

平成18年度 新規委託研究
「ユーティリティ技術の研究開発」

研究計画書



1. 研究テーマ

「ユーティリティ技術の研究開発」

2. 研究開発の目的

u - J a p a n 構想を踏まえた『21世紀ネットワーク基盤技術の研究開発戦略「ICTの新パラダイムを創生」』(総務省 21世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議 報告書、平成17年7月)では、「ユビキタス」の理念として、「ネットワークの制約からの解放」、「端末の制約からの解放」、また「サービスやコンテンツの制約からの解放」などが挙げられている。

一方、同会議では、2015年までの目標として超高精細映像等の大容量高速データが日常的にやり取りされる状況を想定し、「きめ細かく柔軟な光パス容量制御を実現するマルチレイヤ・マルチドメインネットワークにおける統合化経路制御技術」や「超高密度光周波数多重通信を実現するための光送受信器技術やDQPSK方式を超える多重変復調に必要な符号化・復号化技術」などの実現が挙げられている。

本テーマでは、上記の2015年までの実現を目指す『次世代フォトリックネットワーク』に係わる研究開発を実施し、ユーザ主導で最適品質のパスを設定できるなどの従来にはない柔軟なネットワークを構築することにより、ユーザがさまざまな制約から解放され、ストレスなく超高精細映像などをやり取りできるテラビットクラスのLAN環境を提供し、「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ことを目的とする。

3. 研究開発期間及び予算

研究開発期間：平成18年度から平成22年度までの5年間。

予算：平成18年度は400百万円程度を上限とする。

なお、平成19年度以降の予算については未定ではあるが、提案を行う前提として、平成19年度以降の予算については平成18年度提案額と同額或いは未満の金額で提案を行うこと。

4. 研究開発課題

課題全体の概要

本研究開発においては、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。

なお、実施に当たっては、本研究開発と不可分の関係にある研究テーマ「アクセス技術の研究開発」と連携し、両者の統合形態やインタフェースを明確にし、最終的に統合した実証実験を実施することとする。

研究課題を下記のように設定する。また、図1に研究開発の概要を示す。

課題ア：ボーダレス光パス制御管理技術

課題イ：高効率リンク伝送技術

課題ウ：変調フォーマットフリー光3R技術

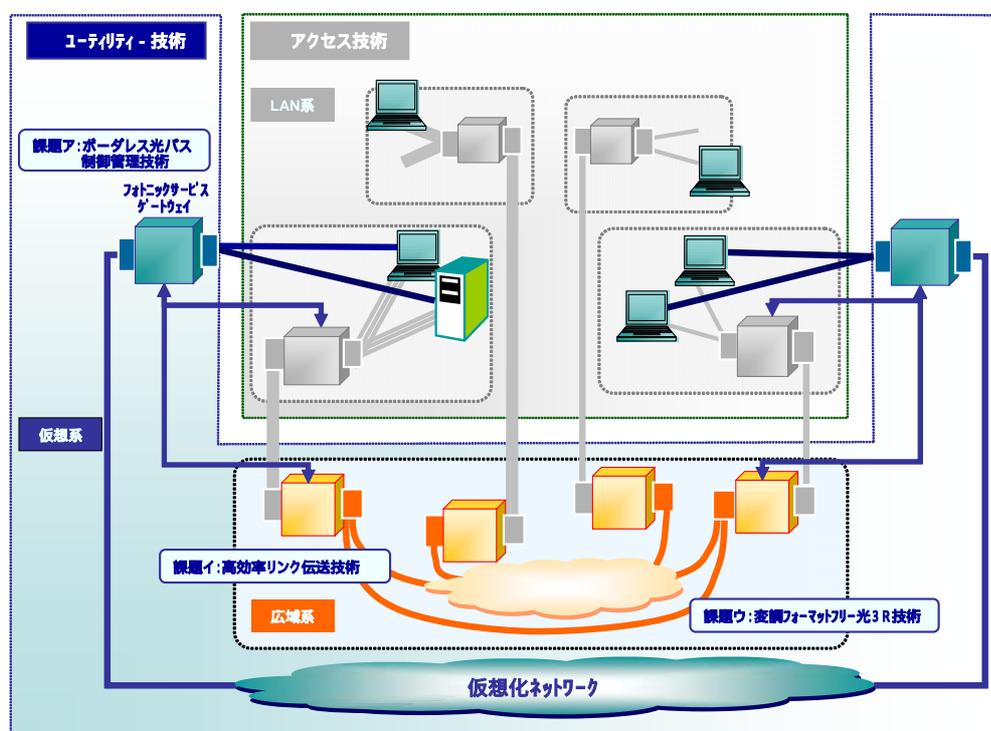


図1 研究課題の概要（なお「アクセス技術の研究開発」も参考として記載）

課題ア：ボーダレス光パス制御管理技術

将来の多種多様な光サービスプロバイダ網やダークファイバなどを活用した広域系の光パスを活用して、異なる LAN（またはドメインなど）に属するユーザが、主導的に適切なパスを設定することにより超高精細映像などをやり取りできる「ユーザ主導」の双方向高速大容量通信の環境を実現するフォトリックサービスゲートウェイの開発を行なう。本課題は下記の4つの課題より構成される。

