

目 次 C O N T E N T S



はじめに

- 002 | 「太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けたオープンイノベーションハブ」について
- 003 | 宇宙と地上の融合によるイノベーション



採択一覧・研究領域概要

- 006 | 一覧
- 008 | 広域未踏峰探査技術
- 010 | 自動・自律型探査技術
- 012 | 地産・地消型探査技術
- 014 | 共通技術



研究課題概要

- 018 | 広域未踏峰探査技術
- 036 | 自動・自律型探査技術
- 046 | 地産・地消型探査技術
- 060 | 共通技術



参 考

- 074 | 探査ハブの他機関との連携関係構築状況
- 075 | 実施規模
- 076 | メディア掲載実績

「太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けたオープンイノベーションハブ」について

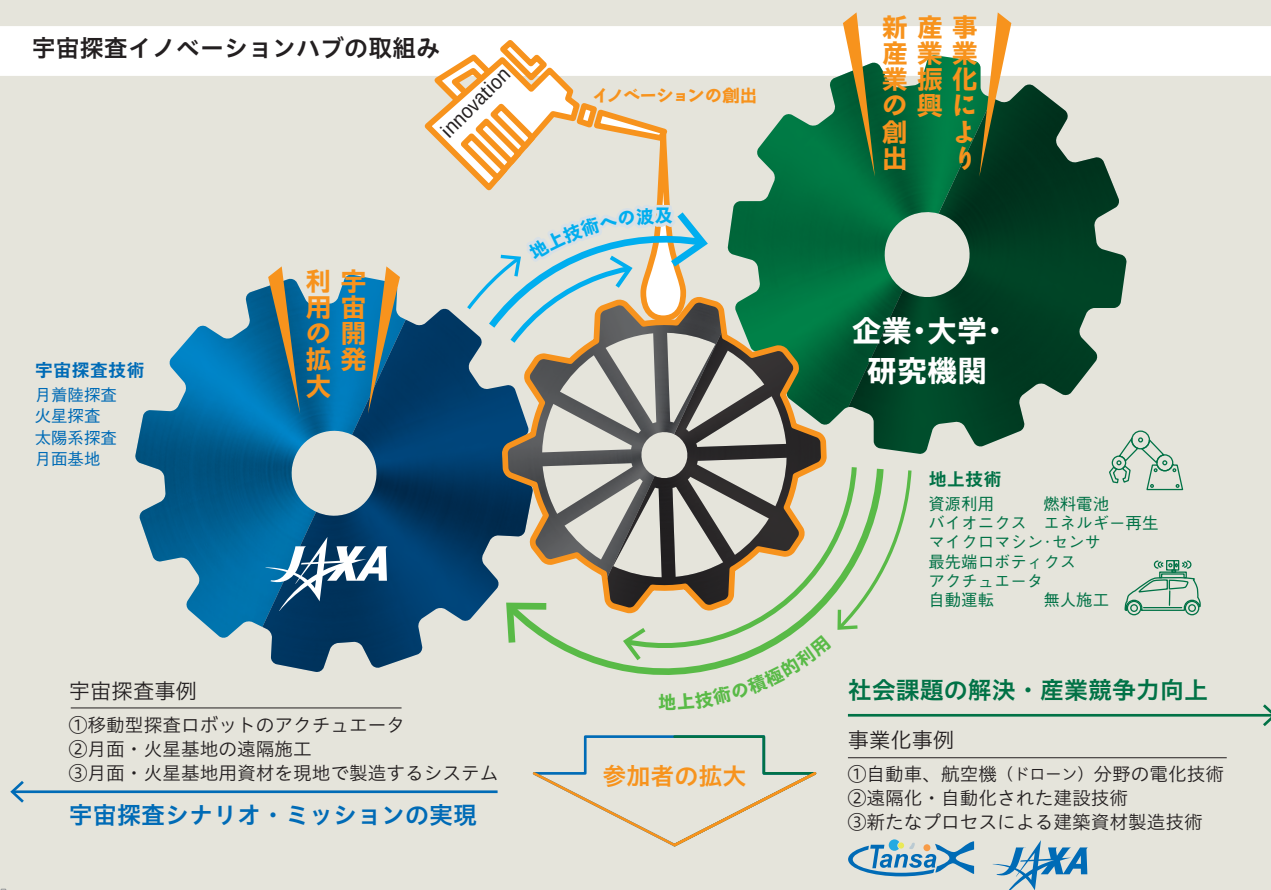
「科学技術イノベーション総合戦略2014」～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～(平成26年6月24日 閣議決定)という国の方針が示され、この中で、公的研究機関の「強み」や地域の特性を生かして、イノベーションハブの形成に取り組むことが求められました。

これを受け、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) でも、様々な異分野の人材・知識を集めた組織を構築し、これまでにない新しい体制や取組でJAXA全体に研究の展開や定着を目指すため、平成27年4月1日に、「宇宙探査イノベーションハブ」が新しく設置、相模原キャンパス内に場所を構え、約30人(併任等含む)で新しい活動に取り組み、宇宙探査によるイノベーションが期待できる環境が整ってきました。

宇宙探査の進展により人類の生存圏・活動領域を拡大することは、新たな宇宙開発利用の価値創出に繋がります。今後10～20年の宇宙探査は、民間企業を含む多様なプレーヤーが参画し、国際協働・競争による月・火星への探査に向けた活動を中心に進められようとしており、2020年代には、主要国は月・火星へと活動展開する計画を有し、宇宙利用の国際競争が激化します。

宇宙探査を優位に牽引・協調するには、設計思想や技術開発方向の転換を図り、革新的技術をオールジャパン体制で獲得する必要があります。宇宙探査ハブでは、民間企業を含めた多種多様なプレーヤーが月・火星への利用に参画する姿を描き、「はやぶさ」等の技術の強みと合わせて、非連続かつ大胆な分散協調型の方式開発や先行地上技術の宇宙実装など、既存概念にとらわれないシステム改革を推進します。さらに国民経済への貢献など研究開発の出口を明確にするため、研究課題の設定の段階から民間企業等からのニーズを取り込んで研究開発を進めます。

宇宙探査イノベーションハブの取組み



宇宙と地上の融合によるイノベーション



建てる

- 遠隔施工による無人建設
- 軽くて大きな建設機械

探る

- 昆虫型ロボットによる広域探査
- 小さくてもパワーの出せるモーター
- 僅かな水を検知するセンサー

作る

- 水を使わないコンクリート
- 砂からの資源抽出（水や鉱物）

住む

- 再生可能な燃料電池
- 燃料保存断熱タンク
- 植物生産
- 放射線防御

日本が得意とする地上の最先端技術の応用

現地生産資材

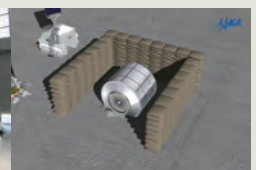
建機の遠隔操作



地上の産業競争力向上

災害用ロボット

無人施工技術



日本が得意とする技術を発展

宇宙探査に応用

地上の産業競争力も向上

© 東急建設、© 鹿島建設、© 四国新聞、© JAXA

情報提供要請 (RFI: Request for Information) とは

オープンイノベーションハブ※事業として着手すべき技術課題(研究テーマ)の設定にあたり、広く皆様に関連技術情報の提供を求めるもので、研究課題のご提案を通年・随時受け付けております。

提出先 se-forum@jaxa.jp

研究提案募集 (RFP: Request for Proposal) とは

広く皆様に関連技術情報の提供を求める「情報提供要請(RFI)」を基に、宇宙探査イノベーションハブにおいて共同研究課題を設定し、参加を希望される皆様の募るものです。

<これまでのスケジュール>

第1回RFP 募 集：平成27年11月12日～11月25日

採択公表：平成28年1月14日

第2回RFP 募 集：平成28年6月9日～7月6日

採択公表：平成28年10月14日

第3回RFP 募 集：平成29年3月30日～5月15日

採択公表：平成29年9月1日

第4回RFP 募 集：平成30年4月20日～6月5日

※オープンイノベーションハブとは国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)「イノベーションハブ構築支援事業」において、JAXAが採択された課題「太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けたオープンイノベーションハブ」の略称です。

採択一覧・研究領域概要



課題解決型 Solution Creating Research

※目指す技術が明確になっているもの
※3年程度（上限5年）で、総額1～3億円で研究を実施

回	No 分野	研究分野 研究テーマ	実施機関
第1回 RFP	1s-1 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発 パワー密度が世界最高の小型アクチュエータの開発	新明和工業株式会社、大分大学 茨城大学、日本文理大学、静岡大学
	1s-2 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発 次世代アクチュエータ用超小型高精度絶対角度センサ変調レゾルバの開発	エクストコム株式会社
	1s-3 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発 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
	1s-4 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発 超高出力密度を実現する流体系スマートアクチュエータシステムの開発と実用化検討	株式会社明治ゴム化成、中央大学
	1s-5 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発 マルチステータ型耐環境高効率電磁モータの研究	アダマンド並木精密宝石株式会社
	1s-6 自動・自律型探査技術	拠点建設を実現する遠隔施工システム 遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実現	鹿島建設株式会社、芝浦工業大学 電気通信大学、京都大学
	1s-7 自動・自律型探査技術	軽量化建機 超軽量建機アタッチメントおよびブーム等の開発および実地検証	株式会社タグチ工業、東京農工大学
	1s-8 地産・地消型分野	水氷のセンシング技術の研究 小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究	株式会社センテナシア、大阪大学
	1s-9 地産・地消型分野	月面における建設資材の現地生産技術 液体を使わない建設資材の現地生産技術の研究	東急建設株式会社 東京都市大学、日東製網株式会社
	1s-10 地産・地消型分野	月面における建設資材の現地生産技術 現地資源からの建設資材の製造システム	三菱マテリアル株式会社、北海道大学、山口大学 株式会社大林組、有人宇宙システム株式会社 株式会社IHI、株式会社IHIエアロスペース
	1s-11 共通技術	移動体搭載用の燃料再生可能な燃料電池システム 移動体搭載用の燃料再生可能な燃料電池システム用超高压複合容器製造技術	中国工業株式会社、九州工業大学 産業技術総合研究所
	1s-12 共通技術	革新的蓄電池技術の実現 全固体リチウムイオン二次電池の開発	日立造船株式会社
	1s-13 共通技術	低コスト半導体アンプの開発 固体化マリンレーダーの開発	株式会社光電製作所 株式会社東洋技術工業
	1s-14 共通技術	長距離光通信モデムの開発 長距離空間光通信を実現する光通信モジュールに関する研究	ソニー株式会社
第2回 RFP	2s-1 地産・地消型分野	高感度・高精度ガスセンサ ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究	神栄テクノロジー株式会社産業技術総合研究所 大阪大学、茨城大学、鹿児島大学
	2s-2 地産・地消型分野	水の効率的な分離技術 マイクロ波凍結乾燥技術（氷から水をつくる技術）	マイクロ波化学株式会社 東京工業大学
	2s-3 共通技術	超高感度距離画像センサの開発 超高感度二次元同時距離計測センサの開発	浜松ホトニクス株式会社
第3回 RFP	3s-1 広域未踏峰探査技術	次世代アクチュエータの研究開発（加速テーマ） 小型・軽量化のためのMHz帯駆動DC-DCコンバータの先進要素開発	株式会社イチカフ、信州大学 大阪大学
	3s-2 自動・自律型探査技術	遠隔・自動施工可能な軽量建機システム 遠隔操作およびアタッチメントの自動脱着可能な軽量建機システムの開発と実地検証	株式会社タグチ工業、東京農工大学
	3s-3 自動・自律型探査技術	拠点構造物の建築・拡張・維持の省力化 持続可能な新たな住宅システムの構築	株式会社ミサワホーム 株式会社ミサワホーム総合研究所
	3s-4 自動・自律型探査技術	アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討 アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討	日特建設株式会社、立命館大学
	3s-5 共通技術	次世代太陽電池デバイスの実現 高効率・低コスト・軽量薄膜ペロブスカイト太陽電池デバイスの高耐久化開発	桐蔭横浜大学、兵庫県立大学、紀州技研工業株式会社 ベクセル・テクノロジーズ株式会社、株式会社リコー

アイデア型

Ideas Incubating research

*未知の技術やアイデアを発掘のために実施するもの
*1年程度で、100～500万円で研究を実施

回	No 分野	研究分野 研究テーマ	実施機関
第1回 RFP	1i-1 広域未踏峰探査技術	昆虫ロボットの研究開発 地中・地表面探査を目的とした昆虫タイプ小型移動ロボット	中央大学 プログレス・テクノロジーズ株式会社
	1i-2 広域未踏峰探査技術	昆虫ロボットの研究開発 不整地を歩行・跳躍探査する昆虫型ロボットのプロトタイプ開発	株式会社iSpace、東北大学
	1i-3 広域未踏峰探査技術	昆虫ロボットの研究開発 小型ロボット技術 制御技術	株式会社タカラトミー
	1i-4 広域未踏峰探査技術	分散協調システムの研究 複数の非駆動型探査機のフォーメーション制御による高効率・低コスト広域探査技術	東北大学
	1i-5 広域未踏峰探査技術	分散協調システムの研究 超分散ロボット群による三角測量に基づく自己位置推定と地図生成	会津大学
	1i-6 広域未踏峰探査技術	環境適応型ロボットの知能化研究 環境適応型不整地自律走行プラットフォームの研究	株式会社竹中工務店 株式会社竹中土木
	1i-7 広域未踏峰探査技術	環境適応型ロボットの知能化研究 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	東京大学、THK株式会社
	1i-8 自動・自律型探査技術	地盤推定手法の確立 スクリュードライビングサウンディング(SDS)による月面地盤調査技術の確立	東京都市大学、ジャパンホームシールド株式会社 日東精工株式会社、東急建設株式会社
	1i-9 自動・自律型探査技術	地盤推定手法の確立 アースオーガによる地盤掘削時の施工情報を利用した地盤定数推定法	立命館大学、日特建設株式会社
	1i-10 自動・自律型探査技術	自重に依存しない締固め手法の研究 締固め困難材料に対する振動等を用いた効果的な締固め方法と走行安定性の検証	酒井重工業株式会社
	1i-11 地産・地消型分野	資源利用プロセス技術の研究 砂や火山灰の形成技術	モルタルマジック株式会社
	1i-12 地産・地消型分野	資源利用プロセス技術の研究 火成岩あるいは粘土鉱物を主体とする土質材料からの建設材料の作製	株式会社大林組
	1i-13 地産・地消型分野	資源利用プロセス技術の研究 月土壌の水素還元システムの構築 - 低品位原料の工業的利用を目指して -	九州大学、若狭湾エネルギー研究センター ヒロセ・ユニエンス株式会社
	1i-14 地産・地消型分野	資源利用プロセス技術の研究 プラズマ・触媒ナノ粒子複合反応場によるCO ₂ 資源化技術の開発	九州大学
	1i-15 共通技術	革新的移動機構を備えた共通台車の設計 多目的全方向移動クローラー共通台車の設計	トビー工業株式会社、福井大学 有人宇宙システム株式会社、東北大学
第2回 RFP	2i-1 広域未踏峰探査技術	小型UAVの基本性能の解明 大型マルチロータ機のココンパクト化の研究	ヤンマー株式会社、大阪府立大学 名古屋大学
	2i-2 自動・自律型探査技術	構造物の無人による建築技術 建築分野の無人化施工に関するシステム検討	清水建設株式会社
	2i-3 共通技術	様々な衝突衝撃緩和のための軽量衝撃吸収構造材の開発 マルチスケール構造制御による最適設計可能な衝撃吸収金属材料の理論構築と実用化検討	株式会社ロータスマテリアル研究所
	2i-4 共通技術	様々な衝突衝撃緩和のための軽量衝撃吸収構造材の開発 ポーラスAlの気孔構造制御による軽量衝撃吸収材料の開発	名古屋大学
	2i-5 共通技術	極低温液化ガスの長期保存のための真空多層断熱材の研究開発 カーボンナノチューブ/シリカ多孔体コンポジット材料による軽量断熱材料の開発	名古屋大学、株式会社LIXIL 株式会社名城ナノカーボン
	2i-6 共通技術	極低温液化ガスの長期保存のための真空多層断熱材の研究開発 極低温領域を想定した高性能断熱材および軽量な真空断熱構造の開発	有限会社オービタルエンジニアリング
第3回 RFP	3i-1 広域未踏峰探査技術	環境探査システムの構築 フィールドのエネルギーを利用した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、日本大学
	3i-2 広域未踏峰探査技術	環境探査システムの構築 異種・複数小型ロボットを用いた確率の領域誘導による環境探査システムと要素技術の検討	中央大学 プログレス・テクノロジーズ株式会社
	3i-3 広域未踏峰探査技術	探査ロボットのための画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究 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
	3i-4 広域未踏峰探査技術	探査ロボットのための画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究 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
	3i-5 自動・自律型探査技術	自動掘削シミュレーション 効率的なバケット掘削のための地盤情報取得技術	東北大学、清水建設株式会社
	3i-6 地産・地消型探査技術	植物生産へ適用可能なタンパク質素材の開発 植物生産へ適用可能な高性能人工構造タンパク質素材の開発	Spiber株式会社
	3i-7 地産・地消型探査技術	月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証 袋培養技術を活用した病虫害フリーでかつ緊急時バックアップも可能な農場システムの研究	株式会社竹中工務店、キリン株式会社 千葉大学、東京理科大学
	3i-8 地産・地消型探査技術	月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証 穀物増産を実現する種子へのプラズマ大量処理技術開発	九州大学、ケニックス株式会社
	3i-9 地産・地消型探査技術	月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証 月面農場における高カロリー作物栽培システムの要素技術開発	千代田化工建設株式会社 メビオール株式会社
	3i-10 地産・地消型探査技術	月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証 摂食可能なジャガイモの完全閉鎖型・完全水耕型人工栽培システムの基礎検討	玉川大学 パナソニック株式会社エコソリューションズ社
	3i-11 共通技術	高感度放射線検出デバイスの開発 光電変換材料を用いた高感度放射線検出デバイスの開発	桐蔭横浜大学 ベクセル・テクノロジーズ株式会社

3つの研究分野

『広域未踏峰』探査技術

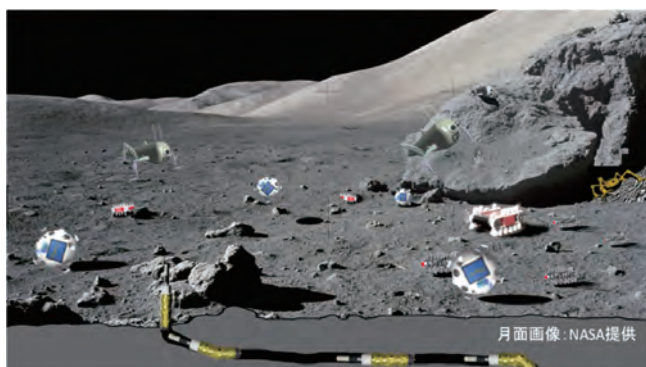
目的・チャレンジする課題

従来の大型探査機では時間とコストがかかり、また、探査の機会が少ないため、探査場所が限定される。そこで、一点豪華主義から分散協調型への発想の転換を行い、複数の小型探査機により機能の分散を行うことで、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する。探査手法に革新を起こし、我が国が誇るロボット技術を融合させた独自の探査技術を創出し、世界を牽引する宇宙探査を実現する。

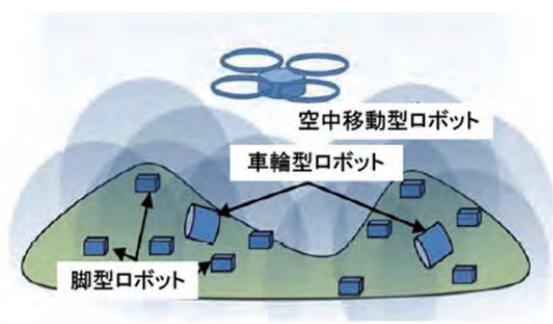
具体的には、多数の小型ロボットを1回のロケットで打ち上げ、月や火星表面10km四方に配置、分散されたロボットが協調し、高度な観測や協調作業、位置同定、信頼性確保などを行う、『探査が一挙にできる』革新的な技術の獲得を目指す。

地上における利用

火山、台風、災害など自然現象の新たな観測システムの構築、工場内のプラントや大型構造物の計測や検査など地球上の広域自動観測分野への応用が期待される。



生物模倣型探査ロボットによる分散協調探査（イメージ図）



火山地域の観測・モニタ（イメージ図）

【課題解決型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
次世代アクチュエータの研究開発	新明和工業(株) 大分大学 茨城大学 日本文理大学 静岡大学
パワー密度が世界最高の小型アクチュエータの開発	
次世代アクチュエータ用超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバの開発	エクストコム(株)
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)安川電機
超高出力密度を実現する流体系スマートアクチュエータシステムの開発と実用化検討	(株)明治ゴム化成 中央大学
マルチステータ型耐環境高効率電磁モータの研究	アダマンド並木精密宝石(株)

第2回RFP

研究名称	機関名称
募集なし	

第3回RFP

研究名称	機関名称
次世代アクチュエータの研究開発（加速テーマ）	
小型・軽量化のためのMHz帯駆動DC-DCコンバータの先進要素開発	(株)イチカワ 信州大学 大阪大学

Three areas of research Exploration technology in a wide range of unexplored areas

【アイデア型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
昆虫ロボットの研究開発	
地中・地表面探査を目的とした昆虫タイプ小型移動ロボット	中央大学 プログレス・テクノロジーズ(株)
不整地を歩行・跳躍探査する昆虫型ロボットのプロトタイプ開発	(株) ispace 東北大学
小型ロボット技術 制御技術	(株)タカラトミー
分散協調システムの研究（群知能・制御）	
複数の非駆動型探査機のフォーメーション制御による高効率・低コスト広域探査技術	東北大学
超分散ロボット群による三角測量に基づく自己位置推定と地図生成	会津大学
環境適応型ロボットの知能化研究	
環境適応型不整地自律走行プラットフォームの研究	(株)竹中工務店 (株)竹中土木
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	東京大学 THK(株)

第2回RFP

研究名称	機関名称
小型UAVの基本運動性能の解明	
大型マルチロータ機のコンパクト化の研究	ヤンマー(株) 大阪府立大学 名古屋大学

第3回RFP

研究名称	機関名称
環境探査システムの構築	
フィールドのエネルギーを利用した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 日本大学
異種・複数小型ロボットを用いた確率的領域誘導による環境探査システムと要素技術の検討	中央大学 プログレス・テクノロジーズ(株)
探査ロボットのための画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究	
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)アイヴィス (株)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)コンセプト (株)モルフォ

3つの研究分野

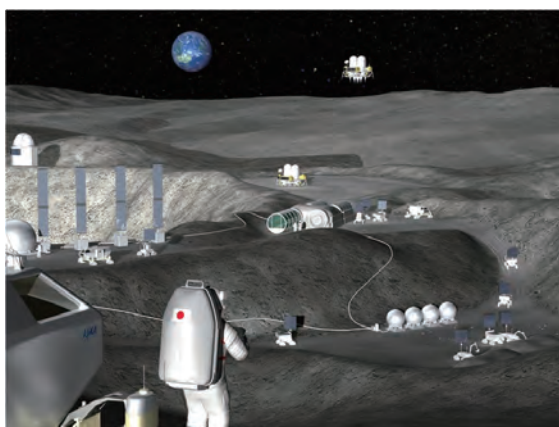
『自動・自律型』探査技術

目的・チャレンジする課題

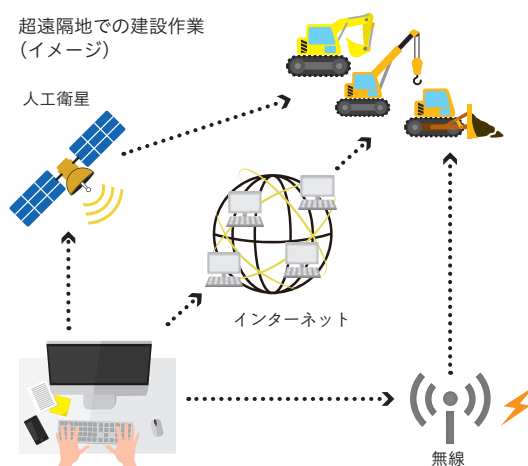
将来の月あるいは火星表面に構築される有人拠点の構築技術の獲得を目指す。
 月や火星には人を多数送りこめないことから、拠点の建設は原則無人で行うことが想定される。
 地球からの全指令型システムから脱却し、現地で周囲情報の収集・認識を行い、遠隔操作と自動・自律を高度に組み合わせた建設技術の獲得が課題である。その実現には、ICT技術や環境認識技術等の様々な技術が必要であり、地上で実績のある技術の適用が期待される。

地上における利用

ここで作り出した技術により、人と機械を効率的に組み合わせることで、遠隔地作業等の新たな展開を目指す。



月での無人による有人拠点建設のイメージ図



【課題解決型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
拠点建設を実現する遠隔施工システム	
遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実現	鹿島建設(株) 芝浦工業大学 電気通信大学 京都大学
軽量化建機	
超軽量建機アタッチメントおよびブーム等の開発および実地検証	(株)タグチ工業 東京農工大学

第2回RFP

研究名称	機関名称
採択なし	

第3回RFP

研究名称	機関名称
遠隔・自動施工可能な軽量建機システム	
遠隔操作およびアタッチメントの自動脱着可能な軽量建機システムの開発と実地検証	(株)タグチ工業 東京農工大学
拠点構造物の建築・拡張・維持の省力化	
持続可能な新たな住宅システムの構築	ミサワホーム(株) (株)ミサワホーム総合研究所
アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討	
アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討	日特建設(株) 立命館大学

Three areas of research Automatic and autonomous exploration technology

【アイデア型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
地盤推定手法の確立	
スクレイドライビングサウンディング（SDS）による 月面でも利用可能な地盤調査技術の確立	東京都市大学 ジャパンホームシールド(株) 日東精工(株) 東急建設(株)
アースオーガによる地盤掘削時の施工情報を利用した地盤定数推定法	立命館大学 日特建設(株)
自重に依存しない締固め手法の研究	
締固め困難材料に対する振動等を用いた効果的な締固め方法と走行安定性の検証	酒井重工業(株)

第2回RFP

研究名称	機関名称
構造物の無人による建築技術	
建築分野の無人化施工に関するシステム検討	清水建設(株)

第3回RFP

研究名称	機関名称
自動掘削シミュレーション	
効率的なバケット掘削のための地盤情報取得技術	東北大学 清水建設(株)

3つの研究分野

『地産・地消型』探査技術

目的・チャレンジする課題

月・火星へは、地球低軌道と比較して、輸送コストが10倍程度となる。そのため、必要な物資を「地球からすべて運ぶ」という探査のやり方を改め、必要な物資を「現地で調達する」というパラダイム転換を行い、月や火星での持続的活動を可能とする。我が国が得意とする省エネルギー、リサイクル技術、資源精製技術、農業・バイオ技術等を応用し、必要な物資を現地の資源やエネルギーを利用して、効率的に精算できるシステムの獲得を目指す。

地上における利用

これまで未利用だった低質資源の有効利用、環境負荷の少ない物資生産、離島・へき地などでの資材の現地生産、効率的な食糧生産などへの適用を図る。



アポロ 現地調達：なし、再利用：なし



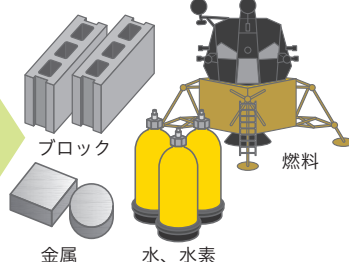
ISS 現地調達：電力、再利用：一部



今後 現地調達：あり、再利用：あり

月の表土（レゴリス）
（写真は月面模擬土壌）

- ▶ 質の低い資源を有効に利用する技術
- ▶ 資源の掘削や運搬を効率的に行う技術
- ▶ リユース・リサイクル技術 等



月面農場（イメージ図）

【課題解決型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
水氷のセンシング技術の研究	(株)センテナ 大阪大学
小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究	
月面における建設資材の現地生産技術	東急建設(株) 東京都市大学 日東製網(株)
液体を使わない建設資材の現地生産技術の研究	
現地資源からの建設資材の製造システム	三菱マテリアル(株) 北海道大学 山口大学 (株)大林組 有人宇宙システム(株) (株)IHI (株)IHIエアロスペース

第2回RFP

研究名称	機関名称
高感度・高精度ガスセンサ	神栄テクノロジー(株) 産業技術総合研究所 大阪大学 茨城大学 鹿児島大学
ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究	

Three areas of research In-situ resource utilization (ISRU) technology

研究名称	機関名称
水の効率的な分離技術 マイクロ波凍結乾燥技術（氷から水をつくる技術）	マイクロ波化学(株) 東京工業大学

第3回RFP

研究名称	機関名称
採択なし	

【アイデア型】

第1回RFP

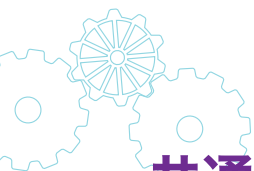
研究名称	機関名称
資源利用プロセス技術の研究 砂や火山灰の形成技術の研究	モルタルマジック(株)
火成岩あるいは粘土鉱物を主体とする土質材料からの建設材料の作製	(株)大林組
月土壌の水素還元システムの構築 一低品位原料の工業的利用を目指してー	九州大学 若狭湾エネルギー研究センター ヒロセ・ユニエンス(株)
プラズマ・触媒ナノ粒子複合反応場によるCO ₂ 資源化技術の開発	九州大学

第2回RFP

研究名称	機関名称
採択なし	

第3回RFP

研究名称	機関名称
植物生産へ適用可能なタンパク質素材の開発 植物生産へ適用可能な高性能人工構造タンパク質素材の開発	Spiber(株)
月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証 袋培養技術を活用した病虫害フリーで かつ緊急時バックアップも可能な農場システムの研究	(株)竹中工務店 キリン(株) 千葉大学 東京理科大学
穀物増産を実現する種子へのプラズマ大量処理技術開発	九州大学 ケニックス(株)
月面農場における高カロリー作物栽培システムの要素技術開発	千代田化工建設(株) メビオール(株)
摂食可能なジャガイモの完全閉鎖型・完全水耕型人工栽培システムの基礎検討	玉川大学 パナソニック(株) エコソリューションズ社



