

第2章 有人宇宙活動に向けた生命維持システムの研究開発

宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部

大西 充

Research and development of ECLSS for human space activities

Japan Aerospace Exploration Agency

Institute of Aerospace Technology Mitsuru Ohnishi

Abstract

On April 2005, JAXA released its long-term vision “JAXA 2025.” The vision includes the roadmap toward 2025 in the area of manned space activity. Life-support-system technology is considered as one of the potential key technologies for these activities. Preceding the vision, the Institute of Aerospace Technology initiated a discussion on the future possibility of Japanese life-support-system technology in 2004. Based on the discussion, we categorized our research activities as 1)Research of life support systems, 2)R & D of next generation life support components, 3)R & D of next generation+ life support components, 4)Research of ultimate life support components. These activities are briefly introduced.

1 はじめに

JAXA長期ビジョンに従い、JAXAが進めようとしている我が国独自の有人宇宙活動にとって、環境制御・生命維持システム(ECLSS、Environmental Control and Life Support System)技術はキー技術である。しかし、技術認識として、宇宙でのECLSS技術はロシア・米国が圧倒的に先行しており、一見日本はとうてい太刀打ち出来ない様に思える。しかも、日本の宇宙開発に注がれる人的・資金的リソースは現状極めて限られている。このような現状のもと、日本がECLSS技術の研究開発に国費を投入するとすれば、国民に沿う成果還元が求められ、ロシア・米国に比肩しうる成果を得ることで国民の期待に応えなければならないという背反の条件が課せられる。

一方、地上技術としては、また近年の環境技術に対する意識の高まりも背景として、我が国は世界的にも高いレベルにあり、産学界に地上ECLSS技術に関する高度な知見の蓄積がある。他方、欧米は、輸送量の削減を図るために空気・水の再生率を向上させた次世代技術を目指しており、ISSでの実証の機会を窺っているが、NASAは次世代技術の一部をISSで実用化することを断念するなど、次世代技術のレベルでは、我が国は現用技術ほどの差は無い。

よって、長期ビジョンを受けて新しい有人宇宙活動の検討を行っている宇宙航空研究開発機構が潜在能力の高い産学と連携すれば、我が国のECLSS技術を宇宙技術としても世界に負けないレベルに導く研究開発が実施できると考え、平成16年から、JAXA総合技術研究本部内に非公式に設置された生命維持技術WGにおいて、世界的な技

術動向の整理、技術ロードマップの作成等を実施し、現在も内外の専門家との検討を重ねている。

本稿は、「有人宇宙活動に向けた生命維持システムの研究開発」に関し、その背景となる「世界の有人宇宙開発の現状」、および生命維持技術 WG の成果を交えて「生命維持システムの概要」、「JAXAでの生命維持システムの研究開発」について概観する。

2 世界の有人宇宙開発

2004年1月米国ブッシュ大統領によって「米国新宇宙探査ビジョン」が発表されて以来、我が国を含む宇宙開発国の間で、自身の将来宇宙開発計画及び米国の宇宙探査計画との関係等について集中的に検討がなされている。

2.1 米国の宇宙計画

「米国新宇宙探査ビジョン」は、米国のシビル(非軍事)の宇宙開発活動の方向性を有人宇宙探査に置き、そこにNASAのリソースを集中させようとするものであり、発表以来NASA内部でESA S (Exploration Systems Architecture Study)として検討が進められ、以下に示すような計画として詳細化されている。

現在軌道上で建設中の国際宇宙ステーションの建設は、スペースシャトルをベースに、ソユーズ、ATV、HTVを活用して2010年頃の着実な完成を目指す。また、運用期間に於ける物資輸送は、商業ベースの輸送系の活用を図る。さらに、ISS上における

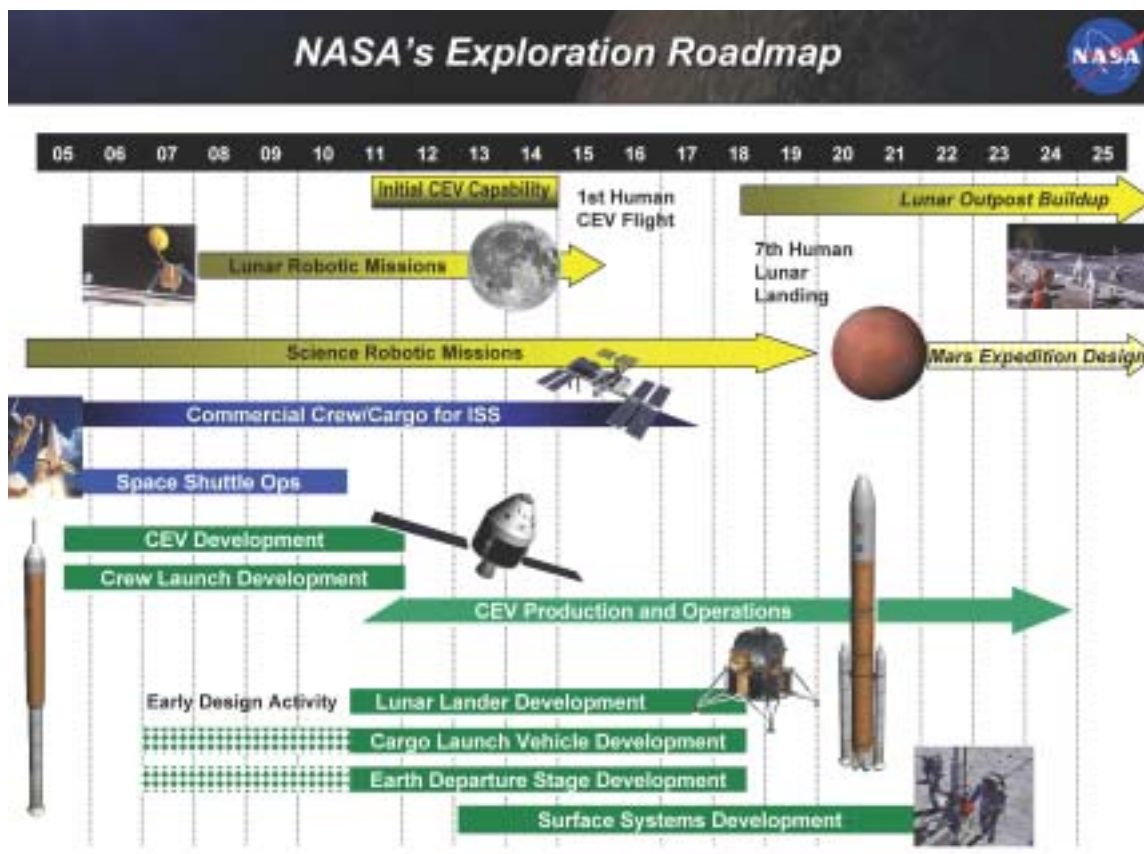


図1 米国の宇宙探査計画概要¹⁾

宇宙実験も、有人長期滞在のための医学的・技術的なものに重点を置く。

スペースシャトルは、ISSの建設を以って退役させ、これに代わる有人輸送機としてOrionと命名されたCEV (Crew Exploration Vehicle)の開発を進め、2014年の有人初飛行を目指す。Aresと命名されたCLV (Crew Launch Vehicle)で打ち上げられる。これらのシステムと、大型物資輸送機Ares (SDLV (Shuttle-Derived Launch Vehicle))及び月面着陸船LSAM (Lunar Surface Access Module)やCEVを月軌道に投入するための地球離脱ステージEDS (Earth Departure Stage)が月面有人探査の基本アーキテクチャとして検討されている。

