

# 月面拠点のための生命維持システム 技術インテグレーションの検討

宮嶋宏行 東京女学館大学

第53回 宇宙科学技術連合講演会  
京都大学吉田南キャンパス  
2009年9月9日(水) - 11日(金)

## 宇宙で生きる



## 研究の背景

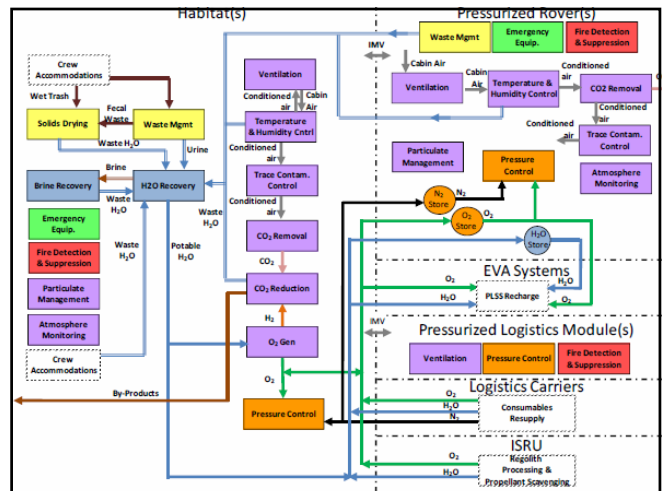
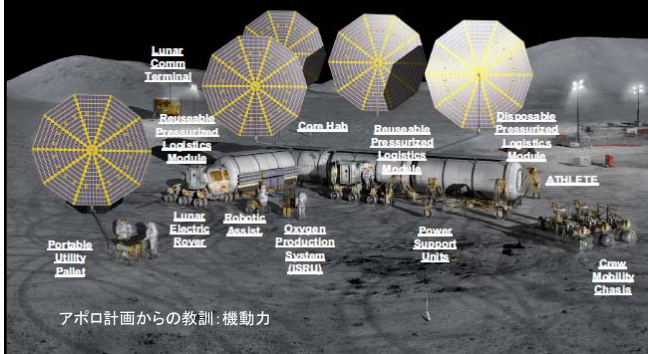
- どこで? 何をやるのか? 規模? 期間? によって宇宙で生きるための生命維持システムは大きく異なる。
- どの物質を再生し、どの物質を供給するのか?
- ISSの運用から見えてくる生活、生命維持。
- 生命維持システムの設計のためには、様々な条件でコンフィギュレーションや要素技術を検討する必要がある。
- 再生型生命維持規模解析ツールを開発(宇科連2008で報告)。
- システムインテグレーションのためのモデリング・分析

## システムインテグレーションのための モデリング・分析技術



有人月面拠点の検討にそのような技術が必要か?

## 高度な機動力を有する月面拠点構想 Constellation Lunar Surface System Project @NASA MSFC



## 研究の目的

- 持続的で多様な有人探査計画の検討を可能にするシステムインテグレーションのためのモデリング・分析技術の開発。
- コストだけの検討ではなく、計画の持続性や多様性の検討。

### 再生型生命維持規模解析ツール

ISS生命維持システムの運用データを用いてツールの基準データをアップデート。

月面視点の生命維持システムの水再生と電力供給について検討。

今までの成果と今後の展開

## コスト計算法

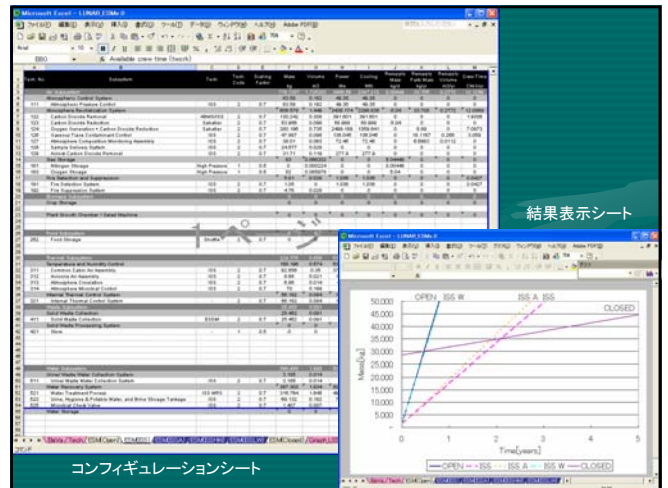
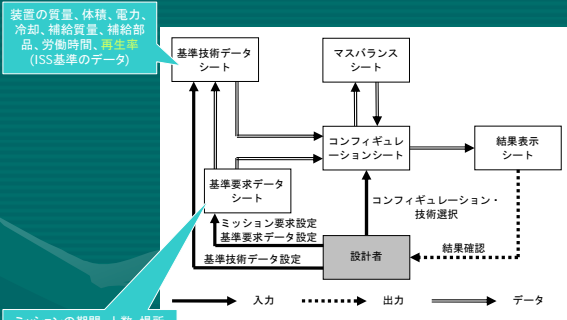
### Equivalent System Mass (ESM)の定義と計算

