

日本の有人宇宙活動に向けた生命維持システム技術に関する考察 — 要素技術の分析 —

Study on Life Support System Technology for Japanese Manned Space Activities – Analysis of Component Technology –

○宮嶋宏行（東京女学館大）

Hiroyuki Miyajima

Tokyo Jogakkan College, 1105 Tsuruma, Machida-shi, Tokyo 194-0004, Japan

E-mail: miyajima@m.tjk.ac.jp

ABSTRACT

I surveyed presented papers in manned space technology sessions of three conferences; Space Sciences and Technology Conference, Space Station Conference, and Society of Eco-Engineering Conference, since 1985. I developed a database on Life Support System technology in Japan based on the research, so I classified the component technology presented in the papers by labeling subsystems, functions, component technology, and Technology Readiness Levels (TRLs). Finally, I compared Life Support System technology assessment and distribution between Japan and the U.S. in this paper for Japanese manned space activities in the future.

Key Word : Technology Readiness Levels (TRLs), Component technology, Technology management

1. はじめに

2008年6月国際宇宙ステーション(ISS)に日本実験モジュール(JEM)本体が接続された。ISSの元になった宇宙ステーション計画はアメリカ航空宇宙局(NASA)で1982年に検討が始まった。この計画への参加要請が日本にもあり、1982年8月には宇宙開発委員会の下に宇宙基地計画特別部会が設置され、参加する場合の基本構想について検討がなされた¹⁾。このときを日本の有人宇宙活動の開始と考えれば26年目に日本が自国の有人宇宙実験施設を持ったことになる。

この宇宙ステーション計画を機に、これ以降1985年から2003年まで日本航空宇宙学会で宇宙ステーション講演会(1994年から有人宇宙飛行技術シンポジウムと合同)が開催され、1985年以降同学会の宇宙科学技術連合講演会に有人技術関連のセッションが継続的に設けられるようになった。1989年5月には生態工学会の前身であるCELSS研究会第1回学術講演会が開催され、2001年以降この講演会は生態工学会として続いている。この26年間にこれらの学術講演会で発表された生命維持システム関連の件数は600件弱になる。この蓄積には、JEMの開発によるものだけでなく、旧航空宇宙技術研究所による閉鎖生態系生命維持システム(CELSS)研究、環境科学技術研究所(IES)によるCELSS研究、旧宇宙開発事業団(NASDA)による環境制御・生命維持システム(ECLSS)研究の成果も含まれる。

2009年現在、ISSの建設が2010年の完成を目指して進む一方で、2004年にポストISSとして米国が新宇宙探査ビジョンを発表して以降、有人月探査に関するシステムスタディが盛んに行われるようになった。その成果は、ESAS(Exploration Systems Architecture Study)として2005年に発表され²⁾、生命維持システムの分野では米国の有人宇宙船(CEV: Crew Exploration Vehicle)の開発に続き、月面着陸機、月面拠点の生命維持システムの検討結果が報告されている³⁾。著者は、国際会議の場でNASA研究者と契約企業のエンジニアが次期有人宇宙船の生命維持システム開発のために行っている議論や資料を見る中で、日本の有人宇宙システム開発でも同じような議

論のたたき台となる資料が必要であると考えられるようになった。本研究では有人宇宙システムの開発実績が圧倒的に多い米国の研究や技術開発の戦略を参考に日本の生命維持システム技術についてまとめてみたい。そのために日本国内の学会で発表された600件あまりの研究発表について調査し、生命維持システムの要素技術およびシステム研究の蓄積をまとめ、将来の日本の有人宇宙活動における生命維持システム開発の議論のたたき台となる資料を作成する。本報告では紙面の都合上、その調査結果のうち要素技術の分析とそれの米国との比較について報告する。

