

担当省庁説明資料

衛星のデジタル化に向けた革新的FPGAの研究開発

【文科省】

月面活動に向けた測位・通信技術開発

【文科省】

月面におけるエネルギー関連技術開発

【経産省・総務省】

宇宙無人建設革新技術開発

【国交省】

月面等における長期滞在を支える高度資源循環型

食料供給システムの開発

【農水省】

小型SAR衛星コンステレーションの利用拡大に向けた実証

【内閣府】

令和3年12月3日

第10回衛星開発・実証小委員会

衛星のデジタル化に向けた革新的FPGAの研究開発

配分額：文部科学省 2. 1億円

主担当庁：文科省
連携省庁：経産省
(事業期間2年程度)

背景・必要性

- 衛星軌道上でのビッグデータ処理、打上げ後の柔軟な機能変更など、人工衛星においてもデジタル化の波が押し寄せており、通信・観測・測位など幅広い宇宙活動に革新的な変化をもたらし、国際競争力の強化や多様化する宇宙利用ニーズにも対応していく上で、避けて通ることはできない。
- このような衛星のデジタル化を実現していく上で、高速処理や書き換え可能な特徴を持つ高性能FPGA※は、必須の中核的なデバイスである。
※FPGA： Field-programmable gate array
- 他方、宇宙用途としての利用には、放射線耐性の低さによる誤動作・損傷リスクや、消費電力が大きな課題。既存技術の延長では、高コスト化が避けられない上、将来的に対応しきれなくなるリスクも高い。
- このため、従来とは異なる革新的技術により、これらの課題を解決することが急務となっている。

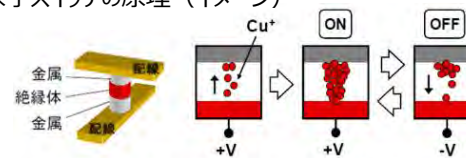
各省の役割

- 文部科学省： 新原理適用の宇宙用FPGAの開発
- 経済産業省： 原子スイッチの製造等に係る知見の提供・協力。将来的な実装に向けた産業界のニーズの把握・フィードバックなど

事業の内容

- 我が国独自の技術として開発が進められている原子スイッチは、原理的に高い放射線耐性と低消費電力という特徴を有する革新的技術。革新的衛星技術実証1号機においても実証研究が行われ、その特性が確認されている。
- この原子スイッチの新原理を適用し、より微細で、高放射線耐性、低電力なFPGAの実現に向け、JAXAが持つRHBD技術(Radiation Hardening by design技術)などを組み合わせることで、宇宙用FPGAとしての回路設計技術を確立する。
- 具体的には、汎用の原子スイッチ素子をベースに、放射線特性評価、FPGAのLogic Element(要素回路)の回路設計等を行い、実装テストチップの試作・評価を行う。

原子スイッチの原理 (イメージ)



Ref: K. Okamoto et al., "Conducting mechanism of atom switch with polymer solid-electrolyte," Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet. IEDM, vol. 1, pp. 279-282, 2011.

留意点

- プロジェクト後の実装に向け、JAXAによる宇宙実証、実利用につなげる。また、性能向上に向け継続的に取り組むこと。
- ユーザー側のニーズ把握、汎用品の他産業での普及見通しの検証を行い、計画を不断に見直すこと。

事業計画

衛星のデジタル化の中核を担う半導体として、高速処理が可能で書き換え可能な特徴を持つFPGA (Field-programmable gate array) が強く望まれている。民生最先端FPGAを宇宙適用する際の技術課題である低消費電力化と放射線耐性の強化を高い水準で満足する革新的なFPGAの実現を目指し、国産独自の低消費電力技術であるナノブリッジ (下図) と、JAXAが持つ耐放射線強化回路技術を組み合わせたFPGA回路技術を構築する。

- ① 2021年度 (令和3年度) に、将来の宇宙機でのアプリケーションとFPGAに対する機能性能要求の具体化を行う。また、車載用に開発されているナノブリッジFPGA (NB-FPGA) の放射線耐性の評価、民生最先端FPGAが適用している微細半導体プロセス上での耐放射線性を強化したNB-FPGA要素回路の設計を行う。
- ② この設計結果を踏まえ、続く2022年度 (令和4年度) でテストチップの製造と性能評価を行い、回路技術を構築する。

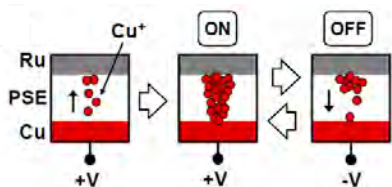
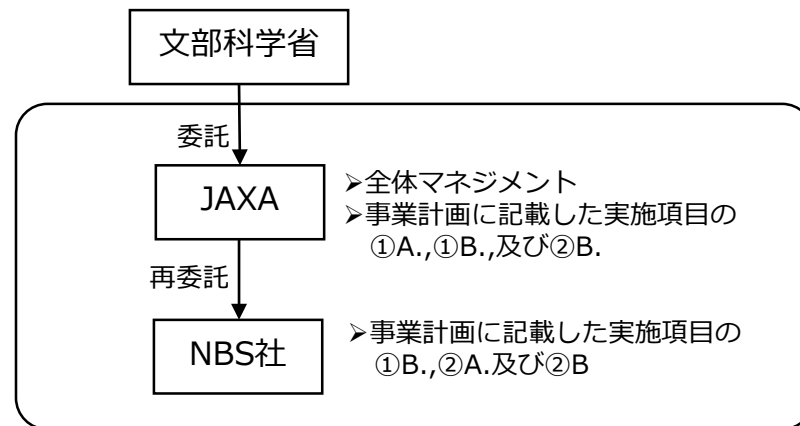


図 ナノブリッジ断面模式図
(金属の配線間を銅イオンで接続/切断を切り替える微小スイッチ技術)

	実施項目	R3	R4
①	A. アプリケーションおよびFPGA適用性検討 (放射線試験含)	→	
	B. ナノブリッジFPGA要素回路の耐放射線強化設計	→	
②	A. テストチップ製造設計		→
	B. テストチップ試作評価		→

実施体制



留意事項への対応状況

- プロジェクト後の実装に向け、JAXAによる宇宙実証、実利用につなげること。また、性能向上に向け継続的に取り組むこと。
⇒ ユーザーニーズ分析結果を踏まえ効果的な技術実証となるよう宇宙実証計画を検討中。ユーザが重視する消費電力と耐放射線性がより良い性能となるよう留意しつつ16nm世代の設計を進めている。
- ユーザー側のニーズ把握、汎用品の他産業での普及見通しの検証を行い、計画を不断に見直すこと。
⇒ 28nm世代 (NEDOプロで開発中) 及び16nm世代の両者を対象に、宇宙ユーザからの性能要求分析とアプリケーションの具体化を進めている。今後、NEDO成果 (NB-FPGA評価ボードやソフトウェア開発環境) の宇宙ユーザによる評価も進め、開発環境の車載との共通化を図り、宇宙と地上両方で利用拡大につなげる。

