

超高速光伝送システム技術の研究開発

(デジタルコヒーレント光送受信技術)

基本計画書

1. 目的

ブロードバンド環境の普及に呼応して、ネットワーク利用形態がインターネットアクセスや電子メールなどテキスト情報中心の利用から音楽・動画配信など映像情報中心の利用へと変化していることから、ネットワークを流通するデータ通信トラフィックは指数関数的に増加しており、今後もさらに増加が続くことが予想される。増加を続ける通信量に対応するためには、LAN 及び光アクセスネットワークからメトロ・基幹光ネットワークに至る全てのネットワーク要素について更なる大容量化が求められている。また、地球温暖化対策や低炭素社会への移行の観点から、ネットワークの省電力化が求められている。これらの要求に対応するため、高速・高品質な信号伝送を実現するための光通信技術および、ネットワークの省電力化を可能とする技術の開発を行うことを目的とする。

2. 政策的位置付け

本件は「第3期科学技術基本計画分野別推進戦略」(平成18年3月 総合科学技術会議)の、「オール光通信処理技術」に該当し、「2010年までにペタビット級ネットワーク構成技術の確立、2015年までにオール光ネットワーク構成技術の確立を目指すとともに、国際標準化も見据え以下の課題を戦略的に推進する」ことが政策目標として掲げられている。

「重点計画2008」(平成20年8月 IT戦略本部)においては、「ネットワークの大容量化・高機能化を図るとともに、高い電力効率を目指し、産学官の連携のもと我が国が世界に誇る「光」技術の研究開発を推進する。2010年までに、100Tbps級光ルータ、光RAM実現のための要素技術等、光のままに伝送するオール光ネットワーク実現につながる基盤技術を確立し、また、2015年までの実証を目指す。これにより、今後ますます増大する通信トラフィックに対応した低消費電力で安定したネットワークを実現する」ことが政策目標として掲げられている。

総務省におけるUNS研究開発戦略プログラムII(平成20年6月 情報通信審議会答申)においては、「新世代の超高速フォトニックネットワークを実現するための技術であり、ノード技術、伝送技術およびアクセス網に関する技術の研究開発である。ルータ等のネットワーク機器の電子処理部分(制御回路等)は外国企業の研究開発が

先行システム製品市場の寡占化が進んでいるが、光処理部分(光入出力ポート等)について我が国の研究開発水準は高い。今後、フォトリソグラフィネットワークの進展とともにシステム内部で光処理部分の占める割合が増加することから我が国の優位性が次第に活かされてくるものと期待される」旨記載されている。

「デジタル日本創生プロジェクト（ICT鳩山プラン）- 骨子 -」（平成21年3月17日）では、「我が国の“尖った”技術の早期実用化・市場投入を図るため、超高速・省電力のオール光通信等を実現する次世代光通信技術の研究開発を加速化し、ICT分野における新産業のシーズを創出するとともに、我が国の国際競争力の強化を図る。」旨記載されている。

また、未来開拓戦略（平成21年4月17日 経済財政諮問会議）において、「ITを活用した、省電力エコ・インターネットの実現、オール光通信技術に関する研究開発の加速化、消費エネルギー抑制ホームネットワーク技術を進める。」旨記載されている。

3. 目 標

(1) 政策目標

ネットワーク利用形態が、電子メールなどのテキスト情報中心の利用から、音楽・動画配信など映像情報中心の利用へと変化している。その結果、ネットワークを流通する通信トラフィックは指数関数的に増加しており、今後もさらなる増加が続くことが予想される。これらの大容量情報が高速かつ高品質に伝送可能とするために、国民が安心かつストレスなく利用できるネットワーク基盤の構築に貢献することを目指す。

産業へ目を向けると、新たな経済成長を実現するためには、内需主導で国際競争力を有するデジタル新産業を創出することが急務である。国際的に戦略分野と認識されているICT分野で我が国が強みとする技術を見極め、早期に市場投入することによりデジタル新産業を創出し、産業の活性化・国際競争力の強化、住民サービスの向上を目指す。また、デジタル新産業の創出のみならず、世界最先端のブロードバンド基盤に支えられたICTのポテンシャルを最大限に活用し、既存産業の効率化や高付加価値化、異業種間の連携強化による新たな付加価値の創造などを通じて、我が国経済の活性化を目指す。

