平成25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・研究開発費

●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25年度112百万円）　※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。

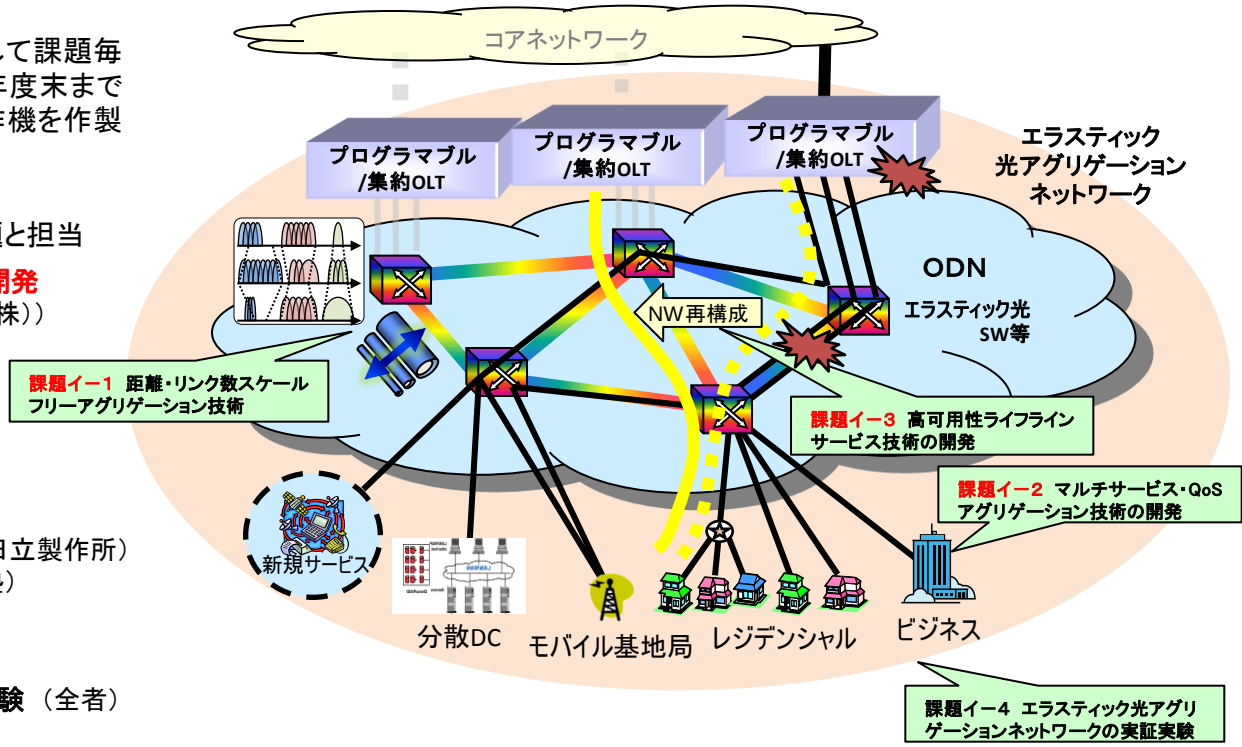
【課題イ：エラスティック光メディアアクセス技術】の研究開発課題と担当

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－2－2：マルチサービス収容アーキテクチャの検討（慶應義塾）

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

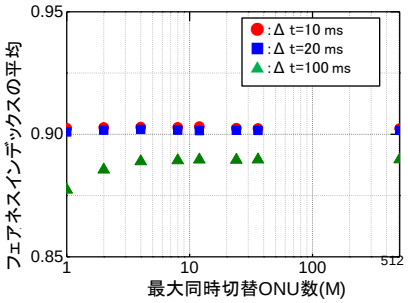
【イ－1－1】 実機で実現可能な動的負荷分散パラメータをシミュレーションにより導出し、検証構成、検証項目を明確化した。
【イ－1－2】 変調多値数およびシンボルレートを伝送距離等に応じて変化させる方式を提案し、変調方式およびシンボルレートの変更基準を明確化した。
【イ－1－3】 波長可変WDM/TDM-PONにおいて、DWA演算処理に基づくONU波長切替機能の設計を完了し、シミュレーションにより動作検証した。
【イ－1－4】 OLT間動的帯域割り当てによる論理OLTのスリープ化率を評価し、論理OLTのスリープ化により消費電力の大幅削減が図れることを確認した。
【イ－2－1】 マルチサービス収容に必要となるOLTとONU間の時刻同期機能と、波長切替のためのOLTとONU間の波長変更シグナリングを動作検証した。
【イ－2－2】 Pseudo Wire over MPLS-TP over (同期) Ethernet 方式に対するOAM管理ポイント、プログラマブルONU制御用通信チャネル実現技術を提案した。
【イ－3－1】 トラヒック集約又は障害発生時に必要となるOLTのマイグレーションを実験システムにより確認し、光アドホックネットワークの基本アーキテクチャを提案した。
【イ－4】 平成26年度及び平成28年度に実施予定

