

令和 8 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

総合通信基盤局 電気通信事業部 電気通信技術システム課

評価年月：令和 8 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

（1）研究開発名称

グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発

（2）関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT 政策） 政策 9 「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間・総事業費

実施期間：令和 4 年度～令和 7 年度（4 か年）

総事業費：55.2 億円

・概 要

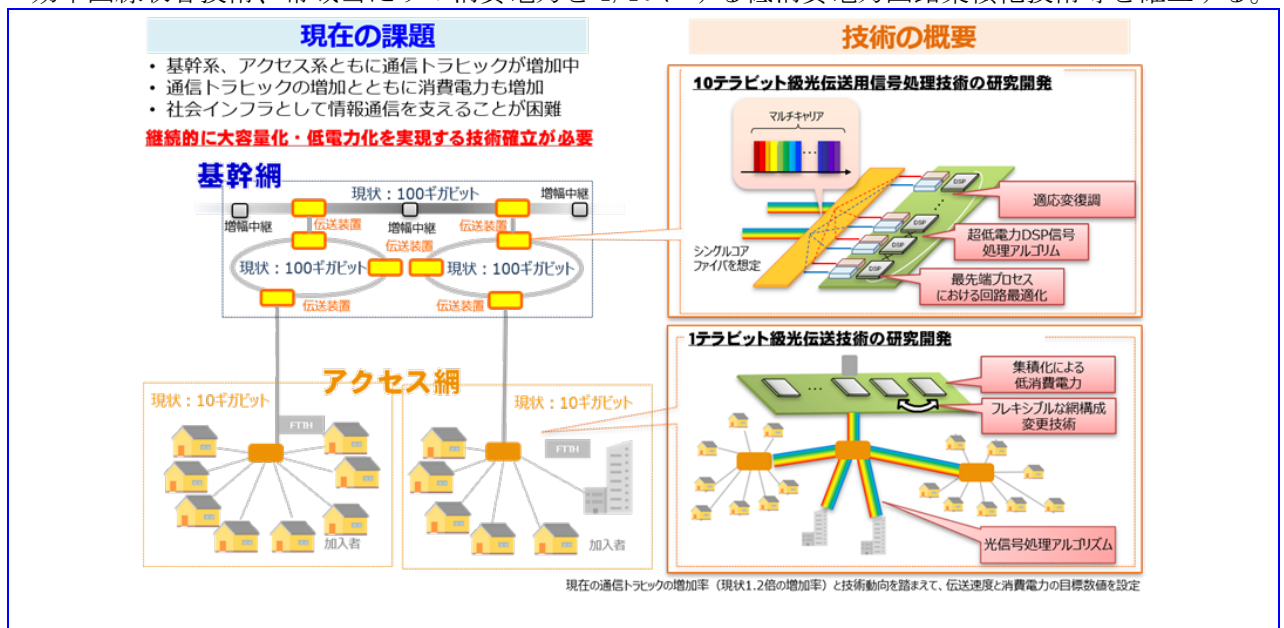
通信トラフィックの増大に対応する高速大容量・低消費電力の光ネットワークの実現に寄与するため、以下の技術の確立に向けた研究開発を実施した。

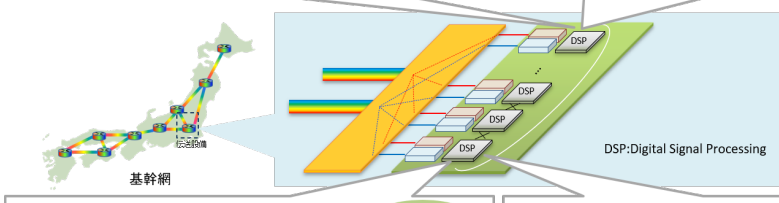
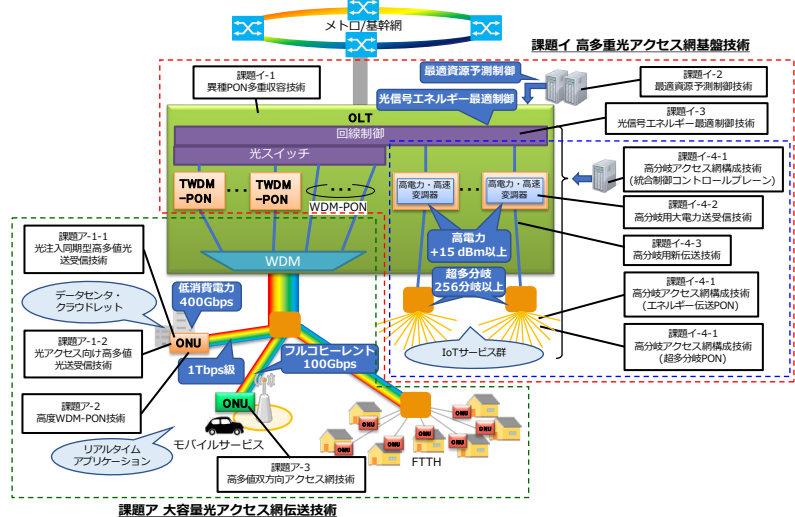
① 10 テラビット級光伝送技術

毎秒 10 テラビット級の光信号の長距離伝送及び低消費電力化（従来の毎秒 100 ギガビット級に比べ 1/10）を実現するため、適応変調技術や低消費電力回路実装技術等を確立する。

② 大容量・高多重光アクセス網伝送技術

毎秒 1 テラビット級の大容量低消費電力アクセス伝送を実現するため、低コスト多値変調技術、高効率回線収容技術、帯域当たりの消費電力を 1/10 にする低消費電力回路集積化技術等を確立する。



