

2009. 11. 18

探査拠点の建設と人型ロボットを活用した参加型月探査

- 1 高機能ロボットの内部構造(ソフトウェア)
- 2 月探査の意義と具体的目標
- 3 月探査用ヒューマノイドロボットの設計方針
- 4 月探査システムの構成
- 5 システム開発のフィロソフィーとパラダイム転換

井上博允 (東京大学名誉教授)



RoboCoaster



U3-X



Winglet



i-Real



Urban Challenge



Big Dog

Robots NOW



Todai JSK

オートメーション
 モビリティ
 ヒューマノイド
 サービス&ホーム
 エンタテインメント&ホビー
 フィールドロボット
 メディカル&ヘルスケア



Kawada Nextage



Toyota Concerto



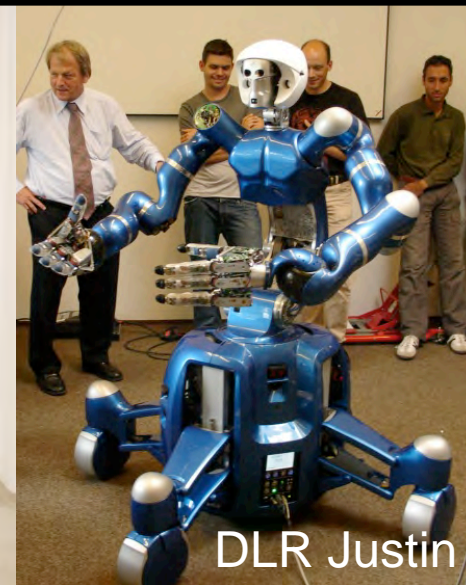
ASIMO



HRP-2



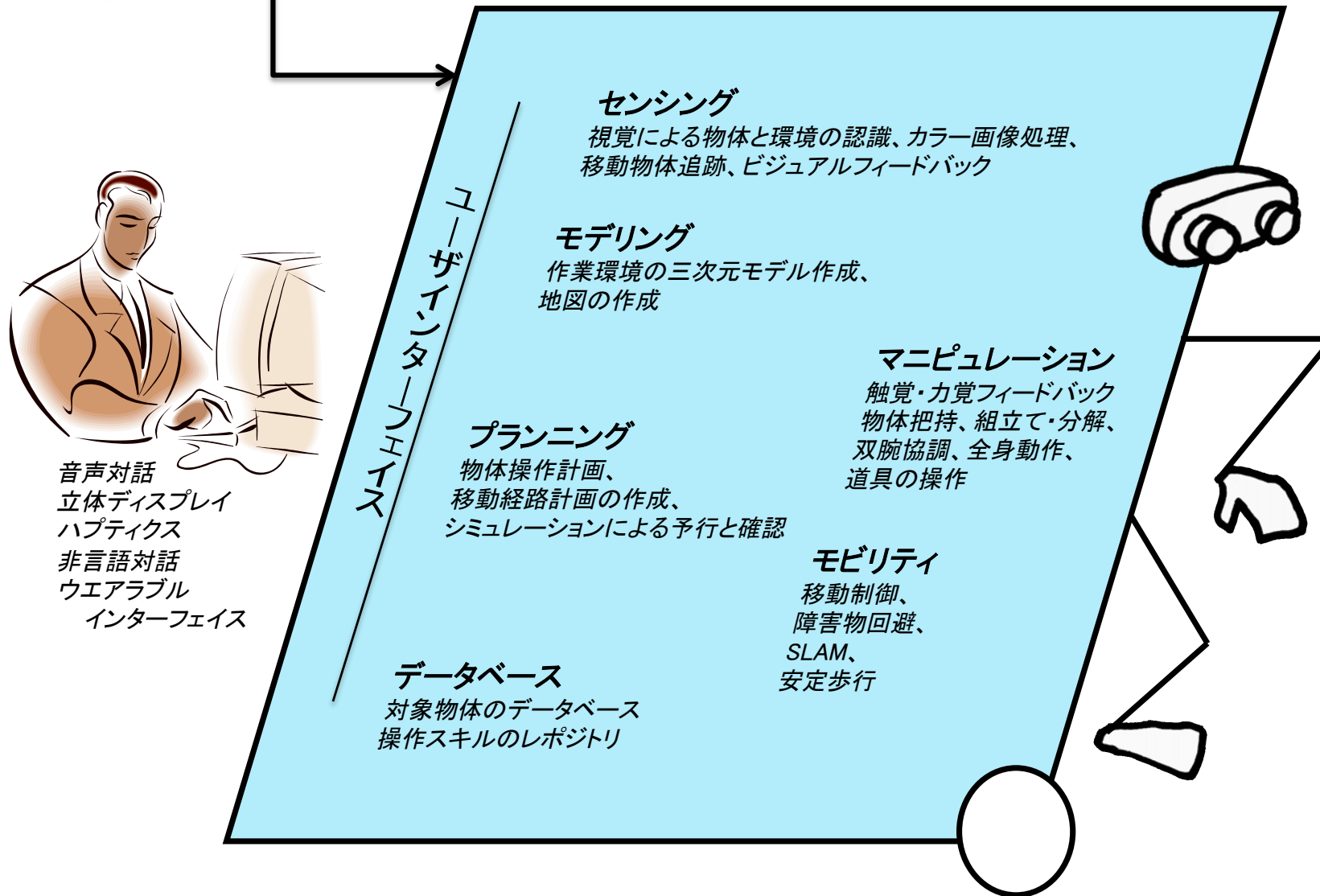
HRP-4C



DLR Justin

Info Nets

高機能ロボットの内部構造(ソフトウェア)



人型ロボットに限らず高機能ロボットは、センサーで外界(物体・環境・人間)の状況を認識し、人間から与えられた指令を解釈して動作を計画し、手足を動かすアクチュエータを巧妙に制御して、所期の目的を達成するシステムであり、センサーとアクチュエータとインテリジェンスをインテグレートしたメカトロニックなシステムとして構成される。この図は、ボディの機能を発現せしめるロボットの頭脳(ソフトウェアシステム)の中を解剖したイメージ図である。

