

資料11-1

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第11回)H26.12.12

国際宇宙探査の進め方について (JAXA案)

2014.12.12

宇宙航空研究開発機構

執行役 田中 哲夫

1. 議論のポイント
2. 国際宇宙探査の全体像(再掲)
3. 国際宇宙探査に取り組む上での方向性
4. 月探査の進め方について

1. 議論のポイント



- ① 国際宇宙探査に取り組む上での考え方(2項、3項)
- ② 月探査を進める上での考え方(4項)
- ③ その上で近々何をしていくべきか(4項)

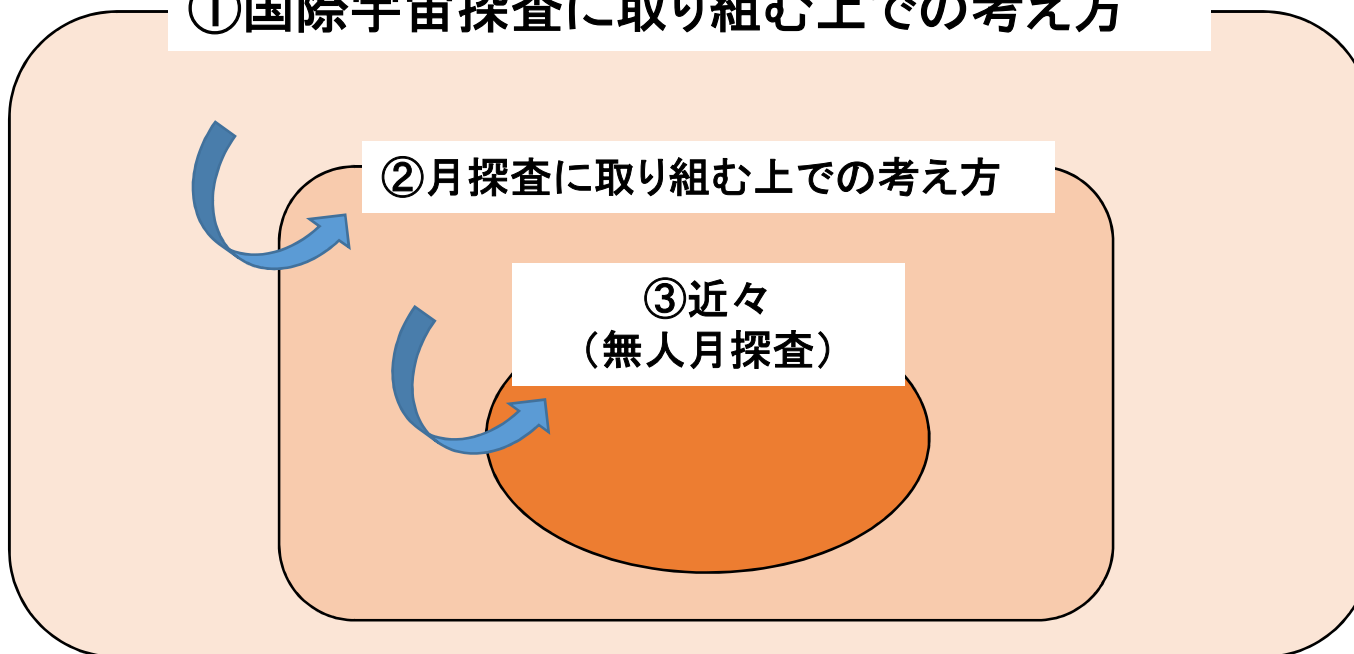
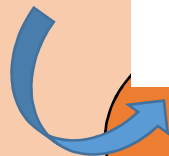
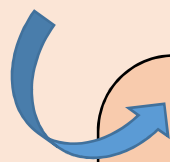
中間とりまとめ+新宇宙基本計画



① 国際宇宙探査に取り組む上での考え方

② 月探査に取り組む上での考え方

③ 近々
(無人月探査)



2. 国際宇宙探査の全体像



■ 国際宇宙探査とは・・・

- 国際協力で最終的に火星有人探査を目指す活動の総体であり、実現に向けた道筋において、様々な国際協力により推進される活動である。
- 国際協力の在り方は、各国の目指す宇宙計画の下、ISS計画のようなマルチの協力で実施される多国間プロジェクトや、2国間の協力で実施されるプロジェクト(例えば無人探査プロジェクト)等、様々な組合せが考えられる。

■ 国際宇宙探査により各国が協同で目指す姿

(ISECG、図1)