当該年度の進捗状況

①A.アプリケーションおよびFPGA適用性検討

- 初年度は、将来の宇宙機でのアプリケーションとFPGAに対する機能性能要求の具体化を行う。
宇宙関連企業に対するヒアリングを実施（システムメーカー2社、今後小型衛星企業に対しても実施予定）。アプリケーションとして高速通信衛星の信号処理系（デジタル変復調）や地球観測衛星のデータ処理系（センサ信号処理、オンボード画像処理）へ適用が見込めることを確認。結果を踏まえ、FPGAに対する性能要求やニーズを分析中。今後、車載用28nm世代、16nm世代それぞれの適用可能性についてまとめる。また今後、NEDO成果（NB-FPGA評価ボードやソフトウェア開発ツール等）の宇宙ユーザ側での評価を進め、開発環境の車載との共通化を図る。さらに、宇宙/地上双方での利用促進に向け、産総研TIAとの連携を打診調整する。

- 車載用に開発進行中の28nmナノブリッジFPGAの放射線耐性評価を実施する。現在、放射線試験用ボードの設計と製造を進めている。年度内の加速器マシンタイムで試験予定。

①B.ナノブリッジFPGA要素回路の耐放射線強化設計

- 初年度は、民生最先端微細半導体プロセス上で耐放射線性を強化したNB-FPGA要素回路の設計を行う。JAXA考案の回路を組み込んだ16nmFPGA要素回路設計を実施中。シミュレーション上では最先端の電気性能を維持しつつ、非常に高い放射線耐性が実現できる見込みを得た（下図）。年度内に設計完了予定。

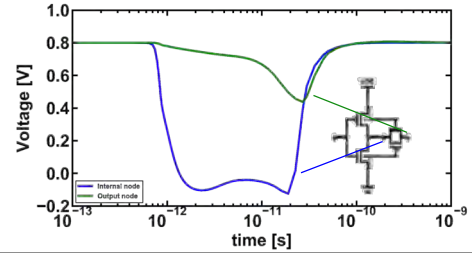


図1 耐放射線強化回路のシミュレーション結果例。
LET=40 MeV/(mg/cm²) 相当の電荷注入によって回路内部で一過性の電位変動（青線）が生じても出力の変動（緑線）が抑制されている。

次年度の事業計画（案）

②A.テストチップ製造設計

- 初年度の成果をふまえ、テストチップに搭載する評価回路群のレイアウト設計作業（半導体ウエハ上にトランジスタや配線をどのように並べるか配置配線を決める作業）に早期に着手し、続く②Bの開始（6月中旬）までに必要な準備作業を完了する。
(現時点では、3mm x 3mmの半導体チップ上に評価回路群を搭載することを計画。)

②B.テストチップ試作評価

- 初年度の成果と上記②Aの結果を用いて、6月より速やかにテストチップ製造と評価ボードを用いた試験を実施する。テストチップに搭載したFPGA要素回路を実際に動作させ、以下の機能、目標仕様が達成できているかを確認し、要素回路技術構築を完了する。
 - ❑ 16nm世代の耐放射線NB-FPGA要素回路が正しく回路動作する事（デジタルデータの書き込みと読み出し、原子スイッチのOn/Off切り替え）
 - ❑ 放射線耐性 閾値LETが40 MeV/(mg/cm²)程度
 - ❑ FPGAを実現した場合の消費電力が5~10 W程度
 - ❑ 動作周波数が400~600 MHz程度
(性能未達の場合には、その原因を特定し改善策を具体化)

- 上記結果を踏まえ、耐放射線NB-FPGAの製品仕様を固め、本研究に続く研究開発計画（宇宙実証含む）を具体化する。

プロジェクト番号：R2-07

月面活動に向けた測位・通信技術開発

令和3年度配分額：文部科学省 2億円

主担当庁：文科科学省
連携省庁：総務省
(事業期間5年程度)

背景・必要性

- 米国提案の国際宇宙探査計画(アルテミス計画)などにより、今後、月の探査・開発に関する活動が拡大していくことが見込まれ、これらの活動を支える基盤整備が必要となってくる。
- その中でも、測位や通信といった基盤は、比較的初期の活動から必要とされると考えられる。具体的には、LNSS(月ナビゲーション衛星システム)や、月-地球間の超長距離の光通信システムといった基盤が想定され、諸外国においても検討が進められている。
- 今後、国際連携、標準化と言った議論も視野に、我が国がこれらの基盤整備に貢献し、リーダーシップを発揮していく上でも、文部科学省が、総務省の協力の下、月面活動に向けた測位・通信の在り方を早期に検討するとともに、コアとなる要素技術を獲得していくことが必要。

各省の役割

- 文部科学省：アーキテクチャ検討、実現手段、技術課題の整理要素技術開発
- 総務省：技術的な知見の提供、助言

留意事項

- 諸外国の開発動向、標準化の議論等を把握した上で、加速化の必要性も含めて事業計画を継続的に見直すこと。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること。

事業の内容

月面活動に向けた測位・通信システムに係る以下の事業を行う。

○測位システム関連

- ・ 月における測位システムの構築のためのアーキテクチャ検討を行い、実証機に対する要求を検討。
- ・ 上記を踏まえたシステムの実証に向けた開発・設計。
- ・ 国際動向を踏まえ、統一規格の検討に係る調査を行う。

月測位システムの構想例

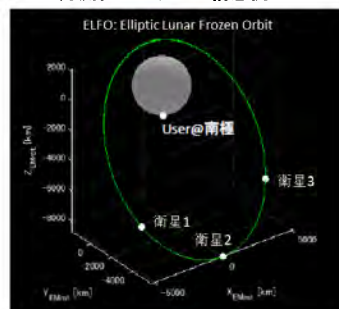
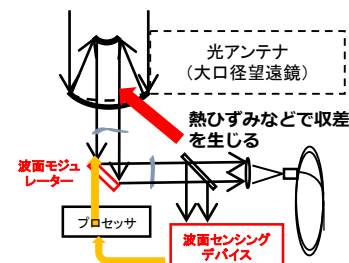


図2. ELFO上の3機配置例
(866km × 8742km × 56.2°, ΔM = 90°)



波面センシングデバイスで収差を検出し、その情報から波面モジュレーターを使って収差を補正することで効率よくファイバーに光を入射する

(要素技術の例)衛星補償光学系

○通信システム関連

- ・ 月面活動に向け、月-地球間や月近傍などでの通信アーキテクチャの検討、実現手段、技術課題の整理 等。
- ・ アーキテクチャ検討に基づく月-地球間での高速・大容量通信の実現に必要な研究開発の実施(例:高速高感度復調技術、遠距離高感度捕捉追尾技術、衛星搭載用大口径光アンテナ、衛星補償光学系などの要素技術の開発等)

月面活動に向けた測位・通信技術開発

主担当庁：文部科学省
連携省庁：総務省
(事業期間5年程度)

事業計画

JAXAで行ってきたアーキテクチャ検討をベースにしつつ、関連企業と共同でより詳細なトレードオフ等を行い、まず国際的な技術調整の場で提案できるアーキテクチャを設定するとともに、アーキテクチャに必要と考えるキー要素技術の研究開発を行う。

