2020年2月10日印刷　2020年2月15日発行（毎月1回15日発行）
ISSN 0447-8053

IPSJ MAGAZINE

情報処理

2020
3
Vol.61 No.3
通巻 660 号

特集　5G時代の幕開けに向けた研究開発と実証

特別解説　量子コンピュータを用いた量子超越実験

神奈川県ハードディスク流出事件―HDD廃棄時にデータ消去はどうあるべきか―

巻頭コラム

TOKYO 2020大会に向けて
坂　　明

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

教育コーナー：ぺた語義
連　載：IT紀行／5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み
　　情報の授業をしよう!／先生，質問です!／ビブリオ・トーク
会議レポート
学会活動報告

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

FUJITSU Human Centric AI

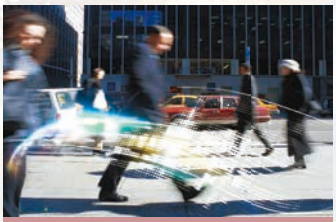
Zinrai（ジンライ）

富士通のAI（人工知能）

FUJITSU

「Zinrai（ジンライ）」は、人と協調する、人を中心とした富士通のAIです。
長年にわたる実績と豊富なノウハウを結集した独自のAI技術で、
人の創造力や可能性を引き出し、社会に新たな価値を創出します。
すでにさまざまな製品・サービスに組み込まれ、あなたのそばで動きはじめています。

Zinrai（ジンライ）は、さまざまな分野で活用されています。



都市監視

画像認識技術で都市状況
をリアルタイムに把握

ショッピング

お客様の視線の動きから
来店客の興味・関心を分析

ヘルスケア

医師の迅速な
意思決定をサポート

FUJITSU Human Centric AI Zinrai

shaping tomorrow with you

http://www.fujitsu.com/jp/zinrai/

CD Classembly Devices®

Interface Made in 日本

スリムタワー CD

型式：EST-EH11A(W10XB)QR33BS24
※産業用 CPU：Intel Xeon E3-1268L v3 2.3GHz 搭載
メモリ：16GB(ECC 付き) 搭載
※ディスプレイ：DVI-I、DVI-D　各 1 ポート
拡張性：PCIExpress x16×2 スロット（x8 動作）、
PCI×1 スロット
起動デバイス：CFast 32GB
ストレージ：2.5 インチ HDD 1TB ×2
RAID ボード搭載
瞬低対策バッテリー搭載
※I/O：RS232C×4、デジタル入出力 4/4、LAN2 ポート、
USB2.0×4、USB3.0×4、ライン入出力
RAS 機能搭載
外形寸法：110mm（幅）×280mm（奥行き）×330mm（高さ）
※他にも、CPU・ディスプレイ・I/O 等、組み合わせオプションを用意しております。

- ブチ切り、自動再起動対応
- ECC メモリ対応
- LAN2 ポート
- 拡張スロット
- 豊富な I/O を搭載
- 優れたメンテナンス性
- 静音ファン対応可能
- 各種 OS に対応
  - Windows 10 IoT Enterprise (64bit)
  - Interface Linux System 8 (64bit)

1. システムの ROM 化

両モデルとも、CFast を起動ドライブとし、システムの ROM 化設定することで、OS を同じ状態に保ち、停電などによる不慮の電源断からシステムを守ります。

2.RAS による予兆診断

ウォッチドッグタイマ、CPU 温度監視、基板温度監視、電源電圧監視、筐体ファン制御・監視、バッテリモジュール監視、振動・衝撃監視の機能を備えています。

3. 内蔵バッテリによる瞬低対応

内蔵バッテリモジュールにより、瞬低や不意の停電に対応。システムを正常終了処理させ、電源復旧後は自動でシステムを再起動することが出来ます。

4. ブチ切りから自動再起動

ブチ切りの対応には、ハードウェア、ソフトウェア両面で、電源回路や再起動のシーケンスを熟知した設計が必要です。インタフェースは、長年の経験と実験検証により、ブチ切り～自動再起動に対応します。

5.TPM(HDD 暗号化) 搭載

TPM チップにより、ハードディスクを暗号化できるため、万一、ハードディスクが盗難されても、ハードディスク単体では解読することができません。

6. リモート機能はあえて OFF

インタフェースではセキュリティホールとなりかねないリモート機能は、出荷時あえて OFF にしています。
本機能の出荷時設定についてのご相談は、弊社営業担当へご相談下さい。

サーバ用途 PC も

ブチ切り 自動再起動対応

ハイグレード CD

型式：EWS-KH10A(W10XB)MF06BS21
産業用 CPU：Intel Xeon E3-1275 v6 3.8GHz 搭載
メモリ：64GB(ECC 付き) メモリ搭載
※ディスプレイ：DisplayPort コネクタ：DP1.2、DVI-D 各 1 ポート
拡張スロット：PCI Express x16 スロット ×1，PCIExpress x8(x4 動作) スロット ×1
起動デバイス：CFast 32GB
※ストレージ：3.5 インチ HDD 4TB×3
瞬低対策：バッテリー搭載
各種 I/O：RS232C×2、LAN 4 ポート、USB2.0×1、USB3.0×4、マイク入力、ライン出力
RAS 機能搭載
外形寸法 430(幅)×354(奥行き)×133(高さ)mm　19 インチラック対応
※他にも、ディスプレイ・ハードウェア RAID 等、組み合わせオプションを用意しております。

- ブチ切り、自動再起動対応
- ECC メモリ対応
- LAN4 ポート
- 拡張スロット
- 豊富な I/O を搭載
- 24 時間稼動
- 優れたメンテナンス性
- 静音ファン対応可能
- サーバ OS 含む各種 OS に対応
  - Interface Linux System 8 (64bit)
  - Windows 10 IoT Enterprise 2016 LTSB (64bit)
  - Windows Server 2016 (64bit)

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

詳しくはwebsiteまで www.interface.co.jp

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

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

SAMT-19-002926-01

3

PREFACE

巻頭コラム

226 TOKYO 2020 大会に向けて　坂　明

SPECIAL ARTICLE

特別解説

228 量子コンピュータを用いた量子超越実験　藤井啓祐
231 神奈川県ハードディスク流出事件―HDD 廃棄時にデータ消去はどうあるべきか―　上原哲太郎

SPECIAL FEATURES

特　集

5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証

234 0. 編集にあたって　石津健太郎
236 1. 5G の実現に向けた取り組み　豊重巨之
243 2. 5G 時代のサービス協創とシステムトライアル―幅広い業界における新たなパートナーシップと地方創生・社会課題解決にも繋がる 5G サービスの実証試験―　奥村幸彦・須山　聡
250 3. 社会を変える 5G への取り組み―社会課題の解決やワクワク体験の実現に向けて―　松永　彰
256 4. 5G 総合実証実験における取り組み―5G 超高信頼・超低遅延通信のトラック隊列走行への適用―　吉野　仁
262 5. 5G の最新の研究開発技術動向と「情報通信の民主化」への期待　中尾彰宏
270 6. ローカル 5G エリアの可用性向上のための検討―プライベートマイクロセル構造の高度化技術―　児島史秀

◆◇「情報処理」Kindle で販売中！◇◆

「情報処理」は Kindle 版でも販売中です！　冊子を持ち運びしなくても、スマホ・タブレット端末さえあればどこでも気軽に会誌を読むことができます。ぜひご活用ください！

ご購入は Amazon から→ https://www.amazon.co.jp/
「情報処理学会　Kindle」で検索

Jr. 指標にジュニア会員向けが追加されました。

《記号の説明》

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

※各記事に指標がついていますのでご参考になさってください

IPSJ MAGAZINE
情報処理学会誌
Vol.61 No.3（2020 年 3 月号）
通巻 660 号

情報処理

連載：ビブリオ・トーク―書評―

276　Keras によるディープラーニング　実践テクニック & チューニング技法　金子　格

教育コーナー：ぺた語義

277　教え方と学び方を学ぶ　市川　尚

278　Processing でプログラミングに挑戦!―第 2 回　変数を使ってみよう―　杉浦　学

283　高校における新教科「情報」ができたころのこと　大岩　元

連載：情報の授業をしよう！

288　東京都立石神井高等学校での情報の授業―体験して理解する授業の指導例―　小松一智

連載：5 分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

294　Jacob Devlin et al. : BERT : Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding　柴田知秀

学会活動報告

296　IFIP ―情報処理国際連合―近況報告　村山優子

連載：IT 紀行

306　難しくて理解不能!?　第 61 回プログラミング・シンポジウムに行ってみた!　山本ゆうか

会議レポート

308　ISSRE 2019 参加報告　中川尊雄

310　**連載：先生，質問です！**

287　2020 年度会誌「情報処理」および「デジタルプラクティス」モニタ募集のお知らせ
312　会員の広場
314　IPSJ カレンダー
316　論文誌ジャーナル掲載論文リスト
317　論文誌トランザクション掲載論文リスト
317　デジタルプラクティス掲載論文リスト
318　有料会告
319　有料会告について
321　英文目次
322　アンケート用紙
324　編集室／次号予定目次
325　掲載広告カタログ・資料請求用紙
326　賛助会員のご紹介

■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：楠　房子・清水　佳奈
本号エディタ：
五十嵐悠紀・石津健太郎・井本　和範・江渡浩一郎・大石　康智・大川　徳之・太田　智美・桂井麻里衣・金子　格・川上　玲・河原　亮・久野　靖・欅　惇志・斎藤　俊則・佐藤　史子・城島　貴弘・須川　賢洋・田名部元成・谷田　英生・戸田　貴久・鳥澤健太郎・坂東　宏和・福地健太郎・古川　雅子・坊農　真弓・間瀬　正啓・水野加寿代・茂木　和彦・山本ゆうか・湯村　翼・渡辺　博芳

編集長ブログ：blog-mag.ipsj.or.jp
理事からのメッセージ：
https://www.ipsj.or.jp/annai/aboutipsj/riji_message.html

■情報処理学会事務局本部

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

■規格部　情報規格調査会

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

■支　部　北海道／東北／東海／北陸／関西／中国／四国／九州

電子版
-DIGITAL VER-
Kindle
Fujisan
情報学広場

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

TOKYO 2020 大会に向けて

■坂 明

2013年ブエノスアイレスで開催された第125次国際オリンピック委員会（IOC）総会にて，2020年夏大会の日本・東京開催が決定されて以来，多くの関係者が準備を重ねてきた．私自身は2017年4月よりサイバーセキュリティ分野の担当として組織委員会に参加した．

このムーブメントに携わってみて感じるのは，まず，その規模の大きさだ．オリンピックは平時における世界最大のイベントと言われる．現在のIOC参加国・地域は206であり，国連の加盟国数193を上回っている．来場観客数もパラリンピックを合わせれば1,000万人，会場外のイベントへの参加者も含めれば2,000万人が，オリンピックの19日間，パラリンピックの13日間という短期間に来場すると見込まれる．このためのチケットの販売，選手・関係者・観客のスムーズな移動・入退場だけを考えてみても，膨大な情報を処理して対応している．特に，TOKYO 2020では，関係者が酷暑の中で長い列を作ることがないよう顔認証システムも導入することとしている．このようなイノベーティブな取り組みも含め，競技運営，クライアントサービス，会場・インフラ，大会ロジスティクス，ガバナンス，コマーシャルの6分類・52の機能について，100以上のシステムを構築しこの巨大なイベントを運営することとしている．このような規模の事象を扱うことは多くの関係者にとって初めての体験になる．

また，オリンピック・パラリンピックは国際的なイベントであり，多くの組織・企業，そして関係者が国

■ 坂 明
公益財団法人 東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会チーフ・インフォメーション・セキュリティ・オフィサー（CISO）

1981年警察入庁．生活安全局セキュリティシステム対策室長情報技術犯罪対策課長などを歴任しサイバー犯罪対策に従事．2002年にはハーバード大学WCFIA客員研究員としてサイバーテロの研究に従事し2008年から2年間は慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科教授．2014年より（一財）日本サイバー犯罪対策センターJC3理事，2017年より（公財）東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会チーフ・インフォメーション・セキュリティオフィサー（CISO）．

を超えて協力し運営する．スポンサー・パートナー企業は，それぞれ担当するカテゴリーを持ち，その分野においては責任を持ってTOKYO 2020に貢献することになる．また，TOKYO 2020は日本にとって国家的なイベントでもあり，大会を支える重要サービスも多岐にわたる．考慮すべき要素も，暑さや災害のような自然，地政学的な状況なども含めて広範囲にわたる．したがって，開催都市である東京都はもちろん，政府・地方公共団体等公的部門やインフラ事業者・競技会場運営者等さまざまな主体も大きな役割を担うことになる．多様な組織文化・ビジネス慣習を有する組織・人々が協力しつつ一つの目的に向かって取り組むのは大きなチャレンジだが，大会を間近に控えた現在，正にOne Teamとなってきていることを実感する．

私の担当するサイバーセキュリティ分野でも，ネットワーク・システムの構築，運用，情報の共有，事案への対応など各面で多くの組織・企業・方々にお力をいただいている．オリンピック・パラリンピックの本質は，世界中から参加するアスリートが自らと人類の限界に挑戦し，世界中の人々が感動を共有する，ということにあると考えているが，それを組織委員会として力を尽くして支え，多くの皆様と力を合わせて目的を果たし，その経験を将来へのレガシーとして残すことができれば有り難いことと思っている．

量子コンピュータを用いた量子超越実験

藤井啓祐 | 大阪大学大学院基礎工学研究科

2019年9月にGoogleのチームによる量子コンピュータを用いた量子超越実験の論文がNASAのサーバからリークし，話題になった．その後10月に正式にNature誌から発表され[1]，新聞の一面で報道されるなど研究界を超えて話題になっている．量子超越（quantum computational supremacy）[2]というセンセーショナルな言葉が一人歩きしている感もあり，さすがにビットコインが一時的に暴落するなどは過剰反応である一方，30年以上前に提案され，いつまでたっても実現しないと言われていた量子コンピュータが，その性能を評価するためにスーパーコンピュータが必要になる，というレベルまできたことは賞賛に値する．本稿では，量子計算の仕組みについての簡単な導入とともに，今回の量子超越実験で示されたことについて解説したい（より物理的な解説は物理学会誌の解説を参照されたい[3]）．

量子計算の仕組み

物理や量子計算の知識があまりない読者もいると思うので，簡単に量子計算の仕組みをまとめておく（詳しくは，解説記事[4]や教材[☆1]が公開されており，量子計算のこれまでの経緯については一般書[5]を参考にしてもらいたい）．従来の情報処理（以下では，量子ではないという意味で，古典情報処理と呼ぶことにする）では情報は，0もしくは1の値をとるビットによって表現される．物理的には，電圧やコンデンサにたまった電荷など物理的に異なる2状態によってこれら0や1といった情報が表現されている．最も基本的な物理法則では，重ね合わせ状態という異なる2状態のうちどちらが実現しているかが確定していない，という状態をとることが許されている．これを利用するのが，0状態と1状態の重ね合わせ状態である量子ビットである．数学的には，0状態と1状態をとる重みを2つの複素数αとβを用いて表現し，2次元の複素ベクトル$\begin{pmatrix}\alpha\\ \beta\end{pmatrix}$によって表現される．この複素数$\alpha$と$\beta$は，重ね合わせ状態を破壊し，0であるか1であるかを測定したときにそれぞれの測定結果が得られる確率$|\alpha|^2$，$|\beta|^2$に対応し，規格化条件$|\alpha|^2+|\beta|^2=1$を満たす．量子ビットが1つの場合について説明したが，量子ビットがn個ある場合も，古典ビットでとり得る2^n個のビット列のパターンの重ね合わせ状態が許されており，n量子ビット状態は，それぞれのビット列をどのような重みでとるかということを表す2^n個の複素ベクトルで表現される．先ほどと同じく，この複素数の絶対値の2乗がビット列をサンプルしたときに得られる確率に対応するため，この複素ベクトルも規格化条件を満たす．

量子コンピュータは，上記のような複数のビット列のパターンの重ね合わせ状態のままある意味並列的に計算を行うコンピュータである．量子コンピュータ上で実行可能な演算，すなわち量子力学で許された時間発展は，重ね合わせ状態を記述する

☆1 https://dojo.qulacs.org/ja/latest/

複素ベクトルに対するユニタリー行列 U の作用によって記述される（ユニタリー性は複素ベクトルのノルムの保存 = 確率の保存のために必要となる）．ただし，量子コンピュータの出力としてこの複素ベクトルの要素を直接得ることは許されておらず，絶対値の 2 乗で得られる確率分布のもとでサンプリングされるビット列のみ取得できる．このため，有用な答えを得るためには，うまく複素数を干渉させることによって確率を集める必要がある．

古典コンピュータを用いて量子コンピュータが行う計算を再現するためには，2^n 個のパターンについてすべて並列的に計算を進める必要があり，量子ビットの数に対して指数的なメモリの確保と計算時間を要することになる．たとえば，30 量子ビットの場合は複素数を 2^{30} 個確保する必要があるため，倍精度で約 16 ギガバイト，同様に 50 量子ビットの場合は 16 ペタバイトという途方もないメモリが必要になり，50 量子ビットを超えるとスーパーコンピュータ（スパコン）でも量子コンピュータのシミュレーションが難しい領域に入ってくる．

実際には，ノイズの影響による出力の精度の低下や，実行したいタスクによっては量子コンピュータそのものをシミュレーションするよりももっと高速な古典アルゴリズムがあるため，量子コンピュータの古典コンピュータに対する優位性を実証することはなかなか難しい．たとえば，量子コンピュータを用いることによって効率良くとけることが知られている素因数分解問題では，50 量子ビットしかなければ高々 50 ビットの素因数分解しかできない．50 ビットの素因数分解であれば，スパコンを引っ張り出す必要もないだろう．今回の実験のポイントは，その計算自体にあまり意味はないが，現在のノイズを含む 50 量子ビット程度の量子コンピュータでもできるタスクを設定し，そのタスクに対して量子コンピュータ実機とスパコン上で走らせた既知のベストアルゴリズムとで比較をしたというものである．

ランダム量子回路による実験

Google の実験では，上記の条件をクリアし，量子超越を実験的に検証するために，2 次元正方格子状に並べられた 53 個の量子ビットに対して，ランダムに選ばれた 1 量子ビット演算と，隣接する量子ビットに作用する 2 量子ビット演算の繰り返すというランダム量子回路を実行し，測定をしてビット列をサンプリングするというタスクを用いている．このようなランダム量子回路の後に測定をすると，一様分布とはまったく異なり，特定のビット列が高確率で出現するという Porter-Thomas 分布が得られることが知られている．この分布の特徴を利用して，実験的にサンプルされたビット列から，それが理想的な分布をどの程度再現しているかを，線形化した交差エントロピーから推定される計算の忠実度を用いて検証するという方法が，Google が今回実験を行った交差エントロピーベンチマークとよばれる手法である．

実験では，1 つのランダム量子回路に対して約 5×10^6 回のサンプリングを行い，10 個のランダム量子回路から交差エントロピー忠実度を計算している．実機では 10^6 回サンプリングするのに要する時間は 200 秒程度である．実際に量子ビット数を最大である 53 量子ビットにし，量子回路の深さを 20 サイクルとすると，もはやスパコンをもってしても理想的な場合の確率分布の計算が難しくなるので，実験でデータが得られたとしても，交差エントロピー忠実度の計算ができない．Google の実験では，サイクル数を浅くしたり，回路パターンを古典シミュレーションがしやすくなるように簡単化したもので，交差エントロピー忠実度を推定し，その忠実度がここの演算の精度から計算される値と一致していることから，最も難しい 53 量子ビット，20 サイクルの計算においても十分な忠実度が得られていると結論づけている．また，同じ忠実度のサンプリングを古典コンピュータで行った場合，約 10^6 コアのマシンを想定して約 1 万年の時間がかかると結論づけている．この見積も

りでは，数十ペタバイトにも及ぶデータを一度に確保するのではなく，計算を分割して足し合わせる方法を採用している．Google の論文がリークした直後，IBM のグループからスパコン，サミットの 2 次メモリを活用しすべてのデータを確保すれば，2.5 日でシミュレーションできるという反論も出ている．ただし，量子ビット数があと 3 つでも増えると 2 次メモリの容量を超えてしまい（量子ビットが 1 つ増えると，データ量は倍になる）この方法も破綻するであろう．論文発表後に，Google のチームを率いている John Martinis が講演した内容によると，57 量子ビットのマシンがすでに稼働しているとのことである．

まとめと論点

ランダム量子回路からの出力は意味のないビット列であり役に立つものではない（とはいえ検証可能量子乱数としての応用が検討されている）．今回の実験は，スパコンでもシミュレーションが難しい物理系を究極的に精密に制御したという意味合いが強い．単に，スパコンではシミュレーションが難しい系を実現する，というだけならば量子系でなくても，人間の脳やコップの中の水なども量子超越と呼べてしまうことになる．しかし，Google の論文では，この点を明確にするために量子超越の定義を以下のように定めている：

- 数学的に問題とその解が適切に定義されていること．
- プログラム可能なデバイスであること．
- どの既知の古典ベストアルゴリズムを用いても，そのタスクの実行に指数的なスケーリングの差があり，現在のスパコンと比べ圧倒的に速くタスクを実行できること．

そもそも量子系でなければ 3 つ目の要素をクリアすることができず，これまで実験された制御された量子系でこれらの条件をクリアしたものは存在していない．また，今回の古典コンピュータに対する優位性は，既知のベストアルゴリズムとの実測値の比較である．特定の既知のアルゴリズムを前提とすることなく，計算機科学的における仮定に基づいてスケーリングの下限などを求める理論研究も進んでおり，この意味での量子超越の実証も今後目指すべきであろう[6]．また，残念ながら今回の実験では，量子ビットの数が有限であることと，仮に量子ビット数を増やすことができたとしても量子演算にはノイズがあるため全体の忠実度は指数的に減衰してしまうため，そもそも拡張性のある議論（サイズを大きくした極限に対する議論）が展開できない．一定のノイズがあるもとで拡張性のある議論をするためには，ノイズを克服する方法である量子誤り訂正や誤り耐性量子計算を待つ必要があるだろう．今回の実験で示された精度は，量子誤り訂正を実行するに十分なレベルに到達しつつあり，今後の展開に注目したい．

参考文献

1) Arute, F. et al. : Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor, Nature 574, pp.505-510 (2019).
2) Preskill, J. : Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor, arXiv:1203.5813 (2012).
3) 藤井啓祐：最近のトピック：量子コンピュータを用いた量子超越実験で示されたこと，物理学会誌 (2020).
4) 特集　量子コンピュータ，オペレーションズ・リサーチ　6 月号，Vol.63，No.6 (2018).
5) 藤井啓祐：驚異の量子コンピューター宇宙最強マシンへの挑戦―，岩波科学ライブラリー (2019).
6) Harrow, A., W. and Montanaro, A. : Quantum Computational Supremacy, Nature 549, pp.203-209 (2017).

(2019 年 12 月 22 日受付)

藤井啓祐　fujii@qc.ee.es.osaka-u.ac.jp

2011 年京都大学大学院工学研究科 博士課程終了．博士（工学）．大阪大学大学院基礎工学研究科 特別研究員（2011 ～ 2013），京都大学白眉センター特定助教（2013 ～ 2016），東京大学光量子科学研究センター助教（2016 ～ 2017），京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻，特定准教授（2017 ～ 2019）を経て，2019 年から，大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻，教授．JST さきがけ研究員，情報処理推進機構（IPA）未踏ターゲット事業プログラムマネージャーを兼任．量子コンピュータのソフトウェアベンチャー，（株）QunaSys，最高技術顧問．専門分野は量子情報，量子コンピューティング．特に，量子誤り訂正，誤り耐性量子計算，測定型量子計算，量子計算複雑性，量子機械学習．

応般 Jr.

神奈川県ハードディスク流出事件
― HDD 廃棄時にデータ消去はどうあるべきか―

上原哲太郎 | 立命館大学　情報理工学部

事件の経緯

2019 年 12 月，インターネットオークションにおいて販売されていたハードディスクドライブ（HDD）内から神奈川県の行政文書が大量に発見されたことが報じられた[1]．持ち出されたデータ量が膨大であったこと，税に関する記録など機微性が高い情報が含まれていたこと，流出経路がリサイクル事業者の従業員による盗難であり，社会的影響が大きいことから広い関心を集めた．

新聞報道など[1), 2)]によると，事件の経緯は以下の通りである．2019 年 2 月末，神奈川県（以下，県と略す）において庁内ファイルサーバの更新が行われ，リースされていた旧サーバがリース会社 F 社に返却された．当該リース契約では，データ漏洩を防ぐため返却後，F 社側でデータ復旧が不可能とされる方法で当該サーバの HDD の消去作業を行うこととされており，また作業完了後に消去証明書を神奈川県に提出する旨が定められていた．

F 社はこの HDD の消去作業を，情報機器のリサイクルや廃棄業務を行っている B 社に行わせるため売却し，B 社は F 社の指示で HDD を直接県から引き取った．両社の売買契約では，HDD が動作すればデータを専用ソフトで消去し，動かなければ物理的に破壊するとされていた．

当該 HDD は B 社施設において消去と破壊作業に供された．この際，その作業に従事していた B 社従業員が HDD のうち 18 台を持ち帰り，オークションにおいて転売した．7 月下旬，このうち 9 台を落札した人が当該 HDD 内にデータが残存していることに気づき，調べたところ神奈川県に関係する文書が大量に含まれていることから，朝日新聞社に相談した[3]．朝日新聞社は調査を行った上で 11 月下旬に県に通知し，12 月 6 日に報道したことでデータの流出が公になった．

事故原因の分析

本事件の直接的な原因は，B 社において廃棄処分に供される HDD の個体管理が不十分であったほか，そもそも B 社の作業拠点において盗難防止策が十分でなかったことである．B 社テクニカルセンターでは IC カードと指紋認証による入退室管理が行われており，従業員による持ち出しを防ぐための手荷物検査も行われていたが，早朝や深夜に出退勤する場合には手荷物検査は行われていなかった．元従業員は早朝に出勤しており，すでに廃棄対象になっていた HDD であれば容易に持ち出せたとしている．B 社は当該業務を登録範囲として ISO/IEC 27001 認証（ISMS 認証）を取得しているが，この認証が作業品質の十分な担保になっていなかったことは大きな問題であろう．

なお一般に，記憶媒体を持つ機器のリース契約においては，返却時のデータ消去は利用者側の責任で行う．しかし県とF社の契約においては，リース契約の中に返却時のデータ消去とその完了報告書の提出が含まれていた．F社は実際には自社ではその作業を行わずにHDDをB社に売却しており，B社は記者会見において，県のHDD処分に関する契約において消去作業の完了報告書の提出を求められていないとしている．F社とB社の間の契約については県に伝わっていなかったため，結果的に県にとっては当該機器が管理下を離れた後に，作業内容も，その結果も知り得ない状態でデータ消去作業が行われていたことになる．

このような矛盾が生まれた背景には，公共調達における入札制度固有の問題が考えられる．HDDの安全な消去や廃棄という作業を，各HDD個体の作業履歴を保存しながら確実に履行することはコスト負担が高い．当該リース契約においては，機器撤去作業にかかる費用をすべて含んだ額で入札が行われているため，実際の撤去作業に際しては調達仕様に明示がなければ各HDD個体に対して消去証明を作成することはないと思われる．リース契約内にデータ消去作業を含める場合，その作業の質を担保するためには，契約内で作業内容や作業完了報告書への記載事項について詳細を定めておくべきであろう．

そもそも本来，データ漏洩の防止のためには，データが自らの管理を離れる時点で適切に消去されるべきである．実は県はF社への返却前に，別の事業者にHDD消去作業を業務委託していたが，その作業が適切ではなかった．どのような技術的手段でHDDの消去をすればファイルが回復不能になるのか，作業発注者にも受注者にも理解されていなかったのである．

HDDのデータ消去の在り方

本事件の直後に総務省は各自治体に通知を発し，重要な情報が大量に保管されたHDDについて「物理的または磁気的破壊をすること」「作業に自治体職員が立ち会うこと」を求めた．しかし，リース機器やデータセンタ上の契約サーバなど，機器の所有権が利用者にない場合には，HDDのデータ消去を物理的に行うことは容易ではなく，論理的なデータ消去に頼らざるを得ない．

論理的なデータ消去に関する技術的基準については，米国NIST SP800-88Rev.1[4]が広く参照されている（表-1）．同文書では，記憶媒体の消去をその重要度と再利用の有無等に応じてClear, Purge, Destroyの3種類のいずれかの処理を行うことを求めている．HDDにおいては，ClearはHDDのユーザ領域全域にわたる最低1回の上書きを意味するが，これでは代替セクタ領域等にわずかな情報が残存する可能性がある．そこでPurgeでは，ATA☆1

☆1 ANSIで定められた，最も普及しているHDDインタフェース規格．

表-1 NIST SP800-88Rev.1に基づくATA HDD消去の分類と課題（課題は筆者による）
Categories and their issues on ATA HDD Sanitization Methods based on NIST SP800-88Rev.1

判断の基準	処理の種類	技術的手段	課題
重要性高かつ組織管理を離れる または 重要性中・再利用なし	Destroy	定められた機器や手順で物理的に破壊するか磁気的に破壊する	十分破壊しなければ磁気力顕微鏡によりデータが読める可能性が残る 磁気的破壊は消去確認が困難
重要性高・再利用あり，かつ組織管理下に残る または 重要性中・再利用あり，かつ組織管理を離れる または 重要性低・組織管理を離れる	Purge	ATAで定められたEXT OVERWRITEやSECURITY ERASE UNITなど専用コマンドで上書きかCryptographic Eraseを行う	正しく実行されたことを確認する必要 正しく実装されていない機器が見つかっている
重要性中・再利用あり，組織管理下に残る または 重要性低・組織管理下に残る	Clear	定められたツールを用いて固定値で最低1回上書きする	代替セクタにデータが残留する

の Secure Erase 機能等を用いた HDD コントローラによる消去，または利用時に全データを暗号化しておき，廃棄時に鍵を消去する Cryptographic Erase（以下 CE）を求めている．Destroy では，物理的または磁気的な破壊を求めている．我が国でもデジタル・フォレンジック研究会「データ消去」分科会の報告書[☆2]において同文書の内容を中心に消去技術について詳しく分析している．データ適正消去実行証明協議会は HDD 等がどのように消去されたかを証明する手順と証明書の書式を標準化している[☆3]．

これらの基準が存在する中で，最も大きな問題は我が国では CE に関する十分な技術的評価が行われていないことであろう．国が公表している各種ガイドラインにおいても，HDD 等の媒体の消去に際し CE をどう位置づけるかは明記されていない．暗号技術検討会（CRYPTREC）においても CE に関して検討されたことはなく，HDD 暗号化向けの暗号利用モード XTS に関する安全性評価が行われた程度である[5]．HDD はその大容量化に伴い，ユーザ領域全域への書き込みにかかる時間が 1 台あたり数時間を要するようになったため，データ上書きによる消去作業は困難になってきており，代替策として CE の利用が望まれる．ユーザ領域の消去では残存データの心配があるソリッドステートドライブ（SSD）を使用する際や，データ消去を利用者が確認することが一般に困難なデータセンタやクラウドの利用時にも CE は有効である．

しかし，CE を安全に運用するためには暗号化方式の選択と鍵管理に注意を要する．たとえば，暗号鍵が容易に複製可能である場合には，CE 実行時には複製された鍵がすべて消去したことが確認できなければならないからである．近年暗号化機能を内蔵した HDD や SSD として Self Encrypting Drive（SED）が普及しはじめており，Trusted Computing Group が定めた Opal などの規格化も進んでいる．SED は媒体内に鍵が保存されているため鍵管理が容易になり，CE が確実に実行されたことが確認しやすい．この SED の利用を含め，まずは CE の運用に関する技術的な要件を定めることが必要であろう．

また，CE を含めた論理的消去や HDD の磁気的破壊については，データが復元不可能になったことを外形上確認しにくいという問題もある．特に SSD については Secure Erase 機能の実装が適切でない媒体が発見されている問題もあるため，いかにデータが消去されたことを確認し，その証跡を残すべきかという運用上の問題についても標準的なガイドラインが必要と思われる．

この事件を機に HDD 等の記憶媒体の破壊による廃棄が増加し，情報機器の再利用が阻害されることは，環境負荷の増加や情報システム運用の社会的コスト上昇を招きかねない．むしろこの事件が HDD 等の論理消去や CE のための技術的要件の整理と標準的な運用法確立の契機となることを望みたい．

参考文献

1) 神奈川県文書，大規模流出　個人の納税情報など　廃棄業者社員，HDD 転売，朝日新聞朝刊，2019 年 12 月 6 日．
2) 神奈川県のハードディスク 廃棄業者がネット競売に，NHK 政治マガジン，https://www.nhk.or.jp/politics/articles/statement/27177.html, 2019 年 12 月 6 日．
3) （データはどこへ　HDD 流出）難なく復元 5000 万件…絶句　落札男性「背筋寒くなった」，朝日新聞朝刊，2019 年 12 月 7 日．
4) Kissel, R., Regenscheid, A., Scholl, M. and Stine, K.: Guidelines for Media Sanitization, NIST SP800-SP88 revision 1 (2014).
5) 峯松一彦：暗号利用モード XTS の安全性に関する調査及び評価，CRYPTREC 外部調査報告書 EX-2801-2018 (2019).

（2020 年 1 月 13 日受付）

上原哲太郎（正会員） t-uehara@fc.ritsumei.ac.jp

和歌山大学，京都大学，総務省を経て 2013 年より立命館大学情報理工学部教授．デジタル・フォレンジック研究会副会長，芦屋市 CIO 補佐官．専門はサイバーセキュリティ，システム管理．自治体情報システムの調達や運用にも詳しい．

☆2 デジタル・フォレンジック研究会「証拠保全先媒体のデータ抹消に関する報告書」，https://digitalforensic.jp/home/act/products/data_report/ (2016).

☆3 データ適正消去実行証明協議会消去技術認証基準委員会「データ消去技術ガイドブック」第 2 版，https://adec-cert.jp/guidebook/pdf/DATAWIPEGUIDEBOOK.pdf (2019).

特集

5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証

編集にあたって

石津健太郎 | 国立研究開発法人情報通信研究機構

第 5 世代移動通信システム (5G) は，超高速，高信頼低遅延，多数同時接続など，新しい性能を多様に備えていることから，携帯電話やスマートフォンを支える通信インフラという従来の移動通信システムの枠を越え，モノとモノの協調動作が求めるより厳しい通信品質まで満たす．これにより，これまで実現できないと考えられていた新たなサービスを創造できる社会インフラとしての利用が期待される．

移動通信システムの歴史は，1980 年代に第 1 世代から始まり，おおよそ 10 年ごとに世代が更新されてきた．第 2 世代では限定的ながらもインターネットへの接続が可能になり，第 3 世代では IP 通信が可能になった．LTE を活用する第 4 世代では，通信速度の向上により動画ストリーミングを当然のように視聴することが可能になった．それぞれの世代交代において大きな躍進があったものの，今回の 5G への移行にはこれまで以上のインパクトが生ま

れるであろう. この理由は, 人工知能, センサ, ロボット制御などの通信を取り巻く周辺技術との融合が始まっていることである．一方で，5G 規格にも最新の無線ネットワーク技術が広範に採用され，法令等の制度も早急に追い付いてきていることが，5G への大きな注目の理由にもなっている．

本特集は，そのような 5G のサービス展開が世界的に始まりつつある 2020 年に合わせて企画した．内容として，まず 5G の制度面からは，日本国内における 5G 用周波数の割り当て，ITU-R の世界無線通信会議における世界的な周波数の決定，ローカル 5G と呼ばれる新たな概念の制度，などについて解説する．次に，スポーツ観戦，建設機械の遠隔操縦，自動車やトラックの自動運転などのように，具体的な 5G の利活用分野を想定し，技術の有効性と性能を検証するための実証試験の取り組みについて，総務省や通信事業者が実施している内容の詳細を紹介する．さらに，5G に期待される新たな観点として，移動通信システムの自営利用や，機器や周波数のリソース共有について，その考え方と本質的な意義，最新の研究開発の動向を解説する．

5G を構成する技術は, 従来システムの中心であった物理層に近い無線回路やディジタル信号処理のようなものから，ネットワークやアプリケーションに至る幅広い技術要素の集合体にまで重きが置かれることになった．5G 時代には，これらの技術要素の全体を見通しながら，適切かつ有機的に組み合わせ，利用者が求めるサービスをカスタマイズして構築するとともに，さらなる高度化に必要な研究開発の方向性を見極めることが重要である．特に，移動通信システムの性能はソフトウェアによる「情報処理」に依存する度合いが増してきていることから，該当分野の研究者や技術者にはますますの貢献が求められる．

（2019 年 12 月 17 日）

［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

1 5G の実現に向けた取り組み

基般

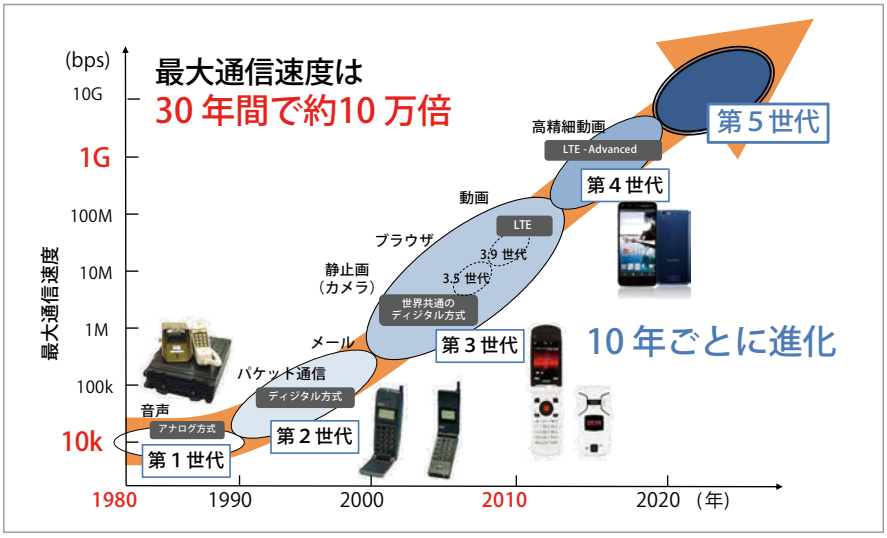
豊重巨之 | 総務省

5G の実現

2020 年（令和 2 年）春頃から，第 5 世代移動通信システム（5G）の商用サービスが開始する．5G は，「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」といった特長を有しており，農業，観光，エンタテインメントなど，幅広い産業への応用が期待されている．

たとえば，農業の分野では，遠隔から農場や作物の状況を詳細に把握することができるようになる．また，観光やエンタテインメントの分野では，観光地やスタジアムの様子を，遠隔でもさまざまな視点から臨場感のある映像を視聴できるようになる．ほかにも，遠隔医療，建設機械（建機）の遠隔操縦など，これまでにない新たなサービスが期待されている．本稿では，5G の実現に向けた取り組みを紹介する．

まず始めに，携帯電話の歴史を振り返ることとしたい．携帯電話等の移動通信システムは約 10 年ごとに技術が大きく進化しており，世代交代している．携帯電話サービスの開始は，1979 年（昭和 54 年）のことである．はじめはアナログ方式の携帯電話として，音声通話を実現するもので，第 1 世代と言われる．1993 年（平成 5 年）にはディジタル方式（PDC）の携帯電話が登場し，第 2 世代と言われる．2001 年（平成 13 年）には高度なディジタル方式（W-CDMA，CDMA2000 等）の携帯電話が登場し，データ通信も行うことができるようになった．2010 年（平成 22 年）には第 3.9 世代とも言われる LTE 方式が登場し，現在の LTE-Advanced 方式による第 4 世代（4G）に至っている（図 -1）．



■図 -1　移動通信システムの進化（第 1 世代〜第 5 世代）

5G の 3 つの特長

5G の 3 つの特長として，「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」が挙げられる（図 -2）．

1 つ目の「超高速」の特長については，最大通信速度 10Gbps を実現し，現在の 4G と比べて 10 〜 100 倍速いブロードバンドサービスを提供することができる．4K/8K 等の高精細動画を瞬時に伝送することも可能となる．5G の登場により，これまでの移動通信システムの進化による最大通信速度の向上は 30 年間で約 10 万倍となっている．

2 つ目の「超低遅延」の特長については，現在の 4G と比べて約 10 分の 1 となる 1 ミリ秒程度の遅延を実現する．これにより，無線区間における遅延（タイムラグ）を意識することなく，リアルタイムな通信を提供する

ことが可能となる．ロボット等の遠隔制御や遠隔医療等の分野での応用が期待されている．「超低遅延」は，5G ならではの特長の 1 つである．

3 つ目の「多数同時接続」の特長については，現在の 4G と比べて約 100 倍となる 100 万台／ km^2 の接続機器数を実現する．今後，社会ではさまざまな IoT 機器等がネットに接続されるようになると考えられる．これまでの移動通信システムでは，スマートフォンを利用したサービスが主であったが，IoT 機器等の端末が 5G に接続することで，自動車分野，産業機器分野，ホームセキュリティ分野，スマートメータ分野等において，新たなサービスの創出が期待される．

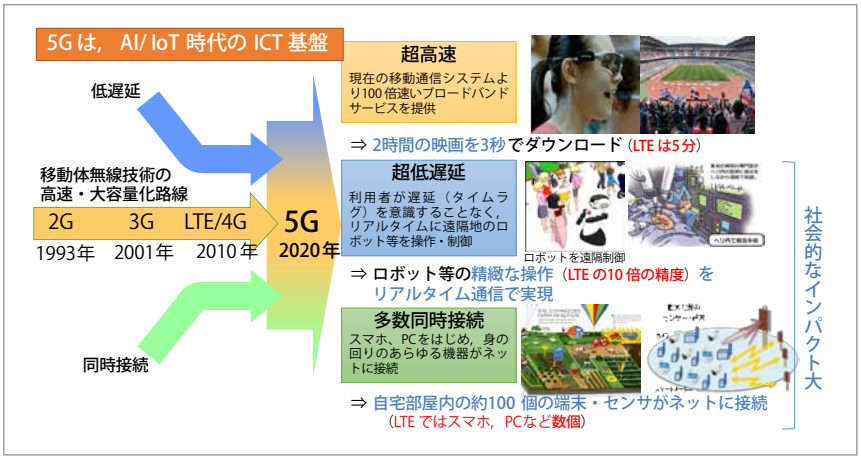
5G の要件は 3GPP において規格が策定されており，高い周波数帯で広帯域を使用することや複数アンテナによる MIMO（Multiple Input Multiple Output）技術を活用することで，「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」といった特長を実現することができる．

総務省は，5G の実現に向けて，周波数の割り当て，総合実証試験や研究開発，国際連携・国際標準化の推進等を行っている．以下，5G の実現に向けた総務省の取り組みとして，特に 5G 用周波数の割り当てや総合実証試験について紹介する．また，ローカル 5G についても紹介する．

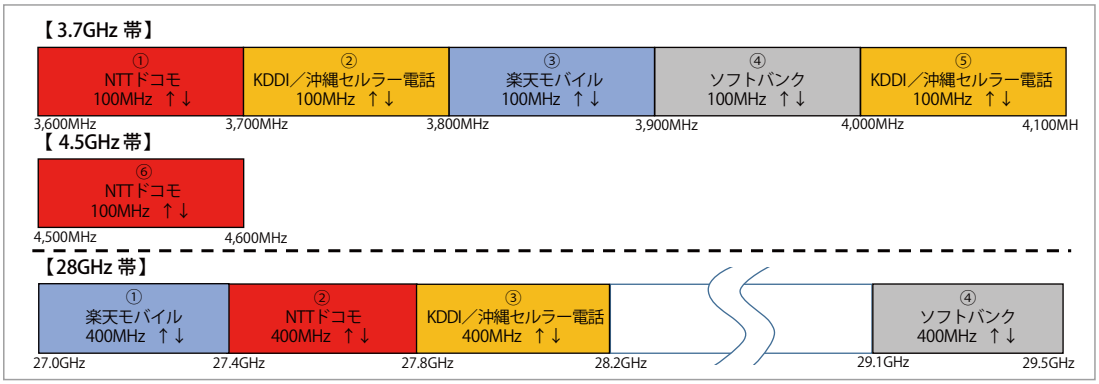
5G 用周波数の割り当て

5G の導入にあたっては，都市部･地方部を問わず，「産業展開の可能性がある場所」に柔軟にエリア展開できることが重要であり，また，地方での早期エリア展開が重要である．こうした考え方のもと，携帯電話事業者に対する周波数の割り当て（特定基地局の開設計画認定）にあたっては，従来の人口等のカバレッジの広さを評価する指標に代わり，「全国への展開可能性の確保」「地方での早期サービス開始」「サービスの多様性の確保」の 3 点を評価する指標等を，特定基地局の開設計画認定の際の開設指針として設けた．

当該開設指針を踏まえ，5G の導入のための特定基地局の開設計画の認定申請が 4 者からあり，審査の結果，2019 年（平成 31 年）4 月 10 日，総務省は携帯電話事業者 4 者に 5G 用の周波数の割り当て（特定基地局の開設計画認定）を行った（図 -3）．



■図 -2　5G の 3 つの特長



■図 -3
5G の周波数割り当て

3.7GHz 帯および 4.5GHz 帯においては,(株) NTT ドコモに 200MHz 幅(3,600 ～ 3,700MHz および 4,500 ～ 4,600MHz), KDDI (株) ／沖縄セルラー電話 (株) に 200MHz 幅 (3,700 ～ 3,800MHz および 4,000 ～ 4,100MHz), ソフトバンク (株) に 100MHz 幅 (3,900 ～ 4,000MHz), 楽天モバイル(株)に 100MHz 幅(3,800 ～ 3,900MHz) を割り当てた.

