

グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発

基本計画書

1. 目的

テレワーク等の新たな生活様式の定着・進展や、超高精細映像の流通、AI等を含む先端技術を活用したデジタルツイン（※）社会の形成による通信トラヒックの急速な増大とそれに伴う消費電力増大に対応するため、社会インフラとして大容量かつ低消費電力の光通信網が必要とされている。そこで、基幹網からアクセス網にいたるまで一体的な大容量化・低消費電力化を実現する先端光伝送技術を確立し、我が国の光伝送技術の国際的な競争力を強化するとともに、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。

※デジタルツインとは、IoT機器やAI等の技術を用いて、現実の世界をデジタルの世界に再現し、現実の世界の将来変化を予測する等に活用されるもの。

2. 政策的位置付け

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）において、国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革に向けて、サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出が必要であるとされている。また、通信インフラについては、ネットワーク上を流通するデータ量が今後爆発的に増えていく中で、省電力性、信頼性、リアルタイム性等の課題が数多く指摘されており、抜本的な対応が必要であるとされている。

「第6次エネルギー基本計画」（令和3年10月22日閣議決定）において、将来の持続可能な社会の構築に向けて、エネルギー消費の効率化・グリーン化とデジタル化は車の両輪として進めていく必要があるとされている。また、デジタル化の進展により、データ流通量が急激に増加することが見込まれ、それに伴い、デジタル機器・デジタルインフラのエネルギー消費量が大幅に増加していく可能性が指摘されており、この急激なエネルギー増加を抑えるため、各種

ICTインフラ、通信機器、半導体等の消費エネルギーの抑制、高性能化を進めていくことが必要であるとされている。

「統合イノベーション戦略2021」（令和3年6月18日閣議決定）において、社会を支える人材の育成や、データやAIの活用に適した次世代社会インフラの開発・整備を進め、いつでも、どこでも、誰でも、データやAIを活用し、これまで実現できなかったようなサービスを次々と創出できる基盤の構築に取り組む必要があるとされている。

「成長戦略フォローアップ」（令和3年6月18日閣議決定）において、新たな成長の原動力となるデジタル化への集中投資・実装とその環境整備として、通信ネットワークの更なる高速・大容量化の早期実現が必要とされている。具体的には、通信トラフィック及び消費電力の急激な増大に対応するための光伝送技術等を実用化し、2025年度末までに基幹網及びアクセス網の伝送速度を現状¹の100倍にする技術の確立が必要とされている。

「成長戦略実行計画」（令和3年6月18日閣議決定）において、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を推進し、製造・サービス・輸送・インフラなど、あらゆる分野で電化・デジタル化が進んだ社会に向けて、①デジタル化によるエネルギー需要の効率化と、②デジタル機器・情報通信自体の省エネ・グリーン化の2つのアプローチを、車の両輪として推進し、2030年までに全ての新設データセンターの30%省エネ化及び国内データセンターの使用電力の一部の再エネ化、2040年に半導体・情報通信産業のカーボンニュートラルを目指すとしている。

3. 目 標

（1）政策目標（アウトカム目標）

テレワーク等の新たな生活様式の定着・進展やや超高精細映像の流通、AI等を含む先端技術を活用したデジタルツイン社会の形成によって急速に増大する通信トラフィックに対応するため、社会インフラである光ネットワークの更なる大容量化を持続的かつ経済的に推進していく必要がある。これまでに、送受信機などの運用単位²当たり毎秒5テラビット程度の伝送速度を有する基幹網向け光伝送技術と、TWDM-PON（Time and Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network）としてサービス単位³当たり毎秒400

¹ 現状の基幹網の伝送速度を毎秒100ギガビット、アクセス網の伝送速度を毎秒10ギガビットと想定する。

² 光伝送装置1台当たりの伝送容量を指す。光伝送装置には複数のデジタル信号処理装置が含まれる。

³ ユーザが利用するサービスに割り当てられるトラフィックを指しており、1つの回線終端装置で実現可能な帯域となる。

ギガビットの高効率な光アクセス網伝送技術を確立しつつある。一方で、急激な通信トラヒックや消費電力の増大、サービスの多様化、諸外国の光伝送技術の高度化による国際市場における競争の激化を踏まえると我が国が有する技術の更なる高度化を図っていくことが必要不可欠となっている。