共通技術

目的・チャレンジする課題

エネルギー技術、表面移動技術、通信技術、センサ技術等、宇宙探査活動に共通して必要となる技術の獲得を行う。
またこれらの技術は、地上の技術と親和性が高く、地上においても革新を起こすことを目指す。

【課題解決型】

第1回RFP

研究名称	機関名称
移動体搭載用の燃料再生可能な燃料電池システム	
移動体搭載用の燃料再生可能な燃料電池システム用超高压複合容器製造技術	中国工業(株) 九州工業大学 産業技術総合研究所
革新的蓄電池技術の実現	
全固体リチウムイオン二次電池の開発	日立造船(株)
低コスト半導体アンプの開発	
固体化マリンレーダーの開発	(株)光電製作所 (株)東洋技術工業
長距離光通信モデムの開発	
長距離空間光通信を実現する光通信モジュールに関する研究	ソニー(株)

第2回RFP

研究名称	機関名称
超高感度距離画像センサの開発	
超高感度二次元同時距離計測センサの開発	浜松ホトニクス(株)

第3回RFP

研究名称	機関名称
次世代太陽電池デバイスの実現	
高効率・低コスト・軽量薄膜ペロブスカイト 太陽電池デバイスの高耐久化開発	桐蔭横浜大学 兵庫県立大学 紀州技研工業(株) ベクセル・テクノロジーズ(株) (株)リコー

【アイデア型】

第1回RFP

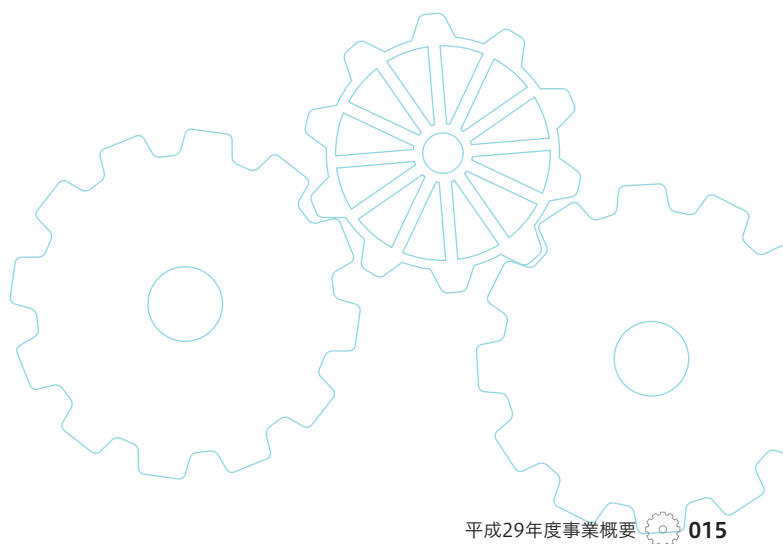
研究名称	機関名称
革新的移動機構を備えた共舞台車の設計	
多目的全方向移動クローラー共舞台車の設計	トピー工業(株) 福井大学 有人宇宙システム(株) 東北大学

第2回RFP

研究名称	機関名称
様々な衝突衝撃緩和のための軽量衝撃吸収構造材の開発	
マルチスケール構造制御による最適設計可能な衝撃吸収金属材料の理論構築と実用化検討	(株)ロータスマテリアル研究所
ポーラスAlの気孔構造制御による軽量衝撃吸収材料の開発	名古屋大学
極低温液化ガスの長期保存のための真空多層断熱材の研究開発	
カーボンナノチューブ/シリカ多孔体コンポジット材料による 軽量断熱材料の開発	名古屋大学 (株)LIXIL (株)名城ナノカーボン
極低温領域を想定した高性能断熱材および軽量の真空断熱構造の開発	(有)オービタルエンジニアリング

第3回RFP

研究名称	機関名称
高感度放射線検出デバイスの開発	
光電変換材料を用いた高感度放射線検出デバイスの開発	桐蔭横浜大学 ペクセル・テクノロジーズ(株)



研究課題概要



課題名 | パワー密度が世界最高の小型アクチュエータの開発

機関名：新明和工業株式会社、大分大学、茨城大学、日本文理大学、静岡大学

プロジェクト概要

【目的】

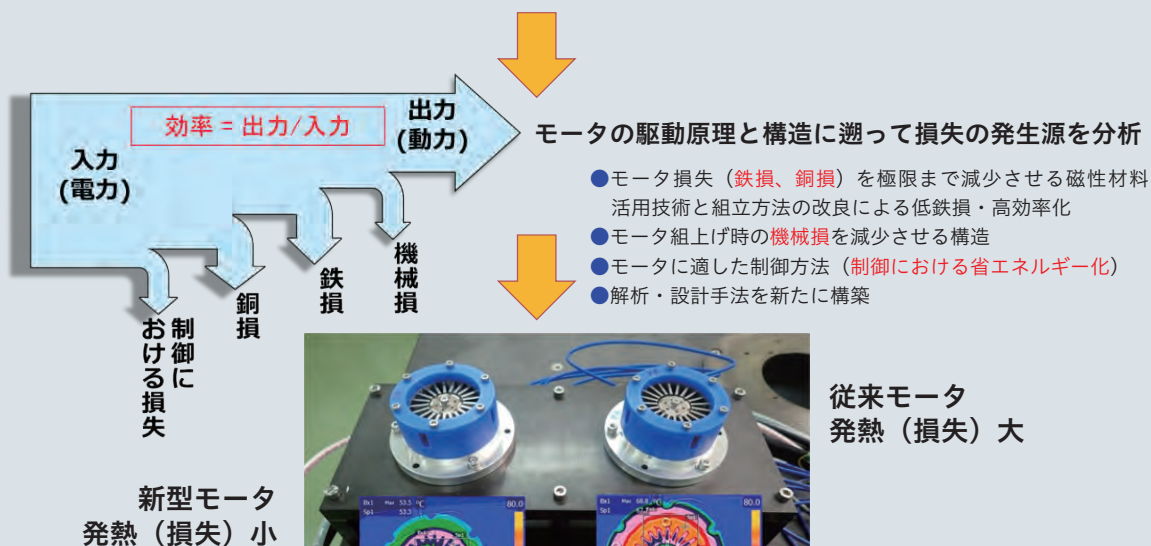
従来のモータ製作方法を踏襲し、大電力を送り込んでパワー密度を上げる方法には限界がある。そこで、モータの駆動原理と構造に遡って損失の発生源を分析し、モータ損失を極限まで減少させる磁性材料、組立方法、機械損を減少させる構造、モータに適した制御方法、ならびに解析・設計手法を新たに構築することでパワー密度が世界最高の性能を達成する。

本研究課題はモータ本体の高効率化に正面から取り組むことにより、アクチュエータの設計・製造方法に革命を起こし、ブレークスルーを引き起こす技術を生み出す。

【内容】

- ①ステータを構成する磁性材料の性能改善により10,000rpmの高周波領域においてモータ鉄損の40%削減を達成した。
- ②パワー密度向上に向けて、巻線密度を従来の1.3倍に高める巻線を開発している。
- ③軸受け構造を改善した、機械損が従来の1/2に減少する軸受けを開発している。
- ④高速回転モータに適した制御装置を開発中である。
- ⑤質量50gで出力50Wの1次試作機を開発し、性能試験を実施している。
- ⑥目標達成に向けて質量25gで50Wの2次試作機を検討している。

従来のモータは、大電力を送りこみ効率（発熱）を犠牲にして、高いパワー密度を達成している
→決して**効率の良いモータではない**。



1次試作



2次試作
目標
質量あたり
定格出力
50W/25g

課題名 | 次世代アクチュエータ用超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバの開発

機関名：エクストコム株式会社

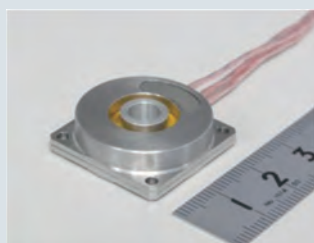
プロジェクト概要

【目的】

アクチュエータに使用される角度センサにも小型、高精度の絶対角度センサが求められている。これらの課題及びニーズに対応するため、独創的な構造の変調波レゾルバで超小型、高精度、高分解能を実現する絶対角度センサを開発・実用化する。すでに変調波レゾルバで従来技術以上に構造がシンプルで堅牢、振動、衝撃に強く悪環境での使用可能にもかかわらず、小型軽量、高精度、高分解能を同時に実現する絶対角度センサを開発しているが、本研究では従来技術より高精度なフォトリソ技術を活用し、外径φ20mm、分解能50万以上のレゾルバを開発する。

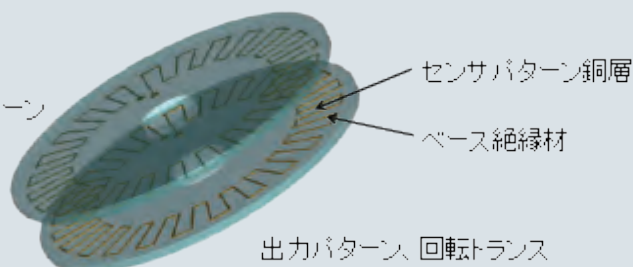
【内容】

- ①レゾルバコイルパターン製作方法の最適化開発
フォトリソ技術を活用して直径20mm、分解能50万以上のレゾルバを開発し、当初目標を達成した。
- ②入出力リード線の薄型化開発
入出力リード線のフレキシ化により厚さ2.5mmのリード線を開発した。
- ③レゾルバセンサ部の超小型化可能性の追求
直径4mm以下のレゾルバ開発の可能性を検討中である。
- ④ドライバ回路の小型化開発
□50mm、厚さ20mm以下、応答速度100kHz以上のドライバ回路を開発中である。
- ⑤小型化検討
モータドライバとレゾルバドライバコア処理部の共用一体化を検討している。



製品外形 □25mm
分解能 8192

励磁パターン



出力パターン、回転ランス

- ①レゾルバコイルパターン製作方法の最適化開発
- ②入出力リード線の薄型化開発
- ③レゾルバセンサ部の超小型化の見極め
- ④ドライバ回路の小型化開発
- ⑤モータドライバとレゾルバドライバコア処理部の共用一体化と小型化

目標
φ20mm
分解能524288



レゾルバは電磁誘導現象を利用し、回転角度や位置を検出するセンサで、回転または直進の変位を検出する磁気式のアブソリュートセンサです。レゾルバは構造が比較的簡単で丈夫、耐環境性に優れている等の利点があります。

第1回RFP 広域未踏峰探索技術／課題解決型

次世代アクチュエータの研究開発

課題名 | 医療福祉機器向け小型高トルクアクチュエータの開発

機関名：株式会社安川電機

プロジェクト概要

【目的】

提案者はいままでに足首アシスト装置などのアプリケーションに関節駆動ユニットを開発している。しかしながら、作業支援や麻痺脚歩行アシストなどの比較的大トルクを要求されるアクチュエータについては未開発である。そこで、本研究では、医療福祉機器向けの小型高トルクアクチュエータを開発する。小型高トルクアクチュエータと小型軽量の減速機を組み合わせ、減速機込みで質量1kg、最大トルク110Nmの扁平高トルクアクチュエータを実現する。併せて、本アクチュエータの駆動性能を向上する制御方式を開発する。

【内容】

- ①小型高トルクアクチュエータの開発
扁平さを確保しつつトルク密度を向上させるため、以下の項目を開発した。
- A) 瞬発的な大トルクを発生可能な小型モータを実現した。
 - B) 厚さ40mmの扁平な減速機を開発した。
 - C) 目標達成に向けて、厚さ40mmでトルク密度110Nm/1kgの小型高トルクアクチュエータを試作した。
- ②制御技術の開発
モータと減速機の組み合わせに最適な制御技術を確立した。

医療福祉機器(アシスト装置)に求められるトルクとアクチュエータ

アクチュエータの最大トルク

リハビリ 筋力補助

関節駆動ユニット

最大トルク 9N・m
質量 0.38kg



※ 第42回 国際福祉機器展
H.C.R.2015 出展

作業支援 麻痺脚歩行アシスト

小型高トルク
アクチュエータ

最大トルク 100N・m ~
質量 1kg ~



アシスト装置

開発項目と目標

1. 小型高トルク
アクチュエータの開発
2. 制御技術の開発

目標

扁平さを確保しつつトルク密度を向上

- ・ 扁平さ：40mm
⇒ 従来技術の2/3
- ・ トルク密度：110N・m/kg
⇒ 従来技術の2倍

課題名 | 超高出力密度を実現する流体系スマートアクチュエータシステムの開発と実用化検討

機関名：株式会社明治ゴム化成、中央大学

プロジェクト概要

【目的】

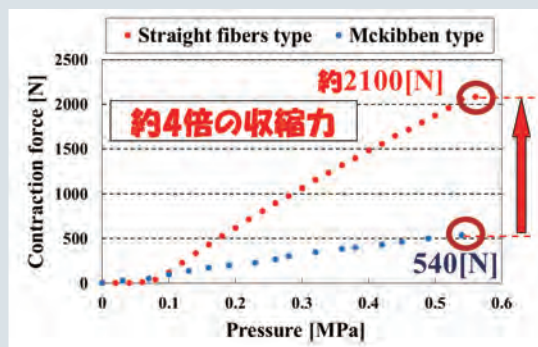
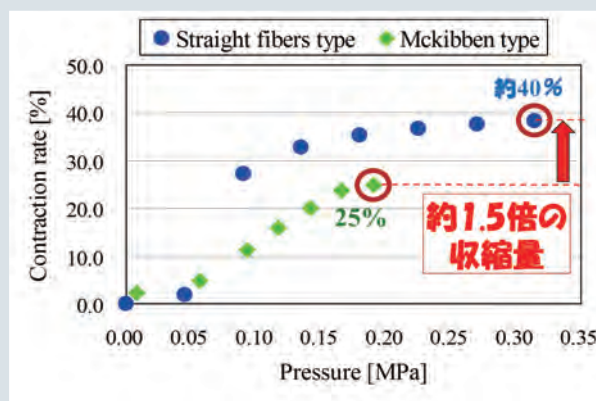
提案者が開発した軸方向繊維強化型人工筋肉は、ゴムチューブに内包されたマイクロカーボン繊維層が軸方向のみに配向された構造となっている。内部に流体圧を印可すると、軸方向には伸長せず半径方向のみに膨張するため、軸方向へ大きな収縮力が得られる。さらに瞬発力・振動制御・可変粘弾性等の従来のモータでは実現しがたい可変構造系の多様なモーションを、フィードフォワード制御のみで実現できると考えられる。本研究では、超高出力密度をもつ流体系アクチュエータである軸方向繊維強化型人工筋肉の品質仕様の確立を目的として、システム全体の小型軽量化と応用分野の実用化に必要な技術課題について検討を行う。

【成果】

軸方向繊維強化型人工筋肉は、安定した品質で製作することがMcKibben人工筋肉と比較して難しい。そこで、本研究では配合ゴム混練りおよび成型の現有設備を使用して、材料物性の優れる固体の配合ゴムを用いて人工筋肉を製造し、高出力密度化と品質安定を両立させる。高出力密度化と品質の安定を両立する人工筋肉の形状最適化のため、有限要素法によるシミュレーションを援用し人工筋肉の形状最適化を図った。人工筋肉の長さ対直径比を最適化すれば低圧駆動が可能となる。シミュレーションと試作アクチュエータの試験により出力を最大化し実用に耐える人工筋肉の長さ対直径比を検討し、以下の結果が得られた。

- ①McKibben型人工筋肉の3倍以上の発生力密度を有する人工筋肉を開発し、当初の目標を達成した。
- ②地上での応用を想定して新しい構造の人工筋肉を試作し、さらに発生力が向上することを確認した。

軸方向繊維強化型空気圧ゴム人工筋肉：世界最高レベル収縮力・収縮率



同形状の従来（McKibben型）のゴム人工筋との比較

課題目標

実用化可能な人工筋肉の品質確立
発生力：McKibben型人工筋肉の3倍以上

課題名 | マルチステータ型耐環境高効率電磁モータの研究

機関名：アダマンド並木精密宝石株式会社

プロジェクト概要

【目的】

本研究では、耐環境性（防水・防塵構造）をクリアできる小型高出力モータを実現する。提案者が開発したセンサレスブラシレス／複数（マルチ）ステータ構造モータの、小型で高出力化が可能な特長を活かし、質量400g以下で最大出力1kw以上かつ防水・防塵構造（IP56クリア）のマルチステータ型耐環境高効率電磁モータを開発する。また、モータの消費電力を最適化し、モータの効率的な運用を可能にする小型の制御回路を開発する。

【内容】

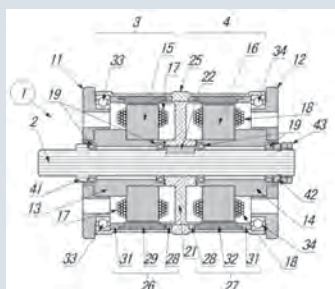
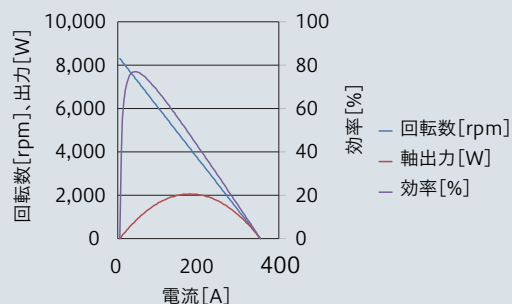
- ①マルチステータ型電磁アクチュエータの耐環境研究
防塵・防水性能IP56をクリアするマルチステータ型電磁アクチュエータを実現した。
- ②マルチステータ型電磁アクチュエータの放熱研究
防塵・防水性能を維持しつつアクチュエータ内部に熱がこもらない放熱性能を有するアクチュエータを開発した。
- ③個別制御回路の研究
モータの消費電力を最適化し、モータの効率的な運用を可能にする小型制御回路を開発中である。
- ④マルチステータ型電磁アクチュエータの開発
目標達成に向けて、最大出力1000W、質量435gのマルチステータ型電磁アクチュエータを開発した。

防水・防塵構造を施し、電源電圧24Vで出力1000W以上を達成しているモータは現時点ではない。

【1次試作品】



電圧	24V
最大電流	10A
質量	460g
最大入力	240W
最大出力	185W



特許第5292530号

目標

ダブルステータ式アウトロータの
防水・防塵モータを開発した
防水、防塵（IP56クリア）
最大出力 1000W
質量 435g

課題名 | 地中・地表面探査を目的とした昆虫タイプ小型移動ロボット

機関名：中央大学、プログレス・テクノロジーズ株式会社

プロジェクト概要

【目的】

複数の小型探査機（ロボット）を協調させることで、未踏峰地点の広範囲で密度の濃い探査を行うことを目指す。そこで、地中、表面などを移動しながら情報収集する探査システムを実現するために、以下の2点の技術を用いて、地上および地下に小型のロボットが分散されることによって3次元的な環境計測を行うシステムの一部を構築することを目指す。

- ①蠕動運動による小型埋没型地中内掘削ロボット
- ②ジャイロ効果を用いたはね付クローラの不整地走行安定化

小粒でも情報収集能力の高い探査ロボットを構築することにより、宇宙探査だけでなく、地上の配管検査、地盤調査、海底や災害地などの場所での情報収集を可能とする。

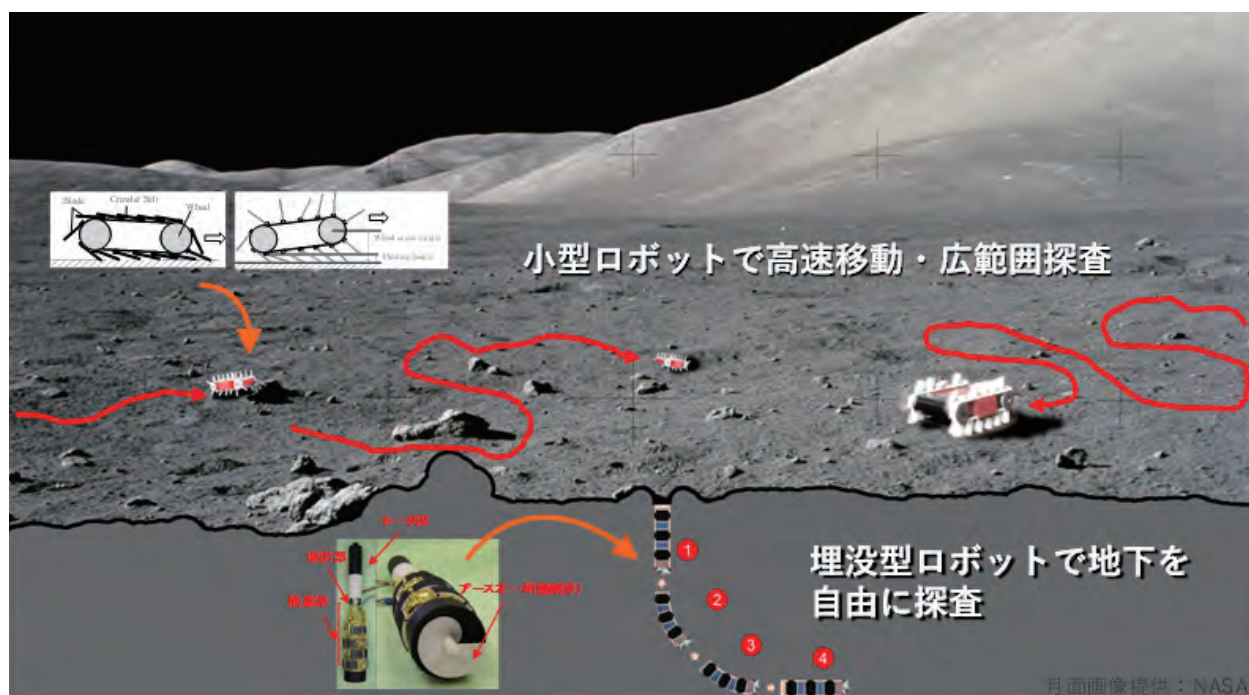
【成果】

- 蠕動運動による小型埋没型地中内掘削ロボット
(以下：ミミズ型掘削ロボット)

ミミズの蠕動運動を規範とした掘削ロボットを開発することで、従来の埋没型掘削ロボットよりも大幅に深い深度の掘削を目指している。特に本提案における新しい取り組みとして、掘削方向の制御が可能な機構の搭載を検討し、開発した。先端部に能動的な屈曲部を有しており、地中での3次元的な掘削移動が期待できる。本ロボットは、先端部の能動屈曲部の制御により目標の屈曲掘削を実現することができた。

- ジャイロ効果を用いたはね付クローラの不整地走行安定化（フナ虫ロボット）

情不整地走破性と移動速度を両立するシンプルな移動機構として、フナ虫やムカデ等の多足歩行を行う生物の歩行を規範とした小型移動型はね付きクローラを開発した。はね付きクローラ機構はステップ的に変化する地面傾斜への対応が困難であることから、それらの路面への走行切替を実現する安定化装置としてジャイロホイールを用いた安定化装置を開発し、従来のはね付きクローラに比べて走行が安定することを確認した。



第1回RFP 広域未踏峰探査技術／アイデア型

昆虫ロボットの研究開発

課題名 | 不整地を歩行・跳躍探査する昆虫型ロボットのプロトタイプ開発

機関名：株式会社ispace、東北大学

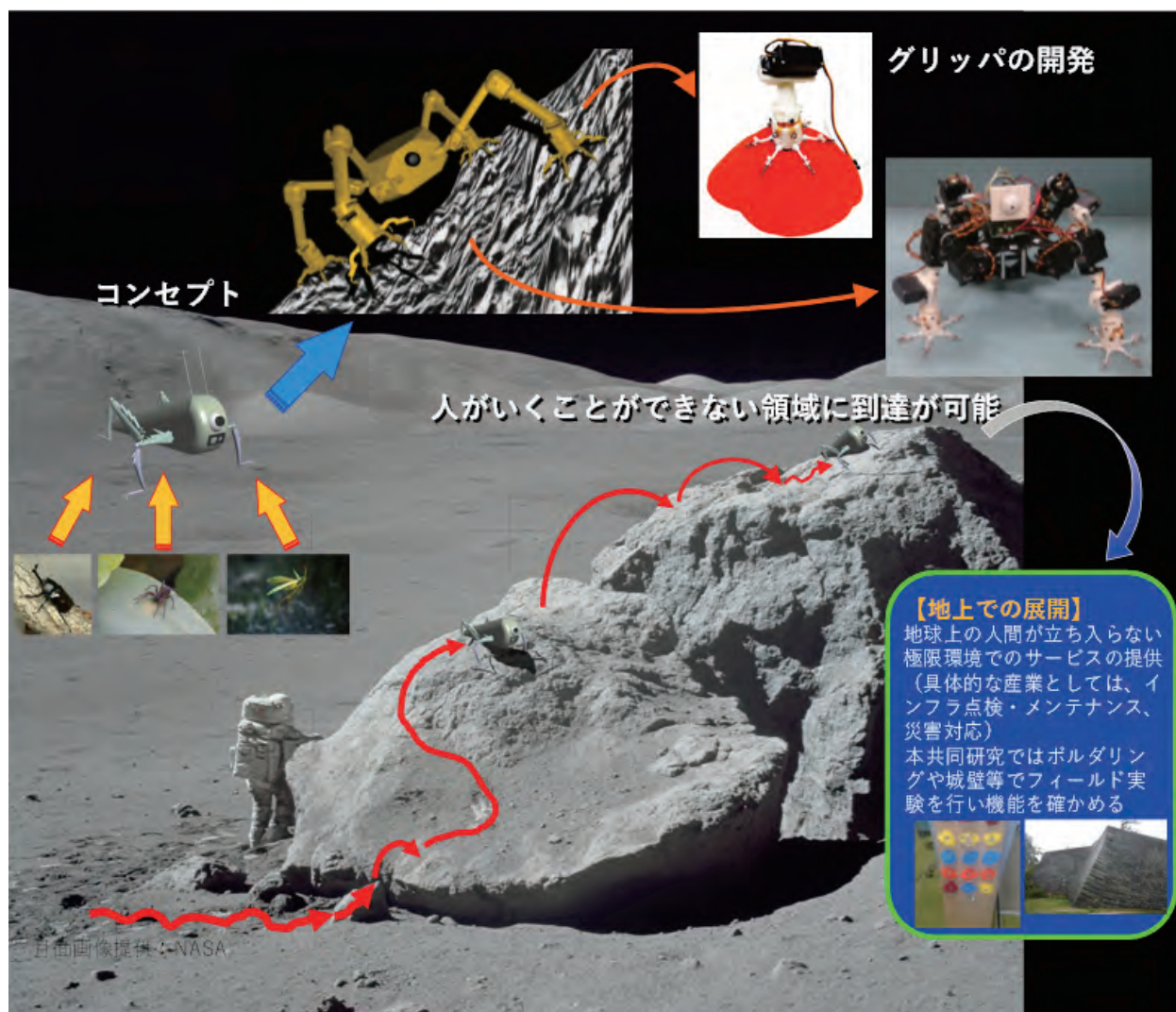
プロジェクト概要

【目的】

本研究では、未知の不整地を探査可能とする昆虫型多脚ロボットのプロトタイプ開発を行う。従来の車輪型では踏破が困難な地形では、脚型のメリットが大きく、障害物を難なく乗り越える移動ロボットの開発を目指してプロトタイプモデルを製作することにより、アイデアの実現性を検証する。

【成果】

昆虫型ロボットのコンセプトをハードウェアとして実現し、プロトタイプを開発した。特筆すべき成果として、自然地形表面を構成する岩石などの不定形な凹凸を把持するための革新的なロボットハンド機構を、昆虫の肢先構造に着想を得た鉤爪型グリップという形で実現した。また、開発したグリップを用いた把持実験により、性能を定量的に評価するとともに、凹凸地形に対する優れた「しがみつき」動作を実現可能であることを実証した。本グリップ機構は特許申請中の新技術である。プロトタイプの動作試験では凹凸急傾斜での踏破が可能であることを実証することで、実現性と新規性を示すことができた。



課題名 | 小型ロボット技術 制御技術

機関名：株式会社タカラトミー

プロジェクト概要

【目的】

宇宙空間および地球上で活動できる安価な昆虫型ロボットを民生玩具の技術を使って開発することを目的とする。いままで研究開発した簡易通信、省電力化、長寿命化、小型化などの技術開発をベースに各技術の市場展開と昆虫型ロボットの市場展開をねらっている。

【成果】

玩具で用いられている機構、ノウハウをうまく適用し、直径100[mm]、重量300[g]の移動型ロボットを開発した。サイズはソフトボールと同程度の小型サイズになっている。初期形状は完全な球形であり、WiFiによって外部コントローラから指令を送り、球形から拡張走行モードに変形して前進、右ターンの走行が可能でロボットを開発。球体なので下傾斜では転がることにより移動が速く、省電力で移動できる。

また、走行動作は球形から両サイドに車輪、後部に補助輪を出すことによって安定走行を実現。現状では月面を模した実験フィールドで傾斜10度の登坂に成功している。

小型の昆虫型ロボットが探査で活躍する世界



課題名 複数の非駆動型探査機のフォーメーション制御による高効率・低コスト広域探査技術

機関名：東北大学

プロジェクト概要

【目的】

本研究では能動的な駆動力を持たない非駆動型の小型探査機を協調運用することで効率的な広域探査を実現する新しいリーダ・フォロワ型探査技術の開発を目的とする。これは、駆動力を有するリーダ探査機がテザーによって連結された複数の非駆動型小型フォロワ探査機をけん引し、小型フォロワ探査機は方向舵の制御のみでリーダ探査機との位置関係を制御するというものである。これにより、環境に応じて適切にフォロワ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する。

