

研究領域

広域未踏峰型探査

「小型複数ロボットによる探査」

発表者： 久保田 孝

JAXA 宇宙探査ハブ

本日の目的

広域未踏峰探査における

- これまでの研究成果

- 研究状況

を報告し

- ◆第4回RFPの課題設定にむけた提言

- ◆今後のRFIで募るべき課題

について議論する.

宇宙探査イノベーションハブ

宇宙探査イノベーションハブでの活動を通じ、
日本発の宇宙探査におけるGame Changing 技術を開発し。
宇宙探査の在り方を変える
と同時に**地上技術に革命**を起こす

「月火星での活動可能性を調べ尽くす」
一点豪華主義（大型・長期・高コストミッション）から
分散協調型（小型・短期・低コストミッション）へ

（広域未踏峰探査領域）

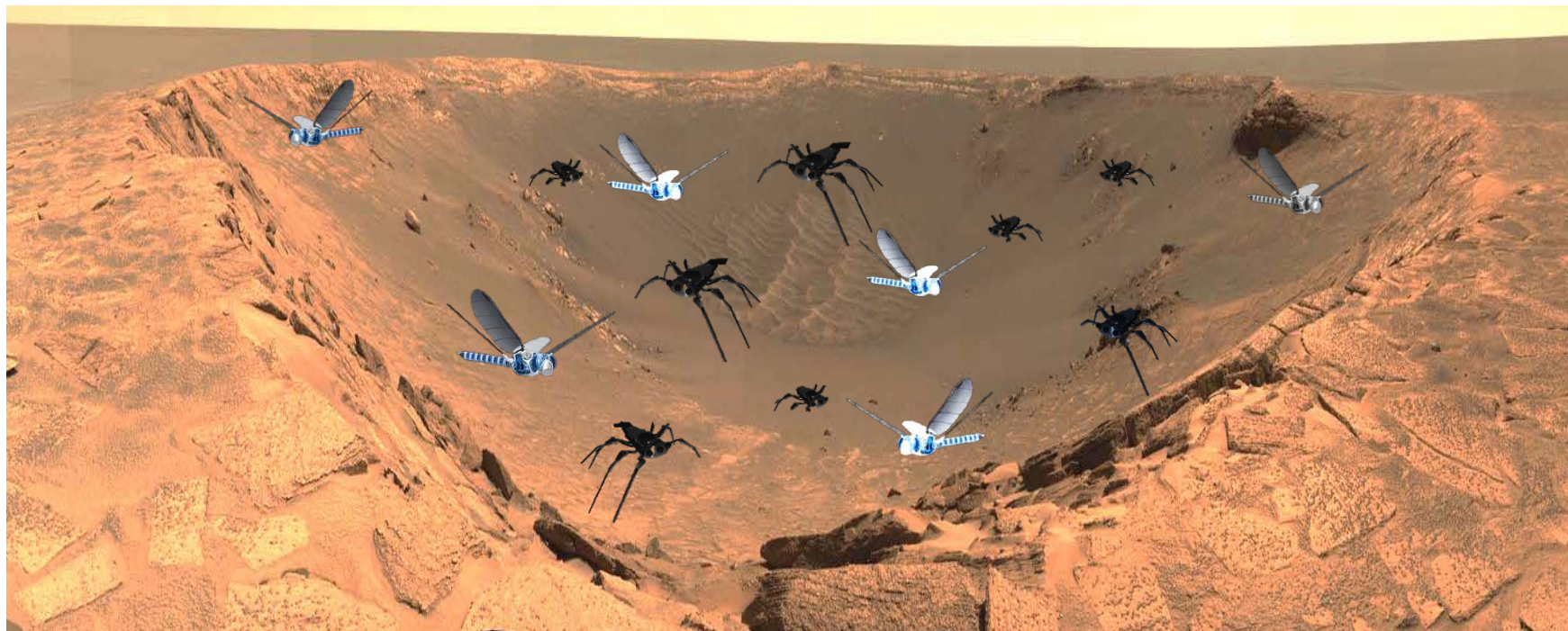
点の探査から脱却する『広域未踏』の探査の実現

広域未踏峰型探査のねらい

- 複数の小型探査機により、機能の分散協調を行なうことで、未踏峰地点の広範囲で密度の濃いチャレンジングな探査を実現し、探査手法に革新を起こす.
- 例えば、1つの探査機に複数の小型探査ロボットを搭載し、10km × 10kmの探査を可能にする.
- 分散されたロボットがお互いに協調し、1台では成し得ない、高度な観測（高精度地図生成）や協調作業、位置同定、信頼性確保、調べ尽くすことなどを目指す.
- 地上での応用を通じて、技術革新を推進する

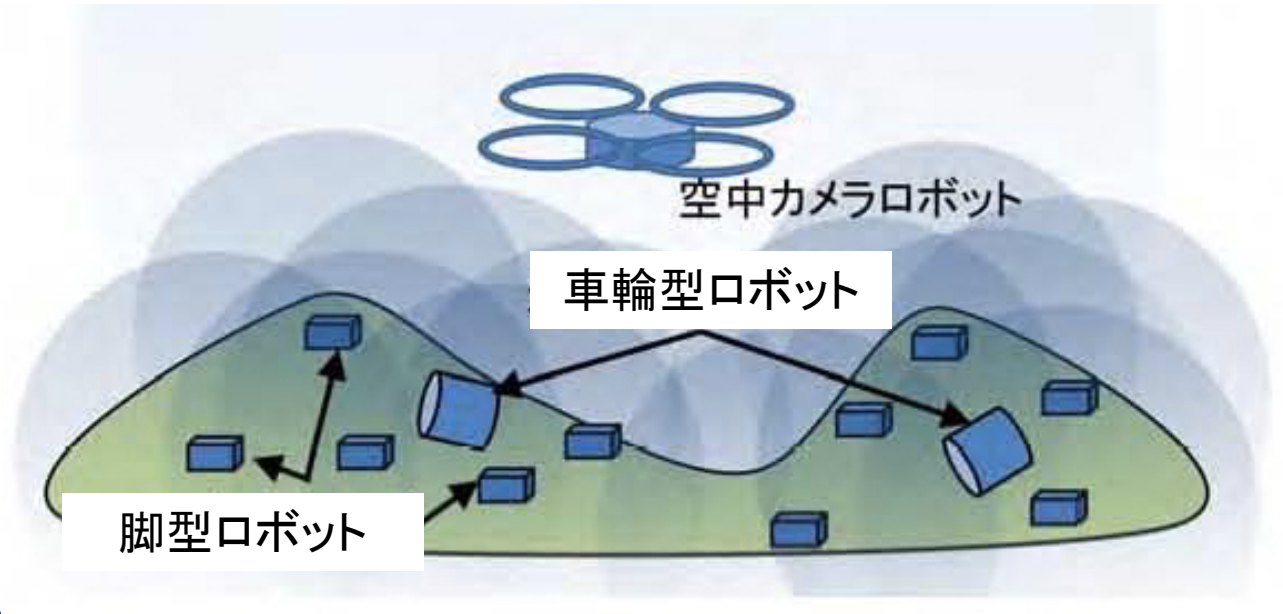
アプローチ： 宇宙での展開例

火星クレータ内の密度の濃い探査で生命を探す



アプローチ： 地上での展開例

火山地域の観測・モニター



火山地域において、複数の小型ロボットが配置されて、火山活動をモニターする。災害地での人命探索、情報収集など

研究開発の戦略

()内は採択件数

第1回課題設定(平成27年度)