イ-1-1 OLT内動的帯域割当機能の高度化

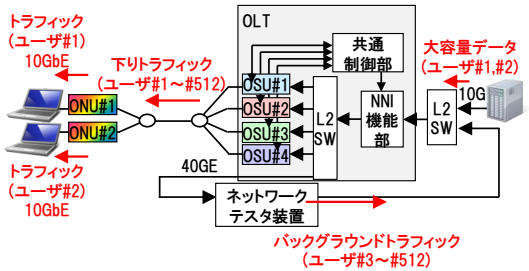
研究開発成果:動的負荷分散パラメータと検証構成の策定

課題イー1ー3と連携した、実機で実現可能な動的負荷分散パラメータと検証構成の策定を狙いとして、以下の検討を行った。

- 実装見込みの計算周期(Δt)をパラメータとして、1周期における最大同時切替ONU数(M)に対する負荷分散効果をシミュレーションにより確認
- 中間検証の構成・検証項目の策定



ΔtとMに対する負荷分散効果



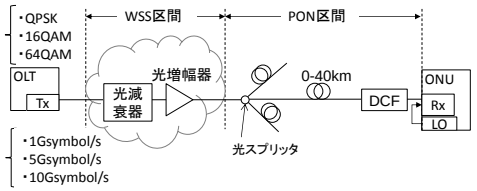
中間検証構成

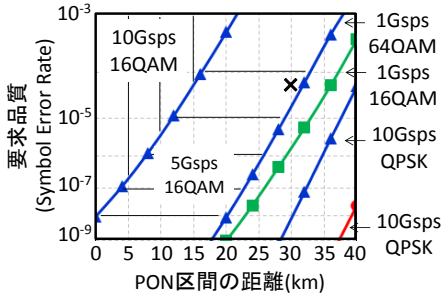
イ-1-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の検討

研究開発成果: 変調方式およびシンボルレートの変更基準を明確化

光信号パラメータ(変調方式およびシンボルレート)を、伝送距離、要求する通信品質(誤り率)およびビットレートに応じて変更する方式を検討した。

- 3種類の変調方式(QPSK、16QAM、64QAM)およびシンボルレート(1G, 5G, 10Gsymbol/s)を選択できる光送受信器を数値モデル化。それぞれの受信感度を算出
- 上記計算結果から、最適な変調方式およびシンボルレートを決定する指標を策定





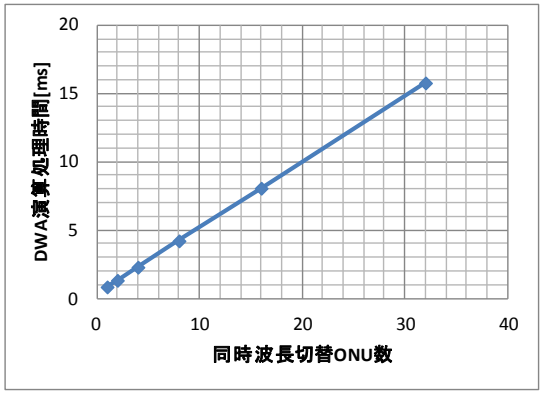
数値モデル(左図)、変調方式およびシンボルレートを決定する指標(右図)

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

研究開発成果: 統合リソース制御部の波長切替制御動作を検証

波長可変WDM/TDM-PONにおいて、DWA演算処理に基づくONU波長切替機能の設計を完了し、シミュレーションにより動作検証した。

- 論理OLT4台からONU512台分の統計情報を取得する機能を論理シミュレーションにより検証
- ONU512台分の送受信波長等のパラメータを論理OLT4台へ設定する機能を論理シミュレーションにより検証
- 動的波長割当(DWA)処理の実現性をシミュレーションで検証。「ONU512台、同時波長切替ONU数16台以下」で処理時間10ms以下を達成



