

有人宇宙活動技術の研究

Technology Research for Supporting Manned Space Activity

宇宙先進技術研究グループ(Advanced Space Technology Research Group)

大西 充、小口美津夫、吉原 正一、桜井誠人、大森克徳、星野 健

Mitsuru Ohnishi, Mitsuo Oguchi, Shoichi Yoshihara, Masato Sakurai, Katsunori Ohmori and
Takeshi Hoshino

Abstract

The final goal of "Manned Space Activity" is for people to live in areas far from the earth without help from the earth. However its technology will be necessary when we can make a manned space base beyond Mars. Thus in our research, a few mile stones are made for near future technology, that is, SEPAL(Self-contained PARTially-circulated Life support system), Space Environment Utilization and SEFUL(Self-contained FULLy-circulated Life support system). In the research on SEPAL, physico-chemical process which is promising technology is beeing studied. In order to increase flight opportunities, a self-contained system is considered. In the research on Space Environment Utilization, studies of four subjects, which are candidates of Kibo utilization research theme, and promising ones are continued. As aims of these studies, not only scientific aspects but also understand of the interface conditions of manned space activities are included. In the research on SEFUL, as the utilization of plant product from biological system, conceptional estimation of a system to obtain animal protein is made.

1. はじめに

有人宇宙活動の究極の目標は、地球から遠く離れた所に人間を送り込み、そこで、地球からの援助を受けずに人間を生活させることである。これを実現するためには人間が排泄するものを完全にリサイクルして、種々の物を供給する生命維持システムの構築を必要であるが、大変複雑なシステムとなるため、直接に実現することは不可能で多くの研究蓄積が必要である。このため、「有人宇宙活動技術の研究」では、当該システム実現に必須となる要素技術に関して長年の研究実績があり、当該システムのサブシステムを構成する「エネルギー供給」、「空気再生」、「水分解」に関し多大な技術蓄積を有することも勘案して、この究極のシステムを実現するためのステップとして、下記を行っている。

- ・まず、二酸化炭素をリサイクルして酸素を得ることに研究テーマを集約
- ・また、特徴付けとしてエネルギーを自前供給する自立型部分循環生命維持システムを研究
- ・特に水分解、エネルギー供給、空気再生技術のサブシステムに重点
- ・ただし、食料生産まで含めた完全循環生命維持システムの研究も維持

この他、有人宇宙技術とのインターフェイス習得も加味したJEM利用技術の研究を行っている。ここでは、自立型部分循環生命維持システムの研究、JEM利用技術の研究、完全循環生命維持システムの研究を簡単に紹介する。なお、本来平成15年度成果のみを紹介するべきであるが、説明の都合上他年度の成果も年度を明示して示す。

2. 自立型部分循環生命維持システムの研究

自立型部分循環生命維持システムSEPALの概念図を Fig.1 に示す。このシステムは大きくエネルギー供給サブシステム、空気再生サブシステム、水分解サブシステムに分けることができる。この研究が目指すのは、現在の生命維持システムは List 1 に示す様に外部から食物と共に酸素あるいは酸素源を供給されているのに対し、空気を再生して食物だけの供給で生命維持が可能となるシステムの構築である。

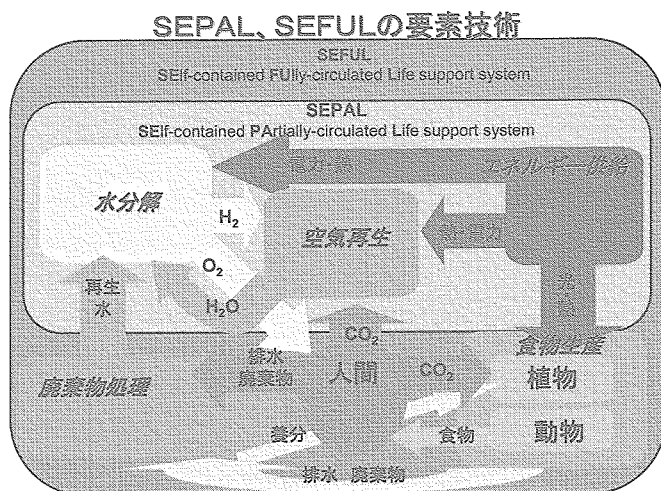


Fig.1 SEPAL and SEFUL

現在のシステム(スペースシャトル)

人(呼吸) : $2\text{CH}_2\text{O} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

