

## アクセス技術の研究開発

## (1) 研究の目的

1 波長もしくは複数波長を用いる 100Gb/s 級光アクセス基本技術を確立し、10 地点以上を結んだテラビットクラスの広域 LAN 環境を実証するとともに、国際標準の獲得を目指した提案を行う。

## (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

日本電信電話株式会社<幹事>、日本電気株式会社、国立大学法人東京大学、NTT コミュニケーションズ株式会社、三菱電機株式会社、株式会社日立製作所、株式会社 KDDI 研究所、学校法人慶應義塾

## (4) 研究予算 (百万円)

平成 18 年度	419
平成 19 年度	405
平成 20 年度	380

## (5) 研究開発課題と担当

課題ア：波長多重シームレスアクセス技術

- ア - 1 多波長並列高速伝送技術 (日本電信電話株式会社)
- ア - 2 超高速 MAC 技術 (日本電気株式会社)
- ア - 3 テラビット級 LAN 多重アクセス技術 (東京大学)
- ア - 4 広域アクセスプロトコル技術の開発 (NTT コミュニケーションズ(株))

課題イ：フレーム多重超高速アクセス技術

- イ - 1 超高速フレームアグリゲーション技術 (三菱電機株式会社)
- イ - 2 超高速物理層制御技術 (株式会社日立製作所)
- イ - 3 超高速フレーム伝送技術 (株式会社 KDDI 研究所)
- イ - 4 広域系 LAN シームレスプロトコル技術 (慶應義塾大学)

## (6) 主な研究成果

特許出願： 23件

外部発表： 210件

### 具体的な成果

#### 連携実験

ユーティリティと連携して連携実験の具体的検討を開始、テラビット LAN 連携実験シナリオ第1版(資料3)を成案。5グループ12項目のアドホック活動による、連携にむけた課題間インタフェース条件詳細化に着手。

#### 標準化提案

策定した標準化戦略に沿って ITU-T で提案実績を積み、IEEE で検討が進む 40GbE を光転送網 OTN で運ぶ符号変換方式の国際標準化に成功。

### 課題ア：波長多重シームレスアクセス技術

#### ア - 1 多波長並列高速伝送技術(日本電信電話株式会社)

- ・ MLD 接続ボードへの実装を目指し、APL 検証回路の機能設計を完了。
- ・ T-LAN NIC 制御・監視用デバイスドライバを実装し基本動作を検証。
- ・ T-LAN 検証ボードとバースト送受信検証ボードの接続に必要な接続インタフェース回路を設計・実装し基本動作を検証。
- ・ リミッタアンプモジュールの利得を自動制御もしくは外部設定可能なリミッタアンプ制御回路を設計・実装し基本動作を検証。

#### ア - 2 超高速 MAC 技術(日本電気株式会社)

- ・ 実証検証用 100G プラザブル符号処理ボードをア - 1 と共同試作完了
- ・ 広域 LAN の高効率転送を行うフレーム再送の提案と、シミュレーション解析完了

ア - 3 テラビット級 LAN 多重アクセス技術 (東京大学)

- ・ シミュレーションによる多波長光バーストのスループット評価
- ・ 静的波長資源配分型 280Gbps ハイブリッド交換ノードの検証
- ・ 動的波長資源配分比可変型 400Gbps ハイブリッド交換ノードの検証
- ・ 連携実験に向けたインタフェース検討

ア - 4 広域アクセスプロトコル技術の開発 (NTT コミュニケーションズ (株))

- ・ GMPLS では未対応だが、複数波長インタフェースでは必須となる、複数波長に対応した制御プレーン技術を開発。
- ・ 複数波長対応のユーザ主導型オンデマンドパス制御技術のプロトタイプを試作し、動作を確認。

課題イ：フレーム多重超高速アクセス技術

イ - 1 超高速フレームアグリゲーション技術 (三菱電機株式会社)

- ・ 入力回線数が多くても高速にフレーム多重可能な DS-SWFQe 方式を考案し、シミュレーションにより性能を検証。
- ・ Ethernet OAM を用いてプロビジョニング、高信頼化制御を行う方式を考案。

イ - 2 超高速物理層制御技術 (株式会社日立製作所)

- ・ 物理層制御回路 (100Gbps 動作版) の主信号関連機能の RTL 論理記述と動作検証を完了。
- ・ 課題間共通インタフェース (100Gbps 動作版) の RTL 論理記述と動作検証を完了。
- ・ 100Gbps 級プロトシステムの試作と、同システム上での物理層制御回路及び課題間共通インタフェース回路の 100Gbps 動作検証を完了。

