

λユーティリティ技術の研究開発

(1) 研究の目的

本研究開発においては、「ユビキタス」の理念を実現する ICT の新パラダイムの創生に資するため、2015 年までの実現を目指す「次世代フォトニックネットワーク」に係わる研究開発を行う。具体的には、広域系における、ボーダレス光パス制御管理技術（フォトニックサービスゲートウェイ技術）、高効率リンク伝送技術、光 3R 技術の研究開発を実施する。これにより、異なる LAN（またはドメインなど）に属するユーザ同士が、さまざまな制約から解放され、ネットワークをまたいでいることを意識せず、ストレスなく双方向に超高精細映像などの高速大容量通信を可能とするテラビットクラスの LAN 環境の提供を可能とする技術の確立を目的とする。

(2) 研究期間

平成 18 年度から平成 22 年度（5 年間）

(3) 委託先企業・大学

日本電気（株）＜幹事＞、国立大学法人大阪大学、富士通（株）
三菱電機（株）、沖電気工業（株）

(4) 研究予算（百万円）

平成 18 年度	400（契約金額）
平成 19 年度	399（契約金額）
平成 20 年度	372（契約金額）

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：ボーダレス光パス制御管理技術に関する研究開発

- ア-1. ネットワーク抽象化技術（日本電気株）
- ア-2. ドメイン間障害制御技術（日本電気株）
- ア-3. 集中・分散連携管理技術（日本電気株）
- ア-4. 光パス品質制御技術（日本電気株）

課題イ：高効率リンク伝送技術に関する研究開発

- イ-1. 多値変復調技術
 - イ-1-1. 多値変復調方式設計技術（国立大学法人大阪大学）
 - イ-1-2. 多値変復調光送受信機の構成技術（富士通株）
- イ-2. 高利得・低消費電力 FEC 技術（三菱電機株）

課題ウ：変調フォーマットフリー光 3R 技術に関する研究開発
(沖電気工業株)

(6) 主な研究成果

特許出願： 6 2 件
外部発表： 1 1 5 件

具体的な成果

(a) 課題ア：ボーダレス光パス制御管理技術に関する研究開発
(日本電気株)

- ・ λ アクセスとの連携のためのネットワーク制御インタフェース詳細仕様策定、および初期試作。さらに、ドメイン内情報の秘匿性を考慮したネットワーク抽象化の方式検討完了。
- ・ 複数波長パスを同時に要求された場合のドメイン間冗長パス計算手法検討完了。
- ・ 課題ア - 1、課題ア - 2 で検討した機能を分散型経路計算サーバにより実現するための具体的仕様の明確化、一部試作・評価完了。さらに、試作機の一部接続実験を実施し、課題を抽出。
- ・ 平成 19 年度までに 50Gb/s で基本検討した光信号品質モニタ方式の 100Gb/s において方式を確立。また、課題間接続インタフェースを考慮したモニタ装置試作機の初期設計完了。
- ・ 光ロードバランスに採用する光スイッチ・アーキテクチャの策定、光スイッチ制御部の概要方式仕様策定、および制御動作確認、第一次試作装置のハードウェア詳細仕様検討・設計着手。また、連携動作実験に向けたデータプレーン・インタフェース仕様の検討。

(b) 課題イ：高効率リンク伝送技術に関する研究開発

イ - 1. 多値変復調技術

イ - 1 - 1. 多値変復調方式設計技術 (国立大学法人大阪大学)

- ・ 多値多値変復調方式設計技術について、光増幅器雑音および相互位相変調が R Z 光パルスの位相に及ぼす影響について、摂動法を用いた解析方法を提案し、その有効性を示した。
- ・ OOK-多値 APSK 変調フォーマット変換技術の実証を行った。

イ - 1 - 2. 多値変復調光送受信機の構成技術 (富士通株)

- ・ 平成 19 年度の成果に基づき、多値光送信器、多値光受信器のプロトタイプ設計・試作を完了した。
- ・ 多値光変調器については、偏波多重に適した集積構造を考案し、その有効性を実証した。
- ・ 平成 19 年度に明確化した偏波多重分離回路の要求を鑑み、送信