上記のアーキテクチャ整備と並行して、無人の月プリカーサーミッションを着実に進め、2020年頃には有人月面着陸を行う。それ以降、月面拠点の建設を進め、人類の常時滞在を実現する。また、ここまでに開発・整備されたアーキテクチャや技術を用いて、2025年頃に火星への無人プリカーサーミッション更には火星有人探査の実現を目指す。

以上をまとめたものを図1に示す。

2.2 ロシアの宇宙開発計画

2005年10月に2006年～2015年の連邦宇宙計画が承認された。ただし、内容は未公表である。有人宇宙活動に関係する事項としては、ロシア連邦宇宙局FSAは、次世代輸送機AngaraとSoyuz 2の予備的な研究開発をESAやCNESと協力して実施中で、また、再使用型有人宇宙船Kliper (現在はACTSと呼ばれている)の予備検討

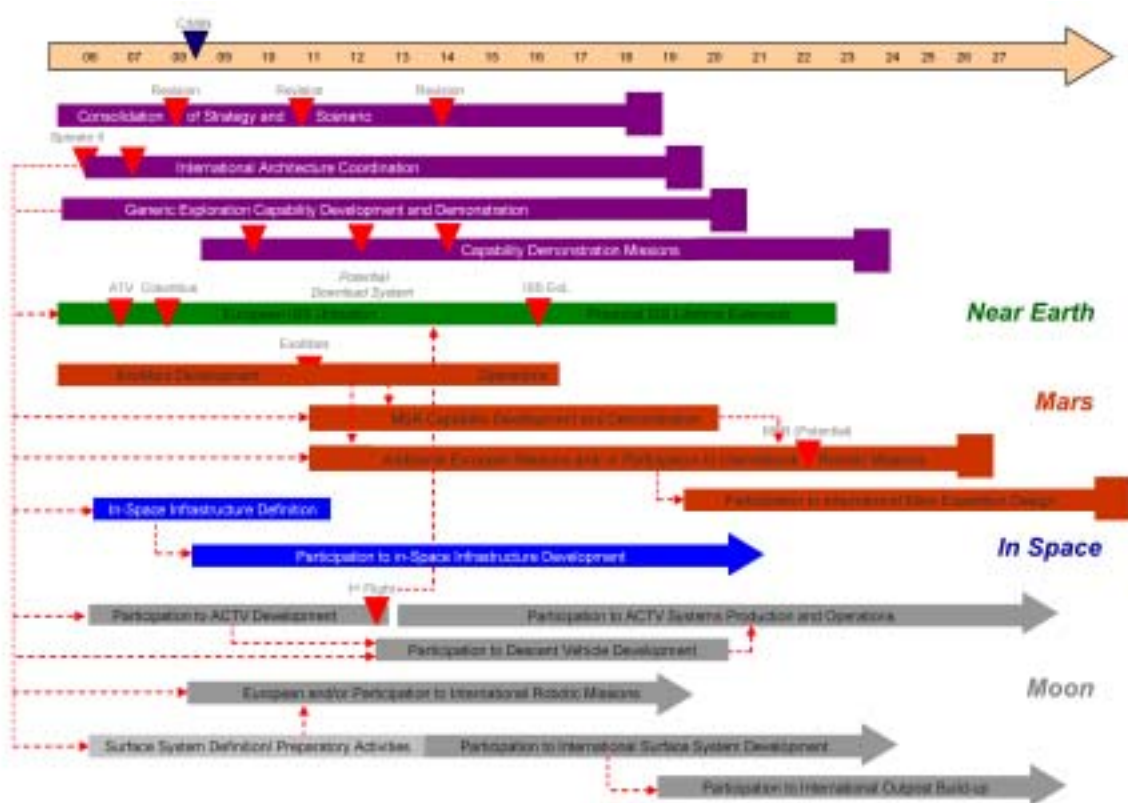


Figure 6: Timeline of Possible European Exploration Activities

図2 欧州の宇宙探査計画概要²⁾

にはE S Aが参加を表明しており、ロシアは次世代有人・輸送系の開発において欧州との協力を進めている。

2.3 欧州の宇宙開発計画

「米国新宇宙探査ビジョン」に対して、欧州においては従来より「AURORA計画」呼ばれる独自の有人宇宙探査計画の構想が検討されてきており、その独自計画との整合性と欧州としての自律性を確保しつつ(形式上は)米国との協力を進めていくこととなる。また、欧州は宇宙開発をE C (European Communities)政策実現のための重要なツールとして捉えており、ロシアとの協力を進めると共に、独自のGPSであるGALILEO計画、環境監視・安全保障等の目的からGMES計画を進めることとしている。

2011年に火星に無人探査機ExoMarsを送り、2018年に火星のサンプル・リターンを行い、2024年に月面有人探査、2030年には火星有人探査を行うとしている。図2にその概要を示す。

2.4 中国の宇宙開発計画

中国は長征3号の着実な打ち上げ実績とその低価格により、世界打ち上げ市場でシェアの拡大を図ると共に、長征2F(神箭)を用いた神舟5号、6号の有人飛行の成功により、宇宙技術の高さを世界に示した。これらの技術をベースとして、2008年に神舟7号で船外活動、2010年に神舟8、9、10でランデブ・ドッキング、2020年頃に独自の宇宙ステーション建設を構想している。

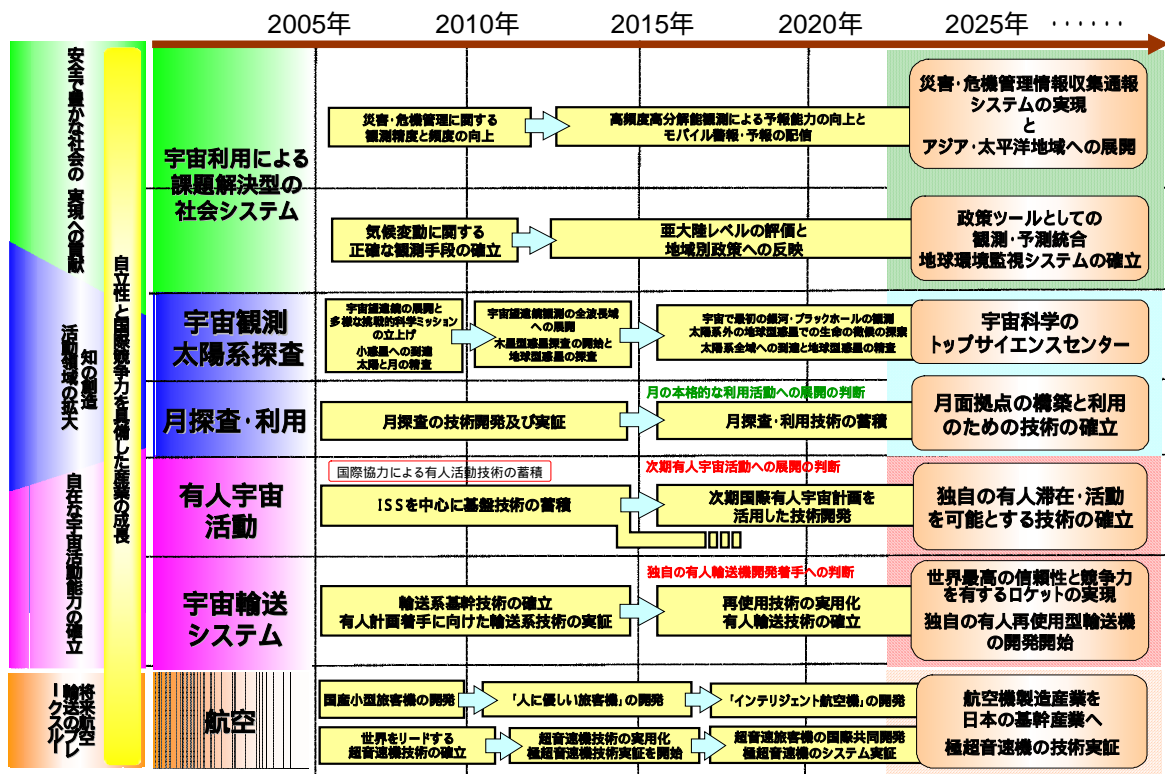


図3 JAXA長期ビジョンロードマップ

地球周辺から月面、そしてその先へ進出する人類



図4 将来の月探査・利用活動のイメージ

2.5 我が国の将来計画

2004年9月に総合科学技術会議から、米国新宇宙探査ビジョンへの対応も含めた「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」が発表され、これを念頭に置き、「JAXAは「JAXA長期ビジョン - JAXA2025 -」を2005年4月に取り纏めた。