【成果】

以下の項目を実施した。

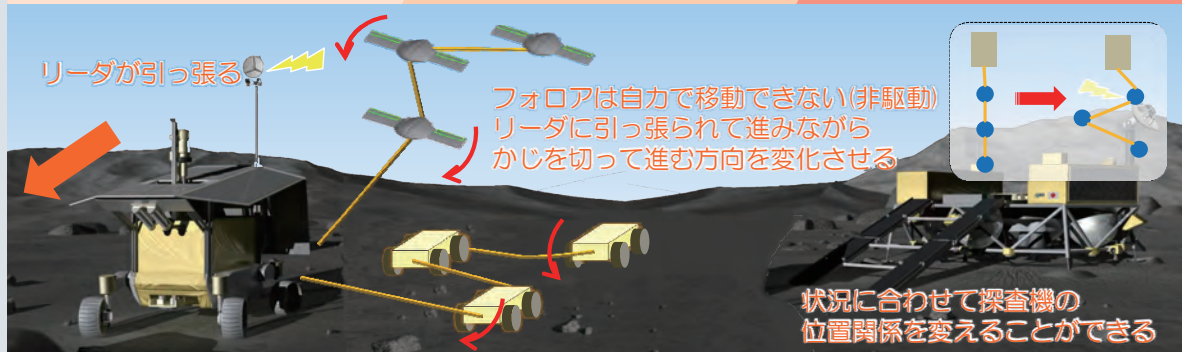
- ①フォーメーション制御検証用シミュレータの開発
- ②フォロワ型探査車両の原理検証モデルの開発
- ③フォーメーション制御のための基本制御系設計
- ④実時間可変フォーメーション制御技術の構築
本研究成果をさまざまな分野で応用することを検討している。

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

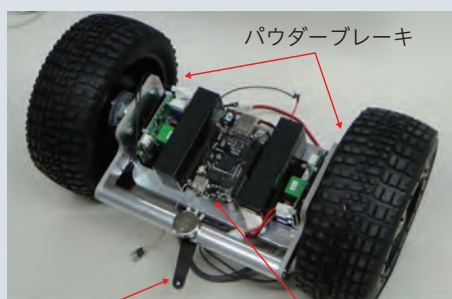
リーダ探査機が複数の小型フォロワ探査機をけん引

フォロワ探査機は操舵（かじ取り）のみを行う

低コスト低消費電力デブリ化防止



ブレーキ制御型フォロワ探査機



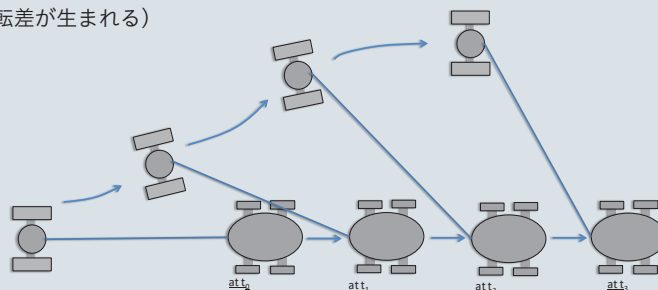
コントローラ
サイズ:355x180x180(mm) 重さ:5.6 (kg)

制御例

左側の車輪にブレーキ力を加える（左右の車輪間に回転差が生まれる）

左旋回

左右車輪のブレーキトルクを制御することで牽引方向に関係無く、任意の方向にフォロワロボットを操ることが可能



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

課題名 | 超分散ロボット群による三角測量に基づく自己位置推定と地図生成

機関名：会津大学

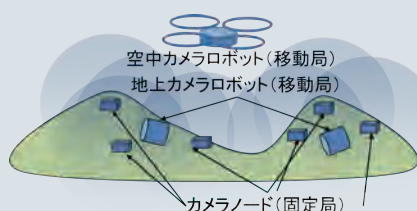
プロジェクト概要

【目的】

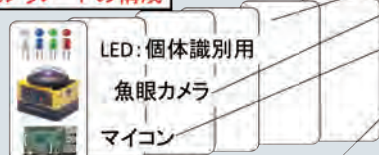
これまでの多くの屋外作業ロボットは、GNSS（衛星測位システム）を用いて測位を行っていた。しかしロボットの活動範囲が広がり、屋内、山林のような見通しの悪い屋外、水中、地球外のような非GNSS環境におけるロボット測位システムが必要である。本研究では（A）三角測量の原理に基づき他のロボットへの方向を観測量とし、ネットワーク通信により他のロボットと推定量を共有できる分散型カルマンフィルタを開発する。さらに（B）全方位カメラを搭載した無線通信機能を持つ小型のセンサノードを開発し、自己位置推定と地図生成を実現する。このセンサノードを現在手持ちにロボットに搭載し、実環境での適応可能性を調査する。

【成果】

- ①分散型カルマンフィルタアルゴリズムを開発し、理論面からの収束性の評価と数値実験による有効性の検証を行った。開発されたアルゴリズムはサーバー上に実装し、自己位置推定と地図生成機能も実現した。
- ②上述の分散カルマンフィルタを実際にロボットのカメライメージに適用し、自己位置推定と地図生成を実現するために、各ロボットにおける画像処理アルゴリズムとシステムインターフェースを開発した。
- ③上の両者を統合し、超分散ロボット群による三角測量に基づく自己位置推定と地図生成を実現する。



カメラノードの構成



位置推定 / 通信基盤 OpenRTM

地図生成 / クラウド基盤 / OpenRTM

目的: 設置／投込センサによる自己位置推定

- 多数のロボットとカメラノードを作業環境に設置
- 他のロボットとノードの方向をカメラで観測し、自身の相対的な位置を推定
- ネットワーク通信による情報共有で精度向上と全体の地図の作成

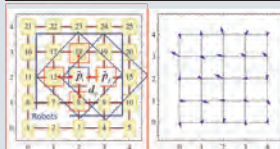
- LEDの明滅により個体識別
- 他のロボットの方向を検出
- 自己位置 $(x_i, y_i, z_i) (\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ を推定
- 推定値を他のロボットと共有

将来的には
• 距離推定の追加
• 装置の小型化

- 本研究では方向観測のみから自己座標を推定
- 前提: 他のロボットを大量に観測
- 研究課題: 初期収束の解消

- 当面は現場に置いたノートPCをクラウド基盤に
- 将来的には会津大のサーバに実装し、他のロボットとの連携

基本原理: 相互観測型分散カルマンフィルタ



これまでの
• 室内で数台の全方位カメラでの検証
• 理論面の検証
⇒ 本研究はこれを超分散化と屋外化

期待される応用例



農業用ロボット: 環境設置型



災害用ロボット: 投げ込み型

期待される効果: 使用場所を選ばない

- 小型・軽量・低消費電力なノード
- 安価なシステムで高精度の自己位置推定
- 多様なロボットに適用可能

集団型ロボットシステム: 社会全体で個体以上の性能を引き出す

課題名 | 環境適応型不整地自律走行プラットフォームの研究

機関名：株式会社竹中工務店、株式会社竹中土木

プロジェクト概要

【目的】

段差等がある建設途中の建物や究極には地球以外の重力惑星における急斜面や洞穴などの不整地環境下でも走行可能な移動ロボットと環境認識技術を取り込んだ制御系からなる自律走行プラットフォームを開発する。2つの具体的な適用を考えており、高速道路の床版補強のための形状計測を自動で実施して総延長320kmに及ぶ都心の高速道路では検査のみで19,200人日の労働力の削減することと、年間発注量推定2,500万 m^2 に及ぶ高速道路の盛土の品質管理（締固め度計測、水分量計）が必要であるところをロボットで実施する。

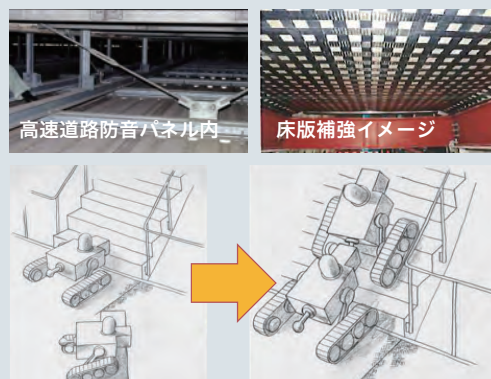
【成果】

高速道路の床版補強のための形状計測については、高速道路防音パネル内はH鋼などが密に配置されており移動が困難であるところ合体モジュラー型とすることで、単体では小回りがきき合体により踏破性を向上させることができた。また、工事現場の盛土の品質管理に関しては、工事現場の環境認識、自己位置推定しつつ複数の測定点を経由する自律移動制御が必要なのでGPSやIMU、LiDARのセンサ情報を統合し、環境認識、自己位置推定する手法を構築し、実験により検証した。

①合体型環境適応ロボット研究

様々な機構・機能を有するモジュール（モジュールはそれ単体でも機能する）を自在に合体させて柔軟に環境に応じた機能が得られるようにする技術の基礎研究

目標：高速道路の床版補強のための形状計測を自動で行う
課題：高速道路防音パネル内はH鋼などが密に配置されており移動が困難
解決手法：合体型とすることで、単体では小回りがきき合体により踏破性を向上させる
市場規模：総延長320kmに及ぶ都心の高速道路では検査のみで19,200人日の労働力が必要



合体型環境適応型知能ロボットイメージ

②自律走行のための認識・制御システム研究

既存走行プラットフォーム「健気」へSLAMを実装し、自律走行を可能とする研究

目標：盛土の品質管理（締固め度、水分量）を自動で行う
課題：環境認識、自己位置推定しつつ複数の測定点を経由する自律移動制御
解決手法：GPSやIMU、LiDARのセンサ情報を統合し、環境認識、自己位置推定する
市場規模：高速道路における盛土の面積は2,500 m^2 に及び、25,000箇所の点検が必要



マルチクローラ探査ロボット「健気」



盛土

<http://www.netis.mlit.go.jp>より


盛土の品質管理を行う計器

RI密度水分計「ANDES」
本体 10.5kg + 線源棒 2kg

計器を搭載した台車を連結した「健気」



課題名 | 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

機関名：東京大学、THK株式会社

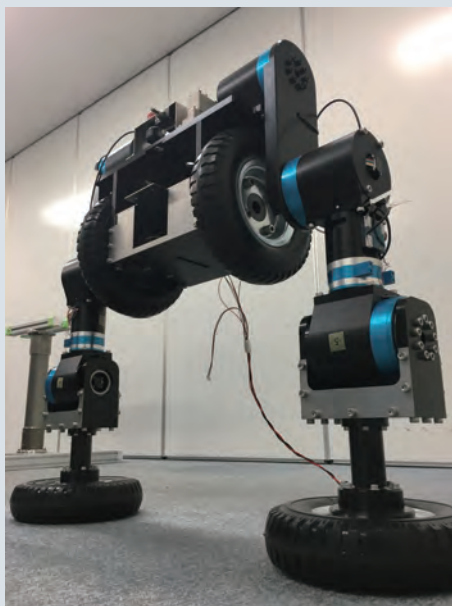
プロジェクト概要

【目的】

省電力と運用性を特徴とするRTソリューション技術を用いて形態の切り替えが可能（走る、作業する、階段を登る、etc.）で、身体の状態が不安定になるような歩容を行うことなく移動できる環境適応型ロボットを対象として、三次元環境地図の生成と理解に基づく移動制御技術を融合し、環境に応じて適切な移動形態と移動戦略を有するロボット知能の実現を目的とする。事業化としてはサービスロボットで求められる環境適応型ロボット、および、そのコンポーネント販売を目指し、宇宙利用としては将来の宇宙探査で必要となる極域環境や縦孔などで求められる環境適応型ロボットを目指す。

【成果】

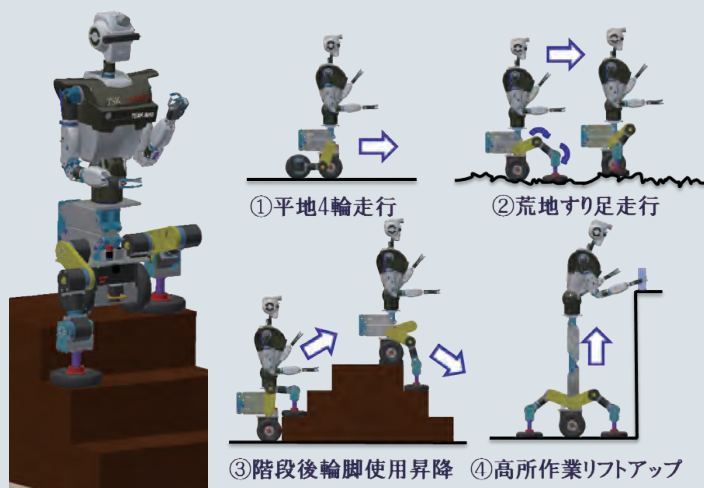
具体的な目標を日本家屋（階段が急）、およびオフィスのサービスロボットの開発と設定し、以下を実施した：1）省電力化システムにおける三次元の環境認識と行動生成システムの統合、2）環境認識に応じた移動行動戦略制御法の構築。合体変形型移動ロボットのシミュレーション環境を構築し、省電力型ロボット計算機システムの検討を実施しつつ、実機を開発した。



省電力型ロボット計算機システムの検討



合体変形型移動ロボットのシミュレーション環境の構築



課題名 | 大型マルチロータ機のコンパクト化の研究開発について

機関名：ヤンマー株式会社中央研究所、名古屋大学、大阪府立大学

プロジェクト概要

【目的】

研究の背景

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。

しかし運搬を目的とする大ペイロードを必要とする機体の開発は遅れている、その原因の一つとして、推力を向上させるために多くのロータを用いることから、地上への投影面積が大きくなり、UAV機体を運搬する場合や、狭隘部での飛行が困難となることが挙げられる。

研究の狙い

そこで、ロータを多段に重ねることによって、地上への投影面積を小さくしつつ、効率を落とさないような最適なロータ配置の設計指針を得ることを狙いとする。

【成果】

実験と結果

効率の定義を入力トルクに対する推力をロータの掃引面積でノーマライズした尺度 (FoM: Figure of Merit) とし、以下の実験を行った。

- ①比較のために同一平面に複数のロータを並べ、ロータの軸間距離とロータのピッチ角をパラメータにとったときのFoMを計測した。その結果、ロータ間の干渉による効果は見られず、単独ロータの結果を大きな違いは見られなかった。
- ②次にFig.1に示すようにロータ配置を上下2段とし、 v : ロータ面間距離、 h : ロータ軸間距離をパラメータにし、FoMを計測した。その結果をFig.2に示す。 $v/r=0.5$ 、 $h/R=1.35$ 付近において、ロータを平面に並べたときの結果と同程度の効率を示した。
- ③上記の結果を用いて、Fig.3に示す、より実用に近い8ロータ構成（上段、下段それぞれ4ロータ）での実験を行った。地上投影面積は従来（ロータを平面に並べたとき）に比べ30%減少している。その結果、 $v/R=0.75$ 付近、かつヨーイングトルク差の調整のために上下ロータのピッチ角差3度にした場合、効率が従来と同等となった。またこのときの回転方向は上下段のロータが上方から見て重なっている領域において、上段、下段のロータの回転ベクトル $\mathbf{v}_u$ 、 $\mathbf{v}_l$ の内積が正になることが条件である。

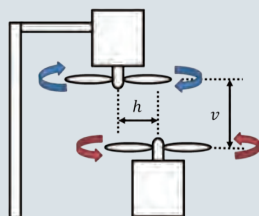


Fig.1: ロータ配置を上下2段にした実験装置

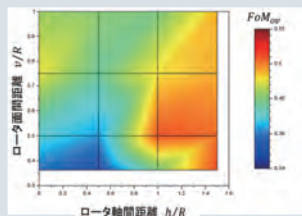
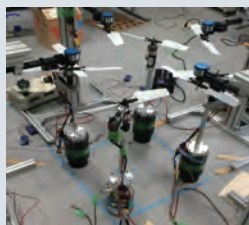
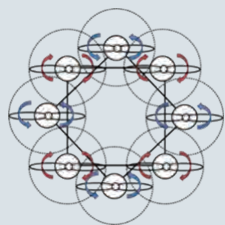
Fig.2: ロータ配置を上下2段にした場合の実験結果。それぞれロータ面間距離とロータ軸間距離は、 R (ロータ半径) でノーマライズしている。

Fig.3: ロータ配置を上下それぞれ4ロータにした実験装置。



設計指針

効率を落とすことなく地上投影面積を小さくするためには、以下の条件でロータ配置を2段構成にする $h/R=1.35$ 、 $v/R=0.5$ (2ロータの場合)、 0.75 (4ロータの場合)、上下ピッチ角差が2～3度、上下段ロータの重複領域で $\mathbf{v}_u \cdot \mathbf{v}_l > 0$

モックアップ製作

今回の実験で得られた設計指針によって、以下のマルチロータのUAVのモックアップを製作した。



主要諸元

機体直径	470mm	
ロータ半径(R)	100mm	
ロータ軸間距離(h)	160mm	$h/R=1.6$
ロータ面間距離(v)	52mm	$v/R=0.52$
機体重量	950g	コントローラ、バッテリー除く

課題名 | 小形・軽量化のためのMHz帯駆動DC-DCコンバータの先進要素開発

機関名：株式会社イチカワ、信州大学、大阪大学

プロジェクト概要

【目的】

高効率・超小型軽量を両立するMHz帯スイッチングDC-DCコンバータの実現を目的としている。

磁性粉の材質・形状・大きさなどを検討して、周波数2 MHz、最大磁束密度10 mTの励磁条件で、比透磁率20以上、鉄損0.1 W/cm³以下、200℃以上の耐熱性を持つ磁性コンポジット鉄心を実現する。また、表皮効果と近接効果に起因するコイルの交流抵抗を50%低減した磁性塗布線を開発する。さらに、トランスと駆動回路を一つの基板上に配置した共振型およびチョッパ型コンバータを製作して小型・軽量DC-DCコンバータ（出力50W、電力密度10 W/cm³、効率95%以上）を実現する。

【内容】

- ①磁性コンポジット材のパラメータが鉄損に与える影響を明らかにする。
- ②磁性塗布線のパラメータが銅損に与える影響を明らかにする。
- ③電力密度10 W/cm³の実現に向けて、高密度実装技術を開発する。
- ④共振型コンバータを試作し、評価する。
- ⑤チョッパ型コンバータを試作し、評価する。
- ⑥MHz帯駆動DC-DCコンバータ設計理論を構築する。

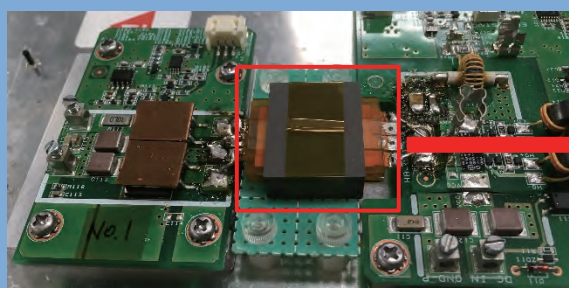


図1 絶縁形DC-DCコンバータ（LLC共振形）

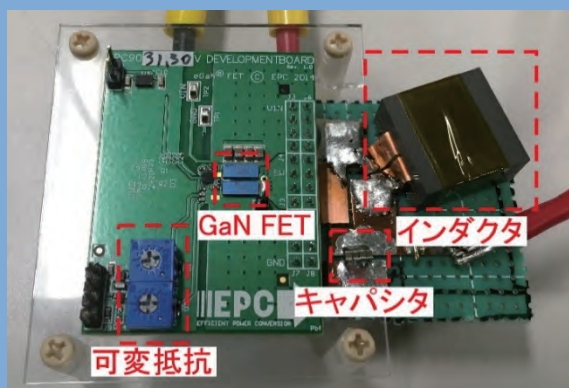
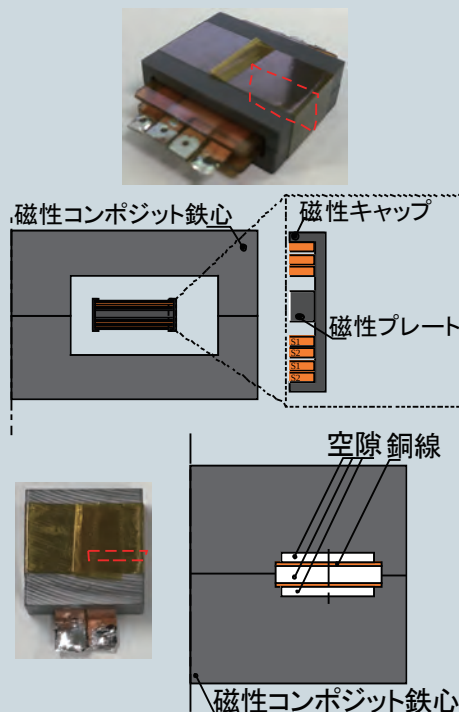


図2 非絶縁形DC-DCコンバータ

1次試作品



最終目標

- (1) 効率：95%以上
- (2) 電力密度：10W/cm³

課題名 | フィールドのエネルギーを利用した超低消費エネルギー型環境探査モニタリングシステム

機関名：東北大学、日本大学

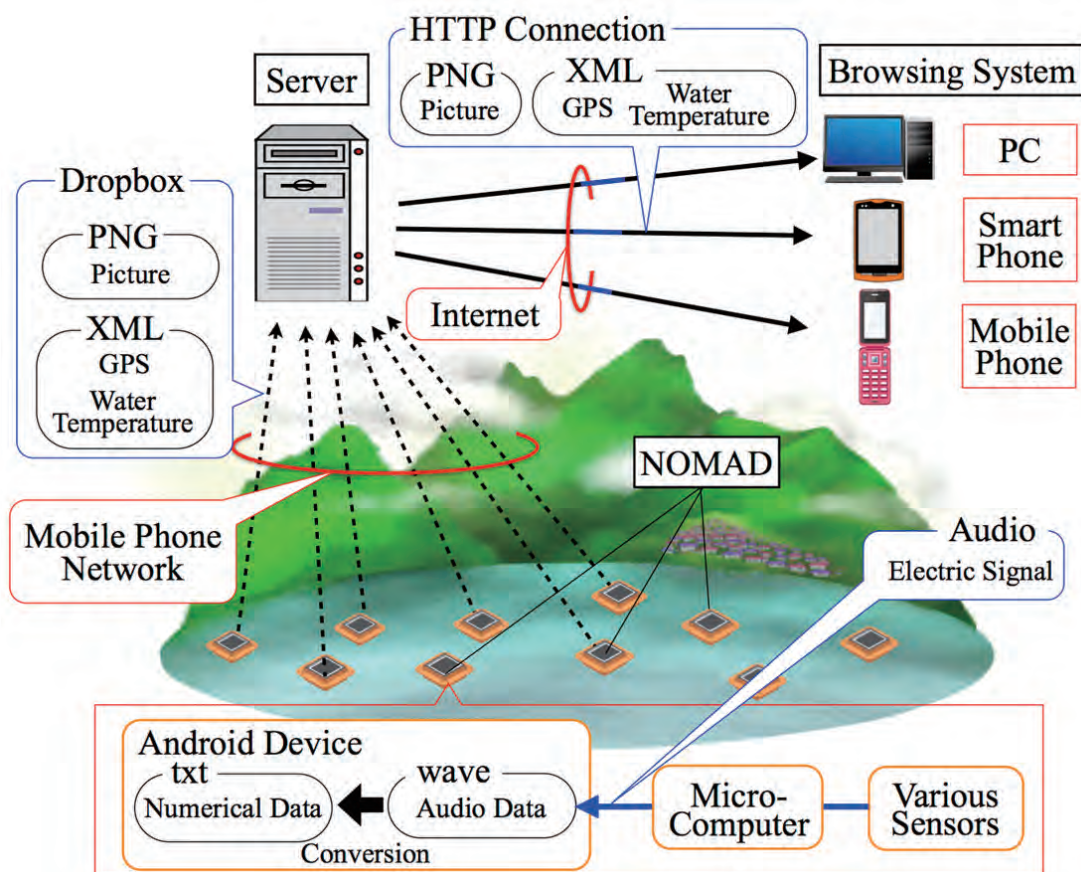
プロジェクト概要

【目的】

環境探査対象フィールドのエネルギー(重力場、流体場など)を利用することで移動のためのエネルギー消費を極限に抑えた超低消費電力型の自律移動マルチエージェント環境探査システム実現のための制御・推定技術を構築する。長期間の環境探査を自律移動マルチエージェントで実現するためには、消費電力を抑えることが必要不可欠である。このため、重力場、流体場のエネルギーを移動に利用し、移動のためのエネルギー消費を極限に抑えつつ、探査フィールド全体の状況を推定する技術の研究開発を行う。

【成果】

- ①観測データと数値シミュレーションのデータ同化による流速場のリアルタイム推定技術
各センサの観測データ(流速、温度など)をリアルタイム収集し、数値シミュレーションに外挿して、データ同化により対象とする水環境全体の流速場を推定する技術を構築している。各地点における推定の不確定性を定量化し、流速場推定結果と同時に出力できるアルゴリズムを構築している。
- ②流速場推定結果と移動に要するエネルギーを考慮した効率的な環境探査のためのセンサ群制御技術
計測ポイントの評価アルゴリズムおよびセンサ群制御アルゴリズムを構築している。
- ③自律移動型水環境モニタリング用センサの開発
水環境モニタリングのための自律移動型センサを開発している。
- ④実証試験
フィールドでの実証試験を計画している。



課題名 | 異種・複数小型ロボットを用いた確率的領域誘導による環境探査システムと要素技術の検討

機関名：中央大学、プログレス・テクノロジーズ株式会社

プロジェクト概要

【目的】

表面探査において異種複数の小型ロボットを用いることで、対象領域内の観測情報を確率的に収集し探査効率を向上する手法を提案し、それに関わる技術、アルゴリズム、システム（ハード・ソフト）を検討する。

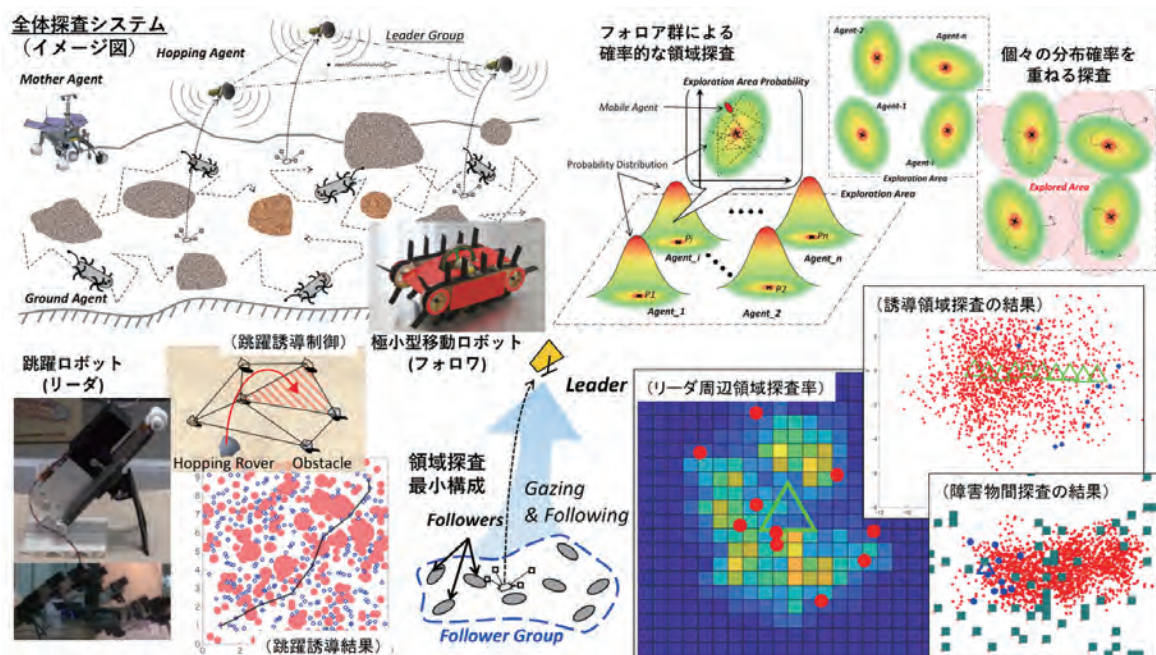
このために以下の課題を設定している。

- ①異種・複数ロボットによる領域内協調探査技術
- ②ロボット間相対配置認識手法の検討
- ③小型軽量空中移動機構を有するロボットの研究開発（リーダ機）
- ④小型軽量表面移動機構を有するロボットの研究開発（フォロア機）

最小構成探査ユニットを想定して各アルゴリズム、機能を検証する。また月惑星探査のみではなく、地上における建物・インフラなどの検査、観測、調査への応用なども検討する。

【成果】

- ①異種・複数ロボットによる領域内協調探査技術
リーダ（1機）とフォロア（多数）を最小構成単位とし領域探査を行う。フォロア群は低知能で環境とのインタラクションにて確率的移動及び観測を行い、時間と共にリーダ周囲の空間観測率を上昇させ、リーダの移動に追従する。リーダは観測率に応じ、他のリーダと協調移動する。この際の行動アルゴリズムを検討している。
- ②ロボット間相対配置認識手法の検討
フォロアがリーダを認識し、自らとリーダの相対距離を把握する方法を検討している。
- ③小型軽量空中移動機構を有するロボットの研究開発（リーダ機）
機体の小型化に伴うスケールの移動性能低下とセンサの低位置設置による視野狭窄問題を解決するため、リーダ機に跳躍移動を採用し大域的な探査戦略決定とフォロアの位置制御を検討している。そのための跳躍機構を提案し、試作を行っている。
- ④小型軽量表面移動機構を有するロボットの研究開発（フォロア機）
分散観測データ取得のため、小型軽量の表面移動方式および観測ロボットを昆虫型ロボットをベースに検討し、移動・観測機能に関して試作を実施している。



第3回RFP 広域未踏峰探査技術／アイデア型

探査ロボットのための画像による自己位置推定と環境地図作成技術の研究

課題名 | 超高感度カメラや深層学習を適用した高付加価値vSLAM技術の研究開発

機関名：株式会社アイヴィス、株式会社ビュープラス

プロジェクト概要

【目的】

本研究では、宇宙探査ロボットが用いられる月惑星表面上や、同様の地球環境で、視覚の役割を果たすvSLAM※技術について、技術開発と性能評価を行う。暗闇の撮影やコントラスト変化に強い超高感度カメラを用いることや、深層学習にもとづくアルゴリズム改良により、従来は応用の難しいような環境でもvSLAMを行うことを目指す。

