

超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発
(課題 I (a) 加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術)
Research and Development for ultra high speed/low power consumption optical
network technology
(Task I(a) Technology for multi-forking, long-reach subscriber networks)

代表研究責任者 木村 俊二 日本電信電話株式会社
 アクセスサービスシステム研究所
研究開発期間 平成 24 年度～平成 26 年度

【Abstract】

This research and development project is aimed for ultra high speed/low power consumption optical network technology especially focusing on multi-forking, long-reach subscriber networks. The objective of this task is realizing 40 Gbps optical access systems which can accommodate 16 times (512 users) more than the existing number of subscribers, cover twice (40km) longer than current distance and decrease 30% lower than existing power consumption in the central offices. To realize this objective, we developed a WDM/TDM-PON system which consists of 4 wavelengths-multiplexed 10Gbps TDM-PONs. The WDM/TDM-PON system consists of the burst-mode optical amplifier which is developed to be small and have wider dynamic range and the burst-mode optical transceivers that have ultra-fast wavelength tuning capability and economical small size. We also fabricated a new upper-layer DBA algorithm which realizes low power consumption of aggregation part and wavelength tuning protocol and DWBA algorithm. With the newly developed components, a world's first field demonstration has been conducted. The studies and the demonstration successfully performed system's favorable 40Gbps speed, 512 subscribers, 40km transmission and 30% lower power consumption. Some of these accomplishments were adopted into the ITU-T G.multi and G.989 (commonly known as NG-PON2) standardization.

1 研究開発体制

- **代表研究責任者** 木村 俊二 (日本電信電話株式会社)
- **研究分担者** 向島 俊明† (沖電気工業株式会社†)
- **研究開発期間** 平成 24 年度～平成 26 年度
- **研究開発予算** 総額 704 百万円
(内訳)

平成 24 年度	平成 25 年度 (平成 24 年度補正分)	平成 25 年度	平成 26 年度 (平成 25 年度補正分)
370 百万円	220 百万円	40 百万円	74 百万円

2 研究開発課題の目的および意義

我が国のインターネット通信量は大幅な伸びを続けており、今後も大幅な増加が予想されている。同時に、これまでの通信機器を単純に高速化した場合、伝送する情報量の増加に比例して通信機器の消費電力も大幅に増加することとなる。そのため、大量の情報を高速かつ低消費電力で伝送できる通信方式や通信機器が求められている。また、災害時等におけるネットワークの途絶といった通信環境の激変に対しても、必要な通信を維持できるネットワークの構築が必要である。これらの課題を解消するため、伝送方式の高性能化等により、ネットワーク全体の超高速化、低消費電力化、耐災害性の強化を同時に実現する技術を平成 26 年頃までに確立し、国民生活の利便向上と地球温暖化対策に貢献することが目的である。

その中で本研究開発は、アクセスネットワーク（加入者・局舎ネットワーク）高速大容量化・低消費電力化における加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術の研究開発を行う。加入者ネットワークにおける収容局に収容する加入者数の 16 倍（512 ユーザ）以上の拡大、また、伝送距離の 2 倍（40km）以上の拡張により高速大容量化を実現する技術の確立を目指す。これにより、収容局に大規模障害が起きた場合でも他局の設備で代替できるため、大規模災害時においてもネットワークの迅速な復旧が可能となり、耐災害性向上が期待される。また、多分岐長延化によって収容エリアを広域化すれば、装置を配置する局数を減らすことが可能になる。これによりネットワーク全体としての消費電力量を現状よりも 3 割以上の削減が期待される。

3 研究開発成果

本研究課題は、収容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上、局内装置の消費電力 30% 以上削減（対 10Gbps 級装置比）の 40Gbps 級超高速・低消費電力光アクセスネットワークシステムを実証することが目標である。目標を実現するためにまず、システム全体を各小課題に分解し、各課題の検討を進めた後に、各装置を連携させ最終的な総合検証を行うとした。システム全体図と各小課題を図 3-1 に示す。各小課題の具体的な内容と達成目標は以下のとおりである。

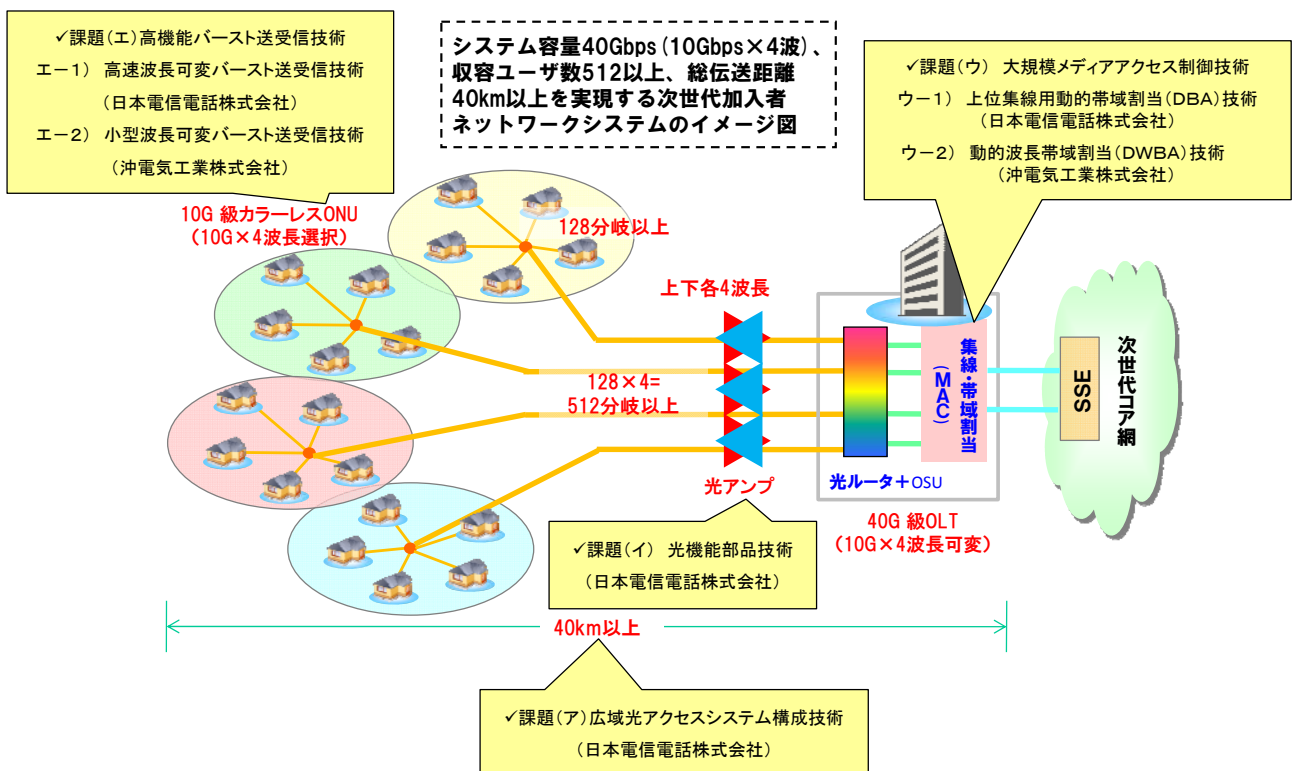


図 3-1 加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術の構成

・課題ア) 広域光アクセスシステム構成技術

まず伝送システム全体の方式について、技術的実現性、経済性、既存システムとのマイグレーションの観点から比較検討を行い、伝送システム構成及び基本仕様を明確化する。特に、分岐数の増大によって加入者側装置(ONU)数が増加するため、従来の PON 分岐毎に行っていた動的帯域割当(DBA)機能を上位集線部と連携させることにより所要バッファ量を低減する方法と、複数波長を用いてユーザ数を分散する動的波長帯域割当 (DWBA) の機能について最適な方式の検討を行い、課題ウに反映する。また、課題ウの試作設計情報から、收容局集約によって目標である対 10Gbps 級装置比で 30%以上の消費電力削減効果があることを定量的に算出する。また、考案した ONU への波長割当のためのアルゴリズムおよび波長変更プロトコル等を、国際標準化に寄与する。最後に、各課題にて試作したシステムを結合し、総合システム実証実験を行う。

・課題イ) 光機能部品技術

分岐数の増大に伴い、光ファイバ伝送路の損失増加が懸念される。光合分波器などの受動部品と、光増幅器などの能動部品の高度化により、多分岐化、長延化を実現できるシステムについて検討し、試作検証を行う。また、複数波長を用いたシステムにおける上り下りの光信号経路を切り替える光ルータや波長可変デバイス(レーザやフィルタ等)についても経済性実現に向けて試作検証を行う。以上の検討により、課題エの送受信器との組合せて、收容可能ユーザ数 512 以上、総伝送距離 40km 以上を実現する。

・課題ウ) 大規模メディアアクセス制御技術

分岐数の増大に対応するため、帯域割当機能の大規模化・高度化について検討する。まず、従来の動的帯域割当機能に加えて、課題アにて検討した複数の OSU 間の帯域割当を決定する上位集線機能を、複数チャンネル化(大容量化)に加えて実現するための試作検証を行う。また複数波長を用いるシステムでは、各 ONU に波長と帯域をどのように割当するかを高速に演算してその情報を伝達し、ONU や場合によっては OSU の有する波長可変デバイスを制御する必要があるため、課題アの成果である演算アルゴリズムや波長可変デバイスの制御方式、情報伝達のためのプロトコル等を、試作を通じて検証する。

・課題エ) 高機能バースト送受信技術

長延化・多分岐化を実現するためには、ロスバジェットの拡大が重要である。そのために、收容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上のロスバジェットを想定したトランシーバの高出力化・高感度化、光受信レベルの高ダイナミックレンジ化について検討を行い、試作検証を行う。同時に光増幅中継器使用下での特性改善や最適構成の検討も行い、試作に反映する。さらに、10Gbps/波長かつ4波長程度の波長可変性を有する小型で経済的な波長可変バースト送受信器の実現について明らかにし、試作を通じて検証する。

次に成果の概要を以下に示す。

まず、課題アにおいて、長延化・多分岐化に有利な光増幅器の導入も含めた伝送システム構成及び基本仕様を明確化した。既存網との親和性や標準化議論状況を勘案し、パワースプリッタを用いた上り下り 10Gbit/s を 200GHz 間隔の 4 波長多重した WDM/TDM-PON システムをターゲットにし、目標パワーバジェットを 31dB (光アンプ 20dB 増幅目標) と策定した。次に、收容ユーザ数を拡大する観点から、課題アにおける上位集線 DBA 技術の検討を行った。集線機能部のバッファ量と帯域利用効率を最適化する方法として、オーバーラップ手法、追加割当手法等を検討した。また、上位集線 DBA の実装に必要な計算能力等を洗い出し、測定項目の精査を行う等、課題ウにおける試作ボードの仕様を明確化した。また、ONU 内の波長可変デバイスに対する波長設定、変更技術として、IEEE802.3 規格における GATE,REPORT フレームを活用した波長

切替プロトコルと、ONU 毎のトラフィックをモニタリングし、上り帯域が 1 波長の上限帯域を超えた場合に、自動的に別の波長へ切替える DWBA 技術を検討し、課題ウの MAC ボードに実装して実証した。波長帯域割当、設定プロトコルは ITU における国際標準化会合において提案し、G.989.3、G.multi に採択された。また、当初課題ウにおいて低消費電力の効果の算出する予定であったが、課題ウにおいて ONU エミュレータ試作、実証等のタスクが増えたことから、低消費電力効果の検討は課題アにタスクを変更して実施した。試作システムの構成をベースに、将来商用レベルの部品構成を想定して各構成品の消費電力を算出し、20km 半径の 4 エリアで均一に分布するユーザを 10G-EPON システムで収容した場合と、40km に長延化した最大 512 のユーザを収容する WDM/TDM-PON システムで収容した場合の消費電力を算出し比較した。その結果、集約効果による局内装置の消費電力を最大 39%減、スリープ機能を実装した ONU も含めるとアクセス NW 全体の電力も 35%減を達成する見込みであることがわかった。

次に、課題イにおいて、WDM/TDM-PON で用いる波長帯に対応した光機能部品の構成技術を開発した。高速自動レベル制御(ALC)回路を具備し、所外中継および所内中継の双方に対応可能な小型かつ広ダイナミックレンジのバースト信号対応光増幅器を開発し、所外中継、所内中継ともに、40km、512 分岐が達成し得ることを確認した。

また、課題ウにおいて、上位集線 DBA を実装した機能ボードと、WDM/TDM-PON における DWBA 技術および波長設定プロトコルを実装した MAC(FPGA)ボードを開発した。上位集線 DBA 機能ボードは、CONT 盤、上位 DBA 盤、L2SW 盤、OSU 盤から構成される OLT と 16 台の ONU で構成され、それらを接続して PON 伝送基本動作を確認した。また、上位 DBA 盤に課題アで検討した一括して全 ONU に割当する一括 DBA 方式を実装し、従来 L2SW に配備されていた所要バッファ量を 10 分の 1 以下にできることを確認した。WDM/TDM-PON 用 MAC ボードについては、10G-Ethernet フレームを使う 10G-EPON ベースの MAC 機能を 4ch 搭載し、各チャンネルに課題エで開発する各種波長可変バースト送受信器が搭載でき、課題アにおいて検討した波長切替プロトコル、ディスカバリ方式、DWBA が搭載可能な OLT および 4 台の ONU と、512 台の ONU が同時にディスカバリを行う動作を模擬する ONU エミュレータを試作し、それらを接続して PON 伝送基本動作およびディスカバリ動作、0~40km にある 512ONU の初期接続、管理が可能であることを確認した。実装したディスカバリ方式は、ITU における国際標準化会合において提案し、G.989.3 に採択された。また、波長切替機能による省電力動作により、あるトラフィックモデルにおいて平均 16%の消費電力削減が可能であることが確認できた。更に波長切替機能を利用することでプロテクション動作の検証により、故障時の自動救済が可能であることが確認でき、ネットワークの耐障害性を向上させることを確認した。

