

# 【有人支援ロボティクス技術】

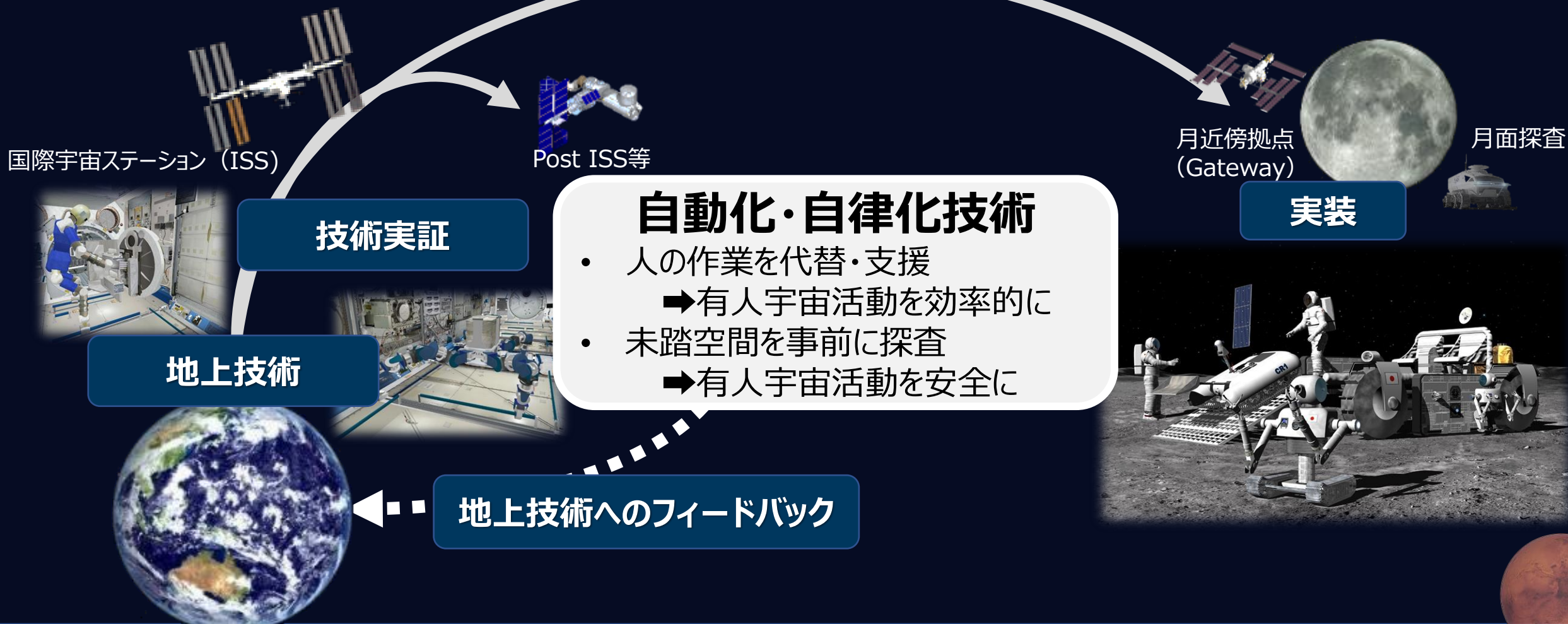
有人宇宙拠点における荷物管理効率化／自動化技術に関する情報提供依頼

# 将来の有人宇宙活動に向けた自動化・自律化の技術獲得

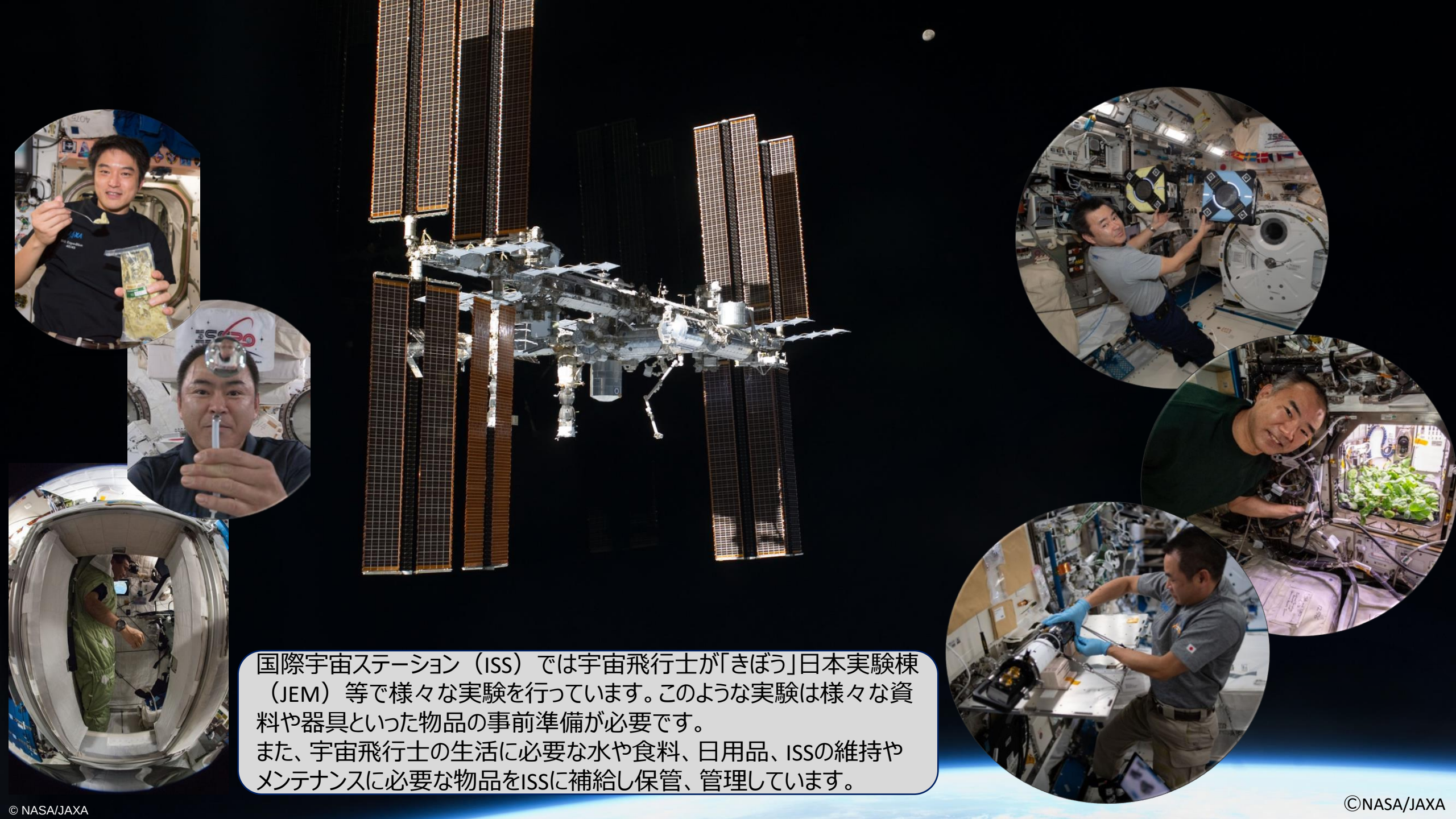


地球低軌道を持続的な経済活動の場へ

将来有人探査における運用・利用システムの革新







国際宇宙ステーション（ISS）では宇宙飛行士が「きぼう」日本実験棟（JEM）等で様々な実験を行っています。このような実験は様々な資料や器具といった物品の事前準備が必要です。  
また、宇宙飛行士の生活に必要な水や食料、日用品、ISSの維持やメンテナンスに必要な物品をISSに補給し保管、管理しています。



## 微小重力環境

固定をしないと荷物／物品は飛んでいってしまう

## 限られたクルーの時間

荷物管理やハンドリングの効率化が必要

## 限られたスペース

高収納効率が求められる



- 物品の使用場所と保管場所が異なるため、使うたびに物品を持ってきて、その後しまうのが原則。
- 使う人（クルー）と管理する人（地上）が異なっている。
- 物品が外から見えない（全て同じような袋やバッグに保管されている）。



