

## 業績賞贈呈

(写真：敬称略)

本会選奨規程第 9 条イ項（電子工学およ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），ロ項（電子工学および情報通信に関する新しい機器，または方式の開発，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）による業績に対し，下記の 6 件を選び贈呈した。

### 大容量光伝送を実現するための 多値位相変調用 LN 光変調器の先駆的研究



受賞者 田中一弘



受賞者 土居正治



受賞者 杉山昌樹

近年ビデオ伝送などのインターネットアプリケーションの爆発的増加により，従来の 10 Gbit/s を超える 40 Gbit/s, 100 Gbit/s の光伝送システムが求められている。40 Gbit/s 以上の伝送を実現するためには，10G システムをベースとした既存のネットワークインフラへの親和性の観点から，伝送路で発生する信号ひずみに対する耐力，帯域効率の優れた変調方式が必要とされ，従来の強度変調方式に代わり光位相を高速に切り換える多値（4 値）位相変調方式（QPSK 若しくは DQPSK）が有望な技術となった。

このような大容量光伝送を可能とする位相変調技術の導入と QPSK 等の多値変調方式を実現するためには，小形・低駆動電圧で多機能を集積した光変調器が必要となる。ニオブ酸リチウム（Lithium Niobate, 以下 LN）材料を用いた光変調器は，その広帯域性，優れた波長均一性などから大容量光伝送におけるキーデバイスとなっている。しかし当初は，この多値位相変調方式を実現する光変調器は動作確認的な発表のみであり，優れた伝送特性が期待される QPSK 変調器を実現するためには，内側の 2 個のマッハツェンダ干渉（MZI）変調器と外側の MZI 導波路から構成される，従来に比べて集積度の高い LN 変調器を製作する必要がある。更に位相変調を行うためには強度変調の 2 倍の電圧で変調器を駆動する必要がある。また，高品質の QPSK 信号を実現するために，内側の 2 個の変調器が電氣的・光学的にそろって動作する必要がある。

受賞者らは，LN 変調器のドリフト課題を解決し高速 LN 変調器の実用化の道を開いて以来，LN 変調器の高速化の一連の先駆的な研究を進めてきたが，この多値位相変調に向けて以下の研究を精力的に進めた。まず，新規電極構造による低駆動電圧（3.5V）での 40 Gbit/s 高速変調技術であり，次に，従来技術に対しマイクロ波の減衰を抑えることが可能な電極構造，及びそれを実現するプロセス技術を開発し，光／電気相互作用長を長くすることで低電圧化と広帯域化の実現を可能とし，従来変調器の性能指数（帯域／駆動電圧）を約 3 倍改善した。高品質の QPSK 信号（等シンボル間配置）を実現するためには内側の 2 個の MZI 変調器の四つの導波路損を均一にする必要があり，導波路損均一化プロセス技術の研究を行って成果を上げている。また，多値化に伴い複数の高速電気信号入力があるが，電気信号遅延補償技術の研究を行い同一面からの駆動を可能にし，多値位相変

調を実現した。更に、今後の高度化された多値位相変調方式に対応すべく、微小曲げ導波路による変調部集積化技術等で今後の洗練されたLN光変調器技術の研究をリードしてきた。

これらの研究開発は既に40 Gbit/s DQPSK変調器、100 Gbit/s 偏波多重(DP) QPSK変調器などの製品に展開されており、これらの研究が着実に社会に貢献している。これらの開発に関し平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰で「光通信用40 G LN光変調器の開発」に対し科学技術賞(開発部門)を受賞している。

以上述べたように受賞者の研究は、動作確認の研究レベルであった多値位相変調器の様々な課題を先駆的に解決する成果を上げておりその功績は大きい。これにより大容量光伝送のための多値位相変調方式の導入を加速した受賞者らの業績は顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。



## 長波長帯半導体レーザーに関する先導的研究



受賞者 荒井滋久

長距離光ファイバ通信の広がりには、人々の生活を大きく変え、将来的にその技術は更に重要度を増すであろう。その光ファイバ通信技術の根幹となるデバイスが低損失光ファイバと1.5  $\mu\text{m}$  波長帯半導体レーザーである。

