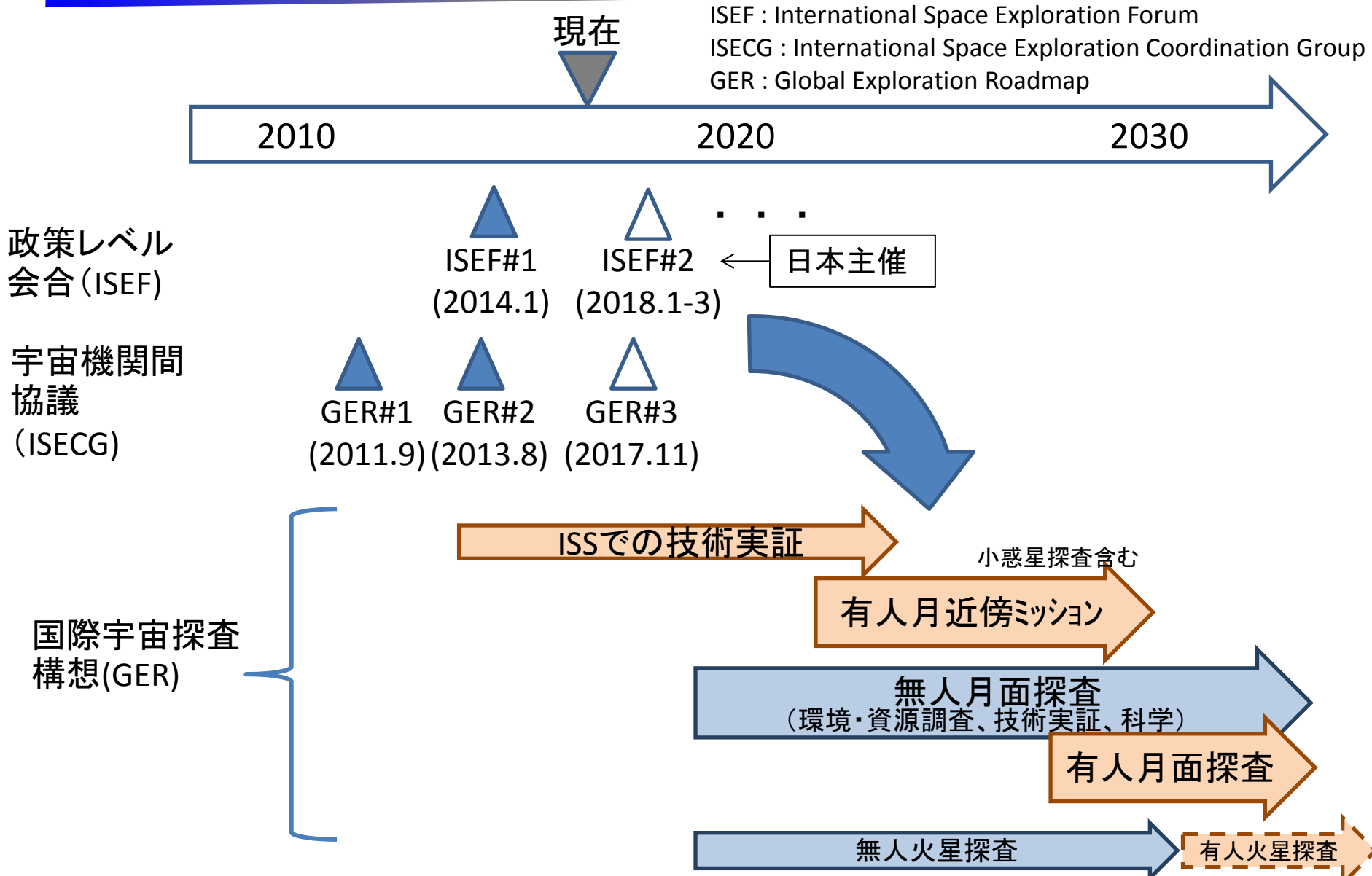


国際宇宙探査の議論 に向けた検討状況

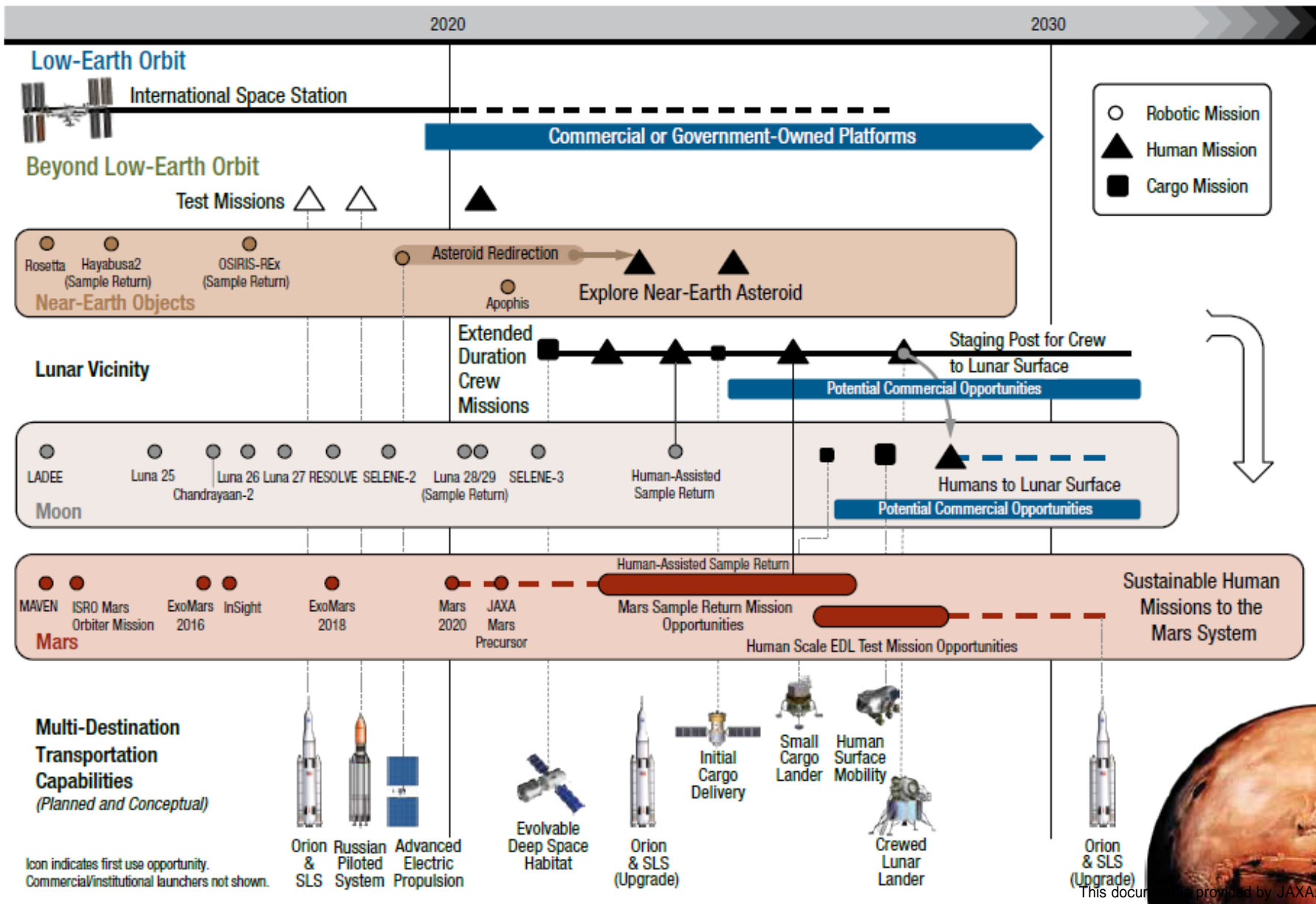
2017年1月5日

国際宇宙探査推進チーム
シナリオ・技術検討サブチーム
佐藤 直樹

国際宇宙探査の調整状況と構想の概要



GER#2の概要



GER#3に向けてのISECGでの検討概要

ISEF#2に向け、主に2020年代の国際的な月探査のシナリオを具体化すべく、下記の5つの検討を進めている。

①無人月面探査ミッションの検討

- 特に、水があるとされる月南極付近への各国の水探査／水抽出実証ミッションの検討
- 月近傍に設置される深宇宙居住モジュール(と宇宙飛行士)を利用したサンプルリターンミッションの具体化

②有人月面探査ミッションとアーキテクチャ(全体システム構成)

- 有人月面探査ミッション(月でそのような探査をするか)、有人月面探査に必要なシステム(特に与圧ローバ)、有人月着陸船のコンセプト、軌道計画(有人宇宙船(Orion等)からの乗換(中継)点検討含む)など、有人月面探査の全体システム構想を検討。

③キー技術開発項目の識別

- 探査に必要な技術について、各国での研究開発状況を整理・分析し、今後注力すべき技術項目を抽出する作業を実施中。

④有人で強化される科学の整理

