

資料1-4

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1回)H26. 4. 22

宇宙探査の現状について

平成26年4月22日(火)

(独)宇宙航空研究開発機構

構成

1. これまでの宇宙探査を巡る動向
 - (1) 有人宇宙活動のこれまでの歴史
 - (2) 我が国における取り組み
2. 最近の国際宇宙探査に関する議論の状況
 - (1) 宇宙機関レベルでの検討状況
 - (2) 各国の宇宙探査動向

1. これまでの宇宙探査を巡る動向

(1) 有人宇宙活動のこれまでの歴史

■ 有人宇宙飛行黎明期: 米ソ競争の時代 (1960~1970)

米・ソ冷戦を背景として、軍事的優位性と国家威信をかけて、米・ソが有人飛行を競い合った。この時期前半は、有人初飛行、初宇宙遊泳などことごとくソ連が先手を取ったが、月着陸競争でアポロ計画により米国が初めてソ連を追い抜いた。

■ ミールとスペースシャトル (1970~1980)

1970年以降、冷戦の緊張緩和が進むにつれ有人宇宙開発での米・ソ競争も衰退し、米国は巨額のアポロ計画を中断した。ソ連も有人月面着陸を断念し、地球低軌道での宇宙ステーション(サリュート→ミール)に専念するようになる。

米国も宇宙実験室(スカイラブ)を打上げて暫く運用するも、宇宙開発予算の削減を目指して再使用可能なスペースシャトル開発に乗り出す。

■ 国際宇宙ステーション(ISS)の時代 (1980~)

米国は、開発したスペースシャトルを利用するとともに、1980年代に入って再び政治緊張が高まってきたソ連への対抗から西側諸国に国際宇宙ステーション(ISS)計画を提案し、これに欧州、日本、カナダが参加することとなった。

しかし、1988年の旧ソ連の崩壊後は、自由主義経済へのロシア加盟、ロシアの有人技術の活用などの観点から、1994年ロシアはISSに参加することとなった。これにより有人宇宙開発での国際協力が本格化することとなった。

■ 中国の台頭、民間有人飛行の萌芽 (2000~)

中国は2003年に有人初飛行を達成し、世界で3番目の有人飛行達成国となった。「国家独自の科学技術力の向上」が公式な目的であるが、国威発揚的な要素も大きいと推測されている。一方で、米国等では有人宇宙技術の民間への移転が進み、次々に有人宇宙飛行を目指す企業が出現している。

■ 有人月・惑星探査の時代 (2020~)

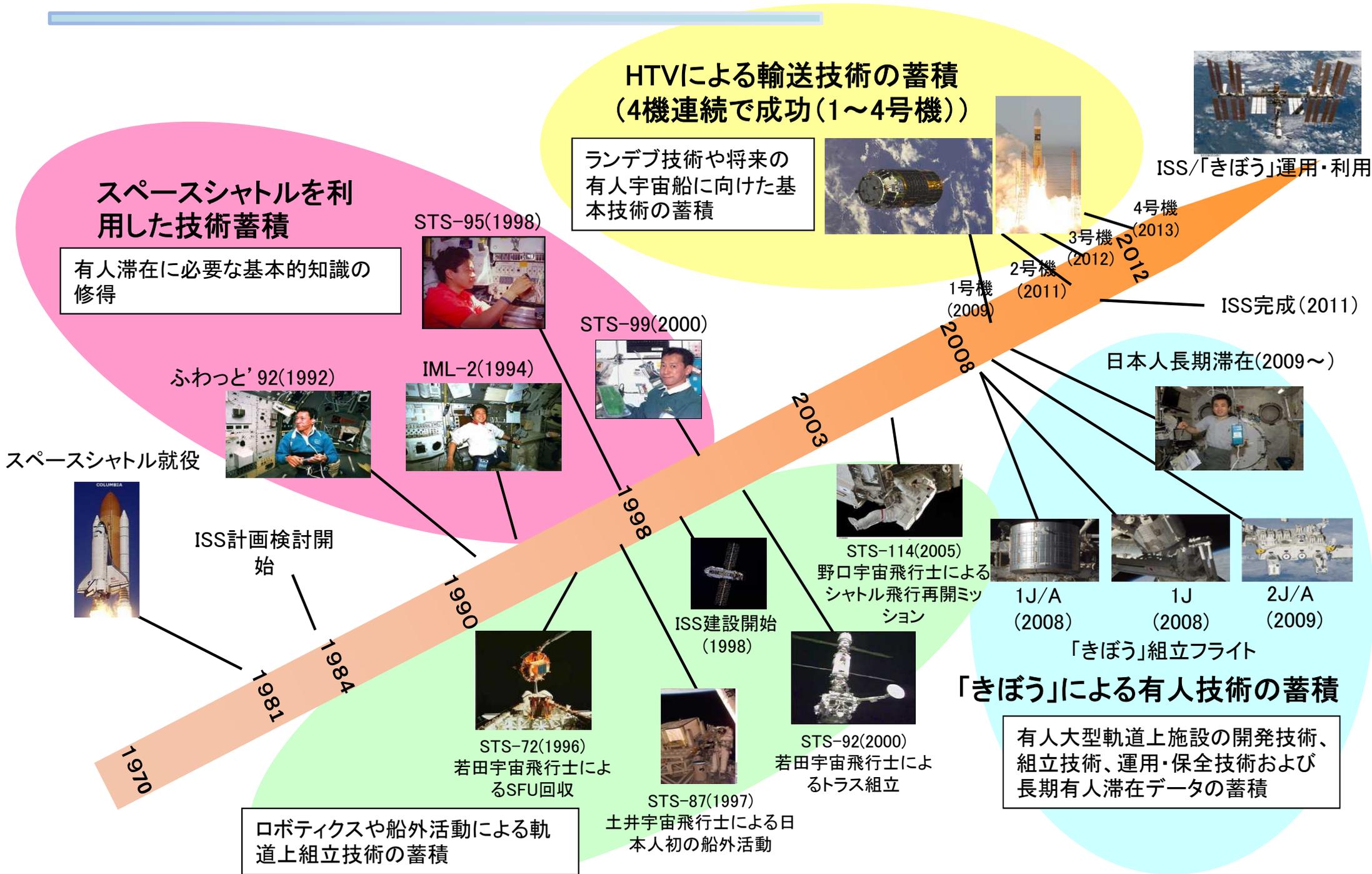
2004年1月、米国宇宙探査構想が発表されると同時に、国際的参加が呼びかけられたことをきっかけに、2004年11月から宇宙機関間による国際宇宙探査に関する議論が開始された。その中で、ISSに始まり、月周辺の有人探査を経て、火星に至る、「実現可能で持続可能」を目指した国際有人宇宙探査の道筋について検討が行われている。

