

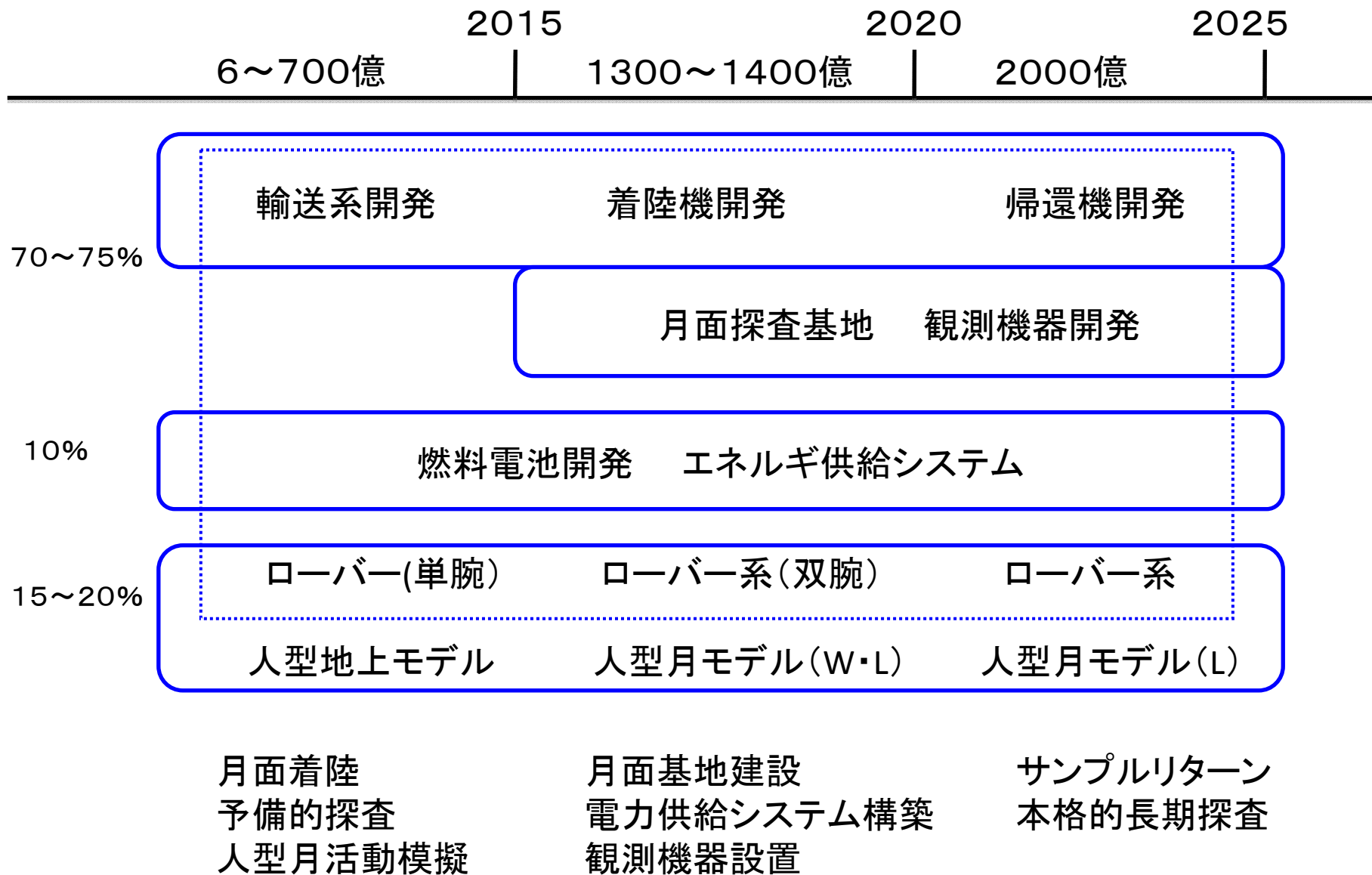
# 高度ロボットによる月探査に関する ヒューマノイド系ロボットの検討結果

月探査懇談会構成員 東京大学名誉教授 井上博允

高度ロボットによる月探査については、月の科学研究、月の利用、次世代技術革新および国際的プレゼンスの向上の観点から検討されてきた。科学のフロンティアにおいては、従来シナリオに基づくJAXAの月面ローバーが検討されておりその延長線上に確実性を最優先する開発案が示されている。一方、技術のフロンティアとしての高度ロボットを用いる月探査では、ロボット産業等への技術革新のシンボルとして人型ロボットを取り上げ、地上から分身ロボットとして操作することにより、基地の建設・運用の他、様々な月面活動を実施する挑戦的なプロジェクトが提案されている。

人型分身ロボットは、科学者の分身として月面での“その場”探査を行い、技術者の分身として基地や機器の操作・保守・点検・製造を行うほか、市民には分身による月面行動体験を提供するなど、アウトリーチにも力を入れる。ローバー系は5年後に想定される月探査の確実な実施を目的とし、ヒューマノイド系は15年先の地球外活動を支援する高度ロボットの先行開発を視野に入れており、互いに相補的な関係のもとで、わが国の地球外活動を先進的で豊かなものとして推進していくことをめざしている。