また、課題エにおいては、バースト信号の高いダイナミックレンジを達成しつつ ONU の柔軟な波長とタイムスリット割り当てを実現するための高速性を追求する技術（高速波長可変バースト送受信技術）と、高いダイナミックレンジを満たしつつ小型、経済的に実現することを追求する技術（小型波長可変バースト送受信技術）に分けて検討を行った。高速波長可変バースト送受信技術では、高速イーサネットワーク向けトランシーバに用いられているアレイ集積デバイス技術を導入することにより、収容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上、10Gbps/波長かつ 4 波長の波長可変性を有し、200 ns 以下での高速波長切替時間を有する高速波長可変バースト送受信器を実現した。さらに、光送信器の高出力化により当初目標の倍となる収容可能ユーザ数 1024 を達成することができた。また、小型波長可変バースト送受信技術では光増幅器によるバースト対応光プリアンプ/ブースター及び波形整形処理の開発を行うことにより、42dB 以上の高バジェット化を実現し、512 分岐/40 km の PON システムが実現できることを示した。また、国際標準 G.989.2 で規定している波長切替速度（クラス 2）を満たすことを目的とし、経済的な波長可変フィルタ内蔵の小型波長可変バースト送受信器の試作・評価を行い、システム仕様及び課題整理を行った。検討した光伝

送仕様を ITU における国際標準化会合において提案し、G.989.2 に採択された。

最後に、光増幅器、DWBA を実装した MAC ボード、波長可変バーストランシーバを結合した総合システム実証実験を、札幌の複数の NTT 東日本ビルを光ファイバで結んだ 40km の模擬テストベッドを構築して行った。システム容量 40Gbps(10Gbps×4 波)、収容ユーザ数 512、総伝送距離 40km の伝送が可能であること、さらに光増幅器局置による 1024 分岐のファイバ構成でも、ONU の接続動作が可能であることを世界で初めて確認し、当初を上回る成果も達成した。

以上の結果により、収容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上、局内装置の消費電力 30% 以上削減（対 10Gbps 級装置比）の 40Gbps 級超高速・低消費電力光アクセスネットワークシステムを実証し目標を達成することができた。

最後に、研究開発マネジメントの観点から、工夫した点を述べる。研究開発のスケジュール管理に関しては、受託者間横通しの検討体制とその階層化を図り、各小課題別の分科会活動（原則隔週で開催）に加え、合同分科会（月例開催）、全体会合（四半期毎開催）などの上位会合を設定することで、細かい技術の専門的な議論から課題間で共有すべき課題、さらには大綱的な方向性の議論までを包括的に行える体制とし、情報共有・管理の適正化に努めた。また、四囲の状況、進捗状況に応じ、柔軟に計画変更や追加を行った。特に課題ウにおいては、実際に 512 台もの ONU を試作して多分岐化を実証することは、作業量やコスト効率の観点で適切ではないことから、平成 25 年度において 512 台分の ONU 初期接続動作を模擬する ONU エミュレータの試作を追加した。また、WDM/TDM-PON には OLT の省電力動作や波長プロテクションによって効率的な運用や信頼性の向上が実現できるが、標準化においてマルチサービス化に向けてそれらの機能が議論されつつあったことから、平成 25 年度において省電力、プロテクション機能の試作、検証を追加した。また、上記のとおり、ONU エミュレータ、省電力、プロテクション動作の検討、実証のタスクが増えたことから、省電力効果の検討は課題アにタスクを変更して実施した。以上の取り組みにより、3 年間の実施計画は、個々の小課題で若干の遅延や内容の追加変更があったものの、最終的には全課題を実施完了することができた。

3. 1 課題(ア) 広域光アクセスシステム構成技術

収容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上、局内装置の消費電力 30%以上削減（対 10Gbps 級装置比）の 40Gbps 級超高速・低消費電力光アクセスネットワークシステムの構成および基本仕様を明確化する。複数波長を用いるシステムでは、ONU への波長割当のためのアルゴリズムおよび波長変更プロトコル等を考案し、国際標準化に寄与する。最後に、各課題にて試作したシステムを結合し、総合システム実証実験を行う。

本検討課題は、検討対象とする光アクセスシステムの方式や小課題間に跨る検討を行った。まず、システム構成及び基本仕様の設計、動的波長帯域割当アルゴリズムの策定を行って各課題に展開し、各課題の成果を集約した後に、消費電力削減効果の検討、総合システム実証実験の実施を行った。

3. 1. 1 システム構成及び基本仕様の設計

まず、システム容量 40Gbps、収容ユーザ数 512 以上、総伝送距離 40km 以上を実現する次世代加入者ネットワークシステムのシステム構成および基本仕様を明確化した。これにより、各構成技術の達成目標へ展開した。

システム構成としては、従来経済的な光アクセスシステムとして用いられている TDM-PON を波長多重技術によって大容量化する WDM/TDM-PON システムを前提とし、ODN 構成のバリエーションを標

準化検討状況も加味して整理した。その結果、光分岐モジュールとしてパワースプリッタ、N×M 周回性 AWG、パワースプリッタと 1×M AWG を用いる 3 種類の網構成を導出した。そのうち、標準化において既存パワースプリッタを用いた構成を採用したため、ODN にパワースプリッタを用いることを前提として、図 3.1.1-1 に示すような、システム容量 40Gbps (10Gbps×4 波長)、収容ユーザ数 512 以上、総伝送距離 40km 以上を実現するシステム構成と、表 3.1.1-1 に示すような OSU-ONU 間の目標物理インタフェース条件を策定した。

表 3.1.1-1 OSU-ONU 間の目標物理インタフェース仕様

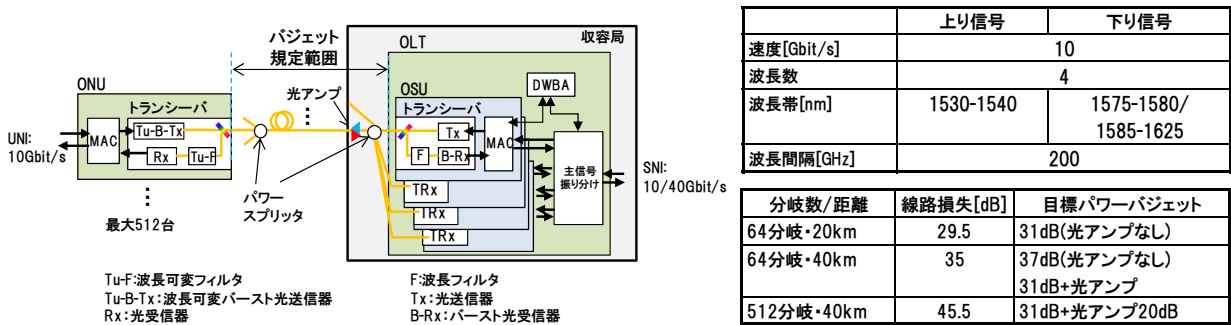


図 3.1.1-1 WDM/TDM-PON システム構成

3. 1. 2 上位集線 DBA の方式検討

上位集線 DBA の方式には、図 3.1.2-1 に示す(i)複数 OSU の全 ONU に上位集線部が一括して帯域制御する一括 DBA 方式と、(ii) OSU に上位集線部が帯域制御する連携 DBA 方式とがある。それぞれの方式で、ハードウェアの見積りと、上位集線部の所要バッファ量および帯域利用効率を最適化するアルゴリズムを検討した。

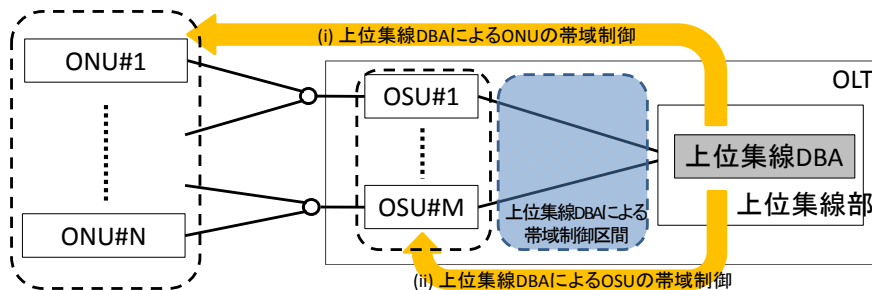


図 3.1.2-1 上位集線 DBA による OSU-集線部の帯域制御

一括 DBA 方式では、16OSU の ONU に一括して帯域割当することから、従来の OSU と比較して 16 ~29 倍の計算能力を持つハードウェアが上位集線部に必要となることを明らかにした。次に、一括 DBA 方式の最適化を検討した。一括 DBA 方式では、PON 区間のオーバーヘッドと実データの送信時間とを重畳する手法として、MPCP(Multi Point Control Protocol)フレームと BOH(Burst Overhead)のオーバーラップ手法を検討し、約 100%の帯域利用効率を達成できることを明らかにした。

連携 DBA 方式では、OSU が 32 ONU にすると同様に、上位集線部が 16 OSU に帯域割当することから、従来の OSU 以下の計算能力を持つハードウェアが上位集線部に必要となることを明らかにした。連携 DBA 方式の上位集線部に必要な計算能力は一括 DBA 方式と比較して小さい。そのため、一括 DBA 方式を実装可能な計算能力が上位集線部にあれば、連携 DBA 方式の実装は可能である。連携 DBA 方式では、PON 区間のオーバーヘッド分の帯域利用効率向上の手法として、上位集線部から OSU への追加

割当手法と OSU から ONU への追加割当手法を検討し、約 100%の帯域利用効率を達成できることを明らかにした。

最後に、一括 DBA 方式と連携 DBA 方式を実装可能とする上位集線 DBA 評価ボードの仕様を明確化した。具体的には、図 3.1.2-2 に示すハードウェア全体構成を検討し、必要な処理と要求性能を策定した。また、上位集線 DBA の最適化のために必要な測定項目として、評価ボードを用いた所要バッファ量削減効果と帯域利用効率の評価手法を整理した。

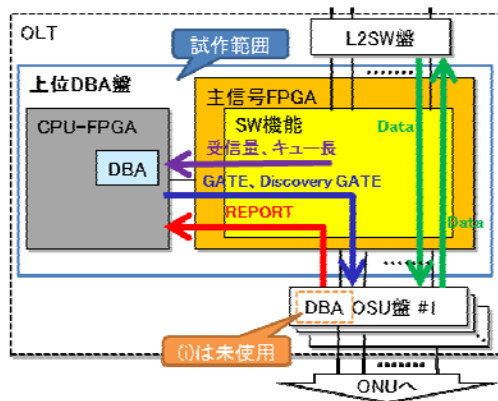


図 3.1.2-2 上位集線 DBA 評価ボードのハードウェアの構成

3. 1. 3 動的波長帯域割当アルゴリズムの策定

WDM/TDM-PON システムでは、ONU は、送受信波長を変更することにより、運用中に、論理接続する OLT ポートを変更できる。この動的波長運用においては、ONU が OLT からの指示に従って送受信波長を変更する「波長変更プロトコル」と、OLT がトラフィック状況等に応じて各 ONU へ割り当てる波長と帯域を決定する「動的波長帯域割当(DWBA)アルゴリズム」が必要となる。

3. 1. 3. 1 波長変更プロトコルの検討、実証および標準化提案

本課題における検討は、課題ウ-2 の研究開発スケジュールや試作システム仕様と整合するように、課題ウ-2 における検討と密に連携して進めた。

まず、策定した EPON ベースの波長変更プロトコルを図 3.1.3-1 に示す。策定した波長変更プロトコルの第一の特徴は、ONU 内の波長可変トランシーバの波長切替時間として、マイクロ秒以下から数十ミリ秒程度までの広範囲な波長切替時間を、帯域割当周期を拡大することなく許容することである。この特徴により、製造ベンダや ONU タイプなどの違いにより波長切替時間が異なる ONU を同一 PON 内に収容し、同時制御することが可能となる。策定した波長変更プロトコルの第二の特徴は、波長切替に起因するデータフレーム損失が発生しない無瞬断波長切替を実現できることである。この特徴により、動的波長運用に起因して通信品質が劣化することを回避できる。

図 3.1.3-1 に示す波長変更プロトコルを課題ウ-2 での試作システムへ実装し、上りデータと下りデータをともに入力した場合において、動的波長運用に起因するデータ損失が発生しない双方向無瞬断波長切替が実現できるパラメータ範囲を測定し、図 3.1.3-2 に示す結果を得た。ONU への割当波長は 1 秒ごとに変更し、帯域割当周期は 1 ミリ秒に固定した。図 3.1.3-2 より、帯域割当周期 1 ミリ秒を超える 25 ミリ秒までの広範囲の波長切替時間に対して、OLT からの指示通りに ONU の送受信波長が変更され、8Gbps データ入力に対して、双方向無瞬断波長切替を実現できることをシステム実証した。

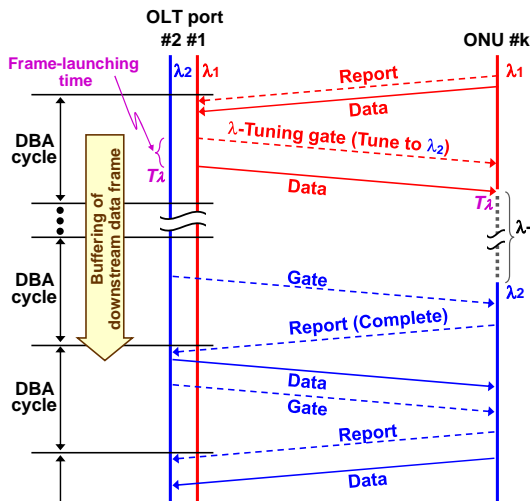


図 3.1.3-1 E-PON ベースの波長変更プロトコル

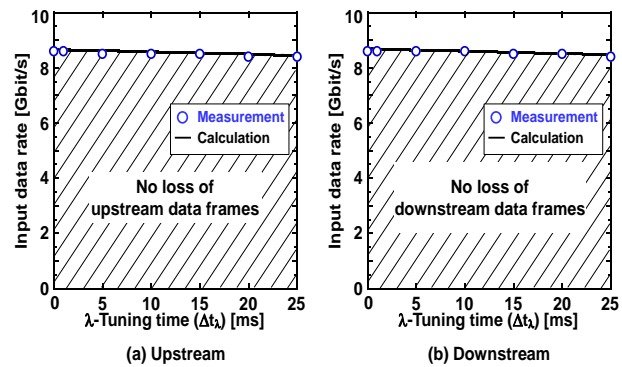


図 3.1.3-2 双方向無瞬断波長切替のパラメータ範囲

次に、実証した波長切替プロトコルの標準化提案を行った。当時 IEEE では 10G-EPON の次の規格に対する方針が定まっておらず、本研究開発の技術的成果を IEEE 標準化へ働きかけるタイミングとして適切ではなかった。そこで、G.989 シリーズの上位概念として多波長 PON を勧告化する G.multi に、図 3.1.3-1 に示す EPON の波長変更プロトコルに関する記述を Annex B へ盛り込むこと、および Annex A に記載予定の G.989.3 との共通した考え方を本文に記載することを提案し、合意された。また、システム実証に成功した EPON ベースの波長変更プロトコルを、NG-PON2 の TC 層仕様(G.989.3)の PLOAM フレーム形式の波長変更プロトコルに変換した波長変更プロトコルを ITU-T へ提案し、大筋合意された。