2. 調査対象と調査方法

調査対象を日本航空宇宙学会主催の宇宙ステーション講演会と宇宙科学技術連合講演会、および生態工学会主催の年次学術講演会の3つの講演会のうち生命維持システムに関わる発表とする。当初は、資料の集めやすさから学術論文を対象とすることも考えたが、幅広く技術を集めるために学会発表をその対象とした。

調査方法は、まず該当する学会発表の講演集を集め、年度、セッション、タイトル、著者、著者所属機関、所蔵文献をデータベースとしてまとめた。次に、調査方法として統計的解析、テキストマイニング、特許分析などの手法を検討したが、分類後の一分野あたりの件数が非常に少なくなることや、人による判断が含まれる場合があることから最終的には著者による手作業による分類および分析を採用した。

まず分類では、サブシステム、機能、要素技術のタグをすべての発表に付ける作業を著者が行った。ここで分類に用いたサブシステムと機能をTable 1に示す。それぞれの発表は、研究構想、技術開発、システム開発、実験結果など様々な観点に重点を置くものが存在するので、最初から決められた分類やタグ付けをできたわけではなく、全体を見ながら再び分類やタグ付けを変更する作業を繰り返した。最終的に、それぞれの発表のうち同一機関による同一研究を1件の要素技術としてカウントし、最新の成果に対してNASAの持つ技術評価基準TRL(Technology Readiness Level)を著者が判定した。

Table 1 生命維持システムのサブシステムと機能

サブシステム	機能
空気処理 Air	CO ₂ 還元、CO ₂ 分離、O ₂ 生成、O ₂ 分離、空調、空気組成調整、微量有害ガス処理
熱制御 Thermal	蓄熱、放熱、熱制御
水処理 Water	水処理、水質管理、ミネラル化
バイオマス生産 Biomass Production	食糧生産
固形廃棄物処理 Solid Waste	廃棄物安定化、減量化、資源回収
生物処理 Biological	O ₂ 再生、衛生、食糧生産、微生物管理

※ サブシステムの分類は他に、食糧供給、有人技術、システム技術、研究構想がある。サブシステムの英語表示はFig. 1~Fig. 3の凡例に対応する。

3. 調査結果

Fig. 1 に日本の要素技術別の累積発表件数を示す。空気処理サブシステムの発表件数は1980年代に大きな伸びを示し、宇宙ステーション計画が発表された後の民間企業等による研究が大きく貢献している。次にバイオマス生産サブシステムは、CELSS 研究会が発足した1989年以降に発表件数が伸び、IES や大学等による研究が大きく貢献している。生物処理サブシステムに関する発表には藻類培養によるO₂生産や循環式養殖システムの開発が大きく貢献している。熱制御サブシステムはほとんどがJEM 開発に関する発表である。また閉鎖型生態系実験施設(CEEF)の開発や運用により水処理サブシステム、固形廃棄物処理サブシステムに関連する発表が1990年代以降蓄積されている。

