令和 4 年度事後事業評価書

<u>政策所管部局課室名:国際戦略局技術政策課研究推進室、</u> 総合通信基盤局電気通信事業部電気通信技術システム課 評価年月:令和4年8月

1 政策(研究開発名称)

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

2 研究開発の概要等

(1)研究開発の概要

・実施期間

平成30年度~令和3年度(4か年)

・実施主体

民間企業、大学

総事業費

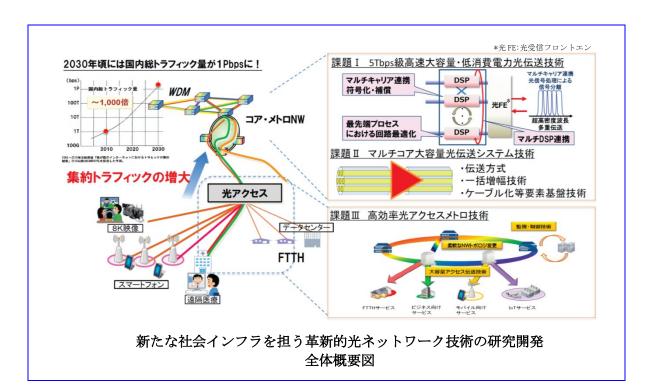
3,758 百万円

平成 30 年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	総額
932 百万円	943 百万円	938 百万円	945 百万円	3,758 百万円

・概要

通信トラヒックの増大に対応する高速大容量・低消費電力の光ネットワークの実現に寄与する ため、以下の技術の確立に向けた研究開発を実施する。各技術は実施期間を通じて平行して研究 開発を行うものである。

- ① 毎秒5 テラビット級光伝送用信号処理技術の研究開発 毎秒5 テラビット級の光信号伝送について、現行技術と同等レベルの長距離伝送性能を実現 しつつ伝送容量あたりの消費電力を6分の1以下に削減するため、並列協調信号処理技術や 低消費電力回路技術等を確立する。
- ② マルチコアファイバ光伝送技術の研究開発 1 本の光ファイバで伝送できる容量は物理的限界を迎えるため、多数のコア(光伝送路)を有する革新的光ファイバ伝送の伝送方式・中継技術等の要素技術を確立する。
- ③ 高効率光アクセス技術の研究開発 大容量アクセス伝送技術(低コスト多値変調技術等)や、光アクセス網の構成を柔軟に変更 するための最適構成技術、監視・制御技術等を確立する。



技術の種類 技術の概要 超高精細映像の流通や IoT・ビッグデータ・AI 等の普及によって急速に増大する通信ト ラヒックに対応するため、デジタルコヒーレント技術(*1)による 400Gbps 級光伝送シス テムの実用化が始まり、1Tbps 級光伝送技術の開発が進行している。通信トラヒックの増 加は今後さらに加速することが予想されており、さらなる大容量・低消費電力化を実現す る光通信技術の開発が必要とされている。 本研究開発は、高速大容量なチャネル容量5 Tbps 級(運用単位)の光伝送システムにお いて高度な光伝送方式に要求されるデジタル信号処理技術を導入し、新たな光伝送方式に 対応可能な高速多値光送受信技術と伝送劣化補償技術を確立し、5 Tbps 級の大容量光伝送 を実現する。また、5 Tbps 級のデジタル信号処理回路において 100Gbps 級の信号処理回路 に対し、同一通信速度で比較して動作電力を1/6以下にするため、各信号処理技術の最適 化を行って、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技術の確立 を目指す。 *1 デジタル信号処理技術とコヒーレント光伝送技術を組み合わせることで、長距離・大容 量伝送を実現できる技術 【研究開発概要図】 5 Tbps 級高速大 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 容量・低消費電 課題 | 5Tbps級高速大容量·低消費電力光伝送技術 力光伝送技術 (全体取りまとめ:NTT) ア)高速多値光送受信技術 a) 高度変復調方式基本技術(NTT) b) 誤り訂正基本技術 (三菱電機) イ) 伝送劣化補償技術 a)信号等化基本技術(<mark>言</mark> b) クロストーク抑圧基本技術(NEC) ウ)伝送システム最適化設計技術 (NTT) 工)低電力回路最適化設計技術 a) 低電力回路統合検証技術(取りまとめ:NTT) 1) 高度変復調回路基本技術(NTT) 2) 誤り訂正回路基本技術 (三菱電機) 3) 信号等化回路基本技術(4) クロストーク抑圧回路基本技術(NEC) 5) 低電力信号処理統合検証技術(NTT) b) マルチチップ高周波実装技術(NTT)

本研究開発では、長距離用光ファイバケーブルのケーブル容量の持続的な拡大のため、空間多重技術を導入し、1 ケーブル当りの総容量(ケーブル総容量)が既存海底ケーブルシステム(*1)の4倍以上となる240Tbps級以上(伝送距離1000km以上)(*2)の大容量化を目指し、空間多重型光ファイバ伝送方式とその要素基盤技術(ケーブル化技術、増幅技術、性能評価技術等)を確立する。

- *1 太平洋横断級海底ケーブルシステム (FASTER: 2016 年) の伝送容量 60Tbps (10Tbps/FP, 6FP (12 芯)) を想定。
- *2 基本計画書における目標値が 240Tbs 級/1000km以上であり、受託者提案では全体目標をさらに高く 320Tbps/3000km以上とした(下図)。(基本計画書:研究開発の目的、政策的位置付け、目標、研究開発内容、実施期間等を記述した研究開発課題を実施する上での基本的な計画を示したもの)

【研究開発概要図】

研究幹事:KDDI総合研究所

ア) 大容量マルチコア伝送方式の検討

ア)-a) 空間多重型光ファイバの方式検討- ア)-a)-1 マルチコアファイバ方式(KDDI総合研)