©NASA/JAXA



©NASA/JAXA



©NASA/JAXA



# 現在のカーゴハンドリング作業の課題

## 定型・繰返し作業



物品の運搬・取扱いは定型かつ繰返し作業であるにも関わらず、補給機到着時や各クルータスク前に有限であるクルータイムを要する。

## 物品搜索・紛失



物品の搜索に想定以上に時間がかかりタスク時間の想定が難しい。また、紛失等でタスクのリスケジュールが必要となることもある。

## 地上の負荷・人だより



- ・物品管理は地上管制官が管理し作業手順としてクルーに伝える。
- ・荷物配置プラン等も人に頼っている。
- ・軌道上では既に収納スペース不足。

荷物のハンドリング（マニピュレーション・搬送）と管理の自動化／効率化により課題解決を目指す。



軌道上の限られたスペースでの効率的なカーゴハンドリングの為、  
地上とのデュアルユースを目指したアイデアを広く求める。



# 将来有人探査ではより遠くに

- ・有人月周回拠点（Gateway）
- ・有人月面探査
- ・将来惑星探査



- ## 更に限られた
- ・スペース
  - ・打上リソース
  - ・クルータイム



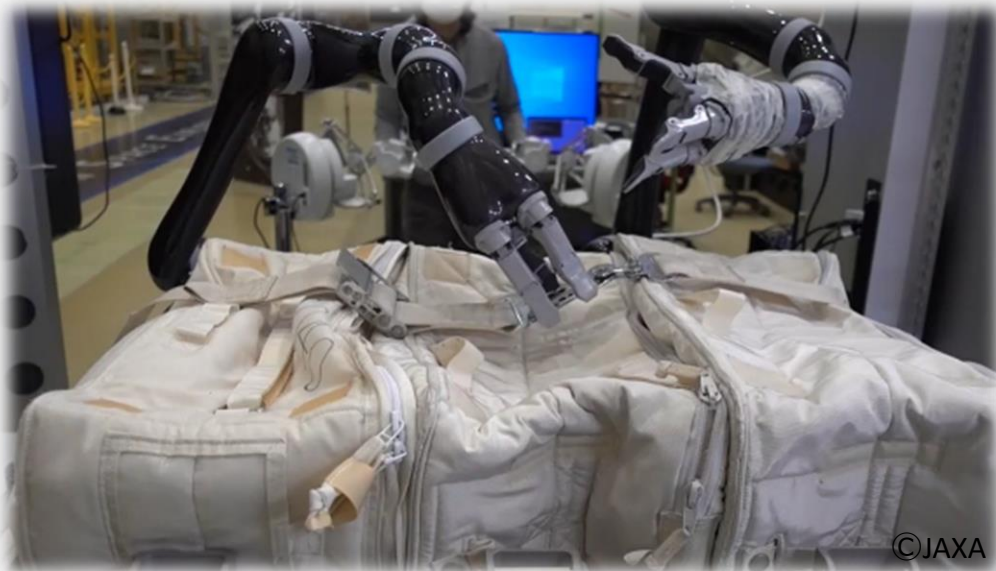


# 募集課題

| 中テーマ                         | 小テーマ                                                            | 関連キーワード                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1)マニピュレーション<br>(宇宙飛行士の作業代替) | ①省リソースな自律制御技術（特に柔軟物や浮遊物など動きの予測が困難な対象のマニピュレーション）                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・深層学習アルゴリズム、ピッキング（対象物の形状変化や位置・姿勢ズレに対応可能、計算負荷低）</li> <li>・微小重力での位置予測手法（ハンドや操作対象物の高精度・高速・省リソース（電力、コンポ数））</li> </ul>                   |
|                              | ②通信遅延下での遠隔操作支援技術（その場その場で対応が求められる作業や細かい手先操作など）                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・GUI、AR、VR技術</li> <li>・部分的自律動作</li> <li>・力触覚予測フィードバック</li> </ul>                                                                    |
|                              | ③宇宙飛行士や地上での人の動作の模倣学習                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・複雑な操作（ジッパ操作等）を人の作業や遠隔操作データからの模倣学習（低負荷な計算処理アルゴリズム）</li> </ul>                                                                       |
| (2)移動技術<br>(補給品の運搬)          | ①重量、重心が異なる様々な荷物を持ち移動する技術                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・重力環境/無重力環境で荷物を把持しての飛行ができるドローン、制御技術</li> <li>・特定の把持ポイントを把持しながら伝い歩きが可能な多脚ロボット/ハンド技術</li> </ul>                                       |
|                              | ②省リソースでロバストなSLAM/経路計画技術                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・物/人のコンフィグレーション変化に対応したロバストなSLAMと経路計画</li> <li>・低負荷な3次元経路計画技術</li> </ul>                                                             |
| (3)荷物管理<br>(宇宙飛行士作業効率化)      | ①実験準備や物品整理時の作業効率を高める物品管理手法（限られたスペース、質量制約の中で効率的に荷物を収納できる手法、搭載構造） | <ul style="list-style-type: none"> <li>・自動倉庫、RFID、画像認識</li> <li>・使用状況に応じた3次元での配置最適化</li> <li>・GUI、AR/VR技術の適用</li> <li>・軽量、高収納効率な搭載構造</li> <li>・革新的な荷物固定/収納方法の提案</li> </ul> |
|                              | ②微小重力での浮遊による物品紛失を防ぐ技術                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像認識（物体のトラッキング）、紛失検知</li> <li>・固定/収納方法の提案</li> </ul>                                                                               |
| (4)共通技術                      | ①ロボットの軽量化、省リソース化                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量、高出力なアクチュエータ</li> <li>・軽量、安全（不燃性）な構体材料</li> <li>・軽量、高エネルギー密度で安全性の高いバッテリー</li> </ul>                                              |
|                              | ②人協調技術                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺の人/物に危害を与えない制御手法</li> <li>・音声認識等のクルーインターフェース</li> <li>・人間機械協調によるウェルビーイング</li> </ul>                                              |



