

# 巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発

実施研究機関：日本電信電話株式会社、三菱電機株式会社、富士通株式会社、日本電気株式会社

研究開発期間：H27年度～H29年度

研究開発費：H27年6.0億円、H28年5.4億円、H29年5.0億円、・・・計16.4億円

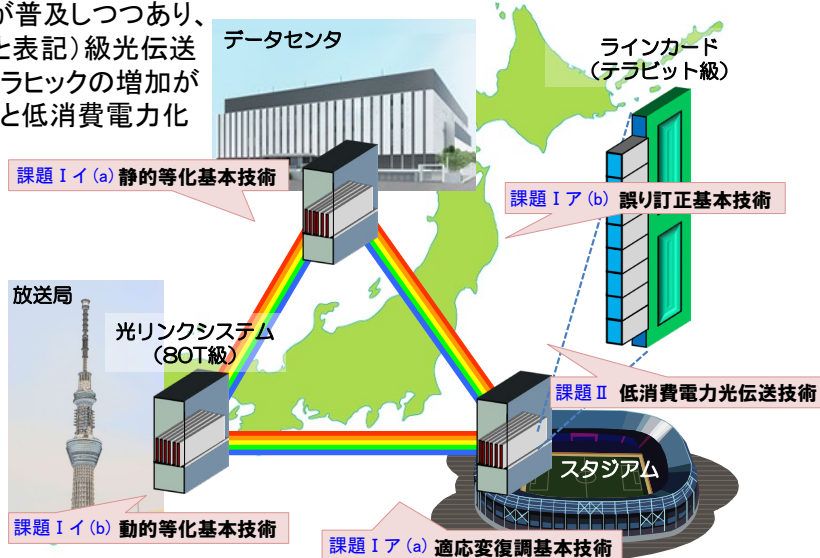
担当課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

## 1. 研究開発概要

超高精細映像やビッグデータ等の流通、移動通信トラフィックの急激な増加や、機器同士、端末同士など人間が介在しない通信トラフィックの増加の本格化が想定されることなどから、我が国の通信トラフィック量は増加を続け、今後も基幹ネットワークを支える光ネットワークに要求される伝送容量はますます大きくなることが予想される。現在、毎秒100ギガビット（以下、100Gbpsと表記）級の光伝送技術が普及しつつあり、これに続く毎秒400ギガビット（以下、400Gbpsと表記）級光伝送技術の開発が進められているが、上述のとおりトラフィックの増加が加速することが予想され、さらなる高速大容量化と低消費電力化を進めた光伝送技術が要求されている。本研究開発では、より高度な光伝送技術や低電力デジタル信号処理技術を導入し、毎秒1テラビット（以下、1Tbpsと表記）級光伝送技術を確立する。

本研究開発成果により、情報通信インフラの持続的な維持・発展に寄与すると同時に、国際標準化および市場展開を推進し、我が国の光ネットワーク技術の国際的な競争力を強化する。

本研究開発では、100Gbps級光伝送技術に対し、送受信機（実装サイズ）当たりの伝送容量を10倍、消費電力を1/4に削減する技術を確立することを目標とした。



## 2. 研究開発成果概要

■本研究開発では1チャンネルあたり1Tbps級の容量を有する超大容量光伝送システムを実現するため以下を達成

【課題I】 64QAM (QAM: 直交位相振幅変調)などのより高度な伝送方式に対応した、適応変復調技術、誤り訂正技術、静的等化技術、動的等化技術の基本アルゴリズムの確立

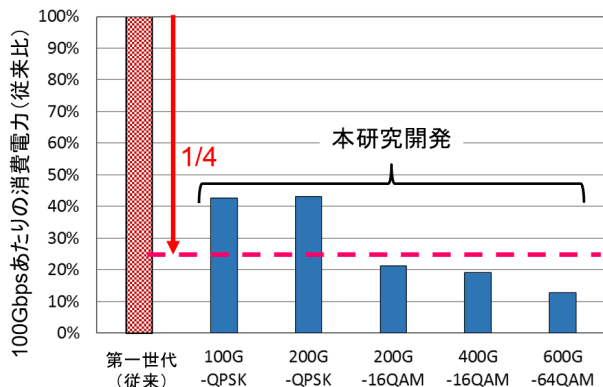
【課題II】 (1) デジタル信号処理回路の消費電力を従来比1/4 (同一通信処理速度で比較)に低減可能で送受信機当たりの伝送容量を従来比10倍 (100Gbps級技術と比較)に増大可能な低消費電力化回路構成技術および統合検証技術の確立

