

平成 21 年度 新規委託研究
「広域加入者系光ネットワーク技術の研究開発」
研究計画書

個別課題番号 139 ア 課題ア ネットワーク広域化技術
個別課題番号 139 イ 課題イ 適応ネットワーク構成技術

1. 研究開発課題

「広域加入者系光ネットワーク技術の研究開発」

2. 研究開発の目的

世界に先駆け 2001 年より始まったわが国の FTTH(Fiber To The Home)サービスは、2004 年からの GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) 導入を契機に本格的な普及を遂げ、2008 年 6 月にはその契約者数が ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)を超え、ブロードバンドサービスを担う加入者系光ネットワークの主役となった。また、2008 年 3 月より商用化が開始された NGN(Next Generation Network)による映像配信を中心とした様々なサービスは、加入者系光ネットワークに対する今後の需要を一層喚起すると期待される。

しかし、FTTH の導入が急激に進む中で、以下のような課題が明らかとなってきた：

- FTTH の整備・更改には多額の投資が必要となるため、収益性の高い人口密集地域と収益性の低い過疎地域との間で、従来の 20km 圏級のサービス提供エリアの広域化の遅れ等によるサービス提供に格差が出てきており、いわゆる「デジタルデバイド」に一層の拍車がかかる懸念が出てきている。
- 既に FTTH 契約者が 1300 万加入を超えた現在、新技術やサービスを導入するにあたって、既存 PON などの各種光システムで使用する波長が決められており、新規システム用の波長数が限られているため、単一波長内でのチャンネル数を拡大する多重方式、すなわち波長分割多重(WDM : Wavelength Division Multiplexing) のスケラビリティが要求される。
- 上記の課題への対応に伴い、サービス提供エリアの広域化による伝送区間の長延化や今後予想される多様なサービス導入と相まって、加入者の増加を含めたサービス提供エリア変更、及び伝送容量等の変化への対応が可能な柔軟なシステムが要求される。

一方、波長分割多重のスケラビリティ、及びサービス提供エリア変更や伝送容量等の変化への対応に対する技術として、波長分割多重と光符号分割多重(OCDM : Optical Code Division Multiplexing) を連携させる技術の研究開発の機が熟してきており、NICT は当該技術領域を世界的に先導している。

本委託研究では、当該技術領域の研究開発の進展を背景として、上記の課題を解決する加入者系光ネットワークの基本技術として、

100 km 圏級でもサービスを可能とするネットワーク広域化技術

加入者の増減・サービス内容の変化に応じ、サービス提供エリア及び伝送容量等の変化へ対応可能な適応ネットワーク構成技術、の 2 つの技術を確立し、更に本委託研究開発の課題技術の優位性並びに今後の課題を明らかにし、更に研究開発成果の産業面での活用の方向を示すことも考慮し、広域加入者系光ネットワークを構築することにより本委託研究開発の成果の有効性を実証する。

このことにより、本委託研究は、上記の課題を克服し、FTTH 先進国として、より多くの国民に最新の技術を活用した加入者系光ネットワークによるブロードバンドサービスを提

供可能とする技術を確立することを目的とする。

また、研究開発を進めるにあたっては、当該技術領域を NICT が世界的に先導的してきたことを鑑み、NICT の研究開発成果を極力活用することにより、得られた成果が日本発の技術として、今後世界の加入者系光ネットワークへ導入されることを念頭に置くものとする。

3. 研究開発期間及び予算

本委託研究の個別課題は連携して広域加入者系光ネットワークを実現するものであるが、個別課題毎に独立した研究開発の推進が可能であることを鑑み、短期間により高度な研究開発成果を得るために、個別課題単位による提案を募集する。

研究開発期間：平成 21 年度から平成 23 年度までの 3 年間。

予算：平成 21 年度は、課題アは 60 百万円程度、及び課題イは 80 百万円程度を上限とする。

なお、平成 22 年度以降の予算については未定ではあるが、提案を行う際には、対前年度比で 6%減額した金額を上限として提案を行うこと。また、平成 22 年度以降の予算については、全体の進捗管理を行う情報通信研究機構プログラムコーディネーターからの助言に基づき、金額が変更となる可能性もある。

