



遠い未来の話ではない 宇宙開発のロジスティクス

SOLE日本支部では毎月「フォーラム」を開催し、ロジスティクス技術・ロジスティクスマネジメントに関する活発な意見交換・議論を行い、会員相互の啓発に努めている。九月のフォーラムでは、ダラス（米国）で開催された総会「SOLE2006」の視察報告を行った。今回はその報告に基づき、総会二日目のテーマである宇宙開発のロジスティクスの話題を紹介する。

宇宙進出の新たなフェーズ

米国の宇宙進出事業は、二〇〇三年二月にスペースシャトル、コロンビアが大気圏再突入時に空中分解した事故以来停滞していたが、二〇〇五年に再開し、最近ではようやく軌道に乗った感がでてきた。

今回の会議では、二〇〇年先までを見込んだ宇宙進出計画（コンステレーション計画）が紹介された。宇宙関連の話題はこれまでの会議でも取り上げられてきたが、今年米国航空宇宙協会（AIAA）と共同開催していることもあり、

これからの宇宙進出計画でのロジスティクス活動を中心とする報告に、初めて丸一日が費やされた。日常的な地上付近でのロジスティクス活動からは想像困難な、これからの宇宙空間でのロジスティクス技術の方法論と、それを実践的・科学的に立証するシミュレーション活動やモデリングについての報告が行われた。

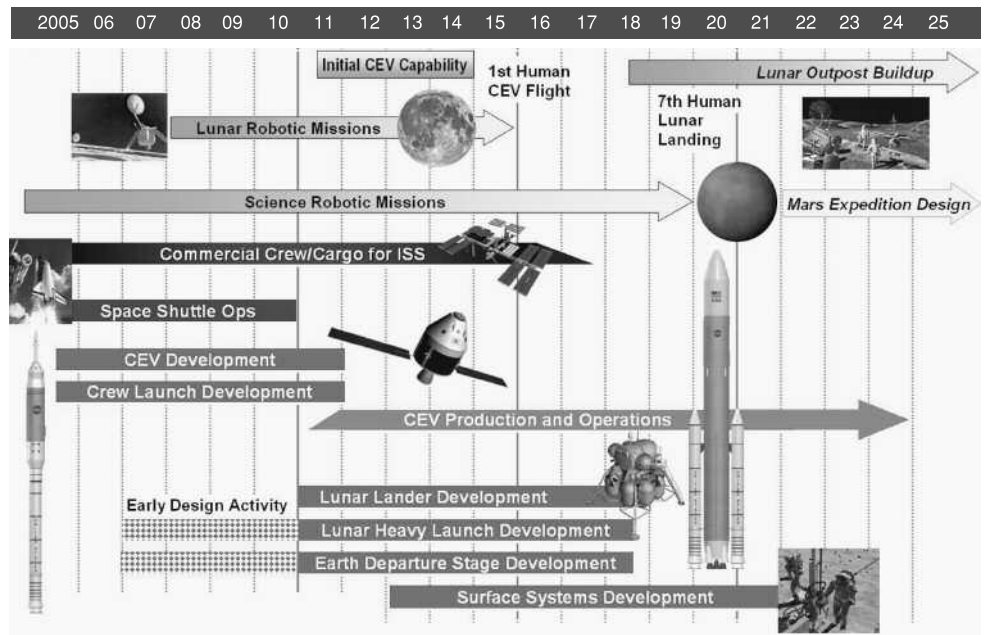
初期の宇宙進出は、米ソが「とにかく先に宇宙空間に、あるいは月に進出しよう」と熾烈な開発競争を繰り広げるものだった。しかし、いまでは成熟期に入り、日本を含む多国間の協力体制による国際宇宙ステーション（ISS）やスペースシャトルの運用、あるいはより遠い宇宙空間への進出計画段階へと移行してきている。

人類を月に送り込んだアポロ計画では、絶対的に信頼できるシステムに依存し、飛行途中での燃料・資材の補給やメンテナンスは一切行わないことが基本的な運用方針であった。これに対しシャトルやISSでは、