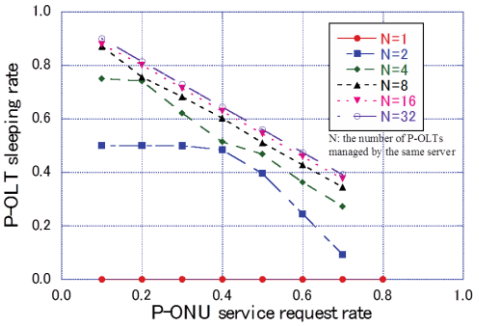
DWA演算処理時間の波長切替ONU数依存性

イ-1-4 OLT間動的帯域割り当て機能の検討

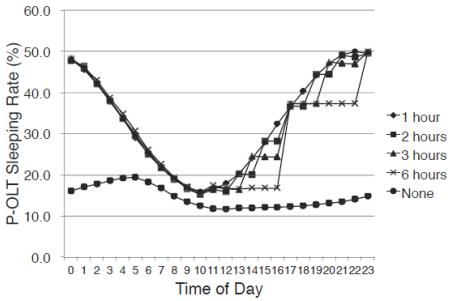
研究開発成果: OLT間動的帯域割り当てによるOLTスリープ率の評価

ネットワークサービスの要求比率及び、1日のトラヒック変動の2項目について、OLT間動的帯域割り当てを実施時のP-OLTのスリープ率を評価した。

- ネットワークサービス要求比率;P-ONUが16台の時、最大約9割のP-OLTをスリープ化可能。
- 1日のトラヒック変動;P-ONUのスリープ率は15%～50%で推移。



サービス要求比率に対するスリープ率



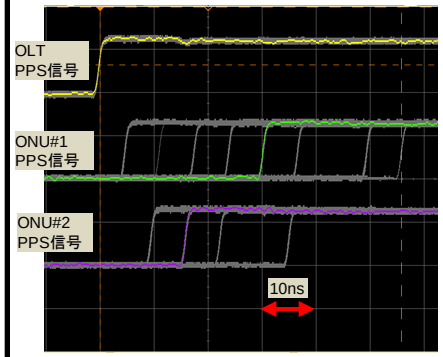
トラヒックの時間変動に対するスリープ率

イ-2-1 マルチサービス制御方式の検討、および実装

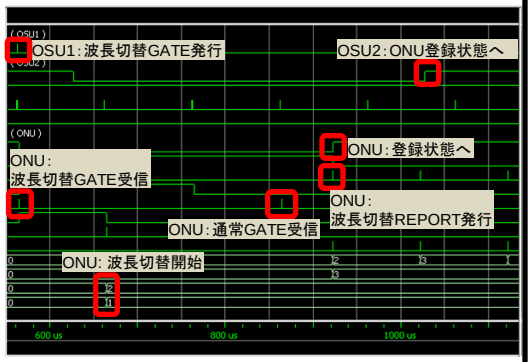
研究開発成果：1μs以内の高精度時刻同期機能、及び、波長変更シグナリング動作を検証

マルチサービス収容に必要となるOLTとONU間の高精度時刻同期機能と、波長切替のためのOLTとONU間の波長変更シグナリングを動作検証した。

- 実機検証により、OLT-ONU間の時刻同期精度1μs以下を達成
- OLTとONU間の波長変更シグナリングによるONU送受信波長切替動作を論理シミュレーションにより検証



時刻同期の実機測定結果



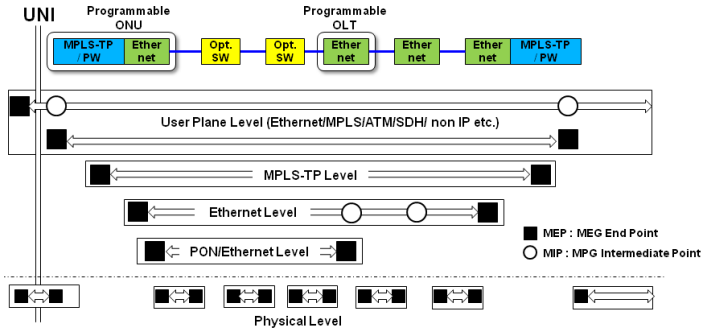
波長切替の論理シミュレーション結果

イ-2-2 マルチサービス収容アーキテクチャの検討

研究開発成果： マルチサービス収容方式とOAM提供方式の確立

IP、Ethernet、MPLS、ATM、SDHといった各種サービスを、Ethernet-PONをベースとしたシステムに収容するためのアーキテクチャやフレームフォーマットを確立した。