また、個別課題全体の最大採択数は以下の通りとする。

課題ア： 1 件

課題イ： 1 件

4. 研究開発課題

本委託研究では、10GE-PON 等の動向を考慮しつつ、将来へ向けた大容量かつ高信頼で柔軟な加入者系光ネットワークの基本技術を確立し、更に、これらの技術に基づく広域加入者系光ネットワークを実証することを目的とした研究開発を実施する。

以下に研究開発課題及び図 4-1 に研究開発の概要を示す。

課題ア ネットワーク広域化技術

課題イ 適応ネットワーク構成技術

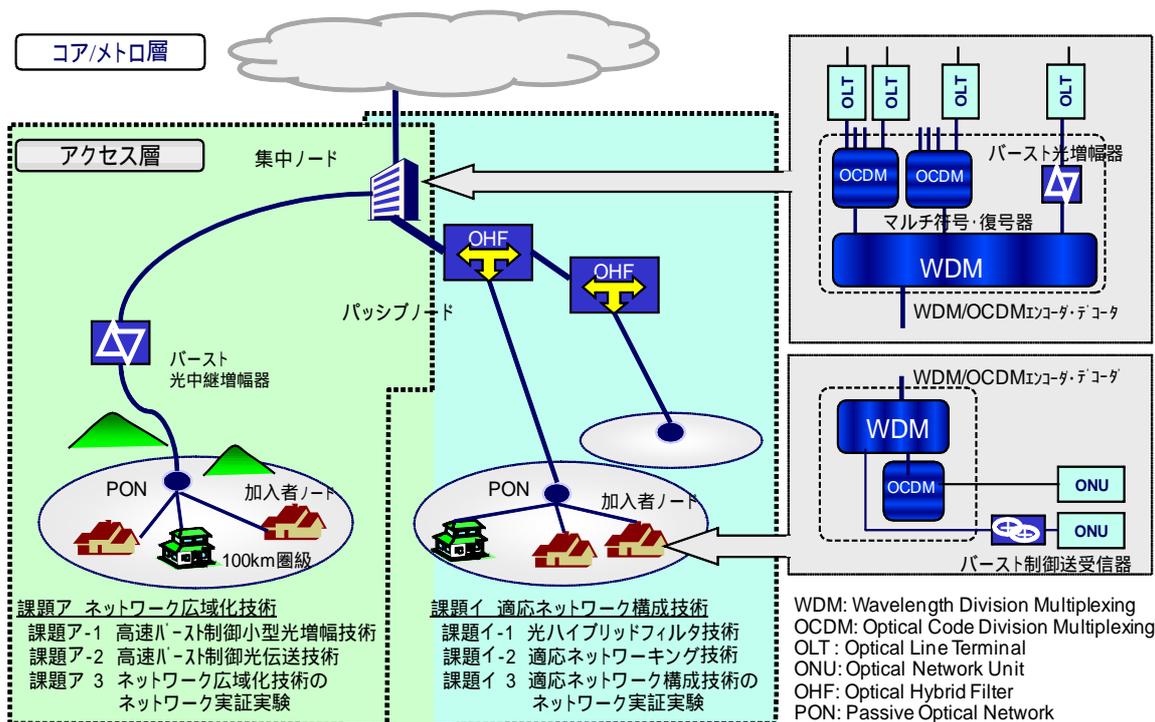


図 4-1 研究開発課題の概要（ネットワーク構成等は一例を示した。）

研究開発課題の具体的内容

本委託研究では、コア/メトロ層、及びアクセス層の 2 層を想定し、研究開発対象はアクセス層である。アクセス層は集中ノード(収容局)及び複数のパッシブノード(OHP (Optical Hybrid Filter、光ハイブリッドフィルタ)) 並びにバースト光中継増幅器より構成され、パッシブノード並びにバースト光中継増幅器に接続された PON により、集中ノードと加入者ノードが接続される。

