に対しては，MA-Qを導入したチームの半数未満しか分析を行っていないという回答結果となった．加えてデータ分析の要望として，下記の2つが挙げられた．

- 比較対象となる同世代の平均値データを示してほしい
- 計測結果を基に，どのような練習をすれば改善ができるか示してほしい

これらの結果から，現状の日本アマチュア野球市場では，MA-Qで得られる球質に関する3項目の見方，そして得られたデータを如何に解釈し，その後どのようにトレーニングに活かせばいいのかが普及しておらず，練習におけるデータ分析，活用にまで至っていないことが分かり，第1章で述べた仮説②について，データに基づいた合理的かつ効率的な指導が普及することを立証するまでには至らなかった．

以上のアンケート結果から，日本野球市場，特にアマチュアの現場では，データ計測の文化構築には，練習を阻害しないシステムにすること，データ分析の文化構築にはデータの見方や改善方法を提案することが重要であると考えられる．

5. 日本のアマチュア野球市場への施策案

本章では，まず日本のアマチュア野球市場の現在地をイノベータ理論に照らし合わせた考察について述べる．次に，イノベータ理論に基づいて，日本のアマチュア野球市場に向けたMA-Qによるデータ文化を構築するための施策について述べる．

5.1 イノベータ理論におけるデータ活用文化の現在地

Mooreのイノベータ理論[10][11]によると，技術浸透のライフサイクルは，各時点の売上を連続的につないだ曲線であり，その売上は性質や行動においてそれぞれ異なる5つの顧客カテゴリによって下記の5つに構成される．

（1）イノベータ：テクノロジー・マニア
（2）アーリー・アドプタ：ビジョナリ
（3）アーリー・マジョリティ：実利主義者
（4）レイト・マジョリティ：保守派
（5）ラガード：懐疑派

図6に示すように，これらの5つの顧客カテゴリのうち，（1）イノベータと（2）アーリー・アドプタが構成する市場は初期市場と呼ばれ，（3）アーリー・マジョリティから（5）ラガードはメインストリーム市場と呼ばれる．（2）アーリー・アドプタの特徴は“ライフサイクルのかなり早い時期に購入し，現在抱えている問題にこのテクノロジーを適用すること”が挙げられる．一方，（3）アーリー・マジョリティの特徴は“テクノロジーに対する姿勢はアーリー・アドプタと共通するが，実用性を重んずること”が挙げられる．

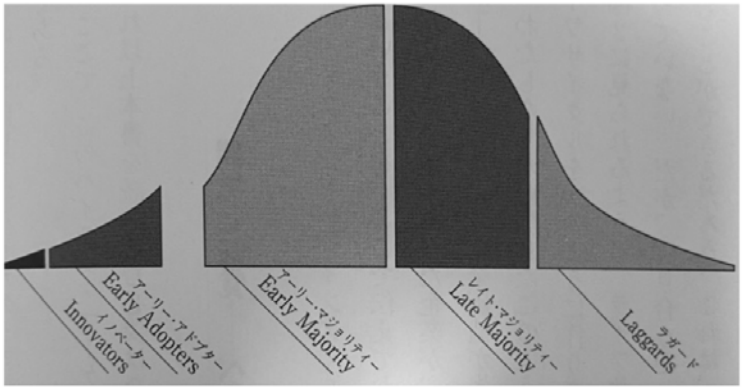


図6　技術浸透のライフサイクルによる5つの顧客カテゴリとキャズム[10]

以上の特徴より，MA-Qの現在の顧客カテゴリは，アーリー・アドプタとアーリー・マジョリティの両方が考えられるが，前章のアンケート結果から，MA-Qのユーザは，計測したデータを実用するまでには至っていないため，顧客カテゴリはアーリー・アドプタであると考えられる．これらの結果より，イノベータ理論とアンケート結果を照らし合わせると，日本のアマチュア野球市場におけるMA-Qなどを用いたデータ活用文化は，初期市場を開拓している段階だと考えられる．

図6に示すように，初期市場とメインストリーム市場の間には「キャズム」と呼ばれる深い溝があり，MA-Q等を用いたデータ活用文化がメインストリーム市場を開拓するためにはこのキャズムを超える必要がある．キャズムを乗り越える方法として，Mooreは下記の2点を主張している．

- ターゲットとなる顧客カテゴリーが変わるたびに製品のポジショニングを変更し，製作しなおすこと
- 本来の製品に各種のサービスや補助的な製品を付け加えて，ホールプロダクトを作り出すこと

ここで，Mooreはホールプロダクトを，“ベンダが顧客に説明する製品の機能と製品が実際に発揮する機能の間には差があり，その差を埋めるために，ベンダ側で各種のサービスや補助的な製品を付け加えられたプロダクト”[10]と説明している．

次に，日本のアマチュア野球界におけるデータ活用文化を初期市場からメインストリーム市場へ移行するために，上記のMooreの主張に沿った施策を提案する．

5.2　ポジショニングをターゲットごとに変える施策

MA-Qをすでに導入しているチームが初期市場のユーザであるとすると，アーリー・アドプタがメインストリーム市場へ橋渡し役（インフルエンサ）となる施策が有効であると考えられる．アーリー・アドプタについては，ユーザがSNS上で情報発信しやすくするために，UI設計の見直しや新しい計測項目を追加していく．また，データ活用する環境が構築されているアメリカ野球の情報を，アーリー・アドプタに提供し，新しい計測項目について関心を持ってもらい，いち早く活用してもらう施策を行う．

メインストリーム市場のユーザに対しては，ユーザが使用したいと思わせる且つ練習の阻害とならないような，ユーザに寄り添ったアナログとディジタルがシームレスに繋がる下記の順番で，5点の施策が考えられる．

（1）教本や練習マニュアルの作成：実練習環境でのMA-Qの活用方法や計測項目について分かりやすく説明をまとめた紙ベースの資料により，どのような練習をすれば数値の改善ができるか示すことを目的とする
（2）アプリのUIの改善：実練習環境において，スムーズにスマートフォンが操作できることを目的とする
（3）各年代の計測値の提示：各人の数値が各世代間の指標と比べて，どのポジションにあるかを知ることにより，目指すべき選手像を示すことを目的とする（**図7**）
（4）自己分析シートの作成：各人が計測した結果や現状と今後の課題について記入することにより，次の目標を設定することができる．アマチュア野球では，各人が練習や試合の結果についてノートで記入し振り返ることが一般的であり，練習プロセスと試合結果，計測した数値を同時に紐づけ，各人で次へのアクションを考えさせることを目的とする（**図8**）
（5）トレーニングツールとの連携：計測した数値をさらに向上させるために，トレーニングツールの提供やアプリケーション上でのツールレコメンドを行うことを目的とする

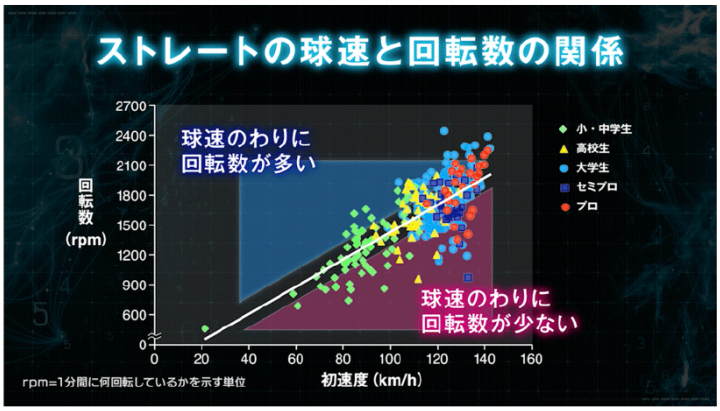


図7　各年代の球速と回転数の計測値
MA-Q Webサイトにおける國學院大學　神事努准教授（博士）解説動画より抜粋[12]

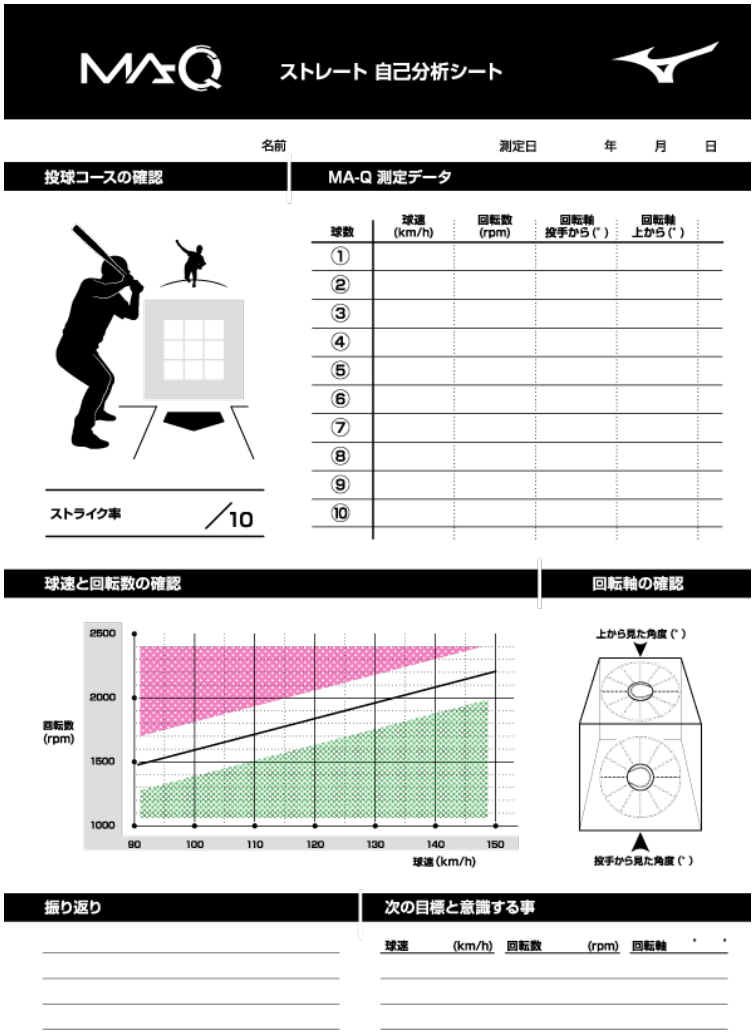


図8　MA-Qの計測結果を記入する自己分析シート案

5.3　製品にサービスや補助的な製品を付け加え，ホールプロダクトを作り出す施策

日本の野球市場には，すでに試合結果を振り返り分析するシステムや，練習風景を動画で撮影し確認共有できるシステムがある．これらのシステムとMA-Qが連携することにより，ユーザは付加価値のあるサービスを受けることが可能になり，ホールプロダクトを作り出すことができると考えられる．このためには複数のステークホルダが連携することが重要であり，MA-Qシステムを連携するためのオープン化も検討している．最終的には，ステークホルダ全体で日本のアマチュア野球市場にデータ活用文化を構築し，練習の革命を起こすことを目指している．

6．本研究の結論

本研究では，自身の球質を計測可能なセンサ内蔵野球ボールを社会実装し，その成果と課題，施策についてまとめた．結果として，球速以外の新たな指標の存在が認知され，日本のアマチュア野球市場における，従来の計測文化を変えることができたと考えられる．一方，アンケート調査結果から，データを分析し指導するといった環境構築までは至っていないことが分かった．そこで，イノベーション理論から，現状の課題を分析し，日本のアマチュア野球市場にデータ活用の文化を広めていく施策案を述べた．

謝辞　本研究にご協力いただいた中学校や高等学校，大学，社会人の野球チームに深謝いたします．

参考文献

1）Alaways, L. W., Mish, S. P., and Hubbard, M. : Identification of Release Conditions and Aerodynamic Forces in Pitched-baseball Trajectories : Experimental Determination of Baseball Spin and Lift, Journal of Applied Biomechanics, Vol.17, pp.63-76 (2001).
2）Jinji, T. and Sakurai, S. : Direction of Spin Axis and Spin Rate of the Pitched Baseball, Sports Biomechanics, Vol.5, pp.197-214 (2006).
3）Higuchi, T., Morohoshi, J., Nagami, T., Nakata, H., and Kanosue, K. : The Effects of Fastball Backspin Rate on Baseball Hitting Accuracy, Journal of Applied Biomechanics, Vol.29, pp.279-284 (2013).
4）Major League Baseball (online) MLB.com : Statcast Leaderboard, http://m.mlb.com/statcast/leaderboard (入手 2020年4月28日)
5）Prep Baseball report : https://www.prepbaseballreport.com/ (入手 2020年4月28日)
6）総務省　令和元年版情報通信白書：https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd112120.html (入手 2020年5月25日)
7）金堀哲也，川村　卓，松尾知之，朝岡正雄，山田幸雄，會田　宏：我が国の指導書からみた野球の打撃指導における指導者の着眼点―動作局面における指導対象部位に着目して―，コーチング学研究, Vol.25, pp.149-156 (2012).
8）柴田翔平，鳴尾丈司，加瀬悠人，稲毛正也，山本道治，森　正樹，浦川一雄，廣瀬　圭，神事努：硬式野球ボール型センサを用いた投球データ解析とその活用方法に関する研究，スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2018，講演論文集 A-18 (2018).
9）LocKe, E. A. and Bryan, J. F. : Cognitive Aspects of Psychomotor Performance : The Effects of Performance Goals on Level of Performance, Journal of Applied Psychology, Vol.50, pp.286-291 (1966).
10）Moore, G. A. : Crossing the Chasm, HarperBusiness (1991). (川又政治訳：キャズム, 翔泳社, 2002年)
11）酒井博章，河合勝彦：エージェント・ベース・モデルを利用した新製品普及戦略の考察，オイコノミカ，Vol.43-2, pp.1-16 (2006).
12）【MA-Q】投手が投げるボールの球質とは？, https://www.youtube.com/watch?v=NElayrQHrTs (入手2020年5月15日)

柴田翔平（非会員）shshibat@mizuno.co.jp
1988年生．2011年上智大学理工学部物理学科卒業，2018年東京大学大学院総合文化研究科博士後期課程修了．博士（学術）．2013年，ミズノ（株）入社，現在に至る．

加瀬悠人（正会員）ykase@mizuno.co.jp
1990年生．2014年筑波大学情報学群情報科学類卒業．2016年筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程修了．同年，ミズノ（株）入社，現在に至る．2017年山下記念研究賞受賞．

稲毛正也（非会員）minamo@mizuno.co.jp
1992年生．2015年岡山大学工学部電気通信系学科卒業．2017年岡山大学大学院自然科学研究科生命医用工学専攻博士前期課程修了．同年，ミズノ（株）入社，現在に至る．

採録決定：2020年6月26日
編集担当：細野 繁（東京工科大学）

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

招待論文

バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える

木村 聡貴[1]

[1]日本電信電話（株）

スポーツで高いパフォーマンスを発揮するためには，頑健な身体を備えるだけでなく，状況の適切な判断や予測，巧みな運動調節などを実現する高度な脳情報処理機能が不可欠である．しかし，身体的側面の知見やトレーニング手法などについては多くの蓄積がある一方で，脳機能に関する側面は未開発である．筆者の研究グループでは，先進的な情報通信技術を活用して，スポーツパフォーマンスを支える脳機能を解明し向上させる取組みを進めている．本稿では，テニスや野球・ソフトボール用のバーチャルリアリティシステムを用いて，そうした取組みに利用している事例を紹介する．

1. スポーツと脳科学

スポーツはよく“心・技・体”と言われる．高いパフォーマンスを発揮するためには，強い筋力や心肺機能などの頑健な身体を備えることはもちろん重要であるが，レベルが高くなるほど，これだけでは不十分である．的確に状況を判断し予測する能力，自分の身体や外界の状態を正確に認識する能力，何をすべきか臨機応変に意思決定する能力，巧みに運動を調節する能力，そしてプレッシャーに晒されながら安定した実力を発揮できる能力，こうした技や心にかかわる能力が勝敗を分ける．そして，これらは高度な脳の情報処理に支えられている．しかしながら，これまでのスポーツ科学では，身体的な側面に関する知見やトレーニング方法については多くの蓄積がある一方で，脳情報処理の仕組みやそれに基づく強化手法については未開発である．このような背景を踏まえ，筆者の研究グループでは，スポーツパフォーマンスを支える脳機能を解明し向上させることを目指したプロジェクトを進めている[1]．

ただし，脳機能の解明や向上といっても，脳の活動そのものを計測したり脳を刺激するわけでは必ずしもない．むしろそうではなく，脳の働きの結果として表出される行動や生体情報から脳の働きを読み解いたり，感覚情報操作や行動介入で脳の変化（可塑性）を促そうというアプローチが主体である．こうしたアプローチでも十分に脳の仕組みに迫れる部分があり，さまざまな環境や状況で幅広くスポーツを扱えるメリットも大きいからである．そこで鍵になるのは，行動神経科学的な手法と情報通信技術（ICT）の融合である．たとえば，試合を妨げないように運動や生体データを計測するには，ウェアラブルセンサや映像解析などのセンシング技術が重要になるし，効果的なフィードバックやトレーニングを実現するには，機械学習などの情報処理や工学的な実装のノウハウなどが必要とな

る．こうした先進のICTを活用しながら，心理物理計測で脳機能に迫ったり，人間の知覚特性に則したフィードバック手法をデザインすることが肝になってくる．筆者の研究グループでは，そのような取組みの1つとして，バーチャルリアリティ（VR）を活用している．

2. バーチャルリアリティをスポーツ研究に活用するメリット

スポーツパフォーマンスを計測する環境は大きく2つある．1つは，いわゆる実験室計測である．条件を適切に統制しながら計測できる一方で，実際のスポーツ文脈から乖離しがちであり，パフォーマンスの限られた側面しか捉えられない問題がある．もう1つは，実戦フィールドでの計測である．近年，ウェアラブルセンサやコンピュータビジョンなどのセンシング技術の進展により，リアルなパフォーマンスを計測できるようになってきた[2]．しかしながら，リアルな状況は多様な要因が複雑に絡み合っており，パフォーマンスとの因果関係を読み解くのは容易ではない．このように，実験室計測と実戦計測には，条件統制とリアリティのトレードオフが存在する．

このトレードオフを補う手段として，筆者の研究グループはバーチャルリアリティ（VR）に着目している．VRは，ユーザに臨場感のある視覚体験を提供し，コンピュータグラフィクス（CG）と組合せることで，所望の視覚空間を構築することができる．さらに，実環境では物理的あるいは倫理的に困難な計測条件を意図的に設定することも可能である[3]．このように，リアリティを確保しながら柔軟に視覚条件を統制できる点は，VRをスポーツ研究に適用する大きなメリットになり得ると思われる．

次章からは，スポーツパフォーマンスにかかわる認知運動機能の評価や強化にVRを利用している事例を紹介する．

3. テニスサービスVRを用いた認知運動機能の評価

テニスのレシーバは，サービスからおおむね1秒以内という厳しい時間制約の中で，打球に対応し打ち返さなければならない．したがって，サービスの球種やコースを適切に予測し[4]，タイミングよく反応（リターン）することが重要となる．筆者の研究グループでは，このリターンスキルの背景にある認知運動機能，特にサーバの動きからサービス球種を予測する機能と，球種に合わせて運動を調節する機能を切り分けて評価することを目的に，テニスサービスを体感できるVRシステムを開発した[5]．

3.1 テニスサービスVRシステムの構成

筆者のテニスサービスVRシステムでは，ユーザは市販のヘッドマウントディスプレイ（HMD：VIVE，HTC）を装着し，レシーバ目線でリアリティのあるサービスシーンを体験できる（6DoF，フレームレート：90fps，視野角：110deg）．仮想環境はゲームエンジンのUnityを用いてCGで構築し，主にテニスコート，サービス時のサーバの動き，ボールの挙動を実装している．

サーバの動きとして，慣性センサ式モーションキャプチャスーツ（MVN，Xsens）を用いて，熟練者（元スリランカ代表選手）の動作をあらかじめ計測した（サンプリングレート：240Hz）．また同時に，サーバの後方に2台の市販カメラを設置し，サービス打球を同期撮影した．後日，得られた画像データから，画像処理ライブラリOpenCVを用いてボール挙動を検出し，逆透視投影変換行列によってボール軌道を3次元再構成した．サーバは，フラット，スピン，キック，スライスそれぞ

れの球種を数球ずつ打ち，その内コースが近しい1球ずつを投影する打球として採用した．また，その時のサーバの動作を，アバターとして表現した．**図1**に，バーチャル空間に実装されているサービス軌道とアバターの動きの例を示す．

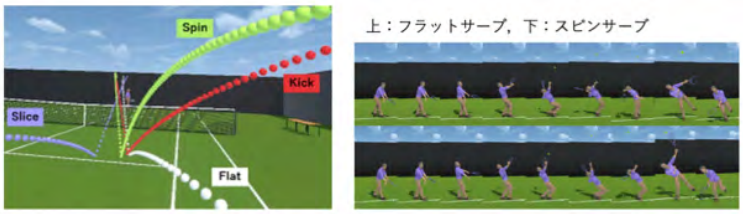


図1　テニスVRで体験できるサービス軌道（左）とサーバの動きの例（右）

3.2　評価実験

このようなVRシステムを用いて，レシーバの認知運動機能を評価するための運動実験と認知実験を行った（**図2**）．実験には18名の健常大学生が参加した．認知運動機能を比較するために，参加者はNational Tennis Rating Programを元に，上級者（スコアが5.0以上）4人，中級者（2.5以上5.0未満）6人，初心者8人（2.5未満）の3グループに分けた．

図2　運動実験（左）と認知実験（右）の様子

運動実験では，参加者は実際のラケットを手に持ち，バーチャル空間のサービスボールに合わせてスイングすることを課された．ラケットのグリップエンドにHMD付属のトラッカを取り付け，6DoFのラケットの動きをバーチャル空間のラケットに反映させた．また，市販キットを用いてHMDを無線化し，参加者はある範囲を自由に動けるようにした．参加者には既述のモーションキャプチャスーツを着用してもらい，スイング時の動作を計測した（サンプリングレート：240Hz）．

認知実験では，参加者はサービスされた球種を判断することを求められた．参加者は，着座して回答用のボタン（PS4コントローラ）を持ち，リターン位置周辺視点のサービス映像を見ながら，球種が分かった時点でなるべく早く指定のボタンを押すように指示された．その際のボタン回答の成否と時刻を計測した（サンプリングレート：2000Hz）．

両実験とも，提示されるサービス球種としてフラット（速い）サービスとスピン（遅い）サービスの2種類を用いた．そして，各球種に対応するサーバ動作とボール挙動の組合せを操作した2条件（マッチ条件とミスマッチ条件）を設定した．マッチ条件では，通常のサーバ動作とボール挙動の組合せを用いた．たとえば，フラットサービスのサーバ動作とフラットサービスのボール挙動の組合せが提示された．一方，ミスマッチ条件では，サーバ動作とボール挙動を入れ替えた組合せを提示した．たとえば，フラットサービス動作とスピンボール挙動の組合せが提示された．それぞれの条件で，2球種が疑似ランラムに20球提示され，マッチ条件→ミスマッチ条件の順番で合計40試行を行った．なお，参加者にはフラットとスピンの2球種があることのみ事前に伝え，マッチ／ミスマッチ条件があることは教示しなかった．また，課題に慣れるために，本実験の前にマッチ条件で10試行程度の練習を行った．

3.3　結果と考察

図3に，運動実験から得られた利き手（ラケット使用手）の前後方向速度のグループ平均値を示す．テイクバック時には負の速度ピークが現れ（上図の波形例），この時刻が球種によって変化する．たとえば，上級者の結果をみると，通常のフラット（速い）サービス（F）に比べて，スピン（遅い）サービス（S）では，ピーク時刻が遅れている．これは，球速に合わせて，テイクバックのタイミングを調節しているためと考えられる．

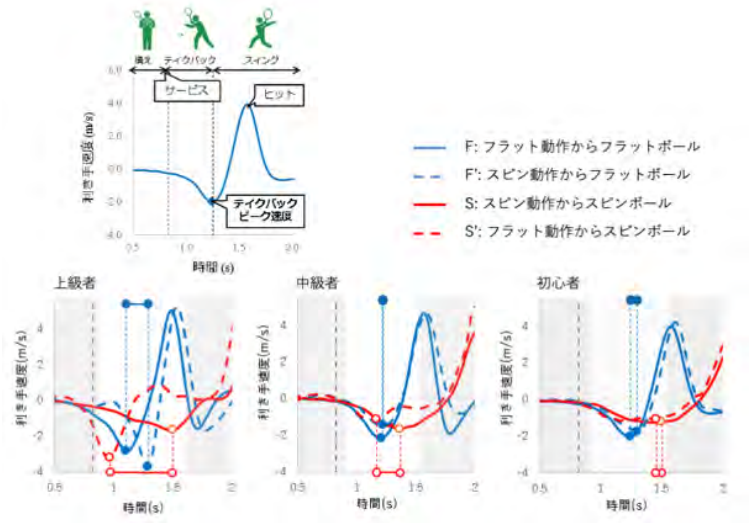


図3　運動実験で得られた利き手速度のグループ平均波形

興味深いのは，上級者では，このピーク時刻が，ミスマッチ条件とマッチ条件で（つまり実線と破線とで）変化していることである．たとえば，マッチ条件のフラットサービス（F）に比べて，ミスマッチ条件のフラットサービス（F′，つまりスピン動作からフラットボールが放たれる）では，ピーク時刻が遅くなる．逆に，マッチ条件のスピンサービス（S）に比べて，ミスマッチ条件のスピンサービス（S′）では，ピークが早まる．こうした挙動は，一貫してサーバの動作に依存している．すなわち，上級者では，フラット動作から放たれたボール条件ではピークが早く，スピン動作の条件ではピークが遅くなっている．一方で，こうしたサーバ動作に依存したピーク時刻のシフトは，中級者や初心者ではほとんど見られない．これらの結果から，上級者は，サーバの動きで球種を予測しリターンのタイミングを計っているが，中級者・初心者では，それができていないと考えられる．

次に，認知実験から得られた球種判断の時間と判断精度の結果を**図4**に示す．ここで，判断時間（図4左）はサーバの動作開始時刻を0としており，およそ0.8秒あたりでサービスが起こっている（緑点線）．上・中級者の判断時間を見ると，前半のマッチ条件ではサービス時刻辺りで反応しているが，ミスマッチ条件に切り替わった直後，急激に反応時間が遅くなっている．この条件切り替えに合わせて，正答率（図4右）も低下していることが分かる．一方で，初心者では，元々サービスより後で反応しており，条件が切り替わってもあまり変化がない．また，正答率も100%を保持し続けている．これらのことから，1）上・中級者はサーバの動作で球種を予測しているが，初心者はボールを見て反応している，ただし，2）サーバ動作とボール挙動の関係がミスマッチになった後は，上・中級者級もボールを見て判断せざるを得なくなった，と考えられる．

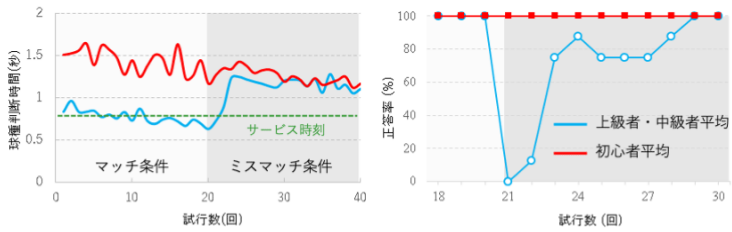


図4　認知実験で得られた判断時間と正答率のグループ平均

以上のことから示唆される認知（予測）と運動の機能と熟練度との関係を整理すると（**図5**），

- 初心者はサーバの動きから球種予測ができない
- 中級者は球種予測はできるが，運動調節に活かせない
- 上級者は両方の機能を備えている

という階層構造で解釈できる．

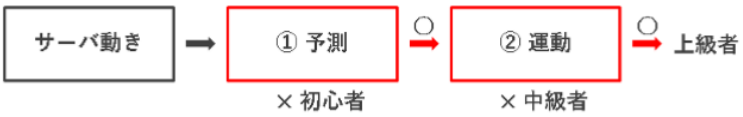


図5　実験結果から示唆される認知運動機能と熟練度

重要なポイントの1つは球種の予測であるが，**図6**のように，球種の違いによってトスアップ時のサーバの姿勢やボール位置などに違いがあり，これらを見分けられるかが肝になっていそうである．実際に，実験後に行ったインタビューで，上・中級者はマッチ／ミスマッチ条件の切り替えについて何らかの違和感などを感じたと報告していた．もう1つの重要なポイントは，認知機能と運動機能の階層性である．“球種は分かっているけれどできない”のか，“そもそも分からない”かは，“できない”ことだけからは判別できない．これを見極めるには，想定される脳情報処理の流れに応じた適切

