

光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点

実施予定期間：平成 20 年度～平成 29 年度

総括責任者：中鉢 良治（（開）産業技術総合研究所理事長）
協働機関：日本電信電話（株）、（株）富士通研究所、古河電気工業（株）、（株）トリマティス、日本電気（株）、富士通（株）*、（株）フジクラ*、（株）アルネアラボラトリ*、住友電工（株）*、北日本電線（株）**（*印は H23 年度から、**印は H25 年度から）

I. 概要

持続的発展可能な社会における、来るべき通信放送融合時代においては、情報通信の抜本的な低エネルギー化技術を創出することが必須である。本提案は、ネットワーク上での超高精細映像コンテンツサービスを可能とする超低エネルギー化技術を創出するため、光通信基盤技術とネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術の垂直融合拠点を構築する。既存枠を破るクロスレイヤーアプローチにより、全く新しい光ネットワーク技術すなわちポスト IP イノベーションを生み出し、情報通信ネットワークの超低消費電力化を目指す。拠点運営では、要素技術で分かれた既存組織を横断するイノベーション・ハブを構築し、垂直融合の戦略的最適化を図る。

1. 機関の現状

提案機関は、国内最大の公的な産業技術研究機関であり、光基盤材料・デバイス技術、超高速光信号処理技術、グリッド・コンピューティング技術において世界をリードする研究機関として、これらを融合する本拠点提案の十分なポテンシャルを有する。さらに、産学官連携制度等による研究員等（ポスドク、企業や大学、海外）約 5300 人（年度延べ数）を受け入れており、人材育成の高い実績を持つ。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

持続的発展可能な社会に必要な、地球環境負荷低減・省エネルギー化のためには、今後激増する高精細映像などの巨大容量の情報を扱うネットワークにおいて、伝送容量あたりの消費電力を、現状技術と比較して 3-4 桁低減しなければならない。そのためには、従来の延長ではなく、デバイス基盤技術領域と、ネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術領域の垂直融合による新しい取り組みが不可欠である。本提案では、全く新しいダイナミック光パス・ネットワークを提案し、抜本的技術革新の創出を狙って以下の 5 つの課題について垂直連携の研究開発を行う。

- ネットワーク利用技術であるネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術
- ネットワークのパスを制御切り替えるダイナミック光ノード技術（H23 年度から）
- 伝送路を最適に制御する光パス・コンディショニング技術
- 大規模光パス切り替えスイッチである光パス・プロセッサ技術
- 新しいネットワーク・アーキテクチャの提案検討
このような垂直融合は、従来なされなかった試みである。

3. 拠点化構想の内容

- 従来の研究ユニット間を串刺しにする横断的な組織「光ネットワーク超低エネルギー化イノベーション・ハブ」を新設する。これにより、マトリックス的組織体制が構築され、既存組織のインフラとフレキシビリティを活用しつつ、包括的な垂直連携拠点の最適運営推進が可能となる。
- 協働企業は、各要素技術レイヤーにおいて代表的であって、好適な垂直連携が出来るよう各レイヤーに分散して配置する。これにより、拠点活動における企業間の競争を抑制し、協調性・シナジーを最大限に高める。
- 「ネットワーク・アーキテクチャ・スタディ・グループ」なる垂直的研究グループを新設し、戦略的な垂直連携・技術垂直融合を推進する。
- 「光ネットワーク超低エネルギー化イノベーション・ハブ」に、イノベーション創出を組織的に推進する実行委員会を設置し、研究の実施に加えて、産学官連携、人材交流、知財戦略などを展開することで、拠点活動の活性化を図る。特に、波及効果を高めるために、NICT や NHK 放送技術研究所などとの外部連携を推進する。

