研究開発項目

# 1. 進化型ネットワーク知能システム

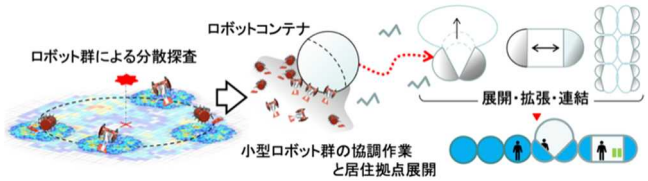
## 2023 年度までの進捗状況

### 1. 概要

この研究開発項目では、複数の低機能・低コストな小型ロボットで形成した群を誘導する技術を開発し、自ら役割分担、組織を作り、作業を実現することを目指します。

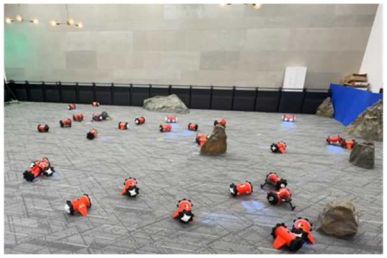
各ロボットは最低限の制御情報から確率行動と群形成を両立させ群として探査などを実現します。ロボット間通信ネットワークを介して共有 AI 機能を生成し、取得センサ情報を分析、意味を理解し、群の組織編成や役割分担などの協調行動のための自律行動戦略を決定します。そして、複数の群が得た情報で群の協力戦略などにより、さらに大きな群システムとして行動戦略を決定可能にします。これらの多様なレベルの行動戦略を決めるために、群のネットワーク上に分散型ソフトウェア実行機能を開発し、「ネットワーク知能」として構築します。このネットワーク知能が小型ロボット群を自己組織化し、自律的に行動戦略を生成することで、様々な自律協調作業を実現します。各群や群集団は地形や通信の状況による孤立と出会いにより、各々に活動できる柔軟な協力関係と個別の成長と進化が実現されます。その結果、超難環境において消耗と追加によるロボットの世代交代を乗り越えて、人間が介在せず難環境を探査や作業することを可能にします。

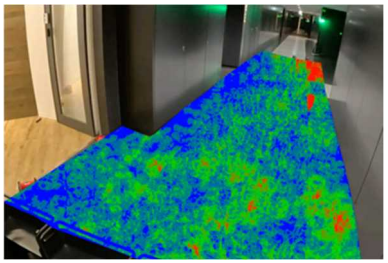
最終的には、これらを研究開発項目 2 で開発する進化機能、同 3 で開発するロボットおよびコンテナと統合し、ロボット群による自律的な探査と活動拠点の構築を実現する「進化型ネットワーク知能システム」として実現します。




### 2. これまでの主な成果

未知の領域では空間の形状もわかりません。そこではまず、様々で複雑な未知の空間を小型ロボットが認識し、それにもとづいて行動できる必要があります。そのため群の形成と探査行動を両立させ、30 台以上のロボットが群として移動探査できることを確認しました。様々な形状の領域が細い回廊などで２つ以上連結した空間で、小型ロボットの群が次の領域に向かって自律的に移動可能です。群が現在いる領域から次の領域へ移動では、その移動条件として領域網羅率を設定し、今いる領域でそれをクリアすると次の領域に向かうアルゴリズムにより実現されています。また接続領域が狭いなどで群の移動開始の判断が難しい条件でも、その環境に適したサイズの群を自律的に形成し、群を誘導できると確認しました。またロボットの行動情報から領域網羅率推定と路面状態推定、自律的な行き詰り回避、跳躍判断などの研究と試験も進めました。さらに AI 学習による群の編成と目的地誘導、コンテナの搬送などの検討もシミュレーションにより検証を行いました。