な計測設定が必要となる．とくに，マッチ／ミスマッチ条件は，実環境では実現不可能であり（実世界で動作とその結果であるボール挙動は物理的に不可分なので），このような使い方はVRならではの強みであると思われる．

図6　フラットサーブ（濃い）とスピンサーブ（薄い）の動きの違い

4. 野球・ソフトボールVRの活用事例

筆者の研究グループでは，テニス以外に，野球やソフトボールの投球を体験できるVRシステムを開発している．リアリティや再現性などVRの特徴を利用した適用事例について簡単に紹介する．

4.1　野球VRを用いたイメージトレーニング

野球VRでは，テニスと同様に，打者は相手（投手）の動きや投球を確認できる[6]．ただし，投手の動きは，CGではなく，実写映像を用いて実装している（**図7**左）．その理由は，混み入った動作計測が不要となるため，さまざまな投手を対象としやすくなるからである．また，CGでは困難な表情や細かな動きを可視化できる利点もある．そこで，本システムでは，フィールド外から撮影した映像を，3次元空間で打者方向に配置したビルボードと呼ばれる仮想的な2次元パネル上で再生するようにしている．野球の場合，投手や打者の奥行き方向の位置はあまり変化しないため，投手の動作は2次元での表現に向いている．

図7　野球ピッチングVRの画面（左）とプロ野球選手の利用の様子（右）（[8]より引用）

一方で，ボールの挙動は，奥行き方向の変化が大きいため，ビルボード表現には適さない．したがって，テニスVRと同じく，CGで表現した．しかし，ここで大きな課題が1つある．実写映像に含まれるボールとの二重提示である．そこで，ボール領域をペインティングすることで，二重提示を回避する工夫を取り入れている[7]．

本システムは，新たなイメージトレーニングとして活用することを想定している．日本野球機構に所属するプロ野球チームと共同で，本システムの有用性などについて検証を行ったところ[8]，

- ビデオ映像と異なり，ボールの奥行き感を感じられる
- 投手の動きに合わせてタイミングを計りやすい
- さまざまな球種に対して待ち方などをシミュレートできる

といった好意的な意見が得られている．実際に試合前に利用している選手もおり（図7右），まさにイメージトレーニングツールとして使われはじめている．

現在，本システムは，打者の動きをセンシングできるように改良が加えられている[9]．また，これを実現するため，仮想空間と実空間との時空間的キャリブレーションを簡便に行えるようにしている[10]．このように，体験者の運動を収集し分析・評価可能なシステムとすることで，単に事前のリハーサルにとどまらず，実際の動作の改善にもつながるであろう．また，継続的に使うことで，投手の癖の把握や自身の運動イメージの改善といった認知機能の強化にもつながると期待される．

4.2　ソフトボールVRを用いた審判スキルの評価

ソフトボールVRのシステム構成は，野球VRとほぼ同じである．よって，ソフトボール打者が投球体験するために利用可能だが，ここでは審判のコース判定のために利用している例を紹介する．

審判は，ストライク・ボールを正確に判定し，かつその判定が安定していることが求められる．本VRシステムは，任意の球種・コースのボールを繰り返し生成できるため，そうした審判のスキルを評価するには，格好のツールとなり得る．そこで筆者の研究グループは，日本ソフトボール協会と共同して，審判の技術講習に本システムを導入した[11]．**図8**は，講習時に審判が見るVR画面（ただし，ストライクゾーン表す紫色の五角柱は実際には表示しない）と，テストの様子である．折しも2018年にストライクゾーンの改変があったため，本システムを用いて審判らは新ストライクゾーンでのボールの見え方を確認した．さらに，いくつかの際どいコースの投球を数試行ずつ組合せた判定テストを実施し，判定の難易度（正確性）や安定性などの評価を行った．その結果，コースや打者の左右によってそれらの成績が異なっていたり，個人差があることがみとめられた．

図8　ソフトボールVRの画面（左）と審判の判定テストの様子（右）

このように得られた結果は，認知機能の個人性（判断の癖や得手・不得手など）を理解することにつながり，対策やトレーニングに貴重なヒントとなり得る．今後こうした取組みを継続的に続けてゆくことで，審判のレベルの評価や向上にも役立つであろう．

5. まとめと今後の展望

本稿では，VRを用いてスポーツパフォーマンスに関する脳機能を評価したり向上させることを目指した取組みを紹介した．VRが有するリアリティや自由度などの特徴を活かすことで，これまでにない切り口でアスリートの脳機能に迫れたり，新しい脳トレーニング法として活用できる可能性が見えてきている．

しかし，取組みは始まったばかりであり，テニスVRをひとつ例にとっても，さまざまな課題や興味が残っている．たとえば，本システムには実際にサービスを打ち返す仕様（ボールとラケットのインタラクション）が実装できていない．ボールをラリーすることがテニスの本質であるとするなら，真のスキルを捉えるためにはきわめて重要な課題と思われる．また，さまざまなセンシングを組合せて，より多角的に脳の機能を評価することも興味深い．たとえば，眼球運動（視線）や筋活動などのデータが取得できれば，注意力や力み／リラックスなどの評価につなげられる可能性がある．さらには，仮に予測機能が不十分と評価されたときにどうするか．ユーザ目線で考えれば，評価するだけでなく，機能向上を促す仕組みも備わっていることが望ましい．たとえばサーバの動きに注意が向いてないようであれば，そこに注意を促すような介入を取り入れたいところである．

近年，スポーツパフォーマンスの評価や支援のためにVRを活用する試みは増えてきている[12], [13]．しかしながら，多くは実験室的な運用に留まっていたり，競技が限られていたり（持久系競技が多い），まだまだ発展途上である．筆者の研究グループでは，さまざまなアスリートの協力を得ながら研究を進めており，今後も現場のニーズや問題意識を汲みとり，貴重なフィードバックを得ながら，アスリートにとって有用な脳機能評価・強化ツールとしてVR技術を磨いてゆきたい．

最後に，本稿の執筆にあたり，共同研究者の慶應義塾大学杉本麻樹氏，正井克俊氏（現 日本電信電話（株）），斎藤慶氏（現 日産自動車（株）），ならびに日本電信電話（株）山口真澄氏，三上弾氏に謝意を表する．

参考文献

1）NTTコミュニケーション科学基礎研究所スポーツ脳科学プロジェクト：http://sports-brain.ilab.ntt.co.jp/index.html
2）相原伸平，杉山恵玲奈，澤田みのり，松本　実，伊藤浩志：競技スポーツの実践現場における

ICT活用，電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, No.46, pp.98-104 (2018).
3）木村聡貴，高橋康輔，三上　弾，柏野牧夫：スポーツ選手の脳情報処理過程を解明するバーチャルリアリティ技術，NTT技術ジャーナル，Vol.28, No.5, pp.26-29 (2016).
4）Shangguan, R. and Che, Y. : The Difference in Perceptual Anticipation Between Professional Tennis Athletes and Second-Grade Athletes Before Batting, Frontiers in Psychology, Vol.9, 1541 (2018).
5）斎藤　慶，正井克俊，木村聡貴，杉本麻樹：バーチャル環境を用いたテニスサービス対応熟練度に関する認知運動分析，日本機械学会 シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2019 講演論文集, C-16 (2019).
6）三上　弾，高橋康輔，西條直樹，五十川麻理子，木村聡貴，木全英明：VRイメージトレーニングシステムの実現と野球への適用，NTT技術ジャーナル，Vol.28, No.1, pp.22-25 (2018).
7）Isogawa, M., Mikami,D., Takahashi, K. and Kojima, A. : Image and Video Completion Via Feature Reduction and Compensation, Multimedia Tools and Applications, Vol.76, No.7, pp.9443-9462 (2017).
8）（株）NTTデータ：世界初，プロ野球球団が監修したVR［バーチャルリアリティー］技術による選手のトレーニングシステムを提供開始,
https://www.nttdata.com/jp/ja/news/release/2016/090500/ (2016年9月5日付プレスリリース)
9）Takahashi, K., Mikami, D., Isogawa, M., Kusachi, Y. and Saijo, N. : VR-based Batter Training System with Motion Sensing and Performance Visualization, IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, pp.1353-1354 (2019).
10）Takahashi, K., Mikami, D., Isogawa, M., Sun, S. and Kusachi, Y. : Easy Extrinsic Calibration of VR System and Multi-Camera Based Marker-less Motion Capture System, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct, pp.83-88 (2019).
11）Yamaguchi, M., Kimura, T. and Mikami, D. : Application of VR System to Test Ball-Strike Judgemens of Softball Unpires, in Abstract of 2020 The Yokohama Sports Conference (2020).
12）Michalski, S.C., Szpak, A. and Loetscher, T. : Using Virtual Environments to Improve Real-World Motor Skills in Sports: A Systematic Review, Frontiers in Psychology, Vol.10, 2159 (2019).
13）Neumann, D. L., Moffitt, R. L., Thomas, P. R., Loveday, K., Watling, D. P., Lombard, C. L., Antonova, S. and Tremeer, M. A. : A Systematic Review of the Application of Interactive Virtual Reality to Sport, Virtual Reality, Vol.22, pp.183-198 (2018).

木村 聡貴（非会員）toshitaka.kimura.kd@hco.ntt.co.jp
　日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所，主任研究員．2003年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了．博士（学術）．人間の感覚運動制御，近年はスポーツスキルの脳情報処理の研究に従事．

採録決定：2020年8月21日
編集担当：飯村 結香子（NTTソフトウェアイノベーションセンタ）

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

招待論文

単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム

髙橋 弘毅[1]　大前 佑斗[2]　酒井 一樹[3]　秋月 拓磨[4]　塩野谷 明[5]

[1]東京都市大学　[2]日本大学　[3]長岡工業高等専門学校　[4]豊橋技術科学大学　[5]長岡技術科学大学

我々は，特に初級から中級競泳選手の競技力向上を目指して，3軸加速度・角速度を測定可能な防水の単一小型慣性センサを用いた安価，かつ，手軽に使用可能な競泳指導サポートシステムの開発を進めている．本稿では，競泳指導サポートシステムの構想やシステム構築に必要な手法についてレビューする．また，プロトタイプシステムを作成し，その可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査の結果やそこから見えてきたトレーニング現場で使用する際の課題についてもレビューする．

1. 研究・開発背景

競泳は，我が国の代表選手が国際競技大会においてメダル獲得が期待されている競技である[1]．国際競技大会でさらなるメダル獲得をめざすためには，トップ選手である上級者の競技力向上が重要である一方，小・中学校や高等学校，大学などのクラブや地域スポーツクラブで活躍する初級者・中級者（日本水泳連盟の定める資格級のB級程度[2]）の裾野を拡げ，さらには上級者まで育成し国内におけるトップ選手層を増強することも重要である．

競泳の指導方法はコーチによる指導が一般的である．具体的には，トレーニングを行う選手に対し，コーチがストローク，ターンといった動作（以下，泳動作とする）のパフォーマンスを評価・改善することで競技力の向上が目指されてきた．特に，1つ1つの泳動作を精緻に分析し，その動作を改善していくことは初級者・中級者のトレーニングの中で重要であり，かつ，求められている．しかし，競泳においては，水中にいる選手の泳動作を目視によって精緻に分析し，アドバイスを行うことはコーチへの負荷が大きく，これを複数の選手に対して同時に行うことは難しい．そのため，初級者・中級者の選手が自からまたはコーチとともに，細かな泳動作を，トレーニングの競技中や競技後，トレーニング終了後の日／週／月といった長期的な間隔で，把握・評価できるシステムを構築することが必要とされている．

近年，モーションキャプチャや水中カメラのような大規模な装置を用いての指導が行われている．たとえば，モーションキャプチャでは，多数のマーカを体に取り付けるため，選手自身のフォームを可視化し改善できる一方で，普段とおりのパフォーマンスを発揮しづらいといった点も指摘されている．また，大規模な装置は高価であり，その準備に手間がかかる．国内における一部のトップ選手層の選手が，このような大規模な装置を用いてトレーニングをすることが可能になりつつある．一方で，それ以外の選手が，いつでも手軽に使用することはできない現状にある．

この問題に対し，さまざまな分野での適用が試みられている（たとえば[3],[4]など）ウェアラブル慣性センサ（以下，慣性センサとする）を用いる方法が考えられる．無線慣性センサを競技者に装着し競技を行うことにより，競技者の個人的な特徴を内包する3軸加速度・角速度（以下，センサデータとする）を得ることが可能となる．一方で，得られるデータは膨大となるため，それを直接表示することは情報過多の観点から望ましいとはいえない．そこで，競技者から得られるセンサデータを視覚的に要約し，コーチまたは競技者にフィードバックすることができれば，指導サポート（セルフコーチング含む）に役立てることができる．

以上のような背景から，我々は，近年小型化が進み，かつ比較的安価となっている防水の慣性センサを腰部背面に1つ装着するだけで使用でき，使用者が感じる違和感をできるだけ低減し，初級から中級の選手でも手軽に使用可能な競泳指導サポートシステムを提案し開発を進めている[5]．

本稿では，競泳指導サポートシステムの概要と実現するために必要な手法についてレビューをする．また，プロトタイプシステムの構築とその評価についてもレビューする．

まず，第2章では，先行研究について，第3章では，競泳指導サポートシステムの概要とそれを実現するための課題についてまとめる．第4章では，データ取得実験の概要とデータの前処理について述べ，第5章では，競泳指導サポートシステムの課題を解決するための手法，および，その評価について概説する．第6章では，第5章の成果を組込み作成したプロトタイプシステムの構築とその評価，見えてきた課題についてレビューをする．本稿のまとめと今後の課題について第7章で述べる．

2. 先行研究

競泳の競技者に慣性センサを装着し，競技力向上のためのサポートを狙う研究は大きく分けて，泳法判別，泳動作判別，指導情報フィードバックの3つが存在する．

まず，泳法判別について述べる．競技者の腰部背面[6]，手首[7]，胸部[8]に，単一の慣性センサを装着し，得られる加速度データから，泳法（クロール，バタフライ，背泳ぎ，平泳ぎ）の判別規則を決定木や多層ニューラルネットワークを用いて抽出している．また，慣性センサを後頭部に装着し得られるセンサデータから，線形回帰モデルにより泳法判別器の構築を試みている[9]．さらに，センサを搭載したスマートフォンを腕部に装着し得られるセンサデータから，決定木，線形／非線形カーネルを適用したサポートベクターマシンやナイーブベイズを用いて泳法判別器の構築を試みている[10]．これらの研究によって，泳法の順序が不定となるトレーニング支援（メドレーなど）への慣性センサを用いたシステムの適用可能性が示されている．一方で，平泳ぎとバタフライの動作が類似しているという点から，いずれの研究においても平泳ぎとバタフライの判別を混同してしまうという課題を抱えている．

次に，泳動作判別について述べる．泳動作判別とは，競泳に対する一連の動作（ストローク，ターンなど）の判別を指す．泳者の後頭部[9]に，腰部背面[11]に慣性センサを装着し，ターンとストロークの判別規則の抽出を試み，ターンとストロークの切り分けを行っている．さらに，手首に装着した慣性センサから取得したセンサデータを用いて，各ストロークを可視化するシステム[12]やストロークの回数を計測する手法[13]を考案している．現在では，スマートウォッチにより，ストローク回数を計測する製品も存在する[14]．このように，慣性センサから得られるセンサデータを用いてストロークの解析をしようとする研究が多数存在する．また，ターンの改善に着目し，ターンの開始，体のひねりや回転，壁の蹴りといったターン特有の身体的動作と加速度データの変動を関連付ける研究もされている[15]．しかし，具体的な支援は行われていない．これらの研究によって，ストロークや

ターンといった泳動作単位の競技力向上に対するサポートへの慣性センサの適用可能性が示唆されている．一方で，競泳は数秒を競う競技であることから，パフォーマンス評価はより正確に行うことが望ましいことも複数言及されている．

指導情報フィードバックについては，たとえば，多数の慣性センサを身体中に装着し競泳のパフォーマンスを評価し，ゴーグルに取り付けられたLEDにより評価結果を競技者へとフィードバックするシステム[16][17]，ビデオカメラと慣性センサを併用したトレーニング支援システム[18]などが挙げられる．

以上のように，慣性センサを利用して競泳指導をサポートしようとする研究は多数行われている．その一方で，ビデオカメラの併用や多数のセンサの利用といったコストの高いものや，サポート情報のフィードバックにまで至っていない研究もこれらとは別に多く存在する．

先行研究により得られた知見を組み合わせ，また，挙げられている課題を解決することにより，競泳指導をサポートシステムの実現ができるものと考えられる．そのため，関連研究で得られた知見を踏襲し，3章では，単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステムの構想，および，その達成のために必要な課題について述べる．

3. 競泳指導サポートシステムの構想概要と課題

本研究で構築を目指すサポートシステムでは，1つ1つの泳動作を精緻に分析し，泳動作を改善していくことが初級者・中級者のトレーニングの中で重要であり求められていることから，特定のタイミングで，ストローク，ターンといった各泳動作の評価結果をフィードバックすることを目指している（**図1**）．図1左側はデータを蓄積する入力フェーズ，図1右側はデータを解析しフィードバックを行う出力フェーズとなる．

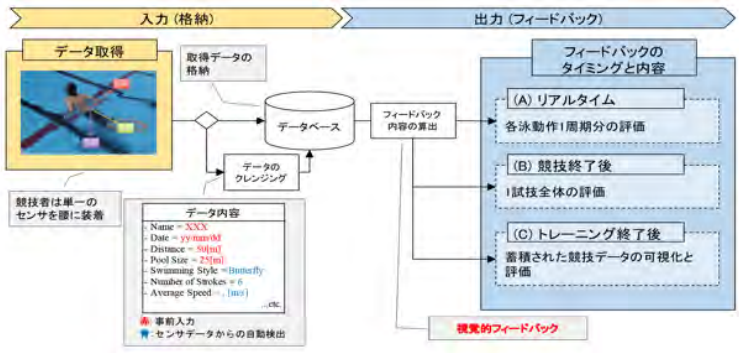


図1　競泳指導サポートシステムの概要図

本研究の目的は，安価にかつ競技者が感じる違和感をできるだけ低減し，泳動作の評価結果をフィードバックするシステムの構築である．競技者からのヒアリングでは，上級者，初級者・中級者，すべてにおいて「複数センサを装着し泳動作行うと違和感がある」という意見が多くあった．そのため，慣性センサの使用個数は1つとし，防水型9軸ワイヤレスモーションセンサ（重さ20g，大きさ67mm×26mm×8mm）を使用する．このセンサは，サンプリングレート100Hzで，加速度

（±5G），角速度（±1500dps）データを取得可能であり，各要素をセンサ内のメモリ（32MB）に記録することができる．また，無線通信で逐次的にコンピュータに取得データを送信する機能を持つ（より詳細な仕様は[5]を参照）．

また，慣性センサの装着位置は，後頭部，ゴーグル，手首，胸部，腰部などが考えられる．一方で，競技者からのヒアリングでは，上級者，初級者・中級者，すべてにおいて「たとえ1つの慣性センサであっても後頭部，ゴーグル，手首，胸部にセンサを装着し泳動作行うと違和感がある」という意見が多くあった．また，腰部は，体幹の重心に相当するため，競技の総合的な情報を包括していると考えられる．泳法判別[6]や泳動作判別[11]への適用事例もあるため，センサの装着位置は腰部背面とした（図1左上）．

センサを腰部背面に装着し，競技を行うことによって，逐次的にセンサデータがデータベースに格納される．具体的には，取得される生データおよび，競技者の氏名，日付，泳法，ストローク回数などを紐づけた構造化データの格納を行う．氏名や日付は事前入力，泳法，ストローク回数などは，センサデータからの自動取得を想定している（図1左側）．

システムは，（A）リアルタイム（競技中），（B）競技終了直後，（C）トレーニング終了後の3つのタイミングでフィードバックを行う（図1右側）．具体的なフィードバック内容は，競泳に対するトレーニングの識者とともに作成をした．

（A）はトレーニングの競技遂行中の競技者への（リアルタイム）フィードバックである．このタイミングでは，飛び込み，ターン，ストロークなど複数ある泳動作のうち，ストローク，ターンを対象とした．中級程度の競技レベルの泳者の場合，ストローク，ターンといった競泳を構成する各泳動作の中から，優れている個所，課題が存在する個所を認識できることが望ましい．ストローク，ターン動作を改善するためには，競技者に適した動作を競技者自身が把握することが重要となる．このためには，微細なストローク，ターン動作の調整が以前のストローク，ターンよりもタイムに寄与したのか，あるいはしていないのかを，競技者自身が判断できる必要がある．たとえば，ストローク動作の微細な調整具合を忘れる前にフィードバックできることが望ましい．そのため，競泳中に1つ前のストローク結果が，2つ前のストロークよりも良かったか，悪かったのかについて逐次的にフィードバックすることにした．

（B）は，1度の競技終了時点でのフィードバックである．泳法の種類，タイム，ストローク・ターンの回数，それぞれのストローク・ターンにおけるタイムなどをフィードバックする．これにより，競技結果に対する基礎的な傾向を把握できるとともに，競技終了後即座に，ストローク，ターンの動作によるタイムがどの程度目標に到達しているか，いないのか，を把握できる．さらに，以前の競技に対する各泳動作のタイムと終了したばかりの競技結果を比較し，フィードバックを行う．遂行したばかりの競技に対する各泳動作が，それよりも1つ前の競技より改善したのか，していないのかについて把握できる．このように，各泳動作の中から改善個所を認識させることによって，泳動作単位の指導サポートを目的としたフィードバックが可能となる．

（C）では，（B）のフィードバックで得られた結果を蓄積し，それを日／週／月といった長期的な間隔で時系列的にフィードバックする．日々のトレーニングの効果を泳動作単位で定量的に把握できる．

図1に示した競泳指導サポートシステムを構築するにあたり必要なセンサデータの処理とその処理のイメージを**図2**に示す．腰部背面に装着した単一の慣性センサにより取得されたセンサデータをもとに，

課題（1） 4泳法（クロール，バタフライ，背泳ぎ，平泳ぎ）を自動で判別
課題（2） 泳法によって異なる泳動作（ストローク・ターン動作）の判別やその区間の推定，各泳動作の開始タイミングの検出
課題（3） 泳動作の良し悪しの評価（各ストローク・ターンのタイムや回数などの指標への変換）
課題（4） 使用者へのフィードバック方法の検討

という大きく4つの課題を解決をする必要がある．

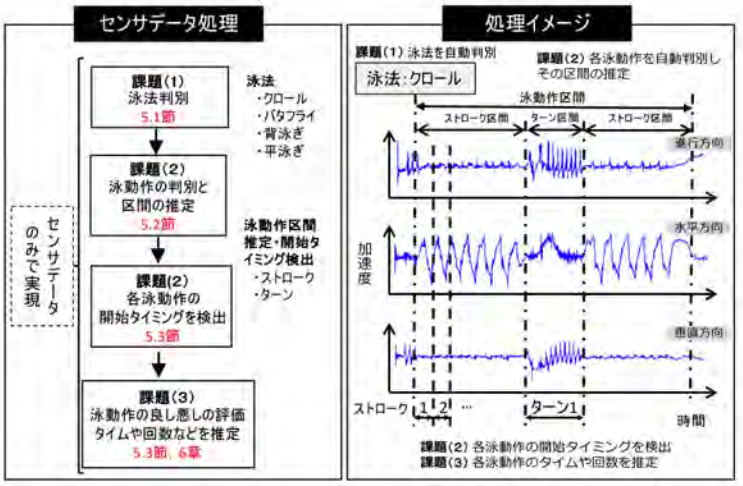


図2　競泳指導サポートシステムにおけるセンサデータの処理とその処理イメージ

第4章以降では，データの取得実験と前処理，機械学習や深層学習を用いて**課題（1）**から**課題（3）**を解決する手法について概説し，それらの成果[19],[20],[21],[22],[23]を組込み構築した競泳指導サポートシステムのプロトタイプについて述べ，可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査を実施した結果[24]についてもレビューする．

なお，本稿では触れないが，**課題（4）**についても今後検討することが必要である．たとえば，ゴーグルに取り付けられたLEDにより評価結果をリアルタイムに使用者へフィードバックするシステム[16],[17]や試技終了後にタブレット端末を用いたフィードバック方法[19]などの検討が進められている．

4. データ取得実験概要とデータの前処理

泳法判別器や泳動作判別器を構築するためには教師データが，判別器の汎化能力を知るにはテストデータが，それぞれ必要となる．本章では，これらの判別器を構築するために必要となるデータ取得のための実験とデータの前処理について概説する．

4.1　データ取得実験

競泳部に所属する大学生19名（男性16名，女性3名）を被験者とし，データ取得実験を実施した．被験者の年齢は19.5±1.7歳，身長は169.7±7.0cm，体重は64.2±5.6kg，競泳経験は13.1±4.1年であった．実験に使用したプールは短水路（25m）である．データ取得実験は【研究のみにデータを使用すること】を被験者へ文章および口頭で説明をし，同意した競泳部員のみを対象として実施した．

被験者の腰部背面に慣性センサ（第3章参照）を，**図3**に示す軸設定となるように装着した．ここで，X_{acc}はX軸の加速度，X_{ang}はX軸の角速度を表す．Y,Z軸も同様である．

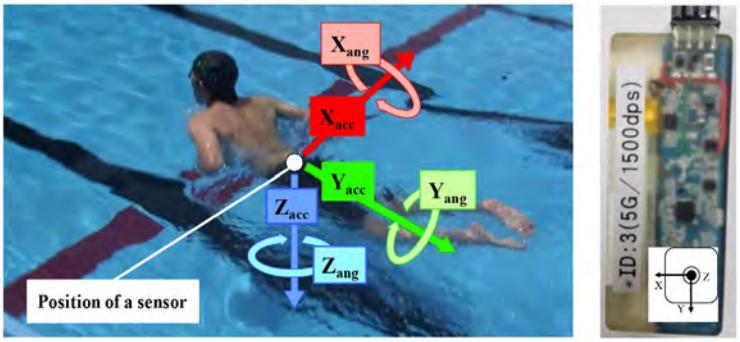


図3　センサの取付位置と軸の設定．各軸の矢印の方向が正の値となる

被験者には，4泳法の中から得意な2泳法を選択し，それらの泳法について，飛び込みなし，全力で25mプールを1往復（合計50m）泳ぐように指示した．また，センサデータと泳動作を照合するため，競技中の様子をビデオカメラ（Sony製デジタルHDビデオカメラレコーダーHDR-CX720V，30fps[25]）でプールサイドから撮影した．

取得したセンサデータ数は，競技中のセンサの落下や電池切れや動画撮影の不備などにより5試技分が欠損したため，全泳法で33試技であった．そのうち，クロール（k=Fr）が12試技，バタフライ（k=Bu）が11試技，平泳ぎ（k=Br）が5試技，背泳ぎ（k=Ba）が5試技となった．

4.2　競泳中の動作の定義

図4に，センサデータの取得開始から終了までの競泳中の各動作の遷移順序を，**表1**に，本稿における各動作の定義をまとめている．

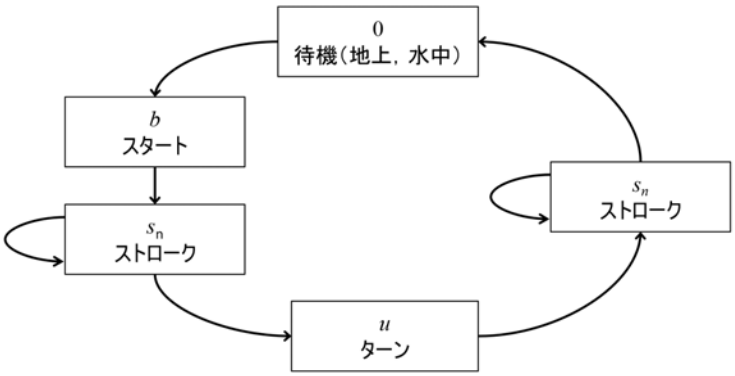


図4　競泳中の状態遷移図

表1　競泳中の動作の定義

動作	動作タグ	定義
待機状態	0	競技開始前と競技終了後の待機状態.
開始直後の状態	b	競技開始からストローク開始を開始するまでの壁を蹴った後の伸びの状態.
ストローク	s_n	水をかく動作を開始してから終了するまでの一連の流れを 1 周期分とした動作．4 泳法全てにおいて，選手の両腕が同一方向へ平行に伸びている状態を開始タイミングとし，またその姿勢に戻ってきたタイミングを終了タイミングとする．n 回目のストロークは$n = 1,2,3,\cdots$によって区分する.
ターン	u	方向転換時に行う回転動作．泳法別の開始タイミングをクロールは頭を下げる，背泳ぎは腰をひねる，平泳ぎ・バタフライは壁に触るタイミングとする．また終了タイミングはストローク開始までとする.

