



ムーンショット目標 3

2050 年までに、AI とロボットの共進化により、自ら学習・行動し
人と共生するロボットを実現

実施状況報告書

2024 年度版

未知未踏領域における拠点建築のための

集団共有知能をもつ進化型ロボット群

國井 康晴

中央大学 理工学部



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

本研究開発プロジェクトは、難環境として宇宙環境を想定し、特に未知未踏領域である月面溶岩チューブ(火山性地下トンネル)での探査と拠点建築を AI ロボット技術により実現し、人類生活圏の拡大による宇宙社会を創造し、さらに未来に向け太陽系内外へのフロンティア拡大を目指す。

月の溶岩チューブは天井の厚い土壌により、宇宙からの放射線と飛来物(大気がないため減速せず小さな物でも衝突は脅威)から堅く防御され、昼夜の温度差が安定し、比較的地球に近い環境を有し人類の恒久的安定居住環境として期待されている。一方、月の溶岩チューブは、軌道上からの観測にて存在が確認されているが、土壌に妨げられ内部環境に関する一切の情報がなく、地上と異なる物理パラメータのため生成過程などの予測が困難である。このような人類未踏の未知環境における探査や拠点建築などを考える時、複数の大型ロボットを用い、高性能化と高精度化による高度な自律制御と高い運用安全性の確保を目指すのが一般的である。しかし人による修理整備やインフラからの情報支援などが期待できず、さらにロケット輸送の能力や機会が限られる深宇宙環境において、その方向での高い未知環境適応と運用リスク回避の能力確保は現実的に困難であり、そもそも機体開発でさえ容易ではない。そこで本プロジェクトでは、従来と考え方を変え、小型で低機能なロボットを複数用い、群を成して協調、進化しながら持続・存続し、探査、輸送、拠点構築の作業を実現することを狙う。対象領域内のロボットの存在確率を制御することで各ロボットは高度な機能や高い計測制御精度を必要とせず、ロボット群が対象領域内を確率的に網羅し、その領域において場を形成することで作業を実現する。さらにより高度な戦略情報処理のため、ロボット間情報ネットワークと各ロボットでの分散処理により形成される集団共有型 AI:「ネットワーク知能」を構築し、環境や作業の状況に対し自律分散かつ自己組織化的に機能し、空間的、情動的に分断される各所において局所的に進化成長し目的を達成する。そして知能の分散実装と進化に向け、小さく分解した機能の組合せと共有により機能構成が可能かつ柔軟に変更可能な仕組みを有することで知能とロボットの進化発展を支える可変構造型制御装置を実現する。これら群ロボットと集団共有型 AI を統合した AI・マルチロボットシステムにより難環境への生活圏拡大とフロンティア開発を実現する。

研究開発成果は、宇宙に限らず海中や森林、砂漠、農地、都市などのさまざまな環境で、存在の位置や時間が曖昧な事象の観測効率が向上できる新たな探査・観測・記録手段として様々な活用可能性がある。例えば資源探査、インフラなどの検査作業、危険・事故などの監視予見業務などへ適応し、さらに将来、ロボットがマイクロ・ナノ領域で構成可能になるなどにより、医療現場をはじめ、応用が広がる可能性を秘め、未来の基盤技術として人類の未来生活の維持と発展に貢献するものである。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

令和 6 年度は、小型ロボット RED の運用・動作の安定性向上、小型ロボットの群が領域探索しながら目的地に到達する AI による群誘導と探査効率向上、低粒度機能の接続による高粒度機能構築と実現アーキテクチャの設計、小型跳躍移動ロボットのバージョンアップ、新移動機構を搭載した小型ロボット GREEN 構想のブラッシュアップを検討すると同時に、

月溶岩チューブでの探査ミッションを目指し、探査技術の確立および探査機の設計検討を実施する。

研究開発項目1：進化型ネットワーク知能システム

[未知環境探査システム] ロボットによる群形成における状況適応性を確保するため環境等に対する群形成確率パラメータ設計手法を議論し確立する。また群誘導に対して群間協調の方法に関して AI を利用したもの、ロボット技術をベースにしたものの両方向から議論し、探査ミッション時の環境侵入性向上を意識したアルゴリズム検討と設計を実施する。