先ずJAXAの活動の根幹となる基本理念を、「宇宙開発と航空研究開発は、国の政策目標を達成していくための有効且つ不可欠な手段であり、重要な課題解決に貢献することは、JAXAにとっての重要な使命である。」とし、

「宇宙航空技術の活用により、安全で豊かな社会をつくる」

「宇宙の謎と可能性を探求し、国民の希望と未来をつくる」

「世界最高の技術により、自在な宇宙活動ができる能力をつくる」

「宇宙航空分野で新たな基幹産業をつくる」

としている。長期ビジョン全体のロードマップを図3に示す。また、長期ビジョンで提案されている、有人宇宙活動に係わる将来の月探査・利用活動のイメージを図4に示す。

2.6 民間宇宙活動の流れ

2000年代に入り、それまでは各国政府機関を主体としていた宇宙活動に民間が参入してきた³⁾。例えば、下記が良く知られており、有人宇宙活動の範疇に入るであろう。

表1 生命維持システム入出力のまとめ

| ECLSSの入出力のまとめ | | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 源 | 入力 | | | 経由 | 出力 | | 受入 | |
| | 名称 | 重量 | | | 名称 | 重量 | | |
| | | ISS | 月面滞在 | | | | | |
| ガス系 | 酸素 | 0.835 | 0.835 | 人体 | CO2 | 0.998 | ガス系 | |
| 水系 | 飲料水 | 2.000 | 3.500 | | CO2吸着 | LiOH | 2.000 | 廃棄物系 |
| | | | | | 汗・呼気 | 乾燥重量 | 0.018 | 水系 |
| 食料系 | 食料 | 乾燥重量 | 0.681 | | 0.683 | 水分 | 2.277 | 水系 |
| | | 水分 | 0.691 | | 0.467 | 尿 | 乾燥重量 | 0.059 |
| | | | | | | 水分 | 1.503 | 水/廃棄物系 |
| | | | | | 大便 | 乾燥重量 | 0.032 | 廃棄物系 |
| 食料系 | 食料 | パッケージ | 0.240 | 0.264 | ゴミ箱 | 水分 | 0.091 | 廃棄物系 |
| | | | | | | 0.324 | 廃棄物系 | |

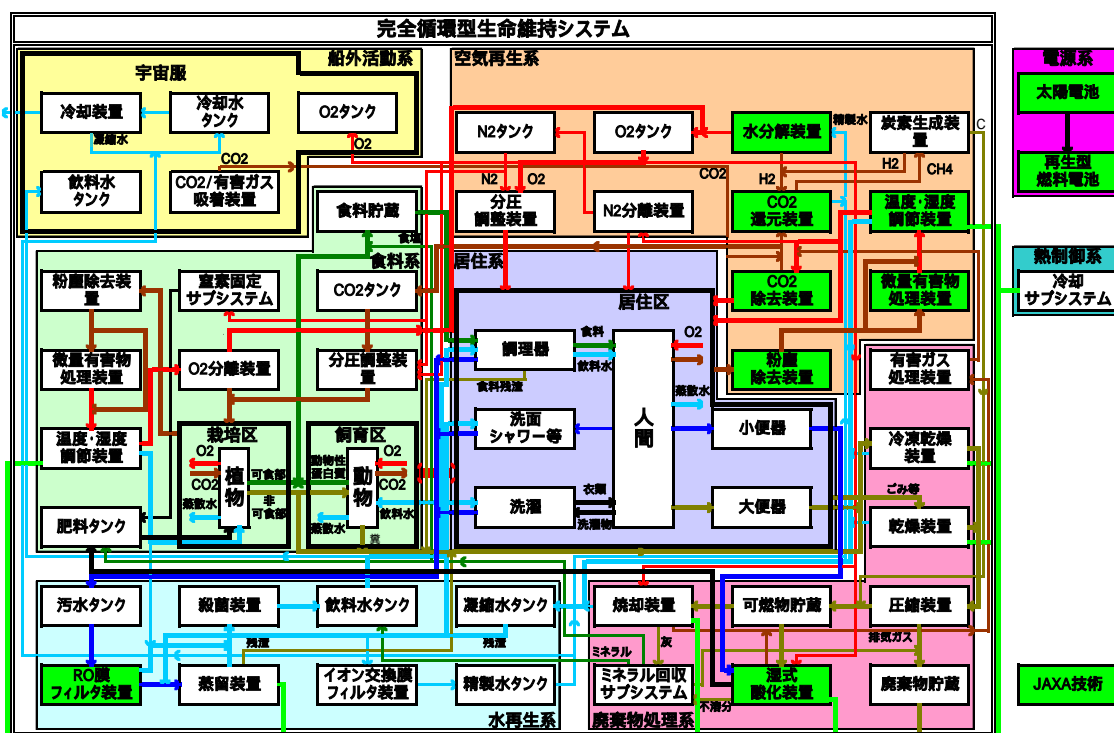


図5 完全循環型生命維持システム

Space Adventures社

- ・世界で最初（唯一）の宇宙旅行専門代理店
- ・「ISSへの10日間の旅」を販売（約22億円）。弾道飛行体験10万ドル（約1100万円）や月周回旅行1億ドル（約110億円）も販売

X PRIZE財団

- ・Ansari X PRIZEコンペを主催（懸賞金は約11億円）
- ・Scaled Composite社開発のSpaceShipOneが条件をクリアし2004年10月に賞金を獲得

Virgin Galactic社

- ・SpaceShipOneの技術供与を受け、2008年サービス開始が目標

・20万ドル(約2200万円)で2~3時間のフライト、高度100kmで5~15分無重力体験
これらを背景に、米国では宇宙旅行ビジネスに対応した法制度が整備されつつある。

3 生命維持システムの概要

生命維持システムは空気再生系、食料系、熱制御系、廃棄物処理系、水再生系の大きく5つのサブシステムから構成されている。それによって、人体が快適に過ごせる空気成分・圧力、温度・湿度などを維持するとともに、表1に示す、人体が必要とする物質を供給(入力)し、排泄物を処理(出力)する。これらを実現する最も簡単な仕組みは、必要物質を生命維持システム外からタンク等で補給し、排泄物をシステム外に排出するもので、Apollo、Soyuzなどの初期の宇宙機がこの非再生型生命維持システムを用いている。

一方で、排泄物を完全に再利用する仕組みも有る。図5に、この再利用の観点から想定される究極のシステムである、完全循環型生命維持システムを示す。この図は各機能のイメージを掴むことが目的のもので、不正確な部分が有ることを了承されたい。究極のシステムの特徴は、完全自給のため、食料生産を系内に含むことである。図5では植物栽培および動物飼育が実施されることを想定している。植物栽培によって、空気再生系の大部分および水再生系の一部が軽減されるが、バックアップとして用いられるであろう。このようなシステムはまだ何処の国も宇宙では実現していないが、一番近い位置にいるのが、青森