技術の種類	技術の概要
10 テラビット級 光伝送技術	本研究開発は、最大チャネル容量 10 テラビット級（運用単位¹⁾）の光伝送システムの実用化を目指し、より高度な光伝送方式に要求されるデジタル信号処理の基本技術を確立する。また、各信号処理技術を連携させ、先端微細加工技術の適用により低消費電力デジタル信号処理回路の基本技術を確立する。これにより、既に実用化されている 100 ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較して、100 ギガビット当たりの消費電力 1/10 以下を実現する。 ア) 多並列光適応受信符号化技術 信号処理技術 10テラビット級(運用単位)を実現し、アプリケーションに応じて変調多値度、並列度、符号化等を適応的に制御可能な多並列光適応変調方式やそれに対応した光送受信デバイス特性補償方式の基本技術を確立 - 高度多値変復調方式に連動して最適な処理を行う誤り訂正処理方式の基本技術を確立 イ) 伝送信号歪み補償技術 信号処理技術 - 並列数・変復調方式等の変化に対し、波長分散等により生じる静的波形歪みを補償する静的信号等化処理アルゴリズムを確立 - 光ファイバ伝送システムで生じる偏波モード分散等の動的波形歪みの補正を可能とする動的信号等化処理アルゴリズムを確立 ウ) 低電力回路最適化設計技術 回路設計技術 - 多並列光適応受信符号化技術に対応した回路規模と消費電力を最適化しながら回路として実現するための回路アーキテクチャを確立 - 静的／動的信号歪み補償技術に対応した回路規模と消費電力を最適化する回路アーキテクチャを確立 エ) 信号処理統合最適化技術 回路設計技術 - 課題ア)イ)ウ)で検討した各機能・回路等を統合・連携し、消費電力 1/10 以下(既存の100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と単位通信速度当たりで比較)での動作を可能とする信号処理統合最適化技術を確立  図：研究開発概要図
大容量・高多重 光アクセス網伝送 技術	本研究開発は、1 テラビット級（サービス単位）の伝送容量を実現するために、400 ギガビット以上の光伝送技術を確立しつつ WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network) 技術を組み合わせることで高速大容量光アクセス網伝送技術を確立する。また、WDM-PON 技術を使用した高多重光アクセス網基盤技術の開発・高度化を行うことで既に実用化されている光信号処理技術と比較して、100 ギガビット当たりの消費電力を 1/10 以下とする。  図：研究開発概要図

(2) 目標の達成状況

① 10 テラビット級光伝送技術

高速大容量な波長当たり 1.6Tbps×6 波長を想定したチャネル容量 10Tbps 級（運用単位）のマルチ

¹ 光伝送装置 1 台当たりの伝送容量を指す。光伝送装置には複数のデジタル信号処理装置（DSP）が含まれる。

キャリア光伝送システムを実現するための基本技術を確立した。また、デジタル信号処理回路の100Gbps級当たりの消費電力について、当初目標値の1/10に対して長距離モードにおいて1/18、短距離モードにおいて1/27まで低減できることを確認しており、目標を上回る成果を達成した。

② 大容量・高多重光アクセス網伝送技術

大容量光アクセス網伝送技術として、400 Gbps/波長の送受信技術をベースにした WDM-PON による1Tbps 級(800Gbps)の光アクセス伝送技術を確立し、信号処理技術の簡略化により信号処理において最大25%、変調方式において7.8%の低消費電力化を実現した。高多重光アクセス基盤技術として、400ギガビット級 WDM-PON を収容可能な異種 PON 多重収容技術と資源制御技術、光伝送リンク技術を確立し、OLT (Optical Line Terminal) において80.9%、ONU (Optical Network Unit) において50%の低消費電力化を実現した。

これらの各技術による消費電力削減効果を加算することで、100 ギガビット当たりの消費電力を約90%削減可能となり、目標としていた1/10以下を達成した。

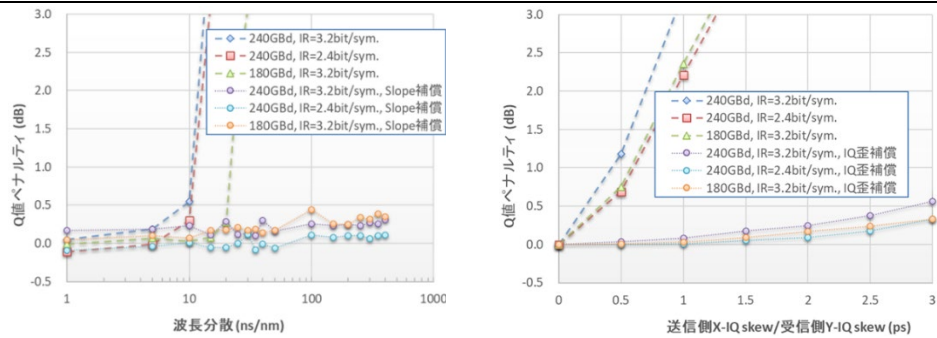
なお、達成目標等については、事前評価書記載の通りである。

https://www.soumu.go.jp/main_content/000766955.pdf

(1) 10 テラビット級光伝送技術

技術の種類	目標の達成状況
ア) 多並列光適応送受信符号化技術	a) 多並列光適応送受信基本技術 シンボルレート到達性、外部動向を考慮しつつ、変調方式・符号化・並列度を比較評価し、240 GBd 級 16QAM 方式²を選択し、十分な伝送性能を確認した。また、光送受信デバイス特性の推定・補償技術については、マルチステップ方式及び合成伝達関数分離方式の比較評価を行い、補償性能に優れる合成伝達関数分離方式を採用し、全体機能モデルに組み込んだ上で伝送特性評価を実施し、有効性を確認した。以上により、最大10 テラビット級光伝送の実現に向けた多並列光適応送受信方式及び高度な送受信器特性補償技術を確立した。 b) 誤り訂正基本技術 1 波長当たり 1.6 Tbps の市場で標準化が進む 240 GBd/16QAM 伝送に整合した低電力アルゴリズムとして、標準符号と共通のインタフェースを維持しつつ、性能差別化を図る冗長度15%超の「固定符号長可変レート誤り訂正アルゴリズム」を提案した。また、性能及び電力の両面から詳細評価を行い、提案手法の妥当性を実証した。以上により、最大10 テラビット級光伝送の実現に向けた伝送効率を最大化する誤り訂正処理／尤度生成アルゴリズムの基本技術を確立した。 (a) パリティ検査行列概要 (b) 誤り訂正符号化利得 図：固定符号長可変レート誤り訂正符号設計結果
イ) 伝送信号歪み補償技術	a) 静的信号等化基本技術 多並列光適応送受信における静的な伝送信号歪みに応じて信号歪みを補償する静的信号等化技術について、他の課題との連携を考慮した複合負荷環境を用いて、光伝送性能、演算・回路リソースの観点からの実環境に近い条件でのシミュレーション等による評価・比較検討を実施し、アルゴリズム候補の機能動作検証を完了した。(下図は詳細動作検証の一例として、回路実装を考慮した演算ビット精度において、変調速度、情報量に対する波長分散スロープ、及び、I-Q スキューに起因する信号品質劣化についての等化性能の比較検証を行った結果である。)

