

次期国際有人宇宙プログラム構想 — 有人月探査計画について —

佐藤 直樹*

The next international human space program Human lunar exploration Naoki Sato

Abstract : 次期国際有人宇宙プログラムとして世界各国が目指している有人月探査計画においては、その乗り越えるべき重力ポテンシャルの大きさから、より効率的な物資輸送が不可欠である。有人月探査計画のアーキテクチャから輸送すべきアイテムの洗い出しと、その輸送を電気推進で実施する可能性について予備的な検討を実施した。

Key words : 有人、月、物資輸送、電気推進

1. はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)プログラムもその組み立て最終段階を迎え、定常運用段階へ移行しつつある。今後はその利用を通じて、様々な実験／観測成果を期待することになるが、一方では、その次のステップとして宇宙探査計画の検討が ISS よりも大きな枠組みで進みつつある。わが国も ISS で獲得した宇宙先進国としての立場を生かし、有人月探査アーキテクチャ検討に積極的に参加している。そのアーキテクチャ検討においてはやはり有人輸送および貨物輸送アーキテクチャが中心的な要素である。この2つの要素についてわが国の技術で効率的で特色のある提案をすることで、主導的で有利な立場を維持・獲得できることになるであろう。

2. 宇宙探査計画の動向

2.1. 国際宇宙探査調整グループ(ISECG)

2004年1月の米国新宇宙探査構想を機に、ISSに引き続く国際宇宙プログラムとして宇宙探査プログラム検討が本格化してきた。様々なレベルでの宇宙機関同士の話し合いを経て、2007年3月の京都における国際ワークショップにおいて ISS 参加国を含む14の国・地域が Global Exploration Strategy (GES) フレームワーク文書に合意した。そのフレームワーク文書に基づき、設立されたのが International Space Exploration Coordination Group (ISECG) であり、この協働グループにおいて有人・無人を問わず宇宙探査に関する協力や調整を行うこととなった。ISECG はこれまで2回開催され、第3回が2009年4月に横浜で開催されることが決まっている。

この ISECG の中にはいくつかの分科会があり、その一つに有人月探査アーキテクチャを検討するグループがあり、ISS 参加機関である NASA, ESA, CSA, JAXA だけでなくイギリスや韓国が参加している。

2.2. 米国の宇宙探査計画

新宇宙探査構想に沿って特に有人月探査を中心に検討を進めている。特に先行して推し進めているのが新有人宇宙船開発であり、これは2010年に予定されているスペースシャトル退役後の ISS への有人アクセスを早期に確保するという背景がある。この有人宇宙船は ISS だけではなく月・火星を目指していることもあり、スペースシャトルのような有翼型ではなく、アポロタイプの宇宙船である。ただし、アポロとは異なり中型の固体ロケッ

* Human Space Systems and Utilization Mission directorate /JAXA

トで打ち上げる構想となっている。月有人着陸船は別の大型貨物ロケットで打上げ、地球低軌道でドッキングして月軌道に投入される。なお、この有人輸送はISSには6人、月面には4人を輸送するのがミッション要求となっている。大型貨物ロケットは液体水素／液体酸素を燃料とし、サターンVよりもさらに大型のロケットとなる計画であるが、月着陸船も含めてまだ予備検討段階である。

有人月探査ミッションは、初期においてはアポロ型の単発ミッションで適宜着陸地点を選定して行くことになるが、その後2020年頃から月南極に有人月拠点の建設する計画である。有人月拠点については構想段階であり、また、上述のISECG分科会で国際的に調整を進めているところである。

図1に米国の宇宙探査ロードマップを示す。

2.3. 欧州の宇宙探査計画

欧州は、従来よりオーロラプログラムという火星有人探査を見据えたプログラムを推し進めているが、最近では有人月拠点プログラムにも関心を示しつつあり、2008年度前半にはNASAと共同での有人月探査アーキテクチャ検討を実施している。図2に有人月探査を取り入れたESAのロードマップを示す。拠点のシステムよりも有人・貨物の輸送系に重点をおいたロードマップになっていることがわかる。