また, 28GHz 帯においては,(株) NTT ドコモに 400MHz 幅 (27.4 ～ 27.8GHz), KDDI (株) ／沖縄セルラー電話 (株) に 400MHz 幅 (27.8 ～ 28.2GHz), ソフトバンク (株) に 400MHz 幅 (29.1 ～ 29.5GHz), 楽天モバイル (株) に 400MHz 幅 (27.0 ～ 27.4GHz) を割り当てた.

周波数割り当てを受けた 4 者の計画を合わせると, 2024 年 (令和 6 年) 4 月時点の 5G 基盤展開率は 98％であり, 日本全国の事業可能性のあるエリア (10km 四方メッシュ) ほぼすべてに 5G 基盤が展開される予定である. 我が国は, 光ファイバや 4G といった高度な ICT インフラの整備が進んでおり, 5G が導入されれば, 世界最先端の 5G インフラとして早期に展開が可能である.

これによる産業界にもたらされる効果も大きい. 5G や光ファイバ等の ICT インフラ整備と利活用において想定される主な経済・社会的効果は, 2030 年 (令和 12 年) 時点で合計約 73 兆円に達すると試算されている[☆1]. 5G では, 携帯電話事業者等がパートナー企業と連携しながら, B2B2X (Business-to-Business-to-X) モデルでサービスを提供することが想定される. その際, どのような者と組んで, どのような B2B2X モデルを構築できるかがポイントであり, 新たなビジネス創出に向けて, 業界を超えたエコシステムの構築が必要である.

5G 総合実証試験

総務省では, 5G の実現による新たな市場の創出に向けて, さまざまな利活用分野の関係者が参加する「5G 総合実証試験」を 2017 年 (平成 29 年) 度から 2019 年 (令和元年) 度まで 3 年間実施し, 実際の 5G 利活用分野を想定した技術検証・性能評価を行った.

2018 年 (平成 30 年) 度には, 地方が抱えるさまざまな課題の解決につながる地方発のユニークなアイデアを発掘することを目的として,「5G 利活用アイデアコンテスト」を開催した. 全国から提案を募集し (応募総数：785 件), 地方選抜を経て, 2019 年 (平成 31 年) 1 月 11 日にコンテストを実施した. コンテストの結果を踏まえ, 2019 年 (令和元年) 度は 5G による地域課題の解決に資する利活用モデルに力点を置いた 5G 総合実証試験を実施している (表 -1).

2019 年 (令和元年) 度の 5G 総合実証試験の事例として, ここでは「高精細画像によるクレーン作業の安全確保」「遠隔高度診療」「山岳登山者見守りシステム」を紹介する.

高精細画像によるクレーン作業の安全確保は, クレーン運転台から見通せない死角での玉掛作業 (吊り具を用いて行う荷掛けおよび荷外しの作業) を安全に実施するため, 5G を用いて臨場感のある高精細映像を運転台に送り, その映像に基づいてクレーンを運転することで, 玉掛作業員をはじめとするクレーン周辺の工員の安全を確保するものである (図 -4).

現在, 造船業におけるクレーンの玉掛作業は, 操縦者からの死角が多く, 音声で指示に従いクレーンを操作している. より安全にクレーン操作を実施するため, 5G を用いて死角となっている場所の高精細映像を運転台に送信することで死角を解消し, その高精細映像を確認しながら安全に作業できる環境を実現するサービスの提供が期待される. 本事例は 5G 利活用アイデアコンテストでは「総務大臣賞」を受賞したものである. 2019 年 (令和元年) 12 月, 愛媛県今

☆1 総務省「ICT インフラ地域展開戦略検討会」(株) 三菱総合研究所提出資料.

治市にある浅川造船において実証試験が行われた☆2.

遠隔高度診療は，地方においても都市部と同等の高度な診断と治療が可能な医療の実現に向けて，5Gを介してネットワーク接続された高度診療・治療が可能な高機能移動診療車と必要に応じて駆け付け可能な医師を地方に派遣し，遠隔地にいる熟練医師の支援を受けながら遠隔高度診療を行うものである（図 -5）.

☆2 （株）NTT ドコモ四国支社地域からのお知らせ（2019 年（令和元年）12 月 9 日），https://www.nttdocomo.co.jp/info/notice/shikoku/page/191209_00.html

たとえば，医師が経験の少ない専門外の診療科の診療をする際，遠隔地の大学病院の専門医による指示を受け，患者に対して診断・治療を提供できるサービスが実現できるなど，遠隔高度診療において，4K ／ 8K と 5G の活用が期待される.

2020 年（令和 2 年）1 月，和歌山県和歌山市にある公立大学法人和歌山県立医科大学と和歌山県日高川町にある国民健康保険川上診療所を結んで実証試験が行われた.

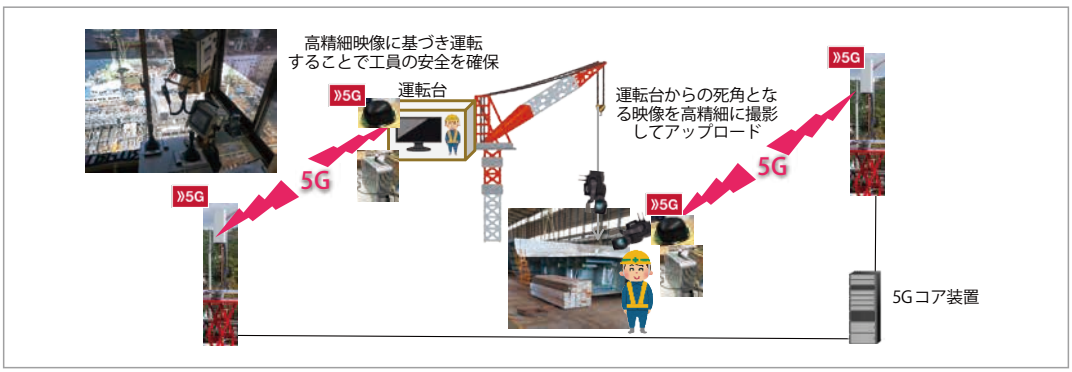
山岳登山者見守りシステムは，4K カメラを搭載

■表 -1　5G 総合実証試験の実施概要（令和元年度）

現時点での実施内容であり，今後，変更や追加等があり得る.

技術分類	技術目標	主な実施内容	主な実施場所	主な実施者
超高速大容量	複数基地局，複数端末の環境下で基地局あたり平均4～8Gbpsの超高速通信の実現	① 高精細画像によるクレーン作業の安全確保 ② 介護施設における見守り・行動把握 ③ 映像のリアルタイムクラウド編集・中継 ④ 伝統芸能の伝承（遠隔教育） ⑤ 音の視覚化による生活支援 ⑥ VR とBody Sharing 技術による体験型観光 ⑦ 遠隔高度診療 ⑧ 救急搬送高度化	① 愛媛県 ② 広島県広島市 ③ 宮城県仙台市 ④ 岐阜県東濃地域 ⑤ 岐阜県東濃地域 ⑥ 沖縄県那覇市 ⑦ 和歌山県和歌山市等 ⑧ 群馬県前橋市	（株）NTTドコモ ① 国立大学法人愛媛大学 ② SOMPO ホールディングス（株） ③（株）仙台放送 ④（株）CBC クリエイション ⑤ サン電子（株） ⑥ H2L（株） ⑦ 和歌山県 ⑧ 前橋市
	移動時において複数基地局，複数端末の環境下で基地局あたり平均1Gbpsを超える超高速通信の実現	① 雪害対策（除雪効率化） ② 濃霧中の運転補助 ③ ゴルフ場でのラウンド補助 ④ 鉄道地下区間における安全確保支援	① 福井県永平寺町 ② 大分県 ③ 長野県長野市 ④ 大阪府大阪市等	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ（株） ① 永平寺町 ② 大分県 ③（株）ミライト ④ 伊藤忠テクノソリューションズ（株）
	屋内において端末上り平均300 Mbpsを超える超高速通信の実現	① 選手・観客の一体感を演出するスポーツ観戦 ② 酪農・畜産業の高効率化 ③ 軽種馬育成産業の支援	① 大阪府東大阪市 ② 北海道上士幌町 ③ 北海道新冠町	（株）国際電気通信基礎技術研究所 ①（株）ジュピターテレコム ② とかち村上牧場 ③（有）日高軽種馬共同育成公社
超低遅延	高速移動時において無線区間1ms，End-to-End で 10ms の低遅延かつ高信頼な通信の実現	① 被災時の避難誘導・交通制御 ② トラック隊列走行，車両の遠隔監視・遠隔操作	① 福岡県北九州市 ② 静岡県浜松市等	Wireless City Planning（株） ① 日本信号（株） ② 先進モビリティ（株）
	複数基地局，複数端末の環境下で端末上り平均300 Mbpsを確保しつつユーザニーズを満たす高速低遅延通信の実現	① 山岳登山者見守りシステム ② スポーツ（スラックライン）大会運営支援 ③ VR を利用した観光振興 ④ 建機の遠隔操縦・統合施工管理システム	① 長野県駒ヶ根市 ② 長野県小布施町 ③ 熊本県南阿蘇村 ④ 三重県伊賀市	KDDI（株） ① 国立大学法人信州大学 ②（株）Goolight ③ 学校法人東海大学 ④（株）大林組
多数同時接続	多数の端末から同時接続要求を処理可能とする通信の実現	① トンネル内における作業者の安全管理 ② 見える化による物流の効率化	① 北海道 ② 東京都練馬区	Wireless City Planning（株） ① 大成建設（株） ② 日本通運（株）

下線は，5G利活用アイデアコンテストを踏まえたもの.


高精細映像に基づき運転することで工員の安全を確保
運転台
運転台からの死角となる映像を高精細に撮影してアップロード
5G
5G
5G

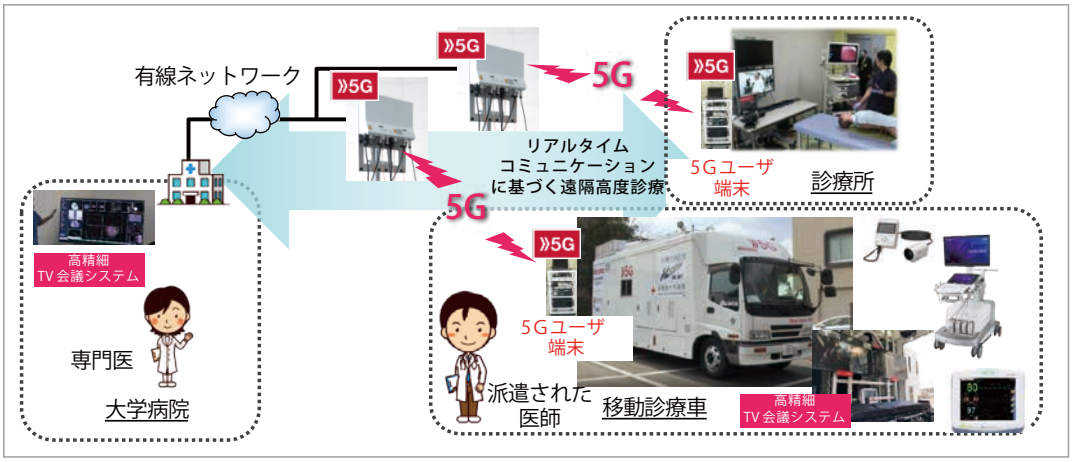
したドローンからの空撮映像をリアルタイムに捜索本部に配信し，避難者の状況把握を行い，迅速な救助活動につなげるものである．GPS で認識した位置情報を LPWA（Low Power Wide Area：消費電力を抑えつつ長距離通信を実現する方式）の端末で捜索本部に伝送し，位置情報に基づき，4K カメラや拡声器を搭載したドローンが現場に飛来し，拡声器を通じて避難者に呼びかけ，反応を 4K の高精細映像により把握して，救助隊員の出動判断に役立てることができる（図 -6）．

山岳登山ブームを受けて，ここ数年，山岳遭難事故の発生件数が増大している．LPWA や 5G 等を活用することで救助隊員の負担軽減と迅速な遭難者救助を実現することができ，地域課題解決に資する事例である．本事例は 5G 利活用アイデアコンテストでは「5G 特性活用賞」を受賞したものである．2019 年（令和元年）10 月，長野県駒ヶ根市にある木曽駒ヶ岳において実証試験が行われた[☆3]．

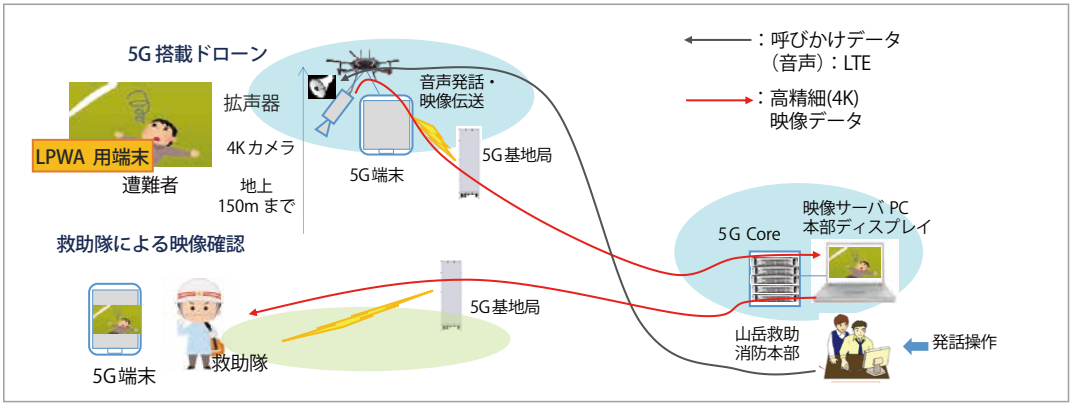
ローカル 5G

ローカル 5G は，地域の企業や自治体等のさまざまな主体が，自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる 5G システムである．ローカル 5G の特長として，(1) 携帯電話事業者によるエリア展開が遅れる地域において 5G システムを先行して構築できる，(2) 使用用途に応じて必要となる性能を柔軟に設定することができる，(3) 他の場所の通信障害や災害などの影響を受けにくい，といった点が挙げられる．建設機械（建機）等の遠隔制御，スマー

☆3 KDDI（株）ニュースリリース（2019 年（令和元年）10 月 16 日），https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2019/10/16/4086.html



■図 -5
遠隔高度診療



■図 -6
山岳登山者見守りシステム

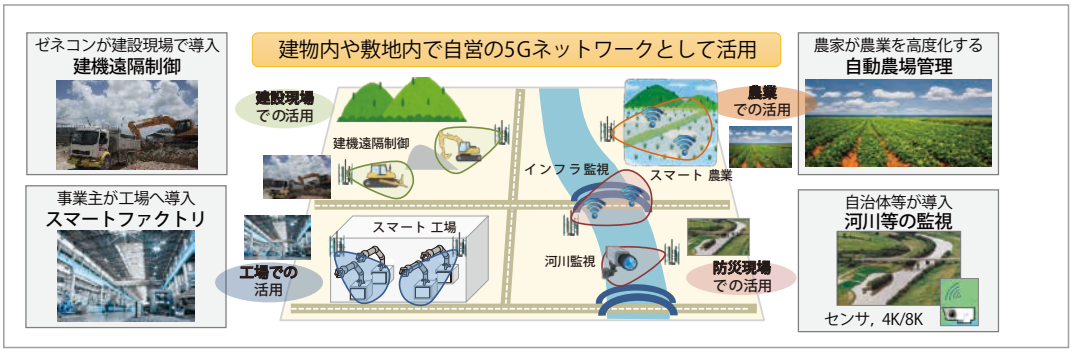
ト工場における生産性の向上，農林水産業分野における農場等の管理，防災分野における河川等の監視等，さまざまなユースケースが考えられる（図 -7）．

昨今，ローカル 5G への期待が高まっている．総務省は，ローカル 5G の技術基準の策定を行うとともに，ローカル 5G の概要，免許の申請手続，事業者等との連携に対する考え方等の明確化を図るため，2019 年（令和元年）12 月 17 日にローカル 5G 導入ガイドラインを公表した．同ガイドラインでは，ローカル 5G は当面「自己の建物内」または「自己の土地内」での利用を基本とし，携帯電話事業者等によるローカル 5G の免許取得は不可であること，ローカル 5G の提供を促進する観点から，携帯電話事業者等による支援は可能であることなどが示されている．

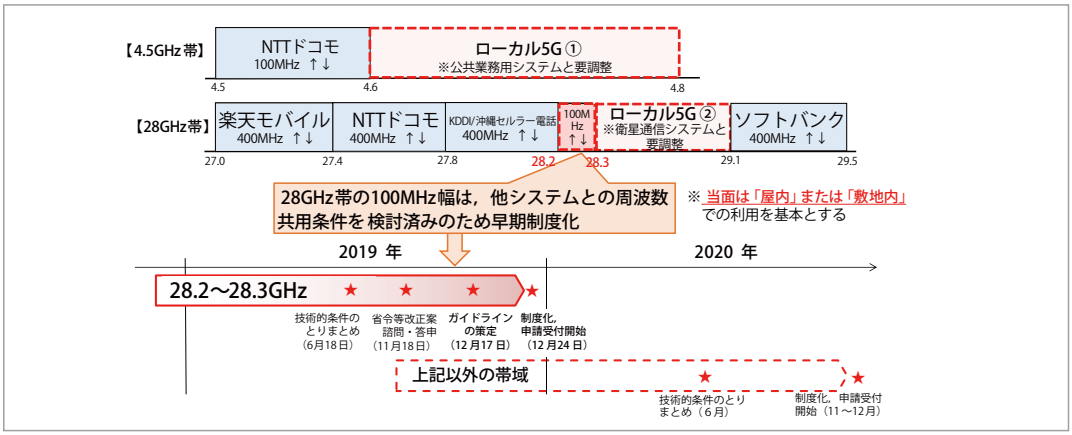
28.2 ～ 28.3GHz 帯を使用する無線局についての免許申請を 2019 年（令和元年）12 月 24 日に開始した．その他ローカル 5G 用として確保している周波数帯について，2020 年（令和 2 年）末の制度化，申請受付開始に向けた検討を進めているところである（図 -8）．

さらに，総務省は 2019 年（令和元年）度補正予算および 2020 年（令和 2 年）度当初予算を確保し，「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」を 2019 年（令和元年）度から実施する．

地方発のアイディアの具現化には通信技術・インフラ，人的リソース・財源のマッチングが課題となっており，地方からアイディア／ニーズの実現を支える効率的な仕組みを構築することが必要である．そこで，地域の企業や自治体をはじめ，さまざまな主体が個別のニーズに応じて独自の 5G システムを柔軟に構築でき，地域課題解決に資することが期待されているローカル 5G 等の実現に向けた地域のニーズを踏まえた開発実証を行うこととしている．



■図 -7
ローカル 5G のイメージ



■図 -8
ローカル 5G が使用する周波数等

5G の普及・展開に向けて

2020 年（令和 2 年）の 5G の商用サービスの開始後も，5G に関するさまざまな取り組みを推進する必要がある．総務省は，5G の普及・展開に向けた取り組みを引き続き推進していくこととしている．5G の普及・展開を加速させるためには，さまざまな環境やユースケースに応じて，柔軟に基地局等を構成する技術が必要である．そこで，低消費電力化・小型化を実現する基地局構成技術（ミリ波帯基地局用デバイス技術），高速移動体向けミリ波帯基地局連携技術（ミリ波帯超多素子アンテナ技術，基地局連携技術），異なるベンダ間の基地局用機器間の相互運用性の確保・検証技術等の研究開発を行い，これら技術の社会実装を加速させることとしている．

将来に向けた 5G 用周波数のさらなる確保も行っている．2019 年（令和元年）10 月 28 日から同年 11 月 22 日まで，エジプトにおいて「2019 年世界無線通信会議（WRC-19）」[☆4] が開催された．本会議の主な結果の 1 つとして，5G で使用することができる周波数について，国際的な調和に向けた検討が行われ，我が国については，計 15.75GHz 幅[☆5] が合意された．今後，5G 用周波数割り当ての拡大に向けた検討を行うこととしている．

さらに中長期的には，Beyond 5G に向けた通信技術の研究開発も行う必要がある．欧州や米国において，Beyond 5G のビジョンや要求条件等の検討がすでに始まっている．我が国の国際競争力の強化と国際的地位の確保のためには，最先端の通信技術で世界をリードしていくことが必要であり，Beyond 5G の検討を加速することが求められる．Beyond 5G ではさらに高い周波数の活用や AI によるネットワーク制御等が考えられるところ，諸外国の動向を踏まえつつ，今後どのような研究開発が必要かについて，検討を行う必要がある．

そうした中，眼前に目を向けると，5G に係るさまざまなイベントが加速している．2019 年（令和元年）9 月から，(株) NTT ドコモはラグビーワールドカップ 2019 日本大会に合わせて，全国 8 カ所のスタジアムにおいて，試合の模様を多視点で同時視聴することができる「マルチアングル視聴」や別拠点に高精細映像を伝送する「ライブビューイング」を実施し，5G を体験するプレサービスを行っている[☆6]．

本稿では，主に総務省における 5G の実現に向けた取り組みを紹介したが，言うまでもなく，携帯電話事業者を始めとする企業や研究機関等における 5G の実現に向けたさまざまな取り組みにより，5G の商用サービスがいよいよ始まろうとしている．5G にかかわっている関係者の皆様に，心より敬意を表したい．総務省においては，5G 基地局や光ファイバ等の ICT インフラ整備支援や 5G の利活用促進策にも一体的に取り組むことにより，引き続き 5G の早期全国展開を推進してまいりたい．

(2019 年 12 月 17 日受付)

☆4 国連の専門機関である ITU（国際電気通信連合）が電波の国際的な周波数分配などを決めるために 4 年に一度開催する無線通信分野における最大規模の会議．

☆5 24.25 ～ 27.5GHz，37 ～ 43.5GHz および 66 ～ 71GHz（いずれもグローバルに使用可能）ならびに 47.2 ～ 48.2GHz（米国・日本など地域を限定して使用可能）．

☆6 （株）NTT ドコモ報道発表資料（2019 年（令和元年）9 月 18 日）
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2019/09/18_00.html

■豊重巨之（正会員） h.toyoshige@soumu.go.jp

2004 年，早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了．2005 年，総務省入省以来，情報通信政策の立案，サイバーセキュリティ政策等の業務に携わる．現在，総務省総合通信基盤局電波部移動通信課新世代移動通信システム推進室課長補佐．

［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

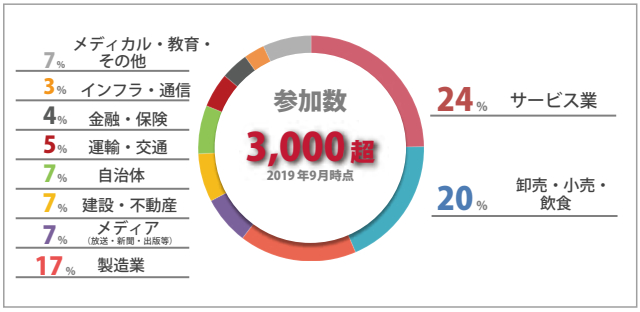
2 5G 時代のサービス協創とシステムトライアル

―幅広い業界における新たなパートナーシップと地方創生・社会課題解決にも繋がる 5G サービスの実証試験―

奥村幸彦 （株）NTT ドコモ　須山　聡 （株）NTT ドコモ

5G の特長と活用

第 5 世代移動通信システム（5G）は，従来使用されている周波数帯よりも高い周波数帯の電波を使用することで，無線伝送信号の広帯域化を行い，超高速・大容量の情報伝送を提供するとともに，超低遅延，多数同時接続などの特長を持ったシステムである．これらの特長は一般の消費者だけでなく，ビジネスユーザ向けのサービスにも活用でき，5G 時代の新しいサービスやアプリケーションの創出を目的として，全国でシステムトライアル／実証試験が進められている．これらの動きは，移動通信業界のみならず，幅広い業界が関与する形で加速してきており，5G による新たな産業創出，社会的課題の解決，地方創生への貢献も期待されている．また，2017 年度からは 5G の実現による新たな市場や新しいサービス・アプリケーションの創出を目的に，さまざまな利活用分野の関係者が参画する総務省の「5G 総合実証試験」も開始され，2019 年度まで継続されている．以下では，5G 時代のサービス協創に関するドコモのプログラムとその取り組み，ならびに総務省の 5G 総合実証試験において，5G の超高速・大容量の特長を活かし，従来世代では実現し得なかった新サービスや，必要な通信速度の確保が困難であったユースケースについて，2017 年度および 2018 年度にドコモが取り組んだ代表的な実証事例について概説する．



■図 -1　ドコモ 5G オープンパートナープログラム参加パートナーの業界別内訳

ドコモにおける新たな 5G サービスの協創

2019 年 4 月に総務省は日本における 5G 用周波数の割り当て結果について発表を行った．3.7GHz 帯，4.5GHz 帯，28GHz 帯において，移動通信事業者 4 社への割り当てが行われ，2020 年春からの 5G 商用サービス提供に向けて各社ともその準備を加速している．

ドコモは 2019 年 9 月 20 日よりラグビーワールドカップ 2019 日本大会に合わせて 5G のプレサービスの提供を開始した．また，プレサービスに先駆けて，5G 時代の新たなサービスを幅広い業界のパートナーと連携して創出するためのプログラム「ドコモ 5G オープンパートナープログラム（OPP）」を設立しており，その参加パートナー数は 2019 年 9 月時点で 3,000 社を超え，図 -1 に示す多様な業界

のパートナーが参加している．

OPP では，パートナーとなる企業・団体に対して，5G に関するさまざまな情報を提供するとともに，パートナー間の交流，意見交換を促進するためのワークショップを随時開催し，これまで接点がなかった業界や業種の企業・団体同士が議論し，新たなパートナーシップを構築することで，まったく新しい革新的なサービスを生み出せるようにしている．加えて，5G とクラウドを組み合わせた協創プラットフォームや常設の 5G 技術検証環境も提供している．

一方，OPP メンバを中心に，より実践的なシステムトライアルが 5G の多様なユースケースについて行われてきており，これまでに，働き方改革，生活サポート，観光・まちづくり，医療，在宅勤務，教育，防災・防犯，一次産業，スポーツなどの応用分野に関連した約 200 件を超えるトライアルが行われている．以下では，その中でも各分野においてユニークかつ有用性の高いサービスを総務省の 5G 総合実証試験として取り組んだ結果を紹介する．

総務省 5G 総合実証試験におけるドコモの取り組み

実施概要

2017 年度の総務省 5G 総合実証試験において，ドコモは人口密集地における 10Gbps の超高速通信の実証試験（GI）を実施し，応用分野として，エンタテインメント，スマートシティ，医療の 3 つの分野において，4.5GHz 帯および 28GHz 帯の 5G を用いたサービス・アプリケーションの実証を行った．また，ドコモは，NTT コミュニケーションズが実施主体となる高速移動時における 2Gbps の高速通信の実証試験（GII）にも参画し，エンタテインメント分野において，時速 90km で移動する高速移動体に対して 28GHz 帯の 5G を用いた実証を行った．

2017 年度の試験に続いて，2018 年度の総務省 5G 総合実証試験においては，5G の最大性能だけではなく，平均的な性能を検証するため，ドコモは屋外環境における平均 4 ～ 8Gbps の超高速通信の実証試験（GI）を実施し，2017 年度の 3 つの応用分野に加えて，ワークプレイス分野での実証も行った．また，時速 60 ～ 120km で移動する高速移動体に対して平均 1Gbps の高速通信に関する実証試験（GII）を実施し，エンタテインメント分野に加えて交通分野での実証を行った．

2017 年度および 2018 年度に実施した 5G 総合実証試験の実施場所および実施内容について図 -2 および表 -1 にまとめる．以降では，ドコモが実施した上述の実証試験に関して各分野における代表的な事例について紹介する．

エンタテインメント分野

GI のエンタテインメント分野での事例として，図 -3(a) ～ (d) に実証試験の様子を示す．

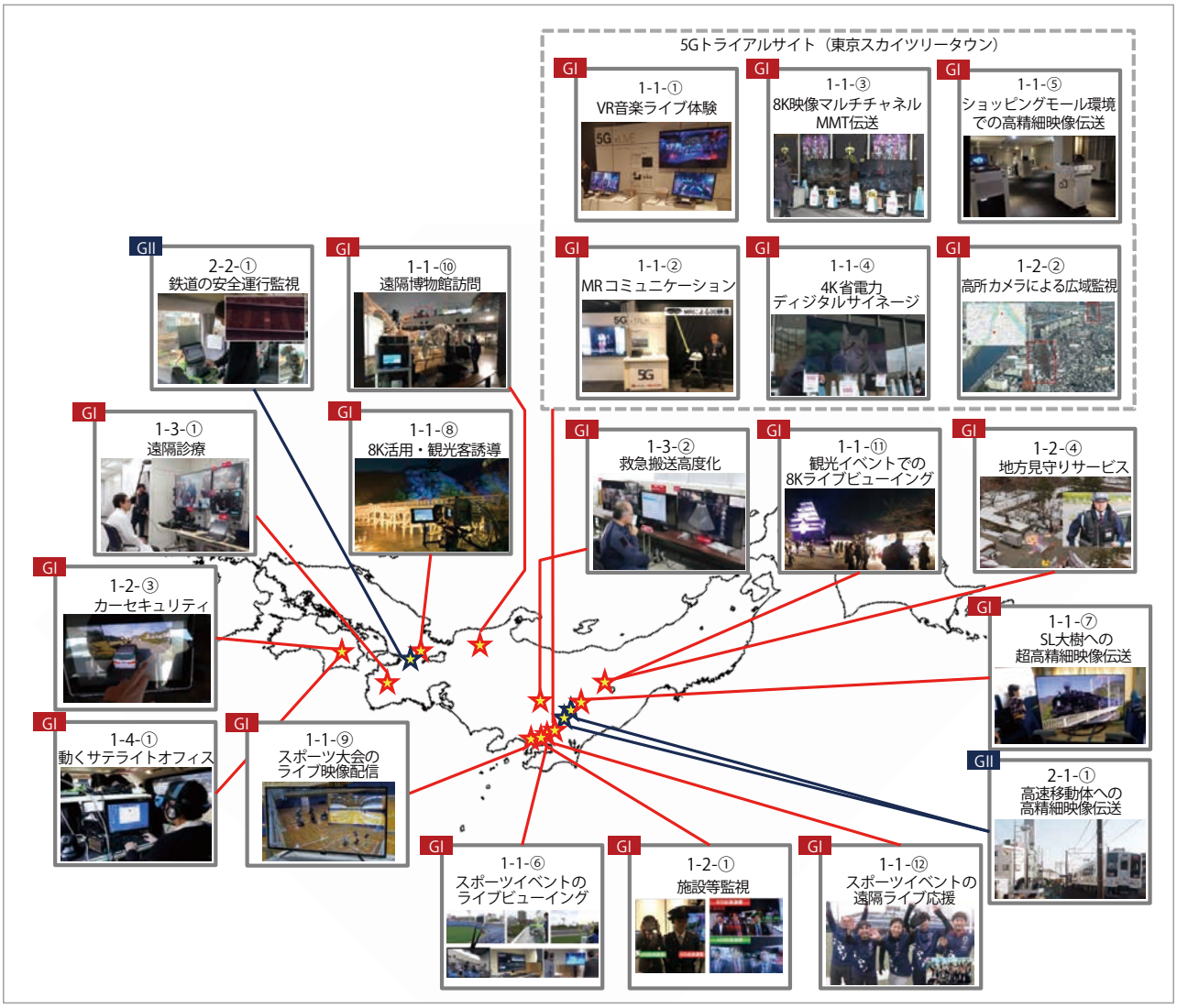
まず，図 -3 (a) の実証試験では，5G を介した 8K 映像のマルチチャネル MMT（MPEG Media Transport）伝送の実証試験を行い，無線レイヤ（物理層）と映像レイヤの双方での前方誤り訂正処理により移動環境を模擬した通信路の伝送においても安定した映像品質が得られることを確認した．事前に実施した室内実験では，H.265/HEVC（High Efficiency Video Coding）の映像符号化により平均 80 Mbps の伝送レートを必要とする 8K 映像を 5G で 12 チャネル伝送することにも成功しており，さまざまなイベントにおける仮設パブリックビューイングなどへの応用が期待される．

図 -3 (b) の実証試験では，東武鬼怒川線沿いの鬼怒川橋梁付近に 4.5GHz 帯および 28GHz 帯の 5G 通信エリアを構築し，SL が 5G 通信エリアを通過する間に，橋梁から 8K カムコーダで撮影した SL のライブ映像を客車に向けて 5G で伝送した．将来的には，SL に乗車している乗客が，乗車中の客車を力強く牽引する SL の勇姿を超高精細ライブ映像で

楽しむ新観光体験の実現が期待される．

図 -3 (c) の実証試験では，車椅子バスケットボールの競技会場において，さまざまな角度から撮影した 4K 高精細競技映像と 180 度カメラで撮影した映像を 28GHz 帯 5G 試験装置を用いて観客席やロビーへリアルタイムに配信する試験を実施した．5G 試験装置は 500MHz 帯域幅を用いており，2 移動局環境において基地局あたり 6Gbps の平均スループットを達成できた．

図 -3 (d) の実証試験では，5G を活用して遠隔博物館体験できるサービスを実現するため，福井県立恐竜博物館と東京ソラマチの間を専用線で接続し，恐竜博物館の展示フロアに 5G 通信エリアを構築した．通信状況に応じて可変レートの映像符号化処理を行う装置を用いて，双方向の 4K 映像伝送を実現し，恐竜博物館には 4K360 度ライブカメラを配備し，博物館研究員の歩行に合わせて 5G 移動局とともに博物館内を移動させた．東京ソラマチから博物館研究員とのインタラクティブな会話を楽しみながら，VR ヘッドマウントディスプレイ越しに再現される博物館の様子に興奮し，迫力ある骨格標本を通常では見られない視点で観察できた．



■図 -2　2017 ～ 2018 年度 5G 総合実証試験の実施場所

一方，GII のエンタテインメント分野での事例として，図 -4 に 5G を活用した高速移動体への高精細映像伝送の実証試験の様子を示す．埼玉県春日部駅付近に 4.5GHz 帯および 28GHz 帯の 5G 通信エリアを構築し，時速 60km 以上で移動する東武鉄道の東武スカイツリートレインに移動局を搭載し，4.5GHz 帯では最大 540Mbps，28GHz 帯では最大 1.1Gbps のスループットを達成できた．5G を介して車内のキャッシュサーバに高精細映像をダウンロードし，40 台のスマートフォンに配信し再生することに成功した．車両内に設置した分散スマートアンテナシステム（D-SAS）を用いる高効率 Wi-Fi および PON（波長分割多重受動光ネットワーク）を連携させることで，スマートフォンに対して高品質なライブストリーミングやデータダウンロードが円滑に行えることを確認した．また，あらかじめ収録した 8K 映像を乗客に向けてストリーミ

■表 -1　2017 ～ 2018 年度 5G 総合実証試験の内容

G	分野	サービス	実施年度
GI	1-1 エンタテインメント	① 5G を活用した VR 音楽ライブ体験	2017
		② 5G を活用した MR コミュニケーション	2017
		③ 5G を活用した 8K 映像マルチチャネル MMT 伝送	2017
		④ 5G を活用した 4K 省電力ディジタルサイネージ	2017
		⑤ ショッピングモール環境での高精細映像伝送	2017
		⑥ 5G を活用したスポーツイベントのライブビューイング	2017
		⑦ 5G を活用した SL 大樹への超高精細映像伝送	2018
		⑧ 5G と 8K 映像を活用した観光客誘導	2018
		⑨ 5G を活用した車椅子バスケットボールのライブ映像配信	2018
		⑩ 5G と VR 技術を活用した遠隔博物館訪問	2018
		⑪ 5G を活用した観光イベントにおけるライブビューイング	2018
		⑫ 5G を活用したスポーツイベントの遠隔ライブ応援	2018
	1-2 スマートシティ	① 5G を活用した施設内監視	2017
		② 5G を活用した高所カメラによる広域監視	2017
		③ 5G を活用したカーセキュリティ	2018
		④ 5G を活用した地方見守りサービス	2018
	1-3 医療	① 5G を活用した遠隔診療	2017, 2018
		② 5G を活用した救急搬送高度化ソリューション	2018
	1-4 ワークプレイス	① 5G を活用した動くサテライトオフィス	2018
GII	2-1 エンタテインメント	① 5G を活用した高速移動体への高精細映像伝送	2017, 2018
	2-2 交通	② 5G を活用した高速鉄道の安全運行監視	2018

■図 -3　GI エンタテインメント分野の実証試験

ング配信し，列車内で視聴できることを確認した．

スマートシティ分野

GI のスマートシティ分野での事例として，図 -5 に高所カメラを活用した地方見守りサービスの実証試験の様子を示す．

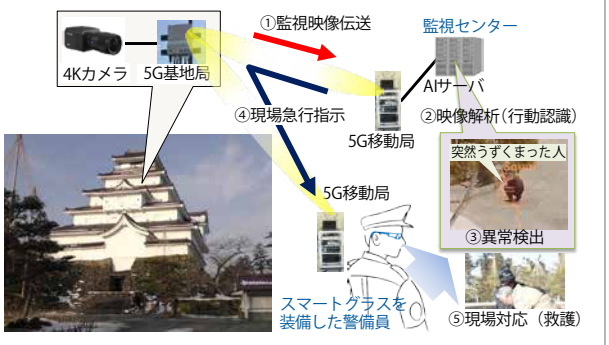
この実証試験では，福島県会津若松市において，地方見守りサービスに関する実証試験を実施した．鶴ヶ城の天守閣に設置した高所 4K カメラで撮影した高精細映像を，4.5GHz 帯 5G 試験装置を用いて天守閣から地上の監視センターまで伝送し，伝送された映像を AI により処理することで，85m 離れた位置の突然うずくまった人を迅速に検出できることを確認した．さらに，スマートグラスによる警備高度化を目指し，警備員が装着するスマートグラスで撮影した映像を 5G により監視センターと共有し，うずくまった人を顔認証で特定し，その人物の情報に基づいた指示を警備員のスマートグラス上に送信する検証を行った．

医療分野

GI の医療分野での事例として，図 -6 に (a) 地域における遠隔診療，(b) 救急搬送高度化ソリューションの実証試験の様子をそれぞれ示す．

図 -6 (a) の実証試験では，循環器内科の訪問診療を想定した遠隔サポート試験と，医療分野における遠隔教育を想定した内視鏡検査の遠隔サポート試験を実施した．前者では，和歌山県日高川町にある国保川上診療所の医師が患者宅を訪問診療し，5G を用いてエコーの映像等を和歌山県立医科大学の専門

■図 -4　GII エンタテインメント分野の実証試験



■図 -5　スマートシティ分野の実証試験

■図 -6　医療分野の実証試験

医に共有し，助言を得ながら診療を行った．また，後者は若手医師が操作する内視鏡映像・若手医師の俯瞰映像をベテラン医師が 5G によりリアルタイムに確認し，4K 超高精細 TV 会議システム越しに操作や確認点をサポートできるかを確認した．両試験ともに，高精細映像をスムーズに再生できることで，「遠隔地にいることを感じさせない」と医師から高評価を得た．

図 -6 (b) の実証試験では，日本で初めて 5G を活用した救急医療分野の実証試験を実施した．一刻を争う急患搬送の現場において，適切な処置を行うまでの時間を短縮するため，救急車，ドクターカーおよび救急指定病院の 3 者間を 5G で接続し，患者の容態などを高精細映像で共有した．前橋市役所に 5G 試験装置を設置して群馬県庁と前橋市役所間の公道を 5G 通信エリア化し，前橋市消防局の救急車とドコモの試験車両を架装したドクターカーを走行させた．患者を収容した救急車からは，医師を乗せたドクターカーと合流するドッキングポイントに向かうまでの道中，ベッドサイドモニタや俯瞰・接写カメラ映像等を統合した 4K 映像を，5G を介してドクターカーと受入予定の救急病院へ共有した．ドクターカーの医師は出血状況を確認して適切な初動措置を救急隊員に指示することができた．次いで，ドッキングポイントで患者をドクターカーに乗せ替えた後，ドクターカーに搭載された超音波診断装置（エコー）や 12 誘導心電計，俯瞰・接写カメラ等の映像を統合した 4K 映像を，5G を介してドクターカー・救急病院間で共有し，両拠点の医師間で所見の確認を行い，受入診療科の決定を行った．参加した医師からは，「5G で見る映像は鮮明かつ情報量が豊富」，「音声コミュニケーションに頼った従来の救急搬送時の推測とは異なり，実際に医療機関で患者を手当するのと同じ状況を再現できている」，「救急車の中の状況を克明に外部に発信できるようになることは意義が大きい」等の好評を得た．

ワークプレイス分野

GI のワークプレイス分野の事例として，図 -7 に動くサテライトオフィスの実証試験の様子を示す．本実証試験では，徳島県神山町において通勤時や移動時もサテライトオフィスと同程度の業務環境を 5G により実現する動くサテライトオフィスの検証を行った．図 -7 のように東京のオフィス，既存のサテライトオフィス，実験車両内による動くサテライトオフィスの 3 拠点による遠隔会議を実施した．特に，動くサテライトオフィスでは，360 度カメラ等の双方向 4K ライブ映像を 5G および光ファイバを通してサテライトオフィスとの間で伝送することで，移動中の車両からも遠隔で会議に参加できる環境を構築した．また，動くサテライトオフィス側で 5G を通して映像編集用である 300MB の大容量中間ファイルをダウンロードした後に，車内で編集し，それを移動しながらアップロードするといった映像

■図 -7　ワークプレイス分野の実証試験

■図 -8　交通分野の実証試験

編集にかかわる一連の業務を通し，動くサテライトオフィス環境が実用に耐え得ることを実証した．道路沿いに 28GHz 帯の 5G 試験装置を配置することで約 500m 区間の 5G エリアを構築した．動くサテライトオフィスを時速約 40km で移動させたところ，約 40 秒間接続し，最大 2.3Gbps のスループットが確認された．

交通分野

GII の交通分野の事例として，大阪府高槻市付近を時速約 120km で走行する特急列車「こうのとり」において実施した高速鉄道の安全運行監視の実証試験の様子を図 -8 に示す．本実証試験では，線路の傷みを効率的に検知したいという要望に応えるため，運行中の列車に搭載した 4K ハイフレームレートカメラによって撮影した線路の映像ファイルを列車から 5G で転送した．高速移動環境において 154MB の映像ファイルのアップロードに成功した．また，列車内から撮影した線路敷地内の 4K ライブ映像を可変レート映像符号化し，5G で車外に送信することで，線路敷地内の様子をリアルタイムに映像で確認できることを実証した．5G により鉄道における線路や敷地のリアルタイム監視が効率的に実現でき，安全運行に資することが期待される．

今後の取り組み

上述した，5G 時代のサービス協創に関するドコモのプログラムや各種取り組み，ならびに，5G 総合実証試験は，2020 年春に予定している 5G の商用サービス開始に向けて，今年度も継続して推進中である．これらの取り組みは，応用分野のさらなる拡大を図る一方で，当初の実証を終えた各ソリューションについては，商用のネットワーク・端末を前提とした性能対コストの最適化，ユーザの使い勝手向上など，より実用面を意識した次のステップへ取り組みを進めている．なお，2019 年度の 5G 総合実証試験については，その成果を発表するイベント等において，改めて報告したい．

最後に，各実証試験で用いた 5G 装置は試験用装置であり，5G 商用サービス向けの装置とは異なるため，これまで，同試験を完遂させるためには，パートナーおよび試験関係者の英知を結集し，並々ならぬ努力を要したことを触れておくとともに，関係各位に深く感謝の意を表する．

（2019 年 12 月 13 日受付）

■奥村幸彦（正会員） okumuray@nttdocomo.com

1992 年 NTT ドコモ入社以来，ディジタル移動無線アクセス方式・技術の研究，国際標準化，商用装置開発に従事．現在，同社 5G イノベーション推進室担当部長．第 5 世代モバイル推進フォーラム（5GMF）総合実証試験推進グループリーダ．博士（工学）．

■須山　聡　satoshi.suyama.zd@nttdocomo.com

2001 年東工大・大学院修士課程修了．同年同大学院・助手．以来，移動通信における無線伝送技術の研究に従事．2007 年同大学院・助教．2013 年 NTT ドコモ入社．現在，同社 5G イノベーション推進室担当課長．博士（工学）．

［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

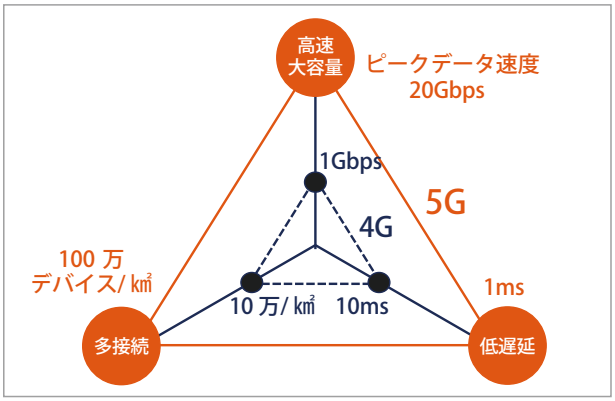
❸ 社会を変える 5G への取り組み
―社会課題の解決やワクワク体験の実現に向けて―

松永　彰 | KDDI

5G への期待

2020 年に国内で商用サービスを迎える 5G では，高速・大容量，低遅延，多接続等の能力が拡張され，その能力を活用して，人口減少や高齢化などの社会全体の課題への対応や，地域課題の解決や地方創生への貢献，ワクワク体験の提供や豊かさの追求など，さまざまな観点から持続的な社会の発展に貢献することが期待されている．図 -1 に，ITU-R（国際電気通信連合 無線通信部門）が規定する 5G の技術性能要件を示す☆1 [1]．

以上の背景で，自治体や産業界等のさまざまな分野のパートナーと連携して，5G の可能性とユースケースを探求する実証試験が行われており，平成 29（2017）年度からは総務省の技術試験事務「5G 総合実証試験」において，数々の実証試験が行われている [2]．本稿では，さまざまな 5G 実証試験を通じて，5G の可能性について紹介する．



■図 -1　5G の技術性能要件☆1

☆1　文献 1）を元に作成．要件の重要性は，ユースケースに応じて異なる可能性がある．

実証実験の紹介

社会の課題の解決に向けて

建設機械の遠隔操縦

昨今の台風や集中豪雨などの相次ぐ土砂災害では，社会インフラの迅速な復旧と同時に，二次災害の防止と復旧作業の安全確保が急務である．一方，建設技能者は減少傾向にあり，2025 年には 128 万人が不足すると予測されている [3]．現場の映像を遠隔から監視して操縦する遠隔操縦は，上記の課題解決に向けて活用が期待され，Wi-Fi 等を用いた技術が実用化されているが，伝送容量不足，電波干渉等により，画質の精細度や遅延等に課題があり，搭乗操作に比べて操縦者の疲労度が高く，作業効率が低下するという課題がある．

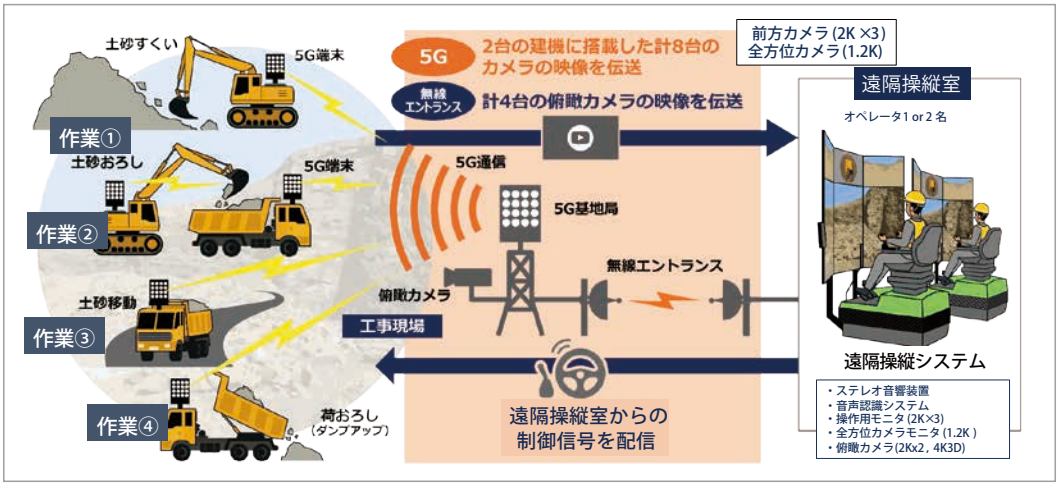
以上の背景から，KDDI，大林組，NEC の 3 社は，2018 年 12 月に，大阪府茨木市で建設中の安威川ダムの一部エリアにおいて，5G の高速・大容量および低遅延の特長を活用し，土砂災害復旧の事例で典型的な，クローラーダンプとバックホーの 2 台の建設機械（建機）を，建機から 5G で伝送した映像を見て遠隔操縦により連携させ，土砂災害からの復旧を想定した作業を行う実証試験を行った．

建機同士の距離感をつかみ，搭乗操作と同等の操作性を実現するためには，遠隔操作と映像のずれを最小化することが不可欠であるため，両端の間のこれを 100ms 未満に抑えることを目標とした．また，災害現場で復旧活動を迅速かつ安全に進め，機動性を高めるために，車載型 5G 基地局を使用し，移動式トレーラーに遠隔操縦室を設置した．さらに，光回線が使用できない場合に短時間で遠隔操縦の環境を整えるために，基地局と遠隔操縦室間を無線エントランスで接続した．各

建機には，2K 解像度カメラ 3 台と 360 度カメラ 1 台，計 8 台のカメラを搭載し，カメラ 8 台の映像を高速・大容量の 5G の上り回線経由で，さらに作業現場を俯瞰撮影する 4 台のカメラの映像を無線エントランス経由で，遠隔操縦室に伝送した．本試験の構成を図 -2 に示す．

各建機の屋根に設置された 28GHz 帯の 5G 端末は約 100m 離れた 5G 基地局と接続され，基地局は約 750m 離れた遠隔操縦室に無線エントランスにより接続された．建機の回転により電波伝搬路が遮られないように，5G 端末のアンテナは可動部分と干渉しない高い位置に設置し，さらにアンテナが常に基地局に向くように大林組が開発した「スカイジャスター」を改良して台座として使用した．各試験機器を図 -3, 4, 5, 6 に示す．

試験の結果，各建機からのカメラ映像と音響情報を 5G 経由で 100ms という低遅延で伝送することにより，遠隔操縦による作業に要する時間を，搭乗操縦の約 1.34 倍に抑えることができた．遠隔操縦に Wi-Fi 等を用いた場合には，搭乗操作に比べて約 2 倍の作業時間が必要となることがこれまでの試験で示されており，5G により操作性，効率が向上することが明らかになった．さらに試験では，対話型の音声認識による制御システムを導入し，5G を経由して音声により建機を遠隔操作することに成功した．これにより，1 人のオペレータが 2 台の建機を同時に操縦することが可能となり，熟練した建設技能者の不足を補い，さらなる作業効率の向上に寄与できることを実証した．試験の模様は下記の



■図 -2
建設機械の遠隔操縦試験構成

■図 -3　遠隔操縦室　外観

■図 -4　遠隔操縦室　室内

■図 -5　5G 基地局

■図 -6
2 台の建機

URL を参照されたい.
https://www.youtube.com/watch?v=Ul8UFd1GXhc

本実証試験は，総務省の平成 30（2018）年度技術試験事務「5G 総合実証試験」の一環として実施した.

