

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

～ 次世代フォトニックネットワークWG報告書概要 ～

21世紀ネットワーク基盤技術研究推進会議
次世代フォトニックネットワークワーキンググループ

フォトニックネットワーク技術の現状と動向

諸外国では、国家主導プロジェクトとして、バックボーンからアクセス系に至るフォトニックネットワーク技術や波長のダイナミックな運用に関する研究開発が産学官連携の下、活発化

欧州

○ **第6次研究開発フレームワーク計画** (2002年～2006年)において、**Information Society Technologies (IST) プログラム**の中のプロジェクトの一つである、**OPTIMIST_** (Optical Technologies in Motion for the IST Programme II) の下、コアネットワークからアクセス系までの光ネットワーク技術や、波長の動的な制御・運用に向けた研究開発が進行中。

・ **STOLAS** (Switching Technologies for Optically Labeled Signals): **光ラベルスイッチによるルーティング**を用いた光パケットネットワークの研究
・ **TOPRATE** (Terabit/s Optical Transmission Systems based on Ultrahigh Channel Bitrate): 1波長当たりの伝送容量限界の追求や、160Gbpsを超える**超高速光信号処理技術**の研究

米国

○ **DARPA**等が中心となり、各種要素技術に関するプロジェクトを戦略的に推進。

・ **Chip-scale WDM**: **WDM技術**を利用した次世代ダイナミック網及びその構成要素技術の研究開発
・ **Analog optical signal processing**: **光アナログ信号処理技術**によるシステム性能向上、高性能光検出、任意光波形発生等
・ **Chip to chip interconnects**: **40Tbps**での接続を可能とする光接続技術の開発

○ **フォトニック技術を導入した研究開発ネットワーク**
・ **光スイッチ技術**を導入して、ネットワーク相互接続点である**STAR TAP**を光化する**StarLight**