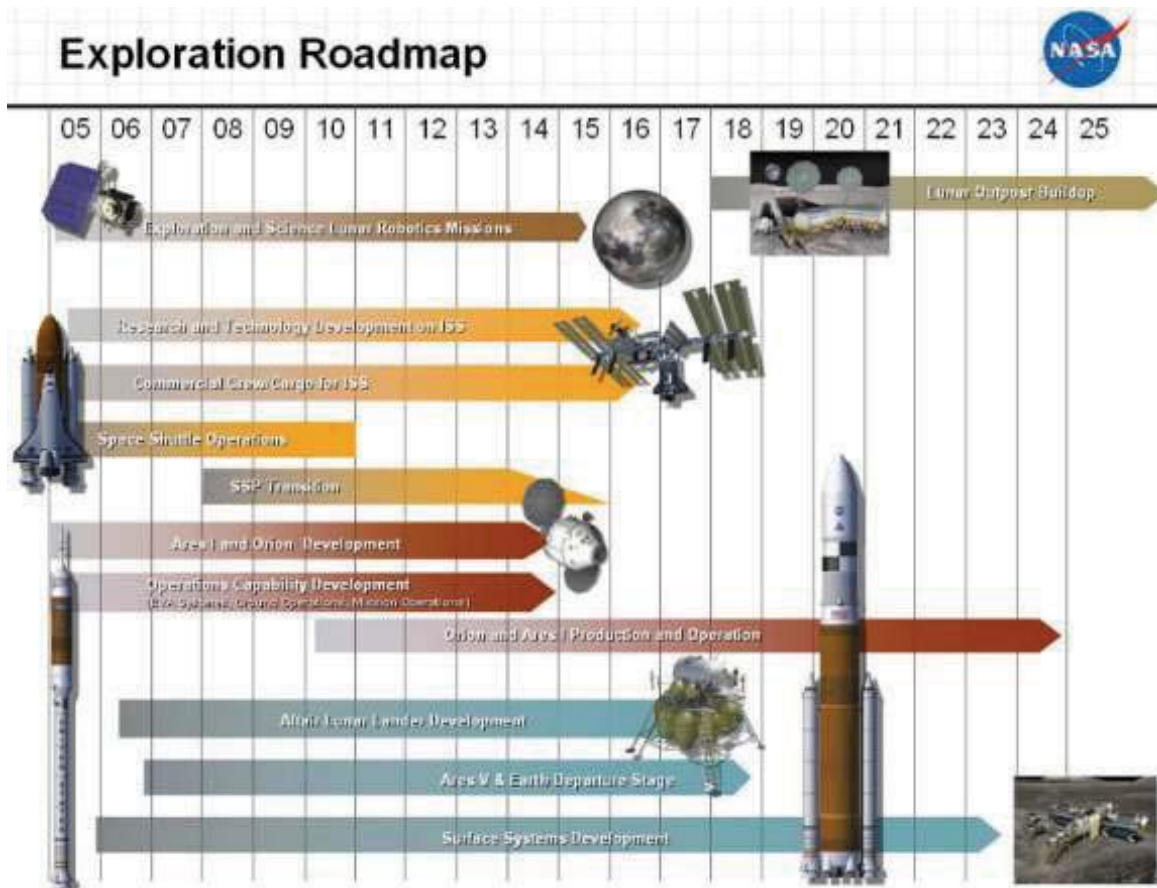


図1 NASA 宇宙探査ロードマップ

* Human Space Systems and Utilization Mission directorate /JAXA

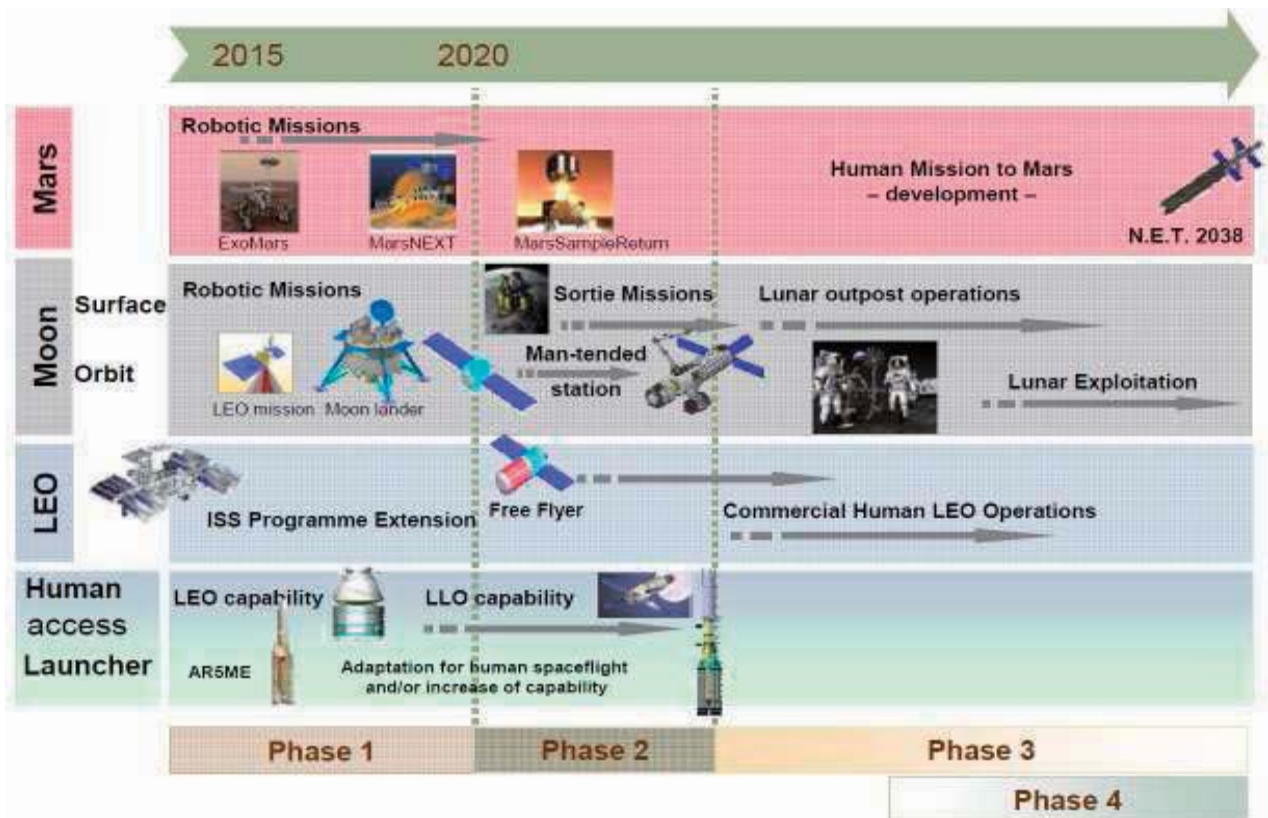


図2 ESA宇宙探査ロードマップ

3. 日本の将来有人・月探査構想

日本実験モジュール(Japanese Experiment Module, JEM)によるISS計画への参加により、日本はさまざまな有人宇宙技術を獲得する事ができた。また、国際パートナーとしての責務を確実に果たすことで宇宙先進国としての地位や信頼を得た。ただし、一部有人輸送や生命維持技術など重要な有人技術が獲得できていないことも事実であるし、ISS計画の中から様々な教訓も得ている。

これらの、ISSでの成果・教訓を踏まえた今後の有人宇宙活動については、様々な意見・提言がなされているが、ここでは下記のような方針を提案する。

- ① ISSで得た有人先進国としての地位やソフトパワー維持の観点から国際有人月拠点計画の協議に参加する。
- ② ISS、HTV、SELENEを活用して、国際有人月拠点計画に必要な技術の獲得を実施する。
- ③ 政策判断をもって国際有人月拠点計画に参加し、適切な貢献をするとともに日本人宇宙飛行士を月面に到達させる。

なお、有人月拠点計画は膨大なリソースが必要であり、日本だけでは実施することは不可能に近い。また、米国とて国際協力なしでは国民・政府の理解は得られない状況であることから、有人月拠点計画は国際協力のもとで実施されるという前提で考える。これまでの国際調整などから想像できる国際有人月拠点計画の青写真の一例を図3に示す。ここではISSの教訓を踏まえ有人、貨物ともに複数の輸送系があることが特徴である。