取得したセンサデータと動画を同期させ，動画から動作を確認し，取得したセンサデータすべてに対し1/100sec（1データサンプル点）ごとに表1で定義した動作タグを付与する.

4.3　特徴量への変換

センサデータから何らかの動作を判定する判別器を構築しようとするとき，生のデータをそのまま使用するのではなく，判別しようとする対象の特徴を表現するであろう変数（以下，特徴量とする）に変換することが望ましい．センサデータを用いた身体動作の判別では，身体の平均的な揺れやそのばらつきを表現する特徴量として一定時間内の平均や分散などが使用される[26],[27]．本節では，泳法判別と泳動作判別に使用するスライディングウインドウ法と特徴量について説明をする.

4.3.1　スライディングウィンドウ法

センサデータの特徴量への変換過程（スライディングウィンドウ法）[26],[27]のイメージを**図5**に示す．横軸が時間，縦軸は加速度または角速度である．まず，センサデータにおいて，対象となる動作の開始地点Mからウィンドウ幅w分の範囲で特徴量（4.3.2項参照）を算出する．次に，スライ

ド幅pだけ開始地点Mをスライドさせウィンドウ幅w分のデータ区間で再度特徴量を算出する．この処理を対象データがウィンドウ幅w分保持できるまで繰り返す．なお，ウィンドウ幅wとスライド幅pを設定する必要があるが，これらは判別しようとする動作により適した値が異なる．

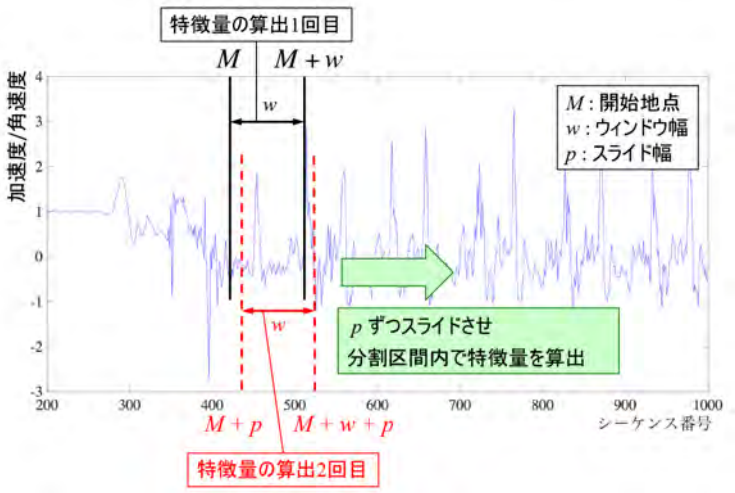


図5　スライディングウィンドウ法のイメージ

4.3.2　特徴量

本稿で用いる特徴量を**表2**にまとめる．ここで，Meanは平均値，Varは分散，Skewは歪度，Kurtは尖度，Maxは最大値，Minは最小値，Entは周波数領域エントロピ，Medは中央値を表す．これら8種類を3軸の加速度（Acc），角速度（Ang）について算出し，これらを特徴量α_j（j=1, …,48） とする．これらの特徴量は，既存研究[8],[9],[10],[19]などの研究を参考にて決定した．なお，角速度は1周期で平均化すると0となるため，角速度の平均値の算出の際は絶対値から平均値を算出する．

表2　特徴量

定義	加速度		角速度		定義	加速度		角速度	
a_j	j	l	j	l	a_j	j	l	j	l
Mean(l)	1	Acc-X	25	Ang-X	Max(l)	13	Acc-X	37	Ang-X
	2	Acc-Y	26	Ang-Y		14	Acc-Y	38	Ang-Y
	3	Acc-Z	27	Ang-Z		15	Acc-Z	39	Ang-Z
Var(l)	4	Acc-X	28	Ang-X	Min(l)	16	Acc-X	40	Ang-X
	5	Acc-Y	29	Ang-Y		17	Acc-Y	41	Ang-Y
	6	Acc-Z	30	Ang-Z		18	Acc-Z	42	Ang-Z
Skew(l)	7	Acc-X	31	Ang-X	Ent(l)	19	Acc-X	43	Ang-X
	8	Acc-Y	32	Ang-Y		20	Acc-Y	44	Ang-Y
	9	Acc-Z	33	Ang-Z		21	Acc-Z	45	Ang-Z
Kurt(l)	10	Acc-X	34	Ang-X	Med(l)	22	Acc-X	45	Ang-X
	11	Acc-Y	35	Ang-Y		23	Acc-Y	47	Ang-Y
	12	Acc-Z	36	Ang-Z		24	Acc-Z	48	Ang-Z

また，特徴量に紐付けられるタグは特徴量の算出に使用したセンサデータ時間中の過半数となる動作タグを採用する．

5. 泳法判別，泳動作判別手法とその評価

第3章で述べた競泳指導サポートシステムの構築に必要な泳法判別と泳動作判別（ストローク・ターン動作の判別やそのタイミング，区間の推定）について各々見ていく．

5.1 泳法判別

泳法判別に関する既存研究では，平泳ぎとバタフライ間の混同という課題が存在する．ここでは，その解決法の1つとして，平泳ぎとバタフライの判別に寄与する特徴量を探索し，それを用いて判別器を構築する手法について概説する．また，アンサンブル学習を導入することにより精度の向上を目指す．なお，より詳細なアルゴリズムやその評価については[19]に述べられている．

5.1.1 データ処理と特徴量

実験（4.1節）より得られたセンサデータのうち，本節では，21試技分のデータを利用した．その内訳は，クロール（Fr）8試技，バタフライ（Bu）6試技，平泳ぎ（Br）4試技，背泳ぎ（Ba）3試技であった．教師データとテストデータの間で同1人物が存在しないように配慮しながら，判別器構築用のデータ（教師データ）と，汎化能力検証用のデータ（テストデータ）に分割した．その結果，Frの教師データは5試技，テストデータは3試技，Buの教師データは4試技，テストデータは2試技，Brの教師データは2試技，テストデータは2試技，Baの教師データは2試技，テストデータは1試技となった．

センサデータの特徴量（4.3.2項および表2．ただし，泳法判別にはMedは使用していない）への変換は，スライディングウィンドウ法（4.3.1項）を用いて行う．スライディングウィンドウ法などを用いて，センサデータを一定時間で分割するとき，分割する時間は学習の対象となる動作の1周期分の時間とすることが身体動作を表現する値として妥当性が高い[26]．泳動作の中でもストロークは競技中の大半を構成する動作であるが，各泳法で1ストロークの周期が異なる．教師データの動画をもとに各ストロークに要した時間を計測し，この平均値を求めた[19]．その結果，泳法ごとのストロークの平均周期は，Frが1.18sec（118サンプル点），Buが1.06sec（106サンプル点），Brが1.14sec（114サンプル点），Baが1.24sec（124サンプル点）となった．一方で，泳法別では，泳法の自動判別を目的としているため，それぞれの泳法に適した周期を使用することは望ましくない．そのため，いずれの泳法にもある程度使用することのできる一意なストローク周期を算出し[19]，ウィンドウ幅w=1.08sec（108サンプル点）とスライド幅$p=w/2$を用いた．

分割した教師データ，テストデータにこれらの処理を施すことで，特徴量に変換された教師データ，および，テストデータを取得した．教師データ，テストデータには，泳法ラベルk（k=Fr, Bu, Br, Ba）が付与されている．その結果，教師データのサンプル数は412（内訳：Frは136, Buは126, Brは90, Baは60），テストデータのサンプル数は294（内訳：Frは100, Buは84, Brは72, Baは38）となった．

5.1.2 特徴量の選択とランダムフォレスト

表2に示した全種類の特徴量で判別器を構築した場合，広大な特徴量空間が構成される．これは，汎化能力の観点から望ましいとは言いがたい．何らかの指標により特徴量の重要度を算出し，使用する特徴量を選定することで，特徴量空間の低次元化をする必要がある．

特徴量の重要度を算出する手法はいくつか存在するが，ブートストラップサンプリングとランダムフォレスト法（Random Forest; RF）を応用する手法を使用する．RFを構築する弱学習器群の学習モデルとしては，情報利得をコスト関数とする二分構造の決定木を使用する．

まず，教師データの特徴量Lをブートストラップサンプリングにより，

$$L = L_m^{\mathrm{sub}} \cup O_m,\ L_m^{\mathrm{sub}} \cap O_m = \phi, \quad (1)$$

とする．L_m^{sub}はm番目の弱学習器構築に使用するサブ教師データの集合であり，O_mはm番目の弱学習器構築に使用されなかったOut-of-bag（以下，OOBとする）データの集合である．O_mを利用して弱学習器の判別誤差を算出し，以降のパラメータ選択で使用することにより，過学習が抑制された高い汎化能力のモデル構築が期待できる．

次にサブ教師データL_m^{sub}を用いて，

$$Tr = \{Tr\,(m)\}_{m=1}^{B}, \quad (2)$$

を構築する．ここで，Trはm番目の弱学習器$Tr(m)$を要素とする弱学習器集合である．また，Bは弱学習器の数である．各弱学習器は動作タグが完全に分割されるまで学習を行う．

以上の処理をB個のサブ教師データ集合で行うと，B個の決定木が生成される．したがって，特徴量を与えたときB個の判別結果が生成される．その多数決を取って，最終的な判別結果とする．これをRFと呼ぶ．RFでは学習を進めていく上で，構造が類似した弱学習器を構築しないため，ランダムに選択された特徴量からコスト関数が最適化される特徴量とその分割基準を探索していく．本稿では選択する特徴量の数を特徴量空間の次元の平方根とした[28].

次に，特徴量の重要度について説明をする．弱学習器$Tr(m)$ををOOBデータO_m で精度評価を行った際の誤差（以下，OOB errorとする）を利用し，各特徴量の重要度を算出する．まず，弱学習器$Tr(m)$をの構築に使用されなかったOOBデータ0_mで$Tr(m)$をのOOB error E^m を算出する．次に，特徴量のうちj番目の特徴量α_j をランダム入れ替えた後にOOB error E_j^m を算出する．ここで，特徴量を入れ替える前後で算出したOOB errorの変動ΔE_j^mを，

$$\Delta E_j^m = E_j^m - E^m, \quad (3)$$

とする．生成したすべての弱学習器におけるΔE_j^m の平均値$\overline{\Delta E_j}$とその分散σ_j^2 から重要度I_j を，

$$I_j = \frac{\overline{\Delta E_j}}{\sigma_j^2}, \quad (4)$$

と定める．算出した重要度I_jは特徴量α_j の重要度とする．

5.1.3　特徴量の選択の結果

マルチクラスの分類問題の場合には，すべてのクラスを適切に分類できる特徴量を選択することが重要である．そのため，まず，4泳法の判別に重要な特徴量を選出する．その後，既存研究で課題とされていた平泳ぎとバタフライの誤判別という課題を解消するため，この2泳法の判別に特化した特徴量を選出する．

5.1.2項で述べた手法を用いて，4泳法の判別に重要な特徴量を導出する．具体的には，教師データからブートストラップサンプリングにより100個のサブ教師データ集合生成する．さらに，サブ教師データ集合に付随して生成されたOOBデータ集合を適用して，特徴量の重要度I_j を算出する．重

要度I_j が0.5以上の特徴量α_j を4泳法の判別に重要な特徴量FV1とする．その結果，**表3**の左に示す9種類の特徴量を選定した．

表3　4泳法の判別に重要な特徴量FV1，平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量FV2とFV3．＊が採用した特徴量．

	FV1：4泳法の判別に重要な特徴量						FV2：平泳ぎ・バタフライの判別に特化した特徴量						FV3：FV1の中から，重要度下位3種の特徴量を除外しFV2を加えたもの					
	Acc			Ang			Acc			Ang			Acc			Ang		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Mean			＊		＊			＊						＊	＊		＊	
Var	＊		＊										＊					
Kurt																		
Skew			＊							＊					＊		＊	
Max			＊															
Min			＊							＊					＊		＊	
Ent			＊	＊											＊			
Med																		

求めたFV1とは別に，平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量を選定する．このため，教師データの中から，平泳ぎとバタフライのみのセンサデータを取り出し，そこからFV1特徴量を除外する．その後，同様の手続きで特徴量の重要度I_j を算出する．これらは，平泳ぎとバタフライの判別のみの重要度となる．一方で，多数の特徴量を採用しすぎると，平泳ぎとバタフライ間の判別のために特徴量空間を広げすぎて，背泳ぎやクロールの判別の誤差が上昇することが懸念される．そのため本研究では，重要度が上位3種の特徴量を採用することにした．その結果選出された平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量をFV2として，表3の中央に示した．

5.1.3　泳法判別器の構築と結果

（1）アンサンブル学習であるRF，（2）5.1.2項で求めた平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量（FV2），これら2点の導入により既存研究で見られていた平泳ぎとバタフライ間の混同という課題を解消し，かつ，4泳法を適切に判定できる泳法判別器の構築を目的とする．（1）と（2）がどの程度課題の解消に寄与するのか検証するため，アンサンブル学習の適用／非適用，平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量の適用／非適用の組み合わせでそれぞれ判別器を構築し，汎化能力を比較する．非アンサンブル学習による判別器のモデルは，泳法判別に関する多くの既存研究[6],[8],[10]などで適用されている決定木（DT）とした．

ここでは，教師データを用いて，5.1.2項で求めた特徴量（FV1, FV2）と判別器のモデル（DT, RT）の組み合わせで構築した判別器（**表4**参照）に対して，テストデータを用いた汎化能力の測定の結果について触れる（判別器の構築についてのより詳細は[19]を参照）．

表4　構築した泳法判別器とテストデータに適用した際のF値の比較（論文[19]の表7,9のデータをもとに作成）

判別器名	モデル	特徴量	Fr	Bu	Br	Ba	Mean (All)	Mean (Bu, Br)
C1	DT	FV1	1	.843	.731	.899	.868	.787
C2	DT	FV1+FV2	.974	.843	.731	.839	.847	.787
C3	RF	FV1	1	.839	.841	1	.920	.840
C4	RF	FV1+FV2	1	.965	.957	1	.981	.961
C5	RF	FV3	1	.928	.901	1	.957	.914

一般的な機械学習においては，汎化能力の測定手法として交差検定がある（交差検定の詳しい解説や種類については[28]などに書かれている）．本研究では，オーバーラップありのスライディングウィンドウ法を用いているため，センサデータの波形内のある特定時点に計算された特徴量（ベクトル）は，その時点の前後に計算された特徴量（ベクトル）の数値情報を一部保持している．このような状況で，交差検定を用いると独立していない特徴量（ベクトル）同士が教師データとテストデータの中に振り分けられてしまう可能性があり，これによって測定された汎化能力は，未知の第三者を対象としたもとは言い難い．そのため，交差検定を用いず教師データとは別人の被験者をテストデータとし，構築した4つの判別器の汎化能力を測定することにした．

評価基準としてF値を用いる[19]．表4では，4泳法それぞれのF値と，全泳法におけるF値の平均値Mean（All），バタフライと平泳ぎにおけるF値の平均値Mean（Bu, Br）を記載した．

はじめに，（1）アンサンブル学習（RF）の導入による効果について言及する．この効果を，判別器C3のF値から判別器C1のF値を減算した値によって見てみる．全泳法の平均値Mean（All）では+.052の向上，平泳ぎとバタフライの平均値Mean（Bu,Br）では+.053の向上が確認できる．

次に，平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量FV2の導入による効果について言及する．この効果を，判別器C4のF値から判別器C3のF値を減算した値によって見てみる．その結果，平泳ぎとバタフライの平均値Mean（Bu,Br）では，+.121の向上が確認できる．

最後に，アンサンブル学習とFV2の導入の総合的な効果について言及する．この効果を，判別器C4のF値から判別器C1のF値を減算した値によって見てみる．その結果，平泳ぎとバタフライの平均値Mean（Bu,Br）では，+.174の向上が確認された．一方で，特徴量空間の次元に着目すると，判別器C3は9次元，FV2を導入した判別器C4は12次元であることから，特徴量空間の高次元化による精度の向上という解釈も可能である．FV2が平泳ぎとバタフライの判別に重要か否かをより詳細に検討するためには，C3と同様の次元数かつFV2が導入された特徴量空間において判別器を構築し，精度を比較することが必要である．今，4泳法の判別に重要な9種の特徴量により構成されるFV1の中から，重要度下位3種の特徴量を除外し，そこに，平泳ぎとバタフライの判別に重要な3種の特徴量FV2を追加する．この操作により得られた9種の特徴量を，FV3と呼ぶことにする（表3右側）．次に，FV3を使用したRFにより，4泳法の判別器C5を教師データにより構築し，判別器C5が有する判別精度をテストデータにより評価した（表4下部）．C3とC5の平泳ぎとバタフライの判別に対する平均F値Mean（Bu,Br）を比較すると，+.074の差が確認できる．C3とC5の特徴量空間は同一の次元数であるため，この上昇はFV2に由来するものだと解釈できる．一方，C4とC5の平泳ぎとバタフライの判別に対する平均F値Mean（Bu,Br）を比較すると，+.047の差が確認できる．C4とC5はいずれもFV2が導入されており，特徴量空間の次元のみに違いがある．そのため，この上昇

は，次元数の増加に由来するものだと解釈できる．以上の議論を総括すると，判別器C4で得られたMean（Br, Bu）=.961という高い汎化能力は，平泳ぎとバタフライの判別に特化した特徴量FV2の導入による効果（+.074）と，特徴量空間の高次元化による効果（+.047）の複合により発生したと考えられる．

以上の結果より，新たに導入した（1）アンサンブル学習（RF），（2）平泳ぎ・バタフライの判別に特化した特徴量FV2は，既存研究の課題として挙げられていた平泳ぎ・バタフライの混同という課題の解消に寄与する可能性がある事が示唆された．

5.2　泳動作判別（ストロークとターン動作の判別と動作区間の推定）

競泳指導サポートシステムの課題の1つに，取得した競技中のセンサデータからストロークとターン動作を判別し，ストローク区間とターン区間を自動で推定することが存在する．非アンサンブル学習によってこの自動推定を試みた我々の研究[29]では，個人によって異なる動作パターンを除去しきれず，汎化能力が低いという課題があった．ここでは，各泳動作内での個人によらない共通のパターンを学習し，より精度の高い動作推定を実現させるため，アンサンブル学習の1つであるRFを活用したターンとストローク動作判別，その結果を用いたストローク区間とターン区間の推定をする手法について概説する．

5.2.1　データ処理と特徴量

実験（4.1節）より得られたデータのうち，本節では，競技中のセンサ落下や動画撮影の不備による5試技分の欠損を除いた，33試技分のデータを使用した．そのうち，クロール（Fr） 12試技，バタフライ（Bu） 11試技，平泳ぎ（Br） 5試技，背泳ぎ（Ba）が5試技であった．泳法ごとに泳動作判別器が十分に学習できるよう考慮し，学習用の教師データと汎化能力検証用のテストデータに割り振り，Frの教師データが8試技，テストデータが4試技，Buの教師データが6試技，テストデータが5試技，Brの教師データが4試技，テストデータが1試技，Baの教師データが3試技，テストデータが2試技とした．

取得したデータと動画を同期させ泳動作タグ（ストローク，ターンなど）は，4.2節の定義にしたがって，動画から動作を確認し1/100s（1データサンプル点）ごとに付与した．そのため，1試技分のデータセットは，時系列のセンサデータと1データサンプル点ごとに付与した泳動作タグ（ストローク，ターンなど）で構成される．

泳動作の中でもストロークは競技中の大半を構成する動作であり，また，各泳法で1ストロークの周期が異なるため，本章では5.1.1項で述べた各泳法の1ストローク平均時間をスライディングウィンドウ法のウィンドウ幅wに設定をした．また，泳動作の切り替わりに対してよりよく反応できるよう，スライド幅pは1/100sec（1データサンプル点）と設定した．

以上の設定で取得したセンサデータから表2に示す48種類の特徴量の算出を行った．

5.2.2 特徴量の選択の結果

教師データを用いて各泳法ごとに，ストロークとターン動作の判別に使用する特徴量の選択を行った．5.1.2項の処理を，構築する弱学習器数を200個，重要度I_j の閾値を0.5以上として各泳法ごとに実施したところ，**表5**のように，クロールでは25種類，バタフライでは24種類，平泳ぎでは16種類，背泳ぎでは10種類の特徴量が選定された．

表5　特徴量の一覧．＊は，各泳法の泳動作判別器に採用した特徴量を示している（論文[23]の図2のデータをもとに作成）．

	k = Fr						k = Bu						k = Br						k = Ba					
	Acc			Ang			Acc			Ang			Acc			Ang			Acc			Ang		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Mean		*	*		*	*	*		*	*		*	*	*	*	*	*				*		*	
Var	*	*	*		*			*	*	*	*				*						*	*	*	
Kurt			*		*				*	*												*		
Skew		*	*						*	*	*												*	
Max	*		*	*	*		*	*			*			*			*							
Min		*	*		*			*	*	*			*			*				*	*	*		
Ent			*				*					*	*			*								
Med	*	*	*	*	*		*				*	*	*		*		*	*						

5.2.3　泳法判別器の構築と結果

教師データを用いてストロークとターン動作の判別器を構築した．このとき，各泳法ごとの弱学習器数B は，1～200の中で各弱学習器にOOBデータをあてはめた時の平均判別誤差が最小となる値とした．その結果，Frは91，Baは57，Buは41，Baは162となった．

構築した判別器にテストデータを適用した．**表6**に各泳法の泳動作判別器の精度評価の結果（Positive case: turn，Negative case: stroke）を示す．比較のため非アンサンブル学習による結果[29]を合わせて載せている．ここで，A_kは正答率，P_kは適合率，R_kは再現率，F_kはF値である．この各指標は[29]と同様に，各泳法kごとにストロークとターンのデータ比率が均一となるよう規格化し算出している．

表6　泳動作判別器の精度評価（論文[23]の表1，論文[29]の表3のデータをもとに作成）

泳法	決定木 [29]				ランダムフォレスト [23]			
k	A_k	P_k	R_k	F_k	A_k	P_k	R_k	F_k
Fr	.785	.975	.585	.731	.937	.984	.888	.934
Bu	.790	.947	.615	.746	.870	.995	.743	.851
Br	.816	.951	.668	.784	.937	.994	.879	.933
Ba	.769	.943	.573	.713	.935	.998	.871	.930

Positive case: turn and negative case: stroke.

表6より，全泳法におけるすべての評価項目が飛躍的に向上していることが確認でき，泳動作をより精緻に判別できていることが見てとれる．特に，再現率の向上は，実際のターン区間内に対する判別漏れが改善していると解釈でき，競泳指導サポートシステムの性能向上に寄与できると考えられる．

さらに，この泳動作の判別結果をもとに，ストロークとターン区間を推定した．ストロークとターン動作の判別は1/100sec（1データサンプル点）ごと行われているため，ストロークとターンの判別結果が連続する区間を，それぞれの区間として扱う．なお，ストローク区間の終了がターン区間の開始であり，ターン区間の終了がストローク区間の開始に対応するため，以下では，ターン区間に焦点を置き，説明を進める．**図6**に，ターン区間の推定を各泳法でランダムに1名ずつ可視化した結果

の例を示す．実線がストローク開始から競技終了までのZ軸の加速度の波形であり，塗りつぶされた三角が実際のターンの区間の開始／終了タイミング，中抜きの三角が推定したターンの区間の開始／終了タイミングである．すべての泳法において，可視化した被験者のターン区間の開始／終了タイミングはおおむね捉えられていることが見て取れる．また，他の被験者についても同様の結果であった．

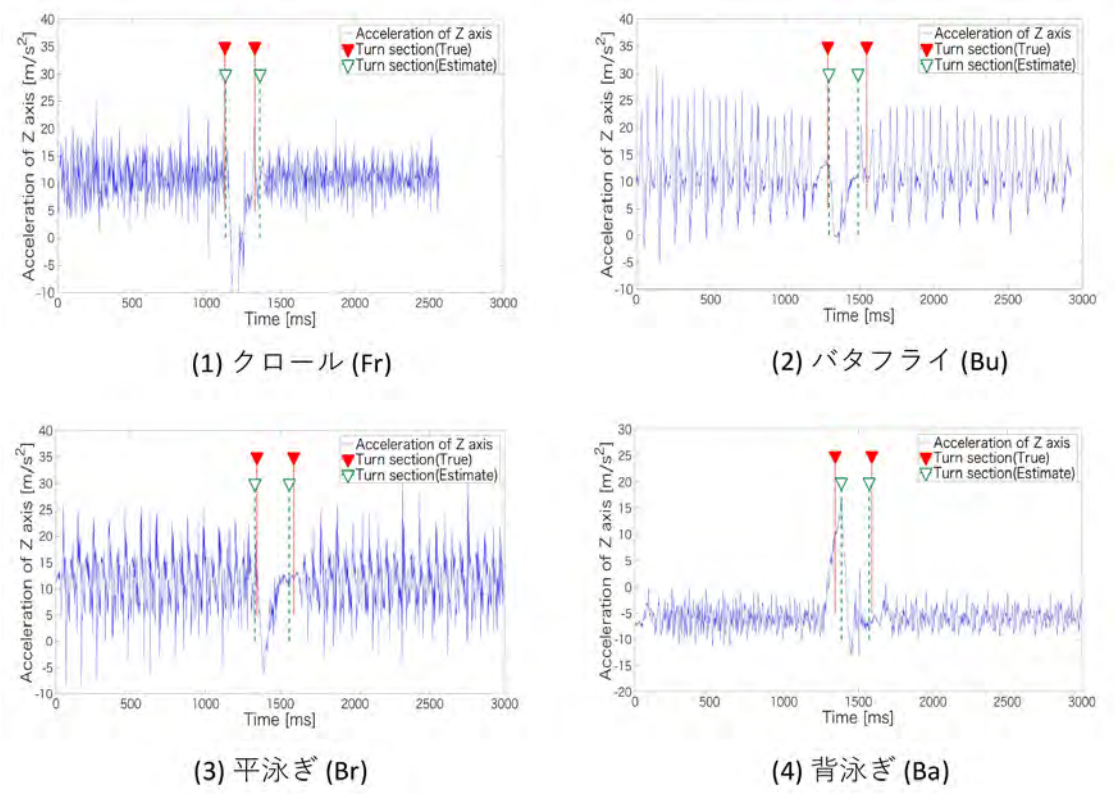


図6　各泳法の被験者1名分のターン区間の推定結果（テストデータ）

各泳法におけるターン開始／終了タイミングの推定結果から，平均誤差を算出し，**表7**にまとめた．Meanは誤差の絶対値から算出した平均誤差であり，Stdはその標準偏差である．ターン区間の推定誤差の観点からも，非アンサンブル学習による結果[29]と比べ精度が向上していることが見て取れる．クロールと平泳ぎのターン終了タイミングの精度が劣っているが，泳動作判別器の精度評価を考慮すると，ターン区間内の網羅性を高めた結果と捉えることができる．よって，多数の未知データに対してターン区間の推定を実施した際に有用性が発揮できる可能性が示唆される．

表7 ターン区間推定の誤差（論文[23]の表2，論文[29]の表4のデータをもとに作成）

	決定木 [29]				ランダムフォレスト [23]			
泳法	ターン開始		ターン終了		ターン開始		ターン終了	
k	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
Fr	.40	.18	.28	.17	.22	.14	.42	.16
Bu	.49	.29	.51	.38	.32	.26	.42	.17
Br	.24	-	.17	-	.13	-	.30	-
Ba	1.6	.43	.41	.21	.24	.28	.12	.08

Br は 1 試技のため Std は記載していない．
単位: Second.