受賞者は、1976年から当時の低損失光ファイバ用半導体レーザー光源としてのGaInAsP四元混晶材料の結晶成長及びその半導体レーザー応用の研究を開始し、1978年からは、当時、1.3  $\mu\text{m}$  波長帯より光ファイバの損失が更に低減されると理論的に予測されていた1.5  $\mu\text{m}$  波長帯で動作する半導体レーザーの研究に着手した。

しかし、発光波長が1.5  $\mu\text{m}$  より長波長の組成のGaInAsP層を成長した上に禁制帯幅の大きなInP層を成長する際に、一度は成長したGaInAsP層がInP層を成長するための融液中に溶解してしまう問題(メルトバック)があり、良好な二重ヘテロ構造及び室温連続動作を可能とする低しきい値レーザーは実現されていなかっ

た。受賞者は、GaInAsP活性層とInPクラッド層の間にメルトバック防止層を成長することにより、1.5~1.67  $\mu\text{m}$  波長帯で低電流動作可能なレーザーを実現することに成功し、1979年に1.5  $\mu\text{m}$  波長帯で動作する半導体レーザーの室温連続動作を世界に先駆けて実現した。その2週間後には、KDD研究所(当時)が同構造を用いて1.5  $\mu\text{m}$  波長帯レーザーの室温連続動作を報告し、この波長帯を用いる広帯域光ファイバ通信用光源の研究の端緒を切った。

この長波長半導体レーザーの作製法の確立により、広帯域光ファイバ通信用半導体レーザーの研究が一気に加速した。当時の受賞者の指導教員であった末松安晴東京工業大学名誉教授とともに、超高速直接変調時に単一波長動作可能な動的単一モード半導体レーザーの開発や、電氣的波長制御機能を集積した波長可変半導体レーザーという現在では広く通信用半導体レーザーにおいて実用化されている技術の実現など、その後の通信用半導体レーザーの研究を大きく発展させることに貢献した。更に、光増幅領域である活性領域と波長選択性回折格子反射器を集積する新しい光集積導波路構造による1.5~1.6  $\mu\text{m}$  波長帯の単一波長レーザーの実現、高効率動作及び変調時の波長特性に優れた新しい単一波長レーザーの提案と実現を行った。これらの結果は、現在光ファイバ通信では、広く使用されている1.5  $\mu\text{m}$  帯半導体レーザーの源となった研究であり、受賞者は当該分野の発展に著しい貢献をした。

受賞者は、更に単一波長レーザーの低電流動作及び高効率動作化の観点で優れた新しい単一波長レーザーの研究を進め、活性層を細線状にして周期的に配置することにより、屈折率及び光利得の周期性の両方を用いる新しい分布帰還形レーザーを提案した。2000年には100 nm以下の極微構造を低損傷加工する技術を開拓して、1.5~1.6  $\mu\text{m}$  波長帯端面発光レーザーにおいて世界で最低のしきい値電流密度94 A/cm<sup>2</sup>を有する単一波長特性に優れた新型分布帰還形レーザーを実現した。近年では、超近距離チップ内光通信用光源として、従来構造より二桁低い電流で動作することが可能な薄膜半導体レーザーの研究を推進している。

また以上の研究を通じ、受賞者は、現在も本会で活躍する多くの研究者を大学において指導し社会に輩出している。そ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。



## 複素誘電率の高精度測定法の提案と そのマイクロ波応用技術の確立



受賞者 小林禧夫

マイクロ波・ミリ波デバイスを構成するために、樹脂、単結晶、セラミックス等の様々な低損失誘電体材料が用いられている。それらの材料の複素誘電率の周波数特性や温度依存性を高精度に測定する測定法の開発は、材料開発や回路の高精度設計のために必要不可欠である。受賞者は長年にわたり種々の形状試料に関する材料評価法を提案し、その普及に努めてきた。