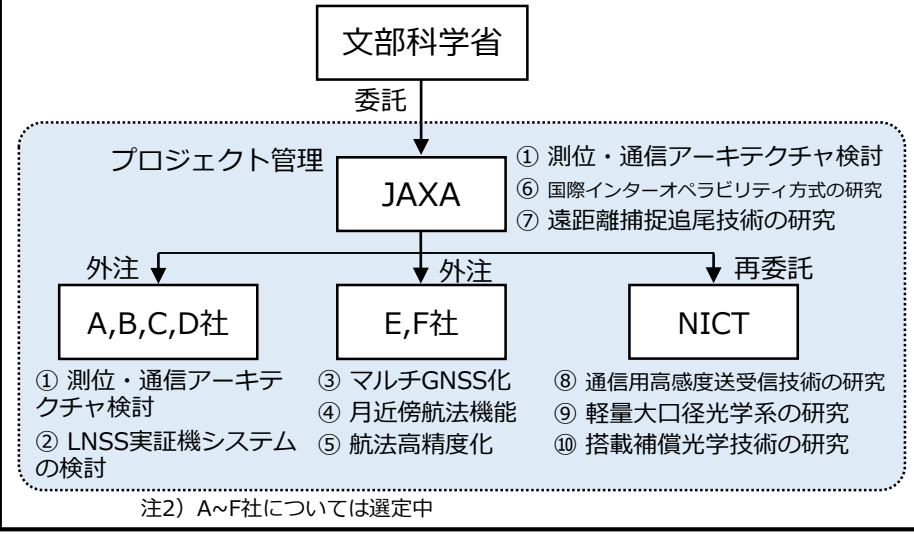
本事業の最終目標として、航法精度40m(水平)を目標として、測位に係る以下のキー要素技術(③~⑤)の開発を行い、成熟度TRL4(実験室環境レベルでの有効性確認)まで上げる。また、月-地球間的高速通信1Gbpsを目標として、通信に係る以下のキー要素技術(⑥~⑩)成熟度TRL4を目指す。

また、月探査測位・通信に係る標準(得られたアーキテクチャ)を国際調整の枠組みの中で提案し、NASA/ESA等との調整により、合意を得ることを本業務の目標とする。

		R3	R4	R5	R6	R7
総合	①	←→ 総合検討				
測位	②	←→ 概念設計		←→ 設計・試作試験		
	③④⑤	←→ 要素試作試験				
通信	⑥	←→ 詳細検討・BBM試作				
	⑦	←→ 設計検討	←→ 要素試作	←→ 地上検証モデル試作		
	⑧	←→ BBM試作			←→ 地上検証モデル試作	
	⑨	←→ 基礎検討	←→ 設計	←→ 要素試作	←→ 試作	←→ 評価
	⑩	←→ 基礎検討	←→ 概念設計	←→ 設計・試作・地上検証モデル試作		

- 注1) ①測位・通信アーキテクチャ検討 ⑥国際インターオペラビリティ方式の研究
 ②LNSS実証機システムの検討 ⑦遠距離捕捉追尾技術の研究
 ③マルチGNSS化 ⑧通信用高感度送受信技術の研究
 ④月近傍航法機能 ⑨軽量大口径光学系の研究
 ⑤航法高精度化 ⑩搭載補償光学技術の研究

実施体制



留意事項への対応状況

○諸外国の開発動向、標準化の議論等を把握した上で、加速化の必要性も含めて事業計画を継続的に見直すこと。
 →NASA/ESA等と連携に向けた意見交換を行いながら、諸外国の開発動向に関する情報収集や、国際協力による測位・通信インフラ構築の方向性を踏まえ、次年度以降の事業計画に適宜、反映させる。

○月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること。
 →宇宙科学の専門家の参画の下、月面での宇宙科学に関する様々な研究テーマの検討状況を確認した上で、科学活動に必要な測位・通信ニーズを把握し、アーキテクチャ検討やシステム要求検討を進める。

当該年度の進捗状況

注) 項番(a)~(e)は業務計画書の番号

再委託となる(a)(b)については公募中、(c)については候補業者と契約調整中、(d)(e)については再委託先のNICTとの契約に向け準備中。

(a) 月探査測位・通信のアーキテクチャ検討及びシステム概念検討【①】

総合アーキテクチャとして最適な組合せを複数の観点で比較検討(衛星を配置する軌道など)するとともに、システムとしてのリソース配分等を考え、個々のシステム要求の設定を行う。

(b) LNSS実証機システム検討【②】

月近傍で利用可能なLNSS〔月測位衛星システム(Lunar Navigation Satellite System)〕の実証機要求の明確化と、実証機システムの開発仕様を検討・整理する。

(c) GNSS要素技術(マルチGNSS化・月近傍航法機能・航法高精度化)の試作試験【③④⑤】

月近傍航法に係る主要部品の要求を明確にするとともに、課題の抽出を行い、その対策をまとめる。

(d) 軽量大口径光学系の研究【⑨】

軽量・高剛性・低熱膨張な光学素材を用いた軽量大口径な光学系の実現に向け、軽量・高剛性・低熱膨張な光学素材の検討・評価を行い、採用する光学素材を決定する。

(e) 搭載補償光学技術の研究【⑩】

小型のアクチュエータを用いた光通信装置に組み込める超小型の搭載補償光学系を実現に向け、素子の基礎検討、要素試作を行い、必要な素子の要求を明確にする。

次年度の事業計画(案)

② LNSS実証機システムの検討

初年度の成果を踏まえ、LNSS実証機の商品化の概念検討、サブシステムであるGNSS受信機の試作機設計に早期に着手する。

③ マルチGNSS化

初年度の成果を踏まえ、マルチGNSS対応のコアチップ試作に早期に着手し、機能・性能を評価する。マルチGNSSによる航法をPCシミュレーションで実施、課題抽出を行う。

④ 月近傍航法機能

初年度の成果を踏まえ、月近傍航法のシミュレーション環境を早期に構築し、課題抽出と、その対策を検討する。

⑤ 航法高精度化

初年度の成果を踏まえ、オンボード精密単独測位(PPP)航法ソフトウェアの試作に早期に着手し、評価する。

⑥ 国際インターオペラビリティ方式の研究

NASA/ESA等との調整、中継装置のBBM試作を行う。

⑦ 遠距離捕捉追尾技術の研究

補足追尾方式の詳細検討、解析等を行う。

⑧ 月-地球間通信用高感度送受信技術の研究

BBMの設計を行い、BBM試作を開始する。

⑨ 軽量大口径光学系の研究

初年度の成果を踏まえ、設計に早期に着手する。

⑩ 搭載補償光学技術の研究

初年度の成果を踏まえ、素子単体の部分試作に着手する。

プロジェクト番号：R3-02

月面におけるエネルギー関連技術開発

令和3年度配分額：経済産業省 2.2億円
総務省 2.2億円

主担当庁：経済産業省、総務省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

背景・必要性

- 我が国は2019年に米国提案のアルテミス計画への参画を決定。当該計画への参画に当たっては、民間事業者等とも協働しつつ、月・月以遠での持続的な探査活動に必要な基盤技術の開発・高度化を進めることとしている。
- 月面での宇宙飛行士の常時滞在、それに先立つ短期間の有人月面探査、居住施設の設置・建設等、月面でのあらゆる活動において、電力の確保・安定供給が必要となる。
- また、月の極域、永久影等のレゴリス土壌には一定量の水氷が存在すると考えられており、水氷から水を抽出し、月面離着陸機等の燃料(水素・酸素)等として利用することは、地球の資源に依存しない持続的な月面活動を可能とする上で重要である。
- 本事業では、こうした月面活動に必要なエネルギー関連技術の開発・高度化を進める。

