

ISS EXPEDITION 54/55

金井宇宙飛行士 ISS長期滞在プレスキット

健康長寿のヒントは
宇宙にある。

金井 宣茂

2017年12月26日 A改訂版
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

改訂履歴

訂符	日付	改訂ページ	改訂理由
初版	2017.12.07	-	-
A改訂版	2017.12.26	P1-1~1-5、2-2、4-7、4-29、5-1、5-2、付録1-7、付録1-21、付録1-24~付録1-40 (1ページ追加)、付録2-26、付録4-14、付録4-17、付録4-18、付録4-22、付録4-25、付録4-28、付録4-29、付録4-30	-帰還目標日の4月から6月3日への変更を反映 -51Sの帰還と、53S打上げ・ドッキング実績の反映 -付録1にJAXAの新しい運動プログラムJ-HIATに関する説明を追加 -誤記訂正

目 次

1 金井宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション概要	1- 1
1.1 金井宇宙飛行士のプロフィール	1- 1
1.2 金井宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション概要	1- 3
2 ソユーズ MS 7 号機 (53S) フライト	2- 1
2.1 飛行計画概要.....	2- 2
2.2 ソユーズ MS-07 搭乗クルー	2- 3
3 金井宇宙飛行士について	3- 1
3.1 金井宇宙飛行士の任務概要	3- 1
3.2 金井宇宙飛行士が紹介する宇宙飛行士訓練と ISS の紹介	3- 2
4 金井宇宙飛行士の任務	4- 1
4.1 第 54 次／第 55 次長期滞在ミッションの実験運用に関連する作業	4- 1
4.1.1JAXA の実験	4- 1
4.1.2NASA/ESA の実験	4-29
4.1.3その他（長期滞在期間中の広報・普及活動）	4-32
4.2 ISS の定期的な点検・メンテナンス作業	4-33
4.3 ISS に到着する補給船の運用	4-36
5 第 54 次／第 55 次長期滞在中の主なイベント	5- 1
6 第 54 次／第 55 次インクリメント担当フライトディレクタ	6- 1
7 インクリメントマネージャ	7- 1

付 録

付録 1 国際宇宙ステーション概要	付録 1- 1
1 概要	付録 1- 1
2 各国の果たす役割	付録 1- 3
3 ISS での衣食住	付録 1- 6
3.1 ISS での生活	付録 1- 6
3.2 ISS での食事	付録 1-16
3.3 ISS での健康維持	付録 1-21
3.4 ISS での保全・修理作業	付録 1-27
4 ISS での水・空気のリサイクル	付録 1-30
4.1 水の再生処理	付録 1-30
4.2 空気の供給	付録 1-37

付録 2 「きぼう」日本実験棟概要	付録 2- 1
1 「きぼう」日本実験棟の構成.....	付録 2- 1
2 「きぼう」日本実験棟の主要諸元.....	付録 2-8
3 「きぼう」日本実験棟の運用モード.....	付録 2-10
4 「きぼう」船内実験室のラック.....	付録 2-12
4.1 システムラック.....	付録 2-16
4.2 JAXA の実験ラック.....	付録 2-18
5 運用管制.....	付録 2-25
5.1 運用管制チーム.....	付録 2-27
5.2 JEM システム運用技術支援担当.....	付録 2-29
5.3 実験運用管制チーム.....	付録 2-29
付録 3 ソユーズ宇宙船について	付録 3- 1
1 ソユーズ宇宙船の構成.....	付録 3- 2
1.1 軌道モジュール.....	付録 3- 2
1.2 帰還モジュール.....	付録 3- 3
1.3 機器／推進モジュール.....	付録 3- 4
1.4 ソユーズ宇宙船の主要諸元.....	付録 3- 5
1.5 ソユーズ宇宙船の改良.....	付録 3- 6
2 ソユーズ宇宙船のシステム概要.....	付録 3- 9
2.1 環境制御／生命維持に関わる装置類.....	付録 3- 9
2.2 通信（アンテナ）に関わる装置類.....	付録 3- 9
2.3 電力に関わる装置類.....	付録 3- 9
2.4 Kurs 自動ランデブ／ドッキングシステム.....	付録 3-10
2.5 ドッキング機構.....	付録 3-12
2.6 軌道制御エンジン／姿勢制御スラスタ.....	付録 3-12
2.7 打上げ時の緊急脱出に関わる装置.....	付録 3-13
2.8 サバイバルキット.....	付録 3-14
2.9 Sokol 与圧服と専用シート.....	付録 3-15
2.10 ソユーズ宇宙船の着陸について.....	付録 3-17
2.11 着地時に使う衝撃緩和用ロケット.....	付録 3-17
3 ソユーズ宇宙船の運用概要.....	付録 3-18
3.1 打上げ準備.....	付録 3-19
3.2 打上げ／軌道投入.....	付録 3-23
3.3 軌道投入後の作業.....	付録 3-24
3.4 ランデブ／ドッキング.....	付録 3-27
3.5 再突入／着陸（帰還当日）.....	付録 3-30
3.6 ソユーズ宇宙船の搜索・回収.....	付録 3-33
3.7 帰還後のリハビリテーション.....	付録 3-37
4 ソユーズロケットについて.....	付録 3-39
4.1 第 1 段ロケット.....	付録 3-40
4.2 第 2 段ロケット.....	付録 3-41

4.3 第3段ロケット	付録 3-42
4.4 フェアリングと緊急脱出用ロケット.....	付録 3-42
5 バイコヌール宇宙基地について.....	付録 3-44
付録 4 参考データ	付録 4- 1
1 ISS における EVA 履歴	付録 4- 1
2 ISS 向けソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴	付録 4-14
3 ISS 長期滞在クルー.....	付録 4-18
4 JAXA の現役宇宙飛行士	付録 4-27
5 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録	付録 4-28
6 各国の宇宙滞在記録	付録 4-30
7 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録.....	付録 4-31
8 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録.....	付録 4-32
付録 5 略語集.....	付録 5- 1
付録 6 ISS の将来に関する用語解説.....	付録 6- 1
ボーイングCST-100「スターライナー」、スペースX有人型ドラゴン宇宙船	

健康長寿のヒントは宇宙にある。

これが今回の長期滞在ミッションのキャッチフレーズです。その意味は以下の通りです。

長期間続く無重力という宇宙環境を利用したタンパク質結晶成長実験において、多くの重要なタンパク質が研究されています。これまでに歯周病菌の生育に重要な酵素等、健康長寿につながる知見が得られていますし、これからも期待されます。

また、宇宙空間で生活をすると同様の変化が速いスピードで現れるので、宇宙飛行士やマウスの体を調べることで、地上での健康長寿につながる知見が得られるものと期待されます。

今回の金井宇宙飛行士の長期滞在期間中には、国際宇宙ステーション（ISS）全体では約250テーマの実験が行われる予定になっており、そのうち32テーマが日本の実験となります。このうち11テーマくらいが新薬設計や加齢研究支援といった医学や薬学に関する実験になります。

金井宇宙飛行士のISS滞在期間中には、「きぼう」日本実験棟の組み立て開始から10年目を迎えることとなります。また2018年3月には日本が議長国になる第2回国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)が東京で開催され、ISS終了後の国際協力の方向性を決める重要な会議となります。そういった会議を開催する時に、ISSでも金井宇宙飛行士が日本の存在感を示してくれることを期待します。

1. 金井宇宙飛行士のISS長期滞在ミッション概要

1.1 金井宇宙飛行士のプロフィール

金井 宣茂 かない のりしげ

- 11 人目の JAXA 宇宙飛行士で初飛行^{※1}。
- 向井、古川に続く、医師のバックグラウンドを持った 3 人目の日本人宇宙飛行士^{※2}。
- 前職は海上自衛隊で潜水作業をするダイバーの健康管理（潜水医官）



表1.1-1 金井宇宙飛行士の経歴

1976年	東京都生まれ。その後、千葉県で育つ。
2002年3月	防衛医科大学校医学科卒業。
2002年4月～	防衛医科大学校病院、自衛隊大湊病院、自衛隊呉病院、海上自衛隊第一術科学校等で、外科医師・潜水医官として勤務。
2009年9月	JAXAよりISSに搭乗する日本人宇宙飛行士の候補者として選抜される。
2009年9月	JAXA入社。
2009年9月	ISS搭乗宇宙飛行士候補者基礎訓練に参加。
2011年7月	同基礎訓練を修了。
2011年7月	油井亀美也、大西卓哉とともにISS搭乗宇宙飛行士として認定される。
2015年8月	ISS第54次／第55次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命される。
2017年12月17日～ 2018年6月（予定）	ISS第54次／第55次長期滞在クルーとしてISSに滞在。

※1 毛利、向井、土井、若田、野口、古川、星出、山崎、油井、大西に次いで11人目。
ISSを訪れるJAXAとしては9人目。

※2 心臓外科出身の 向井、外科出身の 古川 に次いで3人目

【参考】宇宙飛行士になろうと思ったきっかけ

子供の頃は別に宇宙飛行士になるとは思ったこともなくて、大人になって自衛隊でお医者さんとして仕事をしているうちに、「潜水医学」といって、海の底に人間が潜っていくためにはどういう医学的なサポートが必要かというような勉強をする中で、海の底に潜っていくのと空の向こうの宇宙に上がっていく宇宙飛行士の仕事がとてもよく似ていて興味を持つようになり、そこから宇宙の医学ということで宇宙飛行士を目指すようになりました。

なお、金井宇宙飛行士のプロフィールなどに関する情報は以下サイトもありますので参考までに紹介させていただきます。

【JAXA宇宙ステーション・きぼう広報・情報センター】 (<http://iss.jax.jp/>)

JAXA有人宇宙技術部門のWebサイトで日本人宇宙飛行士や長期滞在に関する全般的な情報を掲載しています。

【金井宇宙飛行士解体新書】 (http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/kaitai/)

金井宇宙飛行士について8つのテーマを取り上げてそれぞれ説明がされています。他にも金井飛行士が取り組むタンパク質結晶化実験などについても紹介するWebサイトを開設しております。

(http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/protein/)



【金井宇宙飛行士Twitter】 (https://twitter.com/Astro_Kanai)

2017年4月開設。金井飛行士が自身の言葉で打上げに向けた日々の訓練や活動などを紹介しています。



【金井宇宙飛行士ブログ】“宇宙、行かない？” (<https://ameblo.jp/astro-kanai/>)

2017年8月開設。金井宇宙飛行士が自身の言葉で適宜訓練やISS、宇宙に関する情報についてわかりやすく解説してくれています。

ブログのヘッダーはみなさんから頂いたモノを適宜掲載していきますので、よろしければ応募頂ければと思います。

金井宇宙飛行士ブログ ヘッダイラスト募集！

http://iss.jaxa.jp/topics/2017/08/170825_kanai_blog.html



1.2 金井宇宙飛行士のISS長期ミッション概要

金井宇宙飛行士は、2017年12月17日にカザフスタン共和国のバイコヌール基地からアメリカとロシアの宇宙飛行士と共にソユーズMS宇宙船に乗り、国際宇宙ステーションへ向かい、2018年6月までの間、国際宇宙ステーション（ISS）で第54次／第55次長期滞在クルーとして初の長期滞在を行います。

日本人としては今回で通算8回目のISS長期滞在となります。



図1.2-1
金井宇宙飛行士と一緒に飛行する宇宙飛行士（JAXA/GCTC）
（左）金井宣茂（日）
（中央）アントン・シュカプレロフ（露）
（右）スコット・ティングル（米）
<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=bf0d389d1b1094b8f16c92f57dec19aa>

また、この滞在期間中とその前後にISSに滞在する宇宙飛行士を図1.2-2に紹介します。

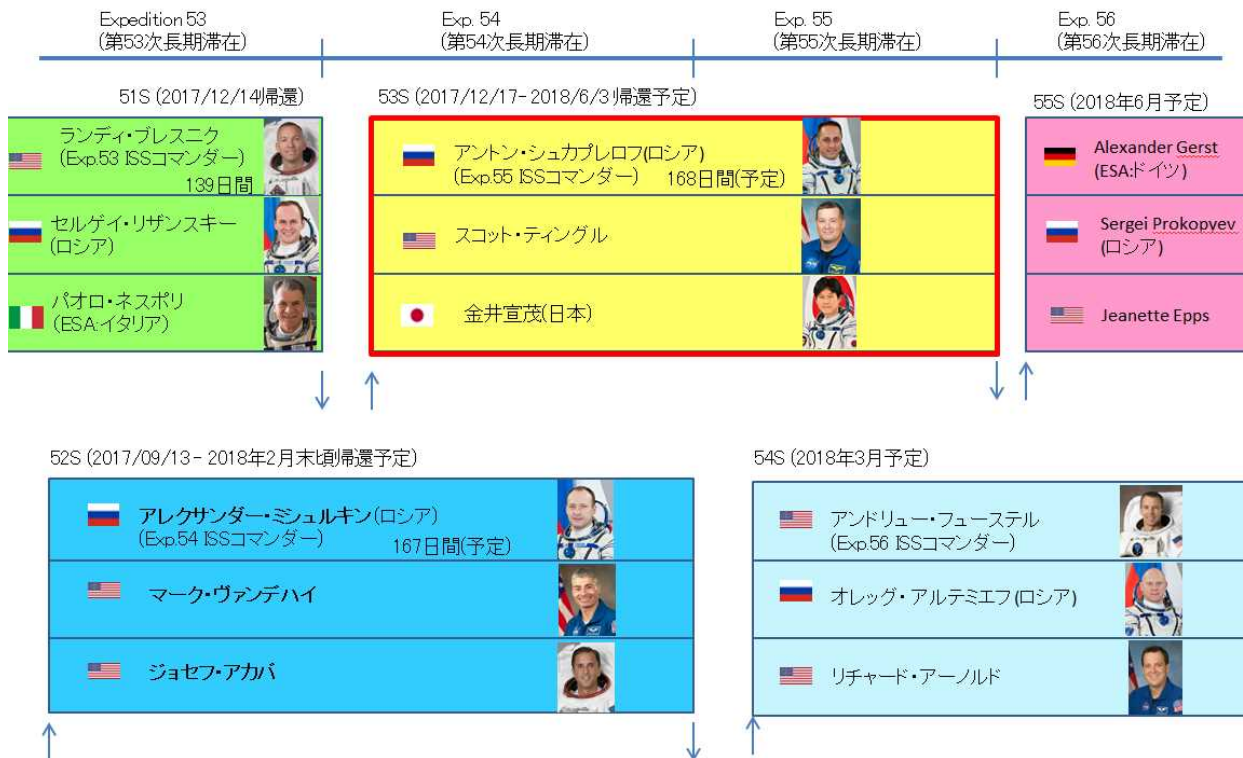


図1.2-2 金井宇宙飛行士滞在前後のISS滞在クルーのフライト計画(2017.12.25時点)

金井宇宙飛行士の参加する第54次／第55次長期滞在ミッションでは、ライフサイエンスや医学実験をはじめ、超小型衛星の放出、船外実験など多くの実験が予定されている他、米国とロシアの船外活動の実施が計画されています。

この時期に行われるJAXAの主な実験としては、小動物飼育、タンパク質結晶成長実験などが計画されています。

※滞在期間中に予定されているイベントの詳細は、5章「第54次／第55次長期滞在中の主なイベント」を参照ください。

以下、参考までに金井飛行士のミッションロゴマークや日本人宇宙飛行士の打上げ実績などを紹介します。

【金井宇宙飛行士の長期滞在ミッションのJAXAロゴマーク】



国際宇宙ステーション（ISS）第54次/第55次長期滞在ミッションのJAXAロゴは、これまでに「きぼう」を通じて得られた技術開発と知見をもとに、成果の収穫期に移ろうとしているサイクルをイメージしてデザインしました。

油井・大西宇宙飛行士が築いた新たな「きぼう」利用環境を最大限活用し、その成果を地上へ還元するとともに、国際宇宙ステーションから、月、火星など将来の探査へつなげる金井宇宙飛行士の強い意志を黒の円で示しています。

また、ロゴの赤と白は日の丸をイメージし、ISSや将来の宇宙探査への日本の貢献を象徴するデザインにしています。

図1.2-3 JAXAのミッションパッチ (http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/)

【金井宇宙飛行士が搭乗するソユーズMS-07ミッションロゴマーク】



ロシアがデザインした金井宇宙飛行士たちが搭乗するソユーズMS-07ミッションのロゴマーク。

図1.2-4 ソユーズMS-07のクルーパッチ (<http://www.spacepatches.nl/>)

【日本人宇宙飛行士の長期滞在実績及び計画】

2017年11月27日現在



図1.2-5 日本人宇宙飛行士のISS長期滞在実績と予定 (JAXA)

http://www.jaxa.jp/press/2017/11/20171107_noguchi_j.html

注：金井宇宙飛行士の次は、2019年終わり頃に野口宇宙飛行士がISSに向かいます。

2. ソーズMS-07 (53S) フライト

ソーズMS-07 (53S) フライトは、ロシアのソーズ宇宙船を打ち上げて、ISSに滞在クルー3名を運んで帰還させるミッションです。ISSへ打ち上げられるソーズ宇宙船の打上げとしては53回目となります。

今回、金井宇宙飛行士が搭乗するソーズMSは、2016年7月の大西宇宙飛行士の打上げから使われるようになった改良型のソーズ宇宙船で、MS型になってから7機目のため、ソーズMS“-07”と称されています。

なお、金井宇宙飛行士はライトシーター（船長の右側の席）として搭乗します^{※1※2}。

※1 オペレーションに関連する操作の一部を担当します。（例えば目の前のバルブの操作など）

※2 油井、大西宇宙飛行士は、船長を補佐するレフトシーターでした。（左側の席に座り、船長の操縦を補佐するだけでなく、船長が操縦できなくなった非常時には操縦を代わる能力を求められます）

ソーズMS宇宙船 について

ソーズMSはそれ以前のソーズTMA-Mと外観はあまり変わりませんが、以下のような改良が行われています。

- ランデブーアンテナの更新（アンテナの数を削減、重量と電力消費量も削減。）
- 無線通信装置の更新（データ中継衛星経由での通信が可能となり、通信可能範囲が大幅に増加。従来はロシア地上局上空でしか通信ができませんでした。）
- 航法システムの強化
- 太陽電池パネルの発電能力の強化
- 姿勢制御スラスターのサイズを1種類にまとめ、配置も変えるなど、信頼性を向上。

【参考】大西宇宙飛行士によるGoogle+によるソーズMS型機の改良内容の紹介

-2016/2/19

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/92CWUhfUWts>

「ソーズMS型機では、従来のTMA-A型機と比較して、宇宙船の補助エンジンの仕様が少し異なります。TMA-A型機では、大小2種類の補助エンジンがあったのに対し、MS型機ではそのうちの大きい補助エンジンだけに統一されています。」

「大きい補助エンジンに統一されることのメリットやデメリットがあるのですが、デメリットの一つとして、手動ドッキング操縦の難易度が上がったということが挙げられます。どういう部分で難易度が上がったかというのも、単純な話ではないのですが、わかりやすい一例を挙げると、これまで小さいエンジンで姿勢をコントロールしていたのが、大きいエンジンでのコントロールに変わったので、細かい修正というのが難しくなりました。」

-2016/4/28

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/Am59QbNw1k5>

「MS型機のソーズでは、従来のTMA-M型機からいくつかの機能がバージョンアップ・追加されていますが、大きなものの1つとしてGPSの搭載があります。ACHと呼ばれるシステムがそれです。これは英語ではなくロシア語の略語なので、驚くなかれ、これで「アー・エス・エヌ」と呼びます。「イー・シー・エイチ」ではありません。めちゃくちゃ紛らわしいです。

このACHの登場によって、ソーズのナビゲーションのやり方が大きく変わっていきます。

全てメインコンピューターがやることなので、私たちクルーの操作としては大きな変更はありませんが、それに伴い、従来のランデブー用の航法システムであったKRPC（クルス）と呼ばれるシステム機器が改良されました。改良というのは、ここでは軽量・小型化されるという意味で、宇宙船にとってももちろんそれは大きなメリットになります。」

2.1 飛行計画概要

ソユーズMS-07（53S）の飛行計画の概要を表2.1-1に示します。

表2.1-1 ソユーズMS-07（53S）フライトの飛行計画概要

2017年12月25日現在

項目	飛行計画
ミッション番号	53S（ソユーズ宇宙船の通算53回目のISSフライト）
機体名称	ソユーズMS-07（MS 7号機）
打上げ日時	2017年12月17日16時21分（日本時間） 2017年12月17日13時21分（バイコヌール時間）
打上げ場所	カザフスタン共和国 バイコヌール宇宙基地
搭乗員	ソユーズコマンダー アントン・シュカプレロフ フライトエンジニア1 スコット・ティングル フライトエンジニア2 金井 宣茂
軌道高度	軌道投入高度 : 約200km ISSとのドッキング高度 : (平均高度)約404km
軌道傾斜角	51.6度
ISSドッキング日時	2017年12月19日17時39分（日本時間） ドッキング場所：MRM-1「ラスヴェット」
ISS分離予定日	2018年6月3日（目標）
帰還予定日	2018年6月3日（目標）
帰還予定場所	カザフスタン共和国

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition54/index.html

<http://www.nasa.gov/multimedia/nasatv/schedule.html>



図2.1-1 打ち上げ準備中のソユーズMS-07

https://www.energiya.ru/en/iss/iss54/photo_12-11.html

2.2 ソーズMS-07 搭乗クルー



ソーズコマンダー (Commander)

アントン・シュカプレロフ (Anton Shakhpleroev)

1972年2月、ウクライナ生まれ(打上げ時45才/帰還時46才)。ロシア空軍大佐(退役)。

2005年にロシアテスト宇宙飛行士として認定される。2011年から2012年にかけて第29次/第30次長期滞在クルーとして初飛行。2014年から2015年にかけて第42次/第43次長期滞在クルーとしてISSに滞在した。今回が3回目のISS滞在となる。



フライトエンジニア (Flight Engineer)

スコット・ティングル (Scott Tingle)

米国マサチューセッツ州生まれ。米国海軍大佐。

大学院卒業後、非営利企業Aerospace Corporationで技術者として3年間務めた後、海軍に入り、空母のパイロットを経て海軍のテストパイロット(岩国基地への派遣経験あり)を務めた後、2009年に宇宙飛行士候補者として選抜される。

金井宇宙飛行士とはNASA Astronaut Group 20で共に宇宙飛行士訓練を受けた同期。今回が初飛行。



フライトエンジニア (Flight Engineer)

金井 宣茂 (JAXA)

1976年東京都生まれ(41才)。

プロフィールは表 1.1-1 を参照

ニックネーム“ニモ”?

金井宇宙飛行士のニックネームは「ニモ」(Nemo)です。以前、Twitterでの質問にも以下のように答えています。

「海上自衛隊で潜水関係の仕事をしていたことから、宇宙飛行士候補者訓練の仲間から「ニモ」というニックネームを頂戴しました。

「ノリゲ」という名前は難しいので、ロシアでもヨーロッパでも、「ニモ」と名乗っています。」

SF小説「海底二万里」のネモ船長や、映画「ファインディング・ニモ」に出てくるクマノミの「ニモ」に由来して付けられたそうです。

3. 金井宇宙飛行士について

3.1 金井宇宙飛行士の任務概要

ISSのフライトエンジニア（FE）を務める金井宇宙飛行士の任務は、主に以下の通りです。詳細は4章をご覧ください。

（１）実験運用に係る任務

「きぼう」日本実験棟の実験運用を行うほか、「コロンバス」（欧州実験棟）及び「デスティニー」（米国実験棟）での実験運用も行います。

（２）システム運用に係る任務

米国、ロシア、欧州宇宙機関（ESA）、日本の各モジュールから構成されるISSシステムの運用・維持管理を行います。

（３）ISSのロボットアームの操作

滞在中に到着する米国の商業補給船をISSのロボットアームを使って把持、あるいは分離・放出する作業を担当します（誰が作業を担当するかは、補給船の飛行直前に決められます）。

（４）船外活動に関する作業支援

詳細はまだ決まっていますが、滞在期間中に米国の船外活動が行われるため、その作業を支援することになります。

（５）その他の任務

ISSに結合した補給船の物資の搬入出や収納・在庫管理などの作業、ソユーズ宇宙船で到着するISSの交代クルーへの業務引継ぎ、広報イベントなど、通常業務のほかにも様々な作業を行います。



超小型衛星の放出準備のために、きぼうエアロックのスライドテーブルの作業を行う大西宇宙飛行士

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=ef88a9ba99af7706e3e80e418f482e0a>



米国の訓練用プールで船外活動の訓練を受ける金井宇宙飛行士

<http://iss.jaxa.jp/astro/report/column/kanai/07.html>

3.2 金井宇宙飛行士が紹介する宇宙飛行士訓練とISSの紹介

ブログやTwitterを通じて、金井飛行士ならではの観点で訓練の様子や「きぼう」日本実験棟やISSの事、自分自身のことを紹介しています。

●新米宇宙飛行士最前線！ <http://iss.jaxa.jp/astro/report/column/>

宇宙飛行士候補者から宇宙飛行士になるための宇宙飛行士基礎訓練を受けていた頃について自身の想いなどを記載されたサイトです。(2012年5月29日から2014年3月14日まで21通)

金井飛行士以外にも油井宇宙飛行士、大西宇宙飛行士の投稿もあります。

●ISS滞在に備えた様々な訓練

・欧州宇宙機関(ESA)主催のCAVES訓練：

http://iss.jaxa.jp/astro/report/2011/1109/esa_caves.html

CAVES訓練は、イタリアのサルディニア島で、ESA、NASA、ロシアの宇宙飛行士達と共に洞窟の中で日間過ごすことで宇宙での長期滞在に必要な協調性や自己管理能力などの向上を目的とした訓練です。金井宇宙飛行士は2011年9月に行われた最初のCAVES訓練に参加しました。

・ロシアでのサバイバル訓練：

http://iss.jaxa.jp/astro/report/2012/1201/ka_russian.html

金井宇宙飛行士は2012年1月に、ロシアでの冬季サバイバル訓練を実施しました。ソユーズ宇宙船が森林の中に不時着したことを想定して3日間の野外生活を行う訓練です。

・NASA極限環境ミッション運用 (NEEMO) 訓練：

http://iss.jaxa.jp/astro/report/2015/1507/kanai_1507.html

金井宇宙飛行士は、2015年7月に米国フロリダ州で第20回NEEMO訓練に参加しました。NEEMO訓練は、水深20mの海底に設置された海底研究室に滞在し、閉鎖環境におけるチームワーク・リーダーシップ・自己管理および異文化対応などのチーム行動能力の更なる向上を図り、ISS長期滞在に備えることを目的とした訓練です。

・金井宇宙飛行士が一番辛かった訓練：

2017年10月に横浜で開催された広報イベントで金井宇宙飛行士が一番辛かった訓練として挙げたのはT-38ジェット練習機を使った飛行訓練でした。油井と大西宇宙飛行士の2人はプロとして軽々と飛ばせたのに対して、非常に辛い評価を受けて悔しい思いをしたそうです。油井宇宙飛行士は、「あれはすごくスパルタな訓練でしたよね。いきなりアメリカに行って、数週間しかたってないのにいきなり操縦していましたよね。」大西宇宙飛行士も「あれは結構あり得ないですよ。」「僕らだって1年かけてちゃんと一人前のパイロットになるんですけども、金井さんみたいな方でも6週間ぐらいの詰め込み訓練に放り込んで、それが終わったら、もう飛んで。」油井：「テストパイロットでもあそこまではさすがにやらないですよ。」と紹介してくれました。

【参考】「SPACE MEETS YOKOHAMA きぼう、その先へ」開催報告

http://iss.jaxa.jp/topics/2017/11/171122_yokohama.html

● **金井宇宙飛行士Twitter** (2017年4月～) https://twitter.com/Astro_Kanai

Twitterで金井宇宙飛行士がリアルタイムで質問にお答えする企画「#金井に質問」を行いました。その結果はこちら (http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/twitter_qa/) にまとめています。

● **金井宣茂公式ブログ「宇宙、行かない？」** (2017年8月25日～) <https://ameblo.jp/astro-kanai/>

Twitterでは書ききれない情報をこちらのブログで発信しています。時々金井さん自身が質問へ回答しています（油井さんが出沒したこともあります）。以下におすすめ記事をいくつか紹介します。

・ **宇宙船を捕まえる！**

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12309662174.html>

[ロボットアームの全長はおよそ17メートル。6つある関節に内蔵されているモーターを駆動して動かすので、先端部分では、かなり大きな振動が生じるのです。安全に「グラブ・ピン」をつかむには、数センチレベルでのコントロールが求められますが、急にハンドコントローラーを動かすと、ロボットアームの先端部分では、簡単に10センチとか20センチのレベルで振動を始めてしまいます。このため、ハンドコントローラーは、そっと静かに、ロボットアームに振動を起こさないように、徐々に動かさないとはいけません。ハンドコントローラーはとても反応性が良く（良すぎるのが難点で）、操縦桿を倒す角度がちよっと変わるだけで、すぐにロボットアームの振動が始まってしまいます。]

・ **補給船のキャプチャー、そのあとに**

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12328457916.html>

[ドッキングポートは、二重のゴムパッキンで空気漏れがないようになっていますが、何度も補給船が着いたり離れたりしているので、劣化したり傷がついている可能性があります。空気漏れを起こしてしまつては元も子もないので、慎重に時間をかけて気密のチェックを行います。空気漏れのないことが確認できて、いよいよ補給船に入室・・・とは、まだいきません。その前に、補給船に電力供給をしたり状態を監視するためのケーブルをつなげる必要があります。]

[いざ補給船のハッチを開けようとする宇宙飛行士は、ゴーグルにマスクを装着した、とても怪しい恰好をしています。]

・ **エマージェンシー発生！**

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12309659405.html>

[宇宙ステーションにおける「緊急事態（Emergency）」は、3つ。「火災」、「緊急減圧（宇宙ステーションの外壁に穴が開いて空気が抜けてしまう）」、そして「アンモニア・リーク」です。]

・ **安全に関する考え方：優先順位の徹底**

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12322162842.html>

[例えば、「宇宙飛行士が命がけで、火災を起こしたモジュールの中から実験サンプルを回収する」というと、映画の主人公のようで格好良く聞こえますが、最優先であるはずの身の危険を冒して、優先度の低い宇宙実験を守るというのは本末転倒で、実際にはあり得ません。その時々で、何が大切なのか、優先順位をつけて適切に行動することは、宇宙飛行士の日ごろの訓練の中でも、特に重要視されています。]

・ **宇宙での潜水病予防**

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12317638046.html>

[わたしは宇宙飛行士になる前は、海上自衛隊で潜水医学の仕事をしていましたので、自分の専門分野についてご紹介したいと思います。]

[船外活動のための宇宙服（EMUスーツと言います）の中は、宇宙ステーションよりも低い気圧に保たれているので、宇宙ステーションの中（気圧が高い）から、宇宙服を着て船外に出る（気圧が低い）のは、あたかも、海の底（水圧が高い）で長時間ダイビングを楽しんだあと、水面に戻ってきた（水圧が低い／ない）のと同じような環境の変化が起こる

のです。]

・L- 3ヶ月：船外活動訓練 その1

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12313506519.html>

[モノを一瞬たりともフリーでフワフワさせないようにする「テザー」ですが、これがなかなか面倒です。]

[船外活動をしている間は、ずっとフックを掛けたり、外したりを続けている・・・といっても過言ではありません。加圧された宇宙服のグローブを握って開いてを繰り返していると、まるで握力を鍛えるハンドグリップをずっと続けているみたいで、結構な重労働です。]

・L- 3ヶ月：船外活動訓練 その3

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12314092919.html>

[NBLというNASAの船外活動のための訓練施設に勤務するダイバーは、色々なバックグラウンドを持った人たちですが、米海軍の潜水員だった人も多く所属しています。]

わたしも、もともと海上自衛隊の潜水に関わる仕事をしていたので、昔の職場の雰囲気を出し、懐かしいような、慣れ親しんだ環境で訓練を受けることができます。]

・L- 3ヶ月：船外活動訓練 その4

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12314415056.html>

[時には、こんなシナリオも。]

インスト「EV2、今、EV1に聞こえないように君に話しかけている。今から、クルーレスキューのシナリオだ。気を失ったフリをしてくれ」

EV1「こっちの作業は順調だ。EV2、そっちの状況はどうだ？」

EV2「・・・（気を失ったフリ、気を失ったフリ）」

EV1「EV2、応答せよ。・・・ヒューストン、EV2からの応答がなくなった。無線の不具合かもしれないが、本人の様子を確認する」

インスト「こちらヒューストン、了解した。われわれもEV2からの応答を聞いていない。大丈夫かどうか、確認してくれ」

EV1「EV2の様子を確認した。目をつぶって意識がないようだ。船外活動を中止し、クルーレスキューを開始する！」

万が一、宇宙空間で、宇宙飛行士の一人が行動不能になってしまった場合を想定して、もう一人が宇宙ステーションの出入り口であるエアロックまで連れ帰るといった訓練も行います。]