- ア)-a)-2 マルチコアファイバ伝送方式における光雑音処理に関する技術開発(東北大)

ア)-b) 空間多重型光ファイバの評価技術検討

- ア)-b)-1 透過型測定による空間多重型光ファイバの評価技術(住友電工) - ア)-b)-2 OTDRによる空間多重型光ファイバの評価技術の開発(東北大)

ア)-c) 空間多重型光中継器の方式検討

- ア)-c)-1 高効率マルチコア光増幅技術(古河電工)

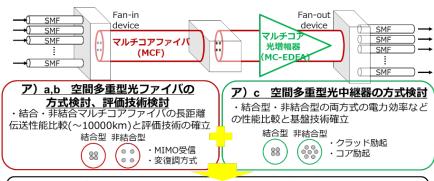
- ア)-c)-2 結合型マルチコア光増幅システム技術(NEC) **(R1年度まで)**

イ)マルチコア要素基盤技術開発

- イ)-a) 空間多重型高密度デバイス基盤技術(オプトクエスト)

- イ)-b) マルチコアファイバケーブルシステムの基盤開発(NEC)

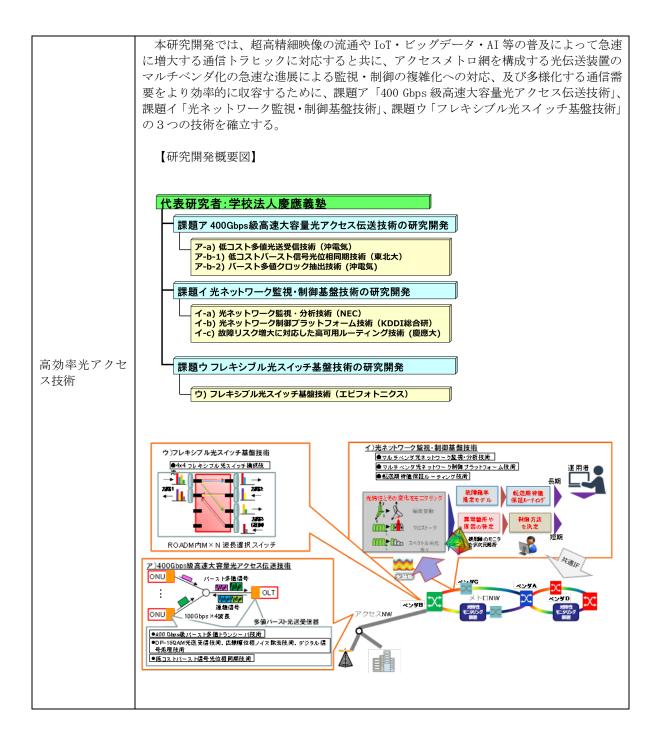
マルチコア大容 量光伝送システ ム技術



イ)a,b マルチコア光伝送システムの要素基盤技術開発

・マルチコアファイバの海底ケーブル試作とケーブル化後の性能予測・空間多重型高密度光デバイスの開発

全体目標: ケーブル容量320Tb/s級マルチコア長距離伝送技術(3000km以上) と要素基盤技術の確立、システム設計技術(性能指標)



・スケジュール

技術の種類	平成 30 年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度
5 Tbps 級高速大 容量・低消費電 力光伝送技術	•	<総務省委託	研究の実施>	•
マルチコア大容量光伝送システム技術	4	<総務省委託	研究の実施>	•
高効率光アクセ ス技術の研究開 発	4	<総務省委託	研究の実施>	•

(2) 達成目標

超高精細映像の流通や IoT・ビッグデータ・AI 等の普及によって急速に増大する通信トラヒックに対応するため、開発・実用化が進んでいる毎秒 400 ギガビット級、および毎秒 1 テラビット級の光伝送技術よりもさらに大容量・低消費電力化を実現する光通信技術の開発が必要とされている。また、光アクセス網においても、多様化する通信需要をより効率的に収容することが必要とされている。

そこで1テラビット級光伝送技術よりもさらに低消費電力化を実現しつつ、高速大容量化と柔軟で 効率的な運用を実現する毎秒5テラビット級の光伝送用信号処理技術、光ファイバー本あたりの伝送 容量を飛躍的に拡大するマルチコアファイバ光伝送技術等を確立するとともに、高効率光アクセス技 術を確立することで、急速に増大する通信トラヒックに対応する高速大容量・低消費電力の光ネット ワークの実現に寄与する。また、開発成果の国際標準化・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。

○関連する主要な政策

V. 情報通信 (ICT 政策) 政策 9 「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」

○政府の基本方針(閣議決定等)、上位計画・全体計画等

守の基本方針(閣議決定等)、上位計画・全体計画等		
名称 (年月日)	記載内容 (抜粋)	
科学技術イノベーション総合戦略 2017 (平成29年6月2日)	第2章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組 (2) 新たな経済社会としての「Society 5.0」を実現するプラット フォーム [C]重きを置くべき取組 ② プラットフォームを支える基盤技術の強化 i) サイバー空間関連の基盤技術の強化 ii) フィジカル空間(現実空間)関連の基盤技術の強化 第3章 経済・社会的課題への対応 (1) 持続的な成長と地域社会の自律的な発展 ① エネルギー、資源、食料の安定的な確保 i) エネルギーバリューチェーンの最適化 [C]重きを置くべき取組 オ 革新的な材料・デバイス等の幅広い分野への適用(SIPを含む) ・ 革新的電子デバイスの開発	
世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画(平成29年5月30日)	第2部 官民データ活用推進基本計画 Ⅱ 施策集 Ⅱ-1-(8) 研究開発【基本法第 16 条関係】	
科学技術基本計画 (平 成 28 年 1 月 22 日)	第2章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組 (3)「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の強化 ② 基盤技術の戦略的強化 i)超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術 ・大規模化するデータを大容量・高速で流通するための「ネットワーク技術」	