$$ESM = \sum_{i=1}^n [(M_{i1} \cdot SF_{i1}) + (V_{i1} \cdot V_{eq}) + (P_i \cdot P_{eq}) + (C_i \cdot C_{eq}) + (CT_{i1} \cdot D \cdot CT_{eq}) + (M_{TDi} \cdot D \cdot SF_{TD}) + (V_{TDi} \cdot D \cdot V_{eq})]$$

- $M_{i1}$ : サブシステム*i*の初期質量[kg]
- $SF_{i1}$ : サブシステム*i*の初期質量貯蔵係数[kg/kg]
- $V_{i1}$ : サブシステム*i*の初期体積[m<sup>3</sup>]
- $V_{eq}$ : サブシステム*i*の与圧体積質量等価係数[kg/m<sup>3</sup>]
- $P_i$ : サブシステム*i*の必要電力[kWe]
- $P_{eq}$ : サブシステム*i*の電力質量等価係数[kg/kWe]
- $C_i$ : サブシステム*i*の冷却要求[kWth]
- $C_{eq}$ : サブシステム*i*の冷却質量等価係数[kg/kWth]
- $CT_{i1}$ : サブシステム*i*の労働時間要求[CM-h/y]
- $D$ : ミッション期間[y]
- $CT_{eq}$ : サブシステム*i*の労働時間質量等価係数[kg/CM-h]
- $M_{TDi}$ : サブシステム*i*の時間依存質量[kg/y]
- $SF_{TDi}$ : サブシステム*i*の時間依存質量貯蔵係数[kg/kg]
- $V_{TDi}$ : サブシステム*i*の時間依存体積[m<sup>3</sup>]

	等価係数(月面)
体積 $V_{eq}$	100 kg/m <sup>3</sup>
電力 $P_{eq}$	原子炉 226 kg/kWe 太陽光発電+燃料電池 749 kg/kWe
冷却 $C_{eq}$	53.6 kg/kWth

## 再生型生命維持規模解析ツールの構成



## 月面拠点の生命維持システム検討条件

単位: kg/Crewmember-day

- 構造
  - 与圧モジュール: 1330m<sup>3</sup> x 2
- 人数: 3人
  - EVA: 8h x 2 人-day
  - 広域有人探査: なし
- 水の使用量(2タイプ)
  - ISS(少)
  - ISS(多)
- 物質再生(4タイプ)
  - 供給型
    - OPEN(少・水再生なし)
  - ISS型
    - ISS(少・水再生なし)
    - ISS(少・水再生あり) 93%
    - ISS(多・水再生あり) 93%
- 電力供給(2タイプ)
  - 小型原子炉 226kg/kWe
  - 太陽光発電+燃料電池 749kg/kWe

要求項目	ISS設計	ISS(少)	ISS(多)
酸素	0.84	0.84	0.84
食料(固形)	0.62	0.62	0.62
食料(水分)	1.15	0.50	0.50
代謝水	0.00	0.35	0.35
調理用水	0.79	0.00	0.79
飲用水	1.62	2.10	2.10
手洗い用水	4.09	0.20	0.20
シャワー用水	2.72	0.00	2.72
トイレ洗浄水	0.49	0.30	0.30
洗濯用水	12.5	0.00	0.00
食器洗浄水	5.45	0.00	0.00
合計	30.27	4.91	8.42