ルやISSでは、地球低軌道（LEO）付近での科学実験や宇宙望遠鏡の投入、船外活動、長期滞在・運用など、宇宙空間での様々な人間行動の可能性を確認することが目的だ。実際にこれまでの運用で、製造誤差により要求性能に満たなかったハッブル望遠鏡の調整やシャトル本体の修理、ISSとのドッキングなどを行い、宇宙空間でのメンテナンスや補給が可能であることを証明してきた。

当初の目的をおおむね実証し終えたNASAでは、現在運用中のスペースシャトルやISSの事業を二〇一〇～二〇一五年ごろまでに終結し、反省事項も踏まえながら次のフェーズに移行する青写真を描いている（図1）。具体的に

図1 NASAの開発ロードマップ



は、①シャトルに代わるCEV（Crew Exploration Vehicle：有人宇宙探索機）を開発する、②並行してロボット技術を向上させる。そして、③実際にCEVを製造・運用して月に再上陸し、さらに④月に常設基地を構築して、⑤火星やより遠くの星への更なる進出を



www.logi-biz.com
logi-biz online

Rhinos
Publications, Inc.

目指す、という壮大な計画である。

日本では宇宙計画が遅れがちであるため、夢物語のように聞こえるかもしれない。しかし米国では、NASAや軍、航空機産業やベンチャー企業、あるいは大学の研究者等が精力的にこの国家的事業を成し遂げようと協調している。これに伴い、宇宙進出のための本格的なロジスティクス活動も二〇一〇～二〇二〇年代には現実的なものになると予想されている。

宇宙ロジスティクス工学

月や太陽系の他の惑星へ進出する際には、地球、あるいは地球—月系の遠心力・重力（あるいはそれらの合力）が平衡するいくつかの位置に、進出に必要な燃料や資

材をあらかじめ集積しておく、そこから旅立てば効率的だ。そのためには、こうした位置にISSよりも大規模な発着基地を構築することが必要となる。

基地を構築する際には、国際的な協力体制のもとで機材の標準化・共通化、インターフェースの最少化や簡素化、操作性、メンテナンス性、長期運用を考えた機材のアップグレード可能性などをおろかじめ考慮しなければならず、設計の初期段階からロジスティクス工学の専門家が参画し、宇宙工学の専門家と共同作業を進める必要がある。また、宇宙空間に大規模構造物を構築する際には、人間の宇宙での行動にかなり制約があるため、ロボット支援による自動

化された資材輸送や組み立てが必須の技術になる。ロボット技術は、過酷な宇宙空間へ進出する際の人間の補完機能としても注目されており、例えば五感を補ったり、作業を補助したり、苛酷な環境から画像や鉱物サンプルを届けたりする機能が期待されている。

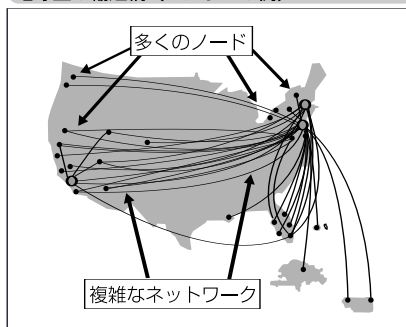
ただし、これらの計画を実現させるには克服すべき問題も極めて多い。大規模な建設作業に必要な機材を輸送するために、地上と軌道間を容易に移動でき、環境に負担をかけず、燃料問題をクリアして、宇宙区間で複数回の燃焼／再発進が可能であるような画期的な動力推進システムの開発、再利用可能な機体・構成要素の開発、宇宙ゴミの削減・処理、局所的に宇

宙環境を制御する技術などである。また、従来は国家間の協同によりISS等の宇宙事業が運営されてきたが、各国とも財政状況が厳しかったため、今後は民間の参加も期待され始めている。

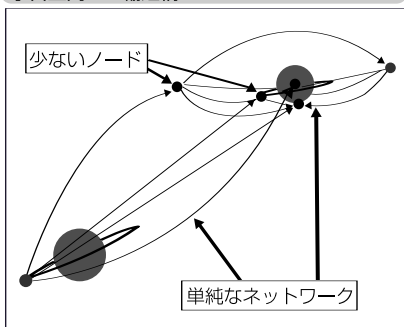
宇宙進出のための技術目標や技術課題は上述のとおりであり、様々な技術要素の開発に応じて計画が進行していくため、わずかなステップアップにもかかわらず時間を要すると見込まれる。これに対して、現有の技術や移動手段で実現可能な宇宙進出のためのシミュレーションが、いくつかのテーマに沿って現在進められている。

