

「きぼう」自動実験システムの構築に向けた 情報提供依頼（RFI） 補足説明資料

2023年10月2日
宇宙航空研究開発機構（JAXA）
有人宇宙技術部門きぼう利用センター

本資料の目的

宇宙航空研究開発機構（JAXA）有人宇宙技術部門きぼう利用センターが行う、「『きぼう』自動実験システムの構築に向けた情報提供依頼（RFI）」に関する補足情報について、本RFI参加者に対して提供することを目的とする。

尚、本資料中の記載については、本RFIの発出段階での検討状況を示すものであり、最終的な開発・契約等における前提・要求・その他関連情報とは一致しない可能性があることに留意のこと。

※本文書中で、TBDとある場合はTo Be Definedの略であり、現状では不確定であることを示す。

情報提供要請書 に対する補足

文部科学省より示された「ISSを含む地球低軌道活動の在り方について」(提言)

(情報提供要請書 1. 背景・目的 補足)

■ 2030年までのISS運用延長に日本が正式に参加表明(2022/11/18)。

- ・ 米国、ロシア、カナダ、日本、欧州(11カ国)が参加する国際宇宙ステーション計画は、その運用に参加する期間を各国政府が期間を設定している。日本においては、政府(文部科学省)がその主体。
- ・ 2022年11月までは2024年の運用が国際合意されてたが、2022年11月18日に2025年～2030年までの日本としての運用延長参画の方針が示された。

■ その際、文部科学省宇宙開発利用部会提言において、宇宙環境利用の遠隔化・自動化・自律化は、期待される効果として示された。

6. ISS運用期間延長の意義(まとめ)

1. に詳述したとおり、ISSは我が国の宇宙活動を支える唯一の有人プラットフォームとして不可欠であり、高い価値を有していると考えられる。また、仮に2030年までISS計画に参加を継続する場合は、これらの価値が更に高まるだけでなく、以下のような効果も期待される。

- ・ アルテミス計画に必要な更なる技術の獲得・実証
- ・ 遠隔化・自動化・自律化等の機能向上の取組による、効率的・効果的で持続性の高い宇宙環境利用の実現
- ・ 将来の地球低軌道における民間活動の拡大のための準備機会の確保

一方、仮に2024年を最終年として我が国がISS計画から脱退する場合は、我が国は、2020年代後半の地球低軌道において、

技術を生い、将来的にそれらを取組

出展:

https://www.mext.go.jp/content/221118-mxt_uchukai01-000026024_1.pdf

(該当)

← 直接該当

(該当)

頂いたご意見・情報等のJAXAでの活用に関する補足

(情報提供要請書 1. 背景・目的 補足)

皆様より頂く情報・ご意見等につきましては、以下のような考え方で、JAXAにて有効活用をさせて頂く所存です。

■ JAXAの今後の開発に関する情報・ご意見等について（主に4. 依頼内容(1)）

本RFIの後に予定している本システムの開発に向けた調達における要求仕様、契約の形態※の検討に活用させていただきます。また、概算コスト・スケジュール等はJAXAのプロジェクト計画の成立性、要すればスコープ設定等にも活用をさせていただきます。

※例：まとめて発注（プライム方式）または分割して発注（JAXAインテグレータ方式）等

■ 皆様の多様な利用アイデア等に関する情報・ご意見について（主に4.依頼内容(2),(3)）

本システムの開発の初期のシステム要求への反映を考えています。

但し、可能な限り皆様のアイデアを活用させていただきたいと思っておりますが、実現に向けてはリソース、その他各種制約がございます。

つきましては、以下のような評価指標により、JAXAにて優先度等を検討させていただく予定です。

- ① 利用頻度・潜在的利用者数の見込み等（事業性確保のため）
- ② 現在のJAXAが検討するシステム要求（案）に対する変更の程度（コスト等の観点）
- ③ 国際宇宙探査活動への発展可能性等、JAXAの目指す方向性への適合性

尚、現時点では頂きました多様なアイデアを本開発の中で、実現するということは想定はしておりません。

一方、有望なものは、今後も引き続き対話を重ねさせて頂くとともに、発展・拡張検討や、御提案者様において当該利用に特化した装置等を開発される場合は、本システムにとっては潜在的ユーザ様として取り扱わせていただきます。

(1) JAXA本ミッション（解剖）のシステム要求（案）に関するご意見・情報のご提供

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）に係る経緯

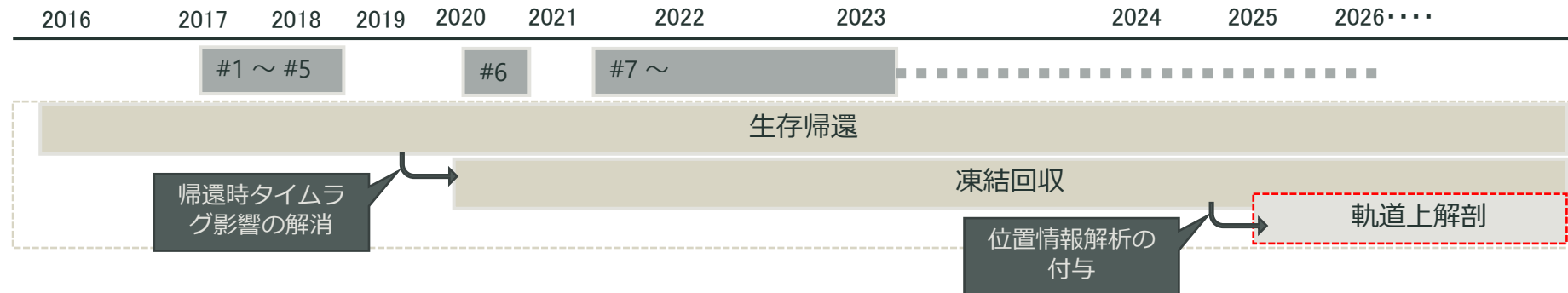
- 2016年より開始した小動物飼育ミッション(※)は、微小重力から1Gまでの人工重力環境下でマウスを飼育できる世界で唯一の装置（可変人工重力研究システム：MARS）を用いて、これまで8回の軌道上長期飼育に成功し、既に20報以上の論文が発表されている。MARSでは月面重力（1/6G）、火星重力（1/3G）を模擬することが可能であることから、将来の有人宇宙探査に向けた生体影響の基礎データも並行して蓄積している。
（※参考：小動物飼育装置（MHU）を使用した健康長寿研究支援プラットフォーム
<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/provide/mhu/> ）
- 小動物飼育ミッションは下記のようなフェーズ分けを行い、フェーズ毎に計画および実施結果の妥当性を評価している。
 - ・第1フェーズ：装置開発と2016年実施の第1回ミッション
 - ・第2フェーズ：2020年度実施予定の第6回ミッションまでと定義
 - ・第3フェーズ：2021年度実施予定の第7回ミッションから2024までと定義
- 2020年に実施した小動物飼育ミッション第3フェーズのミッション定義審査にて、ミッションを推し進めるためのインフラストラクチャの拡大として、軌道上での解剖システムの開発に向けた検討準備活動が承認された。

(1) JAXA本ミッション（解剖）のシステム要求（案）に関するご意見・情報のご提供

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）に係る要求

小動物飼育ミッションでは、生存帰還時、研究者へサンプルが引き渡されるまで時間を要し、地上の重力にさらされる時間（タイムラグ）が存在する。このタイムラグにより、微小重力の影響が回復してしまう器官が存在するため、純粋な微小重量の影響を評価するためには、タイムラグを極力なくすることが望ましく、軌道上にて組織を回収することが必要になる。第6回小動物飼育ミッションでは、凍結回収を行うことでタイムラグ影響の排除をすることで対応してきた。軌道上での解剖システムを確立することで、凍結ではできない位置情報の解析が可能になり、今後の脳高次機能の解析や臓器連関の解析に資することが可能になる。



	メリット	デメリット
生存帰還	<ul style="list-style-type: none"> 最新設備で解析可能 トップサイエンティストが参加でき、分子解析（DNA/RNA）に加えて、位置情報解析（組織解析（ホルマリン固定））が可能（ただし、帰還時タイムラグは残存する） 	<ul style="list-style-type: none"> 帰還時タイムラグにより微小重力の影響が回復してしまう 帰還タイミングはビークル依存
解剖	<ul style="list-style-type: none"> 分子解析（DNA/RNA）に加えて、位置情報解析（組織解析（ホルマリン固定））が可能 帰還時タイムラグ影響がない 地上研究で一般的に使われている 	<ul style="list-style-type: none"> クルータイムがかかる 作業者の技術力への依存度が高い
凍結	<ul style="list-style-type: none"> 作業者の技術力への依存度が低い 分子解析（DNA/RNA）が可能 帰還時タイムラグ影響がない 	<ul style="list-style-type: none"> 地上研究で一般的には使われていない

(1) JAXA本ミッション（解剖）のシステム要求（案）に関するご意見・情報のご提供

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）に係る要求

軌道上での解剖を行う標的組織について、小動物飼育ミッションにおけるサイエンスコミュニティの拡大・フロンティアの拡大の2つの観点から設定した。

サイエンスコミュニティの拡大：地上研究加速寄与

…全脳、心臓、腎臓

- ・国が設定するAMED等の計画において設定される特定組織
医療分野研究開発推進計画(AMED)・ムーンショット・第5期科学技術基本計画においては、高齢社会の日本における健康寿命増進にかかり、高齢化等に起因する慢性疾患等（認知症(中枢神経系)、糖尿病(腎臓)、高血圧・動脈硬化(心臓・循環器系)）等の推進が提唱されている。

フロンティアの拡大：国際宇宙探査に向けた基礎データ蓄積

…後肢、全脳、眼球、血漿、精巢(次世代)、胸腺、血漿

- ・過去の小動物飼育ミッションにおける実験成果において微小重力での変化が明らかになっている組織
- ・ヒト（宇宙飛行士）において微小重力での変化が明らかになっている組織

(1) JAXA本ミッション（解剖）のシステム要求（案）に関するご意見・情報のご提供

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）に係る要求

JAXAが設定した本システムのミッション（本ミッション）において、以下のような段階的なサクセスクリテリアを設定した。本ミッションのシステム要求書（案）はこれを実現するために、開発すべきシステムに対する要求の案を示すものである。

	クライテリア	備考
ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none">サイエンスコミュニティの拡大およびフロンティアの拡大に資する以下標的組織のうち、1組織を摘出し、帰還させることができること。（自動化・自律化技術の獲得） 後肢、全脳、心臓、腎臓、生殖系、血液、眼、胸腺	判断時期：本システムを使用するミッションの運用後評価会審査会
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none">上記標的組織のうち4組織以上を摘出し、帰還させることができること(ミニマムサクセスの1組織を含む)*1。帰還した固定組織が、地上において標準的に利用されているImagingMS、LMD RNAseqなどの位置情報解析にて、評価できること。	判断時期：本システムで解剖ミッションを行う小動物の実験フェーズ運用終了時 ただし、*1については判断時期を以下に設定する *1)判断時期：遠隔解剖システムを使用するミッションの運用後評価会審査会
エクストラサクセス	<ul style="list-style-type: none">帰還した組織と地上対照群の比較により、軌道上/地上において変化する組織内領域を2つ以上同定できること。	判断時期：第3フェーズ運用終了時

