

## 宇宙機における生命維持システムについて

桜井 誠人

## ISSでのECLSS：環境制御・生命維持システム

国際宇宙ステーション（International Space Station: ISS）の環境制御・生命維持システム（Environmental Control Life Support System: ECLSS）は、物理化学的手段を用いてISSの乗組員および実験動物にクリーンな空気および水を供給するシステムである。

ECLSSは、水回収システム（Water Recovery System: WRS）と酸素発生システム（Oxygen Generation System: OGS）の二つの主要コンポーネントで構成されている。WRSは、乗員の尿、キャビンの湿度から得られた凝縮水をリサイクルすることにより、きれいな水を提供している。再生された水は、クルー、実験動物、EVAなどの活動を支援するために利用される前に厳しい純度基準を満たさなければならない。

WRSは、尿処理アセンブリ（Urine Processor Assembly: UPA）と水処理アセンブリ（Water Processor Assembly: WPA）で構成されている。これらのシステムは2008年11月14日にスペースシャトルSTS-126でISSに運搬され、2008年11月20日にUPAが運用を開始し、2008年11月22日にWPAが運用を開始した。現在、ISSにて運用中の水再生の流れを図1に示す<sup>1)</sup>。

酸素発生システムOGSは、呼吸空気用の酸素を生成

するだけでなく、実験による消費、エアロック（予圧部から宇宙へ物を移動させる二重扉）からの排気、予圧部からの漏れ、および二酸化炭素ガス除去の際に船外へ多少漏れ出す酸素を補填している。OGSは、主に図2のO<sub>2</sub>製造で示す酸素発生アセンブリ（OGA）で構成されている。酸素は水を電気分解することにより製造される。このシステムは、2006年7月にスペースシャトルディスカバリーSTS-121ミッションでISSに配備され、2007年7月にISSでテストされた。

## ECLSS：環境制御・生命維持システムの歴史

ISSに先立って遂行された1960年代のマーキュリー、ジェミニ、アポロ宇宙船の時代には、宇宙船の利用が1回きりなので、生命維持装置も1回限りの利用であった。米国は、サターンVロケットの3段目を応用して作られた宇宙ステーションSkylabを用いて、長時間のクルーフライトを行った。Skylabでは、1973年～1974年の間それぞれ28, 89, 84日間の3回のミッションが行われた。SkylabのECLSSは、水と酸素は貯蔵されたものを使用した。二酸化炭素の除去には再生可能なモレキュラーシーブを用いた。