[情報収集・解析と管理運用システム] 地上に存在する溶岩チューブの計測環境データをベースとした仮想環境シミュレーションによりロボットおよびロボット群の制御、AI などを試験できる環境を構築する。ロボットからの計測情報を収集し、高い情報のあいまい性を想定した情報管理手法を検討し設計を明らかにする。またその管理手法を実現し、シミュレーション環境と融合して評価する。ロボットおよび群の管理運用の機能とインタフェースを設計して仮想環境シミュレータと融合することで評価を行うと同時に実ロボットの管理運用を可能にする。これにより月探査ミッションでも利用可能な管理運用システムの原型を実現する。仮想環境シミュレータの動作より、ロボットおよびシステムの動作情報および環境情報を収集・データベースを構築し、そのデータの解析機能を設計し、システム、環境などの状況を把握可能にする。

[ネットワーク AI 機能] 実計測環境データを用いたシミュレーション環境を用いてアルゴリズムの検討、シミュレータ構築し、一部を実験用ロボット RED の上で動作させて評価する。また通信および電力を考慮した探査領域拡大、群組織編成の自律化を検討し、通信に関しては探査ミッションにおける活用モデルの検討を行う。

研究開発項目2：個体進化および群共進化機能の実現

[機能進化型制御装置] 低粒度モジュールを用いた高粒度タスクを実現するために必要なデータ処理アーキテクチャを設計確定し、試験評価装置を実現、装置を用いてロボットが制御可能であることを確認する。また月面探査ミッションを想定して宇宙仕様化設計を検討・選定する。それら成果に基づき、宇宙環境試験を計画し、実際された試験に関してフィードバックを受け対応する。またロボット間で低粒度モジュールおよび高粒度タスクを共有できる仕組みの設計を完成し、ソフトウェア上でシミュレーションして評価、課題を明らかにする。以上の検討過程を通して、低粒度モジュールを用いて高粒度タスクを構成するインタフェース、モジュールネットワーク動作状況を把握する仕組みを、可視化や GUI などの技術を用いて設計、試作する。

[群中心生成およびデータ通信] 地上溶岩チューブ内の電波環境を評価するため、フィールドにて計測評価を行う。評価結果に基づき、ロボット間通信と、位置計測を、同時に実現する機能を UWB 方式にて対応設計し、試作評価する。さらに地球直接通信を想定して通信システムを検討し、月での動作を想定した通信システムの設計を行う。そして電子部品の選定を行い、地上部品を用いて設計を行う。試験可能なシステムに対して宇宙環境試験を実施する。

研究開発項目3: ネットワーク知能 RT プラットフォーム

[個体ロボット開発] RED および GREEN を対象に跳躍性能の向上および環境適応性を検討して設計変更を検討する。検討結果を採用した月面探査用跳躍機構を設計、試作実験機を作り評価実験を実施する。表面移動のための位相可変型車輪脚方式の評価をシミュレーションと試験により行い、特性把握を実施、制御方式などの設計検討を行う。また車輪型移動方式に関しても設計検討をシミュレーションと実験により進め、車輪型における形状候補を選定するとともに新型車輪脚と融合検討する。その後、跳躍機能と表面走行機能に関して融合設計の検討を RED により実施し、またシステムの安定化などの検討を行い、GREEN の設計に活かす (RED に関しては項目1における実験で評価し FB にて設計改修)。開発した RED または GREEN 試作機を用いて 2025 年度の実証実験 I, II の実験内容に対する課題を明確にする。

[ロボットコンテナ] 膜テンセグリティなどを用いた展開機構、エアバックを検討し、コンテナ (カプセルの) の展開方式を検討し、拠点空間やロボット格納カプセルの設計を行う。またコンテナ内へのロボットの格納方法を検討し、展開機構と融合したコンテナ (カプセル) を設計、試作して、実験により評価する。2025 年度実証実験 I を想定した動作検証を行い、設計修正を検討する。

検討成果を用いて将来的な通信中継等の機能を想定した利用検討を行い、試験モデルを作成して機能確認および拠点構築シナリオを想定した構想設計を行い、小型模型にて議論する。

研究開発項目4: 月溶岩チューブ探査ミッションおよび探査システム

[ミッション検討] 月面溶岩チューブの縦穴および横穴到達方法に関して、着陸機の候補を選定し可能性を議論する。縦穴到達後、ロボットおよび通信システムの運用方法に関して、選択可能なオプションを検討し、可能な探査ミッションの手法における複数の選択肢を計画することで将来的な着陸機、予算等の実施状況に対応可能にする。

[搭載ソフトウェアの開発] ミッション検討の内容に合わせて、探査機に搭載するソフトウェア機能および運用管理の地上用ソフトウェアの設計を研究開発項目1の研究成果をベースとして実施し、一部を試作して、シミュレーションと実験にて確認して仕様決定する。決定された仕様に基づき着手可能なソフトウェア機能に関する開発を開始する。