意義・目的 科学的ミッション： 従来検討されてきたJAXAロードマップに従って推進
社会と産業への波及効果： ロボット技術を生かしつつ、イノベーションを先導
国家のプレゼンス、国民の夢と希望： 世界最先端技術へのチャレンジとフロンティアの開拓

日本の宇宙飛行士が月面着陸する前に、可能な限りロボットで有人探査の準備を行う。有人活動は複数のパートナーロボットで支援するものとする。いつでもロボットが人に入れ替わって作業代行できるようにする為に、支援するパートナーロボットの形態は人間型が望ましい。有人探査は2020年以降の第2段階の目標とされているが、2020年までの第1段階の開発計画において、第2段階にスムーズに接続しうるような開発計画を作成する。

第1段階の具体的目標：

- ① 長期間にわたって探査機能を維持する為のインフラとして月探査基地を建設。
- ② 高機能人型ロボットを開発して、基地の建設、維持管理、精密分析、を実行。
- ③ 月面ローバーにより広範囲の探査を行ってサンプルを採取。
- ④ オープンラボスペースを確保し、月面上の科学実験の公募も。
- ④ Tele-ACT システムの開発： 地球上の臨場感通信型ユーザインターフェイスを介し、月面上の人型ロボットに没入する形で月面での行動を体験できるシステムを開発、これを公開して、国民参加型の宇宙開発を行う。

月探査基地 => 国家プレゼンス

人型ロボット => 先端技術の先導的開発

月面テレアクト => 夢と希望と楽しみの提供

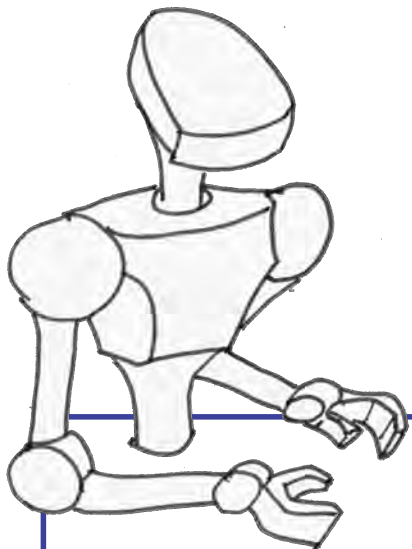
オープンラボ => 科学研究基盤の提供

月探査用ヒューマノイドロボットの設計方針

人型ロボット = 上半身ユニット + モビリティユニット(脚式/車輪式)

