



平成24～26年度

超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発

Ⅰ.アクセスネットワーク高速大容量化・低消費電力化技術

(a)加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術

2015. 10. 7

日本電信電話株式会社, 沖電気工業株式会社

研究代表者 木村 俊二 (NTT)

Agenda

- **課題I (a) の概要**
- **各課題の成果、達成状況**
- **総合システム実証実験の結果**
- **研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み**

I (a) 加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術の概要

FTTH加入者数が2570万を超え、大量に導入された光伝送装置の消費電力低減と保守運用性向上が大きな課題となっている。光アクセスシステムの大容量化と多分岐化により、局内装置数を低減し省電力化を実現するとともに、伝送距離の長延化により局統合を実現することで抜本的に運用コストを低減する技術を開発する。これらによって、より低い消費電力と価格で光アクセスサービスを提供できるので、地球温暖化対策と国民生活の利便性向上に貢献できる。また従来に比べて多くのユーザを収容可能となるため、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収容できる。従って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。さらに、本技術開発の成果をITU-T/IEEEで行われている国際標準化活動に反映することで、国産技術のグローバル展開への足掛かりとする。

課題ア：広域光アクセスシステム構成技術に関する研究開発

課題エ：高機能バースト送受信技術に関する研究開発

10G 級カラーレスONU



WDM/TDM-PON
128×4波長=512分岐以上

光集線装置(周回性
AWG/スプリッタなど)