- 有人探査準備としての月・火星・小惑星の無人探査(2020年代前半まで)
- 月近傍での有人活動を通じた技術蓄積(2020年代)
- 火星有人探査の実現(2030年代以降)

図1 国際宇宙探査の全体像(イメージ)

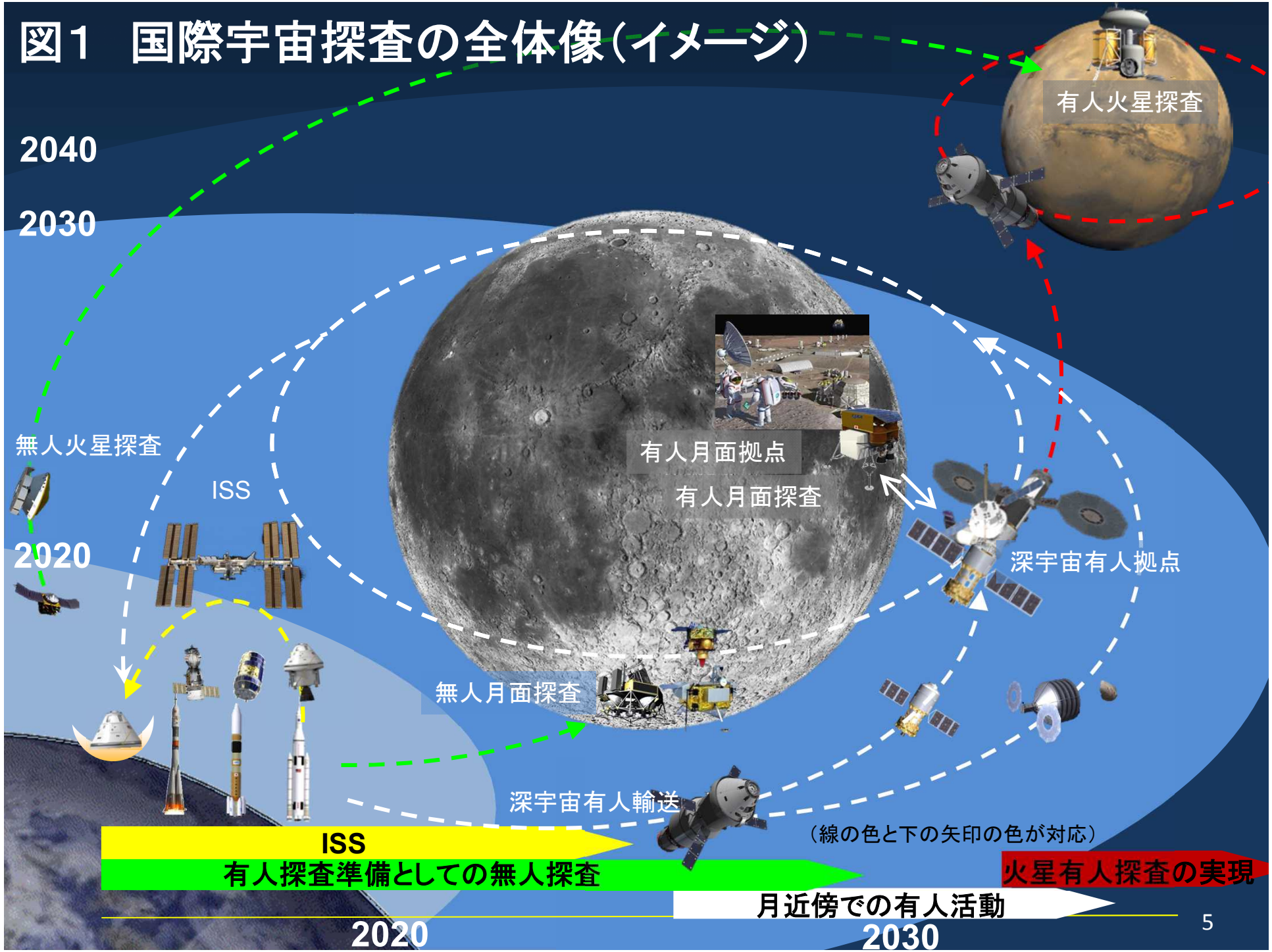
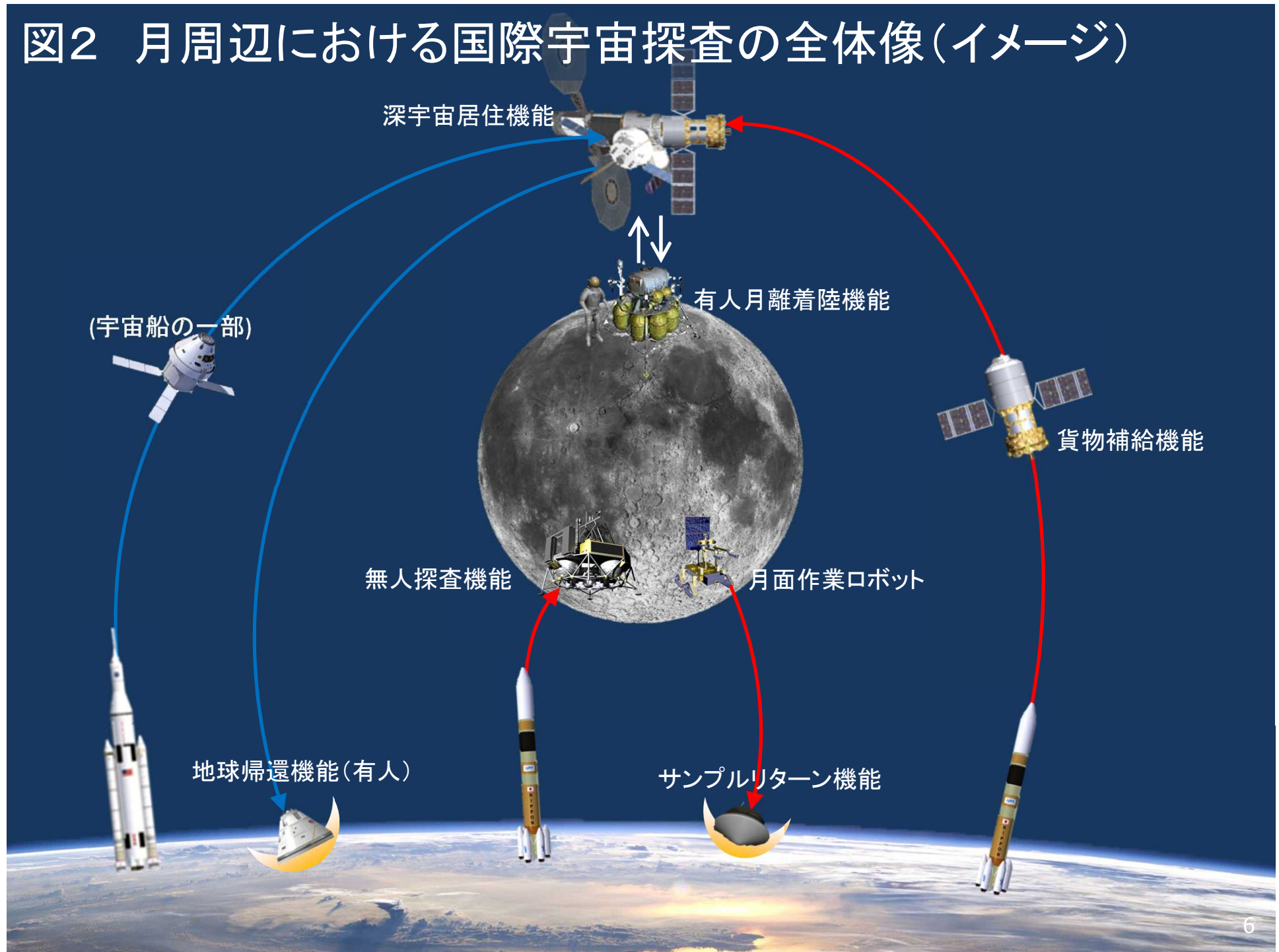