研究開発課題は、

課題ア：高速バースト制御機能を備え、100 km圏級でもサービスを可能とするネットワーク広域化技術の研究開発

課題イ： WDM 技術と OCDM 技術を連携させることによる適応ネットワーク構成技術の研究開発、及び、

これらの技術に基づく広域加入者系光ネットワークの構築による技術の有効性の実証である。

以下、研究開発課題の具体的内容を述べる。

課題ア ネットワーク広域化技術

集中ノード(収容局)から加入者ノードまでの光ネットワークを広域化するための技術である。本課題では、以下の 2 つの技術を研究開発する。

課題ア-1 高速バースト制御小型光増幅技術

各加入者ノードに配置する ONU (Optical Network Unit) と集中ノードに配置する OLT (Optical Line Terminal) との距離が大きく異なることによる高入力ダイナミックレンジと、急峻な 10Gbps 級の高速バースト信号入力に対する過渡応答を抑制可能な高速利得制御機能を備え、経済性を考慮した小型光増幅技術

課題ア-2 高速バースト制御光伝送技術

経済的かつ高信頼で安定した様々なサービスを提供することを前提に、10Gbps 級の高速バースト信号の送受信を行うことができ、高入力ダイナミックレンジ化と高感度化を両立する技術

課題ア-3 ネットワーク広域化技術のネットワーク実証実験

上記技術を組み込んだ 100km 圏級の広域加入者系光ネットワークをテストベッド上で構築し、実証・評価を行う。

課題イ 適応ネットワーク構成技術

加入者の増減・サービス内容の変化に応じ、サービス提供エリア（敷設地域）及び伝送容量等の変化へ柔軟に適応可能で、信号の分岐・挿入をフレキシブルに行うための技術である。本課題では、以下の 2 つの技術を研究開発する。

課題イ-1 光ハイブリッドフィルタ (OHF: Optical Hybrid Filter) 技術

WDM の波長 (M チャンネル) と OCDM のコード (N チャンネル) の組み合わせによる M×N チャンネルの光信号を個別に、分岐・挿入する光ハイブリッドフィルタ技術

課題イ-2 適応ネットワーキング技術

マルチ符号・復号化技術を含む WDM/OCDM エンコーダ・デコーダ技術（集中ノードへの適用を想定）と光ハイブリッドフィルタ技術（パッシブノードへの適用を想定）及び WDM/OCDM エンコーダ・デコーダ技術（加入者ノードへの適用を想定）による加入者系ネットワーク構成において、集中ノードを制御することで適応的に光信号の分岐・挿入を実現するネットワーキング技術

課題イ-3 適応ネットワーク構成技術のネットワーク実証実験

上記技術を組み込んだ加入者系光ネットワークをテストベッド上で構築し、実証・評価を行う。

留意点

- 1 課題アにおいては、EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier) に関する NICT の研究開発成果を活用できるか否かについて検討することとし、検討の結果、他の技術を採用する場合、当該他の技術の利点等そのように判断した説明を提案書において記載すること
- 2 NICT の OCDM に関する研究開発は世界的に先導的な研究開発であることを鑑み、

課題イにおいては、OCDM エンコーダ・デコーダを含む NICT の研究開発成果を極力活用すること

- 3 課題イにおいて、テストベッドには 2011 年度からの JGN (Japan Gigabit Network) の次期プロジェクトの活用を推奨するが、次期プロジェクトは検討段階であることを配慮した上で研究計画を立てること。なお、これは JGN 以外のテストベッド利用を妨げるものではない。
- 4 実証実験は、研究開発の成果が実用システムとして成立することを実証するとともに、実証実験を行うことにより本委託研究開発の優位性並びに今後の課題を明らかにし、更に研究開発成果の産業面での活用の方向を示すことを目的とする。
- 5 次項を参考に、研究成果の実用化を目指した標準化活動を積極的に推進する。

5 . 研究開発課題選定の背景、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) 研究開発課題選定の背景

既に「2 . 研究開発の目的」述べたように、FTTH の導入が進む中で、いくつかの課題が明らかとなってきたが、「ネットワーク広域化技術」及び「適応ネットワーク構成技術」の研究開発の視点から、以下のような課題が指摘できる。