以上の結果より，4泳法すべてにおいて，従来の非アンサンブル学習の手法よりもターン区間の推定精度を改善できることが示唆された．

5.3泳動作判別（各ストローク動作開始タイミングの検出）

5.2節の手法により，競技中のストローク区間とターン区間の抽出が可能となった．次の課題として，競技中に行われる複数回のストローク動作について，開始タイミングをそれぞれ個別に検出することが挙げられる．本節では，深層学習とピーク検出を活用することで，各ストローク動作開始タイミングを検出する手法について概説する．

5.3.1　モデルの構成

モデル構成を**図7**に示す．

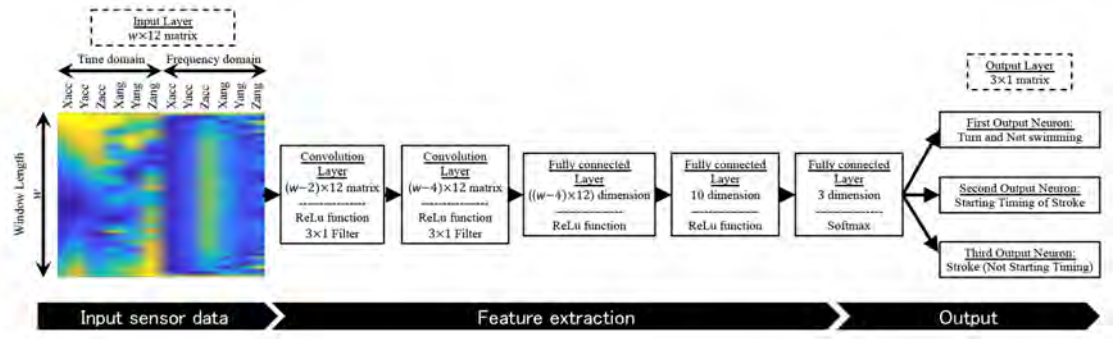


図7 深層学習（畳込みニューラルネットワーク）によるストローク開始タイミング検出のモデル

入力層

センサデータの切り出しにおけるウィンドウ幅wを，5.1.1項に示した各泳法ごとのストロークの平均周期の半分に設定する．このウィンドウ幅w，および，スライド幅p=0.01secでスライディングウィンドウ法を適用し，ウィンドウ幅w分の3軸の加速度および角速度の時間領域の値と高速フーリエ変換による周波数領域の値を算出する．これにより，取得したデータをw×12サイズの行列に変換する．行成分がウィンドウ幅w，列成分が3軸加速度・角速度の時間・周波数成分の値となる．スライド幅p=0.01sec間隔でこのw×12サイズの行列を逐次的に作成し入力していく．

特徴量変換

次に，w×12サイズの行列を3×1サイズのフィルタにより，(w-2)×12サイズ，(w-4)×12サイズへと段階的に畳み込む．活性化関数はReLu関数を採用する．画像処理における深層学習の場合は，行成分のみならず列成分にも畳込みを行うが，センサデータの場合は，列成分に畳み込んでしまうと，各軸が有している情報が合成されてしまう．そのため，今回は行成分のみの畳込みを行っている[30].

その後，全結合層へと接続され，((w-4)×12)次元の特徴量ベクトルを得る．これを10次元まで低次元化させ，出力層へとたどり着く．全結合層における低次元化も，活性化関数はReLu関数を採用する．

出力層

出力層のニューロンは3つ作成する．また，4.2項（図4，表1）に示した競泳中の動作と対応させた出力を割り当てる．

1つ目は，競泳を遂行していない動作やターンといった，ストロークとは関係のない動作に対して反応するニューロンを割り当てる．すなわち，センサの電源を入れてから，プールサイドでの歩行，プールへの入水，ターン，競技開始直後の伸びといった身体動作を行ったときのセンサデータが入力されたときに，この出力ニューロンは反応する．競技遂行中以外の動作に反応するニューロンを導入することで，センサの電源をプール外で入れた瞬間から手法を適用することが可能となる．

2つ目の出力として，ストロークを開始した瞬間に反応するニューロンを割り当てる．すなわち，ストロークを開始した瞬間に相当するセンサデータが入力されたときこの出力ニューロンは反応する．このニューロンの出力値が重要な値となる．

3つ目の出力として，ストロークを開始した瞬間ではない状態のストローク動作に反応するニューロンを割り当てる．この出力ニューロンは，1ストローク動作における中盤や終盤の動作に相当するセンサデータが入力されたとき反応する．

ピーク検出

2つ目の出力ニューロンが反応したとき，ストローク開始タイミングの可能性が生じたことを意味する．ただし，スライド幅p=0.01 secでモデルにセンサデータを入力し続けると，ストロークの開始タイミングが1回のストロークに対して複数個所検出されてしまうことが想定される．そのため，ピーク検出によりストローク開始タイミングをピンポイントで検出する．

1ストロークの所要時間が正規分布に従うとして，n回目のストロークが開始してから，1ストロークの平均時間より3標準偏差分早いタイミングでn+1回目のストロークが発生することはないという仮定を置きピーク検出を行う．

なお，3つニューロンが出力する値の総和は1としているため，2つ目のニューロンの出力が0.33以上の値を取った場合，ストローク開始タイミングであるとする．

以上がストローク開始タイミングの検出手法となる．

5.3.2　モデルの構築と結果

ここでは，5.2節のストロークとターンの動作判別において教師データとして用いたセンサデータのみを使用した．クロール（Fr）の教師データを5試技，テストデータを3試技，バタフライ（Bu）の教師データを4試技，テストデータを2試技，平泳ぎ（Br）の教師データを2試技，テストデータを2試技，背泳ぎ（Ba）の教師データを2試技，テストデータを1試技とした．

教師データを用いて，泳法によらず学習回数を2万回，学習係数0.01に設定し，モデルパラメータの探索に確率的勾配降下法を採用し，モデルを構築した．

構築したモデルをテストデータを用いて評価した．**図8**に，バタフライのテストデータにおける2つ目の出力ニューロンの反応，および，ピーク検出の結果の1例を示す．実線がニューロンの出力値であり，塗りつぶされた青三角が実際のストローク開始タイミング，中抜きの青三角が検出されたストローク開始タイミングである．ストローク開始タイミング以外でもニューロンが反応している個所が1部見られるが，基本的にはストローク開始タイミングにおいて2つ目の出力ニューロンが強く反応していることを確認できる．また，ストロークとは関係のない動作（地上での歩行ど）である横軸

が40 sec未満ないしは70 sec以上のときは，このニューロンの出力値はいずれも0を示している．さらに，中央付近のターンを行っている個所においても2つ目のニューロンはまったく反応していないことが確認できる．

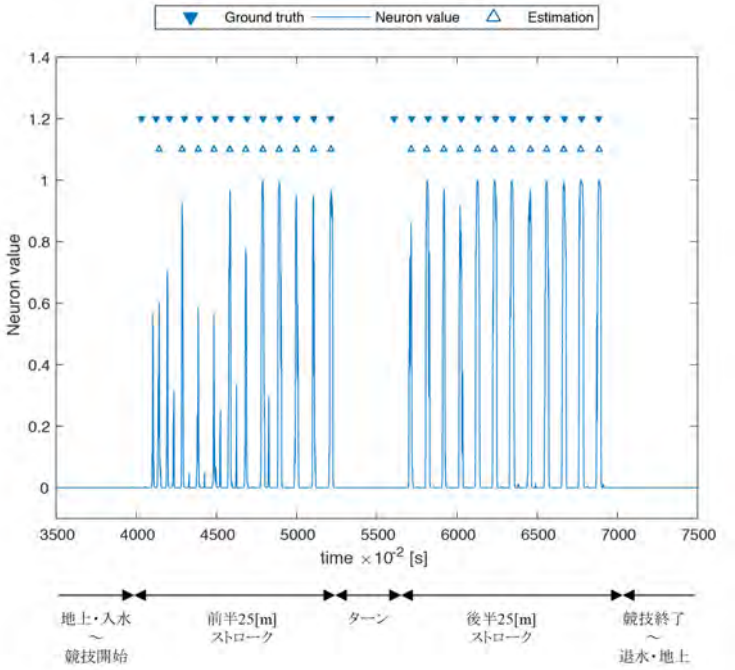


図8　ストローク開始タイミングに反応するニューロンの出力値とピーク検出結果（テストデータ，バタフライ）

より定量的な評価を行うため，検出されたストローク開始タイミングの± 0.3sec以内に，実際のストローク開始タイミングが存在すれば，正答扱いにすることにし，2値基準（検出できたか，できていないか）による精度評価を行った（**表8**）．

表8　2値基準によるストローク開始タイミングの検出結果

評価項目	泳法 k			
	Fr	Bu	Br	Ba
検出したタイミングが正しかった数	18	47	45	2
検出したタイミングが誤っていた数	22	8	22	22
実際のタイミングを捉えられた数	18	47	45	2
実際のタイミングを捉えられなかった数	47	5	1	22
適合率 P_k	.431	.860	.698	.083
再現率 R_k	.292	.904	.980	.083

バタフライについてはテストデータに含まれる52例のストロークのうち，実際のストローク開始タイミングを47例検出できており，5例の取りこぼしと8回の誤検出があるものの，高い精度でストロークを検出できていることが分かる．一方，図7から，競技開始直後，および，ターン終了直後のストロークが正しく検出できなかったことが見て取れる．この点の改善は今後行う必要がある．

平泳ぎについても46例のストロークのうち，45例検出できており，高い再現率でストロークを検出できている．しかしながら，22回の誤検出が存在し，適合率は低くなっている．ストロークがおおむね検出できていることから，ストローク以外の区間で1つ目のニューロンがうまく機能せず，2つ目のニューロンの出力値に影響を与えてしまった可能性が高い．よって，平泳ぎのストローク検出器にはストローク以外の動作にもニューロンが反応しやすくする処理などを考えていく必要がある．

クロールと背泳ぎについては，どちらもストロークの取りこぼしと誤検出が正しくストロークを検出できた数を上回っており，適合率，再現率ともに低い値となった．特に，背泳ぎはほとんどのストロークを検出できておらず，今後手法の改良が必要である．

ここで，正しく検出できたストローク開始タイミングを時間ベースで評価する．この結果を**表9**に示す．誤差は実際のストローク開始タイミングに対して，推定タイミングがずれた秒数の絶対値で算出しており，Mean（|Err|） が平均値，Std（|Err|）が標準偏差，Min（|Err|）が最小値，Max（|Err|）が最大値である．

表9　ストローク開始タイミングの時間ベースの精度評価

評価項目	泳法 k			
	Fr	Bu	Br	Ba
Mean(|Err|)	.131	.169	.088	.270
Std(|Err|)	.033	.037	.063	.014
Min(|Err|)	.000	.050	.010	.260
Max(|Err|)	.230	.260	.260	.280

単位: Second.

ストローク開始タイミングが検出できた場合には，平泳ぎにおいて，時間基準による誤差評価では，平均誤差が0.088secとなり，高い精度でストローク開始時間を推定し，他の3泳法においても，ストローク開始タイミングが検出できた場合には，平均誤差が 0.1secのオーダで各ストロークの開始タイミングを推定可能である．

なお，動作ラベル付けに使用した映像データが 30fpsで撮影されたことを考慮すると，タイミングの推定誤差として，0.033secよりも小さな誤差は制御することができない．

以上の結果より，バタフライでは，手法の有効性が示唆された．また，平泳ぎとクロールについては誤検知や取りこぼしに対策が必要であるが，時間ベースの精度評価と言う観点では，その有効性が示唆された．背泳ぎに関しては，新たな機械学習の手法や特徴量変換手法の導入といった抜本的な変更が必要である．

6. プロトタイプシステム構築とその評価

競泳指導サポートシステムの実現に向け，第5章で解説した成果を組込み，プロトタイプを構築した．第3章で説明をした競泳指導サポートシステムおけるプロトタイプの位置付けを**図9**に示す．ピンクで囲った部分を構築したプロトタイプがカバーする．なお，プロトタイプの構築をシンプルにするため，各泳法は既知としているが，5.1項の手法を組込めば可能である．

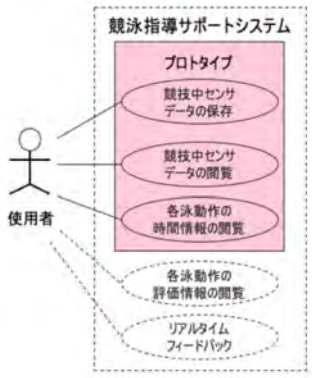


図9　競泳指導サポートシステムおけるプロトタイプの位置付け

本章では，プロトタイプの概要と，プロトタイプについての可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査を実施した結果についてまとめる．

6.1　プロトタイプシステム

各泳法はすでに判別されているとし，その後の段階である計測したセンサデータと推定した各ストロークとターンの区間を可視化し，推定した各ストロークとターンの時間情報などを表示する機能部分を持つプロトタイプをMatlab GUIDE [31]を用いてラップトップPC上に構築した．**図10**に，構築したプロトタイプのユーザインタフェース（UI）の例を示す．

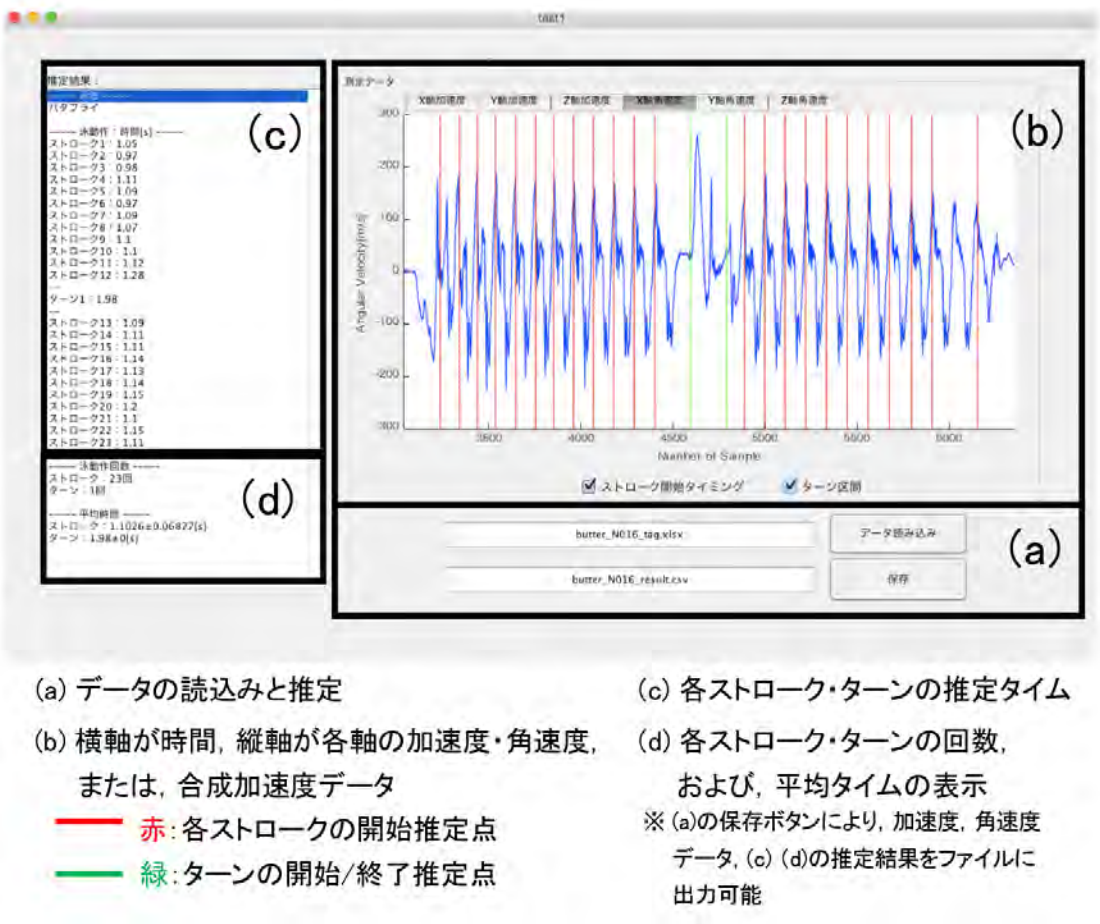


図10　プロトタイプのユーザインタフェース（UI）の例[24]

図10（a）の上方テキストボックスに取得したセンサデータのファイル名を入力（選択）し，データ読み込みボタンを押すと，データの読み込みとそのデータに基づき各ストロークの開始タイミングの検出やターン区間の推定を行い図10（b）に描画する．

図10（b）には，計測した各軸の加速度，角速度，または，合成加速度のデータを青線で描画する．描画の範囲は，はじめにストロークが検出された200サンプル点（2sec）前から最後にストロークが検出された200サンプル点後のデータとしている．グラフ上部のタブを選択することで，各軸の加速度，角速度，または，合成加速度と描画したグラフを切り替えることができる（図10（b）は*X*軸の角速度を表示）．さらに，グラフ下部のチェックボックスのオンとオフを切り替えることにより，描画したグラフ上に，検出した各ストロークの開始タイミングを赤線で，ターンの推定区間（開始/終了タイミング）を緑線で，それぞれ表示することができる．

図10（c）のリストボックスには，泳法の自動判別結果（ここでは泳法は判別されているとしているため，あらかじめ入力している），各ストロークの推定所要時間，各ターンの推定所要時間が，図10（d）のリストボックスには，各ストローク，各ターンの試行回数と平均時間を表示している．また，図10（c）のリストボックスの各ストローク，各ターンの結果を選択することで，選択した動作の区間のみを図10（b）のグラフとして表示することができる．図10（a）の下方テキストボックスにファイル名を入力（選択）し保存ボタンを押すことで，計測センサデータとともに図10（c），（d）のリストボックス内の推定結果をファイルに保存できる．

以上のように，計測したセンサデータから試技中の各ストロークとターンの時間情報を抽出し，計測したセンサデータとともに可視化するプロトタイプシステムを構築した．

6.2　プロトタイプのアンケート評価

プロトタイプについて，可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査を実施した．なお，被験者にはアンケート調査を行う前に，目的を文章，および，口頭にて説明し，取得したデータを研究の目的に使用することについて文章にて了承を得ている．

6.2.1　アンケート実施調査の概要と項目

過去3年以内に代表選手経験のない，競泳歴4年以上の初級から中級の大学競泳選手5名に対し，2019年1月末に，アンケート調査を実施した．

アンケート調査のプロトコルは，以下のようにした：

i）プロトタイプの概要を説明し，得られる情報，使用時のイメージについて説明した
ii）被験者自身が使用するイメージを掴んでもらうため，使用開始から終了までの映像とセンサデータの波形を同期させた動画を閲覧してもらい，実際の使用環境を説明した後，サンプルのセンサデータにてプロトタイプのUIを実際に使用した
iii）プロトタイプにおける各泳動作の推定精度について説明した

なお，競泳指導サポートシステムの機能や使用環境など，システム利用に対する最低限の説明をしたが，被験者の意見を直感的に回答してもらうため，競泳指導サポートシステムのターゲット選手層や今後の競泳指導サポートシステムへの機能の実装予定のなどについての説明はしなかった．

その後，**表10**のアンケートの質問項目に回答してもらった．表10のアンケートの質問項目は，システムの可視性，有効性，信頼性を評価できるように構成した．さらに，競技中・トレーニング中に記録したいと思うデータについての項目も加えた．必ず肯定か，否定かを判断できるように，各項目の評価には6段階の格付け法（最大5（肯定），最小0（否定））を採用し，可視性については回答者の直感的な回答を得るため回答理由は記入してもらわず，有効性と信頼性の質問においては直後に回答理由を記入してもらった．

表10　アンケートの質問項目（論文[24]の表1のデータをもとに作成）

番号	質問内容
可視性	
質問 1	リストに表示した動作の推定所要時間は見やすかったですか？
質問 2	グラフ上の情報は読み取りやすかったですか？
有効性	
質問 3	ストロークの所要時間が 1 回ごとに分かることはトレーニングに有効だと思いますか？
質問 4	ターンの所要時間が 1 回ごとに分かることはトレーニングに有効だと思いますか？
信頼性	
質問 5	ストローク時間の現状の推定誤差は許容できますか？
質問 6	ターン時間の現状の推定誤差は許容できますか？
情報追加	
質問 7	競泳のトレーニング中に記録したい情報はありますか？

6.2.2　アンケート調査結果

表11に，各質問に対する平均点数，標準偏差，肯定感（3〜5点）の人数，否定感（0〜2点）の人数，被験者全員の回答選択理由の一覧（原文のまま掲載）を示した．

表11　アンケート調査結果（論文[24]の表2のデータをもとに作成）

番号	平均点数	標準偏差	肯定	否定	選択した理由（原文のまま掲載）
可視性					
質問 1	2.6	1.01	3	2	−
質問 2	4.0	0.63	5	0	−
有効性					
質問 3	4.2	0.75	5	0	・50m を何ストロークで泳ぐという練習に役立つ．また伸びを意識した練習に使える． ・泳いだときにどこで遅くなったか分かる． ・どこから遅くなっているか，スタミナが切れてしまうのか正確に分かるから． ・ストロークを沢山すべきかが分かるから． ・ターン前後や泳ぎの後半などでストロークの所要時間が伸びているのか把握できるため．
質問 4	4.2	0.75	5	0	・タイムを重視するのにターン時間は重要なため，スピードを重視した練習に使えそう． ・ターンが速いか遅いか分かるから． ・トレーニングの有効性を確かめたり，タイムを管理する上で重要だから． ・ターンはレースで重要だから． ・何回目のターンに所要時間がのびているかなど把握することができれば疲れや姿勢などの改善点が発見できそう．
信頼性					
質問 5	2.0	1.41	2	3	・スピードを重視する練習には使えないが，伸びを意識した練習には使えそう． ・0.1 秒くらいがいい． ・最大で 0.1 秒程度がいいと思う． ・0.1 秒を競う競技だから． ・対象とする泳者によって異なると感じた．
質問 6	2.4	1.62	3	2	・タイムを重視する練習では 0.1 秒の差が大きいため．そうでない練習では使えそう． ・0.1 秒くらいがいい． ・0.2 秒程度なら目安にはなると思う． ・0.1 秒を競う競技だから． ・泳ぎの中では回数がストロークよりも比較的少ないため，現在の誤差ならまだ許容できる．

可視性についての項目の回答は，質問1，2ともに平均点数が2.5以上となっており，システムの表示する情報は読み取りやすい傾向にあったと言える．特に，グラフ上の情報の読み取りやすさは被験者全員が肯定的な回答をした．

有効性については，質問3，4ともに平均点数が4.2であり，全員がトレーニングに有効だと回答した．

信頼性については，質問5，6ともに平均点数が2.5を下回り，肯定と否定の人数も分かれた．回答のばらつきがあり，誤差の許容範囲は回答者（使用者）によって認識に差があることが示唆された．

6.2.3　アンケート調査結果から見えてきたこと

各項目の回答の結果を考察する．

可視性については，強みや改善点を発見する際の見やすさが評価されていると推察できる．有効性についての回答選択理由と合わせて見てみると，回答者らがトレーニングの中に自身の強みや弱みがどこにあるのかを意識していると考えられる回答が複数存在するため，利用者が気になった動作がどの部分にあたるのかをグラフ上でピンポイントに確認できることが情報として読み取りやすく，使用

できそうだと評価されたと考えられる．ただし，質問1の回答にて，リストボックス内の情報に関して2名が否定的な回答をしているため，リストボックスではない方法に変更するなどの修正を検討する必要がありそうである．

有効性については，回答を選択した理由から，質問3のストローク1回の所要時間が分かることは，スタミナの限界や遅くなるタイミングといった弱点を知る場面や回数を管理して泳ぐ練習といった場面での活用が期待されていることが見て取れた．また，質問4のターン1回の所要時間が分かることは，1ターン試技のタイム管理やトレーニング効果の表れ具合の指標として活用できそうといった理由であることが確認できた．これらの結果は，本システムが初級者・中級者の選手が自ら手軽に細かな泳動作を練習中や練習後に評価できる環境を提供できる可能性を示唆している．

一方で，信頼性の回答を選択した理由を見ると，質問5のストローク推定誤差の許容については，0.1sec程度の誤差までの精度なら許容できるが，推定精度をさらに改善する必要があるという回答が過半数となった．一方で，質問6のターン推定誤差の許容については，1競技中あたりの回数がストロークと比べて少ないこと，1回あたりの時間がストロークに比べて長いことから，ストロークと比べて誤差の許容範囲が広がっていることが回答から見て取れる．現段階の精度では，回答者（使用者），または，利用場面によることが示唆された．

ストローク，ターンどちらの推定精度の向上についても検討していく必要がある．ストローク，ターンの推定精度は，それぞれの学習の際の教師データの拡充により向上が目指せる可能性がある．データ数を増やし精度向上の検討を進め，限界となる精度を見きわめていきたい．それでもなお精度が不足している場合は，別視点での工夫も検討していきたい．

最後に，質問7のトレーニング中に記録したいデータについての回答結果について言及する．被験者の回答結果は，【1試技あたりのタイム，泳いだ距離，日々のタイム変化，呼吸回数，心拍数】であった．第3章や[5]で述べた競泳指導サポートシステムでは，1試技あたりのタイム，泳いだ距離，日々のタイム変化をフィードバックすることを想定しているため，競泳指導サポートシステムに必要な機能の方針はおおむね間違いないことが示唆された．

また，呼吸回数についてはセンサデータから呼吸有無の学習をし，記録することが可能であると考えている．また，心拍数については，新たなセンサを取り付けるなどの検討が必要であるが，ニーズに応えるため，新たな取得方法ないしは推定手法を今後検討する必要があると考えている．

7. 今後の課題と展望

我々は，単一の慣性センサを活用した競泳指導サポートシステムの開発を進めている．

本稿では，まず，単一の慣性センサを活用した競泳指導サポートシステムの構想，および，システム実現に向けて必要な技術について概説をした．泳法判別については，平泳ぎとバタフライ間の誤判別（混同）に対し，平泳ぎとバタフライの判別に寄与する特徴量を探索し，それを用いて判別器を構築する手法について触れた．また，アンサンブル学習を導入することにより精度向上を実現した．泳動作判別を用いたストローク区間とターン区間の推定については，ランダムフォレスト法を用いる手法を取り入れた．さらに，各ストロークの開始タイミングの推定については，深層学習とピーク検出を組み合わせる手法について触れた．

次に，これらの成果を取り入れ，各泳法はすでに判別されているとし，その後の段階である取得したセンサデータを可視化し，競技中の各ストロークやターンの時間情報や回数などを表示する競泳指導サポートシステムのプロトタイプの構築について述べた．構築したプロトタイプについて，可視性，有効性，信頼性を評価するアンケート調査を実施した結果，各ストロークやターンの推定誤差にはさまざまな意見があるものの，それらの回数や所要時間を確認できるプロトタイプのようなシステムであっても，実際のトレーニング現場で求められていることが見えてきた．

今後は，競泳指導サポートシステムの要件となるさらなる課題（評価指標の検討や**課題（4）**である使用者へのフィードバック方法の検討など）の解決を進め，競泳指導サポートシステムを構築していくとともに，各泳動作の推定精度を向上させる必要がある．これらとは独立に，競泳指導サポートシステムの実現に向けては，水中での安定したデータ送受信のための無線通信が必要になるが，それらの評価（データの欠損や遅延など）やリアルタイム性の担保なども検討していく必要がある．

参考文献

1）文部科学省：マルチサポート事業（オリンピック夏季競技）ターゲット競技の決定について，http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/25/04/1330534.htm (2020年5月31日現在)
2）日本水泳連盟：2020年度資格級 全国統一の泳力評価基準，https://www.swim.or.jp/compe_swim/qualification.php (2020年5月31日現在)
3）Akiduki, T., Kawamura, K., Zhang, Z. and Takahashi, H. : Extraction and Classification of Human Gait Features from Acceleration Data, International Journal of Innovative Computing, Information and Control （IJICIC）, Vol.14 No.4, pp.1361-1370 (2018).
4）高橋弘毅，神尾郁好，秋月拓磨，章　忠：特異値分解による個人特徴抽出とその物理的意味検討のためのセンサ寄与の把握，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会論文誌）, Vol.31 No.1, pp.603-607 (2019).
5）大前佑斗，昆　慶久，酒井一樹，高橋弘毅，秋月拓磨，宮地　力，櫻井義久，江崎修央，中井一文：データ駆動型アプローチによる競泳コーチング支援環境の構築, スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015，A-14 (2015).
6）Kon, Y., Omae, Y., Sakai, K., Takahashi, H., Akiduki, T., Miyaji, C., Sakurai, Y., Ezaki, N. and Nakai, K. : Toward Classification of Swimming Style by Using Underwater Wireless Accelerometer Data, The 19th International Symposium on Wearable Computers (ISWC-19), pp.85-88 （2015）.
7）Topalovic, M., Eyers, S., Exadaktylos, V., Olbrecht, J., Berckmans, D., Aerts, J.: Online Monitoring of Swimmer Training Using a 3D Accelerometer Identifying Swimming and Swimming Style, the 2nd International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support, pp.111-115 （2014）.
8）仰木裕嗣，金田晃一，高倉　昭：胸部加速度を用いた泳種目の推定, シンポジウム：スポーツアンドヒューマンダイナミクス 2012, pp.98-103 （2012）.
9）Jensen, U., Prade, F. and Eskofier, B. : Classification of Kinematic Swimming Data with Emphasis on Resource Consumption, Body Sensor Networks (BSN), pp.1-5 (2013).
10）Choi, W., Oh, J., Park, T., Kang, S., Moon, M., Lee, U., Hwang, I. and Song, J. : Mobydick: An Interactive Multi-swimmer Exergame, the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, pp.76-90 （2014）.
11）松本知佳，中井一文，江崎修央，櫻井義久，宮地　力：加速度センサを用いたリアルタイム競泳コーチングシステムの開発，シンポジウム：スポーツアンドヒューマンダイナミクス, A-33 (2014).
12）Nakashima, M., Ohgi, Y., Akiyama, E. and Kazami, N.: Development of a Swimming Motion Display System for Athlete Swimmers' Training Using a Wristwatch-Style Acceleration and Gyroscopic Sensor Device, Procedia