我が国の“尖った”技術の早期実用化・市場投入を通して新産業創出を促進するため、超高速・省電力のオール光通信等を実現する次世代光通信技術の研究開発を加速し、ICT分野における新産業のシーズを創出するとともに、我が国の国際競争力の強化を図る。

(2) 研究開発目標

100Gbpsを超える信号伝送を可能とする超高速光伝送技術の早期確立を目指し、キーとなる要素技術の研究開発を行う。具体的には、以下の研究開発を実施する。

1. 100Gbps デジタルコヒーレント信号処理伝送方式の研究開発（課題ア）

2. 100Gbps デジタルコヒーレント光送受信技術の研究開発（課題イ）
3. 100Gbps デジタルコヒーレント光伝送方式評価技術の研究開発（課題ウ）

4. 研究開発内容

（1）100Gbps デジタルコヒーレント信号処理伝送方式の研究開発（課題ア）

① 概要

本研究開発では、100Gbps 超の光伝送システムを、周波数利用効率、伝送特性に優れたデジタルコヒーレント信号処理技術を用いた多値伝送方式によって実現する。デジタルコヒーレント信号処理技術を用いた光伝送装置の実現には、信号が光ファイバ中を伝わる間に生じる信号劣化を推定する技術、推定した情報から信号劣化の原因を特定し補償する技術、符号誤りを訂正する技術の主に3つの技術要素の実現が必要となる。信号劣化推定方式では、あらかじめ素性のわかった信号を送信し、送受信信号を比較することで劣化を適応的に推定するトレーニング方式が注目されている。光伝送中に生じる信号劣化の原因として主要なものには、波長分散によるものと偏波モード分散によるものがあり、これらに対する信号劣化補償技術が重要となる。誤り訂正方式は高速性に優れた前方誤り訂正方式（Forward Error Correction）の採用が有力である。デジタルコヒーレント信号処理技術では、以上の主要機能が汎用性に優れたデジタル信号処理（DSP; Digital Signal Processor）によって実現される。また、本来アナログ信号である光信号をデジタル信号処理するために必要となるアナログ・デジタル変換処理ADC（Analogue to Digital Converter）／DAC（Digital to Analogue Converter）も必須技術の一つである。

本研究開発は、デジタルコヒーレント信号処理技術の構成要素の統合を実現するとともに、同技術の100Gbps 超の高スループット化および低消費電力化を実現するものである。

具体的には、以下の研究開発を行う。

（ア - 1）デジタルコヒーレント信号処理方式の研究開発

（ア - 1 - 1）デジタルコヒーレントトレーニング信号処理技術

（ア - 1 - 2）デジタルコヒーレント波長分散補償技術

（ア - 1 - 3）デジタルコヒーレント偏波処理技術

（ア - 1 - 4）デジタルコヒーレント軟判定 FEC 技術

（ア - 2）アナログデジタル変換/統合方式技術の研究開発

（ア - 3）デジタル信号処理統合検証技術の研究開発

② 技術課題

（ア - 1）デジタルコヒーレント信号処理方式の研究開発

本研究開発ではデジタルコヒーレント信号処理方式およびアナログデジタル変換

処理方式の中心部である処理アルゴリズムを確立する。具体的には両者を機能要素に分解し、機能要素ごとに 100G 超信号の処理に適応可能なアルゴリズムを開発し、高位言語 C によるコードを生成する。

(ア - 1 - 1) デジタルコヒーレントトレーニング信号処理技術

100Gbps 超高速光信号の波長分散、偏波モード分散による波形劣化を推定するためのデジタルコヒーレントトレーニング処理技術を確立する。

(ア - 1 - 2) デジタルコヒーレント波長分散補償技術

100Gbps 超高速光信号の光ファイバ中の波長分散による波形歪みを適応的に補償する技術を確立する。

(ア - 1 - 3) デジタルコヒーレント偏波処理技術

100Gbps 超高速光信号の光ファイバ中の偏波分散による波形歪みを適応的に補償する技術、高速な偏波変動が生じている場合や送信光源と局部発振光源の周波数オフセットが発生する状況下でも安定な受信性能を実現する技術をそれぞれ確立する。