ネットワーク広域化技術

- ・ 加入者の効率的収容：高速・高機能化する PON システムを活用した多様な FTTH サービスを、より多くの国民に不公平なく提供してゆくためには、既存の PON システムの提供エリアを拡大する広域化技術が求められている。特に、不採算地域（過疎地域を含む）では、より効率的に加入者を収容できる広域化 PON システムが求められている。
- ・ バースト対応：PON システムの特有性として、加入者宅から来る信号は、バースト性を有しており、広域化 PON システムを構成する光増幅器や受信器には、高い瞬時応答性能と広いダイナミックレンジが求められる。
- ・ 信号劣化対策：伝送距離の増大に伴う残留分散や非線形効果の影響を考慮することが求められる。また伝送路損失の増大により、光受信パワーが低下することから、コヒーレント受信の適用が有効な手段のひとつとして考えられる。
- ・ ノードのパッシブ化に伴う長延化：将来、波長や符号を用いたノードのパッシブ化が進展すれば、OLT と ONU を結ぶエンド - エンドの伝送距離の長延化が必要となる。

適応ネットワーク構成技術

- ・ 効率的なマイグレーション：アクセスシステムはユーザニーズに合わせてシステム構成が多様化しており、スムーズなグレードアップを行うには、既存装置から新規装置まで収容できる構成が必要である。
- ・ 拡張性：光アクセスにおいては、既存 PON などの各種光システムで使用する波長が

決められており、新規システム用の波長が限られているため、単一波長内でのチャンネル数拡大（波長分割多重技術のスケーラビリティ）が求められている。

- ・ 収容信号への適応性：光アクセス系の特徴として、今後加入者ごとの多様なサービス需要に対応するため、伝送容量に対するスケーラビリティや信号プロトコルに対するフレキシビリティを有している必要がある。
- ・ バ-スト性/信頼性：サービス提供エリアの広域化は、伝送区間が長延化することから、障害の発生頻度や工事等による回線切り替え頻度も高くなることが予想される。また、一システムに収容される加入者数も増加することから、影響もより大きくなるので、より堅牢（ロバスト性）なシステムアーキテクチャの検討が必要となる。加えて、システム構成機器の信頼性の向上も、ロバスト性ととともに、より検討が必要となる。更に、ネットワーク広域化技術及び適応ネットワーク技術の両者に共通な課題として、以下が指摘できる。
- ・ 小型・低消費電力化と低コスト化：光アクセス系は、加入者宅へ設置され、かつサービス料金に直結する光アクセスシステムであるため、小型・低消費電力で、かつ経済的であることが必須となる。

2) 研究開発の必要性

以上のように、本委託研究は、2. 研究開発の目的で述べた、「FTTH 先進国として、より多くの国民に最新の技術を活用した加入者系光ネットワークによるブロードバンドサービスを提供可能とする」ために解決すべき課題に対し、「デジタルデバイド」には広域化ネットワークを構成する高い瞬時応答性能と広いダイナミックレンジを具備した光増幅器や送受信器、「新技術やサービスの導入」には収容数や伝送容量に対するスケーラビリティや信号プロトコルに対するフレキシビリティを有するシステムや様々な粒度に柔軟に対応できるサービス提供とチャンネル数を柔軟に拡大できるような多重化方式に関する研究開発課題を掲げており、いずれの研究開発課題も加入者系光ネットワークによるブロードバンドサービスを提供するために必要である。

当該研究開発領域は、2004 年の GE-PON の導入を契機とし FTTH の普及、2009 年の 10GE-PON の標準化が予定されており、さらにその先の技術として WDM 技術や OCDM 技術を適用した次世代 PON の研究開発も行われている。本委託研究における「WDM と OCDM を連携させる」先端的な研究開発は、将来の加入者系光ネットワークの基盤技術であり、また、NICT は当該技術領域を世界的に先導してきている。我が国の強みの活用による国際競争力の強化の観点から重要な研究開発である。

