

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 04801
研究開発課題名 Beyond 5G 超高速・大容量ネットワークの自律性・超低消費電力を実現する
 ネットワークサービス基盤技術の研究開発
副 題 研究開発項目 1 ネットワークサービス基盤技術
 超高速・大容量ネットワークの一元的な制御や電源最適化を実現するネットワーク
 サービス基盤技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、Beyond 5G (B5G) が実現される時代において、超高速・大容量ネットワークの自律性・超低消費電力を実現するネットワークサービス基盤技術の確立を目指す。具体的には無線基地局、ネットワーク機器等の仮想化を行い、ネットワークリソースの一元的な制御、ネットワークの自律性の確保、電力消費の最適化を実現する技術を確立する。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 5 年度 (2 年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>
日本電信電話株式会社
富士通株式会社
株式会社NTTドコモ

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度から令和 5 年度までの総額 7,123 百万円 (令和 5 年度 2,423 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 ネットワークサービス基盤技術

- 研究開発項目 a)
ドメイン連携 NW リソースオーケストレーション基盤技術 (日本電気株式会社)
- 研究開発項目 b)
超高性能・超高効率・超高信頼を指向した通信サービス制御技術 (日本電気株式会社)
- 研究開発項目 c)
複数の機能群を柔軟に利用可能な通信機能向けミドルウェア技術 (日本電信電話会社)
- 研究開発項目 d)
無線基地局機能仮想化基盤技術 (富士通株式会社)
- 研究開発項目 e)
無線基地局検証評価技術 (株式会社 NTT ドコモ)

(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	10	6
	外国出願	10	8
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	27	21
	標準化提案・採択	5	5
	プレスリリース・報道	1	1
	展示会	3	3
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1 ネットワークサービス基盤技術

研究開発項目 a) ドメイン連携 NW リソースオーケストレーション基盤技術

- ① 数千（日本国内に 1,000～10,000 程度）のデータセンタにおける物理、仮想、論理、サービスのマルチレイヤ管理による全体最適のリソース制御/管理の実現
- ② 数千（日本国内に 1,000～10,000 程度）のデータセンタにおける物理、仮想、論理リソースの各ライフサイクルのゼロタッチオペレーションの実現および RAN やコアのドメインをまたがったネットワークのリアルタイム管理の実現
- ③ 特定ドメイン障害発生時において他ドメインからのカバーリングによる SLA (Service Level Agreement) 保証の実現
- ④ サービス intent に基づく自律運用技術を実現するための、サービス intent に基づく自律運用技術の基礎方式検討と試作、サービス intent と運用計画の記述仕様の検討の実現。
- ⑤ 運用計画/QoE(Quality of Experience)/無線リソース制御/コンピューティングリソース制御の実現連携のため、前述④の自律運用技術を活用した統合的な O-RAN 自動運用機能の基礎研究・シミュレーション評価と試作ソフトウェア開発の実現。

(2022 年度)

- ・大規模 NW オーケストレーション要素技術の方式検討および試作開発として、インベントリ最新情報取得方式の検討/試作、マルチベンダ対応の自動化方式の検討/試作、アラーム収集およびデータ管理方式検討、マルチドメインスライス I/F 調査およびクローズドループ試作。
- ・サービス intent に基づく自律運用技術の基礎方式を確立し、試作ソフトウェアの開発を実施。Intent の運用計画に関する記述仕様に関する基礎検討を完了し、サンプルモデルに基づく動作検証を完了。
- ・統合的な O-RAN 自動運用機能の実現に向けて方式検討および試作ソフトウェアの開発を実施。利用者数の増加に応じて仮想化基地局(vCU)のコンピューティングリソースを自動的に拡張する自動運用技術の実現を検証。

(2023 年度)