初回の軌道上技術実証ミッションに向け、下記の4組織取得を目指す。

①心臓、②腎臓、③精巣、④胸腺

なお、麻酔下での全血採血後に解剖台に設置するため、血漿はクーラーにより取得される。(計5組織)

(2) JAXA利用（分注（ピペッティング）の自動化）に関するご意見・情報のご提供（発展要素）

（情報提供要請書 4. 依頼内容 補足）

JAXA利用（分注（ピペッティング）の自動化）に関して

分注とは、医療・理化学分野の実験において、ピペットなどで試料となる液体を一定の容量ずつ吐出することです。

現在のISSにおいては、宇宙飛行士による手作業で行っています。これをロボット等で自動化し、作業効率と精度・再現性を上げていくことを考えています。

既に地上でも多くの自動分注装置は活用されていますが、装置の小型化や微小重力環境（重力無し）の状態での作業が求められます。

このような制約のもと、自動化された分注作業により、高精度・高頻度・高再現性の分注作業を実現する技術や製品、方法等についてご意見・情報をご提供頂きたいと思えます。



©NASA



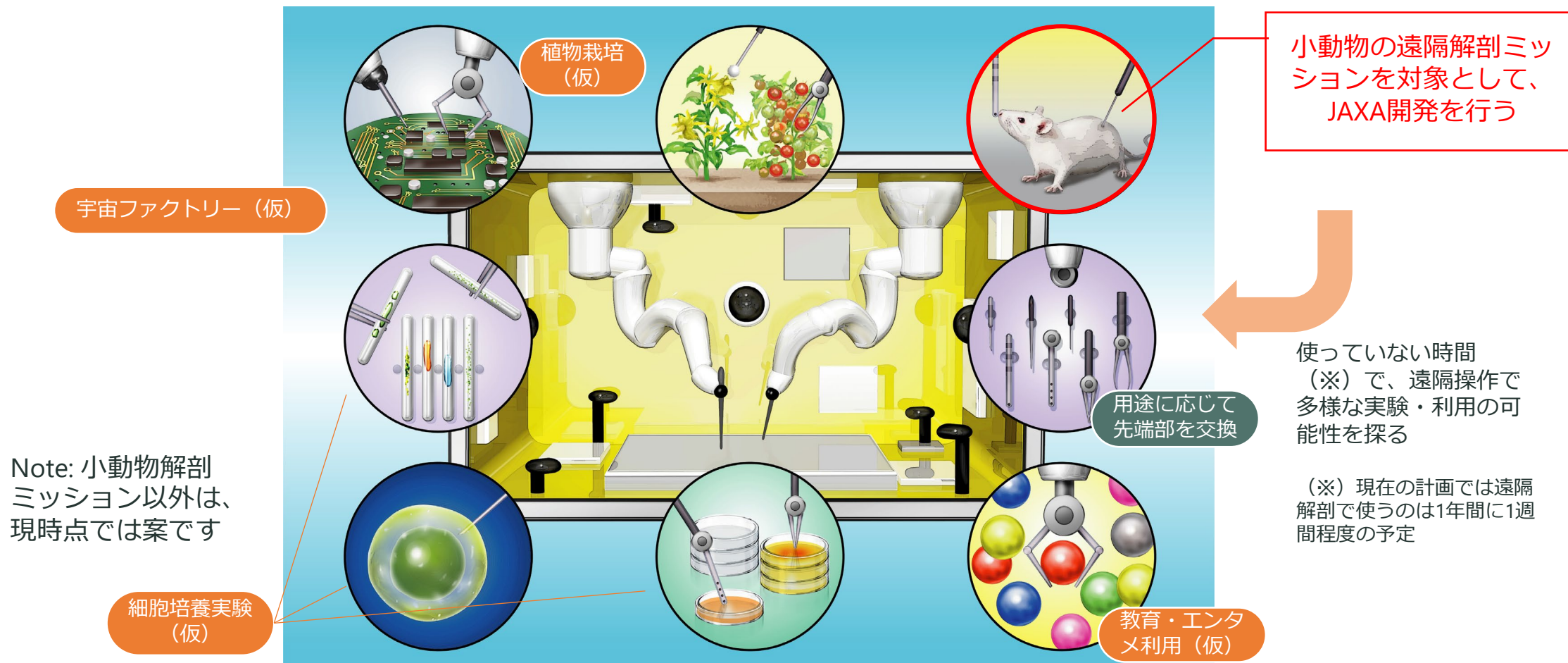
©NASA

(3) 本システムを活用した他利用に関するご意見・情報のご提供 (発展要素)

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

多様な利用の例

例えば、月面での活動や宇宙旅行時代を見据えた宇宙での植物栽培、「きぼう」船外実験プラットフォームと連携した超小型衛星等の検査・修理・製造等を行う宇宙ファクトリーのための実証または一部実用、細胞培養実験の自動化による高効率化、教育目的利用、エンターテインメント利用等。



(4) デジタル技術を活用した発展性・利便性向上に関するご意見・情報のご提供 (発展要素)

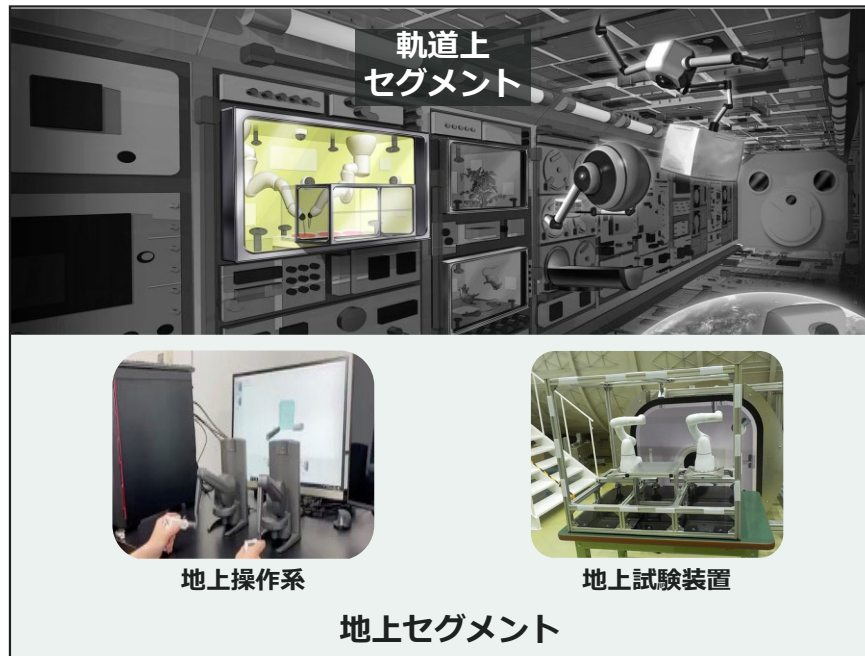
(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

発展要素としては、例えば各ユーザが実際の実験をする前にその実現性を検討するためのシミュレーション環境の構築や、AI・データ駆動型科学(※)への発展を見据えたデータ蓄積(例：微小重力環境下でのロボット制御に関するデータ、自律的な実験を目指した機械学習のためのデータセット等)、複数ユーザの利便性向上のためのUIや、JAXA運用環境(筑波宇宙センター)以外の、例えばユーザに近い各種拠点(X-Nihonbashi等)からの遠隔操作のための仕組み等。

(※参考：<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2021-SP-03.html> , JST(2021.8))

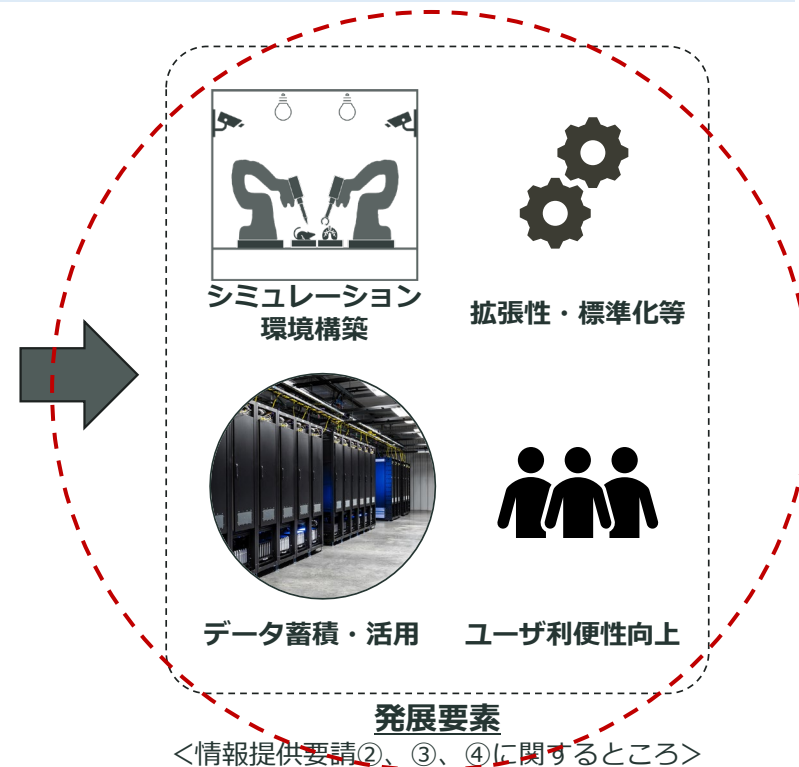
発展要素(案)

- 一方、AI活用・自動化を含む、多様な利用への発展やPostISSを見据えた事業性確保のための発展性についても検討する。



基本構成：「きぼう」自動実験システム (GEMPAK)

<情報提供要請①で聞くこと>



(5) 持続的・自立的な事業の成立に向けたご意見・情報のご提供

(情報提供要請書 4. 依頼内容 補足)