・ **100Tbps**以上の光ルータの実現を目標とした**DOD-N** (Data in the Optical Domain Networks) が開始

ルータ開発に関し国家間で競争が激化

電気ルータ

- ✓ 米国(シスコシステムズ等)が市場をほぼ独占
- ✓ IP標準化における日本の影響力低下

光ルータ関連プロジェクトが活発化

・ 米国DARPAのLASOR, IRISプロジェクト
・ 欧州RTD基本計画に基づくICTプログラム
・ 韓国等アジア各国の追い上げ

- NWの柔軟性、拡張性、容量の向上
- 低消費電力化による環境問題対策
- ユビキタスNWのインフラ整備
- 新たなIT産業(ハード/ソフト)の起爆剤

光ルータ

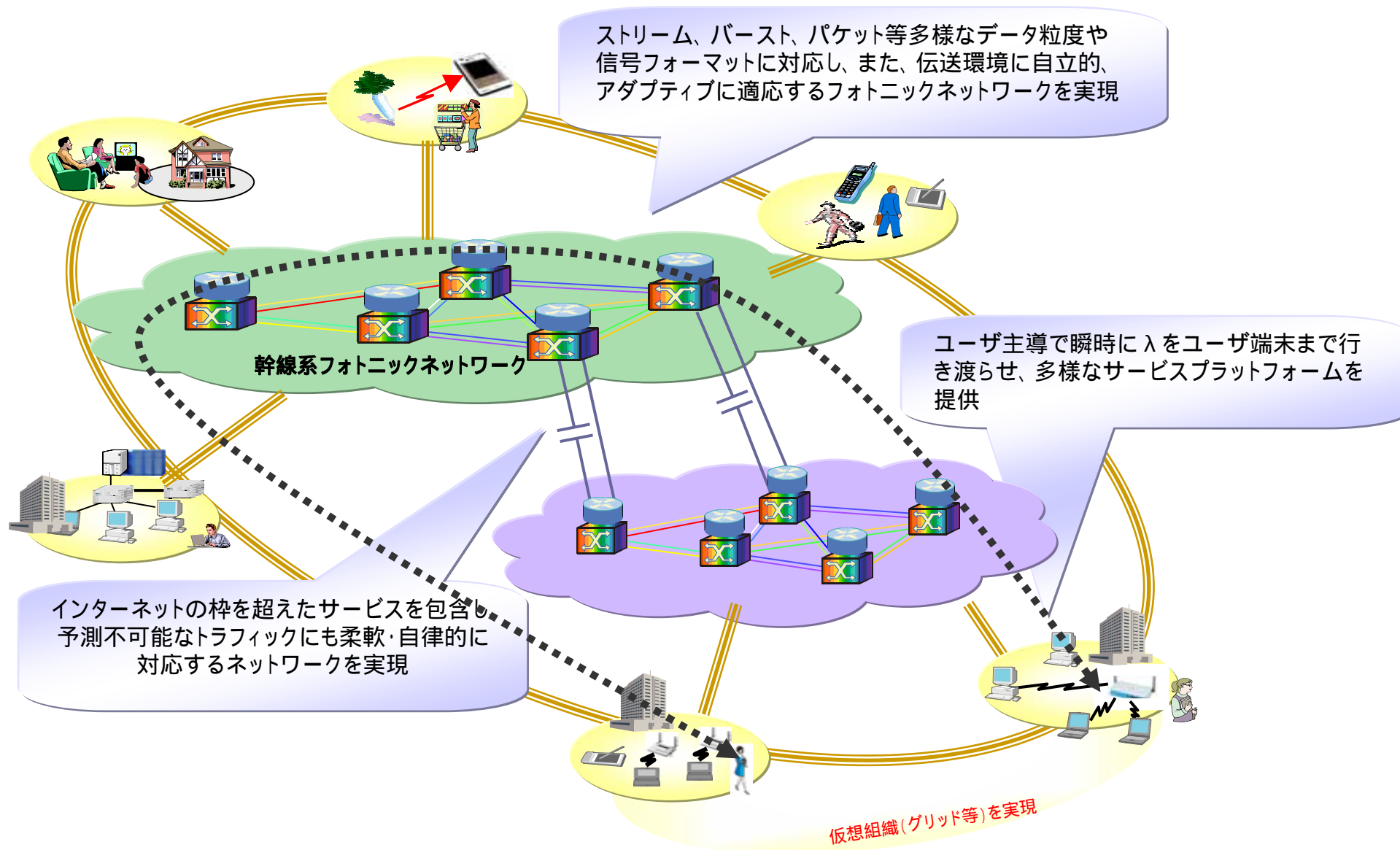
Made in Japan の光ルータを開発し、市場の巻き返しが必要

Key drivers: *Bandwidth-hungry* なアプリケーション

- グリッドコンピューティング
- 実時間超高精細動画ストリーミング
- e-コマース: ネットワークストレージ

- ・ いつでも、どこでも、オンデマンドで、ユーザ自らが所望の帯域を即座に確保できる**フォトニックプラットフォーム**を実現し、*Bandwidth-hungry* なアプリケーションの利用促進を通して、豊かな生活、豊かな社会の実現に貢献
- ・ リーディングタイムを確保できる先進的ネットワーク基盤技術

ユビキタスネット社会におけるフォトニックネットワークの実現像



次世代フォトニックネットワークの研究開発課題

短期的課題

(2010年までに実現すべきもの)

中期的課題

(2015年までの実現に向け、2010年までに要素技術を確立すべきもの)

ネットワークアーキテクチャ

- アクセス・バックボーン一体化技術
- 大容量メトロリングネットワーク技術
- 全光ネットワークセキュリティ技術
- ボードレス光ネットワーク技術

- フォトニックNW制御オペレーション技術
- フォトニックNWサービス制御技術
- フォトニックNWリンク制御技術

- スーパーフォトニックルータ
- フォトニックマルチフォーマットノード
- 次世代光伝達処理ノード
- 波長群ルーティングノード
- 超高速OTDM処理ノード
- 低消費電力フォトニックノード

リンク技術

- 高効率大容量光伝送技術
- 適応型分散補償光ネットワーク

超高速信号処理

- 超高速光信号処理を用いたフォトニックネットワーク技術
- 高速光スイッチングインターコネクトネットワーク技術
- 全光ローカルエリアネットワーク・テラビットLAN

ネットワーク制御技術

- バックボーンとアクセスを融合した自律型フォトニックネットワーク技術
- λ ユーティリティネットワーク
- 超セキュア・フォトニックネットワーク
- 多元粒度制御・ペタビットフォトニックネットワーク構成技術
- マルチレイヤ・マルチドメイン統合化ネットワーク経路制御技術

