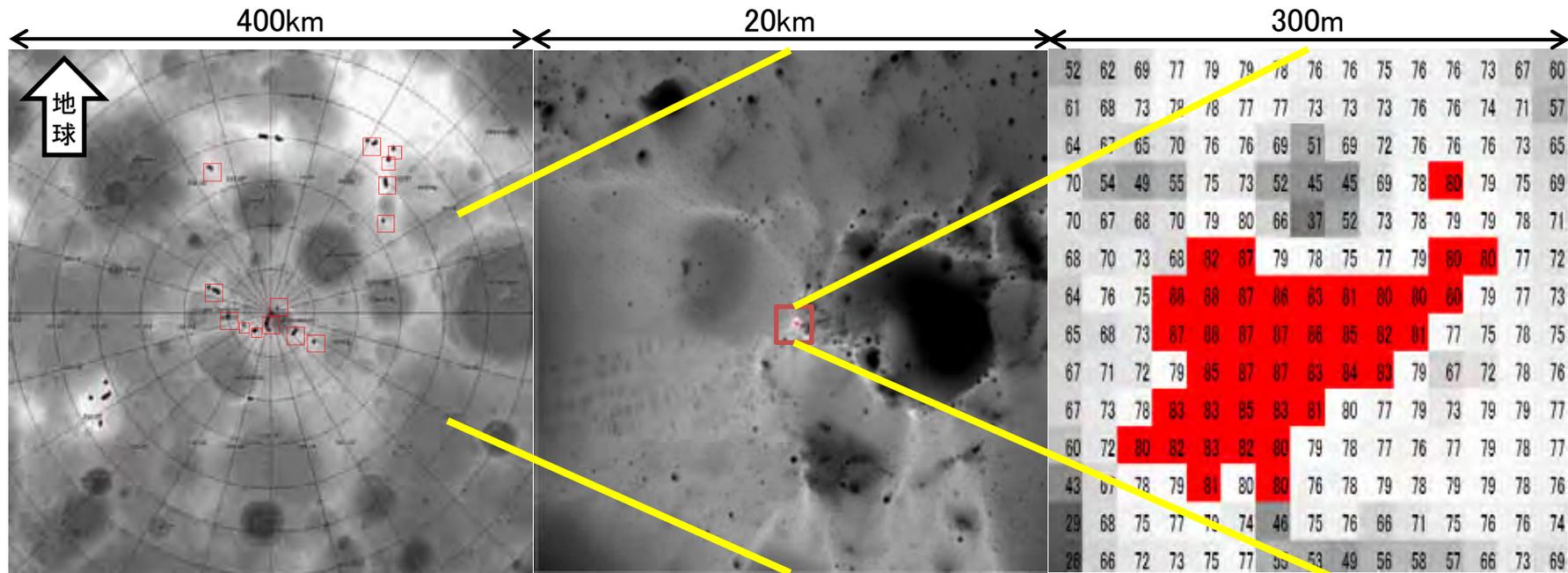
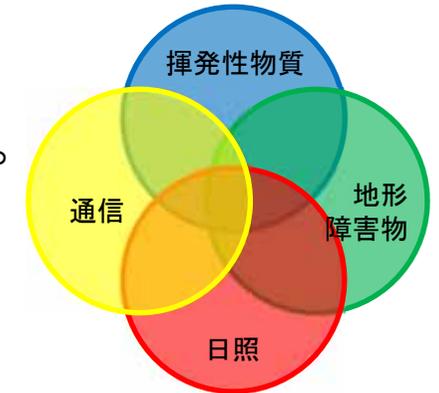


④月着陸探査活動 (2/11) 一月極域探査における着陸地点の検討状況

・着陸地点の条件

- 水氷の存在可能性、長期運用が実現可能な日照条件・通信条件、着陸可能な地形(傾斜)、クレータやボルダ等の障害物が少ない 等
- ・これらの条件を満たす着陸地点は非常に限られるとともに狭い領域である。
 - 水資源に加え、半年以上の連続日照や、80%(年間300日)以上の日照率が得られ、有人無人に関わらず持続的な活動に有利な領域は非常に希少。
 - このような希少領域に先に日本が着陸して、活動を開始することは、国際競争、権益の確保の面でも有益。
 - ピンポイント着陸技術も必須となる。



