平成26年度「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」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発予算

◆実施機関　　日本電信電話株式会社（代表研究者）、沖電気工業株式会社、株式会社日立製作所、学校法人慶應義塾
◆研究開発期間　平成24年度から平成28年度（5年間）
◆研究開発予算　総額529百万円（平成26年度106百万円）　※百万円未満切り上げ

2. 研究開発の目標

平成26年度末までにアグリゲーション技術について先行して課題毎に動作検証を行い、その有効性を確認する。また、平成28年度末までにプログラマブルOLTおよびプログラマブルONU装置の試作機を作製し、複数のサービス・QoSの収容および切り換えを実証する。

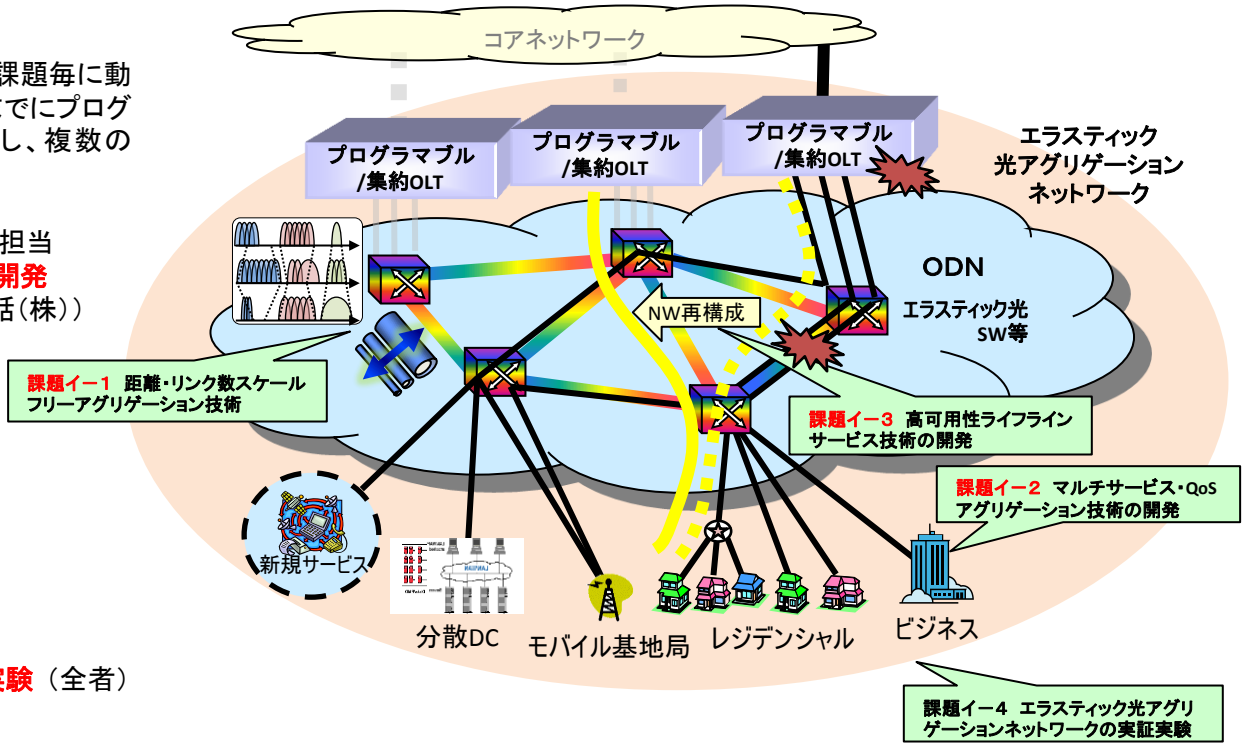
【課題イ：エラスティック光メディアアクセス技術】の研究開発課題と担当

課題イ－1　距離・リンク数スケールフリーアグリゲーション技術の開発
課題イ－1－1：OLT内動的帯域割当機能の高度化（日本電信電話（株））
課題イ－1－2：エラスティック光信号パラメータ制御方式の検討（沖電気工業（株））
課題イ－1－3：エラスティック光メディアアクセス統合リソース制御技術の開発（（株）日立製作所）
課題イ－1－4：OLT間動的帯域割当機能の検討（慶應義塾）