- ＜課題解決型＞ 次世代アクチュエータの研究開発(5)
- ＜アイデア型＞ 昆虫型ロボットの研究開発(3)
- ＜アイデア型＞ 分散協調システムの研究(2)
- ＜アイデア型＞ 環境適応型ロボットの知能化の研究(2)

第2回課題設定(平成28年度)

- ＜アイデア型＞ 小型UAVの基本性能の解明(1)

第3回課題設定(平成29年度)

- ＜アイデア型＞ 環境探査システムの構築(2)
- ＜アイデア型＞ 画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究(2)

アクチュエータ研究

目標 世界最高性能のアクチュエータの開発

採択テーマ

1) 世界最高性能の電磁モータの開発

- ・高効率小型モータ(50w/25g)の開発
- ・防水・防塵(1kw/400g)高出力モータの開発
- ・高トルク(110Nm/1kg)駆動システムの開発

2) センサシステムの開発

- ・絶対位置センサ($\phi 20\text{mm}$ 分解能524288)

3) 流体系スマートアクチュエータの開発

- ・McKibben型人工筋肉の3倍以上の収縮力



宇宙応用

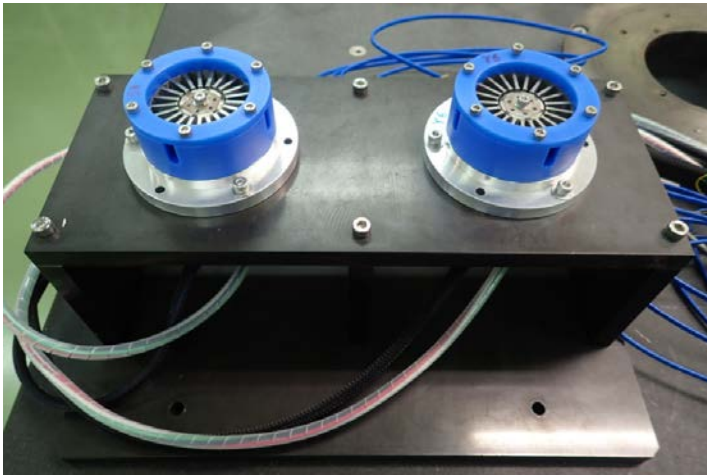
1. 火星飛行機, ドローン
2. ローバ
3. 投てき装置
4. 二軸ジンバル

地上応用

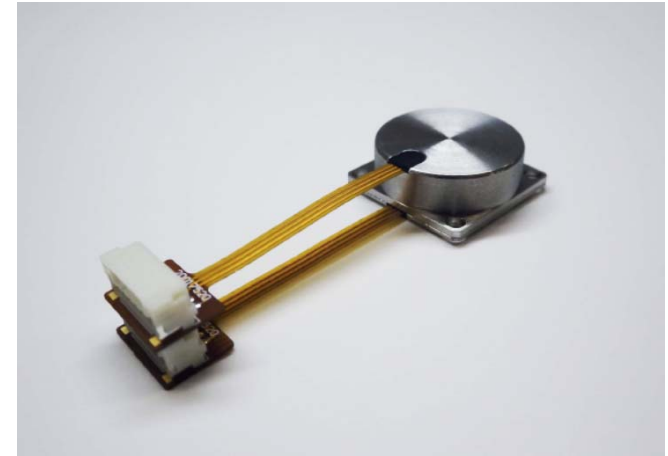
1. 発電機や風/水車
2. ドローン, ロボット
3. 介護福祉機器(パワー
スーツ, 車いす)

アクチュエータ研究成果

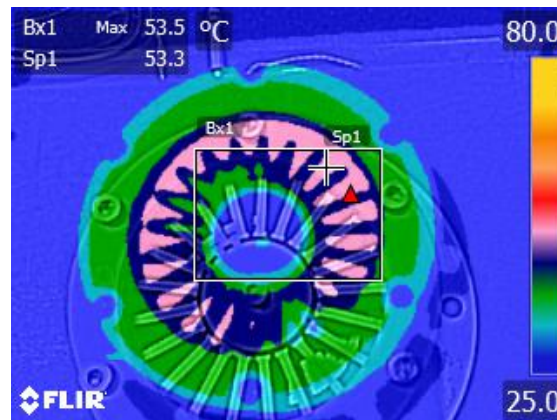
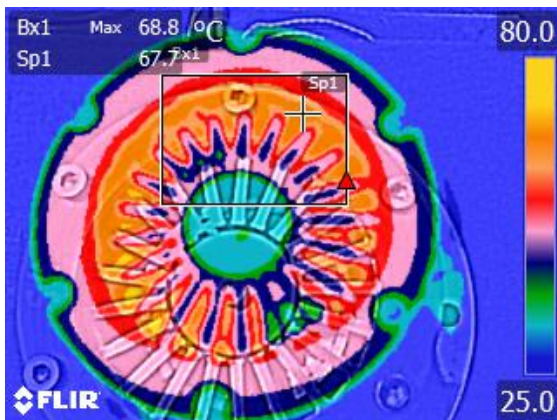
新明和工業・大分大学・茨城大学・
日本文理大学・静岡大学