最後に DWBA アルゴリズムについて述べる。OLT がモニタリングした OLT ポートあたりのトラフィック負荷が閾値を超えることをトリガーとして、自動的に ONU への割当波長を変更する負荷分散アルゴリズムを策定した。この負荷分散アルゴリズムおよび図 3.1.3-1 の波長変更プロトコルを課題ウ-2 での試作システムへ実装し、フレーム損失無しでの DWBA 動作を実証した。

3. 1. 4 消費電力削減効果の検討

局内装置の消費電力 30%以上削減（対 10Gbps 級装置比）を達成するために、試作システムの実消費電力を測定し、商用レベルとなっている現行システムと単純に比較することは妥当とは言えない。そこで、本課題の達成目標に掲げている消費電力削減効果は、試作システム構成を将来商用レベルの部品構成を想定して電力を算出し、同条件の現行システムと比較した。

本研究における局内装置の低消費電力化は、多分岐長延化による收容局集約によって主に得られる。図 3.1.4-1 に示す通り、既存システムとして 20km 半径の 4 エリアで均一に分布する 32768 ユーザを收容する GE-PON システム及び 10G-EPON システムを想定し、WDM/TDM-PON システムは光アンプによって 40km に長延化し、最大 512 のユーザを半径 40km の 1 エリアで、均一に分布する同数ユーザを收容する場合と比較した。結果、図 3.1.4-2 に示した 1OSU 盤に 4 波長分のトランシーバを実装して MAC 部を集約してさらに低消費電力とした WDM/TDM-PON 構成では、約 39%減を達成する見込みとなり、收容局を統合する收容局集約効果だけでも消費電力削減目標を達成できることがわかった。さらには、課題ウによって OLT の省電力効果が 16%減と示されたことを勘案すると、局内の省電力効果はさらに高まり約 49%となる。また、アクセス NW 全体としては、ONU に対してスリープ技術を用いることで 30%削減が可能であると、アクセス NW 全体の消費電力配分を ONU75%、局装置 25%の割合であるとす

れば、アクセス NW 全体では約 35%の消費電力が削減できることがわかる。

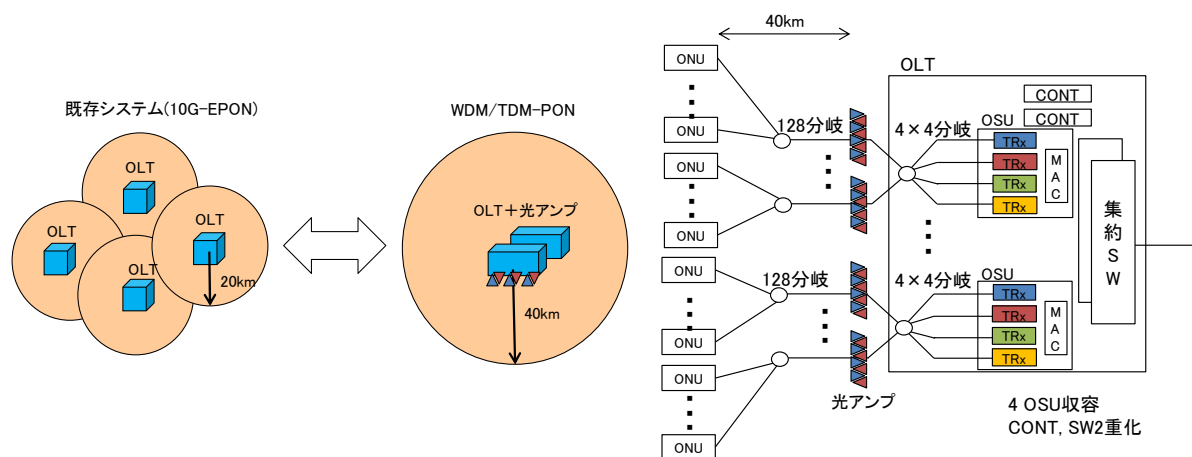


図 3.1.4-1 消費電力削減効果の比較モデル

図 3.1.4-2 前提とするシステム構成

3. 1. 5 総合システム実証実験の実施

3. 1. 5. 1 総合システム実証実験の概要

本研究課題において検討を行ってきた高速波長切替 ONU トランシーバおよび OLT トランシーバ（課題エ）、長延化・多分岐化を実現する光増幅器（課題イ）、波長切替機能を実装した ONU/OLT 用 MAC ボード（課題ア）など各種要素部品を組み合わせ、最終目標であるシステム伝送容量 40Gbps(10Gbps×4 波)、収容ユーザ数 512 分岐以上、総伝送距離 40km 以上の性能を有する WDM/TDM-PON システムの総合システム実証実験を北海道に敷設されたファイバ伝送路を用いて実施した。

3. 1. 5. 2 総合システム実証実験の構成

図 3.1.5-1 に総合システム実証実験の構成を示す。敷設された光ファイバ伝送路は札幌市内の複数の NTT ビルを経由して、40 km の総伝送距離を有する。拠点ビルである NTT ビル A には、加入者収容装置である OLT、局置分岐スプリッタを模擬した 16 分岐スプリッタ、長延化・多分岐化用局置光増幅器、外置分岐スプリッタを模擬した 64 分岐スプリッタ、および伝送距離が 0km である近距離に収容される ONU を配置した。一方、最も遠い距離の加入者宅を模擬した NTT ビル B には加入者宅内装置である ONU を配置した。図 3.1.5-1 においては、所内分岐および所外分岐を模擬したスプリッタの分岐比は、それぞれ 64 分岐および 16 分岐であるため、本構成では総伝送距離および総分岐数が 40 km および 1024 分岐の WDM/TDM-PON システムとなる。本構成は、局置光増幅器 1 台で 0 km から 40km の ONU を 64 台収容可能となる。このため、局内 16 分岐スプリッタ下部に設置される局置光増幅器を 16 台用いることで、拠点ビルを中心に 0km から 40km のエリアに点在する 1024 台 (64ONU x 16 分岐) の ONU を収容することが可能となる。総合システム実証実験では光増幅器の使用方式を、設置場所などの運用課題を克服できる局置構成と、長円化・多分岐化効果が効率的に得られる中継構成については、所外および所内スプリッタの分岐比を変えながら、システム特性評価を実施した。一方、標準化で勧告されているシステム構成についても検証を行い、光増幅器を用いずに 20km64 分岐、および 40km32 分岐の構成におけるシステム特性評価も実施した。

3. 1. 5. 3 総合システム実証実験の結果

総合システム実証実験の結果を表 3.1.5-1 にまとめる。光増幅器を用いない標準化に準拠した構成にお

いては、20km 64 分岐構成および 40km 32 分岐構成共に、良好な伝送特性が得られた。また、光増幅器を使用する中継構成においては、敷設ファイバ伝送路が 40km の構成において外置スプリッタ 128 分岐、局置スプリッタ 4 分岐の合計 512 分岐まで分岐数を拡大することに成功した。本構成は光増幅器 1 台で 128 台の ONU を収容可能であるため、4 台の光増幅器を用いることで 512 台の ONU を収容できる。一方、光増幅器の局置構成においては、外置スプリッタの最大分岐数は 64 分岐、局置スプリッタの最大分岐数は 16 分岐まで拡大することに成功した。このため、局置構成においては 16 台の光増幅器を用いることで、1024 台の ONU を収容可能となる。

表 3.1.5-1 総合システム実証実験結果

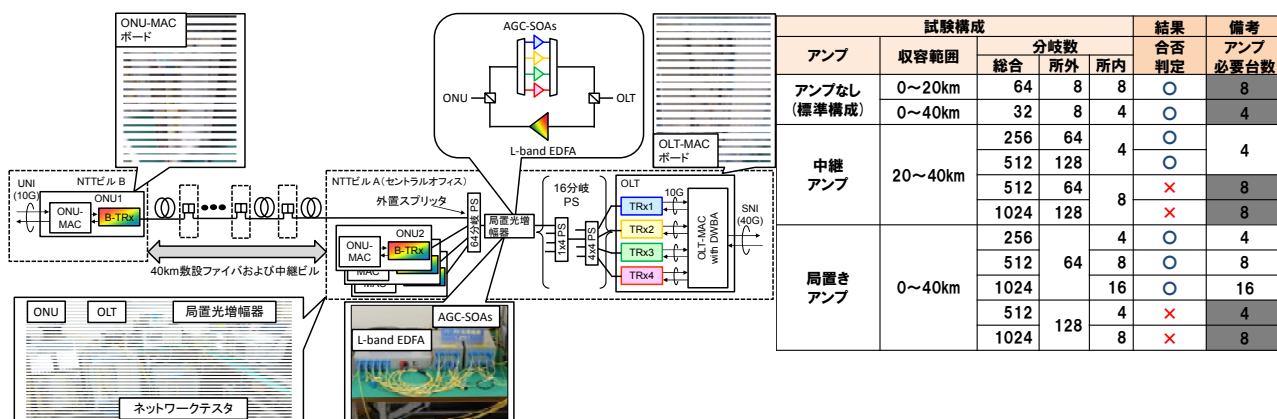


図 3.1.5-1 総合システム実証実験の構成

3. 2 課題(イ) 光機能部品技術

システム実現に必要なとなる、経済的な光部品の試作および特性評価とシステム上での動作検証を行う。課題エの送受信器との組合せで、収容可能ユーザ数 512 以上、総伝送距離 40km 以上を実現する。

本課題では、WDM/TDM-PON システムを対象として、旧 NICT の委託研究よりも更なる装置の小型経済化を成し得ると同時に、光増幅器へ入力可能な光レベル範囲拡大を達成することのできるバースト対応光増幅器の研究開発を行う。

3. 2. 1 バースト対応光増幅器

PON の上りバースト信号に対応した増幅を行うためには、入力バースト信号毎に出力光レベル制御を行う必要があるため、WDM/TDM-PON における複数波長の上りバースト信号を一括して増幅することは困難である。従って、下り連続信号は複数波長を一括して増幅する一方、上り信号は波長ごとに個別増幅する中継器構成を採用した。

まず、光増幅器を所外中継器として用いる場合を想定し(図 3.2.1-1 参照)、光増幅器の出力光レベルを入力光レベルに応じて高速に変化させることにより、広入力ダイナミックレンジ化を実現するフィードフォワード制御方式を提案した。図 3.2.1-2 に、高速自動レベル制御(ALC)回路を具備した光増幅器の構成を示す。図 3.2.1-2 (a)は、旧 NICT 委託研究において採用した構成である。高出力化を図るため、SOA を 2 段接続した構成である。また、高速 ALC 機能は、可変減衰器(VOA)の減衰量をバースト信号ごとに高速駆動することにより実現する。本 ALC 回路により、入力光信号レベルに係わらず、VOA 出力光レベルを一定値に制御し、後段 SOA における波形歪みの発生を防ぐ。一方、図 3.2.1-2 (b)は、本委託研究において提案する光増幅器の構成である。高出力化を図るため、図 3.2.1-2 (a)と同様、SOA を 2 段接続するが、装置の小型化・経済化を狙いとし、VOA を用いず、

増幅媒体である SOA 自体の駆動電流を変化させることにより ALC 機能を実現する。広入力光レンジに対する出力光レベルの平坦化を図るため、両 SOA の駆動電流を制御する構成とする。また、両 SOA の駆動電流を制御することにより、パターン効果による波形歪みの影響を緩和する効果を同時に達成することができる。本提案構成による上り光増幅器を試作し、実験により 19.0dB の広入力ダイナミックを達成可能であることを確認した。

次に、光増幅器への電源供給の容易化を目的とし、提案制御方式を拡張し、所内中継への適用を図った(図 3.2.1-1 参照)。所内中継器として使用する場合、光増幅器に入力される光レベルが低減し、光増幅器が放出する自然放出光(ASE)雑音の影響が相対的に大きくなると同時に、収容局内のスプリッタにおける ASE 雑音の合流により(図 3.2.1-1 参照)、上り信号の性能劣化が大きく劣化する。この影響を緩和するため、光増幅器に信号が入力されない時間に放出される ASE 雑音を遮断する機能を制御機構に追加し、小型化を目指した装置試作を行った。図 3.2.1-3 に、小型化した試作装置の外観を示す。本試作装置を用いた実験により、20dB 以上の ASE 雑音の遮断特性が得られ、また ASE 雑音の合流による上り信号の性能劣化が生じないことを確認した。

最後に、フィールドトライアルに先駆けて、全 4 波長分の試作装置を、各々、課題ウ)の最終成果物、課題エ)の H24 年度成果物により構成される伝送装置(OLT,ONU)と接続した、実験室環境下におけるシステム動作検証を行い、所外中継、所内中継ともに、40km、512 分岐が達成し得ることを確認した。

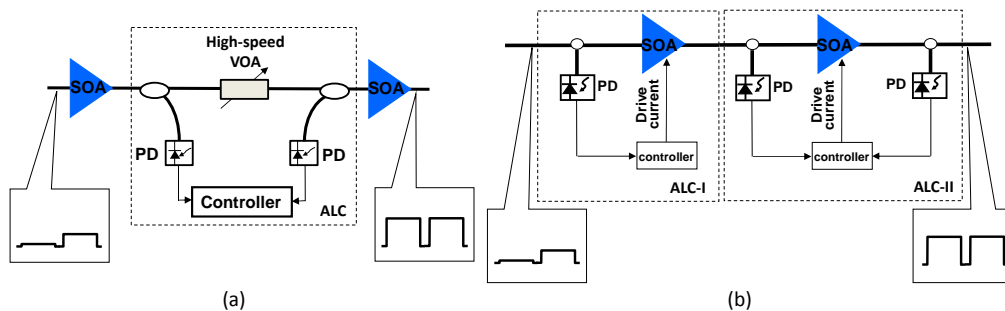


図 3.2-1 上り光増幅器の構成. (a) 旧 NICT 委託研究で採用. (b)本研究で提案.