40G 級OLT

TDM
TDM
TDM
TDM

エッジルータ

将来コア網

光増幅器

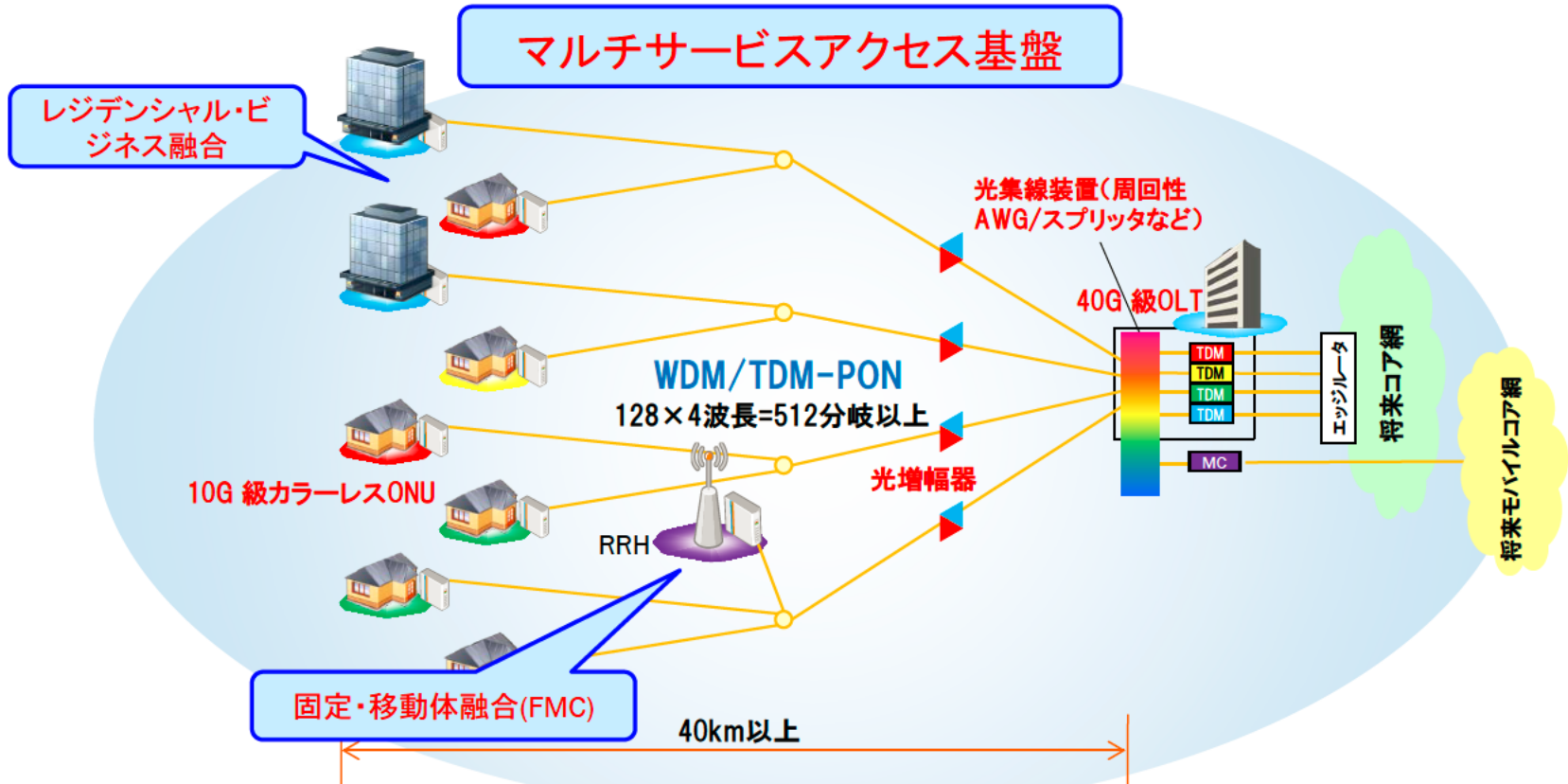
課題イ：光機能部品技術に関する研究開発

課題ウ：大規模メディアアクセス制御技術に関する研究開発

40km以上

I (a) 加入者ネットワーク多分岐化・長延化技術の概要

FTTH加入者数が2570万を超え、大量に導入された光伝送装置の消費電力低減と保守運用性向上が大きな課題となっている。光アクセスシステムの大容量化と多分岐化により、局内装置数を低減し省電力化を実現するとともに、伝送距離の長延化により局統合を実現することで抜本的に運用コストを低減する技術を開発する。これらによって、より低い消費電力と価格で光アクセスサービスを提供できるので、地球温暖化対策と国民生活の利便性向上に貢献できる。また従来に比べて多くのユーザを収容可能となるため、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収容できる。従って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。さらに、本技術開発の成果をITU-T/IEEEで行われている国際標準化活動に反映することで、国産技術のグローバル展開への足掛かりとする。



研究開発スケジュール

- 最終年度は全課題を予定通り完了し、北海道札幌市でフィールド実証実験を実施。
- 目標を上回る40km、1024分岐構成でWDM/TDM-PONシステムの動作を実現。



課題ア-1

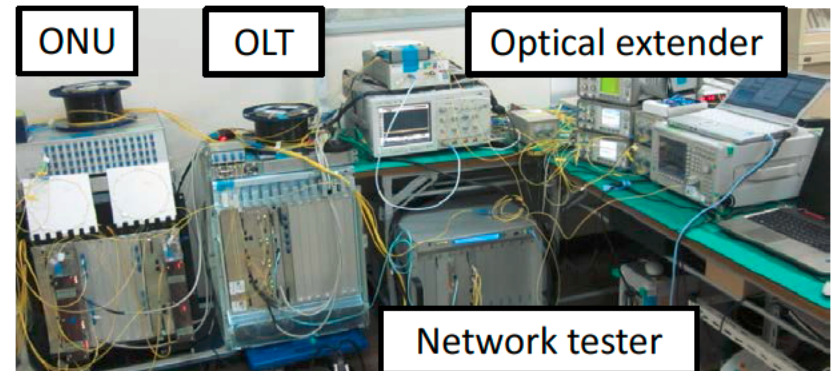
到達目標

伝送システム構成の検討及び基本仕様の明確化、および実証
(1波長あたり10Gbit/s、最大距離40km、ONU最大512台接続、消費電力30%削減
のWDM/TDM-PON方式によるシステム構成を検討、実証する)

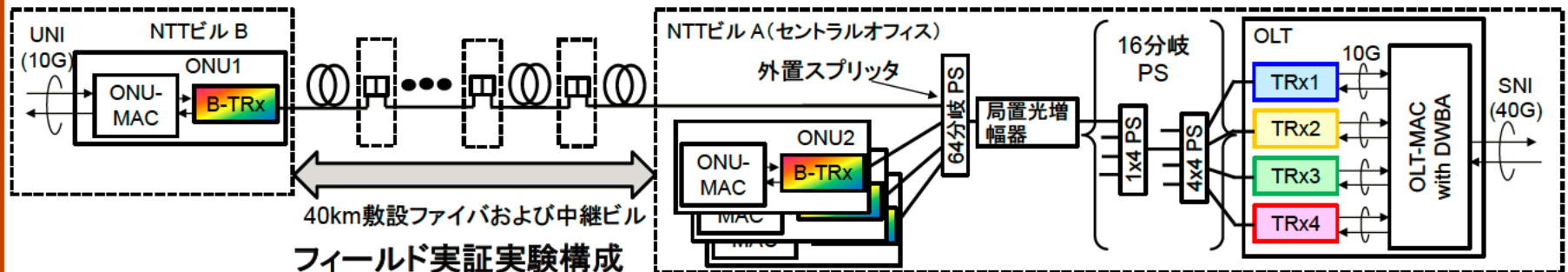
成果、到達度

当初目標を上回る省電力効果を達成(消費電力39%減)

- ①上り下り10Gbit/sの4波長多重し、既存パワースプリッタを用いることができるWDM/TDM-PONを候補に策定。
- ②多分岐長延化したシステムで局集約することにより、局内消費電力を最大39%削減可能と算出(システムのASIC化が前提の机上計算)。OLT/ONUスリープ等と合わせて、**NW全体で35%の削減が可能と算出。**
- ③試作した課題イ～エの成果を結合させ、**フィールド実証実験**を実施。光増幅器の局置構成において、40kmの既設ファイバを用いて、40Gbit/s(従来の40倍)、1024分岐(従来の32分岐から32倍)に**世界で初めて成功**。OFC2015ポस्टデッドラインに採録され、報道発表を実施。



実験の様子



課題ア-2,ウ-1 (上位集線DBA)