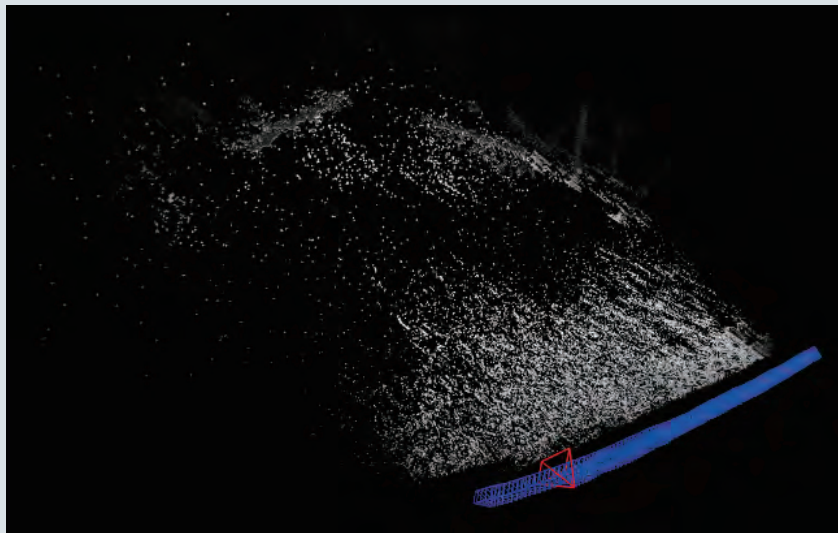
※ vSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) は、画像計測に基づき自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術。未知の環境を探索するロボットが、移動したり作業するために、ロボット自身の位置と、周辺の起伏などの地図情報が必要となる。

【成果】

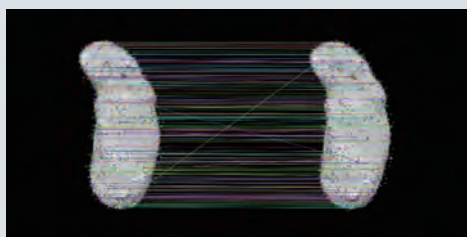
画像計測は、画像濃淡変化の強さ等の特徴を利用するが、砂地などはこの特徴が弱いため、画像計測が難しいという問題がある（テクスチャレス問題）。

このテクスチャレスの自然地形に対する研究開発のために、提案者が既に研究開発したvSLAMをもとに、本研究開発用のプラットフォームを構築し、深層学習などを利用した高性能なvSLAM技術の検討に発展させる。また、弱い照明や、明るさの強弱の大きな（コントラストの強い）環境でも画像撮影が可能な超高感度カメラも用いる。

H29年度に、JAXA相模原キャンパスの宇宙探査フィールドを暗室とし、様々な照明条件での実験を行い、超高感度カメラを用いたvSLAM技術による自己位置推定や環境地図作成が、一般的なカメラで得られた画像より、よい結果が得られることが研究開発プラットフォームで確認できた。



宇宙探査フィールドのvSLAM処理例：（左上）超高感度カメラの取得画像、（左下）照明が弱いため、一般カメラでは画像取得が難しい、（右）超高感度カメラによるvSLAM処理結果、3次元環境地図とカメラ位置（青い枠）



実際の探査画像（はやぶさ、イトカワ）によるvSLAM処理例：（左）vSLAM処理過程の画像：2枚の画像間での対応関係を示す。（中）推定した小惑星のワイヤフレームモデル、（右）同テクスチャマッピングモデル

課題名 | テクスチャレスシーンのためのロバストな Visual SLAMの研究

機関名：株式会社コンセプト、株式会社モルフォ

プロジェクト概要

【目的】

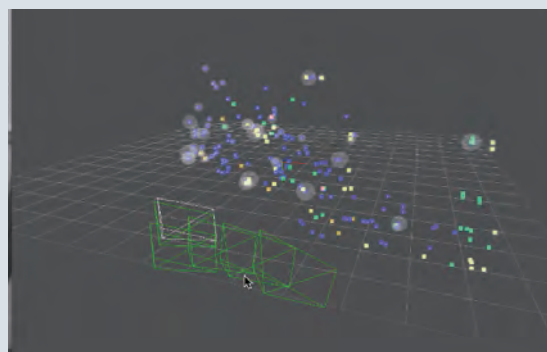
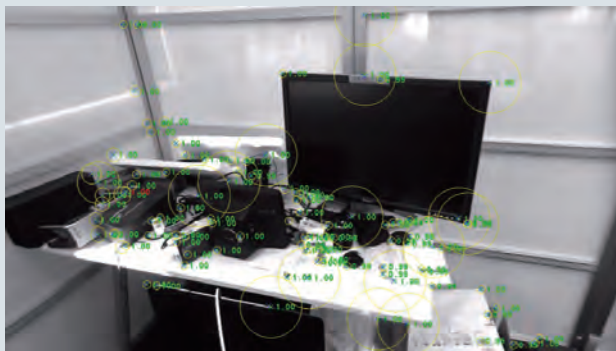
Visual SLAM*は、画像計測に基づき、カメラで得られた複数枚の画像から、カメラの位置推定や環境地図を作成する技術である。利用できる環境をより広げるために、従来の画像の特徴抽出方法に加え、画像の輪郭情報や濃淡変化の弱い部分（テクスチャレスな部分）毎に特徴抽出方法を変える統合的な手法の研究開発を行う。

※ Visual SLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) は、画像計測に基づき自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術。未知の環境を探索するロボットが、移動したり作業するために、ロボット自身の位置と、周辺の起伏などの地図情報が必要となる。

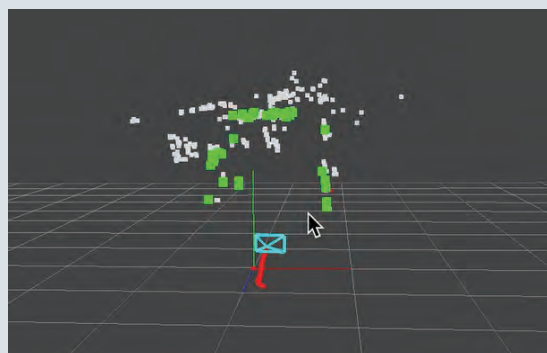
【成果】

室内の壁や天井のようなテクスチャレス部分は、奥行きを計算するための手がかりとなる特徴（模様やキズなどの濃淡変化）が少ないことが問題である。弱い特徴を取り出すために、多種の処理を取ることもできますが、計算に時間がかかりすぎて、実時間処理ができなくなる。このような問題の解決方法として、前処理としてのハイダイナミックレンジ化や学習ベースの推定方法を検討する。

このような技術課題に対し、アルゴリズム改善による研究性能評価や、実際のカメラを用いた実時間処理装置の研究開発を進めている。また、宇宙探査実験棟の砂地形や、特殊な照明環境（真横から強い明かりが当たる）での実験を通じて、宇宙探査ロボットでも利用可能なロバストな Visual SLAM技術の研究開発を行う。



オフィスシーンのVisualSLAM処理例（1）：（左）取得画像と抽出した画像特徴の重畳表示、（右）得られた3次元環境地図とカメラ位置：空間中の点が特徴点の3次元位置を表し、手前の緑枠線がカメラ位置を示している



オフィスシーンのVisualSLAM処理例（2）：（左）取得画像と抽出した画像特徴の重畳表示（テクスチャレス部分の特徴抽出が工夫されている）、（右）得られた3次元環境地図とカメラ位置

第1回RFP 自動・自律型探査技術／課題解決型

拠点建設を実現する遠隔施工システム

課題名 遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実現

機関名：鹿島建設株式会社、芝浦工業大学、電気通信大学、京都大学

プロジェクト概要

【目的】

月や火星の建設作業では人間が現場に常駐して作業することが難しい。一方、地上においても作業員不足や生産性・安全性の向上のため、遠隔地からの遠隔操作による無人化施工やさらには自動化された建設機械による作業が必要とされている。

これらを実現するには、従来の技術として、建設作業で蓄積された確実な無人化施工システムがあり、これに建設機械の自動化を組み合わせる技術や時間遅れを考慮した施工技術の確立が研究課題となる。これらの技術が実現すれば、月面においては対象範囲数十m四方のゾーンを整地し構造物を設置・遮蔽する遠隔施工システムが、地上では生産性や安全性の高い新しい建設施工システムが実現できる。

【内容】

本的な自動化機能に加えて、下記の機能を開発し、「遠隔操作・自動制御の協調」による遠隔施工システムを実現する。

- 遅延補償付き操作支援機能：3～8秒の大きな通信遅延がある場合でも、遠隔操作している建機の操作性や安定性を損なわず、作業計画に応じた遠隔操作を可能にする支援機能。
- 周囲環境に応じた動作判断機能：遅延の制約により、事前に把握しにくい地形変化を検知し、現在位置での作業内容に応じて動作を自律的に選択する機能
- 複数建機の協調作業機能：複数の建機への遠隔指示に干渉などの不具合があった場合に、衝突回避などの作業変更を自律的に行う機能



地上と宇宙の遠隔施工イメージ



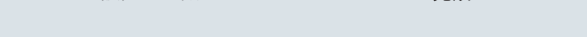
整地



掘削

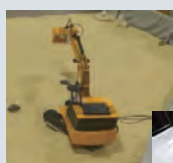


設置・遮蔽



完成

月面拠点の施工法の詳細検討



建機模型/試験モデル→試験プラットフォーム車両→建設機械と段階的に試験を実施

課題名 | 超軽量建機アタッチメントおよびブーム等の開発および実地検証

機関名：株式会社タグチ工業、東京農工大学

プロジェクト概要

【目的】

現在地球上には多種多様な建機が存在しており、機動性・安全性・軽量化・燃費向上に対する高い要求がある。

一方、月面拠点基地建設を想定した建機は地球上から輸送し、輸送コスト面から『汎用性が高い』『大型軽量化』がより求められると考える。

そこで軽量化する建機として汎用性が高い『油圧ショベル』を採択した。油圧ショベルは『アタッチメント』と呼ばれる作業用途に応じた機能を有する装置を取付・交換する事で1台で様々な作業が可能となる。

本研究では油圧ショベルの『アーム』『ブーム』等の部品や『アタッチメント』を従来とは異なる素材で設計・試作・評価試験をする事で『軽量化』と将来の『実用化』を目指す。

【内容】

- ①軽量金属で1tonクラス油圧ショベル用アーム、ブーム等の部品を設計、試作、評価・操作性試験を実施し、油圧ショベルの軽量化を図る。
- ②CFRPで1tonクラス油圧ショベル用アーム、ブームを設計、試作、評価・操作性試験を実施し、油圧ショベルの軽量化を図る。
- ③CFRPで7tonクラス油圧ショベル用アタッチメント『テレスコープアーム』を設計、試作、評価・操作性試験を実施し、アタッチメントの軽量化を図る。
- ④CFRPへの耐摩耗性向上技術やCFRP構造のヘルスマonitoringによりアタッチメントの高度化を図る。また、トラス構造の適用による軽量化を図る。

評価・操作性試験は試作品を油圧ショベルへ取付けた状態で実施した。



- ◆ 実用レベルで作業可能な強度・剛性
- ◆ 軽量化による油圧ショベルの性能向上
- ◆ 軽量化による作業効率・生産性の向上

◆ 研究成果物一例

- ・軽量金属製アーム試作品（約45%軽量化）
 - ・CFRP製アーム試作品（約61%軽量化）
 - ・CFRP製ブーム試作品（約67%軽量化）
 - ・CFRP製アタッチメント試作品（約20%軽量化）
- ※鉄製オリジナル品重量と比較



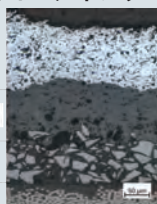
1tonクラス油圧ショベル用
CFRP製アーム・ブーム
油圧ショベル取付状態（実物）



7tonクラス油圧ショベル用
CFRP製テレスコープアーム
油圧ショベル取付状態（実物）

CFRPの耐摩耗コーティング

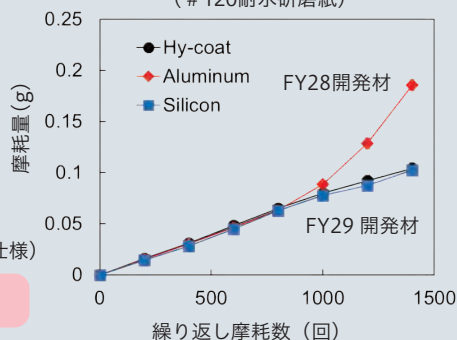
トップコート
アンダーコート
ボンドコート
CFRP



多層コーティングによる耐摩耗性の向上（Hy-coat仕様）

優れた耐摩耗性を確認

（#120耐水研磨紙）



CFRPアーム構造の軽量化検討



ベースモデル
30~40%の構造重量低減(FEM解析)



課題名 | スクリュードライビングサウンディング(SDS)による月面でも利用可能な地盤調査技術の確立

機関名：東京都市大学、ジャパンホームシールド株式会社、日東精工株式会社、東急建設株式会社

プロジェクト概要

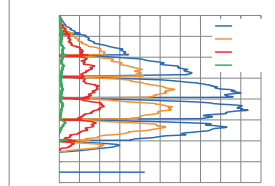
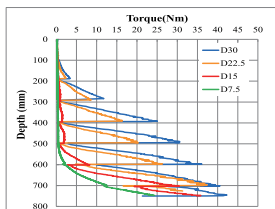
【目的】

月・火星においては、地上と同様に拠点構築には地盤調査は不可欠だが、使用できるリソースに限りがある。地上においても、既製杭を施工する場合は、支持地盤を推定するために、事前にアースオーガで対象地盤を掘削し各種調査を行う必要がある。そこで、特別な機器を使用せず、アースオーガの掘削情報から地盤特性を逆推定する手法を確立する。これにより、月・火星探査において地盤調査を容易にすると共に、地上においても、掘削時の情報から地盤特性が求まり、コストダウンや工期の短縮が可能となる。そこで、地盤調査専用の機器を用いず、アースオーガの掘削情報により、地盤定数を逆推定する手法を確立する。

【成果】

アースオーガの掘削情報に対して、スクリュードライビングサウンディング (SDS) と呼ばれる現行の地盤調査方法の定数推定アルゴリズムを援用して、月面の地盤定数を推定する方法を提案する。推定式構築には、月面アースオーガによる系統的な掘削実験を必要とするが、これらの実験結果の検討を通して、杭打ち工事等でよく用いられるアースオーガ形状の掘削特性を把握することが可能となるため、杭打ち施工管理方法の提案につながるものと期待できる。

基礎実験



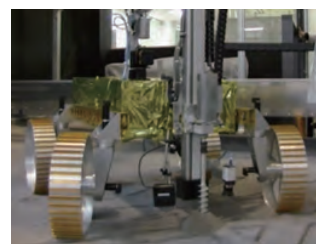
現行SDSの理論と試験方法を基に、アースオーガ特性を把握する。

SDS-lunaという新提案



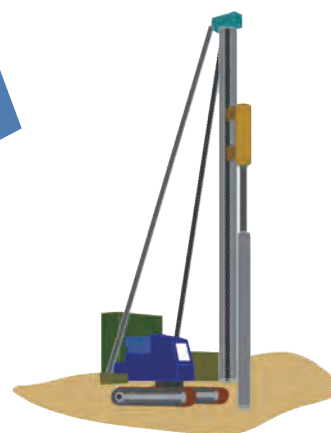
現行のSDSにアースオーガを組み込んだ今までにない地盤調査手法を確立。地上でのデータを蓄積し、更なる進化へ。

月面地盤調査



月面探査ローバ搭載のアースオーガを用いた調査手法の確立

杭施工管理システム



SDS-lunaの調査結果を基に、高精度システムを提案する。

課題名 | アースオーガによる地盤掘削時の施工情報を利用した地盤定数推定法

機関名：立命館大学、日特建設株式会社

プロジェクト概要

【目的】

月・火星においては、地上と同様に拠点構築には地盤調査は不可欠であり、図1のように専用機器を使った調査を行えるのが理想である。しかし、宇宙では使用できるリソースに限りがある場合が多く、他の目的で持っていくアースオーガ（図2）などの機器を活用できれば効果的である。地上においても、既製杭を施工する場合は、支持地盤を推定するために、事前にアースオーガで対象地盤を掘削し各種調査を行う必要がある。そこで、特別な機器を使用せず、アースオーガの掘削情報から地盤特性を逆推定する手法を研究した。これにより、月・火星探査において地盤調査を容易にすると共に、地上においても、掘削時の情報から地盤特性が求まり、コストダウンや工期の短縮が可能となる。

【成果】

スクリーオーガがボアホールを作成する際（掘削時）には、月面地盤より掘削抵抗を受ける。このスクリーオーガと月面地盤との掘削抵抗情報を利用して、間接的に地盤強度を推定することを試みた。

まず、理論上での掘削時にかかる力学の計算を行い、次に実際に掘削する際のデータを取得した上で、この2つの関係を利用して地盤強度を推定した（図3）。深さ1m程度の任意点で計測可能で安定した推定が可能なアルゴリズムをまとめ、地上の代表的地盤と月の模擬土壌で実験的に検証し有効性を確認した（写真1）。

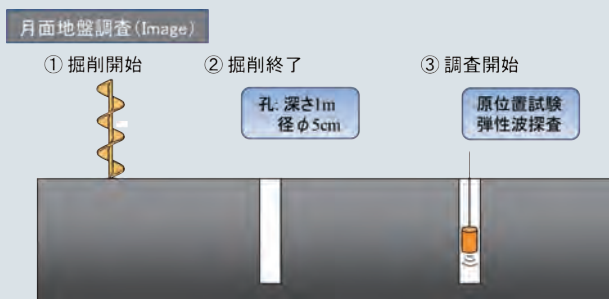


図1 月面地盤調査計画の一例

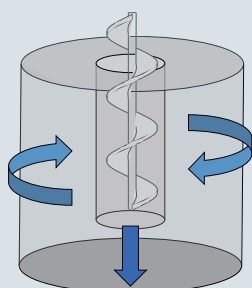


図2 アースオーガ

スクリー型のオーガは排出と掘削が同時に行える効率の良い掘削機構である。

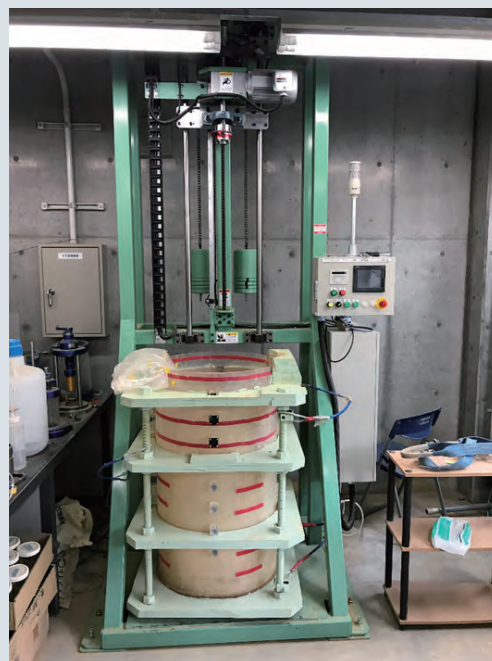


写真1 地上応用を想定した掘進制御の可能な大型掘削試験機

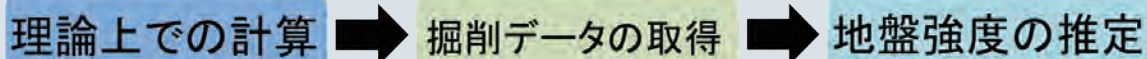


図3 推定手法のフローチャート

第1回RFP 自動・自律型探査技術／アイデア型

自重に依存しない締固め手法の研究

課題名 | 締固め困難材料に対する振動等を用いた効果的な締固め方法と走行安定性の検証

機関名：酒井重工業株式会社

プロジェクト概要

【目的】

月面拠点では、着陸場や居住等のゾーン及びそれらをつなぐ道の地盤を締め固める必要があるが、地上の締固め機械は重く簡単に輸送することができない。地上においても、従来、自重に加え振動を加えることによって締固める手法が行われてきたが、砂や粘土はローラを用いた単純な締固めによって密度を高めることが困難である。

そこで、自重に極力依存せず軽量の機材で地盤を締め固める手法を検討し、地上でもより効果的な手法として応用することとした。締固め困難材料に対する振動ローラ（振動方式）の適用性を見極めることで、その応用範囲を広げると共に、新たな振動方式の可能性を探った。

【成果】

締固め機械としては、既存の振動方式である通常、垂直または水平振動を有し、比較に適した仕様の車両を試験車両に選定した。試験材料としては、締固めが困難な材料を現存する土質から粒度調整も視野に入れて選定し、振動効果が多角的に評価可能となる測定方法を検討した。締固め試験では、試験材料に対する振動効果が含水比によって異なると予測されたため、複数含水比の条件にて試験を実施した。

その結果、砂に対する振動方式ごとの締固め効果の違いを定量的に得ることができ、地上応用及び宇宙応用の可能性が高まった。



課題名 | 建築分野の無人化施工に関するシステム検討

機関名：清水建設株式会社

プロジェクト概要

【目的】

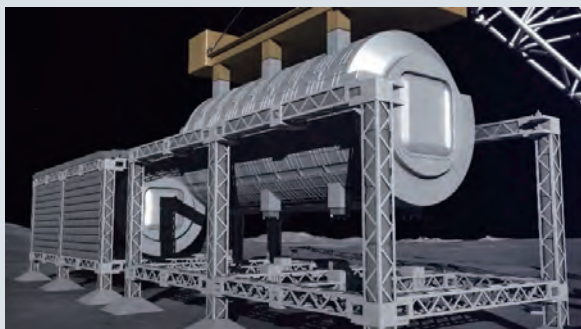
建築施工では欠かすことのできないクレーンによる揚重作業の無人化を目指すことで、構造物の位置決め、資材の盛替、クレーンの揚重計画等の大幅な省人化が見込めるとともに、設計、施工管理や建物管理との情報連携が円滑になる。また、月惑星環境や災害地域などの極限環境において遠隔施工を行うことで、コストや二次災害のリスクを減少させることができる。遠隔作業や自動組立においては、位置決め手法およびその位置誤差を許容するシステムが特に必要であり、位置決めについてはGNSS/RTK(Global Navigation Satellite System / Realtime Kinematic), LIDAR(レーザー測距計), IMU(慣性計測装置)などを利用した実証実験を実施し、誤差許容システムについては角錐と角穴から成る嵌合接合の手法を応用した月面無人化施工の概念検討を行う。

【内容】

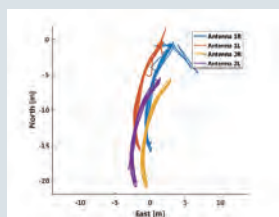
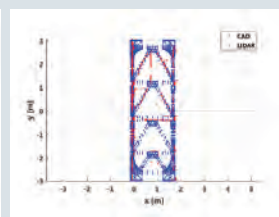
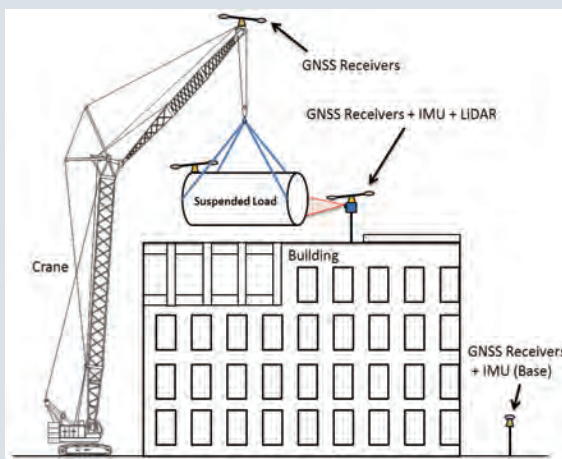
- ①居住用構造物の概念設計
 - 月面を想定した空間、荷重、結合等の条件を満たす構造物の概念設計を行った。
 - a. 「きぼう」の調査
 - b. 月面構造物の前提条件設定
 - c. 月面施設の機能検討
 - d. 居住構造物の概念検討
- ②クレーンを用いた無人化施工システムの検討
 - 月面における無人化施工システムの全体像を明らかにするとともに、構造物位置計測の精度検証を行いシステム検討に反映した。
 - a. センサの動作検証
 - b. 墨出システムの検証
 - c. 建築遠隔化システムの概念検討



センサおよび墨出システムの検証実験



概念検討に基づく月面居住モジュールの組立状況図

GNSSによる
位置検出の結果例LIDAR距離画像による
移動体位置検出

遠隔クレーン作業のための位置決めシステム

第3回RFP 自動・自律型探査技術／課題解決型

遠隔・自動施工可能な軽量建機システム

課題名 | 遠隔操作およびアタッチメントの自動脱着可能な軽量建機システムの開発と実地検証

機関名：株式会社タグチ工業、東京農工大学

プロジェクト概要

【目的】

近年、地上での都市開発に伴う高層ビルの内装解体工事等の需要増や災害現場への対応と地上用建設機械は軽量化や遠隔化、自動化が課題となっている。

一方、月面拠点基地建設を想定した宇宙用建設機械は地球上からの輸送コスト削減の為大型軽量化や無人作業を可能とする操作の遠隔化、自動化がより求められる。

そこで、本研究では建設機械用部品を従来と異なる素材で設計、試作し建設機械のサイズ、性能、機能を維持した軽量化を図る他、建設機械の遠隔操作化、電動化、機能の自動化など新たなシステムを設計、試作し、将来の実用化を目指す。

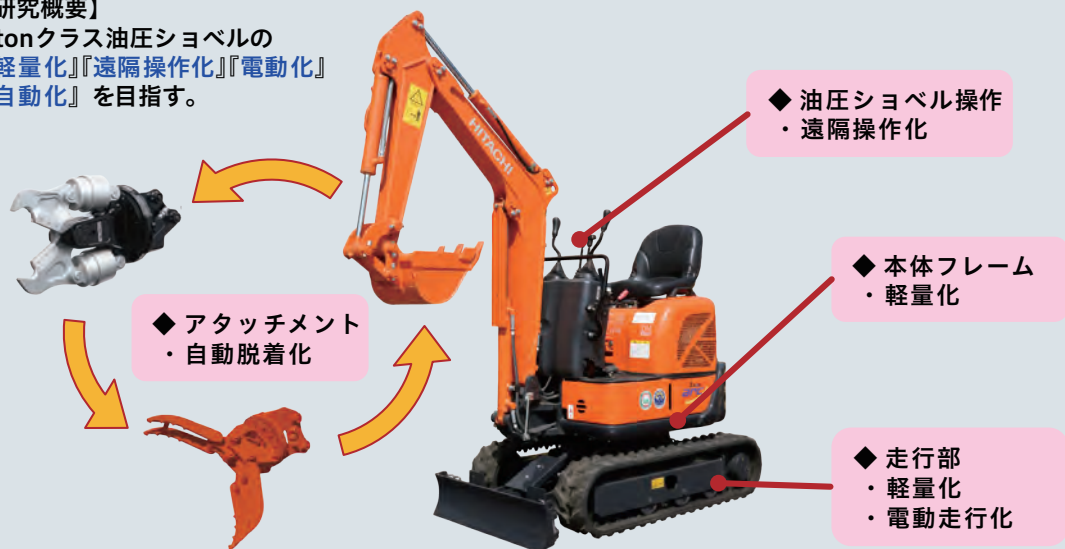
【内容】

- ①1tonクラス油圧ショベル用本体フレーム、走行部品を軽量素材にて設計、試作、評価・操作性試験を実施し、油圧ショベルの軽量化を図る。
- ②1tonクラス油圧ショベルを遠隔操作化、電動化による走行、建設機械用アタッチメント脱着システムの自動化を設計・試作し、性能評価試験を実施する。
- ③軽量素材にて油圧ショベル用バケットを設計、試作、性能評価試験を実施し、油圧ショベルの軽量化を図る。

