



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

2022 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
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



研究開発プロジェクト概要

ジッタ（信号の時間的ずれや揺らぎ）、遅延、通信不通等の不安定な通信状況が起きても様々な CA の遠隔制御が可能な信頼性確保基盤を開発します。そのために、操作者と複数 CA とのインタラクティブな接続を限界まで維持するために、無線区間のエリア最適化技術と有線区間を含むネットワーク最適化技術などを開発します。2050 年までに水中・海中・宇宙などでの CA 遠隔制御を可能とする信頼性確保基盤を創ります。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/16_matsumura.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
松村 武	情報通信研究機構 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	室長
矢野 一人	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 波動工学研究所 無線方式研究室	室長
井上 栄	FCNT 株式会社 経営戦略室	プリンシパルアーキテクト
長谷川 幹雄	東京理科大学 工学部	教授
朝枝 仁	情報通信研究機構 ネットワーク研究所 ネットワークアーキテクチャ研究室	室長
村上 誉	情報通信研究機構 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	主任研究員

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

ムーンショット目標 1 では、「誰もが多様な社会活動に参画できるサイバネティック・アバター基盤(CA 基盤)の構築」と「社会通念を踏まえたサイバネティック・アバター生活(CA 生活)の普及」を目標として、CAを通じた「身体の制約からの解放」「脳の制約からの解放」「空間、時間の制約からの解放」の 3 つの観点から研究開発が行われている。現時点では、1 人の操作者が 1 体もしくは複数体の CA を直接操作する基盤技術の研究開発が進められており、2030 年には 1 人で 10 体以上の CA を、1 体の場合と同等の速度、精度で操作できることを目標としている。さらに 2050 年には、複数の CA を複数の人の協調により遠隔操作する CA 基盤の構築を目標としており、CA の活動領域も、空中や海中、月面等の人々の活動領域外にまで拡張されると想定される。本プロジェクトでは、CA 遠隔制御の信頼性確保を目的とした信頼性確保基盤に関して、操作者と CA 間の遅延や CA の動作内容・密集度・周辺環境等の要因で通信に悪影響を及ぼした場合にも、CA サービスの安定な動作や制御を実現する通信プラットフォームの確立を目指す。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目 1「スマートスポットセル(SSC)の構成技術」では、2 件の研究開発課題を推進した。SSC の研究開発では、SSC エリア柔軟化・高信頼化技術の研究開発として単一 SSC の性能確認及びエリア柔軟化手法の方式検討を実施した。具体的には、既存 PM の CA 動作内容に応じた通信性能要件に対し、要件を満たすかどうかの指標について検討した。国立研究開発法人情報通信研究機構(以下、「当機構」)が構築するローカル 5G のテストベッド環境を用いてエリアと通信性能の基本的な評価を実施した。CA の動作内容に応じた通信性能要件と提供可能なサービスレベルをリンクさせたエリアマップ及び OCAC DB(Optimal CA Communication Area Computing Database)と連携するための SSC 調整パラメータと DB が想定するマルチレイヤ定義への反映方式を検討した。スポットセル無線環境高信頼化技術としては、通信環境シミュレーション環境構築及び 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を行った。シミュレーション環境の構築では、CA の運用者が実施する CA 運用エリアや CA 行動プランの設計、CA 運用に必要な無線通信機器設置の計画などに寄与できるよう、システムレベルシミュレータの機能要件及びシステムレベルシミュレータ構成について検討した。伝搬モデルの調査を行うとともに、フレネルゾーンを考慮したレイトラッキングモデルを伝搬モデル候補に選定した。CA 通信に使用する無線アクセス技術(Radio Access Technology: RAT)としては、ネットワーク制御の容易性および展開・運用コストの観点から、「ローカル 5G 1 系統および無線 LAN(Wi-Fi)を 1~2 系統」を基本的な構成として選定し、制御アーキテクチャの基本検討を行った。

研究開発項目 2「操作者と CA を繋ぐ E2E ネットワーク最適構成技術」では、4 件の研究開発課題を推進した。CA 動作連動端末スマート化技術では、CA 動作連動端末スマート化技術及び CA と接続する小型端末の設計開発及び機能実証について検討を進めた。具体的には、位置情報や通信品質のみでなく、SSC の OCAC DB を参照し、帯域制限や CA の緊急制御を可能とする機能の端末への実装方式の検討及び設計を実施した。複数 SSC と公衆 5G を含む接続先の切替制御技術の検討と基本設計を実施し、端末の