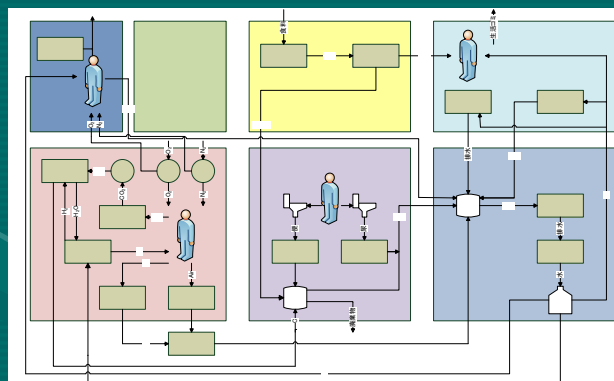
## 物質再生の点から見た生命維持システム

機能	供給・処理物質	Shuttle型	ISS型	閉鎖型
空気処理系	CO <sub>2</sub> 処理	除去	除去・再生	除去・再生
	O <sub>2</sub> 供給	供給	再生・生産	再生・生産
	N <sub>2</sub> 供給	供給	供給	供給
水処理系	水供給	燃料電池	燃料電池・再生	再生
	排水処理	廃棄	再生	再生
廃棄物処理系	尿処理	貯蔵	再生	再生
	便処理	貯蔵	貯蔵	再生
居住系	食糧供給	供給	供給	生産
	衣類供給	供給	供給	再生(洗濯)

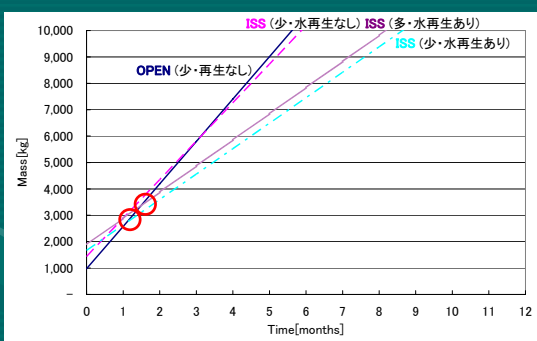
## 生命維持システムの要素技術

機能	サブ機能	Shuttle型	ISS型	閉鎖型
空気処理系	CO <sub>2</sub> 除去	LiOH	4BMS	4BMS
	CO <sub>2</sub> 還元	—	サバチエ	作物栽培
	微量有害物除去	活性炭、フィルタ	活性炭、フィルタ、酸化剤	活性炭、フィルタ、酸化剤
	空気貯蔵	N <sub>2</sub> /低温O <sub>2</sub> タンク	N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> タンク	N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> タンク
	空気供給	N <sub>2</sub> /低温O <sub>2</sub> タンク	CO <sub>2</sub> 還元、水電気分解	作物栽培
水処理系	温湿度制御	CHX	CHX、排水へ凝縮	CHX、排水へ凝縮
	飲料水貯蔵	タンク	タンク	タンク
	水供給	タンク	タンク、水再生	作物栽培
	水精製	ヨウ素、MCV	ヨウ素	ヨウ素
	排水処理	放出	多量ろ過	多量ろ過
廃棄物処理系	排水貯蔵	タンク	タンク	タンク
	尿処理	排水タンクへ	VCD	湿式酸化
居住系	便処理	便バッグ	便バッグ、乾燥圧縮	湿式酸化
	食糧生産	—	—	作物栽培
	食糧供給	積載型食品	積載型食品	冷蔵/冷凍
	洗濯	—	—	洗濯