情報提供要請書 5. (5) でお聞きしたいことのイメージは以下

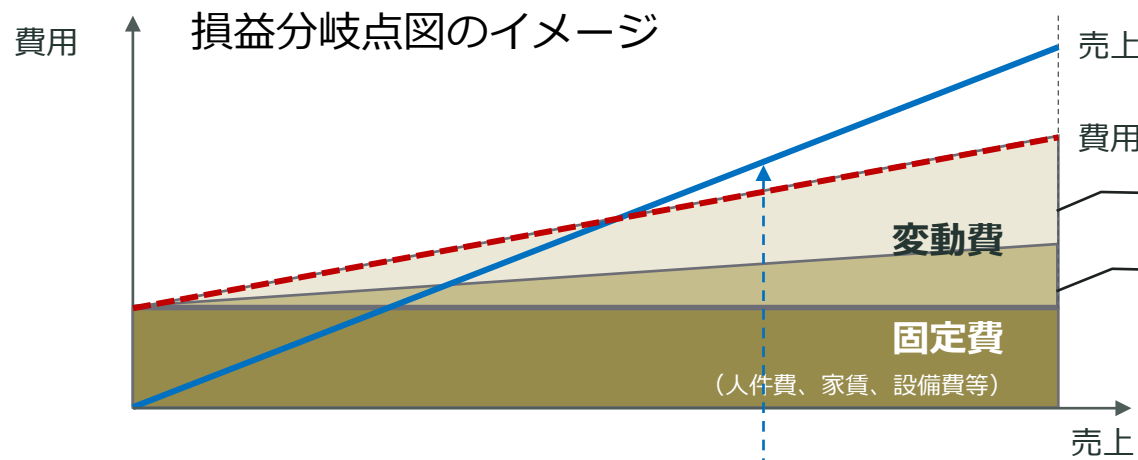
①(ア)(1)~(4)の各利用等に対するビジネスモデルと事業成立性の見込み

例えば、下記の損益分岐点図と利益構造の例示。

②(イ)持続的・自立的な事業として成立させるための課題や障壁、国・JAXAに対する支援や制度等に関するご要望

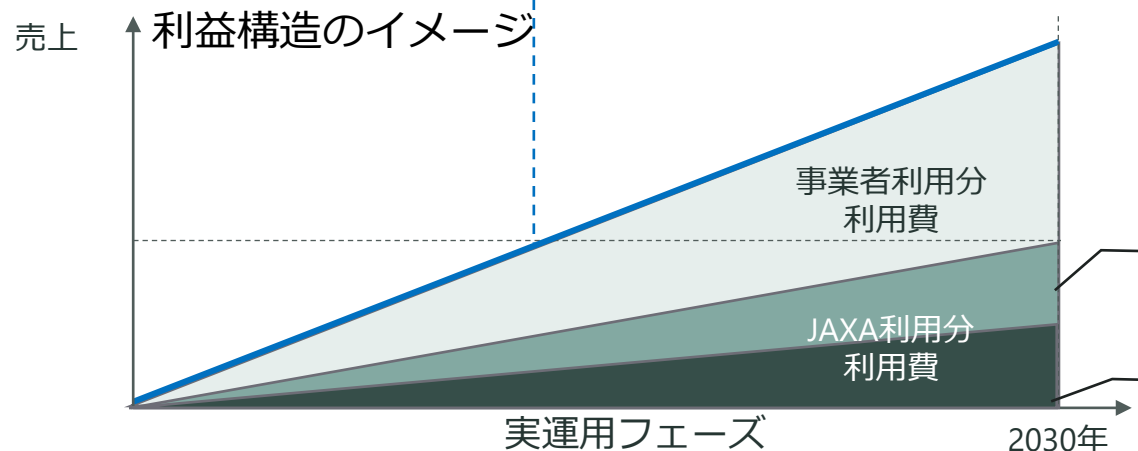
例えば、①の成立性が当面難しい場合、「事業者負担」として仮定している打上げ・利用リソース費用の一定期間の減免。

例えば、JAXA利用の定量的な目標値。



事業成立性検討の前提（初期仮定）

JAXA負担	事業者負担
<ul style="list-style-type: none"> 基本装置開発 JAXA利用分に関する装置開発 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者利用ユニークに係る費用（ユニーク装置開発費等） 事業者利用にかかる打上げ・利用リソース費用等

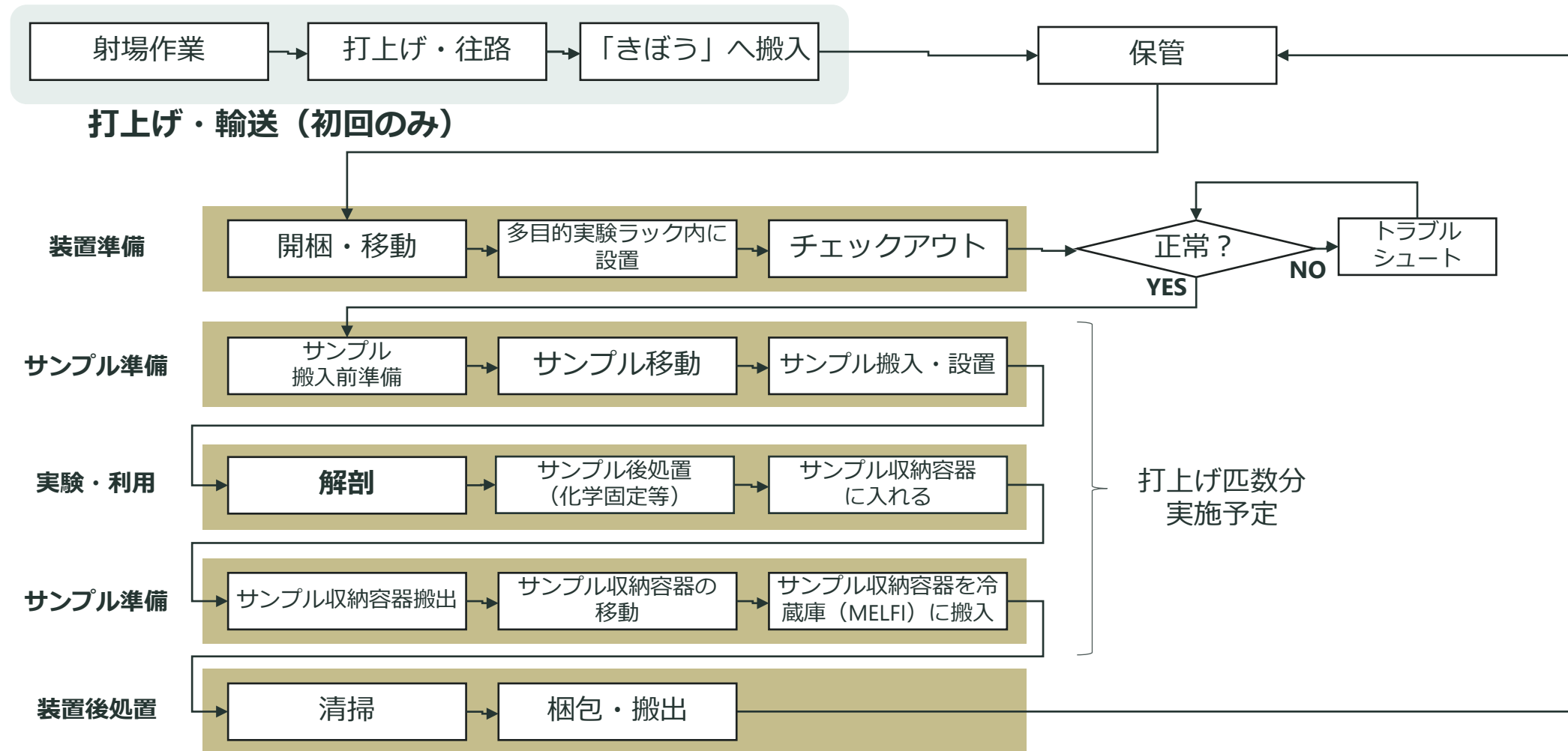


※1回は分注1回ではなく、N数を多く取った1セットを想定

※地上作業員の計画・準備・運用・後処置・まとめ含む。
※軌道上作業は3日間（4匹分）を想定。
※クルータイム、打上げ・利用リソース等は含まない（JAXAによる）

別添 3
システム要求書 (案)
に対する補足

全般： 軌道上での運用イメージ

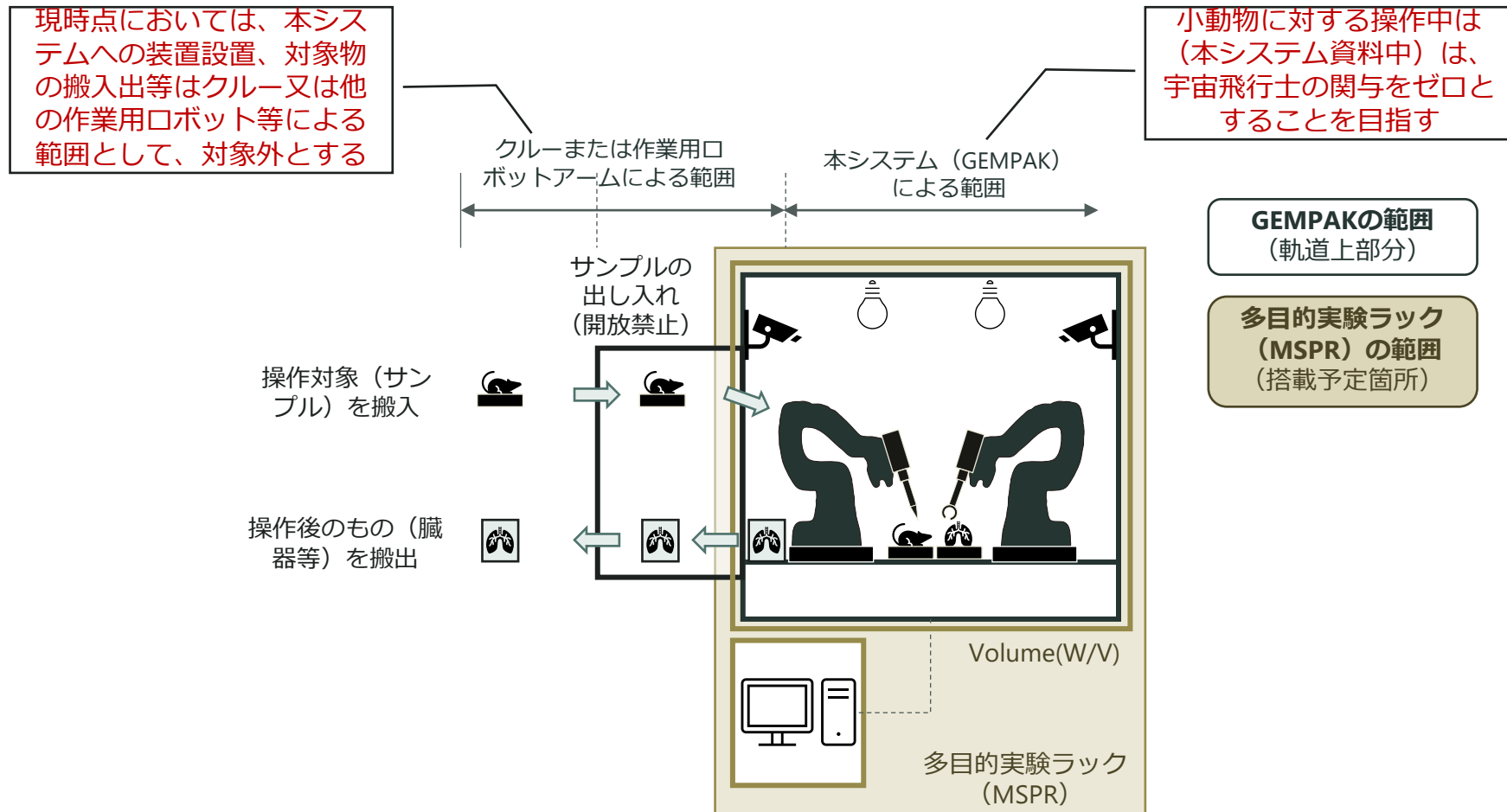


開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（1）クレー作業の最小化と実験・利用中のクレー関与ゼロ

クレー作業についてはクレータイムの最小化を目指す。また、地上から行うマウス解剖作業において、クレーに対し緊急の対応を要請することがないように、タイムクリティカルな対応を極力要求しない設計とする。但しコスト・技術的成立性の観点から、クレーによる対応が望ましいと判断した場合はその限りではない。