4. 具体的な達成目標

(1) 絞り込み期間終了時（3 年目）における具体的な目標（4 年目からの課題 b. は除く）

- 最大 100Gbps 程度の大容量映像の数千万ユーザへの配信を想定したスケーラブルなネットワーク・アプリケーション・インターフェースと、ネットワークおよびストレージ資源管理方式の設計。
- 広帯域ダイナミック光パス・コンディショニングの原理実証。
- 極低エネルギー化を目指した、シリコンフォトニクスによる、光スイッチ等の光機能デバイスのプロトタイプ実現及びネットワーク機器の小型化に資する小型光スイッチ・変調素子の実現。
- センター・ツー・エンド並びにエンド・ツー・エンドの映像伝送サービスを効率的に実現するダイナミック光パス・ネットワーク・アーキテクチャーの提案。

(2) 中間時（7 年目）における具体的な目標

- 3 年目までの設計に基づき、数千万ユーザに最大 100Gbps 程度の様々なアクセス頻度、ビットレート、長さの映像を配信することを想定した、広域ストレージシステムとネットワーク資源管理のソフトウェアの開発。
- 多粒度の情報に対応できるダイナミック光ノードの開発。
- ダイナミック光パス・コンディショニング自律制御のための、高速群速度分散モニタおよび高速フィードバック回路の開発。
- シリコン細線光導波路を用いた、小型大規模集積化スイッチの実現、ならびに汎用波長選択スイッチの開発。
- 100 Gbps 級の広帯域信号を 3000 万ユーザが利用可能な大規模アーキテクチャーの確立。

(3) 終了時（10 年目）における具体的な目標

フィールド実験により、7 年目までに開発し確認した基本動作がフィールドの環境下でも同様に動作することを実証する。

- テストベッド上での高精細映像配信アプリケーションのフィールド実験ならびに、資源管理ソフトウェアの諸機能の動作実証。
- 多粒度信号に対応できるダイナミック光ノードフィールドでの実証。
- 光パス・コンディショニング自律制御技術のフィールド実験における動作実証（セトリング時間 < 1 msec）。
- 低エネルギー動作・小型大規模集積化光パス・プロセッサおよび波長選択スイッチのフィールド実証。
- 大規模ネットワーク・ア