各省の役割

- 経済産業省：月面エネルギーシステム全体に関するF/S、無線電力伝送技術及び水電解技術開発の実施
- 総務省：水資源探査技術開発の実施
- 文部科学省：JAXAの専門知識を含め、ニーズ等に係る要求・技術的助言

事業の内容

- 月面活動におけるエネルギーの確保・供給に必要な技術の開発・高度化のため、以下の事業を行う。
 - ①月面エネルギーシステム全体に関する技術課題整理
月面での発電、蓄電、送電(無線電力送電等)を含む電力供給システムや、エネルギーとしての水素の確保・利用のためのシステム等、必要なエネルギーシステムの全体構造について実現可能性を検討し、将来的に開発が必要とされる要素技術等について整理する。
 - ②テラヘルツ波を用いた月面の水エネルギー資源探査技術開発
テラヘルツ波による水・氷検出の有効性の検証、複数周波数対応センシング機器の開発、軌道上データ処理技術を開発するとともに、小型衛星への搭載、月面における水資源探査の実証を検討。
 - ③月面利用を見据えた水電解技術開発
水を電気分解して水素と酸素を生成する水電解装置について、
 - ・月面での活用を見据えた水電解装置の開発(小型化、軽量化、真空・放射線試験等)
 - ・月面等の低重力下で正常に作動する気液分離機構、ガス排出機構等の技術開発を行う。

留意事項

- 月面水探査のセンサは様々な候補がある中、今後のJAXAの計画検討と連携しつつ開発を進めるとともに、他分野への波及・応用を視野に入れた開発に取り組むこと。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること

月面におけるエネルギー関連技術開発

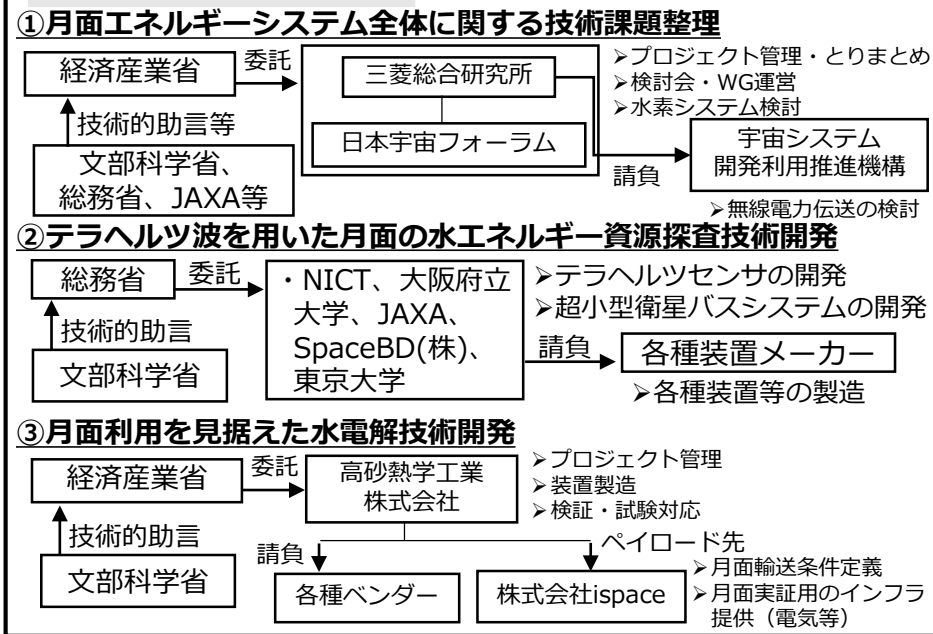
主担当庁：経済産業省、総務省
連携省庁：文部科学省
(事業期間4～5年程度)

事業計画

- 月面活動におけるエネルギーの確保・供給に必要な技術の開発・高度化のため、以下の事業を行う。
- ① **月面エネルギーシステム全体に関する技術課題整理**
月面での発電、蓄電、送電（無線電力送電等）を含む電力供給システムや、エネルギーとしての水素の確保・利用のためのシステム等、必要なエネルギーシステムの全体構造について実現可能性を検討し、将来的に開発が必要とされる要素技術等について整理する。
- ② **テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査**
テラヘルツ波による水・氷検出の有効性の検証、複数周波数対応センシング機器の開発、軌道上データ処理技術を開発するとともに、小型衛星への搭載、月面における水資源探査の実証を検討する。
- ③ **月面利用を見据えた水電解技術開発**
水を電気分解して水素と酸素を生成する水電解装置について、
 - ・月面での活用を見据えた水電解装置の開発（小型化、軽量化、真空・放射線試験等）
 - ・月面等の低重力下で正常に作動する気液分離機構、ガス排出機構等の技術開発を行う。

	R3	R4	R5	R6	R7
①	基本構成検討	詳細構成検討	システム検討対象の拡充 個別技術のベンチマーク		
	全体アーキテクチャの検討、更新				
②	基本設計 伝搬モデル開発	詳細設計	EM開発	PFM開発	統合検証
③	装置要求仕様 作成 システム設計	詳細設計	機能検証・環境試験 全体システム検証		●引き渡し ●打ち上げ
	水電解装置 地上支援装置製作				

実施体制



留意事項への対応状況

- 月面水探査のセンサは様々な候補がある中、今後のJAXAの計画検討と連携しつつ開発を進めるとともに、他分野への波及・応用を視野に入れた開発に取り組むこと。
→ 検討結果を確認する有識者検討会にJAXAも構成員として参加し、JAXAの計画との連携を担保。また、②においては運営委員会にJAXA/ISASの副所長を迎え、JAXAの計画検討と連携を強化。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること
→ サイエンスニーズを考慮した検討とするため、有識者検討会の構成員として宇宙科学の専門家を複数名選定。

当該年度（初年度）の進捗状況

①月面エネルギーシステム全体に関する技術課題整理

- ▶ 初年度は月面および月周回での太陽光発電システムを軸とした電力供給システムの基本構成の検討を実施するとともに、探査から利用までの水素バリューチェーン全体に必要な各施設の建設・運用に関する基本構成の検討を実施する。
- ▶ 全体アーキテクチャの検討を実施し、3月までに、アーキテクチャの検討に加え、検討前提条件および実現に向けた課題を整理する。
- ▶ 電力および水素に関する欧米および我が国の動向調査を実施する。