- Pseudo Wire over MPLS-TP over (同期) Ethernet 方式に対するOAM管理ポイントを提案。
- プログラマブルONU制御用通信チャネル実現技術を提案。



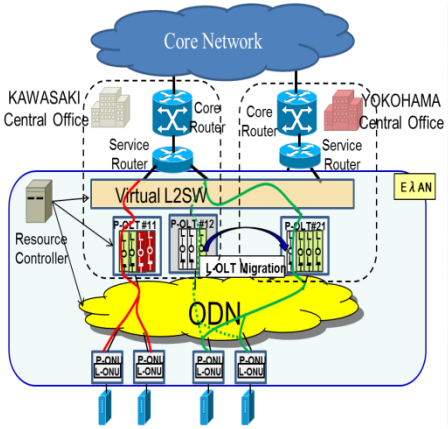
OAM管理ポイント配備

イ-3-1 高可用性ライフラインサービス技術の開発

研究開発成果： 高可用アグリゲーション網のデモシステムでの確認

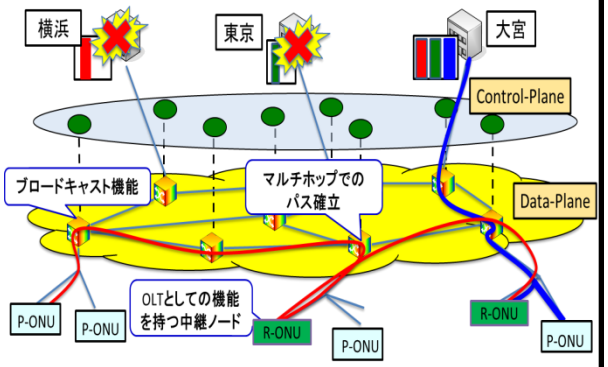
トラヒック集約、又は障害発生時でのOLTのライブマイグレーションの詳細仕様を策定し、動作確認した。また、大規模災害時でのサービス救済方式について基本アーキテクチャを提案した。

- トラヒック集約又は障害発生時のOLTのライブマイグレーションの詳細仕様を策定し、プロトタイプシステムを構築して確認実験。マイグレーション時のサービス停止時間が50ms（PONのプロテクション時間）以内とすることができる見通しを得た。
  - ・MPLS/SDN 2013（ワシントンDC.）にて論理OLT（L-OLT)のマイグレーションの動態展示デモを実施。（2013年11月18日～20日）
  - ・第3回ネットワーク仮想化シンポジウム（東京大学 本郷）にて論理OLT（L-OLT)のマイグレーションの動態展示デモを実施。（2013年9月6日）



論理OLTのマイグレーション概念図

- 大規模災害時使用可能な機器を検出してEλANネットワークを再構築する、光アドホックネットワークの基本アーキテクチャを提案。OLT機能を持つRemote-ONU (R-ONU)を配備し、P-ONUから制御用に割当てた波長を用いたブロードキャーストによりR-ONUを発見し、R-ONU経由でのOLTとの通信ルートを確保。



光アドホックネットワークの構成

4. これまで得られた成果（特許出願や論文発表等） ※成果数は累計件数と（ ）内の当該年度件数です。

	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	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	16 （11）	1 （1）	1 （0）	27 （20）	0 （0）	10 （6）	0 （0）

5. 研究成果発表会等の開催について

・つくばフォーラム（2013年10月17-18日）で、研究成果を発表した（日本電信電話（株））。

下記展示会等で、研究成果を動態（一部ポスターのみ）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（2013年5月30-31日）
・ネットワーク仮想化シンポジウム（2013年9月6日）
・国際会議MPLS/SDN（2013年11月18-20日＠ワシントンD.C）
・けいはんな情報通信シンポジウムオープンラボシンポジウム（2013年12月6日）
・KEIO TECHNO-MALL（2013年12月13日）

6. 今後の研究開発計画

●課題イー１： 実機を用いて、動的帯域割り当て技術の動作確認を行い、入力トラフィックを変更させて、OSU間でのトラフィック負荷の平準化効果について評価する。また、エラスティック光信号制御技術について、詳細仕様を策定する。

●課題イー２： 波長可変WDM/TDM-PONシステムにおいて、OLTが2つ以上のサービス用トラフィックを同時収容できることを実機にて検証する。

●課題イー３： 高可用ライフラインサービスエミュレータを動作させ、簡易実験によりシナリオ通り動作することを検証する。

●課題イー４： WDM/TDM-PON用PMDとプログラマブルPHYを接続し、アグリゲーション機能、プログラマブル機能の一部を先行して検証する。