図2 月周辺における国際宇宙探査の全体像(イメージ)



3. 国際宇宙探査に取り組む上での方向性(JAXA案)(1/2)

外交、産業基盤維持、産業競争力強化、科学技術等に与える**効果**と要する**費用**に関する検討

(出典:「新宇宙基本計画」素案より)



「効果」の向上と、「費用」の効率化

効果の向上

- **外交・安全保障上の効果**
これまでのISS等での実績を更に伸ばし、科学技術立国日本の国力を世界にアピールできる技術により、我が国の自立性を確保するとともに、国際プレゼンスの維持・向上を図る。
- **産業基盤維持の効果**
産業界の投資の予見性を持たせるためのロードマップを示すとともに、アンカーテナンシーとなる技術を担う。
- **産業競争力強化の効果**
日本が将来的に優位に立てる可能性が高い技術を、我が国ならではの探査技術(キー技術)として獲得する。
- **科学技術等に与える効果**
科学的意義の高いミッションを実施し、成果の最大化を図る。また、宇宙飛行士等の活躍による青少年育成など、社会的波及効果の拡大を図る。

費用の効率化

- **国際的な役割分担**
国際的な相互補完により、費用の効率化の増大を図る。
- **有人・無人技術の組み合わせ**
ISSの場を積極活用し獲得する有人滞在技術や、「こうのとりのとり」のような有人宇宙活動を支える無人技術や、有人宇宙活動の準備として実施する無人探査により効率的な推進を図る。
- **共通技術の標準化の推進**
開発投資の重複を避けるため、国際宇宙探査において共通化できる技術の標準化を主導的に推進する。

3. 国際宇宙探査に取り組む上での方向性(JAXA案)(2/2)



中間とりまとめ「3(2) 我が国としての国際宇宙探査の進め方」(1) 技術的視点

「有人探査に必要な共通基盤技術(高精度着陸技術等)の開発・実証を行うため、我が国として強みを有する分野(無人宇宙輸送やロボティクス技術等)を軸とした無人月面探査計画を策定・提唱し、今後、国際的な動向を見極めつつ、プロジェクトの具体化に向けた検討を一段と深める。」



- 次の段階として、国際的な競争環境下において我が国としての自立性を確保するため、月面でのロボティクス探査を早期に進める。

- ① 国際的優位性をもった探査技術の獲得
- ② 月面有人活動のための資源探査とリスク低減のため環境データの蓄積
- ③ 我が国が得意とする月に関する科学的知見の獲得



「かぐや」で得た国際的に優位性の高いデータと知見を基に、「無人月面着陸探査」を進める。

- 長期的には、月面での国際宇宙探査活動において、ISS計画等で培った我が国の国際プレゼンスの維持・向上のため、我が国の力が目に見える形で主要な活動を担うことを目指す。

- ① 日本の力で、難易度の高い課題を克服する技術、優位性の高い技術を開発し、国際的活動に参画する。
- ② 有人宇宙活動への日本人宇宙飛行士の参加・貢献



当面はISSの場を積極活用し、月以遠で必要となる有人滞在の技術や知見を獲得する。

4. 月探査の進め方について(JAXA案)(1/2)



■ 無人月面探査の目的

国際宇宙探査における月有人活動の準備として、以下を目的とした無人月面探査計画を提案する。

① 有人探査に必要となる共通基盤技術の獲得

- 我が国がこれまで「こうのとり」や、「はやぶさ2」等で獲得した技術を生かし、重力天体(月、火星)の探査において必須のキー技術である、着陸し、探査し、地球に帰還する技術を獲得する。

② 極域における月利用可能性の調査・実証

- 月における探査活動の可能性を探るため、利用可能な資源(高日照率領域、水氷の存在量、放射性物質濃集領域、溶岩チューブ構造等)及び、有人活動のリスク低減のための環境調査と技術実証に重点をおく。
- 探査の対象は、太陽エネルギーを確保できる高日照領域と、水氷が存在するとされる永久影が近接して存在し、米国、ロシア、欧州等複数国が目的地としている「南極域」とする。
- 我が国の自立性を確保した上で、国際協力による費用負担の効率化を図る。

③ 無人月面探査の早期実施

- 極域において上記探査の目標となる地域は限られているため、国際協力も視野にいれつつ、早期の実現を目指す。
- 無人月面探査においては、地質調査や月内部構造探査など科学的意義の高いミッションを搭載し、科学的成果の最大化を図る。

4. 月探査の進め方について(JAXA案)(2/2)



月探査のステップ(案)【次ページ図参照】

フェーズ① 月表面の全球観測

月の全貌を理解するためのリモートセンシングによる全体観測。

- 着陸探査の準備として「かぐや」や米国LROなどで実施され、月利用可能性の調査や科学の観点から重要な地域が識別された。

フェーズ② 無人月面着陸探査による月利用の可能性調査・実証

フェーズ③で想定する月の本格的利用(国際宇宙探査における月有人活動)の準備として無人月面着陸探査により調査及び技術実証を行う。

- 我が国の自立性を確保しつつ、単独、2国間協力などでの実施を検討する。
- フェーズ③で想定される活動の基盤となる調査や技術実証を行う。

フェーズ③ 月の本格的利用(国際宇宙探査における月での有人活動)

フェーズ②の結果に基づき、投資対効果や国際動向を勘案の上、国際協働で行う月面有人探査のアプローチを以下のオプションから選択する。

- オプションA 月面有人長期滞在＋軌道上有人拠点
- オプションB 月面有人短期滞在＋軌道上有人拠点

月探査のステップ(案)