CO_2 除去 : $2\text{CO}_2 + 2\text{LiOH} \rightarrow 2\text{LiHCO}_3$

TOTAL : $2\text{CH}_2\text{O} + 2\text{O}_2 + 2\text{LiOH} \rightarrow 2\text{LiHCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

現在のシステム(国際宇宙ステーション)

人(呼吸) : $2\text{CH}_2\text{O} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

水分解 : $4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{O}_2$

TOTAL : $2\text{CH}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$

部分循環システム

人(呼吸) : $2\text{CH}_2\text{O} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

水分解 : $4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{O}_2$

空気再生 : $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$

TOTAL : $2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$

List 1 Material flow comparison.



Fig.2 Free piston Stirling engine.

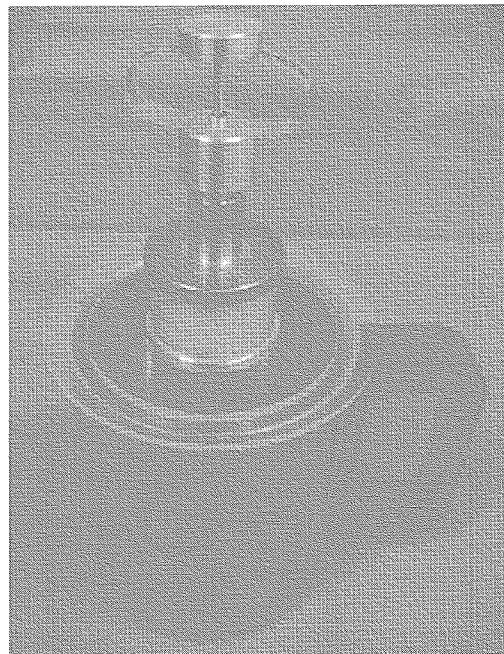


Fig.3 Model of free piston Stirling engine.

2.1 エネルギー供給サブシステム

太陽エネルギーを利用して、熱、光、電力などのエネルギーを他のサブシステムに供給する。これを全体システムに内在させることでシステムの自立化が可能となる。現在一般に用いられている宇宙用エネルギー源である太陽電池より高効率の発電装置として平成14年度に製作されたスターリングエンジンを Fig.2 に示す。このエンジンは、フリーピストン型では日本初の自立運転を達成し、平成15年度には200W級と小型であるにもかかわらず、効率19.5%を達成している。主な成果は、

・実験結果

－日本初自立運転(H14)

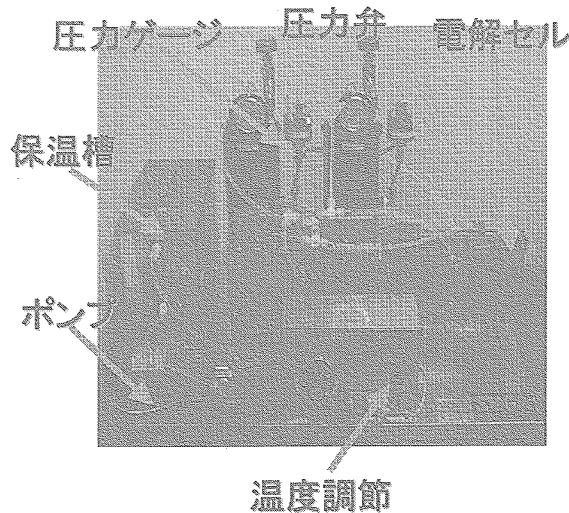


Fig.4 Water decomposition system for microgravity environment.

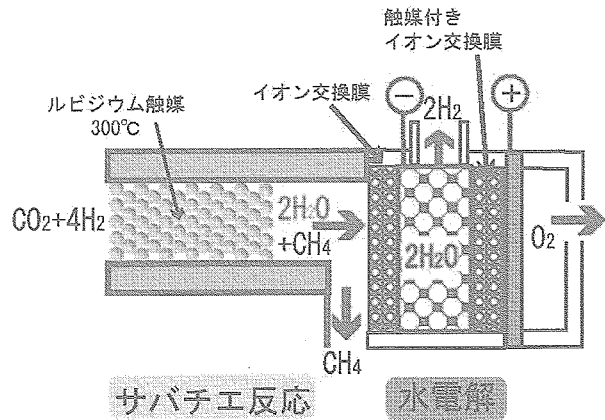


Fig.5 Combined system.