## (1)マニピュレーション



### バッグや様々な物品、実験装置のマニピュレーション技術が必要

柔軟なバッグやZiplocなどの操作、浮遊物の把持や様々な形状の物品の把持、操作が求められる。

#### <ISS等の有人宇宙拠点特有の課題>

- ・ 微小重力環境

柔軟物や浮遊物などの動きの予測が困難

- ・ 通信遅れ：ISSでは片道850ms程度

Gatewayや月では更に大きい遅延が見込まれる  
通信遅れのためバイテラル操作が困難

- ・ 限られたリソース：

打上質量、電力、排熱、通信帯域  
軽量/小型、省電力なシステムが求められる。

## 自律制御

通信遅れに対応するため軌道上で必要なタスクを実行できる自律制御技術での対応を想定。柔軟物や浮遊物など動きの予測が困難な対象のマニピュレーションに関する自律制御技術の獲得が必要。

- ・ 省リソースな自律制御技術： 低負荷なアルゴリズムや省リソースな処理装置
- ・ 深層学習アルゴリズム、ピッキング技術： 対象物の形状変化や位置・姿勢ズレへの対応
- ・ 微小重力環境での対象物（浮遊物など）の位置予測手法

## 遠隔操作

その場その場で対応が求められる作業に関しては地上からの遠隔操作も必要になると想定される。通信遅延環境で遠隔操作が可能な技術。細かい手先操作などが課題として想定される。

- ・ 通信遅れに対応する操作者のサポート技術：AR/VR技術、部分的自律動作
- ・ 細かい手先作業への対応：力触覚のフィードバック、通信遅延での予測

## 模倣学習

宇宙飛行士の軌道上動作や地上での対象物操作を学習し、軌道上で実行できる技術。軌道上に実装される制御アルゴリズムは低負荷であることが求められる。

- ・ 複雑な動作（バッグのジップ操作等）の実施：地上操作の模倣学習
- ・ 軌道上の宇宙飛行士動作映像からの学習（2次元映像）



## (2)移動技術

ISSやGateway等の微小重力環境で荷物を運搬できるロボットの移動技術（飛行ロボットや伝え歩き等）を求める。有人拠点であるため、人や物の配置、照明環境の変化に対応した自己位置推定技術と経路計画技術が必要。