ネットワーキング技術

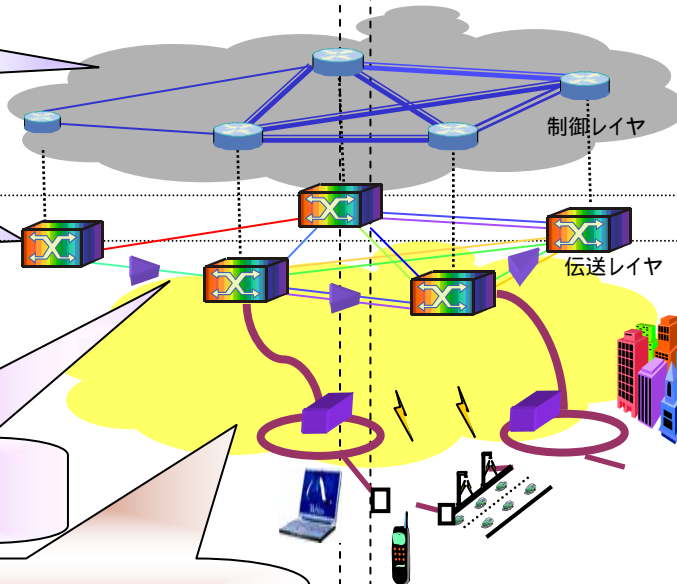
要素・基盤技術

全光超高速信号処理

- 光パケット交換技術
- 光RAMサブシステム
- テラビットOTDM処理ノード
- 超小型低消費電力フォトニックルータ向け集積型光信号処理チップ

極限リンク技術

- 超高密度光周波数多重通信方式
- 位相変調対応全光2R/3R信号再生技術



ネットワーキング技術 ～ネットワークアーキテクチャ～

- ユーザ速度の向上に伴い、アクセスネットワークとバックボーンを一体化することで、トータルネットワークを最適化すると同時にそれに必要な技術開発が重要。
- メトロネットワークについては、光信号のカットスルー性を有効利用した方式を適用し、その高速光ラベル処理と高速信号伝送によって、より大容量でフレキシブルなマルチプロトコル・リングプラットフォームを実現。
- また、ドメインネットワーク内に限らずドメイン間でも光パスを設定可能なネットワーク・アーキテクチャ、および制御方式に関する検討が必要。
- 中期的には、光パケットルーティング技術、光バースト送受信技術、全光再生技術、各通信(変復調)方式の対応を可能とするマルチプロトコル送受信技術による柔軟なフォトリックネットワーク網の研究開発が重要。
- 他方、トランスペアレント光ネットワークを実現する上で重要な、物理レイヤの脆弱性をつく攻撃にも備えた全光ネットワークのセキュリティに関する研究開発も重要。ノード間の接続を保護するセキュアなインターフェースと、ネットワーク間の接続を保護するセキュアなノード(光ファイアウォール)を検討する必要。更に、主信号を暗号化すると共に、制御信号も暗号化し、これらの鍵を量子光通信技術により安全に配信できる超大容量で超セキュアなスーパー光ネットワークを実現。

2008年

- ・数Gクラスアクセス技術、TOS制御技術等の開発
- ・オンデマンドλVPNと光バースト信号など、マルチフォーマットに対応する光信号制御技術の確立
- ・ドメイン間のシームレスな光パス設定機構実現
- ・ネットワークスケーラビリティの確保
- ・高度に符号化された光周波数キャリアによるセキュアな光伝送技術
- ・光レベルのセキュリティ検討

2010年

- ・10ギガクラスアクセス収容技術、TOSを考慮したアクセス技術、アクセス管理技術、バックボーン幹線を含めたネットワーク全体の制御管理技術等の確立
- ・マルチリング間を跨ぐ光バーストネットワーク構築技術、高速光バースト伝送信号の品質モニタ、監視技術の確立
- ・グローバルスケールでのパスの設定、解除の自動化
- ・動的な光パス設定変更での光レーヤ上位レーヤ間協調
- ・160Gb/s級の高速光MUX/DMUX技術、ユーザ向けGb/s光バースト受信技術等の開発
- ・全光ネットワークにおける攻撃、妨害及び盗聴からの保護・検出手段の実装(光ファイアウォールの実現)
- ・光量子通信により、鍵の配信距離の確保とこれを用いた光パス設定の実現