[探査システム研究開発] 月面探査が可能な探査機器の試作と試験により設計を固める。まず研究開発項目2の通信・制御回路設計から振動および熱環境における数値解析を実施し、その結果に基づいて設計修正を行い、その後、振動、熱、放射線の各宇宙環境試験を実施し、対象を評価、その問題点を明らかにして設計を修正することを繰り返し月探査用制御回路の設計を完成する。また研究開発項目3の小型ロボット技術よりの複数の探査機候補の設計候補を確定し、それらに対し、振動および熱環境における数値解析を実施し課題点を修正、その後、宇宙環境試験を実施して明らかになった課題点を修正することで月探査用ロボットの設計を完成する。月探査用の制御回路およびロボットを試作し、動作を評価、必要な設計修正と試作を行い、プロトタイプモデルを完成する。これら構成は研究開発項目2および3の各 PI と協力して実施する。

研究開発項目 5: ネットワーク知能システムの制御対象拡大と応用展開

[被制御能力] 機能的特徴の異なる数種の昆虫をサイボーグ化し制御する対象として検討、選定し、制御実現の可能性を検討する。上位層のネットワーク知能や群形成・誘導アルゴリズムから昆虫の行動制御を可能にする機能を整理検討し、制御指令に従い行動可能な状態を目指す。

[ロボット協働と実応用展開] ロボット群または個体ロボットと昆虫サイボーグとの協働スキームの確立を目指し、当該年度はその初期検討を実施する。ロボットと昆虫サイボーグ、各々の得手不得手を明確化し、ロボットおよび昆虫サイボーグ双方が相乗的に機能を補完しあうことを想定した検討を行う。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

プロジェクトマネジメント体制として、代表機関内では中央大学研究開発機構に研究開発ユニットを設け、研究のマネジメントおよび PM 支援体制を整えている。今年度は支援体制強化の為、専属 URA と事務員の補充を行った。また、中央大学 ELSI センターの協働を開始した。海外での実験等の機会が見込まれるため、安全保障輸出管理面でのバックアップ体制も整えた。また、企業等でのマネジメント経験のある外部アドバイザーによる支援体制を整え、プロジェクト運営や関係各所とのネットワーキング等に関する支援を受けた。

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: 進化型ネットワーク知能システム

研究開発課題 1: 進化型群ロボットの行動制御とネットワーク知能の搭載設計

当該年度実施内容:

計測制御能力の制限された低機能な個体ロボットにて担当領域やフォーメーションなどを固定せず、位置制御などを行わずに群を形成する手法を検討し、環境情報と個体の行動記録を用いて自律的な行動パラメータ設計手法と変更アルゴリズムの開発を進めた。また環境や個体、群の状態を考慮した複数群の誘導方式を議論し、複数群誘導による網羅率向上と対応領域の拡大及び群行動の知能化、群間の協調・協働動作を設計した。これにより群単位の作業役割分担や行動戦略策定機能および自律化の実現を目指した。

令和 6 年度は、「①個体および群の誘導のためのマーカ(群中心)による誘導法の設計」と「②基本探査行動(領域網羅)における領域通過と目的領域への到達における課題調査と解決」「③複数群誘導に対するマーカの扱いの設計」、「④複数群の協調・協働による探査領域の通過」、「⑤複数群誘導による網羅率向上による探査領域形状への対応」に関して研究開発を行った。①においては研究開発項目 1 の研究開発課題 2 の複数群誘導に対する観点、また項目 1 課題 3 また 4 のネットワーク知能における誘導機能などと絡むため、議論の進捗に合わせて本課題の検討を叩き台として修正、発展も実施した。③に関しては研究開発項目 1 の研究開発課題 1 の単群によるマーカの扱いと融合した。④、⑤に関しては項目 1 も課題 3 または 4 における議論と整合性を図りながら知能化要素を導入した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて上記成果を宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者: 國井康晴(中央大学研究開発機構)

研究開発課題2: 群収集情報の解析による進化型ネットワーク知能の制御

当該年度実施内容:

個体ロボットが取得する計測データ、個体および群の活動データを管理し、それらの解析から状態、対象などの理解を行うことを目指し、ネットワーク知能の解析機能およびデータベース機能の基礎を構築した。

令和6年度は引き続き、「①あいまいな観測位置情報に基づく観測地の繋がり情報を幾何学的に扱う空間情報管理手法の検討」、「②個体および群間、観測データ間のトポロジー解析」、「③観測データベースの構築と意味理解」に関して検討を行った。①に関しては②に関しては研究開発項目1の研究開発課題1に対して情報提供を行った。③に関しては項目1の課題3および4の議論の調整および協力を行った。さらに溶岩チューブ探査ミッションを想定し、研究成果の宇宙仕様システムへの利用検討を実施した。