### 荷物運搬／移動技術

重量、重心が異なる様々な荷物を持ち移動する技術

#### ・荷物を把持しての飛行ができる飛行ロボット

地上技術：荷物運搬ドローン、飛行制御技術

課題：船内空調のエアフロー、荷物と推進ファンの干渉など

#### ・特定の把持ポイントを把持しながらの伝え歩き

地上技術：多脚ロボット、把持ハンド技術

課題：把持部の認識から歩容計画までの自律制御、軽量/小型化

#### ・上記以外の微小重力環境での移動技術の提案

### 自己位置推定／経路計画

省リソースでロバストなSLAM/経路計画技術

#### ・自己位置推定（SLAM）

宇宙機船内を移動するクルーや配置の変わる機器、照明環境の変化に対応可能な自己位置推定技術、環境認識技術

Visual-SLAM(単眼/ステレオ/RGB-D) ,Lidar, RF-SLAM等

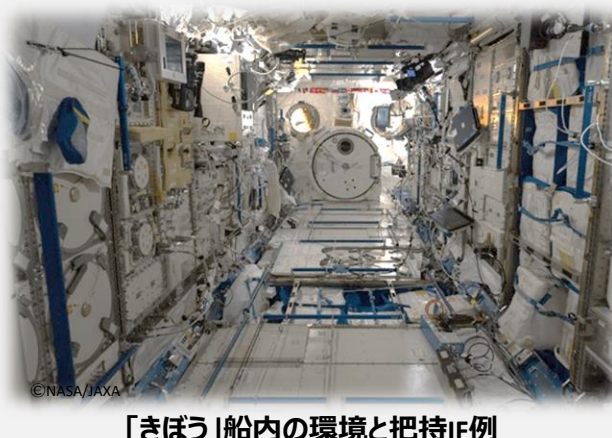
#### ・経路計画(Path Planning)

3次元空間での低負荷な経路計画（処理最適化）等

船内ドローン（Int-Ball2）のシミュレーション環境でSLAMで生成した点群の中で自律的に経路計画を生成する技術等を求める。



既存のISS船内ドローン

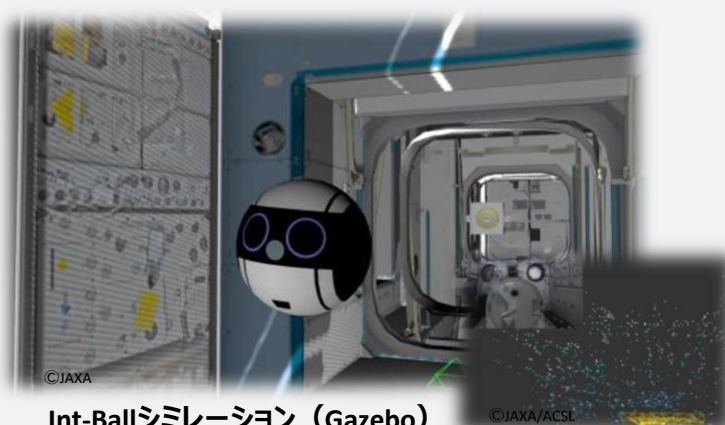


「きぼう」船内の環境と把持IF例



シートトラック  
(エアラインレール：既製品)

ハンドレール  
(シートトラック上に設置)



Int-Ballシミュレーション（Gazebo）

©JAXA/ACSL



## (3) 荷物管理

### 収納効率化

ISS等の有人拠点では限られたスペースでの荷物収納が必要である。数ある荷物バッグを取り出す際に、奥にある荷物が出しにくいといった課題に対し荷物配置の最適化や新たな収納構造のアイデア、直感的な管理システムのUIや機械学習等を適用した最適化技術等を求める。地上においても倉庫やインベントリマネジメントとのデュアルユースが想定される。（狭いスペースで使いやすく物品を管理する技術）

キーワード：自動倉庫、自動販売機、インベントリ管理、配置最適化  
使用状況の機械学習、固定方法、指示書（持ち物リスト）

### 紛失防止

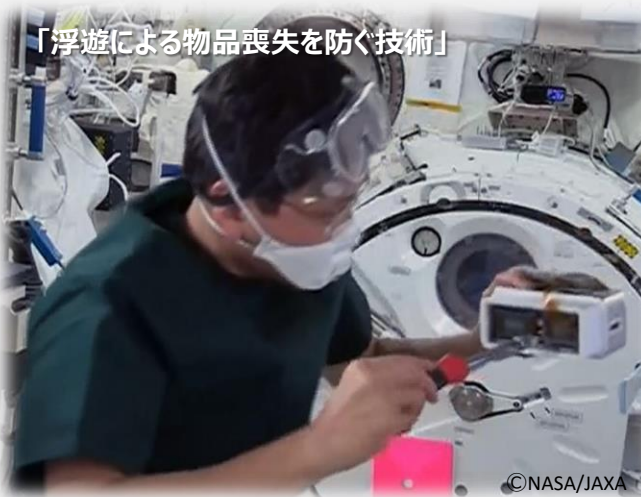
微小重力環境では物品が固定されていないと、浮遊してしまう。意図しない浮遊による紛失や、荷物の収納忘れ等を検知することで、ミスオペレーションの防止、クルータイムの効率化が期待される。

