

イノベーションハブ構築支援事業 ノウハウレポート

「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」

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

久保田 孝

2019年(令和元年)9月

目次

はじめに

第1章 宇宙探査イノベーションハブの発足	1
1. 1 宇宙探査イノベーションハブとは	1
1. 2 宇宙探査イノベーションハブ構築の背景	2
1. 3 宇宙探査イノベーションハブ発足時における課題への対応	3
1. 4 JAXA 特区としての宇宙探査イノベーションハブ制度等	11
第2章 宇宙探査イノベーションハブの運営を通じて得られたノウハウ	13
2. 1 公平性を担保しつつ広くオールジャパンで参画をいただくための手法	13
2. 2 研究成果を創出するための手法	28
2. 3 研究成果を社会実装するための手法	32
2. 4 知財戦略	37
2. 5 契約事務	41
2. 6 アウトリーチ、広報	42
第3章 成功した事例及び予定通り進まなかった事例の原因分析	44
3. 1 成功した事例の理由分析	44
3. 2 予定通りに進まなかった原因の分析	45
第4章 宇宙探査イノベーションハブの運用を通じて新たに獲得されたもの	46
4. 1 オープンイノベーションにおける JAXA の持つ強みの再認識	46
4. 2 Dual Utilization の概念（宇宙と地上）の確立	46
4. 3 参加機関の自己投資	47
4. 4 JAXA 職員のモチベーションの向上	48
第5章 まとめ	49
5. 1 宇宙探査イノベーションハブ参加者の意見	49
5. 2 JAXA 事業への展開	53
5. 3 おわりに	55
Appendix	
Appendix-1 アウトリーチ活動実績	56
Appendix-2 メディア掲載リスト	59
Appendix-3 プレスリリース一覧	68
付録 宇宙探査イノベーションハブ共同研究テーマ概要	付 1

はじめに

本ノウハウレポートは、2015年4月にJAXAに新設された宇宙探査イノベーションハブでの活動を通じて得られたノウハウ及びLessons Learnedをまとめたものである。

宇宙探査イノベーションハブ（探査ハブ）は、科学技術振興機構（JST）による国立研究開発法人を対象とした「イノベーションハブ構築支援事業」にて採択され、2015年6月～2020年3月までの約5年間の支援を受けて、JAXAにおけるイノベーションハブの構築を行ってきた。5年間の活動の結果として、宇宙探査という、これまで専らJAXAが中核となって進めてきた事業において、オープンイノベーション型の研究開発を導入することが、宇宙探査だけではなく、地上における新たなイノベーション（新産業）の創出にとって有効であることが認識されてきた。イノベーションにおける死の谷（基礎研究から社会実装における研究投資の不足）を克服する場として、国立研究開発法人の目的（JAXAの場合は宇宙探査）とマッチングさせることが、JAXAと参加者の双方にとって有効であるという新しい認識である。

宇宙探査ミッションにおいて、世界の情勢が探査機の大型化・高度化に進んでいる中で、コストの増大、開発期間の長期化、リソースの問題が顕在化している。そこで今までの宇宙探査の在り方を大きく変えて、日本発のGame Changingを行うにはどうしたらいいか？民間企業の宇宙への参画はしきいが高いと言われてきた。しかしながら、将来の宇宙探査に有効と思われる技術が地上にたくさんある。そこで、重力の観点で地球と親和性の高い月や火星を対象とし、今まで宇宙に関わって来なかった企業や大学や研究機関を巻き込むためには、どうしたらいいかを考えた。新しいことを行うには既存のやり方にとらわれず、機動性高くやってみることが大事である。試しにやってみようという気持ちもあり、失敗から学ぶこともあり、別のアプローチを考えることもあり、試行錯誤の連続ではあったが、探査ハブ職員の献身的な努力で、イノベーションを起こすノウハウを蓄積してきた。

JAXA外のシーズやニーズを宇宙探査に取り入れ、JAXAとの共同研究で技術革新をおこし、その成果を宇宙と地上（社会実装）の双方に展開（Dual Utilization）する。その実現のため、技術情報提供要請（RFI）／研究提案募集（RFP）プロセス、クロスアポイント制度の導入、オープンイノベーション特有の知財制度の確立、諮問会議などの会議体系を整備してきた。そこで、宇宙探査イノベーションハブが進めてきた内容をノウハウレポートという切り口でまとめた。図Aにおいて、その概要を宇宙探査機のスイングバイをモチーフに図示するとともに、対応する章を示す。

本ノウハウレポートが、JAXAのみならず、他の国立研究開発法人や企業における研究活動においてオープンイノベーション型の研究開発を進める際の一助となれば幸いである。

2019年（令和元年）9月
JAXA 宇宙探査イノベーションハブ長
久保田 孝

宇宙探査イノベーションハブの運営スキーム

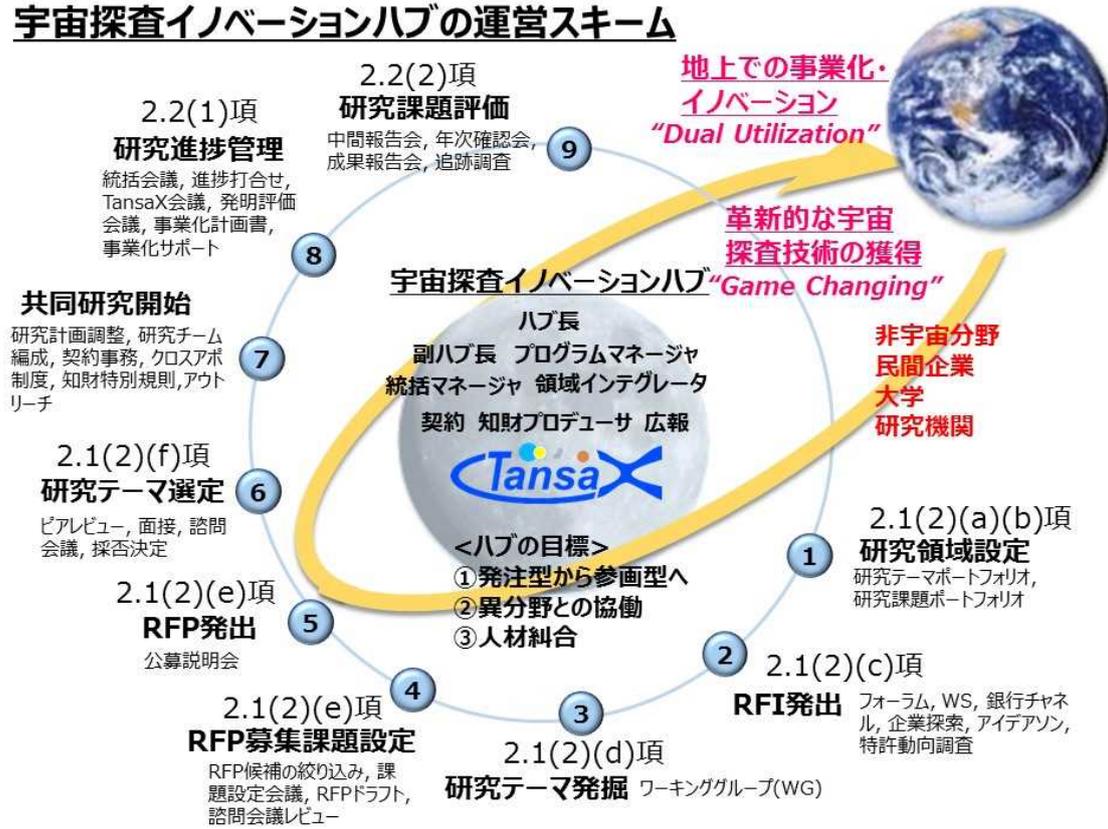


図 A 宇宙探査イノベーションハブの全体概要

宇宙探査イノベーションハブの運営スキームを宇宙探査機の月スイングバイをモチーフに図示した。①から⑨のステップがあり、それぞれについて本ノウハウレポートで該当する項番号を付記した。

第1章 宇宙探査イノベーションハブの発足

1.1 宇宙探査イノベーションハブとは

2015年4月に、JAXAを含む全ての独立行政法人のうち、主に研究開発を行う法人が「我が国の科学技術の水準の向上を通じた国民経済の発展その他の公益に資するため研究開発の最大限の成果を確保すること」を目的に「国立研究開発法人」へと移行し、ここを中核としたイノベーション創出が国家の重点施策として位置づけられた。JAXAでは、この施策に対応した新たな組織として2015年4月に「宇宙探査イノベーションハブ」をJAXA相模原キャンパスに、「次世代航空イノベーションハブ」をJAXA調布事業所に設置し、オープンイノベーション型の研究開発活動を開始した。

宇宙探査イノベーションハブは、既成組織の枠を超えた新たな参加者を募り、宇宙探査において新機軸となりうる技術研究開発を目指している。概念を図1に示す。民間企業の有する技術を、宇宙探査に資するレベルに昇華させることを目指し、JAXAが提供するハブ機構（意欲、知見、交流、設備、経験）を利用して洗練化を図る。ここで培った技術を基に革新的な宇宙ミッションを実現させるだけでなく、参加組織が宇宙のみならず地上への応用展開を図り（Dual Utilization*）、成果を波及拡大させ、社会に Game Change（現状を打破する、革新的な、考え方を根本から変える）を巻き起こすことを目標としている。

*本レポートでは、Dual Utilization を、「宇宙探査技術」と「地上技術」の両方を出口とするという意味で用いる。

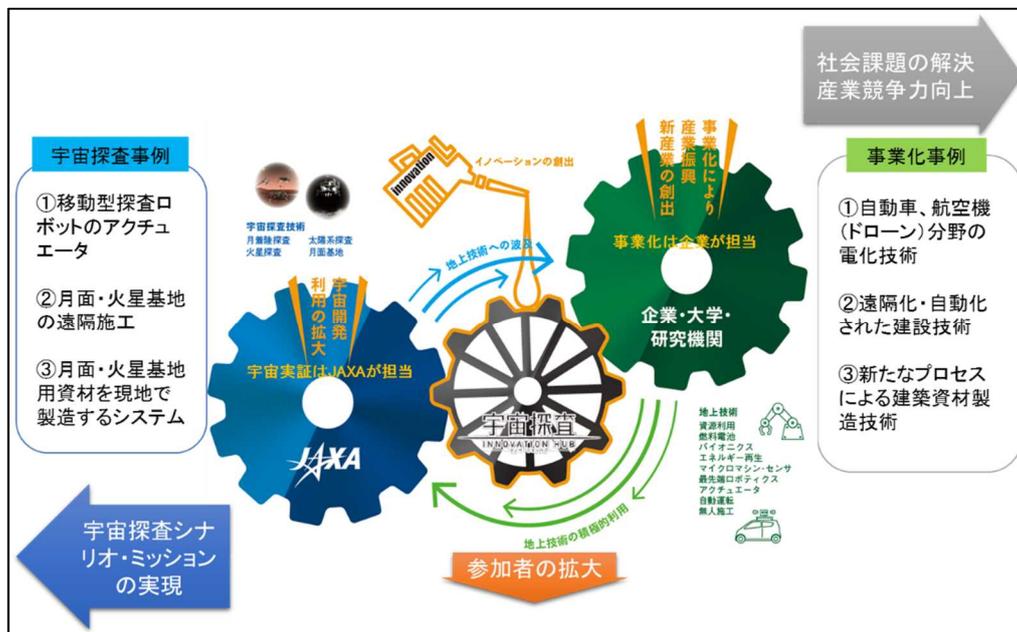


図1 宇宙探査イノベーションハブの概念図

企業とJAXAの歯車を回して宇宙探査と地上でのイノベーションを起こす。

1. 2 宇宙探査イノベーションハブ構築の背景

これまでの JAXA の宇宙探査は、設定されたミッション要求を確実に実現するという設計思想のもと、大型化、高信頼性、高コストの方向に開発が進んできた。このため、探査機会および探査対象が限定的となり、ミッションの提案から実現までに長期間を要している。結果として、参加者も限定的になり、新たな産業への拡がりも見られていないという批判がある。

一方で、国際的には、地球低軌道から月以遠に人類の活動領域を広げようという議論が進められており、米国、ロシア、欧州等の宇宙先進国に加え、中国やインドなどが月や火星等の宇宙探査を次々と計画、実現させている。このような国際状況において、我が国の厳しい財政状況の中で、これまで JAXA が積み重ねた実績を生かしつつ、国際的なプレゼンスを維持発展させていく必要がある。

宇宙探査イノベーションハブでは、厳しい財政状況を逆に技術を発展させるための機会と捉え、合わせて JAXA の抱える課題の解決に挑戦する。このために宇宙関係者に限らない、我が国が有する技術や知見を集約し、効率良く、短期間で実現でき、多様でかつ深くとらえる挑戦的な探査を実現できるシステムを提案し、我が国ならではの設計思想と技術によりこれからの宇宙探査活動のパラダイム転換を図る。

1. 3 宇宙探査イノベーションハブ発足時における課題への対応

宇宙探査イノベーションハブ発足時の JAXA の課題は、以下の通りであった。

- 宇宙探査プロジェクトが大型化しており、コスト増と研究者・民間の参加機会減少を招いている。プロジェクト提案から実現までに時間がかかる。
- 成果が宇宙分野のみに留まっており、新規参加者にとって「しきい」が高く、新たな産業の育成につながっていない。
- 宇宙分野以外の国内外の最新の研究動向を調査する機能が弱く、国内外の最新技術の集約ができていない。
- 異分野間の研究者間でアイデアを議論・競争し、切磋琢磨して一つのアイデアに仕立てる“場”がない。
- 10 年、20 年先の宇宙利用を見据えた将来の宇宙利用のビジョン・ニーズが研究開発に反映されていない。

これらの課題を克服するため、宇宙探査イノベーションハブ発足時から、大きく分けて以下の 3 つの目標をたてて組織構築を行ってきた。

① 探査のあり方を変える！（発注型から参画型へ）

・ 宇宙探査技術における革新：Game Changing

宇宙探査の設計思想を大型・単一探査機による一点豪華主義ミッションから、小型・複数探査機による自律分散協調型の低コストミッションに変革し、効率良く短期間で多様な宇宙を広く深くとらえる挑戦的な（Game Changing）探査を実現する。

・ 宇宙探査と社会実装を同時に目指した研究開発：Dual Utilization

宇宙探査だけでなく、社会実装を研究開始当初から意識して、オープンイノベーション方式による地上技術の積極的導入と、宇宙と地上でのイノベーションを同時に実現する。

これらを実現するためには、出口を宇宙とするのではなく、地上における利用ニーズを取り入れることが重要であるため、研究課題の設定の段階から民間企業等も巻き込んで探査を進めることを大方針とした。（従来は JAXA 内部でのニーズに基づく発注型であり、宇宙産業の拡大を通じた社会への還元を目指しているが、宇宙産業の規模は限定的であり、かつ宇宙産業以外への成果をあまり意識してこなかったことから、宇宙以外での社会貢献はいわゆる Spin-off 的なものに限られていた。）

宇宙探査イノベーションハブ発足当時には、Dual Utilization の概念ははっきりしたものではなかったが、JST イノベーションハブ構築支援事業を通じてこの概念が明確になった。民間の技術開発ニーズは、宇宙産業よりも自社の(地上)事業への展開にあるため、参加企業と JAXA の研究開発のベクトルを合わせるためには、宇宙と地上の二つの出口を双方が理解して進める必要があり、このような相互理解を進めていく中で Dual Utilization の概念が次第に固まってきた。また、JST イノベーションハブ構築支援事業による研究費の使用目的が社会実装を目指すことが明確であったことも Dual Utilization の概念の明確化に繋がった。

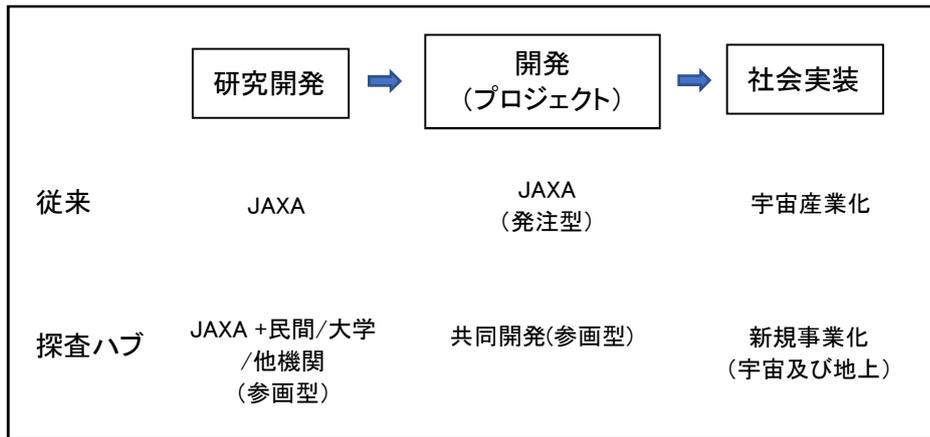


図2 発注型から参画型への転換

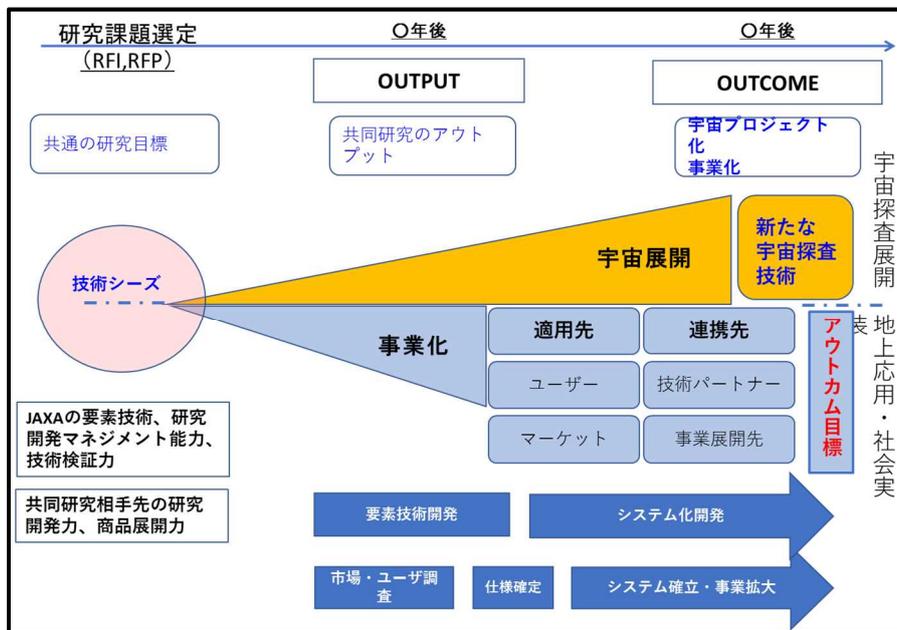


図3 Dual Utilization の概念

(共同研究相手方との目標確認の為に三角シートフォーマットを作成し活用)

② 異分野との協働

第2回探査ハブ諮問会議（探査ハブの運営に関して諮問を行うハブ長下の諮問会議）において、最先端技術を有する異分野からの企業・大学・研究機関等からの参画のしきいを下げ、Dual Utilization 型のオープンイノベーションを実現するためには、宇宙探査イノベーションハブの目標を分かりやすく「ポートフォリオ」として提示する必要があるとの指摘があった。これを踏まえて、10年～20年後までの宇宙探査を想定した将来像からバックキャストによる探査技術を検討し、**民間企業を含めた多種多様なプレイヤーが月の利用に参画する姿（ポートフォリオ）**をJAXAから提示した。ポートフォリオの検討にあたっては **JAXAにおける技術蓄積が不足しており、地上活動との親和性・相似**

性が極めて高く、地上技術・知見の導入・適用が可能な天体、特に月・火星のような重力天体「表面」での活動技術分野を重点対象とした(図4)。

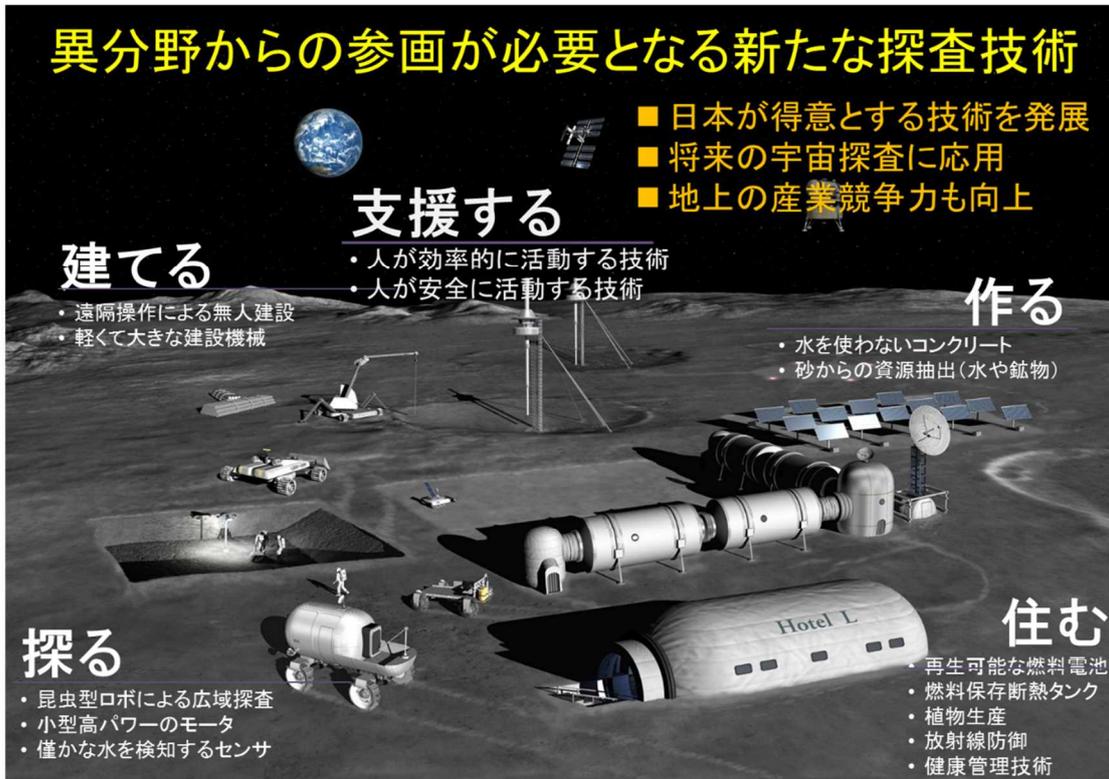


図4 将来の宇宙探査イメージとこれらを実現するために必要な新たな探査技術

第2回 RFP からは図4の将来像を実現するための具体的な技術課題のポートフォリオを提示することで、研究提案の精度やレベルが向上した(図5)

次に、宇宙分野以外の企業・大学が参画を促す仕組みとして、地上におけるニーズを発掘し宇宙探査技術シーズとマッチングさせるためのスキームとして、**共同研究テーマ設定のための情報提供要請 (RFI) と研究提案募集 (RFP) のプロセス**を導入した。これは、RFIにより民間や大学のニーズや技術シーズを広く募り、それらの情報と JAXA のニーズのマッチングを図り、有償共同研究テーマの募集 (RFP) に仕上げていくというプロセスである。また、RFI を掘り起こすため、異分野との情報交換や意見交換を目的に、オープンフォーラムやワークショップ等を開催し、参加者の裾野の拡大を図っている。

この RFI/RFP プロセスは、コンピュータ調達や人工衛星調達などでは一般的な手法であるが、プロジェクト前の応用研究や開発研究といわれるフェーズにおける、有償共同研究テーマの設定のために導入したのは、JAXA では初めての試みであった。NASA では似たようなプロセスを行っているが、あくまで出口は宇宙応用であり、地上応用(Dual Utilization)はあまり重視していない。

表 1 RFP 採択共同研究テーマの件数及び終了年度

RFP (採択年度)		テーマ	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度
第1回 (2015年度)	課題解決	14件	3件	7件	4件			
	アイデア	15件	15件					
第2回 (2016年度)	課題解決	3件		1件	1件	1件		
	アイデア	6件		6件				
第3回 (2017年度)	課題解決	5件					5件	
	アイデア	11件			11件			
第4回 (2018年度)	課題解決	7件				4件*	1件	2件
	アイデア	12件				12件		
	チャレンジ研究	2件				2件		
合計		75件	18件	14件	16件	19件	6件	2件

*うち 2 件は FS として採択のため、1 年間の研究成果により研究期間延長の可能性がある

③ 人材糾合

図6に探査ハブ発足時（2015年7月）からの体制の変遷と、現在（2019年9月）の体制図を示す。

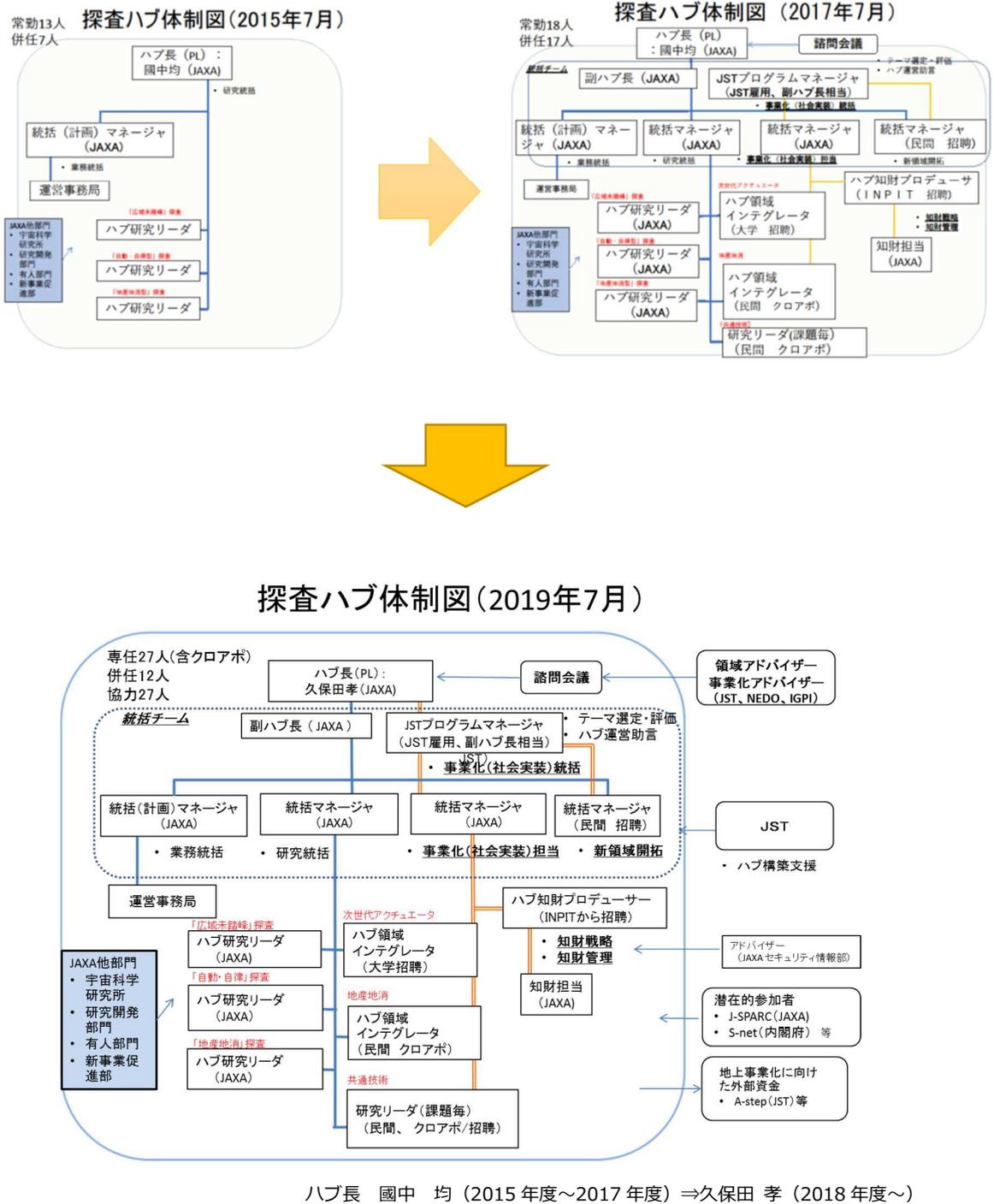


図6 宇宙探査イノベーションハブ体制整備状況

宇宙探査イノベーションハブが宇宙と地上技術の Dual Utilization の成果を上げるためには、最先端の知見を有する異分野の研究者の参加が必須である。このため、JAXA に新たに整備されたクロスアポイントメント制度を宇宙探査イノベーションハブが初めて適用した。

また、社会実装に向けては、地上におけるイノベーションにつながる研究課題を発掘・評価できる「目利き」や異業種マッチングを行えるコーディネータ、社会実装を推進するための事業戦略や知財戦略を担える人材が必要となる。

研究成果を企業の事業化につなげるため、JST から民間企業にて新事業創出実績のあるプログラムマネージャを招へいし、社会実装について、具体的実施内容を参加企業とともに立案し、社会実装計画、進捗を統括している。

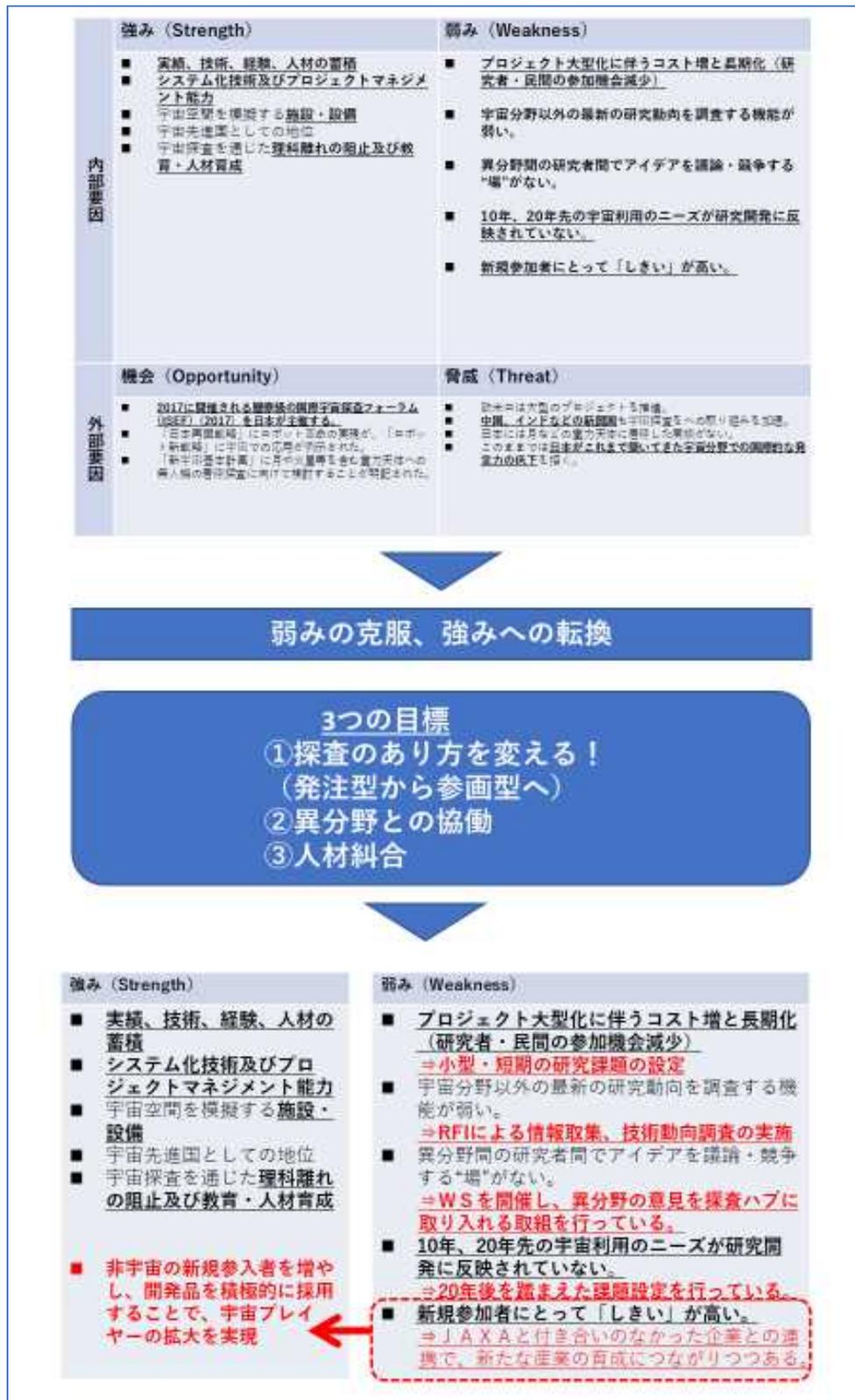
運営においては、副ハブ長、JST プログラムマネージャをはじめ、研究開発、事業化に関わるそれぞれの統括マネージャが集まり、統括チームとしてハブ運営にかかる方針を策定し進めている。

さらに、幅広い人的ネットワークを有し、多くの新事業を創りだしてきた実績がある民間コンサルタントを招へいし、JAXA 内人材では手の届かない領域へリーチを伸ばし、技術研究案件を発掘するとともに、成果の宇宙でないアプリケーション先も紹介していただいている。将来的には、海外からの優れた研究者を招へいし、アジアにおける宇宙探査のハブも目指している。

4 年間の活動の結果、2015 年度から 2018 年度までに 75 件の研究課題を採択し、JAXA 内外 553 名の研究者（約 8 割が非宇宙業界）の参加（参加企業側での自己投資を含む）を得て、30 件の特許を出願するなど、従来の JAXA にはない研究開発組織を実現している。

表 2 に宇宙探査イノベーションハブ発足時における JAXA の SWOT 分析と、それが JST イノベーションハブ構築支援事業を通じた運用の結果、どのように変わったかを示す。

表2 JST 支援事業提案時の SWOT 分析からの変化



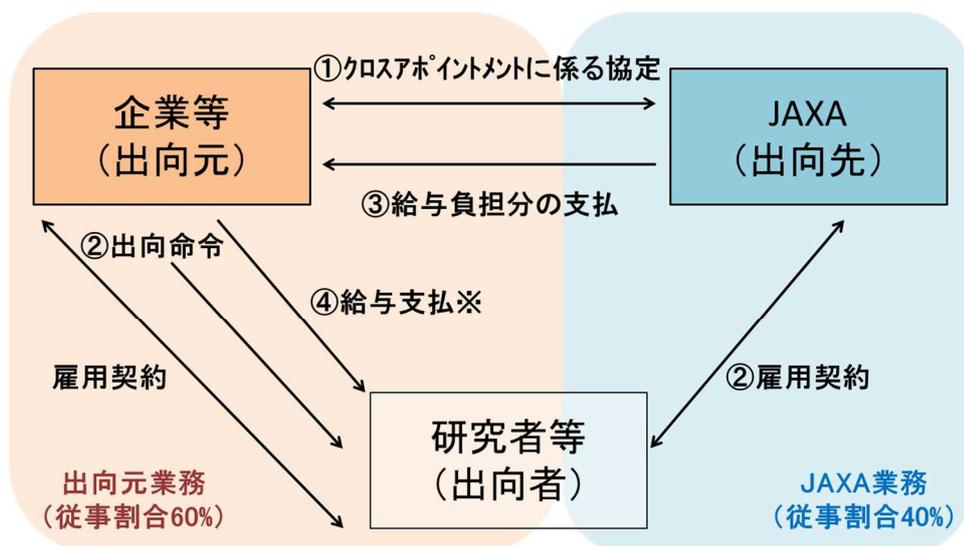
1. 4 JAXA 特区としての宇宙探査イノベーションハブ制度等

オープンイノベーションによる研究開発は宇宙探査イノベーションハブと次世代航空イノベーションハブが JAXA にとって初めての取り組みであったため、これらを JAXA 特区的な扱いとして、イノベーションハブのみに適用できる特則等を整備して運用を開始した。

(1) クロスアポイントメント制度

クロスアポイントメント制度（混合給与）は、国内外の研究者等の受入れを促進するため、所属機関に縛られることなく研究者等が活躍できることを目指した制度である。研究者が企業・大学・研究機関等（出向元）と JAXA（出向先）の双方で雇用されつつ、それぞれの機関の役割に応じて研究開発業務に従事するための手段の一つとして、JAXA では、2015 年 3 月にクロスアポイントメント制度による人事制度を整備した(全社適用)。

宇宙探査イノベーションハブではクロスアポイントメント制度により、延べ 7 名を採用している。



※給与は、出向元又は出向先のいずれかが、協定に基づき、一括支払い。
企業等 → JAXA → 研究者へ給与を支払うケース(上記と逆のケース)もあります。

図7 JAXA におけるクロスアポイントメント制度
(従事割合は一例。出向元との調整により決定する。)

(2) イノベーションフェロー制度

世界的にトップクラスの研究者を招へいするため、JAXA 給与規定にとらわれな
い柔軟な給与・報酬制度としてイノベーションフェロー制度を整備した（全社適
用）。宇宙探査イノベーションハブでは、これまでのところ採用実績はない。

(3) 知財に関する特別規則

宇宙探査イノベーションハブでの研究開発の出口は Dual Utilization、すなわち
宇宙と地上の 2 つの出口があるが、宇宙応用の前に地上での社会実装を実現す
るために、得られた知財については基本的に参加企業側で自由に使用できることを
基本的な知財戦略とした。探査ハブの場合、宇宙応用と地上応用を明確に切り分け、

地上応用についての知財特則を設けたことにより、非宇宙産業の参画が容易になっていると評価されている（探査ハブ諮問委員の意見）。

JAXA 外の研究者が多数参加する本プロジェクトでは、ハブ内の知財の帰属については、原則、発明者の所属先に帰属可能としている。JAXA 職員の発明者については、セキュリティ・情報化推進部が事務局を務める各審査プロセスのもと、出願・管理を行う。なお、ハブ内では、JAXA と企業との共有特許が多数生まれることが想定されるが、共有企業の自己実施の場合、JAXA の同意を不要としたほか、いわゆる不実施補償を求めないなどの特例的措置を講じている（現在は探査ハブでの実績を踏まえて、本規則は JAXA 全社で適用可能(案件ごとに適用可否を判断することができる)とされている。)

(4) ハブ長をトップとするフラット、かつ、機動的な組織体制

探査ハブが目指す Dual Utilization の 2 つの出口のうち、地上すなわち社会実装については企業ニーズの実現ができるよう、企業側のスピード感に対応できる体制とした。具体的には、ハブ長をトップとした迅速な組織決定が行えるよう、探査ハブを理事長直下の組織としハブ運営にかかる権限は原則としてハブ長に移譲した（現在は宇宙探査ハブ担当理事の指揮下にあるが、ハブ長をトップとする組織運営については変更ない）。また、構成員についても JAXA の定める職制はあるものの基本的にフラットな組織として、各員のアイデアや改善事項を速やかに反映できる組織運営を行った。

初代ハブ長としては、宇宙探査分野で世界的に評価が高く、はやぶさ／はやぶさ 2 プロジェクトで革新的な宇宙探査ミッションを成功させた実績のある國中均教授を JAXA 内部から登用した。一般的に組織改革を目的とする新組織のリーダーは、いきなり外部から有識者を招くよりも、JAXA 内部の組織文化に精通している方を置くほうが成功すると言われている（探査ハブ諮問委員の意見）。

第2章 宇宙探査イノベーションハブの運営を通じて得られたノウハウ

2. 1 公平性を担保しつつ広くオールジャパンで参画をいただくための手法

宇宙探査イノベーションハブにおける研究活動は、JAXA と外部の企業・大学・機関等との有償共同研究を原則としている。そのため、公的機関である JAXA はテーマの選定や契約において利益相反することなく、公平性・透明性を持ったプロセスが求められる。また、宇宙と地上の Dual Utilization を実現するために、研究成果の社会実装についての知見が必要になる。これらを担保するために以下のしくみを導入した。

(1) 諮問会議

これまでの JAXA では、オープンイノベーションや研究成果の社会実装に関するノウハウがほとんどなかったため、宇宙探査イノベーションハブ長を補佐する外部専門委員からなる諮問会議を設置して、ハブ運営および研究課題設定等にかかる諮問を行っている。

●運営のノウハウ：

委員の選定にあたっては、JST の他プログラムにおいて研究成果を事業化するための評価委員長を経験された方、ダボス会議やアメリカにおける世界のイノベーション情勢に詳しくベンチャー企業支援にも深く関与されている方、イノベーションを促進するための知財戦略に詳しい方などをリストアップした。諮問会議の委員長には、企業におけるイノベーション創出型の研究所の所長クラスを経験された方をリストアップし、ハブ長自ら委員就任をお願いするなどした結果、内外で著名な6名の外部専門家の参加を得ることができた。

なお、諮問委員は非常に多忙であるため、委員全員参加による諮問会議は年一回程度として、個別の案件ごとに各委員を訪問してご意見をいただいている。また、研究課題の設定・選定については、本諮問会議の下に研究領域ごとの専門家からなるテーマ設定・選考委員会を組織して実務的な作業を実施し、その結果を諮問会議に諮ることとしている。

●得られた効果：

これまで、JAXA においてイノベーションそのものについての理解が不十分なレベルからスタートしたが、諮問委員から適切な指導、アドバイスを頂いたことでその理解が深まった。また、オープンイノベーションを実現するために、非宇宙分野からの参画者を拡大するための参加しやすい制度設計や、社会実装に向けた取り組みの重要性が指摘され、ハブの基本となる運営理念に反映されている。

表3 宇宙探査イノベーションハブ 諮問会議 委員リスト

(敬称略、五十音順)

氏名	所属／役職
秋池 玲子	ボストンコンサルティンググループ／ シニア・パートナー&マネージング・ディレクター ※2015年11月～
岡田 吉美	一橋大学 イノベーション研究センター／教授 ※2015年11月～2017年3月31日まで
齋藤 ウィリアム 浩幸	株式会社インテカー／代表取締役社長 ※2015年11月～2017年11月30日まで
斉藤 剛	みさき投資株式会社／ チーフエンゲージメントオフィサー ※2018年1月29日～
角南 篤	笹川平和財団常務理事 ※2018年5月16日～
所 眞理雄 (委員長)	株式会社オープンシステムサイエンス研究所／ 代表取締役社長 ※2015年11月～
富山 和彦	株式会社経営共創基盤／パートナー、代表取締役 CEO ※2015年11月～2017年11月30日まで
渡部 博光	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究 事業本部／東京本部副本部長 環境・エネルギー部長 兼 知的財産コンサルティング室長 (弁理士) ※2015年11月～

(2) 研究課題の設定と発掘 (図 A④～⑥)

(a) 研究領域の設定 (図 A①)

宇宙探査イノベーションハブでは、将来の月や火星表面での探査において地上技術との親和性が高いと考えられる研究分野について以下の 4 つの領域を提示して産学官との連携を探索している (図 4 参照)。

① 《探る》 広域未踏峰探査技術

大型/単体ではなく、多数の小型 (昆虫のような) 探査機により、機能を分散協調しつつも、組織だった群行動を行なうことで、未踏峰領域を広範囲で高密度に探査する技術を獲得する。

