

平成19年度 新規委託研究
「集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発」
研究計画書



1. 研究テーマ

『集積化アクティブ光アクセスシステムの研究開発』

2. 研究開発の目的

通信ネットワークを支える広域バックボーン（長距離基幹系やメトロ系）のノード間リンクはほぼ光化されてきており、同時に、広域バックボーンと各利用者（例えば各家庭）を結ぶアクセスシステムも急速に光化されつつある。特に、ユビキタスネット社会を目指した通信のブロードバンド化やサービスの多様化が急速に展開しており、政策目標として「アクセス・バックボーンを一体化する技術、超高速光 LAN や光 NIC (Network Interface Card) の開発、さらに光パースト伝送技術の高度化」、また「ますます増大する通信トラフィックでも超低消費電力で、安定したオール光通信ネットワークの実現」などが挙げられている。

オール光通信ネットワークの重要な構成システムである光アクセスシステムとして、現在、PON (Passive Optical Network) を基本とする光アクセスシステムが実用化されている。しかし PON には、パッシブ型で接続されている利用者全体と信号の送受を行うことに起因する、利用者収容能力、回線秘匿性等に原理的な限界がある。このような限界を打ち破り、加えて利用者が大容量の映像情報などを送信する要求の増大に対応した双方向性を満足する、ギガビット級光アクセスシステムの実用化に向けた研究開発は喫緊に取り組むべき課題である。一方、PON を基本とする光アクセスシステムの実用化、更に標準化が進みつつある現状では、PON を基本とする光アクセスシステムの延長上で、新たな光アクセスシステムの研究開発に先行して取り組むことは困難である。

本委託研究では、①PON を基本とする光アクセスシステムの延長ではない、スイッチング機能を取り入れたアクティブ型の新たな光アクセスシステムのアーキテクチャの構成とその制御技術、②SPIC (Silicon Photonic Integrated Circuit) などの先端デバイス技術による小型集積化技術、の研究開発を産学連携で推進し、ギガビット級光アクセスシステムを世界に先駆けて実用化することを目的とする。

更に、委託研究の対象とする分野は、米国、欧州に対して国際的な競争に直面している分野である。

本委託研究では、国際的に最先端のコアデバイスを実現すること、加えて、国際標準技術の獲得をも視野に入れることにより、ギガビット級光アクセスシステムのキーデバイスの主導権を確立し、我が国の ICT 分野での持続的な国際産業競争力を強化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19年度から平成21年度までの3年間。

予算：平成19年度は370百万円程度を上限とする。

なお、平成20年度以降の予算は未定ではあるが、平成20年度以降の予算については平成19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

本委託研究では、比較的早く国際標準化が想定されるギガビット級アクセスシステムの技術を対象とし、GE-PON (Gigabit Ethernet - Passive Optical Network)/G-PON, 10GE-PON など競合技術の動向も考慮しつつ、

- －①スイッチング機構を具備したアーキテクチャを基本として、双方向の能動型（アクティブ）のギガビット級光アクセスシステムの核となる超高速光スイッチの構築とその制御技術
- －②上記のギガビット級光アクセスシステムの今ひとつの構成要素である 10G-ONU と OLT を先端デバイス技術である SPIC(Silicon Photonic Integrated Circuit)により小型集積化する技術、及び 10G-ONU 及び OLT の制御技術

