（革新）様式 1-4-2 (2025-1)

令和７年度研究開発成果概要書

採 択 番 号　09201
研究開発プロジェクト名　オール光ネットワークの高度化に向けたデジタルツイン技術及びそれを活用したネットワーク最適化・分析技術に関する研究開発
副　　題　オール光ネットワークデジタルツイン技術

（１）研究開発の目的

実際に敷設されたオール光ネットワークの特性や運用状態を高精度に複製したオール光ネットワークデジタルツインを構成し、これを活用することで、実際のオール光ネットワークの伝送性能に即した光送受信器設定パラメータ、光信号波長、および経路等を自動最適化するアルゴリズムを開発し、ネットワーク伝送容量の従来比 30%以上の向上を実現する。また、オール光ネットワークの運用中に発生が予想される障害要因を特定するアルゴリズムを開発し、想定ユースケースの性能要件として求められる時間以内（例えば、分オーダー）での要因特定を実現する。さらに、オール光ネットワークデジタルツインアーキテクチャ、ユースケース等を国際標準/オープンコミュニティである、IOWN GF（Innovative Optical and Wireless Network Global Forum）、 TIP (Telecom Infra Project)等に提案し、文書化する。

（２）研究開発期間

令和７年度から令和９年度（３年間）

（３）受託者

1FINITY 株式会社＜代表研究者＞

（４）研究開発予算（契約額）

令和７年度１００百万円　　※百万円未満切り上げ

（５）研究開発項目と担当

研究開発項目１　デジタルツインデータ処理技術の研究開発
研究開発項目 1-a)　高信頼・セキュアデータ交換基盤インタフェース技術
（1FINITY 株式会社）

研究開発項目２　オール光ネットワークデジタルツイン構築技術の研究開発
研究開発項目 2-a)　オール光ネットワークデジタルツインモデル構築技術
（1FINITY 株式会社）

研究開発項目３　オール光ネットワークの最適化・分析技術の研究開発
研究開発項目 3-a)　オール光ネットワーク伝送容量最大化・分析技術
（1FINITY 株式会社）

（6）特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	2	2
	標準化提案・採択	1	1
	プレスリリース・報道	1	1
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

（7）具体的な実施内容と成果

研究開発項目１：デジタルツインデータ処理技術の研究開発

研究開発項目 1-a)　高信頼・セキュアデータ交換基盤インタフェース技術

本年度は、オール光ネットワークにおける研究開発項目 3 のユースケース、特性、要件に合わせて、データ交換条件の検討を実施した。ユースケース、特性、要件などの検討結果から、オール光ネットワークにおけるデジタルツインを実現するために必要なパラメータ(様々なベンダから提供される光伝送機器から収集された光パスの伝送特性等の物理パラメータ、光伝送に関係する設定パラメータなどを含む)を調査し、デジタルツインを実現するために必要なパラメータをリスト化した。また、それらが光伝送機器から取得、活用可能である見込みを確認し、デジタルツイン構築に必要な要件整理を完了した。

研究開発項目２：オール光ネットワークデジタルツイン構築技術の研究開発

研究開発項目 2-a)　オール光ネットワークデジタルツインモデル構築技術

障害要因分析アルゴリズムに関連するオール光ネットワークデジタルツイン構築技術の確立に向けて、光の物理的な伝送メカニズムを模擬することが可能なホワイトボックスモデルを活用しモデル化を実施した。ホワイトボックスモデルとしては、オープンソースの光伝送モデル・シミュレータである「GNPy」を選択した。そのうえで、GNPy の各構成要素（送受信機、ROADM、EDFA、ファイバ、周波数・波長情報）と、関連する物理パラメータを整理した。さらに、これらの物理パラメータを、運用中の光ネットワークの状態とそのモニタデータの変化に合わせて逐次的に推定・更新するアプローチを検討し、その手法としてデータ同化手法の一つであるアンサンブルカルマンフィルタを導入した。本手法の原理検証を実施し、動作見込みであることを確認することで、初期検討を完了した。

また、伝送容量を最大化するアルゴリズムに関連するオール光ネットワークデジタルツイン構築に関する初期検討も行った。その結果、実ネットワークから光信号対雑音比(OSNR)を活用するモデル化手法で効果が得られる見込みであることを確認し、こちらも初期検討を完了した。この際、光フィルタの遮断特性(消光比)による漏れ光によって精度低下するなどの特性整理を行い、複数の経路で OSNR を測定して補正する方法の検討を開始した。