エクストコム株式会社



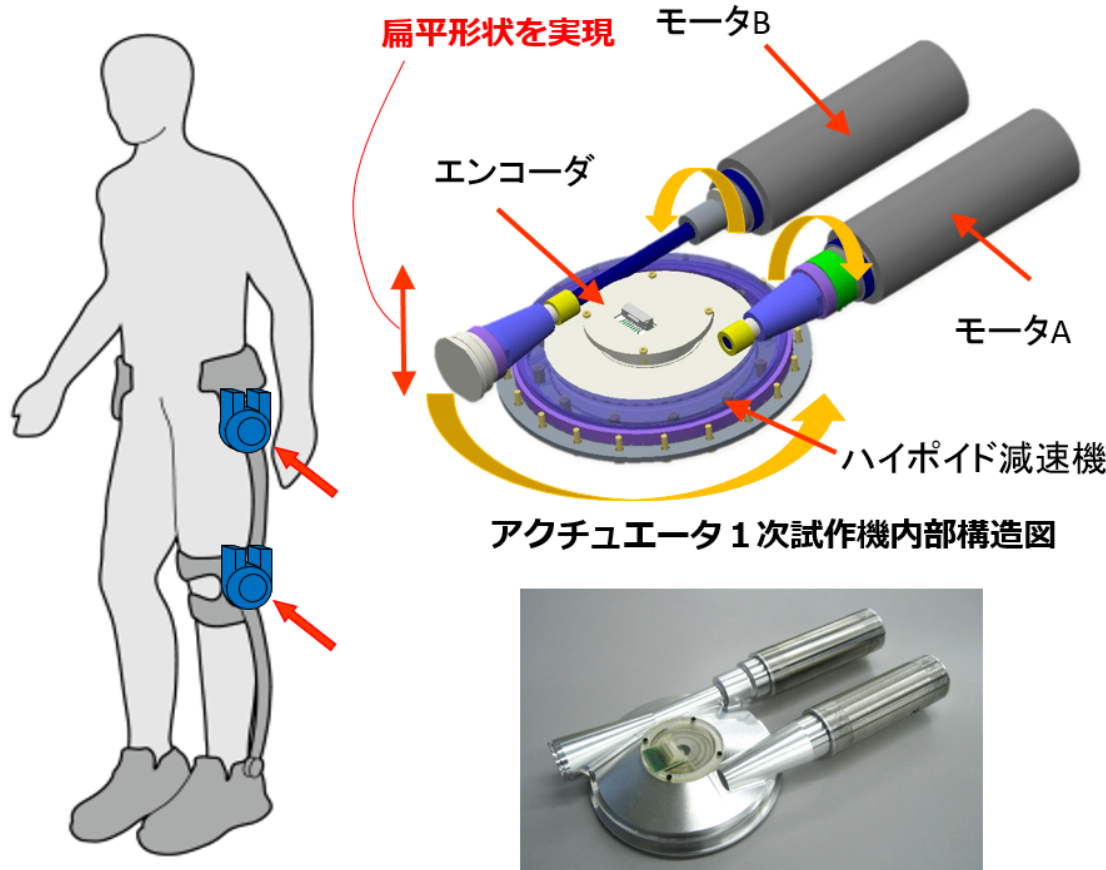
小型化, 高分解能を実現



アクチュエータ研究成果

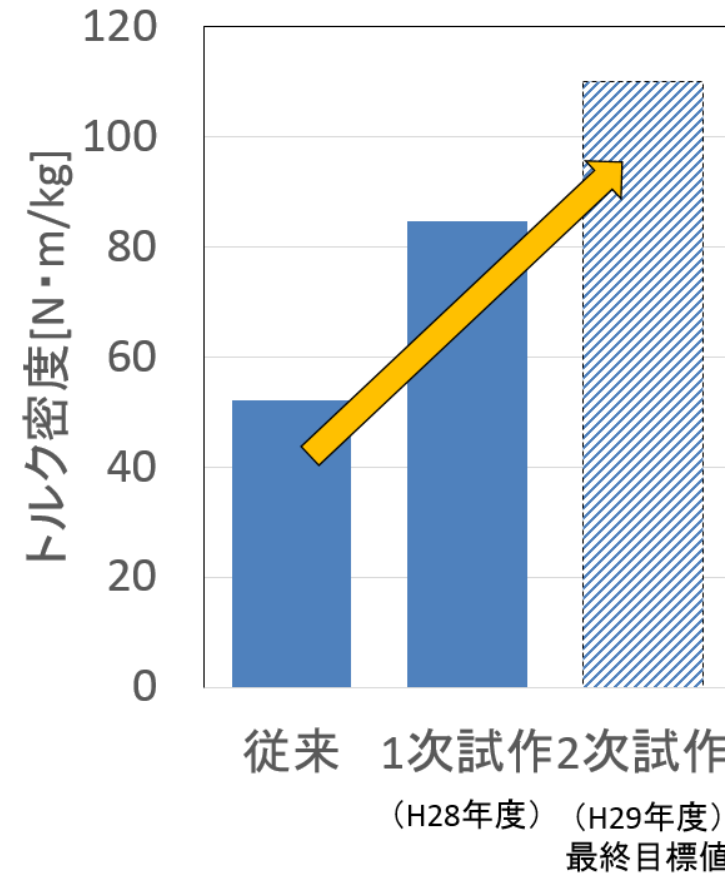
医療福祉機器向け小型高トルクアクチュエータの開発

株式会社 安川電機

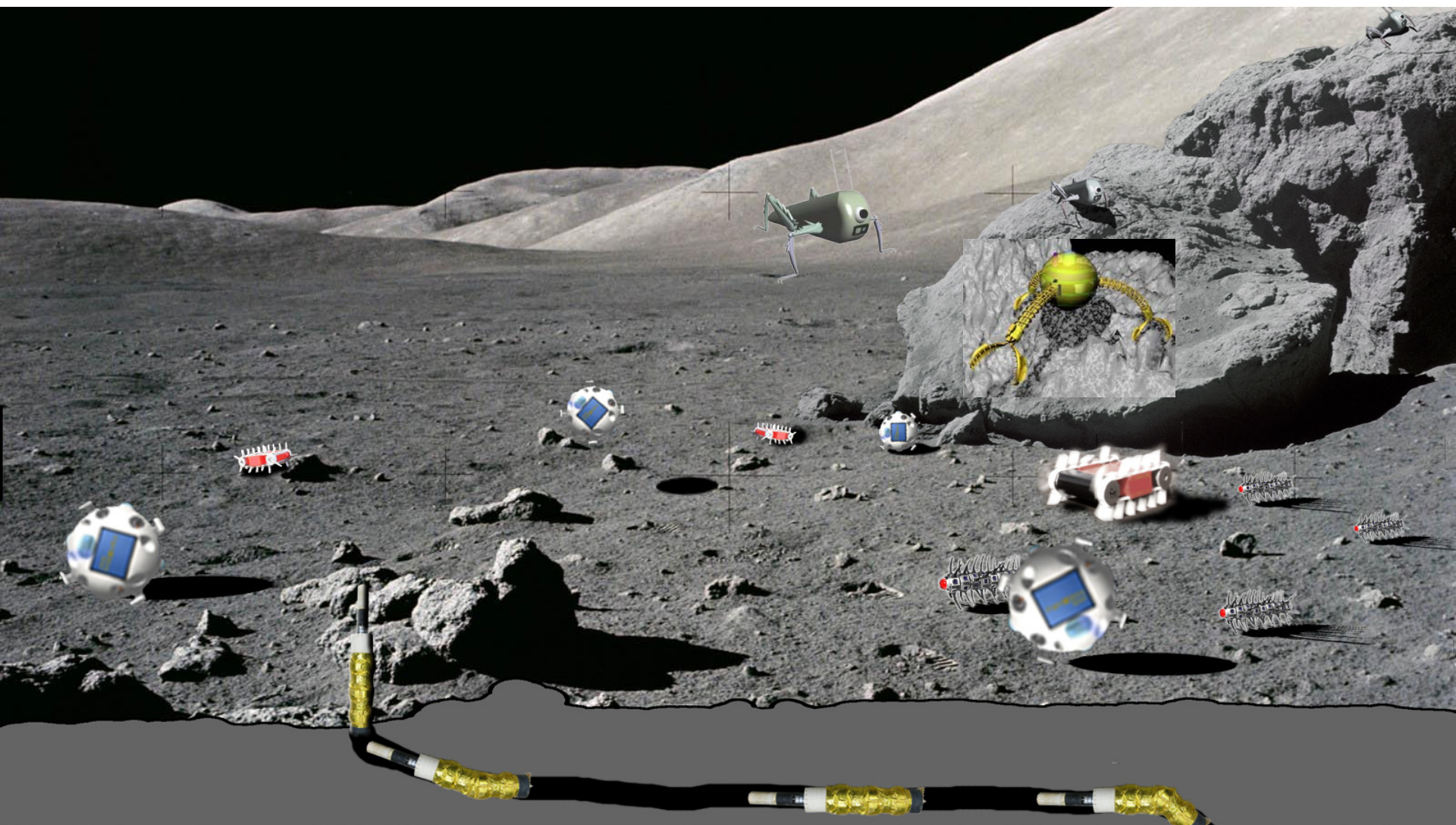


人体装着イメージ図

アクチュエータ 1次試作機 外観写真



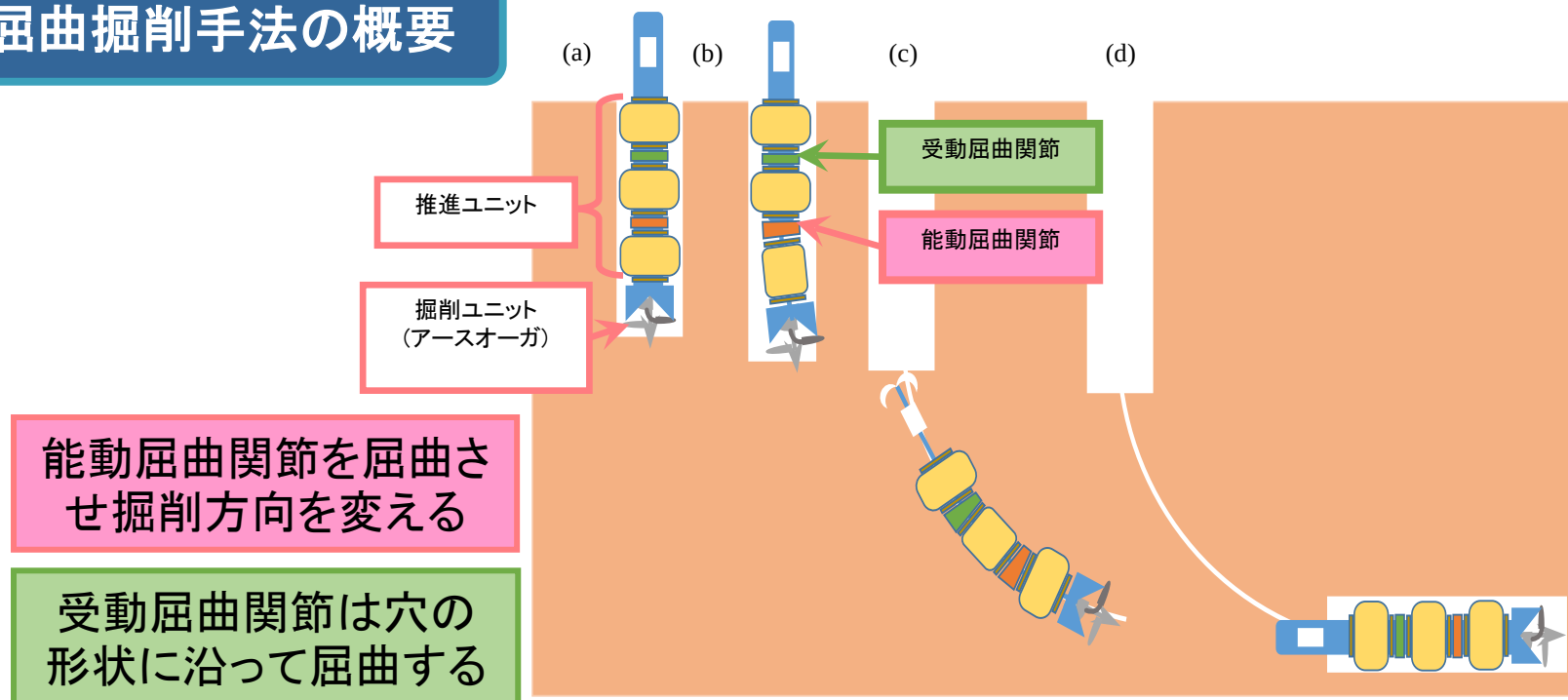
生物模倣型ロボットによる探査



生物模倣型ロボットによる探査(中央大学)

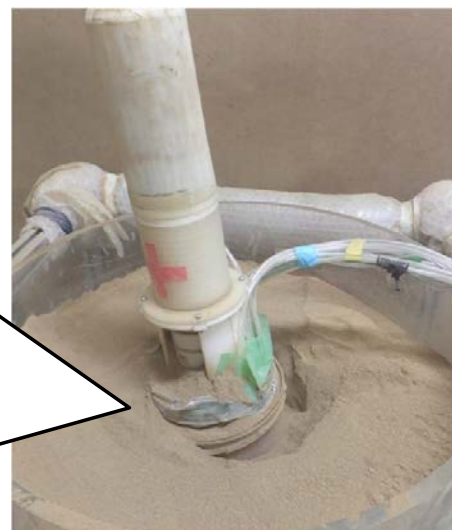