36 台による探査実験


連結領域の探査結果

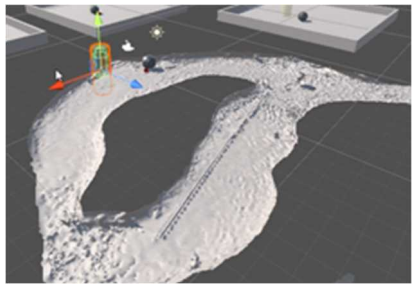
### 3. 今後の展開

ロボットが自律的に群を構成し、群として誘導制御されることで、指定した領域内を調査しながら目的地へ到達できるようにします。そのために、知能システムの安定性とロバスト性を向上させ、実際の探査の環境で必要な様々な機能を管理運用するシステムとして「進化型ネットワーク知能システム」の研究開発を引き続き行います。

まず、それぞれのロボットからの観測データを、サーバに収集します。このデータには、探査する環境の観測情報、ロボット個体や群の存在位置と行動情報などを含みます。これらの情報は、未知の探査空間での曖昧な位置情報とひもづいた観測データとなります。あいまい情報による情報整理や違和感解析による抽象化の手法を研究開発し、AI 機能への情報入力を可能にし、ロボット個体や群の行動計画を可能にします。

ネットワーク AI の機能では、個体の自律的な群分け（自己組織化）、自律的な群の誘導、自律的な群の役割分担などを通信や電力供給に制限がある状況でも実現します、これらの機能は、実際の環境で事前実験ができない月面の溶岩チューブの探査で必要になるため、新たに構築していく仮想環境シミュレータを用いて確認していきます。

そして、これらを統合し、群ロボットが自律的な協調行動を実現する初期の「進化型ネットワーク知能システム」を実現します。さらに成果を用いて、月面洞窟探査を検討し、実際の探査ミッションに向けた開発を実施します。


AI による学習と作業

研究開発項目

# ２．個体進化および群共進化機能の実現

## 2023 年度までの進捗状況

### 1. 概要

この研究開発項目では、研究開発項目 3 で開発する小型ロボット群のために、AI による協調行動に必要な仕組みを研究します。このロボットは宇宙で活動するため環境適合も必要です。また、未知で変化がある想定外の状況に対応できるように、ロボットや AI が進化する仕組みを研究します。これらを実現する小型制御装置として開発していきます。

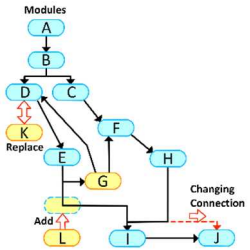
ロボットの複雑な動作は、小さな機能部品（低粒度なモジュール）の組合せです。その小さな部品をロボット内部でいろいろに組換えることで、様々な機能を実現できれば変化が生み出せ、その変化がロボット個体の進化へと繋がります。ここでは進化を良い変化の仕方と位置づけ、そのための機能の組換えと制御の仕組みを研究します。また、複数いるロボットたちが、ネットワークを通じて互いがもつ機能部品を内部機能で相互に使うようになれば、自分にはない能力を獲得し、仲間と協力・分担して集団としての機能が創り出し、集団（群）として共に進化（共進化）が可能になります。そして、この集団で創り出した機能の上に研究開発項目 1 による AI 情報処理を実現すると、「ネットワーク知能」というロボット群の中の知的な存在としての動作となります。

一方、月の環境は、放射線が飛び交い 200 度以上の大きな温度差があるため、ロボットには過酷で内部の制御装置に誤動作や故障を生じるリスクが高い状況です。また、一般に制御装置は処理速度に比例して発熱が増えるため、冷却対策により宇宙仕様では大型化し低速動作になりがちです。このため、宇宙ロボットでは、地上に比べて出来ないことが増え、開発が困難になります。そこで、その解決のため、制御装置での処理法を変更し、ロボットの動作実現に着目した処理法の設計および機能組換えの仕組みを用いて、宇宙ロボット、特に小型ロボットのための低消費電力で小型な制御装置を実現します。