- 宇宙飛行士がいることによって強化される科学テーマについて検討し、報告書をまとめている。2016年秋にはサマリ文書を作成。詳細版は2017年初頭を目標にまとめる予定。

⑤月近傍ミッション計画

- 月近傍に小型の拠点を設置して、有人火星探査に向けた技術実証を行うとともに、それを有人月面探査の中継点として使うことを検討。
- ISS参加宇宙機関(NASA, JAXA, ROSCOSMOS, ESA, CSA)で検討。

JAXAでの検討体制

理事長決定にて国際宇宙探査推進チーム(以下、探査推進チームという)を設置(2015年9月30日)し、JAXAとしての宇宙探査シナリオのレファレンス案を検討中。

国際宇宙探査推進チーム

チーム長: 遠藤副理事長

チーム長代理: 山浦理事, 伊東執行役

アドバイザー: 常田理事、浜崎理事、今井理事

戦略サブチーム

- 各国の活動状況の情報収集
- 各府省庁との調整方針の検討
- 経済界及び国際機関等との調整方針の検討

シナリオ・技術検討サブチーム

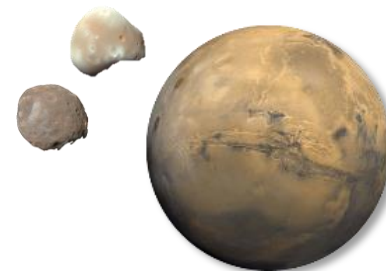
- 機構としてのシナリオの検討
- シナリオに伴う技術の検討
- チームメンバー
 - 有人宇宙技術部門
 - ISAS(太陽科学研究系、宇宙機応用工学研究系、科学推進部、SE推進室)
 - 研究開発部門
 - 宇宙探査イノベーションハブ