そこで現在研究開発が行われている5テラビット級光伝送技術よりも更に低消費電力化を実現しつつ、高速大容量化と柔軟で効率的な運用を可能とする10テラビット級（運用単位）伝送に必須の光伝送用信号処理技術を確立するとともに、高効率光アクセス網伝送技術を確立することで、通信トラヒック及び通信機器の消費電力の急速な増大に対応し、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。また、我が国が有する得意分野の技術を結集させて技術的課題を解決し、研究開発成果の国際標準化・製品化を推進することにより我が国の国際競争力を強化する。

（2）研究開発目標（アウトプット目標）

最大チャンネル容量10テラビット級（運用単位）の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立する。各信号処理技術を連携させ、先端微細加工技術の適用により低消費電力デジタル信号処理回路の基本技術を確立する。これにより、既に実用化されている100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較して、100ギガビット当たりの消費電力を1/10以下にする。

アクセス網において、1テラビット級（サービス単位）の伝送容量を実現するために、400ギガビット以上の光伝送技術を確立しつつWDM-PON技術を組み合わせることで高速大容量光アクセス網伝送技術を確立する。また、WDM-PON技術を使用した高多重光アクセス網基盤技術の開発・高度化を行うことで既に実用化されている光信号処理技術と比較して、100ギガビット当たりの消費電力を1/10以下とする。

4. 研究開発内容

（1）10テラビット級光伝送技術

① 概要

波長当たりの高速化・変調多値化・多並列化による大容量化を実現しつつ、DSP (Digital Signal Processing) 信号処理アルゴリズムの革新と先端微細加工（3～5ナノメートル）を駆使した低消費電力化により、高速大容量かつ様々な通信トラヒックに柔軟に対応する最大チャンネル容量10テラビット

級（運用単位）の光伝送システムを実現する。

具体的には、通信トラヒックごとの要求性能に応じて適応的に符号化パラメータを制御可能な多並列光適応送受信符号化技術及び適応符号化に対応した伝送信号歪み補償技術を開発し、10テラビット級光伝送の基本技術を確認する。また、先端微細加工を駆使した低電力回路最適化設計技術及びそれらを統合・最適化する信号処理統合最適化基本技術を開発し、既存100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較し、100ギガビット当たりの消費電力を1/10以下に低減可能な10テラビット級光伝送向けDSPの低電力回路設計の基本技術を確認する。

② 技術課題

ア) 多並列光適応送受信符号化技術

高速大容量化と柔軟で効率的な運用を可能とする10テラビット級（運用単位）伝送に必須の光伝送用信号処理技術の確認に向け、高シンボルレート・高多値度の光伝送において伝送特性及び柔軟性を向上させる多並列光適応送受信技術を開発する。具体的には、150Gbaud以上又は128QAM相当以上の多値光伝送方式を想定し、変調多値度、並列度、符号化等を適応的に制御する多並列光適応変復調方式等の基本技術を確認する。

高シンボルレート・高多値度の多並列光適応送受信に対応し、性能、消費電力等を指標として最適な誤り訂正処理を行う基本技術を確認する。

イ) 伝送信号歪み補償技術

高シンボルレート・高多値度の多並列光適応送受信に対応し、波長分散等の静的な伝送信号歪みを補償する静的信号等化処理技術を開発する。具体的には、並列数・変復調方式等の変化に対応し、性能・演算リソースの最適化レベルを向上する静的信号等化処理基本技術を確認する。

高シンボルレート・高多値度の多並列光適応送受信に対応して、光ファイバ伝送システムで生じる偏波モード分散等による動的な波形歪みを補償する動的信号等化処理技術を確認する。

ウ) 低電力回路最適化設計技術

ア) で検討した多並列光適応送受信方式及び誤り訂正処理について、それぞれ低電力回路最適化に向けた基本技術を確認する。

同様に、イ)で検討した静的信号等化処理及び動的信号等化処理について、それぞれ所要の伝送性能に最適化した演算器構成の検討を行うとともに、低電力回路最適化に向けた基本技術を確立する。