の研究開発を実施する。

以下に研究開発課題及び図 1 に研究開発の概要を示す。

課題ア： SPIC による超小型 10G-ONU 及び OLT に関する技術
課題イ： 超高速光スイッチによるアクティブ回線制御に関する技術

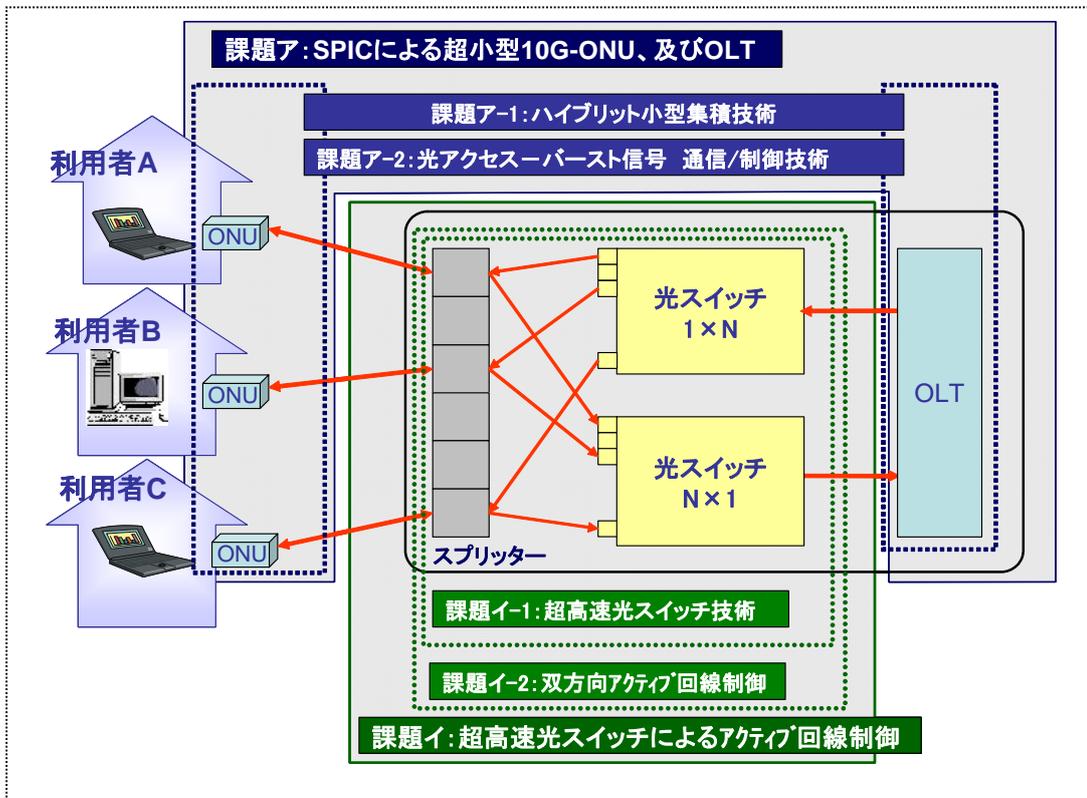


図 1 研究開発課題の概要(超高速光スイッチの構成は例示である。)

①のスイッチング機構を具備した光アクセスシステムにより、PONと異なり、選択した利用者のみと信号の送受が可能となり、レイヤの下層部で回線秘匿性が実現される。更に、選択した利用者のみと信号の送受をすることにより、不要な信号の送受による光信号の強度低下が無くなり、PONの利用者収容能力の限界を克服することができる。

また、10G-ONUとOLTを先端デバイス技術であるSPICにより小型集積化することで、高性能で経済的な10G-ONUとOLTを実現することが可能となる。

以下に研究開発課題を具体的に述べる。

課題の具体的内容

課題ア SiフォトリックIC(SPIC: Silicon Photonic Integrated Circuit)による超小型10G-ONU(10 Gigabit-Optical Network Unit), 及びOLT(Optical Line Terminal)に関する技術

光アクセスシステムを経済的に実用化するために最も重要なキーデバイスに関する課題、及び利用者とネットワーク側が双方向に通信を行うための課題イの超高速光スイッチによるアクティブ回線制御の上位に位置する通信・制御技術に関わる課題である。本課題では、以下の2つの技術を研究開発する。

課題ア-1 ハイブリット小型集積技術(受動光部品や送受信OEなどの集積)

SiフォトリックIC技術を用いて、10G-ONU、およびOLTの構成部品をハイブリット小型集積化する技術。具体的には、送信用LD(Laser Diode)/受信用PD(Photonic Diode)、受動光部品、及び電子回路部品などをSi基板上にハイブリット小型集積化技術。

課題ア-2 10G光アクセスバースト信号の通信・制御技術

「課題イ 超高速光スイッチによるアクティブ回線制御」の特性を活用し、10G-ONU(利用者)とOLT(ネットワーク)が双方向に通信するための、バースト信号の構成とその通信・制御機構に関する技術。

課題イ 超高速光スイッチによるアクティブ回線制御に関する技術

本委託研究が実用化を目指すギガビット級光アクセスシステムの核となる光スイッチに関する課題である。本課題では、以下の2つの技術を開発する。

課題イ-1 超高速光スイッチ技術

高速に光行路の切り替えが可能な、多端子を有する超高速光スイッチ技術。光スイッチ自体は、高速な光行路の切り替えが可能な導波路型、例として光導波路と高速スイッチング素子を組み合わせた光スイッチなどを想定する。

