



## ムーンショット目標 1

2050 年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から  
解放された社会を実現

# 実施状況報告書

## 2024 年度版

サイバネティック・アバターのインタラクティブな遠隔操作を  
持続させる信頼性確保基盤



松村 武

情報通信研究機構 ネットワーク研究所



## 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

### (1) 研究開発プロジェクトの概要

サイバネティック・アバター(CA)の遠隔操作における多数同時制御(M 人による N 体の CA 制御= $M \times N$ )を安定かつ高信頼に実現するための CA 通信信頼性確保基盤の開発に取り組む。国内外で進む産業用ロボット向けの通信最適化や、オール光ネットワーク志向の研究とは異なり、本プロジェクトはインターネットを含む現実的なネットワーク環境を前提に、エンドツーエンド(E2E)の通信品質保証と、異種無線間の接続切替・経路最適化による柔軟かつ高信頼な遠隔操作の実現を重視する。技術的には、通信品質予測と制御を担う機械学習型アルゴリズム「NeuroRAT」、異なる無線品質要求に応じた動的無線リソース割当「マルチレイヤ制御」、ジッタ低減や経路自動切替機能を備えたサポートノードなどを開発し、シミュレーションや実環境での体験型デモを通じて有効性を確認した。情報指向型通信技術 ICN(Information Centric Networking)を拡張し、双方向・高信頼通信の実現に取り組むとともに、ユースケース提案などを通じて 3GPP や IETF 等の国際標準化にも寄与する。通信困難環境下での通信信頼性確保に向けては、カプセル型体内 CA を例に伝搬特性や通信成立確率を評価し、確率的通信設計の指針を示した。今後は、1000 体規模の CA 制御における通信輻輳管理、CA の自律動作や群制御による Sharing Teleoperability の実現に向け、CA 基盤と連携したスケーラブルかつ柔軟な信頼性確保技術の確立を目指す。

### (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

#### ● 研究開発項目4「ソシオ CA 無線通信環境の最適化技術」

多数のソシオ CA が遠隔操作によるサービスを安定的に提供するため、「切れない E2E 通信」の実現を目指し、ローカルネットワークのインテリジェント化と無線通信環境の最適化技術に関する研究開発を推進した。研究開発課題4-1では、複数の無線システムを統合したインテリジェントローカルネットワーク(ILN)とスマートスポットセル(SSC)の最適化技術として、通信品質や混雑状況に応じて、基地局等の最適な通信パラメータ制御と、最適な通信経路を選択可能とする機械学習型アルゴリズム「NeuroRAT」を開発した。シミュレーションと実環境での実験により、混雑環境下でも安定した通信を実現できることを確認した。ソシオ CA の移動に追従するビーム制御手法の有効性も示した。課題4-2では、ローカル 5G と無線 LAN を対象としたソシオ CA 信頼性評価シミュレータの開発を継続し、電波遮蔽モデルの高度化を進めた。課題4-1との連携では、NeuroRAT による動的制御機能を実装し、シミュレータを用いたアルゴリズムの性能評価を行った。課題4-3では、ソシオ CA の遠隔操作に適した SSC 基地局を試作し、Optimal CA Communication Area Computing Database(OCAC DB)連携による動的制御機能を実装することで、移動時も安定した通信品質と柔軟なエリア形成を実現した。 $1 \times N$  および  $M \times 1$  制御にスケーラブルに対応するための各 CA が要求する通信品質をマルチレイヤとして定義を行い、それに基づく無線リソース制御方式を策定した。複数の無線通信システムに対応する端末と制御機構を構築し、Neuro RAT による自律的なネットワーク切替により、実環境での通信品質の維持とスループット改善を確認した。試作端末の動作検証および