² 240 GBd 級の高速なシンボルレートと、1 シンボル当たり 4 ビットを表現可能な 16QAM (16 値直交振幅変調) を組み合わせた光伝送方式。1 波長当たり 1.6 Tbps 級の大容量伝送を実現するための方式として用いられる。

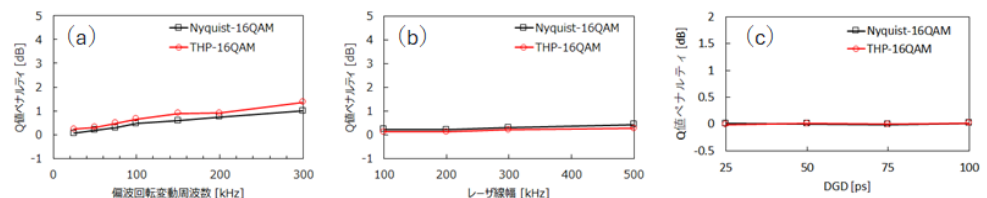


図：実環境に近い複合負荷条件下での静的信号等化連携動作検証結果
(左：波長分散スロープ補償 右：I-Q スキュー補償)

以上により、最大 10 テラビット級光伝送の実現に向けた静的信号等化基本技術を確立した。

b) 動的信号等化基本技術

16QAM、240 GBd のような高ボーレート光伝送において、従来の Nyquist 信号とアナログデバイス帯域制約の影響に強い THP (Tomlinson-Harashima Precoding) 信号が共通で動作する、動的信号等化アルゴリズムを検討し、高安定で低演算な回路を機能モデルへ搭載した。本機能モデルを使用して偏波変動耐力・レーザ線幅耐力・偏波モード分散耐力について評価を行い、動的信号等化処理が安定動作することを確認した。以上により、最大 10 テラビット級光伝送の実現に向けた動的信号等化基本技術を確立した。



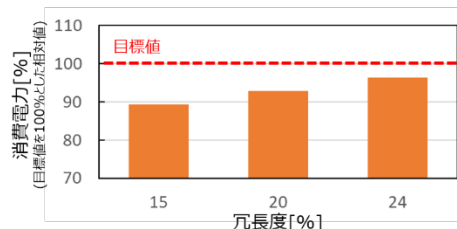
図：動的等化信号回路機能モデル性能評価結果
(a) 偏波変動耐力、(b) レーザ線幅耐力、(c) 偏波モード分散耐力

a) 多並列光適応送受信回路基本技術

多並列光適応送受信技術の低電力回路最適化に向け、変調方式を特徴づける各種パラメータ(変調方式、符号化率、変調速度、並列度等)の可変範囲及び粒度を体系的に整理し、適応送受信動作を実現する回路アーキテクチャを設計し、適応制御と回路規模・消費電力の両立を可能とした。また、回路レベルでの性能評価、部分的ファームウェアへオフロード検討を通して、多並列光適応送受信機能の低電力回路最適化に向けた基本技術を確立した。

b) 誤り訂正回路基本技術

課題ア-b の誤り訂正基本技術を基に、符号化利得と消費電力を最適化した適応型送受信回路の基本技術を確立した。誤り訂正回路の配線性問題について、制御を含め詳細に解析し、実装予測ツールを用いた配線解析と設計改善を反復試行により低電力化を推進した。また、3 nm プロセス特性を考慮し、高消費電力セルの削減やアルゴリズム精査による低電力化を追求した。その結果、最先端 CMOS プロセスの適用を前提として定めた目標電力に対し、96.3%の低消費電力化を達成した。以上により、最大 10 テラビット級光伝送の実現に向けた、誤り訂正符号化・復号回路技術の最適回路設計に係る基本技術を確立した。



図：誤り訂正回路の消費電力

c) 静的信号等化回路基本技術

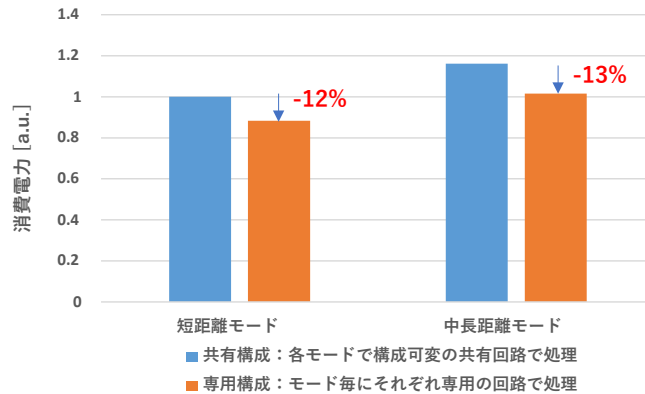
最大 10 テラビット級の通信処理速度に対応可能な静的信号等化処理回路における基本技術を確立した。

具体的には、回路規模や消費電力の観点から静的信号等化処理回路の回路方式を最適化するた

ウ) 低電力回路最適化設計技術

め、伝送距離に応じた動作モードごとに最適化可能な専用回路構成を選定した。その上で、
 ①実用的な回路規模及び消費電力で最適化構成を実現可能であること
 ②検討した回路最適化の実現方式、効率的な最適化を実現する設計・検証効率化方式がそれぞれ有効であること
 を確認した。

下図は静的信号等化処理回路の最適化検討の一例として、伝送距離が異なる動作モードごとに専用回路構成を選定した場合と、回路パラメータ変更により動作モード変更可能な共有回路構成とした場合について、消費電力を評価した結果である。評価の結果、動作モードごとに専用構成を選定した方が、12%～13%の消費電力を低減できることを確認した。