軽量！遠隔！電動！自動！

【研究概要】

1tonクラス油圧ショベルの
『軽量化』『遠隔操作化』『電動化』
『自動化』を目指す。



軽量素材使用実績



課題名 | 持続可能な新たな住宅システムの構築

機関名：ミサワホーム株式会社、株式会社ミサワホーム総合研究所

プロジェクト概要

【目的】

柔軟な拡張や減築が可能となる構造物の工法技術、ならびに専門性を有さない作業者による施工や生活者による維持管理が容易となる新たな住宅システムを開発する。

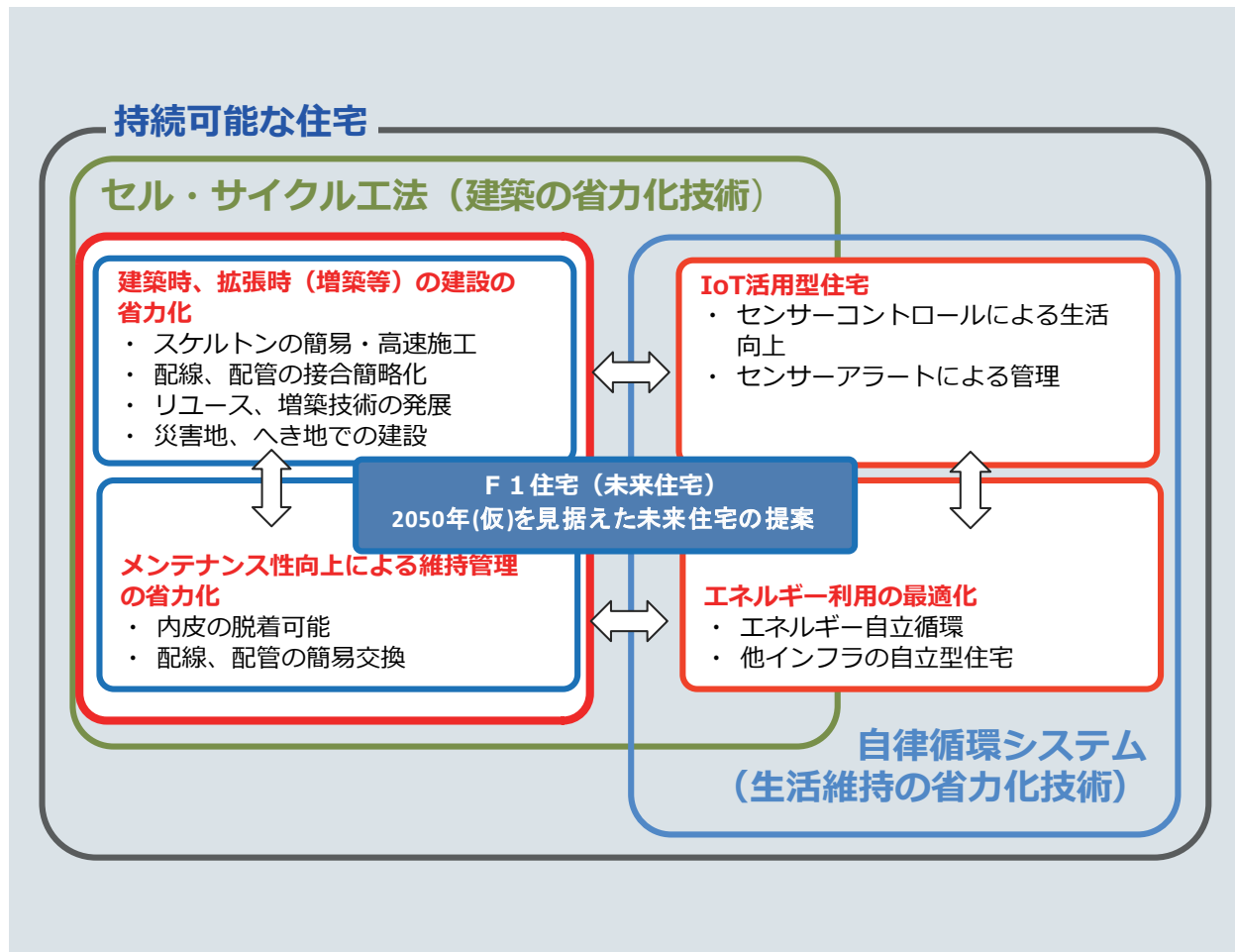
構造体：容易に拡張・縮小・再配置できる建築構造の考え方を新工法（セル・サイクル工法）として開発する。

システム：自律循環システムとインフラフリーへの展開を視野に入れたエネルギー自立のためのシステム、ならびに構造体の状態や生活に必要な様々な情報をセンサー等でモニタリングし、安全性と快適性を継続して担保することができる自律型エネルギー利用及び維持メンテナンスシステムを開発する。

宇宙への適用：建設地の環境要因、輸送要因、インフラ要因などの整理を行い、設計条件として整理する。

【内容】

- ①未来住宅に係る調査：提案項目に係る技術開発項目を具体化し展開するために、未来住宅のコンセプトを作成しこれに係る適用技術を調査する。
- ②セル・サイクル工法：試行棟の建設および量産化に向け、インタージョイントの研究開発を行う。
- ③自律型エネルギー利用及び維持メンテナンス：試行棟の建設および量産化に向け、維持・メンテナンスのためのIoT活用住宅システムを整理し、エネルギー自律システムについて検討する。
- ④設計条件の整理：施設設計のための基準案を整理するために、外的条件及び各種要求性能と性能基準について調査し整理する。



第3回RFP 自動・自律型探査技術／課題解決型

アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討

課題名 | アースオーガ掘削情報による地盤推定のシステム化検討

機関名：日特建設株式会社、立命館大学

プロジェクト概要

【目的】

月・火星においては、地上と同様に拠点構築には地盤調査は不可欠であり、専用機器を使った調査を行えるのが理想である。

しかし、宇宙では使用できるリソースに限りがある場合が多く、他の目的で持っていくアースオーガ（図1）などの機器を活用できれば効果的である。地上においても、既製杭を施工する場合には、施工中のアースオーガによる掘削情報から、支持地盤に達していることを確認することが求められる。そこで、特別な機器を使用せず、アースオーガの掘削情報から地盤特性を逆推定する手法を研究した。これにより、月・火星探査において地盤調査を容易にすると共に、地上においても、掘削時の情報から地盤特性が求まり、コストダウンや工期の短縮が可能となる。

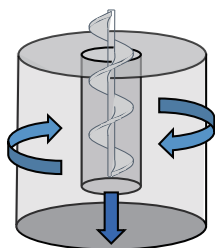


図1 アースオーガ
スクリー型
のオーガは排出と掘削が同時に行える効率の良い掘削機構である。

【内容】

本課題に先立つアイデア型研究では、スクリーオーガがボアホールを作成する際（掘削時）に地盤より受ける掘削抵抗情報を利用して、間接的に地盤強度を推定することを試みた。その結果、深さ1m程度の任意点で計測可能で安定した推定が可能なアルゴリズムをまとめ、地上の代表的地盤と月の模擬土壌で実験的に検証し有効性を確認した（写真1）。

本課題では、アイデア型研究を発展させ、地上利用において、径200～500mm、深さ5～10m程度の掘削を対象とした自動計測可能なアースオーガ掘削試験機を設計製作する（写真2）。この試験機を用い、まず、地盤の性状がわかっている試験地において試験掘削を行い、有効性の検証を行う。その後、地上での杭工事に適用することを目指している（写真3）。地上工事では、地盤の飽和・不飽和条件、砂、粘土等の地質条件、礫分含有量等の条件が少なからず影響を与える可能性があるため、写真1で示した室内掘削試験機も併用しながら、これらの諸条件の影響を明らかにする予定である。

地盤定数推定手法の応用の流れ

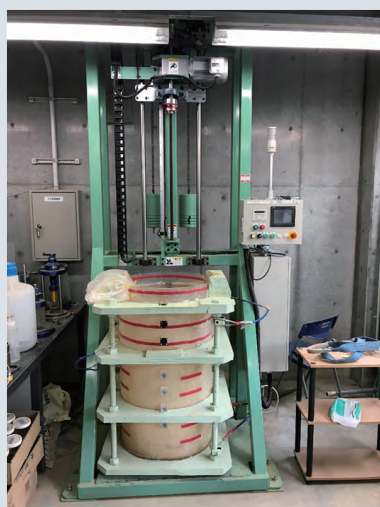


写真2 地盤定数の推定手法の検討に使用した掘進制御の可能な大型掘削試験機

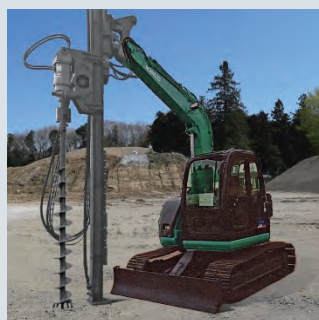


写真2 現場検証試験用の掘削試験機イメージ

現場での検証を経て
地上での工事に適用



写真3 杭基礎工事例

課題名 | 効率的なバケット掘削のための地盤情報取得技術

機関名：東北大学、清水建設株式会社

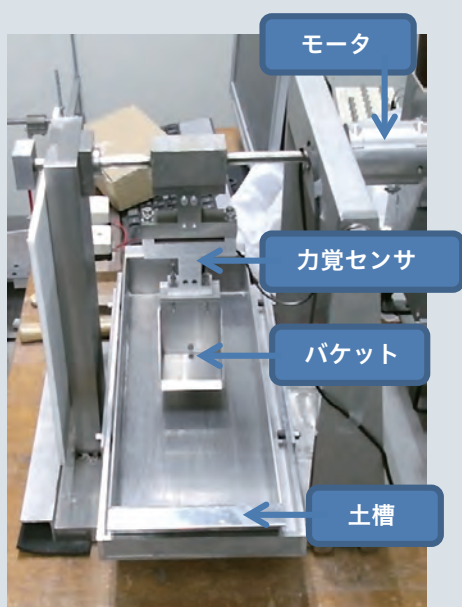
プロジェクト概要

【目的】

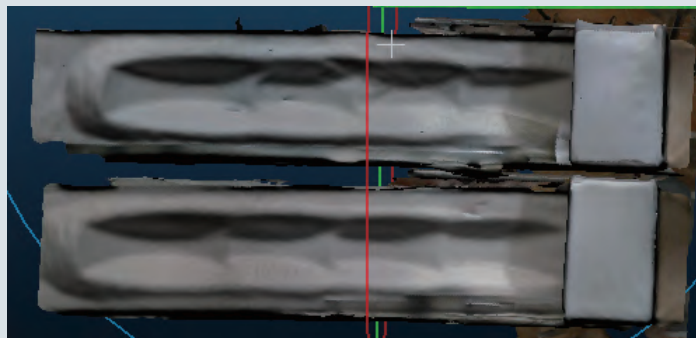
月や火星あるいは地上の無人化施工においては、遠隔あるいは自動操作による地盤の掘削作業が要求される。その場合に効率的な掘削を行うためには、地盤の変化を把握し、適切な掘削手順をリアルタイムに決定することが重要となる。本検討では、バックホウによる効率的な自動掘削を実現するために、地盤の形状変化や掘削抵抗に基づく掘削手順の最適化を図る。

【内容】

- ①模型バックホウによる地盤の掘削抵抗計測実験：土質条件を変化させた供試地盤を作製し、掘削実験を行ってバケットに作用する地盤の掘削抵抗を把握する。
- ②模型バックホウによる掘削後の地盤形状計測実験：砂質土をバックホウで掘削した後の地盤形状を把握するための計測実験を行う。
- ③掘削シミュレーションモデルの構築：模型実験で得られた基礎データを基に、効率的な掘削手順の決定に必要な掘削シミュレーションモデルを構築する。
- ④実機による地盤の掘削実験：実機を用いた地盤の掘削実験を行い、掘削シミュレーションモデルの妥当性を検証する。
- ⑤地上および宇宙への適用性検討：地上の事業化シナリオ作成および宇宙への適用課題の抽出を行う。



模型バックホウによる掘削実験



Coded Light 方式で取得した掘削形状（4回掘削）



ミニバックホウによる掘削実験

課題名 | 小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究

機関名：株式会社センテシア、大阪大学

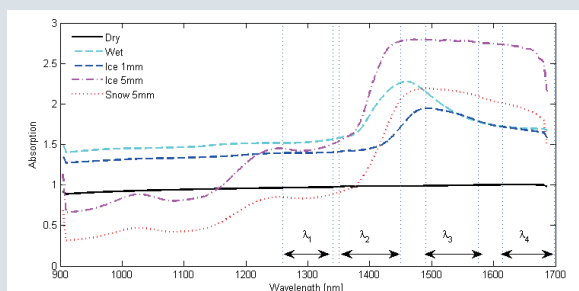
プロジェクト概要

【目的】

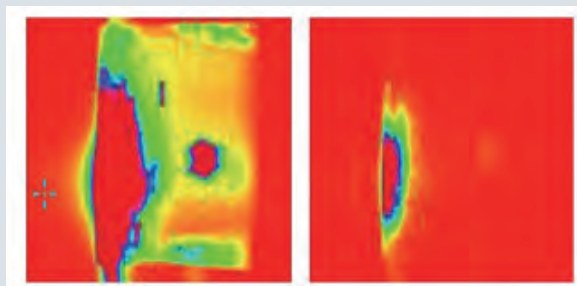
既存の2次元イメージング分光器には各種方式の機種が存在するが、小型・軽量化には、その方式ゆえの限界がある。本研究においては、その制約条件の少ない方式を用いて、大幅な小型・軽量化を図った機種を開発することが大きな目的である。28年度はそのための光学系の最適化、駆動方式の検討、検出器の調査、一部光学部品の最適設計と試作、29年度は試作機を製作し、性能試験および路上での水氷センシングの試行試験を行った。以上により、本方式の製作および性能実現の目処を得た。

【内容】

- ①光学系設計/サイズ最適化検討、全体システムとしての筐体/構造の検討
検出器に関わる調査を実施し、選定した。光学設計を行って機器配置・光路を最適化し、筐体サイズを検討した。200mm角程度の形状・サイズを目標とした（最終目標は90mm×150mm×100mm程度）。この中には回折格子等の光学部品、検出器、駆動機構（ただしモータではなく手動による駆動）が内蔵されている。
- ②光学部品の試作検討：回折格子最適化設計及び試作実施
光学設計に基づき、回折格子について、調査および最適化検討を実施し、回折格子を試作した。分光特性を確認して光学系BBM（1次試作機）に組み込んだ。
- ③月惑星探査における分光器機能・性能要求の検討
月惑星探査において必要な機能・性能の検討を行うために必要なクーリングステージを試作し、月惑星表面上での結氷状態の模擬観察を行った。
- ④性能試験および路上での水氷センシングの試行試験により、本方式の製作および性能実現の目処を得た。



Patrik Jonsson, et al., 2014, Road Condition Imaging-Model Development



1290nm 1370nm
道路面上の水/氷の波長別反射率



2次元分光による水面/結氷面
/雪面での計測例（センテシア計測）

課題名 | 液体を使わない建設資材の現地生産技術の研究

機関名：東急建設株式会社、東京都市大学、日東製鋼株式会社

プロジェクト概要

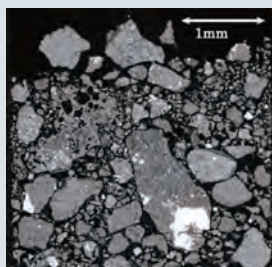
【目的】

遠心成型技術やジオテキスタイル技術を用いることによって、水などの液体を使わずに地上の土質原料や月の砂を締固めて固化させる技術の検討を行う。各種の土質原料や繊維補強材を使用した場合の固化の原理ならびに実現性を明らかにするとともに、ブロック状や土のう状の建設資材としての適用性を評価する。

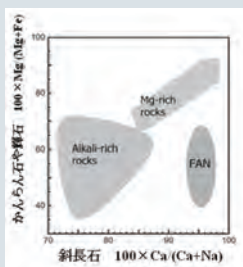
【成果】

- ①土質原料および繊維補強材の選定：圧縮による破碎性、廃棄物としての消費需要などを考慮して、検討用の土質原料を選定した。また、圧縮固化材料の補強機能を有し、かつ月面等の過酷な環境においても適用可能な繊維補強材（材質、形状）を選定した。
- ②圧縮固化・強度試験：種々の土質原料単体あるいは各種繊維補強材を混入させた試料に、最大100MPaの一次元圧縮応力を加え、固化の状況、固化に必要な圧縮応力ならびに一軸圧縮強度等を調べた。
- ③遠心成型による固化体の試作：遠心機を用いて土質原料を固化させ、その特性を把握するとともに、連続的な自動化生産方法の検討を行った。
- ④網状補強材の検討：網状の補強材で圧縮固化した材料やその組立構造体を覆い、構造体としての形状や強度の維持を可能とする方法の検討を行った。

月面の砂



写真引用：松島亘志
月面表層土粒子の高精細X線CT画像の取得とその利用



図引用：荒井朋子
かぐやデータと月試料の融合研究が拓く月科学

Median size: $70\mu\text{m}$ (soil)。Meteorite Impactにより高温高压で溶融・粉碎されたため、ガラス質が多い。平地部では数m、クレーター部で10数mの厚さで堆積する。その下は岩盤。主な成分：Si, Al, Ca, Mg, Fe

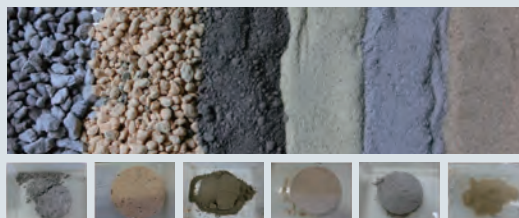


Mission!!
Regolithを使用して
Luna r base を建設

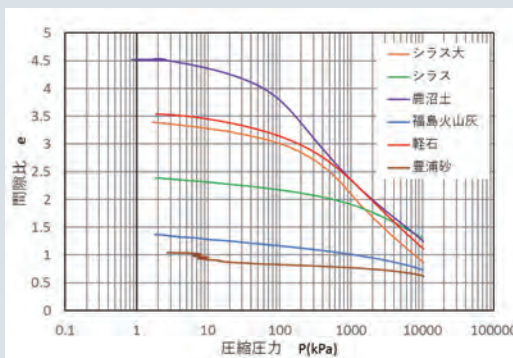
Regolith and short fibers are mixed and compressed using centrifugal device

圧縮試験

圧縮試験の材料



シラス大 鹿沼土 福島火山灰 鹿児島軽石 シラス 豊浦砂



1次元圧縮試験で、固結状態を確認

Compressive strength of the regolith simulant is investigated

課題名 現地資源からの建設資材の製造システム

機関名：三菱マテリアル株式会社、北海道大学、山口大学、株式会社大林組、有人宇宙システム株式会社、株式会社IHI、株式会社IHIエアロスペース

プロジェクト概要

【目的】

ジオポリマー（Geopolymer：GP）の原料物質（アルカリ、ケイ酸）を地球表層の土壌や月面レゴリス（現地資源）から抽出し、その固化体（以下GP固化体）を製造するプロセス、ならびに現地資源から建設資材としての焼結材を迅速製造・利用するプロセスにおける必要エネルギーを導出する。これを元に、地球の一日あたり、1,000 kg以上の月レゴリスを処理し、月面で建設資材を創製するための低エネルギーな手法を提案する。本手法により、従来のコンクリートやセメントに比べてCO₂排出を大幅に削減でき、かつ高強度な固化体が作製できる。これらの固化体の性能を活かせる市場の調査および、新たな固化体製法に基づく事業化案の策定を行う。

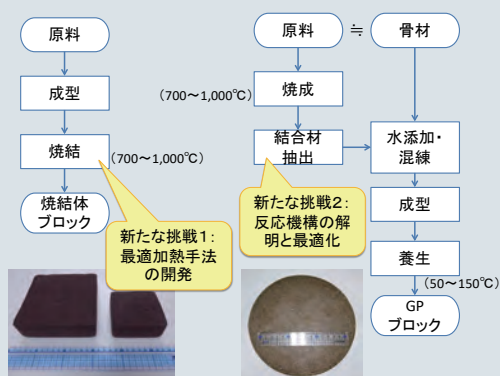
【内容】

- ①原料の調査・選定（粘土、シラス、模擬月土、スラグ、スラッジ）を行った。
- ②DSC（示差走査熱量分析）およびXRF（蛍光X線分析）、XRD（X線回折）およびMELTS解析等による原料の溶融特性把握を行った。
- ③GP-A固化試験：焼成した各種原料に水を加え、粒子界面に溶出したアルカリによって原料自身を固化させる手法の検討を行った。
- ④GP-B固化試験：焼成原料から溶脱したアルカリ溶液を用いて新たな原料を固化させる手法の検討を行った。
- ⑤焼結材熱特性試験：焼結材内部温度計測ならびに各種焼結温度プロファイルの適用による低エネルギー焼結手法の検討を行った。
- ⑥固化体の物性総括と製造所要エネルギーの算定を行った。
- ⑦新たな固化製法の展開と事業化に向けた検討を行った。

焼結、ジオポリマー（GP）固化体、二つの建設資材

焼結体：粉体を型枠に入れ、高温（700～900℃）で焼結・固化することで得られる固型化物（例）レンガ、土器
GP：ローマセメントとして知られる人工岩石系材料。結合材（フィラー）と骨材を脱水縮合反応により固化
（例）ローマのパンテオンやコロッセオ

製造プロセス案（例）



焼結体とジオポリマー固化体のメリット・デメリット及び研究対象

	焼結体	ジオポリマー固化体
メリット	●水を使うコンクリートに比べ工程が簡単 ●現地材料のみで製造可能	●製造工程におけるCO₂排出が少ない ●強度、耐酸アルカリ性、耐熱性に優れる ●長寿命
デメリット	●高温処理が必要 ●厚いブロックでは時間がかかる。	●少量の水が必要 ●焼結材と比較して工程が複雑
研究対象	●製造の最低温度（エネルギー）の測定 ●焼結時間が最適なブロック厚の算出	●合理的な新規GP製造手法の開発 ●製造の最低温度（エネルギー）の測定

候補原料と想定用途

原料	建設資材の用途	焼結体	GP固化体
レゴリス・シミュラント	月面基地	○	○
粘土（ベントナイトなど）	発展途上国レンガ	○	○
シラス（火山灰）			○
スラグ廃材（銅スラグ）	一般建設用		○
スラッジ（浄水汚泥）		○	○

現地資源や
廃材安定固化
そして月面拠点建設



現地資材のみを
原料とする建築
資材製造方法を
開発する

極限環境での長期
安心安全居住を
可能にする

課題名 | 砂や火山灰の形成技術の研究

機関名：モルタルマジック株式会社

プロジェクト概要

【目的】

提案者が現在保有する「紛体を自由な形に形成し固める技術」の適用範囲を拡大し、新たな市場の開拓を目指す。具体的には、砂や火山灰を用いて作製した形成物の実用的な展開先ならびに月面における適用性を探るとともに、その形成物に要求される性能を確保するための新しい形成技術を提案する。

【成果】

- ①砂および火山灰形成物の適用検討：形成物の実用的な展開先の調査ならびに展開に必要な形成物の目標性能を明らかにした。
- ②形成物の基本性能確認：基材（砂・火山灰等）の安定的な調達方法を調査し、それらの基本的な性質（化学組成、粒子密度、粒度等）の把握を行った。
- ③各基材について従来のバインダー混合比を変えた形成物を作製し、それらの強度特性を把握を行った。
- ④形成物の改良研究：実用展開に必要な形成物の性能を満たすバインダーを調査・調達し、形成物を試作しその性能を評価した。
- ⑤砂および火山灰形成物の地上における新たな用途製品を提案するとともに、宇宙での適用可能性について検討した。

基本性能試験

- ①バインダ材の混入率を変えてベース試験体を形成
- ②ベース試験体表層に各種トップコートを塗布し特性を把握



簡易強度試験装置



強度試験後の試験体

第1回RFP 地産・地消型探査技術／アイデア型

資源利用プロセス技術の研究

課題名 | 火成岩あるいは粘土鉱物を主体とする土質材料からの建設材料の作製

機関名：株式会社大林組

プロジェクト概要

【目的】

- ①土質原料および繊維補強材の選定：圧縮による破碎性、廃棄物としての消費需要などを考慮して、検討用の土質原料を選定する。また、圧縮固化材料の補強機能を有し、かつ月面等の過酷な環境においても適用可能な繊維補強材（材質、形状）を選定する
- ②圧縮固化・強度試験：種々の土質原料単体あるいは各種繊維補強材を混入させた試料に、最大100MPaの一次元圧縮応力を加え、固化の状況、固化に必要な圧縮応力ならびに一軸圧縮強度等を把握する
- ③遠心成型による固化体の試作：遠心機を用いて土質原料を固化させ、その特性を把握するとともに、連続的な自動化生産方法の検討を行う
- ④網状補強材の検討：網状の補強材で圧縮固化した材料やその組立構造体を覆い、構造体としての形状や強度の維持を可能とする方法の検討を行う。

【成果】

- ①土質材料調達・調整：粘土鉱物、汚泥廃棄物、模擬月土（シミュラント）等の原料を入手し、粒度等の調整を行った。
- ②マイクロ波溶融技術の研究：模擬月土および汚泥廃棄物のマイクロ波による加熱特性を調べた。加熱後試料の外観ならびに一軸圧縮強度と、投入積算電力を調べた。
- ③コールドプレス技術の研究：粘土鉱物、玄武岩、汚泥廃棄物ならびに水分を種々の混合比で調整した材料を一軸載荷して成型し、さらに乾燥養生を行って固化試料を作製する。固化試料の外観ならびに一軸圧縮強度を把握し、最適な混合比、養生条件等を特定した。
- ④地上における廃棄物固化ならびに月・火星における利用のための技術およびコストの最適化についての検討を行った。



作製例：マイクロ波利用（左）、コールドプレス法利用（右）

コールドプレス法手順



A. 原料混合



B. 容器への充填



C. 圧縮後 容器からの取り出し

課題名 | 月土壤の水素還元システムの構築 —低品位原料の工業的利用を目指して—

機関名：九州大学、若狭湾エネルギー研究センター、ヒロセ・ユニエンス株式会社

プロジェクト概要

【目的】

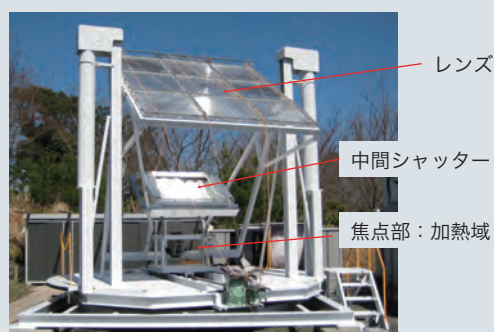
月土壤などの低品位の酸化物原料を還元対象とした反応炉の設計と反応条件の最適化を行い、還元が難しい酸化物からの金属製造プロセスの工業的応用を検討する。また、太陽炉を用いた本プロセスの実現性、および地上では今までには用いられることがなかった低品位の酸化物原料や難還元性の酸化物原料を用いた金属製造プロセスの工業化を検討する。

【成果】

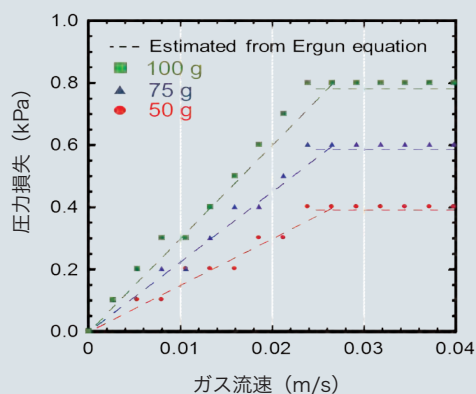
- ①流動層による模擬月土の水素還元を行い、その流動・反応条件の最適化を検討した。
- ②太陽炉を用いた固定層反応炉では、短時間で目標温度まで到達する能力が実証された。流動層反応炉に向けた受光部や伝熱構造の設計指針を得た。
- ③流動層反応炉における低品位チタニアの水素還元実験により、酸素欠損型チタニアの作製に成功した。
- ④実験成果をもとに1,000 kg/dayの原料処理を行う場合の反応炉の設計と必要なエネルギー量を見積もった。



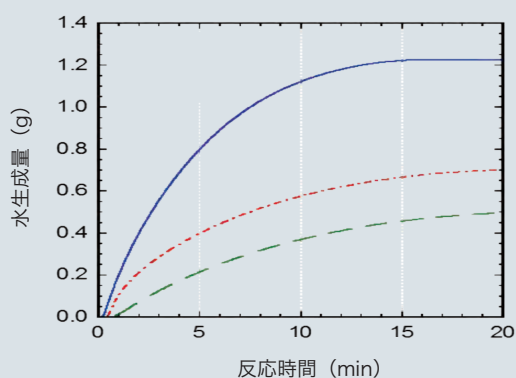
流動層水素還元システム



10 kW 大型太陽炉



流動化実験結果



水素還元反応例

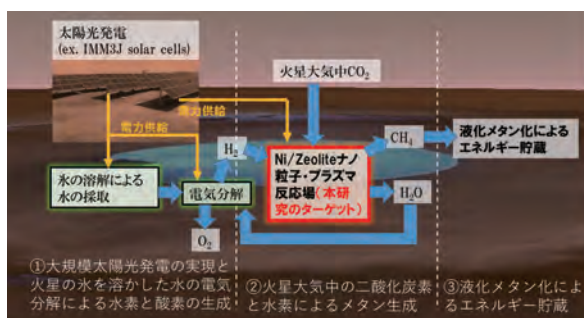
課題名 プラズマ・触媒ナノ粒子複合反応場によるCO₂資源化技術の開発

機関名：九州大学

プロジェクト概要

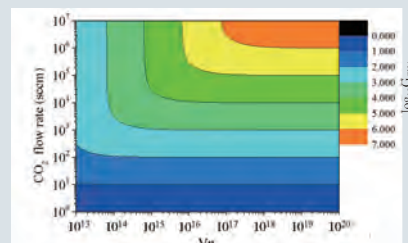
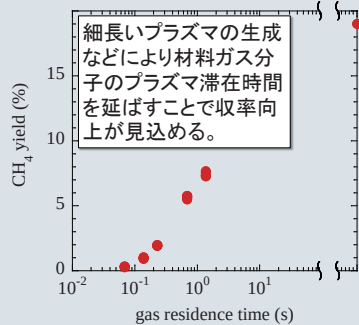
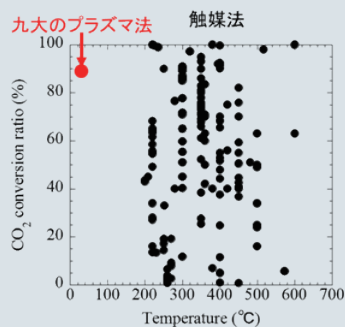
【目的】

火星に存在するCO₂とH₂OからCH₄への自立型エネルギー固定化実現を最終目標とする本研究は、その中核技術となる火星大気中の二酸化炭素と水素によるメタン生成について、地上実験による製造プロセスの原理検証を研究目的とする。



【成果】

- ①Ni/Zeoliteナノ粒子とプラズマの相互作用によるCH₄変換機構解明：プラズマパラメータやナノ粒子物性に対するCO₂分解からCH₄への分解反応プロセスを定量的に明らかにした。
- ②実用的に意味がある高スループット、高変換効率の実現：プラズマと触媒の併用によるCH₄の収率向上を実現。
- ③火星におけるCO₂資源化プラントの概念検討：CO₂資源化プラントに必要なシステム要求を明確化し、CO₂資源化プラントの概念検討を行った。



1日に原料1000kgをCH₄に変換した場合のCH₄生成速度G_{CH4}=3x10⁵cc/min
今後のエネルギー効率向上により、達成可能

【成果① Ni/Zeoliteナノ粒子とプラズマの相互作用によるCH₄変換機構解明】

- ・従来の触媒法では実現出来ない、室温でCO₂変換率90%達成（上図）。
- ・CO₂メタン化プロセスの理論的検討に必須の電子衝突解離定数を初めて決定した。

【成果②実用的に意味がある高スループット、高変換効率の実現】

- ・火星大気圧条件下において、プラズマと触媒の併用によるCH₄収率19%達成（上図）。
- ・触媒劣化なしに長時間運転の可能性を示すとともに・高スループット高変換効率の実現可能性を示した。