シミュレーション結果との比較から、柔軟な無線エリア形成技術の有効性を示した。

- 研究開発項目5「ジッタ低減と低遅延化による信頼性確保プラットフォームの構築」

ソシオ CA の遠隔操作における通信信頼性を高めるため、ジッタ低減と低遅延化を実現する信頼性確保プラットフォームの構築に取り組んだ。課題5-1では、通信品質監視・ジッタバッファリング・動的経路切替機能を備えたサポートノードを試作し、複数プロジェクトとの連携を想定した動作検証を行った。ジッタに応じてバッファ長を動的制御する機能も開発し、遠隔操作の安定化効果を双腕ロボット環境で実証、SmartCom2024 にて Best Paper Award を受賞した。さらに、1×2、2×1 制御への拡張や TO (Teleoperator、遠隔操作者)-CA 基盤-CA 間の三点通信のインタフェース設計を進め、後述する ICNx 技術との統合評価を開始した。国際 CA 基盤の構築に向けた E2E 通信環境の品質評価を実施し、同様の通信性能を模擬する試験環境を構築した。標準化に向けて ITU や 3GPP 等との議論体制を整備した。課題5-2では、操作者と CA 間の高信頼・低遅延な通信を実現するため、ICN 技術を拡張した「ICNx」の開発を進め、高信頼性通信及び双方向通信機能を設計・実装した。あわせて、NICT が開発を進めている情報指向ネットワークプロトコルのオープンソースソフトウェアである Cefore を基盤とした ICNx アプリケーション用 API の開発も完了した。

- 研究開発項目6「通信困難環境における確率的信頼性確保通信技術」

体内及び体内外通信技術の動向を調査し、各通信媒体の特性と研究状況を整理したうえで、診断用途を想定した通信 KPI を設定した。カプセル型体内 CA を対象に、通信条件と人体特性に基づく受信電力の測定と通信成立確率の評価を実施し、筋肉厚の影響も含めた伝搬特性を考慮した通信方式設計の妥当性を確認した。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

CA 遠隔操作の通信信頼性確保による CA 社会実現に向け、体制再編・実証実験の推進・国際展開を軸にマネジメントを強化した。研究開発体制は、研究開発項目1～3を再編し、新たに項目4～6を設定して開発と実証を推進した。PM 支援体制のもと、研究開発課題間・プロジェクト間の連携を促進し、特に課題4-1と4-2、5-1と5-2の連携では機能統合と実証準備を進め、体制の明確化と集約を図った。さらに、実働 CA を用いた体験型デモを国内外で実施し、オウル大学(フィンランド)などとの連携を通じて国際的な発信とネットワーク構築を推進した。国際遠隔操作環境での実証や、その通信品質を模擬する実証環境の構築など、国際 CA 基盤を視野に入れた取り組みを積極的に展開した。

## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

### (1) 研究開発項目4:ソシオ CA 無線通信環境の最適化技術

#### 研究開発課題4-1:ローカルネットワークインテリジェント化アルゴリズム

##### 4-1-1 ローカルネットワークインテリジェント化アルゴリズムの開発

##### 4-1-2 通信品質予測機能の開発

当該年度実施内容:

CAを遠隔制御するために要求される「切れないE2E通信」を目指した無線環境高信頼化を目標とし、複数のローカル5Gによるスマートスポットセル(SSC)、および、無線LAN等を連携させたインテリジェントローカルネットワーク(ILN)の最適化アルゴリズム、および、そのシステム実装に関する研究開発を進めた。最適化アルゴリズムとしては、ILNエリア内で多数のソシオCAが活動する環境において、それぞれのCAが要求する通信品質に応じて、基地局等の通信パラメータを最適化する機械学習型アルゴリズムNeuroRATを開発した。NeuroRATは、CAの位置や無線チャネルの状態などに応じて変動する無線通信品質を、機械学習によってモデリングし、このモデルに基づく推定値を活用して無線通信システムのパラメータの動的最適化を行うものである。本アルゴリズムによって、ソシオCAの通信品質を推定しながら接続先の無線通信システムの切替を行うことで、多数のCAが活動する通信混雑環境下においても通信品質を改善できることを、研究開発課題4-2のシミュレータを用いて実証した。無線LAN等を用いた実環境実験を実施し、CAの位置、通信品質、ILNパラメータ等を紐づけて格納するOCACDBの情報から、NeuroRATによって通信品質を推定し、ソシオCAの接続先を最適化できることを示した。SSCエリア最適化技術について、ソシオCAの位置や移動に追従する高速なビーム制御手法を提案し、シミュレーションによって有効性を示した。

課題推進者:長谷川 幹雄(学校法人東京理科大学)

#### 研究開発課題4-2:ソシオCA無線通信環境高信頼化技術

##### 4-2-1 ソシオCA通信の信頼性を評価するシステムシミュレータの開発

##### 4-2-2 ソシオCA動作高信頼化のための無線ネットワーキング技術の開発

当該年度実施内容:

ソシオCA通信を収容する無線通信ネットワーク種別(Radio Access Technology:RAT)として令和4年度に選定したローカル5GならびにIEEE802.11無線LANを対象とする、ソシオCAを運用する環境をモデリングしたソシオCAが行う無線通信の信頼性評価シミュレータ(ソシオCA信頼性評価シミュレータ)の開発を継続した。ソシオCA運用環境における実測結果とシミュレーション結果との間のギャップを埋めるために、ソシオCAの周辺を人が取り囲む場合の電波伝搬測定実験を行い、その結果に基づいて電波遮蔽モデルの高度化を行った。

研究開発課題4-1にて開発されたNeuroRATを用いたオンライン学習・動的ネットワーク制御を実現する機能を追加し、アルゴリズムの性能評価に供した。

課題推進者:矢野 一人(株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

## 研究開発課題4-3: 基地局と端末の連携による無線通信環境の品質把握・制御技術

### 4-3-1 SSC エリア柔軟化・高信頼化技術の研究開発

### 4-3-2 複数 CA 同時遠隔制御の基本機能開発及び実証

### 4-3-3 無線通信システムと無線端末における連携管理技術の開発

### 4-3-4 異種無線通信システムに接続する無線端末の開発

### 4-3-5 異種無線通信システム連携技術の開発

当該年度実施内容:

ソシオ CA の遠隔操作に適した SSC 基地局を 2 台試作し、ローカル 5G を用いた動的制御機能を実装した。送信出力制御や OCAC DB との連携により、ソシオ CA が複数の基地局間を移動しても、スループットおよび遅延などの通信品質を安定的に維持できる構成を実現した。これにより、固定設定では困難であった柔軟な通信エリア形成が可能となった。

1×N および M×1 制御における通信性能および通信エリアへの影響を整理し、OCAC DB におけるマルチレイヤ定義への反映仕様を設計した。スループットを中心とした通信指標に基づいて検討を行い、安定した制御を維持する構成の妥当性を確認した。

異種無線通信システム間のシームレス接続と通信品質の維持を目的として、ローカル 5G、公衆 5G/4G、Wi-Fi に対応した無線端末および OCAC DB に必要な各種機能を実装した。サポートノードからスループットや RTT(Round Trip Time、接続先からの応答時間)、無線端末から RSRP(Reference Signal Received Power、基地局の特定の参照信号の受信電力)や RSSI(Received Signal Strength Indicator、全体の受信信号強度の総和)などの品質情報をリアルタイムに収集し、研究開発課題4-1で開発された Neuro RAT により最適な無線通信システムを選定し、OCAC DB を介して端末へ接続先の切替指示を行う構成を構築した。これにより、通信品質が一定閾値を下回る状況においても自律的な切替が可能となり、実環境での実測においてスループットの回復や遅延時間の安定化が確認された。

さらに、シミュレーション環境において得られた異種無線通信エリア構成結果と、実環境での測定結果を比較し、ネットワーク切替アルゴリズムの挙動および精度の妥当性を検証した。これにより、通信負荷や干渉状況に応じた柔軟な無線エリア形成制御が有効であることを確認し、シミュレーション精度向上へのフィードバックも実施した。

異種無線通信システムに対応したソシオ CA 連携型無線端末も試作し、複数の通信システムへの接続インタフェース、通信状況に応じた制御機構、位置情報・通信品質のリアルタイム送信機能を備えた構成で基本動作の確認を完了した。無線端末には、同時接続による冗長構成と、Neuro RAT による選定結果に基づいたシームレスな切替機能を実装し、通信断を回避する高信頼な接続制御が可能であることを示した。

課題推進者: 松村 武(国立研究開発法人情報通信研究機構)

## (2) 研究開発項目5: ジッタ低減と低遅延化による信頼性確保プラットフォームの構築

### 研究開発課題5-1: 低ジッタ・低遅延を実現する信頼性確保プラットフォーム

### 5-1-1 低ジッタ・低遅延通信を実現する CA 信頼性確保基盤(プラットフォーム)の研究開発

## 5-1-2 CA 信頼性確保基盤(プラットフォーム)の標準化・制度化の実施

当該年度実施内容:

ソシオ CA の遠隔操作における通信信頼性確保を目的に、通信品質監視、ジッタバッファリング、動的経路切替の 3 機能を備えた「サポートノード」を中核とする信頼性確保基盤の設計と試作を行い、ソシオ CA の 3 つのプロジェクトと連携可能なプロトタイプ改良版として動作させた。特にジッタバッファリング機能については、研究開発課題4-1との連携のもと、通信状況の変化に応じてバッファ長を動的に調整する機能を開発し、学習的要素を含む適応制御の実現に取り組んだ。

双腕ロボットを用いた検証環境を構築し、通信品質変動(ジッタやパケットロス)が遠隔操作に与える影響を定量・定性的に評価した。サポートノードの導入により、通信劣化による操作不安定性が抑制されることを実証した。本成果を国際ワークショップ SmartCom2024 で発表し、Best Paper Award を受賞した。また、ジッタやパケットロスの有無による操作体感の違いを評価する体験型デモンストレーションを複数実施し、サポートノードの各機能が操作性維持に寄与する効果を広く認識させる機会を創出した。これらの成果は、SSC や ILN の通信品質情報を活用し、複数の 1×1 制御環境下でも安定した遠隔操作が可能であることを示すものである。

TO-CA 基盤-CA 間の三点通信における信頼性確保に向け、石黒プロジェクトと連携して相互の要求・通信情報の共有方式に関するインタフェース設計を行い、信頼性確保基盤の拡張に向けた検証を開始した。サポートノードに ICNx 技術を取り入れ、1×2 および 2×1 構成への応用に向けた評価も開始した。

国際 CA 基盤の構築に関して、国際通信環境を考慮した信頼性評価のため、オウル(フィンランド)、アーヘン(ドイツ)、ニューデリー(インド)、ゴールドコースト(オーストラリア)、バルセロナ(スペイン)、仁川(韓国)、ストックホルム(スウェーデン)、ロンドン(イギリス)、アイントホーフェン(オランダ)、オールボー(デンマーク)、登別、京都、沖縄、仙台、高松、巴山形など、国内外 10 か所以上で通信特性データを収集し、特に国際接続に特有のジッタ傾向を観測した。これらのデータを基に通信特性をモデル化し、ネットワークエミュレータを用いて模擬環境を構築。現実的な通信条件下でのシステム評価を可能とした。

信頼性確保基盤のオープン化に向けた取り組みとして、ITU、3GPP、IETF、IRTF の標準化動向を調査し、ユースケースや機能要件との整合性を検討した。3GPP SA1 では、ロボット遠隔操作に関するユースケース提案が 6G カテゴリ内の構成案に反映され ITU-T SG21 では CA 活用に関するユースケース拡張を提案中である。これらの活動を通じ、標準化機関との議論を本格的に進める体制を整えた。

課題推進者:村上 誉(国立研究開発法人情報通信研究機構)

## 研究開発課題5-2:情報指向型通信制御によるネットワーク高信頼化技術

### 5-2-1 仮想マシンやコンテナを用いた開発環境構築の実施

当該年度実施内容:

有線・無線ネットワーク全体のアーキテクチャにおいて、操作者と CA 間の情報交換を高信頼・低遅延に行うため、情報指向ネットワーク技術(ICN)を応用・拡張した情報指向型

通信技術「ICNx」を開発した。令和6年度は、前年度に設計と基本機能の開発を行なった広帯域性と低遅延性を実現する ICNx 実装に対し、高信頼性通信・双方向性通信機能を組み込むための設計および開発を実施した。

