

平成23年度研究開発成果概要書  
「ユニバーサルリンク技術の研究開発」

(1) 研究開発の目的

LAN内又はLANからの100Gbpsイーサネット信号(100GbE)を伝送する省電力パラレルインタフェース(25Gbps×4)用信号変換電気信号処理技術、ならびに、WANにおいて100GbE信号を光ネットワーク(OTN:Optical Transport Network)を介して長距離伝送するためのシリアルインタフェース用デジタル信号波形歪補償技術(光ファイバSMF換算1000km以上の波長分散(0-20000ps/nm)及び、偏波モード分散0-50psをダイナミックに補償)を開発し、100GbE信号をLANからWANまでシームレスに伝送するための電気信号処理基盤技術を確立する。

(2) 研究開発期間

平成20年度から平成23年度(4年間)

(3) 委託先企業

日本電信電話(株)〈幹事〉、(株)日立製作所、三菱電機(株)、富士通(株)、日本電気(株)、NTTコミュニケーションズ(株)

(4) 研究開発予算(百万円)

平成20年度	300(契約金額)
平成21年度	480(〃)
平成22年度	265(〃)
平成23年度	249(〃)

(5) 研究開発課題と担当

課題ア:LAN向け100GbE対応パラレルリンク技術

(株式会社日立製作所)

ア-1 MAC・PCS間省電力・高速MLDインタフェースの開発

ア-2 論理回路機能の開発

ア-3 送受信器機能の試作評価検証

課題イ:WAN向け100GbE信号トランスポート対応デジタル信号波形歪補償処理技術

イ-1 リアルタイムデジタル信号処理アルゴリズム

イ-1-1 直交周波数多重分離信号処理アルゴリズム開発

(日本電信電話株式会社)

- イ-1-2 送信端デジタル信号処理アルゴリズム開発  
(三菱電機株式会社)
- イ-1-3 高安定デジタルコヒーレント検波偏波制御信号処理アルゴリズム開発  
(富士通株式会社)
- イ-1-4 受信端デジタル信号処理アルゴリズム開発  
(日本電気株式会社)

- イ-2 アルゴリズム実証のための回路試作と評価検証
  - イ-2-1 直交周波数多重分離信号処理回路試作と機能実証およびリアルタイム信号処理評価技術  
(日本電信電話株式会社)
  - イ-2-2 送信端デジタル信号処理回路試作と機能実証  
(三菱電機株式会社)
  - イ-2-3 高安定デジタルコヒーレント検波偏波制御信号処理回路試作と機能実証  
(富士通株式会社)
  - イ-2-4 受信端デジタル信号処理回路試作と機能実証  
(日本電気株式会社)
  - イ-2-5 フィールド運用・評価技術  
(NTT コミュニケーションズ株式会社)

課題ウ：研究テーマ全体管理  
(日本電信電話株式会社)

(6) これまで得られた研究開発成果

(全体)314件 (当該年度)70件

特許出願	国内出願	46	9
	外国出願	43	10
外部発表	研究論文	73	16
	その他研究発表	120	26
	プレスリリース	9	3
	展示会	15	6
	標準化提案	8	0

## 具体的な成果

### (1) 100GbE/OTN 信号リアルタイムフィールド実験成功

課題アでは、100Gb イーサネットのユーザデータを 40Gb（及び 10Gb）イーサネットへ速度変換した後、OTN（40G/10Gbps）を経由して伝送するフィールド実験を行った。これにより 100Gb イーサネットのユーザデータを、MLD 速度変換 LSI（10Gbps×10⇔25Gbps×4）や、並列レーン縮退伝送（10Gbps から 100Gbps）による速度変換を行った際にも問題なく送受信できることを実証した。

課題イでは、分散推定技術および(3)の受信端デジタル信号処理動作を検証する回路試作・動作検証をフィールド環境で試験し、当初の性能を検証することができた。具体的には NTT コミュニケーションズの所有する 580km 分散シフトファイバを用いたフィールド環境において、40Gbps 偏波多重 QPSK 符号を用いたデジタルコヒーレント検波を用いたリアルタイム伝送に成功し 50ps 以上の偏波モード分散を有する伝送路において、安定な波長分散推定動作を確認した。（2011 年 11 月報道発表、OFC/NFOEC2012 にて発表）

