



業績賞贈呈

(写真：敬称略)

本会選奨規程第 9 条イ号（電子工学及び情報通信に関する新しい発明，理論，実験，手法などの基礎的研究で，その成果の学問分野への貢献が明確であるもの），ロ号（電子工学及び情報通信に関する新しい機器，又は方式の開発，改良，国際標準化で，その効果が顕著であり，近年その業績が明確になったもの），ハ号（電子工学及び情報通信並びに関連する分野において長年にわたる教育の質向上に資する教育施策の遂行，教育の実践（教育法，教材等の開発を含む），著述及びその普及を通じて，人材育成への貢献が明確になったもの）による業績に対し，下記の 7 件を選び贈呈した。

光線空間法に関する先駆的研究



受賞者 藤井俊彰

「光線空間法」とは，三次元空間の「見え」の情報を，空間を伝搬する光線情報として表現するものであり，位置 (x, y) と方向 (θ, ϕ) の四つのパラメータにより表される（図 1）。従来，三次元映像は多数のカメラで撮影された多視点画像を基に議論されており，カメラパラメータが異なるものや，CG，ホログラフィーなどはそれぞれ独立に議論されていた。1994 年に受賞者らにより光線空間法が提案され⁽¹⁾，各種の三次元映像が光線空間の枠組みで統一的に議論できるようになった⁽²⁾。様々な視点からの映像は光線空間の部分空間にすぎず，自由な視点の映像の生成はこの部分空間の取り出しによって実現可能であるとする理論である。この理論は，対象を取り囲むような全周から撮影したカメラ画像にも拡張され，様々な三次元画像の統一フォーマットとして認知され，使用されるようになった（図 1）⁽³⁾。なお，1996 年 8 月の SIGGRAPH において発表された Light Field の概念が光線空間の概念と等価であることが示され，同概念は Light Field（ライトフィールド）とも称されている。受賞者は，この光線空間を中心に様々な研究を展開しているが，以下にその代表的なものを挙げる。

(1) 三次元映像通信，情報圧縮・符号化の研究

光線空間法に基づく三次元映像通信の概念を図 2 に示す⁽⁴⁾。光線情報の圧縮，符号化は初期の頃から重要な課題として認識されており，光線空間の二次元断面であるエピポーラ平面画像（EPI）において物点の軌跡が直線となる性質を利用して，奥行推定や情報圧縮，周波数空間での解析，自由視点映像の生成等⁽⁵⁾に実績があるほか，近年では，深層学習を利用してオートエンコーダを利用した光線空間情報圧縮の検討等を行い⁽⁶⁾，数百枚の多視点画像を数枚分のデータ量にまで圧縮することに成功している。また国際標準化会合 MPEG（Moving Picture Experts Group）への提案も積極的に行い，Multiview Video Coding（多視点画像符号化）方式の国際標準策定にも寄与するなど，産業的な波及効果も非常に大きい。

(2) 光線空間取得・表示の研究

光線空間の取得・表示の問題に 2000 年代前半から取り組んだ。取得では，マルチカメラシステムや時分割光線空間撮影装置を構築し，30 fps で 100 視点の動画像を取得することに成功している。また，光学的な開口を制御して取得した二次元信号を基に計算処理により原光線空間を復元する符号化開口カメラの研究を行った⁽⁷⁾。表示としては，MIT 型のレイヤ型三次元ディスプレイを試作，レイヤパターンを高速化し，取得から表示までを一連で行うことに成功している。

(3) 三次元映像システムの研究

自由視点映像の取得において，100 台のカメラから成る多視点映像取得装置を開発したほか，スポーツ映像を多視点で撮影し，伝送，配信，視聴までを考慮したシステム開発を行った。また，アクティブ照明を用いて被写体の三次元 depth 情報を取得し，インテグラルフォトグラフィー方式の三次元ディスプレイにリアルタイムで

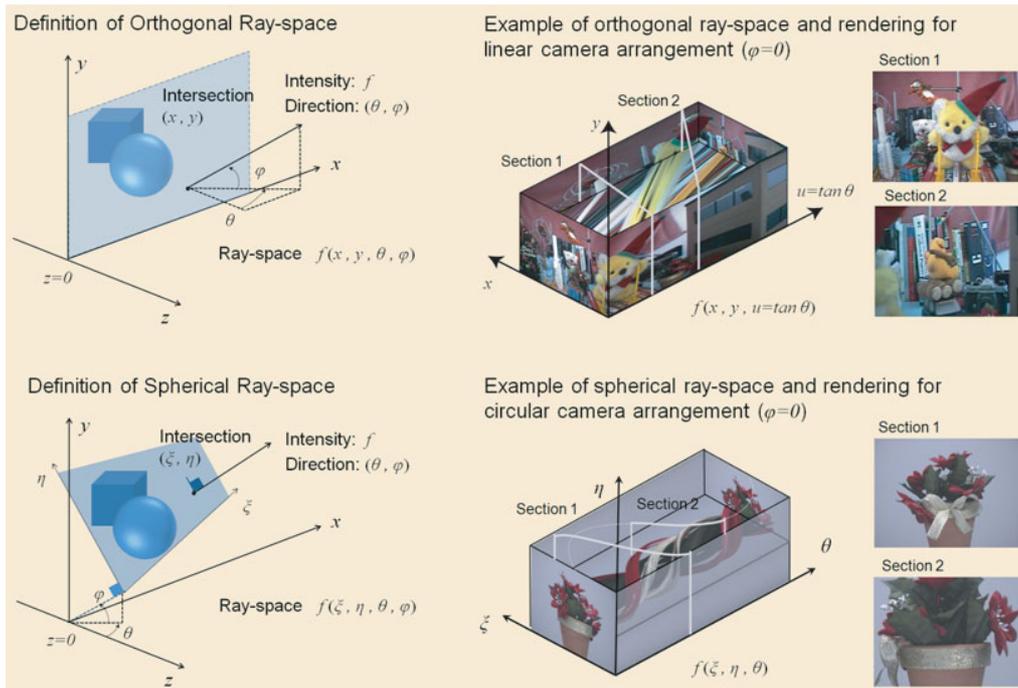
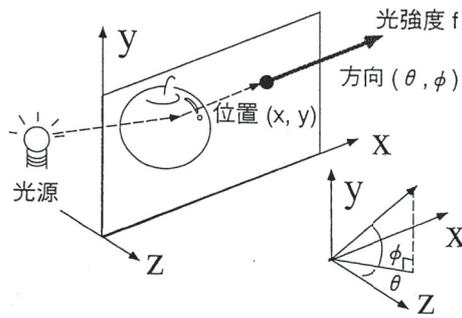