② 《建てる》 自動・自律型探査技術

地球からの指令型探査から脱却する『自動・自律型』探査技術を獲得し、将来月や火星に構築される有人探査拠点の自動建設に繋げる。

③ 《作る》 地産地消型探査技術

「すべて運ぶ」から「現地で調達する」「再利用する」というパラダイム転換により、従来に比べ輸送効率の高い持続可能な探査を可能とする。さらには、現地での植物生産も目標とする。

④ 《住む》 共通インフラ技術

他の天体で持続的に人類が活動するために必要な共通的なインフラ技術として、完全再使用可能な燃料電池や次世代太陽電池技術、通信技術などの共通的な技術を獲得する。

なお、2019 年度からは、JAXA の有人宇宙技術部門と連携して、④《住む》のうち《医学・健康管理技術》と、⑤《支援する》として有人宇宙活動を支援するロボット技術の研究開発を追加した。

● 運営のノウハウ :

これらを選定した理由は、月や火星の表面には、小さいながらも重力があること、地面があり砂や水などの資源があることが、これらを活用するための技術は地球上で使われている技術の延長線上にあると考えたためである。またこれに加えて、これらの研究領域は、JAXA での研究開発が不十分な分野であるためである。

一方で宇宙という過酷な環境を目指した技術開発は、地球上においては革新的な機能性能を持つ可能性があり、その成果を地球上で社会実装できれば、革新的なイノベーションの創出が期待できると考えた。

● 得られた効果 :

宇宙側にニーズがあり、地上技術とのマッチングが期待できる分野を設定することができた。また、企業側においても、宇宙と遠いと思っていた自社技術が活用できる可能性が認識されつつあり、非宇宙分野企業の参加拡大につながっている。

(b) ポートフォリオ (図 A①)

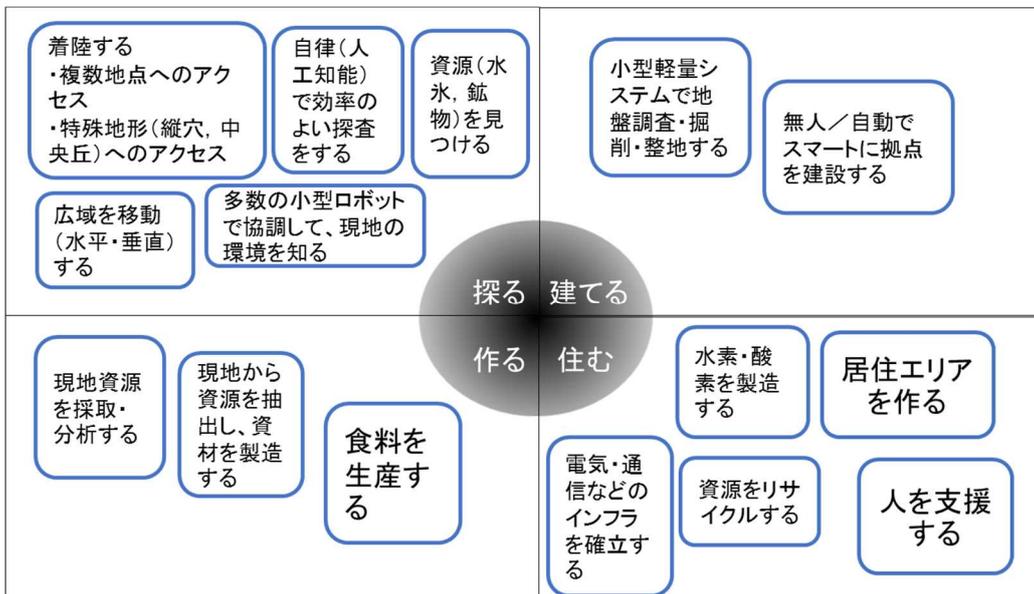
2016年9月に開催された第2回諮問会議において、事業化とイノベーション創出のバランスのとれた研究開発を実施するためには、参加希望者にとってわかりやすいポートフォリオの提示が必要であることが提言された。さらに、2018年3月には、斬新でイノベーション創出の可能性を持った研究課題を発掘するために JAXA のニーズのみを示したポートフォリオを提示した募集を実施することが提言された。提言に基づき、第4回研究提案募集 (RFP; 2018年3月募集開始) より、テーマ募集時には図8に示すポートフォリオを提示している。

● 運営上のノウハウ :

各研究領域のリーダーが中心となり課題設定ワークショップで識別された探査技術のシナリオ、及びそれに必要な要素技術、システム技術を元にポートフォリオを作成した。研究開発のシナリオを探る、建てる、作る、住む、の各カテゴリに分け、目的別にポートフォリオとした。また、これらの目的を達成するために必要なシステム技術、要素技術を展開したポートフォリオも同様に作成した。

● 得られた効果 :

ポートフォリオ作成のために実施した探査技術のシナリオ、システム技術、要素技術の識別により JAXA が求める研究課題が明確にすることが出来た。またこれにより、まだ実現できておらず JAXA として必要な研究課題がより明確になり、毎年実施する研究課題設定の全体のシナリオが俯瞰出来るようになった。



※ 2019年度より「支援する」というポートフォリオとして、「人が効率的に活動する技術/人が安全に活動する技術」を追加。ここでは「住む」の中で「人を支援する」というポートフォリオとして示している (医療・健康管理技術も含む)。

図8 宇宙探査イノベーションハブの研究ポートフォリオ

(c) 情報提供要請 (RFI : Request for Information) (図A②)

宇宙分野以外の企業・大学が参画を促す仕組みとして、地上におけるニーズを発掘し宇宙探査技術シーズとマッチングさせるためスキームとして、共同研究テーマ設定のための情報提供要請 (RFI) を通年で行い、随時受け付けている。

頂いたRFIについては、RFI提案者との面談を繰り返して宇宙とのマッチングを確認するとともに、地上における社会実装 (事業化) の可能性を確認する。同種の提案があった場合には、国内外における技術ベンチマークを確認しながら、我が国の技術ポテンシャルを投入すれば達成可能な技術目標を設定して、具体的な研究提案募集 (RFP : Request for Proposal) に落とし込んで募集をかける(図9)。

従って、外部からの参加者にとっては、RFIが最初の入り口であり、同時に探査ハブにとっては、イノベティブな研究課題発掘の基礎情報になるものであるため、特に重要なプロセスである。なお、RFIの内容やリスト等はアイデア盗用を防ぐため非公開としている。必要に応じて秘密情報保持契約 (NDA) を締結する。

優れたRFIを提出していただくためには、探査ハブの活動を広く認知していただく必要がある。このため、様々なアウトリーチを行ってきた(企業との対話を含む)。

- ・宇宙探査オープンイノベーションフォーラム

探査ハブ事業の紹介、RFI/RFPのご案内、成果事例紹介などを目的に、これまで東京、大阪、福岡などで通算11回開催し、延べ約1,000名、約900社の参加を得た。参加者に制約は無し。(一般参加も可)

- ・課題設定ワークショップ

RFI提出にむけた研究課題の明確化、絞り込みのために、研究者や企業、JAXA研究者による議論を目的に、これまで4回開催し、延べ約700名、約600社の参加を得た。

- ・銀行ネットワークの活用

JAXA新事業促進部が協力している三菱東京UFJ銀行のネットワークを活用した商談会を通じて探査ハブの制度紹介とRFIの呼びかけを行った。同社の顧客は約40万社であり、同行内のネットワークに約2千件の案内を行っていただいた結果、約50社からのRFIを提案頂いた。

また、関西地区のオープンイノベーションフォーラムの開催にあたってはりそな銀行の協力を得て参加者の募集をとRFIの呼びかけを行った。

- ・アイデアソン

これまでの発想にとらわれない、斬新なアイデアの発掘のため、アイデアソンを行った。JAXA一般公開の機会などを活用して小学生向けのアイデアソンを4回実施し、その成果をさらに活用して大学生、若手社会人によるアイデアソンを3回行った。社会人アイデアソンからRFPにつながるRFIの提出があった。

上記の他、宇宙やロボット関係等の学会を活用して特別セッション枠を設けるなどして、探査ハブ事業の周知を行った。宇宙探査イノベーションハブで行ったアウトリーチ活動の一覧をAppendix-1に示す。

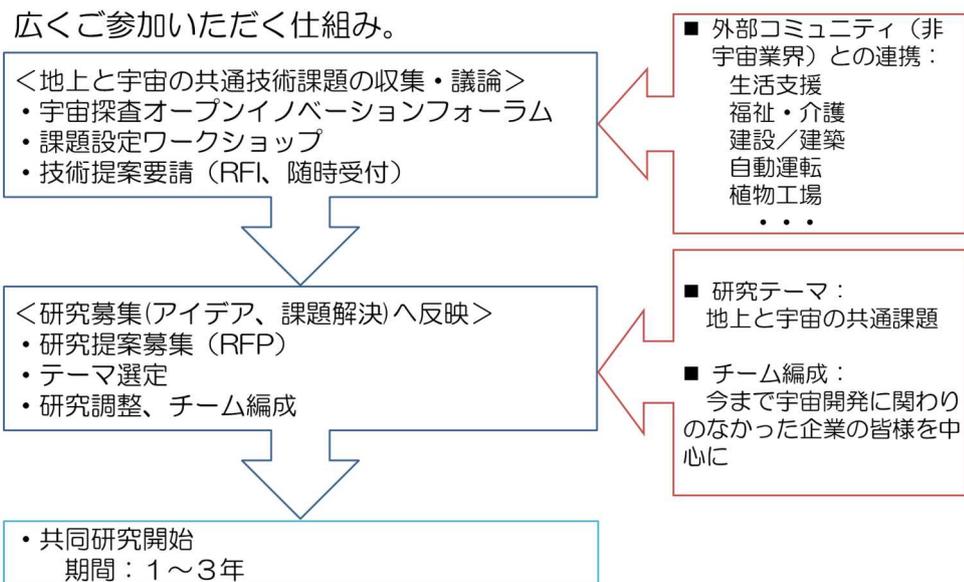


図9 宇宙探査イノベーションハブにおける研究課題の発掘から設定まで

●運営のノウハウ：

当初、RFPの募集時期に合わせてRFIの提出日の締め切りを設けていたが、企業側の自由度に配慮して、通年受付に変更した。質の高いRFIを出していただくためには、課題設定ワークショップや銀行ネットワークを通じた呼びかけ、社会人によるアイデアソンなどのアウトリーチ活動が重要である。

しかしながら、有望な分野については、RFIをただ待つのではなく、JAXAから積極的な働きかけを行うことが重要である。ハブ長自ら企業を訪問してRFIの提出をお願いするなど、地道な営業活動が重要である。

（参考）企業探索の事例

・S社の場合

広域未踏峰探査技術の分野においては、宇宙と地上の双方に共通する技術課題としてアクチュエータの高性能化があった。このため、この分野の第一人者を探査ハブへ招へいするとともに、参加企業への働きかけを行った。当時のモータ業界では新規研究はあまり行われていなかったため、新規技術の導入は大学での成果をベースに新規コアを探査ハブで開発し、モータ製造企業でくみ上げる、いわゆる大学と企業連合体を組織してもらうなどの働きかけを行った。加えてモータで使用する材料提供企業への訪問なども並行して行った。

・K社の場合

宇宙用の半導体技術を応用してマリンレーダの半導体化を狙うというアイデアは探査ハブ側が考えたものである。宇宙よりも社会実装をアウトカムとして考えたテーマの事例である。そのため、マリンレーダ関連主要企業3社に訪問して探査ハブへの参加を呼び掛けた。しかしながら、業界シェア上位の企業からは前向きな回答は得ることができなかった。ハブ長自ら企業訪問を粘り強く繰り返した結果、

業界第3位の企業からの RFI を引き出すことができた。この際、相手企業幹部との信頼関係を構築することができたことが重要である。

●得られた効果：

5回の RFP の源泉として、463 件の RFI を頂いた。これらのデータは前章で述べたポートフォリオにフィードバックされており、回数を重ねるたびに質の高い RFI が提出されるようになった。

(d) 研究テーマの発掘： ワーキンググループ (WG) (図A③)

前述の研究領域のうち、特に JAXA にとっても新たな分野であり、宇宙探査の観点から見た開発シナリオ、技術ニーズを検討するために探査ハブ長の下にワーキンググループを置き検討を実施した。その結果を後述の課題設定ワークショップ等で提示し議論を行った。

① 月面拠点検討委員会

「《建てる》自動・自律型探査技術」分野では、土木学会等の協力のもと、地上における無人化施工に関する有識者による月面拠点検討委員会を設置し、無人化施工技術による月面拠点の建設シナリオを検討した。

②月面農場ワーキンググループ

「《作る》地産地消型探査技術」分野では、植物工場の第一人者や、農業研究に関わる有識者を集めて月面農場ワーキンググループを設置し、月面農場のコンセプト、月面における植物工場への機能要求等を検討し、報告書を取りまとめた^{*}。

(*月面農場ワーキンググループ検討報告書 第1版(JAXA-SP-19-001))

●運営のノウハウ：

上記 WG は、宇宙側からみた要求事項を外部の専門家の参画を得て検討を行ったものである。これらの検討結果を RFI/RFP やポートフォリオに落とし込むことを目的とした。ただし、公平性の観点から特に利益相反や中立性に留意した形での委員会構成及び運営を行うとともに、その検討結果については広く公開・周知するなどの運営を行った。

●得られた効果：

宇宙での技術ニーズの明確化が図られると同時に、異分野の業界においても宇宙に向けた認識が深まり、WG に参加した企業・大学等から質の高い RFI が集まるようになった。

(e) 研究提案募集 (RFP : Request for Proposal) (図 A ④～⑤)

➤ 3種類の共同研究形態

宇宙探査イノベーションハブにおける有償共同研究の形態として、研究期間・資金の異なる2種類を設定した。なお、研究期間については、研究の進捗状況を見ながら、成果が期待できるものは半年程度の延長を認めるなど柔軟な運用を行っている。

<課題解決型> : 研究期間 : 最大3年間、研究費 : 最大1億円/年

課題解決型の共同研究は、研究終了後の社会実装（事業化）を目的に、研究終了後およそ3年以内に事業化の目途を付けられるまで技術レベルを引きあげることが目的とする（応用研究や開発研究に相当）。研究期間は企業におけるビジネスサイクルを考慮し、最大3年とした。

<アイデア型> : 研究期間 : 1年間、研究費 : 最大500万円

アイデア型の共同研究は、基礎研究レベルの研究を対象に1年間で POC (Proof of Concept) 等を行い、研究終了後に課題解決型へのステップアップをめざすことを目的とする。特に大学においては社会実装（事業化）にむけた企業との連携が不足しているため、1年間の研究期間において事業化に向けたパートナー企業の探索も行っている。アイデア型は探査ハブへの参画者の裾野拡大という目的もある。

<チャレンジ型> : 研究期間 : 1年間、研究費 : 最大300万円

チャレンジ型の共同研究は、アイデア型の類型であるが、後述の RFP にとられず、図5のポートフォリオに資する挑戦的なアイデアを対象にする。RFP プロセスが固定化することで、斬新なアイデアの提案が枯渇しないようにすべきという諮問会議での提言に基づき、2018年の第4回 RFP から導入した。

➤ 研究提案募集 (RFP : Request for Proposal)

頂いた RFI をトリガーとして、提案者との面談を繰り返して宇宙とのマッチングを確認するとともに、地上における社会実装（事業化）の可能性も確認する。同種の提案があった場合には、国内外における技術ベンチマークを確認しながら、我が国の技術ポテンシャルを投入すれば達成可能な技術目標を設定して、具体的な研究提案募集 (RFP) を全国に発出する。RFI と RFP との関係を図10に示す。

ここで留意したいのは、RFI の提案者が RFP において採択されるとは限らないことである。これはテーマの採択時における公平性を担保（随意契約ではなく競争入札による）するとともに、オールジャパンに改めて問いかけることで、RFI を出していなかった企業等からの参加機会を設け、競争原理を働かせて最も優れた提案を採択するためである。

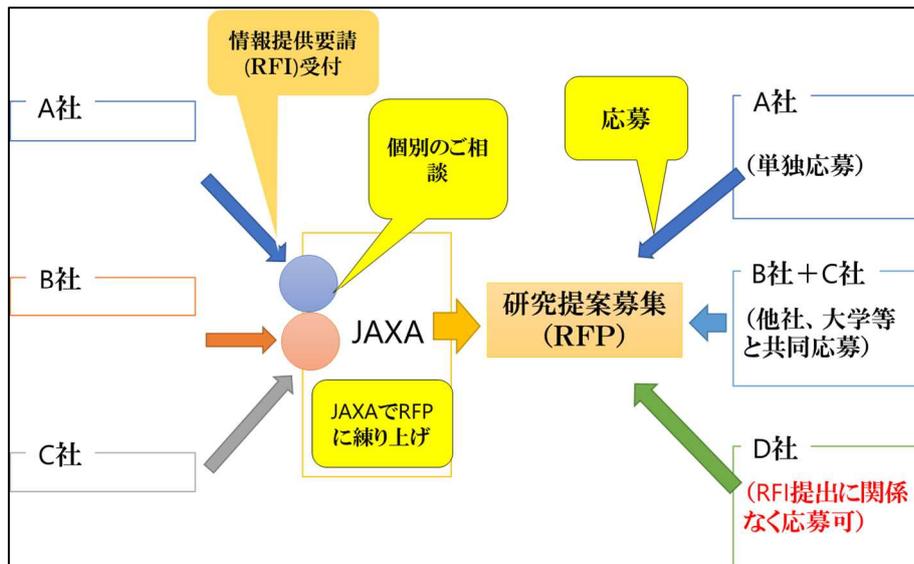


図 10 RFI から RFP 応募までの流れ

➤ RFP 候補の絞り込み

RFI により提供された技術情報に基づき、RFP で募集する研究課題を選定するにあたっては以下の方針で行っている。図 11 にフローを示す。

- ① 技術的、社会的イノベーション創出が期待できること
- ② 宇宙探査に有効な研究提案であること
- ③ 課題解決型については探査ハブでの研究終了後、概ね 3 年以内に地上での事業化の可能性があること
- ④ JAXA 資産の効果的な活用が出来ること (JAXA 研究者との協働や施設・設備の活用)
- ⑤ 当該年度の資金制約の中で実行可能であること
- ⑥ 特許動向調査の結果、障害となるような課題が見られないこと
- ⑦ 既採択の研究テーマとの整合性はとれていること、又は既採択の研究テーマとの融合により成果の最大化が期待できること



図 11 RFP 募集課題設定の考え方（フロー）

➤ RFP 募集課題の設定

全ての RFI に対して前述のスクリーニングを行い、それをもとに RFP 募集課題候補を以下のプロセスで実施する。

① RFP 課題設定会議（その1）

JAXA 内委員により、主に宇宙探査に有効であるかを確認する。また、課題解決型、アイデア型候補の判別を行う。前年度アイデア型研究から課題解決型候補へのステップアップ候補についても議論を行う。候補とする理由、しない理由を確認し結果をハブ長が取りまとめる。なお、本会議は原則として、探査ハブ関係者全員参加で実施する。

② RFP 案

RFP 課題設定会議（その1）で候補となった RFI およびステップアップ候補テーマについて担当者を指名して、具体的な研究目標（要求仕様、数値目標等）を書き込んだ RFP 案を作成する。RFP には宇宙での応用目標、地上での応用目標、共同研究期間終了時の達成目標、おおよその研究資金総額、付帯条件等を具体的に記述する。

③ RFP 課題設定会議（その2）

RFP 案に対して、内容の妥当性を議論する。ここでは予算状況を踏まえて各課題に対する資金配分も議論する。

本会議には、地上での事業化、イノベーション創出の観点で助言をうけるため JAXA 内外から外部委員として参加していただき、RFP 発出版を確定する。予算に制約のある場合は RFP に優先順位をつける。

④ 諮問会議によるレビュー

③を踏まえて RFP 発出版を作成し、諮問会議委員のレビューを受け、最終版とする。諮問会議は社会実装やイノベーションの可能性が低い RFP については見直

しや取下げも提言できる。

⑤ RFP 発出

諮問会議委員の意見を踏まえ、探査ハブ長が RFP 募集内容を決定し、募集を開始する。

➤ RFP 発出時期、募集期間の考え方

RFP 発出は春、募集期間は 30 営業日である。主に予算上の理由から秋頃に共同研究契約の締結、研究開始を予定しており、そこから選定プロセスにかかる期間等を逆算して上記時期となっている。

募集期間については、以下の理由によりある程度短期間の募集でも成立するという知見を得た。

- ① 本制度では、研究提案書提出時の機関承認を求めていること（提案書への機関公印不要）
- ② スピード感のある制度を目指していたことにより、第 1 回 RFP の募集期間は 10 営業日（土日含め 2 週間）とした。非常に短期間の募集であったにもかかわらず、相当数の研究提案をいただいたこと。

その後、研究提案書様式や選定プロセスの見直し等により、提案に伴う提案者の作業量が増えたこと、提案書の提出に社内の承認が必要で募集期間が短いという声もあったことから、第 2 回 RFP では 20 営業日（土日含め 4 週間）、第 3 回 RFP 以降は 30 営業日と段階的に見直してきた。

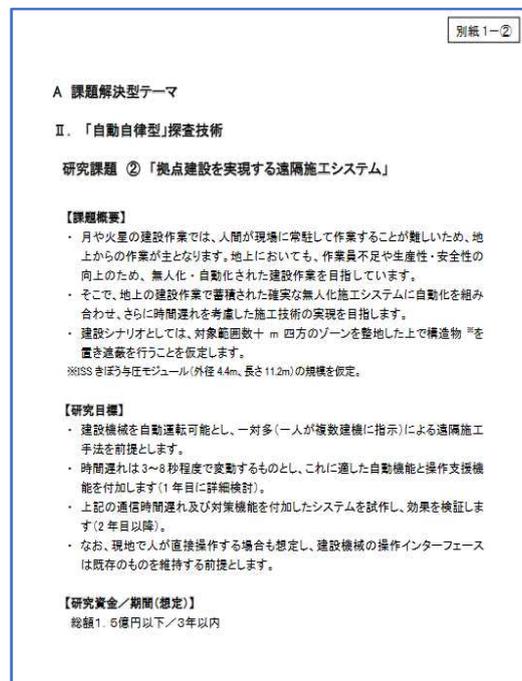


図 12 RFP の例

➤ 研究提案募集(RFP)発出後の作業

RFP 発出後は、募集課題に係る質疑対応を行うが、公平性を担保するために、個別の問い合わせ対応を行った場合は、HP 等を通じその内容を公開する。この作業を効率化するため、「RFP 公募説明会」を開催することが有効である。

また、並行して、RFP 締め切り後に行う選考を行うピアレビュー（技術評価者）として、JAXA 内外含め 3～5 名をリストアップして就任を依頼する。

● 運営のノウハウ：

RFI から RFP へのプロセスのノウハウは本章で述べた通りである。なお、本プロセスにおける事務作業は探査ハブ職員だけで実施している。本作業のアウトソーシング化も考えられるが、本プロセスの重要性を考えると内作で実施すべきと考える。

● 得られた効果：

外部から見てしきいの低い、参加しやすい RFI/RFP プロセスを確立できた。

(f) 研究課題の選定(図 A ⑥)

➤ 選定基準

選定基準については RFP 毎に見直しを行って改善を行っている。第 4 回 RFP での課題解決型の選定基準を表 4 に、アイデア型の選定基準を表 5 に示す。

課題解決型では社会実装（事業化、ビジネスインパクト）の実現性を重視する。従って、必要に応じ、対象事業の特許申請状況の調査や、提案企業側の与信調査も実施する。

アイデア型はアイデアの斬新性に加えて、1 年後に課題解決型にステップアップできるかどうかも選定基準としている。アイデア型については与信調査等を省略している。

課題解決型、アイデア型とも、選定基準に社会実装の視点をいれたことが探査ハブの特徴であり、重要なポイントである。選定プロセスの過程で、課題解決型に提案のあったものをアイデア型として扱ったケースや、1 年間のフェージビリティスタディ (FS) としてステージゲートを設けたケースなど、柔軟な選定を行っている。

なお、チャレンジ型については、斬新性と面白さを中心に、探査ハブメンバーが投票を行い上位のものを採択することとしている。

表4 課題解決型選定基準（第4回RFP）

A. 課題解決型	
① 研究課題の設定趣旨との整合性	<ul style="list-style-type: none"> ・ RFPで提示した研究課題の解決に資する研究提案であること
② 目標・計画の妥当性・実現性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 課題解決に向けた目標・計画が具体的かつ明確であり、実現性が高いこと ・ 課題の問題点あるいは技術的な課題等を的確に把握し、その解決策について具体的に提案されていること ・ これまでのデータ・成果が蓄積されており、計画が具体的かつ合理的に立案されていること
③ 技術的革新性（イノベーションインパクト）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙での課題解決に加え、地上における新しい産業の創出、社会・経済への独創的で大きなインパクトの期待がわかるよう、宇宙の活動、地上での生活等が具体的にどう変わるか検討されていること ・ 技術の独創性（新規性）及び競合優位性（技術的ベンチマーク、経済的優位性）が、論文、特許、インターネット等の調査に基づき具体的に検討されていること
④ 事業化実現性（ビジネスインパクト）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ターゲットユーザの妥当性、市場動向が十分に分析され、既存市場に対する革新的な優位性が期待できること、又は新規市場開拓・確立が期待できること ・ 事業化に向けた課題が明確にされており、課題解決のための方針、計画や知財戦略等が検討されていること ・ 地上における事業化構想が具体的であり、研究終了から概ね3年以内に事業化構想達成の見込みがあること
⑤ 研究開発体制の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発体制が適切に組織されており、企業・大学及びJAXAとの役割分担が明確にされていること ・ 参画企業が開発に取り組みめるだけの経営基盤を有すること ・ 参画企業が開発を実施できる技術開発力等の技術基盤を有すること
⑥ 開発に伴うリスク	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過去の関連する研究プロジェクトとの関連がある場合は、その結果（うまく行っていない場合の要因分析を含む）が適切に反映されていること

表5 アイデア型選定基準（第4回RFP）

B. アイデア型	
① 研究課題の設定趣旨との整合性	<ul style="list-style-type: none"> ・ RFPで提示した研究課題の解決に資する研究提案であること
② 目標・計画の妥当性・実現性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 課題解決に向けた目標・計画が具体的かつ明確であり、実現性が高いこと ・ 1年程度で課題解決型研究等にフェーズアップが可能かどうか判断できる計画であること
③ 技術的革新性（イノベーションインパクト）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙での課題解決に加え、地上における新しい産業の創出、社会・経済への独創的で大きなインパクトの期待がわかるよう、宇宙の活動、地上での生活等が具体的にどう変わるか検討されていること ・ 技術の独創性（新規性）及び競合優位性（技術的ベンチマーク、経済的優位性）が、論文、特許、インターネット等の調査に基づき具体的に検討されていること ・ 将来の事業化に結び付く可能性がある提案であること
④ 研究開発体制の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発体制が適切に組織されていること ・ 参画企業が開発を実施できる技術開発力等の技術基盤を有すること
⑤ 開発に伴うリスク	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過去の関連する研究プロジェクトとの関連がある場合は、その結果（うまく行っていない場合の要因分析を含む）が適切に反映されていること

➤ 選定プロセス

応募された RFP の選定は、以下に示す様に、技術評価者によるピアレビュー、面談等のプロセスを踏まえて最終的には諮問会議の答申を踏まえてハブ長が採択を決定する。

① 一次評価（各評価者）

各課題あたり評価リーダを原則として探査ハブメンバーから指名し、評価リーダと事務局で調整のうえ、利益相反のない技術評価者を JAXA 内外含め 3~4 名、及び事業化評価者（以下、各評価者）を割り振る（課題により支障ない範囲で減らす場合もある）。

各評価者は、各提案の書面評価結果を一次評価票に記載、評価リーダが指定する期日までに提出する。

② 面談（評価リーダ、ハブ長、副ハブ長、JST プログラムマネージャ（JSTPM）、事務局、各評価者（適宜））

課題解決型については全件、提案者と適宜面談しヒアリングを行う。

③ 一次評価まとめ（評価リーダ、各評価者、JSTPM）

評価リーダは各評価者の評価結果を取りまとめたうえで議論し(*)、個々の提案についての総合評価と優先順位を総合評価票にまとめる。

この際、課題解決型については JSTPM のコメントを付記する。各評価リーダは評価チームに展開する際は JSTPM に共有することとしている。(*)メール討議も含む。

④ 全体打合せ（評価リーダ、ハブ長、副ハブ長、JSTPM、事務局、ハブメンバー）

各提案の総合評価票に基づき、採択候補、優先順位、付帯条件などを議論し、根拠と併せて一次評価結果にまとめる。

⑤ 諮問委員へ議事説明（ハブ長、副ハブ長、JSTPM、事務局）

諮問会議資料をもとに、議事に沿って各提案内容と一次評価結果について説明する。コメント等は会議前、又は当日の議論でいただく。なお、委員長への訪問は議事説明と進行打合せの 2 回行う。

⑥ 諮問会議（二次評価）（ハブ長、副ハブ長、JSTPM、評価リーダ、事務局）

一次評価結果に基づき、事業性を主眼とした議論を行い、二次評価結果をまとめる。

⑦ ハブ長決定

諮問会議からの諮問結果を踏まえて、JAXA 探査ハブ会議（2.3(1)、図 13 参照）においてハブ長が採択テーマを決定する。

⑧ 通知

ハブ長決定に基づき、採否結果を提案者に通知する。結果は、採択内定・条件付き採択内定・不採択の 3 パターンあり、いずれの場合も評価コメントを付記する。採択内定の場合には共同研究の計画再検討の要望や対する期待、不採択の場合には評価されたポイントと採択に至らなかったポイントを簡潔に記載する。不採択の機関にも、探査ハブとの共同研究に対する意欲をまた持っていただけるように文面に配慮した。



図 13 テーマの選定の流れ

●運営のノウハウ：

課題の選定プロセスのノウハウは本章で述べた通りである。重要なことは、選定に至らなかった提案者に対しても、次回以降への挑戦意欲を持っていただけるようなフィードバックである。なお、本プロセスについてもアウトソーシング化が考えられるが、本プロセスの重要を考えるとできるだけ内作で実施したほうが良い。

●得られた効果：

標準的な課題選定プロセスを確立できた。

2. 2 研究成果を創出するための手法

共同研究期間中のレビューの機会として、2週間に一度実施する研究進捗確認会、共同研究期間の途中で実施する中間報告会、複数年にまたがる課題解決型の共同研究のうち、年度末実施する年次確認会、共同研究終了後に成果のまとめを確認する成果報告会を行う。フローを図 14 に示す。

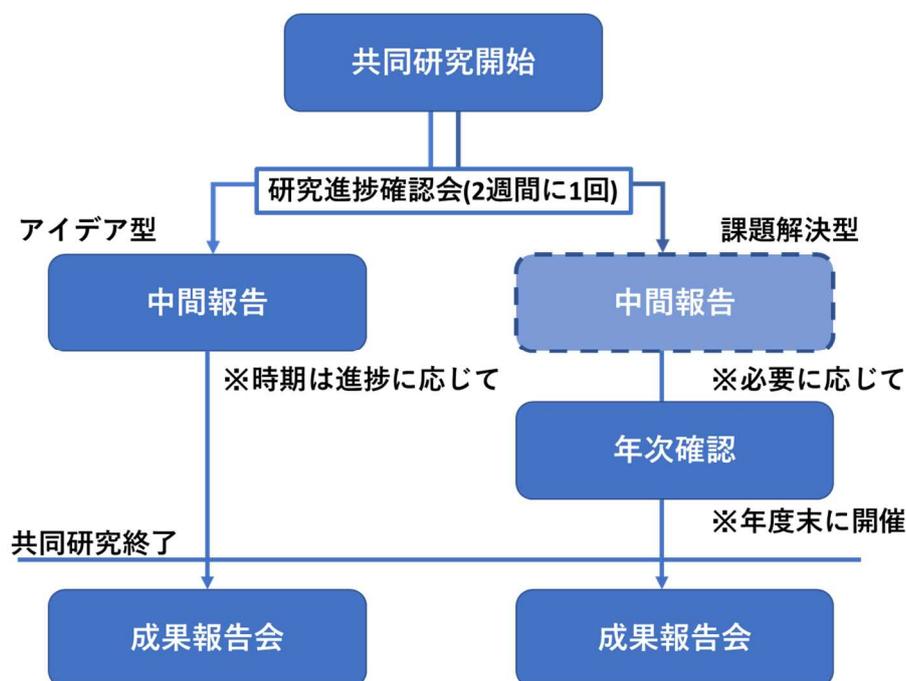


図 14 研究管理における確認会・報告会のフロー

(1) 研究進捗確認会 (TansaX 会議)

RFP にて選定した各研究課題の進捗状況確認のため、隔週を原則として TansaX 研究進捗確認会を実施することとした。各研究課題の担当者が集まり研究課題の進捗状況の報告と情報の共有を行うもので、全体を約 1 時間以内で実施する。これまでの JAXA での経験上、重大な問題の有無は 1 時間の報告の中でも抽出できるというハブ長の判断があった。

短時間で研究分野も研究規模も異なる多数の探査ハブ研究テーマ全体の情報共有を行うため、報告資料に工夫を凝らした。各テーマの主たる目的、研究計画を示したスケジュールの記載と、最新状況、課題や問題点の有無、会議開催予定や各種シンポジウム等への展示などをテンプレートして用意し、会議開催前に各担当者に記述してもらう方式をとった（これは、はやぶさ 2 の開発進捗管理でも採用した方式で、当時の國中プロジェクトマネージャ（探査ハブ初代ハブ長）が状況判断するために有効な手法であった）。各課題の持ち時間は少ないが、短時間でも事務局が各課題の状況把握、問題点等の相談を定期的に行うことが出来る。これにより、次項で示す、中間報告会、最終報告(成果報告会)に至る過程の状況把握を可能とし、特に不具合や共同研究体制の変更など、大きな問題が発生した場合の迅速な解決手段として機能した。

また、探査ハブでは多種多様な技術分野にまたがっており、担当者間での情報共有をすることで、他の担当者からのコメントを参考にし、研究課題間での連携を促進するという目的も果たしている。

(2) 中間報告会、年次確認会、成果報告会

・ 中間報告会

各研究課題は専門の担当者がアサインされ随時研究調整、進捗確認を行うが、研究の方向性が間違っていないか、技術内容の詳細は TansaX 研究進捗確認会の情報共有だけでは不十分な場合がある。そのため、アイデア型は1年間の研究期間の中間に、複数年の課題解決型では各年度必ず一回、ハブ長、副ハブ長、事務局、関係者を集めて中間報告会を行う。開催の時期は各研究課題の成果、方向性が見えてきたタイミングとして一律には定めていないが、各担当者の判断で開催調整する。中間報告会で出てきた意見が最終の成果報告会で取り込まれるよう配慮する。

・ 年次確認会

各研究課題は研究の進捗に応じて加速、中止も検討すべきとしている。特に、複数年に及ぶ課題解決型の研究では、採択時に見込んでいたような成果が見込めない場合は翌年度の研究を継続しない可能性がある。そのため、年度のつなぎ目、具体的には1～2月にそれまでの成果を総括して、翌年度の研究を継続すべきかどうかの判断のため年次確認会を行う。年次確認会では中間報告会同様に、ハブ長、副ハブ長、事務局、関係者が集まり、研究継続の可否判断だけでなく、研究チームと翌年度の研究計画への意見交換を行う。

・ 成果報告会

共同研究実施機関は、共同研究終了後1か月以内に成果報告書を取りまとめ、事務局へ提出する。探査ハブでは、提出された成果報告書、及び共同研究実施機関、JAXA 担当者による成果報告を元に、探査ハブ関係者、評価委員による議論を経て研究成果の評価を実施する。

評価は、ハブ長、副ハブ長、各研究領域のリーダー、採択時に選定にあたった JAXA 内委員、外部専門委員で構成されるメンバーによって実施される。

成果報告会では、実施機関より提出された成果報告書ならびにプレゼンテーション、質疑応答、総合討論に基づき、評価、今後に向けたコメントを行う。

成果報告会で集約された意見やコメントは事務局が取りまとめを行い、ハブ長の承認をもって決定された後、評価コメントとして、JAXA 担当者を含めた研究チームに通知する。

・ 成果報告会の考え方

成果報告会は、JAXA 及び実施機関における共同研究の成果について取りまとめ、今後の宇宙探査イノベーションハブの運営の改善を目的に実施するものである。加えて、得られた成果の扱い（個別の共同研究として継続するか、一旦終息させる）や宇宙向けに使える用途があるのかなどについても検討する。

評価に際する確認ポイント（評価項目）は下記①～⑤の通り。実施機関への評価結果の通知は行わないが各評価項目及び全体のそれぞれに対し下記に示す SABC の4段階で評価し、探査ハブの成果、実績として整理し、今後の活動改善に役立てている。

- ①目標達成度
- ②研究目標・計画の妥当性
- ③実施体制の有効性、継続性・発展性
- ④事業化実現性（※課題解決型のみ）
- ⑤当初想定していなかった成果（※必須ではないが該当あれば研究成果として考慮）

（参考）【評点区分】

- S：所期の計画を超えた取組が行われている。
- A：所期の計画と同等の取組が行われている。
- B：所期の計画以下の取組であるが、一部で所期と同等の取組もみられる。
- C：総じて所期の計画以下である。

（3）共同研究チーム構成

共同研究チームの構成に当たっては、RFPの段階からJAXA側研究担当者を指名し、選定プロセスから責任をもって参加し、選定後は代表研究者としてチームを率いるようにした。これにより、選定者であるJAXA側研究プロジェクト担当者に研究プロジェクトへの責任感が生まれる。探査ハブだけで人材が不足する場合は、JAXA他部門からの参加を得るなどして研究体制を整えている。さらに、クロスアポイントメント制度や招へい研究員制度などによりハブへの人材糾合も図っている。クロスアポイントメント制度により、JAXAと企業双方の立場を持つ担当者がいることで、両機関間のコミュニケーションや知見共有が円滑になった。

研究管理には、JAXAの研究マネジメント手法を適用して、研究確認会（担当レベルで適宜行う調整会議）とJAXAハブマネジメントレベル・JSTを含む研究確認会を定期的実施している。よい成果を生むためには、共同研究締結後速やかに研究計画の確認を行うことと、研究期間の中盤にマネジメントレベルを入れて中間報告会を実施し、必要であれば研究計画の方向修正を行う。

課題解決型テーマについては、研究の出口戦略、研究目標が明確であることから、試作機の完成後あるいは実験現場でのデモのタイミングで探査ハブマネジメント・JSTを含む研究確認会を行い、研究成果の達成度の確認や市場投入にむけた研究計画の修正などを行った。一方、予算規模も研究期間も限定的なアイデア型テーマについては、研究終了後の出口戦略まで見えていないことから、ある程度、研究が進捗した段階で、研究終了後の継続性や発展性の有無（どの分野で市場投入が期待できるか、有望企業先との連携見通しはあるか等）を参加者と情報共有し、必要に応じて、研究計画の方向性修正等を図った。

(4) 追跡調査

「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（内閣府）、「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」に基づき、共同研究終了後、一定の時間を経過してから、その波及効果や副次的効果を把握し、新たな協力関係の構築、継続に資することを目的に追跡調査を実施する。

具体的には、2018年（平成30年度）より、毎年1回、共同研究終了後1年を経過した研究課題について、研究成果の活用・展開、自己評価、組織目標の達成時期、自己投資状況等の項目を設け、全共同研究参加機関を対象に調査を実施している。調査は、WEB回答及びメール回答形式で実施した。

調査結果について、各機関での研究成果に対する自己認識、問題点の要因、研究開発フェーズの推移、社会実装状況、宇宙適用状況等を分析し、今後の共同研究のテーマ設定やプログラム設計、評価手法、研究マネジメントの改善に努めることとする。

具体的な調査項目を表6に示す。

表6 調査内容

Q1	共同研究終了後の現在の状況について教えてください。
Q2	貴組織として本研究成果をどう自己評価されているか、また貴組織目標の達成時期に関するお考えを教えてください
Q3	本研究の成果による技術を将来の宇宙探査で活用するまでに維持していただくために、何が必要ですか(複数選択可)
Q4	共同研究課題の研究開発フェーズについて教えてください。(各フェーズの定義は別表)
Q5	「製品化段階」または「上市段階」を選択した方に伺います。具体的な現在の状況についてお答え下さい。
Q6	当該研究開発における貴組織のリソース配分状況について(共同研究開始時と比較して)
Q7	研究成果の宇宙適用状況について教えてください
Q8	研究開発終了後の発表、出願、受賞、新たなファンド獲得状況
Q9	研究成果や知見は社会へインパクトをおよぼしましたか(社会への波及効果) : 複数回答可)
Q10	研究成果や知見は貴組織内においてインパクトをおよぼしましたか(社内波及効果)
Q11	その他 JAXA への要望、ご意見があれば記載してください

2. 3 研究成果を社会実装するための手法

(1) 社会実装にかかる支援体制の整備

- 統括会議による進捗管理
- JAXA 探査ハブと参加企業との密接な連携を目指し、選定した研究課題の事業化の検討状況の確認、事業化促進のための意見交換のため、「統括会議」を定期的実施している（1回/2週）。
- JST プログラムマネージャを議長とし、統括チーム、及び案件担当の各研究領域のリーダー（ハブ研究リーダー）が参加し、個別課題ごとの進捗状況および情報の共有、進捗確認を行うと共に、改善点や問題点への対応等も検討を行う。本会議の主な課題、成果は探査ハブ会議に報告する。

