2021年7月10日印刷　2021年7月15日発行（毎月1回15日発行）
ISSN 0447-8053

IPSJ MAGAZINE

情報処理

2021
8
Vol.62 No.8
通巻 677 号

特集 オンライン 最新のデジタル・フォレンジック事情

特別解説　接触確認アプリCOCOAからの教訓
解　　説　オンライン インフォメーションとインテリジェンス～情報という言葉をめぐるその後の探索～
寄　　稿　青山幹雄教授の早逝を悼む

巻頭コラム
アルゴリズムの頂を創る
高橋直大

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
Web公開（無料/有料）note

オンライン デジタルプラクティスコーナー：快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術
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!／先生，質問です! 特別編／ビブリオ・トーク
報　告：2020年度論文賞の受賞論文紹介
2020年度業績賞紹介
2020年度マイクロソフト情報学研究賞紹介
2020年度情報処理技術研究開発賞紹介

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

FORUM8 Rally Japan 2021

FIA世界ラリー選手権 FORUM8 Rally Japan2021を
タイトルパートナーとして応援しています

無料で利用できるオフィスソフト
LibreOffice
The Document Foundation

HDD完全消去
「スイートデータ消去」

3Dゲームエンジン
「スイート千鳥エンジン」
Suite CHIDORI Engine

フルクラウド対応
「スイート法人会計」
Suite

国産3DCGソフトウェア
Shade3D

オフィスソフト「LibreOffice」
フルクラウド対応「スイート法人会計」
3Dゲームエンジン「スイート千鳥エンジン」
国産3DCGソフトウェア「Shade3D」

スイート・ゲームプログラミングPC
49,800円～(税込)

PCのご購入は
こちら

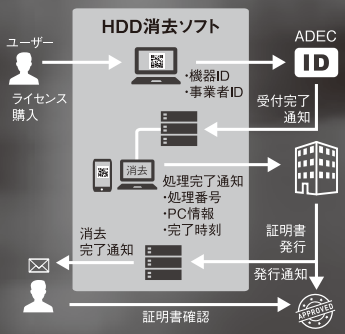
OFFICIAL SOFTWARE SUPPLIER OF RALLY JAPAN 2021

1回のみの使用にも便利!

ワンタイムライセンス　880円（税込）
サブスクリプション　198,000円（税込）

HDD完全消去「スイートデータ消去」

HDD・SSD等のデータを消去。PC再利用の際のデータ消去も安心。公認会計士・オンラインサポート対応! 大手会計ソフト連携、安価で高機能!



第三者認証機関
「データ適正消去実行証明協議会」

ADEC発行のデータ
適正消去実行証明書

セキュリティ対策も万全!
スイートデータ消去対応で、PC再利用の際のデータ消去も安心。
PC本体は、指紋認証機能も搭載しています。

すぐに使えるオフィスソフト搭載!
LibreOfficeが事前にインストールされていて購入後、
すぐに、ワープロ、表計算、プレゼンテーション等を利用可能です。

安心のテクニカルサポート!
フリーダイヤルによる電話サポート、E-mail、FAXによる問合せに対応しています。※初年度無償

F8VPS FORUM8 VIRTUAL PLATFORM SYSTEM バーチャルプラットフォームシステム

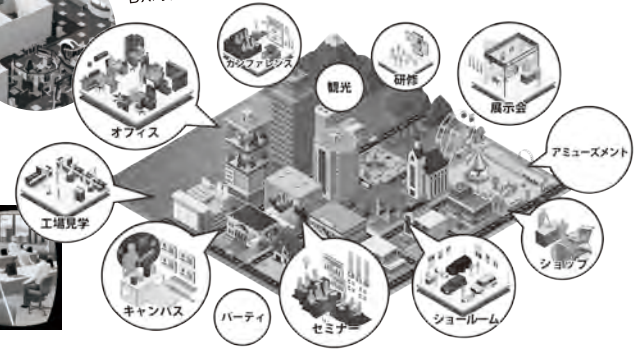
Webプラットフォーム
3Dリアルタイム VR

F8VPSは、あらゆる空間のバーチャルシステムを構築!

業界最先端の技術によって、御社のオープンプラットフォーム化を強力に推進。
最小限のコストで、クラウド上での開発・展開から、テレワーク、商品PR・広報まで、
DX時代に必須のバーチャルプラットフォームシステムを構築します。

Web会議機能

VRモード



表現技術検定（クラウド-AI）新設!

AI・クラウドの基本・活用事例を通し、実務に活かせる最新知識を習得

監修　小林佳弘（表技協理事／アリゾナ州立大学）
検討委員　大石裕一（SBクラウド株式会社 技術統括部ソリューション企画室）
林憲一（日本ディープラーニング協会 マーケティングディレクター）
荻野調（財産ネット株式会社 代表取締役）

フォーラムエイトの出版書籍

書籍のお求めは

表現技術検定
公式ガイドブック
情報処理 / データベース

著者　石河 和喜
出版 フォーラムエイトパブリッシング
価格 3,080円（税込）

DX時代のビジネスの必須知識を基礎からわかり学べる教習本シリーズ。
「情報処理編」では確率・統計に加えてプレゼン表現やAI技術までを扱う。表技協「表現技術検定」受験者向け公式テキスト。

※製品名、社名は一般に各社の商標または登録商標です。

株式会社 フォーラムエイト 東京本社
東京都港区港南 2-15-1 品川インターシティ A 棟 21F
Tel （代表）03-6894-1888　（営業窓口）0120-1888-58
Fax 03-6894-3888 | E-mail f8tokyo@forum8.co.jp
◆ショールーム：東京・大阪・名古屋 ◆セミナールーム：東京・大阪・名古屋・福岡・仙台・札幌・金沢・岩手・宮崎・沖縄／上海・青島・台北・ハノイ・ヤンゴン
FORUM 8 フォーラムエイト®
www.forum8.co.jp

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／266頁／定価2,420円（税込）ISBN 978-4-274-22595-6

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。

Pythonでさまざまな現象をシミュレーションしよう！

Pythonコンピュータシミュレーション入門
人文・自然・社会科学の数理モデル

橋本洋志・牧野浩二 共著
B5変判／320頁／定価3,740円（税込）ISBN 978-4-274-22698-4

コンピュータシミュレーションの基礎を、Pythonを用いたプログラミングを試しながら学習します。うわさの拡散や人口予測等の自然科学モデル、リボ払い計算や在庫管理等の経営・経済モデルから、情報科学的な確率モデル、ベイズ統計等の各手法に基づいたモデル、エージェントベースモデル、強化学習による意思決定モデルまでを解説します。

料理を支える自然言語処理と画像処理を学ぼう！

キッチン・インフォマティクス
料理を支える自然言語処理と画像処理

原島 純・橋本敦史 共著
A5判／264頁／定価2,970円（税込）ISBN 978-4-274-22656-4

レシピや料理画像を題材として、言葉や画像を扱う技術について解説します。自然言語処理や画像処理の技術を概説したのち、研究や開発に使用できるデータセットや、実際のサービスにおける活用事例、自然言語処理と画像処理を複合的に用いる、クロスモーダルな処理についても紹介します。

PythonとTensorFlowで深層強化学習を実践！

TensorFlowによる深層強化学習入門
OpenAI Gym+PyBullet によるシミュレーション

牧野浩二・西崎博光 共著
A5判／280頁／定価3,080円（税込）ISBN 978-4-274-22673-1

アルファ碁などのゲームAIやロボットアームの制御、自動運転などで注目されている深層強化学習の基本と実装について、PythonとTensorFlow（TF-Agents）、シミュレータとしてOpenAI GymとPyBulletを用いて解説。深層学習、強化学習のアルゴリズムをていねいに解説し、Raspberry Pi＋Arduinoを用いた実応用までを扱っています。

機械学習による異常検知の基本と応用がわかる！

Pythonによる異常検知

曽我部東馬 著／曽我部 完 監修
A5判／272頁／定価3,520円（税込）ISBN 978-4-274-22541-3

機械学習による異常検知のしくみを、誤差関数に着目して解説。誤差関数を中心に理解を深めることで「外れ値とはなにか」「閾値はどのように設定すればよいか」といった異常検知における基本が自然と理解できます。深層学習を用いた応用例まで踏み込み、最終的には自ら異常検知システムを構築できるよう導きます。

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。

とめ 株式会社とめ研究所

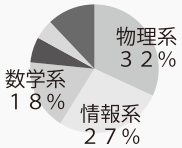
人工知能等の研究開発受託会社

◆「人と機械の共生でもっと生活を楽しく」の経営ビジョンの実現を目指し、人工知能等の研究開発を受託。

◆新アルゴリズム研究、論文調査、論文よりのソフトウェア実装、検証等の研究開発から、システムのプロトタイプ開発等の応用開発までお任せ下さい。

高度な技術集団

・エンジニアは５割が博士号取得者、８割が博士課程出身。
・情報関連だけではなく、数学、物理学の研究室出身者なども多く、多様な課題をお客様とともに解決します。
・お客様からは「最新のアルゴリズムを提案して、プロトタイプを実装し試行錯誤してもらえる会社」、「唯一、研究者のイメージをソフト化できる。チームメンバーも信頼しています」とご評価頂いています。



（エンジニア出身専攻 2021/4）

日本全国の研究開発を受託

・独立系研究開発会社としての強みを活かし、日本を代表する大手企業研究所等のパートナーとして、先端の研究開発、技術者派遣の実績多数。
・マルチラボ体制により、お客様に近いラボが担当。

ステージに合わせた開発遂行

・課題に応じ、開発方法、成果等を相談頂けます。
・開発段階では、開発ステップ毎に結果報告し目標を再設定する等、柔軟に進めることが可能です。

◆研究開発のご依頼はお問合せフォームより承ります。
URL : https://www.tome.jp/inq/inquiry_form.php

【ご案内】会誌「情報処理」のオンライン記事について

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，2020 年 11 月号より**オンラインのみへの掲載**に変わりました．また，オンライン限定記事の掲載も始まりました．閲覧方法は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

★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．

【個人会員】

電子図書館
（情報学広場）

【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（8 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 2021 年 8 月号（Vol.62, No.8）「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

〔前付最終〕

データサイエンス入門シリーズ

教養としてのデータサイエンス

新刊

北川源四郎 / 竹村彰通・編
内田誠一 / 川崎能典 / 孝忠大輔 / 佐久間 淳 / 椎名 洋 / 中川裕志 / 樋口知之 / 丸山 宏・著

A5・240 頁・定価：1,980 円（税込）　ISBN 978-4-06-523809-7

「数理・データサイエンス・AI（リテラシーレベル）モデルカリキュラム」のうち「導入」「基礎」「心得」に完全準拠した公式テキスト！カラーで見やすく練習問題も充実。大学生はもちろんビジネスパーソンも、いますぐ知っておくべき教養がここにある！

ブロックチェーン技術概論 理論と実践

新刊

山崎重一郎 / 安土茂亨 / 金子雄介 / 長田繁幸・著

B5 変・368 頁・定価：3,960 円（税込）　ISBN 978-4-06-524093-9

ブロックチェーンの決定版教科書！　最新の暗号技術、匿名化技術、ゲーム理論、分散処理技術の基礎知識と合わせながら学ぶことができる。15章で構成。章末演習問題付き。本文カラー。

新しい電気回路＜上＞

新刊

松澤 昭・著

A5・272 頁・定価：3,080 円（税込）　ISBN 978-4-06-523270-5

微分方程式とラプラス変換をいち早く導入し、電気回路の基本を学ぶ、これまでにない構成のテキスト。二分冊。複素数と位相が用いられる物理的な意味をていねいに解説し、読者を本質的な理解へと導く。カラーで見やすい！

ネイティブが教える
日本人研究者のための英文レター・メール術
日常文書から査読対応まで

新刊

エイドリアン・ウォールワーク・著　　前平謙二 / 笠川 梢・訳

A5・336 頁・定価：3,080 円（税込）　ISBN 978-4-06-523920-9

大好評シリーズの邦訳、待望の第2弾！　アカデミックレターに特化して、これほど深く掘り下げた本はほかにない。そのまま使えるメールフレーズを720例も掲載！　研究におけるあらゆる場面を網羅した、まさにバイブル！

Pythonで学ぶ実験計画法入門
ベイズ最適化によるデータ解析

新刊

金子弘昌・著

B5 変・192 頁・定価：3,300 円（税込）　ISBN 978-4-06-523530-0

もう実験で疲弊しない。ベイズ最適化とPythonを駆使して、効率よく研究・開発を進めよう！　データ解析の初歩から、モデルの設計、実践的な応用まで導く。実験時間が限られる今、絶対に役立つスキルが身につく！

東京都文京区音羽 2-12-21
https://www.kspub.co.jp/
講談社
編集　☎03(3235)3701
販売　☎03(5395)4415

〔目次前〕

8

PREFACE

巻頭コラム

382 アルゴリズムの頂を創る 高橋直大

SPECIAL ARTICLE

特別解説

384 接触確認アプリ COCOA からの教訓 楠 正憲

SPECIAL FEATURES

特集

最新のデジタル・フォレンジック事情

404 編集にあたって 上原哲太郎・須川賢洋
406 概要

DIGITAL PRACTICE

デジタルプラクティスコーナー

快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術

408 編集にあたって 敷田幹文・中村 豊
411 概要

お知らせ

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前付最終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．

教育コーナー：ぺた語義

393 中高生情報学研究コンテストと大学入学共通テスト 中山泰一
394 中高生情報学研究コンテストの意義と第 3 回の審査の様子 遠山紗矢香
399 第 3 回中高生情報学研究コンテストの作品紹介 米田 貴

連載：情報の授業をしよう！

414 SDGsをテーマとした総合的な学習の時間におけるICT活用―1人1台タブレット端末の利用による情報活用能力の育成― 菊地 寛

連載：ビブリオ・トーク―私のオススメ―

422 LSI/FPGA の回路アーキテクチャ設計法 坂本龍一

連載：5 分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

424 Tom B. Brown et al. : Language Models are Few-Shot Learners 荒瀬由紀

連載：先生，質問です！ 特別編

444

追悼

449 名誉会員 長尾 真 先生を偲ぶ 黒橋禎夫

寄稿

452 青山幹雄教授の早逝を悼む 深澤良彰

報告

2020 年度論文賞の受賞論文紹介

427 選定にあたって 下條真司
428 屋内位置認識システムの普及に向けて 村上弘晃
429 情報処理学会論文賞を受賞して 加藤慎也
430 心をどのように動かすのかを正面から論じる 金子翔麻
431 初めての論文投稿 大社綾乃
432 脳波を用いた生体認証に取り組んで 山下正人
433 Deep Neural Network の説明可能性向上に向けた識別根拠可視化技術の研究 柿下容弓・服部英春
434 データベースと機械学習のはざまで 小山田昌史

2020 年度業績賞紹介

435 選奨にあたって 中川八穂子
436 新世代ベクトル型コンピュータ「SX-Aurora TSUBASA」の普及と活用に向けて 荒木拓也・石坂一久・今井照之・星 宗王・愛野茂幸
437 ビジネスの現場で愛されるクラウド型音声認識サービスを目指して 倉田岳人・長野 徹・伊藤伸泰・鈴木雅之・福田 隆
438 暗黙知のデジタル化に向けた挑戦 小林雄一・鄭 建・高橋由泰・柳田貴志・佐藤達広

2020 年度マイクロソフト情報学研究賞紹介

439 選定にあたって 萩谷昌己
440 時系列ビッグデータのリアルタイム将来予測と社会実装への取り組み 松原靖子
441 暗号技術のモジュラーな設計 松田隆宏

2020 年度情報処理技術研究開発賞紹介

442 選定にあたって 萩谷昌己
443 データの世界にもスモールワールド現象がある 劉 健全

《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.62 No.8（2021 年 8 月号）
通巻 677 号

情報処理

常時更新中!

「情報処理」オンライン版　目次
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）.

■ Vol.62 No.8
特集：最新のデジタル・フォレンジック事情
e1　1. デジタル・フォレンジックの概論と新しい問題（須川賢洋）
e4　2. 最新のデジタル・フォレンジックにおける技術的課題（上原哲太郎）
e8　3. サイバー犯罪とデジタル・フォレンジックの課題―企業や組織における事前対策の備え―（北條孝佳）
e13　4. デジタル・フォレンジックとこれからの法律研究（小向太郎）
e17　5. デジタル・フォレンジックの普及状況について―関係者アンケートから考察するデジタル・フォレンジック―（小山　覚）
e21　6. 盗まれた個人情報の市場価値～デジタル・フォレンジックに携わる現場より（松本　隆）

解説
e26　インフォメーションとインテリジェンス～情報という言葉をめぐるその後の探索～（小野厚夫）

デジタルプラクティスコーナー：快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術
1.［招待論文］大学における情報環境整備の重要性と課題（藤村直美）
2.［招待論文］マルチコンテナオーケストレーションを用いた大規模コンテナ環境の設計と運用（坂下幸徳）
3.［招待論文］コンテナを利用した実行環境の変化に素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャの設計と実装
（松本亮介・近藤宇智朗・栗林健太郎）
グロッサリ

JISA アワード
表彰制度「JISA Awards」について（原　　孝）
仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム（別府征英）

ユーザ会論文
［NEC ユーザ会］顔認識によるデジタルマーケティングの実用化～価値あるデータを未来につなぐ～（島田　慧）
［FUJITSU ファミリ会］生命保険会社におけるパブリッククラウドの活用～機動的なシステムインフラ構築とコスト最適化を目指して～
（白石征久・佐田野直樹・堀　仁人）

「情報処理」note
https://note.com/ipsj
※人気記事や最新記事のチラ見せ，無料で読める記事などさまざまなコンテンツを公開していきます.

前付最終 【ご案内】会誌「情報処理」のオンライン記事について
421 英文目次
451 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／デジタルプラクティス掲載論文リスト／ IPSJ カレンダー
451 第 83 回全国大会 大会優秀賞・大会奨励賞の表彰
454 会員の広場
456 人材募集
462 編集室／次号予定目次／アンケート
463 掲載広告カタログ・資料請求用紙
464 賛助会員のご紹介
表 3 編集委員一覧

■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：井上　創造・高橋　尚子
本号エディタ：
五十嵐悠紀・伊藤　将志・上原哲太郎・江渡浩一郎・大石　康智・大島　浩太・太田　智美・越智　　徹・折田　明子・桂井麻里衣・金子　　格・川上　　玲・楠　　房子・欅　　惇志・酒井　政裕・坂下　　秀・佐藤　　聡・敷田　幹文・清水　佳奈・白井詩沙香・須川　賢洋・袖　美樹子・高木　拓也・田中リベカ・中島　一彰・中村　　豊・西川　記史・橋本　誠志・坂東　宏和・福地健太郎・細野　　繁・堀井　　洋・水野加寿代・山本ゆうか・湯村　　翼・渡辺　博芳
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.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 2021 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.

アルゴリズムの頂を創る

■高橋 直大

競技プログラミングというものがある．数十行のプログラムで解決できる問題を提示し，正解数と回答時間を競う競技だ．「98765の倍数の10進法での各桁の和としてありうる最小の値を求めよ」のような，数学パズル的な問題が出題される．毎週末に開催されるコンテストに，7,000人の日本人が全国各地から同時に参加する様は，数年前には考えられなかった光景だ．

ITを題材とした競技に人が集まるのはとても喜ばしいことだ．昨今において，さまざまなものがIT化し，情報処理の重要性は増している．IT技術者／研究者の需要はどんどん増加し，人材の供給はまったく追いついていない．きっかけはなんであれ，これだけプログラミングに日常的に触れる人が増えることは良いことだろう．

こうした背景もあり，競技プログラミングは役に立つのか，競技プログラミングの評価が参考になるのか，という議論が行われることがしばしばある．結論を言ってしまえば，役立つことも，役立たないこともあるだろう．冒頭に出した問題も，興味があればぜひ考えてほしいが，これが解けて何に役立つかと言われたら，答えられる人はほとんどいないだろう．

競技プログラミングでは，競技化することで削ぎ落としている部分が多くある．ネットワークも，データベースも，セキュリティも学べない．競技プログラミングで身につくのは，アルゴリズムの設計能力とその実装能力であり，これはITのごくごく一部でしかない．「教育を考えたらこういった問題も出すべきなので

■ 高橋直大
競技プログラマー，AtCoder（株）代表取締役社長

1988 年東京生まれ．慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科卒業．Imagine Cup 2008 Algorithm 3 位，TopCoder Open 2010 Marathon 2 位など競技プログラミング大会を経て，2012 年以降，日本初の競技プログラミングプラットフォーム AtCoder を設立・運営．

は？」というような話も多く出ている．だが，今の形こそが，競技プログラミングのあるべき姿だと僕は考えている．

競技プログラミングは教育サービスではない．あくまで競技なのだ．競技にしたことで失ったものがあるなら，得られたものもある．競技プログラミングで培った能力の深さは，研究者だってそうそう馬鹿にできるものではない．上位者の競技プログラミングの形式に沿った問題解決能力やアルゴリズム設計能力は，傍から見れば異常者の域に達している．単なる教育では到達できない頂が，競技プログラミングにはあるのだ．

AtCoderの運営を9年間続け，これまで多くの学生を見てきた．立派なIT技術者／研究者になった人もいれば，まったく関係ない職業についた人もいる．彼らはもちろん，競技プログラミングで学ばない要素も多く身につけているし，競技プログラミングを仕事に活かしているかもまちまちだ．だが，どんな教育でもそもそもそんなものだと思うし，ITに目を向ける大きなきっかけになっている，ということは自信を持って言える．

自分が好きなもの，皆が楽しく競い合えるもの．それを第一に提供し続けることこそが，日本のITの発展に繋がると信じている．頂に到達したくなるような山であり続ける．それがAtCoderの代表としての使命である．

接触確認アプリ COCOA からの教訓

応
般

楠　正憲 | 内閣官房

2021 年 1 月 Android 版の接触確認アプリ COCOA が数カ月にわたって動作していなかったことが明らかにされた．筆者は 2020 年 4 月から接触確認アプリの導入について，有志での議論に参加し，有識者会議のメンバとして，また途中から政府 CIO 補佐官として，接触確認アプリの導入を支援してきた．本稿では接触確認アプリ COCOA の開発と運用について，どのような課題があったかについて振り返る．

接触確認アプリ導入の経緯

筆者が接触確認アプリについて知ったのは昨年 (2020 年) 3 月頃のことである．ちょうどシンガポールの Trace Together が話題となって，日本でも接触確認アプリをリリースできないかといった話題で，いくつかのコミュニティが盛り上がり始めた．Android のシェアが高いシンガポールに対して，日本では iPhone のシェアが非常に高く，iPhone が Bluetooth のバックグラウンド通信を認めていないことから，実際に日本で接触確認アプリを機能させようとすると iOS にどのように対応するかが 1 つの課題だった．

また悪戯での虚偽登録を防ぎつつ陽性登録を確実に行ってもらうためには，保健所との連携が不可欠であった．個別自治体と連携して接触確認アプリを導入してもらうのか，国に後押ししてもらうのか，いずれにしても保健所による協力を得ようとすると，コミュニティだけで完結できるものではないという点が議論となった．

4 月に入るとコロナテックチームが立ち上がり，内閣官房コロナ室と民間との連携へ向けて協力関係の枠組みができた．そこで Code for Japan から接触確認アプリを提供する提案が行われた．当時，日本国内では 3 グループが接触確認アプリの構築に関心を持っていた． Code for Japan と，Covid-19 Radar，楽天の 3 者である．

当初コロナテックチームでは，陽性者情報の配信のみを国が構築し，民間が複数アプリを提供することを認めることも検討されていた．ところが Apple と Google の提供する Exposure Notification API を利用する場合には，公衆衛生当局が指定した 1 つのパブリッシャーに対してしか API の利用を認めないとする制限があった．

また有識者会議からは接触確認アプリのために陽性者の情報を配信する場合，そのデータコントローラは国であるべきとの整理が行われた．そこでコロナテックチームの事務方では当初，国から委託を受けた民間コミュニティがバックエンドを運用して，複数グループがアプリを提供することを想定していたが，バックエンドとアプリともに，厚生労働省が調達する方向に方針転換が行われた．この方針は

5月8日のコロナテックチーム会合にて発表されて，同様の内容は5月9日の有識者検討会合でも報告された．

なぜ Exposure Notification API を採用したのか

3月から4月にかけて，日本国内の各グループは独自の仕様で接触確認アプリを構築していた．当時はシンガポールの Trace Together もソースコードが開示されておらず，欧州7カ国が推す PEPP-PT（Pan-European Privacy-Preserving Proximity Tracing）と，スイスを中心としたグループが開発した DP-3T（Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing）との間で主導権争いが行われていた．状況が流動的なことから各グループとも標準化の決着を待たず，独自方式での接触確認アプリの構築を模索していた．そんな中で4月10日 Apple と Google が DP-3T をベースとした Privacy-Preserving Contact Tracing（後に Exposure Notification API と改称）を発表した．

各グループとも5月ごろのアプリ公開を目標に置いており，Apple と Google からの API 提供を待っていてはリリースが遅れてしまう懸念があった．一方で日本国内では Apple の iOS のシェアが過半を超えており，iOS ではバックグラウンドで動作するアプリに Bluetooth 通信を認めていなかったことから，アプリを立ち上げ続けていない限り接触確認を行えないことが懸念として残っていた．

まずは独自方式でリリースを行い，後から Exposure Notification API に対応するのか，それとも当初から Exposure Notification API に対応するのかが論点としてあった．PEPP-PT の導入を推進する欧州委員会は Apple に対して，iOS アプリのバックグラウンド通信に対する制限を緩和するよう申し入れを行ったが，前向きな返答は得られていなかった．

リリース時期を優先するならば独自方式で変更させるべきであったが，iPhone で電源を入れてアプリを立ち上げ続けていなければ接触確認アプリとして動作しないとなると混乱を招く恐れがあった．独自方式から Exposure Notification API への移行が可能なのか技術的に詰められなかったことに加えて，Exposure Notification API 技術の詳細を調べる過程で，各グループが当初検討していた独自方式と比べると，かなりプライバシー水準が高いことが明らかとなった．

国際的に Exposure Notification API と同水準のプライバシーが求められるのだとすると，独自方式のプライバシー水準について国際的に非難を浴びることが懸念された．特に iPhone のシェアが高い日本において iOS で確実に動作することが非常に重要であること，利用者やプライバシー専門家・技術者コミュニティからの理解を得るためには，国際的に認められた十分なプライバシー水準を確保する必要があることから，独自方式は見送って当初から Exposure Notification API を利用することとした．

当初から Exposure Notification API を利用することとしたことによって諦めざるを得ない要件も少なからずあった．3グループからそれぞれアプリを出すことは，Apple Google 両社の API 利用規約で認められていなかったことから断念せざるを得なかった．また当初の仕様では陽性患者以外でもすれ違った人の数を記録し数え上げることによって，人の密集したところにできるだけ行かないように行動変容を促すことを考えていたが，この仕様は実現できなかった．また積極的疫学調査においては誰と接触したのかが重要となるが，この情報を接触履歴から取得することも断念せざるを得なかった．

プライバシーを優先して断念した動作の追跡

接触確認アプリの構築にあたっては，国民のプライバシーについて懸念があったことから，有識者会

議を設置して議論を行った．3 月頃からの日本でのコミュニティによる接触確認アプリ開発の機運を受けて，4 月初旬から各国の接触確認アプリ事情について調査していた IT 専門家，感染症専門家，プライバシー専門家，弁護士，憲法学者，政策担当者らが手弁当の有志で意見交換を行っていたところ，政府の方針を受けてコロナテックチームの下に有識者会議として改めて 5 月 9 日付で組織された．

この会議の中で，アプリケーションのデバッグのための情報収集や，ダウンロード数や陽性通知数といった計数をモニタリングすべきかについても議論が行われた．モニタリングの必要性は理解されたものの，プライバシー保護の観点から，その方式については Exposure Notification API に準じるプライバシー水準とすべきではないかと問題提起があった．

たとえばダウンロード数を正確に取るためには，ダブルカウントを防ぐために一意の識別子が必要となる．接触確認アプリにおいては端末が生成した日次鍵（Temporary Exposure Key）と，その日次鍵から導出された 10 分おきの接触符号（Rolling Proximity Identifier）が用いられるが，そういった技術方式を用いてプライバシーを保護していると国民に説明する一方で，不変の一意識別子を用いてアプリケーションの動作を監視することは，結果として利用者を騙したことになってしまわないか，といったことが懸念された．

アプリケーションの利用状況や不具合を把握するための製品の多くが一意の識別子を情報として含んでいることから，これらも利用しないこととした．接触確認アプリの機能の大半は OS 上で構築された機能であるため，アプリそのものの不具合を追跡しなくとも，大きな問題は起こらないのではないかという甘い見通しもあった．結果としてアプリの不具合に早い段階で気付いて障害を切り分ける手段は失われた．

こうした議論を踏まえ，5 月 26 日にテックチームからアプリ仕様書とプライバシーの評価を公表した．翌 27 日に厚生労働省は HER-SYS を委託していたパーソルプロセス＆テクノロジー（株）に接触確認アプリの開発および 7/31 までの運用保守を委託（HER-SYS の開発・運用保守に係る契約の追加契約），（株）エムティーアイ，日本マイクロソフト（株），（株）FIXER，イー･ガーディアン（株），ディザイアード（株）への再委託を承認した．

開発を運用保守業者に引き継いだ後，どうしても切り分けが難しい複数の不具合に直面したことから，9 月に改めて有識者検討会合を開催し，ログ情報蓄積・送信に関する仕様について諮った．プライバシー専門家からの意見を踏まえて，詳細仕様が明らかとはいえないアプリケーション解析用の製品を用いるのではなく，プログラム中で明示的にアプリケーション・ログを出力し，明示的に「ログを送信する」ボタンを押した場合のみ，利用者が送信前にログの内容を確認した上でメールにて送信する仕組みとした．この仕組みは 12 月 3 日にリリースされたバージョン 1.2.0 から実装されて，後述するバージョン 1.1.4 以降で発生した不具合の切り分けにも役立った．

再委託先事業者の選定経緯

前述した通り 5 月の連休明けには接触確認アプリについて，当初から Exposure Notification API を利用して，厚生労働省が調達する方針が明らかとなった．本来であれば構築を決めた時点で予算要求から一連の調達手続きを行う必要がある．

ところが第二次補正予算として執行する場合，突貫で二次補正の予算要求を行って予算の成立後に調達手続きに入ったとして，6 月中の予算成立が想定されていたことから，リリースは 7 月以降となることが想定された．各グループとも独自方式であれば 5 月中，Exposure Notification API に移行した場合であっても 6 月にはリリースできるとしていた．政治的にも緊急事態宣言後の感染防止対策として期待

されていたことから，できれば 5 月の緊急事態宣言明け，遅くとも 6 月にはリリースすることが望まれていた．

二次補正予算の成立を待たずに接触確認アプリを構築する場合，すでに確保している予算から執行する必要があった．新たに予算要求から調達手続きを実施するためには管理職級を充てる必要があったが，当時は厚生労働省・コロナテックチームともに管理職級の人材は払底していた．厚生労働省はすでに HER-SYS を開発しており，COCOA が保健所と連動する場合，HER-SYS との連携が想定されていたことから，HER-SYS の執行残を使って COCOA を構築することは，限られた要員でアプリを早期にリリースするためには最短の方法だった．

COCOA の開発を HER-SYS に含めるための契約変更にあたっては，数事業者が手を挙げていた事情を踏まえるならば，再委託先の選定にあたって，条件を揃えて相見積もりを取るといった方法も考えられた．主契約事業者が再委託先を選定することは広く一般に行われており，決して珍しいことではない．

接触確認アプリ COCOA に限らず，各府省の新型コロナ感染症対策のシステム調達では開発着手までの時間的猶予がなく，WTO ルールで定められた国際競争入札の手続きを踏むことが難しい．どうしても緊急随契，特命随契，既存契約の変更などで対応せざるを得なかった．

新規調達に要する期間と事務量が大きいために，既存案件の契約変更として新規の開発が行われ，結果として追加調達分の業者選定にあたって十分な競争性が担保されにくいことは，COCOA に限らず広く政府の IT 調達が抱えている課題であり，今後の改善が望まれる（**表 -1**）．

表 -1　令和 2 年度予算の閣議決定・成立のスケジュール

	R2 当初予算案	R2 一次補正	R2 二次補正
閣議決定	令和元年 12 月 20 日	令和 2 年 4 月 7 日	令和 2 年 5 月 27 日
成立	令和 2 年 3 月 27 日	令和 2 年 4 月 20 日	令和 2 年 6 月 12 日

初期リリース段階でのテストは十分だったか

5 月 25 日に総理が，個人情報はまったく取得しない，安心して使えるアプリを，来月中旬を目処に導入する予定である旨を発表した．6 月に入って開発が進むにつれて，どの段階でリリースを判断するかが課題となった．6 月中旬を目指していたが，6 月に入ってから画面設計書は示されたものの，テスト仕様書，テスト報告書などが示される気配はなかった．

ようやく 6 月 10 日に開発・テスト状況について数ページの資料が示されたが，その資料によると結合テストの一部しか行われておらず，詳細なテスト仕様書とテスト報告書が作成されていないように見受けられた．

そもそも 5 月 27 日に契約して 2 週間ほどしか経っていない段階で，一般的なシステム調達で求められるテスト仕様書・テスト報告書などをすべて求めることは時間的に無理がある．納品物にこだわって開発者に過度な負担をかけるよりも，走りながら状況を把握し改善する方針とせざるを得なかった．陽性登録のために必要な一連の処理フローを確認するためには HER-SYS 側で接続検証環境を払い出してもらう必要があったが，その目処も立っていなかった．

情報システムのプロジェクト管理における常識に従えば，リリースを延期すべきことは明らかだった．問題は仮にリリースを延期したとしても，テストのための環境や体制を整えることについてまったく見通しが立たないことである．仮に 2 週間から 1 カ月近くリリースを延期したところで，事態が好転する見込みはなかった．むしろ主要なオープンソース開発者が関与できる 6 月中に，できるだけ多くの課題を発見し，潰しておく必要があった．このままテスト環境が整うのを待っていたら，OSS 開発コミュニティがプロジェクト体制から外れて，まったく身

動きが取れなくなってしまうことが懸念された．

やむを得ず本番環境でテストするほかないということであれば，対象を限定してリリースすることが望ましい．そこでプレビューとして限られた方向けにリリースしてはどうかとする提案も行われたが，総理が 6 月中旬にリリースすると発言していたことと齟齬が生じてしまう．どのみち実際にアプリをリリースしてから，実際に数多くダウンロードされて利用者が陽性登録を行うまでには時間差がある．そこで 6 月 19 日の段階で対象は限定せず，広く一般にリリースすることとなった．一方で品質を担保できる見通しが立たないとする懸念は共有されて，まず 1 カ月近くはプレビュー版として提供し，広く利用者からのフィードバックを受けることとした．

残念ながらリリース直後から数多くの不具合が見つかった．そもそも HER-SYS との連携が動作せず，陽性登録を行うことができなかった．接触判定の重み付けについてダミーの値がそのまま登録されていて，仮に陽性登録できていた場合には，過剰に接触通知を出してしまうところだった．ほかにも有識者検討会合で認識されていなかったアプリケーション解析用の製品が組み込まれていたことや，軽微な文言修正やリンク切れの修正など，リリースから短期間で非常に多くの修正項目が見つかった．見つかったバグの性質としては，結合テストの途中段階の品質のままリリースされてしまったといえる．これらの仕様不整合とバグの一部は 7 月中旬にかけて，OSS 開発コミュニティを中心に改修を実施した上で，運用保守業者に引き渡された．

9 月の Android 版リリースにおける不具合の発生要因

COCOA バージョン 1.1.3 までは，陽性者との接触が確認された旨のプッシュ通知が表示されるものの，COCOA を開いて陽性者との接触を確認すると「陽性者との接触は確認されませんでした」と表示される不具合があった．これは接触リスク判定に関係なく，検知したすべての接触に反応してしまうことに起因していた．この結果 8 月から 9 月にかけて軽微な検知についても接触通知が多発してしまった．

アプリで表示するために具体的な接触内容を要約する処理においても iOS と Android とで Exposure Notification API の実装に差異があり，iOS では開発者が指定した閾値を超えた接触のみ処理するのに対して，Android では閾値に達していない分も含めた接触者すべての詳細情報を取得していたため，OS の通知だけでなくアプリ内でも過剰検知を行ってしまった．しかし，ユーザからのヘルプデスクへの問合せについても上述のプッシュ通知と画面表示の差異が発生していたのは iOS のみであったため，開発チームでは本不具合が発生しているのは iOS のみと受け止められていた．プライバシー配慮等の兼ね合いもあり，ユーザにどの程度接触通知が発生しているのかを開発者側が把握することができておらず，そもそもの通知が過剰であるかどうかを把握することは難しい状況であった．係るバグを修正するために，閾値と減衰リスクパラメータの値を見直した上で，検知した接触の最大リスク値が閾値よりも大きい場合だけ，通知とアプリ内の表示で接触について表示するための改修を行った．ところがこの際に，iOS と Android のリスク計算における感染リスクパラメータの取扱いの違いを把握できておらず，iOS では適切に検知するが，Android ではまったく接触通知を行わなくなってしまった（**表 -2**，**表 -3**）．

Exposure Notification API では，検知した個々

表 -2　バージョン 1.1.3 までのアプリの挙動

	OS 通知	アプリ内
iOS	**過剰検知**	仕様通り
Android	**過剰検知**	**過剰検知**

表 -3　バージョン 1.1.4 のアプリでの挙動

	OS 通知	アプリ内
iOS	仕様通り	仕様通り
Android	**検知せず**	**検知せず**

の接触について，4種のリスクパラメータについて，0から8までのレベルを記録し，それぞれのレベルに対応して配列で定義されたスコアを引き当て，乗算することによってリスク値を算出し，その数字が閾値を超えているかどうかで通知すべき濃厚接触かどうかを判定する．

COCOAではリスク計算の設定として感染リスクスコア配列に7,7,7,7,7,7,7,7を代入し，個々の接触について感染リスクレベルとして0を代入した．実際に陽性者との接触があった場合，感染リスクスコア[0]に当たる7が代入されることを想定していた．しかしGoogleの実装では感染リスクレベル1に対して感染リスクスコア[0]が代入され，感染リスクレベル0に対しては固定値1を返す実装となっていた．

このことは文書内で特に記載されておらず，Googleが1.1.4リリース後の9月末に公開したExposure Notification APIの内部実装のソースコードを読まない限り把握できなかった（**図-1，表-4～6**）．

実機テストの実施を阻んだ開発環境の制限

COCOAで直面したiOSとAndroidにおけるExposure Notification APIの実装差異は技術文書で明確に記載されていなかったこと，5月から6月にかけての開発段階では技術文書を補完するソースコードが公開されていなかったことから，事前に予測して回避することは困難だった．しかしながら実機テストを行っていれば，容易に検出できたはずである．なぜCOCOA 1.1.4のリリース時に，十分に実機テストを行えなかったのだろうか．

COCOAは7月まではCovid-19Radar開発チームが関与するかたちで開発が行われた．8月から運用保守業者が開発を引き継ぎ，9月に入ってバージョン1.1.3，1.1.4と相次いでリリースしている．引き継がれた資材の中にはアプリとバックエンドについて，リリース版と開発版のビルドパイプラインが含まれていたが，バックエンドが動作するためにはHER-SYSとの連携が必要だった．リリース版は本番系のHER-SYSと接続できたが，開発版が接続できるHER-SYSの接続検証環境がなかったため，偽の陽性登録を行って実際に接触検知が行われるかどうか確認することができなかった．

COCOAはHER-SYSの一部として開発されていたが，HER-SYS自体の開発に用いるための改修確認環境はあっても，HER-SYSと接続してCOCOAの動作検証を行うための接続検証環境が提供されなかった．このことは当初リリース時にHER-SYSとの接続が動作しなかったときから露見していたが，本稿執筆時点も改善を確認できていない．

接触確認アプリの性質上，本番システムで偽の陽性登録を行うと，周囲の端末が陽性者との接触として検知してしまう．そのため一般の利用者に影響を与えないように実機テストを実施するためには，電波暗室などを用いて電磁的に隔離した環境でテストを実施するか，本番系・開発系とは別にテスト用の診断キーを配信する専用の環境を構築してテストを行う，またはテスト用の診断キーを簡単に登録できるテスト専用のアプリを構築するなどの作業が必要だった．

Exposure Notification APIは短期間で開発され，頻繁に更新され，それぞれの地域で公衆衛生当局が認めた機関しか利用できないため，入手できる技術情報が非常に限られている．それぞれのパラメータの重み付けに対して実際どのような挙動を示すかについて，仕様書の行間を勝手に解釈するのではなく，十分な検証を行う必要があった．

HER-SYSから接続検証環境が提供されないのであれば，HER-SYSのように振る舞うスタブまたは実機検証用のバックエンドを構築するか，簡単にテスト用の診断キーを登録できる，テスト専用のアプリを構築する必要があった．実際，スイスを中心に開発したDP-3Tでは，接触確認アプリとは別に

Exposure Notification API を評価するための簡単なテスト用アプリを構築している．この実機テスト環境の構築は，本来なら接触確認アプリの感度に影響するパラメータを変更するバージョン 1.1.4 のリリースよりも前に実施すべきだった．

委託開発業者は 10 月 12 日には HER-SYS を模擬するスタブを開発し，実機テストを行える環境を構築したが，9 月のリリースに遡って実機テストを

```
int transmissionRiskScore =
  diagnosisKey.getTransmissionRiskLevel() == RiskLevel.RISK_LEVEL_INVALID
          ? 1
          : configuration.getTransmissionRiskScores()
            [bucketRiskLevel(diagnosisKey)];
```

https://github.com/google/exposure-notifications-internals/blob/main/exposurenotification/src/main/java/com/google/samples/exposurenotification/matching/RiskScoreCalculator.java#L69-L72 より引用

図 -1　Google が 9 月末に公表した Exposure Notification API のソースコードの一部

表 -4　iOS, Android における感染リスクレベルの解釈の違い -

感染リスクレベル		使途				代入されるリスク値	
設定	値	Apple	Apple 推奨	Google 推奨	Google ※	Apple	Google
当初	**0**	**任意**	**未定義 / 任意**	**未使用**	**無効**	**スコア [0]**	**固定値 1**
未使用	1	任意	確定検査　リスク　低		リスク最低	スコア [1]	スコア [0]
未使用	2	任意	確定検査　リスク　標準		リスク低	スコア [2]	スコア [1]
未使用	3	任意	確定検査　リスク　高		リスク低中	スコア [3]	スコア [2]
修正後	**4**	**任意**	**確定診断**		**リスク中**	**スコア [4]**	**スコア [3]**
未使用	5	任意	自己申告		リスク中高	スコア [5]	スコア [4]
未使用	6	任意	陰性		リスク高	スコア [6]	スコア [5]
未使用	7	任意	再発		リスク超高	スコア [7]	スコア [6]
未使用	8			未定義／任意	リスク最高		スコア [7]

それぞれ Apple☆1 Apple 推奨☆2 Google 推奨☆3 Google☆4 を元に作成

表 -5　各バージョンにおける設定値

版数	閾値	感染リスク	接触期間	経過日数	減衰リスク
1.1.2 ※	1	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8
1.1.3	1	7,7,7,7,7,7,7,7	0,0,0,0,1,1,1,1	1,1,1,1,1,1,1,1	0,0,0,0,1,1,1,1
1.1.4 以降	21	7,7,7,7,7,7,7,7	0,0,0,0,1,1,1,1	1,1,1,1,1,1,1,1	1,2,3,4,5,6,7,8

※ 表の記載は GitHub 上で確認できるハードコーディングされた規定値．実際には CDN からダウンロードされた JSON ファイルの設定値が優先して適用され，6 月 24 日からバージョン 1.1.3 相当の設定値で運用されていた．

表 -6　バージョン 1.1.4 のアプリでの挙動

感染リスク	接触期間	経過日数	減衰
1	0	**1**	1
7	0	**1**	2
7	0	**1**	**3**
7	0	**1**	**4**
7	**1**	**1**	**5**
7	**1**	**1**	**6**
7	**1**	**1**	**7**
7	**1**	**1**	**8**

固定値 1 に対して 3 ～ 8 をかけても **21** を超えない

固定値 7 に対して 3 ～ 8 をかけると **21** を超える

iOS の場合
7 × 1 × 1 × 3 = 21 閾値に達するので通知を行う
Android の場合
1 × 1 × 1 × 3 = 3 閾値に達しないため通知を行わない

☆1 https://developer.apple.com/documentation/exposurenotification/enexposureconfiguration/exposure_risk_value_calculation_in_exposurenotification_version_1
☆2 https://developer.apple.com/documentation/exposurenotification/enexposureconfiguration/3586323-transmissionrisklevelvalues
☆3 https://developers.google.com/android/exposure-notifications/exposure-notifications-api
☆4 https://github.com/google/exposure-notifications-internals/blob/main/exposurenotification/src/main/java/com/google/samples/exposurenotification/nearby/RiskLevel.java#L38-L49

行うことはしなかった．12 月にはバージョン 1.2.0 をリリースしたが，本人同意に基づいて動作情報を送信する機能の追加で，感度などに影響する改修は行わなかったことから，実機テストにおいて，接触通知の網羅的なパターン検証までは行わなかった．

10 月の段階で実機テストの環境を構築できており，11 月には GitHub 上の issue として Android 版で通知が行われない旨について報告がなされていたにもかかわらず，なぜ 12 月のリリースで実機テストを十分に行わなかったのだろうか．

GitHub 上の issue が見落とされた背景

COCOA の元となった Covid-19Radar のリポジトリは COCOA のリリース前から，COCOA のソースコードは 9 月から GitHub 上で公開されているが，実際の開発が GitHub 上で行われているわけではない．実際の開発ブランチは Azure DevOps 上で運用管理され，リリースのたびに GitHub 上で公開されている．

これは元となった Covid-19Radar のライセンスである Mozilla Public License を遵守する必要があること，各国の接触確認アプリが同様にソースコードを公開していることを踏まえて，受託ベンダに対してソースコードの GitHub での公開を依頼した．しかしながら GitHub 上での issue や Pull Request の取り扱いについて，運用保守契約の中で適切な対処方針と SLA（Service Level Agreement）を規定することまでは難しかった．

契約上，委託業者が GitHub 上の issue を確認する義務はなかった．指摘の多くは技術的なもので，厚生労働省の職員が内容を理解することは難しかった．技術的スキルの面では担当する政府 CIO 補佐官が対処できる可能性も考えられたが，募集時の職務内容からは大幅に逸脱している．そもそも現行の IT 調達における前提としては，ソースコードを公開して，多くの技術者から技術的な指摘を受けることは想定されておらず，そのような体制は組まれておらず，手順や役割分担についても定まっていないのが実情である．

ソースコードの公開場所として GitHub を選んだことで，issue や Pull Request の取り扱いについて開発コミュニティから過大な期待を招いてしまった一方で，issue や Pull Request に誰が責任を持って対応するか事前に決めていなかったことで，せっかく重大な不具合について指摘をいただいたにもかかわらず適切な対応ができなかった．

一般的なシステム調達においては，開発ベンダが瑕疵担保責任を負っており，不具合が見つかった場合には改修する責任を負う．その場合だと瑕疵に該当する issue が GitHub 上で上がった場合には，自発的に対応することも考えられる．しかしながら COCOA の場合，オープンソースコミュニティが開発したアプリを引き取って運用保守する形式となっていたため，開発元であるオープンソースコミュニティとの間には契約がなく，運用保守を引き継いだ業者に対して瑕疵担保責任を問うことが難しかった．リリースへ向けた作業として，開発委託先に対してはテストや品質管理などの役割を期待していたが，リリース時に満たすべき品質水準を指示できておらず，十分な受入テストの体制もなかった．

結果としてオープンソースコミュニティ，開発委託先ともに積極的に GitHub の issue を管理して課題を解決するインセンティブが働きにくかった．発注者が主体的に GitHub の issue を管理し，課題管理表を更新して運用保守業者に対して作業指示を行う必要があったが，その必要性は認識されておらず，体制も整ってはいなかった．

オープンソースコミュニティでの指摘や改善提案は，一般的なソフトウェアの瑕疵担保責任と比べて事前に工数を読みづらいため，総額固定の請負契約にはそぐわない面がある．SLA を規定して委託業者に GitHub の管理を委ねるのであれば，工数に応じて委託費が支払われる単価契約や準委任契約とす

ることが望ましい．開発委託とは別に技術スキルを持った職員を雇い入れることも考えられる．現在COCOAではアプリ開発に詳しい専門家が厚生労働省参与として着任し，COCOAのGitHubの管理に携わっている．

厚生労働省の調査報告書と，今後の再発防止に向けて

2021年4月16日，厚生労働省はCOCOAについて不具合の発生経緯の調査と再発防止の検討についてとりまとめた．おおむね筆者の認識と齟齬はなく，本稿も当該報告書の記載を参考に執筆している．

この報告書は9月のバージョン1.1.4のリリースによってAndroid版で通知が行われなくなった事案を受けての調査だが，詳述してきたようにCOCOAについては調達制度，体制，業者選定，当初のリリース判断，その後のリカバリーと再発防止策，保守運用業者への引継など，さまざまな課題があり，結果として当該事案に繋がっている．

厚生労働省が再発防止策として挙げているように，開発当初から外部システムとの結合テストを実施するための環境を整備しておき改修のつど一連の動作検証を行うこと，連携先システムやAPI等の改修による影響を受けることを前提として，不確定要素を前提とした契約の在り方を検討すること，政策判断を担う管理職自身がITリテラシーを持って，外部有識者などのIT専門家を活用していくことは再発防止に資すると考えられる．

では今後デジタル庁が創設されて，IT専門家が配置された暁には，COCOAのような問題の再発を防ぐことができるのだろうか．外部からITに精通した人材を管理職や技術者として登用することによって，いくつかの問題が改善することは期待される．しかしながら十分な品質のサービスを提供できる体制を整備するためには，ほかにも改善すべき点が多い．

オープンソースや外部サービスを活用して迅速にサービスを構築し，責任を持って提供するためには，発注者が主体的に品質に対する責任を負うことが求められる．納期・費用・品質がトレードオフの関係になりがちな中で，政治的に費用と納期がピン留めされてしまうと，品質に皺寄せが行ってしまいがちだ．

ベンダ任せにせず，主体的に品質管理の責任を負うためには，予算内でのスケジュールの短縮圧力がかかりがちなプロジェクト責任者からは独立して，品質に対して責任を負う役割を置き，品質管理やテストの専門家がサポートすることが望ましい．現状では受入テストも形骸化しており，情報システムの品質管理は実質的にベンダ任せとなってしまっているケースが少なくない．

オープンソースコミュニティや外部サービスとの連携を通じて，幅広い利用者に対して使い勝手が良く安心して使えるスマホアプリを迅速に提供することは，今後のディジタルサービスでCOCOAに限らず広く求められる．こうした不確定要素を孕んだシステム開発を推進するためには制度・体制ともに見直しを要する．COCOAの失敗を関係者のITリテラシーの欠如と片付けてしまうのではなく，硬直的な調達制度や要員管理，管理態勢にメスを入れて，激しい環境変化に柔軟に適応できる開発体制と，品質管理に必要なガバナンスを確立する端緒とすべきではないか．

（2021年4月30日受付，2021年5月15日note掲載版）

楠　正憲（正会員）　masanork@gmail.com
マイクロソフト，ヤフーなどを経て2017年からJapan Digital Design CTO．内閣官房 政府CIO補佐官としてマイナンバー制度を支える情報システム等の構築に従事．接触確認アプリに関する有識者検討会合構成員，厚生労働省CIO補佐官（2020年5月～11月），内閣官房IT総合戦略室と厚生労働省の連携チームとして接触確認アプリCOCOAの開発・運用に関与．

べた語義

Vol. 119

CONTENTS

【コラム】中高生情報学研究コンテストと大学入学共通テスト…中山 泰一
【解説】中高生情報学研究コンテストの意義と第 3 回の審査の様子…遠山 紗矢香
【解説】第 3 回中高生情報学研究コンテストの作品紹介…米田 貴

COLUMN

中高生情報学研究コンテストと大学入学共通テスト

本会は，第 81 回全国大会より中高生情報学研究コンテストを開催し，中高生に本会のジュニア会員となり情報学の探究活動をすすめてもらうことを目指してきました．本年（2021 年）3 月には，第 3 回中高生情報学研究コンテストを無事に開催することができました．全国から 87 チームの参加があり，中高生研究賞の最優秀賞 1 チーム，優秀賞 2 チーム，奨励賞・初等中等教育委員会委員長賞 2 チーム，奨励賞・情報処理教育委員会委員長賞 1 チーム，奨励賞 16 チーム，入選 23 チームを選出しました．詳細は，今号 394 ページからの遠山紗矢香先生と米田貴先生の解説，および，中高生情報学研究コンテストの Web ページ☆1 をご覧ください．

第 3 回中高生情報学研究コンテストは，当初，大阪大学豊中キャンパスで開催を考えていました．ポスターに大阪大学のマスコット「ワニ博士」も登場させました．しかし，新型コロナウイルスの蔓延は収まらず，オンライン開催となりました．一方，オンライン開催であったため，全国からより多くの中高生に参加していただけたともいえます．来年 3 月の第 4 回中高生情報学研究コンテストには，さらに多くの中高生に参加していただきたいと願っています．

さて，情報教育の関連では，本年 3 月に，大学入学共通テストへの情報の出題について大きな動きがありました．前号（2021 年 7 月号）の水野修治先生の解説で述べられているとおり，大学入試センターは 3 月 24 日付「平成 30 年告示高等学校学習指導要領に対応した令和 7 年度大学入学共通テストからの出題教科・科目について」において，2025 年から情報を出題科目とし 1 つの試験時間帯として実施することを公表しました．これを受けて，本会は 3 月 29 日付で「大学入試センターから出された大学入学共通テストの実施方式に対する，当会の賛同表明」を公表しています．

大学入試センターは昨年 11 月に，高等学校関係者，大学関係者に加え，情報にかかわる学術団体に，大学入学共通テストの情報の「試作問題（検討用イメージ）」を情報提供していました．これを受けて，本会のほか，日本教育工学会，教育システム情報学会，人工知能学会，日本産業技術教育学会，8 大学情報系研究科長会議（北海道大学，東北大学，東京大学，東京工業大学，名古屋大学，京都大学，大阪大学，九州大学で構成）が賛同を表明していました．

本年 8 月 26 日（木）9：30 から，日本学術会議情報学教育分科会，情報処理学会，電子情報通信学会による，公開シンポジウム「大学入学共通テスト『情報』が目指すもの」を開催することになりました．参加の申込みは，第 20 回情報科学技術フォーラム（FIT2021）の Web サイト☆2 にて受け付けます．皆様のご参加をお待ちしております．

☆1 https://www.ipsj.or.jp/event/event_chukousei.html
☆2 https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2021/，公開シンポジウム「大学入学共通テスト『情報』が目指すもの」は無料で参加できます

中山泰一（本会教育担当理事／電気通信大学）（正会員） nakayama@uec.ac.jp

1993 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了．同年より電気通信大学において，計算機システム，並列分散処理，情報教育の研究に従事．現在，同大学院情報理工学研究科教授．日本学術会議特任連携会員．

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

ARTICLE

中高生情報学研究コンテストの意義と第 3 回の審査の様子

遠山紗矢香
静岡大学

本稿では，2021 年 3 月 20 日に実施された第 3 回中高生情報学研究コンテストの意義と審査の様子について，同コンテストに初めて審査員としてかかわった立場から報告を行う．

第 3 回コンテストの概要

中高生情報学研究コンテストは 2018 年度から実施されてきた[1]．本コンテストは，全国の中高生・高専生 (3 年生以下) が情報学に関して取り組んできた成果を発表する機会として位置付けられている．萩谷氏・中山氏の解説[2]にある通り，本コンテストの目的は，「情報学分野において優れた研究活動を行っている中高生に，全国的な研究発表の場を与えるとともに，優れた研究を行った中高生に各種の賞を与えること」である．この目的の中には，尖った人材を育成すること，情報学へ取り組む人材の裾野を広げることの両方が含まれている．

応募につながる活動の「種」は諸所にあると考えられる．教育課程内での活動の場合，中学校であれば「技術・家庭科」のうち技術分野の「D. 情報に関する技術」，高等学校であれば「情報科」での学習成果の発表がまず想定される．また，中学校・高等学校での「総合的な学習の時間」や専門高校での「課題研究」等で行われた探究的な活動，教育課程外である部活動・クラブ活動等で行われた活動なども，募集分野に即していれば応募可能となる．

コンテスト応募者募集の際に示した分野を以下に示す．詳しくは Web サイト☆1 も参照されたい．

(1) 情報の活用と表現
(2) 情報通信ネットワークとコミュニケーション
(3) 情報社会の課題と情報モラル
(4) 望ましい情報社会の構築
(5) コンピュータと情報通信ネットワーク
(6) 問題解決とコンピュータの活用
(7) 情報の管理と問題解決 （情報通信ネットワークやデータベースに関係する分野に限る）
(8) 情報技術の進展と情報モラル
(9) ディジタル作品の設計・制作
(10) プログラムによる計測・制御

コンテスト 3 回目となる今回は，当初，大阪大学豊中キャンパスでの開催が予定されていたものの，新型コロナウィルス感染症への対策として，2 回目と同様にオンラインでの開催とすることが 2020 年 9 月 1 日に決定された．cluster☆2 のように，バーチャル空間に設えられた会場へ，参加者がそれぞれの「バーチャル身体」によって参加し，対面で話し合うかのような感覚で交流する方法も検討された．しかしながら，本コンテストの目的でもある「情報学へ取り組む人材の裾野を広げること」に照らすと，操作に習熟している方が多いプラットフォームを用いることが好ましいという理由で，Zoom を用いた運営に決定した．

☆1 第 83 回情報処理学会 全国大会併催 第 3 回中高生情報学研究コンテスト，https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/83/83PosterSession/（2021/04/30 参照）
☆2 https://cluster.mu（2021/04/30 参照）

コンテストへの応募状況

コンテストは，2020年10月12日に応募受付を開始した．関係者の皆様による各所でのアナウンスもあり，翌年の2月26日にポスター提出を締め切るまでの間に，88件の応募があった（発表エントリーは12月25日正午に締め切った）．第1回コンテストでは37件，第2回コンテストでは62件の発表があったことを踏まえると，回を重ねるごとに発表者が増加していることが分かる．また，応募者の所属先は53校に分かれており，北海道から九州までの各地から応募があった．高等学校からの応募が多数を占めたものの，中学校からの応募も7件あった．

審査方法と結果

審査においては，今後，中高生情報学研究コンテストに応募しようとする生徒の模範となるものを高く評価することとなった．また，評価の観点としては，以下の2点が挙げられた．これらには，先述した「尖った人材を育成すること」，「情報学へ取り組む人材の裾野を広げること」の両方の観点が含意されている．

- 中高生とは思えないほど独創的な研究である
- 中高生らしい視点で情報学の観点からしっかりとした問題解決を行っている

受賞者を表-1に示す．

交流イベント

本コンテストに応募した中高生と，審査員を含む関係者が交流するためのイベントが，3月20日にオンラインで開催された．中高生の参加は任意であったが，中高生の指導教員と関係者を含めて100名近い方々にご参加いただいた．当日は中野初等中等教育委員会委員長による進行の下，喜連川国立情報学研究所所長による挨拶に始まり，Zoomのブレイクアウトルームを用いた参加者間交流の後，初等中等教育委員会副委員長である和田氏による受賞チームの発表と，国立教育政策研究所の鹿野教科調査官（当時）による講評があった．

参加者間交流では，中高生を10チーム程度ずつ8つのブレイクアウトルームに割り振り，審査員を含む関係者が各ルームへ分かれて交流を行う方法がとられた．しかしながら，当日に技術的な不具合が生じたため，中高生は自ら任意のブレイクアウトルームへ入室することとなった．想定外の進行となったが，中高生が動じることなくチーム間で話し合い，互いに譲り合いながら成果のアピール等を行っていたことは大変印象的であった．また，Zoomを用いた発表にも慣れている様子の中高生が多く，画面共有機能を用いてポスターを提示しながら，手短に説明する姿には良い意味で大変驚かされた．

第3回コンテストの意義

これまでの解説記事を遡ると，第1回コンテストでは対面でポスターセッションが行われ，その効果については以下のように示されていた[3]．

(1)学問への誘い
(2)専門的な研究者と中高生の交流
(3)中高生同士の交流
(4)教員の研修と交流
(5)開催地の研究・教育力の向上
(6)情報処理学会のプレゼンスの向上

また，第2回コンテストの意義は以下のように示されていた[2]（通し番号およびカッコ内は筆者が追記）．

(a)尖った人材の育成
(b)学校教育との連携
(c)中高生と研究者（の交流）
(d)中高生と大学教員（の交流）
(e)教員と研究者（の交流）
(f)教員と大学教員（の交流）

上記には互いに重複する部分があるものの，1つずつ検証すると，第3回コンテストは(1)，(2)，(3)，(6)，(a)，(b)，(c)，(d)のそれぞれについて意義

のあるイベントだったと思われる．(1) や (a) については，深層学習のように新しい技術の活用 (#58) や，新型コロナウィルス感染症対策としてのアプリ開発 (#11)，コンパイラ基盤の自作 (#41) 等が見られた．また，#58 や #11 のように (b) 学校教育との連続性が明示されたものも少なくなかった．(2)，(c)，(d) については，発表 1 件につき審査員 3 名以上からコメントが返却されたことや交流イベント開催によって達成されたと考えられる．(3) は限定的ではあったが，交流イベントで中高生同士が質疑応答するなどの様子が観察された．なお，発表内容の詳細は本号にある米田氏の解説を参考にされたい [4]．

表 -1　受賞者

中高生研究賞最優秀賞（1 件）
#58 カメラと Raspberry Pi を用いた視程観測装置の自作：浜島 悠哉（東京都立立川高等学校 3 年），田中 陽登（同 3 年），馬場 光希（同 3 年），安原 拓未（同 1 年）
中高生研究賞優秀賞（2 件）
#11「時間」を超えてつながる授業体験：青山 柊太朗（ぐんま国際アカデミー高等部 2 年） #41 自作 JVM 言語コンパイラ基盤の最適化と評価　二ノ方 理仁（芝中学校 2 年）
中高生研究賞奨励賞・初等中等教育委員会 委員長賞（2 件）
#61 製品組み合わせ粗利最適化エンジン〜 DX で開く新たな経営戦略〜：森本 新太郎（福井県立高志中学校 3 年） #69 視覚で楽しめるピアノ：喜多 駿介（大阪星光学院高等学校 2 年）
中高生研究賞奨励賞・情報処理教育委員会 委員長賞（1 件）
#84 屋外で動作する三次元ポジショントラッキングシステムの開発及び改良：迫田 大翔（愛光高等学校 3 年）
中高生研究賞奨励賞（16 件）
#02 リアルタイム指文字認識システムの開発：柳本 陽亮（北海道北見北斗高等学校 2 年），辻 優樹（同 2 年），池田 真（同 2 年） #04 GoogleSpreadSheet を用いたオンライン時間割システムの構築：佐藤 秀人（山形県立山形東高等学校 2 年） #10 自他の文字の平均化における適切な割合：渡邉 太一（茨城県立竜ヶ崎第一高等学校 2 年），片桐 聖翔（同 2 年），岩田 凌太郎（同 2 年） #16 太宰作品における文体の経年変化 〜機械学習を用いた計量的分析〜：伊藤 寛子（渋谷教育学園幕張高等学校 3 年） #33 VR 空間における人体の各種擬似感覚（VR 感覚）の関係性分析：國武 悠人（千葉県立柏の葉高等学校 3 年） #34 難題双子素数問題への挑戦 〜コンピューターを用いたビジュアル的アプローチ〜：大場 さくら（お茶の水女子大学附属高等学校 2 年），米川 真由（同 2 年） #35 SAT 問題の準最適解探索の効率化：西岡 英光（玉川学園高等部 2 年） #45 AI ロボット JetBot は WRO を攻略できるか？〜 AI ロボットを「錯覚」させてみた〜：辻 知香葉（筑波大学附属高等学校 2 年） #46 画像類似度を用いたヒヨケザルの擬態の定量的評価：寺山 里奈（中央大学附属高等学校 3 年） #63 CurtainRail 構造 ―空間インデックス 新手法の提案：多田 瑛貴（京都府立清明高等学校 3 年） #71 グローバルに論理的思考力を育むプログラミング教材の研究と開発：山本 舞香（追手門学院大手前高等学校 2 年） #75 合成音声素材の自動取得と接続の定量評価：青野 優智（西宮市立西宮高等学校 2 年），上橋 秀太（同 2 年），亀浦 一眞（同 2 年），宮本 育弥（同 2 年） #76 統計，機械学習 AI を用いた楽曲のヒット予測：木村 優介（兵庫県立姫路西高等学校 2 年），吉田 隼輔（同 2 年） #80 モンテカルロ法を利用した乱数の研究：森田 汐音（和歌山県立紀北工業高等学校 2 年），楠本 翼（同 2 年） #83 土壌水分センサーを用いた伝統農法の効果の検証：池北 昂広（徳島県立脇町高等学校 2 年），川人 尚子（同 2 年），小原 すずか（同 2 年） #85 Knowledge Tracing の英単語学習への導入は可能か？〜機械学習を用いた個人最適化による学習効率化を目指して〜：吉野 泰生（熊本県立宇土高等学校 2 年）
入選（23 件）
#03 学校の感染症流行の可視化：猪狩 友太郎（秋田県立秋田高等学校 2 年），石井 沙季（同 2 年），刈屋 瑛嗣（同 2 年），佐藤 航貴（同 2 年） #06 python による時間割の自動作成・調節：米本 薫（山形県立山形東高等学校 2 年） #07 情報科における教材と授業法についての研究〜教員不在でも実施可能な授業づくり〜：高橋 恵輔（福島県立福島高等学校 2 年），高野 隼汰（同 2 年），二瓶 翔太（同 2 年），大竹 祐太（同 2 年） #09 脳波測定プログラムの作成およびそれを用いたゲーム時の脳内変化の研究：何 櫟（茨城県立竹園高等学校 2 年） #12 インタラクティブな映像の制作とその考察：幡 優成（開智高等学校 2 年） #14 敵対的生成ネットワーク（GAN）による配色生成：松本 和樹（早稲田大学本庄高等学院 3 年） #15 サイバーフィジカルシステムによる陸上競技の解析：渡部 晃久（早稲田大学本庄高等学院 3 年） #19 複数人での会話や雑音内での音声認識の精度の比較：栗原 千陽（千葉県立柏の葉高等学校 2 年），松田 一哲（同 2 年），形部 智（同 2 年） #20 クイズ共有アプリ「Quiz Habits」：伊藤 大稀（千葉県立柏の葉高等学校 2 年），川上 凛太郎（同 2 年） #21 学習意欲を向上させるアプリの UI 研究：佐々木 駿（千葉県立柏の葉高等学校 2 年），三浦 和輝（同 2 年），森嶋 祥子（同 2 年） #37 ドローンによる自動追尾の研究：國吉 仁志（玉川学園中学部 2 年） #38 自発目標設定と行動抽象化により性能の向上ができる 2 つの深層強化学習モデルの開発検証：佳元 貴紀（広尾学園高等学校 2 年） #40 画像認識を用いた無人商店システムの作成：丸山 慶多（三田国際学園高等学校 2 年），岡本 晴貴（同 2 年），宮沢 純正（同 2 年） #44 心の悩みを解決するためのプログラミング：阿部 龍之介（拓殖大学第一高等学校 2 年） #56 車いすに取り付け可能な電車昇降用無限軌道：五味 優輝（東京都立多摩科学技術高等学校 2 年），中山 智生（同 2 年），矢ヶ崎 旺輔（同 2 年） #57 サッカーにおけるキック練習支援システム：宮 拓巳（東京都立多摩科学技術高等学校 2 年） #59 私はここにいるニャンドア：一瀬 鞠華（東京都立立川国際中等教育学校 4 年） #64 Twitter の感情分析によるストレス状況の可視化およびセルフケアアプリの開発〜 Python を利用して〜：米澤 李音（プール学院高等学校 2 年） #67 QR コードを用いたコロナ禍における混雑緩和システムの構築：溝脇 大智（大阪医科薬科大学高槻高等学校 2 年），小紫 仁嗣（同 2 年） #70 Atomic Swap Network 〜暗号資産の二者間取引をより円滑にするシステム〜：芦田 裕飛（大阪電気通信大学高等学校 2 年） #72 IoT 化電源タップの開発と研究―無駄がない最適化の生活―：伊賀 妃里（追手門学院大手前高等学校 1 年），南方 博（同 1 年） #74 自然言語処理と機械学習を用いたタンパク質の高発現塩基配列の創製：南 慧（甲南高等学校 2 年） #81 人の顔の判別：福山 未来菜（山口県立岩国高等学校 2 年），松井 美貴子（同 2 年），荒井 嘉真（同 2 年）

第 3 回コンテストの課題

(4)，(5)，(e)，(f) は第 3 回コンテストでは残念ながら実現できなかったが，対面での開催であれば実現できた部分もあったと考えられる．オンライン開催では，(4)，(e)，(f)，つまり中学校・高等学校・高等専門学校の教員と大学教員や研究者が交流を行うには少し踏み込んだ場のデザインが求められるように思われる．実際に，上述した本コンテストでの交流イベントでは，中高生の話を聴くことを優先したために，中高生の指導教員の方々にご参加いただいたにもかかわらず，懇談の機会を逸してしまった．1 つの学校から複数の発表申込をいただいた場合もあったため，指導に携わられた先生方のお話を直接伺いたかったものの，実現できなかったことが非常に悔やまれる．

対面の開催では，会場が暗黙の裡にさまざまな目的を果たすためのプラットフォームとして機能することが多い．一方でオンライン開催の場合には，目的を果たすための手立てを明示的に講じる必要がある．上述した本コンテストの意義に照らすと，次回以降のコンテストでは，中高生を指導した教員と，コンテスト主催者側の大学教員や研究者とが交流するための明示的な機会を設定することが求められる．

今後のコンテストへの期待

2020 年度から小学校では，プログラミングを含む新学習指導要領の実施が始まった．これに続いて 2021 年度からは，中学校において新しい学習指導要領による授業が開始された．中学校における新学習指導要領では，情報学に関して，「技術・家庭科」のうち技術分野で，これまで「計測・制御」で行われてきたプログラミングに加えて，「ネットワークを利用した双方向性のあるプログラミング」が新たに加わったことが特筆すべき点である．さらに 2022 年度からは，高等学校で新学習指導要領が実施される．この改訂によって，今後はすべての高校生がプログラミングを学ぶことになる．また，すでに案内されている通り，大学入学共通テストでも，試験科目として「情報」が新たに設けられる．こうした動きが，本コンテストへ興味を持つ中学生・高校生を増加させる方向へ働くことは想像に難くない．コンテストへの参加者が増えることによって，尖った人材がさらに尖ってゆくことも促されるだろう．

また，今後は SSH（スーパーサイエンスハイスクール）指定校や，専門高校（情報，工業，商業等）における取り組みがさらに発表されるようなコンテストとしたい．そのためには，これまで以上に広報の方法を工夫することも考えられるだろう．SSH や専門高校では，「課題研究」として理数・情報に関するテーマについて生徒が主体となって研究を行い，成果をまとめるための時間が設けられていることが少なくない．今後は課題研究の成果をブラッシュアップして本コンテストで発表していただくなどの道筋づくりも行いたい．

さらに，発表・交流イベントのためのオンライン環境についても，今後検討の余地がある．今回 Zoom の交流イベントで見られた参加者の姿を思えば，第 4 回コンテストでは先端的な環境を用いることも想定される．もちろん第 4 回は対面開催となることを願うばかりではあるが，念のため，オンラインならではの経験を蓄積する貴重な機会としての準備も進めたい．

オンライン開催の場合，参加に際しての交通費や移動にかかる物理的な負担がなくなるため，本コンテストへの周辺参加も容易になる．「正統的な周辺参加」[5] の場を本コンテストでも実現できれば，学校，地域，ときには国籍や国境もこえて，生徒同士が学び合うコミュニティとして，本コンテストが機能するようになるかもしれない．中高生や高専生が共に学ぶ環境として本コンテストが位置

づけば，日本の情報教育が一層活気づくのではないだろうか．

以上で述べた通り，本コンテストは情報学分野を担う次世代を育成するためのプラットフォームとして，年々重要さを増していると考えられる．筆者としては，本コンテストを通じて，中高生・高専生等と学会とのつながりを一層確実なものとしていきたいと考えている．そのことが，情報学のコミュニティ発展へとつながり，さらに，互いに切磋琢磨する関係性を構築することへとつながっていくだろう．

これから発表を目指す生徒のみなさんと先生方へ

筆者としては，中高生や高専生のみなさんに，本コンテストを探究的，教科横断的な学習の成果発表の機会として一層活かしていただくことを期待している．冒頭で述べたように，本コンテストへ応募するときの「種」になるものは，情報科の学習内容のみにとどまるものではない．身近なところに隠れている問題を発見したい，その問題を解決・改善したい，という動機こそが重要になる．

これから本コンテストへ応募しようとする生徒のみなさんは，ぜひ，インターネットに公開されているこれまでのコンテストでの発表内容を参考にしていただきたい．「種」(問題)は驚くほど身近なところにあることが実感いただけるだろう．問題を解決しようとすると，これまで学んだことや経験したことが活用できることに気付いたり，新しいことを学ぶことの楽しさに気付いたりすることがたくさんある．これは一度ぜひご自分で体験していただきたい．

「基本的な知識や技術が未熟だから，私には無理」などと考える必要はない．解決したい問題を見つけて，それを解決するために必要な知識や技術を，学年や教科といった枠組みにこだわることなく学んでいけばよい．近年日本でもよく耳にするようになった「STEAM 教育」(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics の略で，STEAM として示された各専門領域の知見を横断的に活用しながらプロジェクト学習等を進めること)も，広義には，こうした個人の興味・関心に基づく問題を中心に据え，教科などの枠組みにこだわることなく知識や技術を獲得しながら探究的に問題解決を進めていく学習形態を指すものである．

生徒のみなさんを指導される先生方におかれては，生徒のことをよく知るファシリテータとして，ぜひ問題発見・問題設定の部分からご支援をお願いしたい．問題発見において生徒のみなさんのみずみずしい感性の発揮が期待されることは言うまでもないが，発見された問題が既知のものでないかを検討し，必要な場合はさらに問題を細分化したり，問題の切り取り方を変えたりするよう促すなどの支援があると，問題解決過程の質は一層高まると考えられる．「駆動質問」と呼ばれる，生徒の質問を引き出すような声掛けなどのファシリテーションは生徒が主体となって進める探究型学習でこそ重要であることを改めて強調したい．

付記：本稿作成にあたっては，初等中等教育委員会内にてやり取りされた記録を参考にした．

参考文献

1) 中山泰一：中高生ポスターセッションの報告―企画と概要―，情報処理，Vol.60, No.7, pp.660-662 (July 2019).
2) 萩谷昌己，中山泰一：中高生情報学研究コンテストの概要・意義・効果，情報処理，Vol.61, No.8, pp.847-851 (Aug. 2020).
3) 鹿野利春：中高生ポスターセッションの報告―意義と効果―情報処理，Vol.60, No.7, pp.663-664 (July 2019).
4) 米田　貴：第 3 回中高生情報学研究コンテストの作品紹介，情報処理，Vol.62, No.8, pp.399-403 (Aug. 2021).
5) ジーン・レイブ＆エティエンヌ・ウェンガー(著)，佐伯　胖(訳)：状況に埋め込まれた学習―正統的周辺参加，産業図書 (1993).

(2021 年 4 月 30 日受付)

遠山紗矢香（正会員） tohyama@inf.shizuoka.ac.jp

2014 年中京大学博士（認知科学）．静岡大学教育学部特任助教，静岡大学情報学部学術研究員を経て 2018 年より静岡大学情報学部助教，のちに講師（2021 年）．協調学習やプログラミング教育の実践研究を行っている

ARTICLE

第 3 回中高生情報学研究コンテストの作品紹介

米田　貴
神戸大学附属中等教育学校

中高生情報学研究コンテスト

第 83 回情報処理学会全国大会のプログラムの一環として，初等中等教育委員会主催で第 3 回目となる「中高生情報学研究コンテスト」を 2021 年 3 月 20 日（土）に開催した．同コンテストでは情報学分野に関しすぐれた研究活動を行っている中学生や高校生に，全国的な研究発表の場を提供するとともに，優れた研究を行った中高生に賞を授与している．審査はポスター原稿に加えて 400 字の説明テキストを全員に提出してもらい，希望者には 2 分以内の動画ファイルまたは音声ファイルの提出も説明資料として提出してもらった．今回は全国から 88 グループの応募があり，研究の質の高さ，実験・調査による考察の深さなどを評価し，最終的に中高生最優秀賞 1 件　中高生優秀賞 2 件　中高生奨励賞 3 件を選出した．中高生最優秀賞と中高生優秀賞の計 3 グループは本会の若手奨励賞にも選出され，中高生奨励賞に選出された 1 グループは情報処理教育委員会委員長賞，2 グループは初等中等教育委員会委員長賞にも選出された．後日，上位入賞の 6 チームにはそれぞれの受賞の感想を書いてもらった．本稿では上位入賞チームごとに，ポスター原稿，概要，受賞後の感想の 3 点をまとめて掲載する．こちらで紹介した研究以外は Web ページでご確認いただきたい [1]．

❑ 中高生最優秀賞・若手奨励賞（1 件）

#58　立高天（文）気（象）部：カメラと Raspberry Pi を用いた視程観測装置の自作（図 -1）

浜島悠哉　田中陽登　馬場光希（東京都立立川高等学校 3 年）　安原拓未（同校 1 年）

【概要】

観測場所から識別できることのできる距離の程度

図 -1　立高天（文）気（象）部：カメラと Raspberry Pi を用いた視程観測装置の自作

を表す気象用語を視程という．本研究では独自の視程を設定し，一眼レフカメラと Raspberry Pi からなる観測装置を作成した．カメラは Raspberry Pi で制御し，自動で定時撮影やクラウドへのデータ保存を行う．また Slack を通じてスマートフォン等から遠隔操作でカメラに即時撮影や設定の変更の指示を可能にした．撮影した画像について，対象物が写っているかについての判定についても深層学習により判定を行い，約 95％と高い水準で判定をすることができた．

【受賞後の感想】

初めての参加ながら最優秀賞をいただくことができ，とてもうれしく思います．観測装置の製作や目視観測にあたっては多くの天文気象部員・OB にお世話になりました．この研究にかかわったすべての方々に感謝いたします．

❑ 中高生優秀賞・若手奨励賞（2 件）

#11　Kineto：「時間」を超えてつながる授業体験

（図 -2）

青山柊太朗（ぐんま国際アカデミー 11 年）

【概要】

現在普及している授業環境は，同期性に基づいて分類することができる．対面授業や Zoom 等による授業は生徒が同じ内容を同期的に体験したり，生徒間のコミュニケーションが可能となる．ただし授業内容について時間的にコントロールすることができない．一方で，YouTube のような配信型の映像授業は非同期的であるため，早送りや 10 秒戻しなどの時間的なコントロールが可能である．しかし，生徒間のコミュニケーションは乏しい．

本研究では，時間のコントロールと生徒間のコミュニケーションを両立できる授業環境の実現を目指した．授業における教師の発言と生徒間のコミュニケーションをアプリ上の時間軸に落とし込み，早送りや 10 秒戻しなどの時間のコントロールを可能にした．授業映像への書き込みや付箋を貼る機能を用いて，非同期的に視聴している生徒間のコミュニケーションも可能にした．さらに，非同期で視聴している生徒同士を再生速度の自動変化によって同期させる弾性同期という仕組みを開発した．各生徒の再生速度が 0.9 ～ 1.2 倍速の範囲で自動的に調整され，各生徒がバラバラのタイミングを視聴している場合でも生徒間のずれを吸収し双方向対話を実現した．

【受賞後の感想】

今回，優秀賞という形で研究を評価していただけたことを嬉しく思っています．また，ほかの方々の研究も興味深く，刺激を受けました．

この受賞を励みに，今後も研究成果のサービスの普及や時間の在り方の研究に取り組みたいと思っています．

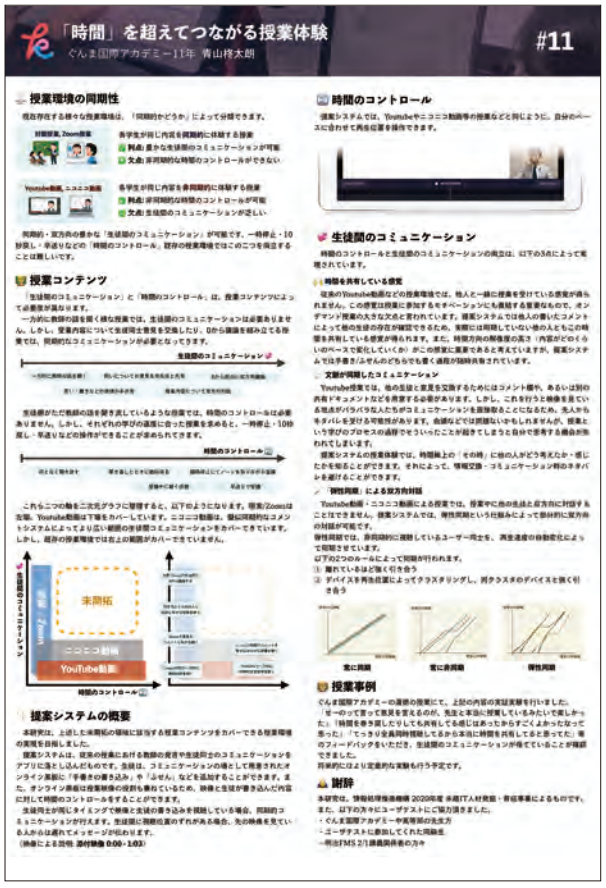


図 -2　Kineto：「時間」を超えてつながる授業体験

#41　π &cone：自作 JVM 言語コンパイラ基盤の最適化と評価（図 -3）

二ノ方理仁（芝中学校 2 年）

【概要】

JVM 言語は GC や JavaAPI を活用できるという利点を持つ．JVM 言語コンパイラを自作することで開発内容に合わせた最適化の手法を採用し，JVM 言語をより短時間で実行できると考え，コンパイラ基盤 Xjar を C++ で記述し，自作した．Xjar はソースコードを構文解析し AST へ変換する．その後，AST を最適化し冗長性を排除した AST に変換する．最適化の手法として，定数畳み込みと定数伝播，ループ不変量コード移動の 3 つの手法を採用した．Xjar を評価するため 3 種類のソースコードを実行し，実行時間の平均値を求めた．結果，データフロー最適化では平均 29％，ループ最適化では平均 17％実行時間が減少した．

【受賞後の感想】

このたびは優秀賞をいただきありがとうございます．今回の発表では，もっと正確な評価をするために，サンプル言語のソースコードを工夫したかった等の反省点があります．これからも研究を続けて，次の機会でも発表できるような成果を残したいです．

❑ 中高生奨励賞・情報処理教育委員会委員長賞（1 件）

#84　屋外で動作する三次元ポジショントラッキングシステムの開発および改良（図 -4）

迫田大翔（愛光高等学校 3 年）

【概要】

XR（VR，MR，AR）分野において，ポジショントラッキング技術はさまざまな手法が提案されているが，広範囲にマーカの絶対座標を取得できる手法は少なく，実現しているシステムは数百万円程度の

図 -3　自作 JVM 言語コンパイラ基盤の最適化と評価

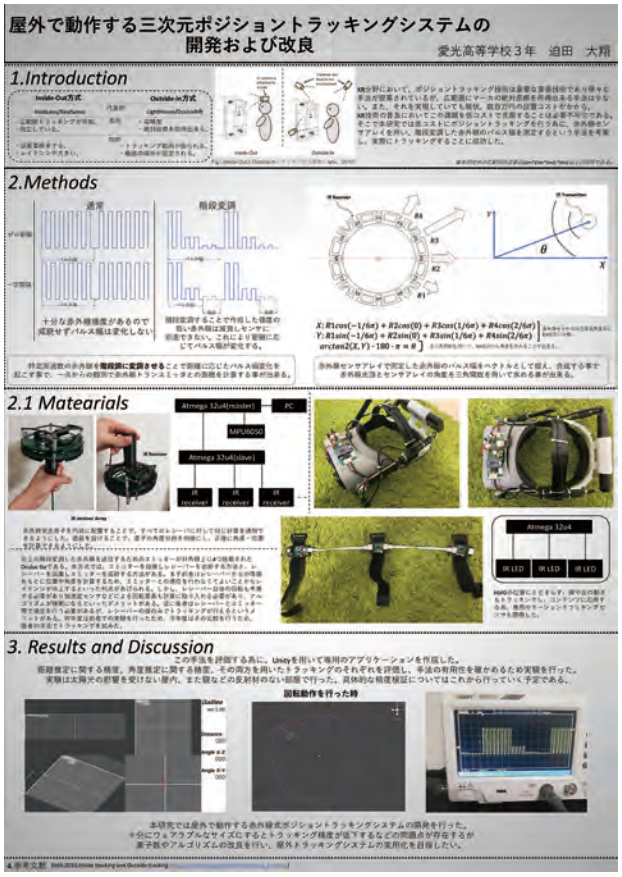


図 -4　屋外で動作する三次元ポジショントラッキングシステムの開発および改良

設置コストを要する．本研究では低コストでポジショントラッキングを行うため，赤外線センサアレイを用い，階段変調した赤外線のパルス幅を測定するという手法を考案し，トラッキングを行った．また，考案したトラッキングシステムを評価するためのアプリケーションも Unity で作成した．

【受賞後の感想】

高校 2 年時から継続していた研究で受賞できたことを大変嬉しく思います．一般の学会だけでなく，中高生向けの別部門を用意してくださることは，研究開発のモチベーションに大きく繋がっています．研究にとどまらず社会実装へ向け努めて参ります．

❑ 中高生奨励賞・初等中等教育委員会委員長賞（2 件）

#61　製品組み合わせ粗利最適化エンジン～ DX で開く新たな経営戦略～（図 -5）

森本新太郎（福井県立高志中学校 3 年）

【概要】

本研究では中小企業が情報技術を活用する具体的な方法の提案として，企業の利益を最大化するために各製品の生産量・販売量の最適な比率を求める「セールスミックス最適化」の考え方を用いて，利益を上げることができる生産数を計算するシステムを考案した．システムの検証には実際の企業に製品の製造データを提供してもらいテストを行った．また，セールスミックス法を線形計画法を用いて最適化問題として解くプログラムを作成した．プログラムの作成には Python の pulp ライブラリを用いた．

【受賞後の感想】

私は，今回の研究で，中小企業が情報技術を活用する方法を提案し，企業の実データで有効性の検証を行うことができました．情報学を社会に活用する意味や，インパクトの大きさを実感できる有意義な経験になりました．

#69　星光：視覚で楽しめるピアノ（図 -6）

喜多駿介（大阪星光学院高等学校 2 年）

【概要】

ピアノなどの楽器で音楽を演奏することは楽しい活動であるが，理論の理解や練習を要する．鍵盤を弾くとグラフィックが変化するようにすれば音楽に詳しくない人や，耳の聞こえづらい人も楽器の演奏を楽しめるのではないかと考えた．そこで Unity と MIDI キーボードを用いて，鍵盤を押すと視覚的にグラフィックが変化し，聴覚だけでなく視覚で演奏を楽しめるピアノのような楽器を作成した．MIDI 機器を接続して鍵盤の情報を取得し，Unity の VisualEffectGraph でグラフィックを作成した．音ごとにグラフィックが割り当てられており押している間そのグラフィックが再生する．

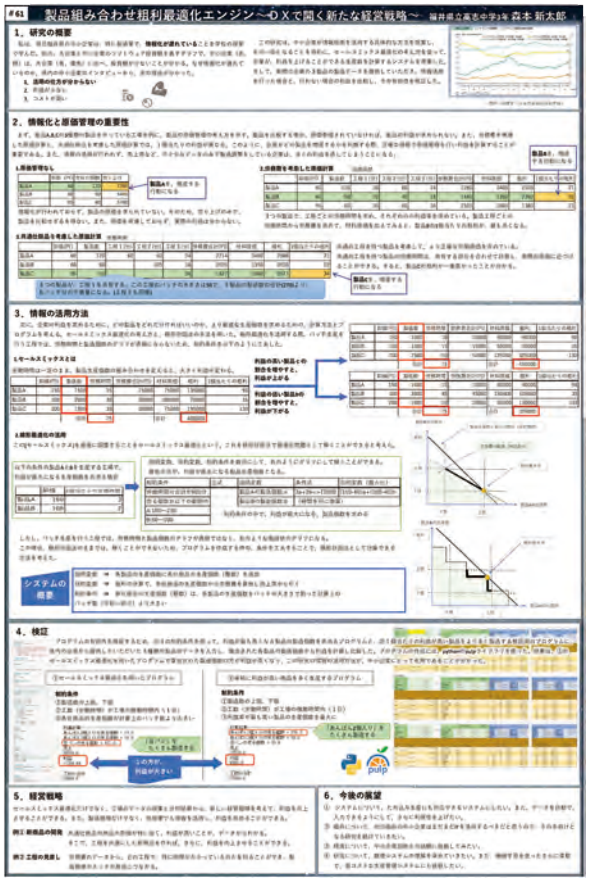


図 -5　製品組み合わせ粗利最適化エンジン～ DX で開く新たな経営戦略～

【受賞後の感想】

以前から興味を持って取り組んできたプログラミングと音楽のそれぞれを活かそうと思い制作した作品だったので，受賞できて嬉しく思います．いただいたアドバイスを参考に，さらに多くの人に楽しんでもらえるよう開発を続けたいです．

受賞後の感想をとりまとめた立場から

今回で3回目となる中高生情報学コンテストだが，応募されたポスターを見ると，そのレベルの高さに驚かされた．各々，問題意識を持ちその問題の解決のため探究的に取り組んだ素晴らしい成果を見せてもらった．筆者は中等教育学校の教諭であり，普段から中高生に技術科ならびに情報科の授業を実践しているが，中高生が持つ可能性を最大限伸ばしてあげることができているだろうかと自問する機会ともなった．

受賞者の方々の感想からは，喜びや励みになったという言葉が見られ，コンテストに携わった者としてもうれしい限りである．受賞者の皆さん，おめでとうございます．また，今回応募されたすべての皆さん．これからも探究心を持って研究を進めてください．面白いと思える道へどんどん進んでいきましょう．

図-6　星光：視覚で楽しめるピアノ

参考文献

1) 第3回中高生情報学研究コンテストポスター，https://sites.google.com/view/83taikaiposter/

（2021年5月6日受付）

米田　貴（正会員）　yoneda@port.kobe-u.ac.jp

2016年より神戸大学附属中等教育学校教諭．担当教科は情報科，技術家庭科（技術分野）．

特集

最新のデジタル・フォレンジック事情

編集にあたって

上原哲太郎 | 立命館大学　　須川賢洋 | 新潟大学

かつて『踊る大捜査線』という刑事ドラマで「事件は会議室で起きてるんじゃない！　現場で起きてるんだ！」という台詞が有名になったが，今は「事件はコンピュータの中で起きてるんだ！」といっても過言はないのではなかろうか．事実，何か事件や問題が起きると必ず「コンピュータやSNSのやりとりを調べています」とニュースが締めくくられる．このような調査のことを「デジタル・フォレンジック（DF）」という．このDFという言葉については，最近になってようやく公的機関が出す報告書や資料だけなく，テレビの報道番組や新聞の特集記事・解説記事でも見かけるようになった．

日本国内でこのDFの本格的な研究と普及活動が始まったのは2004年（平成16年）8月に「特定非営利活動法人（NPO）デジタル・フォレンジック研究会」[1]が活動を始めたときからだと言えよう．法律でDFを定義しているものがないので，このときに定められたDFの定義が国内では標準的に使われている（内容に関しては記事本文をご覧いただきたい）．同研究会では以後，『デジタル・フォレンジック事典』[2]の出版や，証拠保全ガイドライン[3]を始めとするさまざまな資料・指針のWeb公開などを行ってきた．つまりは，今，皆さんがDFと聞いて思い浮かべられたこと，考えられたことがちょうど17年目のDFの認知度だと言えよう．

そういった状況を踏まえて，今回はDFの黎明期が終わり安定期に入ったという前提で，新しい時代のDFについて解説するという特集を企てた．実は同研究会では活動15年目に『基礎から学ぶデジタル・フォレンジック』[4]という本を出版している．ここでは，その後の2年間でのさらなる状況変化や書き切れなかったことを中心に，同研究会の理事・幹事を中心に話題を提供していただいた．