1. データ欠損をネットワーク内で検知し、迅速に再送要求および転送を行うネットワーク内リカバリ機能(ReBARC)を開発した。これにより、安定したネットワークでは 99%の通信が、またデータ欠損率が高い不安定な環境においても 90%以上の通信が、100ms 以内で行えること、さらに、100ms の許容遅延においては、重複データ転送が 2%程度に抑えられることを確認した。この成果を著名な国際学会である IFIP Networking 2025 にフルペーパーとして投稿した。
2. データ欠損を冗長データ転送により補うためのシミュレーションを実施した。データ欠損率が高い不安定なネットワーク環境下においては、欠損データを復号するための計算量が増大し欠損データ復号処理遅延が数十msに達するため、100ms 以内の通信を実現することが困難となり、データ欠損率に応じて、冗長データ転送量の割合を大きくする必要があるため、ネットワークへの負荷が増大することが判明した。
3. ICNx アプリケーション用 API の開発を完了した。実際にスマートフォンを用いたアプリケーションを開発し、デモを行った。
4. 1×1 で双方向通信を行う拡張機能を、令和5年度同様、オープンソースである Cefore を拡張して開発した。50Mbps 以上のスループット、および 500ms 以内のデータ転送遅延を維持するのみならず、70Mbps 以上のスループット、120ms 以内の転送も可能であることを実 PC 環境にて示した。
5. 双方向通信手法に関し、国際標準化団体 IETF の姉妹組織である IRTF に対し、Reflexive forwarding 及び分割転送技術に関する 2 件の標準化仕様(インターネットドラフト)の提案を継続して行った。

課題推進者:朝枝 仁(国立研究開発法人情報通信研究機構)

### (3) 研究開発項目6:通信困難環境における確率的信頼性確保通信技術

#### 研究開発課題6-1:通信困難環境における確率的遠隔制御通信技術

##### 6-1-1 体内 CA を対象とした調査検討

##### 6-1-2 カプセル型体内 CA の通信方式の設計

当該年度実施内容:

体内および体内外通信技術に関する研究開発動向を調査し、電磁波、光、超音波など各種媒体を用いた通信技術の特徴と研究状況を整理した。検査・診断等の実応用を想定し、体内通信に求められる通信性能の KPI として、使用周波数や変調方式、データレート、目標 BER に基づいた評価指標を設定し、画像データに必要な圧縮率の試算も行った。

新井プロジェクトが開発したカプセル型体内 CA を対象に、搬送波周波数 11.3 MHz、BPSK または QPSK 変調[1]による 200 kbps 通信、目標 BER (bit error rate)  $10^{-3}$ という条件下で通信性能の検討を実施した。受信アンテナとの距離やカプセルの向きによって変化する受信電力を自由空間下で測定し、人体組織特性をもとに電波の減衰率を算出した。

これに基づき、通信成立確率の推定を行い、筋肉厚の違いによる影響を定量的に評価した。

これらの測定結果とKPIに基づいて、通信成立を確保するための無線通信方式の設計方針を整理し、伝搬特性を考慮した設計指針の妥当性を確認した。

[1] 搬送波の位相をシフトさせる変調方法で、180 度ごとに变化させるものが BPSK (Binary Phase Shift Keying)、90 度ごとに变化させるものが QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) である。

課題推進者: 松村 武 (国立研究開発法人情報通信研究機構)

### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 進捗状況の把握

当機構は、代表機関として、下記(1)(2)の体制により研究開発プロジェクトの取りまとめ及び進捗管理を行った。

##### (1) 研究開発プロジェクト取り纏め支援

ネットワーク研究所ワイヤレスネットワーク研究センターワイヤレスシステム研究室に PM 支援体制を構築し、下記の取り纏め支援等を行った。ネットワーク研究所総合企画室が密に連携し、ワイヤレスシステム研究室以外の当機構の組織が所管する設備や環境の活用などの支援を行った。

- JST との計画書や報告書の作成受取窓口 (後述(2)に記載以外のもの)
- 課題推進者への計画書や報告書の作成依頼
- 計画書・報告書の取り纏め
- PM が本プロジェクト課題推進者らと推進チームと重要事項を連絡・調整する運営会議の運営
- PM が他課題 PM と実施する調整会合の調整 (こちらが主導する場合)
- PM または本プロジェクト内の推進者が、標準化・制度化活動等のために他課題 PM または推進者と実施する調整会合の調整
- PM 支援体制
  - ワイヤレスシステム研究室 6 名
  - ネットワーク研究所総合企画室 1 名