到達目標

複数PONを連携して帯域割当する上位集線DBAの技術確立し、上位集線部の所要バッファ量を削減する。

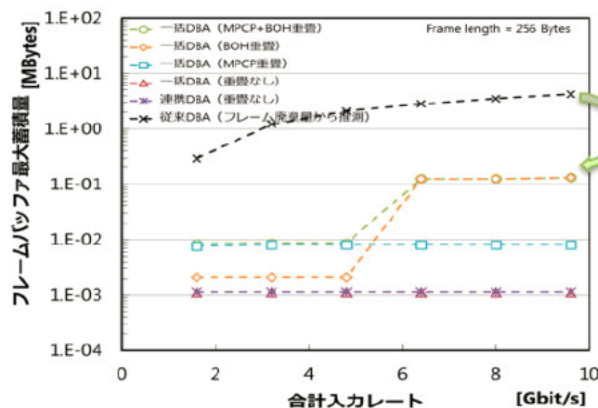
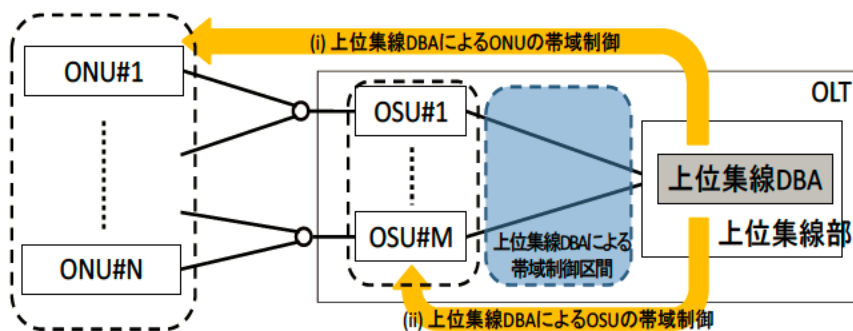
ア-2 上位集線DBAの効率的な処理方法及び要求性能の抽出

ウ-1 上位集線DBA評価ボードの設計、製造、機能実装、および性能評価

成果、到達度

当初目標を達成

- 平成24年度に上位集線DBA評価ボードの仕様確定(課題ア-2)および設計、製造(課題ウ-1)を行い、平成25年度に上位集線DBAの機能を実装し、平成26年度に性能評価を実施した。
- 帯域利用効率を維持しつつ所要バッファ量を削減する上位集線DBAを実装して性能評価し、個別に帯域割当する従来のDBAに比べて、上位集線部の所要バッファ量を32分の1に削減できることを確認した。



課題イ

到達目標

- 高入力ダイナミックレンジ光増幅器により、40km、512分岐のダイナミックレンジを達成する。
- 自動レベル制御回路を付与することで、高入力ダイナミックレンジ化を図る。
 - 将来的な小型化を狙いとし、半導体光増幅器(SOA)をベースとした構成とする。

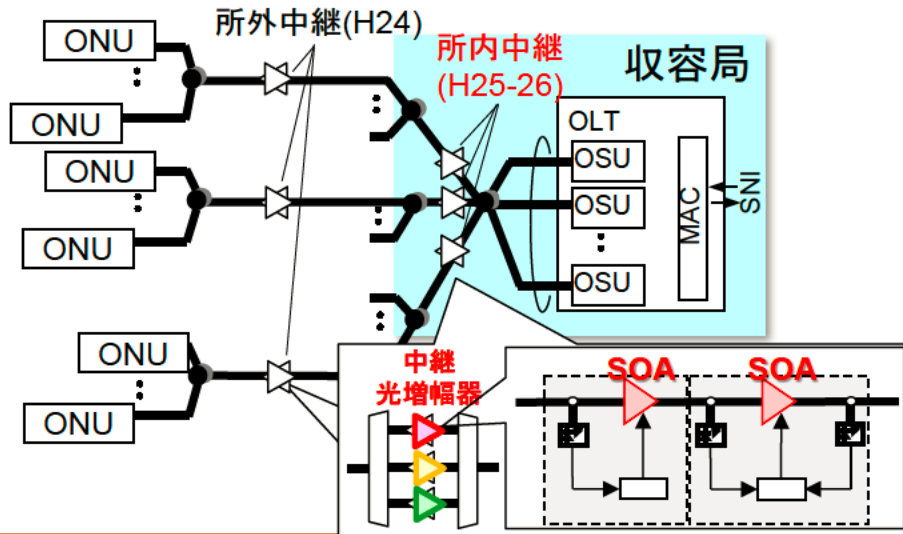
成果、到達度

当初目標の2倍の分岐数(1024分岐)を達成

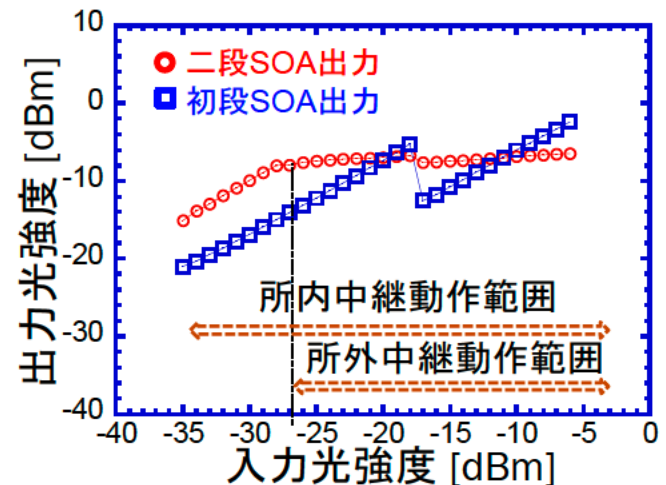
- カスケード接続した2つのSOAの利得を制御することにより、**高出力、広入力動作範囲を実現。**
- 所外中継に加えて、電源供給の容易な**所内中継にも対応可能**とし、光増幅器の配置の自由度を向上。

- 課題エと連携したフィールドでの総合システム実証実験により、**所外中継で40km、512ユーザ収容、所内中継で40km、1024ユーザ収容の実現性を確認。**

■光増幅器の配置



■光増幅器の入出力特性



課題ア-3, ウ-2 (動的波長帯域割当技術)