物理的な要件を整理した。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として、インテリジェントローカルネットワーク(ILN)エリア最適化技術に関する要件整理及びシステムモデル化検討を実施した。単一 SSC が展開する ILN において、少数の各 CA の通信性能要求を満たすための SSC エリア最適化アルゴリズムを構築し、この最適化で用いる OCAC DB の基礎的な設計を行った。また、OCAC DB の情報を用いた機械学習によって各 CA の要求品質を満たすように SSC 通信パラメータの最適化を行う提案手法について、シミュレーションにより、各 CA の位置等に応じた SSC の通信パラメータを改善できることを確認した。情報指向型通信制御による有線ネットワーク高信頼化技術については、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・高効率に行う情報指向ネットワーク技術(Information-Centric Networking: ICN)を応用した情報指向型通信制御技術(ICNx)を開発するため、広帯域性と低遅延性を実現する ICNx のプロトコル設計として、パケットロス発生時に迅速にパケット再送を行うネットワーク内パケットロスリカバリ機能、双方向通信を実現する Reflexive Interest の検討に着手した。CA 接続性を維持する複数網連携技術については、遠距離 SSC 間を固定経路で自律移動するケース等、SSC サービス提供エリア外での公衆 5G の活用を想定し、SSC と公衆 5G との接続をスムーズに切り替える複数網連携技術として、事前仮想接続技術及びその派生技術、モバイル対応マルチリンク集約技術、エリアマップのマルチレイヤ化技術について検討した。特にエリアマップのマルチレイヤ化技術に関して、所望品質毎に異なるレイヤをエリアとして定義し、CA の密集度や動作内容によって各レイヤを個別に制御することで各 CA の QoS の充足率を高める技術であることを確認し、所望品質の分類等の検討を行った。

研究開発項目 3「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」では、1 件の研究開発課題を推進した。低遅延・低ジッタ通信を実現する実・仮想空間 CA 信頼性確保基盤の研究開発については、CA 信頼性確保基盤として CA の操作を支える通信基盤が備えるべき要件の整理と基本設計を実施した。他 PM のヒアリング結果を集約し、CA の操作に必要な通信機能を整理し、CA 信頼性確保基盤として「安定した通信の提供／品質制御」「CA 基盤機能」について基本設計を実施した。各プロジェクトにおける標準化の取り組み状況や、現在着目している標準化組織・グループや動向を見守るべき規格について共有いただき、それぞれについて調査を始めた。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

当機構では、代表機関として PM 支援チームを発足させ、本プロジェクト課題推進者らと重要事項や進捗を連絡・共有する全体会合の運営、他課題 PM と実施する調整会合の調整等を行う体制を構築した。また、プロジェクトの課題推進者間の連携と進捗の確認を行う会合として全体会合を設置し、月に一度程度の頻度で主催した。会合の流れとしては、冒頭に PM から全体的な内容の確認、PD との月例会議に頂いた指摘事項等の共有、各課題推進者からの進捗報告と議論を行った。研究開発の体制として、研究開発項目 1 において SSC の柔軟化・高信頼化を、研究開発項目 2 において複数 SSC を考慮したエンドツーエンド間のネットワーク最適化を担当し、それらの成果が実装される CA 信頼性確保基盤のプラットフォーム構築を研究開発項目 3 が担当する構成とした。他 PM にヒアリングを行い、CA 信頼性確保基盤に求められる通信性能、機能実装などに関する要件整

理に着手した。広報・アウトリーチ活動として、本研究開発について紹介するホームページを3月14日に開設した。

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1:スマートスポットセル(SSC)の構成技術

研究開発課題1:スマートスポットセル(SSC)の研究開発

当該年度実施内容:

ローカル 5G をベースとする SSC エリア柔軟化・高信頼化技術の研究開発として、研究開発項目3と連携し、既存 PM の CA 動作内容に応じた通信性能要件に対し、その要件を満たすかどうかの指標について検討した。また、当機構が構築するローカル 5G のテストベッド環境を用いてエリアと通信性能の基本的な評価を実施した。想定するエリア柔軟化手法・高信頼化手法を CA 動作内容と関連付け、さらにそれら手法による SSC の通信性能への影響を整理した。また、CA の動作内容に応じた通信性能要件と提供可能なサービスレベルをリンクさせたエリアマップ及び OCAC DB と連携するための SSC 調整パラメータ検討と DB が想定するマルチレイヤ定義への反映方式を検討した。

課題推進者:松村 武(国立研究開発法人情報通信研究機構)

研究開発課題2:スポットセル無線環境高信頼化技術

当該年度実施内容:

CA 通信システムシミュレーション環境の構築に向けて、CA 動作高信頼化のための無線ネットワーク技術の設計・評価に用いるのみならず、CA の運用者が実施する CA 運用エリアや CA 行動プランの設計、ならびに CA 運用に必要な無線通信機器設置の計画などに寄与できるよう、システムレベルシミュレータの機能要件、およびシステムレベルシミュレータ構成について検討を行った。続いて、人の案内・誘導を行う移動型 CA とその運用環境を想定した CA/人の移動モデルを検討すると共に、伝搬モデルについて調査を行い、ITU-R 勧告 P.1238 にて規定された人体遮蔽モデル、および総務省「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発」にて考案されたフレネルゾーンを考慮したレイトラッキングモデルを、伝搬モデルの候補として選定した。

CA 通信に使用する RAT としては、ネットワーク制御の容易性および展開・運用コストの観点から、「ローカル 5G (L5G) 1 系統および無線 LAN (Wi-Fi) を 1~2 系統」を基本的な構成として選定した。CA 通信の制御アーキテクチャについても基本検討を行い、複数の RAT にまたがるネットワーク制御を行う必要があることから集中制御的なアプローチを志向し、CA 運用エリアに展開される RAT 群の上位に制御主体を置き、制御トリガは基本的に制御主体がかかる構成とした。

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)

(2) 研究開発項目2:操作者と CA を繋ぐ E2E ネットワーク最適構成技術

研究開発課題1:CA 動作連動端末スマート化技術

当該年度実施内容:

位置情報や通信品質のみでなく、CAの動作内容や周辺環境に関する情報を取得し、Geohash(住所、地名、目標物、郵便番号などが示す場所に対して座標(経緯度)を付与し「地図を格子状に分割し、その1区画を短い文字列で表現」したもの)と通信品質が紐づいたSSCのOCAC DBを参照し、帯域制限やCAの緊急制御を可能とする機能を実装したCA動作連動端末開発のための方式検討と基本設計を実施した。具体的にはSSCと協調したGeohashに紐づくエリアマップ管理手法の検討と基本設計、複数SSCと公衆5Gを含む接続先の切替制御技術の検討と基本設計、CAと接続可能な小型端末の開発にあたり、端末の物理的な要件を整理した。

課題推進者:井上 栄(FCNT 株式会社)

研究開発課題2: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

当該年度実施内容:

単一のスマートスポットセル(SSC)が展開する小規模なインテリジェントローカルネットワーク(ILN)において少数のCAが遠隔制御により活動する環境を対象とし、各CAの通信性能要求を満たすためのSSCエリア最適化のためのアルゴリズムを構築し、さらに、この最適化で用いるOCAC DBの基礎的な設計を行った。OCAC DBの情報をを用いた機械学習によってCAの状況等における通信品質を推定可能とし、さらにこの推定値が各CAの要求品質を満たすようにSSC通信パラメータの最適化を行う手法を提案した。単一のSSCが展開するエリアを想定したシミュレーションにより、各CAの位置等に応じたSSCの通信パラメータを提案手法によって改善できることを確認した。

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3:情報指向型通信制御による有線ネットワーク高信頼化技術

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・高効率に行う情報指向ネットワーク技術(ICN)を応用した情報指向型通信制御技術(ICNx)を開発するため、十台以上の仮想マシンやコンテナが安定して稼働できるLinuxサーバー環境を構築する計画を立てた。しかし契約時期の遅延により、機材発注が2022年度後半になり、納品が2023年度になったため、当初計画を見直し、2023年度に実施予定であったICNxの2つの機能設計(パケットロス発生時に迅速にパケット再送を行うネットワーク内パケットロスリカバリ機能、双方向通信を実現するReflexive Interestの検討)を2022年度後半から前倒しして開始した。

