

採 択 番 号        01701  
研究開発課題名    協調型自律ネットワークの研究開発

(1) 研究開発の目的

5G (第 5 世代移動通信システム) の導入や IoT 機器の急速な普及、4K8K 等の高精細映像コンテンツの増大に伴い、通信量が爆発的に増加するとともに、交通、医療・介護、農業等の様々な分野で新たなサービスが創出され、ネットワーク側には、サービス/時刻によって変化する多種多様な要求条件 (伝送速度、遅延、同時接続数など) への対応が求められている。

そのためには、事業者同士によるネットワーク間のダイナミックな連携により、ネットワークやサービスの状態に応じたネットワーク機能的制御を実現し、トラフィックの変動等のネットワークに対する要求条件の変化に対して柔軟に対応可能なネットワークを構築することが重要である。

そこで、本研究開発では、今後様々なサービスへの対応要求が必要となるネットワークのオペレーションをこれまで以上に自動化し、自律的にネットワークがサービス要求にあわせて変化する自律ネットワーク (Autonomous network、以下 AN という) のための研究開発と、今後のトラフィックの増加の主な要因と想定される①映像配信サービスのための CDN (Contents Delivery Network) 制御と②IoT サービスを融合したサービスである高精細ディスプレイ等の付いた自律移動ロボットに着目した研究開発を行う。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 4 年度 (2 年間)

(3) 受託者

沖電気工業株式会社<代表研究者>  
楽天モバイル株式会社  
国立大学法人東海国立大学機構

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 809 百万円 (令和 4 年度 656 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 自律ネットワーク基盤の研究開発

- 1-a) 自律ネットワーク基盤の「進化機構」の研究開発 (楽天モバイル株式会社)
  - 1-b) 自律ネットワーク基盤の「オンライン検証機構」の研究開発 (楽天モバイル株式会社)
  - 1-c) 自律ネットワーク基盤とアプリケーションの高度連携に向けたインタフェースと API の研究開発 (楽天モバイル株式会社)
  - 1-d) 自律ネットワーク基盤とアプリケーションの高度連携の実証実験 (楽天モバイル株式会社)
- 研究開発項目 2 多様なサービスを柔軟に統合する AN 活用自律移動ロボットの研究開発
- 2-a) 多様なサービスを柔軟に統合する自律移動ロボットの研究開発 (国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学)
  - 2-b) サービスに応じて AN に QoS 要求を行う自律移動ロボットの研究開発 (国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学)

研究開発項目 3 双方向サービスを可能とする AN 連携双方向 CDN 制御の研究開発

- 3-a) AN 連携双方向 CDN 制御基盤技術の研究開発 (沖電気工業株式会社)
- 3-b) AN 連携双方向 CDN 制御処理技術の研究開発 (沖電気工業株式会社)
- 3-c) AN 連携双方向 CDN 制御協調処理技術の研究開発 (沖電気工業株式会社)

3-d) AN 連携双方向 CDN 制御技術の標準化 (沖電気工業株式会社)

(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	3	3
	外国出願	4	4
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	26	20
	標準化提案・採択	10	9
	プレスリリース・報道	1	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	2	2

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1 自律ネットワーク基盤の研究開発

AN 基盤の開発と AN 構成・仕様記述形式の標準化の成果目標に対し、AN 基盤の初期プロトタイプを開発し、ITU-T SG13 に提案 AN 構成の勧告作成を提案・承認された (2023 年 10 月完了)。今後は、AN 基盤の初期プロトタイプの機能改善と共に、本年度末時点で未達成の複数ユースケースでの AN 基盤の性能評価および仕様記述形式の勧告作成の提案と承認を目指す。以下に各研究項目の具体的な実施内容を示す。

1-a) 自律ネットワーク基盤の「進化機構」の要求解析の実施し、結果を基に ITU-T SG13 の FG-AN に提案中の AN 構成案の改良と PoC の設計開発を実施した。

1-b) 自律ネットワーク基盤の「オンライン検証機構」の要求解析を実施し、結果を基に FG-AN に提案中の AN 構成案の改良と PoC の設計開発を実施した。

1-c) FG-AN の AN 構成案を基に「進化機構」と「オンライン検証機構」の PoC を拡張し、AN 基盤の初期プロトタイプの設計開発と基本要件機能の検証を完了した。

1-d) AN・CDN・ロボット間の高度連携のための要件定義を共同で実施し、AN に対する「CDN・ロボットの要求に応じた遅延制御」の要件に対し、「進化機構」と「オンライン検証機構」の PoC を連携し、クラウドネットワーク基盤上のロードバランサによる通信遅延の自律制御実験と三者間連携の初期検証を完了した。

研究開発項目2 多様なサービスを柔軟に統合するAN活用自律移動ロボットの研究開発

2-a) サービスモジュールを柔軟に組み合わせるためのモジュール化を進め、その設置・設定コストを低減するための枠組みの開発を進めた。具体的には、ROS2/Autoware.Universe を採用し、さらにモジュール・機能間の通信には、DDS(Data Distribution Service)を採用した。実際に LiDAR モジュールをベースモジュールになる四輪ロボットに搭載し、自律移動ロボットの公道における公開実験の場であるつくばチャレンジに登録し、実世界においてサービスロボットが自律移動を行うためのモジュール間通信の確認や、四輪ロボットの走行制御などを行い、実世界において、周囲に人やロボットが居る環境でロボットが自律移動を行うための知見を得るとともに、モジュール形態変更時の設定変更などに関する課題の確認を行った。