ーキテクチャの基本動作をフィールドで実証。

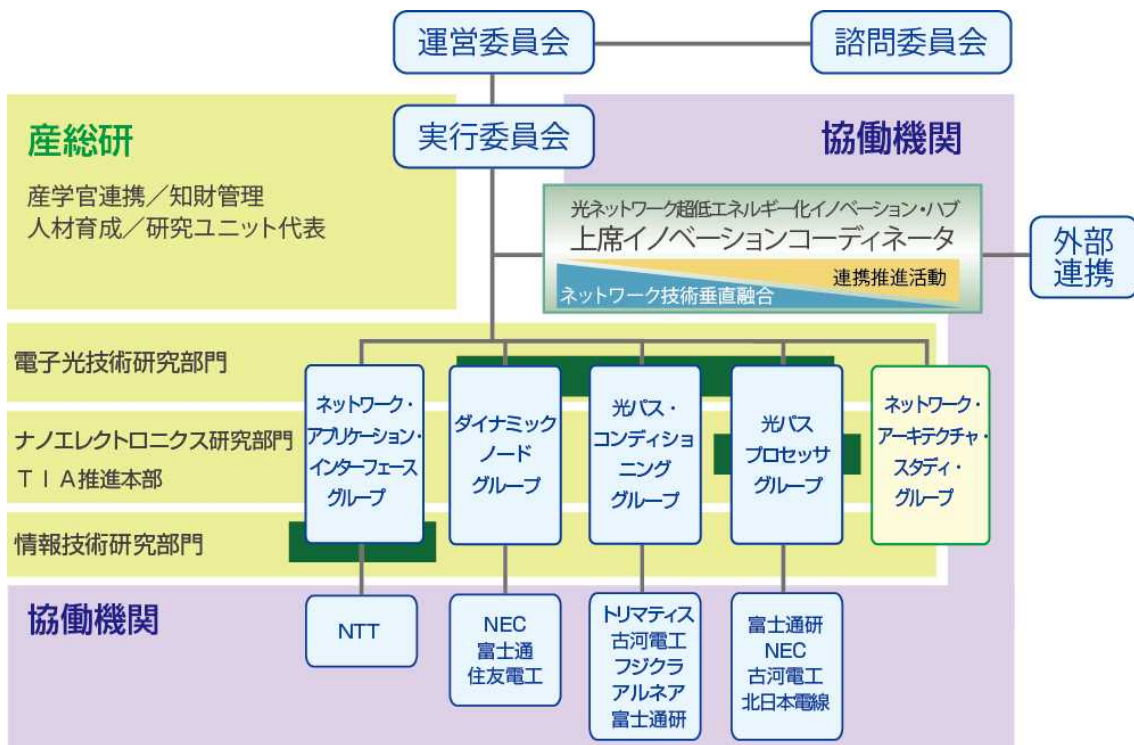
5. 実施期間終了後の取組

本拠点での研究の後半の時期には、高精細映像コンテンツの爆発的普及の結果、NGN-IP 網の限界に差し掛かり、本拠点が掲げる命題が社会の緊急課題となっていると予想される。そこで、社会のニーズに応えるべく、提案機関（産総研）の掲げる第2種基礎研究に全面的に移行して、事業化も考慮した研究開発を推進する。このために産学官のコンソーシアムを設立運営する。また、ニーズに答えて、この分野への人材供給の役割を果たす。さらに、通信の分野は常に新規の技術の開発が必要であり、このための研究も推進する。

6. 期待される波及効果

本拠点構想は、そこで議論され描かれるイノベーションのシナリオに沿って、アプリケーションと基盤技術の両方から従来技術を変えていくものである。新しいネットワーク技術創出のためのレイヤー間連携という視点は従来の研究開発では見られないことから、レイヤー毎に分化した既存研究プロジェクトとの相乗効果も期待できる。一方、GENI、GreenTouch、新世代ネットワークのような全てのネットワークを統一的に抜本的に見直す大きな議論の場に対しても、本拠点の超低エネルギー化技術は構成要素技術の一つとして貢献することができるものと思われ、その点においても重要な波及効果を及ぼす。人材育成では、若手研究者が、このような新しいモデルの研究開発活動を経験することで、本拠点が目指すクロスレイヤーな新しいネットワークの時代にふさわしい国際的競争力を伴った素養を獲得することが出来る。

7. 実施体制



氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
◎中鉢 良治	(開)産業技術総合研究所・理事長	総括責任者 運営委員長
金丸 正剛	(開)産業技術総合研究所・理事	総括責任者補佐 副運営委員長 イノベーション・ハブ運営
米田 晴幸	(開)産業技術総合研究所・上席イノベーションコーディネータ	イノベーション・ハブ総括、知財、産学官外部連携、人材育成担当
○並木 周	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・副研究部門長	実行委員長 ダイナミック・ノード技術開発
田中 良夫	(開)産業技術総合研究所 情報技術研究部門・研究部門長	副実行委員長 ネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術開発
金山 敏彦	(開)産業技術総合研究所・フェロー	イノベーション・ハブ運営
○佐藤 健一	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・特定フェロー(名古屋大学教授)	ネットワーク・アーキテクチャー・スタディ・グループ総括
芦田 極	(開)産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域研究戦略部 研究企画室・研究企画室長	産学官外部連携

