

## 6.6 日本の ECLSS 研究開発の原点

桜井 誠人

宇宙航空研究開発機構 研究領域主幹



環境研 30 周年おめでとうございます。宇宙船内の空気再生や水再生などを対象とする生命維持技術（ECLSS: Environmental Control Life Support System）の研究は航空宇宙技術研究所 NAL: National Aerospace Laboratory（現：JAXA 調布航空宇宙センター）より始まりました。NAL に在職していた新田慶治先生が月面に地球と同じような生活空間を創造するべく食糧生産を含めた自立型 ECLSS の研究を開始したのです。

閉鎖型生態系実験施設（CEEF: Closed Ecology Experiment Facilities）の研究は宇宙拠点における環境制御生命維持技術の一環として始めていたので、現在 JAXA で取り組んでいる空気再生装置も二酸化炭素分離濃縮→二酸化炭素還元（サバチエ反応）→酸素製造（水電解）の手順で行っており、環境研の手段に追随しています。現在宇宙技術の成熟度は ISS（国際宇宙ステーション）実証の直前まで来ており、ISS の次の世代の月周回宇宙ステーション Gateway では日本は CO<sub>2</sub> 除去と微量有害ガス除去装置を担当する計画です。これらの技術の源流は環境研の技術と繋がっています。最初に六ヶ所村の CEEF を訪れたのは 2002 年頃であり、まず施設全体の大きさに驚きました。物質循環を達成しながら生命維持を行うということはここまで大規模な施設が必要になるのかと、本当に宇宙へ持っていけるのかと心配になりました。植物の非可食部などの廃棄物の処理に関して、湿式酸化装置を有人施設の中で実証したことは世界の先駆けであり、NASA Ames Research Center の職員（物理学者）John A. Hogan 博士が 2007 年 11 月 8～30 日に環境研に外来研究員として留学されたことから分かるように海外から大変高い評価を得ています。

CEEF の技術は狭い宇宙船の中でも植物栽培できるようイネの栽培などは週毎に定植・収穫するシーケンス栽培を取り入れ、各装置間のバッファタンクを極力なくするようにする設計思想でした。

2005 年より行った閉鎖実験の中で、人間一人当たりに必要な耕作面積を 65m<sup>2</sup> であることを実験的に実証したことは、今後の恒久的宇宙居住拠点の基礎設計データとして特筆に値すると思います。さらに、物理化学的空気再生では、サバチエ反応の次のメタン分解のプロセス、および湿式酸化による廃棄物処理を有人システムとして世界に先駆け実証しています。有人規模で実証しているので故障や不具合のデータも非常に参考になります。エコノートの労力のみではイネの刈り取り、乾燥、脱穀などの時間を得ることができず、CEEF 内で栽培したイネの鉢植えを外に出し、複数の外部の職員の手により食べることができる形とし、非可食部は裁断した形で食糧生産を行わざるを得なかったことは、今後作業のロボット化・自動化技術の導入が非常に重要であることを示唆しています。

CEEF 建設に伴い環境研が NASA、ロシア、ESA、カナダからの参加者の国際検討委員会を

主催し、これらのメンバーを含む国際先端生命維持ワーキンググループ (IALSWG) 編成などを主体的に進めていただいたおかげで、2005 年頃から JAXA メンバーがこの WG への参加を引き継がせていただきました。この WG は時には中国のメンバーも参加して、ロシアのクラスノヤルスク BIOS-III など世界各地の中々見聞できない ECLSS 施設を持ち回りで見学できたので、世界の宇宙居住に関する研究施設のイメージを身に付けることができました。現在の JAXA の ECLSS 技術の基盤を形作るうえで、この見聞が大変重要な知的財産となっています。環境研の方々には ICES (International Conference on Environmental Systems) という学会もご紹介いただき 2005 年より連続して参加させていただいています。ICES は数少ない ECLSS に関する国際学会であり実験現場の方から NASA ヘッドクォーターの方まで自由にディスカッションできるので ECLSS の情報収集、意見交換のために大いに役に立っています。現在では Moon Village Association: MV という団体が月面社会の構築に関する議論を行っています。私が MV の国際会議で発表した時にも海外の参加者は六ヶ所村の施設は月面基地建設のために素晴らしい実験をしてきたと賞賛をしていました。

CELSS (Closed Ecological Life Support System 閉鎖生態系生命維持システム) という概念は、ロシアのギッテルソン氏が提唱しました。宇宙居住を目指す閉鎖生態系の実証施設は主にロシアの BIOS-III、アメリカ BIO-Plex その他、スペイン MELISSA、日本 CEEF などであり環境研の CEEF は世界のトップレベルの施設と肩を並べて研究を進めていました。

本原稿を執筆しているとき新田慶治先生の訃報に触れました。2022 年 6 月に多胡さんと一緒に青砥の御自宅近くに伺いお話をお聞きしたことがお目にかかれる最後になりました。

毎年もしくは数年に一度、ECLSS に興味を持った新しい研究者を六ヶ所村に連れて行きました。エコノートの方々からは閉鎖居住実験中のリアルな話を伺うことができ、CEEF の巨大な施設に刺激を受けた研究者は次世代の宇宙居住科学を牽引しています。自立型 ECLSS を実機サイズで示していただいたことは将来の有人宇宙ミッションのイメージに直感的に響きます。宇宙居住のイメージの輪郭をはっきりつかめたと思います。エコノートの方々とは今でも研究所、学会、科学館などでお会いし宇宙居住に関する思いを共有しています。

CEEF を訪問する度に、やはり六ヶ所村は遠隔地であると感じました。それゆえそこを訪れることは神社仏閣への参拝や、巡礼するような境地になります。宇宙居住を目指すものにとって環境研は単に先進的な技術フィールドに留まらない精神的な支柱の存在感があります。新田先生の精神を残して、環境研が今後とも日本の ECLSS の聖地として存在して行っていたきたいと思います。