3) 研究開発・標準化

図 5-1 に本委託研究開発及び PON システムの国際標準化並びに実用化の「ロードマップ」を示す。

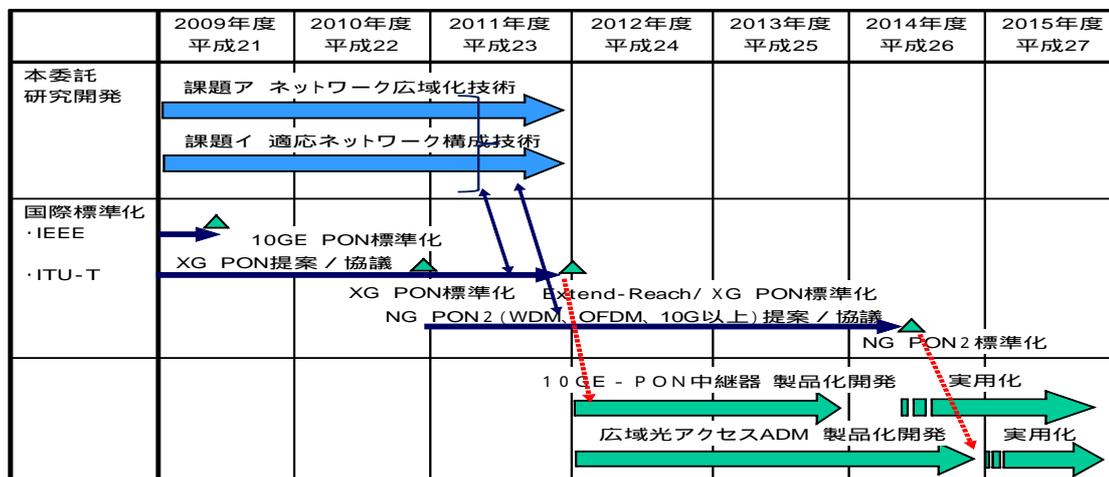


図 5-1 本委託研究開発及び PON システムの国際標準化並びに実用化の「ロードマップ」

ネットワーク広域化技術

- ・PON システムそのものが、世界的にようやく普及期に入ったばかりということもあり、その広域化をターゲットとした研究開発は少ない。欧州の 2006 年から 3 年間の共同研究プロジェクト PIEMAN(Photonic Integrated Extended Metro and Access Network)では対称 10Gbps の 100km 伝送を目指しており、また BT (British Telecom) や FT(France Télécom)など欧州キャリアの研究機関が国際会議などで G-PON の広域化(ITU-T G.984.6 準拠)に関する技術のフィージビリティを発表している。更に、FTを中心に SARDANA (Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture)では、10Gbps の 100km 伝送、1000-4000 加入者を目指した研究開発を行っている。

将来の実現性を考慮した帯域のスケーラビリティや運用のフレキシビリティ、小型・経済化へのアプローチなどはまだ検討対象となっていない。

- ・光増幅器では、NICT の委託研究「トータル光通信技術」(平成 8-17 年度)において高速デジタル制御 EDFA、また、NICT においてバーストモード光ファイバ増幅器の研究開発と研究用途の製品化が行われている(以下の 4)を参照)。また、ファイバ増幅器よりも小型化できる SOA(Semi-conductor Optical Amplifier: 半導体光増幅器)の開発が進められており、消費電力の点でも優位性があるが、一層の低雑音化や低下価格化が課題とされている。

- ・G-PON の 60 km までの広域化を規定した G.984.6 が 2008 年 3 月に標準化された。ただし、この仕様を完全に満足する PON 中継器はまだ実現されていない。G-PON の帯域を 10Gbps にアップグレードすることを想定した XG-PON の extend-reach

仕様に関しては、概ね 2011 年末頃標準化される予定であるが、実現技術などの検討はこれからである。

適応ネットワーク構成技術

- ・光符号分割多重技術におけるデバイス、方式の研究開発は、我が国が世界的に先行し、
 - 「対称型マルチギガビット次世代光アクセスシステム」研究（総務省 SCOPE、H17-19）では 10Gbps で 8 ユーザ DPSK (Differential-Phase-Shift-Keying)-OCDM 動作が実証され、
 - 「高品質メディア・アクセスネットワークの研究開発」（NICT 委託研究開発、H17-19 年度）では 155.52Mbps の 16 多重の受信、100Mbps の 4 多重のフィールドテスト実証が行われている。
- ・近年、中国、インドなどのアジアの大学において、多重度向上を中心とした研究が活発に行われている。
- ・標準化の代表的なものとして、既存 PON システムの基本多重技術である TDMA (Time Division Multiple Access) 技術を踏襲した 10GE-PON (IEEE802.3av) や G-PON の後継システムである XG-PON がある。特に、10GE-PON は、精力的な研究開発、標準化作業が進められており、2009 年 9 月の標準化完了の予定となっている。
- ・波長資源の限界を克服し更なるシステム容量のスケーラビリティの実現を求めて、WDM 技術や OCDM 技術を活用した PON 技術の研究開発が行われている。標準化として、WDM-PON、Long-reach PON や OFDM 等の新技术を用いたアクセスシステムまたはこれら技術の組み合わせなどが含む長期解が NG-PON2 (Next Generation-PON2) として検討されている。