探査推進チームでの 探査シナリオ検討の考え方

JAXAとしてのレファレンス案を検討するにあたっての考え方は下記の通り。

- 宇宙探査(有人及び無人)の全体シナリオおよび科学・技術のロードマップを包括的に検討する。
- これまで個別に議論・調整されていた探査に関わるシナリオ・個別ミッションについて総合的な位置づけを検討する。
- 国際協力をベースとし、日本の優位性、将来性、予算的な現実性等を考慮した国際貢献のシナリオ(案)を検討する。
- 宇宙政策実施機関であるJAXAとしての技術的レファレンス案としてまとめる。

検討の対象は
月、火星



自律的・ボトムアップ的な科学探査

科学目標達成
探査技術獲得

有人滞在技術獲得

環境・資源データ調査

国際宇宙探査(国際協力ベースの有人・無人探査)

探査推進チームで整理した 主な「探査技術」・「有人滞在技術」目標

➤ 我が国が宇宙探査を行うに当たっての自律性、日本の優位性、他プログラムへの波及効果等を総合的に勘案して優先度が高いと判断した下記の技術について、アーキテクチャのトレードオフやミッション運用検討など踏まえて目標(暫定)を設定した。

① 重力天体着陸技術

- 着陸推力: 80kN以上 (Isp: 370以上、30%スロットリング)
- 着陸精度: 100m以下 (場所を問わず。ただし昼間)

② 重力天体表面探査技術

- 電力密度: RFCで600Wh/kg以上
- 走行技術: 与圧ローバ(2人乗り)で連続1000km以上

③ 有人宇宙滞在技術

- ECLSS: 水・酸素補給／消耗品ゼロ
- 放射線防御: 最大の太陽フレア発生でも生涯制限値を超えない放射線防護・退避技術の確立
- 健康管理: 有人火星探査で宇宙飛行士が安全かつ健康に地球に帰還できること。

④ 深宇宙補給技術

- 深宇宙ランデブドッキング技術(GPSを使用しない相対位置／速度同定)と標準化

探査推進チームで整理した 環境・資源データ状況と優先度(1/2)

有人探査を行うとした場合に、必要な環境・資源データの現状と今後取得すべきデータの有無について整理を行った。

	現状	今後取得すべきデータ	優先度付け			
			安全性	アーキテクチャへの影響	緊急性	総合
水	これまでのリモートセンシング観測で、極域の地下(1m程度)に水素(水氷と考えるのが合理的)の存在を示す観測データが得られている。存在量は、0.08-20wt%と研究により開きがある。	着陸ミッションにてその場での直接的に存在分布を計測することが必要。	高	高	高	高
放射線	地磁気圏外の実測データは、月面が2件(アポロ、LRO)、火星表面が1件(MRO)のみ。データが少ないだけでなく、正確ではない可能性がある。	太陽活動による変動も考慮し、月・火星無人探査ミッションにて、できるだけ多くデータを計測することが必要。また、被ばく線量評価用シミュレーションモデル構築も必要。	高	中	中	中
レゴリス安全性	化学組成による毒性は研究されNASAの毒性研究Gが2010年にまとめたデータ有。ただし実レゴリスによる実験データはほとんどない。	実レゴリスのサンプルリターンによる動物実験でのデータ取得。	中	中	中	中
レゴリス土壌特性(テラメカニクスデータ)	コーン貫入試験等による土壌特性の間接測定(測定データから経験則により特性を導出)が実施されている。	土壌測定の直接測定(経験則を介さずに導出)、および走行データを組み合わせて1/6G下でのテラメカニクスモデル(地盤と車両間の力相互作用)の構築	中	中	中	中
レゴリスによる汚染	着陸時スラスト噴射でのレゴリス巻き上がり、及び月面上活動時の帯電レゴリスの宇宙服への付着がアポロ計画で目撃・体験されている。月周回機LADEEにより昼夜境界でダストが多いことが観測されている。	月面活動、及び月面電位分布で浮遊するレゴリス量を定量的に測定する。	中	中	中	中

探査推進チームで整理した 環境・資源データ状況と優先度(2/2)

	現状	今後取得すべきデータ	優先度付け			
			安全性	アーキテクチャへの影響	緊急性	総合
地形	全球10m間隔(かぐや), および極域2m間隔(LRO高度計)の3次元地形データが取得されている.	(必要無し)	緑	緑	緑	緑
温度	全球(LROの観測時刻のみ), およびApollo着陸地点(連続時間変化)でのデータが取得されている.	将来探査地点における温度の連続時間変化データ(日照条件, 周辺地形からの熱輻射の影響が場所により異なるため)	緑	緑	黄	緑
日照	3次元地形データを用いて, 任意の場所および時刻における太陽光照射シミュレーションが実施可能.	(必要無し)	緑	緑	緑	緑
プラズマ	太陽風と月面物質との相互作用により形成されるプラズマ環境(粒子分布, 月面帯電等)のデータが得られている.	将来探査地点における帯電, 電界, 粒子速度等の時間・日照条件変化の影響の測定	黄	黄	黄	黄
隕石	月表面の隕石衝突孔のサイズ分布, 地震観測, および地上からの衝突発光観測から, 隕石のサイズ分布等が推定されている.	隕石のサイズ, 速度, 質量, 飛来方向等を測定	赤	黄	黄	黄
重力	全球の重力異常分布が測定されている(地下物質による重力集中であるマスコン等)	(必要無し)	緑	緑	緑	緑