##### (2) JST との契約手続き、経理事務、監査窓口

オープンイノベーション推進本部 イノベーション推進本部 受託研究推進室を窓口とした。

責任者: シニアマネージャー 1 名

実務担当者: 2 名

プロジェクトの運営および推進に関しては、令和 6 年 4 月のサイトビジットにおいて、PD

より「実働 CA を用いた信頼性確保の見せ方が重要である」との指導を受け、開発中の技術を組み込んだ実証環境の構築に向けた取り組みを加速させた。PD との月例の定例会議を通じて、進捗状況や今後の方向性に関する報告と議論を継続的に行った。令和 6 年 9 月にかけては、実働 CA を活用した実証に向けた具体的な方向性を検討し、PD・SPD らより方針に関する助言を受けた。同年 9 月に開催した IAB(International Advisory Board)では、日本橋一横須賀間の遠隔操作環境を用いた実働 CA による体験型デモンストレーションを実施し、IAB 委員から高い評価を得た。

プロジェクトの各課題推進者間の連携強化および進捗状況の確認を目的として、月例のプロジェクト会議を設置・主催した。会議の冒頭では、PM より全体進捗の確認および PD との月例会議での指摘事項等の共有を行い、続いて各課題推進者からの進捗報告と、それに基づく意見交換を実施した。第 27 回会議においては、令和 6 年 12 月に実施した 2 回のサバイバルミーティングの議論を踏まえ、国際 CA 基盤の構築に向けたクロスプロジェクト課題を整理した上で、令和 7 年度の研究計画および成果目標、ならびに Phase 2 に向けた取組の方向性について議論を行った。

- プロジェクト会議:第 17 回会議(4/11 開催)、第 18 回会議(5/24 開催)、第 19 回会議(6/18 開催)、第 20 回会議(7/19 開催)、第 21 回会議(8/21 開催)、第 22 回会議(9/4 開催)、第 23 回会議(9/18 開催)、第 24 回会議(10/9 開催)、第 25 回会議(10/29 開催)、第 26 回会議(12/3 開催)、第 27 回会議(1/8 開催)、第 28 回会議(2/5 開催)、第 29 回会議(3/14 開催)
- 課題間連携打合せ 97 回
- PJ 間連携打合せ 18 回

## 研究開発プロジェクトの展開

最終年度に向けた成果創出の加速を目的に、研究開発課題間の成果統合と技術の集中を進め、各課題の役割を明確化した。研究開発課題 4-1 と 4-2 の連携により、4-1 が開発したローカルネットワークインテリジェント化アルゴリズムの有効性を、4-2 のソシオ CA 信頼性評価シミュレータを用いて検証し、通信安定化への効果を確認した。これを踏まえ、無線ネットワーク技術の方式検討を 4-1 に集約し、4-2 は評価機能の実現に特化するなど、体制の再構築と役割分担の明確化を図った。5-1 および 5-2 の連携では、5-2 の ICNx 技術の一部を 5-1 のサポートノードに実装し、統合デモンストレーションに向けた実証準備を加速させた。市場および利用者の拡大を目指す国際 CA 基盤構築を見据え、国内外の拠点から横須賀への遠隔操作を想定した E2E 通信品質の測定とモデル化を実施し、海外遠隔操作環境でのラボ実証に対応可能な基盤環境を整備した。

国際的な発信と連携強化を目的として、オウル大学との Beyond 5G ワークショップ、SmartCom2024、日独ワークショップにおいて、体験型デモンストレーションを実施した。加えて、米国スタンフォード大学で開催された Japan-US Research Collaboration Week (2024 年 7 月)をはじめ、SmartCom2024(2024 年 11 月)、International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication(ICAIIC) 2025(2025 年 2 月)な

どで基調講演や招待講演を行い、本プロジェクトの取組を国際社会に向けて積極的に発信した。さらに、WTP やオープンハウスなど国内イベントにおいても成果展示を行い、幅広い層との交流機会を創出した。2025 年 2 月以降は、セマンティックテレオペレーションを見据えた国際的な調査活動と研究者ネットワークの形成にも着手し、次期展開に向けた基盤づくりを進めている。

オウル大学とは、プライベート 5G(日本ではローカル 5G)の高度化に関する研究開発でも連携を進めている。この連携により、日本国内のローカル 5G に限定されない形で、欧米の先進的な技術動向を取り入れつつ、高可用性を備えた技術開発を効率的に推進することが可能となっている。こうして得られた知見や成果は、本研究開発プロジェクトにも適宜反映されており、システムの機能強化と技術の汎用性向上に資することが期待される。