Engineering, Vol.2 No.2, pp.3035-3040 （2010）.
13）Davey, N., Megan, A. and Daniel, A. J. : Validation Trial of an Accelerometer-Based Sensor Platform for Swimming, Sports Technology, Vol.1, pp.202-207 (2008).
14）Garmin Swim, https://buy.garmin.com/en-US/US/p/97287/ (2020年5月31日現在)
15）Salawson, S., Conway, C., Justham, L., Sage, T. and West, A. : Dynamic Signature for Tumble Turn Performance in Swimming, Procedia Engineering, Vol.2 No.2, pp.3391-3396 (2010).
16）Bachlin, M., Forster, K. and Troster, G. : SwimMaster: A wearable Assistant for Swimmer, the 11th International Conference on Ubiquitous Computing （ICUC-11）, pp.215-224 (2009).
17）Bachlin, M. and Troster, G. : Swimming Performance and Technique Evaluation with Wearable Acceleration Sensors, Pervasive and Mobile Computing, Vol.8 No.1, pp.68-81 (2012).
18）Callaway, A., Cobb, J. and Jones, I. : A Comparison of Video and Accelerometer Based Approaches Applied to Performance Monitoring in Swimming, International Journal of Sports Science and Coaching, Vol.4 No.1, pp.139-153 (2009).
19）Omae, Y., Kon, Y., Kobayashi, M., Sakai, K., Shionoya, A., Takahashi, H., Akiduki, T., Nakai, K., Ezaki, N., Sakurai, Y. and Miyaji, C. : Swimming Style Classification Based on Ensemble Learning and Adaptive Feature Value by Using Inertial Measurement Unit, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.21, No.4, pp.616-631 (2017).
20）大前佑斗，小林幹京，酒井一樹，塩野谷明，高橋弘毅，宮地　力，櫻井義久，中井一文，江崎修央，秋月拓磨：深層学習と慣性センサを活用した個別ストローク動作開始タイミングの推定手法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117 No.238, PRMU2017-90, pp.155-160 (2017).
21）Omae, Y., Kobayashi, M., Sakai, K., Akiduki, T., Shionoya, A. and Takahashi, H. : Detection of Swimming Stroke Start Timing by Deep Learning from an Inertial Sensor, Proceedings of the 14th International Conference on Innovative Computing, Information and Control （ICICIC2019）, p.96 （2019）.
22）Omae, Y., Kobayashi, M., Sakai, K., Akiduki, T., Shionoya, A. and Takahashi, H. : Detection of Swimming Stroke Start Timing by Deep Learning from an Inertial Sensor, ICIC Express Letters Part B : Applications, Vol.11 No.3, pp.245-251 （2020）.
23）小林幹京，大前佑斗，酒井一樹，秋月拓磨，塩野谷明，高橋弘毅：単一慣性センサとアンサンブル学習を活用した競泳中のターン区間推定，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）, Vol.31 No.1, pp.597-602 (2019).
24）高橋弘毅，小林幹京，大前佑斗，酒井一樹，秋月拓磨，塩野谷明：単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム:プロトタイプ構築とその評価, 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会論文誌）, Vol.32 No.1, pp.544-549 (2020).
25）Sony, デジタルビデオカメラレコーダー HDR-CX720V, http://www.sony.jp/handycam/products/HDR-CX720V/spec.html (2020年5月31日現在)
26）Bao, L. and Intille, S. S. : Activity Recognition from User-annotated Acceleration Data, Pervasive Computing, pp.1-17 （2004）.
27）Ravi, N., Dandekar, N., Mysore, P. and Littman, M. L. : Activity Recognition from Accelerometer Data, the Association for the Advancement of Artificial Intelligence （AAAI）, Vol.5, pp.1541-1546 (2005).
28）Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. （著）, 杉山　将，井手　剛，神嶌敏弘，栗田多喜夫，前田英作（監訳）：統計的学習の基礎—データマイニング・推論・予測, 共立出版 (2014).
29）Kobayashi, M., Omae, Y., Sakai, K., Shionoya, A., Takahashi, H., Akiduki, T., Nakai, K., Ezaki, N., Sakurai, Y. and Miyaji C. : Swimming Motion Classification for

Coaching System by Using a Sensor Device, ICIC Express Letters Part B : Applications, Vol.9 No.3, pp.209-217 (2018).
30）Francisco, J. O., Daniel, R. : Deep Convolutional and LSTM Recurrent Neural Networks for Multimodal Wearable Activity Recognition, Sensors, Vol.16 No.1, 115 (2016).
31）Mathwroks ドキュメンテーション，GUIDE を使用した簡単なアプリの作成：https://jp.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/about-the-simple-guide-gui-example.html (2020年5月31日現在)

髙橋 弘毅（正会員）hirotaka8@mac.com
2005年新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了．ドイツ マックス・プランク重力物理学研究所（アルバートアインシュタイン研究所）PDなど経て，2013年より長岡技術科学大学大学院工学研究科 情報・経営システム工学専攻准教授（本稿執筆時：長岡技術科学大学所属）．2020年9月より東京都市大学大学院総合理工学研究科 教授．重力波データ解析手法の研究，信号処理，機械学習，データサイエンスや数理科学などの研究に広く従事．博士（理学）．

大前 佑斗（非会員）oomae.yuuto@nihon-u.ac.jp
2016年長岡技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了．国立スポーツ科学センタ研究員，東京工業高等専門学校 電気工学科助教を経て，2019年より日本大学生産工学部マネジメント工学科 助教．機械学習，データマイニング，知能情報処理などの研究に従事．博士（工学）．

酒井 一樹（非会員）k-sakai@nagaoka-ct.ac.jp
2018年長岡技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了．2018年より長岡工業高等専門学校電子制御工学科 助教．重力波観測におけるデータ転送系の開発や取得データの解析を中心に，信号処理や機械学習を用いたデータ解析の研究に従事．博士（工学）．

秋月 拓磨（非会員）akiduki@me.tut.ac.jp
2012年豊橋技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程修了．山梨英和大学助教を経て，2015年より豊橋技術科学大学 機械工学系助教．身体動作解析やドライバ状態の検出・推定，センサ開発などの研究に従事．博士（工学）．

塩野谷 明（非会員）shionoya@vos.nagaokaut.ac.jp
長岡技術科学大学大学院工学研究科 情報・経営システム工学専攻 教授．体育・保健センタ長．スポーツ工学，バイオメカニクスの研究に従事．博士（工学）．

採録決定：2020年6月29日
編集担当：石井　一夫（久留米大学）

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

招待論文

カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究

桝井 文人[1]　伊藤 毅志[2]　松原 仁[3]　竹川 佳成[4]　山本 雅人[5]　河村 隆[6]　柳 等[1]

[1]北見工業大学　[2]電気通信大学　[3]東京大学　[4]公立はこだて未来大学　[5]北海道大学　[6]信州大学

本稿では，近年注目されている冬季スポーツであるカーリングを支援する技術開発研究の取り組みについて述べる．我々が進める「カーリングを科学する」研究プロジェクトでは，特に戦術・戦略面に着目し，情報通信技術（ICT）と関連技術を駆使した戦術・戦略をナビゲーションする技術や戦術・戦略トレーニングを支援する技術の実現を目指して，研究に取り組んでいる．この研究では競技者の支援が最終的な目的となっているため，開発しようとする技術には利便性や実用性が求められる点が通常の研究とは異なり，難しいところでもある．本稿では，我々が研究活動をスタートした背景とこれまで開発と実証に取り組んできた技術（デジタルスコアブック，ストーンの実時間位置計測，戦術シミュレーション，戦術推論AI，ほか）について報告する．

1. カーリングと技術的支援

2018年平昌オリンピック冬季競技大会におけるカーリング女子日本代表チームの活躍は記憶に新しい．カーリングがオリンピックの正式種目となったのは1998年長野大会であった．以来，日本女子代表は全大会に出場しており，先の平昌大会ではメダル獲得の快挙を達成するに至った．平昌では男子代表も20年振りの出場を果たし，日本のカーリングが世界レベルにあることが認知された．また，競技力の向上に加えて国内における競技の認知度も高まり，日本のカーリングは今後一層の発展が期待される有望スポーツとなっている．

カーリングは「氷上のチェス」と呼ばれるとおり戦術性が高い競技である[1]．そのため，競技に関する種々の情報を収集分析し，局面に応じて的確な戦術立案が必要となる．

一方，近年ではプロスポーツやメジャースポーツを中心に情報通信技術（ICT）を活用する試みが注目されるようになってきた．たとえば，プロ野球では選手やチームの能力やパフォーマンスを定量化して評価するセイバーメトリクスが普及している[2]．競泳では，映像情報と計測時間情報を活用することで競泳選手の詳細なパフォーマンスの分析やコンディション判断を行う方法が試みられており[3]，バレーボールでは，競技データを収集して戦況を分析するソフトウェアの活用などが提案されている[4]．

戦術面が重視されるカーリングについても，ICT を活用して戦術・戦略にかかわる情報を効率よく収集，解析して支援することは有効な支援に繋がると思われる．そこで我々は，ICTによってカーリングの戦術・戦略面を支援できる技術開発とその活用に取り組むことにした．これまで，競技に関する情報の収集と蓄積，収集した情報の整理と解析，解析結果の可視化と共有するタスクを組み合わせることによって，試合情報のデータベース化，ストーン位置の実時間計測，戦術のシミュレーションと推論，ロボットとの連携の実現に取り組んできた．これらの技術を用いることで高度な戦術ナビゲーションや戦術トレーニング支援が実現できる．

以下，本稿では，カーリングがどういったスポーツ競技であるかを簡単に紹介した後，研究プロジェクトについて述べ，我々がこれまで取り組んできた支援技術の一部とそれらの有効性について説明する．そして，プロジェクトがこれから取り組もうとしている計画についても触れてみたい．

2. 氷上のチェス，カーリング

カーリングとは，氷で作られた「シート」と呼ばれるエリア内で，2つのチームが対戦するスポーツである．チームは4人で構成され，各チームは８個の「ストーン」を約30m先の「ハウス」と呼ばれる同心円目掛けて投げ合って得点を競う．シート氷面には「ペブル」と呼ばれる小さな氷の粒が散布されている．ストーンはペブルとの摩擦によってカールしながら移動していく（だからカーリングと呼ばれる）のだが，ペブルの分布状態は一様ではなく，室温の変化やストーンとの接触によって常に変化する．競技者達はこれらの微妙な変化を感じ取りながら戦況を見きわめて一投の駆け引きを行い，ダイナミックな試合が展開される．

カーリングを複数の要素からなるシステム系として考えると，物理的要素，人間的要素，戦術的要素を挙げることができる．

物理的要素は，氷面の状態変化やストーンの運動などに関するものである．シートの氷面には，ペブルが散在しており，その上を回転するストーンが通過し，両者の相互作用によってストーンの挙動が決まる．この挙動のメカニズムはきわめて複雑であり，[5],[6]のようにこれまでにも多くの研究報告が存在する．人間的要素は，競技者の競技スキルやフィジカル，メンタルに関するものである．具体的には，デリバリ（ストーンを投じる）やスウィーピング（ブラシで氷を擦る）の技術，アイスリーディング（氷の状態を読む）のスキル，メンタルコントロールの技術などがあり，これらの向上を目的とした生理学的分析やバイオメカニクス的分析，トレーニング方法などに関する研究報告がある[7],[8].

戦術的要素は，戦術立案と関連知識に関するものである．刻々と変化するアイスの状態やショットごとに状況が変化するハウス内のストーン配置などを把握しながら自チームに有利な状況を模索するという高度な駆け引きが求められる．たとえば，相手のストーンを弾き出して自チームに有利なストーン配置を作り，積極的にハウス内にストーンを配置して大量得点を狙うなどの戦術が必要となる場合もある．これらの試合展開を詳細に分析し，試合展開にはどのようなパターンが存在するのか，試合を決定づける要因にはどのようなものがあるのか，戦術・戦略の判断プロセスはどのように行われているのかなどを分析することは競技を支援する上でも学術的にも有用であると思われる．しかしながら，我々が研究に着手した段階では，戦術要素に関する研究はほとんど報告されていなかった．

また，戦術的要素を対象とした研究のためには試合情報カーリング版棋譜データとでもいうべき詳細な試合情報の記録データが必要となるが，当初，そのようなデータはほとんど入手不可能であった☆1.

3. 「カーリングを科学する」研究プロジェクト

2015年，カーリング支援に興味を持つ国内5大学の研究者が集まり「カーリングを科学する」共同研究プロジェクトを発足させた[9]．プロジェクトは，人工知能，自然言語処理，認知科学，画像情報処理，スキルサイエンス，メカトロニクス，バイオメカニクスなど，近隣異分野に属する研究者で構成される分野横断的研究プロジェクトである点も特徴である．

図1は，プロジェクトが実現しようとする支援環境のイメージである☆2．この環境では，競技情報を対象として情報の収集，情報の解析，情報の共有，情報の可視化という要素技術を組み合わせて複数の支援技術を提供する．

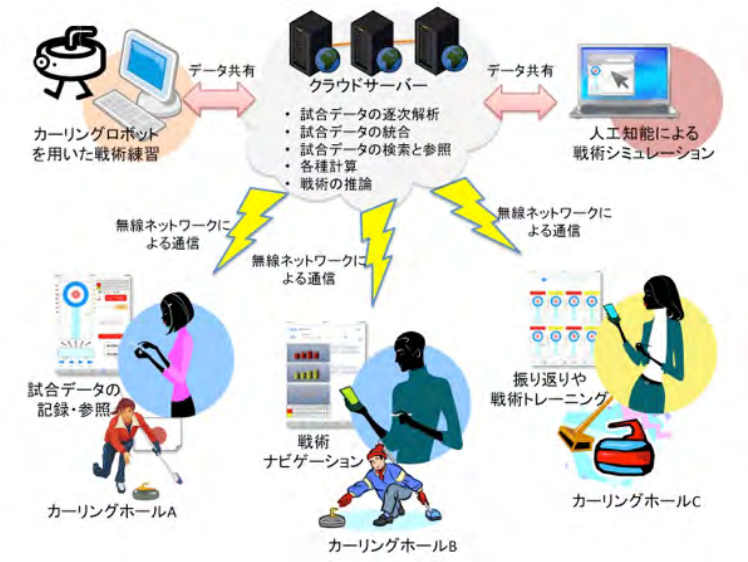


図1　プロジェクトが目指す支援環境

3.1　情報の収集と解析

カーリングの試合では，競技者は刻々と変化していくアイスコンディションやショット毎に変化するストーン配置などを逐次把握しながら，自チームを有利にするための戦術・戦略を考える．ショット（ストーンを投げること）には，ハウス内のストーンを弾き出すテイクアウト系列とハウス内にストーンを静止させるドロー系列があり，それぞれより具体的なショット種別が設定されている．競技者は，戦術・戦略の中で，ストーンの回転方向やショットの強さ，投げ出すコース，氷面の状態など多くの要素を考慮に入れた上で次のショットを選択する．

このように，カーリングの戦術・戦略に関して考慮すべき要素は多岐に渡る．これらを試合に参加中の競技者が記録するわけにはいかないので，コーチや補欠選手が記録を担当するのが通常である．従来は，試合の記録は紙媒体による手作業で行われてきた．

しかし，試合記録を行いながら同時に分析を進め，逐次的に戦術立案を行うことは困難であり，試合情報の記録，記録した情報の分析，分析結果の可視化といった処理を自動化することは非常に有効である．

カーリングリンクは全長約40mあり，投球の際にストーンが到達前に手から離れなければならないラインであるホッグラインからハウスの中心まで約30mもある．競技者はチームの戦術にもとづきストーンの挙動を制御する．「氷上のチェス」と称されるカーリングは高い戦術性が求められる．このために広大なカーリングリンク上でストーンがどのように移動するかは重要なデータである[10]．

また，カーリングストーンの軌跡を蓄積することで，カーリングストーンの挙動モデルの構築[6]や後述の支援技術にも貢献できる．さらに，ストーンの位置をリアルタイムに認識できれば，ゲーム時の戦略支援・教授支援・学習支援などさまざまなアプリケーションに応用できる．

しかし，氷上かつ広大なリンクという特殊な環境で，競技を妨げることなくストーンの位置を認識することは難しい．

3.2　情報の可視化と共有

競技情報を収集して解析した結果は，我々が仮説検証や知見獲得のために考察の対象とするのはもちろんだが，競技者へフィードバックして戦術立案の参考にしてもらうことや，戦術・戦略トレーニングに活用してもらうことが前提となる．

そのためには，解析結果は一見して直感的に理解できるように可視化されていることが望ましい．この課題に答えるためには，解析結果は可能な限りグラフ化やアニメーション化するようなインタフェースを備える必要がある．

競技情報は，複数の端末や場所で収集されることが想定される．収集する情報は，クラウド環境を活用して共有することで，収集効率を飛躍的に向上させることができる．また，共有することでより大規模な情報として扱うことができるため，解析時の効率や有意性も向上する．たとえば，日本で開催されるすべての大会の試合情報を共有できれば，任意の試合情報や解析結果をオンデマンドで参照できるカーリング試合ビッグデータを構築できる．これを日本の各チームが活用して戦術・戦略トレーニングを行えば，日本全体の戦術・戦略レベルを向上させることに貢献できる．また，収集した試合データベースをAIに学習させて高度な戦術・戦略推論に繋げることも可能となる．

一方で，これらの情報共有は慎重に行う必要もある．一般に，競技者は自身や自チームに関する情報を開示することを嫌う傾向があるし，若手競技者の成長可能性が阻害されるような活用を防止する配慮も必要である．

3.3　AI，認知科学との連携

前述したようにカーリングは「氷上のチェス」と呼ばれ戦術性が高い競技である．AIの観点からもカーリングは興味深い研究対象になっている．

AIの研究自体がチェスの強いプログラムを作ることから始まった．1950年前後にTuringやShannonがコンピュータにもチェスが指せるという論文を出したのがAI研究のスタートである．ゲームはルールが明確であること，勝ち負けによって評価が（人間の手が入らずに）できること，（参考にしたり目標にしたりできる）強い人間プレイヤが存在すること，それ自体が面白いことなどの理由でAIの研究対象として重宝されている．チェスはゲーム理論的に2人・有限・零和・完全情報・確定ゲームに分類される．世の中にこのタイプのゲームが多い（五目並べ（連珠），チェッカー，オセロ，将棋，囲碁が含まれる）こと，ゲームの中では比較的コンピュータにとって扱いやすいことなどの理由で長い間このタイプのゲームが研究対象のメインになってきた．

AIの研究が進んで1997年のチェス，オセロから2017年の将棋，囲碁と人間の最強プレイヤにAIが勝つようになった．2人・有限・零和・完全情報・確定ゲームは強いプログラムを作るという観点からは研究対象としての役割を終えたと言える．研究対象は3人以上，非零和，不完全情報，不確定のいずれかの性質を持つゲームに移っている．たとえば麻雀，（多人数）ポーカー，人狼などである．

カーリングはAIから見ると新しい研究対象のゲームの1つである．2人，有限，令和，完全情報という性質はチェスなどと同じ（カーリングは4人ずつ合計8人でプレイするが4人で1チームという意味で2人ゲームである）であるが，不確定という特徴を有している．ゲームで不確定というと一般にはサイコロを振ることになる（たとえばバックギャモンがそうである）が，カーリングにおける不確定性はそれよりもはるかに複雑である．スポーツなのでボードゲームと違って思ったところにストーンを必ずしも持っていくことができない．戦術としてここにストーンを置きたいと思っても置ける保証はない（ゲームとしては指したい手が必ずしも指せないことに相当する）．その理由としては選手の技術（ショットおよびスウィーピング），選手の体力，アイスコンディションなどが複雑に絡み合っている．このような複雑な不確定性を有するゲームとしてカーリングはAIの研究対象として価値が高い．他の性質は同じなので不確定性の扱いに焦点を当てられることは重要である．世の中の実問題の多くは複雑な不確定性を有するので，カーリングのAIの研究はそれらの実問題の解決につながることが期待される．

カーリングの戦術・戦略を理解するためには，競技者が実際にどのような思考過程を持って戦術・戦略を立案しているかを考える認知科学的研究が必要となる．カーリングに関する認知科学的研究は，大別すると以下の2つのアプローチが考えられる．1つは，プレイヤの認知過程を明らかにする研究，もう1つは，上述のようなさまざまな技術が人間の認知に与える影響に関する研究である．前者の研究は，AIの情報処理モデルを考える上で重要な意味を持ち，後者の研究はAIと人間の共存という意味でもAIとの関連は深い．この分野の詳細については後述する．

カーリングの戦術・戦略を立案できるAIが実現し，これを実行するロボットが実現できれば，応用範囲は大きく広がる．たとえば，ストーンの個体特性の確認（ストーンチェック）やデリバリ，スウィーピングのトレーニングといった競技者の支援が容易となるほか，氷の状態や摩擦係数の変化の解明といった研究やアイスメイキング（氷を作る作業）における氷の状態確認にも有効であろう．さらには，人間とロボットの対戦の実現可能性も期待できる．

4. 戦術支援のための技術

本章では，第3章で述べた考え方に基づいてプロジェクトが手がけてきた支援技術について述べる．

4.1 デジタルスコアブックiCE

3.1節で述べたとおり，カーリングでは試合情報の記録，記録した情報の分析，分析結果の可視化といった処理を自動化することは有益である．

桝井らは戦術要素を電子的に記録する手段として「デジタルスコアブックiCE」を開発し[10]，さらに類似局面検索モジュールとアップロードモジュールを実装して機構向上を図った．**図2**にiCEの稼働画面を示す．このシステムはタブレット端末上で稼働し，5つの主要モジュールと試合情報データベースから構成される（**図3**）．主要モジュールの概要は以下のとおりである．

図2　デジタルスコアブックiCE

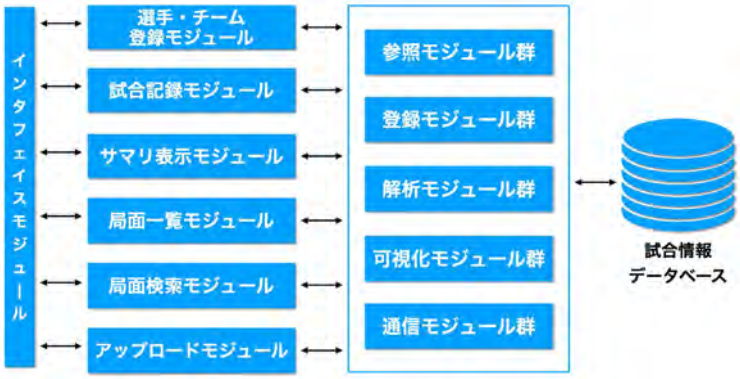


図3　iCEのシステム構成概要

(1) 選手・チーム登録モジュール：試合の基本単位となるチームや選手名を登録する．チームと選手は独立して管理されるため，選手の移動にも対応できる．
(2) 試合記録モジュール（図2右）： 試合の推移を逐次記録するメインモジュールであり，ショットごとのショット種類や回転方向，ショットスコア，ショットによって変化したストーン配置などを記録する．記録後に各局面を参照することもできる．
(3) サマリ表示モジュール（図2左）：記録された情報を解析してチームや個人のショット成功率とそれらの推移をグラフや表形式で可視化表示する．
(4) 局面一覧モジュール: ショットごとの局面の変化を一覧表示する．
(5) 類似局面検索モジュール：指定した任意のストーン配置と類似した局面を試合情報データベースから検索する．検索結果には，その局面が試合中のどの時点で発生したか（エンド），先攻後攻のどちらだったのか，どのショットを選択したか，選択ショットの勝率が提示される．

（6）アップロードモジュール：試合情報データベースの内容をプロジェクトが管理するクラウドサーバにアップロードする．

システムはObjective-Cで実装されており，データベースはSQLiteを採用している．データベースは他の支援技術と共有することを想定して設計されている．

桝井らは，エキスパートによるiCEの試用とフィードバックに基づいてシステムの改良を進め，一定の実用性を確認している．そして，希望するカーリングチームに無償で提供しており，現在までに延べ18チームへの配布実績がある．各チームでは，スコアブックとして活用されている他，振り返りミーティング資料としての活用事例や戦術スキル向上のためのケーススタディ教材としての活用事例がある．

このほか，筆者らは試合情報データベースの拡充と記録した試合を対象とした独自の分析も進めている．

試合情報データベースには，日本選手権や世界選手権といった日本や世界トップレベルの試合を中心として，地方大会や市民リーグの試合情報も収集されており，現在までに992試合（約20,000ショット）の情報をデータベース化が完了している☆3．

さらに，桝井らはデータベース化された試合情報を対象として戦況に関する詳細な分析をしている[11]．彼らは，ショット成功率，得点力，ショット種別を中心に，チームごと，ポジションごとのほか，試合ごと，エンドごとの傾向，それぞれの相関関係などを分析し，従来経験的にのみ知られていた戦術ノウハウのいくつかを客観的に検証したほか，これまで知られていなかった新たな知見を発見している．たとえば，ショットの精度と得点力の関係にはおおむね強い正の相関が認められることが確認できた（ショットの精度が相手に優っていれば勝てる可能性が高い）．しかし，その関係に影響を及ぼす要因は競技レベルによって異なることも分かった（日本選手権レベルではショット精度差の影響が強いが，世界選手権レベルでは戦術・戦略の差の方が影響する．大学選手権レベルではミスショットやラッキーショットのランダム要因の影響が強い）．

最近は日本選手権などの国内トップレベルの公式大会の試合がテレビ中継されている．実況放送においては，アナウンサーが解説者との間で話題のきっかけを作り，また視聴者が試合状況を把握し易くするために，チームや個人のパフォーマンスを示す統計情報への需要が存在し，この需要に答えるためにはiCEを活用した試合情報分析が役立つことが分かった．そこで，実況される公式試合を対象として逐次試合情報を収集解析し，チームショット率やポジション別ショット率といった情報をリアルタイムで提供している．

このほか，市民リーグ会場にてiCEによる試合情報記録の模様を公開することでデータ分析の有用性と試合観戦の新しい観点を示し，iCEの利用講習会を開催するなどして，支援技術の普及促進にも注力している．

4.2　カーリングストーンのための実時間位置計測

竹川らは，リンク上およびストーン上に赤外線LEDを搭載し，リンクの周辺に設置した赤外線カメラによる画像処理により位置計測を実現した[12]．ストーン上に設置する赤外線LEDモジュールは，小型でストーンそのものの挙動を妨げない．また，アプリケーションおよび競技者のスキルにより，求められるストーンの位置計測精度は異なる．赤外線カメラを増やすことでストーンの位置計測精度を柔軟に制御できる．

システム構成を**図4**に示す．提案システムは赤外線カメラ，PC，ライン用マイクロコントローラ（以降，ライン用マイコンと呼ぶ），ストーン用マイクロコントローラ（以降，ストーン用マイコンと呼ぶ），赤外線LEDライン（以降LEDラインと呼ぶ），赤外線LED点灯制御モジュール（以降，LEDモジュールと呼ぶ）から構成される．ストーン用マイコンはストーン上にあるLEDモジュールの点灯・消灯および光量を制御する．また，LEDラインはデイジーチェーン形式で接続されたLEDモジュールから構成される．ライン用マイコンはLEDライン上の各LEDモジュールの点灯・消灯および光量を独立に制御できる．ライン用マイコンおよびストーン用マイコンは，PCと通信する．PCは赤外線カメラ映像の画像処理結果をもとに，各種マイコンに制御コマンドを送信する．赤外線カメラはリンクの周囲に自由に設置できるが，スィーパはストーンの左右あるいは進行方向側にいるため，図4に示すようにストーン進行方向の反対側に設置する方が望ましい．また，使用する赤外線カメラには可視光除去フィルタを取り付ける必要がある．

