

IIII 宇宙惑星居住科学連合の目指すもの IIIII
(解説)

宇宙惑星居住科学連合と生態工学会

木部 勢至朗

Introduction of the Society of Eco-Engineering

Seishiro KIBE

Abstract

On the occasion of launching the Science Union of Human Planetary Habitation on Space, this document is intended to introduce related activities and possible contributions of the Society of Eco-Engineering. Having started its activity as a small research group on the Closed Ecological Life Support System (CELSS), the life support in space has been one of the main research topics in the society. Recently the society published "Handbook on CELSS and Eco-Engineering" to commemorate its 30th anniversary, which covers the space life support related issues as well as other important Eco-Engineering ones. In addition, it is going to organize several in-house groups on specific topics such as Life Support Technology in Space, Aquaponics, Biomass Utilization, etc. and some of which are expected to work as a counter part for close communication and collaboration with the union.

Keyword(s): ECLSS, CELSS, Eco-Engineering

Received 30 January 2017, Accepted 14 February 2017, Published 30 April 2017

1. はじめに

宇宙惑星居住科学連合の発足に当たり、参加学会の一つである生態工学会の生い立ちと、関連活動を紹介します。当学会は、1988年閉鎖生態系生命維持システムを検討するための研究者グループ「CELSS研究会」として発足した。初代会長は故近藤次郎先生であった。1993年、「CELSS学会」として正式に学術会議に登録され、所謂「学会」としての体制を整え、更に2001年には研究対象を一般生態系へ拡張することを企図して、「生態工学会」と改称し現在に至っている。

このような出自からいって、当学会は「閉鎖生態系生命維持技術」、「宇宙生命維持技術」を主要な研究対象として包含しており、今回発足の運びとなった宇宙惑星居住科学連合の目指す所と軌を一にしている。以下、30年に亘る当学会の関連活動の紹介と、今後の活動の展望を述べることとする。

2. BIOS-3, Biosphere-2, CEEF の成果

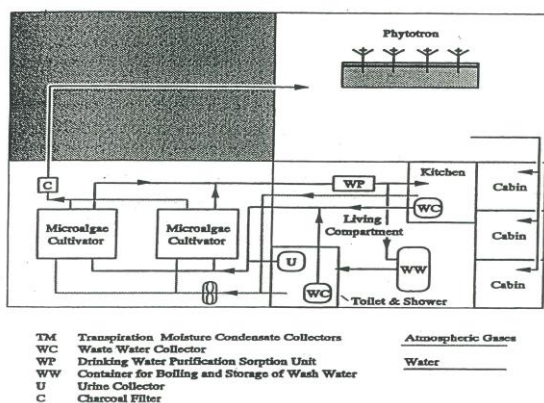
宇宙空間或いは惑星上にある程度以上の規模と期間で滞在させるためには、食糧生産を含む「閉鎖生態系生命維持技術」が必須であることは論を待たない。生活空間内の

物質循環を十分なレベル実現するためには、極めて複雑で大規模なシステムとならざるを得ず、解決すべき技術課題が山積している。しかしながら、幸運なことに我々は過去に於いて実施されたこの様な閉鎖系居住に関する先駆的実験成果を有している。そこで用いられた技術、取得されたデータは、今後我々が研究を進める上で極めて貴重な指標となるであろう。各々その目的は異なるものの、複数人の被験者を物質的に隔離された環境の中で長期間生存させることに成功している。全てが上手くいったとは言い難い側面もあるが、そこで得られた成果とレッスンズラーンドは、今後宇宙惑星居住科学連合が活動を進めていく上で大きなアセットであると考えられる。以下その概要を示す。

2.1 BIOS-3

1960年から80年代にかけて、ロシアのクラスノヤルスクで、閉鎖実験施設 (Biological Life Support System-3) を使った閉鎖実験が盛んに実施された。高等植物栽培システム (Phytotron)、クロレラ培養区、居住区を備え、動物性蛋白質を除く食糧の80%の自給を達成した。施設内に3人の被験者を含む系として、4~6か月間の閉鎖実験を行っている。酸素及び水は系内で100%の再生利用を実現している (Fig. 1).

宇宙航空研究開発機構, 研究開発部門, 〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1
R&D Directorate, JAXA, 7-44-1 Jindaiji-higashicho, Chofu, Tokyo 182-8522, Japan.
(E-mail: kibe.seishiro@jaxa.jp)



第9図 BIOS-3⁹⁾

Fig.1 BIOS-3



Fig.2 Biosphere-2



Fig.3 CEEF.