(2) プリプロトタイプ開発 (16nmテストチップ)を行い、DAC (DAC: デジタルアナログコンバーター)/ADC (ADC: アナログデジタルコンバーター)の高ボーレート (65GBaud級)動作の確認

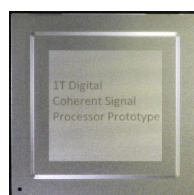
■消費電力見積もり、およびプリプロトタイプ開発を用いた性能評価を実施し、設計通りであることを確認

・ 統合回路の動作データを用いたチップレベルの消費電力評価を実施。100Gbpsあたりの見積り消費電力は、第1世代100G-DSP (DSP: デジタルシグナルプロセッサ)に比較して1/4以下を実現

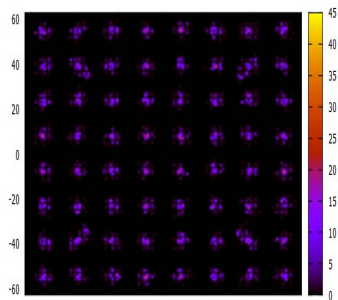
・ 動的等化基本技術において検討中の適応等化・搬送波位相再生ブロックを実装。600Gbpsなどの主要モードの信号疎通を確認し、64QAMならびに様々な変調フォーマットでの動作を実証



消費電力見積もり (シミュレーション)



プリプロトタイプ外観



DSP内部折り返し  
コンスタレーション  
(600G 64QAM)

### 3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等

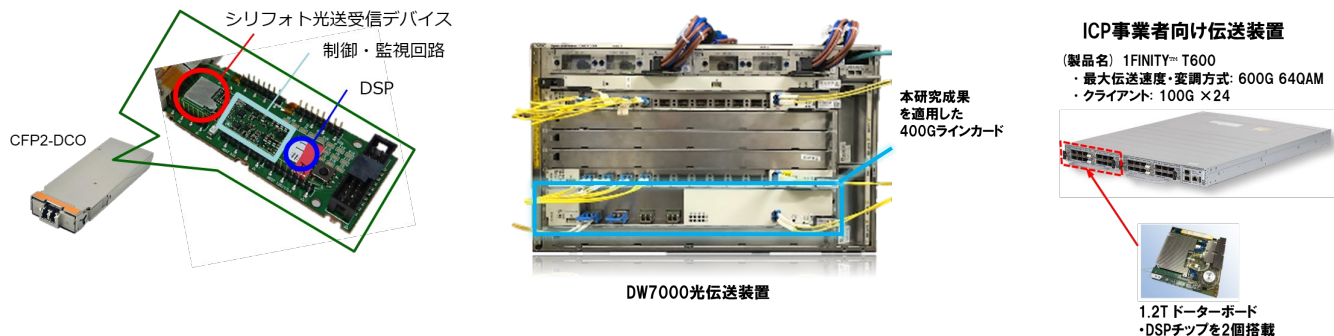
#### <政策目標（アウトカム目標）の達成状況>

##### 取り組み方針：

成果発表会、報道発表、国際標準化活動等を通じて本プロジェクトの成果を積極的に社会展開し、技術トレンドを牽引してきた。本成果をさらに発展させ、超大容量光ネットワークの更なる高信頼化・経済化に役立つ基盤技術開発を推進するとともに、システム実用化・装置製品化にも積極的に取り組んだ。成果を適用した製品化事例として累計6件、更に、実際の国内外のネットワークへの適用事例として累計6件を本研究終了後5年以内に達成することを目指した。

##### 進捗及び達成状況：

本研究開発成果を適用して、100Gbps 光トランシーバ（三菱電機）、光伝送装置 1FINITY T700/T600/T500/T510/T300/T310（富士通）、400Gトランスポンダ、光伝送装置（DW7000）の400G ラインカード、400Gトランシーバ（NEC）、および16nmテストチップをベースに600G DSP、7nmテストチップ(\*)をベースに400G低電力DSP（NTT-G）を製品化した。また、前述の製品は複数の国内外キャリアのネットワークや海底ケーブルシステムへ適用されたため、目標の150%以上（製品化10件、ネットワーク導入9件）を達成した。（\*）本成果および後継の委託研究成果使用



