



## 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

## 2022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



## 研究開発プロジェクト概要

単純機能の小型ロボットが群を形成して知能を発揮し、群全体で共通した機能の更新・拡張、機体の新規追加が群を進化させる仕組みの研究開発を行います。さらに多数のロボットが協力して玉転がしの要領でロボット拠点コンテナを搬送し、コンテナが自ら展開することで活動拠点となる進化型群知能活動拠点構築システムを開発します。それにより2050年には進化型ロボット群知能により構築された月面活動拠点の実現を目指します。

[https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/38\\_kunii.html](https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/38_kunii.html)

## 課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
國井 康晴	中央大学 理工学部	教授

## 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として人類の恒久的安定居住環境として期待されている。一方、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、医療現場などさらに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

初年度となるため研究の体制および環境の整備を行い、以下の研究開発内容を実施、議論、各研究開発技術と計画に関して詳細化を検討した。また PD からの指示に従い、各研究開発項目内の課題に関して整理を検討し、いくつかの課題の統廃合を行なった。

### 研究開発項目1: 進化型ネットワーク知能システム

障害物や空間形状などにより発生する連結環境を想定し群形成制御と誘導機能に関し検討するため、隣接する接続領域への移動に向けて群の存在領域制御および群中心マーカによる誘導方式に関する基礎的な能力確認を実施、自律化に向け情報収集を行なった。また開発に向けた技術試験ならびにマイルストーン実現のため、すでに開発したロボット試験機の改良を検討し、不具合改修と改良に向けた課題の洗い出しなどを行なった。障害物などが存在する複雑な環境における環境通過性能向上に向け、仮想的に構成されたマーカの導入に関する議論を行い、実験により仮想マーカ生成と群誘導に対する知見を得た。さらに群誘導や将来的自己組織化などの知能化のため技術的方向性や使用技術に関して議論し、研究開発内容を詳細化した。

### 研究開発項目2: 個体進化および群共進化機能の実現

低粒度な機能モジュールを接続することで、より高粒度で複雑な機能を構成する機能およびモジュールの追加、削除、接続変更などによる機能変更の実現を議論するために、モジュール間接続形式およびデータ制御に関して検討を進めた。初年度は、ソフトウェア的な議論を行うためのシステム検討と要素技術の確認を実施した。またモジュール型機能構成のハードウェア化とネットワークを介したモジュール共有に向けて構想を議論し、整理と詳細化を進めた。

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

初年度は、プロジェクトマネジメント体制と研究開発組織の立上げ(準備)を主に行なった。マネジメント体制としては、代表機関内での支援協力を受ける受皿となる研究開発ユニットの設置を行い、機関内における運営体制を立ち上げ、専属運営スタッフの採用を行なった。また知財運営会議において、より専門性の高い支援協力を受けるため、知財系コンサルタントを選定し契約に向けた調整を行なった。一方、研究開発体制の立ち上げにおいては、各研究課題推進者(候補含む)とプロジェクト内容に関わる情報共有と実施依頼および指示、今後の発展などに対する議論と認識合わせ等を行い、契約書類作成に対する支援を行なった。一部の推進者においては年度内契約に向けて書類を作成、提出したが、最終的に契約に至らなかったため、次年度に向けて再申請させた。

## 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:個体行動および群形成パラメータ決定の自律化

当該年度実施内容:

##### 研究開発内容

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を検討する。

初年次は、「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」に関して研究開発を進める。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4また5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、発展も検討する。

##### 実施状況

2023年次マイルストーンの実現に向け上記の内容を実施するため、発光式マーカの1組合せによる仮想マーカの生成と制御に関して検討し、仮想マーカを用いた群誘導方式を検証、仮想マーカによる群誘導および通過空間に合わせた群生成パラメータの制御などを検討し、基礎的な実験にて動作を確認した。またロボット試作機における課題の洗い出しと改良検討を行なった。なおPDより課題の整理が指示されたことを受け、次年度に向けて本課題1と2を統廃合することを決定した。

課題推進者: 國井康晴(中央大学)