また JGN-X テストベッドを用いた課題ア及びイの試作回路を連携させた課題間連携実験をおこない、両課題の総合特性を確認した。課題アの速度変換回路により 100Gb イーサネット信号を 40Gb イーサネット信号に変換した試験信号を、課題イの送信端信号処理および受信端信号処理検証回路において 40Gbps OTN 信号にマッピングし、40Gbps 光信号伝送特性を評価した。OTN（レイヤ 1）およびイーサネット（レイヤ 2）両方向における安定な伝送特性を確認できた。40Gbps 偏波多重 QPSK デジタルコヒーレント試験信号による 540km シングルモードファイバ（累積波長分散 10,000ps/nm）における長距離伝送特性を試験し、安定なリアルタイム電気信号処理要素技術の基本動作を確認した。（2012 年電子情報通信学会総合大会にて発表）

### (2) リアルタイム送信端デジタル信号処理技術の確立

送信端デジタル信号処理回路試作と機能実証をおこなうことにより、リアルタイム送信端デジタル信号処理技術を確立することができた。

リアルタイム送信端デジタル信号処理機能設計と、試作した D/A 変換回路の半導体 TEG から得られた設計パラメータを基に、波長分散変動 0～10,000ps/nm による波形歪をリアルタイムに補償する回路を、少なくとも 10Gbps 以上のスループットをもつデジタル信号処理回路として回路試作を完了した。平成 22 年度には送信端デジタル信号処理による大規模波長分散補償アルゴリズムを策定、波長分散変動 0～10,000ps/nm による波形歪をリアルタイムに補償可能なデジタル信号処理回路における多値伝送の送信部実現のキーコンポーネントとして 40G Sample/s 超級 D/A 変換回路を試作・評価し、40G 超スループットを有する波長分散補償用デジタル信号処理回路試作を完了した。これらに関連する研究成果により、2011 年レーザー学会優秀論文発表賞を受賞した。

さらに最終年度には送信端デジタル信号処理回路試作回路の単体評価を終了後、課題アとの課題間接続試験を実施、課題ア装置との連携により、100GbE 信号のエラーフリー伝送を達成した。その後 JGN-X テストベッドを使用して課題間連携実験を実施、課題間の相互接続性確認実験に成功した。

### (3) リアルタイム受信端デジタル信号処理要素技術の確立

10Gbps 超の OTN 信号伝送で課題となる偏波モード分散および波長分散に伴う波形歪を受信端側でリアルタイムに補償する基盤技術を確立し、その動作実証に成功した。

まず、高安定デジタルコヒーレント検波偏波制御信号処理アルゴリズムとして最大 50ps の偏波モード分散 (DGD) および 20kHz 以上の高速偏波変動条件に耐える仕様を策定した (ECOC2010 他にて発表)。開発したアルゴリズムを搭載した 40Gbps のデジタルコヒーレント送受信器でフィールド伝送実験を実施し、DGD 50ps と 25kHz 以上の偏波変動負荷した条件で安定受信を確認した (2012 年電子情報通信学会総合大会にて発表)。

分散歪補償技術については、周波数領域等化方式の 1 種であるオーバーラップ FDE 方式による受信端分散歪補償回路の回路規模を最小化可能な最適オーバーラップサイズ算出手法を確立し、検証用回路による初期実証に成功した (2011 年電子情報通信学会総合大会にて発表)。更に最終年度には、本設計手法に基づいた試作回路により、3,350km の長距離 SMF 伝送路 (スパン長約 80km×40 スパン) において、40Gbps 偏波多重 QPSK 信号に付加された +56,200ps/nm までの波長分散を、劣化無く補償可能であることを実証した (2012 年電子情報通信学会総合大会にて発表)。

## (7) 研究開発イメージ図 別紙参照