DFの黎明期，その用途は，[5]

- ハイテク犯罪や情報漏えい事件などの不正行為発生後にデジタル機器等を調査し，いつどこで誰が何をなぜ行ったか等の情報を適切に取得し，問題を解決するインシデントレスポンスとして．
- 定期的にフォレンジックを用いた監査を行う事により，不正行為の発生を抑止するとともに発生後の対応を迅速に行えるようにする，広義の意味でのインシデントレスポンスとして．
- デジタル・データの保全，解析，保管等の取り扱い手法に関して適切に行われているかを議論する

事により，相互の法的権利を正しく守る活動として．

用いられることを想定していた．現在では記事中にもあるように，たとえばダークウェブ・ダークマーケットの調査などにも使われるなど，その活用範囲は非常に広がっている．

「1. デジタル・フォレンジックの概論と新しい問題」では，DF の概論として伝統的なフォレンジック分野である法医学と比較し，また最近の問題として DF 実施がだんだんと難しくなり，より高度な技術が必要になっていることを述べている．

「2. 最新のデジタル・フォレンジックにおける技術的課題」では，DF に関する最新の技術情報を同研究会の会長より紹介している．

「3. サイバー犯罪とデジタル・フォレンジックの課題―企業や組織における事前対策の備え―」では，DF を用いた捜査に実際に携わっていた人からの，DF 調査の実態と留意点について具体的な紹介がなされている．

「4. デジタル・フォレンジックとこれからの法律研究」では，DF と法律の関係，特に今後のディジタル化政策においてどのような問題点・注意点があるのかについて述べている．

「5. デジタル・フォレンジックの普及状況について―関係者アンケートから考察するデジタル・フォレンジック―」では，それでは DF は現実にはどれほど普及しているのか，また認知されているのかについて過去 3 年分のアンケート調査をもとに分析している．

「6. 盗まれた個人情報の市場価値～デジタル・フォレンジックに携わる現場より」は，DF 調査によって判明した，ダークマーケットにおける個人情報売買の実態レポートである．

なお，Digital Forensic の用語に関しては中点の有無や最後に複数形の s（ス）を付けるかどうかなどいくつかの書き方が存在するが，本特集では「デジタル・フォレンジック」と記載し，その略称を DF とすることで統一することにしたい．

本特集を読んでいただいて，最新の DF に関してより理解を深めていただければ幸いである．

参考文献

1) https://digitalforensic.jp/
2) 初版は 2006 年に，改訂版は 2014 年に「日科技連」より刊行．
3) 前掲 1) デジタル・フォレンジック研究会 Web ページよりダウンロード可．本稿執筆時の最新版は第 8 版．
4) 2019 年に「日科技連」より刊行．
5) 前掲 1) デジタル・フォレンジック研究会 Web ページ「デジタル・フォレンジックとは」後段より．

(2021 年 6 月 7 日)

概要

1 デジタル・フォレンジックの概論と新しい問題

応般

須川賢洋 新潟大学法学部

デジタル・フォレンジックには技術と法の融合が必要である．これは法医学に代表される伝統的フォレンジックには医学と法学の融合が必要となることと同様である．ともに単に調べるだけでは済まず，法的に有効な証拠フォーマット（つまり forensically verifiable な状態）に変換する必要がある．そして，e-discovery 制度が採用されているコモン・ロー諸国では DF が多用されているという事実がある．

しかしながら，ストレージの大容量化や SSD の普及，そしてスマートデバイスやクラウドサービスの普及により，DF の実施はより難しく，かつ，より高度な技術が必要となってきている．

2 最新のデジタル・フォレンジックにおける技術的課題

応般

上原哲太郎 立命館大学情報理工学部

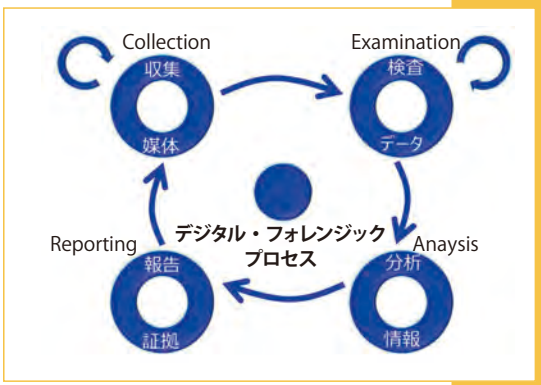
デジタル・フォレンジックがこれまで最も役立ってきたのは磁気記憶媒体上のデータの分析であり，特に削除ファイルの復元は不正行為の発見や分析において非常に大きな役割を果たしてきた．しかし昨今は情報システムに使われる技術の進化や利用環境の変化により，削除・消去されたファイルの復元は困難になりつつある．その主な原因は磁気記憶媒体の大容量化と，SSD などの新しい記憶媒体の普及，スマートフォンやクラウドなどの新しい情報機器やシステムの普及などである．その一方で，文書のみならず音声や静止画・動画までデジタルで扱われることが一般化するに伴い，その改ざん可能性が問われる場面も増えてきた．しかし一般にデジタルデータの改ざん可能性を事後評価するのは容易ではない．本稿はこの分野で新たに求められている技術について述べる．

3 サイバー犯罪とデジタル・フォレンジックの課題
―企業や組織における事前対策の備え―

応般

北條孝佳 西村あさひ法律事務所

多くの電子機器がネットワークに接続され，サイバー犯罪が至るところで発生するといった身近なものとなり，犯罪捜査のためにデジタル・フォレンジックが活用されるようになってきた．しかし，セキュリティ技術の向上と相まって犯罪捜査の困難性が生じており，これは被害者／被害企業にとって望ましい状況とはいえない．本稿では，デジタル・フォレンジックの重要なプロセスである収集・保全と分析について解説し，課題を述べる．



4 デジタル・フォレンジックとこれからの法律研究

応 般

小向太郎 | 中央大学国際情報学部

デジタル・フォレンジックに関する法的な研究について，どのような論点や課題があるのかを紹介する．まず，デジタル・フォレンジックの本来的な利用分野である裁判において，デジタル・フォレンジック技術が証拠の真正性保証等に果たす役割と，法的な位置づけについて解説する．次に，デジタル・フォレンジック技術は，犯罪捜査におけるデータの収集や分析にも使われている．こうした利用における捜査対象者のプライバシー保護などの課題を紹介する．最後に，新型コロナウイルスの影響で注目されているディジタル化やオンライン化を推進する際の，法制度上の問題について，デジタル・フォレンジック技術の活用による促進の可能性についても考察している．

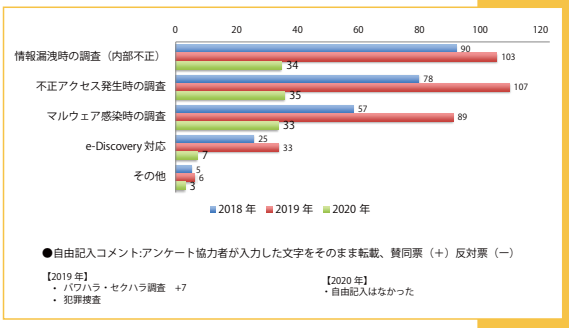
5 デジタル・フォレンジックの普及状況について

―関係者アンケートから考察するデジタル・フォレンジック―

応 般

小山　覚 | NTT コミュニケーションズ（株）情報セキュリティ部／
特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会

デジタル・フォレンジックは，情報漏洩や不正アクセスなど問題発生時の解決手段として，また証拠能力のある情報を得る手段として活用され，犯罪捜査だけでなく企業における情報漏洩インシデント対応においても必須の技術として発展してきた．その一方で，DF は第三者に知られたくない場面で利用されることも多く，その普及状況はセキュリティ製品やサービスのようには知られていない．そこで，デジタル・フォレンジック製品やサービスの導入・使用状況や活用する関係者の意識などの調査結果を報告した．



6 盗まれた個人情報の市場価値

～デジタル・フォレンジックに携わる現場より

応 般

松本　隆 | （株）ディー・エヌ・エー

盗まれた個人情報は多様な犯罪者コミュニティに拡散されていく．筆者はデジタル・フォレンジック調査の中で，サイバー犯罪者が攻撃にかけるコストに注目し，盗まれた個人情報を売買するダークマーケットの調査を行った．その結果，氏名／性別／住所／生年月日など 4 情報が羅列された名簿データではなく，Fullz と呼ばれるような，複数の情報ソースを組み合わせた，より深く「他人になりすます」ための情報により高い値が付く傾向にあることが分かった．また，具体的な悪用のしやすさや，悪用者の安全性に考慮された「商品」が，ダークマーケットにおいてはより評価され，価格に反映されていることが分かった．

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

1 デジタル・フォレンジックの概論と新しい問題

応用 一般

須川賢洋　新潟大学

技術と法の融合，学際化の必要性

デジタル・フォレンジック（以下，『DF』と略す）の話をする前に，伝統的なフォレンジックについて少し述べたい．ディジタルではない伝統的なフォレンジックの 1 つとして「法医学」が挙げられるであろう．テレビドラマなどの影響で死体の検死をすることが法医学だと誤解されることが多いようだが，決してそうではなく，司法解剖[☆1]を行い，その結果を法廷にて有効な証拠フォーマット（つまり forensically verifiable な状態）にして提出するすべての過程がフォレンジックである．被疑者の有罪無罪がかかっているのであるからいい加減なものは許されない．また，刑事事件だけでなく，親子鑑定のための DNA 調査や，時には古墳などの埋葬者調査も行うなど，法医学の範囲は非常に多岐にわたり，それ故，学際的に密なる連携が必要になってくる．

このような理屈は当然にディジタル版のフォレンジックに関しても同様であり，法医学が医学と法学の連携・連鎖が必要であるように，DF においても情報工学と情報法学の連携・連鎖が不可欠となる．特に最近は刑事分野に限らず民事分野や金融分野，医療分野などさまざまな領域への DF の利用が広がっており，学際化が著しい．たとえば，ユーザサイドとしては，クラウドサービスを契約する際には，その性能や稼働時間などといった技術的仕様を確認するだけでは不十分で，日常的にどこまでの管理領域にアクセスが可能なのか，また何かインシデントが起きた場合にどこまでのログを開示してもらえるのか等をしっかりと確認しておく必要がある．

複雑化・多様化するデジタル・フォレンジック

DF の定義については本特集の各所で述べられている通りであるが，最近はその対象や範囲も拡大しており初期の頃のようにパソコンに限定されたものではない．

スマートフォンなどのスマートデバイスの普及とともにこれらへの DF の比重は非常に高くなっているし，時にはその対象はデジカメや HDD ビデオレコーダなどへも及ぶ．また，クラウドサービスの普及は当然に「ネットワーク・フォレンジック」を行うことになり，オフィスにおけるシンクライアントの普及は，サーバを停止することなく DF を行う「ライブ・フォレンジック」の必要性が増していることを意味している．しかし言うまでもなく，このような事象は DF を行う側にとっては難易度が増すこと以外のなにものでもない．また，最近のセキュリティ意識やプライバシー情報保護意識の高まりにより，PC やスマホ／タブレットメーカはセキュリティチップやセキュリティ機能を標準搭載した機器

☆1 解剖の種類は実際には司法解剖だけではないが本稿では省略する．

© 2021 Information Processing Society of Japan

を出荷するようになり，これも最近の DF をより難しくしている．さらにストレージ（記憶装置）の大容量化，HDD から SSD への移行も DF の難易度をますます上げている．保全したデータが改ざんされていないことを証明するために[☆2] ハッシュ値を取ることは非常によく行われていることでなのであるが，HDD が数テラバイトにもなると，そのハッシュ値を取るためだけにでも非常に長時間が必要となり，迅速性を要するセキュリティ調査の際などには支障をきたすことになる．さらに言うと，マルウェアなどのコンピュータウィルスの調査では，最近のマルウェアは自己消去を行い痕跡そのものを消す機能を持っているので，これを発見するためには非常に高度な知識と経験が必要になる．つまり DF 調査の難易度はここ数年で急速に上がっており，DF 技術者には従来よりもいっそう高度な知識と研鑽が要求されるようになっている．

国際訴訟では多用されるデジタル・フォレンジック

DF に関する知名度は上がってきているとは言っても，まだまだ ICT にかかわる者以外がその言葉を聞くことは少なく，報道等でも大きな事件があったときにその犯人逮捕のきっかけの真相スクープ記事のような扱われ方をされる場合がほとんどである．これは DF が裏方・黒子的な役割を負っていることも大きいのであるが，我が国の民事訴訟では discovery 制度をとっていないことも大きい[☆3]．discovery とは「証拠開示」という意味で，つまるところアメリカに代表されるコモン・ロー諸国では要求された証拠はすべて提出しなければならないことになっている．この時代，証拠自体は電子的に記録されているので開示制度も当然に頭に e が付いて e-discovery となる．それ故，我が国の制度では縁遠いためこちらもあまり知られていないが，e-discovery は実は ISO/IEC でも規格化されており，ISO/IEC:27050 番がそれに充てられている．この規格も改定・アップデートが逐次行われている．民事訴訟は刑事訴訟よりも遙かに件数が多いわけであり，それ故，米国などでは e-discovery 時に必須となる DF については技術者だけなく役員や事務的な仕事をする人であっても馴染みの深いものとなっていると言える．

国際的な視座からはもう 1 つ，ログの保存期間に関する問題もある．サイバー犯罪捜査に関する取り決めを定めた国際条約である「サイバー犯罪条約」16 条 2 項では，90 日間を限度とするログの保全期間を法整備するよう求められている．しかしながら，この取り決めは，技術者が考えるような明確にログの保存義務日数を規定したものとは程遠く，期日の明瞭化という観点では，かなり曖昧なものとなっている．「日本の法律ではログは何日間の保全義務があるのですか？」とよく聞かれるのであるが，実は明確に定めた規定はない．刑事訴訟法 197 条 2 項には，捜査機関からのログの保全要請とその期間に関する規定があるのだが，これは「要請時点からログを消去しないように！」という規定であり「日常的にログを何日間記録せよ！」という規定ではない．税法や各種業法によって記録の保存期間が定められている場合はそれがログにおいても適用可能であると思われるが，一括してログの保全について定めた法はないし，また果たしてそれが技術的に可能か，可能だとしても適正なコストで維持できるかは疑問である．この点はまさにこれから法律家と技術者の間で共同して検討していくべきことであると思われる．

デジタル・フォレンジックの今後

今後，DF の活用範囲はますます広がっていくと

☆2 Chain of Custody（証拠の連鎖）の確保という．
☆3 ただし，筆者は日本にも discovery 制度を導入すべきであるという意見ではない．

© 2021 Information Processing Society of Japan

思われる．企業や組織における DX 化（デジタル・トランスフォーメーション）は，DF の並行整備なくしては満足なものにはならないはずである．また，個々のネットユーザという立場から見ても，今後のさらなるコンテンツの流通に伴い，そのコンテンツの行き先や使われ方をトレースするための DF 技術の開発が盛んになるであろうことは想像にかたくない．

だとすれば，情報セキュリティの知識を有していることが一般の人にも徐々に必要になってきたように，DF に対しても一般の人も最低限の知識をあらかじめ有している必要が生じてくることになる．

（2021 年 6 月 7 日受付）

■須川賢洋（正会員） masahiro@jura.niigata-u.ac.jp

新潟大学法学部助教．専攻：情報法．研究テーマ：デジタル知的財産，サイバー犯罪，情報セキュリティ制度など．本会「電子化知的財産・社会基盤研究会（EIP）」幹事．

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

2 最新のデジタル・フォレンジックにおける技術的課題

応用

上原哲太郎　立命館大学情報理工学部

デジタル・フォレンジック（以下，DF）の歴史と技術

コンピュータ上で行われる不正や犯罪行為は，パソコンの普及が始まった 1980 年代にはすでに社会問題化していた．日本において銀行員がオンライン端末の操作により巨額の横領をして社会問題になったのは 1981 年のことであり，米軍のコンピュータに侵入してゲームを楽しんだばかりに核戦争を引き起こしそうになる高校生を描いた映画『ウォー・ゲーム』が公開されたのは 1983 年である．パソコン上で動作するコンピュータウィルスが新聞紙面を賑わすようになったのは 1980 年代後半であり，1990 年には当時の通商産業省の告示に伴い，（独）情報処理推進機構がコンピュータウィルスや不正アクセスに関する被害の届出制度の運用を開始している．このような不正や犯罪行為の証拠となるデータの取扱いを，鑑識学のような学問として位置づけて体系的に整理しようという動きが始まったのは 1990 年代に入ってからである．1992 年にはこの分野に Computer Forensics という用語を充てようという提案が行われ [1]，90 年代後半になると FBI や Interpol の文書内でも使われるようになった．しかし 2000 年代に入って，PDA やスマートフォンなどパソコン以外の電子機器の存在感が増すにつれ，Computer Forensics は Digital Forensics として再定義されることになった．2001 年には Digital Forensic Research Workshop （DFRWS）が開催され，以降現在に至るまで毎年開催されている．IFIP は 2004 年に WG11.9 Digital Forensics を設け，2005 年より毎年国際学会を開催している．我が国においては 2004 年に特定非営利法人デジタル・フォレンジック研究会（IDF）が設立され，産学連携による普及啓蒙活動を続けている．IDF が定めた DF の定義である「インシデントレスポンスや法的紛争・訴訟に際し，電磁的記録の証拠保全及び調査・分析を行うとともに，電磁的記録の改ざん・毀損等についての分析・情報収集等を行う一連の科学的調査手法・技術」は，現在広く引用されるに至っている．

情報科学分野における技術の進化は速いため，DF も新技術への対応を常に求められている．特に，証拠の発見と分析の対象となってきた二次記憶装置においては，その急速な容量の増加と，ハードディスクからフラッシュメモリへの置換えという 2 つの大きな変化への対応が迫られてきた．さらに，DF の対象となる機器の広がりや，クラウド技術への対応も大きな課題である．加えてサイバー攻撃や不正の手法が進化してきたことや，対象となるディジタル証拠が単なるログや文書データから，画像や音声，映像といったものも含むマルチメディアデータに広がってきたことへの対応の課題もある．本稿では，最新の DF の技術が直面しているさまざまな課題について述べる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

二次記憶装置の技術進化への対応

パソコンに内蔵される二次記憶装置の容量は，2005 年ごろには 60 ～ 200GB 程度だった．それが 2010 年ごろには最大で 1TB 程度の容量に達している．その後，市販パソコンに内蔵される二次記憶装置の容量はさほど増えていないものの，ハードディスクドライブ（HDD）の容量増加は続き，2021 年現在 3.5 インチ HDD の最大容量は 20TB に達している．しかしこの急激な容量増大に対し，HDD プラッタの回転速度はほとんど向上していないため，データ転送速度の向上も緩やかである☆1．HDD と外部を接続するインタフェースにおける速度も，2008 年に SATA-3 によって 600MB/s が達成されて以来，向上していない．DF においては HDD の解析前に，ファイルが記録されていない領域も含めた全セクタデータの複製による証拠保全が求められるが，この作業には HDD の容量にほぼ比例した時間がかかるため，大きな課題となっている．実際の証拠保全装置における複製の実効速度は使用する装置や HDD の状態によって変わるが，たとえば 100MB/s とすると容量 18TB の HDD の証拠保全に 50 時間程度を要する．HDD の容量向上は今後も続き，近く 3.5 インチ HDD の容量は 80TB 程度まで増大することが予想されているので[2]，遠からず HDD の証拠保全が現実的な時間では終わらなくなることが予想される．本来，このような証拠保全は HDD 内の解析の際に削除ファイルの復元を行うなどの作業が元データの破壊につながらないようにする目的で行われているので，証拠となる HDD 上での直接の作業においてもデータ書き込みを抑止する技術や，そのような作業が行われた場合であってもデータの破壊や改ざんに繋がっていないことが客観的に確認できる技術が今後求められてくると思われる．

HDD の容量増大はほかの問題も引き起こしている．HDD では，メディア上のセクタの一部が磁性体不良などによりエラーになることが避けがたいため，余剰のセクタをあらかじめ用意しておいてエラーが生じたセクタと入替える代替処理が行われている．この余剰セクタの容量が HDD 容量増大に比例して増加しているため，この余剰セクタを利用してデータを隠蔽するような処理が行われるリスクが指摘されている[3]．このようなデータ隠蔽を行うためには HDD のコントローラに対する特殊な命令の発行などが必要であるため，現状ではそのリスクは必ずしも高くはないが，このような隠蔽を簡単に行うことができるツールが将来流通した場合に一気にリスクが高まる恐れもあるため，注意が必要になるだろう．

また，二次記憶装置において HDD からフラッシュメモリを用いた SSD への移行が続いていることも大きな問題となっている．DF においては，削除されたファイルの復元は証拠隠滅の可能性を分析するための重要な手続きである．HDD においては，ファイルの消去はファイルシステム上でのメタデータの書き換えで行われるため，データ本体はメディア上に残存しており，その領域へのデータ上書きが行われない限りはファイルの復元が可能である．しかし SSD においてはフラッシュメモリのメディア特性上，データの上書き前に消去が必要であり，これに処理時間を要することから，削除されたファイルのデータが記録されたセクタについても OS と SSD コントローラが協調してバックグラウンドで先行消去することにより，書き込みを高速化する処理が一般化している．このため一般に SSD における削除ファイルの復元処理は困難であり，メタデータに残存する情報の分析など削除ファイル復元に拠らない分析技術が求められている．

☆1 HDD の容量は記録媒体であるプラッタの枚数と記録密度それぞれに比例して増加するが，回転速度が一定の場合，記録密度の増加のみが転送速度の向上に寄与する．しかも記録密度が 2 倍になっても転送速度は$\sqrt{2}$倍にしかならない．プラッタの各記録面に用いられる読み取りヘッドを独立に制御できれば理論上は転送速度がプラッタ枚数に比例して向上するが，2021 年現在はヘッドを 2 組に分けてそれぞれ制御するデュアルアクチュエータ技術がようやく実用化されたところである．

© 2021 Information Processing Society of Japan

フォレンジックの対象となる機器やシステムの多様化への対応

情報通信技術の発展によりさまざまな機器や情報システムが生活の基盤として用いられるようになればなるほど，DF が対象とする機器やシステムも多様化している．

この 10 年ほどで急速に普及したスマートフォンは，現在では DF の重要な対象デバイスとなった．ほとんどのスマートフォンは iOS または Android をベースとした OS が搭載されているが，いずれもパソコンやサーバ向けの OS とは異なり，アプリケーションはそれぞれサンドボックスモデル☆2 に基づいて隔離された環境で動作するため，OS やほかのアプリケーションにアクセスする手段が限られており，マルウェアとして作成されたアプリケーションが OS やほかのアプリケーションのデータ改ざんなどを行うのが難しい．さらに，アプリケーションも Apple や Google が悪意ある挙動がないか確認した上で，App Store や Google Play Store などのいわゆる公式ストアを経由して提供することを基本としているため，マルウェアの配布手段に乏しい．特に iOS に関しては App Store 経由以外でアプリケーションの提供ができないため，より安全に利用できるとされる．さらにアプリケーションが OS の脆弱性を突く手段も限られるため，パソコンに比してマルウェアリスクがきわめて少ないとされる．

しかしこのことは DF において証拠保全手続きに必要となるファイルシステムへの直接アクセスを困難にしている．実際スマートフォンにおいては，OS の脆弱性を突いてサンドボックスモデルを回避する Jailbreak（iOS の場合）や root 化（Android の場合）と呼ばれる手段を用いてファイルシステムへの直接アクセス手段を確保することがあるが，このことによって削除ファイルの復元などフォレンジックに必要な技術が適用可能になる一方，この手順の間に予期せぬデータの破壊が起きたり，また得られた証拠の真正性に疑義を生じさせたりするリスクがある．そもそも特にいずれの OS においても脆弱性の改修は進み，JailBreak や root 化が年々難しくなってきていることもフォレンジック作業の障害となっている．一方で一部のアプリケーションデータについては，iOS では iTunes を用いたバックアップファイルの解析，Android ではデバッグ機能として提供されている ADB コマンドを用いた解析によって一定の情報が得られる場合があり，利用されている．このほかに，刑事事件の被疑者や不正調査の対象者が個人所有するスマートフォンの解析において，対象者が暗証番号や生体認証によるロック解除に同意しなかった場合に，強制的にロック解除する方法についてもニーズが高いが，これは OS の基本的なセキュリティ機能であるだけに脆弱性やバックドアを発見する以外には実現が難しい．

さらに最近大きな問題となっているのはクラウド上に保存されたデータに対する分析への対応である．対象となるシステムが IaaS におけるストレージであった場合には従来のフォレンジック技術が適用可能である場合が多いが，SaaS や PaaS であった場合には，システム上の全データの取得や削除されたデータの復元はシステムがそのような機能を提供していなければ困難である．前者についてはデータのバックアップ機能等で代替できることが多いが，後者については削除データを復元できる機能が元々備えられているシステムでのみ実施可能となる．ただし特に米国企業に提供されるシステムについては，主に民事裁判におけるディスカバリーに対応するために，利用者に関する詳細なログの保管，広範なデータ検索や削除データの一定期間の保管などの機能提供がなされている場合があるが，これらは直接裁判に拠らないフォレンジック調査のためにも有用である．利用者のプライバシー保護と不正調査や犯罪捜

☆2 ここでは，各アプリケーションを互いに分離し影響しあわないようにするとともに，OS へのアクセスも最低限にするアーキテクチャのこと．

© 2021 Information Processing Society of Japan

査からの要求とのバランスから，どのような機能をクラウドサービスが提供するべきかの議論は今後も続くと考えられる．

フォレンジックの対象となるデータの多様化への対応

かつて犯罪捜査や不正調査における DF では，情報システム上の各種ログ，ネットワークへのアクセス履歴や検索履歴，メール送受信履歴とその内容，そして特に多様なデータの中でも文書データがその主な対象だった．しかし最近はあらゆるメディアがディジタル化されるに伴い，画像や音声，動画といったマルチメディアデータが分析対象となる機会が増加している．この際に問題になるのは，その内容の真贋である．

すでに静止画像については，きわめて容易にその画像内の特定の人物や物体を消去したり，人の顔の表情を改変できる各種ツールが広まっているため，SNS を中心にいわゆるフェイク画像が多く出回るようになり，画像に対する信頼性が揺らいでいる．動画像についても，深層学習の技術を用いて動画像中の人の顔を他人と入れ替える，いわゆる DeepFake と呼ばれる技術が知られるようになり，これを実現するスマートフォンアプリケーションなどもすでに存在するため，偽造された動画像が出回るリスクが高くなっている．音声についても，元々ディジタルデータにおける一部削除などの編集は容易である上に，音声合成技術の向上も相まって，偽造された音声データが流通するリスクは高まりつつあると言える．

これら画像，音声および動画は，それを視聴・聴取した人に残る印象がきわめて強いため，偽造されたものが証拠として法的係争の場に持ち込まれた場合の弊害は大きい．よってマルチメディアデータの真贋を自動的に判定する技術への要求は高いが，これはまたそれらの自動判定技術を回避してより自然な改ざん画像等の生成を行う技術とのいたちごっことなっている．たとえば DeepFake については，その検出について多くの研究が発表されてきており，初期においては生成された顔が滅多に瞬きをしないことを利用した検出などが提案されたが，現在のツールは自然な瞬きを実現するようになってきており，真贋判定技術としてはもはや有効となっていない．静止画像の改ざん検出については，筆者らはさまざまな研究をサーベイしたが[4]，いずれも完全な自動判定は難しく，また改ざん側のツールの進化によって無効になるような技術が多いと結論づけている．今後はこれらのツールにおいて生成された画像等に電子透かし技術などで改ざんされたことをマークしておくなど，社会的な対応が求められてくると考えられるが，このようなマーキングを行わない，真に悪意ある改ざんへの対応はいつまでも課題として残ると考えられる．

以上見てきたように，DF の対象が広がるにつれてその技術的課題はむしろ増大している．本稿が，より多くの研究者がこの分野に参入することの一助になればと願っている．

参考文献

1）Collier, P. A., Spaul, B. J. : A Forensic Methodology for Countering Computer Crime. Artif Intell Rev 6, pp.203–215 (1992).
2）HDD の次世代記録技術 HAMR 対応 HD メディアの製造技術を開発，昭和電工（株）ニュースリリース，2020 年 2 月 6 日.
3）下垣内太：Exotic Data Recovery & PARADAIS, CodeBlue 2016.
4）Teerakanok, S. and Uehara, T. : Copy-move Forgery Detection : A State-of-the-art Technical Review and Analysis, IEEE Access, Vol.7, pp.40550-40568 (2019).

（2021 年 6 月 23 日受付）

■上原哲太郎（正会員） t-uehara@fc.ritsumei.ac.jp

1995 年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程研究指導認定退学．京都大学助手，和歌山大学講師，京都大学助教授を経て 2011 年総務省通信規格課標準化推進官．2013 年より現職．京都大学博士（工学），特定非営利法人デジタル・フォレンジック研究会会長．和歌山県，京都府，滋賀県各警察本部のサイバー犯罪対策アドバイザーを務める．

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

3 サイバー犯罪とデジタル・フォレンジックの課題
―企業や組織における事前対策の備え―

応用

北條孝佳　西村あさひ法律事務所

ディジタル社会と電磁的記録

電磁的記録の特徴

ディジタル社会の浸透によって，ディジタルデータである電磁的記録が至るところに存在する．そのため，サイバー犯罪が発生した場合だけではなく，通常の犯罪捜査においても，この電磁的記録が証拠として取り扱われるようになってきており，電磁的記録なくして犯罪捜査はできないといっても過言ではない状況である．

電磁的記録は，「電子的方式，磁気的方式その他人の近くによっては認識することができない方式で作られる記録であって，電子計算機による情報処理の用に供されるもの」（刑法７条の２，民事訴訟法３条の７第３項カッコ書）を指し，いわゆるディジタルデータを意味するが，この電磁的記録は，誰でも容易に作成や削除，修正，改変，複写等ができる上，容量も膨大になる．そのため，電磁的記録を用いた犯罪捜査は，さまざまな技術を駆使しなければ適正かつ効率的な捜査ができない．

電磁的記録が犯罪捜査に必要不可欠な現状に鑑みると，常に犯罪の立証のためというデジタル・フォレンジック（以下「DF」という）を意識しておく必要がある．もっとも，DF は犯罪捜査のためのみならず，サイバー犯罪の被害に遭った状況把握にも用いられることもあるし，企業や組織が適切な調査を実施したことの証左にもなり得る．

DF の大きな流れとしては，電磁的記録が保存されている電子計算機等の端末の収集または特定および電磁的記録の保全，当該電磁的記録の検査・分析（解析），解析結果報告書の作成がある（図 -1 参照）．

企業や組織がサイバー犯罪の被害に遭った場合

企業や組織がサイバー犯罪の被害に遭えば，被害状況を特定することが必要になる．しかし，企業によっては，事業継続を優先するあまり，被害に遭った端末を元に戻そうと，証拠となり得る電磁的記録を保全せず，バックアップデータから被害前の状態に戻したり，購入時の状態にするためクリーンインストールしたりすることもある．このような対応後に，セキュリティ事業者に連絡したり，警察に通報したりする企業もあるが，このような状況下では，被害実態が判明しないおそれがあるのは想像にかたくない．ネットワーク機器や重要なファイルを保存しているファイル共有サーバ等には痕跡データがわずかながら残存している場合もあるが，被害に遭った端末等の痕跡データがほとんど残っていない状況においては，被害経路，

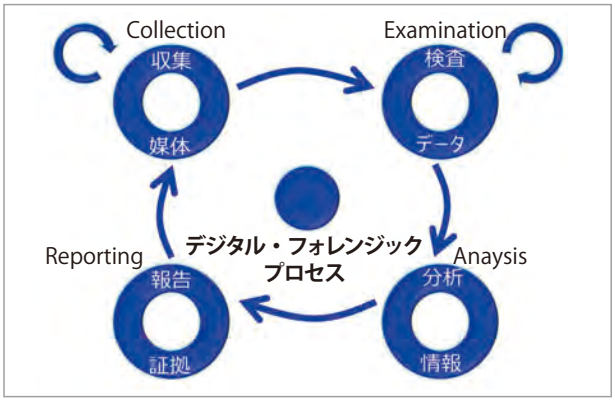


図 -1　デジタル・フォレンジックの流れ

© 2021 Information Processing Society of Japan

被害日時，流出の被害対象となった電磁的記録等が判明しない可能性がある．このような場合，いつから犯罪者に侵入を許していたのか，どこから犯罪者が侵入したのか，第三者から預かっている電磁的記録等が漏えいした可能性があるのか，といったことが不明になるおそれがある．そうすると，外部に対して被害状況を説明することができず，漏えいした可能性のある電磁的記録の主体である第三者に何が漏えいしたのかを説明することもできなくなる．また，再発防止策を検討することもできなくなる．

このような状況は決して望ましいものではなく，企業によっては，株主らステークホルダへの説明責任を果たせなくなるおそれすらある．

そこで，次章ではサイバー犯罪の被害に遭った端末を証拠保全しておくために必要な事項およびその課題について説明する．

証拠保全

端末の特定および収集

端末やサービスの特定

サイバー犯罪が発生した場合に，どの端末やサービスがサイバー犯罪に使用されたか，あるいは被害に遭ったかを特定し，証拠保全のための準備をする必要がある．

たとえば，サイバー犯罪にマルウェアが使用され，電子メールに添付されたマルウェアに感染した端末を経由してファイル共有サーバからデータが盗まれた事例を仮定する．このような場合，①マルウェアを特定して抽出し，マルウェアの解析を行うこと，②マルウェアに感染した端末からファイル共有サーバに接続した履歴を収集すること，③ファイル共有サーバから盗まれたデータを特定すること，④ファイル共有サーバからマルウェアに感染した端末に盗まれたデータがコピーされ圧縮された痕跡がないかを調査すること，⑤マルウェアに感染した端末から外部に送信された接続履歴を収集すること，などが求められる．そのためには，マルウェアに感染した端末の証拠保全，ファイル共有サーバの証拠保全，ネットワーク履歴の証拠保全を実施し，解析することが考えられる．

ただし，近年のマルウェアはファイルレスマルウェアとしてファイル自体が存在しないものも多く，①のマルウェア自体を抽出することができないこともある．また，②マルウェアに感染した端末からファイル共有サーバに接続した履歴を保存していない環境であれば，接続履歴が存在しない．ファイル共有サーバにおいてファイルへのアクセス履歴すべてを取得していなければ，③ファイル共有サーバから盗まれたデータを特定することもできない可能性がある．さらに，近年，企業が用いる端末は SSD（Solid State Drive）が内蔵され，SSD 全体が暗号化されているものが多いことも痕跡データが失われる原因の 1 つになる．この理由は次のとおりである．犯罪者は，マルウェアに感染した端末を介してファイル共有サーバに接続し，当該サーバから電磁的記録をマルウェアに感染した端末にコピーし圧縮した上で外部に転送する．その後，犯罪者は，当該圧縮データを削除するといった手法を用いることが多い．この後に，SSD のガベージコレクション（SSD はブロック全体でなければ消去できないため，ブロック内の有効なデータを別のブロックにコピーして，不要となったブロック全体を消去することを自動で実施する機能）が実施されると，④削除された圧縮データの痕跡を抽出できなくなる．ほかにもプロキシサーバを経由して外部ネットワークに接続する構成ではなく，各端末が直接外部に接続可能な環境であれば，⑤マルウェアに感染した端末から外部に送信された接続履歴が保存されていないこともある．

このように被害実態を解明するために証拠保全を実施したとしても，被害実態を直接解明することが可能な痕跡データがほとんど残っておらず，被害実態を解明するには他の痕跡データから推定しなければならないといった事態も多々存在する．

近年，スマートフォン端末は，電子メールや画像データ，バックアップデータなど，ほぼすべての電磁的記録がクラウドサービスに保存されるようになってきて

© 2021 Information Processing Society of Japan

いるため，サイバー犯罪に関係するスマートフォン端末を特定し，当該端末を使用してどのようなサービスが使用され，クラウドサービスに保存されているかが重要になることもある．

企業や組織の端末に対する事前準備

端末がサイバー犯罪の被害に遭った場合，被害申告のあった端末だけではなく，当該端末を経由して，他の端末がサイバー攻撃の被害を受けている可能性もある．そのため，迅速にすべての被害端末を特定し，被害全体を把握する作業が必要になる．

端末の操作ログをすべて保存するような EDR（Endpoint Detection and Response）等のシステムを導入していない企業や組織では，各端末から簡易的な情報を収集できるツール等を活用して，被害端末を特定することになるため，見逃しがあったり，重要な情報を収集できなかったりすることもある．

このような作業は，非常に非効率的であり，時間だけが膨大に消費されてしまうため，特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会（IDF）が作成している「証拠保全ガイドライン第 8 版」では，ファストフォレンジックの実施を推奨している．

ここで，ファストフォレンジックとは，早急な原因究明，侵入経路や不正な挙動を把握するため，必要最低限のデータを抽出およびコピーし，解析することをいう．ファストフォレンジックを実施するには前述した EDR の導入等，事前の環境構築や専用ツールの動作検証等の準備が重要になるが，ファストフォレンジックを実施することによって，企業や組織のセキュリティ担当者の作業量が少なくて済む場合がある．また，被害端末を早期に特定しなければ，犯罪者によってインストールされたマルウェアがシステムやネットワーク内に潜伏し，気づかぬうちに被害を拡大させている可能性もあるため，ファストフォレンジックによる早期解明が重要になる．

ほかにも犯罪者が感染端末を遠隔操作するために，感染端末が C2（Command and Control）サーバと呼ばれるサーバと定期的に通信を行う場合がある．しかし，この C2 サーバは短期間で消滅することもあるため，被害端末を特定した後すぐに，C2 サーバを調査することで，接続元 IP アドレスや通信内容を把握できる可能性もある．

被害対象の電磁的記録がクラウド上に保存されている場合は，当該クラウドサーバからどのような電磁的記録が収集できるかを把握しておく必要がある．当該クラウドサーバへのアクセス履歴や認証履歴，削除されたデータの復元などの機能が存在するかの把握である．特に，クラウドサービス提供事業者が提供するサービスが利用金額によって区分けされている場合，認証履歴しか保存されない安価なサービスも存在するため，契約しているクラウドサービスがどのレベルの履歴等を提供しているかを事前に把握しておくことが望ましい．

証拠保全の実施

これまでは，痕跡データが残存している可能性が少ない点について述べてきたが，ここでは，マルウェアに感染した被害端末を証拠保全する際の手続きについて解説する．

証拠保全は簡単にいえば HDD/SSD の物理コピーであり，この物理コピーを実施するまでの準備が必要になる．証拠保全において，保全対象物の状態によってはより多くの情報を保全できる可能性があるが，不用意な手順によって有意義な証拠が散逸しないように留意する必要がある．

たとえば，保全対象物が，起動中のパソコンであった場合，パソコン内で起動中のプロセスや接続中のネットワーク構成等，証拠価値のある情報が存在している可能性が高いが，これらは電源をオフにした時点で失われる揮発性情報である．したがって，電源をオフにする前に，揮発性情報を取得するコマンドの入力やメモリ・ダンプを実施するかどうかなど，必要な措置を検討すべきである．ただし，コマンドの入力やメモリ・ダンプを実施したことにより，保全すべき状態が変更されることには留意すべきであり，変更されることを把握した上で，それでもコマンド入力やメモリ・ダンプを実施した方がより被害実態の解明に寄与するかを判断して行う．

© 2021 Information Processing Society of Japan

無線 LAN や Bluetooth を含むネットワーク情報や起動中のプロセス一覧を画面表示させて写真撮影するなどして保全する手法も有効である．

その他，注意すべき基本的事項としては以下のようなものが挙げられるため，これらのメリットやデメリットを考慮して実施する必要がある．

①起動している状態を強制的に電源オフにすることで，プログラムやファイルが破損し，読み取れなくなる可能性がある
②強制的に電源をオフにせず，通常の終了処理をする場合，終了作業によって HDD/SSD 内の各電磁的記録が書き変わったり，起動時に動作していたアプリケーションに関する情報が取得できなくなったりする
③通常の終了処理をする場合，主記憶装置（メモリ）の不足分を補うために使用されるページファイルまたはスワップファイルと呼ばれる仮想メモリが解放される可能性がある
④OS の機能等により HDD/SSD 内の電磁的記録が暗号化される設定になっている場合には，電源をオフにしてしまうと，復号されている状態を維持できない（暗号化状態を復号できなくなる）可能性がある
⑤ノートパソコンの場合，完全に電源をオフにするには，電源コードを抜くだけではなく，バッテリーパックを外す必要がある
⑥スマートフォン等のモバイル機器では，常に外部とネットワーク接続されていることにより，遠隔操作で情報を改変または消去されるおそれがあるため，機内モードに設定する等，ネットワークから遮断する

このほかにも犯罪者による証拠隠滅のため，特定の操作をしないで端末を操作した場合には自動的に端末内の電磁的記録を消去するようなプログラムが組み込まれている場合も想定される．

証拠保全の準備が整えば，物理コピーを実施する．複写（コピー）先に用いる HDD/SSD は，あらかじめ書込みや読込みに不具合がないかを確認し，データが存在しない状態にしておくために一定の値(E5 など)やランダムな値を書き込んでおくことは当然として，コピー元の HDD/SSD に対しては，複写作業により動作記録等の追加書込みや書換えが行われないように書込防止装置等を用いて実施する．

コピーが終了した後は，コピー元とコピー先のハッシュ値を確認するが，このハッシュ値が一致せず，同一性を担保できない場合には，確認時の状況の写真撮影等を行い，同一性を担保する．

作業の実施者は，作業の管理者，所属先，取扱案件名や案件番号，作業に用いた機器のシリアルナンバ，ソフトウェアやファームウェアのバージョン番号等を記録し，作業時には，各デバイスのラベル表示（メーカ，型番，モデル名，シリアルナンバ，セクタサイズ，総セクタ数，記憶容量），作業内容および詳細設定情報などを作業状況メモなどとして残しておく．

上記のような証拠保全は，前述したように保全対象となる HDD/SDD を丸ごとコピーする作業である．この作業は物理コピーとも呼ばれ，対象となる端末の HDD/SSD にインストールされた OS やプログラム等も丸ごとコピーすることになる．この際，著作権との関係が問題になり得るが，マルウェア等の被害に遭った HDD/SSD の OS やプログラム等について，被害当時の状況を保全するためにコピーし，第三者に調査解析を行わせるなどの場合，プログラムの実行等によってその機能を享受することに向けられた利用行為ではないと評価できるため，著作権法 30 条の 4（著作物に表現された思想または感情の享受を目的としない利用）に該当し，著作権侵害には該当しないと考えられる．

解析の実施と犯罪者特定の困難性

被害に遭った端末を特定し，証拠収集および証拠保全を行い，各種履歴等，痕跡データを解析して得られた結果から，サイバー犯罪に用いられた IP アド

© 2021 Information Processing Society of Japan

レスや接続されていた端末，悪用されたサービスのアカウント等を特定する作業を実施する．

近年のサイバー犯罪では，スマートフォンやパソコン等の端末を用いて作成したドキュメントファイルや画像・動画データのほか，さまざまなイベントデータが電磁的記録として保存されているため，これらの解析を実施して被害実態を把握する場合もある．また，多くの機器が，他の機器と連携するためにネットワークに接続されるようになってきており，リモートで接続可能な監視カメラやインターネットに接続可能なテレビ，あるいは HDD レコーダ機器など，IoT（Internet of Things）機器に記録された電磁的記録も解析対象に含まれる場合がある．

さらに，新型コロナウイルスの影響も相まって各種のコミュニケーションツールの導入が加速度的に進んでおり，いまや多くの Web 会議ツール，SNS ツール等が多様化している．

このような実態に鑑みると，まずは，証拠として保全するのは，サイバー犯罪の被害に遭った端末を対象として実施することになるが，当該端末に残存する痕跡データはサイバー犯罪全体の一部である．そのため，痕跡データを解析して得られた結果から被害実態を解明するための電磁的記録を収集する必要があるが，この作業がいかに困難であるかを理解していただけたかもしれない．

サイバー犯罪の被害を受けた端末の解析から，仮に接続元 IP アドレスが特定できたとしても，犯罪者に辿り着くためのその後の証拠収集に支障を来す場面も多々存在する．たとえば，接続元 IP アドレスが Tor（The onion router の略称）の Exit（出口）ノードであった場合，Exit ノードにアクセス履歴等が保存されるような機能が付加されていなければ，攻撃元を辿ることがきわめて困難となる．接続元 IP アドレスが発展途上国のホスティングサーバであった場合，当該国の捜査機関と連携できない可能性があり，また，海外の匿名プロキシサーバが接続元 IP アドレスであった場合には，当該プロキシサーバを利用した本来の接続元に関するアクセス履歴が存在しないため，攻撃元を辿ることはできなくなる．

日本国内であっても，公衆 Wi-Fi や他人の居宅内に設置された無線 LAN のアクセスポイントから接続されていた場合には，攻撃元を辿ることが非常に困難になる．

ほかにも，端末に痕跡が残らない海外のコミュニケーションサービスが使用されていれば，当該サービス提供事業者から接続元に関する履歴の提供を受けられなければ攻撃者を特定することが困難であるし，Telegram のような秘匿性が高いメッセージアプリが使用されていた場合も同様である．

技術革新の功罪

ICT 技術の革新によって，便利な世の中になるが，人々の行動履歴がデータ化され，これを悪用されればプライバシー侵害にもつながることから，セキュリティの向上が図られ，痕跡データが残らなくなっている．スマートフォンなどの端末はパスコードや指紋認証が必須になり，一定回数間違うと初期化され，端末内の電磁的記録を抽出できなくなる．端末内の電磁的記録全体に暗号化が施されていれば，削除された電磁的記録の復元すらできなくなる．このような状況下はプライバシー保護のためには有益であるが，犯罪被害の実態解明を困難にすることにもつながる．

サイバー犯罪の犯罪者を捕まえて起訴するためには，DF を意識した証拠収集，証拠保全が必要になるが，そもそも証拠として収集できない電磁的記録が数多く存在し，泣き寝入りとなっている事件も多数に上る．これはセキュリティと犯罪捜査のジレンマともいえるかもしれないが，技術革新によって犯罪者を野放しになってしまう状況について今一度再考してみてもよいのではないだろうか．

（2021 年 5 月 30 日受付）

■北條孝佳　ta.hojo@nishimura.com

弁護士．元警察庁技官．企業の危機管理，サイバーセキュリティ対策の専門家．政府の各種委員を歴任，都道府県警察や経営者向けの講演，書籍の執筆，SeckHack365 のトレーナーやセキュリティキャンプ講師等，幅広い活動を行っている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

4 デジタル・フォレンジックとこれからの法律研究

応用

小向太郎　中央大学国際情報学部

デジタル・フォレンジックと法的論点

フォレンジック（forensics）は，もともと「法廷の」という意味のことばであり，英語では，「科学捜査」という意味で用いられることが多い．デジタル・フォレンジックは，「インシデントレスポンスや法的紛争・訴訟に際し，電磁的記録の証拠保全及び調査・分析を行うとともに，電磁的記録の改ざん・毀損等についての分析・情報収集等を行う一連の科学的調査手法・技術[☆1]」と定義されており，やはり法律と関係が深い．

ただし，法律と関係が深いからといって，必ずしも法学研究のテーマとなるわけではない．法学研究に限らないが，社会科学において学問的なテーマになるのは，ある論点について，意見の対立があったり，メリットとデメリットのトレードオフが必要とされたりするテーマである．法廷（裁判）に直接関連することでいえば，次のようなことが論点になり得る．

（1）ディジタル情報を裁判上の証拠とするために技術的な保全措置が必要か

（2）デジタル・フォレンジック技術の利用によって証拠としての価値に差が出るか

まず，「（1）ディジタル情報を裁判上の証拠とするために技術的な保全措置が必要か」というのは，ディジタル情報をどれでも証拠として使ってしまってよいのかどうかという問題である．ディジタル情報は変幻自在であるため，ディジタルデータが証拠として提出されても，それが改ざんなどされていない真正なものだという確信が，持てない場合が多い．そこで実務では，デジタル・フォレンジック技術を用いて，内容が改変されていないことを確認できるようにすることがよく行われている．このような処理が行われていないディジタル情報は，そもそも裁判上の証拠として認めるべきではないのではないかという意見がある．

法律の用語では，このような裁判上の証拠とすることができる適格のことを，証拠能力という．刑事訴訟法では，「証拠とすることができる」または「証拠とすることができない」といった書き方で証拠能力の有無が条文に規定されており，特に供述証拠（事実に関する人の記憶について，人の言葉で表現したもの）については，反対尋問がなされるなどの一定の条件を満たさなければ証拠能力が否定されることがある．しかし，現行の刑事訴訟法上の規定では，ディジタル情報の真正性を確保するための措置が行われていないことによって，そこから得られた情報の証拠能力が否定されることはない．民事訴訟法においては，裁判官の自由心証主義が広く認められており，証拠能力を制限する規定は設けられていない．証拠として提出された文書が真正に成立したものかどうかについては，提出したものが証明しなければならないが，正規の手続で作成された公文書や，署名押印のある私文書は，反証がなければ真正なもの

☆1 特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会による定義（デジタル・フォレンジック研究会 Web ページ「デジタル・フォレンジックとは」https://digitalforensic.jp/home/what-df/（2021.05.30）

© 2021 Information Processing Society of Japan

と扱われる[☆2].

次に，「(2) デジタル・フォレンジック技術の利用によって証拠としての価値に差が出るか」は，こうした措置が行われているかどうかが，証明力（裁判官の判断を動かす力）に影響するかどうかという問題である．刑事訴訟（刑事訴訟法第 318 条）でも，民事訴訟（民事訴訟法第 247 条）でも，証拠に基づく事実認定について裁判官の自由心証主義が採られており，どの証拠をどの程度重視して判断するかは，原則として裁判官の裁量に委ねられている．以前はあまり問題とされることがなかったが，最近ではデジタル・フォレンジック技術を利用した適切な保全が行われているかどうかが，裁判の帰結を左右する場面も出てきている．

対等な当事者同士が争う民事訴訟はともかく，立場の非対称性がある捜査機関と被疑者が争う刑事訴訟については，被告人側が，捜査機関の提出した証拠の真正性を争うことはハードルが高く，刑事訴訟の実務を考えると，被告人の不利益になりかねない．もちろん，捜査機関側による証拠のねつ造などはあってはならないことである．以前は，こうしたことは起こり得ないのだという暗黙の了解のもとに裁判が進められていたといってよい．しかし，2010 年 10 月に起きた大阪地検証拠改ざん事件において，捜査機関によるディジタル証拠のねつ造が，現実に起こり得ることが明らかになった．現在では，このような問題があること自体は広く共有されており，捜査機関でも適正な保全がされるような取り組みがされている[☆3]．ただし，捜査機関の努力だけに委ねるのではなく，それを判断する裁判所においても，ディジタルデータについてどのような措置が行われているのかを勘案して証拠を取り扱うことを徹底すべきである．なお，刑事手続きにおけるディジタル証拠等の取り扱いについては，この特集の別の記事をご覧いただきたい．

データ集積の増大と課題

次に，デジタル・フォレンジック技術を利用することが法的に許されるかということも，デジタル・フォレンジックに関する法的な論点になる．これは，デジタル・フォレンジック技術の利用が，人権侵害等の問題を生じないかという問題である．

刑事訴訟の世界では，新たな技術によって強制処分に当たる捜査が行われたような場合に，どのような範囲で許容されるかということが従来から議論されてきた．たとえば，写真・ビデオ撮影，体液の採取，通信傍受等については，捜査機関がどのような方法で証拠を採取することが許されるのかが議論されている．最近では，AI によって個人に関する分析や選別を行うことや，データに基づいて個人のプロファイリングを行うことについて，人権を脅かす可能性があるとして疑念が示されるようになっている[☆4]．犯罪捜査への利用についても，冤罪や被疑者の差別的な取り扱いに繋がる可能性があることが指摘されている．デジタル・フォレンジック技術の利用によって，個人のプライバシーにかかわる事実が明らかになる場合も多い．したがって，こうした観点からの検討も今後はより重要になる．

現在では，人に関するさまざまなデータがコンピュータシステムで収集され，処理されており，今後さらに拡大していくことが予想される．犯罪捜査機関でも，捜査のためにさまざまな情報を収集蓄積している．データの利用が増えたことで，法執行当局がアクセスできる情報も膨大になった．捜査当局は，犯罪が発生した際にさまざまな方法で手がかりを探し，新技術によって生成されたデータも含めて，犯罪に少しでも関係する可能性のある人物の情

☆2 民事訴訟法 228 条 1 項「文書は，その成立が真正であることを証明しなければならない」2 項「文書は，その方式及び趣旨により公務員が職務上作成したものと認めるべきときは，真正に成立した公文書と推定する」4 項「私文書は，本人又はその代理人の署名又は押印があるときは，真正に成立したものと推定する」.

☆3 ディジタル証拠の取扱実務については，町村泰貴・白井幸夫 編『電子証拠の理論と実務―収集・保全・立証』(民事法研究会，2016)，高橋郁夫他 編『デジタル証拠の法律実務 Q&A』(日本加除出版，2015) 参照.

☆4 笹倉宏紀「AI と刑事法」山本龍彦 編著『AI と憲法』(日本経済新聞社，2018 年) 394 ページ以下参照.

© 2021 Information Processing Society of Japan

報を収集している．たとえば，現在では犯罪捜査のために監視カメラやドライブレコーダで録画された映像を確認することは，ごく一般的に行われている．メールや SNS のメッセージ，Web サービスや Web ショップの利用履歴，位置情報，アクセスログなどの情報システムにも大量の痕跡が残されている．これらの情報を照合して，犯罪を犯す可能性のある人物のリストや行動履歴を作成し，容疑者を特定することができれば，犯罪捜査にとっては，非常に有用である．デジタル・フォレンジック技術を活用することで，さらに有効な捜査が可能になることも多い．

捜査機関が，被疑者等の当事者ではなく，第三者から情報収集することも増えている[☆5]．我が国の犯罪捜査においては，人権の侵害や制約を伴う強制処分をできる限り回避すべきであるという考えから，任意捜査の原則が採用されている[☆6]．本人の意思に反して個人情報を取得することは強制処分であるという考え方もあり得るが，捜査当局が個人情報を保有する第三者に情報を求めることは，一般的には強制的な処分ではないと考えられており，強制捜査として令状の取得等がなくても行うことができる．

個人情報保護法は，個人情報取扱事業者が本人から事前の同意を得ずに個人データを第三者に提供することを原則として禁止しているが，捜査機関が捜査の目的で提供を求める場合には，「法令に基づく場合（改正法 27 条 1 項 1 号）」として本人の同意がなくとも提供ができると考えられている．

2021 年の改正（「デジタル社会の形成を図るための関係法律の整備に関する法律」2021 年 5 月成立）によって，我が国の個人情報保護に関する法律は，個人情報保護法 1 本に統合され，地方公共団体の個人情報保護制度についても統合後の法律において全国的な共通ルールを規定し，全体の所管が個人情報保護委員会に一元化されることになった．これによって捜査機関も個人情報保護委員会の監督を受けることとなったが，犯罪捜査等に関する情報は適用が除外される場合が多いと考えられる（改正法 74 条など）．

しかし，個人情報保護制度は，もともと情報技術の発達で膨大な量の情報が収集・保存されることによる危険や弊害に対処するために整備されてきたものである．我が国の犯罪捜査を含む法執行機関の活動における個人情報の取扱いについても，一定の規律や透明性の確保が求められる[☆7]．デジタル・フォレンジックの利用についても，こうした観点から何らかのルールが必要になる可能性がある．

コロナ禍と情報化阻害法制

最後に，ディジタル化の推進に，デジタル・フォレンジック技術が寄与し得る可能性について触れておきたい．新型コロナウイルスの感染拡大を防ぐために，「できることは在宅で」という機運が高まっている．その一方で，「これはオンライン化できない」というものも，結構出てきている．その中には，法律や制度が，オンライン化を阻んでいるといわれるものもある．法制度がオンライン化の障害になるのは，多くの場合，対面や書面（それに付随する署名や押印）を，実質的に義務付けていることによる．

既存の法律が書面や対面を義務付けているのにも，もちろん理由がある．具体的な法の目的はさまざまだが，書面を義務付けるのは「きちんと証跡を残すため」，対面を義務付けるのは「十分なコミュニケーションを確保するため」であることが多い．さらに，書面への記名押印や署名をもとめることが，慎重な判断につな

☆5 小向太郎「捜査機関による第三者保有の個人情報に対するアクセスと本人の保護」『情報通信政策研究』第 4 巻第 1 号 63 ページ以下．

☆6 犯罪捜査規範第 99 条「捜査は，なるべく任意捜査の方法によって行わなければならない」．

☆7 法執行機関による個人情報へのアクセスについては，日本と EU の間の相互の個人データ移転枠組み構築に関する取り組みの過程でも議論になっている．日本と EU の間では，相互に個人情報保護が十分な国と認める方向で検討が行われ，2019 年 1 月 23 日には，欧州委員会が，日本に対する十分性を認める決定をしている．その過程で，欧州委員会から日本政府による情報のアクセスについて説明が求められ，法務省が，欧州委員会の Věra Jourová 委員（司法・消費者・男女平等担当）に，概要を説明する書簡を送付している（個人情報保護委員会「日 EU 間・日英間のデータ越境移転について」，https://www.ppc.go.jp/enforcement/cooperation/cooperation/sougoninshou/）．

© 2021 Information Processing Society of Japan

がることや詐欺的な行為の抑止になることなども指摘されている．遠隔医療を例に挙げれば，医師が患者を治療する際に，診察を怠ると患者がまともな治療を受けられなくなってしまう恐れがあるので，医師法 20 条は診察しないで治療することを禁止しており，診察とは原則として対面のことだと考えられてきた（現在では一定の条件を満たせば可能であるが，無条件で行えるわけではない）．つまり，きちんとした証跡や十分なコミュニケーションが実現できるのであれば，書面をディジタルデータにしたり，対面をオンラインにしたりしても，ほとんどの場合は法の趣旨に反しないし，実際に規制緩和が行われてきた分野も多い[☆8]．

書面についていえば，ディジタル化に関する法改正が，いくつか行われている．日本の法律では，文書の保存が義務付けられているものが結構ある．法律で文書といえば紙の書面のことだ．コンピュータで処理するためには，法律にディジタル情報でもよいということを規定する必要がある．当初は個別の法律ごとに，ディジタル化ができるような法改正がされてきた．早い時期にディジタル情報の利用を規定したものとしては，「電子情報処理組織による税関手続の特例等に関する法律」「工業所有権に関する手続等の特例に関する法律」「電子計算機を使用して作成する国税関係帳簿書類の保存方法等の特例に関する法律」「電気通信回線による登記情報の提供に関する法律」等がある．

法律名を見ても，こういった法律の規定一つひとつを改正していくのは，なかなか難しいことが分かる．そこで，IT 書面一括法（2000 年成立 2001 年施行）やの e-文書法（2004 年成立 2005 年施行）といった，複数の法律の規定をまとめて改正する法律も制定されている．IT 書面一括法は，事業者が取引先等に対して「書面交付」を義務付けられている書面等をディジタル情報にしてもよいことを明確にするものであり，証券取引法，薬事法，保険業法などの 50 の法律が対象となっている．e-文書法は，個別の法令で事業者に「書面保存」等を義務付けられているものについて，原則として，ディジタル情報による保存を可能にしている．日本の文書に付き物のハンコについても，電子署名法（2000 年成立 2001 年）が認める電子署名がなされていれば，署名・押印文書と同じ効果が裁判上も認められるようになっている[☆9]．

菅政権は，社会のディジタル化推進を政府の重要課題として位置づけており，2021 年 5 月には「デジタル改革関連法」が制定されている．これを受けて，2021 年 9 月には担当官庁としてのデジタル庁が設置される予定である．また，デジタル改革関連法の 1 つである「デジタル社会の形成を図るための関係法律の整備に関する法律」には，押印・書面手続の見直すために押印・書面交付等を求める手続きを定めている 48 の法律の改正も盛り込まれている．今後さらに，ディジタル化やオンライン化を進めていくにあたっては，懸念される弊害を払拭し安全にディジタル化を推進する必要がある．

こうした不安を払拭するためには，デジタル・フォレンジック技術を活用して，データの真正性を確保したり，問題が起きたりした場合に原因究明ができるようにトレースすることが，有効な場合も多い．分野によっては，一定の技術の利用をルールに組み入れることも考えられる．ディジタル化の進展によって，ディジタル情報と法律との関係も以前とは比較にならないほど密接になっており，今後はこうしたテーマも，デジタル・フォレンジックに関する重要な論点になる可能性がある．

（2021 年 5 月 30 日受付）

☆8 小向太郎『情報法入門―デジタル・ネットワークの法律』（NTT 出版，第 5 版，2020 年）60 ページ以下．

☆9 電子署名法第 3 条「電磁的記録であって情報を表すために作成されたものは，当該電磁的記録に記録された情報について本人による電子署名が行われているときは，真正に成立したものと推定する」．

■小向太郎（正会員） komukai@tamacc.chuo-u.ac.jp

情報通信総合研究所取締役法制度研究部長，早稲田大学客員准教授，日本大学教授等を経て，2020 年より現職．1990 年代初めから，情報化の進展によってもたらされる法制度上の問題をテーマとして幅広く研究を行う．著書として『情報法入門（第 5 版）デジタル・ネットワークの法律』（NTT 出版，2020 年），『概説 GDPR-世界を揺るがす個人情報保護制度』（共著，NTT 出版，2019 年）など．本会電子化知的財産・社会基盤研究会（EIP）幹事．

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

5 デジタル・フォレンジックの普及状況について
―関係者アンケートから考察するデジタル・フォレンジック―

応用

小山　覚　NTT コミュニケーションズ（株）情報セキュリティ部／
特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会

デジタル・フォレンジック（以下，DF）の活用目的

本稿は特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会（以下，IDF）の活動の一環として，同研究会のイベント参加者に対して毎年行っているアンケート調査結果をもとに，筆者が推考しとりまとめたものである．多分に私見が含まれている点をご容赦いただきたい．

このアンケート調査は 2016 年から行われている．すべての期間を通じた回答から，DF の対象である記憶媒体は従来のパソコンやスマホから，クラウドや IoT デバイスなどに拡大している．その一方で DF が有益と考えられている活用目的は，ディジタル遺品などに多様化しつつも，毎回の調査で上位は「情報漏洩・不正アクセス・マルウェア感染」時の対応が挙げられており（図 -1），DF のビジネスにおける主戦場はおおむね定まっているようだ．

なお，本稿で紹介するデータは，直近 3 年間のアンケート結果に基づいている．興味を持たれた方は，IDF Web ページ☆1 から調査報告書をダウンロードしてご覧いただきたい．

DF 普及状況を調査する目的

DF は情報漏洩や不正アクセスなど問題発生時の解決手段として，また証拠能力のある情報を得る手段として活用され，犯罪捜査だけでなく企業における情

☆1 https://digitalforensic.jp/

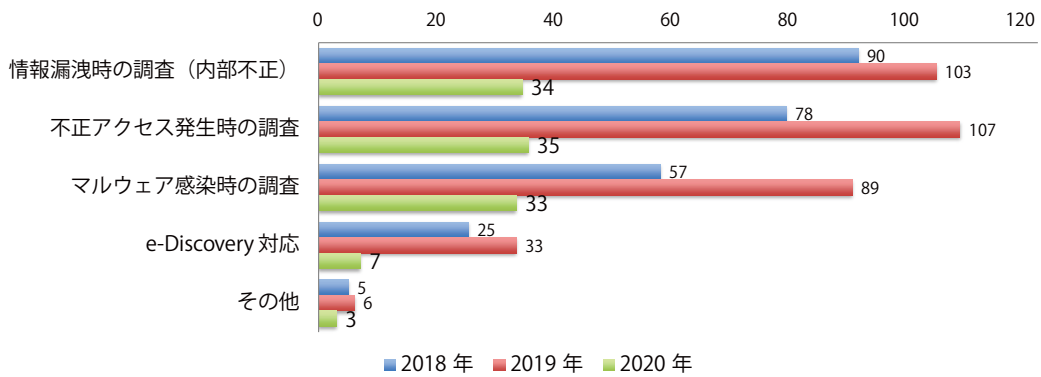


図 -1
DF の有益な活用目的

© 2021 Information Processing Society of Japan

報漏洩インシデント対応においても必須の技術として発展してきた．その一方で，DF は第三者に知られたくない場面で利用されることも多く，その普及状況はセキュリティ製品やサービスのようには知られていない．

そこで，DF 製品やサービスの導入・使用状況や，DF を活用する関係者の意識や，ユーザの期待を調査することで，DF の関係者の参考となるデータをまとめることを目的に DF 普及状況の調査を行っている．

DF 普及状況調査の方法と対象者

DF 普及状況の調査方法

DF 普及状況の調査は IDF のイベントプログラムの一環として実施しており，イベント会場においてセミナー形式で画面投影した Web アンケート内容を解説しつつ，その集計結果をリアルタイムに共有する方法で行っている．また Web アンケートに参加できない人のために事前の紙アンケートも併用し調査結果にまとめている．

DF 普及状況調査の対象者（イベント参加者のプロフィール）

2018 ～ 2020 年に行った 3 回のアンケート対象者は述べ 307 名（2018 年 108 名，2019 年 137 名，2020 年 62 名）で，多い順に「民間企業，行政機関，大学・研究機関」に所属している．また回答者が従事している業務は，多い順に「調査・捜査，セキュリティ対策（CSIRT 等），監査，コンサル」などで，DF を実務で活用する業種や職種が多数を占めている（図 -2）．

DF の活用経験に対する問いに対しては，「半数以上が活用経験あり」と回答している．回答者の DF との関係は多い順に，「自組織に導入・活用する立場，勉強中，顧客から業務を受託する立場」，となっており，DF がすでに企業等の現場で活用されていることがうかがえる．

アンケート結果から DF の現状と未来を読み解く

開花した DF の業務分野

DF 普及状況調査の蓋を開けてみると，DF はすでに多くの分野において，調査や捜査のツールとして定着し，さまざまな関連分野を生み出している状況が確認できた．

3 回の調査において回答者が関係している業務は

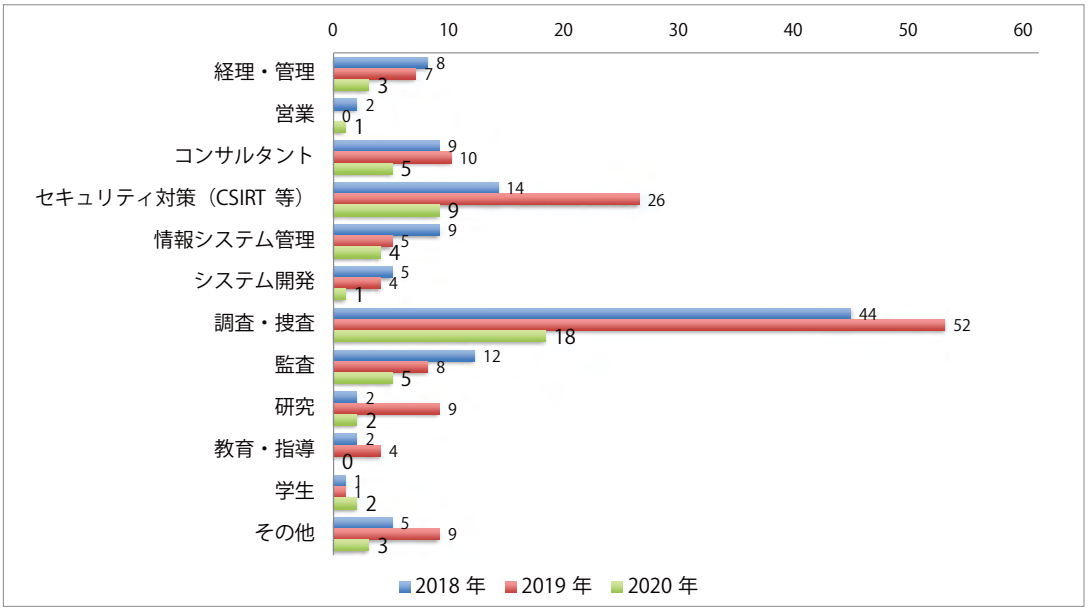


図 -2
回答者の従事している業務

© 2021 Information Processing Society of Japan

多い順に，「不正調査，情報漏洩調査や捜査，犯罪捜査，ネットワーク調査，データリカバリー」であるが，回答者の自由記入により寄せられた業務には，「インシデントレスポンス時のファストフォレンジック，ディジタル遺産，研究テーマとしてのDF」など，多様な業務の裾野が広がっている．

さらにDFの普及を支える関連分野では，多い順にフォレンジック関連製品販売，訴訟支援，e-Discovery[☆2]，トレーニング・人材育成が挙げられており，DFを取り巻くすそ野の広がりが確認できた（図-3）．DFは産業としてのポジションを得たと言っても過言ではないだろう．

DF製品の利用状況について

DFのツールや製品は，対象となる記録媒体やシステムごとに「証拠保全」や「調査・解析」の機能に特化したもの，スマホなどのデバイスに対応したDFの全作業工程を包含した「統合ツール」など，さまざまなものが開発され普及している．製品名と機能については誌面の都合で紹介できないが，IDF Webページで調査報告書とともに公開しているのでご覧いただきたい．

☆2 「e-Discovery」とはアメリカなどのコモン・ロー諸国の訴訟法で採用されている証拠開示制度のこと．日本の裁判とは異なり要求された証拠はすべて提出しなければならない．

DFに影響する国内外の法制度について

DFに影響する国内外の法制度は多い順に，「GDPR，合意制度，不正競争防止法，改正著作権法[☆3]」である．合意制度はいわゆる司法取引制度として新たに導入された制度であり，証拠収集や提出段階でDFが活用される可能性がある．米国におけるe-Discovery制度のようにDFの普及を牽引するがどうかは未知数であるが今後の状況を見守りたい．

DFのプロダクト・ライフサイクル

DFのプロダクト・ライフサイクルについて考えてみたい．製品やサービスが市場に投入されてから，寿命を終え衰退するまでのサイクルを体系づけたプロダクトライフサイクルは，導入期・成長期・成熟期・衰退期で表される．

DFの普及・促進を目的に2004年にIDFが設立されている．いまなお活発にIDFの活動が継続していることから，DFはライフサイクルの導入期は脱して，少なくとも成長期に入っていると思われる．近年におけるサイバー攻撃の激化や不正行為の高度化や，IoTデバイスやクラウドサービスなどの新しい環境に対応するため，DF技術は日々進化を遂げており，将来も有望な産業分野であることは間違いない．

☆3 ビッグデータなどに対応した平成30年（2018年）改正のこと．

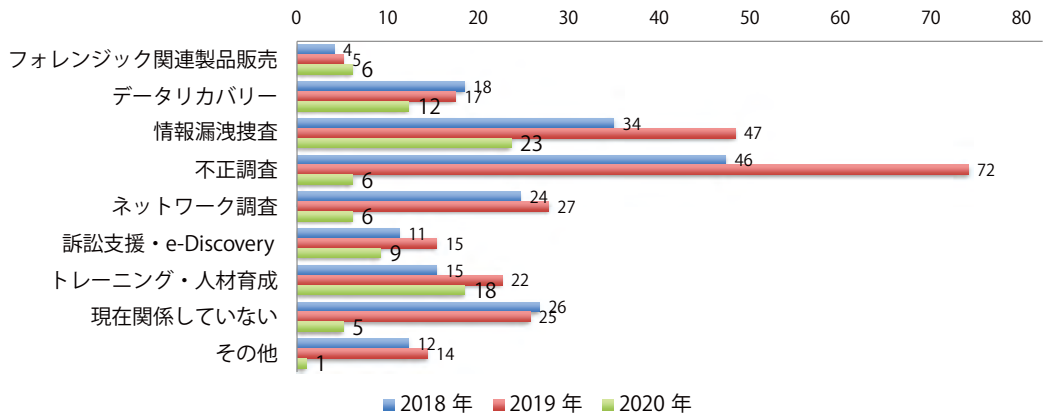


図-3
回答者が関係しているDFの分野

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

本稿の冒頭でも紹介したように，DF と聞いて思い浮かべるものは多い順に，「PC・サーバ等，HDD 等の記録デバイス，携帯電話・スマートフォン，クラウドサービス，ネットワーク機器」などの定番に加え，近年では「IoT デバイス，家電，ドライブレコーダ」などにも DF の対象が広がっており（図 -4），DF が ICT 環境やディジタル環境の変化に追従して成長している様子がうかがえる．

一方で DF が有益な分野は，回答の多い順に「情報漏洩時の調査（内部不正），不正アクセス発生時の調査，マルウェア感染時の調査」が大宗を占めている．2004 年に IDF が創設された当時から DF の三本柱といっても過言でない分野であり，ディジタル遺品などに適用領域が拡大しているが，まだまだ少数派である．DF の産業としてのさらなる成長には，この三本柱以外の新たなビジネス領域の獲得が必要と思われる．

近未来の DF

いま社会生活の大転換期が訪れている．コロナ禍でのリモートワークの定着は言うまでもなく，デジタルトランスフォーメーションによる新たな価値創出が始まり，AI（人工知能）は多くの仕事を人から奪いだした．これまでの DF は人やマルウェアの振舞いをディジタル記憶媒体の解析で明らかにしてきたが，ディジタル化され社会生活の多くを AI に依存する近未来では，AI の振舞いを AI が監視することも増え，その AI の振舞いを DF を使って解析するような，新たなビジネスが生まれているに違いない．

（2021 年 5 月 12 日受付）

■小山　覚　s.koyama@ntt.com

インターネット黎明期からサイバーセキュリティに従事し，NTT コミュニケーションズ 情報セキュリティ部長，エヌ・エフ・ラボラトリーズ 代表取締役社長を兼任し，特定非営利活動法人デジタル・フォレンジック研究会理事を務める．

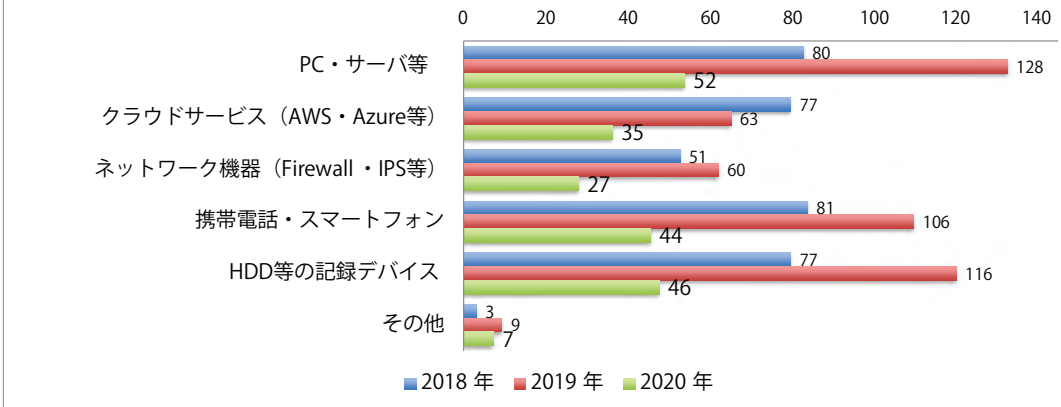


図 -4　DF の対象として思いうかべるもの

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集
Special Feature

［最新のデジタル・フォレンジック事情］

❻盗まれた個人情報の市場価値
～デジタル・フォレンジックに携わる現場より

応用

松本　隆　（株）ディー・エヌ・エー

盗まれた個人情報の「その後」

東京商工リサーチが独自に集計し，今年の 1 月に公開した「上場企業の個人情報漏えい・紛失事故」調査（2020 年版）によると，2020 年に上場企業とその子会社で，個人情報の漏えい・紛失事故を公表したのは 88 社，事故件数は 103 社，個人情報の漏えいは 2,515 万 47 人分だった．この数字はプレスリリースやお知らせなど，流出元となった企業の自主的な開示情報を発表日ベースで集計したものである．そもそも企業が事故を起こしたことに気付いていなかったり，閉じられた関係者の中で処理されたケースも考えると，実際の数字はこれ以上である可能性が高い．情報漏えい・紛失事故の原因は「ウイルス感染・不正アクセス」等の，いわゆるサイバー攻撃が全体の約 5 割を占めている．また，1 事故当たりの情報漏えい・紛失件数の平均は，紙媒体が中心の「紛失・誤廃棄」の 7 万 4,768 件に比べ，サイバー攻撃による被害は 57 万 8,714 件と突出して大きい．大量の顧客データベースの中身をダンプ（データをファイルに書き出して保存すること）し，丸ごと抜きとるようなサイバー攻撃の被害が，従来のアナログな事故に比べきわめて深刻であることが，改めてデータで示される形となった．

サイバー攻撃などによって，組織から違法な手段で盗まれた個人情報は，さまざまな場所で取引される．ダークウェブに存在するマーケットプレイス（以下ダークマーケット）や個人情報オークション，犯罪系コミュニティ，SNS，コミュニケーションアプリ……たとえば 2020 年 11 月に発覚した Peatix のインシデントでは，個人情報を売買するサイトに Peatix のデータが商品として追加されたことがきっかけで，情報漏えいの事実が明らかになった．最初にサイトに商品が売りに出されてから，わずか 2 日間で，盗まれたデータは Instagram のストーリー機能や Telegram のチャネルで個別に取引され，会員制のロシア語のハッキングフォーラムや有名な英語のフォーラム等にまで拡散していった．

盗まれた個人情報は，データブローカーやコミュニティの共有者を通じて，多様な犯罪者コミュニティに拡散されていく．筆者はデジタル・フォレンジック調査の中で，サイバー犯罪者が攻撃にかけるコストに注目し，数ある情報共有プラットフォームの中から，個人情報を売買するダークマーケットの調査を行った．盗まれた個人情報が，成熟しつつある犯罪者の市場でどのような価値を付けているのかについて共有したい．

盗まれた個人情報の価値

ダークマーケットで販売されている個人情報は多岐にわたる．個人情報と聞くと，情報漏えいのニュースで取り上げられることの多い住民基本台帳の 4 情報（氏名／住所／性別／生年月日）や，特定の

© 2021 Information Processing Society of Japan

個人を識別するマイナンバーのような個人識別符号を想像する読者が多いだろう．しかし，昨今のダークマーケットでは，4 情報のような「特定の個人を識別する情報」はほとんど流通していない．よほどの有名人の情報でもない限り需要がないからだ．

たとえばあるダークマーケットでは，ミシガン州の市民の個人情報が販売されている．基本の氏名／住所／性別／生年月日のほかに，SSN（社会保障番号）／携帯電話番号／メールアドレスといった情報が付加され，1 件あたり $5 で取引される．このミシガン州のデータのように，特定の個人にかかわる情報をとりまとめたデータを，Fullz（Fullzinfo：フルズ）と呼ぶ．この Fullz が昨今のダークマーケットで売買される個人情報の基準となる．あるベンダは，運転免許証の両面スキャン単体を $41 で販売しているが，別のベンダは，Fullz に運転免許証の表面／裏面のスキャン画像を付加して，$100 で販売している．ダークマーケットでは，個人情報がとりまとめられた Fullz よりも，運転免許証のスキャンデータの価値のほうが高く，さらに Fullz に紐づけられた運転免許証は，Fullz と免許証データの単純な合計金額の 2 倍以上の価値を付けている計算になる．

これら商品の値付けから，ダークマーケットの利用者にとって対価を支払う価値のある個人情報は，より深く「特定の個人になりすますための情報」だということが見えてくる．市場が Fullz 単体よりも運転免許証データ方が高い価値を付けたのは，具体的な悪用のしやすさにあると考えられえる．ダークマーケットで商品を購入する犯罪者は，入手したデータを活用し，自分の非合法なビジネスや活動の目的を達するために購入するのであって，個人的な趣味で集めているわけではない．3 つの事例の中で最も高い価値を付けた Fullz と運転免許証のスキャンの組合せでは，多くの非対面サービスで，他人になりすましたアカウントの新規開設が可能になるだろう．そこで自分のビジネスを展開して回収する目論見があるからこそ，犯罪者は先行して投資をする．

個人情報を購入する犯罪者の目的が，銀行や暗号資産交換業者の他人名義の口座開設であった場合，金融機関による KYC（Know Your Customer：サービス利用のための身元確認）プロセスによって，なりすましを検出されるリスクが残る．犯罪者側の観点では，可能であれば手持ちのデータで金融機関の KYC を通し，なりすましアカウントを自ら開設，管理したい．悪用する際の，不正送金やマネーロンダリングの運用の幅が広がるからだ．しかし，他人になりすますため入念に準備したところで，口座開設時の不正発覚リスクをゼロにすることはできない．

金融機関の KYC に伴う不正発覚リスクを嫌う犯罪者のために，別のベンダは「マルタに本拠地を置く暗号資産交換業者」の身元確認済みアカウントを $185 で販売している．アカウントは，ID ／パスワード／認証用メールアドレス／ 2 要素認証用の SMS アクセスがセットとなっている．ダークマーケットでの金融資産情報の売買は，一般的に他人の口座の残高をアカウントごと販売するケースが主流だ．しかし，ベンダの説明によるとこのアカウントの残高は 0 だという．これは，他人名義の身元確認済み口座を提供することに意味があるということを示している．ダークマーケットにおいて，ベンダは購入者に対し，単に仕入れた商品をそのまま販売するのではなく，暗号資産の不正送金やマネーロンダリング等の，具体的な悪用方法まで提案していると考えられる．

盗まれたクレジットカード情報

盗まれたクレジットカード情報は，ダークマーケットの定番商品でもある．マーケットは世情を強く反映しており，Gemini Advisory による Gemini Annual Report 2020 では，COVID-19 がクレジットカードの不正利用にも大きな影響を与えていると解説している．興味深いので紹介すると，3 月の世

© 2021 Information Processing Society of Japan

界的な COVID-19 ロックダウン制限以降，CNP（Card Not Present：オンラインでのクレカ不正利用）が右肩上がりに増加している一方で，CP（Card Present：POS（Point of sale system）や ATM など偽造／スキミングによる不正利用）が激減する結果となった．巣ごもり需要によってオンラインでのクレカ不正決済が増加したが，不正利用者も COVID-19 感染リスクを嫌い，偽造カードを手に外出する機会が激減しているのだという．

昨今のダークマーケットでは，氏名／住所／性別／生年月日の 4 情報に値が付きにくくなったのと同様に，クレジットカードの基本情報（カード会員番号／名義／有効期限／セキュリティコード）のみの価値が減少する傾向にある．カード会社や代理店側での不正決済対応が進み，カードの情報だけでは悪用時の不正発覚リスクが高くなっているためだ．

そこで，ベンダは Fullz とクレジットカード情報のセットを販売することで，決済時にカード名義人になりすまし，カード会社やオンラインショップのセキュリティを突破する手段を提供している．なお，Fullz という呼称は広義には個人情報に紐づくクレジットカード情報等をとりまとめたものを指す場合があるが，今回リサーチ対象としたダークマーケットおよびベンダは，それぞれを別の商品として取り扱っていたため，解説でも別の要素として取り上げている．

クレジットカードとセットで販売される Fullz は，カード会社やオンラインショップのセキュリティの向上によって，多様化している．請求書送付先住所／メールアドレス／電話番号，さらに母親の旧姓／好きな映画などのいわゆる秘密の質問が含まれることがある．Fullz とセットになったカード情報の価格は，それほど高価ではない．あるベンダは US のカード情報を＄25 で販売している．ちなみにこのベンダは日本のカード情報のセットも手掛けていて，価格は $49 となっている．US と JP の価格差についての説明はないが，市場で倍近い値が付くということは，それだけ JP のカードに需要があるといえる．

Fullz に加える情報を，利用者のニーズに合わせてカスタマイズ可能なベンダも存在する．まず利用者は＄60 を支払い，クレジットカード情報と Fullz の基本セットを購入する．このセットには，カードの名義人になりすますための Fullz のほかに，IP アドレス／タイムゾーン／言語／位置情報／ユーザエージェントといった，名義人が利用する環境ごとなりすますための情報が含まれている．この基本セットに加え，オプションとして SSN：Social Security Number（US）や Sort Code（UK ／ IE），SIN：Social Insurance Number（CA）などの公的な ID を，用途や場面に応じて組み合わせることができる．ここまで利用者目線のサービスは，ダークマーケットでもなかなかお目にかかることはない．

少し変わったところでは，本人認証サービス 3D セキュアを回避するクレジットカード情報も販売されている．3D セキュアとは，ユーザがあらかじめカード会社に登録してあるパスワード等の情報を，決済時に入力し，照合することで不正決済を防ぐ仕組みだ．カード情報を販売するベンダの説明によると，購入者にカード情報を納品する直前に，ベンダが自ら Fullz を利用してカード名義人になりすまし，カード会社のサイトで 3D セキュアの登録を行い，登録したアクセス／ユーザエージェント情報ごと購入者に納品するのだという．突破するという仕組みは至ってシンプルだが，悪意のあるベンダによって本人確認のための追加情報を登録されてしまっては，決済時にカードの不正利用を検出することは非常に難しいだろう．

コンボリストと Credential Stuffing

Fullz 以外にも，ダークマーケットでは過去に漏えいしたメールアカウントや，SNS アカウントが販売されている．これらの商品は驚くほど安価である．たとえば 57 万件の日本のユーザのメール

© 2021 Information Processing Society of Japan

アドレスが＄9.99で提供されている．また，のべ1億6,400万件分のLinkedinのアカウント情報がわずか＄14で売りに出されている．これらの情報は，ハッキングフォーラムやコミュニティで無料で共有されていたりする．過去に流出したアカウントを販売するベンダの多くは転売者で，フォーラムやコミュニティ等に点在している漏えいアカウントのリストをとりまとめ，タグをつけてダークマーケットで販売している．大量のメールやSNSのアカウントは，ダークマーケットで一定の需要がある．

漏えいから一定期間を経たアカウントは，すでにパスワードの変更などの対策がされ，利用できない可能性が高い．それなのになぜマーケットで根強い需要があるのだろうか？

理由の1つが，ここ数年猛威を振るっているCredential Stuffing（リスト型アカウントハッキング）におけるコンボリストとしての活用だ．Credential Stuffingを仕掛ける攻撃者は，過去に流出したアカウントリスト等を入手し，別のサービスでのログインを試みる．過去に流出したアカウントとパスワードのセットを，複数のサービスで使いまわしをしているユーザがいれば，攻撃者はサービスのアカウントを乗っ取り，正規のユーザになりすますことができる．

コンボリストの基本構成は「USER & PASS」と「EMAIL & PASS」の組合せとなる．「EMAIL & PASS」形式のリストはたとえばSpotify，Netflix，Huluなどのサイトで使用できる．「USER & PASS」形式のリストはSpotify，Steam，Minecraftなどのサイトで使用できる．Spotifyのように両方にリストされているサービスの場合は「USER & PASS」形式と「EMAIL & PASS」形式の両方を受け入れることができる．

ただし，コンボリストとして利用する目的で，アカウントリストを購入しても，そのままログインできる歩留まりは非常に低いことが予想される．すでに述べたように，情報漏えいを認識したアカウントでは，流出したパスワードの他サービスでの使いまわしを避けている可能性が高いし，そもそもベンダによってリストにでたらめなデータが水増しされている可能性もある．

そこで攻撃者は，OpenBulletのような自動アカウントチェッカーを利用する．目的のサービスのユーザインタフェースに最適化されたConfigを事前に設定し，そのサービスで検証したいリストを指定するだけで，実際にログイン試行を行い，リスト内の大量のアカウントの有効性を自動的に検証してくれる．また，プロキシサーバのリストを読み込ませることで，IPアドレスを切り替えながらログイン試行し，アクセスログをかく乱するアンチ・フォレンジック機能も搭載している．アカウントチェッカーは，ハッキングコミュニティで有志により開発／共有されるオープンソースのものもあれば，ベンダによって開発／サポートされた有償のものもある．アカウントチェッカーは，一度価値を失ったコンボリストに再び命を吹き込むツールといえる．

盗まれた個人情報と今後の対策

ダークマーケットという，一般人が足を踏み入れがたい閉ざされた市場で，盗まれた個人情報は確かに売買されている．ただし，多くの人が想像するような，住所／氏名など4情報が羅列された名簿のようなデータではなく，Fullzと呼ばれるような，より深く「他人になりすます」ための情報により高い値が付く傾向にある．販売される情報の希少性や，金融資産のアクセス情報など，直接的金銭的価値も考慮はされているが，一方で具体的な悪用のしやすさや，悪用者の安全性に考慮された商品がより評価され，価格に反映されている．

10年前，Silk Roadが唯一無二の市場だった時代とは異なり，いまやダークマーケットは成熟しており，盗まれた個人情報は，市場全体で悪用者の需要と供給量による価格の調整メカニズムを通じて，複

© 2021 Information Processing Society of Japan

数のマーケットを見比べても，およそ同様の水準で取引されている．当局によるマーケットの摘発も，ほんのわずかな間マーケット利用者を混乱させるが，目立つサービスを見せしめに 1 つや 2 つ閉鎖させたところで，市場はもはや揺らぐことはない．今回のダークマーケットにおける盗まれた個人情報の価格調査によって，市場への「商品」の供給を断ち，再販による「再利用」を防ぐといった，犯罪のコストを上げ，盗まれた個人情報の市場価格を揺さぶるといった観点が重要であると分かってきた．企業や組織は，管理している個人情報を正確に把握し，「個人情報の市場価値」「情報が盗まれた場合のインパクト」に見合った評価をし，それに応じた管理体制を構築したい．また，盗まれた場合のなりすましやすさ，悪用のしやすさを減じるための対策についても，投資を続けていく必要があるだろう．攻撃者がターゲットとする組織を入念に下調べするように，我々もまた，攻撃者の動向を継続的に調査し効果的な対策を探り続けていくしかない．

（2021 年 5 月 31 日受付）

■松本　隆　takashi.matsumoto@dena.com

（株）ディー・エヌ・エー DeNA CERT メンバ．副業として某官庁サイバー・アナリスト．デジタル・フォレンジック研究会理事．東京電機大学総合研究所客員研究員．

© 2021 Information Processing Society of Japan

特集

快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術

編集にあたって

敷田幹文 | 高知工科大学　　中村　豊 | 九州工業大学

インターネットと情報システム運用技術の進化

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．

大規模な情報システムの構築には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て運用作業の自動化が進められています．また，サービスを行うソフトウェアの開発やデプロイメント（展開）に関しても，継続的インテグレーション（CI）や継続的デリバリー(CD)を行って運用管理作業を自動化・効率化する手法が用いられるようになってきました．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，スケーラブルな技術を用いてさらに大規模になったシステムを運用するために，基盤システムの運用に携わる提供側運用管理者の負担は今なお高い状況です．

このように変化の著しいインターネットや大規模情報システムの運用技術に関する研究を推進するために，本会 分散システム／インターネット運用技術研究会（DSM研究会）と高品質インターネット研究会（QAI研究会）が2008年に統合されて，インターネットと運用技術研究会（Internet and Operation Technology：IOT研究会）が発足し，2013年にシステム評価研究会（EVA研究会）と統合されて，現在に至ります．IOT研究会は，多くの組織が抱えるネットワークの構築・運用技術に関する技術的な課題，コンピュータやネットワークのさまざまな利用方法，インターネット上の通信を安定かつ確実に行うための通信方式の研究およびネットワーク構築技術の研究に関する幅広い研究発表の場となっています．

また，IOT研究会では，従来から計算機・ネットワーク運用技術に関する優れた実践的研究を高く評価し，それらを論文化したり国際的に発表したりすることを推奨してきました．計算機やネットワーク運用上のベストプラクティスに関する研究発表に対する藤村記念ベストプラクティス賞を2015年度に創設し，デジタルプラクティスへも推薦論文として投稿を促してきました．そして論文誌トランザクションデジタルプラクティスの新設に伴い，IOT研

【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/47/S1203-index.html をご覧ください．

究会が中心となって今回の特集号の企画・編集を行いました．

本特集では，インターネットや大規模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最新の実証研究，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．

本特集の論文について

本特集は 3 編の招待論文と 2 編の投稿論文を掲載します．まず，招待論文としては以下の各立場からのプラクティス論文を投稿いただきました．

藤村氏の招待論文「**大学における情報環境整備の重要性と課題**」では，大学における最近の情報環境整備について，九州大学における取り組みを，情報統括本部の設立からその後の活動について，筆者が直接かかわった活動について述べられている．具体的には，ソフトウェアの包括契約，電子メール，認証基盤，教育情報システム，PC 必携化（BYOD），遠隔講義システム，Web 学習支援システム，教育データの利活用，クラウドの活用，最後に ISMS 取得について述べており，これらを通して大学における情報環境の歴史的な経緯，現状，問題点，今後の課題等について論述している．