ヒューマノイド系の計画は、子供たちの夢を大人が壊さないようにすること、さらに、国際的な宇宙開発競争の中で宇宙ビジネスへの発展も視野に入れて構想された。

# 月探査Ⅱ案の開発シナリオの概略構造と本計画の位置づけ



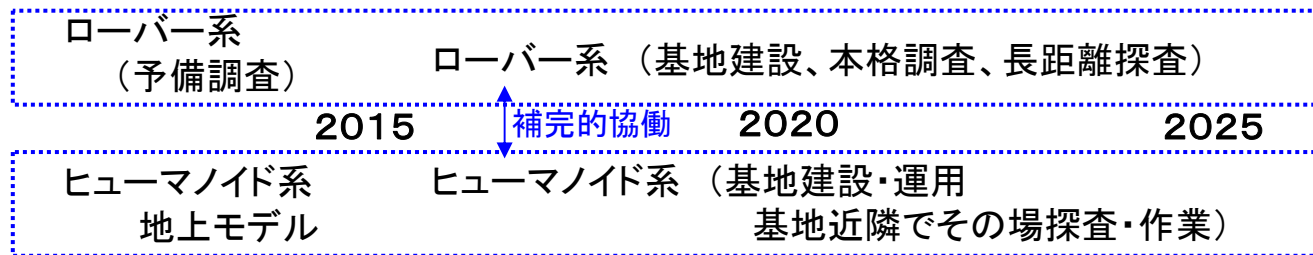
- JAXA ローバー案: 米ロに先例があり現実的、探査目的に特化した最適設計、確実性優先
- ヒューマノイド案: 次世代技術革新への象徴的存在、技術開発項目豊富、未来型有人支援を指向
- 補完的統合案:** 探査活動の確実な実現と、将来のロボット産業への波及を両立させるために補完的に統合 (排他的ではなく、ヒューマノイドの部分ユニットをローバーに搭載するなどのシステム展開案もありうる)

**補完的統合案における役割分担**

- ローバー系: 広範囲の自律探査を行い、基地にサンプルを持ち帰る
- ヒューマノイド系: 基地の建設・運用・保守、及び、その場探査や作業を代行し、将来の有人活動支援に繋ぐ

**月探査インフラのリソースの提供:**

ペイロード、電力容量、通信容量について仕様(インターフェイス&プロトコル)を定め、プロジェクト及び民間開発体に(有償)提供を考慮するなど、将来の宇宙ビジネス競争に備える。



