

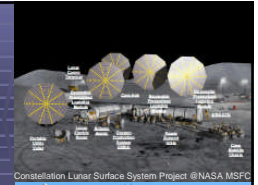
移動型有人月面探査のための分散型生命維持システムの運用

宮嶋宏行 東京女学館大学

第54回 宇宙科学技術連合講演会
静岡県コンベンションアーツセンター
2010年11月17日(水) - 19日(金)

移動型有人探査

- アポロ計画の教訓では、月面での移動が有人探査の効率を向上させる要
- 月面拠点開発シナリオ NASA Constellation Architecture Team LS 1-13
- 与圧ローバの開発
- モジュールを移動するシステム
- 資源(Partsや物資)の再利用、ロジスティクス



Constellation Lunar Surface System Project © NASA MSFC

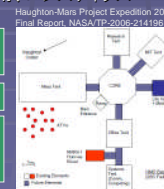


NASA Tests Rover Concepts In Arizona

複数のローバと物資運搬装置を組み合わせて遠征

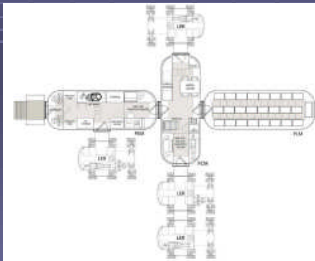
分散型生命維持システム

ロジスティクスネットワークの提案と、そこで利用される物資運搬装置の運用を定式化



All-Terrain Hex-Limbed Extra-Terrestrial Explorer (ATHLETE) vehicle © JPL

Lunar Scenario 12.0



- PCM: Pressurized Core Module
- PEM: Pressurized Excursion Module
- PLM: Pressurized Logistics Module
- LER: Pressurized Crew Rover

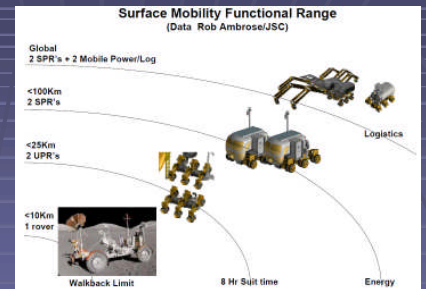


NASA Constellation Architecture Team-Lunar Scenario 12.0 Habitation Overview

- ✓ 拠点は、ロボット、与圧ローバ、居住システム、通信システム、電力システム、ISRU、ロジスティクス・部品、支援システムから構成。
- ✓ 4人が7日間から180日間滞在する。
- ✓ 拠点から14日間から28日間にわたり数百キロ程度遠征できる。
- ✓ 部品や資源の再利用を想定。

拠点から遠征

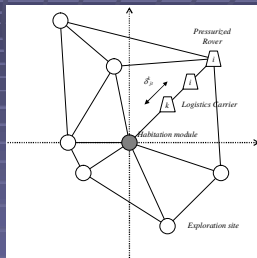
月面拠点の周辺を数百キロ程度の広域にわたって与圧ローバ、物資運搬装置、給外活動(EVA)システムを組み合わせて遠征をより安全に実現する。



生命維持システムや生命維持に必要な物資は一拠点で集中して運用されるのではなく、ある範囲に分散して運用される。

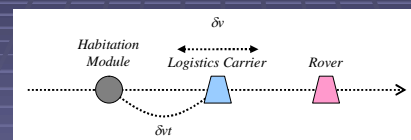
月面での移動型有人探査のためには

- どの物資を、どこで、どのくらい、どの物質の形で保持するのか？
- 月面全体では物資が満たされていないから、ある地点では物資が不足する可能性がある。
- ロジスティクスネットワークの構築と運用が重要になる。



- ▶ 本研究では、ロジスティクスネットワークの動的リソース配分を可能にする分散型運用管理アルゴリズムを開発する。
- ▶ 本発表では、Lunar Scenario 12.0を参考にロジスティクスネットワークの物資運搬装置運用計画へのラグランジュ分解調整法の適用について報告する。

ロジスティクスネットワークの定式化



位置モデル

$$d_i = \delta_i v_i t_i$$

$$\delta_i = \{-1, 0, 1\}$$

ラグランジュ分解調整法による 物資運搬装置運用の定式化

移動距離

居住モジュールからの距離
と必要物資充足率との積

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^J c_k |\delta_j^k| + \sum_{i=1}^I h_i A_k (d_{r_i}/D_{v_i}) ((M_{v_i} - m_{v_i})/M_{v_i}) \right]$$