遠隔監視型自動運転への応用

本格的な人口減少と少子高齢化，地域における高齢運転者の増加や移動手段の減少といった，顕在化しつつある多くの社会課題を背景に，将来の移動手段を確保するために自動運転技術や 5G といった ICT の利活用が注目されている. 自動運転の高度化により，買い物難民やバス・タクシー運転手不足に対する市民の移動手段としての活用や，観光促進や車産業振興にもつながることが期待される.

以上を背景として，アイサンテクノロジー，ティアフォー，KDDI は，2019 年 2 月に愛知県一宮市において，愛知県の「平成 30 年度自動運転実証推進事業」における自動運転の実証実験を実施した.

本実験では，2 台の自動運転車（1 台に 4G を，1 台に 5G を搭載）の運転席を無人の状態とした上で自動走行を行った. また，遠隔にいる 1 名の運転手が 2 台を同時に監視し，緊急時には制御を行った. 一般公道において 5G を活用した複数車両の遠隔監視型自動運転を実施したのは国内初である.

車両に搭載されたカメラで撮影した映像，車両情報，音声情報を，車両に搭載された 4.5GHz の端末から 5G 基地局を経由して遠隔の操縦卓に伝送し，遠隔操縦では，操縦卓から制御コマンドや音声情報を，5G を通じて車両に送った. 現在の通信方式では，容量の制約に伴う映像の精細度や伝送遅延などの課題があるが，5G の高速大容量，低遅延を活用して，これらの課題を克服し，高精細映像や車両情報をリアルタイムに伝送することが可能になり，タイムラグのない遠隔操縦を実現した. 実験車両を図 -7 に，遠隔操縦卓を図 -8 に示す.

試験の模様は下記の URL を参照されたい.
https://www.youtube.com/watch?v=WyWBMyrHKSQ

除雪作業への応用

降雪地域において，迅速かつきれいな除雪は，地域住民が生活手段である道路を安心・安全に利用するために不可欠である. さらに，雪道に慣れていないスキー客に対する配慮も観光事業の側面からも重要である.

こうした課題解決に向けて，長野県白馬村と KDDI は，立命館大学と金井度量衡の協力のもと，2019 年 1 月に，5G を活用した除雪車支援の実証試験を国内で初めて実施した.

本試験では，試験地域に，3.7GHz と 28GHz の 5G エリアを構築し，迅速かつきれいな除雪作業が行えるように，除雪車の運転席に設置した 28GHz の 5G タブレット上に，積雪のない夏場の状況写真を表示して，雪の下に埋もれているマンホールや縁石などの道路構造物への注意を喚起し，また，除雪作業後の状況をモニタすべく，後続の車両から，3.7GHz の 5G を使って除雪後の映像を高精細にて伝送する除雪車支援システムの実証を行った. 全体構成を図 -9 に示す.

■図 -7　遠隔監視型自動運転　実験車両

■図 -8　遠隔監視型自動運転　遠隔操縦卓

近年，日本各地において，通常は降雪の少ない地域で豪雪となる災害が多く発生しており，本試験のシステムを活用することで，豪雪災害時に応援に来た除雪車オペレータの作業支援を可能とし，除雪の効率化，豪雪災害からの早期復旧などが期待される．

本実証試験は，総務省の平成 30（2018）年度の 5G 総合実証試験の一環として実施した．

試験の模様は下記の URL を参照されたい．
https://www.youtube.com/watch?v=OCWVnn6x0b0

新たなスポーツ観戦の提案

5G では，高速・大容量，低遅延という技術的な特長を駆使して，AR や VR，高精細映像等を利用したユースケースにさまざまな可能性が広がり，それらを通じて，スポーツ観戦にも新たな付加価値を提供することが期待されている．その実証例を示す．

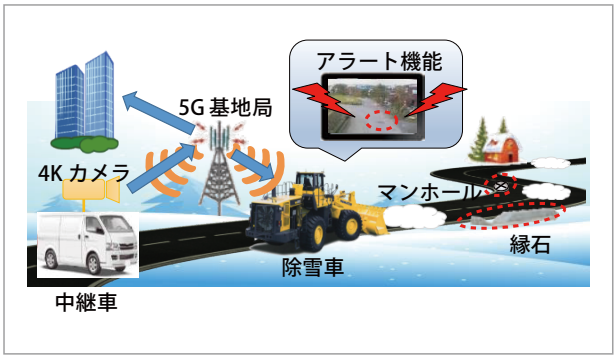
野球を好きな角度でライブ観戦，世界初「5G」で自由視点映像をリアルタイム配信

5G を活用したスタジアムにおけるエンタテインメント高度化の実現に向けて，既存のモバイル通信では実現が困難であった多数の観客に向けた大容量映像の同時配信や，スポーツ観戦やコンサート鑑賞において迫力あるライブ映像をモバイル端末や大型スクリーンで同時視聴できることによる新たな体験価値の提供が期待されている．

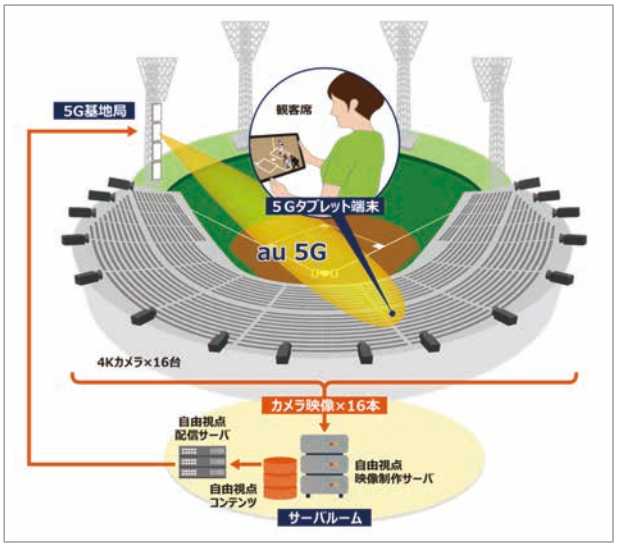
KDDI，KDDI 総合研究所，沖縄セルラー電話は，ATR（国際電気通信基礎技術研究所）およびサムスン電子の協力の下，2018 年 6 月に，沖縄セルラースタジアム那覇で開催された北海道日本ハムファイターズ対福岡ソフトバンクホークスの日本プロ野球公式戦において，5G タブレット端末を活用し，スタジアムにおける自由視点映像のリアルタイム配信に世界で初めて成功した．

本試験では，スタジアムの 3 塁側照明塔に 28GHz の 5G 基地局を設置して観客席に 5G エリアを構築した．バッターボックスに向けて 16 台の 4K 解像度カメラを設置して多方向から同時に打者を撮影し，その映像を元に観客がタブレット画面から指定するアングルからの自由視点映像を合成し，10 台の 5G タブレットにリアルタイムに配信した．全体構成を図 -10 に，自由視点デモの様子を図 -11 に示す．

本試験では，KDDI 総合研究所が開発した「自由視点 VR」技術を用いて，複数カメラ映像から抽出し



■図 -9　除雪作業の支援　構成図



■図 -10　自由視点映像　試験構成

■図 -11　自由視点映像のデモの様子

た選手などの人物領域やスタジアム背景を，3 次元コンピュータグラフィクス（3DCG）モデルで表現することにより，実際にカメラが撮影していない視点からの映像を合成した．

5G の下り回線の高速・大容量，低遅延の特性を活用して，タブレットを用いたユーザの視点操作から映像提示まで約 0.5 秒という低遅延で，10 台のタブレットに対してインタラクティブな配信が可能となった．タブレット端末では，見たい映像のリプレイ再生も可能とした．

本技術により，一塁側の観客席に座りながら，5G タブレットで三塁側から観戦するといった，モバイル端末を介した任意のアングルからのスポーツ観戦が可能になり，スタジアムにおける新たな観戦スタイルの提供とともに，遠隔でのイベント視聴において，テレビ中継とは異なる臨場感を体感可能になる．

試験の模様は下記の URL を参照されたい．

https://www.youtube.com/watch?v=eeZ9NJEKFT8

ハイスピードカメラのゴルフ中継への応用

スポーツイベントの中継や制作において映像伝送に広く用いられている FPU（Field Pickup Unit）等の可搬型無線伝送装置には，伝送容量の制約等により，4K ＋ HDR（High Dynamic Range）＋ハイフレームレート等の超高精細映像の伝送が難しいほか，多くの受信ポイントの設置による柔軟なエリア構築が難しい等の課題がある．

特にハイスピードカメラの映像はデータ容量が大きく，現状ではリアルタイムに伝送できないため，カメラ側で映像を記録し，スロー再生した映像を伝送してオンエアしている．このため，スーパーショット等の見ごたえあるシーンをプレー直後に視聴者に届けることができない．

KDDI とテレビ朝日は，5G 上り回線の高速・大容量という特長を活かし，4K ハイスピードカメラで撮影した映像をリアルタイムに伝送することにより，より臨場感のある放送品質を満たす映像を視聴者へ提供する実証試験を，2018 年 11 月に千葉県長生郡のグレートアイランド倶楽部で開催された「第 34 回 伊藤園レディスゴルフトーナメント」にて行った [4]．

グリーン近くのカメラ台イントレに 28GHz 帯の 5G アンテナを 2 基設置し，ホールをカバーする 5G エリアを構築し，4K カメラをグリーン横に，4K ハイスピードカメラをセカンドショットの打点付近にそれぞれ設置した．

フレームレートと伝送速度は，4K 映像では 60（fps）/100（Mbps），4K スーパースロー映像では 120（fps）/200（Mbps）とし，4K スーパースロー映像をリアルタイムで符号化するために，エンコーダ 2 台を協調動作させた．実験の様子を図 -12 および図 -13 に示す．

試験の結果，5G を用いて，4K 映像を，専門家の観点から見て十分な放送品質を満たして伝送可能なことを確認し，臨場感あるスーパースロー映像をパブリックビューイングすることができた．

スポーツ中継の現場では，いまだ有線で映像伝送を行うことが多く，ゴルフ中継はエリアが広いため総ケーブル長が約 5000m にも及ぶ場合があるが，ケーブルをすべて 5G に置換できればケーブル布線にかかる莫大なコストと手間を削減でき低予算で臨場感ある 4K スポーツコンテンツ制作が実現可能になると期待できる．

本実証試験は，総務省の平成 30（2018）年度技術試験事務「5G 総合実証試験」の一環として実施した．

■図 -12
カメライントレに設置した 5G 基地局

■図 -13
4K カメラと撮影風景

ワクワク体験の提供
―ドローンからの 4K 映像伝送―

5G の高速・大容量によって，従来のモバイルシステムでは実現困難であった，ドローンからの 4K 映像のリアルタイム伝送が可能になり，高精細映像伝送や新たな AR, VR の可能性が開ける．

福山市，KDDI，東京大学情報学環中尾研究室，プロドローン，サムスン電子，WONDER VISION TECHNO LABORATORY と共同で，2018 年 11 月にふくやま美術館前広場（広島県福山市）で開催された「備後フィッシュフェス」にて，5G を用いてドローンからの 4K 映像を VR システムに伝送し，バーチャルな飛行を体験する実証試験を国内で初めて実施し，イベント来場者に公開した．

本試験では，ふくやま美術館の屋上上空に，4K 高精細カメラと 5G タブレットを搭載したドローンを飛行させ，カメラで撮影した福山城周辺の空撮映像を 28GHz の 5G でリアルタイム伝送し，会場内に設置した特設ドームテント内の半球状スクリーン（Sphere 5.2）にリアルタイム配信した．本方式は，ゴーグルを使用しないため 12 歳未満の児童でも体験可能であり，また，視界がほとんどスクリーンで覆われるため，高い没入感を得ることができる．デモ風景を図 -14 に示す．

■図 -14　バーチャル飛行体験　デモ風景

今後，ドローンによる 4K 高精細映像のリアルタイム伝送により，さまざまなイベントにおいて新たな魅力を伝えられるようになるほか，観光振興，災害救助や撮影サービス等，さまざまな分野での活用が期待される．本実証試験は，総務省の平成 30（2018）年度の 5G 総合実証実験の一環として実施した．

さらなる可能性の追求

各々のユースケースで解決が必要な課題はパートナーに応じてさまざまであり，それに応じてまた 5G ネットワークへの要件も異なり，きめ細かな対応が必要である．今後も 5G のさらなる可能性を追求していく所存である．

参考文献

1) IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT-2020 and Beyond, ITU-R 勧告 M. 2083-0（2015 年 9 月）.
2) 5G Trial Promotion Group, 5GMF : The Second Report on 5G System Trials in Japan 2019 (June 14, 2019).
3) 日本建設業連合会：再生と進化に向けて―建設業の長期ビジョン―.
4) 藤田和義，小野真介，松永　彰：5G × 4K ハイスピードカメラゴルフトーナメント中継，電波技術協会報（FORN）No.328, pp.6-9（2019 年 5 月）.

（2019 年 11 月 14 日受付）

■松永　彰　ak-matsunaga@kddi.com

1983 年 KDD（現 KDDI）入社，移動体通信の技術企画，基地局開発，標準化活動等に従事．3GPP2 TSG-S 副議長（2001 ～ 04 年），ARIB 2020B AH サブリーダ，5GMF 技術委員会委員長代理等を務める．

［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

4 5G 総合実証実験における取り組み

―5G 超高信頼・超低遅延通信のトラック隊列走行への適用―

吉野　仁 | ソフトバンク（株）

5G 移動通信システム

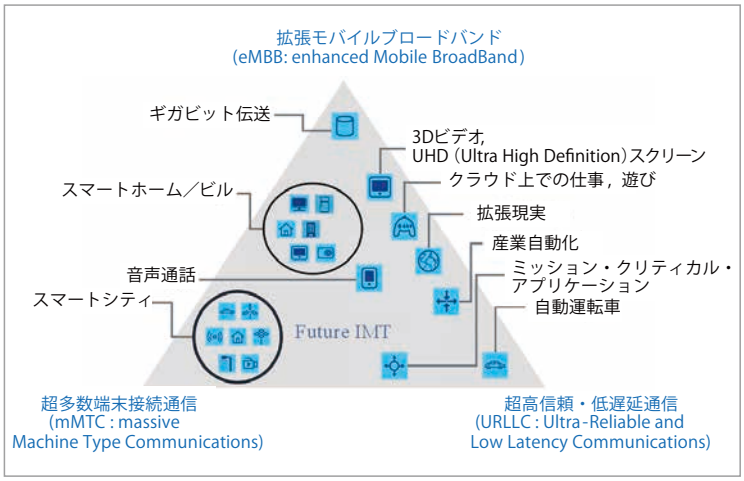
2020 年の商用化に向けて第 5 世代移動通信システム（5G）の研究開発が行われている．5G は従来の能力拡張である拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）に加えて，超高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra Reliable and Low Latency Communications）や超多数端末接続通信（mMTC：massive Machine Type Communications）を新たな領域としており，高度情報化社会の社会基盤として期待されている．特に URLLC と mMTC は新しい市場を開拓できる可能性があり，具体的な 5G の適用事例の確立が急務である．

利用シナリオと無線能力

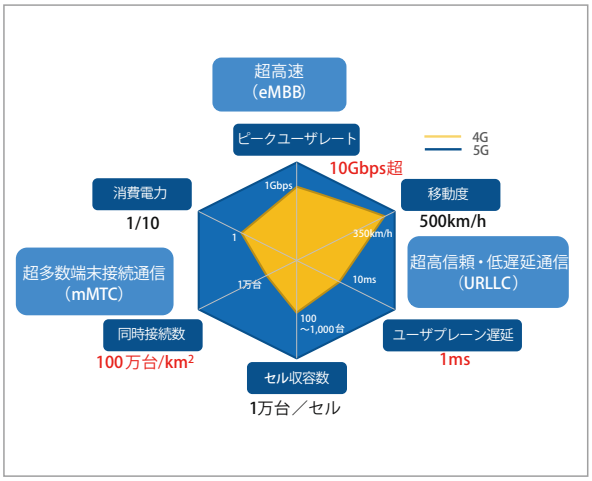
図 -1 に 5G 移動通信システムの利用シナリオを示す[1]．2020 年以降の移動通信のさまざまな利用シナリオを想定して，通信の立場から分類し，大きく 3 つの通信分野に大別している．

従来のモバイルブロードバンド通信の拡張である「拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB)」，自動運転や産業機器の制御を想定したミッション・クリティカルな「超高信頼・低遅延通信（URLLC)」およびセンサネットワークや IoT（Internet of Things）端末通信のような多数同時接続を想定した「超多数端末接続通信（mMTC)」である．実際の利用シナリオではこれら 3 つの通信要素を組み合わせた通信を用いる．4G までの移動通信システムでは，モバイルブロードバンド通信が主な対象であったが，5G からは新たに URLLC と mMTC が新たな移動通信の領域として加えられた．2020 年以降，5G 移動通信が社会インフラとして使われることを想定している．

さらに，これらの利用シナリオから 5G に必要となる無線能力を特定したものを図 -2 に示す．同図



■図 -1　2020 年以降の 5G の利用シナリオ



■図 -2　5G の無線能力

において，内側の橙色の六角形が 4G，外側の青色の六角形が 5G の無線能力を表す．主な指標としては，ピークユーザレート，ユーザプレーン遅延，同時接続数，消費電力，セル収容数，移動度などがある．10Gbps 以上のピークユーザレートは拡張モバイルブロードバンド通信（eMBB）のサポートに必要であり，また無線区間 1ms 以下の遅延およびブロック誤り率（BLER：Block Error Rate）10^{-5} 以下を満たす信頼性は，超高信頼・低遅延通信（URLLC）のサポートに必要となる．さらに超多数端末接続通信（mMTC）のサポートには，無線端末装置の同時接続数 100 万台 /km^2 が必要である mMTC の分野では，無線端末の消費電力を 4G 比で 1/10 とすることを目標としている．5G では移動度に関しては高速列車での利用を考慮して 500km/h における通信のサポートを目標としている [1), 2)]．これらの無線能力を見ると，5G は大変，高性能かつ高機能なシステムを目指していると思われてしまうが，実際の応用事例（ユースケース）では，これらの能力や機能をすべて同時に必要とするケースはほとんどないことが分かる．

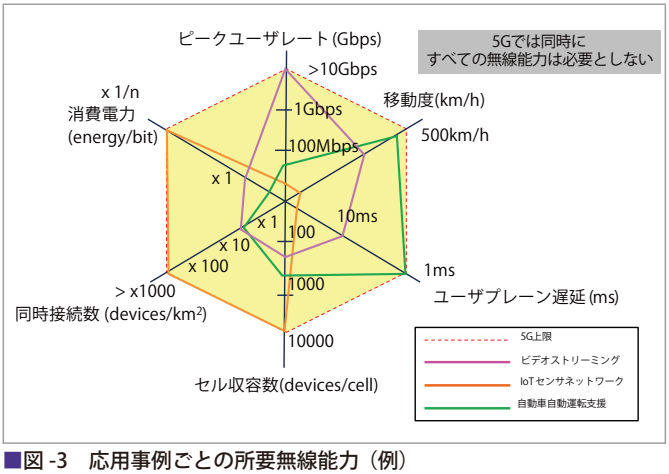
図 -3 に 5G の無線能力の考え方を示す．同図では，ビデオストリーミング，IoT センサネットワーク，自動車の自動運転支援の 3 つの応用事例に必要とされる無線能力の一例をレーダチャートに示している．ビデオストリーミングのケースではピークユーザレートについて大きな無線能力を必要とするが，ユーザのデータ通信の遅延（ユーザプレーン遅延）や消費電力の低減はあまり必要としていない．一方，IoT センサネットワークでは，たとえば温度，湿度，振動などの比較的情報量の少ないデータを長期間にわたって通信させる必要がある．また，橋梁に設置され老朽化を監視する振動センサの通信端末は，いったん設置されると，そう簡単に電池を取り換えるわけにはいかないことが多い．そのため，低消費電力の通信が重要となる．他方，自動車の自動運転支援のための通信では，車両の制御のためのメッセージのやりとりを行う場合，低遅延な通信が必要となるが，あまり高速なピークユーザレートは必要としない．このように，応用事例によって通信に要求される無線能力が大きく異なることが分かる．5G では応用事例に応じて，必要な無線能力を必要なだけ提供するという柔軟な無線システムを目指している．

このような柔軟な無線システムを実現する上で，無線技術においては，柔軟な無線フレーム構成技術，無線リソースマネジメント技術を，5G 実現のための鍵となる技術としている．これらは，それぞれ異なる情報量，要求遅延や通信品質を持つアプリケーションで効率的に通信する上で必要な技術である．

セルラー系通信で提供される車車間通信

図 -4 にセルラー系通信で提供される 2 つの車車間通信の形態を示す．第 1 の形態は，通常のセルラー通信と同様に，基地局を介した車車間通信である．無線端末から基地局への上り回線（Uplink）と基地局から無線端末への下り回線（Downlink）からなる．Uu インタフェースとも呼ばれている．

基地局に設置された高性能アンテナや高性能無線機に助けられて比較的安定した通信が確保される．通信は移動通信ネットワーク（コアネットワーク）を介して行われるため，無線区間の伝送遅延に加えて移動通信ネットワーク内での伝送遅延がある

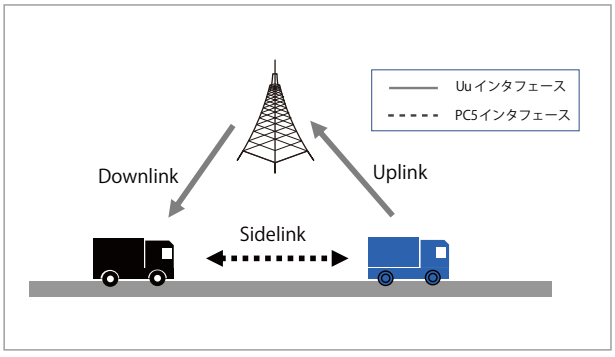


■図 -3　応用事例ごとの所要無線能力（例）

が，それでも 4G において数十から百ミリ秒の比較的低い伝送遅延で通信が可能である．5G になると基地局直下に MEC（Mobile Edge Computing）サーバを置いて通信を折り返して，十数ミリ秒以下の遅延で通信することも可能となる．

第 2 の形態は，基地局を介さずに車載無線端末間で直接通信をする形態である．Sidelink と呼ばれる通信回線である．PC5 インタフェースとも呼ばれている．車載無線端末が直接通信するため，割り込み車の有無や通信環境（アンテナ設置場所など）により通信品質が劣化する場合がある．しかしながら，移動通信ネットワークを介さずに無線端末間で直接通信するため，数ミリ秒以下の伝送遅延で通信が可能である．さらに，Sidelink では，無線リソース（通信に割り当てる無線周波数帯域幅や時分割のスロット数など）の管理を，(1) 基地局側で行うモードと (2) 無線端末側で自律的に行うモードがある．上記 (1) の場合，効率的なリソース管理が可能となり輻輳や混信／干渉の軽減が可能となる．一方，上記 (2) の場合，基地局圏外においても通信が可能となる．

トラックの隊列走行は高速道路などの通信環境が整備された路線でまず実用化されると考えると，上述した 2 つのセルラー系通信は，トラック隊列走行の車車間通信の冗長性を確保する上で有効であると考えられる．隊列走行では通信の多重化（2 重系もしくは 3 重系）が必要であるが，少なくとも通信回線の 2 重化はセルラー系通信のみで構成することが可能である．



■図 -4　セルラー系通信の 2 つの車車間通信

5G のトラック隊列走行への適用

トラック隊列走行では，数台のトラックが隊列車群を形成し走行する．先頭車両が有人でドライバにより運転される．後続車両は無人で先頭車両に追従する自動運転である．トラック隊列走行では，車車間の通信を用いて隊列車群を一体に制御する．

レーダなどを用いて先行車両と後続車との車間距離を測定し，速度に応じた安全な車間距離を保持する適応車間距離制御（ACC：Adaptive Cruise Control）はすでに実用化され多くの車両に搭載されている．しかし，車間距離情報だけの制御では前方を走る車の減速度の発生開始から車間距離が変化するまでに時間的に大きな遅れが生じる．後続車の減速が発生するまでにはさらに遅れが生じる．このため ACC だけで追突を防止するには長い車間距離が必要である．一方，協調型適応車間距離制御（CACC：Cooperative ACC）では車車間通信を用いて前方車両の速度や位置の情報を後続車に伝送し車速を制御するため，前方車両が急制動したときの車間距離制御性を大幅に改善することができる．また，制御の遅れによるハンチングの少ない安定した走行も可能となる．さらなる燃費低減，道路の交通容量の増大のためには，安全を確保しつつ車間距離の短縮と隊列車両数の増大が必要で，低遅延かつ高信頼の通信を実現できる 5G URLLC のこの分野への利活用が期待される．

さらに，トラックの隊列走行では，複数のトラックが 1 つの隊列を形成し，その隊列が 1 つの制御システムとなっている．この制御システムにおいては，操作量と状態量が，無線回線を介して複数のトラックをまたぐことになる．各トラックの積載量や，加速性能，ブレーキ性能，操舵性能には，ばらつきがあるので，将来，隊列のより安定した最適制御を行うためには，低遅延・高信頼の 5G URLLC 通信が，制御システム内の制御情報のやりとりに必要になると考えられる．

トラック隊列走行実験

想定する応用事例

5G 通信をトラック隊列走行へ適用する実証実験は総務省の 5G 実証実験の 1 つとして実施されている[3]．この実証実験では，図 -5 および図 -6 に示す応用事例に取り組んでいる．

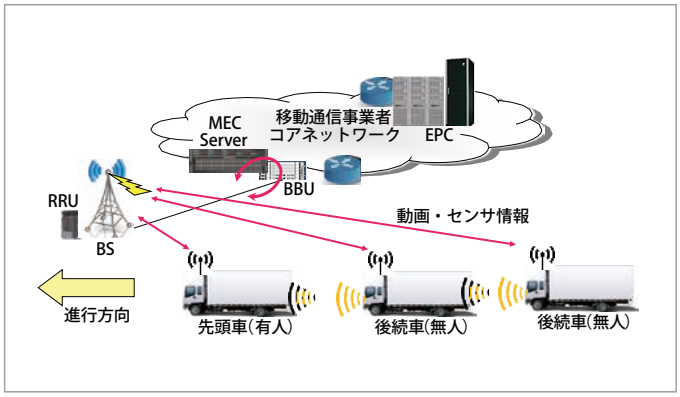
図 -5 の応用事例において通信の要求条件は大別すると 2 つある．1 つは車両制御系情報（速度，車両の位置など）の通信に必要な小容量低遅延通信である．他方は隊列走行を監視するビデオ監視系情報（車両の周囲状況の監視など）の通信に必要な大容量低遅延通信である．前者においてはさらに高信頼性も必要となる．図 -6 の応用事例においては，移動通信事業者のコアネットワークを通した遅延を低遅延にすることが必要であり, かつ, 従来のセルラー通信の基地局経由の通信（Uplink と Downlink）が必要となる．基地局を経由した通信で，車両監視のための大容量低遅延のビデオ通信と，車両の遠隔操作のための小容量低遅延通信が必要となる．

テストコースでの試験結果

日本自動車研究所の城里テストコースで，(1) 基地局経由の車車間通信（図 -7）と (2) 車車間直接通信の実験を行った（図 -8）．5G 無線機は，5G NR（New Radio）ベースの無線仕様に準拠した．

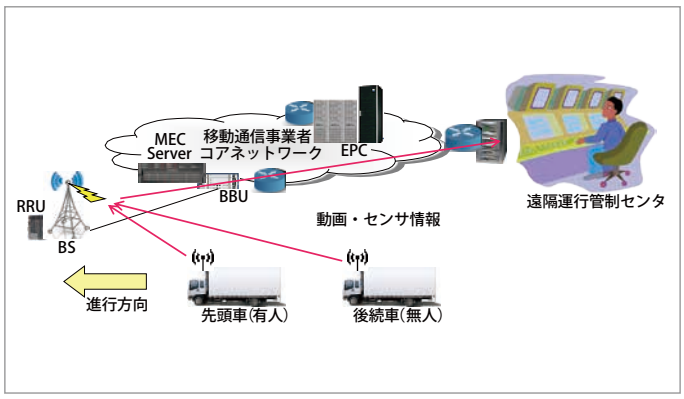
基地局経由の車車間通信

図 -9 に伝送遅延特性（CCDF : 相補累積分布関数）を示す．同図より上下回線とも 99.99% 以下の確率で片道の無線区間伝送遅延 1ms 以下，ネットワーク往復の End-to-End 遅延 3.0ms 以下を達成していることが分かる．



■図 -5　隊列走行ユースケース 1（車両制御と後続車周辺のビデオ監視）

■図 -7　基地局経由の通信（基地局の外観）

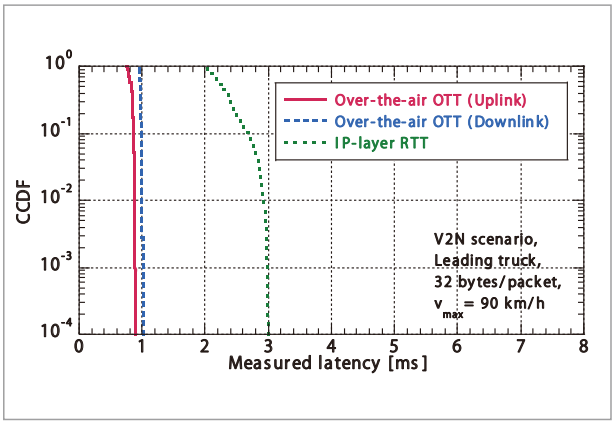


■図 -6　隊列走行ユースケース 2（車両の遠隔監視と遠隔操作）

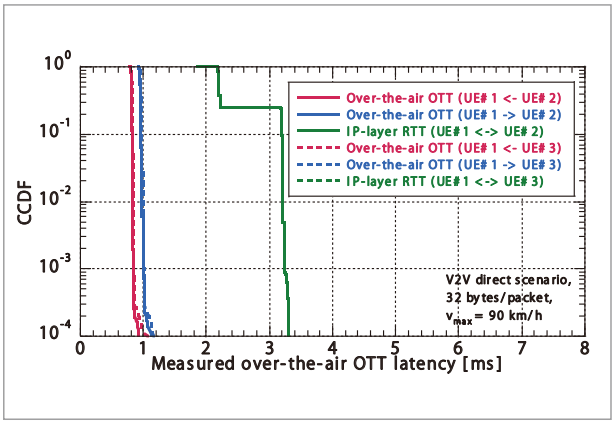
■図 -8　車車間直接通信（ビデオ伝送実験）

車車間直接通信（5G-NR Sidelink）

図 -10 に伝送遅延特性（CCDF）を示す．同図より Sidelink において，先頭車から後続車（BL: Backward Link）および後続車から先頭車（FL：Forward Link）とも 99.9% 以上の確率で片道の無線区間伝送遅延 1ms 以下を達成していることが分かる．また，99.99% の確率で，往復の End-to-End 遅延 3.3 ms 以下を達成していることが分かる．



■図 -9　伝送遅延特性（CCDF）（基地局経由通信）



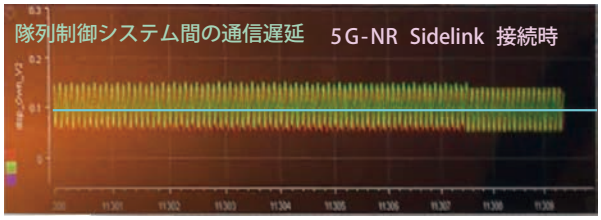
■図 -10　伝送遅延特性（CCDF）（車車間直接通信）

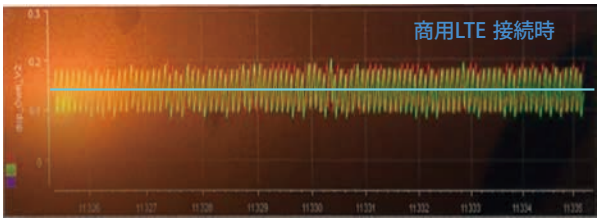
新東名高速道路における隊列走行実験

本実験では，5G 無線機を実際のトラック隊列走行の CACC 装置と結合し，制御メッセージを 5G-NR Sidelink で伝送した．実際の走行環境として，新東名高速道路において，5G トラック隊列走行を行った（図 -11（a），（b））．図 -12 に CACC 装置から見た伝送遅延を示す． 縦軸は CACC 装置内部で観測された伝送遅延，横軸は走行距離である．実験

■図 -11(a)　新東名高速道路 5G CACC 実験

■図 -11(b)　新東名高速道路 5G CACC 実験





■図 -12　ECU から見た伝送遅延（5G-NR と 4G LTE の比較）

は商用の 4G LTE ネットワークと比較して行った．CACC 装置内部での伝送遅延（100ms 程度）も含まれているため，4G LTE では 150ms，5G-NR では 100ms の遅延が観測されている．両者を比較すると，5G-NR Sidelink は E2E で 50ms 程度，通信伝送遅延が短縮できることが分かる．

現行の CACC 装置内部の伝送遅延（100ms 程度）と比較して，5G-NR の伝送遅延（3ms）がほとんど無視できるレベルであることも分かる．今後の隊列走行の高度化（車間距離の短縮や，さらなる走行の安定性確保）に向けて，5G-NR Sidelink の低遅延性と高信頼性が貢献できることを確認した．

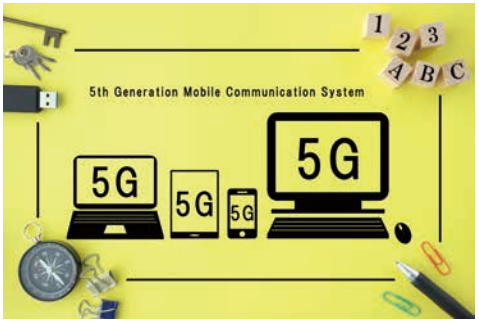
参考文献

1) ITU-R, IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, Recommendation ITU-R M.2083, ITU-R (Sep. 2015).
2) 5GMF：5GMF White Paper “5G Mobile Communications Systems for 2020 and Beyond,” Ver.1.01 (July 2016).
3) 総務省：5G 総合実証試験の開始，報道資料，http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000297.html (2017 年 5 月).