課題イ－2　マルチサービス・QoSアグリゲーション技術の開発
課題イ－2－1：マルチサービス制御方式の検討、および実装（（株）日立製作所）

課題イ－3　高可用性ライフラインサービス技術の開発
課題イ－3－1：高可用アグリゲーション網の構築（慶應義塾）

課題イ－4　エラスティック光アグリゲーションネットワークの実証実験（全者）



3. 研究開発の成果

【イ－1－1】動的帯域割当アルゴリズムをハードウェア実装し、波長可変型WDM/TDM-PONにおいて、波長切替数を抑制する動的負荷分散動作を実現した。
【イ－1－2】下り周波数多重に対応したパラメータ制御方式を策定し、モデルネットワークに適用した場合の利用帯域幅削減効果を検証した。
【イ－1－3】波長可変WDM/TDM-PONにおいて、ONU512台収容条件において、ロス無でのONU8台の同時波長切替動作を実証した。
【イ－1－4】P-OLT数512の環境下で、P-OLTスリープ率の悪化を最適時と比較して1～2%に抑えたまま、計算時間を10μsに低減させるアルゴリズムを開発した。
【イ－2－1】波長可変WDM/TDM-PONにおいて、2種のトポロジーPtP/PtMPの同時収容動作及びPtP/PtMP切替動作を実証した。
【イ－3－1】OLTライブマイグレーションの高速化によりサービス中断時間0.79秒を実現した。4群TDM切替による1024ONUサポートの動作をエミュレータで確認した。
【イ－4】　平成27-28年度実施予定。

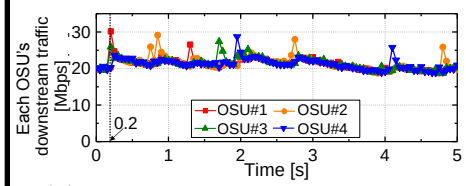
イ-1-1 OLT内動的帯域割当機能の高度化

日本電信電話(株)

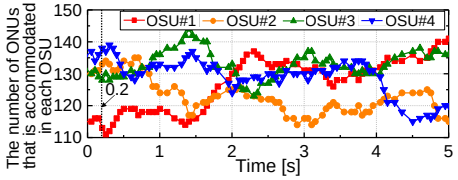
研究開発成果:動的負荷分散動作の実機検証

課題イー1ー3と連携し、動的負荷分散アルゴリズムのハードウェア実装を完了し、波長可変型WDM/TDM-PONを用いた実機検証を行った。

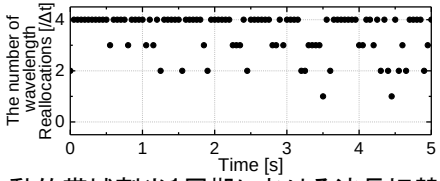
- 5120NUのトラフィック負荷を40SU間で分散する動作をリアルタイムに実現
- 従来のラウンドロビンアルゴリズムに比べて1/125に波長切替数を抑制



(a) 負荷分散時のOSU毎トラフィック



(b) 各OSUへ収容されているONU数



(c) 動的帯域割当1周期における波長切替数

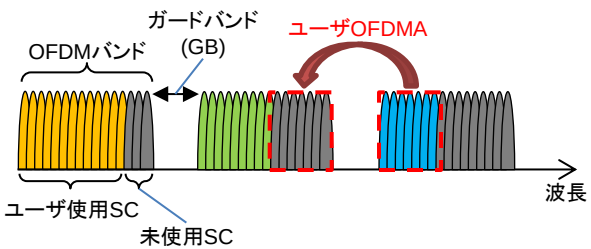
イ-1-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の検討

沖電気工業(株)

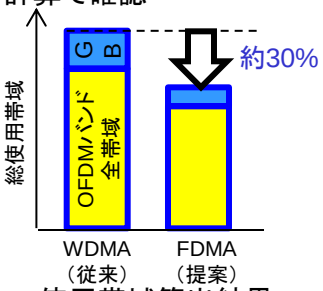
研究開発成果: 下りOFDMAに対応したパラメータ制御方式を策定

波長多重(WDMA)方式をベースとした従来の光信号パラメータ制御アルゴリズムを、より高効率の周波数多重(OFDMA)方式に適用できるよう拡張した。

- 各ユーザの距離・要求帯域・要求品質から多値数、シンボルレート、必要なサブキャリア(SC)数を算出。さらにFDMA可能なユーザの組み合わせを検索し、複数ユーザを同一OFDMバンドにマージ
- 本アルゴリズムをモデルネットワークに適用した場合、従来に比べて約30%の総利用帯域削減効果が期待できることを計算で確認