(2) 我が国のこれまでの取り組み (1/2)

① 有人探査

- スペースシャトルにおける日本人搭乗機会により、有人滞在に必要な基本的知識や、ロボティクスや船外活動による軌道上組立の基本的知識を蓄積。
- きぼう(日本実験棟)の開発・建設により、有人大型軌道上施設の開発技術、組立技術を修得。その後の連続運用により、国際協働運用の技術、有人施設の保全技術および長期有人滞在データを蓄積。
- H-IIB/HTV(「こうのとり」)による物資補給に4機連続で成功し、ランデブ技術や将来の有人宇宙船に向けた基本技術を蓄積。
 - ⇒ 日本の有人宇宙技術の成熟が、若田飛行士のISS船長就任や、実験装置の安全審査権限のNASAからの委譲などという形に現れてきている。
 - ⇒ こうのとりのランデブ方式が米民間ISS補給機(オービタルサイエンシズ)に採用。国際標準につながる動き。

(参考) 有人探査へのアプローチ

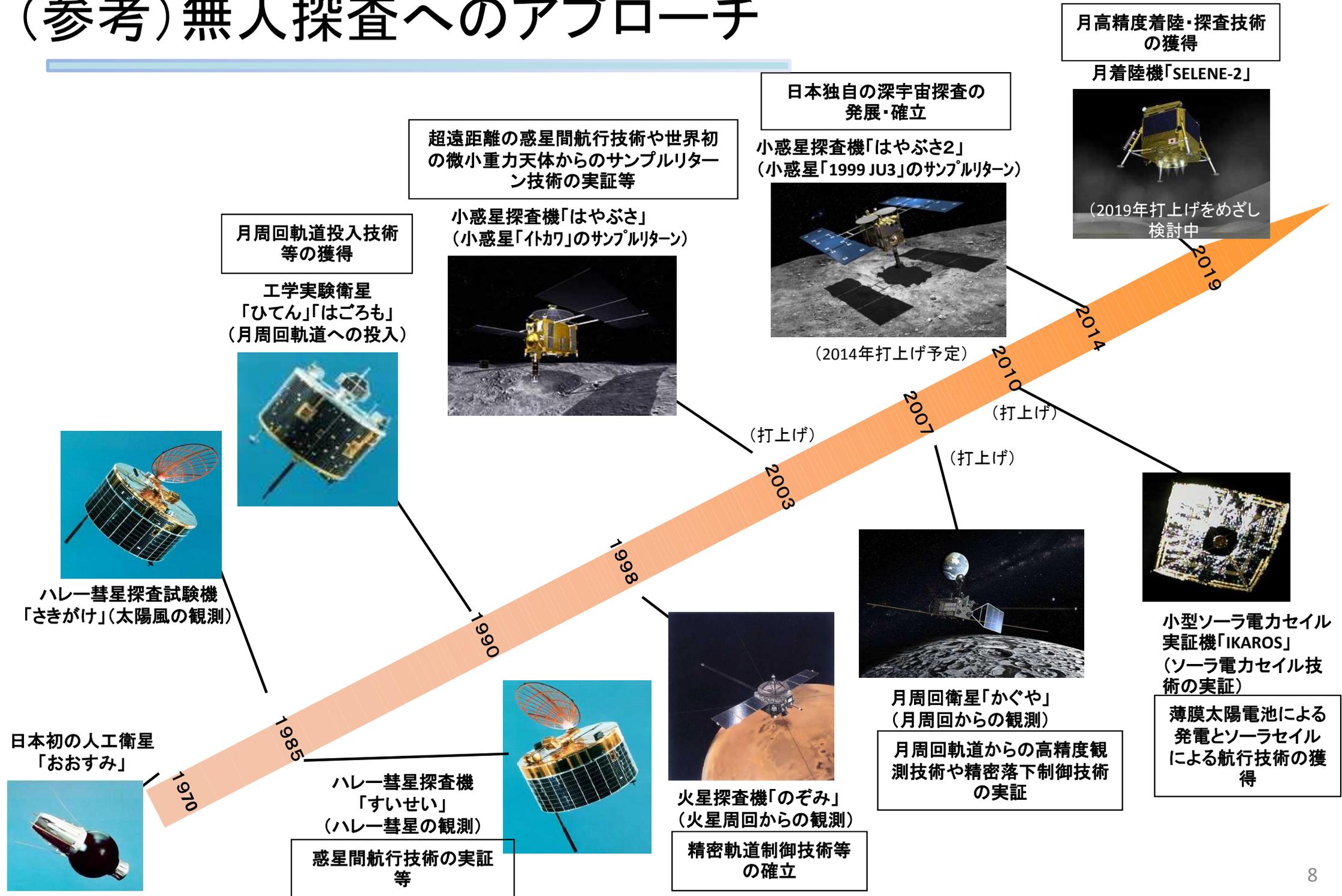


(2) 我が国のこれまでの取り組み(2/2)