#### 研究開発課題2: 群行動戦略自律機能およびネットワーク知能システム構築

当該年度実施内容:

##### 研究開発内容

2023年次マイルストーンの実現に向け、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、群単位の作業役割分担や行動戦略策定機能の実現と自律化を目指す。

##### 実施状況

初年次は、「①複数群誘導に対するマーカの扱いの設計」、「②複数群の協調・協働による探査領域の通過」、「③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う。①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検討する。②、③に関しては項目1も課題4または5における議論と整合性を図りながら知能化要素の導入も検討する。』

2023年次マイルストーンの実現に向け上記の内容を実施するため、発光式マーカと

の組合せにて仮想マーカを設定し、仮想マーカを用いた群誘導による複数群の誘導制御方式を構想し、仮想マーカによる群誘導の初期実験を実施して動作を確認した。また現行ロボットにおける課題の洗い出しと改良検討を行なった。なおPDより課題の整理が指示されたことを受け、次年度に向けて本課題2と1を統廃合することを決定した。

課題推進者： 國井康晴(中央大学)

## (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3： 高粒度タスク実現のための機能データフロー制御設計

当該年度実施内容：

#### 研究開発内容

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す。

初年次は、「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」に関して研究開発を行う。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た強化を検討する。③に関してインタフェース化に向けた情報提示に関しては項目2の課題6と協議する。

#### 実施状況

2023年次マイルストーンの実現に向け上記の内容を実施するため、過去の検討内容を利用したソフトウェアの構築を目指し、RTM、ROS、物理演算ライブラリ等を用いた開発の効率化検討と技術的評価、ソフトウェアの設計を実施した。また研究開発項目2内の各課題推進者との連携体制、研究開発の方向性に関し検討を進め、2023年次マイルストーン達成に向けた方向性を確認した。なおPDより課題の整理が指示されたことを受け、次年度に向けて本課題3と6を統廃合することを決定した。

課題推進者： 國井康晴(中央大学)

### 研究開発課題6： RTM を用いた進化型群知能管理運用機能の実現

当該年度実施内容：

#### 研究開発内容

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実現を目指す。

初年次は、「①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」、「②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」、「③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」に関して研究開発する。①、②に関しては研究開発項目2の研究開発課題3との情報交換により議論し協力して評価を行う。

#### 実施状況

2023年次マイルストーンの実現に向け上記の内容を実施するため、核となるシステムとして群ロボットの動作を制御し管理するためのソフトウェアを構築、行動パラメータや群中心の位置などを設定し、ロボットの取得情報や内部情報を記録、簡易な GUI にて操作、監視できるようにした。これにより 2023 年次マイルストーンに向けベースシステムが構築された。なお PD より課題の整理が指示されたことを受け、次年度に向けて本課題 6 と 3 を統廃合することを決定した。

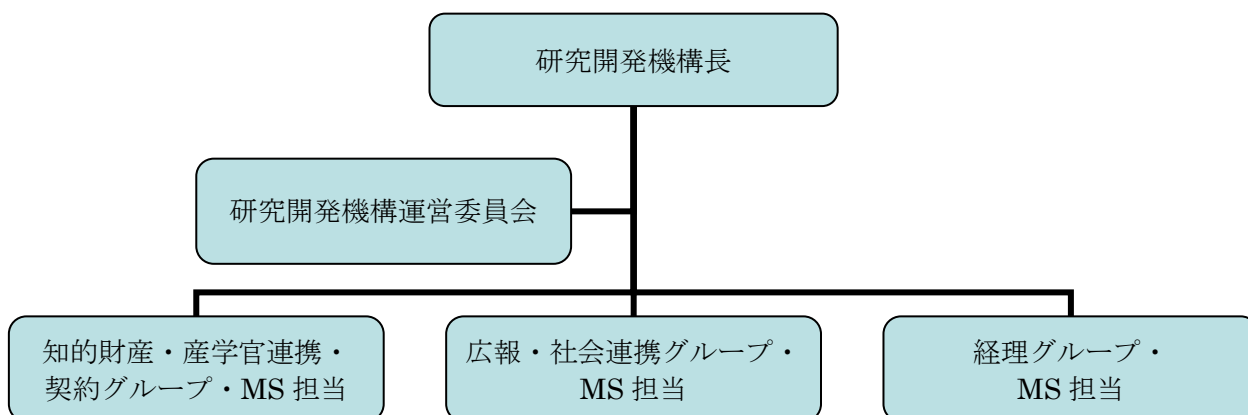
課題推進者： 國井康晴(中央大学)