**月関連の諸外国の動向**

- Robonaut on ISS (Oct. 2010)
- NASA Project M (2013頃)  
*Land an operational humanoid on the moon in 1000 days.*
- Chinese lander and rover (2013頃)

**ロボットの位置づけ**

*The nation that leads the industry of robotics, the nation that designs, produces, and markets, will dominate the global economy in this century.*

## 補完的統合案におけるヒューマノイドの目標

2020年、日本の宇宙船は月の南極付近に着陸し、ヒューマノイドを月に派遣する。ヒューマノイドは地上のコックピットから分身ロボットとして遠隔操作される。それにより、人間のいろいろな行動を月面に伝送し、作業を代行する。もちろん、自律モードで知能ロボットとして働けることは言うまでもない。

- 1 ヒューマノイドは探査ロボットと協働して、月面基地の建設と観測機器を設置する。
- 2 探査ロボットが探査の旅に出かけた後は、ヒューマノイドは基地に残り、基地や観測機器の維持・運用・保全や実験の代行の仕事を担当する。
- 3 分身ロボットは、科学者に自分の目や手足を月面まで延長できる新しい能動的なツールを提供する。世界に先駆けてこのツールを手にいれた我が国の科学者達は、地上に居ながらにして、月面で“その場”探査を行って月を科学する。
- 4 分身ロボットは技術者に場所を超越した働き方を提供する。月面基地、観測機器、探査ロボット等に想定外の不具合が生じた場合にも、分身を操作して“その場”点検を行って遠隔修理できる。ヒューマノイド自体も修理の対象になりうる。ロボット達が互いに修理し合うように設計することも可能となる。
- 5 分身ロボットは市民に新しい体験を提供する。老若男女がコックピットに入り、宇宙飛行士としての訓練なしで、月面散歩や月面スポーツを疑似体験できる。

## 月面分身ロボットによる月探査 (SRR, RoboAvatar, Surrogate)

地球上の Cockpit から月上のヒューマノイドにステップインして操作することによって  
その場 (in-situ) 探査やその場作業を自在に実現できるような分身ロボットを開発する

|      |               | 2015                          | 2020                                      | 2025                               |
|------|---------------|-------------------------------|---|------------------------------------|
| 全体計画 | 月面着陸<br>予備的探査 |                               | 月面基地建設(南極)<br>電力供給システム構築<br>観測機器設置 & 地質調査 | サンプルリターン<br>本格的長期探査<br>月面基地運用・機器操作 |
|      | 映像伝送(月 > 地球)  |                               | 行動伝送(地球 > 月)                              | In-situ探査/作業                       |
|      |               | 分身ロボット地上モデル<br>(月面作業シミュレーション) | 分身ロボット月モデル<br>(月環境対応技術開発)                 | 月面分身ロボッツ<br>(長期運用基盤技術確立)           |