図1 光線空間の定義^{(1),(2)}と概念図⁽³⁾

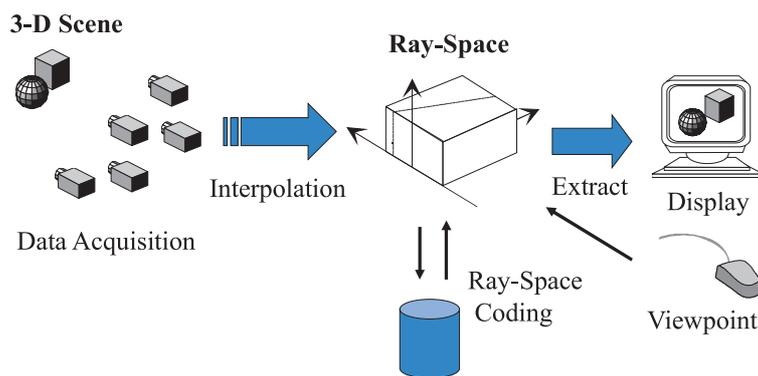


図2 光線空間の取得, 符号化, 伝送, 表示による三次元映像通信の概念図⁽⁴⁾

表示するシステムを開発した(画像電子学会, 2017年画像電子技術賞受賞)。

受賞者が提唱した光線空間という概念は、れい明期から継続的に広く積み重ねられたその研究業績とともに、

三次元映像の諸分野へ多大な波及効果を与え、今現在も世界の様々な機関で行われている最先端の研究の礎を築いた先駆的なものとして高く評価される。

以上のように、受賞者の業績は極めて顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。

文 献

- (1) 藤井俊彰, "3次元統合画像符号化の基礎検討," 東京大学大学院工学系研究科博士論文, Dec. 1994.
- (2) 藤井俊彰, 金子正秀, 原島 博, "光線群による3次元空間情報の表現とその応用," テレビ誌, vol. 50, no. 9, pp. 1312-1318, Sept. 1996.
- (3) M. Tanimoto, M.P. Tehrani, T. Fujii, and T. Yendo, "Free-viewpoint TV," IEEE Signal Process. Mag., vol. 28, no. 1, pp. 67-76, Jan. 2011.
- (4) T. Fujii and M. Tanimoto, "Free-viewpoint TV system based on ray-space representation," SPIE Three-Dimensional TV, Video, and Display, vol. 4864, pp. 175-189, Nov. 2002.
- (5) Y. Mori, N. Fukushima, T. Yendo, T. Fujii, and M. Tanimoto, "View generation with 3D warping using depth information for FTV," Signal Process., Image Commun., vol. 24, no. 1-2, pp. 65-72, Jan. 2009.
- (6) T. Fujii, "3D image processing using deep neural network," SPIE 3D Imaging, Visualization, and Display, Fumio Okano Best 3D Paper Prize, 2020.
- (7) R. Mizuno, K. Takahashi, M. Yoshida, C. Tsutake, T. Fujii, and H. Nagahara, "Acquiring a dynamic light field through a single-shot coded image," CVPR 2022, June 2022.



シリコンフォトリクス集積光回路技術の 先駆的研究



受賞者 山田浩治



受賞者 土澤 泰



受賞者 福田 浩

シリコンフォトリクスはシリコンエレクトロニクスの製造技術を用いた高密度集積光回路技術である。この技術のコンセプトを図1に示すが、この技術により光回路の劇的な小形化と機能集積、更に省エネルギー化や製造コストの低減が可能となる。また電子回路との融合集積にも相性が良いため、既にデータセンターや分散コンピューティングシステムにおける高速大容量データ伝送に不可欠な技術となっている。更にコンシューマヘルスケアなど、極めて幅広いアプリケーションが期待されている。

受賞者らはシリコンフォトリクス研究のれい明期である2000年頃に研究開発を開始した。シリコンCMOSプロセスでフォトリクスを構築するという、極めて野心的な技術であったため、当時は集積光回路への適用に向けた課題もポテンシャルも十分には見いだされていなかった。そこで受賞者らは、まず低損失なシリコン導波路シ

ステムの開発に着手し、2002年には結合効率が90%を超える低損失ファイバ結合構造を開発した^{(1),(2)}。このファイバ結合の構造を図2(a)に示す。この業績は世界的に大きなインパクトを与え、現在ではシリコンフォトリクス分野における標準的なファイバ結合構造として幅広く使用されている。更に、低損失シリコン導波路、そしてこれを利用した超小形光合分波フィルタなどの要素デバイスを実現した^{(2),(3)}。図2(b)に合分波フィルタの構造を示す。以上の活動を通じ、受賞者らはシリコンフォトリクスの集積光回路としてのポテンシャルを世界に先駆けて示した⁽²⁾。

その後、偏波ダイバーシチ回路を開発し、シリコンフォトリクスの実用展開に向けた大きな課題であった偏波無依存化を果たした⁽⁴⁾。図2(c)に偏波無依存回路の構成を示す。この業績も世界的に大きなインパクトを与え、提案した回路構成は標準的な偏波無依存化手法として幅広く利用されるに至っている。

更に、これと並行して受賞者らはシリコン光導波路による光非線形効果の著しい促進効果に着目し、LiNbO₃結晶並みの高効率波長変換を実現した⁽⁵⁾。この業績は量子光回路や光非線形回路のオンチップ化の可能性を示すものとして注目され、実際これを契機にこれらの新たな応用分野が開拓されるに至っている。

その後、シリコン変調器とゲルマニウム受光器のモノリシック集積や、これらのデバイスと酸化シリコン導波路形AWG波長フィルタのモノリシック集積、更に高速電子回路のフリップチップ集積などを実現し、光電子融合集積回路プラットフォームを世界に先駆けて確立した⁽⁶⁾。光デバイスのモノリシック集積の例を図2(d)に示す。そして現在、受賞者らが提案した集積手法を原型としたフォトリクスプラットフォームを多くのファウンドリーが提供し、シリコンフォトリクス産業を支えている。

