

今後の我が国の地球低軌道活動及び国際宇宙探査の 在り方(中間とりまとめ)を踏まえた検討状況について

2023年6月12日

文部科学省 研究開発局

宇宙開発利用課 宇宙利用推進室



文部科学省

MEXT

MINISTRY OF EDUCATION,

CULTURE, SPORTS,

SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

中間とりまとめの記載 (一部抜粋)

4. 2030年代のISSを含む地球低軌道活動を見据えた取組

(2) 利用拡大

- 民間移行に資するため、政府としても、国としての利用の見通しや方向性を示し民間企業による事業の予見性を高めるとともに、民間企業の事業が軌道に乗るまでの間、以下のような支援をしっかりと行うことが重要である。
 - **事業や技術の実証機会、低軌道における事業運営・システム運用等のノウハウの蓄積機会の提供**
- **将来の地球低軌道における民間需要の掘り起こしを強力に推進するため、新たに民間の創意工夫を活用して地球低軌道の利用を促進する支援**に取り組む。

検討状況

● ISSの利用促進に係る検討

- 地球低軌道における利用機会の拡大という観点から、**非宇宙産業をはじめとする民間企業による宇宙事業参入促進という政策を推進するため、JAXAが管理する「きぼう」の利用枠の一部を、国が支援する民間事業者に提供し、「きぼう」の利用促進等を担わせる**ことで、宇宙の利用機会の拡大を図っていくことが必要。
- 当該民間事業者の創意工夫で新規利用者の開拓を行うとともに、利用にあたって、利用者のニーズを踏まえた実験装置の開発や安全審査支援などを行うことを検討している。

利用促進業務

- 利用者開拓、利用相談、利用者募集・選定、利用支援、利用機会・打ち上げ機会調整業務 (JAXAとの調整含む)

安全審査支援業務

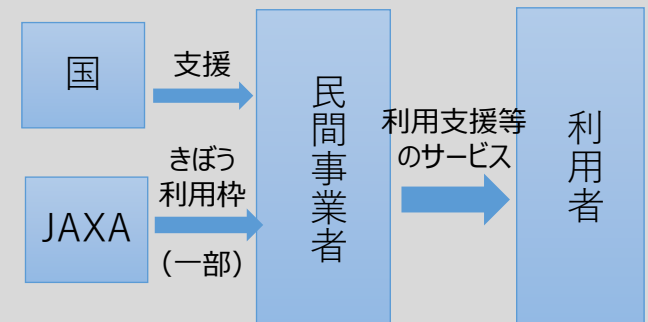
- 安全審査書類作成支援、安全審査手続代行、打上実績品カタログ作成業務など

実験装置の開発支援業務

- 利用企業のニーズ・計画に合わせて、軌道上で使用可能な実験装置の開発、安全審査、ISSへの運搬等を支援する。

地球低軌道利用推進フォーラム(仮称)事務局業務

- 関心を有する企業・団体等で構成されるコミュニティを形成し、民間需要の掘り起こしや新規参入しやすい環境づくりなどについて議論していただく場を設け、その事務局機能を担う



イメージ図

中間とりまとめの記載 (一部抜粋)

4. 2030年代のISSを含む地球低軌道活動を見据えた取組

(2) 利用拡大

- 民間移行に資するため、政府としても、国としての利用の見通しや方向性を示し民間企業による事業の予見性を高めるとともに、民間企業の事業が軌道に乗るまでの間、以下のような支援をしっかりと行うことが重要である。

- **民間の事業アイデア・構想の実現に向けた事業共創等による支援**

(J-SPARC、宇宙探査イノベーションハブ等)

- **事業や技術の実証機会**、低軌道における事業運営・システム運用等のノウハウの蓄積機会の提供

検討状況

- 地球低軌道利用拡大に向けた民間の取り組みに対する支援
ポストISSにおける地球低軌道を利用した民間事業者のビジネスアイデアに関して、**実証機会の確保や支援の在り方について検討を進める。**