課題ア-1：ネットワーク抽象化技術

本課題では、上記に述べた多様な光サービスプロバイダ網やダークファイバなどヘテロジニアスな要素からなる広域系ネットワークに対して、ユーザ側から簡素なパラメータにより定義できる単一の広域系ネットワークとして扱えるようにするためのドメイン間経路制御、網構成最適化技術などを含むネットワーク抽象化（仮想化）技術を開発する。

課題ア-2：ドメイン間障害制御技術

ドメイン間の障害検知や障害回復をユーザ側で行なう（制御する）方法の研究開発を行なう。

課題ア-3：集中・分散連携管理技術

現在のネットワークでは、IP アドレスのルーティングテーブルや DNS テーブル、MPLS のラベルといった、分散データベースを用いた分散制御を基本としている。またキャリアも経路情報などの集中データベースを持ち、ユーザごとの対応など分散制御に依存できない部分を適宜管理しているが、将来的にノード数が増加した場合、このようなネットワーク管理が困難となる。

本課題では分散型経路計算サーバや光パス管理システムを開発し、分散データベースと集中データベースへの情報配備・役割分担を最適化し、情報の集約により制御管理のスケラビリティを改善する技術を確立する。

課題ア-4：光パス品質制御技術

本テーマでは、複数の広域系の光パスを同時に併用して LAN 同士の相互接続を想定しており、ユーザ側で、時々刻々変動する広域系の光パス品質をモニタする光パス品質モニタ技術とそれぞれの光パスにおける通信品質が最大となるようトラフィックを分配する光パスロードバランス制御技術の2つの技術の研究開発を行なう。

以上の課題ア-2、ア-3及びア-4によって、課題ア-1により仮想化されたネットワークは、ユーザ側において主導的に制御することが可能となる。ただし、制御はフォトリ

ックサービスゲートウェイとユーザ側のアプリケーション等との間で自動的に行なわれるなど、必ずしもユーザ自身が直接関与することは意味しない。

課題イ：高効率リンク伝送技術

高速大容量伝送の実現のためには、多値変復調技術による周波数利用効率の追求が必須である。一方、複数のドメインを跨いでリンクを張るとき、（広域系の）光パスの経路が替わればリンク品質も変化する。特に、多値変復調技術は、光リンクのノイズ品質の影響を受けやすい。

本課題では多値変復調技術とともに、多値化と適切な相補関係を持つ FEC (Forward Error Correction Code)技術を開発する。下記の2つの課題より構成される。

課題イ-1：多値変復調技術

高速大容量伝送技術ではファイバ当たり 40Gbps のデータを載せるところまでが実現されている。これを 100Gbps を超える伝送に拡大するためには、次世代の多値変復調技術による周波数利用効率の追求が必要である。

本課題では、従来の 4 相差動位相変復調に加え、8 値、16 値の位相変復調技術、さらに偏波多重の併用も検討し、最も効果的な構成での多値変復調技術の開発を行う。

課題イ-2：高利得・低消費電力 FEC 技術

多値化によりノイズの影響を受け易くなり、誤り訂正利得の高い FEC (Forward Error Correction Code)の開発も必須である。現在のリードソロモン符号や畳み込み符号などを組み合わせた接続符号では、連続稼働時に LSI に求められる消費電力に課題がある。

本課題では、高い符号化利得を有するとともに、高利得化とトレードオフ関係にある消費電力低減化及び処理遅延などを考慮した FEC 技術を開発する。

課題ウ：変調フォーマットフリー光 3R 技術

次世代フォトニックネットワークでは、光信号を光のままに 3R (Reamplification : 振幅増幅、Retiming : タイミング再生、Reshaping : 波形整形)処理することが必須である。特に、クロック抽出精度と長時間の安定動作が保障されたタイミング再生技術、偏波特性により生ずる課題を克服し、位相変調、強度変調のどちらのフォーマットにも対応できる光 3R 技術が重要となる。