坂下氏の招待論文「**マルチコンテナオーケストレーションを用いた大規模コンテナ環境の設計と運用**」では，年々増加するコンテナおよびコンテナの実行環境を管理するために，Kubernetes を使い Kubernetes を管理する KaaS を開発し，2 年 4 カ月運用してきた結果からその有用性を述べている．ヤフーでは，2020 年 12 月時点ではコンテナ数が約 204,980 個，User Kubernetes 数が約 860 クラスタへと成長した大規模コンテナ環境を 25 人の KaaS 管理者にて管理しているが，この大規模コンテナ環境により，コンテナ化したアプリケーションを多数運用できるようになったことで，コンテナ化せず VM（Virtual Machine）上で稼働させたと仮定した場合と比較し，コンピュート・ネットワークは約 86.4% の集約効果があったと論述している．

松本氏らの招待論文「**コンテナを利用した実行環境の変化に素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャの設計と実装**」では，特別な専門知識を持たない個人でも利用できることを目的に，Web アプリケーションへの HTTP リクエストごとに，コンテナの起動，起動時間，起動数，および，リソース割り当てを反応的に決定する，テナントの状態の変化に素早く適応できる恒常性を持つ汎用的なシステムアーキテクチャの設計と実装について述べている．このアーキテクチャにより，アクセス集中時にはコンテナが HTTP リクエストを契機に，あらかじめ listen の直前のプロセス状態にイメージ化されたコンテナを，アクセス状況に応じて複製・破棄することで，サービス利用者が意識することなく迅速に自動的な負荷分散が可能となる．さらに，HTTP リクエストが送られてこないコンテナは一定期間で破棄されることにより，収容効率を高め，ライブラリが更新された場合には常に新しい状態へと更新される頻度が高くなる．この提案アーキテクチャをプロトタイプのシステムに実装し，負荷分散の性能や HTTP リクエスト単位での状態変更処理の性能について評価して，実運用上の観点から有用であることを示している．

［特集：快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術］編集にあたって

また，以下２本の投稿論文を採録しました．

石原氏らによる「**IoT コンピューティングデバイスを用いた低コストな無線 LAN 環境計測システム**」では，低いコストで実環境での無線 LAN 環境の評価を行うため，安価なコンピューティングデバイスを計測デバイスとして採用した，多数の無線クライアント接続による無線 LAN 環境の評価を行う計測システムの開発について述べている．現在，学校において感染症対策の要請から，対面授業，オンライン講義，オンラインと対面を同時に行うハイブリッド型の授業などさまざまな形態の授業が混合して実施されており，キャンパス内の教室で無線 LAN を使用してオンライン講義を受ける状況が存在している．複数の学生が教室で同時にオンラインの講義を受講する場合には，その場所の無線 LAN インフラに十分なキャパシティが必要となるが，一般的にキャンパスの無線 LAN 整備においては，キャパシティ設計は機器のカタログスペックや電波シミュレーションを元に行われ，実際に多数の学生が同時接続をした場合に，十分なクオリティで通信を行うことができるかは未知数である場合が多いが，本システムにより，無線 LAN 環境に対し，コストを抑えつつ実環境に近い状態での計測が可能となることを論述している．

今野氏らによる「**時系列障害原因分析による推論 QoS 規則導出手法**」では，近年顕著である時系列監視データベースのインメモリへの移行動向に適した，実時間で動作可能な事例ベース推論と時系列形状ベースの障害原因分析に基づいたイベント駆動型の推論 QoS 監視規則生成手法を提案している．クラウド環境における QoS（Quality of Service）保証はサービス利用者と提供者の両者に共通する重要な課題であり，特に障害発生時の運用作業においては調査時間も限られ運用者の介在による遅延も発生し，即時の障害復旧には運用業務の自動化が不可欠であるのに対し，本提案手法の適用により，障害発生時の即時の暫定的復旧対応に加え，再発防止に向けた障害原因特定および恒久的対処の自動化を目的としている．本提案手法は評価実験にて，従来の時系列クラスタリング手法と比較して同等の高適合率を保ちつつ，実時間で高速に動作する障害原因分析性能を示しており，また現実的障害環境下での即時の自律復旧対策による有用性も示している．

今後に向けて

最後に，本特集を企画する機会を与えていただくとともに，その実施にご尽力，ご支援いただいた学会関係者各位に感謝いたします．また，それぞれの立場でのこれまでの実践的運用経験を元に論文をご寄稿いただいた招待論文筆者の皆様と本特集に興味を持ち優れた論文をご投稿いただいた筆者の皆様，多忙な中で論文を綿密に精査し，よりよい論文にすべく有益なコメントをご提供いただいた査読委員ならびにデジタルプラクティス編集委員および学会事務局の皆様に深く感謝いたします．本特集のプラクティスが読者への有益な情報となって，今後のインターネットや情報システムの実践的運用管理技術発展の一助となれば幸いです．

（2021 年 6 月 11 日）

■**敷田幹文**（正会員）shikida.mikifumi@kochi-tech.ac.jp
1965 年生．1995 年東京工業大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了．博士（工学）．同年北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター助手．2001 年同助教授．2012 年情報社会基盤研究センター教授．2016 年高知工科大学情報学群教授．大規模ネットワークサービス，コミュニケーション支援，教育支援に関する研究に従事．ACM，電子情報通信学会，日本ソフトウェア科学会各会員．

■**中村　豊**（正会員）yutaka-n@isc.kyutech.ac.jp
九州工業大学情報基盤センター教授．2001 年奈良先端科学技術大学情報科学研究科博士後期課程修了．博士（工学）．インターネット計測技術，ネットワーク運用技術，ネットワークセキュリティに関する研究に従事．電子情報通信学会会員．

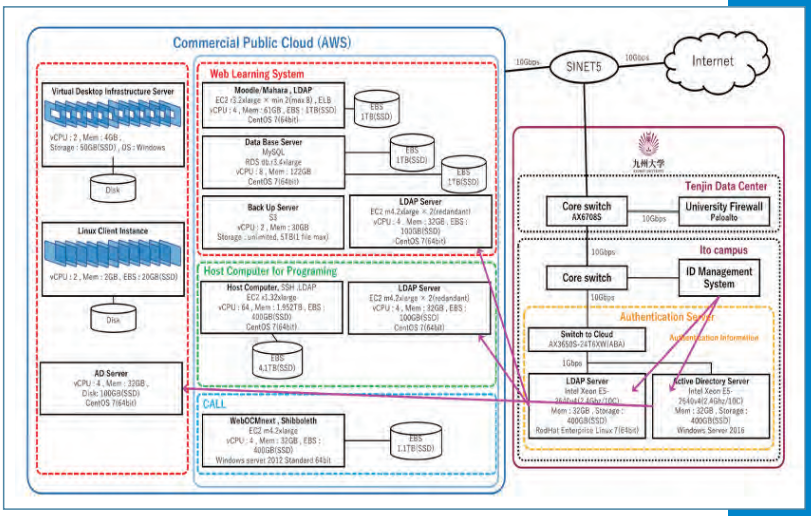
概要

本編はこちら ▸▸

1 大学における情報環境整備の重要性と課題

藤村直美（九州大学）

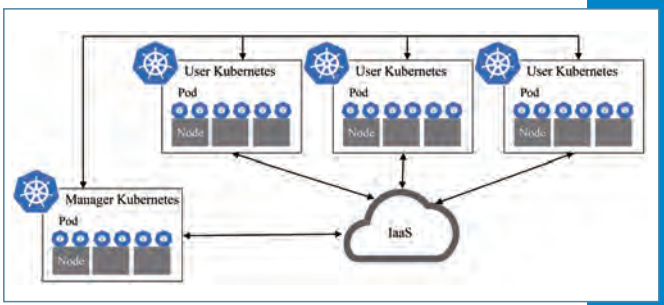
大学における最近の情報環境整備について，九州大学における取り組みを，情報統括本部の設立から，その後の活動について，筆者が直接かかわった活動について述べる．具体的には，ソフトウェアの包括契約，電子メール，認証基盤，教育情報システム，PC 必携化（BYOD），遠隔講義システム，Web 学習支援システム，教育データの利活用，クラウドの活用，最後に ISMS 取得について，歴史的な経緯，現状，問題点，今後の課題等について述べる．



2 マルチコンテナオーケストレーションを用いた大規模コンテナ環境の設計と運用

坂下幸徳（ヤフー（株））

Web サービスを中心にアクセス数の変化や新機能への追随を容易にするためコンテナ環境の利用が進んでいる．本稿では，ヤフー（株）にて運用している大規模コンテナ環境 Kubernetes as a Service について，アーキテクチャと運用実績から得られた知見を報告する．2020 年 12 月時点で 204,980 個以上のコンテナ，860 クラスタ以上の Kubernetes が稼働中である．

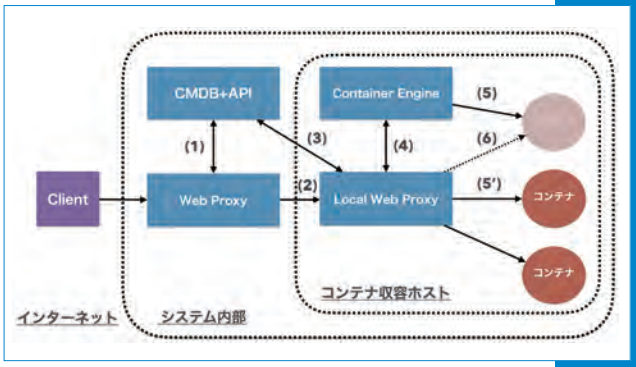


論文誌 デジタルプラクティス「特集：快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術」はこちらでご覧いただけます（電子図書館）
https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_opensearch&index_id=10605

［特集：快適な運用管理を支えるインターネットと運用技術］概要

3 コンテナを利用した実行環境の変化に素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャの設計と実装

松本亮介（さくらインターネット（株）さくらインターネット研究所）
近藤宇智朗（GMO ペパボ（株）技術部技術基盤チーム）
栗林健太郎（GMO ペパボ（株）ペパボ研究所）

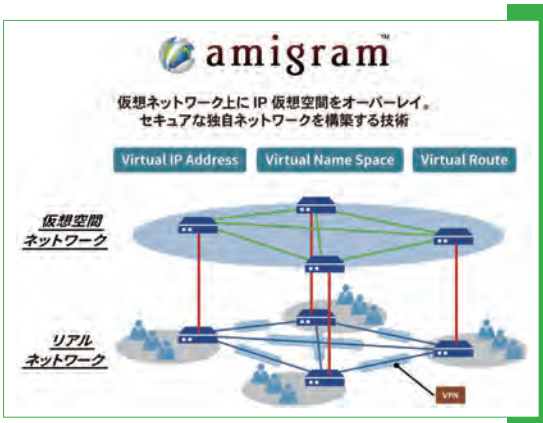


クラウド·Web ホスティングサービスに対して，セキュリティの担保を前提とした低価格化と性能の向上，および，多数の機能が求められる中，各サービス事業者はコンテナ型の仮想化技術（以下，コンテナ）に注目し，活用している．さらに，エンジニアだけでなく，特別な専門知識を持たない個人がサービスを利用することも増えてきている．一方で，障害時の可用性やアクセス集中時の負荷分散については，依然として各サービス事業者によるシステム固有の実装や，エンジニアの特別な専門知識に依存している．本稿では，特別な専門知識を持たない個人でも利用できることを目的に，Web アプリケーションへの HTTP リクエストごとに，コンテナの起動，起動時間，起動数，および，リソース割り当てを反応的に決定する，テナントの状態の変化に素早く適応できる恒常性を持つ汎用的なシステムアーキテクチャの設計と実装について述べる．

[JISA アワード] 概要　　JISA アワードについて ▸▸

仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム

別府征英（（株）網屋）



企業ネットワークのさまざまな課題を解決するべく，仮想セキュアネットワーク空間プラットフォームを開発した．本プラットフォームは，既存ネットワーク上に仮想セキュアネットワークを構築し，いつでもどこでもセキュアなネットワークを提供するプラットフォームである．本稿では，プラットフォームの概要とその特徴について述べ，さらに今後の取り組みについて述べる．

[ユーザ会論文] 概要

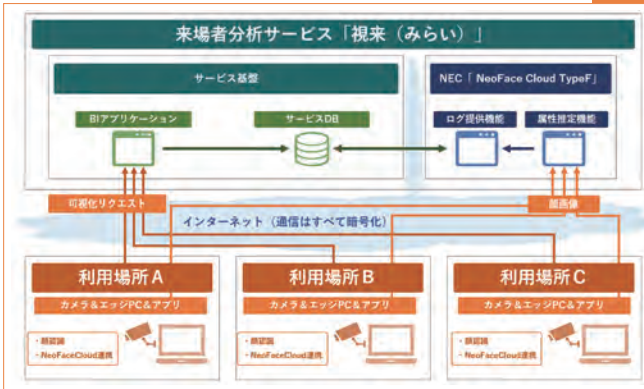
DP コーナーでは，最新技術を ICT 産業に普及させていく立場でのプラクティス論文を掲載しています．特に，ICT 製品・サービスのユーザの立場で，効率的な利用や経済的な価値を付加するプラクティスをお伝えするため，国内の代表的な ICT 企業・団体のユーザ会にご協力いただき，ユーザ会の論文をご紹介します．

NEC ユーザ会

顔認識によるデジタルマーケティングの実用化 ～価値あるデータを未来につなぐ～

島田　慧（(株) BCC）

近年，DX に向けた社会的な取り組みが加速していく中，新たな IT サービスの創出においては，AI・IoT など先端技術の利活用は必要不可欠である．本稿は，現場発信のアイデアが，お客様の真の課題やニーズの発掘を経て，新たなサービスに発展するまでの取り組みを紹介する．特に，当初企画したオンプレミス型のサービス設計が，お客様とのビジネス PoC を通じてクラウド型のサービスに変化するまでのプロセスを詳しく解説する．



FUJITSU ファミリ会

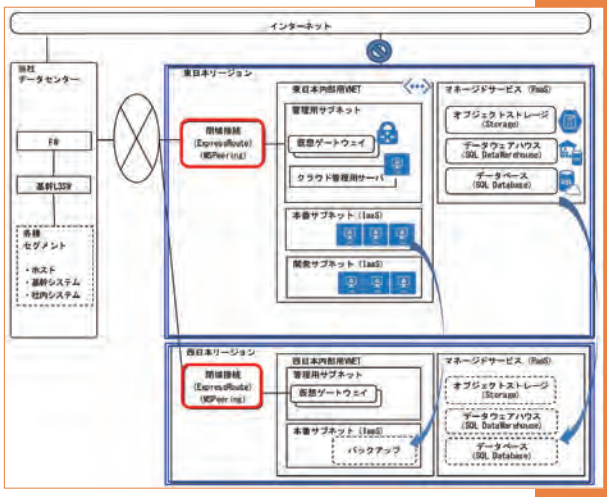
生命保険会社におけるパブリッククラウドの活用 ～機動的なシステムインフラ構築とコスト最適化を目指して～

白石征久・佐田野直樹・堀　仁人（(T & D 情報システム（株)）

近年，少子高齢化の進行やライフスタイルの変化にともない，生命保険業界を取り巻く環境が大きく変わりつつある．当状況下において，デジタル技術を活用した成長戦略を実現するためには機動的なシステム開発態勢の構築が急務であり，迅速かつ柔軟にシステムを構築でき，コスト最適化に資するパブリッククラウドの活用に取り組むこととなった．

パブリッククラウドの活用に向けては，サービスの継続性と情報漏洩などのセキュリティに関するリスク対策が重要な要素であり，外部機関の知見も加え，実証実験を含めた複数のステップを経て段階的に評価を行った．また，並行して社内の基準を整備し，可用性と機密性の観点からパブリッククラウドへの移行対象システムを選別，2019 年度から約 2 カ年で社内システム（約 70 サーバ）を移行した．

移行により，コスト削減，開発期間の短縮に加え拡張性や柔軟性など，パブリッククラウドのメリットを享受できた．



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

SDGsをテーマとした総合的な学習の時間におけるICT活用―１人１台タブレット端末の利用による情報活用能力の育成―

菊地　寛　浜松市立雄踏小学校

実践概要

小学校５年生児童を対象に，SDGs（Sustainable Development Goals）についての学びを深めることを目的として，総合的な学習の時間において，１年間の大単元を構成した．特に，2020年７月にレジ袋が有料化されたことに合わせて，レジ袋やエコバッグを柱とした小単元を組み，国語科や家庭科などの他教科と連携を図りながら，カリキュラム・マネジメントを行い，授業を行ってきた．1人1台タブレット端末の環境を利用して，児童が自分の意見を書き留め，仲間と比較しながら自分の考えをより良くすることを支援し，情報活用能力育成を目指してきた．

実践環境

2020年６月～2021年３月上旬，浜松市立雄踏小学校５年生１クラス（29名）を対象に，筆者が総合的な学習の時間を中心に，国語科，家庭科，図画工作科と連携して実践を行った．

ICT環境

2020年６月～2020年11月までは学校のパソコン室でWindowsのノートパソコンを１人１台利用した．また，2020年９月からは１人１台のiPadを利用した．並行して，2020年12月から浜松市が配置したタブレット端末（Chromebook）を１人１台利用することにした．いずれの端末もWi-Fiを通じて，インターネットに接続された状態である．

使用したアプリ

本実践では，どのタブレット端末でも利用できるクラウド統合アプリ「Google Workspace for Education（以下，Google Workspace）」を利用した．特に，課題を配布・回収，ストリーム（掲示板機能）ができる「Classroom」や文書作成を行う「ドキュメント」，テレビ会議を行う「Meet」，アンケー

トを作る「フォーム」を利用した．また，アプリではないがインターネット上で「NHK for School」[1]を利用した．「NHK for School」は，テレビ放送以外にネット上で，動画番組や 1，2 分の動画クリップを配信している．対象は幼稚園から高校生までと幅が広く，小学生でも中高校生向けの動画を問題なく視聴できる場合も多い．

特に，教師が見せたい動画クリップをリストにして配布できる「プレイリスト」機能を大いに活用し，個別学習に対応させた．本実践では，特に情報活用能力を育成することを意図した番組『しまった〜情報活用スキルアップ〜』（小学校高学年向け），『プロのプロセス』（中高生向け）の番組や動画クリップを利用した．児童が動画クリックを視聴している様子を図 -1 に示す．

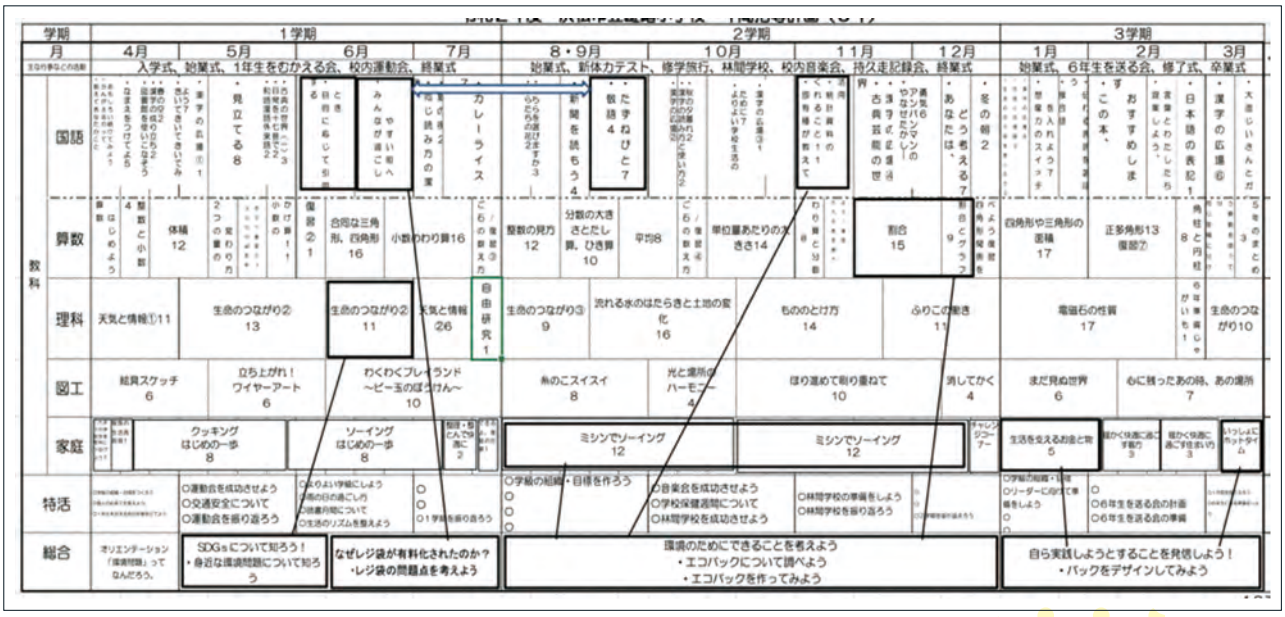
■図 -1　プレゼンのやり方を動画クリップで視聴

単元について

平成 29 年告示小学校学習指導要領総則[2]では，「社会に開かれた教育課程」の理念の実現に向けて，「学校教育に関わる様々な取組を，教育課程を中心に据えながら組織的かつ計画的に実施し，教育活動の質の向上につなげていくこと」と示されている．そのために，カリキュラム・マネジメントが重要であることが示されている．また，カリキュラム・マネジメントには，複数の教科等の連携を図りながら，学校教育の効果を常に検証・改善し，地域と連携し，よりよい学校教育を目指すと書かれている．そこで，本実践では，総合的な学習の時間を柱に，他教科と連携を図り，大学，地元の企業の協力を仰ぎ，単元を計画することにした．

カリキュラム・マネジメント

総合的な学習の時間を核にして，国語科，算数科，理科，家庭科の内容と連携させ，カリキュラム・マネジメントの一貫として図 -2 のように教科横断的カリキュラムを設計した．



■図 -2　カリキュラム・マネジメント

国語科では，意見文についての２つの単元と関連付けをした．１つは，「みんなが過ごしやすい町へ」（光村図書５年国語科教科書）である．これは，調べてきたことを，資料を使って報告文としてまとめる活動である．ここでは，総合的な学習の時間でレジ袋について追究してきたことをまとめることにした．しかし，教科書の配列では１学期に位置付けられているが，まだ追究が始まったばかりだと判断をし，２学期の単元と入れ替えをし，レジ袋の追究が終わる９月に計画をすることにした．もう１つの単元は，「統計資料の活用」である．ここでは，統計資料を用いて，今の社会が暮らしやすいか暮らしにくいかの主張をして，意見文にまとめる学習活動を行う．題材は，児童と相談をし，総合的な学習の時間で取り組んでいるレジ袋，環境問題とした．

総合的な学習の時間の計画

単元「守ろう！環境と自分たちの地域！自分たちにできることに取り組もうプロジェクト」を１年間のスパンで計画し，図 -3 のように４つの小単元で構成した．小単元１（10 時間）は，「SDGs について知る」である．SDGs の 17 の目標について実生活と関連付けながら，情報を集め，どんな目標なのか追究をする．また，浜松市としてはどんな取り組みをしているのかについても追究をしていく．小単元２（15 時間）は，「環境について知る」である．ここでは，「なぜレジ袋は有料化されたのか」という学習課題を設定し，グループで追究をする．ここでは，ジグソー法を用いたグループ学習を計画した．

ジグソー法は，アクティブ・ラーニングの１つの手法として，近年，多くの学校の授業で取り入れられている．学習課題についてグループの人数分の複数の視点の資料を用意し，資料ごとのグループに分かれて読み込む．そして，もとのグループに戻り，それぞれがほかの資料で追究してきた仲間に説明をし，交換した知識を組み合わせながら，学習課題に対する理解を深める学習法である．本実践では，ジグソー法を用いたグループ学習を２回計画をした．１回目，石油，プラスチックゴミ，二酸化炭素排出量などをテーマにして，レジ袋そのものを捉えることができるジグソー学習を計画した．そして，２回目は，地球の温暖化，サーマルリサイクル，エネルギー，バイオマス，脱プラスチックなどをテーマにし，１回目のジグソー学習の内容を活かし，それぞれのテーマの内容を組み合わせないと問題点が見えないように工夫をした．なお，教員が資料を用意した．

レジ袋の問題点を洗い出したところで，自分たちには何ができるのか考えさせた．その結果，エコバッグを持ち，レジ袋の利用を削減したという意見が出たため，２学期はエコバッグについて追究

R2　５年総合的な学習の時間

探求課題	環境と地域産業を守る人々		
単元名	守ろう！環境と自分たちの地域！自分たちにできることに取り組もうプロジェクト（仮）		
単元のねらい	・SDGs についてわかることが地域環境を守ることにつながることを理解し、地域の産業のよさと課題及びそれに携わる人々の願いが分かる。（知識） ・情報を比較・分類・関連付けるなど、探究の過程に応じた技能を身に付けることができる。（技能） ・視点と根拠を明確にし、データに基づく事実や整理した情報を関連付けたり、多面的に考察したりして、多様な情報の中にある特徴を見付け、目的に応じてまとめることができる。（思考力、判断力、表現力等） ・課題意識をもって、他者と協働し探究活動に取り組みながら、自分と実生活・実社会の問題の解決に取り組もうとする。（学びに向かう力、人間性等）		
小単元１（10h）	小単元２（15h）	小単元３（22h）	小単元４（18h）
SDGｓについて知る	環境について知る	環境のためにできることに取り組む①	環境のためにできることに取り組む②
【課題の設定】 ・SDGs の目標について、ジグソー学習により追究学習を行う。（環境に絞らず） ☆SDGs とは何か？ 【情報の収集】 ・本、資料などで情報を集める。 ・浜松市の取り組みについて情報を集める。 ・地域の産業を守っている方から、話を聞く。 【整理・分析】 ・SDGs についてまとめながら、浜松市の現状を捉える。 【まとめ・表現】 ・SDGｓを捉え、地域で自分たちができること、やるべきことについて、自分なりの思いをもつ。 【振り返り】 ・SDGｓについては、浜松でも取り組み始めている。浜松市のために何かできることをしたい。どんなことができるだろうか。	【課題の設定】 ・なぜレジ袋が有料化されるのか。（原因、現状、影響等幅広く） 【情報の収集】 ・本、新聞などで情報を集める。 ・家族に意識・実態調査を行う。 【整理・分析】 ・レジ袋を通して、環境問題を多角的に捉える。 ・レジ袋以外の取り組みについても関連付けて捉える。 【まとめ・表現】 ・レジ袋における課題から、自分たちができることについて自分の考えをもつ。 ・調べたことを一度整理、まとめる。（国語科の学習） 【振り返り】 ・レジ袋が有料化されるねらい、実態を把握し、自分たちにできることはどんなことだろうか。	【課題の設定】 ・環境を守るために、自分たちが出来ることは何なのか。 ・使いやすいエコバックの機能性とは何か。 ・浜松市の伝統産業の良さとは何か。 【情報の収集】 ・専門家から、伝統産業について話を聞く。 ・家族に実態調査を行う。 ・実際のエコバックを持ち寄り、性能、デザインについて、調べる。 【整理・分析】 ・エコバックの機能性、デザインについてまとめる。 【まとめ・表現】 ・エコバックを機能性、デザインから考えて、自分で作る。 ・エコバック製作以外に、できることはないか思いをもつ。 【振り返り】 ・自分のレジ袋を製作した。このことだけで、よいのだろうか。	【課題の設定】 ・環境を意識したバックの用途とそれに合うデザインを考える。 【情報の収集】 ・専門家からデザインについて学ぶ。 ・SDGｓを踏まえ、エコバック以外の用途について調べる。 【整理・分析】 ・バックについてのデザイン、用途についてまとめる。 【まとめ・表現】 ・用途を含め、デザインしたバックについて、プレゼンをする。 ・学習してきたことをまとめ、プレゼンする。 【振り返り】 ・環境を中心に SDGs を踏まえて、浜松市はどうあるべきだろうか。 ・これから先、自分たちにできることはどんなことだろうか。

※学習の足跡を残していく・・・例　Gsuite，クリアファイル

■図 -3　総合的な学習の時間の計画

をすることにした．ここでは，浜松市の「遠州綿紬」という伝統工業を守っている「ぬくもり工房」の協力をいただき，家庭科で遠州綿紬を使ったエコバッグを製作することにした．また，総合的な学習の時間には，遠州綿紬とは何か，浜松市においてSDGsを会社としてどのように達成しようとしているか講演していただいた．

2学期の後半では，トートバッグを扱う「ルートート」に協力をいただき，ビニールバッグの用途を各自で考え，それに合ったデザインをするという学習活動を行った．そして，3学期は1年間で追究してきたことをタブレット端末で一人ひとりがまとめ，お世話になった企業の方や大学の先生に発表をすることを行った．また，学習の総まとめとして，家庭科の「買い物をしよう」と「家族団らん」を合わせて，家族での団らんのためにお茶菓子や果物など買い物計画を立て，製作したエコバッグやデザインしたビニールバッグを持って，地元の商店街で買い物をするという学習活動を行った．

身に付けさせたい力

総合的な学習の時間を通して，身に付けさせたい力（目標）を，図-3のように，学習指導要領に合わせて「知識・技能」「思考力，判断力，表現力等」「学びに向かう力，人間性等」の3つの観点ごとに単元のねらいを設定した．

小単元では具体的な場面を想定して，身に付けさせたい力を設定した．これらは情報活用能力を柱にして，情報を比較・分類・関連付けたり，データから根拠をもとに主張をしたりする力などを設定をした．なお，小単元ごとに児童にも情報活用能力を身に付けるということを意識させた．

■図-4　休み時間にタイピング練習を行う児童

ICT活用

児童は5年生までに，タブレット端末やノートパソコンを使った授業をほとんど受けてなかった．そこで，まずはタブレットの操作やタイピングが練習できるように，授業の土台づくりを行った．

大きく分けて2つのことを行った．1つは，タイピングの練習，もう1つはタブレット端末の日常使いである．タイピングは，全校で10分間の朝活動の時間を利用して，毎日1クラスごとに10月からパソコン室で，タイピング練習に取り組んだ．使用したのは，ブラウザで利用ができる「キーボー島アドベンチャー」（スズキ教育ソフト）である．12月以降，1人1台端末が利用できるようになってからは，図-4のように休み時間など自由にタイピング練習をしてよいことにした．

もう1つは，日常使いをすることである．たとえば，教師から配付する委員会などの連絡プリントはGoogleのClassroomのストリームに投稿し，必要なときに自由に見られるようにしておいた．それがきっかけで，児童が係活動のお知らせを投稿するなど児童自身が発信のツールとして活用するようになってきた．また，外国語科において，自分の考えを英語で表現する際，英単語が分からないときにGoogleの検索機能を使う，体育科における活動風景の録画，国語科における音読の録音など，どの教科でも活用をしていきながら，操作スキルを身に付けるようにした．

実践

国語科との連携

国語科の意見文教材「みんなが過ごしやすい町へ」

は，調べたことをまとめる教材であるが，総合的な学習の時間で追究したことを意見文としてまとめることにした．総合的な学習の時間では，レジ袋の課題やそれに対応する改善策などについて，ジグソー法によるグループ学習を2回行ってきた．この単元は，総合的な学習の時間での追究活動を踏まえて，自分でテーマを決めて，意見文にまとめる学習活動である．複数のテーマを扱ってきたので，自分で特に伝えたいというテーマを決め，総合的な学習の時間で使った資料をもとに，意見文を書く学習活動とした．

児童に身に付けさせたい力は，資料を読み取る力と構成を考えてまとめる力とした．いずれも情報活用能力につながるものである．ここでは，紙のワークシートにひな形を作り，穴埋めのようにして，下書きを完成させた後，パソコン室のノートパソコンで入力し，印刷することにした．ある児童は，レジ袋のゴミの焼却時の二酸化炭素をテーマにして，プラスチックゴミの多くはサーマル・リサイクル，つまりは焼却されていることをまとめ，二酸化炭素が増加することをまとめとして書いた（図-5）．

レジ袋の燃焼による二酸化炭素の増加

5年 3組

1.調べたきっかけ

総合で調べた時に、レジ袋の燃焼のせいで二酸化炭素が増えていることを知った。原因は何なのか、その原因からどうして二酸化炭素が出るのか、もっとくわしく考えたいと思ったから調べようと思った。

2.調べてわかったこと

(1)サーマル・リサイクルについて

プラスチックごみを原料として利用するのではなくごみを焼却し、熱エネルギーとして回収することが進められており、これは「サーマル・リサイクル」と呼ばれています。」

これはごみの全体の58%で、有効利用といっている。有効利用86%中の58%なのでかなり多い。だが、有効利用といっているが結局燃やしているので二酸化炭素が出ている。

(2)プラゴミの処理

プラごみの1割は、生産・加工段階でのロスになっている。その逆の9わりは、サーマル・リサイクル、輸出などに有効利用されている。その中で、サーマル・リサイクルが一番利用されているので、ごみを燃やすから二酸化炭素が出てしまう。

しかも、日本はプラごみの使用量が世界2位なのでサーマル・リサイクルを使用することが多い。

3まとめ

サーマル・リサイクルがごみを燃やし、二酸化炭素を増加させている事が分かった。ごみの処理の中でも最も多く利用されていた。身の回りでも二酸化炭素が出ていることが分かり、レジ袋を使わなければ二酸化炭素の排出を少しでもおさえられるかもしれない。

これからは、プラスチックごみをあまり出さないようにマイバックなどを使うようにしたい。

<参考>・2017年プラスチック循環利用協会

■図-5　児童が作成した意見文の例

もう1つの意見文「統計資料の活用」は，統計資料を根拠にして，「世の中が暮らしやすいのか，暮らしにくいのか」について意見文を書く学習活動である．身に付けさせたい力は，資料から数値を読み取り，その数値を根拠にして，主張することをはっきりさせて意見文を書く力とした．また，多くの統計資料を扱うので，折れ線グラフでは変化，表は数値など，何を最も言い表したいのか，児童とともに確認するようにした．

ここでも前の単元と同様に紙のワークシートを用意したが，メモ程度にとどめ，清書をパソコンで入力する際に，体裁を整えるようにした．同じ資料を用いていても，根拠とする見方・考え方が人によって異なるため，友だちとの交流では，その違いを楽しむことができていた．パソコンを使ったことで，修正を簡単に行うことができるため，何度も読み直したり，教師のアドバイスを受けたりしてブラッシュアップすることができていた．

総合的な学習の時間での追究

ここでは，1人1台タブレット端末を使って，エコバッグについて個人で追究課題を決めて追究活動を行ったところと，1年間の追究活動を行ったところを取り上げることにする．

はじめに，エコバッグの追究活動について述べる．児童は，「なぜ男性はエコバッグを持たないのか」「みんなが持てるエコバッグのデザインは？」など，一人ひとりが追究課題を設定し，8時間程度で追究を行った．追究方法は，ネットで検索したり，インタビューやアンケート調査をしたり，店頭での見学をしたりなどである．アンケート調査やインタビューなどは，初めてでやり方が分からない児童も多いので，NHK for School の動画クリップを紹介し，個別に必要なときに視聴できるようにした．アンケートは，Google Workspace のフォームを児童が使い，同じクラスの児童や保護者に調査を行った．また，図-6のように，企業の方にインタビューをする必要がある児童が，1対1でオンラインインタビュー

を行った．その様子は録画しておき，後で見返したり，友だちと共有をしたりしていた．

追究活動がさかんになってきたところで，思考ツールの1つ「フィッシュボーン」で追究してきたこと，課題を図示化してまとめた．ここでは，Google Workspaceのスライドに「フィッシュボーン」の画像を貼ったものを配布し，その上にテキストボックスを置き，入力できるようにした．追究しているときは，目先のことしか見えないが，追究活動を図示化することで全体を俯瞰することができ，追究課題とまとめる内容がずれてきたら，追究課題に近付けようとする児童もいた．

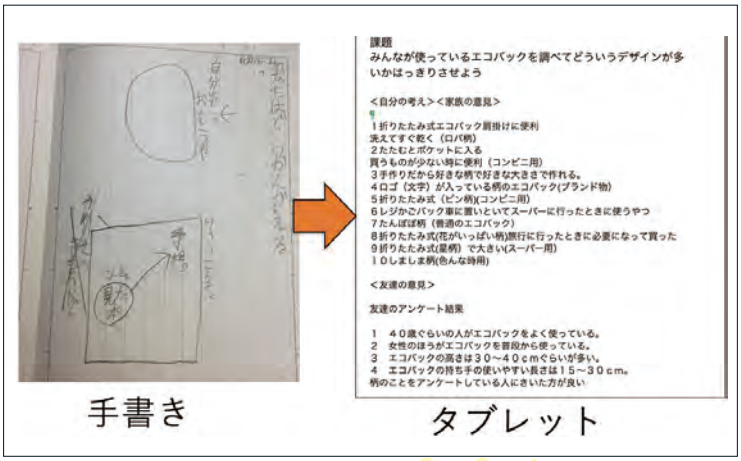
次に，1年間の追究活動のまとめについて取り上げる．先に書いた「フィッシュボーン」や1学期に追究したレジ袋のことをもとにして，自分の主張を整理して，Google Workspaceの「スライド」でまとめることにした．ここでは，Google Workspaceの「Classroom」で，課題を児童全員に配付した．

児童は課題を受け取り，授業でスライドを作成した後，毎回提出をするようにした．筆者は提出されたファイルにコメントを付け，児童に返却することをした．1年間のまとめであるので，追究活動ではなく，これまで得た情報を整理して発表することが活動の中心となる．特に，発表の練習の段階では，筆者がNHK for Schoolの動画クリップの中から，プレゼンに関することについて初級，中級，上級の動画を選択して，「プレイリスト」化して，児童に提示をした．児童は，自分の学習の進み具合や自分のタイミングで視聴し，練習を行っていた．発表は，クラスで行い，全員で評価をし，評価の高かった児童は学年全体に向けて発表を行った．発表では，スライドの「speakerノート」に原稿を書いたり，原稿を作らずスライドを見て発表をしたりした．筆者は，プレゼンの内容を効果的に相手に伝えることを意識して発表練習を行うよう，児童らに対して声掛けやアドバイスを行った．そして，発表に対して，全員がスプレッドシートを使い，評価と併せてコメントを入力させるようにした．

個別最適な学び

1人1台タブレット端末を使った授業では，個別最適な学びを実現することが目指されている．それが，ドリル学習に代わってしまう実践例もあるが，個の特性に応じた支援ができることが個別最適な学びだと考える．文章が書くことが苦手な児童は，手書きでは，ほとんど自分の考えをノートに書くことができず，時間をかけても空白のままであった．それが，タブレット端末で総合的な学習の時間のまとめを書かせたところ，課題やインタビューしたことを入力することができ，量も質もほかの児童とほとんど変わらなかった（図-7）．また，5年生4月時点で，ローマ字はほとんど読み書きできなかったが，2学期からのタイピングを通じて，ローマ字を覚えるようになった．さらに，タイピングも少しずつ速

■図-6　オンラインでのインタビュー



■図-7　文章が苦手なある児童の手書きノートタブレット入力した結果

くなり，確実に入力ができるようになった．

また，ビニールバッグの用途に合わせてデザインを考えて描く学習活動を行った．その際，タブレット端末を用いて下描きを描いたところ，タブレット端末上で，自分が思うようにデザインをしていた．特に，図工が苦手な児童も，「タブレット端末を使って絵が描けて楽しかった．思うように描けてよかった」と感想を述べていた．これも個別最適な学びの1つだと考える．図-8はタブレット端末でデザインをした下絵をもとにバッグに着色をしているところである．

成果と課題

小学校5年生児童を対象に，SDGsについての学びを深めることを目的として，総合的な学習の時間において，大単元を構成した．児童の思考に沿って，単元を構成したことにより，児童にとっては夢中になる学習課題・計画になったと考える．また，大学や企業の方に協力をいただいたことにより，児童の学習活動を本気にさせたと考える．

この学習活動を支えたのは，1人1台タブレット端末であると考える．自分の考えを表現したりまとめたり，発表したりと1台ですべてを行うことができるからである．また，NHK for Schoolをはじめとして，インターネットから必要なときに，必要な情報を得ることで，深い学びにつながったと考える．

■図-8　バッグをデザインする様子

また，意見文やプレゼンの発表資料作りでは，資料の読み取りに力を入れてきた．単元の終わりに，児童に「どんな力が身に付いたか」というアンケートを自由記述で取ったところ，「情報を読み取る」「複数の資料から情報を読み取る」と答えた児童が多く，教師が意図したねらいが児童にも伝わり，意識して学習活動が行えたことが分かる．また，意見文やプレゼンなどの成果物からも，資料を読み取り自分の考えをまとめたことが分かった．国語科で身に付けた情報活用能力が，総合的な学習の時間に活かされていた．つまりは，情報活用能力が育成できたと考える．それを支えたのは，タブレット端末の操作スキルやタイピング技術である．これらは計画的に取り組み，タブレット端末が手段として利用できるようにする必要があると考える．

一方で，課題を2つ挙げる．1つは，ここで取り上げた情報活用能力の評価の指標が曖昧であったことである．具体的な児童の活動の表れを想定しておくと，学習評価が客観的にできると考える．もう1つは，情報モラル指導である．適宜，情報モラル指導を行ったが，画像引用など細かく指導ができず，曖昧になってしまった部分があった．今後はしっかりと計画的に指導をしていく必要がある．

参考文献

1) NHK for School, https://www.nhk.or.jp/school（2021.3.28閲覧）
2) 小学校学習指導要領（平成29年告示）解説　総則編（2017），https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_001.pdf（2021.3.38閲覧）

（2021年4月21日受付）

菊地　寛（正会員）
hiroshikikuchi0203@yahoo.co.jp

静岡大学教育学部（理科教育）卒業，放送大学修士課程修了．修士（学術）．2000年より県内小学校1校に勤務後，2018年より現職．情報活用能力の育成やプログラミング教育の実践を推進している．

IPSJ MAGAZINE Vol.62 No.8 (Aug. 2021)

CONTENTS

Preface
382 **Creating the Apex Algorithm**
Naohiro TAKAHASHI (AtCoder Inc.)

Special Article
384 **Lessons Learned from COCOA, a Exposure Notification App**
Masanori KUSUNOKI (Executive Advisor to the Government CIO, Cabinet Secretariat, Government of Japan)

Special Features
The Most Recent Digital Forensic Circumstances
404 **Foreword**
Tetsutaro UEHARA (Ritsumeikan Univ.) and Masahiro SUGAWA (Niigata Univ.)
406 **Outline**

Digital Practice Corner
Special Issue of the Internet and Operation Technologies for Comfortable Administrations and Operations
408 **Foreword**
Mikifumi SHIKIDA (Kochi Univ. of Technology) and Yutaka NAKAMURA (Kyushu Institute of Technology)
411 **Outline**

"Peta-gogy" for Future
393 **Informatics Research Contest for Junior and High School Students and the Common Test for University Admissions**
Yasuichi NAKAYAMA (The Univ. of Electro-Communications)
394 **Implication of 3rd Informatics Research Contest for Junior and Senior High School Students and Examination of the Contest**
Sayaka TOHYAMA (Shizuoka Univ.)
399 **Works by Students in the Informatics Research Contest by Junior and Senior High school Students**
Takashi YONEDA (Kobe Univ. Secondary School)

Let's Learn Informatics
414 **Utilization of ICT Tools in the Period for Integrated Studies on the Theme of SDGs**
Hiroshi KIKUCHI (Hamamatsu City Yuto Elementary School)

Reports : The 2020 IPSJ Best Paper Award
427 **Foreword**
Shinji SHIMOJO (Osaka Univ.)
428 **Making Indoor Positioning Systems Widespread in Our Society**
Hiroaki MURAKAMI (The Univ. of Tokyo)
429 **Received IPSJ Outstanding Paper Award**
Shinya KATO (NTT DATA Corp.)
430 **Discuss Head-on How to Move the Mind**
Shoma KANEKO (Recruit Co., Ltd.)
431 **The First Paper in My Working Life**
Ayano OKOSO (Toyota Central R&D Labs., Inc.)
432 **Working on Biometric Authentication Using Brain Waves**
Masato YAMASHITA (NTT DOCOMO, Inc.)
433 **Research of Classification Reasons Visualization Method to Improve Explainability of Deep Neural Network**
Yasuki KAKISHITA and Hideharu HATTORI (Hitach Ltd.)
434 **Crossing Fields : A Case of a Database Geek**
Masafumi OYAMADA (NEC Corp.)

Reports : The 2020 IPSJ Industrial Achievement Award
435 **Foreword**
Yaoko NAKAGAWA (Hitachi, Ltd.)
436 **Towards Popularization and Utilization of the New Generation Vector Computer SX-Aurora TSUBASA**
Takuya ARAKI, Kazuhisa ISHIZAKA, Teruyuki IMAI, Noritaka HOSHI and Shigeyuki AINO (NEC Corp.)
437 **Building Cloud-based Speech Recognition Service for Business Setting**
Gakuto KURATA, Tohru NAGANO, Nobuyasu ITOH, Masayuki SUZUKI and Takashi FUKUDA (IBM Research - Tokyo)
438 **Challenge to Digitalization of Tacit Knowledge**
Yuichi KOBAYASHI, Jian ZHENG, Yoshiyasu TAKAHASHI, Takashi YANAGIDA and Tatsuhiro SATO (Hitachi, Ltd.)

Reports : The 2020 IPSJ Microsoft Faculty Award
439 **Foreword**
Masami HAGIYA (The Univ. of Tokyo)
440 **Real-time Mining and Forecasting of Big Time-series Data**
Yasuko MATSUBARA (ISIR, Osaka Univ.)
441 **Modular Constructions of Cryptographic Primitives**
Takahiro MATSUDA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

Reports : The 2020 IPSJ Research and Engineering Award
442 **Foreword**
Masami HAGIYA (The Univ. of Tokyo)
443 **Small-World Phenomenon in the World of Data**
Jianquan LIU (NEC Corp.)

Contribution
452 **Mourning Professor Mikio Aoyama's Early Death**
Yoshiaki FUKAZAWA (Waseda Univ.)

422 **Biblio Talk**
424 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
444 **Questions for Experts**
449 **Mourning**

Online Only
Special Features
The Most Recent Digital Forensic Circumstances
e1 **Overview of Digital Forensic and New Issues**
Masahiro SUGAWA (Niigata Univ.)
e4 **Recent Technical Issues on Digital Forensics**
Tetsutaro UEHARA (Ritsumeikan Univ.)
e8 **The Issue of Cybercrime and Digital-forensics**
Takayoshi HOJO (Nishimura & Asahi)
e13 **Legal Studies on Digital Forensics**
Taro KOMUKAI (Chuo Univ.)
e17 **The Spread of Digital Forensics - Consider from the Results of the Questionnaire -**
Satoru KOYAMA (NTT Communications Corp.)
e21 **The Market Value of Stolen Personal Information - From the Field of Digital Forensics**
Takashi MATSUMOTO (DeNA Co., Ltd.)

Article
e26 **Information and Intelligence**
Atsuo ONO

…› 坂本龍一（東京大学）

LSI/FPGA の回路アーキテクチャ設計法

森岡澄夫 著
CQ 出版（2012），3,520 円（税込），400p., ISBN：978-4789831093

コンピュータアーキテクチャの設計

機械学習における学習処理は多くの計算リソースが必要であり，学習を効率的に行うことが重要視されている. また, リアルタイム性を必要とするロボット等では信号画像処理を各フレーム内に完了させることが重要である．そこで，さまざまなアプリケーションの高速化を目指し，専用回路による高速化手法が着目されている．演算処理を回路に落とし込むことで高速化を実現する．計算量の多い部分に対し，並列に演算できる部分を回路として展開することで同時に多くの演算を行い高速化を実現する．さらに，専用アーキテクチャによって省電力化を達成することができる.

アーキテクチャ設計の課題

アプリケーションを高速化する場合，まず，アプリケーションを深く理解する必要がある．アプリケーションのボトルネックとなる処理を探索し，ボトルネックとなる処理を並列化する必要がある．さらに，ハードウェアの場合，ソフトウェアと違いさまざまな共有資源の制約が顕著に現れる．回路規模の制約，外部メモリの制約，外部 I/O などの制約の中で所望の性能を実現するアーキテクチャを検討する必要がある．回路規模，外部メモリ容量・バンド幅制約の中，要求を満たす回路アーキテクチャを実現することは難しい.

本書の意義

LSI（Large Scale Integration）や FPGA（Field Programmable Gate Array）の設計方法について書かれた書籍は多数あるが，基本的な回路を HDL（Hardware Description Language）を用いて設計する方法について書かれており，プリミティブな回路を多数組み合わせることで規模の大きな回路アーキテクチャを設計可能であるように考えがちである．しかし，大規模なアーキテクチャを構成することはさまざまな制約を考慮する必要があり，困難な作業である．アプリケーションの高速化や並列化を扱ったソフトウェアの書籍は多数あるが，回路アーキテクチャを意識し，さまざまな制約の中，実用的なアーキテクチャ設計手法についてまとめた書籍はこれまでになく，本書は手法の体系化が難しかった回路アーキテクチャの設計方法について綴ったものであり，回路アーキテクチャによって実用的なアプリケーションの高速化を行う際の手引きになる書籍である.

本書の概要

形式知化が困難なアーキテクチャ設計が体系的にまとめられており，さまざまな勘所についても抑えられ，アーキテクチャ設計の経験が浅い技術者にとって非常に有用である．本書はシンプルな画像処理を題材とし，回路アーキテクチャの設計を実践的

に学ぶことができる内容となっている．始めに高位検証として MATLAB や C 言語を用いたアルゴリズムの検証について示されており，機能ごとに検証を行うことの重要性が示されている．さらに，専用アーキテクチャを設計する上でのデバイスの制約やコストについてまとめられている．続く章ではアーキテクチャ設計における著者の経験に基づくさまざまな勘所がまとめられており私もアーキテクチャ設計を行う際，たびたび本書を手に取り，設計に役立てている．

以降は，例題をもとに実践的な設計手法について体系的にまとめられている．始めに，アーキテクチャ全体の性能を大きく左右する機能ブロックへの分割と初期評価について示されている．さらに，データの流れに着目したメモリ利用の最適化，並列化による高速化と回路規模の最適化について記されている．次章ではアーキテクチャ全体を正しく制御するための全体動作制御の方法について述べられており，複雑なフローを必要とするアプリケーションに重要な点が述べられている．その後，実際の RTL（Register Transfer Level）設計についてまとめられている．また，効率的な演算を行うための固定小数点演算，浮動小数点演算，有限体演算について述べられている．最後に，CPU やパソコンとのインタフェースについてまとめられている．

（2021 年 4 月 30 日受付）

坂本龍一（正会員）
r-sakamoto@hal.ipc.i.u-tokyo.ac.jp
2015 年東京農工大学工学府電子情報工学専攻博士後期課程終了．現在，東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 助教．高性能計算機に関する研究に従事．

連載

5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

荒瀬由紀（大阪大学）

Tom B. Brown et al. : Language Models are Few-Shot Learners

Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), pp.1877-1901 (2020)

大規模言語モデルと転移学習

2018年に登場して以降，BERT（本連載2020年61巻3号で解説）を始めとする事前学習済み大規模言語モデルは自然言語処理分野に大きなインパクトを与えた．BERTを改善した後継モデルがいくつも発表され，現在では「定番」のモデル（たとえば元祖のBERT，さまざまなタスクで高い性能を示すRoBERTa，軽量のALBERT）が定着したように見える．自然言語処理ではこれら定番の事前学習済みモデルを特定タスクのラベル付きデータセットで転移学習（Fine-tuning）するアプローチが，最低限比較すべきベースラインとして定着している（そしてこれらシンプルな転移学習モデルの性能を上回るのは容易ではない）．

本稿で紹介するのは大規模言語モデルの1つ，GPT-3である．GPT-3は1,750億パラメータ（BERTはLargeモデルでも3億4千万パラメータ）を持つ巨大な言語モデルであり，約5千億トークンからなるテキストデータを用いて訓練されている（BERTは33億トークン）☆1．BERTは文中の単語の穴埋めと次の文の予測という事前学習を行っていたが，GPT-3は図-1に示す通り，文中の次の単語を予測する事前学習を行う．この論文が面白いのは「より大きな強いモデル」だからではなく，大規模言語モデルにまつわる多くの疑問に真摯に答えるさまざまな分析を実施し，巨大言語モデルがもたらした新たな社会的課題について論じている点にある．本論文は付録・参考文献を除いても約40ページのボリュームのため，以下の点に絞って紹介したい．

1. 人間は数個の例を見れば新しいタスクを実行できる．大規模言語モデルはどうなの？
2. 大規模言語モデルはすごいというけれど，事前学習で見たテキストを丸覚えしているだけじゃないの？
3. 大規模言語モデルがもたらす社会的課題とは？

転移学習の先へ

先述の通り事前学習済みモデルを使うには，対象タスクのラベル付きデータで転移学習を行うのが常套手段である．転移学習に必要なラベル付きデータの量はタスクによってさまざまであるが，文分類問題であれば数千〜数十万文のラベル付きデータが用いられることが多い．しかし現実的に大規模言語モデルを利用することを考えると，数千とはいえ，すべてのタスクに対しラベル付きデータを準備するのはなかなか大変である．また実用においてはラベル

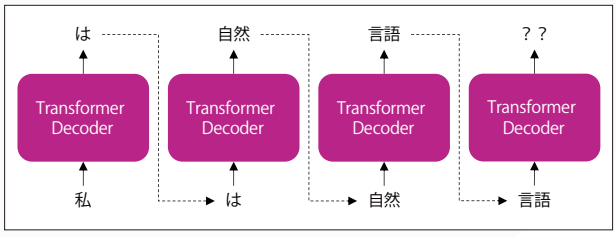


図-1　GPT-3の事前学習では次の単語の予測を行う．

☆1　2021年4月現在で最大の事前学習済みモデルは1.6兆パラメータを持つSwitch Transformer

の種類が定まっていない，ラベルの更新が頻繁に起こるということも考えられる．一方で人間は，初めて見る言語処理タスクであっても，多くの場合数千の例は必要としない．翻訳をしたことがない人であっても，「私は自然言語処理を勉強しています．=> I study natural language processing.」というような例を数例見れば「翻訳」というタスクが何を意味するのか理解し，翻訳を実際に行うことができるだろう．

タイトルにもある通り，本論文は大規模言語モデルがラベル付きデータを前提とする転移学習から脱却できる可能性を示している．図 -2 に示すように少数の例（10 ～ 100）のみ与える Few-shot 設定（パラメータ更新は行わない）により所望のタスクを達成できることが，質問応答から算術演算，機械翻訳など 24 を越えるデータセットを用いた網羅的な実験により示されている．

一例として機械翻訳では，フランス語・ドイツ語・ルーマニア語から英語への翻訳において，Few-shot 設定を用いた GPT-3 が，既存の（対訳データで訓練された）機械翻訳モデルと同等もしくはそれを上回る翻訳性能を達成している．GPT-3 が学習しているのは文中における次の単語の予測で，翻訳を学習しているわけではない．ではなぜ Few-shot での翻訳が可能なのか？　GPT-3 の訓練データの 93% は英語であるが，残り 7% は多言語データである．また日本語とその英訳など，対訳文を記載した Web ページは比較的多くみられる．そのため，Few-shot 設定での入力とは大きく異なるが，事前訓練において対訳文の生成を学習している可能性が高いことを著者らは議論している．フォーマットが異なるが事前訓練で目撃した翻訳という作業を，GPT-3 は Few-shot で与えられる例に基づき再現しているというのだ．

一方で，人工的に作成された意味のない単語を特定するタスクにおいても GPT-3 は Few-shot 設定で高い性能を達成してるが，このようなデータは事前訓練には存在しない．Few-shot 設定でなぜタスクを達成できるのか，詳細な分析が今後の重要な課題として述べられている．

大規模言語モデルは「記憶している」だけ?

多くの言語処理タスクの評価用データセットは Wikipedia など Web から収集したテキストを元に作られている．GPT-3 のように Web から収集した大規模テキストコーパスで事前学習した言語モデルは，タスクを実行する能力を獲得しているのではなく，事前学習で目撃したテキストを記憶しているだけなのではないか，という懸念は長らく議論されてきた．

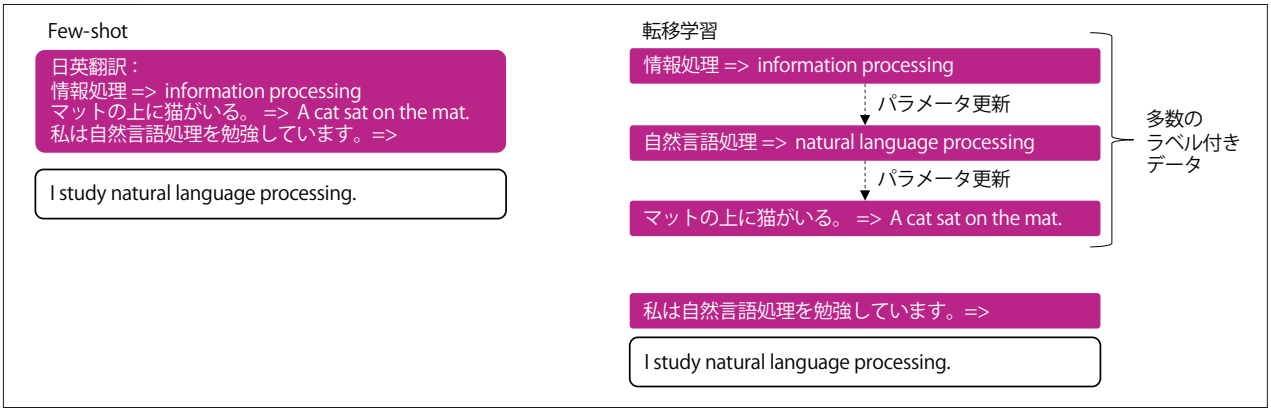


図 -2　Few-Shot 設定による予測と転移学習の違い：Few-shot 設定では少数の例を入力として与え予測を行うが，パラメータの更新を要する学習は行わない．転移学習ではラベル付きデータによる学習によりパラメータを更新することで，特定のタスクに適応したモデルを獲得する．

本論文では事前学習データから評価データセットとオーバラップしたテキストを除く処理と，残ったオーバラップテキスト☆2を評価データセットから除く処理により，事前学習データにオーバラップするテキストが存在しないクリーンな評価データセットを構築している．クリーンな評価セットでの性能と元の評価セットでの性能を比較したところ，クリーンな評価セットによる性能低下は無視できるレベルであったことが示されている．このことから，大規模言語モデルは事前学習中のテキストを正解として記憶している，という懸念は棄却されている．

巨大言語モデルがもたらした社会的課題

GPT-3がもたらした社会的課題として，(1) テキスト自動生成技術の悪用，(2) 生成テキストに現れるバイアス，(3) 環境への影響，が議論されている．

(1) について，GPT-3のように巨大な言語モデルは，すべての出力がそうでないとはいえ，人間が記述したものと区別するのが非常に難しいレベルのテキストを生成する．GPT-3にニュースのタイトルとサブタイトルを与え，生成した人工のニュース記事を人間が評価したところ，人工的に生成されたものであると見破れた精度は52%と報告されている．技術が進み，より高品質なテキストを自動生成できるようになると，このようなテキスト生成技術が悪用される懸念がある．本論文では人工的に生成したテキストを高い精度で識別する技術の必要性が議論されている．

(2) について，Webテキストを中心とした巨大なコーパスを学習した言語モデルは，現実に存在するバイアスを反映する．本論文では一例として，性別，人種，宗教に関するバイアスがGPT-3の生成するテキストに存在することを示しており，このほかにもさまざまなバイアスが存在するであろうことを示唆している．大規模言語モデルに含まれるバイアスを防ぐには，任意の評価指標を最適化するような画一的なアプローチではなく，まずバイアス問題を理解すること，そして問題全体を見据えた包括的なアプローチを取ることが必要であると述べられている．

最後に (3) について，巨大な言語モデルを訓練することの環境への影響についても議論されている．University of Massachusetts at Amherstの発表によると，大きな深層学習モデルの訓練は約284トンのCO2（車5台分の総CO2排出量に相当）を排出すると言われている☆3．本論文では言語モデルの訓練時だけでなく，応用時における計算効率の重要さを説き，GPT-3のような巨大なモデルからドメインやタスクに特化した軽量モデルを取り出すDistillation技術の重要性を議論している．

多くの研究者がこれら新たな社会的課題に懸念を示しており，今後解決に向けての研究が進展することが期待される．

(2021年4月20日受付)

☆2 余談であるが，本来すべてのオーバラップテキストを事前学習データから除くはずだったが，バグにより部分的にしか除けていなかったという記述があり，苦労が伺える（この規模のモデルになると気軽に再訓練は不可能なのである）．

☆3 https://news.mit.edu/2020/shrinking-deep-learning-carbon-footprint-0807

荒瀬由紀（正会員）
arase@ist.osaka-u.ac.jp
2010年大阪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）．同年，北京のMicrosoft Research Asiaに入社，自然言語処理に関する研究開発に従事． 2014年より大阪大学大学院情報科学研究科准教授，現在に至る． 言い換え表現抽出，言語学習支援技術，対話システムに興味を持つ．

報告

2020年度論文賞の受賞論文紹介

●選定にあたって●

下條真司　論文賞委員会委員長／大阪大学

本論文賞は，本会論文誌各誌に掲載された論文の中から，約50編に1編を目安に特に優秀な論文を選定し，その著者に対して授与するものである．

2020年度論文賞選考の対象となったのは，論文誌 ジャーナル，Journal of Information Processing (JIP)，論文誌 トランザクション10誌（論文誌 プログラミング，論文誌 数理モデル化と応用，論文誌 データベース，論文誌 コンピューティングシステム，論文誌 コンシューマ・デバイス＆システム，論文誌 デジタルコンテンツ，論文誌 教育とコンピュータ，Transactions on Bioinformatics, Transactions on System LSI Design Methodology, Transactions on Computer Vision and Applications）に掲載された計544編の論文である．これらの中で，実際に選定を行ったのは論文誌 ジャーナル，JIP，論文誌 数理モデル化と応用，論文誌 データベースの4誌であり，これらに掲載された393編の論文が実質的な選定対象となった．残りの8誌については，対象論文が50編に満たなかったため，表彰規程第11条に基づき，2020年度の対象論文を2021年度以降の論文賞の対象論文として持ち越すこととなった．

選定にあたっては，表彰規程および論文賞受賞候補者選定手続に基づき，論文賞委員会による厳正な審査が行われた．具体的には，学会論文誌運営委員会委員長が委員長を兼ねた論文賞委員会のもとに，論文誌ごとのワーキンググループが組織され，優秀な論文を選定する体制によって審査が行われた．その結果，7編の受賞候補論文が選定され，理事会の承認を得て最終的に受賞が決定した．

受賞論文の著者には，表彰状，賞牌および賞金が授与されることとなった．

受賞対象となった論文は，基礎から応用，アルゴリズムや機械学習の手法から生体情報信号処理，あるいはエンタテインメントや分散処理の応用，すぐに実応用に供することができそうなものまで非常に幅広い分野をカバーしていることに驚かされる．情報処理に関する幅の広い分野をカバーしているところが本会の特徴であることを改めて実感した．本会としては，インパクトファクター取得が大きな課題であるが，このような幅広い分野の優れた研究をうまく海外の方々に知っていただくことが，その第一歩であると認識した．コロナ禍で研究遂行にも多くの困難があったかと思われるが，大きな成果をあげられた著者の皆様の努力に敬意を表する．また，受賞者のコメントを拝見すると多くの方々が最初の着想からいかに時間と労力をかけて大切に研究を育んでいたかが伺われるものとなっている．ぜひ，紹介記事をお楽しみいただき，そこから論文からは伺い知れない著者の思いを汲み取っていただき，さらに論文を楽しんでいただければ幸いである．

（2021年5月24日）

屋内位置認識システムの普及に向けて

村上弘晃　東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻

〔受賞論文〕
鏡像スピーカを用いたスマートフォン高精度3次元測位手法
村上弘晃，中村将成（北海道大学大学院情報科学研究科），橋爪宏達（国立情報学研究所），杉本雅則（北海道大学大学院情報科学研究科）
情報処理学会論文誌　Vol.60, No.12, pp.2314-2324 (2019)

本論文では，スピーカ2台から送信される音響信号の直接波と反射波を用いたスマートフォンのための高精度3次元測位手法を提案しています．音響信号は，インフラとして普及するスピーカから送信し，スマートフォンに搭載されたマイクロフォンで受信可能なため，追加のコストがかからないといった利点があります．一方で，3次元測位に必要なスピーカ数は4台と多いの対し，屋内において4台のスピーカが隣接する環境は多くありません．そこで，実環境で受信可能なスピーカ数で利用できる測位手法の開発に着手しました．

本研究は，よりスピーカ数が制限される廊下での測位実験から始まりました．元来は廊下に直線的に配置された2台のスピーカからの直接波に加えて，別のセンシング手法を併用した位置推定手法を提案しておりました．その際に得られた計測データにおいて，壁や床からの反射波が定常的に発生していることに着目したことが本論文の発端になります．反射波はマルチパスと呼ばれ測位誤差の要因となることが知られています．この反射波を壁と床に対して鏡像の位置にあるスピーカからの信号（図-1）と捉えることで，仮想的にスピーカ数をかさ増しします．

複数到来する反射波はいずれも同じ信号であり，どの反射波がどの鏡像スピーカからの信号かを特定することは難しく，スマートフォンに搭載された2つのマイクロフォンのみでこれを実現することが最も苦労した点です．現在，この手法は拡張され，単一スピーカを用いたスマートフォンの5自由度推定手法として，IEEEの学術論文誌に掲載されています．また，鏡像スピーカの概念をスマートフォンとスピーカ間の時刻同期やスマートフォン間の測距手法へ応用し新たな研究へと昇華しています．

未曾有の社会的経済的被害をもたらしている新型コロナウイルスですが，屋内位置認識システムの必要性を示した良い契機となった側面もあります．私は現在，東京大学の構成員がキャンパス内の移動履歴や感染者との接触歴を把握することができる「MOCHA」の研究・開発に参画しています．MOCHAでは，withコロナだけではなく，ポストコロナを見据えた屋内位置認識システムの提案や応用が検討されています．GNSS（Global Navigation Satellite System）とは異なり屋内の位置認識システムが普及していない現代ですが，屋内位置認識がもたらす便利な世界を社会に実装することが私の現在の目標です．今回の受賞を励みとし，この目標を1日も早く達成できるよう，より一層研究に精進して参ります．

（2021年5月18日受付）

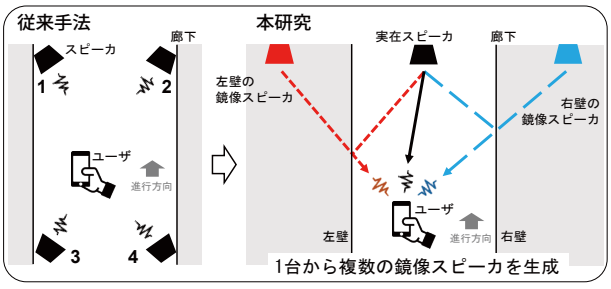


図-1　鏡像スピーカの概要

村上弘晃（正会員）
murakami@akg.t.u-tokyo.ac.jp
2021年北海道大学大学院情報科学研究科博士課程修了．博士（情報科学）．同年より東京大学大学院工学系研究科特任研究員．主に，ユビキタスコンピューティングやモバイルコンピューティングに関する研究に従事．

情報処理学会論文賞を受賞して

加藤慎也　（株）NTT データ

〔受賞論文〕
多次元ストリーミング時系列データの効率的なモチーフモニタリングアルゴリズム
加藤慎也（（株）NTT データ），天方大地，原　隆浩（大阪大学大学院情報科学研究科）
情報処理学会論文誌　Vol.61, No.9, pp.1567-1576 (2020)

本論文は，第 27 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップで発表した論文を改良したものであり，本ワークショップで優秀論文賞を受賞するだけでなく，本会論文賞も受賞でき非常に光栄に思う．

本論文の構想は，2019 年 7 月に著者が書いた「ストリーミング時系列データに対するモチーフモニタリング」という論文に端を発する．以前の論文では，1 次元の時系列データにおいて最も多く現れるサブシーケンスであるモチーフを効率的にモニタリングする問題に取り組んでいた．しかし現実には，多次元の時系列データ（たとえば，加速度センサやジャイロセンサは 3 方向に対する値を観測しているため多次元時系列データである）が生成されていることが多く，その問題に対応すべく，本論文を書くに至った．

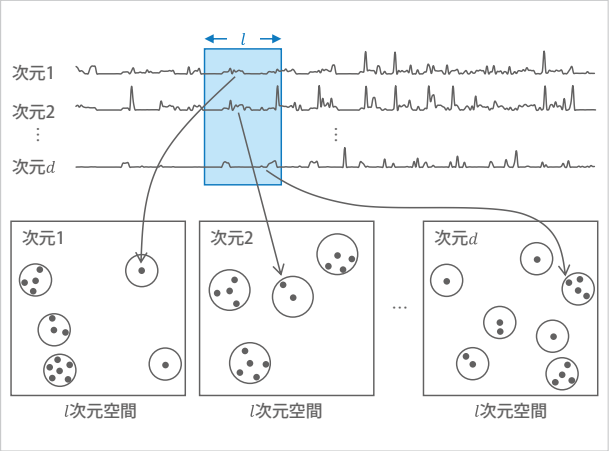


図 -1　提案アルゴリズム

当時，多次元時系列データのモチーフモニタリングに取り組んでいる論文はなく，問題設定から非常に苦労した．以前の論文では，ある一定期間の時系列データをモニタリングしており，古い値は削除されるという問題設定であった．しかし，本論文では多次元時系列データを扱い，問題が複雑になってしまうという理由で，古い値は削除されず，値が追加されるのみの問題設定とした．本問題を解くアルゴリズムとして，サブシーケンスをクラスタに分割し，三角不等式を用いることで不必要な距離計算の回数を削減する手法を提案した（図 -1）．評価実験も問題なく終了し，論文執筆に取り組むこととなった．

第 27 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップおよび本会論文誌において，著者の思う以上の評価が得られ，非常に嬉しく感じている．この分野に取り組んでいる国内の研究者が少ないので，これをきっかけに増えたらと思う．これからも，国内外の多くの優秀な研究者と競って本分野の発展に寄与できれば望外の幸せである．

（2021 年 5 月 7 日受付）

加藤慎也（正会員）　Shinya11.Kato@nttdata.com
2018 年大阪大学工学部電子情報工学科卒業．2020 年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了．同年 4 月（株）NTT データに入社．現在，オープンソースの関係データベース管理システムである PostgreSQL の開発業務に従事．

心をどのように動かすのかを正面から論じる

金子翔麻　（株）リクルート

〔受賞論文〕
Facelot：顔検出と顔属性をエントリとしたアドホックな抽選システム
金子翔麻，渡邊恵太（明治大学）
情報処理学会論文誌　Vol.60, No.11, pp.1953-1960 (2019)

本論文は，写真を撮るだけで顔検出でエントリでき，笑顔度といった顔属性を効果的に用いることで場全体の雰囲気を盛り上げる抽選システム，Facelotを提案するものである（図-1）．どのようにして場を盛り上げるのかを抽選演出の効果と表情がもたらす心理的効果の２つの軸で整理している．

本論文の構想は私が博士前期課程に入ったばかりのころに遡る．当番決めや順番決めといった決め事を行うシステムに興味があり，プロトタイプをいくつか試していた．その１つに顔検出でエントリするというアイディアがあり，表情推定と組み合わせたときの面白さを見つけていた．しかし，当初はエンタテインメント性に焦点を当てた場合，どう評価実験してまとめるか算段がついておらず，別の方向でまとめることを考えていた．

転機となったのはEC2018のデモ発表である．この年からエンタテインメント性に関する主張の実効性を，学会主催者側が認定して担保するQualification制度が始まった．タイミング良くEC2018の直前に，結婚式二次会の抽選会でFacelotを使う機会があり，エンタテインメント性を高める演出の設計，実装を行っていた．そして実際に盛り上がった様子をビデオに残していたため，場全体が盛り上がるシステムとして主張に足る材料が揃っていた．結果，認定を受けることができたため，エンタテインメント性を主張する論文としてまとめ，EC特集号へ投稿することを決めた．

Qualificationの前例はなく不安になりながらも，Qualificationで提出したエンタテインメントの枠組みの説明（EDA）を軸に，提案システムがどのようにして心を動かすのかという仕組みや工夫を入念に論じた．結果，幸いにも採録となり，特選論文に選定していただいた上に，論文賞までいただけて身に余る思いである．

本論文をまとめることができたのは，Qualification制度があってこそであり，関係者の皆さまに心より感謝を申し上げる．本論文が心をどのように動かすのかを正面から論じる研究の参考になれば幸いである．

（2021年５月１日受付）

図-1　Facelot：顔検出と顔属性をエントリとしたアドホックな抽選システム

金子翔麻　kaneko.shm@gmail.com
2018年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科卒業．2020年同大学大学院先端数理科学研究科博士前期課程修了．同年，（株）リクルートに入社．在学中，インタラクション研究に従事．

初めての論文投稿

大社綾乃　（株）豊田中央研究所

〔受賞論文〕
相乗りのための将来需要を考慮した経路最適化
大社綾乃，大滝啓介，小出智士，西　智樹（（株）豊田中央研究所）
情報処理学会論文誌　Vlo.60, No.10, pp.1653-1661 (2019)

このたびは名誉ある論文賞を賜り，大変光栄に思っております．査読や選考に携わった方々をはじめとして，本会の皆様には心より感謝申し上げます．本論文をきっかけに相乗り最適化に興味を持っていただければ，また，本論文を踏み台として相乗り最適化の研究に取り組まれる研究者が一人でも増えれば，研究者冥利に尽きます．

本論文は，現所属である豊田中央研究所に入社して初めて投稿した論文であったため，大変思い出深いです．修士課程とは異なる分野の研究チームに配属となり，不安半分ワクワク半分で過ごしていたことを今でも覚えています．あるときチームミーティングで先輩が面白そうだと紹介してくれたのが，本論文の土台となったタクシーの相乗り最適化（顧客と車両の割当および経路生成）に関する論文でした．私もその論文を読み，直感で面白そうだ！と感じ，キャッチアップしたのが本研究の始まりでした．

まずは従来手法の相乗り最適化を実装し，ニューヨーク市マンハッタン島のタクシーのオープンデータを可視化することから始まりました．マンハッタン島では非常に多くのタクシー需要があるため効率良く配車が可能でしたが，需要がそこまで多くない都市部では同様にうまくいくだろうか？　将来需要を考慮して移動すれば，より相乗り率が上がるのではないだろうか？という疑問が芽生え，本論文の執筆へと至りました．

本研究の着想において，データを可視化し考察することが大変効果的だったと思っております．図 -1 のような車両の軌跡と乗降車の様子や，エリアの需要の変化の様子などを眺めたりしているうちに，従来手法では需要の少ないエリアを通って移動している場合があることに気づきました．もっと単純に，「距離がほとんど変わらないのであれば，人気のない道より繁華街のような需要が高いと思われる道を通る方が，相乗り率が上がるのでは？」と考え，提案手法の開発へと繋がりました．

本論文の執筆にあたり，共著者の方々からは，論文の構成や効果的な書き方，心構え，推敲の仕方など非常に多くのことを学ばせていただきました．この場をお借りして感謝申し上げます．

今後も皆様のお力を借りながら，より一層研究活動に邁進してまいりたいと思います．

（2021 年 5 月 14 日受付）

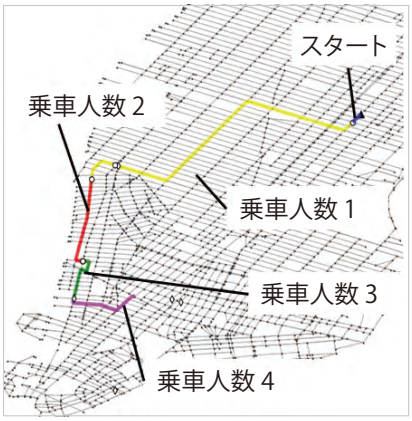


図 -1　ある車両の軌跡と相乗りの様子

大社綾乃　okoso@mosk.tytlabs.co.jp
2015 年大阪府立大学工学部知能情報工学科卒業．2017 年同大学大学院修士課程修了．同年（株）豊田中央研究所入社．意思決定や経路の最適化に関する研究に従事．

脳波を用いた生体認証に取り組んで

山下正人　（株）NTT ドコモ

〔受賞論文〕
Examination and It's Evaluation of Preprocessing Method for Individual Identification in EEG
Masato Yamashita, Minoru Nakazawa, Yukinobu Nishikawa, Noriyuki Abe (Kanazawa Institute of Technology)
Journal of Information Processing　Vol.28, pp.239-246 (2020)

標記の論文は私が学部4年次の卒業論文のテーマとして取り組んだ研究であった．修士課程進学後には，違う研究テーマをメインとして取り組んでいたが，並行して取り組んでいた研究でもあったので，学生時代の3年間の成果が報われた思いである．

この研究テーマに取り組んだ，きっかけは2点ある．

1点目は，生体認証での問題点である．現在普及している認証手法では，IDやパスワードを用いた認証システムが主流である．他の認証手法として生体情報（指紋，顔）を利用した生体認証も利用が増加している．これらの生体情報による認証は，常に外部に露出している情報であるため，カメラによる盗難が可能となってしまう問題点があり，一度盗難されてしまうと，自分の意図で変更することができないのが現状である．

2点目は，身近での脳波測定の環境があった点である．私が所属していた研究室では，脳波を用いたロボットハンド制御，車椅子制御を行う研究をしていた．その研究の際に，汎用的な制御用の学習モデルを作成使用しようとしていたが，人によって脳波が異なるため，汎用的な学習モデルの構築は困難である状態であった．

そこで着目したのは脳波を用いた生体認証に関する研究であった．脳波は身体の内部情報であり，専用のデバイスを装着しなければ測定できない点から，認証に必要な情報が盗難されてしまう可能性はきわめて低い．また，脳波は外部からの刺激によって変化するため，万が一に盗難されてしまっても外部からの刺激内容を変更することによって認証に使用する情報を変更することが可能であるという利点もある．

脳波を用いた認証システムにおける前処理（デジタルフィルタ，アーチファクト対策，エポック）の方法を検証するために，認証精度の変化を評価した．その結果，提案した前処理を行うことで，認証精度が向上することが分かった．これらの結果から，前処理によって認証精度が向上し，ユーザの利便性が向上することが示唆された．被験者が実験日に脳波計を外していない制限などはあるため，まだまだ日常的に使用するには，越えなければならない課題が多くある．

今回の名誉ある賞を受賞については，ご指導賜った先生方および脳波の測定に協力していただいた方々のおかげでもある．この場をお借りして感謝の言葉を述べさせていただく．

（2021年5月13日受付）

山下正人　masato.yamashita.hw@nttdocomo.com
2018年金沢工業大学工学部情報工学科卒業．2020年同大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了．同年（株）NTT ドコモに入社．

Deep Neural Networkの説明可能性向上に向けた識別根拠可視化技術の研究

柿下容弓　（株）日立製作所　研究開発グループ
服部英春　（株）日立製作所　研究開発グループ

〔受賞論文〕
Deep Neural Network のモデル逆解析による識別根拠可視化技術
柿下容弓，服部英春（（株）日立製作所　研究開発グループ）
情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用　Vol.12, No.2, pp.20–33 (2019)

Deep Neural Network（DNN）は画像，音声，自然言語などのメディア処理技術の分野において，従来手法の精度を大幅に更新するなど，著しい成果を上げている．DNN は従来手法とは異なり，識別に必要な特徴量まで自動的に学習するという利点がある．しかし，その一方で，自動学習した特徴量や導き出された識別結果の根拠の解釈が難しいという課題がある．これは説明可能性の不足という，DNN における大きな課題の 1 つとして認知されている．

我々も機械学習を用いた画像処理・認識技術の研究を進める中で，この説明可能性の課題に突き当たった．たとえば識別精度向上のために誤識別対策を行う際，誤識別原因が分からないため試行錯誤を繰り返すほかなく，多大な労力を要していた．そこで，より効率的に誤識別原因を解析するため，識別根拠可視化手法の検討を開始した．従来手法としてさまざまな識別根拠可視化手法が提案されているが，ネットワーク構成に制限がある，識別根拠の解像度が低いなどの課題があった．これらの課題を解決し，誤識別原因を詳細に分析するためには，あらゆるネットワーク構成に対応し，高解像度に識別根拠を表示する必要があると考えた．

これらの要件を満たす識別根拠可視化手法を実現するために，我々はネットワークの中で生成される信号の流れに着目した．DNN の中の無数にあるノードの 1 つに着目すると，そのノードの出力値は各入力値に基づいて決定されている．この各入力値の出力値に対する寄与を定量化することで，出力の根拠となった入力を特定できるのではないかというアイディアが提案手法の発端となった．これを多層化したネットワークに発展させることで，識別結果の根拠となる入力画像内の領域を可視化する手法を考案した．提案手法は DNN で使用されるさまざまな種類の層に応じて寄与を算出することで，さまざまなネットワーク構成に適用可能である．また，出力層から入力層に向かって寄与を逆伝播することで識別根拠の高解像度化を実現した．本論文では提案手法の有効性を示すべくさまざまな評価を行い，従来手法よりも詳細な識別根拠可視化を実現していることを示した．現在，我々は提案手法を活用してさまざまな識別器の高精度化を推進している．

本論文賞の受賞を励みに，今後も当分野の発展に貢献すべく，一層研究に邁進する所存である．

（2021 年 5 月 14 日受付）

(a) 原画像　(b) 従来手法 (Grad-CAM)　(c) 提案手法

図 -1　提案手法と従来手法によるシマウマの識別根拠可視化の例

柿下容弓（正会員）
yasuki.kakishita.rw@hitachi.com
2008 年電気通信大学大学院情報通信工学専攻修士課程修了．同年，（株）日立製作所に入社．現在，（株）日立製作所研究開発グループ・研究員．画像認識，機械学習の研究に従事．

服部英春
hideharu.hattori.hs@hitachi.com
1994 年東京電機大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了．同年，（株）日立製作所に入社．現在，（株）日立製作所研究開発グループ・主任研究員．画像認識，画像処理，機械学習の研究に従事．

データベースと機械学習のはざまで

小山田昌史　日本電気（株）

〔受賞論文〕
Compressed Vector Set: A Fast and Space-Efficient Data Mining Framework
Masafumi Oyamada (NEC Corporation / University of Tsukuba), Jianquan Liu, Shinji Ito, Kazuyo Narita, Takuya Araki (NEC Corp.), Hiroyuki Kitagawa (University of Tsukuba)
Journal of Information Processing　Vol.26, pp.416-426 (2018)
情報処理学会論文誌 データベース　Vol.11, No.1 (preprint 掲載)

本論文は，データ圧縮技術の活用により機械学習やデータ工学などに頻出する「ベクトル演算」を高速かつ省メモリに実施する枠組みを提案した．ベクトルは，欠落（＝0）が頻出する疎ベクトルと，大半の要素が埋まった密ベクトルとに大別できる．疎ベクトルについては疎ベクトル表現という古典的技法で計算量とメモリ使用量を削減できるが，密ベクトルについてはそのような技法が存在しない．そこで，我々はデータ圧縮における古典的技術である「連長符号化」によって密ベクトルをコンパクトに表現し，種々のベクトル演算を「符号化を解かず」実施する技法を考案した．また，ベクトルの次元の順序を入れ替えてもベクトル演算の結果が不変である特性を利用し，「符号化の圧縮率が最大になるような次元の順序」を求解するような最適化問題を定め，これがNP完全問題であることから近似アルゴリズムを考案した．実験では，ロジスティック回帰，近傍法，カーネル法でのグラム行列計算など種々のタスクで既存技術と処理時間，メモリ使用量を比較し，有効性を確認している．

この研究の着想を得たのは，筆者が新人社員であった2013年に遡る．元々，学生時代にトランザクション処理などDBMS（Database Management System）コア技法に関心を持っていた筆者は，当該分野の技法を機械学習など他分野に輸出できれば研究領域を作れるのではないかと考えていた．そんな中，Factorization Machinesという，当時推薦システム分野を席巻していた方式を調べていると，明言されていないものの，その方式が実はDBMSにおける「非正規化リレーション」を対象にしていることに気づいた．非正規化リレーションには同一の値が何度も繰り返し出現する．この繰り返し部分は直感的にサボれそうだ，と考え，上述の手法の考案に至った．

DBMS技法で機械学習を改善せんとする研究分野は今ではDB for MLと呼ばれ，データベース分野の流行の1つとなっている．VLDB 2016ではベストペーパーの1つが我々の研究と着眼点をほぼ同じくしている．我々の仕事は発表先がマイナー国際会議ということもあってか残念ながら引用されていない．初出2013年という時期を考えれば多少はその分野に先鞭をつけていたかもしれないと負け惜しみを言いつつ，前を向いて，今後もさまざまな分野を駆け回りながら新分野を生み出す気概を持って研究活動に邁進してゆきたい．

（2021年5月19日受付）

小山田昌史（正会員）　oyamada@nec.com
2018年筑波大学大学院博士後期課程修了．博士（工学）．データ統合，確率モデル，情報抽出などの研究に従事．現在，日本電気（株）データサイエンス研究所主任研究員．

報告

2020年度 業績賞紹介

選奨にあたって

中川八穂子　業績賞選定委員会委員長／(株) 日立製作所

本会の業績賞は産業界における顕著な業績を顕彰するため創設され，情報技術に関する新しい発明，新しい機器や方式の開発・改良，あるいは事業化プロジェクト推進において，産業界で顕著な業績を上げられた貢献者の方々に贈呈しております．

本年度は6件応募をいただきました．上記主旨に従い，技術価値と産業貢献に着目し，投票による1次選考後，選考委員会審議による厳正なる2次選考を行い，次に示す3件を選奨することといたしました．

1件目は日本電気(株)（NEC）のチームによる「新規アーキテクチャに基づくベクトル型コンピュータの開発とそのAIへの応用」です．NECでは1980年代からベクトル型コンピュータをスパコン向けに開発されてきましたが，近年計算ニーズが高まっている機械学習等のアプリに対し，スパコンよりは小データセットだがベクトル型の特徴が活かせることに着目され，ハードの小型化，オープンソース深層学習フレームワーク移植等により，ベクトル型コンピュータをAIアクセラレータとして展開された点が評価されました．今後さらなる普及が期待されます．

2件目は日本アイ・ビー・エム（株）（日本IBM）のチームによる「クラウド型多言語対応音声認識システム『Watson Speech-to-Text』の研究開発と実用化」です．日本IBMでは1960年代から音声認識技術に取り組まれているとのことですが，2015年にはIBM CloudのWatsonの音声認識サービスとして提供されています．昨今さまざまなパブリッククラウドが音声認識サービスを提供していますが，本システムは汎用的なモデルと専門用語辞書等を使ったカスタマイゼーション機能を合わせ持つこと，プライベートクラウドでも利用可能という特徴から，従来の音声認識サービスではカバーできなかった分野に導入され，ビジネス現場の効率化に貢献している点が評価されました．言語非依存なため，今後World wideに普及することが期待されます．

3件目は(株) 日立製作所(日立) のチームによる「熟練者ノウハウを反映可能な計画最適化技術の研究開発と実用化」です．日立は1960年代から鉄道ダイヤ等に数理最適化を適用する研究開発を行ってきました．従来の計画最適化技術は，制約条件から最適な計画を数理最適化により求めていました．しかし制約条件をすべて守るのが困難な場合，熟練者は気転を利かせて優先評価指標を守る計画を立案できますが，自動では作れないという課題がありました．本計画最適化技術は，過去に熟練者が作成した計画を機械学習によってパターンを学習し，そのパターンを明文化された制約条件に加えることにより，熟練者のような気転の利いた計画を自動で作り出すものです．アナログな熟練者ノウハウを機械学習により抽出し数理最適化に融合するという「人とAIの協創」ともいうべき新方式の発明と，その方式が食料品，鉄鋼や非鉄金属等の幅広い製造現場に適用可能なことが評価されました．今後さらに複雑なSystems of systemsに適用されることが期待されます．

今回選定された3件に共通するのは「常識にとらわれない新たな展開への挑戦」です．「ベクトル型はスパコン」「クラウド型音声認識は専門用語に弱い」「熟練の技の伝承はアナログ」という固定概念に対し，新たな展開を図られました．受賞者の方々にお祝い申し上げますとともに，今後のさらなる展開に期待します．

(2021年5月24日)

新世代ベクトル型コンピュータ「SX-Aurora TSUBASA」の普及と活用に向けて

受賞業績　**新規アーキテクチャに基づくベクトル型コンピュータの開発とその AI への応用**

荒木拓也 [*1]　石坂一久 [*1]　今井照之 [*2]　星　宗王 [*3]　愛野茂幸 [*4]

[*1] NEC データサイエンス研究所　[*2] NEC AI プラットフォーム事業部
[*3] NEC スマートインダストリー本部　[*4] NEC システムプラットフォームビジネスユニット

このたびは，このような栄えある賞を受賞させていただき，大変光栄である．本業績は，多くの方々の貢献の結果であり，我々はその代表として名を連ねさせていただいた．この場をお借りし，関係各位に深く感謝したい．

本賞は，新規アーキテクチャに基づくベクトル型コンピュータ SX-Aurora TSUBASA を開発したこと，およびその上で動作する AI 向けフレームワークを開発・整備したことに対して与えられた．以下，それぞれについて紹介していきたい．

ベクトル型コンピュータは，かつてはスーパーコンピュータの代名詞であり，高い性能を発揮することが知られている．一方，これまでは専用 OS が動作する大型機しか存在せず，一般に利用されるようなものではなかった．

この課題に対処するため，我々はベクトルプロセッサを PCIe カード上に実装し（Vector Engine：VE と呼ぶ），x86 プロセッサと協調動作するアーキテクチャを新規に開発した（**図 -1**）．これにより，小規模モデルから大規模モデルまで提供が可能となった．

本アーキテクチャでは，ベクトルプロセッサ上で発生したシステムコールを，x86 プロセッサ上の Linux で実行する．これにより，Linux との高い互換性を実現し，使いやすさが向上した．

小規模モデルからの提供が可能となるため，我々はスーパーコンピュータ以外の市場も探索することとした．そこで対象としたのが AI 領域である．AI 領域では機械学習に長時間かかることが課題となっており，これを解決することが大きな価値を生むと考えたためである．

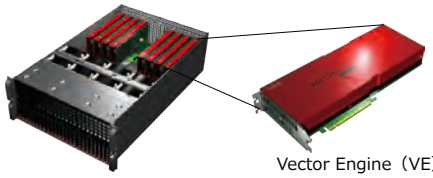


図 -1　SX-Aurora TSUBASA（B300-8）

深層学習を対象とするフレームワークとして，TensorFlow を SX-Aurora TSUBASA に移植した．また，深層学習以外の機械学習を対象とするフレームワークとして，Frovedis と呼ぶフレームワークを独自に研究開発した．

Frovedis は Python scikit-learn, Apache Spark と互換性のある API を提供している．いずれもオープンソースとして公開している（https://github.com/sx-aurora-dev/tensorflow, https://github.com/frovedis/）．

SX-Aurora TSUBASA はすでに多数のユーザに採用されている．これからも本賞をはげみにさらなる普及と活用を進めていきたい．本稿の読者も機会があればぜひ利用していただきたい．

（2021 年 5 月 15 日受付）

荒木拓也（正会員）　takuya_araki@nec.com
1999 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了．博士（工学）．同年日本電気（株）入社．2003 ～ 2004 年米 Argonne National Laboratory 客員研究員．現在データサイエンス研究所主幹研究員．HPC の AI への応用等の研究に従事．本会理事（2017 ～ 2018 年度）．

石坂一久（正会員）　ishizaka@nec.com
2004 年早稲田大学大学院博士課程修了．博士（工学）．2005 年日本電気（株）入社．以来，並列コンピューティングの研究に従事．現在，同社データサイエンス研究所主任研究員．

今井照之（正会員）　t-imai-cp@nec.com
2007 年東京大学情報理工学系研究科修士課程修了．同年日本電気（株）入社．ベクトルスーパーコンピュータの I/O，SX-Aurora TSUBASA のアーキテクチャ，オペレーティングシステム開発に従事．現在 SX-Aurora TSUBASA のソフトウェアの開発に従事．