南極400km四方の地形

20km四方の中心の赤い点が80% (年間300日)以上の日照域

300m四方の赤い領域(1辺20m)が80% (年間300日)以上の日照域

④月着陸探査活動（3/11）

—移動・走行技術/越夜技術の研究開発状況—

長期・広域探査のため、耐久性を考慮した移動・走行技術、月の厳しい環境に対応した越夜技術が重要。

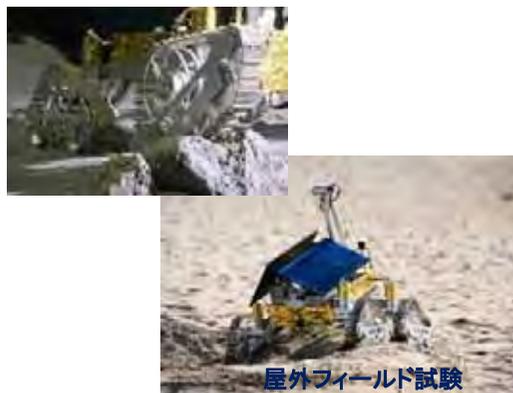
・登坂性能評価

模擬砂上で斜度25度までの登坂試験を単輪及び車体で実施。



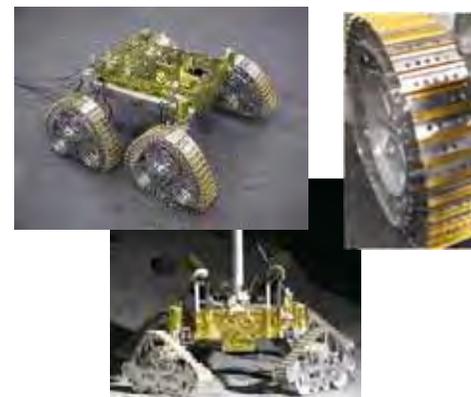
・乗り越え性能評価

段差・岩石の乗り越え、クレータリム乗り越えなどを実施。



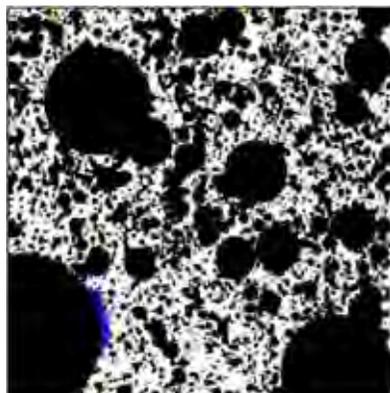
・操舵性能等評価

4輪操舵や定点回転機能等の各種走行モードの試験を実施。



・広域経路計画

日照・通信の時間変化を考慮した広域経路計画を事前に実施。



・長距離走行試験

模擬砂上の真空環境で走行機構の長距離連続走行(10km走行)を検証。



・熱制御技術・電源技術

高性能のヒートスイッチ、MLI締結具等、耐環境性の高い電池等の実現。



④月着陸探査活動（4/11）

—JAXAとISROとの協力・分担についての検討状況—

分担の考え方	備考（JAXAとしての狙い）
JAXAがローバとロケット、ISROが着陸機を担当し、重力天体表面探査技術を実証・獲得する。なお、着陸機にも電源(太陽電池、バッテリー)を提供する。	SLIMで獲得できない本格的な重力天体表面探査技術(走行技術、掘削技術、越夜技術など)を早期に実証する。
JAXAが着陸機の航法誘導センサと誘導アルゴリズムを担当し、ピンポイント技術を発展させる。	SLIMのピンポイント着陸技術を極域に発展させ、月面の全域にピンポイントで到達可能にする。
データは双方のデータの共有と一定期間後に公開(双方が合意したもののみ、PDS4形式)する。	PDS4: Planetary Data System Version4 (惑星探査データアーカイブの標準)

打上ロケット	H3 ロケット
打上げ軌道	「かぐや」打上軌道と同等
打上時質量	6トン以上
ペイロード質量	350kg以上（ローバ含む）
打上時期/運用期間	2023年頃目標/半年以上
着陸地点	月の南極域
主要ミッション機器	水氷探査機器