(2019 年 11 月 19 日受付)

■吉野　仁　hitoshi.yoshino@g.softbank.co.jp

1986 年理科大・工・電気卒業．1988 年同大学院工学研究科修士課程了．2009 年ソフトバンク（株）入社．以来，移動通信システムの研究に従事．現在，同社先端技術戦略部担当部長．博士（工学）（東工大）．電子情報通信学会，IEEE 各会員．



［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

5 5G の最新の研究開発技術動向と「情報通信の民主化」への期待

中尾彰宏 | 東京大学

5G サービスインに向けた我が国の取り組み

我が国において 2020 年春に本格的なサービスインが予定されている第五世代移動通信（5G）では，大容量，超低遅延，超多数接続の通信が実現する．国民の共有資産である周波数を戦略的に全国通信事業者に割り当てて通信サービスが全国展開されることで，我々国民が広く利用することが可能となる．

公衆網における 5G の商用サービスインの時期は，我が国は 2020 年春から本格展開の予定であり，日本，米国，中国，韓国，欧州で比較すると最後発となっている．米国では 2019 年 4 月から本格導入がはじまり，中国は 2019 年中から順次商用展開，韓国は 2019 年 4 月より商用展開，欧州においては各国で異なるが，2019 年 4 月からスイス，5 月から英国，6 月からイタリア，スペインで順次商用展開が進んでいる（総務省移動通信課調査）．各国の 5G の通信料（Subscription Fee）はまちまちであるが，新たな世代の通信が実現し，利用できる帯域が 10 倍以上になったとしても，通信料金の増加はそこまで大きくない．たとえば，テレコム・イタリアでは 4.5G のサービスが月額 19.99 ユーロに対し，Advance 5G が月額 29.99 ユーロにとどまっている．

最後発とはいえ，我が国の研究開発が極端に遅れているというわけではない．実は，2020 年春の商用サービス本格展開の準備として，3 年間の実証実験の実績を実施し，5G のインフラの技術検証やさまざまなユースケースの有益性について慎重に確認を行ってきている．

サービスインに向けた総務省の施策として，2017 年度は，実際の 5G の利活用分野を想定した性能評価を実施している．2018 年度は ICT インフラ地域展開戦略検討会の 8 つの課題である，「労働力」「地場産業」「観光」「教育」「モビリティ」「医療・介護」「防災・減災」「マインナンバーカード」を中心として網羅的に実証実験に取り組んでいる．そして，2019 年度は，5G 利活用アイデアコンテストの結果を受けて，さらに地方発の案件として地方課題の総合的な解決に向けた，5G 総合実証試験が推進されている．

筆者の研究室も，企業と協力し，いくつかの実証実験を実施している．たとえば，2018 年度は，(1) 低遅延通信の利活用例として，NTT ドコモ（株）との「5G と MEC を活用した協調運転支援の実証実験」(2018 年 11 月報道発表)，(2) 大容量通信の利活用例として，KDDI（株）との「5G ドローンを用いた 4K 映像伝送の実証実験」（東大キャンパス　2018 年 6 月報道発表・サイクリングしまなみ 2018 年 10 月報道発表），などを実施している．また，2019 年度は，(3) 大容量通信の利活用例として，ATR, KDDI（株），シャープ（株），新冠町と連携し，「5G で軽種馬を育成支援，8K ライブ映像を活用した実証試験」（北海道新冠町　2019 年 11 月報道発表），(4) 大容量通信と低遅延通信の同時利活用例として「5G と水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験」（広島県・江田島市　2019 年 11 月報道発表）などを実施している．

これらの実証実験を通じて，我々アカデミアの研究開発において解決すべき課題，あるいは，商用化に向けて解決すべきビジネス上の課題など，多くの

知見が得られている．まず，各ユースケースによる5Gインフラにおける要求条件は大きく異なることが起因する課題である．たとえば，上記（1）では，1ms程度の無線通信遅延が要求され，また，（2）（3）（4）においては，100Mbps程度の帯域を保証する大容量通信の要件が必要となる．特に（4）においては，水中ドローンの制御と，水中ドローンからの映像通信の2つを同時に実現しなくてはならず，低遅延と大容量通信の両方の品質を確保しなくてはならない．つまり，5Gでなければ実現が難しいユースケースとして注目される．

本稿では，こうした我が国で進展する5Gの研究開発・実証実験から商用化へ至る状況を背景とし，最近の5Gを巡る「課題」と「動向」，そして，これからの「発展の方向性」について議論する．

5Gサービスインに向けた課題

サービスインに向けて，このようなさまざまな実証実験が展開される中でいろいろな課題が浮き彫りになってきている．

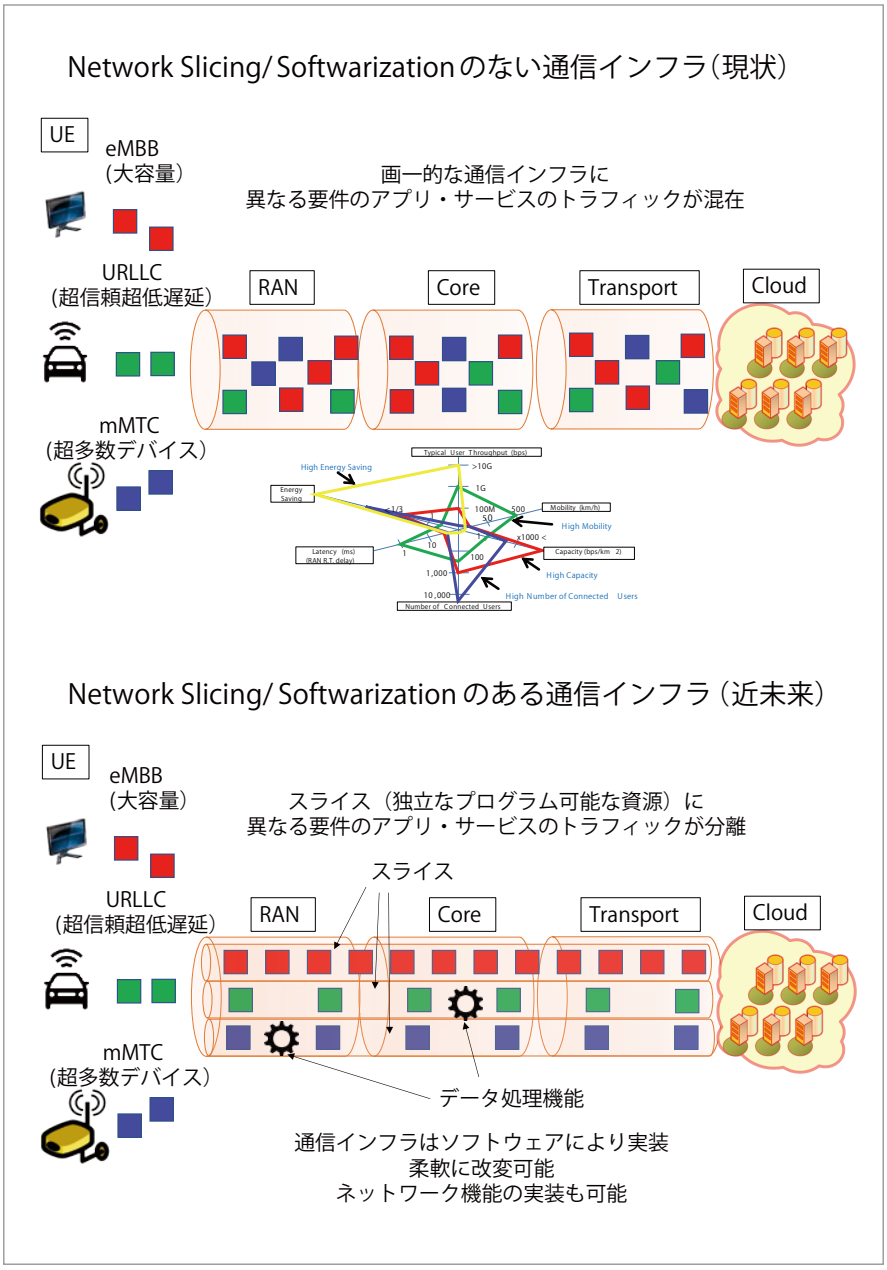
第1に，5Gでは，ネットワークの通信能力が飛躍的に進化したことにより帯域・遅延・接続数のダイナミックレンジが従来と比較すると一桁以上大きくなることから，「通信要件が異なる多種多様」なアプリケーションやサービスを「同時に」利用することが想定されており，これらをお互いに干渉しないで収容する，「ネットワークスライシング」技術が必要となってきている．

本技術は，有線ネットワーク分野では，2000年代から研究開発が進められており，我が国では，2007年より始まった「新世代ネットワークの研究開発」でネットワーク仮想化技術の中心技術として推進されている．5G時代になり，エンド・ツー・エンド（端末からクラウドまで全体）のネットワークスライシングが必要とのことから，無線アクセスネットワーク（RAN；Radio Access Network）のスライシング技術が注目されている（図-1）．図-1に示すように，ネットワークスライシングのないインフラ（現状）では，アプリケーショントラフィックが同一インフラ（RAN, コア，トランスポート）に混在するため，超低遅延（URLLC；Ultra-Reliable and Low Latency Communications），大容量（eMBB；enhanced Mobile BroadBand），超多数接続（mMTC；massive Machine Type Communication）の大きくネットワーク要件の違うトラフィックがお互いに干渉する可能性がある．一方，ネットワークスライシングを具備するインフラ（将来）では，アプリケーションごとにトラフィックを分類し，互いに干渉しないように収容することが可能になり，アプリケーションが提供するサービス品質を確保することが可能となると期待される．

第2に，5Gあるいはその先を見据えて，「ソフトウェア化」も進展しつつある．ITU-Tで2015年にIMT-2020というフォーカスグループ（FG）にてNetwork Softwarizationのワーキンググループが発足し，2年間，筆者はリーダを務め，世界における5Gに向けたソフトウェア化の動向を調査し，それからソフトウェア化への期待が世界的に高まったという背景がある．ソフトウェア化とは，「ネットワークの機器や機能をソフトウェアプログラムによって具現化し，より柔軟かつ迅速にサービスを構築・運用していく」という通信ネットワークにおける大きな変革を意味する．5Gにおけるソフトウェア化は，前述のネットワークスライシングにおいてネットワーク機器における仮想化を支える基盤技術として重要な役割を果たす．それ以外でも，端末の近傍にてデータ処理を可能とし，無線区間の低遅延を最大限に活用して，端末のデータを処理し，再度端末に低遅延で折り返して届ける，モバイル・エッジ・コンピューティング，あるいはマルチアクセス・エッジ・コンピューティング（MEC）の基盤技術としても注目されている．つまり，基地局がソフトウェアで実現できると，基地局やモバイル機

能，データ処理などが汎用サーバ上で実現できるため，CAPEX（CAPital EXpenditure：設備投資費用）を削減可能になる．また，特に，ローカル 5G など地域での利活用において，すべてのものがインターネットに接続される IoT においては，シンプルな機能のみを備える安価なソフトウェア基地局への期待が高まっている．

5G におけるソフトウェア化において，注目すべきは，オープンインタフェースのアライアンス結成とオープンソースの利用推進である．前者の例である O-RAN（Open Radio Access Network）は，2018 年 2 月に，AT&T，China Mobile，Deutsch Telekom，Orange，NTT ドコモにより設立されたアライアンスで，オープンな RAN アーキテクチャを定義している．このアーキテクチャは，構成要素技術レイヤの間にインタフェースを定義し，各レイヤ間を繋ぐベンダのサプライチェーンを構築することが目的である（図 -2）．また，各レイヤにインテリジェンスを埋め込むことを目指している．つまり RAN の構成部品レベルからネットワークレベルまで埋め込まれたインテリジェンスによって，動的な無線リソース割り当てやネットワーク全体の効率化が可能になることが期待される．AI 最適化クローズ・ループによる自動化は可能でありネットワーク運用に革新をもたらすことが期待される．特に 5G モバイルではネットワークが複雑化し，従来の人手によるネットワークのデプロイ，最適化，運用が難しくなってくるため自動化が必須になっている．後者の例の 1 つである，エッジコンピューティングのために，局舎にエッジクラウドを配備する CORD（Central Office Re-architected as a Datacenter）では，ネットワーク装置をソフトウェア化して API で制御するアクセス網を SDN（Software Defined Networking）化するオープンソースプロジェクトである．CORD は，ONF（Open Networking Foundation）が推進しており，世



■図 -1　スライス概念図

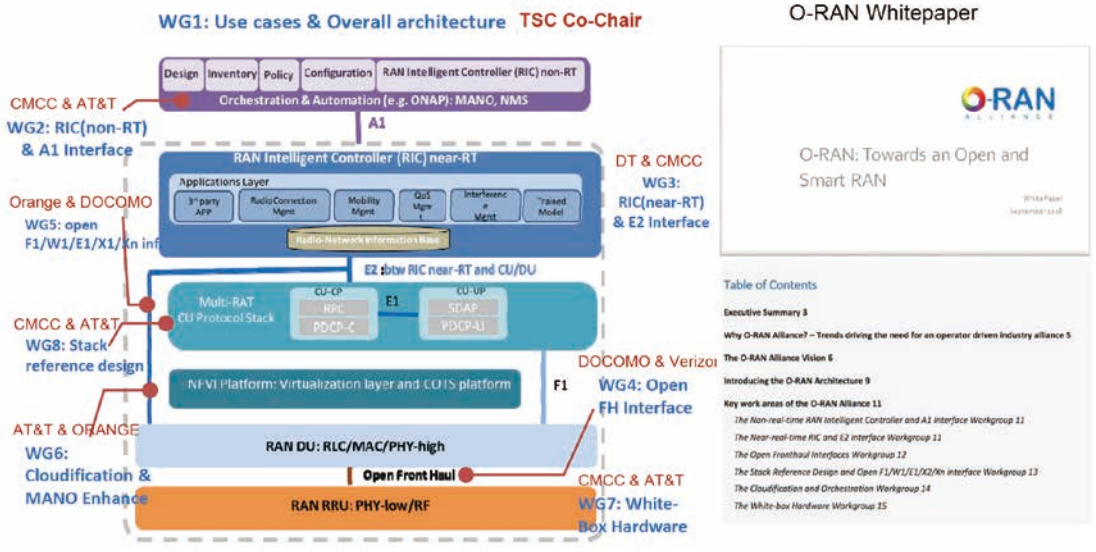
界の主要な通信事業者が参画している．特に，日本からもNTTグループの企業が多数参加している．

また，基地局をソフトウェア化するOAI（Open Air Interface）やTIP（Telecom Infra Project）というプロジェクトもある．OAIはフランスのEurecomという大学が推進しており，日本からは富士通，京セラなどが戦略メンバとして参加している．まだ4G（LTE）の機能実装を商用化レベルまで向上させる活動がメインであるが，すでに5G基地局のソフトウェア実装も2020年2月（NSA方式；Non-Stand-Alone），6月（SA方式；Stand-Alone）をリリース予定として活発に進められている．NSAとは，端末（UE）の制御は4G（LTE）の仕組みを用いる一方でデータ転送は5Gの周波数を用いる手法で，4G（LTE）の基地局インフラを再利用しながら5Gを利用可能とする方式である．一方SAとは，制御もデータ転送も5Gの基地局で実装する手法である．TIPには日本の企業が多く参加しており，無線だけではなくアクセスからトランスポートの光通信などにおけるオープンソース利用が推進されている．

これらのオープンソースの利用が進む意味は，慎重かつ戦略的に考える必要がある．もちろん，一般的には，オープンソースを活用することで，汎用ハードウェア上に機能を実装し，CAPEX削減を図ることと思われがちである．しかし，オープンソースをベースに機能をアンバンドルし，インタフェースを民主的に定義し，相互接続のため3GPP等で標準化する戦略もある．つまり，オープン化のためにオープンソースを駆使し，サプライチェーンを民主的に構築する戦略が見える．これにより，機器ベンダは，アンバンドルされた機能への投資集中とグローバルマーケットの展開が見込めると同時に，通信事業者はマルチベンダの機器調達が可能になる．

バーティカル・ファースト

5Gにおいて，もう1つ，4Gと比較して大きな違いが浮き彫りになりつつある．4Gまでは，移動通信事業者が通信のサービスを提供し，UE（User



本アーキテクチャは，各レイヤ間を繋ぐベンダのサプライチェーンを構築することが目的
- インタフェースをオープン化し，相互接続のため3GPP等で標準化する戦略
- オープン化のためにオープンソースを駆使する戦略

■図-2　O-RANアーキテクチャ

Equipment；端末）を保有するユーザが月額の通信料を支払いながら，サービスを享受するというビジネス形態が主流である．これは，端末数が人口の数で頭打ちになるため，収益性の高いモデルにせざるを得ない．このため，月額の通信料の高止まりが，我が国の政府の研究会等において，社会問題として挙げられたほどである．

しかし，5G では，「通信」と「端末」という構成で情報通信が議論できる時代が終焉し，「通信」と「あらゆるビジネス分野（バーティカル）」との融合が起こると考えられる．ここでバーティカルとは特定の分野の業界という意味があるが，通信事業の業界では通信を利用するユーザ企業を業種ごとに扱う場合の呼称である．つまり，IoT と 5G の融合により，端末（UE）側の多様化が起こり，あらゆる業界のあらゆる物が 5G 通信により接続される．5G の持つ特徴の 1 つである，超多数接続がもたらす結果である．このように，端末が多様化し，接続数が増大すると，これまでの収益モデルは，幅広く，かつ，ここのユースケースは収益性が低いモデルへと移行することが予測できる．イノベーションは，少数の通信事業者や通信機器ベンダが起点となるばかりではなく，バーティカルと呼ばれる多数の利用者が創生する，いわゆる，「バーティカル・ファースト」の時代が来ると予想できる．

筆者は，World Economic Forum（WEF）の Global Future Councils にて 5G のグローバル展開を議論している．先日 2019 年 11 月に開催された，GFC on New Network Technologies（2019/11/3 ～ 4 @Dubai）の議論でも，通信サービスと端末という図式のビジネスモデルはマジョリティではなくなることが予見された．筆者が提唱する，バーティカル・ファーストの図式が合意形成されている．

ローカル 5G・自営 BWA・プライベート LTE など自営網通信の台頭

5G 商用サービスの事業展開に関して各国に共通した課題が，地方での周波数利用である．5G の導入には多大なコストがかかるため，ユーザの多い都市部での導入は加速するが，ユーザが多くない地域や過疎地ではサービスインの優先度が下がることは否めない．しかし，地域にこそ，地場産業，特に，農林水産業等の第一次産業などでは，ICT の適用が遅れているなど，解くべき課題が多くあり，5G をはじめとする最新の情報通信技術の適用が期待されている．地域での 5G 利活用の普及を促進するため，周波数の有効利活用の観点で自営網の利用が注目を集めている．特にローカル 5G，自営 BWA，プライベート LTE などに期待が集まる．

調査会社によれば，今後 10 年近くにわたり，プライベート LTE やローカル 5G（日本以外ではプライベート 5G と呼ばれる）による市場が大きく成長するとの予測である．世界に目を向けると，米国では，実験目的で自営網ネットワークの構築が可能であり，周波数免許不要の市民ブロードバンド無線サービス（CBRS）制度により，3.5GHz 帯を自営網に活用可能とするプライベート 5G 戦略もある．中国でも Industrial IoT 用途の自営網用周波数の検討が進む．台湾や UK でも同様の計画が進む．欧州では世界に先駆けて 2019 年 11 月にドイツで 3.7 ～ 3.8GHz 帯のプライベート 5G のライセンス申請が可能になっている．

特にローカル 5G は，周波数の免許を取得すれば，5G の最新技術を自分の敷地内で運用可能となり，公衆網のサービスインと時期的にはあまり変わらず利用が可能になると期待されている．我が国では，28GHz 帯のローカル 5G の周波数は 2019 年度末には利用可能となる見込みである．ローカル 5G/プライベート 5G は Wi-Fi と比較して，特に，高度なセキュリティや認証機能が注目され，一般産業，

工場や企業内での利用に期待が集まる．

情報通信の民主化（Democratization）

近年，情報通信の基本的なサービスを提供する主体は多様化している．ネットワーク仮想化の進展による設備と機能の分離等を通じ，電気通信事業者以外の役割が拡大する等，基幹的なサービスの提供にかかわる主体が多様化することが想定されている（2019/6 総務省電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証中間報告書）．特に GAFA や BAT と呼ばれるプラットフォーマが，OTT（Over The Top）と呼ばれるコンテンツ配信事業や，クラウドサービス事業を推進しつつ，情報通信も合わせて提供するビジネス形態が推進する可能性もある．また，MVNO（Mobile Virtual Network Operator）やケーブルテレビ企業，および，大学，地方自治体等の一般業務を行う主体が，自ら通信の基幹的なサービスを利用する可能性も大きい．また，5G の導入を見据えると，固定通信と移動通信の融合等，既存の市場区分を越えた事業者間連携等が進展すると考えられる（2019/6 総務省電気通信事業分野における競争ルール等の包括的検証中間報告書）．

筆者は，このような状況を示す言葉として，「情報通信の民主化（Democratization）」が起こりつつあると提唱している．Democratization とは何か？ Oxford English Dictionary によれば，Democratization とは“The action of making something accessible to everyone.”とある．つまり，何かをすべての国民にアクセス可能とすることである．情報通信にあてはめれば，情報通信のサービスの享受だけでなく，提供も含めて，インフラの整備は全国移動通信事業者だけではなく，すべての国民が主体となって基本的なサービスを行うことを可能とすることを意味する．

前述のローカル 5G やその他の自営網技術の推進は，情報通信の民主化を大きく進める政策であると考えられる．たとえば，格安スマホで脚光を浴びた MVNO やケーブルテレビ事業者，ベンダ，自治体，大学，などが最新の情報通信 5G の運用主体となる可能性がある．

これまでも Wi-Fi や地域 BWA など，自前で情報通信の提供ができる例が過去にもあったかもしれないが，今回の「情報通信の民主化」の動きは，全国事業者が展開する，最新の大容量，超低遅延，超多数接続の通信と同等の 5G 技術を自ら設置し運用が可能になることを意味する点で大きな違いがある．

前述したように，情報通信全体では，同時に情報通信のソフトウェア化が進展しており，即応的に新しい機能を追加可能な柔軟なインフラの研究開発が進む．つまり，情報通信機器を，マーケットが大きく異なる汎用サーバの上にオープンソースを活用して実装し，CAPEX を削減すると同時に，柔軟に新しい機能を導入可能とする．「運用の自動化」の機能は一般に複雑である場合が多いが，柔軟にデータ処理の機能をソフトウェアを利用して実装し，通信インフラに組み込む「ソフトウェア化」の利活用が進んでいる．このように汎用サーバ（設備）上にソフトウェアによって通信・データ処理（機能）を実装する「設備」と「機能」の分離が進む．こうした動きは，インフラコストの低廉化や，運用のノウハウがなくても運用自動化機能の具備を加速することから，一般企業の通信インフラの構築の参入障壁を下げる方向に働くため，情報通信の基本的なサービスを提供する主体が多様化する「情報通信の民主化」を後押ししている．

アカデミアにおける情報通信の民主化が持つ意味

東京大学中尾研究室では，以下のような「最先端の情報通信技術の研究開発」を推進している．

(1)「ネットワークスライシング」により多様なア

プリケーションを干渉なく収容可能しサービス提供の利便性を向上する技術
(2)「ネットワークソフトウェア化」に基づきインフラに柔軟で高度な機能を実装しセキュリティ高度化，通信効率化・障害予測などを実現する技術
(3)「エッジコンピューティング」を駆使する超低遅延通信により人間の知覚遅延に匹敵する低遅延通信制御の実現する技術
(4)「機械学習・AIによる運用自動化」による，運用人手不足問題の解決・自動的に最適な通信の提供を実現
(5)「IoT・AIによる地域創生」による地域の課題解決や地場産業振興の推進

これらの詳細に踏み込むことは紙面の限定から割愛し，当方研究室の論文を参照していただきたいところであるが，我々が情報通信の民主化に大きく期待するところは，ローカル5G・自営BWA・プライベートLTEなど自営モバイル網を「最新技術を実装可能な環境」として活用することである．

たとえば，最新技術を実装可能な自営モバイル網を使うことで，以下のような利点を実現することが可能である．第1に，公衆モバイル網で実現困難な高度な運用が自営網において利用可能である点．第2に，公衆モバイル網と自営モバイル網の連携・設備共用によるユーザの利便性を高度化できる点．そして，第3に，大容量（映像による公共安全）・低遅延（自動運転等制御）・超多数（低コストIoT）による地域創生の実証が行える点，などが挙げられる．

地域創生における「情報通信の民主化」が持つ意味

実証実験を推進していくと，地域課題解決のユースケースでは，情報通信のインフラをカスタム化する必要があることが分かる．たとえば，当方の研究室が企業と実施した5Gのユースケースの実証実験では，ドローンに搭載された5G UE（端末）からの映像配信や軽種馬の厩舎におかれたCPE（Customer Premises Equipment）からの映像配信において，アップリンク方向の帯域を大きく割り当てる必要があり，基地局の設定パラメータをそのように調整する必要がある．一方，多くの商用公衆網ではLTEでの運用実績を見れば分かるように，多くのユーザは（大容量の）コンテンツをダウンロードすることが多く，ダウンリンク方向の帯域を大きく割り当てる調整がなされている．このように，一般の公衆網では大衆のユースケースを優先的に考えた運用が合理的であるが，ローカル5Gなど情報通信が民主化された世界では，ユースケースが比較的に限定的となるため，たとえば，帯域割り当てを基地局において調整するカスタム化が合理的である．

また，別のユースケースである一次産業の課題解決のための環境センシングなどでは，センサの電池容量は限られているため，低消費電力の運用が望ましい．このため，IoTでよく使われるCat-M1などのLTEの運用では，NTTドコモなどからeDRXと呼ばれる，ページング（端末への制御信号の発信）の周期を極端に長くできる設定が入っている．このような低消費電力化の工夫は，標準化のプロセスを経て，商用化された端末や基地局に導入されるが，ローカル5Gでは，必ずしも標準化しなくても，ユースケースによっては超低消費電力化を施した基地局を利用するなど自由度が広がる．

つまり，産業振興や地域課題解決に特化した，情報通信のインフラをカスタマイズする自由度が得られること，これが地域創生における，情報通信の民主化が持つ意味と言えるだろう．

また，前述のように　5Gでは，バーティカル・ファーストのビジネスモデルが進行することが予測されるが，情報通信の民主化は，地域におけるバーティカル・ファーストをさらに進展させると考えられる．通信を提供する側と享受する側の明確な境界がなくなり多様な基本サービスを自ら構築しながら，地域課題の解決や産業振興を同時に実装する，いわ

ゆる「通信とバーティカルの融合」が起こると考えられる．バーティカルのユースケースから駆動される情報通信インフラ構築への移行が加速する．

重要なのは，「民主化」により，最新の情報通信の基本的なサービスを提供する主体が多様化し，ビジネスのアイディアを有するさまざまなステークホルダがいろいろなサービスを自ら展開する環境が整ったパラダイムシフトである．今後，イノベーションはインフラ事業者よりもバーティカル・ファーストで推進される

通信事業者における「情報通信の民主化」が持つ意味

最後に，これらの情報通信の民主化の進行は，通信事業者にとって，どのような意味を持つだろうか？　ローカル 5G に割り当てられる周波数は，全国移動通信事業者は取得ができないことが総務省のガイドラインで示されている．このガイドラインによれば，一見，移動通信事業者とローカル 5G の接点はあまりないように見受けられるかもしれない．

しかし，通信事業者も，ローカル 5G のように自らがオンプレミスの，いわば専用線としての無線インフラを構築し，専用サービスとして提供するケースも出てくるだろう．または，周波数を万人が実際に使用し運用するためには，電波干渉調整・機器の設定などの経験を補完するため通信事業者がコンサルティングするようなビジネスも考えられる．

特に筆者が期待するのは，ローカル 5G を実装し，運用する，一般事業者が，移動通信事業者から通信インフラ設備を一部借り受けて，インフラコストを低減させる，いわゆる「設備共用」のモデルである．移動通信には，無線設備，基地局設備，アクセス網，コア装置，トランスポート設備，クラウド設備などいろいろな構成要素が必要である．移動通信事業者が持つ，堅牢なインフラ設備の構成要素を，従来のクラウドのように，仮想化して貸し出し，利用するインフラ構築モデルが主流となることが予想される．情報通信の民主化を，全国移動通信事業者が支援するビジネスモデルである．我が国の情報通信の発展には，このような新しいビジネスモデルを許容し，推進する政策が必須と考えられる．

これからの情報通信

情報通信が民営化されて 30 年が経過し，通信を巡る国内産業は大きく発展を遂げたが，今後，情報通信の民主化はどのような便益を国民にもたらすか，前述のように，あらゆる観点で非常に興味深い．

最近，5G のサービスインが近づくにつれて，Beyond 5G（B5G）や 6G の声が聞こえるようになってきている．ITU-T NET-2030 という FG（フォーカスグループ）では，ユースケースを中心に，5G の次の通信インフラの在り方を考える議論が始まっている．また，フィンランドでは，6G のプロジェクトが立ち上がり 2018 ～ 2026 年までで約 300 億円の予算が付いている．

通信基盤技術は人々の経済社会生活を根本から支える屋台骨の技術であり，5G のサービスインが始まっても絶えず進化をし続ける．世界で進展する通信基盤技術の最新動向を常に把握し，戦略的に研究開発を進めることが重要である．

（2019 年 12 月 15 日受付）

■中尾彰宏（正会員）　nakao@nakao-lab.org

東京大学理学部卒業（1991），東京大学大学院工学系研究科修士修了（1994），IBM オースチン研究所・東京基礎研究所を経て Princeton University にて M.S., Ph.D. 取得．東京大学大学院情報学環助教授（2005）教授就任（2014）（現職）．専門は情報科学・情報通信．

［5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証］

6 ローカル 5G エリアの可用性向上のための検討
―プライベートマイクロセル構造の高度化技術―

児島史秀 | 国立研究開発法人情報通信研究機構

プライベートマイクロセル構造の概要と意義

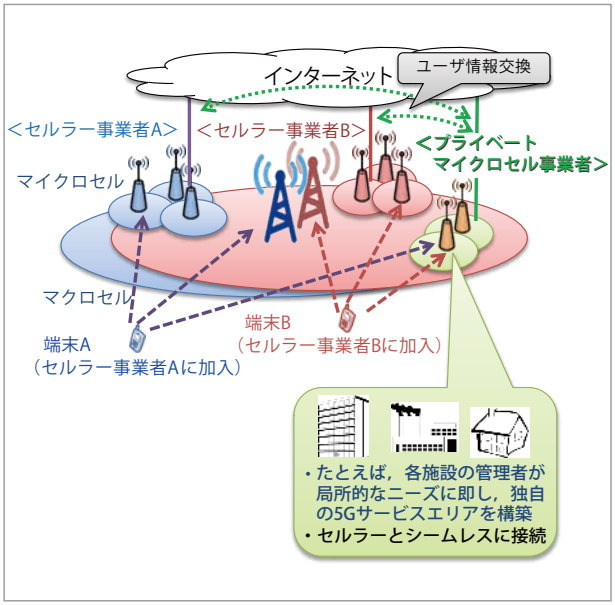
5G（5th Generation）や B5G（Beyond 5G）の呼称で，次世代以降の陸上移動通信システムは，近年急激に認知され始めた．本システムの最大の特徴の 1 つは，伝送速度等の個々の通信性能が高度化されるだけではなく，きわめて多様化したシステム要求を満足するために，高スループット，高モビリティ，低遅延，大容量，多数接続，省電力等の高度化要素を状況に応じて多様化しながら組み合わせ，具現化していくことが想定されている点である[1)～3)]．このようなシステム要求は，従前のシステムでは十分に対応が想定されていなかったサービスを含むものであり，具体的には，モノ同士の無線通信を想定する IoT（Internet of Things）や，コネクテッド・カーや，自動運転を実現する ITS（Intelligent Transport Systems），また，生産ラインの変更等にも柔軟な無線回線を用いるスマート工場等が例として挙げられる．このような多様化したシステム要件にそれぞれ特化したサービス，ひいては関連産業分野はバーチカルセクタと呼ばれ，5G サービスの特徴であるとともに，5G 無線通信システムの国際的な標準化プロジェクトである 3GPP（3rd Generation Partnership Project）においても強く意識される概念となっている．

多様化した 5G サービスを実現するためには，ミリ波やそれより高い周波数帯の新たな割当てが必須だと考えられる．2018 年より開始された総務省によるローカル 5G 検討作業班では，4.6 ～ 4.8GHz 帯，および 28.2 ～ 29.1GHz 帯について，地域ニーズに関連した比較的小規模な 5G 環境構築のための周波数割当検討が進められている．無線電波の一般的な特徴として，周波数が高くなるほど，距離による減衰は大きく，伝搬距離は短くなり，さらに，直進性が高く，障害物に邪魔されやすくなることが知られている．一方で，これまでに利用されていない帯域を，広く確保し広帯域の伝送を行うことで，伝えられる情報量が多くなる，アンテナ等機器の小型化が可能になる等の，システムとしては長所として捉えられる特徴も併せて知られている．特に，ミリ波帯以上の周波数帯を用いる場合には，従来のセルラー事業者がマイクロ波帯等で適用してきたセル半径の大きなマクロセルに対して，よりセル半径の小さいマイクロセルによるカバレッジの展開が予想される．一方で，従来のセルラー事業者によるマイクロセルの設置は考えられるが，上記のような多様化サービスへの対応という見地からは，想定されるすべてのサービスエリアにマイクロセルを設置していくことは困難であると予測される．たとえば，ITS 用途の交差点や，スマート工場用途の敷地内が，該当するエリアとして挙げられる．

このような問題に対して解法となり得るのが，プライベートマイクロセル構造の概念である．図 -1 に，プライベートマイクロセル構造の概要を示す．本図では，従来のセルラー事業者 A，および，B

がそれぞれ自身のマクロセルと，マイクロセルを敷設し，サービスを展開する様子を示している．一方で，これらのセルラー事業者とは別に，マイクロセルのみを敷設する新しい事業者，プライベートマイクロセル事業者が考えられる．本事業者は，自身で設置するマイクロセル（プライベートマイクロセル）をセルラー事業者 A，B のユーザ端末に利用させ，その際には，図 -1 中に示されるように，セルラー事業者 A，B が保有するユーザ情報を共有し，適宜参照することを前提としている．本構造により，セルラー事業者は，新たなマイクロセルサービスエリアを利用でき，一方でプライベートマイクロセル事業者は，事業者 A，B が管理するユーザ情報を共有し，参照することで，事業者 A，B のユーザに対して自身のマイクロセルサービスを提供することができる. プライベートマイクロセル構造は, ローカル 5G を含む次世代移動通信サービスの展開にきわめて有効に資する概念だといえる．

本稿では，上述のような国内外における 5G システム標準化動向を背景としながら，本システムの主要な要素であるローカル 5G サービスの可用性向上を目的として，プライベートマイクロセル構造を実



■図 -1　プライベートマイクロセル構造の概念

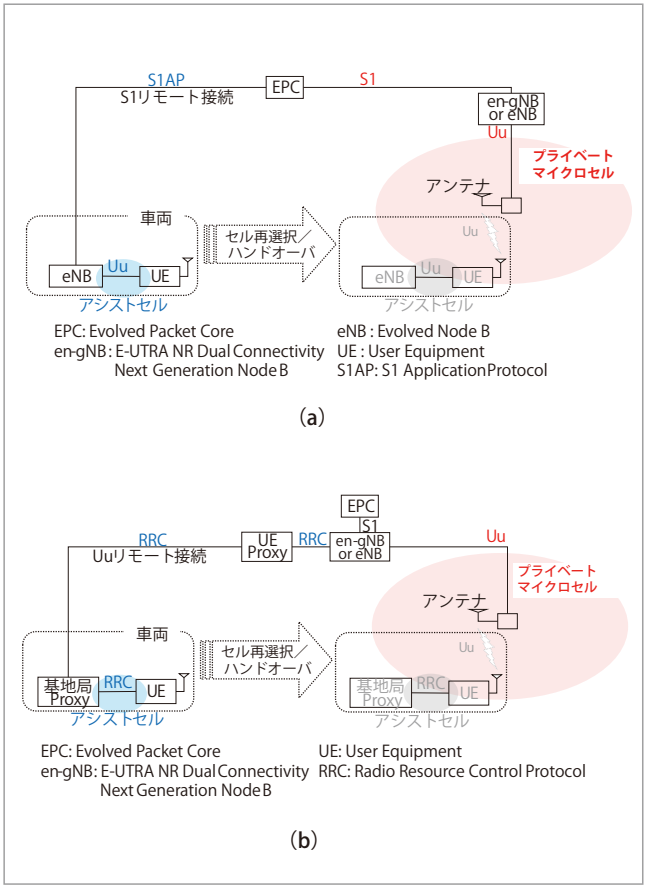
現する主要な要素技術として，ユーザ端末の移動に即して適切にプライベートマイクロセルへの接続を実現する事前仮想接続技術，プライベートマイクロセル内の加入者容量を向上させる周波数共用技術，さらに，このような要素技術を具現化することを前提とする基地局構成技術について，国立研究開発法人情報通信研究機構における研究開発，ならびに社会展開のための取り組みを中心として詳細を述べる．

プライベートマイクロセル接続のための事前仮想接続技術

ユーザ端末がプライベートマイクロセルのカバレッジ内で5Gサービスを受ける際に, 特に当該ユーザ端末の高速移動等を考慮した場合，プライベートマイクロセル滞在時間中に想定どおりの 5G サービスを受けるために，図 -1 に図示されるように，マクロセル接続を介して事前接続処理を行う形態が可能である．一方で，このようなマクロセル接続に依存することなく，マイクロセルへの高速接続を可能とする事前仮想接続技術について，検討が行われている [1]．図 -2 は，このような検討事例の 1 つといえる，アシストセルを適用することによる事前仮想接続技術の概念を示している．事前仮想接続技術は, マクロセルを介した事前接続処理を代替する仕組みとして，プライベートマイクロセルへの接続をアシストするアシストセルをリモート接続によりユーザ端末の近傍に配置し，当該ユーザ端末がプライベートマイクロセルに到着する前に，接続遅延の要因である，セルサーチや認証の手続きを済ませるものである．この事前仮想接続により，プライベートマイクロセル接続を想定したセル再選択や，ハンドオーバが短時間で実行できる．具体的には，アシストセルからプライベートマイクロセルの情報を周辺セル情報として ユーザ端末に報知しておくことで，セル再選択が可能となり, また, アシストセルからユーザ端末にプライベートマイクロセルに対する受信品

質の計測指示を出すことで，能動的なハンドオーバが可能となる．

事前仮想接続技術の基礎特性評価について，図 -3 に示す．本図では，マイクロセル到着時の時刻を 0 とし，ユーザの体感的な遅延を数値で表している．すなわち，事前仮想接続技術では，時刻 0 以前にアシストセルを介してセルサーチ等の処理を事前に行う動作を想定している．アシストセルを適用する事前仮想接続により，プライベートマイクロセル内における最も時間を要するセルサーチを事前に済ませることで，マイクロセル到着時に短時間で通信開始が可能となることが分かる．

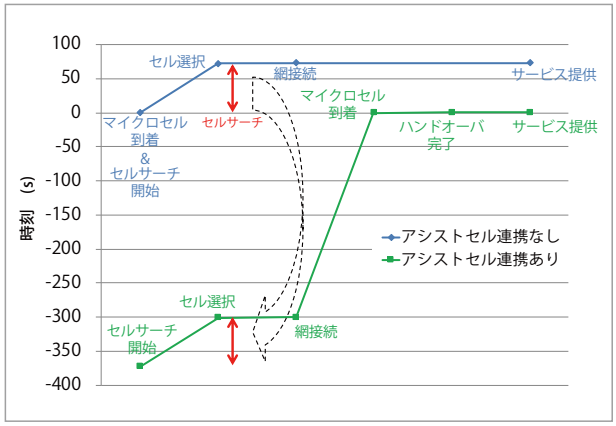


■図 -2　アシストセルの適用による事前仮想接続技術の概念：(a) 基地局―コアネットワークリモート接続，(b) 基地局―端末間リモート接続

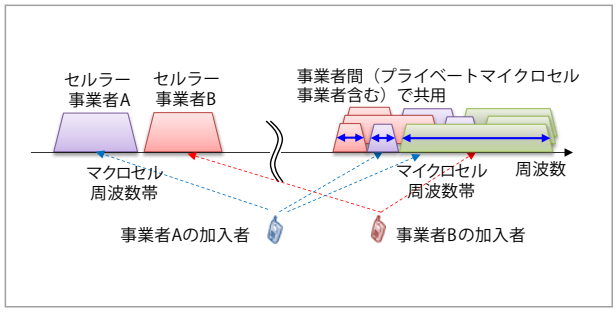
マイクロセル加入者容量向上のための周波数共用技術

マイクロセル周波数帯の有効な利用形態について，事業者間（セルラー事業者，プライベートマイクロセル事業者）で動的割当てを行う周波数共用技術について検討している [2]．図 -4 に，マイクロセル周波数帯における周波数共用の概念を示す．マイクロセル周波数帯を，特定のセルラー事業者に専有的に割り当てる帯域だけでなく，プライベートマイクロセル事業者を含む事業者間で共用する帯域を設けることで，各事業者加入者のトラフィック状況に応じて，システム加入者容量の向上が図られると考えられる．

周波数共用技術の効用について計算機シミュレーションによる基礎評価を行った．図 -5 に評価結果を示す．本評価では，3 つのマイクロセル事業者が，それぞれ一部の周波数帯を他事業者と共用する前提で，エリア内の端末（図中 UE；User Equipment）

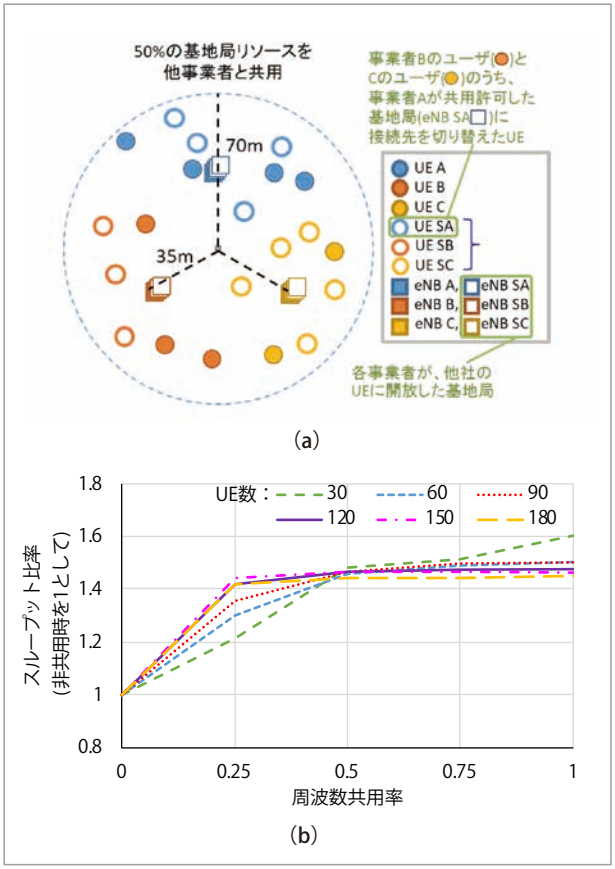


■図 -3　事前仮想接続技術の基礎特性評価結果



■図 -4　マイクロセル周波数帯の周波数共用

の数や，共用とする周波数帯の全体に対する比率である周波数共用率をパラメータとして，評価指標であるスループット特性をまとめた．図 -5（a）のとおり，3 カ所のマイクロセル基地局（図中 eNB；enhanced Node B）の周辺において，それぞれのマイクロセル基地局が提供する共用周波数帯に，他事業者の加入者が見られることが分かった．このような周波数共用技術による利用可能周波数帯の拡大効果のため，図 -5（b）によると，半分程度（周波数共用率が 50%）の周波数帯を共用した場合に，40% 程度ものスループットの向上が確認できた．

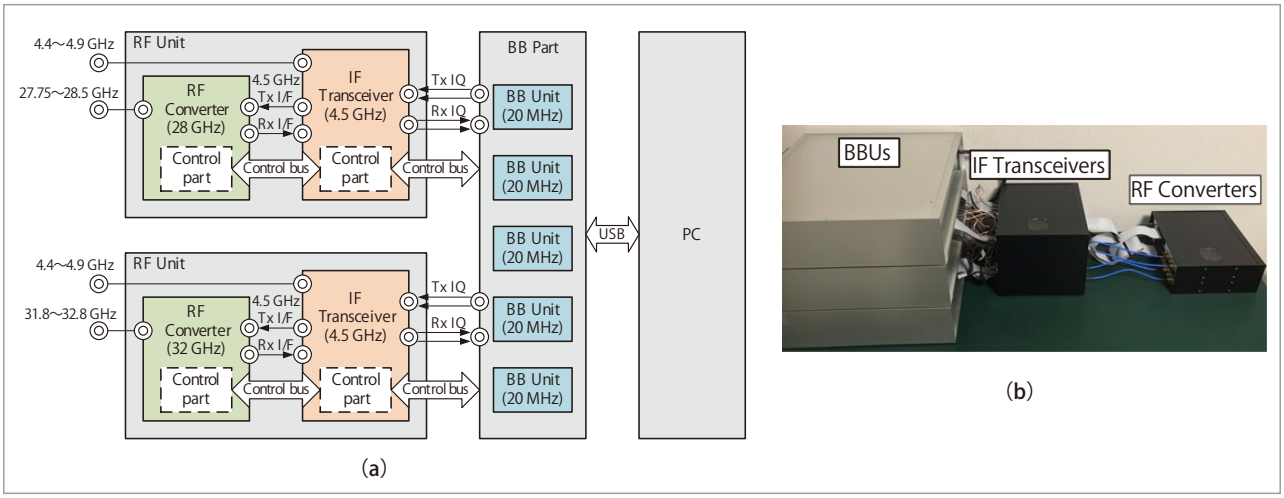


■図 -5　周波数共用技術の基礎評価結果：(a) 各基地局，端末の配置に対する接続先特性，(b) 周波数共用によるスループット改善効果

周波数共用を前提とした基地局構成技術

本章では，周波数共用基地局の試作開発について述べる [3]．

図 -6 に，当該基地局のブロック図と外観を示す．開発した共用基地局は多段の周波数変換技術を用い，それぞれが 20MHz 帯域幅を有する 5 つの BB (Base Band) ユニットの入出力を，2 つの RF (Radio Frequency) ユニットで周波数変換し，ミリ波帯を含む複数の周波数帯で運用可能としている．具体的には，商用の LTE eNB に IF（Intermediate Frequency）変換ボードを接続し，2.6GHz 帯の LTE 信号を IF 帯である 4.5GHz 帯に変換する．さらに，4.5GHz 帯の LTE 信号を 2 つの RF 変換ボードにより，ミリ波帯である 28GHz 帯あるいは 32GHz 帯に変換している．2 つの RF ユニットは同時に異な



■図 -6　周波数共用基地局：(a) ブロック図，(b) 基地局外観

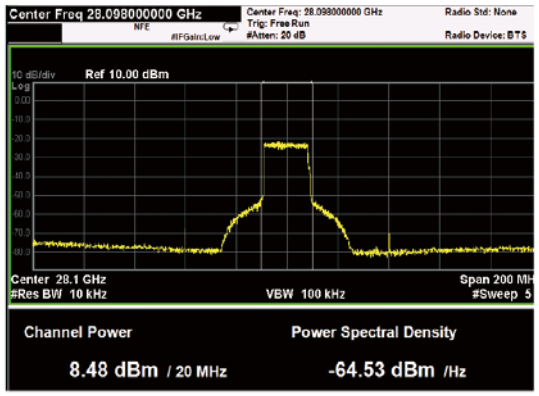
る RF 信号を扱うことができ，同時に動作可能な組合せは，28GHz & 32GHz，4.5GHz & 28GHz，または 4.5GHz & 32GHz である．

本稿では，このような RF ユニットの同時動作について基本評価を行った．本評価においては，28GHz 帯における 20MHz 帯域幅信号と，32GHz 帯における 80MHz 帯域幅信号の同時動作について，スペクトル波形，および，Down link，Up link それぞれにおける UDP（User Datagram Protocol）スループット特性について評価を行った．図 -7 に，RF スペクトル波形を示す．20MHz 帯域幅を有する 5 つの BB ユニットが適切に分配され動作することで，両帯域において，いずれも妥当なスペクトル波形を確認することができた．

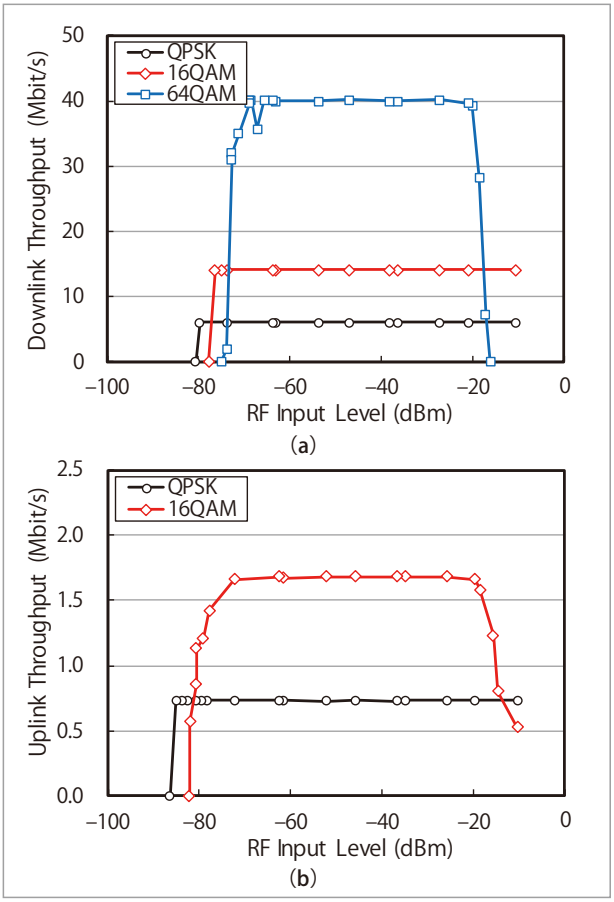
また，図 -8，および図 -9 に，図 -7 と同じ動作時における，UDP スループット特性を示す．図より，UDP スループットの最大値を見ると，32GHz 帯では 28GHz 帯の約 4 倍の特性が得られていることが確認でき，帯域幅に準じた妥当な特性が得られていると考えられる．また，本実証における動作のように，異なる周波数帯で同時に複数の RF 信号を運用できたことは，本稿にて前述した，セルラー事業者，およびプライベートマイクロセル事業者間で，マイクロセル周波数帯を共用し利用していく形態に関しても，本開発基地局の有効性，現実性が十分に示されたと考えられる．

結論

本稿では，ローカル 5G の高度化に有効なシステム基盤として，従来の事業者ではサービス展開が困

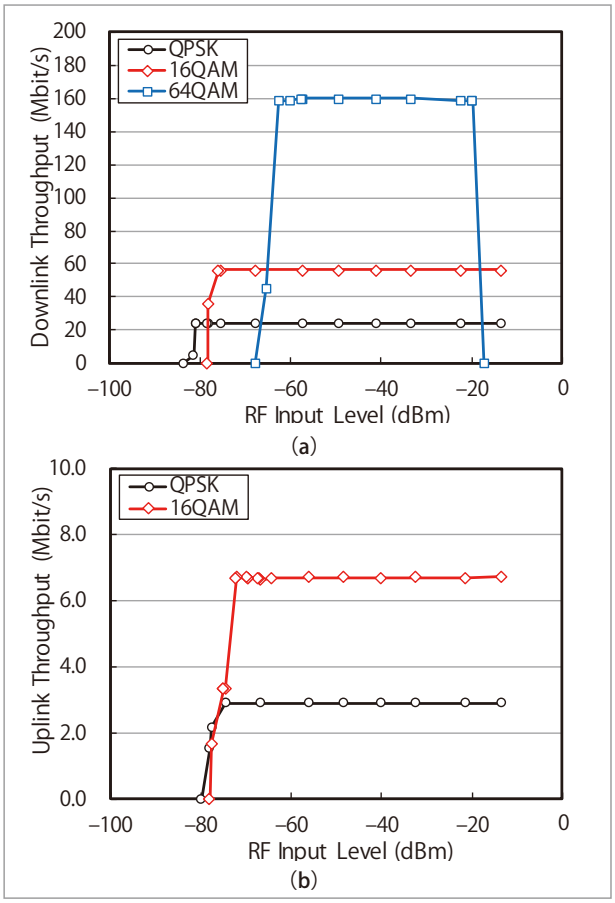


■図 -7　同時動作時の RF スペクトル：(a) 28GHz 帯 20MHz 帯域幅信号，(b) 32GHz 帯 80MHz 帯域幅信号



■図 -8　UDP スループット特性（28 GHz 帯）：(a) Down Link，(b) Up Link

難なエリアにプライベートマイクロセル事業者が5Gマイクロセルを敷設し，従来事業者のユーザ端末に対してサービスを提供するプライベートマイクロセル構造について述べた．本構造を構成する要素技術として，ユーザ端末の移動に即し適切にプライベートマイクロセルへの接続を実現する事前仮想接続技術，プライベートマイクロセル内の加入者容量を向上させる周波数共用技術，以上の機能を実現するための基地局構成技術について述べた．



■図-9　UDP スループット特性（32 GHz 帯）：(a) Down Link, (b) Up Link

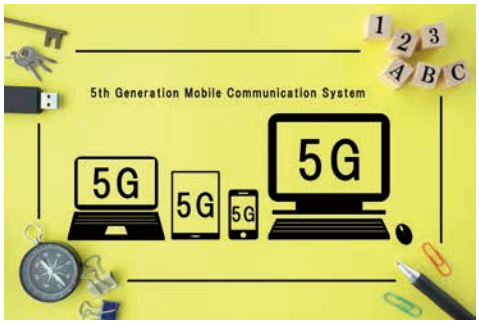
参考文献

1) 伊深和雄，松村　武，村上　誉，石津健太郎，児島史秀：事前仮想接続によるローカルスポットセルへの高速接続，信学技報，RCS2018-301, pp.107-112（Mar. 2019）.
2) 村上　誉，石津健太郎，児島史秀：屋内環境における基地局共用時のスループット性能に関する一検討，信学技報，SR2018-122, pp.9-16（Mar. 2019）.
3) Matsumura, T., Ibuka, K., Murakami, H., Ishizu, K. and Kojima, F.：A Prototype of Multi-RAN eNB with Dynamic Baseband Resource Allocation for Heterogeneous Private LTE Networks, Proc. WPMC2018（Nov. 2018）.