基本思想

ロボットによる分解・交換・組み立て可能な構造設計により
自己修復性と信頼性を確保



モジュラーデザイン
リモートブレインアプローチ
ソフトウェアプラットフォーム
知的スーパバイザリー遠隔操作

ユニバーサルデザインに基づく
エンドエフェクタ群を装備

モジュラーデザインコンセプト

ドライブユニットDU(モータ、減速機、アンプ、制御PUを一体化したもの)。ドライブユニットを互いに接続する構造体に電源及び通信線を複合したコネクタユニットCUを用意。DU同士をCUで組み付けてロボットを構成する。この方式で分解や組み立て容易なロボットを実現可能。

リモートブレインアプローチ

メインコンピュータとドライブユニットをバス接続した分散システム構成。ロボット搭載のメインコンピュータとしては消費電力および耐放射線遮蔽などの理由により最高性能機は搭載困難。処理能力に制限を受けるので、高度情報処理機能を基地設置の高性能コンピュータにおき、ロボット搭載部と無線交信するリモートブレイン方式を採用。

ソフトウェアプラットフォーム

NEDOプロで開発したプラットフォームOpenHRPIは、ヒューマノイドに限らず一般のロボットについて、自由度配置等のコンフィギュレーションを定義すれば、全体の運動学や動力学、動作制御の計算等を生成できる。従って、新規構造設計だけでなく、例えば膝関節が故障した場合等、その自由度を縮退したコンフィギュレーションとして、膝が動かない状態での歩行を実行させることができる。

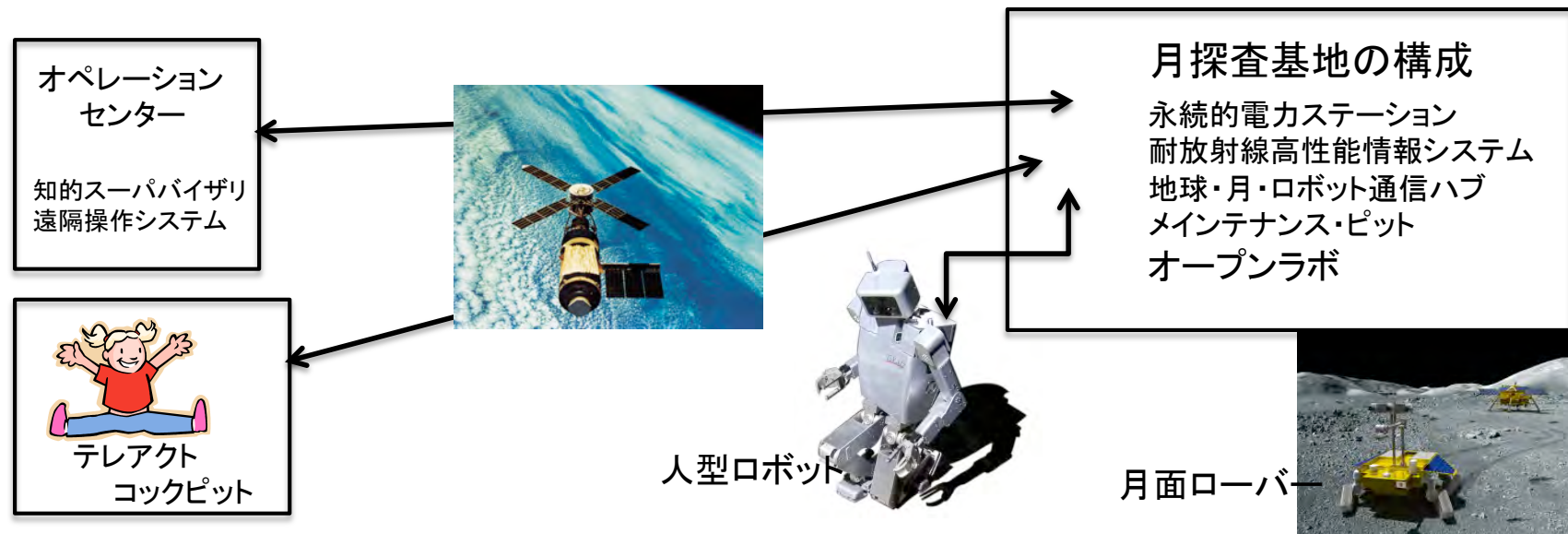
知的スーパバイザリー遠隔操作

あらゆる状況に対応できる全自動の自律制御は困難。視覚等のセンサガイダンスや視覚フィードバックなどで実現するローカルな自律制御方式の操作系を、高次のユーザインターフェイスで指令するスーパバイザリー遠隔操作方式を基本とするのが現実的。