森 雅彦	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・研究部門長	光パス・プロセッサ技術開発
昌原 明植	(開)産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門・副研究部門長	光パス・プロセッサ技術開発
○高野 了成	(開)産業技術総合研究所 情報技術研究部門 サイバーフィジカルクラウド研究グループ・研究グループ長	ネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術開発
○井上 崇	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 光ネットワーク技術グループ・研究グループ長	光パス・コンディショニング技術開発
○河島 整	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・総括研究主幹	光パス・プロセッサ技術開発
池田 和浩	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 光パソプロセッサグループ・研究グループ長	光パス・プロセッサ技術開発
鍛塚 治彦	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・研究主幹	光パス・プロセッサ技術開発 ダイナミック光ノード技術開発
上塚 尚登	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 光ネットワーク技術グループ・招聘研究員	光パス・プロセッサ技術開発
工藤 知宏	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・客員研究員(東京大学教授)	ネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術開発
石川 浩	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門・名誉リサーチャー	光パス・プロセッサ技術開発
島野 勝弘	日本電信電話(株) 未来ねっと研究所・主幹研究員	ネットワーク・アプリケーション・インターフェース技術開発
山本 剛之	(株)富士通研究所 デバイス&マテリアル研究所・シニアディレクター	光パス・プロセッサ技術開発 光パス・コンディショニング技術開発
八木 健	古河電気工業(株) コア技術融合研究所 ポリマー技術チーム・チーム長	光パス・コンディショニング技術開発 光パス・プロセッサ技術開発
太田 和哉	(株)トリマティス 技術グループ・グループリーダー	光パス・コンディショニング技術開発
田島 章雄	日本電気(株) IoT デバイス研究所・主任研究員	ダイナミック光ノード技術開発 光パス・プロセッサ技術開発
尾中 寛	富士通(株) ネットワークプロダクト事業本部・プリンシパルエキスパート	ダイナミック光ノード技術開発
小川 憲介	(株)フジクラ 先端技術総合研究所・上席研究員	光パス・コンディショニング技術開発
太田 裕之	(株)アルネアラボラトリ 技術開発部・開発マネージャー	光パス・コンディショニング技術開発
小路 元	住友電気工業(株) 研究統轄本部 伝送デバイス研究所・高集積プロセス研究部長	ダイナミック光ノード技術開発
佐々木 恵逸	北日本電線(株) 光デバイス事業部・部長	光パス・プロセッサ技術開発

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 20 年度

・計画

ネットワーク・アプリケーション・インターフェース、パス・コンディショニング、シリコンフォトニクス各課題で、課題の抽出、原理実証、方式設計を行ない、ソフトウェア、分散補償器、パススイッチのプロトタイプ開発に着手する。また、拠点の基盤確立のため、測定装置、プロセス装置の導入整備を行う。

・実績

ネットワーク・アプリケーション・インターフェースでは、映像向けストレージ・アーキテクチャのおよびストレージ予約機能の開発に着手した。パス・コンディショニングでは、パラメトリックな波長変換による分散補償技術の THz 帯域での動作を確認した。シリコンフォトニクスでは、導波路制作技術の開発を行い、干渉計スイッチの基本構造の試作を行った。

b. 平成 21 年度

・計画

ネットワーク資源管理ソフト、ストレージシステムプロトタイプの開発、パラメトリック分散補償技術を用いたパソコンディショニングの実証、ならびに、シリコンフォトニクスを用いた熱光学型の単体プロトタイプ光スイッチの開発と基本的な動作の実証を行う。並行して、評価装置、プロセス装置の整備を進める。

・実績

ストレージも含むネットワーク資源管理ソフトを開発、実装を進めた。また、パラメトリック分散補償では、分散補償に加え遅延制御動作も実証した。シリコンフォトニクスでは、単体素子で十分な速度と消費電力を得て、4x4 スwitchの試作を開始した。

c. 平成 22 年度

・計画

この時点で利用可能なネットワーク・計算器・ストレージ環境を用いて、一部に開発したシリコンフォトニクスのスイッチを用いて、映像配信の実証実験を行う。パソコンディショニングでは、帯域 1THz、応答時間 1ms 以下の分散補償を実証する。また、光パス・ネットワークの基本的なアーキテクチャを提案する。

・実績

開発したネットワークとストレージを統合管理する技術、シリコンフォトニクスを用いた光スイッチ、光パス・コンディショニング技術を統合して、NICT、NHK と連携して、光パス・ネットワークによる映像配信の公開実証実験を行った。これにより光パス・ネットワークの低消費電力性を実証した。また、ネットワークの基本的なアーキテクチャを提案した。

d. 平成 23 年度

・計画

超高精細映像コンテンツサービスの実証に向けたネットワークおよびストレージ資源管理機能を持つソフトウェアの開発を進める。多粒度の情報に対応できる光ノード技術の開発、パス・コンディショニングの自律制御に向けた技術の開発に着手する。光パス・プロセッサでは、大規模化に向けた製作技術の開発を行うと同時に波長選択スイッチの開発に着手する。