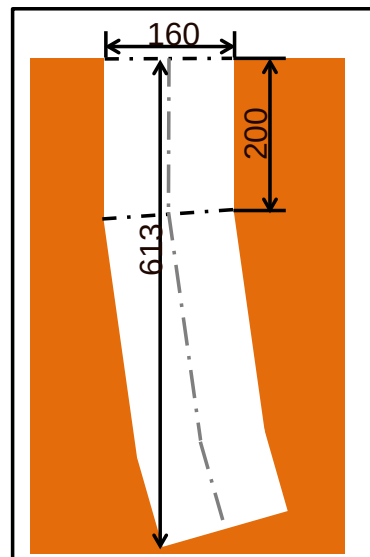
蠕動運動型ロボット(ミミズ型ロボット) を用いて、屈曲掘削を実現する

屈曲掘削手法の概要



生物模倣型ロボットによる探査(中央大学)

掘削の様子
(x128)

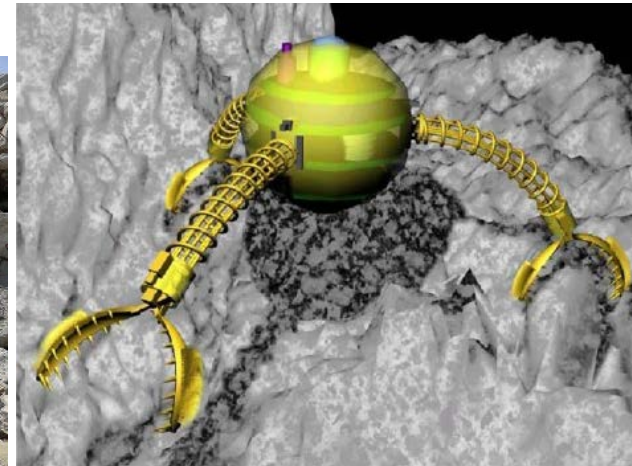


試作した掘削ロボットで土の掘削・搬送が可能なことを確認

生物模倣型ロボットによる探査 (ispace, 東北大学)

天体表面での「しがみ付き移動」

→ 凹凸・傾斜を含む不整地上での安定した移動探査



4足歩行ロボット歩行試験

凹凸・傾斜 90°

重力補償1kg(ロボット自重1.63kg)