スペースシャトルはそれまでの宇宙船とは異なり、再利用可能な宇宙機であった。生命維持システムにいくつ

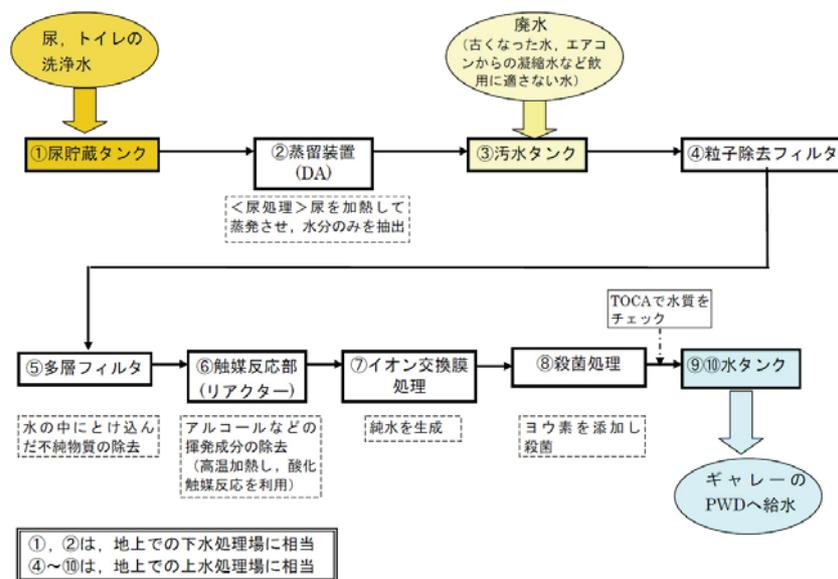


図1. ISSにおける水再生の流れ<sup>1)</sup>。 ※学会HPではカラー表示。

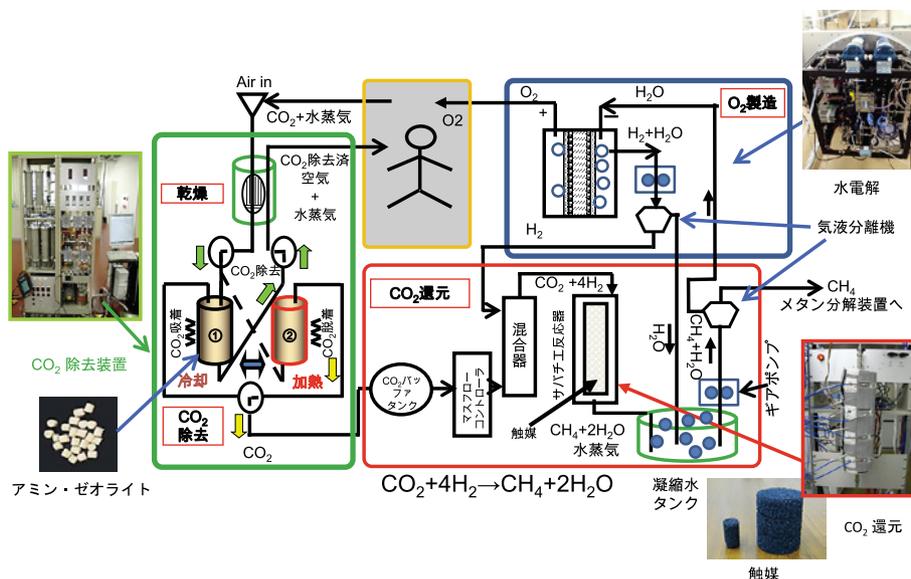


図2. 空気再生の概要. ※学会HPではカラー表示.

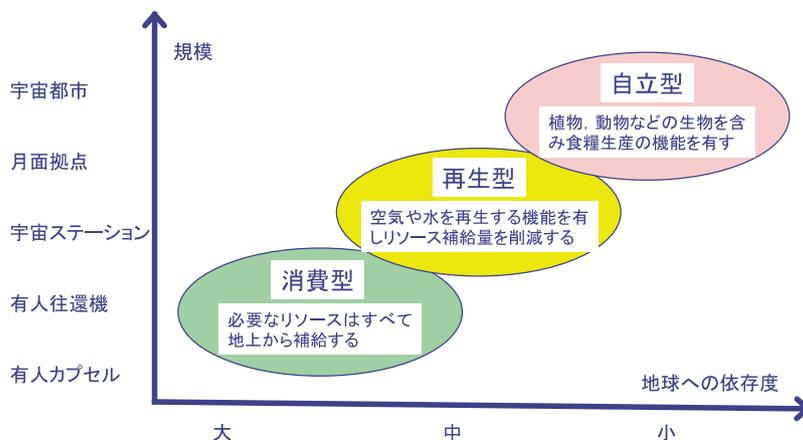


図3. ECLSSの分類<sup>2)</sup>. ※学会HPではカラー表示.

かの改良が行われたが、依然として消耗品が多量に必要であった。消耗品に大きく依存していたシステムでは、乗組員が宇宙に滞在する時間が制限され、水、酸素、消耗品などが継続して必要なため、コストが高くなる。

宇宙ステーションではECLSSを再生型にすることによって、より多くの乗組員の収容を可能にし、乗組員が宇宙に滞在できる時間が延長され、宇宙ステーションの運用コストを大幅に削減することが可能になった。

### ECLSSの分類

これまでの環境制御生命維持システムは空気系と水系で構成されていた。しかし本来は、次のようなサブシステムが環境制御生命維持システムを考える際に必要となる。

〈環境制御生命維持システム〉

- ・空気系サブシステム

- ・水系サブシステム
- ・食料系サブシステム
- ・廃棄物処理系サブシステム

このような機能を実現する方法により、ECLSSは図3に示すような3タイプに分類できる<sup>2)</sup>。3タイプそれぞれを説明すると以下ようになる。

(1) 消費型ECLSS アポロ宇宙船からスペースシャトルまでミッション期間に応じて、空気、水、食料など必要な量の物資をすべて地上から運んでいた。一方、汚水、ゴミ、排泄物などは貯蔵して地球に持ち帰っていた。このようなシステムを消費型ECLSSと呼ぶ。

(2) 再生型ECLSS 本来、廃棄物であるヒトのCO<sub>2</sub>や生活排水・尿を再生利用することで、O<sub>2</sub>や水として再利用することにより、消費物資の量を削減するシステムを再生型ECLSSと呼ぶ。宇宙ステーションのように空気と水を再利用する再生型ECLSSを搭載するこ

