

CEEFの物質循環系の設計と運用にシミュレーションの果たした役割

宮嶋宏行 東京女学館大学
石川芳男 日本大学

2008生態工学会年次大会
東京大学弥生講堂, 6月19日-6月20日, 2008

目次

- ▶ はじめに
- ▶ 生命維持システムのシミュレーション
- ▶ CEEFの物質循環系の設計とシミュレーション
- ▶ CEEFの物質循環系の運用とシミュレーション
- ▶ 生命維持システムの設計
- ▶ まとめ

はじめに (1/2)

- ▶ 閉鎖型生態系実験施設(CEEF)は、核燃料再処理施設から気体として放出される放射性炭素(C-14)の循環と蓄積を調査するために建設された。
- ▶ 月や火星で使われる先端生命維持システム(ALSS)の設計データを得るためのテストベッドとしても利用可能である。
- ▶ ALSSのテストベッド施設の建設は世界でもあまり例がなく、ロシアや米国に数例あるのみである。
- ▶ 有人宇宙活動の長い歴史を持つ米国でさえ新しい生命維持システムの設計は、20~30年に一度というのが実情である。
- ▶ 生命維持システムの設計と運用のノウハウを蓄積しておくことは非常に重要なことである。

はじめに (2/2)

- ▶ 生命維持システムを環境制御生命維持システム(ECLSS)と閉鎖生態系生命維持システム(CELSS)の2つに区別してシミュレーションについて議論する。
 - ECLSS...居住環境の維持を目的とし、必ずしも物質の再生利用を伴わない。
 - CELSS...物質を再生利用する閉鎖システム。
 - ▶ 現在では、CELSSという用語は、必ずしも閉鎖性を求めないALSSに置き換わっている。
- ▶ ECLSSの設計という点では、過去50年間の有人宇宙活動の蓄積があり、その設計法は文献1)などにまとめられている。
- ▶ CEEFのようなCELSSの設計になるとその設計法が十分に体系化されているとは言いがたく、CEEFの設計や運用そのものが、CELSSの設計を考える上で重要な意味を持つ。

参考文献

1. P. O. Wieland, Designing for Human Presence in Space, : An Introduction to Environmental Control and Life Support Systems, NASA RP-1324, 1994.

CEEFに関する文献や我々が過去に発表した論文を基に、CEEFの物質循環系の設計と運用にシミュレーションの果たした役割についてまとめる。

生命維持システムのシミュレーション

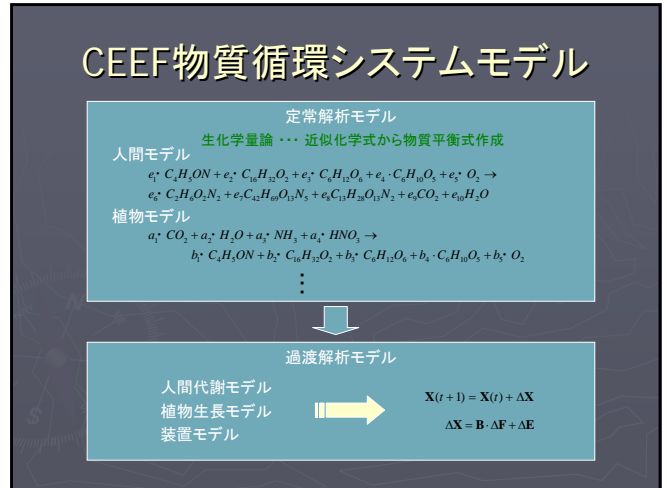
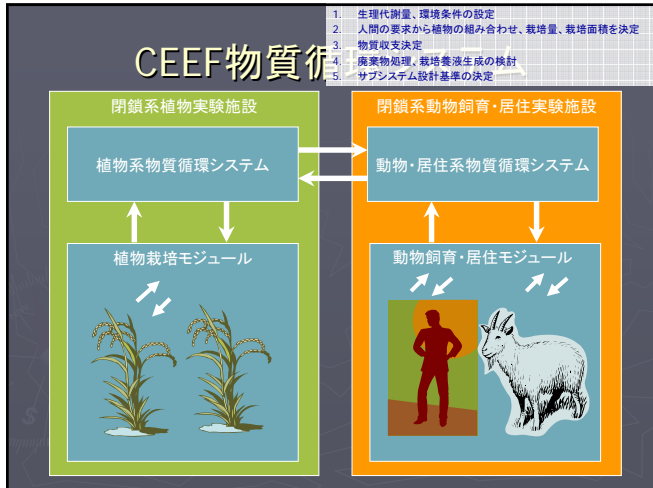
	ECLSS	CELSS/ALSS
トレードオフスタディ	フリーダム(現国際宇宙ステーション) ESAP, 宇宙探査構想LISSA	等価システム質量 ESM Spreadsheet... Excelで計算
システムモデル定常解析	流体(CO ₂ , O ₂ など)のマスバランスの解析 非再生型の計算を扱う	Averner元素単位でのモデル化 Tyler Volk and John D. Rummel 生化学量論・化学式単位でのモデル化 光合成や有機廃棄物の再生を含む計算ができる... Excelで計算
システムモデル過渡解析	熱・流体の解析 SINDA'85/FLUINT, G189A, CASE/A, Aspen	ECOSIM, BioSim, Matlab/Simlink, WITNESS
実用/実験施設	スペースシャトル, 国際宇宙ステーション	BIOS3, Lunar-Mars Life Support Test Project (LMLSTP), BIO-Plex, CEEF