課題推進者:朝枝 仁(国立研究開発法人情報通信研究機構)

研究開発課題4:CA接続性を維持する複数網連携技術

当該年度実施内容:

遠距離のスマートスポットセル(SSC)間を固定経路で自律移動するケース等、SSC サービス提供エリア外での公衆 5G の活用を想定し、SSC と公衆 5G との接続をスムーズに切り替える複数網連携技術の方式を検討した。候補となる要素技術として、事前仮想接続技術及びその派生技術、モバイル対応マルチリンク集約技術、エリアマップのマルチレイヤ化技術について検討した。事前仮想接続技術については、移動する CA が SSC に到着した際に遅滞なく接続先を切り替える技術であり、CA の遠隔制御を継続させるための技術として適用可能であることを確認した。モバイル対応マルチリンク集約技術は、MPTCP(Multipath TCP)もしくは MPQUIC(Multipath QUIC)によるマルチリンク化により、モバイル環境でもマルチリンク集約技術が有効に機能することを確認した。エリアマップのマルチレイヤ化技術は、所望品質毎に異なるレイヤをエリアとして定義し、CA の密集度や動作内容(所望品質)によって各レイヤを個別に制御することで各 CA の QoS の充足率を高める技術であることを確認し、所望品質の分類等の検討を行った。

課題推進者:松村 武(国立研究開発法人情報通信研究機構)

(3) 研究開発項目3: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1:低ジッタ・低遅延を実現する無線プラットフォーム実証環境

当該年度実施内容:

令和 4 年度は初年度として、CA 信頼性確保基盤として CA の操作を支える通信基盤の備えるべき要件の整理と基本設計を実施した。要件の整理としては、先行するソシオ CA の 3 プロジェクトと打ち合わせをもち、現状の把握と、特に通信に関する現状と現在抱えている課題についてヒアリングを実施した。ヒアリングの結果を集約し、CA の操作に必要な通信機能を 4 つの機能に整理した。既存の実装においては「人と人のコミュニケーション」「CA を操作するための通信」については各 CA の開発者により実装されており、石黒プロジェクト内ではこれらの機能を「CA 基盤」として共通機能として実装しており、希望者が利用可能な状況であることが分かった。一方で、「安定した通信の提供／品質制御」はまだ手が付けられておらず、特にエンドーエンド間での品質制御に対して当プロジェクトでの実現が期待されていることが分かった。「CA 基盤機能」についても当プロジェクトでの実装を期待する声が多かったが、M×N 通信の一部(操作者が複数の CA の動画を見ながら、操作対象を切り替えるといった操作)は前述の CA 基盤上に実装されていることも分かった。これらのことから、CA 信頼性確保基盤として「安定した通信の提供／品質制御」「CA 基盤機能」について基本設計を実施した。

標準化や制度化に関する検討は令和 5 年度から開始することとしていたが、ソシオ CA の 3 プロジェクトとのヒアリングの機会を活用し、先行して各プロジェクトにおける標準化の取り組み状況や、現在着目している標準化組織・グループや動向を見守るべき規格について共有いただき、それぞれについて調査を始めた。

課題推進者:村上 誉(国立研究開発法人情報通信研究機構)

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

当機構では、代表機関として以下の(ア)(イ)の体制を構築した。

(ア) プロジェクト取り纏め支援

ネットワーク研究所総合企画室において、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と連携して PM を支援するための PM 支援チームを構築した。PM 支援チームでは、下記の業務を実施するが、本チームの一部業務についてはワイヤレスシステム研究室内の PM 補佐メンバーに移管し、PM とのより緊密な連携に業務を迅速に遂行する体制とした。

- JST との計画書や報告書の作成受取窓口(後述(イ)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担当
- 計画書・報告書のとりまとめ
- PM が本プロジェクト課題推進者らと重要事項や進捗を連絡・共有する全体会合の運営
- 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 支援チームの体制は下記の通りとした。(以下、ワイヤレスシステム研究室は組織名を省略)