<ビジネスアイデアの例>

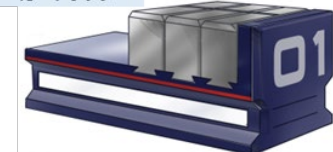
- 地球低軌道拠点からの高頻度再突入・回収事業
現在、ISSからの回収の機会は限られているが、小型回収カプセルに推進装置などを取り付けて、高頻度に回収するサービスを提供する。(J-SPARC案件あり)
- 小型無人の再突入機による宇宙環境利用・回収事業
人手を介す必要がない実験や、人手を介すと安全上危険な実験などを、地球低軌道拠点を介さず、簡易かつ高頻度を実施するためのシステムを用いた地球低軌道利用サービスを提供する。
- 汎用軌道上実験装置を用いた利用サービス提供事業
新規ユーザの参入を促進するため、利用ニーズの多いライフサイエンス系実験(細胞培養、植物実験等)について使いやすく汎用な実験装置の開発を行い、地球低軌道拠点上でサービスを提供する。



地球低軌道拠点からの高頻度再突入・回収事業イメージ (JAXA)



キャビネット



カートリッジ

汎用軌道上実験装置イメージ

中間とりまとめの記載 (一部抜粋)

4. 2030年代のISSを含む地球低軌道活動を見据えた取組

(2) 利用拡大

- 地球低軌道拠点への物資輸送に関しては、国として必要な物資輸送を自律的に実施できる能力を維持するだけでなく、民間による物資輸送サービス化も見据えて、地球低軌道の利用を促進することで、民間の物資輸送需要の大幅拡大に繋げていくとともに、引き続き、**我が国の輸送システムの競争力強化に資する取組を進める。**

(3) その他

- 我が国の強みを活かした形での国際協力による対応の可能性も含め、我が国の地球低軌道における経済活動等の継続的な実施と拡大を支えるシステムの具体的検討を行うとともに、**輸送をはじめとする高信頼性・低コスト化基盤技術、低軌道プラットフォーム**や有人往還技術、効率的な拠点運営に資する遠隔化・自動化・自律化技術、高効率環境制御・生命維持技術など、**国の活動の自立性・自在性確保や民間活動を支える先進的・基盤的技術について、要素技術・システムの研究開発を進める。**

検討状況

●HTV-Xの多用途化の検討

①ポストISSにおける民間商業ステーション向けの物資輸送への対応

HTV-Xの開発を継続するとともに、民間による物資輸送サービス化を見据え、ISSへの物資補給機 (HTV、HTV-X) の開発・運用経験を活かし、**ポストISSにおける民間商業ステーション向けの物資補給機の実現に必要な技術や試験・運用設備に関する開発要素、支援等について、検討を開始。**

- 具体的には、民間事業者等へのヒアリングを通じて、どのようなシステム技術および要素技術 (大容量化/軽量化、新しい通信・暗号化、商業ステーションの軌道調整機能など) が必要か検討を進める。

②低軌道プラットフォーム関連の先進的・基盤的技術の強化

日本実験棟「きぼう」、HTV、HTV-Xなどで得られた成果を活用した、**地球低軌道の利用環境の構築に必要な要素技術等の開発について、検討を開始。**

- 具体的には、民間事業者等へのヒアリングを通じて、どのようなミッション要求が必要で、その実現のためにどのような要素技術・システム (遠隔化・自動化・自律化技術、高効率環境制御・生命維持技術、バッテリー、太陽電池パドルなど) が必要か検討を進める。

中間とりまとめの記載(一部抜粋)