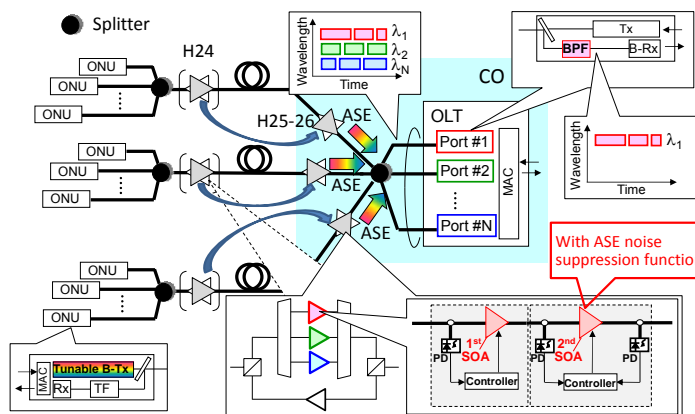


図 3.2-2 中継光増幅器の配置

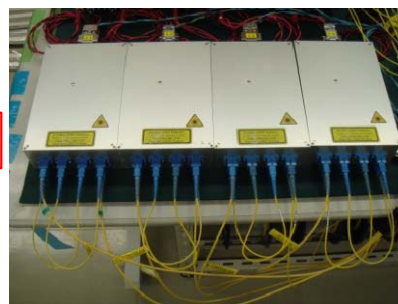


図 3.2-3 上り 4 波長に対応した光増幅器の試作装置

3. 3 課題(ウ) 大規模メディアアクセス制御技術

OLT で必要となる機能の洗い出しおよび大規模集線化に伴うメディアアクセス制御回路の機能負担、連携制御方式、高速演算アルゴリズムなどについて FPGA 等を用いた機能ボードを試作し、実装・検証する。消費電力に関しては、将来 ASIC 化を行った際に、10Gbps 級 OLT+L2SW 構成に対し 30% 以上の低消費電力化が実現可能な見通しを得る。ONU も同様に必要となる機能の洗い出しを行い、

FPGA 等を用いたボードに実装・検証する。個々のボードの動作検証だけでなく、OLT と複数 ONU 間の接続連携動作による検証を実施し、基本動作を確認する。複数波長を用いるシステムでは、波長可変部品の制御機能を上記試作ボードへ実装し、基本動作を確認することで動的波長割当技術を確立する。

3. 3. 1 上位集線 DBA 技術

本小課題では、課題アにおいてH24 年度に明確化した上位集線 DBA 装置の仕様を平成 24 年度に設計・製造し（図 3.3-1）、平成 25 年度に上位集線 DBA を実装し、平成 26 年度に評価を行った。

上位集線 DBA 装置には、上位集線 DBA として(i)上位 DBA 盤が一括して全 ONU に割当する一括 DBA 方式、(ii)上位 DBA 盤が OSU に割当し、割当された範囲内で各 OSU が ONU に割当する連携 DBA 方式の 2 方式に加えて、比較のための(iii)他の OSU とは独立に各 OSU が ONU に割当する従来 DBA 方式の 3 方式を実装した。

まずバッファ削減効果を評価するため、バッファ最大蓄積量を 16 ONU 接続構成で測定し、(i)一括 DBA 方式と(ii)連携 DBA 方式のいずれの上位集線 DBA でも、(iii)従来方式に対してバッファ削減効果(図 3.3-2)が同等であることを明らかにした。ここで、従来 DBA 方式のバッファ最大蓄積量は、上位集線 DBA 装置のバッファ容量が不足するため、フレーム導通量及びフレーム廃棄量から算出した。

次に、データ以外とデータの伝送時間を重畳すること(図 3.3-3)で上位ネットワークの出力レートを保持した上で、バッファ削減効果を最適化するために、3 つのオーバーラップ手法(MPCP 重畳、BOH 重畳、MPCP+BOH 重畳)を、それぞれ(i)一括 DBA 方式に追加実装して評価した。バッファ最大蓄積量は図 3.3-2 に示すように、3 手法とも従来 DBA 方式の 1/10 以下であり、ASIC 化の際に ASIC に内蔵が期待できる所要バッファ量である。出力レートは ONU512 台接続を模擬した系でも、MPCP+BOH 重畳で出力レートが 9.9Gbps 超であり、従来 DBA 方式と同等であった。したがって ONU 接続台数に依らず、上位ネットワークの出力レートを保持した約 100%の帯域利用効率で、バッファ容量 1/10 を実現する MPCP+BOH 重畳手法が最適な上位集線 DBA であることを明らかにした。、試作では、バッファ長 1/10 以下とすることで、外付けバッファを不要とし、バッファ消費電力 1/100 以下にできた。

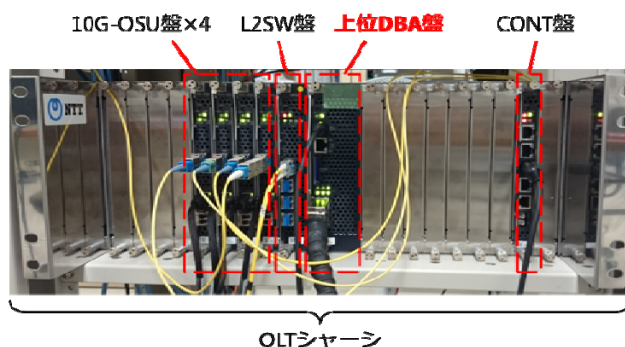


図 3.3-1 上位集線 DBA 装置外観

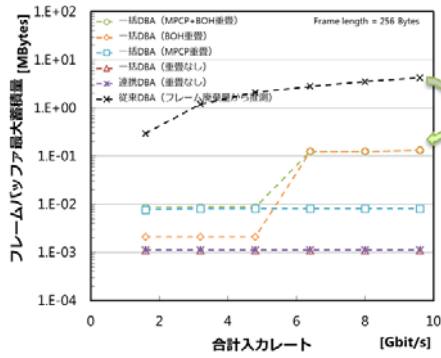


図 3.3-2 バッファ蓄積量

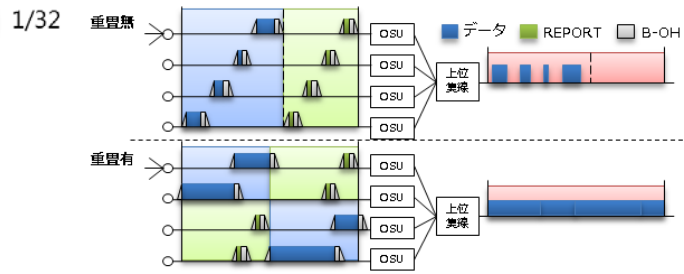


図 3.3-3 重畳方式の模式図

3. 3. 2 動的波長帯域制御技術

H24 年度より WDM/TDM-PON を実現するため、4 波長と時間スロットの帯域を制御する 4ch マルチチャンネル OLT 及び ONU の MAC ボードの具体設計及び試作を実施した。

3. 3. 2. 1 OLT/ONU MAC ボードの開発

OLTMAC ボードには、4つの OSU を搭載し、各 OSU には PON 制御を実施する FPGA を搭載した。また 4つの OSU (10G×4) と 40G の多重分離/振分けを行う FPGA (AGS) を搭載した。ONUMAC ボードには、1つの ONU と波長選択機能を有するトランシーバを搭載し、OLT からのインチャンネル制御により波長を変更できる。512 以上の ONU において、時間毎に OLT が収容する ONU グループが変動してもデータ通信にできるだけ影響を与えない管理機能を実現するため、ディスカバリ機能、レンジング機能、OLT スリープ機能等の管理機能の方式検討を実施した。OLT/ONU MAC ボードに WDM/TDM-PON 基本機能搭載し、10Gbps×4ch の導通確認完了し、波長切替制御機能 (API) を使用した波長切替検証完了した。

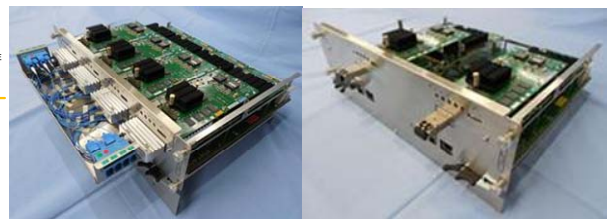
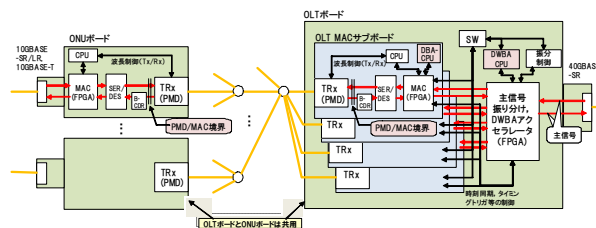


図 3.3.2.1-1 MAC ボード機能ブロック図 図 3.3.2.1-2 OLTMAC ボード(左) ONUMAC ボード(右)

3. 3. 2. 2 ONU エミュレータ

H25 年度、512ONU の機能検証を効果的に行うために、512 台擬似 ONU (ONU エミュレータ) を追加で開発した。本 ONU エミュレータは、1 台で 128ONU のディスカバリ機能を有しており、4 台使用することで、512 台のディスカバリエミュレータが実現できる。

項目	内容
エミュレーション数	全128ONUをエミュレーション (1台:実ONU, 127台:疑似ONU)
サポート機能	<実ONU> 通常のWDM/TDM-ONUと同じ動作を実施。(主信号導通可能) <疑似ONU> Discovery動作およびRegistered後のGate/Reportフレーム送受信による registered状態継続動作のみ。
Discovery時の randomDelay	DiscoveryGate受信時, 128台別々にRandomDelayを生成。
Ton/Toff, SyncTime	実ONUの値を全疑似ONUで共通に使用する。
RoundTripTime	全ONUは同一距離にいるものとする。
Gateフレーム	疑似ONUはGrant#1のみレポート。
Reportフレーム	疑似ONUからのレポート値は常に0。
Discovery時の疑似波長切り替え	DiscoveryGate受信時, 疑似ONUの上り波長(疑似上り波長)をランダムに生成, り替え DiscoveryGateの指定上り波長と疑似上り波長が不一致の場合, N回 DiscoveryGate受信するまでReg_REQを送信しない。 Nは全疑似ONUで同一とする。

※128ONUエミュレーション対応ONUを4台使用し, 512ONUのエミュレーション動作を行う。

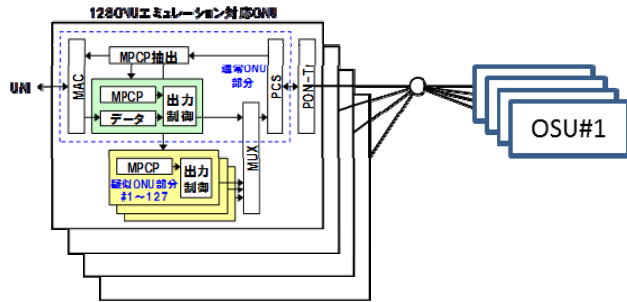


図 3.3.2.2-1 ONU エミュレータ構成および諸元

3.3.2.3 検証

OLT 装置、ONU 装置、波長可変バースト送受信器及び ONU エミュレータを用いて、WDM/TDM-PON システムの多分岐化・長延化の総合評価、OLT 省電力動作機能、プロテクション機能の実装により省電力化及び障害復旧の検証を実施した。

1) 512ONU の接続検証

1 台の ONU で最大 128 台分の疑似 ONU 動作を実施可能な ONU エミュレータを試作した。ONU エミュレータを 4 台接続して疑似 ONU のリンクアップ動作を検証する OLT との距離を①0~40 km、②0~20 km、③0~10 km の範囲でランダムに設定した疑似 ONU を、それぞれの ONU エミュレータで 8/16/32/64/96/128 台分有効に設定し、全疑似 ONU のリンクアップ時間を測定した。図 3.3.2.3-1、3.3.2.3-2 に結果を示す。

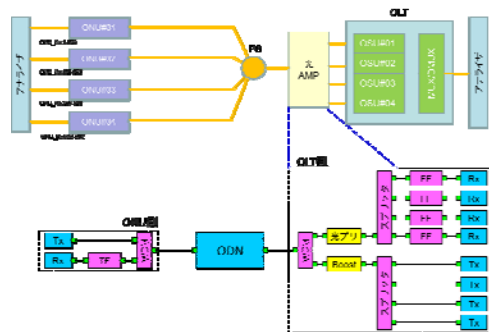


図 3.3.2.3-1 試験構成

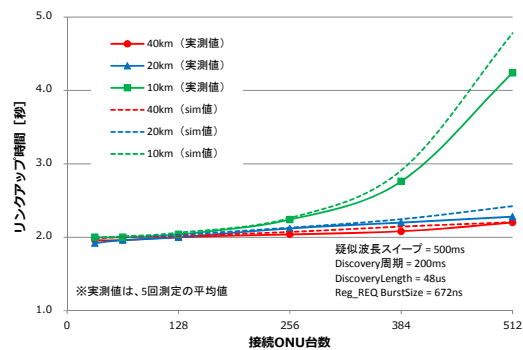


図 3.3.2.3-2 距離に対するリンクアップ時間

2) OLT 省電力動作

今回検証を行った省電力システム構成を図 3-4-6 に示す。

検証結果：図 3.3.2.3-3 に示すように、1 日のトラフィックパターンをモデル化し、OLT 側の省電力効果を確認した。トラフィック量に応じ、OSU の起動・停止が繰返し実施され、それに連動した省電力効果が確認できた。この省電力動作による OSU 増減においてもパケットロスの発生は無かった。

以上の結果、OSU 起動閾値と OSU 停止閾値を設定して、図 3.3.2.3-4 に示すように、下りトラフィック変動に連動した OSU の起動・停止動作が確認できた。今回モデル化したトラフィックパターン及び、設定閾値の条件において、省電力動作をしない 4OSU 稼働モデルと比較して、最大 33%、平均 16%の省電力効果が確認できた。