### 科学者の分身という新しいその場探査手段

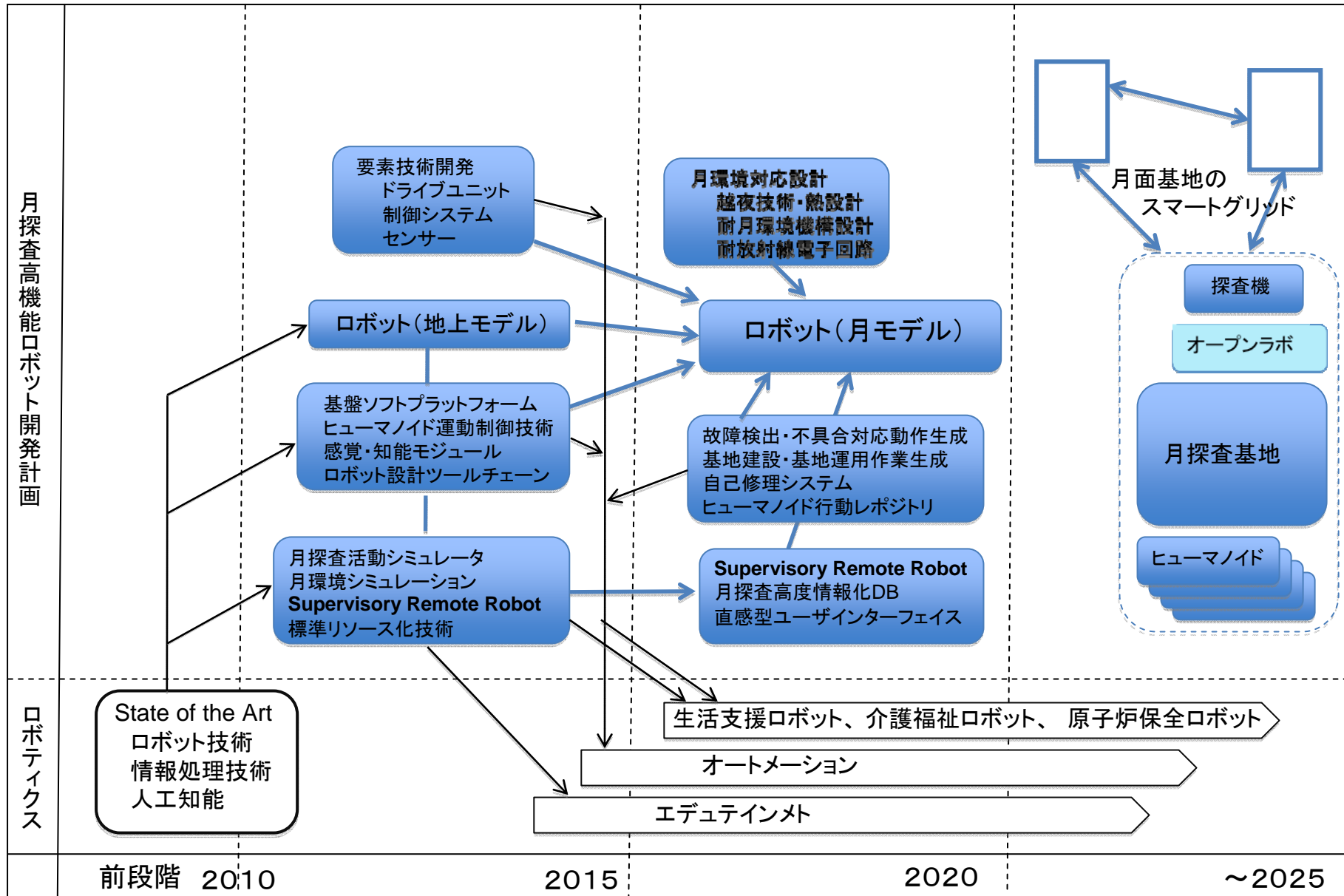
原子力保安ロボット等、極限作業・危機管理への国家対応  
産業ロボット、サービスロボット、福祉ロボットへの技術波及

分身ロボットの主体: **Scientist** (探査・分析・フィールドワーク), **Engineer** (保全・修理・組み立て)  
**Worker** (建設・整地・掃除), **Student** (教育), **Citizen** (体験) ←アウトリーチ

**研究開発体制:** 最先端の技術を取り込む柔軟性を確保ために開放性が必要、  
宇宙ビジネス展開を視野に入れて開発の分業パートナーシップ化を推進  
戦略本部直轄のオープンラボ【MEXT/METI/MIC, インダストリー/ナショラボ/アカデミア/VB】

月探査インフラ(ペイロード、電力容量、通信容量)の2割程度を挑戦枠としてリザーブ、また、  
月利用ビジネスの推進のため民間に(有料)開放し、宇宙ビジネスを先導の用意