- 2030年代のアルテミス計画を含む国際宇宙探査を見据えた取組
 - 国際宇宙探査に必要とされるシステムの研究開発、技術実証には中長期を要することから、**国による研究開発プロジェクトの実施や技術支援に早期に着手し、それぞれの導入時期を見据えて着実に開発を進める必要がある。**
 - 国際協力による月・火星探査(アルテミス計画を含む)に向けた研究開発**
 - 例) 環境制御・生命維持システム、ゲートウェイ補給機、**有人と圧ローバ**、月周回衛星による測位・通信
 - アルテミス計画への貢献に資する研究開発について、本格的な開発への着手を進めるとともに、それ以外の月・火星探査に向けた技術開発についても、国際協力を活用しつつ、国際的プレゼンスを効果的に発揮できるよう戦略的に進める。

検討状況

● 有人と圧ローバ

① 進捗状況と今後の予定

- 2029年打上げ、2030年から運用開始を目指し、**NASAと共同のシステム要求審査に向けての調整を開始。**
- NASAと共同での有人と圧ローバのミッション定義審査は5/24に完了。特に酸素タンクなどの月面での交換方法やシステム要求の調整計画を合意。
- 再生型燃料電池について、トヨタとホンダの2社と概念検討を完了し、**有人と圧ローバ搭載の目途が付いた。**現在**試作を開始**したところ。2023年度中に試作機試験完了予定。
- 走行システムについて、トヨタと概念検討を進め、**システム要求(速度、回転半径、乗越え性能など)を満たすコンセプトを明確化にし、順次試作を開始**している。2023年度中に試作機完成予定。



NASAと共同でのミッション定義審査本審査会@JSC

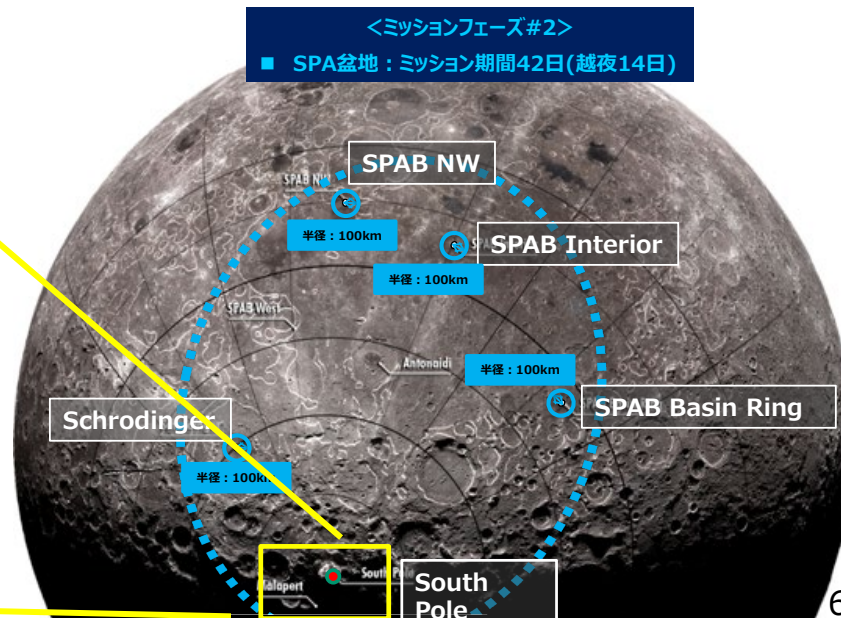
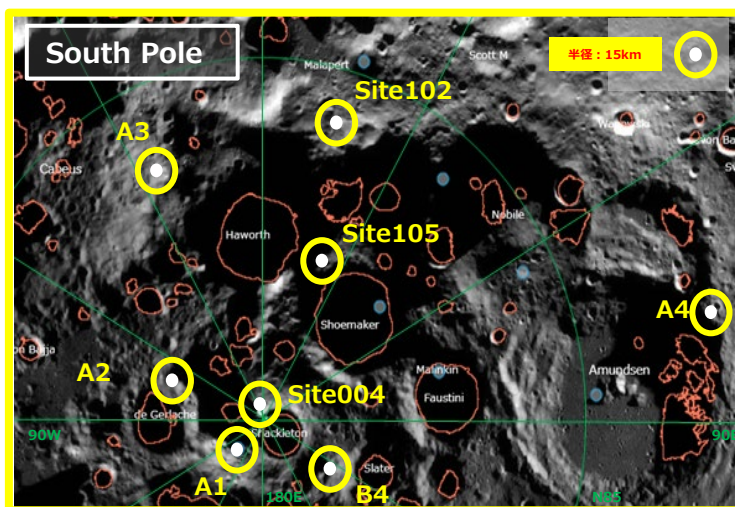
② 主な課題に対する進捗状況