本課題では、偏波モード分散 (PMD)を有効に補償する技術に関しては、リアルタイムで動作する偏波モード分散値モニタ技術及び偏波モード分散補償技術（モジュール）、さらに偏波面制御技術を開発し、全体として長時間の動作安定化や消費電力低減化なども考慮し、位相変調、強度変調など多様な変調フォーマットに対応できる変調フォーマット

ットフリー光 3 R 技術を確立する^注。

注：ただし、異なる変調方式に同一構成で対応することが困難である場合は、共通部分と変調フォーマット依存部分よりなる構成も検討するものとする。

5 . 研究テーマ選定の背景、研究開発の必要性及び他で実施されている類似研究との切り分け、標準化動向

1) 研究開発テーマを取りまく現状

u - J a p a n 構想を踏まえた『21 世紀ネットワーク基盤技術の研究開発戦略 「ICT の新パラダイムを創生」』(総務省 21 世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議 報告書、平成 17 年 7 月)では、「ユビキタス」の理念として、「ネットワークの制約からの解放」 - 個別のネットワークが互いにシームレスに接続され、誰もが利用したいときに利用したいだけの性能を享受できる 「端末の制約からの解放」 - 身の回りのあらゆるものがネットワークに接続し、情報をやり取りできる 「サービスやコンテンツの制約からの開放」 - オープンな仕様のもとでシームレスな接続が前提、などが挙げられている。

すなわち、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きている。

また、同会議次世代フォトニックネットワークワーキンググループによる『次世代フォトニックネットワークの短中期的な研究開発戦略』では、上記のユビキタス社会を実現するため 2015 年までの目標として、多種多様なバックボーンを統一的にユーザに提供するため、「マルチレイヤ・マルチドメイン統合化経路制御プロトコル」などの研究開発が挙げられている。

一方、以上述べたネットワークでは、ネットワークの光化が前提となるが、光化されたノード間リンクで高速大容量信号を長距離伝送する時、波長分散や偏波モード分散等による伝送品質の劣化に対応できる光電変換によらない光 3R 技術は確立されていない。

諸外国での関連する国主導の研究開発として、欧州では「2010 年までに、人に優しいアプリケーション・サービスを実現する」ための取組が IST (Information Society Technology) の元に行われている。また米国では DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) の Chip-scale WDM プロジェクトで、WDM(Wavelength Division Multiplexing) 技術を活用したネットワーク(制御)技術、及びその要素技術の研究開発が進められている。

2) 研究開発の必要性

本研究開発は、従来個々のドメインごとに制御・管理されていたネットワークを、ユーザが主体的に制御できる技術を開発し、ユーザが制約から解放され、ストレスなくサービスなどの利便性を享受できることを目的としており、ユビキタス社会のインフラストラクチャーの構築という政策目標の視点から、国が率先して技術開発を実施する必要がある。

さらに、本研究開発は、従来欧米に独占されていたネットワーク制御技術に対して、我が国におけるユビキタスサービスに関する国際競争力の確保を促進するためにも、先行研究による技術の確立と実績の蓄積が不可欠である。

3) 他で実施されている類似研究との切り分け

情報通信研究機構では委託研究において、トータル光通信技術の研究開発(平成8年度～平成17年度)、フォトリックネットワークに関する光アクセス網高速広帯域通信技術の研究開発(平成12年度～平成17年度)、光バーストスイッチングを用いたフォトリックネットワーク技術の研究開発(平成13年度～平成17年度)、テラビット級スーパーネットワークの研究開発(平成14年度～平成17年度)、及び高機能フォトリックノード技術の研究開発(平成17年度～平成21年度)など、伝送・ルーティング(スイッチング)技術、ネットワーク制御技術、リンク補償・制御技術などの研究開発が実施されてきている。

本研究開発は、以上の次フェーズの研究開発と位置づけるとともに、下記のような新たな視点に基づく研究開発である：

- 従来の研究開発はネットワーク側(広域系)からの視点による研究開発であったが、本研究開発は、ユーザがさまざまな制約から解放され、ストレスなくサービスなどを利用できるというユーザの視点、すなわち、ユーザから見て、LAN系、広域系がひとつの(仮想化された)ネットワークとして認識でき、かつ制御できる環境を提供するというコンセプトに基づく研究開発である。
- また、従来の研究開発はネットワーク(広域系)に関する研究開発に重点が置かれているが、本研究開発は多様な広域系を活用するという視点よりの(広域系そのものではない)研究開発である。
- 100Gbpsクラスの伝送を目指す多値変復調技術は、従来のように単独技術の研究開発ではなく、FEC技術との相補関係を考慮し、一体として適切な技術の研究開発を進めるという視点に立つ研究開発である。
- 従来、本格的な変調フォーマットフリーの光3Rの研究開発は行われていない。また、従来の光パスの分散補償などは補償値が半固定であり、光パスを構成するリンク品質の変動にリアルタイムには追従することができない。これに対して、本研究開発では、リンク品質をリアルタイムに適応的に補償することを目指した研究課題とな