② 無人探査

- ハレー彗星探査機「すいせい」により惑星間航行技術を実証。
- 工学実験衛星「ひてん」「はごろも」により月周回軌道投入技術等を獲得。
- 火星探査機「のぞみ」により精密軌道制御技術等を確立。
- 月周回衛星「かぐや」により、月周回軌道からの高精度観測技術や精密落下制御技術を実証。
- 小惑星探査機「はやぶさ」により、超遠距離の惑星間航行技術や世界初の微小重力天体からのサンプルリターン技術を実証。
- 小型ソーラ電力セイル実証機「IKAROS」により、ソーラ電力セイル技術の実証に世界で初めて成功。

(参考) 無人探査へのアプローチ



2. 最近の国際宇宙探査に関する議論の状況

(1) 宇宙機関レベルでの検討 (1/5)

1. 2004年1月、米国ブッシュ大統領は、有人月探査を含む「宇宙探査ビジョン(VSE)」を発表。国際的参加の呼びかけを受け、同年11月から宇宙機関による国際間の議論開始。
2. 対応策検討のため、ESAは政策検討チームを設置、JAXAでは有人・月探査関係者を集めたWG活動を開始、2006年4月に月・惑星探査推進チーム(後のJSPEC)を設置。
3. 2006年8月に14の宇宙機関による国際探査戦略(GES)構想の議論を開始。
4. 2007年3月の京都会合にて、「GES:国際共同のための共通の認識」が機関間で合意。宇宙機関による国際調整メカニズムとして、国際宇宙探査協働グループ(ISECG)が発足。2010年2月、米国オバマ大統領がコンステレーション計画の中止。4月に「新宇宙探査戦略」を発表。
5. 2010年6月、第1回ISECG探査部門長会合をワシントンにて開催し、小惑星など複数オプションに広げたシナリオ検討を開始。同会合から、探査部門長等の上位マネジメントレベルが定常的に参加。
6. 2011年8月、京都にて第2回ISECG探査部門長会合を開催。「次は小惑星」・「次は月」のオプションを示した国際宇宙探査ロードマップ(GER)の初版を取りまとめた。同年9月に公開。
7. 2013年4月、GER改訂の検討結果と宇宙探査のベネフィットを整理・確認するため、モントリオールにて第3回ISECG探査部門長会合を開催した。GER第2版を同年8月に公開。

(1) 宇宙機関レベルでの検討 (2/5)

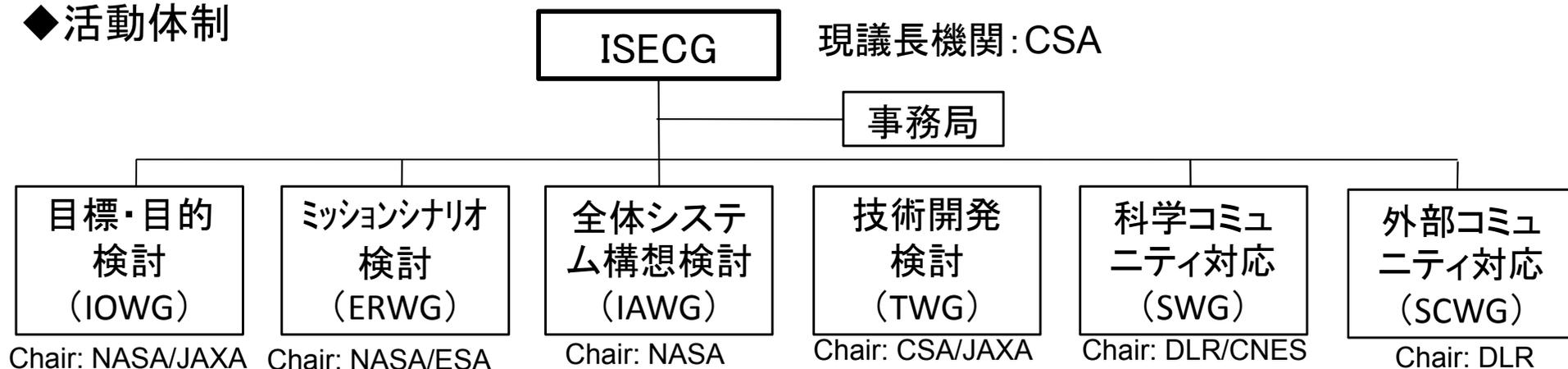
■国際宇宙探査協働グループ (ISECG: International Space Exploration Coordination Group)



- ◆ 国際協働による有人宇宙探査に向けて宇宙機関間で技術検討を行う。
- ◆ グループへの参加機関が、互いの関心・情報・計画について交換・議論し、自発的な共同作業を実施。検討内容は、法的に拘束されない。グループが提示するものは、推奨事項・見解の位置付け。
- ◆ 2007年に結成され、現在も活動を継続中。14*の宇宙機関が参加。
- ◆ 2010年6月から議長制を導入。JAXAは第2代ISECG議長(2011年8月～2013年4月)として、国際会議代表出席や国際宇宙探査ロードマップ第2版作成主導などを実施。
- ◆ 2014年1月の国際宇宙探査フォーラム(ISEF)では、国際探査ロードマップを作成したISECGの活動を支持するフォーラムサマリーが発表された。