・実績

標準化が進む端点間パス要求インターフェースに準拠した資源管理ソフトウェアを開発した。また、多粒度多階層ネットワークトポロジーの詳細検討を進め、平成 26 年度に予定するネットワーク実証実験の企画を検討した。これに沿って、光ノード技術開発を開始した。光パス・コンディショニングではデジタル制御技術の開発に着手した。光パス・プロセッサでは、シリコンフォトニクススイッチの大規模化ならびに波長超選択スイッチの原理確認を行った。

e. 平成 24 年度

・計画

超高精細映像コンテンツサービスに向けて、上位レイヤーからの指示に対応できるネットワークおよびストレージ資源管理機能の開発を進める。光ノードの要素技術の開発、パス・コンディショニングの性能向上開発を行う。光パス・プロセッサでは、大規模実装技術、電子回路の集積などの技術開発を進める。

・実績

ネットワーク資源管理へのロール階層モデルの導入、ストレージ性能保証品質の向上、端点間パス要求インターフェースの標準化の推進とクラウドへの適用の検討を行った。平成 26 年度のネットワーク実証実験に向け、ダイナミック・ノードの制御インターフェースを整理する作業を開始した。光パス・コンディショニングでは波長可変光源制御系を試作した。光パス・プロセッサでは、CMOS 駆動回路をモノリシック集積した光スイッチの試作に成功した。

f. 平成 25 年度

・計画

超高精細映像コンテンツサービスの実証に向けたネットワークおよびストレージ資源管理機能の改良を行う。自律的パス・コンディショニング技術の開発、光スイッチの大規模化を進め、光ノード機器への収容を行う。また、3000 万加入にまでスケーラブルなアーキテクチャを提案する。

・実績

ネットワークおよびストレージ資源管理機能の改良を行い、平成 26 年度に実施するネットワーク実証実験に向けた準備を進めた。自律的パス・コンディショニングプロトタイプを完成させた。世界最小 8x8 光スイッチを開発し、光ノード機器への収容を進めた。3000 万加入にまでスケーラブルなアーキテクチャを提案し、その消費エネルギー解析を実施し、従来技術に比べ 3 桁の改善効果があることを確認した。この提案骨子は国際標準機関 IEC のメガトレンドとして登録された。

g. 平成 26 年度

・計画

広域ストレージ・映像配信をサポートするソフトウェアの開発と実装を行う。多粒度情報に対応する光ノードの基

本技術と自律的光パス・コンディショニング技術を確立する。また、システム実験に実装可能な大規模マトリックススイッチと波長スイッチを実現する。これら技術を統合して、ネットワーク・アーキテクチャ案を反映させたダイナミック光パス・ネットワークを構築し、実証実験を行う。この実証実験では NHK 放送技術研究所との連携により、同ネットワーク上での超高精細映像サービスに関する実験も行う。

・実績

広域ストレージ・映像配信をサポートする資源管理の開発とダイナミック光パス・ネットワークへの実装を行った。多粒度情報に対応する光ノードと自律的光パス・コンディショニングのプロトタイプ開発を完成した。また、システム実験に実装可能な大規模マトリックススイッチと波長スイッチを実現した。これら技術を統合して、国際標準 NSI-CS2.0 プロトコルに準拠するダイナミック光パス・ネットワークテストベッドを構築し、実証実験に成功した。この実証実験では NHK 放送技術研究所との連携により、同ネットワーク上での超高精細映像サービスを用いた遠隔合奏実験を行い、成功した。

h. 平成 27 年度

・計画

前年度の実証試験の結果を踏まえて、本格的テストベッドによるフィールド実証に向けた、ソフトウェア実装、ノード機器開発、自律的光パス・コンディショニング技術開発ならびに、大規模光スイッチの性能向上を進める。