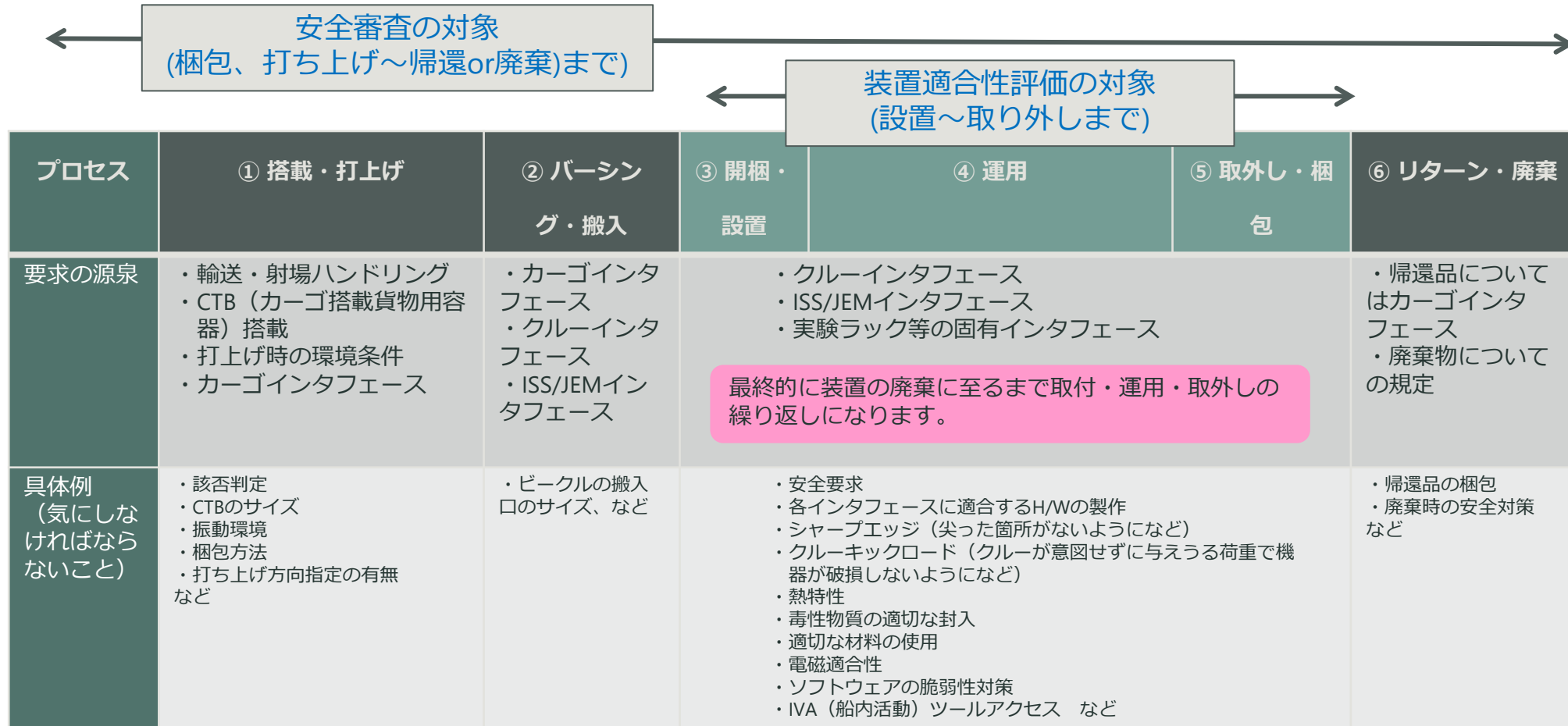


開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（２）利用ユーザに強いる負担（有人安全対策等）の最小化

補足説明(1/4) JEMペイロードのライフサイクルと要求



開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（2）利用ユーザに強いる負担（有人安全対策等）の最小化

補足説明（2/4） 毒性物質・バイオ物質の封入要求について①

<評価対象>

～ 毒性物質～

- ・ 化学物質(液体／ゲル、気体、粉末／粒状固体、溶融金属) 全般。

[例] 電池の電解液（液体）、水、空気（酸素・窒素）、等々。

～ バイオ物質～

- ・ 生物試料(動植物の細胞、種、排泄物、細菌等)

[例] 細菌、ウィルス等の病原体 及び それらを内包する可能性がある動植物の細胞、
動植物自身（マウス、魚、等）、土、種、排泄物、等

要求はこれに限りませんが、
特に本装置の設計にクリティカル
である毒性物質・バイオ物質につ
いて説明を加えます。

開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（2）利用ユーザに強いる負担（有人安全対策等）の最小化

補足説明（3/4） 毒性物質・バイオ物質の封入要求について②

4%ホルムアルデヒド水溶液
（ホルマリン）はTHL=2

THLのCriteria

THL (Toxic Hazard Level)	概要	封入数/使用不可
0 (Non Hazard)	僅かな刺激で、治療を必要としない。	0/1重封入
1 (Critical)	並みの刺激で、治療を必要とする。	2重封入
2 (Catastrophic)	長期間の疾患（目の損傷）を引き起こす可能性がある並み～強い刺激で、治療を必要とする。	3重封入 (5μ surgical masks, gloves, goggles.使用可)
3 (Catastrophic)	長期間の疾患（目の損傷）を引き起こす可能性がある並み～強い刺激に加えて、全身的にはがん等の重大な疾患を引き起こす可能性あり。	3重封入 (quick-don masks又はSEBS、glovesが必要)
4 (Catastrophic)	長期間の疾患（失明等）を引き起こす可能性がある並み～強い刺激に加えて、全身的にはがん等の重大な疾患を引き起こす可能性あり。	使用不可

BSLのCriteria

安楽死済みのマウスはBSL=1

BSL (Bio Safety Level)	概要	封入数/使用不可
1	健康な成人に対して病気を引き起こすことはない。	1重封入
2M (Moderate)	人間の病気を引き起こすリスクは中程度。	2重封入
2H (HighModerate)	人間の病気を引き起こすリスクは高い。	3重封入
3	死に至る病気を引き起こす可能性あり。	使用不可
4	高い確率で死に至る病気を引き起こす可能性あり。	使用不可

開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

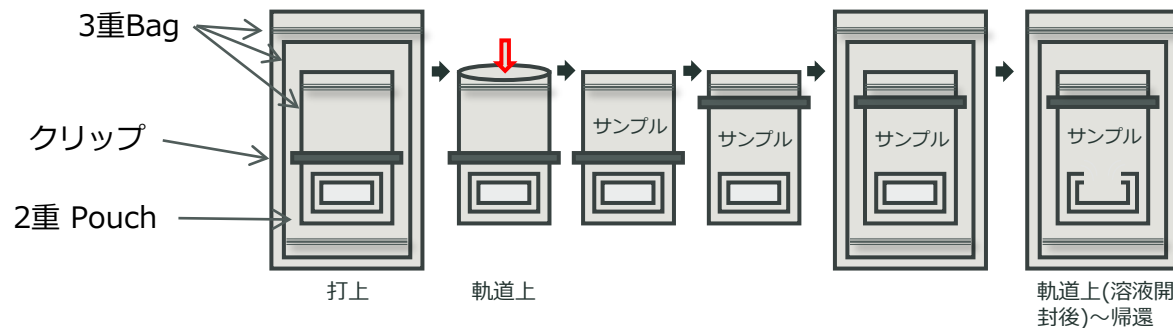
（2）利用ユーザに強いる負担（有人安全対策等）の最小化

補足説明（4/4） 毒性物質・バイオ物質の封入要求について③

封入設計の確認

- ・ THL/BSL（ハザードシビリティ）に応じた**封入手段(数)**

<THL:2の溶液に対する3重封入の例>



運用（実験）作業含め、
全てのフェーズで必要な
封入数が維持されること

- ・ 封入材料と試料との**適合性確認**

✓ 材料適合性データの確認

Database等により、適合性(反応性がない)を証明できる場合は、浸漬試験は不要。

✓ 浸漬試験

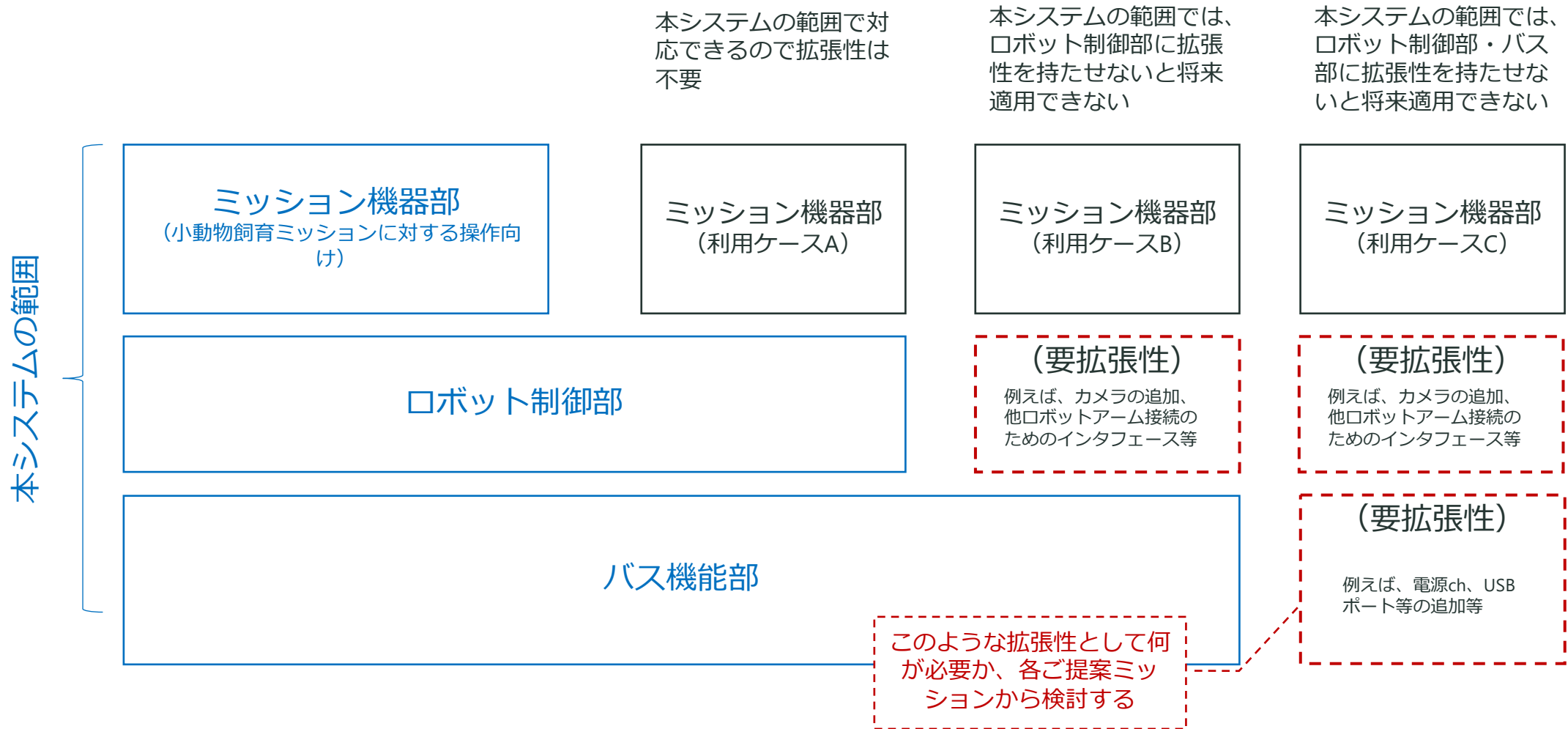
浸漬試験にて、打上げから運用、帰還までの期間を安全寿命として保証する。

開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（3）拡張性を有する設計とする

GEMPAKは、主な利用ミッションであるマウスの軌道上解剖に必要な機能に加え、優先度等の考慮の上、自動分注機能や多様な利用機会の提供機能を含む発展的な活用方法に供するためのインターフェース機能を有する設計とする。



