

巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発

基本計画書

1. 目的

超高精細映像やビッグデータ等の流通によって急速に増大する通信トラフィック及び消費電力に対応するため、光ネットワークの高速大容量化・低消費電力化を両立する革新的技術を確立し、我が国の社会・経済活動を支える情報通信インフラの持続的な維持・発展に貢献することを目的とする。

2. 政策的位置付け

「科学技術イノベーション総合戦略 2014 ～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～」(平成 26 年 6 月 24 日改定 閣議決定)においては、情報機器等の消費電力を大幅に低減する光デバイス等の研究開発及びシステム化を推進し、電力の有効利用技術の高度化を図るとともに、当該技術の運輸・産業・民生部門機器への適用を拡大することで、エネルギー消費量の大幅削減に寄与することが述べられているほか、産業競争力強化策を実現するためのコア技術として、デバイス・装置・通信方法の革新や適切な伝送路の自動選択等により、高効率かつ低消費電力な大容量通信を実現する「高度ネットワーク技術」が位置づけられ、技術開発段階からの国際標準化及び国際展開を推進することが述べられている。

「世界最先端 IT 国家創造宣言」およびその「工程表」(平成 26 年 6 月 24 日改定 閣議決定)においては、ビッグデータ時代のトラフィック増に対応するための IT インフラ環境を確保し、世界の技術動向を踏まえてより高速大容量化を目指した光通信技術(1 Tbps 級)の研究開発に取り組み、次世代の世界最高レベルを維持することが述べられている。

「日本再興戦略－JAPAN is BACK－」(平成 25 年 6 月 14 日閣議決定)においては、競争を通じてエネルギーの効率的な流通が実現する社会の実現に向けて、光通信技術の研究開発及び事業化を推進し、新市場を創出することが述べられている。

「スマートジャパン ICT 戦略」(平成 26 年 6 月 20 日公表)においては、共通基盤の環境整備として研究開発の推進(ネットワークの超大容量化)があげられているほか、ロードマップに ICT によるイノベーション創出として、ネットワークの超大容量化等のイノベーション創出に向けた研究開発の推進があげられている。

3. 目 標

(1) 政策目標（アウトカム目標）

超高精細映像やビッグデータ等の流通、移動通信トラヒックの急激な増加や、機器同士、端末同士など人間が介在しない通信トラヒックの増加の本格化が想定されることなどから、我が国の通信トラヒック量は増加を続け、今後も基幹ネットワークを支える光ネットワークに要求される伝送容量はますます大きくなることが予想される。現在、毎秒 100 ギガビット（以下、100Gbps と表記）級の光伝送技術が普及しつつあり、これに続く毎秒 400 ギガビット（以下、400Gbps と表記）級光伝送技術の開発が進められているが、上述のとおりトラヒックの増加が加速することが予想され、さらなる高速大容量化と低消費電力化を進めた光伝送技術が要求されている。本研究開発では、より高度な光伝送技術や低電力デジタル信号処理技術を導入し、毎秒 1 テラビット（以下、1 Tbps と表記）級光伝送技術を確立する。本研究開発成果により、情報通信インフラの持続的な維持・発展に寄与すると同時に、国際標準化および市場展開を推進し、我が国の光ネットワーク技術の国際的な競争力を強化する。

(2) 研究開発目標（アウトプット目標）

本研究開発では、既存技術（100Gbps 級光伝送技術）の 10 倍にあたる 1 Tbps 級光伝送を実現するため、より高度な光伝送方式を用いた高速大容量光伝送技術並びに最新の電子回路技術を駆使し低消費電力化を進めたデジタル信号処理回路技術を確立する。これにより 100Gbps 級光伝送技術に対し送受信機（実装サイズ）当たりの伝送容量を 10 倍にし、消費電力（同一通信処理速度で比較）を 1/4 にする高速大容量・低消費電力光伝送技術を確立する。