未来投資戦略 2017 —Society 5.0 の実現 に向けた改革— (平成 29年6月9日) AI 戦略 2019 (令和元	中短期工程表「データ活用基盤の構築」④ 革新的光ネットワーク技術の研究開発の推進 III. 産業・社会の基盤作り
年6月11日統合イノ ベーション戦略推進 会議決定)	Ⅲ-2 データ関連基盤整備 (1)データ基盤 データ連携基盤を支えるための、膨大なデータを円滑にやり取りでき るネットワーク技術の確立(2021年度)【総】
経済財政運営と改革 の基本方針 2020(令 和2年7月17日)	第3章 「新たな日常」の実現1.「新たな日常」構築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(デジタルニューディール)(2) デジタルトランスフォーメーションの推進
成長戦略フォローア ップ(令和2年7月17 日)	
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)	第2章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策 1. 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 (1)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 (a) 現状認識 (c) 具体的な取組 ④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI利活用技術の整備・研究開発
デジタル社会の実現 に向けた重点計画(令 和3年6月18日) 統合イノベーション	第2部 デジタル社会の形成に向けた基本的な施策 3. 包括的データ戦略 (5) デジタルインフラの整備・拡充 第1部 総論
戦略 2021 (令和 3 年 6月 18 日)	3. これまでの取組の評価・課題と重点的に取り組むべき事項 (1) 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靭な社会への変革 ① 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 (AI 活用に適した次世代社会インフラの開発整備)

(3)目標の達成状況

・ 5 Tbps 級高速大容量・低消費電力光伝送技術

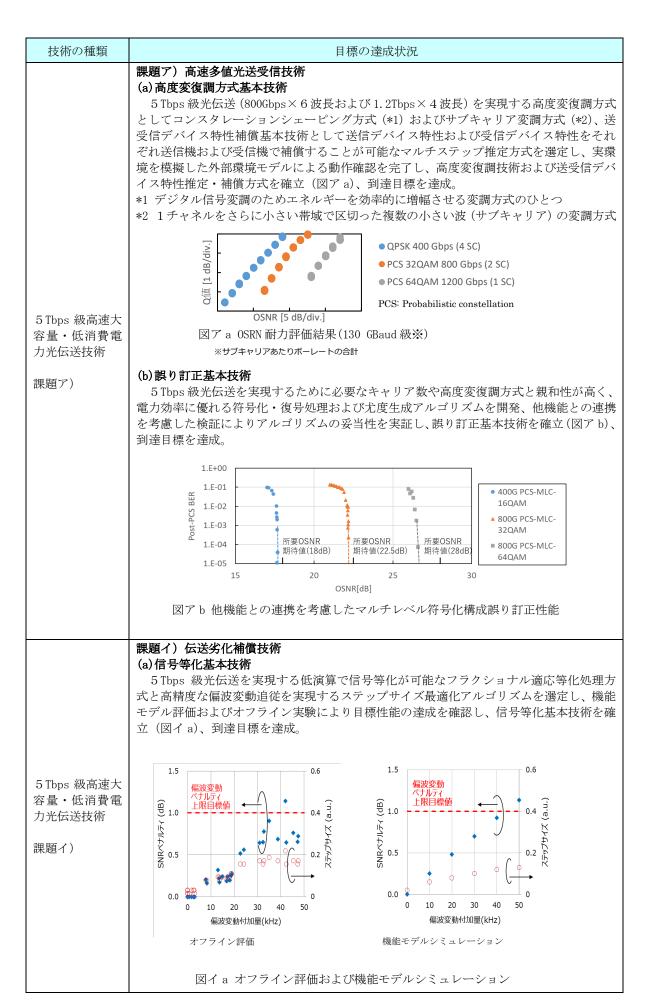
高速大容量な波長当たり $800 {\rm Gbps} \times 6$ 並列を想定したチャネル容量 $5 {\rm Tbps}$ 級(運用単位)のマルチキャリア光伝送システムを実現するための基本技術を確立した。またデジタル信号処理回路の $100 {\rm Gbps}$ 級当たりの消費電力について、当初目標値の 1/6 に対して 1/6.9 まで低減できることを確認しており、目標を上回る成果を達成した。

・マルチコア大容量光伝送システム技術

極めて低損失で低クロストーク 4 コアファイバ(109Tbps/芯、伝送距離 3120km)の設計・開発に成功したことで、全体目標としていた 3000km 以上でケーブル総容量 320Tbps 以上(4ファイバペア、80Tbps/芯以上×4)の大容量化を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確立。さらに課題全体として、既存ケーブル構造のままでケーブル総容量 1.74Pbps(4 コアファイバ×16 ファイバペア、109Tbps×16=1.74Pbps、伝送距離 3120km)が可能であることを実証した。本成果は、基本計画書における目標値(ケーブル総容量 240Tbps)の 7 倍であり、目標を大幅に上回る成果を達成した。

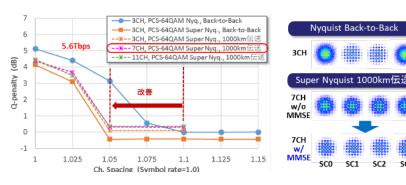
・高効率光アクセス技術

「400 Gbps 級高速大容量光アクセス伝送技術」では TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network) (10 Gbps×4 波=40Gbps) の 10 倍に対応する 400 Gbps 級バースト多値通信用送受信器技術を実現するため、3 つの要素技術である「低コスト多値光送受信技術」、「低コストバースト信号光位相同期技術」、「バースト多値クロック抽出技術」をそれぞれ確立した。また、光アクセス網の構成の変更を柔軟に可能とする技術として「フレキシブル光スイッチ基盤技術」を確立し、研究開発期間中に一部製品化を完了した。さらに、監視・制御技術として「ネットワーク監視・分析技術」、「光ネットワーク制御プラットフォーム技術」及び「高可用性ルーティング技術」の確立と連携検証を実施し、目標を達成した。