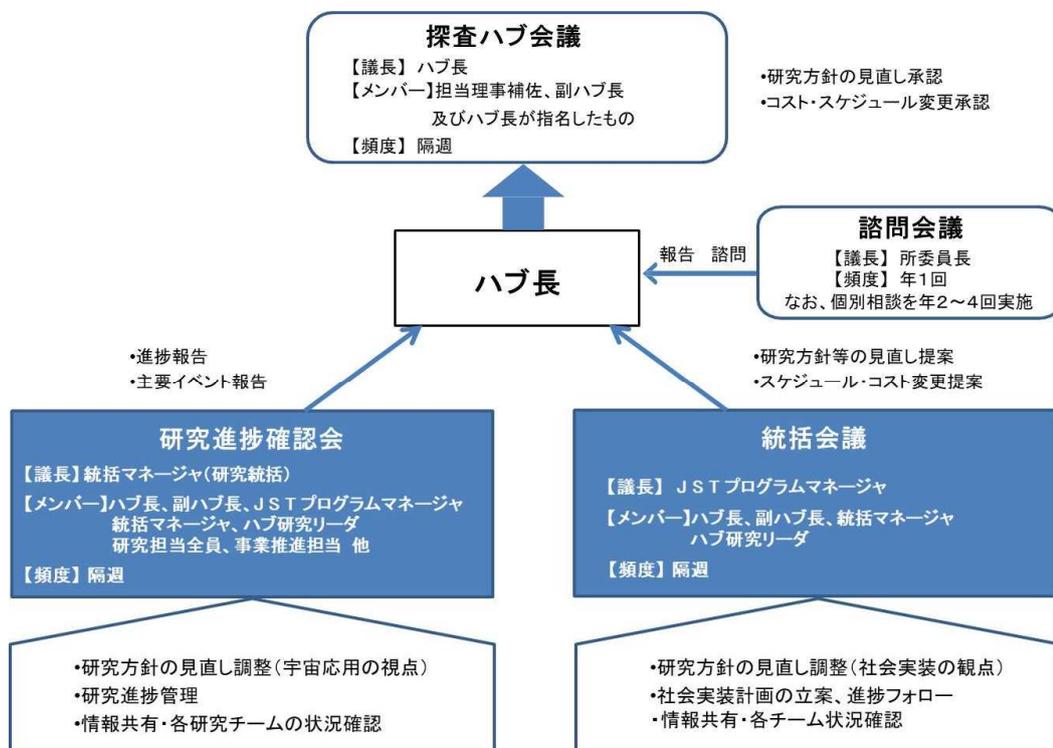


図 15 宇宙探査イノベーションハブの会議体

(2) 研究課題設定、採択時の事業化構想

(a) 事業化イメージ図

共同研究を実施する企業の社会実装を促進するため、宇宙利用/社会実装の概略を1枚にまとめた事業化計画書(サマリー)のイメージ図を制定した。研究開発成果の宇宙展開とともに、地上での事業化内容、適用先、アウトカム目標を1枚の図とした事業化計画書(サマリー)様式(図 16)を示し、この内容を意識して提案するようツールとして使用していただくよう要請している。

研究テーマ採択後、JAXA と共同研究相手機関と共同で議論し、各テーマ毎の事業計画(サマリー)イメージを作成、共有しながら研究を進めている。事業計画は研究の進捗やマーケットの状況変化に対応して柔軟に見直しを行っている。

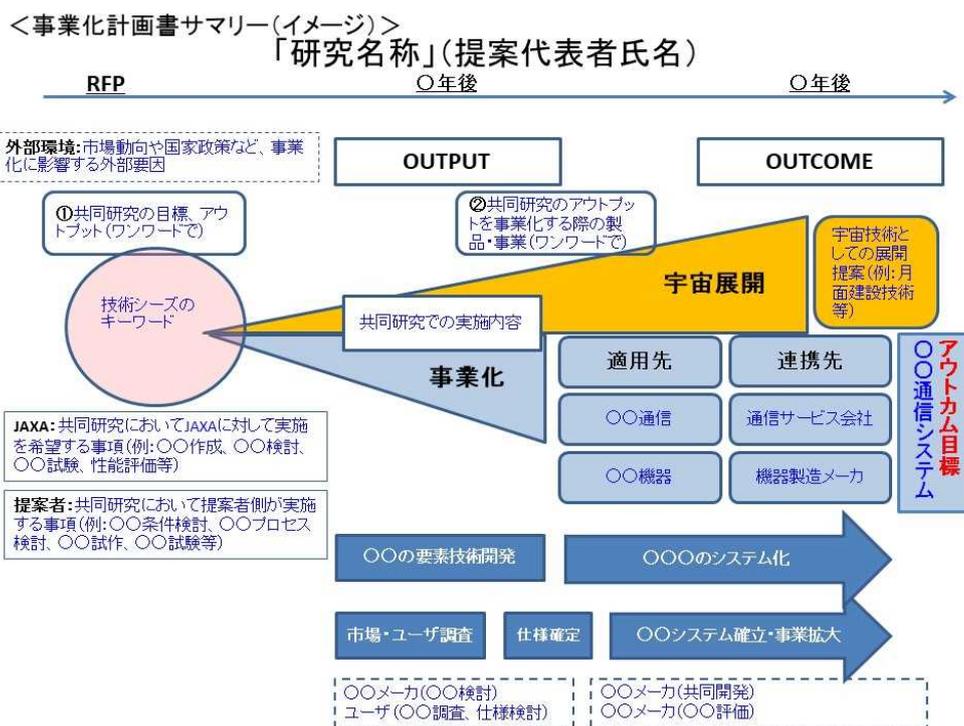


図 16 事業化計画書サマリーイメージ図(再掲)

(b) 研究提案時の事業化構想、事業化関連項目記載の詳細化

選定にあたっては提案書での事業化に関する記述をより充実させた(市場分析、競合分析等)。課題解決型については RFP 応募段階からその内容が記載されるよう研究提案書様式を改善した。具体的には、「地上での事業化イメージ」、「事業モデル」、「市場分析」、「類似製品等との比較・優位性」、「事業化までのロードマップ・マイルストーン」「体制」などを項目立てし、より明確、詳細な記載を促すようにした。

表 7 研究提案書 第 3 節 事業化構想記述項目

項目	記述内容
1 地上で事業化を目指す製品、サービスの具体的な内容	・事業化を目指す製品・サービスについて、仕様等を含め具体的な内容が分かるように、必要に応じて図表・写真等を添付して詳細に記載してください。
2 事業モデル	・事業モデル(顧客は誰で、どのような市場に、どのような製品・サービスを、どのような方法で提供し、どのように収益を上げるのか、顧客はどのようなベネフィットを得ることができるのか等)を具体的に記入してください。
3 市場分析	・現在から事業化予定時期までの国内、海外の市場規模推移等その他、今後の成長性や他の市場・技術の拡大による縮小のリスク等について記述してください。その際、データに関しては出展を明示してください。

4	類似製品・サービス及びそれとの比較・優位性	・事業化される製品・サービスが競合する製品・サービスに対し、性能や価格等の面でどのような優位点/劣った点を有するのか、一覧表で優劣がわかるように記述してください。
5	事業目標値	・目標とする売上高、利益、シェア、出荷数等の具体的数値と達成時期を記述してください。
6	事業化までロードマップ、マイルストーンと想定される時期	・最終的に目指す製品・サービスの事業化までのマイルストーンとスケジュール（開発、製品化、販売スケジュール）を記述して下さい。
7	事業化する場合に必要な事業体制（連携が想定される企業、業種）	・事業化までの事業実施体制の準備計画について、現状を踏まえて記入してください。 ・また、事業化される製品・サービスの販売計画について、それを実現するための方法、体制、販売チャネル、スケジュール等を記載してください。

(c) 面接の必須化

社会実装に関する企業側のやる気を見るため、課題解決型の採択候補については面談を実施することを必須とし、選定プロセスに反映した。面接では、市場分析、競合分析等事業化構想を詳細に説明してもらい企業側の意気込みを確認している。

(d) 事業化専門委員による評価

研究課題の設定、募集、採択にあたり、研究テーマの専門家のみでなく、社会実装の視点での評価を取り入れるため、社会実装に関する外部有識者を専門委員として委嘱し、評価、採択評価に反映した。具体的には、JST、NEDO、コンサルティング会社から外部委員として参加いただいている。

(3) 課題採択後(研究開始後)の事業化検討

(a) 事業化計画書（詳細版）の作成

- ・ JAXA と実施機関が連携した事業化計画の策定

事業化計画書（サマリー）に加え、課題解決型テーマについては JST プログラムマネージャが相手方企業の事業担当者と打ち合わせを重ね、個々のテーマ毎に詳細な事業化計画（表 8）を策定している。

企業ごとに許可を得る必要があるため、詳細の提示については個々に調整が必要である。

JST プログラムマネージャ、民間コンサルタントとの議論を通じて、社会実装に向けた事業計画書のイメージの共有、事業計画書案の随時更新を実施した。

表 8 事業化計画書記述内容

	項目	記述内容
1	事業内容	・商品・サービス等の具体的な内容 ・ビジネスモデル
2	事業化の意義、社会インパクト	・本研究、事業でのイノベーション ・社会的ニーズ（外部環境）、インパクト ・日本の強み、日本産業への貢献 ・JAXA と共同研究する意義
3	事業目標値	・目標とする売上高、利益、シェア、出荷数等の具体的な数値と達成時期
4	目標商品／サービス仕様	・目標商品／サービス仕様
5	事業ビジョン、成長戦略、ロードマップ	
6	SWOT 分析	
7	市場分析	・市場規模、成長性、他の市場・技術の拡大による縮小のリスク
8	競合分析	・事業化する製品・サービスが競合する製品・サービスに対し、性能や価格等の面でどのような優位点/劣った点を有するか
9	リスク分析、実現性	・法的規制の有無、免許・資格の必要性 ・事業に必要とする社内外の知的財産権及びその権利関係、権利化状況 ・事業リスクの整理と対策 ・その他の課題及び解決策
10	販売戦略	・想定顧客、候補顧客 ・商品・サービスの販売及び提供方法 ・販売チャネル、販売網 ・会社ならでの販路
11	全体スケジュール	
12	事業実施体制	・社内実施体制（開発・調達・生産・営業体制） ・連携する企業との事業体制
13	その他	・収支計画 売上・利益見込み ・販売数、販売価格、費用等 ・投資計画、投資回収計画 等

(b) 事業化進捗状況の打ち合わせ

各企業等は定期的に進捗状況に関する打ち合わせを実施している。進捗を把握するとともに、問題点、課題の早期発見につとめ対処案を検討する。

(c) 統括会議による情報共有

上記進捗状況について研究課題毎に事業化進捗管理表(表9)を作成。統括会議に報告し情報を共有している。

表 9 事業化進捗管理表

提案者	研究名称	研究期間	事業内容	目標仕様
打合日時	打合せサマリ			事業化ステージ
月日				
月日				
月日				
試作、POC 目標時期		展示会出展/報道発表		販売開始目標時期

(d) 事業化サポート

必要に応じて下記の事業化サポートの実施している。

- ① 民間コンサルタントを中心に、ユーザ候補、提携候補の紹介
- ② 共同研究終了後、事業化をさらにすすめるため新たな競争的資金制度の紹介（JSTのA-STEP、NexTEP等）
- ③ 事業展開の相談（ベンチャー起業、事業継承先等の相談）
- ④ コミュニティ活動における企業間マッチング（交流会参加者による提携候補、ユーザ候補の発掘）

(4) 評価

(a) 中間報告会、年次確認会、成果報告会時の事業化観点評価

・各報告会にて事業化に関する報告内容を規定

詳細版事業化計画書の抜粋を報告してもらう

・評価基準の設定

社会実装に関して評価基準を設定し、その基準に基づき評価を実施。事業化ステージの定義等。評価結果をPDCAサイクルに反映する。

(b) 追跡調査における事業化状況の把握

・社会実装状況の追跡調査

課題解決型案件を中心に共同研究終了後の社会実装状況を追跡調査する。状況の把握とともにその結果を課題設定採択プロセス、事業運営改善に反映する。（具体的な調査項目については、2.2（4）を参照。）

2. 4 知財戦略

宇宙探査イノベーションハブの知財戦略は、一般社団法人 発明推進協会 (INPIT) から知的財産プロデューサーを派遣していただき、戦略策定の支援を受けている。

* 知財 PD 派遣期間：準備支援派遣 2016 年 4 月～9 月、通常支援派遣 2016 年 10 月以降

宇宙探査イノベーションハブでは、課題解決型共同研究テーマごとに知財戦略は異なるものの、事業化に必要な保有既存知財 (Background IP : BIP) と新規創出知財 (Foreground IP : FIP) を用いて、より強い特許網を構築することが基本知財戦略である。事業化の裏付け及び競合企業との差別化に知財が必要なことは探査ハブメンバーの共通認識であるが、個別研究テーマ毎の知財戦略はそれぞれに異なる。特に、課題解決型テーマについては共同研究終了後に事業化を求めているため、テーマごとに知財管理票による管理と知財ポートフォリオによる知財戦略の策定を支援している。

(1) 知財専門家の招へいによる知財管理の強化

JAXA では従来、同業・異業種の企業や大学が複数参加し、JAXA が主体的に知財マネジメントに関与せねばならないプロジェクトの経験が乏しい。また、JAXA の主業務領域がロケット、衛星であり、本宇宙探査イノベーションハブの主研究分野であるロボティクス、建機、材料・資源分野で如何に有効な特許を取得するかについての知見が少ない。そのような分野での知財マネジメントを実施できるよう、知財専門家の派遣を (独) 工業所有権情報・研修館 (INPIT) に要請した結果、INPIT の知的財産プロデューサー (知財 PD) 派遣事業に基づき、本宇宙探査イノベーションハブ事業に知財 PD が派遣され知財活動支援が行われることになった。

知財 PD による主な知財支援業務は以下の通り。

- ・宇宙探査イノベーションハブ事業における知財管理基盤の整備
- ・複数の企業・大学が参加する共同研究から創出される発明の評価・出願可否の審議支援
- ・各研究テーマ分野技術の知財動向分析
- ・特許出願における頑強な特許網を形成するための支援
- ・宇宙探査イノベーションハブ事業への参加企業・大学等における知財に関する要調整事項へのアドバイス
- ・JAXA の知財制度の要改善・改革事項へのアドバイス

(2) 特許動向調査

宇宙探査イノベーションハブで共同研究される各研究テーマでは、研究提案募集時に提案者が保有する関連既存特許や対抗馬となる競合特許が提案書に記載することを求めている。JAXA 側でも特に課題解決型の研究テーマ選定に際し、テーマ分野技術の出願動向や競合機関の調査を行い、テーマ選定の一助として用いた。さらに、採択された課題解決型テーマについては、共同研究開始初期にコア技術についての出願動向調査を再度実施して、競合特許及び研究チームの保有特許の知財ポジションを把握し、出願戦略に反映させるようにした。アイデア型テーマについては、研究チームからのキー技術の特許調査要請に基づき、イベントドリブンでの特許調査を実施し、競合技術の見極めを行った。

(3) 知財マネジメント

① 発明評価会議

共同研究から創出される発明提案の評価・出願可否等の審査は、研究テーマ毎に共同研究メンバーが参加して開催される共同研究会議（＝発明評価会議）で行う。評価が困難な発明提案や重点テーマの共同発明提案の評価等には、知財 PD が研究確認会に出席し、提案発明の評価、ブラッシュアップ、出願可否審査等を支援した。

② 知財管理・知財戦略

共同研究テーマ毎に研究・事業化に用いる保有既存知財（BIP）、新規創出知財（FIP）、秘密情報管理すべきノウハウ・プログラム等からなる知財個別管理票(表 10)を作成し、定期的な更新（通常6ヶ月毎）により保有知財の一括管理を行った。特に、課題解決型テーマについては共同研究終了後に開発成果の事業化が求められるため、事業化を実現するための特許網構築と開発技術の独創性・事業化を裏付けるための知財ポートフォリオ（表 11）による知財戦略の作成を義務付けた。

表 10 知財個別管理表

共同研究番号:										
研究課題名:										
共同研究探査ハブ責任者:					共同研究機関名:					
作成日:										
①研究に用いる既出願知財										
NO	知財名称	出願番号	出願日	公開番号	公開日	登録番号	単独/共有	発明者	発明機関	備考
②新規出願知財										
NO	知財名称	出願番号	出願日	公開番号	公開日	登録番号	単独/共有	発明者	発明機関	備考
③秘密情報管理すべきノウハウ・プログラム等										
NO	ノウハウ・プログラム等名称	登録番号	登録日				単独/共有	登録申請者	申請機関	備考

表 11 知財ポートフォリオ

PJ活動で創出した新規知的財産権(特許、ソフトウェア、ノウハウ)				
出願日/ 作成日	特許番号/出願番号 /管理番号	名称	権利人	独創性・差別化技術のポイント
2017/6/24	特願2017-XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	(例)XXXを軽量化するための材料・装置技術
2017/6/30	SW XXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	(例)XXXを軽量設計するためのソフトウェア/プログラム
2017/xx/xx	KH XXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	(例)XXXを軽量化するための材料製造ノウハウ

事業化に有効な既存保有知的財産権(特許、ソフトウェア、ノウハウ)				
出願日/ 作成日	特許番号/出願番号 /管理番号	名称	権利人	独創性・差別化技術のポイント
2005/11/5	特許XXXXXXXX USXXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	(例)XXXを軽量化するための材料・装置技術

③ 知財特別規則

従来、企業が JAXA と共同研究を行うに際し障害となっていた JAXA の既存知財規程に比べ、企業に有利となる下記共同研究特別規則を新たに宇宙探査イノベーションハブ向けに制定し、企業との共同研究の促進に努めた。

なお、本特則は現在、発展的に改定され、JAXA 全機構に適用する類似の規程が制定され、平成 30 年 6 月より共同研究における知財特則として実施されている。

表 12 JAXA イノベーションハブ共同研究に適用される知財特別規則
(現在は JAXA 全体に適用可能で案件ごとに個別判断している。)

項目	JAXAの従来制度	探査ハブの特別規則
出向者の知財持分	JAXAに100%帰属	予め出向契約等で約定することにより、持分を出向元に帰属させることができる
共有知財の企業による自己実施	出願等維持費は共有者の持分に応じて負担。企業の自己実施に際して不実施補償が必要	JAXAの出願等維持費を負担すれば、不実施補償を免除。自己実施に際してJAXAの同意は不要
共有知財の第三者へのライセンス	ライセンス利用料は持分に応じて分配	第三者へのライセンスを斡旋した共有者には、ライセンス料の配分等に関し、優遇措置を講じる

④ 発明提案・届出手続きフロー

本PJの共同研究から創出される知財の発明提案・届出手続きは、上記知財特則の適用有無を含めて図17の手順フローに従って行われた。

共同研究から創出される発明提案は共同研究会議で、出願可否、発明者・権利者、権利持分、共同出願か単独出願か等を評価・審議する。出願が承認された発明は、発明者に JAXA 研究者あるいは共同研究企業からのクロスアポイントメント研究者（出向者）が含まれない場合には、B の他機関発明届出フローで出願される。発明者に JAXA 研究者または共同研究企業からの出向者が含まれる場合には、A のフローで出願手続きを行う。まず、出向者の権利持分を出向元に譲渡希望するか否か、次に、共同発明者の企業が実施料免除の自己利用を希望するか否かに応じて、譲渡契約書や共同出願契約書の締結と並行して、C のフローで JAXA 内の出願届出手続きを行う。実施料免除の自己利用希望申請や譲渡希望申請は JAXA 宇宙探査ハブで受け付けるが、JAXA としての出願手続きや契約書の締結は JAXA 知財部門が行う。

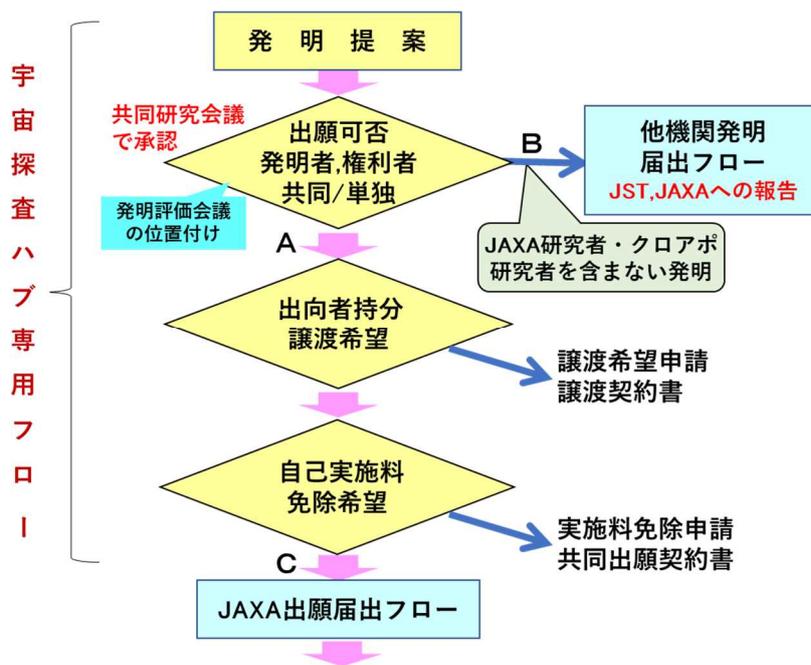


図 17 探査ハブ共同研究から創出される知財の発明提案・届出フロー

2. 5 契約事務

(1) 有償共同研究に係る JAXA の契約審査

宇宙探査イノベーションハブと参加機関との契約は「有償共同研究契約」となる。また、RFP による競争による選考を行っていることから、競争的契約に該当するものであるため、JAXA 社内規定『「支出の伴う共同研究等の契約」に係る取り扱い基準 (EEX-08010B)』において、宇宙探査イノベーションハブ諮問会議での審査/答申を受けた案件を競争性のある契約「企画競争 (公募型)」と位置付けた (H28.1.25B 改訂)。これにより JAXA の契約審査委員会に相当するものとして諮問委員会が位置付けられ、従来の JAXA では弱かった事業性の審査の充実と審査の迅速化が図られている。

(2) 事務処理説明書

本説明書は、JAXA が、JST の「イノベーションハブ構築支援事業『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』」の下で実施する JAXA の支出を伴う共同研究契約に係る、共同研究を実施する企業・大学等機関における事務の処理方法等をまとめたものである。本説明書は、JST が制定した「イノベーションハブ構築支援事業 事務処理説明書」を基に、JAXA 調達部及び財務部と調整の上制定したもので、支出を伴う共同研究契約に関する事務は、契約書に定めるもののほか、本説明書により適切に処理しなければならない。

事務処理の中で JST や JAXA 他部署との調整を要した点を例示する。

①共同研究契約相手方先の資産の取り扱い

JAXA では、共同研究契約を締結する場合、共同研究で得られた資産については共同研究契約終了後に所有権を決定する (JAXA に移転する or 共同研究相手先のものとする)。しかし、本事業はイノベーションハブ構築支援事業の趣旨 (ハブとなる機関の強化) のため、共同研究で得られた資産を速やかに JAXA に集約することとなった。年度ごとに JAXA に所有権を移転するため、共同研究期間中の資産の管理 (資産の再貸与手続き含む) の量が多く、煩雑であった。

これには所有権移転の手続きを行う JAXA 調達部及び財務部との調整を要した。本件は今回の JST 支援事業に限ったことであるが、次回以降の同種の JST 事業において改善が望ましい。

②研究経費の執行制限

研究経費の執行は、JAXA の支出を伴う共同研究契約のルールを基本とした。一部、出張旅費及び人件費等については JST イノベーションハブ構築支援事業の規定を参考に業務による仕分けを厳密に行った。特に学会参加のための出張や外国への出張は、本事業の目的であることが明確である場合のみとし、原則として共同研究成果の発表を目的とする場合のみ認めることとした。また、外国出張については、実施計画書に明記のないものについては、JST イノベーションハブ構築支援事業の定めに基づき JST へ都度申請し、許可を得ることとした。

(3) 探査ハブ共同研究契約書ひな型

①基本的な考え方

- ・ JAXA の支出を伴う共同研究契約の規定を基本とし、JST イノベーションハブ構築支援事業において遵守すべき条項を融合して策定した。
- ・ イノベーションハブにおける知的財産取扱規程（平成30年6月27日「共同研究に係る知的財産活用特則」施行に伴い廃止）に基づき、JAXA との共有知的財産権について、JAXA が負担すべき出願・権利維持等にかかる費用を企業等が代わりに負担することを条件に、当該知的財産権を自己実施した際の実施料を請求しないことを原則とした。
- ・ クロスアポイントメント制度により他機関から JAXA への出向者が研究に参加することを想定し、当該出向者が発明を行った場合の知的財産権等の取り扱いについて「知的財産権等の譲渡に関する特約」を規定した。
- ・ その他、相手方からの要望があった場合、JAXA として譲歩できない条項・JST イノベーションハブ構築支援事業で遵守すべき条項を除き、探査ハブ共同研究の目的に照らし、比較的柔軟に対応した。

②調整が生じた規定

- ・ 共有知的財産権の自己実施料の取り扱いについて
JAXA では前述のとおり、共有知的財産権を自己実施した際の実施料を企業へ請求しないことを原則としているが、大学等研究機関ごとの方針は異なる。よって、JAXA と同様の規定を選択するか否かは各大学等に判断いただいた。結果として、独自の規定を別途定める大学等もあった。
- ・ 秘密保持や知的財産の実施に係る子会社の取り扱いについて
ホールディング制をとっている企業から、秘密情報の共有や知的財産権の自己実施の範囲として子会社を含めることを求められた。探査ハブでは、企業による事業化を推進する考えから、子会社を定義し、かつ契約当事者である企業の責により企業が負う契約上の義務を子会社にも負わせることを条件として認めた。
- ・ 成果の開示、公表の原則について
JAXA は公的研究機関の責務と JST イノベーションハブ構築支援事業の定めに基づき、共同研究の成果は原則として外部に公表することを規定した。事業化を前提とする企業側からは公表を原則とすることには懸念を示されることもあったが、事前に公表内容の確認と了承を得ることを定めるなどにより合意した。

2. 6 アウトリーチ、広報

(1) メディア掲載による効果

探査ハブでは、内外への活動を周知することを目的に、基本的にメディアへの対応は前向きに対応することとしてきた。これらの積み上げにより探査ハブの活動が広く認知されるようになってきた。これまでの活動実績リストを Appendix-1 に示す。

(2) TansaX ロゴ

探査ハブの活動を判り易く内外に示すとともに、参加者の一体感を醸成するためには、組織の理念を表すロゴが有効である。図 18 に示す探査ハブのロゴは國中初代ハブ長がデザインしたもので、「探査」という日本語と宇宙と地上の Dual Utilization を意味する「X」を組み合わせ、X をノズルに見立てたロケットをデザ

インしている。ロケットの側面には地球、月、小惑星、火星がアレンジされている。

探査ハブの取り組みや成果について、外部に積極的に公開していくために、TansaX ロゴの普及に努めているが、探査ハブの事業のロゴとなるため、利用は宇宙探査イノベーションハブでの共同研究を表現する場合に限定している。参加企業にとっても JAXA との共同研究開発成果であることを示し、宣伝効果を高めるためにも使用できる。

参加企業からの TansaX ロゴ使用依頼時の可否フローチャートを図 19 に示す。



図 18 TansaX ロゴ

Technology Advancement Node for Space Exploration

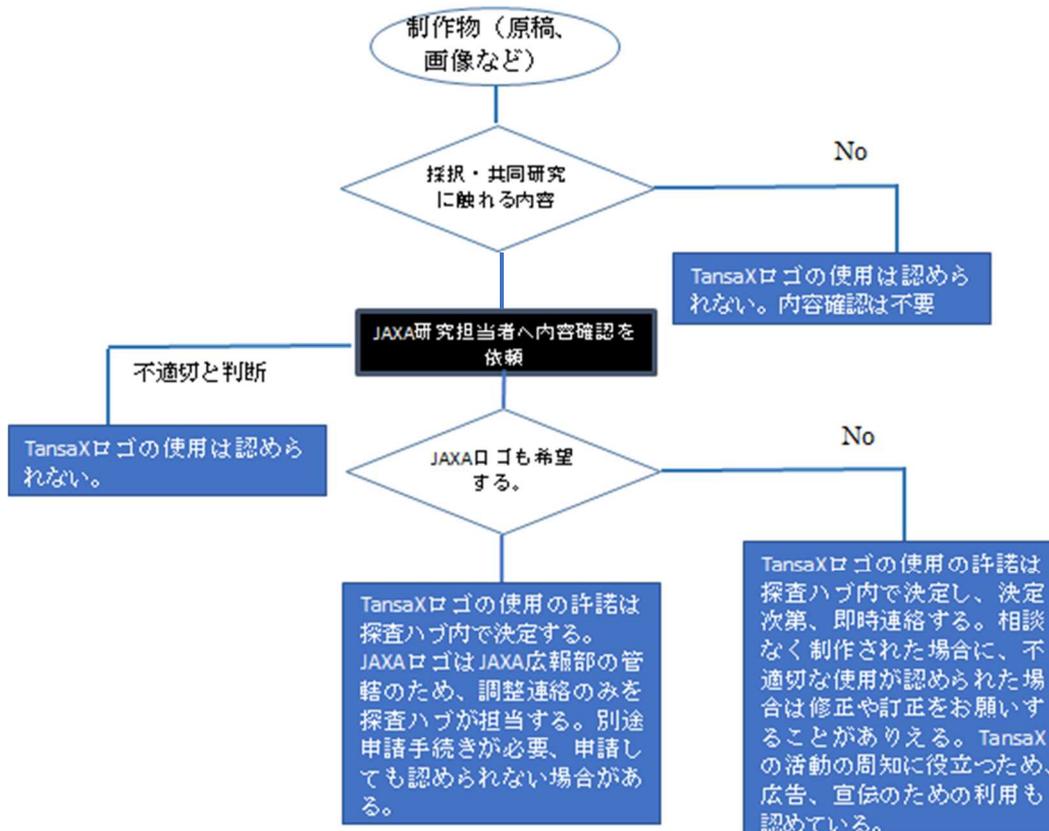


図 19 TansaX ロゴ使用依頼時の可否フローチャート

第3章 成功した事例及び予定通り進まなかった事例の原因分析

3. 1 成功した事例の理由分析

宇宙探査イノベーションハブで行われた共同研究のうち大きな成果をあげた課題について、その主な理由/原因と考えられるものを下記に列挙する。

(1) 熱意ある企業側担当者の発掘

- ・ JAXA の担当者が自ら参加企業を開拓した事例に成功事例が多い。JAXA から多くの企業にアプローチし、何社かには断られるなか、やる気のある企業、担当者を発掘できた。
- ・ 企業担当者が自ら企画、社内調整を実施し研究プロジェクトを立ち上げた事例に成功例が多い。事業化にむけてもマーケット調査、顧客開拓を自らが中心となって進める等、意欲と行動力があつた。

(2) 企業の開発方向性と JAXA の開発方向性（理念）の一致

- ・ 企業が次のビジネスの中心にすえようとしていたテーマが JAXA 側の理念と一致した事例に成功例が多い。結果として、企業の積極的なサポートが得られた。具体的適用先、顧客が明確であり、大きなマーケットが存在しているため、企業の事業化意欲が大きかった。
- ・ 企業は多くの技術者、新規事業創出の専門家を宇宙探査イノベーションハブの共同研究に投入するとともに、多くの自己投資を実施した。

(3) 多くの研究者の積極的参加

- ・ 該当テーマ関連の研究者が JAXA 内に複数存在し、興味をもっていたテーマと一致したため、多くの研究者が参加し活発な議論を実施できた。
- ・ JAXA の将来宇宙探査での利用が明確であったため、多くの研究者(含むハブ長)が参画した

(4) 地上と宇宙応用のすみわけ

- ・ 成果の展開先が地上、宇宙と明確になっており、競合を意識することなく研究開発を実施できた。それぞれの強みを共同研究に生かし、両者にとって Win Win の関係をうまく構築できた。
- ・ 企業にとって量産化開始前に特殊用途で導入実績を確保でき、製品開発サイクル上有効であった。

(5) 宇宙展開の魅力

- ・ プロジェクト立ち上げ時は、企業側は必ずしも全面サポートではなかったが、JAXA との共同研究であることを前面におしだし、会社の承認を獲得した。
- ・ 宇宙展開は企業、大学とも宣伝効果が大きく、積極的に活動いただいた。JAXA との共同研究は企業ブランドを高め、引き合いも増加、新たな顧客獲得に成功した。
- ・ 当初より宇宙展開先が明確であり、宇宙実証実験の具体化も進んだため、JAXA および参加機関の担当者ともにモチベーションが高かった。

3. 2 予定通りに進まなかった原因の分析

研究成果は得られたが大きなイノベーションを起こせず、地上のビジネス化への道筋が見いだせず、終了した事例もある。すべてのテーマでイノベーションが起きるとは考えていなかったが、その要因の主たるものを以下に示す。

(1) 難しい課題設定で、時間内に解決手段が見いだせなかった。

- ・地上と宇宙の Dual Utilization をめざしたが、社会実装可能性のあるものは宇宙適用に課題が多く、また宇宙適用可能性のあるものは高価で競争力がなく現段階では地上での適用が困難であり、時間内に解決手段が見いだせなかった。

(2) 企業の方針・体制が研究途中で変更

- ・マーケットの立ち上がりが当初想定より鈍く、企業として研究開発体制を維持できない等、社会実装にむけた方針を変更せざるをえなかった。

(3) 社会実装にむけた意識の不足

- ・当初、案件採択時の社会実装観点で評価が甘く、社会実装にむけた意識が不足したまま採択された案件もあった。なお、本件については研究提案書で事業化に関する記述をより充実（市場分析、競合分析等）にしてもらうとともに、採択候補について、面接を必須化し、企業担当者のやる気を確認するといった改善を行った。

第4章 宇宙探査イノベーションハブの運用を通じて新たに獲得されたもの

本章では、5年間のJSTイノベーションハブ構築支援事業を通じて得られたものを列挙する。

4.1 オープンイノベーションにおけるJAXAの持つ強みの再認識

宇宙探査ハブ諮問委員からは、JAXAの持つ優位性として以下が挙げられている。

- 極端な環境での実験
- 地上と宇宙でのリターンの明快な分離
- JAXAブランドによる信頼の創造
- 通常では出会わなかった優れた邂逅による化学反応
- 速やかなオープンイノベーションプロセス経験による他の領域への学び

秋池探査ハブ諮問委員、宇宙探査オープンイノベーションフォーラム 2019年1月

- 宇宙探査ハブは、様々なユニークな特徴がある。特に、JAXAが将来の探査計画や技術開発方針を明示した上で、産業界のニーズを吸収するという、大変ユニークなシステムを構築している。
- このユニークなシステムが、結果として共生的なエコシステムのモデル事例を創出しつつあると感じている。日本のモデルとして、飛躍が期待される施策であり、産業界での積極的な活用が望まれる。

渡部探査ハブ諮問委員、宇宙探査オープンイノベーションフォーラム 2017年12月

これらの外部から見たJAXAに対する見方は、JAXA内部からでは自覚することは難しいが、改めて再認識することができた。今後のJAXAにおけるイノベーションハブ事業の展開に当たっての基盤となる指針が得られた。

4.2 Dual Utilizationの概念の確立

宇宙探査イノベーションハブでの共同研究の出口を、宇宙と地上で明確に区分したことにより、企業にとって参加しやすく、自己投資も行いやすい制度となった。

特に、探査ハブへの参加企業に対しては、研究開始時に以下をお願いしている。

- ① 地上での社会実装（事業化）を実現し、技術の維持・高度化を目指してほしい。
- ② 宇宙での実証（宇宙化）は、JAXAが実施する（宇宙での実証までは共同研究の範囲としない）。

- ① を推進するため、企業における事業化を妨げないような知財規定を整備した（2.4(3)③項参照）。①が実現できれば、国費の投入を抑えつつ、宇宙プロジェクトが立ち上がった際には改めてJAXAから発注することが可能となる。また、②を明確にすることで、新規企業の参加が容易な（スキルの低い）制度を目指した。

宇宙探査イノベーションハブ発足当初は、単純にこの2つの出口を目標に活動を開始した。5年間の活動を通じ、宇宙探査イノベーションハブでの研究活動を振り返ると、イノベーションを創出する上で、効率的で成功確率の高い仕組みとなっていることが指摘されている。これが、4.1項で述べたように、様々なイノベーション施策のなかでも成功例として評価されている。

図20に宇宙探査イノベーションハブの研究開発活動における位置づけを示す。TRL（技術成熟度: Technical Readiness Level）を横軸にして上半分に宇宙技術としてのTRLを、下半分に社会実装としてのTRLを示す。宇宙探査イノベーションハブでは、宇宙用としてはTRL3～5（機能モデル～エンジニアリングモデル（EM））の範囲を、社会実装としてはTRL3～6（応用研究・開発研究、実用化開発の一手手前）をカバーする制度となっている。この範囲は、イノベーションの世界で「死の谷」と呼ばれる、基礎研究と実用化を繋ぐ部分であるが、ここを宇宙探査イノベーションハブの研究活動がカバーしている。つまり、「宇宙探査」という少し先の将来目標にむけた研究活動が、イノベーションの「死の谷」にブリッジをかける手法として有効であると言える。この手法は、宇宙探査に限らず、ほかの領域でも適用可能であろう。そのためには、その領域が目指す将来像と社会の抱える課題を解決しようとするニーズとが一致する、「共通の理念」を確立することが重要である。宇宙探査の場合は、月面での有人活動を実現しようという共通の理念（ポートフォリオ）を判り易く描けたことが有効であった。

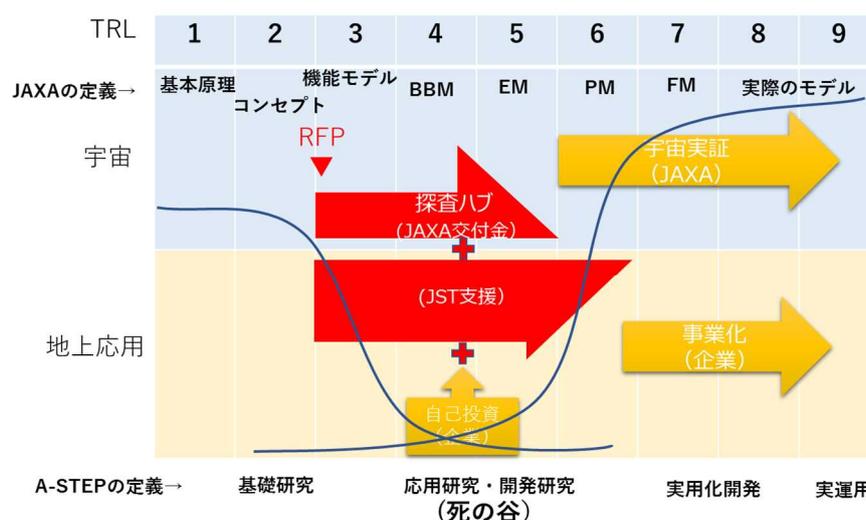


図20 宇宙探査イノベーションハブの研究開発活動における位置づけ

4.3 参加機関の自己投資

宇宙探査イノベーションハブの特徴として、参加企業側の自己投資の割合が大きいという点がある。国費投入にほぼ等しい年間4～6億円規模の企業からのリソース提供を実現できている。

その理由として以下が考えられる。

- ① 研究成果の社会実装を念頭にテーマの採択を行っており、企業において事業化に向けた取り組みのある提案が採択され易い。すなわち、企業における事業活動の延長線上にあることから、自己投資を行い易いこと。
- ② 宇宙事業と地上における事業を明確に切り分け、地上における事業においては知的財産権を JAXA は主張しない（不実施補償を放棄する）ことで企業側の投資意欲をたかめたこと。
- ③ JAXA との共同研究が企業にとって宣伝効果の価値が大きいこと。採択後に企業内で研究活動が経営層に認知され、企業内での研究費が増やされたケースもある。

4. 4 JAXA 職員のモチベーションの向上

JAXA では毎年、職員全員のメンタルヘルスの維持・向上を目的にストレスチェックテストを実施している。宇宙探査イノベーションハブ職員の平均値は、職場のいきいき度（職場の一体感）、個人のいきいき度（ワークエンゲージメント）ともに、JAXA トップクラスである。

その理由としては以下が考えられる。

- ① 通常、宇宙開発の結果が出るまでには 5～10 年程度の時間が必要であるが、探査ハブの場合、宇宙の前に社会実装を目標としていることから、具体的な成果が見えやすい。また、社会への貢献やイノベーションを実感できることがモチベーションに繋がっている。
- ② 探査ハブでの意思決定はハブ長に権限が委譲されており、意思決定が速い。また、フラットな組織を当初から意識しており、だれもが自由な提案が可能な組織であること。

第5章 まとめ

5. 1 宇宙探査イノベーションハブ参加者（研究者、クロスアポイント含む）の意見

探査ハブの共同研究の大きな特徴は、JAXA がこれまで行ってきた発注型ではなく、既成組織の枠を超え、宇宙分野以外の異分野からも新たな参加者を募り、共同研究を実施する参画型であることだ。つまり探査ハブの共同研究に携わる JAXA 研究担当者（以下、研究担当）は、計画段階から、企業・大学・研究機関など、様々な組織に属する研究者と共に研究開発を担うこととなるため、必然的に従前とは異なる研究への参加スタンスが求められた。

【従来の発注型から参画型へ ～探査ハブの取り組み～】

探査ハブの共同研究の魅力は、「地上利用が主目的」となっていること、「アイデア型と課題型の二段階採用」を設定していることである。主目的の1つが地上利用であることで、企業側にも利する内容であり、多くの非宇宙業種の技術シーズを取り組むことができた。また、研究して終わりではなく、その実証までを探査ハブのスコープとしており、JAXA の本業である宇宙の出口を推進するにも非常に良いスキームである。応募する企業側のモチベーションにも繋がり、探査ハブでの共同研究契約終了後も、お互いのやり取りが継続する仕組みとなっている。すでにいくつかの企業で実績が出始めている状態でもあり、成功したと言える。応募する企業側としてもモチベーションにもなるし、探査ハブでの共同研究契約終了後も、互いのやり取りが継続する仕組みになっている。

アイデア型と課題型の二段階を設定した点では、特にアイデア型に関して、JAXA 側が500万円の費用負担することで、参画企業内部での研究費調達にも寄与している。併せて企業自ら費用を負担することで、企業が高い自主性をもつことも挙げられる。

豊富な研究開発の経験をもつスタッフと、技術マネジメント、知財マネジメント、コンサルティング、事業化マネジメントと、各分野のオーソリティーを配置しており、決定までのプロセスは、従来の JAXA における研究開発と比較すると、スピード感があり圧倒的に早く、研究成果創出に大きく寄与したと考える。

なお、共同研究に参画した企業のいくつかは、すでに他部門での衛星開発に協力するなど、更なる成果の発展も見せている。

【Dual Utilization の実現】

宇宙と地上における物の価値、利用状況は全く異なる。地上用途となると成立しなくなってしまうものもあり、宇宙、地上共にテーマ設定ができるものが限られてしまう領域も存在する。提案募集時における経営層への応用展開について説明することの難しさ、テーマ選定時における新しい企業の積極的な開拓など、地上での技術と宇宙適用の成果に繋げていく部分にはさらに努力が必要であった。

「宇宙と地上の Dual Utilization」の実現には、テーマ設定には十分な検討が必要である。

【自身に課せられた役割】

研究者には立ち上げた研究テーマに対して、結果を出すところまで持っていく責任があると考え。結果如何ではなく、最後まで責任をもって実施することと考える。採択後、共同研究を進めるにあたり、単なる交付金ではなくて共同研究である点（JAXA 側もある全体の一部を責任をもって担当する）、まずは宇宙用途ではなく地上用途向けの目標とする点、

などが企業側に浸透しきっておらず、研究活動を始めるにあたって認識をすり合わせることも研究担当として担う重要な役割であった。

【共同研究に対する研究者としての感触】

国の研究費を使った研究では重いレポートなどが科せられるはずだが、探査ハブの管理部門（事務局）がバッファートなったことで、研究にフォーカスできる環境であった。しかし、自分の専門分野外のテーマを担当することもあり、Dual Utilization を実現する観点からも、研究担当自身、勉強すべきことは多い。また、企業がスピード感を求めない内容を研究項目に含んだ場合、必ずしも実施期間中に成果が得られるとは限らない。実施に際しては、企業や大学に内容を任せきりにせず、計画段階から積極的に技術マネジメントを行う必要性を感じた。