2015年

- ・各ユーザ10Gb/s級の配信を可能とする全光再生技術の開発
- ・ノードにおける全光処理を実現
- ・主信号および制御信号を含めた、全光型のテラビット級で超セキュアなスーパー光ネットワークの実現

ネットワーキング技術 ～ネットワーク制御技術～

- GMPLS分散制御とOpS集中制御の連携による運用コスト低減。プロテクション/リストレーションのグレード多様化と、連携運用による故障復旧機能の低廉化。GMPLS共通リソース管理による高コストパフォーマンスな光パス広帯域提供サービスの実現。光パスのオンデマンド制御
- フォトニックネットワークによる高速データ伝送と、自動発見、自動経路設定、自動障害回復などを行うGMPLSを発展させたプロトコル群との連携により、自動的に多様な資源を自在にアプリケーションに割り当てるシステムを構築する技術。
- また、複数のリンクを論理的に束ねることにより大容量のリンクを実現する、リンクアグリゲーション(LAG)技術が重要。
- グリッドコンピューティング、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、ペタビット級の転送処理能力とともに、きめ細かく柔軟な光パス容量制御を実現する技術の研究開発が重要。
- 既存の経路制御方式にとらわれない、フォトニックネットワークを核としたマルチレイヤ・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の研究開発が重要。

2008年

- ・GMPLS
- ・コスト性能比の高い分散処理アプリケーションシステム実行環境を可能とする構成を検討
- ・40GbE方式の開発
- ・LMP / RSVP拡張機能の開発

2010年

- ・次世代GMPLS、フォトニックGRID - NW制御技術
- ・ダイナミック広域分散システム 基盤等GRID向けフォトニックNW制御方式の検討
- ・100GbE方式の開発
- ・障害情報転送機能等の開発による伝送路との連携
- ・テラビット級光信号の再生増幅技術、ペタビット光ノード構成技術
- ・10Gb/s～1Tb/s程度まで、柔軟にパス容量を設定可能なネットワーク構成技術
- ・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の設計

2015年

- ・2008年までに確立した各要素技術を用いたネットワーク構成技術、システム化技術の確立
- ・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の試作

ネットワーキング技術 ～ ノード技術 ～

- 光と電気の緊密な連携による大容量化・高機能化を両立させ、トラフィック需要に柔軟に対応し、高度な通信品質保証を可能とするフォトニックルータの要素技術確立が必要。
- このため、光ファイバで伝送された波長分割多重(WDM)信号を一括してスイッチングする、あるいは、WDM信号を複数に分割した“波長群”を単位としてスイッチングする技術が不可欠。
- 現状、ソフトウェア処理や電氣的ハードウェア処理により行われているインターフェースやゲートウェイ内部の処理に積極的に光処理技術を導入し、高速且つ透明度の高い光ノードを構築することが重要。
- また、多様な伝送方式、伝送速度等の信号を様々な品質要求に応じて転送可能にする光ノード技術の確立が重要。粒度の異なるデータなど、サービスに応じて柔軟に対応することで、伝送効率の向上、伝送遅延の抑圧、フェアネス確保等QoSの向上が可能。
- 光のカットスルー技術の活用や低消費電力光スイッチの開発等により、省電力の光ネットワークの実現を図る。

2008年

- ・40Tbps級ノード(40Gbpsノード)の要素技術確立
- ・波長群ルーティング方式の最適化
- ・数十Tbpsの光スイッチングの実現
- ・数百nsオーダー高速光スイッチング、高速制御回路技術
- ・上記に対応するシグナリング/ネットワーク技術、ノード構成技術
- ・トランスパレンシ光ノード構成検討
- ・光のカットスルー技術による低消費電力の定量化
- ・低消費電力光スイッチの基本技術開発