### 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

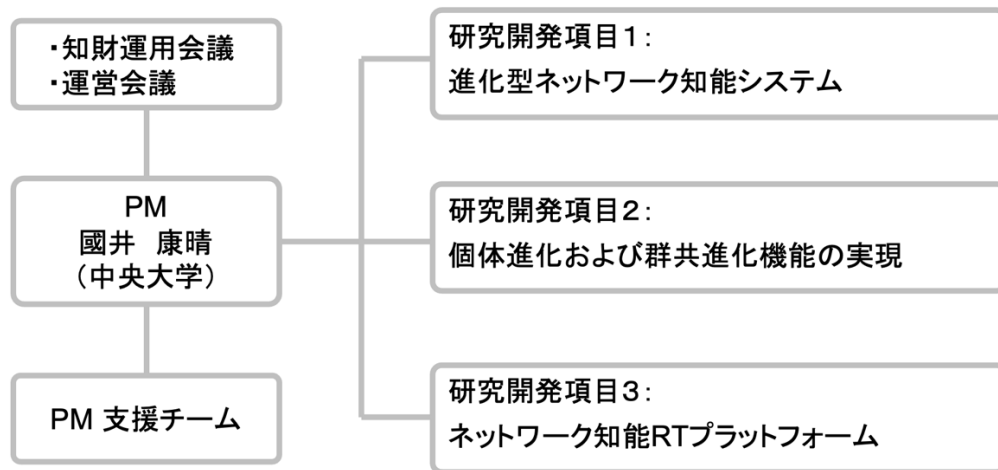
##### 進捗状況の把握

代表機関内の支援を受けるため、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」の設置申請を行い、申請が承認され、ユニットが設置された。これにより以下の組織図にある組織下にて支援を受ける体制を整えた。



設置した研究開発ユニットに対して、学内の研究課題担当者を配置、また任期制助教1名の採用を決定し、研究体制の構築を進めた。

また PM の直接的支援体制として以下の体制の構築準備を進め、PM 支援チームに URA や事務員の採用手続きを行なった。また知財運営のため弁理士系コンサルタント事務所と業務委託内容、運営方針等を議論し契約前の調整を行なった。



各課題推進者候補者を集めた全体会議を実施し研究構想、各推進者への期待と推進者間の連携などに関して説明し、今後の研究開発に向けた準備を実施した。また各候補者とは個別に複数回の打ち合わせを行い、研究開発構想と内容の理解と具体化に努めた。

#### 研究開発プロジェクトの展開

研究開発項目内の各研究開発課題を担当する各課題推進者と研究方針、研究開発内容に関する議論を行なった。またプロジェクト全体が目指す方向における新規性、学術性などに関する議論を進め、各課題推進者が契約後にスムーズに研究開発が実施できるように準備を進めた。

国際協力の可能性を検討するため、説明用リーフレットを作成し、いくつかの国、組織と研究協力に関して議論を行い、現在も議論、検討中である。

また PD からの指示に従い、複数課題を担当する課題推進者の研究課題を整理し、次年度契約に向けていくつかの課題を統廃合することにした。

#### (2) 研究成果の展開

知財コンサルタント系弁理士への業務委託を検討し、知財戦略を議論する体制を検討した。技術動向および市場調査などについても業務委託の中で議論することとした。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、事業化検討を行う計画を検討した。