星　宗王（正会員）　n.hoshi@nec.com
1996 年名古屋大学大学院電気系専攻修了．同年日本電気（株）入社．ベクトルプロセッサの研究開発等に従事し，地球シミュレータ（初代），SX-ACE，SX-Aurora TSUBASA の開発を担当する．現在，同社スマートインダストリー本部長代理．

愛野茂幸　s-aino-bu@nec.com
1986 年東京大学学士課程修了．同年日本電気（株）入社．1991 年 University of NewCastle Upon Tyne（英）修士課程修了．現在，システムプラットフォームビジネスユニット主席技師長（CTO）．

ビジネスの現場で愛される クラウド型音声認識サービスを目指して

受賞業績　**クラウド型多言語対応音声認識システム「Watson Speech-to-Text」の研究開発と実用化**

倉田岳人　長野　徹　伊東伸泰　鈴木雅之　福田　隆
日本アイ・ビー・エム（株）東京基礎研究所

このたびは，業績賞を受賞させていただき大変光栄です．受賞対象となったクラウド型音声認識サービス Watson Speech-to-Text（STT）は，我々東京基礎研究所の人間だけで提供できるものではなく，日々協業している国内外の同僚，そして，何よりもご愛顧いただいている多くのお客様に，改めて感謝を申し上げたいと思います．

クラウド型音声認識サービスでは，多くの環境で頑健に動作する汎用的なモデルと柔軟なカスタマイゼーション機能を提供する必要があります．我々のチームでは，全言語共通のモデル学習・カスタマイゼーションアルゴリズムの研究開発，および英語・日本語を含むほぼすべてのモデル構築を担当しました．2015 年にサービスを開始したころは，ご利用いただいているお客様は限られていましたが，いまでは，パブリッククラウドに加えて，機密性の高い音声のテキスト化のために，プライベートクラウド上でのサービスも提供することで，Watson STT を利用したさまざまな音声認識アプリケーションが国内外で多数導入されています．コールセンタでのエージェント支援システム（**図 -1**），企業での会議議事録作成システム，教育現場での教員支援システムなどが代表的な事例ですが，IBM がアプリケーション開発に直接かかわっていない事例も増えてきています．最新の研究成果を，学会等で発表するだけでなく，それらを利用して構築したモデル・アルゴリズムが，ハイブリッドクラウド・エコシステムを通じて世界中で利用されるのは，まさに研究者冥利に尽きる経験です．

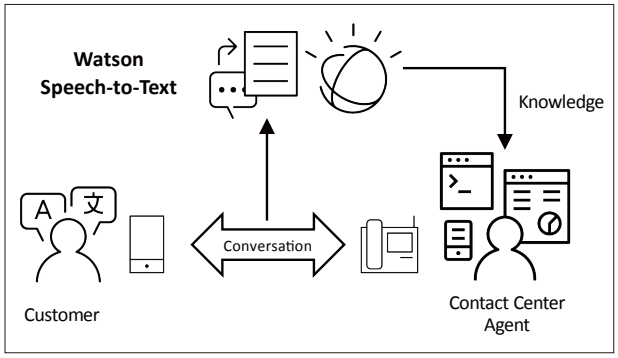


図 -1　Watson STT を利用したコールセンタエージェント支援システム

これからも音声認識技術が社会で利用される場面は増え続けると確信しています．研究成果の迅速な産業応用，事業化を通じて，音声分野の発展に貢献できるよう，努力を続けたいと思います．

（2021 年 5 月 15 日受付）

倉田岳人（正会員）　gakuto@jp.ibm.com
2004 年東京大学大学院修士課程修了．同年日本アイ・ビー・エム（株）入社．2013 年東京大学より博士号取得．2016 年より音声グループ担当マネージャーとして，音声言語情報処理の研究，および国内外事業部門との協業を推進．IEEE SLTC メンバー．博士（情報理工学）．

長野　徹（正会員）　tohru3@jp.ibm.com
1998 年日本アイ・ビー・エム（株）入社．以来，同社東京基礎研究所にて，自然言語処理および音声合成・音声認識の研究に従事．2016 年筑波大学大学院博士課程修了．2018 年日本音響学会技術開発賞受賞．博士（工学）．

伊東伸泰（正会員）　iton@jp.ibm.com
1984 年大阪大学基礎工学研究科博士前期課程修了．同年日本アイ・ビー・エム（株）入社．同社東京基礎研究所にて文字認識・音声認識の研究に従事．1999 年および 2018 年日本音響学会技術開発賞受賞．

鈴木雅之　szuk@jp.ibm.com
2013 年東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了．同年日本アイ・ビー・エム（株）に入社し，音声認識の研究開発等に従事．日本音響学会粟屋潔学術奨励賞，同会技術開発賞など受賞．博士（工学）．

福田　隆（正会員）　fukuda1@jp.ibm.com
2005 年日本アイ・ビー・エム（株）に入社．以来，東京基礎研究所にて音声情報処理の研究に従事．本会山下記念研究賞，日本音響学会粟屋潔学術奨励賞，同会技術開発賞など受賞．博士（工学）．

暗黙知のデジタル化に向けた挑戦

受賞業績　**熟練者ノウハウを反映可能な計画最適化技術の研究開発と実用化**

小林雄一 [*1]　鄭　　建 [*1]　高橋由泰 [*1]　柳田貴志 [*2]　佐藤達広 [*3]

[*1]（株）日立製作所 研究開発グループ　[*2]（株）日立製作所 産業・流通ビジネスユニット
[*3]（株）日立製作所 サービス＆プラットフォームビジネスユニット

このたび，業績賞を受賞することができ，誠に光栄に思います．これに満足せずさらに社会貢献できるよう最先端技術の研究開発に邁進してまいります．

受賞となった MLCP（Machine Learning Constraint Programming）は，生産計画や要員計画等の計画立案業務において，熟練者と同等の計画を自動生成する計画最適化技術です．本技術は，最適化エンジンに機械学習エンジンを組み合わせたことが特徴です．機械学習エンジンは，過去に熟練者が立案した計画履歴データから計画パターンを抽出し，最適化エンジンは，熟練者からのヒアリングにより形式知化した制約条件とともに計画パターンに合わせて解探索の方向を操作します．これにより熟練者のノウハウを反映した計画の自動生成を実現します．

近年，さまざまな分野で IT による自動化が進んでいます．しかし計画立案業務では自動化の進みが遅く，熟練者の計画立案に頼っている企業は少なくありません．以前その理由を伺ったところ，何度か自動化に挑戦したが，期待通りの計画が出力できなかったとのことでした．期待通りの計画を出力できない理由は，熟練者の暗黙知の存在だと考えます．哲学者 Michael Polanyi（ポランニー）は言いました．「人間には，言語の背後にあって言語化されない知がある」と [1]．人間は計画の立案ができても，計画の良し悪しについて言語化することは難しいのです．そこで私たちが目を付けたのが過去に熟練者が立案した計画履歴データでした．機械学習技術を応用することで計画履歴データに隠れた熟練者の暗黙知をあぶり出すことに成功しました．しかし，それは暗黙知の再現までででした．そこから，熟練者と向き合い，どんな計画が良くてどんな計画が悪いのかの話し合いが始まりました．このプロセスにより，これまで気付かなかった制約条件が洗い出され MLCP に組み込んでいきました．その結果，熟練者の期待通りの計画を出力できる MLCP が完成し，現在複数の企業に好評をいただいております．

これからもお客様と膝を突き合わせて話し合いながら社会課題を解決する新しい技術の研究開発に取り組んでいきたいと思います．

参考文献

1）マイケル・ポランニー（著），高橋勇夫（訳）：暗黙知の次元，ちくま学芸文庫．

（2021 年 5 月 15 日受付）

小林雄一（正会員） yuichi.kobayashi.ma@hitachi.com
1999 年（株）日立製作所入社．自律分散システム等の研究開発を経て，現在，機械学習技術と最適化技術とを組み合わせた新しい計画最適化の研究開発に従事．博士（情報科学）．

鄭　　建 jian.zheng.wq@hitachi.com
2014 年（株）日立製作所入社．エレベーターの予兆診断等の研究開発を経て，現在，機械学習や最適化技術を用いて，生産計画・スケジューリング問題の自動化・最適化の研究開発に従事．

高橋由泰（正会員） yoshiyasu.takahashi.gq@hitachi.com
2003 年（株）日立製作所入社．セキュリティ等の研究開発を経て，現在，社会インフラ向けの計画最適化技術に関する研究開発に従事．日本オペレーションズ・リサーチ学会会員．博士（工学）

柳田貴志 takashi.yanagida.nv@hitachi.com
2000 年（株）日立製作所入社．主にインダストリー分野のシステム構築に従事．現在は AI を活用した計画最適化サービスを始めとする DX 事業を担当．

佐藤達広 tatsuhiro.sato.uq@hitachi.com
1995 年（株）日立製作所入社．最適化技術の研究開発を経て，現在 AI 技術力強化等に従事．博士（工学）．電気学会上級会員．日本オペレーションズ・リサーチ学会会員．電気学会第 71 回電気学術振興賞論文賞受賞．

報　告

2020年度 マイクロソフト情報学研究賞紹介

選定にあたって

萩谷昌己　マイクロソフト情報学研究賞選定委員会委員長／東京大学

2021年3月18日に，2020年度の「マイクロソフト情報学研究賞」が，松原靖子さん（大阪大学産業科学研究所）と松田隆宏さん（産業技術総合研究所）に授与されました．本賞は国内の若手研究者を表彰の対象として2016年度に創設されました．今回で第5回目の贈呈となります．本賞は，企業（大学および公的研究機関以外）所属の若手研究者を対象とする「情報処理技術研究開発賞」とともに，本会第20代会長の故長尾真先生からご寄贈いただいた資金により2005年度に創設され，2015年度までの11年間，若手研究者を顕彰してきた「長尾真記念特別賞」の主旨を引き継いでいます．「長尾真記念特別賞」が毎年3名以内の選考であったのに対して，本賞が2名以内，「情報処理技術研究開発賞」が1名以内であわせて3名以内となっております．なお，本賞の贈呈は2021年3月の全国大会で行われる予定でしたが，昨年に引き続き全国大会がオンライン開催となったため，表彰式は行わず表彰報告をさせていただきました．

本賞は，情報学の主要な分野の研究・開発で国際的に顕著な貢献が認められ，今後もその発展が期待される若手研究者（共同研究・開発の場合はその代表者）を毎年2名以内で顕彰するものです．受賞対象者は，博士号取得後10年以内の若手研究者で，公募推薦の時期に本会正会員として3年以上経過した国内の大学または公的研究機関に所属する者としています．2020年度は2020年11月30日を推薦締切として公募を行ったところ3名の推薦があり，表彰規程ならびに選定手続きに基づき慎重に審議を行った結果，以下の研究業績に関して上記2名の受賞が決定しました．

松原靖子さん：「大規模時系列データのリアルタイム解析と将来予測に関する研究」

深層学習を中心に機械学習の技術が普及し，IoTなどからのビッグデータの解析が進んでいます．しかしながら，一般に機械学習ではモデルの構築に多大な時間を要するため，IoTのように時々刻々と変化する環境からのデータを用いてリアルタイムに学習することができません．松原さんはこの課題に対処するために，リアルタイム要因分析・予測技術を開発されました．これは，時系列ビッグデータストリームに基づく動的モデル学習と将来予測技術を融合したもので，深層学習と比較して数十万倍の高速化を達成しています．さらに松原さんはこの技術をソーシャルネットワークの解析などにも応用されています．

松田隆宏さん：「高い安全性と機能を有する公開鍵暗号技術のモジュラーかつ汎用的な設計法に関する研究」

松田さんは，暗号要素技術を組み合わせて，より高機能な暗号技術や通信プロトコルなどの目的技術を一般的・汎用的に構成する方法を研究されました．一般に要素技術を組み合わせて目的技術を実現する方法はモジュラー構成と呼ばれています．暗号の分野でモジュラー構成を与えることは容易ではありません．攻撃者の存在により目的技術が利用される環境が過酷であるため，要素技術の安全性だけでは目的技術の安全性が満たされないことが一般的だからです．松田さんは，長年の研究の末に，受賞テーマである公開鍵暗号技術のモジュラー構成に成功されました．この成果は，この分野における長年の課題を解決するものでありブレークスルーと呼ぶことができるでしょう．

両名ともにマイクロソフト情報学研究賞の受賞者に相応しい優れた研究業績があり，また本会を含む国内外の学会において活躍されています．両名の今後のさらなる活躍を期待しております．また，これからも国際的に活躍する優秀な若手研究者を顕彰していきたいと考えていますので，積極的な応募をお願い申し上げます．

（2021年5月28日）

時系列ビッグデータのリアルタイム将来予測と社会実装への取り組み

【受賞タイトル】大規模時系列データのリアルタイム解析と将来予測に関する研究

松原靖子　大阪大学 産業科学研究所

このたびは，大変名誉ある賞をたまわり大変光栄に存じます．本会の皆様，日本マイクロソフト（株）様，ならびに本賞選定委員会の先生方に心よりお礼申し上げます．

私はこれまで，IoT/ センサデバイス，Web 上のアクティビティ等，大規模かつ多様な時系列ビッグデータを対象とし，重要な情報を非線形モデルに基づき自動的かつリアルタイムに解析し，動的要因分析や将来予測をするための基盤技術を開発してきました．

実社会において IoT や Web を巡る環境が急速に変化し，特に製造業における DX やカーボンニュートラルに関する取り組み，Web と連携した災害時の情報提供や予測等，リアルタイム性が求められる大規模データ解析技術が幅広い分野で強く求められています．世界におけるビッグデータ・AI に関しては主に深層学習が用いられ，急速に応用範囲が拡大していますが，その一方で，これらの手法はブラックボックスモデルを使用していること，大量の教師データと多大な計算時間を必要とするためリアルタイムに学習ができない，刻々と変化する環境の中で柔軟に適応することができない等の課題も残されています．

我々の研究では，既存の深層学習等に基づく技術では実現できなかった，高速，省メモリ，高精度のモデル学習，特徴自動抽出，要因分析，将来予測を可能とする新たなリアルタイムデータ解析手法を開発しました．これまでの研究における一連の要素技術は，データマイニング，データベース，Web 分野のトップ国際会議において数多くの成果として発表しており，国際的にも高く評価されています（KDD 2012 にて 2 本，KDD 2014, ICDM 2014, SIGMOD 2014, WWW 2015, KDD 2016, WWW 2016, KDD 2019, CIKM 2019, ICDM 2019, KDD 2020 等）．さらに，我々の開発した最新のリアルタイム要因分析・予測技術は，世界最高精度，最小計算コストの時系列予測を可能とし，その有用性と独自性により，産業界からも高い評価をいただいています．さまざまな有力企業と連携しながら技術の実用化に向けた活動を継続的に実施しており，特に製造業においては，大規模設備の故障予測，組み込み機器や小型デバイス等のエッジ端末向けリアルタイム AI 技術について，事業導入に向けたソフトウェア開発を行っています．

今後も引き続き，本研究成果を発展させ，学術面で世界最高レベルの研究成果を発信しつつ，技術の実用化と社会実装に向けた積極的な産学連携を行って参ります．時系列ビッグデータ解析に関する世界のデファクトスタンダードとも呼ぶべき技術を開発することを念頭に，数多くの企業の方々と協調しながら，先駆的な技術開発に取り組んでいきたいと考えております．今回の受賞を励みとし，日本における情報処理分野の発展に貢献すべく，一層の努力を尽くして参りたいと存じます．

（2020 年 5 月 17 日受付）

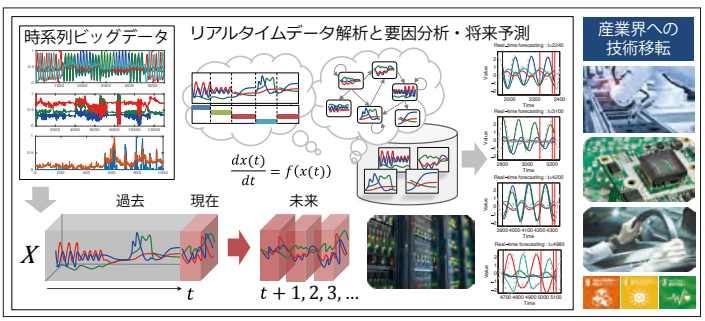


図 -1　時系列ビッグデータのリアルタイム解析と産業界への技術移転

松原靖子（正会員）　yasuko@sanken.osaka-u.ac.jp
2012 年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士後期課程修了．博士（情報学）．2019 年より大阪大学産業科学研究所准教授．2016 年度日本データベース学会上林奨励賞，2018 年度 IPSJ/ACM Award for Early Career Contributions to Global Research 等受賞．

暗号技術のモジュラーな設計

【受賞タイトル】高い安全性と機能を有する公開鍵暗号技術のモジュラーかつ汎用的な設計法に関する研究

松田隆宏　国立研究開発法人 産業技術総合研究所

このたび，マイクロソフト情報学研究賞という栄誉ある賞をいただき大変うれしく思います．これまでお世話になった恩師，共同研究者を始め関係者の方々に深く感謝いたします．

暗号技術はインターネットでの通信を始めあらゆる場面で（多くの場合，利用者の意識しないところで）利用されています．数ある暗号技術の根幹を支えるのは，公開鍵暗号や電子署名などの「暗号要素技術」です．暗号要素技術の構成法は，数論や線形代数などを駆使して目的技術を直接構成する方法と，公開鍵暗号や電子署名といった基礎的な暗号要素技術の組合せにより目的技術を一般的・汎用的に構成する方法（モジュラー構成）とに大別できます．今回賞をいただいた研究は，そうしたさまざまな暗号要素技術のモジュラー構成やその不可能性についてのものです．部品から目的技術をボトムアップに構成する，という手法は多くの分野や場面で当たり前の考え方なのですが，暗号要素技術では「暗号化したデータを復号すれば元に戻る」といった機能的な要件に加え，厳密に数学的に証明された安全性も同時に満足する必要があり，そこに暗号分野特有の難しさ（と面白さ）があります．ひとたびモジュラー構成法が示されれば，以降は部品としての要件を満足する暗号要素技術ならばどれを用いても目的技術を構成できるため，モジュラー構成には構成要素の取り換えが容易になるという重要な実用的意義があります．近年では，耐量子計算機安全性を持つ暗号技術が研究分野において中心的な研究テーマの１つとなっていますが，部品となる暗号技術を量子計算機に対して安全なものに取り換えることで，構成された暗号要素技術もまた量子計算機に対する安全性を保証できますので，耐量子計算機安全性を持つ暗号技術の構成という目的にも有用性を発揮します．

私は修士時代に初めて暗号分野の研究に触れ，その魅力に引き込まれました．（なぜか）特に「受動的攻撃者に対する安全性しか満たさない公開鍵暗号方式を部品として組み合わせ，実利用上必須の能動的攻撃者に対する安全性を満たす公開鍵暗号方式を構成できるか?」という暗号理論では基礎的な問題が未解決であることに魅せられ，解決に貢献したいと思い研究を続けてきました．この問題は，後者を前者からモジュラー構成できるかを問うものです．現在でも完全な解決には至っていませんが，部品に仮定を追加したり，目的技術を少し変えてみるなどの試行錯誤の結果が幸運にも研究成果に繋がりました．またその過程で，目的技術を一気に達成しようとするのではなく，より簡素な部品の組合せへと分解して構成を考えたり安全性解析（安全性証明）を行うというモジュラー構成のアプローチは，さまざまな高度な機能や安全性を有する暗号要素技術の構成においても有用であると分かり，研究対象とする要素技術の範囲を広げていくことでさまざまな研究成果に繋げることができました．

暗号技術や暗号理論の進展速度は目まぐるしく，さらに近年では秘匿計算技術など従来は理論的な技術と思われていた暗号技術の社会実装に向けた取り組みがどんどん進んでいます．そのため最近ではこれまでの暗号要素技術の理論研究に加え，そうした社会での応用を見据えた暗号技術の研究にも取り組んでいます．今後も本研究で培った知見や経験を基に研究に励んでいきたいと思います．

（2021 年 5 月 24 日受付）

松田隆宏（正会員） t-matsuda@aist.go.jp
2011 年 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻博士課程修了．博士（情報理工学）．2 年間の日本学術振興会特別研究員（PD）を経て 2013 年より産業技術総合研究所研究員．2017 年より同主任研究員．

報告

2020年度

情報処理技術研究開発賞紹介

選定にあたって

萩谷昌己　情報処理技術研究開発賞選定委員会委員長／東京大学

2021年6月8日に，2020年度の「情報処理技術研究開発賞」が劉健全さん（NECバイオメトリクス研究所）に授与されました．本賞は企業所属の優秀な若手研究者を表彰の対象として2018年度に創設されました．今回で第3回目の贈呈となります．本賞は，日本国内の大学および公的研究機関所属の研究者を対象とする「マイクロソフト情報学研究賞」とともに，本会第20代会長の故長尾真先生からご寄贈いただいた資金により2005年度に創設され，2015年度までの11年間，若手研究者を顕彰してきた「長尾真記念特別賞」の主旨を引き継いでいます．「長尾真記念特別賞」が毎年3名以内の選考であったのに対して，本賞が1名以内，「マイクロソフト情報学研究賞」が2名以内であわせて3名以内となっております．なお，本賞の贈呈は2021年6月の定時総会で行われる予定でしたが，COVID-19の影響により定時総会での表彰式は中止となったため，表彰は賞状の発送をもってかえさせていただきました．

本賞は，情報学の主要な分野で，その研究・開発において国際的に顕著な貢献が認められ，今後もその発展が期待される企業（大学および公的研究機関以外）所属の若手研究者（共同研究・開発の場合はその代表者）を毎年1名以内で顕彰するものです．受賞対象者は，公募推薦の時期に39歳までの本会正会員としています．2020年度は2020年11月30日を推薦締切として公募を行ったところ3名の推薦があり，表彰規程ならびに選定手続きに基づき慎重に審議を行った結果，以下の研究業績に関して上記1名の受賞が決定しました．

劉　健全さん：「未知の人物を対象とした映像解析技術の研究開発」

画像認識の分野では，特定の人物の顔や身体の特徴を抽出して膨大な映像の中からその人物を検索する技術が普及しています．劉さんは，膨大な映像の中から特異な出現パターンで現れる未登録の人物を高速に発見する映像検索技術を開発されました．劉さんの言葉を借りれば，映像解析の対象を従来の「既知」から「未知」へと発展させたものになります．本技術は，人物の画像を類似度によってグループ化することにより，ほかの人物とは異なるパターンで出現する未知の候補人物を見つけ出す技術です．

本技術は，SIGGRAPHなどのトップコンファレンスで研究成果として発表されるだけでなく，雑踏警備や金融犯罪の解析，放送映像の編集など，実用的なシステムにおいて活用されています．受賞者には，今後も学術的な研究とともに産業への応用を継続して進めていただきたいと思います．さらなるご活躍を期待しております．

日本国内の大学と公的研究機関に所属する研究者を対象としている「マイクロソフト情報学研究賞」に対して，今回の授賞が典型的であるように，「情報処理技術研究開発賞」では，企業における技術・製品等の開発や社会貢献を積極的に評価しています．本賞を通して，これからも情報学の分野で国際的に活躍する企業所属の優秀な若手研究者を応援して参りますので，企業からの積極的な応募をお願い申し上げます．

（2021年5月28日）

データの世界にもスモールワールド現象がある

［受賞タイトル］ **未知の人物を対象とした映像解析技術の研究開発**

劉　健全　NEC バイオメトリクス研究所

このたび，情報処理技術研究開発賞をいただき，大変光栄である．本賞は企業の若手研究者に贈られるもので，大変大きな名誉と思い，今後の研究開発への責任を感じつつ，さらに邁進しなければならないと考えている．本賞の受賞は，NEC 入社以来，研究所と事業部の多くの関係者の支えがあったからこそ成し得たものである．この場を借りて多くの方々に深く感謝を申し上げたい．

受賞となった技術（図 -1）は，膨大な映像の中から特異な出現パターンで現れる未登録の人物を高速に発見する映像検索技術であり，映像解析の対象を従来の「既知」から「未知」へと発展させたものである．

本技術の研究開発に取り組むきっかけは，第三次 AI ブームの再燃に伴った膨大な映像データの蓄積と解析にあった．大量の映像データから，顔や身体などの特徴が不特定や未知の場合（ウォーリーが未知）において「ウォーリーをさがせ！」を高速・高精度にいかに実現させるかが難しかった．

図 -1　未知の人物を見つけ出す映像検索例

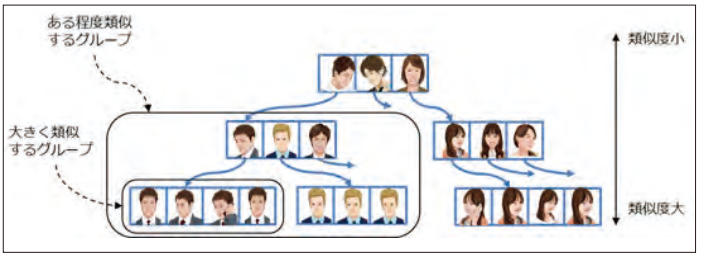


図 -2　類似グループを階層的に管理するデータ索引

本研究では，「不特定と未知」に対し，街角でうろつく不審な人物や道に迷っている人が，何度も同じ場所に現れるなど，ほかの人とは異なるパターンで出現する点に着目し，未知の候補人物を見つけ出す．この実現において，大量の顔画像を「類似度」でグループ化する新しいデータ索引技術（図 -2）を開発し，類似度の低い顔画像同士の比較を大幅に削減することで，計算量を $O(N^2)$ から $O(N\log N)$ に低減し，実用時間での分析を可能にした．この手法を思い付いたきっかけは，実社会では「友人の友人が自分の友人である可能性が高い」といったスモールワールド現象があることで，もしかしたら顔画像データの世界でも似たような現象が存在し得るのではないかといった仮説にあった．この仮説に基づいたデータ間の類似性の伝播関係を用いることで新たな索引技術の開発に成功した．

本技術は，ACMMM, SIGGRAPH, ICMR 等の難関学会で発表し，国内学会においても年間優秀論文賞を受賞するなど，学術的に高い評価を得た．さらに雑踏警備や金融犯罪，放送映像編集などの産業応用で映像解析システムとして導入実績を上げている．初期の研究開発から実用化までの道のりは平坦でなかったが，実用化により安全安心な社会の実現に貢献できて大きな喜びと励みとなった．今後も学術と産業の両立を大切にしつつ，研究開発を精進していきたい．

（2021 年 5 月 21 日受付）

劉　健全（正会員）　jqliu@nec.com
2012 年筑波大学システム情報工学研究科博士後期課程修了．同年 NEC 入社．現在，主任研究員，大規模な映像検索の研究に従事．2015 年より法政大学兼任講師．IEEE ICME 2020 を含む多数の国際会議プログラム委員長を歴任．IEEE，ACM，APSIPA，DBSJ 各会員．博士（工学）．

連載

先生，質問です！

Jr.

特別編

「Q9. 100 年後のコンピュータ科学はどんなことを研究しているの？（Vol.60 No.1）」掲載後に，本会元会長である長尾真先生よりメッセージをいただきました．これを元に小特集を組みたいという要望がありましたが，実現できていないまま，このたび長尾先生の訃報が届いてしまいました．

長尾先生からのメッセージを掲載するにあたって，Q9 の回答者からも再度メッセージをいただきました．みなさんが未来を考える上でのヒントになれば幸いです．

長尾真先生からの「100 年後の情報科学について」のメッセージ

会誌「情報処理」2018 年 1 月号には「私たちの未来」という小特集がある．同じ 2019 年 1 月号連載「先生，質問です！」には「100 年後のコンピュータ科学はどんなことを研究しているの？」という質問があって，いろんな回答が出されているが，せっかくのこの 2 つの記事に関連性がまったくない．もう 1 つの問題は，純粋科学は未知のことの解明だから何をしてもよい（？）が，それを超えた世界，つまり工学の世界にはやってよいことと，やってはならないことがあるだろう．したがって「100 年後はどんなことをしているだろうか」という質問でなく，我々は何をしているべきかという「べき論」をしなければならないだろう．そうすればいろいろと新しい世界が見えてくるのではないだろうか．

そうしたとき，上記の 2 つの記事の問題設定を「べき論」に書き替えて，議論しなおす必要があるだろう．この立場から「100 年後はいかにあるべきか」，「そのために情報関係の我々は何をすべきか」という立場からの 1 つの意見として，限られた文字数で書いたものが以下である．

100 年後を目指した情報科学の研究活動について

100 年後の目標：世界人類の平和的共存・共栄
そのためには，あらゆる人達，民族，国家間の相互理解の実現
また人類が安寧に共存できるための地球環境の改善

そのために実現すべきこと：

(1) あらゆる分野における生産性の向上と富の局在を避け，世界中の人がそれなりの生活ができるようにする経済（配分）システムのモデルの作成．そのための富の局在や人たちの生活実態の把握と情報公開の実現．

(2) 世界中の人たちの教育レベルの向上と，信頼・寛容といった精神の大切さの自覚の促進．そのための教育プログラムの開発とそれが使える数十億人が持てる安くて何でもできる情報端末の開発．

(3) 世界中の人が言語の壁を越えたコミュニケーションができ，相互理解の促進ができる環境の整備．機械翻訳が (2) の情報端末で実現し，グローバルに情報入手，処理ができ，だれとでもコミュニケーションができること．

(4) それぞれの民族・国家の持つあらゆる有形・無形文化財のディジタル提供による他文化理解の容易化．それを通じての民族間の相互理解の促進．

(5) 地球環境破壊を防ぎ，より良い地球環境の再現．そのための地球全体の環境情報の計測の実現．

(6) 世界中の人たちの健康な生活の実現．そのための情報の周知．

(7) 人間の頭脳機能のシンボルレベルでの解明とモデル化．

(8) プライバシーが守られる社会の実現．

(9) 社会現象や経済現象などのマイクロレベルでのシミュレーションと良い方向への予測の実現．

＊その他いろいろ

こういった課題に対して情報科学ができることは山積している．それらを洗い出し，10 年単位でどのように実現してゆくかを学会が明らかにしてゆくことを提案します．

（2018 年 12 月）

■長尾　真

「100 年後の未来に向けた長尾真先生の『べき論』を読んで」

2019 年 2 月のお祝い会にて

本会第 20 代会長を務められた長尾真先生が 2021 年（令和 3 年）5 月 23 日に逝去されました．享年 84 歳でした．学会を代表して，心よりご冥福をお祈りいたします．

私自身，訃報を受け愕然とするとともに，最後にお会いした 2019 年 2 月に開催した「長尾先生の文化勲章受賞をお祝いする会」での先生の優しい笑顔が忘れられません．

今回，会誌編集担当から長尾先生が情報処理 2019 年 1 月号（Vol.60, No.1）「100 年後のコンピュータ科学はどんなことを研究しているの?」と 2018 年 1 月号小特集「私たちの未来」を読まれて，学会宛てにコメントを寄せられていたという連絡を受け，それに対するコメントを急遽，書かせていただくことになりました．本来であれば，学会の全国大会や FIT において，企画セッションを設定すべき重要なテーマですので，また，改めて検討したいと思います．

長尾先生の最大の指摘は，2 つの記事に書かれた視点が「未来はどんなことをしているだろうか?」という問いへの答えではなく，「100 年後はいかにあるべきか?」「情報関係の我々は何をすべきか?」というバックキャスティングの視点からの問いと答えを議論すべきであったという点です．まず，先生は，100 年後のあるべき未来社会の目標を「世界人類の平和的共存・共栄」と設定し，あらゆる人たち，民族，国家間の相互理解の実現と地球環境の改善を目指すとされています．長尾先生の描かれている未来社会のかたちは，一貫していて，比叡山シンポジウムでの講演[1]においても平和的共存・共栄に関して「本当の理想の境地を一緒に見つけねばならない．仏教でいえば空の境地の世界でしょうか．そういう空の世界の境地とは一体どういうものであるかということを，国同士，民族同士，人同士が心を開いて議論をすることによって見つけ出して，そこに向けてお互いに努力をするということができないか．そういう努力ができない限りは，地球世界からなかなか紛争をなくすことができないということになるわけであります」と述べられています．

さらに，その目標のために具体的に実現すべきことを 9 つ指摘されています．

(1) は，生産性の向上と経済システムのモデルと生活実態の把握と情報公開の実現であり，モデルだけでなく，実態の計測，公開という点に工学者としての長尾先生の視点が見えます．(2)，(3)，(4) で触れられている点は，世界中の人たちの教育レベルの向上，信頼・寛容という精神の大切さ，多文化理解の容易化，相互理解の促進と機械翻訳による言葉の壁を超えたコミュニケーションを支援する端末開発の重要性です．いずれも人類の平和的共存・共栄の実現に向けて，我々がなすべきことを指摘されています．世界中の人々が使っているスマートフォンが，長尾先生が想像している端末にさらに近づいていくことを期待します．

(5) は地球環境崩壊を防ぐべく，環境情報の計測であり，持続可能性な社会・地球環境を実現する上での必須アイテムです．(6)，(7)，(8)，(9) を読み解くと Well-being Computing，人工脳モデル，プライバシー保護，社会，経済現象のディジタルツインといった，いわば富の局在のない，精神的にも豊かな未来社会の実現に役立つ情報技術の必要性を問われています．

長尾先生のコメントは，情報処理にかかわる我々が未来社会をデザインしていく上で絶えず議論すべき重要な課題であり，我々への宿題と思えてなりません．

最後に，私の手元に先生から送っていただいた随筆[2]の一部を以下に引用させていただき，まとめとさせていただきます．

「……21 世紀は心の時代となるだろうと 30 年以上前から言ってきたが，間違いなくその方向に向かっているように感じられるし，そうなるしかないのではないだろうか．ただ心の時代といっても具体的にどのような社会が実現するのか，実現させるべきなのかといったことについては，これからいろいろと研究する必要がある．しかしそれはこれからの人に任せ，私としては心の時代が来るという確信でもって，30 歳代からの自分の宿題は解けたとして，安らかにあの世にいくことにしようと思う．(2013 年夏)」

参考文献
1）長尾　真：こころの時代，比叡山シンポジウム（2018）．
2）長尾　真：楽天知命 ―気楽なよしなごと―，アスパライースト（株）（2019）．

■**徳田英幸**（情報通信研究機構）

長尾先生に多くを教えていただきました

2年前，2019年10月，大川賞ご受賞時にご夫婦で東京にお出でになられ，先生の素晴らしいご自身の研究者人生を拝聴する機会がありました．大変お元気でいらっしゃられ，今回の訃報がいまだに信じられません．先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます．

小生は長尾門下ではありませんが，振り返りますと，先生には色々な機会で多々ご指導を頂戴して参りました．情報信憑性に関する研究の重要性を訴えられたときのお考えが忘れられません．長尾先生のお考えは，研究すべきことを真っ直ぐに見つめられるということに尽きると感じます．当時西尾本会元会長がとりまとめておられました連携施策群という文科省，総務省，経済省の3つのプロジェクトがありましたが，小生は情報大航海なる巨大なプロジェクトをまとめており，出口という視点をどうしても考えがちでした．小生は，信憑性の定量化は根源的に難しい課題であるという考えを持っていたのに対し，先生は直近の成果などどうでもよく，やるべきことの重要性を明確に述べられ，先生の展望の深さに感銘を受けたことを鮮明に記憶しております．先生が自然言語処理を始められたときも，非常に険しい山であったかと思います．やるべき研究として一歩一歩登ってこられた先生のお姿は後進に大きな勇気を与えてくださっていると感じます．機械翻訳創成期において，文法ではなくビッグデータのアプローチを切り開かれ突出した成果を上げられましたことは広く知られているところですが，本会の「100年後にやるべき研究」として挙げられましたリストを拝見しますとまさに長尾イズムが感じられます．

最近，我々は，2020年3月末から「4月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム」[☆1]なるオンライン集会を継続的に開催してきておりますが，4月24日の第5回のシンポジウムにおいてご登壇いただきました[1)]．その折には先生は京大の黒橋研究室でご講演をなされたと伺っております．このシンポジウムは，海外の一流大学に遅れることなく，日本の大学がどうやって対面授業から遠隔授業に迅速に転換するかについての情報交換の場として，コロナの状況もまだ不透明な中で，取り組み始めたものですが，電話でスピーチをお願いさせていただきますと，「喜連川さん，遠隔授業もいいけれど，こういうときは，ちょっと勉強が遅れるなんて細かいことを気にするのではなく，肝を据えて，今何をすべきかしっかり考えることこそが大切ですよ．今はテレビもコンビニもあるけど，敗戦直後は何もなく私の父もとても大変だったようです．そういう中で当時の京大総長は，学生に向かって，これからの日本の将来を考えろと言われたのですよ」という趣旨のお話を頂戴したことが忘れられません．ちなみに，その回は過去最高のオンライン視聴者があり，2,000名をはるかに超え，大きな反響がありました．長尾先生のご講演は当該サイトから今もお聞きいただけます．

先生には，もっともっとご指導を頂戴したい気持ちで一杯です．日本の情報分野の研究者を遠くから見守っていただけているものと信じております．

WebExによるご講演のオンライン配信

☆1 2021年1月より「大学等におけるオンライン教育とデジタル変革に関するサイバーシンポジウム『教育機関DXシンポ』」に名称変更．

参考URL
1）長尾　真：危機に直面して，【第5回】4月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム（4/24オンライン開催），https://youtu.be/FM0yoBlC5fo

■喜連川優（国立情報学研究所）

電子計算機がぼつぼつ出始めた院生の頃考えた．個人用計算機が欲しい．世界中の計算機を繋げないか．これは遠の昔に達成された．もっと前，小学生の頃考えた．自分が動き回った場所をずーっと地図に表示したい．タイプライタのキーを押すと辞書のその言葉のページが現れないか．これもスマホで現実になった．

これまで何度も視界が劇的に転換する新世界を経験した．戦争，終戦，パラメトロン計算機，メインフレーム，ミニコン，ネットワーク，パソコン，スマホ，……より短い時間間隔で新世界が次々と出来する．機械翻訳や自動運転も予想より早々と登場した．昨今の新型コロナウイルスのパンデミックは別の新世界だが．これらの経験からすると，100 年はおろか，10 数年先にでも SF が現実になろう．生まれると身体にチップが埋め込まれ，人間同士が無意識に通信し合う．すべての経験や体調が外部メモリに残らず記録され，誰もが外部からの指令で動かされる．

情報科学はどんな新世界の実現にも加担させられかねない．注意したい．長尾さんは提案で，世界平和に向かって解決すべき問題を掲げ，その解決に情報科学を役立てるという．しかしそのすべてを情報科学者でできるはずはない．あらゆる分野の科学者，技術者が，情報科学のリテラシーで武装して解決に立ち向かうことになろう．情報屋の仕事は情報処理の基本問題の解決であって，たとえば外部からの侵入を絶対に許さぬシステムやセンスあるメンタルモデルに基づくユーザインタフェースの開発を始め多くの課題が考えられる．

長尾さんの遺志を活かせるよう頑張ろう．

■**和田英一**（IIJ 技術研究所）

長尾先生は常に世界の自然言語研究をリードしてこられました．世界に先駆けて事例ベースの翻訳（今，Google がやっているやつの原型です）を提案された先見性には驚きを隠せませんでした．今回，100 年後のコンピュータサイエンス像に寄せられたコメントもそうした先見性を持ったものです．「べき」論には大賛成で，私も「AI でどうなるの?」ではなく「AI でどうしたい?」と質問すべきだと言い続けています．ご冥福をお祈りするとともに，偉大な先輩を失った悲しみが大きいです．

■**中島秀之**（札幌市立大学）

▸ **「Q9.100 年後のコンピュータ科学はどんなことを研究しているの？（Vol.60 No.1）」はこちらからご覧いただけます．**
https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q/6001.html#009

Q9 への回答

▸ **「先生，質問です！」「先生が質問です !!」への質問・回答：**
下記の Web ページ内の投稿フォームから質問（回答）をご記入ください．
「先生，質問です！」 https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q.html
「先生が質問です !!」 https://www.ipsj.or.jp/magazine/senseiga-q.html

先生，質問です！　先生が質問です !!

https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0302s.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
「超スマート社会実現に向けた情報技術活用のプラクティス」

〔投稿締切〕2021 年 8月 23日（月）17：00

日本政府の第5期科学技術基本計画において、我が国が目指すべき未来社会の姿として、「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）」、いわゆるSociety 5.0が掲げられています。現在、さまざまな分野でデータと情報技術を駆使して、効率性、安全性、快適性を飛躍的に向上させるスマート化に向けた研究開発、実装が進められています。各分野でのスマート化の成果が、分野を越えて融合し超スマート化した社会が、Society 5.0が目指す社会だと言えるでしょう。

超スマート社会は、一朝一夕に実現するものではなく、さまざまな分野におけるスマート化に向けた技術開発、社会実装に向けた実証実験の積み重ねによって実現されるものです。それぞれの分野におけるスマート化は、フィジカル空間からのデータ収集、収集されたデータの管理、データを用いた分析、分析結果に基づく最適計画の策定、フィジカル空間での計画実行と結果のモニタリングといったさまざまな技術の組み合わせで実現されます。また、すべての人にとっての安全性、快適性を担保するために、セキュリティ、プライバシー保護、アクセシビリティといった配慮も必要となります。また、サステイナブルな社会を実現する観点で、使われる情報技術のエネルギー効率の考慮も必要です。これらの要素技術を組み合わせてスマート化を実現しようとする過程においては、実践してみないと分からない有用な知見が多数含まれているはずです。

超スマート社会実現を目指して、交通、農業、医療、教育、通信、製造業、流通業、金融業などさまざま分野において、技術開発、製品開発、実証実験などの実践を通して得られた有用な知見を含むプラクティス論文の投稿を募集します。さまざまな分野から投稿をいただき、分野を越えた融合のきっかけになることを期待しております。

論文テーマの例を下記に示しますが、これに限定されるわけではありません。

- 超スマート社会実現に向けた実証実験プロジェクトから得られた知見
- 超スマート社会実現に向けた製品／サービス開発から得られた知見
- 超スマート社会実現に向けた分野を越えたデータ活用の実証実験から得られた知見

※投稿要領：Web サイトをご覧ください→ https://www.ipsj.or.jp/dp/submit/tdp0302s.html （応募資格は問いません）
※掲 載 号：2022 年 4 月号（Vol.3 No.2）
※特集エディタ：吉野松樹（日立）
※特集号編集委員：編集委員長：吉野松樹（日立）
副編集委員長：藤瀬哲朗（三菱総研）、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）、飯村結香子（NTT）、
石井一夫（公立諏訪東京理科大学）、今原修一郎（東芝）、岩倉友哉（富士通研究所）、
江谷典子（Peach・Aviation）、大嶋嘉人（NTT）、鬼塚　真（大阪大学）、鎌田真由美（日本マイクロソフト）、
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）、
戸田貴久（電気通信大学）、長坂健治（New co）、西山博泰（日立製作所）、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）、
福原知宏（マルティスープ）、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 (2021 年 6 月)）

名誉会員　長尾　真 先生を偲ぶ

黒橋禎夫
京都大学大学院情報学研究科

2021年5月23日に本会元会長・名誉会員，京都大学名誉教授の長尾真先生が逝去されました．先生は1936年10月4日に三重でお生まれになり，1959年3月に京都大学工学部電子工学科を卒業，1961年3月同大学院工学研究科修士課程電子工学専攻を修了され，同大工学部助手，講師，助教授を経て，1973年10月に同教授となられました．1986年大型計算機センター長，1995年附属図書館長，1997年工学研究科長・工学部長の要職を経て，同年12月から2003年12月までの6年間，第23代京都大学総長を務められたのち，京都大学名誉教授の称号を受けられました．

長尾先生は，永年にわたり情報学，特にパターン認識，画像処理，自然言語処理，機械翻訳，電子図書館に関する研究，教育に精励され，多くの研究業績をあげられました．パターン認識の分野では初期の郵便番号の自動読み取り装置に使われたオートマトンモデルを用いた手書き文字の認識，画像処理の分野では世界に先駆けてフィードバック解析機構を導入した顔画像認識，自然言語処理の分野では現在日常的に使われている日本語ワープロや文献検索システムなどの基となる日本語の形態素解析法，重要語抽出法，機械翻訳の分野では1982年から4年間科学技術庁の機械翻訳プロジェクトを推進するとともに，アナロジーによる機械翻訳という新たな翻訳方式を提案されました．さらに，これらの研究で得られた成果の上に，マルチメディア情報処理，ディジタル通信機能を包含した総合的情報処理システムとして電子図書館の枠組みを提唱され，Ariadne と称する電子図書館システムを開発されました．

また，学界への寄与として，国際パターン認識連盟副会長，日本機械翻訳協会（JAMT）初代会長，アジア・太平洋機械翻訳協会（AAMT）初代会長，機械翻訳国際連盟初代会長，言語処理学会初代会長，電子情報通信学会会長，本会会長，認知科学会会長など多数の学会要職を歴任するとともに，多数の国際学術誌の編集に携わり，多くの国際会議を主催されました．

これらの多大な業績に対して，1993年 IEEE Emanuel R. Piore賞，1997年電子情報通信学会功績賞，本会功績賞，紫綬褒章，1998年人工知能学会業績賞，2003年国際計算言語学会（ACL）Lifetime Achievement Award，2005年日本国際賞を受賞されました．さらに，平成20年度文化功労者（2008年）に選ばれ，同30年度文化勲章（2018年）を受けられました．

京都大学総長在任中には大学内の諸問題の解決に尽力されました．学内に分立していたICT研究・サービス部門を学術情報メディアセンターに統合し，情報学研究科，生命科学研究科など従来の学問の枠を越えた独立研究科を設置されました．また，京都大学の永年の課題であった新キャンパスについて学内の意思統一を図り京都市西京区の地に桂キャンパスを実現されました．京都大学退職後は，情報通信研究機構理事長，国立国会図書館長，国際高等研究所長，京都府公立大学法人理事長等，多くの要職を歴任されました．

以上のように，長尾先生は，情報学という学問分野を切り拓くとともに，後進の育成，大学運営，学術の振興発展等，多岐に渡る総合的な貢献をなさいました．先生は，神職の家にお生まれになり，ご著書にも「自己を律し，全人的に生きたい」と書いておられます．スポーツを愛され，若いころは琵琶湖で水泳をして体を鍛えられ，ゴルフも相当の腕前をお持ちでした．また，音楽を愛され，京大オーケストラの演奏会にもよく足を運び，京都市音楽芸術文化振興財団の理事長も務められました．

学問的課題や社会課題に対して，常にバランスのとれた，論理的なだけでなく情のある見解・判断を示されました．先生の意思を引き継ぎ，「地球社会の調和ある共存」に少しでも寄与することが残された我々の使命であると感じます．謹んで長尾真先生のご冥福をお祈りいたします．

（2021年6月10日）

御　略　歴

1936 年 10 月 4 日	三重県生まれ
1959 年 3 月	京都大学工学部電子工学科卒業
1961 年 3 月	京都大学大学院工学研究科修士課程電子工学専攻修了
1961 年 4 月	京都大学工学部助手
1966 年 11 月	京都大学工学博士
1967 年 4 月	京都大学工学部講師
1968 年 11 月	京都大学工学部助教授
1969 年 9 月～ 1970 年 10 月	フランス・グルノーブル大学客員助教授
1973 年 10 月	京都大学工学部教授
1986 年 4 月～ 1990 年 3 月	京都大学大型計算機センター長
1995 年 4 月～ 1997 年 3 月	京都大学附属図書館長
1997 年 4 月	京都大学大学院工学研究科長，同大学工学部長
1997 年 12 月	京都大学（第 23 代）総長
2004 年 4 月	独立行政法人情報通信研究機構理事長
2007 年 4 月～ 2012 年 3 月	国立国会図書館長
2021 年 5 月 23 日	逝去（84 歳）

1960 年 4 月	情報処理学会入会
1973 年 5 月～ 1975 年 5 月	情報処理学会理事
1980 年 5 月～ 1982 年 5 月	情報処理学会理事
1994 年 5 月～ 1996 年 5 月	情報処理学会副会長
1999 年 5 月～ 2001 年 5 月	情報処理学会会長
2002 年 5 月	情報処理学会名誉会員

受賞・栄誉

1980 年	情報処理学会創立 20 周年記念論文賞
1982 年	日本科学技術情報センター丹羽賞
1986 年	電子通信学会業績賞
1990 年	国際人工知能財団学術研究賞
1993 年	IEEE Emanuel R. Piore 賞
1997 年	電子情報通信学会功績賞，情報処理学会功績賞
1997 年	紫綬褒章
1998 年	人工知能学会業績賞
2000 年	IEEE Fellow
2003 年	国際計算言語学会 Lifetime Achievement Award
2004 年	言語処理学会 10 周年記念論文賞
2005 年	日本国際賞
2005 年	フランス共和国 レジオン・ドヌール勲章シュバリエ章
2008 年	文化功労者
2018 年	文化勲章

● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト
Vol.62 No.7（July 2021）

【一般論文】

■ 深層ニューラルネットワークによるクラスと幾何変換の同時分類確率を利用した分布外検知　岡本弘野 他

■ PBL によるプログラミング入門科目の提案―一般情報教育における入門カリキュラムの構築―　内田奈津子 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
（July 2021）

【論文誌 データベース Vol.14 No.3】

■ 移動軌跡の交点を用いた密度クラスタリングアルゴリズム　伊藤光太郎 他

■ Effects and Mitigation of Out-of-Vocabulary in Universal Language Models　Sangwhan Moon 他

■ ホテル評価値予測のためのカテゴリ特化型感情極性辞書　柴田諒人 他

■ オンライン活動データストリームのための非線形モデル解析　川畑光希 他

【論文誌 デジタルプラクティス Vol.2 No.3】

■ IoT コンピューティングデバイスを用いた低コストな無線 LAN 環境計測システム　石原知洋 他

■ 時系列障害原因分析による推論 QoS 規則導出手法　今野　賢 他

■ i コンピテンシディクショナリを用いたソフトウェア開発者の役割に対するレベル評価の試み　山田悠斗 他

■ 放送視聴データの積極的な活用に向けたデータ取得・管理システムの開発と評価　山村千草 他

■ LoRa を用いた介護施設送迎バス位置管理システムの開発と実証　鈴木一哉 他

■ 異文化交流教育に向けたプラットフォームの提供と実践事例　飯尾　淳 他

◎ IPSJ カレンダー◎

学会イベントの最新情報を下記 URL でご案内しています．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，最新情報をご確認いただきますようお願いいたします．

https://www.ipsj.or.jp/calendar.html

第 83 回全国大会 大会優秀賞・大会奨励賞の表彰

去る 2021 年 3 月 18 日～ 20 日にオンラインにて開催いたしました第 83 回全国大会の大会優秀賞・大会奨励賞は「大会優秀賞・大会奨励賞候補者選定手続き」規程に基づき，下記の通り受賞者を決定しました．

【大会優秀賞】

○**「触覚フィードバックを伴う 4 次元空間可視化システム」**
五十嵐治雄 君

○**「重度重複障害児を対象とした視線入力による療育支援ゲームの開発」**
岩崎　允宣 君

○**「シズルワードを用いたお土産のおいしさ連想支援システムの提案」**
宇衛穂乃実 君

○**「量子アニーリングマシンにおける組み合わせ最適化問題の適用可能性の調査」**
大山　基樹 君

○**「確率分布ベクトル解析」**
小池　　伸 君

○**「計数セマフォを含むプログラムから論理制約付き項書換え系への変換」**
小嶋　美咲 君

○**「オンライン IoT プロトタイプ製作実験における回路画像の共有システム」**
関口　知生 君

○**「鶏の快適性向上に向けた動物行動学的分析を支援するための装着型センサによる行動推定」**
宅野　　亮 君

○**「fogcached-ros：ハイブリッドメインメモリ KVS サーバミドルウエアの提案」**
東　　晃希 君

○**「階層的クラスタリングを用いたドライバの運転特性抽出」**
横山　達也 君

【大会奨励賞】

○**「ドメイン適応を用いた動作認識のための合成動画像の活用の検討」**
礒井　葉那 君

○**「アンビエントディスプレイの長期利用における行動改善効果維持のための情報提示手法」**
国方　詩織 君

○**「複数の類似度を考慮した木構造データに対する類似部分木検索」**
小久保柚真 君

○**「レシピサイトのユーザコメントデータを対象としたレシピにおける代替食材抽出方式」**
瀧　日悠雅 君

○**「運転同乗者の心拍数変化を用いた客観的評価による運転分析手法の提案」**
西澤　健将 君

○**「矯正歯科治療における所見文書からの自動診断に向けて」**
西原　大貴 君

○**「Python インタプリタへのマークスイープ型ガベージコレクタによる参照カウントの除去」**
付　　高和 君

○**「エッジ AI におけるマルチ AI アクセラレータを用いた推論エンジンの並列化による性能向上」**
藤江　涼太 君

○**「センサデータ活用のための IoT デバイスにおける準同型暗号を用いた暗号化の高速化」**
松本　茉倫 君

青山幹雄教授の早逝を悼む

深澤良彰 | 早稲田大学

南山大学理工学部ソフトウェア工学科教授の青山幹雄先生が，2021年5月13日急逝した．66歳という若さであった．

青山先生（以下，いつも青山先生が主張されていたように「青山さん」と呼ぶ）は，2018年12月の健康診断により，大腸がんステージ4であることが判明した．しかし，その後も，化学療法（抗癌剤治療）を概ね3週間間隔で行い，日常的に研究・教育に携わっていた．

略歴にあるように，青山さんは研究者としての表彰も多く受けており，研究者としても卓越していたものの，青山さんが最も素晴らしかったのは，その企画・実現力であった．

たとえば，ソフトウェア工学におけるフラグシップ国際会議はICSE（International Conference on Software Engineering）であるが，1980年頃，日本をはじめとするアジア地域からの採録論文は，ごく少なかった．欧州においては，1987年に第1回のESEC（European Software Engineering Conference）が開催され，多くの論文，参加者を集めた．これらに対して，アジア太平洋地域を中心としたソフトウェア工学の国際会議の実現をと積極的に動いたのが青山さんであった．その実現策は，当時本会が提供していた小規模国際会議という仕組みを利用し，しかも，本会ソフトウェア工学研究会と友好的な関係にあった韓国情報科学学会KISS（The Korea Information Science Society）のソフトウェア工学研究会とが共催の国際会議を2年間

青山 幹雄氏 御略歴

1954年6月15日	島根県松江市生まれ
1980年4月～1995年3月	富士通株式会社
1986年10月～1988年9月	米国イリノイ大学客員研究員
1993年10月	情報処理学会 研究賞 受賞
1995年4月～2001年3月	新潟工科大学 工学部 情報電子工学科 教授
2001年4月～2009年3月	南山大学 数理情報学部 情報通信学科 教授
2001年4月～2005年3月	情報処理学会ソフトウェア工学研究会 主査
2003年1月～2007年12月	Chair, Steering Committee, APSEC (Asia-Pacific Software Engineering Conference)
2005年4月～2007年3月	情報処理学会 理事
2006年1月～2007年12月	Member of Executive Committee, IEEE Computer Society TCSE (Technical Council on Software Engineering)
2009年4月～2014年3月	南山大学 情報理工学部 ソフトウェア工学科 教授
2009年5月	情報サービス産業協会 2009年度協会賞 受賞
2011年9月～2013年12月	Member, IEEE Medal of Honor Committee
2011年12月	APSEC 2011 Best Paper Award 受賞
2012年5月	情報サービス産業協会 2012年度協会賞 受賞
2012年～	次世代プロジェクト管理データ交換アーキテクチャ協議会 代表
2013年12月	APSEC 2013 Best Paper Award 受賞
2014年3月～	Chair, OASIS OSLC Lifecycle Integration for Project Management of Contracted Delivery Technical Committee
2014年4月～	南山大学 理工学部 ソフトウェア工学科 教授
2014年9月	情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2014 企業賞 受賞
2015年7月	IEEE COMPSAC 2015 Honorary Award 受賞
2016年9月	情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2016 企業賞 受賞
2018年9月	情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2018 最優秀論文賞 受賞
2018年12月	情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 2018年度功績賞 受賞
2019年10月	情報処理学会 コンピュータサイエンス領域 2019年度功績賞 受賞
2021年5月13日	逝去

に渡って開催することによる土台作りをしてからの実現と，時宜に叶ったものであった．

こうして1994年に開催されたのが，アジア太平洋ソフトウェア工学国際会議（APSEC）である．このAPSECは，その後も順調に成長を続け，COREランキングの評価も「B」に上がり，投稿件数が増大するとともに，投稿がある国・地域も広がってきている．創設以来，毎回一定数の投稿が欧米諸国からあることも評価に値しよう．第28回のAPSECは，2021年12月に台北で開催（コロナ禍によりバーチャル開催となった）されることとなっている．

このAPSECは，我が国において4回開催されているが，その4回目は，第25回のAPSECで，2018年12月奈良で開催された．この場で，「国際会議Asia-Pacific Software Engineering Conferenceの創設に対して」ということで，青山さんをはじめとして佐伯元司先生，玉井哲雄先生，筆者の4名が本会ソフトウェア工学研究会2018年度功績賞を受賞した．この受賞のときは，青山さん自身，余命数年の癌に侵されているとは気づいておらず，今から思ってみると，心から晴れがましかった最後の舞台であったにちがいない．その後，この業績により，2019年10月本会コンピュータサイエンス領域2019年度功績賞も受賞している．

本会に対する青山さんのもう1つの大きな功績は，オブジェクト指向シンポジウムを中心になって創設したことであろう．

オブジェクト指向は，1970年代に誕生し，1990年代になると，ソフトウェア工学のさまざまな分野で応用されるようになってきていた．これを受けて，青山さんは，自ら中心となって，我が国におけるオブジェクト指向に関する研究開発を活性化し，実践の交流の場を提供するために，1995年6月オブジェクト指向シンポジウム95を開催した．

2006年には，ソフトウェア工学全般に対する社会的ニーズの高まりに応じるために，シンポジウム名をソフトウェアエンジニアリングシンポジウム（SES）と改め，より広い領域の研究者・実務者が集う場としたのも青山さんが中心であった．同シンポジウムは，その後も毎年実施され，国内で最も重要なソフトウェア工学研究の発表の場の1つとなっている．

以上，青山さんのソフトウェア工学に関する代表的な業績を挙げたが，これ以外にも，青山さんが興味を持ち，さまざまな活動をしていた分野は，要求工学，ソフトウェアアーキテクチャ学，ユーザビリティ工学，機械学習ソフトウェア工学，Webソフトウェア工学，組込みソフトウェア工学などと幅広い．

青山さんと私が一緒にした最後の仕事は，本会の「認定情報技術者（CITP）」における企業認定であった．青山さんへお願いしたところ，いつものように笑顔でお引き受けいただき，まさか，この審査の途中でお亡くなりになってしまうとは微塵も思っていなかった．

こんな青山さんから，深刻な状況を打ち明けられたのは，2021年5月2日で，これまでの抗癌剤治療ができなくなり，余命2～3か月あるいはもっと短いかもしれないというメールであった．命日は5月13日であり，このメールが来た日から12日間の命しか与えられなかったこととなる．この間も，5月11日までは，病室から学生の指導までしていた．テレビ会議システムとそのバーチャル背景を利用することによって，学生には，いつもの青山さんに見えていたであろう．

青山さんは，自分のやり残したことが多くあったことが残念であったに違いない．たとえば，ある出版社とは4冊の書籍の出版の相談をし，自分の遺産の使い方にも強い意志を持っていた．残された我々は，できる限り青山さんの遺志を引き継ぎ，今後のソフトウェア工学の発展に寄与していかなければならない．青山さんには，これを天国から見守っていてほしい．

なお，お別れの会は，情報技術の発展に一生を捧げた青山さんに相応しい形式として，TV会議システムを用いた「リアルタイムお別れの会」と，Webを用いた「オンデマンドお別れの会」の双方を開催する予定としている．

（2021年6月7日）

深澤良彰（正会員） fukazawa@waseda.jp
早稲田大学理工学術院教授．1900年代後半から青山先生とともに，ソフトウェア工学に関する各種の活動に従事．

インフォメーションとインテリジェンス〜情報という言葉をめぐるその後の探索〜

♡ 12

情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021/05/15 09:39

小野厚夫

目次

探索のいきさつ
「情報」の原語
「情報」の流通
英訳における「情報」の扱い
戦前の「情報」は軍事機密だったのか

© 2021 Information Processing Society of Japan

インテリジェンスの訳語

インフォメーション

探索のいきさつ

2004年（平成16年）末に，会誌『情報処理』の編集長だった和田英一さんから執筆依頼があり，「情報」という言葉の歴史をたどることになった．最初のゲラ刷りを見たとき，「創立45周年記念特別寄稿」という副題が付いていることに気づき，これはえらいことを引き受けてしまったと後悔したが，後の祭りであった．何分にも片手間に始めた調べごとで，なかなか時間が取れず，明治以降の調査がまだ十分に行き届いていなかったからである．その反省もあって，教職から離れた後に本腰を入れて調べ直し，2016年（平成28年）に『情報ということば―その来歴と意味内容』［1］という本にまとめて出版した．

興味のある方はこの本を参照していただくことにして，ここではすこし視点をかえ，「情報」と，インフォメーションとインテリジェンスの双方が，どうかかわってきたのかということを中心にして，「情報」という言葉の歴史を振り返ってみたい．

「情報」の原語

戦後生まれの人たちは，「情報」といえばすぐに英語の information を思い浮かべるに違いない．しかし，「情報」の原語は元から information だったわけではない．

「情報」は和製漢語で，1876年（明治9年）に酒井忠恕の訳書『仏国歩兵陣中要務実地演習軌典』で最初に使われた．書名から分かるように，仏語の訳語である．

明治維新後，日本で造られた近代用語は，日清戦争後，中国語に採り入れられ

© 2021 Information Processing Society of Japan

た．ところが，ここ三十年来の日中の研究で，これらの語の中には必ずしも日本人が造語したわけではないものが混じっていることが明らかになってきた［2］．しかし，「情報」は今でも日本で独自につくられた漢語で，後に中国語の中に入ったとみなされている．

仏語には英語の information と intelligence の双方と同じ綴りの単語があり，いずれもラテン語が古仏語を経て英語に入った語である．ところが，「情報」の原語はそのいずれでもなく，renseignement という別の仏語であった．

この仏語は information（アンフォルマスィオン）よりも確度の低い，漠然とした意味の情報を意味しているが，16世紀頃から軍事的に価値のある information や，それを扱う機関を指す軍の技術用語として使われ始めた．日本語では「諜報」という軍用語が一番近い訳語になる．仏語の renseignement に相当する語は，独語では Nachricht であるが，英語にはない．英語では「諜報」を intelligence で表現することにしたため，英語と仏語との間で intelligence の解釈に不整合が生じるようになった．

「情報」の流通

renseignement の訳語である「情報」は，一般語である information と，軍用語の「諜報」という2つの意味で使われはじめ，今日に至っている．

その間に，陸軍は1881年（明治14年）頃から兵式を仏式から独式に切り替えた．しかしながら，仏語の renseignement, information, intelligence が，同義語である独語の Nachricht, Information, Intelligenz に置き換わっただけで，特に「情報」の使われ方に変化は生じなかった．当時，森鷗外はクラウゼヴィッツの『戦争論』を訳しているが，そこで用いた「情報」の原語は Nachricht である．

たしかに「諜報」という意味では軍用語であるが，仏語の renseignement と information は一般用語であり，軍隊内でも一般語として普通に使われていて，「情報」もそうである．したがって，当初から軍隊で使われていたからといって，

© 2021 Information Processing Society of Japan

「情報」は軍用語であると結論づけるのは早計に失する.

「情報」が新聞紙上に現れるのは日清戦争のときからで，軍での使用例も含め，今日まで最も一般的で用例が多いのは「……の情報によれば」という表現である．この「情報」は「他人から得た知らせ」を意味し，知らされた内容を問わない．確かなもの，不確かなものがあり，役にたつもの，たたないものもある．これは通信でいう「情報」が，伝える中身を問わないのと同じ扱いである.

明治，大正期の国語辞典をみると，「情報」はおおむねありさまの「知らせ」ないしは「報告」と解釈されており，軍隊で使われていたにもかかわらず，軍事的な意味合いをまったく感じさせない.

英訳における「情報」の扱い

「情報」に該当する英単語は information と intelligence であるが，両語は対立する言葉ではない．intelligence は information から何かを理解しようとして得るものであり，得た知識は information の1つのモードである.

仏語における renseignement や information の一般的な用例から見て，英語の information は「情報」と訳すのが適している．また，intelligence は「諜報」を意味するが，information の部分集合であることから，これを「情報」と呼んでも何らおかしいことはない．しかし，逆に部分集合の方が「情報」であると誤解すれば，自己矛盾に陥ってしまう.

軍事や政治では，どうしても一般的な「情報」よりも，「諜報」を重用し，重要視する．しかし，「諜報」という言葉はスパイ活動を連想させるために回避され，intelligence は意識的に「情報」と表現されるようになる．そうなると，「情報」は intelligence であると誤解する人が大勢でてきて，誤解の輪がどんどん広がり，その結果，「情報」から一般的な information に含まれている公開性とか公共性という意味合いが薄れていくことになる.

実際に英語におけるこれまでの訳語の使われ方を調べてみると，「情報」と「諜

© 2021 Information Processing Society of Japan

報」がそれぞれ information になったり，intelligence になったりして右往左往し，混乱している．

最初に「情報」が現れる英語辞書は1895年（明治28年）に丸善が発行した『A Dictionary of Military Terms and Expression』であるが，すでに information に「諜報」，intelligence に「情報」を対応させている．長いことこの表記は英語辞書で踏襲され，迷走の始まりとなった．

日露戦争が始まると，すぐに俘虜情報局が設置された．この名称は官制における「情報」の最初の用例で，万国平和会議で調印された陸戦の法規慣例に関する規則に基づくものである．この法規の原文は仏語で，情報局は Bureau de renseignements の訳であるが，英語圏では Information Bureau と訳されている．ところが，外務省が在邦の外国公使館に送付した英文の俘虜情報局設置に関する通牒では Intelligence Bureau と記述されている．この局の役割りを考えれば intelligence は明らかに誤訳である．

第一次世界大戦が始まると，英国は Dep. of Information や Ministry of Information を設置した．これらの組織名は，英語ではなぜ intelligence でないのか，日本語では「情報」にするか，それとも「通報」のような「諜報」以外の別の語にするかという厄介な問題を提起する．外務省は俘虜情報局という前例にならって，これらを情報局，情報省と訳した．しかし，1921年（大正10年）に外務省に設置された情報部の英語名は Intelligence Bureau になっている．

戦前の「情報」は軍事機密だったのか

戦後に，戦前派とか戦中派と呼ばれる人たちが，太平洋戦争中，「情報」は「諜報」とみなされ，印象の悪い言葉であったと書いている．しかし，戦中でも新聞は，「……の情報によれば」という慣例に従った表示で記事を掲載している．

この戦争末期に米軍機による空襲は常習化したが，ラジオが伝える敵機に関する軍管区情報は，民間防空の重要な指針となっていた．たとえば，敗戦の年の，1月5

© 2021 Information Processing Society of Japan

日の『朝日新聞』は，発表が遅すぎるとか，用語が分かりにくいなどの非難はあるものの，「軍情報」は民防空の大切な指針として感謝され，期待されていた証しとして，「軍情報」に関する投稿が投書欄に著しく多かったことを挙げている．

また，明治期から敗戦後に進駐軍が撤退するまで，マスメディアの統制や検閲はきわめて厳しいものがあった．このため，戦前に秘密情報が一般的な出版物や放送に現れることはあり得ず，探しても徒労に終わるだけである．それにもかかわらず，戦後生まれの人たちが戦前に「情報」といえば，軍事機密等を典型例とする，今日いう機密情報のことであったと推測する根拠は何なのか，不可解である．

戦後すぐに，進駐軍がやってきて，その折衝にあたった人たちは，彼らが使う information の解釈に強い違和感を覚えた．米国人は information を「広報」の意味で用いているのに対して，日本側は「情報」と訳しながら，実際には「諜報」と解釈していたからである．すなわち，information をその部分集合である intelligence と取り違えて応答していたのである．困ったことには，今でも防衛省関係者はこの解釈を踏襲し，intelligence を「情報」と定義している．

インテリジェンスの訳語

明治以後，英語の intelligence は軍事，政治だけでなく商事や経営戦略でも用いられるようになった．

第一次世界大戦の終盤に，英国は戦後の商戦を見据えた施策に取りかかり，Dep. of Commercial Intelligence を設立した．外務省による訳名は「商務通報局」である．農商務省はすぐに「貿易通報課」を設置したが， intelligence に「通報」を充当したこの課名は，1934年（昭和9年）に商工省の組織改革で「貿易局通報課」が廃止されるまで存続した．

1931年（昭和6年）に冨山房が出版した『大英和辞典』では，intelligence bureau の訳として「通報局」と「情報局」が併記されている．

今日，軍用語だった方の intelligence を，一方的にインテリジェンスと表記した

© 2021 Information Processing Society of Japan

り，「諜報」とか「通報」と訳して使うことには違和感がある．私は「聡報」で置き換えたらどうかと提案しているのだが，受け入れてもらえるだろうか［1］．いずれにしても，英訳における上述の誤解をなくすためには，これに相当する新しい言葉が必要である．

インフォメーション

昔，何か新しいことを知って，あることがより明確になったとき，その要因となったものは何か，またそれを何と呼べばよいかということに頭を悩ました人たちがいた．Claude Shannon もその1人である．

情報理論がまだ誕生していない大正時代に，ミステリー作家である平林初之輔は『ホオムズの探偵法』の中で次のように記述している［3］．

> 次に彼はある事件に対して，可能な説明を残らず思い浮かべる．時とすると，それは7つも8つもある．その中でどれが真理かは，はじめは自分にも分からぬが，その後のインフォメーションが附加されるたびに，例の除去法を用いて次々に不可能なものが除去されて，最後に真理をつきとめるのである．江戸川乱歩氏の『黒手組』に足跡のない人間を説明する場合にこういう方法が用いられている．

ここで確度を高める因子として，「インフォメーション」という言葉がすでに使われていたことに驚かされる．

参考文献

1） 小野厚夫：情報ということば―その来歴と意味内容，冨山房インターナショナル（2016）．

© 2021 Information Processing Society of Japan

2） 荒川清秀：漢字の謎―日本語と中国語のあいだ，ちくま新書 （2020）．

3） 平林初之輔：ホオムズの探偵法，新青年，7（3），p.96, 博文社 （1926）．

（2021年3月1日受付）

（2021年5月15日note公開）

■小野厚夫（正会員）

神戸大学名誉教授．汎用計算機によるオンライン・データ処理，大型プログラムの汎用化を実現，泡箱写真自動解析装置を実用化．晩年は情報という言葉の用例を調べている．『情報科学概論』（共著），『情報ということば』．

『情報ということば―その来歴と意味内容』

小野厚夫 著，（株）冨山房インターナショナル，ISBN:978-4-86600-009-1

© 2021 Information Processing Society of Japan

<<目次>>

第1章「情報」の初出　フランスの陣中軌典訳／酒井忠恕／訳本の普及

第2章 陸軍における「情報」　「情報」の公用語化／「情報」と「状報」／戦術教育と情報教育／「情報」と「諜報」

第3章「情報」の一般化　日清戦争と「情報」／北清事変と「情報」／鷗外と「情報」

第4章 第二世代の「情報」　明治後期の「情報」／辞書と「情報」／大正期の情報政策

第5章「情報」の暗黒化　情報委員会から内閣情報部へ／太平洋戦争と「情報」

第6章 現代の「情報」　情報化社会／情報とは

© 2021 Information Processing Society of Japan

今月の会員の広場では，5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「かつてなく楽しくプログラミング言語が開発できる時代に」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．

■プログラミング言語の開発に楽しさと夢を持たせてくれた．(高木　淳)
■プログラミング言語開発が身近なものに感じられました．(匿名希望／ジュニア会員)
■記事の方向性とは違う内容にはなりますが，日本語プログラミング言語の次世代版がどうあるとよいのか，記事を読むことで知りたくなりました．(匿名希望)

特別解説「オンライン教育と著作権法第 35 条運用指針」

■オンライン授業と著作物の教育利用について，基礎的な内容から詳細に書かれており，教育機関にかかわる人全員に読んでほしい内容だった．(印部太智)
■法律は必ず「解釈」が入るので必ずグレーゾーンが発生する．教育現場が萎縮しないよう，ひとこと勇気づけてもよいかも．(高木　淳)
■教育現場の視点から，公共の教育での著作権の適用についてのあるべき姿の提言があるとよかった．(匿名希望)

連載「買い物自慢：AIY Voice Kit でワクワク」

■ワクワクする感じが伝わってきて，自分も触りたくなりました．(匿名希望)
■スマートスピーカが作れるなんて，自分も購入して作ってみたいです．(匿名希望／ジュニア会員)
■自作した内容をもう少し詳しく説明いただき，よかったところなどがもっと具体的に知れるといいな，と感じました．(後藤正宏)

特集「より自由でより没入感の高いイマーシブメディア」

「編集にあたって」
■ COVID-19 流行の長期化に伴って業界全体で苦境が続く中で，新たなエンタメの形として興味深く感じました．(匿名希望)
■技術の提示ばかりでなく，没入感の高いことによる特に健康面，精神面への弊害についても，研究進捗を提示するべき．医学分野からの提言に関する記事があってもよい．電力消費量とかコスト面を併せた記事も加わっていたら，さらに良い特集になってたと思う．(広野淳之)
「1. 超高臨場ライブ体験の開発と標準化」
■国際標準化が今後の劇場の鑑賞やスポーツ観戦に対する価値観を変える可能性を知ることができた．(匿名希望)
■技術的な記載がもう少しあればさらに良かった．(匿名希望)
「2. イマーシブメディアに向けた音響技術」
■音響のイマーシブ化に向けた研究開発の取り組みを「イマーシブ音響の歴史」と「MPEG における標準化動向」の二本立てで解説しているので入りやすく感じました．(松浦満夫)
■ 論文誌に求めるのは間違っていると思いますが，記載いただいた内容のサンプル音源などが聞けると嬉しいです．(濱　久人)
「3. 自由視点テレビ FTV の原理」
■多視点 TV が開発されているとは知らなかったので参考になる．(ナカシマヒデユキ)
■光線空間法の解説の部分は少々難解でした (濱　久人)
「4. MPEG が規格化に取り組む映像システム技術」
■最新のイマーシブメディアの規格化状況について知ることができてよかった．世間でも今後の技術として期待されている分野であり，夢のある技術だと感じました．技術面の詳細まではなかなか理解できませんでしたが，従来の MPEG に比べてさまざまな要素が加わり，大変複雑な技術であり，規格化も相当大変ではないかと感じました．(後藤正宏)

DP コーナー

「オープンサイエンスを支える研究データ基盤：編集にあたって」
■これは恐らくデジタルイノベーション，トランスフォーメーションの鍵になるのではないかと思わされた．(匿名希望)
■データ駆動型農業に関して簡潔かつ明快に論文を紹介していた点が良かったです．(大塚敬義)
「1. オープンサイエンスと研究データ管理の動向」
■オープンデータサイエンスは市民科学者や退職後の研究環境にある者には関心の高い課題です．(匿名希望)
「2. 統合データベースプロジェクトから学ぶこと」
■ 具体的な事例を通してデータ統合化の重要性と難しさが分かりやすく説明されていました．最後の 10 の学びは色々な分野の研究者に役立つと期待されます．(堀田多加志)
「感性情報学 最前線：編集にあたって」
■完全テレワークとなってから特に気になっていたテーマでした．(河瀬基公子)
■悪用される場合の予想事例が必要と思います．(滝口　亨)
「1. 感情認識 AI『心 sensor』の教育現場導入に向けた実証実験」
■表情の定量化に興味を持ちました．生徒のプレゼン能力向上への寄与に期待したいです．(匿名希望)
■著名なプレゼンテーターとの比較があれば，生徒にもフィードバックしやすいのかと思いました．(匿名希望)
「2. ユーザの感性情報を用いた動的なコンピュータシステム」
■ユーザの視線，表情，脳波，脈拍，体温などで好みを察してリコメンドする，そんなショップ店員を想像しました．(匿名希望)
「3. 遠隔地間の味コミュニケーションを想定した対話型進化計算による混合飲料生成システムの改善」
■飲料や食物は最適化に向けた混合が難しそうだなと感じました．(匿名希望)
■研究の様子の写真が見たい．(匿名希望)
「4. 対話型進化計算システムにおける一対比較評価の有用性」
■ユーザカスタマイズ商品は評価負担が軽ければ，選択に時間をかけても楽しめると思いました．(匿名希望)

連載「情報の授業をしよう！：専門科目『情報デザイン』『情報コンテンツ実習』を担当して」

■「情報」の授業では，どのような観点で評価をしているのかについても説明がほしいと思います．（匿名希望）
■今後も多くの高校現場の情報を提供してほしい．また，都道府県別の高校の情報化の現状などをまとめて報告してほしい．（小西敏雄）

連載「ぺた語義」

「人工知能研究者から見た情報の教育」
■「これは計算量が爆発するやばいやつだ」という感覚，身につけたいし多くの人に感じてほしい．（柴田　晃）
■ 人工知能内ではどんな風に爆発するかもっと具体的に知りたい．（匿名希望）
「大学入学共通テスト「情報」試作問題に対する教育現場の想い」
■ 共通テストに対する現場の思いを代弁していただいた思いです．この温度差をどのように解決していくかが今後の大きな課題だと思います．（柴田謙一）
■ そんなことより数学を……と個人的には思いつつ，現場の先生方のご苦労がよく分かりました．（山本一公）
■「教育現場の想い」に相当する記事が少ないのが残念．試作問題を公開した後の現場の声について，改めて記事をお願いしたい．（広野淳之）
「新刊 IT Text を使った一般情報教育はこうだ！」
■新刊 IT Text を使った初年次向けの情報教育の参考となった．（匿名希望）
■それぞれの項目の内容が概要レベルでもっと個別に掘り下げた記事にしてもよい気がする．（匿名希望）

連載「先生，質問です！」

■ コロナウイルスの「可視化」についてさまざまな視点からの異なる意見が平易に説明されていて分かりやすかった．（上ヱ地凜平／ジュニア会員）
■ウィルスを直接可視化せずとも人間の行動や生態をセンシングすることで感染防止へとつなげられる可能性があることを知り，勉強になりました．（匿名希望）

連載「ビブリオ・トーク：アナログの逆襲」

■「< 身体性 > を伴う < 経験 >」というキーワードが良い．読んでみたいと思いました．（柴田　晃）
■クレヨンを手に取った子供の発言で私も「なんかヤバイ」と思いました．この「ヤバイ」を追求することも大切な気がします．（岡本克也）

連載「5 分で分かる !? 有名論文ナナメ読み：Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low and Deepak Bandyopadhyay：Shader Lamps：Animating Real Objects With Image-Based Illumination」

■ プロジェクションマッピングという新しい領域を切り開いた論文の紹介ということで興味深かった．（匿名希望）
■読み応えがあって 5 分で読みきれなかった．（匿名希望）

会議レポート「CCS 2020 会議報告」

■オンラインでの交流について工夫がなされている会議の状況がとても分かりやすく記載されていて，オンラインでの交流の在り方，ツールについて興味を持ちました．（河瀬基公子）

解説「日本語プログラミング言語「なでしこ」に関する解説」

■日本語の特徴をよく活かした，プログラミング文法が実装されていてとても面白く拝見しました．さらに著者のページを拝見してもう少し詳しく学んでみたい気になりました．（匿名希望）
■ノーコードへの期待が高まっている現時点で，日本語プログラミングへの関心は低いように思う．（匿名希望）

連載「教科『情報』の入学試験問題って？」

「教科『情報』の入学試験問題って？」
■ 具体的な問題例が興味深かった．（匿名希望）
「基本問題」
■教科「情報」の問題を初めて解いてみて，40 年前の勉強がまだ役立つことを確認しました．「情報」の先生が不足なようなので，無給のアシスタントを募集していたら参加してみようという気持ちになりました．（匿名希望）

会誌の内容や今後取り上げてほしいテーマに関して，以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました．今後の参考にいたします．

■慣れのせいもあるのですが，冊子だったものがオンライン中心になって，読破に苦労しております．これまでは通勤時間などに読むことが多かったのですが，電子版は PC で読まないと読めないので，（スマホや Kindle では老眼の目には辛いです）．もう少し冊子側にも掲載をしていただけると助かります．（濱　久人）
■全体的に，少し教育に傾きすぎている傾向があるように感じましたが，いかがでしょうか．（河瀬基公子）

「先生，質問です！」には以下の質問をいただきました．

■人工衛星データの活用．（匿名希望／ジュニア会員）
■研究に対する心のモチベーションはどうやって保っていますか？（匿名希望）

note「情報処理」（https://note.com/ipsj）に掲載されている記事に関して，以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました．

■初めて見てみましたが，いろいろな記事があってとても読みやすいと思いました．（匿名希望／ジュニア会員）
■多様な内容の総括をしていただいているので，要点を知る上で参考になりました．（小西敏雄）

「情報処理」Vol.62 No.5「デジタルプラクティスコーナー」に掲載されている記事については，以下のようなご意見やご感想をいただきました．

■プロジェクト管理など，学術的な研究は少ないが産業的には大きな比重を占めるテーマを取り上げていただきたい．（匿名希望）
■オンライン版はやはり参考文献に即アクセスできるのは便利だと思う．（匿名希望）

【本欄担当　鵜川始陽，工藤瑠璃子／会員サービス分野】

掲載しきれなかったコメントは Web 版会員の広場「読者からの声」< https://www.ipsj.or.jp/magazine/dokusha.html > にも掲載しています．会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は以下の学会 Web ページでも受け付けております．
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html

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　22,000 円（税 10％込）
賛助会員（企業）　33,000 円（税 10％込）
賛助会員以外の企業　55,000 円（税 10％込）
＊本会誌へ掲載依頼いただいた場合に限り，追加料金 4,400 円（税 10％込）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

■高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター

募集人員　助教　1 名（任期なし）および
准教授または助教　1 名（女性 任期なし）
専門分野／仕事内容　（助教）計算科学センターおよび J-PARC センターに所属し，J-PARC における情報システムの設計･運用･維持および改善に従事し，また，将来の大規模分散計算環境の発展に向けた開拓的研究等，計算科学センターが推進する加速器科学分野に関連する研究開発を行う
（准教授または助教 女性）計算科学センターが運用する計算機・ネットワークシステムの運転・維持もしくは利用者支援に従事するとともに，センターが推進する加速器科学分野に関連する計算科学技術の開拓的研究を行う．准教授の場合は業務および研究の中核的役割を果たす
応募資格　（助教）研究教育上の能力があると認められる方．業務上必要な日本語および英語によるコミュニケーション能力を有すること
（助教または准教授 女性）研究教育上の能力があると認められる女性
着任時期　採用決定後早期
提出書類　履歴書，研究歴，発表論文リスト（和英別葉），着任後抱負，主要論文別刷（リンク可 5 編以内），推薦書または参考意見書
応募締切　（助教）2021 年 8 月 4 日（正午必着）
（准教授または助教 女性）2021 年 10 月 15 日（正午必着）
送付先／照会先　(1) 研究内容等：計算科学センター　真鍋　篤
E-mail: manabe@post.kek.jp
(2) 提出書類等：総務部人事労務課人事第一係
E-mail: jinji1@ml.post.kek.jp
そ の 他　https://www.kek.jp/ja/Jobs/ の 共 通 21-3（助 教），21-5（准教授または助教 女性）を必ず参照ください．共通 21-5 は共通基盤研究施設 4 センターの合同公募のため採用がない場合もあります

■富山県立大学工学部電気電子工学科

募集人員　准教授，講師または助教　1 名
所　　属　集積システム分野
専門分野　広い意味でのハードウェアを用いた情報処理システムに関する研究分野．各種センサで情報を取得し，GPGPU 等で機械学習による解析を実行するなど．マイコン，FPGA, GPGPU 等によるシステム実装の経験がある，もしくは未経験でも習得意欲がある方を歓迎
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 8 月 17 日（必着）
照 会 先　電気電子工学科　主任教授　大寺康夫
E-mail: ohtera@pu-toyama.ac.jp
そ の 他　提出書類，送付先等の詳細は本学 Web ページ右側「教職員公募」欄をご覧ください
https://www.pu-toyama.ac.jp/about/request_and_application/recruitment/

■富山県立大学工学部情報システム工学科

募集人員　助教　1 名
所　　属　情報基盤工学講座
専門分野　情報数理工学分野
担当科目　情報数理工学分野の実験，演習，卒業研究の補助
応募資格　博士の学位を有するか，着任までに取得見込みであること
着任時期　2022 年 4 月 1 日
提出書類　以下の Web ページで指定する書類
https://www.pu-toyama.ac.jp/about/request_and_application/recruitment/
応募締切　2021 年 8 月 18 日
送 付 先　〒 939-0398 富山県射水市黒河 5180
富山県立大学工学部情報システム工学科　主任教授　太田　聡
照 会 先　情報システム工学科　太田　聡
E-mail: ohta@pu-toyama.ac.jp

■早稲田大学理工学術院 大学院情報生産システム研究科集積システム分野

募集人員　教授／准教授　若干名（任期なし／テニュアトラック）
専門分野　AI 社会を支える集積システムの幅広い基盤技術，およびそれらを発展させた応用システムを含む教育・研究分野
応募資格　博士の学位を有し，当該専門分野において優れた業績が認められるとともに，学生の教育に情熱を持って取り組める方（講義・演習・実験・研究指導を日本語と英語で実施できることが必須）
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 8 月 18 日（15 時必着）
照 会 先　情報生産システム研究科集積システム分野
主任　髙畑清人　E-mail: k.takahata@waseda.jp
そ の 他　詳 細：https://www.waseda.jp/fsci/gips/news/2021/05/26/21141/

■東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科 AI スマート工学コース（情報系を主とした融合システム分野）

募集人員　教授または准教授　1 名
専門分野　情報系を主とした融合システム分野．たとえば，Society 5.0（IoT，エッジ AI，AR/VR などの融合技術）に関する先進的システム分野で，情報科学，情報工学およびその関連分野（科研審査区分中区分 60）に相当する分野
担当科目　情報処理，プログラミング，情報システム基礎，セキュリティ基礎，データサイエンス等の情報関連科目，実験実習，ゼミナール，卒業研究，専攻科　特別研究など
応募資格　①高専での教育・研究に理解と強い意欲がある方
②学生指導に熱意を持ち，本校の運営に積極的に貢献できる方
③博士の学位を有する方，もしくはこれに相当する顕著な研究業績の認められる方
④専攻科の学生の指導ができる方
⑤情報システムの構築・運用の実務経験があることが望ましい
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 8 月 20 日（必着）
照 会 先　東京都公立大学法人　総務部人事課人事制度係
E-mail: kyoinsaiyo@jmj.tmu.ac.jp　Tel(042)677-1111（内 1027）
そ の 他　詳細は https://www.houjin-tmu.ac.jp/recruit_teacher/cit/ をご参照ください

■東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科 情報システム工学コース（情報ネットワークにかかわる分野）

募集人員　助教　1 名
専門分野　情報科学・情報工学における情報ネットワーク（科研審査区分小区分 60060）にかかわる分野
担当科目　ネットワーク技術･クラウド技術等の科目，実験実習，ゼミナール，卒業研究，専攻科　特別研究など
応募資格　①高専での教育・研究に理解と強い意欲がある方
②学生指導に熱意を持ち，本校の運営に積極的に貢献できる方
③博士の学位を有する方（着任時までに取得見込みの方も含む），もしくはこれに相当する顕著な研究業績の認められる方
④専攻科の学生の指導ができる方
⑤データセンター等においてクラウド構築・運用の経験があることが望ましい
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 8 月 20 日（必着）
照 会 先　東京都公立大学法人　総務部人事課人事制度係
E-mail: kyoinsaiyo@jmj.tmu.ac.jp　Tel(042)677-1111（内 1027）
そ の 他　詳細は https://www.houjin-tmu.ac.jp/recruit_teacher/cit/ をご参照ください

■明治大学理工学部機械情報工学科

募集人員　専任准教授または専任講師　1 名
専門分野　知覚情報処理，知能ロボティクス，知能情報学，ヒューマンインターフェース・インタラクションおよびその関連分野
担当科目　学部：画像処理などの情報系講義科目，実験・実習科目，ゼミナール，卒業研究など
大学院：知的情報論や人工知能論などに関する講義および研究指導
応募資格　①博士の学位を有すること　②学科・学部・大学運営に積極的に取り組めること　③機械工学教育に理解があり，知的情報処理や人工知能に関する学生指導ができること　④日本語による十分なコミュニケーション能力を有し，教育・研究指導ができること
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 8 月 23 日（必着）
照 会 先　機械情報工学科　学科長　舘野寿丈
E-mail: tateno@meiji.ac.jp
そ の 他　応募方法など詳細は本学理工学部教員公募ページ（https://www.meiji.ac.jp/sst/recruit/）をご参照ください

■弘前大学大学院理工学研究科

募集人員　助教　1 名（任期なし）
所　　属　電子情報工学コース（理工学部電子情報工学科併任）
専門分野　情報系分野
担当科目　「データサイエンス応用基礎科目」，「応用数学」，「電子情報工学実験」，「専門分野に関連した科目」など
応募資格　①博士の学位を有する方（着任までに取得見込みの方）
②大学院博士前期課程において教育研究指導ができる方
③外国人の場合は，研究指導と学内外の諸業務の遂行が可能な日本語運用能力を有する方
着任時期　2021 年 11 月 1 日（以降のできるだけ早い時期）
応募締切　2021 年 8 月 27 日（当日消印有効）
送付先／照会先　弘前大学大学院理工学研究科総務グループ（総務担当）　E-mail: jm3505@hirosaki-u.ac.jp　Tel(0172)39-3503
その他　提出書類など詳細は以下の本校 Web ページを参照ください．https://www.hirosaki-u.ac.jp/information/published/employment_information.html

■青森大学ソフトウェア情報学部

募集人員　①教授　1名　②准教授または講師または助教　2名
※①②とも常勤（任期なし，試用期間1年）
専門分野　①②データサイエンス，機械学習，人工知能，IoT，組み込みシステム，情報デザイン，教育工学，エドテック
※上記にかかわらず，広く情報処理技術に関連する分野も対象とします
担当科目　①卒業研究，ゼミを含む情報工学分野の複数科目（講義，演習）および数学基礎科目（代数学，解析学，幾何学，確率・統計）　②卒業研究，ゼミを含む情報工学分野の複数科目（講義，演習）およびプログラミング演習
応募資格　①博士の学位を有するか，または同等の業績や実務経験を有し，教育・研究に熱意のある方　②博士の学位を有するか着任までに取得見込みであり，教育・研究に熱意のある方
着任時期　2022年4月1日
提出書類　(1) 履歴書（連絡先として E-mail アドレスも明記），(2) 研究業績リスト（著書，査読付き論文，国際会議，特許等に区分），(3) 主要論文別刷またはコピー ①5編程度，②3編程度，(4) これまでの研究概要（A4用紙2枚程度），(5) 学会および社会における活動（学会活動，社会貢献，地域貢献，実務経験などの実績），(6) 教育・研究に関する抱負（A4用紙1～2枚程度），(7) 本人に関する所見を求め得る人（2名）の氏名と連絡先（所属，住所，電話，E-mail アドレス）
※書類はすべてスキャンデータ等でメール添付での送付を推奨します
※紙面での送付も受け付けます
応募締切　2021年8月31日（必着）　※応募から順次選考を実施，適任者の採用が確定次第，募集を締め切ります
送付先／照会先　〒030-0943 青森県青森市幸畑2-3-1
青森大学ソフトウェア情報学部長　角田　均
E-mail: tsunoda@aomori-u.ac.jp　Tel(017)738-2001（代表）
※メールで提出の場合，データサイズが大きい場合（10MB以上）は分割して送信をお願いします
※紙面で提出の場合，「ソフトウェア情報学部教員応募書類在中」と朱書し，（簡易）書留でお願いします（応募書類は返却しませんのでご了承ください）
※メール／紙面とも受領通知をメールでお送りします
そ の 他　【勤務地】青森大学青森キャンパス／東京キャンパス／むつキャンパス　※採用にあたって希望調整します
【選考方法】書類選考を経て面接（模擬授業を含む）を実施します
※面接および模擬授業について，可能な場合はオンライン（Zoom等利用）で実施します
※オフライン実施の場合は，旅費・滞在費のうち一定額を支給します