印可電圧7.0V

8倍速

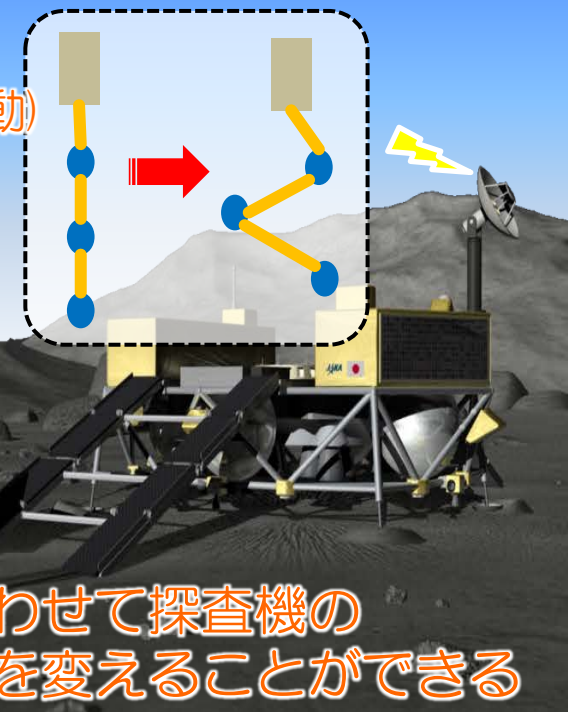
分散協調システムの研究(東北大学)

リーダ探査機が複数の
小型フォロア探査機をけん引

フォロア探査機は操舵
(かじ取り)のみを行う

複数の探査機のフォーメーションを制御し
同時刻に広域の情報を効率的に取得

リーダが引っ張る フォロアは自力で移動できない(非駆動)
リーダに引っ張られて進みながら
かじを切って進む方向を変化させる

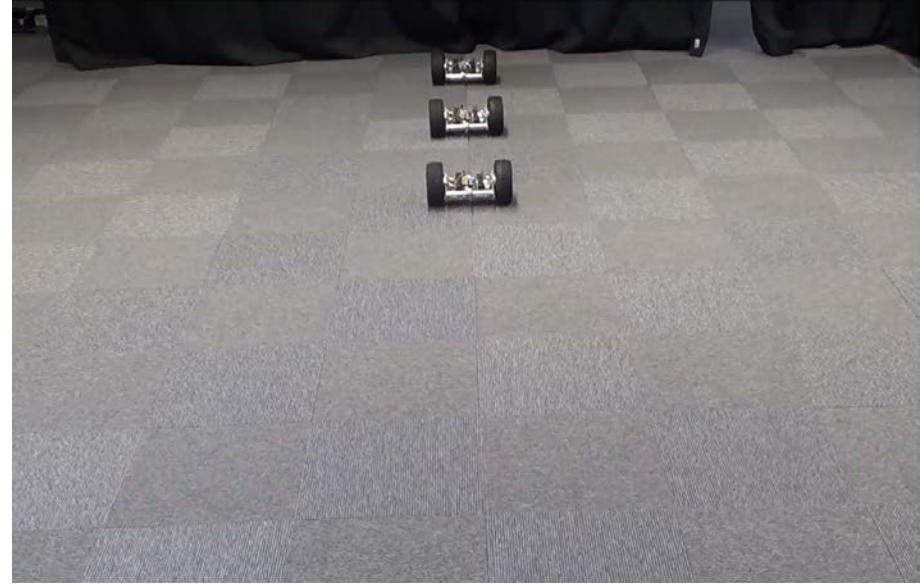
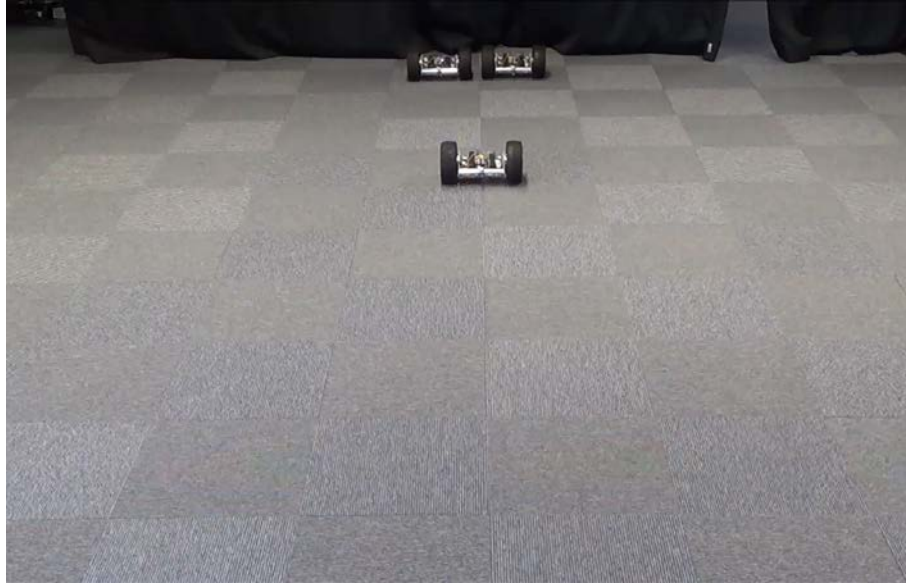


低コスト 低消費電力
デブリ化防止 高精度測位

陸上・空中・水中への応用が可能
さまざまな調査・探査に

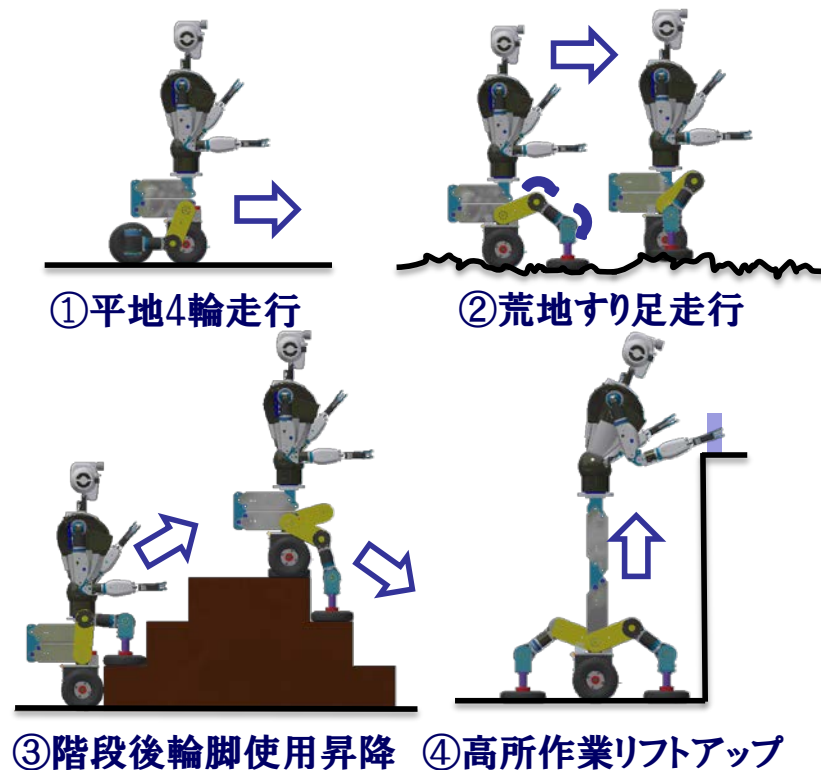
火山や震災被害・土砂災害等の調査, 月・惑星や宇宙空間の探査 海洋探査

分散協調システムの研究(東北大学)