- ・大規模 NW オーケストレーション要素技術の実装/実証/仕様洗練化として、収容管理の負荷軽減/性能向上、NF に対する自律制御、マルチベンダ装置のアラームおよびインベントリデータ一元管理方式策定、サービス intent 自律運用のマルチドメイン展開と実証を実現。
- ・サービス intent に基づく自律運用技術の具体的なユースケースに沿ったサンプルモデルを開発して、自律運用機能全体の実現性を実証。また、Intent のうち特に非機能要件に関するモデル記述仕様の洗練化を実施し記述効率を改善。
- ・統合的な O-RAN 自動運用機能の実装/洗練化として、利用者数変動と要求帯域変動に応じて、仮想化基地局(vCU-C/U)の Pod レベルでのコンピューティングリソースを最適化できる試作

ソフトウェアを開発し、更なる自動運用の改善を実施。

研究開発項目 b) 超高性能・超高効率・超高信頼を指向した通信サービス制御

- 2022 年度および 2023 年度の研究開発では大きく以下の 4 つの研究内容について研究を実施。
 - (1) マルチアクセス収容を実現するネットワーク機構技術
 - (2) マルチアクセス収容を実現するサービス共通化技術
 - (3) HW アクセラレーションによるオフロード技術
 - (4) モバイル/固定系音声信号処理機能のソフト化技術
- 2022 年度の研究開発においては、商用で実績ある電話アプリケーション機能をベースとして、試作ソフトウェアを用いてアーキテクチャの実現性を見極めを実施。
2023 年度の研究開発においては、4 つの研究内容を軸として、各要素技術の高度化とともに要素技術を掛け合わせた効果検証実施。
- 2022 年度の成果としては、モバイル/固定通信で主流な機能部、およびモバイル通信で主流な機能部の部品化の方式検討、設計を実施し、評価用試作ソフトウェアによる動作検証において、各種部品の基本動作・基本性能を確認している。
- 2023 年度の成果としては、モバイル/固定通信で主流な機能部のソフトウェア部品を任意に組み合わせ、かつ、分散型アーキテクチャ上での動作検証において、特定モデルケースで約 30% のサーバ設備台数削減、約 60% の保守作業効率化の効果を確認。
また、従来ハード DSP で実現してきた音声信号処理機能をソフトウェア部品化し、かつ、複数機能を並列で GPU にオフロードさせた動作検証において、特定モデルケースで約 68% の消費電力削減、約 29 倍の集約率・性能向上の効果を確認。
- 研究開発項目 a) 連携(オーケストレーション連携)は、2022 年度には全体アーキテクチャ、動作(連携)イメージ概要および、I/F 概要を整合し、2023 年度にはオートヒーリングのユースケースを前提に項目 b) (CNF) の自動生成削除の動作検証としてアラーム通知および切替指示の動作確認を実施。
- 研究開発内容に関する講演を 2022 年度に 1 件、2023 年度に 1 件実施(実施計画書目標 0 件 → 2 件)した。

研究開発項目 c) 複数の機能群を柔軟に利用可能な通信機能向けミドルウェア技術

2022 年度においては調査・分析として、アーキテクチャ策定に向けたオープンなネットワーク OS とクローズドなネットワーク OS の分析、インタフェース (SAI および TAI) に関する調査・分析等を実施した。実施内容からミドルウェアのベースプラットフォームとしての SONiC の妥当性を確認し TAI についてのソフトウェア構造等について分析・把握した。

また試作・評価として、強化ルーティング機能設計・試作・評価を実施し SONiC 標準以外のプロトコル (OSPF (Open Shortest Path First) 等) 実現やデータセンタで使われる CLOS トポロジでの ECMP (Equal-Cost-Multi-Path) 向けの経路更新改良メッセージ (NEXTHOP メッセージ形式) に新規に対応した。また外部制御インタフェース設計・試作・評価を実施し NETCONF による設定制御インタフェースの試作設計・開発を行い SONiC で従来具備していなかった NETCONF プロトコルおよび OpenConfig データモデル制御インタフェースを具備した。

2023 年度においては以下の 1、2 の試作・評価および 3 の動作検証・評価を実施した。

1. デバイスインタフェースの設計・実装動作評価：光デバイスのインタフェースの設計と基本的な実装
SBI (South Bound Interface) 拡張設計ならびに光デバイス向けの API (TAI: Transponder Abstraction Interface) への対応を行い、光デバイスへの対応を実現した。動作検証・性能評