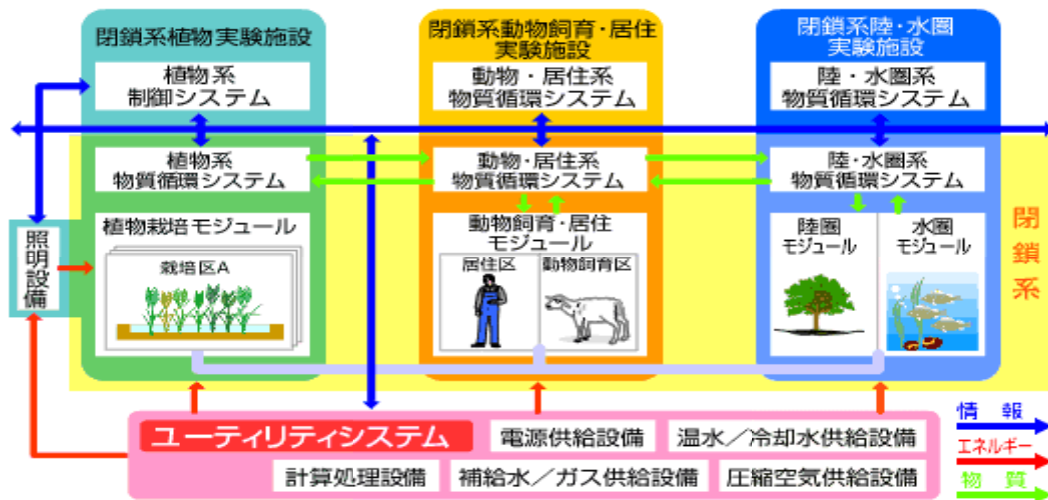


図6 環境科学技術研究所 閉鎖型生態系実験施設 CEEF⁴⁾

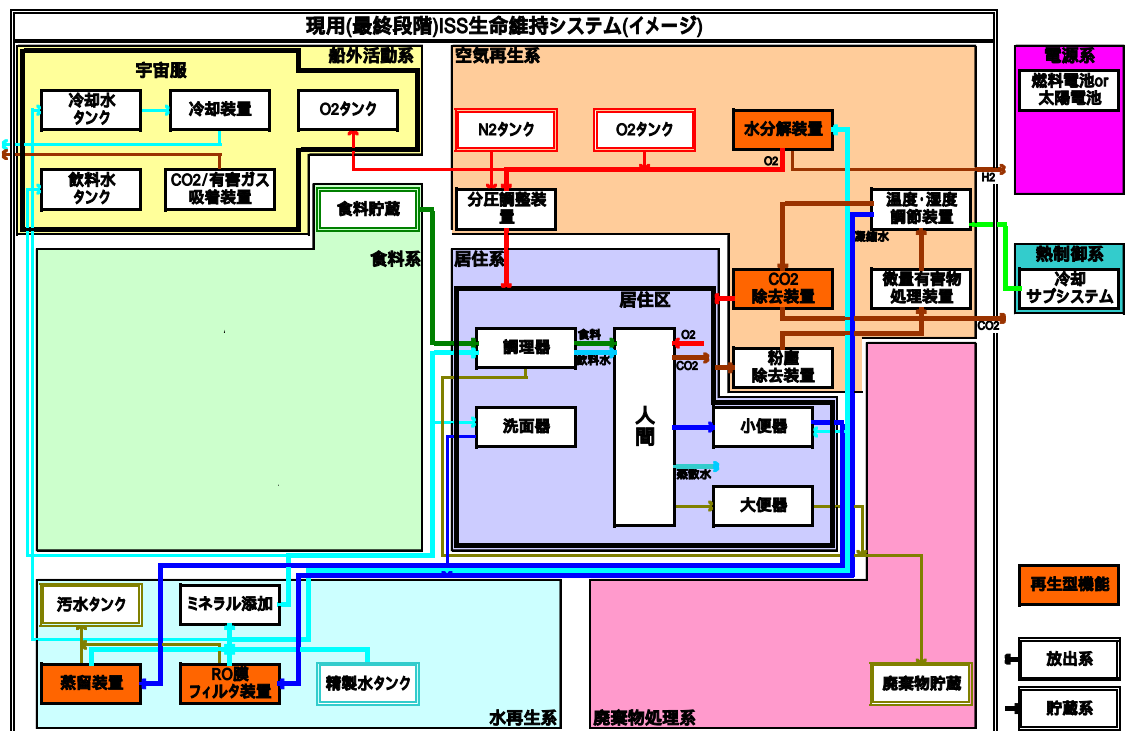


図7 現用(ISS)生命維持システム

県六ヶ所村にある財団法人環境科学技術研究所が有する、閉鎖型生態系実験施設 CEEF(Closed Ecology Experiment Facilities)である。図6に全景および概要を示す。この施設は、地上でのガス状放射性物質の生態系での循環・蓄積を調査することを目的とし、エネルギーと情報以外は物質的に完全に閉鎖されることを目標として開発されているが、得られる知見は充分有人宇宙活動に活用できる。

現用宇宙機の象徴として、図7にISSで用いられている(予定を含む)生命維持システムの概略を示す。図5と同様、誤りが有る可能性が高いが了承されたい。図7から一部の空気と水の再生が志向されていることが判る。

以下、各サブシステムの概要を紹介する。多くの方式が研究開発されているため、筆者の判断で代表的だと考えられる技術に留めている。今後の有人宇宙機を構成する上で必須の空気再生系は少々詳述した。

3.1 空気再生系

このサブシステムの機能には、全圧の維持(リーク分の補填)、CO2除去、酸素供給(酸素分圧の維持)、有害ガス除去、空気温度の維持(暖房・冷房すなわちエアコン)、送風(無重力による自然対流の喪失に対応、重要な機能)がある。

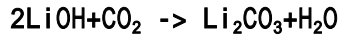
3.1.1 CO2除去

大きくCO2除去剤を再利用するか否かで、非再生型と再生型に分かれる。

非再生型

* 水酸化リチウム

吸着能力は高いが、使い捨て。送風以外の電力を要しない。キャニスタ等を含め約 2~3kg/人日が必要量である。再生型は 20~30kg/人なので、ミッション期間が 10 日を超えるあたりから再生型が有利になる。初期の宇宙船やシャトルで主装置として運用された他、ISS では緊急用バックアップとされている。



再生型

* 固体アミン(液体アミンも有る。詳細は不明)

化学反応で除去するため、重量効率は再生型では最も高い。しかし、実用では結局反応面積に限られるため、極端に良いわけではない。水蒸気を必要とする。アミン臭がすると言われている。よって長期間運用には向かないであろう。



本方式はスペースシャトルのミッション延長用に実用化されている⁷⁾。ESA は EM を開発中である⁸⁾。旧宇宙開発事業団で EM の開発実績が有り、環境科学技術研究所では運用中である。

アミン自体が水を吸着するため、水溶性の有害ガス除去が可能だと期待されている。これにより現 ISS では 3 機能(CO₂ 除去、凝縮による水分除去、有害ガス除去)で行われているものが統合出来ると期待されている⁹⁾。