・宇宙飛行士の役割分担

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12307907674.html>

[宇宙ステーションで仕事をする宇宙飛行士は、全員が「フライトエンジニア」、と書きましたが、宇宙ステーションの保守・点検作業に関しては、「スペシャリスト」、「オペレーター」、「ユーザー」という風に、どのくらいの専門知識があるか（深いところまで訓練を受けているか）の区分があり、同じ「フライトエンジニア」の間で役割分担をしています。]

例えば、JAXA宇宙飛行士のわたしは、日本実験棟「きぼう」の「スペシャリスト」の資格を持っています。]

[同様に、ティンクル飛行士はNASAの区画では「スペシャリスト」として責任を持ち、シュカプレロフ飛行士はロシアの区画の「スペシャリスト」です。]

わたしは、NASAの区画では「オペレーター」で、ロシア区画では「ユーザー」として、定められた作業に従事します。]

・「きぼう」のシステム：電力系サブシステム

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12324091744.html>

[例えば、「きぼう」の制御を行っているメインコンピュータは2台備え付けられており、1つはA系から電力を受け、もう1つはB系の電力を受けるような配線となっています。万一、片側の系が停電となっても、別の系が生きていれば、もう一つのメインコンピュータを使うことで、「きぼう」の制御機能を失わずに、通常と何ら変わらない運用が継続できるのです。]

・「きぼう」のシステム：熱制御系サブシステム

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12324876515.html>

[[「きぼう」の中には、「中温系ループ」と「低温系ループ」と2つの冷却用の排熱回路があり、それぞれが独立してポンプで冷却水を流して、「きぼう」全体の熱コントロールを行っているのです。

このデザインのおかげで、片方のループに不具合が起こっても、もう1つのループを使うことで、「きぼう」の機能を失わずに済むようになっています。]

・「きぼう」のシステム：環境制御系サブシステム

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12326174566.html>

[宇宙環境では、空気を循環させることは、生命維持に直結する重要な機能なのです。というのも、重力による対流がないために、強制的にファンを回して空気を混ぜないと、口や鼻の周りにだけ二酸化炭素の濃度が高くなり（これを「二酸化炭素ポケット」と呼びます）、息が苦しくなったり、そのまま放置すると窒息したりしてしまうのです。

このため、宇宙ステーションの部屋（モジュール）同士が、空気を通す配管でつながっていて、アメリカ・モジュールできれいになった（二酸化炭素を取り除かれた）空気が、順繰りに各部屋を回っていくような仕組みになっています。]

・「きぼう」のシステム：ロボットアーム／エアロック

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12326455930.html>

[[「きぼう」の内部には、ロボットアームの操作台（ワークステーション）が備え付けられていて、アームの関節部分や「きぼう」の外壁に備え付けられたカメラ映像と、窓からの視認により、宇宙飛行士がアームを動かして、船外実験装置の取り付けなどの作業を行うことができます。・・・というのが、「きぼう」設計時のコンセプトだったのですが、ロボットアームの運用経験を積んでいく中で、「わざわざ宇宙飛行士に操縦を任せなくても、地上の管制官が操作すればいいじゃん」と考えられるようになってきました。]

[おかげで巨大なロボットアームを動かすという楽しみは少なくなりましたが、これは宇宙飛行士自身にとっても良いことで、宇宙滞在をしている宇宙飛行士にしかできない作業に、より多くの時間を割くことができるようになりました。]

[実は、わたしの宇宙滞在中には、エアロックの中を真空にするバルブ操作も地上からコントロールできるようなシステムの改善が計画されています。]

・翔べ！ソユーズ

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12306666852.html>

質問に対する金井さんからの回答より

[4周回(6時間)のドッキングだと、忙しすぎて、ゆっくりと「居住モジュール」で休む余裕はないようです。宇宙服を半分だけ脱いでお手洗いを済ませ、コンテナにしまっているジュースやシリアルバーで軽く腹ごしらえをするくらいだと聞いています。打上げ前の準備からカウントすると、24時間近く連続した勤務となるので、宇宙飛行士によっては2日ランデブーのほうが楽で良いという人もいます。]

4. 金井宇宙飛行士の任務

4.1 第54次／第55次長期滞在ミッションの実験運用に関連する作業

現在、「きぼう」の船内実験室、船外実験プラットフォームでは、生命科学、物質・物理科学、宇宙医学・有人宇宙技術開発、天体観測、地球観測、宇宙環境計測などの実験が実施されており、金井宇宙飛行士が参加する長期滞在ミッション中においても、様々なJAXAの実験・技術開発テーマが計画されています。

JAXAの実験に関する予定と実績を、JAXA公開ホームページ「「きぼう」の利用状況と今後の予定」(<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/plan/status/>)にて隔週更新しています。また、実験開始や成果などのトピックスも掲載していますので、ご覧ください。

4.1.1 JAXAの実験

金井宇宙飛行士滞在中に実施が計画されている実験を次ページ以降に示します。

JAXAでは2020年までに達成すべき5つの目標を設定しており、それに向けて当面4つのプラットフォームを用いた利用サービスを進めています。その枠組みに合わせて次ページ以降で紹介します。



図4.1-1 2020年までのJAXAの5つの目標と具体的な取り組み
 きぼう利用戦略 第2版 <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/strategy/> より

表4.1.1-1 金井宇宙飛行士のISS滞在中に計画されている主な利用ミッション

金井宇宙飛行士が担当／参加しないものも含まれます (2017年11月現在)

分類	テーマ名	参照番号
新薬設計支援 プラットフォーム	低温タンパク質結晶生成実験 (Low Temp PCG#2)	(1)
	中温タンパク質結晶生成実験 (Moderate Temp PCG#2)	
	中温タンパク質結晶生成実験 (PCG#14)	
加齢研究支援 プラットフォーム	宇宙ストレスにおける環境応答型転写因子の役割 (Mouse stress Defense)	(2)
	微小重力環境下でのアミロイド線維形成と性状評価 (Amyloids)	(3)
	宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価 (Multi Omics)	(4)
	ゼブラフィッシュによる筋萎縮原因の解明 (Zebrafish Muscles2)	(5)
	プロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境影響検討 (Probiotics)	(6)
	液体生検によるゲノム・エピゲノム解析(Cell-Free Epigenome)	(7)
超小型衛星放出 プラットフォーム	超小型衛星放出ミッション (J-SSOD#8) ケニア (国連共同“KiboCUBE”プログラム)	(8)
	超小型衛星放出ミッション (J-SSOD#9) 九州工大 (コスタリカ、シンガポール、ブータン、マレーシア、フィリピン)、トルコ	
船外ポート利用 プラットフォーム	中型曝露実験アダプター／次世代ハイビジョンカメラ技術実証 (i-SEEP/HDTV2)	(9)
新たなプラットフォームによる 「きぼう」利用 多様化	静電浮遊炉 (ELF Experiment) 利用	(10)
	静電浮遊法を用いた鉄鋼精錬プロセスの基礎研究～高温融体の熱物性と界面現象～ (Interfacial Energy)	(11)
	簡易曝露実験装置 (ExHAM#1)	(12)
	簡易曝露実験装置 (ExHAM#2) トルコの材料曝露実験	
超長期有人宇宙 滞在技術や 探査技術の獲得	JEM自律移動型船内カメラ(Int-Ball)	(13)
	無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立 (Intracranial Pressure & Visual Impairment: IPVI)	(14)
	長期宇宙滞在により引き起こされる耳石前庭機能障害評価 (Labyrinth)	(15)
	長期宇宙滞在がヒトの脳循環調節機能に及ぼす影響 (Cerebral Autoregulation)	(16)
	「きぼう」船内の宇宙放射線環境の定点計測(Area PADLES)	(17)
	宇宙飛行士の個人被ばく線量計測(Crew PADLES)	(18)
	宇宙ステーション内でのリアルタイム線量当量計測技術の確立 (PS-TEPC)	(19)
学術研究の推進	沸騰二相流体ループ (Two Phase Flow: TPF)	(20)
	新しい微粒化概念の詳細検証 (Atomization)	(21)
	ほ乳類の繁殖における宇宙環境の影響 (Space Pup)	(22)
	高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET)	(23)
	全天 X 線監視装置 (MAXI)	(24)
	宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP)	(25)
国際協力の推進	アジア簡易物理実験 (Asian Try Zero-G)	(26)
戦略的広報	JAXA EPO (Video Taking)	4.1.3 項
	JAXA EPO (Report)	

注: 実験の進捗やISSの運用状況によって、予定が変わる場合があります。

【新薬設計支援プラットフォーム】

(1) 高品質タンパク質結晶生成 (JAXA PCG)

医薬品などの研究開発につながる高品質なタンパク質の結晶を宇宙でつくる。

JAXAは、10年以上にわたる技術開発と実験を経て微小重力下でのタンパク質結晶生成技術を確立してきました。宇宙用に結晶化容器を開発 (JAXA 特許技術) すると共に、宇宙実験効果の事前予測や宇宙実験に最適な試料調製法を確立することで、条件の整ったものについては約 6 割以上の確率で、地上で生成するより良質な X 線回折構造データを取得できるようになりました。宇宙で結晶を生成すると、地上での結晶では見えないタンパク質の立体構造を解明することができ、新薬の候補となる化合物の分析が容易になると期待されています。 (<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/protein/>)

今回実施されるのは以下の3つです。ここで低温と示しているのは4℃での結晶化実験、中温は従来から行われてきた20℃での結晶化実験のことです。

- 低温タンパク質結晶生成実験 (Low Temp PCG#2)
- 中温タンパク質結晶生成実験 (Moderate Temp PCG#2)
- 中温タンパク質結晶生成実験 (PCG#14)



図4.1.1-1 タンパク質の結晶と結晶の構造解析のイメージ (JAXA)



図4.1.1-2 宇宙と地上で結晶化させたタンパク質結晶の違いを現すイメージ (JAXA)

【参考】国際宇宙ステーションでのタンパク質結晶生成実験結果から、タンパク質やペプチドを栄養源とする歯周病原菌の生育に重要なペプチド分解酵素 DPP11の立体構造および基質認識機構を解明～新たな歯周病治療薬の開発に期待～ (2015年6月JAXAプレスリリース)

http://www.jaxa.jp/press/2015/06/20150610_dpp11_j.html

【参考】「きぼう」で行ったタンパク質結晶化実験の観察結果 (速報) (2017年6月 JAXA)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/170607_pcg.html



図4.1.1-3 タンパク質結晶生成試料が入ったキャニスターバッグを壁に仮置きする油井宇宙飛行士
<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=41a5344fed9d1f897e17bee137b785fd>

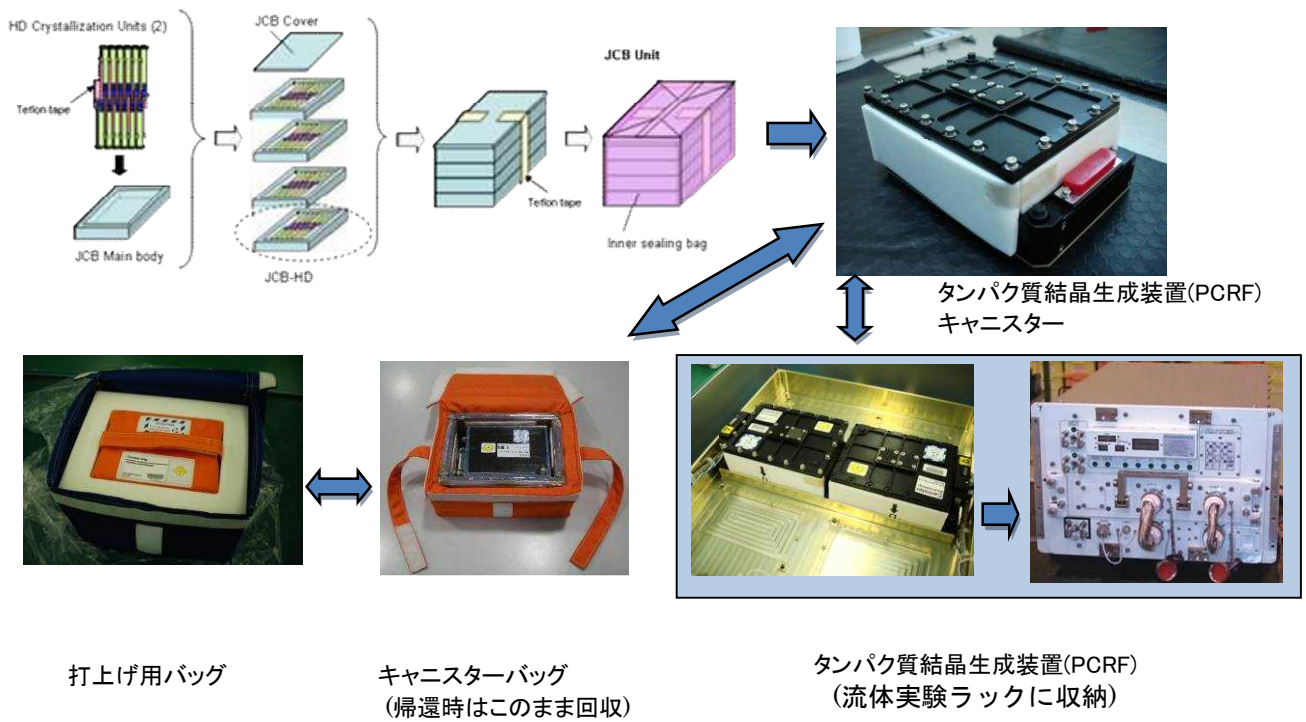


図4.1.1-4 タンパク質結晶生成試料の梱包・収納状況

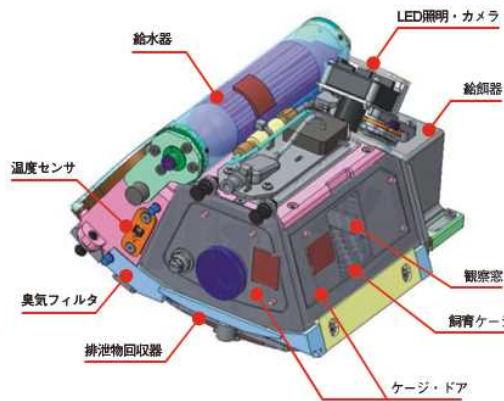
【加齢研究支援プラットフォーム】

(2) 宇宙ストレスにおける環境応答型転写因子の役割 (Mouse stress Defense)

ストレス防衛の転写因子 Nrf2 について宇宙ストレス（放射線による酸化ストレス、無重力によるメカニカルなストレス）が与える影響を調べるために、Nrf2 を欠損させたマウスと正常な野生型マウスを飼育して比較を行います。本研究は、宇宙滞在リスク軽減への貢献、高齢化・高ストレス社会が抱える課題克服への応用を目指しています。

マウスの飼育には小動物飼育装置（Mouse Habitat Unit : MHU）を使います。飼育ケージに装備したビデオカメラにより地上でライブ観察ができる他、遠心機付き生物実験装置に飼育ケージを設置して、微小重力と人工重力の環境を同時に軌道上で作り出し、比較飼育・観察できます。飼育装置は、水と餌を与えられるようになっており、糞尿の除去も可能です。

NASAもマウスの飼育をISSで行っていますが、人工重力を与えられるのは日本だけです。また個飼いができるのも日本の装置の特徴です。



① 照明・カメラ、②給餌口、③給水口(2個)

図4.1.1-5 JAXAの小動物飼育装置のイメージ図

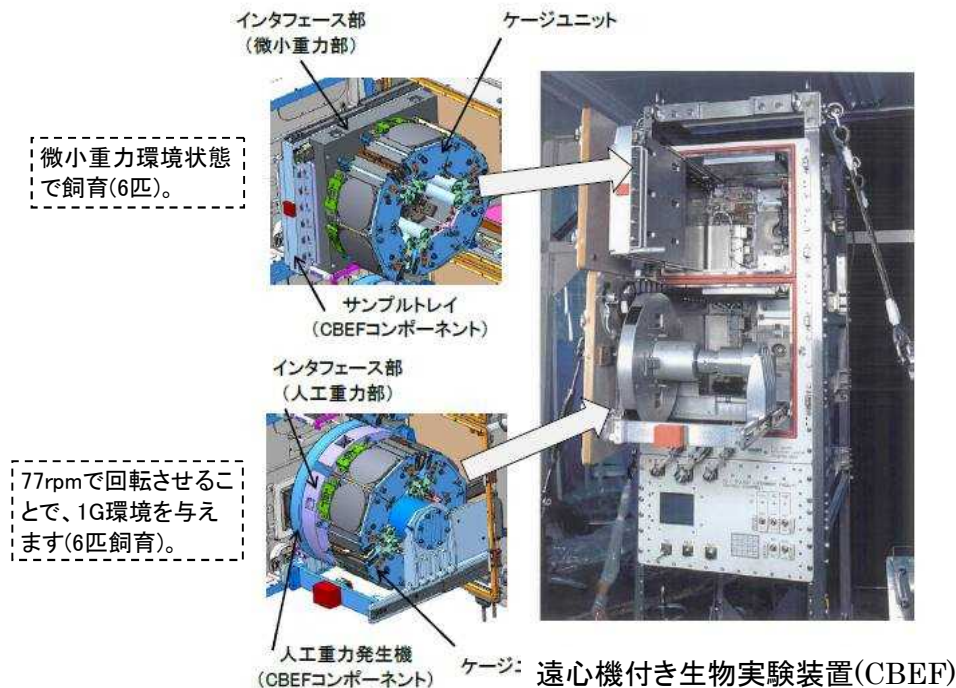
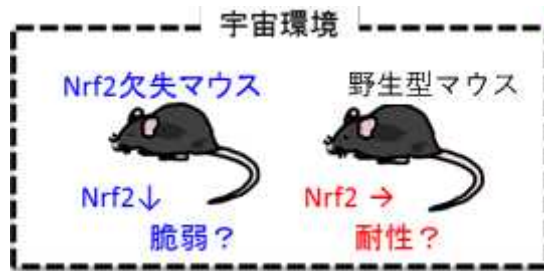


図4.1.1-6 小動物飼育装置をCBEFに設置したイメージ図



4.1.1-7 Nrf2は宇宙ストレス軽減に働くか？

JAXA ではこれまでに 2 回のマウス飼育実験を「きぼう」で行っています。今回の飼育実験は 3 回目になります。

【参考】第 2 回マウス長期飼育ミッションの終了後 1 か月速報(2017 年 10 月 15 日)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171025_mom.html

(3)微小重力環境下でのアミロイド線維形成と性状評価 (Amyloids)

アミロイド線維は、アルツハイマー病や糖尿病などの原因となることが知られています。これらの疾患の治療や予防のためには、線維が形成される機構を理解することが重要ですが、詳細な線維形成機構は未だ解明されていません。

微小重力下では地上と比べてアミロイド線維の形成速度が一定かつ遅くなると予想され、「きぼう」の微小重力下においては、地上では得られない高品質なアミロイド線維の形成が期待されます。

高品質のアミロイド線維を回収して解析することで、アミロイド線維の詳細構造および線維形成機構を明らかにし、アミロイド線維に関わる神経変性疾患の発症機構について、解明することを目指します。

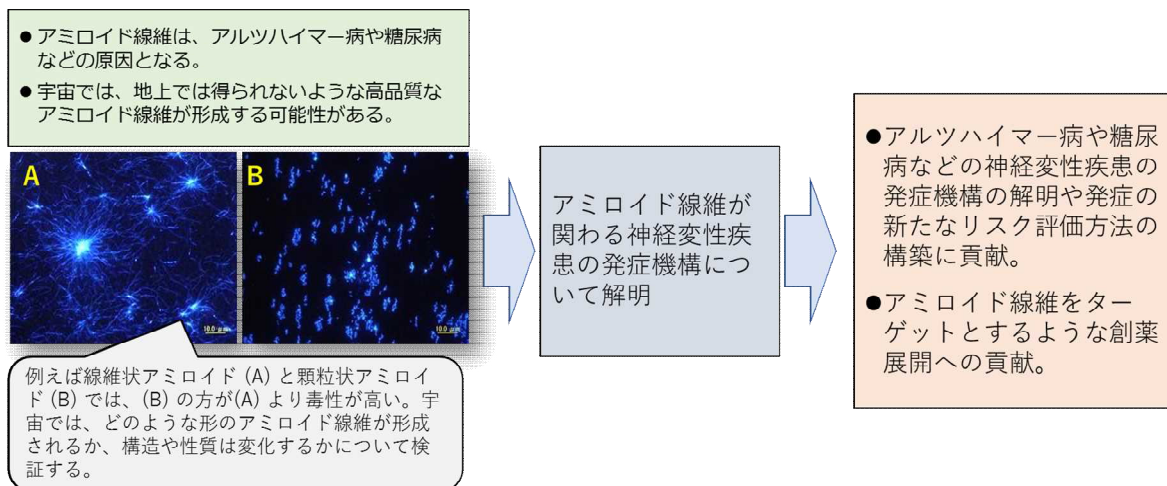


図4.1.1-8 アミロイド線維とその形成

(4) 宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価(Multi-Omics)

宇宙飛行士とマウスの糞便等を用いて腸内細菌叢や腸内代謝系といった腸内環境の変化を解析し、宇宙環境による免疫障害への影響を評価する実験であり、免疫障害の評価指標の同定とメカニズムの解明を目的とします。

宇宙飛行士からは唾液と便を、マウスからは糞と血液等を採取し、口腔・腸内環境における細菌の分布・機能、分泌される代謝物の解析を行います。またフラクトオリゴ糖の効果も評価します。

この実験に関しては大西宇宙飛行士が2015年10月6日にGoogle+で紹介しています。

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/J2PWF6sWYdi>

(5) ゼブラフィッシュによる筋萎縮原因の解明 (Zebrafish Muscles2)

モデル生物としてよく使われているゼブラフィッシュを軌道上で短期飼育し、筋萎縮の原因となる遺伝子を絞り込むことで宇宙滞在における筋萎縮のメカニズムの解明につなげるとともに、地上における加齢・疾病による筋萎縮への医学応用を目指します。

本実験は2017年12月に終了しました。http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171226_zebrafish.html



図4.1.1-9 ゼブラフィッシュ

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/mspr/aqh/>

(6) プロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境影響検討 (Probiotics)

株式会社ヤクルト本社とのこの共同研究は、ISSでのプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境に及ぼす効果を科学的に検証することで、宇宙飛行士の健康やパフォーマンスの維持・向上、得られた知見に基づく地上でのプロバイオティクス研究の発展及び健康増進への貢献を目指しています。

宇宙飛行士に飲んでもらう乳酸菌は、ラクトバチルス・カゼイ・シロタ株を使います。1日5カプセルを地上帰還前の4週間継続して摂取します。評価のために専用のスプーンを使って便を取り、腸内フローラの変化を調べます。また、唾液と血液も採取し、免疫機能の変化を調べます。

【参考】国際宇宙ステーションでのプロバイオティクス (ラクトバチルス カゼイ シロタ株) の継続摂取実験、いよいよ開始へ～宇宙飛行士の免疫機能、腸内環境への効果研究～ (2017年3月1日JAXAプレスリリース)

http://www.jaxa.jp/press/2017/03/20170301_yakult_j.html



図4.1.1-10 プロバイオティクス実験の流れ

閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境に及ぼす効果に係る共同研究 (2017年3月1日 記者説明会資料より) <http://fanfun.jaxa.jp/jaxatv/detail/9685.html>



図4.1.1-11
プロバイオティクス実験で摂取する乳酸菌カプセル
(JAXAきぼう利用ネットワークTwitterより)
https://twitter.com/JAXA_Kiboriyo/status/90823442416833313

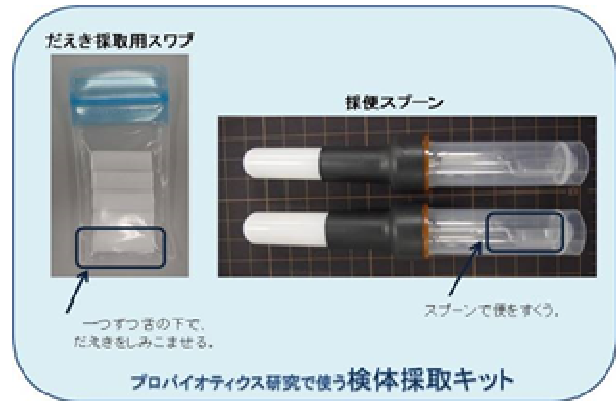


図4.1.1-12
プロバイオティクス実験で使う検体採取キット
https://twitter.com/JAXA_Kiboriyo/status/908603901603061765

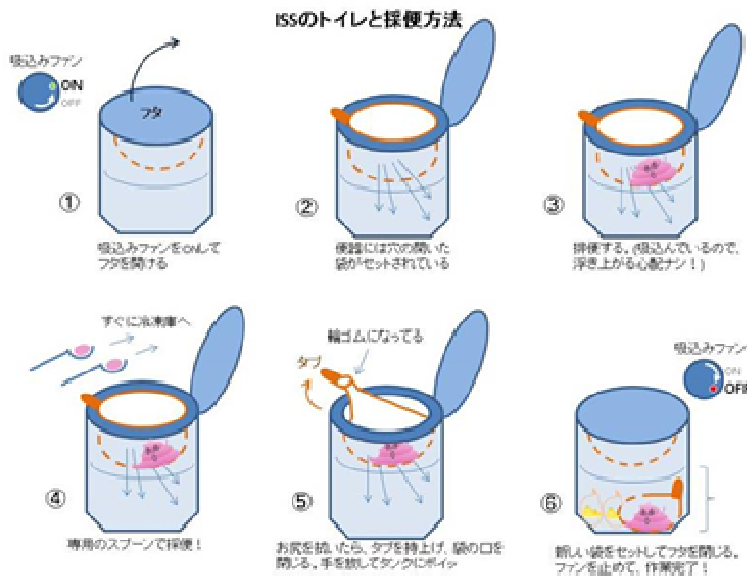


図4.1.1-13
ISSのトイレと排便方法のイメージ
https://twitter.com/JAXA_Kiboriyo/status/908604356471095298

(7)液体生検によるゲノム・エピゲノム解析 (Cell-Free Epigenome)

骨吸収や筋萎縮等により、血漿中に遊離DNAが放出され、その際遊離DNAは由来する細胞に特異的に起きるメチル化状態を保持しています。そのため、宇宙滞在前中後の宇宙飛行士の血漿中遊離DNAを解析すれば、骨や筋肉等、体内を直接見ることが難しいヒトの器官・臓器の生理状態を網羅的に調べることが可能となります。また、宇宙環境ストレスにตอบสนองしてRNAが変動すると考えられます。

そこで本研究では、宇宙飛行士の血漿中の遊離DNAや循環RNAを次世代シーケンサーを用いて解析するとともに、第1回マウス飼育ミッション（マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価(Mouse Epigenetics)）の解析結果との比較を行います。

本研究は、宇宙飛行士に起きる環境応答をモニタリングする手法への応用、宇宙滞在や老化に伴う骨や筋肉の変化をサポートする医薬品や検査技術の開発等への活用を目指しています。

【超小型衛星放出プラットフォーム】

(8)超小型衛星放出ミッション (J-SSOD#8) ケニア (国連共同“KiboCUBE”プログラム)

超小型衛星放出ミッション (J-SSOD#9) 九州工大 (コスタリカ、シンガポール、ブータン、マレーシア、フィリピン)、トルコ (日本・トルコ協力)

超小型衛星の打上げ機会を提供

ISS のモジュールで唯一、エアロックとロボットアームの両方をあわせ持つ「きぼう」日本実験棟の機能を活用すれば、超小型衛星を放出することができます。JAXA が開発した小型衛星放出機構(JEM-Small Satellite Orbital Deployer: J-SSOD) は、CubeSat 規格の超小型衛星を「きぼう」のエアロックから船外に搬出し、「きぼう」ロボットアームで把持した後、衛星を放出し、軌道に乗せることができます。

2012 年 10 月に最初の 5 機を放出して以降、米国製の放出機構 (NanoRacks CubeSat Deployer: NRCSD) 等も加わって非常に多数の超小型衛星を放出しています。J-SSOD の衛星搭載ケース 1 台には、1U (10cm 立方) サイズであれば 3 機、2U (20×10×10 cm) と 1U サイズであれば 2 機、3U (30×10×10 cm) サイズであれば 1 機が搭載可能です。2017 年 1 月には、最大 12U までの CubeSat が放出できるように容量を倍増させました。今後も最大 48U まで放出できる装置を開発する予定です。また、50kg 級の少し 大きな超小型衛星も放出できるよう J-SSOD M という放出機構も開発し、2016 年 4 月に、フィリピン国産衛星第 1 号となる「DIWATA-1」(50kg 級) の「きぼう」からの放出に成功しました。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/jssod/>

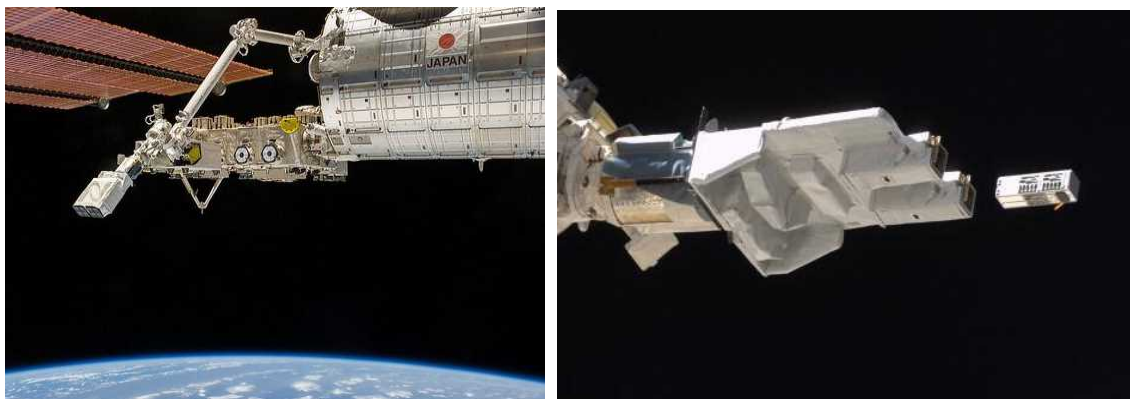


図4.1.1-14 超小型衛星の放出 (右：TechEdSat-3の放出)

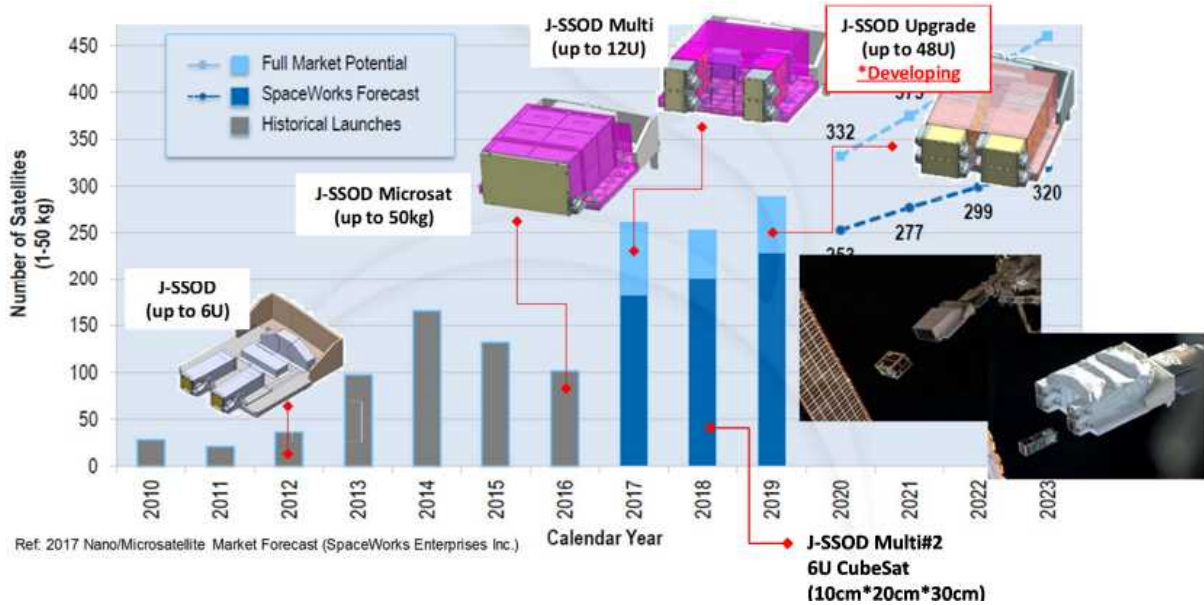


図4.1.1-15 J-SSODの能力拡張計画

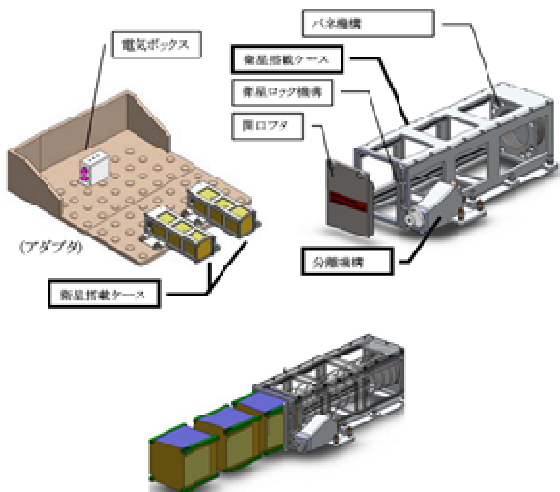


図4.1.1-16
小型衛星放出機構(J-SSOD)(右上)と、
親アーム先端取付型実験プラットフォーム
(MPEP)(左上)