また、受賞者らは産業技術総合研究所において標準CMOS製造技術を利用したシリコンフォトリクス技術開発を推進し、300mmウェーハプロセスを用いた公開

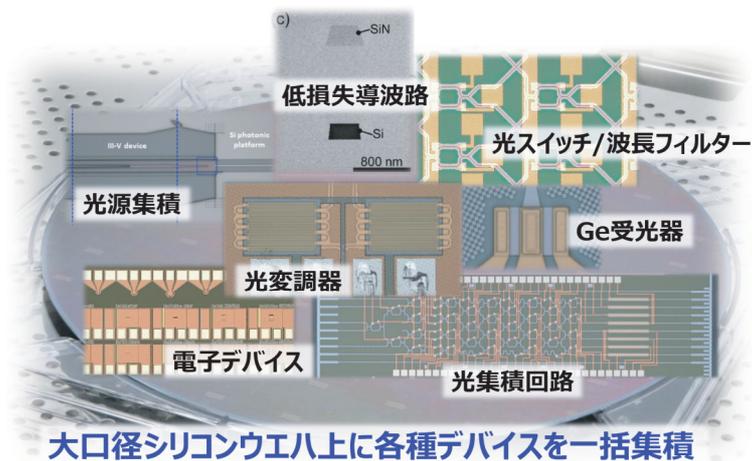


図1 シリコンフォトニクスコンセプト

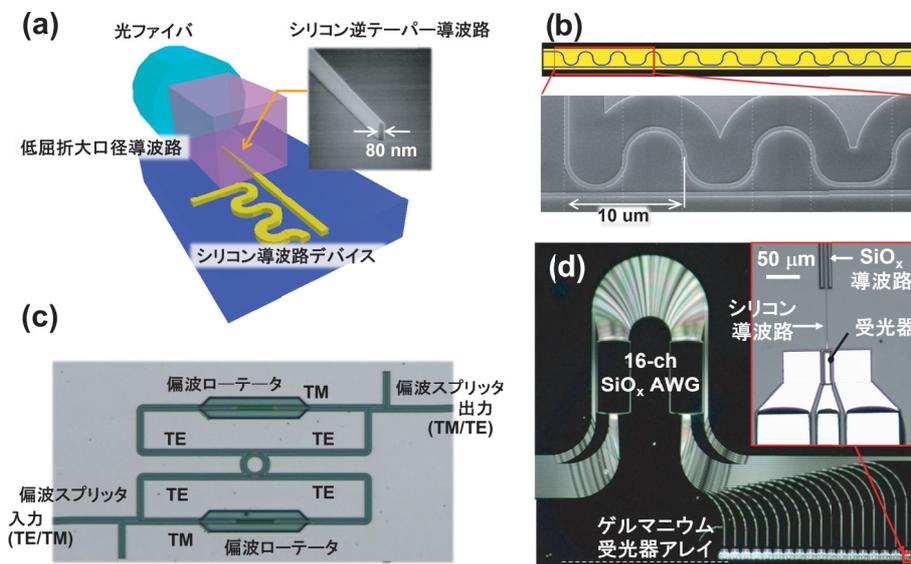


図2 シリコンフォトニクスデバイスとその集積例 (a)ファイバ結合構造, (b)超小形合成分波フィルタ, (c)偏波無依存回路構成 (リング共振器の場合), (d)AWG・受光器集積チップ.

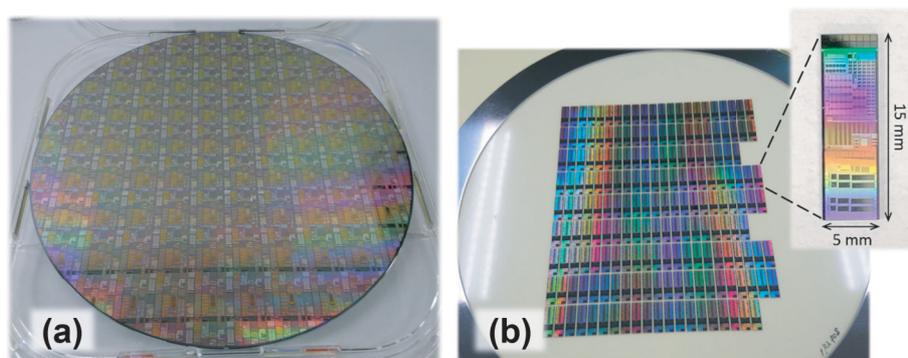


図3 公開試作提供例 (a)シリコンフォトニクスデバイス集積ウェーハ, (b)ユーザ提供用チップ.

試作体制を構築⁽⁷⁾。更にサプライチェーン技術の開発に向けた R & D エコシステム構築にも尽力し、シリコンフォトニクスの研究促進と社会実装に大きく貢献した。公開試作のサービス例を図3に示す。

以上のように、受賞者らはシリコンフォトニクスの先駆的研究を通じ、現在幅広く適用されているシリコン集積光回路の基礎を築いてきた。更に R&D エコシステムを構築し技術の社会実装を推進するなど、集積光回路技術の進歩、発展における候補者らの功績は大きく、本会業績賞にふさわしい。

文 献

(1) T. Shoji, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, K. Yamada, and H. Morita, "Low loss mode size converter from 0.3- μm square Si wire waveguides to singlemode fibres," *Electron. Lett.*, vol. 38, pp. 1669-1670, 2002.

(2) T. Tsuchizawa, K. Yamada, H. Fukuda, T. Watanabe, J. Takahashi, M. Takahashi, T. Shoji, E. Tamechika, S. Itabashi, and H. Morita, "Microphotonics devices based on silicon micro-fabrication technology," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 11, pp. 232-240, 2005.

(3) K. Yamada, T. Shoji, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, J. Takahashi, and S. Itabashi, "Silicon-wire-based ultrasmall lattice filters with wide free spectral ranges," *Opt. Lett.*, vol. 28, pp. 1663-1664, 2003.

(4) H. Fukuda, K. Yamada, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, H. Shinjima, and S. Itabashi, "Silicon photonic circuit with polarization diversity," *Opt. Express*, vol. 16, pp. 4872-4880, 2008.

(5) H. Fukuda, K. Yamada, T. Shoji, M. Takahashi, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, J. Takahashi, and S. Itabashi, "Four-wave mixing in silicon wire waveguides," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 4629-4637, 2005.

(6) K. Yamada, T. Tsuchizawa, H. Nishi, R. Kou, T. Hiraki, K. Takeda, H. Fukuda, Y. Ishikawa, K. Wada, and T. Yamamoto, "High-performance silicon photonics technology for telecommunications applications," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 15, no. 2, 024603, 2014.

(7) 産総研プレスリリース, "シリコンフォトニクスデバイスの研究開発試作体制を構築—民間企業・大学などが利用可能に—," Feb. 2020.



複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその応用に関する先駆的研究



受賞者 合原一幸

脳、生命、がんなどの諸疾病、免疫、健康、新興・再興感染症、エネルギー・電力、カーボンニュートラルを含む環境問題、通信、交通、経済・金融、地震、安全・安心など 21 世紀に残された重要研究課題の多くは、多面的アプローチを必要とする広義の複雑系の問題として捉えることができる⁽¹⁾。

受賞者は、大学院生時代から現在に至るまで一貫して、現実に存在する様々な複雑系を数理的に解析して最適化・制御・予測するために、「電子工学」, 「数理情報工学」, 及び受賞者が世界に先駆けて提唱した, カオス, フラクタル, 複雑ネットワークなどを工学的立場で研究する「カオス工学」⁽²⁾の観点から, 「複雑系数理モデル学」の基礎理論構築とその具体的な分野横断的の科学技術への応用に関する先駆的研究に取り組んできた。特に, 科学技術振興機構の ERATO 合原複雑数理モデルプロジェクト, 内閣府/日本学術振興会の FIRST 合原最先端数理モデルプロジェクト, 内閣府/科学技術振興機構

の合原ムーンショットプロジェクトなど様々な大型プロジェクトを通じて, 複雑系のマクロレベルとマイクロレベル間の階層的フィードバックダイナミクスを制御に結び付ける「複雑系制御理論」, 複雑系のネットワーク構造を最適化に結び付ける「複雑ネットワーク理論」, 複雑系から観測されるビッグデータを予測や数理モデリングに結び付ける「非線形データ解析理論」及び「データ駆動型モデリング」などを軸に, 「複雑系数理モデル学」の理論的プラットフォームとしての数理的基礎理論を構築した(図1)^{(1),(3)}。そして, この複雑系数理モデル学の基礎理論を駆使して多様な応用研究を広く展開し, それ



