

別紙1

月面での推薬生成プラント
構想書

宇宙航空研究開発機構

月面での推薬生成プラント 構想書

目次

1. 本文書の目的	2
2. 適用範囲	2
3. 関連文書	2
3. 1 適用文書	2
4. 月面での推薬生成プラントの構想概要	3
4. 1 推薬生成プラントの目的	3
4. 2 推薬生成プラントの意義	3
4. 3 背景	3
4. 4 概要	3
5. 推薬生成プラントに要求される機能概要	4
6. 推薬生成プラントの要求条件	5
6. 1 生成要求量	5
6. 2 生成要求量設定の根拠	5
6. 3 運用期間に対するベネフィット	7
6. 4 月面における水の分布と掘削領域	8
6. 4. 1 月面の水について	8
6. 4. 2 月面の掘削領域	9

1. 本文書の目的

本文書は、月面での推薬生成プラントへの要求とその根拠を記述するものである。本書を材料に、月面での推薬生成プラントの詳細検討を実施する。

2. 適用範囲

本資料の適用範囲は、有人月面探査における月面での推薬生成プラントを対象とする。

3. 関連文書

3.1 適用文書

- | | |
|----------------|--|
| (1)ISECG | 「The Global Exploration Roadmap, version 3, January, (2018)」 |
| (2)EZA-2019002 | 「日本の宇宙探査全体シナリオ, (2018)」 |

4. 月面での推薬生成プラントの構想概要

月面での推薬生成プラントのミッション概要を以下に記す。

4. 1 推薬生成プラントの目的

有人月面探査における輸送アーキテクチャ(HLS: 有人月離着陸機、LEH: 有人月曝露ホッパ)で消費する推薬を生成・保存・供給することとする。

4. 2 推薬生成プラントの意義

月面における人類の広範囲な活動領域の拡大、科学・資源といった新たな知見の獲得、将来の月面の経済活動圏構築に向けた事前準備、さらにはその実現を効率化することが可能となる。(関連文書3. 1. (2).)

4. 3 背景

国際宇宙探査事業で想定される有人月面探査のうち、月面での推薬生成プラントを構築する資源利用技術は必要なアーキテクチャとして位置付けられている。(関連文書 3.1.(1)、(2))

4. 4 概要

- ① 構築期間: 2030~2034 年(構築期間:5 年)(関連文書3. 1. (2)より)
- ② 運用期間: 2035~2044 年(運用期間:10 年)(関連文書3. 1. (2)より)
- ③ 構築地点: 月南極域(水氷資源が存在する永久陰近傍の高日照領域)(関連文書 3.1.(2)より)
- ④ 推薬供給頻度: 1 回の有人月面探査/年(関連文書3. 1. (2)より)
- ⑤ 利用・運用のタイミング (関連文書3. 1. (2)より)
 - (A)水が吸着されたレゴリス収集、水の生成(有人月面探査を実施する、その前年の1年間)
 - (B)推薬生成(有人月面探査を実施する年のうち、有人月面探査を除いた期間:約 320 日間)

5. 推薬生成プラントに要求される機能概要

推薬生成プラントにおいて要求される機能を要素ごとに分解したステップを以下に示す。

- ステップ①：掘削機能 永久陰領域から水が吸着されたレゴリスを掘削する。
 ステップ②：運搬機能 水が吸着されたレゴリスをプラントが設置された高日照領域まで運搬する。
 ステップ③：水抽出機能 水が吸着されたレゴリスから水を分離・抽出する。
 ステップ④：水電解機能 水を電気分解し、水素・酸素ガスを生成する。
 ステップ⑤：液化機能 水素・酸素ガスを液化する。
 ステップ⑥：推薬保存機能 液化水素・酸素を保存する。
 ステップ⑦：推薬充填機能 液化水素・酸素を輸送機に補給・充填する。