クリティカルリティ

低

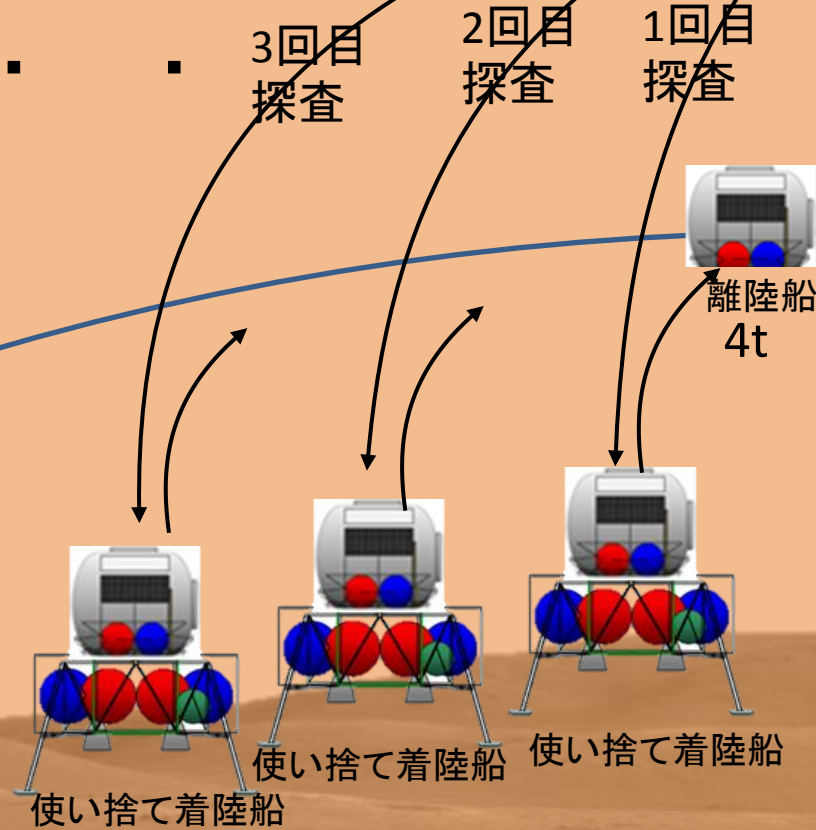
中

高

月面の水を推進剤(LOX/LH2)として 月面離着陸に利用した場合の効果

A

月面の水を推進剤として利用しない場合
(使い捨て着陸船)



B

月面の水を推進剤として利用する場合

地球帰還機
(毎回打上げ)