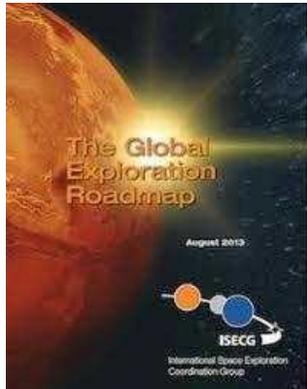
*参加14機関: ASI(伊)、CNES(仏)、CNSA(中)、CSA(加)、CSIRO(豪)、DLR(独)、ESA(欧)、ISRO(印)、JAXA(日)、KARI(韓)、NASA(米)、Roscosmos(露)、SSAU(ウクライナ)、UKSA(英)
(下線の5機関がWGの議長を務めるなど積極的に関与)

◆活動体制



(1) 宇宙機関レベルでの検討 (3/5)

■ 国際宇宙探査ロードマップ (GER: Global Exploration Roadmap、2013年8月に第2版を公開)



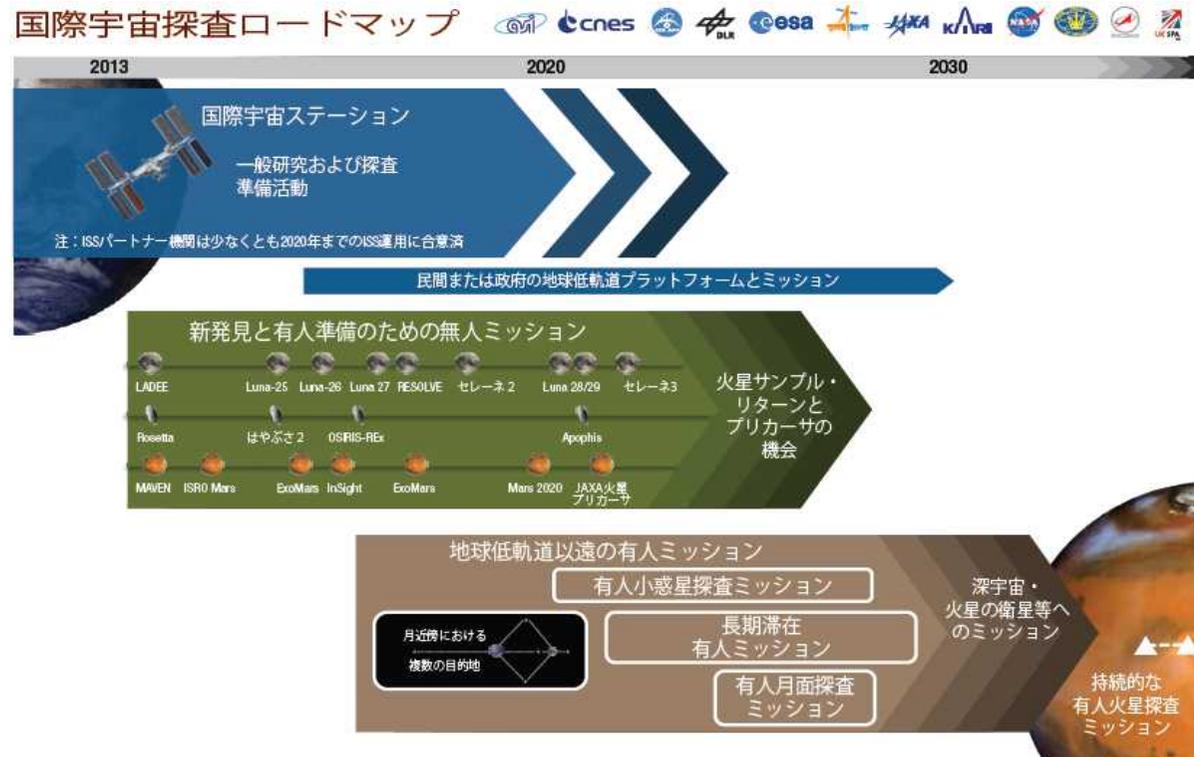
◆ ISECGの12機関*が作成した、ISSに始まり、月周辺の有人探査を経て、火星に至る、「実現可能で持続可能」を目指した国際有人宇宙探査の道筋。

検討の進捗に応じて改訂。初版ではISSに続く有人ミッションは小惑星と月に分かれていたが、第2版にて「月周辺ミッション」に統合。次回改訂は2015年を予定。

*12機関: ASI(伊)、CNES(仏)、CSA(加)、DLR(独)、ESA(欧)、ISRO(印)、JAXA(日)、KARI(韓)、NASA(米)、Roscosmos(露)、SSAU(ウクライナ)、UKSA(英)

◆ ロードマップの概要

- ① ISSを最大限活用し、探査に向けた技術蓄積を行う。
- ② 月・小惑星・火星への有人探査準備としての無人探査
- ③ 2020年代に月周辺の有人探査を実施。
 - ・無人で月周辺に移動させた小惑星有人探査
 - ・月周辺の長期有人滞在ミッション
 - ・月表面の有人探査
- ④ 2030年以降に有人火星探査を実施。



(1) 宇宙機関レベルでの検討 (4/5)