研究開発項目３：オール光ネットワークの最適化・分析技術の研究開発

研究開発項目 3-a)　オール光ネットワーク伝送容量最大化・分析技術

オール光ネットワークにおける障害に関連する警報発出前の予兆段階での異常検知や被疑箇所の特定に向けて、ホワイトボックスモデルによる要因分析アルゴリズムを検討した。特に、「GNPy」とアンサンブルカルマンフィルタを組み合わせた物理パラメータの推定・更新の手法を活用し、光ファイバスパンの入出力部での光パワー損失量変化（コネクタロスなどの変化）を、各ファイバスパンのスパンロスモニタデータおよび受信機における SNR データから逐次的に推定し、その変化が発生した位置を分析するアルゴリズムを検討した。このアルゴリズムをプログラムとして実装し、シミュレーション環境における原理検証を行った結果、光ファイバスパン入出力部における損失量の変化を推定できることを確認し、初期検討を完了した。

また、オール光ネットワークの伝送容量を制限する要因について、経路探索、波長割り当て、

伝送品質設計の観点で検討し、課題の整理を実施した。伝送容量を最大化するための最適化パラメータとして、経路探索時のリンク重みと伝送品質設計時の機器故障交換マージンについて特性を整理した。具体的には、リンク重みを変化させながら経路探索することで経路を分散させる方法と、伝送品質設計時に設置した機器の性能に基づいて到達性判定を行う方法を、まず簡単なシミュレータを作成して実施した。その結果、必要最小限のコスト増加で伝送容量を大きく改善できる見通しを得て、初期検討を完了した。今後は機器故障交換マージンの見積もり方や精度の高いOSNR値の取得方法など検討していく。

（8）今後の研究開発計画

（1）最終目標の設定

現在まで順調に研究が進捗しており、当初計画に基づいた最終目標を設定する。

（2）今後の研究開発計画

研究開発項目１　デジタルツインデータ処理技術の研究開発

研究開発項目 1-a)　高信頼・セキュアデータ交換基盤インタフェース技術

- 2026 年度は、高信頼・セキュアなデータ交換基盤と、各種物理パラメータとのインタフェース、および研究開発項目２で整理した光送受信器モデル、光ファイバ伝送路モデルに設定するパラメータとのインタフェースを定義し、仕様化を行う。
- 2027 年度は、研究開発した仕様に基づいたインタフェースを試作し、ドイツ側との連携により高信頼・セキュアなデータ交換基盤との結合試験を行うことで、その動作を確認する。

研究開発項目２　オール光ネットワークデジタルツイン構築技術の研究開発

研究開発項目 2-a)　オール光ネットワークデジタルツインモデル構築技術

- 2026 年度は、オール光ネットワークデジタルツインモデルの試作を行い、研究開発項目３で開発する最適化および分析アルゴリズムとの結合、動作確認を行う。
- 2027 年度は、光伝送機器から収集したパラメータに基づき、オール光ネットワークデジタルツインモデルが構築されることを実験実証することで、オール光ネットワークデジタルツイン構築技術の確立を完了する。

研究開発項目３　オール光ネットワークの最適化・分析技術の研究開発

研究開発項目３-a)　オール光ネットワーク伝送容量最大化・分析技術

- 2026 年度は、伝送容量最大化アルゴリズムおよび障害要因分析アルゴリズムの基本検討結果を基に試作を行い、オール光ネットワークデジタルツインモデルとの結合試験、動作検証および効果検証を実施する。また、オール光ネットワークを模擬した実験系の構築を行い、基本動作検証を完了させる。
- 2027 年度は、伝送容量最大化アルゴリズムおよび、障害要因分析アルゴリズムの実験実証を行い、得られた実験実証結果と、評価するオール光ネットワークのネットワーク条件の網羅性を担保するために行う数値シミュレーション結果から、ネットワークの伝送容量を従来比 30%以上向上可能であることを示す。また、上記実験系にて障害発生を模擬し、性能要件として求められる時間以内（例えば、分オーダー）で障害要因特定できることを実証する。

（3）研究開発成果の展開・普及等に向けた計画

- 本研究開発の成果に向けた、IOWN Global Forum に対して All Photonics Network におけるデジタルツインの活用に向けた議論を関係者と進め、フォーラム文書に採択されることで、業界内おける普及、コンセンサス作りを進める。その内容を基に、関係するフォーラム（OpenROADM MSA, Telecom Infra Project(TIP)）や ITU-T などの標準化団体に対する標準化活動を進める。
- 業界内で権威ある国際会議である、OFC や ECOC などにおいての成果発表、および併設する展示会場において、研究成果について広くアピールを行う。
- 本研究成果により得られる研究成果を基に、社会実装に必要となる信頼性、拡張性などを考慮したソフトウェアを中心にした製品群の開発を進め、弊社の持つネットワークコントローラ製品上へのインテグレーションを進めることで、成果の社会実装の検討を進める。

（9）外国の実施機関

Adtran Networks SE （ドイツ）＜代表研究者＞
Fraunhofer Heinrich Hertz Institute (HHI)（ドイツ）
Infosim GmbH & Co. KG （ドイツ）