課題イ-2 双方向アクティブ回線制御技術

「課題イ-1 超高速光スイッチ技術」の成果である超高速光スイッチなどにより実現

される双方向回線を制御する技術。「課題ア-2 10G 光アクセス-バースト信号の通信・制御技術」により実現される制御機構を上位として、利用者及びネットワークの要求に対応して超高速光スイッチ自体を高速に制御する課題である。

なお、最終年度に課題アと課題イを統合した実証実験を実施し、各課題の達成度を実証実験により確認する。

研究開発に当たっての留意点

研究開発に当たっては、以下を留意すること。なお、以下は研究課題ではないが、提案に際しては、各項目に対する実施方法、及び到達目標を設定することが望ましい。

- 1) 既存のアクセス回線が利用できること、および PON との互換性を確保すること
- 2) 10G-ONU は一般家庭などでの使用が想定されるため、その消費電力は抑えること。同様に、OLT や超高速光スイッチ技術に関わる部分についてもその消費電力は抑えること
- 3) 国際標準技術を獲得するため、ITU-T、IEEE などへの標準化提案を視野に入れた活動を戦略的に推進するとともに、研究開発後も引き続き、研究開発の成果である実動するギガビット級光アクセスシステムに基づき、国際標準技術を獲得するための活動を推進すること。

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-Japan 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 最終報告書 平成 17 年 7 月 28 日）では、21 世紀ネットワーク基盤技術の研究開発課題として、アクセス・バックボーンを一体化する技術、超高速光 LAN や光 NIC(Network Interface Card)の開発、さらに光バースト伝送技術の高度化などが挙げられている。また、長期戦略指針「イノベーション25」（閣議決定 平成 19 年 6 月 1 日）では、政策ロードマップの技術革新戦略ロードマップにおいて、「ますます増大する通信トラフィックでも超低消費電力で、安定したオール光通信ネットワークの実現」を掲げている。

更に、本委託研究テーマに関する技術分野は、米国の GENI (Global Environment for Network Innovations)、欧州の FP7 (7th Framework Programme)など、米国、欧州では国家主導プロジェクトによる国際競争力強化が図られ、国際的な競争に直面している分野であり、「ICT 国際競争力強化プログラム」(総務省 ICT 国際競争力会議 平成 19 年 5 月 22 日)では、光ネットワーク技術の研究開発の推進は国際競争力強化に向

けた具体的取組方策として位置づけられている。

一方、光アクセスシステムの研究開発、実用化は、PON を基本とした、GE-PON /G-PON, 10GE-PON などの諸方式の実用化が進んでいる。そして、GE-PONの実用化を受けて、大容量化、長距離化を目標とした、WDM(Wavelength Division Multiplexing)や TDM(Time Division Multiplexing)技術、及び WDM と TDM の融合技術を PON に適用する次世代方式に研究開発は移行してきている。しかし、PON を基本としたアクセスシステムは、利用者収容能力、回線秘匿性等に原理的な限界があるため、PON に代わる新たなアーキテクチャが求められてきている。

新たなアーキテクチャの候補として光スイッチを用いたアクセスシステムがある。光スイッチは過去、デバイス技術の問題点などから、その実用化、普及が進んでいなかったが、近年、そのデバイス技術は基幹系システムの全光化の研究開発を背景に急速に進捗してきている。

たとえば、光スイッチ技術の代表例である導波路型では、光導波路と半導体アンブ素子を組み合わせた光スイッチが、2x2 ポート構成で、10ns 程度のスイッチ切替速度を実現している。また、電気光学効果型スイッチでは、6ns 以下の切り替えが可能な薄膜導波路を用いた 8x8 クロススイッチが開発されている。スイッチを用いたアクセスシステムの普及を阻んでいたデバイス技術の問題点は、その解決策の一端が見え始めたといえる。

同様に、Si フォトニック IC などの先端デバイス技術の一層の研究開発により、光アクセスシステムの重要な構成要素である ONU、および OLT を超小型で経済的に実現する可能性は増しつつあるといえる。