課題推進者: 宮口幹太(竹中工務店技術研究所)

研究開発課題3: 進化共進化をともしなう自律分散型ネットワーク知能の設計と実現1

(ネットワーク知能: 群の組織および行動の自己組織化と相互作用)

当該年度実施内容:

事前環境情報がない溶岩チューブ内での探査・調査・コンテナ搬送などの作業を動的に個体配属及び群組織構造を変化させ、自律的に個体と群の役割と行動を決定できるネットワーク知能および必要機能を設計し、機能統合を実施した。

令和6年度は、「①ネットワーク知能の全体構想を設計およびAI機能に関する基本方針と基礎設計」、「②ネットワーク知能共有データベースの設計」、「③複数群による領域通過における知能化の枠組み検討」を実施し、「④自律的な群の組織化および役割の付与」に関する検討を実施した。②に関しては検討結果に基づき研究開発項目1の研究開発課題2と共にデータベースの設計と利用実現について議論した。③④に関しては項目1の課題2と協力して実証実験を行った。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて、宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者: 川嶋宏彰(兵庫県立大学)

(2) 研究開発項目2: 個体進化および群共進化機能の実現

研究開発課題1: 個体進化および群共進化のため制御機能の柔軟性向上と高速処理化

当該年度実施内容:

小粒度の機能をモジュール化し、それらを接続して高粒度タスク化する仕組みを基礎とし、個体ロボットや中継局のシステム搭載機能の柔軟な更新と拡張を可能にすることで個体ロボットの進化、個体ロボット間に情報共有ネットワークを構築する機能、共有ネットワークを介して機能モジュールを共有する機能を有する制御機能を研究開発した。また障害物が存在する火山性の筒状閉鎖空間において、電磁波を用いたロバストな個体間情報通信および情報ネットワークを構築でき、送受信間で距離または位置が認識可能な通信機能を研究開発した。

令和 6 年度は、「①小粒度機能モジュール接続により高粒度タスク化が可能な機能をハードウェア上で実現を検討し、小規模のタスク実現を確認」、「②低消費電力かつ高速処理が可能な設計の検討」、「③個体ロボットに標準搭載を見据えた低粒度モジュール構成を設計」、「④電波系マーカ技術の検討と試作評価」、「⑤共有ネットワーク構築に関する検討と火山性閉鎖空間における通信安定性評価」、「⑥ネットワーク知能構築に向けた通信システムの検討」を研究開発した。①に関しては研究開発項目2の研究開発課題3の知見を取り込んで議論を行った。②に関しては項目2の課題2の検討結果を取り込んだ。③に関しては項目1および2と協力し議論し設計を行った。④に関しては、試作装置を研究開発項目1の研究開発課題1および2と協力し性能評価を行った。⑥に関しては項目1、2の各課題との議論を通して情報を集約し検討を行った。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて、宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者：吉光徹雄(宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所)

研究開発課題2： 高処理速度に向けた低消費電力アーキテクチャおよび共有ネットワークを有する進化型制御装置の設計実現

当該年度実施内容：

処理速度の確保と低消費電力を可能にした小型ロボットの制御装置のアーキテクチャを検討し、モジュール接続形式のタスク実現、データ処理・管理機能をハードウェア上に実現され、個体間ネットワークが構築可能な進化型ロボット制御システムを研究開発した。

令和 6 年度は、「①処理速度、消費電力、モジュール接続による処理実現のためのアーキテクチャ設計」、「②モジュール接続によるタスク実現が検討アーキテクチャにより実現可能か議論し評価」、「③進化型制御装置を設計し研究開発方針を提示」に関して研究開発した。まず①に関しては検討結果を示し研究開発項目2の研究開発課題1と協力して検証を行った。②については項目2の課題3の検討結果に基づき協力して検証を行った。また検討結果より制御回路を設計試作した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者：廣瀬智之(デジタルスパイス・株)

研究開発課題3： 高粒度タスク化のためのデータフロー制御による個体進化・群共進化機能の実現

当該年度実施内容：

低粒度機能モジュールの接続による高粒度タスク化において、通常動作時、構造変更時などにおけるモジュール間接続データの制御、モジュール接続の変更および追加、削除等を実現可能にするデータフロー制御を検討、設計、ソフトウェア的に動作を評価し、実現課題を洗い出して解決と実装を目指した。また個体内およびネットワークを介した機能モジュールによるタスク実現のための操作、管理などを実現する環境の構築、個体ロボット、群、ネットワーク知能の各機能や共有データの管理運用を可能にし、動作状態を監視できるソフトウェア環境を AI 技術、ヒューマンインタフェース技術、GUI などを用いた支援機能を付加して検討を行った。