## (2) 研究成果の展開

情報指向型通信技術 ICN の拡張及び通信品質制御に関する独自アルゴリズムについては、改変・商用利用可能な BSD ライセンスに基づくオープンソース化を進めており、Cefore をベースとした信頼性確保基盤の一部を、公開を前提にライセンス要件を遵守しつつ整備中である。将来的な技術移転や業界展開に向けた共通プラットフォーム化を引き続き目指す。また、SmartCom2024(2024 年 11 月)や日独 Beyond 5G ワークショップ(2025 年 1 月)において、実働 CA を用いた体験型デモ展示や講演を通じて国際発信を強化した。海外からの遠隔操作を想定した E2E 通信品質評価の再現実証にも取り組み、国際 CA 基盤の展開を見据えた活動を推進した。また、複数の企業・団体と連携し、CA の具体的なユースケースを想定・整理した上で、3GPP や ITU-T などの国際標準化団体に対し、ユースケース提案を中心とした寄書入力の一環を進めた。

## (3) 広報、アウトリーチ

前述の国際展開に向けた取り組みに加え、国内において WTP(2024 年 5 月)及び NICT オープンハウス(2024 年 6 月)にて、本プロジェクトの技術や取り組みを紹介する展示ブースを設置した。WTP では、「多様性ある社会を支える通信基盤技術の研究開発」をテーマに講演を行い、CA 社会の実現に向けた課題と取り組みを広く発信した。NICT オープンハウスでは、来場者が技術に触れて体験できる実機デモを通じて、研究成果の理解促進を図った。これらの展示により業界関係者から多様なフィードバックを得て、技術改良や導入モデルの検討に活用した。

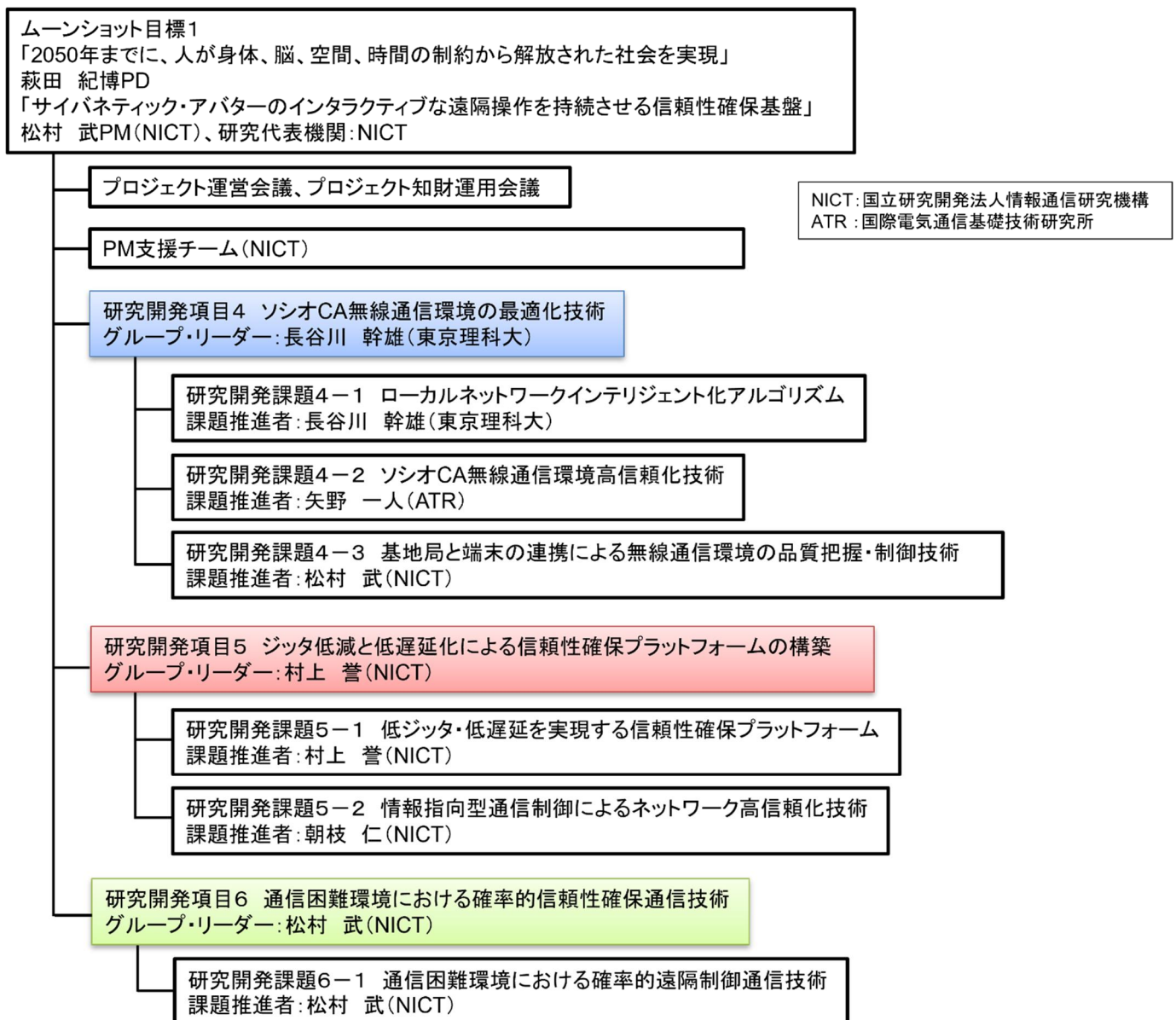
国際連携の一環として、オウル大学との連携を強化し、CA 通信信頼性確保及びプライベートネットワーク高度化をテーマにしたワークショップを開催し、Beyond 5G 分野における共通課題の議論を深めた。その成果を踏まえ、2025 年 5 月開催の国際会議 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN)において共同ワークショップを企画し、国際的な議論の場を構築した。