◆ロードマップ作成に当たっての考え方

- ① 各国の独自性や優先事項を実施しつつ、「共通の探査目的・目標」を共有し、有人火星探査にむけて全体として統一。

【共通の探査目的・目標】

- 探査技術と能力の開発
- 地球の安全性の向上(デブリ、NEO)
- 有人探査を可能にする科学の実施
- 生命の探索
- 一般市民の探査への参加
- 人類の活動領域の拡大
- 宇宙科学、地球科学、応用科学
- 経済拡大の促進

- ② 持続可能な有人探査のため、世界の既存の技術を基に現実的な範囲で技術開発の計画を組み込んだシナリオとする。

【ミッションシナリオの原則】

- A) 現実的な予算の成立性: 予算の制約を考慮に入れる。
- B) 探査成果の創出: 初期段階から全般にわたり成果が創出されつづけること。
- C) 国際間パートナーシップ: 様々なパートナーに早期から継続した協力の機会を提供する。
- D) 段階的な技術開発: 段階的な技術開発により複雑化するミッションに対応。
- E) 有人ミッションと無人ミッションの連携: 有人と無人の相乗効果を最大限高める。
- F) ロバスト性: プログラム上、技術上の課題に対応できる柔軟性の確保。

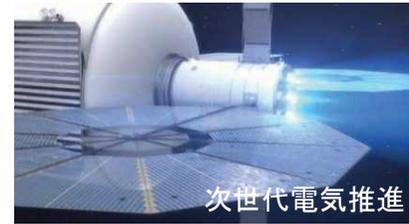
(1) 宇宙機関レベルでの検討 (5/5)

◆2020年代の月周辺での有人探査ミッション・テーマ

イ. 地球近傍小惑星探査

10m以下の小型小惑星を捕捉し、月近傍の安定軌道に再配置、宇宙飛行士が小惑星を探査、サンプルリターンを行う。NASAが提案し、国際協力を呼びかけている。

主要システム: 次世代電気推進、SLS & Orion



ロ. 長期滞在有人ミッション

ISSの居住能力の深宇宙探査用への発展と、有人-無人共同による月面探査のための月近傍(EML2等)での長期(90日)滞在有人ミッション。ISECG各機関共同でミッション定義を実施中。

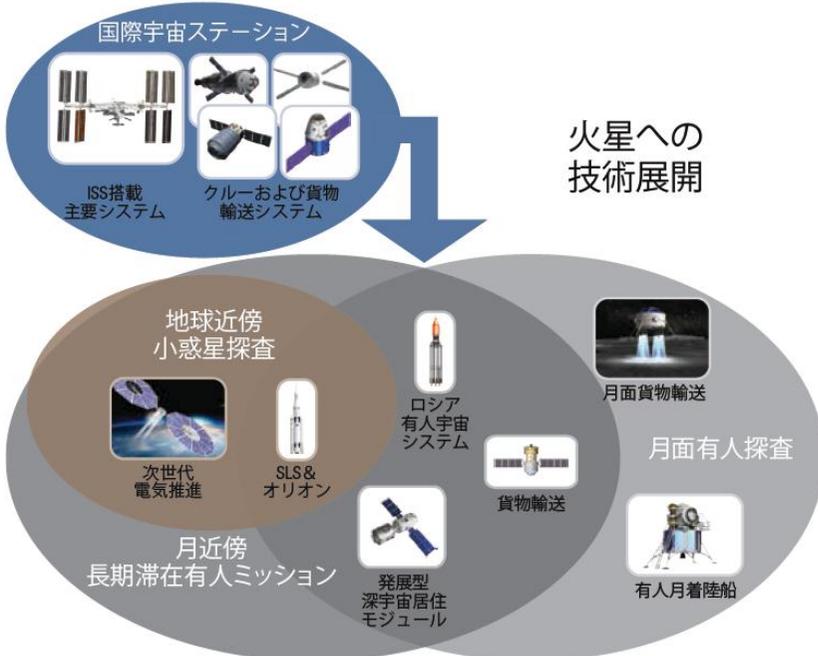
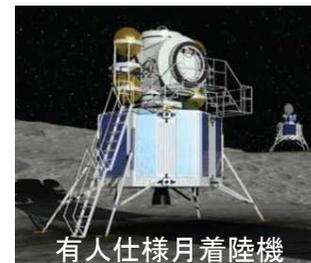
主要システム: 次世代電気推進、SLS&Orion、ロシア有人宇宙システム、発展型深宇宙居住モジュール、貨物輸送機



ハ. 有人月面探査

月面有人滞在による月科学と居住、可動性などの惑星探査技術を進める。1か月程度の移動型長期滞在ミッションを想定。月を有人探査の目的地と目する機関を中心に検討中。発展型深宇宙居住モジュールとの連携、月の現地資源の活用が効果的。

主要システム: SLS&Orion、ロシア有人宇宙システム、発展型深宇宙居住モジュール、貨物輸送機、月面貨物輸送機、有人着陸船



いずれのミッションも、ISSでの技術実証、リスク低減等の観点から、ISSが運用されている間にミッションを開始することが重要。

(2) 各国の宇宙探査動向 (1/6)

① 米国

2030年代に人類を火星周回軌道へ送り帰還させることを目標。このため、複数の目的地(月・小惑星・火星)への有人探査の基盤となる重量級ロケットと多目的有人宇宙船を開発中。現政権の意向を反映し、月面有人探査計画は具体化していない。

- ◆ LEO(地球周回低軌道)は民間サービスの活用(無人輸送)を開始*1。NASAは有人輸送に関してはLEOを超えた探査ミッションに移行。次世代重量級ロケット(SLS)や多目的有人宇宙船(MPCV ORION)を開発中。

