プロジェクト番号: R2-06

衛星のデジタル化に向けた革新的FPGAの研究開発

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

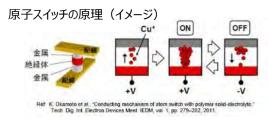
- 衛星軌道上でのビッグデータ処理、打上げ後の柔軟な機能 変更など、人工衛星においてもデジタル化の波が押し寄せ ており、通信・観測・測位など幅広い宇宙活動に革新的な変 化をもたらし、国際競争力の強化や多様化する宇宙利用 ニーズにも対応していく上で、避けて通ることはできない。
- このような衛星のデジタル化を実現していく上で、高速処理や書き換え可能な特徴を持つ高性能FPGA[※]は、必須の中核的なデバイスである。

※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。

事業の内容

- O 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。
- 〇 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。



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

予算配分額

- 〇 令和2年度(補正)配分額:2.1億円
- 〇 令和3年度(補正)配分額:2.5億円

【進捗報告1/2】 プロジェクト番号: R2-06

衛星のデジタル化に向けた革新的FPGAの研究開発

主担当庁: 文部科学省

連携省庁:経済産業省

(事業期間2年程度)

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。

- ①2021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。

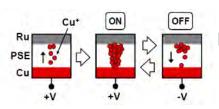
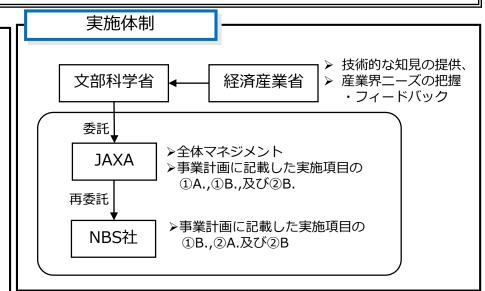


図 ナノブリッジ断面模式図 (金属の配線間を銅イオン で接続/切断を切り替える 微小スイッチ技術)

	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)	\rightarrow	
	B. ナノブリッジFPGA要素回路の 耐放射線強化設計	\rightarrow	
2	A. テストチップ製造設計		→
	B. テストチップ試作評価		\longrightarrow



留意事項への対応状況

○ナノブリッジFPGAについては、車載用としての開発が進められているが、こういった国内外の他産業での市場動向について、担当省庁やJAXAは一層の情報収集に努める必要がある。

⇒JAXAとして学会参加、欧米の部品企業交えたワークショップの開催により国内外の市場動向について把握した。また、文部科学省においてもデバイスに係る調査を実施した。加えて、NBS社と協力して他産業(車載)の検討状況に関する情報を収取した。

○多くのユーザに使わせて技術を枯らせていくことが必要であり、 プロジェクト終了後の速やかな宇宙実証機会についても、検討を進めていくことが必要である。

⇒JAXAが取り纏める宇宙用部品技術WG活動の中で、ユーザ要望としてハイエンドSoC FPGA(16nm) に加え、小~中規模FPGAのラインアップ化の強い要望も確認した。小~中規模のFPGAの宇宙実証について検討を進めている。

【進捗報告2/2】

プロジェクト番号: R2-06 | 金目のごぶね!!

衛星のデジタル化に向けた革新的FPGAの研究開発

主担当庁:文部科学省 連携省庁:経済産業省

(事業期間2年程度)

当該年度の進捗状況

②A.テストチップ製造設計(完了)

➤ 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(半導体ウェハ上にトランジスタや配線をどのように並べるか決める作業)を実施、耐放射線性とFPGA機能を網羅的に検証できるテストチップの設計を完了した。



4mm×3mmのチップ領域に **ロ** ナノブリッジ(NB)FPGA

□ 放射線対策確認用回路

□ SRAM回路
□ NB特性確認用回路

等を配置した

(左図はフロアプランイラスト)

②B.テストチップ試作評価(年度末達成見込み)