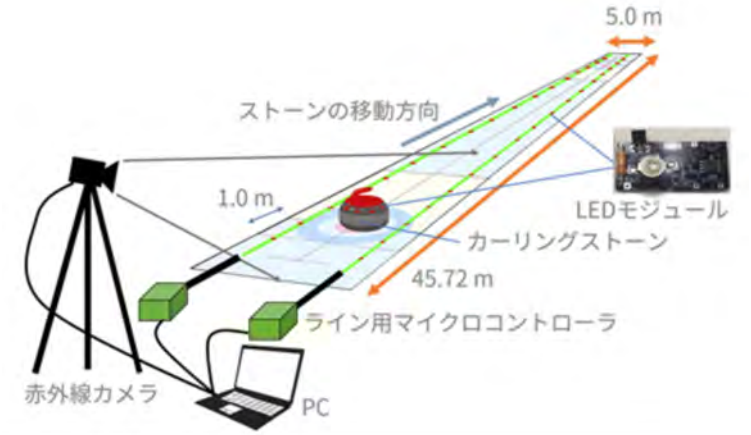


図4　システム構成

カメラ画像上の各画素と，リンク上の位置の対応関係を構築するためのキャリブレーションを実施する．キャリブレーション後，ストーンの位置をカメラ映像からリアルタイムに推定する．

河西建設カーリングホール（北海道北見市）にて提案システムを用いた位置計測精度の評価実験を実施した．**図5**（左）に氷を張る前のカーリングリンクに設置したLEDラインを示す．図5（左）にシートや氷を敷設した状態を図5（右）に示す．LEDモジュールは縦方向1m間隔で9m分，横方向1m間隔で2m分を設置した．**図6**に示すように，赤外線カメラは，リンクの端から約5.5m手前に設置し，リファレンスポイントは33地点，計測ポイントは333地点とした．実測値と計測値の平均誤差は0.10m，標準偏差0.04mであった．これはストーンの大きさ（0.30m）以下の精度であるが，たとえば，ショットの良し悪しを判断する基準には「0.15m以内」「0.05m以下」といったものもあり，十分に実用的な性能を確保するために，複数カメラによる連携，慣性センサの導入などを検討している．

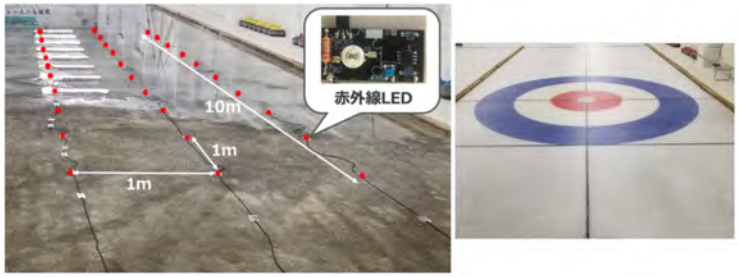


図5　カーリング場に設置したLEDライン

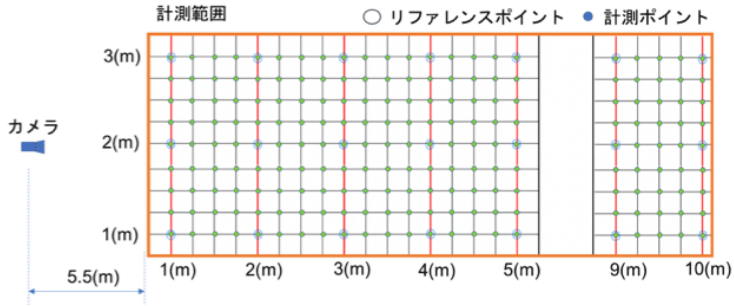


図6　計測条件

4.3　戦術・戦略のシミュレーション

カーリングというゲームが，不確定ゲームであり戦略性の高いゲームであることは前述のとおりであるが，その戦略はコーチや熟達者の口伝によるものが多く，あまり科学的な議論は行われてこなかった．その理由として，カーリング場の氷の状態は刻々と変化するものであり，氷を読む技術や正確にストーンをリリースする技術，スイープの能力やスキップの指示など多岐に渡るため，単にストーンの配置だけで議論できなかったという点がある．コーチに求められるのは，ストーンの単純な配置における最適戦略を教えることではなく，プレイヤのスキルを高めることであり，スキルが高くなるにしたがって求められる戦術も変化するので，レベルに合ったゲームプランを身に着けさせることであると言える．

しかし，カーリングを単純に不確定ゲームとして捉えることができれば，ストーンの配置における最も勝ちやすい最善手を求めることができるのではないだろうか．その答えを見つける手段として，理想的なカーリングシートをコンピュータ上で実現し，単純な不確定ゲームの戦略を議論する場を提供できないかと考えて考案したものが，「デジタルカーリング」である．

北清らは，コンピュータ上の物理シミュレーターを利用して，カーリングストーンの挙動をシミュレートするシステムを考案した[13]．カーリングのストーンは，時計回りに回転させると右に，反時計回りに回転すると左に曲がる（カールする）ことが知られている．しかし，ストーンの並進速度とカールの度合い（カール比），回転の角速度とカール比の関係については正確な測定が行われてこな

かったため，長年の謎とされてきた．また，氷上でストーンがカールする物理的メカニズムについても，完全に解明されていない．2017年以降に発表された前野らによる研究で徐々に明らかになってきており，今後の精密な測定が待たれる[14]．

北清と伊藤は，問題を簡単化するために，ストーンの並進速度と角速度によるカールに加わる力を一定と考えた単純な物理シミュレーターを考案し，そのシミュレーターを「デジタルカーリング」と名付けて公開した（**図7**）[15]．デジタルカーリングでは，プレイヤの技量や氷の状態によって生じる不確定性をショットの初速度に正規乱数を加えることで実現している．このシミュレーターを広く公開し，統一されたカーリングシート上で戦略だけを議論できる場を提供した．さらに，このシミュレーター上で動作するAIの大会を開催することで，カーリグ戦略を人工知能の研究分野として切り拓くことに寄与してきた[16]．その結果，モンテカルロ木探索を用いたAIや評価関数の機械学習を用いたAI，深層学習を用いたAIの開発など，多くの人工知能研研究が行われるようなっている．さらに，このシミュレーターをベースとした学習支援システムの提案も行われてきた[17]．

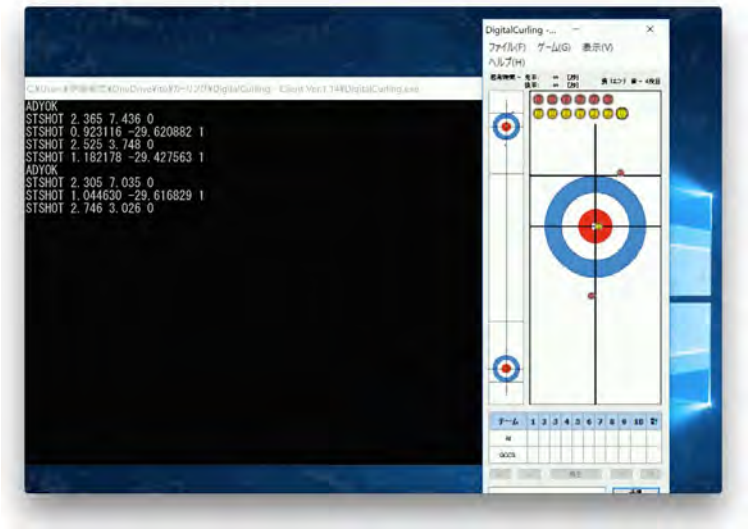


図7　デジタルカーリング上で稼働する戦術推論AI

しかし，上述のようにストーンの挙動を単純にしたことにより，熟達したプレイヤからは，そのストーンの挙動の再現が不十分で不自然に感じられるという意見も少数ながら得られている．また，実環境のようなカーリング場の特性やプレイヤの技量をコンピュータ上でシミュレートしてほしいという要望なども指摘されてきた．そこで，森と伊藤は，デジタルカーリングの改良に着手した．具体的には，プレイヤの技量に起因するショットの精度やアイスコンディションに伴うカール比やストーンの滑りやすさに対応できるようにストーンの挙動に関連するパラメータを自由に変更できる新しいデジタルカーリングシステムを提案した[18]．

4.4　戦術を考えるAI

山本らはカーリングというスポーツを不確定性ゲームとして捉え，ゲーム木探索の手法を取り入れた最善手選択のための手法を開発してきた[19]．その際，先に述べた伊藤らによって開発されたデジタルカーリングを用いて，AIがカーリングの戦術を考える．将棋や囲碁などにおけるゲーム木探索に

おいては，局面の良し悪しを判断する局面評価関数の精度が重要となる．山本らはカーリングプレイヤの経験に基づく評価関数を人の手によって作成し，ゲーム木探索のミニマックス手法による最善手探索と組み合わせることで強いAIの開発を行った．

その後，彼らは評価関数を深層学習によって自動的に獲得する試みを行った[20],[21]．そこでは，まず，エンドの最終投球前の局面に対して，期待得点を最大化するショットを探索し，そのショットを何度も投球した際の，期待得点分布を求めて，局面と期待得点分布のペアを数万〜数十万局面用意し，得られた期待得点分布を教師信号とした深層ニューラルネットワークの誤差逆伝搬法によって学習を行う．その結果，最終投球前の局面の評価を行うニューラルネットワークモデルNN1が構築できる．次に，残り2投の局面について，投球後の局面をNN1で評価した結果に基づき，期待得点が大きくなる最善手を探索して，同様に局面とその際のNN1の評価値（期待得点分布）のペアから，残り2投の局面を評価するニューラルネットワークモデルNN2を構築し，同様にNN15までの構築を繰り返すことで，局面評価関数の自動生成を行った．特に，局面評価関数が期待得点分布で構築される点は重要である．カーリングは，一定のエンド数をプレイして，総得点を競うスポーツであるため，残りエンド数に対して得点差が大きくなることで期待勝率が小さくなると考えられる．残りエンド数と得点差に応じた期待勝率を表したテーブルを勝率テーブルと呼ぶことにすると，各局面の期待得点分布と勝率テーブルを組み合わせて使用することでその局面での期待勝率を計算できる．また，任意の局面を評価する際，そのエンド終了時にどういった得点分布になるかという情報は，プレイヤの戦術支援に役立つと考えられる．カーリングAIはモンテカルロ木探索を用いた他の手法も提案されているが，期待得点分布が得られないため，戦術支援という観点からより優れていると考えられる（**図8**）．

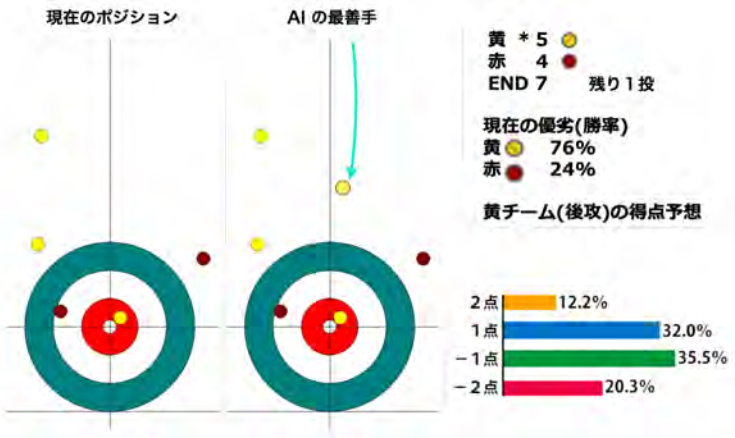


図8　AIを使った戦術支援の例

4.5　その他の取り組み

カーリング競技においては，ストーンを放つデリバリ技術とストーンの前方表面をブラシで擦るスウィーピングの技術が重要である．リンク表面にはペブルが形成されており，スウィーピングを行うことによってペブルの摩擦係数が変化し，ストーンの速度や方向を制御することが可能となる．スウィーピングの良否は競技の勝敗に大きく影響し，ストーンを目的の位置に近づけるために，全力でスウィープを行うことも多い．したがって，スウィーピング力とフォームとの関係やストーンの挙動を

定量的に明らかにすることはスウィーピング技術の向上を図る上で有効と考えられる．しかしながら，これまでにスウィーピング力を測定・解析し，選手のトレーニング支援を図る技術の整備は進んでいない．

宮越らは，市販のカーリングブラシを改造することで，スウィーピング動作時のブラシの動きを前後方向，水平方向，ねじり方向に分けて測定し，スウィーピング力の測定ができるポータブルなロードセル内蔵型のブラシヘッドを開発した[22]．

測定装置を用いてスウィーピング力測定実験を実施し，装置の実用性能の評価と競技者のスウィーピング力の分析を行った．試作したロードセル内蔵型のカーリングブラシによって，スウィーピング力の簡易計測が可能であることを確認した．スウィーピング動作中の力は，水平力において非対称性が強く現れること，氷上をストーンとともに移動することで，選手のスウィーピング力は大きく低下することを明らかにした．

伊藤らは，3.3節で述べたような認知科学的研究に着手している．彼らは，カーリング経験の違う被験者群に対して，カーリングの熟達者の監修のもと作られたカーリングの次の一手問題を見せて，次のショットを考えさせる実験を行った[23],[24]．その結果，将棋の研究の結果と同様に，経験豊富なグループほど先の局面を読むことが分かってきた．しかし，将棋の研究では上級者になると候補手が減少する傾向が見られたのに対して，カーリングでは中級者と上級者で大きな差は見られないことも分かってきた．

また，スキップの経験がある選手ほど，先を読み，多くの候補手を挙げる傾向があることも分かってきた．これらの結果は，不確定要素を含むカーリングでは，より深く読んで多くの可能性を考えられることが重要な意味を持つことが示唆される．カーリングでは必ずしも狙ったとおりのショットが実現されない．ミスショットをしてもその被害を最小限にするようにスウィープで導くことがある．（このようなショットを「Bプラン」と呼ぶ）ゲームの戦略を主に考えて他のプレイヤに指示を出すスキップは，このようなショットを常に考える必要があり，そのため，広く深い可能性を考える必要があるのではないかと考えられる．

これらの実験は，1人のプレイヤに対する次のショットを考えさせるものであったが，実際のカーリングでは，氷のコンディションやプレイヤの得意ショットなどの技量も考慮して4人のプレイヤが情報を交換しながら次のショットを考えていく．今後の課題としては，チームとしての合意の形成過程や個々のプレイヤの技量と選ばれるショットの関係などの実環境における意思決定過程に関する研究の必要があるだろう．

一方，賢くなったカーリングAIを用いた学習支援や思考支援システムの工学的アプローチの研究や，それらのシステムにより，人間の思考がどのように変化していくのかを調べる認知科学的アプローチの研究も考えられる．技術的な支援の手法としては，Higuchiらの学習支援に応用する研究[17]や山本らの強いAIを用いて，期待勝率をテーブルで表す手法などが提案されている[20]．これらの研究は，まだ緒についたところであり，効果的なAIの可視化方法や具体的な思考支援への応用はまだ十分に行われておらず，今後の研究の進展が期待されている．

河村らは，デリバリ（ストーンを投げる）を正確に再現することを目指して，**図9**のようなデリバリロボットを開発している[25]．ロボットは，回転付加機構によってストーンに回転を加えながら投球板で押し出し，デリバリ動作を実現する．これまでロボットが，任意の速度，回転速度のデリバリを一定の誤差範囲で繰り返し再現できることを確認し，ロボットによるストーン毎の癖（曲がり方の個体差）の計測を実現している．

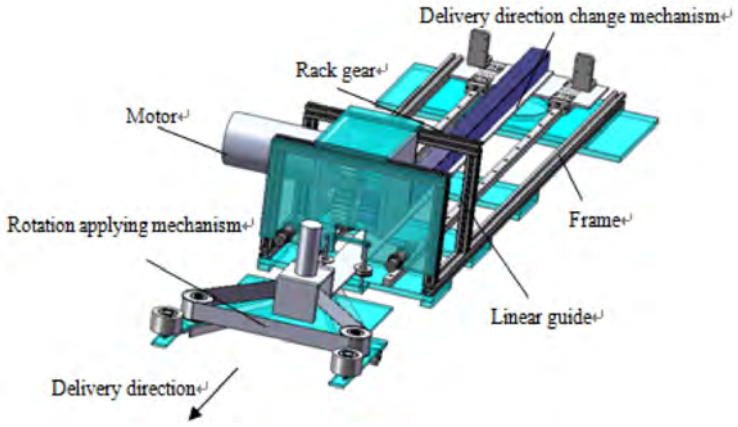


図9　カーリングデリバリロボット

彼らは，開発したロボットを用いて人間の競技者との対戦実験も実施し，対戦ログを解析することでロボットを制御するために必要なパラメータや精度について考察しているが，実際のデリバリを行うことでストーンの速度や軌道および停止位置の精密な測定とカーリングシートの幾何学的な形状計測と摩擦係数の分布の理解が不可欠であること，およびロボットを制御する高度な戦術・戦略立案機構が必要であることが明らかになった．これらの課題は，本プロジェクトで開発しているストーンの実時間位置計測技術や戦術推論AIとの連携によって実現できる見込みである．

5. 次のステップへ向けて

本稿では，カーリングの戦術・戦略面を支援することを目的として，「カーリングを科学する」研究プロジェクトが手掛けている情報通信技術（ICT）に基づく支援技術開発研究について述べた．競技情報の収集，解析，可視化，共有を組み合わせて開発してきたデジタルスコアブック，カーリング実時間計測，戦術・戦略シミュレーション，戦術推論AIなどの開発状況について報告した．

手探りの状態から研究をスタートし，いくつかの技術の開発とそれらの有効性と実用性を検証するに至ったのは，我々の研究をご理解下さった日本カーリング協会，北見カーリング協会，河西建設カーリングホール，アドヴィックス常呂カーリングホール，その他競技者および関係者各位の協力がなければ到底なし得なかった．

しかし，実現できた技術にはまだ解決すべき課題も多く，実現に至っていない技術も残されている．研究プロジェクトの活動は現在も継続中である．2020年10月には北見市内に新しいカーリングホール（アルゴグラフィクス北見カーリングホール）がオープンする☆4．同施設には研究設備が設けられ，研究目的の利用にも開放される予定である．同研究設備の一部には本プロジェクトの研究成果が応用されており，今後のカーリング支援研究の発展に寄与するだけでなく，我々の研究計画も加速されると期待できる．研究プロジェクトとしては，これまで開発してきたそれぞれの技術を精緻化するとともに，各技術を結合して，測定，記録，解析，推論，動作といった一連のタスクを自動化することで，シームレスかつオンデマンドなリアルタイム分析環境を構築し，北京オリンピックに向けた競技者やチームへの貢献を目指したい．

以下，具体的な取り組みについて述べる．

ストーン位置計測技術のアプリケーションの1つとして，リンク，デジタルスコアブックなどにリアルタイムなショット軌跡表示が考えられる．プロジェクションマッピング技術を用いて，リンク上にショット軌跡を投影する．また，ストーン位置計測結果を入力とし，機械学習アルゴリズムを適用することで，ストーン位置を推定できる．ショット軌跡にあわせて，未来の軌跡を表示することで，練習中における戦術支援や学習支援に応用できる．

今後は，竹川らが行うストーンの正確な挙動の実測値になるべく近いカールを実現することと，桝井らが開発しているiCEによって記録されたショットのデータを読み込んで，コンピュータ上で視覚的に再現できるようなデジタルカーリングを実現することが期待されており，その実現を目指していきたい．

山本らが開発しているカーリングの戦術支援を行うカーリングAIの応用は，単に任意の局面に対しての最善手を求めることができるというだけではない．たとえば，候補となる２つのプレイを期待勝率や期待得点分布を見ることで，その局面をAIがどのように評価をしているかを可視化することができる．特に，リスクヘッジが重要なカーリングでは初心者などへの戦術支援に特に重要となるであろう．

また，デジタルカーリングでは投球の不確定性を乱数によって実現しているため，同じ局面で同じプレイを選択しても必ずしも同じ結果が得られるとは限らない．たとえば，ある局面における最善手を求めたところ，勝率が65%であった場合，これは，その投球を行っても実際の結果を評価すると，54%となる局面になったり，70%となる局面になったりすることを意味する．実際に，投球前に65%の見積勝率だった局面で，投球後に70%となったとすると，その投球が素晴らしいものであったことを示しており，投球（プレイ）の評価ができる可能性を示唆している．こういった応用を見据えて，プレイヤが容易に利用できるアプリ化や実際のカーリングのプレイデータとの整合性の検証などを行っていく予定である．

参考文献

1）Gorski, C. : Curling Science, Success This Slick Sport Requires Intense Physical Effort and Concentration, INSIDE SCIENCE NEWS SERVICE, http://www.insidescience.org/ （2010）
2）Beneventano, P., Berger, P. D. and Weinberg, B. D. : Predicting Run Production and Run Prevention in Baseball : The Impact of Sabermetrics, International Journal of Business, Humanities and Technology, Vol.2, No.4, pp.67-75 (2012).
3）Ikuta, Y., Matsuda, Y., Yamada, Y., Kida, N., Oda, S. and Moritani, T. : Relationship Between Decreased Swimming Velocity and Muscle Activity During 200-m Front Crawl, ARTICLE in ARBEITSPHYSIOLOGIE, Vol.112 (9), pp.3417–3429 (2012).
4）廣津信義，伊藤雅充，宮地　力，濱野光之，田口　東：ゲーム理論を応用したバレーボールの戦術分析プログラムの開発，順天堂スポーツ健康科学研究，No.1, Vol.1, pp.78–88 (2009).
5）Shegelski, M. : The Motion of a Curling Rock : Analytical Approach, Canadian Journal of Physics, Vol.78, pp.857–864 (2000).
6）Maeno, N. : Curl Mechanism of a Curling Stone on Ice Pebbles, Bulletin of Glaciological Research, Vol.28, pp.1-6 (2010).
7）Behm, D. G. : Periodized Training Program of the Canadian Olympic Curling Team, Journal of National Strength and Conditioning Association, Vol.29, No.3, pp.24-31 (2007).
8）田中良幸，坪田広明，武田雄策，辻　敏夫：仮想カーリングシステムを用いた人間の手先運動特性の解析，1A1-3F-E1, 日本機械学会 (2006).
9）伊藤毅志，桝井文人，宮越勝美，河村隆，山本雅人，竹川佳成，柳　等，松原仁：カーリングを

科学するプロジェクト，信学技報，CNR2015-2, pp.5-10 (2015).
10）Masui, F., Hirata, K., Otan, H., Yanagi, H. and Ptaszynski, M. : Informatics to Support Tactics and Strategies in Curling, International Journal of Automation Technology, Vol.10, No.2, pp.244-252 (2016).
11）Masui, F., Otani, H., Yanagi, H. and Ptaszynski, M. : Study on Game Information Analysis for Support to Tactics and Strategies in Curling, Sport Science Research and Technology Support. icSPORTS 2016, icSPORTS 2017. Communications in Computer and Information Science, Vol.975. Springer, Cham, Vol.975, pp.128-149 (2019).
12）Takegawa, Y. : Proposal of a Real-time Position Measurement System for Curling Stones, Proceedings of Workshop on Curling Informatics, pp.10-11 (2018).
13）北清勇磨，伊藤毅志：カーリングの戦略を支援するシステムの提案と構築，第18回ゲームプログラミングワークショップ予稿集，pp.1-8 (2013).
14）服部一裕，栗山寛子，前野紀一：画像解析を用いたカーリング・ストーンの運動解析ーストーンのカール比の追跡ー，日本機械学会シンポジウム，スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2017 (2017).
15）北清勇磨，岡田雷太，伊藤毅志：デジタルカーリングサーバーの提案と紹介，情報処理学会ゲーム情報学研究会報告，GI-31（2）, pp.1-5 (2014).
16）伊藤毅志，森健太郎：デジタルカーリング大会報告2015年度，情報処理学会ゲーム情報学研究会報告，GI-36（2）, pp1-6 (2016).
17）Higuchi, T., Mori, K. and Ito, T. : An AI-Assisted Strategy Learning Support System Using Digital Curling, Workshop on Curling Informatics 2018, pp.21-25 (2018).
18）森健太郎，伊藤毅志：条件の変更にロバストなデジタルカーリングの改良，情報処理学会論文誌，Vol.60 (11), pp.2085-2092 (2019).
19）加藤　修，飯塚博幸，山本雅人：不確定性を含むデジタルカーリングにおけるゲーム木探索，情報処理学会論文誌，Vol.57, 第11号, pp.2354-2364 (2016).
20）山本雅人，伊藤毅志，桝井文人，松原　仁：カーリングとAI，情報処理学会誌「情報処理」，Vol.59, 第6号, pp.500-504 (2018).
21）Ataka, K., Noguchi, W., Iizuka, H. and Yamamoto, M. : Learning of Evaluation Function in Digital Curling Considering the Probability of Scores at Each End, AAAI20 Workshop, Artificial Intelligence in Team Sports, pp. 1-6 (2020).
22）宮越勝美，柳　等，桝井文人，上村亮我，岸田　卓：カーリングにおけるスイープ力測定装置の開発，日本機械学会北海道支部第54回講演概要集，pp.25-26 (2016).
23）伊藤毅志，板倉貴章：カーリングプレイヤの思考過程の分析，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2015論文集，pp.31-36 (2015).
24）Ito, T., Wakabayashi, K. and Matsubara, H. : Thinking Process in the Game of Curling, Workshop on Curling Informatics 2018, pp.16-20 (2018).
25）Kawamura, T., Kamimura, R., Suzuki, S. and Iizuka, K. : A Study on the Curling Robot Will Match with Human – Result of End Game with One Human, Proceedings of IEEE-CIG2015 (2015).