開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（４）民生品の積極的な活用と開発要素の最小化

地上産業等で十分に成熟していると考えられる技術や、それを使用した民生品を積極的にシステム構成品として活用し、開発費の低減、開発期間の短縮に努める。特に、ロボット制御部を構成する品目については開発要素を最小限に抑える方針とし、入手性、メンテナンス性が高いこと。

上記の通り、本システム開発においては、地上で既に活用されている技術、民生品を積極的に活用していきたいと思っています。

一方で、民生品をISSの中で活用するためには、幾つかの調査と対応が必要になります。

例えば、アルミ電解コンデンサは一般的に宇宙での活用を制限されています。また、可燃性の材料の使用制限や、ある基準以下の電磁ノイズを発生しないこと等の要求もあります。

これらについては、今後、JAXAとの開発検討の中で詳細に詰めていきたいと思っています。

1つ1つの装置・製品等で対応する部分もありますが、極力、システムレベルでの対応（例えば、本システム全体を密閉環境とすることで、外部から安全上の隔離を行う等）を考慮していき、地上製品等の宇宙での活用の敷居を下げていきたいと考えています。

開発方針（案）

（システム要求書（案） 3.2.1項 補足）

（5）開発方式はBBM/PFMとする

基本方針(JJX-2017018)に照らし合わせて、BDB-06005B「JAXA 技術成熟度（TRL）運用ガイドライン」に基づき、TRL評価を行う。TRLに応じ、BBMを用いて、製作・試験を実施して設計の妥当性を評価し、フライト品を製作する前のリスクを低減する方針をとる。

※BBM（Bread Board Model）：新規技術要素を有する開発において、設計の実現性を確認するために製作・試験されるモデル。

※PFM（Proto Flight Model）：設計に問題がないことを確認すると共に、打上げ用の実機としての品質を備えていることを確認するモデル。

宇宙機の開発には、いきなり宇宙へ打上げる実機を作るのではなく、試験用のモデルを製作して各種試験を行って設計の妥当性を検証してから、実機の開発へと進みます。

また、この試験用に製作したモデルは、訓練などに使用したり、実機が打ち上げられた後、地上でのシミュレータとして使われることもあります。

本システムの開発においては、BBMを必要な部分（主に技術リスク・不確実性が高い部分）に対して製作し、試験によってそのリスク低減を行います。その後、フライト品を設計・製作していくというプロセスを考えています。

宇宙機の開発段階で製作される一般的なモデルの種類については、以下を御参考下さい。

<https://humans-in-space.jaxa.jp/faq/detail/000491.html>

前提条件（案）

（システム要求書（案） 3.2.2項 補足）

（1）多目的実験ラック：MSPRを使用する

本システムは多目的実験ラック（MSPR）のワークボリューム(WV)、小規模実験エリア(SEA)、ワークベンチ(WB)に設置する。



多目的実験ラック
(MSPR)

- 詳細は、JX-ESPC-101177A 多目的実験ラック・多目的実験ラック2号機/実験装置標準インタフェース管理仕様書による（情報提供要請書11.(9)の処置後提供予定）
- ワークボリューム（WBV）の内寸は、約900mm（幅）×約700mm（奥行）×約600mm（高さ）



©JAXA/NASA

（参考）多目的実験ラック（MSPR）にて作業を行う大西宇宙飛行士

前提条件（案）

（システム要求書（案） 3.2.2項 補足）

（2）クルーによりシステムの設置・取外しが可能なこと

多目的実験ラックは複数実験で使用する共用スペースのため、取外し含めクルー作業で対応すること。また、非運用時は軌道上において保管ができること。

- 下記の例のように、ワークボリューム内に搭載するものはクルーによって取付、取外しを行うものとする。現時点では、クルー作業によるため、クルーへの安全要求が課せられる（例：とがった箇所がないようになど（シャープエッジ対策））



参考：多目的実験ラック2（MSPR-2）から静電浮遊炉（ELF）の取出し作業を行う大西宇宙飛行士

前提条件（案）

（システム要求書（案） 3.2.2項 補足）

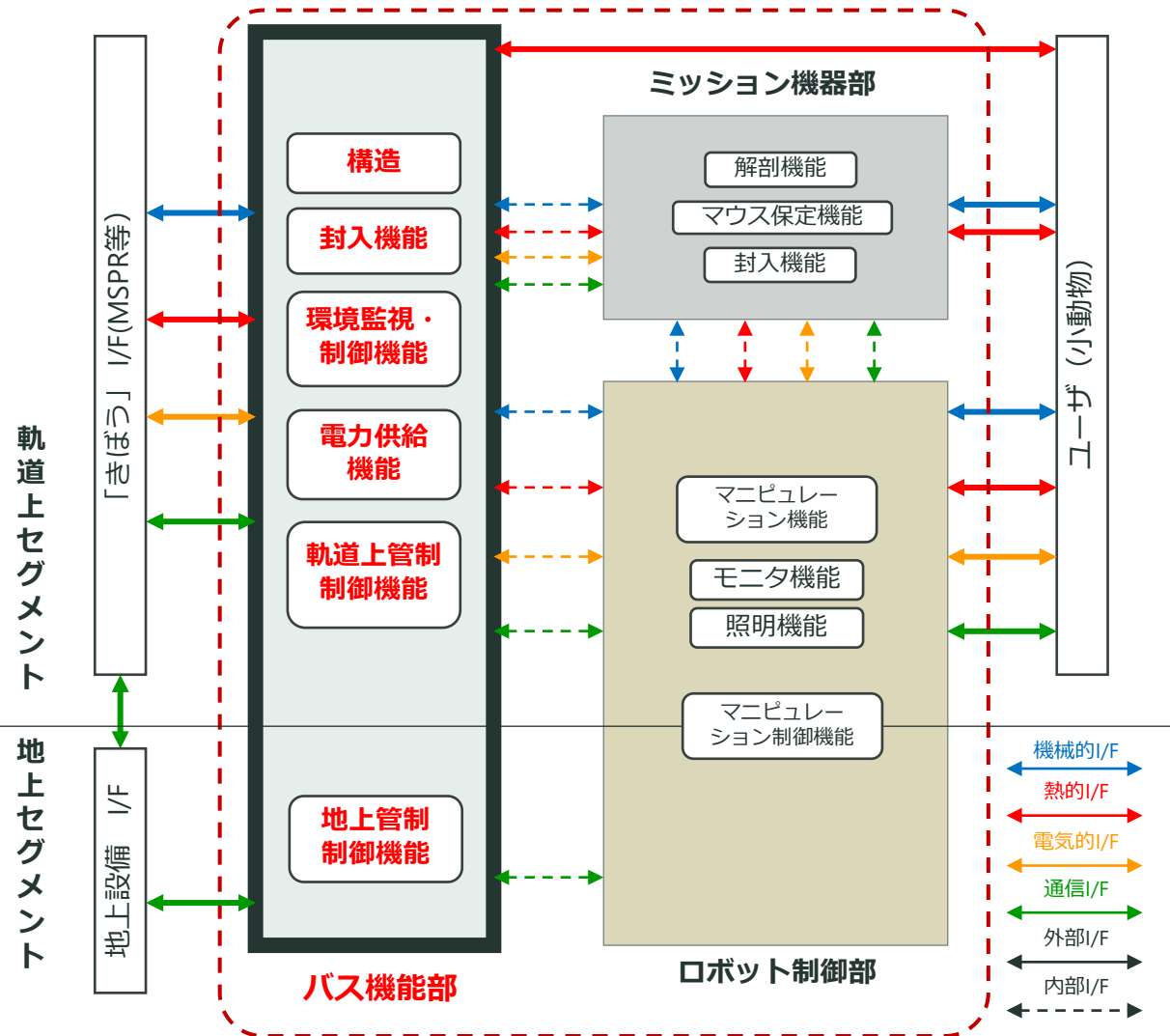
（3）ロボット制御部に関わるソフトウェアは打上げ後のアップデートが可能なこと

研究開発用途に拓かれた開発環境を提供するため、ロボット制御部に係るソフトウェアは打ち上げ後のコンフィグ変更が可能な仕様とし、動作環境はロボット用ソフトウェアプラットフォームである、Roboto Operating System(ROS)及びその上位互換との互換性を有することが望ましい。

- 現状、ROSは、ROS2とROS3が存在する。
- ROS2が主流であるが、今後、ROS3への移行が想定されると認識している。
- このため、どちらのバージョンで開発・整備を行うべきかについても、そのメリット・デメリット・実現性・将来性・拡張性等の視点を踏まえて、情報・意見をお聞きしたい。

システム特性 主要機能要求 -バス機能部特性-

(システム要求書 (案) 3.4.1項 補足)



【バス機能部】

➤ 構造機能

- (1) バス機能部はMSPR内に設置できること
- (2) 搭載物に対する位置決めができること
- (3) ロボット制御部を設置できること
- (4) ミッション機器部を設置できること
- (5) 軌道上運用時の環境条件に耐えられること

➤ 封入機能

- (1) 毒性評価においてTHL2以下の試薬等を扱えるようにバス部として2重封入機能を有すること(ミッション機器部と合わせて3重封入)
- (2) 封入を維持した状態で物品を出し入れできるインターフェースを有すること
- (3) 封入を維持した状態でクルーがミッション機器部にアクセスできるグローブボックス機能を有すること

➤ 環境監視・制御機能

- (1) ミッション機器部の 温度・湿度がモニタできること
- (2) ミッション機器部の温湿度は、キャビンエアの要求温度を逸脱しない温度であること

➤ 電力供給機能

- (1) MSPRから供給される電力をシステム構成品に分配できること
- (2) 緊急時には軌道上でクルーによりハザードの原因となる機器への電力共有を遮断できる機能を有すること。