さて、③でいう適切な貢献にはさまざまなオプションがあり、ISS計画でのように月面拠点のモジュールを提供することもあり得るし、また輸送能力を提供することも一つの手段である。日本にとってどのような貢献が最も適切かは、技術的、コスト的、政策的などのさまざまな観点から検討を要する。図4に上記の方針を取り入れた将来有人宇宙活動構想を示す。

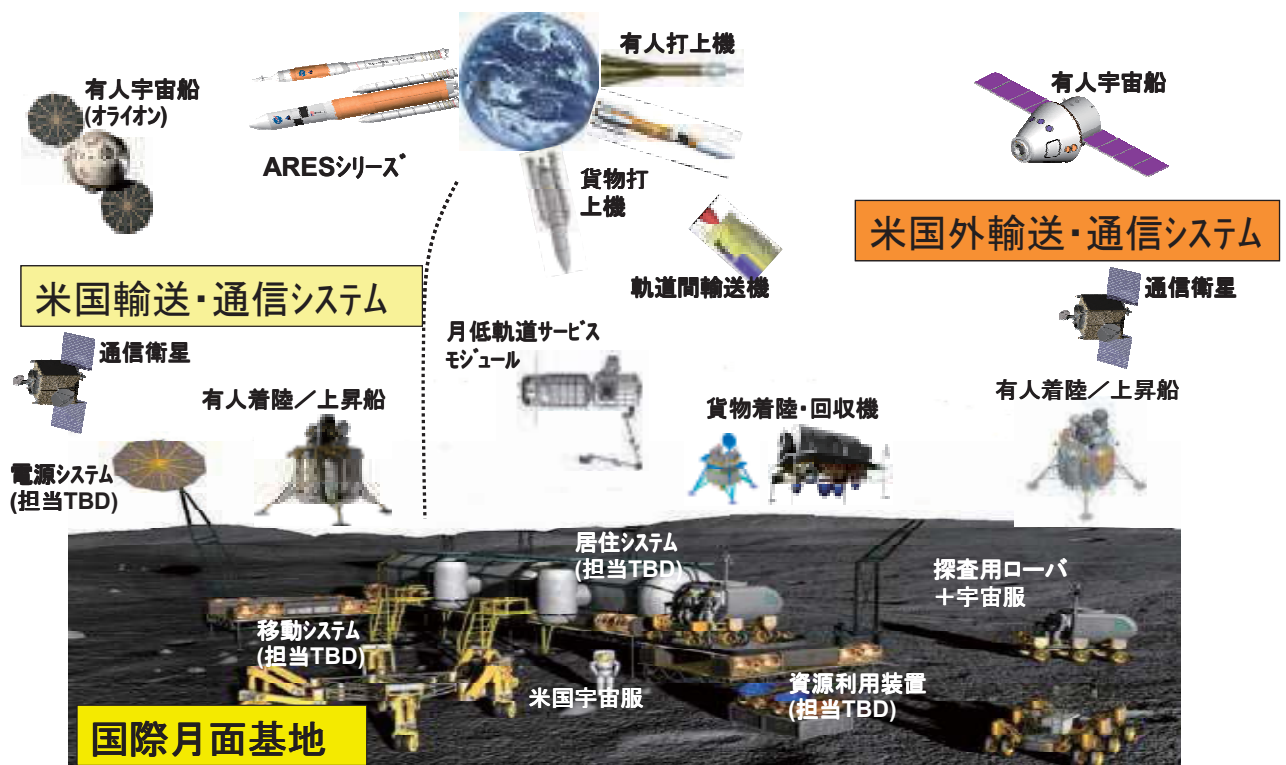


図3 国際有人月拠点計画(想像図)