脚注

☆1　1995年当時，世界カーリング協会やカナダ協会の公式サイトを通じて一部の試合情報のみが公開されていた．日本国内の試合については入手可能な試合情報は存在しなかった．

☆2　「カーリングを科学する」プロジェクトhttp://orion.cs.kitami-it.ac.jp/tipwiki/CurlingScience

☆3　日本選手権，世界選手権，地方大会・リーグの試合情報の記録に際しては，それぞれ日本カーリング協会強化委員会，世界カーリング連盟，北見カーリング協会の協力を得た．

☆4　地域資源カーリングを活用した知名度向上と交流人口拡大のための拠点整備プロジェク

ト, 内閣官房・内閣府総合サイト
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/tiikisaisei/dai51nintei/plan/a011.pdf
(2020)

桝井 文人（正会員）f-masui@mail.kitami-it.ac.jp
1990年岡山大学理学部卒業．博士（工学）．沖電気工業，三重大学を経て，2018年北見工業大学情報通信系教授／冬季スポーツ科学研究推進センタ長．自然言語処理，知識工学，観光情報学に興味を持つ．

伊藤 毅志（正会員）ito@cs.uec.ac.jp
1994年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了．工学博士．電気通信大学情報理工学研究科准教授．ゲームを題材にした人間の思考過程，熟達化の過程に興味を持つ．著書に「先を読む頭脳」（新潮社，共著）ほか．

松原 仁（正会員）matsubar@ai.u-tokyo.ac.jp
1986年東大大学院博士課程修了．工学博士．同年通産省工技院電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）入所．公立はこだて未来大学を経て2020年東京大学教授．専門は人工知能．元本会理事．

竹川 佳成（正会員）yoshi@fun.ac.jp
2007年大阪大学大学院情報科学研究科博士課程修了．博士（情報学）． 2011年MIT Media Lab. Assistant Visiting Professor．神戸大学経て2014年公立はこだて未来大学准教授．ヒューマンコンピュータインタラクション，エンタテインメントコンピューティング，音楽情報科学に興味を持つ．

山本 雅人（正会員）masahito@complex.ist.hokudai.ac.jp
1998年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了．博士（工学）．2012年北海道大学大学院情報科学研究院教授．人工生命／人工知能，特に，ゲーム情報学に興味を持つ．

河村 隆（非会員）kawamura@shinshu-u.ac.jp
1992年電気通信大学大学院機械制御工学専攻単位取得退学．博士（工学）．1996年イリノイ大学 Visiting Professor．2019年信州大学学術研究院繊維学系教授．メカトロニクス，知的制御，感性ロボティクスに興味を持つ．

柳 等（非会員）yanagi@mail.kitami-it.ac.jp
1988年日本体育大学大学院体育学研究科体育学修士課程修了．2020年北見工業大学教授．体育学，スポーツバイオメカニクスに興味を持つ．

採録決定：2020年7月29日
編集担当：江谷 典子（Peach・Aviation（株））

会誌「デジタルプラクティスコーナー」 Vol.1 No.1 (Oct. 2020)

座談会

スポーツテック

参加者：木村聡貴（日本電信電話（株））， 柴田翔平（ミズノ（株））， 髙橋弘毅（東京都市大学）， 桝井昇一（（株）富士通研究所）， 桝井文人（北見工業大学）
司会： 吉野松樹（（株）日立製作所）， 相原伸平（国立スポーツ科学センター）

木村聡貴（日本電信電話（株））
日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所，主任研究員．2003年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了．博士（学術）．人間の感覚運動制御，近年はスポーツスキルの脳情報処理の研究に従事．

柴田翔平（ミズノ（株））
1988年生．2011年上智大学理工学部物理学科卒業，2018年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了．博士（学術）．2013年，ミズノ（株）入社，現在に至る．バイオメカニクス，センサデータ解析に関する研究開発に従事．

髙橋弘毅（東京都市大学）

2005年 新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程 修了．ドイツ マックス・プランク重力物理学研究所（アルバートアインシュタイン研究所）PDなど経て，2013年より長岡技術科学大学大学院工学研究科 情報・経営システム工学専攻 准教授．2020年9月より東京都市大学大学院総合理工学研究科 教授．重力波データ解析手法の研究，信号処理，機械学習，データサイエンスや数理科学などの研究に広く従事．博士（理学）．

桝井昇一（（株）富士通研究所）

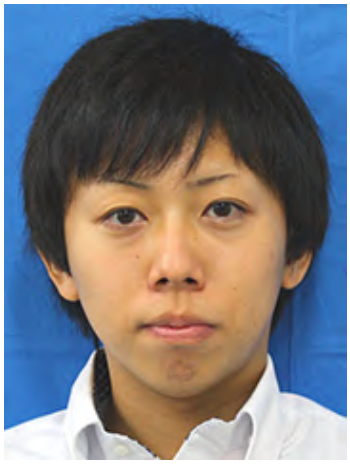
1982年名大・工・電気卒業．1984年同大学院修士課程了．1990年スタンフォード大・客員研究員．1999年富士通．2006年東工大・博士（工学）．2007年東北大電気通信研究所・教授，2012年（株）富士通研究所．現在は3Dセンシング・運動認識にかかわる研究に従事．2004年文部科学大臣表彰研究功績者．現在，同社Gプロジェクト，シニアリサーチエキスパート．

桝井文人（北見工業大学）

1990年岡山大学理学部卒業．北大・博士（工学）．沖電気工業，三重大学を経て，2018年北見工業大学情報通信系教授／冬季スポーツ科学研究推進センター長．カーリング情報学の研究に従事するほか，自然言語処理，知識工学，観光情報学にも興味を持つ．

吉野松樹（（株）日立製作所）

（株）日立製作所．IoT・クラウド事業部ミドルウェア本部所属．本会論文誌トランザクションデジタルプラクティス編集委員長，資格制度運営委員会副委員長．本会フェロー．博士（情報科学）．



相原伸平（国立スポーツ科学センター）
（独）日本スポーツ振興センター ハイパフォーマンススポーツセンター 国立スポーツ科学センター スポーツ科学部，研究員．早稲田大学大学院先進理工学研究科修士課程修了．（株）日立製作所中央研究所，研究員を経て，2016年より現職．専門はスポーツ工学．競技スポーツを対象としたITシステムの研究・開発に従事．

座談会の趣旨および自己紹介

相原：本日は，新型コロナウイルス感染症への対応として，オンラインでの開催となりましたが，お忙しいところをお集まりいただき，ありがとうございます．本座談会では，招待論文をご投稿いただいた皆様に，論文に書けなかった活動や想い，今後の展望などを，お話しいただき，意見交換していただきたく考えています．

初対面の方々も多いと思いますので，まずは自己紹介をしていただきたいと思います．司会は，本特集号のゲストエディタである相原と，コーディネータである吉野が務めさせていただきます．

私は，国立スポーツ科学センターという日本スポーツの国際競技力向上のための支援，研究に取り組む組織にて，スポーツ工学の研究・開発に携わっております．特に，競技スポーツを対象に，ウェアラブルセンサやカメラ等を用いた分析・評価システムの開発，スポーツの技能評価を目的とした人工知能の研究など，スポーツにおけるIT関連の研究・開発を進めています．

吉野：日立製作所の吉野と申します．デジタルプラクティス誌の創刊時から約10年，編集に携わっております．読者に代わって皆さんにご質問したいと考えています．

相原：続きまして，招待論文の皆さまの自己紹介に移りたいと思います．五十音順にて紹介いただきます．

木村：NTTの木村と申します．本特集号では，「バーチャルリアリティでスポーツ脳を理解し鍛える」というタイトルで執筆させていただきました．

元々は神経科学を専門としており，人間の感覚運動制御，脳の情報処理といった基礎研究に携わっております．最近，そのアウトリーチとしてスポーツ分野に参画させていただいています．したがいまして，最先端のデバイス等を開発する立場ではなく，すでにあるものをうまく利用して，アスリートの脳機能を評価したり，あるいは強化する取り組みを進めています．

NTTでは，スポーツ脳科学プロジェクトと銘打ったプロジェクトを進めていますが，VR以外にも，慣性センサや筋電を用いて評価をするような取り組みもしています．

柴田：ミズノ（株）グローバル研究開発部センシングソリューション開発課に所属しております柴田翔平と申します．本特集号では，「日本野球市場に練習革命を起こす―センサ内蔵野球ボールを活用した野球指導効率化に向けた取り組みから―」というタイトルで執筆させていただきました．

私は学生時代から野球の投球動作の指の研究をしていまして，バイオメカニクスを専門としています．野球の研究を活かせる企業に入社したいということを考え，スポーツメーカであるミズノ（株）に入ったという経緯であります．

入社後は，野球とセンサを組み合わせた商品の研究開発に取り組んでおり，たとえば，硬式球にセンサを内蔵し，投げるだけでボールの回転数，回転軸，速度が分かるという「MA-Q」と呼ばれる製品や，バットのスイングを解析する「ミズノスイングトレーサー」と呼ばれる製品を研究開発して，市場に投入するというようなことを業務として取り組んでいます．

髙橋：髙橋弘毅と申します．本特集号では，「単一慣性センサを用いた競泳指導サポートシステム」というタイトルで執筆させていただきました．

2020年9月から東京都市大学　大学院総合理工学研究科の教授になりました．専門はデータ駆動型科学です．大学院生のときから，重力波物理学・天文学の研究をしています．時系列データ解析が主な専門ですが，大学教員になって，情報数理科学，機械学習，深層学習などの研究も始めました．

私の研究内容は，大きく2つのテーマに分かれています．ビッグデータ解析とオペレーションズリサーチの研究です．今回の特集では，ビッグデータ解析における機械学習を用いた特徴抽出ということでセンサデータを使ってスポーツ支援をするという取り組みに関して論文を書かさせていただきました．

皆さんに，研究対象の分野は全然関係がないように見えるとよく言われますが，共通するのは取得したデータを綿密に解析する手法やソフトウェアを開発して，実際のデータに適用して，その結果を解釈，役立てるという点です．実は，これがデータサイエンスの研究の本質ではないかと思いつつ，研究を進めています．

桝井（昇）：富士通研究所の桝井と申します．本特集号では，「3Dセンシング・技認識技術による体操採点支援システムの実用化」というタイトルで執筆させていただきました．

私は，体操競技の3Dセンシングプロジェクトにかかわっています．LiDAR方式の3Dレーザセンサによって取得された3次元点群から，深層学習により選手の骨格を求める3Dセンシング技術と，骨格座標の時系列情報から実施技の特定を行う技認識技術に基づく体操採点支援システムを構築しています．

それが昨年，2019年10月にシュツットガルトで開催された世界選手権において正式採用になりました．見ていらっしゃらない方も多いかもしれませんが，世界選手権のテレビ放送にて，体操採点システムで出力する選手の体の角度が表示された際は，苦労してきたものが報われたという感じがしました．今後は，ほかのスポーツに転用していきたいとも考えています．

桝井（文）：北見工業大学の桝井と申します．本特集号では，「カーリングの競技支援を目的とした工学的アプローチによる実証型研究」というタイトルで執筆させていただきました．

私は，知識工学の応用研究に取り組んでいます．大学を卒業後，沖電気工業で機械翻訳のプロジェクトに加わって以降，自然言語処理の研究に取り組んできました．北見工業大学に来たことをきっかけとして，カーリングを研究対象に選びました．

髙橋先生とよく似ていると思っており，研究対象は，スポーツや観光などがありますが，統計的アプローチで多くのデータを解析することで意味のある知識を取り出すということを知識工学の応用研究としてやっています．したがいまして，スポーツ研究の経験が豊富で専門というわけではなく，『カーリングを科学する研究プロジェクト』というものを立ち上げて少しずつ進めています．今秋，北見市に新しいカーリング競技場ができ，そこに研究設備を入れていただくため，これからいろいろな成果を出したいと思っているところです．

相原：皆さまに自己紹介ならびに取り組みを紹介していただきまして，それぞれの立場や取り組みを理解できたかと思います．

スポーツテック開発の経験談

共創の重要性

相原：デジタルプラクティスの読者には，研究者のみならず，情報関連産業の実務の現場にいるエンジニアやマネージャの方々など実務者も多くいらっしゃいます．

基礎研究の成果を実用化される際，ITを日々実務の現場で実践する際，結果や成果は多くの方の目につく機会があると思います．一方，途中で生み出されている創意工夫，利用法，教訓などの大半は，個人の内に蓄積されるか，当人の周囲だけでとどまってしまうことが多いと思います．

今回，スポーツテックをリードする研究・開発を推進されている皆様にお集まりいただきましたので，論文に書ききれなかった苦労話や論文を通じて特に読者に伝えたいことを，それぞれのご経験をもとにお話しいただけないでしょうか．

桝井（昇）：我々，昨年，体操採点支援システムが正式採用になり，テレビでも放映されました．取り組むきっかけとして，2016年に国際体操連盟の渡邊会長が，2020年には体操はロボットが採点を付けるかもしれないということをおっしゃられて，我々はそれを真に受けて始めたところがありました．

実際に2017年頃から世界選手権などでデータを取らせていただいて，取ったデータを国際審判の方々に見ていただくことをやってきました．まさに，共創をしながら進め，2019年の初頭に，ようやくできたかなという感じです．

当初は課題が多く，審判の方々は懐疑的な状態でしたので，それをひっくり返すという苦労がありました．特に，どういうデータをお見せしたらいいのかという点で苦心しました．使っていただく方に，有効なツールを提供できるかが重要です．採点支援システムがいかに審判の方の支援になるかをアピールをすることも含めて，それをアピールできる下支えになる技術を開発することは，論文に一言で書けるものではなく，かなり細かい点も含めて苦労がありました．

吉野：一般的なデータサイエンスの案件でも似たような話があり，現場の方がコンピュータやAIに否定的であったものが肯定的に変わるような，フェーズが変わる局目がある気がします．そういうものを，強烈に感じた一瞬はありましたか．

桝井（昇）：審判の方は，座って演技を見ていますが，人間なので，選手の裏側は見えません．我々のシステムは，センサを複数台配置して，3D視点で立体的に選手が見えるようになっており，それをワンフレームずつ，事細かに確認できます．採点規則をつくっていらっしゃるコーディネータに見ていただくと，「これはすごい．人の目では，上手い選手も下手な選手も差がないように見える場合があるが，このシステムで選手の動き方が細かに見えることにより，採点で一段階，上のことができる可能性がある」と，お話しいただきました．計測精度が向上し，人が見えること以上を実現できたこと，またそれを示せたことが大きかったと思います．

吉野：ありがとうございます．ほかの皆さんも，似た経験はございますか．

柴田：桝井様のお話に非常に共感する部分があります．我々がセンサを内蔵した野球ボールを出したとき，皆さんもなんとなくイメージがつくと思うのですが，いわゆる野球界の古い考えをお持ちの指導者の方にご紹介すると，計測している数字の意味がよく分からず，そこで話がストップしてしまうケースがありました．

その打開策として，計測している数字の意味，重要性を伝えていく活動というのが非常に重要であると思っております．センシング機器の発達により，いろいろなことが分かるようになりました．最近は，ボールの回転数や回転軸，体の動きなどが，精緻に取れるようになっていますが，なぜ計測することが重要なのか，その数字が示すことは何なのか，を一般の方に分かりやすく伝えていかなければ，普及は難しいということが，実際の市場に投下してみて感じました．

桝井（文）：私はカーリングを対象にしますが，カーリングは，戦術性が高くて，そこが理解できると，さらに楽しめるという特徴のあるスポーツです．そういった観点で，私が参加している研究プロジェクトでは，試合のデータを貯めて，それを分析する，あるいはその分析をサポートすることからスタートしました．分析して可視化するということに注目をしてやってきましたが，カーリングの指導者や選手には，「当たり前だよ」などと言われて，なかなか理解されないときもありました．我慢して進めるうちに，少しずつ理解してくださる方々が増えてきたと感じています．

あと，意外だったことは，テレビの実況中継で使いたいとお声がけいただき，もう4年ぐらいは，ショット成功率などのデータをスタッツとして使ってもらっていることです．当初は，まったく意図していなかったが，潜在的なニーズというのは結構あるんだなと実感しました．だから，柴田様が仰ったように，データの見せ方や，どういうふうに理解してもらうかというのが，重要になると思っているところです．

髙橋：我々も，選手になかなか使ってもらえないというところでかなり苦労していました．それはなぜかと言うと，研究者視点からすると，競泳のためのシステムを作っているので，体の動きをすごく細かくデータとして取れればよいと考え，当初は身体のいろいろなところにセンサを多数付けることを計画していました．それに対して，選手からのヒアリングによって「センサが邪魔で練習に集中ができない」ということが明らかになりました．そのため，センサ1つで実現することを選手の方々に提案したところ，肯定的な意見が得られ，1つのセンサを使って競泳の練習をサポートするという研究が動き始めました．やはり，我々としては，使ってもらわないと開発する意味がないと思っていたので，選手からのヒアリングが非常に重要になりました．

ターゲット選定の重要さ，フィードバックの難しさ

吉野：センサで計測し，分析した結果を，どのようにフィードバックをすれば，選手に役立てられるのかという点に興味があります．トップアスリートのみならず，中級者や初級者などさまざまな選手がいると思います．ご意見があれば，お伺いしたいなと思います．いかがでしょうか．

桝井（昇）：トップアスリートの感覚というのは物凄く繊細で，我々が頑張って出したものより，さらに上のレベルで感じていたりすることがあります．そこに追いつくのというのはものすごく大変だという気がしています．

意外と市民愛好家や学生レベルの競技者のほうが使ってみたいと興味を持ってもらえることが多いかなと思いますが，皆さんいかがでしょうか．その辺が，すごく辛いところでもある一方で，やりがいを感じるところでもあると思っています．

木村：桝井様が仰られたように，レベル感は重要なポイントであると思っています．たとえば，今回ご紹介しているVRシステムは，競技力を上げたいような中級レベルの人をターゲットとしています．上手くプレーができないとき，その背景にはさまざまな要因があると思われます．たとえば，私たちがターゲットにしたテニスのサーブレシーブにおいては，サーブの球種判断ができなければ当然打ち返せません．あと，体が動かなければやはりできません．それらの要因が明らかになってくると，トレーニングとして何をして良いかが明確になると思い，取り組んでいます．

具体的には，VRは人工的に視覚環境を操作できるため，そうした操作を上手く使って，球種判断ができているのか，体が動けているのか，を切り分けて評価しています．選手は，自分は何ができていないかを気づけるため，今までにない価値が与えられて，モチベーションの向上に繋がると思っています．

ただ，それは中級者のレベルであり，トップアスリートの課題は，練習ではできていることが本番では実力を発揮できない，より精密なコントロールができないなど，少し次元が違う話だと思われます．なので，レベル感，ターゲット感は，非常に重要だと感じています．

吉野：フィードバックは，次の課題かと思いますが，その辺りのトライアルや見通しがございましたらお願いします．

髙橋：我々が，競泳選手にヒアリングしたとき，大きく3つのフィードバックが欲しいという要望がありました．1つは，練習している最中に，ストロークの良し悪しをリアルタイムにフィードバックしてほしいというものでした．先行研究では，ゴーグルにLEDを付けて，良かったら緑に，悪かったら赤に光らせるなどがあります．

2つ目は，練習を終えて，25mや50mを泳いだ後に，自分の泳ぎを確認したいというものです．これはコーチや選手がタブレットを持って，そこに練習の評価を表示させることによるフィードバックを考えています．今回の特集論文に書かせていただいきましたがプロトタイプシステムとして実現できています．

最後は，たとえば，1週間前や1カ月前にどういう泳ぎをしたのかというのを調べたいという要望がありました．これは，各練習ごとのデータやフィードバックのデータをデータベースに蓄積していけば実現可能かと考えています．

フィードバックについては，より良い方法の検討やユーザインタフェース設計を，実施していく必要があると思っています．

ターゲットに関しては，議論があったとおり，トップアスリートは，感覚的なところが非常に重要であることは，我々のヒアリングからも分かっています．トップアスリートを支援することは非常に重要なことですが，今後も日本の競泳が世界トップレベルを維持していくためには，中級者や初級者の裾野を広げるという点も，非常に重要かと思っています．我々は中級者や初級者の選手層の競技力向上を目指して，そこをターゲットとしてシステムを開発しています．

相原：私も裾野を広げる意味で，スポーツテックは非常に重要であると思っています．私はトップアスリートを対象にシステム開発をしているため，対象となるコーチや選手は，比較的限られています．しかし，裾野を広げていくと，コーチや選手は数多くおられ，十人十色な指導方法やデータの解釈があるため，フィードバックが非常に難しいと感じています．実際に，中級者や初級者を対象にシステム作られる上で，意識されていることはありますか．

髙橋：幸い，競泳に関しては，大学に水泳部，地域にスポーツクラブや水泳教室がありますので，さまざまな人からの意見を聞くことができています．何かをやろうとする前に必ずヒアリングをするようにしています．それが，システム開発に一番効果的な気がします．

柴田：一般層でも，複数のタイプがあると思います．論文にも書かせていただきましたが，たとえば，データを重要視していて，今の練習を変えたいと思っているイノベータと呼ばれるような方もいれば，旧態依然とした練習で今の練習を全然変える必要はない，今の練習で十分だと思っているマジョリティと呼ばれるような方もいます．その場合，イノベーションを起こすために必要なこととして，イノベータから順番に段階を経て支持を広げていくことが重要であるという理論が研究等で報告されております．その理論に則って，我々も今，戦略を練っています．イノベータは我々の商品「MA-Q」を購入してくれていますが，それ以降のアーリーアドプタと呼ばれるような方々，マジョリティと呼ばれる方々が，まだ様子を見ているような状況であると考えています．そういった層にも刺さるような，そういった層の方も分かりやすいと感じる見せ方やフィードバックが，やはり重要かと考えています．

桝井（文）：私のプロジェクトで実用性が確認できているものの1つとして，デジタルスコアブックと呼んでいる，カーリングの試合展開を記録できるタブレットのアプリケーションがあります．これは，トップチームから市民のチームまで使ってもらっていますが，使い方が違うというのはすごく感じています．トップチームは，単にデータとして確認するとう使い方が中心で，市民チームや一般の選手では，自己の振り返りや他者との比較によるモチベーションの維持，向上としての使い方が中心です．

中級者以下に対してどうアプローチするかという意味では，アプリケーションの使い方の講習会を開催して，日常的に使ってもらえるようにしてもらう取り組みをしています．

木村：桝井先生のお話にすごく共感します．論文とは別に，慣性センサを使って，スキーのターンを特徴化する研究をやっているのですが，中級者をターゲットにするときは，上手い人と下手な人の比較といった見せ方を想定しています．

一方で，上級者は，そういう次元にいないため，自分の感覚とどうマッチしているかをターゲットとして，状態がなるべく直感的に分かるようなフィードバックを想定しています．具体的には，音を用いて，運動の状態だけを伝えて，後は選手に判断してもらうといったことです．自分

の感覚と合っているのか，合っていないのかの判断を選手自身に行ってもらいます．使っている機械は一緒で，同じものを解析していますが，出し方を変えることを試みています．

相原：体操採点支援システムで作られた技術というのは，トップアスリートのトレーニング，さらには中級者や初級者への展開も非常に可能性があると思われますが，展望はございますか．

桝井（昇）：もちろん，あります．実際に，十代前半の若い選手やこれから体操を本格的にやるという方とも，競技会を開催して，採点をさせていただくことをやっています．基本的には，トップアスリートと同じレベルで評価，採点をしますが，それが中級者以下の選手にどういう影響を及ぼすかというようなことを目のあたりにしています．たとえば，国際体操審判の資格を持つ方は，「体の角度が1度刻みで出てくるため，簡単な技であっても，日頃からそういったところを意識して丁寧に技をやらないと駄目だ」と仰っていました．システムを使うことで，現状のトレーニングの形が変わる可能性も感じています．

木村：少し違う観点で，気にしているポイントがあります．個性，個人の特性です．上手い下手はそもそも個性であり，イチロー選手みたいなアベレージバッターに向いているタイプのバッターもいれば，松井選手みたいなホームランバッターに向いているタイプのバッターもいるわけです．コーチが自分の経験をもとに指導をした場合，タイプと合わないと不幸な状況が生じる可能性があるため，そうした個性の評価のベースがあるとよいと思います．フィジカル的な体力テストはありますが，スキルレベルの特性が評価できると，より柔軟に選手の特徴を見極められると思います．それこそ国立スポーツ科学センターを中心し，このあたりが体系化されてくると，新しいコーチングに繋がるのではないかなと思っています． 我々も重要であると考え，取り組んでいます．

相原：我々の組織ですと，フィットネスチェックやメディカルチェックに関しては，ジュニアアスリートからトップアスリートまで実施しており，データが蓄積され体系化されつつあります．しかし，スキルレベルの評価を統一的，体系的に行うことは現状できていませんので，今後の課題として，多くの先生方と連携して進めていけたらよいと思っています．

スポーツ分野におけるIT利活用の実態

相原：新型コロナウイルス感染症は，世界的な問題となっています．スポーツ分野においても，トレーニングの中止や制限が生じてきているとは思われます．スポーツテックに関しても，ニーズや重要性の変化があるかもしれません．

たとえば，今回の座談会もオンライン会議システムを用いて開催しているように，一般社会でもオンラインでのコミュニケーションが増加していると思います．スポーツの世界でも選手とコーチが直接会えない，チーム練習ができないといった状況生じ得ると思うのですが，スポーツテックが関与できる可能性はございますか．

柴田：確かに，野球界でもオンライン化が徐々に進んでいるというのを，ヒアリングや市場調査をして感じております．Zoomを使ったチームミーティングを行っている野球部だったり，オンライン指導をトライアル的に行っている学校もあります．「MA-Q」を使ったオンライン指導も，今後は検討していきたいと考えています．

一方で，野球界で本当にデジタル化が進んでいるかというと，やはりまだまだです．ノートに記載する練習日誌を回覧しているといった，紙文化はいまだに残っています．逆に，こういった文化を大切にしているというようなコメントもあるため，少しずつ段階を経てデジタル化にシフトしていくことを考えています．たとえば，「MA-Q」で測った数字を練習日誌に写すなど，数字に対する理解を深めるための働きかけが必要であると考えています．

髙橋：全然違うミーティングで，小学生が新型コロナウイルスの影響で登校できないため，家からどうやって先生とコミュニケーションを取るのがよいかを議論しました．最近，小学校ですとタブレット端末を一人一台持っていたりします．

それに関連しますが，ディジタル世代の選手と，アナログ世代のコーチとのコミュニケーションの違いは，何か問題になってきそうな気がします．

相原：トップアスリートに関して，ITリテラシーは上がってきていると思います．特に，若い選手ほど，データに対する興味関心が高く，それを自身の練習や取り組みに取り入れる傾向があると感じています．

ただ，トップアスリートは，育った環境もバラバラで，年齢層も幅広くなるため，経験や勘でやってきた選手と，ITに触れてきた選手では感覚が違う可能性はあります．そこも個性だと思って，個人であれば活かしていく，チームであれば上手く融合させていくことが重要かと思います．

桝井（文）：指導者は，かつての名選手やトップアスリートであった方が多いですが，自分自身の経験をベースに自分の言葉で話されることが割と多いです．一方，若い選手は，いろいろなアプリを使用したり，データを見たりしているため，「ここの部分をこのぐらいの角度にすることだね」，「蹴りをこれぐらい強くすることだね」というような理解の仕方をする人が，少しずつ増えている気がしています．そういう人たちが今度，指導側にまわったとき，新しい指導に繋がっていく可能性はあると思いました．

柴田：我々の経験として，データに対する関心があり，ITリテラシーの高い選手は，数字のみをフィードバックしてもある程度理解して，自分なりに咀嚼して，行動変容できる方が多いです．ただ，数字にそこまで強くない方にフィードバックする場合には，「あなたの回転軸の角度は30度ですよ」と言うよりも，ボールが回っているCGを見せたほうがご理解いただけます．

ですので，センシングしている結果が同じだとしても，その見せ方を変えることで，当事者の受けとり方も変わるため，普及のために見せ方を変えることも1つの手かと思っています．

桝井（昇）：我々は，体操の審判の方にデータをお見せしますが，パソコンをまったく使ったことがないという方もいらっしゃるので，UIにはかなり気を遣って，簡単な操作を心がけています．選手は確かにITリテラシーが高まっていますが，審判やコーチの方は必ずしもそうではないことがありますので，コーチと選手のコミュニケーションをサポートするツールというのは重要かなと思います．

相原：少し話題が変わりますが，新型コロナの影響で，サラリーマンの在宅ワークが進んでいます．スポーツもVRを用いて，在宅でトレーニングができる世界が実現されないかなと期待しています．そういうものが実現できる可能性を教えていただけますか．

木村：まさに，そういうことを目指したいと元々思っていました．新型コロナの観点でお話しすると，フィジカルは外でのトレーニングができずに，落ちる部分がありますが，頭のトレーニングはどこでもできます．そういう意味で，野球のVRシステムは，バッターに，ピッチャーの投球モーションあるいは軌道を見せるシステムであり，イメージトレーニングに使っている事例もあります．また，ソフトボールは，昨年からストライクゾーンが変更になりましたが，審判の方が確認するためにVRシステムを使用しています．

やはり，新型コロナがきっかけになって，VRの開発・活用が進むのではないかと思っています．脳の機能に興味がある我々の立場からすると，脳を刺激するトレーニングの1つとして，VRは良いツールになり得ると思っています．

スポーツ分野における異分野連携

髙橋：本日参加されている先生方は，ご自身の専門とは違って，スポーツテックをやられている方が多い印象を受けました．スポーツ分野の専門家やコーチ，選手と一緒に，議論して研究を進め，形にしていくのということは，とても面白いと思っています．こういう異分野交流から生まれる研究・開発を，先生方はどう思われていますか．また，異分野からのスポーツ分野への参入というのは敷居が高いものなのでしょうか．

相原：私も元々の専門はスポーツ工学ではありませんでした．前職の日立製作所では，ヘルスケア向けウェアラブルデバイスの研究開発をしており，その応用先としてスポーツ分野があり，次第にスポーツ工学の研究が主となってきました．

私の周囲のスポーツ分野で活躍されている先生や技術者も，異分野から参画された，または，参画されている方は非常に多いです．スポーツ分野を専門にした者からすると，さまざまなバックグラウンドや専門を持たれる先生に参画いただけることは大変ありがたい，と実感しています．スポーツ科学の専門家は，スポーツ分野において必要ですが，システムを開発し，評価，フィードバックするためには，工学，情報科学等の先生や技術者の協力が必要です．スポーツテックがより発展していくためには，スポーツ科学と異分野が連携していくことが，重要だと思っています．

桝井（文）：大学でスポーツ科学研究推進センターのセンター長という立場もありますが，その立場からすると，スポーツを研究対象にすることは，非常に学際的だと思います．1つのテーマをやろうとしても，学問の一分野だけでは解決できそうにないものばかりであり，さまざまな分野の人が参入すれば，いろいろがことができます．私の立場からすると，もっとかかわってもらわなければ，やりたいことができないという感覚はあります．

柴田：私もオープン化がこの業界は必要だと思っています．特に，我々の商品を例にあげると，センサ内蔵野球ボールの開発を考えたときに，ミズノは100年以上，野球ボールを作っているので，野球ボールのノウハウはありました．ただ，センサのノウハウが当時なかったので，この商品を開発するにあたり，センサメーカやアプリメーカなどの知見を融合させて，初めて商品化ができたと思っています．

今後は「MA-Q」という商品を，他のシステムへつなげることが可能な仕組みの構築なども考えています．オープン化，オープンイノベーションが今後，イノベーションを普及させるために必要だと考えています．

木村：私もコラボレーションはすごく重要だと思っています．私たちのチームは，基本的に基礎研究から入ってきた研究者ばかりで，エンジニアはほとんどいないため，物が作れません．エンジニアリングなしでは成り立たなく，コラボレーションをしながらやっています．

吉野：スポーツテックにおける技術的要素としては，センサ技術，センサから上がってきた情報の解析技術，フィードバックのためのビジュアライゼーション技術などが挙げられると思います．まだ足りていない技術や物がありましたら，お話いただければ，読者に技術を持っている人や組織がいるかもしれません．そういうものがあったらお聞かせ願えればと思います．