* ゼオライト

ゼオライトは二酸化炭素より、水分の吸着能力が高いため、図 8 に示すように前段に除湿が必須。よって連続動作には 4 筒((除湿筒 + CO₂ 除去筒) × 2)が必要となる。また脱着時に加熱と真空排気が必要。しかしゼオライト自身は無害であるため、長期運用には安全性の面でメリットが有る。Sky Lab で初めて用いられ、ISS で運用されている Vozdukh (ロシア) と CDRA (米国)¹⁰⁾ にも用いられている。旧航空宇宙技術研究所で研究実績が有り、JAXA でも研究を継続している。

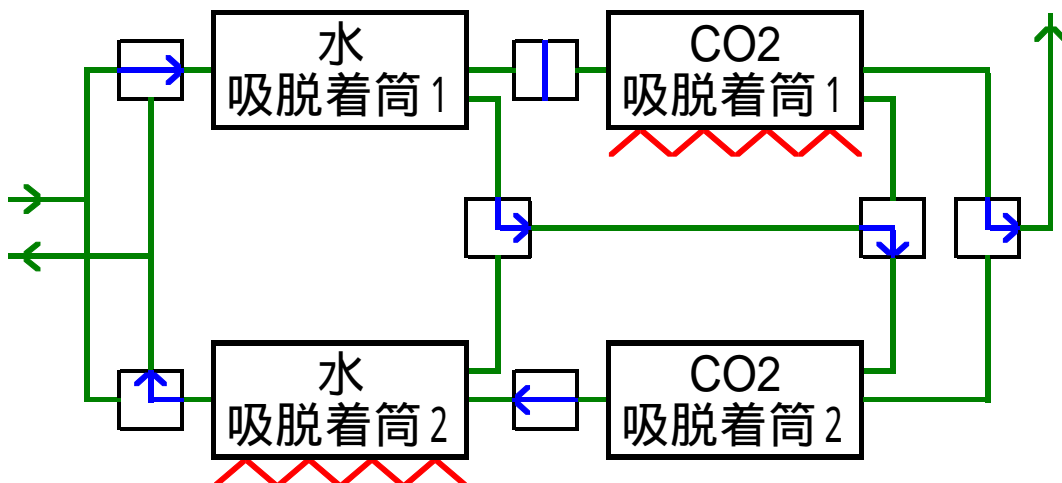


図 8 ゼオライトを用いた CO₂ 除去装置

今後は、真空排気を活用した低加熱タイプが要求され、ゼオライトの選択によって3機能の統合が目指されるであろう。

* 酸化銀

I S Sの宇宙服に用いられている。M e t o xと呼ばれている。使用済みのM e t o xキャニスターはI S S内で熱処理され、再生される。



3.1.2 酸素供給

従来の宇宙機はタンクが普通であったが、宇宙ステーションでは水電解を目指している。ただし、I S Sに搭載されているロシア製水電解装置はトラブルが多く、現在のI S Sは、タンク供給に頼っている。

水電解

I S Sなどの比較的余剰電力が大きく長期間運用が必要な宇宙機では、酸素を安定した水という形で貯蔵し、水を電気分解することで酸素を得ることが行われている。

* 液体電解質

水酸化カリウム等の水溶液を電解する。ロシア開発のE l e k t r o n¹¹⁾がM i rとI S Sで使われている。水酸化カリウムがガス流路に堆積し、故障が多発している。将来性はあまり無いであろう。

* 固体電解質

固体電解質膜(Polymer Electrolyte Membrane)を用いて純水の電気分解を行う。米国はO G A (Oxygen Generator Assembly)を開発¹²⁾、現在I S Sに搭載され、2007年の追加部品到着を経て運用を開始する予定である。旧宇宙開発事業団、旧航空宇宙技術研究所で研究実績が有り、J A X Aでも研究を継続している。現在は、発生した水素を排気しているが、CO₂除去装置からの二酸化炭素とこの水素を反応(サバチエ第一反応)させ、水を生成するCO₂還元装置がE S Aで開発されている⁸⁾。N A S Aは開発をキャンセルした。旧宇宙開発事業団、旧航空宇宙技術研究所で研究実績が有り、J A X Aでも研究を継続している。

3.1.3 有害ガス除去

人体からはメタン、アンモニア、メチルアルコール、一酸化炭素が排出されるため、長期間運用される宇宙機は、これらを活性炭で吸着している。活性炭の再生のため、加熱・真空脱気を行うが、電力を要し、リーク源ともなるため、光触媒等を使って酸化処理し、二酸化炭素と水にする方法が検討されている。C E Vでは凝縮水、二酸化炭素と有害ガスを同時に除去する方式が検討されている。

有害ガスは希薄であり、処理にはかなりの風量をを要する。このため、加熱方式の酸化はエネルギーロスが多く、常温酸化触媒の実現が期待されている。

旧宇宙開発事業団で光触媒を用いた処理に関して研究実績が有る。

3.1.4 温度・湿度制御

温度・湿度制御のため、エアコンが用意されている。宇宙機の断熱、および搭載装置の発熱具合によって、Apolloの様に暖房が必要なものと、ISSの様に冷房が必要なものがある。冷房の場合、人体が発する蒸散水が凝縮するため、凝縮水を回収する仕組みが必要となる。また、冷媒としては熱制御系が供給する冷水が使われている。

スペースシャトルの様に電源として燃料電池を用いる宇宙機では凝縮水は不要で廃棄してもかまわない。ただし、CEVでは凝縮水、二酸化炭素と有害ガスを同時に除去、船外に廃棄する方式が検討され、この場合、燃料電池を用いないにもかかわらず、凝縮水が破棄される。機構の簡略化を優先したためであろう。

旧宇宙開発事業団で、JEM用温度・湿度制御装置の開発を行い、実用化されている。

3.2 食料系

このサブシステムの機能は、必要な栄養素の供給、「おいしさ」の確保である。現用では宇宙食に限定されるが、長期ミッションではサラダマシンを導入し、新鮮な野菜を供給することが検討されている。将来は温室が導入されて、一定量の食料が生産されるであろう。この時は、収穫機能、調理機能も必要となる。さらに将来は図5に示される様に、全量が食料生産されるであろう。この場合、旧航空宇宙技術研究所が稲等の基礎的な生育データを取得したほか、環境科学技術研究所が多様な植物の生育データを本格的に取得しており、人体に必要な栄養素を満たす植物栽培構成を提案している。

現在の研究では、食料生産を完全に賄うには、一人あたり約80m²の栽培面積が必要であり、約100KWの電力を要する⁶⁾。このため、大規模な有人宇宙基地で完全食料生産を実現するには、革新的な輸送系やエネルギー系の開発も必要となるであろう。

3.3 熱制御系

このサブシステムの機能は、主として冷却を要する装置に冷媒を供給することである。温度・湿度制御の重要なソースである。宇宙では放熱板を用いて輻射冷却を行うか、EvaporatorやSublimatorと呼ばれる水蒸発装置を使って気化熱による冷却を行う。ISSでは放熱板、スペースシャトルや宇宙服では蒸発熱を用いている。

3.4 廃棄物処理系

このサブシステムの機能は、生ゴミの処理(食料残渣)、紙・布・金属・プラスチック、便を貯蔵・処理することである。圧縮装置でコンパクトにすること¹³⁾や、熱風乾燥や凍結乾燥して減量化することが検討されている。再利用する方法としては、湿式酸化で二酸化炭素と水、無機イオンに分解する方法や、超臨界水酸化でガス成分と水に分解する方法が検討されている。一定量以上の食料生産を行う場合は、肥料の供給が重要であり、この点では湿式酸化が重要である。または、生物系の処理を行えば、肥料供給は容易である。