到達目標

- 課題ア-3 動的波長帯域割当(DWBA)アルゴリズムの方式検討、標準化
- 課題ウ-2 動的波長帯域割当技術(WDM/TDM-PON用MACボード)の実現

成果、到達度

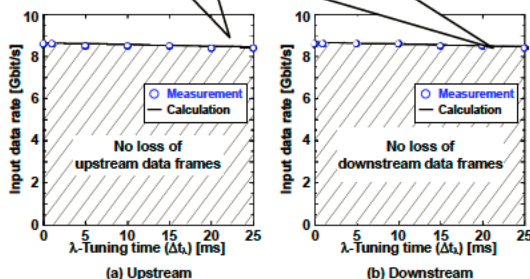
当初目標を達成

課題ア-3

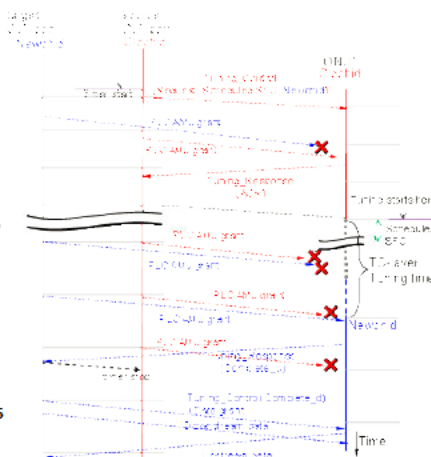
- ONU波長変更プロトコルを策定。MACボード(課題ウ-2), 波長可変トランシーバ(課題エ)を用いたシステム検証により、**双方向フレーム損なしでの波長切替**が行えることを実証。
- 多波長EPON向け、及び、NG-PON2向けの波長変更プロトコルをITU-T標準化へ提案し、採択された。
- OLTポート間でトラフィック負荷を分散する**DWBAアルゴリズム**を策定。システム検証により、OLTがトラフィック状態に応じてONU波長を決定するDWBA動作を実証。

■多波長E-PON向け 波長変更プロトコル検証結果

8Gbpsデータ入力に対して、ONUトランシーバの切替時間25msecまで、上り下りともに切替時のフレーム損無し



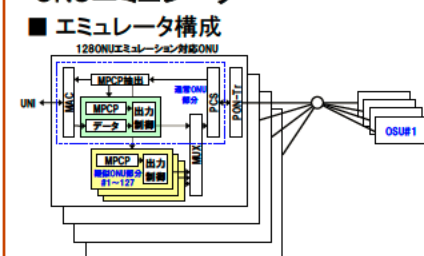
■NG-PON2向け 波長変更プロトコル



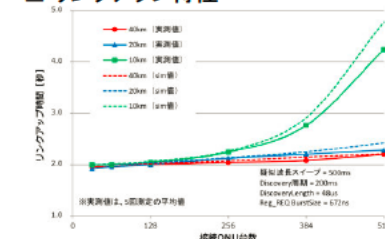
課題ウ-2

- WDM/TDM-PONプロトタイプを完成し、**10Gx4ch、512分岐、40kmでの導通を確認**。
- ONUエミュレータにより、**512台のリンクアップ**を確認。
- OLT省電力機能を実装し、平均16%, 最大33%の省電力効果を確認。
- プロテクション機能**を実装し、「リンク断検出時間+波長スweep時間」での導通復旧を確認。

ONUエミュレータ

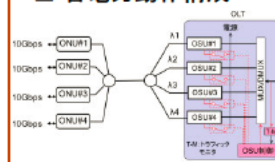


■リンクアップ特性

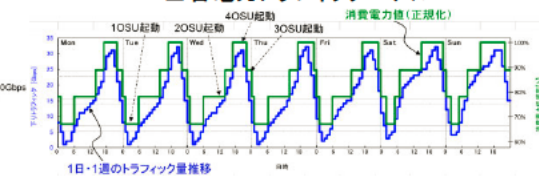


OLT省電力

■省電力動作構成



■省電力トラフィックモデル



課題エ

到達目標

高機能バースト送受信技術の実現

課題エ-1 高速波長可変バースト送受信技術(高ロスバジェット化, 高速波長切替)

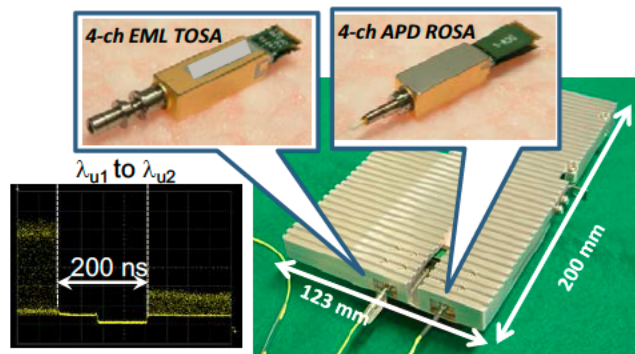
課題エ-2 小型波長可変バースト送受信技術

成果、到達度

当初目標を達成

課題エ-1

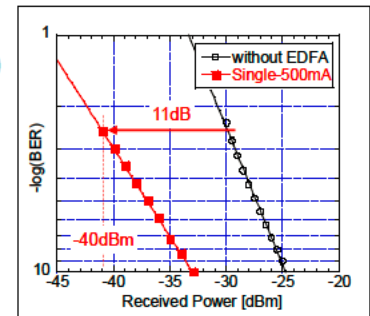
- ・アレイ型送受信器の適用により、トランシーバの小型化、**200 ns以下の高速波長切替**および**G.989.2仕様を200%上回る光出力強度+7.8dBm以上の高ロスバジェット化**を達成。
- ・上記トランシーバを用いて、**512ユーザ・40km・40Gbps伝送実験をフィールド環境において成功。**
- ・世界に先駆けて**G.989.2準拠の信号波長を備える送受信器の開発に成功。**