➤ Aの結果を用いて、7月よりテストチップ製造を開始(年度内の製造完了見込み)。製造完了後、テストチップに搭載した FPGA要素回路を実際に動作させ、目標仕様(放射線耐性 閾値 LETが40 MeV/(mg/cm2)程度、消費電力5~10W程度、等)が達成できているかを試験し、要素回路技術構築を完了する。

総括(初年度および当該年度の成果のまとめ)

- ➤ 第三世代NB-FPGAについては、耐放射線性、低消費電力性能にめどが立ち、大規模試作に移れる準備が完了した。ユーザ要望、市場動向についても把握を行った。
- ➤ 第二世代NB-FPGAについては、多数決処理やメモリエラー修正処置等の一般的な放射線対策により、低軌道衛星等に利用可能なことが判明した。
- ▶ 上記結果を踏まえ、耐放射線NB-FPGAの製品仕様を固めるとともに、本研究に続く研究開発計画を具体化する。また、実証可能なデバイスから早期に宇宙実証する計画の検討を進める。

次年度の事業計画(案)

当該テーマは今年度で終了予定

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

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

- 〇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、月一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

予算配分額

- 〇 令和3年度(当初)配分額:2.0億円
- 〇 令和3年度(補正)配分額:9.0億円

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

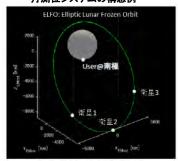
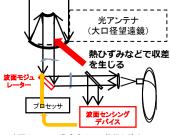


図2. ELFO上の3機配置例 (866km×8742km×56.2°, ΔM = 90°)



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

〇通信システム関連

- 月面活動に向け、月一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ー地球間での高速・大容量 通信の実現に必要となる研究開発の実施(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)

【進捗報告1/2】 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

主担当庁:文部科学省

連携省庁:総務省

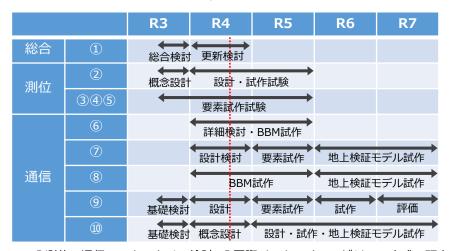
(事業期間5年程度)

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。

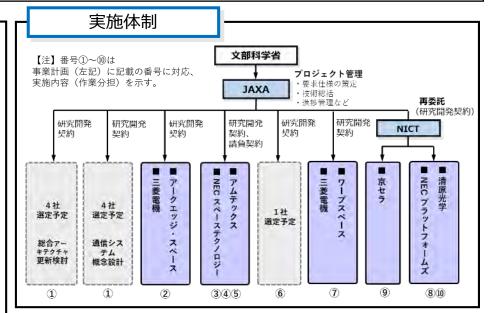
本事業の最終目標として、**航法精度40m(水平)を目標**として、 測位に係る以下のキー要素技術(③~⑤)の開発を行い、成熟度 TRL4 (実験室環境レベルでの有効性確認)まで上げる。また、 **月一地球間の高速通信1Gbpsを目標**として、通信に係る以下の キー要素技術(⑥~⑩)成熟度TRL4 を目指す。

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。



- 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
 - ③マルチGNSS化
 - ④月近傍航法機能
 - ⑤航法高精度化

- の国際インターオペノビリティ 万式の研究
- ⑦遠距離捕捉追尾技術の研究
- ⑧通信用高感度送受信技術の研究
- 9軽量大口径光学系の研究
- ⑩搭載補償光学技術の研究



留意事項への対応状況

- 諸外国に先んじて技術開発・実証を行い、各国に対して実績を示していくこと。NASAやESA等との意見交換を行いながら事業計画に随時反映し着実にプロジェクトを遂行すべき。
- → NASA/ESA との協働による技術実証ミッションや中長期開発 計画に関する意見交換を継続的に行っており、日本の強みとする キー技術の実証ミッションを事業計画に適宜、反映させる予定。
- 小さな要素技術レベルでも実証機会を模索し、段階的にアピールできるように進めていくこと。
- → GNSS受信機を月周回に投入し、GNSS信号を受信して軌道・ 時刻決定し、航法メッセージとして月面に送信する実証実験を 2028年度に実施する計画について検討を始めている。