湿式酸化は、旧航空宇宙技術研究所で研究実績が有り、JAXAでも研究を継続している。地上装置としては実用化レベルにある。

3.5 水再生系

このサブシステムの機能は、飲料水、水電解に用いる精製水を供給することである。ISSでは、現在のところ、凝縮水の一部をElektronに用いている他は外部供給に頼っているが、最終的にはUPA(Urine Processor Assembly)とWPA(Water Processor Assembly)から構成されるWPS(Water Processor System)が搭載されて¹⁴⁾、尿と凝縮水が再利用される。宇宙滞在の快適性向上のために、将来は手洗いやシャワーに用いる衛生水の供給も必要になるだろう。この場合、生活排水(衛生水からの污水)の再利用が必要となる。

水再生の手法としては膜蒸留法、RO(Reverse Osmosis、逆浸透)膜法が有望だと思われる。

3.5.1 膜蒸留法

膜蒸留(Membrane Distillation)は、蒸気は通すが液は通さない疎水性多孔膜を用いて、膜の両側に高温の污水と冷却水を流し、高温污水から水蒸気が膜を透過し、冷却水側に移動して水再生を行う。污水が比較的高濃度でも水再生が可能だが、污水を熱する必要があるので多量処理には向かない。よって尿の再生に向いているであろう。旧宇宙開発事業団に研究実績がある。ISSのUPAはこの方式である。

3.5.2 RO膜法

半透膜を隔てて污水と水を接触させると、水の一部は浸透圧を持って半透膜を透過し溶液側に移動しようとする。このとき污水側に浸透圧を超えて加圧すれば、溶液側から水を

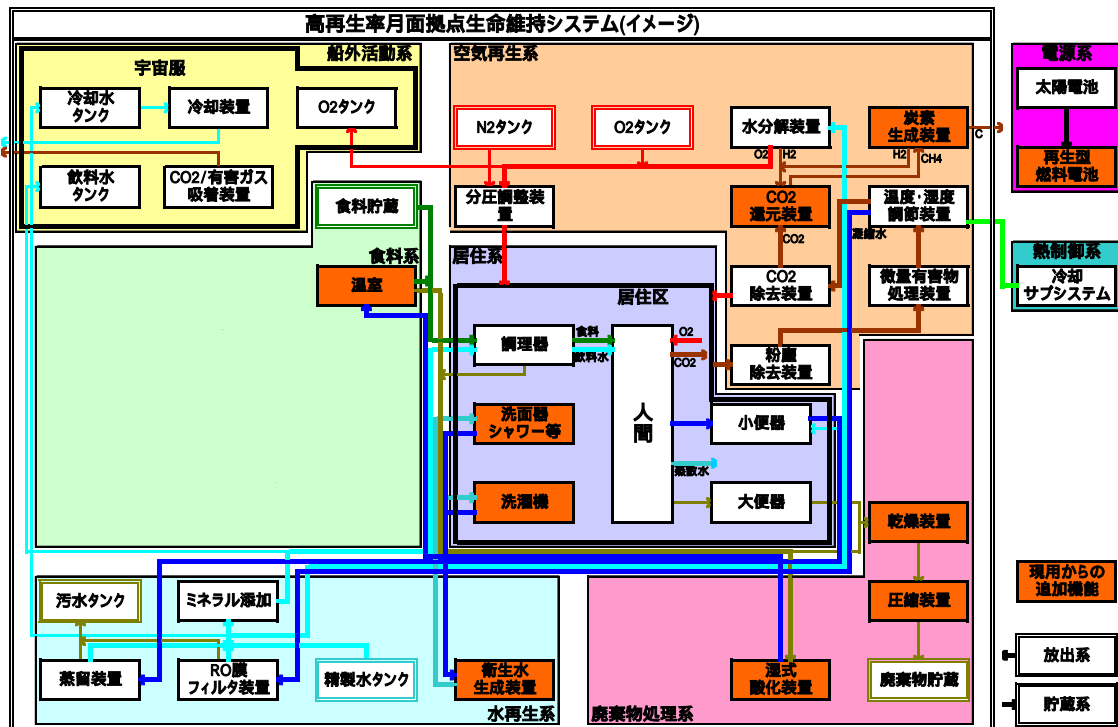


図9 月面拠点生命維持システム

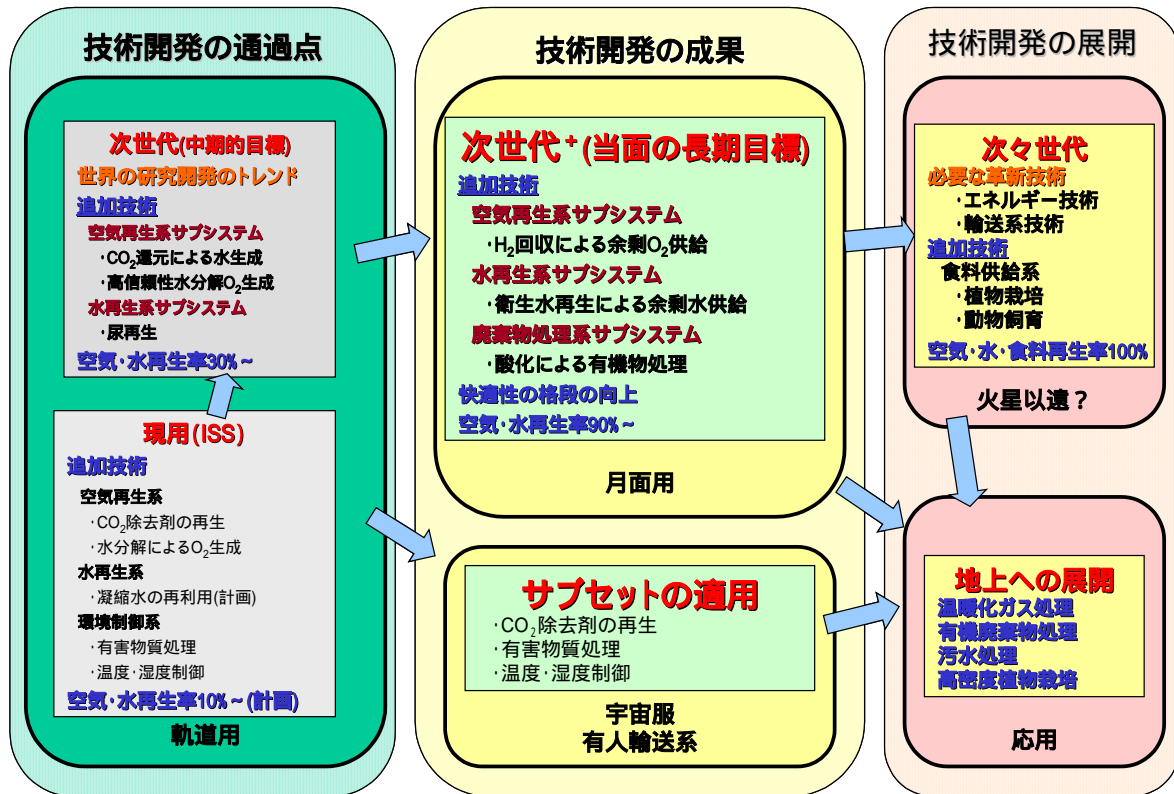


図 1 0 生命維持システムの要素技術の流れ

再生することが出来る。これがRO膜法である。汚水が低濃度の場合、比較的容易に水再生が可能であるが、高濃度の場合は高圧を要し不利となる。よって凝縮水や生活排水などの比較的low濃度の汚水が対象となる。ただし、濃度を低下させる工夫が可能であり、尿に適用できる可能性がある。