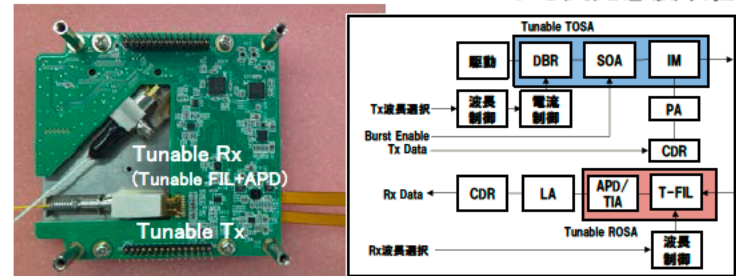
高速波長可変バーストランシーバと波長切替特性

課題エ-2

- ・**512ユーザ/40km/40Gbps伝送実験をフィールド環境において成功。**
- ・OLT用/ONU用共に**小型・経済化**で**G.989.2準拠**を達成。特に、ONUは**クラス2の切替速度(100 μs~25ms)**を達成。
- ・**バースト対応EDFAによる受光感度-40dBmを達成。**



EDFAによる受光感度改善

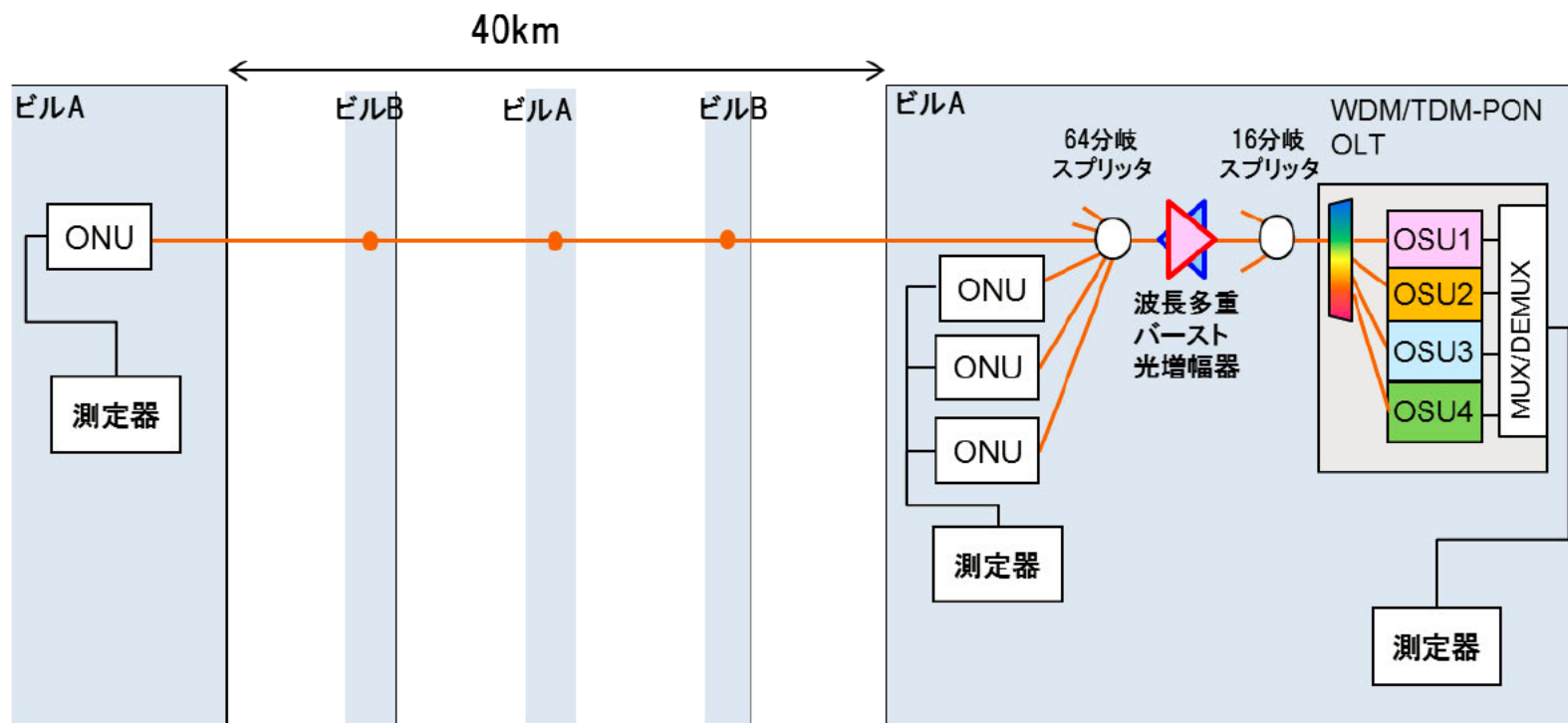


波長可変バースト送受信器(送受信可変)