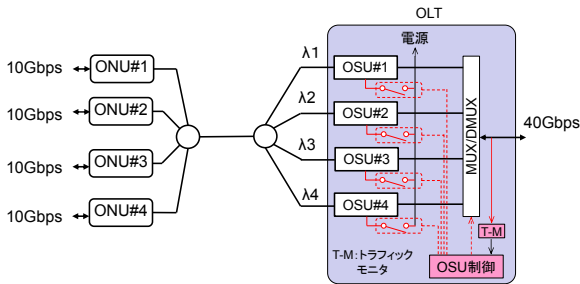


図 3.3.2.3-3 省電力システム構成

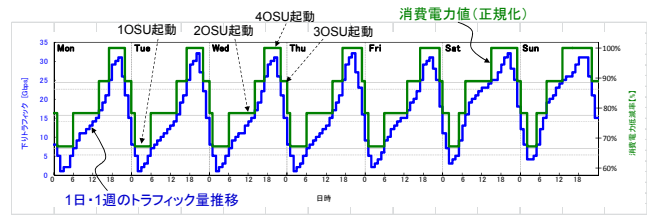


図 3.3.2.3-4 消費電力推移

3) OLT プロテクション

WDM/TDM-PON システムでは、Discovery 時、ONU が送受信波長を周期的に変更（波長スイープ）し、Discovery Gate を受信できた波長にて Discovery シーケンスを行っている。このため、リンクアップしている波長に障害が発生した場合に、一旦リンクダウンした後、波長スイープにより別波長へ再リンクアップすることが可能であり、プロテクション機能としての利用が可能である。

3. 4 課題(エ) 高機能バースト送受信技術

収容可能ユーザ数 512 以上を有し、総伝送距離 40km 以上のロスバジェットを想定したバースト送受信器の設計・試作を行う。課題イの光部品との組合せで上記目標を達成する。また、複数波長のシステムでは、10Gbps/波長かつ 4 波長程度の波長可変性を有する波長可変バースト送受信器の方式設計を行い、経済的な実現に向けた構成方法を明確化するとともに、試作を通じて基本動作を確認する。

上記の目標を達成するための 10Gbps/波長かつ 4 波長程度の波長可変性を実現する当たり、バースト信号の高いダイナミックレンジを達成しつつ ONU の柔軟な波長とタイムスリット割り当てを実現するための高速性を追求する技術と、高いダイナミックレンジを満たしつつ小型、経済的に実現することを追求する技術に分け、研究開発を効率的に行うこととした。

3. 4. 1 高速波長可変バースト送受信技術

3. 4. 1. 1 高速波長可変バースト送受信技術の概要

高速波長可変バースト送受信技術を開発するにあたり、送信器のバースト制御法および高速波長可変制御法と、受信器の高速波長可変制御法について、候補技術の選定と要素技術検討を行った。送信器のバースト制御法の要求条件とは、ITU-T G.989.2 (NG-PON2 標準) に規定される上り信号波長帯において 1 波長あたり 10 Gbps のバースト信号を、分散補償技術を用いずに伝送可能で、かつ高いダイナミックレンジを実現するための高出力化との両立が必須となる。そこで、我々はこれらの要求条件を満たす半導体光増幅器 (SOA) と外部変調器を集積したレーザの SOA 部を発光・消光する手法を立案した。また、ONU の柔軟な波長とタイムスリット割り当てを実現するための高速性を追求する高速波長可変制御技術として、数 100ns オーダの極めて高速な高速波長切替が期待される 4 波長アレイ型光部品とセレクタスイッチとの組み合わせによる手法を立案した。

3. 4. 1. 2 高速波長可変バースト送受器の方式設計

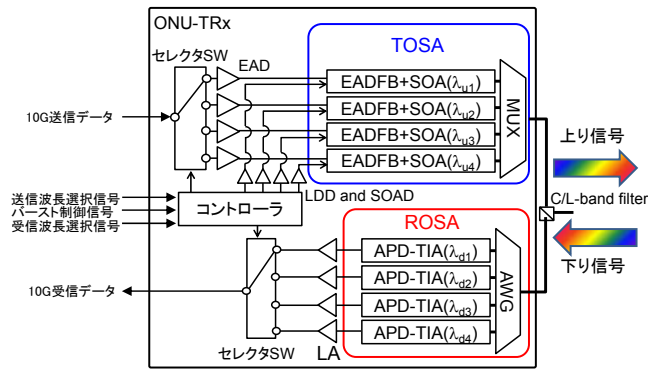


図 3.4.1.2-1 高速波長バースト送受信器のブロック構成図

図 3.4.1.2-1 に高速波長可変バースト送受信器のブロック構成図を示す。送信器モジュールは異なる 4 つの波長 (λ_{u1} , λ_{u2} , λ_{u3} , λ_{u4}) と各波長 10Gbps の伝送容量を有する SOA 集積 EADFB (Electro-absorption distributed feedback) レーザアレイと光合波器 (MUX) 及びセレクタ SW や各種ドライバ回路 (EA 変調器ドライバ (EAD)、レーザドライバ (LDD)、SOA ドライバ (SOAD)) から構成される。ONU 装置から供給される送信波長制御信号はコントローラを経て、セレクタ SW にて SOA 集積 EADFB レーザアレイの内、一つのレーザを選択して送信波長を決定する。また、バースト制御信号は、コントローラを経て SOAD にて、SOA の発光・非発光を制御することで、高速な波長選択機能とバースト信号生成機能を実現する。このようにして生成された上りバースト信号光は、MUX および C/L-band filter (上り・下り信号分波器) を経て入出力ポートより送出される。一方、受信器モジュールは、APD-TIA (Avalanche Photodiode-Transimpedance amplifier) アレイと光アレイ型導波路 (AWG) タイプの光分波器及びセレクタ SW や等価増幅器 (LA) から構成される。入出力ポートより入力された各波長 10Gbps の下り信号 (λ_{d1} , λ_{d2} , λ_{d3} , λ_{d4}) は、C/L-band filter を経て、AWG にて波長毎に分波される。各波長は各 APD-TIA にて光電変換および LA による等価増幅を経てセレクタ SW に入力する。ONU 装置から供給される受信波長制御信号に応じて、セレクタ SW が 4 つの受信信号から一つを選択して、受信波長 (信号) を決定する。このような構成により、送信器、受信器共に波長可変速度はセレクタ SW の駆動速度と同レベルとなり数百 ns 以下の高速な波長切替時間を実現可能となる。

3. 4. 1. 3 高速波長可変バースト送受信器の試作

図 3.4.1.3-1 に、試作した ONU 用高速波長可変バースト送受信器の外観写真と高速波長切替特性を示す。本試作器は、高速イーサネットワーク向けトランシーバで用いられている集積アレイデバイス技術を適用することで、課題ウの成果物 (ONU 装置) に実装可能な程度にまで小型化を実現した (実装面積 $123 \times 200 \text{ mm}^2$)。送信器側は、4ch アレイ 10Gbps-SOA 集積 EADFB (EML) と MUX を集積した光送信器サブアセンブリ (TOSA) の開発により、送信器部の小型化 ($5.3 \times 6.3 \times 19.6 \text{ mm}^3$) を実現した。集積アレイデバイス技術を適用しない場合と比較すると、約 1/3 の小型化を達成した。また、受信器側は 4ch 10Gbps APD-TIA アレイと AWG を集積した光受信器サブアセンブリ (ROSA) の開発により、受信器部についても同様に小型化 ($6.8 \times 5.8 \times 17.3 \text{ mm}^3$) を実現した。集積アレイデバイス技術を適用しない場合と比較すると、送信器と同様に約 1/3 の小型化を達成した。このように、大きな市場を有する高速イーサネットワーク向け光部品技術を本試作に活用することにより、構成部品の一部共有化などにより将来的な経済化が期待できる。さらに、当初目標を上回る成果として、上り・下り信号共に ITU-T G.989.2 で規定される波長グリッド (または範囲) に準拠した。ITU-T G.989.2 においては、上り信号波長範囲として $1524\text{-}1544 \text{ nm}$ また光周波数間隔を 100 GHz と規定しているため、本試作における TOSA において

は、 $\lambda_{u1}=1532.68$ nm (195.6 THz), $\lambda_{u2}=1533.47$ nm (195.5 THz), $\lambda_{u3}=1534.25$ nm (195.4 THz), $\lambda_{u4}=1535.04$ nm (195.3 THz)の各送信波長を採用し、標準に準拠した。また、ROSAにおいては、ITU-T G.989.2で規定されている下り信号の各波長グリッド (光周波数間隔 100GHz) $\lambda_{d1}=1596.34$ nm (187.8 THz), $\lambda_{d2}=1597.19$ nm (187.7 THz), $\lambda_{d3}=1598.04$ nm (187.6 THz), $\lambda_{d4}=1598.89$ nm (187.5 THz)に準拠した受信波長グリッドを有する波長可変受信器を開発した。

試作した高速波長可変バースト送受信器の高速波長可変動作を検証した結果を、図 3.4.1.3-1(b)及び(c)に示す。図 3.4.1.3-1(b)は波長可変バースト送信器において、送信波長を λ_{u1} から λ_{u2} に切り替えた際の信号波形の測定結果を示しており、同図より 200 ns 以下での高速波長切替時間を確認した (他の送信波長の切替時間も 200 ns 以下であることを確認した)。さらに、波長可変バースト送信器の各送信波長における光出力強度は、ITU-T G.989.2で規定される最低出力強度+4 dBmの倍以上の強度となる+7.8 dBm以上であることを確認し、高ダイナミックレンジ化につながる高出力化を達成した。また、SOA 部をバースト制御信号に基づき発光状態を制御することにより、バースト信号光の生成されていることも確認した。図 3.4.1.3-1(c)は波長可変受信器において、受信波長を λ_{d1} から λ_{d2} に切り替えた際の信号波形の測定結果を示しており、同図より 20 ns 以下での高速波長切替時間を確認した (他の受信波長の切替時間も 20 ns 以下であることを確認した)。以上、アレイ型集積デバイスと高速駆動可能なセクタ SW による波長選択を行うことで、数 100 ns 以下の極めて高速な波長可変動作を達成した。

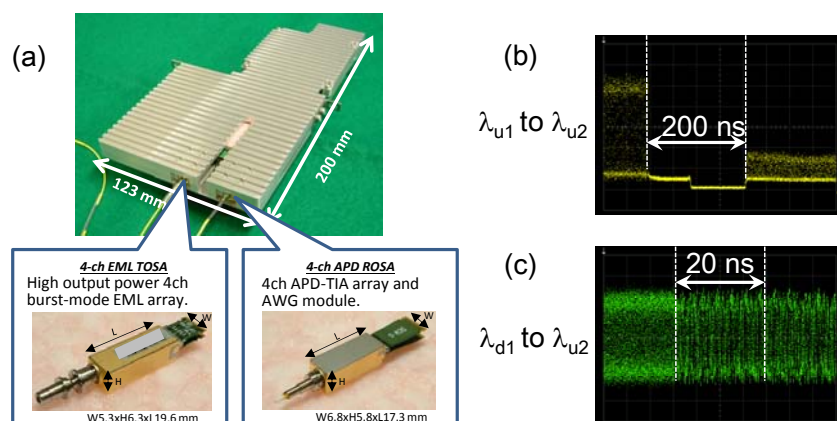


図 3.4.1.3-1(a)高速波長可変バースト送受信器の外観写真, (b) 高速波長可変バースト送信器の波長切替 ($\lambda_{u1} \rightarrow \lambda_{u2}$) 時の送信波形, (c) 高速波長可変受信器の波長切替 ($\lambda_{d1} \rightarrow \lambda_{d2}$) 時の送信波形

3. 4. 2 小型波長可変バースト送受信技術

3. 4. 2. 1 小型波長可変バースト送受信技術の概要

小型波長可変バースト送受信器の開発にあたり、高ダイナミックレンジ送受信技術の開発および波長可変バーストトランシーバの試作を行った。高ダイナミックレンジ送受信技術では、OLT-ONU 間の距離が ONU 毎に異なる状況においても伝送劣化を補償するために、波形整形処理を開発することにより実現した。また、高バジェット化を実現するために、光増幅器 (SOA および EDFA) によるバースト対応の光プリアンプを開発することで比較検証を行った。波長可変バーストトランシーバの開発では、高速に波長が切替えられる DBR レーザと波長切替速度は遅いが低価格が実現できる DFB レーザアレイとを用いて、小型波長可変バースト送受信器を開発し、実用性を検証した。また、送受信の波長が可変できる小型波長可変バースト送受信器の開発を行った。以下に、それぞれの詳細を述べる。

3. 4. 2. 2 高ダイナミックレンジ送受信器の開発

高バジェット化を実現するために、SOA と EDFA を用いて光プリアンプで受光感度の改善及びブースターによる出力パワーの改善を行った。EDFA はバースト応答を行うためにクラップ光を入力することで実現している。図 3.4.2.2-1 は SOA 及び EDFA の光プリアンプ性能を比較した結果である。EDFA は SOA に比べ NF が小さいので、受光感度-40dBm を達成できた。送信側で+2dBm 以上の出力ができれば、42dB 以上のバジェットが実現ということである。上りプリアンプにおいては、システムダイナミックレンジの観点から、AGC 機能によりバースト増幅対応可能な SOA が妥当であり、下りブースタアンプにおいては、現状ではコスト、および消費電力の観点から、EDFA を用いた一括増幅が妥当である。ただし、今後 SOA を集積化した高出力 TRx の低価格化が期待できる。しかしながら、EDFA は小型化の問題がある。

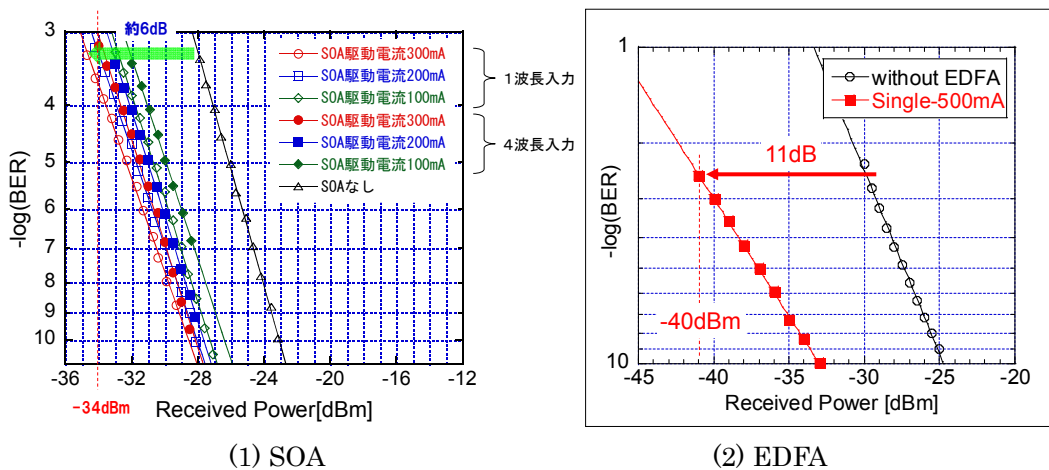
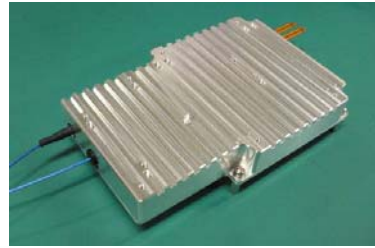