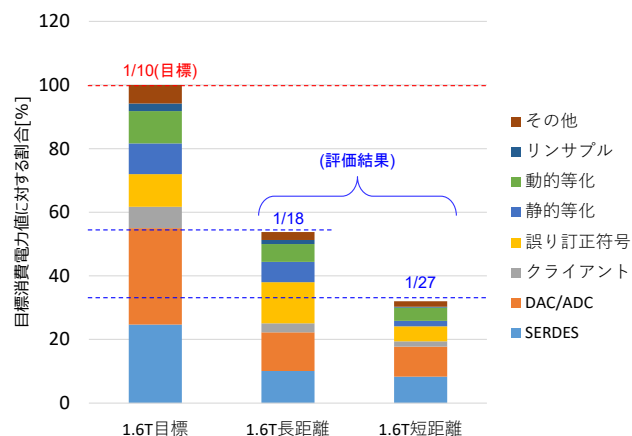
図：最適化全体構成回路の消費電力評価結果

d) 動的信号等化回路基本技術

信号処理全体として既存 100 ギガビット級光伝送向け信号処理回路と比較して同一通信速度で 1/10 以下の低消費電力化を実現する動的信号等化回路のアーキテクチャ検討を実施し、多並列処理を効率良く行うための基本回路アーキテクチャを決定すると共にフロアプランや物理的な配置・配線の最適化を行い、性能と低電力化を両立可能な回路構成を実現した。以上により、最大 10 テラビット級光伝送の実現に向けた、動的信号等化処理の低電力回路最適化技術を確立した。

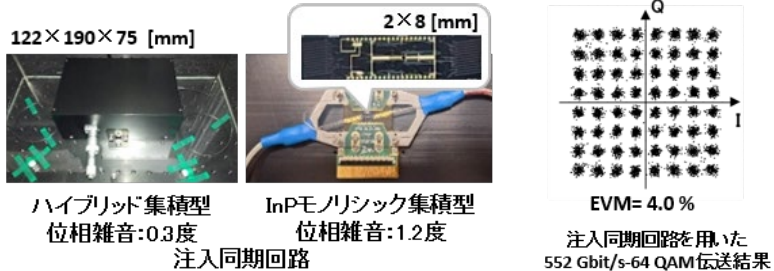
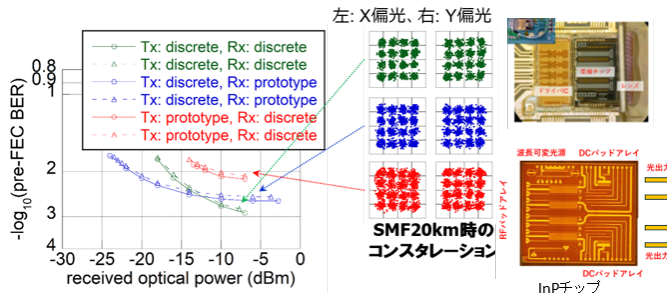
エ) 信号処理統合最適化技術

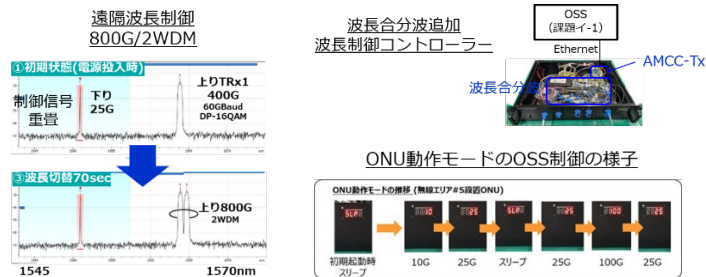
課題ア及びイで検討した各機能の機能モデルと外部環境を統合した統合機能モデル環境を構築し、機能間の連携動作及び性能評価を完了した。また、課題ウで検討したハードウェア記述言語による回路モデルを結合し、統合設計を行い、波長分散補償や周波数オフセット推定を含む全体制御シーケンスを実装した上で、回路間の連携動作検証及び最適化を実施した。さらに、統合設計した回路モデルを用いて各機能ブロック及び DSP（デジタル信号処理装置）全体の消費電力評価を行い、既存の 100 ギガビット級 DSP と比較して同一通信速度において長距離モードにおいて 1/18、短距離モードにおいて 1/27 の低消費電力動作を確認し、目標を大きく上回る成果を達成した。以上により、信号処理統合最適化に向けた基本技術を確立した。



図：DSP 全体の消費電力評価結果

(2) 大容量・高多重光アクセス網伝送技術

技術の種類	目標の達成状況
ア) 大容量光アクセス網伝送技術	1-1) 高多重光アクセス送受信技術の研究開発：光注入同期型高多値光受信技術の研究開発 4度以下の位相雑音で位相同期が可能な集積型光注入同期回路として、目標値(4度以下)を上回る位相雑音0.4度のハイブリッド集積型、及び位相雑音1.2度のモノリシック集積型回路を開発し、さらに従来不可欠であった偏波制御回路を不要とする偏波無依存光注入同期回路を新たに実現することで、従来のコヒーレント受信回路と同等規模の構成で16値以上の高多値QAM信号の復調を可能とし、小型化・低消費電力化に資する先進的成果を得た。 また従来の2～16値変調方式と比較して、より高多値な64QAM信号を用いた単一波長552 Gbps信号のシングルモードファイバ10 km伝送に成功した。 さらに、注入同期回路の適用により、従来の光キャリア位相補償に係るデジタル信号処理負荷を削減し、従来のトランシーバと比較して約15%の消費電力低減効果を示した。  122×190×75 [mm] 2×8 [mm] ハイブリッド集積型 InPモノリシック集積型 位相雑音:0.3度 位相雑音:1.2度 注入同期回路 EVM=4.0% 注入同期回路を用いた 552 Gbit/s-64 QAM伝送結果
	図：課題ア-1-1 で作成した注入同期回路 1-2) 高多重光アクセス送受信技術の研究開発：光アクセス向け高多重送受信技術の研究開発 既存の光デバイスを使用した16値以上の高多値変調方式による400ギガビットの伝送容量を実現するために、DSP(Digital Signal Processing)ボード、COSA(Coherent Optical Sub-Assembly)モジュール、TOSA(Transmitter Optical Sub-Assembly)モジュール及びROSA(Receiver Optical Sub-Assembly)モジュールによる400 Gbpsの評価系を構築し、60GBaud-DP-16QAM(16値)による400 Gbpsのループバック動作及び20 km伝送を確認した。 また、光トランシーバの小型化として、光集積技術によるCOSAの試作を行い、400 Gbpsのリアルタイム光伝送でFEC(Forward Error Correction)限界(10^{-2})以下の誤り率を達成した。また、1芯双方向での光送受信の動作も確認できた。  左: X偏光, 右: Y偏光 — Tx: discrete, Rx: discrete - - Tx: discrete, Rx: discrete - - Tx: discrete, Rx: prototype - - Tx: discrete, Rx: prototype - - Tx: prototype, Rx: discrete - - Tx: prototype, Rx: discrete SMF20km時の コンスタレーション DCパッドアレイ InPチップ 図：課題ア-1-2 における試作COSA評価基板の検証結果 2) 高度WDM-PON技術の研究開発 AMCC(Auxiliary Management and Control Channel)方式による遠隔制御装置を試作し小型光トランシーバ(SFP28 (Small Form-factor Pluggable 28)など)の制御インターフェース規格であるCMIS(Common Management Interface Specification)を実装し、光トランシーバ設定の遠隔制御を実現した。 AMCC波長遠隔制御を使って、400 Gbps×2台の光トランシーバを制御することで、800 GbpsのWDM通信を確認した。イ-1)の異種PON収容システムにAMCC制御装置を使用し、ONU動作モードの切替を実現した。 異種PONシステムの検証に合わせて、PONシステム3台の波長合分波機能とOSSとのEthernet接続機能を追加しての単体評価を行い、制御信号の送受信方式をオーバーサンプリングに変更し、従来方式と比較したところ改善効果を確認した。以上のことから、光トランシーバを遠隔制御できる高度WDM-PON技術を確立した。