総合システム実証実験（フィールド検証）の概要

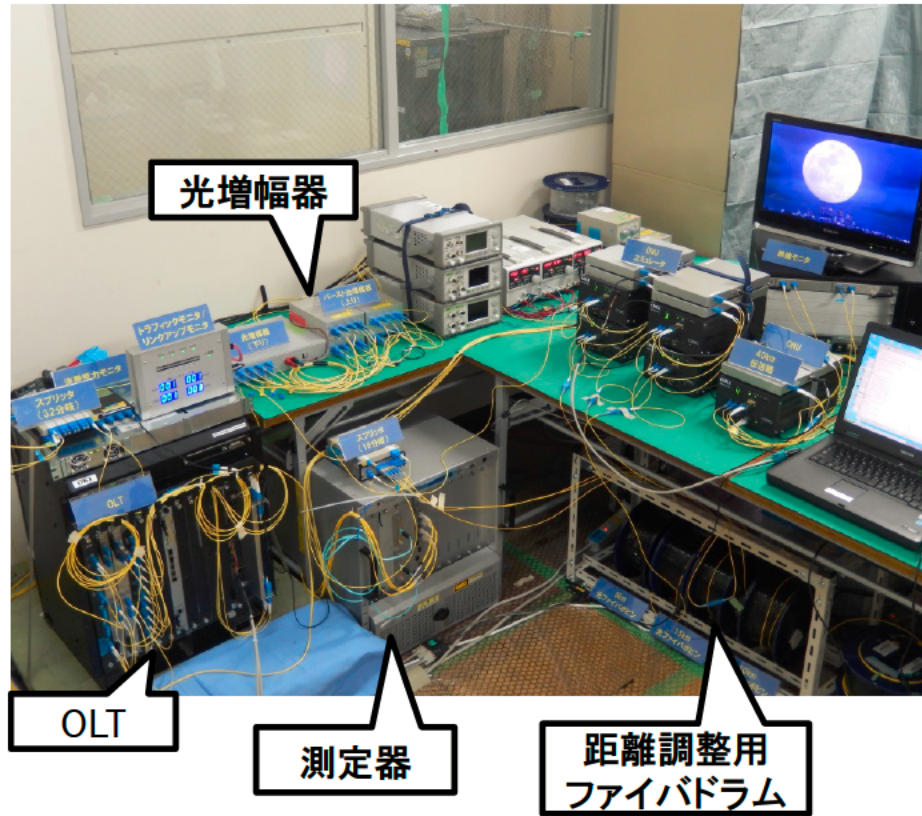
● 時期および場所

✓ 2015年1月26日～3月6日に北海道札幌市にて実施



実験装置の外観

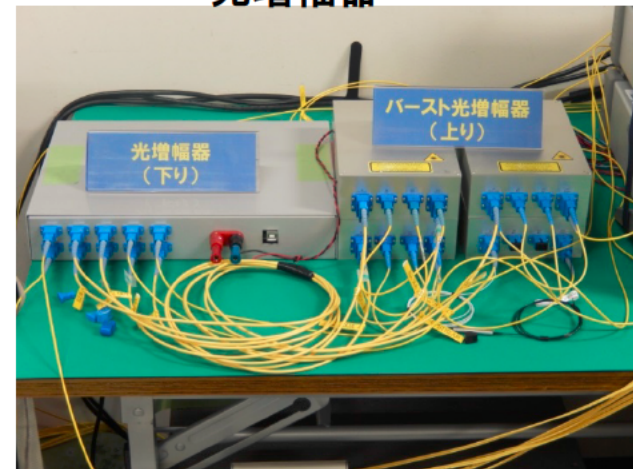
実験全体



ONU

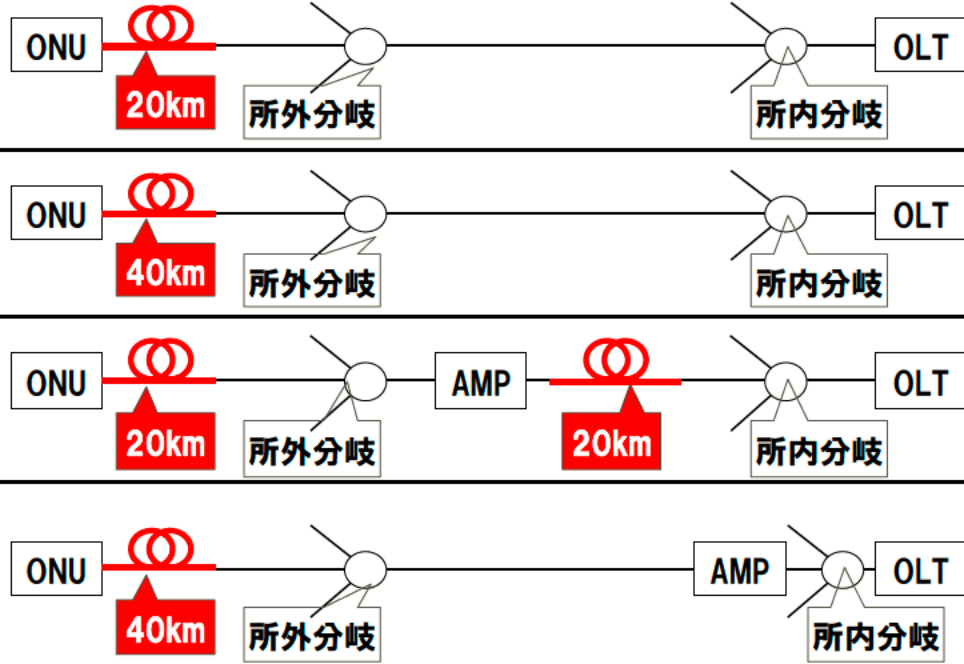


光増幅器



伝送実験パターン

試験構成					検証項目	
アンプ	距離	分岐数		NW構成		
		全体	(所外)		(所内)	
アンプなし (標準構成)	20km	64	8	8	伝送性能	
	40km	32	8	4		
中継アンプ	40km	256	64	4	ロスバジェット 伝送性能	
		512	128			
局置きアンプ	40km	256	64	4	ロスバジェット 伝送性能	
		512				8
		1024				16