ロケット



ローバ



着陸機

JAXA主担当

ISRO主担当

④月着陸探査活動（5/11）

—米国や欧州等とのセンサ・観測機器の協力の検討状況—

センサ・観測装置	目的	協力予定	質量
中性子検出器	中性子量から水素の存在量を測定し、掘削候補地点の決定の材料とする。	NASAから提供	9kg程度
地中レーダ	深さ2m程度までの地下の状況を識別し、掘削候補地点の決定の材料とする。	ISRO/JAXA共同開発	3kg程度
分光カメラ (可視から近赤外)	表面や掘削した試料の観測から表面の水の存在を識別する。	ISRO/JAXA共同開発	8kg程度
水資源分析計 (加熱装置を含む)	掘削した試料の熱重量分析と質量分析により水と揮発性物質の存在量を測定する。	JAXAの開発	24kg程度
表層分圧計	揮発性物質の分圧を測定し表面温度との関係から水の集積状況を確認する。	ESAからの提供	2kg程度
表層温度計	表面温度環境を測定し揮発性物質の分圧の関係から水の集積状況を確認する。	調整中	

④月着陸探査活動（6/11）

ーチャンドラヤーン2号着陸機の失敗の影響、スケジュールの見直しー

- インド／モディ首相は、チャンドラヤーン2号着陸機の失敗が判明した後の演説において、今後も月面着陸に挑み続ける姿勢を強調。またISROはJAXAと早急に再度月着陸を目指したいとの意向を示している。
- 着陸機の正常な着陸には失敗したが、目標の位置付近には到達したとみられ、また、周回機は正常に機能しており、インドは重力天体探査に必要な高いレベルの技術力を有していると考えられる。
- 再度の月着陸を目指すインドへの協力を通して、より技術的な知見の共有を受けることが可能となるとともに、日本の存在感、信頼感が高まることが期待できる。
- 今回のインドの失敗のレビューや次回への反映を着実に進め、ミッションを確実に進めるためには、JAXA及びISROがともに早期に開発フェーズに移行し、着陸機、ローバー、センサ等の設計に着手できるようにしていくことが重要と考える。

④月着陸探査活動（7/11）

—（参考）月面の環境の特性と持続的な活動に必要な技術—

◆越夜技術

昼間は太陽電池等を利用できるが、日陰や夜間の極低温環境での機器の越夜のための技術（発電技術、蓄電技術、節電技術）が必須。原子力電池に頼らないクリーンエネルギー技術（Li-Ion電池、再生燃料電池、完全固体電池等）の確立を目指す。

◆着陸技術

ミッション要求に最適な限定的な着陸地（極域等）にピンポイントで着陸する高精度着陸技術が必須。

◆移動・走行技術

不整地、登坂走行能力、スタック回避が必要。地形計測、マッピング、自動経路生成や障害物検知も必要。

◆掘削技術

掘削情報から地盤推定（地上技術の連携）。使用できる機材に限られるが、試料採取とともに地盤を把握。

【熱環境】

- ・大気がないため、昼夜の温度差が厳しい。
- ・極域では日照時 $-40^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$ 、日陰時 -200°C 。低緯度で日照時 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上、日陰時 -200°C 近くまで温度変化。

【日照】

- ・極域では影の領域が多い（地形計測が必要）。
- ・中低緯度では夜が長い（約14.8日周期）。

【高真空】

- ・大気がほとんどなく、高真空環境（昼間は 10^{-7}Pa 、夜間は 10^{-10}Pa ）。
- ・放熱対策や固体潤滑が必要。

【放射線】

- ・大気も磁場もないため、強い宇宙放射線環境。電子部品の故障対策や、人体への防護対策が必要。
- ・月面の宇宙放射線は推定 $100\sim 500\text{mSv/年}$ （地球上では、 2.4mSv/年 ）。

◆耐環境技術

月面固有の厳しい環境（熱、放射線、レゴリス防塵、低重力等）へ対応した電子部品や機構部品の開発、システムエンジニアリングが必要。有人活動に向けては、加えて隕石デブリ、放射線防護技術が必須。