器側に特別な回路・制御が不要である RF パワーモニタ方式に着目し、基本動作を確認した。また、送信側の変調器のバイアス制御方式の改良案として相関検出法を適用した方式に着目し、検討・提案を行った。

イ - 2. 高利得・低消費電力 FEC 技術（三菱電機株）

- ・ ITU-T で規格化される予定の OTU4V フレームの制約を考慮し、FEC 符号・復号パラメータの LDPC 符号長を 9216、情報長を 7936 とした。
- ・ 32Gs/sample/s 2 ビットの軟判定 LSI 開発に成功した。

(c) 課題ウ：変調フォーマットフリー光 3R 技術に関する研究開発
(沖電気工業株)

- ・ OOK-光 3R 再生器の長期安定動作を実現するため、波長変換部再生性能の偏波依存性を低減し、極めて安定な再生性能を実現した。
- ・ 光論理ゲート部 NOLM における全光変調タイミング揺らぎの影響を軽減、動作安定性の向上を図るとともに、再生性能を大幅に改善した。
- ・ 平成 19 年度に考案した OTDM-PSK 信号のビット間位相検出方式を具現化し、その特性を評価した。
- ・ 位相同期確立後の不安定性を克服するため、光源発振周波数揺らぎに対する光 PLL 回路の追従可能性を検討した。
- ・ 平成 19 年度に 1 次試作した、偏波回転型 NOLM について、160Gbps 信号を用いた動作検証を実施し、所望の変調方式切り替えが可能であること確認した。
- ・ 1 次 PMD 補償器において、出力 SOP 変動を緩和する技術を確立し、平成 19 年度に開発した高精度 1 次 PMD 補償器と商用の偏波安定化装置との併用により、PMD 補償動作に影響されることなく、光 3R 再生器入力として最適な SOP を安定に維持できることを確認した。
- ・ 高精度 1 次 PMD 補償器に偏波面コントローラ、及び偏光ビームスプリッタ (PBS) を接続した簡易な構成の高次 PMD 抑圧器を検討し、装置化を実施した。
- ・ 自律制御型光 3R 再生器の試作を行った。

(d) λ ユーティリティ技術の研究開発 全体

- ・ インタフェース条件書（平成 20 年度版）の作成

(7) 研究開発イメージ図

(研究開発イメージ図は、添付 1 を参照願います。)

「λユーティリティ技術の研究開発」の開発成果について

1. 施策の目標

- 広域系における光パス収容技術(フォトニックサービスゲートウェイ技術)、高効率リンク伝送技術、光3R技術の研究開発を実施し、異なるLAN(またはドメインなど)に属するユーザ同士が、ネットワークを跨いでいることを意識せずにストレスなく双方向に高速大容量通信を可能とするための技術を開発する。

2. 研究開発の背景

- ユビキタス社会のインフラストラクチャーとしてのネットワークは、ユーザがさまざまな制約から解放され、ユーザ主導でストレスなくサービスなどを利用できることが求められている。