赤線：使用した中継ファイバ

検証項目	試験概要
ロスバジェット	局内(OLT~AMP間)、局外(AMP~ONU間)区間の最少受光感度を測定することで、ロスバジェットを評価
伝送性能	4波長すべての上り下り双方向伝送においてフレームロスが発生しないかを評価

伝送性能測定結果

- アンプなし: 標準構成は20km64分岐、40km32分岐成功
- アンプあり: 中継構成は40km512分岐(所外128、所内4分岐)成功
- 局置構成は40km1024分岐(所外64分岐、所内16分岐)成功

試験構成				結果	備考	
アンプ	収容範囲	分岐数			合否判定	アンプ1台あたりのユーザ数
		総合	所外	所内		
アンプなし (標準構成)	0~20km	64	8	8	○	—
	0~40km	32	8	4	○	—
中継 アンプ	20~40km	256	64	4	○	64
		512	128		○	128
		512	64	8	×	64
		1024	128		×	128
局置き アンプ	0~40km	256	64	4	○	64
		512		8	○	64
		1024		16	○	64
		512	128	4	×	128
		1024		8	×	128

【結果の合否判定】

○: 構成実現可能(10¹²ビット相当のフレームを送信し、フレームロス無を確認)

×: 構成実現不可(エラー発生、またはリンクアップ不可)

数値目標に対する目標達成状況

項目	目標性能	実証実験結果	目標達成状況	備考
高速化	10G×4波長WDM、 総帯域40Gbit/s	○	100%	ITU-T G.989物理 層仕様の波長帯
低消費電力	従来システム比3 割以上低減	— (机上計算値を含む)	117%	35%の削減
多分岐化	512分岐	○	200%	1024分岐を達成
長延化	光アンプによる 40km収容	○	100%	
耐災害性	局被災時の光アン プによる20km延長 収容	○	100%	40km、1024分岐収 容可能であること から

報道発表 (2 / 2)

- 掲載サイト一覧(続き)

日経電子版(リリース掲載) <http://release.nikkei.co.jp/detail.cfm?relID=383362&lindID=1>

日刊工業新聞 Business Line(リリース掲載) <http://www.nikkan.co.jp/newrls/pdf/20150327-11.pdf>

JCN NEWSWIRE(リリース掲載) <http://www.jcnnewswire.com/Article.aspx?artid=21176&sid=3&headline>

ACN NEWSWIRE(リリース掲載) <http://www.acnnewswire.com/>

朝日新聞DIGITAL(JCN Newswire より)

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

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

CNET Japan(JCN Newswire より) <http://japan.cnet.com/release/30097321/>

ZDNet Japan(JCN Newswire より) <http://japan.zdnet.com/release/30097321/>

Infoseek楽天ニュース(マイナビニュース より) <http://news.infoseek.co.jp/article/20150327jcn21176>

gooビジネスEX(JCN Newswire より) <http://bizex.goo.ne.jp/release/detail/747289/>

excite.ニュース(JCN Newswire より) http://www.excite.co.jp/News/release/20150327/Jcn_21176.html

AEROPRES(JCN Newswire より) <http://aeropres.net/release/html/16431>

REGNAS(JCN Newswire より) <http://www.regnas.jp/press/business/article0025531.html>

ITPro ACTIVE(リリース掲載) http://itpro.nikkeibp.co.jp/atclact/activer/nkpr/RSP383362_27032015/