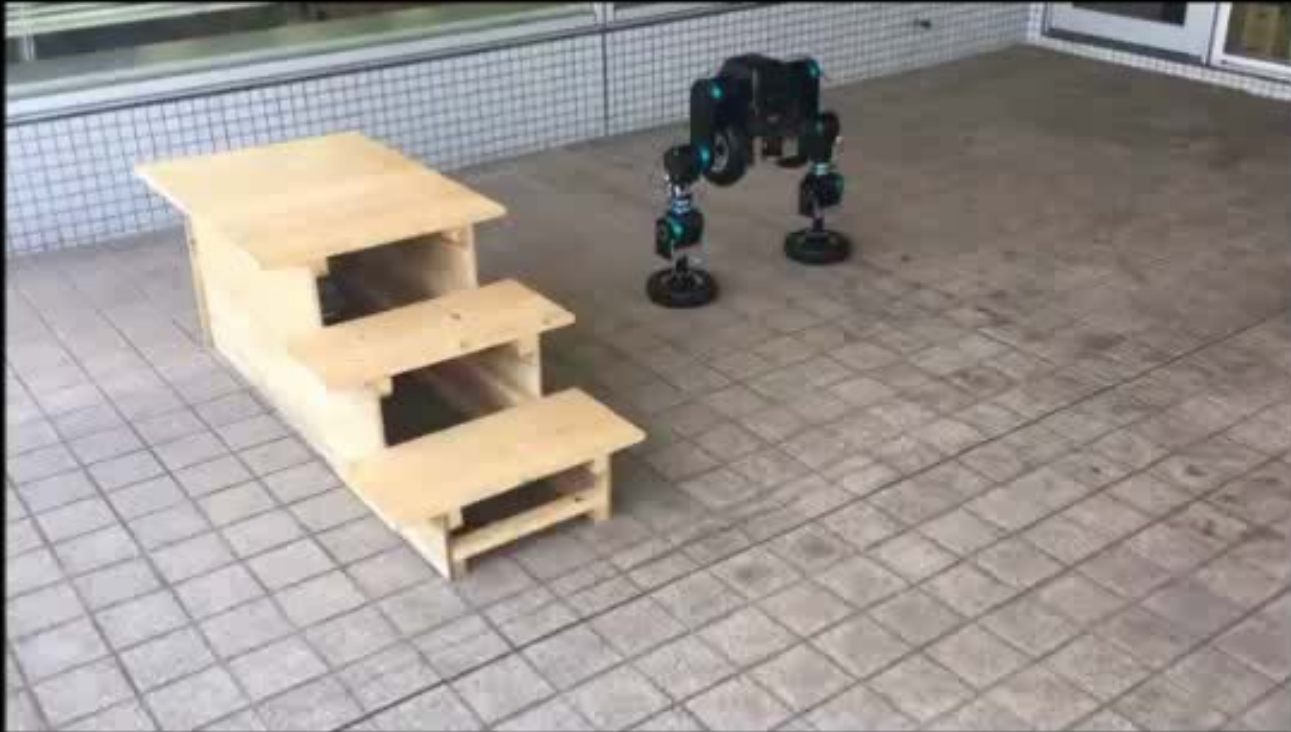


分散協調アルゴリズムによるフォーメーション

■「RTソリューション技術に基づく合体変形型移動ロボットの環境認識移動知能化技術の研究開発」



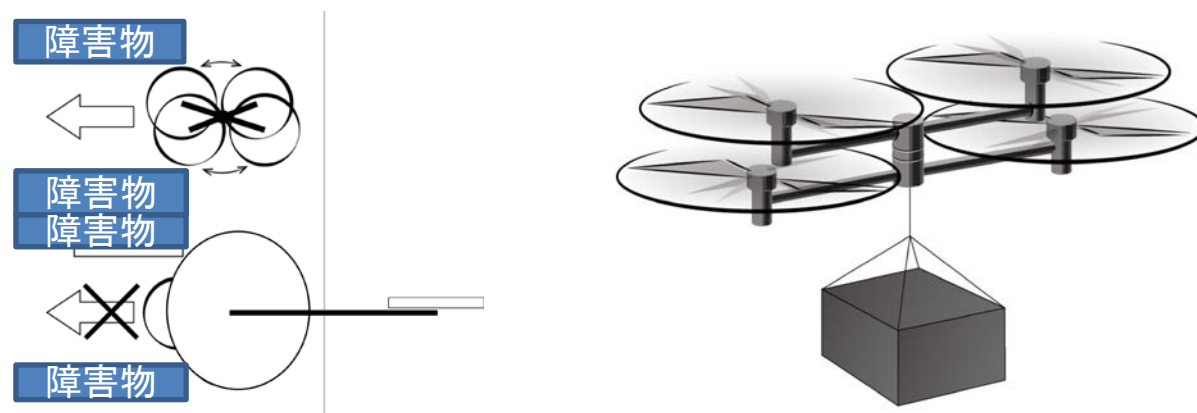
環境適応型ロボットの知能化研究(東大, THK)



マルチロータ(ヤンマー, 大阪府大, 名古屋大)

- マルチロータ型のUAV(Unmanned Aerial Vehicle)が様々なビジネスへ展開されつつある.

ロータが様々な配置にあるときのロータ間の相互干渉によるトルクや推力について, 実験に基づくモデル化を行うことで, UAVのロータ配置を最適に行う.



超低消費エネルギー型環境探査モニタリングシステム

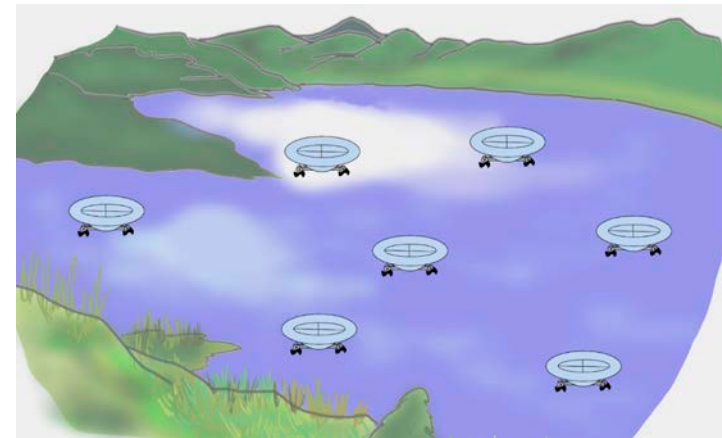
(東北大学)