月探査システムの構成案

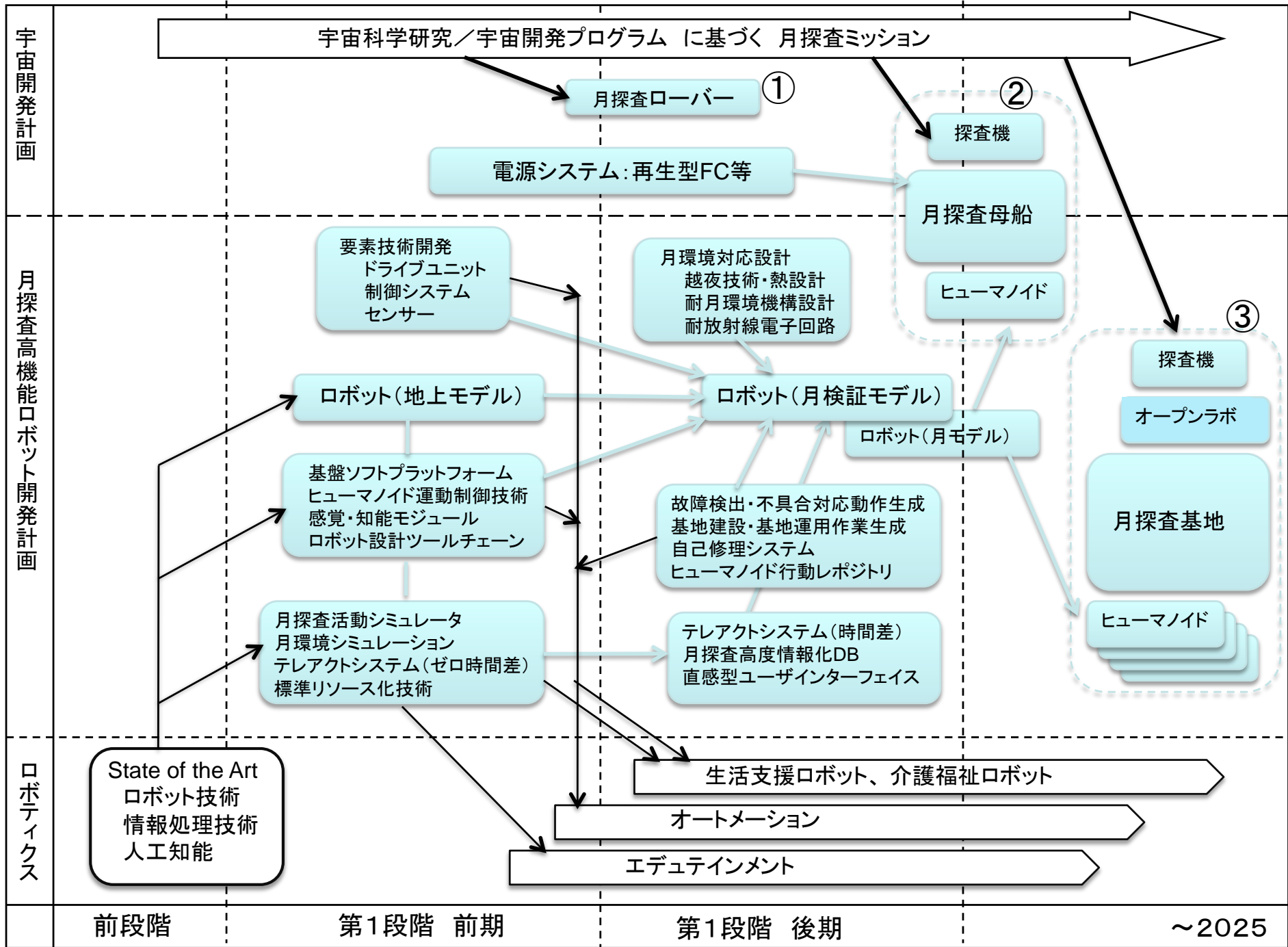
JAXAアプローチA案 「月の表面探査と往還」を基地機能と高度ロボット技術により強化する。