- 打上質量および容積**：輸送用大型ランダ／ロケットの選定が進み、**フェアリング容積不足の問題はほぼ解消の見込み。**また、システム検討進捗により大幅な(2t程度)質量削減ができたことにより、**打上げ質量超過の問題も解決しつつある。**
- 電力容量**：電力容量が超過している課題は、NASAとミッションの調整を図り、越夜期間について有人探査では36時間、無人探査では192時間、一日の走行距離を20kmすることで、RFC／リチウムイオンバッテリーとともに**大幅に容量を削減。**

(参考)有人と圧ローバの概要

	ミッションフェーズ#1	ミッションフェーズ#2	
ミッション 要求	運用期間	2030年～ (10年間)	
	クルー人数	2名 (緊急時: 4名)	
	探査領域	南極域	SPA盆地など
	ミッション頻度	1ミッション / 年	
運用 コンセプト	ミッション期間	30日	42日
	有人時走行距離	20 km/日	
	総走行距離	10,000km	
走行機能	最大速度	15km/時	
	最大斜度	±20度	
	障害物乗り越え性能	30cm	

※目標値



<ミッションフェーズ#2>
■ SPA盆地: ミッション期間42日(越夜14日)

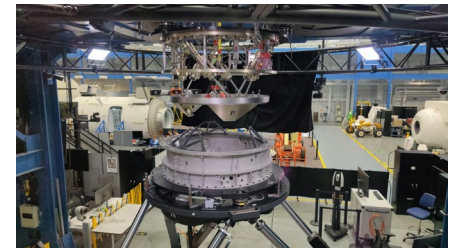
中間とりまとめの記載 (一部抜粋)

5. 2030年代のアルテミス計画を含む国際宇宙探査を見据えた取組
 - 国際宇宙探査に必要とされるシステムの研究開発、技術実証には中長期を要することから、**国による研究開発プロジェクトの実施や技術支援に早期に着手し、それぞれの導入時期を見据えて着実に開発を進める必要がある。**
 - **国際協力による月・火星探査(アルテミス計画を含む)に向けた研究開発**
例) 環境制御・生命維持システム、**ゲートウェイ補給機**、有人与圧ローバ、月周回衛星による測位・通信
 - **科学ミッションへの貢献**
例) サンプルリターン、**着陸機航法誘導技術**、**月面技術実証機会確保**
 - **月面輸送能力(ロケットを含む)の整備と向上**
例) 基幹ロケットの能力増強、**月面着陸機の研究開発(極域への高精度着陸等)**
 - アルテミス計画への貢献に資する研究開発について、本格的な開発への着手を進めるとともに、それ以外の月・火星探査に向けた技術開発についても、国際協力を活用しつつ、国際的プレゼンスを効果的に発揮できるよう戦略的に進める。

検討状況

● ゲートウェイ補給機(ミッション定義フェーズ)