っている。

4) 標準化の動向

光パスを用いるネットワーク方式として、MPLS (Multi-Protocol Label Switching) を拡張した GMPLS (Generalized MPLS) が、ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) や IETF (Internet Engineering Task Force) で標準化の議論がなされている。

MPLS も GMPLS も主として広域ネットワークを分散制御により高速化する技術であるが、一般にネットワークは自らが管理するドメインにのみ責任を持つため、本テーマのように複数のドメインに跨る品質管理に係わる技術の標準化は行なわれていない。

また、光の偏波多重の併用を含む多値変復調やフォーマットフリー光 3R は研究段階であり、いずれも標準化は行なわれていない。

6. 研究開発の到達目標

研究開発の到達目標を以下とする。

全体目標

「アクセス技術」と連携した研究を実施するため、以下を実施すること

- ・ 初年度に「アクセス技術の研究開発」の開発対象とのインタフェース条件書を作成すること
- ・ 最終年度に アクセス技術と統合した実証実験を実施し、各課題及び各項目の成果を実証実験を通して確認するとともに、テラビットクラスの LAN 環境が実現されていることを実証すること

個別課題目標

課題ア：ボーダレス光バス制御管理技術

課題ア-1 から課題ア-4 についてそれぞれの要素技術を開発し、全体として以下を満たすこと

- 1) ヘテロジニアスな要素からなる広域系を仮想化し、遅延や誤り率などの光バスの品質情報をアプリケーションレベルでユーザ側に提供し、かつユーザ側の要求に応じての最適なパス設定などを（アプリケーションレベルで）リアルタイムに自動設定できること
- 2) 各都道府県に 20 程度のノードが設置(約半数の市町村にノードが設置)されることにも耐えうる、1000 以上のノード数へのスケーラビリティを有すること

課題イ：高効率リンク伝送技術

以下の課題において、100Gbps 以上の伝送に対応すること

課題イ-1：多値変復調技術

偏波多重を併用の可否を含め、8 値及び 16 値の位相変復調技術を検討し、課題イ-2 の高利得・低消費電力 FEC と連携することで、伝送距離 500km 以上で品質を確保できること

課題イ-2：高利得・低消費電力 FEC 技術

- 1) 消費電力・処理遅延などのトレードオフを考慮しつつ、現在のリードソロモン符号や畳み込み符号などを組み合わせた接続符号と同等以上の利得^注を有すること
注：例えば 9dB 以上を目安とする
- 2) 課題イ-1 の多値変復調技術における 500km 伝送信号の誤り訂正をできること
- 3) 装置の消費電力は 30W 以下であること

課題ウ：変調フォーマットフリー光 3R 技術

- 1) 伝送速度 100Gbps 以上、伝送距離 250km 以上の伝送に対応すること
- 2) 位相変調、強度変調のいずれの変調フォーマットにも対応できること
- 3) 偏波モード分散 (PMD)補償の技術に関しては、リンク変動に対してリアルタイムに補償ができること

7. 期待される波及効果

1) 類似研究開発面に期待する波及効果

本テーマの研究開発(及び アクセス技術の研究開発との連携)により、仮想化され、容易に利用可能なテラビットクラスの LAN 環境がユーザ側に提供されることとなり、この環境を活用した新たな映像サービス技術やそれらを実現するための端末技術、サーバ技術などへの波及効果が期待できる。

2) 実用化面に期待する波及効果

本研究開発により、映像系のサービスを始めとする新規サービスが創出されるものと期待され、このような新しいサービスの創出がトリガーとなり、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』の導入・実用化が進むと期待できる。

3) 標準化活動面に期待する波及効果

従来欧米に独占されていたネットワーク制御分野において、プロトタイプ製作、実証実験の結果などの実証に基づく標準化活動により、ネットワーク制御分野における我が国の国際標準技術の獲得への波及効果が期待される。

8. 研究開発スケジュール

本研究テーマの研究開発期間は、平成 18 年度から平成 22 年度までの 5 年間であり、スケジュールは概ね以下のとおりである。

平成 20 年度にプロトタイプを完成し、平成 22 年度には アクセス技術と統合した実証実験を実施する。

課 題	18 年度	19 年度	20 年度	21 年度	22 年度
			中間評価 ▼	プロトタイプ ▼	中間評価 ▼
課題ア： ボーダレス光パス制御 管理技術					統合 実証 実験
課題イ： 適応型リンク制御技術					
課題ウ： 変調フォーマットフリ ー光 3R 技術					