

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 —

宮嶋宏行 東京女学館大学

目的

- 有人宇宙システムの豊富な開発実績がある米国の研究や技術開発戦略を参考に、日本の生命維持システム技術についてまとめる。
 - 日本国内の学会で発表された研究発表について調査し、生命維持システムの要素技術の分析を行う。
 - 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。

研究の背景と動機

- 背景: ポストISSの有人宇宙活動。
 - 国際宇宙ステーション(ISS)の建設が2010年の完成を目指して進む。
 - 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。
 - 有人月探査に関するシステムスタディ。ESAS (Exploration Systems Architecture Study) が2005年に発表。
 - 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、月面拠点の検討結果が報告。
- 動機: 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同様の資料が必要。
 - 次期有人宇宙船の生命維持システム開発に関する国際会議での議論。
 - NASA契約企業からNASAへの生命維持システム技術調査報告書。
 - CELSS研究会から20年

日本の有人宇宙システム開発の歴史

- 有人宇宙システム開発
 - 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。
 - ISSの元になった宇宙ステーション計画は1982年にNASAで検討開始。
 - 1982年8月、日本では宇宙開発委員会の下に宇宙基地計画特別部会が設置。26年目に日本が自国の有人宇宙実験施設を持った。
- 学会での生命維持システム関連発表
 - 1985年から2003年まで宇宙ステーション講演会(日本航空宇宙学会)が開催。1994年からは有人宇宙飛行技術シンポジウムと合同。
 - 1985年以降、宇宙科学技術連合講演会(日本航空宇宙学会)に有人技術関連のセッションが継続的に設けられる。
 - 1989年5月にはCELSS研究会第1回学術講演会が開催され、2001年以降は生態工学会年次学術講演会として20年間続いている。

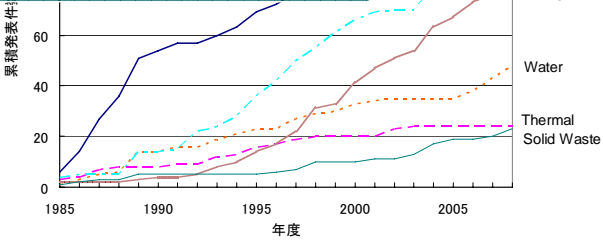
調査対象と調査方法、分類方法

- 調査対象
 - 当初、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、幅広く情報を集めるために学会発表を対象とした。
 - 宇宙ステーション講演会、宇宙科学技術連合講演会、生態工学会年次学術講演会で生命維持システムに関わる発表。26年間で600件弱の発表。
- 調査方法
 - 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。
- 分類方法
 - 統計解析、テキストマイニング、特許分析法による分類を検討したが、一分野あたりの件数が少ないことや、人による判断が必要であることから手作業による分類を採用。
 - 講演集をもとに、生命維持システムのサブシステム、機能、要素技術のタグをすべての発表に付ける。
 - 最終的に、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)を判定。

年次	セッション	タイトル	著者	所属機関
1985	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1986	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1987	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1988	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1989	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1990	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1991	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1992	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1993	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1994	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1995	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1996	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1997	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1998	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
1999	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2000	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2001	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2002	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2003	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2004	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2005	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2006	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2007	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2008	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2009	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2010	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学
2011	宇宙ステーション講演会	宇宙ステーションの生命維持システム	宮嶋宏行	東京女学館大学

日本のサブシステム別の累積発表件数

- 空気処理サブシステムは、宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。バリエーション豊富なサブシステムは、CEEFの研究会が発足した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。
- 熱制御サブシステムは、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。
- 水処理サブシステムはほとんどがJEMの開発に關係する発表。閉鎖型生態系実験施設(CEL1)の開発や運用により、バイオマス生産、空気処理、固形廃棄物処理サブシステムに關連する発表が1990年代以降急増。