- 効率 19.5%、出力 170W
- ・ 特許出願
 - 「高出力フリーピストン型スターリングエンジン発電機」など2件
 - 「フリーピストンスターリングエンジン小型模型」(後述)
- ・ 受託研究等
 - 電機、家電メーカーと受託研究(H14)
 - 家電メーカーと共同研究

であり、受託研究等に関しては、他にも多くの引き合いを受けている。新しい試みとして Fig.3 に示すスターリングエンジンの模型を平成14年度末に設計、平成15年度までに100個弱製作した。平成15年度以降各種展示会等でデモを行い、好評を博しており、受託研究や共同研究の締結に活躍している。なお、この模型は平成15年度に特許出願および意匠登録出願「スターリングエンジン模型」がされている。

2.2 水分解サブシステム

平成13年度から研究(平成13年度採用萌芽的研究)に着手し、微小重力環境下の水分解について検討した結果、通常の水分解手法では微小気泡が発生し、気液分離が困難であることが想定された。このため、原理的に気液分離を要しない手法を検討し、平成14年度に下記の解決方法を見いだした。

- a) 水蒸気により水分を電極に供給する。スポンジ状金属を陰極に用い、水蒸気が陰極内部を透過する事を可能にした。
- b) 水蒸気は蒸気圧を利用し、イオン交換膜を通して液体から水蒸気へと相転移させ、高純度の水を用意する必要があるが無い。
- c) 液体状態の水と混在する事が無いので、気液分離装置を装備する必要があるが無い。

平成14年度から15年度にかけて Fig.4 に示す装置を試作し、平成15年度からは Fig.5 に示す空気再生サブシステムとの統合を図る研究(平成15年度採用萌芽的研究)に着手し、一部試作を行っている。その他の成果としては、平成15年度に「水電解装置」、「環境浄化循環型水電解装置」、「水蒸気電解装置」の3件の特許を取得している。また、「微小重力場等の極限環境における空気再生水電解装置の研究」のタイトルで第22回スガウエザリング技術振興財団技術功労賞を受賞している。

3. JEM利用技術の研究

第1回「きぼう」(船内実験室)利用一次選定テーマとして1993年に全国から選ばれた50テーマ(現在15テーマ)の一つ「マランゴニ対流の定常流からカオス流への遷移過程と流れの内部構造の観察」の準備を進めているとともに、競争的研究資金や他部門支援により下記3件の研究を進めている。従来からの学術的な観点の他「有人宇宙活動」のインターフェイス条件の習得も目指している。

3.1 臨界点近傍流体の研究

平成13年度より、三菱総合研究所からの受託研究として開始、平成15年下期からは宇宙基幹システム本部からの社内発注として、宇宙科学研究本部とともに研究を実施している。平成14年度には臨界点近傍流体特有の新しい伝熱現象であるピストン効果の直接観察に世界で初めて成功した。報告書は別途。

3.2 表面・界面制御に関する研究

平成14年度から科学研究費を用いて行っている。平成16年度が最終年度。微小重力場においては、濡れ性、表面張力の効果が支配的に現れる。流体现象はそのスケールが小さくなるにしたがい、それらの力が支配的となることから、微小重力場と微小スケールの相似性に着目し、能動的に濡れ性および表面張力をコントロールすることにより液体を自在に制御することを試行した。

Fig.6 に示すようにフロリナートの液層の上にシリコンオイル滴を乗せると自発的に流れが発生する事を新たに発見した。この流れは容器を密封すると停止したことから蒸発に起因していると考えられる。シリコンオイルの液滴の厚さは1mm程度と考えられる。Fig.7 の速度分布からわかるようにこの駆動力は気相と二種の液層の交わる三重接線で生み出されるようである。本駆動力を応用して回転力を生み出す装置を試作した。この羽根車は濡れ性分布を施してあり、フロリナートに浮かべ、Fig.8 に示すように羽の一方にのみ注射器を用いて赤く着色したシリコン液滴を付着させると、羽根車は自発的に回転を始めた。本研究で開発した流体のハンドリングは機械的な構造を持たずに流体を扱えるため微小化が容易である。今後メカニズム解明に挑むと共に直線運動を取り出すことを可能にし、微小重力場における流体ハンドリング、微小スケールで有効に働く駆動力として発展させてゆきたい。

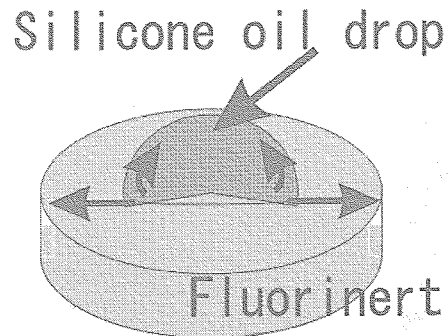


Fig.6 Schematic view of capillary flow.