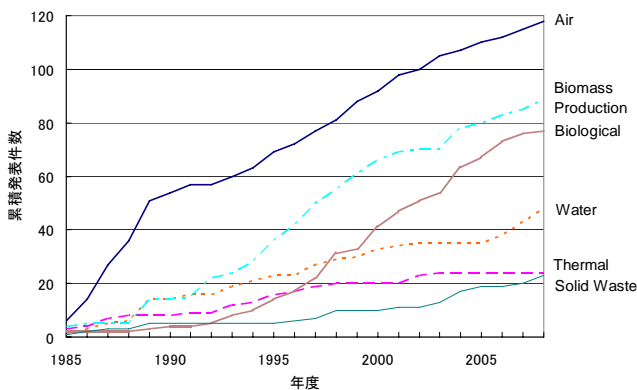


Fig. 1 日本の要素技術別の累積発表件数

Fig.2 に日本の要素技術のTRL 分布、Fig. 3 に米国の要素技術のTRL 分布を示す。Fig. 2 は著者が分析した結果であり、Fig. 3 は米国のエンジニアが調査した結果を著者がグラフ化したものである。そのため必ずしも同じ基準で作成しているわけではなく、要素技術数の日米での単純な比較は適当ではないので、ここでは分布の比較に留める。米国の場合、アポロ宇宙船、スカイラブ、スペースシャトル、ISS と有人宇宙システムでの実績があるためフライトレベルTRL 9の要素技術をすべてのサブシステムで複数有している。また、その背後に控える地上実験施設レベルでの空気処理、水処理に関する要素技術を多数有している。日本の場合、フライトレベルTRL 9の要素技術はJEM の開発で蓄積された空調、船内熱制御の要素技術のみであるが、CEEF の開発と運用で得た地上実験施設レベルTRL 6の要素技術を空気処理、水処理、食糧生産、固形廃棄物処理で複数有している。また、大学等による基礎研究レベル(TRL 1~3)

の要素技術を空気処理、食糧生産、生物処理で多数有している。

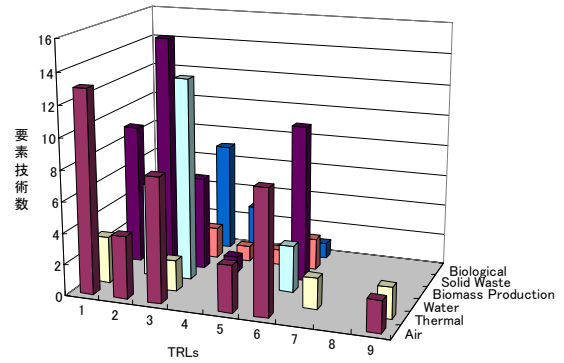


Fig. 2 日本の要素技術のTRL 分布

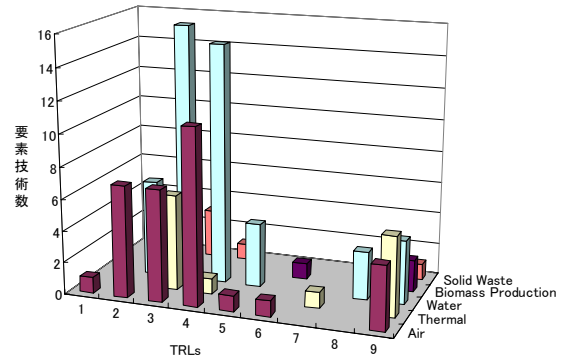


Fig. 3 米国の要素技術のTRL 分布

4. まとめ

日本の生命維持システム研究データベースを作成し、日本の有人宇宙活動における生命維持システム開発の議論のたたき台となる要素技術に関する資料を作成した。ここに挙げた要素技術は国内にあるすべての要素技術を網羅しているわけではなく、この研究はあくまで議論の端緒を意図したものである。実際には、この分野で世界に先駆けた競争力を持つためには、このデータベースに未だ入っていない日本に眠る将来の要素技術の種を発掘することが必要であろう。このような調査をTRL 0 (生命維持システムを意識して開発されていない要素技術) の発掘として今後継続していきたい。

参考文献

1. 狼嘉彰, 富田信之, 堀川康, 白木邦明, 宇宙ステーションと支援技術, コロナ社, 2004.
2. NASA, NASA's Exploration Systems Architecture Study, NASA TM-2005-214062, 2005.
3. Robyn L. Carrasquillo, et al., Life Support Requirements and Technology Challenges for NASA's Constellation Program, SAE Technical Paper Series 2008-01-2018, 2008.
4. 宇宙ステーション講演会講演集第1回-第19回, 日本航空宇宙学会, 1985-2008.
5. 宇宙科学技術連合講演会講演集第29回-第52回, 日本航空宇宙学会, 1985-2008.
6. CELSS 研究会/CELSS 学会/生態工学会年次大会講演集 1989年-2008年, CELSS 研究会/CELSS 学会/生態工学会, 1989-2008.