（2019 年 12 月 15 日受付）

■**児島史秀**　f-kojima@nict.go.jp

1999 年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士後期課程修了．工博．同年郵政省通信総合研究所入所．現在情報通信研究機構ワイヤレスネットワーク総合研究センターワイヤレスシステム研究室室長．地上系無線システムの研究開発・標準化に従事．



…▸ 金子　格（名古屋市立大学）

Keras によるディープラーニング
実践テクニック＆チューニング技法

青野雅樹 著
森北出版（2019），224p.，3,400 円+税，ISBN：978-4-627-85481-9

書店にはディープラーニング関連の解説書は多数並んでいる．ディープラーニングの原理をやさしく丁寧に説明する本は多い．簡単なサンプルプログラムを動かす方法まで習得できる本もある．最もポピュラーな Python, Anaconda, Keras の利用方法を説明する本も多い．しかしそれらの本を学ぶだけでは，たいてい自分のデータのディープラーニングを行うことはできない．

本書は実際の問題を解くための実践的なテクニックを解説している．Python + Keras というツールについて，同様に実践的な利用方法を解説した本は，現在翻訳書，和書を含め数点以上ある．本書はその中でも使いやすい解説書であると感じる．

第 1 章ではディープラーニングの基礎を説明している．が，説明は最小限なので，ディープラーニングの入門には適さない．ディープラーニングの原理，Python 言語，テンソル演算，Python ライブラリなどは，別の入門書で学ぶべきである．第 1 章ではこの後で必要になるニューラルネットワークの種類が説明されるだけである．第 2 章では Keras の基本的な使い方が説明される．どのようにモデルを作り，教師データを与え，機械学習を行い，結果を確認すればよいかということを，Keras の操作方法や出力例を示しながら，簡潔に説明している．第 3 章からはいよいよ機械学習の実践が解説される．まずさまざまな学習層を組み合わせてモデルを作る必要がある．本章では層の組合せ方，学習の操作とその結果の確認方法が例題を実行しながら解説されるので，読者は，新しい課題に対し，自分のモデルを設計して学習実験ができるようになるだろう．第 4 章ではチューニングの実践的テクニックが解説される．ディープラーニングの性能を上げるには，訓練済みネットワークの重みを利用したり，構造を一部変えたりという，チューニングのテクニックが必要だ．これらチューニングのテクニックが第 4 章では実例を示しながら説明される．第 5 章では，3DCNN，多出力 NN，伝統的機械学習との併用，時系列の処理など，より高度な適用例を示している．

本書はディープラーニングの基礎は学習済みで，これから Keras を使っていこうという学習者にとって，ちょうどよい参考書である．Keras の使い方の説明に集中しているので，余分な説明がなく，知りたいことがちょうどよくまとめられている．

著者あとがきにあるように，今後もディープラーニングの応用が拡大し，ますます多くの人材がディープラーニングの実践的テクニックを必要とするだろう．本書はそのような人材の育成にちょうど手頃な本であると思う．

（2019 年 11 月 17 日受付）

金子　格（正会員）　itaru-k@acm.org
1980 年早稲田大学電気工学科卒業，日立，アスキー，東京工芸大学を経て現職．専任教員は退職し雑務から解放されたが，手当たり次第に手をつけた結果，やや収拾がつかなくなりつつある 62 歳 nomad 研究者．

べた語義

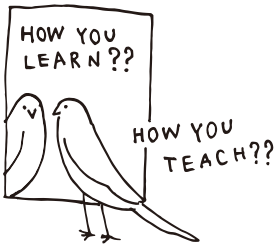
Vol. 102

CONTENTS

【コラム】教え方と学び方を学ぶ… 市川 尚
【解説】Processing でプログラミングに挑戦!―第 2 回 変数を使ってみよう―… 杉浦 学
【解説】高校における新教科「情報」ができたころのこと… 大岩 元

基般

COLUMN
教え方と学び方を学ぶ



筆者は，教育工学を専門とし，インストラクショナルデザイン（ID）という領域を中心に活動している．ID の研究分野では，教育の効果・効率・魅力を高めるための，教科領域によらない方法論を主に蓄積してきた．ID の内容を教職課程の科目で取り上げるうちに，教職を志望する学生だけではなく，より多くの学生にも広げるべきではないかと考えるようになった．誰にでも他者に教える機会は存在し，学業，仕事，アルバイト，家庭，サークルなど多様である．そのような日常にありふれた，人に教えるという営みが，本人の経験や勘に基づいている場合が多く，その質が高いとは言いがたい．これは，学び方についても同様である．高等教育でよく取り上げられるアクティブラーニングは，学生にとって学び方を学ぶ機会でもあるが，逆に自ら学べる学生でないとその効果を十分に享受できない．

教え方と学び方は表裏一体の関係にあり，ID の理論やモデルを自らの学びに適用すれば，学び方の改善にもつながる[1]．たとえば，ARCS という動機づけのデザインモデルは，教員が学習者の意欲を高めるためだけでなく，学習者自身が学習意欲を維持するために利用できる．筆者は ID を扱う教職の授業において，学生自身の学び方についても考えさせるようにしている．また，学部の 1 年生全員を対象としたスタディスキル科目においても，普段の教えあいや学びあいの質向上をねらい，ID の考え方に触れる機会を提供してきた[2]．

複雑で不確実性の高い社会を生き抜くための能力として，国際団体 ATC21s による 21 世紀型スキルには学び方の学習が挙げられており，OECD Learning Compass 2030 には見通し・行動・振り返りをしながら絶えず学習していく存在が描かれている．新学習指導要領では学びに向かう力（自己調整学習を含む）が柱の 1 つになっている．今後，適応型学習などテクノロジーを活用した手厚い支援も可能となってくる中で，学び方を学ぶ機会や環境をどのように整えていくのかは重要な課題となる．学生には経験だけでなく科学的な根拠も踏まえながら，自分の学びや人の学びを支援できるようになってほしいと思う．

参考文献
1) 鈴木克明，美馬のゆり（編著）：学習設計マニュアル：「おとな」になるためのインストラクショナルデザイン，北大路書房，京都（2018）．
2) 市川　尚，鈴木克明：インストラクショナルデザイン理論を学ぶスタディスキル科目の実践，日本教育工学会研究報告集，JSET14-5, pp.127-130 (2014).

市川 尚（岩手県立大学・ソフトウェア情報学部）

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

ARTICLE

Processing でプログラミングに挑戦！ —第 2 回 変数を使ってみよう—

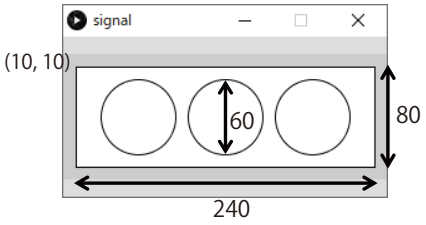
杉浦　学
鎌倉女子大学

宿題の解説

前号では，図形を組み合わせて信号機（図 -1）を描く宿題を出題しました．

● 前号の宿題

お手本を参考に，信号機を描いてみましょう．今回はモノクロですが，次号で色を付けていく予定です．



画面のサイズは横260，縦100
円の中心は左から(60, 50)(130, 50)(200, 50)

図 -1　信号機のお手本

この宿題の解答例をスケッチ 1 に示します．信号機の部品は 4 つ（枠 1 つと灯火 3 つ）なので，ウィンドウの大きさを指定する size 関数と合わせ，5 つの命令があれば十分です．解答例では，5 つの命令を連続で書くだけでなく，コメントと空行を使って全体を 3 つに分割し，それぞれの部分の役割を分かりやすくしてみました．スケッチの最初の行に /* 信号機を描くスケッチ */ のようなタイトルをコメントとして書いておくのもよいでしょう．

練習のための短いスケッチであっても，コメントや空行を使って分かりやすく書いておくことは重要です．しばらくたってから自分が書いたスケッチを見返して，自分で改造する場合にも役立つからです．

```
//描画の準備
size(260,100);

//枠を描く
rect(10,10,240,80);

//3つの灯火を描く
ellipse(60,50,60,60);
ellipse(130,50,60,60);
ellipse(200,50,60,60);
```

スケッチ 1　信号機を描く（宿題の解答例）

塗りつぶし

宿題の信号機に色を付けてみましょう．fill 関数を使うと，図形の塗りつぶしの色を指定することができます．色の指定は赤（Red），緑（Green），青（Blue）の 3 色（RGB と呼ぶことがあります）のそれぞれが，どの程度含まれているかを 0 から 255 の数値で指定します．色の指定には，灰色の明るさを 1 つの数値で表現したグレースケールを使うこともできます．この場合は，0 が黒で 255 が白になり，128 は白と黒の中間の灰色となります．fill 関数で塗りつぶしの色を一度指定すると，その後で描いた図形はすべて指定された色で塗りつぶされることに注意する必要があります．

この fill 関数を使って，宿題の信号機に色を付けたものを図 -2 とスケッチ 2 に示します．色の指定のための命令を追加したので，スケッチ 1 の状態か

らコメントや空行の入れ方なども変更してあります．

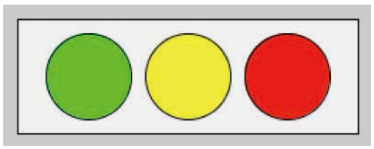


図 -2　色をつけた信号機

```
//描画の準備
size(260,100);

//薄い灰色の枠を描く
fill(240);
rect(10,10,240,80);

//青信号(実際は緑色)の灯火を描く
fill(0,255,0);
ellipse(60,50,60,60);

//黄信号の灯火を描く
fill(255,255,0);
ellipse(130,50,60,60);

//赤信号の灯火を描く
fill(255,0,0);
ellipse(200,50,60,60);
```

スケッチ 2　色をつけた信号機を描く

スケッチの中で使う RGB の値を確認するには，エディタのツールメニューから「色選択」をクリックして表示されるカラーパレットが便利です（図 -3）．パレットを調整して好きな色を選択すると，RGB の値を確認することができます．

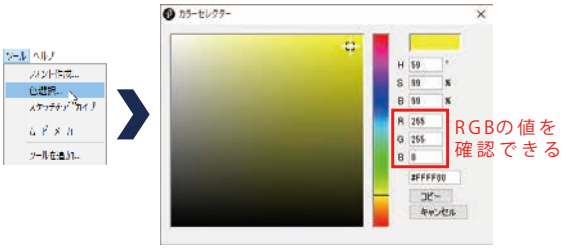


図 -3　色選択からカラーパレットが利用できる

なお，塗りつぶしをなくしたい場合は，noFill 関数を使います．この noFill 関数のような命令は，動作を指定する数値や文字が不要なため，パラメータを指定するカッコの中には何も書きません．

事前に手順を整理する

単純なスケッチであれば，一息に最初から最後まで書いてしまうのも大変ではありません．しかし，スケッチが複雑になってくると，「何をどのような順番ですべきか」をあらかじめ整理しておく方がうまくいきます．1 つの方法として，大まかな手順を最初にコメントとして記述し，その後で具体的な命令をそのコメントの下に書いていくという方法が有効です．スケッチ 2 を作りはじめる前に，スケッチ 3 のように手順をコメントで整理したスケッチを用意します（この時点でスケッチを実行しても何も図形は描かれません）．手順が整理できたところで，それぞれのコメントの下の行に具体的な Processing の命令を順番に追加していきます．命令を少し追加したらこまめに実行をし，結果が意図どおりかを確かめながら進めるとよいでしょう．こうした手順を踏むことで，できあがったスケッチは自然と構造が整理されて，適切なコメントが挿入されたものになります．

```
//描画の準備

//薄い灰色の枠を描く

//青信号(実際は緑色)の灯火を描く

//黄信号の灯火を描く

//赤信号の灯火を描く
```

スケッチ 3　スケッチ 2 の下書き

手順を事前に考えて整理しておく訓練は，プログラミングだけでなく「試験勉強やイベントの計画を立てる」「文章の章立てを考える」「慣れていない仕事の作業効率を改善する」といったさまざまなことに応用ができるでしょう．

輪郭線

図形の輪郭などの線の太さの初期値は 1 ピクセルに設定されていますが，これを変更するには strokeWeight 関数を使います．カッコの中に指定するパラメータは 1 つで，太さを数値で指定します．

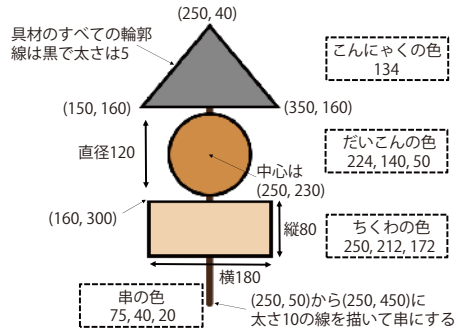
輪郭線の色を指定するには，stroke 関数を使います．fill 関数と同じように，カッコの中には RGB の 3 つの数値か，グレースケールの場合は 0 から 255 の数値を 1 つ指定します．

輪郭線をなしにしたい場合は，noStroke 関数を使います．noFill 関数と同じようにパラメータを指定するカッコの中には何も書きません．

❑ 練習問題

以下のお手本を参考に「おでん」のイラストを描いてみましょう．スケッチ 3 のように，最初にコメントで串や具材などの部品を描く流れを日本語で整理してから始めましょう．

ウィンドウの大きさは縦横 500 にして，背景を白で塗りつぶします．背景の色を設定するには，background 関数を使います．串はこれまでに解説した，strokeWeight 関数，stroke 関数を使います．基本的な図形の描画については，前号で解説しました．



＜解説＞

おでんを描くスケッチの例

```
//描画の準備
size(500,500);
background(255);//背景は白

//串を描く
strokeWeight(10);//太さは10
stroke(75,40,20);//色は茶色
line(250,50,250,450);

//具材に共通の輪郭線を設定
strokeWeight(5);//太さは5
stroke(0);//色は黒

//こんにゃくを描く
fill(134);//色は灰色
triangle(250,40,350,160,150,160);

//だいこんを描く
fill(224,140,50);//色は濃い茶色
ellipse(250,230,120,120);

//ちくわを描く
fill(250,212,172);//色は薄い茶色
rect(160,300,180,80);
```

変数の宣言・代入・参照

信号機のデザインを図 -4 のように変更したい場合について，考えてみることにしましょう．

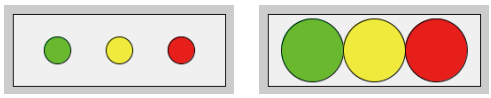


図 -4　信号機のデザイン変更

スケッチ 2 の内容をよく検討してみると，灯火の直径を表す 60 という数字が 6 回書かれています．灯火の大きさを調整したい場合は，青黄赤のそれぞれの灯火を描いている ellipse 関数のパラメータを変更する必要があります．具体的な変更個所は 6 カ所になります．このような変更の手間を減らす 1 つの方法が，「変数」を使うことです．

スケッチの中で使う値をコンピュータのメモリに保存しておき，スケッチの中で利用できるようにするのが変数の役割です．変数には分かりやすい名前をつけておきます．灯火の直径を d という変数（直径 diameter の頭文字）に保存して利用するスケッチの例を見てみましょう．今回のスケッチから左に行番号を付けてあります．

```
1  //描画の準備
2  size(260,100);
3
4  //灯火の直径 d(diameter)
5  int d;
6  d = 60;
7
8  //薄い灰色の枠を描く
9  fill(240);
10 rect(10,10,240,80);
11
12 //青信号(実際は緑)の灯火を描く
13 fill(0,255,0);
14 ellipse(60,50,d,d);
15
16 //黄信号の灯火を描く
17 fill(255,255,0);
18 ellipse(130,50,d,d);
19
20 //赤信号の灯火を描く
21 fill(255,0,0);
22 ellipse(200,50,d,d);
```

スケッチ 4　変数を使った信号機

変数を使う場合は最初に 1 回だけ「宣言」をする必要があります（「定義」という場合もあります）．スケッチ 4 の 5 行目で，整数を保存するための変数 d を宣言しています．宣言の際には，変数に保存できるデータの種類である「データ型」を指定します．Processing で利用できるデータ型はたくさんありますが，入門の段階では，int 型（整数）と float 型（小数点のついた数）の 2 つが使えるようになれば十分です．宣言の際にはデータ型（この場合は int）を先頭に書き，半角のスペースを挿入したあとに変数の名前（この場合は d）を書きます．他の命令と同じように最後のセミコロンも忘れないようにしましょう．

変数に値を保存することを，「代入」と呼びます．6 行目では変数 d に 60 という値を代入しています．スケッチ 4 では宣言と代入を別の行で行っていますが，`int d = 60;` のように，宣言と代入を同時に行うこともできます．

変数の値を読み出すことを，変数を「参照」すると言います．14・18・22 行目では具体的な数値をパラメータに指定せず，d に代入してある変数の値（スケッチ 4 の例では 60）を読み出し，その値を直径にした円（灯火）を描いています．具体的な値の代わりに変数の名前（この場合は d）を書けばよいということです．

スケッチ 4 のようにしておけば，3 つの灯火の直径を変更する場合は，6 行目で d に代入している数値の 1 カ所を変更するだけで済むことになります．実際に 60 の数値を変更して，図 -4 のようなデザインの調整が手間なくできることを確認してみましょう．

変数と計算

Processing で使える変数は，スケッチ 4 の変数 d のように自分で宣言をしたものに加えて，宣言をしなくても使えるものがあります．その代表例がウィンドウの幅と高さが保存されている width と height です．スケッチの最初に size 関数で指定したウィンドウの幅と高さはこれらの変数に保存されて，スケッチの中で参照することができます．

スケッチ5ではウィンドウのサイズをsize関数でどのように指定しても，四隅を結んで×印を描くことができます(図-5)．2行目のline関数では，ウィンドウの左上の角(0, 0)から右下の角(480, 120)に直線を引きます．3行目では，ウィンドウの右上の角(480, 0)から左下の角(0, 120)に直線を引きます．ここで示した座標はウィンドウの横幅が480，高さが120の場合のものですが，直線の始点と終点の座標はウィンドウの大きさによって変わってきます．具体的な座標を書かずに，変数widthと変数heightを使うことで，さまざまな場合に対応できるスケッチになります．

```
1 size(480,120);
2 line(0,0,width,height);//左上から右下へ
3 line(width,0,0,height);//右上から左下へ
```

スケッチ5　ウィンドウのサイズに応じて×印を描く

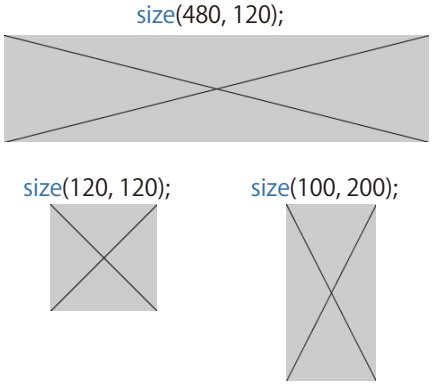


図-5　ウィンドウのサイズと連動する×印

スケッチ5の最後に新しい命令を加えたものがスケッチ6です．実際にスケッチを書いて結果を試してください．4行目の命令にある / は割り算(普段は÷と書くことが多いと思います)を指示する「演算子」と呼ばれる記号です．width/2でウィンドウの横方向の中心を，width/2でウィンドウの縦方向の中心を計算し，それを円の中心の座標としています．

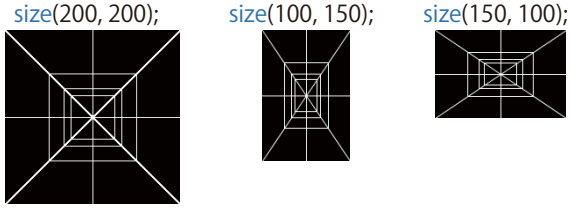
```
1 size(480,120);
2 line(0,0,width,height);//左上から右下へ
3 line(width,0,0,height);//右上から左下へ
4 ellipse(width/2,height/2,60,60);
```

スケッチ6　×印と円を描く（文献1）P.43より）

● 宿題

スケッチ6を応用し，お手本のようなクモの巣の模様を描くスケッチを書いてみましょう．size関数で指定したウィンドウのサイズに合わせて形が変化するように，widthとheightの変数と割り算を使って作ります．

ヒント：rect関数は初期状態では四角の左上の座標をパラメータで指定します．これを四角の中心に変更するためには rectMode(CENTER); という命令をrect関数の前に書いておきます．



四角形は小さい順に，画面の縦・横の長さのそれぞれの四分の一，三分の一，二分の一になるように割り算で計算します

参考文献

1)　Reas, C., Fry, B. 著，船田　巧 訳：Processingをはじめよう第2版，オライリージャパン(2016)．

(2019年11月16日受付)

杉浦　学（正会員）　manabu@kamakura-u.ac.jp

鎌倉女子大学家政学部家政保健学科准教授．慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程修了．博士（政策・メディア）．プログラミング教育をはじめとした情報教育に関する研究に取り組む．中高生向けの著書に『Scratchではじめよう！プログラミング入門Scratch3.0版』（日経BP社）など．

ARTICLE

基般

高校における新教科「情報」ができたころのこと

大岩　元
慶應義塾大学

1999 年 3 月 29 日に「学校教育法施行規則の一部を改正する省令」が出されて，「高等学校学習指導要領の全部の改定」の中で，高等学校において新教科「情報」が「情報 A」，「情報 B」，「情報 C」それぞれ 2 単位のどれか 1 科目以上の必修教科として設置された．戦後，新たに生まれた教科として小学校低学年教科「生活科」があるが，これは理科と社会が統合されたものであり，また，高校教科「社会科」が「地理歴史科」と「公民科」に分離されて新教科が生まれた例があるが，戦後の日本の教育で初めて，それまでにない教科が設置されたのである．その前後の状況については，田中規久雄「教科『情報』新設に見る中等情報教育政策の一断面」[1] に詳細に記述されている．本稿では，田中論文を参照しながら，筆者の個人的な見解を述べることにする．

1989 年に施行された学習指導要領

1989 年高等学校学習指導要領は，1987 年に出された「臨時教育審議会」の答申における 3 つの原則「個性重視」，「生涯学習体系への移行」，「国際化・情報化など変化への対応」を受けて，作成されている．そこにおける情報教育は，以下に示すように各教科・科目の学術規範（discipline）に従属する教育手段，教育内容として挙げられている．

この他，美術 I，世界史 A，地理 B，現代社会にも，情報教育に関連する言及がある．

表 -1 に示された内容とその他の科目における情報の扱いを見ると，各教科の中で行おうとしているが，現在小学校におけるプログラミング教育もそれと同じようなことを行おうとしている．そして当時はプログラミングは数学に，ハードウェアとしてのコンピュータは物理で扱うことになっていた．

活用について「家庭科」の中に「情報についての基本的事項を理解させ，コンピュータの基本的な操作を中心とした指導を行うよう配慮すること」という言及があることは，2020 年からの指導要領において中学校の「技術・家庭」の中でプログラミング教育が始まることにつながっている．

しかし，教えているのは数学，物理，家庭科の教師であってコンピュータ科学（Computer Science 略称 CS）を学んでいるわけではなく，当然のことながら多くの先進国で目指している情報教育を期待することは難しい．

表 -1　1989 年施行の学習指導要領における情報教育

教科名	内容	具体項目
数学 A	(4) 計算とコンピュータ	ア コンピュータの操作
		イ 流れ図とプログラム
		ウ コンピュータによる計算
数学 B	(4) 算法とコンピュータ	ア コンピュータの機能
		イ いろいろな算法のプログラム
数学 C	応用数理の観点からコンピュータを活用	
総合理科	データの整理にコンピュータを活用	
物理 IA	(4) 情報とその処理	ア 情報の伝達
		イ 情報の処理
		ウ 情報の記憶
物理 IB	探求活動の報告書作成でコンピュータを活用	
物理 II	(4) 課題研究	問題解決にあたり，コンピュータを活用
家庭科	(5) 家庭生活と情報	ア 情報の収集と選択
		イ コンピュータの活用
		ウ 家庭生活とコンピュータ

どこの国でも情報教育で一番問題になるのは教師教育である．オーストラリアでは，コンピュータ科学と教育学を大学で修得した情報教師の育成をしている．そのようなことを考えないで情報化社会を築こうとして，日本の社会は大きく社会の情報化が遅れたのであるが，そのことに気づいていない．ほとんどすべての情報処理はコンピュータがない時代と同じように紙の上のデータしか使おうとせず，電子データとしての利用を考えていない．用紙をWebサイトからダウンロードさせて，そこに記入した紙の書類を提出させることが一般化している．この状況を，今は政府が率先して変えようと動き出している．

マルチメディアを活用した21世紀の高等教育の在り方に関する懇談会

1996年10月18日，第1回「情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議」（以下，協力者会議と略す）が開催され，「情報」を独立教科にするのかなどが議論された．その一環として開かれた「マルチメディアを活用した21世紀の高等教育の在り方に関する懇談会」には筆者も委員の一人として参加した．この会議の主査は東大医学部教授の開原成允氏，副主査は放送教育開発センター所長の坂元　昂氏で，情報分野の専門家としてNTT取締役・通信網総合研究所長の青木利晴氏，学術情報センター教授の浅野正一郎氏，慶應義塾大学環境情報学部教授の大岩　元が参加している[2]．この会議で印象に残っているのは，ジャーナリストの野中ともよ氏が「ここで行われている議論は，（今の時代に）飛脚の脚をどうやって強くするかというものである」と批判したことである．コンピュータの導入で社会がどのように変わるのか，それに伴って教育はどのように変わるべきなのかといった本質的な議論が欠如しており，紙の上の情報処理から電子化された情報が大きな意味を持つことになる社会について議論がなされないことへの批判をされたのだと思う．

その後，この協力者会議は教科「情報」の設立に向けて上記懇談会のメンバ東京工業大学教育工学開発センター長の清水康敬氏を主査に活動を行い，「体系的な情報教育の実施に向けて（1997年10月3日）」（情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議「第1次報告」[3]）によって教科「情報」への道筋をつけたのである．教科「情報」に対しては，数学，物理なども影響力を持とうとしたと思われるが，清水氏はこれらを排除して教育工学主体の，利用者教育としての「情報」設立の方向が決まったのである．この報告書の作成協力者の中には，CSの専門家は入っていない．この結果，情報教育の基礎学問としてのコンピュータ科学は専門高校で学ばれるべき内容とされ，普通高校の内容としては縮小を余儀なくされたのである．

こうした検討の結果として1999年に指導要領が策定され，高校の独立必修教科「情報」が成立し，情報A，B，Cの3科目から2単位選択必修という最初の制度が実施されるようになったのである．コンピュータ科学は情報Bの中にとりあげられている．その目標は

「コンピュータにおける情報の表わし方や処理の仕組み，情報社会を支える情報技術の役割や影響を理解させ，問題解決においてコンピュータを効果的に活用するための科学的な考え方や方法を習得させる」

となっているが，その内容構成は指導要領解説[4]によると，

1. 問題解決とコンピュータの活用
2. コンピュータの仕組みと働き
3. 問題のモデル化とコンピュータを活用した解決
4. 情報社会を支える情報技術

であり，コンピュータ科学を扱う2.では，「コンピュータの効果的活用ができる判断材料となることをねらいとして，技術的，数理的な深入りはせずに，3.や4.に直接役立つ基本的な見方，考え方を認

識させる程度とする」となっており，「教養・知識」の扱いとなっている．3. の「問題のモデル化」は数式によるモデル化だけであって，コンピュータ科学におけるモデル化はまったく入っていない．

ユネスコの提案する情報教育

2002 年にユネスコは IFIP（International Federation for Information Processing）の協力のもとに情報教育の報告書 "Information and Communication Technology in Education : A Curriculum for Schools and Programme of Teacher Development" を発表している[5]．その内容は，表 -2 の通りである．

日本の高校普通教科ではコンピュータ科学が「情報 B」の一部に「教養・知識」に限定されて含まれているのにすぎないが，ユネスコの報告書ではコンピュータ科学の主要部である「ICT 自体の特化」が，専門家とともに高等教育進学者のためのものでもあるという文に注目する必要がある．米国ではすでに，プログラミング経験がないことは高等教育卒業生でないことを意味するようだ．

IV ICT 自体への特化の内容は，日常の問題をアルゴリズム形式で解くことができるようになることである．現在世界中でプログラミング教育の実体として議論されている Computational Thinking そのものと言ってよい．そして具体的には 3 種類のモジュールが提案されている（表 -3）．

ここで驚かされるのは，産業界に入る一般人も SP や GS を学んでいることである．日本の専門高校ではこうしたことを教育していない．VS の作業自体を教えているだけである．商業高校の教師の指導をしたことがあるが，COBOL の書き方を知っているだけでアルゴリズムの概念も，それを作り出す方法も知らなかった．

大学進学者がこの内容を学んでいることも重要である．ユネスコレポートは途上国向けに書かれており，欧米では高等教育修了者にこのレベルの情報教育が行われていることを示している．日本では，多くの（特に文系の）大学卒業者が IT を自分で利用することがあまりなく，ソフトウェアの利用もおぼつかないことは嘆かわしい．

特に注目すべきは，SP1 プログラミング入門（Introduction to Programming）である．その内容は表 -4 の通りである．

1970 年に，日本でも情報関連学科が初めて京大，阪大，東工大，山梨大，電気通信大，金沢工大に設置されたが，この時期は日本の高度経済成長が本格化した時期であり，情報産業が勃興した時期でもある．旺盛なプログラマ需要を大学に求めるのは無理で，情報産業は素質のありそうな大学卒業生にプロ

表 -2　ユネスコ報告書の内容[5]

I　ICT リテラシー（ICT Literacy）
II　各科目における ICT の応用（Application of ICT in Subject Areas）
III カリキュラム全般への ICT の浸透（Infusing ICT across the Curriculum）
IV ICT 自体への特化（ICT Specialization）
ICT を用いるプロフェッショナルになる人を対象とする （For those who plan to go into professionals that uses ICT） 高等教育に進学する人を対象とする （For those who plan to go into higher education）

表 -3　ユネスコ報告書「IV ICT 自体への特化」の内容[5]

ICT への特化の準備モジュール（Specialization Preparation Modules）
SP1 プログラミング入門（Introduction to Programming）
SP2 トップダウンプログラム設計（Top-Down Program Design）
ICT への特化モジュール（General Spcialization Module）
GS1 プログラミングとソフトウェア開発の基礎 （Foudation of Programming and Software Development）
GS2 プログラミングの上級要素（Advamced Elemwnts of Programming）
専門職業特化モジュール（Vocational Spcialization Module）
VS1 ビジネス情報システム（Bussiness Information Systems）
VS2 プロセス制御システム（Process Control Systems）
VS3 プロジェクト管理（Project Managemint）

表 -4　ユネスコ報告書「SP1 プログラミング入門」の内容[5]

解くべき課題（タスク）に向けたアルゴリズムを設計する
（そのために）
実現すべき課題を記述し，確定する
確定された課題を解決する，効果的で効率的なアルゴリズムを開発する
単純で標準的な方法を適用する
できあがった設計をプログラムに翻訳する
（そのために）
（手続き型）言語を用いて設計されたアルゴリズムをプログラムに変換する
読みやすく，理解しやすいインタラクティブプログラムを作り出す
プログラムを実生活で利用可能にする
（そのために）
制作したプログラムを入力，編集，コンパイル，デバッグ，アップデートして実行できる開発環境を用意する
制作したプログラムの内部および外部動作を分りやすく，使いやすくなるような文書を作成する

グラミング教育を 1，2 カ月行って現場に投入することが始まった．コンピュータは従来の機器にくらべて超強力な性能を持っていたので，入門教育だけで十分にビジネスが成立したため，以来 50 年間にわたり，プログラミング入門教育が続いてきた．このような日本独自の IT 技術者育成は，進化をとげて現場で使われるプログラムをやさしいものから順番に打ちこんで動かすことで，未経験者もプログラムが書けるようになる「写経プログラミング教育」が生まれた[6]．この結果，ベトナムにアウトソーシングのための開発拠点を設けると，難しい仕事をするのはベトナム人で日本人技術者はやさしい仕事しかできない状況が生まれているようである．CS の存在を知らない日本の IT 技術者なら，そうなることは当然の結果であるが，いつまでこの状況を続けられるのかが心配である．

今後の情報教育

2015 年頃から，先進国で小学生からのプログラミング教育が始まった．これは，IT によって社会構造が急速に変わり，旧来の教育では自分の子弟が職を得ることができなくなると心配した親たちが，政府にプログラミング教育を学校で行うことを求めたためであるらしい．日本も安倍政権が経済活性化政策の一環として小学校からのプログラミング教育を始めることにした．10 年後にはプログラミング能力は読み書き算盤と並ぶ基本的な市民のリテラシーとなるであろう．

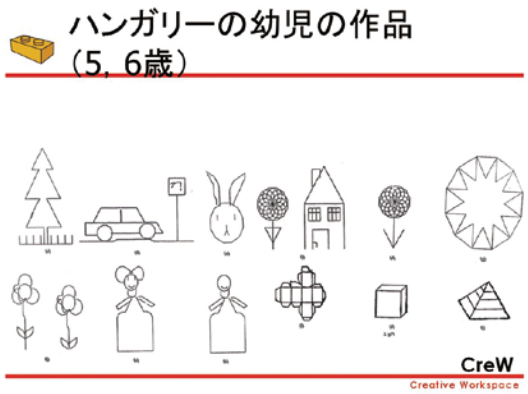


図 -1　Marta T. Szabo 氏の指導した幼児の LOGO 教育結果

プログラミング入門の定番である LOGO は，幼児でもきちんと教えれば修得できることが知られている（図 -1）．手ではとても描く気になれない複雑な花の絵は，プログラム機能を利用すれば幼児でも描けるのである．しかし，修得できない大学生は，この幼児の作品を見て驚く．幼児に行えば可能なことが，大学生になってからでは非常に困難であることは識字教育としてプログラミング教育を行う必要性を示している．

英国のように Computing という新教科を設けることは不可能なので，日本は各教科の中で行うことにした．90 年代までの高校教科「情報」が成立する以前の高校における情報教育と同じ状況であるが，始まるだけで良しとしていかねばならないであろう．

どこの国でも情報教育で一番問題になるのは教師教育である．オーストラリアのように，情報学と教育学を修得した情報教師の育成を考える必要がある．世界標準の情報教育を実現するには，次の学習指導要領の改定に向けて緻密に教育計画を策定する必要があるが，そのためには 30 年先の社会を見越した長期ビジョンを作る必要があるだろう．

参考文献
1) 田中規久雄：教科「情報」新設に見る中等情報教育政策の一断面，大阪教育法研究会，大阪東法研ニュース 第 186 号 (Oct. 1999)．
2) マルチメディアを活用した 21 世紀の高等教育の在り方に関する懇談会協力者，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/001/toushin/960701k.htm
3) 体系的な情報教育の実施に向けて（1997 年 10 月 3 日），http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/002/toushin/971001.htm#02
4) 文部省「高等学校指導要領解説 情報編」（2000 年 3 月 30 日）
5) Information and Communication Technology in Education : A Curriculum for Schools and Programme of Teacher Development, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129538
6) 喜多　一，岡本雅子，藤岡健史，吉川直人：写経型学習による C 言語プログラミングワークブック，共立出版 (2012)．

（2019 年 11 月 17 日受付）

大岩　元（正会員）　ohiwahajime@gmail.com

1965 年東大理学部物理学科卒業．1971 年理学博士．東大理学部助手，1978 年豊橋技術科学大学講師，同大助教授，同大教授，1992 年慶應義塾大学環境情報学部教授．2008 年同大名誉教授．帝京平成大学現代ライフ学部教授，相愛大学音楽学部音楽マネジメント学科教授を経て 2017 年（一社）協創型情報空間研究所を設立，代表理事に就任．

2020 年度会誌「情報処理」および「デジタルプラクティス」モニタ募集のお知らせ

会誌編集委員会
デジタルプラクティス編集委員会

会誌「情報処理」および「デジタルプラクティス」をより良くするために編集委員一同努力を続けておりますが，会員の方々の評価や希望をうかがい，今後の改善に役立てるために，モニタ制度を設けております．関心のある方はぜひふるってご応募ください．

応募の資格　本会会員で，モニタの役割を積極的に果たしていただける方．

モニタの役割　「情報処理」巻末の所定用紙または学会 Web ページ（https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html）から，毎月アンケートに回答する．
◇記事に対する評価　◇記事に対する感想　◇意見　◇記事テーマの提案　◇そのほか全般的な意見・提案など
注）記事をすべて読むといったことは必ずしも必要ではありません．自分の立場や問題意識，得意とする分野などを基準とした「独断と偏見による」自由な意見を期待します．

期　間　原則として 1 年間（2020 年 4 月～ 2021 年 3 月）．**＊最長 3 年までとします．**
対 象 号　会誌「情報処理」61 巻 5 号～ 62 巻 4 号，および年に 4 回 Web ページ（https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/（PDF 版））（https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/index.html（HTML 版））にて公開される「デジタルプラクティス」（電子版のみ）．
謝　礼　貴重なご意見をいただいた方には薄謝または記念品を贈呈します．
募集人員　特に定めませんが，応募者数によっては当委員会で調整させていただくことがあります．
応募締切　**2020 年 2 月 27 日（木）必着**
＊申込書を Fax するか，または E-mail でお申し込みください．
＊ Web ページ（https://www.ipsj.or.jp/magazine/topics/2020monitor.html）でも受け付けています．
そ の 他　ジュニア会員で，会誌（冊子体）の送付を希望される方には，モニタ期間中会誌を送付いたします．
（先着 50 名，アンケート（12 回）に必ず回答いただくことを条件とします）
希望する場合は，申込書の要望欄に＜会誌送付希望＞とお書きください．
申込／照会先　情報処理学会　会誌編集部門（モニタ係）

2020 年度会誌「情報処理」および「デジタルプラクティス」モニタ申込書

宛先：情報処理学会　会誌編集部門（モニタ係）　E-mail: editj@ipsj.or.jp　Fax(03)3518-8375

氏　名

会員番号　（　　）

住　所　〒

所　属
E-mail:
Tel（　　）　　-
Fax（　　）　　-
年　齢　（　　歳）

業種：(a) 企業（サービス業）(b) 企業（製造業）(c) 研究機関 (d) 教育機関（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
(e) 学生 (f) 学生（ジュニア会員）(g) その他

職種：(a) 研究職 (b) 開発・設計 (c) システムエンジニア (d) 営業 (e) 本社管理業務 (f) 会社経営・役員・管理職
(g) 教職員（小・中・高校・高専・大学・大学院など）(h) 学生 (i) 学生（ジュニア会員）(j) その他

要望，コメントなど：

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

東京都立石神井高等学校での情報の授業 ―体験して理解する授業の指導例―

小松一智　東京都立石神井高等学校

「科学的な」

現行の学習指導要領における目標には

「情報及び情報技術を活用するための知識と技能を習得させ，情報に関する科学的な見方や考え方を養うとともに，社会の中で情報及び情報技術が果たしている役割や影響を理解させ，社会の情報化の進展に主体的に対応できる能力と態度を育てる」

と，「科学的な見方や考え方を養う」とあり，新学習指導要領では

「情報に関する科学的な見方・考え方を働かせ，情報技術を活用して問題の発見・解決を行う学習活動を通して，問題の発見・解決に向けて情報と情報技術を適切かつ効果的に活用し，情報社会に主体的に参画するための資質・能力を次のとおり育成することを目指す」

と，「科学的な見方・考え方を働かせ」とある．

情報が始まったころからこの「科学的な」というキーワードが存在している．そこで，体験を伴いながら科学的に理解することを目指した授業を実践してきたので，紹介したい．

実践した学校

東京都立石神井高等学校は2020年に創立80周年を迎える，東京府立第14中学校を前身とする学校である．2019年度に，東京都の進学指導研究校に指定された．

1単位時間50分の授業，3学期制の学校で，年間18回の土曜授業を実施している．22学級規模（現3学年だけ8クラス）のいわゆる中堅の学校であり，情報は1年次に「情報の科学」2単位を設置している．

授業実践「論理回路」

まずはコンピュータの仕組みや構造の１つである，論理回路の授業を紹介したい．

現行の「社会と情報」では扱っていないが，「情報の科学」ではCPUの動作の仕組みとして扱われている内容である．

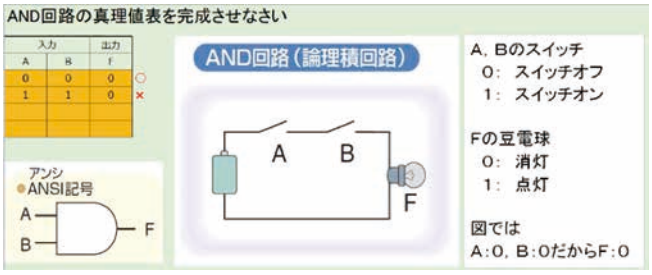
なお，情報Ⅰにおいても

(3) コンピュータとプログラミング

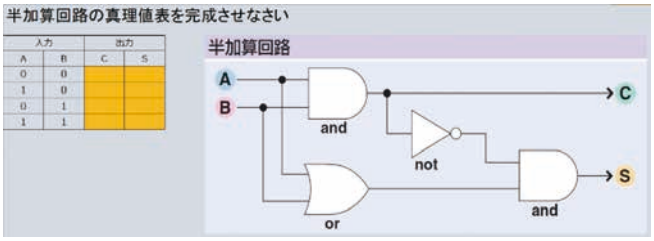
ア（ア）コンピュータや外部装置の仕組みや特徴，コンピュータでの情報の内部表現と計算に関する限界について理解すること．

とあるので，扱うことになると思われる．

現在，どの教科書を見ても豆電球とスイッチの関係を論理回路に置き換えて説明しており，基本となるAND，OR，NOT回路に加えてそれぞれを組み合わせた半加算回路ではどのような真理値表になるかという内容になっている．そのため，かつては真理値表を埋めるワークシートを作成・印刷し，課題として取り組ませていた．ここ数年はAND，OR，NOT回路を理解するため，教科書にあるようにスイッチと豆電球をイメージさせながら，表計算ソフトを使って作成した授業課題をつかって自学自習できるようにしている（図-1，図-2）．



■図-1　教材の画面例１（AND回路）



■図-2　教材の画面例２（半加算回路）

これは，単純に入力A，Bに対する出力F（半加算回路はC，S）が正しいかをIF関数を使って○×判定しているだけのものである．この教材の良いところは，生徒が答えを入力するとすぐに正解かどうかが分かるのでゲーム感覚で楽しみながら取り組める点である．しかも×だった場合には「なんで？」と言いながら生徒同士で説明し合うようになり，理解の手助けにもなる．なお，この授業を実施する際には，「お互いに協力して正解にたどり着いてかまわないが，答えを教えてはいけない．どのように考えれば解けるのかを説明してください．答えだけを教えることは誰のためにもなりません」としている．