#### 【期待する技術例】

- ・画像認識：無人店舗の商品認識技術等→浮遊物検知への適用
- ・RFID等による物品認識と管理（機器設置は最小限とすることが望ましい）



補給機（HTV）の保管IF





### ロボットの軽量化・省リソース化

#### 【革新的なロボットのHW/SW】

- ・軽量、高出力なアクチュエータ
- ・省電力で高負荷処理が可能な制御装置
- ・低容量、低負荷で通信・処理が可能なアルゴリズム

#### 【有人安全を考慮した技術】

- ・軽量、安全(不燃性)、高精細な構体材料、布
- ・軽量、高エネルギー密度、高出力で安全性の高いバッテリー
  - 2FTを考慮した安全設計の新規バッテリー
  - 1FTを持ち、高品質で製造管理されているCOTSバッテリー
  - 発火リスクが極めて低いセルを使用したバッテリー



©NASA/JAXA



©NASA/JAXA

参考：[ISSの安全要求](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210009936/downloads/SSP%2051721-Baseline.pdf)

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210009936/downloads/SSP%2051721-Baseline.pdf>

### 人協調技術

- ・周辺の人/物に危害を与えない制御手法  
人協働ロボット、コンプライアンス制御等
- ・音声認識等のクルーインターフェース  
スマートスピーカー、自然言語処理
- ・人間機械協調によるウェルビーイング  
UI、協調ロボット、認知心理学



©NASA/JAXA





# 補足情報





# (参考) ISSでの荷物管理映像

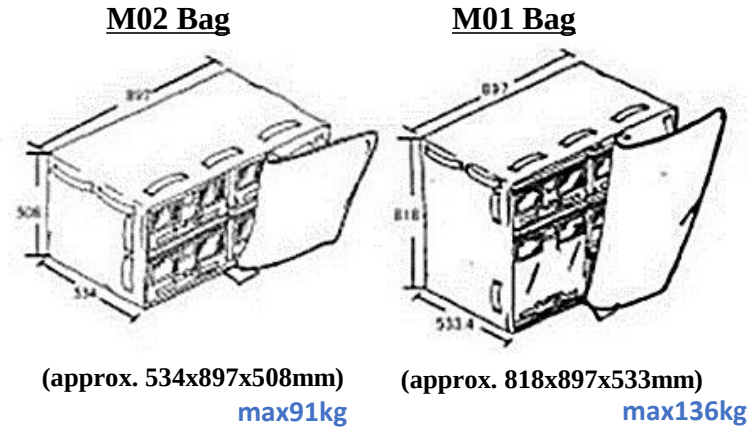
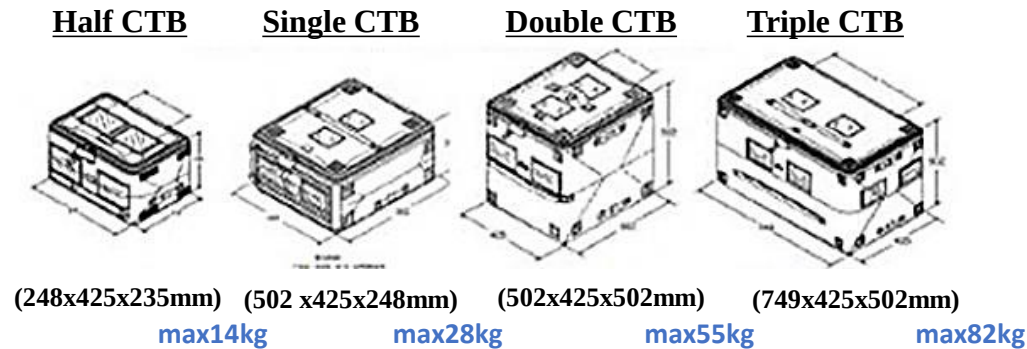


ESA公開映像 : [https://www.youtube.com/watch?v=a0\\_rs-oHjjU](https://www.youtube.com/watch?v=a0_rs-oHjjU)



# (参考) ISSの輸送バッグ (JAXA CTB)

## Common Transfer Bags (柔軟バッグ)



**M03 Bag**  
(approx. 897x534x1333mm)  
max227kg

**M04 Bag**  
(approx. 897x534x1016mm)

- ・柔軟なため配置の自在性がある
- ・使用していない際に省スペースでしまえる
- ・不燃性材料である必要がある

参考情報 : 「[こうのとりの荷造り](https://fanfun.jaxa.jp/topics/detail/5278.html)