図 3.4.2.2-1 光プリアンプによる最小受光感度改善効果

3. 4. 2. 3 波長可変バーストランシーバの開発

本開発では、切替速度が低速で制御が簡易な温度制御による L-band DFB レーザアレイと、切替速度が中速で制御が複雑な電流制御による C-band DBR レーザを用いて、国際標準の基本仕様を満たし、バースト動作が実現できるランシーバを試作した。実用性を考慮し、市販品を用いて、XFP サイズを目標に試作を行った。図 3.4.2.3-1 にそれぞれの試作したモジュールを示す。試作した OLT 用 (L-band DFB) トランシーバは XFP-E サイズ、ONU 用 (C-band DBR) は目標である XFP サイズでの小型化を実現した。当初は N×M の AWG を使ったスプリッタ網を想定していたため、OLT 側も波長可変タイプを試作した。その後、国際標準 ITU-T/G.989.2 でパワースプリッタが主流となったため、G.989.2 に準拠した波長に設定し固定波長として検証を実施した。また、チューナブルフィルタ内蔵の受信器を用いて、送受信で波長可変が可能な小型波長可変バースト送受信器の試作を行った。図 3.4.2.3-2 に試作結果を示す。このランシーバを用いて、基本特性の評価を整理し、国際標準 G.989.2 で規定されている切替速度クラス 2 (100 μs~25ms) が実現できることを明らかにした。将来的には、BOSA など集積すれば、XFP サイズの実現が可能である。



(1) ONU 用 : C-band DBR タイプ (2) OLT 用 : L-band DFB アレイタイプ

図 3.4.2.3-1 小型波長可変バースト送受信器の試作 (送信可変)

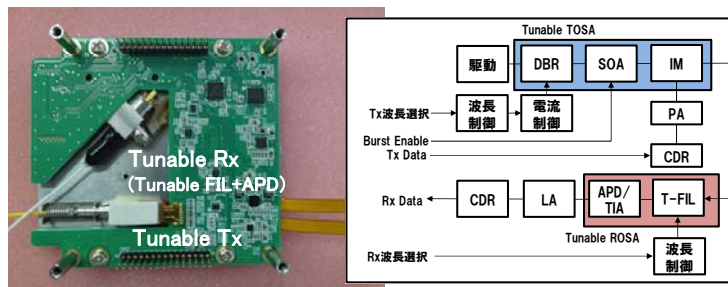


図 3.4.2.3-2 小型波長可変バースト送受信器の試作 (送受信可変)

4 研究開発成果の社会展開のための活動実績

本研究開発成果の社会展開のための活動としては、FSAN (Full Service Access Network : 世界各国の通信事業者及び装置ベンダから構成される光アクセス分野の業界団体) 及び ITU-T (国際電気通信連合電気通信標準化部門) において国際標準化活動を積極的に推進した。各標準化会合では、表 4-1 に示す各種提案を行い (提案寄書数約 50 件)、提案した内容の多くについては勧告文書に採択された (審議中の文書については大筋で合意した)。特に、課題ア-3 の研究開発成果である WDM/TDM-PON における波長切替アルゴリズムについては、共同受託者を含む複数の国内装置ベンダのみならず、北米通信事業者や複数の中国装置ベンダを巻き込んで提案当初から技術議論を主導したことにより大筋合意に導くなど、国産技術の国際標準化に大きく貢献した。

また、本研究開発の成果については、表 4-2 に示す社内展示会 (つくばフォーラム、OKI プレミアムフェア) や外部展示会 (FOE) で積極的に動態展示を行うなど普及活動に努めるとともに、実証実験として、札幌市内でフィールドトライアルを敢行するなど、成果の実用化展開に向けて積極的に活動した。また、国際会議のポストデッドラインペーパーの発表日に合わせて報道発表を行うなど、効果的な宣伝活動を展開した。

表 4-1 本研究開発成果の ITU-T 国際標準への提案内容と審議結果

勧告番号	提案内容および【審議結果】	勧告化状況
G.989.1 改正第一版	(1) 波長切替による OSU スリープ機能【大筋合意】 (2) 波長切替による OSU プロテクション機能【大筋合意】	審議中 (2015 年 7 月コン セント予定)
G.989.2	(3) 波長可変時間クラス【採択】 (4) 上り信号周波数間隔(200GHz)とグリッド【採択】	2014 年 12 月勧告化完了

G.989.3	(5) 波長切替プロトコル及び ONU 状態遷移図【大筋合意】 (6) 波長スweepによるディスカバリ方式【大筋合意】	審議中（2015年7月コン セント予定）
G.9802 (G.multi)	(7) 多波長 PON アーキテクチャ【採択】 (8) 10G-EPON 拡張オプション向け波長切替プロトコル【採択】	2015年4月勧告化完了

表 4-2 本研究開発成果の普及活動実績

展示会名称	展示	活動時期/場所
FOE2013（光通信技術展）	静態	2013年4月/東京ビックサイト
つくばフォーラム 2013	動態	2013年10月/NTT アクセスサービスシステム研究所（つくば）
OKI プレミアムフェア 2013	動態	2013年11月/ウエスティンホテル東京（恵比寿）
FOE2014（光通信技術展）	動態	2014年4月/東京ビックサイト
つくばフォーラム 2014	動態	2014年10月/NTT アクセスサービスシステム研究所（つくば）
OKI プレミアムフェア 2014	動態	2014年11月/ウエスティンホテル東京（恵比寿）
FOE2015（光通信技術展）	動態	2015年4月/東京ビックサイト

5 研究開発成果の社会展開のための計画

本委託研究終了後も、本研究開発成果のタイムリーなアピールのため、主要な光通信関連の国際会議に積極的に投稿を行うとともに、4章で述べた ITU-T 国際標準(G.989 シリーズ)の完成に向けて引き続き貢献を行っていく予定である。具体的には、PtP WDM オーバレイの詳細仕様、波長切替によるプロテクションや省電力機能について、今後審議が本格化する見込みである G.989 シリーズの Amendment へ継続して提案を行う予定である。また、NG-PON2 における ONU 管理・制御仕様についても、今後審議予定の G.988 の Amendment に対して必要に応じて各種仕様の寄書提案を行う（今後の寄書提案予定数 5 件）。

また、NG-PON2 については、北米や欧州の一部のオペレータが、近年積極的に標準化会合にて発言し、各国の装置ベンダによるプロトタイプ学会発表も活発化しているため、OKI を中心に本研究開発終了後も海外市場のマーケティング活動を継続すると共に、年間 2 回程度の社会展開に向けた普及活動を実施予定である。国内市場においては、2020 年東京五輪での新サービス提供、5G モバイル、多チャネル 4K/8K、Wi-Fi アクセスポイント高速化等の将来ネットワークへの適用等、社会展開の市場機会があると考えている。なお、今後さらなるサービス多重の柔軟性向上を目指した「エラスティック光アグリゲーションネットワークの研究開発」（NICT 課題 160）には受託者として継続して携わり、技術を継承し発展させる予定である。

6 査読付き誌上発表論文リスト

[1]吉田智暁 (NTT)、“Recent research progress in λ -tunable WDM/TDM-POM”、ACTA PHOTONICA SINICA Vol.43 Issue.3 0306001-1-030601-8 :

[2]田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“High Output Power and Burst Extinction Ratio λ -Tunable ONU Transmitter Using Burst-Mode Booster SOA for WDM/TDM-PON”、Journal of Optical Communications and Networking Vol.7 No.1 pp1-7 :

[3]金子慎 (NTT)、吉田智暁 (NTT)、古沢聡 (沖電気)、更科昌弘 (沖電気)、玉井秀明 (沖電気)、鈴木祥也 (沖電気)、向島俊明 (沖電気)、木村俊二 (NTT)、吉本直人 (NTT)、“Demonstration of Load-Balancing Operation Based on Hitless Dynamic Wavelength Allocation on Symmetric 40-Gbit/s λ -Tunable WDM/TDM-PON”、Journal of Lightwave Technology Vol.33 No.3 pp645-652 :

[4]金子慎 (NTT)、吉田智暁 (NTT)、古沢聡 (沖電気)、更科昌弘 (沖電気)、玉井秀明 (沖電気)、鈴木祥也 (沖電気)、向島俊明 (沖電気)、木村俊二 (NTT)、吉本直人 (NTT)、“Scalability of a Hitless λ -Tuning Sequence to Upstream Transmission at Dynamic Wavelength Allocation in WDM/TDM-PON”、Journal of Optical Communications and Networking Vol.7 No.3 ppA492-A497

[5]浅香航太 (NTT)、“Consideration of Tunable Components for Next-Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)”、Journal of Lightwave Technology Vol.33 Issue.5 pp1072-1076 :

[6]金子慎、吉田智暁、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“Reliable λ -Tuning OLT-Protection Method Based on Backup-Wavelength Pre-assignment and Discovery Process for Resilient WDM/TDM-PONs”、Journal of Lightwave Technology Vol.33 Issue.8 pp1617-1622 :

(予定) [7]王寛、酒井慈仁、堤卓也、藤原稔久、木村康隆、坂本健、鈴木裕生、寺田純、大高明浩 (NTT)、“First experimental demonstration of dynamic bandwidth allocation for multiple 10G-EPON systems”、Electronics Letters :

7 査読付き口頭発表論文 (印刷物を含む) リスト

[1]金子慎、吉田智暁、玉置真也、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“Ranging Method for λ -Tunable WDM/TDM-PON Achieving Efficient Bandwidth Allocation”、2013 18th OptoElectronics and Communications Conference, paper WP1_1 :

[2]王寛、酒井慈仁、鈴木謙一、吉本直人 (NTT)、“Integrated Dynamic Bandwidth Allocation Considering Overhead in Passive Optical Network”、2013 19th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), pp351 – 355 :

[3]吉田智暁、金子慎、玉置信也、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“An automatic load-balancing DWBA algorithm considering long-time tuning devices for λ -tunable WDM/TDM-POM”、39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), Paper We.2.F.5 :

[4]田口勝久、中村浩崇、浅香航太、中野慎介、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“100-ns λ -selective Burst-Mode Transceiver for 40-km Reach Symmetric 40-Gbit/s WDM/TDM-PON”、39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), Paper Mo.4.F.5 :

- [5]藤原正満、胡間遼、吉本直人 (NTT)、“Burst Frame Power Equalizer by Controlling Gains of Cascaded SOAs for Long-Reach WDM/TDM PON Systems”、39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), Paper Tu.3.F.2 :
- [6]吉田智暁 (NTT)、“Recent research progress in λ -tunable WDM/TDM-POM”、The 11th International Conference on Optical Internet (COIN2013) , Invited Talk 10 :
- [7]金子慎 (NTT) 、吉田智暁 (NTT) 、古沢聡 (沖電気) 、更科昌弘 (沖電気) 、玉井秀明 (沖電気) 、鈴木祥也 (沖電気) 、向島俊明 (沖電気) 、木村俊二 (NTT) 、吉本直人 (NTT)、“First System Demonstration of Hitless λ -Tuning Sequence for Dynamic Wavelength Allocation in WDM/TDM-PON”、Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) 2014, paper W3G.6 :
- [8]田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“High Output Power and Burst Extinction Ratio ONU Using a simple Configuration Booster SOA with Gain Peak Detuning for WDM/TDM-PON”、Optical Fiber Communication and Exposition(OFC)2014, paper W3G.7 :
- [9]金子慎 (NTT) 、吉田智暁 (NTT) 、古沢聡 (沖電気) 、更科昌弘 (沖電気) 、玉井秀明 (沖電気) 、鈴木祥也 (沖電気) 、向島俊明 (沖電気) 、木村俊二 (NTT) 、吉本直人 (NTT)、“First λ -tunable Dynamic Load-Balancing Operation Enhanced by 3-msec Bidirectional Hitless Tuning on Symmetric 40-Gbit/s WDM/TDM-PON”、Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) 2014, paper Th5A.4 :
- [10]金子慎 (NTT) 、吉田智暁 (NTT) 、古沢聡 (沖電気) 、更科昌弘 (沖電気) 、玉井秀明 (沖電気) 、向島俊明 (沖電気) 、木村俊二 (NTT) 、吉本直人 (NTT)、“Hitless λ -tuning demonstration using downstream buffer management in WDM/TDM-PON”、19th Optoelectronics and Communications Conference (OECC), TU3A-1 pp141-143 :
- [11]金子慎、吉田智暁、木村俊二、吉本直人、木村秀明 (NTT)、“Agile OLT-Protection Method Based on Backup Wavelength And Discovery Process for Resilient WDM/TDM-PON”、European Conference on Optical Communications (ECOC) 2014, Paper Tu.1.2.4 :
- [12]浅香航太 (NTT)、“What Will Be Killer Devices and Components for NG-PON2?”、European Conference on Optical Communications (ECOC) 2014, Paper Tu.3.2.1 :
- [13]田口勝久、浅香航太、木村俊二、鈴木謙一、大高明浩 (NTT)、“Burst-Off-Level Power Reduction in λ -Tunable Transmitter Using a Reverse Bias Voltage Controlled Burst-Mode Booster SOA for 256-Split WDM.TDM-PON”、Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) 2015, paper Tu3E.8 :
- [14]藤原正満、胡間遼、田口勝久 (NTT)、“High-Splitting-Ratio WDM/TDM-PONs Using Automatic Gain Controlled SOAs Designed for Central Office Use”、Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2015, paper Tu3E.4 :
- [15]田口勝久 (NTT)、浅香航太 (NTT) 、藤原正満 (NTT) 、金子慎 (NTT) 、吉田智暁 (NTT) 、藤田典一 (沖電気) 、岩村英志 (沖電気) 、鹿嶋正幸 (沖電気) 、古沢聡 (沖電気) 、更科昌弘 (沖電気) 、玉井秀明 (沖電気) 、鈴木祥也 (沖電気) 、向島俊明 (沖電気) 、木村俊二 (NTT) 、鈴木謙一 (NTT) 、大高明浩 (NTT)、“First Field Trial of 40-km Reach and 1024-Split Symmetric-Rate 40-Gbit/s λ -tunable WDM/TDM-PON”、Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2015 Post Deadline Papers, Paper Th5A.6. :