【進捗報告2/2】 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

主担当庁:文部科学省 連携省庁:総務省

(事業期間5年程度)

当該年度の進捗状況

1 総合アーキテクチャの更新検討

NASA/ESAと協調しつつ、日本としてメリットのある総合アーキテクチャの検討条件を整理。年度内に更新する予定。

② LNSS実証機システムの検討

システム要求案に整合し、かつマルチGNSS受信機と整合の取れたシステム成立性を確認中。測位ペイロード試作に着手予定。

③ マルチGNSS化

マルチGNSS対応コアチップの信号処理部/航法メッセージ処理部及び航法ソフトウェアを試作中。シミュレーションにより機能性能を評価する予定。

4 月近傍航法機能

月近傍航法ソフトウェアの要求分析、方式のトレードオフ検討を 実施中。その結果をもとに設計試作を行う予定。

⑤ 航法高精度化

オンボード精密単独測位アルゴリズムを検討中。航法精度改善 効果を定量的に評価する予定。

⑥ 国際インターオペラビリティ方式の研究

途絶補償ネットワーク(DTN)技術の高速化のための実装アーキテクチャを検討検討中。今後、実現性について実験検証を行う予定。

⑦ 遠距離捕捉追尾技術の研究

InGaAs四分割アバランシェ光検出器、及びコヒーレント追尾センサの試作評価を実施中。評価結果から実現性を見極める予定。

- 8 月-地球間通信用高感度送受信技術の研究(⑩含む)補償光学系制御アルゴリズムを検討中。FPGA実装検討を行う予定。
- 9 軽量大口径光学系の研究

大口径望遠鏡の詳細設計を実施中。今後、設計検証を行う予定。

次年度の事業計画(案)

② LNSS実証機システムの検討

今年度の成果を踏まえ、実証機測位ペイロード部の試作設計を 経て早期に試作・試験に着手し、実現性を評価する。

③ マルチGNSS化

今年度の成果を踏まえ、マルチGNSS対応コアチップのBBMを早期に試作し、機能性能評価を行う。

4 月近傍航法機能

今年度の成果を踏まえ、月近傍航法ソフトウェアの改良を早期に 行い、シミュレーションにより性能評価を行う。

⑤ 航法高精度化

今年度の成果を踏まえ、検討したオンボード精密単独測位アルゴリズムを用いたソフトウェアの試作評価を早期に行い、マルチGNSS対応コアチップの開発仕様に反映する。

⑥ 国際インターオペラビリティ方式の研究

DTN通信ノード用ソフトウェアに係る宇宙用FPGAを用いた試作を早期に着手し、BBM試作を行う。

⑦ 遠距離捕捉追尾技術の研究

今年度の成果(試作評価)を踏まえ、システム設計検討を早期に 着手し、要素技術の搭載性評価を行う。

⑧ 月 - 地球間通信用高感度送受信技術の研究(⑩含む)

早期に試作に着手し、光学系・センサと組み合わせたコンポーネ ントの1次試作を次年度中に完了させる。

9 軽量大口径光学系の研究

早期に試作に着手し、次年度中に要素試作を完了させる。

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)

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 術が培われ、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。

(月面無人化施エイメージと地上の無人化施工)

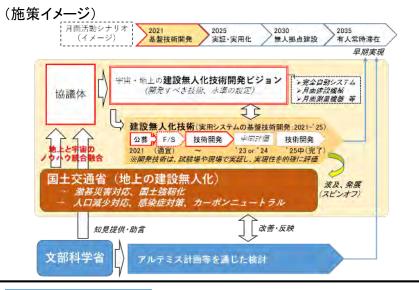


各省の役割

- 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
- 〇 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、<u>月</u> <u>面拠点建設に適用するため</u>、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。



予算配分額

- 〇 令和3年度(当初)配分額:1.2億円
- 〇 令和3年度(補正)配分額:3.9億円

【進捗報告1/2】 プロジェクト番号: R3-01

継続事業_進捗報告フォーマット 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 技術皿: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