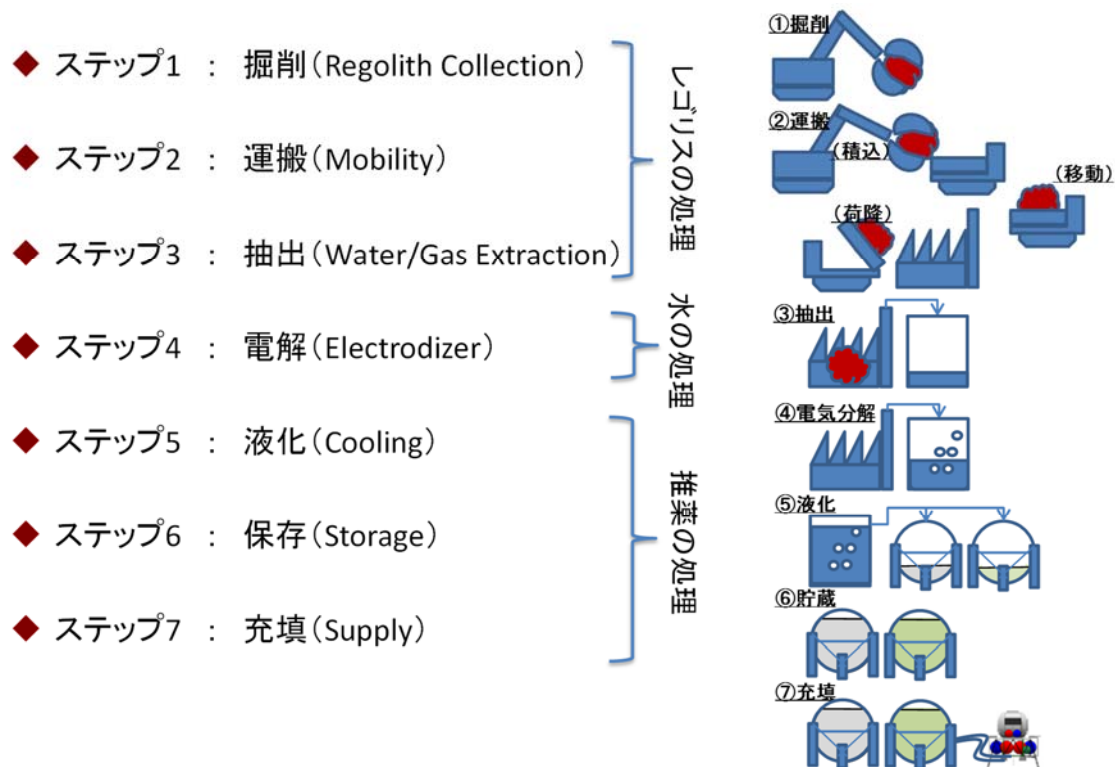


図5-1 推薬生成プラントで要求される機能

6. 推薬生成プラントの要求条件

6.1 生成要求量

レゴリスから水及び推薬を抽出・生成すること。

- ① 水生成量 : 75.0 ton/年
- ② 推薬生成量 : 57.6 ton/年(液体酸素 49.3ton/液体水素 8.3ton)

6.2 生成要求量設定の根拠

推薬の生成要求量設定のための根拠を以下に示す。推薬消費量は輸送アーキテクチャに要求される軌道制御量を生成可能な液体酸素・液体水素エンジンの比推力から算出される。また、代表的な液体酸素・液体水素エンジンである H2A-LE7 の推薬質量混合比 LOX:LH2=5.9:1 より水素リッチでの燃焼を想定しているため、推薬消費量よりも推薬生成量が大きくなる。

また、推薬生成量は、HLS の離着陸に必要な推薬に対する移送・保存期間で消失するボイルオフガスの質量、および HLS への充填に伴う装置類の予冷で消失する質量の合計量が必要となる。ここでは積極的なボイルオフガスの回収・再液化を想定し、消失量は推薬生成の要求量に含めていない。(保存タンクのボイルオフレート、ボイルオフガスの循環回収量、HLS 充填に伴う予冷量に依存する。参考として、種子島射場では総合計で必要となる推薬質量は、ロケット等輸送機で実際に打ち上げ時に消費される推薬量の 2 倍である。)