- PM 補佐: 2 名
- PM 業務補佐: 2 名

(イ) JST 様との契約手続き、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する体制を構築した。

実務担当者: 2 名

プロジェクトの運営、推進については、萩田 PD との月例会の会議を年度内に 2 回開催していただき、プロジェクトの進捗、方向性などの報告と議論を行った。

- 1 月月例会(2/1 開催)、2 月月例会(3/1 開催)

プロジェクトの課題推進者間の連携と進捗の確認を行う会合として全体会合を設置し、月に一度程度の頻度で主催した。会合の流れとしては、冒頭に PM から全体的な内容の確認、PD との月例会議で頂いた指摘事項等の共有、各課題推進者からの進捗報告と議論を行った。

- 第 1 回全体会合(11/28 開催)、第 2 回全体会合(1/12 開催)、第 3 回全体会合(2/9 開催)、第 4 回全体会合(3/10 開催)

研究開発プロジェクトの展開

研究開発項目1において SSC の柔軟化・高信頼化を、研究開発項目2において複数 SSC を考慮したエンドツーエンド間のネットワーク最適化を担当し、それらの成果が実装される CA 信頼性確保基盤のプラットフォーム構築を研究開発項目3が担当する構成とした。それぞれの配下の研究開発課題はいずれも競合するものではなく、連携することで成果の最大化を図る体制とした。他 PM にヒアリングを行い、CA 信頼性確保基盤に求められる通信性能、機能実装などに関する要件整理に着手した。

(2) 研究成果の展開

研究開発項目1において、国内基地局ベンダと連携してコアネットワークに実装可能な機能の洗い出しを行った。なお、国内基地局ベンダでは対応しきれない機能もあることが確認できているため、海外基地局ベンダの情報収集も行い、代替案の検討に着手した。また当機構が整備したローカル 5G テストベッドを活用した CA 遠隔制御のための信頼性確保基盤の実現に向けた検討を行い、テストベッド機材を用いた測定方法の検討と確認、検証環境構築のための追加機能・設備等の検討を行った。本テストベッドは外部機関の視察等でも頻繁に紹介する予定であることから、本環境を用いた CA 信頼性確保基盤の効果的な見せ方についても継続検討を行っている。研究開発項目2では、端末開発技術を有する課題推進者を筆頭に研究開発を行う体制を構築した。

(3) 広報、アウトリーチ

本研究開発プロジェクトのホームページを 3 月 14 日に開設した。

<https://ca-platform.nict.go.jp>

(4) データマネジメントに関する取り組み

本研究開発プロジェクト期間において、既存 PM の実証環境での測定評価は実施していない。ただし、プロジェクト作り込み期間中に大阪心斎橋パルコの石黒 PJ 実証環境での電波伝搬測定を実施した。この結果については、PD、JST、石黒 PJ 関係者のみの情報共有とした。南澤 PJ において実証を進めている Avatarin 社とも今後共同で実証実験に向けた取り組みを進める予定であるが、その際のデータの取り扱いについては引き続き調整を進めている。