旧航空宇宙技術研究所で研究実績があり、JAXAでも研究を継続している。

4 . JAXAでの生命維持システム研究開発

「はじめに」で述べた様に、現用技術では有人宇宙先進国米国・ロシアとは圧倒的な差がある。しかし、ポストISSに適用されるべき技術では差が縮まり、将来のECLSSに関しては、むしろ我が国が進んでいる。よってJAXAでは、研究開発を下記に分類し、進めることとしている。

生命維持システムの研究

次世代技術と次世代+技術の連携、移行を効率的に行える、我が国に有用な生命維持システムを提案する。産学官のALL-Japan体制を整えることも大きな役目。

次世代生命維持技術の研究開発

空気・水の再生率向上を目指した空気再生系、水再生系サブシステムの基盤的研究開発を実施し、地上でサブシステムを構築する。

次世代+生命維持技術の研究開発

空気・水の再生率をさらに向上させ、廃棄物の削減を目指す、空気再生系、水再生系、廃棄物処理系技術の基礎的・基盤的研究開発を実施する。

次々世代生命維持技術の研究

地上技術と連携し、食料の再生を目的とする食料供給系技術に関し、調査を主体とした基礎的研究を実施する。

次世代+生命維持技術の研究開発が完結すれば、図9に示す月面拠点生命維持システムが実現出来ると考えている。

4.1 生命維持システムの研究

A11-Japan体制構築の一環として平成16年9月に総合技術研究本部内に非公式に設置された生命維持技術WGでの議論を元に世界的な技術動向の整理、技術ロードマップの作成、ミッションに合わせた生命維持システムの検討等を実施している。図5、図9や表1はその成果である。図10にミッションの進展に合わせた生命維持システムに必要な要素技術の流れを示す。A11-Japan体制を具体的に構築するため、産学との共同研究を積極的に行っている。また生態工学会との協力で、平成18年4月に「環境制御・生命維持技術に関するワークショップ」を共催した。さらに国際的な対応としてNASA、ESAなどの各国生命維持関連組織で構成する国際先端生命維持ワーキンググループ(IASWG)に参加し、情報交換を行っている。

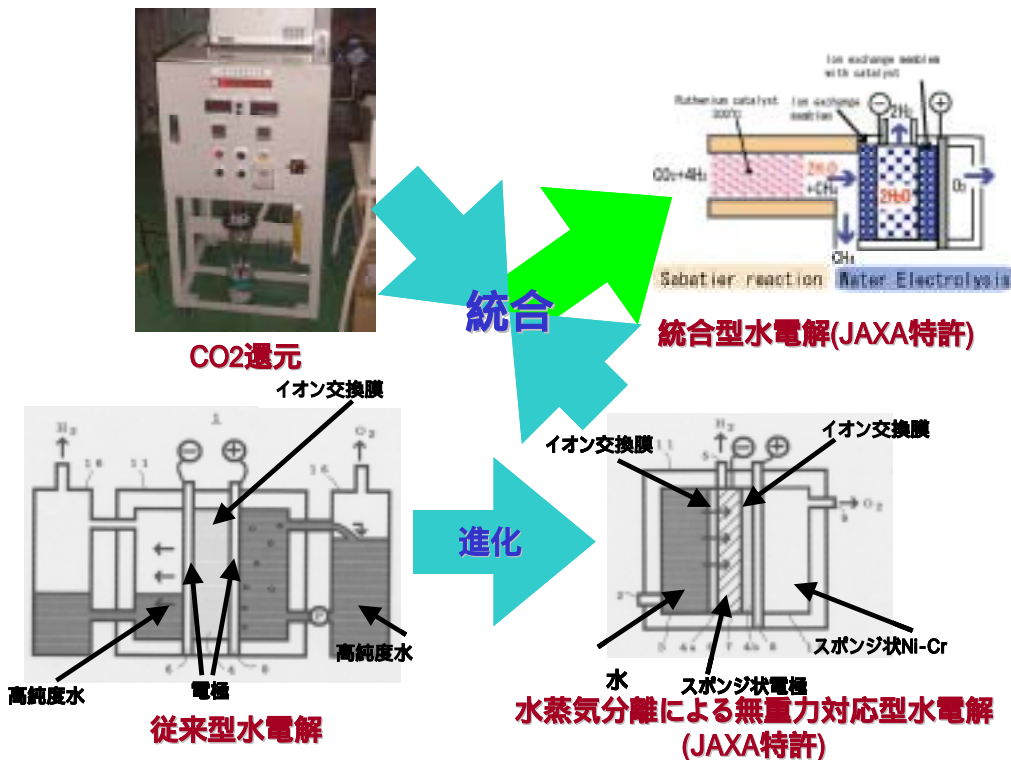


図11 JAXA発の次世代空気再生系の提案

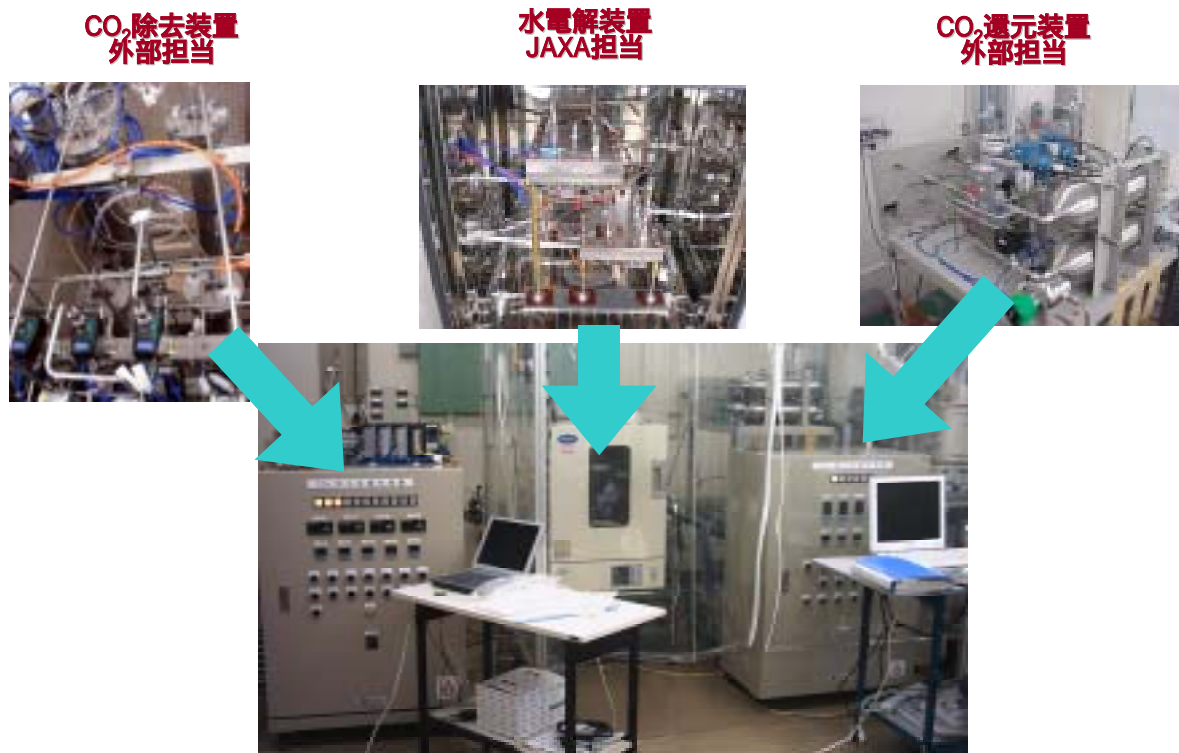


図 1 2 次世代空気再生系の研究協力

4 . 2 次世代生命維持技術の研究開発

空気再生系を構成する水分解コンポーネントは、水から酸素を生成する装置であるため、通常は気液分離を要し、仕組みを複雑化させる要因となっている。そこで J A X A の独自技術として図 1 1 に示す、気液分離を要せず、高信頼性が可能な水分解手法を考案し、その基礎的な特性の把握に努めている。この手法によれば CO₂ 還元コンポーネントとの統合が原理的に可能であり、基礎的な実験を実施している。