他予算と比べ、予算も下りやすく、自由に簡単なタイミングで使うことができるため、作業など研究の進捗面、内容面でも自由度が非常に高く、研究開発が行いやすかった。地上用途では展示会におけるデモの実施や、開発した技術の一部を使用した製品上市の予定があるなど成果が上がっており、宇宙用途としてもすでに開発段階に入っている成果もある。大きな進捗を得ると共に、研究成果も十分に活用されている。

RFP においては公募内容や目標などを縛り過ぎず、企業との共同研究においてはなるべく先方の希望や意向を汲み、組織運営に関しても、研究者・担当者個人の裁量に任せる部分が多く、やりがいにもつながった。一方で、共同研究相手企業との関係が深まったという特徴があるが、NDA のため、その他との関係は一切なく、多くの時間を費やして得た結果もほとんど発表ができず、研究者としては厳しい状況に置かれることもあった。成果として求められる特許についても、例えばレシピに技術情報を有する場合、ある程度市場供給能力のある会社においては秘匿として特許として出さないケースもある。

宇宙応用の実現にあたっては、宇宙における関連技術をどのように導入していくか、評価していくか、何を变えていったらよいのか、ということが非常に重要であるが、JAXA の知見がダイレクトに反映されることで、研究が加速されるケースがある。しかし、地上適用への寄与に関しては、JAXA が保有する宇宙側での実績が企業側の地上技術としてどう活かされたのか、寄与できたのかなど疑問は残る。

【業務としての認識】

探査ハブ業務に実質 6～7 割の時間を費やすこととなったケース、特に所属元が遠隔地のクロスアポイントメント研究者の場合、勤務時間や移動など負担が大きくなってしまいうケースもある。業務バランス、勤務体制等については工夫が必要である。

【研究者同士の情報交換や交流】

探査ハブにとどまらず、研究開発部門、有人宇宙技術部門の研究者と宇宙実証の上で意見交換だけでなく、プロジェクトに入り込んで共に進めてきた。それは交流というレベルではなく、まさに共に研究開発をするメンバーという意識で実施することができた。

【成長・満足度】

地上技術と組み、企業と共に研究を推進することは、その分野を実践的に学び、JAXA が判断に時間をかけすぎているなど、新たな気付きを得る契機になった。また、企業の研究者と意見交換や交流、新しい知見を得たことによる自身の成長はもちろん、宇宙メーカーで

はない地上メーカーの参入により裾野を広げたことは JAXA にとっても意義があったのではないだろうか。

一方で、共同研究における自身の立ち位置や研究者としての実績として繋がりにくいのではないかという迷いもあった。今回参画したことは、今後の宇宙開発をこれまでより広い意味でどのように進めていくのかを考える機会となり、探査ハブの経験は自身の成長に繋がる。探査ハブでの実践的な業務経験が研究者としての実績に繋がる仕組み作りなど検討されることを期待する。

【管理部門（事務局）との連携】

探査ハブプロジェクトに参画する企業は、共同研究に前向きな姿勢が感じられ、このような共同研究提案の方式は JAXA で今後も続けるべきだと思う。とは言え、企業によって、宣伝効果、実験のための施設利用など、共同研究参加の意図は様々であろう。企業の思惑を類型的に見定めることは困難であるが、契約締結前に、管理部門が例えば機関と面談することで精査、把握することにより、JAXA 側の管理、実施体制の充実、投資の効率性が上がるのではないだろうか。スタート時点で、企業のニーズを精査・把握し、共同研究に必要な全分野の専門家を網羅することは難しいが、今後のさらなる充実にあたって、研究担当と管理部門が一体となり、互いに情報共有しながら、研究の推進、促進に向けて、管理部門がフォローアップする体制を望む。

【クロスアポイントメント研究担当の感触】

企業として参加判断時の説得もしやすく、共同研究は当初想定していたよりも締結しやすいものであった。企業側としても JAXA というエキスパート集団と共に研究開発をし、成果が出てくることで社内、社外からの見られ方、捉えられ方の変化を感じている。企業が新しいことを導入することは難しいが、外側から変えることができるという気付きを得、探査ハブの参加を起因として、新たな宇宙向け技術開発への着手に繋がっており、少しでも自分たちがモデルケースとなれたのではないかと捉えている。

【宇宙探査イノベーションハブ 元ハブ長からの意見】

・宇宙航空研究開発機構理事、宇宙科学研究所所長 國中 均
(2015年4月～2017年3月、宇宙探査イノベーションハブ長)

宇宙技術にあって米欧口に対する劣勢は、新たなイノベーションを起こす契機と信じ、大いなる挑戦として切磋琢磨してきた。JAXA は、ロケット・人工衛星・探査機・国際宇宙ステーションといった無重力環境で活躍する技術開発応用によろやと成果を収めることができた。今後、「宇宙探査」という新領域として、月や火星表面といった重力場に進出を目指している。

もうすこし社会が単純であった昔は、小さな組織のきらめくアイデアと僅かな努力で数々のイノベーションが創出(所謂、クローズド・イノベーション)できていたけれど、成熟するに連れてだんだんと飽和し、今や世界中が袋小路・行き詰まり状態にある。JAXA も例に漏れず、数多の制約の中で未来設定に難儀している。ここを打破するため、いろいろな挑戦を仕掛けています。その一例が、探査ハブによるオープンイノベーションだ。しかし、本方式で「宇宙探査」がすべて完結するとは考えていない。従来の JAXA 抱え方式でしか進められない部分が多大にある。その一方で、JAXA 外の組織の知見・経験・組織力・産業性に委ねられる領域もあるに違いない。さらには、これまでにない新たな組織・人材・資本・技術を宇宙分野に動員できる期待がある。

オープンイノベーションといってもそう安々と成果がでるものではない。我々も活動を始めてわずか5年で、よろやと地上への成果創出に目処を得たところである。人類のフロンティアを切り開く宇宙探査は、産学官を魅了し糾合するには有り余るトピックスと信ずる。JAXA は公共性・公平性・公明性・公開性を重んじ、技術研究開発応用に挑戦する国立研究開発法人であるので、民間企業がここに参加するに当たり、障壁は低いであろう。JAXA が外部組織に提供するハブ機構(意欲、挑戦、知見、経験、設備、交流、対話)や基金を有効に活用し、宇宙と地上へ Dual Utilization のイノベーションを興し、社会に Game Change (現状を打破する、革新的な、考え方を根本から変える)を巻き起こすことを標榜している。こういった JAXA の強みを活かし、オープンイノベーション方式の宇宙探査における成功例を見出したい。

5. 2 JAXA 事業への展開

探査ハブの取り組みを踏まえ、JAXA 第4期中長期計画(2018年から7年間)において、新たなオープンイノベーションの場の構築を進めることを全社的な重点事項(前文)として明記するとともに、探査ハブについては、国内外の検討の機運が高まる国際宇宙探査に資する研究開発のアプローチとして引き続き異分野融合の取り組みを進めることを記載した。

上記に加えて、特筆すべき成果として、2018年に東京で開催された世界閣僚級会合「第二回国際宇宙探査フォーラム」において探査ハブ参加企業の活動を示すことで、同会合における「東京宣言」において、国際宇宙探査がイノベーション創出の機会として意義のあることが政策レベルで確認され、我が国の民間企業の参加に対する期待が示されるなど、我が国の政策レベルでの議論においても探査ハブの活動は重要な役割を果たした。

- 宇宙イノベーションパートナーシップ(J-SPARC)との関係

2018年にJAXA新事業促進部が宇宙イノベーションパートナーシップ(J-SPARC)を立ち上げ、通年公募と個別重点テーマ(地球低軌道(LEO)有人宇宙活動における事業共創)について募集を開始し、防災食分野等の企業との間で共創活動に着手した。本事業は民間事業者のニーズに基づく宇宙事業創出の取り組みである(図21)。

探査ハブの研究成果の出口の一つとして、J-SPARCとの連携により、下記のようにTRLの低いところから高いところへのシームレスな連携(研究成果の事業への取り込み(例:Space Food X等)を行う等により、成果の最大化を図っている。

- 有人宇宙技術部門との連携(2019年度～)

探査ハブでは、今まで実施してきた共同研究の選定プロセス(RFI→RFP)の仕組みを他部門と連携して進めるよう調整している。大まかな進め方としては、探査ハブの仕組みを使い、各部門が必要とする技術領域を識別し、RFPの仕組みを使って共同研究テーマを募集・選定する。その際、探査ハブのコンセプトである2つの条件に合致する必要がある。

- 将来の探査に繋がる技術開発であること
- 宇宙と地上の出口に繋がるDual Utilizationであること

2019年度募集の第5回RFPでは有人宇宙技術部門と協力して課題設定ワークショップを開催し、その後提案のあったRFIから研究課題の絞り込みを行った。課題設定からRFP、提案書の評価、採択まで探査ハブのプロセスを用いて共同で行った。

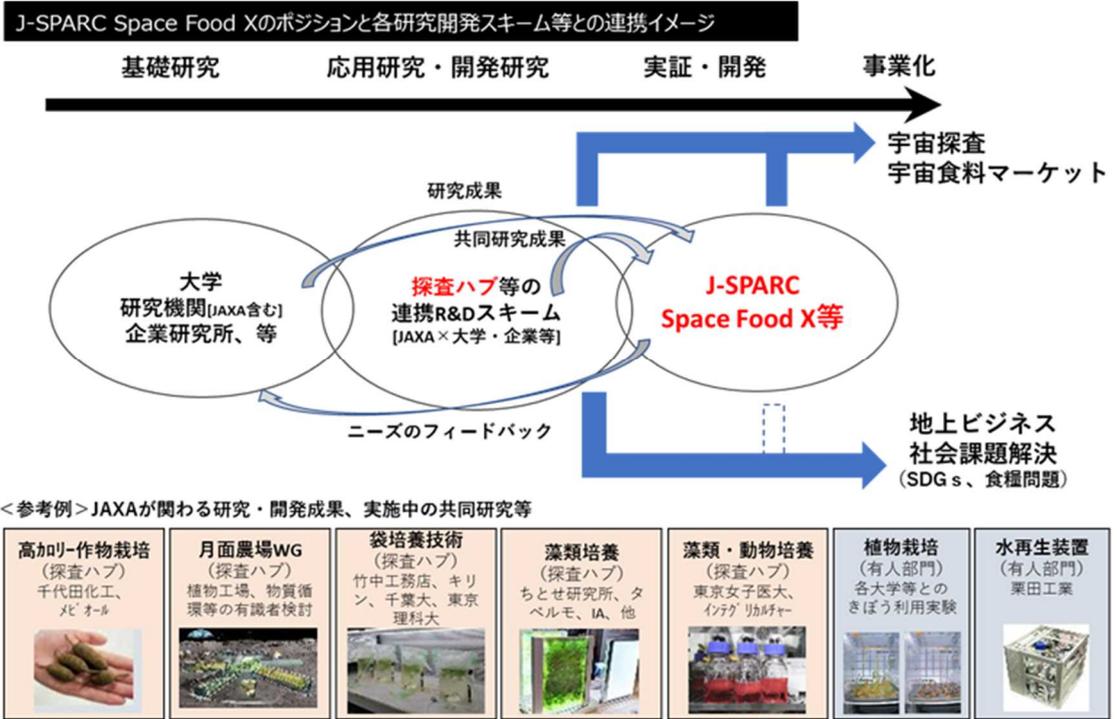


図 21 Space Food X (J-SPARC) と探査ハブの連携イメージ

5.3 おわりに

宇宙探査イノベーションハブは、オープンイノベーション事業としては数少ない成功例として、探査ハブ諮問会議等外部から高い評価を受けている。他のイノベーション事業を推進する地方公共団体や企業等からからも視察や相談の要望が多く寄せられており、このノウハウレポートは研究開発法人のみならず、様々な業界においても有益な示唆が含まれていると確信している。

宇宙探査はプロジェクトの実施まで10年単位の時間を要するため、民間、特にこれまで宇宙開発に全く関わりのなかった業界（いわゆる非宇宙企業）の新規参入は困難であった。これに対して、宇宙探査イノベーションハブでは、オープンイノベーションで実施する研究の出口を宇宙と地上応用のDual Utilizationの概念を明確にしたこと、JAXAの必要とする研究ポートフォリオを提示したこと、実施する研究開発のレベル（TRL）の範囲を明確にしたことなどが有効に機能したこと成功の要因と思われるが、これらに加えて、国が宇宙基本計画等で国際宇宙探査への参加に対して前向きな検討を開始したことが、多くの参加者を得た成功の遠因と思われる。ここに、長期の計画は国/JAXAがコミットすることの重要性和、今後の宇宙探査における民間との役割分担のありかたについてヒントがあるのではないだろうか。

100社を超える非宇宙企業が宇宙探査イノベーションハブの活動に参加していただき、探査ハブでのJAXA研究者との共同研究を通じて、将来の宇宙関連企業およびその候補となったことは、従来のJAXAの在り方、意識を大きく変えるとともに、宇宙開発の裾野を広げたという点で貢献したと考える。

一方、宇宙探査イノベーションハブのスキームは、Dual Utilizationの「宇宙探査」を他の国立研究開発法人や研究期間などの目的/ニーズに置き換えることで応用可能であろう。是非我々JAXA宇宙探査イノベーションハブ5年間の試行錯誤の結果であるこのノウハウレポートを参考に、さらに優れたオープンイノベーションの実現と成果の最大化に繋げていただけると幸いである。

おわりに、本宇宙探査イノベーションハブは、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）のイノベーションハブ構築支援事業を通じ、ハブの構築と運営のあり方について、資金面での援助だけではなく、多大の助言・提言と叱咤激励を頂いた。イノベーション拠点推進部COIグループの落合幸徳氏、安藤朗氏、空花俊人氏、柴垣齊氏には心から感謝の意を表す。とりわけ柴垣氏はJSTプログラムマネージャとしてJAXAに派遣され5年間の苦勞を共にしていただいた。重ねて感謝の意を表したい。

2019年（令和元年）9月
JAXA宇宙探査イノベーション副ハブ長
川崎 一義

Appendix-1 アウトリーチ活動実績

表13 探査ハブのアウトリーチ活動実績

開催日	イベント名	場所
2015年7月9日	第1回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム 関西地区	兵庫県神戸市
2015年7月16日	第1回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム 関東地区	東京都千代田区
2015年7月23日	第1回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム 九州地区	福岡県博多市
2015年8月27日 ～28日	JST フェア 2015 (イノベーションハブ構築支援事業)	東京都江東区
2015年9月16日	課題設定ワークショップ	東京都千代田区
2015年11月14日 ～15日	サイエンスアゴラ 2015 (これからの宇宙探査)	東京都江東区
2015年12月2日	三八地域ものづくり産業フェア 2015	青森県八戸市
2016年3月3日	地産地消ワークショップ	東京都千代田区
2015年3月23日	JAXA・電通共催「未来共創セミナー」出展	東京都中央区
2016年3月29日	第2回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム	東京都中央区
2016年3月30日	描いて動かそう！月と火星の"ロボット"、"おうち"、"働く人々"	東京都墨田区
2016年6月8日	第3回宇宙探査オープンイノベーションフォーラム	神奈川県横浜市
2016年8月5日	三菱東京UFJ銀行事前説明会	東京都
2016年7月29日	宇宙科学研究所特別公開 2016 アイデアソン「描いて動かそう！月と火星の"ロボット"、"おうち"」	神奈川県相模原市
2016年8月25日	JST フェア 2016 (イノベーションハブ構築支援事業)	東京都江東区
2016年9月6日	第60回宇宙科学技術連合講演会	北海道函館市
2016年9月9日	平成28年度土木学会全国大会研究討論会	宮城県仙台市
2016年10月11日	おおさかビジネスプラザオープン記念イベント 「宇宙探査オープンイノベーションフォーラム」	大阪府大阪市
2016年12月29日	広域未踏峰分野における アイデアソン	東京都千代田区
2017年1月10日	課題設定ワークショップ	東京都中央区
2017年3月23日	イノベーションハブ構築支援事業シンポジウム	東京都千代田区
2017年5月10日	JAXA 宇宙探査オープンイノベーションフォーラム (広域未踏峰探査)	福島県郡山市
2017年8月25日	宇宙科学研究所特別公開 2017 アイデアソン「みんなで描こう月面基地」	神奈川県相模原市
2017年8月31日、9月1日	JST フェア 2017 (イノベーションハブ構築支援事業)	東京都江東区
2017年9月12日	JAXA シンポジウム 2017	東京都千代田区

	「SPACE INNOVATION-未来のその先へ」	
2017年9月8日	DMG 森精機株式会社 セミナー 國中ハブ長講演	東京都江東区
2017年11月28日	課題設定ワークショップ（広域未踏峰）	東京都千代田区
2017年11月28日	三菱東京 UFJ 銀行事前説明会	東京都
2017年11月30日	課題設定ワークショップ（自動自律・地産地消）	東京都中央区
2017年12月8日	月極探査に関するワークショップ	東京都中央区
2017年12月12日	平成29年度宇宙探査オープンイノベーション フォーラム東京	東京都中央区
2017年12月15日	平成29年度宇宙探査オープンイノベーション フォーラム大阪	大阪府大阪市
2017年12月26日	JAXA イノベーション探査ハブ アイデアソン 「月に住む、月に旅する」	神奈川県相模原市
2017年12月20日	Project MARS - Education League JP - (※第9回キャリア教育アワード 経済産業大臣賞(大賞))	茨城県つくば市
2018年3月9日	第2回宇宙探査フォーラム(ISEF2) 参加者の相模原キャンパスツアー企画	神奈川県相模原市
2018年5月10日	第4回 研究提案募集(RFP) 説明会 大阪	大阪府大阪市
2018年5月11日	第4回 研究提案募集(RFP) 説明会 東京	東京都千代田区
2018年7月27日	宇宙科学研究所特別公開 2018 アイデアソン「月で働くガンバル機械」	神奈川県相模原市
2018年8月30日	JST フェア 2018 (イノベーションハブ構築支援事業)	東京都江東区
2018年9月6日 ～9日	第62回宇宙科学技術連合講演会 オーガナイズドセッション JAXA 宇宙探査イノベーションハブ 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-	福岡県久留米市
2018年9月6日 ～9日	宇宙開発フォーラム 2018 「宇宙探査とオープンイノベーション」久保田ハブ長による講演	東京都江東区
2018年9月18日	応用物理学会秋季学術 久保田ハブ長による講演	愛知県名古屋市
2018年11月6日 ～9日	APRSAF-25 川崎副ハブ長による講演	シンガポール
2018年12月6日 ～8日	エコプロ 2018 (桐蔭横浜大学/ベクセルテクノロジーズ 展示)	東京都江東区
2019年1月11日	アイデアソン 「月にチャレンジ! 人生もチャレンジ!」	神奈川県相模原市
2019年1月16日	将来有人宇宙活動に向けた宇宙医学/健康管理技術 研究開発に係る 意見募集(情報提供要請)および説明会について	東京都中央区
2019年1月21日	『民生ロボット技術で拓く将来の有人宇宙活動』のワークシ	東京都文京区

	ヨック	
2019年1月31日	平成30年度オープンイノベーションフォーラム（東京）	東京千代田区
2019年2月8日 ～5月19日	企画展「工事中！」～立ち入り禁止！？重機の現場～（タグチ工業 出展）	東京都江東区
2019年2月21日	平成30年度オープンイノベーションフォーラム（大阪）	大阪府大阪市
2019年2月25日	2018年度第9回講演会『国際宇宙探査における日本の役割（JAXA）と自動車とのかかわり』公益社団法人自動車技術会 関東支部主催	神奈川県相模原市
2019年3月1日	国際宇宙探査ワークショップ（その2） ポスター展示	神奈川県相模原市
2019年4月24日	イノベーションハブ構築支援事業報告会－国立研究開発法人が創る新たな研究開発手法・産学官連携手法とその展開－ 共同研究成果・ポスター展示	東京都千代田区
2019年5月27日	川崎市生涯学習 久保田ハブ長講演 AIとロボット－人間はいらなくなる？ 第5回 宇宙探査ロボットのAI技術	神奈川県川崎市
2019年6月5日	ロボティクス・メカトロニクス講演会 ワークショップ JAXA 宇宙探査オープンイノベーションフォーラム in 広島	広島県広島市
2019年6月12日	第5回 研究提案募集（RFP）説明会 東京	東京都千代田区
2019年6月15日 ～19日	第32回 ISTS 国際宇宙展示会 展示	福井県福井市
2019年6月21日	第5回 研究提案募集（RFP）説明会 大阪	大阪府大阪市
2019年7月8日	「宇宙探査と水素エネルギー」シンポジウム ～多様化するミッションと持続的な探査活動に向けた挑戦～ 講演（主催：国際宇宙探査センター）	東京都千代田区
2019年8月29日	「きぼう」利用ミニワークショップ～宇宙微生物研究の成果と未来への展望 講演（主催：有人宇宙技術センター）	東京都千代田区
2019年9月9日	有人と圧ローバが拓く、月面社会勉強会 （主催：有人宇宙技術センター）	神奈川県相模原市
2019年9月18日	新技術創出交流会 共同研究成果・ポスター展示、企業との面談実施	東京都立川市

Appendix-2 メディア掲載リスト

・新聞 (表 14-1)

2015	日刊工業新聞	2015年6月12日掲載 Business & Technology 21面 「JAXA/産学官で宇宙探査技術研究」
2015	日刊工業新聞	2015年9月29日掲載 深層断面 (企画面) 40面 JAXA 「月面で「建材」調達」 「日本の力“見せ所”」
2015	日本経済新聞	2015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」
2015	毎日新聞	2015年10月20日掲載 宇宙未来新聞 JAXA 「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」
2015	読売新聞	2015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」
2016	神戸新聞	2016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」
2016	中国新聞	2016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」
2016	中国新聞	2016年12月6日掲載 「中国工業/探査車用のタンク開発」
2016	電気新聞	2016年9月29日掲載 「若狭湾エネルギー研究センター/太陽炉」で月に酸素を」
2016	電気新聞	2016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」
2016	日刊建設工業新聞	2016年4月12日掲載 「鹿島建設/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」
2016	日刊建設工業新聞	2016年6月30日掲載 「東京都市大ら/月面で建設資材生産 宇宙探査へ共同研究開始」
2016	日刊建設通信新聞	2016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」
2016	日刊工業新聞	2016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」
2016	日刊工業新聞	2016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」
2016	日刊工業新聞	2016年7月4日掲載 「東急建設/月面で建設資材生産」
2016	日経産業新聞	2016年10月18日掲載 「マイクロ波化学/月や火星で水地中の氷から」
2016	日本経済新聞	2016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」
2016	日本経済新聞	2016年3月10日掲載 先端技術 「中央大学中村教授/「ミミズ」開発 企業も注目」
2016	日本経済新聞	2016年6月2日掲載 「鹿島建設/火星の有人拠点建設へ全自動建機開発」
2016	日本経済新聞	2016年8月10日掲載 「三菱マテリアル・JAXA/月面基地向けコンクリート」

2016	福井新聞	2016年9月11日掲載 「若狭湾エネルギー研究センター／月の砂から酸素太陽炉で挑戦」
2017	建設通信新聞	2017年9月29日掲載 「竹中工務店/「生産革命」を実現する技術」
2017	建設通信新聞	2017年9月21日掲載 「鹿島建設/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」
2017	産経新聞	2017年7月10日掲載 「竹中工務店/月面ロボ 工事現場に応用 竹中工務店、強度検査を自動化」
2017	山陽新聞	2017年6月8日掲載 「タグチ工業 JAXA と共同開発 油圧ショベル用アーム軽量化」
2017	週刊循環経済新聞	2017年3月13日掲載 「タグチ工業 JAXA と軽量アームを共同開発 炭素繊維強化プラなどを素材に」
2017	鉄鋼新聞	2017年3月3日掲載 「タグチ工業と JAXA が共同研究 建機アーム 軽量金属製を制作」
2017	日刊建設工業新聞	2017年9月21日掲載 「鹿島建設/建機自動化システムの開発加速」
2017	日経産業新聞	2017年3月9日掲載 「竹中工務店/ゼネコン宇宙でキラリ」
2017	日本経済新聞	2017年3月3日掲載 「センサー、計測器 拠点を5割拡張 神栄、神戸市の土地取得」(電子版)
2017	日本経済新聞	2017年3月27日掲載 「清水建設・JAXA/ロボ遠隔操作で月面建設を研究」
2017	日本経済新聞	2017年6月15日掲載 「並木精密宝石・JAXA/無人ポート 価格・騒音低減」
2017	読売新聞	2017年2月10日掲載 「マイクロ波化学/サイエンスBOX きょうの講義「『電子レンジ』を使って月で水を作る？」
2018	朝日新聞	2018年3月1日掲載 「JAXA/探査技術、国内の力を結集」
2018	化学工業日報	2018年10月26日掲載 「IOT 向け太陽電池 固体型 DSC や OPV」
2018	化学工業日報	2018/10/25 ちとせグループ藻類、宇宙で食料に JAXA プロ参画 自給自足、省スペース
2018	化学工業日報	2018/10/26 リコーIOT 向け太陽電池 固体型 DSC や OPV
2018	熊本日日新聞	2019年1月1日掲載 未来へ 人類の存続思索続け ガンダム40年の光跡 「宇宙世紀」時代近づく
2018	建設通信新聞	2018年9月13日掲載 「JAXA 建設産業と連携活発/大林組 月・火星の原料で建設材製造 https://www.kensetsunews.com/archives/235906
2018	新潟日報	2018年1月6日掲載 「ミサワホーム/変わらないために、変わり続けます」
2018	日刊工業新聞	2018年11月2日掲載 「コガネイが月面探査ロボ 自走式 集団移動 JAXA と共同開発」

2018	毎日新聞	2018年1月18日掲載 「タグチ工業／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)
2019	秋田さきがけ	2019年1月1日掲載 未来の夢、近づく現実 月面基地いつかは実現
2019	朝日小学生新聞	2019年5月15日掲載「月面基地 無人で造る JAXA と鹿島建設が研究」
2019	朝日新聞	2019年8月27日掲載 月面用の「住居」南極で設置実験 JAXA・ミサワ
2019	茨城新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年「宇宙世紀」への道のり 描かれる世界、現実味
2019	大分合同新聞	2019年2月8日掲載 「最高クラスの小型モータ JAXA 共同開発 大分、文理大が貢献」
2019	沖縄タイムズ	2019年1月1日掲載 ガンダム歴史紡ぐ 描く世界現実味
2019	河北新報	2019年1月1日掲載 ガンダム40年 宇宙へ発信 夢紡ぐ未来像 実現に近づく
2019	北日本新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年「宇宙世紀」への道のり リアルな世界観人気
2019	建設通信新聞	2019年3月29日掲載 JAXA、鹿島、芝浦工大、電通大、京大／月面拠点建設ヘデモ
2019	建設通信新聞	2019年1月29日掲載 林業の課題解決が宇宙で有用 架線集材システムを無人・自動化
2019	神戸新聞	2019年1月1日掲載 そして未来は近づいた モビルスーツ開発、現実味
2019	財経新聞	2019年3月29日掲載 JAXA と鹿島、月での無人の拠点建設目指し自動化機械の実験実施 実現へ前進
2019	佐賀新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年「宇宙世紀」への道のり 「モビルスーツ」「スペースコロニー」未来像描く究極エンタメ
2019	産経新聞	2019年9月2日掲載 リコーとJAXA、360度カメラを共同開発
2019	信濃毎日新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム歴史紡ぐ時代超え40年 宇宙を生きる 思索の結晶 夢の未来追い掛ける現実
2019	週刊循環経済新聞	2019/2/21「架線集材を無人化 月面での導入を目指す 光洋機械ら4社 JAXA と共同研究」
2019	上毛新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年「宇宙世紀」への道のり 壮大な歴史 さらに モビルスーツ、月面基地 作品世界、実現近づく
2019	千葉日報	2019年1月1日掲載 宇宙駆け歴史紡ぐ 描く世界 現実味
2019	中国新聞	2019年1月1日掲載 機動戦士ガンダム40年燃え上がれ モビルスーツ・コロニー・・・時代が近づいてきた
2019	徳島新聞	2019年1月1日掲載 「色あせぬ輝き40年 Gundam 人型重機の開発進む」
2019	長崎新聞	2019年1月1日「ガンダム40周年 『宇宙世紀』への道のり

		り」
2019	長崎新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40年「宇宙世紀」への道のり「モビルスーツ」「スペースコロニー」未来像描く究極エンタメ
2019	新潟日報	2019年1月1日掲載 「宇宙駆け 歴史紡ぐ ガンダム40周年 「モビルスーツ」「スペースコロニー」・・・描く世界に現実味」
2019	西日本新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40年「宇宙世紀」への道現実がアニメに近づく
2019	日刊建設工業新聞	2019年3月29日掲載 「JAXA、鹿島ら／無人での月面拠点建設の実現可能性を確認／共同研究成果披露」
2019	日刊建設工業新聞	2019/03/29 JAXA、鹿島ら／無人での月面拠点建設の実現可能性を確認／共同研究成果披露
2019	日刊建設工業新聞	2019/01/29 熊谷組、住友林業ら4社／架線集材システムの自動化めざす／JAXAと共同研究着手
2019	日刊工業新聞	2019年2月8日掲載 宇宙探査用機器に搭載
2019	日刊工業新聞	2019年4月1日掲載 月面拠点建設へ第一歩 鹿島とJAXA、自動化建機2台を実演
2019	日刊工業新聞	2019年1月29日掲載 林業機械システム自動化
2019	日刊工業新聞	2019年9月2日掲載 リコー、JAXAと小型全天球カメラ開発 ここのとり8号機に搭載
2019	日経産業新聞	2019年3月14日掲載「高効率モータ宇宙分野を開拓」
2019	日経産業新聞	2019年1月30日掲載「木材運搬技術 月面で応用」
2019	日経産業新聞	2019年8月28日掲載 「宇宙に物資補給 新技術試す JAXAとソニーが共同開発した小型衛星向け光通信装置」
2019	日本海新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年「宇宙世紀」への道のり 広がる市場、次世代へ
2019	日本経済新聞	2019年3月29日掲載「鹿島、JAXAと共同研究の自動施工技術を公開」
2019	日本経済新聞	2019年1月30日掲載 「木材運搬自動化へ研究 熊谷組など 月面応用も視野」
2019	日本経済新聞	2019年6月24日「JAXA 公募の宇宙探査研究 イノベーションの芽続々」
2019	日刊木材新聞	2019/01/30 JAXAと共同で架線集材システム開発 電動化・自動運転で将来は月面での応用も
2019	日刊建設工業新聞	2019/01/30 林業機械を自動化 JAXAと共同研究
2019	福井新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム放送40周年 宇宙の激闘輝き不滅 JAXA目標上げ前進
2019	福島民報	2019年1月1日掲載 40年行きま～す「夢」つくる究極のエンタメ
2019	南日本新聞	2019年1月1日掲載 ★機動戦士ガンダム40周年 描いた未来、現実に

2019	山口新聞	2019年1月1日掲載 ガンダム40周年 「宇宙世紀」への道のり 描く世界、現実味
2019	山梨日日新聞	2019年1月1日掲載 機動戦士ガンダム40年燃え上がれ 「高いリアリティー、時代が近づく」
2019	読売新聞	2019年2月4日掲載 未定月面の運搬技術 開発へ…無人で遠隔操作 住友林業、熊谷組JAXAと
2019	読売新聞	2019年8月1日掲載 掲載 「コロニー建設 月を拠点に」
2019	読売新聞	2019年8月8日掲載 掲載 「月面開拓 新たな希望」探査車・基地・民間が主役

・その他メディア（表14-2）

2015	mugendai	2015年12月8日掲載 インタビュー記事 「JAXA/宇宙人工知能・ロボティクスに挑む日本の宇宙開発底力」
2015	テレスコープマガジン	2015年10月9日・11月20日掲載 Xcross TALK 特集：「JAXA/日本の宇宙開発」
2016	AI.business	2016年7月18日掲載 「How JAXA, NASA and ESA are developing extraterrestrial autonomous construction using artificial intelligence」
2016	BS JAPAN 7ch	2016年5月29日放送 未来EYES 「ispace/宇宙の資源開発に挑む！月面探査HAKUTO」
2016	Construction Equipment	2016年6月21日掲載 鹿島建設 「Japan developing lunar bulldozers」
2016	JAXA's	2015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」
2016	Mirror on line	2016年6月21日掲載 鹿島建設 「Japan is creating autonomous robots that will build a 'moon village' on the lunar surface」
2016	NIKKEI Asian Review	2016年6月6日掲載 鹿島建設 「Kajima to develop automated construction machinery for building on Mars, moon」
2016	Popular Mechanics	2016年11月16日掲載 SONY 「The 10 Coolest Things We Saw at Houston's SpaceCom」
2016	化学工業日報	2016年10月24日掲載 「マイクロ波化学/火星で水作る新技術開発へ」
2016	名古屋CBCラジオ	2016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「東急建設/月面で建築資材を現地生産」
2016	日経アーキテクチャ	2016年8月3日掲載 「東急建設/月面基地に学ぶ究極の「地産地消」」
2017	Biz コンパス	2017年4月11日掲載 「JAXA/日本の技術力で宇宙と地上にイノベーションを起こす」
2017	BS朝日	2017年3月26日放送 「JAXA・ispace・東急建設/松本零士も驚いた！宇宙移住計画の最前線」
2017	JAXA 航空マガ	2017年6月1日発行 「JAXA・タグチ工業/基礎・基盤的な

	ジン	研究と産業化を意識した研究を両輪で」
2017	NHK World	2017年1月19日放送 中央大学中村教授「Groundbreaking Earthworm Robots! Bio-Robotics Engineer - Taro Nakamura」
2017	研究応援	2017年9月1日掲載 「マイクロ波化学/目指せ、人類未踏の深宇宙」
2017	週刊プレイボーイ	2017年7月4日掲載 「タグチ工業/秘密組織プレイメーション」
2017	テレビ朝日	2017年1月29日放送 「日本のチカラ 何でもカタめて夢をカタチに！～鳥取砂丘発モルタルマジック～」
2017	テレビ朝日 「AbemaPrime」	2017年5月4日放送 「タグチ工業/てる美に tell me 全国おもしろ企業」
2017	日経コンストラクション	2017年7月24日掲載 「竹中工務店/「月面」走るロボットが自動で締め固め試験」
2017	日経コンストラクション	2017年9月26日掲載 「鹿島建設/宇宙移住の第一歩？ここまで来た無人化施工」
2017	日経ビジネス	2017年1月16日掲載 「鹿島建設/月面基地を自動で建設 複数の機会が協業」 「タカラトミー/玩具の技術を活用 小型ロボが月面で活躍」
2018	BUSINESS INSIDER JAPAN	2018年4月26日掲載 「ソニーが「宇宙」に参入する理由、ビジネスチャンスとしての“人工衛星向け光通信技”の全貌」
2018	EMIRA	2018年11月8日掲載 「街ナカにも宇宙への技術は眠っている！JAXAが取り組む“リアル下町ロケット”プロジェクト」
2018	FRISK JOURNAL	2018年6月21日掲載 「火星の砂」を固めて宇宙基地に！？宇宙開発を見据えた独自技術とは（モルタルマジック）
2018	JAXA's	2018年4月1日発行 「ミサワホーム/南極での経験と実績を生かして、有人月面基地建設に向けた取り組みがスタート」
2018	Nature	2018年2月9日掲載 JAXA・大林組・ソニーCSL・タグチ工業・新明和工業 「Focal Point on commercial space exploration in Japan」
2018	NHK	2018年6月19日放送 「コズミックフロント☆NEXT 5min.」
2018	STI Horizon 2018 秋号	2018年8月27日掲載 月面農場から始まる未来の農業と産業の可能性-NISTEP 予測調査とJAXA月面農場ワーキンググループ活動報告速報
2018	TBS 初耳学	2018年6月22日掲載 少量で砂を固められる接着剤に宇宙業界が着目
2018	研究開発リーダー	2018年12月20日掲載 「AXAにおける宇宙探査イノベーションとその進め方」
2018	雑誌「経済」	2018年9月3日掲載 「AIとロボット」(JAXA 矢野さん)
2018	植物工場・農業	2018年12月27日掲載 植物工場だけでなく、宇宙での蛋白

	ビジネスオンライン online	源の生産。東京女子医大とインテグリカルチャーによる細胞培養技術
2018	日経エレクトロニクス	2018年11月号 宇宙ビジネス、ソニーの勝算
2018	日経コンストラクション	2018年1月18日掲載 「JAXA/土木と宇宙をつなぐ仲介者」
2018	日経ビジネス	2018年2月26日掲載 「JAXA/テクノトレンド 有人月面探査」
2018	フジサンケイビジネスアイ	2018年1月10日掲載 「ミサワホーム/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」
2018	マイナビ	2018年10月25日掲載 「なぜ今、藻なのか？"タンパク質危機"の解決を目指す「タベルモ」の正体
2018	日経 XTECK Web 版	2019年1月16日掲載 月面でジャガイモの植物工場、パナソニックの新栽培法で迅速立ち上げ
2019	ABLab	2019年1月24日掲載 宇宙探査イノベーションハブ「宇宙技術の地上転用」
2019	ASCII.jp	2019年8月28日掲載 JAXA/リコー、宇宙空間で使える小型全天球カメラを共同開発 https://ascii.jp/elem/000/001/924/1924529/
2019	C net JAPAN	2019年8月28日掲載 「THETA」が宇宙に--JAXA とリコーが小型全天球カメラを共同開発、9月11日打ち上げ https://japan.cnet.com/article/35141876/
2019	Digitalist	2019年7月31日掲載 【若田光一が対談、宇宙開発の現状】 2020年代には、水星から木星まで JAXA 発の探査機が並ぶ (鹿島建設、光電製作所共同研究の紹介)
2019	engadget	2019年8月28日掲載 リコー「THETA S」が宇宙へ、JAXA と宇宙用全天球カメラを共同開発
2019	itmedia ニュース	2019年8月28日掲載 JAXA とリコー、宇宙空間で使える「THETA」を共同開発 9月に打ち上げ https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1908/28/news117.html
2019	MONOist	2019年8月29日掲載 リコー「THETA」が宇宙へ踏み出す、JAXA との共同開発で実現 https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1908/29/news040.html
2019	NHK NEWS WEB	2019年3月29日掲載 これで月面に基地建設 自動重機を公開 JAXA・鹿島建設
2019	PHILEWEB	2019年8月29日掲載 JAXA とリコー、宇宙用の360度カメラを共同開発。9月に"こうのとりの"で打ち上げへ https://www.phileweb.com/news/d-camera/201908/28/739.html
2019	SankeiBiz	2019年1月30日掲載 「月面で構造物運搬、有用システム開発へ 熊谷組など J A X A と共同研究」

2019	SankeiBiz	2018年7月24日掲載 日立造船、次世代「全固体電池」EV向け視野 JAXA
2019	SPACE.COM	2019年4月7日掲載 JAXA・鹿島建設合同プレス Can Robots Build a Moon Base for Astronauts? Japan Hopes to Find Out.
2019	産経ニュース	2019年1月29日掲載 「熊谷組など JAXA と共同研究 月面での運搬システム開発」
2019	植物工場・農業 ビジネス オンライン online	2019年6月8日掲載 JAXA 宇宙探査ハブ、日本の植物工場を活用した「月面農場」に関する報告書を公開
2019	デジカメ Watch	2019年8月29日掲載 JAXA とリコー、宇宙空間で使用可能な小型全天球カメラを共同開発
2019	日刊工業新聞	2019年8月29日掲載 リコー、JAXA と小型全天球カメラ開発 こうのとり8号機に搭載
2019	乗り物ニュース	2019年3月29日「月面基地は無人重機で=JAXA・鹿島」
2019	乗り物ニュース	2019年2月7日「小型、高効率モータ 開発=「火星ドローン」実現に一步-JAXA など
2019	フジサンケイ ビジネスアイ	2019年1月30日掲載 月面で構造物運搬有用システム開発
2019	マイナビ	2019年8月29日掲載 「全天球カメラ「Theta」が宇宙へ！ - 「きぼう」日本実験棟から撮影を実施 https://news.mynavi.jp/article/20190829-885266/
2019	読売新聞 ONLINE	2019年2月4日掲載 未定月面の運搬技術 開発へ…無人で遠隔操作 住友林業、熊谷組 J A X A と
2019	読売テレビ放送 株式会社	2019年7月20日掲載 ウェークアップ！プラス 「JAXA と鹿島建設が共同研究 The LUNAR BASE」
2019	日経 XTECK Web 版	2019年2月13日掲載 新明和工業 「出力 50W で連続運転できる質量 25g の超小型モータ」
2019	日経コンストラクション	2019年1月28日掲載 日特建設「狙え！ポスト平成のビックプロジェクト 宇宙開拓の実現迫る 月面はロマンからビジネスへ」

・海外メディア (表 14-3)

2016	NIKKEI Asian Review	2016年6月6日掲載 鹿島建設 「Kajima to develop automated construction machinery for building on Mars, moon」
2016	Mirror on line	2016年6月21日掲載 鹿島建設 「Japan is creating autonomous robots that will build a 'moon village' on the lunar surface」
2016	Construction Equipment	2016年6月21日掲載 鹿島建設 「Japan developing lunar bulldozers」
2016	AI.business	2016年7月18日掲載 「How JAXA, NASA and ESA are

		developing extraterrestrial autonomous construction using artificial intelligence」
2016	Popular Mechanics	2016年11月16日掲載 SONY 「The 10 Coolest Things We Saw at Houston's SpaceCom」
2017	NHK World	2017年1月19日放送 中央大学中村教授「Groundbreaking Earthworm Robots! Bio-Robotics Engineer - Taro Nakamura」
2018	Nature	2018年2月9日掲載 JAXA・大林組・ソニーCSL・タグチ工業・新明和工業 「Focal Point on commercial space exploration in Japan」
2019	SPACE.COM	2019年4月7日掲載 JAXA・鹿島建設合同プレス Can Robots Build a Moon Base for Astronauts? Japan Hopes to Find Out.