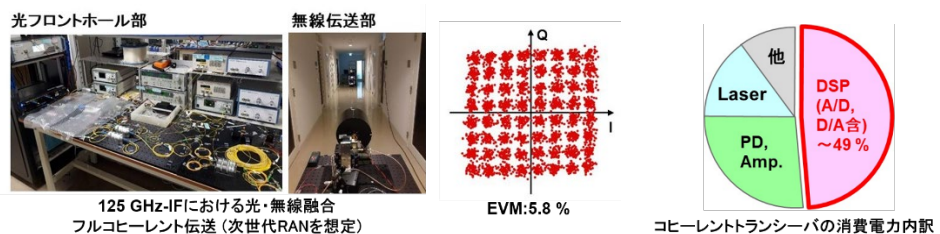


図：課題ア-2 における高度 WDM-PON 技術

3) 高多値双方向アクセス網技術の研究開発

次世代 Radio Access Network への適用を念頭に、課題ア-1-1 で開発した光集積型注入同期ヘテロダイン受信回路を光・無線周波数変換として適用することで、高多値双方向コヒーレントアナログ（フルコヒーレント）伝送システムを実現し、従来よりも高多値変調である 64QAM 信号を用いた 108 Gbps-64QAM 信号のシングルモードファイバ 10 km 伝送、及び 125 GHz 帯における 70 m の下りフルコヒーレント伝送を実現した。

さらに、注入同期回路を用いたフルコヒーレント方式の適用により、従来のデジタル方式で必要であった ADC・DAC・DSP を削減し、光フロントホール区間の消費電力を約 25%削減可能であることを示した。



図：課題ア-3 における高多値双方向フルコヒーレント伝送

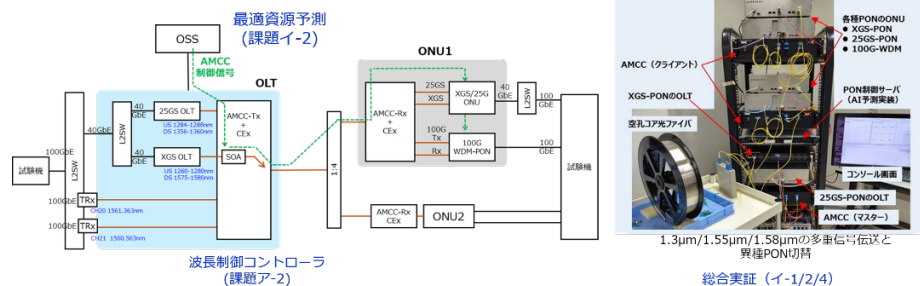
1) 異種 PON 多重収容技術の研究開発

FPGA(Field Programmable Gate Array)ボードを用いて試作した XGS-PON と 25GS-PON の統合 ONU における XGS-PON/25GS-PON のモード切替の確認と、オープンソースである ONOS(Open Network OS)/VOLTHA(Virtual OLT Hardware Abstraction)をベースに試作した XGS-PON/25GS-PON の認証などの設定機能を用いた XGS-PON/25GS-PON のシステム動作を確認した。

ア-2 の AMCC 装置と組み合わせ、XGS-PON/25GS-PON/100G-WDM-PON の異種 PON システムを構築し、イ-2 の資源制御アルゴリズムを OSS(Open Source Software)ベースの PON 制御に実装し、異種 PON 収容切替を検証した。トラヒック量に応じた割当通りに XGS-PON/25GS-PON/100G-WDM-PON を動作できることを確認した。以上のことから、異種 PON 多重収容技術を確立した。

イ-4-3 の空孔コア光ファイバを伝送路として接続し、課題間の総合実証を行った。0 バンド、C バンド、L バンドが多重された信号を空孔コア光ファイバで伝送させても多重化された各 PON の信号が正常に送受信できることを確認した。

イ) 高多重光アクセス
網基盤技術



図：課題イ-1 における異種 PON 多重収容技術

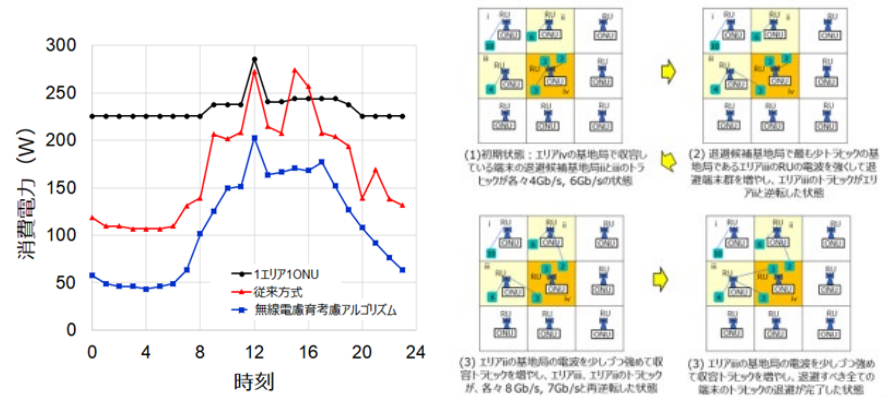
2) 最適資源予測制御技術の研究開発

モバイルを想定し、フロントホールに XGS-PON/25GS-PON (PtMP: Point-to-MultiPoint)、100G-WDM-PON (PtP: Point-to-Point) を配置するネットワークモデルを構築し、PON 資源の割当アルゴリズムを検討し、このモデル及び割当アルゴリズムにモバイルの実データ（あるエリアの滞在