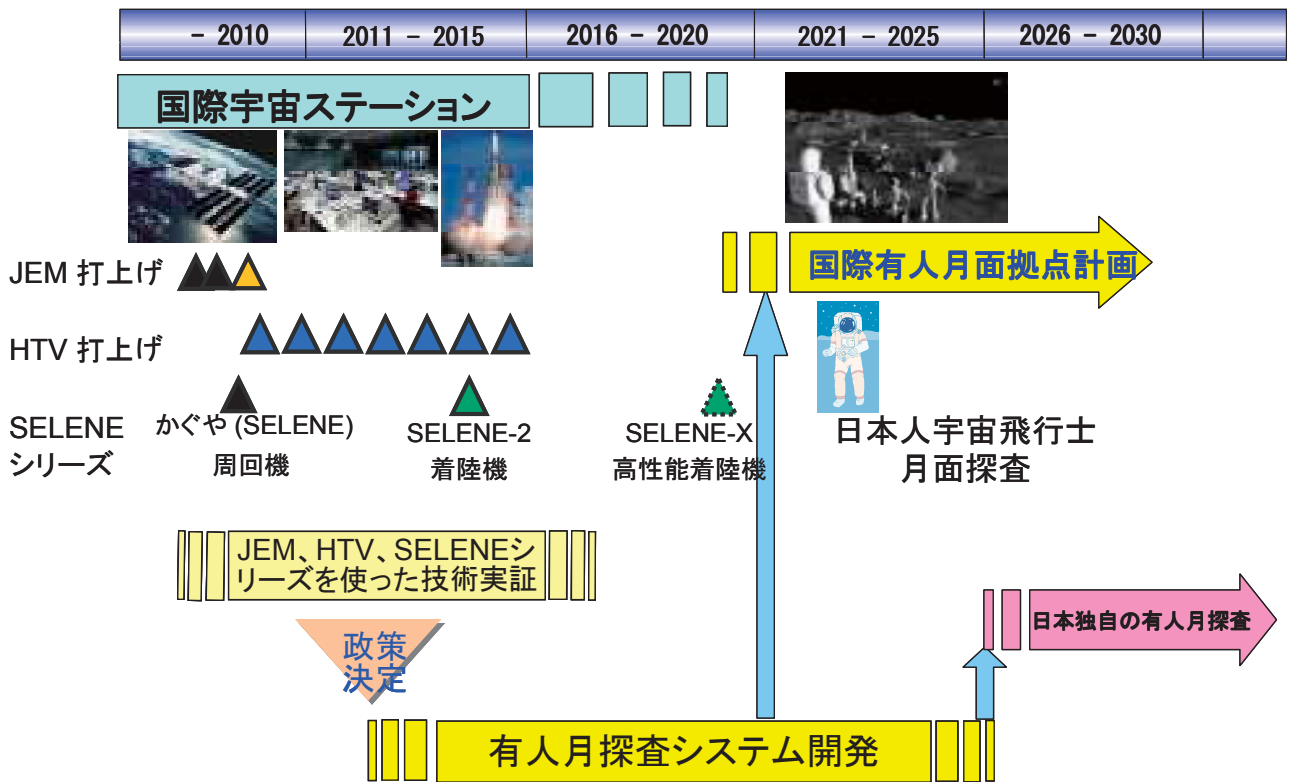


図4 日本の将来有人宇宙活動構想(提案)

4. 国際有人月拠点計画での電気推進活用の可能性

3章で述べたように、日本の国際有人月拠点計画への貢献の一つのオプションとして貨物輸送で貢献することが考えられる。この貨物輸送はSELENE2計画により着陸技術を獲得することで日本の大きなアドバンテージが出てくる分野でもある。また、輸送技術自体が有人、無人の自立的探査に大きく寄与するものでもある。

さて、その貨物輸送としては化学的な推進技術による方法も当然ながら考えられるが、日本の得意技術の一つでもある電気推進技術が適用できるかどうかについては一つの検討すべき課題であるといえる。なお、電気推進は基本的に推力が微弱であるため、月面着陸などの大推力が必要な場面ではなく、地球低軌道から月低軌道(Low Lunar Orbit, LLO)への軌道遷移への適用となる。

ところで、月面拠点計画においてLLOへ輸送すべきものとしては、図5のように整理することができる。時間的な制約から有人宇宙船に対しては適用は難しいが、それ以外については時間的な制約があまりないため適用の可能性はある。ここでは、代表例として有人月着陸船と貨物着陸船について考察してみる。

4.1. 有人月着陸船の電気推進によるLLOへの輸送(可能性検討)

有人月着陸船の規模としてはアポロ月着陸船クラスの18tを想定する。これはH-IIの増強型で300km X 5000kmの楕円軌道に打上げ可能な最大質量である。電気推進には軌道上で大電力を必要とするため太陽電池パネルでの発電を考えた場合に地球の影の影響が少ない楕円軌道に乗せておく必要があり、上記のような軌道を選択している。ただし、離心率は太陽光発電の効率を考えるとより大きい方が望ましい。着陸船のみで18tであるため、電気推進モジュール(これも同等の18t)を別途打ち上げて軌道上でドッキングさせ、その後、電気推進によりLLOに輸送する。図6にその輸送の概要図を示す。