②小型軽量な多チャンネルテラヘルツセンサ開発

- ▶ 月科学・月資源工学の研究として、月面主要構成鉱物を含む岩石等を入手し、試料セットを作成する。
- ▶ 誘電率測定装置設計のため、予備実験を実施する。月面の散乱等を考慮した放射伝達シミュレータを開発する。また、それらの成果を踏まえ、センサ仕様を決定する。
- ▶ 衛星デジタル処理技術について、観測データ量と通信量の最適化を行い、仕様を決定する。
- ▶ 衛星バスシステムについて、センサ及び衛星の制約条件、ロケットの条件等を踏まえ、仕様を決定する。

③月面利用を見据えた水電解技術開発

- ▶ 機械配置条件や水電解装置を稼働させるための電気条件、発生する熱条件の整理に向けた基本設計を実施し、テストモデルで検証を行う。水電解装置を搭載するispace社のランダーとのインターフェース条件を整理する。
- ▶ 装置を構成する電解セル、タンク、電磁バルブ、圧力計および電気回路の要求仕様を明確にする。

次年度の事業計画（案）

①月面エネルギーシステム全体に関する技術課題整理

- ▶ 初年度の成果をふまえ、各システム・施設の詳細検討に早期に着手し、技術開発・実証案件への橋渡しを行う。
- ▶ 太陽光以外に検討すべきエネルギー源の洗い出しや、基本構成以外に検討すべき関連施設の洗い出しを行い、全体アーキテクチャの更新を行う。
- ▶ 地球周回軌道からの超長距離無線伝送技術実証実験に向け、ミッション機器開発や衛星バス開発、打ち上げ機選定、地上系整備に一部着手する。
- ▶ 初年度の成果を踏まえ、関連動向の継続・深掘り調査を行うとともに、欧米以外の国についての調査を行う。

②小型軽量な多チャンネルテラヘルツセンサ開発

- 初年度の成果を踏まえ、以下の事項について早期に着手する。
- ▶ 月面の模擬土壌（シミュラント）の作成に着手し、計測により主要構成鉱物のデータベースを構築する。
 - ▶ 試料セットによる誘電率測定やセンサの詳細設計・BBM開発を行う。また、先行してEM開発も一部着手する。
 - ▶ 衛星デジタル処理技術の詳細設計・BBM開発を行う。また、先行してEM開発も一部着手する。
 - ▶ 衛星バスシステムの詳細設計・BBMの開発及び全体最適化を行う。また、先行してEM開発も一部着手する。

③月面利用を見据えた水電解技術開発

- 初年度で実施する設計審査会での合格・成果を踏まえ、以下に早期に着手する。
- ▶ フライトモデルのシステム設計を行い、電解セル等のコンポーネントの詳細設計・製作および機能検証を行う。
 - ▶ 詳細設計の機能に問題がないか、テストモデルを製作し、機能的側面の検証を行う。

プロジェクト番号：R3-01

宇宙無人建設革新技術開発

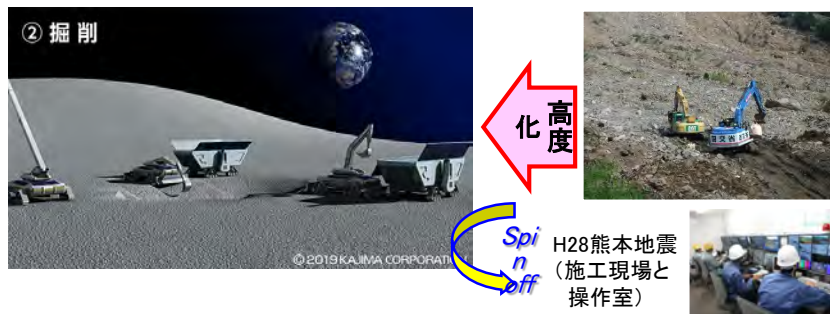
令和3年度配分額：国交省 1.2億円

主担当庁：国土交通省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

背景・必要性

- 宇宙利用探査において世界に先駆けて月面拠点建設を進めるためには、遠隔あるいは自動の建設技術(無人化施工等)は、重要な要素。我が国では、これまで風水害・火山災害を克服するため無人化施工技術が育われ、国際的にも強みを有する。
- 近年、激甚化する災害対応・国土強靱化に加え、人口減少下において、無人化施工技術の更なる高度化と現場への普及は喫緊の課題。(国交省では令和3年4月、インフラDX総合推進室を発足し、本省・地方・研究所が一体で無人化施工等を推進)
- この建設技術を、アルテミス計画等を通じて月面環境に係るノウハウを有する文部科学省と連携して、月面拠点建設へ適用するための技術開発を進めるとともに地上の事業へ波及させる。

(月面無人化施工イメージと地上の無人化施工)



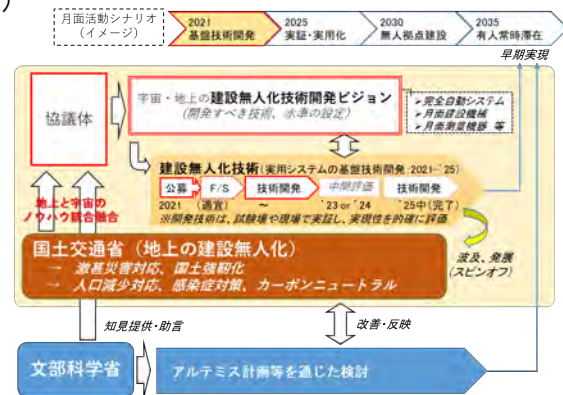
各省の役割

- 国土交通省：無人建設(無人での施工、建材製造、建築等)の開発・現場適用検証、事業展開推進
- 文部科学省 専門的知見の提供及び技術的助言

事業の内容

- 月面開発に資する無人建設技術(施工、建材製造、建築等)の開発を重点化・加速化するため、月面と地上のノウハウを集結。
- 地上の建設事業で導入・開発されている無人建設技術を、月面拠点建設に適用するため、地上建設への展開も考慮しつつ、優先的に開発すべき技術・水準を明確化し、集中投資を図る。
- その際、無人建設に係る各種技術の水準、達成見込みを的確に見極めるために、実験室、試験場、建設現場で実証を行う。

(施策イメージ)



留意点

- 協議体で技術開発ビジョンを策定し、それをもとに、民間企業等へ開発を公募。実現可能性等をF/Sで検証。
- 開発成果について、地上を含む幅広い分野における競争力ある技術として、波及、実用を目指すこと
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること

【進捗報告1/2】
プロジェクト番号：R3-01

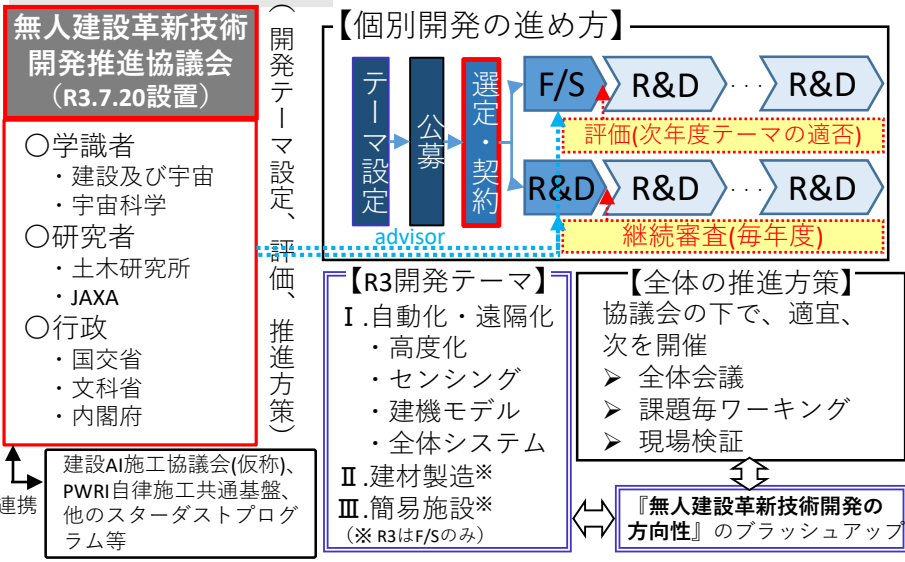
宇宙無人建設革新技術開発

主担当庁：国土交通省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

事業計画

- 将来の月面等での建設活動に資するため、地上の建設技術の高度化を目指し、宇宙と建設の分野横断的な協議会(無人建設革新技術開発推進協議会)を設置し、開発テーマを設定した上で、民間企業や大学等研究機関を対象に実施者を公募。
- 次の3つの技術分野において、F/S及びR&Dを公募。初年度はF/Sを中心に実施。(初年度は、F/S:7百万、R&D:25百万)
 技術Ⅰ：無人建設(自動化、遠隔化)に係る技術
 技術Ⅱ：月面で使用する建材の製造に係る技術
 技術Ⅲ：月面における簡易施設の建設に係る技術
- 応募技術を協議会で審査・選定し、選定者と委託契約を締結。
- 技術研究開発の実施にあたっては、無人建設に係る各種技術の水準、達成見込みを的確に見極めるために、実験室、試験場、建設現場で検証を行う。また、共通課題毎のWGを実施。

実施体制



	R3	R4	R5	R6	R7	
技術Ⅰ	F/S R&D	F/S R&D	F/S R&D	R&D	R&D	
技術Ⅱ	F/S	F/S R&D	R&D	R&D	R&D	
技術Ⅲ	F/S	F/S R&D	R&D	R&D	R&D	
推進体制	協議会設置	宇宙・地上の無人建設革新技術開発の方向性審議 →プロジェクト全体会議、各課題WG、現場実証確認				

留意事項への対応状況

- 協議体で技術開発ビジョンを策定し、それをもとに、民間企業等へ開発を公募。実現可能性等をF/Sで検証。
→協議会にて、開発すべき技術を審議の上、公募テーマを設定し、民間企業等へF/S及びR&Dを公募・選定。開発状況及び宇宙開発動向を踏まえ、技術開発ビジョンをブラッシュアップしていく。
- 開発成果について、地上を含む幅広い分野における競争力ある技術として、波及、実用を目指すこと
→協議会にて、審査、選定した開発技術は、各年度で評価及び継続審査を行い、開発成果の波及、実用を図る。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること
→9月の第2回協議会から宇宙科学の有識者(東大諸田准教授)参画。

【進捗報告2/2】
プロジェクト番号：R3-01

宇宙無人建設革新技術開発

主担当庁：国土交通省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

当該年度の進捗状況

- 分野横断の協議会を7月に設置し、公募テーマを審議し、8月から1か月間の公募を実施。施工会社、機械メーカ、大学等より16件応募があり、協議会での審査を経て、計10件(F/S:8件、R&D/:2件)選定し、10月に委託契約を締結した。

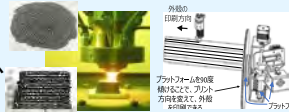
技術Ⅰ：無人建設（自動化、遠隔化）

- 地表と地中センシング、地中杭打、掘削・運搬、敷均し、索道、建機自動化シミュレーションについて、F/S4件、R&D2件実施



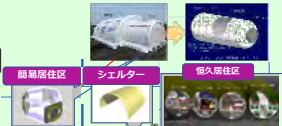
技術Ⅱ：建材製造

- 令和3年度はレゴリスを活用した建材製造、3D-6軸製造技術について、F/S2件実施



技術Ⅲ：簡易施設建設

- 令和3年度はインフレーション構造物、展開構造物に関する技術について、F/S2件実施



- 今回選定した各技術は、月面での一連の建設活動を構成する要素と成り得るため、各技術間の連携が重要であることから、選定後、10月末に全体会議を開催し、各技術の紹介、協議会委員の土木研究所及びJAXAからの関連情報提供を実施。

- 今後、協議会委員の参画の下、自律システムや施設建設等の共通課題に係るワーキングを行い、プロジェクト全体を推進。

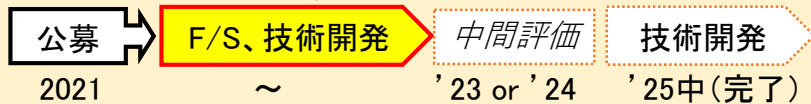
- また、今年12月から翌年2月にかけて、協議会の有識者委員による選定者の実験室、試験場、建設現場の現場検証を行い、各技術のF/S、R&Dの進捗状況を確認し、必要な助言を行う。

- 年度末、協議会にて今年度の成果を評価・審査する予定。

次年度の事業計画（案）

無人建設革新技術開発

(実用システムの基盤技術開発:2021-'25)



※開発技術は、現場・試験場・シミュレータで実証し、実現性を的確に検証

- 初年度の成果を踏まえ、令和3年度に実施したF/Sの評価、R&Dの継続審査に早期に着手し、年度の初頭に完了させる。
- 評価・審査において、F/SからR&Dへの移行、R&D継続の妥当性を確認する。各分野の件数及び金額規模は次を想定。

技術Ⅰ：無人建設（自動化、遠隔化）

- 開発動向と宇宙科学ニーズを踏まえ、F/Sを3件程度選定
- R&DはR3からの継続2件と、R3のF/Sからの移行2～4件を合わせ、計4～6件程度選定

技術Ⅱ：建材製造

- 開発動向と宇宙科学ニーズを踏まえ、F/Sを1件程度選定
- R&DはR3のF/Sからの移行で1～2件程度選定

技術Ⅲ：簡易施設建設

- 開発動向と宇宙科学ニーズを踏まえ、F/Sを1件程度選定
- R&DはR3のF/Sからの移行で1～2件程度選定

(R3は約1年間の期間で、F/Sは8百万/件、R&Dは40百万/件を見込む)

- 次年度、全体会議及び各課題ワーキングを通じ、個々の開発促進とともにプロジェクト全体を推進する。各技術の開発状況等を踏まえ、無人建設革新技術開発ビジョンのブラッシュアップ及び月面開発における建設システム・シナリオへの反映を進める。