■近畿大学工学部情報学科

募集人員　教授または准教授または講師　1名
専門分野　データサイエンス分野，人工知能分野，情報メディア分野，情報ネットワーク分野のいずれか
担当予定科目　データサイエンス基礎，コンピュータネットワーク，情報セキュリティ，バーチャルリアリティほか
応募資格　博士号の学位を有する方，大学院の指導を担当できる方
着任時期　2022年4月1日
提出書類　詳細は JREC-IN または本学 Web ページをご覧ください
応募締切　2021年8月31日（必着）
送 付 先　〒739-2116　広島県東広島市高屋うめの辺1
近畿大学工学部　学部長　旗手　稔
照 会 先　情報学科　学科長　片岡隆之
E-mail: kataoka@hiro.kindai.ac.jp　Tel(082)434-7384（内線885）

■芝浦工業大学システム理工学部 電子情報システム学科

募集人員　専任教員（助教・准教授または教授）　1名
研究分野　情報学
担当科目　ソフトウェア分野（計算基盤・人工知能）
着任時期　2022年4月1日
応募締切　2021年8月31日（必着）
照 会 先　電子情報システム学科　主任　吉田健二
E-mail: bp-recruit@sic.shibaura-it.ac.jp
そ の 他　詳細は下記 URL をご参照ください
https://www.shibaura-it.ac.jp/about/educational_foundation/recruit/info/20210527.html

■東邦大学理学部情報科学科

募集人員　講師　1名（常勤・任期なし）
専門分野　代数学およびその関連分野（計算代数や暗号理論など情報科学との関連分野）．情報科学科教員と連携して研究を進められる方を歓迎します
応募資格　博士の学位を有する方および博士の学位取得見込みの方．学部および大学院学生の教育・研究指導に熱意のある方
着任時期　2022年4月1日
応募締切　2021年8月31日（必着）
照 会 先　〒274-8510 千葉県船橋市三山2-2-1
東邦大学理学部情報科学科　主任　並木　誠
E-mail: namiki@is.sci.toho-u.ac.jp　Tel(047)472-1156
そ の 他　担当科目，提出書類，送付先などの詳細：
https://www.toho-u.ac.jp/sci/is/saiyo/recruit2021.html

■富山県立大学工学部情報システム工学科

募集人員　教授または准教授　2名
所　　属　DX 教育研究センター
専門分野　情報セキュリティ分野，並列分散処理分野
応募資格　博士の学位を有すること
着任時期　2022年4月1日
提出書類　以下の Web ページで指定する書類
https://www.pu-toyama.ac.jp/about/request_and_application/recruitment/
応募締切　2021年9月1日（必着）
送 付 先　〒939-0398 富山県射水市黒河5180
富山県立大学工学部情報システム工学科　主任教授　太田　聡
照 会 先　情報システム工学科　太田　聡
E-mail: ohta@pu-toyama.ac.jp

■明治大学理工学部情報科学科

募集職種　(a) ソフトウェア関連　(b) 情報学基礎論関連
募集人員　(a) 専任教授（常勤，任期なし，独立研究室）　1名
(b) 専任准教授または専任講師（常勤，任期なし，独立研究室）1名
勤 務 地　(a,b) 明治大学生田キャンパス（神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1）
専門分野　(a) プログラミング言語の設計や実装，機械学習や大規模データ処理などの応用分野を想定した高性能システムソフトウェアに関する研究

(b) 計算量理論，学習理論，統計学等の情報学基礎論関連分野とその応用分野
担当予定科目　(a) 学部では「プログラム言語とコンパイラ」などの講義科目のほか,「ソフトウェア実習」などの実習／演習科目，ゼミナール，卒業研究を担当する．大学院では着任時点で，情報ソフトウェアに関する科目を担当する
(b) 学部では，「データ構造とアルゴリズム 1」，「データ構造とアルゴリズム 2」，「計算論」等の講義科目のほかに，「データ構造とアルゴリズム実習 1」，「データ構造とアルゴリズム実習 2」等の実習／演習科目，ゼミナール，卒業研究の担当を予定しています．大学院では，将来もしくは着任時点から，アルゴリズムや計算量理論に関連する科目の担当を予定しています
着任時期　(a,b) 2022 年 4 月 1 日
応募締切　(a) 2021 年 9 月 1 日（必着）
(b) 2021 年 9 月 7 日（必着）
そ の 他　詳細情報　(a) https://www.meiji.ac.jp/sst/recruit/6t5h7p0000180cjt-att/6t5h7p00003b3b9m.pdf
(b) https://www.meiji.ac.jp/sst/recruit/6t5h7p0000180cjt-att/6t5h7p00003b3bav.pdf

■福岡大学工学部電子情報工学科

募集人員　助教　1 名（任期：原則，任期付き 5 年．ただし研究業績を勘案し，任期なしとして採用する可能性あり．また任期付きでの採用の場合も，雇用期間終了後，教育・研究業績等により任期なしで再雇用することが可能）
専門分野　画像情報工学，知能移動ロボット，次世代モビリティ（自動運転，高度運転支援）（いずれも関連分野を含む）
担当予定科目　電子情報工学実験，情報工学実験など
応募資格　学科のポリシーを理解し，着任後に熱心に研究・教育のできる方．日本語で演習科目を担当できる方．博士の学位を有すること（取得見込み可）．冒頭の専門分野のうち，1 つ以上の分野で研究実績があり，残りの分野についても習得しながら取り組めること．プログラムの開発や実験を自身で行いながら独創的な研究ができること．異分野との融合研究，他大学（東大，九大など）や企業との共同研究に興味のある方を歓迎します
着任時期　2022 年 4 月 1 日（予定）
提出書類　1. 履歴書（本学様式※），2. 研究業績書（本学様式※で，審査の有無を明記），3. 論文別刷（コピー可），4. これまでの研究概要（A4 用紙で 1 ～ 2 枚），5. 本学における今後の研究・教育に対する抱負（A4 用紙で 1 ～ 2 枚），6. 外国籍の場合は，可能であれば，日本語と英語の能力を証明できる資料，7. 推薦状，もしくは応募者に関する問合せ可能な 2 名の方の連絡先
※下記の URL から提出書類のフォームをダウンロードし使用してください．http://w3.tl.fukuoka-u.ac.jp/page/employment
応募締切　2021 年 9 月 30 日（必着）
送 付 先　〒 814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1
福岡大学工学部電子情報工学科　主任教授　鈴木孝将
E-mail: tsuzuki@fukuoka-u.ac.jp　Tel(092)871-6631（内線 6386）
（簡易）書留で封筒に「助教応募書類」と朱書のこと
＊応募書類は原則として返却しませんのでご了承ください
照 会 先　電子情報工学科　准教授　小野晋太郎
E-mail: onoshin@fukuoka-u.ac.jp　Tel(092)871-6631（内線 6385）
そ の 他　福岡大学は男女雇用共同参画を推進しています
【選考方法】書類選考の上，面接を行います

■福岡大学工学部電子情報工学科

募集人員　教授または准教授　1 名（任期：なし）
専門分野　情報ネットワークの分野において研究業績を有する方
担当予定科目　計算機ネットワーク，ネットワークシステム，データベースシステム，情報セキュリティなど
応募資格　学科のポリシーを理解し，着任後に上記専門分野において熱心に研究・教育のできる方．日本語で講義を担当できる方．博士の学位を有すること．私立大学における教育・研究・運営の事情を理解し，強い熱意を持って取り組まれる方
着任時期　2022 年 4 月 1 日（予定）
提出書類　1. 履歴書（本学様式※），2. 研究業績書（本学様式※で，審査の有無を明記），3. 主要論文別刷（5 編，コピー可），4. 教育業績書（本学様式），5. 職務業績書（本学様式），6. これまでの研究概要（A4 用紙で 1 ～ 2 枚），7. 本学における今後の研究・教育に対する抱負（A4 用紙で 1 ～ 2 枚），8. 着任後に実施したい研究テーマの概要（A4 用紙で 1 ～ 2 枚），9. 応募者に関する問合せ可能な 2 名の方の連絡先
※下記の URL から提出書類のフォームをダウンロードし使用してください．http://w3.tl.fukuoka-u.ac.jp/page/employment
応募締切　2021 年 9 月 30 日（必着）
送付先／照会先　〒 814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1
福岡大学工学部電子情報工学科　主任教授　鈴木孝将
E-mail: tsuzuki@fukuoka-u.ac.jp　Tel(092)871-6631（内線 6386）
（簡易）書留で封筒に「工学部電子情報工学科教員応募書類在中」と朱書のこと
＊応募書類は原則として返却しませんのでご了承ください
そ の 他　福岡大学は男女雇用共同参画を推進しています
【選考方法】書類選考の上，面接を行います

■福岡工業大学情報工学部情報工学科

募集人員　教授，准教授または助教　2 名
専門分野　データサイエンス，知能情報学の分野から各 1 名
着任時期　2022 年 4 月 1 日
応募締切　2021 年 10 月 29 日（必着）
照 会 先　情報工学科　学科長　福本　誠
E-mail: fukumoto@fit.ac.jp　Tel(092)606-5198
Fax(092)606-1342
そ の 他　【詳細】https://www.fit.ac.jp/daigaku/koubo/kyoin_kobo/

連続セミナー2021
ニューノーマル時代に向けた情報技術の潮流

会　期：2021年6月から12月にかけて全12回シリーズで開催
主　催：一般社団法人情報処理学会
全体スポンサー：(株)日立製作所

連続セミナー2021 Web ページ　https://www.ipsj.or.jp/event/seminar/2021/

●全体概要

2020年、新型コロナウィルスの影響により、私たちの世界は大きな変革を強いられました。大きく変容した社会の課題解決や将来の社会基盤の形成を支援する役割が、情報技術には広く期待されています。特に、ニューノーマルと呼ばれるポストコロナ社会へ向け、DXを中心とした情報技術の浸透、AI、ロボットなどの活用による業務の改変が急速に進むことが想定されます。

このような状況を受け、2021年の連続セミナーは、企業の技術系人材、研究者が新たなビジネスや研究課題を切り拓きニューノーマル時代に価値を提供していくための礎となるよう企画しました。また、オンライン開催という利点を生かせるよう、これまでの計6回×半日の開催から計12回×2時間の開催とし、昨年より開始したオンライン見逃し配信も継続、フレキシブルに参加できるように企図しました。

2021年のセミナーを通じ、情報技術のポストコロナ社会への貢献と動向を俯瞰しつつ、AI、ロボティクス、セキュリティとトラスト、量子インターネットなど今後重要度を増す技術を取り上げ、その展開や適用事例を第一線の研究者・技術者に語っていただきます。

●各回テーマ

第1回～第3回は終了しました。

[7月16日(金)開催] 13:00～15:00
IT分野の研究開発動向を俯瞰する(2)（コーディネータ：福島 俊一(科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー)）

1. **研究開発動向俯瞰：AI分野②信頼されるAI**（講師：福島 俊一(科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー)）
2. **ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速 －AI駆動型科学に向けて－**（講師：高橋 恒一（理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー））
3. **Q&A**
4. **研究開発動向俯瞰：社会システム科学分野**（講師：青木 孝（科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー））
5. **研究開発動向俯瞰：セキュリティー・トラスト分野**（講師：井上 眞梨（科学技術振興機構 研究開発戦略センターフェロー））

[9月6日(月)開催] 13:00～15:00
AI，創造性，SF，その先に(1)（コーディネータ：松原 仁(東京大学)）

1. **「AI，創造性，SF，その先に」何があるか**（講師：松原 仁（東京大学 次世代知能科学研究センター 教授））
2. **ポスト身体社会: Society5.0のための新たな身体**（講師：稲見 昌彦（東京大学 先端科学技術研究センター 教授））
3. **人工知能と俳句～機械が知能を獲得するために～**（講師：川村 秀憲（北海道大学 大学院情報科学研究院 情報理工学部門 調和系工学研究 教授））

[9月14日(火)開催] 13:30～15:50
AI，創造性，SF，その先に(2)（コーディネータ：松原 仁(東京大学)）

1. **人工知能と擬人化：フィクションとリアルの知能たち**（講師：大澤 博隆（筑波大学 システム情報系 助教））
2. **AIは人間とどこまで親密になれるか**（講師：長谷 敏司（日本SF作家クラブ 理事））
3. **調整中**

[10月5日(火)開催] 10:00～12:00
AI×ロボティクス(1)深層学習によるロボットの知能化（コーディネータ：藤吉 弘亘(中部大学)）

1. **深層学習によるロボットグラスピング**（講師：藤吉 弘亘（中部大学 工学部ロボット理工学科 教授））
2. **深層学習による機能属性認識とロボットへの応用**（講師：橋本 学（中京大学 大学院 工学研究科 副学長・工学研究科長（兼務）））
3. **深層強化学習による実世界ロボット制御**（講師：松原 崇充（北奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構 特任准教授（テニュア・トラック教員）））
4. **深層学習を適用した不定形物ピッキングロボットの開発**（講師：川西 亮輔（東京ロボティクス(株) ソフトウェア開発マネージャー））

[10月14日(木)開催] 15:00〜17:00
AI×ロボティクス(2) AIとロボットの共進化（コーディネータ：尾形 哲也(早稲田大学／産業技術総合研究所)）

1. **スマートロボットによる環境との柔軟なインタラクションの実現**（講師：尾形 哲也（早稲田大学／産業技術総合研究所））
2. **スマートロボットの経験拡張のための基盤整備と実証**（講師：堂前 幸康（産業技術総合研究所 インダストリアルCPS研究センター、人工知能研究センター 研究チーム長））
3. **スマートロボットにおけるAIに関する数理的アプローチ**（講師：山下 祐一（国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 疾病研究第七部 室長））

[10月27日(水)開催] 15:00〜17:00
AIトレンド：大規模モデルと生成モデル（コーディネータ：戸上 真人(LINE(株) AI開発室室長)）

1. **大規模生成モデルの技術トレンドと産業応用**（講師：戸上 真人(LINE(株) AI開発室室長)）
2. **Large Model Is All You Need?**（講師：成瀬 彰(NVIDIA)）
3. **巨大深層モデルの高速・省資源開発基盤とその応用**（講師：篠田 浩一(東京工業大学 情報理工学院情報工学系 教授)）
4. **パネル討論：大規模モデルと生成モデル**
5. **クロージング**（講師：栄藤 稔(大阪大学)）

[11月11日(木)開催] 10:00〜12:05
デジタル社会におけるトラストサービス(1)（コーディネータ：手塚 悟(慶應義塾大学 環境情報学部 教授)）

1. **電子署名法の概要**（講師：山内 徹(日本情報経済社会推進協議会(JIPDEC)常任理事)）
2. **DFFTに欠かせないタイムスタンプの国内外の最新動向**（講師：柴田 孝一(セイコーソリューションズ(株) DXサービス企画統括部 担当部長)）
3. **eシールの概要**（講師：小田嶋 昭浩((株)帝国データバンク 業務推進部サービスサポート課 副課長(電子認証サービス担当RA認証業務責任者)））
4. **クロージング**（講師：手塚 悟(慶應義塾大学 環境情報学部 教授)）

[11月11日(木)開催] 13:00〜15:05
デジタル社会におけるトラストサービス(2)（コーディネータ：手塚 悟(慶應義塾大学 環境情報学部 教授)）

1. **eIDAS規則の概要**（講師：濱口 総志((株)コスモス・コーポレイション 慶應義塾大学SFC研究所　上席所員 上席所員)）
2. **法的効力の概要**（講師：宮内 宏(宮内・水町IT法律事務所 弁護士)）
3. **トラストサービスの国際相互運用について（欧州での例）**（講師：西山 晃(セコムトラストシステムズ(株) トラストサービス本部 担当部長)）
4. **クロージング**（講師：手塚 悟(慶應義塾大学 環境情報学部 教授)）

[12月7日(火)開催] 10:00〜12:00
量子インターネットと量子サイバースペース（コーディネータ：嶋田 義皓(科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー)）

1. **量子インターネットとは**（講師：永山 翔太((株)メルカリ R4D(研究開発部)シニアリサーチャー)）
2. **インターネットから量子インターネットへの展開**（講師：村井 純(慶應義塾大学 教授)）
3. **パネル討論：量子インターネットと量子サイバースペース**

●参加費（税込、*配布資料のPDFダウンロードと見逃し配信含）

参加区分	12枚（予約価）	6枚（予約価）	2枚（予約価）	1枚（予約価）	当日申込
正会員	85,800円	49,500円	18,700円	11,000円	12,000円
一般非会員	117,000円	67,500円	25,500円	15,000円	16,000円
学　生	17,160円	9,900円	3,740円	2,200円	3,000円

●問合せ先
〒101-0062 千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4 階
情報処理学会　事業部門 TEL.03-3518-8373　E-mail:event@ipsj.or.jp

■ 編集室 ■

今月号の特集名を決めるにあたって，事務局の担当者さんと一緒に一番悩んだことは，「DF をどう表記するか…？」です．まず，「デジタル・フォレンジック」の表記には間に中点が入る場合と入らない場合があり，また最後に複数形のｓ（ス）が付く場合と付かない場合があることは特集本文に書いたとおりです．それ以外にもディジタルの部分の表記にも“ィ”が入る場合と入らない場合がありますし，ICT 業界では，そもそもディジタルを頭に付けずに単にフォレンジックとだけ書いても，それはディジタル版のフォレンジックを指し示すものという暗黙の了解もあります．さて，読者の皆さんは DF をどのように表記しますか？

さらには DF をどのように邦訳するのかも，人によってさまざまなのです．「証拠保全」という人もいれば，保全では刑事訴訟法用語になるから「証拠収集」とするべきだという人もいます．ほかにも「デジタル鑑識」という場合もありますし，これらそれぞれの言葉の後ろに学問としての“学”の字を付ける人もいます．それ以外にもたくさんの言い方があり，中には，あるテレビ番組で聞き手役の女性タレントが「サイバー刑事（デカ）」と言ったことさえもあります．さすがにこれはちょっと違うと思いますが……．さて，読者の皆さんが考えるデジタル・フォレンジックの訳は何でしょうか？

（須川賢洋／本特集エディタ）

次号（9 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．

※はオンライン版のみの掲載となります

「特集」人の動きを捉え社会を動かす人口流動統計※

人流データを用いた都市の常時観測による社会・産業の高度化／人口流動統計の開発―携帯電話基地局の運用データに基づく OD 量・移動経路・移動手段の推計―／人口流動統計の都市交通調査への活用―携帯電話基地局の運用データに基づく信頼性の高いビッグデータのまちづくりへの活用―／視聴者に最適な「交通障害情報」を届ける―路線ごとの利用者分布エリアを人流ビッグデータで絞り込む―／流動を捉える人口分布統計―新型コロナウイルス感染拡大下における人口変動分析―／災害・イベント時の人口動態モニタリング―大阪北部地震・渋谷ハロウィン―／大規模位置データ連携による観光施策立案評価システムの研究開発

報　告：未踏の第 27 期スーパークリエータたち※

トピックス：研究会推薦博士論文速報※

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／ <Info-WorkPlace 委員会企画 > 働き方を共有しよう※／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

学会活動報告：情報技術の国際標準化と日本の対応― 2020 年度の情報規格調査会の活動―

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，以下 Web ページから奮って事務局までお寄せください．

「情報処理」アンケートページ　**https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html**

一般社団法人 情報処理学会　会誌編集部門　E-mail: editj@ipsj.or.jp

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（価格は税 10%込）

掲載場所	4 色	1 色
表 2	363,000 円	—
表 3	302,500 円	—
表 4	423,500 円	—
表 2 対向	330,000 円	—
表 3 対向	291,500 円	170,500 円
前付 1 頁	275,000 円	148,500 円
前付 1/2 頁	—	88,000 円
前付最終	—	162,800 円
目次前	—	162,800 円
差込 （A4 変形判 70.5kg 未満　1 枚）	302,500 円	
差込 （A4 変形判 70.5kg ～ 86.5kg　1 枚）	385,000 円	
同封 （A4 変形判　1 枚）	385,000 円	

■「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」 62 巻 8 号　掲載広告（五十音順）

□オーム社…… 表 2 対向
□講談社…… 目次前
□とめ研究所…… 前付最終上
□フォーラムエイト …… 表 2

□ 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）

（一財）インターネット協会

（一社）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

エッジテクノロジー（株）

沖電気工業（株）

コアマイクロシステムズ（株）

三美印刷（株）

ソニー（株）

（株）テクノプロ
テクノプロ・デザイン社

みずほリサーチ&テクノロジーズ（株）

＜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　井上　創造　高橋　尚子

編集委員　江渡浩一郎　大石　康智　太田　智美
折田　明子　川上　　玲　楠　　房子
酒井　政裕　清水　佳奈　中島　一彰
西川　記史　橋本　誠志　福地健太郎
堀井　　洋　水野加寿代　山本ゆうか
湯村　　翼　伊藤　将志　白井詩沙香
袖　美樹子　大島　浩太　高木　拓也
金子　　格　細野　　繁

（会員サービス分野／ MWG）
主　　査　伊藤　将志
幹　　事　上田　　俊
委　　員　鵜川　始陽　小澤　圭右　加藤　千裕
工藤瑠璃子　恋塚　　葵　竹内　勇貴
田中リベカ　角尾　晋一　鶴田　利郎
真鍋　知博　水上　雅博　村上　洋一
山本　祐輔　梁　　俊　若林　　啓

（教育分野／ EWG）
主　　査　白井詩沙香
幹　　事　坂東　宏和
委　　員　赤澤　紀子　天野　由貴　井手　広康
稲垣　俊介　井上　　仁　上松恵理子
岡本　雅子　越智　　徹　小原　　格
角田　博保　小林　真也　島袋　舞子
関谷　貴之　高木　正則　高橋　尚子
古川　雅子　松浦　健二　三石　　大
渡辺　博芳

（アプリケーション分野／ AWG）
主　　査　袖　美樹子
幹　　事　佐々木貴之　末永　高志　真部　雄介
委　　員　青木　秀一　石黒　正揮　大塚　淳史
加藤　拓巳　金子　　格　小出　誠二
田中　功一　古川　　諒　山口　喜久
吉村　　剛

（システム分野／ SWG）
主　　査　大島　浩太
幹　　事　林　　真人
委　　員　穐山　空道　上田　高徳　大島　浩資
北島　信哉　小柴　篤史　下村　武史
滝澤真一朗　徳本　修一　西村　祥治
春田秀一郎　横山　大作

（基礎・理論分野／ FWG）
主　　査　高木　拓也
幹　　事　和佐　州洋
委　　員　上浦　尚武　榎　　美紀　河野　　慎
桑名　杏奈　佐々木勇和　白銀　純子
鈴木　浩史　長尾　篤樹

（次世代分野／ NWG）
主　　査　中田眞城子
幹　　事　畑田　裕二
委　　員　太田　智美　長倉　克枝　山本ゆうか

（特別解説分野／ SCWG）
主　　査　金子　　格
幹　　事　石黒　正揮　須川　賢洋
委　　員　板倉陽一郎　上原哲太郎　楠　　正憲

（デジタルプラクティス分野／ DPWG）
主　　査　細野　　繁
幹　　事　吉野　松樹　藤瀬　哲朗
委　　員　青木　学聡　荒木　拓也　飯村結香子
石井　一夫　今原修一郎　岩倉　友哉
江谷　典子　大嶋　嘉人　鬼塚　　真
鎌田真由美　上條　浩一　斎藤　彰宏
坂下　　秀　佐藤　　聡　佐藤　裕一
澤谷由里子　澤邉　知子　立床　雅司
戸田　貴久　長坂　健治　西山　博泰
新田　　清　浜　　直史　濱崎　雅弘
平井　千秋　福原　知宏　藤原　一毅
横井　直明

〒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―十六―七 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

FIT2021 第20回情報科学技術フォーラム　聴講参加の御案内

2021年8月25日(水) ～ 27日(金)　オンライン開催

https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2021/

電子情報通信学会の情報・システムソサイエティ（ISS）とヒューマンコミュニケーショングループ(HCG)、及び情報処理学会(IPSJ)は、「第20回 情報科学技術フォーラム(FIT：Forum on Information Technology)」を開催します。皆様、奮ってお申込み下さい。
講演論文集（冊子、DVD-ROM）も販売を行います。

■開催イベント（詳細は逐次Webサイトに掲載致します）

［表彰式・招待講演企画］

◎FIT学術賞表彰式
26日 13:00-13:50（予定）

◎船井業績賞受賞記念講演
26日 14:00-15:15
「Computational Cameras for Humans and Machines」
Shree K. Nayar
（米国コロンビア大学 T.C. Chang Chaired教授）

［トップコンファレンスセッション］

最近数年間に各分野のトップレベルの国際会議・学術雑誌で発表された論文の著者に、その内容を紹介して頂く特別なセッションです。
優れた研究内容を把握できるとともに、その著者たちとの質疑応答や情報交換ができる貴重な機会です。ぜひご活用ください。

［イベント企画］　※タイトル等は変更の可能性があります。

各学会の関係研究会や委員会などから構成されるプログラム委員会において、ホットなトピック、分野横断的な研究テーマ、学生や若手へのメッセージを込めた話題などを中心に、多くの興味深いイベントを企画中です。以下はその一部を抜粋したものです。内容や日時は変更される場合があります。最新の情報は Webページでご確認ください。

25日 13:10～15:10　人間・ロボットの協調のためのCV/PR技術
13:10～15:10　秘匿計算の最前線
15:30～17:30　次に来るコミュニケーション・ツールは何か？～ネット炎上対策は？新しいデザインと留意点を考える～
15:30～17:30　デジタルプラクティスライブ
26日 9:30～12:00　大学入学共通テスト「情報」が目指すもの
9:30～12:00　IoTが拓く未来：～アフターコロナ社会に向けたIoTの将来像を探る～
15:30～17:30　データサイエンティスト人材育成に関する情報処理学会の取り組み
27日 9:30～12:00　Society5.0を支える革新的コンピューティング技術
9:30～12:00　ヒトゲノム・生体情報と情報処理の課題
13:10～15:10　ニューノーマル社会の次世代スマート地域
13:10～15:10　3次元チップ実装とワイヤレス誘導結合チップ間インタフェース

［研究会連携］

電子情報通信学会および情報処理学会のいくつかの研究会が、FIT2021のプログラムとして開催されます。詳細は Webページでご確認ください。

■聴講参加費（税込）

参加区分	オンライン特別価格
会　員	6,000円
非会員	12,000円
学　生	無料

※会員、非会員の聴講参加費には電子版講演論文集（Webからダウンロード）が含まれております。
※学生の聴講参加（無料）には電子版講演論文集は付いておりません。電子版講演論文集付きを希望の場合、参加費は 2,000円となります。
※会員、非会員、学生の参加区分の区別は次の通りです。
会　員：情報処理学会、電子情報通信学会、電気学会、照明学会、映像情報メディア学会及び電子情報通信学会と協定を締結した海外の学会（IEIE、KICS、KIISE、REV、IEEE/CS、IEEE/ComSoc、IEEE/PHO、IEEE/MTT-S）または情報処理学会と協定を締結した海外の学会（ACM、IEEE、IEEE/CS、KIISE、CSI、CCF）の個人会員、電子情報通信学会の維持員、情報処理学会の賛助会員。
非会員：左記の学会会員以外で学生以外の方。
学　生：会員/非会員を問わず無料（電子版講演論文集は付きません）。

■聴講参加の申込

申込締切：2021年8月27日（金）FIT最終日まで
申込方法：FIT2021 Webサイトからお申込み下さい。
※オンライン参加のご案内をお送りいたします。参加方法を事前にご確認いただくには、なるべく早めのお申込みをお勧め致します。

■冊子講演論文集・DVD-ROM販売価格（税込）

申込種別	個人購入価格	法人購入価格
講演論文集セット（DVD-ROM付）	60,000円	60,000円
講演論文集分冊	13,000円／冊	16,000円／冊
講演論文集DVD-ROM	10,000円	56,000円

※講演論文集セットは冊子講演論文集全分冊(カバー付き)、DVD-ROM付き
※残部のある限りということになりますので、予め御了承下さい。
※残部がある場合、学生の方には講演論文集DVD-ROMを学割価格4,000円にて販売致します。

※講演論文集の掲載分野（予定分冊構成）

第１分冊：モデル・アルゴリズム・プログラミング、ソフトウェア、ハードウェア・アーキテクチャ
第２分冊：データベース、自然言語・音声・音楽、人工知能・ゲーム、生体情報科学
第３分冊：画像認識・メディア理解、グラフィクス・画像、ヒューマンコミュニケーション&インタラクション、教育工学・福祉工学・マルチメディア応用
第４分冊：ネットワーク・セキュリティ、ユビキタス・モバイルコンピューティング、教育・人文科学、情報システム
DVD-ROM ：上記全論文とプログラムを収録

■講演論文集の申込

FIT2021 Webサイトからお申込み下さい。

■次年度のFIT2022開催

2022年9月13日（火）～15日（木）
慶應義塾大学　矢上キャンパスにて開催予定

■問い合わせ（FIT2021事務局）

〒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　事業部門
TEL〔03〕3518-8373　FAX〔03〕3518-8375
E-mail：ipsjfit@ipsj.or.jp

定価 1,760 円（本体 1,600 円＋税 10%）
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　05269-08
4910052690813
01600

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

特集号招待論文

大学における情報環境整備の重要性と課題

藤村直美[1]

[1]九州大学

大学における最近の情報環境整備について，九州大学における取り組みを，情報統括本部の設立から，その後の活動について，筆者が直接かかわった活動について述べる．具体的には，ソフトウェアの包括契約，電子メール，認証基盤，教育情報システム，PC必携化（BYOD），遠隔講義システム，Web学習支援システム，教育データの利活用，クラウドの活用，最後にISMS取得について，歴史的な経緯，現状，問題点，今後の課題等について述べる．

1. 情報統括本部の誕生

（1）大学における情報センター

大学内で情報サービスを提供するセンタはそれぞれの時代の要請に応じて目的別に設置されてきた．九州大学（以後，本学）においては，中央計数施設（学内措置で1963年に設置），大型計算機センター（1968年設置の省令施設），情報処理教育センター（1977年設置の省令施設），統合情報伝達システム（KITE）運用センター（学内措置で1994年設置）などである．こうした目的別の情報センターはその後，大学全体の教育・研究・業務・診療を支える幅広い情報サービスを実現するための情報基盤を提供する情報センターに変容する必要に迫られた．本学においても，2000年4月に上述の情報関連施設と附属図書館の一部を有機的に統合した組織として情報基盤センターに改組された．

（2）情報統括本部

学内の情報環境に関連する実状を正確に把握するために，2006年度に情報担当理事を核に情報基盤センター関係者を中心にしてCIO-WG （Chief Information Officer - Working Group）が設置され，当時の情報基盤センター長とCIO-WGのメンバが学内全部局を回ってヒアリングを行い，情報環境整備に関連する多くの意見を集約した．その議論に基づいて，2007年度に情報統括本部が設置されることになった．情報基盤センターは情報統括本部の発足に合わせて2007年4月に情報基盤研究開発センターに改組され，事務局情報企画課と統合して，情報統括本部の母体となった．情報統括本部は学内の教育・研究・業務を円滑に行うための情報環境整備について全責任を持つ，情報基盤研究開発センターと情報システム部を実体とする，仮想的な組織である[1]．

© 2021 Information Processing Society of Japan

情報統括本部では，情報サービスに対応してそれぞれ事業室（定常的なサービスに対応），タスクフォース（新規サービスの実現，各種新規事項の検討）を設置し，利用者にサービスを提供している．**表1**に2020年度現在の事業室等の一覧を示す[2]．こうした事業室制は定常的な業務の遂行にはおおむね有効であるが，複数の事業室に跨る案件については，情報統括本部長のように関連する事業室をまとめる強い調整力とリーダシップが必要である．

表1　事業室等一覧（2020年10月現在）

事業室	
HPC	ネットワーク
認証基盤	教育基盤
学務教務支援	ソフトウェア
図書館連携	広報
九大 CSIRT	情報共有基盤
ISMS	情報セキュリティ対策基本計画
タスクフォース	
クラウドサービス導入支援	学生ポータルサービス
メールサーバ集約	研究データ管理基盤検討
オンライン授業支援	デジタル変革方針

（3）情報環境整備のための組織

多くの大学では，学内の情報環境整備を情報センターが担当する場合が多いが，通常の情報センターはあくまでも学内の部局としての1組織であり，大学全体の情報環境の整備を提言し，推進するには立場が弱い場合が多い．こうした情報センターに相当する組織さえない大学もある．本学においては，情報統括本部は部局の上位に位置し，大学全体の情報環境整備の企画・推進を行える立場にある．こうした組織の整備が大学の情報環境整備を円滑に行うためには必要である．

（4）本稿の位置付け

筆者は，九州芸術工科大学（芸工大）と九州大学との2003年10月の統合まで約6年間（1997年11月～2003年9月），芸工大情報処理センター長であった．大学統合後は情報基盤センターの教授（兼務）として情報統括本部の立ち上げなど，さまざまな活動にかかわり，定年までの5年半（2010年10月～2016年3月）は情報統括本部長（総長特別補佐，後に副理事）として，情報統括本部の活動を牽引した．さらに定年退職後も4年間（2016年4月～2020年3月）にわたり，特任教授（学術研究員）として「残務整理」を行った．

本稿は，2007年度の情報統括本部の誕生から2020年度までの情報環境整備において，筆者が直接かかわった活動をまとめたものである．おおむね時間の流れに沿って，関連項目を整理し，情報統括本部の誕生，ソフトウェアの包括契約，認証基盤，基本メール，教育情報システム，PC必携化（BYOD），遠隔講義・会議システム，学習支援システム，それらを支えるクラウド，およびISMSの取得について述べる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

参考までに本学のキャンパスの位置関係を**図1**に，構成員の規模を**表2**に示す．箱崎キャンパスは伊都キャンパスへの移転が完了し，移転関連の一部の事務が残っている．黄色の線は，天神データセンターを中心に各キャンパスを接続するスター型ネットワークの接続関係を示している．

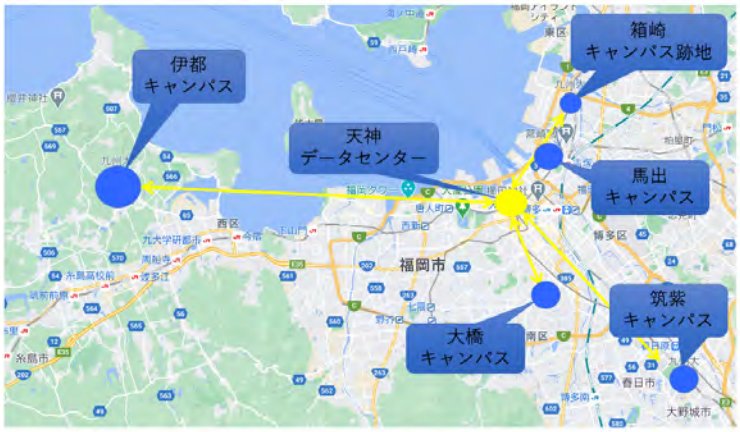


図1　九州大学のキャンパス

表2　九州大学の構成員規模（2020年度）

身分	人数
学部	11,679
修士課程	3,981
博士（後期）課程	2,602
専門職学位課程	304
小計	(18,566)
教員	2,028
職員	2351
小計	(4,439)
総計	23,005

2. ソフトウェアの包括契約

2.1　ソフトウェア利用上の問題

2006年度にCIO-WGが学内意見を集約した結果，利用者が一番困っているのがソフトウェアに関連する経費であることが判明した．たとえば，大学の研究室には多くの学生が所属し，学生が使用するPCのセキュリティを確保するためにはセキュリティ対策ソフトウェアが必要である．また学生がOfficeソフトウェアを使えないと困る．研究費が毎年減少する中で，こうした学

© 2021 Information Processing Society of Japan

生用のソフトウェアを継続して整備していくことが指導教員の大きな負担になっていた．その結果，法令遵守にも影響する．そこで，情報統括本部の設置前ではあるが，ソフトウェアの一括契約で大学全体のソフトウェアにかかわる経費を節減する試みを行った[3],[4].

2.2　セキュリティ対策ソフトウェア

（1）トレンドマイクロ製品の一括契約

筆者は芸工大情報処理センター長としてトレンドマイクロのセキュリティ対策ソフトウェア1,000ライセンスをセンター経費で一括契約し，学内に無料で提供していた．この経験から，情報統括本部設置前ではあったが，セキュリティ対策ソフトウェアを一括契約して，大学全体に安価に提供する提案を行った．その結果，まず2006年10月にトレンドマイクロ社製のセキュリティ対策ソフトウェア5,000ライセンスを一括契約し，単価650円で利用者希望者に提供した．

（2）シマンテック製品の包括契約

2007年2月にシマンテック社製のSCS（Symantec Client Security）10,000ライセンスを一括契約し，2007年3月から単価270円で全学の利用希望者に提供した．当初は課金していたが，その後，利用者から個別に利用料金を集める事務手続きの手間を考慮して，2009年4月から全額を情報統括本部で負担することとし，無料とした．

その後，2011年6月からSymantec Endpoint Protection（SEP）をアカデミックサブスクリプション＋学生オプションに契約を変更して大学全体の包括契約として利用者に提供した．その結果，大学の予算で購入したすべてのPC，さらに教職員＋学生の個人PCで1人につき1台で利用可能になった．

一方，トレンドマイクロ社製については利用者数が延びなかったこと，単価を下げられなかったことから，2011年9月末で一括契約を終了した．その結果，トレンドマイクロ社製セキュリティ対策ソフトウェアを使用したい場合には通常価格での自己負担になった．

（3）セキュリティ対策ソフトウェアの切り替え

アカデミックサブスクリプション＋学生オプションの廃止が2017年6月2日にシマンテックから正式に通知された．シマンテックの代替案は大学としては受け入れがたい内容であった．当時の契約では2018年5月31日まではSEPを利用可能で，少しだけ時間的な余裕があり，それまでに別のセキュリティ対策ソフトウェアに切り替える必要に迫られた． セキュリティ対策ソフトウェアを全学に提供することは次のような事情で必須であった．

- PC必携化には不可欠
- 学生の経済的支援
- 学生を含めた全学的セキュリティを確保

利用可能なセキュリティ対策ソフトウェアとして，価格，性能，包括契約可能なことなどを考慮して，検討した結果，トレンドマイクロのキャンパスアグリーメントを選定した．この契約で利用可能な対象は次のとおりである．

- 大学の予算で購入したすべてのPC
- 教職員＋学生が大学に持ち込む可能性があるPC，Mac
- Server for Linux

SEPから新しいセキュリティ対策ソフトウェアに切り替える目標期限は切りのよいところで，年度末の2018年3月末とした．契約の制約で時間がないことから，次のような方針で行った．

© 2021 Information Processing Society of Japan

- 2017年度に卒業する学生はSEPのままでよい.
- 2018年度の新入生はPC必携化のための入学時のPC講習会でトレンドマイクロのセキュリティ対策ソフトウェアを入れる.
- 契約を迅速に行うと2017年11月1日からトレンドマイクロ社の製品が利用可能となる．一方，ライセンス管理サーバの準備が11月下旬になるため，利用者には11月下旬から新しいセキュリティ対策ソフトウェアを提供開始する.

（4）Windows Updateによるトラブル

セキュリティ対策ソフトウェアの切り替えはほぼ順調に進んだが，切り替え期間が終わる頃に，Windows 10の更新に関連して，別の問題が発生した．2018年4月にWindows 10のバージョンがWindows 10 April 2018 Update RS4 （以下，「RS4」という）に更新された．一方でトレンドマイクロ社製のウイルスバスター XG SP1 （TMVB）はRS4に未対応であった.

そのため，TMVBをインストールしたままRS4への更新を適用してしまうと，Windows Update中にフリーズする現象が発生し，ログイン後ほぼ何もできなくなる事例が発生した．その場合にはPCの初期化（OSの再インストール）が必要になる事例があった．さらにTMVBをインストールしたままRS4を適用した後に，ウイルスバスターをアンインストールし，Windows Defender を有効にする際に不具合が発生するとの報告もあった.

セキュリティ対策ソフトウェアが新しいWindowsに対応してない状態でWindows Updateの更新が行われてしまうことを想定していなかったために，対応が後手にまわった．2018年6月12日にトレンドマイクロ社製のTMVBがRS4に対応し，2018年6月14日10:25から最新のRS4に対応したウイルスバスターをソフトウェア事業室が提供できるまでは，Windows Updateの実施を保留にするように周知する以外に方法がなかった．すでにトラブルに見舞われた利用者には最悪，Windows 10を再インストールしてもらう事態になり，迷惑をかけた．この件は新聞でも記事として取り上げられた.

2.3 マイクロソフトのOffice

2006年度後期に2つのセキュリティ対策ソフトウェアの一括契約が成功したことから，次にマイクロソフトのCA（Campus Agreement）契約に取り組んだ．2006年当時はSchool AgreementというPCの台数に比例する契約形態はあったが，PCの台数を把握することは大学では困難である．そこで，マイクロソフトと交渉して，職員数や学生数で契約するCAを準備してもらった．一括契約をした結果，2007年4月からマイクロソフトのWindowsとOffice Enterprise 2007/Professional 2003を大学の経費で購入したPCに自由にインストールできるようになった.

その後，大学の予算で買ったPCだけでなく，個人のPCにもインストールできるように契約を改訂した．その結果，個人のPCに1人1台であるが，Officeを入れることができるようになった．これが後述のPC必携化（BYOD）にも役立った.

ソフトウェアの使用に必要なプロダクトキーに関しては，Volume License Keyとしてほとんどのソフトウェアに関して1機関あたり1つのプロダクトキーしか付与されないため，プロダクトキーが利用者の目に晒されないようにしてキーを厳密に管理し流出を防ぐ必要がある．そのため利用条件やキーの管理方法（KMS，MAK等）に合わせて配布の仕方を変え，ソフトウェア配布用のサイトは学内PC用，教職員個人PC用，学生個人PC用の3種類を用意した.

© 2021 Information Processing Society of Japan

マイクロソフトとの包括契約（EES）の経費は学生分を本部で負担してもらい，職員分は人数で割って均等（約4,000円）に負担してもらった．その結果，この一括契約は研究室で学生を抱えている教員には大変な福音となった．具体的には，教員は特段の追加支出無しで研究室の学生全員にOfficeを提供でき，確実に法令遵守を実現できる．

Officeを提供していた当初は卒業時に「学生使用許諾証明書」を提供することで，ソフトウェアの使用権を大学が卒業生に譲渡することができ，学生は卒業後もOfficeを利用可能であった．しかしながら，マイクロソフトの方針変更に合わせて，学生に提供するOfficeが後述するようにOffice365のOffice ProPlusになってからは大学を卒業し認証が失効すると同時に利用できない契約になった．

2.4　Adobe のCLP

芸術工学部ではAdobeのソフトウェアを使う利用者（教員，学生）が多い．多くの学生は自分達でAdobe CS（Creative Suite）などを購入する．AdobeにはCLP （Contractual License Program） があり，購入したソフトウェアの合計ポイントによって，レベル1（6,000ポイント以上で学割価格から約10%引き），2（20,000ポイント以上で同約20%引き），3（50,000ポイント以上で同約30%引き）と割安になる仕組みである．

大橋キャンパスで，筆者が中心になって注文を28,000ポイント分まとめ，九州大学としてレベル2の一括契約を行った．この注文の取りまとめを2008年7月から始めて，約3カ月かかったが，10月にはAdobeとCLP契約を結ぶことができた．その結果，校費や個人でAdobe製品を学割価格よりもさらに約20%安く購入できるようになった．

その後，全学に通知して，CLP契約を全学展開したところ，瞬く間に10万ポイントを超えて，レベル3になった．その後は安定して50万ポイントを超えていたが，個人対象のCLP契約が2014年4月26日でなくなったので，大学の予算でソフトウェアをCLP価格で購入することはできるが，学生個人がAdobeのソフトウェアを安く購入する手段が無くなった．最近ではクラウド上のソフトウェアをサブスクリプションとして利用する契約形態に移行しており，学生の経済的な負担を軽減することが難しくなりつつある．教育用に必要なソフトウェアを学生の負担にならないように入手できる仕組みが望まれる．

2.5　費用対効果

大学として包括契約を行ったソフトウェア（マイクロソフト，セキュリティ対策ソフトウェア，Adobe CLP）の経費節減効果の累積が2020年3月末現在で，約70億円（マイクロソフト関連が約62億4千万円，セキュリティ対策ソフトウェアが5億8千万円，AdobeのCLPが約1億200万円）となっている．この金額は，インストールしたソフトウェアの数量に学割価格と契約によって安くなった価格の差額を掛けて積算した金額である．

セキュリティ対策ソフトウェアとマイクロソフトのWindowsやOfficeを制約なくインストールできるようにしたことで，CIO-WGが全部局の意見を集約したときに指摘された，ソフトウェアの導入に要する経費負担の問題を解決した．さらに不正利用が起こらない体制を実現することができ，大学として法令遵守を確実に守れるようになった．

3. 認証基盤

© 2021 Information Processing Society of Japan

3.1　認証基盤の必要性

大学ではさまざまな情報サービス（ソフトウェアの配布，メール等）を構成員限定で提供している．情報サービスにアクセスする人が大学の構成員であることを確認（認証）し，さらにそのサービスを利用できる資格があるか否かの判断（認可）を確実に行える必要がある．

2007年度にマイクロソフトの包括契約でソフトウェアを全構成員に提供開始したときに，学生は学生番号を利用できたが，教職員を確実に識別する手段がなかった．そのため大学の全構成員，特に教職員を確実に識別・確認できる仕組みを実現するために認証ID（SSO-KID）を導入し，その後，学生用にもSSO-KIDを導入，確実に認証と認可を行う仕組みを実現した．

認証基盤システムと連携している下位サービスは2019年度末において，学内情報サービスへの全学共通ID による利用者認証機能を提供しているシステムが26システム，その他に学内情報サービスへのデータ提供が31サービス，Shibboleth 認証の主な利用サービスが39と多い．これらは日々の生活や業務に直結する重要な情報サービスである．

3.2　職員用SSO-KIDの導入

大学の構成員を確実に識別・認証するために，2007年10月からSSO-KID（Single Sign On Kyushu uni-versity IDentification）の運用を開始した．これは全職員を対象に10桁の乱数を認証用のIDとして利用するもので，原則として1人に1個を割り当て，再利用しない．1回特定の個人に割り当てた番号は，たとえば退職後に再雇用された場合などには復活して再割り当てることも含めて，可能な限り継続して使用する．

通常はメールアドレスなどを認証用のIDとする場合が多いが，メールアドレスは広く公開される情報であるため，認証用のIDがメールアドレスであることが分かるだけで攻撃が容易になり，セキュリティレベルが下がる．本学では認証用のIDそのものを公開しないことでセキュリティレベルを上げる．

その後，さらに2010年7月からマトリックス認証（身分証明書のカード裏側に書かれている縦横の表から指定されたマス目の文字列を入力する方式）を開始し，セキュリティレベルを改善した．これで，たとえば，それまでは特にセキュリティが要求されるために外部からのアクセスが規制されていた学務システムの機能の一部（成績入力）や電子職員録を学外からも利用できるようになった．また，2010年4月からShibbolethも運用を開始し，図書館の電子ジャーナルなどで利用されている．

3.3　学生用SSO-KIDの導入

学生の認証用のIDは，当初は学生番号を利用していた．しかしながら学生番号は公開情報であり，セキュリティ的には問題がある．またPC必携化（BYOD）のためのPC講習会において，参加者を把握するために，個人を識別する必要があるが，学生番号が記載されている学生証は入学式後に配布されるため，入学式前のPC講習会では使えない．そのため2013年度のPC講習会において，名前，所属学科を聞いて識別したが，1部屋（約50名）で30分ぐらいの時間がかかった．

学生番号の発行は当時の学務部の方針で，すべての入学予定者の手続きが完了する3月31日の17時以降になり，PC講習会で学生番号を利用できる望みはなかった．そこで2013年5月に，情報統括本部が独自に発行できる学生用SSO-KIDを採用することとし，1年生から学年進行で適用

© 2021 Information Processing Society of Japan

することとした．学生用SSO-KIDを採用したことで，認証IDの発行時期の自由度が増え，3月中旬ぐらいにアカウントの有効化を行えるようになった．

3.4　パスワードの再設定

利用者からは頻繁にパスワードを忘れたという問合せがある．当初は窓口まで来てもらって係員が対応しないと再設定できなかったが，利用者が出張中や海外留学中にパスワードが必要になる場合も多々あり，本人が窓口まで来なくてもパスワードの再設定を行える仕組みが必要であった．そこで2009年3月に新しい教育情報システムを導入する機会に合わせて，パスワードの再設定については，事前に登録してある秘密の質問や別途と記録してあるメールアドレスに必要な情報を送信するなどして，窓口まで来なくてもパスワードの再設定を行えるようにした．その後，さらにセキュリティを担保するために，メールで認証コードを受け取る方式に統一された．

4. 基本メール

4.1　基本メールサービスの導入

情報統括本部が設置されてまもなく，インフルエンザ（H1N1）によるパンデミック発生時に全職員と学生に迅速・確実に情報を伝達できない問題が指摘された．歴史的な経緯で，大型計算機センターが提供していたごく一部利用者向けのmboxというメールサービス以外には教職員用のメールサービスは大学としては提供できていなかった．mboxサービスは数年だけということで始まったが，結局は基本メールが利用できるようになった後の2010年3月まで細々と16年間も運用された[5]．一方,学生には教育情報システムのサービスの一部としてメール機能が提供されていたが，現実にはほとんど使われていなかった．

そうした状況の中で，全職員と学生に適切な情報を迅速・確実に提供できることが必須であるという経営判断から，大学の全職員と学生に基本メールサービスを提供することになった．職員用の基本メールサービスは2009年2月から詳細な検討を開始し，ほぼ4カ月の設計・調達・設定作業を経て，メール用の専用機を使って，2009年7月1日にサービスを開始した[6]．

当初は，POP3とWebメールが基本で，メールの保存容量は，システムのディスク容量の都合で，1アカウントあたり100MBを上限とし，メッセージは60日で消去される運用で始めた．その後，ディスクに余裕があることが分かったので，2009年12月に300MBまで増やした．

一部利用者の要望に応じて，容量と保存期限の制約を軽減するために，月額1,000円で，保存容量を10GBでメッセージを消さないという有償サービスを2011年2月から開始した[7]．このサービスの利用者は40名少々であった．2014年3月に更新した新システムでは，1人あたり1GBで，保存期間の制限無しにできた．メール関連の主な変遷を**表3**に示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表3　メールサービスの更新履歴

時期	システム，保存容量・日数
2009年7月	Mirapoint，100MB，60日
2009年12月	300MB，60日
2010年3月	Mboxを廃止
2011年2月	有料サービス（10GB，期限なし）
2011年4月	職員・学生 300MB，期限なし
2014年3月	オンプレ　1GB，期限なし
2019年12月	Office 365 Exchange Online

一方，学生は教育情報システムの付加サービス的な位置づけで，全学生にメールのサービスを提供していた．しかしながらディスク容量の制限で，保存容量が30MBと少なく，使い勝手も悪かった．2011年4月から全学基本メール事業室が教職員・学生用のメールサーバを導入し，300MBで保存期限の制約なしで基本メールサービスを提供した．

2011年4月にメールサーバを新システム（CentOS+Postfix+Dovecot）に更新したときに，旧サーバに溜まっているメールを新サーバに移すことができなかったため，新旧のサーバを並行運用し，60日経過すると旧サーバ上のメッセージがすべて消えるのを待つ方針で対応した．

その後，2018年度にメールサーバの更新時期になり，検討を行ったが，これまでのようにオンプレミスのサーバを導入するだけの予算を手当できないことが明らかになり，別途導入していたOffice 365のExchange Onlineを利用することとした．ただ，本学で必要とする機能でExchange Onlineの標準機能では実現できない機能があり，対応に苦慮した．最終的には次に示すような必要な機能を備えたシステムを外付けで開発し，対応した[8],[9]．

1)　利用者へのアカウント作成・変更・削除等に関するメール通知機能
2)　利用者による別名アドレス設定機能
3)　全利用者に対する通知メール一斉送信機能
4)　メール送信アドレスの変更機能

こうした独自機能によるサービスを提供していると，既存のサービスで代替することは容易でないことを実感した．メールは枯れたサービスだと言われるが，ユーザインタフェースやセキュリティ関連は必ずしも十分ではないように思う．

4.2　氏名ベースのアドレス

メールアドレスは学生番号や任意の英数字の塊であることが多い．しかしながら個人の尊厳などを考えると，姓名ベースのアドレスも提供する方がよいと判断し，2012年4月から別名で姓名ベースのアドレスを提供するようにした[10],[11]．

© 2021 Information Processing Society of Japan

職員用基本メールは当初からkyudai.taro.123 のような姓名ベースのアドレスを採用していたが，学生は学生番号をそのままメールアドレスに使うようになっていた．姓名の順番やイニシャルの組み合わせで，いくつかのパターンからメールアドレスを選択でき，このアドレスは学部から大学院に進学しても継続して使える（学生番号は変わる）こともあって，サービス開始後間も無く3,000名弱の学生が利用していた．

2014年3月に職員と学生のメールサービスを統合してシステムを更新したときに，職員にも基本のメールアドレスとは別に姓名ベースでパターンから選択できる同様のサービスを提供するようにした．こちらも少しずつ利用者が増えている．外国人などで，姓名をそのまま機械的に繋げるときわめて長いアドレスになって使いにくい場合に，姓や名を1文字にして省略するパターンを選択すると，短いアドレスに設定できることが評価されている．またミドルネームを含めてもよい場合と含めてはいけない場合など，文化の違いに配慮する必要があり，名前の取り扱いは奥が深い．

4.3　安否確認（一斉送信）

全職員と学生に確実にメールを配送できる仕組みを整備したことから，パンデミックなどの際の情報提供システムとしての有効性を検証することになった．そのために全職員と学生の基本メール宛にメッセージを一斉送信し，メッセージを見た人に確認してもらうための一斉送信システム（安否確認システム）を構築した．この一斉送信システムは強毒のインフルエンザ等に感染したときの対応を強く意識していたので，感染時の症状などを確認するためのアンケート機能を付加していた．

実際に震災やパンデミックが発生したときを想定して，最初は2009年9月1日の防災の日に訓練を行った．その後，年に少なくとも１回は基本メールを使った受信確認訓練を行っている．訓練の結果，最初は必ずしも確認率は高くなかったが，最終的には，正規職員の確認は8割以上，学生の応答は半分弱になった．メールを見てはいるが確認してくれない例がかなりあるようである．この当時の一斉送信システムはパンデミック対応のアンケート機能を使うよりも，全構成員にメールで通知を一斉送信できる点が評価され，日常的な事務連絡等に利用されるようになった[5]．

その後，一斉送信システムの開発にかかわり，その後も保守を行っていた筆者が完全退職の見込みであること，安定して運用するためには人に依存しない体制が必要であることから，大学の方針で（株）アバンセシステムが提供するANPICという安否確認システムに切り替えられた．ただしその後もこの一斉送信システムは使いやすいこともあって，外部業者に依頼して，アンケート機能を除いて全面再構築し，保守契約を結んだ上で，従来とおり通常の事務的な一斉送信のために安定して運用・利用されている．

4.4　ファイル共有システム

（1）添付ファイルの問題

基本メールサービスを開始した当初はメッセージを保存するサーバのディスク容量が少ないことから，保存容量を100MB，保存期間を60日に制限していた．この状況でたとえば，1MBのファイルを1,000名の基本メールに送信すると，メールサーバ上では総計1GBになり，ディスク領域を圧迫する．そのため，基本メールの送受信において，できるだけ添付ファイルを止めてほしいと考えていた．

（2）ファイル共有システム

© 2021 Information Processing Society of Japan

この問題に対応するために，大橋キャンパスの情報基盤室（旧情報処理センター）が実運用で有効性を確認していた（株）ノースグリッドが提供するProselfというファイル共有システム（Shareと呼ぶ）を大学全体用に新たに導入し，2010年5月からサービスを開始した[12],[13]．当初は1GBで2週間保存可能という設定にしたが，2週間では短すぎるという意見と，当初の推定以上にディスクに余裕があることから，2011年1月から4週間に，さらに2011年9月から90日に保存期間を拡大した．

Shareの運用開始後，ファイルが消えずに残ってほしい，学科や研究室で継続してファイルを共有したいという要望が強かったので，もう1台Proselfのサーバ（Archiveと呼ぶ）を導入し，教職員専用に2014年5月から運用を開始した．こちらは10GBで，保存期限の制約なしである．

（3）機密情報の取り扱い

個人のPCに成績情報や機密レベルの高い情報を保存したまま学外に持ち出し盗難に遭う，機密情報をUSBに保存して学外に持ち出し，USBの紛失や盗難に遭遇するという事態が発生し，機密情報の取り扱いが問題になった．Archiveで提供しているProself Diskという機能を使うと，必要なときだけ手元のPCで仮想ドライブのようにファイルを利用でき，使用終了後にキャッシュなどの形でPCにファイルに関連した情報が残存しない．機密情報をProselfに保存し，Proself Diskの機能を使って，機密情報を学外に持ち出さすに，必要なときには利用することができるようにした．その結果，利便性の改善とキュリティの改善を実現できた．

5. 教育情報システム

5.1 端末数の変遷

本学における教育用の端末の種類と台数の変遷を**表4**に示す．当初はホスト計算機に専用端末だったものが，ホスト計算機とPCになり，最後はホスト計算機なしでPCのみとなった．さらにPC必携化で，一部を除いて，これらのPCもなくなった．なお，表4で端末数が太字になっているものは筆者が機種更新にかかわったものである．2017年度の機種更新でクラウドを活用し，VDI（Virtual Desktop Infrastructure）でWindows 10を提供するようにした．2019年度時点でのシステム構成を**図2**に示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表4　教育用端末数の変遷

年度	ホスト名	端末名	端末数
1978	ACOS-7/600	専用	40
1980	ACOS-7/700	専用	**60**
1983	FACOM M-360	専用	**160**
1985	FACOM M-380Q	専用	**188**
1992	FACOM M-770/6	FMR-60HE	245
1996	FUJITSU S-4	FMV-575D	369
2000	FUJITSU GP7000F	FMV-6500	398
2005	FUJITSU PRIMEPOWER	FMV-C330	**598**
2009	なし	iMac	**1087**
2014	なし	iMac	**581**
2017	なし	なし	**0**

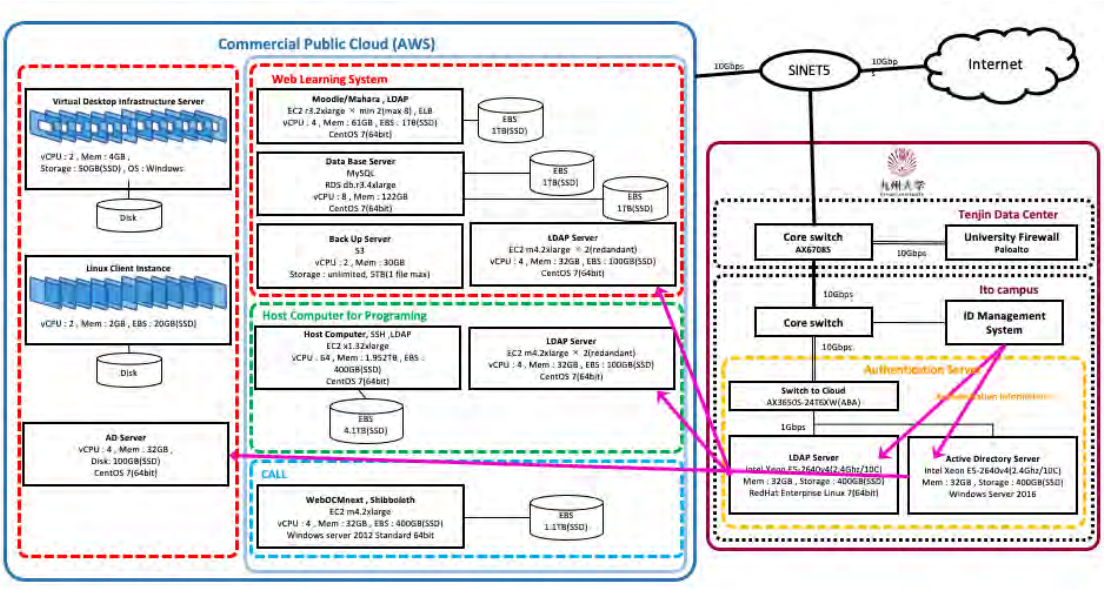


図2　教育情報システム構成図

ホスト計算機については，正確に言うと端末としてのPCからログインして使うホスト計算機としてはなくなっているという意味で，プログラミングやWeb学習用にはホスト計算機と呼ばれるものが存在している．実体はAWSのインスタンス（x1.32xlarge）である．ただし一部の授業でしか利用されていない．このホスト計算機は2020年度末のシステム更新でクラウドを活用したWebベースのプログラミング環境に切り替わり，完全になくなる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

5.2 WindowsからMacへ

教育情報システムとして，2005年度には，情報処理教育センターの流れを汲む情報統轄本部の教育支援事業室と芸工大情報処理センターのレンタル料を統合し，598台のWindows PCを中心に整備した．これらのPCは10部屋のパソコン部屋で提供していたが，台数はまったく不十分であった．そこで，次の機種更新に際して，可能な限りPCの台数を増やすことを目的に，管理システムの撤廃・低廉化，プリンタの廃止を行った[14],[15]．新しいシステムは2009年3月から稼働し，1,087台（買い取り121台を含む）のiMacを中心としたシステムになった．

教育情報システムとして長い間Windows PCを提供していた．Windows PCは量販店などではMacに比べて比較的に安い価格で販売されている．しかしながら，学生の利用後に初期状態に復元できる環境復元の仕組みが必要で，これが意外に高価になり，PC自体が安価でも，システム全体としては価格を押し上げる要因になる．

Mac は OS X になってからベースがUNIXになり，共同利用の仕組みや環境復元という問題に対応するために十分な技術の蓄積があったこと，管理システムが安価ですむこと，PC自体の使い勝手がよいことから，機種をWindowsからMacに変更した．このときに，次の更新ではPCを廃止することも視野にいれて，この決断を行った．

5.3 プリンタの廃止

教育情報システムの利用者には枚数制限はあるが，無料の印刷サービスを提供していた．その結果，先生が100ページを超える授業の資料を学生にファイルで渡して無料プリンタで印刷させる，Webページなどを大量に印刷しても取りに来ず出力が毎日山積みされる，学生がメモ用紙を入手するために白紙を印刷するとかいったような，管理する側から見ると困った使い方が発生し，プリンタの紙やトナー代が年間で500万円近くになるなど，予算を圧迫していた．

PC台数を可能な限り増やすために，無料印刷サービスを廃止することにしたが，学生のグループや部局長から「無料印刷サービスの廃止」を中止するように要請があるなど，学内関係者から強い抵抗があった．その都度，状況や目的を説明して，納得してもらった．ある先生がパソコン部屋に自分のプリンタを持ち込んで学生に提供しようとする例もあったが，実際にはプリンタはまったく利用されず，1回限りの試みで終わった．授業では，基本的には教材の提供，課題の提出等はWeb学習システムを利用してもらえばよい．プリンタの廃止は多くの大学で強い要望となっているようであるが，本学に続いて完全廃止できた大学はいまだにないようである．

芸術工学部では，ポスターのデザインなどの授業があり，印刷・展示して相互に評価する必要性もあることから，大学の生協に依頼して有料プリンタ（A3のカラー対応）を格安の印刷費で提供してもらうなどの対応を行った．ほかのキャンパスにおいても部局の努力で生協の有料プリンタが設置され，学生達はこちらを使うようになった．印刷枚数は，正確な数を把握できていないが，大橋キャンパスで見ると，ほぼ1桁減った．コスト意識の育成も大切だと考えている．なお，研究室には教員が研究費で購入したプリンタがあって，卒研生や大学院生はそちらを使っている．

6. PC必携化（BYOD）

6.1 必要性と問題点

© 2021 Information Processing Society of Japan

本学は2013年度からPC必携化（BYOD：Bring Your Own Device）を開始し，6年制の医歯薬系の学部を含めて，学年進行で2018年度に完了した．現在はすべての学部学生が個人PCを活用して授業や学習をこなしている．BYODは本来行うべき教育があって，それに対応するために必要な情報環境を整備するのが本筋である．個人にPCやタブレットの必携化を先に決定し，それに合わせて教育内容を対応づけるというのは本末転倒である．ましてPC購入の掛け声だけで，入学すると実はPCを使う授業がないという事態は決して望ましくない．

しかしながら多くの大学では情報システムの経費節減や省力化のためにBYODの推進を検討しているようである．本学の実施例を参考にしたいと国公私立大学から多くの来訪があった．また多くの講演も依頼された．しかしながらほぼすべての来訪者が情報関係者だけであり，中には納入企業の技術者や営業担当者だけが訪問されたこともあって，BYODに対する認識の違いに愕然とした．

6.2　移行の背景

2005年当時，学生が利用できるPCは次のような状況であった．

- PCの台数が学生数に比べて圧倒的に不足している．
- そのため混んでいるパソコン部屋は時間割ベースで8割近くが授業で占有されており，時間がある学生がPCを使って学習しようとしてもほとんど空いている状態がない．

そのため第5節でも述べたように，レンタル料の統合に加えて，PCをWindowsからMacに変更，プリンタの廃止などを行って学生が利用できるPC台数を増やしたが，状況は改善されなかった．

当時の全学教育によるアンケート調査では，1年生のほぼ95%が自分のPCを購入していることもあって，次のシステム更新に際しては，パソコン部屋を廃止し，学生が自分で購入して持参するPCを使って何時でも，何処でも，自由に，自分のペースで学習できる体制（BYOD）に移行する必要があると判断した．

6.3　移行期間

2013年度からPC必携化を開始した．当初の予定では教育情報システムの更新は2013年3月であったが，次のような事情で1年延期した．

- 2014年度開始で全面見直しを行っている基幹教育の教育課程の開始時期に同期してほしい．
- 2013年度の1年生の情報処理関係の授業を個人PCで行うことは問題ないが，PCでCALL（Computer Assisted Language Learning）システムを使って行う語学の授業では不安なので，初年度はこれまでどおりレンタルのPCを使い，その間に個人PCでの実施の可能性を検証したい．

2014年度からは基幹教育用のパソコン部屋を全廃し，基幹教育の授業はすべて個人PCを使って実施することになった．一方，専門教育用のパソコン部屋は学年進行で4年生まで個人PCを持っている状態になった時点（2017年3月）で教育情報システムのパソコン部屋を全廃（医学図書館分，大橋分を除く）した．

6.4　別途維持するパソコン部屋

（1）医学図書館パソコン部屋

© 2021 Information Processing Society of Japan

2017年度からはパソコン部屋は全廃する予定であったが，6年制の医学系学部のきわめて強い要望があって，2017年4月から1年間は，それまで設置していた60台のiMacを買い取って（経費は情報統括本部と部局で半分ずつ負担）現状維持とした（2018年3月まで）．そのため認証システムやファイルサーバをさらに1年間維持するために予定外の出費が発生した．

（2）大橋キャンパス

大橋キャンパスでは，教育に必要なソフトウェアを個人PCで使える契約を行えなかったので，レンタル済みのiMac50台を買い取ってパソコン部屋を継続していた．結局，必要なソフトウェアを個人PCで使える契約の見通しが立たないことから，元々持っているレンタル料を使って2020年度から大橋キャンパスではパソコン部屋をレンタル契約で公式に維持する体制に変更した．

6.5　無線LAN

PC必携化を実現する際に，学生が自分で購入したPCを大学に持参して，何時でも，何処でも，自由に，自分のペースで学習できる環境を実現するためには，学生が個人PCをネットワークに自由に接続できる環境が必要である．そこで，教育用無線LAN（EDUNET）を整備した．整備状況を**表5**に示す．約7割の講義室に教育用無線LANを整備できた．

表5　教育用無線LANアクセスポイント設置状況

キャンパス		部屋数	AP台数
大橋		26	48
筑紫		21	36
馬出		48	91
伊都	センターゾーン（基幹教育）	86	173
	ウエストゾーン（理工農）	122	234
	イーストゾーン（文系）	50	76
	その他（図書館，情報基盤研究開発センター）	11	13

2012年度に行った予算要求で，無線LANだけの予算要求では難しいということで，PC必携化，2011年4月に設置された教材開発センター[16]の設置と電子教材の開発・支援・普及などとセットにして申請し，予算獲得できた．

EDUNETは，IEEE 802.11nで5GHz帯を中心に使うことで，300人部屋で，1人あたり300Kbpsでビデオ教材等を視聴しても，円滑に授業を行えることを目標とした．2013年3月下旬から運用を開始し，一般公開直前に実測したところ，PC単体での通信速度に130Mbpsを確保

© 2021 Information Processing Society of Japan

できた．その後，40名程度の授業で，学生のPCでWindows Updateが一斉に走っても支障がないこと，300名の学生がCALLシステムを使って授業を行っても支障がないことを確認できた．

こうしたPC必携化などでネットワークを整備する際には，教材の内容（大きさ）や利用方法まで考慮して設計しないと円滑に教育を行えない．ネットワークの適切な設計と整備は重要である．

6.6 ファイヤーウオール

（1）必要性

本学では，当初は大学全体を守るファイアウォールに相当するものはなく，IDS（Intrusion Detection System）を活用するなどしてセキュリティを維持してきた．セキュリティホールがあるPCなどが外部から直接アクセスできると，PCが攻撃され，侵入され，悪用される可能性が高い．また著作権侵害を引き起こすファイル交換ソフトウェアの利用も大学としては禁止しているが，なかなか守られない．

こうした問題に確実に対応するためには大学と外部との接続点にファイアウォールを設置し，不適切な通信を規制すると効果的である．そのために2011年3月にセキュリティポリシーにおける対外接続の基本方針を「本学では，外部情報ネットワークとの接続点にファイアウォール等の管理装置を設置し情報セキュリティの保持を行う対外接続を原則とする」に改訂した．

（2）導入と運用

利用者に不便な思いをさせず，効果的に通信規制をするには，IPアドレスやポート番号で規制する従来型でなく，ヘッダーを解析して通信規制を行う次世代ファイアウォールの導入が効果的である．2012年3月に導入したPaloalto 5050は，たとえばP2Pのトラフィックでも，ファイル交換は規制するが，Skypeは通すことができる．

ファイアウォールの導入当初は，実際の通信状況を把握するために，1年間にわたり通信のモニタだけを行った．その結果に基づいて，できるだけ利用者に不便をかけない設定にして，PC必携化が始まる2013年3月から本運用を開始し，ファイル交換ソフトウェアの通信が遮断されていることを確認した．さらに，広く危険と見なされているURLへのアクセスも規制した．

（3）サイバー攻撃への対処

ファイアウォールを導入してまもなく，サイバー攻撃が活発になり，本学においてもさまざまな攻撃を受けるようになった．たとえば，複合機（スキャナ，コピー，FAX，プリンタ機能などを統合したもの）が外部からのアクセスによって情報漏洩を引き起こす事態が発生したため，2013年12月18日からHTTP／HTTPSの通信規制を開始した．ほかにもBaidu IMEやShimeziなどの日本語入力関連の問題が発生し，その度に速やかに規制を行った[17]．

さらに外部からのサイバー攻撃が激化すると予想されるお盆などの時期に通信規制を行うこととし，2013年8月から，期間限定で通信規制を実施した．

その後，通信規制を解除しないという方法で，2015年8月26日から永続的に通信規制を開始した．基本的に外部発の通信は制限する，内部からもC&Cセンターへのアクセスなど不都合なアクセスを規制している．外部に情報を提供する約1000のWebサイト等については外部からの通信を受けられるように個別に通信規制を解除している．

© 2021 Information Processing Society of Japan

6.7 ソフトウェアの提供

すでに「ソフトウェアの包括契約」でも述べたように，大学で行っているソフトウェアの包括契約を活用して，セキュリティ対策ソフトとOffice（Word，Excel，PowerPoint）については無償で提供できる体制になっている．その結果，学生の経済的な負担を軽減できている．

6.8 部局説明会

大学の意思決定・情報伝達の常として，たとえば，最上位の部局長会議で筆者が10分間説明して決定された議題も，最下位の学科会議レベルでの報告では議題の項目が読まれる程度に省略される．そのためPC必携化を実現するために多くの会議で説明し，了解をもらっても，現場の先生達にはほぼ何も伝わらない．この状態を改善するために16部局を対象に個別に説明会を実施し，PC必携化の必要性や可能性について直接先生達に説明し，質問に答えることで，理解を得た．約2カ月で，30分から1時間程度の説明会を16回開催し，約700名の教員に参加してもらった．

どの会場ででも出た質問・意見と回答は次のとおりである．

- WindowsとMacのどちらがよいか？
  学生に何を教えたいかに依存するので，学科の教育に最適なPCをそれぞれ学科で選択してほしい．
- 情報統括本部のサポートは？
  Windows と macOS のどちらもサポートする．
- ネットワークにはどう接続するか？
  IEEE 802.11nの新しい教育用無線LANをほとんどの講義室に整備するので，これを利用してほしい．300人部屋で，動画等の教材（300Kbps）を全員が一斉に見ても大丈夫な設計をしている．
- 電源は？
  講義室の机にコンセントを整備できれば安心であることは分かるが，講義室の机にコンセントを整備すると大学全体で数億円の経費が必要になるので，今回は特段の整備を行わない．最近のPCの電池は長持ちするので，当面は電源コンセントなしで対応してほしい．
- 経済的に苦しい学生はどうするのか？
  PCの価格は十分に低下しており，Windows PCであれば10万円弱で購入できる．もしPCを購入できない学生がいるようなら学科で対応してもらいたい．本学に入学しようとする学生は4年間で入学金，授業料を合わせて250万円以上が必要で，それにPC代金が追加されると考えてほしい．実際にはPCを購入できないという事例は一件も発生しなかった．

6.9 PC講習会

（1）必要性と作業内容

学生にPCを購入して，大学に持参するように指示するだけでは，円滑な学習を期待できない．他大学では，授業のはじめにいろいろと混乱したという話もある．そこで，PC講習会を実施し，授業に支障が出ないようにしている．

PC講習会では，主に以下のような作業を行い，最初の授業から支障が出ないようにしている．

- アカウント（SSO-KID）の有効化を行う
- セキュリティ対策ソフトウェアをインストールする
- Officeをインストールする

© 2021 Information Processing Society of Japan

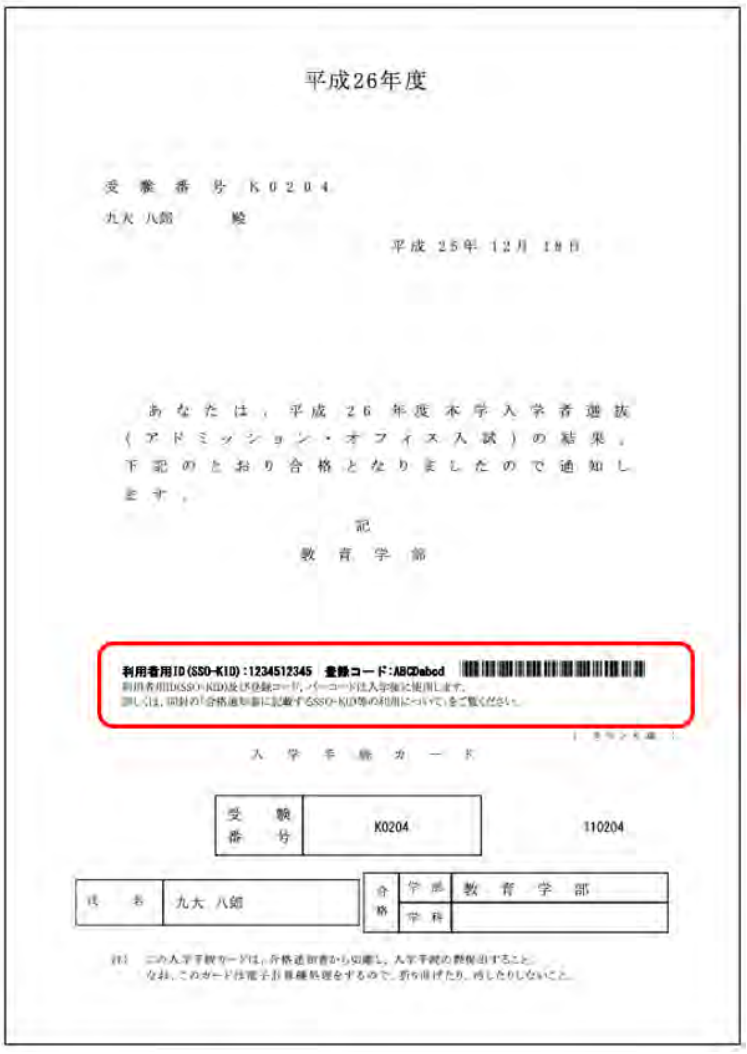
- Mac指定の学科では，Mac にセキュリティ対策ソフトウェアとOffice をインストールし，さらにWindows をインストールし，同様のソフトウェアをインストールする

2013年度に行った最初のPC講習会において，Windows 8やMac OS Xに対応するために準備したドキュメントは合計で440ページになった．その後も増える傾向にある．このドキュメントと必要なソフトウェアのファイルを一緒にUSB（書き込み禁止機能付き）に入れて，USBを貸し出した．必要なファイルをコピーする等，最初の必要最小限の説明書については印刷して配布した．

（2）運用の工夫

事前に学部の全入学生に連絡して，入学式の前（2013年度は4月2〜5日）に学科ごとに指定されたPC講習会に参加するように指示している．

学生は入学式前に学生番号を知る手段がないために，学生番号で識別できない．そのために，最初のとき（2013年度）には50名弱のクラスで参加者の確認に30分程度かかった．翌年（2014年）のPC 講習会では，合格通知に記載されているSSO-KID（**図3**）をバーコードリーダで読むことで，同様のクラスの受付がほぼ5分で完了できた．



平成26年度

受 験 番 号 K 0 2 0 4

九大 八郎 殿

平成 25年 12月 18日

あなたは，平成 26 年度本学入学者選抜（アドミッション・オフィス入試）の結果，下記のとおり合格となりましたので通知します．

記

教 育 学 部

利用者用ID (SSO-KID) : 1234512345　登録コード : ABCDabcd

入 学 手 続 カ ー ド

受験番号	K0204	110204

氏名	九大 八郎	合格	学部	教育学部
			学科	

図3　合格通知例

PC講習会では**図4**に示すようなチェックリストに従って，順番に作業を行い，最後まで作業したら完了というように分かりやすくしてある．

チェック欄	内容	マニュアルの場所・資料番号	
① マニュアル閲覧の準備			
□	Adobe Readerをインストールした。	紙	–
② 学生IDの有効化			
□	ネットワーク（activate）に接続した。	USBメモリ → 講習会フォルダ → Windows → マニュアル	2
□	IDの有効化をした。		3
③ ソフトウェアのインストール ※「8.Windows8ライセンス認証…」は行わなくてよいです。			
□	自分のパソコンが32bit / 64bitか確認した。＿＿Bit	USBメモリ → 講習会フォルダ → Windows → マニュアル	4
□	ネットワーク（edunet）に接続した。		5
□	もとから入っていたOfficeを確認して，ある場合は削除した。 ※もとから入っていたOfficeを利用したい場合は，そちらを利用しても問題ない。		6
□	Office2013をインストールした。		7
□	Office2013の認証プログラムを実行した。		7
□	Javaをインストールした。		9
□	もとから入っていたウィルス対策ソフトを確認して，ある場合は削除した。 ※もとから入っていたウィルス対策ソフトを利用したい場合は，Symantec Endpoint Protectionをインストールせずそちらを利用しても問題ない。		10
□	Symantec Endpoint Protection をインストールした。		11
□	Thunderbirdをインストールした。		12
□	「持帰り資料」フォルダをデスクトップにコピーした。	USBメモリ → 講習会フォルダ	–

図4　チェックリスト（Windows用）

（3）参加状況とCOVID-19対応

2013年度のPC講習会では，2,688名の新入生のうち，欠席は33名であった．その後も欠席する学生は毎年30名程度が続いている．欠席した学生は，所属学科の関係者に連絡して，対応をお願いしている．

2020年度の入学生は，当初は対面のPC講習会を予定していたが，COVID-19の感染拡大防止のために急遽オンライン方式に切り替った．特別な配慮が必要な学生やどうしても参加できない学生のために，また将来は自宅等で全部作業してもらえるように説明資料を準備し，オンラインで公開しており，これまでも約3分の1の学生はPC講習会には参加せずに作業を完了していた．今回，突然ではあったが，準備はできていたため，例年とおり99%の新入生がオンラインベースで作業を完了できた．

7. 遠隔講義システム

7.1　必要性

本学は2009年10月の六本松キャンパスの伊都キャンパスへの移転完了当時，11の学部と18の学府からなる総合大学であった．その後の2018年9月の移転完了まで，5つの主要キャンパスに分散して教育が行われた．本学では，学問分野をできるだけ幅広く学べるように総合選択履修科目や大学院共通科目という枠組みが設定されている．しかしながらキャンパス間の移動などを考えると，他キャンパスの授業の聴講は容易ではなかった．

© 2021 Information Processing Society of Japan

こうした状況を踏まえ，2007年7月に「遠隔講義・会議システム整備プロジェクト」が発足し，筆者がリーダとして，遠隔会議・講義システムiClass （ICLASS：Inter Campus Learning Assistant System）の整備を行い，2009年10月から運用を開始した[18],[19],[20].