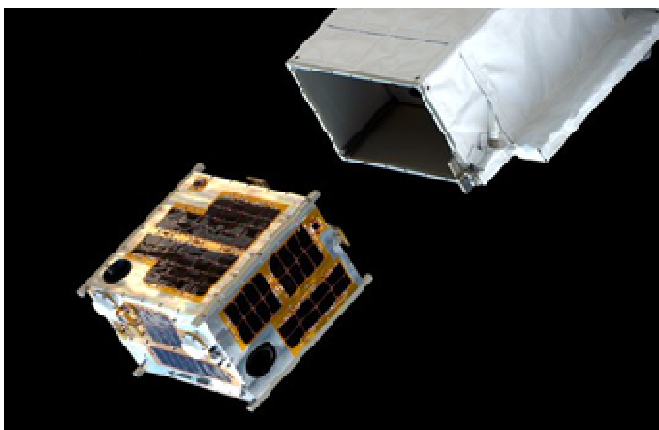


図4.1.1-17
J-SSOD-M1から放出されたフィリピンの
50kg級衛星DIWATA-1

https://twitter.com/astro_timpeake/status/725317159077969920

【参考】フィリピン共和国 国産開発第1号となるDIWATA-1の「きぼう」からの放出成功 (2016/4/27)
(JAXA初となる50kg級超小型衛星の放出成功)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/20160427_diwata-1.html

【コラム 1-1】超小型衛星とCubeSat

超小型衛星にもいろいろ種類があり、50kgサイズでも超小型衛星となりますが、J-SSODを使って放出するのはCubeSatと呼ばれる10cm角の大きさの片手で持てるサイズの超小型衛星です。CubeSatは、サイズや仕様が国際的に決められており、10×10×10 cmサイズ(重量は1.33kg以下)のものを1U、20×10×10 cmサイズのを2U、30×10×10 cmサイズのを3Uと呼びます。CubeSatは、通常の衛星と比べると短期間で開発でき、費用も安いことから主に大学や企業などが教育や人材育成、技術実証などの目的で利用しています。最近ではさらにサイズを大きくした6Uサイズも使われるようになりました。



図4.1.1-18
CubeSat (星出宇宙飛行士が手に持っているのが1UサイズのCubeSat)

http://iss.jaxa.jp/library/photo/20120125_hoshide_2.php

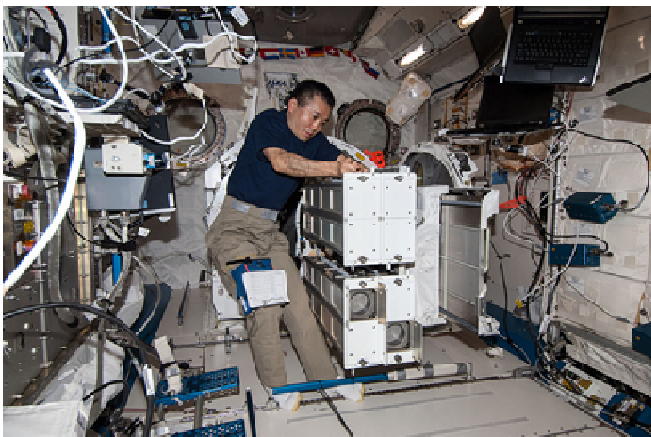


図4.1.1-19
NanoRacks社のCubeSat放出機構(NRCSD)を「きぼう」エアロックのスライドテーブルに設置する若田宇宙飛行士
3UサイズのCubeSat 16機(48U相当)を放出できます。

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss038e053269.php>

【コラム 1-2】「きぼう」エアロックを利用して放出された超小型衛星

「きぼう」を利用した超小型衛星の放出は2012年10月4日に初めて行われましたが、その後、アメリカの企業を中心に超小型衛星の放出ニーズが非常に高まり、米国のNanoRacks社が開発したNRCS(NanoRacks CubeSat Deployer)を使えば3UサイズのCubeSatを16機も放出できるため、2017年11月24日時点で計205機の放出を行っています(100機目は2015年10月6日に放出)。このうちJAXAが放出した数は計25機です(Diwata-1を含む)。これらの衛星はだいたい3から10ヶ月程度で大気圏に再突入しています(軽いものほど早く落下します)。

CubeSatよりもやや大きな50kg級の超小型衛星の放出も増えてきており、既に5機放出しています。米国は、NASAが開発したCyclops「サイクロプス」という放出機構を使って2014年11月に放出しました。また米国NanoRacks社もKaberという50kg級衛星を放出する機構を開発し、2017年10月に放出に成功しています。

JAXAも50kg級の超小型衛星を放出可能な放出機構J-SSOD Mを開発し、2016年4月27日に50kg級の超小型衛星(フィリピンのDiwata-1)を放出しました。

【船外ポート利用プラットフォーム】

(9) 中型曝露実験アダプター／次世代ハイビジョンカメラ技術実証 (i-SEEP/HDTV2)

中型曝露実験アダプター(IVA-replaceable Small Exposed Experiment Platform : i-SEEP)「アイシープ」は、従来、船外実験プラットフォームの実験ポートに設置していた大型の実験装置に代えて、小型の実験装置を2台搭載できるタイプにし、「きぼう」のロボットアームとエアロックを使うことで「きぼう」船内で実験装置の交換が容易にできる設計としたものです。重量300kgまでの実験装置を2個まで搭載でき、実験装置へは電力と通信、熱制御用の冷媒を供給できます。i-SEEPは2015年12月にシグナス補給船OA-4に搭載されてISSに運ばれ、2016年4月に「きぼう」エアロックとロボットアーム操作により、「きぼう」船外の実験ポートに結合されました。 <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/i-seep/>

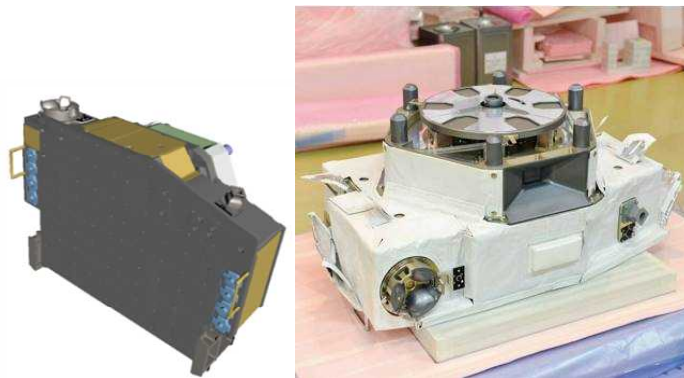


図4.1.1-20 中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)のイメージ図と写真

軌道上検証を終えた後、次世代ハイビジョンカメラ (HDTV-EF2)を取り付けて、地上から遠隔操作により地球の状況 (災害状況、夜間の撮影など) を撮影できるようにしました。今後も、実用化を目指した宇宙用機器などの技術実証機械として、i-SEEPを活用していく計画です。

【参考】「こうのとり」6号機で「きぼう」に運んだ次世代ハイビジョンカメラシステム (HDTV-EF2) の映像を公開しました。(2017年7月27日)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/170727_hdtv_ef2.html

【新たなプラットフォームによる「きぼう」利用多様化】

(10) 静電浮遊炉 (ELF Experiment) 利用

静電浮遊炉(ELF「エルフ」)は、融点が3,000℃にもなるような高融点材料(標準直径2mm)を静電気力で炉の中に固定するため、擾乱が少なく、高純度を保った状態で過熱、溶融、冷却することが可能です。静電気を使って材料を浮かせることで、容器からの不純物が混ざらず、これまでにない純粋な結晶を生成することが期待されています。

ELFは、「こうのとりのり」5号機や米国の商業補給船で機器を打ち上げ、大西宇宙飛行士の滞在期間中に初期検証試験が行われました。

ELFは、いわゆる無容器・非接触状態で、材料の熱物性を測定したり、深い過冷凝固による新たな機能を持った材料の創成を目指しており、酸化物や合金など地上での物性測定が難しい材料をターゲットにしております。静電気力を用いるので、特に絶縁体やセラムクスなど帯電にしにくい材料に威力を発揮します。

	低温	高温
伝導体		電磁浮遊路 (欧州)
絶縁体		静電浮遊路 (日本)

図4.1.1-21
静電浮遊炉の優位性 (JAXAの装置がカバーできる範囲は広い)



図4.1.1-22
静電浮遊炉(ELF)と、それを収容する多目的実験ラック2(中央右)

この静電浮遊炉を使用した地上実験の成果が以下のように報告されています。

【参考】ホウ素は融けると金属になる？～宇宙実験技術を活用してホウ素の謎を解明～ (2015年4月20日 JAXA プレスリリース) http://www.jaxa.jp/press/2015/04/20150420_boron_j.html

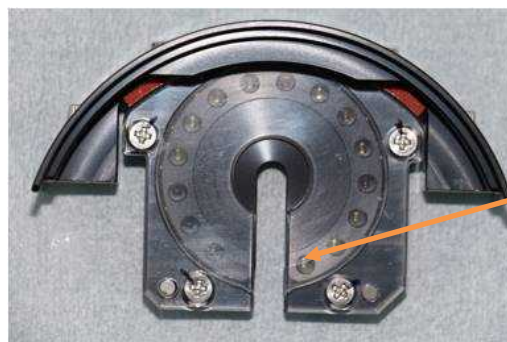
宇宙実験技術「静電浮遊法」を用いて、ホウ素（融点 2,077℃）を中空で溶融させ、その状態の電子構造を測定することに世界で初めて成功した。これまで理論的には金属ではないかと考えられていたホウ素融体が、実は金属ではなく、半導体的性質を強く持つことを明らかにしました。

【参考】宇宙だからこそ学べることもある きぼう利用センター 技術領域リーダ 主幹開発員 中村裕広(2016年2月25日)

http://www.jaxa.jp/projects/feature/iss/nakamura_j.html

(11) 静電浮遊法を用いた鉄鋼精錬プロセスの基礎研究～高温融体の熱物性と界面現象～ (Interfacial Energy)

学習院大学 渡邊匡人 教授が提案した実験テーマで、静電浮遊炉(ELF)を使います。鉄鋼材料の製造プロセスにおいて、その精錬過程で生じるスラグ（主に鉄以外の金属酸化物）と溶けた鉄鋼が接している部分（界面）で起こる現象が、特性劣化や精錬効率の低下の原因となっています。しかし、酸化物と金属融体の界面を直接観察することや界面で発生する張力等の物性値の測定は地上では実験が困難であり、現象の基礎的理解は進んでいませんでした。



この円周上にたくさん装填されたものが鉄鋼とスラグからなる試料

図4.1.1-23 静電浮遊炉用試料カートリッジに装填した実験試料 (学習院大学)

<http://www.univ.gakushuin.ac.jp/news/2015/1209-2.html>

(12) 簡易曝露実験装置 (ExHAM#1)、(ExHAM#2)

「きぼう」日本実験棟では、簡易曝露実験装置 (ExHAM) 「エクサム」を利用する事により、宇宙の曝露環境を利用する実験サンプルを「きぼう」船外に取り付けることが可能です。このために開発されたExHAMは、上面に「きぼう」ロボットアーム (子アーム) 用のツールフィクスチャ (把持部) を、下面に「きぼう」船外のハンドレール (手すり) への取付け部を備えた直方体の機構で、上面に7個、側面に13個の実験サンプルを搭載できます。宇宙空間への曝露期間は、半年、1年、2年など設定した後、地上への回収が可能です。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/exham/>

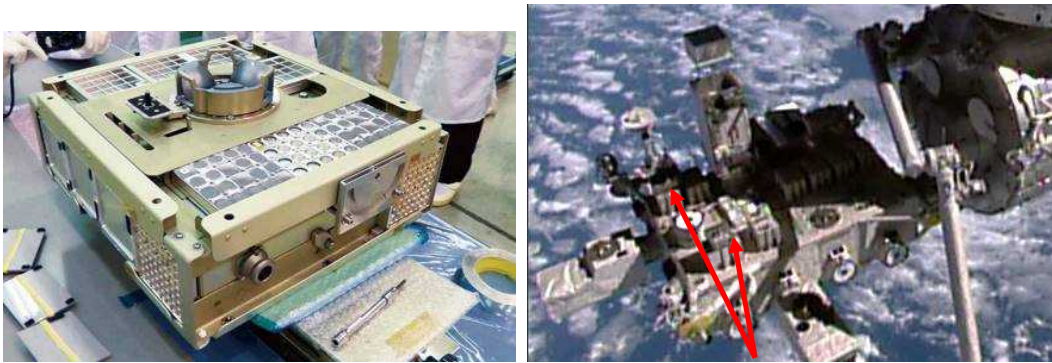


図 4.1.1-24 ExHAM 本体(左)と ExHAM の設置場所(JAXA)

ExHAM の 1 基目は、ATV-5 で軌道以上に運ばれ、2015 年 5 月 26 日に船外へ設置され、2016 年 6 月に 1 年間の長期曝露を終えたサンプルが「きぼう」船内に回収され、新たなサンプルへの入れ替えが行われました。

2 基目の ExHAM は「こうのとり」5 号機で運ばれ、2015 年 11 月 11 日に船外に設置されました。

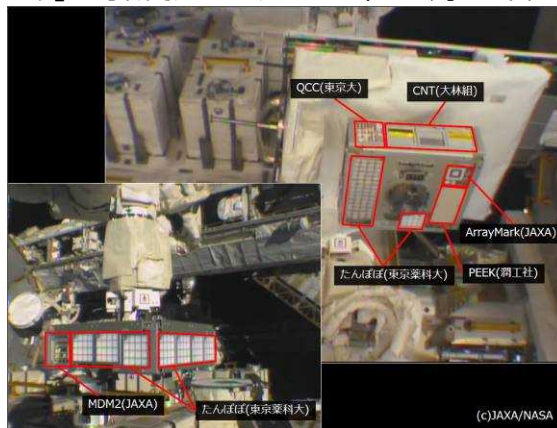


図4.1.1-25 船外に設置された1つ目の簡易曝露実験装置（ExHAM）設置時の写真

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/images/150527_exham_sample.jpg

ExHAM#2では、トルコの材料曝露実験が行われます。

【参考】トルコの材料曝露実験サンプルが日本に引き渡されました！ ～来年春に「きぼう」で船外実験開始予定！～ (2017年11月22日)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171122_exham.html

【超長期有人宇宙滞在技術や探査技術の獲得】

(13) JEM自律移動型船内カメラ (Int-Ball)

Int-Ball (イントボール) は2017年7月に軌道上での映像が公開されてそのユニークな形状から話題になった球形の自律移動型船内カメラです。現在はまだ実証試験中で、実用化を目指して今後も改良を続けていく予定です。Int-Ballが目指すのは以下の事です。

- ・自律飛行により好きな時に好きな場所に移動し、自由な角度から撮影を行うことができる。
- ・これまで、宇宙飛行士の作業時間の約10%程度を撮影作業が占めていたが、最終的には宇宙飛行士による撮影時間「ゼロ」を目指す。
- ・地上の管制官や研究者は、宇宙飛行士と同じ視点から作業を確認することができる。地上と宇宙の共同作業を効率的に行うことで、「きぼう」利用実験による成果の最大化に貢献する。
- ・今後はInt-Ballの更なる性能向上・機能拡張を図り、「きぼう」船内外実験の自動化・自律化を進めると共に、将来探査ミッション等に利用可能なロボティクス技術の獲得を目指す。

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/170714_int_ball.html

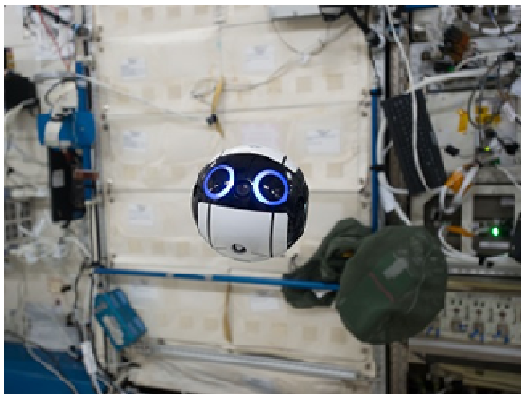


図4.1.1-26 「きぼう」日本実験棟内で活動するInt-Ball

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/images/50P2017000924.jpg>

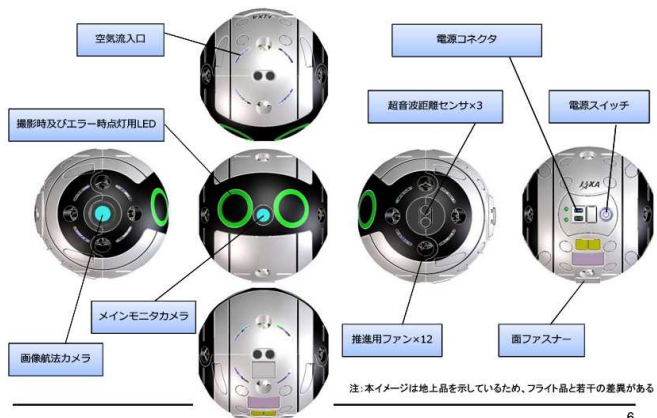


図4.1.1-27 Int-Ballの外部装備

Int-Ballの紹介動画(Int-BallだよりVol.6まで公開済み)はこちら

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171017_int_ball.html

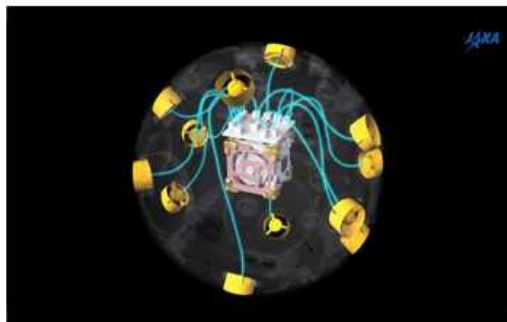
表4.1.1-2 IntBallの仕様

項目	仕様	項目	仕様
撮影方法	静止画/動画 (音声なし)	並進移動方式	小型軸流ファン
伝送方式	ワイヤレス伝送 (無線LAN)	回転移動方式	リアクションホイール / 小型軸流ファン
解像度	HD,720p :1280 x 720 pixel FHD,1080p :1920 x 1080 pixel	自己位置推定方式	立体マーカを用いた画像認識
フレームレート	10 ~ 30 fps	寸法	直径150mm以下
ビットレート	16kbps ~ 40Mbps	重量	1kg以下 (ケーブル、立体マーカ含まず)
映像安定性	帯域: Pan: 1Hz以下、Tilt・Roll: 0.3Hz以下 姿勢安定度: ±1deg/s以下	駆動時間	約2時間 (USBコネクタ経由で充電可)

JAXA (補足) 超小型三軸姿勢制御モジュール



誘導制御計算機・6軸慣性センサ・3軸リアクションホイールを一辺31mmの立方体サイズに集約しました



Int-Ball応用では、姿勢制御機能に加え、12台のマイクロファンによる並進制御機能が拡張具備されています

重量*1 : 88 g
 サイズ*1 : 31mm
 電力*2 : 2W (5V入力)

主要諸元

計算機性能	1台 (PSoC®)
CPU	32-bit ARM Cortex-M3
ホイール性能	3軸
ホイール慣性M	1,030 gmm ²
ホイール最大回転数	16,000 rpm
トルクスケールファクタ	1.96 mNm/A
最大印加電流	0.122 A
慣性センサ性能	6軸×6台
ジャイロレンジ	±250 deg/s (可変)
ジャイロノイズ	0.008 deg/s/√Hz
ジャイロ計測帯域	<250 Hz (可変)
加速度レンジ	±2 g (可変)
加速度ノイズ	250 μg/√Hz
加速度計測帯域	< 218 Hz (可変)
マイクロファン性能	12台 ※拡張基板
1台あたり推力	~1 mN (計測値)

*1: 拡張基板・取付隅具の重量、サイズ含まず, *2: ホイール1軸最大トルク発生、かつμファン4台運転時

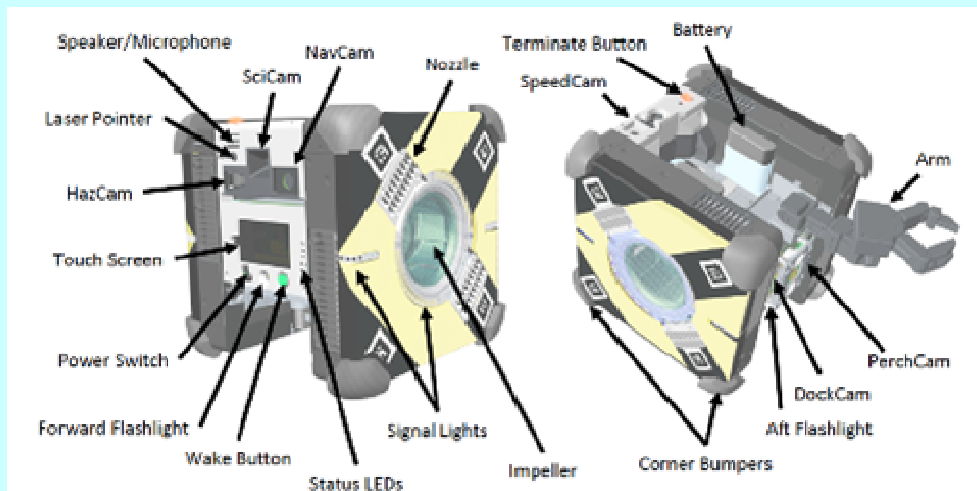
10

図4.1.1-28 Int-Ballの制御に使われている超小型三軸姿勢制御モジュール

<http://www.kenkai.jaxa.jp/research/electrical/triaxial.html>

【コラム 1-3】船内自律飛行ロボット日米対決！

金井宇宙飛行士の滞在中には、日本だけでなく米国の自律飛行ロボットもISSに運ばれる可能性があります(2018年春頃)。米国のものはAstrobee (アストロビー)と呼ばれていて約30cm四方の箱型のロボット(3機構成)です(Int-Ballの直径は約15cm)。小さなロボットアームも装備しており、Int-Ballよりもいろいろなことをさせる目的で開発されています。デザインや作りにもお国柄が現れるので、そういう面からも比較すると面白いですね。



<https://www.nasa.gov/astrobee>

<https://www.youtube.com/watch?v=LToXyJpwbUU> (地上試験の動画)

(14)無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立

(Intracranial Pressure & Visual Impairment: IPVI)

数年前より、宇宙飛行士の健康管理上の課題として、失明のリスクも伴う「視神経乳頭浮腫」が注目されています。宇宙飛行に伴い体液が上半身へシフトし、頭蓋骨内部の圧力が高まることに起因していると考えられます。

頭蓋内圧は、脳や腰に針を刺して脳脊髄液圧を測定する手法が一般的ですが、リスクがあるため宇宙医学研究には使えません。本研究では、針などを使用しない方法で頭蓋内圧を推定できる手法の確立を目指します。

飛行前後で頭蓋内圧値の推定を行ない、頭蓋内圧の変化や長期宇宙滞在中の視機能の変化などの関連性を確認します。軌道上ではクルーの顔の正面及び側面をUSBカメラで撮影し、地上の研究者が、顔面浮腫状態の視診、視機能異常の有無の確認を行います。

この実験に関しては大西宇宙飛行士が2016年3月4日にGoogle+で紹介しています。

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/V3VjNjQiVCs>

【コラム 1-4】IPVI実験

金井宇宙飛行士もブログでIPVI実験の事を紹介しています。

・宇宙実験：IPVI（頭蓋内圧の簡便な評価法の確立）

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12315771950.html>

【「無重力の視力変化」とありますが、ここ数年、宇宙に行った宇宙飛行士の視力が変わる・・・ということが宇宙医学の分野で注目を浴びるようになりました。宇宙に行けばとすると、遠くのものが見えやすくなったり、手元の文字が見えにくかったりするようになります。

不思議に思った航空医師たちが詳しく宇宙飛行士の目について検査してみると、目の奥、視神経がつながっている「視神経乳頭（ディスク）」という部分が腫れていたり、本来球体の目玉が、あたかも後方から押されたようにわずかに変形していたり、そのせいで網膜にしわが寄っていたりすることが分かってきました。]

[でも、宇宙飛行士が宇宙滞在中のときに、本当に頭蓋内圧（脳圧）が高くなっているかどうかを測定した研究はありません。もし脳圧を測定しようとするならば、手術で頭蓋骨に穴をあけて圧力を測定するためのセンサーを埋め込んだり、背中から背骨の間に細い針を刺して「せき髄液」という体液の圧力を測定したりと、かなり大変な検査をしないといけないのです。

IPVIの研究チームは、血圧計と超音波検査を組み合わせ、大掛かりな検査をしなくても、簡単に脳圧を測定することを目指しています。]

[また、地上においても、頭のケガや脳の病気によって脳圧が高くなるような患者さんに対して、体に負担の少ない検査法として応用が期待されます。

わたしが宇宙に行ってから、脳圧が高くなったならば、もしかしたら近視用のメガネがいなくなるかもしれませんね。有人宇宙飛行が始まって50年経ちますが、まだまだヒトの体については分からないことばかりです。]

(15)長期宇宙滞在により引き起こされる耳石前庭機能障害評価 (Labyrinth)

内耳骨迷路 (bony labyrinth) に存在する平衡器官は、回転加速度の感知器官である半規管系と、直線加速度・重力の感知器官である耳石前庭系からなります。地上の1 g環境では、体動に伴う半規管系と耳石系への入力情報に基づいて姿勢や眼球運動等の調節が行われています。

しかし、宇宙の無重力環境では、体動に伴う半規管系への入力は保たれますが、耳石系への入力はほぼゼロになると考えられます。従って、宇宙の無重力環境に滞在する際、あるいは宇宙から地上の1 g環境へ帰還する際、耳石系と半規管系は別々の適応をする可能性があります。

本研究では宇宙飛行士を対象に、国際宇宙ステーション滞在前後に半規管系機能、耳石系機能、姿勢維持機能を調べ、宇宙から地上へ帰還後の平衡器官の適応過程を調べます。また、耳の後ろに貼りつけた電極を介して前庭神経を電気刺激することにより、帰還後の姿勢維持機能が改善されるかどうか調べます。

(16)長期宇宙滞ながヒトの脳循環調節機能に及ぼす影響 (Cerebral Autoregulation)

(14)で紹介したIPVI実験では、「視神経乳頭浮腫」と頭蓋内圧の変化の関連性について飛行前後の地上での検査結果を比較して確認しようとしています。本研究では、軌道上で脳血流速度と血圧を計測することで、長期宇宙滞における微小重力による体液シフトの影響により脳循環調節機能が変化するという仮説を検証します。また、その変化と、視機能変化や頭蓋内圧変化との関連性を調べ、視神経乳頭浮腫発症の機序に脳循環調節機能の変化が関係している可能性を検討します。

(17)「きぼう」船内の宇宙放射線環境の定点計測 (Area PADLES)**(18)宇宙飛行士の個人被ばく線量計測(Crew PADLES)**

JAXAは、船内の放射線環境を測定するAreaPADLESと、宇宙飛行士の被曝線量計測を行うCrewPADLESを使っています。ISSに搭載したPADLESは、地上へ回収後、JAXAで線量解析・データ提供を行っています。

【JEM船内定点放射線環境計測実験 (Area PADLES)】**次世代の宇宙船の遮蔽設計や材料選定など、放射線防護技術にも貢献**

AreaPADLES 線量計は「きぼう」船内の17箇所に設置され、ソユーズ宇宙船を使って約6ヶ月毎に回収・交換を行っています。継続的に宇宙放射線の線量計測を行うことで、実験の計画立案に必要な「きぼう」船内の宇宙放射線環境情報を提案者や利用者に提供できるほか、次世代の宇宙船の遮蔽設計や材料選定など、放射線防護技術にも直結します。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/padles/>

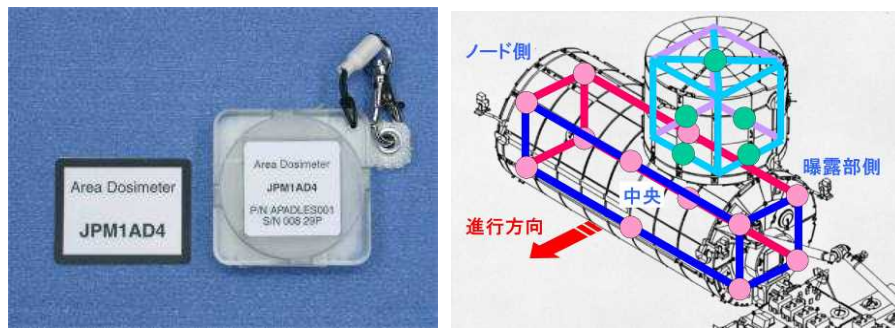


図4.1.1-29 AreaPADLESと設置位置

【宇宙飛行士の個人被ばく線量計測（Crew PADLES）】

宇宙放射線の被ばく線量の把握とリスク評価手法を確立

Crew PADLESは、日本人宇宙飛行士の個人被ばく管理を行うために、フライト期間中、全JAXA宇宙飛行士が携帯する個人線量計です。JAXAは、軌道上滞在中の正確な被ばく線量の把握とリスク評価手法を確立し、現在は、実験から医学運用に移行して実施中です。



図4.1.1-30 JAXAが開発したCrewPADLES(受動式線量計) これを常に携帯します

【コラム 1-5】宇宙飛行士が受ける放射線の被ばく量

地上で日常生活を送る私たちの被ばく線量は、1年間で約2.4ミリシーベルトとされています。一方、ISS滞在中の宇宙飛行士の被ばく線量は、1日当たり0.5～1ミリシーベルトになり、軌道上の1日当たりの放射線量は、地上での数か月～半年分に相当することになります。宇宙放射線の人体への影響は、一定レベル以上の被ばく量で目の水晶体に混濁等の臨床症状が生じる影響と発がん等の被ばく量が増えるにつれて生じる影響とがあります。このため被ばく量を一定レベル以下にすれば、これらの影響が発生しないか、発生する確率を抑えることができます。

JAXAでは宇宙放射線被ばく管理を実施し、被ばく量を一定レベル以下に管理し宇宙飛行士に健康障害が発生しないようにするために以下のようなアプローチをとっています。

- ✓ ISS内の放射線環境の変動をリアルタイムに把握し、ミッション中の被ばく線量を可能な限り低く抑えること
- ✓ 宇宙飛行士が実際に被ばくした線量を把握し、生涯の被ばく線量を制限値以下に抑えること

詳しくは以下を参照下さい【放射線被ばく管理】

<http://iss.jaxa.jp/med/research/radiation/>

(19)宇宙ステーション内でのリアルタイム線量当量計測技術の確立 (PS-TEPC)

将来の深宇宙への有人探査を考えると、宇宙放射線量測定器のサイズや重量や測定精度に対する制限が厳しくなるため、コンパクトな線量計が求められています。このため、宇宙機船内用の高精度かつコンパクトで、リアルタイム計測ができる線量計としてPS-TEPC(Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber)を高エネルギー加速器研究機構と共同で開発しました。これを2016年から「きぼう」内に設置し、実証試験を行っています。

同時期に取得した受動式のPADLES線量計および、NASAのリアルタイム方式のTEPCのデータとの比較を行って測定結果の検証を行います。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/padles/pstepc/>

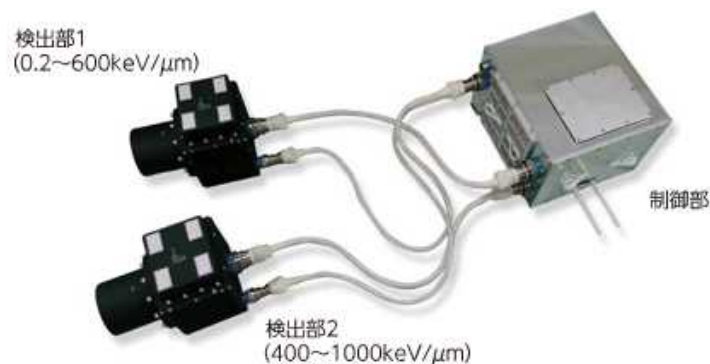


図4.1.1-31 PS-TEPC

【学術研究の推進】

(20) 沸騰二相流体ループ (Two Phase Flow : TPF)