I. 1 テラビット級高速大容量光伝送技術

ア) 適応変調符号化技術

a) 適応変復調基本技術

b) 誤り訂正基本技術

イ) 伝送システム内歪み補償技術

a) 静的等化基本技術

b) 動的等化基本技術

II. 1 テラビット級低消費電力光伝送技術

ア) 信号処理回路最適設計技術

イ) 低消費電力信号処理統合検証技術

4. 研究開発内容

(1) 1テラビット級高速大容量光伝送技術

① 概要

デジタルコヒーレント方式を採用し、標準化が進んだ 100Gbps 級光伝送技術は普及段階にあり、開発中の 400Gbps 級光伝送技術においては、波長多重技術と併せて 1 ファイバ当たり最大約 25Tbps (12.4~24.8Tbps) の長距離伝送 (2,000~10,000km) が実証されている。本研究開発では、さらに高速大容量な 1 波長あたり 1 Tbps を超える光伝送システムの実用化を目指し、より高度な光伝送方式に要求されるデジタル信号処理の基本技術を確認する。新たな光伝送方式に対応可能な適応変調符号化技術と伝送システム内歪み補償技術を集積回路化も考慮して開発する。これにより、100Gbps 級光伝送技術と比較して、送受信機 (実装サイズ) 当たりの伝送容量を 10 倍にする。伝送速度、変調符号方式、キャリア数およびキャリア周波数間隔等の標準化提案については、提案先 (ITU-T、IEEE) の検討フェーズや市場の必要時期を勘案し、状況に応じて提案を行う。

② 技術課題

ア) 適応変調符号化技術

1 波長あたり最大 1 Tbps 級光伝送を実現するため、より高度な光伝送方式を導入し、さらなる伝送効率の向上を目指す。新しい光伝送方式に対応したデジタルコヒーレント技術として、雑音や波形歪みによる伝送性能劣化に対し、高い伝送性能を実現する新しい適応変復調技術と誤り訂正技術を検討する。

a) 適応変復調基本技術

基幹ネットワークの長距離伝送に適したデジタルコヒーレント方式において、伝送距離・伝送路の特性に応じて、常に伝送効率が最大となるように最適キャリア数、最適変復調方式、信号処理方式等を適応的に変化させる技術の研究開発を行う。伝送距離・伝送路特性に応じて伝送効率が最大となるように適応的に変復調方式を変化させるために必要な、高速に伝送路品質を推定する技術、および、推定品質に従って適切な変復調方式を選択する技術を検討する。

b) 誤り訂正基本技術

伝送距離や伝送路種別による伝送特性に応じた信号の変化に対して、最適な誤り訂正処理を適応的に行う技術の研究開発を実施する。キャリア分割数や適用する変調方式等との親和性を考慮した誤り訂正処理方式の基本技術を検討する。

イ) 伝送システム内歪み補償技術

光伝送方式の高度化に伴い、伝送システム内で生じる波形歪みの補償処理量の大幅な増加が見込まれる。これをより効率的に行うための静的等化技術および動的等化技術を検討する。

a) 静的等化基本技術

光伝送システム内で生じた線形歪みを最も少ない演算リソースで実現するための信号処理方式技術の研究開発を行う。並列な複数の処理を搭載しても高速・長距離伝送に必要な歪み補正ができるのに必要な線形等化処理方式の基本技術を検討する。

b) 動的等化基本技術

キャリア数や変復調方式等の適応的な可変に対応しつつ、光伝送システム内で生じる偏波変動、偏波モード分散、搬送波位相変動などの動的に生じる波形歪みの等化を最も少ない演算規模で実現するための信号処理方式の基本技術を検討する。

③ 到達目標

100Gbps 級光伝送技術に対し、送受信機（実装サイズ）当たりの伝送容量を 10 倍にするため、以下の到達目標を設定する。

ア) 適応変調符号化技術

上記 10 倍の伝送容量の実現に資する適応変調符号化技術として、以下の基本技術を確立する。

a) 適応変復調基本技術

伝送距離（100～2,000km 程度）、伝送路の種別（ITU-T 勧告 G.652～655）に応じて、伝送効率を最大にできる伝送路推定アルゴリズム及び変復調方式選択アルゴリズムの基本技術を確立する。