◆ 目的

- フィールドのモニタリング, 調査, 探査を効率的に行う超低消費電力型の自律移動マルチエージェントの制御, 及びリアルタイムフィールド推定技術の研究開発

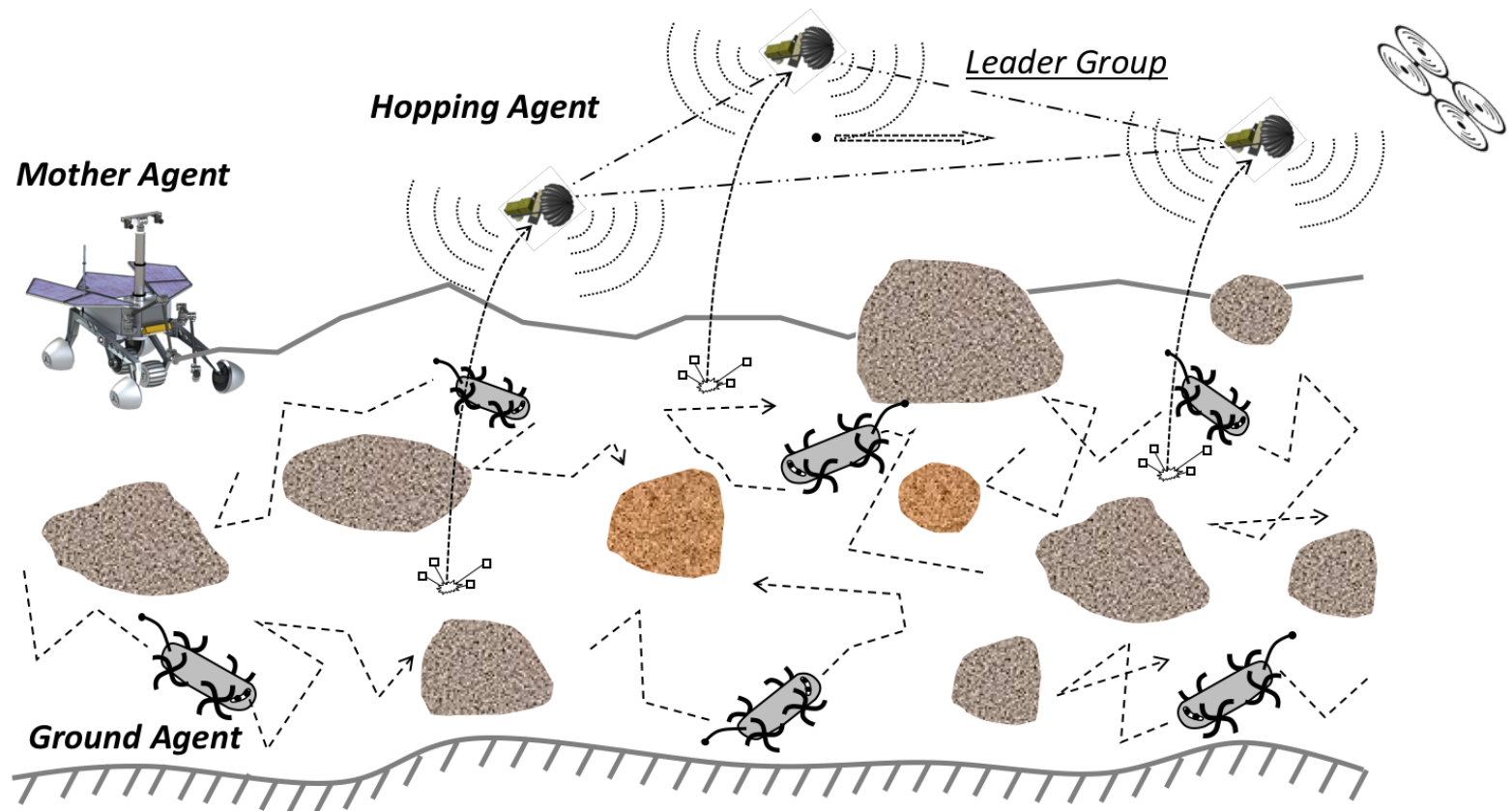
◆ 波及効果

- 提案する技術・システムによって, 長期間かつ空間的に一様とみなせる観測データの収集が可能となる
- 観測データの充足は, フィールドに関する知見・理解を促進させ, 環境アセスメント, 生態調査, 宇宙探査, 地球科学, 建築など多分野の発展に貢献する



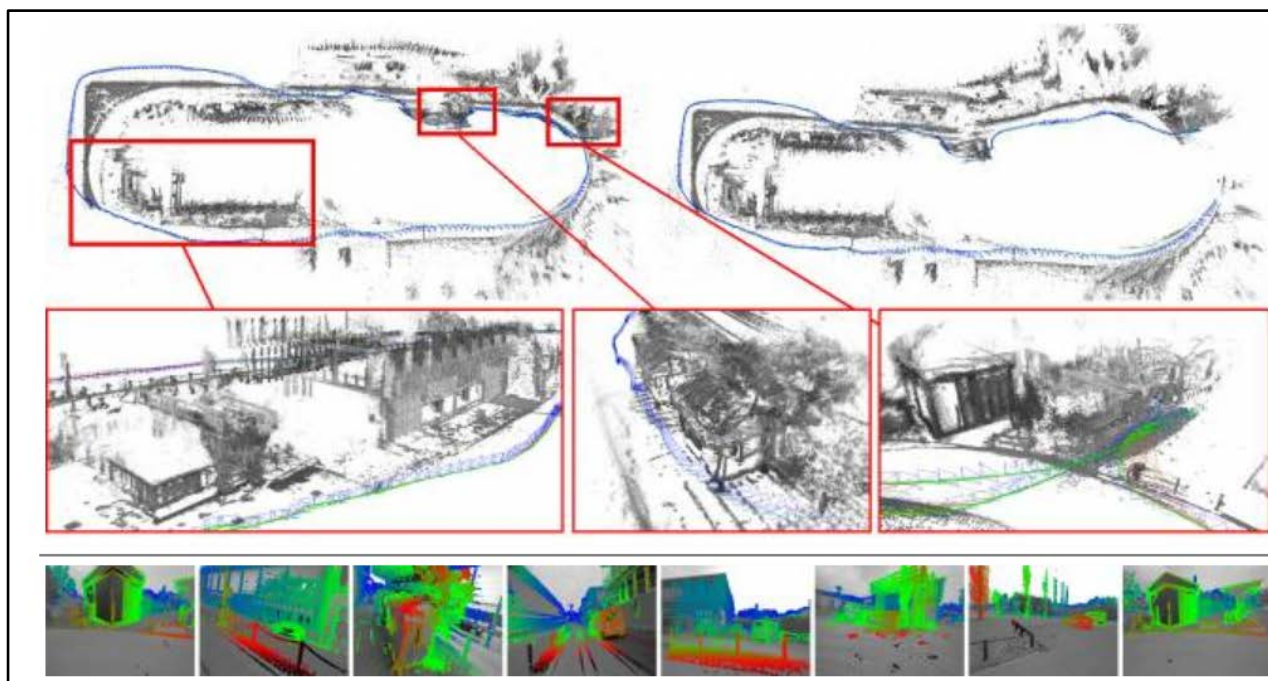
異種移動体による探査観測システム(中央大学)