令和6年度は、「①モジュール接続のためのデータ構造を設計・評価」、「②データフローの管理機構と接続構造変化法を検討し検証」、「③データ監視による動作状態把握および進化機能への展開可能性を議論」、「④機能モジュール接続によるタスク実現のための操作系の設計」、「⑤モジュール接続機能に対する動作状態可視化と監視機能」、「⑥機能操作およびシステム管理運用のための支援機能の設計」に関して研究開発を行った。①、②に関しては研究開発項目2の研究開発課題4と協力しネットワーク共有化および安定化のための提案手法の実装に向け検討を実施した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者： 國井康晴(中央大学研究開発機構)

研究開発課題4： 個体間ネットワークを介したモジュール共有および接続機構の実現
当該年度実施内容：

ネットワークを介した機能モジュールおよびタスク共有による接続機能と安定運用のための周辺機能を設計し、通信遅延や情報欠落における接続および動作情報の非同期状態などへの対応などを検討し、ネットワーク上でのデータ管理機構およびデータフローの制御機能を設計実現して共有ネットワーク上にネットワーク知能を搭載するため基盤技術を検討した。

令和6年度は、「①機能モジュール設計の検討」、「②モジュール接続による高粒度タスク化の実装に向けた安定化」、「③ネットワークを介したモジュール接続における接続情報管理とデータ接続の維持」に関して研究開発した。①に関しては検討成果を研究開発項目2の研究開発課題1、2、3に提供する。②に関しては項目2の課題3に提供した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて、宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者： 安藤慶昭(産業技術総合研究所)

(3) 研究開発項目3： ネットワーク知能 RT プラットフォーム

研究開発課題1： 探査・輸送・建築機能を有する RT プラットフォームの統合実現

当該年度実施内容：

月面(溶岩チューブ内部)で探査、調査、搬送作業が可能な小型月面作業ロボットの実現のため、コンテナの搬送作業機能などを研究開発し、現有小型ロボットの研究開発知見を発展させ、移動機能、制御装置の議論及び成果を統合した小型試作ロボットを設計・製作した。また拠点や通信・電力中継などのペイロードを格納し展開することで設置可能であり、複数の小型ロボットの群によって玉転がし搬送される際にロボット群に対して情報または物理的な移動などにおいて支援する協働機能を有するロボット化されたロボットコンテナ実現のため必要な搭載機能を研究開発し、機能試作機を設計、評価を実施した。

令和6年度は、「①現行ロボットの改良設計と試作機の開発」、「②ロボット群によるコンテナ輸送方式および設計」、「③2025年に向けた小型個体ロボットの基礎設計」、「④コンテナ搭載機能の検討および試作実験機を用いた評価」、「⑤拠点および路面对応のためのコンテナ展開機構の検討」、「⑥月面用コンテナのデザイン検討」に関して研究開

発した。①に関しては研究開発項目2の研究開発課題2、3の検討結果を取り込み統合し改良設計を行い、項目1の課題1、2と共に評価しフィードバックして改良し実証実験を行った。③に関しては項目2の課題2および項目3の各課題との議論から研究開発を行った。④では、搬送協働機能に関しては研究開発項目1の研究開発課題2、3と協力して議論した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて、宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者：宮口幹太(竹中工務店技術研究所)

研究開発課題2：小型 RT 跳躍機構の設計と搭載実現

当該年度実施内容：

溶岩チューブにおいて想定される不整地地形において小型軽量化のために低下した不整地移動能力を補償するため、小型ロボットに搭載することが可能な跳躍機構を消費エネルギー、テラメカニクスなどの考慮から研究開発し、機械システムとして実現して小型ロボットへの実装を行った。

令和6年度は、「①現在の跳躍機構の改良と機体搭載のための一体設計」、「②宇宙利用、テラメカニクスなどを考慮した跳躍移動方式の提案と検討」、「③今後の開発方針の検討と試作ロボットの基礎設計」に関して研究開発を行った。①③に関しては成果を研究開発項目3の研究開発課題1に提供し、課題1および3と協力して統合設計を実施した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者：前田孝雄(東京農工大学)

研究開発課題3：小型 RT 表面移動機構の設計と搭載実現

当該年度実施内容：

溶岩チューブにおいて想定される不整地地形において小型ロボットに搭載可能な表面移動メカニズムや車輪等をテラメカニクスの観点、消費電力、搭載容積・重量などを考慮して研究開発し、小型ロボットに実装評価を行った。