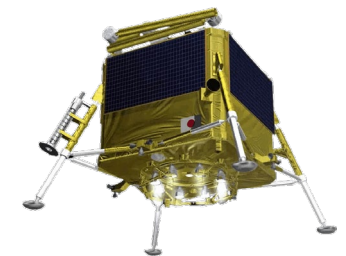
- ゲートウェイIAでの約束である補給能力4tを持つ補給船の概念検討を進めている。2030年頃の打上げを目指し、来年度中のミッション定義審査を予定。
- 自動ドッキング技術について実証ミッションの詳細設計を進めている。ドッキング機構試験用モデルの試験をNASA試験設備で実施し、**国際標準に対応する多様なパラメータでのデータを取得した。**また、**ドッキング用相対航法センサはエンジニアリングモデルの開発・試験を完了した。**
- 要素技術研究を実施中。与圧モジュール主構造の材料として炭素繊維強化プラスチックを使用できることを確認し、**大幅な軽量化の目途を得た。**



ドッキング機構試験@NASA

● 月探査促進ミッション(LEAD)(ミッション定義フェーズ)

- **本年度中のミッション定義審査を予定**しており、2028年度の打上げを目指している。
- 月面・月周回にペイロード(**200-300kg目標**)を輸送可能な小型月面着陸機について、ベンチャー企業を含めた概念検討を実施中。主要課題である着陸機の軽量化や調達方法の調整を行っている。
- 月近傍測位衛星システム(LNSS)技術実証ミッションについて、概念検討や要素技術研究を進めている。
- 月面サイエンスミッション検討、およびLEADに搭載すべき**サイエンス機器のフィジビリティスタディを実施中。**
- **極域への高精度着陸や障害物検知機能について地上での開発研究を行う。**