➤ 軌道上管制制御機能

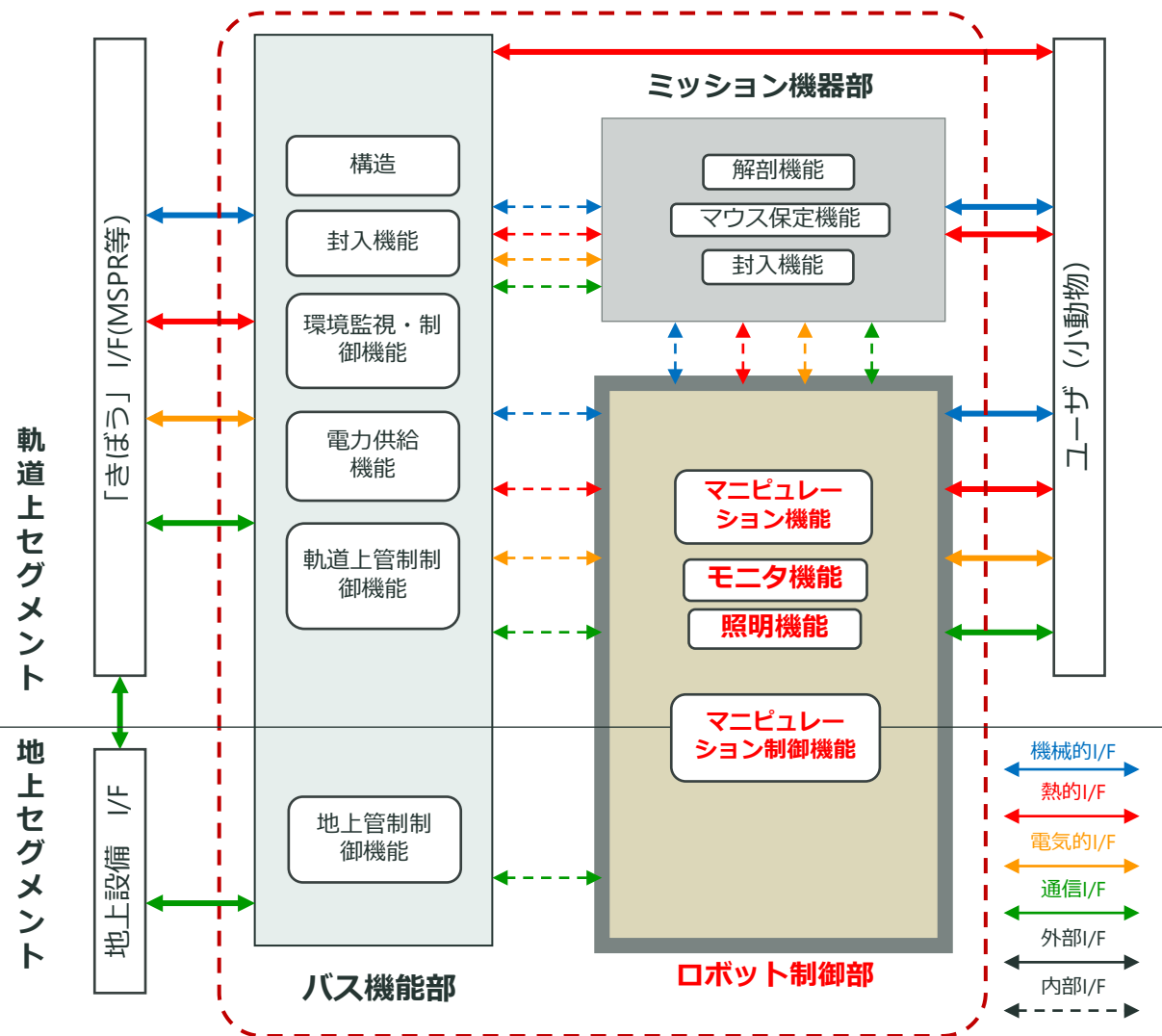
- 以下の機能を有すること。
 - ①コマンド受信・処理機能
 - ②テレメトリ送信機能
 - ③ファイル転送・更新機能
 - ④時刻同期機能
 - ⑤ヘルス & ステータスデータ収集機能

➤ 地上管制制御機能

- 以下の機能を有すること。
 - ①コマンド送信機能
 - ②テレメトリ受信機能
 - ③ファイル送受信機能

システム特性 主要機能要求 - ロボット制御部特性 -

(システム要求書 (案) 3.4.2項 補足)



【ロボット制御部】

➤ マニピュレーション機能

- 十分に安定したシステム構成であり軽量且つ柔軟物を対象として微細に操作可能な機能を有すること。詳細は2.1.1(3)JDX-2023177「きぼう」自動実験システムGEMPAK向けロボットアーム要求事項によること。

➤ マニピュレーション制御機能 (抜粋)

- 全体要求
 - マニピュレーション制御機能は以下の(2)、(3)の二つの駆動モードを有すること。駆動モードは装置の起動中において任意のタイミングに切り替えが可能であること
 - マニピュレーション制御機能は安全化のため、不可侵領域の設定ができること
 - マニピュレーション制御機能は安全化のため、システムによる異常動作検知による自己安全化が可能であること
- オペレータコマンドオートシーケンス (Operator Commanded Auto Sequence, OCAS) 駆動モード
 - OCAS駆動モードは、軌道上マニピュレータ先端部の位置及び姿勢を数値で指定して軌道上マニピュレータ先端部への動作指令値を生成するモードである
 - マニピュレーション制御機能はOCAS駆動モードにおいて、①の駆動が可能であること
 - 遠隔リーダフォロウ (Leader Follower, LM) 駆動モード
 - 遠隔LF駆動モードは、地上側マニピュレータの姿勢変動をサンプリングすることにより、軌道上マニピュレータ先端部への動作指令値を生成する制御モードである
 - マニピュレーション制御機能は遠隔LM駆動モードにおいて、①の駆動が可能であること
 - マニピュレーション制御機能は遠隔LM駆動モードにおいて、時間遅れがある通信環境の下で柔軟物への精細な操作を行うことを想定した設計とすること

➤ モニタ機能

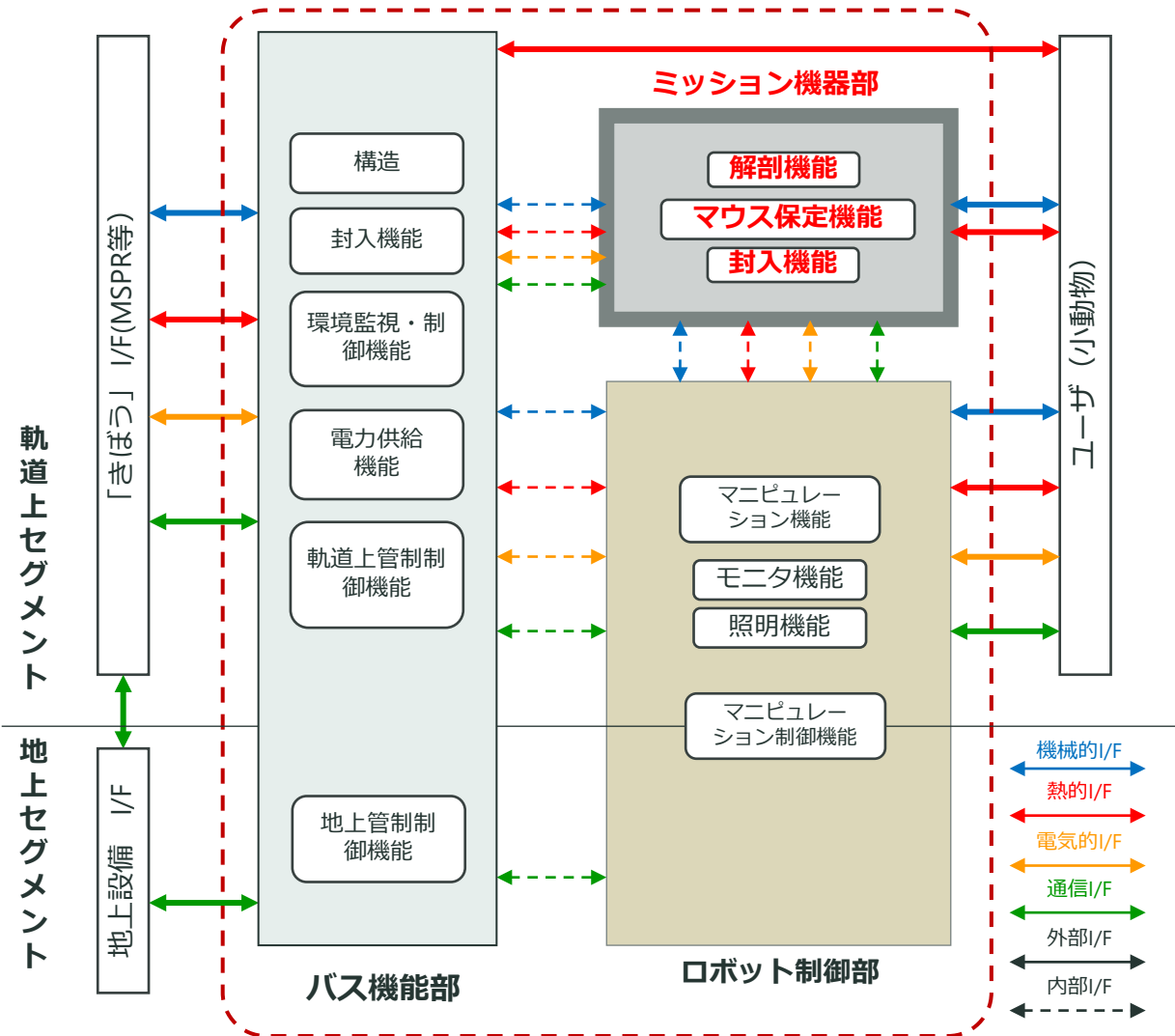
- モニタ機能はマウス1匹の全身と摘出前後の臓器の撮像が可能であること。
- モニタ機能はMSPR WVIに設置したシステムの内部空間を地上から視認可能なこと。
- モニタ機能は供試体を精細に把握するためズームアップ機能を有すること。
- モニタ機能は軌道上においてクルーがミッション部内を視認する手段を提供すること。

➤ 照明機能

- 照明機能はミッション部内の照度を制御する機能を有すること。照度の上限の目安は、主ミッションであるマウスの軌道上解剖が可能レベルとする。

システム特性 主要機能要求 - ミッション機器部特性 -

(システム要求書 (案) 3.4.3項 補足)



【ミッション機器部】

➤ 解剖機能 (抜粋)

- (1) 安楽死処置後に心採血を行い、システム機器に対して腹部を上にして保定された状態のマウスから臓器の摘出ができること。摘出対象臓器は(2)のとおりとする。なお、マウスについて動物種はマウス野生型(C57BL6/J)、性別はオス、体重は15g~40g、週齢は8週齢以上を想定したものとす。
- (2) 保定されたマウスに対し、4組織(心臓(1つ)、胸腺(1つ)、腎臓(2つ)、精巣(2つ))を摘出し化学固定ができること。
- (3) サンプルへの異物混入を防ぐため、システム機器がマウスと直接接触する部分についてはクレー操作を前提とせず軌道上で交換が可能なこと。
- (4) 解剖機能はマウス1匹に対し、サンプル搬入前準備である安楽死後から解剖を行い、化学固定までの時間を目標15分、 Worst 2時間45分以内を目途に可能であること。
- (5) 解剖機能は化学固定後に固定液を生理食塩水に置換し、90%以上(目安)の固定液を除去できること
- (6) 解剖機能は上記作業の実施中において保定されたマウスと接する面の温度を4°C±TBD°Cに維持できること。
- (7) 解剖機能は摘出したサンプルの保持中にサンプルの温度を4°C±TBD°Cを目途とした低温に維持できること。
- (8) 解剖機能は、軌道上で取得し、保存し、地上に帰還して解析に供するサンプルの品質として、臓器の立体情報が維持され解析に充分供する程度の品質に保つための能力を有すること。システムへの要求の範囲は臓器の取得から軌道上保存までとする。3.2.1項(1)から逸脱しない範囲においてクレー作業が前提することは可能であるとする。

➤ マウス保定機能

- (1) マウス保定機能は、クレーがグローブボックス内で安楽死処置後のマウスの四肢を広げた状態でロボット制御部のモニタ機能が仰向けに視認できるように保定できること。なお保定状態を、解剖中も維持できること。
- (2) マウス保定部はグローブボックスのバスボックスを通過できること
- (3) マウス保定部はMSPRの前面側からアクセスし、クレー操作により密閉バッグに収納後、MSPR内の解剖システムから取り外せること
- (4) マウス保定部は保定されたマウスをクレーによりバス機能部内の所定の場所に設置および取り外しができること。