<https://fanfun.jaxa.jp/topics/detail/5278.html>





# (参考) 人もロボも使いやすいソフトバッグとは？

＜ISS等で使われるソフトバックの基本的な条件＞

- 軽量かつ打上時の衝撃吸収可能な荷物が必要（打上重量＝コスト）
- 軌道上はスペースが限られるため効率的な保管保方法が必要
- バッグ操作の際に、手指の感覚を必要としない
- 微小重力環境の為、荷物の固定ができること

+ 難燃性/オフガス等の要求がある

＜クライミングで例えると・・・＞



軽量



コンパクトになる



扱いやすい



固定できる



# (参考) 現在使用中のJAXA CTB仕様

## 【環境条件】

- ・ 打上時や軌道上の環境に耐えられること (SSP50833)
- ・ 急減圧時を除き、外気との圧力差はないこと
- ・ 難燃性の材料を使うこと (又は難燃性材料で覆うこと)

## 【クレーフ】

- ・ クレーフによる移動が可能のようにハンドルを設置すること
  - ・ 1G下の取り扱いにおいて、搭載質量の2倍以上の荷重に耐えられること
- ・ ふたは180deg以上開くこと
- ・ 固定用にベルクロをつけること (クレーフに固定することも含む)

## 【認識】 IMSラベル/RFID (NASA試行中)

- ・ 外部に4か所、内部に2か所の識別タグを入れる為の透明ポケットを設置すること。
  - ・ 識別タグが落ちないようにすること (ベルクロなど)

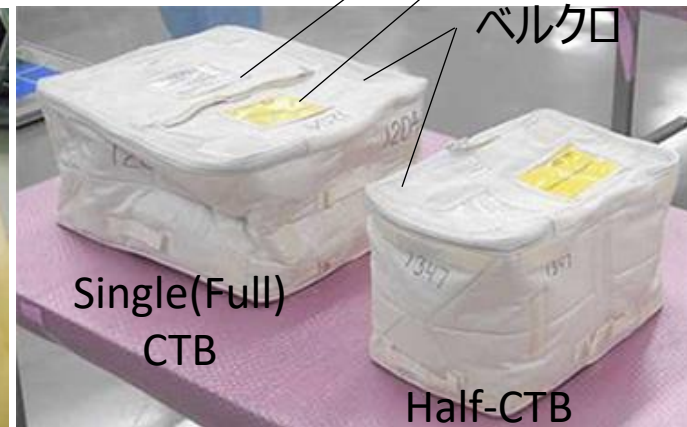
## 【その他】

- ・ 空のJ-STBは折りたためること (折り畳み後の寸法要求はなし)
- ・ バッグ同士を固定 (結合) する為のベルクロが付いていること
- ・ 色は内部外部ともに白であること (船内照度、圧迫感等の観点)
- ・ サイズ/目安となる重量 (P15参照)



緩衝材

ハンドル  
タグ  
ベルクロ





# (参考) 「きぼう」船内の環境



参考 : [Google Earthで見るISS船内](https://earth.google.com/web/data=Ci4SLBIgN2Y3ZTA1ZTg2Y2E1MTFhNzk5YzI1YjJmNTFhNjA3NTliCG92ZXJ2aWV3?hl=ja)

<https://earth.google.com/web/data=Ci4SLBIgN2Y3ZTA1ZTg2Y2E1MTFhNzk5YzI1YjJmNTFhNjA3NTliCG92ZXJ2aWV3?hl=ja>