#### <新たな市場の形成、売上げの発生（GDP等増大）、国民生活水準の向上>

本研究開発の成果に関連して、本研究開発終了後5年間の国内外の売上は累計で1450億円を超えた。このように本研究開発の成果は製品としての高い国際競争力を示すとともに、国内ネットワークに導入されることにより国民生活水準の向上に貢献している。

#### <知財や国際標準獲得等の推進>

本研究開発の成果に関連して、特許出願65件（うち海外分36件）を実施し、知的財産の獲得を積極的に行った。また、国際標準化は8件提案し、光通信産業を牽引した。

国際標準化は主にITU-Tで活動を行った。寄書としては、高速系物理IFの勧告に関するリンクバジェットの寄書、メトロアプリケーション向けにStaircase FEC（Staircase FEC：ステアケース前方誤り訂正）を標準化すべきとの寄書、MV-laDI（MV-laDI：マルチベンダ相互領域インタフェース）向けHD-FEC（HD-FEC：硬判定前方誤り訂正）の選定はQ11選定後にQ6で評価すべきという寄書、同Staircase FECを標準化すべきとの寄書、flexo-lrの100GにStaircase FECを採用することの寄書、100G向けFECについてStaircase FECが有効であることの寄書を提案。また、Staircase FECを取り入れた新勧告のドラフトG.709.otu4lrを本会合中にコンセンサスすることの寄書提案を行い、100G-OTN（OTN：光伝達網）の新規勧告G.709.otu4lrが標準化された。

	合計（括弧内海外）
特許出願数	65件（36件）
特許取得数	51件（27件）
自己実施件数	3件（1件）
実施許諾件数	4件（0件）
国際標準提案数	8件
国際標準獲得数	2件

### 4. 研究開発成果（アウトプット目標）から生み出された科学的・技術的な効果

#### <新たな科学技術開発の誘引>

本研究開発の成果はOFC（OFC：Optical Fiber Communication Conference）やECOC（ECOC：European Conference on Optical Communications）などの主要な国際会議、論文誌、国内学会等で多数発表され、学会にも大きなインパクトを与えた。デジタルコヒーレント光伝送技術の更なる高速化・高機能化を目指した10テラビット級関連のプロジェクト（総務省委託研究「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発 課題Ⅰ」並びに「グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発 課題Ⅰ」）に本研究開発の成果が活用されており、新たな科学技術開発の誘引に寄与している。

### 5. 副次的な波及効果

#### <副次的な波及効果>

本研究開発では、多値度、変調速度を柔軟に変更する適応変復調が可能となったことで、伝送路ごとに最適な方式を選定する要求を実現できるようになった。これに対応するため、変調方式を制御するための制御ソフトウェアおよびネットワーク制御技術を開発した。これらの成果は光伝送システムのオープン化を進めるTIP（TIP：Telecom Infra Project）にも積極的に展開し、後のホワイトボックスの開発にもつながった。また、本研究開発を通して、光通信分野の若手研究者の人材育成を推進して、600G 64QAM信号の伝送など表彰につながる成果を上げることができた。



**<アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況>**

本研究開発では、アウトカム目標の達成に向けて、市場動向調査、技術動向調査、国際標準化獲得に向けた戦略立案、知的財産権獲得に向けた戦略立案を行うとともに、これらを踏まえて研究開発計画の改善案を提示するためビジネスプロデューサを配置した。ビジネスプロデューサチームの市場動向の分析結果より、16nmプロセスの低電力テストチップの早期切り出し、チップの通信設定および光モジュールとのインタフェース調整を自動化するLinuxベースのソフトウェア構築、そして1Tbps級のプリプロトタイプチップの早期開発を実施し、タイムリーに市場投入を達成した。

**<周知広報活動の実績>**

成果発表会、報道発表、フォーラム活動等を通じて本研究開発成果とその意義について積極的に発信し、技術トレンドを牽引してきた。以下の国際会議や社内外の展示会、さらにはシンポジウムの発表等を通して、受託各社の成果とその意義について積極的に発表した。