イ - 3 超高速フレーム伝送技術 (株式会社 KDDI 研究所)

- ・ 現状技術をベースに早期に単一波長 100Gbps クラス光信号の 40km 伝送を実現するための方式として DQPSK 方式を選択し、100Gbps 受信部の試作を完了。
- ・ 100Gbps クラス伝送のさらなる簡略化の可能性を有する光 OFDM 方式について、マルチバンド化による 100Gbps 伝送の実現性向上、および、IQ インバランスの対処法の有効性について確認。
- ・ 光 OFDM を用いて高速光信号伝送では世界最高となる 7.0bps/Hz 以上の周波数利用効率を達成。

イ - 4 広域系-LAN シームレスプロトコル技術 (慶應義塾大学)

- OAM 的な共通アーキテクチャ仕様書案に基づいた高速故障救済機構の動作確認(H20 年度)
- ユーザサービス・アプリケーション要求書(H18 年度版、H19 年度版、H20 年度版)の作成
- H19 年度に開発した GMPLS VLAN 制御システムソフトウェアの NTT-AT 社からの製品化
- GMPLS VLAN 制御システムを利用した大規模イーサネット仮想専用線ネットワークの自動接続に成功(H20 年度)
- キャリアグレード制御チャネルの実証(H20 年度)
- 次世代レイヤ 2 網コアスイッチエミュレータの開発と基本機能の確認(H20 年度)

## (7) 研究開発イメージ図

### 「アクセス技術の研究開発」の開発成果について

#### 1. 施策の目標

・2010年度までに100Gbps級の光アクセス基本技術を確認するとともに、波長多重シームレスアクセス技術やフレーム多重超高速アクセス技術の確立(2020年度以降)に資する要素技術を提供する。

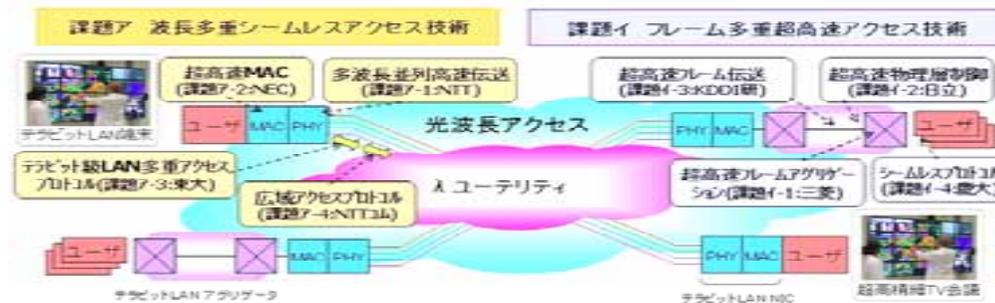
#### 2. 研究開発の背景

・新たな広帯域データ転送サービスへの期待が高まっており、4kデジタルシネマ映像ストリーム(非圧縮:約6Gbps)やスーパーハイビジョン(非圧縮:24Gbps)などが提案として挙がっている。このような大容量映像のストリーム配信や映像ファイルの瞬時転送のためには、100Gbps級の光アクセス技術が必要となる。しかしながら今日では、ユーザ設備であるLANに由来するイーサネット技術が、アクセス系、更には広域系に徐々に浸透しつつある。イーサネット、更にはその上で運ばれるIPプロトコルなど、エンドシステム(ユーザ)由来の通信技術に関する研究開発は米国が先行している。そこで、我が国の先端光通信技術を活かして米国主導のイーサネットLAN研究開発にくさびを打ち込み、一方で、ハイエンドユーザ需要からパラダイムシフトを予見した新たなコンセプトに基づく研究開発を実施して次世代のテラビットLAN(ポスト・イーサネット・ステージ)の国際標準技術を確認するための戦略的開発を早期に進める必要がある。

#### 3. 研究開発の概要と期待される効果

・λアクセス技術は①波長多重シームレスアクセス技術の研究開発と②フレーム多重超高速アクセス技術の研究開発に大別できる。①ではメガバイトクラスの超ジャンボフレームを用いて、ユーザやアプリケーションあたり1Gbps~10Gbpsを超えるデータストリームを複数波長に分配してネットワークにアクセスする波長多重シームレスアクセス技術の研究開発する。②では100Gbpsを超える速度で、統計的にサービス品質を考慮してフレームを多重し、単一波長で送出するための符号化技術および伝送技術の研究開発する。これらのアプローチによって米国主導のイーサネットLAN研究開発にくさびを打ち込み、一方で次世代のテラビットLAN(ポスト・イーサネット・ステージ)の国際標準技術を確認する。