令和6年度は、「①現行システムの走行性能向上のため車輪形状等の検討と搭載評価」、「②宇宙利用およびテラメカニクスを考慮した小型ロボット用表面移動方式の提案と検討」、「③今後の開発方針の検討と試作ロボットの基礎設計」に関して研究開発を行った。①に関しては検討結果に基づき研究開発項目3の研究開発課題2の検討結果と共に課題1と共に現行機に適応し協力して改良を行った。同様に③に関しても検討結果を融合して基礎設計を提案した。さらに溶岩チューブ探査ミッションに向けて宇宙仕様システムへの適応検討を実施した。

課題推進者：吉光徹雄(宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所)

(4) 研究開発項目4：月溶岩チューブ探査ミッションおよび探査システム

研究開発課題1：探査計画に基づく月面環境対応小型探査ロボットの実現

当該年度実施内容：

月面の溶岩チューブの縦穴および横穴の探査ミッションに向け、制御装置および小型ロボットの各技術に対して宇宙環境試験を実施し、実探査ミッションに使用可能な小型

探査機の設計と地上実験用の落下投入カプセルの設計検討を実施した。

令和6年度は、「①月溶岩チューブ探査ミッションおよび輸送方法の検討」、「②宇宙環境利用可能な制御装置の設計および宇宙環境対応電子部品の選定」、「③宇宙環境で機能する小型ロボットの仕様および設計開発」、「④小型ロボットの搭載ソフトウェア仕様設計」に関して研究開発を行った。①に関しては輸送機会の検討、想定可能な輸送手段等の議論より想定可能な計画と仕様の推定に努め、②～④の検討に対して情報を提供し、全体として総合的議論を進行した。②に関して研究開発項目2における検討結果に基づき各課題担当者と共に宇宙環境試験と課題解決に取り組んだ。同様に③に関しても検討結果に基づき各課題担当者と共に基礎設計および初期試作を実施した。④においては、各研究の特徴を考慮した上で初期のミッション実現の観点より、技術要素を絞り込み、機能実現の検討を実施した。

課題推進者： 國井康晴(中央大学)

(5) 研究開発項目5： ネットワーク知能システムの制御対象拡大と応用展開

研究開発課題 1： 昆虫サイボーグの AI・ロボット技術との連携および地上応用

当該年度実施内容：

機能的特徴の異なる数種の昆虫をサイボーグ化し制御する対象として検討、選定し、制御実現の可能性検討を実施した。また各対象においてネットワーク知能システムからの制御実現にける課題を洗い出し、必要に応じて課題解決を図った。次に研究開発項目1の課題1と協力し、下位 AI システムとの制御指令プロトコルを議論して設計し、指令プロトコルに従い制御可能であることを確認、制御における課題を洗い出し、制御実現における主要な課題を洗い出した。またロボットとの組合せ使用や協働のスキームを検討、災害、防災、インフラ点検、遺跡調査などの身近な生活環境における利用方法を検討し、その妥当性を検証しつつ応用方向、協働方式および昆虫サイボーグの役割と機能設計を実施した。

令和6年度は、「①昆虫サイボーグを利用した制御システム構成の検討と設計」「②上位層からの制御指令仕様の検討と設計(利用想定可能な行動検討を含む)」、「③上位層からの制御に必要な情報獲得(群中心からの距離把握法など)」、「④ロボット協働スキームの検討」「⑤ロボット技術へ移植可能な昆虫機能の検討」に関して研究開発を行った。①～③に関してはネットワーク知能や群形成・誘導アルゴリズムなどの外部より昆虫の行動制御を可能にする機能を整理検討し、制御指令に従い行動可能な状態を実現した。④に関してはシステムやある作業目的においてロボットと昆虫サイボーグの共存と協力、協働を実現する方式を検討し、可能性に関する議論を行った。⑤においては将来的なロボット技術に対する昆虫機能の技術的寄与可能性を議論し、情報処理機能やソフトウェアよりもハードウェア面において昆虫パーツの利用などによるロボット構成技術への展開検討を実施した。

課題推進者： 佐藤裕崇(南洋理工大学)