4) NICT 及び他で実施されている類似研究との切り分けと NICT 委託研究における本研究開発課題の位置づけ

NICT では、ギガビット級の FTTH の実現を目的として、TDM を基本とした PON とは異なる WDM/OCDM を基本としたシステムの研究開発が行なわれている：

- 16 × 16port OCDM エンコーダ・デコーダ (2005 年)
- Hybrid (multi-port and SSFBG) エンコーダ・デコーダのシステム上での実証 (2006 年)
- 16 × 16port OCDM/WDM エンコーダ・デコーダ (2006 年)
- 50 × 50port OCDM/WDM エンコーダ・デコーダ (2007 年)
- 5WDM/25OCDM エンコーダ・デコーダのフィールド試験 (2008 年)
- バースト光信号を歪みなく増幅可能なバーストモード光ファイバ増幅器の研究開発を行い技術移転により研究用途の製品化 (2007 年)

また、NICT の委託研究として、

- 「トータル光通信技術」(平成 8-17 年度) では、大容量で柔軟な光ネットワークの構築に必要となる光通信システム技術の実現を図るため、サブシステムのひ

とつとして高速デジタル制御 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)の研究開発が行われている。

- 「高品質メディア・アクセスネットワークの研究開発」(平成 17-19 年度)では OCDM-PON の 155.52Mbps の 16 多重の受信、100Mbps4 多重のフィールドテスト実証が行われている。
- 「集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発」(平成 19-21 年度)では PON のスプリッタをスイッチに置き換え、SPIC(Silicon Photonic Integrated Circuit)等の先端デバイス技術による小型集積化技術の研究開発が行われている。

本委託研究では、OCDM/WDM エンコーダ・デコーダの研究開発成果を極力活用する。この技術により、本委託研究は、「OCDM を単独に使用する」から「OCDM と WDM を連携させる」へと発展させたシステムと位置づけられる。

6 . 研究開発の到達目標

研究開発の到達目標を以下のとおりとする。ただし、当該到達目標は最低限の目標であり、提案に際しては、標準化動向等を踏まえ、当該到達目標を超える目標の設定が望ましい。以下に示された到達目標以外に必要なとされる技術的要件の詳細項目は自ら設定し、到達目標を明記すること。さらに、ただし書きを含む各項目の到達目標は、本委託研究に関する技術や利用動向を勘案しつつ、必要に応じて計画実施の途中からでも見直しを行うため、見直しに対応できる柔軟性も併せて有していること。

全体目標

10Gbps 級の総システム容量を有し、総伝送距離 100km 以上の光アクセスネットワークシステム、および、1.25Gbps の光信号の分岐・挿入をフレキシブルに行え、160チャンネル以上の多重性能を有した広域加入者系光ネットワークを実現すること。

また、本委託研究の目的である「より多くの国民に最新の技術を活用した加入者系光ネットワークによるブロードバンドサービスを提供可能とする技術を確立すること」を鑑み、経済性に優れた、すなわち低価格化が可能な技術選択とその実現を行うこと。

個別研究開発課題の目標

課題ア ネットワーク広域化技術

課題ア-1 高速バースト制御小型光増幅技術

- ・ 20 dB 以上の入力ダイナミックレンジ を有すること
- ・ 1.25 ~ 10 Gbps 級の高速バースト光信号及び波長数変動に対する高速利得制御機能を具備すること(少なくとも 1.25Gbps、および 10Gbps 級での送受信ができること)
- ・ 妥当な低偏波依存性能を提示し、実現すること

- ・波長数変動に対する高速 ALC(Automatic Level Control)機能を具備すること

課題ア-2 高速バースト制御光伝送技術

- ・20dB 以上の入力ダイナミックレンジ を有すること
- ・高速バースト光信号の送受信は 1.25 ~ 10 Gbps 級の動作が可能であること(少なくとも 1.25Gbps、および 10Gbps 級での送受信ができること)
- ・PON システム(20km 相当)に比べ、リンクバジェットで 20dB 以上改善できること