価を通じて、製造した拡張基盤実装が実装単体ならびに 2022 年度の開発機能との連携で動作する場合に期待した機能・性能を提供できることを確認した。

2. アプリケーションインタフェースの設計・実装動作：通信サービスアプリケーション（ネットワーク機能）の追加実装

SONiC 標準で実現されない NBI として 2022 年度に実装した NETCONF プロトコルの標準準拠度を高めるために排他制御機能等を設計し、試作・評価した。また、NETCONF 機能について SONiC コミュニティに 2022 年度開発機能から順にハイレベル仕様書や設計仕様書の提出等を実施し社会実装を目指したオープンコミュニティ活動を行った。

3. データセンタ用通信サービスアプリケーション動作検証・評価：強化ルーティング機能動作検証・評価

2022 年度に試作した強化ルーティング機能の宛先経路のグループ化について 2023 年度は処理を効率化するための実装の改善や印加経路数を増やしての評価を実施した。また、社会実装・標準化を目指して強化ルーティング機能の宛先経路のグループ化機能について NETCONF 機能と同様に SONiC コミュニティにハイレベル仕様書や設計仕様書の提出等を実施しオープンソースソフトウェア(OSS)化採択が決定した。

研究開発項目 d) 無線基地局機能仮想化基盤技術

ネットワークサービス基盤技術として、無線基地局機能仮想化基盤技術の検討としてユースケース選定からの要検定義・アーキテクチャを策定し、設計開発・評価・検証を実施した。

d-1：リソースプランニング機能の検討・設計開発 [2023 年 3 月末 100%達成]

d-1-1. 電力最適化のためのリソース最適配備の計算

NW・仮想リソース情報を収集し仮想リソース要件と仮想基地局装置(CU/DU)の接続要件(CUのDU収容数や、セル収容数など)、NW要件(必要帯域や、遅延時間)を考慮した配備計算を実施した。

d-1-2. サービス影響を軽減するための最適配備の計算

再配備時にサービス影響を最小にする最適な再配備順番の計算最適配備計算結果に合わせたリソースの再配備時を実施するにあたり、サービス影響を最小に抑えた配備シーケンスを計算した。

d-2：リソースコントローラ機能の検討・設計開発 [2023 年 3 月末 100%達成]

d-2-1. 統計情報管理機能

モバイルネットワーク(アンテナ、仮想サーバ等)のトラフィック需要を取得し、そのデータを解析して電力最適化のための再配備のタイミングを決定した。

d-2-2. 配備実行機能

サービス影響を最小にする再配備順番の計算結果に従い、マルチベンダで構成される各 O-Cloud のサーバ、SW、仮想リソース管理、および RU に対して制御を実施し、リソース再配備と設定完了後の疎通確認と失敗時のロールバック処理を実施した。

d-2-3. 構成管理機能

統計情報管理、最適配備計算、および配備実行で必要となるトラフィック情報や、仮想リソース情報や、O-Cloud を構成するサーバやスイッチの設計情報を複数のソフト基地局から収集し物理レイヤ、仮想化レイヤ、アプリレイヤの情報を紐づけて管理した。

d-2-4. GUI 機能

PoC や実証実験など社会実装に向け、無線基地局機能仮想化基盤技術による最適なリソース配備と省電力効果を効果的に表現する GUI の開発(設計)を実施した。

d-3：環境構築 [2023 年 3 月末 100%達成]

d-3-1. 評価環境構築

リソースプランニング機能とリソースコントローラ機能の開発・検証を行うため、無線基地局の環境を仮想化基盤とコンテナ基盤で構築し、リソースプランニング機能とリソースコントローラ機能で仮想化基地局装置の配備を検証するため、富士通製仮想化基地局装置を配備できる環境を構築した。さらに、リソースコントローラ機能では RU 制御するため、富士通製仮想化基地局装置を配備するサーバに RU を接続した環境まで構築した。