(b) クロストーク抑圧基本技術

5 Tbps 級光伝送を実現するマルチキャリア光伝送において、変調方式の適応的な変化に 対応可能なクロストーク抑圧方式を開発し、他の課題と連携を考慮した信号処理アルゴリ ズムの機能動作検証を完了 (図イ b) し、アルゴリズムの基本技術を確立、到達目標を達 成。



図イb クロストーク抑圧基本技術による連携動作検証結果

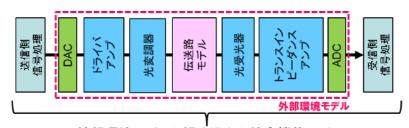
SC2

課題ウ) 伝送システム最適化設計技術

課題ア、イで検討した要素技術を選定・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、信号品質に影響すると想定される光送受信デバイスのパラメータを組み 込んだ統合機能モデル(図ウ)を用いて、光送受信デバイスの線形および非線形な歪み、 光ファイバ伝送路の歪みを付加して、基本伝送特性の評価を完了した。さらに機能連携ア ルゴリズムの統合検証を行うことで、目標の伝送特性を実現する信号処理機能全体の最適 化設計に向けた基本技術を確立し、到達目標を達成。

5 Tbps 級高速大 容量・低消費電 力光伝送技術

課題ウ)



外部環境モデルを組み込んだ統合機能モデル

図ウ 全負荷条件での評価が可能な統合機能モデル

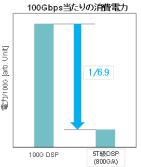
課題エ)

(a) 低電力回路統合検証技術

変復調方式、誤り訂正、信号等化、クロストーク抑圧についてハードウエア記述言語を 用いた評価モデルにより、各機能の回路モデルによる動作検証、機能モデルとの等価性評 価、および電力評価を完了。送受信部回路を結合した統合検証プラットフォーム(検証エ ミュレーション環境)を開発し、各機能のハードウエア記述言語を用いた回路モデルを用 いることで、デジタル信号処理回路の 100Gbps あたりの消費電力について、目標を上回る 1/6.9 以下に低減できることを確認 (図エ a) し、低消費電力化回路設計技術および統合 検証技術を確立、到達目標を達成。

5 Tbps 級高速大 容量・低消費電 力光伝送技術

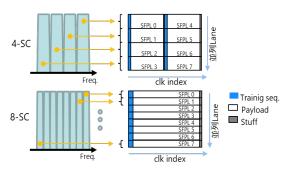
課題エ)



図エ a 100G DSP および 5Tbps 級 DSP の 100G あたりの消費電力の関係

(b) マルチチップ高周波実装技術

5 Tbps 級の光伝送システムを実現するために必要な高度な光伝送方式に対応した高速アナログ電気インターフェースやデバイス間連携インターフェースの性能・実装検討を行い、光送受信器を含めた特性検証を行うことで、マルチチップ高周波実装技術を確立。具体的には、複数 DSP (Digital Signal Processor) のチップ間連携方式およびマルチキャリア変調方式について、チップ間連携の際に課題となる信号間の到着時間ずれ (スキュー)の補償方式や、サブキャリア数に対して効率的にサブキャリア信号を収容するライン側フレーミング方式の設計 (図エ b) を行い、機能モデル・回路モデルを用いて動作検証を完了。また、5Tbps 級信号に対応するための ADC・DAC 仕様の策定し、光送受信機各部のレベルダイヤ最適化を完了し、5Tbps 級光伝送に対応した高周波実装技術を確立、到達目標を達成。



図エb マルチキャリア信号に対応したライン側フレーミング方式の概要図

課題ア) 大容量マルチコア伝送方式の検討

(a) 空間多重型光ファイバの方式検討

既存海底ケーブルと同等のスペースで、ケーブル総容量 240Tbps 以上、伝送距離 1000km 超を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確立するため、全体目標を基本計画書より高くケーブル総伝送容量 320Tbps/伝送距離 3000km 以上と設定したうえ、極めて低損失で低クロストーク(XT)、低空間モード分散(SMD)な長尺の標準外径非結合型 4 コアファイバおよび結合型 4 コアファイバ(両ファイバとも 60.2 km×4 スパン)の設計・開発に成功、いずれも 3120km で伝送容量 80Tbps/芯以上を確認したことで、ケーブル総容量 320Tbps 以上(4 ファイバペア)の大容量化を可能とする空間多重型光ファイバの設計および伝送技術を確立(図ア a)。非結合型、結合型 4 コアファイバにてそれぞれ太平洋横断に必要な伝送距離である 9150km においても検証し、伝送容量 50Tbps/芯以上を確認。結合型 MCF(Multi-Core Fiber:マルチコアファイバ)伝送については 7200km 伝送後でリアルタイム MIMO 信号処理の動作を確認し、リアルタイム長距離伝送が可能であることを実証。さらに、マルチコアファイバの GAWBS(Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering: 導波音響波型ブリルアン散乱)雑音の影響・補償技術を世界に先駆け実証。以上により、到達目標を達成。

マルチコア大容 量光伝送システ ム技術

課題ア)

対象:アジア域の光海底ケーブルシステム FP数増大の制限要因:スペース制限(電力制限でない距離)現状上限16~24FP



実証2: 4コアを16FP分実装可能 な光海底ケーブルを開発 17mm径LWケーブル (水深8000km級)