2) 研究開発の必要性

本委託研究は、ユビキタスネットワーク社会の実現を目指す、『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」』や長期戦略指針「イノベーション 25 ～未来をつくる、無限の可能性への挑戦～」、更には具体的取組方策として光ネットワーク技術の研究開発の推進を位置づけている「ICT 国際競争力強化プログラム」などの政策目標を達成するため、国が率先して研究開発を実施する必要がある。

更に、本委託研究は、国際的に急速に研究開発、実用化が進捗してきている光アクセスシステムに関わるものであり、国際的に最先端のコアデバイスを実現することにより、ギガビット級光アクセスシステムのキーデバイスの主導権を確立し、我が国の ICT 分野での持続的な国際産業競争力を強化するためにも、早急に研究開発に取り組む必要がある。

3) 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テーマの位置づけ

NICT 新世代ネットワーク研究センターの超高速フォトニックネットワークグループ

は、ネットワークの大容量化・高機能化・高信頼化、さらにシステムの電力消費の低減に関わる研究開発を行っている。「超高速光ノード技術」の研究成果として、10 ギガビットイーサ(10G-Ether)とのインターフェースを有する、1 入出力ポート当たりの最大データ速度が 160Gbps の光パケットスイッチプロトタイプを世界で初めて開発した。これらの研究開発は広域バックボーンでの大規模な（例えば 1000 万を越える利用者）パケット転送を目的としたものであり、本委託研究テーマのアクセス系は広域バックボーンに接続されるシステムである点で切り分けられるが、10G-Ether とのインターフェースを有することは、本委託研究テーマとの整合性が高いといえる。

NICT の委託研究では、100 Tbps 級高機能フォトニックノード構成を目指す「高機能フォトニックノード技術の研究開発（平成 17 年度～22 年度）」、「λユーティリティ技術の研究開発（平成 18 年度～22 年度）」、「λ アクセス技術の研究開発（平成 18 年度～22 年度）」などが関係する研究開発である。これらは広域バックボーンに関係する研究開発であり、本委託研究は、これらの研究開発の成果と統合することにより、2010 年以降の全光ネットワークの実現を目指す研究開発と位置づけられる。

4) 標準化の動向

PON 方式については、ITU-T SG15/FSAN では G-PON (Gigabit-PON) , IEEE802.3ah/EFM では E-PON (Ethernet-PON) の標準化を行ってきており、いずれも基本部分の標準化が完了している。現在は、異社間相互接続検証や PICS (Protocol Implement Conformance Statements) 等の規定、拡張機能や運用方法についての議論が行われている。特に、イーサネット技術をベースとした E-PON についてはIEEE802.1ae/afにおいてレイヤ2セキュリティ機能の議論が進められており、これを E-PON に適用していくことが予想される。

また、10Gbps級では、802.3avタスク・グループにおいて、地点間を 10Gbpsのイーサネット(10GE)で接続する 10GE-PONの標準化審議が行われており、現在までに、①PONを利用したアクセス・ネットワークの実現、② 10^{-12} 以下のBER(ビット誤り率)の実現、③1 芯ファイバ(PON)を用いた下り 10 Gbps /上り 1 Gbps(非対称物理層)と下り 10Gbps /上り 10Gbps (対称物理層)の物理層、④光分岐 16 および 32 (光分岐 64 および 128 についてもAd-Hoc(特別委員会)にて検討)、をサポートするPMD(Physical Medium Dependent)の規定、が決定された。更に、次世代高速イーサネットとして、802.3HSSG(Higher Speed Study Group)において、100Gbps級の全二重通信に関する標準化が2009年11月に完了する予定である。

一方、ITU-T SG15/FSAN では NGA-TG が発足し、10G-PON、WDM-PON、PON 長延化の議論が行われている。

IEC (International Electrotechnical Commission : 国際電気標準会議) TC86 (Technical Committee 86 : 第 86 専門委員会) では光ファイバ通信に関する国際規

格制定を担う標準化を行っている。SC86C/WG3 では光増幅器、SC86C/WG4 では光トランシーバ、SC86C/WG5 ではダイナミックチャネル等化器、M×N 光スイッチなどが審議されている。

上記のとおり、PON を基本とした光アクセスシステムの標準化は急速に進みつつあるが、本委託研究が対象とする光スイッチを用いたアクセスシステムについては、いずれの標準化機関においても、標準化の検討はなされていない。