7.2　iClass

この遠隔講義システム（iClass）はユーザインタフェースをタッチパネル方式（**図5**）で直感的に使えるように工夫しており，主要5キャンパスを8部屋でカバーし，キャンパス間の授業を行える．しかしながら，同時接続が3カ所までで，それを超える授業の場合にはMCUを利用する必要があり，通常の遠隔会議システムの集合体とあまり変わらない使い方になった．大学院共通科目には海外も含めて10カ所程度を同時接続する授業があることから，不満となっていた．また，当時は価格の都合で標準画質（SD）にせざるを得なかった点も不満であった．

図5　iClassのコンソール

このときに導入したiClassは他にも次のような特徴を有するシステムで，当時としては先進的なものであった．

- 遠隔の装置の電源投入・切断が可能
- 遠隔からカメラ，スクリーンに投影される映像の切り替え等の操作が可能
- 豊富な映像の提供
  教室の前（学生を撮影）と後ろ（教師とスクリーンを撮影）のカメラ，PCや書画カメラ，DVDなどの映像ソースを接続先に送信することが可能

7.3　qClass

2014年4月に新しい遠隔講義システム（qClassと命名）に更新したが，その際に次のような配慮をした．

© 2021 Information Processing Society of Japan

- 多数の講義室を接続する大学院共通科目等を考慮し，講義室系の設置場所を増やす．
- 合わせて同時接続個所を，MCUを中心にして，従来の3カ所から最大45カ所まで拡張する．
- 箱崎キャンパスの本部機能移転に合わせて，会議の中心が箱崎から伊都に移ることを考慮し，会議室系を新規に追加整備する．
- 画質を標準画質（SD）から高画質（HD）に改善する．

MCUを中心に据えた構成にしたために，遠隔の講義室等の電源を手元（教員側）から制御できなくなり，遠隔地に人手（TA）が必要にはなったが，システムとしての経費は半分以下に，設置場所は，大講義室3式，小講義室12式の計15式，会議室7式，総計22式と約3倍に増やせた．

新システムでは，教卓型の収納ケースの中に設置している遠隔会議システムの本体装置が熱に弱く，教卓型の収納ケースの中に籠る熱のために，当初トラブルが頻発した．最終的には，当該装置だけ教卓型の収納ケースに外付けすることで改善したが，原因の追及と対応には時間がかかった．

新旧の遠隔講義・会議システムは通常の授業以外にも，総長の年頭の挨拶，科研説明会の中継，その他全学的な規模のイベントの中継などにも利用された．

7.4　設備の移設と運用終了

箱崎キャンパスの移転進行に伴って，不要になる設備が出ることから，2018年9月末で箱崎の設備3式を先行撤去・移設した．また伊都キャンパスへの移転が完了した時点で「もう必要ない」との経営判断で，予算配分がなくなったので，2019年3月までの運用となり，情報統括本部が運用する遠隔講義・会議システムの設置・運用は終了した．

現実には，大学院共通科目，学部専門科目，高年次教養科目などの受講生が複数のキャンパスにまたがる授業があり，qClassが完全になくなると教育に支障が出ることから，それまでリースで導入していた機器を安価に買い取り，各キャンパスで最低限の機能を維持できる体制にはした．

8. Web学習システム

8.1　必要性

Web学習システムを利用することで，教材の提供，課題の提出・採点，出席管理など，より効率的な学習支援が可能になる．また最近では保存された学習履歴を分析することで，教育・学習方法を改善できるようになった．本学ではいくつかのWeb学習システムを切り替えながら利用を拡大し，教育改革につなげている．

8.2　Web学習システムの変遷

本学では，2002年度から一部の教員有志がWebCT（後にBB9：Blackboard Learn R9.1 に名称変更）を使った授業を行っていた．WebCTの利用が拡大し，機能拡張が進む中，当初は問題にならなかった運用経費が，2007年度には約900万円に近づくなど，予算的にこのBB9の維持が困難になった．そのため，当時普及し始めていたオープンソースベースのMoodleとMaharaへの切り替えを計画した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

Web学習システムをBB9からMoodleに切り替えるにあたっては，コンテンツの移行が問題になった．ツールを使うなどして自動的に全面移行ができればよかったが，当時はそれが困難であった．また自動的に全部移行するとすでに不要なコンテンツまで移行し，ディスク容量を圧迫することから，利用者が自分で必要なコンテンツだけを移行してもらう方針にした．動画のコンテンツの移行は手間がかかり利用者に迷惑をかけることになった．コンテンツの移行や新システムの習熟には時間がかかることから，2016年度末までの1年半にわたってBB9とMoodleを並行運用し，時間をかけて順次移行してもらった．

MoodleとMaharaに加えて，デジタル教材配信システムとしてのBookLooperも提供した．BookLooperはNICTのプロジェクト予算をもらって京セラコミュニケーションシステム（株）と共同開発したシステムで，PDFにした教科書を登録することで，学生が見ているページの順番，ページに書き込むメモやマーカーなどを記録できるシステムである．ただ，当時は授業が始まる前に1学期分の教材を事前に登録しないといけない，その登録も自分ではできないといった使い勝手の問題があった．

その後，独自開発のBookRollに切り替え，使い勝手はかなり改善された．さらにソフトウェア自体の著作権に配慮して，本学ではオープンソースベースのBookQと名付けたシステムを現在では使用している．Moodle，Mahara，BookQを合わせてM2Bシステムと呼んでいる．

8.3　情報統括本部の関与

基幹教育院の有志が運用を始めたMoodle，Mahara，BookLooperの運用であるが，最初は有志の授業で，その後で基幹教育の情報系の授業で利用するようになり，さらに基幹教育の授業全体で，最終的に大学全体で使用する方向になっていた．こうしたシステムを研究室や部局レベルで運用することには無理がある．情報統括本部では，WebCT（BB9）の維持経費のこともあって，それまで全学で利用してもらっていたWeb学習システム（BB9）を2015（平成27）年10月から「Moodle，Mahara」に切り替え，大学全体での運用に備えて，引き取ることにした．

8.4　クラウドの採用

情報統括本部がM2Bシステムの運用を引き取ったときはオンプレミスのサーバで運用していたが，負荷の増大への対応などを考慮して，2017年6月1日からサーバをクラウドに移行した．初めてのクラウド利用であり，後述するように，機密保持などの対応をどうするかなど，検討すべきことが多く，本来は4月からの運用が望ましかったが，仕様書の作成や事務手続き等に時間がかかり，2カ月遅れた．

8.5　Moodle運用上の問題

M2Bシステムをオンプレミスからクラウドに移した結果，想定外のトラブルに遭遇した．当初はマルチサーバにして，負荷に応じて性能を動的に変更し，十分な性能を維持しつつも運用経費を節約しようと考えていた．しかしながら負荷に応じてロードバランサーでサーバを切り替えると，次のような状況で，セッションが切断され，問題になった[21]．

- 接続しているサーバ上で一時的な作業ファイルが保存される．そのためロードバランサーが別のサーバに切り替えると，元のサーバの一時的な作業ファイルを参照できないため，必要な情報が入手できず，処理を失敗する．
- 複数のサーバで一時的な作業ファイルを共用できるように一時的な作業ファイルをネットワーク上の共有ファイルにすると，アクセス性能が低下し，Moodleの性能が低下する．
- 性能を上げるために各サーバがキャッシュを使うと，別のサーバとはキャッシュが同期さ

© 2021 Information Processing Society of Japan

れないため，キャッシュを無効にする必要があり，その結果，やはり性能が低下する．

セッションを確実に維持できるように一度接続したサーバに再接続するようにロードバランサーを設定すると，結果的に負荷分散にならず，期待した性能を発揮できない．

また負荷が下がったからとアクティイブなセッションが残っているサーバを停止すると，それらのセッションを継続できない．つまり負荷に応じてインスタンスを増やすことは問題ないが，インスタンスを停止するためにはタイミングが問題になり，インスタンスを減らすことは難しい．

このように性能の低いサーバを複数台稼働して負荷の増減に追随する試みは，セッションの維持と性能の両立が困難で，期待する性能を得られないことから，まとめて1台の高性能なインスタンスに切り替えて運用する方法に切り替えた．こうしたシステム構成の変更はクラウドならではある．

8.6 COVID-19

2020年春からの新型コロナウィルス（COVID-19）の拡大に伴って，大学全体の授業がオンラインベースに移行し，ほとんどの授業でM2Bシステム，特にMoodleが使われるようになった．当然，負荷が増え，リソースの増強が必要になったが，クラウドに移行していたために，メモリやディスクの増強を手際良く行うことができた．

9. 教育データとLA

9.1 背景とこれまでの経緯

ICTの進化・発展に伴って，ICTと教育の融合が進み，大学における教え方や学び方が変わろうとしている．電子教材の普及やオンラインの学習支援システムの利用が進むにつれて，学習履歴のデータが蓄積され，学習履歴の分析（LA：Learning Analytics）が可能になる．適切な学習分析を行うことによって，教員の教え方や学生の学び方の改善が可能である．大局的に見ると大学全体，あるいは広く世界を視野に入れた教育改革が可能である．

本学では2013年度からPC必携化（BYOD）を開始したことから，M2Bシステムの利用が進み，最近では日々20万件程度の学習履歴データが蓄積され，全学規模で学習履歴等の教育データを利活用できる環境としては世界トップレベルを維持している．この蓄積される教育データを解析することで，授業の改善や学び方の改善を行えることから，本学ではLAC（Learning Analytics Center）を設置して教育データの解析に基づく教育改善に積極的に取り組んでいる[22],[23]．これに関連する本学の大きな出来事の経緯を**表6**に示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表6　本学におけるLAの展開

開始年月	内　容
2013年4月	PC必携化開始
2014年4月	基幹教育開始
2014年10月	基幹教育情報系科目でM2Bの利用開始
2015年4月	基幹教育全科目でM2Bの利用開始
2015年10月	全学部・大学院でM2Bの利用開始
2016年2月	基幹教育院LAセンター設立

9.2　教育データ活用の方針

学習履歴等の教育データは個人の情報を含んでいることから，誰でも自由に利用してよいものではない．2019年度に本学関係者で教育データの取り扱いを検討し，次のような方針になっている☆1．

（1）運用システムと研究システムを区別

これまでは運用システムとしてのM2Bシステムの学習履歴データを，プライバシーには配慮しながらも，そのまま研究にも使用しており，運用と研究が明確に分離していなかった．今回の議論で，運用と研究を明確に分離し，運用システムで得られた教育データについては明確な手順や体制ができるまでは外部組織や研究者には提供しないこととした．

（2）データ利用の同意の取り方

2019年度現在では，M2Bシステムの学習履歴などの教育データを利用する同意書については，特定の研究で利用することを想定しており，一般的なデータ利用の同意書になっていない．一般的な枠組みに対応した同意書・プライバシーポリシー・利用規約を決め，同意書の文面を改訂する必要がある．

その場合の同意書は，利用者や利用範囲，目的に対応して，学生が選択できることが望ましい．M2Bシステムにおいて提示するデータ利用の同意書については，最終的には法務，知財，弁護士と相談して作成する必要があろう．

（3）利用目的とデータの種類に応じたデータ扱い

教育データについては，M2Bシステムだけでなく，健康データ，学務部保有のデータなど，さまざまな部署のさまざまなシステムに各種のデータを蓄積されている．すでに収集・蓄積されているデータだけでなく，たとえば学生の指導を行うにしても何をどこまで対応したいのかを議論し，今後収集・蓄積すべきデータの取り扱いを検討する必要がある．

M2Bシステムで収集されている教育データに限定しても，学生が自分の学習改善に利用，教員が担当授業の改善に利用する場合，事務組織による教育改善のための学内利用においては，特に利用に制約はないと考えられる．しかしながらオープンデータのような形で外部の組織や研究者への提供については，同意書の整備に加えて，生データではなく，仮名化や匿名化しプライバシーを守れる提供の仕方を実現するなど，明確な基準や提供体制の構築が必要であろう．

10．クラウド

© 2021 Information Processing Society of Japan

10.1 利点と必要性

当初，クラウドの利用はセキュリティ上の問題を考慮して，使われていなかった．しかしながら次のような利点を考慮して，クラウドを利用しようという機運が盛り上がってきた．

- 次の例のような場合に，負荷変動に合わせて柔軟に資源を増減できる可能性がある
  ✓教育利用では，昼間の利用は多いが，夜間は利用が少ない
  ✓授業期間中は利用が多いが，長期休暇中は利用が減る
  ✓入試の合格発表では，ごく短期間（約1週間）だけ必要で，それ以外は不要である
- システムの性能増強が必要になったときに，資源（CPU，メモリ，記憶装置）の増強が容易にできる
- ソフトウェアとハードウェアの契約を分離して，システム更新の自由度を改善できる
- 電気使用料をキャンパスの契約から外せる
- 設置スペース（免震サーバ室）を占有しない
- オンプレミスのサーバを一括購入する場合に比較して，経費の支払いを平滑化でき，予算を計画的に準備できる（一括購入資金）

10.2 クラウド選定基準

クラウドを利用する場合には，認証データ，学習履歴などの重要データをクラウドに保存する可能性がある．クラウドのセキュリティを議論するときに，学内と同じグローバルIPアドレスを割り付け，実際は遠隔地にあるが，あたかも学内ネットワークの一部のように見せると，納得してもらえる場合が多い．そのためAWSのDirect ConnectやAzureのExpress Routeと呼ばれる接続形態を採用し，SINET経由でNIIとクラウドが直接接続するVPN接続とした．この接続方式は，インターネット経由の一般的な接続よりも信頼性が高く，セキュリティが強固になる．

次にクラウドの選定する上で，次のような配慮を行った．

- 経済合理性があること
- 安心感があること
  ➢市場で受け入れられていること
  ➢法律上の問題
    •データセンターの場所問題
    •管轄の裁判所
  ➢内容の保護（CIA - 機密性：confidentiality，完全性：integrity，可用性：availability）
  ➢基本的にはIasS （Infrastructure as a Service），PasS （Platform as a Service）として自前で運用

10.3 Webサーバ

クラウドを使用する最初の試みとして，学外に情報提供している1,000台以上のWWWサーバを対象に考えた．それらは次のような特徴を有する．

- 学部，学科，研究室等で独自に運用している．
- 定期的にハードウェアの更新が必要になる．
- 運用担当者（若手職員）の負担を無視できない．
- セキュリティ上の問題（ソフトウェア，コンテンツ）があるサーバが存在する，
- 問題発生時に情報統括本部が直接介入できない．

© 2021 Information Processing Society of Japan

これらのWebサーバをクラウド上に集約して，経済性，安定性，セキュリティの確保を実現したい．そうした方針に沿って，最初に本学の公式Webサーバをクラウドに移行する試みを行った．外部に公開するWebサイトでは，学内限定で情報のアクセスコントロールを行っているものあるが，基本的には高度な機密情報が含まれていないことから機密保持の問題を軽減できる．

この切り替えのときに「学内限定（学内から本学のIPアドレスからの接続のみ許可）」のデータは，構成員が学外でも構成員限定の情報をアクセスできるようにSSO-KIDで認証し，場所に関係なく，構成員が学内限定情報を参照できるようにした．このサーバは総務課の広報担当が内容の管理・更新を行い，安定して運用できている．

続けて，部局のWebサーバをクラウドに移行することとし，まずは芸術工学関係の19ドメイン分をクラウドに移行した．外部に出すために認証方式の変更が必要であったが，これも問題なく移行できた．その後，他のWebサーバについては情報統括本部が提供しているホスティングサーバ（クラウド上）で受け入れるものが増えている．

10.4　VDIシステム

PC必携化によって，すべての学部学生が個人PCを使って学習するようになった．しかしながら個人PCであるが故に，たとえば同じWindows PCであっても微妙に環境（設定）が異なり，演習などを行うときに問題になる可能性があった．そこでVDI（Virtual Desktop Infrastructure）を利用して，個人PCにおいても完全に同じ環境を提供できるようにした．これにはAWS（Amazon Web Service）のサービスを利用している．システム名をQUEENS（Kyushu University Educational ENvironment Services）と名付けている．**図6**にMac上でVDIを使ってWindows 10を起動している画面例を示す．

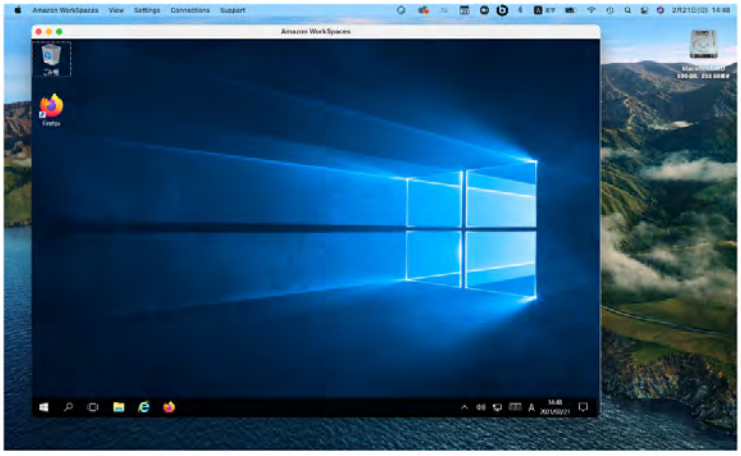


図6　VDIによるMac上のWindows 10例

授業でVDIを使用する場合に，どのくらい速やかに起動できるかが重要であると考え，一度に約200台のVDIインスタンスを起動するテストを行った．

- このVDIが収容されているAWSの東京リージョンで2017/8/28 21:23より199台の環境作成テストした結果，最速が11分，最遅が112分であった
- 比較として，ノースバージニアリージョンで2017/9/30 21:01:23より200台の環境作成

© 2021 Information Processing Society of Japan

テストを行った結果，最速が9分，最遅が49分であった

2カ所のリージョンでのテスト結果を**図7**に示す．性能の違いが歴然としている．ただし，東京リージョンはできて間もなく，当時は十分な資源がまだなかった可能性がある．この結果から，VDIインスタンスを作成して起動するには最速でも約10分間が必要なことである．したがって授業中に「さあWindowsを動かして」とすると，多くの学生は起動が間に合わない．少なくとも授業の前日にWindowsのインスタンスを作成するよう指示することが必要である．

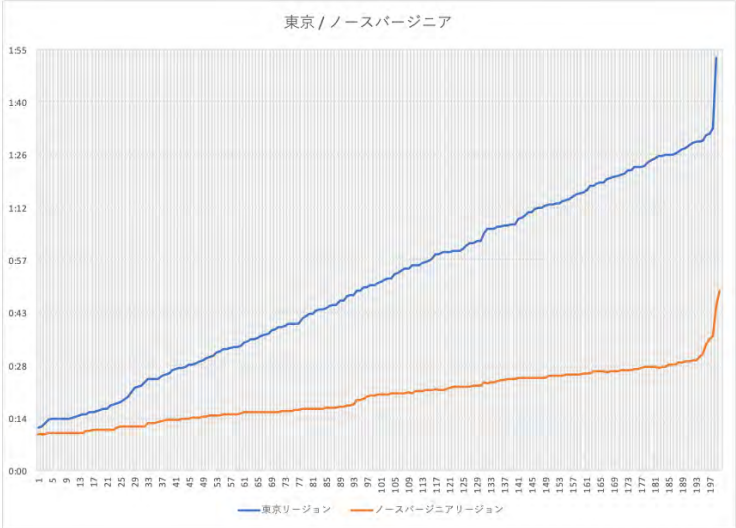


図7　VDI同時作成テスト（東京：北バージニア）

10.5　VDIの利用料金

VDIを利用できるようにする場合に，通常のやり方では決まったライセンス数を購入し，それを，予約システムなどを利用して，一定時間だけ利用する方法が多い．しかしながら，それではライセンス数の上限で制約が発生し，何時でも，何処でも，自由に使う環境を提供できない．ここではすべての学生が必要なときに人数制限なしに利用できる体制を構築する．

AWSのVDI利用には，月額の基本料金（14ドル／月）と時間あたりの利用料金（0.4ドル）がかかる．月額基本料金がそれなりに負担になり，無視できない．そこで基本的には月末に自動的にWindowsのインスタンスを削除するものとし，削除されると困る場合には利用者が「月末に削除しない」という設定を行う仕組みにした．

そうした仕組みを円滑に行うために管理ポータルを作成し，細かな制御を行えるようにした．VDIの管理ポータルの主な機能は次のとおりである．

- ユーザ管理
- Windows管理（個数，延起動時間，月末削除無効，検索・一括処理）
- Linux管理（個数，延起動時間，月末削除無効，検索・一括処理）
- クレジット（予算）申請
- 問合せ処理
- お知らせ
- データ管理（OSごとクレジット額，累計）

© 2021 Information Processing Society of Japan

学生は1人あたり300ドル（利用者にはクレジットという表現で説明）の使用枠を持ち，その範囲内でWindowsとLinuxを利用できる．Windowを1カ月間稼働し続けると288ドル，Linux（1時間0.032ドル）を1年間稼働すると280ドルである．つまりWindowsは1カ月間，Linuxは1年間，連続して稼働できる料金設定にしてある．

10.6 クラウドのCIA

クラウドを本格的に利用開始するに際に， Confidentiality（機密性），Integrity（完全性），Availability（利用可能性）の3つが問題になった．最初にAWSのクラウドを利用する際に，これらについて厳密な検討を行った．

（1）Confidentiality（機密性）

- Webサービスなどの通常サービスからの情報漏洩
- AWSの管理者アカウントを利用した情報漏洩
- AWS上の仮想マシンイメージ（AMI・スナップショット・EBSボリューム等）の漏洩
- EBSボリュームの暗号鍵の漏洩
- 仮想マシンへの管理者アクセスによる情報漏洩
- 通信回線の盗聴による情報漏洩
- データが国外に持ち出されることによる情報漏洩
- 廃棄されたボリュームによる情報漏洩

（2）Integrity（完全性）

- Webサービスなどからの改ざん
- AWS管理者アカウントからの仮想マシンイメージの不正操作
- 仮想マシンへの管理者アクセスによる改ざん・不正操作

（3）Availability（可用性）

- サービスに対する妨害攻撃
- 保守などによる停止
- 電源喪失によるサービス停止
- ネットワーク断によるサービス停止
- 物理サーバ障害によるサービス停止・データ喪失
- AWS管理者アカウントへの侵入によるサービス妨害
- 仮想マシンへの管理者アクセスによるサービス妨害

検討した結果，最終的にこれらの条件を満足していることが確認でき，M2Bシステムなどをクラウドで運用できることになった．

10.7 クラウド利用の問題点

（1）クレジットカード問題

AWSの料金支払いは基本的にクレジットカード決済である．大学の法人カードでクラウド利用料金の支払いを決済できれば，簡単で余分な手数料は不要で，何も問題は起こらない．ただ大学の本部（財務部）は大きな金額を法人クレジットカードで毎月支払うことに抵抗があるようである．その場合には間に業者に入ってもらって，立替払いをして貰えば解決できるが，手数料が発生する．

（2）保守

© 2021 Information Processing Society of Japan

クラウドを使い始めると，当然ながら自分たちで制御できない事項が出てくる．たとえば保守などは，避けてほしい時間帯などを要望できるが，最終的には事業者側の都合で実施される．また予定とおりに作業が進まず遅延する場合にも迅速に連絡が来ない可能性がある．

実際に当初は01:00～04:00の予定で行われた保守が01:00～05:45と1時間45分超過した例が発生した．このときは大問題になった訳ではないが，「自分たちで制御・管理している」感はない．

（3）調達方法

VDIを提供するQEENSシステムはレンタル料で競争入札して，落札者と契約している．従来のレンタル契約では特に問題にならなかったが，クラウドのインスタンスを使っただけ支払うという契約では「役務」としての請負契約の扱いになる．契約に際しては，単価を算定して，利用時間に単価をかけて総額の使用料を請求する仕組みになるが単価の算定が難しい．

入札に際しては，QUEENSシステムの構築費，各種サーバの維持費，VDIとLinuxのインスタンス利用見込みによる推定利用料金の合計を推定利用時間の合計で割って「単価」が算出される．そのため，入札仕様書の資料として推定利用時間を提示しないといけないが，まったく新規の利用方法で実績がないので正確な利用量を推定できなかった．そのため実際の運用実績に基づく支払いでは支払い金額との齟齬が発生した．

国立大学で，政府調達を行うと，本来，クレジットカードを使えば数分で使えるようになるクラウドのインスタンスを使うために，導入計画から利用開始までに約1年かかる．国立大学の現在の調達や契約の仕組みではクラウドを利用する契約にはいろいろと無理があり，早急に適切な契約ができるように改善すべきである．

10.8　クラウドサービス導入支援TF

大学においてクラウドを活用するためには，ガイドラインに基づいて，個々の項目をきちんと評価し，使用に耐えられるものかどうかを判断しないといけない．利用経験があればそれほど困難な作業ではないが，なにかのシステムを初めてクラウド上で構築する場合には，担当者は多くの場合どうしてよいか分からない．そこでそうした部局担当者や研究者に対してクラウドの導入支援を行うタスクフォースを設置している．クラウドを利用するためのチェックリストがNIIから提供されている[24]．最初はそのチェックリストに基づいて，クラウド利用の可否の判断を行う支援を行う．

情報統括本部自体もさまざまな情報サービスのためにクラウドを利用しており，最初はAWSから利用を始めたが，その後はMicrosoft EES契約の特典利用によるMicrosoft Azureも利用している．自分たちでクラウドを利用する経験を通じて，クラウドを利用するために必要な情報の収集，それぞれのクラウドごとに特徴や使い方に特徴に沿った利用経験を積み，ノウハウを蓄積し，新たに使いたい人，利用を開始する人や部局が円滑にクラウドを活用できるようにしている．

11. ISMS 認証

情報統括本部は2012年3月22日付けでISO（国際標準化機構）の認証基準であるISMS（ISO27001，情報セキュリティ管理システム）の認証を取得した．ISMSは，情報セキュリティの継続的改善のために，情報の「機密性（C）」，「完全性（I）」および「可用性（A）」の観点から，組織的な枠組みを構築・運用していく国際規格である．

© 2021 Information Processing Society of Japan

これを取得していることは，組織として，より安全で，確実な情報システムの運用を行う体制を構築・維持していることを示し，組織内部において，情報を適切に取り扱っており，各種マニュアルを整備する，インデントに適切に対応できる体制を維持していることを対外的にも示している．

準備から認証取得まで約2年を要し，一大事業であった．このISMS認証を取得するためには情報統括本部の関係者全員が2年間一丸となって努力した．ISMS認証を取得するための議論を通じて，通常の会議や打ち合わせでも「これはISMS的にはどうなのだろうか」という意見が出るようになり，職員の意識が変わった．また扱う情報のCIAを意識し，情報の格付けを行うことにもなった．メールの見出しや文書の上部にCIAのレベルを記載する習慣もできた．各種データの取り扱いに対する意識が上がり，教育データの取り扱いなどの議論にも結びついたと考える．このように認証取得を契機によい影響が出ており，苦労した甲斐はあった．

参考文献

1）情報統括本部：http://iii.kyushu-u.ac.jp/
2）情報統括本部構成図：http://iii.kyushu-u.ac.jp/organization-map
3）入江啓一，藤村直美，渡部善隆，富山実，三浦　誠，上田将嗣，高木早智子，仲田奈理子，酒井健禎：コンピュータソフトウェアのキャンパスライセンス化による経費削減効果について，平成20年度情報教育研究集会論文集，pp.583-586 (2008年10月)．
4）Fujimura, N., Omagari, I., Ueda, M. and Irie, K. : Experience with Software Blanket Contract in Kyushu University，Proc. of ACM SIGUCCS 2008 (Poster Session), pp.307-310, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1449956.1450046
5）Fujimura, N., Masuoka, K. and Masaki, Y. : Experience with Individual Receipt Con-firmation System and the University Primary Mail Service, Proc. of ACM SIGUCCS 2010, pp.65-70, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1878335.1878352
6）伊東栄典，笠原義晃，藤村直美：九州大学における職員向け電子メールサービスの現状，情報処理教育研究集会，F3-4 (2009年11月)．
7）伊東栄典，笠原義晃，藤村直美：九州大学全学基本メールの機能改善と有料サービスクラスの開始，平成22年度情報教育研究集会，B2-4 (2010年12月)．
8）Kasahara, Y., Shimayoshi, T., Ito, E. and Fujimura, N. : The Past, Current, and Future of our Email Services in Kyushu University, Proc. Of ACM SIGUCCS 2018, pp. 103-106, DOI : https://doi.org/10.1145/3235715.3235737
9）Shimayoshi, T., Kasahara, Y. and Fujimura, N. : Renovation of the Office 365 Environment in Kyushu University : Integration of Account Man-agement and Authentication, Proc. of ACM SIG-UUCCS 2019, pp.135-139, DOI: https://doi.org/10.1145/3347709.3347819
10）藤村直美，戸川忠嗣，笠原義晃，伊東栄典，姓名ベースにしたアドレスによる学生基本メールの運用について，情報処理学会IOT研究会，Vol.2011-IOT-14, No.10 (2011)．
11）Fujimura, N., Togawa, T., Kasahara, Y. and Ito, E. : Introduction and Experience with the Primary Mail Services Based on their Names for Students, ACM SIGUCCS Fall conference, pp.11-14 (2012)．
12）Fujimura, N. and Hirayama, Z. : Usage and Experience with the File Sharing System with the Different Operation Policies, ACM SIGUCCS Fall conference (2011)．
13）藤村直美，平山善一：ファイル共有システムの運用と利用状況について，情報処理学会「第12回インターネットと運用技術研究会」報告，Vol2011-IOT-12, No.18 (2011年2月)．
14）井上　仁，橋倉　聡，藤村直美：九州大学における次期教育情報システムについて，平成20年度情報教育研究集会論文集，pp.483-486 (2008年10月)．
15）Fujimura, N., Inoue, H. and Hashikura, S. : Experience with the Educational ICT Environment in Kyushu University, Proc. of SIG-UCCS 2009 (Technical Session), pp.167-171 (2009)．

© 2021 Information Processing Society of Japan

16)教材開発センター：http://www.icer.kyushu-u.ac.jp/
17)Fujimura, N. : The Latest Activity to Realize the Ideal ICT Environment in Kyushu University, Proc. of ACM SIGUCCS 2014, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2661172.2661200
18)多川孝央，橋倉　聡，工藤和彦，岡本秀穂，藤村直美：分散キャンパス環境に対応した遠隔講義支援について，平成20年度情報教育研究集会論文集，pp.551-552 (2008年10月).
19)多川孝央，橋倉　聡，藤村直美：分散キャンパス環境のためのテレビ会議装置による教育支援について，2009 PCカンファレンス (2009年8月).
20)Tagawa, T., Fujimura, N., Hashikura, S. and Inoue, H. : Introduction and Management of Inter-Campus Learning Assistant System for Distributed Campus, Proc. of SIGUCCS 2009 (Technical Session), pp.253-256 (2009).
21)Fujimura, N. and Hashikura, S. : New Educational ICT Environment with Cloud in Kyushu University, Proc. of ACM SIGUCCS 2017, pp.105-108, DOI : https://doi.org/10.1145/3123458.3123490
22)緒方広明，藤村直美：大学教育におけるラーニングアナリティックスのための情報基盤システムの構築，情報処理学会論文誌「教育とコンピュータ」，Vol.3, No.2,pp.1-7 (Jun, 2017).
23）藤村直美，多川孝央，眞崎義憲，木實新一：九州大学における教育データの利活用とそのための枠組み，大学情報システム環境研究，Vol.23，pp.23-29 (July 2020).
24）国立情報学研究所：学認クラウド 導入支援サービス チェックリスト Ver.3.0，http://cloud.gakunin.jp/dist/pdf/20170724_03_00_Checklist.pdf

脚注

☆1　本活動の一部はJSPS科研費 19K12249の助成を受けたものである.

藤村直美（正会員）fujimura.naomi.274@m.kyushu-u.ac.jp
九州大学情報統括本部長（2010年10月～2016年3月），九州大学名誉教授（2016年4月），工学博士，ACM, IEEE各会終身会員，ACM SIGUCCS Hall of Fame.

© 2021 Information Processing Society of Japan

採録決定：2021年3月31日
編集担当：坂下　秀（（株）アクタスソフトウェア）

© 2021 Information Processing Society of Japan

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

特集号招待論文

マルチコンテナオーケストレーションを用いた大規模コンテナ環境の設計と運用

坂下幸徳[1]

[1]ヤフー（株）

ショッピングサイトや地図サービスなどのWebサービスでは，利用者からのアクセス増減が激しく，バージョンアップによる機能追加やバグ修正も高頻度に行われる．このような特徴を持つWebサービスでは，機能単位に細分化しアプリケーションを分割するアーキテクチャのマイクロサービスが浸透している．これにより，Webサービス全体を変更せず特定のアプリケーションのリソースの増強やバージョンアップを行うことができる．この細分化されたアプリケーションの実行環境としてCPUやメモリなどのリソースの集約率の高さや増強のしやすさからコンテナが注目されている．しかし，マイクロサービスでは，機能単位に細分化されるため，コンテナ数が増加する傾向がある．この増加するコンテナを管理するためコンテナオーケストレーションKubernetesが普及している．Kubernetesは，コンテナのリソースを容易に増減させるスケール機能，障害のセルフヒーリング，Webサービスを無停止でバージョンアップするローリングアップデートなどを有している．このKubernetesの導入により，コンテナの管理負荷の軽減は見込める．しかし，複数Kubernetesを有する大規模コンテナ環境では，Kubernetes自身の管理やこれを構成するコンピュート・ネットワーク・ストレージのインフラ管理が複雑になり管理者の負荷が増加してしまう．本稿では，大規模コンテナ環境としてヤフー（株）にて運用しているKubernetes as a Serviceについて，アーキテクチャと運用実績から得られた知見を報告する．このKubernetes as a Serviceは，2020年12月時点で204,980個以上のコンテナ，860クラスタ以上のKubernetesが稼働している．このような大規模コンテナ環境により，コンテナを使わずVMのみでアプリケーションの実行環境を構築した場合と比較し，コンピュート・ネットワークリソースは約86.4%の集約効果があった．さらに，Kubernetesを使い複数Kubernetesを自律管理する方式にて開発し管理者間のコミュニケーションでのリソース調整を削減するインフラ構成とすることで，管理者の負荷の軽減効果があった．

1. 背景

インターネットを通じ利用されるショッピングサイトや地図サービスなどのWebサービスは，PC・スマートフォン・タブレットなど多くの情報端末からアクセスされ，社会を支える情報基盤の1つとなっている．このようなWebサービスでは，利用者からのアクセス数の増減が激しい．さらには，いかに短期間にアップデートを行い新機能追加やバグ修正を行うかが先進性と安定性を保つために重要である．このような特性を持つWebサービスの作りも，巨大な1つのサービスとして構成されるモノリシックな作りから，細かく独立したサービスに分割し，それらを結合しWebサービスを構築するマイクロサービス[1]へと変化している．このマイクロサービスの

© 2021 Information Processing Society of Japan

特徴の1つである独立デプロイ可能性[2]により，他のサービスに影響を及ぼさずにアップデートを実施できるだけでなく，急なアクセス数の増減に対応すべく，特定のサービスのみスケールさせることが可能となる．以降，本稿では，細かく独立したサービスをアプリケーションとして示し，複数アプリケーションを結合したサービスをWebサービスとして記載する．

このようなWebサービスを構成するアプリケーションをスケールさせるためには，アプリケーションを動作させるコンピュート・ネットワーク・ストレージのインフラストラクチャ（インフラと略す）のリソースを柔軟かつ迅速に割り当てる必要がある．このインフラリソースの割り当てを柔軟にする技術として代表的なものに仮想サーバ（以下，VMと略す）とコンテナ[3]がある．これらを使い，アプリケーションごとに独立したVMやコンテナを作成することで，特定のアプリケーションの性能を増減させることが容易となる．VMとコンテナについて作成からアプリケーション起動の違いを述べる．VMはCPUやメモリを仮想化したマシンを作成後，OSセットアップやアプリケーションをインストールし実行する．これに対し，コンテナはホストOSのCPUやメモリをコンテナごとに割り当てた後，コンテナイメージをロードし実行するため，アプリケーションの起動までの時間が短くできる．このようなコンテナの特徴により，Webサービスでのコンテナ利用が普及している．

一方で，マイクロサービスにより細分化されたアプリケーションのコンテナ化が進むと，運用管理しなければならないコンテナ数が増加する．そこで，コンテナの運用管理を支援するために，コンテナオーケストレーションがある．代表的なコンテナオーケストレーションとして，Googleが開発・運用していたBorg[4]をベースに開発され2014年にオープンソースとして公開したKubernetesがある．

2020年時点で100以上のWebサービスを提供するヤフー（株）（以下，ヤフーと略す）では，多数のコンテナ化されたアプリケーションを運用管理するためにKubernetesをプライベートクラウド向けにサービス化しKubernetes as a Service（以下，KaaSと略す）として2018年8月より利用している．このKaaSでは，各Webサービスを開発・運用する部門ごとに独立したKubernetesを提供している．KaaSは，2020年12月時点で約 860クラスタのKubernetesが運用され，その上で稼働中のコンテナ数は約204,980個の規模へと成長した．

本稿では，ヤフーで運用するKaaSについて，設計と運用実績から得た知見について述べる．ヤフーのKaaSでは，年々増加するコンテナおよびKubernetesの数に負けないように管理作業を省力化すべく，Kubernetesを用いてKubernetesを管理する方式を開発し運用している．この方式のKaaSを2年4カ月運用している実績から，インフラリソースの集約効果と管理者の負荷軽減効果について述べる．

以下，第2章ではコンテナオーケストレーションと関連研究を紹介し，第3章にてヤフーのプライベートクラウドと管理者体制を述べ，第4章でヤフーにて運用しているKaaSについて設計を述べる．次に，第5章にて運用実績を示し，第6章にて考察を述べ，最後に第7章にてまとめる．

2. コンテナオーケストレーションと関連研究

本章では，コンテナとコンテナの運用管理を支援するコンテナオーケストレーションおよびKubernetesに関する自律管理，マルチテナント・マルチクラスタ構成，KaaSについて関連する技術を整理する．

© 2021 Information Processing Society of Japan

2.1 コンテナと性能

コンテナは，ホストOS上の実行基盤であるコンテナランタイム上で実行され，ホストOSのカーネルを共有しつつアプリケーションのCPU・メモリ・ストレージを隔離する技術である．また，コンテナでは，実行するアプリケーションのバイナリファイルだけでなく，実行に必要なライブラリなどの実行環境をコンテナイメージとしてまとめ，これをコンテナランタイム上にロードし実行する．これによりアプリケーションの実行環境のセットアップの手間を削減し，短時間でのアプリケーションのセットアップと実行を実現する．コンテナランタイムの代表的なものにDocker[5]・containerd[6]・CRI-O[7]がある．W. Felterらの研究[8]では，ベアメタルサーバ（以下，ベアメタルと略す），Linuxの仮想化技術のひとつであるKernel Virtual Machine（以下，KVMと略す）[9]，コンテナランタイムのDockerの各環境にてベンチマークツールを使いCPU（Compression），メモリ（Stream），ネットワーク（TCP round-trip latency），ストレージ（Random read・write IOPS）を測定した結果が報告されている．この報告によると，CPU性能は，ベアメタルと比べDockerはわずか4%ほど遅く，KVMは22%遅い結果であった．メモリ性能は，ベアメタルと比べDockerでは性能差はなく，KVMはわずか3%遅い結果であった．ネットワークは，Dockerですべてのコンテナがホスト OS の仮想NICにブリッジ接続されNAT（Network Address Translation）のような接続となるためオーバヘッドがありベアメタルより2倍ほど遅く，KVMはベアメタルより1.8倍ほど遅い結果であった．ストレージ性能は，ベアメタルと比べてもDockerは性能差はなく，KVMは1/2ほど低い性能であった．つまり，Dockerは，ベアメタルと比べた場合，ネットワークで性能が劣るもののCPU・メモリ・ストレージに関しては性能劣化はごくわずかである．DockerとKVMと比べた場合，ネットワークでわずかに性能劣化があるものの，CPU・メモリ・ストレージに関しては，いずれも性能が良い結果である．

2.2 コンテナオーケストレーション

コンテナの運用管理を支援するソフトウェアとしてコンテナオーケストレーションがある．コンテナオーケストレーションは，複数台のコンテナランタイムをクラスタリングし管理するソフトウェアである．コンテナオーケストレーションの代表的なものにKubernetes・Docker Swarm[10]・Mesos[11]がある．CNCF（Cloud Native Computing Foundation）が実施したユーザサーベイの結果[12]によると各コンテナオーケストレーションの利用率は，2019年時点でKubernetesが83%，Docker Swarmが21%，Mesosが9%であり，Kubernetesを利用する組織が多い．また，Truyenらの報告[13]によるとコンテナオーケストレーションのうち，KubernetesとDocker Swarmが約3カ月ごとのペースと高頻度にバージョンアップされ機能追加やバグ修正が行われ活発化している．さらに，Kubernetesでは，3マイナーバージョンしかコミュニティではサポートされない．このため，バージョンアップを高頻度に行う必要があり，管理者の負荷は高い．

2.3 Kubernetesにおける自律管理

代表的なコンテナオーケストレーションの1つであるKubernetesに着目する．Kubernetesは，複数のコンテナランタイムをクラスタとしてまとめて管理する．さらに，Kubernetesでは，コンテナをPodという単位で管理する．Pod管理としてスケールアウト・スケールイン・スケールアップ・スケールダウン・セルフヒーリング・ローリングアップデートなどの特徴機能を有する．これにより，Pod数や利用するCPUやメモリなどのリソースを増減させることでPodにより構成されるWebサービスの性能増減，障害発生時の自動復旧，Webサービス無停止でのバ

© 2021 Information Processing Society of Japan

ージョンアップといった自律管理が可能となる．自律管理は，Jefferey らの研究[14]により自律コンピューティングの概念が提唱され，G. Lanfranchi らの研究[15]により自律コンピューティングの管理方法として提案されている．この自律管理では，機器が正常に運用し続けるように常に状態を監視し，正常時の状態と異なる場合が検知された場合には，正常な状態に復旧するように自動で変更を行うことで自律化された管理を実現している．このような自律管理を Kubernetes では Reconciliation ループ[16]にて実現している．Reconciliation ループは Kubernetes が宣言的管理[17]を行うために利用されるフレームワークの中核となる処理であり，利用者が定義した望ましい状態と実際に稼働している状態の差分を定期的にチェックし，差分があれば望ましい状態になるよう調整処理を繰り返し実行することで，自律管理を実現している．以降，本稿では Pod とコンテナを明確に区別する必要がある場合を除き Pod をコンテナとして記載する．

リソースの増減では，利用者が定義したコンテナ数・CPU 数・メモリサイズとなるようにコンテナの作成・削除を行う．セルフヒーリングでは，障害などにより稼働していたコンテナが停止した際，利用者が定義した数のコンテナ数が稼働していない状態を検知すると，コンテナの再作成を行うことで障害回復を試みる．ローリングアップデートでは，利用者が定義したコンテナイメージのバージョンと稼働中のコンテナイメージのバージョンが異なることを検知すると，定義したコンテナイメージのバージョンにてコンテナを新たに稼働させ，古いバージョンのコンテナを削除する．これを繰り返し行うことで，Web サービスを停止させることなくバージョンアップを行う．さらに，Kubernetes は，コンピュート・ネットワーク・ストレージの各リソースを抽象化したモデルにより管理し，異なるベンダの機器の差異を吸収している．つまり，Kubernetes の管理者や利用者は，ベンダごとに異なる管理方法を習得する必要がなくコンピュート・ネットワーク・ストレージを扱える．

2.4　Kubernetes のマルチテナント・マルチクラスタ構成

複数の利用者が Kubernetes を利用する場合の構成について述べる．複数利用者が Kubernetes を利用するための構成としてマルチテナントとマルチクラスタの 2 つの構成がある．**図1**の左図に Kubernetes におけるマルチテナント構成，右図にマルチクラスタ構成について示す．

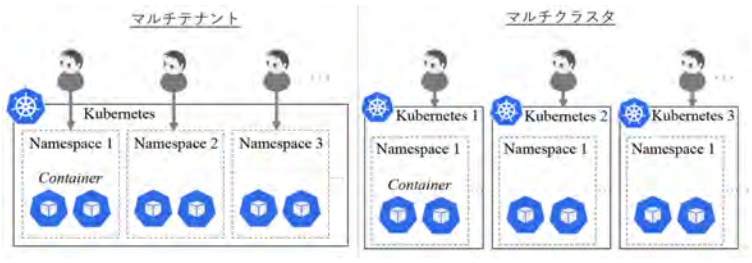


図1　Kubernetes におけるマルチテナントとマルチクラスタ

Kubernetes では Namespace というコンテナを実行する空間を論理的に分ける機能がある．マルチテナント構成では，1 つの Kubernetes 上に複数の Namespace を作り，各利用者にそれぞれ割り当てる構成である．マルチクラスタでは，利用者ごとに Kubernetes をそれぞれ割り当て

© 2021 Information Processing Society of Japan

る構成である．Truyenらの報告[18]によると，マルチテナントは，コスト面・アプリケーションレベルでの独立性・コンテナイメージの共有などが良い点として挙げられ，セキュリティ面・管理が複雑化する点が悪い点として挙げられている．良い点として挙げられているコスト面に関しては，利用者がデプロイするアプリケーションのコンテナとは別にKubernetes自身および動作するために必要なコンポーネントであるkube-apiserver・kube-scheduler・kube-controller-manager・etcd[19]を，複数Namespaceにて共有することで，マルチクラスタ構成に比べコストを抑えられる．また，Kubernetesは，Namespaceごとにアプリケーションのコンテナが分離され別の利用者からのアクセスを禁止できるRBAC（Role Based Access Control）を備えているため，アプリケーションレベルでの独立性を確保できる．さらに，コンテナを実行する際，コンテナイメージをコンテナランタイムへダウンロードする必要があるが，複数Namespaceでコンテナランタイムを共有するため，あるNamespaceで一度コンテナイメージをダウンロードしていれば，他Namespaceで同じコンテナイメージを利用する際，再度ダウンロードする必要がなく，コンテナの起動が高速になる．一方，悪い点として挙げられているセキュリティ面に関しては，コンテナランタイムおよびこれを動作させるホストOSが複数Namespaceで共有となるため，悪意を持ったコンテナやバグなどによりホストOSのroot権限のような強力な権限が乗っ取られた場合，その影響範囲が広い点が挙げられている．管理面としては，すべてのNamespaceで共有のKubernetesとなるため，Kubernetesのバージョンが全Namespace内のコンテナが期待するバージョンに統一しないといけないという制約が生じる．また，複数NamespaceでホストOSが共通のため，性能面での独立性を保障するのが難しく，アプリケーションの構成が複雑化するとのことである．これに対しマルチクラスタ構成は，良い点としてはセキュリティ面・管理の簡素化・アプリケーションの独立性があり，悪い点としてはコスト面・コンテナイメージの非共有がある．アプリケーションの独立については，マルチテナント構成と同様にRBACを利用できるとともに各Kubernetesで別々のアカウントを設定できるため，マルチクラスタ構成であっても変わらない．また，マルチクラスタ構成のKubernetes上にマルチテナントを構成することも可能である．

2.5　Kubernetesの構築方法とKaaS

Kubernetesの構築方法について述べる．Kubernetesを構築する場合，パブリッククラウドが提供するKaaSを利用する方法と，プライベートデータセンタなどに独自に構築する方法の2通りがある．代表的なパブリッククラウドのKaaSとしてGoogle・Amazon・Microsoftが提供するサービスについて述べる．Googleでは，2014年にKubernetesを活用したGoogle Container Engine（GCE）の提供を開始し，2017年にGoogle Kubernetes Engine（GKE）[20]と改名しサービス提供している．GKEの利用者は，Google Cloudが提供するコンソールを用い，Kubernetesを構築し利用する．GKEでは，Google Cloudが提供している監視サービスやストレージサービスなどさまざまなサービスとインテグレーションされ，GKEおよびGKE上で実行されるアプリケーションのコンテナから利用できる．Amazonでは，Amazon Web Service（AWS）の1サービスとして2018年よりAmazon Elastic Kubernetes Service（EKS）[21]を提供している．利用者は，GKEと同様にAWSのコンソールを用いKubernetesを構築し利用する．さらにEKSでは，コンテナを実行するコンピュートリソースとしてVMのAmazon Elastic Compute Cloud（Amazon EC2）[22]とコンテナ向けサーバレスコンピュートAWS Fargate[23]を選択し利用できる．AWS Fargateは，VMとしてあらかじめ決められたCPUやメモリなどのリソースを割り当てるAmazon EC2とは異なり，コンテナの実行中のみCPUやメモリなどのリソースを割り当てるサーバレスアーキテクチャを提供し，Kubernetesの構築におけるコンピュートの設計を簡素化している．また，EKSは，GKEと同様にAWSが提供

© 2021 Information Processing Society of Japan

している監視サービスやストレージサービスなどさまざまなサービスとインテグレーションされ利用できる．Microsoftでは，Microsoft Azureの1サービスとして2017年よりAzure Kubernetes Service（AKS）[24]を提供している．利用者は他2社のKaaSと同じく，Azureのコンソールを用いKubernetesを構築し利用する．AKSは，コンテナを実行するコンピュートリソースとしてサーバレスコンピュートAzure Container Instance（ACI）[25]を使い，コンテナが実行中のみコンピュートのリソースを割り当てることで，AWS Fargateと同様に，Kubernetesの構築におけるコンピュートの設計を簡素化している．このACIとAWS Fargateは，オープンソースのVirtual Kubeletプロジェクト[26]に基づき設計され，Kubernetes APIから操作できるノードの一形態となっている．また，AKSは他2社のKaaSと同じく，Microsoft Azureが提供している監視サービスやストレージサービスなどさまざまなサービスとインテグレーションされ利用できる．さらに，AKSは2019年よりWindows Serverコンテナの実行もサポートし，ASP.NETなどのWindows固有のライブラリを使ったアプリケーションもコンテナとして実行できる．これらGKE・EKS・AKSはすべてマルチクラスタ構成にて，利用者ごとにKubernetesが作られる．利用者は必要に応じ，提供されたKubernetes上にNamespaceを作りマルチテナントを構築し利用する．次に，プライベートデータセンタなどに独自にKubernetesを構築する方法について述べる．パブリッククラウドのKaaSとは異なり，プライベートデータセンタにて使用するコンピュート・ネットワーク・ストレージを準備し，それらを使いKubernetesを構築する．Kubernetesの構築を容易化するためのツールとして代表的なものにオープンソースのKubeadm[27]やKubespray[28]がある．また，Kubernetesの構築容易化やサポートなどを強化したベンダ提供のソフトウェアもある．代表的なものとして，2015年からKubernetesをサポートしたRed Hat OpenShift[29]，2017年から提供を開始したRancher[30]，2020年から提供を開始したVMware Tanzu Kubernetes Grid[31]がある．Red Hat OpenShiftとRancherは，各社がサポートするOSやストレージなどの製品などとのインテグレーションを行い統合的なサポートを特徴としている．VMware Tanzu Kubernetes Gridは，VMとKubernetesによるコンテナ環境を一元管理することを特徴としている．

このような中，ヤフーでは，特定のベンダ製品に依存せずパブリッククラウドと同様にKubernetesを構築し管理できるKaaSをゼットラボ（株）にて2016年より開発し，プライベートクラウドにて運用している．以降，本稿では特段の表記がない限り，ヤフーのKaaSを単にKaaSと略す．

3. ヤフーのプライベートクラウドと管理体制

本章では，ヤフーのWebサービスを支えるプライベートクラウドと，その管理体制について述べる．

3.1 プライベートクラウド

ヤフーでは，提供するショッピングサイトや地図サービスなどのWebサービスの多くが自社で運用するプライベートデータセンタにて稼働している．データセンタは2020年12月時点で日本国内5拠点・海外1拠点あり，災害などによりある拠点のデータセンタが稼働停止しても，主要なWebサービスが停止することなく継続運用できる．このデータセンタのうち，主となる日本国内2拠点を中心にプライベートクラウドを提供している．

© 2021 Information Processing Society of Japan

プライベートクラウドでは，コンピュート・ネットワーク・ストレージを提供するInfrastructure as a Service（以下，IaaSと略す）を提供している．さらに，IaaS上にPlatform as a Service（以下，PaaSと略す），Function as a Service（以下，FaaSと略す）およびKaaSを構築し提供している．ヤフーのWebサービスの多くはプライベートクラウドに構築されたIaaS・PaaS・FaaS・KaaSのいずれかを選択し利用している．

IaaSはオープンソースのOpenStackを主に使用し，2020年12月時点で約200クラスタ以上のOpenStackを運用している[32]．OpenStackはVMとベアメタルを管理することができるが，ヤフーでは主にVM管理に使用している．VMを実行するハイパーバイザーとしてはLinuxが備え持つKVMを使用している．PaaSは，VMware Tanzu Application Service（旧：Pivotal Cloud Foundry）を使用し，2020年12月時点で約17,000個のアプリケーションが本番稼働している[33]．FaaSは，オープンソースのApache OpenWhisk[34]を使用し，2018年10月より運用している．KaaSは，第4章にて詳しく述べる基盤ソフトウェアを使用し，2017年7月にベータバージョンをリリース後，パイロット検証を経て2018年8月より本番運用している．また，KaaSは第2章に示すKubernetesのリリース間隔より短い間隔でバージョンアップをしている．短期間でのバージョンアップを繰り返すことで，利用者からの要望された機能追加やバグ対応に迅速に対応するだけでなく，Kubernetesの最新バージョンをサポートし続けている．Kubernetes v1.11よりサポートを始め，2020年12月時点ではKubernetes v1.18をサポートしている．

3.2　管理体制

KaaSの管理体制について述べる．**図2**にKaaSを管理するKaaS管理者および関連する組織体制について示す．

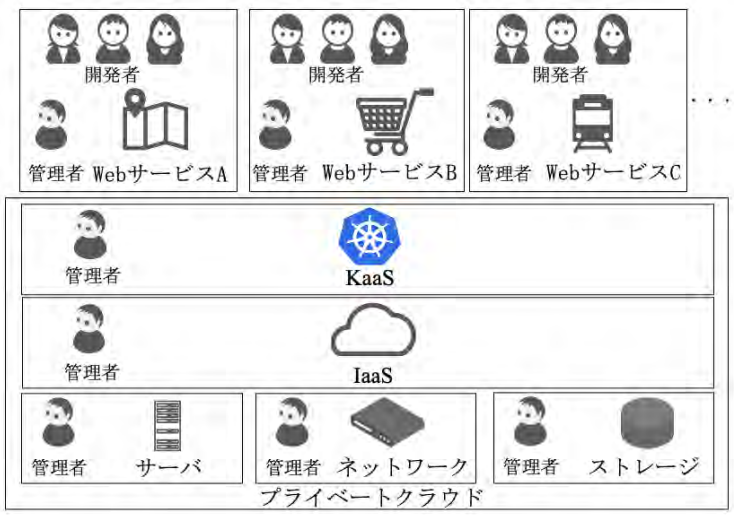


図2　KaaSの管理体制と関連組織

まず，KaaSを構成するIaaSおよびコンピュートであるサーバ，ネットワーク，ストレージの管理体制について述べる．サーバを管理するサーバ管理者は，物理サーバの管理を担当し，データセンタへのサーバ導入・設置から障害時の機器交換などを担当している．ネットワーク管理者

© 2021 Information Processing Society of Japan

は，ルーター・スイッチ・ロードバランサーなどネットワーク機器の設置・配線からIPアドレスなどのネットワークのリソースを管理している．また，サーバやストレージなどの設置にてIPアドレスが必要となる場合は，ネットワーク管理者が調整し割り当てを行う．ストレージ管理者は，アプライアンスストレージやSDS（Software Defined Storage）の導入・設置からボリュームやテナントの割り当て，ストレージ起因の障害対応などを担当している．IaaS管理者は，主にOpenStackの管理を担当し，サーバ・ネットワーク・ストレージの各管理者と調整を行い，確保したリソースを使いOpenStackを設置・管理している．利用者がVMを利用する場合，利用者はIaaS管理者へVM提供依頼を出し，IaaS管理者がVMおよびこれに接続するネットワークやストレージも併せて提供する．また，各管理者は複数ベンダの製品を導入しているだけでなく，利用者からの要望に応えるためOCP（Open Compute Project），OpenStackの改良，ロードバランサーやストレージなどの開発も行い，複数ベンダ製品と自社開発のインフラによる混在環境を管理している．

次に，KaaSの利用者となるWebサービス部門について述べる．Webサービス部門は，ショッピングサイトや地図サービスなど顧客へ提供するWebサービスを開発し運用管理する部門である．Webサービス部門ではプライベートクラウドを使い，各種アプリケーションの開発とそれらを組み合わせたWebサービスの設計・構築を行う．さらに，Webサービスの運用管理についても，各Webサービス部門の管理者が行っている．KaaSを利用している場合，Webサービス部門にてアプリケーションをコンテナ化し，コンテナ化されたアプリケーションをKubernetes上にデプロイし運用する．Webサービス部門によっては，開発者が管理者を兼ねる場合もある．Webサービス部門の管理者は，自部門のWebサービスの管理者であり，プライベートクラウドにとっては利用者でありKaaS・IaaS・サーバ・ネットワーク・ストレージの深い知識を必ずしも有しているわけではない．そのため，障害時など必要に応じてKaaS・IaaS・サーバ・ネットワーク・ストレージの各管理者へ問合せを行い解決を行っている．また，プライベートクラウドでは，誤った操作による障害を防止するため，利用者には制限された権限のみ付与し提供している．KaaSの利用者に与える権限については4.5節と4.6節にて述べる．

最後に，KaaS管理者について述べる．KaaS管理者はIaaS管理者と調整し確保したリソースを使いKaaSを構築し管理している．KaaS管理者は大きくSRE（Site Reliability Engineering）[35]とCRE（Customer Reliability Engineering）[36]の業務に分かれる[37]．SREは，KaaS自身やUser Kubernetesのバージョンアップ・新機能検証・性能監視を含む健全性チェックなどKaaSの信頼性を担保する作業を担当している[38]．CREは，利用者からの問合せ対応に加え，コンテナやKubernetesに不慣れな利用者向けのトレーニングやKubernetesの活用事例などを共有する社内勉強会の主催などを行っている．KaaS管理者は2020年12月時点でSRE・CRE合わせて25人のチームである．KaaS管理者におけるインフラ管理の経験年数ごとの人数比率を**表1**に示す．

表1　KaaS管理者におけるインフラ管理の経験年数 （2020/12）

インフラ管理の経験年数	比率
0 年以上 5 年未満	56%
5 年以上 10 年未満	16%
10 年以上	28%

© 2021 Information Processing Society of Japan

一般的にKubernetesの管理では，サーバ・ネットワーク・ストレージの横断的な知識に加え，コンテナやKubernetesの知識と幅広い知識が必要となる．しかし，表1に示すように，経験豊かで幅広い知識を持つ熟練の管理者は少なく，インフラ管理の経験の浅い管理者が多い体制にてKaaSを管理している．

4. KaaSの設計

本章では，KaaSの設計について述べる．KaaSの要件とアーキテクチャ，モデルを述べた後，KaaSを構築する際に使用するコンピュート・ネットワーク・ストレージについて設計思想を述べる．

4.1 要件

ヤフーでは，各Webサービス部門は独立し開発・運用管理している．さらに，マイクロサービス化によりコンテナの利用拡大が見込まれた．そのため，KaaSでは，以下の要件を満たす必要があった．

- 各Webサービス部門が独立した運用管理ができること
- セキュリティの観点から他Webサービス部門のリソースにアクセスできないように制御されていること
- Webサービスを止めることなくアプリケーションのアップデートやリソースの増減ができること
- データセンタのコスト削減のためリソースの集約化ができていること
- KaaSの利用数の増加に比例しKaaS管理者の負荷が増加しないこと

次節より，上記の要件を満たすべく設計したKaaSについて述べる．

4.2 アーキテクチャ概要

KaaSは，第2章で述べたKubernetesの特徴機能を使い，コンテナだけでなくKubernetesを構成するコンピュート・ネットワーク・ストレージのリソースを自律管理し管理負荷を軽減する．**図3**にシステムの概略図を示す．

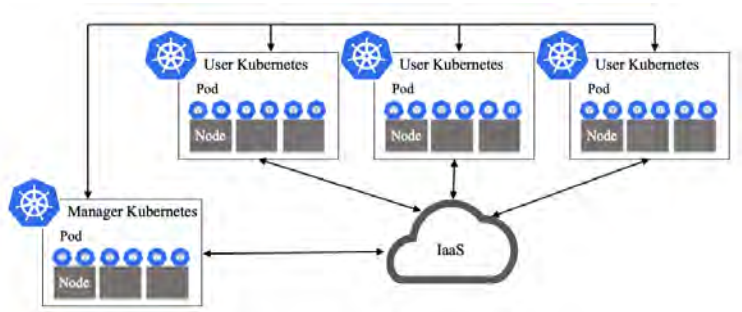


図3　KaaSのシステム概略図

© 2021 Information Processing Society of Japan

KaaSでは，Webサービス部門が利用するKubernetesをUser Kubernetes，このUser Kubernetesを管理するKubernetesをManager Kubernetesと呼ぶ．Webサービスを構成するアプリケーションのコンテナは，User Kubernetes上で動作する．KaaSでは，マルチクラスタ構成にて各Webサービス部門へUser Kubernetesをそれぞれ提供する．これにより，各Webサービス部門が独立しUser Kubernetesを運用管理できる．

Manager Kubernetesは，KubernetesのAPIのモデル拡張機能であるCustom Resourceを使い，User Kubernetesをモデル化し管理する．モデルについては，4.3節にて述べる．KaaS管理者が，KaaSを管理する際に操作する基盤ソフトウェアは，このManager Kubernetes上でモデルと対になったコントローラにより構成され，これらはコンテナとしてManager Kubernetes上で実行される．

Manager Kubernetesは，IaaSのAPIを通じコンピュート・ネットワークのリソースを作成した後，このリソース上にUser Kubernetesを構築する．構築されたUser KubernetesとそのリソースはManager KubernetesのReconciliationループにより管理される．このような方式をとることで，Kubernetesが備え持つリソースの増減，セルフヒーリング，ローリングアップデートの特徴機能を活用し，Manager Kubernetesにて複数User Kubernetesを自律管理できる．

本アーキテクチャにより，Webサービスにてリソースの増減が必要となった時に割り当てられたインフラのリソースを増減させる．セルフヒーリングでは，User Kubernetesのノードに障害が発生した場合，Manager KubernetesにてUser Kubernetesのノード異常を検知すると，IaaSのAPIを通じ新規VMを作成した後Kubernetesのノードとして必要なソフトウェアをセットアップし，新規ノードとしてUser Kubernetesへ追加する．次に，障害ノードに新たなコンテナが配置されないようにした後，障害ノード上で動作中のすべてのコンテナを削除する．コンテナが削除されると，User Kubernetesのコンテナのセルフヒーリングにより正常なノード上にコンテナが再作成される．Manager Kubernetesは，障害ノード上のすべてのコンテナがなくなったことを確認した後，障害ノードをUser Kubernetesの管理から外し，障害ノードのVMを削除する．このようにManager KubernetesによりUser Kubernetes自体に障害が発生しても自動復旧する．ローリングアップデートもセルフヒーリングと同様の動きをする．つまり，セルフヒーリングの障害ノードを古いバージョンのノードと置き換えるとローリングアップデートの動きとなる．なお，ローリングアップデートはWebサービスに影響が出ない台数ずつアップデートすることで，Webサービスを無停止で全ノードをアップデートする．

4.3 モデル設計

Manager Kubernetesにて管理するUser Kubernetesのモデルについて説明する．**図4**の左図に作成されるリソース，右図にそれに対応するモデルを示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

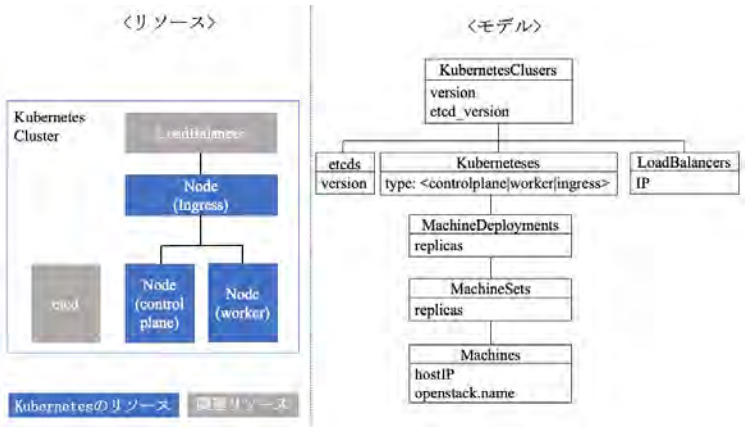


図4　User Kubernetesのモデル

各モデルには，対応するコントローラがそれぞれ存在する．コントローラがモデルに対応するリソースを監視し，Reconciliationループにて定義されたあるべき状態との差分を定期的にチェックし，違いがあればIaaSのAPIを通じリソースの作成・変更・削除などの処理を行う．このように，Reconciliationループでリソースを管理することで，KaaS管理者が手動によるIaaSの操作を行うことなくUser Kubernetesを自律管理する．

User Kubernetesを構成するリソースとしては，Control Plane・Worker・Ingressの3種類のノード用のコンピュート，Kubernetesのステータス情報を保持するデータベースetcd用のコンピュートおよび外部ネットワークとの通信で利用するロードバランサー用ネットワークのリソースがある．これらのリソースが図3に示すようにManager Kubernetesからのリクエストにより生成される．その後，生成されたControl Plane・Worker・Ingressのコンピュート上にKubernetesが構築され，これら3種類のコンピュートはKubernetesのリソースとして管理される．etcdとロードバランサーはManager KubernetesによりUser Kubernetesごとに紐づく関連リソースとして管理される．

次節よりKaaSをIaaS上に構築する際のリソースであるコンピュート・ネットワーク・ストレージについて設計思想を述べる．

4.4　コンピュート

Manager KubernetesがIaaSを通じ作成するUser Kubernetesのコンピュートについて述べる．IaaSとして利用しているOpenStackでは，VMとベアメタルの両方のコンピュートを管理できる．KaaSでは，VMをUser Kubernetesのコンピュートとして採用した．理由は，コンピュートの集約率の高さである．

コンテナを実行するコンピュートでは，4.1節の要件を満たすべく，いかにコンピュート上に性能劣化なく，より多くのコンテナを集約できるかが選定ポイントである．第2章で述べたようにコンテナ自体の実行性能に関してはコンピュートの重要なファクタであるCPU・メモリに関する性能劣化はベアメタルと比べわずかであるが，VMはベアメタルに比べて性能劣化する．一方，Kubernetesコミュニティ SIG-Scalabilityの報告[39]によると，1ノードあたり110Podを

© 2021 Information Processing Society of Japan

超えると，コンテナランタイムの管理負荷が上がりコンテナの作成・削除・ステータス更新など管理操作の性能が劣化し始める．そのため，Kubernetesのデフォルト設定値では，1ノードあたり最大110Podに設定され100Pod以下での利用が推奨されている[40]．

そこで，コンテナの実行性能を落とさず，より多くのコンテナ数を稼働させるべく，**表2**に示す測定環境にて，ベアメタルとVMのKubernetesのノードをそれぞれ作成し性能比較を行った．VMは，1台の物理サーバ（Hypervisor）上に，CPU・メモリのオーバーコミットなしで2VMを作成する．本環境は，ベアメタル・VMともに同スペックのCPU・メモリ数のKubernetesのノードである．つまり，ベアメタルは最大110Pod，VM環境は最大220Pod（1VMあたり最大110Pod）が稼働可能である．これらのノードを割り当てたKubernetes v1.13.2にて性能測定を行った．

表2　測定環境

ベアメタル	CPU: 32 cores (Intel Xeon CPU E5-2620 v4x), Memory 64GBytes
VM	[Hypervisor] CPU 64 cores(Intel Xeon CPU E5-2620 v4x), Memory 128GBytes [仮想化基盤ソフトウェア] KVM [VM] 上記 Hypervisor 上に 2VM (1 VM あたり CPU 32 cores, Memory 64GBytes)

性能測定で利用するベンチマークツールsysbenchを1コンテナ／Podとして準備し，同時に実行するコンテナ数を10コンテナずつ増加させ実行し，96パーセンタイルのレイテンシを測定した．sysbenchでは，ストレージやネットワークを利用せずCPU負荷をかけるCPUテストを利用した．測定結果を**図5**に示す．

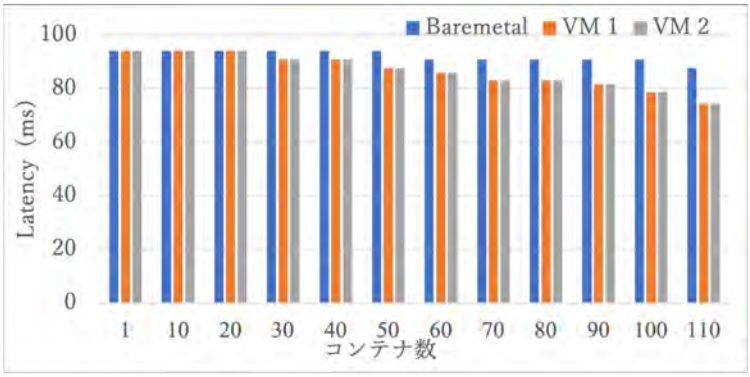


図5　ベアメタルとVMにおける実行コンテナ数における性能比較

図5に示すようにベアメタル上に110コンテナ，VM上に220コンテナ（VM1とVM2に各110コンテナ）が動作している状況では，VMの方がレイテンシが短く性能が良い結果であった．また，ベアメタルでは50コンテナ，VMでは60コンテナ（VM1:30コンテナ，VM2:30コンテナ）

© 2021 Information Processing Society of Japan

から性能が徐々に向上している結果であった．これは，本測定環境にて使用しているCPUが熱や消費電力に応じて動作周波数を動的に引き上げるインテル ターボ・ブースト・テクノロジー[41]が有効であったため，これが影響していると推察する．

本測定結果より，VMの方がベアメタルに比べ1台の物理サーバ上で性能劣化なく動作させることができるコンテナ数は多く，集約率が高いと言える．必要なCPU数やメモリ量が小さいコンテナが数多く動作するような組織では，物理サーバ上にVMを多数構築しその上でコンテナを稼働させることで，1台の物理サーバあたりに稼働可能なコンテナ数は増加し，集約率はさらに向上する．一方，ベアメタルは，仮想化することができない特殊なハードウェアを備える場合や，大量のCPUやメモリを使用するアプリケーションのコンテナを少数動かす場合に有効であると考える．ベアメタルは仮想化のレイヤを挟まないため，VM管理が不要となり管理がシンプルになるメリットがあると考える．

ヤフーでは，CPUやメモリを大量に利用するアプリケーションは少なく，1台の物理サーバあたりのコンテナの集約率の高さからノードにVMを採用した．

4.5　ネットワーク

KaaSにおけるネットワークについて述べる．**図6**にKaaSにおけるネットワークについて示す．

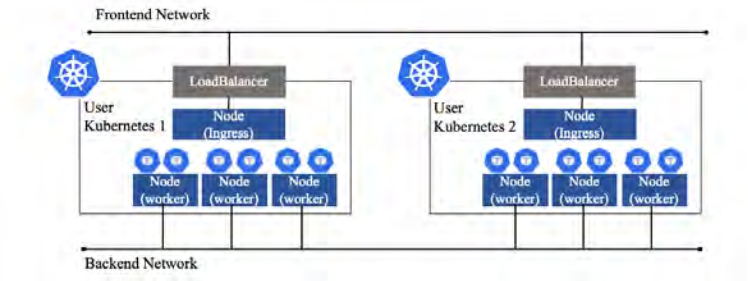


図6　User Kubernetesのネットワーク

Manager Kubernetesは，インターネットなど外部のネットワークに到達可能なフロントエンドネットワークから，User Kubernetesがネットワークアクセスを受けるアクセスポイントとしてロードバランサーを作成する．ロードバランサーはフロントエンドネットワークのアドレスを固定IPアドレスで割り当て作成する．このIPアドレスがDNSに登録されている．ロードバランサーには，ソフトウェアロードバランサーとハードウェアロードバランサーの複数種類を用意しており，Webサービス部門からの要求に応じ使い分けている．ロードバランサーには，L7ロードバランサーであるIngressノードがメンバ登録されている．

Ingressノードは，L7ロードバランサーであるオープンソースのnghttpx[42]をコンテナとして動作させ，負荷分散・SSL終端・仮想ホスティングの機能を提供している．Ingressノードで受けたネットワークアクセスは，対象となるアプリケーションのコンテナへ振り分けられる．User Kubernetes内のコンテナ間の通信は，コンテナネットワークとして，オーバレイネット

© 2021 Information Processing Society of Japan

ワークを構築しUser Kubernetes内のみで有効なIPアドレスを各コンテナへ付与し通信を行う．このコンテナネットワークにより，コンテナ数が増大しても，フロントエンドネットワークやバックエンドネットワークのIPアドレスを消費しない．

各ノードのIPアドレスは，DHCPを用いVM間通信で使われるバックエンドネットワークのIPアドレスを動的に付与する．DHCPを利用することで，User Kubernetesの作成時やノード数を増減させる際，ネットワーク管理者とKaaS管理者間でIPアドレスの調整を行う必要がない．ただし，DHCPを使いノードのIPアドレスを付与すると，User Kubernetes 1とUser Kubernetes 2のノードが同じバックエンドネットワークの同一セグメントのIPアドレスが割り当てられるようになり，セキュリティの問題が発生する．つまり，User Kubernetes 1を利用しているWebサービス部門が別Webサービス部門の利用するUser Kubernetes 2へアクセスできてしまう．この問題に対し，利用者によるノードへのログインを禁止し，他Webサービス部門のノードへアクセスをできないようにした．KaaSにてノードにログインしなければならないユースケースは，ノード作成時や障害発生時であるが，いずれもKaaSにて実行されるため利用者やKaaS管理者がログインする必要がない．Manager Kubernetesのバグなどの想定外のケースによりログインせざるを得ない状況の場合は，これに対応できるKaaS 管理者のみがログインできればよく，利用者のログインを禁止しても問題はない．

このようにネットワークを組むことで，KaaSでは，User Kubernetes上のコンテナ数の増減やUser Kubernetesを構成するノードの増減があったとしても，KaaS管理者とネットワーク管理者が調整する必要なくIPアドレスを割り当てられる．

4.6　ストレージ

User Kubernetesのコンテナがデータを永続化するために利用するストレージについて述べる．**図7**にUser Kubernetesにおけるストレージについて示す．

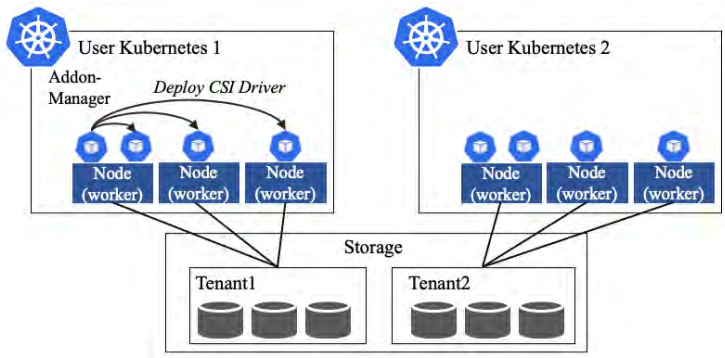


図7　User Kubernetes のストレージ

ストレージは，User Kubernetesから外部のストレージへアクセスし利用するため，Manager Kubernetesにて管理する必要がない．ただし，User Kubernetesからストレージにアクセスするためには，コンテナ向けストレージインタフェースの標準仕様CSI（Container Storage Interface）[43]に準拠したCSI DriverをUser Kubernetes上で稼働させる必要がある．このCSI Driverはストレージの製品ごとに必要であり，ストレージやCSI Driver自身もしく

© 2021 Information Processing Society of Japan

はKubernetesのバージョンアップに応じてアップデートが必要となる．また，CSI Driverは，ストレージを利用するために必要不可欠なものではあるが，各Webサービス部門の利用者は自分たちが顧客へサービスするものではないため，できるならば管理したくない．そこで，KaaSではKubernetesが備え持つAddon-manager[44]をベースに安定性を向上させた独自Addon-managerを使いCSI Driverを各ノードへデプロイし管理する．これによりノードが新たに追加された際にAddon-managerにより自動でCSI Driverをセットアップするだけでなく，CSI Driverに障害が発生してもCSI Driverを自動復旧させる．さらにバージョンアップ時にも，古いバージョンのCSI DriverをAddon-managerが検知し自動でアップデートを行う．このようにAddon-managerを利用することで，利用者がCSI Driverを手動で管理する必要なくストレージが利用できるようになる．

次に，User Kubernetesが利用する外部のストレージについて述べる．ストレージの割り当てでは，ストレージ管理者との調整が発生する．金子らの研究[45]によると，ストレージの割り当てには，サーバ管理者とストレージ管理者の複雑な調整が必要となり管理上の課題となる．KaaSにおいても，同様にWebサービス部門・KaaS管理者・ストレージ管理者での調整は管理負荷を増加させる要因となる．これに加え，セキュリティの観点から，各Webサービス部門のデータは他Webサービス部門からアクセスできないよう制御する必要がある．

そこで，KaaSでは図7に示すようにストレージ内にテナントを作成し，各テナントを各User Kubernetesにそれぞれ割り当てる構成とする．利用者はストレージの初回の利用時にストレージ管理者へ容量・要望性能を伝え，ストレージ管理者は要求に応じストレージ内にテナントを作成し利用者へ提供する．利用者は，ストレージ管理者から連絡を受けたテナントへのアクセス情報（ストレージのIPアドレス，ユーザ名，パスワード）をCSI Driverに設定し利用する．Kubernetesでは，ストレージの操作はCSI Driverを通じ行われるため，ストレージ管理者がボリュームの生成元となるストレージプールをテナントに割り当てるだけで，利用者はストレージに直接アクセスすることなくボリュームの作成・削除およびコンテナへのマウント・アンマウントを自由に行える．しかし，ストレージが備え持つスナップショット・ミラー・クローンなどのレプリケーション機能においては，ベンダやストレージの種類によりアーキテクチャが異なる．そのため，ストレージの深い知識を有さない利用者は自部門のWebサービスが利用するボリュームの容量は判断できるものの，レプリケーション機能により，どれだけのSSDやHDDがストレージ内部で消費されるか正確に見積もることができない．これにより，場合によってはWebサービスで利用中のボリュームの性能劣化や新規作成ができなくなってしまうリスクがある．そのため，KaaSで使用するストレージでは，レプリケーション数などの制限をつけストレージ管理者にて管理している．

また，KaaSでは，許可されたUser Kubernetesのノードのみがストレージのテナントへアクセスできるように，ストレージのアクセスコントロールリスト（ACL）を更新する．しかし，このACLの更新には問題がある．ACLへ登録するノード識別子（iSCSIのIQNなど）はノードにログインしなければ情報を取得できない．しかし，4.5節に述べた理由により利用者はノードにログインできず，ノードが増減するたびにKaaS管理者がノードにログインしノード識別子を確認しストレージ管理者へ連絡する必要が出てくる．このような管理はKaaS管理者の負荷を増加させてしまう．そこで，KaaSでは，ノードの作成・削除時にノードからノード識別子を取得し，ACLを自動更新するコントローラを開発し，Addon-managerにてCSI Driverとともにセットアップしている[46]．これにより，人手を介さずにノード識別子を取得しACLを自動更新する．このような仕組みをとることで，KaaSでは利用者とストレージ管理者間でストレージの利用開

© 2021 Information Processing Society of Japan

始時の1回のみストレージのテナントの割り当て依頼を行うだけで，その後は自由にボリュームを作成・削除できかつ他Webサービス部門からアクセスできないように制御されたストレージが利用できる．このKaaS向けのストレージは2020年8月より提供開始している．

5. 運用実績

本章では，第4章で述べたKaaSのリソース使用実績と運用実績について述べる．

5.1リソース使用実績

2020年6月および2020年12月時点での稼働しているコンテナの総数，KaaSにて管理されているUser Kubernetesの総数およびUser Kubernetesのノードの総数について**表3**に示す．

表3　KaaSのリソース使用量

	2020 年 6 月	2020 年 12 月
コンテナ数	約 129,350 個	約 204,980 個
User Kubernetes 数	約 680 クラスタ	約 860 クラスタ
ノード数	約 13,900 VM	約 27,900 VM

表3に示すように稼働するコンテナの総数は，6カ月で約1.6倍増加しており，ヤフーのWebサービスではコンテナ化が進んでいることが分かる．さらに，User Kubernetesの総数も6カ月で約1.3倍増加している．KaaSではマルチクラスタ構成にてUser Kubernetesを作成しWebサービス部門へ提供しているため，利用しているWebサービスが増えたとともに利用者数も増加していると言える．User Kubernetesのノードの総数は6カ月で約2.0倍増加している．1ノードあたりに稼働しているコンテナ数の平均値は，2020年6月時点では約9.31コンテナ／ノード，2020年12月時点は約7.35コンテナ／ノードである．1ノードあたりの稼働コンテナ数が下がっている．これは2020年6月から12月にかけ，大容量のメモリを要求するWebサービスが利用開始したためである．

また，2020年12月時点における各ノード種別とetcdのVM数の比率は，それぞれControl Plane 7.2%，Worker 70.6%，Ingress 10.7%，etcd 11.5%であった．

5.2　運用実績

図8にUser Kubernetes数とKaaS管理者数の推移を示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

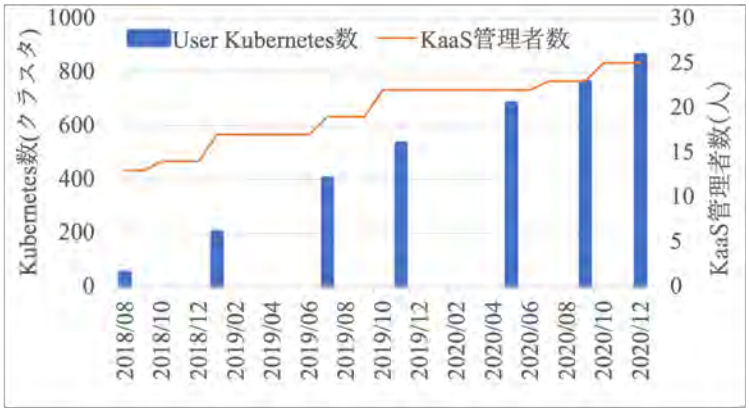


図8　User Kubernetes数とKaaS管理者数の実績

User Kubernetes数は運用開始直後から増加し続け，2020年12月時点では約17.2倍の約860クラスタが稼働している．また，第4章にて述べたKaaSの基盤ソフトウェアはバージョン1.12から運用を始め，2020年12月ではバージョン1.37が稼働している．つまり，平均1.12カ月ごとにバージョンアップしている．このバージョンアップでは，その都度，KaaS管理者により全User Kubernetesのローリングアップデートが実施される．つまり，ノードの連続稼働期間も約1.12カ月である．これにより，KaaSの新機能追加・バグ修正だけでなくKubernetesの最新バージョンへの追随やOSの最新パッチ適用が行われ先進性と安定性を保っている．

次に，利用者からKaaS管理者への問合せについて，月ごとの問合せ件数および問合せチケット内のコメント数について実績を**図9**に示す．なお，本グラフはKaaS管理者が問合せごとに作成しているチケットであるGitHub Issueの値であり，口頭やメールなどのコミュニケーションにて短期解決したものは含まない．また，問合せチケット内のコメント数は，問合せ内容の難易度を示す一指標として，調査時におけるKaaS管理者のメンバ間・IaaS管理者・サーバ管理者・ネットワーク管理者・ストレージ管理者・ゼットラボ（株）との技術的なやりとりのコメント数をカウントし，月ごとの中央値を算出している．

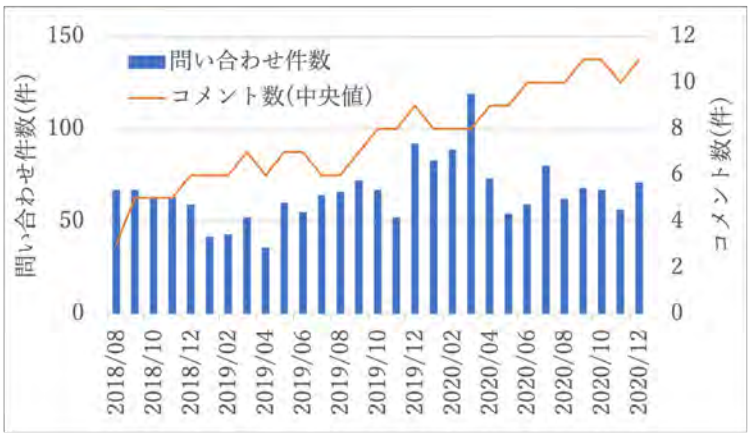


図9　KaaS管理者への問合せ件数とチケット内のコメント数

© 2021 Information Processing Society of Japan

図9に示すように，各月でばらつきはあるが，平均65.55件／月の件数である．運用開始直後は67件，2020年12月時点では71件であった．また，2020年3月近辺の問合せが一時的に増加しているが，これは新たにセキュリティ区分の高いネットワークセグメント向けにKaaSを提供し始めたためである．

6. 考察

本章では，第5章の運用実績を用い，第4章の要件であったリソースの集約効果とKaaS管理者の運用負荷について考察を述べる．

6.1 リソースの集約効果

5.1節の運用実績から，KaaSを導入したことによるリソースの集約効果についてコンテナ化とマルチクラスタ構成の観点から考察する．まずは，コンテナ化による集約化効果について述べる．コンテナ化による集約率としてコンピュート・ネットワークは約86.4%の効果であった．Webサービスのマイクロサービス化により，アプリケーションを実行するコンピュートは，増減させる単位にあわせて設計される．そこで，アプリケーションをコンテナ化しなかったと仮定した際のコンピュートについて，表3の2020年12月時点のデータから算出する．最もシンプルな構成である1アプリケーション／VMの構成とした場合のVM数は約204,980台となる．これに対し，コンテナ化した場合は表3に示すように約27,900ノード（VM）である．つまり，アプリケーションのコンピュートにVMを使う場合と比べ，コンテナ化による集約率は約86.4%である．ネットワークについては，アプリケーションをVM上で稼働させる場合，最もシンプルな構成は1VMにつきバックエンドネットワークのアドレスを1IPアドレス割り当てる構成である．一方，コンテナの場合，1 コンテナにつき1IPアドレスとなる．しかし，KaaSではコンテナのIPアドレスは，4.5節に示すようにコンテナネットワークのアドレスであり，バックエンドネットワークのアドレスは消費しない．つまり，ノードのIPアドレスのみバックエンドネットワークのアドレスを消費する．そのため，バックエンドネットワークで必要となるIPアドレス数は，アプリケーションをVMで稼働させる場合は約204,980個，コンテナで稼働させる場合は約27,900個となる．つまり，コンテナ化することでバックエンドのIPアドレスの集約率はコンピュートと同じく約86.4%である．フロントエンドネットワークは，Webサービスのアクセスポイントとなるロードバランサーへ割り当てられるものであり，VMとコンテナによる消費するIPアドレス数の違いはない．同様に，ストレージに関しても，VMとコンテナによるボリューム数やサイズに差はない．

次に，マルチクラスタ構成によるリソースの集約率について述べる．第2章で述べたようにKubernetesでは，マルチテナントとマルチクラスタの2つの構成が取れる．KaaSではWebサービス部門ごとに独立したKubernetesが必要となるため，マルチクラスタ構成を採用している．しかし，マルチテナント構成とマルチクラスタ構成ではリソース量に差がある．仮に，マルチテナント構成により全Webサービス部門が1台の巨大なUser Kubernetesを共有し利用したと仮定する．この場合，1台のKubernetesとなるためControl Plane，etcdのリソースが集約される．つまり，2020年12月時点ではVM数の比率よりControl Planeとetcdの合計18.7%のコンピュートが集約できる．ネットワークについては，バックエンドネットワークのIPアドレス数はVM数に依存するため，コンピュートと同じ18.7%集約できる．フロントエンドネットワークのIPアドレスは，Webサービスのアクセスポイントとなるロードバランサーに割り当てられるもの

© 2021 Information Processing Society of Japan

であり，必要なIPアドレスは変わらない．同様に，ストレージも消費量に差はない．このように，KaaSで採用しているマルチクラスタ構成は，マルチテナント構成に比べ，18.7%のコンピュートとネットワークのリソースを多く使用している．

以上のように，KaaSは，コンテナ化したアプリケーションを対象とすることで，コンピュート・ネットワークの集約効果があり，マルチクラスタ構成によってWebサービス部門の独立性を確保できる利点がある．もし，各Webサービス部門の独立性が必要ない組織であれば，マルチクラスタ構成ではなく，マルチテナント構成を取ることで，さらにコンピュートとネットワークのリソース削減が見込める．

6.2　KaaS管理者の管理負荷

5.2節の運用実績を用い，KaaS管理者の管理負荷について考察する．KaaS管理者は13人にて運用を開始し，2020年12月時点では25人である．2年4カ月間で約1.92倍増員している．しかし，単に管理者数が増員したことで，利用数が増加し続けるKaaSの管理が行えている訳ではない．

図10にKaaS管理者1人あたりが管理しているUser Kubernetesの平均クラスタ数の推移とその近似曲線を示す．2018年8月の約3.85 クラスタ／人から徐々に管理台数が伸び，2020年12月では約34.4クラスタ／人となっている．2年4カ月で，1人のKaaS管理者が管理できるUser Kubernetesの数が約8.94倍向上している．つまり，単に人数が増えたことで大量のUser Kubernetesを管理できているのではなく，KaaS管理者が管理可能な台数も同時に向上した結果である．さらに，3.2節に示すようにKaaS管理者は経験の浅い管理者が多く，一部のインフラ管理に長けた熟練の管理者に依存したものではない．

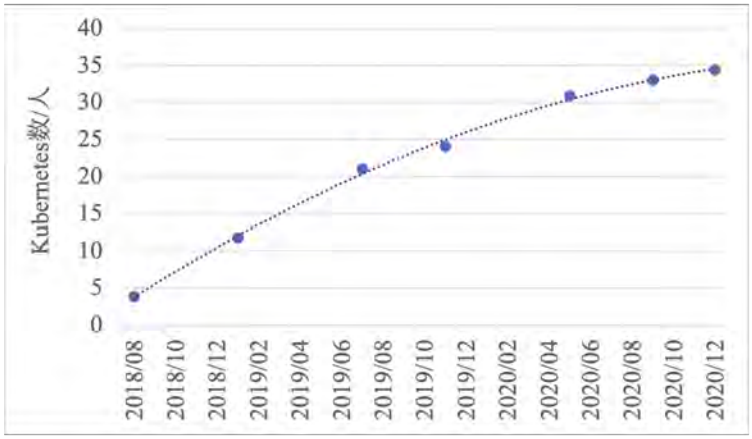


図10　KaaS管理者1人あたりが管理するKubernetesクラスタ数

次に，KaaS管理者におけるSREの作業に着目する．SREの主な作業の1つであるバージョンアップ作業を取り上げ，管理負荷の軽減効果について述べる．KaaSでは，5.2節に示したように平均1.12カ月ごとにバージョンアップし，新機能追加やバグ対応を行うことで先進性と安全性を保っている．このKaaSのバージョンアップでは，全User Kubernetesのコンピュートとネットワークのリソース再作成が必要となる．つまり，KaaSのアップデートにより，2020年12月ではUser Kubernetesで利用する約27,900台のノードがローリングアップデートにより，Webサー

© 2021 Information Processing Society of Japan

ビスを停止させることなく自動で再作成される．ここで仮定として，もしKaaSを使わずに，全ノードの再作成をKaaS管理者が手動で行わなければならない状況を想定する．手動によるノードの再作成に要する時間を10分／台と仮定した場合，その作業時間は4,650時間（＝279,000分）となる．これは，KaaS管理者25人が全員で対応したとしても，1人あたり186時間かかり，1カ月の作業時間160時間（＝20（日）×8（時間））を超える．なお，この仮定では，ノードの再作成にIaaS管理者やネットワーク管理者，ストレージ管理者など他管理者との調整が発生しないことを前提としたが，調整が発生するような場合，さらに作業時間は伸びKaaS管理者の負担は増加する．KaaSの管理では，このバージョンアップ作業だけにすべての時間を費やすことはできない．これに対し，KaaSでは，宣言的管理によりKaaS管理者はUser Kubernetesの望むバージョンを指定するのみで全ノードがローリングアップデートされる．KaaSでは，この望むバージョンの指定は1コマンドの実行で指定でき，KaaS管理者の作業時間は1 User Kubernetesあたり1分以下である．2020年12月のUser Kubernetes数は約860クラスタであり，これのバージョンアップにかかるKaaS管理者の作業時間は860分以下である．つまり，KaaS管理者がバージョンアップを手動で行った場合と比べ，KaaSにより約99.7%もの作業時間が短縮され，管理負荷が大幅に軽減されている．

次に，KaaS管理者におけるCREの作業に着目する．CREの主な作業の1つである利用者からの問合せ対応について取り上げる．図9で示した利用者からの問合せの件数は，図8で示したUser Kubernetes数の増加数には比例していない．また，ヤフーではKaaS管理者のうちCREとして約半数の人員が対応している．つまり，KaaS管理者1人あたりが対応する問合せ件数は，2018年8月時点では約9.57件／人，2020年12月時点では約5.46件／人である．2年4カ月でKaaS管理者1人あたりが対応する問合せ件数は約42.9%削減している．問合せの内容に注目する．問合せ内容は，KaaSのサービス開始直後はKubernetesの使い方やKaaSの初歩的なバグに関するものが多くあった．その後，KaaSの利用が浸透するに従い，アップデート時の性能影響やコンテナ数増加に伴う高負荷時の挙動に関する問合せなど，徐々に高度な問合せ内容へとシフトしている．この問合せ内容の高度化に伴い，図9で示したKaaS管理者と他管理者との技術的なやりとりの回数が増加傾向にあり，複数人で対応しないと解決できない内容の問合せが増えている．このような高度な問合せへシフトしている主な要因は2つ考えられる．1つ目は，KaaSの利用者向けドキュメントの充足や社内勉強会の実施，さらには世界中でのKubernetesの利用者の増加に伴いドキュメントや事例などが増えたことで，利用者のKaaSおよびKubernetesへの理解度が高まったためと考えられる．2つ目は，KaaSのバージョンアップを高頻度に行うことで，機能改善やバグが早期に対策されているためと考える．このように，問合せ対応は量から質へと変化している．

以上のように，KaaS管理者の人員を増やすだけでなく，KaaSによる自律管理により管理者の作業負荷の軽減効果があった．さらに，利用者からの問合せは量から質へと変化している．特に，大規模なコンテナ環境を管理するKaaS管理者においては，KaaSのような自律管理により数に負けない管理手順を確立し時間を確保した上で，高度化する問合せに対応すべく，確保した時間を使い知見を深めることが，今後より一層重要になる．

7. まとめと今後の課題

ヤフーでは，年々増加するコンテナおよびコンテナの実行環境を管理するため，Kubernetesを使いKubernetesを管理するKaaSを開発し，2年4カ月運用してきた．このKaaSにより，2020年12月時点ではコンテナ数は約204,980個，User Kubernetes数は約860クラスタへと

© 2021 Information Processing Society of Japan

成長した大規模コンテナ環境を，25人のKaaS管理者にて管理している．この大規模コンテナ環境により，コンテナ化したアプリケーションを多数運用できるようになったことで，コンテナ化せずVM上で稼働させたと仮定した場合と比較し，コンピュート・ネットワークは約86.4%の集約効果があった．さらに，KaaSはKubernetesを使いKubernetesを管理する自律管理方式により，KaaS管理者の負荷も軽減された．KaaS管理者の主な作業の1つであるバージョンアップ作業を取り上げると，約99.7%の作業時間の軽減効果があった．もう1つの主な作業である利用者からの問合せ対応については，2年4カ月の期間で問合せの量よりも質へと変化していることが判った．この変化に応えるために， KaaS管理者は今後より一層知見を深めることが重要である．この知見を深めるための時間を確保するためにも，大規模コンテナ環境では，KaaSのような自律管理方式の採用と各レイヤの管理者間で不要な調整を避けるインフラ設計が必要である．

今後の課題は，リソースのさらなる集約化に向けて，各Webサービス部門の独立性を維持しつつ，マルチテナント構成のようにKubernetes 自身の管理で必要なコンポーネント用の集約およびパブリッククラウドのサービスで利用が始まっているサーバレスコンピューティングの活用によるさらなるリソース削減である．また，KaaS管理者のさらなる負荷軽減に向けて，KaaS管理者がKubernetesを直接管理するシーンをさらに削減すべくWebサービス部門のアプリケーション開発・運用管理に連動したアプリケーション視点での自律管理方式の実現である．

参考文献

1）Lewis, J. and Fowler, M. : Microservices, https://martinfowler.com/articles/microservices.html (参照 2021-02-03)
2）Newman, S.（著），島田浩二（訳）：モノリスからマイクロサービスへ―モノリスを進化させる実践移行ガイド，オライリー・ジャパン (2020).
3）Soltesz, S., PÖtzl, H., Fiuczynski, M. E., Bavier, A. and Peterson, L. : Container-based Operating System Virtualization : A Scalable, High-performance Alternative to Hypervisors. In Proceedings of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2007, EuroSys '07, pp.275–287 (2007).
4）Verma, A., Pedrosa, L., Korupolu, M. R., Oppenheimer, D., Tune, E. and Wilkes, J. : Large-scale Cluster Management at Google with Borg, Proceedings of the European Conference on Computer Systems, Bordeaux, France, pp.1-17 (2015).
5）Mouat, A. : Using Docker, O'Reilly Media, Inc. (2015).
6）containerd Community : containerd, https://containerd.io/ (参照 2021-02-03).
7）CRI-O Community : cri-o, https://cri-o.io/ (参照 2021-02-03).
8）Felter, W., Ferreira, A., Rajamony, R. and Rubio, J. : An Updated Performance Comparison of Virtual Machines and Linux Containers, 2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS), Philadelphia, PA, pp.171-172 (2015).
9）Kivity, A., Kamay, Y., Laor, D., Lublin, U. and Liguori, A. : kvm : the Linux Virtual Machine Monitor, Proceedings of the Linux Symposium, Vol.1, No.8, Dttawa, Dntorio, Canada, pp.225-230 (2007).
10）Docker Inc. : Swarm Mode Overview, https://docs.docker.com/engine/swarm/ (参照 2021-02-03)
11）Mesos community : Apache Mesos, http://mesos.apache.org (参照 2021-02-03)
12）CNCF Survey : Use of Cloud Native Technologies in Production Has Grown Over 200%, https://www.cncf.io/blog/2018/08/29/cncf-survey-use-of-cloud-native-technologies-in-production-has-grown-over-200-percent/ (参照 2021-02-03)
13）Truyen, E., Van Landuyt, D., Preuveneers, D., Lagaisse, B. and Joosen, W. : A Comprehensive Feature Comparison Study of Open-source Container Orchestration Frameworks, Applied Sciences, Vol.9, No.5, p.931 (2019).

© 2021 Information Processing Society of Japan

14）Jeffrey O. Kephart and Devid M. Chess : The Vision of Autonomic Computing, IEEE Computer Society, pp.41–50 (2003).
15）G. Lanfranchi, P. D. Peruta, A. Perrone and D. Calvanese: Toward a New Landscape of Systems Management in an Autonomic Computing Environment, IBM SYSTEMS JOURNAL, Vol.42, No.1, pp.5–18 (2003).
16）Hausenblas, M. and Schimanski, S. : Programming Kubernetes, O'Reilly Media, Inc. (2019).
17）Kubernetes Community : Declarative Management of Kubernetes Objects Using Configuration Files, https://kubernetes.io/docs/tasks/manage-kubernetes-objects/declarative-config/ (参照 2021-02-03).
18）Truyen, E., Van Landuyt, D., Reniers, V., Raque, A., Lagaisse, B. and Joosen, W. : Towards a Container-Based Architecture for Multi-Tenant SaaS Applications, Proceedings of the 15th International Workshop on Adaptive and Reflective Middleware, ARM 2016, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2016).
19）Kubernetes Community : Kubernetes Components, https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/components/ (参照 2021-02-03)
20）Google Cloud : Google Kubernetes Engine, https://cloud.google.com/kubernetes-engine (参照 2021-02-03)
21）Amazon Web Service : Amazon Elastic Kubernetes Service, https://aws.amazon.com/eks/ (参照 2021-02-03)
22）Amazon Web Service : Amazon EC2, https://aws.amazon.com/ec2/ (参照 2021-02-03)
23）Amazon Web Service : AWS Fargate, https://aws.amazon.com/fargate/ (参照 2021-02-03)
24）Microsoft Azure : Azure Kubernetes Service (AKS), https://azure.microsoft.com/en-us/services/kubernetes-service/ (参照 2021-02-03)
25）Corey Sander : Fast and Easy Containers : Azure Container Instance, https://azure.microsoft.com/en-us/blog/announcing-azure-container-instances/ (参照 2021-02-03)
26）Virtual Kubelet Project : Virtual Kubelet, https://github.com/virtual-kubelet/virtual-kubelet/ (参照 2021-02-03)
27）Kubernetes Community : Kubeadm, https://kubernetes.io/docs/reference/setup-tools/kubeadm/ (参照 2021-02-03)
28）kubespray Community : Deploy a Production Ready Kubernetes Cluster, https://kubespray.io/ (参照 2021-02-03).
29）Red Hat : Red Hat OpenShift, https://www.redhat.com/en/technologies/cloud-computing/openshift/ (参照 2021-02-03)
30）Rancher Labs : Rancher, https://rancher.com/products/rancher/ (参照 2021-02-03)
31）VMware : VMware Tanzu Kubernetes Grid, https://tanzu.vmware.com/kubernetes-grid (参照 2021-02-03)
32）奥村　司：月間800億PVを支えるIaaS基盤の舞台裏（構築編）, https://techblog.yahoo.co.jp/entry/2020102130034499/ (参照 2021-02-03)
33）水落啓太：ヤフーのPrivate PaaSチームにおけるSREの取り組み, https://techblog.yahoo.co.jp/entry/2020121130052943/ (参照 2021-02-03)
34）OpenWhisk community : Apache OpenWhisk, https://openwhisk.apache.org (参

© 2021 Information Processing Society of Japan

照 2021-02-03)
35）Beyer, B., Jones, C., Murphy, N. R. and Petoff, J. : Site Reliability Engineering, O'Reilly Media, Inc. (2016).
36）Rensin, D. : Introducing Google Customer Reliability Engineering, https://cloud.google.com/blog/products/gcp/introducing-a-new-era-of-customer-support-google-customer-reliability-engineering (参照 2021-02-03)
37）藤江貴司：クラスタ数530以上，大規模Kubernetesを運用するエンジニア組織の作り方，https://techblog.yahoo.co.jp/entry/20191211786995/ (参照 2021-02-03)
38）勝田広樹：Kubernetes as a Serviceを2年稼働させて，行ってきた改修と知見紹介，https://techblog.yahoo.co.jp/entry/20200203804048/ (参照 2021-02-03)
39）Shyam Jeedigunta and Maciek Różacki : Kubernetes Scalability A Multi Dimensional Analysis, https://static.sched.com/hosted_files/kccna18/92/Kubernetes%20Scalability_%20A%20multi-dimensional%20analysis.pdf (参照 2021-02-03)
40）Kubernetes Community : Considerations for Large Clusters, https://kubernetes.io/docs/setup/best-practices/cluster-large/ (参照 2021-02-03)
41）Intel Corporation : インテル ターボ・ブースト・テクノロジー 2.0，https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/architecture-and-technology/turbo-boost/turbo-boost-technology.html (参照 2021-02-03).
42）Nghttp2 Community : nghttpx—HTTP/2 proxy-HOW-TO, https://nghttp2.org/documentation/nghttpx-howto.html (参照 2021-02-03)
43）Container Storage Interface Working Group : Container Storage Interface (CSI) Specification, https://github.com/container-storage-interface/spec (参照 2021-02-03)
44）Kubernetes Community : Addon-manager, https://github.com/kubernetes/kubernetes/tree/master/cluster/addons/addon-manager (参考 2021-02-03)
45）金子　聡，中島　淳，坂下幸徳，敷田幹文：大規模高信頼データセンタ向けVM 作成自動化方式の提案と事例による評価，情報処理学会デジタルプラクティス，Vol.7, No.2, pp.195-204 (2016).
46）坂下幸徳，飯田　諒：ヤフー／ゼットラボのステートフルアプリケーションへの挑戦，https://techblog.yahoo.co.jp/entry/2020082530014927/ (参照 2021-02-03).