CEEFの設計手順

- ▶ 生理代謝量、環境条件の設定
- ▶ 人間の要求から植物の組み合わせ、栽培量、栽培面積を決定
- ▶ 物質収支決定
- ▶ 廃棄物処理、栽培液生成の検討
- ▶ サブシステム設計基準の決定

参考文献

1. 新田慶治 CELSSのシステム構築上の諸問題, CELSS研究会誌 Vol.4 No.1, 1991
2. K. Nitta, Material Flow Estimation in CELSS, Acta Astronautica Vol. 27. pp. 205-210, 1992
3. 新田慶治, 芦田章, 閉鎖生態系実験施設(CEEF)の建設, CELSS学会1995年度年次学術講演会講演集, pp. 97-99, 1995



CEEFの物質循環系の設計とシミュレーション 定常解析

- ▶ 物質収支の計算では生化学量論が用いられ、マージン2割でサブシステムが設計された2)。
- ▶ この設計過程では、植物の栽培データ、非可食部の成分データの不足が指摘され2, 3)、その後の実験でこれらのデータが取得された。
- ▶ データの取得により生化学量論を基にした定常解析モデルの精度が向上した。

参考文献

1. K. Nitta, Material Flow Estimation in CELSS, Acta Astronautica Vol. 27. pp. 205-210, 1992.
2. 新田慶治, 芦田章, 閉鎖生態系実験施設(CEEF)の建設, CELSS学会1995年度年次学術講演会講演集, pp. 97-99, 1995.
3. 芦田章, 多胡靖宏, 新田慶治, 可食部・非可食部有機物元素分析による閉鎖系物質循環設計, CELSS学会1995年度年次学術講演会講演集, pp. 117-119, 1995.

CEEFの物質循環系の運用とシミュレーション 過渡解析

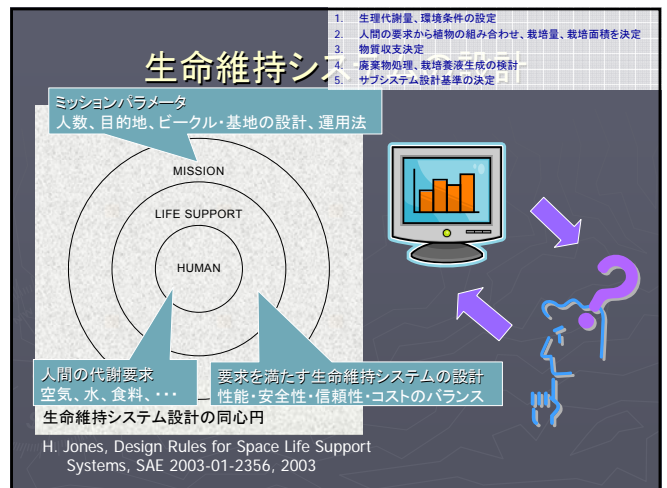
- ▶ 設計条件をもとに所要の性能が発揮できるかどうかを検討した。
- ▶ 安定した閉鎖運用を始めるために必要な各タンクの初期物質質量、安定した閉鎖運用を始めるための条件、および閉鎖運用が可能となる時期をそれぞれ解析した。
- ▶ 開放系で運用されているCEEFの情報を基に、実際の実験では結合されていない装置を結合した閉鎖系での運用について解析を行った。
- ▶ 人間の代謝、植物の光合成に関するデータが取得され、実データを用いた過渡解析モデルが作成された。

参考文献

1. H. Miyajima, Y. Ishikawa, A. Ashida and K. Nitta, Development of Simulation Model and its Application to an Integration Test Project of CEEF, SAE 2000-01-2334, 2000
2. H. Miyajima, K. Abe, Y. Ishikawa, A. Ashida and K. Nitta, Simulation to Support an Integration Test Project of CEEF, SAE 2001-01-2130, 2001
3. H. Miyajima, Y. Ishikawa, R. Arai, Y. Tako, K. Nitta, Considerations of Material Circulation in CEEF Based on the Recent Operation Strategy, SAE Technical Paper Series 2003-01-2453, 2003

CEEFの物質循環系の設計と運用におけるシミュレーションの可能性

- ▶ 実験条件が確立しておらず、様々な実験条件が考えられるシステムの検討には、シミュレーションによる解析が大きな役割を果たす。
- ▶ 特にCEEFのように一つ一つの実験に数ヶ月から数年という長い時間を必要とする場合、シミュレーションそのものが計算機上での実験の一つとなり、実験条件の確立や実験を行っていない条件での実験の予測に役立つ。
- すでに行われた実験によって得られたデータにより予測精度を高めること、シミュレーション条件と実際のシステムの違いをきちんと押さえることが必要である。



まとめ

- ▶ CEEFの物質循環系の設計と運用にシミュレーションの果たした役割をまとめると以下ようになる。
 1. 設計データ、実験データを基にしたシステム性能の確認を可能にした。
 2. 段階的なインテグレーション実験の模擬を行うことで事前に実験条件を検討することを可能にした。
 3. 時間がかかる実験に対して実際の実験を行わない条件で検討することを可能にした。
 4. シミュレーションは、複雑なシステムの場合設計者が概念を形成するために試行錯誤を助ける働きがある。
- ▶ CEEFの物質循環系のシミュレーションにより得られた知見は、将来のALSSの設計に貢献すると考えられる。