実証3: 19コアEDFA中継器の小型化に成功(現行の1/2 以下)

アジア域3000km~:非結合型4CF適用×MC-EDFA ➡ケーブル容量:108.9Tb/s×16FP^{*}=1.742Pb/sの可能性を実証

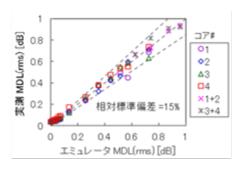
*FP:Fiber Pair (ファイバペア)

図ア a マルチコアファイバを用いた光海底ケーブルシステム骨子

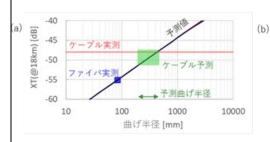
(b)空間多重型光ファイバの評価技術検討

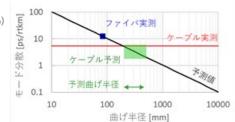
空間チャネルの損失均一性およびチャネル間結合を測定評価するため、波長掃引法(波長を連続的に変化させながら測定する評価方法)と OTDR (Optical Time Domain Reflectometry: 時間領域光リフレクトメトリ)法の2つの方式でチャネル間結合を評価する技術を確立、双方の評価値の一致を確認。波長掃引法で結合型 MCF の損失均一性 (MDL)

を評価する技術を確立、モード損失を設定値から標準偏差±15%の精度で測定可能であることを実証(図ア b-2)し、評価技術を確立。ファイバ特性と仮定するケーブル曲げ半径から、ケーブル化後の性能を予測する基本技術を確立(図ア b-2)、到達目標を達成。



図ア b-1 モード依存損失測定



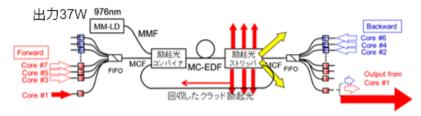


図ア b-2 (a) 非結合型 4 コアファイバのケーブル化後のクロストークの予測値および実測値、(b) 結合型 4 コアファイバのケーブル化後のモード分散の予測値および実測値。

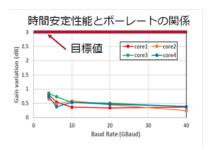
(c)空間多重型光中継器の方式検討

双方向伝搬とポンプリサイクルの両機能の併用・実証により、コア当たりの消費電力が現行のシングルモードファイバ用増幅器に匹敵する性能(クロストークの半減)と、残留励起光(*1)の再入力による必要励起光の低減を実証(図ア c-1)。コア励起結合型 4 コア光増幅器において出力レベルを $\pm 1.5 dB$ 以内(実力値:32 GB aud で 0.5 dB 以下)の安定化技術を確立(図ア c-2)。さらに、クラッド励起方式の励起効率を改善するため、クラッド内に散乱体(今回は気泡)を設け励起効率の上昇を確認し、到達目標を達成。

*1 励起光:蛍光体などの物質に励起を引き起こす光



図ア c-1 双方向伝搬とポンプリサイクルによる性能改善



図ア c-2 時間安定性能とボーレートの関係

課題イ)マルチコア要素基板技術開発

a)空間多重型高密度デバイス基盤技術

基本計画書に記載の小型化、低損失化の具体的な数値目標としてデバイスサイズ従来の2/3以下、損失1dB以下と設定し、2つ以上の機能を複合した光増幅器用機能光デバイスを顧客のニーズに合わせて4種類開発し、各々において目標を上回るサイズ55%以下、損失0.8dB以下の技術を確立(図イa)。単一レンズの使用によりコア径・コアピッチに依存しない構造を実現。

さらに、高い長期信頼性を有するデバイスとして、商品性を向上させるため耐環境性能と生産性の改善を実施し、振動衝撃試験、温度サイクル試験等複数の信頼性試験で特性劣化がないこと、1.5W/コアの高入力パワー耐性も確認。IR カメラを用いた光学調心技術を開発し、空間結合型デバイスのデメリットとして指摘される製造時間を従来工法と比較して23%削減に成功し、到達目標を達成。



マルチコア大容 量光伝送システ ム技術

課題イ)

	損失 (平均値 / 3σ 値 / 平均+3σ)	サイズ比率
	(目標値:1.0dB 以下)	(目標値:1.5 倍以下)
1) ISO+TAP デバイス	0.65dB / 0.14dB / <u>0.79dB</u>	1.06 倍
2) FIFO+ISO デバイス	0.29dB / 0.41dB / <u>0.70dB</u>	0.50 倍
3) TAP+FO デバイス	0.52dB / 0.27dB / <u>0.79dB</u>	0.76 倍
4) O/E 変換器内蔵 TAP デバイス	0.15dB / 0.16dB / <u>0.31dB</u>	0.35 倍

図イa4種類の複合機能光デバイスの開発

(b)マルチコアファイバケーブルシステムの基盤開発

クロストーク (XT) を考慮した Generalized OSNR やマルチコア光増幅器のセルフヒーリング効果の検討を通して、MCF システム特有の設計技術を開発。非結合型および結合型 4 コアファイバケーブルを試作し、既存 17mm ケーブルに最大で 16 ファイバペア (コア数で言えば、4 コア×16 ファイバペア×2=128 コア) の MCF 収容が可能であることを世界に先駆け実証(課題アーa と連携し、1.74Pbps のケーブル容量を実証)(図イ b-1)。本件について、報道発表(2022 年 3 月 28 日)を行い、NHK ニュースにも掲載。

課題アーc)、課題イーa)と連携し、部品点数削減と部品最適配置などにより、現行収容スペースの1/2を実現(図イb-2)。課題アーb)と連携し、2種の開発ケーブルにてファイバ性能予測技術の妥当性を実証し、MCF特有のXT、MDL、SMD等の性能指標を明確化。以上により、到達目標を達成。