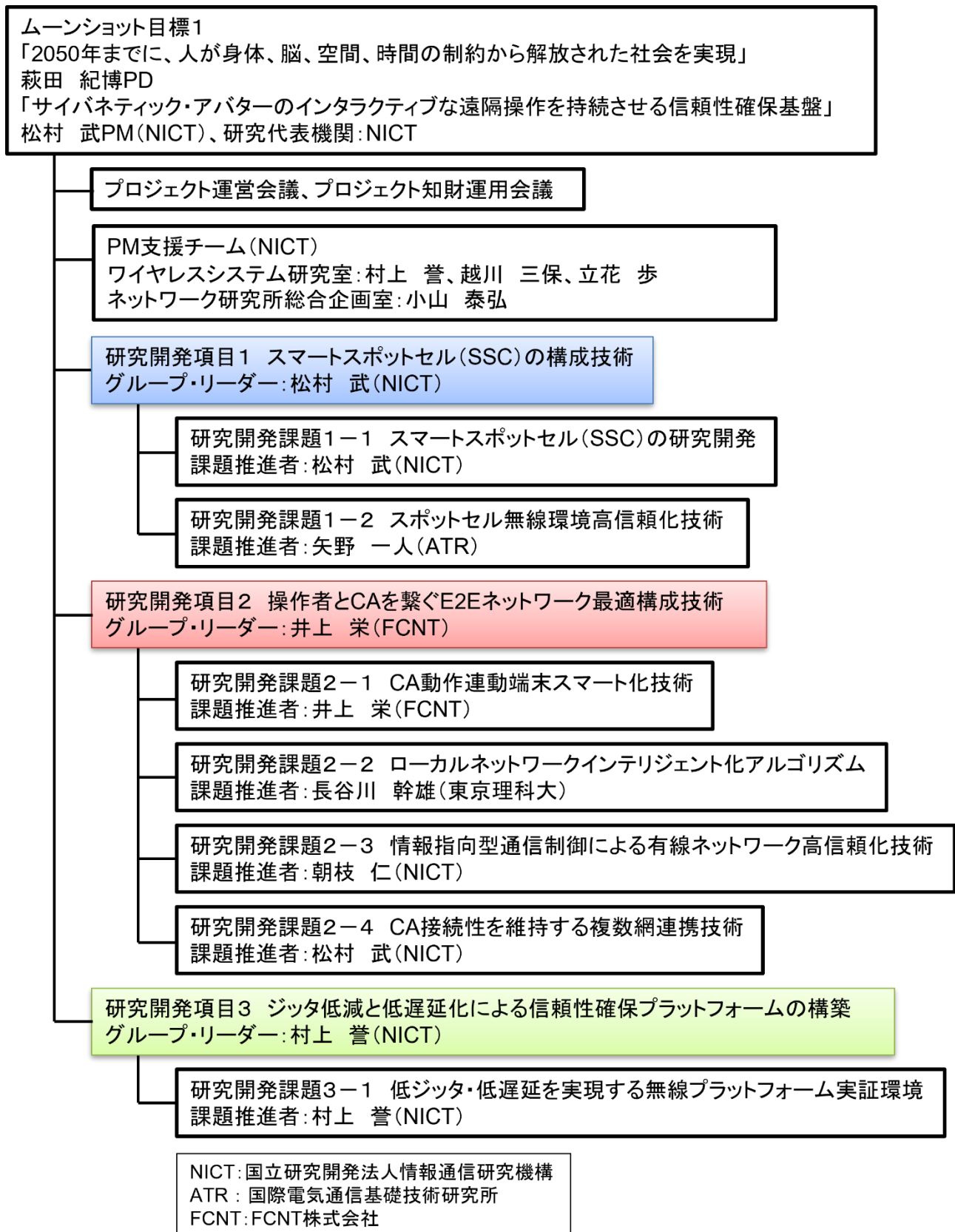
ローカル 5G のテストベッド環境を用いた評価・実証については、構築した環境情報、評価及び実証に用いたシステム、評価結果などについて、PD 及び連携する PM との合意の上で概要情報をテストベッド活用事例として公開する方針とした。本プロジェクトに係る測定において、例えば基地局設置とその受信電力マップなど、無線通信に関するデータについては、PD 及び連携する PM に事前に通知した上で、テストベッド環境を用いた実証事例として公開することを検討している。また、第三者にデータ開示する場合、編集不可・クレジット明記を明示した上で、無償での開示とする方針で検討を進めた。

研究開発課題1-2において、CA 活動領域での無線通信に関するシミュレーションを実施する予定としている。現在は、シミュレータに取り込む 3D 環境の構築手法について検討を進めている段階であるが、YRP1 番館などの当機構の拠点については、関係部署と協議のうえで、研究成果として発表できるように調整を進めることとした。また、シミュレーションのデータに関しては、研究成果としての成果発表後に共有することを前提としつつ、PD 及び連携する PM からの要請に応じて限定的に共有する方針とした。

研究開発課題2-3において、情報指向型ネットワーク技術は、NICT が開発した

ICN/CCN 開発用のオープンソース通信ソフトウェアプラットフォームである Cefore をベースに開発を進める方針とした。今後開発するアルゴリズムなどの取り扱いについて、条件を整理した上で PD らと協議する方針としている。

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	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計 (出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	0	0	0
口頭発表	1	0	1
ポスター発表	0	0	0
合計	1	0	1

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

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
0	0	0

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
0