➤ 封入機能

- (1) 毒性評価においてBSL1であるマウスをキャビン内で移動するためにグローブボックス内およびバス機能部内で1重封入できること。
- (2) 毒性評価においてTHL2以下の試薬等を、MSPR内で扱う場合にはミッション部として1重封入機能を有すること(バス機能部と合わせて3重封入)
- (3) 毒性評価においてTHL2以下の試薬等を、キャビン内で移動する場合にはミッション部として3重封入機能を有すること
- (4) 除去したホルマリンは3重封入を維持したまま廃棄できること

- ↔ 機械的I/F
- ↔ 熱的I/F
- ↔ 電氣的I/F
- ↔ 通信I/F
- ↔ 外部I/F
- ↔ 内部I/F

システム特性 主要機能要求 –解剖機能特性–

(システム要求書 (案) 3.4.3.1項 補足)

システム要求書案に示す解剖機能にかかる要求とその設定根拠を示す。

	システム要求案	設定根拠
(1)	安楽死処置後に心採血を行い、システム機器に対して腹部を上にして保定された状態のマウスから臓器の摘出ができること。摘出対象臓器は(2)のとおりとする。なお、マウスについて動物種はマウス野生型 (C57BL6/J)、性別はオス、体重は15g~40g、週齢は8週齢以上を想定したものとする。	<ul style="list-style-type: none"> 小動物飼育ミッションにおける標準的な動物種に対応するため 採血を実施しない場合、血液がシステム内に飛び散る恐れがあるため 採血を実施しない場合、血液が摘出サンプルについていることで、RNAの分子解析においてノイズとなるため
(2)	保定されたマウスに対し、4組織 (心臓(1つ)、胸腺(1つ)、腎臓(2つ)、精巣(2つ)) を摘出し化学固定ができること。	サクセスクリテリアにて設定した組織から選定した初回の軌道上技術実証ミッション向けの組織
(3)	サンプルへの異物混入を防ぐため、システム機器がマウスと直接接触する部分についてはクレー操作を前提とせず軌道上で交換が可能なこと。	サンプル毎の精緻なデータを取得にあたり、他サンプルの組織 (体毛・血液・体液等) が混じることを防ぐ必要があるため
(4)	解剖機能は上記の操作を実施するにあたり、膀胱および腸管の破損をしないこと。	膀胱および排泄物によるコンタミを防ぐため
(5)	解剖機能は上記の操作を実施するにあたり、心臓は上下で半割し、摘出できること。(TBD)	半分を凍結、半分を化学固定を行うため
(6)	解剖機能はマウス1匹に対し、サンプル搬入前準備である安楽死後から解剖を行い、化学固定までの時間を目標15分、ワースト2時間45分以内を目途に可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> 小動物飼育ミッションにおいて、生存帰還後に地上で研究者が解剖を行い、全身の組織を摘出するために要する時間が30分であり、クレーによる移動を15分と想定し、解剖にかかる時間は15分とした。 小動物飼育ミッションにおいて、軌道上における安楽死後、冷凍庫に保管するまでの所要時間の制約が3時間であり、クレーによる移動を15分と想定し、ワースト2時間45分とした。

システム特性 主要機能要求 – 解剖機能特性 –

(システム要求書 (案) 3.4.3.1項 補足)

システム要求書案に示す解剖機能にかかる要求とその設定根拠を示す。

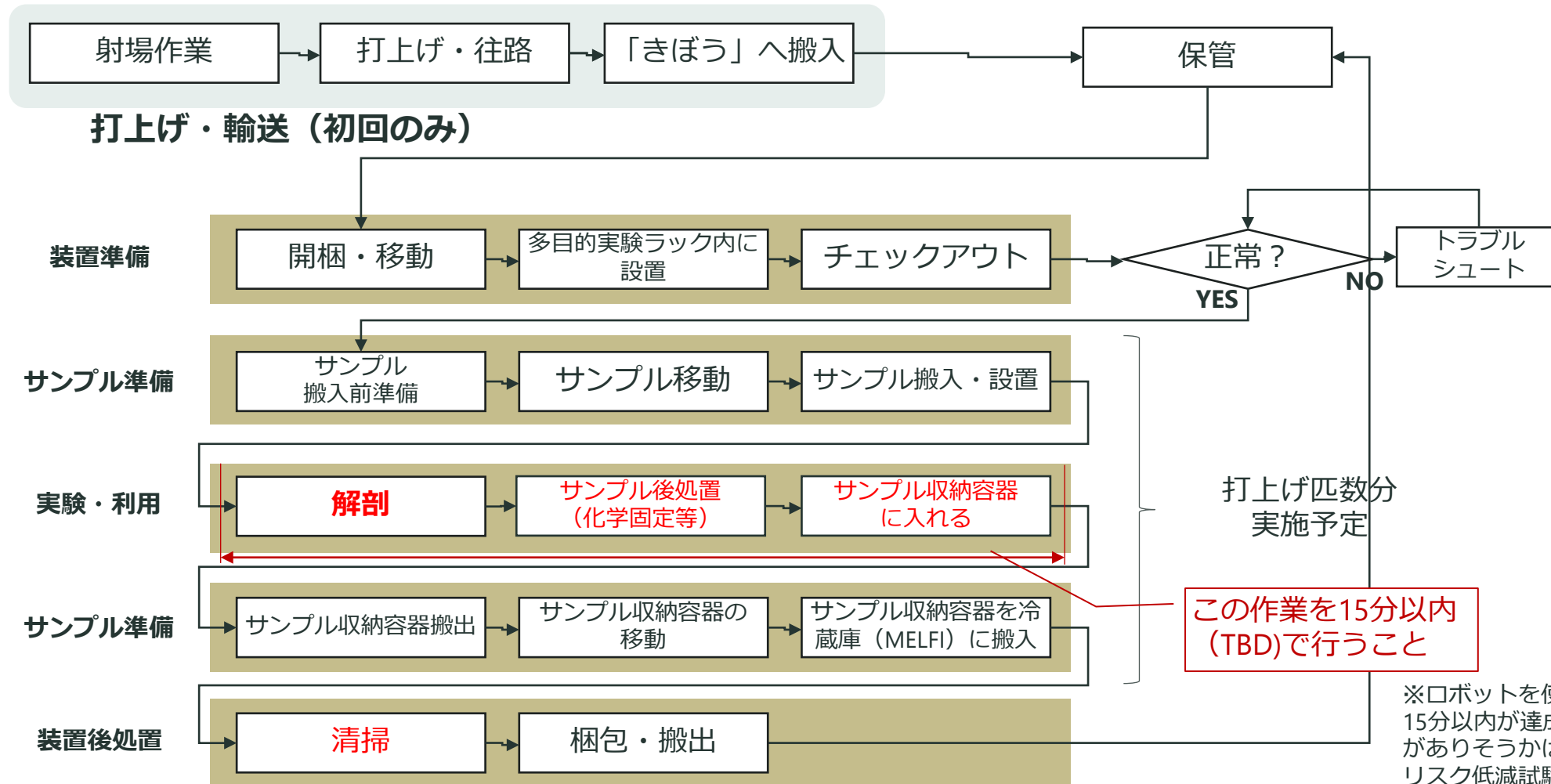
	要求	設定根拠
(7)	解剖機能は摘出されたサンプルを、他のサンプルと混じらないよう個別に保持できること。	サンプル毎の精緻なデータを取得にあたり、他サンプルの組織（体毛・血液・体液等）が混じることは防ぐ必要があるため
(8)	解剖機能は化学固定後に固定液を生理食塩水に置換し、90%以上(目安)の固定液を除去できること。	固定液が残っていると過固定となってしまう、解析に資する品質ではなくなるため
(9)	解剖機能は上記作業の実施中において保定されたマウスの表面温度を4℃±TBD℃に維持できること。	地上での解剖では氷上で解剖を実施しているため
(10)	解剖機能は摘出したサンプル保持中においてサンプルの温度を4℃±TBD℃を目途とした低温に維持できること。	地上での解剖では組織摘出後、冷蔵庫に保管しているため
(11)	解剖機能は、軌道上で取得し、保存し、地上に帰還して解析に供するサンプルの品質として、臓器の立体情報が維持され解析に充分供する程度の品質に保つための能力を有すること。システムへの要求の範囲は取得から軌道上保存までとする。3.2.1項(1)に示す開発方針から逸脱しない範囲においてクレー作業が前提することは可能であるとする。	サクセスクライテリアを達成するため

システム特性 主要機能要求 –解剖機能特性–

(システム要求書 (案) 3.4.3.1項 補足)