まず、受賞者は誘電体共振器の厳密な電磁界解析を世界に先駆けて成功し、すべての共振モードに関する共振周波数の高精度計算法を確立した。次に、その解析を基に誘電体円柱試料を評価するための両端短絡形誘電体円柱共振器法を確立した。本手法はセラミック円柱の評価技術として各国で採用され、新材料開発に利用されてきた。この結果、高誘電率低損失かつ温度高安定な種々のセラミック材料が開発され、これらのセラミックスを利用した様々な小形誘電体フィルタが開発された。特に、受賞者の発明による誘電体フィルタは、勃興期にあった移動体通信基地局用フィルタとして実用化された。本業績により受賞者は村田製作所とともに井上春成賞を授賞されている。

また本測定法はマイクロ波帯における導体板の表面抵抗測定にも有効なことを実証し、高温超伝導基板の表面抵抗測定にも応用されている。これらの測定法に共通する特長は、試料の着脱が簡便な装置を用いて、厳密な電磁界解析に基づいた高精度測定法を実現したことにある。このため、これらの測定法は次々とIEC国際標準化及びJIS標準化された。我が国工業標準化の発展への貢献により経済産業大臣賞を受賞した。

最近、誘電体平板試料の面方向の複素誘電率を測定するための空洞共振器法及び垂直方向の複素誘電率を測定するための平衡形円板共振器法を開発した。これらの測定法により電子回路用誘電体積層基板には面方向と垂直方向で異方性があり、また誘電体との接着強度を増すために施される銅はくの面粗しの影響がマイクロ波帯あるいはギガビット領域では無視できなくなることを実証し、誘電体基板の開発や平面回路デバイスの高精度設計の実現に多大の貢献をしている。更には、円筒空洞共振

器の中心軸上に誘電体丸棒試料を挿入した共振器構造に存在する複数の共振モードを用いて、複素誘電率の周波数依存性を測定する手法を確立している。

以上述べたように、受賞者が研究開発した様々な材料測定技術は国際規格として各国で利用されて、新材料開発や電子回路の高精度設計の実現に大きく貢献している。したがって、受賞者の業績は誠に顕著で、本会業績賞にふさわしいものである。



## FTTH用1.25 Gbit/s パースト光送受信 インタフェース技術の実用化開発



受賞者 本島邦明



受賞者 田上仁之



受賞者 中川潤一

宅内映像伝送サービスやインターネットトラフィックの増大に柔軟に対応できる光加入者接続を提供するFTTH (Fiber To The Home) の国内契約者数は、2011年に2,000万加入を突破しようとしている。2004年頃から商用導入が開始されたGE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) は、FTTHを経済的に実現できる広帯域光加入者網の中核として、確固たる市場地位を確立するに至った。

GE-PONでは、伝送路上にスターカップラを配置することにより、複数の加入者を1台の局側装置に収容し、加入者当りの局側装置コストを低減する。加入者から送出された上りパーストは、スターカップラと局側装置を結ぶ共通ファイバ上で衝突しないように、光時分割多重によって送出タイミングが制御される。このとき、上りパーストは、パーストごとに異なる光強度であると

ともに、局内クロックとは無相関な位相状態となっている。局側装置のバースト光受信インタフェースでは、受信バーストの振幅再生と局内クロックとの位相同期を、バースト中に割り当てられたオーバーヘッド領域内で高速に確立する高度な技術課題があった。

上記の技術課題を克服するために、受賞者らは、異なる光強度の信号振幅を高速かつ安定に再生できる受光利得の連続制御方式を考案した。光強度に応じて増幅利得を連続的に制御する方式であり、増幅利得を段階的に切り替える従来方式に比べて、最適な増幅利得を安定に制御できる。また、考案方式に基づく専用集積回路を開発し、400 ns 以下で高速収束する受光強度追従と、24 dB 以上の広範囲なダイナミックレンジを達成した。

また、バースト光送受信インタフェース用として世界初となる、多相サンプルによる位相同期機能を集積化した LSI を開発した。受信信号を 8 倍速度のクロックタイミングでサンプルし、最適位相でサンプルされた信号のみを論理選択する位相同期方式である。PLL (Phase Locked Loop) 方式に比べて約 50 倍の高速同期を実現しつつ、データ遷移点の誤検出確率を十分に抑圧することにより、約 0.7 ビット周期もの高いパルス幅変動耐力を達成した。