Appendix-3 プレスリリース一覧

発表日	タイトル	共同研究機関名
2015年6月11日	「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」のイノベーションハブ支援事業への採択について	なし
2018年2月8日	国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟を利用した 長距離空間光通信軌道上実証、並びに共同研究契約締結について	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所
2019年2月7日	宇宙探査イノベーションハブの共同研究成果 ～世界最高クラスの小型高効率モータ開発に成功～	新明和工業株式会社 大分大学 日本文理大学 茨城大学 静岡大学
2019年3月28日	宇宙探査イノベーションハブの共同研究成果 ～自動化建設機械による月での無人による有人拠点建設の実現に向けて～	鹿島建設株式会社
2019年8月26日	JAXA、極地研、ミサワホーム及びミサワホーム総合研究所の連携による「南極移動基地ユニット」の実証実験の実施について	国立極地研究所 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
2019年7月29日	JAXA とソニーCSL による 国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟を利用した長距離空間光通信軌道上実証について	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所
2019年8月28日	JAXA とリコー、宇宙空間で使用可能な小型全天球カメラを共同開発 ～宇宙ステーション補給機「こうのとり」8号機で打ち上げ、全天球型 360°カメラにてきぼう船外で初めて撮影予定～	株式会社リコー

研究領域概要

『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。

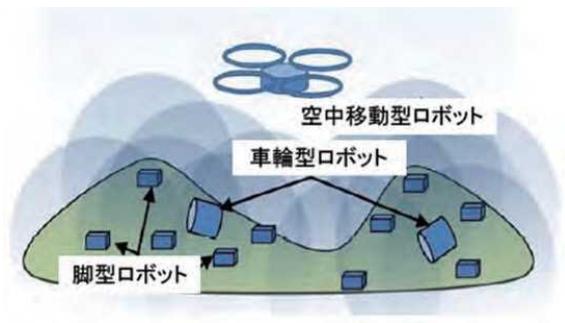
具体的には、多数の小型ロボットを1回のロケットで打ち上げ、月や火星表面10km四方に配置、分散されたロボットが協調し、高度な観測や協調作業、位置同定、信頼性確保などを行う、『探査が一挙にできる』革新的な技術の獲得を目指す。

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建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】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
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)、大分大学、茨城大学 日本文理大学、静岡大学
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	
募集なし	
第3回RFP	
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
第4回REP	
複数小型ロボットを用いた確率的環境探査システム	(株)竹中工務店、中央大学
分散協調型ロボットによる製造工場等の物品供給システムの開発研究	JOHNAN(株)、京都大学
群 AGV (Automated Guided Vehicle) の開発	(株)コガネイ、東京電機大学

Exploration technology in a wide range of unexplored areas

研究テーマ名	機関名
空気圧人工筋肉を用いた蠕動運動による連続捏和・搬送技術の実用化検討	(株)ソラリス、中央大学、 (株)ブリヂストン、東京電機大学

【アイデア型】

研究名称	機関名称
第1回RFP	
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
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	
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	ヤンマー(株)、大阪府立大学、名古屋大学
第3回RFP	
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)
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
第4回RFP	
インフレータブル構造部材を用いた自動展開・収納方法の検討	清水建設(株)、太陽工業(株)、摂南大学
ポリイミドフィルムを用いた極薄・極軽量インフレータブル構造体の検討	埼玉大学、精電舎電子工業(株)



『自動・自律型』探査技術

目的・チャレンジする課題

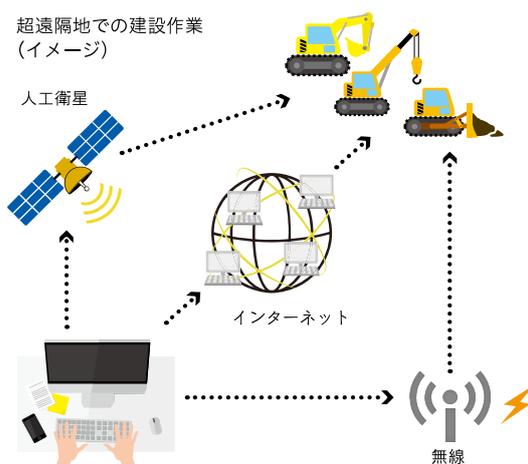
将来の月あるいは火星表面に構築される有人拠点の構築技術の獲得を目指す。
月や火星には人を多数送りこめないことから、拠点の建設は原則無人で行うことが想定される。
地球からの全指令型システムから脱却し、現地で周囲情報の収集・認識を行い、遠隔操作と自動・自律を高度に組み合わせた建設技術の獲得が課題である。その実現には、ICT技術や環境認識技術等の様々な技術が必要であり、地上で実績のある技術の適用が期待される。

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



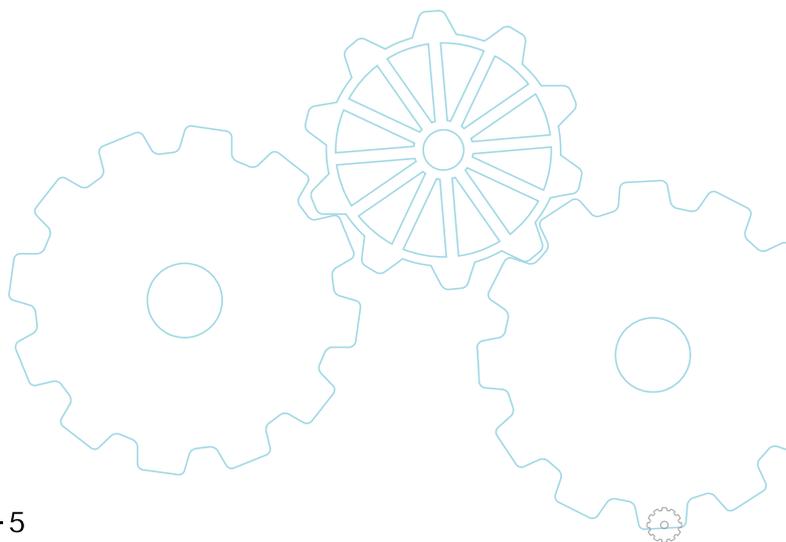
【課題解決型】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
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
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	
採択なし	
第3回RFP	
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
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	日特建設(株)、立命館大学
第4回REP	
林業機械システムの自動化による省力化の研究について	(株)熊谷組、住友林業(株)、光洋機械産業(株)、(株)加藤製作所

Automatic and autonomous exploration technology

【アイデア型】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
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)
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	
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	
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)
第4回RFP	
ロードヘッド/掘削機械の自律的動作を実現する AI、IoT 技術を用いた制御方式研究	(株)三井三池製作所
超広帯域電磁波計測による地下電気物性分布の可視化	兵庫県立大学、京都大学 名古屋大学、川崎地質(株)



『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

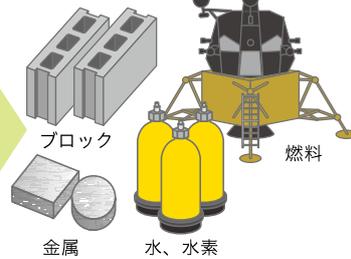


今後 現地調達：あり、再利用：あり



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】

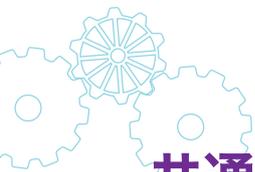
研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究	(株)センテナリア、大阪大学
液体を使わない建設資材の現地生産技術の研究	東急建設(株)、東京都市大学、日東製網(株)
現地資源からの建設資材の製造システム	三菱マテリアル(株)、北海道大学、山口大学、(株)大林組、有人宇宙システム(株)、(株)IHI、(株)IHIエアロスペース
第2回RFP	
ガス中微量水分計の小型・軽量・ロバスト化技術の研究	神栄テクノロジー(株)、産業技術総合研究所、大阪大学、茨城大学、鹿児島大学
マイクロ波凍結乾燥技術（氷から水をつくる技術）	マイクロ波化学(株)、東京工業大学
第3回RFP	
採択なし	
第4回REP	
採択なし	

In-situ resource utilization (ISRU) technology

【アイデア型】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
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ー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	
採択なし	
第3回RFP	
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)
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
第4回RFP	
難還元性酸化物の水素還元システムによる機能性材料の製造	九州大学、(株)H4、(株)超微細科学研究所
AM技術による舗装の構築・修復に関する研究開発	ニチレキ(株)
月面農場を想定したドライフォグを用いた節水型植物栽培システム	(株)いけうち、大阪府立大学
食用藻類スピルリナを用いた省資源かつコンパクトなタンパク質生産システムの開発	(株)ちとせ研究所、(株)タベルモ、 (株)IHIエアロスペース、藤森工業(株)





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。

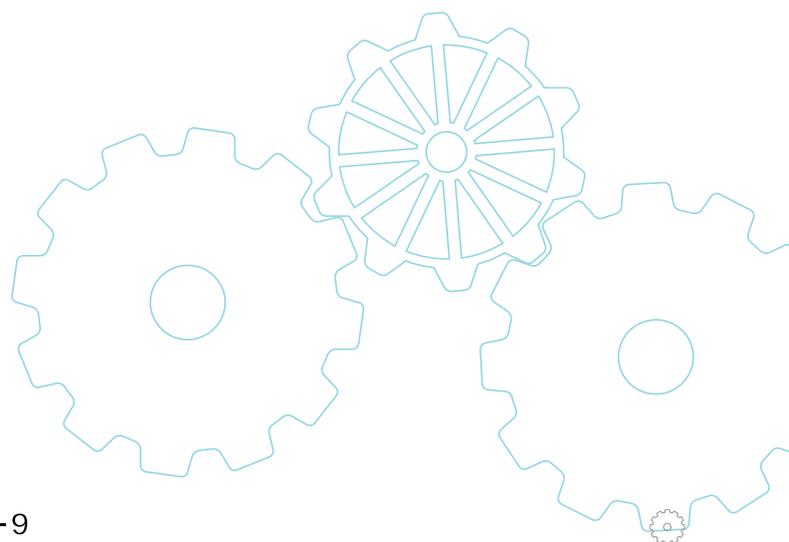
【課題解決型】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
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
全固体リチウムイオン二次電池の開発	日立造船(株)
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	
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	
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) ペクセル・テクノロジーズ(株) (株)リコー
第4回RFP	
高機能化マリンレーダーの開発	(株)光電製作所
スケーラブル完全孤立系燃料電池の研究開発	三菱造船(株)、三菱重工業(株)、 海洋研究開発機構



【アイデア型】

研究テーマ名	機関名
第1回RFP	
多目的全方向移動クローラー共通台車の設計	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	
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	名古屋大学
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	
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)
第4回RFP	
高信頼性・小型スターリング冷凍機の開発	ツインバード工業(株)
太陽電池用波長変換材料の開発	パナソニック(株)
システム機器診断のための超小型ハーネスフリーセンサシステム実現の基盤研究	鹿児島大学、(株)東洋技術工業、 (株)ビーコンテクノロジーズ
ゼーベック素子を用いたサーマルハーベスター基盤研究	アクトロニクス(株)、 センサーコントロールズ(株)、 (株)守谷刃物研究所

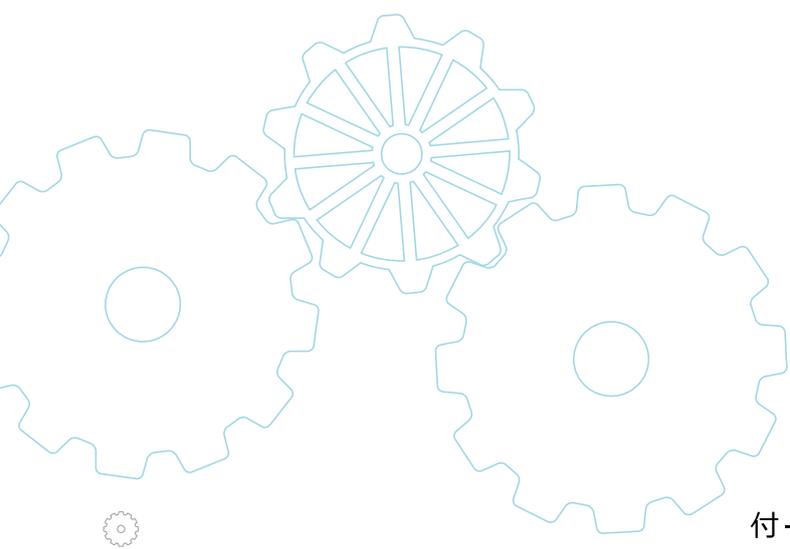




チャレンジ研究

研究領域概要

研究テーマ名	機関名
第4回RFP	
閉鎖空間において生じる、心理的圧迫感やストレスの緩和に役立つ「環境香」の開発	(株)資生堂
光エネルギーおよび省リソース「藻類・動物細胞共培養リサイクルシステム」による持続的な食糧・タンパク質の生産	東京女子医科大学、 インテグリカルチャー(株)



研究テーマ概要

研究テーマ名 | **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】

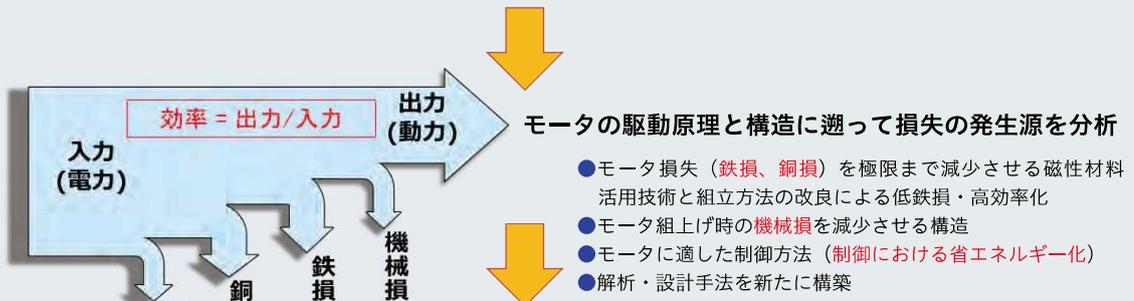
従来のモータ製作方法を踏襲し、大電力を送り込んでパワー密度を上げる方法には限界がある。そこで、モータの駆動原理と構造に遡って損失の発生源を分析し、モータ損失を極限まで減少させる磁性材料、組立方法、機械損を減少させる構造、モータに適した制御方法、ならびに解析・設計手法を新たに構築することでパワー密度が世界最高の性能を達成する。

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。

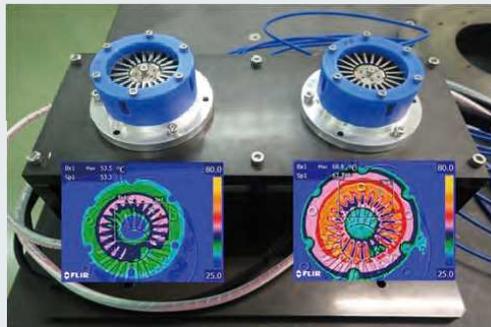
【内容】

- 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25gで連続出力50W、広範な領域で効率80%以上、高速回転域（15,000～25,000rpm）で効率85%以上の、極めて低発熱のモータを開発し、目標を達成した。

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**。



新型モータ
発熱（損失）小



従来モータ
発熱（損失）大

1次試作



2次試作



開発した小型モータ
(測定装置取り付け用の器具付き)

研究テーマ名 | 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

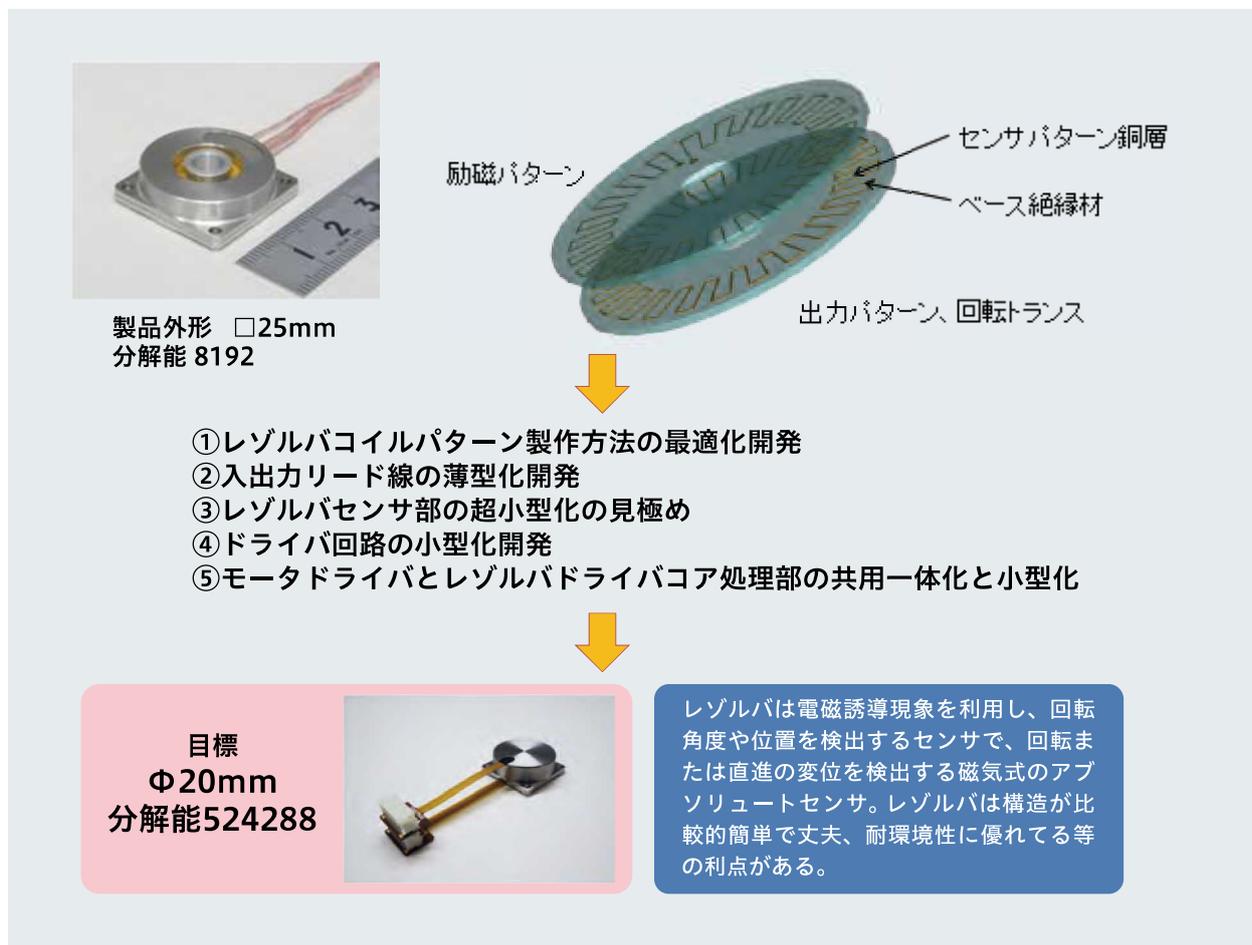
プロジェクト概要

【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以上のドライブ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。



研究テーマ名 | 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

研究テーマ名 | 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】

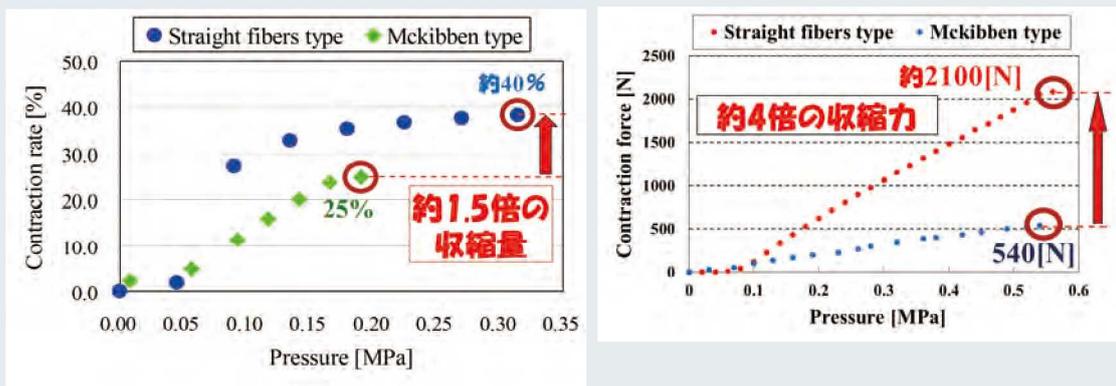
提案者が開発した軸方向繊維強化型人工筋肉は、ゴムチューブに内包されたマイクロカーボン繊維層が軸方向のみに配向された構造となっている。内部に流体圧を印可すると、軸方向には伸長せず半径方向のみに膨張するため、軸方向へ大きな収縮力が得られる。さらに瞬発力・振動制御・可変粘弾性等の従来のモータでは実現しがたい可変構造系の多様なモーションを、フィードフォワード制御のみで実現できると考えられる。本研究では、超高出力密度をもつ流体系アクチュエータである軸方向繊維強化型人工筋肉の品質仕様の確立を目的として、システム全体の小型軽量化と応用分野の実用化に必要な技術課題について検討を行う。

【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



研究テーマ名 | 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】

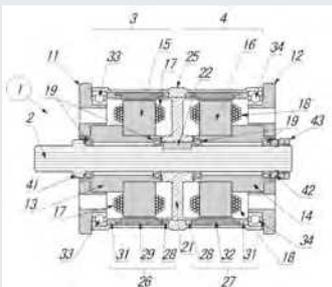
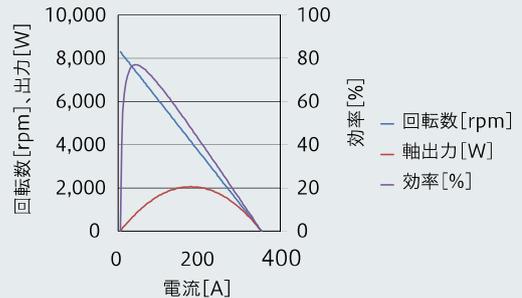
- ①マルチステータ型電磁アクチュエータの耐環境研究
防塵・防水性能IP56をクリアするマルチステータ型電磁アクチュエータを実現した。
- ②マルチステータ型電磁アクチュエータの放熱研究
防塵・防水性能を維持しつつアクチュエータ内部に熱がこもらない放熱性能を有するアクチュエータを開発した。
- ③個別制御回路の研究
モータの消費電力を最適化し、モータの効率的な運用を可能にする小型制御回路を開発中である。
- ④マルチステータ型電磁アクチュエータの開発
目標達成に向けて、最大出力1000W、質量435gのマルチステータ型電磁アクチュエータを開発した。

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

研究テーマ名 | 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】

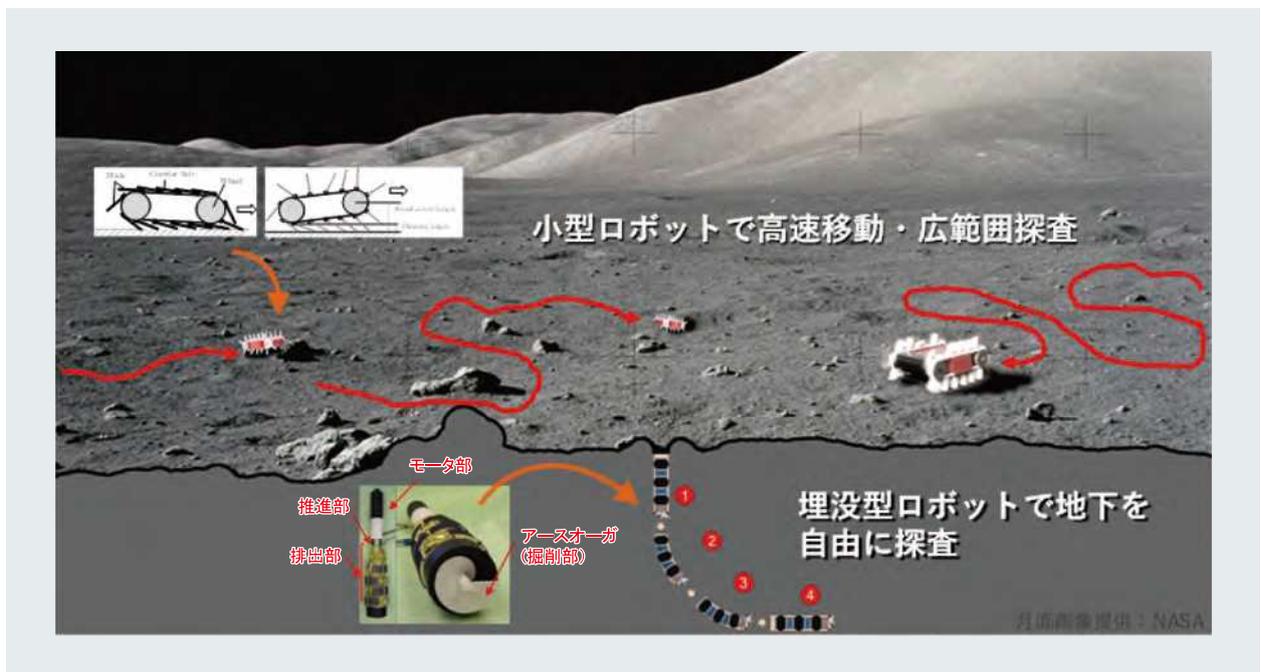
複数の小型探査機（ロボット）を協調させることで、未踏峰地点の広範囲で密度の濃い探査を行うことを目指す。そこで、地中、表面などを移動しながら情報収集する探査システムを実現するために、以下の2点の技術を用いて、地上および地下に小型のロボットが分散されることによって3次元的な環境計測を行うシステムの一部を構築することを目標とする。

- 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、従来のはね付クローラに比べて走行が安定することを確認した。



研究テーマ名 | 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

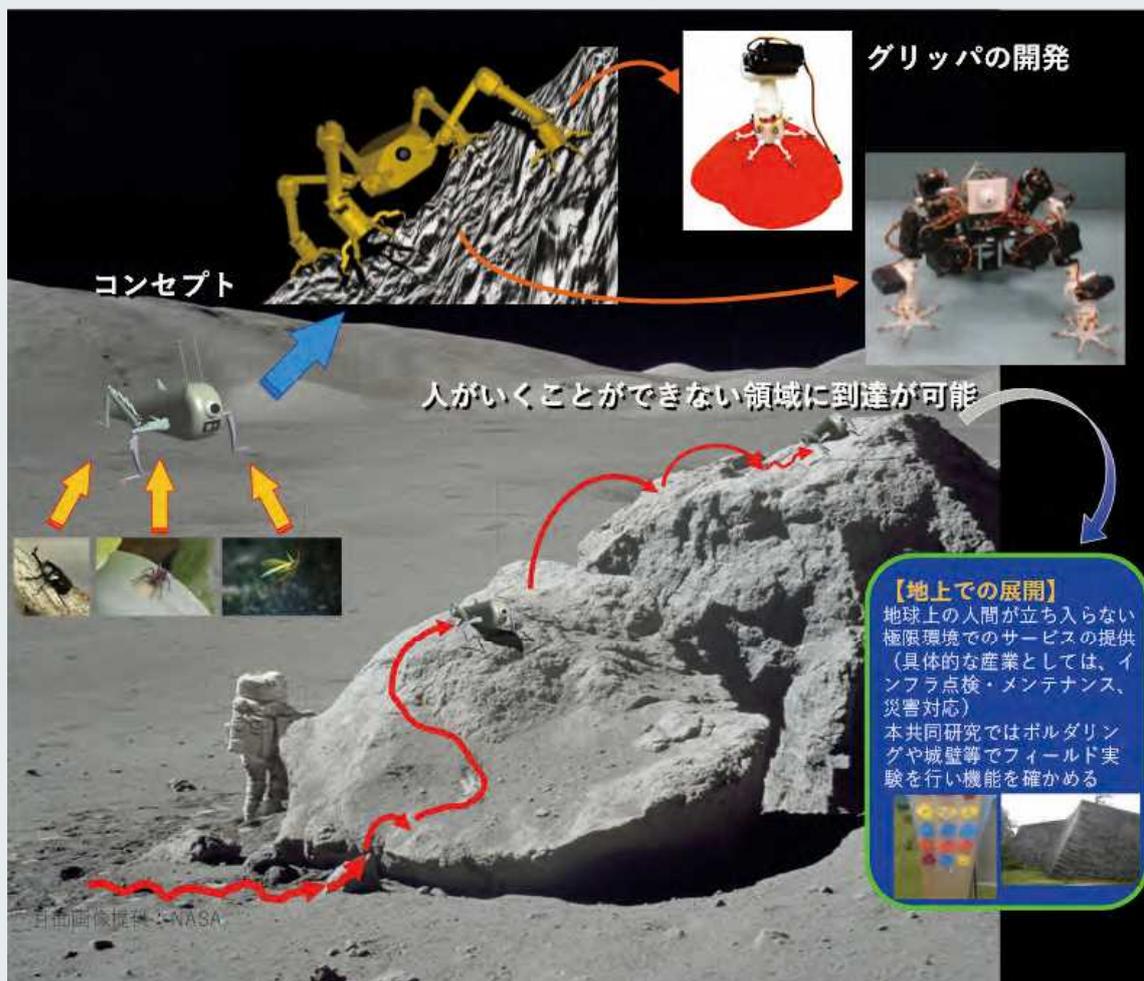
プロジェクト概要

【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パという形で実現した。また、開発したグリッパ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。本グリッパ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。



研究
テーマ名 | 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。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。



研究テーマ名 | 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

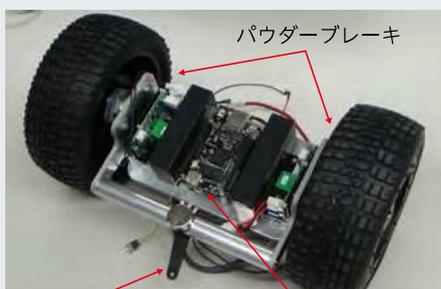
リーダ探査機が複数の小型フォロワ探査機をけん引

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



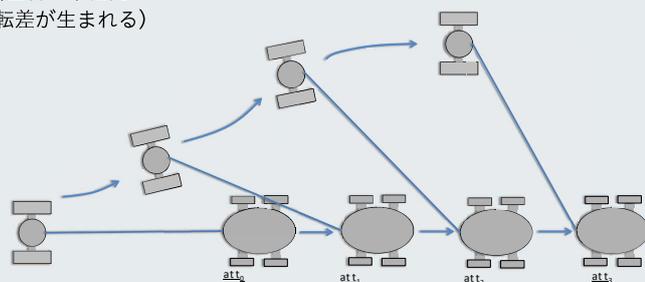
サイズ:355x180x180(mm) 重さ:5.6 (kg)

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なさまざまな調査・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

研究テーマ名 | 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

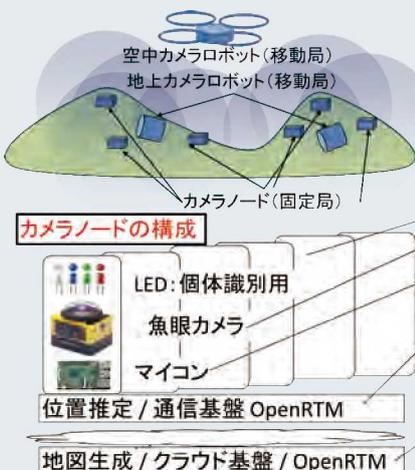
プロジェクト概要

【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

- LED: 個体識別用
- 魚眼カメラ
- マイコン
- 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

将来的には

- 距離推定の追加
- 装置の小型化

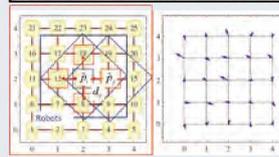
本研究では方向観測のみから自己座標を推定

- 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



これまでは

- 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

Keitaro Naruse, et. al. "Mutual Localization of Multiple Sensor Node Robots", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, PP. 1269-1276, Vol. 15, No. 5, 2011.

Naruse, et. al. "Swarm EKF Localization for Multiple Robot Systems with Range-Only Measurements", Proc. of 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations, pp. 796-801 (2013) DOI: 10.1109/SII.2013.6776751

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



研究テーマ名 | 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㎡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。

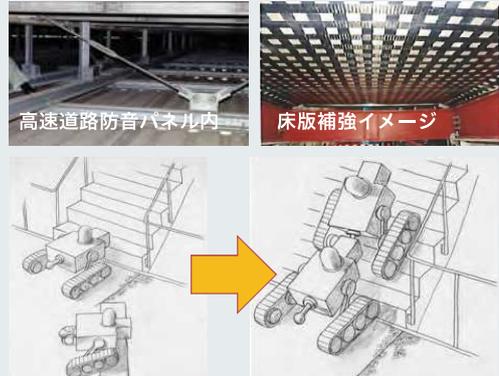
【成果】

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經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經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㎡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

盛土の品質管理を行う計器

計器を搭載した台車を連結した「健気」

<http://www.netis.mlit.go.jp/>より

RI密度水分計「ANDES」
本体 10.5kg + 電源棒 2kg



研究テーマ名 | 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

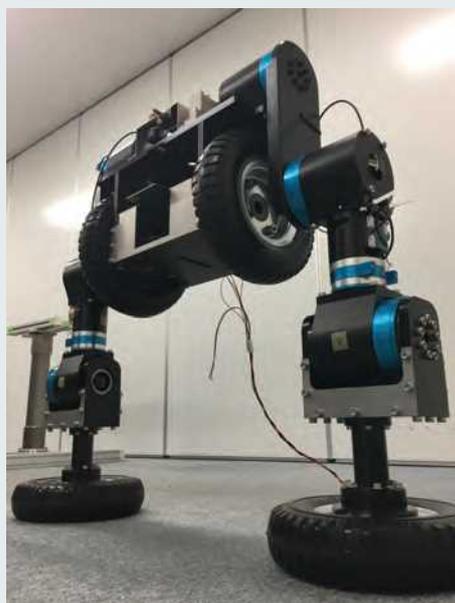
プロジェクト概要

【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、三次元の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】

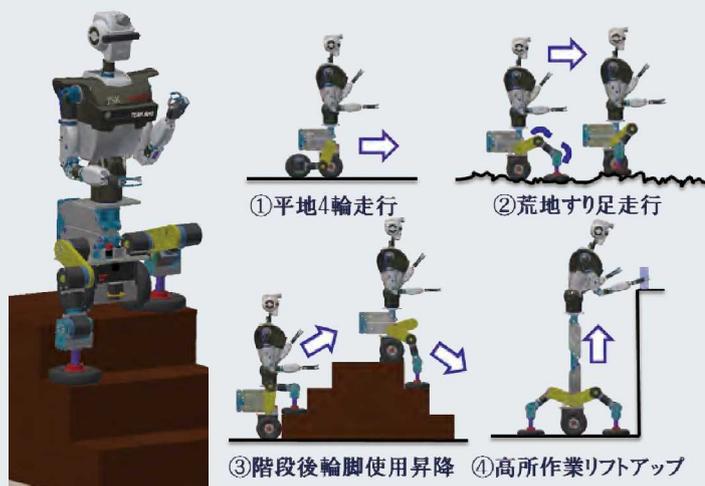
具体的な目標を日本家屋（階段が急）、およびオフィスのサービスロボットの開発と設定し、以下を実施した：1）省電力化システムにおける三次元の環境認識と行動生成システムの統合、2）環境認識に応じた移動行動戦略制御法の構築。合体変形型移動ロボットのシミュレーション環境を構築し、省電力型ロボット計算機システムの検討を実施しつつ、実機を開発した。



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



研究テーマ名 | 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 v_u, v_l の内積が正になることが条件である。

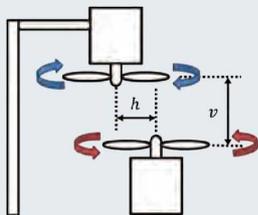


Fig.1 : ロータ配置を上下2段にした実験装置

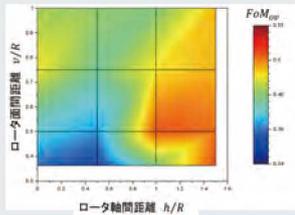
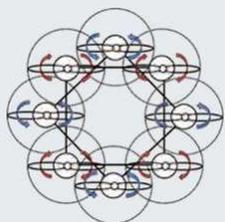


Fig.2 : ロータ配置を上下2段にした場合の実験結果。それぞれロータ面間距離とロータ軸間距離は、 R (ロータ半径) でノーマライズしている。



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、 $v_u \cdot v_l > 0$

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

研究テーマ名 | 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°C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。

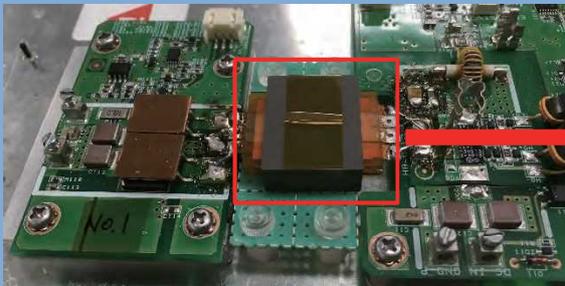
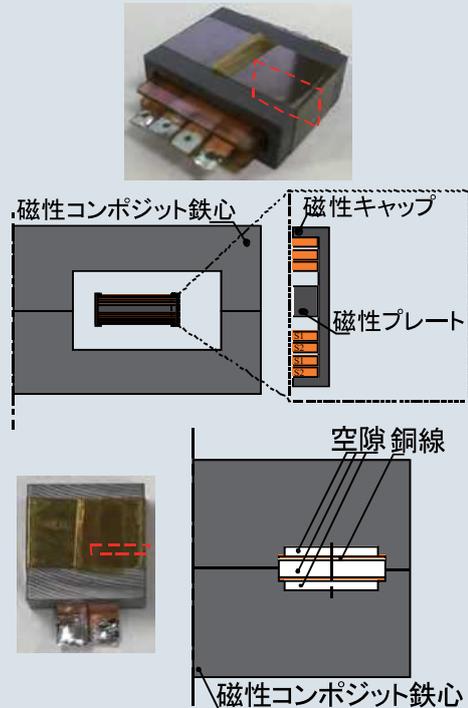


図1 絶縁形DC-DCコンバータ (LLC共振形)



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



研究テーマ名 | 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バイを設計・試作した(図1)。
- ②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た(図2)。
- ③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を構築した。
- ④実証試験
フィールド(猪苗代湖)において4台のセンサバイによる実証試験を実施し、観測データからの流速場の推定に成功した(図4。図3は観測データを用いない推定値と比較用)。



図1

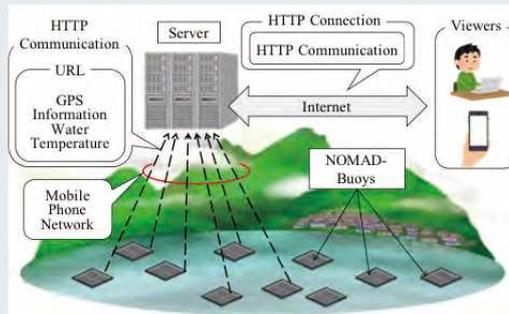


図2

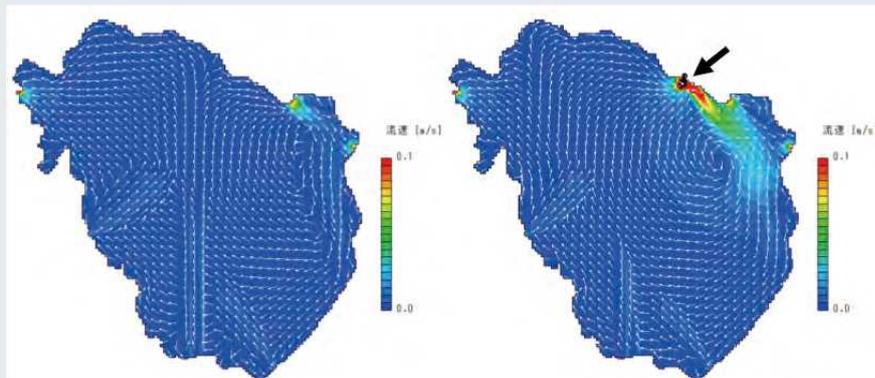


図3

図4

研究テーマ名 | 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。

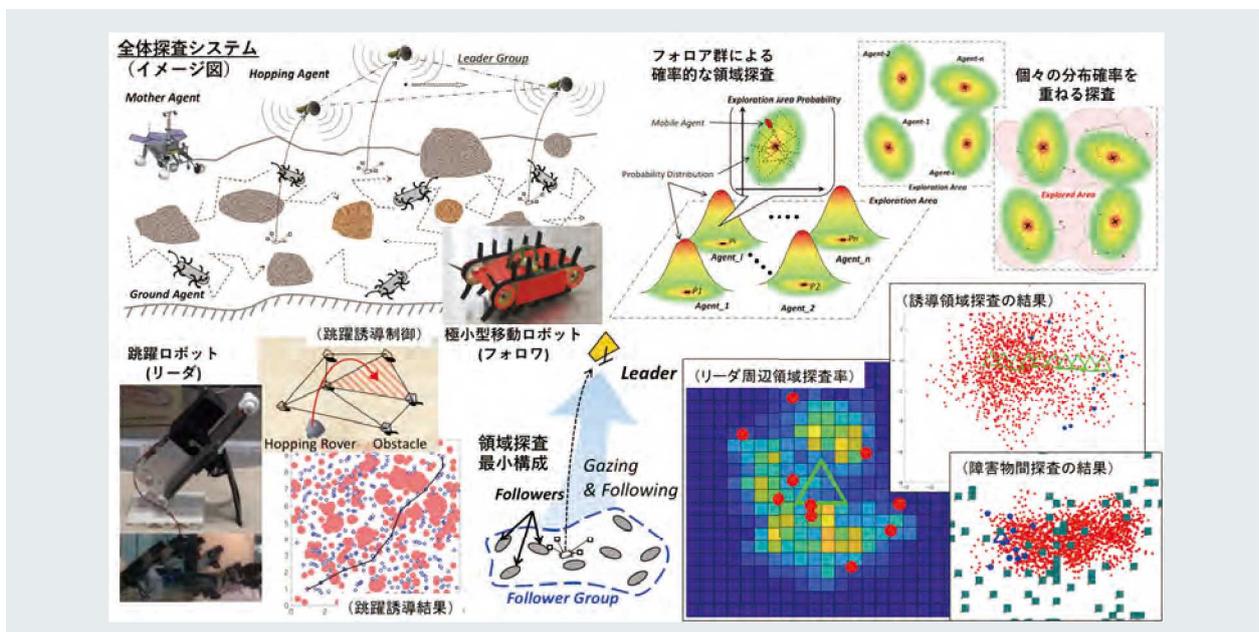
このために以下の課題を設定している。

- 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。



研究テーマ名 | 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。

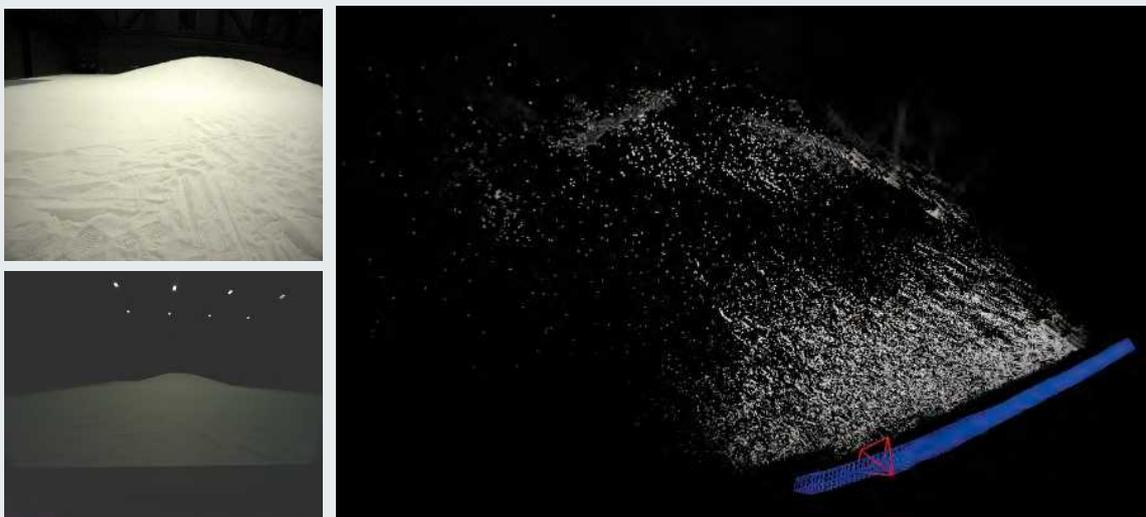
* vSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) は、画像計測に基づき自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術。未知の環境を探索するロボットが、移動したり作業するために、ロボット自身の位置と、周辺の起伏などの地図情報が必要となる。