(ア - 1 - 4) デジタルコヒーレント軟判定 FEC 技術

100Gbps超高速光信号の信号対雑音比 (SNR) 低下に対処しうる強力な誤り訂正機能 (FEC: Forward Error Correction) として、多値伝送技術・等化技術との親和性、100GbpsのOTN¹フレーム等との親和性を考慮したFECフレーム方式および軟判定FEC技術を確立する。

(ア - 2) アナログデジタル変換/統合方式技術の研究開発

本研究開発では 100Gbps デジタルコヒーレント信号処理伝送方式に必須となるアナログデジタル変換とア-1) で開発するアルゴリズムを埋め込んだ機能部を共通プラットフォーム上で統合する方式技術を確立する。具体的には光電気変換部とインターフェースをとる入力インターフェース技術、A/D 変換された信号をデジタル信号処理機能部に接続する出力インターフェース技術、超高速 (50G サンプル/s 級) 変換技術、およびこれら諸機能の統合化方式技術を確立する。

(ア - 3) デジタル信号処理統合検証技術の研究開発

本研究開発では、課題 (ア-1) で開発したアルゴリズムを相互に接続して全機能のソフトウェアによる動作検証を行うとともに、100G 超信号に適応するための統合化技術を確立する。

③ 到達目標

¹ OTN(Optical Transport Network):国際標準化組織 ITU-T で規定された光伝送規格。

(ア - 1) デジタルコヒーレント信号処理方式の研究開発

(ア - 1-1) デジタルコヒーレントトレーニング信号処理技術

トレーニング信号を用い、受信部のデジタル信号処理部において、100Gbps 超のスループットを有する信号の波形等化処理を行うことを目標とし、トレーニング信号を用いた伝送路特性推定技術を確立する。波長分散 20,000ps/nm、偏波モード分散 50ps の伝送路特性を推定可能な信号処理技術を確立する。

(ア - 1-2) デジタルコヒーレント波長分散補償技術

100Gbps 超高速光信号の光ファイバ中の波長分散による波形歪を適応的に補償する技術を確立する。総波長分散処理能力量 20,000ps/nm 以上の補償を行う波長分散補償技術を確立する。

(ア - 1-3) デジタルコヒーレント偏波処理技術

100Gbps 超の動作を実現する偏波分離・アクティブイコライザ処理、周波数オフセット処理などの技術を確立する。20KHz 以上の偏波変動環境下での安定な受信性能、50ps 相当以上の偏波モード分散耐力±2.5 GHz 以上の周波数オフセット耐力を実現する偏波処理技術を確立する。

(ア - 1-4) デジタルコヒーレント軟判定 FEC 技術

100Gbps スループットを有するデジタルコヒーレント軟判定FEC技術に関して、20%の冗長ビットを含むFECフレーム技術およびNCG (Net Coding Gain) 10dBに迫るFECエンコーダ技術およびデコーダ技術を確立する。

(ア - 2) アナログデジタル変換/統合方式技術の研究開発

サンプリングレート 50GS/s 級、分解能 6bit のADC/DAC、および入出力インターフェース等周辺機能部との統合化技術を確立する。

(ア - 3) デジタル信号処理統合検証技術の研究開発

・デジタル信号処理統合検証技術の確立

(ア - 1) で開発したアルゴリズムを相互に接続して、全体としての記述言語による設計、および (ア - 2) で開発したアナログデジタル変換/統合方式技術を用いた統合化デジタル信号処理機能部の試作を行う。

・統合化デジタル信号処理機能部の評価技術の確立

上記統合化デジタル信号処理機能を検証・評価するためのプラットフォームの試作、および100G超信号を用いた検証・評価を行う。

(2) 100Gbps デジタルコヒーレント光送受信技術の研究開発 (課題イ)

① 概要

100Gbps 超デジタルコヒーレント光伝送システムの実現には、デジタルコヒーレント光伝送方式を候補とした光送受信技術の研究開発が必須となる。光送受信技術のキーである光変調方式としては、OIF (Optical Internetworking Forum) という標準化団体で議論が進みキー部品の開発が進行している偏波直交 QPSK (DP-QPSK: Dual Polarization - Quadrature Phase Shift Keying) 方式の適用を前提とし、この方式に適用可能な光送受信技術の研究開発を実施する。光受信部では、受信フロントエンドを構成する光信号処理部、電気信号処理部、およびこれらを統合する受信フロントエンド技術を、光送信部では、キーとなる超高速多値光位相強度変調 (モジュレーション) 技術の確立を目指す。さらに、光送信部と受信部を統合した光トランシーバ技術についても取り組む。