【成果③火星におけるCO₂資源化プラントの概念検討】

- ・1日に1000kgの原料を変換するために必要なプラズマ体積は10m³であることを理論計算より明らかにした（上図）。

課題名 | ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究

機関名：神栄テクノロジー 株式会社、産業技術総合研究所、大阪大学、茨城大学、鹿児島大学

プロジェクト概要

【目的】

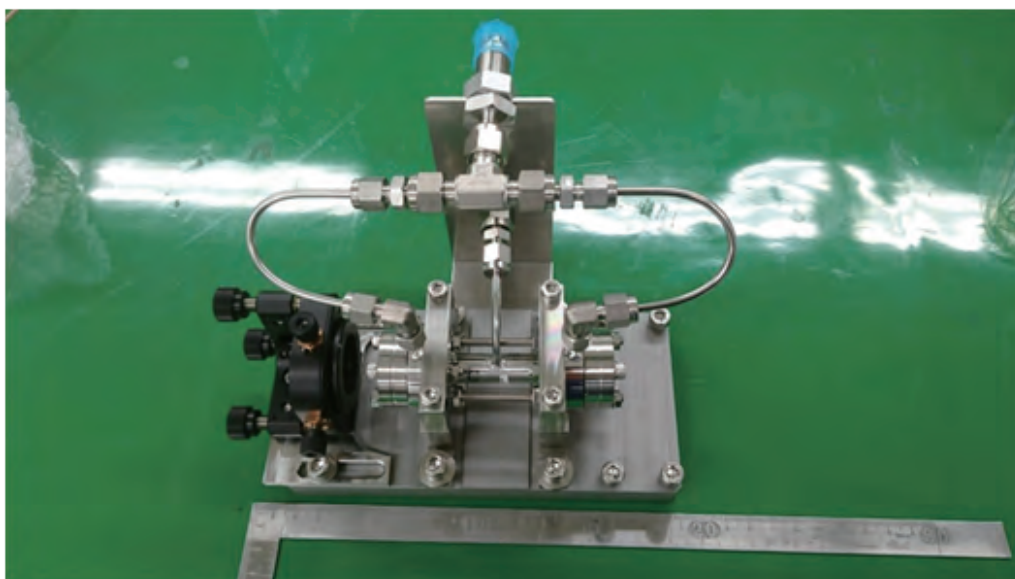
月や火星探査で水を現地調達し利用可能とする事が考えられており、月探査上で水氷を含む揮発性物質の分布や濃度を知ることが最優先項目とされている。そのため、その要求を満たすセンサが求められている。地上用途ではppbレベル迄の微量ガス測定の要求があり、半導体／有機半導体などの先端プロセス現場ではこのような微量水分領域での小型センサが必要とされている。

本研究では、上記のような様々な分野で必要とされている、小型軽量（重量3kg、サイズ200mm×200mm×200mm程度）で高感度・高精度、かつロバスト性を有するガスセンサーの実現を目指す。

【内容】

小型高感度化技術を確立するため、先ず光学設計を行い、それに基づく試作機を製作し、検出器信号等を確認して検証を行った。また、目標サイズに収まるロバスト性を考慮した試作機の組み立てまでを行った。

並行して計測性能を検証するための高性能なガス中微量水分発生器を製作し、今後、試作機が動作できる時期に合わせて稼働させる予定。これにより、正確・安定な水分発生源を用い、試作機の計測性能を評価する予定である。



課題名 | マイクロ波凍結乾燥（氷から水をつくる技術）

機関名：マイクロ波化学株式会社、東京工業大学

プロジェクト概要

【目的】

月や火星の地下に存在する水氷において水を効率的に分離する技術として、マイクロ波による凍結乾燥技術の応用を提案する。伝熱では無く、直接氷状態の水分子にマイクロ波を相互作用させることが重要である。物質のマイクロ波吸収能(ϵ'')は固有値であり、表土と氷が混ざった状態において、 ϵ'' (表土成分) < ϵ'' (氷) の周波数を選定すれば、マイクロ波や高周波により氷に選択的にエネルギーを伝達できることが可能となる。

さらに、半導体型マイクロ波発振器により複数地点から位相を制御したマイクロ波を照射することにより、ある深度で電界強度が最大となる設計が可能となる。つまり、氷存在する領域に選択的にマイクロ波を照射できる。

本コア技術を地球においてマイクロ波凍結乾燥技術として事業化する。

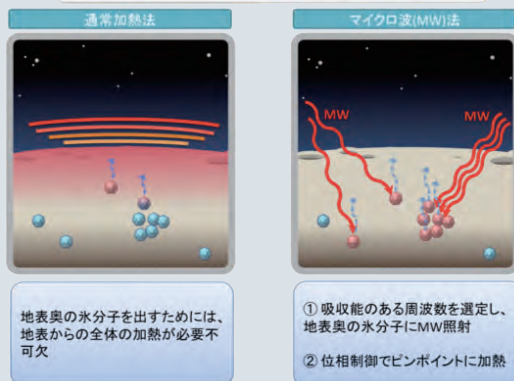
【内容】

マイクロ波の投入エネルギーと物質、系内、コールドトラップの温度変化から条件を最適化した。系内の温度変化を観察しつつ、マイクロ波のエネルギー投入量や、排気速度を調整することによって適切な乾燥が行えるようになった。

電磁波による氷融解あるいは束縛水からの水回収系の原理を解明した。水、含水月レゴリス模擬砂、NaCl水溶液を対象として複素誘電率測定、マイクロ波・高周波照射下における凍結乾燥、in situ ラマン測定を行い、誘電特性、乾燥特性、水の構造変化から水分子運動性や昇温特性を明らかにした。

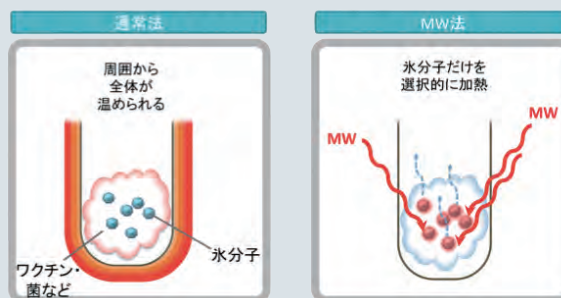
さらに、1m級の大きなマイクロ波凍結乾燥キャビティを作成し、内部で-50℃、1 Paを達成することが出来た。位相制御試験に依りては2つのマイクロ波発振源の位相差によって、加熱される水の位置が異なることを確認した。

月や火星の水の分離における通常法とMW法の比較



凍結乾燥における通常法とMW法の比較

※ 乾燥条件例: -50℃, 1Pa



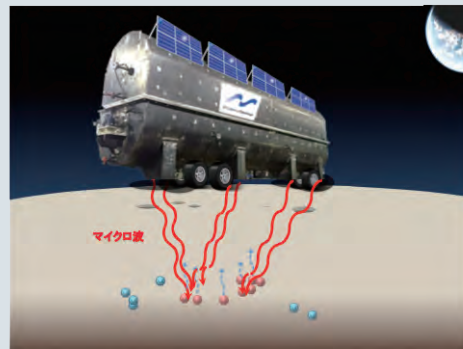
開発中のプロトタイプ装置 @ マイクロ波化学(株) 試験機



月の砂を模した砂を用い、プロトタイプ装置による凍結乾燥実験を行った。



プロトタイプ装置のデモ実験の様子



宇宙の太陽光を用いて電気をつくり、その電力で装置を動かして水を回収する。水は飲水用途以外にも、水素(H_2)と酸素(O_2)にわけてロケットを飛ばすための燃料を作ることできる。

課題名 | 植物生産へ適用可能な高性能人工構造タンパク質素材の開発

機関名：Spiber株式会社

プロジェクト概要

【目的】

クモの糸に代表される構造タンパク質材料は、機械的物性に優れるのみならず、炭素や窒素等の元素を豊富に含み、かつバイオプロセスにより分解可能な生体材料である。長期ビジョンとして月面での植物生産が検討される中、植物の生育に必要な肥料の輸送コストが課題となっている。本プロジェクトでは、窒素の月面への効率的輸送を実現するため、月面探査機部品や月に輸送する各種物資等の一部を構造タンパク質材料に代替することを目指す。この目的のため、探査機等に採用可能な物性的要求仕様の抽出、及び月面でのバイオプロセスによる肥料化を実現する新規タンパク質材料の開発に取り組む。

【成果】

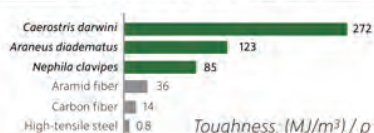
高性能タンパク質材料の宇宙領域における利用を検討する目的で下記①②の評価試験を実施し、同結果を持って宇宙航空部品等へ実装可能な製品提案を行う。

- ①タンパク質材料の宇宙航空部品としての性能評価
規格に準拠した評価試験を実施し、構造タンパク質材料の各種機械的特性、可燃性、及びオフガス特性等を評価する。
- ②タンパク質材料の植物生産における肥料としての性能評価
タンパク質材料が高い分解率を示す環境条件の確立、及び同タンパク質分解物が植物生育に及ぼす影響を評価する。

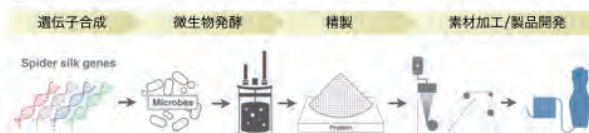
シーズ技術 (タンパク質素材)

20種類のアミノ酸の組み合わせにより多種多様な素材を生み出すことが可能なタンパク質。重さ当たりのタフネス（靱性）が鋼鉄の約340倍とも言われる天然のクモ牽引糸もタンパク質を主成分とする天然素材の一つである。
Spiber社ではこのようなタンパク質素材を普及させるべく、低コスト大量生産技術、及び素材加工技術の開発に取り組んでいる。

天然クモ糸の優れたタフネス



人工タンパク質素材の生産プロセス一例



人工タンパク質を加工してできた素材の一例



JAXAとの連携

人工タンパク質素材の特殊物性評価、生分解性評価、及び課題抽出

将来の展望

宇宙分野への貢献



一般社会への普及



第3回RFP 地産・地消型探査技術／アイデア型

月面農場を想定した新しい農作物の栽培実証

課題名 袋培養技術を活用した病虫害フリーでかつ緊急時バックアップも可能な農場システムの研究

機関名：株式会社竹中工務店、キリン株式会社、千葉大学、東京理科大学

プロジェクト概要

【目的】

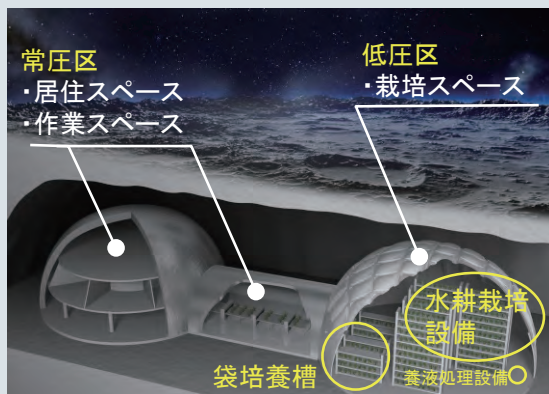
月面農場では、移住初期の食料供給、および定住時の大規模安定作物生産のための病虫害防止と緊急時食料バックアップへの対応が必要である。加えて、ペイロードの低減には構築物建設資材低減、運用時のエネルギー低減が必要となる。これらを実現するためには植物組織培養法による袋培養技術の活用が有効であり、同じ袋培養設備が居住フェーズに合わせて小ロット栽培とウイルスフリー苗供給の両機能を兼ね備えることが期待できる。そこで、袋培養技術による作物の栽培可能性の評価と有効成分評価、物質収支評価、低圧環境栽培や水循環などペイロード低減策の成立性の基礎的確認、これらを踏まえた月面農場モデル構築を行う。これらは地上においても過酷環境等における各種栽培技術としての活用が期待できる。

【成果】

袋培養による、ウイルスフリー苗および葉菜可食部の栽培可能性と、必要な資材量の基本データを取得する。月面等を想定した場合に、低圧での栽培が可能であれば、施設建設資材の軽減と運用エネルギーの低減が可能であるため、低圧環境での栽培可能性についても評価を行う。これらの結果を踏まえて、設定人数に対する必要栄養成分を想定した、全体システムの規模を試算する。



袋培養のイメージ



農場システムのイメージ



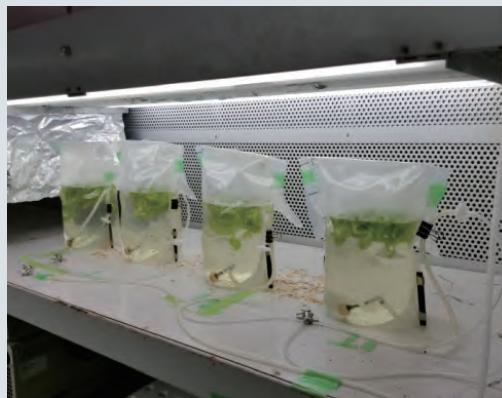
低圧栽培の考え方

<2017年度実施状況>

- ・試験対象作物として、レタス、ジャガイモ、ダイズを選定した。
- ・レタスについてウイルスフリー苗培養、低圧栽培試験を行い、低圧状態においても常圧と遜色ない生育であることを確認した。



低圧栽培チャンバー



袋培養による栽培状況（常圧）

課題名 穀物増産を実現する種子の処理技術開発

機関名：九州大学、ケニックス株式会社

プロジェクト概要

【目的】

長期有人月滞在におけるカロリー供給を月面で実現する基幹技術を創成するとともに、日本における農業生産性向上に資する技術に発展させることを目的とする本研究では、「穀物を対象とした、発芽・成長促進による穀物増産技術」について検討する。

提案代表者は近年、モデル植物であるシロイヌナズナ種子への処理による、11%の収穫時期短縮と56%の収穫量増加効果を見出した。本研究では、対象をイネとジャガイモへ展開し、発芽・成長促進効果の最適化と大量処理実現のための問題点を明らかにしてこれを解決すると共に、得られた知見を基に大量処理装置を開発する。

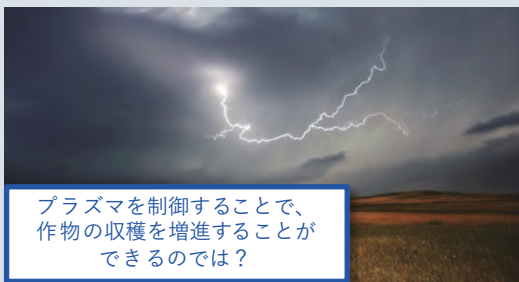
【成果】

本研究では以下の内容について検討を行う。

- ①イネ・ジャガイモへの成長促進効果検討と条件最適化
提案代表者が開発したコンビナトリアル照射法を用いて照射効果の検討と、照射条件の最適化を行う。コンビナトリアル法では、発生した活性酸素窒素種（RONS）やイオンの照射量を空間的に変化させて、一度の実験で様々な条件で処理可能である。イネの種子に対してコンビナトリアル照射法を適用して照射条件の最適化を短期間で実現する。
- ②種子の大量処理技術開発
1時間当たりイネの種子で5kgの自動種子処理を実現する。
- ③フィールドでの実証試験
圃場での栽培における課題の抽出と、収穫量増加、収穫時期短縮を確認する。

1. プラズマ技術の農業応用

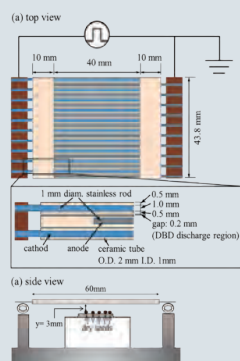
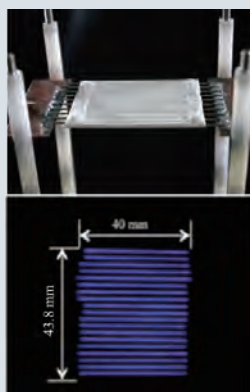
古来、雷（自然界のプラズマ）がよく起きた年は稲の実りが良いといわれていた。雷の別称は、稲妻。



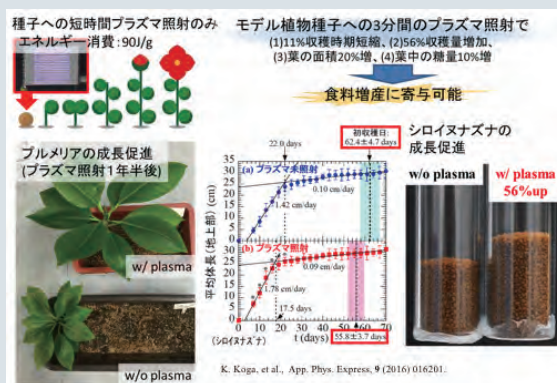
プラズマを制御することで、作物の収穫を増進することができるのでは？

2. プラズマ発生装置の開発

誘電体バリア放電で大気中で非平衡プラズマを生成し、種子へのプラズマ照射を実現した。

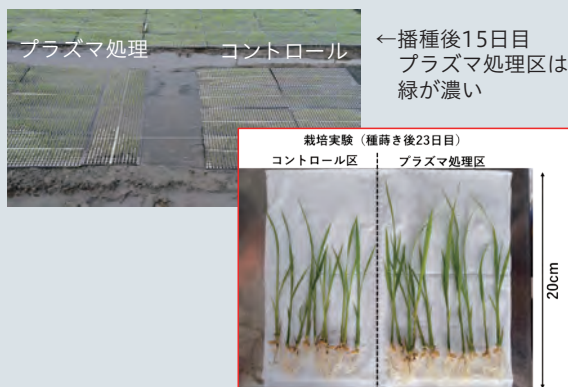


3. モデル植物でのプラズマ成長促進



4. フィールドでの実証

農家の方の協力でフィールド実験を遂行しています。



課題名 | 月面農場における高カロリー作物栽培システムの要素技術開発

機関名：千代田化工建設株式会社、メビオール株式会社

プロジェクト概要

【目的】

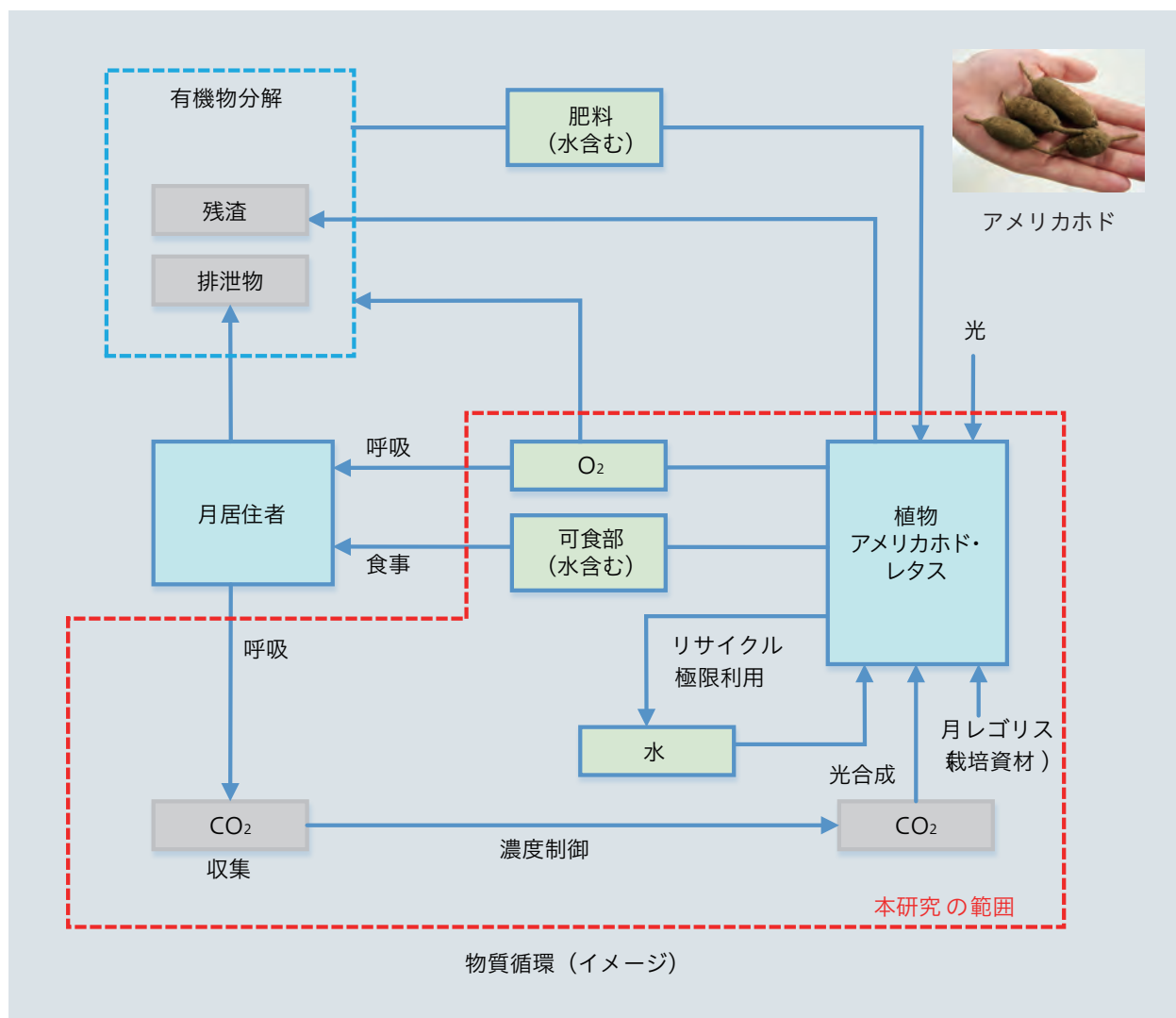
月面居住区では、容易に確保可能な物質以外は、可能な限り循環使用が必要とされる。植物は光合成により居住者が排出する二酸化炭素を呼吸に必要な酸素に変えるだけでなく、居住者のエネルギー源となることから、月面での物質循環において大きな役割を担うことが予想される。

本研究では、月面農場を想定して月レゴリスを用い、高栄養植物であるアメリカホドの栽培検討を行うとともに、植物工場や砂漠、荒地の農地化など地上への応用も目指す。また、特に重要な物質である水・炭酸ガスの損出量を最小とする栽培システムの構築を目指す。

【成果】

本研究では、以下の検討及び試験を実施する。

- ①アメリカホド栽培技術開発
ラボスケールでのアメリカホドの栽培方法の検討、及び検討培地を用いた野外環境での栽培実証を行う。
- ②水再利用システムの検討
単肥調整、生育阻害物質除去、及び殺菌を行いながら、リーフレタスの半年以上の連続栽培を行う。
- ③二酸化炭素供給システムの検討
CO₂供給システムの施設構成・規模及び物質収支を検討する。



課題名 | 摂食可能なジャガイモの完全閉鎖型・完全水耕型人工栽培システムの基礎検討

機関名：玉川大学、パナソニック株式会社 エコソリューションズ社

プロジェクト概要

【目的】

小麦やトウモロコシのような主食となりうる高カロリー作物のうち、ジャガイモは比較的低光強度かつ少水量で生育できる性質を有する。一方で、ジャガイモは連作障害が顕著に発生するが、水耕栽培であれば水耕液を交換するだけで連作障害を回避できることから、水耕栽培を適用するメリットがある。

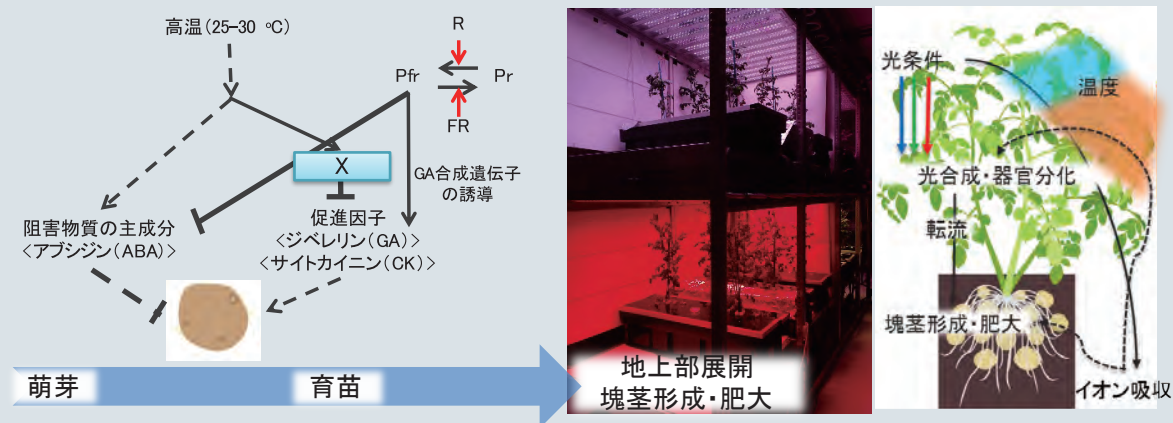
しかし、従来の水耕栽培は主として地上部を摂食する作物が対象であり、地下部（根域）を対象とした研究開発は遅れており、さらに摂食可能な品質でジャガイモの水耕栽培が実用化された事例は少ない。

そこで本研究では、完全閉鎖型・完全水耕型であり、かつ摂食可能な塊茎を形成できるジャガイモの人工栽培技術を確認し、実用化検討を行う。

【成果】

- ① 光と温度が塊茎形成に与える影響のin-vitro評価
マイクロチューバや培養苗を用いて、光と温度が塊茎形成に与える影響を実験的に評価し、基礎データを収集する。
- ② 栽培可能品種の拡大検討
2倍体品種を対象に栽培試験を行い、当該品種の基本的な環境応答特性を把握する。
- ③ 高収量安定化のための基本栽培手法の検討
光合成効率を向上させる光照射や地上部密植部への均一な送風を実現するハードウェア効果についての実験検証を行う。
- ④ 月面環境や宇宙環境に関する情報提供及び宇宙応用への適用検討
月面農場等、宇宙応用への適用について検討を行う。

光および温度条件を振り分け、各生長ステージ（萌芽、育苗、地上部展開、Sink形成（ストロン）、塊茎形成・肥大）へ与える影響を解剖学的・生理学的に解析する。



栽培システム例（冷凍コンテナ利用型）



- 達成目標：株あたり平均収量1.2kg
- 開発課題：高収量安定化に向けた栽培手法の構築
- 実施内容：LED配置変更による光合成効率向上効果の確認
密植部への送風による蒸散促進効果の確認
塊茎周辺の空間拡大による増収効果の検証



課題名 移動体搭載用の燃料再生可能な燃料電池システム用超高压複合容器製造技術

機関名：中国工業株式会社、九州工業大学、産業技術総合研究所

プロジェクト概要

【目的】

月・火星の拠点、移動車両、作業機械などでは、大きな電力を必要とし、大容量で軽量の電池が必須となるため、発電後に生じた水を回収・電気分解し、酸素と水素を再生可能な燃料電池システムの構築を目指している。そのためには軽量でガス貯蔵効率が高く、ガス透過が少なく、極限環境下でも使用可能な燃料電池システム用超高压複合容器が求められている。本研究では、質量効率としては燃料電池自動車用と同程度を維持しつつ、水素ガス透過量を従来の10分の1、そして広い温度範囲と放射線環境下で使用可能な極限環境適用性材料で構成される超高压複合容器の実現を目的とする。

【内容】

地球から必要部品を持ち込んで組み立てを行うことを念頭においた場合、ロケットでの部品の輸送を考えると質量効率の向上が必要不可欠となる。また、宇宙空間では寒暖の差や、放射線暴露といった極限環境に適用する材料で構成する必要がある、その選定が重要となる。そこで、超高压複合容器の質量効率を上げるためにフィラメントワインディングパターン（FW）の効率化を行う。また、高ガスバリア性、極限環境適用性材料の検討としては、候補となる各種ライナー材、ガスバリア材について強度試験、酸素適合試験、ガス透過試験等を実施・評価し、これら技術を統合し最適構成な複合容器を目指す。

複合容器の研究開発状況

● 質量効率を上げるためのFWパターンの効率化

超高压複合容器の質量効率を上げるために、フィラメントワインディングパターンの効率化



● 高ガスバリア性、極限環境適用性材料の検討

適用性材料の検討として、熱可塑樹脂、クレスト等の候補となる各種ライナー材、ガスバリア材について強度試験、酸素適合試験、ガス透過試験を実施、評価し、その最適構成を検討

● 目標仕様

上記の研究開発成果を統合し、以下の目標を達成する

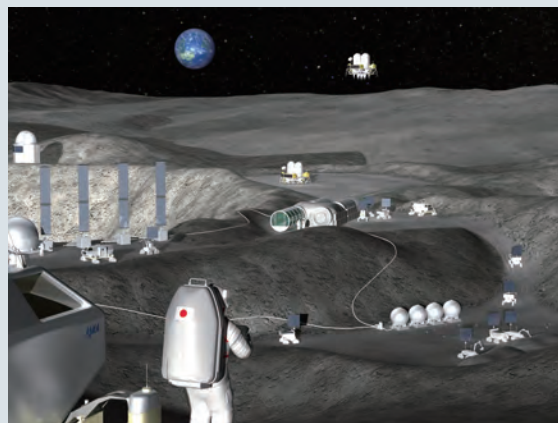
項目	目標仕様
設計圧力	42 Mpa（移動体用を想定）
H ₂ ガス透過量	従来と比較して 1/10 以下
サイズ	45 L（180Lまで拡張可）
質量効率	燃料電池自動車用と同程度