【地形・表土】

- ・月面は細かい砂（レゴリス）で覆われた不整地（レゴリスが数m～数十m堆積）であり、砂で滑ったり埋もれたりしてスタックしやすい。
- ・レゴリスは数十マイクロン以下の微粒子が多く、機構部への侵入、摩耗も課題。
- ・極域は山岳地帯（平均斜度15度、最大斜度30度程度）。

【重力】

- ・1/6重力の環境下。軽量の施設建設は反力の確保が課題。

【通信環境】

- ・地球から往復3秒程度。ある程度の自動化・自律化が必要。
- ・地球上の一つの通信地上局から常時月と通信することはできず、経度をずらした最低3か所の常時通信用地上局が必要となる（例：NASAのDeep Space Network）。
- ・月の裏面は地球の電波放射の影響を受けず、天文観測等に向く。一方で常に地球と直接通信ができないため、地球との通信には中継基地（衛星）が必要。

◆オペレーション技術

ミッションを実現するためにEnd-to-Endで（地上から月面まで、事前準備・訓練・実運用を通して）運用技術が重要。国際調整や不測の事態対応など、きぼう運用やはやぶさ運用等で得られた技術を活用する。また深宇宙探査に向けて自動化・自律化も促進する。

◆通信技術

基幹インフラとしての通信システム構築が重要（光宇宙通信技術等の活用）。常時通信を確保する場合、3局以上の深宇宙通信用地上局を用意するか、地球周回軌道、月周回軌道などにデータ中継用衛星を用意する必要がある。

④月着陸探査活動（8/11）

—(参考)月・火星探査ローバー(着陸年順)—

	名称	天体	着陸	質量	活動期間	走行距離	エネルギー源	画像 <small>(C)NASA, RSA, CNSA, ISRO</small>
運用 終了	ルノホート1号、2号(2台) (ソ連)	月	1970、 1973	756kg、 840kg	10.5ヶ月、 5ヶ月	10.5km、 37km	太陽電池 +ラジオアイソトープ(保温用)	
運用 終了	アポロ月面車(アポロ15～17号) (3台) ※有人用 (米国)	月	1971 ～ 1972	(1台あたり) 本体+クルー2名+ ツール=708kg	(1台あたり) 3～4時間	25～35km	1次電池	
運用 終了	マーズ・パスファインダー (米国)	火星	1997	10.5kg	83日	約0.1km	太陽電池 +ラジオアイソトープ(保温用)	
運用 終了	スピリット、 オポチュニティ(2台) (米国)	火星	2004	(1台あたり) 174kg	5年、15年	7.7km (スピリット) 45.16km (オポチュニティ)	太陽電池 +ラジオアイソトープ(保温用)	
運用中	キュリオシティ (米国)	火星	2012	899kg	7年～ (活動中)	20km (2018年12月時点)	ラジオアイソトープ(電源用)	
運用 終了	玉兔 (中国)	月	2013	約140kg	8ヶ月程度 ※推定	100m程度	太陽電池 +ラジオアイソトープ(保温用)	
運用中	玉兔2号 (中国)	月	2019	約140kg	8ヶ月～ (活動中)	約284m (活動中、2019年9月時点)	太陽電池 +ラジオアイソトープ(保温用)	
着陸 失敗	チャンドラヤーン2号 (インド)	月	着陸 失敗	27kg	—	—	太陽電池+蓄電池	

④月着陸探査活動（9/11）

－(参考)インド・チャンドラヤーン2号の概要－

- チャンドラヤーン2号は、インド宇宙研究機関(ISRO)の月探査ミッションであり、2008年のチャンドラヤーン1号(月周回)に続く2つ目のミッション。**2019年7月22日打ち上げ、9月7日に月面着陸を目指したが失敗。**
- 月面着陸および月面探査の技術を獲得し、月面における「その場」観測を実施する計画だった。
- 旧ソ連・米国・中国に次ぐ**4か国目の月面着陸を目指していた**。着陸地は、月表側の南緯70.9度・東経22.7度近傍。