ここで、電気推進スラスタとして現状技術での推力最大級クラスであるホールスラスタ(300mN、5kW、30kg)をベースに検討を試みた。

軌道遷移はResonance Captureという軌道遷移方式をとることとし、軌道遷移時間を考慮して質量4tにつき推力1Nを目安とした。(この場合の軌道遷移時間は166日。)

本ケースでは総質量36tであるので、推力としては約10Nが必要であり、300mNのホールスラスタは33個必要となる。ただし、予備として3個追加し、合計36個とする。(合計1.1t) また、必要増速量(4000m/sec)と排気速度から必要推薬量は8.4tと計算される。全備質量18tからこれらを除くと9.5tとなる。一方、必要電力量は $5\text{kW} \times 33 = 165\text{kW}$ となり、他のシステム質量も含めて9.5tでのこの電力達成はかなりハードルは高い。

4.2. 貨物月着陸船の電気推進によるLLOへの輸送(可能性検討)

次に、貨物月着陸船についての例を考察する。前提としてH-IIBによる1回打上げでGTO投入とする。これにより初期質量は7.2tとなる。図7にこの輸送ケースの概要を示す。なお、この前提については変更の余地があり、GTOよりも低い軌道を取ることも可能であるし、有人月着陸船の場合と同様にH-IIB増強型とすることもできるであろう。

さて、この場合にも4.1項と同様な計算をすると、輸送可能なペイロード+バス質量は5.2tとなる。一方、必要な電力量は30kWであり電力システムの標準的な電力密度60W/kgで考えると電力システムの質量は500kg程度となる。したがって、電力システムを除いたペイロード+バス質量は4.7tとなる。これに対し、化学推進の場合(Storable ; Isp320s、直接LTO投入)のそれは3.8t程度であり、電気推進の場合の方が1t弱のメリットがあるといえる。

1. 有人宇宙船		LLOでの質量10-20トン 時間的制約有り	電気推進の適用 ×
2. 有人月着陸船		LLOでの質量15-50トン 時間的制約はなし	電気推進の適用 △
3. 貨物用月着陸船		LLOでの質量5-50トン 時間的制約はなし	電気推進の適用 △
4. 通信・航法衛星		LLOでの質量1-2トン 時間的制約はなし	電気推進の適用 ○

図5 国際有人拠点計画でのLLOへの輸送アイテム(例)