更に、受光利得連続制御回路と多相サンプル位相同期回路を内蔵し、高い動作信頼性と価格競争力を持つ小形のバースト光送受信インタフェースを開発した。32 dB 以上の装置間損を許容することで、局側装置の 1 ポート当たり 32 加入以上の多ユーザ収容を運用上で検証し、実用化技術としての道を開いた。

本島邦明君には、バースト光送受信インタフェース技術の開発をけん引した業績を含め、2010 年に本会フェロー称号が贈呈された。また、受賞者らは、FTTH の国際展開をにらみ、IEEE や ITU-T/FSAN における標準化委員会への技術提案や、複数の国際学会におけるプログラム委員として、FTTH の啓発活動にも貢献している。

以上のように、受賞者らは、FTTH 用 1.25 Gbit/s バースト光送受信インタフェース技術における開発課題をれい明から予見するとともに、それらを克服する一連のブレイクスルー技術の開発を揺るぎない信念のもとに完遂させ、世界に先駆けて実用化した。通信コストを低減した経済的な広帯域光加入者接続を実現するためのキーデバイス技術を実用化し、FTTH 普及・拡大への推進力となった受賞者ら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。

## 動的再構成プロセッサの研究開発と その画像処理機器応用



受賞者 本村真人



受賞者 栗島 亨



受賞者 藤井太郎

システム LSI は、デジタルテレビやデジタルカメラ、プリンタ等のデジタル民生機器の中核処理エンジンとして広く使われ、性能や機能の向上及び電力やコストの削減により、その市場急拡大を支えてきた。しかしながら、近年のプロセス微細化による LSI 開発費の急上昇や、機能を固定回路 (ハードウェア) 化して集積すればするほどその LSI の応用範囲が狭くなってしまいう問題等により、よほどの出荷台数が見込める機器向けでなければシステム LSI の開発は難しくなってきた。一方、この問題を避けるために機能のソフトウェア化を進めると、性能や電力面での要求仕様達成が難しくなるという別の問題が生じる。このような「システム LSI のジレンマ」を救う手立てとして、ハードウェアとしての高性能・低電力性を保ちつつソフトウェア的な処理拡張・書換えが可能な「やわらかいハードウェア」技術の実現が強く望まれている。

受賞者らは、1990 年代後半から、いち早く現在のこの状況を予見し、今や「やわらかいハードウェア」の代表的技術となった動的再構成プロセッサの研究開発とその実用化に粘り強く取り組んできた。1997 年には、LSI の動作中に回路構成を柔軟に変更できる世界で初めての「動的再構成」回路技術を Symposium on VLSI Circuits で発表、続いて 1999 年の International Solid-State Circuits Conference ではその実動作 LSI を発表した。これらをベースに 2002 年に発表したのが、プロセッサとメモリの二次元アレー上に擬似的なハードウェア群を構築し、それらを次々に切り換えて複数の機能を実現する動



動的再構成プロセッサ (DRP) である。

受賞者らは、これらアーキテクチャ・回路面での研究開発と並行して、実用化の鍵を握るのはむしろ設計検証ツールであるとの理解のもと、長期的な展望に立ってその開発を精力的に推進した。LSI 設計 CAD ツールの高位合成技術を発展させ、C 言語入力で一気に擬似ハードウェア群の設計検証をやり切る環境を実現した。この設計環境のユーザからは「これまで数人×数か月で行っていた複雑な設計が一人×一週間でできるようになり、生産性は桁違いに向上した」との高評価を得ている。

更に、「やわらかいハードウェア」の実世界応用が、画像、音声等の大量のストリームデータを高速に処理する分野であることに着目し、DRP 技術を同分野に絞り込んだ STP (Stream Transpose) エンジンとして IP コア化した。この戦略と粘り強い事業開発活動が奏功し、2007 年には業務用ビデオカメラに搭載された。更に、その後、大きな出荷台数を誇る民生用画像処理機器への適用も拡大している。いずれの機器でも、STP エンジン上の擬似ハードウェア群を入れ換えるだけで新しい機能が実現できることで、短期間での新製品投入や機能拡張に大きく貢献している。