課題ア-3 ネットワーク広域化技術のネットワーク実証実験

- ・100km 級の広域加入者系光ネットワークが、ストリーム配信や双方向映像伝送などにおいて実現されていることを実証すること

補足:

- ・課題ア-1 の提案に当たっては、想定するバースト信号の最小プリアンブルビット数、バーストビット長可変範囲、及び最大バースト時間間隔を明示すること。また給電電力低減や動作温度領域確保等、設置環境が考慮されていること
- ・課題アにおいて、10Gbps 級の高速バースト光信号の送受信については、目標値の達成に至らなかった場合には、少なくとも目標達成のための課題を明確にすること

課題イ 適応ネットワーク構成技術

課題イ-1 光ハイブリッドフィルタ技術

- ・WDM(波長)×OCDM(符号)のチャンネル数が 160 以上であること
- ・チャンネル当り 1.25Gbps 以上の光信号を分岐、挿入ができること

課題イ-2 適応ネットワークキング技術

チャンネル当り 1.25Gbps 以上の光信号に対して

- ・少なくとも 2 チャンネルの割り当て(切り替え)が可能なこと
- ・集中ノードと加入者ノードの接続は、物理接続にかかわらず論理的にスター構成が可能なこと
- ・ユーザ収容・経路切り替えが他のユーザ信号品質を保証しつつ可能であること

課題イ-3 適応ネットワーク構成技術のネットワーク実証実験

- ・少なくとも 2 パッシブノードを具備していること
- ・双方向通信ができること
- ・1.25Gbps 光信号の分岐・挿入をフレキシブルに行え、16 チャンネル以上の多重性能を有し、適応性を具備した広域加入者系光ネットワークが実現されていることを実証すること

7. 研究開発スケジュール

本委託研究の研究開発期間は、平成21年度から平成23年度までの3年間であり、スケジュールは概ね以下のとおりとする。

研究開発課題	H21年度	H22年度	H23年度 最終評価
課題ア ネットワーク広域化技術 課題ア-1 高速バースト制御小型光増幅技術 課題ア-2 高速バースト制御光伝送技術 課題ア-3 ネットワーク広域化技術の ネットワーク実証実験	・要素技術検討(*) ・基本特性評価	・プロトタイプ/実証機製作 ・特性評価	・伝送装置プロトタイプ/実証機製作 ・特性評価 ・実証実験
課題イ 適応ネットワーク構成技術 課題イ-1 光ハイブリッドフィルタ技術 課題イ-2 適応ネットワークング技術 課題イ-3 適応ネットワーク構成技術の ネットワーク実証実験	・方式検討 ・基本特性評価 ・方式検討	・プロトタイプ/実証機製作 ・特性評価 ・伝送設計	・プロトタイプ/実証機製作 ・ボロジ検証/特性評価 ・実証実験

(*) NICTの研究開発成果の活用検討を含む。

図 7-1 本委託研究の研究開発スケジュール

8. 研究開発の運営管理及び評価に関する事項

NICTは、総務省と密接な関係のもと、プログラムネーターの助言を受けつつ、本委託研究の適切な運営管理を実施する。外部有識者（評価委員）、プログラムコーディネーターの意見を運営管理に適宜反映させるほか、必要に応じて、半年から1年に1回程度本委託研究の進捗状況について報告を受ける等を行う。

最終評価を平成23年度に行う。なお、評価の時期については、本委託研究に係る技術動向、政策動向や本委託研究の進捗状況等に応じて、追加の実施、前倒しする等、適宜見直すものとする。

9. 特記事項

受託者は、本委託研究から得られる研究開発成果の産業面での着実な活用を図るため、本委託研究の終了後に実施すべき取組みのあり方や研究開発成果の産業面での活用方策について、加入者系光ネットワークの運用事業者等の要望を把握しつつ、立案するとともに、立案した取組みのあり方や産業面での活用方策について、研究開発の進捗状況等を考慮して、本委託研究期間中に必要な見直しを行うこととする。