3. 研究開発の概要と期待される効果

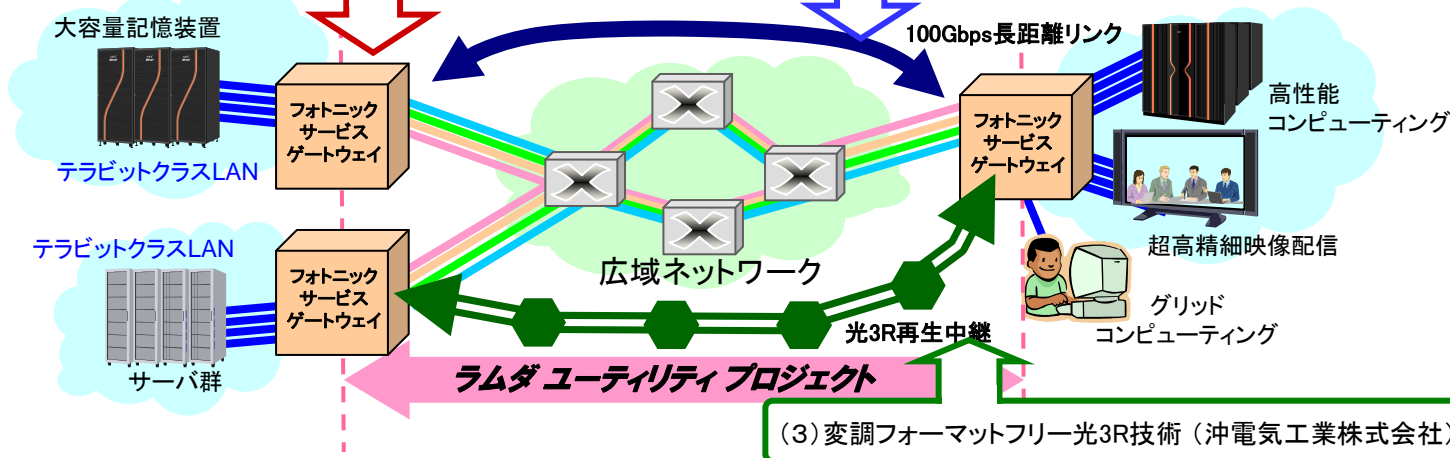
- 広域系における、ボーダレス光パス制御管理技術(フォトニックサービスゲートウェイ技術)、高効率リンク伝送技術、光3R技術の研究開発を実施する。これにより、異なるLAN(またはドメインなど)に属するユーザ同士が、さまざまな制約から解放され、ネットワークをまたいでいることを意識せずに、ストレスなく双方向に超高精細映像などの高速大容量通信を可能とするテラビットクラスのLAN環境の提供を可能とする技術の確立を目的とする。

λユーティリティ技術の研究開発

(1) ボーダレス光パス制御管理技術 (日本電気株式会社)

(2) 高効率リンク伝送技術

- ・多値変復調技術 (国立大学法人大阪大学) (富士通株式会社)
- ・高利得・低消費電力FEC技術 (三菱電機株式会社)



(3) 変調フォーマットフリー光3R技術 (沖電気工業株式会社)

4. 研究開発の期間及び体制

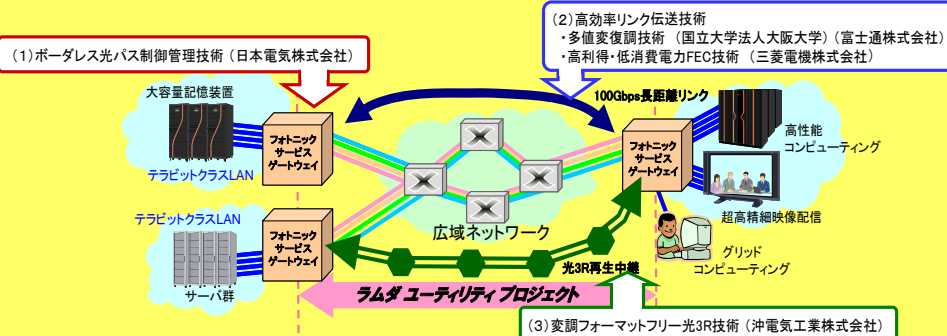
平成18年度～平成22年度(5年間)

NICT委託研究(日本電気株式会社、国立大学法人大阪大学、富士通株式会社、三菱電機株式会社、沖電気工業株式会社)