図1 複雑系数理モデル学の理論的プラットフォームとしての数理的基礎理論

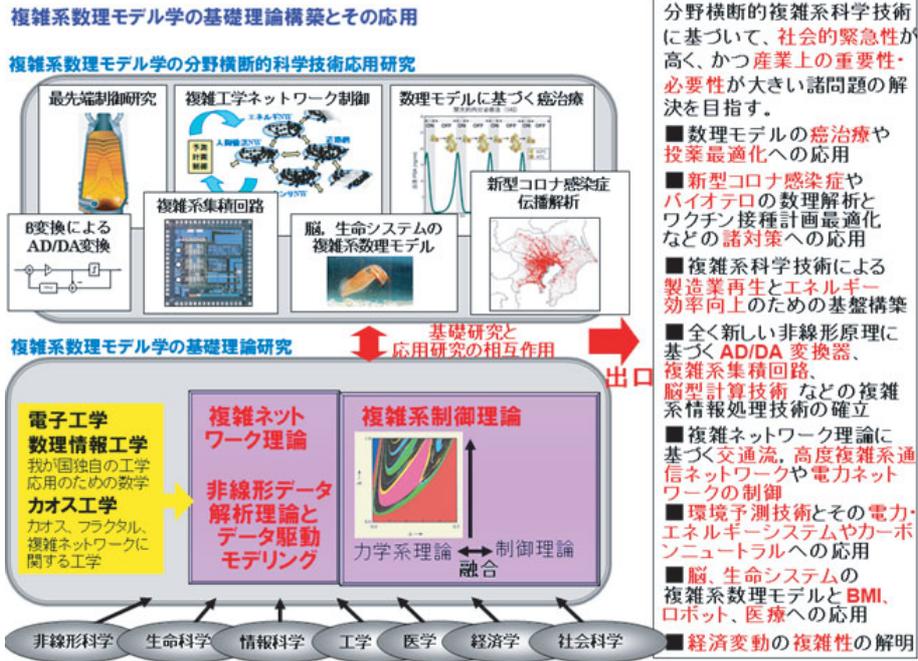


図2 複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその応用に関する研究概要

まで実学との距離があった複雑系科学を、電子情報通信技術を含む多分野で活用するための先駆的貢献を果たした(図2)^{(1)~(7)}。

更に、最近では東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構の副機構長として、実験的・臨床的脳科学研究と電子工学・数理情報工学などの工学研究とを統合することによって、ヒト脳の知性の発生のメカニズムや学習能力が高まる臨界期の解明、それらの知見に基づいた脳に学ぶニューロインスパイアードな次世代人工知能技術の基礎理論とハードウェア実装技術の開発などに関する研究を精力的に行っている^{(8),(9)}。また、内閣府/科学技術振興機構ムーンショット型研究開発事業「複雑臓器制御系の数理的包括理解と超早期精密医療への挑戦」プロジェクトマネージャーとして、医学や脳科学の実験・臨床研究とも連携しながら、精神疾患・神経疾患、糖尿病やがんをはじめとした様々な疾患の超早期精密医療を実現するための基礎理論構築においても大きな成果を上げている。特に、発病前の未病状態を検出するために受賞者らが定式化した動的ネットワークバイオマーカー(DNB: Dynamical Network Biomarkers)理論は、様々な疾病に応用され、未病の科学的研究に卓越した貢献を果たしている⁽¹⁰⁾。そして、このDNB理論を一般化した動的ネットワークマーカー(DNM: Dynamical Network Markers)理論は、様々な複雑系における状態遷移の予兆検出への応用が期待されている。

以上のように、受賞者の業績は極めて顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。

文 献

- (1) 暮らしを変える驚きの数理工学, 合原一幸(編著), ウェッジ, 東京, 2015.
- (2) K. Aihara, "Chaos engineering and its application to parallel distributed processing with chaotic neural networks," Proc. IEEE, vol. 90, no. 5, pp. 919-930, May 2002.
- (3) Analysis and Control of Complex Dynamical Systems: Robust Bifurcation, Dynamic Attractors, and Network Complexity, K. Aihara, J. Imura, and T. Ueta, eds., Springer, 2015.
- (4) 理工学系からの脳科学入門, 合原一幸, 神崎亮平(編著), 東京大学出版会, 東京, 2008.
- (5) 人工知能はこうして創られる, 合原一幸(編著), ウェッジ, 東京, 2017.
- (6) 合原一幸, 辻子美保子, 鶴岡慶雅, 羽生善治, 福井直樹, 脳とAI—言語と思考へのアプローチ, 酒井邦嘉(編著), 中央公論新社, 東京, 2022.
- (7) 小林鉄郎, 安齋麻美, 合原一幸, ナタリー・リントン, 感染症流行を読み解く数理, 西浦博(編著), 日本評論社, 東京, 2022.
- (8) T. Kohno and K. Aihara, "A MOSFET-based model on a class-2 type of Nerve Membrane," IEEE Trans. Neural Netw., vol. 16, no. 3, pp. 754-773, May 2005.
- (9) T. Inagaki, K. Inaba, T. Leleu, T. Honjo, T. Ikuta, K. Enbutsu, T. Umeki, R. Kasahara, K. Aihara, and H. Takesue, "Collective and synchronous dynamics of photonic spiking neurons," Nature Communications, vol. 12, 2325, pp. 1-8, April 2021.
- (10) K. Koizumi, M. Oku, S. Hayashi, A. Inujima, N. Shibahara, L. Chen, Y. Igarashi, K. Tobe, S. Saito, M. Kadowaki, and K. Aihara, "Identifying pre-disease signals before metabolic syndrome in mice by dynamical network biomarkers," Scientific Reports, vol. 9, 8767, pp. 1-11, June 2019.

安全な IoT 機器を実現する 楕円曲線暗号に関する先駆的研究



受賞者 宮地充子

各種 IoT 機器の普及に伴い、IoT 機器が収集するばく大なデータの活用により Society5.0 の実現が期待されている。従来の固定機器間のネットワーク環境と異なり、IoT 機器では無人状況で利用されることも多く、各種攻撃により複数の機器のデータも漏えいし、攻撃された IoT 機器により、健全な IoT 機器のデータも漏えい・改ざんされる危険性がある (図 1)。このため、ぜい弱な IoT 機器の安全性確保には機器認証が必須である。暗号には公開鍵暗号と共通鍵暗号の二つが存在する。共通鍵暗号は高速でかつコンパクトに実現できるが、共通鍵暗号を用いた IoT 機器認証では、一つの IoT 機器のぜい弱性が全 IoT 機器に広がる危険性がある。一方、公開鍵暗号を用いた機器認証は機器一つ一つを個別認証でき、安全性の観点から望ましい。しかし、公開鍵暗号は一般に計算量とメモリ量が共通鍵暗号に比べてばく大であり、ぜい弱な IoT 機器への適用は困難である。更に IoT 機器では無人状況で利用されることも多く、消費電力量情報や物理的な情報を用いるサイドチャンネル攻撃への耐性も必須である (図 2)。

本業績は公開鍵暗号の一種であるだ円曲線暗号に対して、処理時間及び必要メモリを削減するコンパクトなだ円曲線暗号の設計⁽¹⁾、及びサイドチャンネル攻撃に対して耐性を持つだ円曲線暗号^{(2), (3)}を実現した。