Two-Phase Flow (TPF) ミッションは、無重力で液体を沸騰させ、熱の伝わりやすさを調べる実験です。

地上では液体を沸騰させると浮力で気泡が加熱面から移動しますが、宇宙で液体を沸騰させると、出てくる気泡は動かずに大きくなり、熱が伝わりにくくなると言われています。しかし、無重力で沸騰気泡がどのように振る舞い、熱がどれくらい伝わりにくいか、よく分かっていません。

TPF実験では、国際宇宙ステーション「きぼう」で、沸騰による熱の伝わる様子をしっかりと調べ、重力の影響を世界に先駆けて明らかにします。

この成果は、宇宙機を冷却するための将来技術として活用されます。また、地上においても電気自動車のモーターや電力機器の冷却に応用されることが期待されます。

本装置は、2016年12月に宇宙ステーション補給機「こうのとり」6号機 (HTV6) に搭載されて運ばれました。本実験は、多目的実験ラック(MSPR)に設置して行われます。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/pm/mspr/tpf/>

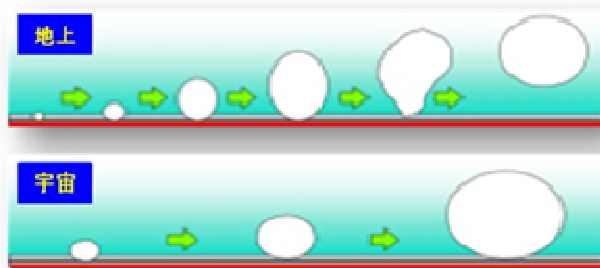


図4.1.1-32
地上と宇宙とでの沸騰により生じる
気泡の動きの違い



図4.1.1-33
Two-Phase Flow (TPF) 実験
装置

(21)新しい微粒化概念の詳細検証(Atomization)

本実験は、液体の微粒化に関する概念の妥当性を宇宙実験で検証するものです。従来は噴射液の分断は予測できない外的な擾乱で起きると考えられていましたが、予測可能であるという新しい概念があり、複雑な重力の影響を排除した噴射環境で理論を検証します。

この装置は2015年6月のドラゴン7号機(SpX-7)の打上げ失敗で失われたため、2年遅れでの実施となります。本装置は、多目的実験ラック(MSPR)に設置して実験を行います。水をシリンジから噴射して、水流が分断されて微粒化する様子をハイスピードカメラで撮影します。条件を変えて微小重力環境下で噴射した液体が微粒化するメカニズムを解明します。これにより、エンジン開発に使うシミュレータを改良できる可能性があります。

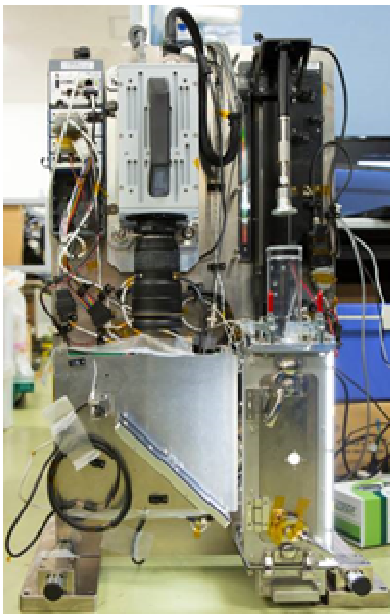


図4.1.1-34

実験に使う微粒化観察装置(左)と水を入れたシリンジ(右)

左の写真の左上はハイスピードカメラで、その下の斜めの鏡を利用して右下のBox内の様子を撮影します。

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/50p2015000330.php>

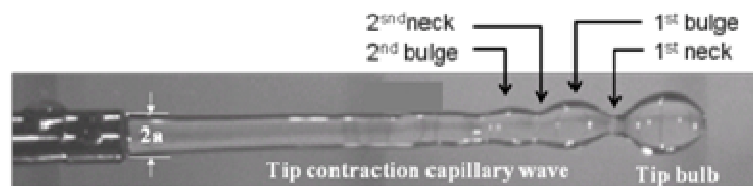


図4.1.1-35 微小重力下で噴射水流が分断される様子

(22) ほ乳類の繁殖における宇宙環境の影響 (Space Pup)

遺伝子資源の宇宙での保存の可能性に挑戦

本実験の目的は、ほ乳類の初期発生における微小重力環境の影響を調べることであり、宇宙で初期発生が進むかどうかを検証します。

「こうのとり」4号機でフリーズドライ状態で保存した精子のサンプル3式を宇宙に運び、2013年8月から冷凍庫内に保管されています。サンプルは3回に分けて地上に回収します。地上へ回収した精子は、顕微授精（顕微鏡下で精子を卵子内へ注入すること）を行いません。そして宇宙保存精子による受精率、放射線の影響、DNA 損傷（修復）率、初期発生の正常性、および最も重要な子ネズミの出産率を調べます。

本研究は良質な肉や毛を持つ家畜の繁殖や、生殖細胞の保存にも応用できます。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/spacepup/>



図4.1.1-36 宇宙実験でマウスの精子を保存するのに使用するアンプル（上図）。アンプルは下図の写真のようにカプトンテープで保護してケースに収納します。(JAXA)

第1回目の回収で得られた実験成果は以下で報告されています。

・世界初、宇宙で保存したマウス精子から産仔作出に成功（2014年8月11日山梨大学）

<http://www.yamanashi.ac.jp/topics/post-1049/>

(23) 高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET)

高エネルギー電子・ガンマ線観測装置キャレット(CALorimetric Electron Telescope : CALET)は、「こうのとり」5号機で打上げられて「きぼう」船外実験プラットフォームに設置されました。CALETが解明を目指すものは、

- ①高エネルギー宇宙線・ガンマ線の起源と加速のしくみ、
- ②宇宙線が銀河内を伝わるしくみ、
- ③高エネルギー電子、ガンマ線の観測による暗黒物質の正体などです。

CALETは、最新の検出・電子技術を用いた「カロリメータ」と呼ばれる装置を搭載し、宇宙を飛び交う粒子のエネルギー量とそれらの粒子の種類や飛来方向を測定します。この装置は気球実験を通じて開発されたもので、非常に高いエネルギーの電子やガンマ線、陽子・原子核成分を高精度で観測できます。またわれわれの銀河の外で、短時間に大量のガンマ線が観測されるガンマ線バーストと呼ばれる現象についても測定するほか、太陽活動の地球環境への影響についても調べます。観測は2～5年にわたって行われ、惑星間空間から銀河系外までの宇宙の広い領域で、高エネルギー宇宙現象の解明を目指します。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/calet/>

【参考】宇宙からの直接観測で3テラ電子ボルトまでの高精度電子識別に初めて成功 国際宇宙ステーション搭載の宇宙線電子望遠鏡 (CALET) による電子スペクトル測定 (2017年11月2日 JAXA/早稲田大学)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171102_calet.html

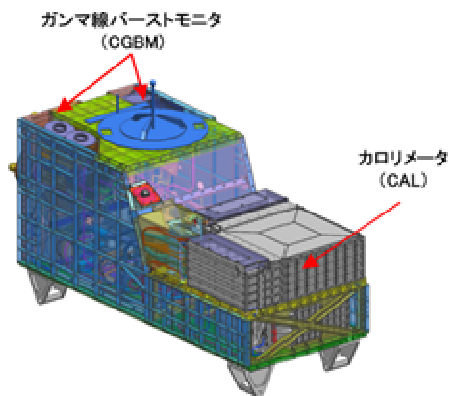


図 4.1.1-37
高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET) (JAXA)

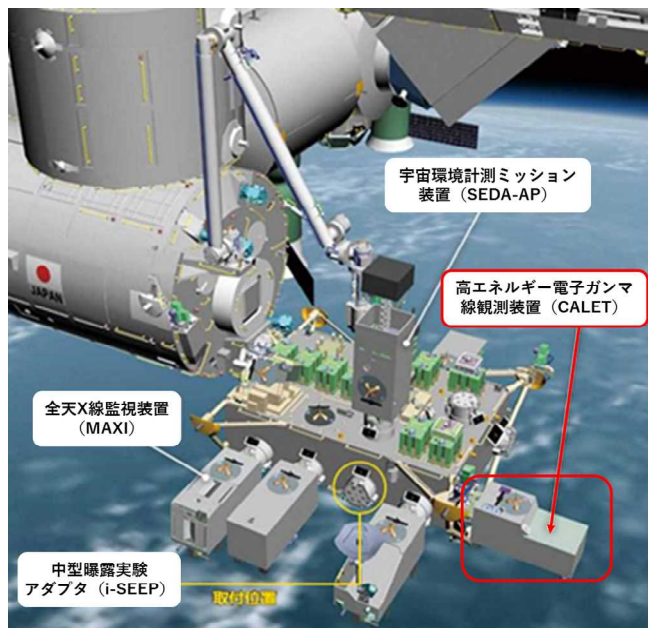


図4.1.1-38 CALETの設置場所 (JAXA)

(24)全天 X 線監視装置 (MAXI)

「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられたMAXIには、X線CCDカメラを用いたソリッドステートスリットカメラと、ガス比例計数管を用いたガススリットカメラの2種類のカメラが搭載されています。世界最大の広視野X線カメラを搭載するMAXIにより、全天のX線天体を観測しており、これまでに多数のX線新星やブラックホール、ガンマ線バーストなどを観測しています。天体のX線変動現象の速報でも世界からの評価は高く、最速の例では発生から12秒でX線新星の出現を世界に通知し、速報を受けた地上の望遠鏡による詳細観測で大きな成果をあげています。

以下のサイトではMAXIの観測成果を紹介しています。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/maxi/>

また金井宇宙飛行士も公式ブログで MAXI についての紹介を行っています。

・宇宙実験：MAXI（全天 X 線監視装置）

<https://ameblo.jp/astro-kanai/eniuy-12316175864.html>

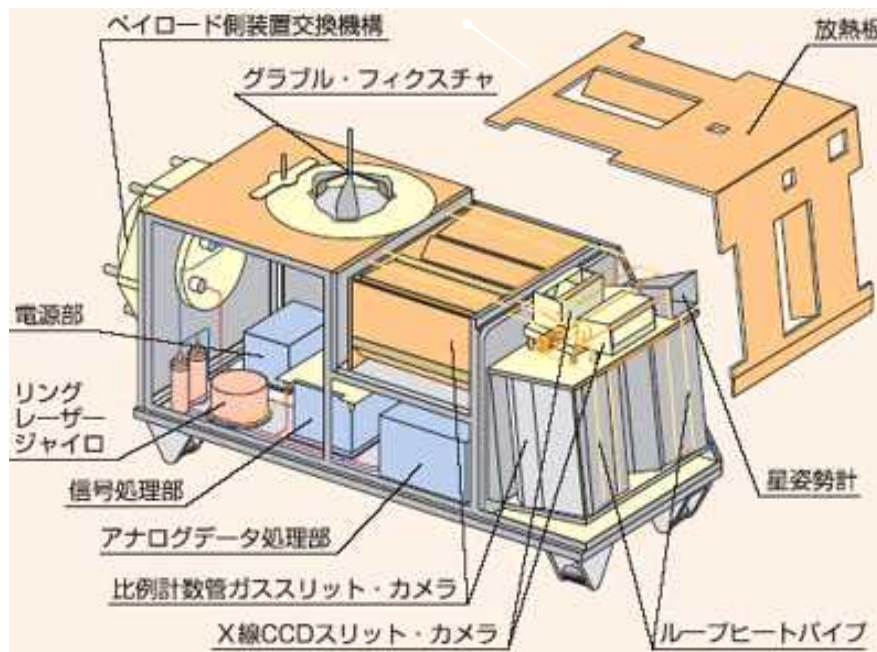


図4.1.1-39 MAXIの内部構造 (JAXA)

(25) 宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP)

SEDA-APは、宇宙での様々な環境を計測する各種センサ／計測装置を搭載した観測実験装置で、以下の各種センサ／計測装置を搭載し、ISS周回軌道における宇宙環境（中性子、重イオン、プラズマ、高エネルギー軽粒子、原子状酸素、ダスト）の定量的計測や材料曝露実験、電子部品評価実験を行い、宇宙環境が部品材料に与える影響を調べます。

- 中性子モニタ (NEM: Neutron Monitor)

中性子は電氣的に中性なため透過力が強く、人体に非常に有害な放射線です。中性子モニタは、その中性子をリアルタイムで計測します。

- 重イオン計測装置 (HIT: Heavy Ion Telescope)

電子部品の誤動作や破損の原因のひとつである重イオン (Li~Fe) の粒子別エネルギー分布を計測します。

- プラズマ計測装置 (PLAM: Plasma Monitor)
宇宙機の帯電や放電の原因となる宇宙空間プラズマの密度と電子温度を計測します。
- 高エネルギー軽粒子モニタ (SDOM: Standard Dose Monitor)
部品材料の劣化や電子部品の誤動作等の原因となる電子、陽子、α線等の高エネルギー軽粒子の粒子別エネルギー分布を計測します。
- 原子状酸素モニタ (AOM: Atomic Oxygen Monitor)
原子状酸素は、熱制御材や塗料を劣化させ、ISSの熱制御に悪影響を及ぼします。原子状酸素モニタは、ISSが周回する軌道の原子状酸素の量を測定します。
- 電子部品評価装置 (EDEE: Electronic Device Evaluation Equipment)
「きぼう」で使用される電子部品の宇宙放射線によるシングルイベント現象 (宇宙放射線の粒子が入射することにより電子部品の回路に一時的な誤動作や永久的な損傷が生じる現象) や劣化を計測します。
- 微小粒子捕獲実験装置 (MPAC: Micro-Particles Capturer)
(STS-131で回収済み)
- 材料曝露実験装置 (SEED: Space Environment Exposure Device)
(STS-131で回収済み)

取得された宇宙環境データは、宇宙機器設計の基礎データとして利用されるほか、関連する科学研究やISSの運用、宇宙天気予報 (太陽活動の変化の予報) などにも利用される予定です。

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/seda_ap/

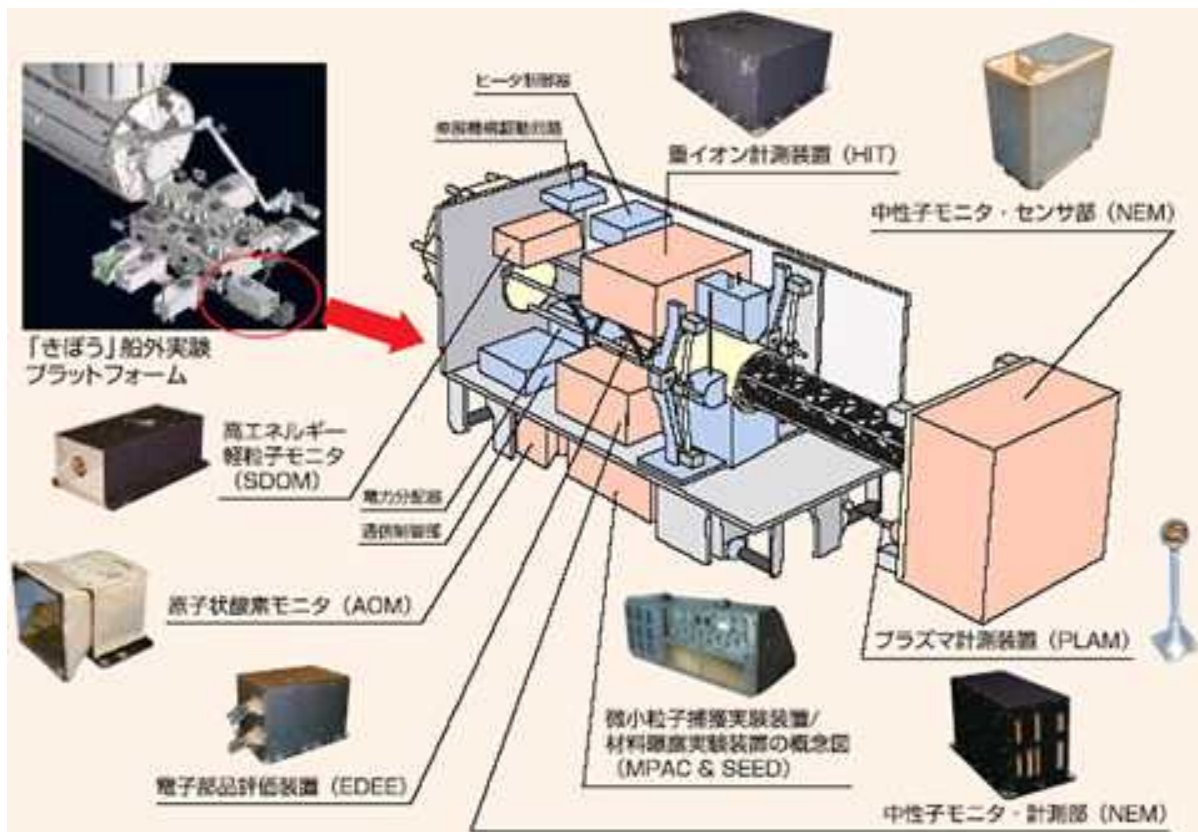


図4.1.1-40 SEDA-APの内部構造 (JAXA)

【国際協力の推進】

(26) アジア簡易物理実験 (Asian Try Zero-G)

JAXAではKibo-ABC (Asian Beneficial Collaboration through "Kibo" Utilization: 「きぼう」日本実験棟を利用した協力イニシアティブ) の活動の一環として、2017年12月から国際宇宙ステーション (ISS) に滞在予定の金井宇宙飛行士による、アジアン・トライ・ゼロGのテーマ募集を2017年2月から2017年4月まで行ってまいりました。募集の結果、アジア7カ国の361名の学生や若手科学者/若手エンジニアから、合計169件の実験テーマ提案が寄せられ、選考の結果、8つの実験テーマ提案が採択されました。

また、アジアン・トライ・ゼロGでの初の試みとして、日本の高校生が考えた実験テーマも「きぼう」で実施されることになりました。詳細は以下のページをご覧ください。

- ・Kibo-ABCニュース：アジアン・トライ・ゼロG 2018の実験テーマ決定 (2017年9月7日)

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/kuoa/news/kiboabc_kuoa_170907.html

- ・宇宙実験：アジアン・トライ・ゼロG (金井宇宙飛行士の公式ブログ)

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12316496413.html>

【参考】

きぼうでこれまでに行われた実験の成果は、「きぼう」利用成果レポート2014 - 宇宙で得られた成果 - にまとめて公開していますのでご利用ください。

<http://iss.jaxa.jp/kiboresults/utilization/>



宇宙実験の成果はなかなか出てこないと言われますが、油井宇宙飛行士のTwitterへの書き込みから、その理由が分かるかと思います。



「私の体を使ったデータ取得は、飛行後3ヶ月、6ヶ月、1年、2年と続きます。私のミッションの終わりは、まだまだ先になりそうです。また、軌道上で実施した実験が論文になるには3年位、新薬を一般の患者さんが使うようになるには20年程かかる事もあります。諦めが早いと何も成し遂げられませんね。」(2016年2月18日)

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/700527074621042689

4.1.2 NASA/ESAの実験

ISS滞在を行う日本人宇宙飛行士は、日本の実験を行うだけではありません。他国の宇宙飛行士が日本の実験にも参加するように、日本人宇宙飛行士もNASAと欧州宇宙機関(ESA)の実験にも参加します。

【参考】金井宇宙飛行士の公式ブログでの解説

・L-1.5ヶ月：「コロンバス」最終訓練

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12327089956.html>

[もともと国際宇宙ステーションのミッションは、日本人だから日本の作業を、ヨーロッパ人だからヨーロッパの作業を、アメリカ人だからアメリカの作業をする・・・ということにはなっていません。USOS（US Orbital Segment）と呼ばれる宇宙ステーションの前半分は、日米欧加の各国で協力して運営を行っています。

その時々で軌道上に滞在している宇宙飛行士の作業分担によって、日本人飛行士がヨーロッパの作業もしますし、アメリカ人飛行士が「きぼう」で連日作業を続けることも、珍しいことでは全然ありません。]

[わたしが被験者となって参加するヨーロッパの実験は、船外活動で使うエアロックの中に入って無重力かつ低気圧の環境で肺の機能を調べる「エアウェイ・モニタリング」や、オデコとみぞおちに体温センサーをつけて宇宙生活をする中で体内時計がどのように変化するかを測定する「サーカディアン・リズム」、宇宙環境へ体が慣れるまでの間に頭痛が起こりやすいのではないかという仮説を検証する「宇宙頭痛」などの医学実験があります。

また、「きぼう」で実験を続けている静電浮遊炉（ELF）と似たような実験装置で、合金でできたサンプルを浮遊させながら熱を加えて溶かしたり、冷やしたりして物性を調べるというEML（Electro Magnetic Levitator）という装置のアップグレードなど、ヨーロッパの宇宙実験に関わる重要な作業を任せられる予定もあります。

ヨーロッパ宇宙機関の計画している作業は、宇宙実験だけでなく、将来を見すえた技術検証もあります。

小型カメラとヘッドセット、スマートフォンを組み合わせた「mobiPV」というシステムは、リアルタイムで地上の管制官と交信しつつ、宇宙飛行士が効率的に作業をこなせるというウェアブル装置です。

また、軌道上にいる宇宙飛行士が、地上で作業するロボットを操作する実証が行われており、わたし自身もJustinを使った検証に参加できるかもしれません。]

・ESAの宇宙医学実験「Airway Monitoring（エアウェイ・モニタリング）」

・ESAのCircadian Rhythms（サーケイディアン・リズム）実験

この2つについては大西宇宙飛行士のプレスキットで紹介していますので参照下さい。

【参考】大西卓哉宇宙飛行士長期滞在プレスキット（2016年7月1日 A改訂版）

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/onishi/material/

・ESAの浮遊炉EML

http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Blue_dot/Electromagnetic_levitator

http://www.dlr.de/rb/en/desktopdefault.aspx/tabid-9342/16601_read-40522/

・ESAのmobiPVの紹介ブログ

<http://blogs.esa.int/iriss/2015/09/11/introducing-mobipv/>

図4.1.2-1

ESAの遠隔操作ロボット実験で使うJustin

http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/Paolo_s_point_and_click_adventure_with_Justin_from_space



【参考】金井宇宙飛行士の公式ブログでの解説

・宇宙実験 : Lighting Effects (ライティング・エフェクト)

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12315800920.html>

[宇宙船用のLED照明 は、「こうのとり」で採用されたものが早いのですが、昨年くらいから、宇宙ステーションでは、これまで使っていた蛍光灯に代わって、NASAの開発したSSLA (Solid-State Light Assembly) というLED照明に入れ替えが始まっています。

このNASA製のLED照明のすごいところは、明るさとともに光の波長も自由に変えることができる機能を持っているということです。]

[日中の作業をする時間帯には「青い波長の多い光」、仕事を終えて寝る前の時間帯には「青い波長の少ない光」となるようにLED照明を人工的に調整し、宇宙飛行士の注意力や体内時計がどうなるのが調べてみようというのが、この「ライティング・エフェクト」の実験です。]

[光による体内時計の調整は、睡眠薬のような副作用はなく、安全で手軽な方法です。

これは、宇宙飛行士に対してだけでなく、例えば、夜勤が求められる看護師さんや消防官、あるいは夜間に長距離運転をしなくてはならないバスやトラックのドライバーといった、地上における職業についている人たちにとっても、安全や仕事の質の向上に役立つものです。]



図4.1.2-2 NASAが開発したISS用の新型LED照明

https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/iss049e028948_1.jpg

【参考】ISSに滞在する宇宙飛行士が報告している視覚の問題

ISSミッションクルーの約20%で眼の焦点の調整がうまくいかない症状 VIIP(visual impairment and intracranial pressure syndrome)が報告されており、2011年ごろから話題に出るようになりました。これは無重量環境で生じる流体シフト（心臓に近い頭への血流が増加する）により、頭蓋内の圧力が増加する影響で引き起こされる機能障害とされています。この問題を重視したNASAは2013年頃からOcular Health実験として宇宙飛行士を被験者とした本格的な研究を行っています。

眼圧をトノメトリーを使って定期的に測定し、超音波装置による眼のスキャンも行われています。2015年に実施した1年間の宇宙滞在ミッションでは初めて、ロシアの下半身陰圧負荷装置を軌道上で使って流体シフトを打ち消し、視覚に変化が出るかを確認しました。

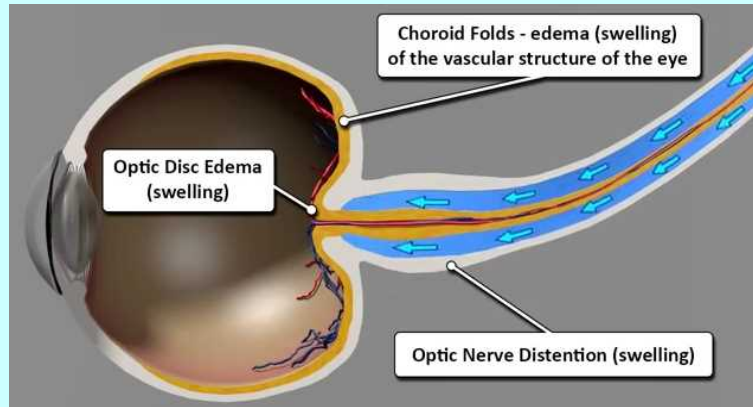


図 4.1.2-3 Vision Changes in Space (2014年2月 NASAの動画より)
Swelling(腫れ)、edema(浮腫)、distention(膨張)、Choroid fold(脈絡膜のしわ)
<https://www.youtube.com/watch?v=A7bFzviLgTQ>



図4.1.2-4 眼底検査(左)、眼圧測定(右)を行う様子

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/204.html



図4.1.2-5 眼球を超音波検査する星出宇宙飛行士

https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/edu_aki_hoshide.jpg

【参考】ISSでの医学研究で見つかった新たな問題

2017年11月2日にCNNが以下のようなニュースを報じました。

・長期滞在の宇宙飛行士、脳が「圧搾」状態に 米研究

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35109789.html>

宇宙での医学実験により、これまでいろいろな問題が見つかっており、筋肉や骨が弱まる問題に対しては、宇宙で運動すること等でほぼ対処が可能になり、数年前からホットな話題になっていた眼の問題も、前ページで紹介したように研究を進めることでようやく仕組みが見えてきました。帰還時にバランス能力が順応しない問題も米露が精力的に研究を行い、対応策を検討しています。

そして新たに脳にも影響が及んでいることが見つかったわけで、今後はこの問題も重点的に調査が行われるようになると思います。

このように、微小重力環境下での人体の変化はまだわからないことがいっぱいあり、問題が見つかるたびに今後も詳細な研究が行われ、対応策が検討されていくことでしょう。ISSでの有人滞在意義は、人類が宇宙へ進出するための様々な課題を明らかにするために役立っていることが、リアルタイムで分かるニュースの一つです。

・サウスカロライナ医科大学の発表（2017/11/2）

http://academicdepartments.musc.edu/newscenter/2017/nasa_Roberts/index.html

4.1.3 その他（長期滞在期間中の広報・普及活動）

広報イベントの実施時期は、JAXA公開ホームページ「金井宇宙飛行士最新情報」

(http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/)にてお知らせします。

なお、ミッションの進捗状況によって実施できない場合もありますので、あらかじめご了承ください。

①リアルタイム交信/教育イベント

宇宙環境や宇宙ステーションの理解普及や教育などを目的に、「きぼう」と各地を中継で結び、双方向交信をリアルタイムで行います。

※その他、JAXAや公募に応募のあった団体との交信やNASAの無線交信イベントなども計画されています。



図4.1.3-1
はやぶさ2と小惑星「りゅうぐう」の
模型を浮かせる大西宇宙飛行士
(JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=69654034ab53ab0e685692b9261bc8a6>

4.2 ISSの定期的な点検・メンテナンス作業

■ 「きぼう」サブシステムのメンテナンス及び点検作業

- 「きぼう」システムの保守・点検
 - 火災検知器、消火器、酸素マスクなどの点検を行います。
 - 「きぼう」内の機器や実験装置などから排出される熱を循環させる熱制御系システムの維持・管理や、環境制御システムの保守・点検を行います。
- 「きぼう」内の整理
 - 「きぼう」船内実験室や船内保管庫に配置されている機材や物品を確認し、不用品の整理や元の場所へ収納するなど、定期的に整理作業を行います。
- 実験装置の保守・点検、確認
 - 各実験装置のメンテナンスや、故障原因の究明・修理などを行います。

■ 米国システムのメンテナンス及び点検作業

- エクササイズ装置のメンテナンス
 - 米のトレッドミル(T2)、改良型エクササイズ装置(ARED)、サイクルエルゴメータ(CEVIS)等の定期点検を行い、使用に問題がないことを確認します。故障が見つければ修理を行います。
- ISSのトイレ (WHC) のメンテナンス
 - 汚物タンクやホースの交換、フィルタの交換、コントロールパネルの表示状態の確認、清掃などを行います。
- 空気成分分析器、空気循環装置、煙検知器等各種装置の点検
 - 二酸化炭素モニタ装置などの電源を投入して表示や動作を確認し、故障がないことを確認します。また空気循環用のフィルタの清掃も行います。
- 水再生システム (WRS) の点検
 - 水再生システム (WRS) の稼働状況の確認や、処理された水のサンプリング、および有機炭素分析器 (TOCA-II) による飲料水の水質分析を行います。
- 補給物資の移送・整理、在庫管理

■ ロシアシステムのメンテナンス

- 空調システムのメンテナンス
 - フィルタの交換や配管の清掃などを行います。
- 生命維持装置 (クーラー・サポート・システム) のメンテナンス
 - 凝縮水再生装置のフィルタの交換や配管の清掃、トイレの清掃などを行います。

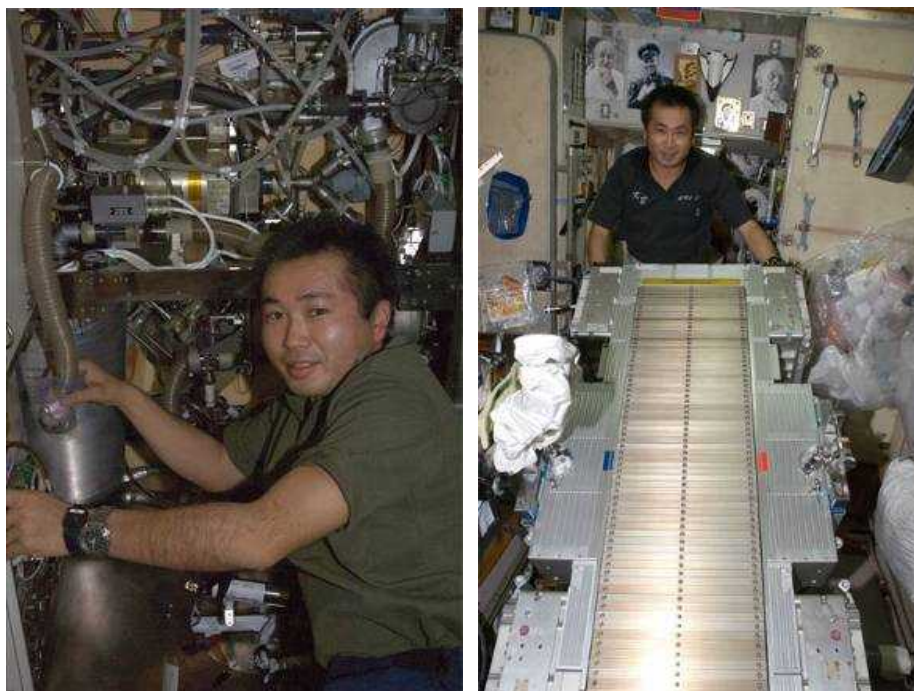


図4.2-1 水再生システムを点検する若田宇宙飛行士（左）

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss019e011471.php>

図4.2-2 ロシアのトレッドミル（TVIS）のメンテナンス（右）

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss019e009853.php>



図4.2-3 「きぼう」の船内で掃除機をかける若田宇宙飛行士
(中央の白い円筒が掃除機本体、右手に持っているのが吸い込みノズル)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss019e007589.php>

国際宇宙ステーションのフライトエンジニア

ISS長期滞在宇宙飛行士は、フライトエンジニア（FE）と呼ばれ、ISSのシステムと実験装置を正常な状態に維持すると共に、宇宙実験の運用を行うことが主な任務となります。