検討方式の概念説明図



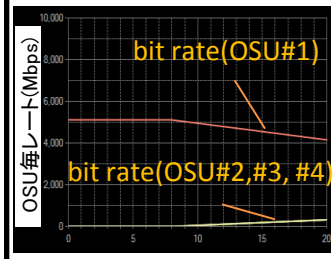
使用帯域算出結果

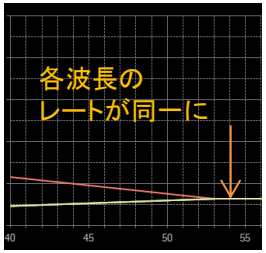
イ-1-3 エラスティック光メディアアクセス統合リソース制御技術の開発

(株)日立製作所

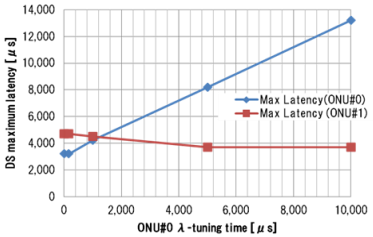
研究開発成果:ONU512台収容でロス無での複数ONU波長切替を実証

- OSUカード (課題イ-2-1)との動作連携による、同時波長切替可能な動的波長制御部を開発
- WDM/TDM-PONシステム向けに課題イ-1-1の動的波長割当(DWA)アルゴリズムを実装し、ONU512台収容、同時波長切替ONU数8台の条件での波長切替動作を実証
- 異なる波長調整時間のONUが混在する環境下において、レイテンシ劣化を抑制した波長切替動作を実証





波長切替動作実証(ONU512台, 同時波長切替ONU数8)



異なる波長調整時間のONU混在下での下りレイテンシ特性

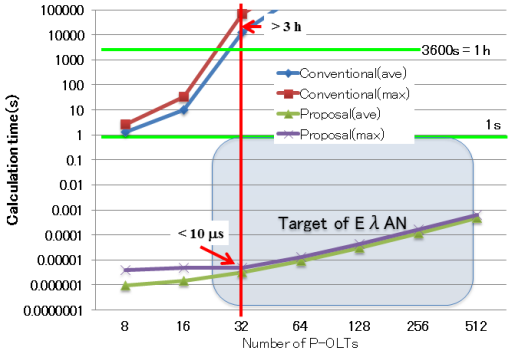
イ-1-4 OLT間動的帯域割り当て機能の検討

慶應義塾

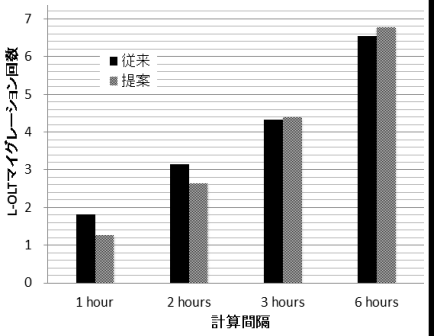
研究開発成果: 計算時間1秒未満を達成する割当アルゴリズムの開発

PtPとPtMP混在のトラヒック状況下での、P-OLTスリープ率最大化とL-OLTマイグレーション数の最小化を目的とする高速割当アルゴリズムを検討した。

- 32 P-OLT時に、ILPによるスリープ率最適化の計算時間3時間を10μsに低減、512 P-OLT時にも 1 ms
- スリープ率悪化を1～2%に抑制したまま、マイグレーション数を最小化