2.2 Biosphere-2

新しい自律型農業(生存)の在り方を追求することを主要な目的として、1990年代初頭に米国アリゾナ州ツーソンに建設された巨大温室とでもいふべき閉鎖実験施設。総面積1万3000平米の施設内には、サバンナ、砂漠、熱帯雨林、海等からなる自然区画、食糧自給のための農業区画、居住区画を備え、約4000種の生物種、150種の農作物が導入された。1991年9月から1993年9月まで、8人の被験者を含む閉鎖実験を実施した。途中、日照不足による光合成機能の低下、予想を超えたバクテリアの活動による酸素消費、壁面コンクリート材による二酸化炭素の吸収等により、酸素濃度が極端に低下したため、閉鎖500日弱の段階で純酸素の補給を実施したものの、最終的に2年間の閉鎖実験を完了した (Fig. 2)。

2.3 CEEF (Closed Ecology Experiment Facility)

自然界における放射性核種の循環を研究することを目的として、青森県六ヶ所村の環境科学技術研究所に建設された閉鎖系実験施設。閉鎖系植物実験施設、閉鎖系動物飼育・居住実験施設、閉鎖系陸・水圏実験施設から構成され、各々物理化学的手法を駆使した物質循環システムを備える。2005年から閉鎖実験を開始し、被験者(エコノート)2名に

よる最長4週間の閉鎖実験に成功している。食糧の自給率は95%と高く、系内の収穫物をを用いた食糧のプロセッシングも行われた。CELSS研究会の時代から、生態工学会は本施設の実現に深く関わり、技術検討委員会委員の派遣、施設を用いた実験提案・実施等の協力を行ってきた。

CEEFにおける2007年の閉鎖実験を最後に、この種の閉鎖系実験は行われておらず、以降研究の進展が見られないのは極めて残念なことと言わざるを得ない。宇宙惑星居住の実現を目指し、これまでの経験を生かした新たな実験施設の建設とそれを用いた研究の強力な推進が望まれている (Fig. 3)。

3. 宇宙生命維持技術の現状と展望

3.1 ECLSSの現状

Figure 4 に人間の生存にかかわる基本的な物質収支を示す。必要な物質を供給し、不要な物質を除去すると共に、宇宙船内を生存可能な状態に維持するシステムを総称してECLSS (Environment Control Life Support System) と呼ぶが、その果たすべき機能としては以下のものが挙げられる。

- ・空気処理機能
- ・水処理機能
- ・熱制御機能

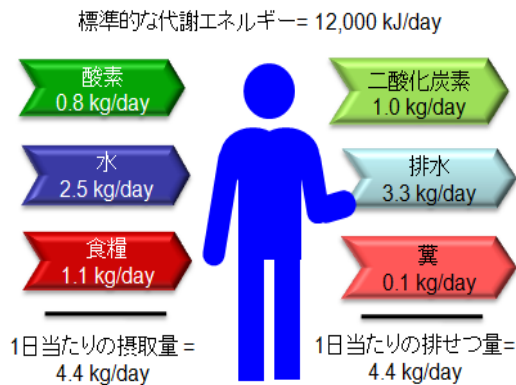


Fig.4 Material input and output of a human.

- ・廃棄物・固形排泄物処理機能
- ・食糧供給機能

現在の宇宙ステーションでは、一部水・ガス等で循環再生が行われてはいるものの、食糧を含めかなりの部分の物資は地上からの補給に頼っているのが現状である。紙面の都合上各技術の解説は割愛するが、詳細は後述「閉鎖生態系・生態工学ハンドブック」第1章を参照されたい。

3.2 ECLSS 技術の展望

地上からの物質供給に大きく依存している現在の生命維持システムは、有人宇宙開発の次のステップ、即ち定期的月面滞在（月面基地）、有人火星探査、定期的火星面滞在（火星基地）等を考えただけでも、大幅な改善・改良が必要となる。原理的に現用のものを使用するとしても、装置自体の再生型化、物質再生効率・エネルギー効率の向上は必須であろう。更には微細藻類に代表される生物要素（Bio-regenerative Life Support System）の導入も検討しなければならないであろうし、ある程度の補助的食糧供給源としての可能性も見逃せないであろう。現在組上になっている近未来の計画に於いては、本格的な食糧生産は閉鎖的物質循環のスキームというよりは、むしろクルーの栄養学的・嗜好的観点からの導入が次のステップとしては現実的であると個人的には考えているがどうであろうか。徐々に物質的閉鎖レベルを上げつつ／地上からの物質供給量を削減しつつ、最終的にはスペースコロニー、火星テラフォーミングをも視野に入れて、長期宇宙居住のための生命維持技術を確立していくことが重要であると考えられる。