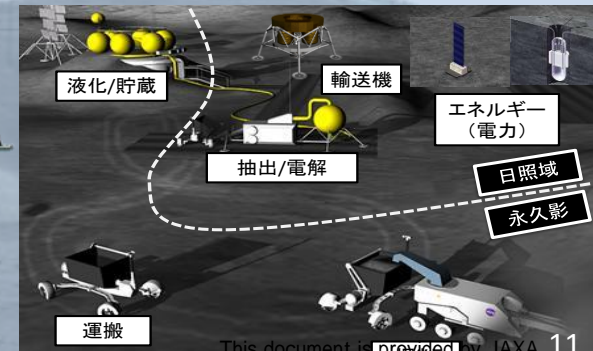
繰り返し使用

4t

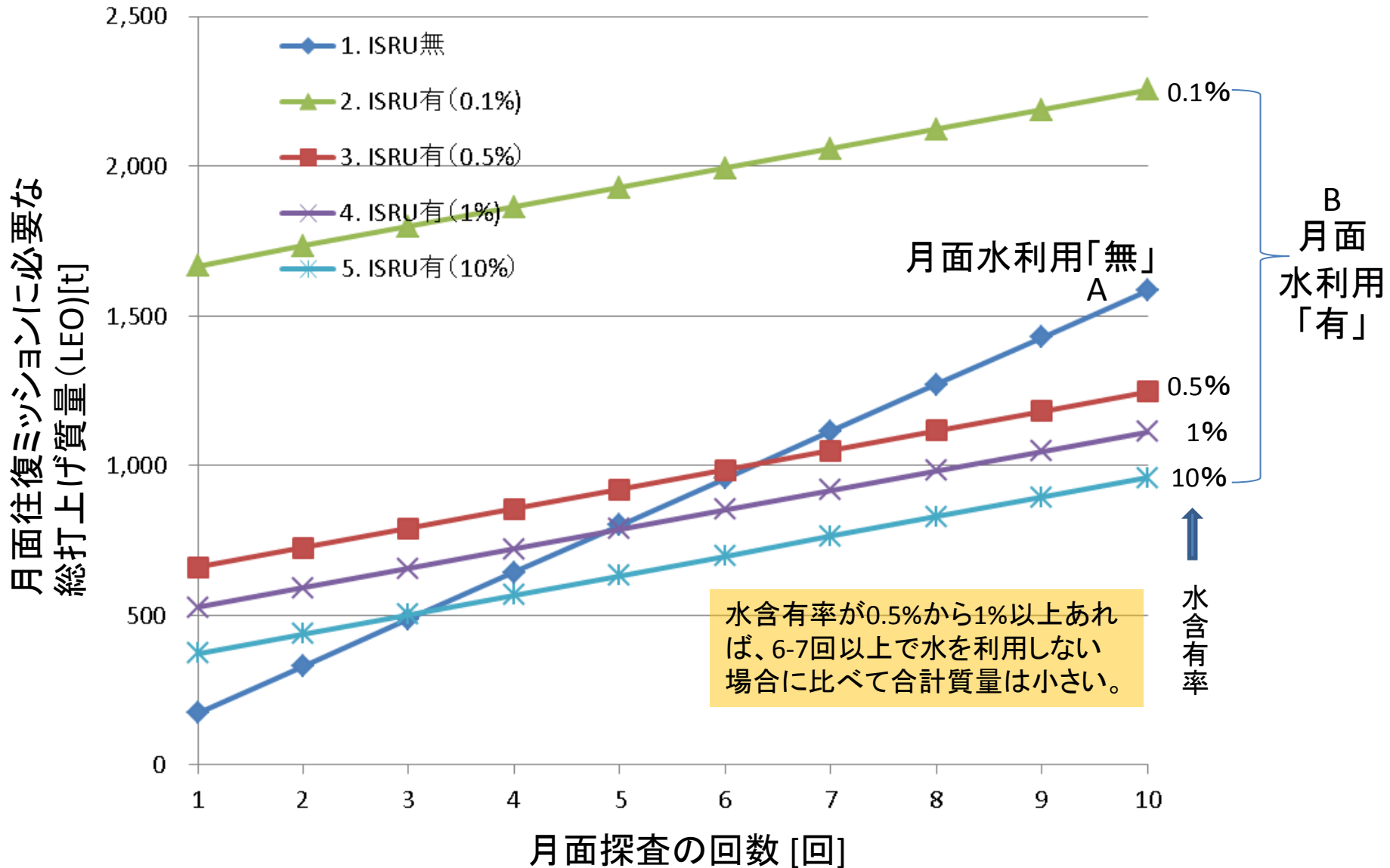
再使用離着陸船
液酸・液水エンジン
を使用

月軌道

推薬生成プラント



月面の水を推進剤(LOX/LH2)として 月面離着陸に利用した場合の効果



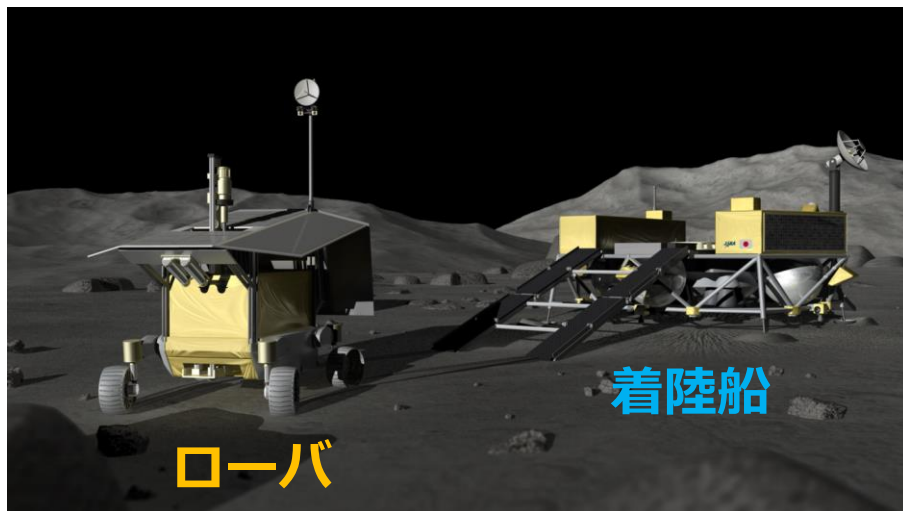
月極域探査ミッション(案)の概要

- 打上時期： 2022年度 H-IIIクラス
- 着陸地点： 水の存在可能性の高い領域に隣接した長期日照地点
- ミッション目的・ミッション要求：

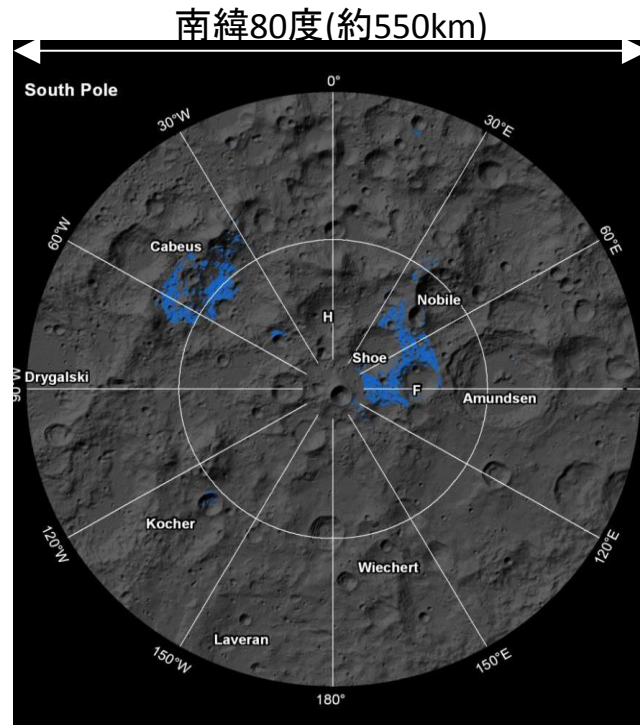
① 水の利用可能性の調査

事前に選定された調査領域内(1km²程度)の複数箇所において、水の利用可能性(レゴリスに対して含有率0.5wt%以上程度)を直接観測により確認する。

- ② 重力天体表面探査技術の確立
- ③ その場観測による環境・資源調査、科学観測



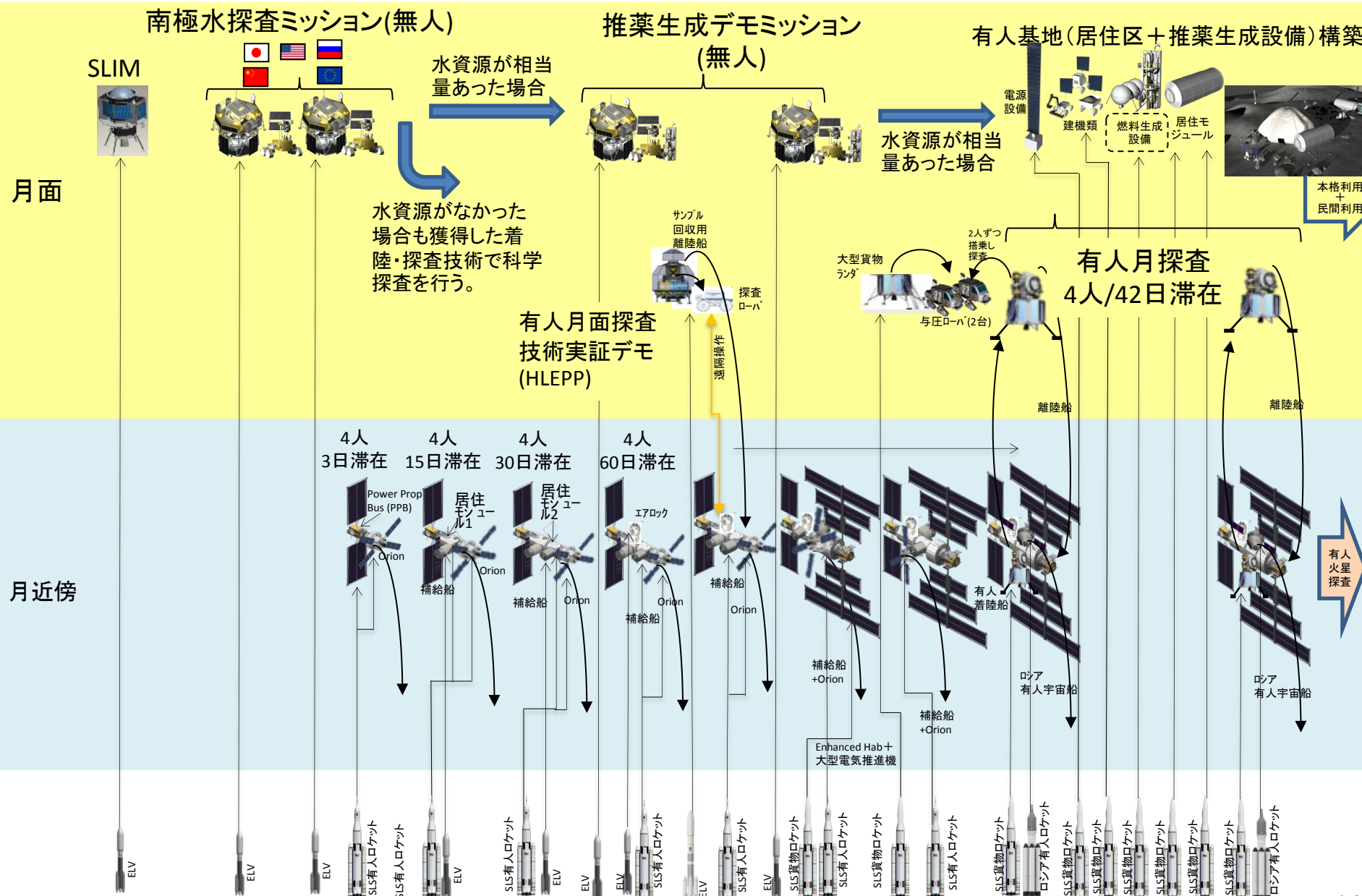
月面上での展開予想図



- LEAG (Lunar Exploration Analysis Group) による水分分布解析結果
- 上図の青いエリアは、下記の条件を満たすエリアである。
 - ✓ 水素の濃度が150ppm以上
 - ✓ 平均温度が150K以下
 - ✓ 斜度が10度以下
 - ✓ 日照が連続100h以上。
- 青いエリアの面積はだいたい5000km²

探査推進チームとしての月探査全体シナリオ(案)

2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 ~ 2035 ~2040



月面

月近傍

南極水探査ミッション(無人)

推薬生成デモミッション(無人)

有人基地(居住区+推薬生成設備)構築

水資源がなかった場合も獲得した着陸・探査技術で科学探査を行う。

水資源が相当量あった場合

水資源が相当量あった場合

有人月面探査技術実証デモ(HLEPP)

有人月探査 4人/42日滞在

本格利用
↑
民間利用

有人火星探査

有人宇宙探査によって実現される科学 (ISECGの検討結果)