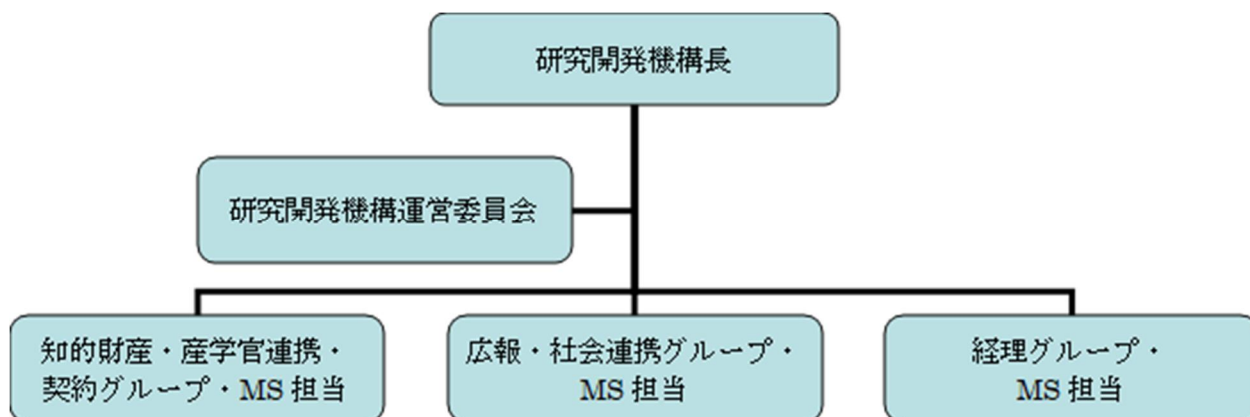
3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

○ 代表機関の PM 支援体制チーム

代表機関内に PM をユニット長とする研究開発ユニット「進化型群 AI ロボット研究開発ユニット」を設け、図の組織下にて支援を受ける体制をとった。



また、安全保障輸出管理に関する国内外からの要請に対して適切な管理を行うため、代表機関が所属する中央大学の安全保障輸出管理体制と協力して実務的な対応を行っている。

PM の直接的支援体制として、PM 支援チームに URA や事務員の採用手続きを行った。また知財運営のため弁理士系コンサルタント事務所に業務委託を行った。

○ 重要事項の連絡・調整(運営会議の実施等)

運営会議を 1 回開催し、研究開発項目5の追加および、課題研究者の追加(南洋理工大学 佐藤裕崇 PI)に関する承認手続きを行った。

○ 研究開発機関における研究の進捗状況の把握

プロジェクト全体会議を 3 回実施し、研究開発に関するディスカッションや研究進捗状況の把握、プロジェクトのデモに向けた打合せや結果の共有を行った。また研究開発項目ごとに随時研究打合せを実施すると同時に、研究開発項目間の連携強化を図った。特に新設した研究開発項目4に関連する各研究機関間の打合せは定例化し、研究の進捗状況や海外との連携情報等の共有を行った。

知財運用会議を 2 回実施し、出願予定特許に関する打合せは月 1 回以上実施した。

研究開発プロジェクトの展開

研究開発体制面の強化として、研究開発プログラム計画を加速する議論を行い、令和 6 年度より研究開発項目4 月溶岩チューブ探査ミッションおよび探査システム、また 6 月には研究開発項目5 ネットワーク知能システムの制御対象拡大と応用展開を新設し、体制の充実を図った。

研究開発した成果の一部を活用し、ミッションや国際連携、企業連携等の発展的な議論を行った。

アルテミス計画(アルテミス3)で搭載される月面環境観測機器への制御装置の提供、他の月面科学探査ミッションとの技術連携などを行っている。国際連携については、MBSRC(UAE)次期ローバ計画(MS ロボット搭載のオフア有)、トルコ宇宙機関次期探査機の議論、DLR(ドイツ)、CSIRO(オーストラリア)と溶岩チューブ探査について議論を進めることができた。企業連携については、ispace 社との MOU を締結した。また技術連携などをいくつかの企業と議論している。

ELSI への取り組みとして、中央大学の ELSI センターとの連携体制をスタートさせ、プロジェクトの PM、PI 陣と ELSI 専門家チームとの協働体制を構築した。ELSI センターの内部活動として本プロジェクトの内容に特化した ELSI コミュニティアクティビティを 1 回開催し、センターの公開活動として ELSI 全般に対する ELSI 大学サミットにプロジェクトとして参加し、議論を深めた。

(2) 研究成果の展開

知財コンサルタント系弁理士に外注を行い、技術動向および市場調査を実施した。調査内容は月に 1 回定期的に報告の場を設け、情報共有を行った。またプロジェクト内の各企業出身課題推進者の専門分野においては各社でも調査を実施した。