全体概要図



#### 4. 研究開発の期間及び体制

平成18年~平成22年(5年間)

日本電信電話株式会社<<幹事会社>>、  
日本電気株式会社、国立大学法人東京大学、NTTコミュニケーションズ株式会社、  
三菱電機株式会社、株式会社日立製作所、株式会社KDDI研究所、学校法人慶應義塾

## 課題ア: 波長多重シームレスアクセス技術

### アー1: 多波長並列高速伝送技術

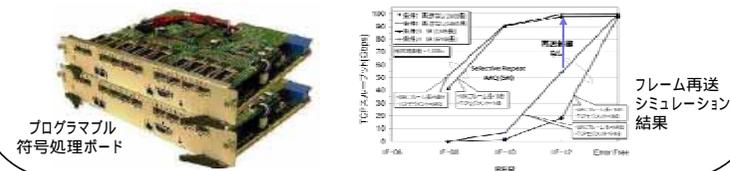
- ・超高速MAC-多波長並列高速伝送PHY接続に必要な **APL検証回路の機能設計を完了**
- ・実網環境でT-LANボードを用いた**4K超高精細映像伝送の遅延差(150ms)補償実験に成功**
- ・40G EthernetをOTNに收容するための**符号変換方式の国際標準化に成功(ITU-T G.709 Annex)**



### アー2: 超高速MAC技術

#### 100Gbps級実証基盤の確立と、MAC再送による高スループット転送のシミュレーション確認を完了

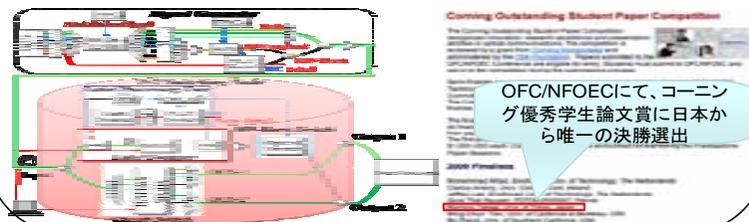
- ・メガバイト級(従来の約千倍)のフレーム処理や、レーン振分処理をプログラマブルに搭載し、先行的実証に適用可能な**100Gbps級符号処理ボードを、課題アー1と連携して共同試作完了**
- ・広域LAN(距離1,000km)で、**MAC再送による高スループット転送(98GbpsのTCP性能)**を、計算機シミュレーションにより確認



### アー3: テラビット級LAN多重アクセス技術

#### 400Gbpsハイブリッド型光交換実験に成功

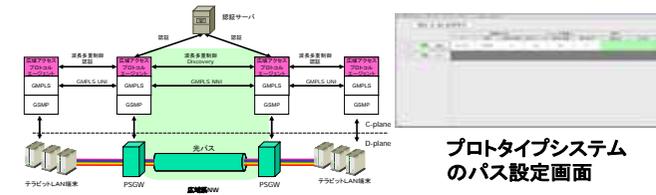
- ・これまでの単一の転送パラダイムでは、今後の多様なアプリケーション要求に応えることは難しかった。
- ・本研究開発では、多波長光バースト交換と光回線交換を組み合わせたハイブリッド型光ネットワークを提案、**波長資源配分比可変型400Gbps交換ノードを実装し検証、実現可能性を確認した。**



### アー4: 広域アクセスプロトコル技術

#### 複数波長100 Gbps超のインターフェイスによるユーザ主導型オンデマンドパス制御技術の確立

- ・GMPLSでは未対応だが、複数波長インターフェイスでは必須となる、複数波長に対応した制御プレーン技術を開発。
- ・複数波長対応のユーザ主導型オンデマンドパス制御技術のプロトタイプを試作し、動作を確認。

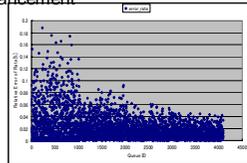


## 課題イ: フレーム多重超高速アクセス技術

### イー1: 超高速フレームアグリゲーション技術

- 多数のトラフィックフロー、多数の高速入カインタフェースに対するフレーム多重が可能なDS-SWFQe方式を考案
- イーサネットOAMを用いてリソースに関する情報を転送しアドミッション制御を行う方式を考案
- 超高速物理層とインタフェースする基板を開発