2010年

- ・40Tbps級ノードのシステム化技術、ノード制御管理技術確立
- ・数百Tbpsの光スイッチングの実現
- ・波長群ルーティングノードの試作
- ・数十nsオーダー以下の高速光スイッチング、高速制御回路技術
- ・上記に対応するシグナリング/ネットワーク技術、ノード構成技術
- ・光ノード経済化、従来ノードに対する優位性
- ・制御・管理機能の充実
- ・多様な信頼性レベルへの対応
- ・電気・光技術を適用的に用いた光ノードのアーキテクチャ
- ・低消費電力光ノードの試作

リンク技術

- 光多値変復調技術等による周波数利用効率、エネルギー効率の向上した大容量光伝送技術を開発し、リンク容量拡大とコスト低減の両立を実現。更に、これを発展させた超高密度周波数多重通信方式の開発により、限られた帯域を最大限活用する、大容量かつ省エネルギーの光伝送技術を確立。
- また、ファイバ環境による分散特性変動のみならず、光パス(経路)変更に伴うダイナミックな適応型分散補償ネットワークを開発。

2008年

- ・1波長当たり40Gb/s～80Gb/sの信号を200波長程度収容する伝送技術を確立
- ・波長数を周波数利用効率として、1bit/s/Hz以上を実現
- ・可変型波長分散補償デバイス:低損失(5dB以下)、広帯域(160Gbit/sまで)
- ・偏波モード分散補償方式:高速(1ms以下)

2010年

- ・1波長当たり80Gb/s～160Gb/sの信号を1000波長収容する伝送技術を開発
- ・周波数利用効率として、2bit/s/Hz以上を実現
- ・適応型波長・偏波モード分散光ネットワークのテストベッド検証

2015年

- ・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の開発
- ・DQPSK方式を超える多重変復調に必要な符号化・復号化技術の開発

超高速信号処理

- 光半導体デバイスや光ファイバなどの非線形光学材料を応用することにより、電子デバイスでは達成できない超高速信号処理を用いたフォトニックネットワーク技術の開発が重要。
- 具体的には、高速光スイッチングインターコネクトネットワークの技術開発に関する、多ポート高速光スイッチングデバイス、高速制御回路技術、信号制御・スケジューリング等シグナリング/ネットワーク/ノード構成技術、電気光融合技術、バンド幅拡大のための波長多重および低消費電力、高速光インターフェイス回路技術(～40Gb/s)等を開発。
- 中期的には、伝送される光信号自体が行き先を認識する光パケット型の交換を実現するため、全光信号処理技術を基本とした光ルータ技術等の研究開発が重要であり、このために、読み書き可能な光メモリ機能の実現が不可欠。フォトニック結晶やナノ構造材料を活用し、各種機能材料をハイブリッド集積した超小型低消費電力フォトニックルータ集積型光信号処理チップを実現。
- アクセス系としては、既存EthernetベースのLANを阻害せず、超高速なシリアルIFとWDMパラレルIF技術を包括的に扱い、オンデマンドなテラビットIFを提供するための技術が重要。
- 具体的には、超高速光信号処理の優れた特性を活用したテラビット信号を処理可能なOTDM処理スイッチを開発し、これを用いた超高速光同期ノード、超高速サーバー間データ転送、超高速ストレージアクセス、超高速光配信などへ応用することにより、光ネットワーク全体の超高速化を目指す。

2008年

- ・超高速光信号処理を用いたサブシステム基礎検討
- ・数十×数十、nsオーダー多ポート高速光スイッチング、高速制御回路技術
- ・40Gb/s小型、低消費電力、高速光インターフェイス回路基本技術
- ・100Gb/s級のIFとネットワークング技術を開発し、100GイーサNW技術のコアコンピタンスを確立
- ・160Gb/sスループットの超高速光インターコネクト要素技術確立