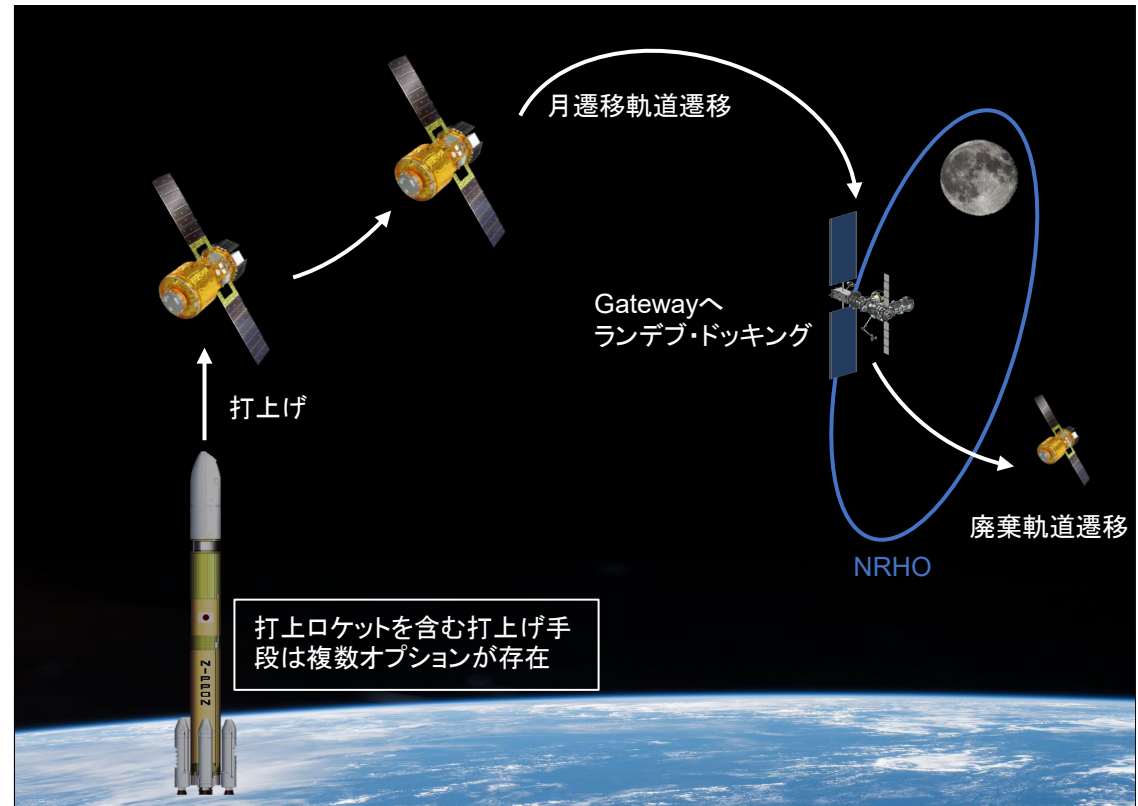
LEADランダ概念例

ミッションの目的

- ISS物資輸送を効率的に行うHTV/HTV-Xによる宇宙補給システム技術をさらに発展させ、月周回有人拠点(Gateway)へ物資輸送を行うことで、国際宇宙探査活動においても中核的な役割で貢献する。
- さらに、地球周回軌道および月周辺における幅広いミッションに波及性を有する国際競争力の高い軌道間輸送技術を確立する。

ミッション概要

政府間取り決め(IA)により、2030年頃にGatewayに4tの物資補給を行う。



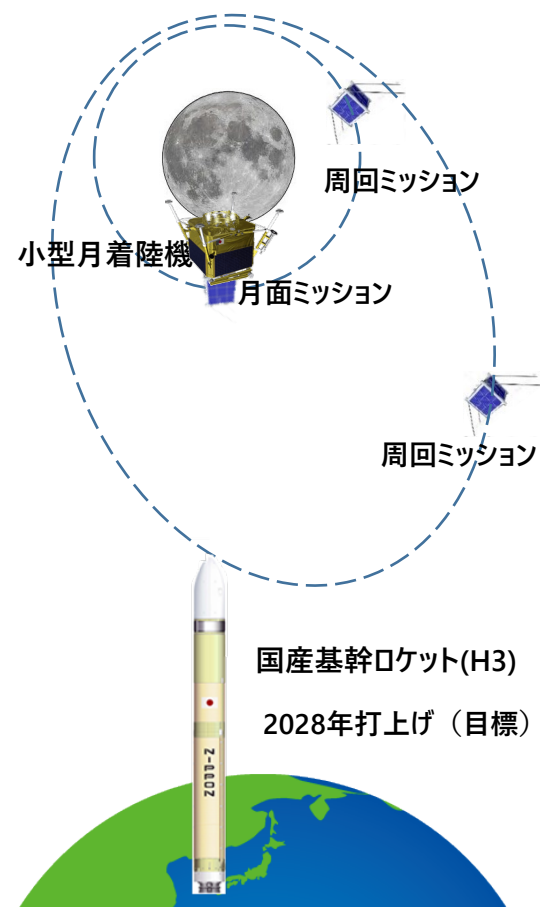
ミッションプロファイル

- 打上げ後、NRHO軌道上のGatewayに対して、ランデブ・ドッキングを行う。
- 輸送した物資の積み降ろし後、実験スペースや倉庫として活用され、最大1年間程度係留された後、廃棄物資を積み込んでGatewayを離脱し、廃棄軌道へ遷移する。
- リソースに余裕がある場合には、廃棄軌道遷移前に実験ミッション等を実施する。