適用先

地上用途 → 水素ステーション
（出典：大阪ガス プレスリリース）



宇宙用途 → 再生型燃料電池システム
（ガス貯蔵タンク）



課題名 | 全固体リチウムイオン二次電池の開発

機関名：日立造船株式会社

プロジェクト概要

【目的】

全固体リチウムイオン二次電池は、高エネルギー密度、使用温度域が広い、高い安全性、そして長寿命と言った特徴を有することから、従来の電解液式のリチウムイオン電池で抱えていた課題の解決が期待されている。宇宙用途においても、従来の電池では適用することが困難であった極限温度環境下での適用が有望視されている。本研究では、全固体リチウムイオン二次電池の試作・評価を通じ、極限環境に対する耐性強化、ならびに大型化・高容量化を実現し、将来の惑星探査ミッション適用に向けて革新的な蓄電池技術を獲得することを目的とする。

【内容】

宇宙探査機への適用を目的とし、これまでの実績を上回る性能の実現するため以下の開発を進めている。

- ①極限環境下で安定動作可能な全固体リチウムイオン二次電池の検討、試作：100℃を超える厳しい高温・低温環境に耐え、必要な運用期間に安定的に動作する電池の実現を目指した検討と試作を行う。
- ②二次電池の大型化、高容量化検討、試作：これまでの実績を大きく超える大型化、高容量化を目指し電池の構成やパッケージなどの検討と試作を行う。
- ③試作電池の各種評価：試作した電池を、高温、低温環境や、振動環境など厳しい環境の元で評価し、特性の把握を行う。

本電池の特長・研究目標

無機固体電解質を使用しているため以下の特長を有する

● 高い安全性

可燃性ガスが生じることがない

● 高エネルギー密度

同一パッケージ内で積層でき、高電圧、高容量化が可能

● 幅広い使用温度範囲

液式の同電池とは異なり、電解質の凍結や蒸発がなく、低温から高温まで動作可能

● 長寿命

リチウムイオンのみを移動させるため、副反応が抑制され、劣化の少ない安定な動作が可能



探査ハブ研究では、厳しい高温・低温環境耐性、ならびに高容量化に関して、これまでの実績（温度範囲：-40℃～+100℃、容量：数Ah）を上回る性能の実現を目標とする。

適用先、事業化構想

今後、成長が見込まれる蓄電池3分野への用途を検討中

【電力系統用蓄電池】

太陽電池発電所の出力を安定させるほか、揚水発電の代替手段



【定置用蓄電池】

非常用自家発電機の代替や猛暑時のピークカットに活用



【車載用蓄電池】

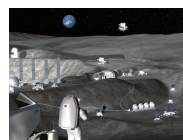
電気自動車・燃料電池自動車など、次世代車に必要不可欠



併せて、宇宙用途への展開も視野に

【宇宙用蓄電池】

従来の電池が適用困難である極限環境下のミッションに搭載



課題名 | 固体化マリンレーダーの開発

機関名：株式会社光電製作所、株式会社東洋技術工業

プロジェクト概要

【目的】

船舶の航行の安全を守る“マリンレーダー”では、周波数の有効利用や維持費負担の低減から、マイクロ波の出力に半導体増幅器を用いた“固体化マリンレーダー”の開発が求められている。近年半導体増幅器はワイドバンドギャップを達成するGaN（窒化ガリウム）を代表に、高い出力電力を得ることが可能になってきているが、小さな船舶に搭載するには未だ高価であるのが現状である。本テーマではこの低コスト化に着目をし、商用機として市場展開が可能な性能、価格、寸法を満たした固体化マリンレーダーを開発することを目的とする。高出力な半導体増幅器は様々なシステムに応用可能であり、この成果は宇宙応用を含め、広く展開が可能と考える。

【内容】

JAXAの実績である内之浦宇宙空間観測所におけるS帯1kW級半導体アンプ、およびPROCYON搭載X帯20W級半導体アンプの成果を基に、以下の3点に着目をして低コスト化に向けた開発を進める。

①材料レベルからの設計

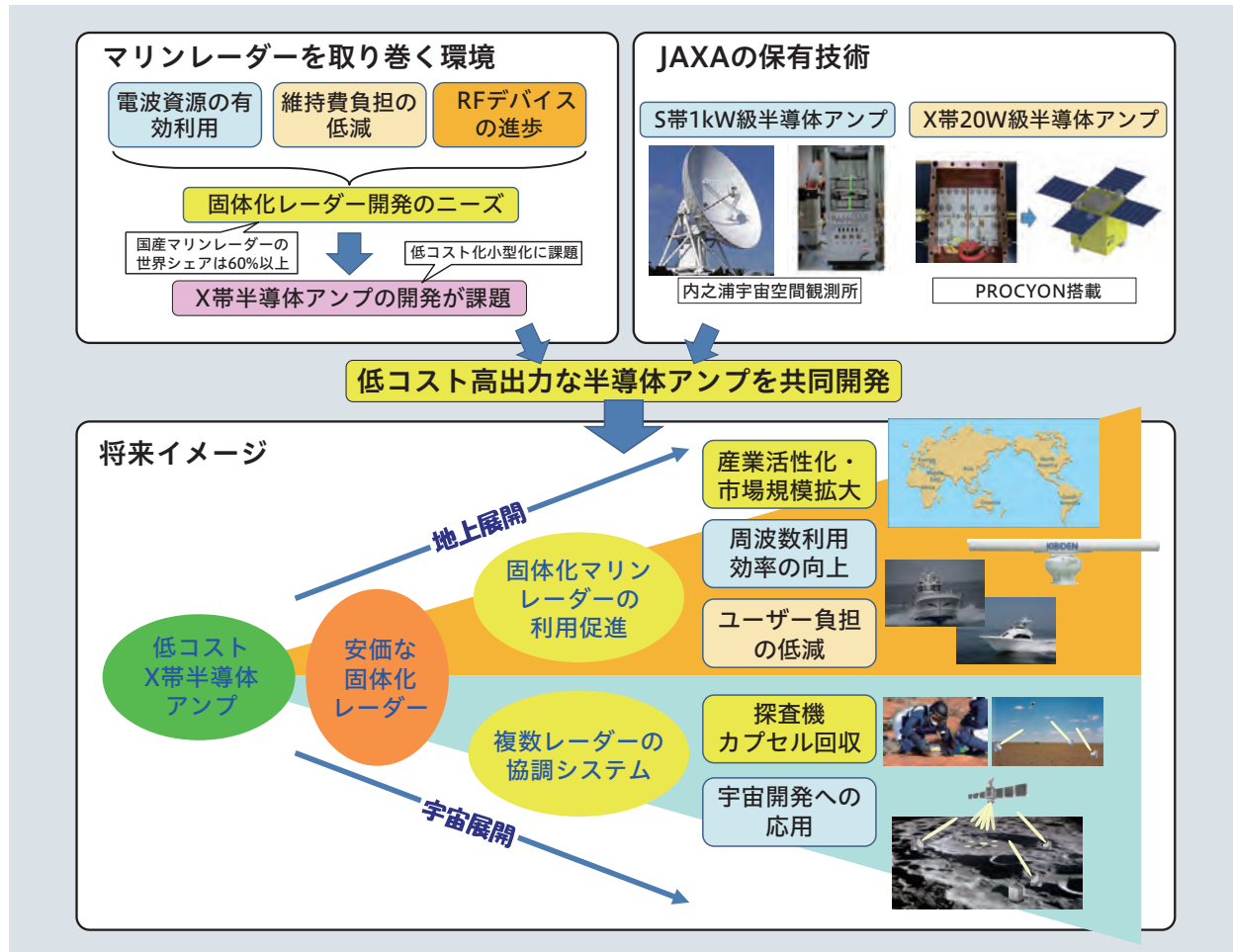
汎用性に長けた市販デバイスを使用するのではなく、より材料に近いレベルから、ニーズに特化した設計を行うことで、原材料費の低減を図る。

②高効率化・小型化

電源回路や筐体など、周辺機材に要求される性能を軽減し、増幅器全体としての低コスト化を図るため、高効率化・小型化を追求する。

③高い性能再現性

量産時の作業工数低減や信頼性確保のため、性能再現性の高い設計を行う。



課題名 | 長距離空間光通信を実現する光通信モジュールに関する研究

機関名：ソニー株式会社

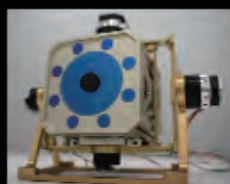
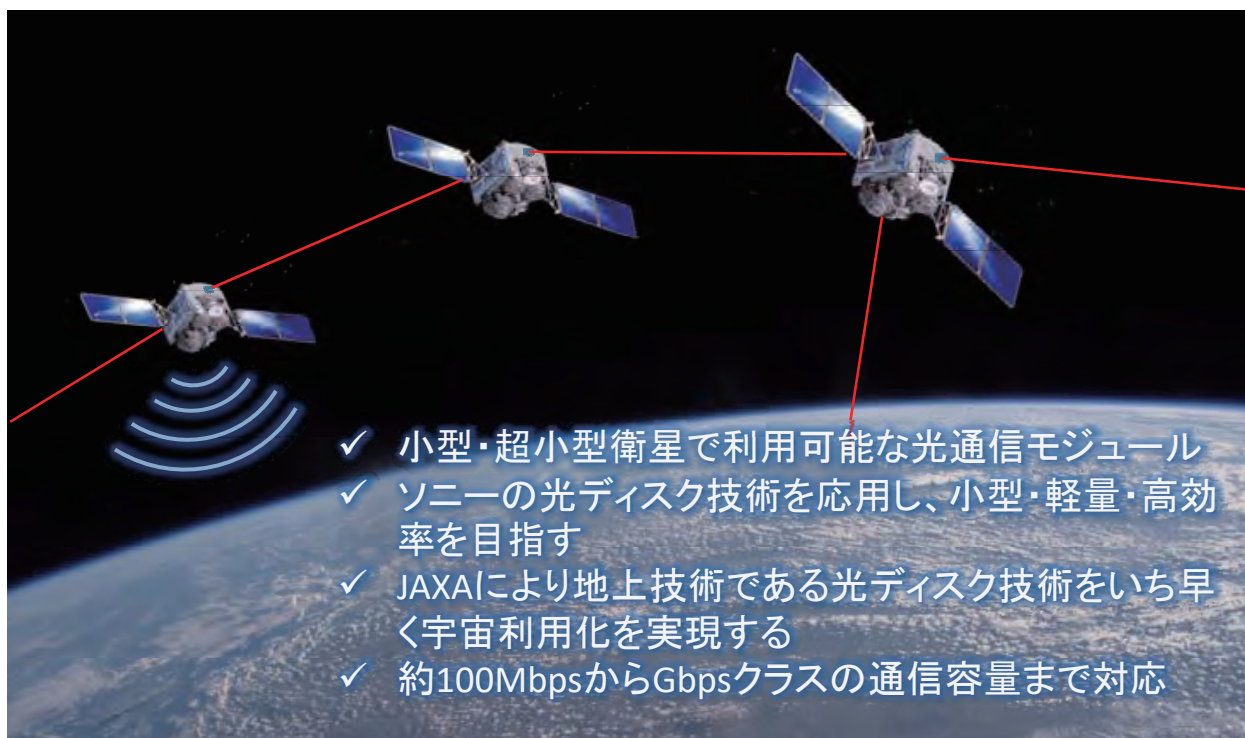
プロジェクト概要

【目的】

近年、超小型衛星技術や再利用ロケット技術の進展を中心とした技術革新により地球低軌道の利用が進んでいる。一方で地球低軌道はインターネット通信網には常時接続されていない。本研究は、地球低軌道をインターネット通信網と常時接続可能とすることを目的として、超小型から小型衛星において運用可能である光通信モジュールの基盤技術を確認することを目的としている。このため、衛星向けの光通信モジュールを小型、軽量、高効率することが重要である。本研究では、すでに長年の実績を有する小型・軽量・高効率の光学系および機械制御系を持つ光ディスクの技術を適用した基盤技術開発を行う。

【内容】

本研究では、小型および超小型衛星による衛星間光通信により地上のインターネット通信網との常時接続を実現すること、衛星ミッションに伴う動作中も通信回線を接続するために、約4,500 (km) の通信距離を、制御角度範囲を±約500 (mrad) において約10 (μrad) の精度で結ぶ。これらを実現するために、光ディスクのレーザー光学技術、集積光学系技術、制御技術などを導入し、光通信光学系の重量を約1.5 (kg) 程度に抑制する。宇宙環境における利用で求められる放射線、熱、振動衝撃などへの対応するための技術開発を行い、地上技術である光ディスク技術を宇宙利用可能な技術へ早期に展開する。

光通信システム
(モックアップ)送信光学系
(実験検証モデル)

Target Specification

weight (kg)	~1.5
band width (Mbps)	50~
inter-satellite distance (km)	~4500
laser out (W)	1.5
power consumption (W)	15
tracking accuracy (urad)	~10

第1回RFP 共通技術／アイデア型

革新的移動機構を備えた共舞台車の設計

課題名 | 多目的全方向移動クローラー共舞台車の設計

機関名：トピー工業株式会社、福井大学、有人宇宙システム株式会社、東北大学

プロジェクト概要

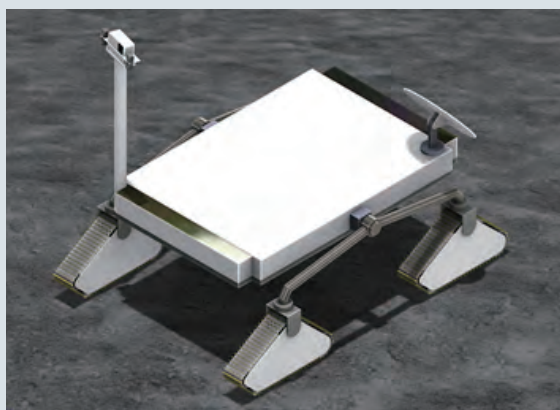
【目的】

月・火星拠点では、移動、作業、運搬など、多くの場面で車両が必要となるが、地上のように多種多様の車両を持ち込むことは現実的ではない。一方、地上においても、人が立ち入れない極限環境（海洋、原発など）を想定し、多目的な移動機構が検討されている。

そこで、目的に合わせた異なる作業部分を取付可能な、走破性・機動性が高い共舞台車を研究する。具体的には、上載質量が大幅に変化した場合にも走行性能を維持可能で、登坂能力や全方位移動可能での位置決め精度が高い、革新的移動機構を備えた共舞台車を実現する。

【成果】

悪路の走破性は通常のクローラー方式で実現可であり、位置決めは路面が整った条件ではタイヤ等で可能である。これらの両立と軽量化を兼ね備えた多目的全方向移動クローラー共舞台車の検討及び設計を行った。具体的には、模擬路盤の走行試験装置を用いてタイヤ方式や履帯方式と走行性を評価し、さらに登坂や乗り越えの試験により履帯方式としての優位性を明確化した上で概念検討を行い、概念図を作成した。



共舞台車のイメージ

共通機能（移動、通信など）を受け持つベースとなり、多目的に使う。

全方向クローラの試験風景

©トピー工業



課題名 | 超高感度二次元同時距離計測センサの開発

機関名：浜松ホトニクス株式会社

プロジェクト概要

【目的】

月や火星表面活動において周囲の地形を正確に認識することは、自己位置や障害物の少ない走行経路の決定など自動・自律制御のために必須の技術である。また、地上の自動運転車、自動建設機械、ドローンなどにおいても対象物（道路、地面、障害物等）の形状と位置を把握する必要がある。そのため周囲の地形や人工物の形状を正確に認識する、これまでに無い距離画像（3次元形状認識）センサの実現を目指した研究開発を行う。このようなセンサは、自動運転車、自動建設機械、ドローンなどをはじめ、汎用的に、幅広く産業界で利用されると考えられる。

本研究では、距離計測センサをアレイ状に並列構成し、単一の光パルスによって、同時に距離計測を可能とする、超小型軽量かつ超高感度の二次元同時距離計測センサ Flash LIDAR の開発を目的とする。

【内容】

本研究の距離画像センサは、光センサと光の往復時間（TOF: Time Of Flight）を測定する回路（ROIC: Read Out IC）を一体とした画素をアレイ状に配置した専用デバイスで3次元距離画像を取得することができる。光センサには単一光子も検出可能な高感度APD（Avalanche Photo Diode）をアレイ状に配置、その下に集積回路で製作したROICを垂直接合している。画素数は128×128、視線方向の距離分解能は10cm以下を目標とする。

本センサを使った測距システムは、

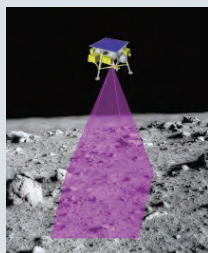
- ・超高感度で必要な光量や光学系への負担が少ない
- ・時刻同時性が高く飛翔体や走行する車両などに適用可能
- ・構造が簡易で小型軽量

といった特徴があり、地上での自動運転車から宇宙探査機まで幅広い応用が期待できる。

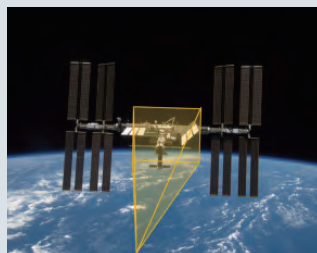
距離画像センサの応用例



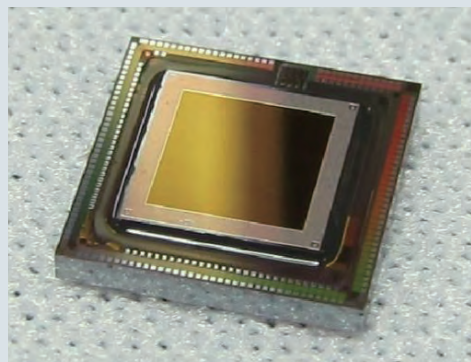
自動運転車の車載LIDAR



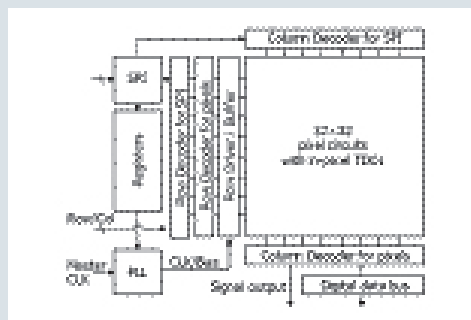
月惑星探査機の障害物検出センサ



軌道上ランデブードッキングセンサ



試作した距離画像センサ 32×32画素



試作した距離画像センサの測距回路構成

課題名 | マルチスケール構造制御による最適設計可能な衝撃吸収金属材料の理論構築と実用化検討

機関名：株式会社ロータスマテリアル研究所

プロジェクト概要

【目的】

一方向性気孔を有するロータス型ポーラス金属を優れた衝撃吸収材料として実用化するためにCAEツールを確立し、最適な構造を提案・実証すると共にその実現性を材料開発および生産性の面から検証する。それにより将来的な最適材料およびその衝撃吸収材料としてのアプリケーションとその有用性の指針を見いだす。

■研究項目と達成目標

- ①10-100 m/s以上の低速-高速衝撃の広い速度領域に高いエネルギー吸収能を発現するエネルギー吸収材を開発するための理論構築：非線形・衝撃解析等を用いてそのミクロ・マクロ構造と衝撃吸収挙動の関係を明らかにすること等。
- ②設計理論の構築および最適構造の提案のための実験的アプローチ
- ③衝撃吸収材料としてのロータス金属の製法確立と生産性の検証：現有の連続 casting 装置を利用してロータス金属(CuおよびMg)を作製する際の気孔率、スキン層の構造およびその体積分率を任意に制御する手法を確立する。

【成果】

円柱状の気孔が一方向に配列したロータス型ポーラス金属（ロータス金属）を作製し、エネルギー吸収材料としての用途開発を行った。具体的には、ロータスマグネシウムの圧縮特性を調べ、要求されるエネルギー吸収量に対応可能なマルチ構造を付与した衝撃吸収デバイスを開発した。

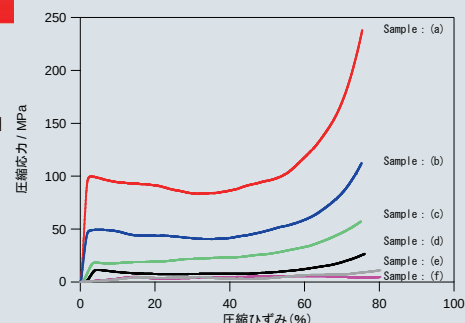
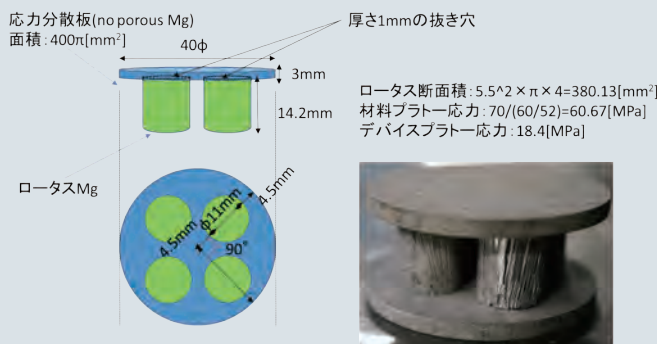
■特筆すべき成果

エネルギー吸収デバイスを開発し、特に以下のことを明らかにした。

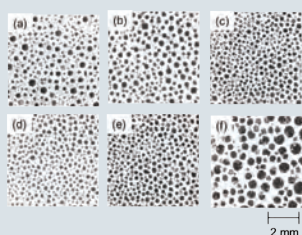
- 要求される吸収量、応力レベルに合わせた最適設計が可能で広い用途が期待できること。
- デバイス体積に対し最も高い吸収効率を有し、エネルギー吸収材料の小型化、軽量化に期待できること。
- 開発したデバイスは高いコストパフォーマンスを有し、量産が期待できること。

上記のような、最適設計可能で最もエネルギー吸収効率の高いデバイスは、金属においては、類を見ない。世界に先駆けて将来の衝撃吸収材料のイノベーションとなる技術シーズを開発・顕在化した。

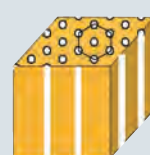
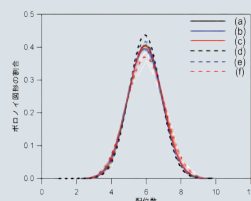
広い面積で力を受けて、その力を変形領域の断面積制御により応力レベルを制御



**プラトー応力レベルが任意に設計可能。
革新的衝撃吸収デバイスの開発に成功**



気孔率および気孔径を変化させて作製したロータス金属：気孔率および気孔径はそれぞれ、(a)22%および224 μm, (b)29%および215 μm, (c)40%および232 μm, (d)41%および192 μm, (e)44%および231 μmおよび(f)47%および447 μm。



気孔率および気孔径を変化させて作製したロータス金属のポロノイ解析結果（左）およびロータス金属の気孔の配置概略図（右）。

課題名 | ポーラスアルミニウム (Al) の気孔構造制御による軽量衝撃吸収材料の開発

機関名：名古屋大学

プロジェクト概要

【目的】

本研究では、超軽量金属素材であるポーラスアルミニウム（以後、Alと略記）の気孔構造を高次制御する。特に、ポーラスAlの衝撃吸収能力に着目し、高プラトー応力と高緻密化開始ひずみの並立により、軽量で高衝撃エネルギー吸収量を示すポーラスAlを開発する。ポーラス構造化の技術としては、スパーサー法および金属粉末積層造形法（3Dプリンタ）を用い、前者では気孔径のバイモダル化、後者ではラティス構造の最適化を通じて課題解決を図り、デザインナブルな軽量高衝撃吸収素材を開発する。

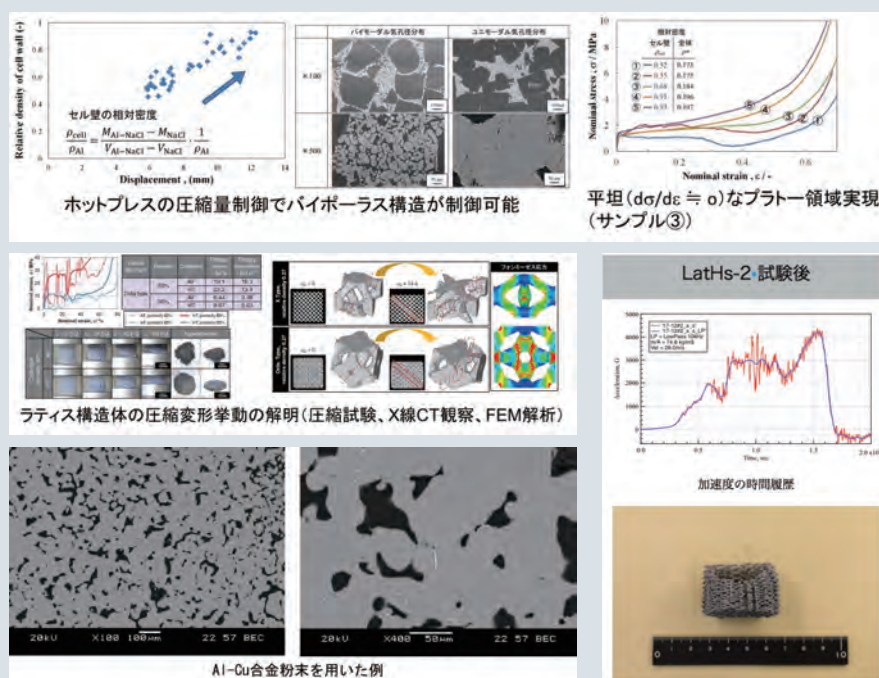
■研究項目と達成目標

- ①スパーサー法によるポーラスAlの製造と気孔形態高次制御：気孔率80%以上、気孔径30 μ m以下と300 μ m以上のバイモダル構造を持つポーラスAlの製造
- ②金属3Dプリンタを用いたポーラスAlの製造と熱処理による組織制御：達成目標：熱処理により、延性が20%を超える金属組織を得る。ポーラス構造としては、少なくとも3種類以上を作製し、圧縮変形挙動を明らかにする。
- ③ポーラスAlの特性評価とその解析（静的圧縮強度と熱伝導率）：変形メカニズムの解明。緻密化開始ひずみ60%以上、プラトー応力1～10 MPaで可変。エネルギー吸収効率が90%以上とする。押込試験により高速圧縮試験のための予備データを取得する。
- ④高速圧縮試験による衝撃吸収エネルギー：変形メカニズムの解明。衝撃圧縮試験でエネルギー吸収を評価する。

【成果】

本研究課題では、ポーラスAlを用いた衝撃吸収部材の開発に取り組んだ。ポーラスAlを粉末法焼結法および3D積層造形法により作製し、気孔形態（ラティス形態）と圧縮変形挙動との関係を解明した。設計自由度が高く使用環境に応じた衝撃吸収特性を任意に付与できる材料開発および産業応用可能な簡便なプロセス開発を実施した。

- (a) バイポーラス構造を持つポーラスAlの圧縮変形挙動を実証した。バイポーラス構造をもつポーラスAlを作製し、目標として掲げていた平坦なプラトー領域（ $d\sigma/d\varepsilon \approx 0$ ）を得ることに成功した。
- (b) ラティス構造体の圧縮変形挙動を理解するための観察・解析手法を構築した。3D積層造形により製造したラティス構造体を用い、圧縮変形挙動を連続写真およびX線CTを用いて観察した。また、ラティス構造特有の変形挙動をFEMを用いたイメージベースシミュレーションにより解析した。
- (c) 独創的なバイポーラスAl製造手法を開発した（大型化・量産化への道筋）。焼結助剤として二元系共晶Al合金（Al-Cu, Al-Mg）粉末を用いると無加圧焼結でバイモダルポーラスAlが製造できる可能性を見出した。この方法では、焼結時の加圧や焼結前の圧粉成形も不要であることから、簡便に大型の部材を作製する可能性が示唆された。
- (d) 高速圧縮試験により、高速ひずみ変形における衝撃吸収材料としての特性を評価することができた。また、簡便な静的圧縮試験から高速ひずみ変形中の変形挙動を予測可能であることを明らかにした。



第2回RFP 共通技術／アイデア型

極低温液化ガスの長期保存のための真空多層断熱材の研究開発

課題名 | カーボンナノチューブ/シリカ多孔体コンポジット材料による軽量断熱材料の開発

機関名：名古屋大学、株式会社LIXIL、株式会社名城ナノカーボン

プロジェクト概要

【目的】

長期間にわたり極低温推進剤の蒸発を極めて小さく抑えて保持する必要がある軌道間輸送機や、半月の長く冷たい夜を越える必要のある月面探査ローバにおいて、断熱材は最も重要な要素のひとつである。

特に、軌道間輸送機などのロケット推進剤タンクの断熱は、射場における有圧環境下から打上後の宇宙空間における真空環境下の双方で高い断熱性能を発揮する必要がある。

また、地上技術においても、水素社会の実現に向け、液体水素の大型貯蔵タンクや液体水素タンカなど、極低温領域において適用可能な高い断熱性能を発揮する断熱材が求められている。

本研究では、極低温領域において高い断熱性能を有し、かつ軽量の断熱材の開発を目的とする。

【成果】

カーボンナノチューブは極めて熱伝導率が高い材料として知られており、断熱材への応用は皆無である。一方、機械的特性の高さや微量でも輻射伝熱を抑制する効果が見込めることが利点として挙げられる。

シリカ多孔体は、微小な空隙を多数有する微粒子であり、微粒子間の界面で熱抵抗が発生し、高い断熱性能を示す。しかし、シリカ単体から作製する成形体やシリカエアロゲルは機械的特性が低くバルク体としての応用は困難である。

そこで本研究では、自己耐圧性を有する真空断熱材の開発に向けて、芯材となる『軽くて、強い』支持体の作製を目的とし、この両材料の特性を組み合わせた「カーボンナノチューブ/シリカ多孔体コンポジット材料による軽量断熱材料」を開発した。