エ) 信号処理統合最適化技術

ア)、イ)、ウ)で検討した各機能・回路等を統合して最適化する信号処理統合最適化技術を開発する。具体的には、光送受信器や光伝送路等のモデル化を行い、機能間及び回路間の連携動作の検証を実施することで、信号処理回路全体を最適化する基本技術を確立する。

③ 到達目標

ア) 多並列光適応送受信符号化技術

最大10テラビット級光伝送を実現し、通信トラヒックに応じて変調多値度、並列度、符号化等を適応的に制御する多並列光適応変復調アルゴリズムを確立する。

最大10テラビット級光伝送の実現と共に、通信トラヒックに応じて適応的に性能と電力を最適化し、伝送効率を向上させる誤り訂正処理アルゴリズムを確立する。

イ) 伝送信号歪み補償技術

最大10テラビット級光伝送を実現する多並列光適応送受信に対応し、並列数・変復調方式等の変化に対して波長分散等により生じる静的波形歪みを補償し、性能・演算リソースの最適化レベルを向上する静的信号等化処理アルゴリズムを確立する。

最大10テラビット級光伝送を実現する多並列光適応送受信に対応して、光ファイバ伝送システムで生じる動的波形歪みを補償し、性能・演算リソースの最適化レベルを向上する動的信号等化処理アルゴリズムを確立する。

ウ) 低電力回路最適化設計技術

ア)で検討した多並列光適応送受信技術及びそれに対応した誤り訂正符号化・復号回路技術について、回路規模と消費電力を最適化しながら回路として実現するための回路アーキテクチャを確立する。

イ)で検討した静的信号等化処理技術及び動的信号等化処理技術において、回路規模と消費電力を最適化する回路アーキテクチャを確立する。

エ) 信号処理統合最適化技術

ア)、イ)、ウ) で検討した各機能・回路等を統合するとともに、機能間及び回路間の連携動作の検証・最適化を実施することで、既存100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較し、100ギガビット当たり1/10以下の電力で動作可能とする信号処理統合最適化技術を確立する。

(2) 大容量・高多重光アクセス網伝送技術

① 概要

通信トラフィック増大に対応する高速大容量化を実現する技術として1テラビット級の「大容量光アクセス網伝送技術」を確立するとともに、アクセス網に接続するサービスの増大に対応する多分岐化技術として「高多重光アクセス網基盤技術」を確立する。「大容量光アクセス網伝送技術」では400ギガビット級の光伝送技術を確立するとともに、WDM-PON技術の適用を検討することで1テラビット級の伝送速度を実現する。「高多重光アクセス網基盤技術」では、複数のアクセス網のサービスを同一機器に収容を可能とすることで大容量化に加え高効率収容による低消費電力化を実現する。

② 技術課題

ア) 大容量光アクセス網伝送技術

1テラビット級(サービス単位)の高速大容量光アクセス網伝送を実現するため、基本技術となる400ギガビット/波長の伝送能力を備える高度多値光送受信技術を開発し、大容量化を目指す。具体的には、偏波多重多値変調方式(16値以上)の伝送技術を開発し400ギガビット以上の伝送速度の実現に加え、高度WDM-PON技術を開発することで1テラビット級の伝送速度を実現する。

また、PON技術の携帯電話網への適用を念頭に、コヒーレントRoF(Radio-over-Fiber)伝送技術を用いた多値度の高いコヒーレント信号の送受信を実現する高多値双方向アクセス網技術を開発する。さらに、低消費電力化を実現する信号処理技術、低消費電力デバイスを用いた技術等を確立する。

イ) 高多重光アクセス網基盤技術

多様なサービスを収容可能とするため、Point-to-Multi-PointのTWDM-PONである400G-PONに加え、ア) で開発するPoint-to-PointのWDM