坂下幸徳（正会員）ysakashi@zlab.co.jp
2003年北陸先端科学技術大学院大学修士修了．2015年同大学博士（情報科学）．2003年（株）日立製作所入社，主任研究員．2018年ヤフー（株）／ゼットラボ（株）入社，研究開発に従事．

© 2021 Information Processing Society of Japan

採録決定：2021年3月31日
編集担当：浜　直史（（株）日立製作所研究開発グループ）

© 2021 Information Processing Society of Japan

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

特集号招待論文

コンテナを利用した実行環境の変化に素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャの設計と実装

松本亮介[1,2]　近藤宇智朗[3]　栗林健太郎[2]

[1]さくらインターネット（株）さくらインターネット研究所　[2]GMOペパボ（株）ペパボ研究所　[3]GMOペパボ（株）技術部技術基盤チーム

クラウド・Webホスティングサービスに対して，セキュリティの担保を前提とした低価格化と性能の向上，および，多数の機能が求められる中，各サービス事業者はコンテナ型の仮想化技術（以下，コンテナ）に注目し，活用している．さらに，エンジニアだけでなく，特別な専門知識を持たない個人がサービスを利用することも増えてきている．一方で，障害時の可用性やアクセス集中時の負荷分散については，依然として各サービス事業者によるシステム固有の実装や，エンジニアの特別な専門知識に依存している．本稿では，特別な専門知識を持たない個人でも利用できることを目的に，WebアプリケーションへのHTTPリクエストごとに，コンテナの起動，起動時間，起動数，および，リソース割り当てを反応的に決定する，テナントの状態の変化に素早く適応できる恒常性を持つ汎用的なシステムアーキテクチャの設計と実装について述べる．本アーキテクチャにより，アクセス集中時にはコンテナがHTTPリクエストを契機に，あらかじめlistenの直前のプロセス状態にイメージ化されたコンテナを，アクセス状況に応じて複製・破棄することで，サービス利用者が意識することなく迅速に自動的な負荷分散が可能となる．さらに，HTTPリクエストが送られてこないコンテナは一定期間で破棄されることにより，収容効率を高め，ライブラリが更新された場合には常に新しい状態へと更新される頻度が高くなる．本アーキテクチャをプロトタイプのシステムに実装し，負荷分散の性能やHTTPリクエスト単位での状態変更処理の性能について評価して，実運用上の観点から有用であることを示した．

1. コンテナを活用したサービスの普及と課題

企業や個人がSNSを始めとした各種インターネットのサービスを活用することによって，生活の仕方や働き方が多様化し，インターネット上で自らを表現する機会が増加している．特に専門的な知識のない個人にとっても，TwitterやFacebookを活用して，短い文章を書くだけでなく，自身が作成したコンテンツを拡散させることにより，効率よくコンテンツへの訪問数を増やすことができるようになった．その結果，コンテンツの内容の品質が高ければ，さらに拡散され，コンテンツに紐づく個人のブランド化や仕事への展開も可能になってきている．一般的に個人が自由にWebコンテンツを配信するためには，Webホスティングサービス，クラウドサービスなどが利用される[26]．

© 2021 Information Processing Society of Japan

Webホスティングサービスやクラウドサービスの低価格化と性能の向上，および，多数の機能提供[1]の背景には，Webアプリケーションの複数の実行環境を単一のWebサーバ上でセキュリティを担保しながら安定なサービスを提供するために，OSの仮想化技術[7]が活用されている．OSの仮想化技術の中でも，プロセス単位でユーザ領域を隔離してリソース管理ができるコンテナ型の仮想化技術[31]を活用することにより，仮想マシンと比べて，複数の実行環境の収容効率を高めることができる．また，プロセス単位でCPUやメモリなどの割当リソースやプロセスがアクセス可能な名前空間を詳細に設定することにより，複数プロセス間やプロセスと収容されているホストOS間でのセキュリティやリソースの隔離も担保できる．また，仮想マシンと比較して，高速に仮想環境を起動することも特徴であるため，アプリケーション実行環境のデプロイや再配置，負荷分散のためスケーリング処理が高速に実現できる．

一般的に，単一のサーバに複数のユーザ領域を収容するようなWebホスティングサービスでは，利用者のWebコンテンツデータが特定のWebサーバに紐づくため，負荷分散することが難しい[37]．また，クラウドサービスの場合は，利用者がデータの特性を考慮してアクセス集中に耐え得るオートスケール[29]の仕組みを作る必要があったり，各サービス・プロバイダが提供しているオートスケールの機能を使う必要がある．AWS☆1などのサービス・プロバイダが提供しているオートスケール機能では，サービス・プロバイダ自身が提供する監視項目に基づき，内部で自分で構築した仮想マシンを起動させたり，外部のサービスを利用して仮想マシンを自動で起動させる必要がある．そのため，突発的なアクセス集中に対して，スケール処理に時間がかかり負荷分散が間に合わない場合が多い[14]．また，AWS Lambda[4]やFargate[2]，Google Cloud Serverless Computing[12]，Azure Functions[5]のようなServerless[22]サービスや，コンテナのオーケストレーションサービス[6],[11]を利用することで，サービス提供者側で自動でリソースを分配しオートスケールをするサービスもある．しかし，サービス提供側が指示するプログラミング言語の仕様にそってWebアプリケーションやシステムを実装する必要があり，専門的知識のない個人の利用者には実現困難である．

本研究では，WordPress☆2ようなWebアプリケーションをユーザ環境に配置できる程度の，従来のWebホスティングサービスを利用できるような知識を持った個人がWebコンテンツを配信することを前提にする．その上で，そのような個人のサービス利用者が，アクセス集中時に負荷分散のシステム構築やライブラリの運用・管理を意識せず，Webアプリケーションが配置されているコンテナの状態をHTTPリクエスト単位でリアクティブに決定する，実行環境の変化に素早く適応できる恒常性を持つシステムアーキテクチャを提案する．Webアプリケーションの実行におけるユーザのデータは共有ストレージやデータベースで共有し，アプリケーションの処理を明確に分離した上で，迅速に負荷分散処理を実現するために，HTTPリクエストを契機に，コンテナの起動処理，起動継続時間，リソース割り当ておよびコンテナ起動数を決定する．さらに，コンテナ上で実行されるWebアプリケーションを高速に起動させるために，起動処理完了直前のWebアプリケーションプロセスをLinuxのプロセスのダンプとリストアを可能にするCRIU[8]によってイメージ化しておき，起動時にはイメージからリストアする．

本研究で提案するアーキテクチャを実現することで，第4章の実験環境における評価で，オートスケールアップおよびオートスケールアウト，両方のオートスケーリングにおいても，CRIUを使っていない状態で，スケール処理が始まってから2sから5sでレスポンス性能が向上できること確認した．また，コンテナのように起動の所要時間が小さい実行環境とコンテナ上で動作するWebアプリケーションプロセスのイメージ化を活用することにより，Ruby on RailsのようなWebアプリケーションフレームワークがコンテナの停止状態であってもHTTPリクエストに応じ

© 2021 Information Processing Society of Japan

て1200msでレスポンスを返すことができる．また，コンテナが一定期間で破棄され，プロセスの起動時間を短縮することによって，マルチテナント方式[23]のリソース効率を高め，同時に，ライブラリが更新された場合には新しい状態へと更新される頻度が高くなる．

本稿の構成を述べる．第2章では，Webホスティングサービスやクラウドサービスにおける負荷分散技術と運用技術，および，その課題について述べる．第3章では，第2章の課題を解決するための提案するシステムアーキテクチャの設計と実装を述べる．第4章では，提案するシステムアーキテクチャを実装して，オートスケーリングの効果やイメージから高速に起動させた場合のレスポンスの定量評価と考察を行い，第5章でまとめとする．

2. 負荷分散技術と運用技術

コンテンツを配信するWebサーバに対してアクセスが集中し，コンテンツを幅広く閲覧される可能性が高い状況においては，サーバが高負荷状態となってアクセスが困難となり，貴重なコンテンツ拡散の機会を逃すことも多い．負荷対応のためのスケール手法は，大きく分けて，稼働している単一のインスタンス☆3に割り当てるハードウェアリソースを増減させるスケールアップ型と，複数のインスタンスへと起動数を増減することによって負荷分散を行うスケールアウト型の2つに分類できる．本章では，Webホスティングサービスやクラウドサービスにおける，スケール手法の分類に基づいて，負荷分散のためのオートスケールや関連する運用技術について整理する．

2.1 Webホスティングサービス

一般的なWebホスティングサービス[26]では，サービス利用者のWebコンテンツは特定のWebサーバのテナントに収容され，WebサーバとWebコンテンツが紐づくため，負荷に応じたオートスケールはデータの整合性の面で困難である．このような場合に適用可能な手法として，ユーザデータ領域を共有ストレージにまとめた上で，仮想ホスト方式を採用した複数台のWebサーバで負荷分散を行う手法[38]がある．この手法には，テナントを高集積に収容できるメリットがある一方で，以下の課題がある．

仮想ホスト方式では複数のホストを単一のサーバプロセス群で処理するため，リクエストはサーバプロセス群に含まれるWebサーバの処理プロセスを共有して処理される．そのため，ホスト単位で使用するリソースを適切に制御したり，その原因を迅速に調査することが困難[36]であり，スケール時のコスト計算や必要な時に必要なだけリソースを追加するような方式が利用できない．また，テナント単位での負荷に応じて，一時的に割当リソースを増減させて負荷を簡易的に分散させるような，即時性の高いスケールアップ型の負荷対応もできない．

運用技術の観点からは，ライブラリの更新の際に，沢山のホストを単一のWebサーバプロセスで処理している特性上，Webサーバ・ソフトウェアの更新や設定変更におけるサーバプロセスの再起動時のサービス影響が大きくなる．また，サーバ高負荷時には，リソースを適切に限定することが困難であるため，高負荷原因の調査と制御にコストがかかり[39]，サービス品質への影響も大きい．

また，サービス利用者の観点では，利用できるWebサーバソフトウェアをはじめとしたミドルウェアおよび機能が全ホスト共通となり，Apache httpdで構築されている場合はApache httpdの機能に依存するため，各種プログラミング言語で実装されているWebアプリケーション

© 2021 Information Processing Society of Japan

サーバのアプリケーションが使えないといった観点で自由度が低い．

2.2 クラウドサービス

クラウドコンピューティング[25]とは，ネットワークやサーバといったコンピュータリソースのプールから必要なときに必要な量だけオンデマンドに利用可能とするコンピューティングモデルである．クラウドサービスはクラウドコンピューティングを各種サービスとして提供するサービスである．

クラウドサービスでは，Webコンテンツだけでなく，Webサーバソフトウェアやデータベースをサービス利用者が自ら構築する必要がある．そのため，負荷分散のためのシステム設計を個別に行うことができる点において自由度は高いが，専門的な知識が必要となる．オートスケールについても，負荷に応じて増減させる機能が提供されている[3]が，その負荷の監視間隔が分の単位であり，突発的なアクセスに対して検知するまでの時間が長くなる．負荷状況に応じて仮想マシンを起動させたとしても，テレビ放映の影響のような突発的な高負荷時に，オートスケールのための処理自体が追いつかず，サービス停止に繋がることも多い．

仮想マシンの起動時間の問題を解決するためにコンテナを利用する手法[14]や，外部サービス連携によってスケールを行う条件を詳細に定義できるサービス☆4もある，これらのサービスでは，スケール時の判定を行う際に，外部サーバなどからOSの負荷やプロセスの状態等を監視する方式がとられており，監視の時間間隔や取得できる情報の粒度が荒く，突発的な負荷に対して即時性が低くなる問題もある．高負荷状態に対して迅速に対応する即時性を持たせるためには，事前にある程度想定される量の仮想マシンを起動させておくことによって対処する必要がある．しかし，定量的な見積もりや事前のメンテナンスが必要であったり，限られたコストの兼ね合いから適切な見積もりをすることは困難である．そのため，負荷の状態に基いて適切なインスタンスの数を決定することは難しく，必要以上にコンピュータリソースを使用していることが多い．

また，Webホスティングサービスで使われるような仮想ホスト方式であれば，単一のサーバプロセスで複数のテナントへのリクエストを共有して仮想的に転送するため高集積にテナントを収容できる．一方で，コンテナの場合はテナント単位でコンテナを立ち上げる必要があるため，テナント数に依存してプロセス数が増加するため常時専有するリソースが増加し，収容率が仮想ホスト方式よりも低下する．

上記のような問題を解決するために，クラウドサービスプロバイダは，プロバイダ指定の記法によってアプリケーションを実装すれば，自動的にコンピュータリソースを決定し，高負荷時には自動的にプロバイダ側でオートスケールするServerless[22]のサービス[4],[12]を提供している．しかし，前提としてプログラミングができるエンジニアを対象としており，一般的なOSSとして公開されているWebアプリケーションを利用できないことが多く，処理の実行時間が限定的であるといった使用上の制限が大きい．

コンテナのオーケストレーションサービス[6],[11]を利用することで，コンテナ上にWebアプリケーションを配置し，サービス利用者の設定によって，サービス適用側のシステムにおいて自動でリソースを分配したり，オートスケールをしたりするするサービスもある．しかし，このようなサービスを使う場合に，専門的な知識なくWebコンテンツを公開した上でコンテナのリソース管理やオートスケールを実現することは困難である．

© 2021 Information Processing Society of Japan

SaaSとしてのブログサービスやTwitter，Facebookといったマイクロブログサービスは，専門的な知識が必要なくコンテンツを発信できる利点があるが，SaaSである特性上，各種サービスに指定された仕様に依存するため，個人の表現において自由度が低くなる．

2.3　Webサーバ機能のプロアクティブ性とリアクティブ性

突発的なアクセス集中といった大きな変化に耐え得るシステムを，限られた資金やリソースの中で構築するためには，負荷の状態に基いて適切なインスタンスの数を決定し，必要以上にコンピューティングリソースを使用しないように設計することも重要である．単一のサーバに高集積にホストが収容可能であり，ホスト単位でのリソース管理を適切に行いながら，セキュリティと性能および高負荷に強いWebホスティング環境を構築することを目的とした場合，Webサーバ機能をプロアクティブ性とリアクティブ性に基いて分類できる．以下に，Webサーバ機能のプロアクティブ性とリアクティブ性を定義する．

プロアクティブ性とは，Webサーバ機能を持つ仮想マシン，コンテナおよびWebサーバプロセスがあらかじめ起動しており，リクエストに応じて仮想マシンやコンテナの状態を即時変更できないが，常に起動状態であるため，高速にリクエストを処理できる性質とする．そのため，常時Webサーバ機能を稼働させておく必要があるためハードウェアリソースを専有するため，リソース効率が悪い．プロアクティブ性を持ったオートスケールは，たとえば2.2節で述べたように，事前にアクセス頻度から予測を行い，予測に基づいた数だけあらかじめインスタンスを起動させておくようなアプローチである．

リアクティブ性とは，CGIやFastCGI[9]，あるいは，xinetd[24]のように，アプリケーションが実用上現実的な速度で起動可能であることを前提に，リクエストに応じてサーバプロセスを起動する性質とする．リアクティブ性を持つWebサーバ機能は，起動と停止のコストは生じるため，性能面はプロアクティブ性を持つWebサーバ機能より劣るが，リクエストを受信しない限りはプロセスが起動しないため，リソース効率がよい．また，リクエストに応じて複数起動させるといった変更に強い処理が実装しやすい．一例として，FastCGIはリソース効率と性能を両立するために，一定期間起動して連続するリクエストを高速に処理可能とするアーキテクチャをとっている．

しかしながら，CGIのようなリアクティブ性に基づく従来の処理手法は性能面の問題などから利用されなくなってきており，オートスケールについても，リクエスト単位で仮想マシンやコンテナを都度起動させるコストを考慮すると，実用的な性能を満たすことは困難である．

3. 提案する恒常性を持つシステムアーキテクチャ

インターネット技術に関する専門知識を持たない個人がSNSなどを通じてインターネットをより活用し自己表現を行うには，WordPressや各種プログラミング言語で提供されているアプリケーションサーバによって実装されたWebアプリケーションをサービス管理画面からユーザ環境に配置できる程度の，従来のWebホスティングサービスを利用できるような知識を持った個人がWebコンテンツを配信することを前提にする必要がある．その上で，そのような個人のサービス利用者が，アクセス集中時に負荷分散のシステム構築やコンテンツ配信に必要なソフトウェアのバージョンアップをはじめとして，関連するソフトウェアのライブラリの運用・管理を意識せず，低価格で利用でき，かつ，安定してコンテンツを配信し続ける必要がある．

© 2021 Information Processing Society of Japan

サービス提供側においては，現状の関連研究や各種サービスの特徴を考慮した場合，限られたリソースの範囲内で負荷に応じて即時インスタンスを制御するためには，リアクティブ性を持つWebサーバ機能を前提に，インスタンスを状況に応じて起動・停止・複製し，実用上問題にならない程度の性能を担保するシステムアーキテクチャが必要となる． 以下に要件をまとめる．

（1）HTTPリクエスト単位の粒度で迅速にインスタンスのスケールアウトとスケールアップができる
（2）HTTPリクエスト単位の粒度でインスタンスの状態を定義し即時状態の変更命令を出せる
（3）リソース効率化のため必要のないインスタンスは停止可能であり，必要なときにHTTPリクエスト単位で起動できる

また，このアーキテクチャによって実現されるWebホスティングサービスとしては以下の要件が必要となる．

（1）OSやライブラリの更新作業のようなサーバ運用はサービス提供側が行う
（2）広く使われる一般的なWebアプリケーション（WordPressなど）を利用できる
（3）アクセスが集中した際に専門的な知識がなくてもオートスケールによる負荷分散を行える
（4）Webアプリケーション実行時間程度の粒度での課金が可能である
（5）ホストの収容効率を高めることによってハードウェアコストを低減する
（6）高頻度でセキュリティを担保するためのOSやライブラリの更新が行われる

そこで，本研究では，Webコンテンツを配信するために，サービス利用者が負荷分散のシステム構築やライブラリの運用・管理を必要とせず，迅速にユーザ領域を複数のサーバに展開可能とするために，Webアプリケーションコンテナの起動，起動継続時間，起動数およびスケール処理の判定といった状態の変更をHTTPリクエストごとにリアクティブに決定し，実現するシステムアーキテクチャを提案する．このシステムアーキテクチャの特徴から，HTTPリクエスト単位で常に変化することができるため，実行環境や外部要因の変化に素早く適応でき，恒常性を持つ．このシステムアーキテクチャをFastContainerアーキテクチャと名付ける．

3.1 FastContainerアーキテクチャおよび関連技術

FastContainerアーキテクチャでは，インスタンスとして，仮想マシンではなくLinuxコンテナを利用する．Linuxにおけるコンテナ[10]はカーネルを共有しながらプロセスレベルで仮想的にOS環境を隔離する仮想化技術の1つである．コンテナの起動処理は仮想マシンのようなカーネルを含む起動処理と比べて，新しくプロセスを起動させる程度の処理で起動が可能であるため，起動時間が短時間で済むという特徴がある．また，コンテナ環境単位であるため広く使われているWebアプリケーションを隔離して利用できる．

図1に，FastContainerのフローを示す．図1のように，インターネット上からWebアプリケーションにリクエストが送信されると，システム内部でWebProxyが，リクエスト情報からWebアプリケーションが動作するコンテナの収容ホストを検索するために，（1）により収容ホストやコンテナの構成管理情報が保存されているデータベース（CMDB）にAPI経由で問合せて取得する．次に，（2）により，収容ホスト上に起動しているLocalWebProxyにリクエストを転送した上で，収容ホスト内のどのコンテナのWebアプリケーションへのリクエストであるかを，（3）により再度CMDBに問合せ，コンテナの構成管理情報を取得する．そして，（4）によりコンテナが起動していなければ，ContainerEngine経由で（5）によってコンテナを起動させてから，（6）によってリクエストを転送しWebアプリケーションにアクセスする．

© 2021 Information Processing Society of Japan

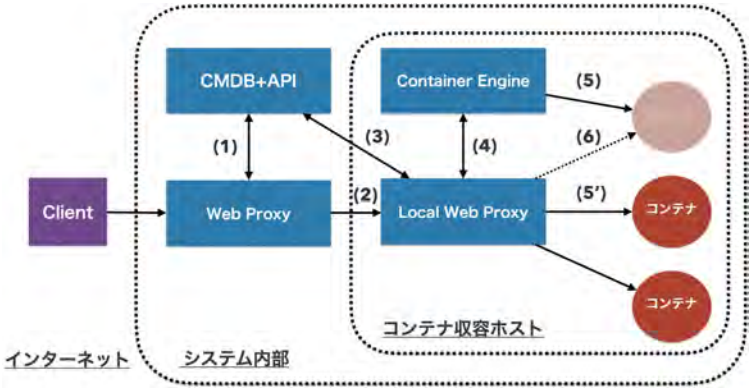


図1　FastContainerのフロー

FastContainerアーキテクチャでは，コンテナが仮想マシンと比較して速く起動できる点と，2.3節で述べたFastCGIのようにリソース効率を高めつつ，性能も担保するアーキテクチャを組み合わせた点が特徴である．そして，（5）におけるコンテナ上で起動するWebアプリケーションのユーザデータを共有ストレージに配置することで，複数の収容ホストを横断してコンテナが起動してもデータの整合性が保たれる．さらに，（3）により，HTTPリクエストごとに，Webアプリケーションコンテナの起動処理，起動継続時間，コンテナの起動数およびリソース割り当て設定を取得しリアクティブに状態を決定する．

提案手法では，（5′）によりコンテナが1つ以上起動していれば，（5）によるコンテナの起動を省略して即時レスポンスを送信し，コンテナが停止していた場合は，リクエストを契機に（5）によりコンテナを起動させてから．（6）により一定期間複数のリクエスト処理を行う．これによって，仮にコンテナがすべて停止していたとしても，コンテナがリクエスト単位で起動するため可用性が高くなる．

たとえば，メモリリークが生じるような不完全なソフトウェアが動作していたとしても，定期的に循環が行われることにより，メモリが解放される．この特徴により，システム全体がメモリ不足にならないため，そういったソフトウェアを許容できる．ただし，システムとしては許容できても，ソフトウェアとして不完すべてあることを検知する必要がある．また，一定時間起動することにより，一度コンテナが起動してしまえば，起動時間に影響なくレスポンスを送信できる．

アクセス集中時には，コンテナのリソース状態に合わせて，コンテナの状態を変えられるような構成にする．たとえば，すでに起動済みのコンテナがコンテナ自身のCPU使用時間の割り当ての失敗を示すcgroup[28]のthrottledの値を監視し，80%以上失敗していたらスケールアウトさせ，5分間の失敗の平均値が10%以下であれば，コンテナの起動継続時間に基づいてスケールアウトしたコンテナを停止させる，などである．ただし，本研究では，こういったリソース状態の監視と最適な状態の決定についてはスコープ外とし，そういった仕組みに対応できるシステムアーキテクチャの設計と実装を主目的とする．

© 2021 Information Processing Society of Japan

スケールアウト処理時には，自動的に新しいコンテナの構成情報をコンテナの収容情報をCMDBに登録する．その後，コンテナの前段に配置されているLocalWebProxyがCMDBに基づいて，新しいコンテナへとリクエストを転送する．この転送作業では，（3）（4）（5）によりコンテナが収容されているサーバ上で動作しているLocalWebProxyが，プロキシ先のコンテナが起動していればそのままリクエストを転送し，起動していなければ，CMDBからコンテナの構成情報を取得して，コンテナを先に起動しリクエストを転送する．ただし，コンテナが起動中の場合は，これまで述べてきたとおり，すでに起動済みのコンテナにリクエストを転送し，起動が完了してからリクエストが振り分けられるようにする．Webアプリケーションに関するデータは共有ストレージ上に配置されているため，コンテナを収容するサーバ群は同一領域をマウントすれば，スケール処理によってどのサーバにコンテナが起動しても，CMDB上にコンテナの構成情報に基づいて適切に動作可能となる．

スケールアップについても，コンテナのリソース管理がLinuxのcgroupによってプロセス単位で制御されており，それらの構成情報はCMDBに保存されているため，cgroupの特徴を利用して，プロセスが処理中であってもCPU使用時間などの割り当てをリクエスト処理野中でリアクティブに変更できる．

状態遷移を高速に行うために，コンテナ上で起動するWebアプリケーションプロセスは，CRIU[8]を利用して，起動処理完了直後のプロセス状態をイメージ化しておく．その上で，コンテナ起動時にはそのイメージからリストアすることで，Ruby on Rails[27]のように，実装によっては数秒から数十秒かかるような起動時間の長いソフトウェアであっても，高速に起動可能になる．

提案手法では，コンテナの起動をCRIUをによって高速化させること，リクエストを契機としたリアクティブな起動処理であること，および，オートスケールの監視手法がリクエスト単位での粒度で行われることにより，突発的な負荷に対しても迅速にオートスケールが可能となる．また，コンテナが一定期間で破棄されることにより，不必要なプロセスの起動数を低減してコンテナの収容効率を高め，ライブラリが更新された場合には常に新しい状態へと更新されることが保証される．

3.2　Serverlessアーキテクチャや関連サービスとの違い

Serverlessアーキテクチャ[22]とFastContainerアーキテクチャとの違いについて述べる．Serverlessアーキテクチャは基本的にアプリケーションの運用を基盤側で行わないのに対し，FastContainerアーキテクチャでは，WordPress等の一般的なCMSを配置・オートスケール可能とし，アプリケーションの運用まで一部基盤側で対応する．また，AWS Lambda[4]やFargate[2]，Google Cloud Serverless Computing[12]，Azure Functions[5]などに類するServerlessアーキテクチャでは，サービス提供側の仕様に基づいて利用者による所定のコーディングが必要であるため，専門的な知識を有する利用者前提のサービスである．一方で，FastContainerアーキテクチャは汎用的なWebアプリケーションを利用でき，アクセス集中時には基盤側でスケーリングできるため，エンジニアの専門知識を持たない個人向けにも提供できる．ただし，FastContainerアーキテクチャにおけるデータベースのスケーリングは，基本的にコンテナへのリソース追加によるスケールアップが前提となる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

Heroku[15]の無料プランは，無料プラン利用によるサービスリソースを常時専有する使用量を低減するために，リクエスト単位で反応的にインスタンスを起動した後，インスタンスの稼働時間制限やリクエストを処理できないスリープ時間を設けている．Herokuのインスタンス上で状態を持つデータ，たとえばブラウザからアップロードしたファイルやセッション情報は，インスタンス再起動時に揮発し，永続化されない．Herokuの有料プランではスリープ時間がないことからも，定期的な再起動を行いながら，基本的にはコンテナを起動させ続けるアプローチによってリクエスト処理を安定的に処理するアーキテクチャと考えられる．

FastContainerアーキテクチャはリソース効率化に加えて，停止や起動，スケーリング処理やコンテナの別ハードウェアへの移動，複製などの状態の変化を高速化し，反応的に状態を変化させることによって常にインスタンスを循環させ，変化に強い恒常性を生み出すことが主目的である．また，コンテナに置かれた状態を持つデータはすべて永続化され，スケールアウト時であっても，複数のコンテナ間で共有される．さらに，コンテナの状態を監視することで適切な状態変化を行うための最適化や，サービスレベルとアクセス数からコンテナのライフタイムを適応的に決める手法の検討，コンテナの投機的起動により変化に強い恒常性を目指してシステムアーキテクチャを設計している．

3.3 Haconiwa：コンテナ管理ツール

FastContainerアーキテクチャをクラウド・ホスティングシステムとして実現するためには，コンテナの複雑な制御が必要である．そこで，このアーキテクチャを実現するために，我々は新たなコンテナ管理ツールであるHaconiwa[13],[34]を開発した．Haconiwaは筆者の1人である近藤らによって開発されており，コンテナのリソース割り当てやプロセス隔離の構成情報の設定だけでなく，コンテナ起動・停止時やコンテナのセットアップ時の各種フェーズでRuby DSL☆5を実行することにより，コンテナの振る舞いをプラガブルに定義できるソフトウェアである．Haconiwaはコンテナを固定的な仮想環境としてのみ利用するだけでなく，プログラムで制御が可能な分散システム上で動作するある種のスレッドとみなせるような方針で開発されている．

Haconiwaは，FastContainerアーキテクチャのように，リクエスト単位でリアクティブにコンテナを起動させることができ，かつ，一定時間起動した後に停止する処理や，Haconiwaで起動されたコンテナを管理するプロセスがコンテナのリソース使用状態を監視して，状態によってHTTPベースのAPIにアクセスするといったような動的な処理をDSLで平易に記述できる．Haconiwaによって構築されたコンテナのリソース割り当てはcgroupを活用しており，コンテナのプロセスを停止させることなく，何らかの処理中であっても，CPUなどのリソース割り当てを即時変更することができる．

図2は，コンテナ環境を自動で作った上でプログラムを実行し，さらに，自動的にコンテナ環境自体を停止させる例である．このように書かれたHaconiwaの設定を実行すると，12行目のbootstrapAPIにより，gitでコンテナのイメージを取得後，17行目のprovisionAPIによりコンテナにRubyの環境を作り，4行目によりコンテナ起動と同時にコンテナ内部でRubyプログラムがsleepするだけの処理を実行する．その後，24行目のadd_async_hook APIの定義に従い，30秒後にコンテナを停止する．

© 2021 Information Processing Society of Japan

```
 1:  Haconiwa.define do |config|
 2:    config.name = "haconiwa-auto-droptest"
 3:    # Ruby loop daemon:
 4:    config.init_command = ["/usr/bin/ruby",
 5:                           "-e",
 6:                           "loop { sleep 1 }"]
 7:    config.daemonize!
 8:
 9:    root = Pathname.new("/var/lib/haco/#{config.name}")
10:    config.chroot_to root
11:
12:    config.bootstrap do |b|
13:      b.strategy = "git"
14:      b.git_url = "https://example.jp/haconiwa.image"
15:    end
16:
17:    config.provision do |p|
18:      p.run_shell <<-SHELL
19:  apk add --update bash
20:  apk add --update ruby
21:      SHELL
22:    end
23:
24:    config.add_async_hook(msec: 30 * 1000) do |base|
25:      Haconiwa::Logger.info("Process kill:#{base.pid}")
26:      ::Process.kill :TERM, base.pid
27:    end
28:
29:    config.mount_independent "procfs"
30:    config.namespace.unshare "pid"
31:  end
```

図2　Haconiwaの設定記述例

FastContainerアーキテクチャを適用したシステムおよびツールは，多数のコンテナで構成されたシステムを自動で管理するためのコンテナオーケストレーションソフトウェアであり，Haconiwaは単一のコンテナを管理するツールと定義できる．

3.3.1　既存のコンテナ管理ツールとの比較

コンテナの状態を管理するソフトウェアとしては，Docker[18]やLXC[16]，rkt[17]などがある．Dockerはコンテナによる仮想環境の手軽な構築や周辺のエコシステムを重視しており，コンテナを構成するプロセスの隔離技術やリソース割り当て技術が機能として密結合になっている．一方でHaconiwaは，必要なコンポーネントを組み合わせて，chroot()システムコールによる最低限のファイルシステム隔離に加え，CPUやメモリのリソース割り当てのみを適用した環境，あるいは，コンテナの起動から生成までの流れの主要なフェーズで処理をフックできる機能などをDSLによって細かく記述することができる．そのため，構築したいコンテナ隔離環境に応じて，仮想環境の独立性と運用性，実行時の軽量さのバランスを検討しやすい設計になっている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

LXCはHaconiwaと同様にプラグインでカスタマイズ可能な作りになっているものの，コンテナの振る舞いを定義するためのフックフェーズが，コンテナ起動や停止時のみといったように限定的である．一方Haconiwaは，シグナルハンドラや起動後の非同期遅延処理，さらには定期実行のタイマー処理を定義して実行することも可能となっており，コンテナを活用したさまざまなシステムに適用しやすくなっている．また，HaconiwaはRuby DSLで記述することが可能であるため，Webサービス開発で広く使われているRubyの知識を有するエンジニアが，Webアプリケーションからその基盤のコンテナ環境をRubyの知識を使って表現することができる．

rktは多くの設定をサポートしているものの，Ruby DSLのように動的かつプログラマブルに記述することはできず，コマンドラインのオプション設定で実行する必要がある．

3.3.2　コンテナのオーケストレーションソフトウェアとの比較

代表的なコンテナのオーケストレーションソフトウェアとしてKubernetes[32]がある．Haconiwaは，通常のDockerやLXCによる単一あるいは複数の平易なコンテナ管理に加え，Ruby DSLを各コンテナの処理フェーズで記述可能で，任意の処理を実行可能であることから，独自で実装する場合に複雑になりがちなオーケストレーション層との連携を想定した作りとなっている．また，Haconiwa自体がオーケストレーションソフトウェアとしても遜色ない使い方が可能である．HaconiwaとKubernetesの機能を比較した場合，Kubernetesは設定を単一のyamlファイルで記述する必要がある．今後コンテナを活用した複雑なコンテナ設定，あるいは，kubernetesのようなオーケストレーション層との連携が求められることを想定すると，Haconiwaのようにコンテナの設定層およびオーケストレーション層との複雑な接続をDSLで統一的に記述でき，かつ，Rubyのような一般的に広く使われるプログラミング言語を利用できることにより，独自に定義された記述言語よりも自由度が高く，学習もしやすいと考えられる．

3.4　コンテナを利用したWebサービス基盤モデル

図3に，FastContainerアーキテクチャやその実装の立ち位置を明確化するために，コンテナを利用したWebサービス基盤モデルを定義し，示す．

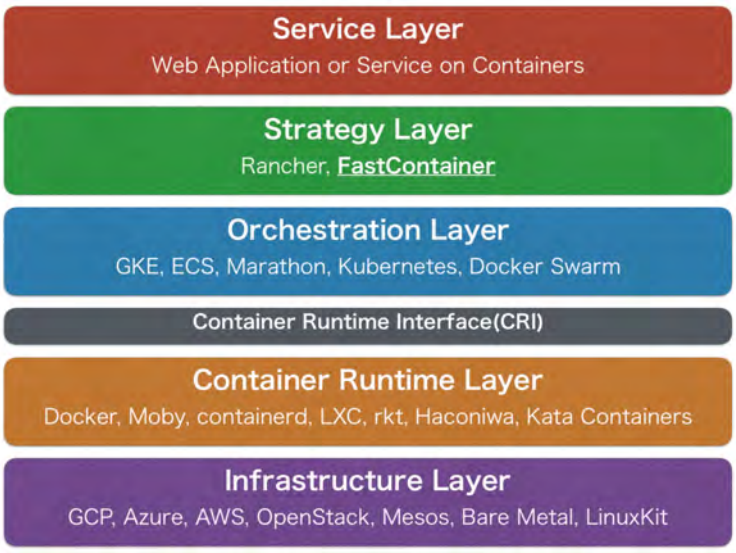


図3　コンテナを利用したWebサービス基盤モデル

© 2021 Information Processing Society of Japan

図3の各層について説明する．サービス層は実際のWebアプリやWebサービスのコンテンツを含む層である．ストラテジー層は，Webサービスの特性に合わせてコンテナ基盤をより特徴的に制御する層であり，本研究のFastContainerはここに属する．

オーケストレーション層は，3.3.2項で言及したKubernetesを代表として，コンテナ群や収容ホスト群のモニタリングやリソース管理等によってCRI[20]と呼ばれるコンテナ管理ツール（コンテナランタイム）のインタフェース仕様を介してコンテナ全体を制御する層である．

コンテナランタイム層は，コンテナそのものの制御層であり，3.3節で言及したHaconiwaやDocker，LXC等を含む．コンテナランタイム層の中には，さらに2層に分類可能であり，CRIに基づいてオーケストレーション層からコンテナ構成情報を受け取ったり，コンテナイメージを管理するCRIランタイム☆6の層，OCI[19]の仕様にしたがってコンテナの構成情報やイメージなどからコンテナのリソース割当や権限分離設定を行って実際にコンテナを起動させるOCIランタイム☆7の層がある．

インフラストラクチャ層はハードウェアやVM，ベアメタル等のコンテナのリソースプールを実現する層である．

特に，オーケストレーション層の上のストラテジー層は，コンテナのオーケストレーションツール基盤の上に，さらにそれぞれのWebサービスの特性に合わせた戦略の層として位置するのではないかと考える．たとえば，本稿におけるホスティングサービスのスケーリングや運用効率化に基づいた戦略としてFastContainerアーキテクチャを提案し，その上の層に位置するWebアプリケーションのホスティング環境を改善していくことが目的である．そういう意味では，ホスティングサービスにより特化した基盤としてFastContainerはストラテジー層に位置し，オーケストレーション層に位置する各種ツールで実装可能であり，KubernetesやMesos Marathon[21]によって実現可能なアーキテクチャであることが望まれる．本研究では，FastContainerアーキテクチャをより最適にオーバーヘッドなく実現するために，3.1 節で述べた Haconiwa と各種連携ツールによって構成されるシステムの実装をNHHM Stack[33]として設計・開発し，命名した．

4. FastContainerアーキテクチャの実験と評価

4.1 スケーリング処理の評価

FastContainerアーキテクチャの有効性を確認するために，**図4**に示すFastContainerを用いたプロトタイプ環境を構築し，コンテナのスケーリング処理を評価した．**表1**に実環境と各種ロールの役割を示す．実験環境の各ロールのNICとOSはすべて，NICは1Gbps，OSはUbuntu14.04 Kernel4.4.0を利用した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

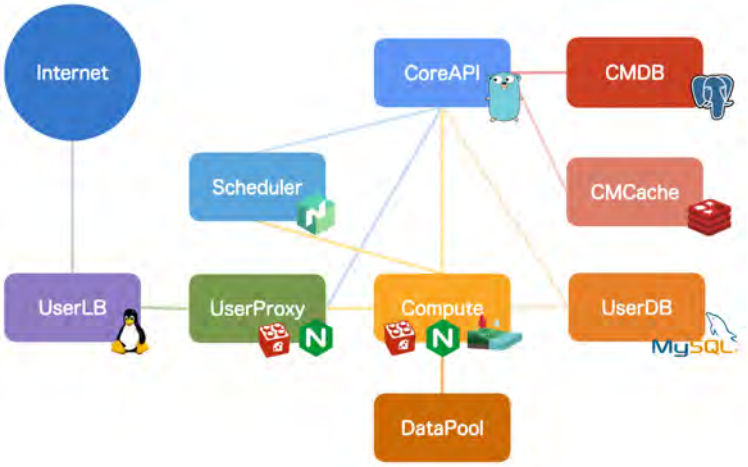


図4　HaconiwaによるFastContainerのシステム構成例

表1　実験環境

	項目	仕様
Compute	コンテナが動作するサーバ	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 12core
	Memory	39GBytes
UserProxy	CMDB に基づきコンテナにリクエストを転送	
	CPU	Intel Xeon E5620 2.40GHz 4core
	Memory	4GBytes
CoreAPI	コンテナの構成管理情報を制御	
	CPU	Intel Xeon E5620 2.40GHz 8core
	Memory	8GBytes
CMDB	コンテナの構成管理情報を保存	
	CPU	Intel Xeon E5620 2.40GHz 4core
	Memory	16GBytes
DataPool	コンテナのコンテンツを格納	
	CPU	Intel Xeon E5620 2.40GHz 2core
	Memory	4GBytes

実験では，表1のロールのみを構築し，UserProxyからComputeで起動しているコンテナに対してベンチマークを行う．コンテナのデータはDataPool上に保存し，ComputeからDataPoolに対してNFSマウントする．コンテナ上には，Apache2.4.10を1プロセスで起動させた上でPHP5.6.30をインストールし，PHPの環境情報を取得するphpinfo()関数を実行するだけのコンテンツを動作させる．これによって，動的コンテンツに対応したWebサーバプロセスが動作しているコンテナを起動させながら，極力動的コンテンツの処理の影響を減らし，かつ，比較しやすい処理を実現する．

© 2021 Information Processing Society of Japan

コンテナの最大CPU使用量は，cgroupの機能により1コアの30%に制限し，その設定のもと予備実験からCPUを30%使い切ることのできるベンチマークの設定を同時接続数100，総リクエスト数を10万に決定した．ベンチマークにはApache httpdに同封されるabコマンドを利用した．本実験では，コンテナ追加のためのCoreAPIへのリクエストは手動で実施した．CRIUによるイメージ化については，後述の実験で評価するために，本実験では行わない．

ベンチマークでは，1秒間のレスポンスタイムの平均値を時系列データとして作成しグラフ化した．続いて，同様のベンチマークを実施し，処理リクエスト数が5万を超えた段階で，コンテナ数を増やすスケールアウト型とコンテナへの割当リソースを増加させるスケールアップ型それぞれの負荷対応を実施し，即時スケール処理が実施され，レスポンスタイムが短くなるかどうかを確認した．**図5**にスケールアウト型，**図6**にスケールアップ型の実験結果を示す．

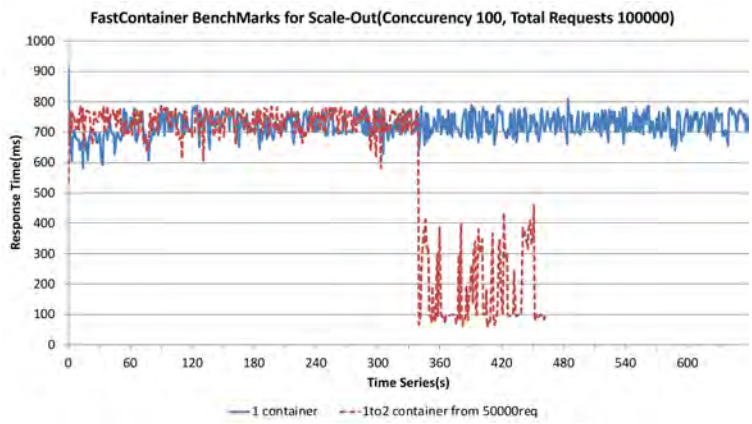


図5　FastContainerのオートスケールアウト

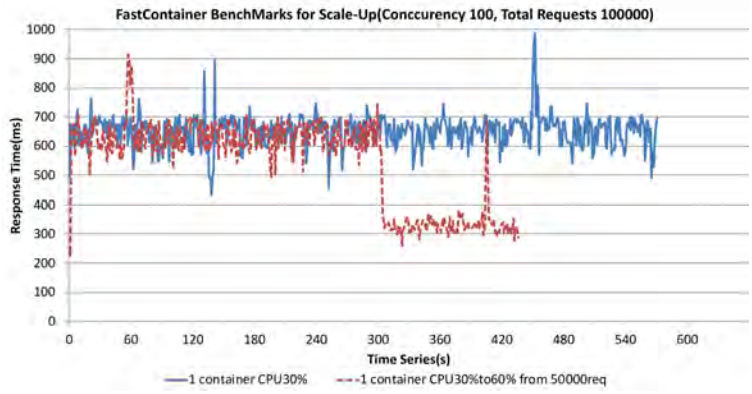


図6　FastContainerのオートスケールアップ

図5の1 containerで示されるグラフは1コンテナに対するベンチマークの結果を示している．ベンチマークの間は，制限された最大CPU使用率30%を常に使い切っている状態となっており，その状態でおおむねグラフのとおりレスポンスタイムは700msec前後程度になっている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

また，これ以上同時接続数を増やすと，リクエストの処理に失敗する数が増えるため，この値が1コンテナがリクエストの処理に失敗することなく処理できる最大のレスポンスタイムであることを予備実験で確認した．

次に，横軸340秒あたりから下降する1to2 container from 50000reqで示されるグラフは，5万リクエストに到達した横軸で335秒の時点でオートスケールアウトを行った場合の結果である．グラフからも，コンテナが数秒で立ち上がることの高速性と，オートスケールアウトの処理がリクエストに対してリアクティブに起動することにより，迅速にスケールアウトし，リクエストを取りこぼすことなくレスポンスタイムが半分程度に短くなり，高速に処理できていることが分かる．具体的な数値としては，335秒時点でオートスケールアウトを発生させ，そこから339秒まではスケーリング処理が行われているため700msecのレスポンスタイムのままであり，340秒にはスケーリングが完了して，同時に秒間のレスポンスタイムは300msec前後程度となった．また，レスポンスタイムが短くなったことにより，1コンテナの場合は10万リクエストを処理するのに720秒程度かかっていたが，グラフのように470秒程度で10万リクエストの処理が完了していることが分かる．

図6の1 container CPU30%は，図5の1 containerと同様に，スケール処理を何もしない場合のグラフである．横軸300秒あたりから下降し始めている1 container CPU30%to60% from 50000reqのグラフは，5万リクエストに到達した横軸301秒の時点で，コンテナ管理ソフトウェアのHaconiwaによって即時CPUの最大使用率を60%までに引き上げた場合のレスポンスタイムの遷移を示している．

図6からも，リクエスト処理が5万リクエストまで到達した横軸301秒の時点から，大きなレスポンスタイムの遅延やレスポンス処理の失敗などなく，即時スケールアップ処理が行えていることが分かる．具体的な数値としては，301秒時点でオートスケールアップを発生させ，302秒からレスポンスタイムが700msecから574msecと下降が始まり，304秒の時点で358msecとなり，以降は350msec前後に安定した．オートスケールアウトよりも，オートスケールアップが即時レスポンスタイムへの影響があった理由としては，新たなコンテナを起動させてリクエストの振り分けに追加するスケールアウトに対して，直接稼働中のコンテナのリソースを増強できるからだと考えられる．

本節の実験はCRIUによるイメージ化を行っていない．これらのスケーリング処理において，スケールアウト型の5秒間のタイムラグはコンテナ環境そのものの起動時間ではなく，Apache httpdなどのコンテナ上で起動するサーバプロセスの起動時間が支配的であることが分かっている[30],[35]．すなわち，サーバプロセスの起動完了直前のイメージから起動することによりさらに短縮することが見込まれる．

4.2　CRIUによるイメージからの起動速度評価

本実験では，CRIUを利用してあらかじめ起動処理完了状態のプロセスをイメージ化しておき，レスポンスに応じてイメージから起動した場合のレスポンスタイムを測定した．**表2**に実験環境と各種ロールの役割を示す．4.1節の実験と同様に，図4に示すFastContainerを用いたプロトタイプ環境を構築した．実験環境の各ロールのNICとOSはすべて，NICは1Gbps，OSはUbuntu16.04，カーネルは4.4.0-59-genericを利用した．コンテナのデータはDataPool上に保存し，ComputeからDataPoolに対してNFSv3でマウントした．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表2　実験環境

	項目	仕様
Client	ベンチマークを実施するクライアントサーバ	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 1core
	Memory	2GBytes
Compute	コンテナの収容サーバ	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 8core
	Memory	51GBytes
UserProxy	CMDB に基づきコンテナにリクエストを転送	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 1core
	Memory	2GBytes
CoreAPI	コンテナの構成管理情報を制御	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 1core
	Memory	2GBytes
CMDB	コンテナの構成管理情報を保存	
	CPU	Intel Xeon E5-2650 2.20GHz 1core
	Memory	16GBytes
DataPool	コンテナのコンテンツを格納	
	Storage	NetApp FAS8200A
	FlashPool	8.73 TB

Webアプリケーションサーバとして，起動に時間のかかるRuby on Railsのデフォルトページを実験に利用した．Ruby on Railsのバージョンは5.1.3で，Rubyのバージョンは2.5.1である．コンテナには，ComputeサーバのCPUコアを1コア割り当て，メモリは1GBytesを割り当てた．比較のために，CRIUを使った場合と使わない場合のコンテナを用意した．実験では，コンテナ上で起動しているRuby on Railsに対して，abコマンドを利用して同時接続数1でベンチマークを行い，ベンチマークが40秒程度経過した段階で，コンテナを停止させた．FastContainerアーキテクチャであるため，コンテナが停止しても，次のリクエストを受信した段階でリアクティブに起動する．その際に，イメージから起動する場合とそうでない場合でレスポンスタイムにどの程度違いがあるかを比較した．

図7にCRIUを使わない場合のRailsコンテナのレスポンスタイム，**図8**にCRIUを使った場合のレスポンスタイムを示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

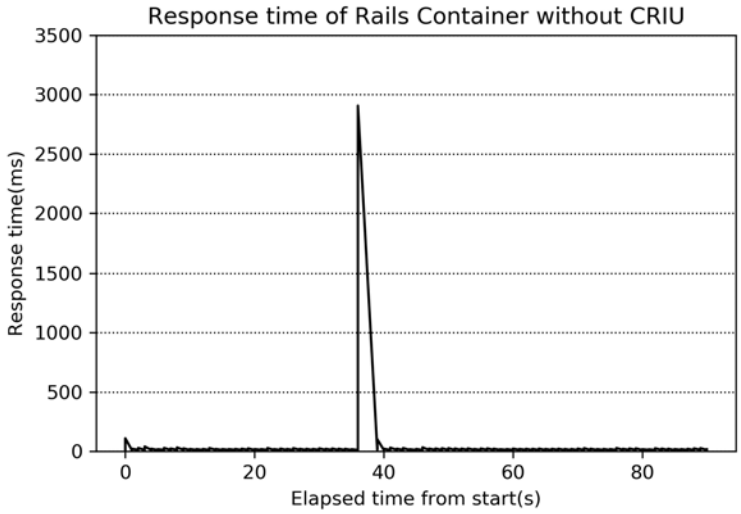


図7　CRIUを使わない場合のRailsコンテナのレスポンスタイム

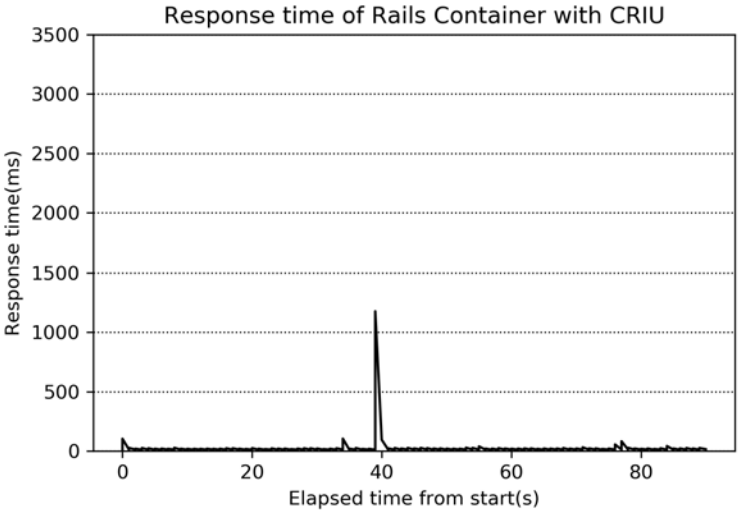


図8　CRIUを使った場合のRailsコンテナのレスポンスタイム

Ruby on Railsのデフォルトページは，デフォルトページでもRubyの拡張ライブラリであるgemを67個ロードし，プロセスのRSS（the real memory resident set size of the process）は75MBytes程度利用する．図7のように，このようなコンテナおよびWebアプリケーションの場合は，CRIUを使わない場合は起動だけに2900msecの時間を必要とする．一方で，CRIUを利用した場合は，図8のように，1200msecで起動し，レスポンスを返すことができている．

CRIUを使うことでWebアプリケーションの起動時間が遅いサーバであっても，あらかじめ起動処理を完了させたプロセスイメージから起動させることで速く起動させることができる．また，CRIUによるプロセスイメージからの起動時間は，プロセスのRSSのサイズによって時間が決定されることが報告されており，本実験環境と同様の環境で，メモリ上にシーケンシャルに展

© 2021 Information Processing Society of Japan

開されたプロセスのRSSが100MBytes前後で150msecで起動できる[40]．すなわち，1200msecのうち150msecはCRIUによる起動時間となるため，1050msecはアプリケーションのレスポンスタイムに加えて，システムのプロキシやデータベースなどを経由する処理，コンテナの起動時間，コンテナの状態チェックなどの時間の合計となる．レスポンスタイムを除くシステムの処理時間については，さらにシステムの実装を見直す必要がある．

以上の結果から，FastContainerの状態遷移にCRIUを使うことによって，Webアプリケーションサーバの起動時間に依存せず，リクエストに応じてリアクティブにレスポンスを返すことができる．このことから，オートスケーリングにおいても，高速にコンテナを複製することが可能である．

5. FastContainerのまとめと今後の展望

本研究では，Webホスティングサービスにおいて，サービス利用者に専門的な知識を要求することなく，アクセス集中時には，HTTPリクエスト単位でリアクティブにコンテナで構成されたユーザ環境が状態を変更できる，システムアーキテクチャのFastContainerを提案した．FastContainerアーキテクチャでは，HTTPリクエストごとに，コンテナ上のWebアプリケーションの起動，起動継続時間，起動数およびリソース割り当てをリアクティブに決定する．Webアプリケーションの起動に時間がかかるプロセスであっても，CRIUによるプロセスイメージのリストアを応用することで，オートスケールまでの処理を大幅に短縮し，リアクティブにオートスケールが可能となる．また，コンテナが一定期間で破棄されることによりリソース効率を高め，ライブラリが更新された場合には新しい状態へ更新される頻度も高くなる．アクセス数が低下したり必要なくなったコンテナは，起動計測期間終了後速やかに停止することから，システム全体の不必要なリソース専有も低減できる．

一方で，CRIUによるイメージのリストア時間は，プロセスのメモリサイズやプロセス数，スレッド数などに依存することが予備実験から分かってきている．今後は，それらの観点から，CRIUによるイメージのリストア活用と，Webアプリケーションプロセスの起動処理時間の相関関係を考察する必要がある．

今後の展望としては，さらにFastContainerアーキテクチャのシステム設計と実装，および改修を進めていき，実サービス環境における評価を継続的に行っていく．さらに，アクセスの変化に応じてコンテナの状態をリアクティブに決定できることから，コンテナのリソース割当や起動数を機械学習によって最適化したり，アクセスが集中することが予測できる場合は投機的にコンテナを起動させる，といったような，機械学習や統計的手法との連携も引き続き注目していきたい．

現在注目されているサーバレスアーキテクチャ[22]やそのオーケストレーション機能のスタンダード実装であるkubernetesとの関係性も考慮していく必要がある．その際，コンテナ時代のWebサービス基盤をモデル化した時に，Haconiwaの実装においても，世界中で活発に開発されているコンテナ技術と協調するために，前述したCRIやOpen Container Initiative（OCI）[19]に準拠した仕様にすべきであるし，KubernetesのCRIAPIやOCIにHaconiwaを対応させる必要もある．

© 2021 Information Processing Society of Japan

FastContainerアーキテクチャやHaconiwaのような新しいソフトウェアを自社や個人で開発していく中で，コンテナ関連ソフトウェアの立ち位置と比較対象を明確化し，各層の連携をより汎用化していくためにも，その他のツールとの連携や技術的背景を考慮しつつ，ツール開発者と議論しながら研究開発を続けていく予定である．

参考文献

1）AWS Cloud Products : https://aws.amazon.com/products/
2）AWS Fargate : https://aws.amazon.com/jp/fargate
3）AWS Auto Scaling : https://aws.amazon.com/autoscaling/
4）AWS Lambda : https://aws.amazon.com/lambda/
5）Azure Functions : https://azure.microsoft.com/services/functions/
6）Amazon Elastic Container Service : https://aws.amazon.com/ecs/
7）Che, J., Shi, C., Yu, Y. and Lin, W. : A Synthetical Performance Evaluation of Openvz, Xen and KVM, IEEE Asia Pacific Services Computing Conference (APSCC), pp.587-594 (Dec. 2010).
8）CRIU. checkpoint/restore in userspace : http://criu.org/
9）Brown, M. R. : FastCGI - A High-Performance Gateway Interface, Fifth International World Wide Web Conference, Vol.6 (1996).
10）Felter, W., Ferreira, A., Rajamony, R. and Rubio, J. : An Updated Performance Comparison of Virtual Machines and Linux Containers, IEEE International Symposium Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS), pp.171-172 (Mar. 2015).
11）Google Cloud : https://cloud.google.com/
12）Google Cloud Serverless Computing : https://cloud.google.com/serverless
13）Haconiwa : MRuby on Container / A Linux Container Runtime Using Mruby DSL for Configuration, Control and Hooks, https://github.com/haconiwa/haconiwa
14）He, S., Guo, L., Guo, Y., Wu, C., Ghanem, M. and Han, R. : Elastic Application Container : A Lightweight Approach for Cloud Resource Provisioning, Advanced Information Networking and Applications (AINA 2012), IEEE 26th International Conference, pp.15-22 (Mar. 2012).
15）Middleton, N. and Schneeman, R. : Heroku : Up and Running : Effortless Application Deployment and Scaling, O'Reilly Media, Inc. (2013).
16）LXC : https://linuxcontainers.org/
17）rkt : A security-minded, standards-based container engine, https://coreos.com/rkt/
18）Docker, Inc. : Docker: Build, Ship, and Run Any App, Anywhere, https://www.docker.com/
19）Open Container Project : The Open Container Initiative, https://www.opencontainers.org/
20）The Kubernetes Authors : Introducing Container Runtime Interface (CRI) in Kuber netes, http://blog.kubernetes.io/2016/12/container-runtime-interface-cri-in-kubernetes.html
21）Mesosphere, Inc. : Marathon : A Container Orchestration Platform for Mesos and DC/OS, https://mesosphere.github.io/marathon/
22）Roberts, M. : Serverless Architectures, https://martinfowler.com/articles/serverless.html
23）Mietzner, R., Metzger, A., Leymann, F. and Pohl, K. : Variability Modeling to Support Customization and Deployment of Multi-tenant-aware Software as a Service Applications, The 2009 ICSE Workshop on Principles of Engineering Service Oriented Systems, pp.18-25 (May 2009).
24）Nazario, J. : Using Xinetd, Linux Journal, No.83es, pp.8-es (2001).

© 2021 Information Processing Society of Japan

25）Mell, P. and Grance, T : The NIST Definition of Cloud Computing, US Nat'l Inst. of Science and Technology (2011), http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf
26）Prodan, R. and Ostermann, S. : A Survey and Taxonomy of Infrastructure as a Service and Web Hosting Cloud Providers,10th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, pp.17-25 (Oct. 2009).
27）Ruby on Rails : A Web-application Framework That Includes Everything Needed to Create Database-backed Web Applications According to the Model-View-Controller (MVC) pattern, https://rubyonrails.org/
28）Rosen, R. : Resource Management : Linux Kernel Names-paces and Cgroups, Haifux (May 2013).
29）Ferdman, M., Adileh, A., Kocberber, O., Volos, S., Alisafaee, M., Jevdjic, D. and Falsafi, B. : Clearing the Clouds : a Study of Emerging Scale-out Workloads on Modern Hardware, ACM SIGPLAN Notices, Vol.47, No.4, pp.37-48 (Mar. 2012).
30）Matsumoto, R. and Kondo, U. : Rapid Container Scheduling for Reactive Relocation of Individual HTTP Requests, The 44rd Annual IEEE International Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC2020), pp.565-574 (July 2020).
31）Soltesz, S., Pötzl, H., Fiuczynski, M. E., Bavier, A. and Peterson, L. : Container-based Operating System Virtualization: A Scalable, High-performance Alternative to Hypervisors, ACM SIGOPS Operating Systems Review, Vol.41, No.3, pp.275-287 (Mar. 2007).
32）The Kubernetes Authors : kubernetes: Production-Grade Container Orchestration, https://kubernetes.io/
33）近藤宇智朗：変拍子パワーポップ系コンテナ，Haconiwa/the-alternative-container, https://speakerdeck.com/udzura/the-alternative-container
34）近藤宇智朗, 松本亮介, 栗林健太郎：Haconiwa：プログラムによる，組み立て可能性と拡張性を持つLinuxコンテナ，第80回全国大会講演論文集, Vol. 2018, No.1, pp.19-20 (2018).
35）松本亮介：超個体型データセンタOSとOCIランタイム，https://speakerdeck.com/matsumoto_r/chao-ge-ti-xing-detasentaostoocirantaimu
36）松本亮介，岡部寿男：リクエスト単位で仮想的にコンピュータリソースを分離するWebサーバのリソース制御アーキテクチャ，情報処理学会研究報告，Vol.2013-IOT-23, No.4 (Sep. 2013).
37）松本亮介，栗林健太郎，岡部寿男：Webサーバの高集積マルチテナントアーキテクチャと運用技術，電子情報通信学会論文誌，Vol.J101-B, No.1, pp.16-30 (Jan, 2018).
38）松本亮介，川原将司，松岡輝夫：大規模共有型Webバーチャルホスティング基盤のセキュリティと運用技術の改善，情報処理学会論文誌，Vol.54, No.3, pp.1077-1086 (Mar. 2013).
39）松本亮介，田平康朗，山下和彦，栗林健太郎：特徴量抽出と変化点検出に基づくWebサーバの高集積マルチテナント方式におけるリソースの自律制御アーキテクチャ，情報処理学会研究報告インターネットと運用技術（IOT），2017-IOT-36 (26), pp.1-8 (2017-02-24).
40）松本亮介，中田裕貴，栗林健太郎：HTTPリクエスト単位でインスタンスの再配置が可能な低コストで高速なスケジューリング手法，研究報告インターネットと運用技術（IOT），Vol.2018-IOT-42, pp.1-8 (Jun. 2018).

脚注

© 2021 Information Processing Society of Japan

☆1　Amazon Web Services, https://aws.amazon.com/
☆2　WORDPRESS.ORG, https://wordpress.org/
☆3　仮想的に構築されたサーバ環境
☆4　http://www.rightscale.com/
☆5　Domain-specific language
☆6　cri-oやcontainerdなどの実装がある
☆7　runC，runsc，runnc，runV，kata-runtime，cc-runtimeなどの実装がある

松本亮介（正会員）matsu1229@gmail.com

京都大学博士（情報学），さくらインターネット研究所上級研究員，本会各種委員，ITRC各種委員，松本亮介事務所所長，その他複数社の技術顧問．2018年11月より現職のさくらインターネット研究所で上級研究員を務める．第9回日本OSS奨励賞や2014年度情報処理学会山下記念研究賞など，その他受賞多数．2016年に情報処理学会IPSJ-ONEにおいて時流に乗る日本の若手トップ研究者19名に選出される．

近藤宇智朗（非会員）udzura@pepabo.com

愛知県豊橋市出身．2007年に東京大学文学部日本語日本語文学専修課程を学士卒業し，2013年よりGMOペパボ（株）に所属．技術部技術基盤チーム，シニアプリンシパルエンジニア．横断的な基盤システムの開発や，開発者の生産性向上のための仕組みづくりに従

© 2021 Information Processing Society of Japan

事．Linuxを中心としたOSの技術や，いわゆるコンテナ型を含む仮想化技術に関心がある．

栗林健太郎（正会員）antipop@pepabo.com

1999年東京都立大学法学部政治学科卒業．2002年奄美市役所入所，2008年（株）はてな入社を経て，2012年（株）paperboy&co.（現GMOペパボ（株））入社．2016年よりペパボ研究所所長，2017年よりGMOペパボ（株）取締役CTO．2020年より北陸先端科学技術大学院大学博士前期課程に在学し，IoTシステムのアーキテクチャを研究している．

採録決定：2021年4月5日
編集担当：佐藤　聡（筑波大学）

© 2021 Information Processing Society of Japan

グロッサリ

Glossary―グロッサリ―

BYOD (Bring Your Own Device)

大学等においては，個人所有のパソコンやタブレットを使って学習すること．学習支援システムとセットで授業などが行われ，学習履歴の蓄積やその活用で教育改革を目指す動きがある．COVID-19の影響で2020年度は急速に普及することになった．（藤村 直美）

CALL (Computer Assisted Language Learning)

コンピュータを使った語学学習のことで，必要な設備が整備されている教室で学ぶものと自宅等で自分のパソコンを利用して自己学習を行うものがある．（藤村 直美）

BB9

1990年代終わり頃に学習支援システムとして日本の大学でも広く使用されていたWebCTが2006年にBlackboard社に買収されて名称がBlackboard Learning Systemに変わり，略称としてBB9となった．（藤村 直美）

CIA

情報セキュリティの3大要素である Confidentiality（機密性），Integrity（完全性），Availability（利用可能性）の頭文字をとって略語にしたもの．クラウドを利用する場合などにおいて，こうした視点から情報の管理を検討する．（藤村 直美）

VDI

© 2021 Information Processing Society of Japan

Virtual Desktop Infrastructureの頭文字を取った略称で，たとえば，クラウド上の仮想計算機で処理を行い，その結果を手元のパソコンなどの画面に表示する使い方である．同一の環境を広く提供する，データを手元のパソコンに置かないことによるセキュリティの担保などで，運用負担を軽減できる．（藤村 直美）

クラウド

遠隔地に業者が準備している計算資源を利用して，ソフトウェア（SaaS：Software as a Service），開発環境（PaaS：Platform as a Service），インフラとしてのサーバ（IaaS：Infrastructure as a Service）などを利用する仕組み．手軽さ，柔軟性などに特徴がある．（藤村 直美）

スケーリング

負荷対応のためのスケールリング手法は，大きく分けて，稼働している単一のインスタンスに割り当てるハードウェアリソースを増減させるスケールアップ型と，複数のインスタンスへと起動数を増減することによって負荷分散を行うスケールアウト型の2つに分類できる．（松本 亮介）

高集積マルチテナントアーキテクチャ

単一のWebサーバ上に複数のホストを高集積に同居させることで，大幅にハードウェアコストや運用コストを低減し，Webサービスを低価格化することを目的とした高集積マルチテナントアーキテクチャが重要性を増している．（松本 亮介）

Webホスティングシステム

高集積マルチテナントアーキテクチャの代表的なサービスであるWebホスティングとは，複数のホストでサーバのリソースを共有し，それぞれの管理者のドメインに対してHTTPサーバ機能を提供するサービスである．Webホスティングサービスにおいて，ドメイン名（FQDN）によって識別され，対応するコンテンツを配信する機能をホストと呼ぶ．（松本 亮介）

コンテナ

© 2021 Information Processing Society of Japan

ホストOSのカーネルを共有しつつ，コンテナ化されたアプリケーションごとにCPU・メモリ・ストレージを隔離する技術．これにより，アプリケーションごとに独立したCPU・メモリ・ストレージのリソース管理が可能となる．さらに，メモリ・ストレージの隔離により，アプリケーションが使用するライブラリの種別やバージョン違いなどで競合が発生する場合であっても，アプリケーションごとに隔離し実行できる特徴がある．（坂下幸徳）

コンテナランタイム

コンテナを実行するための基盤ソフトウェア．ホストOS上で稼働し，コンテナの作成や実行を行う．また，コンテナ化されたアプリケーションをインターネットなどからダウンロードしキャッシュするなどの管理機能も有するものが多い．（坂下幸徳）

コンテナオーケストレーション

複数のコンテナランタイムをクラスタリングし管理するソフトウェア．コンテナオーケストレーションは，どのホストOSのコンテナランタイムにてコンテナを実行するかを定め，コンテナランタイムにコンテナの実行命令を送るなどの管理機能を有する．（坂下幸徳）

© 2021 Information Processing Society of Japan

JISA

表彰制度「JISA Awards」について

会長　原　孝[1]

[1]（一社）情報サービス産業協会

（一社）情報サービス産業協会（JISA）は1984年に設立された業界団体であり，日本を代表するシステムインテグレータや有力ソフトウェア企業，シンクタンクを中心とする主要な情報サービス企業より構成されています．現在，情報サービス産業は構造改革とITイノベーションにより知識集約型社会を実現し，我が国の国際競争力向上に貢献することにより業界地位を向上させ，業界ブランドを確立することを目指しています．そのためには，業界各社が切磋琢磨し独創的かつ国際的に通用する質の高い技術・ノウハウ・製品・ITサービスの創造に鋭意取り組んでいくことが重要になります．また，情報サービス企業が経営高度化を図りマネジメントシステムおよび諸制度を改革しグローバルにその先進性を示すことにより，名実ともに魅力ある産業としての基盤を築いていくことも必要となります．このような認識のもと，JISAは上記のような取り組みを奨励・促進するとともにその成果を業界内外に示すことにより情報サービス産業の存在感と重要性を広く社会に情報発信していくための方策を検討し，2011年に表彰制度「JISA Awards」を創設し，2019年度には9回目となる「JISA Awards 2020」を実施しました．

JISA Awardsは，独創性が高く，国際的に通用するシステムの創造者（組織，チーム等含）を表彰します．選考にあたっては，①新規性，②進歩性，③発想の原点，④国際通用性の4点について応募内容を判断します．表彰対象は，「顧客に提供する情報サービス」もしくは「IT企業の経営の仕組み・制度」であり，前者ではビジネスモデル，開発・運用技術・ノウハウ，マネージメントの各側面のいずれか，後者では人事労務，財務，法務，CSRの各側面のいずれか，この中の少なくとも1つ（複数でも可）に該当するものとします．

今回は2019年11月よりJISA会員企業（子会社および団体会員傘下企業も含む）を対象に公募を開始しました．ご応募いただいた12件について選考委員会（委員長：坂村　健氏（東洋大学情報連携学部　学部長））において選考を行い，Winnerを1件決定しました．

選考委員会の名簿は以下のとおりです（五十音順，役職は選考時点のものです）．

委員長　　坂村　　健
東洋大学 情報連携学部 学部長

委　員　　青山　幹雄
南山大学 理工学部 ソフトウェア工学科 教授

© 2021 Information Processing Society of Japan

委　員　　奥村　俊明
独立行政法人情報処理推進機構　理事

委　員　　土井美和子
国立研究開発法人情報通信研究機構 監事

委　員　　夏野　　剛
慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 特別招聘教授

受賞システム（Winner）は以下のとおりです.

Winner

〇「仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム「amigram」」（株）網屋

デジタルプラクティス本号にはWinner受賞システムに関連する招待論文が掲載されていますのでお目通しいただくとありがたいです.

JISAは，2020年度もJISA Awards2021を実施中です．JISA Awardsをきっかけに，今後，我が国でも国際的に通用する独創的な情報サービスや経営の仕組みが次々と創造されるようになることを願ってやみません.

© 2021 Information Processing Society of Japan

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

JISA招待論文

仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム

別府征英[1]

[1]（株）網屋

これまでの企業ネットワークは，すべてのネットワーク機器が個別に管理されていたため，さまざまな課題が存在していた．特にネットワークの変更における運用コストが一番の課題であった．また，セキュリティ上の課題も存在する．これまでのネットワークはオフィスの中で仕事をすることを前提に構築されてきたため，セキュリティ対策もそれを前提としている．しかしテレワークの普及により，オフィス外で仕事をすることが増え，これまでのセキュリティ対策は最適ではなくなった．そこで，これらの課題を解決するべく，仮想セキュアネットワーク空間プラットフォームを開発した．本プラットフォームは，既存ネットワーク上に仮想セキュアネットワークを構築し，いつでもどこでもセキュアなネットワークを提供するプラットフォームである．さらにマルチテナント型のクラウドセンタにより，仮想ネットワークをリモートから制御することができる．そして，テレワークを前提としたセキュリティ機能を標準搭載した．その結果，運用コストの問題やテレワークの普及によって顕在化したセキュリティ課題を解決した．本稿では，プラットフォームの概要とその特徴について述べ，さらに今後の取り組みについて述べる．

1. 仮想セキュアネットワーク空間プラットフォームの概要

1.1 背景

2010年頃，多くの企業がネットワーク運用に対して，費用面でも運用面でも課題を抱えていた時代である．当時は，ネットワーク機器本体のほか，その設定作業費までもが高額であり，さらに機器の設定には専門性が要求された．これは構築時のみならず，再設定時にも同様であり，「ネットワークの設定変更が容易に行えない」という課題には，そうした背景があった．そして現在，新型コロナウイルスの感染拡大に伴い，テレワークが広く普及し，働き方が大きく変化した．しかし，企業ネットワークはこの変化についていけず，場あたり的な対応をしたため，あらゆるところに課題が存在している．特にこれまでのネットワークアーキテクチャ，企業ネットワークとインターネットの間に境界を設け，その境界のセキュリティを高める構成は，最適ではなくなった．これはテレワークの普及により社外からのアクセスを受け入れる必要性が現れたこと，データの置き場所が社内からクラウドへ変化したためである．こうした状況において，仮想セキュアネットワークは企業ネットワークの課題を解決する策の1つとなる．

1.2 企業ネットワークの課題

© 2021 Information Processing Society of Japan

これまでのネットワークは，オフィスにルータやファイアウォール，スイッチを設置し，適切なネットワークアドレスを割り当て，その上でルーティング，アクセス制御を実施していた．その設定は個別のネットワーク機器内で実施される．もし本社のネットワークアドレスを変更したい場合，新しい事務所が立ち上がった場合など，少しの変更であっても全ネットワーク機器の設定変更をしなければならない場合がある．そのため，簡単には設定変更できず，さらに現地でしか設定ができないため移動コストも発生する．また，設定は，各機器に用意されているコマンドを使って実施する．そのため，スペシャリストの派遣が必要となり，その作業費用は高額となる．このようにこれまでのネットワークには，コストの問題で容易に変更ができない課題が存在していた．

さらに，セキュリティ上の課題も昨今顕在化した．テレワークの普及により，従業員がオフィス以外で仕事をし始めたためである．これまでのネットワークは，オフィスで仕事をすることを前提に，企業ネットワークの中は安全となるよう，インターネットとの境界にFW（ファイアウォール）を設け，Proxyなどさまざまなセキュリティ対策を実施してきた．これらは外で仕事することを前提にしていない．その結果，テレワークの普及により，上記のセキュリティ対策は破綻しかけている．昨今，外から企業ネットワークへ安全にアクセスするため，リモートアクセスVPNを導入する企業が増加している．VPNは通信経路上を暗号化することで，セキュリティを高める技術であるが，そのVPN機器を狙った攻撃が増加している．実際，VPN機器の脆弱性を攻撃し，その機器で利用しているIDとパスワードが流出し，ダークWebでそのID情報が売り買いされていた．このように，テレワークを安全にするためのVPNにおいてもセキュリティ上の課題が存在する．

1.3　提案手法

ネットワークの変更にかかるコスト問題を解決するため，リモートからネットワーク機器を統合管理するクラウド管理センタを提案する．これにより，ネットワーク機器をリモートから設定変更できるようになり，現地までの移動コストを削減する．

また，現代において一から新規にネットワークを構築することは少ない．そのため，全ネットワーク機器を入れ替えてもらうような構成では提案がしにくい．そこで，既存ネットワークの上に，仮想的なネットワークを構築する手法を提案する．仮想ネットワーク上で新たにネットワークアドレスの払い出し，ルーティングやアクセス制御を実施することで，仮想的に企業ネットワークを構成する（**図1**参照）．その結果，既存ネットワークはそのままに，インターネット環境さえあれば企業ネットワークを構築できるため，ネットワークの複雑な設定を不要とし，シンプルにすることができる．また，企業ネットワークはオフィス内に限られるという物理的な制約から開放され，自宅やカフェなどあらゆるところに企業ネットワークを拡張し，多様な働き方を実現できる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

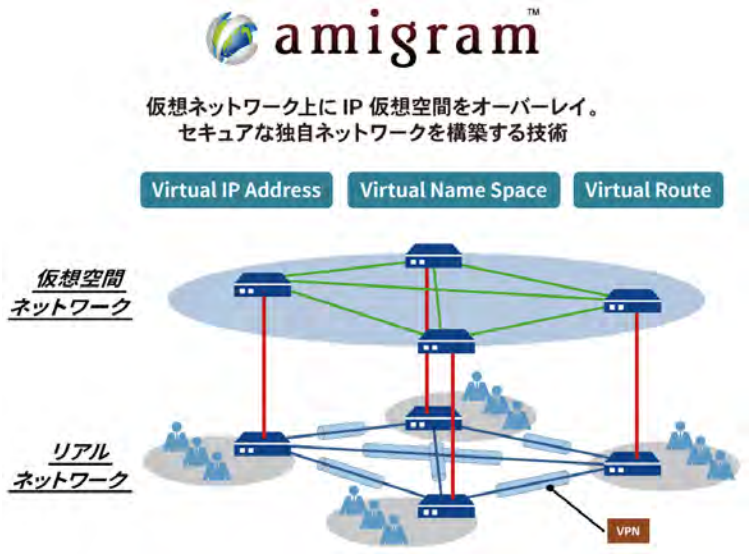


図1　仮想ネットワーク

さらに仮想ネットワークへのアクセスには，認証強度の高い証明書とID/passwordによる2要素の認証を採用することでセキュリティレベルが向上する．そしてVPN機器を狙った攻撃を回避するため，VPN機器はアクセスの入り口となるポートを常に遮断しておき，攻撃されないよう対策を実施する．

1.4　仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム「amigram」

前節に述べた課題を解決するために仮想セキュアネットワーク空間プラットフォーム「amigram」を開発した．「amigram」は，既存ネットワーク上に仮想空間を構成し，セキュアで柔軟な独自のネットワークを構築するプラットフォームである．構成要素は，パソコンやスマートフォンなどのデバイスにインストールするソフトウェア，仮想セキュアネットワークへの入り口となるゲートウェイ，そしてこれらをコントロールするクラウドセンタの3つとなる．

1.4.1　マルチテナント型クラウドセンタ

デバイスにインストールするソフトウェア，ゲートウェイはすべて，クラウド上の管理画面により設定，および管理される．このクラウドセンタはWebサイトとしてGUIで提供され，ルーティングやアドレス設計，アクセス制御，VPN接続など，あらゆる場所に点在するすべてのデバイス，ゲートウェイの設定をすることができる．従来のネットワーク機器はCUIで各機器に設定する必要があったのに対し，本技術のクラウドセンタにより，GUI上で離れた拠点の機器もリモートから設定できるため，技術員の移動コストを削減した．そして，このクラウドセンタはマルチテナント型であり，各企業が個別にクラウドセンタを構築する必要がないのも利点である．

また，クラウド管理のもう1つの利点として，拠点への機器導入が簡単であるということが挙げられる．デバイスやゲートウェイをクラウドセンタに登録するだけで，自動的に設定が展開され，構築が完了する．作業員のITリテラシーの有無に左右されない方法であり，たとえば飲食店の店長でも対応可能である．その結果，従来のように現地へ技術者を派遣する必要がなくなり，移動コストの削減につながる．

1.4.2　仮想セキュアネットワーク

© 2021 Information Processing Society of Japan

既存ネットワークの上に新たに仮想的なネットワーク空間を構築することで，どこにいても同じネットワーク空間を構築する．仮想空間上では，IPアドレスの払い出し，名前解決，ルーティング，アクセス制御が提供される．これにより，オフィスという物理空間から解放され，どこでも同じ環境で仕事ができるようになる．

1.4.3　証明書による強固な認証システム

仮想ネットワークへアクセスするには，すべてクライアント証明書による認証を通過する必要がある．このクライアント認証機構を標準搭載することで，アクセスできるデバイスを制限し，セキュアなネットワーク空間を実現している．

従来，社外から社内ネットワークへセキュアにアクセスする方法として，リモートアクセスVPNが利用されるケースが多い．その場合，ID/Passwordによる認証を採用されることが多く，クライアント証明書による認証は採用されにくい．これは，クライアント証明書認証の導入には，認証局サーバの構築や証明書管理など導入コストや運用体制が課題であったからだ．しかし，リモートアクセスVPNは，社内ネットワークへの入り口であることを考慮すると，セキュリティ強度を高く設定しておくべきだ．ID/Passwordによる認証では，総あたり攻撃で突破される可能性やID/Passwordが流出する可能性が存在するためである．

amigramでは，クライアント証明書を標準搭載することにより，このような課題を克服した．そして現在は，クラウドサービスの普及によりIDaaS（ID as a Service）という市場が注目を集めている．IDaaSは，すべてのクラウドサービスを1つのIDで認証するサービスである．IDを統合管理することにより，セキュリティレベルの向上と運用面の効率化を目的としている．これまでamigramはクライアント証明書による認証機構を独自に提供してきたが，今後はIDaaSとの連携機能を開発することで，利用者のID管理をIDaaSへ統合し，さらに簡便化させる予定だ．

1.4.4　独自のセキュリティ機能

テレワークの普及により，VPNルータを狙ったサイバー攻撃が増加している．従来，リモートアクセスVPNの入り口となるVPNゲートウェイは，VPN接続をするためのポートを常に開放した状態で運用される．攻撃者はこの「開いた状態のポート」を狙って，企業ネットワークへの不正アクセスを試みる．実際にVPNゲートウェイの脆弱性を狙った攻撃により，登録されているID/Passwordが流出する事件があった．この対策として，VPNゲートウェイメーカーが提供するセキュリティパッチを定期的に適用することが効果的であるが，そのパッチの適用には，いくつか課題が存在する．セキュリティパッチがメーカーから提供されていることを定期的にチェックする体制が必要であること．セキュリティパッチの適用時にはネットワークが停止する場合もあり，いつでも適用できるわけではないこと．セキュリティパッチの適用には専門的な知識が必要であること．こういった理由から，脆弱性を放置してしまうケースが多々存在する．

そこで，amigramは上記の課題を克服するため，ダイナミックポートコントロール機能（**図2**参照）を開発した．本機能は，クラウドセンタで認証を通過したデバイスからのVPNアクセス時のみIPアドレス制限／時間制限でゲートウェイのポートを解放する機能である．これにより，インターネットからのアクセスポートは基本的には閉じている状況となり，もし脆弱性があったとしても，ゲートウェイと通信する手段がないため，脆弱性を突かれた攻撃を仕掛けられなくなる．その結果，セキュリティパッチ適用の頻度を抑え，適用するタイミングを調整することが可能となった．そして，amigramでは，利用者によるパッチ適用ではなく，我々がパッチを適用することで，パッチ運用の煩雑さから解放した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

●第3者にポートを特定されない、ダイナミックポートコントロール技術を搭載

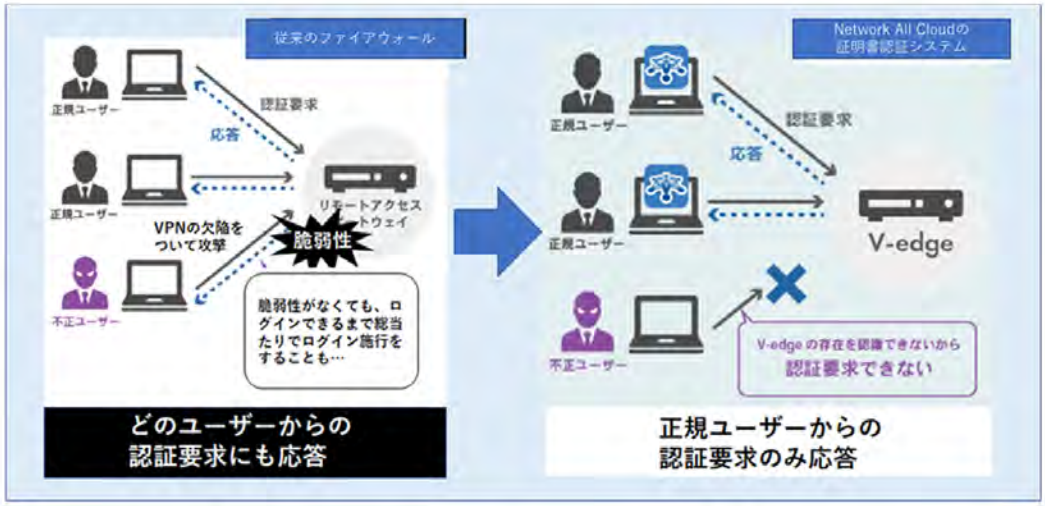


図2　ダイナミックポートコントロール

2. amigramの商用版「Network All Cloud」

amiramの技術を流用し，商用化したのが「Network All Cloud」（**図3**参照）である．

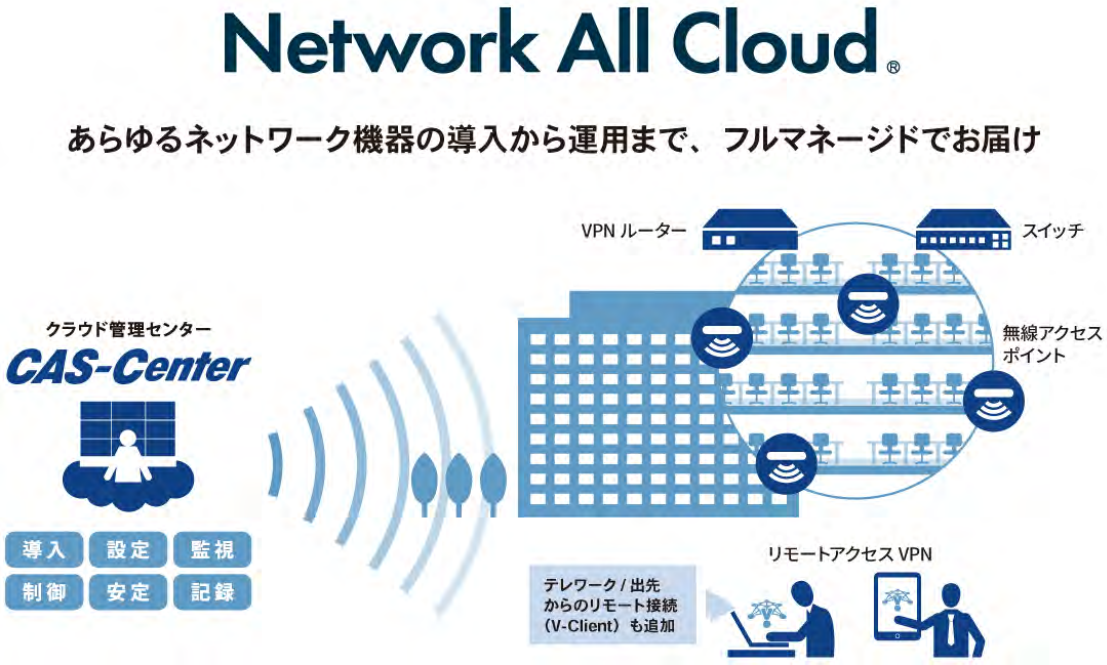


図3　Network All Cloud

© 2021 Information Processing Society of Japan

2.1　Network All Cloudの商用的特徴

2.1.1　リモートからのフルマネージドサービス

Network All Cloudで使用されるすべてのネットワーク機器は，クラウド管理センタ（CAS-Center）から一括管理される（**図4**参照）．設計・構築のみならず，機器のメンテナンス，設定変更，障害対応まで，経験豊富なネットワークのプロが直接サポートすることで，担当者の負担を大幅に軽減することができる．

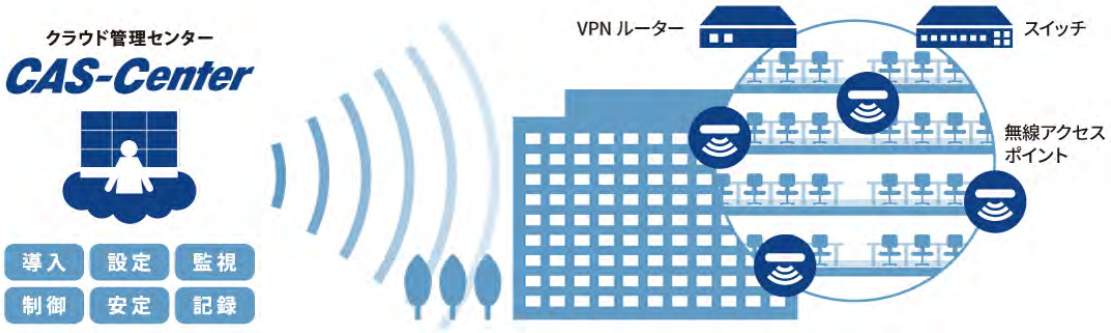


図4　リモートからのフルマネージドサービス

2.1.2　スピード導入

Network All Cloudのクラウド管理センタは，SaaSとして提供しているため，導入時のクラウドコントローラの構築が不要である．また，設定済みの機器を発送するため，届いた機器にLANケーブルを挿すだけで導入が完了する（**図5**参照）．

図5　利用開始までの流れ

2.1.3　安心の価格設定

これまでのネットワーク導入の価格は，機器費用や構築費用，機器保守費用などたくさんの費用が発生していた．また，オフィスのレイアウト変更でIPアドレスの変更が必要など，突発的に設定変更費用が発生していた．一方，Network All Cloudは，機器購入費と月額費用のみとシン

© 2021 Information Processing Society of Japan

プルな価格設定（**図6**参照）としている．設計，構築の費用，その後の設定変更費用をあらかじめ保守費用にすべて含めることによって，設定変更やバージョンアップなど突発的に発生する費用を考慮する必要がなくなる．

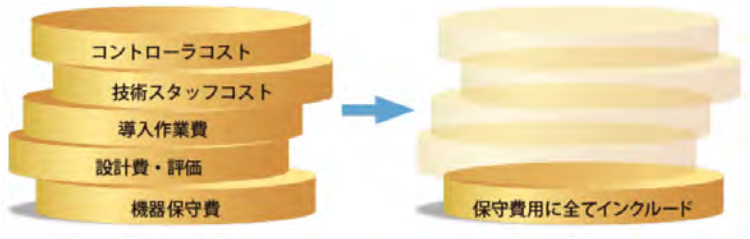


図6　価格設定

2.2　Network All Cloudの導入実績と事例

Network All Cloudの導入企業は延べ2,000社を超える．これまでのネットワークで課題であった運用コストを抑えることに成功したこと，そしてテレワークの普及により企業ネットワークを見直す必要性が出てきたことが導入企業数を増加させた要因である．運用コストを抑えた事例として，ゼネコンへの導入事例がある．ゼネコンでは工事現場に併設する事務所を有期的に開設する．これまでは工事が決まるたびにネットワーク機器を手配し，現地へ出張して設定をする作業が発生していた．これには少なく見積もっても，機器の手配，移動，設置に3営業日必要であり，300を超える現場事務所を持つ当ゼネコンでは重大な課題であった．一方，Network All Cloudでは，工事が決まれば当社のサポートへ連絡するだけでよいため，1時間もあれば手配が完了する．そして，現場の方でも機器の設置ができるため，作業員が向かう必要がなく移動コストも発生しない．また，運用中にトラブルがあった際もリモートから対応できるため，現場へ駆けつける必要がなくなった．その結果，情報システム部門は煩雑な運用から解放され，本来取り組むべき，IT戦略の推進に時間を割くことができるようになった．

3.　これからの取り組み

これまでネットワーク担当者の運用負担を軽減する，そして仮想ネットワークを構成し，セキュリティレベルを向上するという2点を目標に研究開発を実施してきた．その結果，クラウドセンタによる管理手法と独自のセキュリティ対策機能を開発した．そして今後はシステムから吐き出される「ログ」を活用し．進入されることを前提としたセキュリティ対策機能の開発を実現させたい．これは，巧妙化するサイバー攻撃犯罪に対し，100％の防御は成り立たないという考えから，侵入される前提の対策まで整えておくべきだという考え方だ．これまでのamigramのセキュリティ機能追加は，進入されないようクライアント証明書の認証などの機能を追加してきたが，仮想ネットワークへ絶対に進入されないとは言い切れない部分もある．たとえば，仮想ネットワークへのアクセスが許されたデバイスが攻撃者にリモートから操作されている場合，このデバイスのアクセスを停止する機構は存在しない．そこで，通信ログや認証ログ，デバイスの状態などをクラウドセンタに収集し，AIを用いて解析することでデバイスが不正利用されていないか，仮想ネットワークへ不正に進入されていないかについて，ただちに検知できる機能追加を検