軽量断熱材の試作と評価



カーボンナノチューブ/
シリカ多孔体コンポジット試作品

適用先

地上用途 → 住宅、自動車
宇宙用途 → 軌道間輸送機、月面ローバー、スラスタ



ボイルオフカロリメータと
新芯材を封入した断熱材

課題名

極低温領域を想定した高性能断熱材および軽量の真空断熱構造の開発

機関名：有限会社オービタルエンジニアリング

プロジェクト概要

【目的】

長期間にわたり極低温推薬の蒸発を極めて小さく抑えて保持する必要がある軌道間輸送機や、半月の長く冷たい夜を越える必要のある月面探査ローバにおいて、断熱材の性能は最も重要な要素のひとつである。特に、極低温領域では輻射熱伝達に比べ熱伝導が支配的となるため、従来型の宇宙用断熱材であるMLI (Multi-layer insulation) の断熱性能の低下が顕著となる。極めて高い断熱性能が要求されるこのような宇宙機においては、実装状態でMLIの断熱性能を高く維持し、試験前の設計時に精度よく断熱性能を予測できることが重要である。

また、地上技術においても、水素社会の実現に向け、液体水素の大型貯蔵タンクや液体水素タンカなど、極低温領域において適用可能な高い断熱性能を発揮する断熱材が求められている。

本研究では、極低温領域において高い断熱性能を有し、かつ軽量の断熱材の開発を目的とする。

【成果】

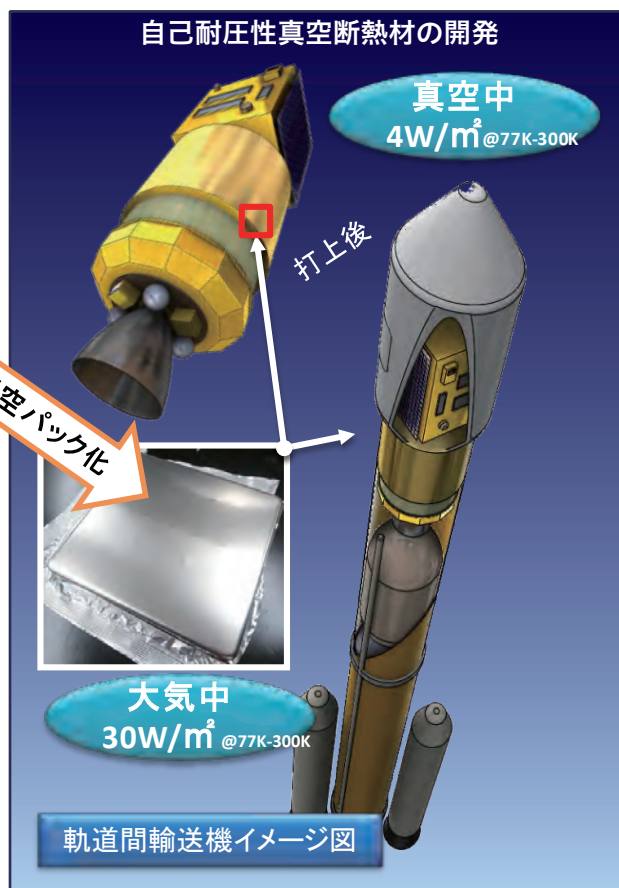
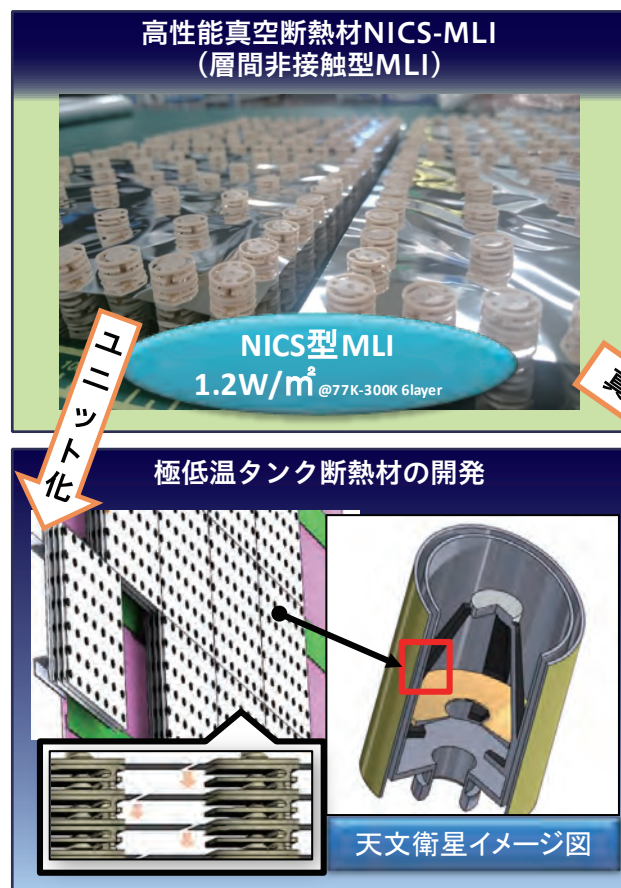
従来のMLIにおいて輻射フィルムの間に使われているネット状のスペーサに代わり、熱抵抗の極めて高い間欠型のスペーサ (NICS) により輻射フィルムを完全に分離することで、極めて高い断熱性能を有するとともに、断熱性能の不確定性を小さく抑えることが出来るNICS MLIの産業応用を検討する。

(1) 極低温タンク断熱材の開発

大規模な極低温タンクへNICS MLIを適用することを想定した断熱材の実装方法を検討し、実装可能な断熱方式手順を確立した。

(2) 自己耐圧性真空断熱材の開発

NICS MLIを真空パックすることで、VIP (真空断熱パネル) タイプの自己耐圧性を有する真空断熱材について検討し、空気がある地上においても真空二重層を用いることなく断熱性能を保持出来る断熱材を開発した。



第3回RFP 共通技術／課題解決型

次世代太陽電池デバイスの実現

課題名 | 高効率・低コスト・軽量薄膜ペロブスカイト太陽電池 デバイスの高耐久化開発

機関名：桐蔭横浜大学、兵庫県立大学、紀州技研工業株式会社、ペクセル・テクノロジーズ株式会社、株式会社リコー

プロジェクト概要

【目的】

提案者らが発明したペロブスカイト太陽電池は、低価格・20%以上の高変換効率・低照度下でも高効率を維持・フレキシブル化可能、などの優れた特徴を持つことから、次世代の太陽電池として世界中で注目され、開発が盛んに行なわれている。ただし、温度や湿気・光に対する耐久性の低さが大きな課題であり、実用化には至っていない。

本活動では、IoT社会におけるセンシング機器等の供給電源を主な適用先として、低照度の光に対して高い変換効率を持ちながら高い耐久性を有する軽量・薄膜型のペロブスカイト太陽電池モジュールの開発を目指す。

【内容】

- ①ペロブスカイト太陽電池の高効率化
材料と界面の最適化により、屋内照明下と太陽光下での効率向上を目指す。
- ②ペロブスカイト太陽電池の耐湿・耐高温・寿命特性の向上
各種耐久性評価の結果を太陽電池作製に反映させることにより、耐久性向上を目指す。
- ③ペロブスカイト太陽電池モジュールの開発
上記高効率化と高耐久性化検討を反映させた太陽電池モジュールの開発を目指す。
- ④ペロブスカイト太陽電池の放射線耐久性向上
宇宙適用に向けて十分な放射線耐久性を有する太陽電池の開発を目指す。

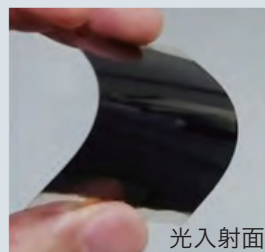
【ペロブスカイト太陽電池の特徴】

- ・低コスト（簡易な製造方法、安価な材料）
- ・20%以上の高変換効率可能
- ・低照度下でも高い変換効率維持
- ・フレキシブル化可能

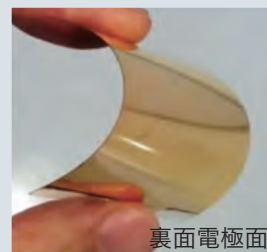
【ペロブスカイト太陽電池の課題】

- ・温度や湿気・光への耐久性が低い

**JAXAが有する過酷な環境での
耐久性試験と評価技術で改善を目指す**



光入射面



裏面電極面

低温製膜フレキシブルペロブスカイト太陽電池セル

<ステップ1>

高効率化

高耐久性化

モジュール化

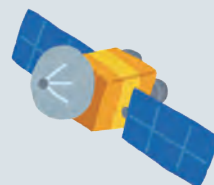
高効率と高耐久性を有する
ペロブスカイト太陽電池モジュールの開発

IoT用電源として事業化

<ステップ2>

高放射線耐久性化開発

宇宙用途への展開



課題名 | 光電変換材料を用いた高感度放射線検出デバイスの開発

機関名：桐蔭横浜大学、ペクセル・テクノロジーズ株式会社

プロジェクト概要

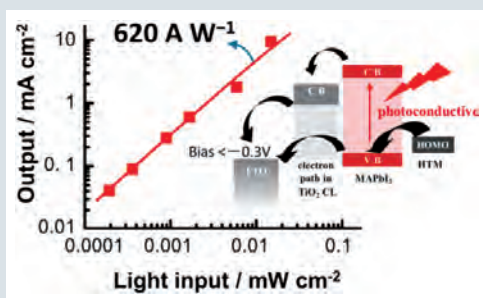
【目的】

直接に量子変換して増幅電気信号として出力することが可能な新しいタイプの放射線検出素子を、有機無機ハイブリッドペロブスカイト材料を放射線吸収層に用いて開発し、宇宙用放射線を高感度にセンシングする性能を実証する。

ペロブスカイト結晶自体が光による発電が可能であることから、従来のセンサのような特別な電源系統を持つ事無く、自ら発電して駆動電力をまかなう事が原理的に可能である。また、厚膜結晶の製造が可能となれば、同時に高い検出能力を持つセンサへの応用が可能となる。これは地上における用途、たとえば医療用高感度センサ等への応用のみならず、電源状況に乏しい宇宙環境においては非常に有効であり、宇宙環境における放射線環境観測等への応用が考えられる。

【内容】

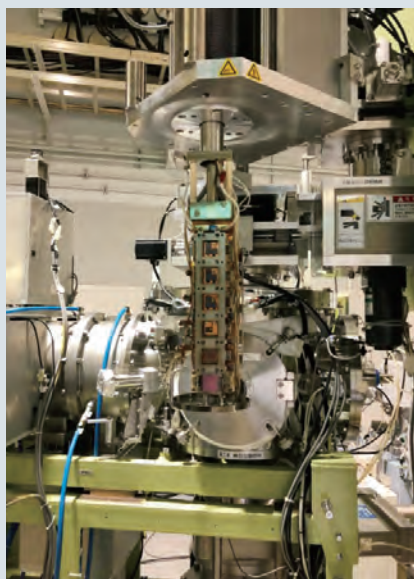
- ① ペロブスカイト結晶厚膜の製法の確立
 - ・厚さが100 μm の平坦で緻密性の高い結晶膜に成型するペロブスカイト結晶粒子の製膜法を開発する。
 - ・酸化物ナノ構造体と連結した厚い膜を製膜する方法を開発する。
 - ・ペロブスカイト結晶膜がX線に対して高い吸収特性をもつことを示す。
- ② ペロブスカイトX線検出素子の開発
 - ・検出感度が最大となる条件を探索し、X線感度を高める素子構成を検討する。
 - ・素子のX線検出感度の温度依存性を計測し、温度変化に対する安定性を調べる。
- ③ 放射線検出素子の宇宙環境における耐久性試験
 - ・繰り返しの温度変化におけるペロブスカイト検出素子の駆動安定性を調べ、温度衝撃に対する素子の耐久寿命を測る。
 - ・ペロブスカイト結晶膜、電子電荷輸送層、正孔輸送層の陽子線暴露への素子耐久性を調べる。
 - ・1MeV電子線の照射における素子の耐久性を調べ、陽子線と合わせて、劣化の最も少ない素子を再構成する。
 - ・その他、宇宙環境における耐久性評価に必要な試験を実施する。



H. W. Chen, T. Miyasaka, et.al,
J. Phys. Chem. Lett., 2015, 6, 1773– 1779



試作品サンプル



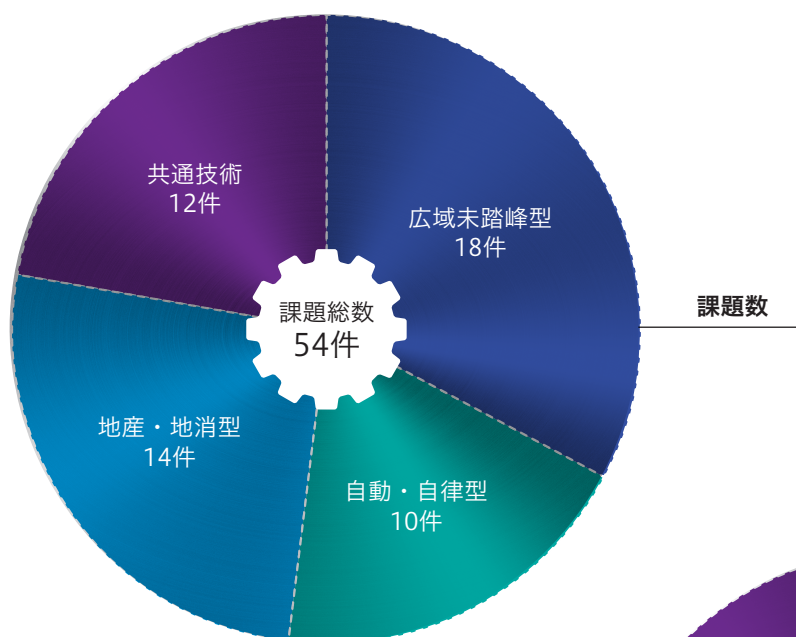
陽子線照射試験の様子

@若狭湾エネルギーセンター

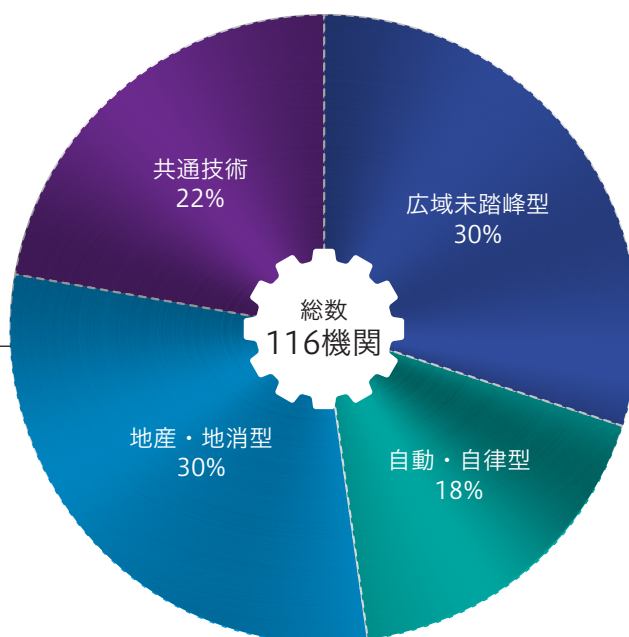
参 考



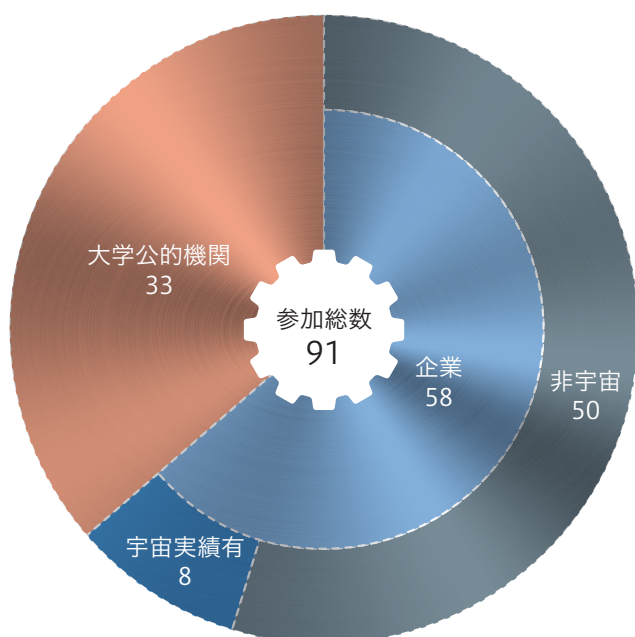
探査ハブの他機関との連携関係構築状況



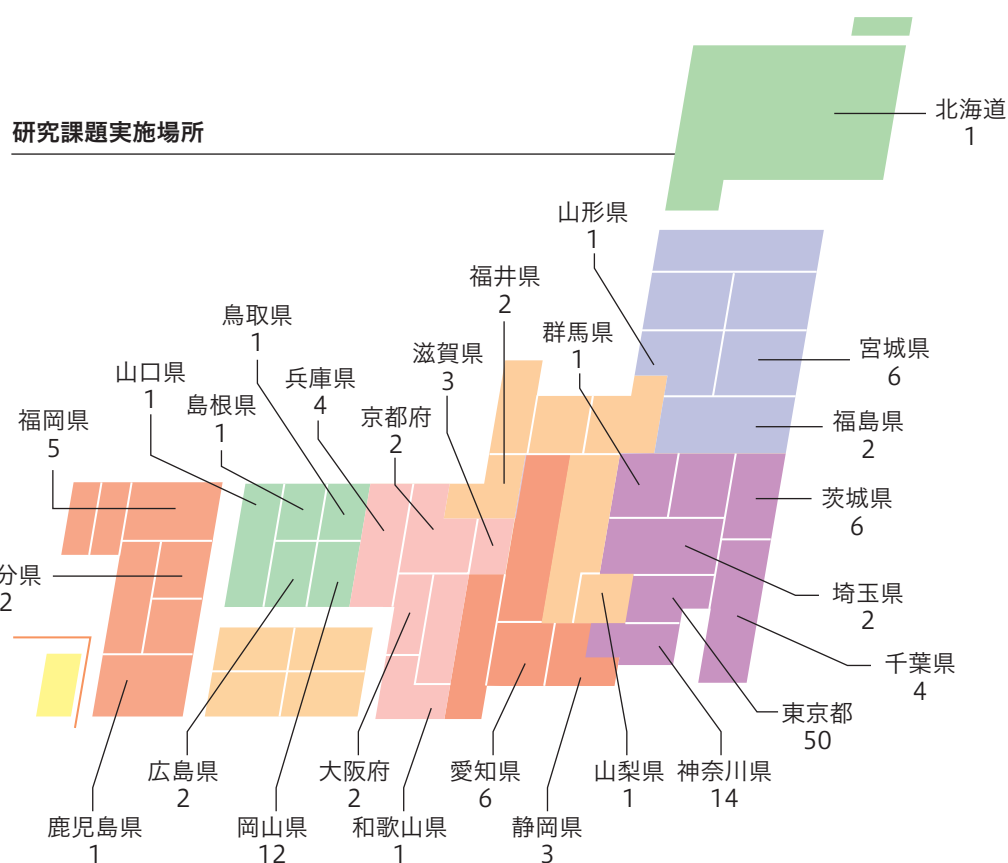
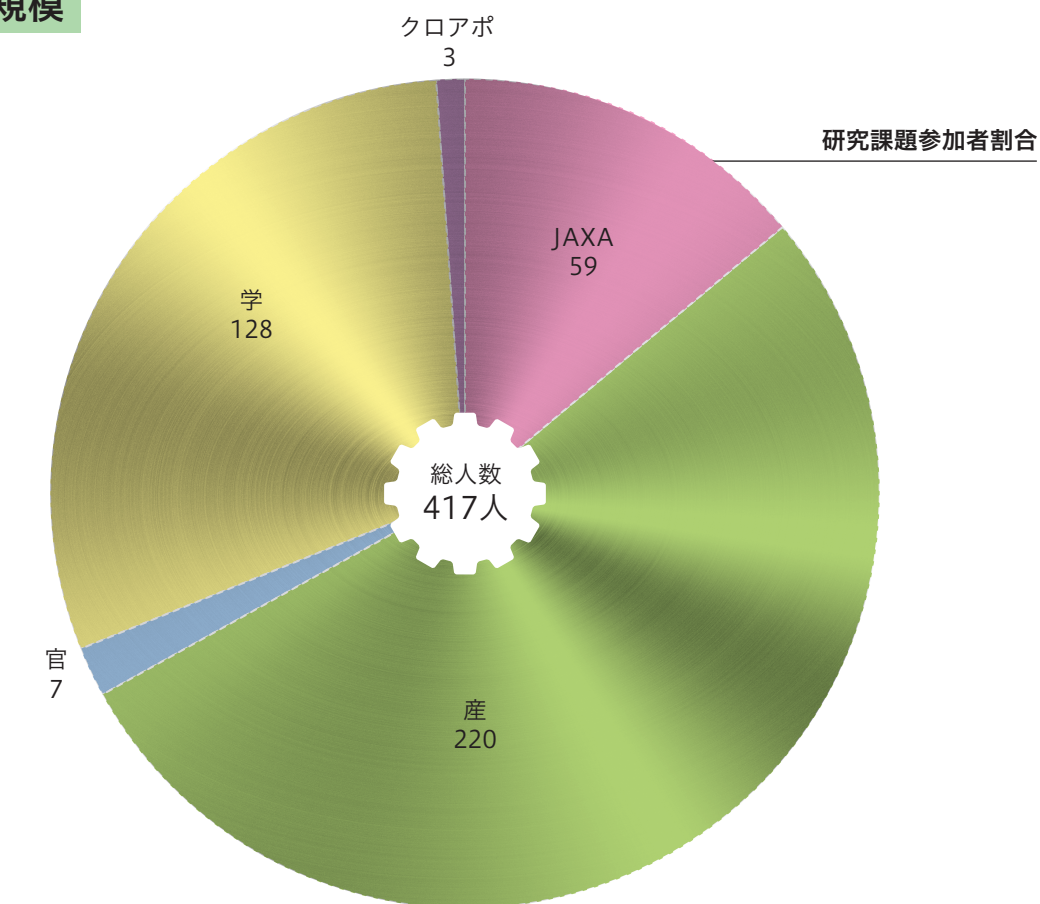
研究分野の割合



探査ハブ参加企業・大学等数
(宇宙・非宇宙の割合)



実施規模



メディア掲載実績

新聞掲載

▼日本経済新聞

平成27年 6月12日掲載 13版 社会 38面「JAXAが来年度 月面基地にらむ」
 平成28年 3月 2日掲載 「虫型ロボ月を行け、アイスペース、JAXAと開発へ」
 平成28年 3月10日掲載 先端技術 「「ミミズ」開発 企業も注目」
 平成28年 6月 2日掲載 「火星の有人拠点建設へ 全自動建機開発」
 平成28年 8月10日掲載 「月面基地向けコンクリート」
 平成29年 3月 3日掲載 (電子版)「センサー、計測器 拠点を5割拡張 神栄、神戸市の土地取得」
 平成29年 3月27日掲載 「ロボ遠隔操作で月面建設を研究」
 平成29年 6月15日掲載 「無人ボート価格・騒音低減」

▼朝日新聞

平成30年 3月 1日掲載「探査技術、国内の力を結集」

▼毎日新聞

平成27年10月20日掲載 (特別企画面) 宇宙未来新聞「探検の時代から開拓の時代へ」「地上の無人化施工技術を応用」
 平成30年 1月18日掲載 「おかやまテクノロジー展 県内機械系企業、新技術や新製品」(岡山地方版)

▼産経新聞

平成29年 7月10日掲載 「月面ロボ 工事現場に応用 竹中工務店、強度検査を自動化」

▼読売新聞

平成27年11月 7日掲載 3版 夕刊 13面「JAXA 企業と共同で 自動運転など生かす」
 平成29年 2月10日掲載 (サイエンスBOX)「ぎょうの講義『『電子レンジ』を使って月で水を作る?』」
 平成29年 3月23日掲載 (オンライン)「インフラ整備に「百年の計」～鹿島建設」

▼日刊工業新聞

平成27年 6月12日掲載 Business & Technology 21面「産学官で宇宙探査技術研究」
 平成27年 9月29日掲載 深層断面(企画面) 40面「月面で「建材」調達」「日本の力」見せ所」
 平成28年 3月 4日掲載 「アイスペース、昆虫型ロボ向け群知能開発へ-JAXA宇宙探査プロ参画」
 平成28年 5月24日掲載 「月面で使える地盤調査技術の共同研究-東京都市大など、来月からの開始」
 平成28年 7月 4日掲載 「月面で建設資材生産」

▼日刊建設通信新聞

平成28年 6月30日掲載 「東京都市大ら/JAXA採択の月面研究始動/地上転用も模索」
 平成29年 9月21日掲載 「建設機械/自動化技術の開発加速/鹿島 実験フィールドを新設」
 平成29年 9月29日掲載 「「生産革命」を実現する技術」

▼日刊建設工業新聞

平成28年 4月12日掲載 「鹿島/月・火星の有人滞在施設建設へ遠隔施工システムの研究開始」
 平成28年 6月30日掲載 「月面で建設資材生産 宇宙探査へ共同研究開始」
 平成29年 9月21日掲載 「建機自動化システムの開発加速」

▼日経産業新聞

平成28年10月18日掲載 「月や火星で水 地中の氷から」
 平成29年 3月 9日掲載 「ゼネコン宇宙でキラリ」

▼中国新聞

平成28年 2月 3日掲載 「宇宙探査車用の燃料電池タンク-中国工業・JAXA開発へ」
 平成28年12月 6日掲載 「探査車用のタンク開発」

▼福井新聞

平成28年 9月11日掲載 「月の砂から酸素太陽炉で挑戦」

▼電気新聞

平成28年 9月29日掲載 「「太陽炉」で月に酸素を」
 平成28年10月12日掲載 「若狭湾エネ研などの太陽炉応用研究 月の砂から酸素/「夢」の成果に期待」

▼神戸新聞

平成28年10月15日掲載 「神栄 JAXAと共同研究 微量水分の計測器開発へ」

▼山陽新聞

平成29年 6月 8日掲載 「JAXAと共同開発 油圧ショベル用アーム軽量化」

▼新潟日報

平成30年 1月 6日掲載 「変わらないために、変わり続けます」

そのほか国内メディア

- ▼JAXA's
平成27年10月1日発行 「日本の宇宙探査活動を変えるJAXAの新しい取り組み宇宙探査イノベーションハブ」
- ▼テレスコープマガジン
平成27年10月9日・11月20日掲載 Xcross TALK 特集：「日本の宇宙開発」
- ▼mugendai
平成27年12月8日掲載 インタビュー記事 「宇宙人工知能・ロボティクスに挑む日本の宇宙開発底力」
- ▼BS JAPAN 7ch
平成28年5月29日放送 未来EYES「宇宙の資源開発に挑む！月面探査HAKUTO」
平成29年3月26日（宇宙特番）「松本零士も驚いた！宇宙移住計画の最前線」
- ▼名古屋CBCラジオ
平成28年7月21日放送 丹波みどりのよりどり！ 「ラジオ大人な話題_月面で建築資材を現地生産」
- ▼日経アーキテクチャ
平成28年8月3日掲載 「月面基地に学ぶ究極の「地産地消」」
- ▼化学工業日報
平成28年10月24日掲載 「火星で水作る 新技術開発へ」
- ▼日経ビジネス
平成29年1月16日掲載 「月面基地を自動で建設 複数の機会が協業」 「玩具の技術を活用 小型ロボが月面で活躍」
平成30年2月26日掲載 「JAXA／テクノトレンド 有人月面探査」
- ▼JAXA航空マガジン
平成29年6月号 「基礎・基盤的な研究と産業化を意識した研究を両輪で」
- ▼テレビ朝日「AbemaPrime」
平成29年5月4日 「てる美にtell me 全国おもしろ企業」
- ▼日経コンストラクション
平成29年7月24日 「「月面」走るロボットが自動で締め固め試験」
平成29年9月26日 「宇宙移住の第一歩？ここまで来た無人化施工」
平成30年1月18日 「土木と宇宙をつなぐ仲介者」
- ▼Bizコンパス
平成29年4月11日 「日本の技術力で宇宙と地上にイノベーションを起こす」
- ▼週刊プレイボーイ
平成29年7月4日 「秘密組織プレイメーション」
- ▼研究応援
平成29年9月1日 「目指せ、人類未踏の深宇宙」
- ▼フジサンケイ ビジネスアイ
平成30年1月10日 「ミサワホーム JAXAと新技術研究 「月面の住宅」 昭和基地での成果応用」

海外メディア

- ▼NIKKEI Asian Review
平成28年6月6日掲載 「Kajima to develop automated construction machinery for building on Mars, moon」
- ▼Mirror on line
平成28年6月21日掲載 「Japan is creating autonomous robots that will build a 'moon village' on the lunar surface」
- ▼Construction Equipment
平成28年6月21日掲載 「Japan developing lunar bulldozers」
- ▼AI.business
平成28年7月18日掲載 「How JAXA, NASA and ESA are developing extraterrestrial autonomous construction using artificial intelligence」
- ▼Popular Mechanics
平成28年11月16日掲載 「The 10 Coolest Things We Saw at Houston's SpaceCom」
- ▼Nature
平成30年2月9日掲載 「Focal Point on commercial space exploration in Japan」

宇宙探査イノベーションハブは、
「JSTイノベーションハブ構築支援事業」の
支援を受けています

イノベーションハブ構築支援事業

本事業では、平成27年4月より国立研究開発法人が発足したことを契機に、法人の機能強化を支援し、グローバルな競争環境の中で優位性を発揮できるよう、また我が国の研究力・人材力強化の中核的な拠点として必要な役割を果たすことができるよう、各法人の使命・役割に応じた国際的な拠点化や国内外の関係機関との連携、すなわち「イノベーションハブ」の構築を進めていきます。

国立研究開発法人の運営費交付金等による独自資金と、研究開発成果の最大化（飛躍）に向けて支援するJSTの資金をマッチングさせ、国立研究開発法人がオープンイノベーションを促進する人材糾合の場として持続的に発展することを期待しています。

（事業年度：平成27年度～平成31年度）



平成29年度 事業概要

発行日 平成30年7月25日
発行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙探査イノベーションハブ
Japan Aerospace Exploration Agency
Space Exploration Innovation Hub Center
〒252-0222 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1
E-mail se-forum@jaxa.jp
URL <http://www.ihub-tansa.jaxa.jp/index.html>