動的再構成技術は 2000 年頃に日米欧で多数のベンチャー企業が現れ過熱期を迎えたが、その後淘汰期に入り大きな産業的成長には至っていない。受賞者らは、過熱期前に研究に取り組み、淘汰期を乗り越え、独創的な着想を民生用製品にまで結実させ、大きな発展が期待されるレベルにまで成長させた。成功の要因としては、設計ツールが最終的な決め手と見据え、長期展望のもとでその完成度を高めた点、応用を画像処理中心に絞り、技術の新規性だけに頼らずユーザメリットの具現化に注力した点大きい。本業績は、システム LSI の直面している限界を超え、LSI や電子機器の技術・産業の新たな発展をもたらすもので、学術面、産業面での貢献が顕著であり、本会業績賞にふさわしいものである。



## 光ファイバ接続技術の開発



受賞者 杉田悦治



受賞者 佐武俊明



受賞者 加島宜雄

日本は、世界に先駆けて光ファイバの実用化に踏み出し、特に FTTH などによるアクセス系の光伝送サービスの普及に関しては、現在も他国の追随を許していない。これを可能にしたのが世界最先端を行く光ファイバ技術とその接続技術である。受賞者らは、光ファイバ接続技術のれい明期から研究に携わり、光コネクタ技術や融着接続技術の実用化に貢献してきた。光ファイバ接続技術に対する要求項目は、高精度の位置合せによる接続損の低減と長期信頼性の確保、及びこれらを満足した上での小形化・経済化である。受賞者らの開発した光コネクタ技術及び融着接続技術は、小形化・経済化・簡易化・高信頼化などを世界に先駆けて実現し、その後 20 年になろうとする現在に至っても世界中で幅広く用いられている。

杉田悦治君はプッシュプル形の接続が簡易な SC 形光コネクタの開発と実用化に貢献した。特に本コネクタの基本技術である PC 接続の設計技術を開発し、安定した低損失、低反射接続を実現した。更に、杉田君は、IEC において、開発した SC 形光コネクタの国際標準化 (IEC 61754-4 等) を推進し、SC 形光コネクタ及び応用技術の普及促進に多大な貢献をした。SC 形光コネクタは、通信網のみならず、装置間インタフェースでも広く用いられており、その高い性能と操作性から、世界中で最も使用されている光コネクタの一つとなっている。

佐武俊明君は多心光ファイバを一括して接続可能な MT 形コネクタの開発と実用化に貢献した。特に本コネクタの基本技術である量産可能で安価なプラスチックフェルールを高精度に加工する技術と、ガイドピンによ

り光ファイバ同士を軸合せする技術を開発し、安定した低損失接続を実現した。MT形コネクタは、多心光ファイバテープの接続には必要不可欠で、日本のFTTHにおける多心接続部分で多く使用されている。現在は、ビル内のデータセンタ等での需要も伸びており、IEC 61754-5等で標準化がされている。本コネクタは、その構造の簡易さから、世界中で最も使用されている多心光コネクタとなっている。更に、佐武君は、米国の光コネクタ関連会社において、海外の大手キャリア等に向けたMT形コネクタの普及促進に多大な貢献をした。

加島宜雄君は、初期の光ファイバ融着機的设计に多大な貢献をした。また、現在の融着接続に必要な不可欠な技術である高周波トリガ方式による融着接続機を開発した。本方式を採用することにより、省電力化、小形化、

経済化に多大な貢献をし、バッテリー動作の可搬形の装置が実現した。融着接続技術は、最も信頼性の高い接続技術として世界中で使用されており、ITU-T L. 12において勧告がされている。融着接続技術が、このように広まったのは、本業績である高周波トリガ方式による融着接続技術の貢献が大きいと考える。

以上のように、受賞者らは、光ネットワーク構築に必要な不可欠な光接続技術の研究開発を世界に先駆けて行い、日本の技術の国際標準化に大きく貢献した。また、現在も世界中で幅広く使用されており、光ファイバ通信網の構築に極めて大きな貢献をした業績と考える。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。