表6-1 輸送アーキテクチャからの推薬生成要求量

項目	有人月離着陸機	有人曝露ホッパー
出発場所	Gateway	月面の推薬生成プラントが設置される場所
到達場所	月面の推薬生成プラントが設置される場所	月面の探査地点
軌道制御要求量(ΔV量) [m/s]	5,600 (往復)	5,900 (往復)
構造効率 [%]	20	20
比推力 [Isp]	420	420
搭載ペイロード [t]	4.9 (有人曝露モジュール)	2.2 (有人与圧モジュール)
推薬量 [t]	36.8	20.8
機体質量(dry) [t]	9.3	5.2

推薬生成のシナリオを以下に示す。

- ①推薬生成プラント・再使用離着陸機を、貨物として月面に事前に輸送する。
- ②推薬生成プラントにより、レゴリスから水を抽出し、電気分解・液化を行うことで燃料を生成する。
燃料の生成量は、月面と月近傍軌道の往復、および月面の飛翔移動の往復に必要な量の合計とする。
- ③推薬生成プラントにより、再使用離着陸機に燃料を充填する。
- ④クルーは、月面有人探査を実施する度に Gateway に輸送される。
- ⑤再使用離着陸機により、Gateway から月面に降下する。
- ⑥再使用離着陸機により、月面を飛翔移動(往復)し、広域を探査する。
- ⑦推薬生成プラントにより、再使用離着陸機に燃料を充填する。
- ⑧再使用離着陸機により、月面を離陸し、Gateway に帰還する。

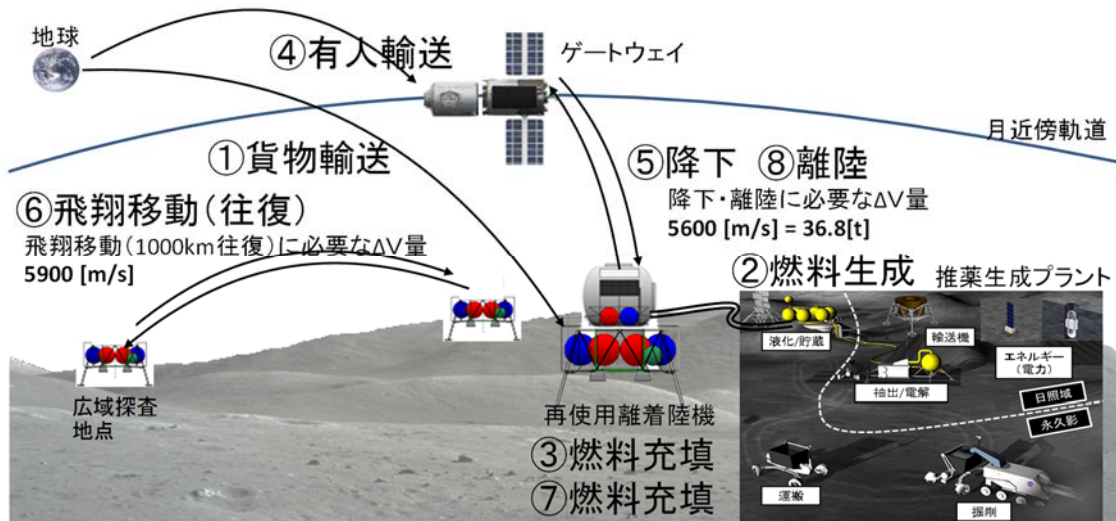


図6-1 月面の水を推薬として利用するシナリオ

6.3 運用期間に対するベネフィット

推薬生成プラントは現地に埋蔵されている資源利用を行うことに寄り、地球からの物資補給量を削減することを目的としている。資源利用「有」のケース(推薬生成プラントの活用)は最初に月面にカーゴ便として輸送する機材が必要となるため、資源利用「無」のケースに比べて効率的となるためには、一定の繰り返し運用期間を経た後となる。

一定の繰り返し運用として、有人月面探査を年に1回実施することを想定する。推薬生成プラントに要求される機能のうちレゴリスを処理対象とする機能(掘削、運搬、水抽出)は、レゴリスの水含有率に左右される。