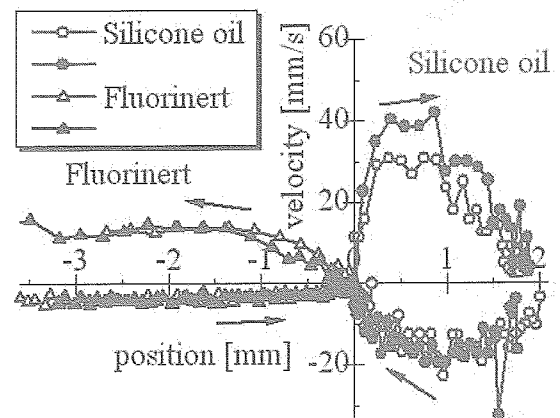


Fig.7 Velocity distribution.

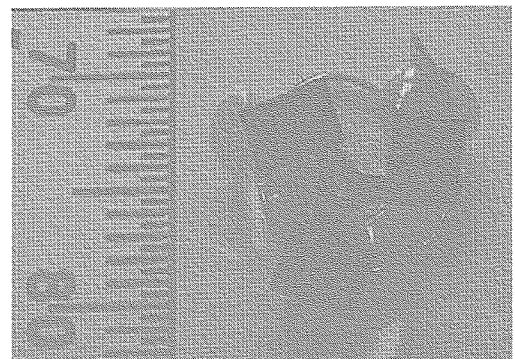


Fig.8 Impeller driven by capillary flow.

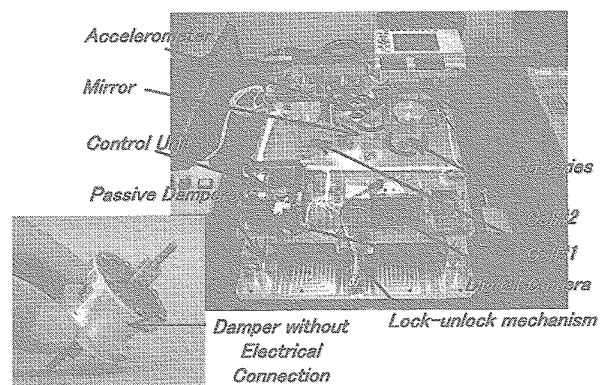


Fig.9 Old model.

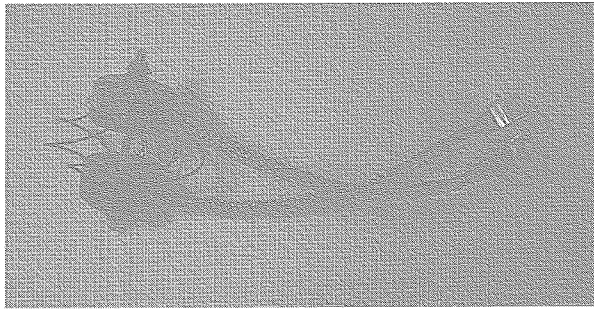


Fig.10 New Damper

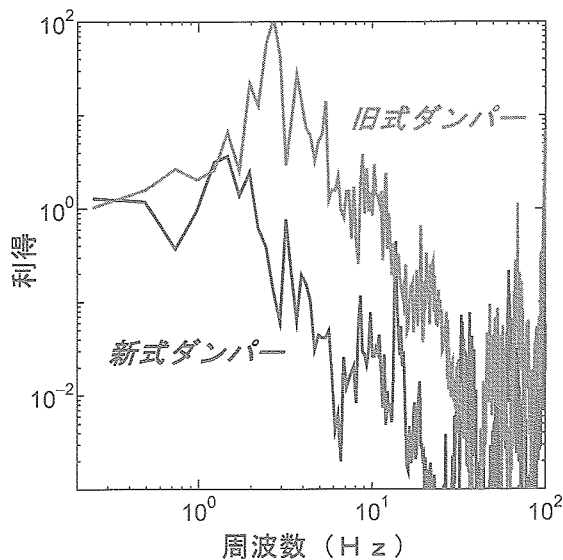


Fig.11 Comparison of gains.