【済】

フェーズ①: 月表面の全球観測

- 月周回軌道からのリモートセンシング

資源調査

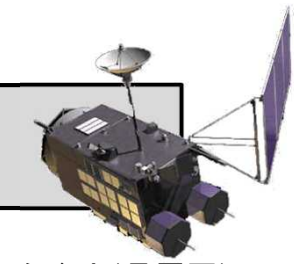
- 表面分布調査

環境調査

- 月面の数値標高モデルの作成
⇒ 月面の日照条件の推定等
- 放射線、ダスト等

科学探査

- 月のグローバルな物質・地形・重力・磁場探査



かぐや(月周回)

- ◆ かぐや等の成果から、エネルギー確保・水存在可能性から南極域に最有力の候補地点を識別

フェーズ②: 無人月面着陸探査による月利用の可能性調査・実証

- 揮発性物質(水・氷)等の、
- 形態、存在量、特性の調査
 - 抽出・利用の実証・評価

- 日照状況、エネルギー確保(太陽発電)実証
- 放射線環境、ダスト環境、地盤調査

月科学の課題例(*)

- 裏側地殻探査
- 地震計ネットワーク
- 極域探査

フェーズ③に向け戦略的に実施



ロボティクス月着陸探査

(*)資料10-2「月探査の意義について」より

- ◆ 調査結果をもとに、月面長期有人滞在の可能性、方法、地点を検討

- ◆ 検討結果や国際情勢を反映して月の本格的利用について判断

フェーズ③: 月の本格的利用(国際宇宙探査における月での有人活動)

国際協力で実施

オプションA: 月面有人長期滞在 + 軌道上有人拠点

- 有人滞在・利用拠点を月面に構築
- 短期滞在から長期滞在へ発展

オプションB: 月面有人短期滞在 + 軌道上有人拠点

- テレロボティクスによる月面探査
- 短期の有人月面探査

2020

2025

2030

參考資料

月利用の可能性の調査について

○物質の利用:

月にある物質を宇宙探査に活用

→必要な物を現地調達する技術の獲得は、地球資源に頼らない宇宙開発利用への転換

・表土(レゴリス)

月の表土を遮蔽や構造物等にそのまま利用。

・水(水素)

極域の永久影の地中には彗星由来の彗星・小惑星・太陽風によりもたらされた水氷(あるいは水素)存在する可能性。

・酸素

月の表土(レゴリス)は金属 酸化物であり重量の4割は酸素。還元により抽出できる。

・金属

酸素抽出の副産物として、鉄、チタンを得ることが可能。また、シリコン、アルミニウムなども豊富。

○場の利用:

月を人類の新たな活動・滞在の場所として活用

→低軌道につぐ人類の活動領域の拡大

・火星探査技術の実験場として

国際宇宙探査における火星探査に向けたリスク低減のための調査・技術実証の場として利用。

・宇宙医学・生物学のデータ取得

宇宙放射線による影響や1/6Gの新たな環境での生物への影響の把握が可能。

・実験・観測場所として

超真空環境でかつ構造物を設置できる地面が存在する、月の裏側には地球の人工電波の影響が無い等、これまでにない実験・観測環境がある。

・人間の滞在場所として

現在の技術で、人類が長期滞在できる可能性の高い唯一の天体。

物質利用+場の利用: 人類の活動領域の重力天体へ拡大するための実験場として、現地の資源を利用し支える。



今後、上記のような利用の可能性を明らかにするためには、様々な視点からの調査が必要。例えば...

物質調査

地盤特性計測

日照・日陰環境

放射線計測

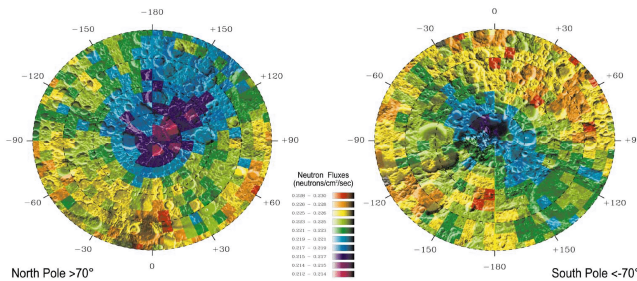
温度環境計測

ダスト環境計測

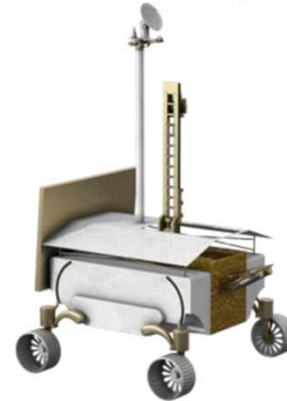
月着陸探査による調査項目の例1

■ 水氷：

1. 月面の極域の永久影には水氷が存在する可能性有
2. 同様に他の揮発性物質が存在する可能性



月面の北極(左)／南極(右)における水素の濃度
中性子分光計による計測(NASA)