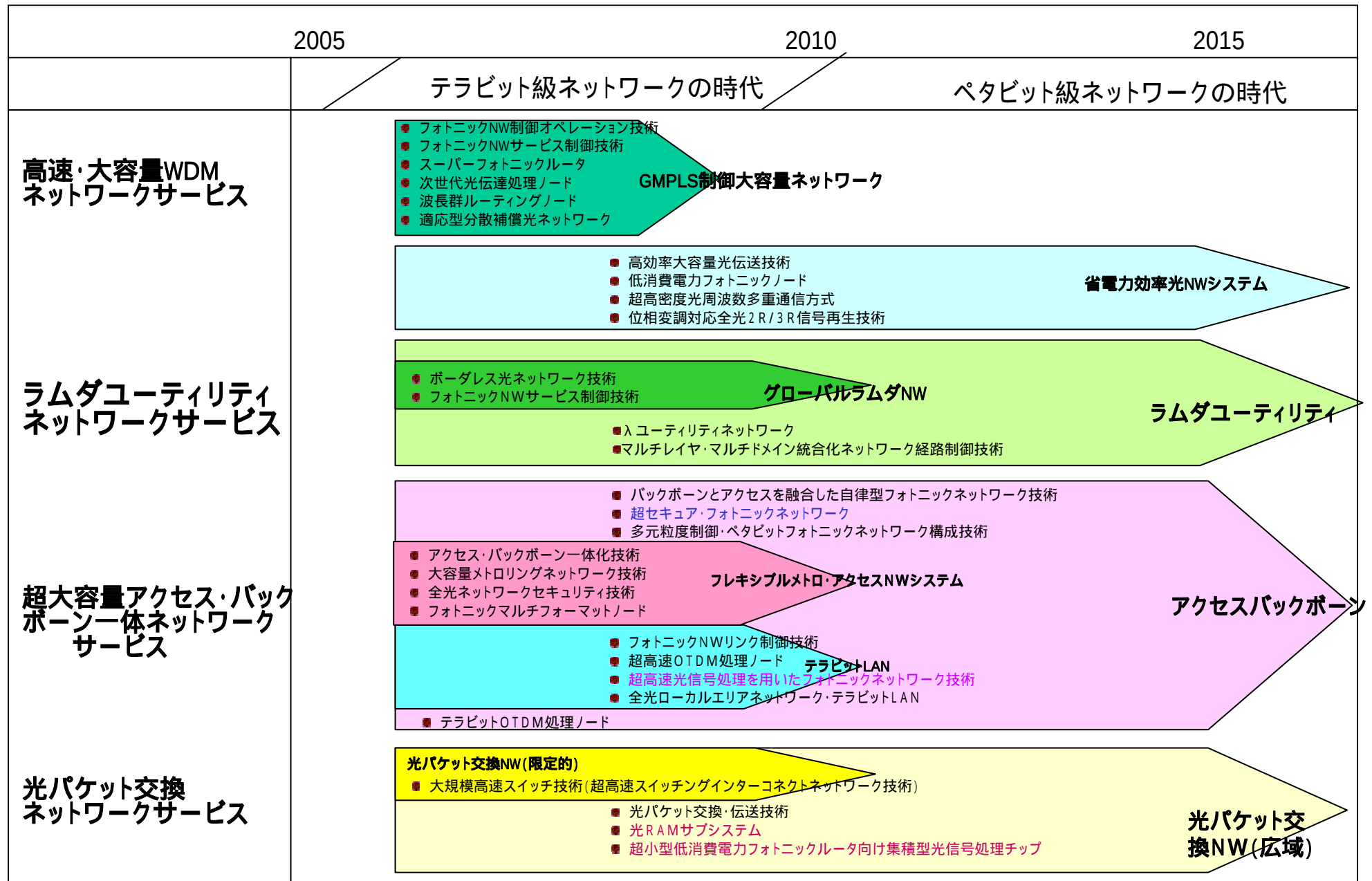
2010年

- ・超高速光信号処理を用いたサブシステムの実証とビットレートフォーマットのトランスペアレント化
- ・数百×数百、nsオーダー多ポート高速光スイッチング、高速制御回路技術
- ・40Gb/s、波長多重、小型、低消費電力、高速光インターフェイス回路技術
- ・40Gbit/sのデータ書込・読込を可能とする光メモリの開発
- ・光パケット・ラベル認識技術の開発
- ・フォトニック結晶やナノ構造材料による超小型導波路型光信号処理の原理確認
- ・640Gb/s サーバ間データ転送、超高速ストレージアクセス、超高速光配信
- ・640Gb/sスループットの超小型WDM光インターコネクト技術確立