# 月探査用分身ロボットの開発項目およびロードマップ



# 月探査システムの発展シナリオ

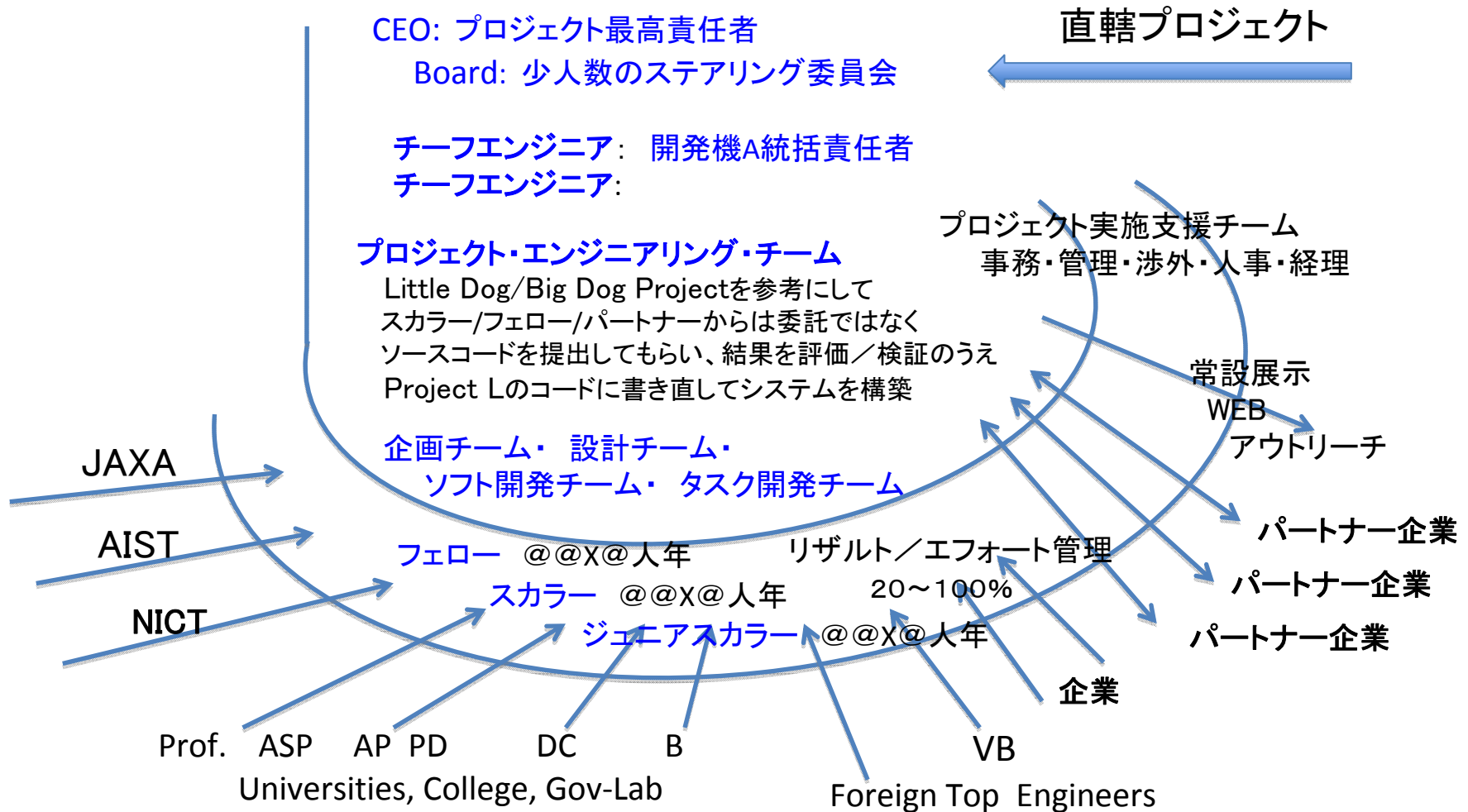
|        | 2015  | 2020  | 2025   |
|--------|---|---|--|
|        |   | <p>基地建設</p> <p>白色部: インフラ開放部分</p>  | <p>月面基地のスマートグリッド</p>   |
|        | <p><b>分身ロボット地上モデル</b></p> <p>月運動シミュレーション<br/>SRR作業エミュレーション</p> <p>Project L (50週、50月)</p> | <p><b>分身ロボット月モデル</b></p> <p>Scientist &lt;do&gt; In-Situ探査<br/>Engineer &lt;do&gt; 基地運用・保守<br/>Citizens &lt;do&gt; 遠隔月面体験</p> | <p><b>分身ロボット本格稼働</b></p> <p>科学者は自分のアバターを使って<br/>極限環境での現地調査や実験を行う</p> <p>月面ロボット工房: 月面でロボットの<br/>機能の組み替え、修理を行う</p> <p>市民は分身ロボットで、月面散歩や<br/>月面スポーツやゲームを体験</p> |
| 技術内容   | Supervisory Remote Robotics   | 自己修理技術<br>与圧スーツ的外装 高度In-Situ操作  |  |
| アウトリーチ | Website等<br>展示・月疑似体験@科博   | 分身ロボットによる月面体験を開放  | 月ロボットチャレンジ   |
| Phase  | 機能開発  | 月面基地インフラ開放<br>(コンテナ・電力サプライ・通信サーバ)   | 国際協力を主導<br>月作業サービスプロバイダ  |