小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）のフロー概要

赤字に示す作業が本システムへの要求の範囲となる。

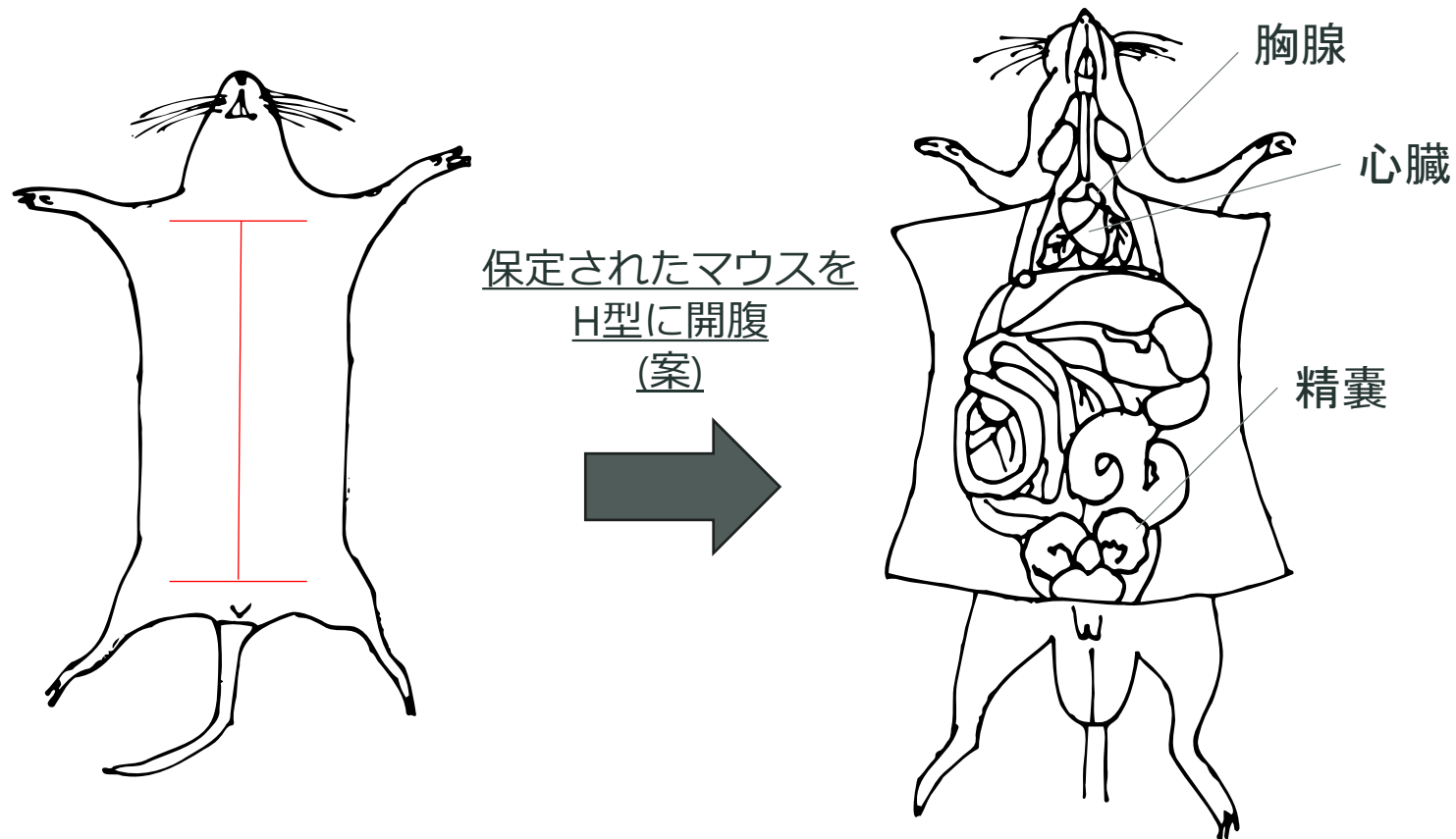


※ロボットを使った解剖で15分以内が達成できる目途がありそうかは、開発時のリスク低減試験の中で確認していく。

小動物飼育ミッションにおける操作(解剖)のフロー概要

解剖における大まかなフローは以下の通り。

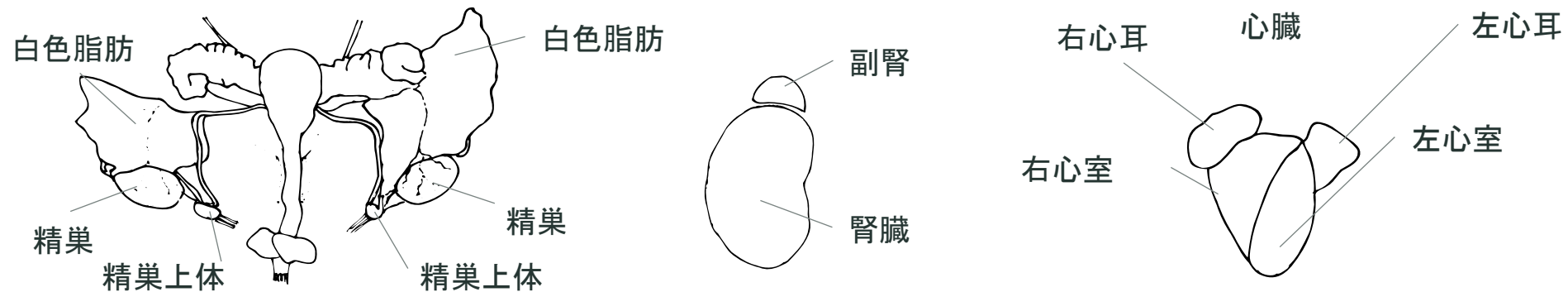
開腹→臓器摘出し化学固定(精巣→腎臓→胸腺→心臓)→残サンプルの凍結



小動物飼育ミッションにおける操作（解剖）のフロー概要

標的組織の摘出方法を参考に示す。

臓器摘出	①精巣摘出	2パターン ①標準的な開腹状態から腸管（小腸・大腸・十二指腸類）を上にはずらし、周囲の組織含めて摘出を行った後に周囲組織から精巣を切り離す。 ②下腹部尾の付け根付近の少し膨らんだ部分を精巣付近まで開腹し、精巣をピンセットで体外に引き出すようにして摘出する。（左右一個ずつ）
	②腎臓摘出	腸管（小腸・大腸・十二指腸類）を横にはずらし、ピンセットで引き上げるようにして豆粒状の腎臓を摘出する。（マウス背面側に左右一個ずつ付着している）
	③胸腺摘出	中央の胸骨を挟むようにして左右の肋骨を首元まで切開し、胸骨をピンセットでめくりあげると首元の裏側に白色の扁平な胸腺が付着しているので、胸腺の根元を胸骨から剥がすように摘出する。
	④心臓摘出	胸腔の中央部より心臓の上部から心臓を摘出する。

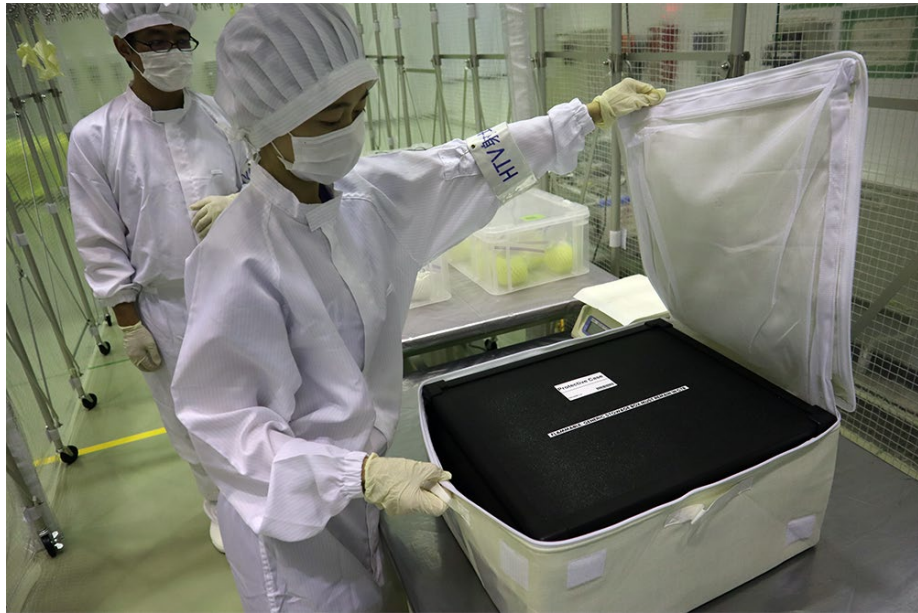


物理特性

(システム要求書 (案) 3.4.4項 補足)

CTB (Cargo Transfer Bags)について

ISSへの物資輸送に用いられる物資輸送用バッグ。規格化されており、いくつかのサイズがある。
内部にはクッション材を用いて梱包する（クッション材は打上げ時に大きな高周波振動の減衰効果がある）。



©JAXA

地上（射場）でのCTBへの物品梱包作業
（HTV「こうのとり」の例）



©NASA

ISSに到着後のCTBの様子

物理特性

(システム要求書 (案) 3.4.4項 補足)

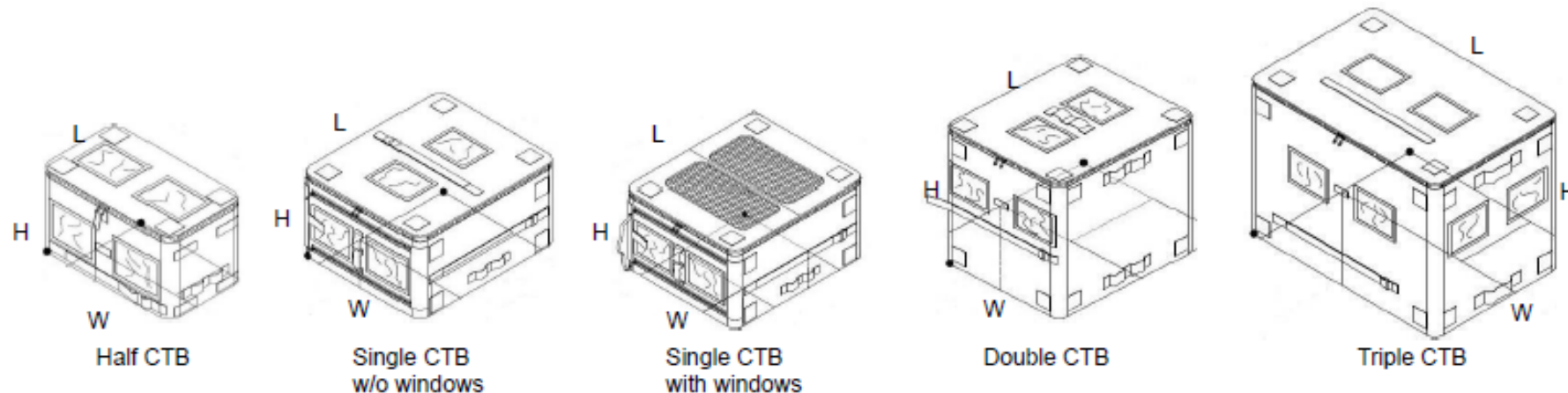
CTB (Cargo Transfer Bags)について

ISSへの物資輸送に用いられる物資輸送用バッグ。規格化されており、いくつかのサイズがある。
内部にはクッション材を用いて梱包する(クッション材は打上げ時に大きな高周波振動の減衰効果がある)。

(1) NASA 製 Cargo Transfer Bag (CTB) SSP 50200 vol.11 による

Bag の種類	寸法		バッグ単体 質量[kg]	最大搭載 質量[kg]
	外寸 L x W x H [mm]	内寸 L x W x H [mm]		
Half (0.5) CTB	248 x 425 x 235	241 x 413 x 229	1.0	13.62
Single (1.0) CTB (w/o or with windows)	502 x 425 x 248	TBD(注)	1.81	27.24
Double (2.0) CTB	502 x 425 x 502	483 x 413 x 470	2.04	54.48
Triple (3.0) CTB	749 x 425 x 502	724 x 413 x 470	2.81	81.72

(注) SSP50200 vol.11 では 495 x 413 x 241<TBR D-1>となっている。JAMSS 製 CTB では 483 x 413 x 241mm となっている。



物理特性

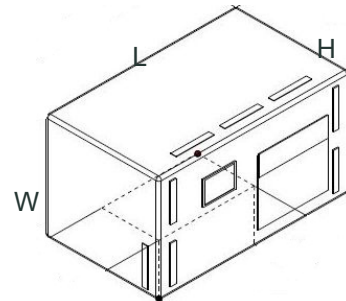
(システム要求書 (案) 3.4.4項 補足)

CTB (Cargo Transfer Bags)について

ISSへの物資輸送に用いられる物資輸送用バッグ。規格化されており、いくつかのサイズがある。
内部にはクッション材を用いて梱包する（クッション材は打上げ時に大きな高周波振動の減衰効果がある）。

(2)NASA製 M Bag SSP 50200 vol.11による

Bagの種類	寸法		バッグ単体 質量[kg]	最大搭載 質量[kg]
	外寸 L x W x H [mm]	内寸 L x W x H [mm]		
M02 Bag(4CTBE)	897 x 508 x 537	870 x 495 x 521	3.81	90.71



M02 Bag

拡張性

(システム要求書 (案) 3.4.7項 補足)

(TBD) ※RFIの結果により追加予定

現時点では、本ミッション（小動物飼育に関する操作）を対象としており、拡張性は有していない。

一方、今後、多様な利用に向けては、拡張性を有していないと、将来的に他の利用に活用するためには、大きなシステム改修がかかったり、困難となる可能性が予想される。

このため、本システムの初期システム要求に持たせておくべき拡張性について、本RFIでの情報提供内容（主に4.（2）、（3）、（4）に対応）を元に、JAXAにて検討を行う予定である。