b) 誤り訂正基本技術

1 Tbps を実現するために必要なキャリア数や適用する変調方式、信号品質等に対して、伝送効率を最大にできる誤り訂正処理アルゴリズムおよび尤度生成アルゴリズムの基本技術を確立する。

イ) 伝送システム内歪み補償技術

上記 10 倍の伝送容量の実現に資する伝送システム内歪み補償技術として、以下の基本技術を確立する。

a) 静的等化基本技術

最大 1 Tbps となるキャリア成分の復調において、静的な線形歪みの補正を可能とするアルゴリズムの基本技術を確立する。

b) 動的等化基本技術

キャリア数と変復調方式の適応的な可変に対応した上で、最大数 kHz 程度の偏波変動速度と 100ps 程度の偏波モード分散により動的に生じる波形歪みの補正を最も少ない演算規模で実現するための信号処理アルゴリズムの基本技術を確立する。

(2) 1テラビット級低消費電力光伝送技術

① 概要

情報通信インフラの持続的な維持・発展のため、普及が進んでいる 100Gbps 級光伝送技術、開発中の 400Gbps 級光伝送技術において光ネットワークの低消費電力化が図られてきた。400Gbps 級のデジタル信号処理回路の消費電力は 100Gbps 級に対して、同一通信処理速度で比較して 3/4 程度を実現できる見込みである。しかしながら、さらに急速に増大を続ける情報量の増加に比例して通信機器の消費電力も増加を続けていることから、さらなる低消費電力化を図る必要がある。本研究開発では、1 波長あたり最大 1 Tbps 級の光伝送システムを実現する高度な光伝送方式に対応した 4. (1)の結果を踏まえ、各信号処理技術を組み込み、さらに最新の電子回路技術を駆使した低消費電力デジタル信号処理回路の基本技術を確認する。これにより、1 Tbps 級のデジタル信号処理回路では 100Gbps 級に対し、同一通信処理速度で比較して動作電力を 1/4 以下にする。

② 技術課題

ア) 信号処理回路最適設計技術

1 波長あたり最大 1 Tbps 級の光伝送システムを実現するため、高度な光伝送技術に対応した 4. (1)の適応変調符号化技術および伝送システム内歪み補償技術を組み込んだデジタル信号処理回路の研究開発を行う。信号処理回路の低消費電力動作を目指し、以下の主要な機能部の処理回路基本技術を検討する。

a) 適応変復調回路基本技術

基幹ネットワークの長距離伝送に適したデジタルコヒーレント方式において、1 波長あたり最大 1 Tbps 級の伝送速度を実現する適応変復調回路基本技術の研究開発を行う。アナログ・デジタル変換器を中心とした超高速アナログ回路を低消費電力化するための信号処理方式技術と CMOS 電子回路規模・電力を削減するための信号処理方式の最適化手法の検討を行う。

b) 誤り訂正回路基本技術

基幹ネットワークの長距離伝送に適したデジタルコヒーレント方式において、1 波長あたり最大 1 Tbps 級の伝送速度を実現する誤り訂正回路基本技術の研究開発を行う。最先端の CMOS 技術の適用を前提として、回路規模と消費電力とを最適化するための符号化回路・復号回路アーキテクチャ及び信号処理方式の検討を行う。

c) 静的等化回路基本技術

1 波長あたり最大 1 Tbps 級の伝送速度を実現する伝送システムにおいて、光伝送システム内で生じる歪みを補正するための線形等化回路基本技術の研究開発を行う。最先端の CMOS 技術の適用を前提として、増大する演算処理量を効率的な処理により抑えるデジタル信号処理回路技術の最適化手法の検討を行う。

d) **動的等化回路基本技術**

光伝送システム内で生じる偏波変動、偏波モード分散、搬送波位相変動などの影響を補正するための動的な等化回路基本技術の研究開発を行なう。最先端のCMOS技術の適用を前提として、電子回路規模と電力の増大に対処するための信号処理回路技術の最適化手法の検討を行う。

イ) **低消費電力信号処理統合検証技術**

ア-a) ~d) で開発した各要素技術を統合するとともに光送受信器や光伝送路等のモデル化を行い、全機能アルゴリズムの統合検証を行うことで、信号処理回路全体の最適化を行う統合検証技術を確立する。