その存在量、存在形態、利用可能性などを、現地で直接測定する必要がある。

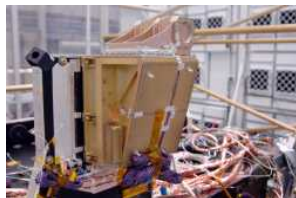
NASA-JAXAでJoint Studyを実施しているResource Prospector ミッション等により確認できる。

中性子分光計と質量分析計により掘削した極域の土壤中の水氷の存在を調査する。

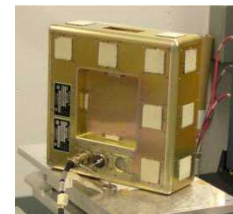
■ 放射線：

1. 月面に銀河宇宙線と太陽粒子線が直接降り注ぐ
2. 太陽活動や太陽フレアの影響を直接受ける。
3. 月レゴリスによる、二次放射（中性子やガンマ線）

滞在候補地点において周囲の物質に起因する二次放射も含めて正確に測定する必要がある



米国LROの放射線影響測定用宇宙望遠鏡 (CRaTER: Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation) 銀河宇宙線の月周辺の空間マッピングを行っている。



スペースシャトル搭載RRMDセンサ部

JAXAが開発しているその場の線量を高精度でリアルタイム計測可能な測定器 (RRMD-V) を月面に持っていけば、二次放射の中性子も計測可能になる。

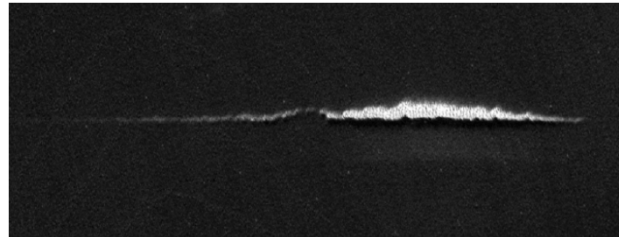
月着陸探査による調査項目の例2

■ダスト：

1. 細かく尖鋭で、磨耗や付着による性能低下を誘引。
2. 明暗境界の電位差で浮遊すると言われている。
3. アポロでも吸入による影響や宇宙服シールの漏れあり。



活動地点においてローカルな環境や、機器への付着量を把握するとともに除去する技術の確立が必要。



サーベイヤ7の地平線画像（1968年1月23日、日の入り）低速で動く数ミクロンの帯電電粒子->浮遊したルナダストと考えられる。



アポロの宇宙飛行士の宇宙服に付着したダスト



米国LADEE（大気とダストのグローバル観測）



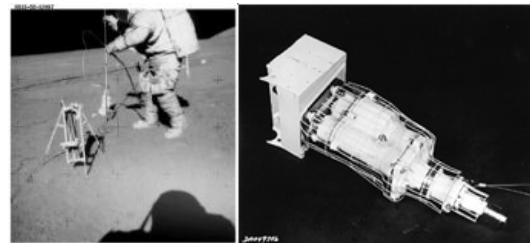
電位差による挙動把握と制御(早大 川本)

■地盤：

観測拠点のような人工物を設置するには地盤の特性を計測する必要がある。



地球上での知見を活かすためには、できるだけ同等な方式で測定する必要がある。



Apolloの月面掘削装置。コアサンプルの取得が主目的であり、月面の地盤強度の直接的な測定は実施されていない。



小林（福井大学）らによる月面地盤調査装置。地上のSBIFT方式と同等な測定を無人で実現できる。そのため地上データと直接比較可能。

月探査のシナリオ(案)

