

表：月面での水資源利用に向けた課題

No.	プロセス	中テーマ	小テーマ	関連キーワード	参考検討条件※ ¹	補足：JAXAで認識する現状の技術ギャップ
1	液化	低エネルギーでの液化	予冷エネルギーの低減	・予冷効率の高い冷媒適用技術 ・永久影を利用した予冷技術	・酸素・水素の液化の頻度※2： 10 t 程度・液体酸素（LOX）/年 50 t 程度・液体水素（LH2）/年 ・液化に要する期間：365日 ・環境： 永久影40[K]、日照率0%、 日照領域 120[K]（夜間）、270[K]（昼） 約16日（地球）の間に100～160[K] （-173～-113[°C]）の範囲で温度変化を伴う。温度遷移は、別紙を参照。 ・レゴリスの物性： 熱伝導率1.5 x 10 ⁻⁴ W/m K@深さ1m	日本の国際宇宙探査シナリオ（案）（以降、JAXAシナリオ）では、プレイトンサイクルを用いた液化方式のもと、液体水素・酸素の予冷には、輸送に必要な冷媒量を低減するため、現地で製造する水素自体を冷媒としている。一方で、地上で適用されているような液体窒素などの他の冷媒を使用した場合より予冷に必要な投入エネルギーがかかる課題がある。 上記課題に関し、予冷効率の高い冷媒による予冷や永久影等の月面特有の環境といったその他の予冷方法を用いて予冷に必要なエネルギーの削減につながる可能性がある。
2			液化エネルギーの低減	・異なる冷凍方式を用いた液化技術（機械、気体または磁気冷凍等）	JAXAシナリオでは、プレイトンサイクルを用いた液化方式のもと、液体水素・酸素の生成を想定している。 一方で、液化（No.1に示した予冷含む全工程）に際しては外部からの一定のエネルギー供給が必要なため、その削減が課題となる。 上記課題に関し、異なる熱力学サイクルや磁気を用いた冷凍等を用いることで原理的に液化動力効率を上げ、必要なエネルギーの削減につながる可能性がある。	
3	電力供給の効率化	電力供給の効率化	軽量の電力供給技術	・月面資源を用いた発電技術 ・エネルギー（電力）密度（W/kg）の高い発電/蓄電技術	・必要電力量（概算）：約300[kW]	JAXAシナリオでは、電力消費の大部分を液化が占めており、宇宙空間において一般的に利用されている太陽電池を用いた発電方式を用いることを想定している。一方で、その面積に比例して設備物量が発生することが懸念され、その他の発電方式を採用するなどより軽量となる発電方式の検討が必要となる。また、蓄電を行う場合にも、同様に設備物量を抑える配慮が必要となる。 上記課題に関し、発電については、エネルギー（電力）密度の高い発電方式（高効率太陽光発電、原子力等）の採用により、電力供給システムの軽量化につながる可能性がある。蓄電については、発電と同様にエネルギー（電力）密度の高い発電方式（高性能リチウムイオン電池や水を含有するレゴリスが存在すると考えられている月極域で採取した水から生成した余剰な水素・酸素を利用した燃料電池等）により、軽量化につながる可能性がある。
4			タンク（容器）の軽量化技術	・非金属材料等の軽量材料（樹脂、膜及び複合材等）や高性能断熱材を用いた極低温液体の貯蔵技術	JAXAシナリオでは、金属性のタンクによる貯蔵を想定しているが、想定される液体水素・酸素貯蔵量から重厚なタンクが必要となることが見込まれるため、地上から輸送する資材物量を可能な限り削減することが必要となる。 上記に関し、非金属材料等の材料を利用してタンク（容器）の軽量化につながる可能性がある。また、高性能断熱材の適用による軽量化の可能性もある。	
5	貯蔵システムの軽量化	貯蔵システムの軽量化	ボイルオフ対策に伴う物量増加対策	・ボイルオフガス抑制技術 ・防熱技術 ・永久影を利用したボイルオフガスの再液化・冷却技術		液体水素・酸素については、外部からの熱によりボイルオフ（気化）してしまうことから、保存時の対策が必要となる。 対策として断熱や再液化等の方法があるものの、そのための設備やエネルギー供給の必要性から関連する物量が増えてしまうことが懸念され、その他の方法を採用するなどより軽量となる対策の検討が必要となる。 上記に関し、ボイルオフガス自体の抑制や防熱、あるいは極低温である永久影（40[K]以下）、同領域にある極低温のレゴリス等によるボイルオフガスの再液化・冷却により、ボイルオフ対策のための設備物量を削減し軽量化につながる可能性がある。
6			保存	酸素下での耐性	・酸素適合性の高い材料	・酸素・水素の貯蔵量※2： 10 t 程度・液体酸素（LOX） 50 t 程度・液体水素（LH2） ・貯蔵期間：1年 ・タンクからの液化ガスのボイルオフ率： 0.3%/day以内とする。
7	材料適合性	材料適合性	水素透過	・ガスバリア性の高い材料		JAXAシナリオでは、金属製のタンクによる保存を想定しているが、軽量タンクにする場合に樹脂等を採用すると水素の原子径に起因した外部透過の恐れがある。 上記に関し、ガスバリア性（気密性）の高い材料の適用により、上記の懸念に対応できる可能性がある。
8			水素脆化	・軽量耐水素脆化材料 ・液化水素下での材料寿命評価 ・液化水素下での保全技術（遠隔での検知・診断、運用管理等）	液体水素を貯蔵する設備については、水素脆化に伴う材料・設備の補修や交換を都度行うと物量が増えてしまうことが懸念されるため、脆化を発生させないようにする対策が必要となる。 上記に関し、耐水素脆化材料の適用や材料寿命評価による欠陥発生防止や材料としての対策が困難な場合にも遠隔での検知・診断を通じた補修や交換を伴わない適切なタイミングでの未然措置、脆化が生じない範囲での運用等による保全にて対応できる可能性がある。	

1：・月面の基本環境条件は、別紙の環境条件一覧を参照ください。

・本値は、要素技術単位での検討のための参考情報として提示するものであり、今後の検討進捗により見直しとなる場合があります。

・情報提供・意見については、本条件に適合するものに必ずしも限定するものではありません。

2：詳細値は、別紙1の構想書を参照。