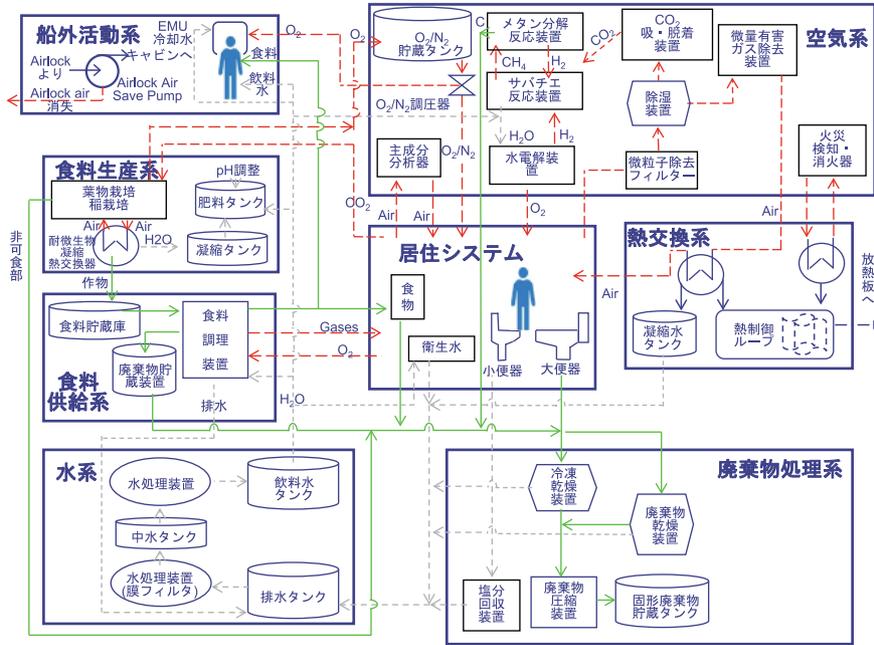


図4. 食料自給を含めた自立型ECLSS. ※学会HPではカラー表示.

とで消費物資の量を削減することができる。さらに今後、CO<sub>2</sub>に含まれているO<sub>2</sub>を抽出して空気を再生するプロセスが考えられる。CO<sub>2</sub>は物が燃えた後に生成される酸化物なのでCO<sub>2</sub>からO<sub>2</sub>を抽出する場合、CO<sub>2</sub>を還元すること（サバチエ反応）が必要である。CO<sub>2</sub>の水素還元による水の生成、水の電気分解によるO<sub>2</sub>の製造を組み合わせ空気を再生する。サバチエ反応ではCH<sub>4</sub>が生成しこれを排気するとH<sub>2</sub>不足になるので、将来的にはメタン分解を行うことによってH<sub>2</sub>を系内に残す方法をとることが検討されている。図2に現在検討中の再生型ECLSSの概要を示す。

**(3) 自立型ECLSS** 生命維持システムの最終的な目標は、穀物などの食料を自給できる自立型のECLSSである。月面・火星基地のような恒久的な設備では、植物、動物などの生物を含み、食糧生産機能を有する図4に示すような自立型生命維持システムが必要である。自立型ECLSSでは地球からの自立をも可能となる。

旧ソ連では、1960年代から宇宙での長期居住のための閉鎖循環系生物システムの技術開発が進められ、クラスノヤルスク近郊ではBIOS-1、BIOS-2およびBIOS-3という施設が建設された。一方、米国ではアリゾナ州テュクセンにバイオスフィア2という施設が1984年に建造された。日本では青森県六ヶ所村の閉鎖型生態系実験施設（Closed Ecology Experiment Facilities: CEEF）において研究が進められた。このような生命維持システムは、地球に依存しない宇宙活動を可能にする。ただし、自立型では当初に準備する機材や資源などは再生型に比べて

多くなることは考慮しておく必要がある。

おわりに

ISS建設以前から月面基地などの構想が検討されて来た<sup>3-5)</sup>。ISSの設計寿命は30年であり、1998年より建設が始まったことを考えると、国際的な契約が2024年までであることを考慮しなくとも、後10年ほどで設計寿命を迎えることとなる。現在、ISS後の国際的な有人宇宙ミッションに関してさまざまな議論が行われている。火星有人飛行や月近傍の宇宙ステーション（Deep Space Gateway）など、いずれにしても地球低軌道よりも遠く、さらに長期間のミッションが検討されている。ECLSSは日本得意の環境技術を通して次期有人宇宙ミッションに貢献しようとするもので、日本の実情にマッチした技術領域であるので、今後とも研究開発を進めていくことが重要である。

文 献

- 1) 宇宙航空研究開発機構：「若田宇宙飛行士ISS長期滞在プレスキット」（2013年12月05日A改訂版）
- 2) 下田隆信「火星大気を利用する生命維持システム」第42回宇宙科学技術連合講演会、98-2F4（1998）。
- 3) 月面基地と月資源開発研究会 第1（全体システム・計画構想）分科会報告書、未来工学研究所（1990）。
- 4) 有人月面基地無人建設構想、月惑星協会、未来工学研究所、平成6年5月
- 5) Eckert, P.: The Lunar Base Handbook (Space Technology Series), McGraw-Hill Companies, Inc (1999)。