コンパクトなだ円曲線暗号の設計 (図 3) は米国特許

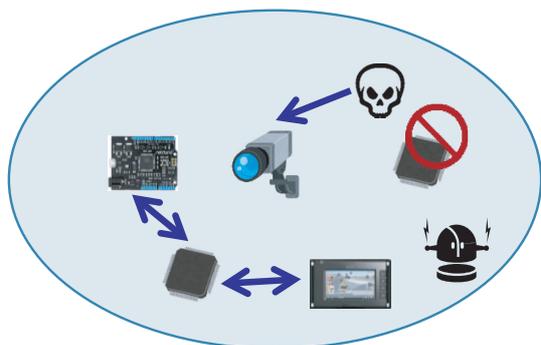


図 1 IoT 機器の攻撃

登録済みである⁽⁴⁾。ここで簡単に特徴について述べる。だ円曲線暗号は二次元のだ円曲線上の点 $P=(x, y)$ のスカラ倍算 $kP=P+\dots+P$ で構成される。ここで、 P は安全性の根拠となるため、一般には 160 ビット以上の数になる。スカラ倍算では P の大きさが直接的に計算時間に関与する。本発明では、安全性を保ちつつ、 x 座標が小さいだ円曲線の点 $P=(a, y)$ (a は小さい数) を生成するアルゴリズムを提案した。本発明により、 P の保持に必要なメモリ量と計算量の削減を実現し、コンパクトかつ高速なだ円曲線暗号の実現を可能にした。

サイドチャンネル攻撃耐性を持つだ円曲線暗号 (図 4) は、国際標準化機構/国際電気標準会議 (ISO/IEC) における国際規格に掲載されている⁽³⁾。ここで簡単に特徴について述べる。だ円曲線暗号はだ円曲線の点 P と kP から、秘密鍵 k を求めるだ円曲線上の離散対数問題 (ECDLP) を安全性の根拠を持つ。サイドチャンネル攻撃は暗号化や署名生成時の kP の計算過程における消費電力が k の各ビット k_i の値により異なることを用いて k を解読する。このため、ECDLP の数学的困難性とは独立に秘密情報 k を解読するため、非常に脅威となる。本発明ではランダムな点 R を導入し、だ円曲線暗号の主要演算である kP を、 $kP=(kP-R)+R$ と変換し、 $(kP-R)$ と R というランダム点の計算で、求めたい kP の結果を入手する。本発明は k に依存せず、常に同じ消費電力でだ円曲線暗号を構築することに成功した。本

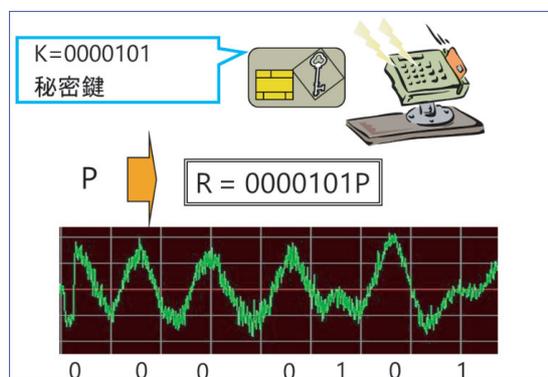


図 2 サイドチャンネル攻撃

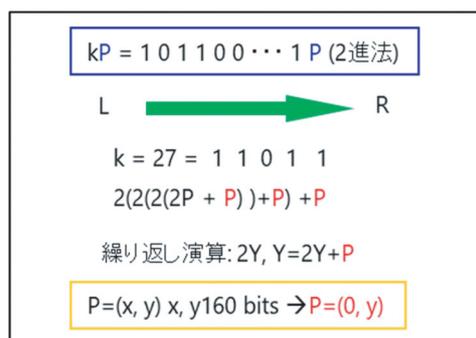


図 3 コンパクトなだ円曲線暗号の設計

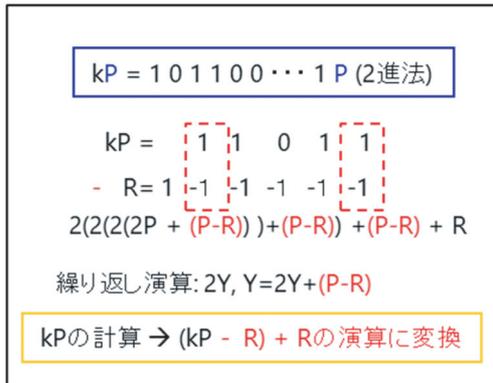


図4 サイドチャネル攻撃耐性を持つだ円曲線暗号の設計

発明により、サイドチャネル攻撃に安全なだ円曲線暗号が実現できる。

このように公開鍵暗号の一つであるだ円曲線暗号において、処理時間及び必要メモリを削減し、更にサイドチャネル攻撃に対して耐性を持つだ円曲線暗号の設計を実現し、安全なIoT機器の普及に大いに貢献した。更に受賞者の発明手法は現在、ブロックチェーン等で利用されているだ円曲線暗号にとどまらず、量子計算機に対

しても安全と考えられている耐量子暗号の安全性の一つであるだ円曲線上の同種写像を用いる暗号への応用など、その重要性は非常に大きい。また、受賞者の発明技術のみならず、ISO/IECにおける10件を超える国際規格のエディタを務め、日本のセキュリティ技術の発展に大きく貢献をした。

以上述べたように、受賞者は先駆的かつ独創的研究に加えて、ISO/IECのエディタを務めるなど国際標準化活動にも貢献し、その功績は顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。

文 献

- (1) A. Miyaji, "On secure and fast elliptic curve cryptosystems over F_p ," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E77-A, no. 4, pp. 630-635, April 1994.
- (2) H. Mamiya, A. Miyaji, and H. Morimoto, "Secure elliptic curve exponentiation against RPA, ZRA, DPA, and SPA," IEICE Trans. Fundamentals, vol. 89-A, no. 8, pp. 2207-2215, Aug. 2006.
- (3) International Standard ISO/IEC/15946-1, "Information technology-security techniques-Cryptographic techniques based on elliptic curves-part 1 General," 2016.07.01 (3rd Ed.) (国際規格)
- (4) A. Miyaji and M. Tatebayashi, "Method for generating and verifying electronic signatures and privacy communication using elliptic curves," US Patent 5,442,707. (特許)



パスワードレス個人認証方式の国際標準化と商用システム開発



受賞者 五味秀仁



受賞者 山口修司



受賞者 伊藤雄哉

パスワードはインターネットサービスにおける個人認証で広く使われているが、リスト型攻撃等の新たな脅威による不正アクセスが問題となっている。また、長いパ

スワード文字列を記憶することは難しく、入力に面倒がある。受賞者らは、これらパスワードの安全性と利便性における問題を解決する要求応答型公開鍵認証技術を開発し、商用化した。

要求応答型公開鍵認証技術では、スマートホン等利用者デバイス内蔵の認証器（指紋・顔等の生体認証機能）を用いる（図1）。認証の際には、認証サーバが利用者デバイスにランダム文字列を送付することで認証要求する。デバイス内蔵認証器は、生体情報等を使って認証した利用者の秘密鍵を用いて前記ランダム文字列に署名し、認証サーバに送付することで応答する。これにより、認証サーバは前記応答が自らの認証要求に対応する唯一のものを保証でき、使いやすく安全な個人認証を実現する。この技術は、パスワードに代わる認証を標準化する団体であるFIDO（Fast Identity Online）アライアンスが策定し、インターネット業界最大の標準化団体W3C（World Wide Web Consortium）が勧告化した技術仕様WebAuthn（Web Authentication）⁽¹⁾を構成するコアテクノロジーの一つである。また受賞者らの開発したYahoo! JAPAN認証サーバは、FIDO仕様に関する適合性と他社FIDO認証器との相互接続性を2015年に、FIDO2仕様に関する適合性と相互接続性を2018年に、共に世界で初めてFIDOアライア