【成果】

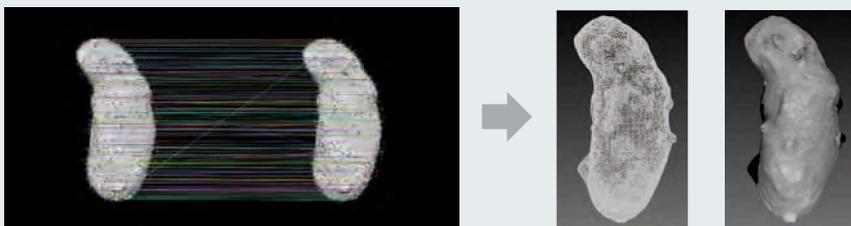
画像計測は、画像濃淡変化の強さ等の特徴を利用するが、砂地などはこの特徴が弱いため、画像計測が難しいという問題がある（テクスチャレス問題）。

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

研究テーマ名 | 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】

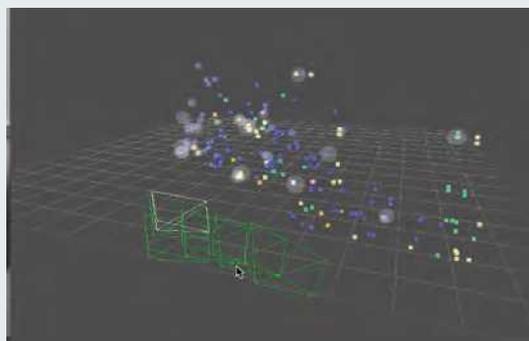
Visual SLAM*は、画像計測に基づき、カメラで得られた複数枚の画像から、カメラの位置推定や環境地図を作成する技術である。利用できる環境をより広げるために、従来の画像の特徴抽出方法に加え、画像の輪郭情報や濃淡変化の弱い部分（テクスチャレスな部分）毎に特徴抽出方法を変える統合的な手法の研究開発を行う。

※ 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。

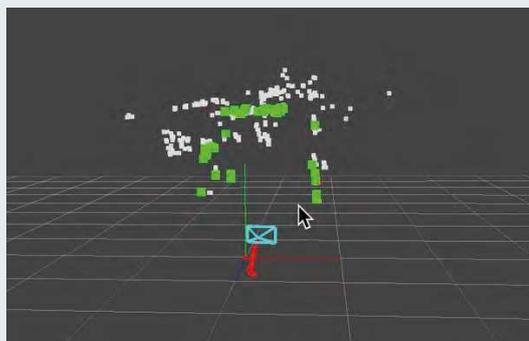
【成果】

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るが、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



研究テーマ名 複数小型ロボットを用いた確率的環境探査システム

機関名：株式会社竹中工務店、中央大学

プロジェクト概要

【目的】

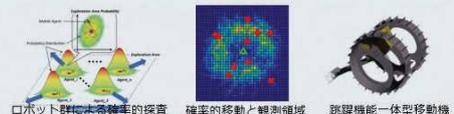
建設現場等での工事進捗管理あるいは品質確認検査を行う複数小型ロボットの分散協調検査システムを開発する。システムの実現には、複数小型ロボットが協調し効率よく分散していく仕組みや、現場での画像撮影を満遍なく行う仕組みなどが必要となる。ロボットがランダムに動くのみでは取得される環境情報にムラができ、環境全体の情報取得に長い時間を要する。また、建設現場では日々変化する資機材配置や段差などがあらゆる箇所に存在し、これらを回避・乗り越える移動性能を持つローコストで高い踏破性能を有するロボット移動機構が必要となる。これらの必要機能を研究開発し統合することで、分散協調検査システム構築を行い、建設現場や老朽化インフラ等での適用を目指す。

【内容】

- ①ロボット群により観測時間縮小と事象発見率向上を可能にするアルゴリズムの開発
人またはロボット1台と比較して観測時間、事象発見率の優位性を示す。
- ②高走破性を有する小型軽量表面移動型観測ロボットの開発
全長15cmかつ質量500gで15cmの段差乗り越えの走破性達成を目指す。
- ③小型跳躍機構の実現および跳躍飛翔能力の活用検討
跳躍を可能とする小型跳躍機構を開発する。
- ④提案システムの実用化及び適用実証実験、事業化検討
最小構成システムを構築し、建設現場において検査実証実験および事業化に向けた評価を行う。



複数小型ロボットが協調し拡散するシステムを用いて、建設現場や老朽化インフラにおける、作業進捗確認やモニタリング、点検や調査を行います



研究テーマ名 | 分散協調型ロボットによる製造工場等の物品供給システムの開発研究

機関名：JOHNAN株式会社、京都大学

プロジェクト概要

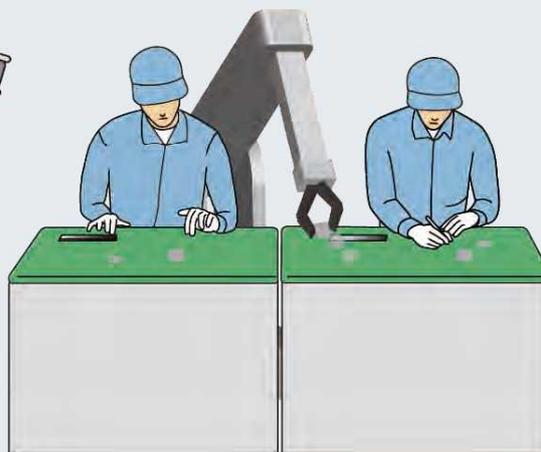
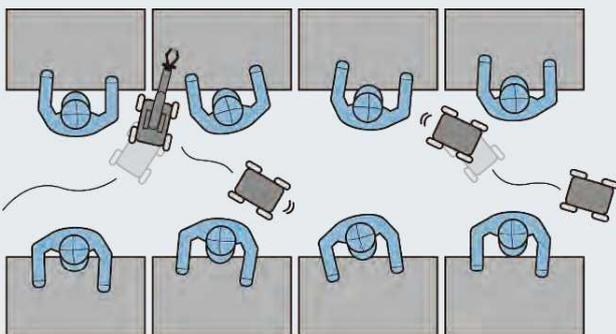
【目的】

月面などの惑星広域探査活動において、多数の小型探査ロボットが互いに連携しながら、安全に持続的に探査活動を行うシステムの構築を目指す。このようなシステムの実現に向けて、JOHNANでは、瓦礫などが散乱した環境下を走破できるレスキューロボット技術および半自律ロボット群による編隊制御ロボット技術を保有する京都大学松野研究室と連携し、さらにJOHNANが販売代理店を務めるRealtime Robotics社の瞬時にロボットの衝突回避制御を可能とするロボットモーションプランニング技術を活用する。

【内容】

- ①ロボットの自動走行へのMPA(モーションプランニングアルゴリズム)適用可能性検証
自走型ロボットが動的な障害物との衝突を回避しながら目的地に達成するタスクを、MPAを活用して実現できるかを検証する。
- ②自走型ロボットに搭載されたロボットアームによるピック&プレース作業へのMPA適用可能性の検証
自走型ロボットマニピュレータが、目標地まで移動し、指定されたオブジェクトをピックし目標位置にプレースする作業をMPAにより実現できるかを検証する。
- ③MPAを用いた複数の自走型ロボットにおけるピック&プレース協調作業システムの開発
複数台の自走型ピック&プレースロボットシステムを開発する。

セル生産現場の狭い複雑なレイアウトにおいて、工程全体の供給状況を監視しながら、作業者の作業に影響を及ぼすことなく、個々のセルに安全に、タイムリーに、安定的に部材を配送・供給するシステムを構築する



研究テーマ名 | 群AGV (Automated Guided Vehicle) の開発

機関名：株式会社コガネイ、東京電機大学

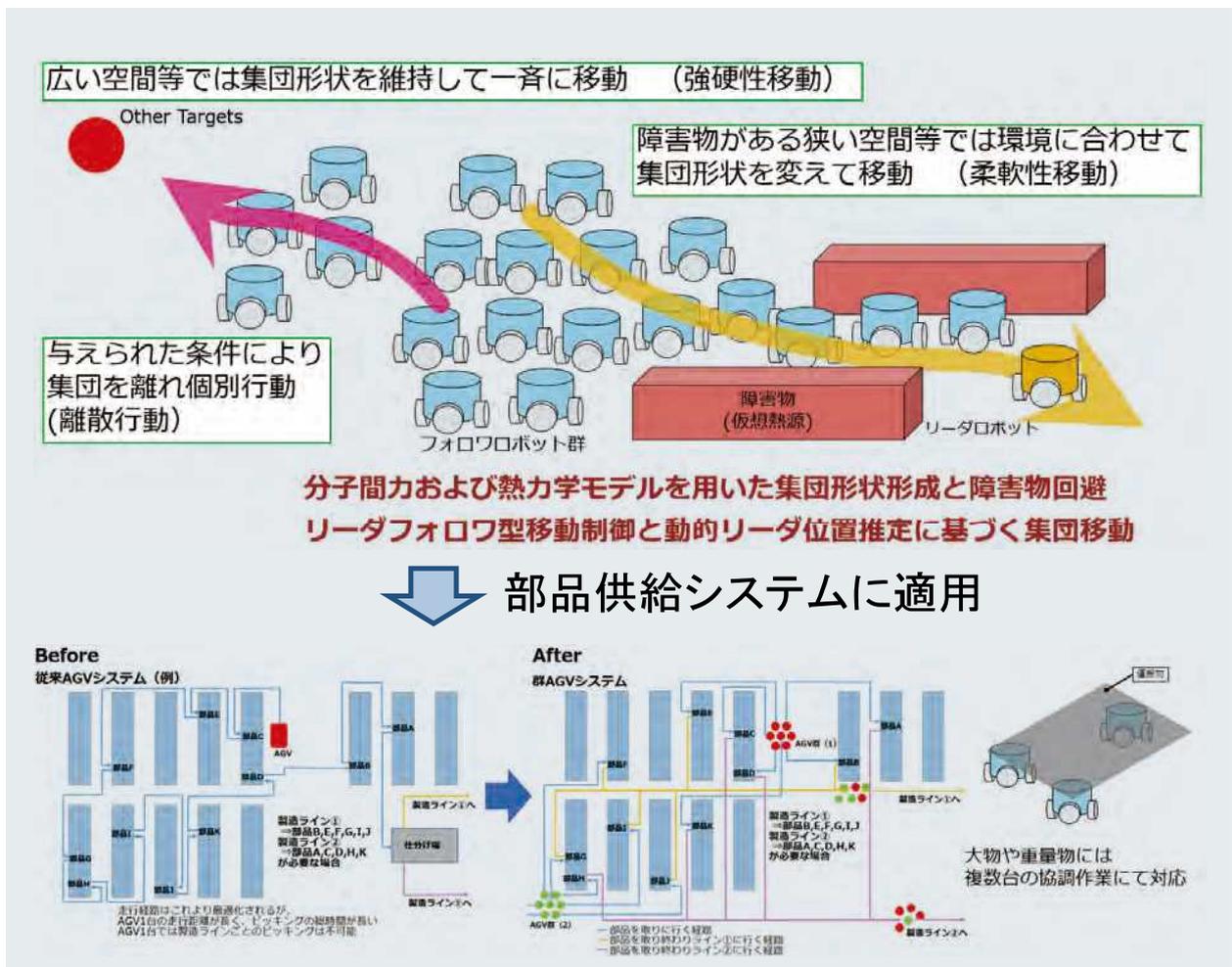
プロジェクト概要

【目的】

自走ロボット群を「物質の三態」に見立て、固体のような集団維持、液体のような集団形状の変化、気体のような集団の離散という特性を得られる「熱力学モデルに基づく集団移動制御手法」をもとにした分散協調システムの実現。

【内容】

- ①「熱力学モデル」に基づく群制御手法のメリットである通信負荷の低さ等の効果検証
「集中制御モデル」、「流体など他の力学モデル」、「生物模倣モデル」などに対して、通信負荷や計算負荷などの低減効果検証をシミュレーションで行う。
- ②「熱力学モデル」に基づく群制御手法にマッチする局所通信／測距手法の確立
各種通信／測距手法を組み合わせ、屋外・屋内・その他特殊環境において複数台での同時利用が可能な通信／測距方式を見出し、新規センサモジュール等の開発の要否を決定する。選定された局所通信／測距方式の活用によって、移動体の総移動距離または所要時間を最小化する群行動を検討する。
- ③実機による動作確認／評価を行う。



研究テーマ名 | 空気圧人工筋肉を用いた蠕動運動による連続捏和・搬送技術の実用化検討

機関名：株式会社ソラリス、中央大学、株式会社ブリヂストン、東京電機大学

プロジェクト概要

【目的】

空気圧人工筋肉を用いた多機能型蠕動運動混合搬送機の実用化に向けて、固体ロケット推進薬等の製造工程における材料の連続捏和・搬送技術を確立するため、捏和状態の評価手法の確立と整備性生産性の向上を目指した材料のコンポジット化を行う。産業利用の実用化に向けて、システムの頑健化・長寿命化とシステムのプラント化を進める。

【内容】

- ①捏和状態の評価手法の確立
 - ・材料の捏和状態を20分程度で評価できる手法を構築する。
 - ・十分な捏和状態に達した時の材料特性の数値範囲を決定する。
- ②整備性生産性の向上（材料のコンポジット化）
 - ・材料のコンポジット方式を確立し、従来方式に対して10%程度の誤差範囲の捏和を実現する。
 - ・コンポジット化により作業時間を20%低減する。
- ③システムの頑健化・長寿命化
 - ・内側チューブの長寿命化
 - ・外側人工筋肉の頑健化
 - ・高圧化に対するポンプユニットの脆弱部を明らかにする。
- ④捏和・搬送システムのプラント化（システムインテグレーション）
 - ・ポンプ部を中心とした各要素技術をインテグレーションして本システムのプラント化を確立する。

空気圧人工筋肉を用いた多機能型蠕動運動混合搬送機で実用化を目指す



1) 固体ロケット推進薬の製造工程における材料の連続捏和・搬送技術を確立する

- ・捏和状態の評価手法の確立
- ・整備性生産性の向上（材料のコンポジット化）
- ・システムの頑健化・長寿命化
- ・捏和・搬送システムのプラント化

2) 汚泥、土砂、セメント等の土木建築材料の搬送

建設機械や大型搬送機ではなく、蠕動運動による連続的な管路網での搬送で、省スペース化と効率化の実現を目指す

3) 食品原材料の搬送装置

食品工場で原材料等の搬送に用いられているスクリュコンベアは、付着性の高い物体や高粘度流体の搬送が困難であったり実現できていない。これを蠕動運動混合搬送機で、高効率化と実現を目指す



研究テーマ名 | インフレータブル構造部材を用いた自動展開・収納方法の検討

機関名：清水建設株式会社、太陽工業株式会社、摂南大学

プロジェクト概要

【目的】

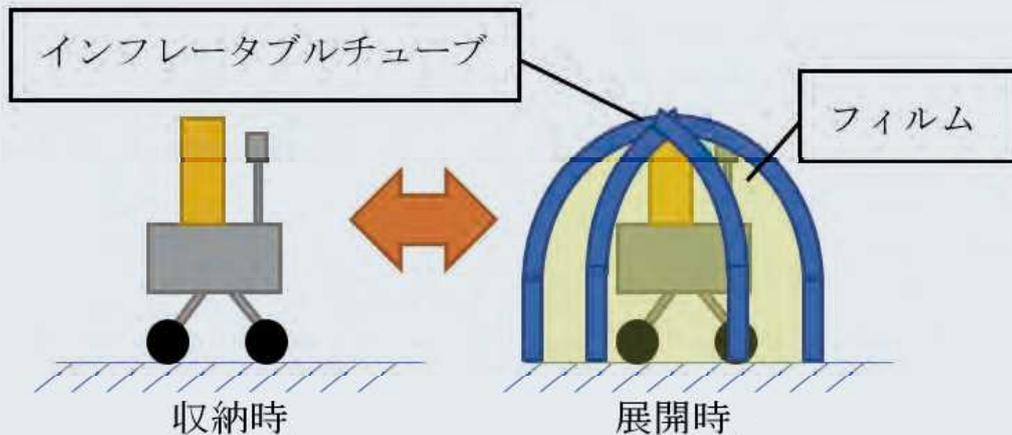
月表面を走行するローバを越夜可能とする越夜シェルター実現に向けて、円筒のインフレータブル材を骨組構造材として、重力環境下でも自立する構造物の展開／収納手法を確立する。

【内容】

- ①構造物展開・収納の自動化検討
 - ・大型構造物を自動構築する手法の実現可能性を示す。
 - ・部分試作により自動展開の実験的な検討を行う。
- ②越夜シェルターの仕様検討
 - ・月面ローバの越夜シェルターのサイズ、ローバ入り口形状、開閉方法、熱条件、レゴリスとのインターフェース、膜材料、付加的な発電や通信、着陸機との関係等にもとづく仕様を決定する。
- ③展開した構造物の計測方法の検討
 - ・インフレータブル構造の展開状況がモニタできる計測法を提案する。
 - ・試作モデルの展開実験で計測データを取得する。
- ④構造物の結合・拡張方法の検討
 - 展開後あるいは収納状態のインフレータブル構造物を結合し、空間を拡張する機構について調査する。



太陽工業の展開技術がベース



研究テーマ名 | **ポリイミドフィルムを用いた極薄・極軽量インフレータブル構造体の検討**

機関名：埼玉大学、精電舎電子工業株式会社

プロジェクト概要

【目的】

ポリイミドフィルム上への金属薄膜成膜技術とポリイミドフィルム製バルーンを前処理・接着剤レス溶着で製作する技術をもとに、ガス圧の印加により展開するインフレータブルアンテナを実現する。

【内容】

- ①インフレータブル構造の仕様策定
インフレータブル構造体のサイズを決定する。
- ②アンテナ電極成膜技術の確立
ポリイミドフィルム上に電極を塗布する技術を確立する。
- ③2種類の成型技術およびPIフィルム溶着の検討を行い、インフレータブル構造体を試作する。
折り紙技術を基にしたインフレータブル構造体の製作
熱間圧空成型法によるインフレータブル構造体の製作
2枚のPIフィルムの溶着による空気室の製作
- ④インフレータブルアンテナの製作
上記技術を組み合わせ、インフレータブルアンテナを製作する。
- ⑤インフレータブルアンテナの評価試験
アンテナとしての性能評価および宇宙環境下への適用性を評価する。

保有技術

- 接着剤・前処理・特殊材料不要のポリイミドフィルム溶着技術
- 月面着陸用エアバッグ気室の製作技術
(従来品から約70%の質量削減を達成)

応用

気体の流入によって展開する
極限環境用展開構造体の可能性を検討



ポリイミドフィルム溶着装置



溶着により製作したPIバルーン
(展開前の外接円直径300mm)



研究テーマ名 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】

地上の建設作業における開発で得られている建機の基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



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

©JAXA ©2019KAIJIMA CORPORATION

研究テーマ名 | 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

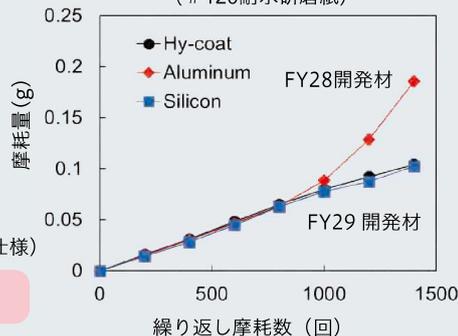
- トップコート
- アンダーコート
- ボンドコート
- CFRP



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

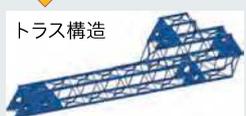
（# 120耐水研磨紙）



CFRPアーム構造の軽量化検討



ベースモデル



トラス構造

30~40%の構造重量低減(FEM解析)



研究テーマ名 | 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

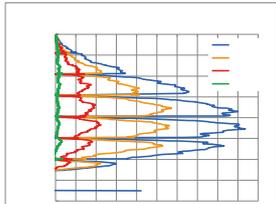
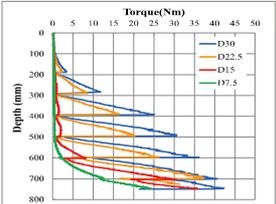
【目的】

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



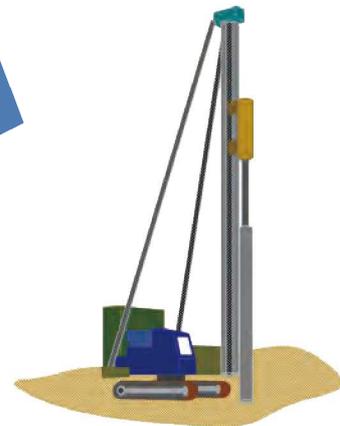
現行のSDSにアースオーガを組み込んだ今までにない地盤調査手法を確立。地上でのデータを蓄積し、更なる進化へ。

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。

研究テーマ名 | **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

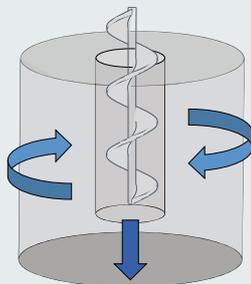


図2 アースオーガ

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

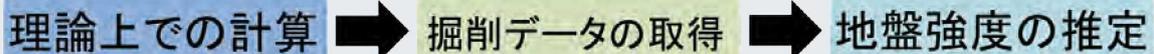


図3 推定手法のフローチャート



研究テーマ名 | 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な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。



研究テーマ名 | 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】

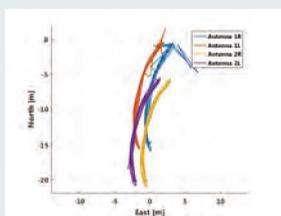
建築施工では欠かすことのできないクレーンによる揚重作業の無人化を目指すことで、構造物の位置決め、資材の盛替、クレーンの揚重計画等の大幅な省人化が見込めるとともに、設計、施工管理や建物管理との情報連携が円滑になる。また、月惑星環境や災害地域などの極限環境において遠隔施工を行うことで、コストや二次災害のリスクを減少させることができる。遠隔作業や自動組立においては、位置決め手法およびその位置誤差を許容するシステムが特に必要であり、位置決めについてはGNSS/RTK(Global Navigation Satellite System / Realtime Kinematic)、LIDAR(レーザー測距計)、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】

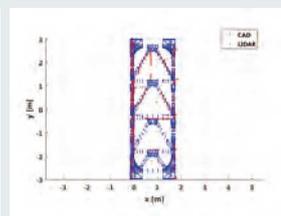
- ①居住用構造物の概念設計
 - 月面を想定した空間、荷重、結合等の条件を満たす構造物の概念設計を行った。
 - a. 「きぼう」の調査
 - b. 月面構造物の前提条件設定
 - c. 月面施設の機能検討
 - d. 居住構造物の概念検討
- ②クレーンを用いた無人化施工システムの検討
 - 月面における無人化施工システムの全体像を明らかにするとともに、構造物位置計測の精度検証を行いシステム検討に反映した。
 - a. センサの動作検証
 - b. 墨出システムの検証
 - c. 建築遠隔化システムの概念検討



センサおよび墨出システムの検証実験



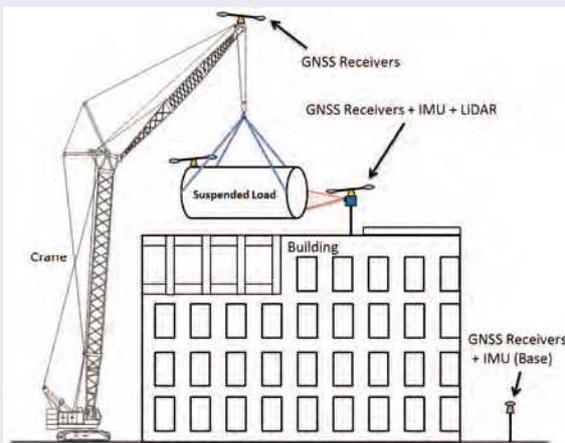
GNSSによる位置検出の結果例



LIDAR距離画像による移動体位置検出



概念検討に基づく月面居住モジュールの組立状況図



遠隔クレーン作業のための位置決めシステム



研究テーマ名 | 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】

近年地上では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に対応可能な建設機械の軽量化や遠隔化、自動化が課題となっている。

一方、月面拠点基地建設において使用される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】

- ① 1 ton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。
- ② 1 ton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。

【研究概要】 1 tonクラス油圧ショベルの各部品を複合材（CFRP）を用いて設計・試作し、軽量化を実施。



建機全体で200kg以上の軽量化



軽量化による油圧ショベルの更なる性能向上へ

研究テーマ名 | 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建造物の工法技術、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。

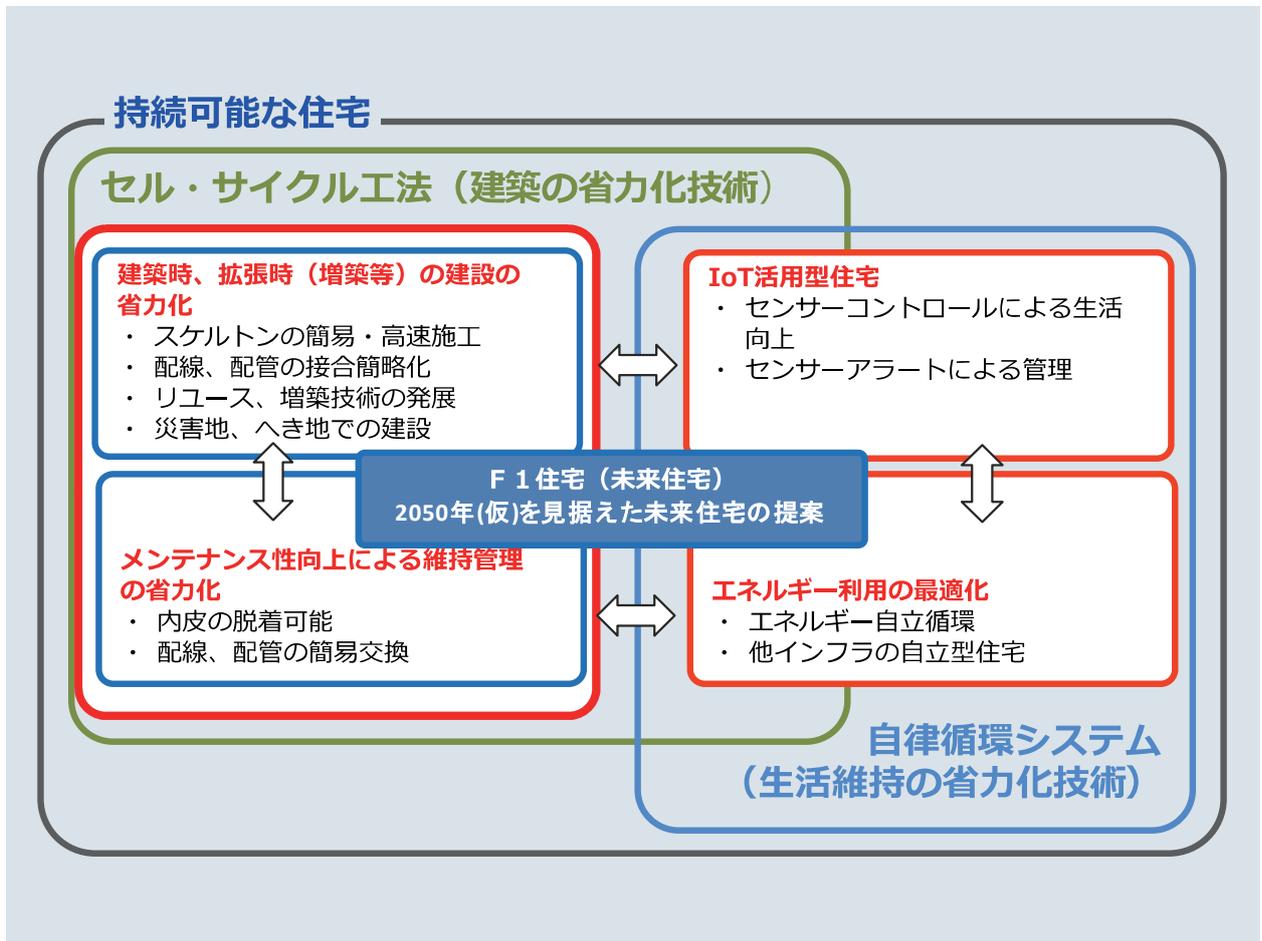
構造体：容易に拡張・縮小・再配置できる建築構造の考え方を新工法（セル・サイクル工法）として開発する。

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。



研究テーマ名 | 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うのが理想である。

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きアースオーガ（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。

【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。

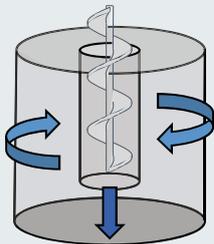


図1 アースオーガ
スクリー型のオーガは排出と掘削が同時に行える効率の良い掘削機構である。

地盤定数推定手法の応用の流れ

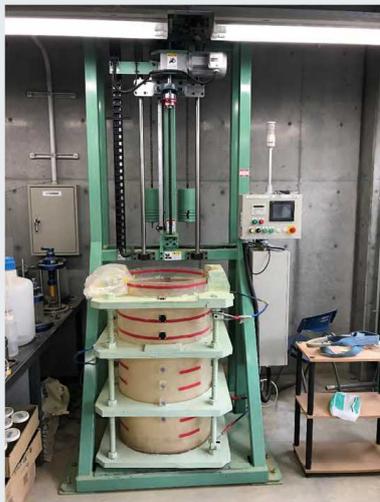


写真1 地盤定数の推定手法の検討に使用した掘進制御の可能な大型掘削試験機



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

研究テーマ名 | 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

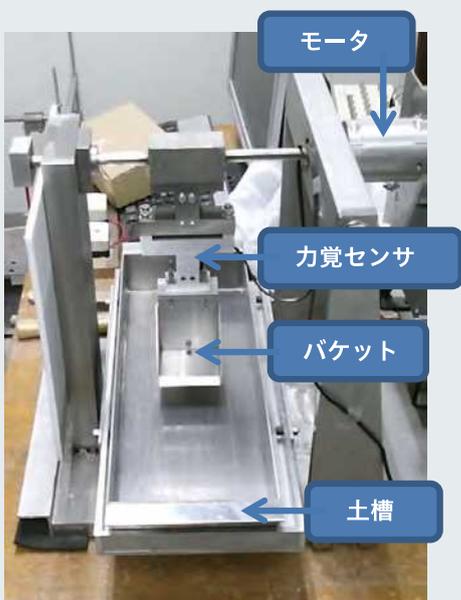
プロジェクト概要

【目的】

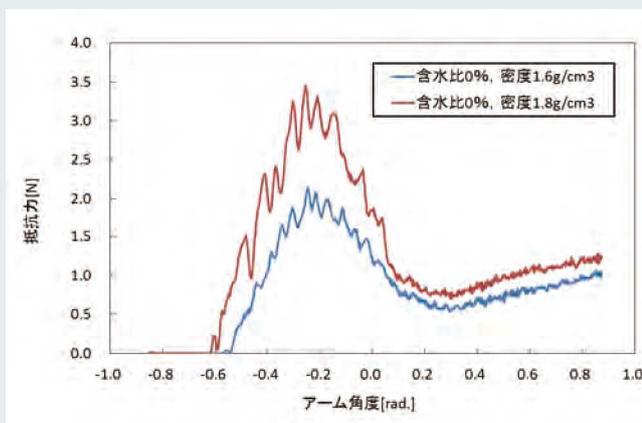
月や火星あるいは地上の無人化施工においては、遠隔や自動操作による地盤の掘削作業が要求される。その場合に効率的な掘削を行うためには、地盤の変化を把握し、適切な掘削手順をリアルタイムに決定することが重要となる。本検討では、バックホウによる効率的な自動掘削を実現するために、地盤の形状変化や掘削抵抗に基づく掘削手順の最適化を図る。

【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



レゴリスシミュラントを掘削した際の抵抗力



実機を用いた掘削実験



研究テーマ名 | 林業機械システムの自動化による省力化の研究について

機関名：株式会社熊谷組、住友林業株式会社、光洋機械産業株式会社、株式会社加藤製作所

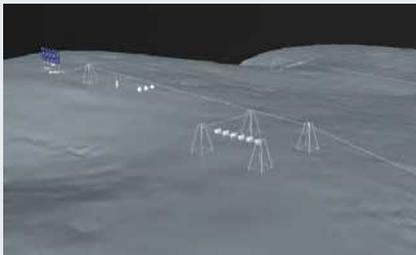
プロジェクト概要

【目的】

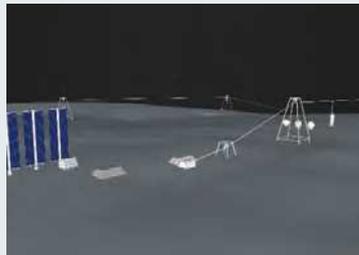
我が国の林業分野で発達してきた架線集材システムは、エンジン駆動で手動運転のウインチを用いています。これを高度な制御技術を適用するために電動化し、これにより架線集材システムの自動運転を実現します。さらにこれを月面での構造物や資材の運搬、設置等の運搬システムに応用する研究開発を行います。

【宇宙への展開】

熱交換が困難な月面では、動力源が固定され吊荷の移動が容易である架線集材システムを採用することにより、繰り返し運搬等を安定して実施することが可能となります。さらに架線集材で使用する搬器は掘削機能を持たせることもできるため、材料採取と同時に貯蔵し、運搬することで、月面での土木作業の効率化を実現します。



月面の架線集材システムの運搬イメージ



設備設置のイメージ



月での無人による有人拠点建設のイメージ図 (JAXA 提供)



適切に管理された森林 (住友林業の所有林)

月面での架線集材システムの効果

- ・動力源をまとめることが可能
- ・地表面の状況に左右されにくい
- ・地表面掘削から設備設置まで対応可能
- ・位置管理情報を画像等から取得可能
- ・継続性があり、運搬が安定して実施出来る

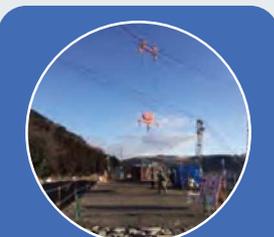


林業現場での架線利用例



土木現場での架線利用例

事業化イメージ



株式会社熊谷組

造成工事やダム工事等での伐採作業への適用や、災害復旧対応における急斜面での立木の処理などに活用・展開を進めます。



住友林業株式会社

傾斜地の多い日本の森林で必要な架線集材の労働生産性の向上を目指します。



光洋機械産業株式会社

自社製品への活用として自然災害への対策に材料や仮設資材他の輸送設備への展開を進めます。



株式会社加藤製作所

新集材システムに適合した製品の開発、および自社林業機械の改良・改善による拡販を進めます。



研究テーマ名 | **ロードヘッダ／掘削機械の自律的動作を実現するAI,IoT技術を用いた制御方式研究**

機関名：株式会社三井三池製作所

プロジェクト概要

【目的】

自由断面掘削機（ロードヘッダ）は、トンネル閉空間等の危険な作業現場において、オペレータの操作により切削ヘッドの回転と油圧シリンダ機構を作動させ岩盤等を掘削する作業等に用いられる。その際、事前の地質調査とは異なる硬い／軟らかい地質断面が都度出現し掘削ズリ（掘削塊）の状態も変化するため、各状況に適した掘削操作が必要となる。

一方、月面での地形等の事前情報が無く遠隔操作によるタイムラグがある環境下において、周辺状況に応じ自律的・継続的に動作が可能な調査掘削機等の制御方式が求められる。

本研究では環境に応じた自律的な動作・制御を行うシステムの検討にあたり、AI・IoT技術を用いた要素システムの試作を行いながら、周辺環境・状況の認識・計測結果を基にした掘削機械の自律的な行動計画・制御方式についてのモデル化の検討を行う。

【内容】

- ①周辺環境認識システムの試作・検証：
 - ・ディープラーニングAIモデルによる各種カメラ映像の物体検出、領域識別。
 - ・複数のLiDARセンサー結合による坑内環境距離計測、等。
- ②運転ログデータの収集・解析システムの試作・検証：
 - ・運転ログデータ（電流・油圧・振動等）収集、可視化、ならびにクラウド上でのAI機械学習による異常値判定。
- ③重機の自律的動作に必要なAI学習モデルの検討：
 - ・環境／重機状態の把握に基づき施工（掘削）パターンを計画するAI強化学習モデルの検討、評価。
- ④AI油圧制御システムの試作・検証：
 - ・ロードヘッダにおけるAI制御モデルの実装・検証。

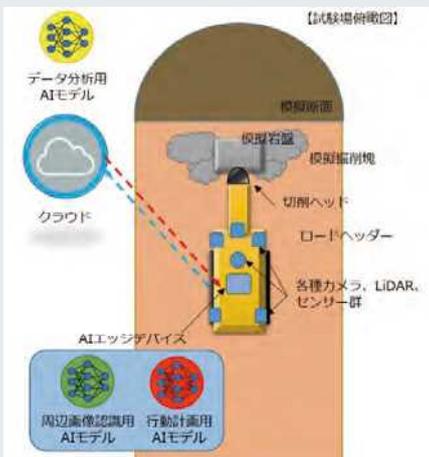


図1. AIロードヘッダシステム／試験場俯瞰図

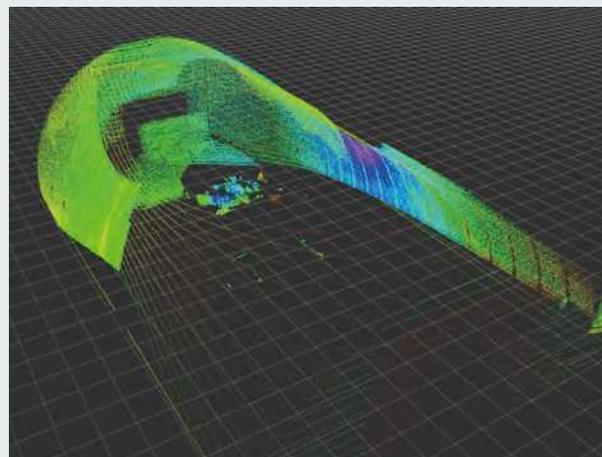


図2. 複数LiDAR結合による坑内3次元スキャン例



図3. 模擬トンネル試験場における掘削検証



図4. AI深層学習による映像認識例
左：元画像（模擬岩盤掘削中）
右：領域認識（黄色：ズリ掘削塊、緑色：トンネル断面）



研究テーマ名 | 超広帯域電磁波計測による地下電気物性分布の可視化

機関名：兵庫県立大学、京都大学、名古屋大学、川崎地質株式会社

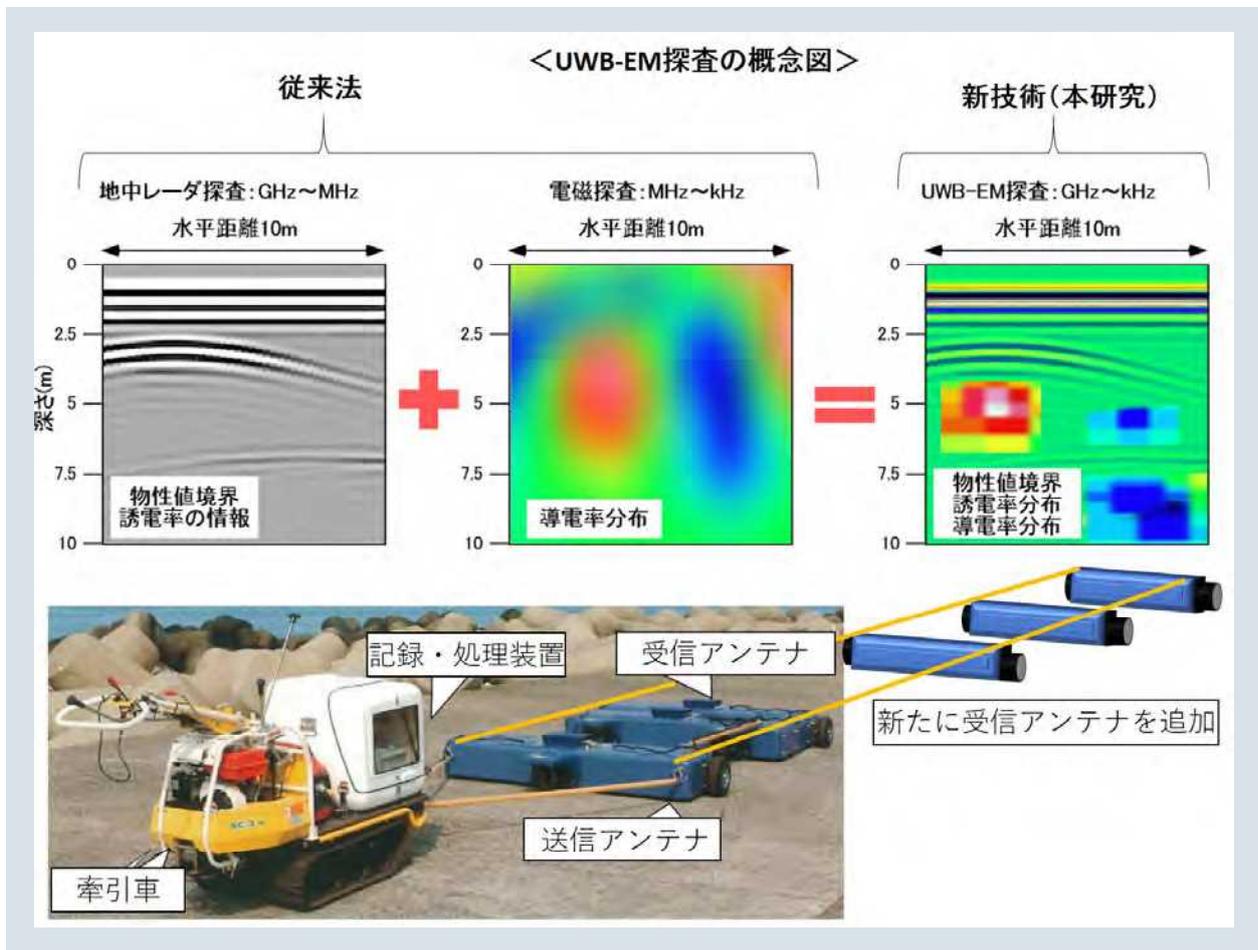
プロジェクト概要

【目的】

地上や地下の利用においては、空洞の有無や規模を事前に高い精度で把握することが必要である。空洞内部と周囲の地層では電気的物性が異なることが知られており、さらに地層の誘電率・導電率は周波数によって大きく変化するが、空洞中の空気の誘電率・導電率は周波数によらず一定値に近い。この特性に着目すれば、地中の電波の伝搬状態から、空洞の有無や規模を見分けられると期待される。そこで本研究では、超広帯域の電磁波信号（UWB-EM）を地上で送受信し、周波数毎に振幅・位相特性を計測する。従来は別々の探査法であった地中レーダ探査と電磁探査を統合した新技術であり、物性境界の高精度検出と物性値分布の可視化を同時に達成するものである。