・実績

前年度に構築したテストベッドの整備・拡張を行い、本格的テストベッド実運用を円滑にできるように準備を進めた。テストベッド運用に関する規定を整備し、実用へ向けた課題の抽出を行い、資源管理システムやツールの改良を進めた。ノード機器では、ラックの標準化について検討を行った。自律的光パス・コンディショニングでは、特に波長変換部の実用化検討を進めた。大規模光スイッチの性能向上として、シリコンフォトニクス光スイッチの諸特性の改良を進め、光スイッチを制御する小型の電子回路基板を試作した。

i. 平成 28 年度

・計画

テストベッドを実フィールドに拡張するため、ソフトウェア実装、標準ラック型ノード機器開発を行う。そのために、各要素技術の完成度を高めると同時に、実フィールドでの外部連携によるアプリケーションとの連携動作を行う。

・実績

ダイナミック・ノードの標準ラックを立案・開発した。標準ラックに準拠するために、各要素技術において低エネルギー化・小型化の検討を進めた。標準ラックによるテストベッドを実フィールドに敷設し実運用を開始した。特に、外部連携によるアプリケーションでは 4K テレセッションの実運用を行った。仮想ネットワークの性能確保技術として、CPU キャッシュ制御技術の完成度を高めた。波長変換器プロトタイプの低エネルギー化・小型化を進め、標準ラック準拠の筐体に収容した。8x8、32x32 シリコンフォトニクススイッチを制御回路基板と一体化し、標準ラックの筐体の実装した。また、同スイッチの動作電力をさらに低減する素子構造を検討した。波長選択スイッチについては独自方式による高性能化に向けたプロトタイプの製作を行った。

j. 平成 29 年度

・計画

各要素技術の最適化により、ダイナミック光パス・ネットワークが、さまざまな用途に対して超低エネルギーで動作することをフィールド実験により実証する。これにより、

実環境において、全国展開可能で持続発展できる、超低エネルギーのダイナミック光パス・ネットワーク技術を実証する。

9. 年次計画

項目	1年度目	2年度目	3年度目	4年度目	5年度目	6年度目	7年度目	8年度目	9年度目	10年度目	
研究設備の導入	基盤的設備導入			設備の高度化			設備の保守改良				
ネットワーク・アプリケーション・インターフェース	プロトタイプ実証			超高精細コンテンツサービスの実証				高性能化とテストベッド実証			
ダイナミック光ノード				多粒度対応ノード開発				高性能化とテストベッド実証			
パス・コンディショニング	原理実証			性能向上・自律的制御技術開発				高性能化とテストベッド実証			
光パス・プロセッサ	プロトタイプ開発			集積化デバイス、波長選択デバイス				高性能化とテストベッド実証			
アーキテクチャ				アーキテクチャの検討と策定				アーキテクチャ検証			
研究費（総計）（百万円）	235	345	371	1,221	1,167	1,152	1,030	970	946	945	
内補助金等（百万円）	133	135	133	684	650	598	484	453	437	437	

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
(研究実施者)		
中鉢 良治	(開)産業技術総合研究所 理事長	総括責任者
金丸 正剛	(開)産業技術総合研究所 理事	副運営委員長
並木 周	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 副研究部門長	実行委員長
高野 了成	(開)産業技術総合研究所 情報技術研究部門 サイバーフィジカルクラウド研究グループ 研究グループ長	実行委員
井上 崇	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 光ネットワーク技術グループ 研究グループ長	実行委員
河島 整	(開)産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 総括研究主幹	実行委員
(外部有識者)		
○神谷 武志	東京大学名誉教授	諮問委員長
藤田 欣裕	愛媛大学 大学院 理工学研究科 教授	諮問委員
森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター 教授	諮問委員
中島 啓幾	早稲田大学 理工学研究院 教授	諮問委員
漆谷 重雄	国立情報学研究所 教授	諮問委員