# システム開発体制のパラダイム転換 **【擦り合わせ型研究開発からオープン・モジュラー型へ】**

Project 研究開発体制: 従来の国プロの制限を克服する柔軟な体制

精神: Ask not what Project L will do for you, but together we can do for the project. を共有

人材育成の場: 人材のon the jobインキュベーション、成果と人のスピナウトを通じた産業活性化





# 月探査のインフラ

高度ロボットによる月探査研究開発システムは、輸送系・エネルギー系・通信系からなる科学・技術開発活動を支えるインフラ構築と、科学のフロンティアや技術のフロンティアに挑む研究開発コンテンツからなる。

ロボット月探査計画の場合、予算的にはインフラを構築する部分が大半を占め、ロボット関連のコンテンツ開発に関わる予算は一部に過ぎない。この中で、どのようなロボットを開発しつつ月探査を行うかが検討課題であった。サンプルリターンを目的とする月探査計画以外にも、色々な月探査に係わる科学・技術上のチャレンジ構想がある。それらを別々の計画として実行するなら、各計画が巨額の予算を要する同じようなインフラを開発しなければならない。計画が大型になるほど、この問題は深刻になる。

本提案は、月面基地に集約される月探査インフラ、即ち、(1)スペースと重量、(2)電源サプライ容量、(3)情報通信サーバーを、メインミッション以外の研究開発にも開放する仕組みを作ることを提案する。提供されるインフラを活用することで、多目的の月探査・月利用ミッションを、柔軟かつ効率的に並行して実施可能であることを、具体的な開発計画として示したものである。メインミッションで構築されたインフラの一部がメインミッション以外にも提供されるならば、月の場で行う様々なレベルの挑戦的な研究開発は、そのコンテンツのための予算計画だけに集中すれば良くなる。その様にして、月を舞台とする様々な研究開発が、多くの人の手の届くところになって、研究開発が活性化され、技術立国に弾みをつけることになると考えられる。

本提案は新しいオープン・モジュラー型の研究システムの提案でもある。月探査インフラをシェアする仕組みを作り、うまくスケジュールすることによって、メインミッション以外の研究開発にも道を開く。そして、次世代未踏技術開発、チャレンジ精神に富む若手人材の育成、市民に対するアウトリーチなど、多彩な宇宙開発活動に挑戦する機会を現実のものとし、これらの参加を通じて広く国民の支持を得ることにつながると考える。