*1 2012年5月、スペースX社が民間輸送に成功。2013年9月、オービタルサイエンシズ社が民間輸送に成功。2014年3月現在、計5回の民間輸送が行われた。

- ◆ 火星無人探査を定期的実施*2。小惑星については小惑星サンプルリターンミッション“OSIRIS-REx”を2016年に打ち上げ予定。また、2013年4月に大統領府は小惑星捕獲ミッション(Asteroid Redirect Mission: ARM)計画*3を公表。

*2 2012年8月火星探査ローバー「キュリオシティ」着陸成功。2013年12月火星周回機「MAVEN」打上げ成功。

*3 直径10m程度の小惑星を捕獲し、電気推進で月軌道近傍に移動させSLS/MPCVで有人探査を行う計画。

- ◆ 月周回無人探査を定期的実施しており、将来の有人探査での現地資源利用の可能性を探るための月極域の資源調査ミッション(Resource Prospector Mission: RPM)を2019年の打上げに向けて検討中。

- ◆ 2014年1月、オバマ政権がISSの運用を少なくとも2024年まで延長することを発表。ISSパートナーに延長への参加の期待を表明。



SLS



スペースX(Dragon)



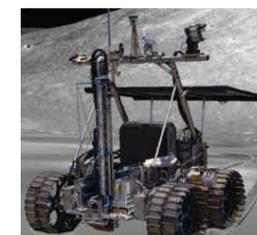
MPCV



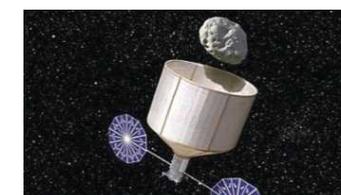
OSIRIS-REx



キュリオシティ



RPM



小惑星捕獲ミッション(ARM)

(参考) 有人宇宙探査に関する米国政策の推移

ブッシュ大統領:

2004年 宇宙探査ビジョン(VSE) 提唱

2006年 国家宇宙政策(コンステレーション計画: 有人月探査など)

オバマ大統領:

2010年2月: コンステレーション計画の中止とISSの運用延長を提案

2010年4月: 新宇宙探査戦略発表 ⇒ 同6月: 新宇宙政策

- 有人ミッション技術の実証と、先行ロボティクス探査を実施
- 2025年までに月以遠の長期有人飛行ミッションを実施(小惑星)
- 2030年代半ばまでに、人類を火星周回軌道に送り地球に帰還

2010年10月: 米国議会と合意

- 国際宇宙ステーション(ISS)の2020年までの運用継続
- 商業宇宙輸送への国家支援(地球周回低軌道)
- 有人探査を目的とした重量級ロケット(SLS)と多目的有人宇宙船(MPCV/Orion)の開発
- 有人宇宙探査の「フレキシブルパス」アプローチ(複数の候補地: 月、小惑星、火星)

2014年1月: オバマ政権がISSの運用を少なくとも2024年まで延長することを発表。ISSパートナーに延長への参加の期待を表明。延長理由には下記項目が挙げられた。

- ①LEO以遠の長期有人探査ミッションに向けた人体リスク軽減等の研究活動の実施
- ②ISSでの医学・技術研究成果の社会的利益の拡大、
- ③LEOの商業貨物・クルー輸送の民間セクターへの移転期間の確保、
- ④科学ミッションの継続による科学コミュニティの信頼確保、
- ⑤商業輸送契約の機会拡大によるフライト単価の引き下げと投資の呼び込み、
- ⑥米国のリーダーシップの確保



新宇宙探査戦略発表
(2010年4月 NASAにて)



SLS



MPCV

(2) 各国の宇宙探査動向 (2/6)

② 欧州:

ISS協力の枠組みで、多目的有人宇宙船(MPCV)の開発を米国と協力して実施中。無人探査はロシア等との国際協力を計画。

- ◆ 米国の多目的有人宇宙船(MPCV)の一部である、電力、推進機能等を提供するサービスモジュール(SM)を開発中。(2017-2020年のISS共通運用経費(CSOC)バータ)。SMの打上げは2017年12月のMPCV無人ミッションを予定。
- ◆ 無人火星探査ミッション“ExoMars”計画を2016年、2018年の打上げに向け開発中。当初NASAとの共同ミッションであったが米国が2013年に撤退。ロシアとの協力に方針を変更。
- ◆ 2004年に打上げられた彗星探査機「ロゼッタ(Rosetta)」が2014年5月に彗星にランデブーし、12月に彗星着陸機「フィラエ」が着陸する予定。
- ◆ 月探査については、ドイツを中心に2018年に南極への月無人着陸計画をESAに提案中。並行して、ロシアに月探査ミッションへの協力を提案中。中国の嫦娥ミッションの追跡を支援。
- ◆ 2009年より3回の宇宙探査に関するEU/EC(欧州委員会)、ESA、開催国政府主催の閣僚級国際会議を開催。2011年の第3回会議(ルッカ)にて世界規模の政策級対話の必要性を宣言し、これが2014年1月に米国で開催された国際宇宙探査フォーラム(ISEF)に繋がった。



サービスモジュール
(MPCVの一部)



ExoMars



Rosetta

(2) 各国の宇宙探査動向 (3/6)

③ ロシア:

ISS計画への参加を中心にISSの機能拡張、有人宇宙船、次世代ロケット等の有人技術開発を計画。有人月探査構想を有し、その準備として無人月探査を計画。

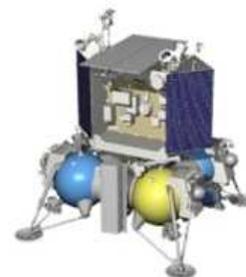
- ◆ ISSの可能な限りの運用の延長を計画しており複数のISS追加モジュールを開発中。
- ◆ 有人探査用の新たな大型ロケット開発構想を有し、2018年から2020年の運用開始を目標に次世代有人宇宙船を開発中。
- ◆ 2030年までに有人月周回飛行及び月着陸を実施し、月面基地、物資配達用の輸送着陸船などを開発する計画。無人月探査については、ESAとの協力が検討されており、2016年に着陸機(Luna-25)、2018年に周回機(Luna-26)、2018年に着陸機(Luna-27)の打ち上げを予定。また、2020年代早期に月サンプルリターンを計画。
- ◆ 火星系探査については、ESAと共同のExoMarsミッションで2016年と2018年に探査機を打ち上げる計画。



NAUKA
(ISS追加モジュール)



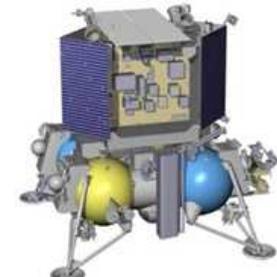
ROSCOSMOS
次世代宇宙船(NGS)



Luna-25
(Luna-Glob)
2016



Luna-26
(Luna-Resurs O)
2018



Luna-27
(Luna-Resurs 1)
2019



ROSCOSMOS
次世代ロケット
(NGSLV)

(2) 各国の宇宙探査動向 (4/6)

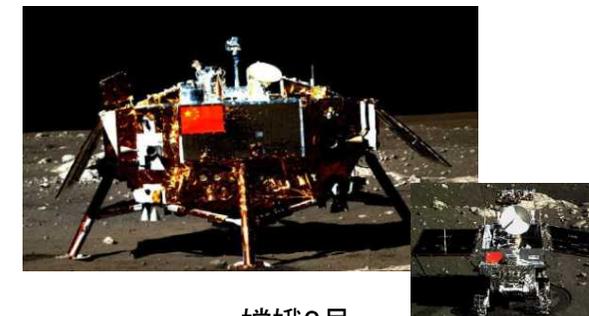
④ 中国:

独自の有人ステーション・宇宙船・ロケットを開発中。有人月探査構想を有し、その準備として無人月探査を実施中。

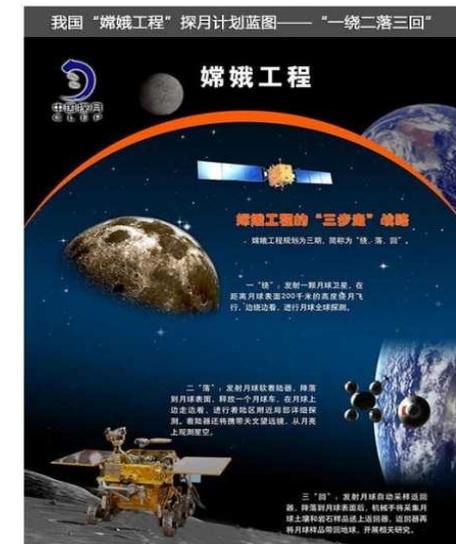
- ◆ 2003年に独自の有人宇宙飛行船「神舟5号」を打上げ、その後、初の独自の宇宙実験室天宮1号を2011年に設置し、ドッキング技術や船外活動技術などを蓄積中。
- ◆ 当面は長征ロケットの能力増強を図りつつ、2020年頃に独自の宇宙ステーションの建設、2025年以降の月有人探査及び月面基地を計画。2050年の有人火星探査を目標。
- ◆ 無人月探査については、「周回」、「着陸」、「帰還」の3段階で進めており、嫦娥1号(2007年)、嫦娥2号(2010年)で周回探査を実施。嫦娥3号が2013年12月に月面着陸に成功。2014年に嫦娥5号の試験機(月往復技術試験(着陸無))を打上げ予定、2017年には「嫦娥5号」による月のサンプル採取・回収ミッションが計画されている。
- ◆ 2014年1月のISEFにおいて、宇宙探査における国際協働の必要性、及び、ISECGのロードマップへ貢献について表明。中国の提案により、今年5月にISECGサブ会合を中国(北京)で開催予定。



天宮1号、神舟9号のドッキング(CG)



嫦娥3号



嫦娥計画

(2) 各国の宇宙探査動向 (5/6)

⑤ インド:

独自の有人宇宙ステーション計画は有していない。無人探査は月・火星探査を中心に計画中。

- ◆ 将来の有人ミッションとして、2~3名の宇宙飛行士が搭乗する宇宙往還機を検討中。クルーモジュールや環境制御・生命維持システム (ECLSS)、緊急脱出システム等の有人技術を研究中。
- ◆ 火星探査については、2013年11月に火星探査機マンガルヤーンの打上げに成功、火星への遷移軌道を飛行中。2014年9月火星周回軌道投入予定。
- ◆ 月探査については、2008年に「チャンドラヤーン1号」に月周回ミッションを実施。「チャンドラヤーン2号」は、月周回機、月着陸機(月面探査ローバ)にて構成され、ローバによる土壌サンプル収集等を計画。ロシアとの協力計画を解消し、単独での実施に変更(2016-2017年打上げ予定)。