#### (3) 広報、アウトリーチ

研究開発プロジェクトのホームページを、次年度早々に立ち上げるべく、コンテンツ内容、デザイン等を議論し立上げ準備を行ない、試作を実施した。

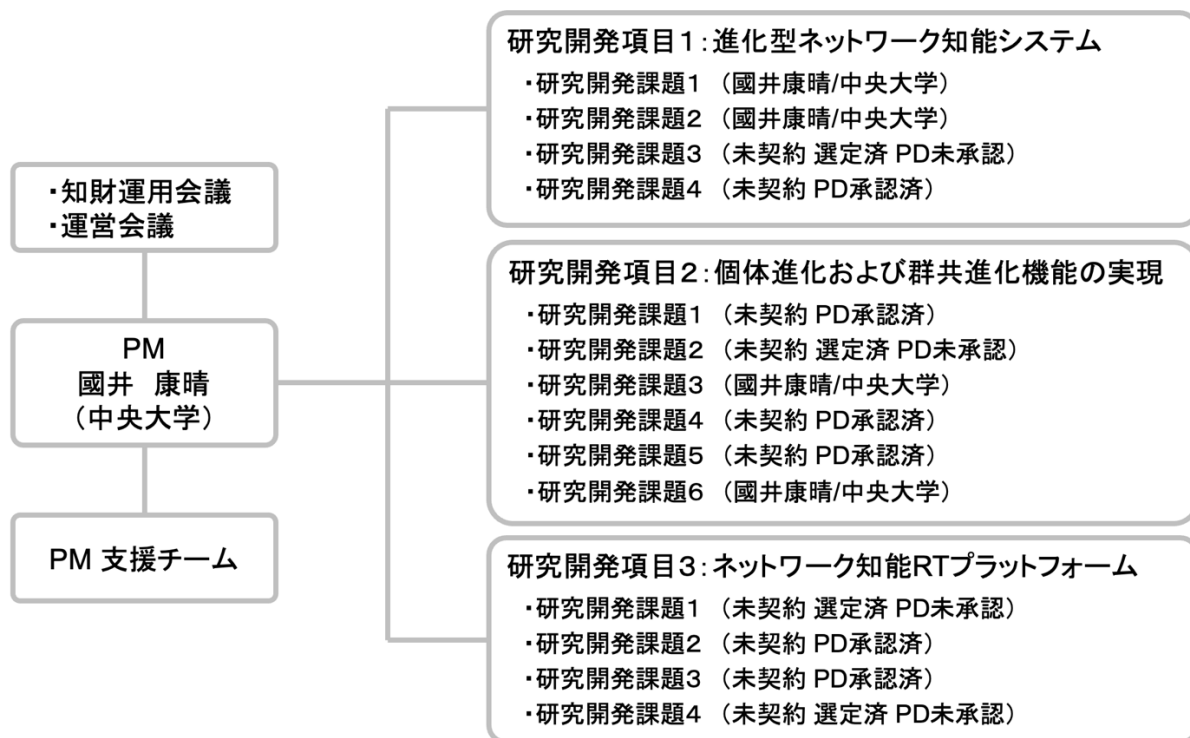
研究内容を外部に提示、説明できるように PDF 版リーフレットの作成を実施した。リーフレットでは、ムーシオンショット型研究開発事業の説明と本プロジェクトの位置付け、我々のムーシオンショット目標と研究実施内容を簡単に示したものを、日本語と英語にて用意した。

#### (4) データマネジメントに関する取り組み

研究進捗により生じると考えられるデータの想定と管理に関して検討をおこなった。管理対象となる項目を雛形として挙げ、研究開発の本格化に備え、今後、適宜、体制と項目を見直すことを確認した。



#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運営会議 構成機関と実施内容:

中央大学研究支援室知財グループ、知財コンサルタントおよび PM、PI から構成される。今年度の実施内容は、PM と研究支援室との立ち上げに向けた打ち合わせ、知財コンサルタントを選定し、来年度に向けた契約前の業務内容打ち合わせを実施した。

運営会議実施内容:

中央大学研究支援室との間でプロジェクト立ち上げに関わる打合せを実施し、各 PI(候補者含む)との間で実施体制およびプロジェクトの内容などに関して協議し、PI 全員(候補者を含む)を集め(一部オンライン)、全体的な運営体制を確認した。

## 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	1	0	1
口頭発表	0	0	0
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