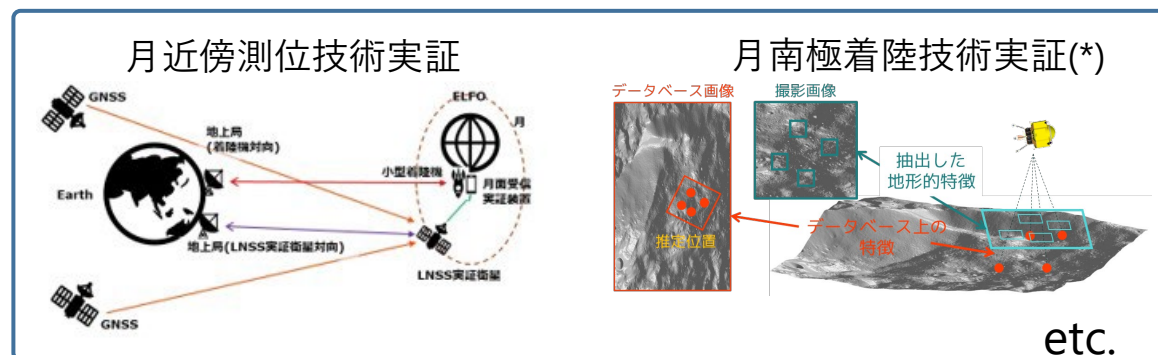
(参考)月探査促進ミッション(LEAD)の概要

ミッションの目的

- 月での持続的な探査活動に向けた**先行的な要素技術の開発・高度化及び技術実証**を行う。
 - ・ 月極域着陸技術実証： 中型カーゴランダに必要な技術の先行実証
 - ・ 月近傍測位技術実証： 有人と圧ローバをはじめとする月面探査ミッションを支える技術の先行実証
- 月面探査による、新たな知の創造につながる世界的な**科学成果の創出に向けたミッションを早期実施**する。



先行的な要素技術実証



月面科学ミッションの早期実施



(*)月南極着陸技術実証

- 中型ランダに向けた技術実証の位置づけ。
- SLIMの航法アルゴリズムの改修による南極でのピンポイント着陸技術
- HTV-XGで使用するフラッシュライダの改修による南極での障害物検知技術

中間とりまとめの記載 (一部抜粋)

5. 2030年代のアルテミス計画を含む国際宇宙探査を見据えた取組
 - 国際宇宙探査に必要とされるシステムの研究開発、技術実証には中長期を要することから、**国による研究開発プロジェクトの実施や技術支援に早期に着手し、それぞれの導入時期を見据えて着実に開発を進める必要がある。**
 - **国際協力による月・火星探査(アルテミス計画を含む)に向けた研究開発**
 - 例) 環境制御・生命維持システム、ゲートウェイ補給機、有人と圧ローバ、月周回衛星による測位・通信
 - **科学ミッションへの貢献**
 - 例) サンプルリターン、**着陸機航法誘導技術、月面技術実証機会確保**
 - **月面輸送能力(ロケットを含む)の整備と向上**
 - 例) 基幹ロケットの能力増強、**月面着陸機の研究開発(極域への高精度着陸等)**
 - アルテミス計画への貢献に資する研究開発について、本格的な開発への着手を進めるとともに、それ以外の月・火星探査に向けた技術開発についても、国際協力を活用しつつ、国際的プレゼンスを効果的に発揮できるよう戦略的に進める。

検討状況

● 中型カーゴランダ

- 最速2031年打上げを目指し、企業と概念検討及び要素技術研究を進めている。
(LEADの物資補給能力200-300kgに対し、中型カーゴランダは3000kg程度)
- 月極域への着陸では太陽高度が低くクレータ等の画像認識が難しい。これに対し、SLIM画像航法アルゴリズムの改良により、**照度環境の条件を満たせば99%以上の確率で航法値が得られることを確認**した。(LEADで実証予定)
- 着陸寸前の障害物検知機能について、ゲートウェイ補給機で開発中の相対航法センサの一部改良により**高度200mから30cmの障害物検知性能が得られる目途を得た**。(LEADで実証予定)
- 極域で着陸後有人月面着陸までの半年間程度補給物資を保管する必要があるため、月面南極域の地形・日照解析を実施し、**着陸機設計に必要な諸条件(斜度・電力・通信)も加味した着陸候補地点を選別**した。
- NASAとのプログラム調整にて、アルテミス計画の中での位置づけや技術的なインタフェース調整を進めることに合意した。