さらに今年はブレッドボードとIC，LEDを使った教材での確認も取り入れた．生徒自身に配線もさせようとしたが，論理回路をしっかりと理解した上で行わせないと何をやっているのかが分からなくなる．そのため，教員による例示にとどめたが，それがちょうどよかった．例示だけでも実際にLEDの点灯を見ることで，十分にAND，OR，NOT回路を実感できる．また，半加算回路まで配線し，点灯を確認できると，０と１だけで確かに計算ができそうだと思わせることができる．授業時数に余裕があるならば生徒に配線をさせて，体験させたいところである（図-3，図-4，図-5，図-6）．

授業実践「紙パケット」

紙パケットについては実習例が載っている教科書もあるため，知っている先生方も多いのではないだろうか．

これは，教室に座っている生徒がネットワークに接続されたコンピュータになったつもりでパケットの送受信を行う体験実習である．

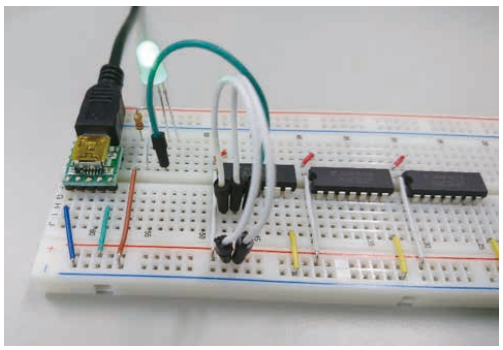
教室を６つのエリアに分け，それぞれを１つのネットワークと見なして行った（図-7，図-8）．

まずは，各自パケットを作成することになる．図のような用紙を配布し，お題に対する回答を30字程度で考えさせる．なお，お題は複数用意しておき，

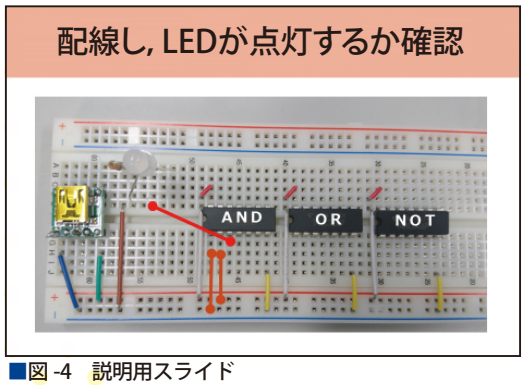
座席が近い生徒同士が異なるお題になっているととても盛り上がる．また，宛先（To）をランダムにしながらも，必ず受け取れるように工夫しておく必要がある．40 人クラスであれば宛先（To）は 40 種類になるように用紙を用意する．複数のパケットに分割することも理解させたいので，10 字で分割するように用紙を作成している（図 -9）．

パケットの用意ができたら，実際にパケットを回して体験をすることになるが，まずはパケットを 1 つ持ち，図 -8 の黄色の矢印のように同じネットワーク内で反時計回りになるように回す．回し方は時計回りでもまったく問題はない．宛先の IP アドレス（To）を確認し，自分の IP アドレスであれば自分宛のパケットなので，手元に受け取るが，そうでなければ違う人（コンピュータ）宛なので，再度回す．このようなルールを確認するためにはじめは 1 枚ずつ行うが，慣れてきたら複数枚を同時に行うのもよいだろう．

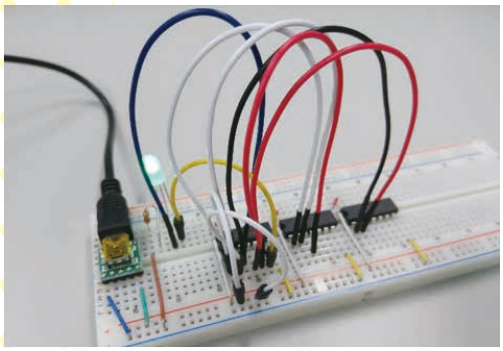
生徒はすぐに気づくのだが，このままでは同じネットワークでパケットが循環しているだけで相手に到達できない．そこで，各ネットワーク内にルータ役を登場させる．



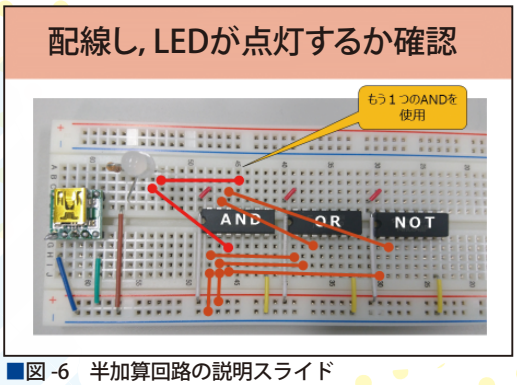
■図 -3　ブレットボートと IC の教材



■図 -4　説明用スライド

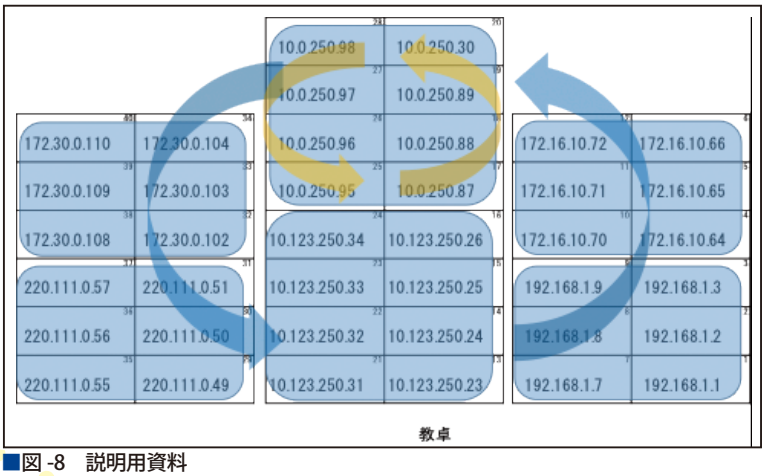


■図 -5　半加算回路の配線例



■図 -6　半加算回路の説明スライド

■図 -7　本校の CALL 教室



■図 -8　説明用資料

ルータ役の生徒は，宛先（To）を見て自分のネットワーク宛のパケットであれば図-8の黄色の矢印のようにネットワーク内の人（コンピュータ）に回し，そうでなければ青色の矢印のように教室内で反時計回りになるように隣のネットワークのルータ役の生徒（コンピュータ）に回す．

ルータ役が登場すると，ネットワークを超えてパケットが行き交うことになるので，ルータの重要性が理解できる．また，ルータ役は判断を早くしていかないと自分のところにパケットがたまってくる．それまでは，パケットに何が書いてあるのかを面白がって読んでいた生徒もだんだんと宛先（To）だけを見て自分のネットワーク宛なのかだけを判断するようになる．作業を限定的にすることでスループットの向上である．

しばらくすると，パケットのやりとりも落ち着き，すべてのパケットが相手に届くことになる．

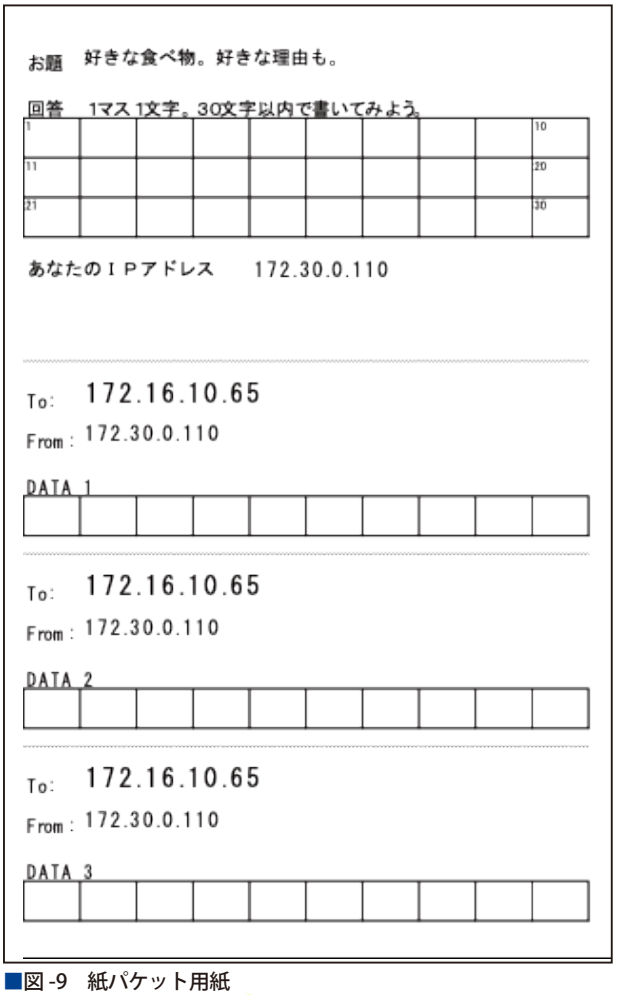
これが実際のネットワークを簡略化したものであるが，一定のルール（プロトコル）に従い，パケットを送受信することでどこにいるか分からない相手（コンピュータ）までパケットを送り届けることが可能となることを体験できる．

一定のルールとは

- 自分宛のパケットであれば受け取る．そうでなければネットワーク内の隣のコンピュータに流す．
- ルータは自分のネットワーク宛であればネットワーク内の隣のコンピュータに流す．そうでなければ隣のルータに流す．

これだけである．これだけで，プロトコルの重要性，IPアドレス，ルータの役割などについて体験しながら理解することができる．さらに，ルータにパケットが集中して流れが滞る場面も出てくる．ネットワークが混雑して遅延することも自然と理解できる．

最終的に全員がパケットを受け取れるように用紙を準備しなくてはならないので，準備がとても大切になる．実習は，説明をしながら進めることになるが15分から20分もあればパケットの作成からパケット交換まで終えることができるだろう．これまで数年間実施したが，生徒からの反応もとてもよい．目に見えないパケットを紙にすることで，ネットワークでどのようにパケットが流れているのかを理解させることができる実習である（図-10）．



■図-9　紙パケット用紙

■図-10　分割した紙パケット

授業実践「クライアント・サーバ体験」

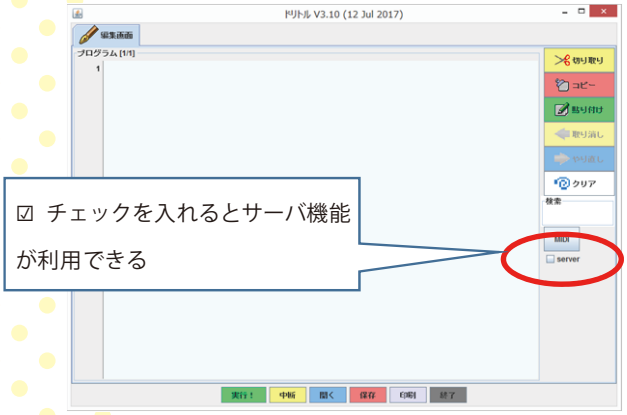
過去に実施していたものとして「チャットプログラムの作成」がある．これは教育用プログラミング言語「ドリトル」を使ったものである．ドリトルはインストール版とオンライン版があるが，ネットワーク機能を利用したチャットプログラムを作成するにはインストール版が必要となる（図 -11）．

この授業を実施するにあたり，ドリトルを選んだのはプログラム例があったというのが一番大きい（https://dolittle.eplang.jp/ch_chat）．

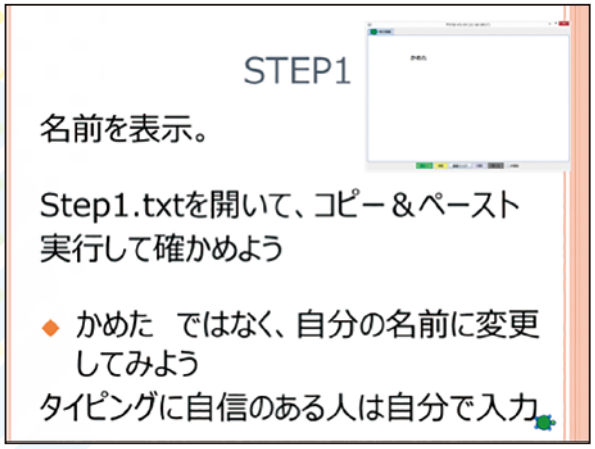
やはり，ゼロから作り上げるのは難しいのでこういったものは本当にありがたく利用させていただいている．また，チャットの作成をしながらネットワークに関する知識（IP アドレス，DNS，ホスト名，サーバ，クライアント）を説明しやすいということもある．最後には匿名による荒らしが出現することもあるが，その際にはモラルにもつなげることができる．汎用性が高いのがこの「チャットプログラムの作成」である．

ここで重視しているのは，教員が示したプログラムを一字一句間違えずに入力することが目的ではなく，プログラムを作成していく過程でどの命令が何を行っているのかを理解しながら進めていくことである．そのため，プログラムを 5 つに分割し，テキストファイルとして配布し，それをコピー＆ペーストして実行しながらプログラムの動作を理解していくようにした（図 -12，図 -13）．

授業の流れとしては，STEP1 から STEP5 まで順番にコピー＆ペーストして実行しながら解説をし



■図 -11　インストール版ドリトルの画面



■図 -12　スライド例

```
//STEP1　名前を表示させる。
名前＝″かめた″。
ラベル！（名前）　作る　200　45　大きさ　-250　200　位置。

//STEP2　メッセージ入力フィールドを作る。
メッセージ＝フィールド！　作る　200　45　大きさ　-250　150　位置。

//STEP3　サーバーから受信したメッセージを表示するリストを作る
受信表示＝リスト！　作る　200　400　大きさ　0　200　位置。

//STEP4　サーバーに接続。
// フィールドの動作を設定。
サーバー！　″localhost″　接続。
サーバー！　″msg″　″″　書く。
フィールド：動作＝「
    サーバー！　″msg″　（名前！　″: ″　（メッセージ！　読む）連結）書く。
    メッセージ！　クリア。
」。

//STEP5　サーバーからメッセージを受信。
直前メッセージ＝″″。
タイマー！　作る　1　間隔　600　回数「
    受信メッセージ＝サーバー！　″msg″　読む。
    「受信メッセージ!＝直前メッセージ」！　なら「受信表示！（受信メッセージ）書く」実行。
    直前メッセージ＝受信メッセージ。
」実行。
```

■図 -13　プログラム全体

ていく．STEP5 まで実行できたら，チャットができる状態になっているので「全員でチャットをしてみよう」と言い，チャットをさせる．残念ながら，サーバとして接続しているのは localhost なので，自分自身のコンピュータである．一人チャットをしているだけなので誰ともチャットができていない状況である．そこで，localhost を教員機の IP アドレスに変更させる．クラス全体がつながるので，クラスによっては非常に盛り上がることになる．ここからが，本来やりたい課題となる．IP アドレスだけでなくコンピュータ名を使って通信が可能であることと教室の IP アドレス体系を一通り説明した上で「4 人程度のグループだけでチャットをしてみよう」と投げかけるのである．早いグループでは 2 ～ 3 分，遅いグループでも 10 分もすればお互いのグループだけでチャットができるようになる．ネットワークに関する知識とプログラムのどの部分が何をしているのかを理解できたからこそ，プログラムを改変してお互いのグループだけでチャットができるようになる．理解できた知識がすぐに目に見える形で現れるので，生徒にとっては満足度が高く，その知識も印象に残りやすい（図 -14）．

このように，生徒が体験をしながら科学的な理解を深める授業を目指している．3 つの事例を紹介したが，どの事例であっても教員が楽しみながら授業を行っている．教員が楽しみながら授業を行うことで，生徒も楽しみながら理解を深めているようである．ここまで読んでいただいた先生方にも一緒に楽しみながら授業を行っていただきたい．

■図 -14　チャットの画面

参考文献

1) 能城茂雄：第 7 回全国高等学校情報教育研究会全国大会（埼玉大会）ブレッドボートと IC を使った簡易教材で学ぶ論理回路の仕組み，東京都立三鷹中等教育学校，https://www.zenkojoken.jp/wp-content/uploads/2014/07/07-2-5s.pdf
2) プログラミング言語「ドリトル」，大阪電気通信大学　兼宗研究室，https://dolittle.eplang.jp/ch_chat

（2019 年 10 月 29 日受付）

小松一智

2005 年情報科教諭として東京都に採用．現在，東京都立石神井高等学校指導教諭，東京都教職員研修センター認定講師等．

連載

5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

柴田知秀（ヤフー（株））

Jacob Devlin et al. : BERT : Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding

NAACL, pp.4171-4186（2019）

自然言語処理で2回目のブレークスルー

深層学習の登場によって画像認識や囲碁などさまざまな分野で人間を上回る性能が達成された．自然言語処理においても一定のブレークスルーがあり，最も成功したものは機械翻訳である．大量の対訳文（たとえば日本語文と英語文のペア）で学習すると，人間に匹敵するくらいの翻訳を生成することができる．Google 翻訳などで流暢な翻訳を体感されている方も多いと思う．

しかし，それ以外の単言語のタスク（評判分析や質問応答など）では，深層学習以前と比べると確かに精度は向上したが，人間に匹敵するような精度を達成しているわけではなかった．機械翻訳ほど正解データを用意できない中，いろいろと試行錯誤が行われていた．

そのような状況のもとで，2018 年秋に Google が BERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）というモデルを出し☆1，さまざまなタスクで飛躍的な精度向上を達成した．特に機械読解と呼ばれるタスクで人間を超えたとニュースになった．「人間を超えた」という表現には慎重にならないといけないが，それでも単言語のタスクで人間と同等の精度を上げられることはこれまでなかったことである．これが 2 回目のブレークスルーである．

☆1 2018 年秋に arXiv の論文を出し，その後 2019 年に NAACL という国際会議に採択された．

BERT を支えるいくつかのポイント

BERT は目新しいことを行ったわけではなく，深層学習のここ数年の進歩をうまく組み合わせた上に成り立っている．BERT の中身を説明する前にいくつかのポイントを順に説明する．

転移学習（Transfer Learning）

転移学習はあるドメインで学習し，それをほかのドメインに適応させるという学習方式である．転移学習の定義はさまざまであるが，ここでは，大規模テキストでモデルを事前学習しておき，解きたいタスクでファインチューニングするということを指す．

自己教師あり学習（Self-supervised Learning）

教師あり学習の一種であるが，正解ラベルを人手で付与するのではなく入力自身から作り出す方式の学習のことである．自己教師あり学習の枠組みを転移学習の事前学習に利用すると，人手によるラベル付与を必要とせず，大規模テキストで事前学習することができる．

Transformer

本連載の 2018 年 59 巻 11 号で紹介された Transformer と呼ばれるモデルが BERT のベースとなっている．詳細についてはそちらの記事を参照されたい．Transformer は機械翻訳のために提案されたモデルであるが，BERT では encoder の部分を単言語の解析に用いる．Transformer は平たく言えば，文中の各単語に対して文脈をよく考慮したベクトルを返すものである．

BERTの事前学習とファインチューニング

BERTの概要を図-1に示す．事前学習とファインチューニングの2ステップからなり，両方ともTransformerモデルを用いる．

事前学習ではMasked Language ModelとNext Sentence Predictionの2つのタスクを解く．Masked Language Modelはいわば「穴うめ問題」で，ランダムにマスクした（隠した）語をその他の語から予測するタスクを解く．穴うめ問題を解くことによって語の統語的・意味的な情報を学習することができる．

Next Sentence Predictionではある文に対して，その後に実際に出現している文を並べた文ペアを正例，ランダムにとってきた文を並べた文ペアを負例とし，これらを識別する問題を解く．この識別問題を解くことによって2文の関係を学習することができる．

この2つのタスクはどちらも自己教師あり学習であるので，先に述べたとおり，人手のラベルを必要とせず大規模なテキストで学習可能である．事前学習には多大なる計算パワーを必要とする．論文ではTPUを使って4日かかったと報告されており，GPUで行うと数十日かかると言われている．ただし，事前学習は誰かが一度すればよいだけであり，そのほかの人は公開されている事前学習モデルを使えばよいだけである．

ファインチューニングでは，解きたいタスクに対応した最終層をTransformerの上に追加する．たとえば1文分類問題では，入力の先頭に追加された特殊なトークン（[CLS]トークン）に相当するベクトル（これが文全体を表すベクトルとなる）の上に最終層を追加する．そして，タスクの正解データを用いて最終層とTransformerのパラメータを更新する．これは数十分から数時間くらいの比較的短時間で終えることができる．

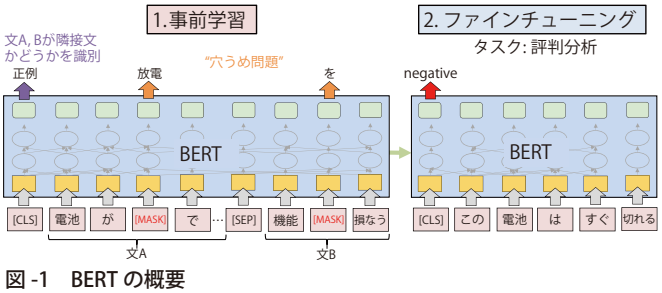


図-1　BERTの概要

冒頭で述べた機械読解タスク以外にも，2018年に提案されたGLUE（General Language Understanding Evaluation）[1]という言語理解タスクでも大幅な精度向上が達成された．これは1文もしくは文ペアに対するタスク9つの総合問題で，これまでのベースラインが70.0であったところをBERTは80.5のスコアを達成した（人間のスコアは87.1）．

BERTのその後

BERTが出現してから1年のうちにBERTを改良した新しいモデルが次々に登場した．GLUEでのスコアは徐々に更新され，2019年11月時点でのスコアは89.7となり，人間のスコアを超えた．さまざまなモデルの事前学習モデルがどんどん公開され，また，それを使えるプログラムも整備され，最新のモデルを容易に使うことができる．日本語の事前学習モデルも公開されている[2]．新しいモデルだけでなく，難しい評価セットがどんどん提案され，研究がものすごいスピードで進んでいる．第3のブレークスルーが来る日も近いであろう．

参考文献

1) Wang, A. et al. : GLUE : A Multi-Task Benchmark and Analysis Platform for Natural Language Understanding, EMNLP2018 Workshop, pp.353-355.
2) http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/index.php?BERT%E6%97%A5%E6%9C%AC%E8%AA%9EPretrained%E3%83%A2%E3%83%87%E3%83%AB

（2019年11月30日受付）

柴田知秀（正会員） tomshiba@yahoo-corp.jp

2007年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了．京都大学大学院情報学研究科助教，特定講師を経て，2019年よりYahoo! JAPAN研究所上席研究員．自然言語処理，特に深層学習を利用した日本語基礎解析に従事．

IFIP —情報処理国際連合— 近況報告

村山優子 IFIP 日本代表（津田塾大学）

IFIP は来年創立 60 周年を迎える．情報技術（IT）の発展へ貢献をしてきた歴史があるが，現在の IT 分野の状況の中で，今後どのような存在となるかが課題とされている．元々国連のユネスコの支援の下創設され，各国のメンバ学会の代表の集まりである IFIP の総会（GA : General Assembly）は，毎年 1 回開催され，IT 領域全体にかかわる多くの問題について議論が行われる．

従来，IFIP GA は WCC（World Computer Congress）や WITFOR（World Information Technology Forum：主として途上国の IT による社会開発を支援するアイディアについて討議する会合）のあるときに併催されていた．しかし，2012 年にアムステルダムで WCC と併催で開催された後，2013 年と 2014 年は単独で GA だけが開催された．2015 年は，韓国の大田広域市（Daejeon）で 10 月の WCC 2015 の後に開催された．また，WITFOR については途上国で開催されており，2016 年度は WITFOR 2016 がコスタリカの首都サンホセで開催され，続いて GA が開催された．2017 年度は，これら IFIP 主催の会議ではなく，スリランカのコロンボで開催される東南アジア地域コンピュータ連合（SEARCC : the South East Asia Regional Computer Confederation）の年次会議 SEARCC 2017 およびスリランカ国内の会議 National IT Conference（NITC 2017）とともに開催された．WCC は，その規模や網羅する分野が広すぎることから，将来の開催が懸念されてきた．2018 年には，新たな形の第 24 回 WCC 開催を目指すポーランド代表でカウンシラー（Councilor）の Jerzy Nawrocki 教授（ポズナン工科大学：Poznan University of Technology : PUT）を中心に，コンパクトな形で，各技術委員会（Technical Committee : TC）や TC 内の各 WG（Working Group）の会議を併催し，2018 年 9 月 17 ～ 21 日にポーランドのポズナンで開催された．その後 GA も開催された．

今回の GA は，ウクライナの首都キエフで開催された．当初，World CIO Forum（WCF 2019）が GA に先駆けて開催することが計画されていたが，中止となった．ただし，GA の前に筆者が委員長を務める災害情報の領域委員会，Domain Committee on IT in Disaster Risk Reduction（ITDRR）が主催する国際会議（ITDRR 2019）が開催された．

今回の GA では，IFIP の各種委員会が 2019 年 10 月 11 日に，総会が 12 ～ 13 日に開催された．2020 年の GA はパリのユネスコ本部で開催される予定であったが，フランスのメンバ学会が世話役となり，9 月にトゥールーズで開催予定である．その後，パリのユネスコで 60 周年イベントが開催される予定となっている．イベントの具体的な内容は未定だが，招待講演の形をとるようで，各国のメンバ学会が招待される予定である．

IFIP 全般の状況

今回の総会には，IFIP Vice President および日本代表として村山が出席した．また，次期日本代表となる東京大学の相田仁教授がオブザーバで参加され，本会の紹介を発表していただいた．総会には，各国のメンバ学会 代表者が 22 名，ウクライナ国内の特

別会員（National Member at Large）代表者が 1 名，特別会員（International Members at Large）の ACM 代表者 1 名，国代表ではない役員 7 名，技術委員会（Technical Committee : TC ）の委員長 8 名，準会員 IMIA（International Medical Informatics Association）から日本の武田裕教授（滋慶医療科学大学院大学），名誉会員 1 名の，総勢 41 名の総会構成員のほか，オブザーバ 9 名，事務局 1 名が参加した．

2018 年 12 月時点で，総会の構成員は次の通りである．IFIP のメンバ学会の数は昨年度の報告から 3 カ国減り 37，各国における国代表以外の特別会員はウクライナの 1 組織，国際的な特別会員として ACM および中米の組織 CLEI（Centro Latinoamericano de Estudios en Informatica）の 2 組織が登録されている．このほか，準会員として 4 組織が登録されている．技術委員会は 13 あり，それぞれの委員長が総会メンバとなる．TC は 1 〜 14 番まであるが，4 番は医療情報の TC であったが独立して準会員の IMIA となったので，現在は欠番となっている．このほか，Ex Officio Member と呼ばれる国代表ではない役員は 8 名，名誉会員が 8 名である．

これまで，総会では多くの議題があり，十分な検討時間がとれなかった．このことから，今回より，総会の前に開催される役員会でおおむね課題を検討し，その結果を総会始めに会長が報告するというスタイルで進められた．これにより，最重要課題を総会で議論することにした．ただし，役員会内でも議論の時間は十分とれず，なかなか難しい．

一時メンバ学会の減少は止まっていたが，2018 年 12 月末にハンガリー，スペイン，デンマークの 3 カ国が脱退した．ハンガリーは政治的な理由だが，ほかはとどまるメリットがないなどの理由であり，IFIP の在り方が問われている状態である．昨年報告したタンザニアは，IFIP 関係者の支援の下，新たに IT にかかわる組織が誕生すると報告したが，いまだメンバになっていない．昨年の総会に出席したボツワナの Computer Society もまだ登録していない．タンザニア，ボツワナに加え，IEEE，タイ，バングラデシュ，エジプトの参加にむけて努力している．

2018 年の会費総額は予想を下回った．2017 年度より約 13 千ユーロの減収である．会費のディスカウントや，3 カ国の会費の未納のためである．例年赤字は予算よりも少ないが，2018 年度は予算上では 137,170 ユーロの赤字が計上されていたが，最終的に 290,895 ユーロの赤字となった．これは，会費の減収と電子図書館等のプロジェクトの経費増に加え，6 月のアムステルダムで役員中心の戦略会議開催で経費が増えたことによる．さらに，補填するはずの資産の運用が，英国の EU 離脱や米国の関税問題等の経済状況のため大きな損失となった．2019 年度は，今のところ予算上では補填を含み 55,324 ユーロの赤字が見込まれている．いずれにしても，資産運用の補填がなければ例年赤字となることが問題で，増収のためには参加国を増やすか，ほかの施策が必要とされている．参加国が減少する中，IFIP への参加の意味が問われている．

一方，事務局はオーストリアにあることから，2018 〜 2019 年には，オーストリア政府より 5 万ユーロの財政的支援を得ている．事務局がオーストリアに在る理由は，このような恩恵を受けているからである．

IFIP における国連とのつながりの強化

以前の IFIP についての報告の通り[1]，前会長が他の国連機関等との連携を目指す委員会，International Liaison Committee（ILC）を設立し，IFIP は国連関係との結びつきを強める方向にある．会長もこの方向に沿って活動を進めており，その結果，2020 年には IFIP の 60 周年イベントをパリのユネスコ本部で開催することとなった．元々 IFIP はユネスコの提案により設立された経緯がある．今のところ 2020 年 9 月 28 日に招待講演イベントも企画される予定である．

また，元幹事の A Min Tjoa 教授（ウィーン工科大学）は，国連の開発のための科学技術委員会（Commission on Science and Technology for Development: CSTD）の Vice Chair となり，ますます国連志向の動きが進んでいる．

このほか，IFIP では，毎年国際電気通信連合（International Telecommunication Union : ITU）が主催

する世界情報社会サミット，The World Summit on the Information Society（WSIS）Forum 2019 で，筆者も災害管理や多様性に関する IFIP+UNESCO ワークショップを開催した．2020 年 4 月にも開催予定である．

IFIP の今後の戦略

IFIP の今後の方向性等については，2018 年 3 月および 6 月に役員がアムステルダムに集まり，ファシリテータを介して協議の場を設けた．その結果，IFIP のスタンスを明確にすべき等の課題が出た．Hinchey 会長は，作成された戦略[2]へのフィードバックを広く求めている．しかし，その後の議論は進まず，今日に至っている．今回の GA では，以前から役員の一部から出されたアカデミックメンバシップ，すなわち，大学などの組織が単独で IFIP の会員となることが提案され，活発に議論された．企業や大学の研究者が会員であるメンバ学会の多くは反対している．一方，学会が存在しない地域や，まとまった組織がない地域では，大学ごとのメンバシップが望まれるとのことである．議論の末，今回の提案は廃案となり，新たにこの件について話し合う小委員会を立ち上げることとなった．

新たなメンバシップの創出の前に，参加意義を見いだせないと脱退していった国々の元メンバ学会について，もっと考えるべきではないかと役員会でも筆者が意見を述べたが，どうも目先の収入増について短絡的に考える役員も多い．ドイツとブラジルの役員は，筆者と同意見である．また，役員ではないが，スウェーデンの代表の Jan Gulliksen 教授（スウェーデン王立工科大学）も新たなアカデミックメンバシップに強く反対している．いずれにせよ，今後役員会では，毎月遠隔会議で議論の場を設けるとのことである．

役員の選出

役員については，任期満了の後任等について投票が行われた．Hinchey 会長は，この GA 後から 2 期目に入る．また，副会長であった Max Bramer 教授（英国）は，今回の GA 後から A Min Tjoa 教授に代わり，幹事（Honorary Secretary）となる．副会長については，2 名の枠があり，現副会長で 1 期目が満了する中南米の組織 CLEI の前代表 Gabriela Marin Raventos 教授（コスタリカ大学）の再任（2 期目）と，長らくカウンシラーを務めたオーストラリア代表の Anthony Wong 氏が，無投票で選ばれた．

また，財務担当の役員の Declan Brady 氏は来年で任期満了となるため，次期財務役員の選挙が行われた．1 名枠で候補者はインド代表の Sanjay Mohapatra 博士のみだったが，財務役員については信任投票が必要となり，投票の結果，否決された．そのため，再度候補者を募集し，投票の結果スロバキア共和国代表で元教育大臣の Milan Ftáčnik 氏が選出された．

メンバ学会の代表部会（Member Society Association : MSA）の推薦するカウンシラー枠には，ニュージーランド代表で，前 MSA 代表であった Elizabeth Eastwood 氏が無投票で選出された．同様に，技術委員会の集まりであるテクニカル・アセンブリ（TA）枠のカウンシラーには，TC 13 の主査の Philippe Palanque 氏が選出された．その他，1 期目が満了となる韓国の Jee In Kim 氏が再任され，IP 3 枠のカウンシラーには，Moira de Roche 氏，Member at Large の枠から ACM 代表の Gerit van der Veer 氏が選出された．

今回はさらに，長らく GA メンバでカウンシラーの Franz Rammig 氏の退任に際し，感謝のトロフィーが授与された．

会員関連

• MSA（Member Society Assembly）

技術委員会（TC）の集まりである TA（Technical Assembly）が組織されていることを受け，各国のメンバ学会の組織として MSA が数年前に創設された．今回オーストリア代表で元 TC 5 主査の Erich Neuhold 氏が代表となり，今後の MSA の委員の入れ替えなどについて説明された．今後も，国代表からのフィードバックを IFIP に向けて発信していく．この委員会から，日本側の IFIP への意見や要望を発信

すべきである．

さらに，GA における各国からの毎年の報告では，オブザーバで参加された相田教授が本会の紹介を行った．ジュニア会員制度について名誉会員の前会長が興味を示された．

• 会員の変更について

先述した通り，ハンガリー，スペイン，デンマークが脱退した．政治的な体制や財務的な理由の脱退はともかく，IFIP の会員であるメリットが見いだせないという理由もあり，今後 IFIP 内での検討事項であろう．

• 新たなアカデミック会員枠の提案

昨年度，学術連携強化の目的で，大学がメンバとなる IFIP アカデミック会員（Academic Affiliates）が提案された．これは国代表や特別会員とは別に，各国の大学が会員になる．MSA でも指示されない案であったが，今回の GA では，国代表の学会との関係が明確でないなどの強い反論があり，一端廃案となった．今後，小委員会などで新たに検討することとなった．本会の場合は大学関係者の会員が多いが，他国の国代表はプロフェッショナルの団体もあり，大学関係者が IFIP とかかわる機会がない場合もあるため，このような枠も必要とされる場合もあろう．ただし，こうした国別の状況にかかわりなく，規則として枠を設けた場合，反論通り，国代表組織とのかかわりが課題となる．

授賞関連

今回，技術分野で顕著な功績を遺した IFIP 内の技術委員会等の組織に属するメンバに与えられる IFIP Fellow Award には，昨年度，Award 委員会より候補者が提案されたが，候補者の推薦手順が明確でないなどの意見が出たため，推薦手順をさらに細かく指定してから，再度 1 年後にあらためて選定手続きを行うこととした．今回，前回候補に加え新たな候補が挙げられ，21 名の候補者の中から 19 名の受賞者が決定された．

また，今回から新設された IP 3 関連の David O'Leary Award は，アイルランド・コンピュータ・ソサエティ（Irish Computer Society : ICS）の Mary Cleary 氏に贈られた．本賞は，REDDS Capital の支援を受け創設された賞で，IFIP Global Industry Council で活躍された故人 David O'Leary 氏の名がつけられた．プロフェッショナリズム，倫理の普及，ICT の実践的な面に貢献した個人や団体が対象となる．

出版関連

IFIP 電子図書館は，フランス国立情報学自動制御研究所（INRIA）が構築を進めている．試験サイト☆1 で確認できる．現在までに，2010 ～ 2017 年までに出版された IFIP 関連の出版物は，特異な 1 件を除いて，すべて掲載されている．さらに，2018 年以降の出版物もほとんど含まれている．

最新の出版物については，目次が提示され，著者の原稿へのリンクと，Springer Link へのリンクが提示されている．前者は出版後 3 年経っていれば，一般の利用者が原稿を入手できる．一方，後者は Springer Link の加入者のみが論文を入手でき，一般の利用者は出版後 4 年経った後，このリンク経由で論文を入手できる．Springer との契約は 2019 年末までだが，特に問題なければさらに 5 年自動継続となる．オープンアクセスについては，古い出版物については可能で，現在 734 の議事録が出版されている．なお，ネットワークの技術委員会（TC 6）元主査の Aiko Pras 教授（オランダ）が構築した，TC 6 関連の会議のプロシーディングスを載せた電子図書館の保有する 2005 ～ 2012 年までの内容は，現在の電子図書館☆2 で閲覧できる．

オープンアクセスについては，現在以下の 3 種類の方法で提供している．

1）IFIP 電子図書館☆3 では，IFIP Springer 出版物（AICT，LNCS，LNBIP シリーズ）の著者の原稿を 2010 ～ 2015 年度分まで保持している．またそこから 2017 年までの分については，参考文献として挙げている．

2）IFIP Springer 出版物（AICT，LNCS，LNBIP シリーズ）のための Springer Link☆4 では，4 年前のものまでは，すべて無料で取得できる．2005 年までのものについては，ほぼすべて，Kluwer が IFIP の正式な出版社となった 1995 年までの多くの出版

☆1 https://hal.inria.fr/IFIP
☆2 http://dl.ifip.org/
☆3 https://hal.inria.fr/IFIP/
☆4 https://link.springer.com

物は無料で取得できる．

3）現在の IFIP 電子図書館[☆5] には，2005 ～ 2012 年までの Springer から出版されたものおよび，ほかの出版社からの内容も含まれている．

このほか，IFIP Select という名のオンラインジャーナルを発行し，過去の IFIP プロシーディングスからの優秀論文を掲載する．これにより技術委員会やワーキンググループ関係者の有望な研究内容を発信する場となる．今回挙げられた課題は，オンラインの出版を IFIP 電子図書館だけで行う場合，論文の評価指標に挙げられないことである．

ディジタルエクイティ委員会（Digital Equity Committee）

開発途上国の学生の学会参加の旅費や，開発途上国での会議での講演者の旅費等の事案について支援を決定するとともに，この支援の方針や今後必要な予算等について検討した．そう考えると，IFIP 自体の目標や方針が明確でないことから，どの程度の支援を目指すのかも分からない状態である．何を目的にこのような支援を行う必要があるのかなど，根本的な再考が必要である．

その他

- IFIP の資産を管理する金融機関が現在英国のロンドンにあるが，英国の EU 離脱により，他国の支店に移動するかなどが財務委員会で検討されている．
- 筆者の率いる災害情報処理領域委員会（Domain Committee on IT in Disaster Risk Reduction）が領域委員会期限 3 年を迎え，TC 5 の中の新たなワーキンググループとして開始する予定である．正式には，TA において，承認手続きを行う予定である．

今後の会議

来年度の総会は，2020 年 9 月下旬に，フランスのトゥールーズで開催予定である．その後，パリユネスコ本部で 60 周年イベントを開催する計画である．

[☆5] dl.ifip.org/

それに先立ち，役員会は中国の南京にて 2020 年 4 月 16 ～ 18 日まで開催される．

筆者は IFIP の副会長の任期が来年の GA で満了する．それとともに，日本代表を相田教授に引き継ぎ，GA からは退任する．2014 年，前代表の齊藤忠夫先生から引き継ぎ，最初に参加した GA で，いきなり副会長に選出されてしまい，訳が分からない状態で始めた GA 内の活動も，ようやく最近課題等が見えてきた．GA や役員会では，時間をかけずに進めることが多い．このまま行くと，IFIP の目標が定まらず，メンバ減少が進むのではないか．IT 関連の組織の割には，遠隔参加を容認しない．そのような時代遅れの体制が変わる必要があろう． 2018 年 6 月に役員がアムステルダムに集まり，IFIP について議論したにもかかわらず，いまだに目標も方針も定まらない．あと半年の任期だが，このような点に着目し，少しでも貢献できたらと思う．セキュリティとプライバシー技術委員会 TC 11 から始めた IFIP のキャリアだが，IFIP 全体の GA の活動は，TC の明確な活動と大分異なり，捉えどころがない部分も多い．IFIP 自体もユネスコ等国連機関との連携を模索しているが，なかなか難しい．このような中，国際組織の中での生き方については，国連の国際電気通信連合（ITU）で活躍された内海氏の著書を大分参考にさせていただいた[3]．今後，本会もグローバルな連携を大切にして進んでいただきたい．

参考文献

1）村山優子：IFIP ―情報処理国際連合― 近況報告，情報処理，Vol.60, No.3, pp.254-263 (Mar. 2019).

2）IFIP : Notes on IFIP Strategy，2018 年 10 月，http://www.ifip.org/images/stories/ifip/members/GA2018/Reports/it18%20slid

3）内海善雄：「国連」という錯覚―日本人の知らない国際力学，日本経済新聞出版社（Sep. 2008）．

TC 1(Foundations of Computer Science)

代表：廣川　直（北陸先端科学技術大学院大学）

TC 1 は理論計算機科学に関する専門委員会である．まず人事に関しては，2019 年 1 月に議長の交代があり，Luís Barbosa 氏（ポルトガル）が新議長になった．前議長の Jacques Sakarovitch 氏（フランス）は引き続き副議長を務める．スイス代表の交代もあり，後任に Thomas Studer 氏が指名された．スペインの IFIP 離脱に伴い，

Joaquim Gabarró 氏(スペイン代表)が退任した.

2019 年 6 月にパリで TC 1 メンバによる会合を持った.ビデオ会議システムの利用を含め 15 名が出席,ワーキンググループを跨ぐ会合や理論情報科学に関するサマースクールの開催,特に発展途上国でのサマースクール開催支援案について議論した.

TC 1 の学術活動主体は 8 つのワーキンググループにある.WG 1.10(String Algorithms & Applications)は 2018 年に活動停滞のため一時解散したが,Jan Holub 氏(チェコ)を Chair として再組織された.WG 1.5(Cellular Automata and Discrete Complex Systems)と WG 1.7(Theoretical Foundations of Security Analysis and Design)では Chair の改選があり,それぞれ Pedro P. Balbi de Oliveira 氏(ブラジル)と Sebastian Alexander Mödersheim 氏(デンマーク)の再任・就任が決まった.いずれの WG も活発に活動しており,2018 年 7 月〜2019 月 9 月の期間に 15 の国際学会の開催に寄与した.

TC 2 (Software : Theory and Practice)

代表:五十嵐淳(京都大学)

2019 年度の TC 2 会議は,ACM International Conference on Software Engineering(ICSE)に合わせ,カナダのモントリオールで 5 月 28 日に開催された.今回は都合により残念ながら参加できなかった.全体の参加者は 9 名であった.主な内容は次の通りである.(1)各 WG のメンバに関して議論し,新しい WG Chair として,WG 2.2 : Antonín Kučera 氏(Masaryk University),WG 2.4 : Philip Levy 氏(Adobe Systems, Inc.),WG 2.11 : Jacques Carette 氏(McMaster University)が承認された.また,23 名の新しい WG メンバと 5 名の名誉メンバが承認され,9 名が除名された.(2)Michael Goedicke 氏を IFIP Service Award にノミネートすることが提案された.Manfred Paul Award については受賞者なし.(3)IFIP World Computer Congress が 9 月にポズナンで開催された.WG 2.13 International Conference on Open Source Systems が 5 月 26 〜 27 日に(ICSE の一部として)開催された.TC 2 の Web サイト☆6.

☆6 https://ifip-TC 2.paluno3.uni-due.de/

TC 3 (Education)

代表:斎藤俊則(星槎大学)

2019 年 4 月 25 〜 27 日にかけて TC 3 WG 3.4 主催のカンファレンス SUZA 2019 (Sustainable ICT, Education and Learning) がザンジバル島内(タンザニア)の Sea Cliff Resort & Spa Zanzibar にて開催された.研究発表は 32 演題であり,加えて 2 つの基調講演と現地大学(The State University of Zanzibar)視察が行われた.現時点で参加登録者数などの概要は公表されていないが,会場規模や演題数から推測するところでは,例年よりも若干小規模なイベントであったと思われる.この時期にこの場所でカンファレンスが行われた理由は,続く 5 月 1 〜 3 日にかけて本土のダルエスサラーム(タンザニア)で WG 9.4 のカンファレンスが予定されており,重複する参加者が予想されたからであった.

カンファレンス最終日(4 月 27 日)の午後および翌 4 月 28 日の終日をかけて TC 3 の定例ミーティングが行われた.この会議では TC 3 全体および各ワーキンググループの活動報告に加えてイベント開催予定や今後の展望が議論された.

TC 5 (Information Technology Applications)

代表:中野　冠(慶應義塾大学)

第 58 回 TC 5 会議が 2018 年 9 月 22 〜 23 日にポーランドのポズナンで行われた(Tadeusz Czachorski(TC 5 Chairman), Philippe Dallemagne(TC 5 Secretary)).2019 年は,まだ開催案内がない.

TC 5 の中で大部分の日本人が参加する WG 5.7 会　議(APMS : Advanced Production Management System)は,9 月 1 〜 5 日までアメリカテキサス州オースチンで行われた.来年は,8 月 31 日〜 9 月 4 日までセルビア Novi Sad で開かれる予定である.これまで一貫してアジア太平洋州の代表は日本が務めてきたが,この大会から韓国が務めることになった.生産システム管理では,日本は長年世界のリーダであったが,昨今 IoT などで国際連携に遅れた日本の凋落を象徴する出来事である.