d-4：機能実装 [2024 年 3 月末 100%達成]

d-4-1. リソースプランニング機能とリソースコントローラ機能実装

2022 年度に策定した最適化計算および計算結果をネットワークに反映させるリソースプランニング機能とリソースコントローラ機能について開発工程を進行し各工程成果物（基本設計書・機能設計書・詳細設計書・ソースコード・単体試験結果・結合試験結果）とともに rApp を生成した。加え開発管理として、ソースコードの構成管理および自動単体テスト環境を構築し、以降のエンハンス開発に対し品質および効率面での施策を構築した。

d-5：機能評価・検証 [2024 年 3 月末 100%達成]

d-5-1. リソースプランニング機能とリソースコントローラ機能評価・検証

実験室内環境において仮想化コンテナ基盤上でリソースプランニング機能とリソースコントローラ機能を実装した rApp を搭載し、富士通製仮想化基地局装置を用い、計算通りの配備変更をできることを確認した。また本内容を動画撮影し今後の製品化を見据えた GUI の視認性について改善議論を開始した。加え機能改良に向け性能測定・分析に関しても着手した。

d-6：省電力検証（シミュレーション） [2024 年 3 月末 100%達成]

d-6-1. シミュレーション検証

大規模データ（ミラノデータと OpenCell データ）を利用した千以上の RU 停波計画とトラフィック需要予測からリソースプランニングの計画に基づきリソースコントローラによる DU/CU の最適配備を実施し、その結果として省電力効果(市街地：約 30.3%、郊外：約 47.1%削減)を確認した。今回用いたデータでは郊外の方が 1 日を通してトラフィック量が少ないため、停波できる RU の割合も高く、また 1 日のうち停波できる時間も長くなり、市街地より高い省電力効果が得られたという知見を得た。

研究開発項目 e) 無線基地局検証評価技術

2022 年度は仮想化基地局の評価モデル/プロセスの確立および評価環境構築および単一構成検証評価を実施した。

・仮想化基地局の評価モデル/プロセスの確立

オペレーション・インテリジェンス・オーケストレーション機能統合を見据えた各コンポーネントの役割を検討・明確化した。従来の専用装置で行っていたモバイル通信サービス機能/品質に対する評価に加え、仮想化基地局では各コンポーネント間の評価が必要であり、それぞれの観点を踏まえた評価内容を策定した。

・評価環境構築および単一構成検証評価

単一構成パターンにおける HW 構成および SW デプロイの実施内容をまとめ、実装置を用いた仮想化基地局の構築を完了した。屋外実環境での運用に必要な各機能の確認内容を検討し機能確認項目一覧を策定した。構築した仮想化基地局を用いて各項目の屋内試験を実施し、各機能の正常性を確認した。

2022 年度の研究成果を受けて 2023 年度はフィールド検証/商用検証および消費電力の評価モデルの確立と評価を実施した。

・フィールドおよび商用評価

商用運用と同一の構成にて屋外の無線環境におけるコア NW-無線 NW-移動端末の商用運用開始時と同一の構成での正常性確認およびパフォーマンス検証を実施する。具体的には以下 2 点の大項目を確認実施した。

① 屋外の無線環境において端末を移動し、屋外環境においてもユーザが移動を伴う動作をした場合も通信継続が可能であることを確認する。

② 屋外の無線環境においてもスループット測定を行うことで商用環境を模擬した環境でのスループット実測を行う。

各項目に関して評価完了し実移動機端末での評価を完了した。RUのマルチベンダ構成における仮想化基地局装置による屋外試験で正常性を確認した。

続けて実NW環境において大きく以下の4つの観点にて商用導入可能か確認した。

- ① 機能評価
- ② 保全評価
- ③ RIC(PF)
- ④ SMO(OSS)