ISS長期滞在宇宙飛行士は、長期滞在のための専門の訓練を受けてISS長期滞在宇宙飛行士と認定されます。

現在、ISSクルーは、コマンダー（船長）1名とフライトエンジニア5名の6名体制です。

ISSクルーは、常に実験ができるようにISSのシステムや実験装置の定期点検、保守、修理し、宇宙実験に関わる操作を行うため、ISSのシステム、実験装置や、宇宙実験の内容に精通している必要があります。また、日米の補給船がISSに到着／分離するときにはその運用を行うほか、ソユーズ宇宙船やプログレス補給船等がドッキングする際にはドッキングのためのバックアップ機器の準備や、必要に応じて手動でドッキング操作を行います。ISSのロボットアームを操作して、ISSの組立てやメンテナンス、船外活動の支援も行います。ISSから宇宙授業を行う教育活動や軌道上記者会見などの広報活動、人の目で地球を観察して写真やビデオ撮影を行う地球映像の記録も、宇宙に長期滞在している宇宙飛行士ならではの仕事です。

自らが被験者となって、宇宙環境における精神心理や肉体的な変化を記録することで、さらなる宇宙進出に向けた技術の蓄積を行うとともに、得られた知見は地上での疾病の予防や治療に利用できると期待されています。

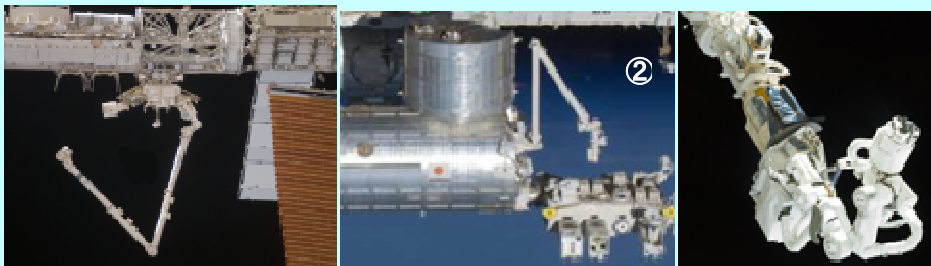
実験を行う際には、地上から直接操作できない実験試料の設置や交換、実験終了後の試料の固定^{*1}、装置の後片付けを行います。また地上の実験テーマ提案者の目となり手となって実験状況を正確に捉え、地上に伝えるという重要な役割を持ちます。

フライトエンジニアは、技術者であり研究者であり教育者であり、人類の宇宙進出への代表としてあらゆる要素を含んでいるのです。

*1：実験終了後に反応が進まないように凍結させたり、化学的に安定化させたりといった、帰還に備えた収納作業を指します。

ISSで利用されるロボットアーム

ISSに滞在する日本人宇宙飛行士は、以下に示すISSの3台のロボットアームを使います(クルー操作ではなく、地上から操作する場合があります)。その他、SSRMSの先端に子アーム「デクスター」を装着してのロボット運用も地上から行われています。



① ISSのロボットアーム（SSRMS）「カナダアーム2」

<http://iss.jaxa.jp/glossary/jp/ko/ssrms.html>

② 「きぼう」ロボットアーム（JEMRMS）

<http://iss.jaxa.jp/glossary/jp/ki/jemrms.html>

③ 「きぼう」ロボットアームの子アーム（JEMRMS SFA）

※JAXA公開ホームページには、各ロボットアームの主要諸元や動作の様子を動画で紹介しています。

4.3 ISSに到着する補給船の運用

ISSに補給船が到着した際には、ISSの10m下に停止した機体を長さ17.6mのISSのロボットアーム(SSRMS)を使って把持し、その後、ロボットアームを操作して、ノード2「ハーモニー」(あるいはノード1「ユニティ」)の下側の共通結合機構に結合させる作業を行います。日本の補給船「こうのとり」(HTV)が実証したISSとの結合方法を、これら米国の民間企業も採用しています。

ロボットアーム操作に関しては、ISSに接近した補給船を把持(キャプチャ)する操作(および放出時の解放操作)のみクルーが担当し、残りの作業はクルータイム節約のため、基本的に地上からの操作で実施されます。

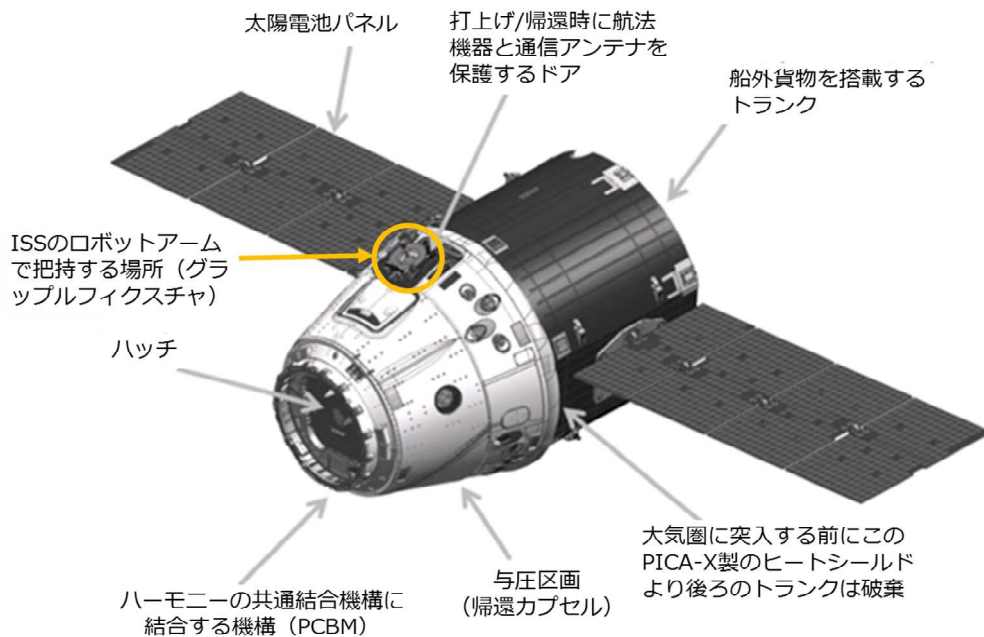


図4.3-1 Space X社のドラゴン補給船 (Space X社)



図4.3-2
ロボットアームで把持されたSpace X社のドラゴン補給船 (SpX-8)(NASA)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/26298228022/>

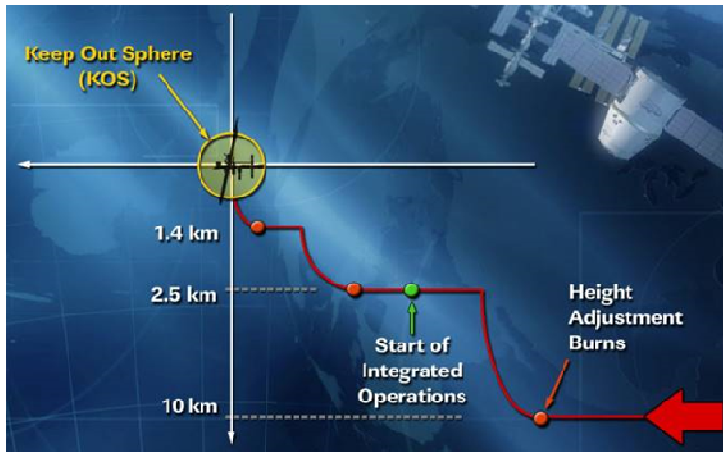


図4.3-3
ドラゴン補給船がISSに接近する方法
(NASA)

https://www.nasa.gov/exploration/commercial/cargo/graphics_041612.html

2.5km、1.2km、250mへの接近時等でGo/No Goの判断が何段階も行われます。ISSから200mの範囲内となるKOSへの進入は異常がない事を慎重に判断した後に行われ、30m、10mでそれぞれ停止することになっています。



図4.3-4
ドラゴン補給船の把持訓練を行う星出
宇宙飛行士(2012年1月)(JAXA)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/jsc2012e019093.php>

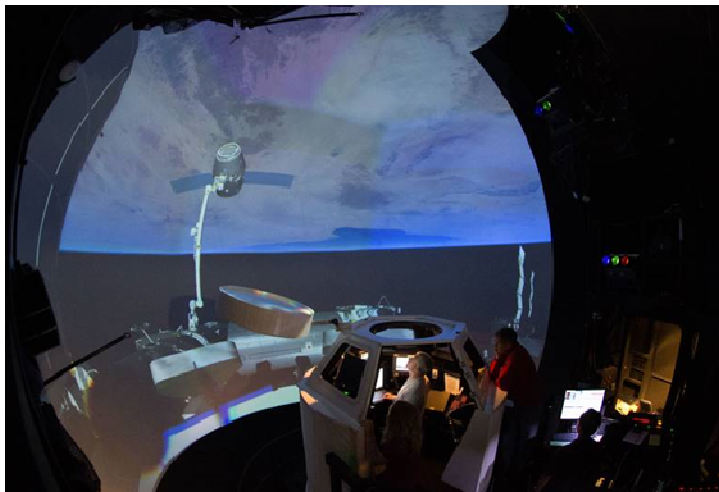


図4.3-5
ドラゴン補給船の把持訓練に使われる
NASAの訓練設備



図4.3-6
ロボットアームで把持されたシグナス補給船(OA-6)(NASA)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/25634985304/in/album-72157647107379300/>

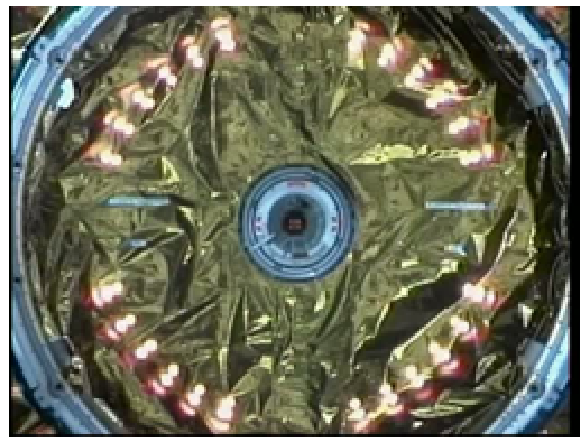


図4.3-7 (上図)
「こうのとりの」到着時の共通結合機構の位置調整作業
(右は、ハーモニーの窓に位置決め用に設置するCBCS
(Centerline Berthing Camera System)から撮影した映像。)



図4.3-8 (左図)
共通結合機構(CBM)の2枚のハッチ(ISS側のハッチを
開けた状態)

5. 第54次／第55次長期滞在中の主なイベント

金井宇宙飛行士のISS長期滞在中の主なイベントを表5-1に示します。

表5-1 金井宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(1/2) (2017/12/25現在)

時期	イベント		備考
	ソユーズ関連	その他	
2017年 11月		<ul style="list-style-type: none"> ▲シグナス補給船8号機 (OA-8) 打上げ(11/11) ■「きぼう」からの超小型衛星の放出(11/20-21) 	<p>(11/2)ISS有人化から16周年</p> <p>(11/20)ISSの建設開始から18周年</p>
12月	<ul style="list-style-type: none"> ▼ソユーズMS-05/51S帰還 (12/14) ▲ソユーズMS-07/53S 打上げ (12/17) ▲ドッキング (12/19) 	<ul style="list-style-type: none"> ▼シグナス補給船8号機 (OA-8) 分離(12/6) ▲ドラゴン補給船13号機 (SpX-13) 打上げ(12/15)、キャプチャ(12/17) ▼プログレスMS-06/67P分離 	<p>(12/14)51S帰還。第54次長期滞在ミッション開始。</p> <p>→軌道上のISSクルーは3人となります</p> <p>(12/19)金井宇宙飛行士がISSに到着。</p> <p>→軌道上のISSクルーは6人となります</p>
2018年 1月		<ul style="list-style-type: none"> ▼ドラゴン補給船13号機 (SpX-13) 帰還 (1月中旬) ■ US EVA #47 ■ US EVA #48 	<p>2018年1月のUS EVAは、2017年10月に行ったSSRMSのLEE (Latching End Effector)-Aの交換と同様の作業で、反対側のLEE-Bの交換等を行う予定。</p> <p>(1/31)皆既月食</p>
2月	<ul style="list-style-type: none"> ▼ソユーズMS-06/52S帰還 (2/27) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ロシアEVA #44 (2/2) ▼プログレスMS-07/68P分離 ▲プログレスMS-08/69P打上げ/ドッキング (2/11) 	<p>(2/9-25) 冬季オリンピック開催 (韓国・平昌)</p> <p>(2/27)52S帰還。第55次長期滞在ミッション開始。</p> <p>→軌道上のISSクルーは3人となります</p>

※表の日付は世界標準時です。スケジュールはISSの運用状況などによって頻繁に変更されるため、目安程度と
考えてください。

表5-1 金井宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(2/2) (2017/12/25現在)

時期	イベント		備考
	ソユーズ関連	その他	
3月	▲ソユーズMS-08/54S打上げ・ドッキング	▲ドラゴン補給船14号機 (SpX-14)打上げ	(3/3) 日本で第2回国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)開催。 (3月中旬)54S到着。 →軌道上のISSクルーは6人となります (3/11) STS-123 (1J/A)打上げ(「きぼう」組立開始)から10周年。
4月		▼ドラゴン補給船14号機 (SpX-14)帰還	
5月		▲シグナス補給船9号機 (OA-9)打上げ	
6月	▼ソユーズMS-07/53S 帰還 (6/3 目標) ▲ソユーズMS-09/55S打上げ・ドッキング (未定)	▲有人型ドラゴンV2宇宙船無人飛行試験機(SpX-DM1)打上げ/ドッキング(未定) ▲有人型ドラゴンV2宇宙船無人飛行試験機(SpX-DM1)分離(未定)	(6/1) STS-124 (1J)打上げから10周年。 (6/3)53Sで 金井宇宙飛行士帰還 。 第56次長期滞在ミッション開始。→軌道上のISSクルーは3人となります 55S到着。 →軌道上のISSクルーは6人となります

※表の日付は世界標準時です。スケジュールはISSの運用状況などによって頻繁に変更されるため、目安程度と
考えてください。

6. 第53次／第54次インクリメント担当フライトディレクタ

フライトディレクタ[※]の役割：「きぼう」のリアルタイム運用管制に対する指揮官

- 「きぼう」と日本の実験装置の運用管制をリアルタイムで行う管制チームのリーダー。
- 安全かつ確実な運用のため、ISS/「きぼう」の状況とクルーの活動を掌握、リスク管理を常に対応。緊急事態が発生した場合はクルーの緊急退避をサポートし、「きぼう」内機器の安全化を指揮。
- 国際協力・分散運用するISSにおいて、米・欧・カナダ・日本の運用管制を統括するNASAのISSフライトディレクタとの交渉責任を持つ。
- 不具合などが発生した場合は、運用管制チームを指揮し、適切な情報把握・分析のもと、実施責任者の対処判断を支える。

※ ISS/「きぼう」システム・実験装置に関する技術的知識、運用上のルールやプロセス等を習得し、緊急事態発生時の対応を含むシミュレーション訓練に合格、NASAとの課題調整などの実務経験を経て、認定されます。

インクリメント[※]担当フライトディレクタの役割：

長期運用計画を統括し、「きぼう」利用成果の最大化と円滑な運用を支える

- インクリメントと呼ばれるミッション期間毎にフライトディレクタ チーム内から主担当者が指名される。
- インクリメントマネージャと連携し、「きぼう」利用の成果を最大化させ、円滑な運用ができるように、国内およびNASA等の運用管制チームと、運用における課題調整や長期運用計画に対して指揮を執る。
- ISSに滞在する宇宙飛行士との綿密な連携、コミュニケーションを取り、ミッションの着実な遂行に導く。

※ インクリメント(increment)とは、増加していくという意味で、ISSの運用期間単位を差します。前の滞在クルーが帰還すると新たなインクリメントが開始されます。

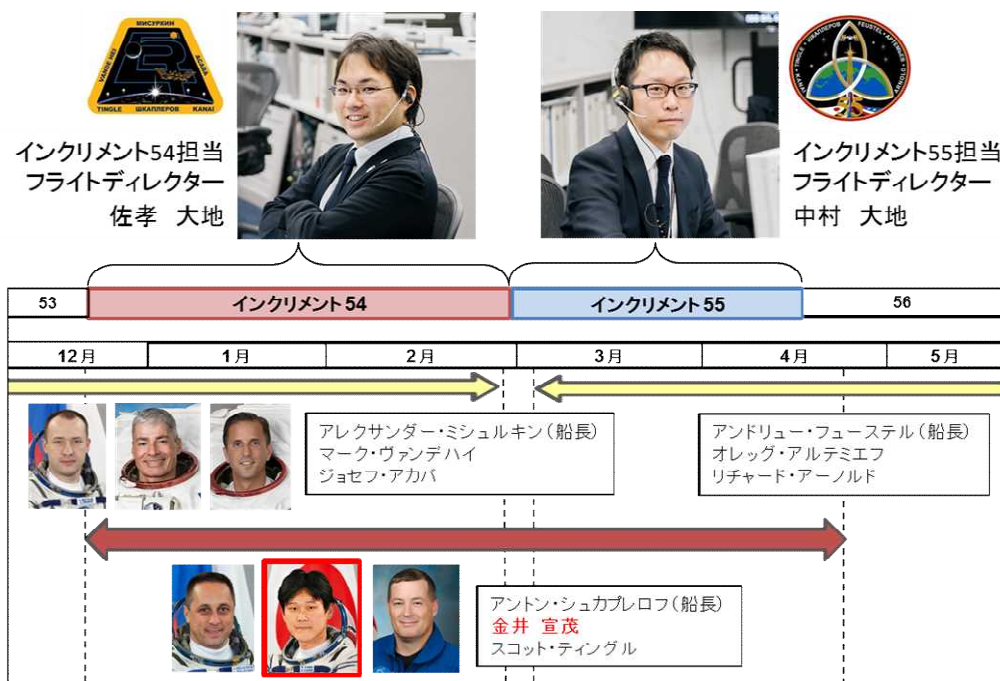


図6-1 金井宇宙飛行士滞在中のJAXAの2人のインクリメント担当フライトディレクタ
(「ダブル大地」が担当します)

より詳しい紹介は、「金井飛行士長期滞在ミッション担当フライトディレクタ概要説明」を参照下さい。

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/material/kanai_press_mission_02.pdf

7. インクリメントマネージャ

インクリメントとはISSの運用期間単位を指します。

インクリメントマネージャの役割

●「きぼう」利用成果の最大化を目指し、担当インクリメントに対し、成果創出のために戦略的な目標設定を行い、その達成に向けて以下のマネジメントを担う。

- 目標設定、利用計画立案
- 利用運用計画の履行
- 上記にかかるリスク管理、対応調整

※インクリメントマネージャに必要とされる要件

- マネジメントスキル（状況把握力、問題解決力、交渉力・・・）
- テクニカルスキル（利用運用計画業務や利用企画の知識、経験）
- ヒューマンスキル、英語交渉力

インクリメントマネージャ指名による“新展開”

- 2015年度（27年度）後半から、インクリメントマネージャ(IM)を指名した体制にて、各インクリメントの目標設定・重点ミッションを設定した運用を開始。
- 「きぼう」利用成果の最大化を目指した利用方針のもと、組織全体で戦略性を持って目標を達成する体制を強化。

「きぼう」利用成果の最大化を目指した利用方針のもと、組織全体で戦略性を持って目標を達成する体制を強化

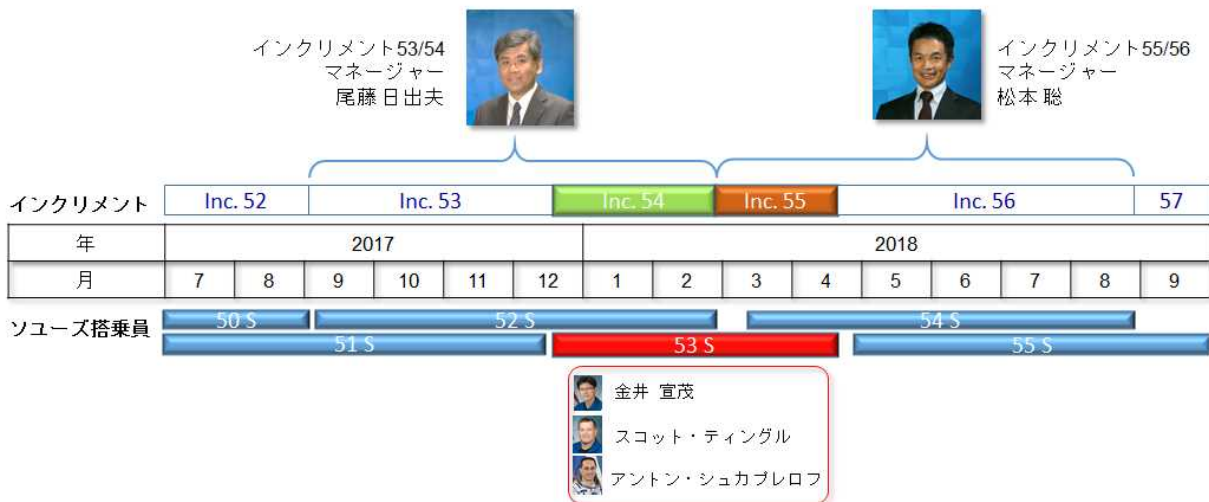


図7-1 金井宇宙飛行士滞在中の2人のインクリメントマネージャとインクリメントの概念説明

より詳しい紹介は、「インクリメント54/55における「きぼう」利用の概要について」を参照下さい。

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/kanai/material/kanai_press_mission_01.pdf

付録1 国際宇宙ステーション概要

1. 概要

人類にとって初めての「国境のない場所」—それが、国際宇宙ステーション（International Space Station: ISS）です。米国、日本、カナダ、ヨーロッパ各国、ロシアが協力して計画を進め、利用していきます。

ひとつのものを作り上げるために、これほど多くの国々が最新の技術を結集するというプロジェクトは、これまでになかったことであり、ISSは、世界の宇宙開発を大きく前進させるための重要な施設であると同時に、国際協力と平和のシンボルにもなっています。

1982年の概念設計から始まり、各国が協力して様々な課題を乗り越え、1998年にISS最初の構成要素「ザーリヤ」（基本機能モジュール）が打ち上げられました。2003年のスペースシャトル・コロンビア号事故によりISS組立ては一時中断されましたが、2006年から組立再開し、2011年5月のシャトルフライト(STS-134)で完成しました（注：ロシアは今後も新たなモジュールを結合していく予定です）。

ISSは地上から約400kmの上空に建設された巨大な有人施設です。1周約90分というスピードで地球の周りを回りながら、地球や天体の観測、そして実験・研究などを行っています。

ISSの主な目的は、宇宙だけの特殊な環境を利用した様々な実験や研究を長期間行える場所を確保し、そこで得られた成果を活かして科学・技術をより一層進歩させること、そして、地上の生活や産業に役立てていくことにあります。2016年までにISSで得られた成果については、参加各国でまとめた以下の情報を参照下さい。

人類への恩恵（第2版） <http://iss.jaxa.jp/kiboresults/benefits/>

ISSの全体構成を図1-1、仕様を表1-1に示します。

※ISS計画の経緯など詳細情報は、「きぼう」ハンドブック第1章（こちらに掲載 <http://iss.jaxa.jp/kibo/library/fact/>）、またはJAXA公開ホームページ「国際宇宙ステーション」（<http://iss.jaxa.jp/iss/index.html>）をご覧ください。

ISS内の様子については、2014年に若田宇宙飛行士が以下のISSツアーで丁寧に紹介していますのでご参照下さい。

・「若田宇宙飛行士のISSツアー 前、中、後編（全3編）」

<http://iss.jaxa.jp/library/video/tag/%e9%80%b1%e5%88%8a%e8%8b%a5%e7%94%b0>

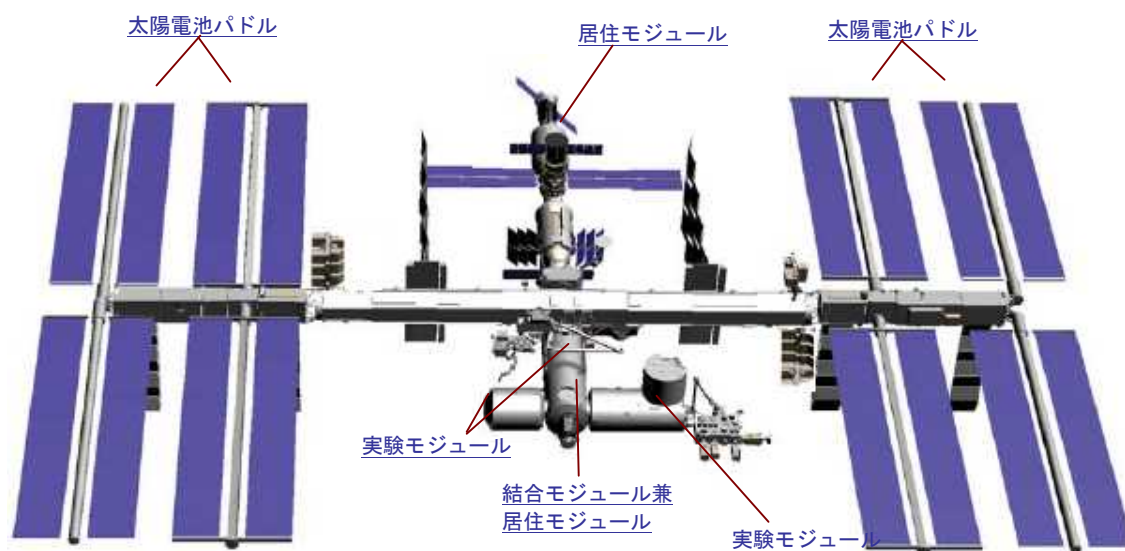


図1-1 ISS全体構成

表1-1 ISSの仕様

項目	諸元等
全長	約108.5m×約72.8m (サッカーのフィールドと同じくらい)
重量	約420トン (2017年春時点)
電力	84kw
全与圧部容積	932m ³
与圧モジュール数	14棟 + BEAM (2016 ~ 2019年) [内訳]米国 6 (デスティニー、ノード1, 2, 3、クエスト、PMM) / 日本 2 (「きぼう」) / 欧州 1 (欧州実験棟) / ロシア 5 (ズヴェズダ (ロシアのサービスモジュール)、ザーリヤ、MRM-1,2、多目的実験モジュール (MLM) (MLMは2018年末以降にDC-1「ピアース」と入替え予定))
曝露搭載物 取付場所	・トラスに 6 箇所 ・「きぼう」船外実験プラットフォーム 10 箇所 ・「コロンバス」(欧州実験棟) 4 箇所
常時滞在搭乗員	6名
軌道	円軌道 高度約400km 軌道傾斜角51.6°
輸送手段	組立：スペースシャトル (引退)、ソユーズ/プロトンロケット (露) 補給：スペースシャトル (引退)、ソユーズロケット (露)、アリアン5ESロケット (欧) (ATVの打上げは終了)、H-IIBロケット (日)、米国の商業ロケット (ファルコン9、アントレス、アトラスV)

<https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>

2. 各国の果たす役割

ISSは、各国がそれぞれに開発した構成要素で成り立っています。基本的には各構成要素の開発を担当した国が責任を持って運用し、全体のとりまとめを米国が行います。

(1) 米国【米国航空宇宙局 (NASA)】

各国と調整を取りながら、総合的なまとめ役を担当。提供する要素は、実験モジュール、ノード結合モジュール、エアロックのほか、主構造物であるトラス、太陽電池パドルを含む電力供給系等。

(2) ロシア【国営企業Roscosmos (旧 ロシア連邦宇宙局)】

最初に打ち上げられた「ザーリャ」(基本機能モジュール)、居住スペースである「ズヴェズダ」(サービスモジュール)、搭乗員の緊急帰還機 (ソユーズ宇宙船) などを担当。

(3) カナダ【カナダ宇宙庁 (Canadian Space Agency: CSA)】

ISSの組立てや、装置の交換に使用するISSのロボットアーム (SSRMSと子アームのDextre) を提供。(スペースシャトルのロボットアーム (SRMS) もカナダ製)

(4) ヨーロッパ諸国【欧州宇宙機関 (European Space Agency: ESA)】

ESAの中から11ヶ国 (フランス、ドイツ、イタリア、スイス、スペイン、オランダ、ベルギー、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、イギリス) が参加し、主に「コロンバス」(欧州実験棟) を提供。また、ISSへの物資補給の手段として、欧州補給機 (Automated Transfer Vehicle: ATV) を2008年から2015年までの間に5機提供した。

(5) 日本【宇宙航空研究開発機構 (JAXA)】

「きぼう」日本実験棟を提供。また、ISSの物資補給の手段として、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(H-II Transfer Vehicle: HTV) を提供。

ISS構成要素を図2-1に示します。

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

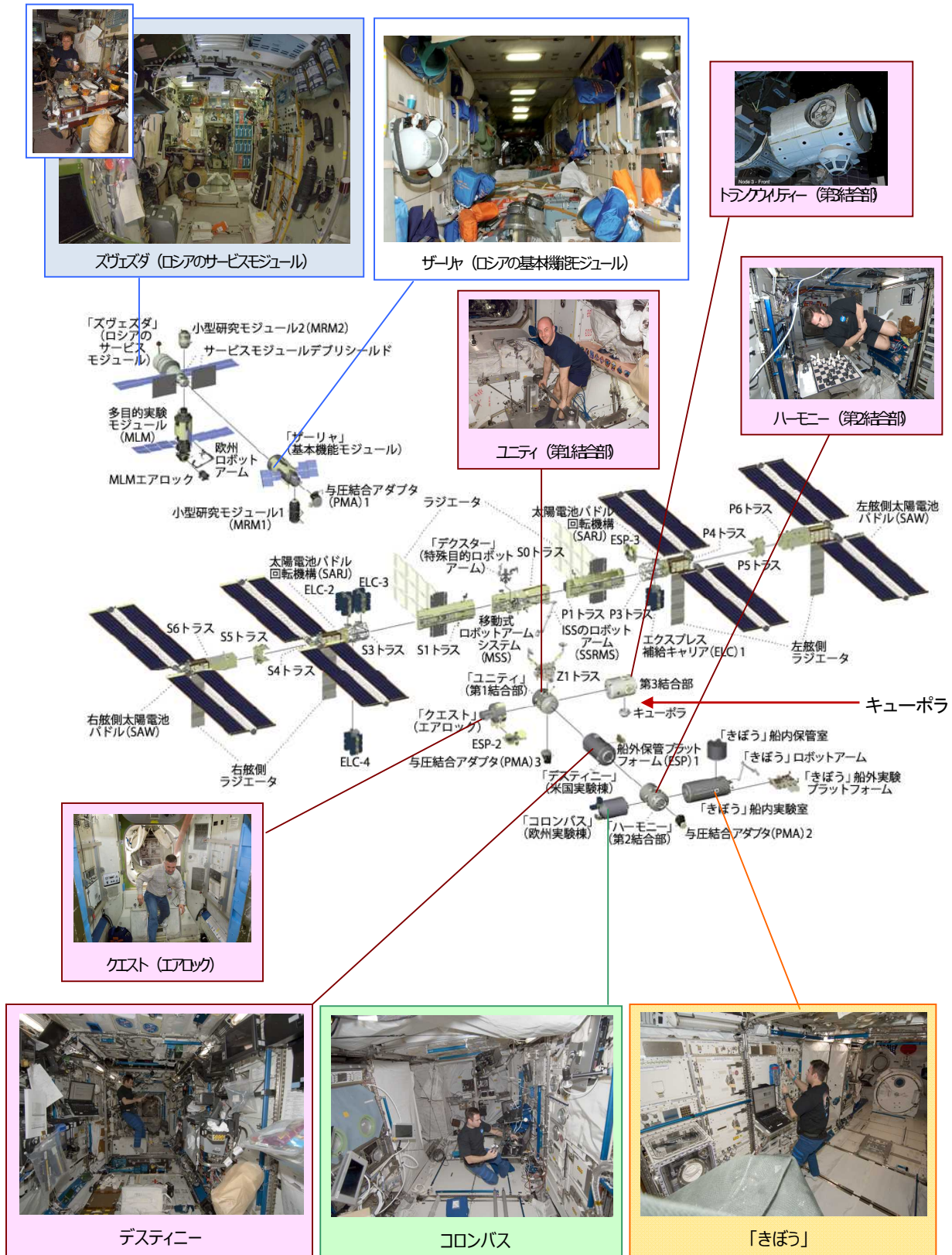


図2-1 ISS構成要素

青：ロシアのモジュール、赤：米国のモジュール、緑：欧州のモジュール、黄：日本のモジュール

コラム付録1-1 キューポラ

キューポラは、トランクウィリティー（ノード3：第3結合部）の下側に設置されている大型の窓です。

7枚の窓を使用しない時は窓シャッターを閉じてデブリの衝突から窓を守ります。ここは地球や補給機の結合等の観察・撮影や、ロボットアームの操縦時に使用されます。



図2-2 キューポラ（写真上が地球側：窓シャッターの開放状態）

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-28/html/iss028e048571.html>