© 2021 Information Processing Society of Japan

討中である．さらに，昨今Microsoft 365などのクラウドサービスを採用する企業が増えている．そういった企業からFQDN（Fully Qualified Domain Name）によるブレイクアウト機能を要望されることが多い．これは，社内ネットワークの通信負荷軽減のため，クラウドサービスは社内ネットワーク経由ではなく端末から直接アクセスしたいという要望だ．しかし，FQDNでブレイクアウトさせるためには，2つの課題が存在する．ルーティングによる制御はIPアドレスレベルで制御され，FQDNでは制御できないこと，FQDNを名前解決するタイミングでIPアドレスが変わることである．本機能を達成するためには，FQDNの名前解決したパケットをキャプチャし，そこに含まれるIPアドレスを動的にルーティング設定させる必要がある．技術的に難しい機能ではあるが，このような機能を追加していくことで，2025年までに5,000社への提供を目指したい．

4. DX化を見据えて

日本のIT人材不足は大きな社会問題となっている．DX（デジタルトランスフォーメーション）化の推進により，ビジネスモデルの変革や業務改革などのIT戦略を強化しなければ，国際的な競争力も失われてしまうだろう．しかし，IT戦略を推進していく情報システム部の担当者のリソースは有限である．限りある労力をDX推進に割くためには，オンプレミス型ネットワークの運用体制では間に合わない．「amigram」はそうした運用管理者の負担を，少しでも軽減するために研究開発された技術である．すべての企業が「ITインフラの運用負荷から自由になる」日を目指して，企業，ひいては日本の発展に貢献するべく，今後もより一層，研究に励んでいく．

別府征英（非会員）beppu@amiya.co.jp

2015年に網屋に入社し，300社を超える企業ネットワークの構築に技術営業として携わる．2021年同社マーケティング部 部長に就任．

採録決定：2021年4月21日
編集担当：細野　繁（東京工科大学）

© 2021 Information Processing Society of Japan

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

NECユーザ会論文

顔認識によるデジタルマーケティングの実用化～価値あるデータを未来につなぐ～

島田　慧[1]

[1]（株）BCC

近年，DXに向けた社会的な取り組みが加速していく中，新たなITサービスの創出においては，AI・IoTなど先端技術の利活用は必要不可欠である．本稿は，現場発信のアイデアが，お客様の真の課題やニーズの発掘を経て，新たなサービスに発展するまでの取り組みを紹介する．特に，当初企画したオンプレミス型のサービス設計が，お客様とのビジネスPoCを通じてクラウド型のサービスに変化するまでのプロセスを詳しく解説する．

※本稿はNECユーザ会2020年度優秀論文受賞論文です．
※本稿の著作権は著者に帰属します．

1. 現場発信のアイデアとお客様の課題

1.1　本稿の主題

弊社は地場に根付く地域密着型のIT企業として，創業以来53年の長きに渡り多数のお客様にご愛顧をいただいている．

官公庁／民間企業／医療など，さまざまな業種のお客様に長年支えていただき培った業務ノウハウを強みとし，お客様の課題解決に向けて真摯に取り組んできた．

しかし，手軽で便利なクラウドサービスの台頭や普及によって，大規模システム開発案件の減少や激しい価格競争，各種の業務システムにおける競合他社との差別化が大きな課題となっており，もはや変革の時を迎えていると言える．

本稿では，AIおよびIoT技術の活用をテーマにお客様の課題を発掘し，新たなサービスに発展するまでに至ったプロセスをご紹介する．

1.2　取り組みの背景

近年，あらゆるIT企業がDX（デジタルトランスフォーメーション）に注目しており，盛んに取り組みを行っている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

弊社も2013年に新技術を研究開発する専門部署を設立し，毎年の定例イベントとして新規サービスの創出および既存サービスや業務システムの価値向上をテーマとした社内イノベーションコンテストを開催するなど，DXに向けた取り組みを継続してきた．

そして，2017年7月には，「NEC the WISE」をはじめとしたNECの強みであるサービスプラットフォーム領域の先端技術と，弊社の持つ業務・運用ノウハウを活かした新たなビジネススタイルを構築するための「AI・IoT共創アイデアソン」を実施した（**図1**）．

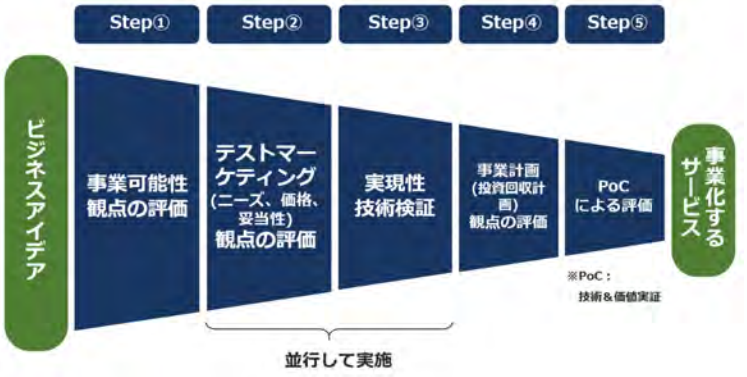


図1　「AI・IoT共創アイデアソン」全体像

各業務チームが精力的にアイデア検討を行った結果，総数45件の応募があり，筆者の所属する公共図書館向けシステムの業務チームからも3件のアイデアを応募した．本稿で述べる取り組みの，出発点と言える出来事である．

1.3　筆者を取り巻く環境のご説明

取り組みの詳細をご紹介する前に，弊社と公共図書館そして筆者の関係性を整理する．

弊社は，公共図書館向けのシステム導入および運用保守サービスにも特に注力しており，福岡県／大分県／佐賀県の3県に渡って45団体の図書館にご愛顧をいただいている．

特に福岡県内での導入シェアはNo.1の実績を有し，業務運営に携わる公共図書館業務チームには10年以上の業務経験を持つ担当者が多数在籍している．

1.4　公共図書館向けのサービス検討とマーケティングの実施

アイデアの検討にあたっては，公共図書館業務チーム内の各担当者の知見を発想の軸に，アイデア整理シート（**図2**）とコンセプトシート（**図3**）を活用して協議を重ねた．

© 2021 Information Processing Society of Japan

誰に（または誰と誰に）（Who／Where）	
どのようなモノ・サービスを（What）提供して	
[任意] いつ頃から提供したいか（When）	
どういう風にお金をもらうか（How）	
価格（How much）	

図2　アイデア整理シート

図3　コンセプトシート

アイデア検討の方針を「公共図書館の課題を解決する新しいサービス」と決定し，まずお客様の課題を整理した．この点では業務経験に基づく共通認識から，公共図書館の課題を3件定義し，それを解決するアイデアを創出した（**表1**）．

表1　公共図書館の課題定義と対応するアイデア

項番	公共図書館の課題	アイデア概要
1	事務作業、窓口業務の効率化	顔認証による書籍貸し出しの自動化
2	蔵書点検（書籍の棚卸し）の効率化	画像解析技術を使った蔵書点検の自動化
3	図書館の利用率向上	利用者の属性（年代性別）から推薦書籍をご案内

© 2021 Information Processing Society of Japan

上記を事業可能性の観点で評価いただいた結果，我々が提出したアイデアはいずれも高い評価を受けたため，引き続きアイデアの実現に向けて検討を行うこととした．

検討については，NEC・BCC共同で議論を重ね，さらにお客様のご意見も参考とするため，福岡県／大分県／佐賀県内のパークユーザである18館の公共図書館にヒアリングを実施することとした．

ヒアリングにあたっては，NEC・BCC業務チームメンバ・BCC営業担当者をバランスよく配置したヒアリングチームを4組編成して実施し，今回持ち込んだアイデアそのものに固執することなく，お客様の話に真摯に耳を傾けることを，全担当者の心がけとした．

約2週間のヒアリングを終え，図書館側からは貴重なご意見を多数いただいた．ヒアリング結果のサマリーを**表2**に示す．

表2　ヒアリング結果サマリー

ヒアリング区分	ヒアリング結果	件数	図書館様の声
ＡＩ・ＩｏＴへの関心	関心が高い	１４館	・歴史は守らねばならないが、先端技術もうまく活用したい ・ＡＩやロボットなどの活用シーンは多いと思う ・利用者向けのイベントに取り入れたい
	どちらともいえない	３館	どう活用するか難しい、利用者に受け入れられるか不安
	関心が低い	１館	もう少し時間がかかると思う
図書館様の課題	利用率（来館数、貸出冊数）アップ	１５館	利用者離れを止めたい、もっと来てほしい
	その他	２館	・電子図書館を普及したい ・もっと広報活動に注力したい
	業務効率改善	１館	混雑緩和に向けて工夫したい
新技術および 新サービスへの期待 ※複数回答可	顔認証技術を活用した来館者傾向の分析	１２館	カメラ設置が課題だが、実現できるなら大変興味深い
	利用者の属性（年代性別）から推薦書籍の案内	９館	・貸出冊数アップが期待できる ・システムが書籍を推薦することを快く思わない方がいるかもしれない
	来館者の動線把握と分析	７館	興味深いがカメラを複数設定することは難しいかもしれない
	顔認証による書籍貸し出しの自動化	４館	家族利用などの運用上、実現は難しいかもしれない

表2からも読み取れるように，公共図書館における最重要課題は利用率の向上（来館数と貸出冊数の向上）であることが分かった．

背景としては，近年の図書館を取り巻く環境では利用者離れが深刻化しており，どの図書館においても選書の工夫や利用者向けのイベントを企画するなど，利用率向上に向けたさまざまな取り組みを行っている状況がある．

もちろん，公共図書館におかれる背景およびお客様の取り組みは，以前から認識していたが，我々がアイデアとして挙げたテーマが業務効率改善に偏っていたことを鑑みると，認識が甘かった．

本ヒアリング最大の成果は，公共図書館が利用率向上に向けたターゲット分析や施策検討を行うにあたって「具体的な指標に基づいた評価が難しい」という真の課題を抽出できたことである．

2. お客様の課題解決に向けたサービス設計

© 2021 Information Processing Society of Japan

お客様へのヒアリング結果から，先端技術である顔認証技術を公共図書館向けのサービスとして採用できる可能性があることが分かった．

そこで，特に公共図書館の関心が高かった「顔認証技術を活用した来館者傾向の分析」について，NEC製品『画像による人物像分析システム「FieldAnalyst for Gate」』を軸とする「データ分析&コンサルティングサービス」の可能性を検討していくこととした．

2.1 「FieldAnalyst for Gate」について

NEC製品「FieldAnalyst for Gate」とは，機器とアプリケーションが一体となったオンプレミス型の製品だ．主たる機能は下記の3点で，サービス化に向けて必要と考えた機能がすべて搭載されている．

①人物の「顔」をAIが検出し，動きを「追跡」する機能
②人物の「顔」をAIが解析し，属性情報（年齢，性別，笑顔度）を推定する機能
③属性情報を蓄積し，表やグラフで可視化する機能

この仕組みを公共図書館に導入することで，現状では記録や可視化が困難な"来館者数"を実態として把握することができる．そして，弊社の業務担当者が来館者データを分析し，改善に向けたご提案（コンサルティング）をレポートとして提供することで，ヒアリングを行った多くのお客様の課題解決に向けた支援が可能となると考えた．

このときに描いたサービス像（ビジネス共創像）を**図4**に示す．

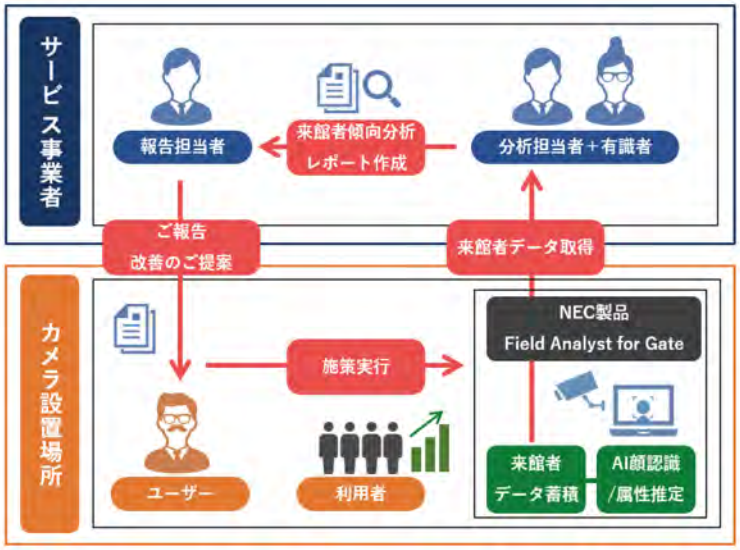


図4　来館者分析を軸としたコンサルティングサービスの全体像

2.2 サービス実証に向けたビジネスPoC

サービスの全体像および役割分担をNEC・BCC間で協議していく中で，本サービスがビジネスとして成立することを検証するために，ビジネスPoC（Proof of Concept：サービス概念の実証実験）が必要であると考えた．

© 2021 Information Processing Society of Japan

早速，ヒアリングの際に特に熱意を感じた複合型総合施設内の公共図書館にご相談したところ，快くご賛同いただき，検証を実施することとなった．

サービス完成後に顧客環境でのテストを行うことが一般的であるのに対し，横展開を想定したサービスの開発時点で，お客様に検証に加わっていただいたことも今回の取り組みの特徴である．

お客様先でのPoC実施にあたっては，ビジネスモデルの検証に加え，本サービスがお客様の課題解決に有効であることを実証することがきわめて重要であると考え，実施計画を立てた（**表3**）．

表3　PoC実施計画

1．PoC計画概要	
目的	来館者分析を軸とするコンサルティングサービスの実現性および有効性検証
場所	某県某市の複合型総合施設内の公共図書館
日程	2018年2月1日～2018年2月28日（1ヵ月間）
体制	NECおよびBCCの共創プロジェクトメンバ
環境	総合施設の入り口が撮影できる場所にカメラを1台設置
2．PoC検証項目	
(1)	総合施設が把握している来館者数よりも実際の来館者数の方が多いこと
(2)	総合施設全体の来館者数と同建物内の図書館来館者数には関係性があること
(3)	来館者傾向を分析し、ターゲット層の誘致に有効な施策が立案できること
3．役割分担	
NEC	機材準備、技術支援、PoC現場支援
BCC	PoC計画取りまとめ、顧客調整、PoC実施、データ分析、レポーティング

2.3　ビジネスPoC中の試行錯誤と工夫

検証中，最も苦労したことは，カメラ画像の質をいかに向上させるかについてである．この画像の質が顔認識の精度，つまり属性推定の可否や精度を左右する重要な要素となる．

PoC実施前に社内で十分な検証を行い，カメラやシステムのチューニングについて習熟した上で検証に臨んだのだが，本番環境の“外光”は想定以上の悪影響を及ぼした．

PoC環境では建物の2階から1階入口の自動扉を見下ろす形でカメラを設置したため，扉の先は屋外の立地である．屋外では当然のことながら，天候や時間帯によって外光の量が常に変化する．この際，状況によっては逆光で人物の顔が識別しづらくなることがあり，顔認識システムにおける認識精度も多大な影響を受けてしまうのだ．

カメラ設置状況と撮影画像イメージを**図5**に掲載するが，晴れた日の午前中に来館された白い服を着た人物が，逆光でほとんど黒くなってしまっており，この状態ではシステムが顔を認識することができない．

PoC1日目（カメラ設置日）の天候はたまたま曇りであり，設置日の動作確認テストにおいては正常に顔認識ができたため，この問題に気づかなかった．

© 2021 Information Processing Society of Japan

図5　PoCカメラ設置の状況と撮影画像イメージ

この課題に対し，いかに光と向き合うかという観点で試行錯誤を重ねた結果，3つの対策で解決に至った．

外光の影響に関する対策
①特に反射が強い場所（床）に黒系統のマットを敷く（点字ブロックへの配慮は課題）
②カメラの各種チューニング（特に露出設定を見直し）によって光に対処する
③顔認識位置（黄色の点線枠）を室内側に寄せて，屋外を直接撮影しないようにする

対策後の画像を**図6**に示す．

図6　対策実施後の撮影画像イメージ

撮影時の天候や時間帯は前頁の図5と同様に晴れた日の午前中であるが，画質が向上していることが分かる．

また，顔認識位置（黄色の点線枠）を変更したことで光の影響を受けにくくなった．

2.4　ビジネスPoCにおける成果

2.4.1　総合施設が把握している来館者数よりも実際の来館者数の方が多い：評価〇

PoC期間中にシステムで取得した来館者数は約6,000人であったのに対し，総合施設で把握していた同期間の来館者数は約2,000人であった．

© 2021 Information Processing Society of Japan

約3倍のギャップがあるが，総合施設では施設の利用申請やイベント参加記録を元に集計を行っており，休憩スペースや図書館に滞在されただけの方の記録は総合施設に残ることがないからだ.

したがって，本検証項目に挙げた仮説は正しく，当該総合施設の真の利用価値は記録として残る数字の3倍ほど高いと言える.

2.4.2　総合施設全体の来館者数と同建物内の図書館来館者数には関係性がある：評価〇

総合施設への来館者数と図書館への来館者数（ICゲート通過数）は同じ推移を示しており，相関が強いことが分かった.

具体的には総合施設の来館者の内，平日で約30%，休日で約40%の方が図書館にも来館しており，図書館への来館者の50%は書籍の貸出を受けていることが分かった.

2.4.3　来館者傾向を分析し，ターゲット層の誘致に有効な施策が立案できる：評価〇

取得した来館者データを分析し，下記2件の改善施策を提案した.

（1）総合施設でイベントを開催した日は，建物への来館者数が通常時の1.2倍から1.6倍まで増加するが，図書館の利用率増加につながっていない.
イベント開催場所付近に，イベントテーマに関連する本の紹介を掲示することで，参加者を図書館に誘導することが可能なはずである.

（2）休日は建物への男性来館数が増加するが，図書館への男性来館数増加につながっていない.
休日の建物入口付近に，男性向けの趣味に関する本の紹介を掲示することで，建物に来館した男性層を図書館に誘導することが可能なはずである.

2.5　ビジネスPoCの振り返り

2.5.1　ビジネスモデルおよびサービスの有効性について

PoCの実施報告として，お客様に分析レポート（**図7**）を基とした報告と提案を行い，サービスの有効性について高くご評価いただいた.

© 2021 Information Processing Society of Japan

図7　分析レポートのイメージ

分析レポートの内容

- 総合施設への来館者数の合計
- 総合施設への来館者数および図書館来館者数の推移と貸出冊数の関係性
- 属性推定結果（年齢，性別）の比率分布および傾向
- 時間帯，曜日ごとの性別来館比
- 時間帯，曜日ごとの年代別来館比
- イベント開催が来館者数に与える効果
- 傾向から見える改善施策

サービスの有効性

（1）「FieldAnalyst for Gate」を活用して，来館者の属性情報を可視化する仕組みは，施設の運営観点で質の高い情報を得られる．

（2）来館者の属性情報を改善視点で分析すると，課題（伸びしろ）と改善施策の立案が可能であり，有識者の分析によるコンサルティングサービスのニーズも高い．

2.5.2　汎用サービス化するためのビジネス課題

本PoCにおいては，「FieldAnalyst for Gate」を前提とするサービス像を描き，検証を行ったが，オンプレミス型製品の機器導入は，ユーザにとってコスト負担が大きく，サービス提供者の運用負担も高いことが分かった．

したがって，本サービスを広くビジネス展開していくためには，導入コスト，運用コストの面からもクラウド利用を軸としたサービスの構築が重要であると結論づけた．

この点は，これまでに取り組んできた課題とは性質が異なり，解決には時間を要することが明らかであったため，NECに人物属性情報推定機能のクラウド化検討を依頼し，BCCは本サービスの他業種での利用価値について，引き続き検討とアプローチを行うことを今後の課題とした．

© 2021 Information Processing Society of Japan

3. サービスのクラウド化に向けて

3.1 プロジェクト再始動における転機

前回のビジネスPoCから1年経った2019年4月に，NECから「FieldAnalyst for Gate」の機能をクラウド化したサービス「NeoFace Cloud Type F（属性推定型）」について情報提供があった．まさに前回取り組みの際に挙げた課題解決に直結する吉報であり，NECとBCCで新事業を定義し，必要なサービスの共創を合意することで，取り組みが再び加速した．

3.2 サービス開発における課題と解決に向けた取り組み

クラウド型の来場者分析サービス開発に向けて「NeoFace Cloud Type F」の仕様を確認すると，弊社にとっての大きな課題に直面した．

繰り返しになるが，前身となるNEC製品「FieldAnalyst for Gate」には大きく分けて下記3つの機能がある．

（1）人物の「顔」をAIが検出し，動きを「追跡」する機能
（2）人物の「顔」をAIが解析し，属性情報（年齢，性別，笑顔度）を推定する機能
（3）属性情報（以降，来場者データと呼ぶ）を蓄積し，表やグラフで可視化する機能

「NeoFace Cloud Type F」は顔を分析する観点で優れたエンジンであるが，（2）の機能に特化した汎用サービスの位置づけであるため，マーケットに組み込むためにはユーザインタフェースのフロントとなる機能（1）と（3）を自社で開発する必要がある．

また，開発したサービスをSMB領域のユーザに安価で提供し，導入と運用の両面でユーザに負担をかけないプロセス構築が最も重要であると考えた．

以下に，開発プロジェクト立ち上げ時の課題と解決に向けた取り組みについて述べる．

課題1．サービス像の定義と開発領域の明確化

まず，サービス全体像について，以下をあるべき姿と想定し協議を重ねた．

（1）導入作業が容易であること
（2）安定した運用が行えること
（3）低コストで利用できること

特に，BCC開発領域のアプリケーションとNEC「NeoFace Cloud」のIF機能を汎用化する仕組みについては，NEC・BCC双方で十分に協議を重ねた上で仕様を決定し，NEC側にも機能拡張を要望した（**図8**）．

© 2021 Information Processing Society of Japan

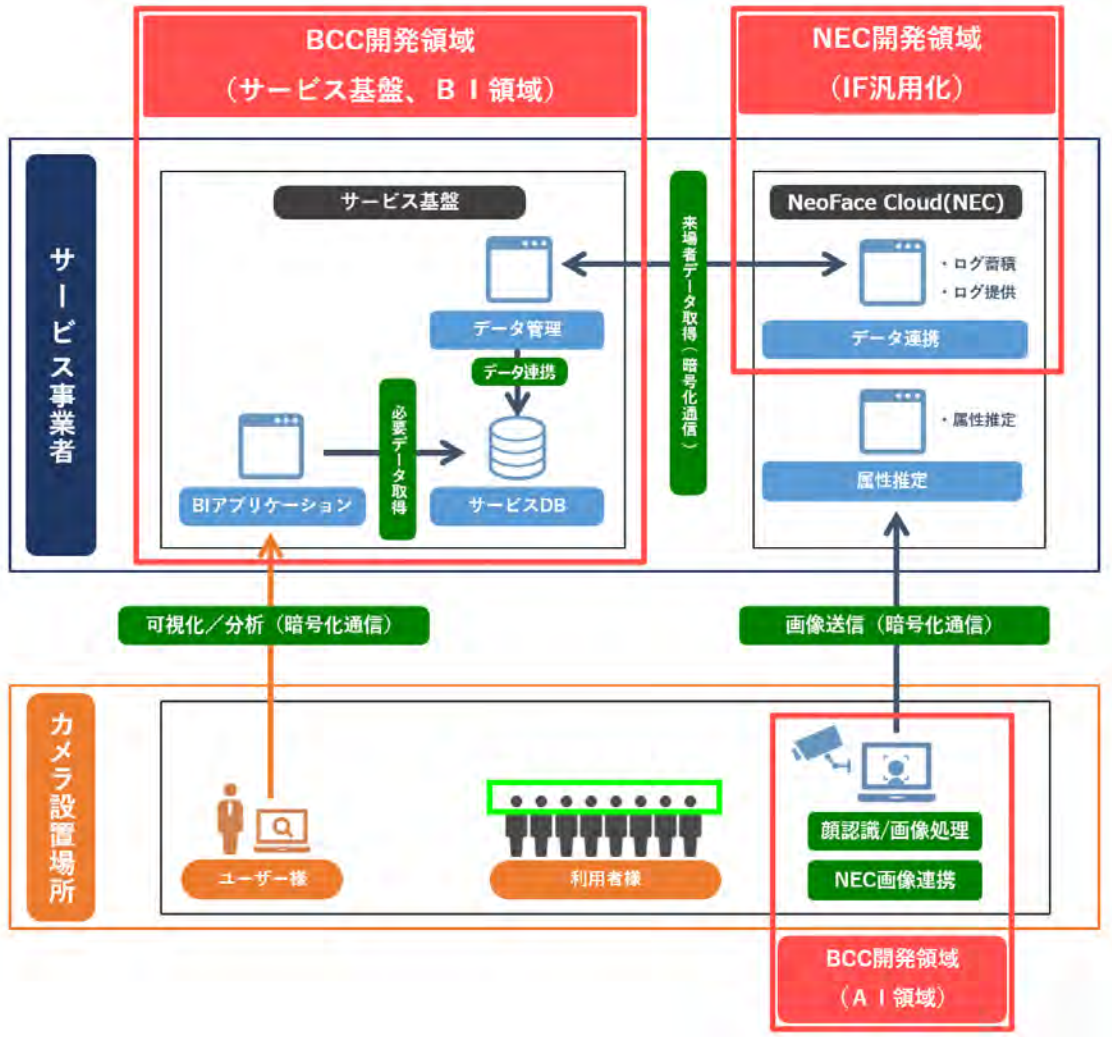


図8　サービス全体構成図および開発領域

従来は，上記内容を1社で単独開発することが一般的であったが，新たなビジネスモデルを定義した上で「新事業共創」と「技術の分担開発」を推進することが，短期間かつ低コストで開発を行う最適手段であることを定め，その実現性をNEC・BCC双方で検討し，合意した．

課題2．開発予算をいかにして獲得するか

これまでの取り組みから，本サービスのニーズの高さと将来性・発展性には確信があったため，サービス像の明確化，ビジネスマーケット分析および収益回収のモデルを経営層に具体的に示し，開発投資について承認いただいた．

開発着手前に挙がった課題を以上のように解決し，本サービスの開発プロジェクトに着手した．

4．新たなサービスのあるべき姿について

設計したサービス全体像を前提に，試行錯誤と工夫を凝らしながらサービス基盤の構築とアプリケーションの開発を進めた．

© 2021 Information Processing Society of Japan

本章では，AI領域（顔認識）とBI領域（データ可視化・分析）のアプリケーション開発時の工夫や，PoCを元に得た知見から，サービスとしての「あるべき姿」を再定義し，完成形まで導いた取り組みについてご紹介する．

4.1　AI（顔認識）アプリケーションについて

「顔」の認識機能と追跡機能を実装し「NeoFace Cloud Type F」と連携して評価を行ったところ，期待していた結果が出ていないことに気がついた．

原因を追っていくと，同じ人物の顔でも光のあたり具合や顔の角度によって，性別や年齢の推定結果にバラつきが生じていることが判明した．この問題を解決するために，開発チームで議論を重ねた結果，新たな方式として「多数決ロジック」を採用することとした．

ロジックイメージを**図9**に示すが，まず1人の人物の顔画像を6枚並べた1枚の画像を生成する．この画像を元に属性推定を行うと，1人の人物に関する6種の推定結果を得ることができる．この推定結果からは，バラつきはあっても傾向を捉えることが可能であるため，複数の推定結果を集計評価することで，光のあたり具合や顔の角度による推定値のゆらぎを鑑みた最適値の選択が可能となるのだ．

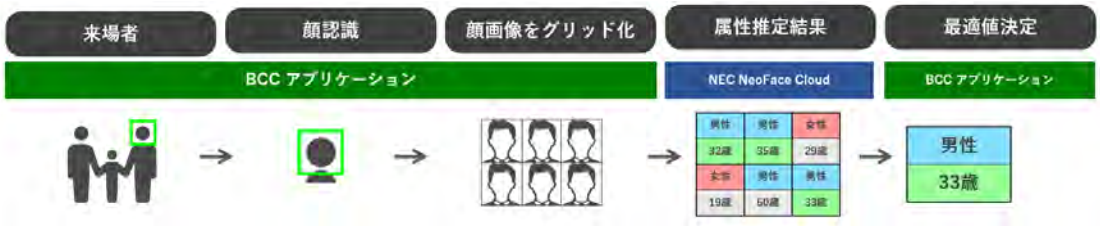


図9　属性推定の新方式「多数決ロジック」

この仕組みで推定精度が大きく向上したが，注意しておきたいのは「NeoFace Cloud Type F」は人物の実性別や実年齢を当てるものではなく，あくまで受け取った顔画像を元に属性を推定する仕組みである．したがって，我々の施策は「NeoFace Cloud Type F」の属性推定精度そのものに変化をもたらすものではなく，NECの優れた顔認識技術のパフォーマンスを最大限に利活用するための工夫に過ぎない，という点は非常に重要である．

4.2　BI（可視化）アプリケーションについて

前身となるNEC製品「FieldAnalyst for Gate」にも，表やグラフで来場者データを可視化するアプリケーションが付属していたため，仕様検討にあたって参考としたが，同製品はオンプレミス型であることから，可視化アプリケーションの利用は設置した機器上に限定されるものであった．本サービスのあるべき姿として，可視化アプリケーションをWeb化することで，いつでも，どこからでも分析できる仕組みが，利用者の利便性をさらに向上させると考え，仕様の前提条件とした．

4.3　クラウド利用を前提としたPoC

© 2021 Information Processing Society of Japan

本プロジェクトにおいては，前回の取り組みと同様に，開発と並行したビジネスPoCが重要であると考え，某県某市主催の市民向けイベントにて利用検証を実施した．

本PoCの実施計画および検証項目を**表4**に，実施環境を**図10**に示す．

表4　PoCの実施計画

1．PoC計画概要	
目的	開発したサービスの機能検証とイベント利用シーンでの有効性検証
場所	某県某市のコミュニティセンターで開催される市民参加型イベント
日程	2019年11月某日（1日間）
体制	NECおよびBCCの共創プロジェクトメンバ
環境	イベント内のロボットプログラミング講座ブースへカメラを1台設置
	※カメラは小型のWEBカメラを選定
	※完全な室内であり、前回PoC時のような外光の影響はない
2．PoC検証項目	
(1)	開発したアプリケーションが想定通りに機能すること
(2)	データを分析し、イベント運営に有効な施策を立案できること
3．役割分担	
NEC	技術支援
BCC	PoC計画取りまとめ、顧客調整、PoC実施、データ分析、レポーティング

© 2021 Information Processing Society of Japan

図10　PoC実施環境

4.4　クラウド利用を前提としたPoCの成果

1日間の短期検証であったが，AI領域，BI領域のいずれにおいても目的としていた検証と課題抽出が完了し，有益な結果が得られた．詳細を下記のとおり整理する．

4.4.1　開発したアプリケーションが想定とおりに機能すること：評価〇

（1）AI領域（顔認識，属性推定）について
顔認識に関する基本機能に問題がないことおよびNEC「NeoFace Cloud Type F」との連携が想定とおり行えていることを確認した．

（2）BI領域（データの可視化）について
データの蓄積と可視化に関する基本機能に問題がないことを確認した．

4.4.2　データを分析し，イベント運営に有効な施策を立案：評価Δ（課題あり）

1日間のみ収集した来場者データを時系列的に可視化するだけでは，有効な課題分析と施策立案は難しい状況であった．

© 2021 Information Processing Society of Japan

しかし，関係者内で協議を重ねる内に，これは収集したデータ期間や量の問題ではなく，このサービスの本質として「来場者データのみでは分析観点が不足している」ということに気がついた．つまり，来場者データに何か別の要素を加えて複合的に分析を行う仕掛けがなければ，利用者に有効な気づきを与えることはできないということだ．

この気づきが本サービスの方向性を決定づけ，BIツールとしての側面に注力した改善を行う方針とした．

4.5　BI機能の工夫について

まず，これまでに得た知見を基に，本サービスのBI機能のあるべき姿を整理した．

（1）いつでも，どこでも使えること（BI機能をWeb化）
（2）今起きていること，知りたいことがすぐに分かること（ダッシュボードで見える化）
（3）これからすべきことを“気づき”として与えてくれること（複合的な分析機能を提供）

あるべき姿（1）と（2）はすでに実装が完了しているため，（3）に関する対応が課題である．

仕様化に向けた検討にあたっては「来場者データとどんなデータを組み合わせれば有効な可視化が行えるのか」，「利用者は何を知りたいのか」について，数日に渡り議論を重ねたが，答えを1つに絞ることはできなかった．しかし，結果的にそれが答えであった．

つまり，組み合わせるデータを限定することなく，汎用化したIFによって利用者自身で任意のデータを取り込む機能を提供することで，目的に沿った情報をいつでも付加できる仕組みが最適であるという結論だ．

この発想から，取り組みの発端となった図書館業種以外にもサービス提供が行える可能性が飛躍的に広がった．利用者はどんな業種や職種，立場であっても，来場者データと関連付けたいデータを自由に組み合わせて分析できるのである．

また，来場者データは言わば受け身的なデータであるため，組み合わせるデータは日々の目標来場者数でもよい．インプットした目標値と蓄積された来場者データを実績として比較することで，運営状況や課題を日々捉えることが可能となる．

しかし，自由度の高さと不自由さは表裏一体でもあり，利用者の視点やスキルが千差万別である以上，工夫が必要だと考えた．そこで，データやグラフの集合を目的ごとに「モード」と呼称し，区別することにした．たとえば，来場者データの変化や実績をシンプルに確認するモードもあれば，他のデータを取り込み，複合的な分析を可能とするモードをあらかじめ準備しておき，利用者は目的に応じたモードを選択するというものだ．

本仕様（**図11**）は，今後の利用において市場の変化や新業種，新領域への提案の際にも，ニーズに沿った分析モードを提供できると考えている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

図11　分析モードの仕様概念図

以上のように実装方針を固め，関係者間で合意することで，開発は順調に進んだ．

4.6　BI機能の完成

サービス着想から約3年，お客様や関係者知見の集大成と言えるBI機能が完成した．

今回の開発では分析モードを2種準備したため，それぞれの画面と工夫した点を説明する．

4.6.1　来場者分析モード（**図12**）

あるべき姿とした「今起きていること，知りたいことがすぐに分かる」をコンセプトにシンプルなデザインとした．利用者は画面にアクセスするだけで，知りたい情報をいつでも気軽に得ることができる．

図12　「来場者分析モード」画面

また，分析を支援する機能として，その日の出来事を登録しておく「コメント登録機能（**図13**）」と，年齢層を任意の名称でグルーピングする「年齢カテゴリ名設定機能（**図14**）」を準備した．日々コメントを登録することで，イベント開催時の効果測定に有効なほか，ターゲット

© 2021 Information Processing Society of Japan

層の集客状況を見える化することで，運営効率化の一助となることを期待している．

図13　「コメント登録機能」

図14　「年齢カテゴリ名設定機能」

4.6.2　比較分析モード（**図15**）

来場者データに，利用者が任意にインポートしたデータを重ねて表示する．

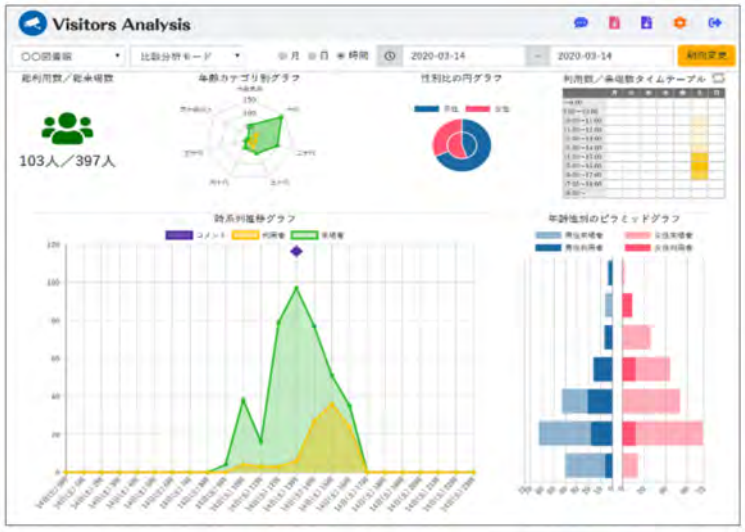


図15　「比較分析モード」画面

© 2021 Information Processing Society of Japan

あるべき姿とした「これからすべきことを気づきとして与えてくれる」をコンセプトにデザインした.

来場者データとインポートした任意のデータ（集客目標値や販売実績など）のギャップを「課題」と捉えることで，伸びしろやターゲットが一目瞭然となる.

特に右下のピラミッドグラフでは，年齢カテゴリごとにフィルタをかけて分析をできるように工夫したため，ターゲットとする性別・年齢層のみのデータ推移を確認することも可能だ.

データの組合せ方次第でさまざまな気づきが得られるものと考えている.

4.7　サービス開発の完了

図16の構成で完成させた本サービスを，我々は「視来（みらい）」と名付けた.

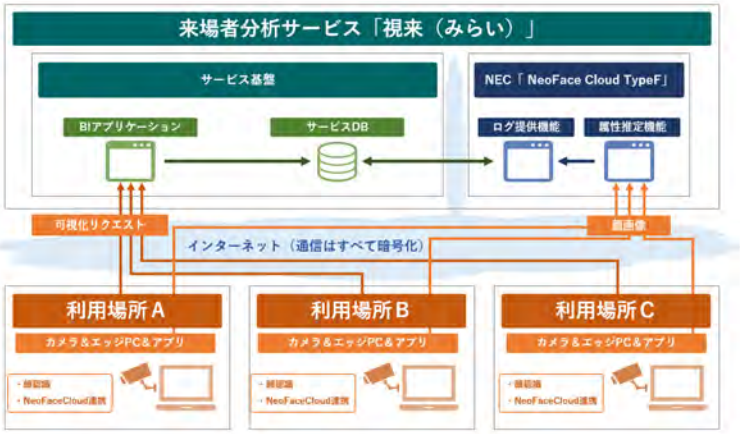


図16　来場者分析サービス「視来（みらい）」構成図

「"来"場者の状況を"視"える化する」という文字とおりの意味も含むが，本サービスが利用者の"価値ある未来"につながるよう期待と願いを込めている.

サービスの特徴として，カメラを設置した前提ではあるが，利用現場での導入設定作業が1日程度で完了する手軽さと，クラウドサービスとしてNECの先端技術を安価に利用できることが最大のメリットだと考えている.

特に，クラウドサービスならではの「この日だけ」や「この期間だけ」というスポット利用も可能であるため，イベントシーンでの利活用も推進していきたい.

5. 導入実績と現状について

2019年，某市公共図書館システムの刷新案件で弊社に提案の機会があり，関係各所のご協力と兼ねてからの取り組みによって無事受注に至ったが，本サービスについてもシステムの付加価値の位置づけで提案し，採用が決まった.

© 2021 Information Processing Society of Japan

お客様環境での利用準備が整い，2020年4月の開館を予定していたが，目前で発生した新型コロナウイルスの影響で，サービス導入予定の公共図書館もしばらく休館することが決まった．

現時点で利用促進に向けたPDCAサイクルを回せていない状況ではあるが，待つばかりではなく，今後のビジネス拡大を目標に，弊社内の他業務部署や関係各社向けに本サービスのご紹介やデモンストレーションをテレビ会議形式で実施している．すでに製品に関するお問合せも多数頂いており，嬉しいことに2カ所目の導入先もすでに決定した．

こちらは図書館と性質が異なる施設であるため，新しい知見が得られることと大いに期待している．

また，アフターコロナと言われる，今後の新しい生活様式に向けて何ができるかについても，早急に検討を進めていく必要があると考えている．

6. 今後の展望

今回の活動を通じて，お客様の現場で多くの経験を積むことで，お客様とともに成長を続けられる喜びを感じた．

また，この活動を強固なものにし，DXサービスをさらに加速させるためには，顧客が製品やサービスを利用することで生み出される“体験”にこそ価値の源泉があり，その体験の質を高めることに企業は注力すべきだという「CX（カスタマー・エクスペリエンス：顧客体験）」の考え方も重要だと考えている．

今後は，顧客動向の可視化に加え， 効果的な施策を打つために，当社の既存サービスである「SNS分析」「AIチャットボットサービス」「デジタルサイネージ」を接続することで貯まったデータをタイムリーに活用し，サービス導入からその効果測定，評価までを一気通貫できるサービス（**図17**）の構築を目指したいと考えている．

図17　DX + CXを目指したロードマップ

7. 総括

© 2021 Information Processing Society of Japan

今回，2017年のアイデアソンを発端とした，約3年におよぶ取り組みをご紹介した．振り返ってみると，トライ&エラーの連続でけっして順調とは言えなかったが，現場のアイデア発信から始まった取り組みが，お客様や関係者様のご協力によって発展性もある汎用サービスとして成就し，今後に向けて多くのご期待をいただけるまでになったことは大変嬉しく思う．

この取り組みにあたって，当初オンプレミス製品を軸としたサービスが次第に変化し，クラウドサービスに新たな価値を見出すことができたことから，何事もやってみなければ分からないということを強く感じた．「下手な鉄砲も数撃てば」ではないが，失敗を恐れずチャレンジ精神を持つことは大変重要であると学んだ．

最後になるが，長期に渡ってご支援ご協力を賜ったNEC，そしてPoCにご協力をいただいた公共図書館に深く感謝を申し上げる．

参考文献

1）NEC ソリューションイノベータ（株）：Field Analystfor Gate, https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sl/fieldanalyst/fa_01/fieldanalyst_for_gate/ (2021年4月5日アクセス)
2）日本電気（株）：NeoFace Cloud Type F, https://jpn.nec.com/biometrics/face/nfcloud/index.html (2021年4月5日アクセス)

島田　慧（非会員）ttt@gmail.com
2006年3月 九州東海大学応用情報学部情報システム学科卒業．2006年4月（株）BCC入社．官公庁自治体向けシステム開発・運用に従事．2017年4月 IoT・AIを活用した業務改善，システム開発に従事．

採録決定：2021年4月14日
編集担当：斎藤彰宏（日本アイ・ビー・エム（株））

© 2021 Information Processing Society of Japan

会誌「情報処理」Vol.62 No.8（Aug. 2021）「デジタルプラクティスコーナー」

FUJITSUファミリ会論文

生命保険会社におけるパブリッククラウドの活用～機動的なシステムインフラ構築とコスト最適化を目指して～

白石征久[1]　佐田野直樹[1]　堀　仁人[1]

[1]T&D情報システム（株）

近年，少子高齢化の進行やライフスタイルの変化にともない，生命保険業界を取り巻く環境が大きく変わりつつある．当状況下において，デジタル技術を活用した成長戦略を実現するためには機動的なシステム開発態勢の構築が急務であり，迅速かつ柔軟にシステムを構築でき，コスト最適化に資するパブリッククラウドの活用に取り組むこととなった．パブリッククラウドの活用に向けては，サービスの継続性と情報漏洩などのセキュリティに関するリスク対策が重要な要素であり，外部機関の知見も加え，実証実験を含めた複数のステップを経て段階的に評価を行った．また，並行して社内の基準を整備し，可用性と機密性の観点からパブリッククラウドへの移行対象システムを選別，2019年度から約2カ年で社内システム（約70サーバ）を移行した．移行により，コスト削減，開発期間の短縮に加え拡張性や柔軟性など，パブリッククラウドのメリットを享受できた．

※本稿はFUJITSUファミリ会2020年度優秀論文受賞論文です．
※本稿の著作権は著者に帰属します．

1. 当社の概要と取り組み

T&D情報システム（株）（以下，当社）は，**図1**に示すとおり大同生命，太陽生命，T&Dフィナンシャル生命の生命保険会社3社を中核とするT&D保険グループのICT戦略を一手に担う会社である．その業務内容は，ICT戦略の立案実行をはじめ，システム開発，システム基盤の構築，システム運用とICTにかかわる全般にわたっている．

© 2021 Information Processing Society of Japan

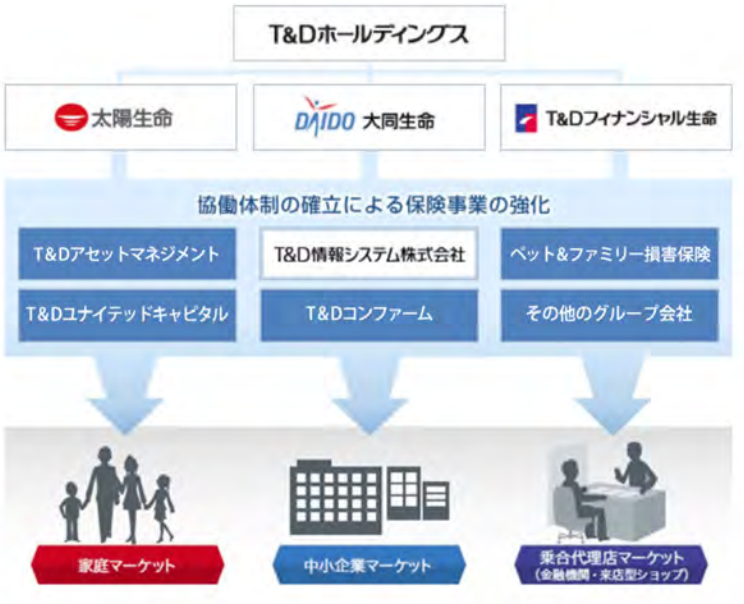


図1　T&保険グループ組織体制図

当社が受託している大同生命は法人向け市場，とりわけ中小企業経営者向けの保険商品の販売をコアビジネスとしており，主なお客さまは経営者やそのご家族，従業員である．近年では少子高齢化の進行やライフスタイルの変化による保障ニーズの多様化など，生命保険業界を取り巻く環境が大きく変わりつつある．このような事業環境の変化を背景に，業界各社では人工知能やオープンAPIといった革新的情報技術の活用を通じ，Fintechに代表される新たな顧客サービスの創出に着手している．

当社においては，昨今の著しい環境変化に即応しデジタル技術を活用した成長戦略などの実現に向け，「システム開発力の一層の強化」と「デジタル化の推進」をシステム開発の目指すべき姿として設定し，品質・生産性の向上，コスト最適化および新たな価値の創造など，各種施策に取り組んでいる．

迅速かつ柔軟にシステムを構築でき，コスト最適化に資する「パブリッククラウドの活用」は，機動的なシステム開発態勢の構築に必要な取組みとして捉え，2017年度から本格活用に向けた取り組みに着手した．

2. パブリッククラウド活用に向けた取り組み

2.1　パブリッククラウド移行の進め方

パブリッククラウドの本格活用に向けては，**図2**に示すとおりFISC安全対策基準やセキュリティガイドラインをもとに，外部の知見も加え，活用における概算効果やリスク対策を確認した上で，「1. 効果試算・リスク整理」「2. 実証実験・基準整備」「3. スモールスタート」「4. 本格活用」といった4段階のステップを経て，安全に社内システムを移行できるよう取り組みを開始した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

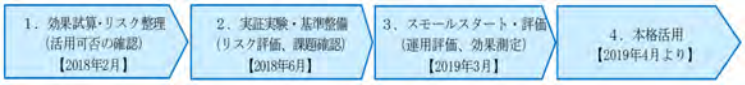


図2　パブリッククラウド移行の進め方

2.2　効果試算・リスク整理

（1）効果試算

パブリッククラウド環境の調査，分析および外部からの情報収集を踏まえて，パブリッククラウドの利用により，システムインフラ構築期間の短縮や処理集中時のリソース拡張など，システム構築および運用時において柔軟に対処できることが把握できた．また，データ分析およびAIなどの最新技術の活用，アジャイル開発環境や外部接続APIの利用により，機動的なシステム開発態勢に寄与できることが確認できた．

コスト面においても社内OAシステム☆1を対象にパブリッククラウドに移行した場合の効果シミュレーションを行い，現行比で約30%の継続費用の削減が見込める結果となった．

（2）リスク整理・対策

リスクの整理においては，FISC安全対策基準の「リスクフレームワーク」を元に，外部コンサルティング機関の知見も加えて，パブリッククラウド固有の想定リスク☆2を洗い出し，受託元の大同生命と協力して必要な対策案の策定に取り組んだ．

クラウド事業者が公的認証の取得や暗号化などのセキュリティ対策を強化したこと，およびFISCによる標準化の推進により，事前にリスク対策を行うことで多くのリスクは回避可能であった．ただし，パブリッククラウド障害時における対応および予期せぬサービス停止に対するリスクは，机上調査や外部からの情報収集では回避可能な判断が難しく，次フェーズ以降の実証実験やスモールスタートにて影響や発生頻度，対策の実行性を確認の上，評価することとした．

FISCの「金融機関におけるクラウド利用に関する有識者検討会報告書」では，パブリッククラウドの活用においては，業務特性や重要度に応じてリスクを管理する「リスクベースアプローチ」が推奨されており，当社においても想定リスクおよび対策案を踏まえ活用範囲を整理し，原則，機密性・可用性の低いシステムから順次活用する方向性とした．

2.3　実証実験・基準整備

（1）実証実験（PoC）

実証実験はMicrosoftAzure（以下，Azure）を利用し，VirtualMachines（IaaS）およびAzureSQLDatabase（PaaS），AzureSynapseAnalytics（PaaS）を対象に行い，システムインフラ構築における期間短縮，システムリソースの柔軟な変更などが想定どおり可能であることが確認できた．

コスト面では，不要な時間帯のサーバ停止やリソース削減に加え，サービスの複数年契約やOSライセンスの持込み特典などを用いることで，当初想定よりも大幅なコスト削減効果を見込むことができた．

（2）社内基準の作成・整備

© 2021 Information Processing Society of Japan

第1段階にて整理したパブリッククラウド固有の想定リスクと対策より，利用者対策，事業者選定に加え，移行システム選定の3つの観点からパブリッククラウド利用時における社内基準を作成した．基準の作成は受託元の大同生命が担当し，当社においては基準作成に向けた情報収集および各種対策の実効性を確認した．

移行システムの選定基準においては，「リスクベースアプローチ」に基づき，機密性および可用性の観点よりパブリッククラウドへの移行基準を策定した．

機密性においては，**表1**のとおり扱う情報の重要度に応じて移行基準を取り決め，「特定個人情報」以外はパブリッククラウドへの移行を認めた．また，可用性においては，**表2**のとおりシステムの重要度に応じて移行基準を取り決め，条件付きとなるが「最重要な情報システム」においてもパブリッククラウドへの移行を認める基準とした．

表1　機密性「扱う情報の種類」に関する基準

項番	情報の種類			当社パブリッククラウド移行基準
1	重要な情報	個人情報	特定個人情報	(×) クラウド移行不可
2			センシティブ（機微）情報	(△) クラウド移行可 [条件] ・サーバ暗号化対策を実施。 ・クラウド移行の適切性， 安全対策状況を事前付議し協議。
3			特定個人情報・センシティブ（機微）情報以外の個人情報	(○) クラウド移行可 [条件] ・サーバ暗号化対策を実施。
		経営機密に関する情報		
		部門の業務遂行にあたり、漏えい、改ざんおよび紛失により業務の継続性が損なわれる情報		
4	その他の情報	上記以外の情報、および社外に開示した情報		(○) クラウド移行可 ・制限なし

表2　可用性「システムの重要度」に関する基準

項番	情報システムの種類		当社パブリッククラウド移行基準
1	最重要な情報システム	当日中に復旧を必要とする情報システム（お客さまや複数の金融機関に大きな影響を与える決済システムなど）。個人情報のうち、特定個人情報、センシティブ（機微）情報を扱う情報システム。	(△) クラウド移行可 [条件] ・日本国内複数地域のデータセンターでサーバを冗長化 ・クラウド移行の適切性， 安全対策状況を事前付議し協議。
2	重要な情報システム	当日中に復旧する必要はないが、経理上および対外的に影響がある情報システム。	(○) クラウド移行可 [条件] ・システムのバックアップを日々取得
3	その他の情報システム	上記以外の情報システム	(○) クラウド移行可 ・制限なし

2.4　スモールスタート

（1）社内システムの移行

実証実験では確認できない運用監視やジョブ管理などのシステム運用面の実行性および認証処理を含めた既存システムとの相互連携，応答性能の確認を目的として，機密性・可用性の低い社内システム（サーバ：2台）を対象にAzure環境に移行した．

システム運用，各種機能，リスク対策の観点より評価を行い，パブリッククラウド固有の想定リスクの対策が有効であることを確認した．

（2）予期せぬサービス停止への対応

© 2021 Information Processing Society of Japan

実証実験およびスモールスタートの期間を通じて，課題としていた予期せぬサービス停止は発生しなかったが，大規模障害によりシステム停止が長引くリスクを想定し，「最重要なシステム」と一部の「重要なシステム」を東日本・西日本リージョン☆3に冗長化することで，リスク発生時の影響を極小化できると判断した．一部の「重要システム」とは，停止時の代替手段がなく，お客さま対応もしくは決算・資金決済業務にて利用するシステムおよび利用者の範囲が全社に及ぶシステムを対象とした．

2.5　本格活用

実証実験およびスモールスタート評価期間中の新たな課題やリスクの発生がなかったことから，リスク対策に対しての有効性を確認することができたため，サービスレベルの維持が可能であり，コスト削減効果が期待できる社内OAシステムを対象にAzure環境への移行に取り組むこととした．

移行対象のシステムは約70台であり，文書管理システムやDWHシステムなど，センシティブ情報を保持しているシステムも含まれる．プロジェクトは2019～2020年度の2カ年とし，機密性・可用性の低いシステムからで順次Azure環境に移行する計画とした．

また，パブリッククラウドへの移行にあたって，新たなITの開発・目利きなどが可能な人材（クラウド・エンジニア）の育成が急務であり，当案件の対応と合わせて，新たなITの調査・研究・実証実験を推進することで育成に取り組んだ．

3. パブリッククラウド環境の構築とセキュリティ対策

3.1　クラウド環境の構築

（1）セキュアな通信経路の確立

情報漏洩などに対する万全なセキュリティ対策，意図しないサービス停止へ柔軟に対応できるよう，社内OAシステムの移行に先立ち，Azure環境に当社専用環境を構築した．

移行対象となるシステムの中には個人情報やセンシティブ情報が含まれることから，今回Azure環境に構築する環境は外部環境から遮断する必要性があった．社内からの接続がインターネット経由の接続とならないよう配慮し，当社データセンタとAzureリージョン間に専用線を敷設，「ExpressRoute」サービスを利用することでセキュアな通信環境を整備した．また，PaaSはパブリックIPに対しての接続となるため，通常はインターネット経由での接続となるが，「マイクロソフトピアリング」サービスを利用することで専用線経由での利用を可能とした（**図3**太枠部）．

（2）東西リージョンの作成

メインで利用する東日本リージョンが障害となり業務継続が困難となった状態を想定し，西日本リージョンにも専用線を敷設，東日本リージョンと同等の環境を構築した．西日本リージョンに切替対象となるシステムをレプリケーションし，有事の際にデータをリストアすることで，早期に業務復旧が図れる環境とした（図3二重線部）．

© 2021 Information Processing Society of Japan

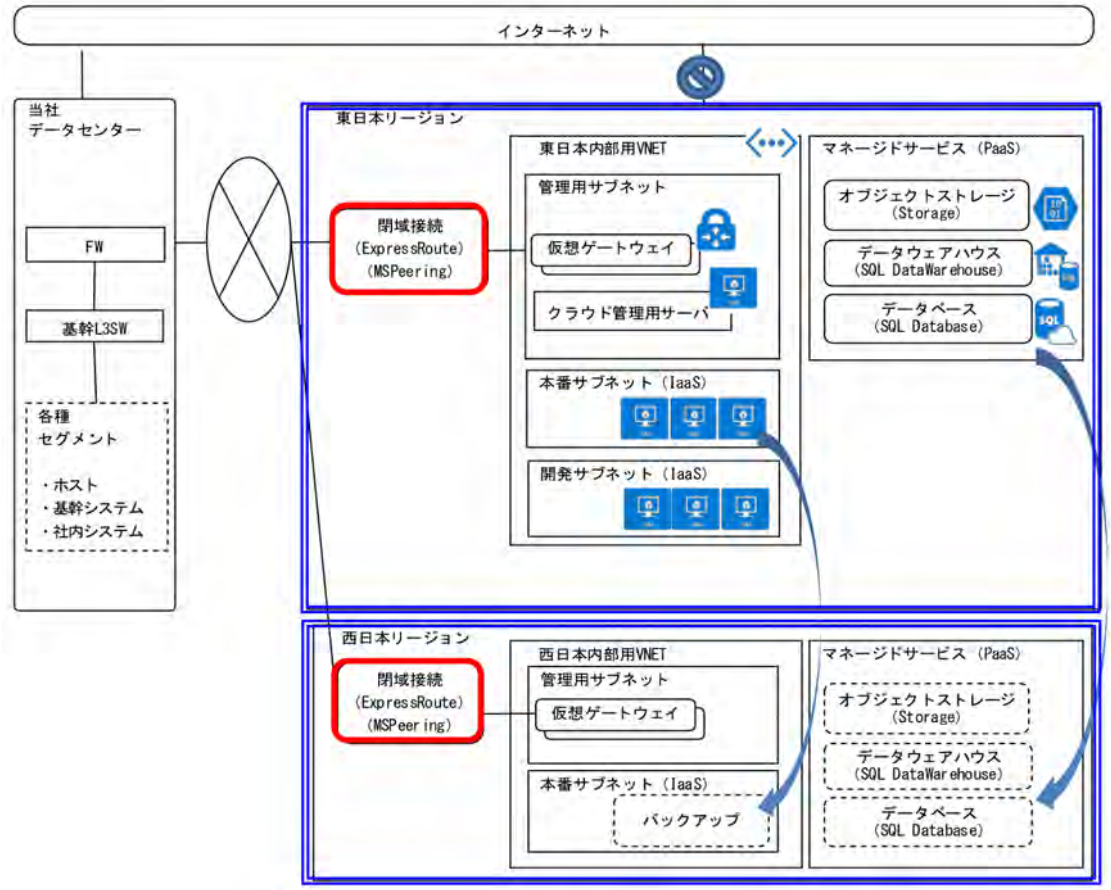


図3　Azure環境の構成図

3.2　クラウドにおけるセキュリティ対策

（1）外部機関によるセキュリティアセスメント

Azure環境への移行前に外部機関によるセキュリティアセスメントを行い，構築した当社システム基盤の環境にセキュリティホールが存在しないことを確認した．

セキュリティアセスメントには大きく2つの観点があり，1つ目はCIS[☆4]やAzureベストプラクティス[☆5]などの基準に応じて，当社システム基盤の各種オブジェクトの設定値が正しく設定されていることである．2つ目はFISC安全対策基準やISMSなどの基準と照らし合わせ，当社のクラウドにおける運用態勢が確立されていることである．

なお，セキュリティアセスメントは，大規模なネットワーク環境の変更および新しいサービスの利用の都度実施する運用とし，環境変更時にセキュリティレベルが低下しないよう徹底している．

（2）CASBの導入

セキュリティアセスメントにて安全性を確認した当社システム基盤の環境が，意図せず変更されていないことを継続的に監視するため，クラウドサービスの利用状況を可視化・監視するサービス「CASB」を導入した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

「CASB」はセキュリティアセスメントと同様に，CISベンチーマークおよびAzureのベストプラクティスなどの基準をベースとして，当社要件を踏まえた検知ルールをカスタマイズし，設定値に変更があった際は速やかに管理者に通知する仕組みとしている．

たとえば，仮想マシンにパブリックIPが付与されていた場合に検知するルールを作成することで，意図しない設定変更によるリスクに早期に気付くことができる．

4. 社内OAシステムのAzure移行

4.1 移行方針

Azureへの移行は，大きくIaaSを活用した単純マイグレーション（以下，IaaS移行）とPaaSを活用したシステム更改（以下，PaaS移行）に大別して行った．前者はハードウェア保守期限が迫っており，OSやそのほかソフトウェアの保守期限に余裕があるサーバを対象とし，後者はハードウェアおよびソフトウェアともに保守期限となるサーバを対象とした．

移行対象となる多くのサーバは，OSがWindows Server 2012で構成されていたため，作り直しによる開発工数の抑制を目的としてIaaS移行を選択し，ハードウェア，ソフトウェアともに保守期限となるDWHシステムは，PaaS移行を選択した．

前述のとおり，原則機密性・可溶性の低いシステムから順次移行することとし，2019～2020年度にかけて，4段階に分割して移行を行う計画とした．段階ごとの移行対象システムは**表3**に記載のとおりであり，影響度の低いシステムから移行を行うことで，問題発生時の影響を最小限に抑えるとともに，移行時のノウハウやプロセスを後続の段階に活かし，作業品質の向上を図れるよう工夫した．当社におけるAzureの活用イメージを**図4**に示す．

表3　移行フェーズごとの対象システム

移行フェーズ	移行対象システム	主な対象サーバ	サーバ台数	移行区分
第一段階	システム開発用（下図[A]）	・各種開発用サーバ	17台	IaaS
第二段階	可用性の低いシステム（下図[B]）	・システム運用系サーバ（ウイルス管理サーバ，ログ収集サーバなど，サーバ共通で利用する運用基盤）	14台	IaaS
第三段階	影響範囲が部門限定的なシステム（下図[C]）	・部門固有システム（不動産，主計部計算用サーバなど）	12台	IaaS
		・部門固有システム（DWHサーバ）	9台	PaaS
第四段階	影響範囲が全社的なシステム（下図[D]）	・全社利用システム（文書管理サーバ，社内ポータルなど）	17台	IaaS

© 2021 Information Processing Society of Japan

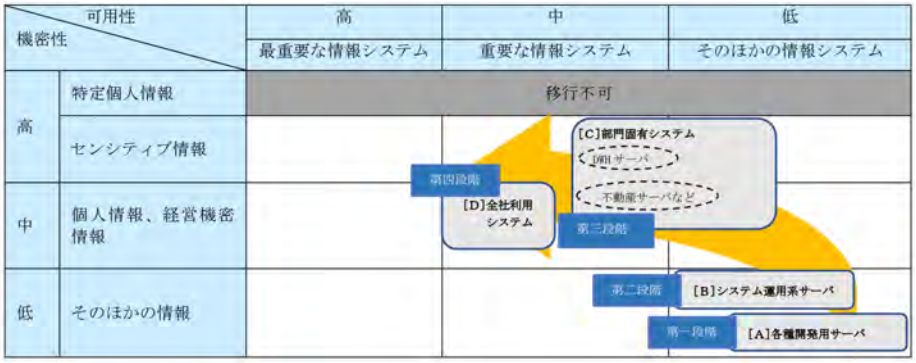


図4　当社におけるAzure活用イメージ

4.2　移行方式およびシステム冗長化

（1）AzureSiteRecovery サービスを利用したIaaS移行

IaaS移行では，クラウド事業者（マイクロソフト社）が提供する，オンプレミス環境の仮想マシンをAzure環境にレプリケーションし，移行を行うAzureSiteRecovery（以下，ASR）サービスを利用した．

ASRでは，OS以上のレイヤ（OS，ミドルウェア，アプリケーション，データなど）の整合を保った移行が行える（**図5**参照）ため，移行における工数を大幅に削減した移行を実現することができた．

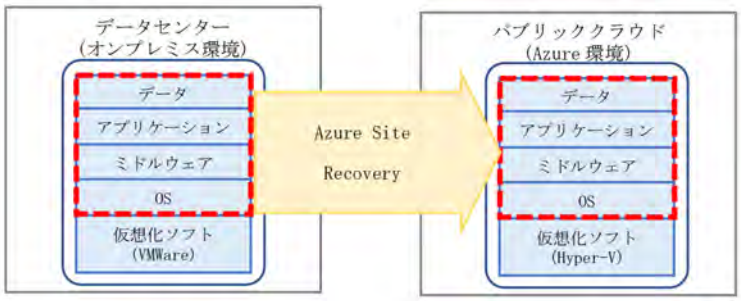


図5　Azure Site Recovery移行イメージ

（2）Azureにおけるシステム冗長化対策

オンプレミス環境のサーバは，仮想化基盤の障害発生時に待機系の仮想化基盤に移動し，継続稼動するよう設計されており，共通設備（ネットワーク機器・負荷分散装置など）や電源設備はシステムで共有する構成としている（SLA：99.9%）．

Azureにおける冗長化構成のオプションは，「HDD」「SSD」「可用性セット」「Site Recovery」の4種類（**表4**）あり，オンプレミス環境と同等の可用性をAzure環境で実現させるため，各システムの可用性要件に基づきオプションを選択，構築することでオンプレミス環境と同等の稼働率を確保する構成とした．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表4　Azureにおける冗長化オプション

オプション	概要	SLA	切替方法	障害時の対応	利用システム	コスト
HDD	・仮想マシンを HDD に配置。	なし	自動	・別仮想マシンに自動切替え (切替時間：約 15 分) ※15 分は目標値。	・各種開発用サーバ	低
SSD	・仮想マシンを SSD に配置。	99.9%	自動		・システム運用系サーバ ・部門固有システム	中
可用性セット	・同一リージョン内かつ共通設備が別の仮想化基盤で冗長化。 ・負荷分散装置を利用し、処理を冗長化しているサーバに分散。	99.95%	自動	・可用性セットを組んだ別マシンに自動振替え。 (切替時間：数十秒程度) ※負荷分散装置のヘルスチェック間隔に準ずる	・全社利用システム(文書管理サーバ、社内ポータルなど) ・一部の部門固有システム(DWH サーバなど)	高
Site Recovery	・別リージョンに仮想マシンを冗長化。 (日本の場合、東日本と西日本のデータセンターに仮想マシンを冗長化)	なし	手動	・別リージョンの仮想マシンに手動切替。 (切替時間：数時間程度) ※マシンの切替のみの時間は 30 分～1 時間程度		

4.3　移行作業（IaaS移行）

(1) 移行の進め方

移行にともない，移行対象サーバのIPアドレスおよび仮想化アーキテクチャ（VMware→Hyper-V）が変更となる．移行後の環境で各サーバの提供するサービスが継続的に利用できるよう，**図6**のとおり「現行調査」「初期移行」「切替テスト」「本番移行」の4ステップで，安全かつ着実にAzure環境への移行を進めた．

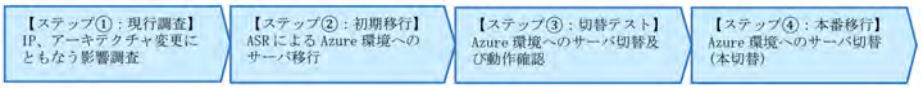


図6　IaaS移行の流れ

(2) 現行調査

IPアドレスや仮想化アーキテクチャの変更にともない，移行対象サーバおよび関連サーバ，利用端末の観点から影響調査を行った．影響調査では，既存ドキュメント（設計書や運用手順書類）に加え，サーバや端末のミドルウェア定義，各種プログラム資源を確認，変更することで切替え漏れを防止した．

(3) 初期移行

ASRサービスを使用し，オンプレミス環境の移行対象サーバのサーバイメージをAzure環境にレプリケーションした．差分データ量の多いサーバは，レプリケーション時に発生する通信量が多く，業務時間中にレプリケーションが行われた場合，回線の逼迫によるレスポンス劣化の影響が懸念された．そのため，レプリケーションで使用する通信量を時間帯により制御することで，業務に影響を与えることなく，日々の差分データのレプリケーションを実施した．

(4) 切替テスト

© 2021 Information Processing Society of Japan

移行対象サーバのホスト名を変更しない移行方針のため，テストについては，オンプレミス環境のサーバを停止した上で，Azure環境に切替える必要があった．

ASRのテストフェールオーバ機能（レプリケーションしている任意の断面からサーバをリストアする機能）を用い，Azure環境にリストアしたテスト環境に切替えた上で，移行対象サーバの疎通確認，機能確認および性能確認を行った．

①切替テスト時の通信制御

Azure環境へ切替後，利用者は意識することなくテスト環境にアクセスできる状態となる．そのため，Azure環境のサーバに対してAzureNetworkSecurityGroup（NSG）というAzureの仮想ファイアウォールの機能を利用し，疎通確認対象の関連サーバおよび切替テストで利用する端末のみ通信を許可することで，テスト環境に対して意図せぬ更新が発生しないよう制御を行った．

②段階的なテスト範囲の縮小

第1段階では，移行段階における最初のフェーズであることから，プログラムのバリエーションを踏まえた機能確認，全機能に対する性能確認を対象とした．

第1段階の移行結果に問題がなかったこと，およびASRの移行では，OS以上のレイヤに変更がなく，プログラムレベルでの動作変更は不要であることから，第2段階移行は，**表5**に示すとおりテスト種類ごとに確認内容を極小化し，テストの効率化を図った．

表5　テスト種類ごとの確認範囲

テスト種類	テストの確認ポイント（移行時の環境変更点）	テストの確認範囲	
		見直し前	見直し後
疎通確認	移行対象サーバの IP アドレス変更	**全接続先システムとの疎通確認**を行い、新 IP アドレスへの接続経路及び環境設定に問題がないことを確認。	**変更なし** 移行に伴う環境変更点や、テスト時における課題事項から、必要と判断。
機能確認	仮想化アーキテクチャの変更	**保有する全機能に対し、バリエーションを考慮した確認**を行う。 これまでと異なる仮想化アーキテクチャに対し、各種処理（シグナル）が正常に伝わることを確認する。	システムが保有する全機能に対し、**正常系１ケースを確認**することで網羅性を担保。
性能確認	物理的な機器設置場所・ハードウェアの変更	**システムが保有する全機能に対し、レスポンスの確認**を行う。	**代表機能の処理性能を確認**することで十分性を担保。

（5）本番移行

初期移行時に全量データを移行しているため，本番移行は差分データのみ反映，データ転送時間を最小限とすることで，移行後の稼動確認に十分な作業時間を確保するよう計画した．ASRにて前日からの差分をレプリケーションした最新の同期断面よりサーバイメージをリストアし，本番環境の構築を行った．IPアドレス変更にともなう移行対象サーバ，関連サーバおよび端末の変更資材をリリース後，保有する全機能の正常性確認を行い，Azure環境への移行を完了させた．また，本番移行においては，作業日あたり最大3サーバを上限とすることで，移行時の作業品質を確保した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

4.4　IaaS移行における課題と対応

（1）現行調査不足による関連システムの切替え漏れ

当移行においては，移行時にIPアドレスの変更を行うため，関連システムにおいても対応が必要となるが，テスト時に連携が正常に行えないケースが散見された．オンプレミス環境とAzure環境間のファイアウォールや，サーバ自身のファイアウォール機能の通信定義の考慮漏れが多く，現行調査の不足を露呈するものであった．

そのため，ネットワークのパケット情報取得コマンドを用い，移行対象サーバの通信情報を1カ月間取得し分析，網羅的に関連システムの影響を確認するよう改善した．

また**表6**に記載のとおり，調査に必要となる項目をまとめた調査シートを作成し，各担当者の個別知識に頼ることなく画一的な調査が可能となるようにした．

表6　現行調査シート　調査項目

項番	調査項目	主な調査観点
1	事前条件確認 （ASR前提条件確認）	.NET Framework や ssh のバージョン確認など ASR を行ううえで、前提条件を満たしているかの確認
2	設計書・ドキュメント調査	・サーバ・ネットワーク設計書、運用設計及び夜間バッチなどのジョブ定義書の確認
3	システム環境情報調査	・OS バージョン、CPU，メモリなどのシステム情報，導入サービス一覧の整理
4	ソフトウェア情報	・Web/AP/DB サーバのソフト調査(IIS, Apache, SQLserver など)
5	ネットワーク情報	・各サーバの NIC に紐づく IP アドレス調査
6	通信要件	・DB 連携(DB_LINK)や性能要求有無の確認 ・各ミドルウェアの IP アドレス保有有無調査 ・netstat コマンド取得結果の整理，確認
7	運用要件 （バックアップ）	・バックアップ取得時間の調査 ・保有世代数、遠隔地保管有無の調査
8	運用要件 （サーバ監視）	・死活監視，サービス監視，リソース(CPU, メモリ, ディスク使用率)監視有無の調査
9	サーバ資産調査	・移行対象サーバ及び関連サーバ/端末に対して、IP アドレス変更対象資材の調査。
10	NW 機器通信制御設定	・移行対象サーバと関連サーバ/端末間の NW 機器通信制御有無の調査 （ルーティング設定やファイアウォール定義有無の調査）
11	現行調査後変更確認	・現行調査完了後の移行対象サーバのシステム変更履歴の確認

（2）移行後の性能劣化

Oracleデータベースリンクによる大量データの結合に関して，データベース検索による性能確認時，特定の画面において検索性能が著しく劣化する事象が発生した（オンプレミス：16秒，移行後：40秒）．

当処理は，オンプレミス環境に存在するデータベースが，移行対象サーバのデータベースとリンクしており，Web画面から投入した検索SQLが，リンク先のデータベースとFULL OUTER JOIN（完全外部結合）する処理であり，検索時に大量データの通信が発生していることが原因であった．処理構成イメージを**図7**に示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

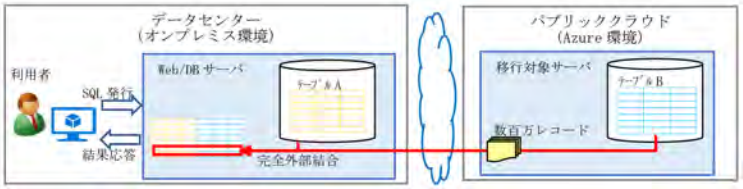


図7　処理構成イメージ

本原因における対応として，リンク先のテーブル保持データを整理し，授受するデータ量を削減することによって処理性能を改善した．

サーバ間で大量のデータ送受信を行う処理構成の場合，拠点が離れることにより，性能劣化が発生する可能性が高い．今後は，現行調査フェーズで当該処理の有無を確認し，保持データの整理など，事前に処理構成の見直しを行うことが必要である．

（3）メモリ保持メンテナンスへの対応

Azure環境に移行後，サーバ間伝送やデータベースへのロード処理が異常終了することがあり，調査の結果，Azure環境上のサーバに対してのセッション確立不可もしくは強制切断が発生していた．

Azureでは，クラウド事業者側の保守作業のため，任意のタイミングで最大30秒程度の停止を伴う「メモリ保持メンテナンス」があり，原因は当作業とサーバとのセッション確立が競合したことによるものであった．

メンテナンス時間は利用者側で指定することができないため，Azure環境に構築・移行する際は，「メモリ保持メンテナンス」を考慮した処理構成とする必要がある．

4.5　移行作業（PaaS移行）

（1）システム構成の検討

現行DWHシステムは，複数の物理サーバで構成したクラスタにPostgreSQL系のDWHソフトウェアを組み込んでいた．移行にあたり，同様の構成をIaaSの仮想マシンで実現することも可能であったが，移行方針に則りサービスとして利用できるPaaSのAzureSynapseAnalytics（以下，AzureDWH）を採用することとした．

IaaSの仮想マシンを利用する場合，現行DWHシステムと同様の構成・DWHソフトウェアを選択することができるため，既存定義情報などを流用でき，移行負荷を軽減できる．その反面，サーバの構築，DWHソフトウェアの導入・設定が必要であり，またOS・ソフトウェアの保守ライフサイクルにあわせて更改対応が必要となる．

PaaSのDWHサービスを利用する場合，SQL Server系のDWHソフトウェアであるため，移行時に定義情報などの変換が必要となる．しかし，OSやミドルウェアのレイヤを考慮する必要がなく，スペックを選択後1時間足らずで利用を開始することができ，保守ライフサイクルにあわせた更改作業から開放されるというメリットの方が大きいと判断した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

なお，移行先のPaaS選定にあたっては事前にAzureDWH上にテーブルを作成し，サンプルデータのロードおよび検索テストを実施し運用面・性能面で問題がないことを確認した．IaaSの仮想マシンを使用する場合，実機での事前検証は費用・期間などの面で対応が難しいが，PaaSを使用することで利用した分の従量課金のみ，即日環境準備が可能となり事前検証を効率的に行うことができた．

また，大規模なクラウド障害などが発生した際にも継続して業務が行えるよう，**図8**に示すとおり，通常使用する東日本リージョンとは異なる西日本リージョンに遠隔地バックアップを取得する構成とした．東日本リージョンでトラブルが発生した際には，**図9**に示すとおり西日本リージョンでサービスを起動しデータを復元することで業務継続を可能とした．

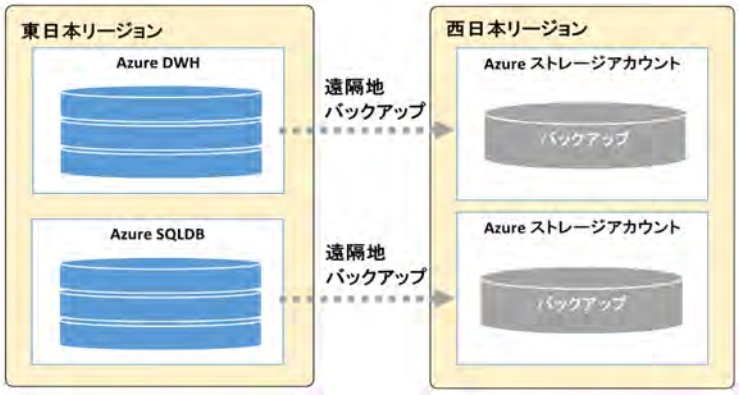


図8　AzureDWHにおけるバックアップ方式

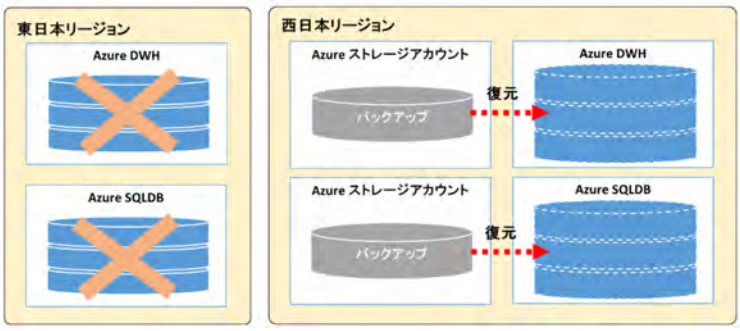


図9　障害発生時の復元イメージ

（2）セキュリティ対策

AzureDWHの初期構築状態では，インターネットから誰もがアクセスできる状態となっている．移行データには保険契約情報などのお客さま情報や経営に関する機密情報などが含まれるため，専用線経由でのアクセスのみAzureDWHを利用できるよう対策を実施した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

また，移行データにおける病歴・健康診断結果などのセンシティブ情報は，個人を特定できない形に加工，暗号化を実施した．セキュリティ上，十分な対策を取っており情報漏洩の可能性はきわめて低いが，お客さま情報を保護するため二重・三重のセキュリティ対策を行った．

（3）移行作業

①定義情報の移行

現行のDWHシステム（PostgreSQL系）とAzureDWH（SQL Server系）では製品が異なるため，DDL（テーブル定義）やフォーマット情報などの定義情報はそのまま移行することができない．現行DWHシステムとAzureDWHの定義情報の相違点を洗い出し，変換対応表を作成した．この変換対応表をもとに定義置換ツールを作成し，定義情報の移行を効率的に行った．

②データの移行

現行のDWHシステムとAzureDWHで製品は異なるが，RDBMSであるため通常のデータベース移行と同様に，データ移行はExport→Importで実施した．移行後はまったく同じデータが移行できており，どちらのDWHでも同じ結果が得られることを確認するために全データの一致確認を実施した．DWHシステムで保有するデータが約1TB，10億レコードと非常に多いため，確認作業に多くの時間を費やした．データ移行・比較方式を**図10**に示す．

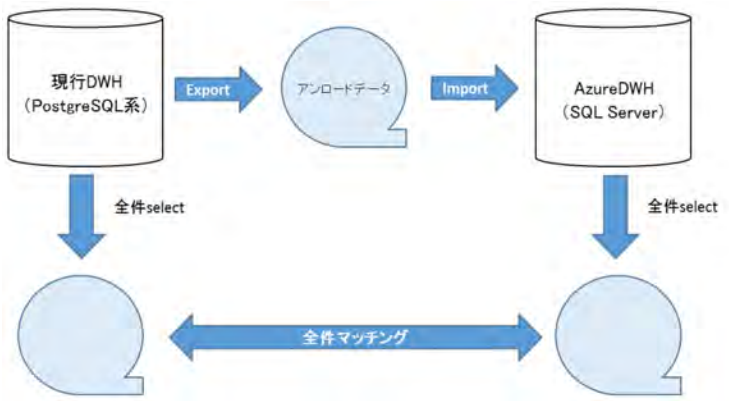


図10　データ移行・比較方式

4.6　PaaS移行における課題の検出と対応

データ移行後，本番環境と同等のテーブル構成・データ件数での機能確認および性能確認を実施した．機能面では特に問題なく，現行DWH・AzureDWHで同等のデータ抽出ができることを確認したが，性能面での課題を検出した．具体的には特定の定型SQLを連続実行するWebツールを実行すると，トータルでの処理時間に差が出るという内容だった．

事前の性能検証時点ではWebツールとAzureDWHの接続ができず，Webツールから発行されるSQL単体の性能検証を実施していた．そのため，連続実行すると性能差が出るという点を検知できていなかった．**表7**に性能差の発生イメージを示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表7　性能差の発生イメージ

	単体実行		連続実行	
	現行 DWH	AzureDWH	現行 DWH	AzureDWH
SQL①	5 秒	5 秒	5 秒	5 秒
SQL②	5 秒	5 秒	1 秒	5 秒
SQL③	5 秒	5 秒	1 秒	5 秒
SQL④	5 秒	5 秒	1 秒	5 秒
合計	20 秒	20 秒	8 秒	20 秒

性能差が発生した原因は現行のDWHシステムとAzureDWHのDBMSの仕様相違によるもので，現行のDWHシステムでは，SQLのアクセスプランのキャッシュ効果から，短時間に同テーブルへ連続発行される2回目以降の処理時間が高速化することが判明した．AzureDWHは大規模データの並列処理に特化しており，現行のDWHシステムと同様のキャッシュ機能がなく，SQL連続発行時に性能差が生じていた．

対応の検討にあたりWebツールから実行されるSQLを分析した結果，インデックスを使用したアクセスプランの最適化が有効であることを確認した．対応策として，Webツールから利用する対象のテーブルをPaaSの通常のRDBMSであるAzureSQLDatabase（以下，AzureSQLDB）にも格納し，Webツール実行時の参照先をAzureSQLDBとする方針とした．AzureDWHでの結果セットのキャッシュなどのチューニングも検討したが，BIツールからの非定型検索処理やデータロード処理の性能に影響するケースがあるため，用途に応じてDBMSを分離することが最適と判断した．対応前後の構成を**図11**に示す．

当対応により，Webツールからの連続実行時の処理性能は現行同等以上となり，性能面での課題を解消することができた．

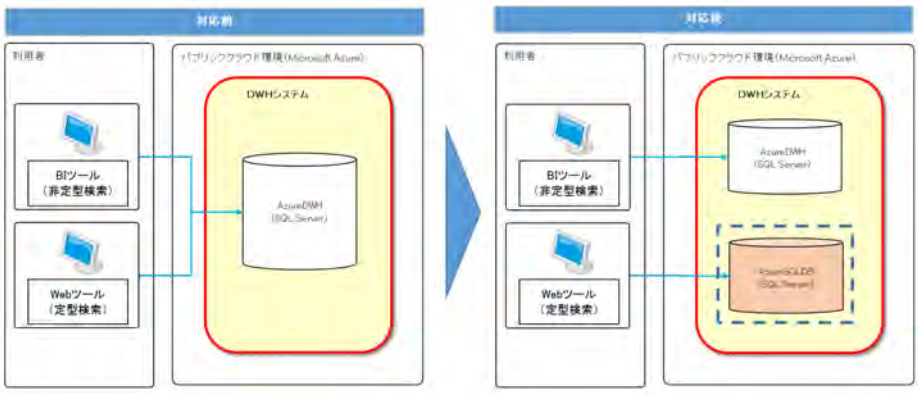


図11　対応前後の構成

5. 評価

5.1 定量評価

© 2021 Information Processing Society of Japan

（1）コスト削減

オンプレミス環境の社内OAシステムをAzure上の仮想マシンもしくはサービスに移行することで，5年ごとに発生するハードウェア更改の費用も含め現行比で最大50%減のコストメリットを享受することができた．**図12**に示すとおり，クラウドの場合，物理的な機器導入や設備関連の費用がなく，また更改時はソフトウェア保守切れ対応のみでハードウェア作業が不要であり並行期間中の二重負担などもない．

図12　コストの比較

さらにPaaSを採用するDWHシステムは，ソフトウェアのバージョンアップやバグフィックスもクラウド事業者側の作業となり，ハードウェアやソフトウェアの保守期限によるシステム更改作業が不要となった．また，データセンタの停電作業やハードウェアのファームアップ，ハードウェアに起因した障害対応などがクラウド事業者側で行われることで，年間10人月相当の内部工数の削減に繋がっている．

（2）開発期間の短縮

一般的に新規システム構築時においては，プログラムとは別にサーバ導入が必要であり，サーバ導入時には機器搬入・電源配備・ネットワーク敷設といった物理作業のほか，OSインストール，初期設定などの手配・作業が必要である．パブリッククラウドを利用することで，上述したシステムインフラ構築に伴う作業期間を短縮し，**図13**に示すとおりサーバ構築において約8週間の作業期間を約2週間に削減することができた．

© 2021 Information Processing Society of Japan

図13　開発期間の短縮

5.2　定性評価

（1）拡張性・柔軟性の向上

物理的なシステムリソース（CPU，メモリ，ディスク）を意識することなく，リソースの変更を短時間で行えるため，処理集中時など，システムの利用頻度に合わせた柔軟な対応が可能となった．ユーザ検証環境やシステム開発環境など，常時起動する必要がないシステムは，利用時のみの起動とし，コスト削減にも繋げることができた．

（2）可用性の向上

オンプレミス環境の社内OAシステムは，同一データセンタ内の複数機器で冗長化しているが，拠点災害を想定した他拠点への冗長化は行っていない．Azureで提供されているサービスを利用することで，有事の際は西日本リージョンへの切替えを可能にし，可用性の向上が図れた．

（3）生産性の向上

Azureでは仮想マシンの複製機能を用いて，パラメータの設定作業などを行うことなく，本番環境と同等の環境を迅速に構築することができる．複製した環境を利用することで，システム開発におけるテストおよびテスト準備に要する期間の短縮が可能となる．

また，障害時においても，本番環境から分離された環境での検証を迅速に行うことでき，生産性の向上に繋がった．

（4）クラウド関連スキルの向上（クラウド・エンジニアの育成）

クラウド・エンジニア育成に向けては，専用の育成フレームワーク（**表8**）を定め，フレームワークに沿って計画的にスキル習得を行った．具体的には，必要なスキル要素を，3種類（「インフラ構築」「インフラ運用」「セキュリティ」）に分類し，それぞれの要素につき成熟度（初級，中級，上級）を定め，各人が年度ごとに目標を立て，IaaS移行やPaaS移行の案件対応や社外研修，Off-JTを通じてスキル向上を図った．

スキル評価は外部機関による第三者評価とし，2019年度においては，目標としていた人数の初級認定を達成することができ，達成者全員がAzure関連の資格[☆6]を取得することができた．2020年度は中級認定に向けて計画的にスキルを向上に取り組んでいる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表8　クラウド・エンジニア育成フレームワーク

クラウド・エンジニア成熟度レベル		スキル要素		
		インフラ構築	インフラ運用	セキュリティ
上級	**【最適化、管理】** 先進事例を把握し、各リソースを組み合わせて、自社システムの最適化が可能	・自社のシステムインフラを含めた全体最適の設計。 ・最新のサービスも活用したインフラの設計・構築。	・自社のシステム運用の全体最適・自動化などの設計。 ・最新のサービスを活用したシステム運用の自動化・実装。	・既存セキュリティ機能を含めたAzure利用時の最適な設計。 ・Azure のサービスを活用した、セキュリティ対策の実装。
中級	**【設計者】** サーバ/ストレージ/NW、運用など、各種設計が可能	・要件に適した構成設計及びサイジング設計。 ・Azure 移行作業、リスク対策などを確認したうえでの移行計画の策定。	・非機能要件に合わせたサービスの停止起動、バックアップなどの運用設計。	・ネットワーク設定や暗号化など、Azure 利用時のセキュリティの設計。 ・AzurePortal のアクセス権限設計。 2020 年度目標
初級	**【担当者】** 手順作成～作業・確認まで一連の実務作業が可能	・システム基盤の構築、変更及び、作業結果の確認。 ・準備から結果確認まで一覧の移行作業の実施。	・ログ監視などの運用ツールの作成、実行。 ・Job の自動化スクリプトの生成、実行。	・ネットワーク設定、暗号化の設定作業。 ・アカウント、アクセス権限作成、変更。
	【作業者】 クラウドに関する共通知識習得し、手順書の作業が可能	・インフラ構築やサーバ移行に必要な IaaS の概要の理解。 ・手順書に従った Azure 上でのサーバ構築、移行作業の実施。	・リソース及び死活監視の概要理解。 ・AzurePotal やコマンドレットでのシステムの起動、停止などの定例的な運用の実施。	・Azure 利用時のリスク、事業者のセキュリティ対策の理解。 ・手順書に従ったストレージなどの暗号化対策の実装。 2019 年度目標
前提スキル		一般的なシステムインフラの基礎知識		

6. 今後に向けて

今回のパブリッククラウドの活用により，機動的なシステム基盤構築のための下地を作ることができ，コスト面においても効果のある施策であった．しかしながら，今回の移行では既存システム機能を保証したIaaS移行が中心であり，クラウドのメリットを全面的に享受できているとはいえない．今後に向けては，各システムが求められている機能に応じてクラウドネイティブに作り変えていくことでさらなる「システム開発力の一層の強化」と「デジタル化の推進」に取り組んでいきたい．末筆ながら，本更改にあたり多大なご支援・ご協力を賜ったソリューションベンダ各社殿，メーカ各社殿，関係各社の皆様に心から感謝の意を表するとともに，本稿がユーザ企業，システム業界に携わる方々の参考となれば幸甚である．

脚注

☆1　社内OAシステム：ポータルや文書管理など，社内共通で利用するシステムおよびBIなどでデータ参照するDWHシステムの総称．

☆2　パブリッククラウド固有の想定リスク：ネットワーク分離やデータ消去などの情報漏洩対策，サービス停止時における対処や統制管理など，利用者対策と事業者選定の観点より，パブリッククラウド利用時のリスクを洗い出し（合計58項目）．

☆3　東日本・西日本リージョン：データセンタを設置している完全に独立した地域のこと．Azureは全世界に52のリージョンを保持しており，国内では東日本リージョンと西日本リージョンの2リージョンが存在する．

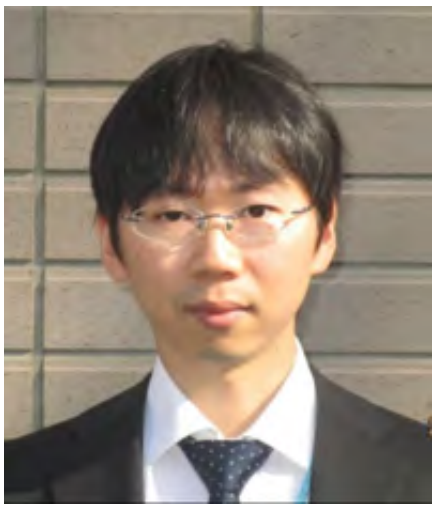
☆4　CIS：インターネット・セキュリティ標準化団体が定めている「Azureセキュリティベンチマーク」（全92項目）．

☆5　Azureベストプラクティス：「Azureセキュリティのベストプラクティス」（全14項目）．

☆6　マイクロソフト社の認定プロフェッショナル（MCP）のAzureに関する資格試験．

© 2021 Information Processing Society of Japan

白石征久（非会員）shiraishi.yukihisa.661712@daido-life.co.jp
2004年入社．2020年現在，テクニカルサポート二部．IT基盤管理二課 課長代理．



佐田野直樹（非会員）sadano.naoki@daido-life.co.jp
2008年入社．2020年現在，テクニカルサポート二部．IT基盤開発課 課長代理．

堀　仁人（非会員）hori.yoshito.541712@daido-life.co.jp
2010年入社．2020年現在，テクニカルサポート二部．IT基盤管理二課．

採録決定：2021年3月10日
編集担当：斎藤彰宏（日本アイ・ビー・エム（株））

© 2021 Information Processing Society of Japan

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

訂　正

本誌 62 巻 8 号（2021 年 8 月号）のデジタルプラクティスコーナー「NEC ユーザ会論文：顔認識によるデジタルマーケティングの実用化～価値あるデータを未来につなぐ～」の著者メールアドレスの記載に誤りがありました．お詫びして訂正いたします．

p.d111

（誤）ttt@gmail.com　（正）shimada@bcc-net.co.jp