

平成18年度「月面環境利用技術研究WG」活動報告書

代表者所属 氏名 宇宙航空研究開発機構 高柳昌弘

1. 構成メンバ

| 氏名   | 所属          |
|------|-------------|
| 高柳昌弘 | JAXA        |
| 足立 聡 | JAXA        |
| 松本 聡 | JAXA        |
| 夏井坂誠 | JAXA        |
| 山本和男 | JAXA        |
| 依田真一 | JAXA        |
| 井岡郁夫 | 日本原子力研究開発機構 |
| 實川資朗 | 日本原子力研究開発機構 |

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第1回：平成18年12月27日
- (2) 第2回：平成19年 3月26日

3. 活動目的

2005年3月に公表されたJAXA長期ビジョンでは、2025年の月面拠点構築を目指した月面探査・利用をひとつの柱として提示している。また、NASA、ESA等に於いても、国際宇宙ステーションの次世代の国際協力の候補として、月面利用が幅広く検討されている。将来、月面での有人活動を本格的に展開するためには、資源・エネルギーのその場での確保が必須となると考えられ、そのためには、低重力、真空曝露等、地上とは大きく異なる月面特有の環境を最大限活用する研究開発が必要である。本ワーキンググループ（以下、WG）は、微小重力利用を中心とした宇宙環境利用科学で培った知見・技術を適用・発展させて、将来の月面での本格的活動に必要な技術開発に貢献することを目的とする。

4. 活動内容

月面での有人活動を本格的に展開するには、資源、エネルギーのその場での確保が必須となり、それぞれについての技術的検討・調査を行った。

4-1. 材料その場プロセッシング

月面のほとんどは砂状のレゴリスに覆われている。レゴリスはカンラン石、イルメナイト等の岩石鉱物が風化して砂状になったものである。静かの海で採取されたレゴリスの元素組成を図1に示す。これらの岩石鉱物を水素還元することで酸素（水）、鉄、Al、Ti等の資源が得られることが期待できる。

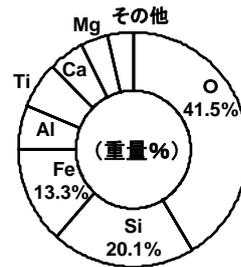


図1. レゴリスの組成 (静かの海)

・酸素

ISSでの滞在データを基に100人の人間の生命維持のために必要な酸素量が見積もられており、その量はおよそ30トン/年である。この量の酸素をイルメナイトの水素還元により製造するプロセスを図2に示す。

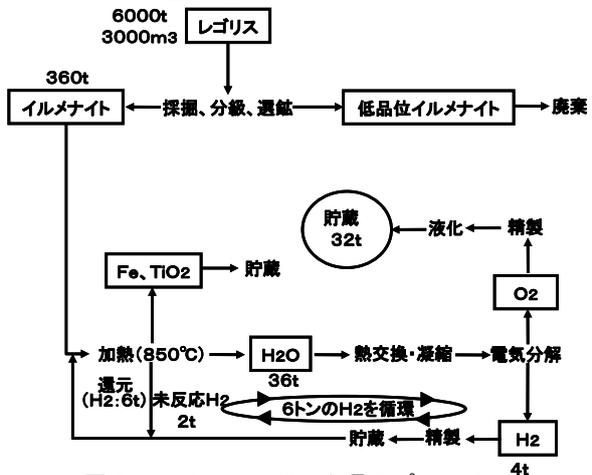


図2. イルメナイトのH2還元プロセス

32 t の酸素を得るのに 6000 t (3000 m<sup>3</sup>) のレゴリスの処理と 6 t の H<sub>2</sub> を循環させなければならない。

・金属資源 (Fe, Al, Ti 等)

現行の地上での手法を基にレゴリスに含まれるそれぞれの金属の精錬法を検討したが、月面で実施する上で、大きな課題がある。Fe の場合、テーナイトからの精錬を検討したが Fe, Ni の分離に金属カルボニルの熱分解をするのに大量の炭素が必要となる。Al は現行のバイヤー法によれば 10 トンの Al を得るのに 6 トンの炭素が必要である。また、製造プラントも大掛かりなものとなり月面での構築の困難さが想定される。

地上の実施例は殆どなく技術的検証が必要であるが、レゴリスそのものを溶解し、融液の電気分解による酸素、金属の製造方法も検討されている。ただし、溶解温度が 1,500 °C を超える高温となり、炉材の耐久性、高温発生のための電力等々予察すべき課題が多々ある。

#### 4-2. 月面用小型原子炉

100 人規模の月面滞在には生活維持用として 500 ~ 1000 KW の電力が必要となり、月面という特殊環境から長寿命、メンテナンスフリーであることが求められる。月面での発電には太陽光発電などが検討されているが、上記観点およびエネルギー密度の点で小型原子炉を検討し、可能性について調査した。