ベースのPONを混在收容する大容量・低消費電力の異種PON多重收容技術を開発する。異種PON多重收容技術において、サービスの利用状況を学習することで通信状態を予測する最適資源予測制御技術及び伝送可能距離をフレキシブルに変化させることで広範なエリアへの伝送を実現させるため、トラフィック量や伝送状態に応じて波長単位に変調方式を変更する光信号エネルギー最適制御技術を開発することで更なる低消費電力化を目指す。

また、大容量PONの経済的実装のために、PON分岐数の拡張により伝送可能エリアの拡大を可能とする高多分岐化技術を開発するとともに、それを実現するため、PON分岐数の拡張に伴い必要となる、光信号エネルギーの増大や波長当たり100ギガビットを超える伝送速度に対応する光伝送リンク技術及び高電力で安定的かつ高速な変調器を開発する。また、分岐数の拡張に伴い増大するONU (Optical Network Unit) の待機電力の削減等で低消費電力化に資する制御技術を開発する。

③ 到達目標

ア) 大容量光アクセス網伝送技術

既存の光デバイスを使用し、16値以上の高多値変調方式による400ギガビットの伝送容量を実現する光送受信技術を確立する。また、コヒーレントRoF伝送技術に関しては多値度の高いデータ信号の周波数変換を行うことで下り100ギガビット/上り50ギガビットの伝送容量を実現する高多値双方向アクセス技術を確立する。

低消費電力技術として光信号処理及びデジタル信号処理技術を確立することで既に実用化されている光信号処理技術に対して100ギガビット当たりの消費電力を15%以上削減する。

イ) 高多重光アクセス網基盤技術

400G-PONとア)の技術である1波長当たり400ギガビット級の高度なWDM-PONを混在收容可能とするWDM-PONを構成する技術を確立するとともに、サービスの利用状況を学習することで利用状況に応じてPONリンク資源を最適化する最適資源予測制御技術、波長ごとに変調方式を能動的に変更する光信号エネルギー最適制御技術を確立することで、既に実用化されているPONシステム構成に対して100ギガビット当たりの消費電力を80%以上削減する。

100G-PONにおいて256分岐以上、400G-PONにおいて64分岐以上のONUで構成するシステムにおいて、システム設計及び伝送性能評価技術を

確立し 1 kmの伝送を可能とする技術を実現するとともに、分岐数の増加に必要となる高多重に対応したPONを構成可能とする高速変調アクセス装置技術及び下り方向において15dBm以上の入力があった場合においても、光非線形効果が生じない光伝送リンク技術並びにONUの待機電力の削減に係る技術を確立する。

5. 研究開発期間

令和4年度～令和7年度（4か年）

6. その他 特記事項

（1）特記事項

提案者は、以下の課題Ⅰ、課題Ⅱのいずれか又は両方の課題に提案することができる。

課題Ⅰ. 10テラビット級光伝送技術

課題Ⅱ. 大容量・高多重光アクセス網伝送技術

（2）提案及び研究開発の実施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踏まえたオープン・クローズ戦略を含む。）について提案すること。
- ② 実用化に関しては、光伝送技術及び関連技術に関するこれまでの国内外の研究開発動向及び市場動向を記載の上、その点を踏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具体的な取組計画等を記載し、提案すること。提案に当たっては、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。）も考慮すること。
- 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可能な限り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得ると共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、学識経験者、有識者等を含む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。

課題Ⅰにおいて、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」、平成27年度から平成29年度まで実施された「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30年度から令和3年度まで実施された「新たな社会インフラを担う革新的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、これらの研究開発の受託者と連携・協力し、研究開発を行うこと。

また、課題Ⅱにおいて、平成30年度から令和3年度まで実施された「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発」の内容を踏まえ、同研究開発の受託者と連携・協力し、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発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、実用化に向けて必要な取組も実施することとし、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、総務省においてインターネット等通じて発信を行い、広く一般国民へ研究開発成果を周知する予定であることから、研究開発成果を分かりやすい説明する資料、図表等を作成して成果報告書の一部として報告することとし、その旨を提案書に記載すること。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こととし、その旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発の成果を論文発表、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『グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発』による委託を受けて実施した研究開発による成果です。」等の内容の注記を発表資料等に都度付すこととし、その旨を提案書に記載すること。