- (1) 着陸機に長期間稼働可能な電力サーバ、高性能情報処理サーバ、通信ハブを搭載し、月面基地のミニмумインフラとする。
- (2) 人型ロボットを開発し、月面基地の保守点検と月面観測を行う。
- (3) 着陸機にオープンラボスペースを確保し、必要な分析器を設置し、月面探査ローバーで採取してきたサンプルを分析。
- (4) 複数の着陸機を連結するなどして、月面基地の逐次増設する。
- (5) 臨場感通信型ユーザインターフェイスを介して、地球上から月面上の人型ロボットに没入する感覚で月面行動を体験できるテレアクトシステムを構築、国民参加型の宇宙開発を行う。



オープンラボに持ち込みたい装置と分析研究の例 (東北大掛川教授との私信交換より)

- ①. 簡易型蛍光X線分析装置 (隕石落下時の散乱物の化学分析)
- ②. 岩石スライサー及び光学顕微鏡 (月の石の組織観察)
- ③. 磁場測定装置 (岩石の磁場の測定)
- ④. ガス成分吸収スペクトル分析装置+加熱ステージ (水、二酸化炭素、窒素など揮発性成分の分析)
- ⑤. FT-IR / ラマン分光計 (水を含んだ鉱物や、隕石衝突時の衝撃性高圧鉱物の発見)
- ⑥. 液体クロマトグラフ (宇宙から持ち込まれた有機分子の検出)



システム開発のパラダイム転換： すりあわせ型システム開発から開放成長型システム開発へ

アポロ計画では、宇宙開発だけでなく、周辺の広範囲の技術や信頼性のレベルを向上させ、多くのものや技術を最適かつ効率的に統合して、目的とするミッションを達成する手法としてのシステム工学を確立することによって、巨大プロジェクトを成功させたと言われている。この時代のシステム工学は巨大な「すりあわせ型のシステム」の開発パラダイムの成功例だったと言える。その後、情報化の進展とともに、ものやシステムはすりあわせ型から開放モジュラー型への進化が急速に進展した。すりあわせ型プロダクトの代表であった自動車も、昨年金融危機を背景として急速に進む電気自動車へのシフトに伴って、モジュラー型プロダクトに変化し、自動車産業の構造自体にも大きな変化が起こりつつある。宇宙基本計画も、科学探査だけでなく、産業への波及、国家安全などの、多重目的にパラダイムが変わった。月探査の開発計画に於いても、多重ミッションに柔軟に対応する為に、現代の技術特徴に適合したシステム開発が望まれる。即ち、要素技術やサブシステムのインターフェイスとそれを使うプロトコルを標準化し、いろいろな目的に合わせて、運用できるシステム開発へのパラダイム転換が必要ではないか。そうすることによって、科学研究プロジェクトや、産業展開を視野に入れたプロジェクト、国家のプレゼンスにつながるプロジェクトなどを、並行して柔軟に追求可能なシステムとしての、開放成長型のシステム開発へパラダイム転換することが望まれる。

自己修復機能による超信頼システムの実現

これまでのシステムの信頼性は、要素の信頼性向上と多重系設計によって確保されてきた。しかし、月のように、修理できないとされている環境で使用される機械を、ロボットが分解・交換・修理可能になるシステムを構築できれば、信頼性に対する考えは劇的に変わる。産業ロボットによる機械部品の組み付けは既に実用化されている。この産業技術を一般化し、月探査システムの機器設計とロボット設計に適用することで、月探査基地および人型ロボットを超信頼システムとして実現することは可能である。

月探査実験インフラの開放

月探査ロボットの開発においては、月という極限環境を克服する技術とエネルギー技術が、月探査基地のインフラとして提供されるならば、ロボット技術者は研究開発をロボット機能だけに集中できる。同様に、月の基地にオープンな実験空間を提供すれば、科学者や、月利用研究者に様々な参加型の研究挑戦を可能とする。月探査計画の予算はオープンな実験環境の建設までとしても、研究用の機器開発や月への運搬・設置と実験の予算を参加者が負担することで、月探査計画の広がりが期待できる。

LEGO式宇宙ロボットファクトリー： モジュール部品を使って各種のロボットを組み立て可能な月面工場

月探査基地は固定基地か移動基地か？

技術的観点、探査目的、国際関係の観点から、どちらを採用すべきか。