TC 6 (Communication Systems)

代表：相田　仁（東京大学）

2019 年の第 1 回会合は，2019 年 5 月 22 ～ 23 日にワルシャワで開催された．当面の間 TC 6 の Vice Chair および Treasurer はおかないこと，今後 Best Paper Award を受賞した Paper を TC 6 として IFIP Select Journal に推薦すること，IFIP Networking だけから良い論文を集めるのは難しいことから TC 6 Transactions は中断することなどが決定した．また，IFIP Networking 2018 において，他で発表したものを翻訳して発表した論文が 2 件見つかり，それらの論文をオンラインアクセス可能な会議のプログラムや IFIP Digital Library，IEEE Xplore から完全に削除したことが報告された．また，IFIP Networking 2019 には 46 ～ 60 人程度しか参加者がなく，この状態が続くと ranking 等の関係からも維持が難しくなることや，前年に IEEE Computer Society との間で結ばれた Technical Co-sponsorship がうまく機能していないことの懸念が示された．また，TC 6 Honorary Member の候補者の名前が挙げられた．2019 年の 2 回目の会合は開催されないことが決定し，2020 年 6 月の IFIP Networking の後に TC 6 会合を開催することが決まった．

TC 7 (System Modelling and Optimization)

代表：亀田壽夫（筑波大学）

TC 7 Conference および TC 7 meeting は隔年に開催され，2020 年がその定例開催年であり，第 29 回の TC 7 Conference が，8 月 31 日～ 9 月 4 日に，エクアドル共和国 Quito 内の Escuela Politecnica Nacional で開催される予定である．同学の Juan Carlos 教授が主体となり，その運営について，PC メンバの間で E-mail によって議論が行われている．南北アメリカから plenary speaker 5 名，その他から 4 名が選出されている．

傘下の WG について，TC 7 委員会は，その設立・改廃の際にかかわるのみであり，各 WG はほぼ独立に各々の活動を続けている．会議期間中に行われる TC 7 meeting において各 WG の活動の報告が行われるが，TC 7 Conference や TC 7 委員会へのかかわりに対する積極さにも，各 WG の間に依然として違いがある．

TC 8 (Information Systems)

代表：内木哲也（埼玉大学）

TC 8 は組織および社会での活動基盤である情報システム（Information Systems）の計画立案から，分析設計，開発，運用管理，利用評価，さらには組織設計や社会的評価までをも含む，人間―技術システムのマネジメント活動全般を対象としている．本年度は第 50 回となる TC 8 年次総会が 6 月 15 日に欧州情報システム国際会議 ECIS 2019 の開催に合わせ，スウェーデン王国ストックホルムの SCANDIC KLARA Hotel において 6 カ国の代表委員と 5WG 代表委員の 11 名により開催された．今年度は，TC 8 の社会貢献事業として継続中の国際会議評価基準の策定と途上国の若手研究者育成の活動状況について審議し，前者については IFIP 関連に対象を絞るものの双方共に次年度も継続実施することで了承された．また，新設 WG 8.12 Industrial Information Integration について Dr. Zhuo Zou（Royal Institute of Technology（KTH），Sweden）および Lida Xu 氏（WG 8.9 Vice Chair）より説明があり，審議の末，全会一致で新設が承認された．2020 年は IFIP GA の会期に合わせて 9 月下旬にフランス共和国パリにて開催する予定である．

TC 9 (ICT and Society)

代表：小向太郎（日本大学）

TC 9 は，ICT and Society をテーマとしており，隔年でシンポジウム HCC（Human Choice and Computers）を開催しているほかに，9 つの WG を設置して活動を行っている．TC 9 の 2019 年度の年次会合は，6 月にスウェーデンのストックホルムで行われ，HCC や WG の活動について議論がなされた．

次回の第 14 回 HCC[☆7] は，日本代表がカンファレンス Chair を務め，東京で開催されることになった．「データ駆動型社会における人間主体のコンピュータ

☆7　https://hcc14.net

利用」をテーマに，2020 年 9 月 9 ～ 11 日に，中央大学市谷田町キャンパス（中央大学 iTL）で開催される予定である．

TC 10 (Computer Systems Technology)

代表：金川信康（日立製作所）

TC 10 はコンピュータシステムの技術，すなわち各階層における設計・評価技術とその概念，方法論，ツールに関する情報交換と協調促進を目的としている．執行部は 2019 年より Chair : Paolo Prinetto 氏（イタリア代表），Vice Chair : Achim Rettberg 氏（ドイツ代表）以下 21 名のメンバから構成されている．

TC 10 は 10.2–Embedded Systems，10.3–Concurrent Systems，10.4-Dependable Computing and Fault Tolerance，10.5-Design and Engineering of Electronic Systems の 4 つの WG より構成されている．

WG 10.2 は 60 名のメンバにより構成されているが日本からの参加がないことが今後の課題である．

WG 10.3 のメンバは 56 名で，日本からは 4 名参加している．本会ではシステムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会が分野としては関連している．

WG 10.4 は 63 名のメンバから成り，日本から 5 名参加している．このほかに 21 名(内 3 名は日本国籍) の名誉メンバがいる．電子情報通信学会のディペンダブルコンピューティング研究会が連携している．本会ではコンピュータセキュリティ研究会が分野として関連しており，実質的な連携活動の可能性について話し合っている．

WG 10.5 は 49 名のメンバに加えて 8 名の名誉メンバを擁し，日本からは 3 名のメンバと 1 名の名誉メンバが参加している．本会ではシステムと LSI の設計技術研究会が活発に連携している．

TC 11 (Security and Privacy Protection in Information Processing Systems)

代表：村山優子（津田塾大学）

TC 11 は情報セキュリティに関連する分野を取り扱う TC である．TC 11 の活動は全体活動と WG 活動に分かれており，全体活動では TC 11 の運営を決める年次ミーティングと国際会議 SEC（International Information Security Conference）を開催している．WG 活動では各 WG が国際会議やワークショップ等を開いている．

今回の SEC 2019 は，34 回目となり，6 月 25 ～ 27 日の 3 日間，ポルトガル リスボン市内のリスボン大学，ISEG（Lisbon School of Economics and Management）にて開催された．今回は，TC 11 WG 11.1（Information Security Management）前主査の Gurpreet Dhillon 教授（米国，ノースカロライナ大学），TC 11 主査の Steven Furnell 教授（英国，プリマス大学），および TC 11 元副主査で TC 11 南アフリカ代表の Rossouw Von Solms 教授（ネルソン・マンデラ大学）が組織委員長となり，WG 11.1 主査の Karin Hedström 教授（スウェーデン，エレブルー大学），その他 2 名がプログラム委員長を務めた．

例年通り，SEC 2019 に先立ち 6 月 24 日に TC 11 の年次委員会が，SEC 会場の ISEG で開催された．SEC 会議の内容や運営についての議論や WG 報告等が行われた．

来年の SEC 2020 は，スロベニアのマリボルで 5 月 26 ～ 28 日に開催予定である．TC 11 スロベニア代表 Tatjana Welzer 教授（マリボル大学）が組織委員長となり，TC 11 元 Chair の Kai Rannenberg 教授（ドイツ代表）他 1 名がプログラム委員長を務める．

TC 11 では，現在 14 の WG が活動している．

TC 12 (Artificial Intelligence)

代表：栗原　聡（電気通信大学）

TC 12 は 1989 年に設立され，現在，Ulrich Furbach 教授（コブレンツ = ランダウ大学，ドイツ）が議長を務めている．AI（人工知能）全般をカバーしており，現在 33 カ国が参加し，Knowledge Representation and Reasoning，Machine Learning and Data Mining，Intelligent Agents，Web Semantics，Artificial Intelligence Applications，Knowledge Management，Social Networking Semantics and Collective Intelligence，Intelligent Bioinformatics and Biomedical Systems，Computational Intelligence，の 9 つの WG が運営されている．

TC 13 (Human-Computer Interaction)

代表：北村喜文（東北大学）

TC 13 の各国代表が集まる全体会議は，2019 年に 2 回開催された．1 回目は 3 月 28 日に英国・ロンドンの University of West London で開催され，各国代表 26 名が出席した．TC 13 Chair の Philippe Palanque 氏（フランス・Toulouse 第 3 大学教授）が本会議の Chair を務め，新しくセルビアからの参加が認められた．翌 29 日には IFIP TC 13 Open Symposium が開催され，各国参加者が自身の研究など自由な話題について発表し合い，相互理解を深めた．

2019 年の 2 回目の会議は，隔年開催される TC 13 主催の国際会議 INTERACT（International Conference on Human-Computer Interaction）に合わせて開催された．2019 年の INTERACT は，9 月 2 ～ 6 日にキプロスの Paphos で開催され[☆8]，112 人の学生を含む 314 人の参加があったことが報告された．国別参加者数として最大は英国で 31 人，続いて独国 29 人，米国 27 人で，日本からの参加はベルギーと並んで 11 番目の 8 名であった．

次回の INTERACT 2021 は，イタリアの Bari で 2021 年 8 月 30 日～ 9 月 3 日に開催される[☆9]．また次回の TC 13 全体会議は，2020 年 3 月 26 ～ 28 日にイタリアの Milan で開催されることになっている．IFIP TC 13 の詳細は，Web サイト[☆10] 参照のこと．

TC 14 (Entertainment Computing)

代表：星野准一（筑波大学）

TC 14 は，2002 年 SG 16（Specialist Group on Entertainment Computing，議長：中津良平氏）として出発し，設立以来 5 年が経過した 2006 年 8 月にチリ サンチャゴで行われた IFIP 総会において，TC への昇格が認められ，TC 14 として活動を開始することとなった．中津氏の議長の任期が終了したので，2012 年度に 2002 年より副議長を務めていた Matthias Rauberberg 氏（オランダ）が議長に選出された．副議長は Letizia Jaccheri 氏（ノルウェー）および Rainer Malaka 氏（ドイツ）であり，中津良平氏は WG 14.3 の議長を務めている．また日本代表の星野は TC 14 の副議長と，WG 14.4 Entertainment Games の議長を兼任している．

昨年1年間の TC 14 の構成員の変更・主たる活動は以下の通りである．

(1) TC 14 の主催する国際会議 ICEC 2019（International Conference on Entertainmem Computingu）の開催準備を進めている．

(2) 2019 年 9 月時点で TC 14 の国際委員の数は 46 名，WG の数は 9 である．

IP 3 (International Professional Practice Partnership)

代表：掛下哲郎（佐賀大学）

IP 3 は，各国の高度 IT 人材資格制度を認定することにより，世界の IT 専門家の強化に資することを目的としている．本会は，IP 3 の活動が認定情報技術者（CITP）制度の確立に有意義と考え，2009 年 6 月より参加し，ボード・メンバを務めている．参加団体は，オーストラリア ACS，南アフリカ共和国 IITPSA，カナダ CIPS，日本 IPSJ，ニュージーランド IITPNZ，ジンバブエ CSZ，韓国 KIISE，エジプト ITI，スリランカ CSSL，オランダ NGI/VRI，スイス SI の 11 学会と，IIBA, ISACA の 2 協会である．現在，IP 3 は欧州 e-CF や英国 SFIA 等，IT 専門家の能力を示すためのさまざまな枠組みを表現するための共通フレームワークや，IT 技術者が遵守すべき倫理綱領・行動指針の検討を推進している．

本会は，1 ～ 2 カ月ごとに開催されるオンライン会議による理事会への出席に加え，ML を活用して各種の活動を行った．具体的には，技術士（情報工学）の資格保持者に対する CITP 資格付与に伴う IP 3 認定範囲の拡大を実現し，ISO/IEC 24773 改訂を展望した IP 3 としての対応の必要性について主要メンバの同意を得た．

☆8 http://www.interact2019.org/
☆9 http://www.interact2021.org/
☆10 http://ifip-TC 13.org/

TC 1 : Foundations of Computer Science

WG 1.2 Descriptional Complexity
WG 1.3 Foundations of System Specification
WG 1.5 Cellular Automata and Discrete Complex Systems
WG 1.6 Rewriting
WG 1.7 Theoretical Foundations of Security Analysis and Design
WG 1.8 Concurrency Theory
WG 1.9 Verified Software (joint with WG 2.15)
WG 1.10 String Algorithmics & Applications

TC 2 : Software : Theory and Practice

WG 2.1 Algorithmic Languages and Calculi
WG 2.2 Formal Description of Programming Concepts
WG 2.3 Programming Methodology
WG 2.4 Software Implementation Technology
WG 2.5 Numerical Software
WG 2.6 Database
WG 2.7 User Interface Engineering (joint with WG 13.4)
WG 2.8 Functional Programming
WG 2.9 Software Requirements Engineering
WG 2.10 Software Architecture
WG 2.11 Program Generation
WG 2.13 Open Source Software
WG 2.14 Service-Oriented Systems (joint with WG 6.12/8.10)
WG 2.15 Verified Software (joint with WG 1.9)
WG 2.16 Programming Language Design

TC 3 : Education

WG 3.1 Informatics and digital technologies in School Education
WG 3.3 Research into Educational Applications of Information Technologies
WG 3.4 Professional and Vocational Education in ICT
WG 3.7 Information Technology in Educational Management

TC 5 : Information Technology Applications

WG 5.1 Global product development for the whole life-cycle
WG 5.4 Computer Aided Innovation
WG 5.5 Cooperation infrastructure for Virtual Enterprises and electronic business (COVE)
WG 5.7 Advances in Production Management Systems
WG 5.8 Enterprise Interoperability
WG 5.10 Computer Graphics and Virtual Worlds
WG 5.11 Computers and Environment
WG 5.12 Architectures for Enterprise Integration
WG 5.13 Bioinformatics and its Applications
WG 5.14 Advanced Information Processing for Agriculture

TC 6 : Communication Systems

WG 6.1 Architectures and Protocols for Distributed Systems
WG 6.2 Network and Internetwork Architectures
WG 6.3 Performance of Communication Systems
WG 6.6 Management of Networks and Distributed Systems
WG 6.8 Mobile and Wireless Communications
WG 6.9 Communication Systems in Developing Countries
WG 6.10 Photonic Networking
WG 6.11 Communication Aspects of the e-World
WG 6.12 Service-Oriented Systems (joint with WG 8.10/2.14)

TC 7 : System Modelling and Optimization

WG 7.2 Computational Techniques in Distributed Systems
WG 7.3 Computer System Modeling
WG 7.4 Inverse Problems and Imaging
WG 7.5 Reliability and Optimization of Structural Systems
WG 7.6 Optimization - Based Computer Aided Modeling and Design
WG 7.7 Stochastic Control and Optimization
WG 7.8 Nonlinear Optimization
WG 7.9 Modeling and Control in Mathematical Biology

TC 8 : Information Systems

WG 8.1 Design and Evaluation of Information Systems
WG 8.2 The Interaction of Information Systems and the Organization
WG 8.3 Decision Support
WG 8.4 E-Business Information Systems: Multi-disciplinary research and practice
WG 8.5 Information Systems in Public Administration
WG 8.6 Transfer and Diffusion of Information Technology
WG 8.9 Enterprise Information Systems
WG 8.10 Service-Oriented Systems (joint with WG 6.12/2.14)
WG 8.11 Information Systems Security Research (joint with WG 11.13)
WG 8.12 Industrial Information Integration

TC 9 : ICT and Society

WG 9.1 Computers and Work
WG 9.2 Social Accountability and Computing
SIG 9.2.2 Special Interest Group on Framework on Ethics of Computing
WG 9.3 Intelligent Communities
WG 9.4 Social Implications of Computers in Developing Countries
WG 9.5 Our Digital Lives
WG 9.6 Information Technology: Misuse and The Law (joint with WG 11.7)
WG 9.7 History of Computing
WG 9.8 Gender, Diversity and ICT
WG 9.9 ICT and Sustainable Development
WG 9.10 ICT Uses in Peace and War

TC 10 : Computer Systems Technology

WG 10.2 Embedded Systems
WG 10.3 Concurrent Systems
WG 10.4 Dependable Computing and Fault Tolerance
WG 10.5 Design and Engineering of Electronic Systems

TC 11 : Security and Privacy Protection in Information Processing Systems

WG 11.1 Information Security Management
WG 11.2 Pervasive Systems Security
WG 11.3 Data and Application Security and Privacy
WG 11.4 Network & Distributed Systems Security
WG 11.5 IT Assurance and Audit
WG 11.6 Identity Management
WG 11.7 Information Technology: Misuse and The Law (joint with WG 9.6)
WG 11.8 Information Security Education
WG 11.9 Digital Forensics
WG 11.10 Critical Infrastructure Protection
WG 11.11 Trust Management
WG 11.12 Human Aspects of Information Security and Assurance
WG 11.13 Information Systems Security Research (joint with WG 8.11)
WG 11.14 Secure Engineering

TC 12 : Artificial Intelligence

WG 12.1 Knowledge Representation and Reasoning
WG 12.2 Machine Learning and Data Mining
WG 12.3 Intelligent Agents
WG 12.4 Semantic Web
WG 12.5 Artificial Intelligence Applications
WG 12.6 Knowledge Management
WG 12.7 Social Networking Semantics and Collective Intelligence
WG 12.8 Intelligent Bioinformatics and Biomedical Systems
WG 12.9 Computational Intelligence

TC 13 : Human-Computer Interaction

WG 13.1 Education in HCI and HCI Curricula
WG 13.2 Methodologies for User-Centered Systems Design
WG 13.3 Human Computer Interaction, Disability and Aging
WG 13.4 User Interface Engineering (joint with WG 2.7)
WG 13.5 Human Error in Resilience, Reliability, Safety
WG 13.6 Human-Work Interaction Design
WG 13.7 Human - Computer Interaction & Visualization (HCIV)
WG 13.8 Interaction Design and International Development
WG 13.9 Interaction Design and Children
WG 13.10 Human-Centered Technology for Sustainability

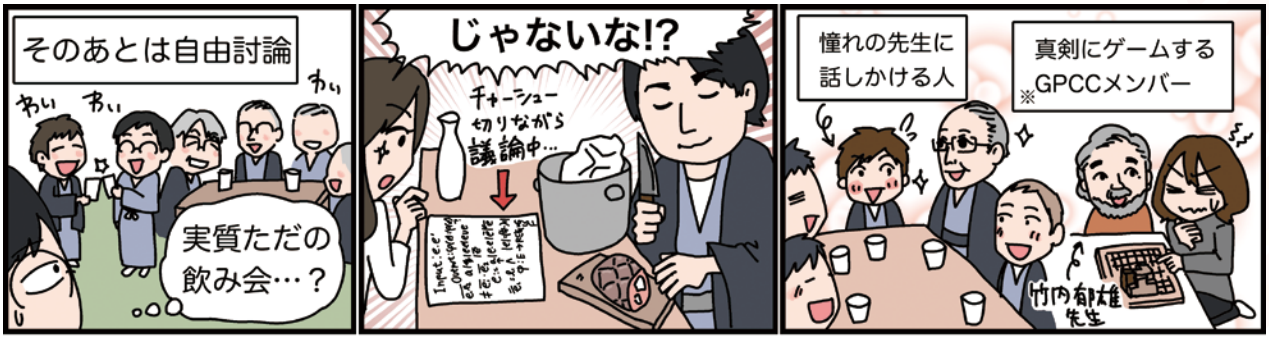
TC 14 : Entertainment Computing

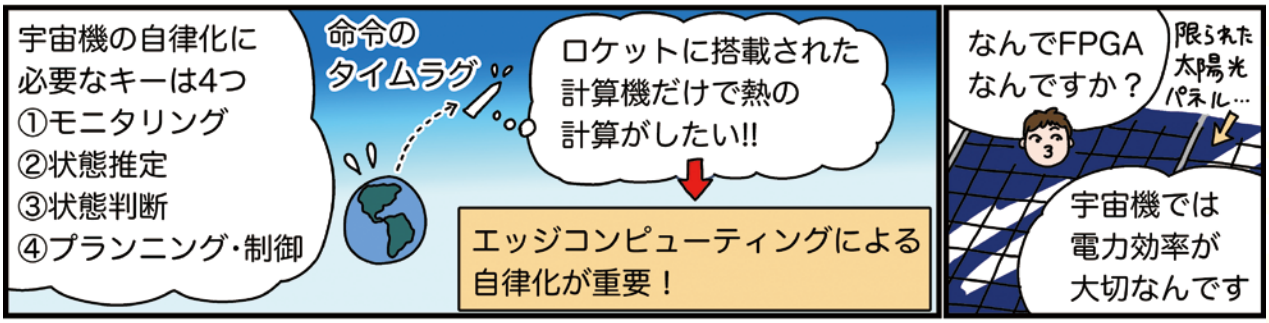
WG 14.1 Digital Storytelling
WG 14.2 Entertainment Robot
WG 14.3 Theoretical Basis of Entertainment
WG 14.4 Entertainment Games
WG 14.5 Social and Ethical Issues in Entertainment Computing
WG 14.6 Interactive TeleVision
WG 14.7 Art and Entertainment
WG 14.8 Serious Games
WG 14.9 Game Accessibility
WG 14.10 Sound and Music Computing

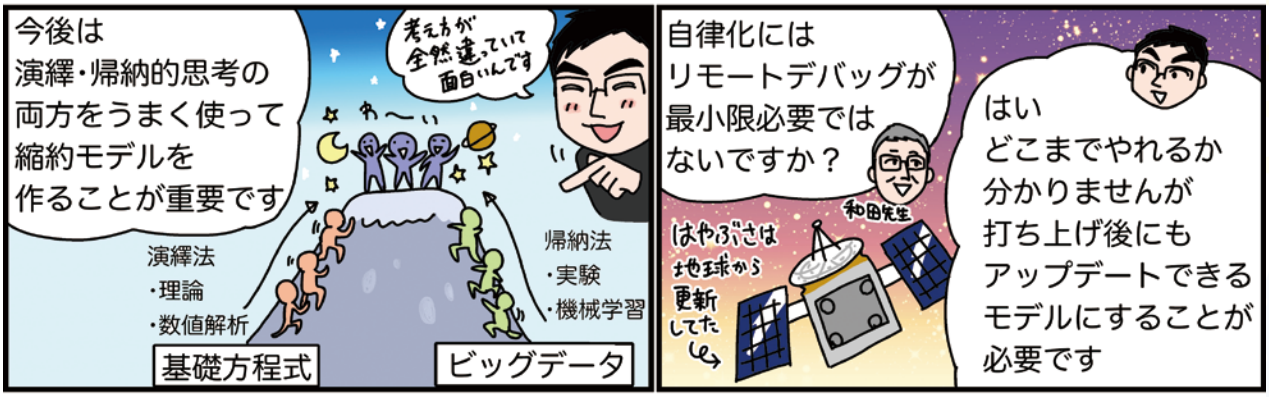
その6 難しくて理解不能!? 第61回プログラミング・シンポジウムに行ってみた!

漫画：山本ゆうか（Twitter @ymmox）

取材してほしい人・イベントなどを募集中！ Twitter ハッシュタグ：#IPSJ_IT 紀行／メールアドレス：editj@ipsj.or.jp







※Games and Puzzles Competitions on Computers

ISSRE 2019 参加報告

ISSRE 2019 について

2019 年 10 月 28 日から 31 日にかけ，ドイツ・ベルリンにて The 30th International Symposium on Software Reliability Engineering（ISSRE 2019）が開催された．本稿では，その参加報告を行う．

ISSRE は，ソフトウェアシステムの信頼性に関する代表的な国際会議である．その興味範囲は，セキュリティ，安全性，保守性など信頼性に直接影響する属性から，レジリエンス，耐故障性，欠陥・故障の除去・回避策，また信頼性の社会的側面まで幅広い．

今回は 28 カ国から 196 名の参加者があった（**図 -1**）．イタリア からの参加者が最も多く 31 名，ついで多いのはドイツとアメリカからの各 25 名，中国からの 20 名であった．日本からの参加者はカナダ・フランス（各 9 名）についで 7 番目に多く，8 名であった．また，本会議は伝統的に企業からの参加者が多いことで知られており，例年，参加者の 30 ～ 45% が企業に所属している．

ISSRE 2019 プログラム

概要

プログラムは大まかに，3 件の基調講演を含む研究論文トラック（Research Track），産業論文トラック（Industry Track），ドクトラルシンポジウム，ファストアブストラクト，チュートリアル，パネルディスカッションからなり，さらに 7 つのワークショップが併設されていた．

研究論文トラックには 134 件の投稿があり，うち 42 件が採録された（採録率 31%）．研究論文トラックはさらに 3 つのカテゴリからなり，その内訳は 24 件のテクニカル論文（Technical Regular Papers），12 件の実践報告論文（Practical Experience Reports），6 件のツール論文（Tools and Artifact papers）であった．産業論文トラックには 27 件の投稿があり，うち 15 件が採択された（産業論文トラックの投稿数には例年ばらつきがあり，2019 年は少なめであると紹介されていた）．

図 -1　オープニングでの参加者の統計
（https://twitter.com/dacotorre/status/1189099502252314625/photo/1 より引用）

研究論文トラックのセッションタイトルには，根本原因解析，障害インジェクション，障害予測，テスト，プログラム解析，コンテキスト・進化・信頼性，プロセス品質，セキュリティが挙げられていた．うち，根本原因解析とテストに関する発表は件数が多く，それぞれ 2 セッション設けられていた．

2018 年度と比較すると，研究論文トラックが実践報告論文，ツール論文を含むようになった分，採択論文数が大幅に増えており（26 件から 42 件），結果的にセッション数も 2019 年度の方が多い．セッション構成から見ると，増加したのは障害・故障に関する研究である．プロセス品質や，コンテキスト・進化についてのセッションも 2018 年度は見られなかった．一方，2019 年度はモバイルシステムと題したセッションがなくなっている．

また，2018 年度はジャーナルファースト論文が別セッションにまとめられていたが，2019 年度はテーマに沿った各セッションに分散して配置される形となっている．

研究に対する賞として，Best Paper Award，Best Industry Paper Award，Best Disruptive Industry Paper Award の 3 つが用意された．いずれも運営委員会から 1 つの賞ごとに 3 つの候補が提示され，参加者の投票結果に応じて結果が発表される形式であった．今回受賞した研究論文を次に示す．

- **Best Paper Award** : Preston Moore, Justin Cappos, Phyllis Frankl and Thomas Wies "Charting a Course Through Uncertain Environments : SEA Uses Past Problems to Avoid Future Failures"
- **Best Industry Paper Award** : Hiroshi Kuwajima and Fuyuki Ishikawa "Adapting SQuaRE for Quality Assessment of Artificial Intelligence Systems"
- **Best Disruptive Industry Paper Award** : Pallavi Pandey, Anupam Sarkar and Ansuman Banerjee "Triforce QNX Syscall Fuzzer"

運営委員会の審査と参加者の投票の両者が受賞論文の決定プロセスにかかわっているため，いずれの研究も多くの聴衆にとって興味のある内容が，論文・発表ともに理解しやすく説明されており，質の高さが実感できた．

また，2019 年で ISSRE は 30 周年を迎えた．これを記念して，オープニングセッションにて過去の会議を振り返り，5 つの分野（信頼性の成長，故障分析，ソフトウェアテスト，耐故障性テスト，ソフトウェアエージング）

ごとに分野への影響が大きかった論文や著者を挙げながら，会議の沿革を示す試みや，ソーシャルイベントでの小さなセレブレーションなどがあった（**図 -2**）．

全体的な傾向として，2019 年は基調講演も含め，機械学習・人工知能を利用したシステムの信頼性に関する発表や議論が活発な印象を受けた．クロージング前に開催されたパネルディスカッションでも，産業界から 3 名のパネリスト（それぞれ所属は ABB，デンソー，Thales）が招かれ，これからの世界で必要とされる信頼性の定義や遵守方法について，研究や技術から法整備，標準規格，組織形態まで，さまざまな観点から熱論が交わされていた．

基調講演

前述の通り，基調講演はそれぞれ本会議の各日に行われた．

1 日目の基調講演は，Robert Bosch GmbH の Simon Burton 博士による，"Challenges and advancements in arguing the safety of autonomous driving" であった．

講演では，自律運転の信頼性・安全性をシステムレベルで担保するための克服すべき課題・今後の見通しが紹介された．

課題としては，実世界の複雑かつ多様なイベントに対応した安全性の基準を与える難しさに始まり，センサのノイズ，予測しづらい機械学習モデルの振舞いなどが挙げられた．また，単に法令を遵守した運転を実現するだけではなく，他の車の挙動によって法令を遵守できなくなった場合の危険回避策など，いずれ倫理的な領域にも踏み込む必要があることが示唆されていた．

これらの問題に対して，現在はシナリオベースの運転テストやシミュレーションが実施されているが，都市内で高度な自律運転に必要な想定シナリオ数の爆発的増加，シミュレータに与えるべきモデルの十分さなどを検討する必要があるなど，アプローチごとの具体的な課題も示されていた．

2 日目の基調講演は，Newcastle University の Alexander Romanovsky 教授による，"Holistic Fault Tolerance" であった．

講演では，一般的なフォールトトレランス（障害許容）設計手法では対処が難しい故障や，システムレベル要件を満たすためのホリスティック（全体論的）な障害許容設計が，最近の研究成果を交えながら紹介された．

従来の障害許容設計の課題としては，個別の開発者がシステム全体を考慮した設計を行うことが難しい，複数のモジュールや障害対応モジュール自体が故障することなどが挙げられていた．これに対し，分割統治法に着想を得た新たなアーキテクチャが紹介され，その実装と実験結果を通じて有効性が示されていた．

3 日目の基調講演は，TU Delft の Lydia Chen 教授による，"Machine Learning for Dependability Management" であった．機械学習を信頼性の担保に活用する際のポイントやベストプラクティスが紹介された．

特に，深層学習を適用するのではなく，人間の創造性を活かしてホワイトボックスの（古典的な）解法と混在させる，いわゆるグレーボックスな解法によってパフォーマンスが向上するという点が強調されていた．また，最も予測しづらいのは人が介在した際のシステムの振舞いであるということも示唆されており，個人的に興味深く感じた．

講演全体を通じて，企業での具体的な導入・実験事例（IBM でのパフォーマンスイシュー発行の自動化，Google のデータ分析基盤におけるタスク完了種別の自動化）が紹介されており，説得力のある内容だった．

ワークショップ

併設されたワークショップの概要を**表 -1** にまとめた．初開催のワークショップも多く，参加した範囲では，本会議でまだ話題になっていない先駆的な領域での報告や計画について盛んに議論されていた．なお，IDEAR については初開催としているが，同じくプログラムのデバッグに関するワークショップである IWPD の後継とのことである．

図 -2　ディナーイベントの様子
(https://twitter.com/ISSREConf/status/1189831978859798528/photo/2 より引用)

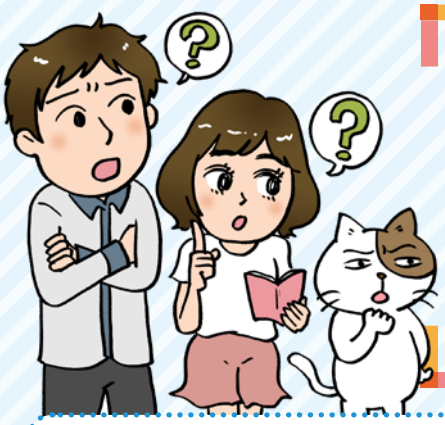
次回開催予定

次回，ISSRE 2020 は，同じく 10 月 28 日から 31 日にかけ，中国・武漢にて開催される予定である．日本からの積極的な参加・投稿が期待される．

（中川尊雄／富士通研究所）

表 -1　開催されたワークショップ

名前	対象領域	開催回数
GAUSS	システム・オブ・システムズ	初回
IDEAR	デバッグと修正	初回
IWSF	ソフトウェア故障	3 回目
RSDA	信頼性とセキュリティデータ	4 回目
SHIFT	ソフト・ハード間の相互作用	初回
WoSAR	ソフトウェアエージング	11 回目
WoSoCer	ソフトウェア認証	9 回目



連載

先生，質問です！

公開質問には定年退職後の研究者が応えてくれるなど，うれしい反応もありました．みなさんは AI の発達でどんな職業が生まれると予想するでしょうか？

匿名希望
小学生

AI の発達によって今までなかった職業が増えたりしますか？

Q

企業の研究所，そして大学で AI の研究をしてきて定年退官したお爺ちゃんですが，僕の答えは「『AI が何を考えているのか分からない』という相談に答える仕事」です．ここでは「知的なロボット」を例として考えます．AI（ロボット）の進化は目覚ましく，いつかは鉄腕アトムのように賢くて何でもできるロボットが登場すると僕は思っています．アトムは人間と自由に話し合って楽しく生活してくれる理想的なパートナーです．しかし，AI はまだまだ未熟ですから，ユーザである人間が何かを頼もうとしても，「それは学習していないことなので実行できません」ということも起きます．AI が良かれと思ってやってくれたことが，ユーザにとってはありがたくないということも起きたりします（これが一番困りますね）．そんなときに，AI の技術に詳しい人は，自分でそれを理解して，「あぁ，この AI はここまでしかできないんだ」とか「この AI にはこういう頼み方をしないといけないのだ」とか工夫して使いこなすことができます．今のパソコンやスマホを上手に使いこなす人と同じですね．でも，それができるユーザの数は限られています．今，スマホを販売し，その使い方の相談に乗ってくれるお店がたくさんあるように，AI を販売し，その使い方の相談に乗ってくれ，さらには AI のプログラムを書き換えたり，AI の学習を追加したりして，ユーザの思った通りに動作するようにするプロフェッショナルな仕事がとても重要度を増すでしょう．そんなものはいらない優れた AI を実現することが，研究開発者の究極の目標なんですがね（笑）．

上田博唯
元京都産業大学

A

本企画の問合せ先

新世代企画委員会／会誌編集委員会　「先生，質問です！」係　E-mail: sensei-q@ipsj.or.jp

伊藤貴之
〔正会員〕
お茶の水女子大学

AIが発達したらむしろ文系の方々が就職する現場のほうが新しい職種のチャンスが大きいのではないかという気がします．たとえば，法学，経営，倫理，芸術などに関係ある業界の価値観が根本からひっくり返る可能性があると思っています．むしろ，そういう業界にも人材を輩出できるようにするために，大学の情報系学部の定員を増やす（あるいは情報系と他分野の融合学問をさらに活性化する）必要性を感じます．

増えます．

これから生まれる職業にロボット訓練士があるでしょう．これからのロボットは工場で働くだけでなく，私たちの日常生活を助ける仕事をします．お年寄りの見守りや介護，家事の手伝い，荷物運びや，車に変身してタクシー役をしてくれます．22世紀生まれのドラえもんは工場で誕生した後，性能訓練を受けていたことを知っていますか？　ご主人さまになる人間のこと，仕事内容，仕事の環境を知らないとロボットは働くことができません．ロボットの先生役をする職業，ロボット訓練士が必要になりますね．

もう1つ，サイボーグ技工士という仕事が生まれるでしょう．ロボットは人の仲間として働きますが，一方で，人と一体化して人の能力を強化するAI器具が増えてきます．身体の各器官を人工物で置き換えた人をサイボーグと言いますが，そこまで行かなくても，目，耳，足腰が不自由な人を助けるように，AI技術を使った眼鏡，イヤホン，パワースーツが出てきます．より健康で生き生きした社会生活を送るためには，人それぞれの特徴にあった器具を調整して装着する必要があります．その職業がサイボーグ技工士です．

栄藤　稔
〔正会員〕
大阪大学

「先生，質問です！」への質問方法

- **メールで質問：**下記を記載し，E-mail: sensei-q@ipsj.or.jp にメールを送信ください．
  （1）質問（必須）（2）名前（任意）（3）区分（必須）：小学生／中学生／高校生／高専生／大学生／大学院生／社会人／その他・無回答（4）会員種別（必須）：ジュニア会員／学生会員／正会員／非会員（5）連絡用メールアドレス（任意）
- **Web から質問：**下記の Web ページ内の投稿フォームから質問をご記入ください．
  「先生，質問です！」質問募集のお知らせ　https://www.ipsj.or.jp/magazine/sensei-q.html
- **Twitter ハッシュタグで質問：**「# IPSJ 先生質問です」とハッシュタグをつけてツイートしてください．

※より多くの方が抱えている疑問と判断された質問を優先的にピックアップさせていただきたいと考えております．

今月の会員の広場では，12 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「劉慈欣『三体』と人列コンピュータ」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．

■読みたくなって，すぐに注文しました！　訳者の方のコラム執筆で嬉しく思いました．（匿名希望）

■単に見聞した事実を並べただけの紹介記事にしか見えず，筆者の感動が読み取れなかった．また，本の紹介なら「巻頭コラム」ではなく「ビブリオ・トーク」ではないのか．（伊藤雅樹）

特別解説「AWS 東京リージョン障害の波紋」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．

■読者が真偽を確認せよというのは学会誌としてはどうかと思った．（匿名希望）

特集「『京』の後の時代を支えるスパコン」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．

■スーパーコンピュータのことを知ることができたからよかったです．（匿名希望／ジュニア会員）

■ソフトウェアスタックなど，「富岳」のパフォーマンス以外の部分での進化がよく分かりました．（井上勢大／ジュニア会員）

■ HPCI の中に量子コンピュータシステムも含まれると考えますが，HPCI で Red Hat の Linux を稼働させるのなら，IBM が Red Hat を買収した現在，IBM の量子コンピュータの移植も実現可能のような予測を持ちたいものです．量子コンピュータの課題とされている誤差の解決がどうなるのか等，この点で並列数値計算技術を研究していらっしゃる組織が持つ，今後の開発システムのビジョンに，量子コンピュータは入らないのでしょうか．（匿名希望）

■スーパーコンピュータというと，どうしても，“2 番じゃダメなのか？”が思い出されるが，最新状況を知ることができ，大変面白く，また．まとまった資料として有益だと感じた．OS として Linux が標準的に採用されているということが，時代の変化であろうか．その中で，System-V が利用の拡大の制約となっているという一文があったが，ピンとこなかった．2019 年は，自然の猛威が各地を襲い，甚大な被害が発生した．スーパーコンピュータの（気象）力の発揮する場面が今後も増えるのではないかと感じた 1 年であった．（匿名希望）

■ポスト「京」に関して，たとえばチップ（富士通 A64FX）に関しては昨年あたりから情報が出ているので，今から紹介するのであればもう少し突っ込んだ話が知りたかった．（匿名希望）

■スパコン開発などでは，世界的な AI ブームや米中のハイテク競争などもあり，なにか日本が負けてしまった感じがしていたのですが，次世代の開発は順調に進んでいるようで少し安心できました．（匿名希望）

連載「論文必勝法：条件付き採録をクリアするには」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■丁寧にまとめられていて，とても分かりやすかったです．（匿名希望）

■毎週楽しみにしています．一度査読論文を出した際に，回答書の書き方で悩みました．次に査読論文を書く際には，今回の連載を参考にしたいと思います．（匿名希望）

■論文を投稿する立場の人に有益な内容であり，さらに，その結果として査読者側のコストも良質の回答書が作成されることで削減されるため，分野にとって大変有益な内容であると思いました．（匿名希望）

報告「CS 領域奨励賞を受賞したジュニア会員との日々」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

■この記事は希望を与えてくれる．もっとあちこちでにょきにょき生えてほしいものだ．（匿名希望）

連載「情報の授業をしよう！：「仕組みの理解」に重点を置いたプログラミングの授業事例集」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．

■実践的で大変参考になりました．Scratch に限らず，さまざまなプログラミング教育用ツール，サービスをこれからも紹介していただきたいと思います．（匿名希望）

■普段使っているコンピュータやアプリケーションがどのような原理で動作しているのかを簡潔に伝えるという教え方が，より多くの生徒に情報という分野に興味を持ってもらえそうに思いました．（滝内邦弘）

■授業で使用しているサンプルプログラムの紹介記事を読んでみたいです．（匿名希望）

教育コーナー「ぺた語義」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．

「科学と工学のはざまで情報を考える」

■その昔，経団連会長を務められた土光敏夫さんの言葉を思い出しました．要約すると「博士は学理を開発した学者，技術士は技術を産業界に応用する能力がある技術者」とのことです．私は技術士として仕事をしていますが，コラムの内容は期待されるディジタル化人材像を示唆するものと受け止めさせていただきました．（匿名希望）

「初学者向けプログラミングの授業におけるソーシャルな知のデザイン（第 1 回）」

■プログラミングを学ぶ意味を＜ソーシャルな知＞まで広げた解釈は初めて見た．これまで，プログラミングはアルゴリズムの表現・実行手段としか考えていなかったのだが，科学技術計算が主体だった以前に比べてソフトウェアの役割が大きく変貌したことを実感させるよい記事であった．（伊藤雅樹）

連載「IT 紀行：お買い上げありがとうございました！　技術書典に出展してみた」については，以下のようなご意見・ご感想をいただきました．

■こういった催し物があることを初めて知りました．（竹原豊和）

■毎号，楽しみに読んでいます．けれど，どこから読み始めるのか，今回は分かりませんでした．内容はもちろん面白かったです．（匿名希望）

オンライン版で読みたい記事，期待するコンテンツについて以下のようなご意見やご要望をお寄せいただきました．

■参考文献のリンクをつけてほしい．
（角田洋太郎／ジュニア会員）

■オンラインで長文を読むのはかなり疲れるので，コラム程度の記事や用語の解説程度の物量に制限してほしい．
（伊藤雅樹）

■情報処理学会の視点でのプログラミングの記事はあってもよいと思います．（滝内邦弘）

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．

■出てきた専門用語をまとめたページがあってもよいと思う．
（國武悠人／ジュニア会員）

■難しいかもしれませんが，インシデント案件や失敗事例のようなものを取り上げていただけると勉強になります．
（竹原豊和）

■「量子コンピューティング」がかしましくなっているが，『情報処理』で特集されたのは 2014 年で，以後は単発の特別解説があるだけである．この機に改めて特集した包括的な解説が望まれる．（伊藤雅樹）

■理系のイメージが強いエンジニアと対比して文系エンジニアについて特集する企画は面白いのではないか．
（匿名希望／ジュニア会員）

■生まれたときからインターネットやスマホに囲まれるディジタルネイティブ世代から見た，旧世代とのギャップ，一押しのライフハック術，情報処理への期待をきいてみたいです
（匿名希望）

【本欄担当　上田　俊，大岸智彦／会員サービス分野】

これらのコメントは Web 版会員の広場「読者からの声」< URL : https://www.ipsj.or.jp/magazine/dokusha.html > にも掲載しています．Web 版では，紙面の制限などのため掲載できなかったコメントも掲載していますので，ぜひ，こちらもご参照ください．会誌や掲載記事に関するご意見・ご感想は学会 Web ページでも受け付けております．今後もより良い会誌を作るため，ぜひ皆様のお声をお寄せください．

皆様にとって会誌をより役立つものとするため，
・記事に対する感想，意見　・記事テーマの提案　・会誌または学会に対する全般的な意見，提言
・その他，情報処理技術についての全般的な意見，提言
など自由なご意見，ご感想をお待ちしております．
なお，「道しるべ」については
<URL：https://www.ipsj.or.jp/magazine/sippitsu/michishirube.html> で
これからのテーマ案を募集しており，いただいたご意見をまとめております．
※ご意見，ご感想を会誌に掲載させていただいた方には薄謝または記念品を進呈いたします．

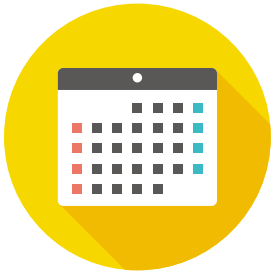
掲載に際しては，編集の都合上，ご意見に手を加えさせていただくことがありますので，あらかじめご了承ください．
なお，意見の投稿に伴う，住所，氏名，所属などの個人情報については，学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いいたします．　<URL：https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html>

応募先　〒 101-0062　東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F
一般社団法人　情報処理学会　会誌編集部門　E-mail : editj@ipsj.or.jp　Fax (03) 3518-8375
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html

IPSJ カレンダー

開催日	名　称	論文等応募締切日	参加締切日	開催地
	論文誌「ユーザブルセキュリティ」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/20-Z.html	2月24日（月）		
	2020年度 会誌「情報処理」および「デジタルプラクティス」モニタ募集 https://www.ipsj.or.jp/magazine/topics/2020monitor.html	2月27日（木）		
	論文誌「持続可能な社会を実現するコラボレーション技術とネットワークサービス」特集への論文募集 https://www.ipsj.or.jp/journal/cfp/21-C.html	3月23日（月）		
2月15日（土）	第137回情報基礎とアクセス技術研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ifat137.html	1月15日（水）	当日のみ	東京工業大学 大岡山キャンパス
2月15日（土）～ 2月16日（日）	第153回コンピュータと教育研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ce153.html	12月20日（金）	当日のみ	大阪教育大学 天王寺キャンパス
2月17日（月）	第197回知能システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ics197.html	12月27日（金）	当日のみ	沖縄県青年会館
2月17日（月）～ 2月18日（火）	第126回音楽情報科学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mus126.html	1月17日（金）	当日のみ	東京工業大学 大岡山キャンパス
2月27日（木）～ 2月28日（金）	第232回システム・アーキテクチャ・第191回システムとLSIの設計技術・第53回組込みシステム合同研究発表会（ETNET2020） https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/arc232sldm191emb53.html	1月6日（月）	当日のみ	与論町中央公民館
2月27日（木）～ 2月28日（金）	第148回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/os148.html	1月17日（金）	当日のみ	高知工科大学 永国寺キャンパス
2月27日（木）～ 2月28日（金）	第108回オーディオビジュアル複合情報処理研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/avm108.html	1月24日（金）	当日のみ	沖縄セルラー電話株式会社
2月28日（金）	第151回情報システムと社会環境研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/is151.html	1月10日（金）	当日のみ	明治大学 紫紺館
2月28日（金）	第17回高齢社会デザイン研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/asd17.html	1月31日（金）	当日のみ	京都工芸繊維大学
3月2日（月）～ 3月3日（火）	第127回数理モデル化と問題解決研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mps127.html	1月7日（火）	当日のみ	松江市玉湯公民館
3月2日（月）～ 3月3日（火）	第48回インターネットと運用技術研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/iot48.html	1月14日（火）	当日のみ	名古屋大学 東山キャンパス
3月2日（月）～ 3月3日（火）	第94回モバイルコンピューティングとパーベイシブ・第65回ユビキタスコンピューティングシステム合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/mbl94ubi65.html	1月17日（金）	当日のみ	名古屋大学 IB電子情報館
3月2日（月）～ 3月3日（火）	第36回セキュリティ心理学とトラスト研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/spt36.html	1月17日（金）	当日のみ	沖縄県青年会館
3月2日（月）～ 3月3日（火）	第204回ソフトウェア工学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/se204.html	1月27日（月）	当日のみ	化学会館
3月5日（木）～ 3月7日（土）	情報処理学会　第82回全国大会 https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/82/			金沢工業大学 扇が丘キャンパス
3月7日（土）～ 3月10日（火）	第198回知能システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ics198.html	1月17日（金）		ルスツリゾートホテル
3月8日（日）～ 3月10日（火）	第30回教育学習支援情報システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cle30.html	1月16日（木）	当日のみ	神戸大学 瀧川記念学術交流会館
3月9日（月）～ 3月10日（火）	第80回高度交通システムとスマートコミュニティ研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/its80.html	1月24日（金）	当日のみ	公立はこだて未来大学
3月9日（月）～ 3月11日（水）	インタラクション2020 https://www.interaction-ipsj.org/2020/	12月23日（月）	当日可	学術総合センター内 一橋講堂
3月12日（木）～ 3月13日（金）	第128回プログラミング研究発表会 https://sigpro.ipsj.or.jp/pro2019-5/	1月10日（金）	当日のみ	早稲田大学 西早稲田キャンパス
3月12日（木）～ 3月13日（金）	第182回マルチメディア通信と分散処理・第88回コンピュータセキュリティ合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/DPS182CSEC88.html	1月29日（水）	当日のみ	情報セキュリティ大学院大学
3月12日（木）～ 3月13日（金）	第61回バイオ情報学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/bio61.html	2月6日（木）	当日のみ	北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科
3月13日（金）～ 3月14日（土）	第43回ゲーム情報学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/gi43.html	1月23日（木）	当日のみ	早稲田大学