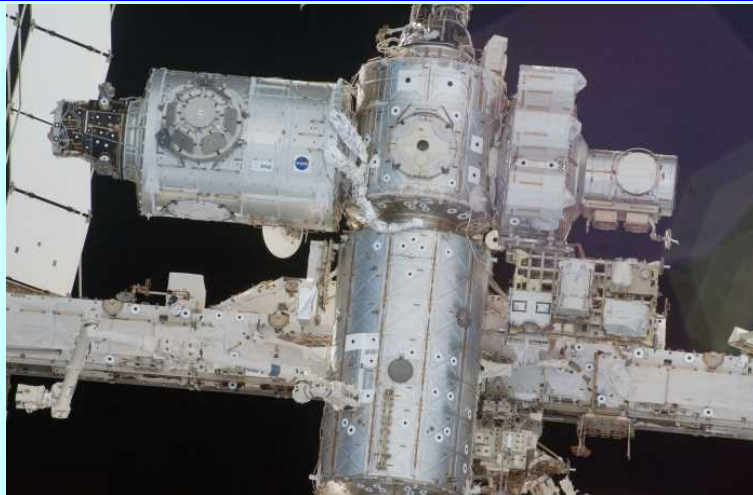


図2-3 キューポラの設置場所（STS-130分離時にISSの下側から撮影：窓シャッターは閉鎖状態）

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-22/html/s130e012251.html>



図2-4 キューポラ内の様子

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=638ece875121a2e5ee41ffc10ff35dc8>

3. ISSでの衣食住

3.1 ISSでの生活

ISSの生活について、作業スケジュール、睡眠、トイレ、娯楽などを紹介します。

(1)ISSでの作業スケジュール

ISSでの1週間の活動スケジュールを、表3.1-1に示します。

ISSで使用する時刻は、グリニッジ標準時（GMT）を用います。通常の起床時刻は、06時GMT（日本時間15時）、就寝は21時30分GMT（日本時間06時30分）頃です。

仕事を終えるのは、通常は17時30分または18時30分GMT（日本時間02時30分または03時30分）で、夕食は20時GMT（日本時間05時）頃となります。

表3.1-1 ISSでの1週間の活動スケジュール（例）

日	月～金	土
休み	図3.1-1参照	午前： ボランティア サイエンス※ 午後：休み

- ※ ボランティアサイエンスは、軌道上の科学実験や教育などを補完する活動で、その実施はすべてクルーの自由意志（ボランティア）です。土曜の午後は休みですが、清掃作業とエクササイズ（エクササイズは日曜も含めて毎日実施）を行います。
- ※ 祝日は、各国の祝日の中から各クルー毎に決定（自国の祝日に限らない、半年間に4日）

睡眠
朝食（60分）
洗顔等（30分）
地上との作業確認（120分）
作業（午後と併せて合計6時間半）
昼食（60分）
作業
体力維持エクササイズ（150分）
夕食（60分）
自由時間（60分）
睡眠（8時間半）

※実際には、地上との作業確認は、朝夕に各15分程度行われています。また体力維持（エクササイズ）は、交代で使うためクルーによって実施時間帯が異なります。

※Twitter等への投稿は就寝前の自由時間を使います。油井宇宙飛行士によれば、「（写真撮影は）空いた時間を使って撮ることが非常に大変でした。平日昼間は分刻みのスケジュールで、トイレに行く時間はスケジュールに無いのでトイレに行くためには計画的に仕事を進め時間を作らなければなりません。そういうなかで先行的に仕事を進め、追加の仕事も行い、余暇時間に写真を撮るようにしていました。」と答えています。

図3.1-1 ISSでの平日の活動スケジュール(例)

大西宇宙飛行士のGoogle+ (2015/7/1) より

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/Tv8NfU99Y88>

Routine Ops Simというのは、Routine (日常的な) という名の通り、日常的なタスクを実施するシミュレーション訓練のことです。今日私が実施したタスクは以下の通りです。

- ・ドラゴン宇宙船のISSからの離脱に向けた準備 (コネクターの取り外しなど。)
- ・船外活動前のメディカルチェックのためのセットアップ
- ・水再生処理装置のタンク交換
- ・LABモジュールにある作業台の移設
- ・紛失物の搜索 (無重力では、物が非常になくなりやすいです！)
- ・非常用装備品の在庫チェック、状態チェック
- ・各モジュールのビデオ撮影 (撮影後、地上にダウンリンクします。それを専門家が観て、安全上の懸念がないかどうかをチェックします。例えば、消火器のドアの前に物が置かれていないかなど)

タスクの実施中、小さな不具合は頻繁に発生します。それらへの対応もしていると、あっという間に時間が過ぎていきます。常にスケジュールから少し遅れ気味でタスクをこなしていくストレスやプレッシャーを経験するのも、この訓練の大きな目的の1つでしょう。

私とケイトが「忙しい、忙しい」と言っていると、過去に2度長期滞在を経験しているジェフが、「典型的なISSの1日だな」とニヤリ。あまりの忙しさに、トイレにも行かず、飲み物も飲まずに5時間働きつめでしたが、これはちょっと反省です。

(2)睡眠場所・個室

2012年現在、ISSには6つの個室が設置されています。個室には、睡眠、着替え、ラップトップコンピュータ、音声通信装置、警告・警報装置、空調設備、照明などが装備されており、個人の荷物もここに保管します。

ズヴェズダの後部両側には、ロシア製のクルーの個室 (ロシアの個室のみ窓を装備) が2つあり、「ハーモニー」 (第2結合部) には米国製の個室4つがあります。一時、「きぼう」船内実験室内にも、米国製の個室1つが設置されて野口宇宙飛行士が使っていましたが、2010年秋にハーモニーに移設されました。

なお個室を使わなくても、クルーは寝袋を使用して好きなところで寝る事もできます。



図3.1-2 ズヴェズダ内の個室 (ロシア人が使用) (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/iss002e5730.html>

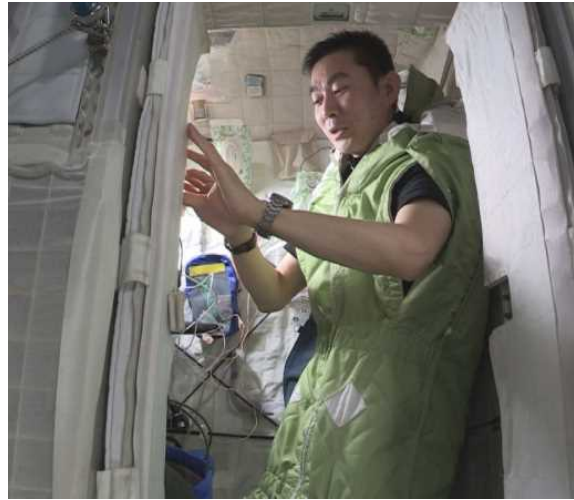


図3.1-3 米国製の個室（「ハーモニー」(ノード2：第2結合部)内）（左）(NASA)

図3.1-4 寝袋に入って説明する油井宇宙飛行士（右）(JAXA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=4722fd9c6f15f0c9a629d92e568b97cd>



ISS027E013105

図3.1-5 ハーモニーに設置された4つの個室(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-27/html/iss027e013105.html>

(3) ISSのトイレ

ISS内にはロシア製のトイレと米国のトイレの2つがあります。ズヴェズダ内に設置されているロシア製のトイレは、組み立て初期からずっと使われていたものです。ISSの2台目のトイレである米国製のトイレ（Waste and Hygiene Compartment: WHC）は、STS-126(ULF2)で運ばれました。全体のシステムは米国製ですが、トイレ本体はロシアから購入しており、1台目のISSトイレと基本構造は同一です。WHCの特徴は、ここで収集された尿を米国の水再生処理システム(WRS)へ送って飲料水として再生できるようにしたことです。

最初はデスティニー内に仮設置されていましたが、STS-130ミッションで「トランクウイリティー」（ノード3）が到着した後は、WHCとWRSはトランクウイリティーに移設されました。水再生システムについては、付録1 4.1項を参照下さい。



図3.1-6 「ズヴェズダ」後方に設置されているロシアのトイレ(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-6/html/iss006e20909.html>



※左の写真はWHC内部の状態。軌道上では、右の写真のようにプライバシーカーテンを閉めて使用します。

図3.1-7 米国のトイレ（WHC）（NASA）

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-19/html/iss019e005736.html>

http://www.nasa.gov/images/content/286879main_engelbert_6_whc.jpg

ISSでトイレを使用する時に、パネルの「尿タンクが一杯」という赤いライトが点灯した場合は、使用した人がその尿タンクの交換作業をすることになります。

(4) その他の衛生関係の情報

ISS内には、タオル（Wet/Dry）、石鹸、ドライシャンプー、電気シェーバー、歯ブラシ、歯磨き粉、ウエットワイプ等の衛生用品が準備されており、シャワーがないことを除けば一通りの装備が揃っています。

コラム付録1-2 宇宙でのシャワー

シャワーは、入浴後の水滴の片づけに非常に時間がかかるため、実用的ではないとしてISSでは用意されていません。

アメリカはスカイラブでシャワー設備を試していますが、ロシアもミールには装備していましたが、ミールでは、クルーが後片づけを嫌がって使わなくなり、結局、物置と化していました。入浴時間に費やす時間以上に、水滴の吸い取りや拭き取りにその何倍もの時間を取られてしまうことを考えれば、濡れタオルの方が好まれるのも分かります。

コラム付録1-3 宇宙からの投票

「事前登録を済ませておけば、米国の宇宙飛行士は、ISSから投票する事も出来るんですよ！日本には、宇宙から投票するシステムはありません。もっと沢山の人が宇宙に住むようになれば、変わるかもしれませんね。」(2014/12/13 油井宇宙飛行士のTwitterより)

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/543933588333277185

→米国は電子投票が可能ですが、ロシアの宇宙飛行士も宇宙から投票が出来ます。ロシアはTV会議で代理人を通して信任投票することができます。



図3.1-8 「ハーモニー」内で散髪をする油井宇宙飛行士(JAXA)

バリカンには吸引用の掃除機につながるホースが取り付けられています

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=5e8cfa5a29b73cf47b9f7605b0245ee8>

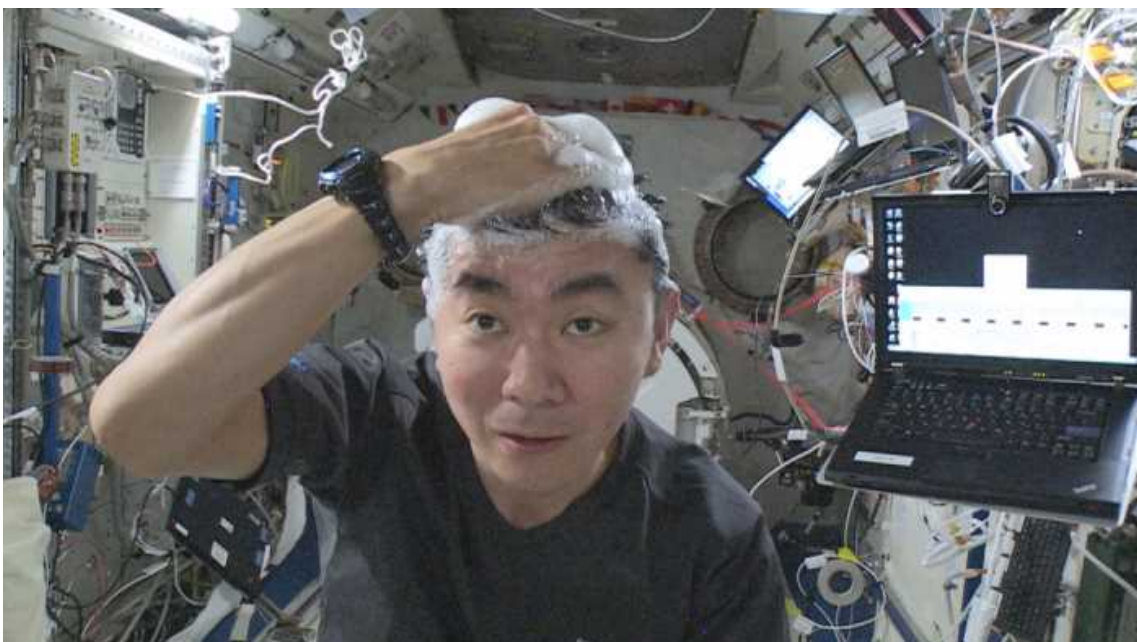


図3.1-9 宇宙で洗髪する油井宇宙飛行士 (JAXA)

ドライシャンプーした後は、タオルで拭き取ります。

(5)ISS内での生活（快適に暮らすため）

ISS内は閉鎖環境であり、文化や国籍も違う宇宙飛行士が約6ヶ月間も生活するため、ストレスを貯めないように注意が払われています。

DVDで映画を楽しんだり、音楽を聴いたり、IP電話や電子メールなども使用できる他、プログレス補給船で雑誌や友人達からの手紙や小包なども運ばれます。その他、これまでにISSに滞在したクルーたちが残して行った品物も使えます。

なお、野口宇宙飛行士が滞在していた2010年1月からはインターネットも利用できるようになったため、各クルーの軌道上からのTwitterでのつぶやきも定着しました。



図3.1-10 「こうのとり」5号機で運ばれた新鮮なかんきつ類(JAXA/NASA)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss044e064426.phpp>



図3.1-11 地上とのTV会議（NASA）

※日曜日には家族との会話もこのような感じで行えます。

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-15/html/jsc2007e25382.html>



図3.1-12 クリスマスの飾り付け(「ズヴェズダ」内) (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-14/html/iss014e10250.html>

なお、ISS内での祭日は、国際的な取り決めで決められています。これまでは米国とロシアの代表的な祭日だけでしたが、日本やヨーロッパの宇宙飛行士が長期滞在を行うようになったため、日本の重要な祭日も休みに組み込まれるようになりました。

コラム付録1-4 宇宙で物を必ず固定する理由

ISSで、物を無くしてしまうと大変です！ふわふわと何処かに行ってしまいますからね。常にしっかりとゴム紐、ベルクロテープ等を使用して物を固定する必要があります。それでも、物が無くなってしまったら？空気の流れを知っておく事が重要！空気取入れ口のフィルター付近に物が集まるそうです。

2015年3月22日 油井宇宙飛行士のTwitterより

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/579739319599906816



図3.1-13 ISSから撮影された夜明け前の日本列島(2015年9月撮影)

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/643551569787637761



図3.1-14 ISSから撮影されたいて座、さそり座周辺の天の川(2015年9月撮影)

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/640335724177440768

コラム付録1-5

ISSから撮影した夜景が綺麗になった理由

2010年代に入り、急激にISSから撮影した夜景の写真が綺麗になりました。JAXAとNHKが開発した新型のTVカメラの映像はもちろん綺麗ですが、大半の画像はNikonのデジタルカメラで撮影しています。ISO感度を高く設定できる機種に更新したという理由もありますが、ESAが開発したNightPodというカメラの固定装置のおかげです。この装置は2012年2月24日にキューポラに設置されました。それまでは宇宙飛行士が熟練操作で流し撮りをしていたため、慣れないとブレのない良い写真は撮れませんでした。ISSの移動方向の動きをモータで(4軸駆動が可能)追尾して打ち消すことができるため夜景をブレなく撮影できるようになりました。自動撮影も可能なためクルーが寝ている間にタイムラプス画像を撮ることもできます。



NightPod (左)と、星と地上の光を光跡にしたタイムラプス写真(右)



NightPodを使って撮影したベルギーの都市の夜景

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/nightpod.html

3.2 ISSでの食事

(1) 食事場所・調理設備

ISS内では、ロシアのズヴェズダの後部エリアが、調理や食事を行うための場所として初期段階には使われていました。STS-126(ULF2)で米国のギャレー（飲料水供給装置、冷蔵庫、オーブンを装備）が到着したことにより、米露の設備2セットが使用できるようになっています。ロシア側の設備としては、テーブル、飲料水供給装置、オーブン、食料保管庫があります。米国側の設備としては、飲料水供給装置(PWD)、オーブン、冷蔵庫(MERLIN)があります。

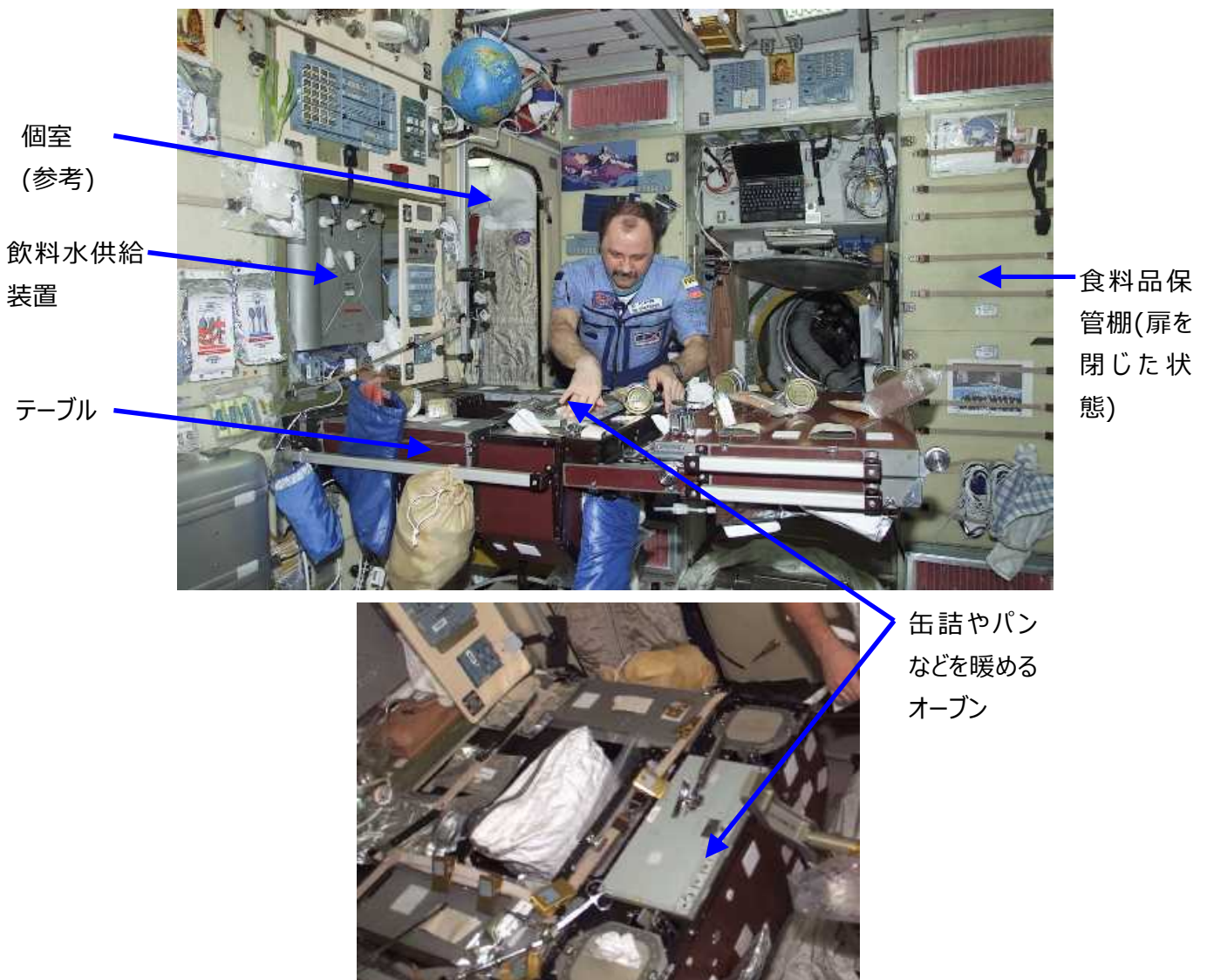


図3.2-1 ズヴェズダ内の食事用テーブル・調理設備 (NASA)

<http://www.spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/s104e5121.html>



図3.2-2 ズvezダ内で食事する様子 (NASA)



図3.2-3 ユニティ内に設置された2台目のテーブル（左下：収納状態）(JAXA/NASA)
（天井にはプロジェクターがあり65インチの大型スクリーンにビデオを投影可能：2015年4月に設置）

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/122d1319.php>



図3.2-4 飲料水供給装置を使う野口／油井宇宙飛行士 (JAXA)
(上はロシアの機器、下は米国の機器)

(2) 宇宙食のメニュー設定

まだ米露以外の宇宙食が存在しなかった頃の初期のISSの食事メニューは10日間のローテーションで組まれており、5日間分はロシアの宇宙食メニュー、5日間分はアメリカの宇宙食メニューから選ばれていました。その当時は、個人毎にメニューを事前に決めて補給をしていたため、直前にクルーの交代が生じると困った事が起きていました。

その後、システムが変わり、今では16日間のローテーションメニューになりました。基本は、ロシアとアメリカの宇宙食が半々ですが、アメリカの宇宙食では16日毎に繰り返される標準メニューを止め、バラエティを増やしています。また月に1度はボーナス宇宙食が入った箱を利用する事が出来ます（ボーナス宇宙食は、冷蔵が不要で、NASAの微生物検査をパスしたものなら市販品の食品でも好きなものを含める事が出来ます）。

2008年からは日本宇宙食もメニューに加えられるようになった他、ヨーロッパの宇宙食も開発されており、国際色豊かな食事を食べられるようになりました。

次頁に宇宙日本食の例を示します。

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット



白飯



緑茶



イワシのトマト煮



レトルトポークカレー



しょうゆラーメン



マヨネーズ



羊羹

図3.2-5 宇宙日本食の例

※詳細は下記ホームページでご覧になれます。

<http://iss.jaxa.jp/spacefood/about/japanese/>

注：宇宙日本食は新たに認証されて追加されたり、認証を更新せずに外される場合もあり、品目数は適宜変わります。

3.3 ISSでの健康維持

ISS滞在クルーは、筋力の低下や骨量の減少の影響を軽減させるために、地上の運動トレーナー（「生理的対策担当者」またはAstronaut Strength, Conditioning and Rehabilitation: ASCRと呼ばれています）の作成した運動処方に則り、毎日2.5時間のエクササイズを行います。このうち、約半分の時間は機器のセットアップとエクササイズ後の体ふきや着替えに使います。

以下にISSで使われているエクササイズ機器を紹介します。これらを交代で組み合わせながら使用します。もし1台が故障しても他の機器でしばらくは代用が出来るようになっています。

(1) 制振装置付きトレッドミル(TVIS、BD-2、T2)

TVIS(Treadmill with Vibration Isolation System)「ティービス」は、歩行やランニングを宇宙で行うための運動装置で、運動中の振動が実験装置等に伝わるのを防ぐため、回転式のベルトを持つトレッドミルに制振装置を付加したものです。TVISは米国製で、ズヴェズダ後部の床面(床下に制振部を収納)に設置されていましたが、2013年5月にロシア製の新しいBD-2と交換されました。STS-128(17A)フライトでは2台目のトレッドミル (Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill: COLBERT または T2と呼ぶ) が運ばれ、ノード3「トランクウイリティー」に設置されています。



図3.3-1 ロシアのBD-2を使ったエクササイズ (写真：Roscosmos)

<http://www.en.federspace.ru/20282/>



図3.3-2 ノード3内に設置されたT2「COLBERT（コルベア）」を使ったエクササイズ（JAXA）
（※ゴム製のひもで体をトレッドミルに押しつけます）

(2) 制振装置付きサイクル・エルゴメーター(CEVIS)

CEVIS(Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System)「シービス」は、米国製の制振装置付きの自転車こぎ機であり、スピードや運動負荷を変えることができます。この装置は、デスティニーの壁に設置されており、クルーの運動に使われる他に、医学実験にも使われます。

なお、ズヴェズダの床面にも制振装置無しですが、ロシアのサイクル・エルゴメーターVELO「ベロ」が設置されています。



図3.3-3 CEVISで運動する若田宇宙飛行士（左）(NASA/JAXA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e005790.html>



図3.3-4 ロシアのVELO（右）(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/iss002e6136.html>

・J-HIAT (JAXA’s High-intensity Interval Aerobic Training)

今回の長期滞在中、金井宇宙飛行士は、このCEVISを用いた運動に、JAXA宇宙医学研究の成果である運動プログラム (JAXA’s High-intensity Interval Aerobic Training: J-HIAT) を取り入れる予定にしています。

J-HIATは、心肺機能の向上を目的とした運動プログラムで、負荷の高い運動と負荷の低い運動を繰り返すことで、短時間かつ消費エネルギー量が少なくても従来の運動と同等以上の効果が得られることが特徴です。

この結果が、今後、軌道上での宇宙飛行士のより効率的な運動に繋がることが期待されています。

表3.3-1 同じ心肺機能向上効果を得るための運動内容の比較

運動プログラム	運動の内容		運動の総時間	消費エネルギー
	運動負荷	運動時間		
JAXA’s High-intensity Interval Aerobic Training (J-HIAT)	最大酸素摂取量の80%	3分間	13分	182kcal^{※1}
	最大酸素摂取量の50%	2分間		
	最大酸素摂取量の85%	3分間		
	最大酸素摂取量の50%	2分間		
	最大酸素摂取量の80%	3分間		
従来のプログラム Continuous Aerobic Training (CAT)	最大酸素摂取量の60~65%	40分間	40分	363kcal ^{※1}

※1 運動3時間後までのエネルギー消費量を含む。

従来のプログラムが中程度の負荷を40分間実施するのに対して、J-HIATでは高い負荷と低い負荷を数分ずつ繰り返すことで、半分程度の運動時間と消費エネルギーで効率的に心肺機能を向上させることができます。

今回の長期滞在中では、金井飛行士の飛行75日目 (予定) に測定する最大酸素摂取量をもとに運動の負荷を決定し、J-HIATによる運動は3月以降の実施を予定しています。

(3) 筋力トレーニング装置RED(Resistive Exercise Devices)

RED「レッド」は、米国製の脚やお尻、肩、腕、手首などの筋肉を鍛えるための運動装置です。2008年末までは円盤型のゴムバネを使用した初期型のIRED(Interim RED)を「ユニティ」(第1結合部：ノード1)の天井に設置して使用していましたが、STS-126(ULF2)ミッションで改良型のARED(Advanced RED)が運ばれ、IREDと交換されました。

ARED「エイレッド」は、ベンチプレス、スクワット、腹筋、重量挙げなど29種類のエクササイズに使えます。AREDは、IREDで使用していたゴムバネに替えて、真空シリンダを使用しているため、IREDと比較すると4倍の負荷をかける事ができるようになりました。AREDは、「トランクウィリティー」(ノード3)内に設置されています。ARED使用時はキューポラの窓が見えるため、地球を見ることもできます。



図3.3-5 AREDで運動する古川／油井宇宙飛行士(NASA/JAXA)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss029e039869.php> (古川)

(4) その他の健康維持装置・運用

ISS内では、空気成分や有害ガス、水質、放射線の測定が行われており、軌道上の状況を定期的に地上でモニタすると共に、帰還する宇宙機でサンプルを回収して、地上で詳しい分析も行われています。

薬や簡単な医療機器も用意されており、自動体外式除細動器（Automated External Defibrillator: AED）も設置されています。



図3.3-6 微生物のサンプリングキャニスターを使用する若田宇宙飛行士(JAXA/NASA)

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=6810c24b9efbc4736a0fee55c5083984>



図3.3-7 デスティニー内のクーラー健康管理システムラック(ChECs2ラック) (NASA)

3.4 ISSでの保全・修理作業

ISSでは、装置が故障した場合、簡単に地上へ回収して修理する事が出来ません。このため、定期的に保守点検を行い、消耗部品の交換やクリーニング、動作点検等を行う事で故障を防止します。

しかし、このような運用を行っていても機器の故障は起きるため、軌道上で可能な限り修理を行います。このため、ISS滞在クルーは一般的な保全・修理作業の訓練を受けています。

ここでは、軌道上での写真から、どのような修理作業を行うのかイメージを紹介します。なお、設置作業の様子も含めています。



図3.4-1 TVISの修理（床下の機器を取り出した状態:2007年2月）(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-14/html/iss014e15350.html>

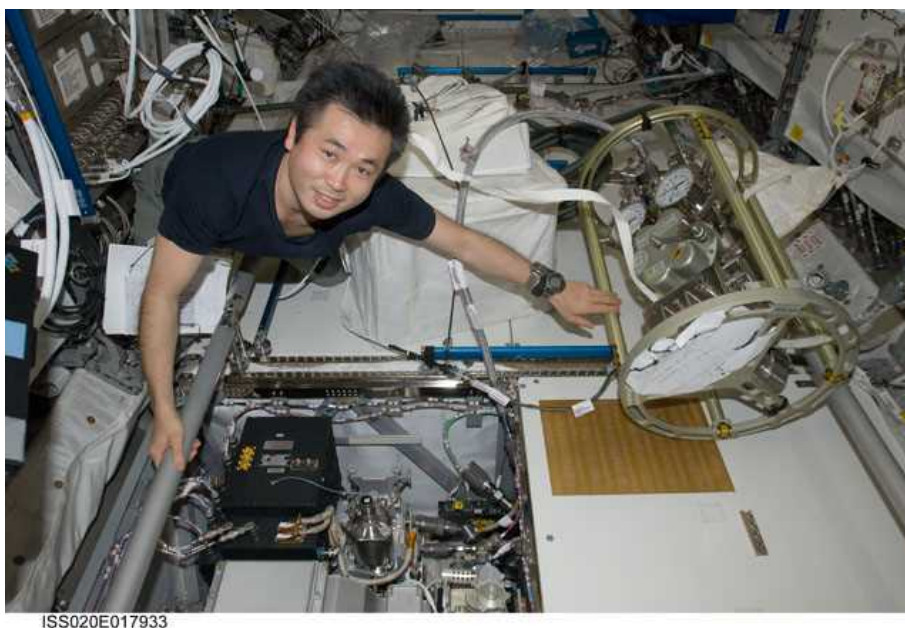


図3.4-2 コロンバス内での熱制御系冷却水の補充作業(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e017933.html>



図3.4-3 故障した装置(揮発性有機物分析器(VOA))の修理 (NASA)



図3.4-4 ハーモニーの電力・通信配線のトラブルシューティング (故障箇所の究明) (NASA)



図3.4-5 「きぼう」内でのラックの搬入・設置作業 (NASA/JAXA)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/s124e006279.php>



図3.4-6 船外活動(EVA)による修理作業 (NASA)

4. ISSでの水・空気のリサイクル

4.1 水の再生処理

(1) ISSでの水再生処理の概要

ISSの滞在クルーが3人から6人に増員されるのに備えて、STS-126 (ULF2)ミッションで米国の水再生処理装置であるWRS(Water Recovery System)ラック2台が運ばれ、当初はデスティニー(米国実験棟)に設置されていましたが、その後、トランクウィリティー(ノード3)に移設されました。この水再生処理装置は、尿処理装置UPA(Urine Processor Assembly)と水処理装置WPA(Water Process Assembly)から構成されています。

この米国の水処理装置は、これまでISSで運用されていたロシアの水再生装置では行われていなかった尿の再生処理が可能なのが特徴です。尿は尿処理装置(UPA)へ送られて、ガスや固形物(髪の毛やほこりなど)を除去した後、減圧して蒸留することで水分を回収し、これをエアコンからの凝縮水と一緒に水処理装置(WPA)に送り、残っていた有機物や微生物などが除去されます。

ISSでは、クルー1人あたり1日に約3.5リットルの水を消費します。このうち2リットルは、プログレス補給船やATV、HTV等で補給し、残りの1.5リットル分をロシアの凝縮水再生処理でまかなっていましたが、WRSが補給分の35%(0.7リットル)を供給できるため、地上からの補給は65%(1.3リットル)で済むようになりました。すなわち、6人がISSに常駐した状態で水の補給量は、年間約2,850リットルですむ事になります。

現在の米国の水再生システムの再生率は90%とのことです。

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/yesterdays_coffee

WRSで処理した水の水質測定は、WRSラックの前面に設置された有機炭素量分析器(TOCA-2)で分析します。また大腸菌などの微生物の検出も軌道上で行います。

WRSで再生された水は、ギャレーの飲料水供給装置(PWD)へ送られ、温水と常温の水として使用できます(飲用、歯磨き、宇宙食の調理などに利用)。

また、米国の酸素生成装置(OGS)へ送られて酸素の生成に使われたり、宇宙服や実験に使われる水として使われたり、WHCでトイレの洗浄水としても使用されます。



図4.1-1 WRS1, 2ラックの機器構成と水処理の主な流れ (NASA)