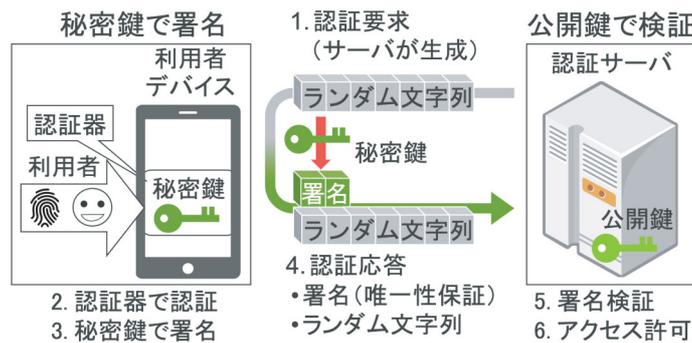


図1 要求応答型公開鍵認証

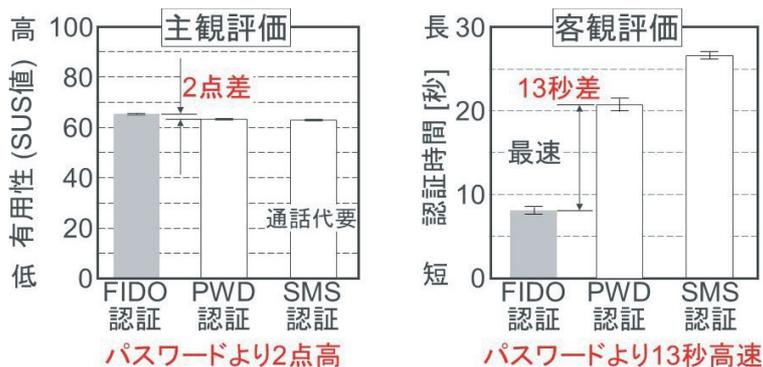


図2 主観・客観評価による商用サービスの検証

ンスから認定された。更に受賞者らは、デバイス紛失時に必須となるアカウントの復旧方法（アカウントリカバリ）に関して、FIDO アライアンス関係者間の意見を整合し、主著者として執筆した白書で公開した⁽²⁾。これらの取組みに加えて解説論文^{(3)~(5)}や Web 公開記事の執筆及び各種講演を積極的に実施し、パスワードレス個人認証の普及に大きく貢献した。

受賞者らは、2018 年、利用者数日本最大（2021 年、ニールセン調べ）の Yahoo! JAPAN サービスに、Android 向け FIDO2 対応パスワードレス個人認証を、サービス事業者として世界で初めて導入した。引き続き iOS 向け（2020 年）にも世界で初めて導入し、Windows 及び macOS の PC 向けにも 2021 年に導入を完了した。2022 年 9 月までの FIDO2 対応同サービス利用者累計は 1,750 万人を超える。また受賞者らは、Yahoo! JAPAN サービスにおいて FIDO 認証、パスワード（PWD）認証、SMS（Short Message Service）認証のユーザビリティを主観及び客観評価^{(6),(7)}で比較した（図 2）。その結果、PWD 認証と比較して FIDO 認証は、主観的有用性得点（SUS: Subjective Usability Score）が 2 点高いこと、認証所要時間が 13 秒短いことを、どちらも統計的に有意な差をもって実証した。この実証結果に関する論文⁽⁸⁾は、CSS2021 優秀論文賞及び情報処理学会山下記念研究賞を受賞し、受賞者らの貢献が学術的にも高く評価されている。

受賞者らが開発したパスワードレス個人認証方式は、

WebAuthn の商用サービス導入を通じて銀行アプリや QR コード決済アプリ等で幅広く使われている。これらの成果は、第 69 回電気科学技術奨励賞、2021 年度情報処理学会業績賞等で高く評価されている。したがって、受賞者らの功績は極めて顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。

文 献

- (1) W3C, "Web authentication: An API for accessing public key credentials level 1," W3C Recommendation, 2019.
- (2) H. Gomi, B. Leddy, and D. Saxe, "Recommended account recovery practices for FIDO relying parties," FIDO Alliance white paper, Feb. 2019.
- (3) 五味秀仁, "次世代認証技術 FIDO 認証とその標準化," 映情学誌 標準化現場ノート, vol. 70, no. 3, pp. 481-484, Jan. 2016.
- (4) 五味秀仁, 大神 渉, "FIDO (ファイド) 認証とその技術一仕様と標準化の動向に関して一," 信学 FR 誌, vol. 12, no. 2, pp. 115-125, Oct. 2018.
- (5) 井澤秀益, 五味秀仁, "次世代認証技術を金融機関が導入する際の留意点: FIDO を中心に," 金融研究, vol. 35, no. 4, pp. 21-54, Feb. 2016.
- (6) W. Oogami, H. Gomi, S. Yamaguchi, S. Yamanaka, and H. Higurashi, "Observation study on usability challenges for fingerprint authentication," Proc. USENIX Conference on Usable Privacy and Security (SOUPS), Aug. 2020.
- (7) 山口修司, 五味秀仁, 大神 渉, 日暮 立, "WebAuthn ベース生体認証のユーザビリティの分析と評価," 情処学論, vol. 64, no. 4, pp. 1-14, April 2023.
- (8) 山口修司, 五味秀仁, 大神 渉, 日暮 立, "クラウドソーシングを用いた WebAuthn ベース生体認証のユーザビリティ調査," Proc. Computer Security Symposium (CSS), pp. 207-214, Oct. 2021.

光ファイバ伝送によるアクセス系多チャンネル映像配信 (CATV) システムの研究開発、及び国際標準化と実用化・導入



受賞者 菊島浩二



受賞者 吉永尚生



受賞者 池田 智

アクセス系では、多チャンネル映像配信 (CATV) などの光ファイバによる広帯域サービスの実現が世界中から切望されていた。しかし、光分岐や波長多重用光フィルタ、光コネクタ等、多数の光部品による光信号の損失が大きいアクセス系では、光ファイバにより多チャンネル映像を配信するために割り当てるのが可能な、送受信間レベル差 (光送信機からの光出力レベルと、光受信機への光入力レベルとのレベル差) は小さく、全光化 (FTTH) による CATV 伝送は不可能だった。

このような背景の下、送受信間レベル差の大幅な向上を追求し、更に、低ひずみ・低雑音などの高性能化、経済化を達成するシステムの研究開発を行い、世界に先駆

けて全光化による CATV システムの実用化・導入を行った^{(1)~(5)} (図 1, 2)。

実用化・導入の基となる技術として、光ファイバ伝送路の損失と光波長分散を統計的に設計する方法を考案するとともに、分散補償ファイバの適用を提案した。また、光ファイバ増幅器の低ひずみ・低雑音化を達成、多段光増幅を実現した。更に、光信号処理技術による超広帯域 FM 一括変換を考案した。これらの種々の考案や創意は、諸外国から高く評価され、標準案作成への貢献が求められ、国際標準に採用された^{(6)~(10)}。