将来的な顧客獲得や議論の場として、ICRA2024 および国際宇宙産業展 2025 にて出展を実施した。

(3) 広報、アウトリーチ

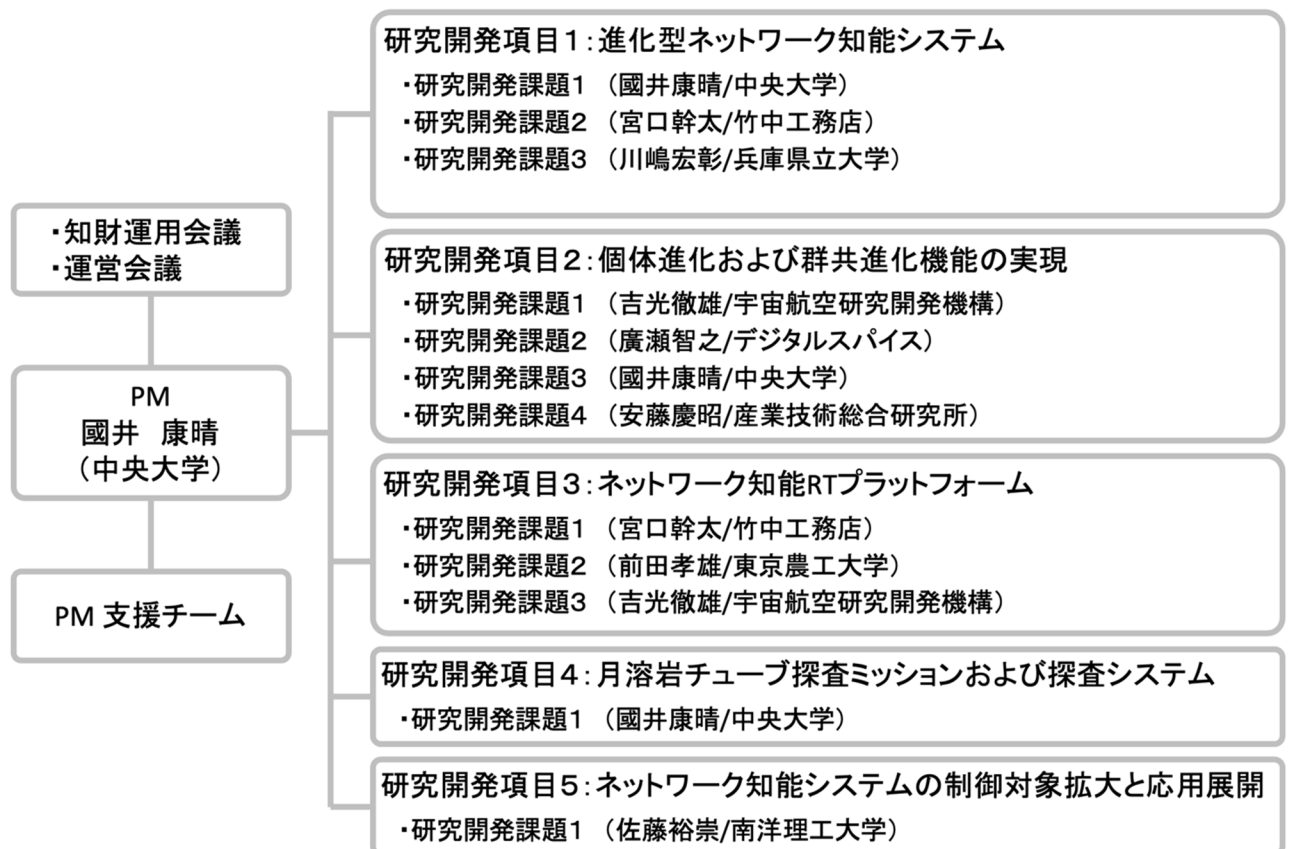
プロジェクトのホームページ改修を実施した。プロジェクトで製作した動画をホームページ上で公開し、また、学会や展示会等の情報も随時アップロードしており、研究成果を効果的にアピールできる設えとなった。

アウトリーチ活動として、学会等におけるプロジェクト紹介を 4 件、中高生向けワークショップ 1 件を実施し、幅広い世代や一般向けにプロジェクトの周知を行った。また、ICRA2024 および国際宇宙産業展 2025 に出展し、関連する企業等とのネットワーキングや一般向けにアピールする機会となった。

(4) データマネジメントに関する取り組み

各機関のデータマネジメント規程等の制定・運用状況に応じて、研究進捗により生じつつある、または生じると考えられるデータの想定と管理に関して検討し整理を行った。今後、各機関の規程等の制定・運用状況を確認しつつ、継続的にデータマネジメント体制や運用方法の検討と整備を進めることとなった。

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	3	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	3	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	1	2	3
口頭発表	18	5	23
ポスター発表	4	0	4
合計	23	7	30

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	1	0	1
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	1	0	1

受賞件数		
国内	国際	総数
3	0	3

プレスリリース件数
1

報道件数
2

ワークショップ等、アウトリーチ件数
16