・月面用小型原子炉

発電のための熱源として原子炉を、発電には効率は低いがメンテナンスフリーの点から熱電変換による発電システムを検討した。熱源となる原子炉は、軽水炉が一次冷却、中性子減速材として大量の水を必要とすることから、中性子減速材が不要である高速炉を検討した。

図 3 に原子炉部分について、図 4 に原子力発電システムの鳥瞰図を、表 1 に仕様を示す。

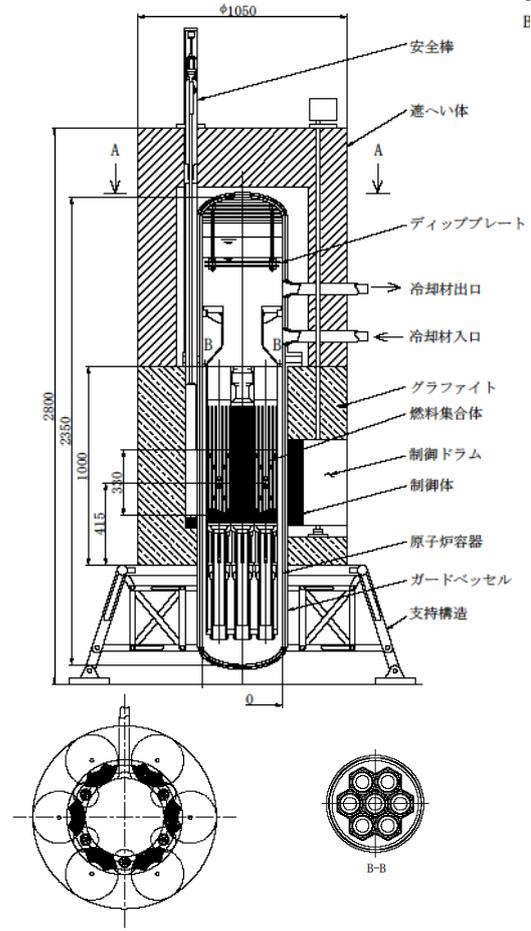


図 3 小型原子炉

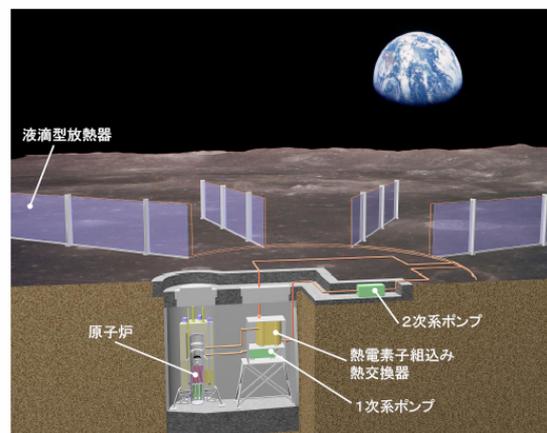


図 4 月面用小型原子炉鳥瞰図

| 項目     | 仕様    |
|--------|-------|
| 熱出力    | 300KW |
| 電気出力   | 20KW  |
| 総重量    | 約5t   |
| 原子炉容器径 | 40cm  |
| 炉心高さ   | 33cm  |
| 炉型式    | タンク型炉 |
| 炉心寿命   | 20年   |
| 制御棒    | あり    |

表1 高速炉仕様

本システムの課題としては熱出力に対する電気出力の効率で、10%以下と低く、熱電変換システム以外の発電方法の検討が必要である。

#### 4-3. H18年度関連会合参加実績

- ・ JAEA-JAXA 原子力エネルギーの宇宙利用に関する意見交換会
  - 第1回 (H18.6.1: JAXA 東京事務所)
  - 第2回 (H18.8.9: JAEA 東海研究開発センター)
  - 第3回 (H18.10.24: JAXA 筑波宇宙センター)
  - 第4回 (H19.3.5: JAEA 東京事務所)
- ・ 将来の宇宙活動用エネルギー源開発に関する検討会
  - 第1回 (H19.2.8: JAXA 東京事務所)
  - 第2回 (H19.3.5: 三菱総合研究所)

#### 4-4. まとめ

今後、原子力発電については安全性、発電効率について JAEA との意見交換を進める上で更に具体化を進めてゆきたい。レゴリスからの金属精錬については①現行の各プロセスに関し定量的な見積もりおよびマテリアルバランスについて調査、②融液の電気分解による手法については基本的な技術検証（レゴリスと近似組成の玄武岩の融解、電気分解、浮遊炉の応用等）を実施し、その実現性について検討したい。

また、月面環境の特殊性（高真空、表面が熱伝導度の低いレゴリスで覆われている）か

ら、排熱方法等のサーマルマネージメントに取り組むことが必須であり、次年度より取り組んで行きたい。

## 5. 成果

### 学会発表

- (1) 高柳昌弘、足立聡、夏井坂誠、松本聡、山本和男、依田眞一、井岡郁夫、實川資朗、荒邦章「月面環境利用技術ワーキンググループ活動報告」宇宙利用シンポジウム（第23回）プロシーディング、Vol.23 pp.188-189(2007)