DS-SWFQe: Delay Sensitive – Simplified Weighted Fair Queuing Enhancement



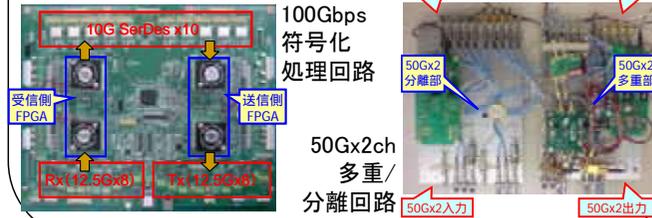
DS-SWFQeシミュレーション結果



PHYインタフェース基板

### イー2: 100Gbps級 超高速物理層制御技術

- 次世代100Gイーサネット規格に向けて、単一波長で100Gbps級光伝送を行う、物理層制御技術の実現が不可欠
- 従来の2倍の情報を伝送できる4値位相変調 (DQPSK) 光伝送を想定し、**100GbE規格準拠の符号化回路と信号多重回路、多値符号変換回路を世界で始めて集積し、更に光変調器を駆動する50G x 2ch 信号生成にも成功。**



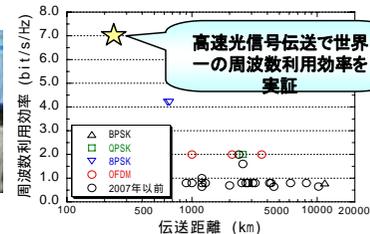
### イー3: 超高速フレーム伝送技術

#### 単一波長 100 Gbpsクラス光信号伝

- DQPSK方式による早期実現 → **光受信部の試作**
  - 光OFDM方式による大幅な簡略化、高性能化
    - マルチバンド化による実現性向上
    - IQインバランス補償法提案、有効性確認
- 最高周波数利用効率伝送(7bit/s/Hz)の実証(下图)



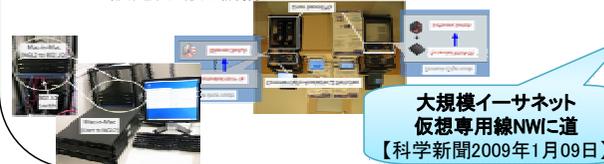
伝送実験風景



### イー4: 広域系-LANシームレスプロトコル技術

#### 100 Gbps超リンクによる大容量レイヤ2ネットワークのための管理・制御・アプリケーション技術基盤の構築

- 大規模イーサネット仮想専用線ネットワークの自動接続技術の開発と相互接続
- キャリアグレード制御網構築技術の**世界初の実証(中図)**
- 次世代レイヤ2スイッチプロトタイプシステムの開発(左図)
  - IPを使った**制御技術との高親和性**
  - 設定自動化機構



大規模イーサネット仮想専用線NWに道  
【科学新聞2009年1月09日】

## 1. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	特許出願	論文	研究発表	報道発表	標準化提案
λアクセス技術の研究開発	23	78	103	8	20

## 2. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

### (1) 標準化提案や報道発表

【課題ア-1】: 国際標準化提案 2008年12月1日、40GbEを光転送網OTNIに收容する1024B/1027Bトランスコーディング (ITU-T標準G.7009採用内定)  
【課題イ-3】: 報道発表2008年5月2日、“1000キロ先まで高品質光通信が可能に”、日経産業新聞  
【課題イ-4】: 報道発表2008年12月15日、“複数キャリア間のイーサネット仮想回線自動設定の相互接続に成功”、  
日経産業新聞、電波タイムズ、科学新聞、日本情報産業新聞、日刊工業新聞

## 3. 研究成果発表会等の開催について

### (1) 標準獲得に向けた産官学連携の為の技術討論の場を主催し、All Japan の取り組みを牽引

けいはんな情報通信オープンラボにおいて、複数ワーキンググループをプロモートし、最新の研究成果の紹介や、標準獲得に向けて動向分析と技術的議論を実施。特に標準獲得に向けて、キャリアとベンダが一体となってAll Japanとしての学会ではできない徹底した議論を推進。

### (2) 光+IP国際会議(iPOP)での共同デモンストレーションを実施

光とIP技術の融合による新伝達網技術の国際会議iPOP(2007年6月7-8日・2008年6月5-6日:NTT武蔵野研究開発センター)にて、λアクセス及びλユーティリティ合同で動態展示による研究成果発表を実施(参加メンバ:東京大学、慶應大学、三菱電機、NEC)。

### (3) 信学会大会シンポジウム(9月)やOCS研究会(2月)への集中投稿により学会議論を活性化

電子情報通信学会ソサイアティ大会シンポジウム「テラビットLAN/MANを実現する光波長アクセス技術」(2008年9月17日、明治大学)及び同学会光通信システム(OCS)2月研究会(2009年2月2-3日:三島市)に集中投稿(各9件)を行い、学会議論を活性化。後者はλユーティリティ(5件)・高機能フォトニックノード(3件)からも投稿を得てプロジェクト間での連携議論を推進。