光ファイバ伝送路の損失を統計的に設計する方法は、送受信間レベル差の要求条件の厳しい下で、より多くの光分岐数を可能にし、経済化を可能にした。

また、光ファイバ伝送路の光波長分散を統計的に設計する方法は、ひずみに対して要求条件の厳しい下で、より長距離の伝送を可能にした。更に、分散補償ファイバの適用により、光波長分散によるひずみを補償し、更なる長距離伝送を可能にした。

光ファイバ増幅器の研究開発においては、光増幅器の波長に対する利得値の傾きによりひずみが発生する、いわゆる、ゲインチルトひずみを発見し、光ファイバ増幅器の低ひずみ化を達成した。更に、光ファイバ増幅器で使用されているエルビウム光ファイバ中の後方散乱など反射光による雑音の発生要因を明らかにし、光ファイバ増幅器の低雑音化を達成した。この光ファイバ増幅器の低ひずみ・低雑音化により、多段での光増幅が可能になり、経済化を達成した。

超広帯域 FM 一括変換は、4K, 8K スーパーハイビジョン放送も含む帯域 1GHz の CATV 信号を、帯域幅 6GHz の超広帯域 FM 信号に光ヘテロダインによる光信号処理技術により一括して変換する方式である。光波長分散、光反射への耐力、光増幅器が発生する雑音への耐力、光ファイバの非線形ラマンクロストークへの耐力

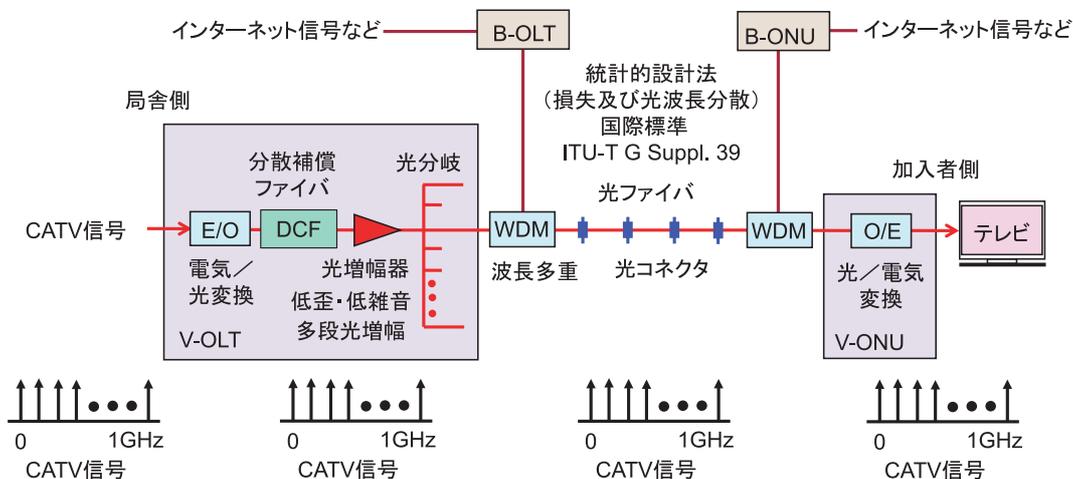


図1 サブキャリア多重 (SCM) による光 CATV システム (国際標準 ITU-T J. 186)

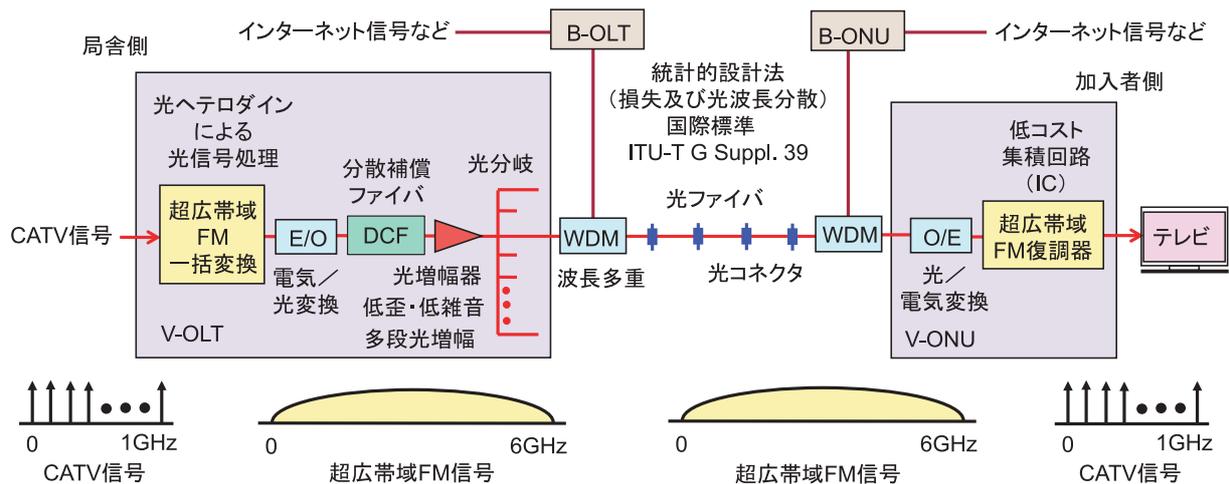


図2 超広帯域FM一括変換による光CATVシステム (国際標準ITU-T J. 185)

に加え、受光感度も向上する。

本技術により、貢献者は世界に先駆けて全光化 (FTTH) によるCATVシステムの実用化・導入を行った。(大規模導入開始, 2004年2月. 加入者数262万, 2023年2月末.)

一方, 多くのCATV事業者は, 光・同軸ハイブリッド方式 (HFC) によるCATVシステムを導入した. 光区間は, 本技術の損失と光波長分散の統計的設計法により経済的に設計できる. 更に, 本技術により低ひずみ化・低雑音化した光ファイバ増幅器が使用されている.

近年, 多くのCATV事業者が全光化を進めている. 総務省も新たな日常の定着に向けた耐災害性強化事業と位置付け, CATVの全光化を2021年1月から補助金により推進している. 近年, 多くのCATV事業者の全光化が一段と進み, 本技術が一層, 使用されており, 業績が明確となった.

以上述べたように, 受賞者たちの功績は極めて顕著であり, 本会業績賞にふさわしいものである.

文 献

(1) K. Kikushima and K. Hogari, "Statistical dispersion budgeting method for single-mode fiber transmission systems," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 8, no. 1, pp. 11-15. Jan. 1990.

(2) H. Yoshinaga, K. Kikushima, and E. Yoneda, "Influence of reflected light on erbium-doped fiber amplifiers for optical AM video signal transmission systems," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 10, no. 8, pp. 1132-1136, Aug. 1992.

(3) K. Kikushima, H. Yoshinaga, H. Nakamoto, C. Kishimoto, M. Kawabe, K. Suto, K. Kumozaki, and N. Shibata, "A super wideband optical FM modulation scheme for video transmission systems," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 14, no. 6, pp. 1066-1075, Aug. 1996.

(4) 池田 智, "映像光伝送方式の現状," 映像学誌, vol. 63, no. 4, pp. 437-443, April 2009.