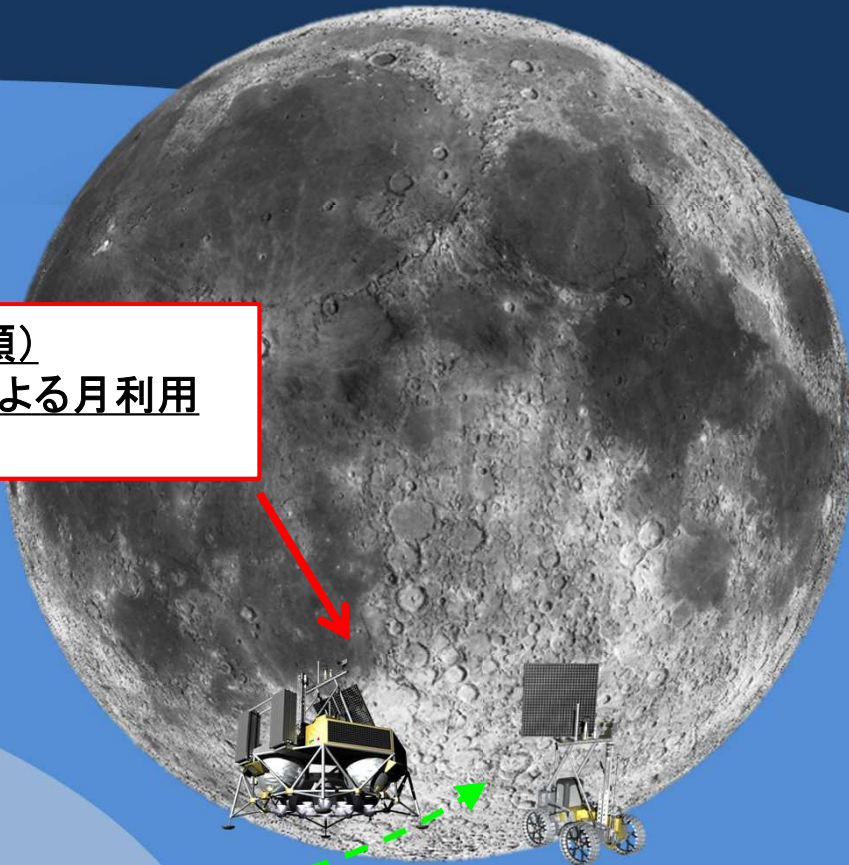
2040

2030

フェーズ②(2020年代初頭)

- 無人月面着陸探査による月利用の可能性調査・実証

2020



(線の色と下の矢印の色が対応)