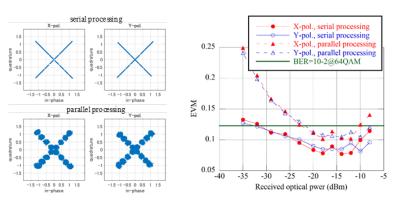


図イ b-1 試作した非結合型マルチコアケーブル



図イ b-2 試作したマルチコア ゲインブロック

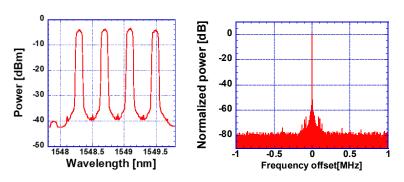
「400 Gbps 級高速大容量光アクセス伝送技術」では TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network) (10 Gbps×4 波=40Gbps) の 10 倍以上に対応する 400 Gbps 級バースト多値通信用送受信器技術を実現するため、「低コスト多値光送受信技術」においては、DP-16APSK (Dual Polarization 16 Amplitude and Phase Shift Keying) の多値信号による 100 Gbps/波長でのリアルタイム変復調評価を完了し、送信+5 dBm、受信 -24 dBm を計測、パスロス 29 dB となる目標を達成(図ア-1)。「低コストバースト信号光位相同期技術」においては、光源を共有化した簡易な構成の双方向デジタルコヒーレント伝送システムを開発し、位相雑音 0.6 度、 $1~\mu$ s 以下を目標とする条件の下の同期遅延時間を達成し、400 Gbps 信号の $10~\mu$ m 双方向伝送に成功(図ア-2)。「バースト多値クロック抽出技術」においては $1~\mu$ m の $10~\mu$ m $10~\mu$



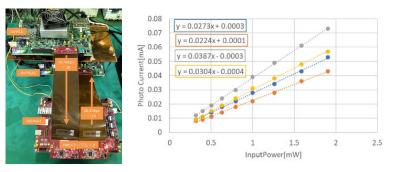
図ア-1 DP-16APSK変復調評価結果と伝送特性測定結果

高効率光アクセ ス技術

課題ア)



図ア-2 400 Gbps 信号双方向伝送実験結果



図ア-3プロトタイプ電気系と動作検証結果

「光ネットワーク監視・制御基盤技術」では、「ネットワーク監視・分析技術」として、ベンダ非依存の線路監視装置のハードウエア最適化ソフトウェア機能拡張を完了し、リアルタイムノード監視装置の試作及び性能評価を完了(図イ-1)。加えて、「光ネットワーク制御プラットフォーム技術」として、検証用の5ベンダ光ネットワーク制御プラットフォームの開発及びテストベッドを構築し、マルチベンダ環境下での障害自動復旧機能拡張を完了(図イ-2)。さらに、「ネットワーク監視・分析技術」と「光ネットワーク制御プラットフォーム技術」の連携実験によりプロビジョニング、障害対応それぞれにおいて、運用工数が単一ベンダ時と同等にできることを確認。また、故障リスク増大に対応した高可用ルーティング技術により転送期待値保証ルーティングでの99.9%以上の高可用性実現を確認し(図イ-3)、「ネットワーク監視・分析技術」及び「光ネットワーク制御プラットフォーム技術」との統合連携実験(図イ-4)により、高可用な運用実現性を確認し、光信号特性を利用したマルチベンダ対応ネットワーク監視制御技術及び高可用性ルーティング技術を確立、到達目標を達成。

高効率光アクセ ス技術

課題イ)



図イ-1 リアルタイムノード監視装置試作

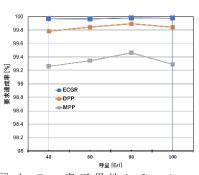
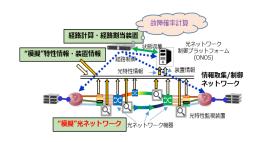


図 イ - 3 高 可 用 性 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 検 証 結 果



図イ-2 マルチベンダ光ネットワーク テストベッドでの連携実験



図イ-4 ネットワーク監視・分析技術、光ネットワーク制御プラットフォーム技術、転送期待値 保証ルーティングの遠隔連携実験

「フレキシブル光スイッチ基盤技術」では、波長選択光スイッチのポート入出力ソフトウェアで柔軟に切り替え可能なフレキシブル光スイッチ($M\times N$ 型)基盤技術を確立し、96CHにおける挿入損失として目標とした 8.5dB を大きく下回る 6.6 dB を達成(図ウ-1)、消費電力は目標である 1/2 を超える 1/17 を達成し、柔軟なネットワークトポロジ変更を可能とする省電力フレキシブル光スイッチ技術を確立。さらに、ポート入出力をソフトウェアで柔軟に切り替え可能な 5×5 型フレキシブル波長選択光スイッチ(WSS (Wavelength Selective Switch))を試作(図ウ-2)し、社会実装として、 1×9 型 WSS の製品化を完了。また、 5×5 型 WSS 製品化に向けたノウハウの蓄積とサプライチェーンを確立、到達目標を達成。

高効率光アクセ ス技術

課題ウ)

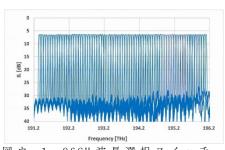
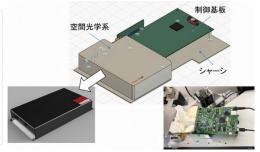