スリープ率最適化の計算時間比較



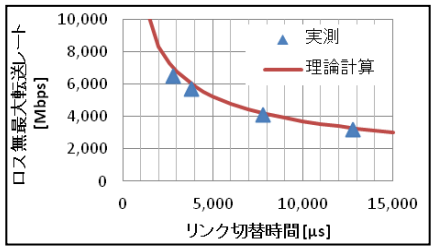
マイグレーション回数比較

イ-2-1 マルチサービス制御方式の検討、および実装

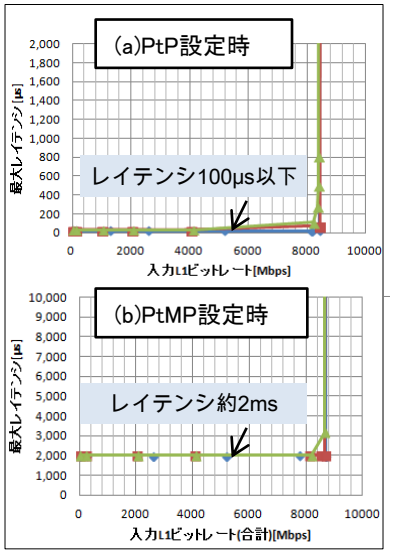
（株）日立製作所

研究開発成果：2種のトポロジーPtP/PtMPの同時収容動作及びPtP/PtMP切替動作を実証

- PtP/PtMPの2種トポロジーに対応した拡張MPCP制御をFPGAに実装
- 実機にてPtP/PtMP混在収容時のディスカバリ動作、PtP/PtMP切替動作、PtP/PtMP同時収容での通信動作を実証
- PtP及びPtMPの各トポロジー設定時にフレームロス無の波長切替実現を実証



PtMP設定で波長切替時での
ONUあたりロス無最大転送レート



各トポロジー設定時の
上りレイテンシ特性

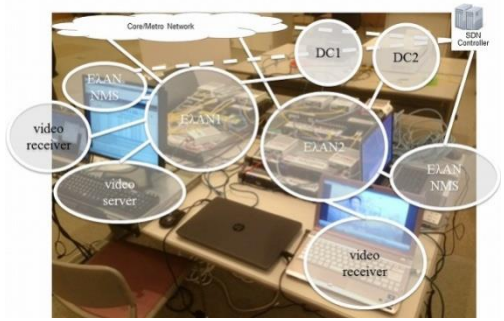
イ-3-1 高可用性ライフラインサービス技術の開発

慶應義塾

研究開発成果： 高速ライブマイグレーションの実現、及び、高可用ライフラインサービスエミュレータの動作確認

トラヒック集約、又は障害発生時でのOLTのライブマイグレーションの詳細仕様に基づく動作の最適化を進めた。また、4群でのTDMAによる高優先サービス救済の仕様設計を行い、ソフトウェアエミュレータにおいてTDMA動作の動作を検証した。

- 実験室環境下で、OLTマイグレーション時間30秒から4.5秒に、サービス中断時間10秒から0.79秒を実現し、国際会議SDN/MPLS2014でデモンストレーション
- ソフトウェアエミュレータ上での伝送レート1Gbps 時の4群切替動作(1024 ONU収容)の動作を確認し、国際会議iPOP2014でデモンストレーション



OLTマイグレーションの公開実験系

iPOP2014での4群切替動作デモ

4. これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

	国内出願	外国出願	研究論文	その他 研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化 提案
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	20 (4)	2 (1)	3 (2)	49 (22)	3 (3)	14 (4)	3 (2)

※成果数は累計件数、(　)内は当該年度の件数です。

（1）光アクセス技術に関する世界最大級の展示会であるつくばフォーラムに、毎年新たな研究開発成果を発表している。

今年度は、つくばフォーラム（2014年10月16-17日）で、動的負荷分散アルゴリズムのパネル展示にて発表（日本電信電話（株））。

（2）通信技術に関する国際的な展示会に継続的に出展して、研究開発成果を発表している。

今年度は、下記展示会等で、研究成果を動態デモンストレーション発表した（慶應義塾大学）。
・国際会議iPOP（2014年5月22-23日）
・国際会議MPLS/SDN（2014年11月3-5日＠ワシントンD.C）
・KEIO TECHNO-MALL（2014年12月5日）

5. 今後の研究開発計画

●課題イー１：ONUに対してサブキャリアと時間スロットを動的に割り当てることで、異なる論理OLTに接続された複数ONU間で割当帯域を均一とするエラスティック動的帯域割当アルゴリズムを策定し、さらに、策定したアルゴリズムの有効性をシミュレーションにより確認する。

●課題イー２：フレーム毎サブキャリア振分技術やサブキャリア毎トラフィック制御技術を開発し、OFDM-PON方式に対応可能なようにMAC機能を拡張する

●課題イー３：高可用ライフラインサービスエミュレータの他課題の成果との連携による完成度向上とシナリオに沿った動作の実現を検証する。

●課題イー４：平成２８年度に予定している最終実証実験に向けて、実施形態の検討および検証項目の策定を行う。