4. 生態工学会の最近の活動

4.1 生態工学ハンドブックの上梓

CELSS 研究会発足から 30 年が経過しようとしており、その記念事業の一つとして「閉鎖生態系・生態工学ハンド

Table 1 Contents of the Handbook

第 1 章 宇宙と閉鎖生態系・生態工学
1-1 有人宇宙活動の将来展望
1-2 生命維持システムの現状
1-3 宇宙服技術
1-4 宇宙居住と物質循環
1-5 閉鎖生態系実験施設を用いた閉鎖居住実験
1-6 宇宙食と食物栄養
1-7 宇宙での食糧生産
1-8 宇宙養殖
1-9 宇宙での植物栽培における植物体の熱・ガス交換
1-10 生物に対する放射線の影響
1-11 宇宙飛行士と放射線
第 2 章 陸域環境と生態工学
第 3 章 水圏環境・養殖と生態工学
第 4 章 農業と生態工学
第 5 章 エネルギー・物質生産と生態工学
第 6 章 センシングと生態工学
第 7 章 光と生物

ブック」²⁾ が 2015 年に上梓された。Table 1 に示されている目次から分かるように、宇宙から農業、水産、エネルギー、センシング、照明と極めて広範な生態工学に関連する事項が網羅されている。特に第 1 章宇宙と閉鎖生態系・生態工学の章では、現在構想されている有人宇宙計画を展望し、所謂 ECLSS と言われる環境維持・生命維持技術の現状を詳述すると共に、宇宙での食糧生産を目指した植物栽培、魚類の養殖について技術現状と問題点が詳述されている。学生の教育用に、また専門外の分野の知見の涵養に手元に置いて参照頂きたいと考えている。

4.2 学会内部部門委員会の発足

「CELSS 研究会」として単一トピックに特化した研究集団としてスタートした当学会が、その研究対象を拡大するために「生態工学会」へと展開を図っているということは冒頭述べた。その効果もあって、極めて多彩なバックグラウンドを有する会員の参加を得ることで来ていると自負している。しかし一方で、あまりの多様性の故に活動の焦点が散漫になってきている感があることも否めない事実である。そこで、2 年前筆者が生態工学会長に就任した際に、いくつかの特定トピックスのための部門委員会の設置を会員に呼びかけ、現在

- 長期有人宇宙開発シナリオ調査と宇宙生命維持技術研究シナリオの作成
- CELSS 関連
- アクアポニックス
- 機能性野菜
- 食育
- 環境教育
- その他

の部門委員会の進め方等について活発な議論が行われている。このうち 1, 2 のトピックスは、宇宙惑星居住科学連合の目指す所と軌を一にしており、相互の協力活動が大いに期待されるものである。具体的には

- 現在俎上に上っている有人宇宙開発シナリオ・構想の検討
- 宇宙生命維持技術現状及び将来動向の調査検
- CEEF 等の先駆的研究の評価と研究課題の抽出
- 有人宇宙活動の拡大ステップに沿った最適な生命維持システムの提案
- 保存宇宙食と食糧生産システムの導入
- 研究シナリオの策定、外部資金の獲得の可能性

などのトピックスを継続的に検討・議論するための定常的プラットフォームの提供を目指している。生態工学会の枠組みを超えて、宇宙惑星居住科学連合関連学会からの積極的参加を期待している。

5. むすび

宇宙惑星居住科学連合の発足に際し、生態工学会のこれまでの関連活動及び今後の目標について紹介した。宇宙生命

維持技術の進展を考えると、物理化学的な生命維持装置の高効率・高信頼性化のための技術研究の推進は勿論のこと、今後大いに期待される Bio-regenerative な生命維持システム実現のためには、生物の代謝・成長に関する科学的知見の蓄積が必須となるであろう。また全ての関連機器に対して、宇宙で使用することを前提と微小或いは低重力対応技術は不可欠のものとなる。更に、クルーの健康維持の観点から栄養学、放射線の影響に関する検討も重要な研究対象であると考えられる。

この様な多種多様な学際的科学技術の背景を要する宇宙生命維持技術研究が、今回発足した宇宙惑星居住科学連合の強力なリーダーシップの元、着実かつ組織的に推進され、有人宇宙開発の各段階において必要となる技術を適時に提供できるようになっていくことを期待している。

参考文献

- 1) 新田 慶治, 木部 勢至朗:「宇宙で生きる」, テクノライフ選書, オーム社, 1994.
- 2) 大政 謙次, 竹内 俊郎, 木部 勢至朗, 北宅 善昭, 船田 良監修:「閉鎖生態系・生態工学ハンドブック」, 丸善, 2015.