【内容】

FDTD法を用いて電波伝搬をシミュレーションし、超広帯域電磁探査における送受信アンテナの向き・位置関係の最適化や送受信データの解析技術の開発を行うと共に、地下の誘電率・導電率構造の逆解析アルゴリズムを開発する。また、地表面のリモートセンシングと超広帯域電磁探査を組み合わせることで、空洞検出効率の向上を目指す。加えて、超広帯域電磁探査装置の試作及び小規模空洞を実際に配置して試験的な計測を実施し、実機搭載を見据えてセンサ重量やサイズ、計測時間長やデータ量などを具体的に定量化する。また、時間領域だけでなく周波数領域での伝搬パターンの理解を進めるべく、波数領域における波動伝搬の理論式を導出する。



研究テーマ名 | 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

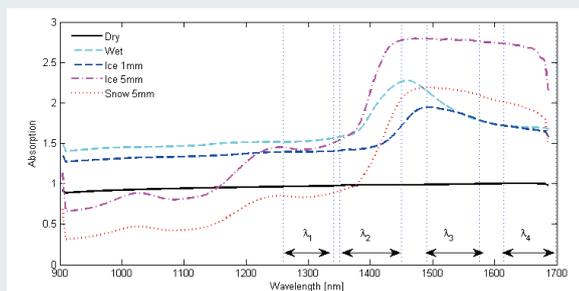
プロジェクト概要

【目的】

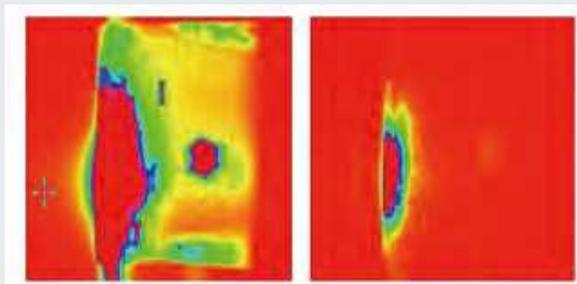
既存の2次元イメージング分光器には各種方式の機種が存在するが、小型・軽量化には、その方式ゆえの限界がある。本研究においては、その制約条件の少ない方式を用いて、大幅な小型・軽量化を図った機種を開発することが大きな目的である。28年度はそのための光学系の最適化、駆動方式の検討、検出器の調査、一部光学部品の最適設計と試作、29年度は試作機を製作し、性能試験および路上での水氷センシングの試行試験を行った。以上により、本方式の製作および性能実現の目処を得た。

【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）



研究テーマ名 | 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、日東製網株式会社

プロジェクト概要

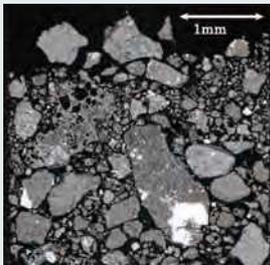
【目的】

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。

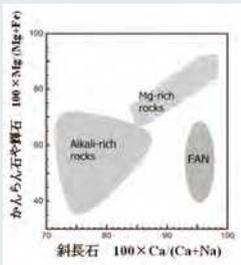
【成果】

- 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：松島巨志
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により高温高压で熔融・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
Lunar baseを建設

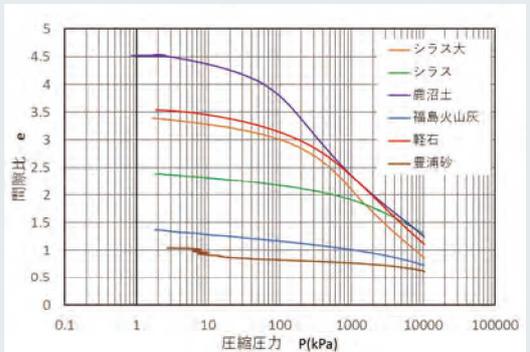
Regolith and short fibers are mixed and compressed using centrifugal device

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

研究テーマ名 | 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。

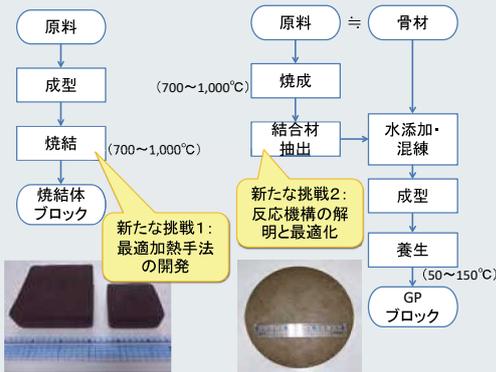
【内容】

- 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の材料。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	<ul style="list-style-type: none"> ●水を使うコンクリートに比べ工程が簡単 ●強度、耐酸アルカリ性、耐熱性に優れる ●長寿命 	<ul style="list-style-type: none"> ●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	<ul style="list-style-type: none"> ●高温処理が必要 ●厚いブロックでは時間がかかる。 	<ul style="list-style-type: none"> ●少量の水が必要 ●焼結材と比較して工程が複雑
研究対象	<ul style="list-style-type: none"> ●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 	<ul style="list-style-type: none"> ●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（鋼スラグ）	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

加熱と水和を駆使して砂を固化する



研究テーマ名 | 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

研究テーマ名 | 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



研究テーマ名 | 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】

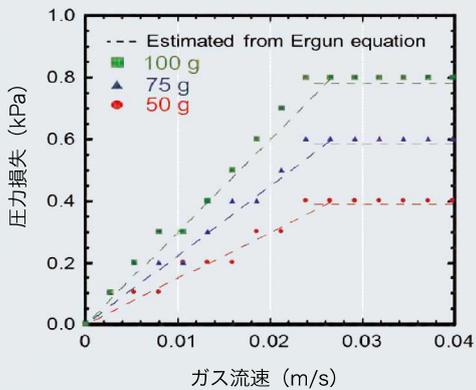
- ①流動層による模擬月土の水素還元を行い、その流動・反応条件の最適化を検討した。
- ②太陽炉を用いた固定層反応炉では、短時間で目標温度まで到達する能力が実証された。流動層反応炉に向けた受光部や伝熱構造の設計指針を得た。
- ③流動層反応炉における低品位チタニアの水素還元実験により、酸素欠損型チタニアの作製に成功した。
- ④実験成果をもとに1,000 kg/dayの原料処理を行う場合の反応炉の設計と必要なエネルギー量を見積もった。



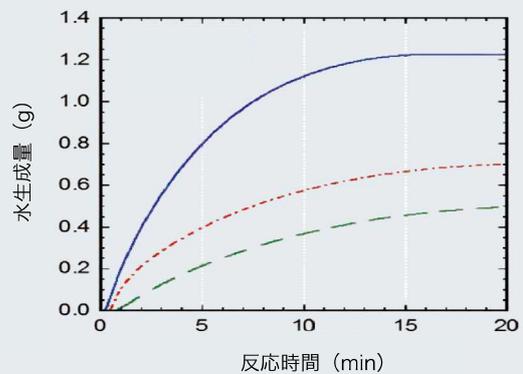
流動層水素還元システム



10 kW 大型太陽炉



流動化実験結果



水素還元反応例

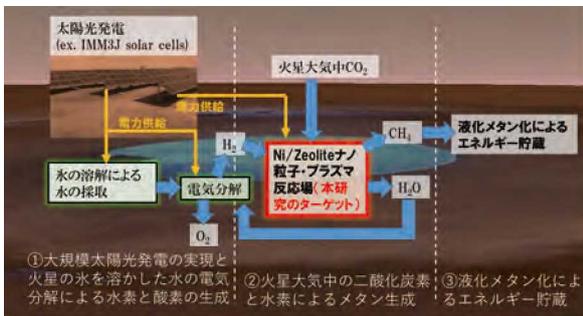
研究テーマ名 | プラズマ・触媒ナノ粒子複合反応場によるCO₂資源化技術の開発

機関名：九州大学

プロジェクト概要

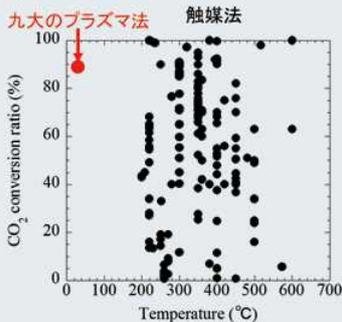
【目的】

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。



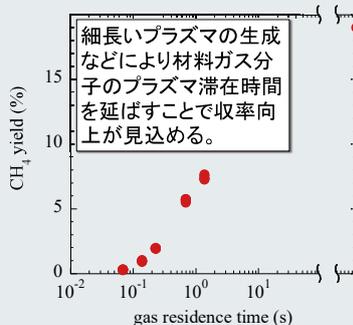
【成果】

- 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。



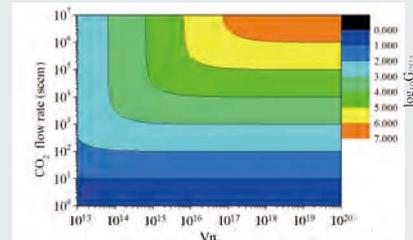
【成果① Ni/Zeoliteナノ粒子とプラズマの相互作用によるCH₄変換機構解明】

- 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。



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）。



研究テーマ名 | 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】

重量2.7kg、サイズ100mm×100mm×260mmの小型軽量な水分計を実現した。体積比は目標の33%まで削減できた。世界最小の小型を実現しながら、最高検出感度0.8ppbから20ppmの幅広い測定レンジを実現した。懸念だったロバスト性についても、固定軸を工夫することで振動試験をクリアし、半導体製造ライン・リチウムイオン電池生産ライン・ガス精製プラントなどの高感度でリアルタイム水分計が必要とされる市場への投入を念頭に、製品化の目処がたった。月や小惑星などの水や水同位体計測などの観測装置にも応用が期待される。

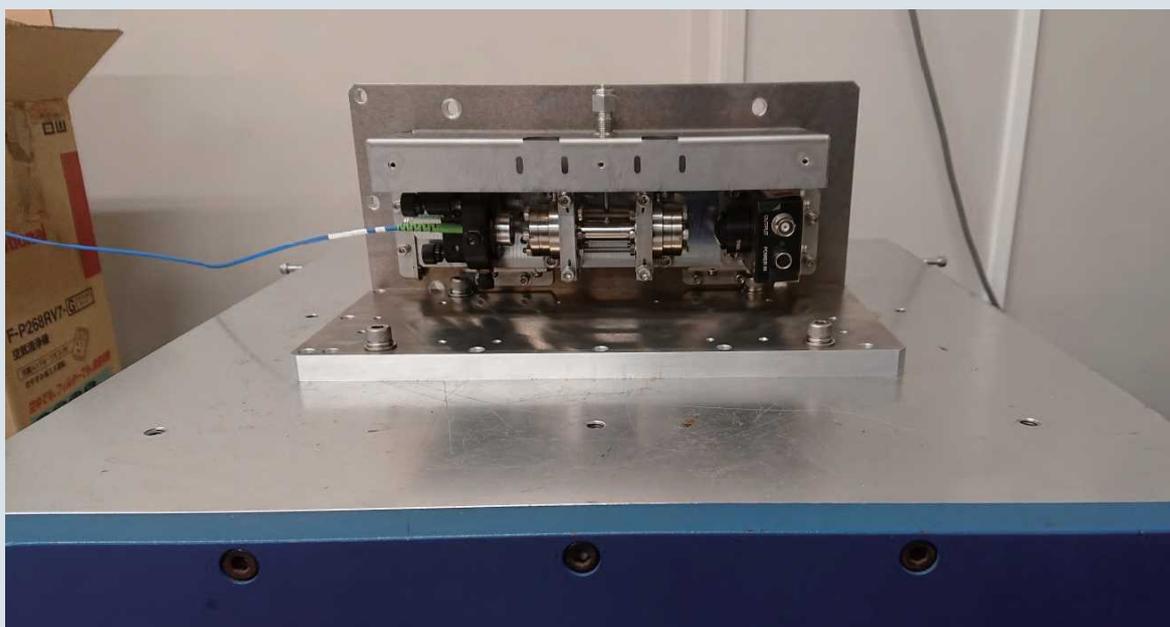


図 振動試験中の水分計

研究テーマ名 | **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) \ll 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。

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。

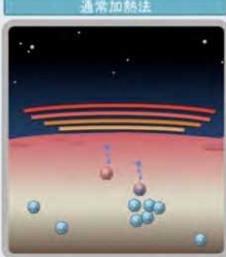
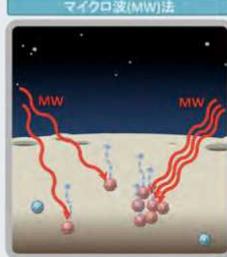
【内容】

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。

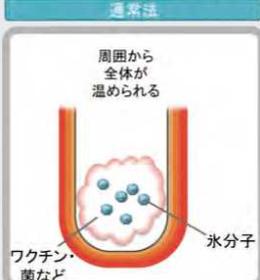
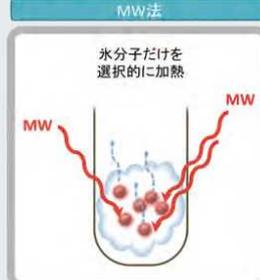
さらに、1m級の大きなマイクロ波凍結乾燥キャビティを作成し、内部で-50°C、1 Paを達成することが出来た。位相制御試験にについては2つのマイクロ波発振源の位相差によって、加熱される水の位置が異なることを確認した。

月や火星の水の分離における通常法とMW法の比較

通常加熱法	マイクロ波(MW)法
	
地表奥の水分子を出すためには、地表からの全体の加熱が必要不可欠	① 吸収能のある周波数を選定し、地表奥の水分子にMW照射 ② 位相制御でピンポイントに加熱

凍結乾燥における通常法とMW法の比較

※ 乾燥条件例: -50°C, 1Pa

通常法	MW法
	
周囲から全体が温められる フクテン・菌など	水分子だけを選択的に加熱



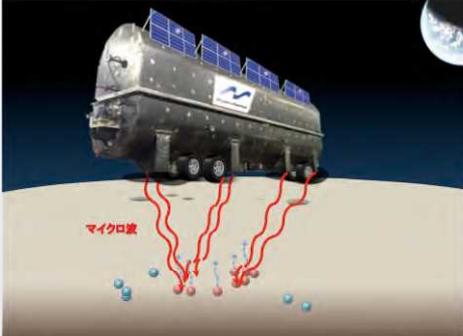
開発中のプロトタイプ装置@マイクロ波化学(株)試験棟



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(H₂)と酸素(O₂)にわけてロケットを飛ばすための燃料を作ることもできる。



研究テーマ名 | 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												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Caerostis darwini</td> <td>272</td> </tr> <tr> <td>Araneus diadematus</td> <td>123</td> </tr> <tr> <td>Nephila clavipes</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>Aramid fiber</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Carbon fiber</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>High-tensile steel</td> <td>0.8</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">Toughness (MJ/m³) / ρ</p>	Caerostis darwini	272	Araneus diadematus	123	Nephila clavipes	85	Aramid fiber	36	Carbon fiber	14	High-tensile steel	0.8	<p style="text-align: center;">遺伝子合成 → 微生物発酵 → 精製 → 素材加工/製品開発</p>
Caerostis darwini	272												
Araneus diadematus	123												
Nephila clavipes	85												
Aramid fiber	36												
Carbon fiber	14												
High-tensile steel	0.8												

人工タンパク質を加工してできた素材の一例

繊維・テキスタイル

モールド成型体

フィルム

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

宇宙分野への貢献

Aerospace

Apparel

Automotive

一般社会への普及

Construction

Robotics

Sports

Furniture

Medical

将来の展望



研究テーマ名 | 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】

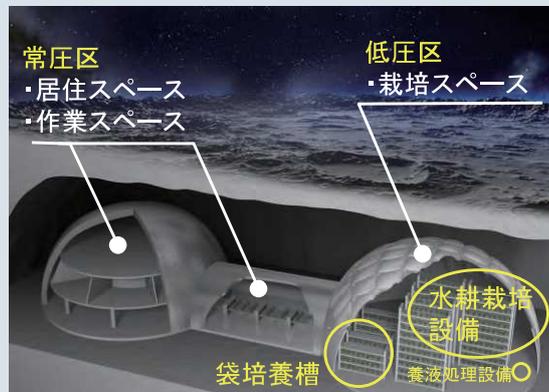
月面農場では、移住初期の食料供給、および定住時の大規模安定作物生産のための病虫害防止と緊急時食料バックアップへの対応が必要である。加えて、ペイロードの低減には構築物建設資材低減、運用時のエネルギー低減が必要となる。これらを実現するためには植物組織培養法による袋培養技術の活用が有効であり、同じ袋培養設備が居住フェーズに合わせて小ロット栽培とウイルスフリー苗供給の両機能を兼ね備えることが期待できる。そこで、袋培養技術による作物の栽培可能性の評価と有効成分評価、物質収支評価、低圧環境栽培や水循環などペイロード低減策の成立性の基礎的確認、これらを踏まえた月面農場モデル構築を行う。これらは地上においても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



研究テーマ名 | 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。

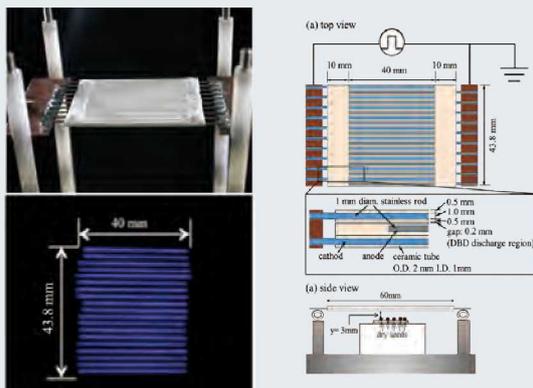
1. プラズマ技術の農業応用

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。

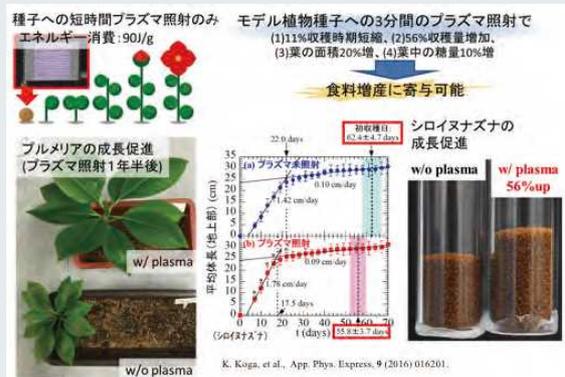


2. プラズマ発生装置の開発

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。



研究テーマ名 | 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】

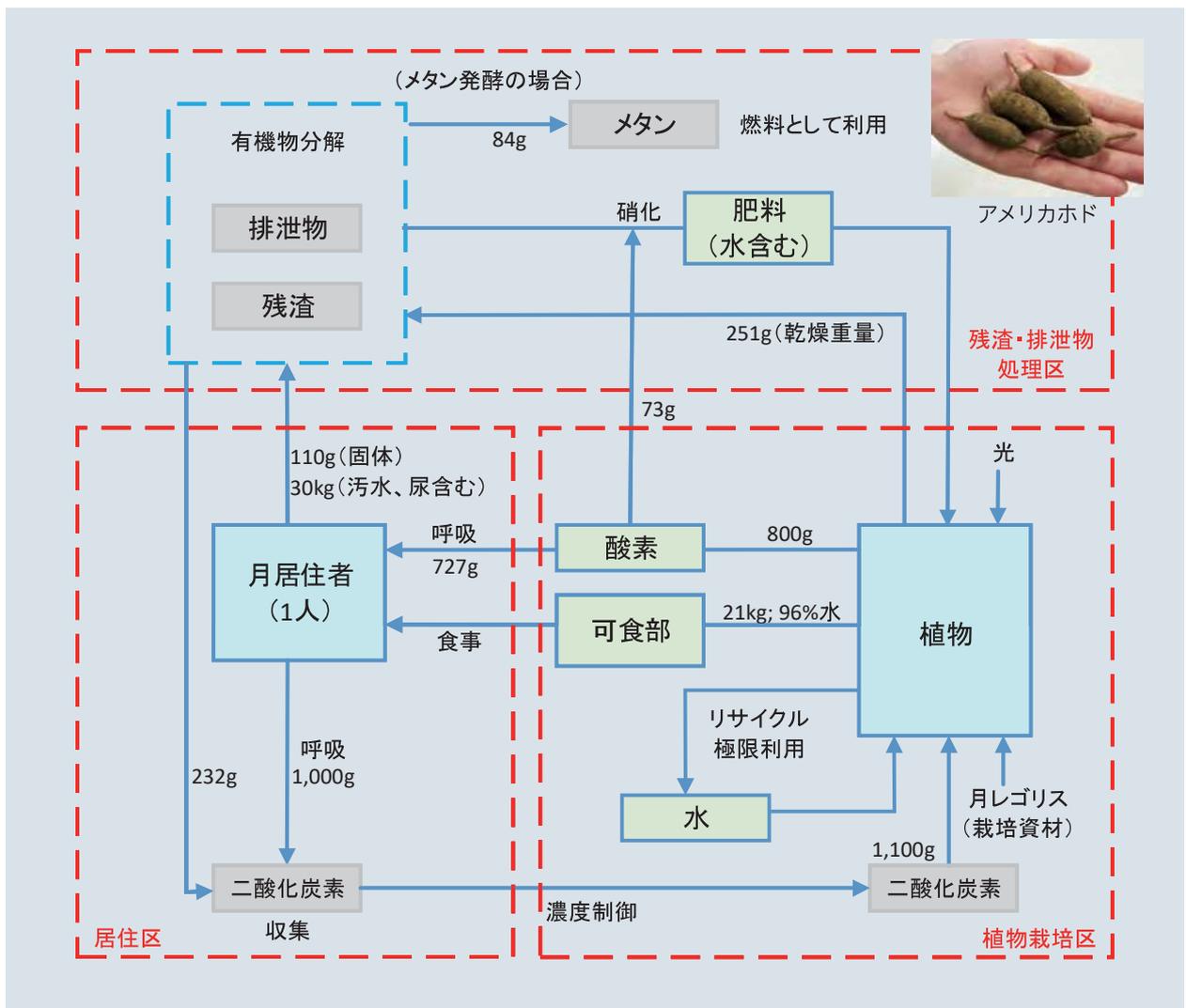
月面居住区では、容易に確保可能な物質以外は、可能な限り循環使用が必要とされる。植物は光合成により居住者が排出する二酸化炭素を呼吸に必要な酸素に変えるだけでなく、居住者のエネルギー源となることから、月面での物質循環において大きな役割を担うことが予想される。

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し、研究を行った。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して検討を行った。

【内容】

本研究では、以下の検討及び試験を実施した。

- 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、及び栽培実証を行った。その結果、月レゴリス模擬品を用い、アメリカホドが生育することを確認した。
- ② 水再利用システムの検討
リーフレタスに対し、既知の生育阻害物質、及び細菌類の影響について調査した結果、どちらもほとんど影響が見られないことを確認した。
- ③ 二酸化炭素供給システムの検討
植物栽培区を含むCO₂供給システムの施設構成・規模及び物質収支を検討した（下図）。



研究テーマ名 | 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ライフソリューションズ社

プロジェクト概要

【目的および実施内容】

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。

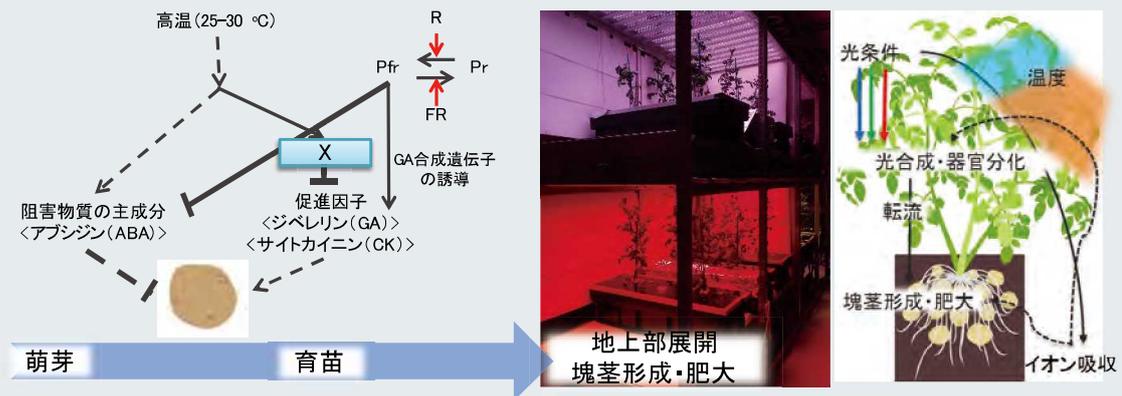
そこで本研究では、完全閉鎖型・完全水耕型であり、かつ摂食可能な塊茎を形成できるジャガイモの人工栽培技術を確認し、実用化検討を行った。

- ①光と温度が塊茎形成に与える影響のin-vitro評価
- ②栽培可能品種の拡大検討
- ③高収量安定化のための基本栽培手法の検討
- 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

【成果】

1. 光質（RGB）条件の違いによる地上部光形態形成と塊茎形成応答の傾向把握
2. 萌芽・育芽促進に寄与する光および温度環境の知見獲得
3. 新規水耕栽培方式を用いて、栽培困難品種である‘インカのめざめ’の塊茎形成に成功 → 新規栽培法（低層地下2段構造方式）はジャガイモ栽培において品種を問わず有用である可能性を示唆
4. ジャガイモ（男爵、インカのめざめ）における本実験で実施したin-vitro試験系（成長点培養）と水耕栽培方式での光形態形成応答に非常に高い相関を確認 → 生理応答知見獲得のための期間短縮と必要スペースの縮小に有効
5. 栽培環境改善（地下空間環境、地上空調）により光合成産物量の増加を確認し、更なる塊茎収量増加の可能性も示唆した。

光および温度条件を振り分け、各成長ステージ（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



研究テーマ名 | 難還元性酸化物の水素還元システムによる機能性材料の製造

機関名：九州大学、H4、超微細科学研究所

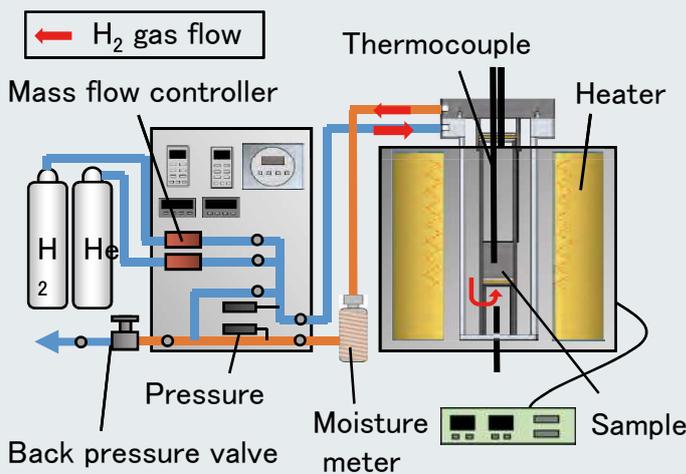
プロジェクト概要

【目的】

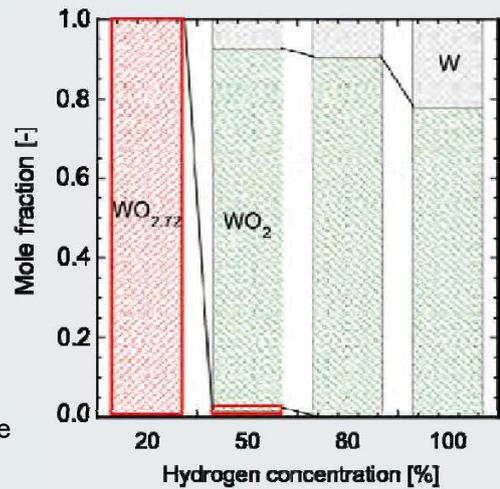
- ・連続運転式の水素還元装置として回転反応炉の検討および設計を行い、酸素欠損型酸化物の製造を行う。
- ・高品質機能性材料の製造として、酸素欠損型酸化物の格子欠陥制御の半導体素子の製造を行い、事業化に向けたプロセスを開発する。
- ・月面基地建设に向けて、難還元性鉱物や月土壤の水素還元プロセスによる金属製造、それに伴う水、酸素の製造プロセスの開発を行う。

【内容】

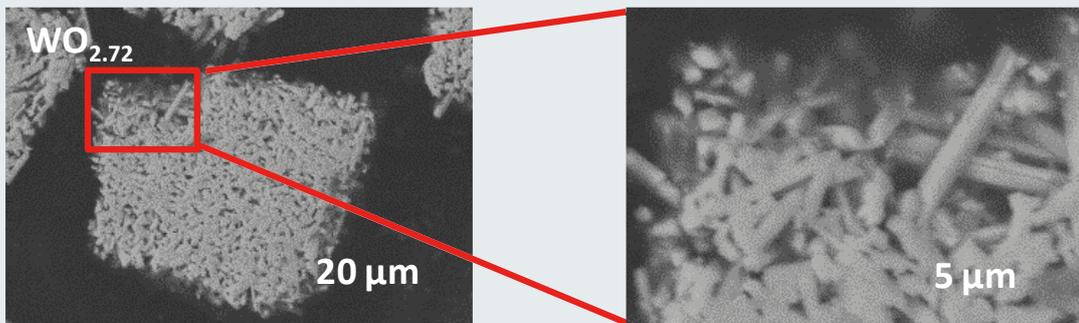
- ①水素還元反応炉の設計
TiO₂等の酸化物の還元反応を連続で行う水素還元炉を設計・製作する。
- ②酸化物の水素還元実験
各種の酸化物を用いて酸素欠損型酸化物を製造し、反応速度を計測をする。
- ③酸素欠損型酸化物の事業化調査
- ④月土壤シミュラントの水素還元実験
既存の反応装置を用いて月土壤シミュラントの水素還元実験を行い、反応データを取得する。



流動層を用いた水素還元実験



酸素欠損型酸化物の生成に及ぼす水素濃度の影響



生成した酸素欠損型酸化物



研究テーマ名 | AM技術による舗装の構築・修復に関する研究開発

機関名：ニチレキ株式会社

プロジェクト概要

【目的】

「混合」「整形・敷均」「加熱・硬化」の機構を兼ね備えた車両（自動制御ロボット）を開発し、その車両が通過した後は道路が構築・補修されるような工法の開発を目指す。

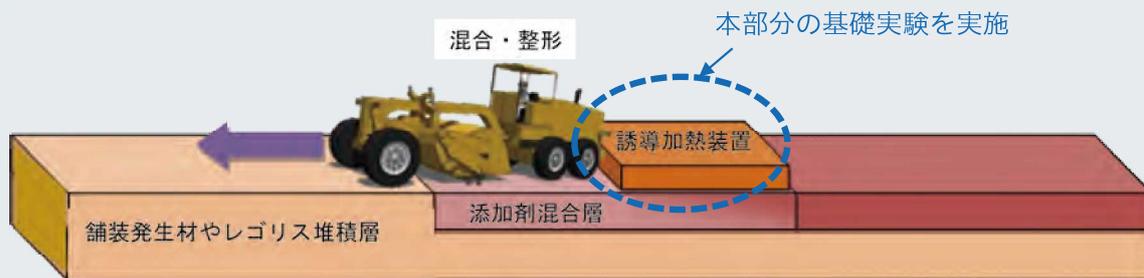
またこのような路上表層再生工法を月面の鉱物（レゴリスや金属化合物）に適用し、月面に舗装を構築する可能性を探る。

【内容】

本研究は、目的達成のための基礎段階として、舗装として必要な強度を有する「固化物」を得るために以下の技術の確立を目指す。

- ①混合する添加剤の種類、形状、粒度、粒径の選定。
- ②地表面にある物質（舗装発生材や鉱物など）と添加剤の最適な混合比率と混合度の確立。
- ③最適な誘導加熱の条件の確立。

完成形のイメージ



舗装発生材やレゴリスを添加剤と混合し、誘導加熱装置で加熱・硬化させることで舗装を構築・補修する。本研究では、まず青で記した誘導加熱装置について基礎実験を実施した。

誘導加熱に関する基礎実験

舗装に使用されている川砂や模擬月土、添加剤（金属化合物等）ならびにこれらの混合物などをるつぽに入れ、誘導加熱による温度および挙動の変化を捉えた。



誘導加熱状況

研究テーマ名 | 月面農場を想定したドライフォグを用いた節水型植物栽培システム

機関名：株式会社いけうち、大阪府立大学

プロジェクト概要

【目的】

限られた資源である水の利用効率を最大まで高め、植物が吸収する水分以外の水使用量を最少化する栽培システムとして、特殊なノズルにより養液をドライフォグ化して根圏に充満させる屋内型ドライフォグ栽培システムを開発する。

噴霧された養液ドライフォグがすべて根に吸収され、根以外への付着によるドレンの発生を最小限とすることによる節水性の向上と、作物の生産レベルでの生育を両立させる霧粒子径の最適化および噴霧コントロール技術開発、並びに月面を含めた屋内での利用を想定した栽培装置構造（気密性、軽量化、栽培効率、作業性など）の最適化を目指す。

【内容】

試作機による葉菜、果菜、根菜それぞれの栽培試験までを行う。具体的には以下の内容を実施する。

「1作当たりのドレン発生量を噴霧量の10%に抑えつつ、植物を好適に生育させる養液供給を実現する噴霧条件の決定」、「根圏部に充満した養液ドライフォグまたはセミドライフォグが地上部に漏出しない装置構造の決定および商品化」、「リーフレタス100g／株／月で生育、収穫を達成する。また、トマト、イチゴについて、生育及び果実の収穫を確認」、「サツマイモ（塊根作物）、ジャガイモ（塊茎作物）を噴霧耕で栽培し、生育および収穫を確認」、「宇宙利用（月面農場等）での設置、運用を想定したシステムおよび機器の検討」



ドライフォグ栽培システム



月面農場栽培イメージ図



研究テーマ名 | 食用藻類スピルリナを用いた省資源かつコンパクトなタンパク質生産システムの開発

機関名：株式会社ちとせ研究所、株式会社タベルモ、株式会社IHIエアロスペース、藤森工業株式会社

プロジェクト概要

【目的】

本プロジェクトは微細藻類の一種であるスピルリナ (*Spirulina platensis* / 学名: *Arthrospira platensis*) を省スペースで高効率に生産できる装置の開発を行い、地球上での室内農業システムおよび月面有人滞在時におけるタンパク質の自給生産への応用を目指す。

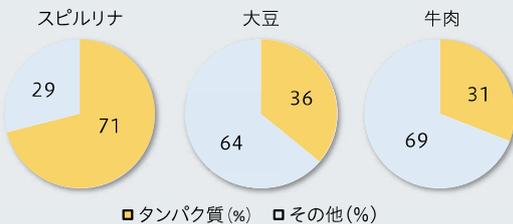
スピルリナが含む栄養素の中でもタンパク質の含有量が特に高く、乾燥重量あたり70%程度までに上る。この結果、単位面積あたりの年間タンパク質生産性は、大豆の15倍以上という圧倒的な数値を誇る。また、省資源で生産できる特徴も兼ね備えている。

我々はこれらのスピルリナの特徴を用いて、月面有人滞在時のタンパク質自給装置の開発を進めている。本技術は地球上でも応用でき、将来的には室内農業への展開を目指す。

【内容】

本研究では以下の内容について検討を行う。

- ①人工光および標準培地を用いたスピルリナ培養試験による担持体培養素材の選定
論文等で藻類の培養実績のある素材を中心に、様々な特性を持った素材について、担持体としての適性評価を行う。
- ②LED光源を搭載した小型実証機数機の製作および実証試験
①で選択した素材の担持体を用いて、小型実証機による培養試験を行う。
- ③硝化菌群を利用した植物非可食部残渣の液体肥料化
植物非可食部残渣のモデルとして、葉野菜や人工尿を利用し、モデルケースの発酵に適した硝化菌群による発酵を行う。
- ④植物非可食部残渣から得られた液体肥料を用いたスピルリナ培養
③で得られた液体肥料および人工尿から得られた液体肥料を用いて、スピルリナの培養を行う。
- ⑤宇宙利用を想定したシステムの検討
低重力環境などの宇宙環境下で培養するための必要事項の検討や培養効率の最大化の検討等宇宙利用を想定したシステムの概念を設計する。



スピルリナ、大豆、牛肉に含まれているタンパク質の割合
スピルリナは大豆や牛肉と比べ、約2倍のタンパク質を含有しているため、次世代のタンパク質供給源として期待されている。



食卓に並んだ
スピルリナを使った料理



月面農業イメージ
(宇宙空間でのタンパク質の自給)

スピルリナはその高い栄養価により、古くから貴重な食資源として重宝されてきた。現在ではスムージーやサラダ、ヨーグルト等、様々なアレンジを加え楽しまれていて、新しい食材として認知されつつある。

宇宙空間では、省資源かつ省スペースでスピルリナを培養可能な装置を利用することで、ISSや月面などでも、高タンパク、高栄養価の生食糧として現地でも培養することができる。そのため、長期間にわたるミッションの間でも、スピルリナを毎日摂取することで、クルーの健康を支え続けることができると期待している。

研究テーマ名 | 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、クレー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)



研究テーマ名 | 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



研究テーマ名 | 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

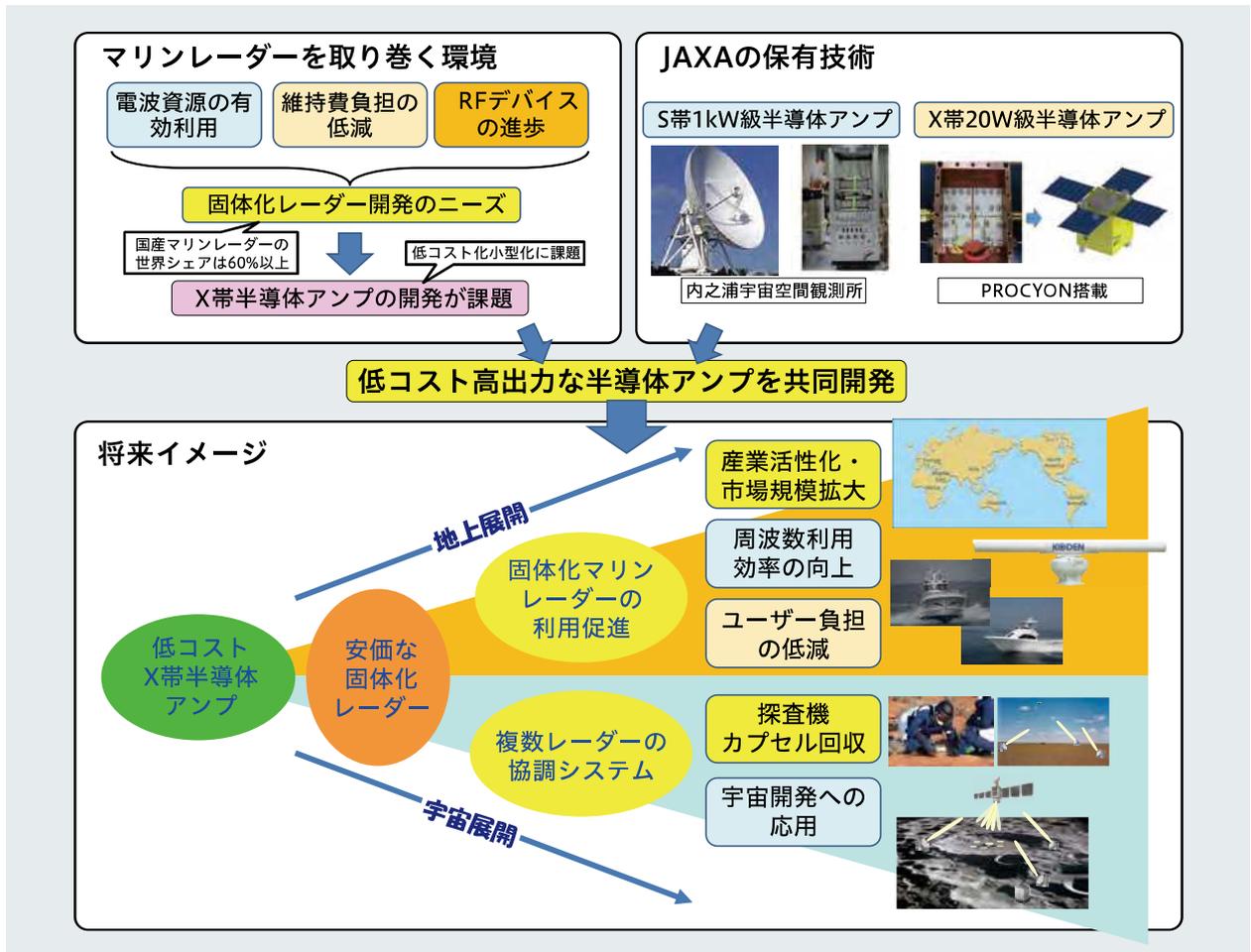
汎用性に長けた市販デバイスを使用するのではなく、より材料に近いレベルから、ニーズに特化した設計を行うことで、原材料費の低減を図る。