### 2. これまでの主な成果

最小実行単位となる低粒度な機能モジュールを繋ぎ合わせ、入れ替え、追加、削除などの接続構造によりロボットの行動を作り出せる仕組みを設計しました。そして、より粒度の高い複雑な機能を構成できるようにしました。また、搭載タスクを構成・変更し、データフローを制御・監視できる管理運用ソフトウェアを試作しました。30 種ほどの低粒度モジュールから 10 個のモジュールを接続して、機能タスクの高粒度化が可能だと確認しました。そののち、高粒度な 3 つ程度のタスクを構成してロボット上で動作可能だと、シミュレーションとロボット実験で確認しました。また、接続共有メモリ上の入出力情報、データフローなどの動作情報の収集および解析、構成タスクの動作と速度より、設計が有効に機能していると確認しました。

さらに、設計した仕組みを動作させるため、FPGA（Field Programmable Gate Array）デバイスを利用し、搭載機能を並列に実行して更新できる様に、内部アーキテクチャなどを検討して基礎設計を行いました。また、機能共有ネットワークの通信システムの基礎設計および初期実験を実施しました。そして、検討をもとに、進化型制御装置を試作し動作試験を行いました。



### 3. 今後の展開

低粒度機能モジュールから高粒度タスクを構成し、実行可能な進化型制御装置の開発試作を継続していきます。そして、この装置を各ロボットに実装し、個体の進化実現を目指した機能更新（変化）を実現します。また、群の共進化機能の実現のために、ロボット間で情報ネットワークを構築する通信機能と通信装置を開発して試験します。

構成されたネットワークを介してモジュールを共有し、共有モジュールを含んだタスクの構成による行動実現ができるようにします。また、共有モジュールによりネットワークを介して接続、構築、実行される分散共有アプリの実現インフラの構築を進めます。さらに、進化機能の実現に向けて、ソフトウェアレベルでのモジュール接続機能の実現スキームを構築します。また、群の中心を指定する電波方式による位置共有機能とデータ通信機能を、UWB（超広帯域）無線通信方式を利用しての両立して実現し、探査状況の把握などができるようにします。そして、ロボット群にこれらの制御装置を搭載し、複数のロボットによる協調動作の実現に進みます。さらに、開発した制御装置を宇宙仕様化して探査ロボットのフライトモデルに実際に搭載します。そして、多様な宇宙利用に向けた検討も進めます。

これらロボットの個体と群の進化機能および集団共有知能「ネットワーク知能」が長期に渡る難環境での新旧ロボットの入れ替えや世代を越えた生き延びを実現し、ロボット群が目的を達成できるようになります。

研究開発項目

# 3. ネットワーク知能 RT プラットフォーム

2023 年度までの進捗状況

## 1. 概要

この研究開発項目では、小型化により相対的に過酷になる環境をロボットが移動するためのメカニズムとそれを支える原理と仕組みを研究し、小型ロボットを設計、開発します。さらに、ロボット群と作業協動・支援する機能、ロボットや輸送対象を目標領域へ投入でき、各種機能・装置などを搭載できるロボットコンテナ（カプセル）に関する技術を研究開発します。

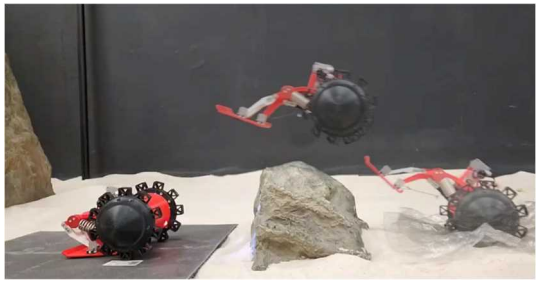
ロボット群を構成することで代替性によるリスク許容性向上、探査の効率化などが期待でき、そのために小型軽量化と低コスト化が望まれます。不整地移動ロボットの小型化では、複雑な機械構造は導入困難で物理的にも能力低下が発生し、周囲の環境は相対的に難環境化します。そのため、走行能力の回復が課題となるので、テラメカニクス（車輪と土壌の物理）を考慮した車輪や新たな移動方式の研究を行います。一方、軽量化に伴い跳躍エネルギーが小さくなり、機体の衝突エネルギーも低下するため、跳躍移動が有利になってきます。そこでテラメカニクスを考慮した跳躍移動方法を研究し、小型の跳躍移動機構を設計することで跳躍移動可能な移動ロボットを開発します。最終的に実際に宇宙で活動できるロボットとして開発を行います。