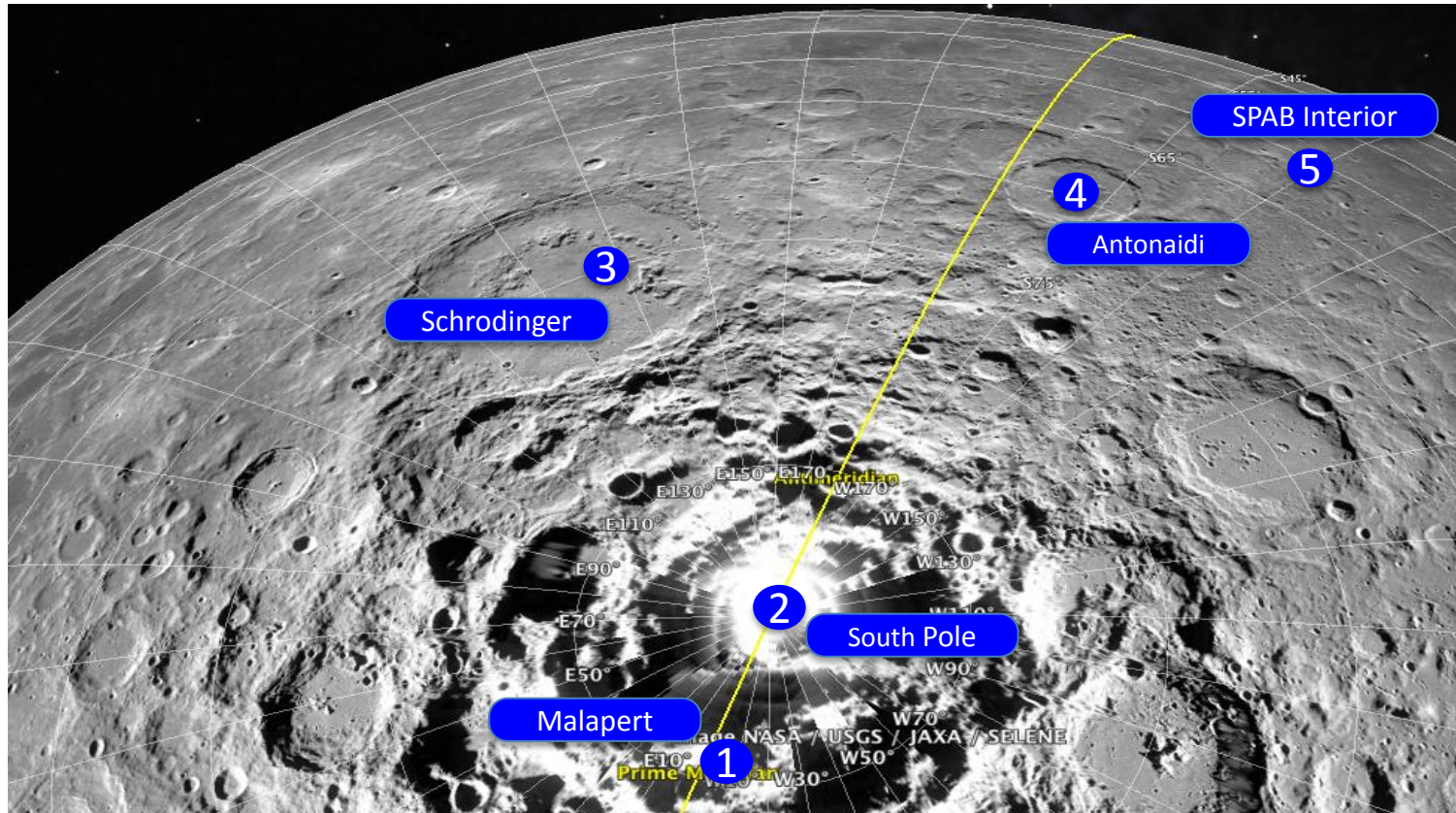
ISECGでは、科学コミュニティからの代表者を含めた科学諮問グループと、ISECG参加機関により、科学白書という形で「地球低軌道以遠への有人宇宙探査によって実現される科学」をまとめた。
(内容抜粋を下記に示す)

- 人は、様々な地域から試料を効率よくかつ理解して選別・収集することができる。訓練された宇宙飛行士は、統合的観察によってより幅広い地質的状况を理解することで、それぞれの科学と探査の問題に対応した最良の試料を持ち返ることができる。さらに、有人ミッションでは、通常、飛行毎により多量の試料を持ち返ることができる。(アポロでは5回で約400kg、ロシアのルナ(無人)では約300g)
- ハッブル望遠鏡保守ミッションで歴史的にも示されているように、人間は巧妙に複雑な科学機器を据え付け、保守し、取り替え、トラブルを解明することができる。
- 人間は、しばしばロボットよりも素早く作業を行い、科学探査において知的に働くことができる。
- アポロや国際宇宙ステーションで実証されているように、新しい観察や偶然の発見の際にそれを認識し適応する能力は、人間に特有である。

- Co-chairs:
 1. Ben Bussey (NASA, USA)
 2. Jean-Claude Worms (ESF, France)
- Members
 3. Gilles Clement (Univ. of Lyon, France)
 4. Ian Crawford (Univ. of London, UK)
 5. Mike Cruise (Univ. of Birmingham, UK)
 6. Masaki Fujimoto (JAXA, Japan)
 7. Dave Hart (Univ. of Calgary, Canada)
 8. Ralf Jaumann (DLR, Germany)
 9. Clive Neal (Notre Dame Univ., USA)
 10. Gordon Osinski (Univ. of West. Ontario, Canada)
 11. Masaki Shirakawa (JAXA, Japan)
 12. Tim McCoy (Smithsonian, USA)
 13. Maria Cristina De Sanctis (INAF, Italy)
- Executive Secretary
 - Greg Schmidt (SSERVI, USA)

ISECGで検討中の有人月面探査候補地

- ISECGで想定されている有人月面探査の候補地を下記に示す。
これは米国National Research Council (NRC)が2007年にまとめた報告書をベースに選定されている。
- 国際宇宙探査推進チームでも候補地の妥当性を検討している。



探査推進チームで検討中の 有人月面科学探査ミッションの例 (SPAの場合)