中型カーゴランダコンセプト例

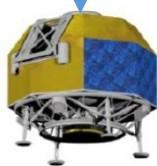
(参考)中型カーゴランダの概要

1. ミッションの目的

- 有人と圧ローバに続く、アルテミス計画への貢献の第一オプション。2030年以降、有人月探査1ミッション当たり2-3tonの貨物輸送が必要とされており、国際的にも強みのある輸送能力を確保する。
- 日本が、自律的なサイエンスミッションや本格的な月面活動を行うには必須のシステム。
- 月面への相当のアクセス能力があることで、将来想定される月に関する国際間の協定等の議論をリード・参加する存在感・発言力を増し、広義の安全保障に貢献する。



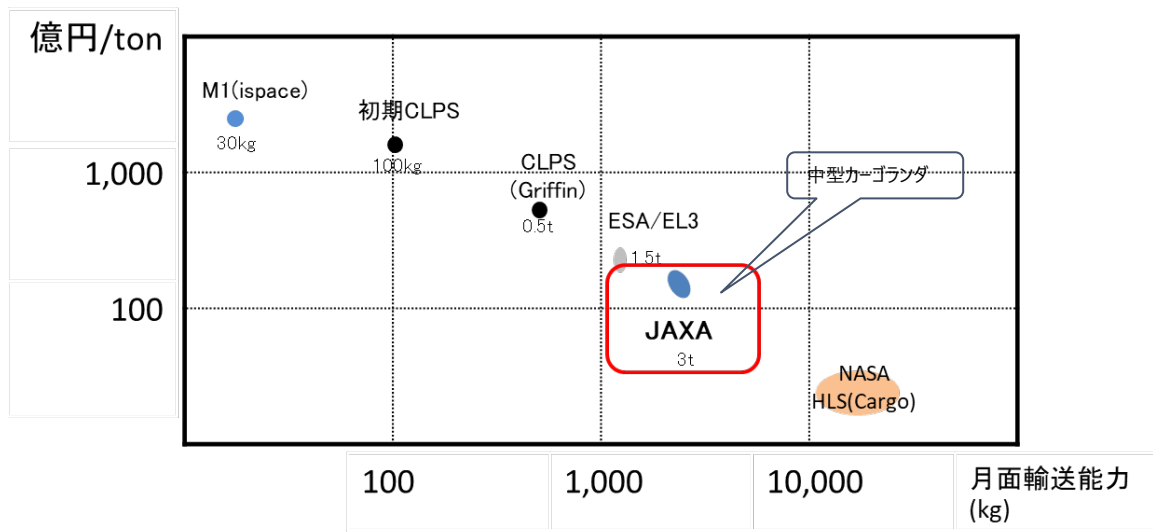
多様な輸送品の候補



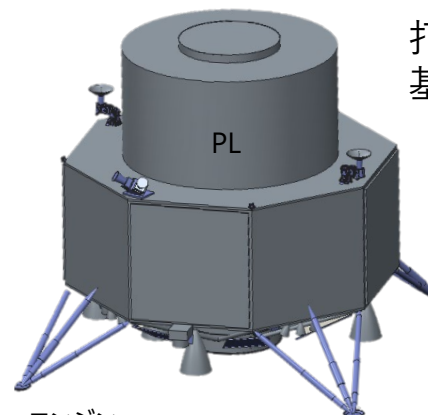
2. 目標仕様

- 月面への輸送能力：3ton程度
現在検討されているカーゴランダのうち、中型カーゴランダはHuman Landing Systemを除き最大の輸送能力
 グローバルアクセス（月極域以外にもアクセス可能）
- アクセス：
- 着陸精度：50m（SLIMは100m）
- 打上げロケット：基幹ロケット発展型を前提
- 飛行頻度：初号機は最速で2031年頃
 その後2~3年おきに定期的に打上げを想定

3. 輸送能力ベンチマーク



4. システムコンセプト



打上げロケット：
基幹ロケット発展型

エンジン
（液水、メタン、貯蔵系で検討中）

着陸脚
（SLIM/MMXの技術、もしくはエアバッグで検討中）