プロジェクト番号：R3-03

月面等における長期滞在を支える高度資源循環型食料供給システムの開発

主担当庁：農林水産省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

令和3年度配分額：農林水産省 3.1億円

背景・必要性

- 人類が月面等に長期滞在をし、探査や開発などの持続的な活動を行う上で、食料関連技術はその基盤となる重要な要素である。
- 従来の宇宙食は、地球上で加工・製造し、完成品として持ち込んでいたが、長期間の宇宙活動を支えるためには、月や火星等での食料供給システムの構築が必要。
- 宇宙空間では、作物の成長に必要な水や空気、栄養素が供給されないことから、月面等における施設内で、地球から持ち込む資源を最大限に循環再生し、再利用しながら自律的・効率的に食料を生産するシステムの構築が必要。
- また、長期間にわたる閉鎖空間での集団生活においては、心身や人間関係等の問題が顕在化しやすいため、持続的に心身の健康や健全な人間関係を維持できるようなQOLを確保できる食システムを提供することが必要。
- このような宇宙での現地生産型食料供給システムは、他国では構築されておらず、我が国が国際的なイニシアティブを発揮できる分野であり、これまでの地上における最新の研究成果を結集し、発展・統合していくことで、新たなイノベーション、宇宙ビジネスの創出が図られるとともに、地上の課題解決にも貢献。

留意点

- 農林水産省「新・食料産業の創造に向けた宇宙食の開発・実用化促進事業」の調査・実証との連携を図ること。
- 事業の進捗や海外の動向などをふまえ、事業の絞り込みを含め、不断の見直しを進めること
- 有人活動の経験、ノウハウを持つJAXAの協力を得つつ、開発を進めること。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること

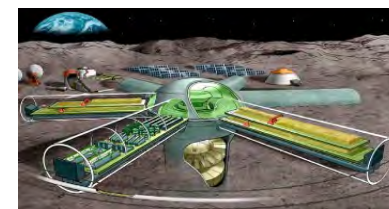
事業の内容

- 月や火星での長期滞在を可能とする、QOLを重視した高度資源循環型食料供給システムを構築する。
- ①高等植物や微細藻類、培養肉などの高効率食料生産技術並びに生物及び物理化学的アプローチによる高効率な有機物等の資源再生技術を組み合わせ、高度資源循環型食料供給システムを開発する。
- ②閉鎖隔離環境における心身や人間関係等に関するリスクの軽減を目的として、各種センシング技術等を用いたQOLの計測機能及びQOLの維持・向上のための食ソリューション機能を有するQOLマネジメントシステムを開発する。
- ③①及び②のシステム統合実証や①に係る宇宙空間での実験を行うため、地上における月面基地模擬施設や宇宙実験モジュール等の共創型実証基盤の構築に向けた設計等を実施する。

極小閉鎖空間における食事イメージ
(心身の健康維持に必要なQOL提供)



月面における食料生産のイメージ



各省の役割

- 農林水産省：全体プロジェクトに係る管理、とりまとめ
- 文部科学省：専門的知見の提供及び技術的助言

月面等における長期滞在を支える 高度資源循環型食料供給システムの開発

主担当庁：農林水産省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

事業計画

月及び火星等における長期滞在に必要な①高度資源循環型食料供給システムと②QOLマネジメントシステムの実証モデルを開発すると共に、それらの実証のために必要となる③共創型実証基盤の設計等を実施する。

①高度資源循環型の食料供給システムの開発

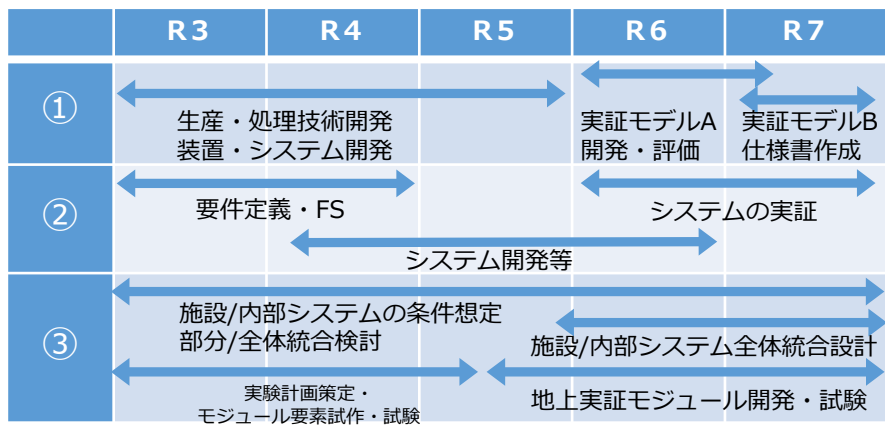
- R3:食料生産・資源再生技術の向上のための初期開発・試験
 - R4:食料生産・資源再生技術の向上に向けた高度化開発・最適化開発
 - R5:食料生産・資源再生技術の向上に向けた高度化開発・最適化開発
 - R6:実証モデルA(サブスケール)の開発・評価
 - R7:実証モデルAの評価、実証モデルB(フルスケール)の仕様書作成
- 目標:4人以上が必要とするほぼ全ての栄養素とQOLを持続的に確保するシステムの実証モデルの開発

②QOLマネジメントシステムの開発

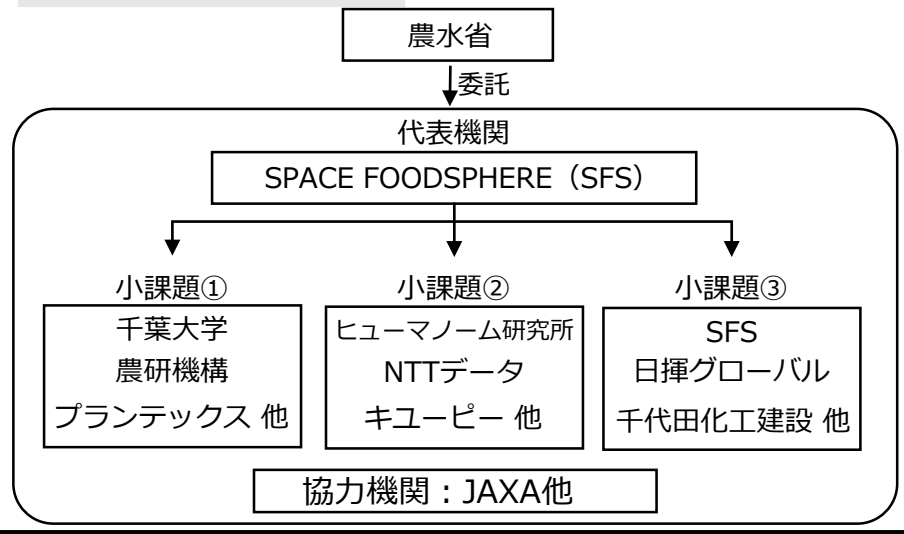
- R3:システムの要件定義・FS
 - R4:システムの要件定義・初期開発
 - R5:システムの開発
 - R6:システムの開発・実証
 - R7:システムの実証
- 目標:4人以上のクルーの心身の健康や健全な人間関係の維持支援