月13日（金）～ 3月15日（日）	第12回アクセシビリティ研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/aac12.html	1月20日（月）	当日のみ	筑波技術大学
3月14日（土）～ 3月15日（日）	第154回コンピュータと教育研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ce154.html	1月24日（金）	当日のみ	電気通信大学
3月16日（月）	第177回アルゴリズム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/al177.html	1月21日（火）	当日のみ	東北大学 青葉山東キャンパス
3月16日（月）～ 3月17日（火）	第221回コンピュータビジョンとイメージメディア研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cvim221.html	1月8日（水）	当日のみ	京都大学
3月16日（月）～ 3月17日（火）	第187回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/HCI187.html	1月20日（月）	当日のみ	国士舘大学 世田谷キャンパス（梅ヶ丘校舎）
3月16日（月）～ 3月17日（火）	第110回グループウェアとネットワークサービス研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/GN110.html	1月27日（月）	当日のみ	国士舘大学 世田谷キャンパス
3月16日（月）～ 3月18日（水）	第173回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hpc173.html	1月21日（火）	当日のみ	北海道立道民活動センター（かでる2・7）
3月17日（火）～ 3月18日（水）	第177回コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/cg177.html	1月28日（火）	当日のみ	東映デジタルセンターシアター
3月18日（水）～ 3月19日（水）	第55回エンタテインメントコンピューティング研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ec55.html	2月7日（金）	当日のみ	首都大学東京 日野キャンパス
3月23日（月）～ 3月24日（火）	第199回知能システム研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/ics199.html	2月5日（水）	当日のみ	静岡大学 浜松キャンパス
3月27日（金）	第138回情報基礎とアクセス技術・第116回ドキュメントコミュニケーション合同研究発表会 https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/IFAT138DC116.html	2月7日（金）	当日のみ	中央大学 後楽園キャンパス



Webページ（https://www.ipsj.or.jp/）更新情報

［トピックス］

1月15日	人材募集情報（Vol.61 No.2）
1月15日	会誌「情報処理」Webカタログ（Vol.61 No.2）
1月6日	新年のご挨拶
12月18日	デジタルプラクティス改正予定のお知らせ
12月16日	論文誌「持続可能な社会を実現するコラボレーション技術とネットワークサービス」特集 論文募集
12月15日	会誌「情報処理」Webカタログ（Vol.61 No.1）

● 論文誌ジャーナル掲載論文リスト

Vol.61 No.2（Feb. 2020）

【特集：人文科学とコンピュータ】

■ 特集「人文科学とコンピュータ」の編集にあたって　未代誠仁
■ Development of a Point Location Conversion Approach for Distance Cartogram Construction †　Takeshi Miura 他
■ 物語テキストにおける会話文の意図の話者属性による特徴　村井　源 他
■ Data description and retrieval using periods represented by uncertain time intervals　Tatsuki Sekino
■ 仮名字母の出現傾向を用いた尾州家河内本源氏物語関連写本の調査　齊藤鉄也
■ 近代の歴史的資料を対象とした機械学習による文境界推定　白井良介 他
■ 訓点資料の書き下し文自動生成を目的としたヲコト点を中心とする訓点の計量分析　田島孝治 他
■ 内容アドレッシングを用いた多粒度漢字構造情報表現の試み　守岡知彦

【インタラクションの理解および基盤・応用技術】

■ 特集「インタラクションの理解および基盤・応用技術」の編集にあたって　小川剛史
■ ロボットが高齢者と長期関係性を構築するための対話に基づく非同期コミュニケーション　松元崇裕 他
■ 視認可能ないし不可能なレベルの微小な身体動作を伴う認知的作業に視覚的自己観察が与える影響　王　晨 他
■ 磁石触覚の設計と応用―永久磁石を用いた力触覚フィードバック―　尾形正泰
■ Bubble Gaze Cursor : バブルカーソル法の視線操作への適用　崔　明根 他
■ 片手での小型携帯端末操作のための圧力情報を利用したズームアウト操作インタフェース　鈴木健司 他
■ 紙をちぎって電子情報を手渡すコミュニケーションシステム　富永詩音 他
■ ビデオ会議画面貫通オブジェクトによるソーシャルテレプレゼンスの強化　大西裕也 他
■ 航空写真と地図を使った歩行者道路ネットワークの自動作成　前田篤彦

【ネットワークサービスと分散処理】

■ 特集「ネットワークサービスと分散処理」の編集にあたって　安本慶一
■ オンライン処理とバッチ処理の処理負荷を分散制御する入出力制御方式の実装と評価　田辺雅則 他
■ リカレントニューラルネットワークを用いた双方向通信ログに基づくTCP 輻輳制御の推定方式　大関尚紀 他
■ mesh STA の移動特性を考慮した自律無線メッシュネットワーク構成法　植田和憲 他
■ CCN over DTN を基盤とした被災情報配信システムにおけるトラフィック抑制手法　高畠翔生子 他
■ 識別不可イベント探索における突然変異型移動センシングクラスタの提案　新居英志 他
■ SDN を活用する Pub/Sub 基盤におけるオーバーレイネットワーク管理方式の改善手法　盛房亮輔 他
■ 分散クラウドストレージ・処理基盤における消費電力の削減を可能とする負荷分散手法　木全　崇 他
■ Stacked Denoising Autoencoder を用いた間欠的測定センサーデータの復元　山本直樹 他
■ 回転磁石マーカを用いたスマートフォン 2 次元経路推定 *　渡邊康祐 他
■ Recommendation of Imputing Value for Sensor Data based on Programming by Example　Hiroko Nagashima 他
■ 農業センサを用いたトルコギキョウの個体損失の確率モデリング　本廣多胤 他
■ 機械学習を用いた自律進化型悪性サイトアクセス抑制手法の設計と実装　藤井翔太 他
■ NS record History Based Abnormal DNS traffic Detection Considering Adaptive Botnet Communication Blocking　Hikaru Ichise 他
■ モバイルクラウドセンシングにおける持続的な協力のためのインセンティブメカニズム　浅井菜々香 他

【組込みシステム工学】

■ 特集「組込みシステム工学」の編集にあたって　中條拓伯
■ 演繹的開発手法と帰納的開発手法の結合に基づく機械学習適用ソフトウェアの形式検証とテスト　來間啓伸 他
■ Automating Time-series Safety Analysis for Automotive Control Systems Using Weighted Partial Max-SMT　Shuichi Sato 他
■ フィーチャ指向アプローチによる自動車ボディ系製品のプロダクトライン開発への移行事例　西浦洋一 他
■ Tool Supported Detection of Omissions by Comparing Words between Requirements and Design Document　Takehiro Wakabayashi 他
■ mROS : A Lightweight Runtime Environment of ROS 1 nodes for Embedded Devices　Hideki Takase 他

【一般論文】

■ A Novel Method for Reconstructing CT Images in GATE/GEANT4 with Application in Medical Imaging : A Complexity Analysis Approach　Neda Gholami 他
■ 省レジスタアーキテクチャ向けソフトウェアパイプライニングの評価 *　千葉修一 他
■ VR を用いた Wi-Fi 過密環境におけるスマートフォンアプリ検証手法 *　天野辰哉 他
■ 大量のソフトウェアを対象にしたソフトウェアバースマークによる盗用検出―全文検索システムを用いた検査対象の絞り込み手法―　中村　潤 他
■ 非負精緻化を伴う Privelet 法の演算効率化手法 *　本郷節之 他
■ Kinect を用いた行動座標によるピッキング行為の検知　白石将貴 他
■ 行動表現文法 ELL を用いた攻撃シナリオ再構築技術 *　千田忠賢 他
■ ストリーミング時系列データに対するディスコードモニタリング　加藤慎也 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
(Feb. 2020)

【Transactions on System LSI Design Methodology Vol.13】

■ Shift Register Initialization in Scalar Replacement for Reducing Code Size　Kenshu Seto
■ Scalable Stochastic Number Duplicators for Accuracy-flexible Arithmetic Circuit Design　Ryota Ishikawa 他
■ Real Circuit Delay Measurement Method by Variable Frequency Operation with On-Chip Fine Resolution Oscillator　Kotaro Shimamura 他
■ Synthesis and Generalization of Parallel Algorithm for Matrix-Vector Multiplication　Yukio Miyasaka 他
■ A Logic Optimization Method by Eliminating Redundant Multiple Faults from Higher to Lower Cardinality　Peikun Wang 他
■ Measurement of Variation in FPGAs under Various Load Conditions　Yukio Mitsuyama 他

【論文誌 コンピューティングシステム Vol.13 No.1】

■ 少数のレゾルベントで構成されたフィルタを用いた実対称定値一般固有値問題の解法　村上　弘

【論文誌 教育とコンピュータ Vol.6 No.1】

■ 東京大学駒場での情報教育 - 始まりと展開　川合　慧
■ 三重大学におけるノートパソコン必携制度（BYOD）導入の報告と分析　森本尚之 他
■ 幼稚園児のビスケットプログラムにおける動きの方法の理解についての分析　渡辺勇士 他
■ IoT・ポリー : 動機づけおよび能力獲得のための IoT セキュリティゲーム演習ツールの提案　近江谷旦 他
■ LMS 経由で手書きレポートを返却する Web サービス「かみレポ」の開発・評価　大平茂輝 他

【論文誌 コンシューマ・デバイス＆システム Vol.10 No.1】

■ 敵対的学習を用いた触覚提示向け振動の自動生成　宇治土公雄介 他
■ 自治体を軸とした業界横断型データ流通プラットフォームの開発　美原義行 他
■ 無線 LAN 中継機のグループ鍵更新問題に関する解決手法の提案　濱本望絵 他
■ 環境情報に基づいて異種規格の IoT デバイス連携をサポートする iHAC Hub　林　宏輔 他
■ 公共施設における動的案内サインを用いた人流誘導システムの評価　市川裕介 他

【論文誌 デジタルコンテンツ Vol.8 No.1】

■ 両面透過型多層空中像表示技術の提案と実装　巻口誉宗 他
■ 擬似乱数系列でつくる二重情報ハイディング　長瀬智行 他
■ Haptic Turntable：視触覚 VR のためのリターゲティングと回転運動を用いた力触覚提示システム　小川剛史 他
■ プロ振付家による舞踊創作を目的とした動作合成システムの改良と創作実験　曽我麻佐子 他

● デジタルプラクティス掲載論文リスト
Vol.11 No.1 (Jan. 2019)

【特集：DX 時代のスキル標準と人材育成】

■「DX 時代のスキル標準と人材育成」特集号について　高橋秀典 他

【特集号解説論文】

■ 最新スキル標準（iCD&ITSS+）有効活用のための基本思想と改訂の趣旨　高橋秀典

【特集号招待論文】

■ ＜インタビュー＞ i コンピテンシディクショナリを活用した人材認定制度　NTT コムウェア社の事例
第 1 部　データサイエンティストについて
有馬英樹，古中弘美，立木　豪，長谷川好範，飯塚敏浩，小松孝司／司会　藤瀬哲朗，吉野松樹
第 2 部　サービスクリエータについて
古中弘美，上田　優，仲山まさみ，伊藤奈々，植松栄次 ／司会　藤瀬哲朗，吉野松樹
■ 社員と組織の持続的成長を目指した iCD 活用事例　但吉英山
■ デジタルブートキャンプによる人材育成の実践的取組―デジタルトランスフォーメーションを実現するデジタルイノベーターの育成―　半田智子 他
■ 国際認証制度（CITP）を活用したプロフェッショナル IT 人材育成の試み　伊藤秀行 他
■ 車載組込みシステム技術者の育成～ enPiT-Pro Emb での教育実践～　山本雅基 他
■ 自動走行ソフトウェアスキル標準の策定　石黒正揮 他

【特集投稿論文】

■ DX 時代に求められる技術者育成施策―日立におけるデータサイエンティスト育成の事例を元に―　小野綾子 他
■ 医学的知識を持つ介護従事者育成のための認知症見立て遠隔講義システムの開発　神谷直輝 他

【投稿推薦論文】

■ 大量ツイートの収集・分析を個人で手軽に実現可能にする方法の提案　松浦智之 他

【一般投稿論文】

■ 共同利用施設における研究成果公開を促進するためのシステムソリューションの実践　神辺圭一 他
■ Kaggle カーネルを参照した機械学習アルゴリズムの選択／適用パターンの抽出と習得　晦日慶太 他

有料会告

FIT2020 第 19 回情報科学技術フォーラム
選奨論文・一般論文 講演募集予告

会　期：2020年9月1日（火）～3日（木）
会　場：北海道大学 札幌キャンパス（北海道札幌市北区）

FIT2020 Web ページ　https://www.ipsj.or.jp/event/fit/fit2020/

受付期間(予定)：2020 年 3 月 30 日（月）～5 月 8 日（金）

◆論文ページ数：2～8ページ程度　　◆講 演 時 間：20分
◆3ページ目以降は追加ページ代（4,000円／ページ）が必要です

電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ（ISS）並びにヒューマンコミュニケーショングループ（HCG）と情報処理学会（IPSJ）とは、2002年から合同で毎年秋季に、「情報科学技術フォーラム(FIT：Forum on Information Technology)」を開催しており、2020年9月には第19回目を北海道大学で開催します。**本フォーラムは、両学会の大会の流れをくむものですが、従来の大会の形式にとらわれずに、新しい発表形式を導入し、タイムリーな情報発信、活気ある議論・討論、多彩な企画、他分野研究者との交流、などを実現してきております。皆様の研究成果発表の場として、標記のとおり論文発表を募集致しますので奮って御応募下さい。**

●申込主要日程（予定）

登録申込／投稿受付開始：2020年3月30日（月）　→　登録申込締切：2020年5月8日（金）
最終掲載原稿締切：2020年6月19日（金）
※ FIT2017 より、査読付き論文は廃止とし、選奨論文制度を取り入れました。
※ 登録申込と原稿投稿は上記のFIT2020Webページよりお願い致します。詳細は決定次第 Webページでお知らせ致します。

●表彰

FITには、以下の表彰制度がありますので是非ともチャレンジして下さい。
いずれの賞も、電子情報通信学会又は情報処理学会の会員であることが受賞条件となりますのでこの機会に是非御入会下さい。

船井ベストペーパー賞	選奨論文の中から、FIT 学術賞選定委員会で審査の上 3 件選定。賞金は船井情報科学振興財団より 20 万円贈呈。
FIT 論文賞	選奨論文の中から、FIT 学術賞選定委員会で審査の上 7 件程度選定。賞金は FIT 運営委員会より 5 万円贈呈。
FIT ヤングリサーチャー賞	2020 年 12 月 31 日現在で 33 歳未満の講演者（選奨論文および一般論文）の中から、発表件数の 1.5%を上限として選定。賞金は FIT 運営委員会より 3 万円贈呈。本賞受賞は本人に対し一回のみ。
FIT 奨励賞	一般発表のセッション毎に座長の裁量で優秀な発表を 1 件その場で選定（該当なしもあり）。FIT 終了後に賞状を贈呈。

●選奨論文（4～8 ページ程度）

投稿された論文の担当研究会を決定するため、研究会取り扱い分野をよく御確認のうえ御自身の論文内容と一致した研究会を、申込者御自身の責任において投稿時に適切に選択して下さい。
船井ベストペーパー賞、FIT 論文賞への審査を希望する場合は、Web からの講演申込みの際に必ず論文形式で『選奨論文』を選択して下さい。但し、賞を前提とした論文形式となりますので、電子情報通信学会又は情報処理学会の会員であることが投稿条件となります。非会員の方は御入会手続きをお済ませの上御投稿下さい。選奨論文は FIT 初日の選奨セッションに組み込まれ、各セッションにて選奨委員 2 名による 1 次審査を行います。1 次審査の結果は当日の夕方までに大会会場に掲示されます。2 次審査は FIT 終了後実施され、上位 3 件が船井ベストペーパー賞、次点 7 件程度が FIT 論文賞の受賞となります。
※4ページ以上の投稿が必須ですが、3 ページ目からは追加ページ代（4,000 円／ページ）が発生します。例えば 6 ページ投稿の場合、4 ページ分の追加ページ代が発生しますので、講演参加費のほかに「4,000 円×4＝16,000 円」の追加費用が必要となります。

●一般論文（2～8 ページ程度）

研究会取り扱い分野をよく御確認のうえ御自身の論文内容と一致した研究会を、申込者御自身の責任において適切に選択して下さい。
※3ページ以上の投稿される場合は、3 ページ目からは追加ページ代（4,000 円／ページ）が発生します。例えば 4 ページ投稿の場合、2 ページ分の追加ページ代が発生しますので、講演参加費のほかに「4,000 円×2＝8,000 円」の追加費用が必要となります。

●論文誌推薦制度

選奨論文の中から船井ベストペーパー賞の審査を通して優秀な論文と判断されたものを、FIT プログラム委員会が電子情報通信学会または情報処理学会（FIT 講演申込フォームの講演応募分野（研究会）で選択した研究会が属する学会）の論文誌へ推薦します。掲載の採否は、それぞれの学会の論文誌編集委員会が決定しますので、論文誌への投稿の際には、投稿先論文誌編集委員会の評価基準を満足しうる、完成度の高い論文に仕上げて頂くことをお薦めします。なお、推薦を辞退することも可能です。

●問合せ先（FIT2020事務局）

〒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　FAX. 03-3518-8375　E-mail:jigyo@ipsj.or.jp

◆◆ 有料会告について ◆◆

本会の主催・共催行事および協賛・後援記事の次第書（論文募集，参加案内等）の本誌掲載については，下記により有料にて取り扱っていますのでお知らせします．

記

■掲載条件

件名	内容	掲載単位	掲載料金（税抜）	
論文募集／参加者募集	国際会議，シンポジウム，ワークショップ，講演会，講習会などの論文募集・参加者募集	1ページ，1/2ページまたは1/4ページ	（主催・共催）	
			1ページ	50,000円
			1/2ページ	30,000円
			1/4ページ	20,000円
			（協賛）	
			広告として取り扱う	
人材募集	国公私立教育機関，国公立研究機関，企業の人材募集	10行程度	国公私立教育機関，国公立研究機関	20,000円
			賛助会員（企業）	30,000円
			賛助会員以外の企業	50,000円
	＊本会誌へ掲載依頼いただいた場合に限り，追加料金4,000円で同一内容を本会Webページに掲載できます．			

■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宛先，Web掲載の有無（人材募集のみ）などを記載し，掲載希望原稿を添えて下記の申込先へお申し込みください．

■原稿の書き方

●行事次第書：　A4変形判カメラレディまたはPDFファイル（フォント埋め込み）とします．
（1ページ）　天地250mm × 左右180mm
（1/2ページ）天地120mm × 左右180mm
（1/4ページ）天地　55mm × 左右180mm
＊A4変形判以外の原稿は縮小または拡大となりますのでご留意ください．

●人材募集：　次の項目を明記し，E-mailまたはFax，郵送にてお送りください．
［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］
＊なお，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　掲載号発行日に料金を請求いたしますので，3カ月以内にお支払いください．

■掲載申込先　一般社団法人 情報処理学会　会誌編集部門（有料会告係）
〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5　化学会館4F
E-mail:editj@ipsj.or.jp　Tel (03) 3518-8371　Fax (03) 3518-8375

情報処理学会の会員になりませんか！

www.ipsj.or.jp

新規会員募集中

一般社団法人 情報処理学会は、IT に関する専門家集団として健全な情報化社会の実現に向けて、学術・文化・産業等の多方面に貢献しています。

■活動の概要

○出版活動（学会誌「情報処理」、論文誌、デジタルプラクティス、単行本の発行）、電子図書館への掲載
○各種行事の開催（研究発表会、全国大会、FIT（情報科学技術フォーラム）、シンポジウム、連続セミナー、短期集中セミナー他）
○教育活動（大学の標準カリキュラム策定、JABEE 認定審査、認定情報技術者（CITP）認証、教員免許更新講習）
○国際交流（IFIP への加盟、海外学協会との提携）
○標準化活動（情報技術に関する国際標準規格開発および普及活動）
○その他の活動（各種提言・コンピュータ博物館の運営・情報処理技術遺産の認定・表彰・支部活動他）

■会員になるには

入会金（正会員のみ）と会費をお振り込みの上、入会申込書をお送りください。理事会で承認後会員証（賛助会員除く）をお送りします。情報処理学会の会員は、個人会員と賛助会員から構成されています。

個人会員
名誉会員：本会の活動において特別な功績があり、総会で推薦された個人
正 会 員：本会の目的に賛同して入会した個人で、本会の中心的会員
学生会員：学校に在学中の個人
ジュニア会員：小学生～大学学部 3 年生以下の学生（会費無料）

賛助会員
本会の活動をサポートする団体または個人

■ご入会いただくと、こんな良いことがあります。

2019 年度

1 最新技術を紹介する会誌「情報処理」が毎月お手元に届きます（ジュニア会員は電子版のみ）。
特 集：オープンサイエンスの動向と情報科学の役割／フレッシュマンに向けたプログラミングのススメ／未来の学びを主導する高専教育／グローバルに活躍する／ワークライフバランス／集めよ！ジュニア会員！！／ソーシャル・マジョリティ研究／セキュリティ人材育成の現状と実践／ディジタルタイプ／「京」の後の時代を支えるスパコン／『AIの遺電子』に学ぶ未来構想術／ブロックチェーン技術の最新動向　他

2 実務の現場で IT を実践する皆様に向けた論文誌「デジタルプラクティス」を年 4 回発行しています（電子版のみ）。
特集：ディープラーニングのプラクティス（4 月刊行）／フィンテック／ブロックチェーン（7 月刊行）／働き方改革と IT（10 月刊行）／DX時代のスキル標準と人材育成（1 月刊行）

3 電子図書館で「情報処理」の過去の記事を見ることができます。

4「連続セミナー」に会員価格（7,000 円お得）で参加できます。
時代に即しかつ技術の先進性に富んだ内容をテーマに、その分野の第一線で活躍している講師を招いて年数回にわたり開催しています。2019 年度は「データ駆動で新時代を切り拓く」をテーマに、6 回開催しました。

5 ホットトピックスに対応する「シンポジウム・セミナー」（5,000 円以上お得）や「研究会」に会員価格で参加できます。
ホットトピックス
3D プリンタ、Bit Coin、Fintech、GPS、IoT、ITS、アクセシビリティ、暗号、インターネット、ウェアラブル、組込みシステム、クラウド、ゲーム、自動運転、障害者支援、シンギュラリティ、人工知能、スマート社会、セキュリティ、ソーシャルネットワーク、ダイバーシティ、データマイニング、ドローン、バイオ、ビッグデータ、ユビキタス、量子コンピュータ、ロボット、ディープラーニング

6 出版図書が会員割引で購入できます。
IT Text シリーズ、日本のコンピュータ史等

他にも会員向けサービスがたくさんあります。詳細は学会 Web サイトをご覧ください。

お問い合わせは、
一般社団法人 情報処理学会 会員サービス部門
〒101-0062　東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F
Tel.(03)3518-8370　Fax.(03)3518-8375　mem@ipsj.or.jp

IPSJ MAGAZINE Vol.61 No.3 (Mar. 2020)

CONTENTS

Preface

226 **Toward the TOKYO 2020**
Akira SAKA (The Tokyo Organizing Committee of the Olympic and Paralympic Games)

Special Article

228 **Quantum Computational Supremacy Experiment Using a Superconducting Quantum Computer**
Keisuke FUJII (Osaka Univ.)

231 **The Kanagawa Prefecture Case of Used Hard Disk Drive Theft**
Tetsutaro UEHARA (Ritsumeikan Univ.)

Special Features

R&D and Demonstrations toward the Beginning of 5G Era

234 **0. Foreword**
Kentaro ISHIZU (National Institute of Information and Communications Technology (NICT))

236 **1. Japan's Initiative towards 5G Deployment**
Hiroyuki TOYOSHIGE (Ministry of Internal Affairs and Communications)

243 **2. Co-creation of New Services in 5G Era and 5G System Trials - New Partnerships Across a Wide Range of Industries and Field Trials on 5G Services for Regional Revitalization and Social Issue Resolution -**
Yukihiko OKUMURA and Satoshi SUYAMA (NTT DOCOMO, INC.)

250 **3. Introduction of 5G Trials towards Building New Society**
Akira MATSUNAGA (KDDI Corp.)

256 **4. 5G Overall System Trials - An Application of 5G URLLC to Truck Platooning -**
Hitoshi YOSHINO (SoftBank Corp.)

262 **5. The Lastes Trends of 5G Research and Development and the Expectation toward "Democratization" of Telecommunication**
Akihiro NAKAO (The Univ. of Tokyo)

270 **6. Study on the Enhanced Availability of Local 5G - Advanced Utilization Technologies for the Private Microcell Structures -**
Fumihide KOJIMA (National Institute of Information and Communications Technology (NICT))

"Peta-gogy" for Future

277 **Learning How to Teach and Learn**
Hisashi ICHIKAWA (Iwate Prefectural Univ.)

278 **Try Coding with Processing - No.2 Using Variables**
Manabu SUGIURA (Kamakura Women's Univ.)

283 **How "Informatics" was Established as a Japanese High-School Subject for Common Students**
Hajime OHIWA (Keio Univ.)

Let's Learn Informatics

288 **Lessons to Experience and Understand**
Kazutomo KOMATSU (Tokyo Metropolitan Shakujii High School)

276 **Biblio Talk**
294 **Skimming a Famous Paper in Five Minutes**
296 **IPSJ Activity Report**
306 **IT Travelog Manga**
308 **Conference Report**
310 **Questions for Experts**

読後のご意見をお送りください

本誌では，現在約 120 名の方々に毎号のモニタをお願いしておりますが，より多くの読者の皆さんからのご意見，ご提案をおうかがいし，誌面の充実に役立てていきたいと考えておりますので，毎号巻末に掲載しております所定の用紙または Web ページ（https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html）をお使いいただき，奮って事務局までお寄せください．

一般社団法人 情報処理学会　会誌編集部門
〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F　　E-mail: editj@ipsj.or.jp　Fax(03)3518-8371

ご意見をお寄せください！

【3 月 10 日頃までにお出しください】

宛　先　一般社団法人 情報処理学会　モニタ係（下記のいずれからも送付できます）
https://www.ipsj.or.jp/magazine/enquete.html　Fax(03)3518-8375　E-mail: editj@ipsj.or.jp
（E-mail で送信される場合は，10-1-a のようにコードでお答えください）
※ご意見の投稿に伴う，住所，氏名，所属などの個人情報については，学会のプライバシーポリシーに準じて取り扱いいたします．
https://www.ipsj.or.jp/privacypolicy.html

［コード］

〔1〕ご氏名

〔2〕ご所属　　Tel.（　　）　　-

〔3〕E-mail:

〔4〕業種：（a）企業（サービス業）（b）企業（製造業）（c）研究機関　（d）教育機関（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
（e）学生　（f）学生（ジュニア会員）（g）その他…… 4-［　］

〔5〕職種：（a）研究職　（b）開発・設計　（c）システムエンジニア　（d）営業　（e）本社管理業務
（f）会社経営・役員・管理職　（g）教職員（小・中・高校・高専・大学・大学院など）
（h）学生　（i）学生（ジュニア会員）（j）その他 …… 5-［　］

〔6〕年齢：（a）10 代　（b）20 代　（c）30 代　（d）40 代　（e）50 代　（f）60 代以上 …… 6-［　］

〔7〕性別：（a）男性　（b）女性 …… 7-［　］

〔8-1〕あなたはモニタですか？：（a）はい　（b）いいえ　…… 8-1-［　］

〔8-2〕あなたのご意見は「会員の広場」（会誌および Web）に掲載される場合があります．その場合：
（a）実名可（氏名のみ掲載）（b）匿名希望　（c）掲載を希望しない …… 8-2-［　］

〔9〕どちらの媒体で記事をお読みになりましたか？
（a）冊子版　（b）情報学広場（電子図書館）（c）Kindle　（d）fujisan　（e）その他…… 9-［　］

〔10〕今月号（2020 年 3 月号）の記事は良かったですか．下記の記事すべてについて評価をご回答ください．
［a…大変良い　b…良い　c…普通，どちらとも言えない　d…悪い　e…読んでいない］

巻頭コラム：TOKYO 2020 大会に向けて …… 10-1-［　］
特別解説：量子コンピュータを用いた量子超越実験…… 10-2-［　］
特別解説：神奈川県ハードディスク流出事件…… 10-3-［　］
特集：5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証
0. 編集にあたって …… 10-4-［　］
1. 5G の実現に向けた取り組み　…… 10-5-［　］
2. 5G 時代のサービス協創とシステムトライアル　…… 10-6-［　］
3. 社会を変える 5G への取り組み　…… 10-7-［　］
4. 5G 総合実証実験における取り組み　…… 10-8-［　］
5. 5G の最新の研究開発技術動向と「情報通信の民主化」への期待　…… 10-9-［　］
6. ローカル 5G エリアの可用性向上のための検討　…… 10-10-［　］
ビブリオ・トーク：Keras によるディープラーニング …… 10-11-［　］
ぺた語義：教え方と学び方を学ぶ…… 10-12-［　］
ぺた語義：Processing でプログラミングに挑戦！―第 2 回　変数を使ってみよう― …… 10-13-［　］
ぺた語義：高校における新教科「情報」ができたころのこと…… 10-14-［　］
情報の授業をしよう！：東京都立石神井高等学校での情報の授業…… 10-15-［　］
5 分で分かる !? 有名論文ナナメ読み：Jacob Devlin et al. : BERT : Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding …… 10-16-［　］
学会活動報告：IFIP ―情報処理国際連合―近況報告 …… 10-17-［　］
IT 紀行：難しくて理解不能 !?　第 61 回プログラミング・シンポジウムに行ってみた！ …… 10-18-［　］
会議レポート：ISSRE 2019 参加報告　…… 10-19-［　］
連載：先生，質問です！…… 10-20-［　］

〔11〕本号で最も良かった記事は何ですか？　上記〔10〕の設問の記事番号から 1 つだけ選び（例：10-8 の記事の場合は「8」と記入），その理由をご回答ください．上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください．
〔11-1〕良かった記事 …… 11-1-［　］
〔11-2〕この記事に対する貴方の立場：a）専門家　b）非専門家 …… 11-2-［　］
〔11-3〕選んだ理由（下記から，いくつでも選択可）…… 11-3-［　］
a）技術・研究動向がよく分かった　b）知的興味をかきたてられた　c）新たな知識を得ることができた　d）内容が平易で理解しやすかった
e）その他（具体的に下記にご記入ください）

〔12〕本号で最も良くなかった記事は何ですか？　上記〔10〕の設問の記事番号から 1 つだけ選び（例：10-8 の記事の場合は「8」と記入），その理由をご回答ください．上記に掲載されていない記事の場合はタイトルを直接ご記入ください．

〔12-1〕良くなかった記事 …… 12-1-［　　］

〔12-2〕この記事に対する貴方の立場：a）専門家　b）非専門家 …… 12-2-［　　］

〔12-3〕選んだ理由（下記から，いくつでも選択可）…… 12-3-［　　］

a）記事の内容に誤りがあった　b）ありきたりの内容だった　c）記事が難しすぎた　d）何を言いたいのか分からなかった　e）宣伝の意図が強すぎる
f）テーマに興味が持てなかった　g）その他（下記に具体的にご記入ください）

〔13〕今月の特集に対する貴方の立場を教えてください．

〔13-1〕5G 時代の幕開けに向けた研究開発と実証：a）専門家　b）非専門家 …… 13-1-［　　］

〔14〕設問〔10〕で読んでいないと答えた記事について，その理由を教えてください．

〔15〕会誌のオンライン版ができたらどのような記事を読みたいか，どのようなコンテンツが期待できるか，などご意見がございましたら教えてください．

〔16〕会誌に対するご意見やご感想，著者への質問，巻頭コラムに登場してほしい人物，今後取り上げてほしいテーマなどありましたらご記入ください．
（スペースが足りない場合はお手数ですが別紙を追加してください）

■ 各種問合せ先 ■

一般社団法人 情報処理学会（本部）　※支部所在地等詳細はリンクされている各支部ページでご参照ください．
〒 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-5　化学会館 4F　　Fax(03)3518-8375　https://www.ipsj.or.jp/

担　当	E-mail	Tel(ダイヤルイン)	取り扱い内容
■ 会員サービス部門			
会　員	mem@ipsj.or.jp	03-3518-8370	入会，会費，変更連絡，退会，在会証明，会員証，会誌配布，会員特典，会費等口座振替，海外からの送金，賛助会員，電子図書館
■ 会誌編集部門			
会誌編集	editj@ipsj.or.jp	03-3518-8371	会誌「情報処理」の掲載内容，広告掲載，出版，コンピュータ博物館（情報処理技術遺産）
著作権	copyright@ipsj.or.jp		転載許可，著作権
デジタルプラクティス	editdp@ipsj.or.jp		デジタルプラクティス（DP）の編集・査読，DP レポート
図　書	tosho@ipsj.or.jp	03-3518-8374	出版物購入
■ 研究部門			
論文誌	editt@ipsj.or.jp	03-3518-8372	論文誌（ジャーナル／ JIP ／トランザクション）の編集・査読
調査研究／国際／教育	sig@ipsj.or.jp		研究会登録，研究発表会，研究グループ，シンポジウム，国際会議，IFIP 委員会，情報処理教育委員会，アクレディテーション対応
■ 事業部門			
事　業	jigyo@ipsj.or.jp	03-3518-8373	全国大会，FIT，プログラミングコンテスト，プログラミング・シンポジウム，協賛・後援
技術応用	event@ipsj.or.jp		連続セミナ，短期セミナ，IT フォーラム，ソフトウエアジャパン，その他講習会
認定情報技術者制度	ipsj.citp@ipsj.or.jp		認定情報技術者制度
■ 管理部門			
総務／庶務	soumu@ipsj.or.jp	03-3518-8374	総会・理事会，支部，選挙，総務系選奨，関連団体，アドバイザリーボード
経　理	keiri@ipsj.or.jp		出納，送金連絡
システム企画	sys@ipsj.or.jp		システム企画，セキュリティ，電子化委員会，電子図書館，IPSJ メールニュース
■ 情報規格調査会			
規格部門	問合せフォーム https://www.itscj.ipsj.or.jp/contact/index.html		ISO/IEC JTC 1での情報技術の標準化業務 〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8　機械振興会館308-3 Tel (03)3431-2808　Fax (03)3431-6493　https://www.itscj.ipsj.or.jp/

■ 編集室 ■

私が学生のころは，ちょうど第2世代の携帯電話が一般に普及し始めたときだった．大学の授業では，教授が「皆さんがこの学部で勉強するような技術はすべてコレに入ってるからね」とおっしゃっていたのを思い出す．それから20年が経ち，自らもモバイル通信技術の研究開発に携わりながら，5Gの高度化やその先の6Gの在り方についても検討を行う立場になった．携帯電話は10年ごとに世代が更新されてきたが，今ほど短期間に革新的な技術の実用化と制度の変革が起きたことはない．これからの時代，5Gがあらゆる社会サービスを支える通信インフラとして利用されることが当然となり，移動通信システム（携帯電話システム）がかつてスマートフォンばかりに使用されていたことは歴史上の話として扱われることになるであろう．

今回の特集記事は，5G技術の研究開発とサービス展開において中心的に活躍されている方々に執筆をお願いした．5Gサービス開始に向けて最終段階となる実証試験の実施，海外における国際規格の標準化活動，制度の確立や高度化に向けた作業など，多忙な状況にもかかわらず短期間の編集作業にご協力いただき，改めて感謝を申し上げたい．この絶妙なタイミングで特集を企画できたからこそ，5Gに関する日本の制度状況，世界を先駆けるさまざまなサービス実証の結果，5G時代を長期的に支える根幹技術などについて，最新の情報をお伝えすることができた．読者の研究活動に少しでもお役に立てば幸いである．

4G（LTE）のサービスが始まる際には，「これほどの通信速度を何に役立てればよいのだろうか」という議論があったことを記憶している．しかし，その性能が前提になることにより，今日のように動画配信を始めとする多くのアプリケーションが利用可能になった．5Gについても，同様に新たなビジネスチャンスの模索が始まっている．5Gの利用可能性はこれまでになく大きく，10年後には我々の生活形態を大きく変えていると確信している．今後しばらくは，毎日のように5Gが新聞1面をにぎわす日々が続くであろう．そうならなくなっても，我々は情報通信技術の高度化に向けて大胆かつ地道な努力を続けていきたい．

（石津健太郎／本特集ゲストエディタ）

次号（4月号）予定目次

編集の都合により変更になる場合がありますのでご了承ください．

「特集」新たなモビリティ時代のサイバーセキュリティ

自動車セキュリティの国際標準化・体制等の取り組み動向と今後の課題―国際基準への調和による説明責任向上に向けて―／自動車分野のCASE革命とサイバーセキュリティ／鉄道における列車の運行制御用情報ネットワークとサイバーセキュリティ／航空分野のサイバーセキュリティ―人材育成の観点から―／海事産業におけるサイバーセキュリティ対策動向／ドローンのセキュリティ

解説：高専プロコン30年の歩み ……神沼靖子 他
　　サイバーセキュリティ研究における倫理的配慮のサポート……秋山満昭 他

教育コーナー：ぺた語義
連　載：IT紀行／集まれ！ジュニア会員‼／買い物自慢／5分で分かる⁉有名論文ナナメ読み／情報の授業をしよう！／先生，質問です！／ビブリオ・トーク
コラム：巻頭コラム
会議レポート：ASE 2019参加報告―自動化ソフトウェアエンジニアリングに関するトップクラスの国際会議―／SC19会議報告

複写される方へ

一般社団法人情報処理学会では複写複製および転載複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています．当該利用をご希望の方は，学術著作権協会（https://www.jaacc.org/）が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください．
尚，本会会員（賛助会員含む）および著者が転載利用の申請をされる場合については，学術目的利用に限り，無償で転載利用いただくことが可能です．ただし，利用の際には予め申請いただくようお願い致します．

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41　乃木坂ビル
E-mail : info@jaacc.jp　Tel (03)3475-5618　Fax (03)3475-5619

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡してください．
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923　USA
Phone : 1-978-750-8400　Fax : 1-978-646-8600

Notice for Photocopying

Information Processing Society of Japan authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights and reuse rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (http://www.jaacc.org/en/) and confirm appropriate organizations.
You may reuse a content for non-commercial use for free, however please contact us directly to obtain the permission for the reuse content in advance.
<All users except those in USA>
Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052　Japan
E-mail : info@jaacc.jp
Phone : 81-3-3475-5618　Fax : 81-3-3475-5619
<Users in USA>
Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923　USA
Phone : 1-978-750-8400　Fax : 1-978-646-8600

掲載広告カタログ・資料請求用紙

広告のお申込み

■広告料金表

掲載場所	4 色	1 色
表 2	330,000 円（税抜）	—
表 3	275,000 円（税抜）	—
表 4	385,000 円（税抜）	—
表 2 対向	300,000 円（税抜）	—
表 3 対向	265,000 円（税抜）	155,000 円（税抜）
前付 1 頁	250,000 円（税抜）	135,000 円（税抜）
前付 1/2 頁	—	80,000 円（税抜）
前付最終	—	148,000 円（税抜）
目次前	—	148,000 円（税抜）
差込（A4 変形判 70.5kg 未満　1 枚）	275,000 円（税抜）	
差込（A4 変形判 70.5kg ～ 86.5kg　1 枚）	350,000 円（税抜）	
同封（A4 変形判　1 枚）	350,000 円（税抜）	

■「情報処理」

発　　行　一般社団法人 情報処理学会
発行部数　20,000 部
体　　裁　A4 変形判
発 行 日　毎当月 15 日
申込締切　前月 10 日
原稿締切　前月 20 日
広告原稿　完全版下データ
原稿寸法　1 頁　天地 250mm ×左右 180mm
　　1/2 頁　天地 120mm ×左右 180mm
雑誌寸法　天地 280mm ×左右 210mm

■問合せ・お申込み先

〒 169-0073　東京都新宿区百人町 2-21-27
アドコム・メディア（株）（Tel/Fax/E-mail は下に記載）

＊原稿制作が必要な場合には別途実費申し受けます.
＊同封のサイズ・割引の詳細についてはお問合せください.

掲載広告の資料請求

掲載広告の詳しい資料をご希望の方は，ご希望の会社名にチェック ☑ を入れ，送付希望先をご記入の上，Fax にて（または E-mail にて必要事項を記入の上）アドコム・メディア（株）宛にご請求ください.

■「情報処理」 61 巻 3 号　掲載広告（五十音順）

□インタフェース …… 表 2 対向　　□富士通 …… 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）

楽天技術研究所

（一財）インターネット協会

情報サービス産業協会

トレンドマイクロ（株）

NTT コムウェア（株）

NTT テクノクロス（株）

（株）うえじま企画

沖電気工業（株）

キヤノンマーケティングジャパン(株)

コアマイクロシステムズ（株）

三美印刷（株）

（株）セプテーニ

ソニー（株）

チームラボ（株）

（株）テクノプロ
テクノプロ・デザイン社

パナソニック（株）

みずほ情報総研（株）

（株）レコチョク

IT Text シリーズ　情報処理学会編

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

新刊

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

メディア学概論
山口治男 著
A5判／172頁／本体2,400円(税別)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

分散処理
谷口秀夫 編著
A5判／240頁／本体2,800円(税別)

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

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

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

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

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

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

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

本体価格(税別) は変更する場合があります。

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

〒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 一般社団法人 情報処理学会
発行人 木下泰三
東京都千代田区神田駿河台一―五
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
東京都荒川区西日暮里五―九―八
印刷所 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

https://www.ipsj.or.jp/event/taikai/82/

情報処理学会　全国大会　検索

一般社団法人 情報処理学会 Information Processing Society of Japan × KIT 金沢工業大学

情報処理学会 創立60周年記念

第82回全国大会

大会テーマ：サステイナブルな情報社会

開催日 2020. 3. 5（木）→3. 7（土）

会　場 金沢工業大学 扇が丘キャンパス
（石川県野々市市扇が丘7-1）

当日のご参加お待ちしております！

無料イベント

3/5（木）

SDGsの実装に向けたITの役割
初音ミク ファン メイド ミニライブ IPSJ-39（抽選）
これからの一般情報教育Why, what, how
DX（デジタルトランスフォーメーション）で
「2025年の崖」をどう超えるか
2019年サイバー事件回顧録
研究100連発in石川
IT情報系キャリア研究セッション

3/6（金）

情報処理技術遺産認定式
〜コンピュータパイオニアが語る〜「私の詩と真実」
歴代会長パネル討論
はじめての人文情報学：情報処理技術で文化資料の分析に
挑戦しよう!
IoTに関する国際標準化動向と日本の取組み
誰のための契約なのか？
〜アジャイル開発のソフトウェアモデル契約
来たれ!ワークライフバランス伝道師2020
8th IPSJ International AI Programming Contest
SamurAI Coding 2019-20 World Final
MEC (Multi-access Edge Computing) への挑戦
論文必勝法
ランチョンセッション
IT情報系キャリア研究セッション

3/7（土）

IPSJ-ONE
情報学のトップ才能からエリートへ
―才能の発掘、接続、達人の養成―
激変!情報入試を取り巻く環境
地域で自走するプログラミング教育
AI・ビッグデータ解析、IoT領域人材のプロフェッショナル
資格化を考える
DXを推進する俊敏なシステム開発・運用―アジャイルに
つなぐビジネスとICT〜デジタルプラクティスライブ〜
CC2020：Computing Curricula 2020プロジェクト
信用スコアの期待と課題
初等中等教員研究発表セッション
Exciting Coding! Junior
〜みんなで一緒にプログラミングしよう〜
「先生質問です!」公開セッション
中高生情報学研究コンテスト
ランチョンセッション

定価（本体 1,600 円＋税）
本誌広告一手取扱い アドコム・メディア株式会社
〒169-0073 東京都新宿区百人町 2-21-27　TEL.03-3367-0571 FAX.03-3368-1519
雑誌　05269-03
4910052690301
01600