③ **到達目標**

1 波長あたり最大 1 Tbps の通信処理速度を持つ信号処理回路を 100Gbps 級の信号処理回路に対し同一通信処理速度と比較して 1/4 以下の電力で実現するために必要な以下の到達目標を設定する。

ア) **信号処理回路最適設計技術**

上記 1/4 以下の消費電力の実現に資する信号処理回路最適設計技術として、以下の回路基本技術を確立する。

a) **適応変復調回路基本技術**

適応変復調機能として、高速伝送路品質推定機能、推定品質に従って適切な変復調方式を選択する機能、適切なデータマッピングを行う機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

b) **誤り訂正回路基本技術**

誤り訂正機能として、伝送距離や伝送路種別による伝送特性に応じた信号の変化に対して、最適な処理を行う誤り訂正符号化機能および軟判定誤り訂正復号機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

c) **静的等化回路基本技術**

線形等化機能として、キャリアが受けた静的な線形歪みを所定の通信処理速度で補正する機能等の最適回路設計に向けた基本技術を確立する。

d) **動的等化回路基本技術**

動的等化機能として、偏波変動追従機能、偏波モード分散補償機能、搬送波位相再生機能を有する回路の最適設計に向けた基本技術を確立する。

イ) **低消費電力信号処理統合検証技術**

ア-a) ~d) で開発した各要素技術を統合するとともに光送受信器や光伝送路等のモデル化を行い、全機能アルゴリズムの統合検証を行うことで、100Gbps 級の信号処理回路に対し同一通信処理速度と比較して 1/4 以下の電力で動作可能であることを実証する。

5. 研究開発期間

平成 27 年度から平成 29 年度までの 3 年間

6. その他 特記事項

(1) 特記事項

提案者は、下記課題Ⅰ-ア) a)、Ⅰ-ア) b)、Ⅰ-イ) a)、Ⅰ-イ) b)、Ⅱ-ア)、Ⅱ-イ) のいずれか又は複数の課題に提案することができる。

なお、Ⅱ-ア)、Ⅱ-イ) の研究開発の受託者は相互に連携、協力するとともに、Ⅰの研究開発内容もふまえて当該研究開発受託者とも連携、協力して研究開発を行う。また、課題Ⅰ-ア) a) の受託者は課題Ⅰのとりまとめ、課題Ⅱ-ア) の受託者は本研究開発課題全体および課題Ⅱのとりまとめを行うものとする。

Ⅰ. 1 テラビット級高速大容量光伝送技術

ア) 適応変調符号化技術

a) 適応変復調基本技術

b) 誤り訂正基本技術

イ) 伝送システム内歪み補償技術

a) 静的等化基本技術

b) 動的等化基本技術

Ⅱ. 1 テラビット級低消費電力光伝送技術

ア) 信号処理回路最適設計技術

イ) 低消費電力信号処理統合検証技術

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット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こと。また、アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果（アウトプット等）の取扱方策（研究開発課題の分野の特性をふまえたオープン・クローズ戦略を含む）について提案すること。
- ② 実用化については、光ネットワーク及び関連技術に関するこれまでの内外の成果動向を記載のうえ、その点をふまえて実用化目標年度、実用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。また、製品・サービスの実現に向けたアプローチが考えられる場合には、製品として実装する際のコスト等（メンテナンス等の後年度負担やソフトウェア産業への展開も含む）への配慮を含め、具体的な取組計画を記載しつつ、提案すること。
- ③ 目標を達成するための具体的な研究方法、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。複数機関による共同研究を提案する際には、分担する技術間の連携を明確にし、インタフェースを確保すること。

- ④ 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、平成21年度に実施された「超高速光伝送システム技術の研究開発」、平成22年度及び平成23年度に実施された「超高速光エッジノード技術の研究開発」、平成24年度から平成26年度まで実施された「超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発」 (http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/index.html 参照) の内容を踏まえ、当該研究開発受託者と連携、協力して研究開発を行うこと。なお、本件について不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。

(3) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた啓蒙活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

(4) 研究開発成果の情報発信

- ① 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。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行う旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発終了後に成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省の「巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発」(平成27年度一般会計予算)による委託を受けて実施した研究開発による成果です。」という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に明記すること。