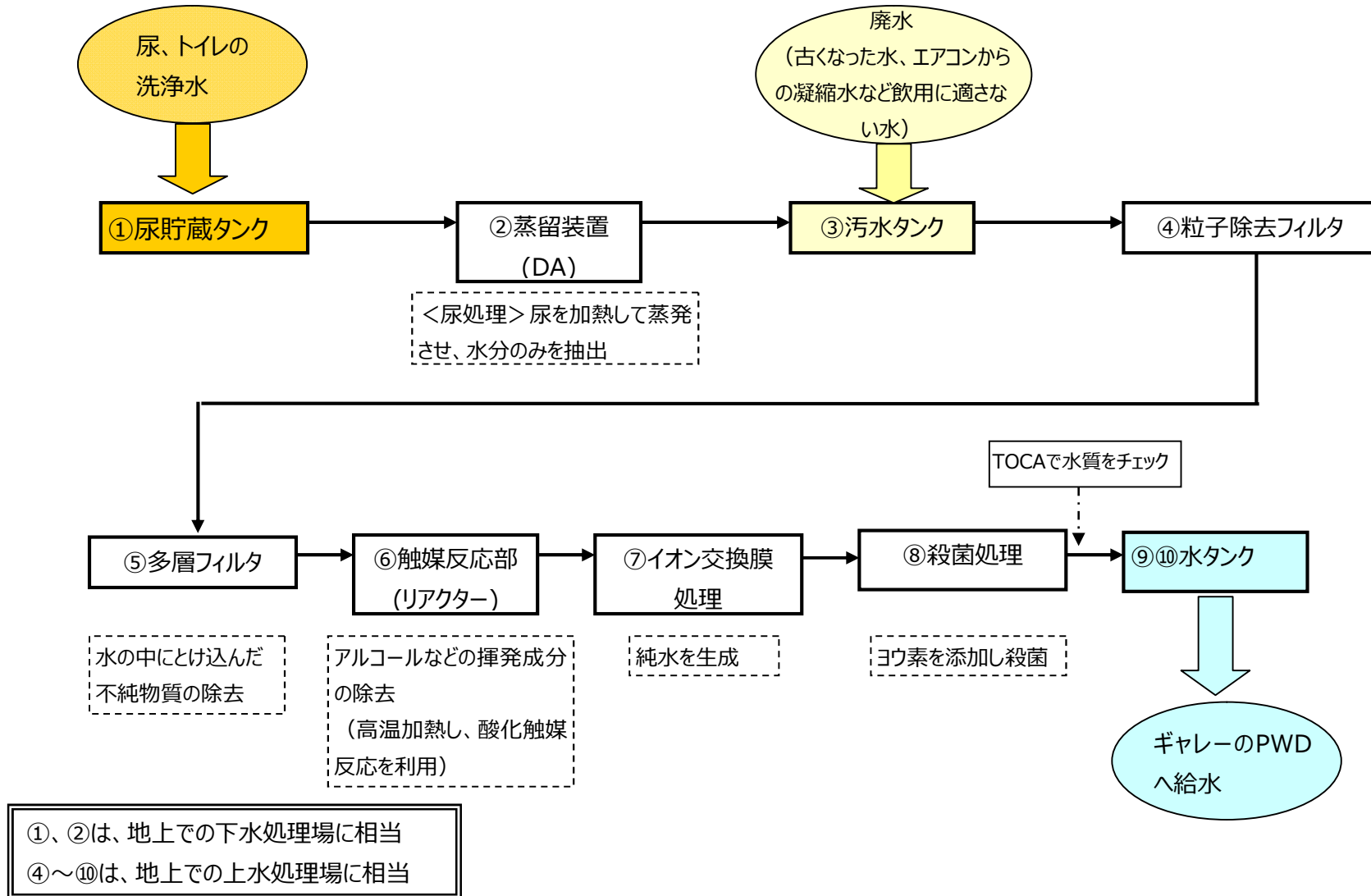


図4.1-2 ISSでの水再生処理の流れ (JAXA作成)

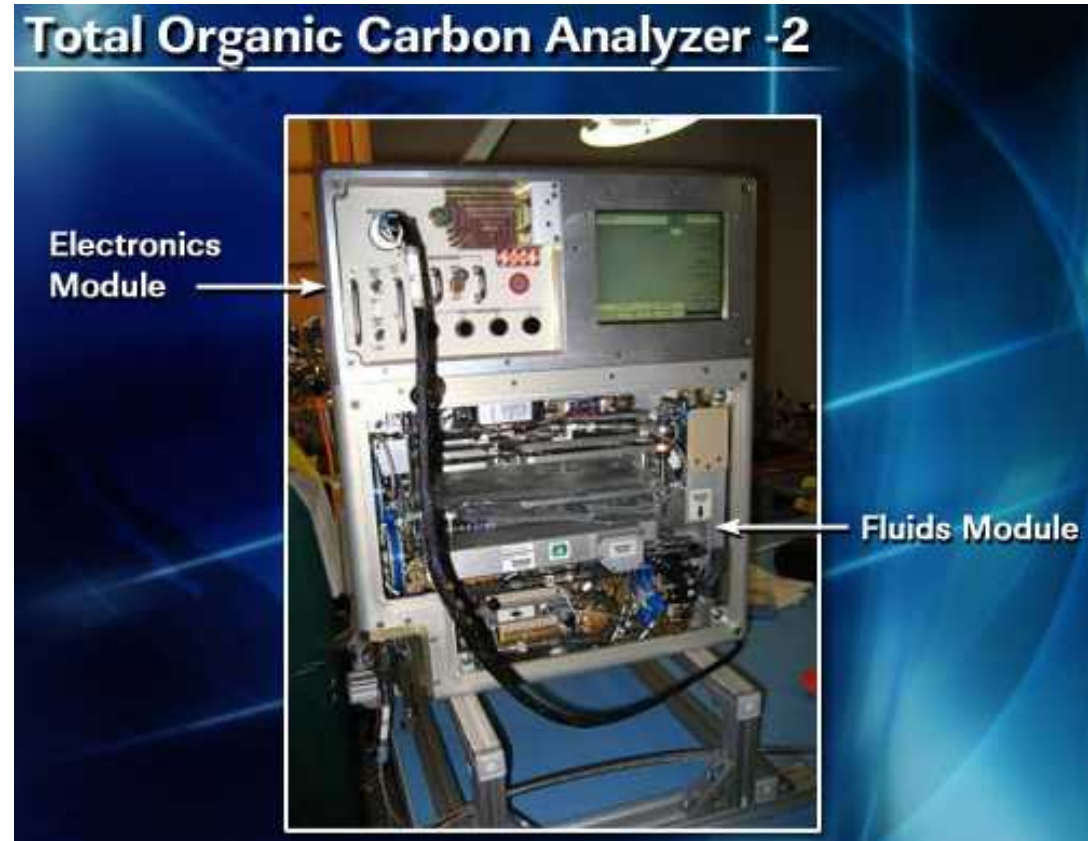


図4.1-3 水質測定・分析用のTOCA-2 (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-126/html/s126e010342.html>

http://www.nasa.gov/images/content/286875main_engelbert_4_toca.jpg

コラム付録1-5

JAXAが開発中の水再生システムの紹介

JAXAでは将来の有人探査に向けて新たな水再生システムの開発を進めています。小型・低消費電力・高再生率で飲料水基準を満たすメンテナンスフリーなシステムの開発を目指しており、2016年度以降に実証システムをISSに運んで試験を行う予定です。詳しくは機関誌JAXA's No. 060 (2015年3月発行)をご覧ください。

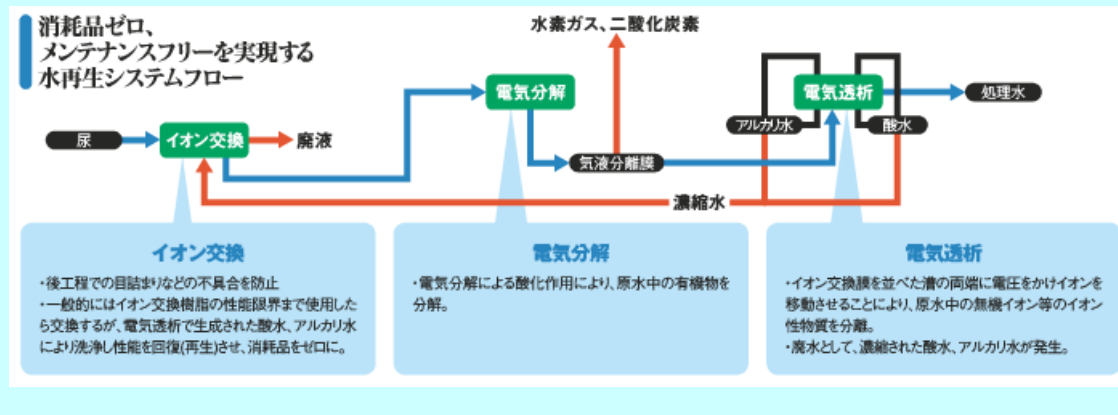
http://fanfun.jaxa.jp/c/media/file/media_jaxas_jaxas060.pdf

現ISS水再生システムと JAXA水再生システムとの比較

現ISS水再生システム (2ラック)
 水再生システム (No.1) (No.2)
 現ISS水再生システムの1/4以下
 JAXA水再生システムの目標サイズ

190×98×101cm×2ラック (3.76m³)

- サイズ: JAXA水再生システム(1/2ラック以下) 95×98×101cm(0.94m³)
- 質量: 1/4
- 消費電力: 約1/2
- 再生率: 現ISS装置より高い再生率90%目標
- 地上から運搬する水の量: 年間650kg以上削減



(2) 尿処理の概要

尿処理装置UPA(Urine Processor Assembly)は、主にWRSラック2に搭載されており、尿を水に再生します。

尿処理の原理は、地上での自然な水の循環と似ています。太陽エネルギーによって水が蒸発する代わりにヒータで尿を含んだ水を加熱して水蒸気を生成します。雲の中で冷やされて雨が生じるのと同様に、水蒸気を冷却して水に戻す事により、不純物の97%を除去します。

この処理の心臓部は蒸留装置DA(Distillation Assembly)です。内部は0.7psiaに減圧することで沸点を下げています。水蒸気は220rpmで回転するドラムの中央部から集められて蒸留水として取り出されます。



図4.1-4 STS-119で運ばれた交換用のDistillation Assembly (DA) (NASA KSC)
<http://mediaarchive.ksc.nasa.gov/detail.cfm?mediaid=39583>

(3)ロシアモジュールでの水処理の概要

ロシアモジュールでは、エアコンから生じる凝縮水を飲料水に処理する凝縮水処理装置SRV-K2M「エスエルベーカー」がズヴェズダ内に装備されています。処理方法は、活性炭とイオン交換樹脂膜を通す方法が使われています。

WRSが到着するまでの尿処理方法は、尿タンク(空になった水容器を転用)に尿を詰め、プログレス補給船を廃棄する際に一緒に焼却処分が行われていました。



図4.1-5 ロシアの水容器(EDVタンク) (NASA)
(ビニールのような容器を金属容器で囲ったもの)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-10/html/iss010e12721.html>



図4.1-6 米国の水容器(CWC) (NASA)
(表面が布地のソフトタイプの容器)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/9371374543/>

4.2 空気の供給

(1) 酸素の供給

ISSには米露の2台の酸素生成装置が設置されています。ロシアの装置は、ズヴェズダ内に設置されている「エレクトロン」で、米国の装置は、トランクウィリティー内に設置されている酸素生成装置OGS(Oxygen Generation System)です。どちらも水を電気分解する事で酸素と水素を発生させて、酸素を供給します。副生成物となる水素は船外排気されます。(注：2010年末からはOGSで発生した水素を二酸化炭素と反応させて水に再生するサバチエ装置を使うようになりました。)

ISSを訪問する宇宙機にも酸素と空気を搭載して補給を行っています。ロシアのプログレス補給船と、欧州宇宙機関の欧州補給機(ATV-1~ATV-5(退役))、米国の商業補給船によって酸素や空気が供給されます。

シャトルのドッキング時には、ISSの「クレスト」エアロックの外部に設置されている高圧酸素タンクと窒素タンクにガスを補給する事が出来ました。これらのガスも在庫は十分残っているため、酸素生成装置で酸素が十分生成できないトラブル発生時には、これらの酸素を使用する事が出来ます。なお、2015年1月より米国の商業補給船を使って、NORS(Nitrogen/Oxygen Recharge System)という小型の高圧タンクに酸素か、窒素を充填して運搬するようになりました。

また、ロシアは固体燃料を使う使い捨ての酸素発生装置(SFOG)を有しており、非常時にはこれを使用する事が出来ます。

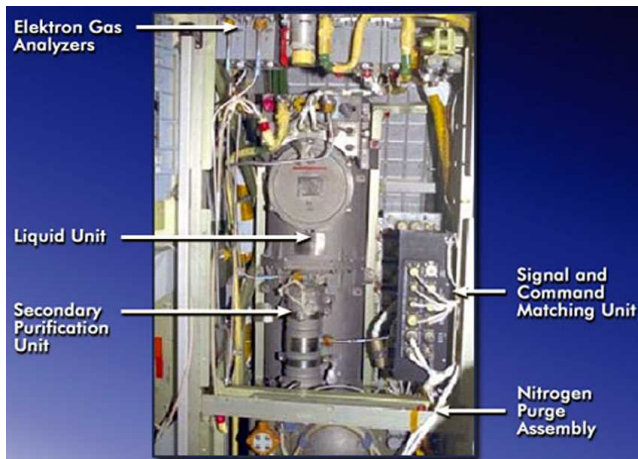


図4.2-1 ロシアの酸素生成装置エレクトロン (NASA)

http://www.nasa.gov/images/content/158054main_elektron%202.JPG



図4.2-2 米国の酸素生成装置(OGS)(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-17/html/iss017e021288.html>



ISS020E031128

図4.2-3 スズヴェズダ内に設置されているSF6O2容器2本 (矢印) (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e031128.html>

(2) 二酸化炭素の除去

ISS内には米露の二酸化炭素除去装置が装備されています。ロシア側の装置は、Vozdukh「ヴォズドーク」と呼ばれており、米国側の装置はCDRA(Carbon Dioxide Removal Assembly)「シードラ」と呼ばれています。どちらも化学反応で二酸化炭素を吸着し、吸着した二酸化炭素は宇宙空間に排出する方法で連続的な処理を行えます。

(注：2010年末からはCDRAで吸着した二酸化炭素をOGSから発生する水素と反応させて水に再生するサバチエ装置が使えるようになったため、CO₂の一部は再利用可能です。)



図4.2-4 米国の二酸化炭素除去装置(CDRA) (修理時の写真) (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-16/html/iss016e020614.html>



図4.2-5 ロシアのVozdukh (NASA)

(表面に見えているのはバルブパネルのみで、本体はパネルの背後に収納)

<http://www.spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-2/html/iss002e6111.html>

二酸化炭素除去装置（CDRA）のメンテナンス

（大西宇宙飛行士のGoogle+（2016/4/1）より）

このCDRA、かなり頻繁に故障に見舞われていて都度宇宙飛行士がそれを修理しています。しかもその修理作業の難易度がかかなり高いことで有名です。「モンスター」と呼ぶ飛行士もいます。通常はスペシャリスト資格保有者がこのメンテナンスを行うので、私はこれまで訓練を受けていませんでしたが、今回初めてその訓練を受けることが出来ました。CDRAの故障の一番の原因はバルブの故障ですが、その交換作業を実施しました。まず複雑なのは、CDRA自体をラックから引き出すことです。後ろの配管を外したり、諸々の準備作業が必要で、2人の飛行士が作業しても2時間以上が必要だそうです。いざ、引き出してみたCDRAはまさにモンスター。

大きさとしてはラック全体の4分の1くらいなのですが、よくもまあこれだけの機器をそのスペースに詰め込んだかと、感嘆してしまいました。ピッチリと隙間なくラックに収まるよう、複雑に入り組んだ配管。バルブを交換するために故障したバルブを取り外そうにも、ネジにアクセスすることすら容易ではありません。ネジごとにアクセス方法と使用する工具を切り替えて、何とか取り外しに成功。ところが、そこに新しいバルブを取り付けるのがまた大変です。ネジや配管を並行して接続していかなければなりません。1つずつ接続していくのは不可能に近いです。噂には聞いていましたが、CDRAのメンテナンス作業はかなり手強そうです。

(3) 有害ガス成分の検知・除去

ISS内には、米露の有害ガス検知装置と有害ガス除去装置が設置されています。ロシアの有害ガス除去装置はBMPと呼ばれており、米国側の装置はTCCS(Trace Contaminant Control System)と呼ばれています。



図4.2-6 米国の有害ガス除去装置(TCCS) (修理時の写真)(NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-12/html/iss012e06038.html>

【参考】Reference Guide to the ISSの紹介

ISSのことをもっと知りたいという方には、英語版になりますがNASAが作成したReference Guide to the ISS (2015年9月版：116ページ)をお勧めします。

<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022-jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf>

2010年11月版もあり、少し古いですが、2015年版ではISSシステムの解説が減らされたのでこちらも参考になります。140ページもの大作です。

https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf

付録 2 「きぼう」日本実験棟概要

1. 「きぼう」日本実験棟の構成

「きぼう」日本実験棟は主に「船内実験室」、「船外実験プラットフォーム」という 2 つの実験スペースと、「船内保管室」、船外の実験や作業に使用する「「きぼう」ロボットアーム」の 4 つから成り立っています。

「きぼう」日本実験棟の運用に必要な空気、電力、排熱、通信のリソースは国際宇宙ステーション (International Space Station: ISS) 本体から供給され、「きぼう」内へ分配されます。

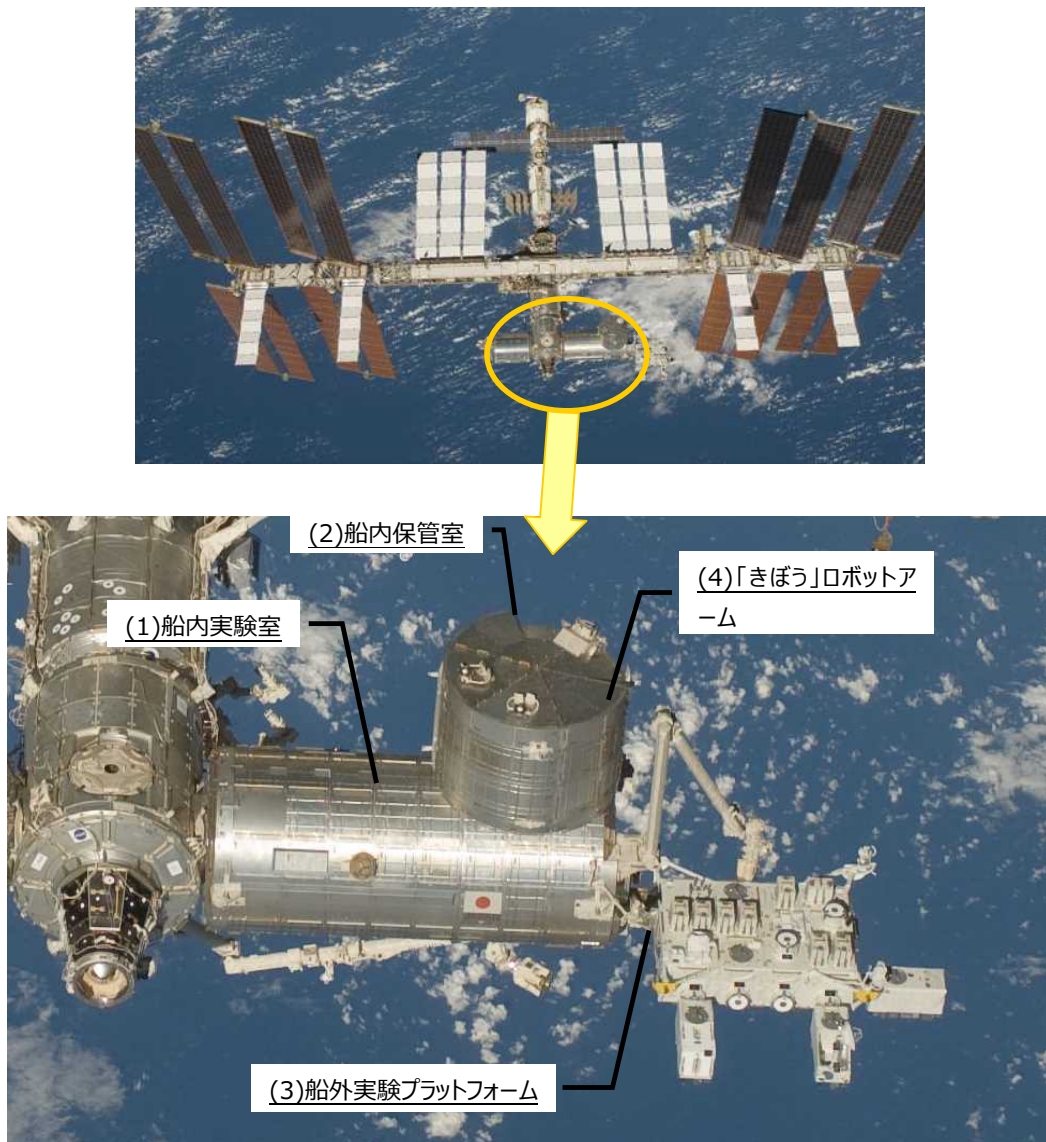


図 1-1 「きぼう」日本実験棟の構成 (STS-127 ミッション終了後)

(1) 船内実験室

船内実験室は、「きぼう」日本実験棟の中心となる実験スペースで、我々が住む地上と同じ 1 気圧、常温の空気で満たされており、宇宙飛行士が宇宙環境（主に微小重力環境）を利用した様々な実験を行います。内部には、「きぼう」日本実験棟のシステムを管理・制御する装置や実験装置など、様々な装置を備えた 23 個のラックが設置されており、そのうち 10 個が実験ラックです。サイズは長さ 11.2m、輪切りにしたときの直径が 4.4m です。

また、船内実験室と船外実験プラットフォームとの間で、実験装置や実験試料、超小型衛星などを出し入れするときに使用する「きぼう」エアロックが設置されています。

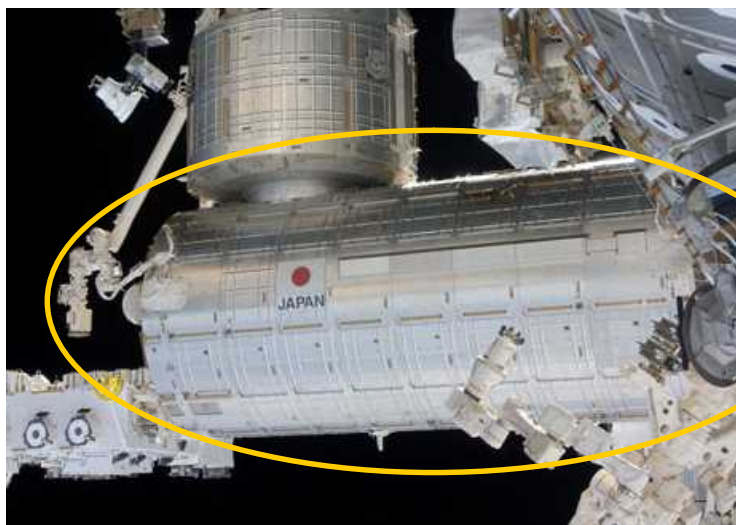


図 1-2 船内実験室（外観）

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e025622.html>



図 1-3 船内実験室（船内）

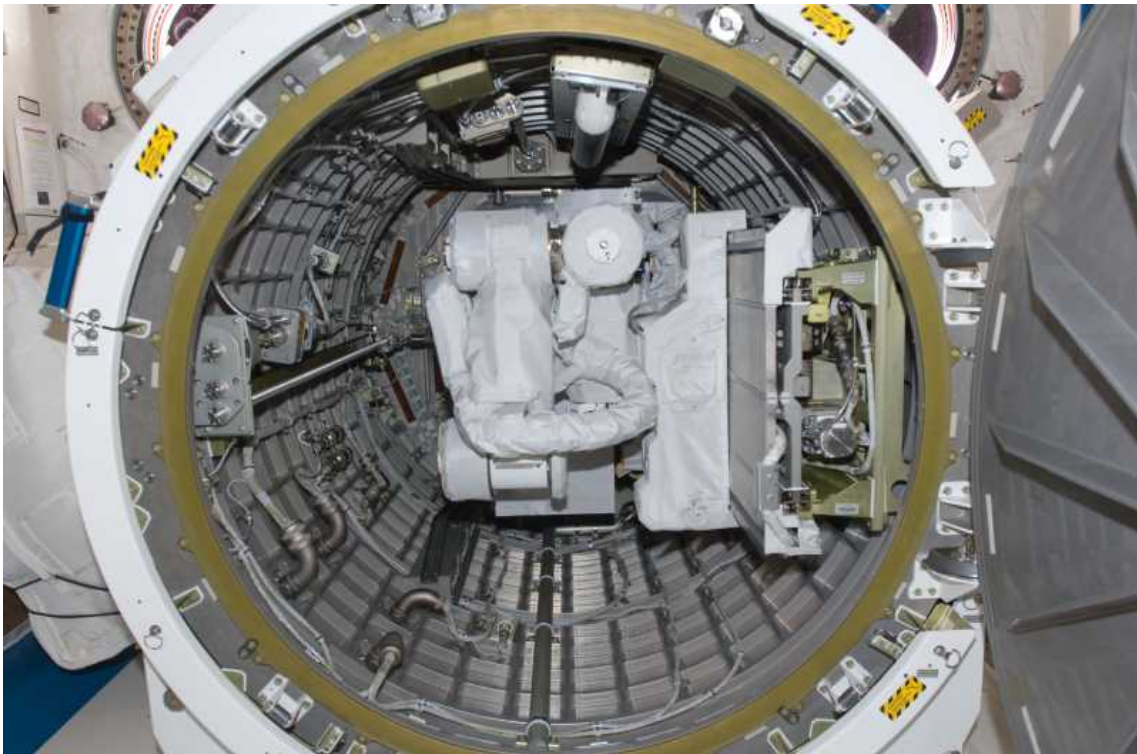


図 1-4 「きぼう」エアロック内部を開けた状態 (2010 年 3 月)

【参考】

2015 年秋に、欧州宇宙機関(ESA)が「きぼう」船内 (およびその他の ISS 船内) を 360 度自由に眺められるツールを以下で公開しています。

http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/Highlights/International_Space_Station_panoramic_tour

2017 年 7 月には ISS 内が **Google ストリートビュー**でも見られるようになりました (2017 年 4 月撮影データ)ので、ご利用ください。

<https://www.google.com/maps/@29.5604436,-95.0855409,2a,90y,210.66h,87.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgaU6Xij5mvgAAAQvxgbyMA!2e0!7i10000!8i5000>

(2) 船内保管室

船内保管室は、実験装置や試料、消耗品などを保管する倉庫の役割を持つスペースです。船内実験室と同じ1気圧、常温の空気で満たされており、宇宙飛行士が船内実験室と行き来できます。ISSの実験モジュールのうち、専用の保管室を持っているのは「きぼう」日本実験棟だけです(注：スペースシャトルでの物資補給に使われていた MPLM「レオナルド」が PMM(Permanent Multipurpose Module)に改造されて、2011年2月にISSに設置されましたが、これは軌道上の保管場所が不足していることを受けて急きょ計画が見直されたもので、それ以前は船内保管室が唯一の専用保管モジュールでした)。



図 1-5 船内保管室 (外観)



図 1-6 船内保管室 (船内)

(3) 船外実験プラットフォーム

船外実験プラットフォームは、ISS の外にあり、常に宇宙空間にさらされた環境で実験を行うスペースです。船外実験プラットフォーム上の船外実験装置などの交換は、船内実験室から宇宙飛行士が（あるいは地上からの操作で）「きぼう」ロボットアーム（JEM Remote Manipulator System : JEMRMS）を操作して行います。

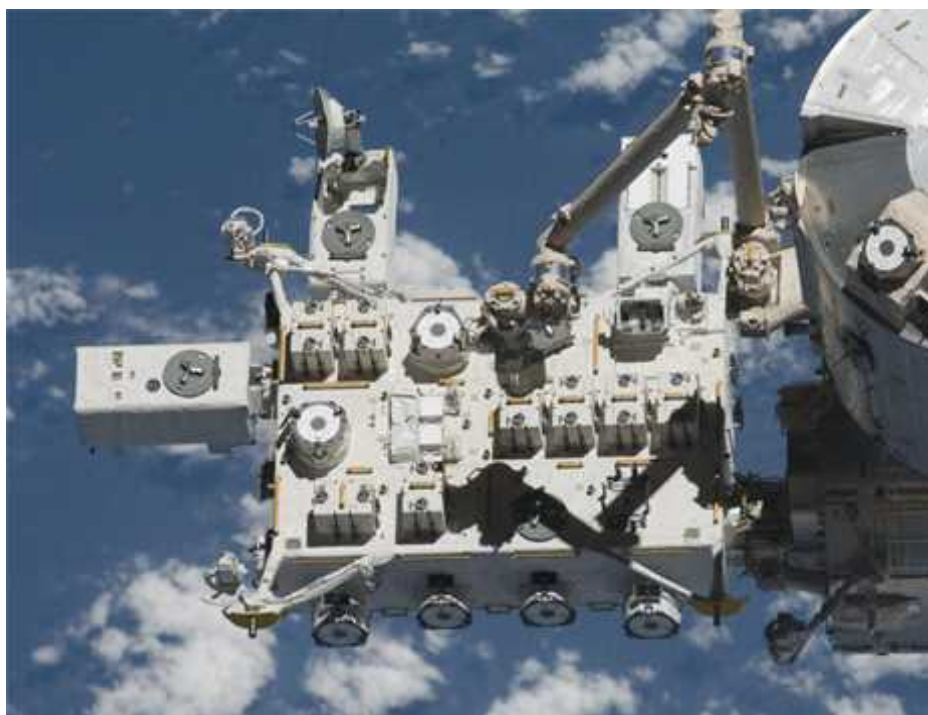


図 1-7 船外実験プラットフォーム



図 1-8 船外実験プラットフォーム外観（「きぼう」船内実験室の窓から撮影）

(4) 「きぼう」ロボットアーム(JEMRMS)

「きぼう」ロボットアーム(JEMRMS)は、船外実験プラットフォームでの実験で、実験装置の交換など人間の代わりに作業を行う「腕」となる部分で、「親アーム」とその先端に取り付けられる「子アーム」(HTV 技術実証機で運搬)で構成されています。それぞれ 6 個の関節を持ち、宇宙飛行士が船内実験室のロボットアーム操作卓を使って(あるいは地上の管制官が)操作を行います。本体の「親アーム」は船外実験装置の交換など、先端の「子アーム」は細かい作業を行うときに使用します。親アームに取り付けられたテレビカメラにより、船内実験室内から船外での作業の様子を確認することができます。

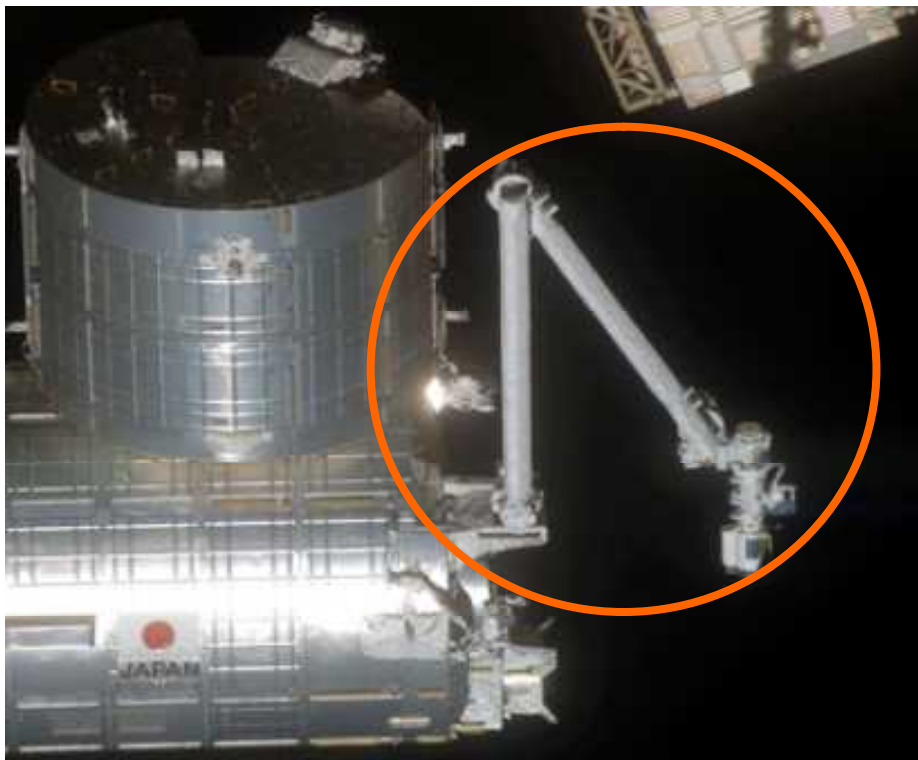


図 1-9 「きぼう」ロボットアーム



図 1-10 「きぼう」ロボットアーム制御ラック
<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss018e044184.php>