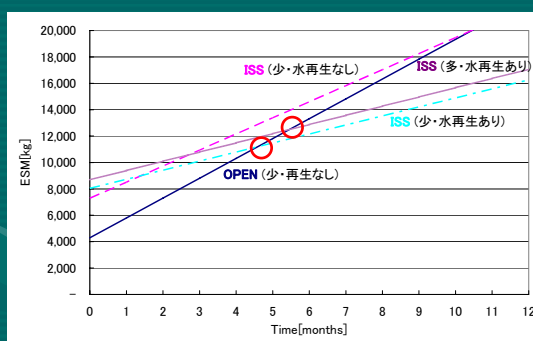
## 月面拠点のISS型生命維持システム構成図



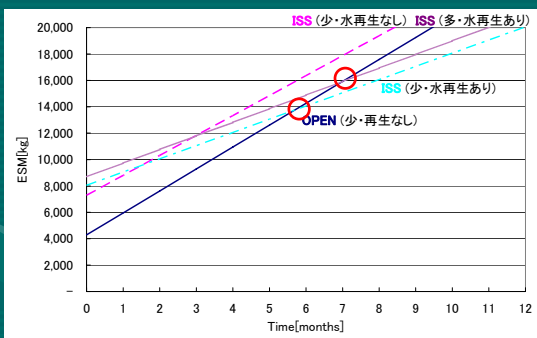
## 月面拠点生命維持システムの質量比較



## 月面拠点生命維持システムのESM比較 小型原子炉



## 月面拠点生命維持システムのESM比較 太陽光発電+燃料電池

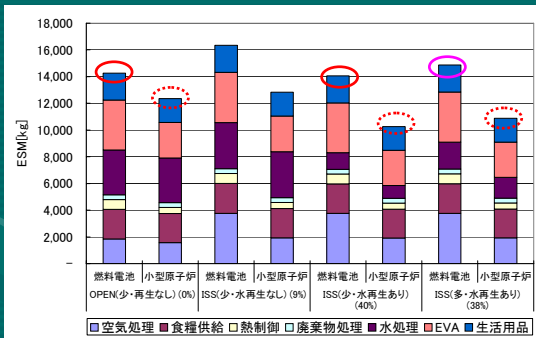


## 水の供給と再生の損益分岐点

	水の使用量 (少)	水の使用量 (多)
質量	2	2
ESM (小型原子炉)	5	6
ESM (太陽光発電+燃料電池)	6	8

単位:ヶ月

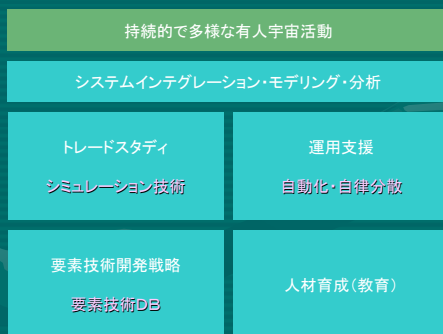
## 3人が180日間月面拠点で活動した場合のESM配分



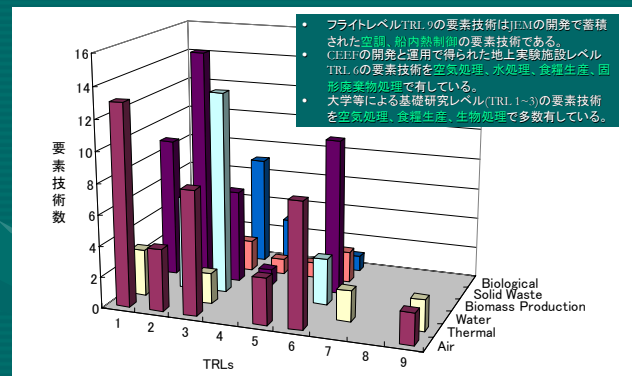
## まとめ

- ISS運用データをもとに月面拠点の生命維持システム (3人x180日) について、再生型生命維持規模解析ツールを用いて、水再生を比較した。
  - 水の使用量が多い場合だけでなく、水の使用量が少ない場合でも、水再生の検討は優先事項である。
  - 小型原子炉よりもコスト面で不利な太陽光発電+燃料電池で電力供給する場合でも水再生の検討の可能性はある。

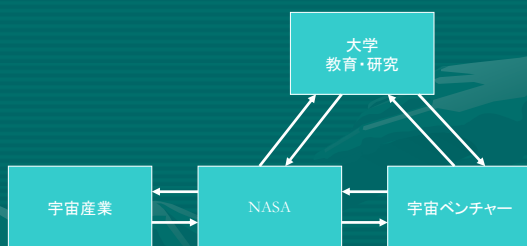
## 今までの成果と今後の展開



## 日本の要素技術のTRL分布



## 米国における有人宇宙活動と教育



## 米国における有人宇宙活動と教育