## (4) データマネジメントに関する取り組み

実証環境において国内外の複数地点と横須賀間の E2E 通信に関する通信品質デー

データの収集と解析を進め、特に遅延・ジッタに関して、時間帯、無線通信方式、通信キャリアの違いによる傾向を確認した。一部の特徴的な通信品質データについては、モデル化と再現性の評価を行い、その成果を研究会等で発表した。これらのデータは社会的にも有用であると考えており、データの蓄積を継続し、測定手法と合わせてガイドラインとして整理・公開する予定である。ICN については、BSD ライセンスに基づくオープンソースソフトウェア Cefore を改変し、本プロジェクト向けの信頼性確保技術として開発を継続した。改変後のソースコードは、ライセンス要件を遵守の上で共通プラットフォームとして公開する方針であり、必要に応じてプロジェクト名やファンディング情報を含むドキュメント整備も行う。加えて、他プロジェクトと連携して得られた新規ソースコード等についても、関係者と協議の上、データマネジメントポリシーに従って適切に公開判断を行う。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



## 5. 当該年度の成果データ集計

| 知的財産権件数  |    |            |          |    |
|----------|----|------------|----------|----|
|          | 特許 |            | その他産業財産権 |    |
|          | 国内 | 国際(PCT 含む) | 国内       | 国際 |
| 未登録件数    | 0  | 3          | 0        | 0  |
| 登録件数     | 0  | 0          | 0        | 0  |
| 合計(出願件数) | 0  | 3          | 0        | 0  |

| 会議発表数  |    |    |    |
|--------|----|----|----|
|        | 国内 | 国際 | 総数 |
| 招待講演   | 3  | 7  | 10 |
| 口頭発表   | 9  | 9  | 18 |
| ポスター発表 | 4  | 3  | 7  |
| 合計     | 16 | 19 | 35 |

| 原著論文数(※proceedings を含む) |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|
|                         | 国内 | 国際 | 総数 |
| 件数                      | 0  | 3  | 3  |
| (うち、査読有)                | 0  | 3  | 3  |

| その他著作物数(総説、書籍など) |    |    |    |
|------------------|----|----|----|
|                  | 国内 | 国際 | 総数 |
| 総説               | 0  | 0  | 0  |
| 書籍               | 0  | 0  | 0  |
| その他              | 0  | 0  | 0  |
| 合計               | 0  | 0  | 0  |

| 受賞件数 |    |    |
|------|----|----|
| 国内   | 国際 | 総数 |
| 1    | 3  | 4  |

|           |
|-----------|
| プレスリリース件数 |
| 0         |

|      |
|------|
| 報道件数 |
| 0    |

|                   |
|-------------------|
| ワークショップ等、アウトリーチ件数 |
| 3                 |