- [16] H.Iwamura, et al, "A Proposal of the Compact Transceiver with High Extinction Capability for WDM/TDM-PON", OECC2013 in Kyoto, Jul.1, 2013
- [17] H.Iwamura, et al, "Demonstration of WDM/TDM-PON Prototype Transceiver Improving Extinction Capability using SOA", ECOC2013 in London, Sep.22, 2013
- [18] M.Sarashina, et al, "First demonstration of a wavelength swept discovery process for l-tunable WDM/TDM-PON system", OFC2014 in San Francisco, Mar.10, 2014
- [19] H.Iwamura, et al, "Power Budget Enhancement of WDM/TDM-PON System Utilizing Compact EDFA and Equalization Technology", ECOC2014, Tu.1.2.1, Sep.2014

8 その他の誌上発表リスト

- [1] 向島俊明、「次世代光アクセス動向と OKI の取り組み」、OKI テクニカルレビュー第 221 号 Vol.80, No.1、2013 年 5 月
- [2] 鹿嶋正幸、他、「高品質・低消費電力光アクセスネットワークを実現する WDM/TDM-PON 用高機能送受信器技術の開発」、OKI テクニカルレビュー第 224 号 Vol.81, No.2、2014 年 10 月

9 口頭発表リスト

- [1] 田口勝久、中村浩崇、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「40-Gbit/s 旧波長可変型 WDM/TDM-PON の実現に向けた 1.5 μ m 帯波長可変バースト送信方式の一検討」、電子情報通信学会 通信方式(CS)研究会 (松山市)
- [2] 中村浩崇、田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「波長可変型 WDM/TDM-PON における BLDD 内蔵光モジュールを用いた低消費電力高速波長選択型バースト送信器」、電子情報通信学会 総合大会 (岐阜市)
- [3] 浅香航太、中村浩崇、田口勝久、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「波長可変型 WDM/TDM-PON における隣接波長チャンネル間クロストークに関する検討」、電子情報通信学会 総合大会 (岐阜市)
- [4] 吉田智暁、金子慎、玉置真也、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「波長可変型 WDM/TDM-PON における動的波長切替方式の提案」、電子情報通信学会 総合大会 (岐阜市)
- [5] 金子慎、吉田智暁、玉置真也、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「広域光集線に向けた波長可変型 WDM/TDM-PON におけるレンジング方式の検討」、電子情報通信学会 総合大会 (岐阜市)
- [6] 氏川裕隆、王寛、木村康隆、吉本直人 (NTT)、「PON 区間特有のオーバーヘッドを考慮した多段帯域割当の提案」、電子情報通信学会 総合大会 (岐阜市)
- [7] 浅香航太、田口勝久、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「WDM/TDM-PON における高速波長選択型バースト受信器の検討」、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)
- [8] 田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「WDM/TDM-PON における高速波長選択型バースト送信器の検討」、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)
- [9] 王寛、酒井慈仁、鈴木謙一、吉本直人 (NTT)、「EPON の上位集線における MPCP オーバーラップ手法」、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)
- [10] 吉田智暁、金子慎、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「波長可変型 WDM/TDM-PON の上り負荷分散動作における DBA パラメータを利用した波長切替判定条件の検討」、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)
- [11] 金子慎、吉田智暁、木村俊二、吉本直人 (NTT)、「波長可変型 WDM/TDM-PON における波長切替開始時刻に関する検討」、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)

- [12]胡間遼、藤原正満、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“長延化 WDM/TDM-PON における光増幅器の配置に関する一検討”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (福岡市)
- [13]田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“WDM/TDM-PON 用高速波長選択型バースト送受信器の提案と動作検証”、電子情報通信学会 光通信システム (OCS) 研究会 (長岡市)
- [14]王寛、酒井慈仁、鈴木謙一、吉本直人 (NTT)、“EPON 上位集線におけるオーバーヘッド重畳手法の提案”、電子情報通信学会 通信方式 (CS) 研究会 (八丈島)
- [15]田口勝久、浅香航太、木村英明、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“バースト制御 SOA を用いた WDM/TDM-PON 用 ONU 送信器”、電子情報通信学会 総合大会 (新潟市)
- [16]王寛、酒井慈仁、鈴木謙一、吉本直人 (NTT)、“EPON 上位集線において帯域利用効率を改善するオーバーラップ手法”、電子情報通信学会 総合大会 (新潟市)
- [17]吉田智暁、金子慎、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“NG-PON2 における運用中の波長切替シーケンスの提案”、電子情報通信学会 総合大会 (新潟市)
- [18]金子慎、吉田智暁、木村俊二、吉本直人 (NTT)、“波長可変型 WDM/TDM-PON における上り無瞬断波長切替に関する検討”、電子情報通信学会 総合大会 (新潟市)
- [19]田口勝久、浅香航太、木村俊二、吉本直人、木村秀明 (NTT)、“ブースタ SOA を用いた WDM/TDM-PON 用高出力光バースト送信器の設計と特性評価”、電子情報通信学会 通信方式(CS)研究会 (種子島)
- [20]吉田智暁、妹尾由美子、金子慎、木村俊二、木村秀明、“波長可変型 WDM/TDM-PON の波長切替とトラフィックモニタによる双方向動的負荷分散方法”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (徳島市) :
- [21]田口勝久、浅香航太、木村俊二、木村秀明、“逆バイアス制御ブースタ SOA を用いた WDM/TDM-PON 用 ONU 送信器のバーストオフレベル特性評価”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (徳島市)
- [22]王寛、酒井慈仁、鈴木謙一、木村秀明、“EPON の上位集線におけるオーバーラップ手法の特性評価”、電子情報通信学会 ソサイエティ大会 (徳島市)
- [23]木村俊二、吉田智暁、“マルチサービス時代に向けた光アクセスネットワークの展望”、フォトニックネットワークシンポジウム 2013 (横須賀市) (2013 年 3 月 12 日) :
- [24]田口勝久、浅香航太、木村俊二、鈴木謙一、大高明浩、“バースト CDR を用いた WDM/TDM-PON 用高速波長選択型 ONU の受信特性評価”、電子情報通信学会 総合大会 (草津市)
- [25] 更科昌弘、他、「波長掃引方式を用いた波長可変型 WDM/TDM-PON におけるリンクアップ時間の検討」、電子情報通信学会 2013 年総合大会 B-8-35、2013 年 3 月
- [26] 岩村英志、他、「波長可変型 WDM/TDM-PON における上りバースト信号の消光特性についての検討」、電子情報通信学会 2013 年総合大会 B-8-41、2013 年 3 月
- [27] 鹿嶋正幸、他、“光プリアンプによる WDM/TDM-PON 用高バジェット送受信器の一検討”、電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会、2013 年 9 月
- [28] 藤田典一、他、“WDM/TDM-PON ONU 用波長可変型光トランシーバ”、電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会、2013 年 9 月
- [29] 岩村英志、他、“WDM/TDM-PON プロトタイプトランシーバの上りバースト信号評価”、電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会、2013 年 9 月
- [30] 古沢聡、他、“波長可変型 WDM/TDM-PON における無瞬断波長切替方式の検討”、電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会、2013 年 9 月

- [31] 鈴木祥也、他、“40 G 級波長可変型 WDM/TDM-PON システムの開発”、電子情報通信学会 2014 年総合大会、2014 年 3 月
- [32] 古沢聡、他、“波長可変型 WDM/TDM-PON 無瞬断波長切替動作の実証”、電子情報通信学会 2014 年総合大会、2014 年 3 月
- [33] 更科昌弘、他、“波長可変型 WDM/TDM-PON における波長掃引ディスカバリの実証”、電子情報通信学会 2014 年総合大会、2014 年 3 月
- [34] 鹿嶋正幸、他、“DFE を用いた WDM/TDM-PON の高バジェット化検討”、電子情報通信学会 2014 年総合大会、2014 年 3 月
- [35] 藤田典一、他、“EDFA による WDM/TDM-PON 用高バジェット送受信器の一検討”、電子情報通信学会 2014 年総合大会、2014 年 3 月
- [36] 岩村英志、他、“WDM/TDM-PON 用光送信器に要求される OOC パワーレベルの検討”、電子情報通信学会 2013 年総合大会、2014 年 3 月
- [37] 岩村英志、他、「小型バースト EDFA を用いた WDM/TDM-PON システムの高バジェット化検討」、信学技報、vol. 114、No. 208、CS2014-53、pp. 73-78、2014 年 9 月
- [38] 鈴木祥也、他、「波長可変型 WDM/TDM-PON OLT における省電力動作検証」、電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会、B-8-1、2014 年 9 月
- [39] 古沢聡、他、「波長可変型 WDM/TDM-PON における 512 台 ONU 接続動作検証」、電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会、B-8-2、2014 年 9 月
- [40] 鹿嶋正幸、他、「バースト EDFA を用いた WDM/TDM-PON 用送受信器の伝送実験」、電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会、B-8-6、2014 年 9 月
- [41] 岩村英志、他、「多分岐化・長延化を実現する波長可変型 WDM/TDM-PON システムの研究開発」、信学技報、vol. 114、No. 403、OCS2014-96、pp. 19-24、2015 年 1 月
- [42] 藤田典一、他、「WDM/TDM-PON ONU 用波長可変 Filter 内蔵光トランシーバの開発」、電子情報通信学会 2015 年総合大会、B-8-61、2015 年 3 月
- [43] 古沢聡、他、「波長可変型 WDM/TDM-PON における映像信号混在時の無瞬断波長切替動作検証」電子情報通信学会 2015 年総合大会、B-8-62、2015 年 3 月

10 出願特許リスト

- [1]酒井慈仁、太田憲行、氏川裕隆、王雲瀚、木村康隆、坂本健 (NTT)、帯域割当方法及び端局装置、日本、2013 年 2 月 26 日
- [2]金子慎、吉田智暁、木村俊二 (NTT)、レンジング方法、日本、2013 年 3 月 4 日
- [3]酒井慈仁、太田憲行、氏川裕隆、王雲瀚、木村康隆、坂本健 (NTT)、帯域割当方法及び端局装置、日本、2013 年 3 月 18 日
- [4]金子慎、吉田智暁、木村俊二 (NTT)、ディスカバリ方法、日本、2013 年 3 月 19 日
- [5]金子慎、吉田智暁、木村俊二 (NTT)、動的波長帯域割当方法及び動的波長帯域割当装置、日本、2013 年 3 月 29 日
- [6]藤原正満、胡間遼 (NTT)、光増幅システム、日本、2013 年 6 月 10 日
- [7]浅香航太、中村浩崇、田口勝久 (NTT)、バースト光信号送信装置及びバースト光信号送信装置の制御方法、日本、2013 年 6 月 27 日

- [8]王寛、太田憲行、坂本健、木村康隆、酒井慈仁、氏川裕隆 (NTT)、端局装置及び帯域割り当て方法、日本、2013年8月21日
- [9]王寛、坂本健、太田憲行、木村康隆、酒井慈仁 (NTT)、複数の通信網を考慮した端局装置及び帯域割り当て方法、日本、2013年8月21日
- [10]金子慎、吉田智暁、木村俊二 (NTT)、光通信装置及び動的波長帯域割当方法、日本、2013年8月30日
- [11]吉田智暁、金子慎、木村俊二 (NTT)、動的波長帯域割当方法、動的波長帯域割当プログラム、動的波長帯域割当記録媒体、加入者収容装置及び受動光通信網システム、日本、2013年9月2日
- [12]田口勝久、浅香航太 (NTT)、波長多重光通信システム、光送信器、及び波長多重光通信方法、日本、2013年12月17日
- [13]金子慎、吉田智暁、木村俊二 (NTT)、波長監視方法、波長監視システム、親ノード及び子ノード、日本、2014年2月12日
- [14]浅香航太、田口勝久 (NTT)、バースト光信号送信装置及びバースト光信号送信装置の制御方法、米国、中国、2014年6月24日
- [15]安永遼真、王寛、氏川裕隆、吉野學、端局装置及び端局装置の受信方法、日本、2015年4月1日
- [16]安永遼真、王寛、氏川裕隆、吉野學、端局装置及び端局装置の受信方法、日本、2015年4月1日
- [17]安永遼真、王寛、氏川裕隆、吉野學、端局装置及び端局装置の受信方法、日本、2015年4月2日
- [18] 更科昌弘「加入者側装置登録方法」、日本、特願 2013-054813、2013/3/18
- [19] 更科昌弘「加入者側装置登録方法及び光ネットワークシステム」、日本、特願 2013-054815、2013/3/18
- [20] 玉井秀明「加入者側装置登録方法及び光ネットワークシステム」、日本、特願 2013-040884、2013/3/1
- [21] 古沢 聡「局側終端装置及び経路切替方法」、日本、特願 2013-180982、2013/9/2
- [22] 小林秀幸「光信号通信装置」、日本、特願 2014-063808、2014/3/26
- [23] 岩村英志「光信号受信装置、及び、光信号受信装置が備える FFE の最適化方法」、日本、特願 2014-063809、2014/3/26
- [24] 更科昌弘「TWDM-PONにおけるディスカバリーゲート受信方法」、日本、特願 2014-63810、2014/3/26
- [25] 更科昌弘「METHOD FOR REGISTERING OPTICAL NETWORK UNIT IN TELECOMMUNICATIONS NETWORK AND OPTICAL NETWORK UNIT THEREFOR」、米国、14/134132、2013/12/20
- [26] 岩村英志「電気分散補償器と、電気分散補償器で用いて好適なタップ係数計算方法」、日本、特願 2014-123253、2014/6/16
- [27] 玉井秀明「局側装置及び局側装置における省電力方法」、日本、特願 2014-123254、2014/6/16
- [28] 玉井秀明「OPTICAL NETWORK UNIT REGISTRATION METHOD AND OPTICAL NETWORK SYSTEM」、米国、14/248053、2014/1/29
- [29] 小林秀幸「OPTICAL COMMUNICATION APPARATUS CONTROLLING RECEIVED OPTICAL INTENSITY WITH GAIN-SWITCHABLE OPTICAL AMPLIFIER」、米国、14/575524、2014/12/20
- [30] 更科昌弘「バースト光送信機」、日本、特願 2015-032204、2015/2/20