水分解コンポーネントは、航空宇宙用に研究されている再生型燃料電池の主要コンポーネントでもあり、また、水分解コンポーネント内の反応は酸素富化、除湿等に使えることが知られており、宇宙技術としても種々の応用が可能である。

他方で、空気再生系サブシステムの研究は各国との競争状態にあり、確実な研究開発も求められており、コンポーネントレベルで優位に立つことは難しい。このため、サブシステムを早急に構築する手段として、図 1 2 に示すように J A X A 外部と研究協力を行い、それぞれが得意な技術を持ち寄って研究開発を進めている。

水再生系も重要な次世代技術であるため、R O 膜法を主体にした飲料水製造装置の開発を民間との研究協力の下で行っている。

4 . 3 次世代*生命維持技術の研究開発

廃棄物処理系サブシステムの研究開発として、図 1 3 に示す様に、J A X A 特許を用いて製作された湿式酸化廃棄物処理装置の地上実証を行うと共に、宇宙用として必須のサブシステムの小型化に関し、キーとなる部品の検討を行い、小型の高圧スラリーポンプの開

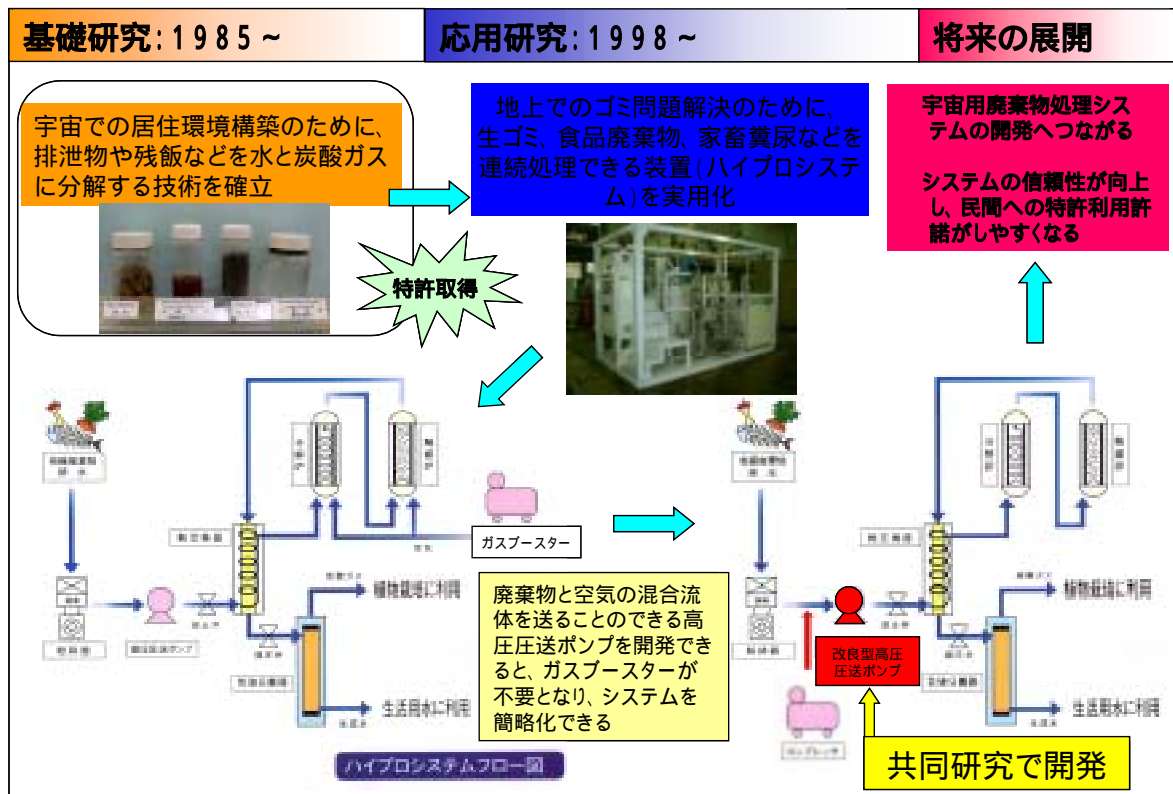


図 1 3 次世代+廃棄物処理技術の展開

発を行っている。

4.4 次々世代生命維持技術の研究

食料供給系サブシステムの研究として、環境科学技術研究所と協力して、植物栽培に付随する非可食部(葉や茎など)を処理するため、水棲生物(スクミリンゴガイ)の餌として用い、動物性蛋白質生産にも役立てることを提案し、基礎的な調査を行っている。

5.まとめ

有人宇宙活動技術の研究を概観した。この技術は大変多岐にわたる分野を背景としている上、それぞれが息の長い研究開発を要している。このため、今後も所内外の競争的研究資金の獲得を目指し、外部機関との積極的な連携に努め、短期的な成果も達成しながら、研究水準の維持に努めたいと考えている。特に次世代生命維持システムに関わる技術はJAXA独自技術として実用に近い位置にあり、一部は一般的な製品となる可能性もある。他方、宇宙での実用に向けた最初の大きなマイルストーンとして小型衛星、HTV、国際宇宙ステーション等を用いた宇宙技術実証を目指しており、宇宙用・一般用のバランスを取りながら研究開発を進めたい。

参考文献

- 1)S.Horowitz: Exploration Strategy Workshop, 2006.4.

- 2) Human Spaceflight, Microgravity and Exploration Programmes Board: ESA/PB-HME (2006)32, 2006.5.
- 3) 水谷定博: 民間宇宙機、世界の動向, 日本マイクロ重力応用学会誌, 2005.4.
- 4) http://www.ies.or.jp/japanese/research/research_22.html
- 5) "Advanced Life Support Research and Technology Development - Fiscal Year 2005", NASA/CR-2006-213694, 2006.2.
- 6) "Advanced Life Support Baseline Values and Assumptions Document", NASA/CR-2004-208941, 2004.8.
- 7) T.Filburn and et al.: "The Design and Testing of a Fully Redundant Regenerative CO2 Removal System (RCRS) for the Shuttle Orbiter", SAE Paper 2001-01-2420, 2001.
- 8) W.Raatschen and et al.: "Design Status of ARES for Accommodation on the ISS", SAE Paper 2006-01-2270, 2006.
- 9) J.F.Lewis: "Crew Exploration Vehicle Environmental Control and Life Support Development Status", SAE Paper 2006-01-2011, 2006.
- 10) J.C.Knox and et al.: "Integrated Testing of a 4-Bed Molecular Sieve and a Temperature-Swing Adsorption Compressor for Closed-Loop Air Revitalization", SAE Paper 2004-01-2375, 2004.
- 11) N.M.Samsonov and et al.: "Experience in Development and Long-term Operation of Mir's System for Oxygen Generation by Electrolysis", SAE Paper 2000-01-2356, 2000.
- 12) D.Cloud and et al.: "ISS Oxygen Generation Design Status", SAE Paper 1999-01-2116, 1999.
- 13) G.S.Pace and et al.: "Compaction Technologies for Near and Far Term Space Missions", SAE Paper 2006-01-2186, 2006.
- 14) R.M.Bagdikian and et al.: "Status of the Regenerative ECLSS Water Recovery and Oxygen Generation Systems", SAE Paper 2006-01-2057, 2006.