Security Online News(リリース掲載) <http://ssanet.biz/?p=40277>

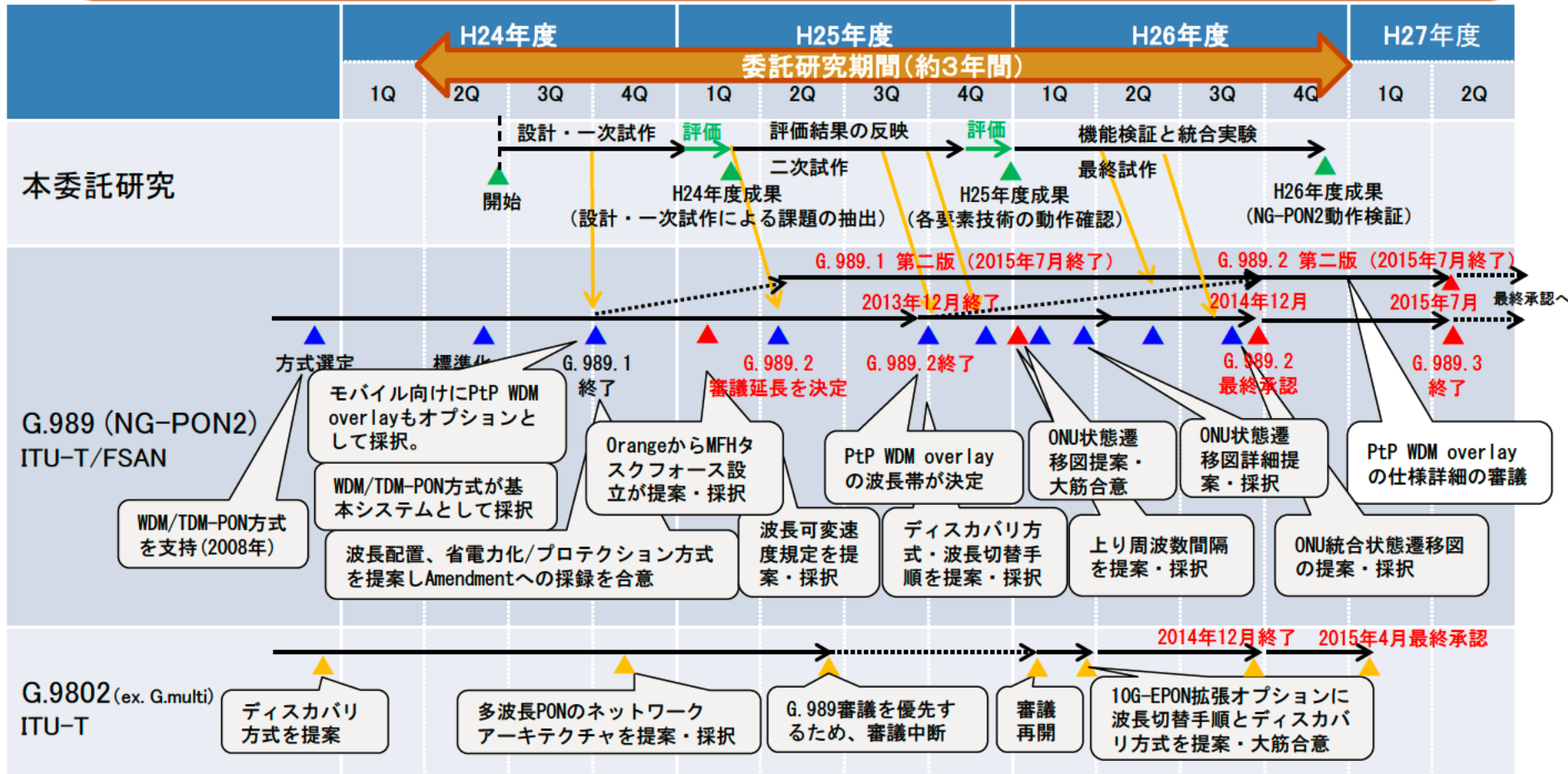
JPubb(リリース掲載) <http://www.jpubb.com/press/784194/>

Bloomberg.co.jp(JCN Newswire より) <http://www.bloomberg.co.jp/article/2015-03-27/a4DWrg5GM4rI.html>

国際標準化活動

市場に先行する国際標準化活動に積極的に参画し、本委託研究成果の技術について各種提案し、標準化採択を達成。→ 国産技術のグローバル展開へ。

- G. 989. 2 (物理層規定) では、波長可変速度クラスおよび上り周波数間隔を提案 (採択)。
- G. 989. 3 (データリンク層規定) では、ディスカバリ方式・波長切替手順・ONU状態遷移図の仕様策定を提案 (採択)。
- G. 9802 (多波長PONの波長管理規定) では、10G-EPONの拡張オプションに波長切替手順等を提案 (採択)。



研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

これまでの取り組み

- FSAN及びITU-Tにおいて国際標準化活動を積極的推進。約50件の寄書提案を行い、内容の多くについて勧告文書に採択された。特に、課題アー3で検討したWDM/TDM-PONにおける波長切替手順(アルゴリズム)については、海外キャリア、ベンダを巻き込んで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。
- 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など)で積極的に動態展示を実施。
- 成果の実用化に向けて札幌市内でフィールド実証実験を行い、その成果を国際会議(OFC2015)にポストデッドラインペーパーとして投稿・採録に導いた。また、発表日に合わせて報道発表を行うなど、成果の国際的なアピールに努めた。

今後の取り組み

- 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予定。
- ITU-T国際標準(G.989シリーズ)の拡充に向けて引き続き貢献を行っていく予定。具体的には、G.989.3(データリンク層規定)の第二版(Amendment)で審議が本格化する見込みのOLT省電力化機能などについて、積極的に審議に参画し、必要に応じて各種提案を行う予定。
- 北米や欧州の一部のオペレータが、近年積極的にNG-PON2標準化会合で発言し、また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成果のプロモーション活動を展開中。
- 今後さらなるサービス多重の柔軟性を向上させるために、「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。

【参考】成果数一覧

	成果数(うち海外) <目標数>				契約終了後
	H24年度	H25年度	H26年度	合計	
査読付き誌上発表論文数	0 (0) <1>	1 (1) <8>	5 (5) <6>	6 (6) <17>	<9>
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 (0) <2>	12 (12) <5>	7 (7) <4>	19 (19) <11>	<0>
その他の誌上発表数	0 (0) <0>	0 (0) <0>	1 (0) <0>	2 (0) <1>	<0>
口頭発表数	9 (0) <7>	22 (0) <9>	12 (0) <7>	43 (0) <23>	<0>
特許出願数	8 (0) <8>	13(1) <7>	6 (2) <4>	27 (3) <19>	<3>
特許取得数	5 (0) <0>	4 (0) <4>	3 (0) <5>	12 (0) <9>	<0>
国際標準化提案数	9 (9) <->	30 (30) <->	11 (11) <->	50 (50) <->	<0>
受賞数	0 (0) <->	1 (1) <->	0 (0) <->	1 (1) <->	<1>
報道発表数	0 (0) <->	0 (0) <0>	3 (1) <1>	3 (1) <2>	<0>
報道掲載数	0 (0) <->	0 (0) <->	24 (0) <->	24 (0) <->	<0>