また、別種のサービスロボットとして、メタバースと実世界を接続するサービスを構想・設計し、様々な現実・バーチャルの空間同士を接続するロボット型メタポータル「MetaPo」として実装・発表した。本ロボットでは、ベースになる四輪ロボット上に、モジュールとして高精細な球体型ディスプレイ・ロボットハンド・360 度カメラなどを接続している。球体型ディスプレイには遠隔地の現実空間やバーチャル空間を表示可能で、360 度の映像配信と組み合わせた複数人同士による「空間の接続」を可能とした。特に本ロボットは、特許出願を行っており、SIGGRAPH 2022 におけるポスター発表、Hatch Technology Fes.2022 における一般展

示、インタラクティブ 2023 におけるデモ展示(インタラクティブ発表賞受賞)などを行った。

2-b) 高精細なディスプレイロボット・カメラロボットの構想を実現するため、本研究で用いる様々な装置を利用するための各種システムについて検討・実装した。先述の MetaPo で利用する VR ヘッドセット用 360 度映像配信システム、球体ディスプレイ向けアバター表示システムなどを開発した。また、開発の過程でロボットハンドの操作遅延・操作状況モニタリングの遅延や映像配信の遅延などの問題を検討した。

さらに、自動運転車椅子を用いた XR コミュニケーションを行うための低遅延 XR 配信システムを構築した。本内容は情報処理学会 DICOMO2022 シンポジウムでデモ発表を行い、最優秀デモ発表賞を受賞しており、国際学会 IoT 2022 で発表し、国際学会 HCI2023 で採択済。

また、楽天モバイル及び沖電気と共同で、ロボットからの映像配信に対して発生する遅延を制御する AN・CDN 連携の検証用システムを構築し、1 サーバ内で完結するデモを実施するとともに、NICT テストベッド上で複数拠点間を接続しての試験を行っている。

### 研究開発項目3 双方向サービスを可能とする AN 連携双方向 CDN 制御の研究開発

3-a) B5G の複数 MEC 上に実装する AN 連携双方向 CDN の基本機能を MEC-CDN 制御と異種端末同期制御とし、アーキテクチャを設計し国内及び国際学会での発表を行った。複数 MEC に CDN 用のキャッシュサーバを構築し、高画質映像を配信する際に、ディスクを効率的にアクセスする方式を設計し特許として出願した。また、機能モジュールを交換可能な AMR の機能の 1 つとして、AMR にディスクを保持し、モバイル事業者が構築する MEC の先に位置する遠隔 MEC のキャッシュサーバとして扱うことで、NW の乱れた場合でも AMR で撮影した映像を乱れなく配信する方式を開発し特許として出願した。

3-b) 単体サーバ上の 14 個の仮想マシン環境で 13 個のコンテナを用い、AN 連携双方向 CDN、AN、及び AMR が連携し、遠隔地の端末間の映像視聴を同期させる同期視聴の基本機能を確認するシステムを設計した。そのシステムを評価し、出てきた課題(AN と双方向 CDN の密な連携インタフェースの設計)を解決する方式を設計し実装した。NICT テストベッド上で中規模の試験環境を作成し、AN 連携双方向 CDN を実装し、AN との連携を確認し効果を確認した。

3-c) AN が制御する複数 MEC の一部にキャッシュサーバが存在する B5G 環境において、AN と双方向 CDN が連携するインタフェースを設計し、実際にソフトウェアを開発し、NICT テストベッド上に実装し評価を行なった。

3-d) 社会実装に向けて、AN 及び AN 連携双方向 CDN をアジア・太平洋地域に普及させるための課題を早急に抽出することを狙って、アジア太平洋電気通信共同体の加盟国に対しアンケートを実施し報告書を提出する作業計画を提案し承認された。AMR とのインタフェースの標準化のために通信機能を有する AMR の要求条件の標準化作業開始を提案し、承認された(2024 年勧告化を予定)。

研究機関中に新たに見つかった AMR をメタバースの端末として使用するアイデアを将来社会実装し普及させるためには、メタバースに関する標準化が必要であると考えた。そこで、一般社団法人情報通信技術委員会のメタバースの標準化検討会議体設置、ITU-T フォーカスグループメタバースの提案を提案し、それらの会議を主導することを通じて、ITU-T でのメタバース標準化を加速する活動を開始した。今後、ユースケースの 1 つとして自律移動ロボットの研究で新たに発見したメタバースへ適用する事例を提案する。

## (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

メタバースと現実空間を接続するサービスは、来るべきメタバース社会において、非常に幅広い応用可能性が期待できる。市場規模としては 2030 年頃に全世界で 140~280 兆円規模という想定がなされている。単なる観光のようなサービスから、職場におけるコミュニケーション、広報など、その応用範囲は広く、複数の現実空間と複数のメタバースを接続するようなネッ

トワークの構想も考えられる。このような広報においては、大阪万博のような機会を通じて、社会への認知を広げていきたい。

この研究開発から得られた技術を国内への展開だけではなく、得られた成果を楽天モバイル（株）のプラットフォームに適用することで更なる海外事業での競争力を強化することが可能と判断している。楽天モバイル（株）は既に海外モバイル事業者と連携をおこなっていて、日本由来の通信技術産業を世界展開することで Beyond5G/6G の時代で日本の世界リードに貢献することができる。

双方向 CDN 制御や自律移動ロボットは上記の自律ネットワークと結合し新たなサービスを提供できるものである。双方向 CDN 制御はソフトウェアとして楽天モバイルと連携し海外展開を図ることができる。また自律移動ロボットに関しても、インタフェースは標準化したものを開発することによって容易に海外で展開することができると考えられる。