人口の変動データ)を使って、消費電力変動のシミュレーションを行った。

無駄な電力の削減効果を向上させるために、無線エリアの統合制御アルゴリズムを検討し、このアルゴリズムでシミュレーションした結果、80.9%の消費電力削減を確認し、目標を達成した。

モバイル実データの学習から LSTM(Long and Short Term Memory)によるトラフィック量の予測を行い、平均予測誤差 5%以下を確認した。この予測を用いて、資源割当に反映するアルゴリズムを開発し、イー-1 の異種 PON 収容システムに実装し、総合実証を行った結果、シミュレーションで行った結果と同じ割当結果(収容制御結果)が得られることを確認した。



図：課題イー-2における消費電力変動シミュレーションの結果

3) 光信号エネルギー最適制御技術の研究開発

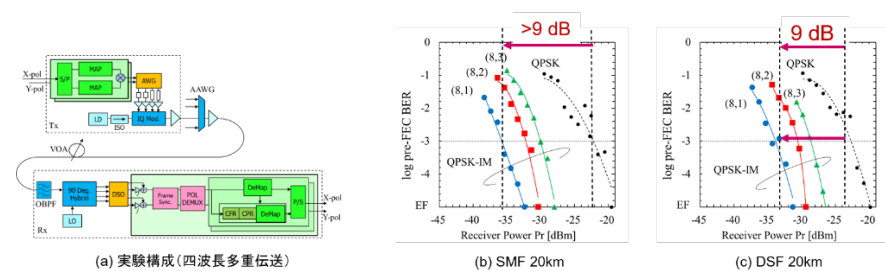
光アクセスネットワークの回線容量を通信トラフィック需要、リンクスパンの変化にあわせて柔軟に適應させる時間領域単一搬送波インデックス変調(TDSC-IM)方式を提唱し、MATLAB/SIMULINK 上に提案方式のデジタル信号処理回路におけるオフライン伝送実験を通じて動作検証を実施した結果、送受信器内部及び伝送路に起因する波形歪を補償する等価フィルタも含め、符号誤り率特性評価において外れ値の少ない安定動作を確認できた。

このデジタル信号処理回路を活用し、シングルモード光ファイバ(SMF) 20 km 及び分散シフト光ファイバ(DSF) 20 km で4波長多重伝送実験を行い、基本計画書の目標である 25 GBaud のシンボルレートにおいて、小容量トラフィック、ロングリーチモード時伝送に適用可能な 8 タイムスロットを1ブロックとする TDSC(8, K, QPSK) IM 方式の受信感度性能を評価した。その結果、トラフィック量が 5/16 倍(5 dB ダウン)の K=1 の条件で 9 dB (伝送距離換算 18 km) 以上の受信感度性能向上効果が得られた。

この結果を踏まえ、将来アクセスネットワークの受信器局発光源電力の抑制による省電力化シナリオを実験的に実証し、局発光源電力を 6 dB 低下できることを実証した。

追加目標として 2025 年度に新規に設定した(i)バースト伝送モードシミュレーション、(ii)波長多重伝送実験、(iii)M-QAM 対応方式伝送実験の実施についても計画通りに完了した。(i)については 1 kHz 以下のファイバ偏波変動の追跡能力をシミュレーションで確認、(ii)については 10 dBm/ch までの平均出力条件での伝送能力の確認、(iii)については 16QAM 方式に対応した省電力動作モードとしての PAM-4 ベースインデックス変調実験における受信感度向上を確認した。

また、課題イー-4)と連携した長さ 3.9 km の空孔コア光ファイバにおける送信出力 20 dBm~30 dBm の高出力伝送実験では、単一波長信号として過去最大の送信光電力条件である送信出力 30 dBm においても、当該伝送条件下での符号誤り率特性評価において外れ値の少ない安定動作が可能であることを実証した。



図：課題イー-3における受信感度評価結果(20 km 伝送時)

4-1) 高多分岐化技術の研究開発：高多分岐アクセス網構成技術の研究開発

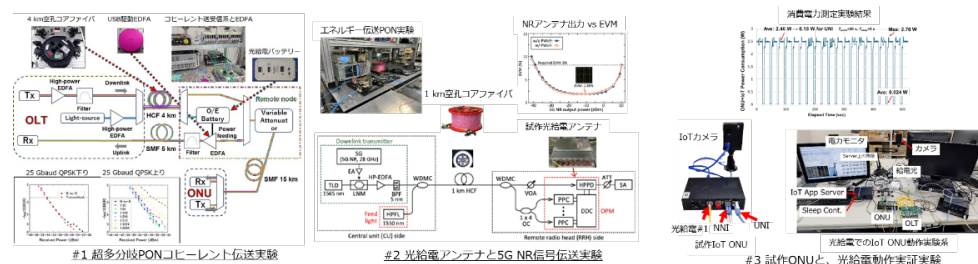
空孔コア光ファイバ（課題イ-4-3 が提供）を前提として、波長分割多重又は高光強度信号光を利用した光給電によるリモート装置（上り信号用光アンプ、無線アンテナ、ONU 等）駆動アーキテクチャに基づいた、超多分岐 PON 伝送技術、エネルギー伝送 PON 伝送技術、アプリケーション連携 ONU スリープ技術を検討した。

超多分岐 PON 伝送技術では、波長多重によりトータル伝送光強度 +40 dBm での、256 分岐相当 100 Gbps コヒーレント信号（25 Gbaud QPSK 変調）及び 32 Gbps NRZ（Non-Return to Zero）変調信号の 4 km 空孔コアファイバを介した伝送（上りは光給電駆動される EDFA（Erbium Doped Fiber Amplifier）を利用）を実証した。シミュレーションにより 1000 分岐以上の可能性を提示することで超多分岐 PON の基本技術を確立した。並行して低コストの直接変調レーザを利用した、+35 dBm IMDD（Intensity Modulation-Direct Detection）25.6 Gbps 信号伝送実験により、信号光と給電光を兼用する簡易な光給電伝送システムを実証した。