λユーティリティ技術の主な成果

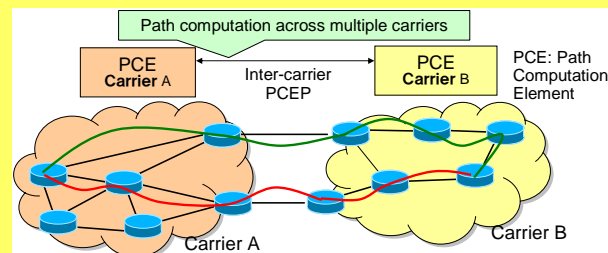
λユーティリティ技術

- 課題ア: ボーダレス光パス制御管理技術(日本電気株)
- 課題: 日本全国規模の広域ネットワーク構造や帯域をユーザに意識させない超広帯域アプリケーション利用環境のための広域網制御管理の実現
- 課題イ: 高効率リンク伝送技術(国立大学法人大阪大学)(富士通株)(三菱電機株)
- 課題: 2015年時点で予想されるトラフィックを無理なく収容する大容量基幹リンクの実現
- 課題ウ: 変調フォーマットフリー光3R技術(沖電気工業株)
- 課題: 大容量基幹リンクにおいて通信距離の制約を解放する再生中継技術の実現



課題ア ボーダレス光パス制御管理技術(日本電気株)

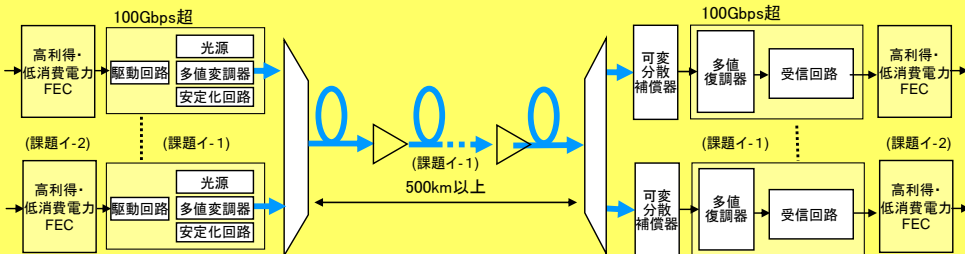
- ドメイン内情報の秘匿性を考慮したネットワーク抽象化の方式検討を行い、経路情報の代わりにPath-keyを使用して情報を交換する方式を用いて、一部試作を行った。
- ドメイン間冗長経路の計算方式を改良し、計算時間を従来の80%以上改善した。
- 最適なドメイン間経路の計算とドメイン内情報の秘匿性確保を可能とする経路計算サーバを開発し、相互接続により基本的な機能および動作の検証を完了した。
- 光パスの品質検出技術の100Gbps光信号への適用性の明確化、課題イ・ウとの相互接続インタフェース仕様の策定を行い、光パス品質モニタ試作機に一部を実装した。
- 光ロードバランスに採用する光スイッチアーキテクチャの選定、光スイッチ制御部の概要方式仕様策定、第一次試作装置のハードウェア詳細仕様検討を行った。



マルチドメインPCEの相互接続概要図

課題イ 高効率リンク伝送技術((国)大阪大学、富士通株、三菱電機株)

- シンボルレート30-32.5Gsymbol/sのDQPSK方式で、偏波多重方式を併用した120-130Gbit/sの多値変復調方式を、実現性を考慮した500kmを超える高効率リンク伝送システムに対して最適な方式として選定した。
- 選定したシステムを実現するための、伝送路構成の詳細設計に向けた解析手法の開発、偏波多重用DQPSK変復調器の制御技術の開発と試作、高利得誤り訂正アルゴリズムの開発と軟判定LSIの試作、動作確認を行った。
- 連携実験に向けたシステムの詳細設計について、課題アも含めた課題イ担当3社で綿密に打ち合わせを行いながら、共同で実施している。

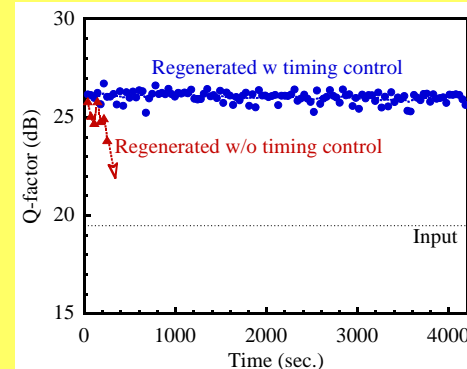


課題ウ 変調フォーマットフリー光3R技術(沖電気工業株)