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。

なお、当該到達目標は最低限の目標であり、提案に際しては、当該到達目標を超える目標の設定が望ましい。また、当該到達目標は、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でも見直しを行うものとする。

全体目標

- ・ 少なくとも 128 利用者に対して①10Gbps 以上のスループット、及び②当該 128 利用者の少なくとも任意の 1 利用者以上に対して 10Gbps 以上の光パス通信容量性能、を有する双方向通信が可能な 10Gbps 級の光アクセスシステムを実現すること

個別研究課題目標

課題ア Si フォトニック IC(SPIC: Silicon Photonic Integrated Circuit)による超小型 10G-ONU(10 Gigabit-Optical Network Unit) , 及び OLT(Optical Line Terminal)に関する技術

課題アー1 ハイブリット小型集積技術（受動光部品と送受信 OE の集積）

- ・ Si 基板上に受動光部品と送受信 OE などの構成要素デバイスを集積すること
- ・ 実用化を目指し、既存技術に対して経済的優位を有する技術であることを実証すること

課題アー2 10G 光アクセス-バースト信号の通信・制御技術

- ・ 少なくとも 128 利用者と双方向通信が可能なアクセスシステムの通信・制御技術（MAC 技術、プロトコル技術など）を実装すること

課題イ超高速光スイッチによるアクティブ回線制御に関する技術

課題イー1 超高速光スイッチ技術

- ・ 光スイッチ端子当たり（1 チャンネル当たり）10Gbps 以上の通信容量に対応可能とすること

- ・ 光行路切替は 10ns 以下で可能なこと
- ・ 全損失（ネットロス）を 0dB とすること

課題イー2 双方向アクティブ回線制御技術

- ・ 「課題アー2 10G光アクセス-バースト信号の通信・制御技術」と連携して、10G-ONU（利用者）とOLT（ネットワーク）間のBER(Bit Error Rate)が 10^{-12} 以下の双方向伝送を実現すること

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

本委託研究テーマは、広域バックボーンと端末系を結びつける技術であり、本研究開発と広域バックボーンに関する類似研究開発の成果とを統合することにより、2010 年以降の全光ネットワークの実現を目指すものであり、本委託研究テーマの実用化により、全光ネットワークの実現を目指す広域バックボーンに関する類似研究開発の成果の実用化が具現化することとなり、類似研究開発ハインセンティブを提供することになるなど、その進展を加速する波及効果が期待できる。

また、本委託研究により SPIC などの先端デバイス技術が進展することとなり、類似研究開発における光デバイスの実現のための基盤技術としてそ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

委託研究テーマは、ユビキタスネット社会を目指した通信のブロードバンド化やサービスの多様化に対応した利用者収容能力、回線秘匿性を具備したギガビット級光アクセスシステムを世界に先駆けて実用化することを目的とするものであり、委託研究の成果により、ギガビット級光アクセスシステムの実用化の加速が期待される。

特に、SPIC などの先端デバイス技術により各利用者側に設置される ONU が経済的に実現されることになり、ギガビット級光アクセスシステム実用化・普及に大きく貢献すると期待できる。

3) 標準化活動面に期待する波及効果

近年、急速に進みつつある PON を基本とした光アクセスシステム標準化への対応を含め、標準化の検討がなされていない光スイッチを用いた新たなアクセスシステムのアーキテクチャの提案、研究開発の成果である実動するギガビット級光アクセスシステムに基づく提案活動など、本委託研究の成果は標準化提案を視野に入れた活動推進に活用することができる。結果として、我が国発の国際標準技術として確立するための活動を支援できるなど、波及効果が期待できる。

8. 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 19 年度から平成 21 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である。

課題アについては平成 20 年度、課題イについては、平成 21 年度の前半までに、それぞれ課題毎のプロトタイプを完成し、平成 21 年度の後半には、統合した実証実験を実施する。

なお、平成 20 年度に中間評価を行う。

課題	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
			中間評価 ▼
課題ア： SPIC による超小型 ONU、及び OLT			実証実験
課題イ： 超高速光スイッチに よるアクティブ回 線制御			実証実験

注：課題アと課題イの実証実験は、平成 21 年度後半に統合して実施される。図中の「連携」という文字は、両課題の実証実験が連携して行われることを示している。