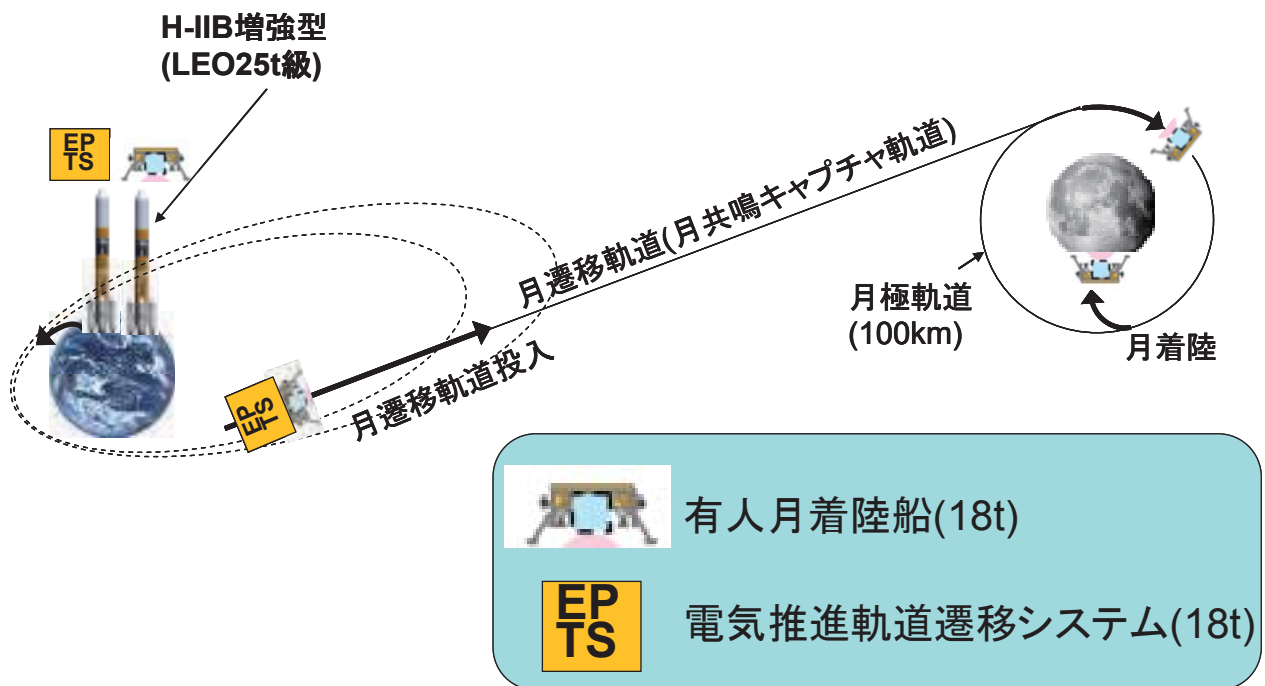


図6 電気推進による有人月着陸船輸送案

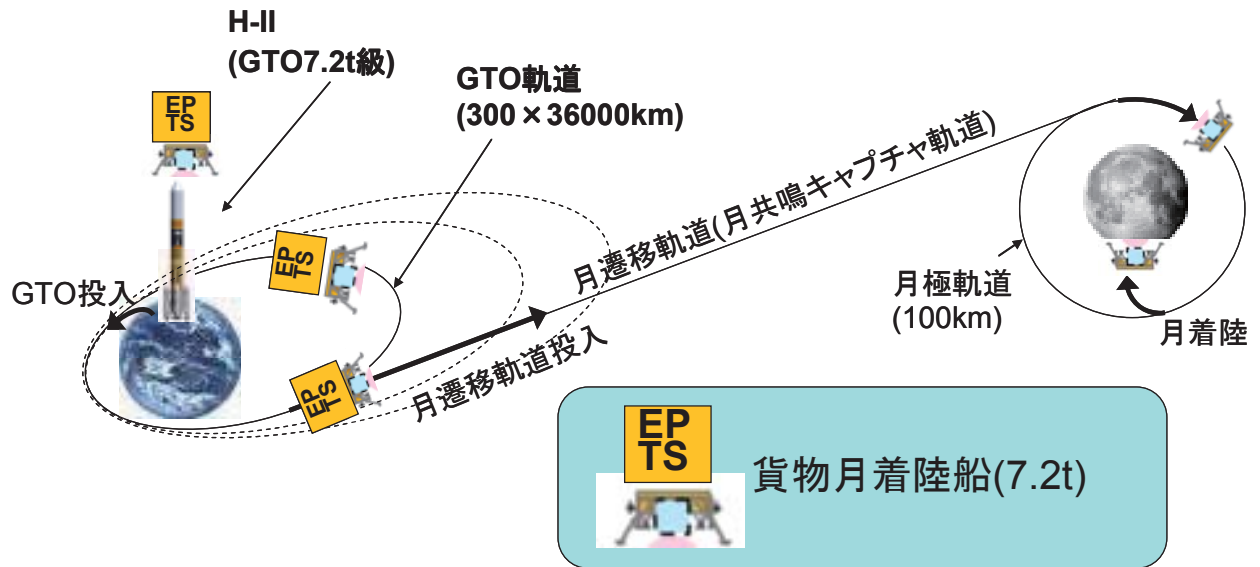


図7 電気推進による貨物月着陸船輸送案

5. まとめ

- ポスト ISS プログラムとして国際有人月拠点計画が胎動し始めている。
- 国際有人月拠点計画においても ISS と同様にロバストで効率的な搭乗員・物資輸送が要求されると考えられる。
- 有人宇宙船以外は、電気推進による輸送の可能性はある。
- 数トン程度の月面への貨物輸送では化学推進よりも電気推進のほうが高効率の輸送が期待できる。