1 1 取得特許リスト

- [1]酒井慈仁、太田憲行、氏川裕隆、王雲瀚、木村康隆、坂本健 (NTT)、帯域割当方法及び端局装置、日

- 本、2013年2月26日、2013年9月13日、特許第5364855号
- [2]金子慎、吉田智暁、木村俊二（NTT）、レンジング方法、日本、2013年3月4日、2013年9月13日、特許第5364857号
- [3]金子慎、吉田智暁、木村俊二（NTT）、ディスカバリ方法、日本、2013年3月19日、2014年1月31日、特許第5466319号
- [4]酒井慈仁、太田憲行、氏川裕隆、王雲瀚、木村康隆、坂本健（NTT）、帯域割当方法及び端局装置、日本、2013年3月18日、2014年5月23日、特許第5548289号
- [5]金子慎、吉田智暁、木村俊二（NTT）、動的波長帯域割当方法及び動的波長帯域割当装置、日本、2013年3月29日、2014年6月20日、特許第5563689号
- [6]吉田智暁、金子慎、木村俊二（NTT）、動的波長帯域割当方法、動的波長帯域割当プログラム、動的波長帯域割当記録媒体、加入者收容装置及び受動光通信網システム、日本、2013年9月2日、2014年8月15日、特許第5597759号
- [7]金子慎、吉田智暁、木村俊二（NTT）、光通信装置及び動的波長帯域割当方法、日本、2013年8月30日、2014年10月30日、特許第5639240号
- [8]藤原正満、胡間遼、光増幅システム、日本、2013年6月10日、2014年12月12日、特許第5663629号
- [9] 更科昌弘「加入者側装置登録方法及び光ネットワークシステム」、日本、2013/3/18、2014/2/28、特許第5482931号
- [10] 玉井秀明「加入者側装置登録方法及び光ネットワークシステム」、日本、2013/3/1、2014/6/13、特許第5556921号
- [11] 更科昌弘「加入者側装置登録方法」、日本、2013/3/18、2014/6/27、特許第5565489号
- [12] 古沢 聡「局側終端装置及び経路切替方法」、日本、2013/9/2、2014/10/29、特許第5614482号

1 2 国際標準提案・獲得リスト

- [1]ITU-T SG15 WP1 Q2、Proposal for ONU registration and wavelength tuning functions in MW-PONs with wavelength-splitter-based ODN、2012年9月12日
- [2]ITU-T SG15 WP1 Q2、Logical connectivity of NW-PON with MxN wavelength splitter、2012年10月9日
- [3]FSAN、NTT's answers for operator's CFC、2012年11月30日
- [4]FSAN operator's meeting、NTT's view on TWDM wavelength plan、2013年2月25日
- [5]FSAN operator's meeting、NTT's view on wavelength management requirements、2013年2月25日
- [6] ITU-T SG15 WP1 Q2 Interim meeting、Proposal for a listing of examples of ODNs to extract the resulting logical topologies、2013年2月28日
- [7]FSAN オペレータ会合、NTT's views on operational aspects and wavelength management requirements of NG-PON2、2013年5月20日
- [8]ITU-T SG15/Q2 プレナリ会合、Proposal for Classified Tuning Time in NG-PON2 (G.989.2)、2013年7月5日
- [9]FSAN オペレータ会合、Responses to CFC for Operators、2013年8月26日

- [10]FSAN オペレータ会合、NTT's proposals for NG-PON2 and G.multi、2013年8月26日
- [11]FSAN オペレータ会合、Responses to CFC for Operators、2013年11月4日
- [12]FSAN 全体会合、Proposal for a wavelength tuning sequence in G.989.3 using PLOAM messages、2013年11月5日
- [13]FSAN 全体会合、Gap analysis in a wavelength tuning sequence between NTT's proposal and D85/C267 (ZTE)、2013年11月5日
- [14]ITU-T SG15/Q2 中間会合、Proposal for a wavelength tuning sequence in G.989.3 using PLOAM messages、2013年11月7日
- [15]ITU-T SG15/Q2 中間会合、Proposal of OLT-port sleep using wavelength tuning for G.989.1 Amendment1、2013年11月7日
- [16]ITU-T SG15/Q2 中間会合、Tuning mask of wavelength channel tuning time、2013年11月7日
- [17]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Modified proposal for a wavelength tuning sequence in G.989.3 using PLOAM messages、2013年11月26日
- [18]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Modified proposal for a wavelength tuning sequence in G.989.3 using PLOAM messages (ITU-T format)、2013年11月26日
- [19]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Proposal for US wavelength plan and channel grid for calibrated TWDM ONUs、2013年11月26日
- [20]ITU-T SG15/WP1 プレナリ会合、Re-modified proposal for a wavelength tuning sequence in G.989.3 using PLOAM messages、2013年12月2日
- [21]ITU-T SG15/WP1 プレナリ会合、Proposal for US wavelength plan and channel grid for calibrated TWDM ONUs、2013年12月2日
- [22]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Revised wavelength tuning sequence based on the comments in Geneva meeting、2014年1月14日
- [23]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Proposal for US channel spacing and related specifications for calibrated TWDM ONUs、2014年2月11日
- [24]ITU-T SG15/Q2 G. 989. 2 LC コメント、Comments to G.989.2 LC text 、2014年2月12日
- [25]FSAN オペレータ会合、Responses to CFC for Operators、2014年2月17日
- [26]FSAN 全体会合、TWDM PON Tuning State Machines、2014年2月18日
- [27]ITU-T SG15/Q2 中間会合、State transitions and outputs for Wavelength Tuning、2014年2月20日
- [28]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Revised state transitions and outputs for wavelength tuning in G.989.3、2014年3月6日
- [29]ITU-T SG15/Q2 電話会議、Proposal for individual start count for upstream and upstream in G.989.3、2014年3月6日
- [30]FAN Stuttgart 会合、Responses to CFC for Operators、2014年5月6日
- [31]ITU-T SG15/Q2 電話会議、PtP WDM Tx power, Rx sensitivity and overload values、2014年5月27日
- [32]ITU-T SG5/Q2 中間会合、Proposal for revising ONU state diagram in G.989.3、2014年6月24日

- [33]ITU-T SG5/Q2 中間会合、Proposal for a wavelength tuning description in G.multi main body, Annex A and B、2014年6月24日
- [34]FAN Santa Clara 会合、Responses to CFC for Operators、2014年9月8日
- [35]ITU-T SG5/Q2 中間会合、Proposal for additional description for Type- λ protection in G. 989. 1 Amendment1、2014年9月10日
- [36]ITU-T 中間会合、G. 989. 3 Section 12 draft、2014年11月4日
- [37]ITU-T 中間会合、OLT state machine for Wavelength Tuning、2014年11月4日
- [38]ITU-T 中間会合、Proposal for an additional field in PON-ID (G.989.3)、2015年3月5日
- [39]ITU-T 中間会合、Proposal for upstream channel grid plan in G.989.2 Am1、2015年3月5日
- [40]ITU-T 中間会合、Proposal for flexible wavelength channel pairing in G.989.2 Am1、2015年3月5日
- [41] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Link budget classes for TWDM-PON”, Nov. 28, 2012.
- [42] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Wavelength plan & migration path for TWDM-PON”, Nov. 29, 2012.
- [43] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Wavelength plan for TWDM-PON”, Feb. 26, 2013.
- [44] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “NGPON2 Wavelength Plan”, May.21, 2013
- [45] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Comparison with tuning speed”, May.21, 2013
- [46] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Analysis on Upstream”, May.21, 2013
- [47] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Statistical analysis on the burst extinction ratio requirement”, Aug.27, 2013
- [48] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Proposal on launched optical power when no transmitting”, Nov.5, 2013
- [49] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Proposal on ONU activation”, Nov.5, 2013
- [50] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, “Test results of Out-of-Band Noise Crosstalk”, Feb.18, 2014

1 3 参加国際標準会議リスト

- [1] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 米国 サンタクララ、2012年6月25日～29日
- [2] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 中国 上海、2012年11月27日～30日
- [3] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 中国 福州、2013年2月25日～3月1日
- [4] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 中国 成都、2013年5月20日～24日
- [5] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, ドイツ バードナウハイム、2013年8月26日～30日
- [6] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 中国 上海、2013年11月4日～8日
- [7] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 米国 サンノゼ、2014年2月17日～21日
- [8] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, ドイツ シュツットガルト、2014年5月6日～9日
- [9] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 米国 サンタクララ、2014年9月8日～12日
- [10] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 米国 サンアントニオ、2014年10月28日～30日
- [11] ITU-T/SG15/Q2, FSAN, 米国 ルイスビル、2015年2月2日～6日

1 4 受賞リスト

- [1]吉田智暁(NTT)、Young Engineer Award、The 11th International Conference on Optical Internet (COIN2013)、 “Recent research progress in λ -tunable WDM/TDM-PON”、2013年10月18日～20日

[2]浅香航太 (NTT) 、日本 ITU 協会賞、国際活動奨励賞、功績賞分野、2015 年 5 月 15 日

1 5 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

[1]“世界初、40km の伝送距離、従来の 40 倍の伝送容量、32 倍の収容ユーザ数を実現する広域光アクセス実証実験に成功”、2015 年 3 月 27 日(NTT/OKI 共同)

[2]“Joint development of PON system with enhanced transmission capacity, distance and split ratio using wavelength and time division multiplexing technology”、2015 年 3 月 27 日 (海外向け NTT/OKI 共同)

(2) 報道掲載実績

[1]“OKI/NTT 伝送距離・容量を拡大。WDM 利用した新 PON で 1024 ユーザ収容”、化学工業日報、2015 年 3 月 30 日

[2]“NTT と OKI 新たな PON 技術、世界初で成功”、電経新聞、2015 年 3 月 30 日

[3]“NTT と OKI 波長多重技術で伝送距離などを拡大する PON 技術を共同開発。従来の伝送容量、32 倍の収容ユーザ数を実現”、電波タイムズ、2015 年 4 月 3 日

[4]“光通信機器、インフラ用途を開拓、次世代 40 ギガビット対応品にも力”、2015 年 5 月 14 日

[5]“NTT, Oki jointly develop PON system using WDM/TDM technology”, Telecomopare Aia, 27/3/2015

[6]“NTT and Oki Electric develop new optical access technology”, Market Line, 1/4/2015

[7]“Japan’s NTT and OKI have developed a new optical access system that combines PON with WDM and TDM.”, Cable & Satellite International Magazine, 30/3/2015

[8]“NTT and OKI unveil WDM/TDM-PON technology delivering 40 Gbit/s capacity, 40 km reach”, Optical Networks Daily, 30/3/2015

[9] 日経電子版 (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日

<http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=383362&lindID=1>

[10] 日刊工業新聞 Business Line (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日

<http://www.nikkan.co.jp/newrsls/pdf/20150327-11.pdf>

[11] JCN NEWSWIRE (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日

<http://www.jcnnewswire.com/Article.aspx?artid=21176&sid=3&headline>

[12] ACN NEWSWIRE (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日

<http://www.acnnewswire.com/>

[13] 朝日新聞 DIGITAL (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日

http://www.asahi.com/and_M/information/pressrelease/Cjcn15032721176.html?iref=andM_kijilist

<http://dot.asahi.com/business/pressrelease/2015032700035.html>

[14] CNET Japan (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日

<http://japan.cnet.com/release/30097321/>

[15] ZDNet Japan (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日

<http://japan.zdnet.com/release/30097321/>

[16] Infoseek 楽天ニュース (マイナビニュース より) 2015 年 3 月 27 日

<http://news.infoseek.co.jp/article/20150327jcn21176>

- [17] goo ビジネス EX (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日
<http://bizex.goo.ne.jp/release/detail/747289/>
- [18] excite.ニュース (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日
http://www.excite.co.jp/News/release/20150327/Jcn_21176.html
- [19] AEROPRES (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日
<http://aeropres.net/release/html/16431>
- [20] REGNAS (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日
<http://www.regnas.jp/press/business/article0025531.html>
- [21] ITPro ACTIVE (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日
http://itpro.nikkeibp.co.jp/atclact/activer/nkpr/RSP383362_27032015/
- [22] Security Online News (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日
<http://ssanet.biz/?p=40277>
- [23] JPubb (リリース掲載) 2015 年 3 月 27 日
<http://www.jpubb.com/press/784194/>
- [24] Bloomberg.co.jp (JCN Newswire より) 2015 年 3 月 27 日
<http://www.bloomberg.co.jp/article/2015-03-27/a4DWrg5GM4rI.html>

16 ホームページによる情報提供

- [1] NTT 持株会社ニュースリリース、<http://www.ntt.co.jp/news2015/1503/150327a.html>
- [2] NTT Press Releases、<http://www.ntt.co.jp/news2015/1503e/150327a.html>
- [3] 沖電気プレスリリース 2015、<http://www.oki.com/jp/press/2015/03/z14099.html>
- [4] OKI Press Releases 2015、<http://www.oki.com/en/press/2015/03/z14099e.html>
- [5] 向島俊明、「次世代光アクセス動向と OKI の取り組み」、OKI テクニカルレビュー第 221 号 Vol.80, No.1、2013 年 5 月、https://www.oki.com/jp/otr/2009/n215/pdf/215_r21.pdf
- [6] 鹿嶋正幸、他、「高品質・低消費電力光アクセスネットワークを実現する WDM/TDM-PON 用高機能送受信器技術の開発」、OKI テクニカルレビュー第 224 号 Vol.81, No.2、2014 年 10 月、https://www.oki.com/jp/otr/2014/n224/pdf/224_r17.pdf

研究開発による成果数

	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	5 件 (5 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)	1 2 件 (1 2 件)	7 件 (7 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)	1 件 (0 件)
口 頭 発 表 数	9 件 (0 件)	2 2 件 (0 件)	1 2 件 (0 件)
特 許 出 願 数	8 件 (0 件)	1 3 件 (1 件)	6 件 (2 件)
特 許 取 得 数	5 件 (0 件)	3 件 (0 件)	4 件 (0 件)
国 際 標 準 提 案 数	9 件 (9 件)	3 0 件 (3 0 件)	1 1 件 (1 1 件)
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
受 賞 数	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)
報 道 発 表 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	3 件 (1 件)
報 道 掲 載 数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 4 件 (0 件)

	合計
査読付き誌上発表論文数	6 件 (6 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 9 件 (1 9 件)
その他の誌上発表数	2 件 (0 件)
口 頭 発 表 数	4 3 件 (0 件)
特 許 出 願 数	2 7 件 (3 件)
特 許 取 得 数	1 2 件 (0 件)
国 際 標 準 提 案 数	5 0 件 (5 0 件)
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)
受 賞 数	1 件 (1 件)
報 道 発 表 数	3 件 (1 件)
報 道 掲 載 数	2 4 件 (0 件)