具体的には以下の研究開発を行う。

(イ - 1) 光送受信技術の研究開発

(イ - 2) 光送受信技術の特性検証および高度制御方式の研究開発

② 技術課題

(イ - 1) 光送受信技術の研究開発

本研究開発ではデジタルコヒーレント光伝送技術に必須となる光送受信技術を確立する。光受信部においては、高速動作可能な光信号処理部、電気信号処理部、およびこれらを統合する受信フロントエンド技術を開発し、100Gbps 超の動作を実現する集積型受信フロントエンド技術を確立する。光送信部においては、ハイブリッド型モジュレーション技術とその制御技術を開発し、100Gbps 超の動作を実現する光送信技術を確立する。さらに、受信フロントエンド技術とモジュレーション技術を統合し、安定な動作を実現する光トランシーバ技術を確立する。

(イ - 2) 光送受信機能部の特性検証および高度制御方式の研究開発

課題 (イ - 1) で開発される光送受信機能部の特性の検証を行うと共に、それらを高速・高精度に制御する技術を確立する。

③ 到達目標

(イ - 1) 光送受信技術の研究開発

100Gbps 超級受信フロントエンド技術、ハイブリッド型モジュレーションと制御技術、および受信フロントエンド技術とハイブリッド型モジュレーション技術を相互に接続し、これらの安定動作を実現する光トランシーバの設計と試作をおこない、技術を確立する。これらには以下の項目を含む。

- ・集積型受信フロントエンド技術の確立
- ・ハイブリッド型モジュレーション技術の確立
- ・オンボード型光トランシーバの設計試作と光トランシーバ技術の確立

(イ - 2) 光送受信機能部の特性検証および制御方式の研究開発

課題（イー1）で開発される受信フロントエンド技術とハイブリッド型モジュレーション技術を統合した光トランシーバの特性検証、および光送受信機能部における信号歪みの等化アルゴリズムの最適化による高速・高精度な制御技術を確立する。

（3）100Gbps デジタルコヒーレント光伝送方式評価技術の研究開発（課題ウ）

① 概要

本研究開発では、デジタルコヒーレント信号処理技術を用いて、100Gbps 超のシリアル信号を伝送させる超高速光伝送システム方式の確立を目指す。そのために必要となる伝送能力の評価技術を確立するとともに、確立した評価技術を活用して、課題アおよびイで開発した技術・方式の総合的な評価を実施する。

具体的には以下の研究開発を行う。

- （ウ-1）クライアント信号処理部評価技術
- （ウ-2）システム評価技術（伝送実験等）

② 技術課題

- （ウ-1）クライアント信号処理部評価技術

10G-100G クライアント主信号（主にイーサネット）を用いたシステム評価を実現するためのサブシステムの試作と評価技術の確立。

- （ウ-2）システム評価技術（伝送実験等）

総合的なシステム評価技術を確立し、課題アと課題イで開発した技術の 100Gbps 信号による総合的なシステム評価を行う。

③ 到達目標

- （ウ-1）クライアント信号処理部評価技術

10G×10ch、100G×1ch のクライアント信号を用いてクライアント信号処理部の評価を実現するためのサブシステムの試作と性能評価を行う。10G イーサネット 10 チャンネルあるいは100Gイーサネット1チャンネルを用いてシステム評価を実現するための、当該信号を編集・マッピングするフレーム処理サブシステムの試作と性能評価を行う。

- （ウ-2）システム評価技術（伝送実験等）

送受信部の対向試験において、受信特性を評価する。また、ファイバ伝送路を用いた伝送実験を行い、伝送特性を評価する。光ファイバ伝送における、波長分散 20,000ps/nm、偏波モード分散 50ps を付加した場合のシステム総合評価技術の確立、および 100Gbps 伝送特性の評価を行う。

5. 実施期間

平成21年度から平成23年度までの3年間

6. その他 特記事項

(1) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めると共に、超高速光伝送技術の実用化について、今後の展開プラン(事業化目標年度、事業化に至るまでの段階を明示した取組計画等)を記載し、提案すること。なお、提案にあたっては目標を達成するための具体的な研究方法及び年度目標について明記すること。研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。また、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

(2) その他

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。