エネルギー伝送 PON 伝送技術では波長分割多重による入力光パワー最大 +40 dBm の条件下で、アナログ光ファイバ無線（Wi-Fi 信号）を用いた 1 km 空孔コア光ファイバ伝送（下り方向）と、256 分岐化伝送実験により、非線形光学効果が生じない光リンクの実現性を実証し、光エネルギー伝送による ONU（無線アンテナ装置）の実現技術を確立した。また、標準化されている TWDM-PON の 4 波長 WDM を利用した +40 dBm 光入力アナログ光ファイバ無線（5G NR（New Radio）信号（28 GHz）伝送を実証した。さらに、5G NR 信号を利用したアナログ光ファイバ無線用光給電アンテナ（下り方向）による 10 mW 5G NR 信号出力に成功した。

アプリケーション連携 ONU スリープ技術では ONU に接続されている IoT アプリケーションの起動、スリープに同期するように外部制御される、1 秒以上のスリープが可能な簡易 ONU プロトタイプ（信号速度 1 Gbps）を開発し、動作時消費電力平均 2.46 W、スリープ時平均消費電力 0.024 W、スリープからの立上り時間平均 5.9 秒を実現した。その結果、Active 率（Active 時間/（Active 時間+Sleep 時間））< 0.34 であれば、2.46 W 動作時に既存 FTTH 用 PON の標準規格である TRx スリープによる省電力動作（30%削減可能）を適用した場合と比較して消費電力を 50%削減し、既存 FTTH 用 PON の標準規格比 1/70 の待機消費電力を実現した。さらに給電光入力 1,200 mW、Active 率 0.1 の条件において光給電のみでの動作が可能となることを実証した。

また、未来光ネットワークオープン研究センターを開設し、未来光ネットワークオープンラボにおいて空孔コア光ファイバを中心とした共同利用実験を実施し、低遅延化特性や低非線形／大電力伝送特性についての実証を行った。



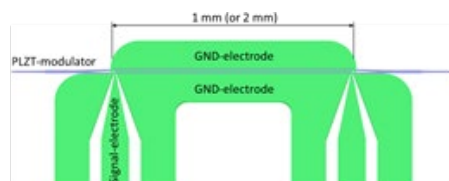
図：課題イ-4-1 における各種実証実験の構成及び結果

4-2) 高多分岐化技術の研究開発：高多分岐用大電力送受信技術の研究開発

MZ 型高光強度光受容変調器として PLZT を用いた光変調器の研究開発において、PLZT 光変調器チップに設けた直線導波路からの出力光強度の評価を行い、最終目標値を上回る最大+19 dBm の出力を達成した。出力光強度を上げるための PLZT 光導波路の損失低減のためのプロセスにも注力し、従来の PLZT 光変調器での損失 6 dB/cm より低損失で世界最高品質の 0.8 dB/cm を達成した。

PLZT 光変調器、終端抵抗とその実装の最適化により、電極長 1 mm、膜厚 600 nm の PLZT 光変調器において目標の帯域 25 GHz を達成し、さらに 40 GHz を超える帯域の見通しを得た。

駆動方法の革新によって、従来国内外で報告されているデータと比較して最高レベルである電極長 2 mm の場合の駆動電圧 1.05 V、電圧対電極積値 $V \cdot L = 0.21 \text{ V} \cdot \text{cm}$ を達成した。



イ-4-2 PLZT光変調器



イ-4-2 PLZT光変調器パッケージ

図：課題イ-4-2 における PLZT 光変調器

4-3) 高多分岐化技術の研究開発：高多分岐用新伝送技術の研究開発

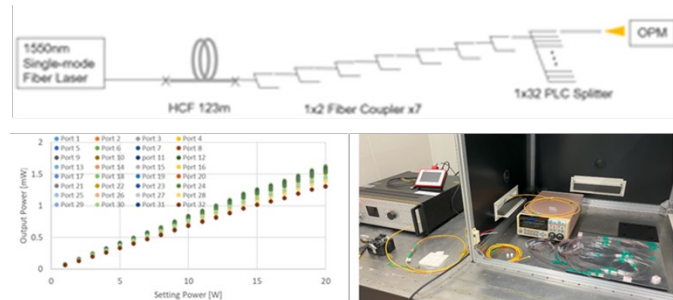
PON の 256 分岐、及び光信号と光パワーの共伝送を実現するために、+40 dBm 以上の入射に適應可能な最適な光リンク技術を確立することを目標として検討を行った。

光伝送路として C-Band 以外 (S/O/L-Band) も伝送可能でありハイパワー耐性を有する空孔コア光ファイバに関する設計やプロセスの最適化を行い、2.19 km の空孔コア光ファイバを実現した。

光リンク技術として、シリカ系コアファイバと空孔コア光ファイバの融着接合において、当初目標であった融着接続損失 0.7 dB を超える 0.54dB を前倒して達成し、他の接続機構に対しての検討を追加で行った。その結果、空間結合モジュールで挿入損失 0.50 dB (反射損失は-53 dB)、バットジョイントモジュールで挿入損失 0.42 dB (反射損失は-39 dB) を、それぞれ実現した。

これらの技術を用いることで、従来の PON システムが 32~64 分岐程度で入力パワーも+10 dBm 以下であるのに対して、PON 用最適光リンク構築において 4,000 分岐以上の最適 PON の構築と+43 dBm の高パワー伝送に成功した。

また、連携実験用に空孔コア光ファイバの提供を行った。

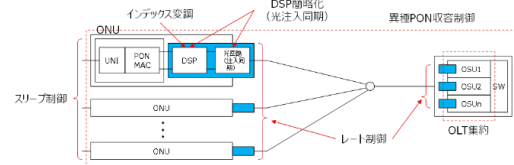


図：課題イ-4-3 における空孔コアファイバリンクの最適化検討

100 ギガビット当たりの消費電力に関して、課題ア及び課題イの各技術において実現した低消費電力削減効果を加算することにより、全体で約 90% の消費電力削減効果を実現した。

対象箇所	目的	削減ポイント	本研究開発	削減率目標	結果
デバイス	方式改良	製造プロセス微細化	対象外	-	-
信号処理		処理の光化、簡略化	ア-1：光注入同期、アクセス向けデジコヒア-3：RoF	15%	A:15%削減達成 (RoFは25%削減)
変調方式		変調方式による最適化	イ-3：インデックス変調	15%	B:7.8%削減達成
資源制御	無駄排除	通信容量に応じたOLTスリープ	イ-1/2：異種PON收容制御	80%	C:80.9%削減達成
		通信レートのアジャスト	イ-2、イ-4-1：ONUのレート可変制御		
		通信状態に応じたONUスリープ	イ-2、イ-4-1：ONUスリープ制御		
		ONU結電	イ-4-1：ONUへの光給電	30%	D:50%削減達成