図 ウ-1 96CH 波長選択スイッチ

評価結果



図ウ-2 5×5型 WSS モジュール

3 政策効果の把握の手法

研究開発の評価については、基本計画書に記載された目標指数の達成状況とともに、論文数や特許出願件数などの間接的な指標を用い、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。この観点に基づき、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合(第122回)」(令和4年6月)において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、各開発技術に関する特許を出願するなど成果展開に必要な技術を確実に確立しており、また、ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector、国際電気通信連合電気通信標準化部門)における寄書提案を行うなど、国際標準化に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成 30 年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	合計
査読付き誌上発表論 文数	0件(0件)	5件 (5件)	14件(13件)	13件(11件)	32件 (29件)
査読付きロ頭発表論 文数 (印刷物を含む)	4件(4件)	27件(20件)	26件(22件)	32 件(24 件)	89件(70件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	0件(0件)	1件(0件)	1件(0件)	2件(0件)
口頭発表数	19件(3件)	44件(5件)	46件(3件)	38件(3件)	147件 (14件)
特許出願数	10件(3件)	28件(10件)	25件(7件)	35 件 (19 件)	98件(39件)
特許取得数	0件(0件)	2件(0件)	0件(0件)	3件(0件)	5件(0件)
国際標準提案数	1件(1件)	4件(4件)	1件(1件)	2件(2件)	8件 (8件)
国際標準獲得数	0件(0件)	2件(2件)	0件(0件)	0件(0件)	2件(2件)
受賞数	2件(1件)	4件(0件)	2件(1件)	2件(0件)	10件(2件)
報道発表数	2件(2件)	1件(0件)	2件(0件)	10件(0件)	15件(2件)
報道掲載数	2件(0件)	8件(0件)	14件(0件)	35件(3件)	59件 (3件)

- 注1:各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。
- 注2:「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等(Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。
- 注3:「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集(電子媒体含む)に掲載された論文等(ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。)を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等(電子情報通信学会技術研究報告など)は、「口頭発表数」に分類する。
- 注4:「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等(査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む)を計上する。
- 注5:PCT (特許協力条約) 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。
- 注6:同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」 および「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行った

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	本研究開発では、超高精細映像の流通や第5世代移動通信システム(5G)の普及による通信トラフィック増大とそれにかかる消費電力増大に対応し、社会インフラとして様々なネットワークサービスを支える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まで総合的な大容量化・高効率化を実現する革新的光通信技術を確立し、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して、以下の技術課題に取り組み、当初目標を上回る成果を達成した。 ・5Tbps 級高速大容量・低消費電力光伝送技術・マルチコア大容量光伝送システム技術・高効率光アクセス技術・高効率光アクセス技術・政策的位置付けとして、「第5期科学技術基本計画」(平成28年1月22日閣議決定)、「世界最先端IT国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」(平成29年5月30日閣議決定)、「科学技術イノベーション総合戦略2017」(平成29年6月2日閣議決定)、および「未来投資戦略2017」工程表(平成29年6月9日閣議決定)において、大規模データの高速・リアルタイム処理を低消費電力で実現するための「デバイス技術」、大規模化するデータを大容量・高速で流通するための「ネットワーク技術」等の基盤技術についての速やかな強化を図ること等が掲げられている。以上により、本研究開発においては、国が戦略的に研究開発を実施し、国内民間事業者がそれぞれ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・製品化を推進して我が国の国際競争力を強化したことから、必要性があったと認められる。
効率性	複数者の保有する得意な技術を持ち寄り、オープンイノベーションによる研究開発体制をとることにより、国際競争に勝てる最先端技術を集積して、1 者単独開発では難しい効率的かつ迅速な研究開発を可能とした。各者の代表研究者・実務担当者が集まってプロジェクト推進会議等を開催し、各者の進捗状況や課題を共有・調整して迅速に判断する体制の下で研究開発を推進した。また、各課題について、年に2回程度、外部の有識者と研究受託者から構成されるアドバイザリ委員会を開催し、研究進捗や進め方に対して適切な助言・提言を頂くことにより、研究開発の効率的な運用を行った。さらに、ビジネスプロデューサによる統括のもと、本研究開発成果の製品化に早期に取り組むなど高い成果を上げた。 委託経費の執行に当たっては、事前に予算計画書を確認するとともに、年度途中及び年度末に経費の執行に関して、総務省担当職員が詳細な経理検査を行い、予算の効率的な執行に努めた。加えて、専門的知見を有した監査法人に経理検査の補助を依頼し、経費執行の適正性・効率性を確保している。 本事業では、外部有識者からなる評価会において、成果目標・活動指標について適切との評価を得ていることから、コスト等の水準は妥当であると認められる。以上により、当初予算計画に対して、当初目標の仕様を大幅に上回る機能・性能を達成して、効率性の高い研究開発成果を創出できたことから、本研究開発には効率性があったと認められる。
有効性	5 Tbps 級高速大容量・低消費電力光伝送技術、マルチコア大容量光伝送システム技術、高効率光アクセス技術を確立することにより、基幹網から末端のアクセス網までの通信インフラの大容量化・低消費電力化を可能とした。これらは 5 G 等のサービス実現に伴う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有効に対処するものであり、高速大容量・低消費電力の光ネットワークの実現に寄与することができた。 さらに受託者において、すでに本研究開発の成果を含むトランスポンダー・トランシーバー・ラインカード等(*1)の製品化に着手していること、また、特許出願、標準化提案による国際展開、報道発表による情報発信等において目標件数を上回る成果を達成していることから、アウトカム目標である製品化へ向けて着実に推進できている。 よって、本研究開発には有効性があったと認められる。 *1 いずれも光通信において電気信号と光信号を相互に変換するためのデバイス

本研究開発の成果である光ネットワークの高速大容量化技術および低消費電力化技術は、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・発展に貢献できるものであり、受託者や関係者のみならず、広く国民に利益が享受されるものである。