サブシステムと機能

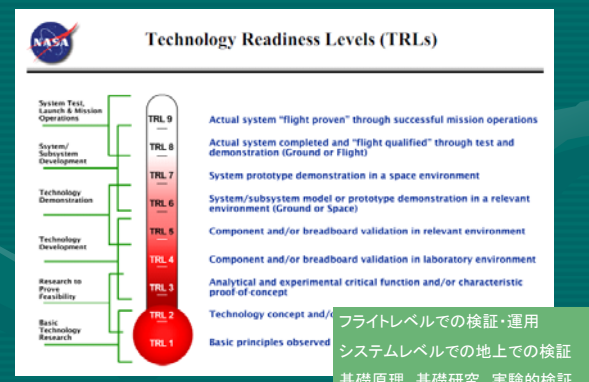
サブシステム	機能	要素技術数
空気処理 Air	CO ₂ 還元、CO ₂ 分離、O ₂ 生成、O ₂ 分離、空調、空気組成調整、微量有害ガス処理	38
熱制御 Thermal	蓄熱、放熱、熱制御	9
水処理 Water	水処理、水質管理、ミネラル化	23
バイオマス生産 Biomass Production	食糧生産	41
固形廃棄物処理 Solid Waste	廃棄物安定化、減量化、資源回収	11
生物処理 Biological	O ₂ 再生、衛生、食糧生産、微生物管理	17

他に、研究構想、システム検討、居住技術、食品技術がある。

要素技術(空気処理サブシステム)

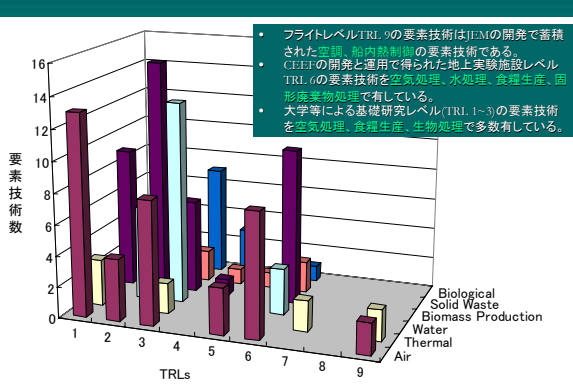
機能	要素技術	機関
CO ₂ 還元	サブサイエ、水電解	MHI
	サブサイエ、水電解	IES
	蒸餾装置	NAL
CO ₂ 分離	ポッシュ	KHI
	水電解、蓄熱加熱式	NASDA
	サブサイエ	JAXA
O ₂ 生成	固体アミン	住友重機械工業
	固体アミン	MHI
	膜分離	横浜国立大学
O ₂ 分離	固体アミン(真空加熱再生)	IES
	モレキュラーシブ	三菱電機
	マグネサイト	東工大
空気組成調整	固体アミン	NAL
	固体アミン(真空加熱再生)	KHI
	固体アミン(真空加熱再生方式)	NASDA
微量有害ガス処理	固体分子水電解	MHI
	固体分子水電解	NAL
	膜分離、圧カスイング吸着(PSA)	KHI
空調	圧力室	IES
	圧力室	MHI
	圧力室	NAL
熱制御	圧力室	KHI
	圧力室	IES
	圧力室	MHI
熱制御	圧力室	NAL
	圧力室	KHI
	圧力室	IES
熱制御	圧力室	MHI
	圧力室	NAL
	圧力室	KHI
熱制御	圧力室	IES
	圧力室	MHI
	圧力室	NAL

TRL (Technology Readiness Level)



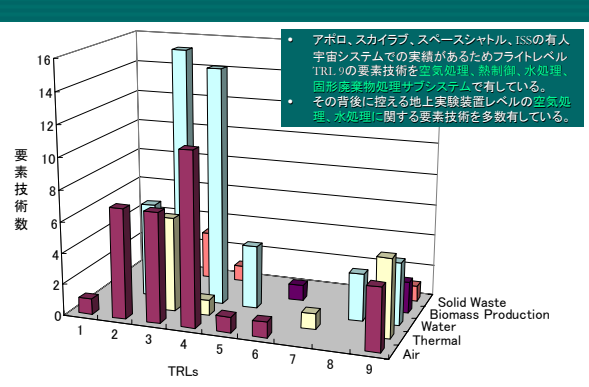
フライトレベルでの検証・運用
システムレベルでの地上での検証
基礎原理、基礎研究、実験的検証

日本の要素技術のTRL分布



- 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、熱制御の要素技術である。
- CEEFの開発と運用で得られ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、固形廃棄物処理で有している。
- 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。

米国の要素技術のTRL分布



- アポロ、スカイラブ、スペースシャトル、ISSの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の要素技術を空気処理、熱制御、水処理、固形廃棄物処理サブシステムで有している。
- その後控える地上実験装置レベルの空気処理、水処理に関する要素技術を多数有している。

M. Anderson調査、宮嶋グラフ作成

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、すべて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。
- 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。

文献収集への協力 日本大学石川研究室、JAXA本社図書館