全ての観点において正常性を確認し、商用導入にてサービス可能な装置品質にて評価を完了した。

・消費電力の評価モデルの確立と評価

仮想化基地局装置のHW構成(ACC/サーバ)に応じた消費電力影響を評価し、消費電力評価モデルを作成した。仮想化基地局装置にトラヒックを疑似し、トラヒックに応じた消費電力の影響を確認した。また、確立した消費電力モデルを用いてvDUの省電力化機能のOFF/ONの比較評価を行い、結果として消費電力が削減されていることを確認した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発項目 a) ドメイン連携NWリソースオーケストレーション基盤技術

本研究の成果であるIntent自動設計/自律運用、大規模超分散対応を活用・発展させ、Intent解釈可能な高度な知性を備えた自律機能・自動化の高度化を実現する。

OSSの市場は、自動化/自律化に関する通信キャリアの関心は高いものの、実際の自動化はノードに近いレイヤに留まっている。課題先進国である日本での社会実装社会実装を進め、グローバルへ展開する。

オペレーション自動化市場は、装置に近い領域から自動化が開始されているため、現在は通信装置専業ベンダがプレイヤーの中心となっているが、サービス領域に向けて展開していく。

通信装置とOSS/BSSの両者のベンダであり、リソースレベルからサービスレベルまでの広い視点を備えた強みを活かし、自動設計の前提となるノードのモデル化・リソースレベルのワークフロー開発から、サービスレベルのフロー開発/自律化を効果的に推進していく。

標準化においては、TM Forum Open API/Autonomous Networks Project や O-RAN Alliance を主な標準化活動先とし、インタフェースやデータモデルの国際標準化に向けた活動を行う。また、通信事業者等と連携し、PoC/プレスリリースを通して对外発表を行う。

実用化に向けては、国内既存市場に対する製品展開・導入実績を固め、さらに製品強化を進めることで競争力を高める。OSS全体では、多数ベンダによる群雄割拠の市場であるが、オーケストレータ領域に絞ると、通信機器ベンダによる提供が支配的な状況である。自社装置(ORAN/5GC)および国内通信事業者とともに国内および海外に展開していく。

標準化に向けては、5G市場における競争優位性確保のため、引き続きオーケストレーション領域(サービスIntent、自動設計、自律運用)の知財を獲得していきながら、TM Forum Open API/Autonomous Networks Project や O-RAN Alliance を主な標準化活動先とし、インタフェースやデータモデルの国際標準化に向けた活動を行う。

本研究により、日本が抱える人口減少に伴う技術者の人的リソースの減少という2025年問題の解決に貢献しつつ、自動/自律オーケストレーション技術、AI等を活用したインテリジェント技術の社会実装を進め、グローバルにおいても高まっていく自動化需要を捉えて、オーケストレーション技術、インテリジェント技術の横展開を図り、Beyond5G(6G)ネットワークによる持続的に成長する社会を支える情報通信インフラを実現する。

研究開発項目 b) 超高性能・超高効率・超高信頼を指向した通信サービス制御技術

本研究により、モバイル・固定通信融合を指向したハードウェア/ソフトウェア機能の部品化、仮想化基盤を用いた分散型アーキテクチャ、アクセラレータへのオフロード、基本動作検証・基本性

能確認による一定の効果がみえている。最終目標である 2 倍程度の安定性を持つ通信サービス制御技術の達成に向けて、助成スキームを通して技術確立を進めていく。

2024 年度：モバイル・固定融合を指向したプロトタイプシステムの単体検証

2025 年度：オーケストレータとの連携を見据えたプロトタイプシステムの総合検証

2026 年度：最新技術/標準化動向を反映した社会実装向け最終検証

研究成果の実用化に向けては、SDGs における主な課題である労働力不足の解消に向け様々なサービスを今後提供する上でネットワークの部品化、効率化、柔軟化していくことが社会貢献の一因であり、その上で、アウトカム達成に向けて、本研究開発で実施するソフトウェア部品、ハードウェア部品を活用した通信ノードもしくは仮想化技術製品として既存ネットワークへ製品展開することで、運用効率化等の付加価値を提供していく。また、マルチアクセス実現に向けた足掛かりとなる、WWC アーキテクチャにおいては、本研究開発で機能部品化の検証・アーキテクチャ検証を実施するとともに、モバイル・固定融合の需要がある国内外市場での顧客獲得を目指していく。標準化においては国際標準化団体 3GPP および BBF を主な標準化活動先とし、WWC をはじめとするモバイル・固定融合への取り組みを足掛かりにして、Beyond 5G 実現に向けた国際標準化を狙っていく。