subject to $dc_{k,t+1} = dc_{k,t} + \delta_j^k \quad \forall j, k, t$

$dc_{k,t} \geq D_L \quad \forall k, t$

$dc_{k,t} \leq D_U \quad \forall k, t$

$m_{i,t+1} = m_{i,t} + \Delta m_i \quad \forall i, t$

$\sum_j \delta_j^k B_{jk} \leq 1 \quad \forall k, t$

物資運搬装置の位置

位置の下限

位置の上限

物質量

物資運搬装置の整合

緩和

$$\min \quad t = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j=1}^J c_k |\delta_j^k| + \sum_{i=1}^I h_i A_k (d_{r_i}/D_{v_i}) ((M_{v_i} - m_{v_i})/M_{v_i}) \right] + \sum_{t=1}^T \lambda \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \delta_j^k B_{jk}$$

subject to $dc_{k,t+1} = dc_{k,t} + \delta_j^k \quad \forall j, k, t$

$dc_{k,t} \geq D_L \quad \forall k, t$

$dc_{k,t} \leq D_U \quad \forall k, t$

$m_{i,t+1} = m_{i,t} + \Delta m_i \quad \forall i, t$

分解

$$\min \quad l_k = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J c_k |\delta_j^k| + \sum_{i=1}^I h_i A_k (d_{r_i}/D_{v_i}) ((M_{v_i} - m_{v_i})/M_{v_i}) \right] + \sum_{t=1}^T \lambda \sum_{j=1}^J \delta_j^k B_{jk}$$

subject to $dc_{k,t+1} = dc_{k,t} + \delta_j^k \quad \forall j, k, t$

$dc_{k,t} \geq D_L \quad \forall k, t$

$dc_{k,t} \leq D_U \quad \forall k, t$

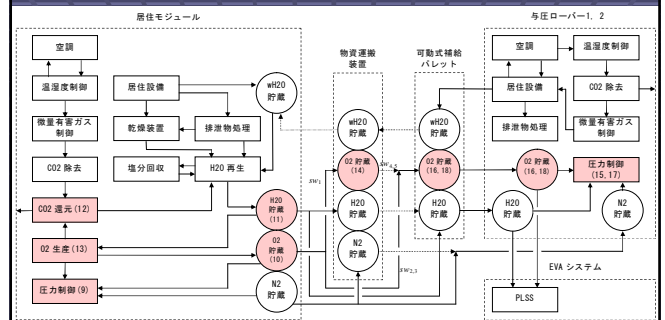
$m_{i,t+1} = m_{i,t} + \Delta m_i \quad \forall i, t$

ラグランジュ分解調整法の手順

1. 問題を定式化(元の問題)
2. 元の問題を部分問題に分解する(分解可能性)
3. 部分問題の緩和問題を最適に解く(動的計画法を利用)
4. 部分問題の最適解の情報を用いて元の問題の実行可能解を求める。

問題の規模に対して指数的に計算量が増加しない

月面拠点の酸素供給システム



酸素供給システムモデル

酸素タンク

$$Ta_{M1O2}(t+1) = Ta_{M1O2}(t) + pO_{2,sa}(t) + pO_{2,ri}(t) - rO_{2,M1}(t) - sw_1 - sw_2 - sw_3$$

$$Ta_{L1O2}(t+1) = Ta_{L1O2}(t) + sw_1 - sw_4 - sw_5$$

$$Ta_{R1O2}(t+1) = Ta_{R1O2}(t) - rO_{2,R1}(t) + sw_4 + sw_4$$

$$Ta_{R2O2}(t+1) = Ta_{R2O2}(t) - rO_{2,R2}(t) + sw_5 + sw_5$$

補給モデル

$$sw_j = \begin{cases} \text{if } (dc_1 = 0) & sw_1 = Ta_{L1O2max} - Ta_{L1O2}(t) \\ \text{if } (dr_2 = 0) & sw_2 = Ta_{R1O2max} - Ta_{R1O2}(t) \\ \text{if } (dr_3 = 0) & sw_3 = Ta_{R2O2max} - Ta_{R2O2}(t) \\ \text{if } (dc_1 = dr_2) & sw_4 = Ta_{R1O2max} - Ta_{R1O2}(t) \\ \text{if } (dc_1 = dr_3) & sw_5 = Ta_{R2O2max} - Ta_{R2O2}(t) \end{cases}$$

シナリオ12.0に基づいた計算初期設定

輸送能力

与圧ローバは2人分14日間の物資を輸送が可能

初期酸素量: 与圧ローバ1 & 2: 28 CM-days : 物資運搬装置: 56 CM-days

物質の生産と再生

居住モジュールではO₂生産装置により酸素生産

CO₂還元は、居住モジュールでは行わぬ、遠征中の与圧ローバでは行わぬ。

滞在時間が短いため、居住モジュールにクルーが滞在中もCO₂還元装置を稼働していない。

居住モジュールでは水の再生を行うが、与圧ローバでは水の回収のみを行う(CO₂の回収を行わない)。

計画問題

与圧ローバ1と2に28日間の探査計画をそれぞれ与え、物資運搬装置の運用計画を求める。半径200km程度の範囲で1000km程度の走行を想定。

与圧ローバ1 & 2、物資運搬装置、居住モジュールのO₂貯蔵量の変化