マンガルヤーン



チャンドラヤーン1号



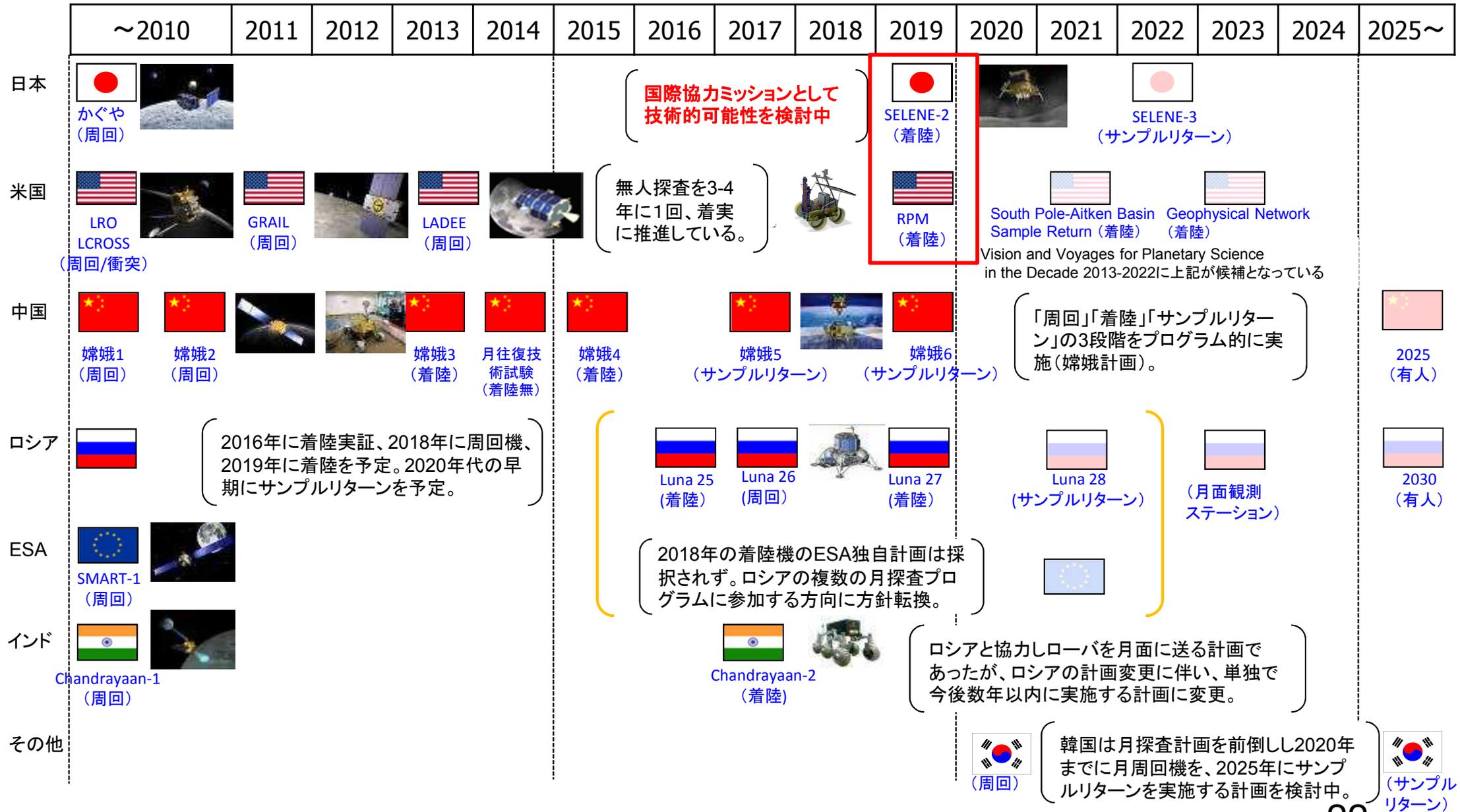
チャンドラヤーン2号(ローバ)

(2) 各国の宇宙探査動向 (6/6)

⑦ まとめ

- ◆ 米国は、ISSを国際宇宙探査にむけて活用しつつ、「フレキシブルパス」アプローチにより、火星・小惑星・月近傍の何れにも対応できる重量級ロケットと多目的有人宇宙船を開発中。
- ◆ 欧州は、有人宇宙船（MPCV）の開発を米国との協力で実施しつつ、ロシアとの国際協力による無人探査を重視。中国との関係については、技術移転の問題に配慮しつつ協力を進めている。
- ◆ ロシアは、有人月面基地を目標として月探査を重視。無人火星探査ミッションなどで欧州との協力を推進。
- ◆ 中国は、独自の有人宇宙ステーションの開発を進めている。一方、国際宇宙探査とGERへの貢献を表明。総合国力の向上を図るとともに、将来的に宇宙空間における大国の地位を確立することを目指している。
- ◆ インドは、自国の技術レベルの向上を重視。月・火星に向けた無人探査を計画中。

(参考)世界動向(1/2): 月探査



(参考)世界動向(2/2):火星・小惑星探査

探査対象	～2010	2011～	2015～	2020～
火星	  Phoenix (着陸)	  MSL (ローバ)	  InSight (着陸)	 Mars2020 (ローバ)
	  MRO (周回)	  MAVEN (周回)		
	  ME (周回)	  Mangalyaan (周回)	  ExoMars (周回, ローバ)	(米・欧が主導。平均3年の一機程度。)
小惑星	  はやぶさ (小惑星・サンプルリターン)	  はやぶさ2 (小惑星・サンプルリターン)	  OSIRIS-REx (小惑星・サンプルリターン)	  ARM (小惑星・捕獲/有人サンプルリターン)
	  Dawn (小惑星・周回)			(日本が世界をリード。)
	  Rosetta (彗星・着陸)			