公平性

また、支出先の選定に当たっては、実施希望者の公募を広く行い、研究提案について外部専門家から構成される評価会において最も優れた提案を採択する企画競争方式を採用したことから、競争性を担保している。

よって、本研究開発には公平性があったと認められる。

優先性

超高精細映像の流通や IoT・ビッグデータ・AI 等の普及によって急速に増大する通信トラヒックに対応するため、現行開発されているものよりもさらに大容量・低消費電力化を実現する光通信技術の開発が喫緊の課題となっており、光アクセス網においても多様化する通信需要をより効率的に収容することが必要とされていた。また、本研究開発分野は、欧米各国においても国家プロジェクトとして大規模かつ戦略的な研究開発が行われており、国連の専門機関である国際電気通信連合(ITU)等においてし烈な国際標準化競争が展開されているところであり、我が国が世界において優位性を確保するためにも優先的にこれに取り組む必要があった。

これらの状況を鑑みて、本分野における世の中の技術動向も意識した高い目標を設定したうえ、全 ての課題において目標を達成した。

よって、本研究開発には、優位性があったと認められる。

5 政策評価の結果(総合評価)

超高精細映像の流通や IoT・ビッグデータ・AI 等の普及、さらには5Gの実用化によって急速に増大する通信トラヒックに対応するため、情報通信インフラである光通信技術の更なる高度化により消費電力を抑制しつつネットワーク資源の拡大を図ることが必要となっている。

本研究開発においては、5 Tbps 級高速大容量・低消費電力光伝送技術、マルチコア大容量光伝送システム技術、高効率光アクセス技術を確立することにより、基幹網から末端のアクセス網までの通信インフラの大容量・低消費電力化を可能とした。これらは5 G等のサービス実現に伴う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有効に対処するものであり、高速大容量・低消費電力の光ネットワークの実現に寄与することができた。さらに、受託者において、すでに本研究開発の成果を含むトランスポンダー・トランシーバー・ラインカード等の製品化に着手していること、また、特許出願、標準化提案による国際展開、報道発表による情報発信等において目標件数を上回る成果を達成していることから、アウトカム目標である製品化へ向けて着実に推進できている。

よって、本研究開発には有効性、効率性等があると認められた。

<今後の課題及び取組の方向性>

評価結果を踏まえ、今後は受託者において本研究開発の成果を活用した製品の実用化を進めるとともに、国の後継プロジェクト等を活用してさらなる技術の発展を目指す。引き続き知財確保、標準化活動を推進することで、光ネットワーク分野における技術の国際的優位性を維持するとともに、これらについて追跡調査等でフォローアップしていく。

6 学識経験を有する者の知見の活用

「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合(第122回)」(令和4年6月)において、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置付け及び目標、研究開発マネジメント、研究開発成果の目標達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績並びに研究開発成果の社会展開のための計画などの観点から、外部評価を実施し、以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

・5 Tbps 級高速大容量・低消費電力光伝送技術

チャネル容量 5 Tbps 級のデジタルコヒーレント光伝送システムを実現するための基本技術を確立するとともに、低消費電力化技術の確立では、目標を上回る成果を達成している。また、特許・

論文等の件数も目標を大きく上回っており、有効かつ効率的な研究開発であることが評価できる。

・マルチコア大容量光伝送システム技術

既存光海底ケーブルシステムの4 倍以上となる伝送容量 240Tbps、伝送距離 1000km 以上を実現するための基盤技術を確立するとともに、3000km 級伝送において当初目標の7倍となる1.74Pbpsの実現可能性まで実証しており、基本計画書における目標を上回る有効かつ効率的な研究開発であったと評価できる。世界トップの技術を有する組織による研究開発成果であることから、我が国の関連企業による国際市場展開、シェアの維持・拡大につながることが期待できる。

・高効率光アクセス技術の研究開発

従来比 10 倍の 400Gbps 級高速大容量光アクセス伝送を実現するための基盤技術を確立するとともに、低消費電力フレキシブル光スイッチ基盤技術の確立では、目標を上回る成果を挙げており、有効かつ効率的な研究開発であったと認められる。本研究開発の成果が、国民生活に密着した安価で高性能なサービスの提供に活かされることを期待する。

7 評価に使用した資料等

- ○科学技術イノベーション総合戦略 2017 (平成 29 年 6 月 2 日閣議決定) https://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2017/honbun2017.pdf
- ○世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画(平成 29 年 5 月 30 日閣議決定) https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/sirvoul.pdf
- ○科学技術基本計画(平成 28 年 1 月 22 日閣議決定) https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf
- ○未来投資戦略 2017-Society5.0 の実現に向けた改革- (平成 29 年 6 月 9 日 未来投資会議) http://www.kantei.go.jp/jp/headline/pdf/seicho_senryaku/2017_all.pdf
- ○AI 戦略 2019 (令和元年 6月 11 日統合イノベーション戦略推進会議決定) https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/aistratagy2019.pdf
- ○経済財政運営と改革の基本方針 2020(令和2年7月17日) https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2020/2020_basicpolicies_ja.pdf
- ○成長戦略フォローアップ(令和2年7月17日) https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/fu2020.pdf
- ○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) https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf
- ○デジタル社会の実現に向けた重点計画(令和3年6月18日) https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/information/field_ref_resources/576be222 -e4f3-494c-bf05-8a79ab17ef4d/210618_01_doc01.pdf
- ○統合イノベーション戦略 2021 (令和 3 年 6 月 18 日)
 https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/togo2021_honbun.pdf
- ○情報通信技術の情報通信技術の研究開発の評価について <一般> https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/091027_1.html

○「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」基本計画書 https://www.soumu.go.jp/main_content/000544575.pdf