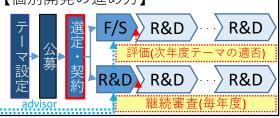
無人建設革新技術 開発推進協議会 (R3.7.20設置)

- ○学識者
 - ・建設及び宇宙
 - · 宇宙科学
- ○研究者
 - 土木研究所
 - · JAXA
- ○行政
 - 国交省
 - · 文科省
 - · 内閣府

建設機械施工の自動化・ 自律化協議会、土研自律 施工共通基盤、他のス

ターダストプログラム等

【個別開発の進め方】



【開発テーマ】

- I.自動化·遠隔化
 - ・高度化
 - ・センシング
 - 建機モデル
- 全体システム
- Ⅱ.建材製造※
- Ⅲ.簡易施設※ (※ R3はF/Sのみ)

【全体の推進方策】 協議会の下で、適宜、

- 次を開催
- ▶ 全体会議
- ▶ 課題毎ワーキング
- ▶ 現場検証

『無人建設革新技術開発の **√ √ 方向性**』のブラッシュアッフ

留意事項への対応状況

- ○戦略プロジェクトである「月面活動に向けた測位・通信技術開 発 | の担当省庁や J A X A 等とも十分な連携を図る必要がある。
- →10月28日に文科省等と意見交換を実施。特に、開発目標の測位精 度及び通信性能について、当プロジェクトとの関連を確認。また、 6月30日にはエネルギー関連(経産省)と意見交換し、開発状況 を確認。なお、JAXAは当協議会委員及び個別プロジェクトに参画
- ○将来的な技術の維持、向上には、開発成果を、地上を含めて幅広 く利用していくことが重要である。
- →当プロジェクトは、月等の開発で必要な技術として、地上の建設 技術の基盤技術開発を進めており、公募をはじめ、関連技術の現 場検証や実演等、地上事業への発展性を考慮して推進している。

【進捗報告2/2】

プロジェクト番号: R3-01

継続事業 進捗報告フォーマット 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

- 令和3年度に実施したF/S 8件およびR&D 2件で得られた成果を踏ま え、産学官の協議会における継続審査を経て、適宜、条件を付して選 定(R&Dは2件全て継続、F/Sは7件をR&Dに移行し1件をF/Sとして継 続)し、7月までに委託契約を締結した。
- 更に令和4年度からの新規F/Sを公募し、協議会の審査を経て3件を 選定し、8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/S2件、R&D6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/S1件、R&D 1件**実施



技術Ⅲ:簡易施設建設

- ▶ 令和3年度はインフレータブル構造物、展開構。 造物に関する技術について、**F/S1件、** R&D 2件実施
- 協議会委員の参画の下、6月28日に**全開発者が集う全体実務会議** を、9月7日に自動施工技術の開発者が集うワーキングをそれぞれ開 催し、プロジェクト全体を推進している。
- 11月21.22日には、国交省の建設DX実験フィールドにて、協議会委 員及び産学官の関係者600名参加の元、「遠隔施工等実演会」を開 催し、最新の遠隔施工等の実演とともに当プロジェクトの進捗成果報 告(全13件)を行い、実事業での活用を見据えた開発状況を確認した。
- また、翌年1月から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)

F/S、技術開発

技術開発

2021

'23 or '24 '25中(完了)

※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

- 今年度の成果を踏まえ、令和4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)

▶ R&DはR4からの継続6件と、R4のF/Sからの移行2件を合わせ、 計8件程度選定

技術Ⅱ:建材製造

▶ R&DはR4からの継続1件と、R4のF/Sからの移行1件を合わせ、 計2件程度選定

技術皿:簡易施設建設

▶ R&DはR4からの継続2件と、R4のF/Sからの移行1件を合わせ、 計3件程度選定

(R&Dは基本40百万/件を見込み、評価結果で上下)

- 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の方向性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。
- 測位・通信等他プログラムの開発の進捗に応じ定期的に情報 交換を行い、技術の相互利用を図る。
- 開発状況を踏まえ、**内容と共に実施体制の見直し**を求める。