【ミッションの目的と概要】

- SPA探査は、月内部組成を把握するための調査であり、盆地内のSPA放出物(地殻、マントルもしくは地殻下部)、衝突溶融物、玄武岩の露出地点を探査する。
- 昼間に各領域内の数地点(下右図のB1~7参照)でその場観測や試料採取を行う。

※SPA探査は有人科学探査の一例。今後、科学コミュニティ内で同探査を推奨するかどうかの議論が必要

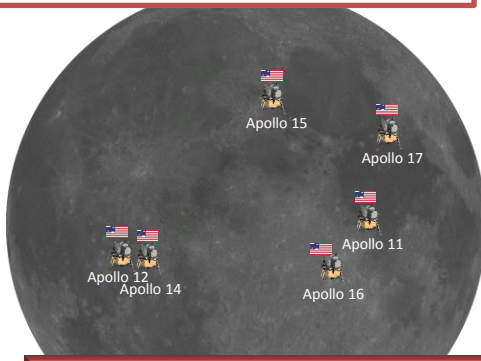
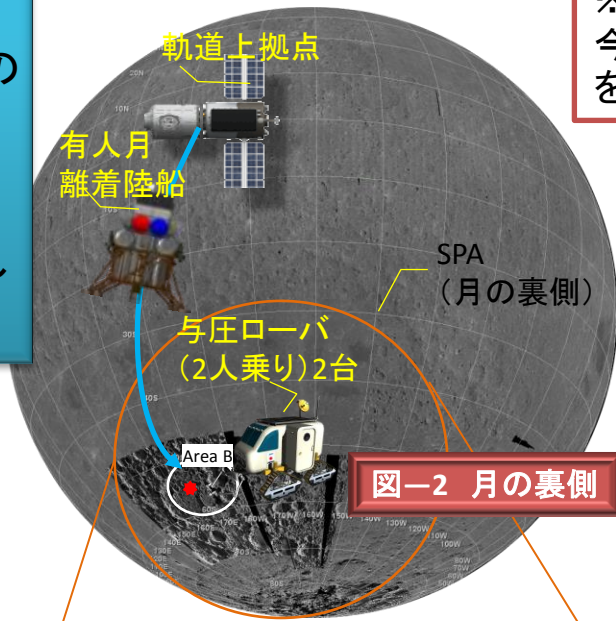
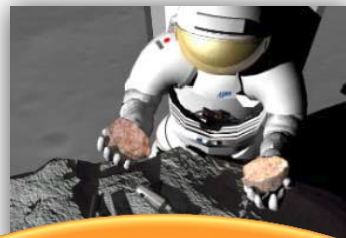


図-1 アポロ計画での着陸地点 (月の表側)

サンプルの選定



【有人で行うことの意義】
盆地形成年代は基本的に非常に古く地質が複雑であるため、予期しない地質・地形から最適なサンプルを選定する、卓越した人の手の技術を要する露頭からのサンプリング、複雑な工程を経て行われる地盤調査のコアリングなど、有人の対応能力が必要。

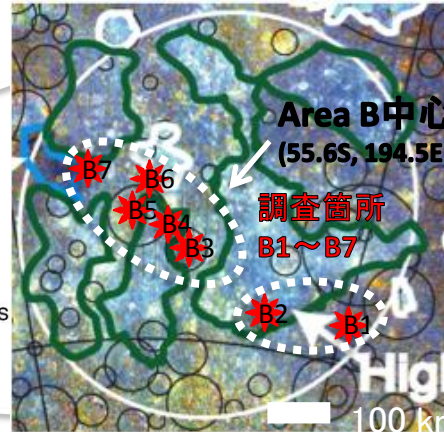
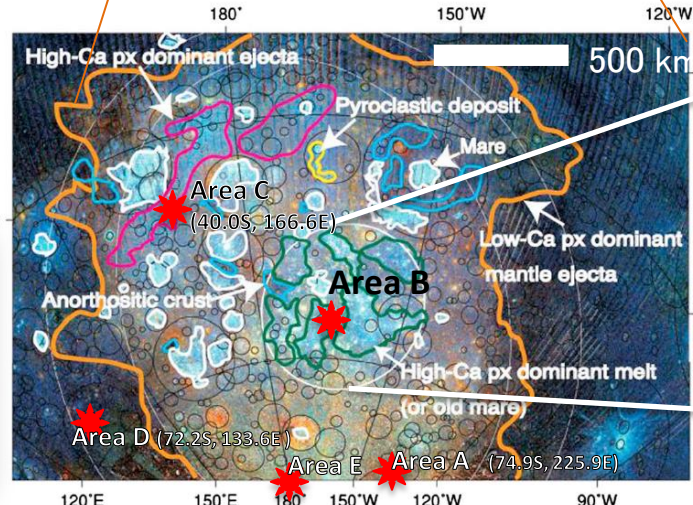


図-3 SPA内着陸点候補(A~E)

コアリング

露頭からのサンプリング



- 2018年1～3月に日本で開催予定の政策レベル会合(ISEF#2)に向けて、宇宙機関間ではシナリオ・ロードマップ検討をGER3として2017年11月までにまとめるべく調整中。
- JAXAの探査推進チームでも、探査の全体シナリオ(案)について包括的に検討を進めている。
- 月面の水の多寡により、その後のアーキテクチャが大きく変わる可能性があるため、まずはSLIMで獲得する高精度着陸技術をベースに、極域の水氷探査ミッションについて検討を進めている。