- ✓ 異種、複数の移動体からなる観測ネットワーク
- ✓ 低機能、低知能で小型軽量なリーダーとフォロア



vSLAMの研究

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)
周辺環境の3次元地図作成(mapping)と
ロボットの位置姿勢決め(localization)を
同時に(simultaneous)行う技術



(LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM のBuilding a global map) (LSD-SLAMホームページより)

vSLAMの研究

【探査ロボットのvisual SLAMの研究】

- 砂地などのテクスチャレス問題
- 計算リソースの削減

◆ 超高感度マルチカメラや深層学習を利用した高付加価値vSLAM技術の研究開発

(株式会社アイヴィス 株式会社ビュープラス)

◆ テクスチャレスシーンのためのロバストなVisual SLAMの研究

(株式会社コンセプト 株式会社モルフォ)

研究開発の戦略

第1回課題設定(平成27年度)

- ＜課題解決型＞ 次世代アクチュエータの研究開発(5)
- ＜アイデア型＞ 昆虫型ロボットの研究開発(3)
- ＜アイデア型＞ 分散協調システムの研究(2)
- ＜アイデア型＞ 環境適応型ロボットの知能化の研究(2)

()内は採択件数

要素技術,
移動手法,
協調手法を
中心に研
究を推進

第2回課題設定(平成28年度)

- ＜アイデア型＞ 小型UAVの基本性能の解明(1)

第3回課題設定(平成29年度)

- ＜アイデア型＞ 環境探査システムの構築(2)
- ＜アイデア型＞ 画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究(2)

分散協調
システムへ

広域未踏峰探查技術

中テーマ	小テーマ	関連キーワード
(1) 多地点同時観測 複数の小型探查ロボット が広い領域を均等に分散 し、お互いに協調しながら 効率的な探查を行う。	① 画期的な探查ロボット	高機能・新材料を用いた新しいタイプのロボット
	② 複数の小型探查ロボットの分散協調	群知能・群行動技術、ネットワークロボット技術
	③ 小型探查ロボット用スマートセンサー (水、氷、鉱物資源、生命等)	高性能・超小型センサ、MEMS、遠赤外カメラ
(2) 極限地域への到達 月・火星表面の中央丘峰、 崖、縦孔底、洞窟、地中、 極域等の今までの探查ロ ボットでは到達不可能な極 限地域の探查を行う。	① クレータ中央丘や崖表面の地形・地質探 査	革新的移動技術、可変構造型ロボット、投てき技 術
	② 電力供給や通信困難な縦孔底や洞窟の 探查	無線電力伝送、小型・高効率電力システム、自 律処理アルゴリズム技術、自律制御専用IC
	③ 地下数メートルの掘削探查	掘削・ボーリング・サンプル採集
	④ 太陽の当たらない永久影の中の移動探查	高感度カメラ、遠赤外カメラ、モアレカメラ
(3) 水平垂直活動 月・火星において、数百km オーダの長距離移動や数 十～数百mオーダの高度 移動を実現する。	① 高い高度を移動可能な飛翔探查	ドローン・飛行移動体UAV
	② 長期間移動探查	ロバスト設計、故障診断・検知・修理、自己修復、 高効率電力システム
(4) 人工知能 未知環境や屋外環境にて 自律的行動計画をたて、 環境に適応して探查を行 う。	① 環境理解技術	3次元地図生成、SLAM、環境認識、アクティブセ ンシング、表示システム
	② 行動計画	自己位置推定、経路計画、障害物回避
	③ 環境適応	人工知能(認知・自律)、学習(Deep Learning)
	④ データ処理	データ情報処理、ビッグデータ解析

小型複数ロボットが活躍する分野

- 複数の小型ロボットで新しいミッションを創出

- 1台の大型ロボットより有利な分野

- ❖ 広域環境モニタリング

- ❖ インフラ構築

- ❖ 人や生活をサポートするシステム

- ❖ 地中・海中探査

- ❖ エネルギー生成, 資源調査

- 応用分野

建設現場, 災害地, 農業, 山林, 地中, 海底, 宇宙

小型複数ロボットが活躍する分野

- 複数の小型ロボットで新しいミッションを創出

- 1台の大型ロボットより有利な分野

- ❖ 広域環境モニタリング

- ❖ インフラ構築

- ❖ 人や生活をサポートするシステム

- ❖ 地中・海中探査

- ❖ エネルギー生成, 資源調査

- 応用分野

建設現場, 災害地, 農業, 山林, 地中, 海底, 宇宙

◆環境モニタリングシステムの構築（新規）

環境認識，地図生成，自己位置同定，通信ネットワーク，センサ，電源システムなどの要素技術と分散協調手法を統合し，3年後に環境モニタリングシステムの実用化をめざす．

- 宇宙探査では，極域，永久影，地下，崖の上/下，巨大な岩の上など，未踏峰探査を実現する．
- 地上探査では，建設現場や配管・地中の点検調査，災害地調査，海洋探査などへの応用を実現する．

RFPに向けた課題設定(アイデア型)

◆インフラの自動構築・協調作業(新規)

- ・エネルギーステーション, 通信ステーション構築
- ・コンパクトに輸送できる展開技術・Inflatable
- ・協調による作業

◆多様な移動・作業を可能とする変形技術(新規)

- ・トランスフォーマ可能な形態
- ・移動知, 環境適応型, ソフトロボティクス

RFI 求める情報

- ・人工知能・自動化技術(自動記録, ビッグデータ処理)
- ・自動組立, 展開, 変形, 群ロボット
- ・フィルム型展開機構(車輪, アンテナ, SAP, Tower)
- ・画像認識(材料識別), センサフュージョン
- ・SLAM, 高感度カメラ, 知的カメラ, FPGA高速処理
- ・ワイヤレス電力伝送(長距離, 軽量)
- ・無線による測位システム, 通信ネットワーク
- ・飛行ロボット(翼, プロペラ, 超軽量, 電源, モータ)
- ・ソフトロボティクス, ハンドリング, 特殊ポンプ
- ・吸着と把持(ヤモリ)
- ・人工筋肉によるアシスト・トレーニング
- ・モータコア(鉄損軽減), ベアリング, システム化

研究課題の設定手順

広くご意見をいただく仕組み

<地上と宇宙の共通技術課題の認識・収集・議論>

- ・課題設定ワークショップ
- ・技術提案要請(RFI, 随時受付)
- ・宇宙探査オープンイノベーションフォーラム

外部コミュニティとの連携：
日本機械学会, 日本ロボット学会等との定期的な意見交換など

<次回以降の研究募集(アイデア, 課題解決)>

- ・研究提案募集(RFP)
- ・テーマ選定
- ・研究調整、チーム編成

研究テーマ：
地上と宇宙の共通課題

チーム編成：
今まで宇宙開発に関わりのなかった企業の皆様を中心に

・共同研究開始

期間: 1～3年, 資金: 500万～1億／年

今後の予定

宇宙探査オープン・イノベーションフォーラム

- 12月12日(火)東京(本日)
- 12月15日(金)大阪(東京と同じ)

第4回RFPに向けた情報提供要請(RFI)

- 2018年1月25日(木)17時締切

フォーラムでの議論, およびRFIに基づき,
第4回RFPを発出予定