(5) 菊島浩二, 室谷惇司, 林 仁, 藪内織人, "光アクセスシステムを用いたRF映像配信技術," レーザー学会誌, レーザー研究, vol. 48, no. 3, pp. 121-125, March 2020.

(6) ITU-T G-series Recommendations-Supplement 39, "Optical system design and engineering considerations," International Telecommunication Union, Geneva, Feb. 2016.

(7) ITU-T Recommendation G. 957, "Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy," International Telecommunication Union, Geneva, March 2006.

(8) ITU-T Recommendation G. 982, "Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates," International Telecommunication Union, Geneva, Nov. 1996.

(9) ITU-T Recommendation J. 186, "Transmission equipment for multi-channel television signals over optical access networks by sub-carrier multiplexing (SCM)," International Telecommunication Union, Geneva, June 2008.

(10) ITU-T Recommendation J. 185, "Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by frequency modulation conversion," International Telecommunication Union, Geneva, June 2012.



情報通信技術を活用した教育実践への貢献



受賞者 西原明法

21世紀に入り急速に高速大容量化したインターネットや衛星通信技術の進展により、教育分野でもマルチメディア通信利用の役割が認識され、時間や場所の制約を取り払って質の高い教育が可能となった。とりわけ、東南アジアなどの学術的発展途上国では、特に高等教育を強化していく過程で、講師確保の問題などを解決する手段となるため、より強いニーズがある。一方、国内の高等教育機関にとっても、日本に基盤を置きつつ、海外にも教育サービスを提供し、世界市場で競争することは日本の教育の足腰を強化することにつながる。

受賞者は、所属の東京工業大学において、2003年から衛星通信を用いて高大連携教育や国際遠隔教育を主体的に実践してきた^{(1),(2)}。特に、最先端のデジタル技術を駆使し、国際規格に準拠した映像通信により国際遠

隔教育の有効性立証に取り組んだ。2006年からは情報通信研究機構が推進する超高速・高機能研究開発テストベッドネットワークであるJGN2（Japan Gigabit Network 2；後にJGN2plus, JGN-Xと発展）を用いた国際遠隔教育のプロジェクト⁽³⁾を推進するとともに、国際共同研究推進部会委員として他の国際共同研究の高度化にも尽力してきた。これらの貢献は、2011年にJGN2plusアワード（ネットワーク・運用技術賞）を受賞するなど高く評価されている。また、2007年から2013年には超高速インターネット衛星「さずな」の53件の利用実験をまとめる利用実験協議会会長を務め、衛星通信技術の発展に貢献するとともに、衛星と地上ネットワークをシームレスにつないで高精細講義映像をマルチキャスト伝送する遠隔教育実験に成功した（図1）。2012年からは、東工大の講義において反転授業と大福帳を用いて学生の理解促進と学習内容定着を実践した^{(4),(5)}。これらの活動は情報通信技術を教育実践に用いる先駆けであり、現在、コロナ禍もあり教育機関において誰もが活用している遠隔教育の創成期をけん引した貢献は大きい。

更に、受賞者は、初等中等教育における情報通信技術関連の教育充実化にも注力してきた。小学校における2020年からのプログラミング教育必修化に先駆けて、2012年から都内公立小学校でプログラミング学習の出前授業を行い、全ての児童に論理的思考能力を育むべく継続実施している⁽⁶⁾。プログラミングを用いた学習は、

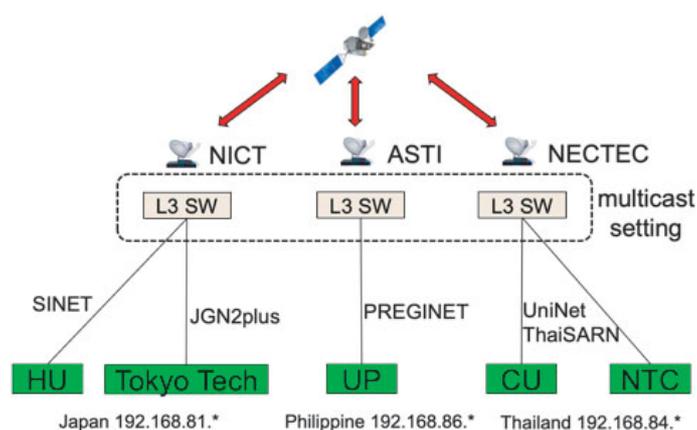


図1 衛星通信による遠隔配信の構成図と遠隔授業の様子

教科で学習する内容の因果関係や問題構造などの理解や解釈を促進し、理数系教科に限らず、様々な教科や学習に教育効果をもたらす可能性がある。受賞者は、専門としてきた教育工学で培った知見を生かして、単にプログラミングを学ぶという観点にとどまらず、対象となる課題をモデル化することの意義や、学び方の枠組みである思考の仕方を学ぶという観点でもより有効な教授法を検討するなど幅広い取り組みを行っている⁽⁷⁾。これらの活動は広く認知され、NHKのテレビ番組等で紹介されるなど、高い評価を得ている。これらに加えて、コロナ禍において在宅が多くなった機会にIEEE Region 10 Directorとして、中高生等広い層に向けて母国語でのウェビナーを企画・実施し、日本ではIEEE Engineer Spotlightとして2020年から継続的に開催している⁽⁸⁾。本ウェビナーは、本会会員に限らず広く聴講可能となっており、電子情報通信分野の裾野拡大に大きく貢献するものである。

このように、受賞者の一貫した情報通信技術を活用した教育実践活動は業績賞に該当する極めて大きな業績であると考えられる。

文 献

- (1) 新山浩雄, 西原明法, “東京工業大学の国際戦略と通信衛星による大学院講義配信,” 信学誌, vol. 86, no. 11, pp. 821-825, Nov. 2003.
- (2) A. Nishihara, “International distance education at Tokyo Tech,” Asian Engineering Journal, vol. 1, no. 2, pp. 31-39, June 2011.
- (3) 西原明法, 篠宮俊輔, 奥田浩一, “海外との遠隔教育のハイビジョンの可能性について~JGN2回線を使用したタイ-日本間のH. 264系HD IP伝送の報告~, ” 映画テレビ技術, no. 657, pp. 18-26, May 2007.
- (4) 東工大OCW.
<http://www.ocw.titech.ac.jp/index.php?module=Archive&action=KougiInfo&GakubuCD=101&GakkaCD=53&KougiCD=7256&Nendo=2012&Gakki=2&lang=JA&vid=03&tab=5> (参照 April 14, 2023)
- (5) 東京工業大学工学系教育賞.
http://www.eng3.e.titech.ac.jp/jinzai/edu_award_p/edu_award_25.html (参照 April 14, 2023)
- (6) 栗山直子, 齊藤貴浩, 森 秀樹, 西原明法, “小学校のプログラミング教育の効果の検証,” コンピュータ&エデュケーション, vol. 51, pp. 27-32, Dec. 2021
- (7) 栗山直子, 森 秀樹, 齊藤貴浩, 6さいからはじめる プログラミングの考え方, 西原明法(監修), (株)アルク, 東京, 2021.
- (8) IEEE Japan Council, “IEEE Engineer Spotlight.”
<https://www.ieee-jp.org/japanCouncil/EA/EngineerSpotlight/> (参照 March 31, 2023)