以下の図に月面の水利用におけるベネフィット比較を示す。レゴリスの水含有率が 0.5wt%以上の場合、有人月探査を5回以上繰り返し実施すると、資源利用「有」のケースが効率的となる。レゴリスの水含有率が 0.1wt%の場合、有人月面探査を7回以上繰り返し実施すると、資源利用「有」のケースが効率的となる。従って、推薬生成プラントに要求される運用期間としては、5年以上となる。

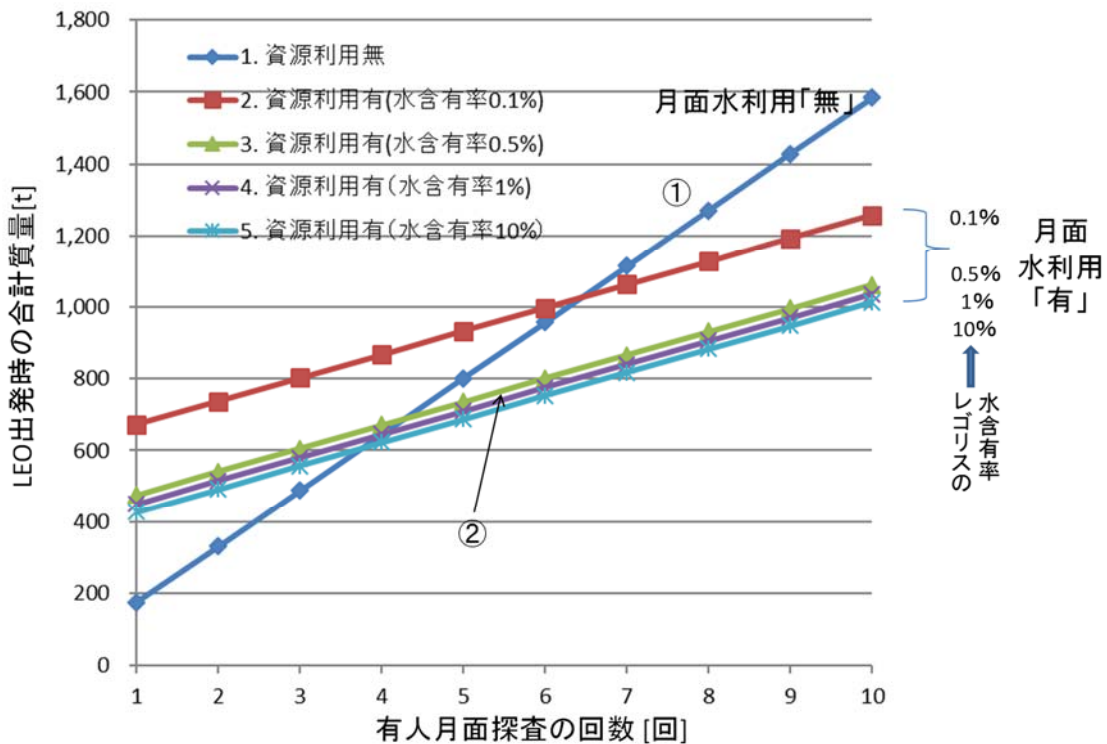


図6-2 月面の水利用におけるベネフィット比較

6. 4 月面における水の分布と掘削領域

6. 4. 1 月面の水について

以下の表・図にこれまでのリモートセンシング観測データから推測される水含有率、および主要な結果が掲載された文献の一覧を示す。

表6—2 リモートセンシング観測結果の一覧

番号	水含有率 [%]	ミッション名	観測結果要旨と文献
1	30	LRO*1	一部の領域に氷が曝露しており最大 30wt%が存在する (Shuai Li et al., 2018)
2	20	LRO	シャクルトンクレータ内は太陽風による月表面の変化が小さいか、又は水氷が存在する。(Zuber et al., 2012)
3	< 10	LRO	永久影領域に水氷が存在 (Thomson et al., 2012)
4	< 7.5	かぐや	シャクルトンクレータ(南極の永久影)内の地表に大量の氷は存在しない (Haruyama et al, 2009)
5	5.6	LCROSS*2	飛翔体の衝突による放出物を観測 (Colaprete et al., 2010)
6	2.0	LRO	表層に水の霜が存在 (Gladstone et al., 2012)
7	0.7	LP*3, LRO	極域の永久影領域に水氷または水素が存在 (Miller et al., 2012)
8	0.5	LRO	水に換算すると最大 0.5wt%程度が存在する (A.B. Sanin et al, 2017)
9	0.08	チャンドラヤーン*4	高緯度地域に OH 基と水が存在 (Pieters et al., 2009)