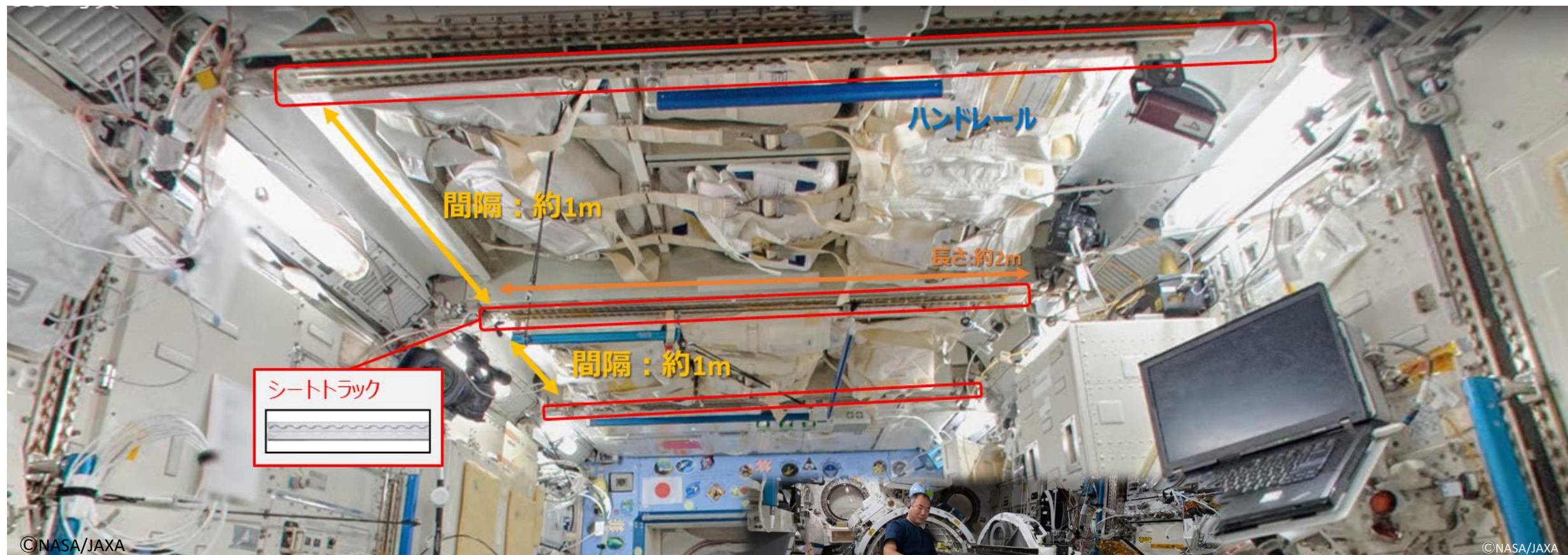


参考 : [JAXAデジタルアーカイブ](https://jda.jaxa.jp/)

<https://jda.jaxa.jp/>



# (参考)「きぼう」船内の移動



**シートトラック：** 1m毎に設置されている、2m長のレール  
**ハンドレール：** シートトラック上にクレーが設置

参考情報：[船内の把持IF \(NASA資料\)](#)

[http://www.hunchdesign.com/uploads/2/2/0/9/22093000/restraint\\_and\\_mobility\\_aids.pdf](http://www.hunchdesign.com/uploads/2/2/0/9/22093000/restraint_and_mobility_aids.pdf)



クレーはハンドレールを使って移動したり、位置を保持する



シートトラック市販品例 (©Allsafe Japan)



# (参考) 補給機の保管IFの例



参考情報 : <https://fanfun.jaxa.jp/topics/detail/5278.html>



# (参考) 補給機からの荷物の取出し：HTV





# (参考) 現在のカーゴ管理の作業概要

## 【ノミナル運用】

- 地上の管制官が作業手順を作成し、作業に必要な物品のリストを作成
- リストを基に宇宙飛行士は物品収集（様々な場所から荷物をとってくる）
- 作業手順を基に宇宙飛行士が作業を実施
- 収納場所のリストを基に物品を収納
- 地上管制官が収納後の位置をデータベースに書き込む

## 【オフノミナル】

- 見つからない物品があることをクルーが地上に伝え、過去の使用履歴や過去の実験時の映像から物品が置いてある可能性があるところを探す。
- 浮遊している物品をクルーが見つければ、地上に連絡し物品の諸元を確認後収納。



# (参考) カーゴ作業効率化アイデア例

- 作業リストに出てくる各物品を自動的にリスト化するしくみ
- 収集が必要な物品を効率的にとってくるルート/順番を決めるアルゴリズム
- 集めてきた荷物を確認するカート（例：無人店舗ショッピングカート）
- 紛失してしまった荷物の候補位置（過去一緒に使ったバッグの位置等）を提示できるしくみ。（機械学習等）
- 物品が紛失する前に意図しない浮遊している物品を検知する画像認識
- クループライバシーに配慮した（映像に頼らない）物品認識、浮遊検知
- 効率的な収納場所の提示、最適化。使用頻度に応じた置き方最適化
- 地上からは見えないバッグ内やラック内の収納状態（何%くらい空きがあるか）を認知する仕組み