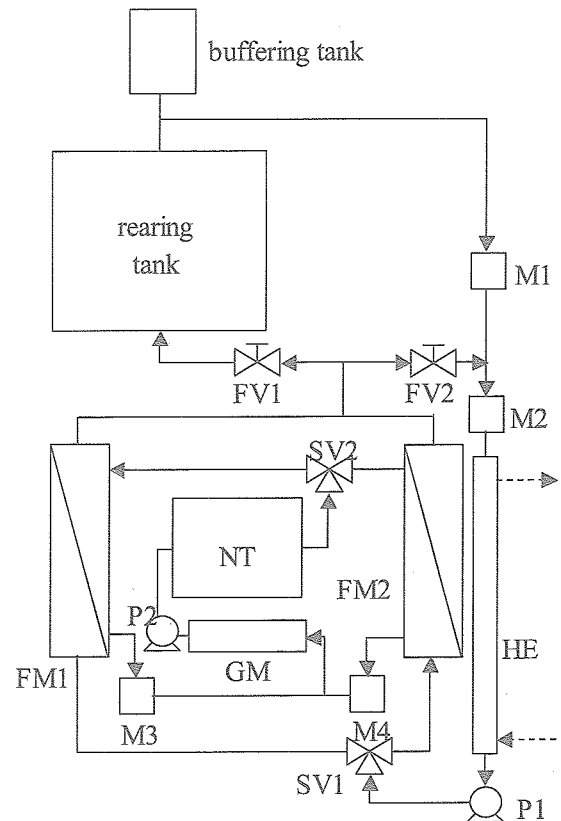


Fig.12 Flow diagram of zooplankton culture device.

3.3 受動制振機能付き自律・自立型汎用宇宙実験支援装置の開発

平成14年度採用の日本宇宙フォーラム公募研究として開始、平成15年度が最終年度。平成13年度以前に行った研究の成果として、スペースシャトルでは拡散現象にg-ジッターが影響する可能性があることが示された。このためg-ジッター影響検証実験を行うための制振機能付き実験装置(Fig.9)を公募研究およびJSUP殿の協力のもと平成13年度までに製作し、航空機実験による機能確認も行った。これを受けて平成14年度からの本研究では、計測制御能力や電力供給能力を自前で持つ実験装置(Fig.9)の軽量性、自律性及び自立性をさらに向上させる省リソース化改造を行い、多様な宇宙実験機会により適合させ、宇宙実験実現を目指した。また、実験テーマに限定されない汎用的な制振装置付き実験支援装置として研究者に供給できることも念頭に置いた改造を行った。実験装置製作としては、旧ダンパーでは、上下ベースプレートに絶縁する必要があったため、汎用性を著しく阻害し、制振性能の設定も困難であったことを考慮し、導電性と制振性を両立させる被覆電線を用いた新ダンパー(Fig.10)を製作した。性能検証のための航空機実験を行い、減衰性が強化され、共振周波数も低下するなど制振性に関しても旧ダンパーがらの格段の性能向上(Fig.11)を得た。軽量化のため、宇宙開発事業団(当時)殿より人工衛星用構体素材ロハセルの供給を受け、複合材化したベースプレートを製作し、3kgの減量に成功した。

4. 完全循環生命維持システムの研究

4.1 閉鎖式動物プランクトン培養装置

平成13年度より科学研究費補助金「閉鎖生態系循環式水棲生物飼育システムの構築」の一部として、

動物プランクトン培養装置の開発を分担している。平成14年度から15年度にかけて Fig.12 の装置を製作し、性能試験を行った。気泡除去に問題はあるものの、課題となっていた連続運転時間の延長に成功し、これにより2週間以上にわたる動物プランクトンの無換水培養が可能となった。

4.2 スクミリンゴガイによる有機廃棄物処理

平成14年度より(財)環境科学技術研究所との共同研究においてスクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* による有機廃棄物処理について研究を進め、これまでにダイズ、イネ非可食部を貝の餌とすることで食糧に変換できることを示した。本年度はさらにヤギ糞の処理について実験を行ったが、貝の餌としては嗜好性が悪く、加工処理を施さない限り、スクミリンゴガイによる処理は困難という結論を得た。

5. 終わりに

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。特に自立型部分循環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マイクロラプサットやHTV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。