チャンドラヤーン2号概要

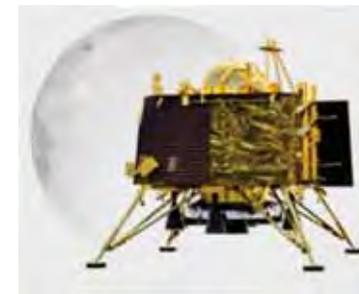
- ◆ 2019年7月22日 ISROのGSLV Mk-IIIロケットにより打上げ
- ◆ 月周回機、月着陸機(Vikram)、月面ローバ(Pragyan)で構成全体で3.1x3.1x5.8m, 質量は3,850kg
- ◆ 月周回軌道(月面高度100km)へ月周回機と着陸機を結合した状態で投入し、その後着陸機を切り離し月面に着陸(⇒失敗)
- ◆ 月周回機の設計寿命は1年間、月着陸機および月面ローバの設計寿命は約2週間(越夜は実施しない)
- ◆ 科学的な価値、技術的難易度を考慮し、月の表側・南高緯度地域(南緯70.9度近傍)の高地平原に着陸予定(⇒失敗)



GSLV Mk-IIIロケット
全長43.43m, GTO軌道へ
4ton級打上能力



月周回機
3.2x5.8x2.1m, 2,379kg



月着陸機「Vikram」
2.54x2x1.2m, 1,471kg



月面ローバ「Pragyan」
0.9x0.75x0.85m, 27kg

チャンドラヤーン2号搭載の主なサイエンスミッション

- ◆ 月周回機に8個、月着陸機に3個、月面ローバに2個の観測機器を搭載。加えて、NASA提供のレーザー反射器も搭載。
- ◆ 月周回機による月面組成の広範囲マッピングを実施するとともに、月着陸機や月面ローバにより、着陸地点近傍の月面組成分析や熱流量計測、月震計測等の「その場」観測を実施し、詳細データの取得を図る計画だった。