次に、ロボットの月溶岩洞窟への到達と長期活動のため、ロボット自身の現地投入、通信・電力の中継機能などの輸送などに使用可能なコンテナ（カプセル）に求められる機能を研究開発します。コンテナはロボット技術により自律的に変形展開し、搭載物を外に展開したり、人の活動拠点などになったりする機能が期待されています。さらには、ロボットによって輸送される時などではロボットと協働し、自身の輸送を補助する等の機能を持つのも期待されています。このための各種機能を折り紙や膜テンセングリティなどの技術を発展応用して研究開発し、設計・試作を経て技術を完成させ、群協働型のロボットコンテナとして開発します。これらのハードウェアに対して他研究開発項目の研究成果を統合することで、次世代の未踏峰難環境開拓のための「ネットワーク知能により高度に知能化された進化型のロボットプラットフォーム」を実現します。最終的に、月ミッションで活躍可能なロボットを実現します。

## 2. 2023 年度までの成果

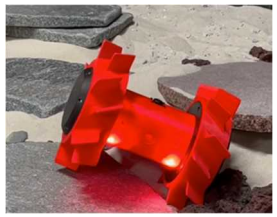
研究開発項目 1「進化型ネットワーク知能システム」で用いる実験機として小型跳躍ロボット「RED2」を開発しました。跳躍動作のシミュレーションにより各種設計値を確定し跳躍姿勢や跳躍軌道を最適化しました。また跳躍ユニットの小型化も実現し、車輪の形状を変更して不整地への対応性能を向上させました。様々な路面環境での試験、実際の溶岩洞窟での試験などを通して性能を確認できました。月面の溶岩チューブ内を探査・調査を想定した実験により実践的なデータを収集し、これを設計にフィードバックした結果から新たなロボット機体の設計構想をまとめました。40 台以上のロボットによる群構成や誘導探査実験を研究開発項目 1 とともに実現しました。

また、ロボットコンテナのプロトタイプを設計し、コンテナ展開技術と手法の確認、ロボットの展開実験、ロボットによる輸送試験を行いました。そして、その結果から新たなロボットコンテナの設計構想をまとめました。



## 3. 今後の展開

研究成果を発展させて小型ロボットに搭載する表面移動機能と跳躍移動機能のさらなる研究開発を進めます。とくに、新提案の表面移動方式の性能解析とロボットへの利用を実施します。そして改良した二つの移動機能を統合し、月面での探査を想定した小型ロボット（フライトモデル）と地上での総合試験を想定した小型ロボット（地上モデル）を設計開発します。これらのモデルは実際に月面の溶岩チューブ探査を想定した機体として開発し、宇宙仕様機として実証実験を進めます。また、地上モデルでは、様々な環境にお行ける群の協調行動の実証評価を行います。

コンテナでは、ロボットを搭載格納する機能、落下時の衝撃をエアバック等で緩和する機能などを機能を検討し、月の溶岩チューブへの投入カプセルとしての基本機能を研究開発します。さらに、群ロボットの活動をコンテナ側から支援する協働機能も検討していきます。データや電力を中継する機能、気体の膨張力や折り紙を利用したインフレータブル構造機能などを研究開発と利用検討をしていきます。

これらの結果を用いて月面重力環境を想定し、溶岩チューブ内に拠点を構築するためのシナリオを計画していき、その構想を盛り込んで開発していきます。