③共創型実証基盤の設計

- R3:条件想定、要素試作・試験
 - R4:部分統合検討、要素試作・試験
 - R5:部分統合検討、開発・試験
 - R6:全体統合設計、開発・試験
 - R7:全体統合設計、開発・試験
- 目標:4人が滞在可能な閉鎖実験施設ISS/月面での実験モジュール設計等



実施体制



留意事項への対応状況

- 農林水産省「新・食料産業の創造に向けた宇宙食の開発・実用化促進事業」の調査・実証との連携を図ること。
→該当促進事業で得られた宇宙食料開発に関する知見は、適切に研究計画に反映していく。
- 事業の進捗や海外の動向などをふまえ、事業の絞り込みを含め、不断の見直しを進めること。
→本プロジェクトの研究計画及び進捗管理を行うために、外部専門家・行政委員から構成される「月面等における長期滞在を支える高度資源循環型食料供給システムの開発」戦略プロジェクト運営委員会を設置し、適切に運営していく。
- 有人活動の経験、ノウハウを持つJAXAの協力を得つつ、開発を進めること。
→本研究の委託コンソーシアムの協力機関にJAXAが参画している。
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家を参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること。
→本プロジェクトの研究計画及び進捗管理を行う運営委員会に、各要素技術の外部専門家に加え、宇宙科学を専門とする有識者を参画させており、ニーズを踏まえた運営を行っている。

月面等における長期滞在を支える 高度資源循環型食料供給システムの開発

主担当庁：農林水産省
連携省庁：文部科学省
(事業期間5年程度)

当該年度の進捗状況 (計画)

① 高度資源循環型の食料供給システムの開発

①-1 高等植物生産システムの開発

閉鎖循環型の高等植物栽培装置の試作機製作及び初期的な栽培試験を実施する他、イモ類に適したレゴリス多孔体構造を導出し試験を実施。

①-2 高等植物の品種開発

イネ・ダイズについて矮性等の条件で交配母本となる系統を選抜する他、トマトについてはゲノム編集ベクターを構築しゲノム編集実験を開始。

①-3 培養食料生産システムの開発

廃棄物処理液等による微細藻類の培養検証や装置開発を実施する他、得られた微細藻類からの抽出液を用いた初期的な細胞培養実験等を実施。

①-4 資源再生システムの開発

食品残渣及び糞尿の処理に際した資源再生システムにかかる評価システムを開発する他、各種廃棄物の処理条件や回収率等の初期検証を実施。

② QOLマネジメントシステムの開発

②-1 QOL計測/観察システムの開発・実証

計測/観察デバイスの一次選定と各システムに関する要件定義を実施する他、データ取得や可視化など一連のプロセスの検討課題抽出を実施。

②-2 食の支援ソリューション開発

極めて限られたリソース環境における食関連課題及びその解決方法に関する知見の収集を実施する他、実装すべき機能要件の候補抽出を実施。

③ 共創型実証基盤の設計等

③-1 月面基地模擬施設の設計

月面基地模擬施設にかかる条件想定と技術統合検討を実施し、システム統合検討報告書を成果物とする他、運営スキームの初期検討を実施。

③-2 宇宙実験モジュールの設計等

ISS、月面の宇宙環境で検証すべき課題抽出とこれを検証する実験計画素案を策定する他、評価用ブレッドボードモデルの試作と評価を実施。

次年度の事業計画 (案)

① 高度資源循環型の食料供給システムの開発

①-1 高等植物生産システムの開発

初年度の成果を踏まえ、製作した装置に環境制御・生育計測の遠隔管理機能の付加等に加えて、高収量を得られる生育制御技術の開発に早期に着手する他、多孔体構造改良によりイモ類の収量向上。

①-2 高等植物の品種開発

初年度の選抜系統の成果を踏まえ交配に早期に着手すると共に、ゲノム編集に着手し得られた変異体の生育特性を予備検証。

①-3 培養食料生産システムの開発

初年度の成果を踏まえて藻類培養装置のスケールアップに早期に着手する他、動物細胞培養用の栄養素抽出のため藻類の分解率を60%まで向上。

①-4 資源再生システムの開発

初年度のシステムで得られた解析データに基づき、早期に前処理や中間処理の追加導入等、再生資源回収率を高める技術開発を実施。

② QOLマネジメントシステムの開発

②-1 QOL計測/観察システムの開発・実証

初年度の要件定義等の成果を踏まえて、早期にQOL計測・観察システムの全体の基本設計やFSを実施する他、閉鎖実験の予備検討を実施。

②-2 食の支援ソリューション開発

初年度の要件定義等の成果を踏まえて、早期に食の支援ソリューションに関する基本設計・FSを実施する他、食料供給プランの初版を策定する。

③ 共創型実証基盤の設計等

③-1 月面基地模擬施設の設計

初年度の小課題①等の開発/検討結果に基づき、早期に統合検討内容の更新を実施する他、各コンポーネント間の要件定義の調整等を実施。

③-2 宇宙実験モジュールの設計等

初年度に開発した要素試作装置を元に、早期に複数の実試料を用いた栽培/生育実験を実施する他、機能検証モデルの設計/開発を実施。

小型SAR衛星コンステレーションの 利用拡大に向けた実証

主担当庁：内閣府
連携省庁：関係各省
(事業期間4年程度)

背景・必要性

- 近年、リモートセンシング衛星の分野においても、高頻度観測が可能な小型衛星コンステレーションへのニーズが高まっている。
- 特に、夜間、天候を問わず観測が可能である等の特徴を持つSAR衛星（レーダー衛星）は、災害対応、海洋監視、安全保障、国土管理など様々な分野での利用が期待されており、政府関係機関において継続的に利用していくことが望ましい。
- 国内にも優れた技術を有する民間事業者が登場しているが、現時点では衛星機数が少なく、増機に向けた更なる投資が必要。この際、行政機関が利用を拡大し、民間投資の呼び水となることが期待されている。
- こうしたことから、本格的な利用を拡大していくため、様々な行政分野において、小型SAR衛星コンステレーションを試用し、早期にその有効性、実用性や課題等を評価、整理することが必要。

各省の役割

- 内閣府：全体のプロジェクト管理、とりまとめ。
- 関係各省：データの利用、評価

留意点

○

事業の内容

- 小型SAR衛星コンステレーションについて、潜在的な利用ニーズを有する行政分野において利用実証を行い、行政実務利用の観点からの有効性、実用性を検証・評価するとともに、改善すべき課題等を整理する。
- 利用実証を行う分野は、関係省庁のニーズや事業者提案を踏まえ、内閣府において取りまとめる。
- また、衛星機数が徐々に増加していくことによるコンステレーション全体としての能力向上や、できる限り多くの分野で実証を行う観点から、4年程度に渡り利用実証を行う。
- 利用実証の結果を踏まえ、各省においても本格的な利用（調達）に向けた検討を進める。