④月着陸探査活動（10/11） —(参考)月探査をめぐる各国の動向—

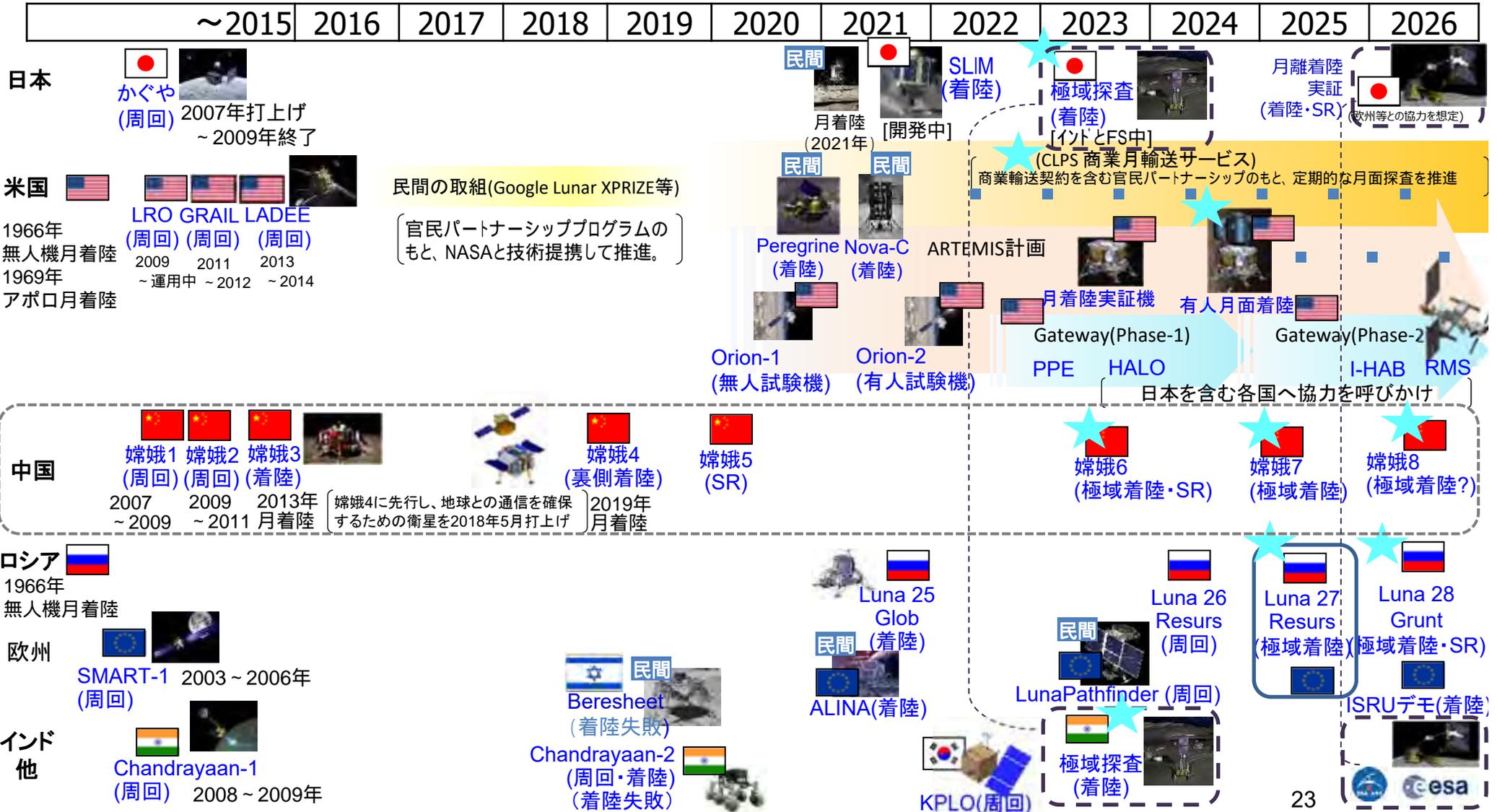
■月面：2018年以降、主要国は多くの月面探査ミッションを計画。

米国は官民パートナーシップも活用し、2024年に有人月面着陸を計画。

2020年代前半には米露欧日中印等が月極域への着陸探査を計画(月の水氷や高日照率域に高い関心)

■月近傍：米国は月周回有人拠点(Gateway)を構築する計画を示し、各国に参画を呼びかけ。

★：極域着陸ミッション
SR：サンプルリターン
(※検討中のものを含む)



④月着陸探査活動（11/11）

ー(参考)インドの月・火星探査や有人探査を巡る動向と日印協力ー

【インドにおける月・火星探査や有人探査を巡る動向】

地球低軌道 有人活動・ステーション

- 2018年8月、モディ首相は2022年までにインド初の有人宇宙船「ガガニヤーン」による有人宇宙飛行を目指すと発表。約3.7トンの小型カプセル型宇宙船で3名まで搭乗可能。
- 2019年6月、ISROは2027年～2029年にインド独自の宇宙ステーションを建設する計画を発表。(約20トンの小型ステーション、高度300～400km、2-3名が1週間程滞在)

月探査

- 2008年に「チャンドラヤーン1号」の月周回ミッションを実施。
- 2019年7月に「チャンドラヤーン2号」を打上げ、9月に旧ソ連・米国・中国に次ぐ4か国目の月面軟着陸を目指したが着陸失敗。周回機は今後約1年間、観測を継続する計画。

火星探査

- 2013年11月に火星探査機「マンガルヤーン」の打上げ、2014年9月に火星周回軌道への投入に成功。
- 2022年を目標に、2回目の火星探査ミッション「MOM-2」を計画中。CNESが協力予定。

【日印宇宙協力】

- 2016年11月：JAXAとISRO（インド宇宙機関）が、機関間協力協定締結
- 2017年12月：JAXAとISROが、月極域探査の検討に関する実施取決めを締結。
⇒ 両機関間で、技術的・科学的観点から協力の内容や実現性等を検討。
- 2018年10月：日印首脳会談において同探査ミッションに係る関係当局間の技術協力の進展を歓迎。

日印共同声明(2018年10月29日発信)

両首脳は、宇宙活動の長期的な持続可能性を促進するとのコミットメントを改めて表明し、宇宙における二国間協力を強化するために、年次の宇宙対話を立ち上げることを決定した。また、両首脳は、共同月極域探査ミッションに係る関係当局間での技術協力が進展していることを歓迎した。

- 2019年2月：ISRO-JAXA機関間共同ワーキンググループ開催
- 2019年3月：日印宇宙対話にて活動を報告



©内閣広報室