ISS

有人探査準備としての無人探査

火星有人探査の実現

月近傍での有人活動

2020

2030

月探査のシナリオ オプションA

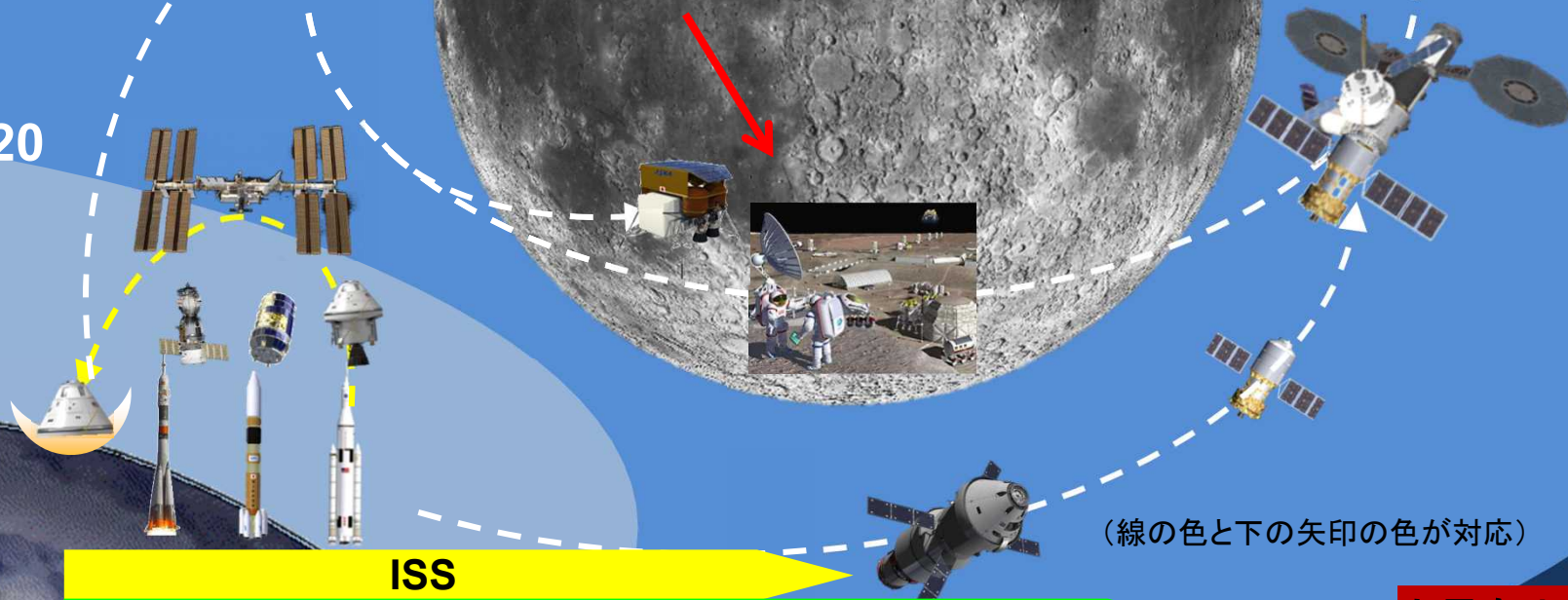


2040

2030

オプションA: 月面有人長期滞在+軌道上有人拠点
■ 有人滞在・利用拠点を月面に構築
■ 短期滞在から長期滞在へ発展

2020



(線の色と下の矢印の色が対応)

ISS

有人探査準備としての無人探査

火星有人探査の実現

月近傍での有人活動

2020

2030

月探査のシナリオ オプションB

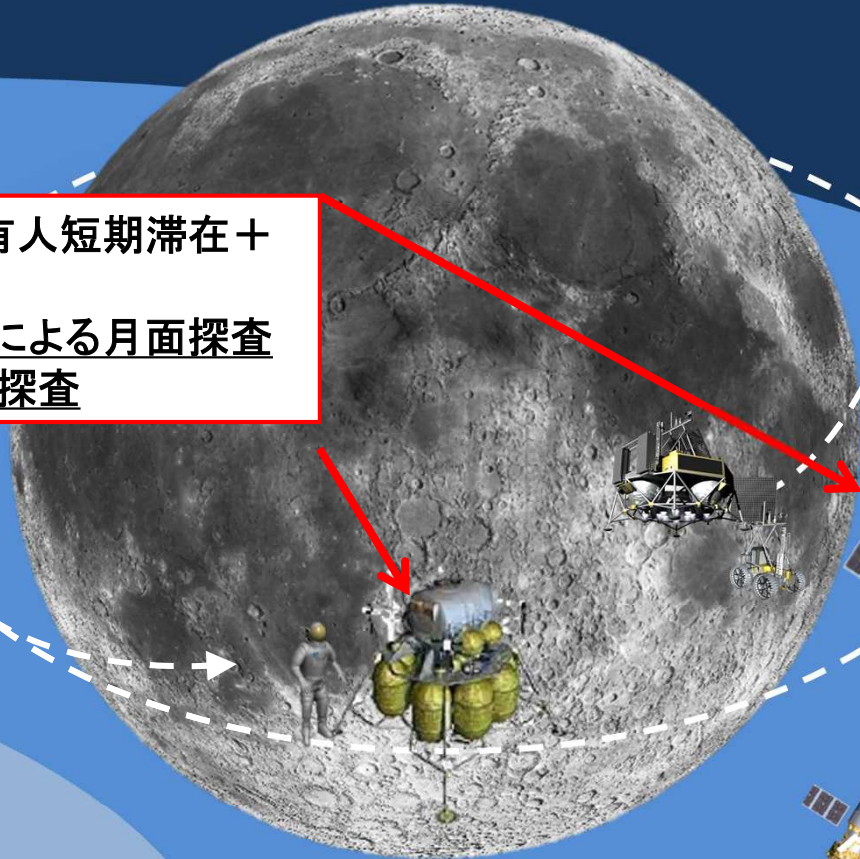
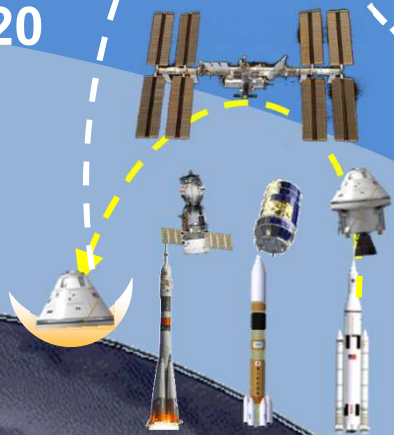


2040

2030

オプションB: 月面有人短期滞在+
軌道上有人拠点
■ テレロボティクスによる月面探査
■ 短期の有人月面探査

2020



(線の色と下の矢印の色が対応)

ISS
有人探査準備としての無人探査

火星有人探査の実現

月近傍での有人活動

2020

2030