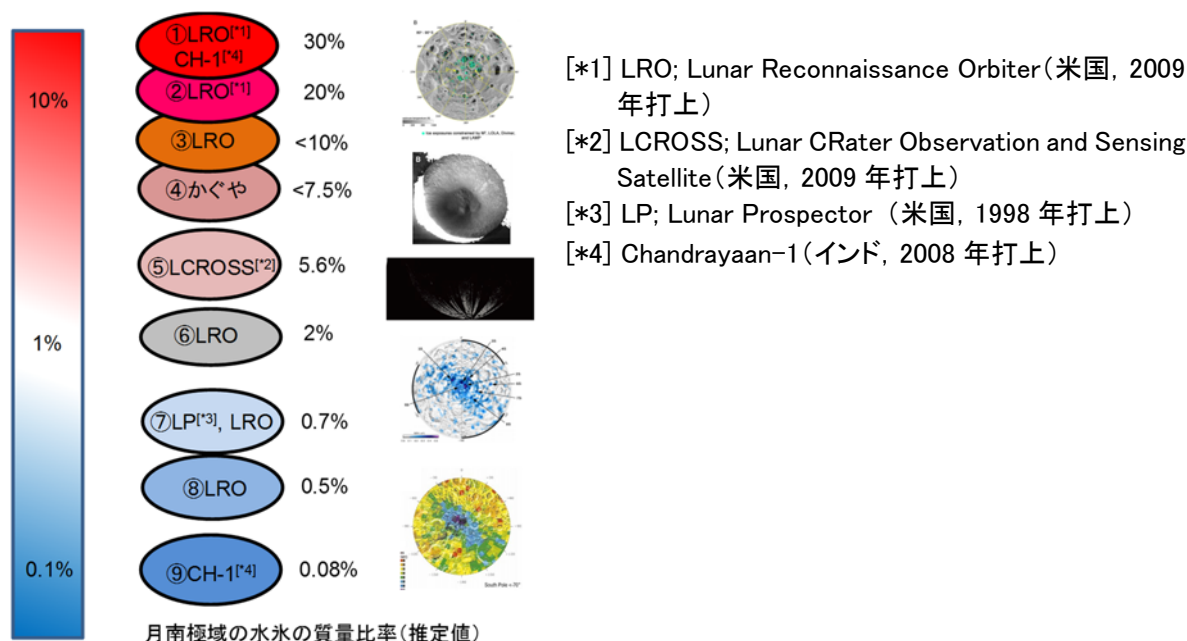


図6—3 これまでのリモートセンシング観測データから推測される水含有率

6. 4. 2 月面の掘削領域

前述の通り、推薬生成プラントに要求される機能のうちレゴリスを処理対象とする機能(掘削、運搬、水抽出)は、レゴリスの水含有率に左右される。

以下の図に掘削面積の規模感を示す。毎年 75ton の水を 10 年間生産、また攪拌効果により月の表面には水が存在しないことを考慮し、掘削深さは 50cm~100cm と想定している。

表6-3 レゴリスの水含有率および収率に対する掘削面積

水の濃度 %		0.1	0.5	1.0	2.0
掘削半径 m	収率 50%	716	320	226	160
	収率 33%	881	394	279	197



図6-4 掘削面積における規模感

略語

- HLS : Human Landing System(有人月離着陸機)
- LEH : Lunar Exposed Hopper(有人月曝露ホッパー)
- Gateway : Lunar Orbital Platform-Gateway(月近傍拠点)
- TBD : To be Determined