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。



研究テーマ名 | 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

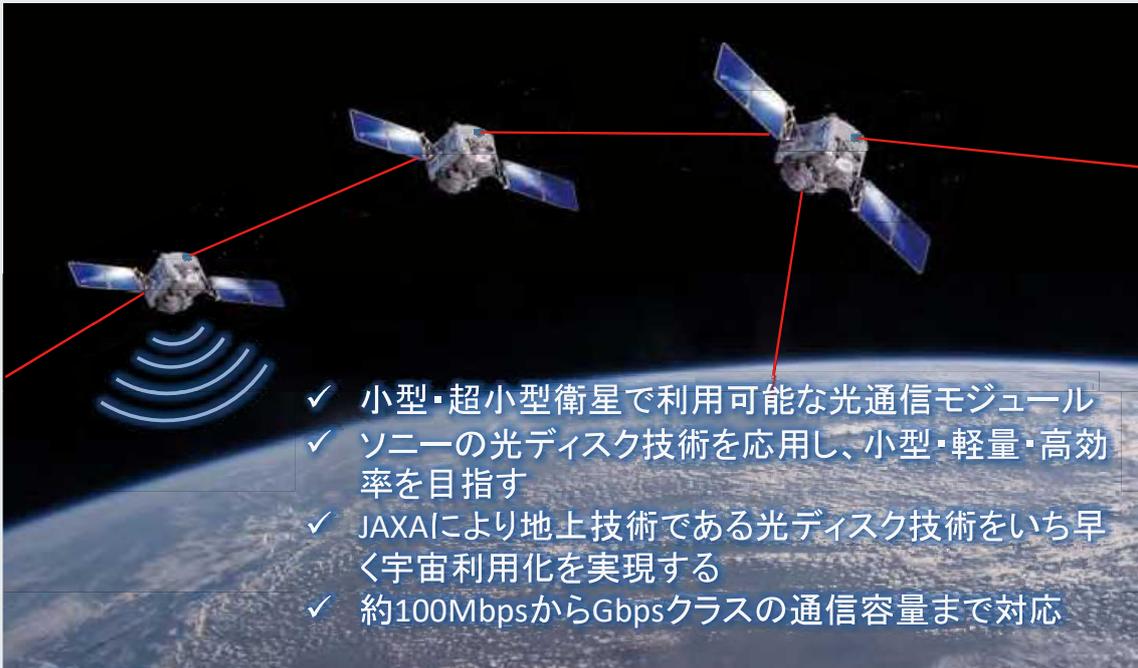
プロジェクト概要

【目的】

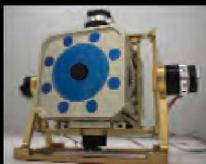
近年、超小型衛星技術や再利用ロケット技術の進展を中心とした技術革新により地球低軌道の利用が進んでいる。一方で地球低軌道はインターネット通信網には常時接続されていない。本研究は、地球低軌道をインターネット通信網と常時接続可能とすることを目的として、超小型から小型衛星において運用可能である光通信モジュールの基盤技術を確立することを目的としている。このため、衛星向けの光通信モジュールを小型、軽量、高効率することが重要である。本研究では、すでに長年の実績を有する小型・軽量・高効率の光学系および機械制御系を持つ光ディスクの技術を適用した基盤技術開発を行う。

【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。



- ✓ 小型・超小型衛星で利用可能な光通信モジュール
- ✓ ソニーの光ディスク技術を応用し、小型・軽量・高効率を目指す
- ✓ JAXAにより地上技術である光ディスク技術をいち早く宇宙利用化を実現する
- ✓ 約100MbpsからGbpsクラスの通信容量まで対応



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

研究
テーマ名 | 多目的全方向移動クローラー共通台車の設計

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

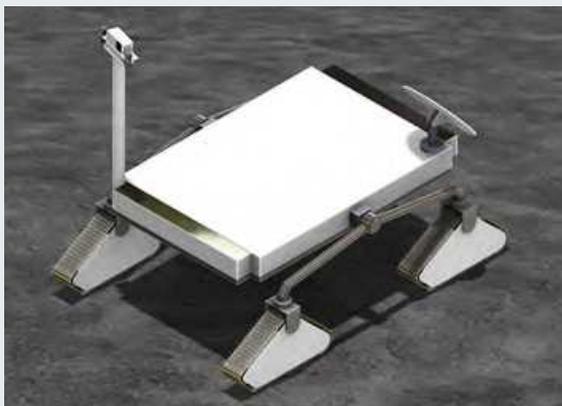
【目的】

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・機動性が高い共通台車を研究する。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通台車を実現する。

【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通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。



共通台車のイメージ

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



研究テーマ名 | 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、

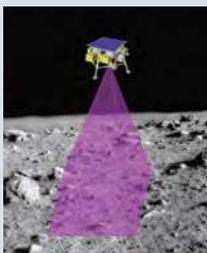
- ・ 超高感度で必要な光量や光学系への負担が少ない
- ・ 時刻同時性が高く飛翔体や走行する車両などに適用可能
- ・ 構造が簡易で小型軽量

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。

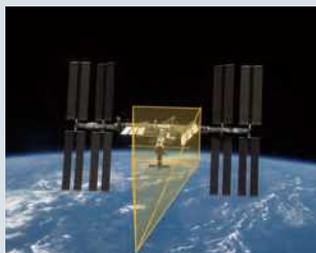
距離画像センサの応用例



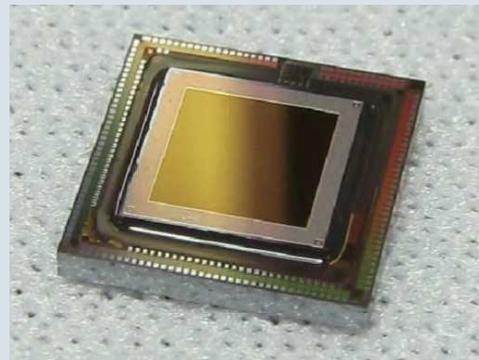
自動運転車の車載LIDAR



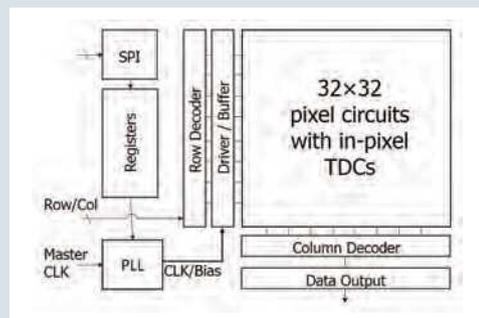
月惑星探査機の障害物検出センサ



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

研究テーマ名 | 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て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。

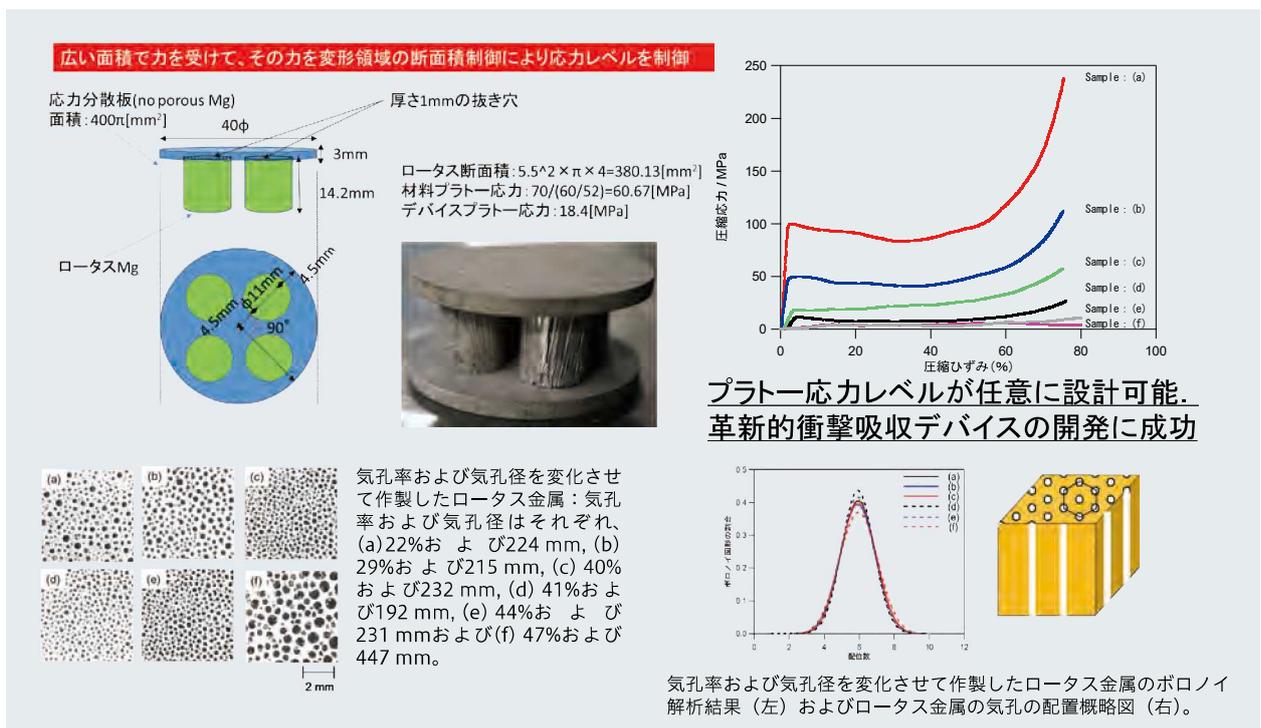
【成果】

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。



研究テーマ名 | **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ーダル化、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、デザイン可能な軽量高衝撃吸収素材を開発する。

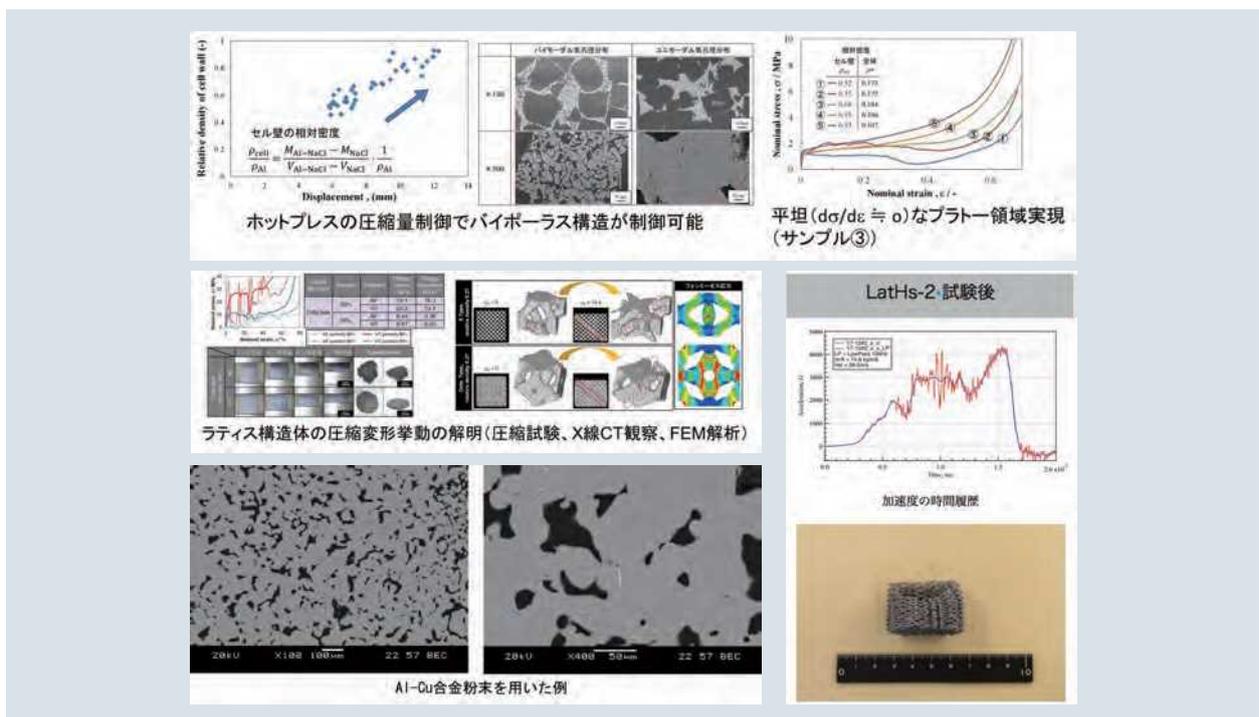
■研究項目と達成目標

- 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以上のバイモー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1～10MPa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（ $d\sigma/d\varepsilon=0$ ）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ーダルポーラス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。



研究テーマ名 | 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クなど、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「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



ボイルオフカロリメータと
新芯材を封入した断熱材

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

研究テーマ名 | 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

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葉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、かつ軽量な断熱材の開発を目的とする。

【成果】

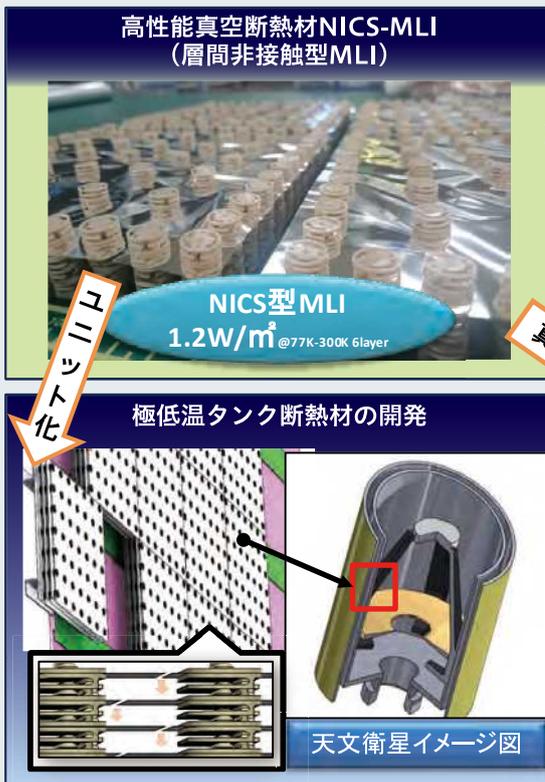
従来のMLIにおいて輻射フィルムの間に使われているネット状のスペーサに代わり、熱抵抗の極めて高い間欠型のスペーサ (NICS)により輻射フィルムを完全に分離することで、極めて高い断熱性能を有するとともに、断熱性能の不確定性を小さく抑えることが出来るNICS MLIの産業応用を検討する。

(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。



研究テーマ名 | 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。

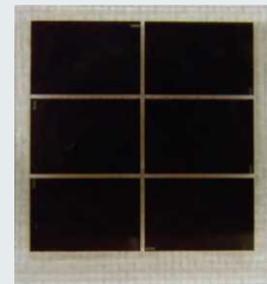
【ペロブスカイト太陽電池の特徴】

- ・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】

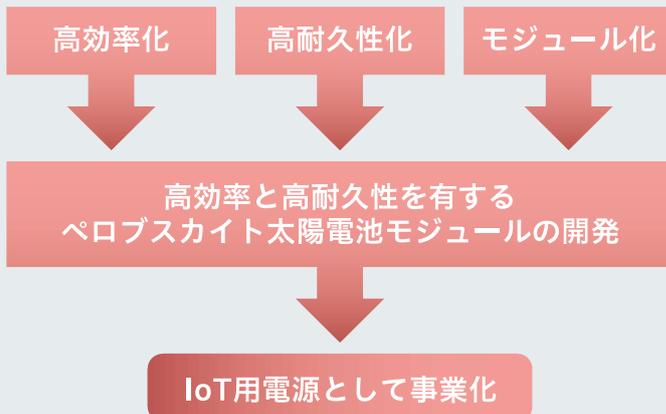
- ・温度や湿気・光への耐久性が低い

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

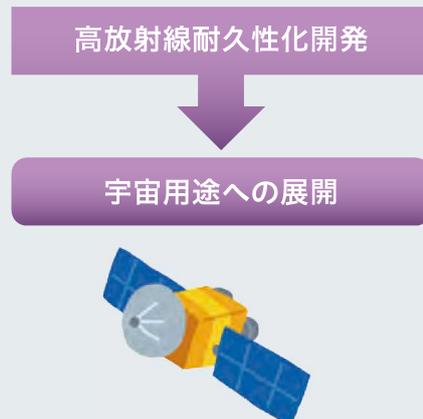


開発中の6直列モジュール

<ステップ1>



<ステップ2>



研究テーマ名 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

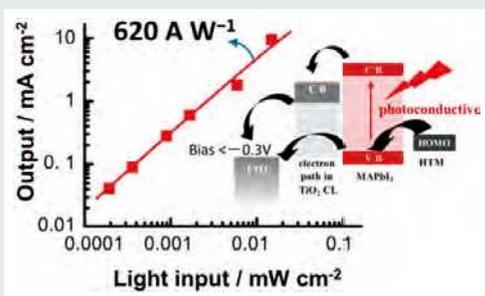
【目的】

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】

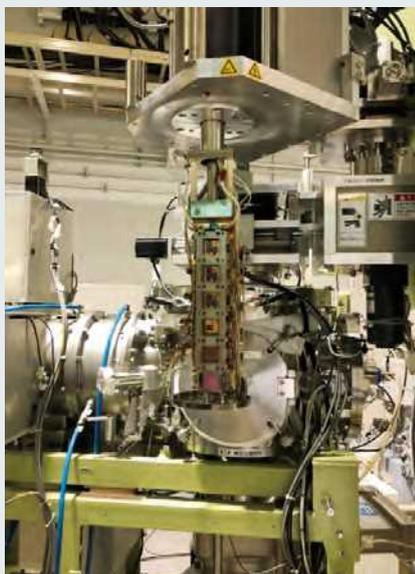
- ① ペロブスカイト結晶厚膜の製法の確立
 - ・厚さが100 μmの平坦で緻密性の高い結晶膜に成型するペロブスカイト結晶粒子の製膜法を開発する。
 - ・酸化物ナノ構造体と連結した厚い膜を製膜する方法を開発する。
 - ・ペロブスカイト結晶膜がX線に対して高い吸収特性をもつことを示す。
- ② ペロブスカイトX線検出素子の開発
 - ・検出感度が最大となる条件を探索し、X線感度を高める素子構成を検討する。
 - ・素子のX線検出感度の温度依存性を計測し、温度変化に対する安定性を調べる。
- ③ 放射線検出素子の宇宙環境における耐久性試験
 - ・繰り返しの温度変化におけるペロブスカイト検出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

研究テーマ名 | 高機能化マリンレーダーの開発

機関名：株式会社光電製作所

プロジェクト概要

【目的】

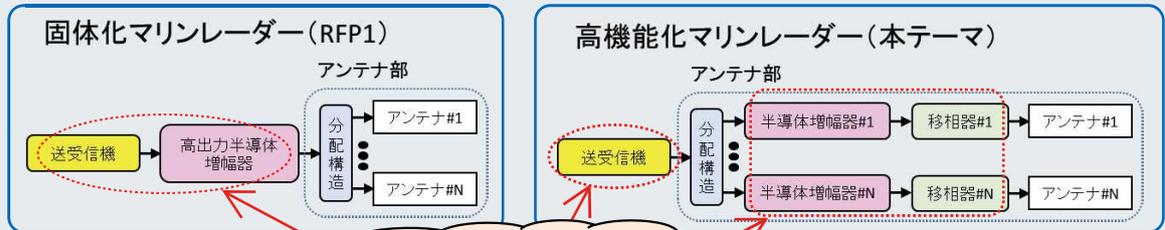
船舶に搭載する“マリンレーダー”のアンテナは、複数のアンテナ素子を水平方向に配置して狭い指向性ビームを形成し、それをモーターにより回転させることで全周方向の障害物等の情報を得ているが、回転半径確保のために装置を設置する場所への制約が生じているのが現状である。また近年マリンレーダーでは、レーダーとしての機能だけではなく、通信機能を付加することによって個々の船舶情報の共有など、さらなる活用範囲拡大のニーズもある。

本テーマでは船舶搭載用のマリンレーダーの高機能化として、フェーズドアレー技術の導入や通信機能付加により、レーダーの使い方に革新をもたらすシステムを構築する。

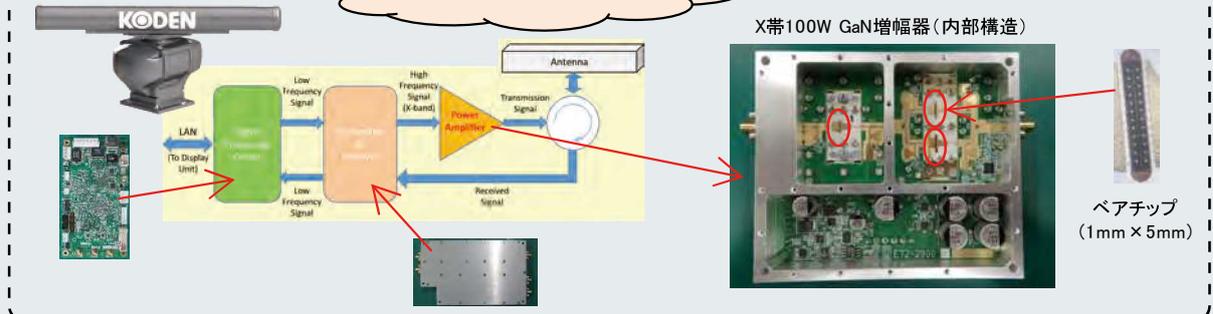
【内容】

半導体増幅器と移相器などの各種高周波回路とアンテナを積層構造で一体化させることでフェーズドアレーアンテナを構成する。現状のマリンレーダーでは、搭載される船舶によってアンテナ口径（ビームの鋭さと利得）が異なるため、実際には、アンテナ部の最小単位を定義して開発を行い（サブアレー化）、その配置数によってアンテナ性能や送信電力を比較的自由に選択可能できるようにする。第1回RFPの課題解決型テーマ『固体化マリンレーダーの開発』において培ったベアチップを用いた設計・製造技術により回路の小型・薄型化を図り、成果物である固体化レーダー用の送受信機を用いてシステム化を図る。

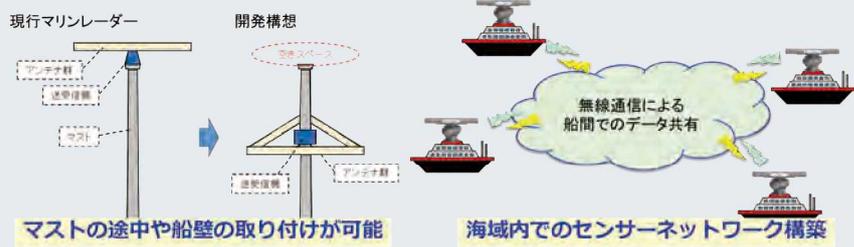
システム構想



RFP1の成果を活用



目標イメージ



研究テーマ名 スケーラブル完全孤立系燃料電池の研究開発

機関名：三菱造船株式会社、三菱重工業株式会社、JAMSTEC

プロジェクト概要

【目的】

北極観測や深海探査で使用する海中ビークルは、長期間にわたり陸地から孤立した状態で長距離の航行をします。そのため制限された体積の中で大容量な電源が必要となります(図1)。大容量でコンパクトな密閉型燃料電池は、海中ビークル用の電源として期待されています。

また、海中ビークルに洋上で給電する洋上電源として、太陽電池からの電力で水を電気分解して水素と酸素を再生・貯蔵し、必要に応じて発電する再生型燃料電池システムの研究も進んでいます。

密閉型/再生型燃料電池共に、不純物の蓄積が発電性能低下に直結する課題であるため、その課題を解決するシステムを試作し、長時間の発電試験を実施することで、システムの連続安定作動技術の確立を目指します。

宇宙でも海中/洋上と同様に完全に孤立したシステムで長期間の運用が求められるため、本研究で開発した技術を将来的に宇宙で転用することを考えています。

【内容】

- 密閉/再生型燃料電池システムの検討→完了
 - a. 製品仕様の検討及び設定
 - b. 試作仕様の検討及び設定
- 燃料電池スタックの製作→2019年度完了予定
- 水電解スタックの製作→2019年度完了予定
 - a. セル試作及び評価
 - b. スタック製作
- 試作システムの製作→2020年度完了予定
 - a. システム詳細設計
 - b. システム組立
- 試作システムの運転試験→2020年度完了予定
- 試作システムの評価・まとめ→2020年度完了予定



研究テーマ名 | 高信頼性・小型スターリング冷凍機の開発

機関名：ツインバード工業株式会社

プロジェクト概要

【目的】

FPSC (Free Piston Stirling Cooler) 技術は、冷媒として少量の安全なヘリウムガスを用いた完全脱フロンの冷却システムである。冷却排熱構造が一体であることからコンパクトでありながら極低温の冷却を実現でき、また冷却制御がフルレンジで行える特徴を持つことにより、地上においては医薬、食品物流、エネルギー、計測の4分野で、品質管理などの観点で高度な温度管理が求められる比較的特殊な用途で採用が広がっている。今後民生用途や多様な製品へと応用を広げていくためには、当該技術の特徴である小型化を進め、信頼性を高めていく必要がある。

一方、将来計画されている月極域探査や始原天体探査において水氷や揮発性有機物などを調査することは、資源利用や科学の観点で非常に意義の高いミッションと考えられている。

例えば、月の極域や永久影に存在すると考えられている氷を蒸発させることなく回収して研究するには極低温に維持したまま、採取から分析まで行うことが理想であり、限られたリソースでも極低温に維持できる小型冷凍機の技術が非常に有効である。特に、長寿命を実現することで、木星以遠の天体からの極低温のままサンプルリターンする探査ミッションにも応用可能となり、これまでにない科学的知見を得ることができる。

このような地上の需要や探査ミッションへの応用のために、高信頼性化と小型化を最終的なターゲットとし、それに向けた要素技術検討を行い、実現に向けた指針を得ることを目的とする。

【内容】

既存技術をベースに、次の活動を計画している。

①アイデア創出と実現性の検討

FPSC冷凍機における各構成要素(再生器、モーター、ピストンの挙動、有効容積など)につき再レビューを行い基本設計を実施する。

②冷凍機試作品の製作

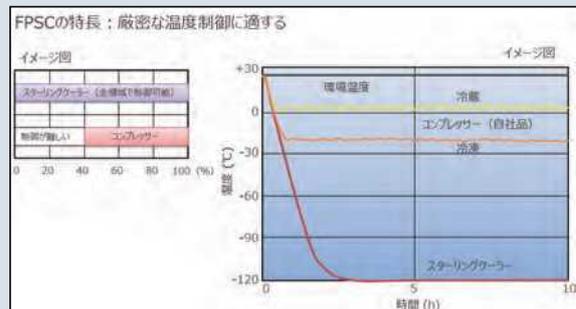
FPSCは各構成要素が相互連鎖的に作用している。構成要素変更に伴い、内部ピストンの運動を都度調整する必要がある為、試作を通して運動バランスの調整を行い最適化を図る。

③冷凍機試作品の評価

試作した冷凍機の性能レビューを行う。

④適用先検討

地上用途、宇宙用途に関し、適用可能性のある応用先を検討し、それぞれに必要な仕様や課題についてまとめる。



研究テーマ名 | 太陽電池用波長変換材料の開発

機関名：パナソニック株式会社

プロジェクト概要

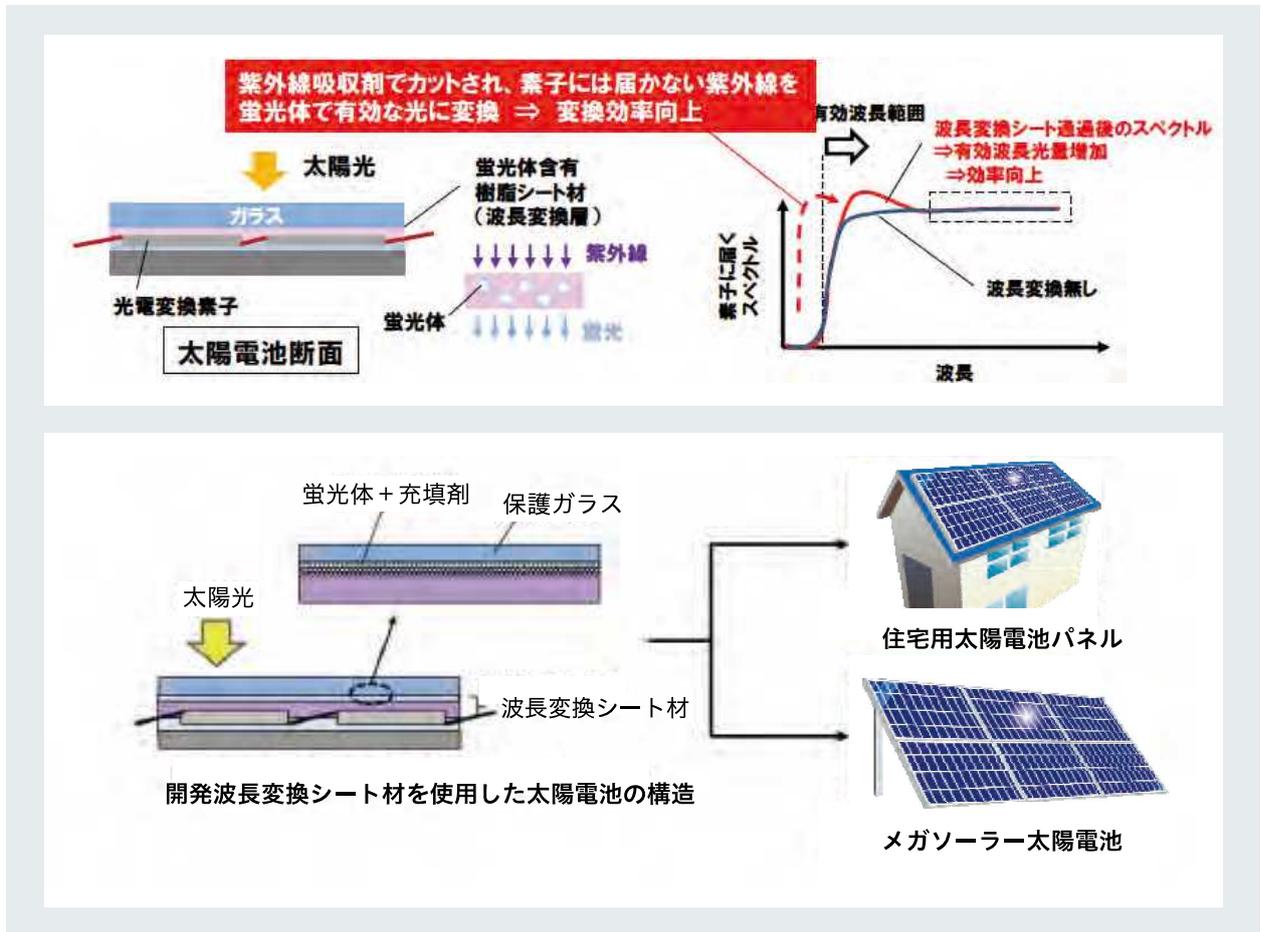
【目的】

太陽電池の発電効率を向上させるための波長変換材料およびこれを配合した波長変換シート材の開発を行う。太陽電池では光電変換素子を紫外線から保護するために、素子を封止する樹脂シート材には紫外線吸収剤が配合されており、紫外線はセルに届かず従って発電には寄与しない。波長変換技術では、この紫外線を吸収し、より長波長の可視光を発生する波長変換材料を樹脂シート材に含有させることにより、利用できる光の光量を増加させ発電効率を向上させる。高耐候性で信頼性が高く、太陽電池の樹脂シート材に配合した際、可視域光の透過を妨げない波長変換材料の開発を行う。

【内容】

太陽電池用波長変換材料としての新規蛍光体を開発し太陽電池の光電変換効率向上を可能とするため、以下の開発を進めている。

- ①紫外線励起可能な高発光量蛍光体の開発：低屈折率の無機系新規組成蛍光体の探索を行う。
- ②蛍光体の信頼性評価：各種信頼性評価試験（高湿度試験・熱衝撃試験・耐光試験）を実施の上、試験前後の特性の測定を行う。
- ③まとめ：紫外線励起による可視域発光が可能であり、且つ屈折率が制御された高信頼性新規無機蛍光体を開発する。



研究
テーマ名

システム機器診断のための超小型ハーネスフリーセンサシステム実現の基盤研究

機関名：鹿児島大学、株式会社ビーコンテクノロジーズ、株式会社東洋技術工業

プロジェクト概要

【目的】

5Gシステム等の地上系の通信環境が大幅に進展していく中で、衛星搭載機器における通信環境も地上系と同等にすることで、地上、衛星に関係無く、大容量の情報伝送が可能になる。特に衛星系の情報伝送レートの高度化は、機器診断の精密化を可能とするだけでなく、地上系と結ぶことで、地上の診断（災害、気象等）を可能とし、新しいサービスを生み出す可能性がある。本研究ではHySICをベースとしたマイクロ波電力回収によるハーネスフリーセンサシステム実現に向けて、蓄電デバイス内蔵整流回路、送信モジュール、受信モジュールの実装技術の確立を図る。本アイデア研究ではその最初の段階として、個別技術の開発を進める。

【内容】

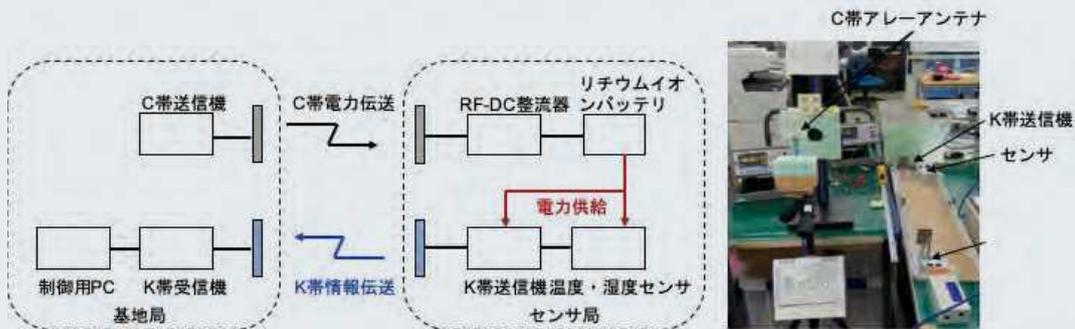
以下の項目について実施した。

- ①K帯HySIC基盤技術開発
- ②高安定K帯発振器の開発
- ③C帯高効率整流器の開発
- ④K帯C帯デュアルバンドアンテナ開発
- ⑤K帯電力増幅器を含む無線伝送システムの実現可能性検討

システムの集積化・小型化HySICに向けた基本性能を確認した。

【研究成果】

K帯ワイヤレス温度・湿度センサシステムをC帯無線電力伝送によりバッテリーを充電しながら駆動することに成功。



無線電力伝送によるセンサ駆動プロトタイプシステム

K帯ワイヤレス温度・湿度センサシステムをC帯無線電力伝送によりバッテリーを充電しながら駆動することに成功



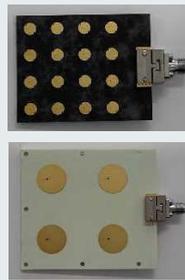
基地局 K 帯受信機と
センサ局 BB 部 &
LO 内蔵 K 帯送信機



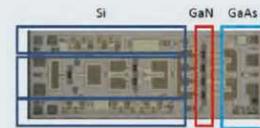
5 VDC 出力
変換効率70%以上

C 帯整流器

K 帯16素子アレー



C 帯、K 帯
アレーアンテナ



Si 基板上に
化合物 IC を集積化
(Si・GaN・GaAs を
用いた場合の
イメージ)

HySIC 化 RF 部

システム実現に向けた基礎技術を開発



研究テーマ名 | ゼーベック素子を用いたサーマルハーベスター基盤研究

機関名：アクトロニクス株式会社、センサーコントロールズ株式会社、株式会社守谷刃物研究所

プロジェクト概要

【目的】

本研究ではワイヤレスセンサシステム（図1）の電力源に向けたサーマルハーベスタ実現のための基盤技術の確立を進める。

本研究は宇宙空間において、ゼーベック素子のエネルギー変換効率を最大限に高めるために高熱伝導材蓄熱材をコンパインしたゼーベック発電である。また、蓄熱材で貯めた熱を用途に応じて使用することができる。

月や火星の惑星探査に関わるロケット、探査機、現地発電所等における応用も可能であり、「地産地消型」の技術課題への対応も見据えている。

【内容】

ゼーベック素子と蓄熱材を組み合わせ、蓄熱材の吸熱、放熱を利用することにより、ゼーベック素子の温度差を利用した常時発電ユニットである。

今回の研究では次のユニットを開発（図2）する。

1. 蓄熱による日射、日陰を利用した繰返し発電ユニット
2. 高効率充電回路
3. 高効率集熱/放熱ユニット

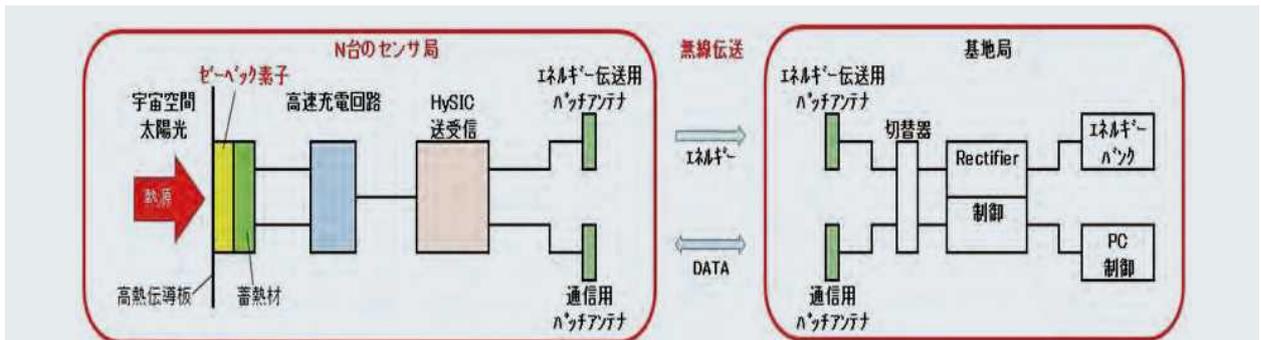


図1. ワイヤレスセンサシステム

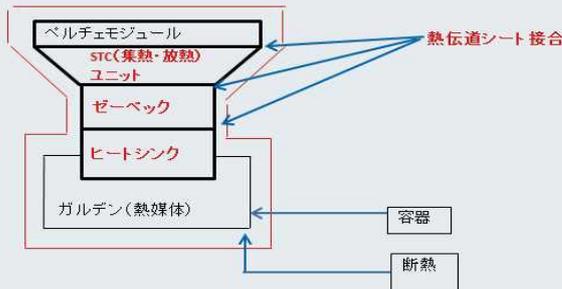


図2. 蓄熱による日射、日陰を利用した繰返し発電ユニット

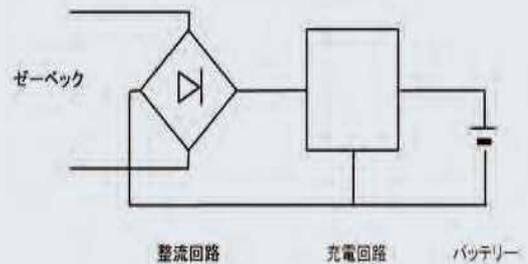


図2. 高効率充電回路

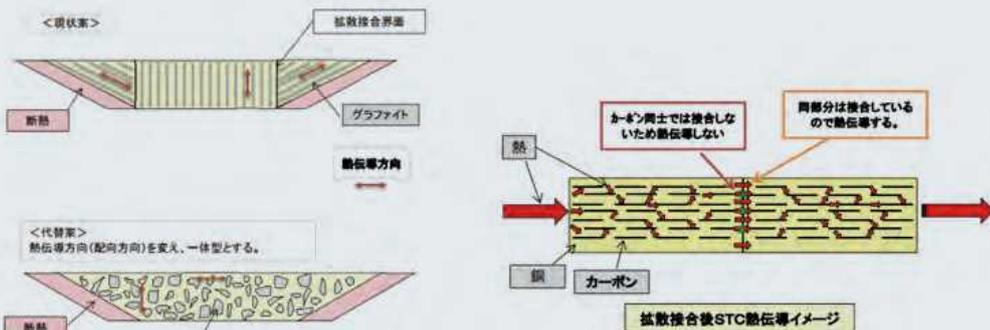


図2. 高効率集熱/放熱ユニット

研究テーマ名 | 閉鎖空間において生じる、心理的圧迫感やストレスの緩和に役立つ「環境香」の開発

機関名：株式会社資生堂

プロジェクト概要

【目的】

本研究は、外部環境と切り離されたような生活空間においても、心理的圧迫感やストレスを強く感じず快適に過ごせるための一方策として役立てるために、資生堂が開発中の「環境香」効果を実験検証する。「環境香」は、自然の中で誰しもが意識・無意識を問わずに感じる、複雑に変化し続ける自然界の香りを再現する。そのため、外部環境と切り離されたような生活空間でも身体が自然のリズムを匂い感じ取ることで快適性向上が期待できるとした。なお、本研究における“外部環境と切り離されたような生活空間”とは、都市型居住スペースを始め、長時間の移動が必要な列車あるいは旅客、病室、長期に渡る自宅介護などのスペース・場面を広く指す。

将来的には、前述の成果活用を経て、一般人が宇宙旅行をする時代までには閉鎖居住空間においても、薬によらずとも心理的圧迫感やストレスを緩和し心地よい方向へ調和・調律させることができる効果の確立を目標とする。

【内容】

- ・今回の共同研究では、「環境香」の特徴である、複雑に変化し続ける自然界を模した各“香りパーツ”が、心理的・生理的に及ぼす影響を確認する。
- ・測定は、
 - (1)ある気象条件／変化のときの「環境香（の香りパーツ）」がない状態（コントロール）、(2)その条件／変化で規定した「環境香（の香りパーツ）」を嗅いだそれぞれの状態における、
 - －心理的データとして、時系列的な快・不快と鎮静・覚醒の気分状態、日中の作業課題等の行動反応を含むデータ
 - －生理的データとして、内分泌系や自律神経系の反応等のストレス状態の変化を含むデータを取得する。



研究テーマ名 | 光エネルギーおよび省リソース「藻類・動物細胞共培養リサイクルシステム」による持続的な食糧・タンパク質の生産

機関名：東京女子医科大学、インテグリカルチャー株式会社

プロジェクト概要

【目的】

本研究では光合成能を持つ藻類と食糧・タンパク質源となる動物細胞を共培養し、光エネルギーにより食糧細胞を持続的に増幅できる系の構築を試みる。すなわち光エネルギーを駆動源として藻類が動物細胞に必要な酸素・栄養素やビタミン類を供給し、また動物細胞がそれらを利用し、藻類に必要な二酸化炭素・アンモニアなどを産生するという、省リソースかつコンパクトな食糧・タンパク質生産システムの確立を目指す。このリサイクル型共培養系の確立で太陽光あるいは室内灯の光エネルギーで藻類・動物細胞は増殖を続け、宇宙空間あるいは地上において持続的に安定した食糧用タンパク質の地産地消が可能となる。

【内容】

東京女子医科大学先端生命医学研究所のこれまでの研究で樹立された共培養系において、動物細胞は藻類からの酸素供給でエネルギー節約型への代謝変化を起こし、培地中の栄養素の無駄遣いがなくなり、また培地中の有害代謝産物の蓄積も減少し細胞障害を起こすことなく培養できるようになった。一方で現在の系では培地中の栄養素がなくなれば動物細胞は増殖できなくなる。

そこで本研究では藻類細胞内に存在する栄養素やビタミン類を何らかの方法で培地中に排出させることで持続的に食糧源の動物細胞を増殖させる最適な藻類動物細胞共培養方法の確立を目指し、下記を行う。

- ①共培養に最適な藻類・動物細胞の選択
- ②最適な藻類・動物細胞共培養系の樹立
- ③藻類が産生した栄養素・ビタミン類の効率的排出方法の樹立
- ④事業化を目指し最適な細胞タンパク質源作製条件の検討
- ⑤宇宙利用を想定したシステム検討