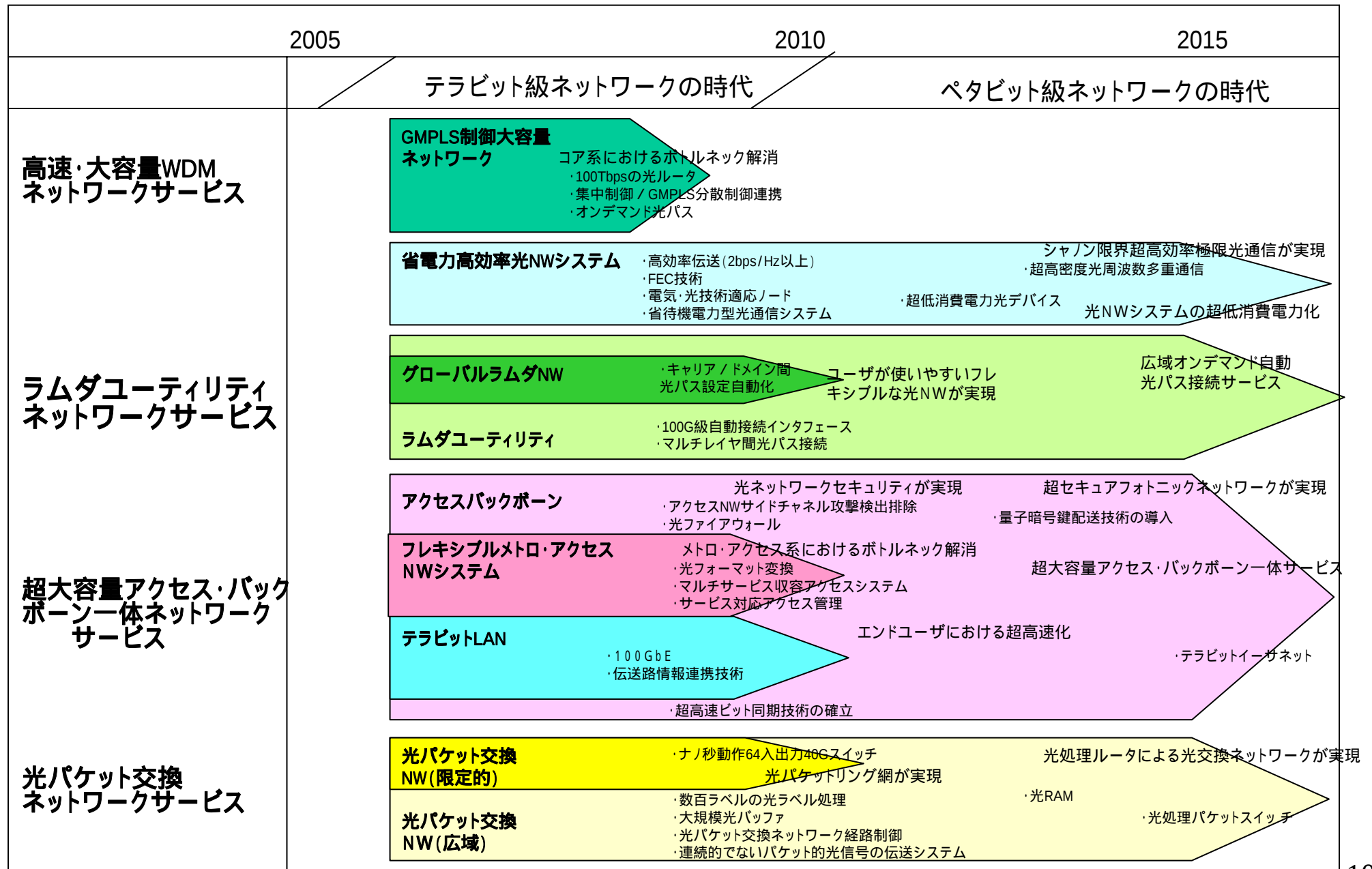
2015年

- ・全光ルータを用いた光交換機の実現
- ・1Tb/s サーバ間データ転送、超高速ストレージアクセス、超高速光配信

次世代フォトニックネットワークの研究開発課題



次世代フォトニックネットワークの技術開発ロードマップ(案)



次世代フォトニックネットワーク研究開発の全体戦略について(案)