B5G で提唱されるモバイル・固定通信融合の実現に向けた足掛かりとして、音声 DSP 等の高い処理性能が必要とされ現在も専用装置化されているモバイル・固定通信ネットワークに対して本研究開発を活用した仮想化システムの製品展開を想定。また、膨大な量のデータを効率的かつ迅速に処理する必要性の高まりによって、エッジコンピューティングが注目されており、MEC 領域を中心に成長が進む AI や ML 等の連携も視野に入れた製品展開も想定している。

前述の通り、本研究技術および WWC アーキテクチャを活用した製品を国内外市場に展開していくことで、実ネットワーク上での検証・課題抽出・技術普及を進め、業界におけるデファクトスタンダードとして市場からの後押しを狙い、国際標準化をさらに推し進めていく。

研究開発項目 c) 複数の機能群を柔軟に利用可能な通信機能向けミドルウェア技術

今後は以下の計画で実用化に向け研究開発を進めていく。

- ・2024 年度:コントローラに対する状態通知機能を具備・検証しセキュリティ機能を強化する。
- ・2025 年度:レイヤ 2 トンネル機能についての具備・検証しオープンコミュニティでの提案活動を開始する。
- ・2026 年度:状態通知機能・セキュリティ機能・レイヤ 2 トンネル機能の品質向上を行う。2025 年度に続きオープンコミュニティでの提案活動を継続する。

また上記の研究開発計画に基づき研究成果を対外発表しつつ、開発機能については SONiC コミュニティへ提案しオープンコミュニティ活動を 2025 年度から開始していく。

研究開発成果の展開・普及に向けては以下を考えている。

- ・本研究開発の成果は APN を用いたサービス(APN 付きデータセンタや APN 活用 O-RAN ソリューション)における転送・伝送ノード上のソフトウェア技術として活用していくことを想定している。
- ・本課題により確立したミドルウェア(ソフトウェア)は、標準化提案先の SONiC コミュニティにおいて提案活動を行い、賛同者を得ているため本技術を採用したシステムの製品化によりネットワークオペレーションシステム製品の展開が期待される。

研究開発項目 d) 無線基地局機能仮想化基盤技術

ネットワークサービス基盤技術の確立に向けて以下の計画で研究開発を進める。

- ・2024年度は、最適化計算とプランニング機能を連動させ、実験室内検証を行い、実証実験可能な完成度を目指していく。
- ・2025年度は、プレ実証実験を行い共同研究成果と連携確認、性能評価、機能改良を行い、最終年の総合検証に向けた開発、検証を実施していく。
- ・2026年度は、社会実装に向けフィールドでの実証実験を行い、最終目標である最大30%の省

電力化を確認する。

研究開発項目 e) 無線基地局検証評価技術

本研究開発項目では、複数ベンダにより構成されるvRAN、オペレーション・インテリジェンス・オーケストレーション機能統合に向けた評価モデル・プロセス確立を最終目標として、来年度以下の研究開発を行っていく。

2024年度では単一構成にて確立した評価モデル・プロセスを拡張し、複数ベンダにて構成される仮想化基地局を評価し、無線基地局の性能評価に関するプロセスを策定、実施する。その後オペレーション・インテリジェンス・オーケストレーション機能を接続し、機能の統合および評価モデルを確立する。

その後の計画として弊社の活動として現在までにフロントホールやXn等の装置間インターフェースのオープン化を実現してきたが、本研究にて得られたSMOやRICといったコンポーネントおよびそれに紐づくインターフェースに関してもO-RAN ALLIANCE等の標準化にフィードバックし、オープン化活動を行っていく。