課題全体での消費電力削減効果
改善なしの電力を100%
Aの効果：15%/25%
Bの効果：(100%-A) × 7.8%=6.6%/5.9%
Cの効果：(100%- (A+B)) × 80.9%=63.4%/55.9%
Dの効果：(100%- (A+B+C)) × 50%=7.5%/6.6%
削減率=A+B+C+D=92.5%/93.4%
(青字はRoFを適用した場合)



図：課題全体における低消費電力効果

課題全体の消費電力削減

3 政策効果の把握及び有識者の知見の活用

研究開発の評価については、論文数や特許出願件数などの間接的な指標を用い、これらを基に専門家の意見を交え、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。

本政策においても、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」(令和8年6月)において、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置付け及び目標、研究開発マネジメント、研究開発成果の目標達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績並びに研究開発成果の社会展開のための計画などの観点から外部評価を実施した。ここで、外部有識者から以下のような御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・市場動向を踏まえて開発ターゲットを絞り込むなどして、基本技術に対する目標を達成したのみならず、消費電力や特許出願の観点で目標を上回る成果を挙げた。特に、1波長当たり1.6テラビット/秒の実用化の見通しを得たことは高く評価できる。今後は、更なるアウトカム達成のための取組を継

続し、商用化を急ぐとともに、海外市場を含めた展開につなげることを期待する。

- ・大容量・高多重光アクセス網伝送技術は目標を全て達成した。各目標のうち、一部については当初目標を上回る成果であり、特に、アウトプット目標については当初目標を大幅に上回る実績であった。
- ・世界市場でのシェア拡大に向けては、ターゲット顧客、競争相手を明確にした戦略の立案や国内光産業関係者との共有も含めた活動を、商品化については、例えば標準化から得られる情報を活用した商品開発を並行して行い市場のニーズに応じてすぐにリリース可能にするなどの戦略を期待する。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等は下表のとおりである。

主な指標	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1件 (0件)	3件 (3件)	6件 (6件)	7件 (7件)	17件 (16件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	3件 (3件)	11件 (11件)	16件 (16件)	16件 (16件)	46件 (46件)
その他の誌上発表数	2件 (0件)	2件 (0件)	1件 (0件)	2件 (0件)	7件 (0件)
口頭発表数	17件 (2件)	36件 (7件)	66件 (16件)	59件 (16件)	178件 (41件)
特許出願数	10件 (2件)	23件 (4件)	18件 (3件)	25件 (8件)	76件 (17件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	7件 (0件)	11件 (2件)	18件 (2件)
国際標準提案数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
受賞数	1件 (1件)	2件 (0件)	2件 (2件)	3件 (1件)	8件 (4件)
報道発表数	2件 (1件)	4件 (1件)	1件 (0件)	2件 (0件)	9件 (2件)
報道掲載数	5件 (0件)	21件 (0件)	4件 (0件)	4件 (0件)	34件 (0件)

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読(peer-review(論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等(Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等及び査読のある小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注3：「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集(電子媒体含む)に掲載された論文等(ICC、ECOC、OFCなど、Conference、Workshop、Symposium等でのproceedingsに掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。)を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等(電子情報通信学会技術研究報告など)は、「口頭発表数」に分類する。

注4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等(査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む)を計上する。

注5：PCT(特許協力条約)国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」及び「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

4 政策評価の結果(総合評価)、今後の課題及び取組の方向性

(1) 政策評価の結果

テレワーク等の新たな生活様式の定着・進展や超高精細映像の流通、AI等を含む先端技術を活用したデジタルツイン社会の形成による通信トラヒックの急速な増大とそれに伴う消費電力の増大に対応するため、社会インフラとして大容量かつ低消費電力の光通信網が必要とされている。本研究開発により、基幹網からアクセス網に至るまで一体的な大容量化・低消費電力化を実現する先端光伝送技術を確立するこ

とが出来た。このことは、我が国の光伝送技術の国際的な競争力を強化するとともに、我が国の社会・経済活動を支える情報通信インフラの持続的な維持・発展に寄与するものであることから、本研究開発は必要性があったと認められる。

本研究開発では、毎秒 10 テラビット級の基幹網及び毎秒 1 テラビット級のアクセス網において、100 ギガビット当たりの消費電力を従来技術と比較して 1/10 以下とすることを目指していた。研究開発の結果、基幹網においては、消費電力を長距離モードにおいて 1/18、短距離モードにおいて 1/27 まで削減できることを確認し、アクセス網においては、消費電力を 1/10 まで削減することを実現し、目標を達成することができた。この成果は、社会インフラとして大容量かつ低消費電力の光通信網の構築等に寄与するものであり、本研究開発には有効性があったと認められる。

(2) 今後の課題及び取組の方向性

評価結果を踏まえ、今後は受託者において本研究開発の成果を活用した商品化を進めるとともに、国の後続プロジェクトである「次世代の通信インフラを担う光伝送技術の研究開発」等を活用して更なる技術の発展を目指す。また、引き続き知的財産権確保、標準化活動を推進することで、光ネットワーク分野における技術の国際的優位性を維持するとともに、これらの取組について追跡調査等によりフォローアップを実施していく。

5 評価に使用した資料等

- 第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）

<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>

- 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月22日閣議決定）

https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

- 統合イノベーション戦略2021（令和3年6月18日閣議決定）

https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/togo2021_honbun.pdf

- 成長戦略フォローアップ（令和3年6月18日閣議決定）

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/fu2021.pdf>

- 成長戦略実行計画（令和3年6月18日閣議決定）

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/ap2021.pdf>

- 本研究開発については、「総務省情報通信研究評価実施指針（第6版）」に基づく評価を行っており、関連資料は、以下のURLに掲載されている。また、本研究開発については、研究開発終了後一定の期間を経過してから、研究開発の直接の成果（アウトプット）から生み出された効果・効用（アウトカム）や波及効果（インパクト）等を確認することは有益であるほか、研究開発施策等の評価の基礎的なデータを取得するため、学会や海外における評価や関連特許、技術移転等の実用化に関する状況を調査し、活用状況等を把握する追跡調査を実施することとしている。

https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/index.html