人間が宇宙空間に進出していく際には長期・長距離のロジスティクス支援体制が確立されなければ

図2
地球上の輸送網（アメリカの例）



宇宙空間での輸送網



ならない。ISSの運用以外でこのような支援体制のシミュレーションとして、南極付近に隔離施設を作り、あえて輸送困難な補給経路でのサポートを続ける実験が行われている。

実際の宇宙空間での運用には及ばないものの、被験者は少ない頻度で少量の補給しか受けられない特殊な環境で長期間生活している。輸送や通信などの運用データのほ

か、被験者の心身の健康がどのような影響を受けるかといった生理的データも記録し、宇宙進出のためのロジステイクスの基礎データを蓄積している。

宇宙の輸送ネットワークにおける経済的な輸送方法の数値シミュレーションも行われている。地球上の輸送ネットワークでの効率的な輸送方法は各ロジステイクス会社で検討・実施されているが、輸送効率化のカギを握る要素は地上ネットワークと宇宙空間とは大きく異なる。

図2に地上の輸送ネットワークと最も簡単な地球-月系とを示す。地球の輸送網が多くの都市ノード間を結ぶ複雑なネットワークであるのに対し、宇宙空間ではエネルギー的に安定な少数の点がノードとなるため、それらを結ぶネットワークも単純である。地上の輸送では単一・少数品種の大量輸送のケースが多いが、宇宙では多品種少量輸送である。輸送コストも、地上では距離（＝燃料）に比例するが、宇宙ではわずかなエネルギー噴射のみで慣性により長距離推進できるため、距離概念よりも時間制約が重要となる。搭載燃料を消費するほど機体が加速するという時間変動のオマケもつく。

地上では考えられない、とても面白い輸送条件が宇宙にはある。ヒュースティク（注）な解法に基づいてアポロ一七号の例で試算を行い、コスト最小となる輸送スケジュールが紹介されていた。月からさらに遠くの火星以遠への進出を目指す段階では、確立される地球-月系のネットワークを含んだ形で拡張され、より複雑なサブライチェーンの連結構造となっていく。

宇宙への進出は、これまでの地球近傍での短期利用の段階から、より遠くの、長期利用への実験段階に差し掛かっている。工学技術分野でも解決すべき課題が山積しているが、ロジスティシャンも地上を離れて、立体的な、特殊な環境下でのロジステイクス概念を構築していかなければならない。

ある発表者はLEOを海岸線と説明していた。LEOまでは空気抵抗や重力のカベが存在し、移動や輸送に困難を極めるが、LEOより遠い宇宙空間では移動の障害となるそれらの制約は激減する。LEO以遠には自由に航行できる大海原が果てしなく広がっている。宇宙進出を目指す次世代のエンジニアは、宇宙進出を現実のものとするために、安全性や経済性に十

分配慮してLEO付近でのデポの建設や地上-デポ間の輸送ネットワーク構築を早急に進めねばならない。より遠くの宇宙まで広がる三次元のサブライチェーンネットワークの構築こそ、これからのロジスティシャンに与えられた課題である。

今回は、総会三日目のテーマであった災害救助活動に関する話題と、同時開催された展示会の話題を紹介する。

注・ヒュースティク (Heuristic) 人間は物事に対して臨機応変で、問題解決においても発見的である。これをヒュースティクと呼ぶ。一方コンピュータにはその性質がなく、決められた手順を高速で機械的に処理するだけである。これをアルゴリズムック (Algorithmic) と呼ぶ。

次回フォーラムのお知らせ

2006年11月度のフォーラムは11月17日（金）「リアルSCMとグローバルロジスティクス:アパレルSPA（製造小売業）の国際調達」を予定している。このフォーラムは年間計画に基づいて運営しているが、単月のみの参加も可能。1回の参加費は6,000円。ご希望の方は事務局 (sole-j-office@cpost.plala.or.jp) までお問い合わせください。