**【成果発表】**

- Optics Express、IEICE Transactions on Communications、ほか3件にて論文発表。
- OECC2019、ECOC2018、OFC2020、JWEF(日本女性技術者フォーラム)2020産業技術勉強会第1回「ポスト5G」、2020年度光産業技術シンポジウム、ほか11件の学会およびシンポジウムにて研究発表。
- 富士通フォーラム2019、第19回光通信技術展、Interop Tokyoにて展示。

**【報道発表】**

平成30年度に4件、平成31年度に1件実施(図は2019年の成果)

**【受賞】**

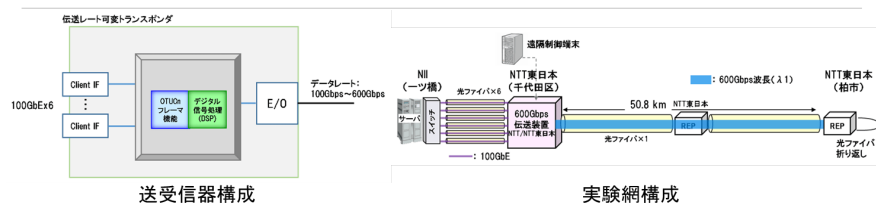
TTC2019年度功労賞、平成31年度 情報通信月間推進協議会会長表彰 志田林三郎賞、第67回前島密賞



財団法人通信協会 第67回前島密賞

**世界最速の1波600Gbps光伝送と587Gbpsのデータ転送実験に成功**

先端科学技術研究で得られるビッグデータ転送の高速化に向けた600Gbps波長ネットワークとそのフル活用プロトコルの実現に目途

**NTTなど、情報伝送速度10倍に**

NTTとNTTコミュニケーションズは敷設済みの光ファイバーなどの設備を使って情報の伝送速度を10倍にする実証実験に成功した。信号の劣化を埋め合わせる技術を開発し、1秒間に177(77は1兆)ビットの容量を世界最長の1122km伝送できた。1兆あたりの伝送の消費電力は従来比で8割削減できた。次世代通信規格「5G」など新しい大容量通信での活用を見込んでいる。

**<その他の特記事項に係る履行状況>(研究開発終了後も行うべきものについて)**

本成果を発展させる取り組みに位置づけられる総務省委託研究「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発 課題I」並びに「グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発 課題I」において、学識経験者・有識者によるアドバイザリ委員会を複数回開催し、研究開発の方向性や実用化に向けた方針についてのアドバイスを受けながら進めた。

**7. 政策へのフィードバック****<国家プロジェクトとしての妥当性、プロジェクト設定の妥当性>**

これまでの成果および本研究開発プロジェクトの成果によって最大1Tbps級に対応するデバイスを実用化し商用導入まで進めることができている。今後、生成AIやデジタルツインなどにより益々増大が予想される通信トラフィックに対応する光ネットワークインフラを実現する上で、継続してポスト100Gbpsを見据えた大容量化および低消費電力化の基盤技術の研究開発を実施することが非常に重要であり、開発内容や実施時期などの観点から、国家プロジェクトとしての推進は妥当であったと考える。また、地政学的な緊張が高まるにつれ、日本国として通信インフラシステムの基幹技術を自国で所有することの重要性が増しており、日本チームとして引き続き協力して技術開発を推進していく必要がある。

**<プロジェクトの企画立案、実施支援、成果展開への取組み等に関する今後の政策へのフィードバック>**

本プロジェクトは、最先端CMOS(CMOS:相補型金属酸化膜半導体)プロセスを用いて大規模LSI(LSI:大規模集積回路)を試作できる予算を確保し、タイムリーに1Tbps級の大容量伝送を低消費電力で実現可能な基盤技術を確立できたことが成功の要因である。光ファイバ通信分野では、今後もDSP-LSIの開発が市場競争力を決めていく状況が続くと考えられ、タイムリーな実用化が重要である。莫大な費用がかかる最先端CMOSを用いたDSP-LSI開発について、日本の技術力や光通信産業の国際競争力を維持・発展していくためにも国家プロジェクトによる開発が重要である。引き続き、市場や標準化の動向を注視しながら、産官協力のもと国際市場でのプレゼンスを維持・向上していくことが求められる。