- OOK-光3R動作の安定化、自律制御化を図り、長期安定動作を実証した
- PSK/OOK変換装置、OOK/PSK再変換が可能な光論理ゲート装置を試作し、PSK-光3R再生に必要な要素技術の基礎開発を完了した。



光3R装置概観

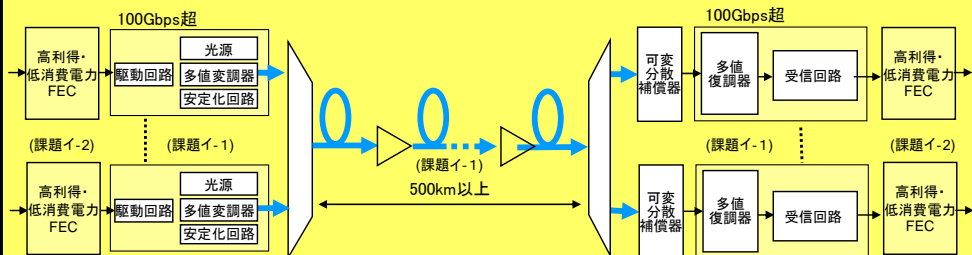


光3R再生の長期安定性

λユーティリティ技術の主な成果

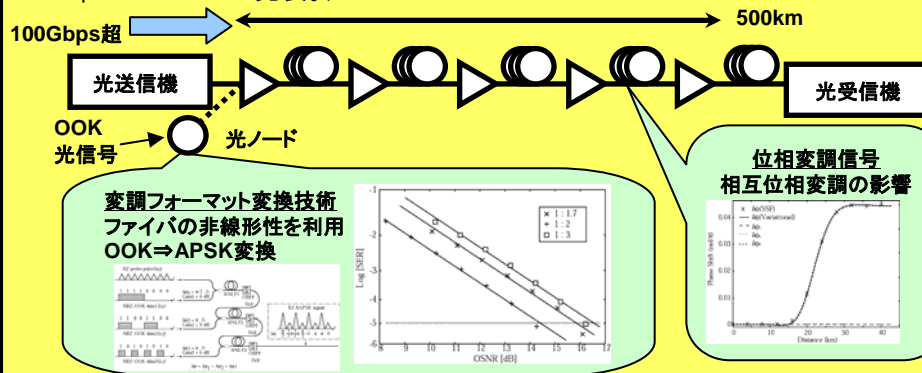
課題イ 高効率リンク伝送技術((国)大阪大学、富士通(株)、三菱電機(株))

- シンボルレート30~32.5Gsymbol/sのDQPSK方式で、偏波多重方式を併用した120~130Gbit/sの多値変復調方式を、実現性を考慮した500kmを超える高効率リンク伝送システムに対して最適な方式として選定した。
- 選定したシステムを実現するための、伝送路構成の詳細設計に向けた解析手法の開発、偏波多重用DQPSK変復調器の制御技術の開発と試作、高利得誤り訂正アルゴリズムの開発と軟判定LSIの試作、動作確認を行った。
- 連携実験に向けたシステムの詳細設計について、課題アも含めた課題イ担当3社で綿密に打ち合わせを行いながら、共同で実施している。



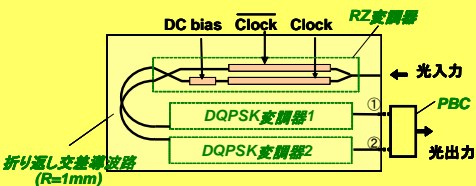
課題イ-1-1 多値変復調方式設計技術((国)大阪大学)

- 多値変復調方式設計技術について、光増幅器雑音および相互位相変調がRZ光パルスの位相に及ぼす影響について、摂動法を用いた解析方法を提案し、その有効性を示した。(学術論文誌Optics Communicationsに採録決定。)
- OOK-多値APSK変調フォーマット変換技術の実証を行った。(IEEE Winter Topicals 2009にて発表。)