髙橋：競泳のサポートシステムの話でいうと，水中で無線通信ができるセンサというのは，さまざまなメーカで開発を進めてもらっていますが，50mほどの長距離は難しいと聞いています．この辺りが解決できれば，発展性があると思っています．僕は，信号処理は得意ですが，デバイス開発はかなり敷居が高い部分です．もし読者の方で，興味がある方がいればコラボレーションさせていただけると非常に嬉しいです．

桝井（文）：カーリングはマイナースポーツなので，裾野を広げていくということに貢献するということが重要で，そのためにエンタテインメントも意識すべきと思っています．カーリングのストーンをリアルタイムで計測することをやっていますが，プロジェクションマッピングを使った可視化や，遠隔地でも再現することをできないかと検討しています．しかし，3Dの可視化技術やレーザー技術に関して，我々は知識がないので，なかなか敷居が高いなと思っているわけです．一見，関係なさそうに見える，そういった分野の方々も何か協力していただけると一気に進みそうな気がしています．

柴田：センサの商品を出すと，初めは使っていただけますが，だんだん飽きてしまうユーザもいらっしゃいます．飽きさせないという視点でゲーミフィケーション理論があると思いますが，今後はそういった異分野とコラボレーションし，継続性を高めていきたいと思っています．

吉野：情報技術を実際に応用する際，新たな知見や工夫があるため，何らかの形で残していける仕掛けがあったらよいと思い，デジタルプラクティス誌の発刊を始めました．今回，お話を聞いてみると，スポーツテックは1つのその象徴であると感じました．スポーツ科学をはじめとするさまざまな科学があり，それに情報技術が追いつき，それらが融合されることで，面白いこと，役に立つことができていることを学びました．非常に良い特集になったと思います．

相原：大変有意義な時間となりました．貴重なお話の数々，ありがとうございました．

2020年7月9日　オンラインにて

グロッサリ

Glossary―グロッサリ―

MEMS

MEMS（Micro Electro Mechanical System）とは，機械・電子・光・化学などの多様な機能を集積化した微小電気機械システムのこと．MEMSミラーは，MEMS技術を応用した小型ミラーで，静電式，圧電式，電磁式の駆動方式があり，従来のモータ駆動型ミラーと比較して小型，高信頼，高速駆動可能という特徴がある（桝井昇一）

LiDAR

LiDAR（Light Detection and Ranging）は，レーザを用いた測距センサの一つで，パルス照射されたレーザ光が対象物で反射されて戻ってくるまでの時間を計測することにより，対象物との距離やその外形などの性質を分析することができる．体操採点支援に加え，自動運転用3次元レーザレーダとしても用いられる（桝井昇一）

ホールプロダクト

ホールプロダクト（whole product）は，顧客の期待に沿って，本来の製品を補助する製品やサービスを揃えていくこと（柴田翔平）

会誌「デジタルプラクティスコーナー」　Vol.1 No.1(Oct. 2020)

JISA論文

声の権利化と流通を実現する音声合成サービス ―一般人から有名人まで多種多様な声が使える新しいプラットフォーム―

金子 祐紀[1]　平林 剛[1]

[1]コエステ（株）

AIやIoTの普及に伴い，音声インタフェースの需要も爆発的に拡大することが予想されている．そこでは，一般人から有名人までさまざまな人の声の合成音声が利用できることが求められると考えられ，我々は東芝の40年以上におよぶ研究開発から生まれた最新の音声合成技術を活用し，一般人から有名人まで多種多様な声を収集・蓄積し，さまざまなサービスで利用可能な音声合成プラットフォームを実現し，提供を開始した．本稿では，プラットフォームの概要とそれを支えるコア技術について述べ，さらに，具体的な導入事例や今後の取り組みについて述べる．

1. 声の権利化・流通プラットフォーム「コエステーション」の概要

1.1　背景

東芝では40年以上前から，テキストを音声に変換し人工的にさまざまなことを発話させることができる音声合成技術の研究が続けられている．そして，いくつかの文章を読み上げると，その音声からその人の声の特徴を学習し，その人の声の特徴を集めたエッセンスデータである音声合成用声辞書（コエ）を生成，そのコエを音声合成エンジンに適用することで，その人の声に似た合成音声で発話させる技術が生まれた．

これから，AIやIoTの普及に伴い，音声インタフェースの需要が爆発的に拡大するだろうと予想されている．そこでは，「スマートスピーカーの声を好きな芸能人の声にしたい」などの有名人のコエのニーズや，「孫の声で毎朝のニュースが聞きたい」「SNSのメッセージを送信者本人の声で読み上げてほしい」などの身近な一般人のコエのニーズが考えられる．

そこで，上述の技術を活用し，あらかじめ世界中の人々のコエを収集・蓄積し，さまざまなサービスで利用可能な音声合成プラットフォームを実現しようと考えた．

1.2　コエステーションの概要

コエステーションは，一般人から有名人まで多種多様なコエを集め，それをさまざまなサービスで活用するための音声合成プラットフォームである．

一般ユーザ向けには，専用のスマートフォンアプリを提供し，ユーザ自身で自分のコエを登録することができるようにしている．アプリをインストールすると，さまざまな文章が表示されるので，それを順番に読み上げていくと，コエステーションのクラウドサーバに読み上げ音声がアップロードされ，ユーザの声の特徴の学習が進み，コエが生成されデータベースに登録される．コエが登録されたら，読み上げ機能で，テキストを入力し音声合成ボタンを押下すると，コエステーションのクラウドサーバで当該ユーザのコエを適用して音声合成処理が行われ，生成された合成音声が再生される．SNS（ソーシャルネットワーキングサービス）で，生成された合成音声を投稿することも可能である．コエの生成に必要なユーザの声の特徴学習のための読み上げ作業は，文章数を多く安定的に読めば読むほど当人の声に似る（似る度合いなどには個人差があるが）．

タレントや声優などの有名人のコエは，ビジネスユースが前提となるため，さらに高品質にする必要があり，通常，防音スタジオで声の特徴学習のための音声収録を行う．約300～400文ほどの文章を読み上げていただき，時間としては1～3時間ほど要するのが一般的である．

このようにして一般人から有名人まで多種多様なコエを収集・蓄積する．そして我々はさまざまなサービス企業に，音声合成ツールとコエの利用権をセットで提供し，ツール利用料とコエ利用料をいただくという事業を展開している．有名人のコエが利用された場合，その声主（コエの権利者）にもコエの利用に見合ったギャランティが支払われるエコシステムを実現している．

図1　コエステーションプラットフォームの概要

東芝デジタルソリューションズ（株）がサービス主体となって，一般ユーザ向けのスマートフォンアプリを2018年4月に，法人向け有償サービスを2018年11月に提供開始した．2020年2月に，エイベックス（株）と東芝デジタルソリューションズ（株）の合弁会社としてコエステ（株）を設立し，現在はコエステ（株）でコエステーション事業は運営されている．

1.3　コエステーションで利用可能な法人向け音声合成ツール

コエステーションでは，サービス企業に対し，さまざまなビジネス・サービス形態に適した音声合成ツールを提供している．

1つめは，エディターという，人手で音声合成コンテンツを制作・編集するためのツールである．喜び・怒り・哀しみなどの感情表現や，ピッチ，話速など，簡単な画面操作で細かい作り込みができる．完成した音声は，mp3やwavなどの形式の音声ファイルとしてダウンロードして利用することが可能である．

2つめは，Web APIという，リアルタイムに音声合成処理が必要な場合に利用するツールである．音声チャットボットや毎日情報が変わる天気予報の読み上げなど，あらかじめ音声を作り置き出来ず，都度，音声合成が必要な場合に利用するREST APIで，コエと読み上げさせたいテキストを指定してリクエストすると，コエステーションのクラウドサーバで音声合成処理が行われ，生成された音声データがリアルタイムに取得できる．

もちろん，エディターやWeb APIで生成した合成音声だけでなく，収録音声（生声）と組み合わせてハイブリッドに利用することも可能である．たとえば，大事なキメ台詞だけは収録音声を使うことで臨場感をより向上させるといった使い方が為されている．

通常は，このエディターとWeb APIのツールを利用いただくが，ネットワークに繋がらない環境の場合や，音声合成回数が膨大過ぎてWeb APIではサーバコストが掛かり過ぎてしまうような場合には，組込用ミドルウェアの提供も行っている．

1.4　コエの種類

コエステーションで利用できるコエには，有名人などの公式コエと，一般ユーザが専用のスマートフォンアプリで自ら登録した一般コエがあり，コエステーションの音声合成ツールは，コエとセットで利用する．

公式コエの場合，通常，声主は芸能事務所などである．ビジネスユーザから公式コエを利用したいという依頼を受けた場合，我々は声主にその依頼内容を伝え，用途や料金，条件などの調整を行い，折り合いがついたら，その利用に関する契約をビジネスユーザ・声主双方と結び，その契約の範囲でビジネスユーザに利用していただく．コエの利用料に関しては，あらかじめ取り決めたルールに則って，声主にもその一部を支払う．コエの利用料は，用途やビジネスユーザの希望に応じて，月額制や一括支払い，レベニューシェアなど，さまざまな形態がとれるようにしている．

ビジネスユーザが一般コエを利用する場合には，アカウント連携サービス，一般コエ募集サービス，一般コエリクエストサービスのいずれかを利用していただく．

アカウント連携サービスの場合，ビジネスユーザ側のサービスで，コエステーションのIDとパスワードを入力する画面を表示できるように実装していただく．一般ユーザ本人が，ビジネスユーザ側のサービスで，コエステーションと連携するための操作を行い，コエステーションのIDとパスワードを入力し，コエステーション側で認証されると，ビジネスユーザ側のサービスに，当該一般ユーザのコエを利用するためのアクセストークンが発行され，そのコエがそちらのサービスで利用できるようになる．これによって，たとえばSNSのメッセージを送信者本人のコエで読み上げる，プレーヤー本人のコエで喋るキャラクターがゲームで使えるなどといったことが実現可能になる．

また，コエシェア機能によって利用を許可されている家族や友人などのコエもアカウント連携先で利用することができるので，たとえば，恋人のコエで毎朝起こしてくれる目覚ましサービスや，孫のコエで毎日の定時安否確認の連絡をしてくれる高齢者向けサービスなどを実現することが可能になる．

一般コエ募集サービスの場合，コエステーションのスマートフォンアプリで一般ユーザに対してコエ利用を募集することが可能で，応募（許可）された一般ユーザのコエを提示した利用範囲の中で利用することができる．たとえば，朝のニュース番組で毎日違う視聴者のコエを選んで天気情報コーナーのアナウンス音声として使う，アニメーションの新キャラクターのコエを一般から募集するなど，いろいろな活用が考えられる．

不特定多数の一般ユーザに広く募集する一般コエ募集サービスに対して，一般コエリクエストサービスの場合，特定の一般ユーザにコエ利用のリクエストをすることができる．たとえば店長のコエで店内放送を流したいといった場合に，店長があらかじめコエステーションの一般ユーザ向けスマートフォンアプリで自身のコエを登録しておき，一般コエリクエストの承認手続きを踏むことで，エディターやWeb APIといった法人向け音声合成ツールでそのコエを利用することが可能になる．

1.5　声の権利

合成音声が生成されるまでにはさまざまな要素が必要である．まず，声優などの声主がコエステーションで提供する専用の文章を読み上げて生声が生成される．その生声をコエ生成エンジンに入力することによりコエが生成される．コエを音声合成エンジンに適用して，読みテキストを入力すると，当該テキストを当該コエで読み上げた合成音声が生成される．読みテキストは，作家が制作した台詞を，ユーザがどう読ませるか（たとえば怒り78%でピッチを少し高くするなど）を調整することで生成される，台詞だけでなくそれをどう読ませるかといったタグ情報も含んだデータである．

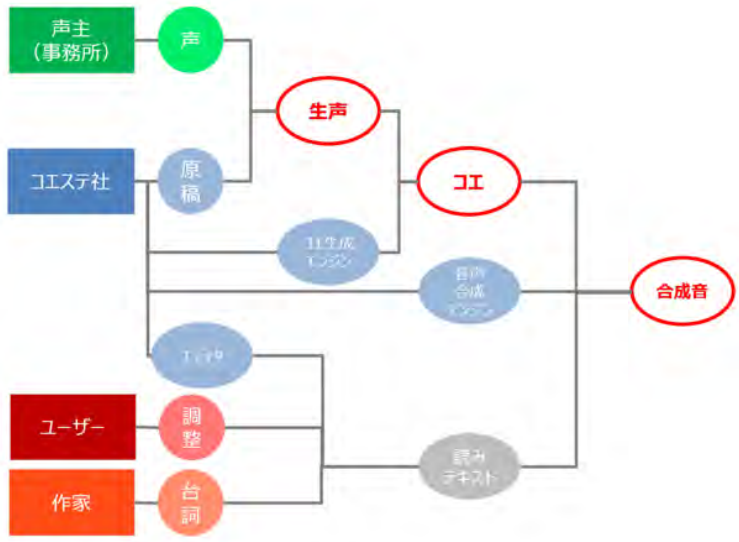


図2　合成音声の生成に必要な要素

我々が弁護士の見解を伺ったところ，まず生声については，用意された短い文章を淡々と読み上げた録音音声データに過ぎず，著作物とは言えないと考えられ，また，その読み上げの際に芸術的な性質を有する演技が行われているわけでもないため，著作隣接権の対象たる実演にも該当しないと考えられるとのことである．

その生声からコエ生成エンジンによりコエが生成されるが，コエは単なるその人の声の特徴を抽出したエッセンスデータであるため，著作物とは言えない．

合成音声は，作家の創作物であるテキストの複製物という扱いになり，作家の著作権が合成音声にも及ぶと考えられる．通常の収録音声の場合，声優などの読み上げた者（実演家）が芸術的な演技を伴って創作されたと見なされた場合には，実演家にも著作隣接権が認められることがあるが，合成音声の場合，声優は合成音声の生成において何も芸術的な演技を行わないため，著作隣接権も認められないと考えられる．尚，ユーザの読み調整により合成音声に創作的な表現が顕れるような場合には，合成音声は作家の創作物のユーザによる翻案物という扱いになり，権利関係は，作家が原著作物であるテキストの著作権を，ユーザが翻案物たる合成音声の著作権を有し，作家は合成音声について原著作者として権利を行使できる，ということになる．

以上により，合成音声およびその生成過程における各種要素について，声主には法的に著作権などは認められない，というのが我々が相談した弁護士から得た見解である．

このため，我々は声主と契約を結ぶことにより，コエが無断で利用されないことや，コエの利用の対価が得られることなどを保証しようと試みており，これがコエステーションを，声の権利化・流通プラットフォームと呼称している所以である．

2. プラットフォームの実現を支えるコア技術

2.1 多様な声や感情を表現できる音声合成技術

コエステーションでは，隠れマルコフモデル（HMM）という統計モデルに基づく音声合成方式（以下，HMM方式と呼ぶ）を採用している．HMM方式では，音声信号を分析して得られるスペクトルや基本周波数などの音響・韻律パラメータの時系列を統計的にモデル化し，これらを音声合成に用いる．そのため，声質や韻律を，音声波形ではなく，音響・韻律パラメータのレベルで柔軟に操作することが可能で，話者適応などによって多様性を向上させることができる．また，言語への依存性が比較的低く，多言語化も効率的に進めることが可能である[1].

また，合成音声に感情をつけるために，加算構造に基づく感情付与方法を導入している．この技術は，ある目標の話者の平静の音声モデルに対して，事前に複数話者から学習した感情音声と平静音声の差分を表現する感情付与モデルを適用することで，目標話者の感情音声を収録することなく，目標話者の平静音声のみから感情表現可能な音声合成を実現できる．実際に，喜び，怒り，哀しみの3種類の感情を入力文章の任意の部分に任意の強さで付与することが可能である[2].

さらに，「もう少し明るく」や「より女性らしく」といった話者性を表す言葉（知覚表現語）によって，ユーザが直感的に合成音声の声色や口調をデザインできる機能を有している．この機能は，声の特徴を表現する音響・韻律パラメータが，「年齢」「明るさ」などの程度に応じてどのように変化するかを学習したモデル（知覚語空間モデル）を用いて実現している．知覚語空間モデルは，数十名分の学習用話者の音声データと，その音声にどの知覚表現語がどの程度含まれているかを表す得点データとを用いて，各知覚表現語の程度と音響・韻律パラメータとの関係を統計的に学習することであ

らかじめ作成しておく．音声合成時には，ある話者の声のベースとなるモデルからの出力に対して，それぞれの知覚表現語に対応したモデルからの出力を指定の重みを付けて加算することによって音響・韻律パラメータを算出し，所望の声色や口調の音声波形を生成している（**図3**）．法人向けサービスでは，性別，年齢，明瞭さなどの声の特徴を示す11項目のパラメータを調整することで，低コストで簡単にイメージとおりの話者性を持つコエを作り出すことができる[3]．

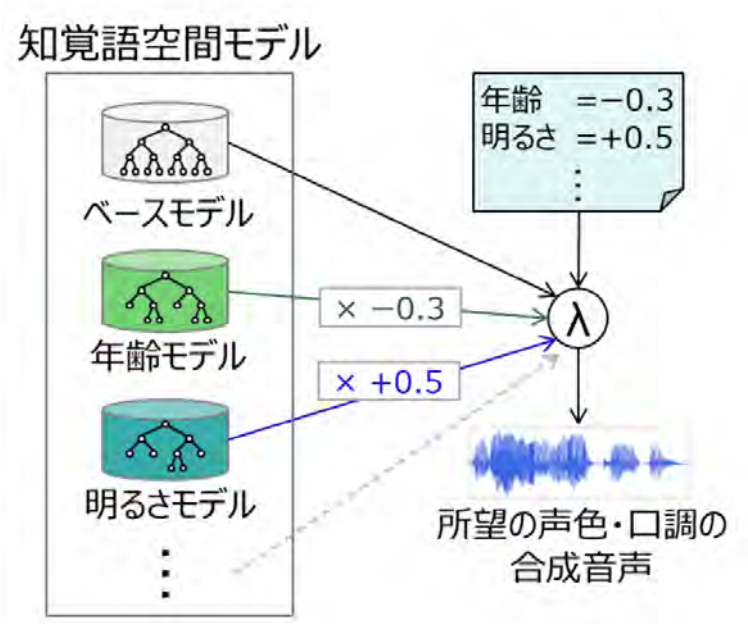


図3　知覚語空間モデルによるコエのデザイン

また，コエの生成に話者適応技術を導入することで，従来の方式よりも少ない録音音声データからでも安定して元話者の特徴を再現することが可能となっている．

具体的には，複数話者の大量の録音音声データから話者に共通な特徴をモデル化したベースモデルをあらかじめ作成しておき，このモデルを目標の話者の特徴に合わせ込むことで，その話者のモデルを生成する．その結果，目標の話者の録音音声データ量が少ない場合でも，言語的な共通の特徴を維持したまま，声質や話し方を録音音声の話者に似たコエを生成することができる．

一般ユーザ向けには，スマートフォンアプリで録音された短い10文章程度の音声データからユーザ自身のコエを作成できるようになっており，録音音声データの解析や話者適応処理などが全自動で実行され，通常であれば 1 時間以内に新たなコエの生成が完了する．

2.2　クラウドネイティブなシステム設計

システム全体は，クラウドネイティブに設計しており，Amazon Web Services（AWS）上で稼働している．コエ生成や音声合成など高負荷な処理に対しては，リクエスト数などに応じたオートスケーリングを設定することでリソースの効率的な利用を図っている．さらに，マネージドサービスの活用によって運用・監視コストを抑えることで，一般ユーザ向けサービスの無償提供などを実現している．

2.3　なりすまし防止のための電子透かし技術

ユーザ自身のコエが容易に生成可能で，本人に似た合成音声が作成できるようになると，それを「なりすまし」などに悪用される危険性が高まる．そこで，音質への影響が軽微な電子透かしを合成音声に埋め込むとともに，合成音声からこの電子透かしを検出できる技術を開発して採用している．具体的には，人間の聴覚が位相の変化に鈍感であることを利用し，合成音声の位相を緩やかに変化させることで透かしを埋め込んでいる．また検出時は，位相の時系列から変調周波数を求めて判定を行うことができる．この方式は，ノイズや残響，圧縮符号化といった音声の劣化要因の影響を比較的受けにくく，精度の良い検出が可能であるため，有名人や一般ユーザのコエが悪用されることを防ぐのに効果的と考えている．

3. コエステーションTMの導入事例

3.1　2018 FIFAワールドカップ フジテレビ広報担当「AIカビラくん」

2018年に開催されたサッカーワールドカップで，フジテレビがジョン・カビラ氏をモデルにしたAIキャラクターを制作した．ユーザと対話をしながら，試合の予想をしたりするものであり，コエステーションはその対話の音声発話部分で活用された．

声主としての権利を有するジョン・カビラ氏側には，契約に基づいて対価が支払われた．

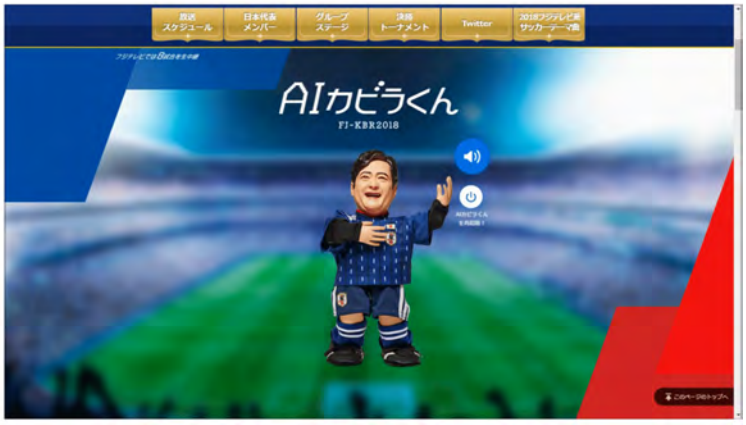


図4　導入事例：AIカビラくん

3.2　ウェザーニューズ バーチャルお天気キャスター「WEATHEROID Type A Airi」

天気情報の提供を行っているウェザーニューズが，バーチャルお天気キャスターのオリジナルキャラクターを制作した．Google Homeなどのスマートスピーカーのスキルとして，ユーザと対話をしながら天気情報の提供を行っており，コエステーションはその対話の音声発話部分で活用されている．

本キャラクターのコエの権利はウェザーニューズが保有した形で契約をしているため，声主とユーザが同一であることから，本件における声主対価分は発生しない形で運用されている．

図5　導入事例：バーチャルお天気キャスター「Airi」

3.3　モビルス AIアシスタント「バーチャルオペレーター」

コンタクトセンタソリューションなどを手掛けるモビルスが，AIによって接客や問合せ応答を自動で行うソリューションを開発し，対話の音声発話部分でコエステーションが採用された．

本事例では，クライアントがコエを選択できる形でのソリューション提供を行っている．タレント・著名人のコエも選択可能で，その際は随時声主との交渉のもと条件をマッチングさせていき，個別契約の範囲でクライアントにコエの利用を許可し，声主側への対価も個別契約に基づいて支払っていく．

図6　導入事例：AIアシスタント「バーチャルオペレーター」

3.4　ALS SAVE VOICEプロジェクト

難病ALS患者は病気が進行すると，自力で歩くことや手・指を動かすこと，発話することなどが出来なくなり，表情すら変えることが出来ずに寝たきりになってしまう．そのような患者向けに，視線入力装置の開発・提供を行っているオリィ研究所，ALS患者の支援団体WITH ALSと連携し，視線で文字を入力し，それをコエステーションの音声合成で発話させるシステムを開発した．2019年7月から提供を始めている．

これはアカウント連携サービスによる一般コエを利用した事例である．あくまでユーザ本人（または本件の場合は特別に介助者のケースもあるだろう）による連携操作に基づいて認証されたコエが当該利用範囲に限定して利用できるという仕組みにすることで，なりすましなどの悪用対策をしている．万一，このシステムを使って生成された合成音声が何らかの犯罪などに利用された場合には，当該音声から電子透かしを検出することで，コエステの技術で生成された合成音声かどうかを判別することが可能である．

図7　導入事例：ALS SAVE VOICE PROJECT

4. これからの取り組み

4.1 グローバル展開とクロスリンガル

現在，コエステーションは日本国内向けのサービスとして展開している．ただ，コエステーションの音声合成技術は11言語に対応しており，近年中にコエステーションはグローバル展開を目指している．

また，研究段階の技術として，クロスリンガルというものがある．現在，日本語の読み上げ音声から学習させて生成するコエでは日本語を発話させることしか出来ないが，クロスリンガル技術により，そのコエで英語や中国語，フランス語などさまざまな言語を発話させることができるようになる．これが実現すると，日本語しか話せない声優の原作の声のまま，アニメや映画を海外展開するなどの用途での活用が考えられる．

4.2 デジタルクローンの実現に向けて

生物学的にではなくディジタル技術を使って本人に似たキャラクターをバーチャルに作り上げようといった取り組みも進めている．このような取り組みはデジタルクローンなどと呼ばれている．

人の外見については，毛穴や肌のくすみまで再現する3D CG技術も生まれてきており，脳の思考についてはAIが日々急速に進歩してきている．そして声はコエステーションが利用できるので，さまざまな技術と組み合わせることで，今でもある程度本人に似たデジタルクローンを制作することは可能であり，今後，技術の進歩により，さらにその精度は向上していくと考えられる．

これにより，たとえば本人に代わってデジタルクローンがさまざまな仕事をこなしたり，本人が亡くなってもデジタルクローンが家族の相談に乗ったりといったことが可能になるかもしれない．

5. おわりに

音声認識・音声合成関連の世界市場は，2025年には約20兆円規模まで拡大するといった予測（出典：BCCリサーチ社音声認識・合成技術関連の世界市場規模）も出ているように，現在，音声インタフェースの業界は大きな注目を集めており，実際，多くの喋る機器や対話ベースの業務ソリューションなどが出てきている．しかし，そこで選べる声はせいぜい数種類程度であり，声は固定で切り替えられないものの方が未だに多い．

ただ，ユーザニーズを伺うと，「カーナビの声を自分の好きな芸能人の声にできるなら課金してでも使いたい」「オーディオブックやニュース読み上げアプリなどを好きな声で聴きたい」といった声は非常に多く，音声インタフェースで声が選べるというのは今後あたり前になってくるだろうと考えている．そして，有名人のコエだけでなく，SNSのメッセージを本人のコエで読み上げるなど，一般ユーザのコエのニーズも今後高まっていくだろうと予想している．

では，なぜ人々は，好きな芸能人の声で聴きたいとか，本人の声で読み上げてほしいと考えるのだろうか．それは，声が非常にエモーショナルなものであり，人のアイデンティティにおいて重要な要素だからである．実際，認知症患者が家族の声にだけ反応するといった事例も多い．

コエステーションは，人間の発話するという機能をディジタル保存し，それを手軽に利用できるようにした世界初のプラットフォームである．世界70億人のコエを，安心してさまざまなサービスで活用できる，100年後にも役立つディジタルインフラの実現が，コエステーションの目標である．

参考文献

1）森田眞弘 他：多様な声や感情を豊かに表現できる音声合成技術．東芝レビュー Vol.68, pp.10-13 (Sep. 2013).
2）大谷大和 他：HMMに基づく感情音声合成のための共有感情付与モデル．信学技報 SP2014-92, pp.13-18 (Nov. 2014).
3）東芝：話者の声の特徴を直感的な言葉で制御できる音声合成技術，東芝レビュー Vol.71, pp.80-83 (Apr. 2016).

金子 祐紀（非会員）kaneko-yuki@av.avex.co.jp
2005年に東芝に入社し，クラウドTVやメガネ型ウェアラブルなど, さまざまな新規事業の立ち上げに携わる社内起業家．2016年から音声合成技術を活用した声の新しいプラットフォーム「コエステーション」を立ち上げ, 2020年2月にエイベックスとの合弁会社であるコエステ（株）を設立. 2020年4月にコエステ（株）の執行役員に就任. 東京大学大学院協力研究員.

平林 剛（非会員）hirabayashi-go@av.avex.co.jp
1998年に東芝入社．研究開発センタにて音声合成技術の研究・開発に従事．2010年からは音声合成技術の事業化にも取り組み，企業向けクラウドサービスやコンシューマー向けWebサービスの企画・運営などを担当．2020年2月にエイベックスとの合弁会社であるコエステ（株）を設立. 2020年4月にコエステ（株）の技術統括責任者に就任..

採録決定：2020年7月14日
編集担当：細野 繁（東京工科大学）