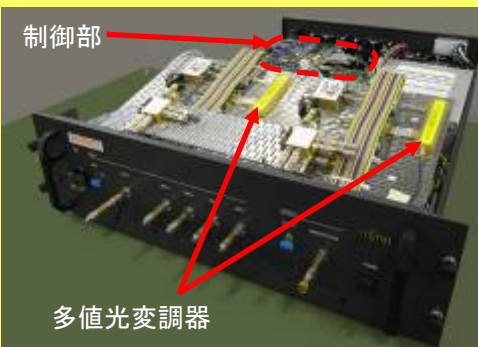


課題イ-1-2 多値変復調光送受信機の構成技術(富士通(株))

- 100Gbps超の多値変復調方式として、偏波多重4値差動位相変調方式を適用することに最終決定した
- 100Gbps超の多値光送受信機プロトタイプを設計・製作し、基本動作を確認した
- 多値光変調器については、偏波多重に適した集積構造を考案し、その有効性を実証した
- 変調器・復調器・偏波分離回路の構成・制御方式について検討し、一層の高性能化の可能性を追求した



試作した多値変調器構成



試作した100Gbps超多値送信器プロトタイプ

課題イ-2: 高利得・低消費電力FEC技術(三菱電機(株))

- 世界最速(32ギガ/秒)の軟判定LSIの開発に成功 (OFC/NFOEC2009発表)
- 目標の9dBを上回る9.4dBの符号化利得のFECアルゴリズムを考案 (OFC/NFOEC2007・08発表)
- ITU-T OTNフレームへの適合考案(OFC/NFOEC2009発表)

開発した軟判定LSI

開発中のFPGAエミュレータ回路



OFC/NFOEC2009で発表



5. これまで得られた成果(特許出願、論文発表等)

	特許出願	論文	研究発表	報道発表
λユーティリティ技術の研究開発	63件	40件	71件	5件

6. 研究成果発表会などの参加について

■ 課題ア ボーダレス光パス制御管理技術(日本電気株式会社)

■ PCE相互接続実験を実施

最適経路を計算するPCE技術を開発し、けいはんなオープンラボにて複数のサーバを連携させるPCE相互接続実験を行った。

- ・2008年1月、基本的な相互接続性の確認。単一ドメインでのPCE基本動作実証。
- ・2008年9月、キャリア間のPCE相互接続による、複数経路の計算手順を確認。

さらに、2008年10月19日～22日にワシントンDCにて開催の国際会議「MPLS2008」で展示を行った。世界に先駆けて複数キャリア間の経路計算サーバ相互接続に成功した。

■ 課題イ 高効率リンク伝送技術

■ 課題イ-1-1 多値変復調方式設計技術(国立大学法人大阪大学)

NRZ-OOK/RZ-QPSK全光変調フォーマット変換の提案と原理確認実験を実施し、2008年3月のOFC/NFOEC2008にて発表した。

■ 課題イ-1-2 多値変復調光送受信機の構成技術(富士通株式会社)

低電圧小型RZ-DQPSK変調器の開発、及び、ディザレス制御方式による高位相安定動作を確認し、2008年11月のNICTフォトニック成果発表会にて発表。

■ 課題イ-2 高利得・低消費電力FEC(三菱電機株式会社)

開発した軟判定LSIの世界最高速(32Gbit/s)動作を確認した。その結果を2008年10月16日、NICTと共同名でプレスリリースした。

■ 課題ウ 変調フォーマットフリー光3R技術(沖電気工業株式会社)

■ 100Gbps超-OOK信号に対応する自律制御型光3R再生技術をほぼ確立した。

2007年12月、フィールド実験(けいはんなオープンラボ)により、160Gbps光3R再生、波形モニタ、PMD補償等の各要素技術の有効性を実証。本成果は、プレスリリース、2008年3月の電子情報通信学会総合大会、2008年9月のECOC2008、及び同10月のAPOC2008(招待講演)にて報告した。

フィールド実験で得られた知見を基に、高次PMD抑圧を含む全次PMD抑圧機能、及び自律制御機能を光3R装置に実装し、自律制御型光3R再生技術をほぼ確立した。高次PMD抑圧技術に関する成果については、2009年3月電子情報学会総合大会にて報告した。