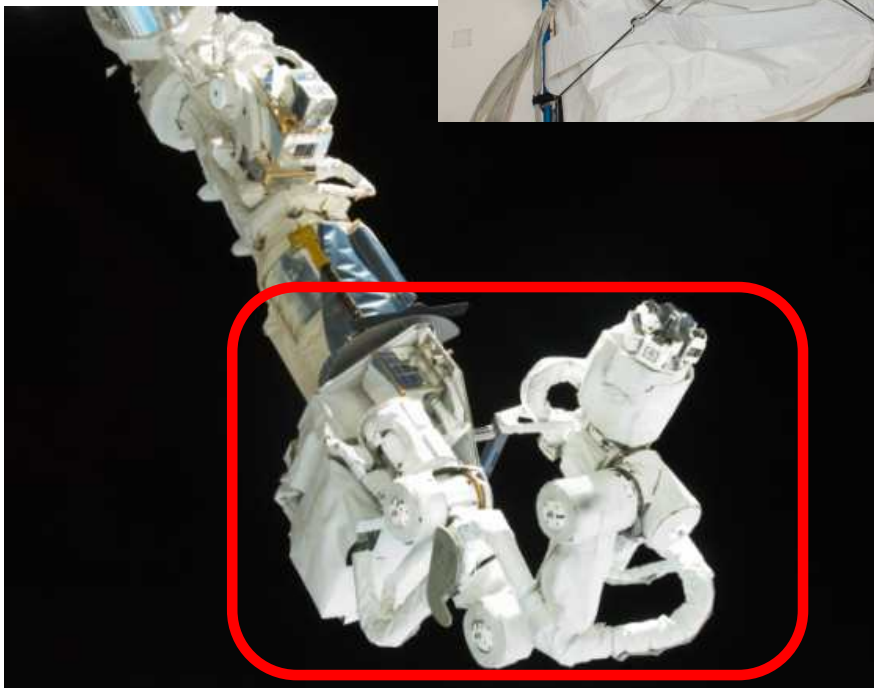


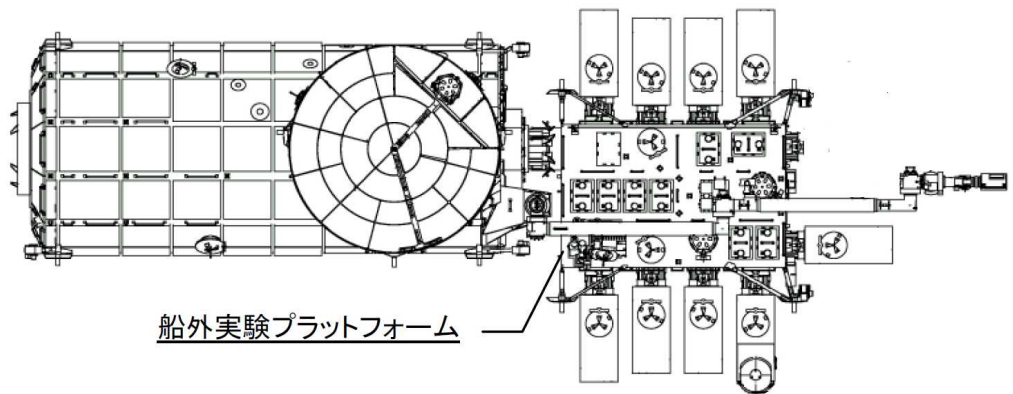
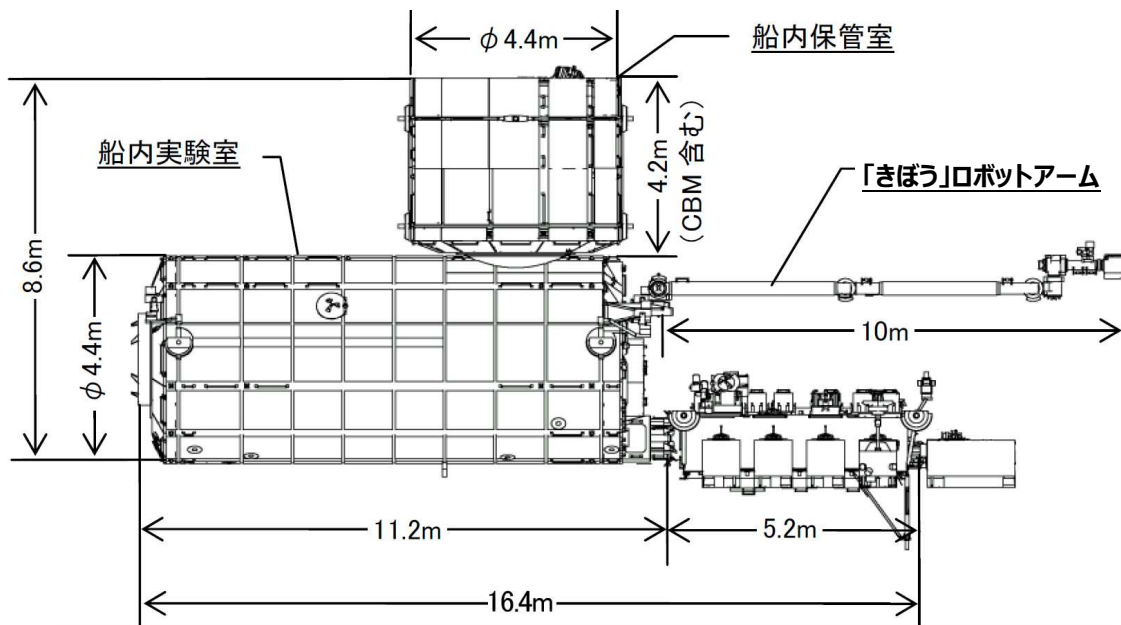
図 1-11 「きぼう」ロボットアームの先端で把持された子アーム(2010年3月)
<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss022e019988.php> (中央の写真)
<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss022e090362.php>

2. 「きぼう」日本実験棟の主要諸元

「きぼう」日本実験棟を構成する各要素の主要諸元を以下の表に示します。各要素のさらに詳細な諸元については、「きぼう」ハンドブック第4章(こちらに掲載 <http://iss.jaxa.jp/kibo/library/fact/>)を参照ください。

表 2-1 「きぼう」日本実験棟を構成する各要素の主要諸元

要素	寸法 (m)	質量 (t)	搭載ラック数 または実験装置数
船内実験室	外径 : 4.4 内径 : 4.2 長さ : 11.2	14.8 (軌道上: 約 19t STS-124 終了時)	ラック総数 23 個 (システム機器用ラック: 11 個、 実験装置用ラック: 12 個 (実験ラック 10 個、冷蔵庫ラック 1 個、保管ラック 1 個))
船内保管室	外径 : 4.4 内径 : 4.2 長さ : 4.2	4.2 (構造重量)	船内実験ラック 8 個
「きぼう」 ロボットアーム	親アーム長さ : 10 子アーム長さ : 2.2	1.6 (「きぼう」ロボッ トアーム制御ラッ クを含む)	親アーム取扱い重量 最大 7 t
船外実験プラッ トフォーム	幅 : 5.0 高さ : 3.8 長さ : 5.2	4.1	実験装置取付け場所 12 箇所 (システム機器用 2 箇所、実験 装置仮置き用 1 箇所を含む)



CBM: Common Berthing Mechanism、共通結合機構

図 2-1 「きぼう」日本実験棟の寸法図

3. 「きぼう」日本実験棟の運用モード

「きぼう」日本実験棟には運用状態に応じて4つの運用モードがあります。運用モードはISSのクルー、または地上からのコマンドで切り替えることができます。

ISSの運用モードは7種類あります。全てのモードはISSのクルー、または地上からのコマンドで切り替えることができます。

ISSでは、ISS運用モードが優位です。「きぼう」日本実験棟の運用モードは、ISSの運用モードと整合をとって運用されます。

「きぼう」日本実験棟の運用モードがISSの運用モードに適合しない場合もありますが、その場合は、「きぼう」日本実験棟の運用モードは切替えを許可されません。また、ISSの運用モードが何らかの異常で変更されたとき、もし「きぼう」日本実験棟がそれに適さない運用モードであったような場合は、「きぼう」日本実験棟の運用モードは自動的にスタンバイモードへ切り替わるようになっています。

表3-1 「きぼう」日本実験棟の運用モード

運用モード	概要
標準	「きぼう」日本実験棟の運用の中心となるモード。搭乗員が宇宙実験を行うことができます。「きぼう」ロボットアームの運用を行うことはできません。
ロボティクス運用	「きぼう」ロボットアームを運用することができるモード。その他の構成は標準モードと同じです。
スタンバイ	「きぼう」日本実験棟のシステムに何らかの異常が発生した場合などに、船内実験室での全ての実験支援を禁止して最小限のシステムで運用するモード。
隔離	実験室内の与圧環境が保証されないモード。このモードでは、ISSと「きぼう」日本実験棟間のハッチが閉じられ、搭乗員は船内実験室、船内保管室内に入ることができません。

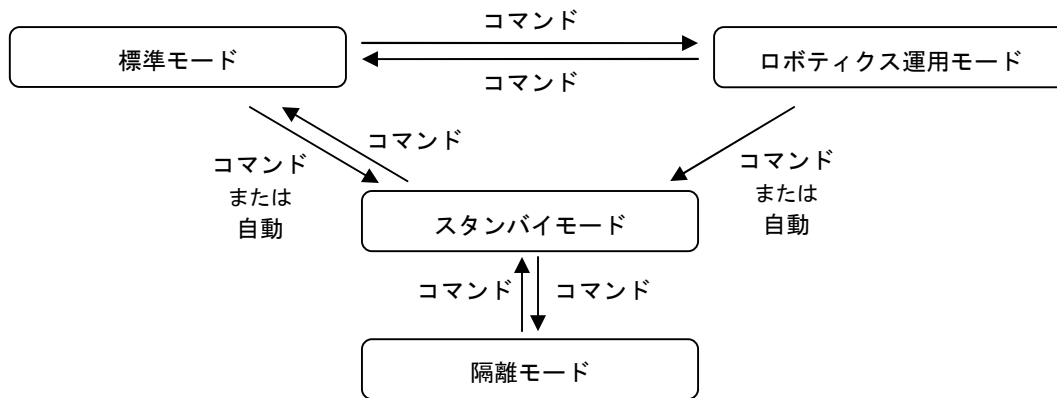


図3-1 「きぼう」日本実験棟の運用モードの遷移

表3-2 ISS運用モード

運用モード	概要
標準	ISS運用の中心となるモード
リブースト	ISSの軌道の変更（リブースト等）を行うモード
微小重力	微小重力環境を要求する実験装置運用時のモード
サバイバル	差し迫った危険（ISSの姿勢や電力に異常が確認される等）の恐れがある場合などに、ISSを長期間にわたり運用させるためのモード
接近	スペースシャトル、ソユーズ宇宙船、プログレス補給船等の宇宙機の接近／離脱時のモード
安全確実なクルーの帰還	搭乗員の生命が危ぶまれる場合などに、搭乗員を安全に地上へ帰還させるために、ソユーズ宇宙船の分離、出発を支援するモード
外部運用	船外作業やロボットアームの運用等の船外での組立や保全活動を支援するモード

4. 「きぼう」船内実験室のラック

「きぼう」船内実験室にはシステムラック、実験ラック、保管ラックと三種類のラックがあります。システムラック（4.1 項）は、「きぼう」の運用を維持するために必要な、電力、通信、空調、熱制御（実験の支援機能を含む）を確保するための機器類です。例えば、「きぼう」のメインコンピュータを搭載する監視制御ラック、与圧部の温度や湿度、気圧を調整し空気清浄を制御する空調／熱制御ラック、ISS から供給された電力を「きぼう」の各構成要素に分配する電力ラックなどがあげられます。

一方、実験ラック（4.2 項）は、公募された実験を行うための実験装置を搭載するラックです。ISS の標準設計となっており、国際標準ペイロードラック（International Standard Payload Rack: ISPR）と呼ばれます。船内実験室には生物実験と材料実験を中心として合計 10 個の実験ラックを搭載することができます。

また、船内実験室には、「きぼう」の外（曝露施設）の作業を支援するロボットアームが装備されています。ロボットアームの操作は、船内実験室内のロボットアーム（JEMRMS）操作卓から行われます。船内実験室と船外実験プラットフォームの間には、曝露実験装置や実験試料などを宇宙空間に出し入れするためのエアロックが装備されています。

2017 年 12 月現在、船内実験室に設置されている JAXA 関連のラックは以下のとおりです。

- 電力（EPS）ラック-1（A 系）（システムラック）
- 電力（EPS）ラック-2（B 系）（システムラック）
- 情報管制（DMS）ラック-1（A 系）（システムラック）
- 情報管制（DMS）ラック-2（B 系）（システムラック）
- 空調／熱制御（ECLSS/TCS）ラック-1（A 系）（システムラック）
- 空調／熱制御（ECLSS/TCS）ラック-2（B 系）（システムラック）
- 「きぼう」のロボットアーム（JEMRMS）制御ラック（システムラック）
- ワークステーション（WS）ラック（システムラック）
- 衛星間通信システム（ICS）ラック（システムラック）
- SAIBO ラック（実験ラック）
- RYUTAI ラック（実験ラック）
- KOBAIRO ラック（実験ラック）（「こうのとり」2 号機で運搬）
- 多目的実験ラック(MSPR)（実験ラック）（「こうのとり」2 号機で運搬）
- 多目的実験ラック 2(MSPR-2)（実験ラック）（「こうのとり」5 号機で運搬）
- 「きぼう」の保管ラック 2 台（保管ラック）

上記のほか、NASA の EXPRESS 実験ラック 2 台と冷凍冷蔵庫(MELFI)が 2 台、NASA の保管ラックが設置されています。

コラム付録 2-1

ラックの役割

ISS 内部は重力がほぼゼロで、宇宙飛行士は浮遊状態にあります。宇宙飛行士から見て、実験装置が引っ込んでいたり、出っ張ったりしては、操作しにくく、また宇宙飛行士が凹凸に引っかかり危険です。

そこで、実験ラックは、実験装置を宇宙飛行士にとって操作しやすい位置に配置・固定する役割を持っています。また、スペースシャトルや宇宙ステーション補給機「こうのとり」(H-II Transfer Vehicle: HTV) で実験ラックを ISS に輸送する際には大きな振動や加速度がかかりますが、実験装置を振動や加速度から守り、装置が実験ラックから飛び出さないようにする役割も果たしています。

実験ラックは、日常生活で例えると「ロッカー」や「書棚」にあたります。また、電気を実験装置へ分配したり、実験装置を冷やしたりする「分電盤」や「エアコン」の機能もあります。つまり、実験ラックはいくつかの「実験装置」と、それらに電気などを供給する「実験支援機器」からできています。

実験ラックは、交換や軌道上での移動が可能であり、ISS の実験棟に直接搭載して打ち上げる以外にも、多目的補給モジュール (Multi-Purpose Logistics Module: MPLM) や HTV に搭載して後から ISS に運ぶこともできます (注: スペースシャトルが退役したため、現在では「こうのとり」が唯一の運搬手段です)。

また、電力系や通信系、熱制御系などの部品が故障した場合でも、交換や修理が可能です。実験ラックを ISS で運用する期間は非常に長いため、実験装置の交換や部品の修理といった軌道上での保全が重要なのです。

実験ラックは、ロシアを除いた ISS 全体で共通のサイズとインターフェース仕様を決めて製造されています。



図 4-1 1J フライト時のラックを入れる前と搬入途中の「きぼう」日本実験棟内部



図 4-2 ラックを移動する様子

<https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-17/html/iss017e014094.html>

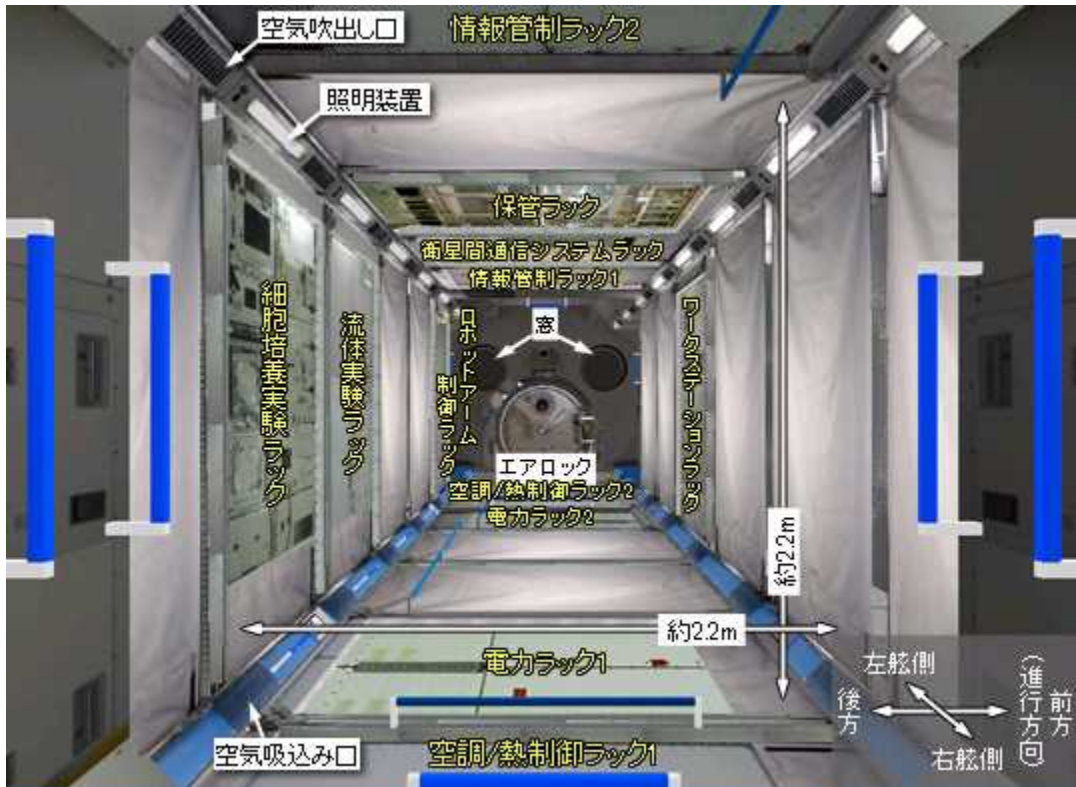


図 4-3 STS-124 ミッション終了後の船内実験室内部のイメージ
 (「きぼう」の入り口側から見たイメージ)

* 空きラックの部分には、ダミーパネル（布製のカバー）を設置



図 4-4 船内実験室の内部（2017年4月）（Google ストリートビュー）

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

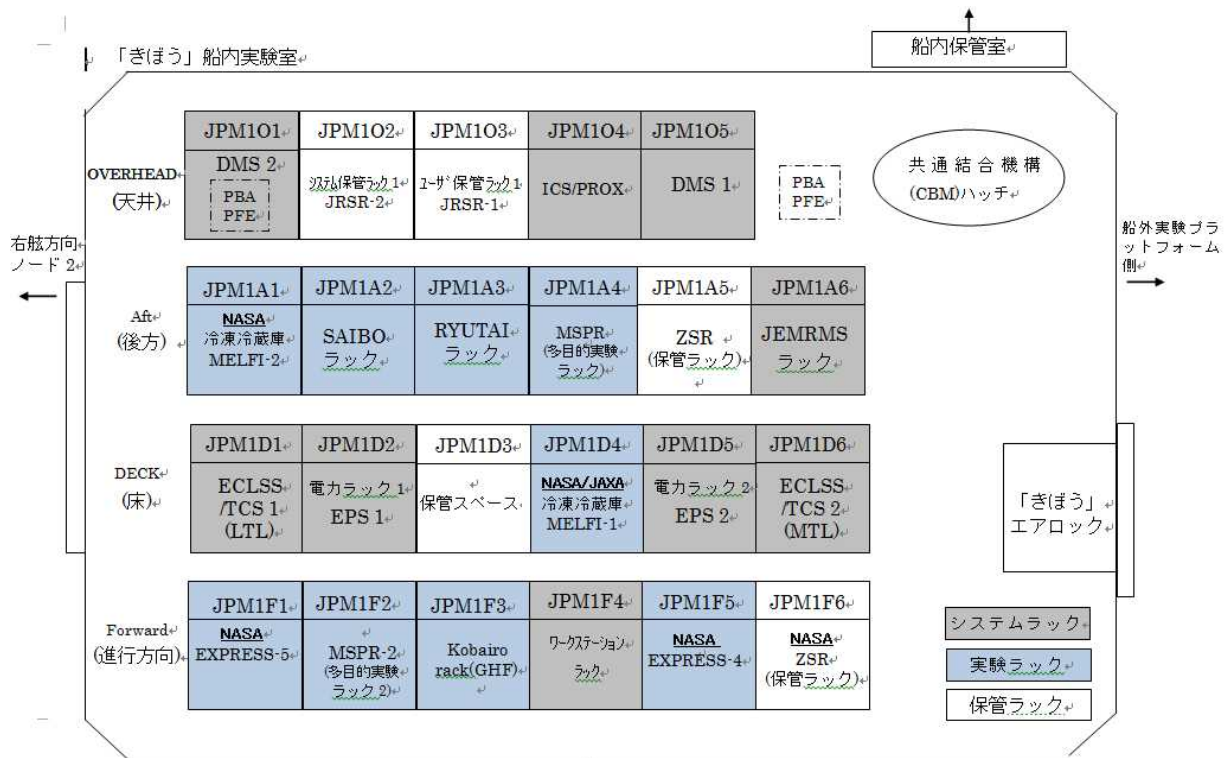


図 4-5 「きぼう」船内実験室内のラック配置図

4.1 システムラック

「きぼう」の運用を担う主要システムは、A 系と B 系の二重冗長構成になっており、ラックもそれぞれ A 系ラックと B 系ラックにわかれています。「きぼう」の通常モードの運用では、A 系と B 系のシステムがそれぞれ同時に稼動しています。

各システムラックの機能は以下の表に示すとおりです。

表 4.1-1 「きぼう」システムラックの機能

<p>◆ 電力ラック</p> <p>EPS (Electrical Power System) Rack</p> 	<p>ISS の太陽電池パドルで発電した電力は、ハーモニーを経由して「きぼう」へと供給されます。この供給された電力（直流 120V×2 系統）を「きぼう」の各システム機器や実験装置に分配するための分配盤や分電箱などが装備されています。</p> <p>このラックは床面に 2 台設置されています。</p>
<p>◆ 情報管制ラック</p> <p>DMS (Data Management System) Rack</p> 	<p>DMS ラックには、「きぼう」の管制制御装置 (JEM Control Processor : JCP) とペイロード用の中速データ伝送装置などが収められています。</p> <p>JCP は、「きぼう」のメインコンピュータであり、DMS1,2 に各 1 台装備されており、故障時には自動的に予備系に切り替わります。JCP は、プロセッサとハードディスクで構成されており、ディスプレイやキーボードはありません。これらはラップトップコンピュータ経由で操作、モニタされます。</p> <p>このラックは天井に 2 台設置されています。</p>
<p>◆ 空調/熱制御ラック</p> <p>ECLSS/TCS (Environment Control and Life Support System / Thermal Control System) Rack</p> 	<p>ISS 本体からの空気・冷却水の供給などを受けながら、「きぼう」内の温度、湿度、空気の循環、空気の浄化を行うと共に、各ラックへの冷却水の供給を行います。</p> <p>このラックは床面に 2 台設置されています。</p>

◆ ワークステーションラック

WS (Work Station) Rack



画像データ等を切り替える機器、音声通信端末、TV モニタ 2 台(1 台は未装着)、警告警報パネルなどを装備しています。

◆ 衛星間通信システムラック

ICS (Inter-Orbit
Communication System) Rack



ICS ラックは、データ中継技術衛星「こだま (DRTS)」を使用して「きぼう」と筑波宇宙センター間の通信を行うための通信機器を搭載しています。(注:「こだま」は、2017年8月5日に運用が終了しました。)

また、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV) (および、シグナス補給船) がランデブー時に使用する近傍通信システム(PROX)も搭載しています。

※「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS) 制御ラックは、4.2.5 項を参照ください。

4.2 JAXA の実験ラック

国際宇宙ステーション（ISS）で使用する実験装置は、「実験ラック」に搭載され宇宙へ運ばれます。

実験ラックは、「国際標準ペイロードラック（International Standard Payload Rack: ISPR）」と呼ばれる ISS 共通仕様のラックです*。ISPR は、ISS の各実験モジュールに設置され、ISS と実験装置をつなぐ実験支援機器（インタフェース）として、実際の実験運用に必要な電力、データ、ガス、排熱システムなどを提供します。

*）ロシアのモジュールを除きます。

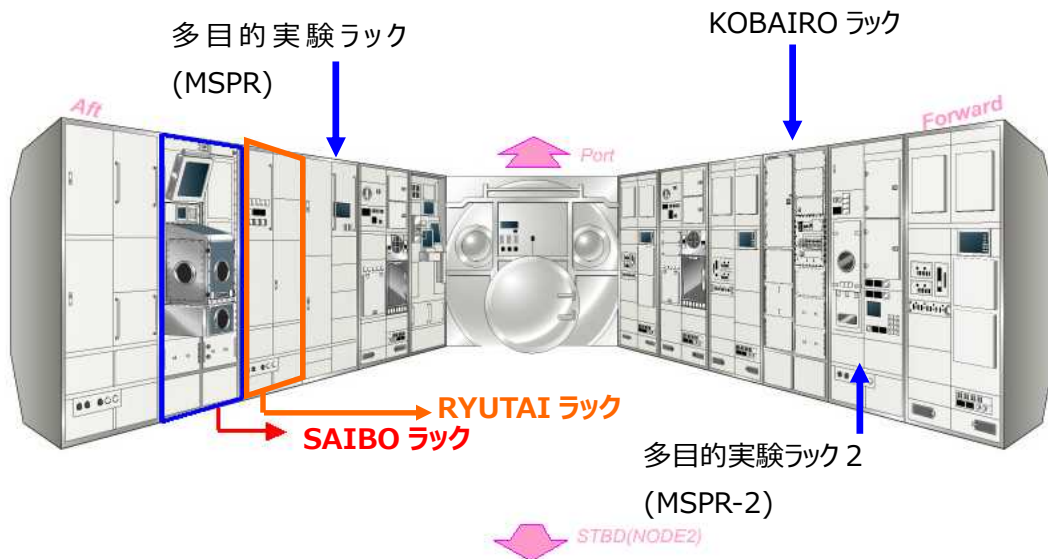


図 4.2-1 船内実験室のラックの配置

4.2.1 細胞 (SAIBO) ラック

細胞 (SAIBO) ラックは、動物の細胞や植物などを用いて生命科学に関わる実験を行う実験ラックです。

SAIBO ラックには、以下に示す実験装置が搭載されています。

軌道上の SAIBO ラック (右の写真)
向かって右側に CBEF、左側に CB(クリーンベンチ)を収容



■ 細胞培養装置 (CBEF)

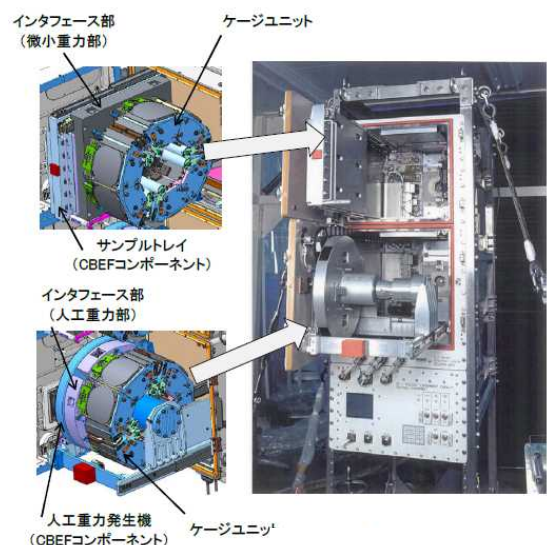
細胞培養装置 (Cell Biology Experiment Facility: CBEF) は、動物、植物、微生物の細胞組織などを用いて、宇宙環境での生命の基礎研究を行う装置です。装置内は、温度、湿度、二酸化炭素濃度の調整が可能で、また、回転テーブルにより人工的に重力環境を作り出すことで、微小重力/加重力環境の両条件下での対照実験を行うことができます。



細胞培養装置 (CBEF)

■ 小動物飼育装置 (MHU)

小動物飼育装置 (Mouse Habitat Unit : MHU) は、マウスを1ケージに1匹ずつ入れて個別に長期間(30日間:装置を交換すれば30日間以上も可能)、飼育・観察できます。ケージに装備したビデオカメラにより地上でライブ観察ができる他、水と餌を与えられるようになっており、糞尿の除去も可能です。細胞培養装置(CBEF)に各ケージを設置することで微小重力環境と人工重力による比較が可能です。



小動物飼育装置 (MHU) 細胞培養装置(CBEF)

■ クリーンベンチ（CB）

クリーンベンチ（Clean Bench: CB）は、生命科学・生物学実験を実施するための、無菌環境を提供する設備です。CBには、作業を行う作業チャンバー（Operation Chamber）の他、汚染を防止するための隔離された殺菌室（Disinfection Chamber）が作業チャンバーの前に装備されています。作業チャンバー内でも紫外線殺菌灯による殺菌や、微生物／微粒子の除去フィルタによる微粒子除去を行うことができます。

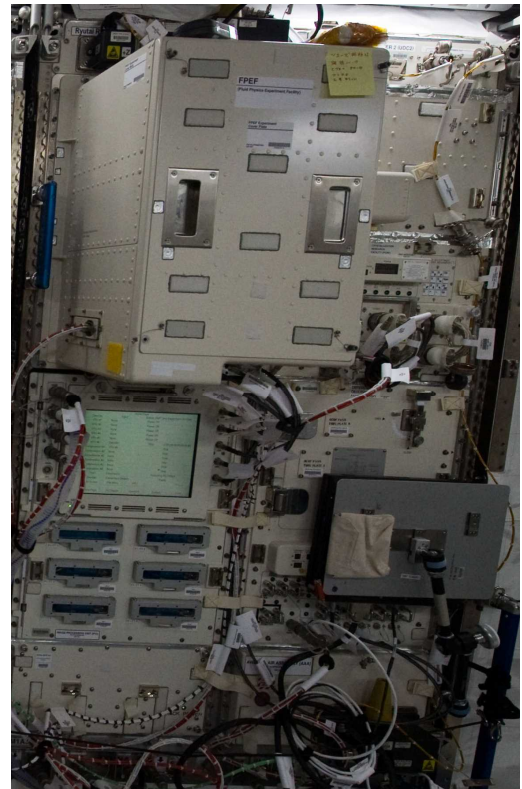


クリーンベンチ（CB）

4.2.2 流体（RYUTAI）ラック

流体（RYUTAI）ラックは、溶液、タンパク質などの結晶成長に関する基礎研究、流体実験および取得した実験画像を符号化・圧縮する装置を搭載した実験ラックです。

RYUTAI ラックには以下に示す実験装置が搭載されています。



軌道上の RYUTAI ラック（右の写真）

■ 流体物理実験装置（FPEF）

流体物理実験装置（Fluid Physics Experiment Facility: FPEF）は、微小重力環境において、常温に近い温度環境下で流体物理実験を行うための実験装置です。流体においては、温度差や濃度差が原因で表面張力に不均質性が生じ、流体内部に対流が生じます。この対流は、マランゴニ対流と呼ばれますが、微小重力環境では、マランゴニ対流がよく観察できるようになります。

FPEF は、このマランゴニ対流を研究することを目的として設計されました。[上の写真で見える左上の突出部が FPEU]

■ 溶液・タンパク質結晶成長実験装置（SPCF）

溶液・タンパク質結晶成長実験装置（Solution/Protein Crystal Growth Facility: SPCF）は、タンパク質結晶生成装置(PCRF)と溶液結晶化観察装置(SCOF)の 2 つの装置で構成されており、溶液やタンパク質の結晶成長に関する基礎研究を行うための装置です。

■ 画像取得処理装置（IPU）

画像取得処理装置（Image Processing Unit: IPU）は、「きぼう」に搭載される実験装置から送られてくる実験画像を圧縮し、伝送ラインを通して地上に送る装置です。これにより、ほぼリアルタイムで実験画像を地上で見ることができます。また、地上との電波回線が空いていない時などのために、軌道上で実験画像をハードディスクに録画しておく機能を有しています。[上の写真で左下の部分が IPU]

4.2.3 勾配炉 (KOBAIRO) ラック

勾配炉(KOBAIRO)ラックは、多目的実験ラック(MSPR)と共に、このとおり2号機(HTV2)でISSに運ばれました。材料実験を行う温度勾配炉(Gradient Heating Furnace : GHF)を内蔵したラックです。



軌道上の KOBAIRO ラック (右の写真)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss026e022417.php>

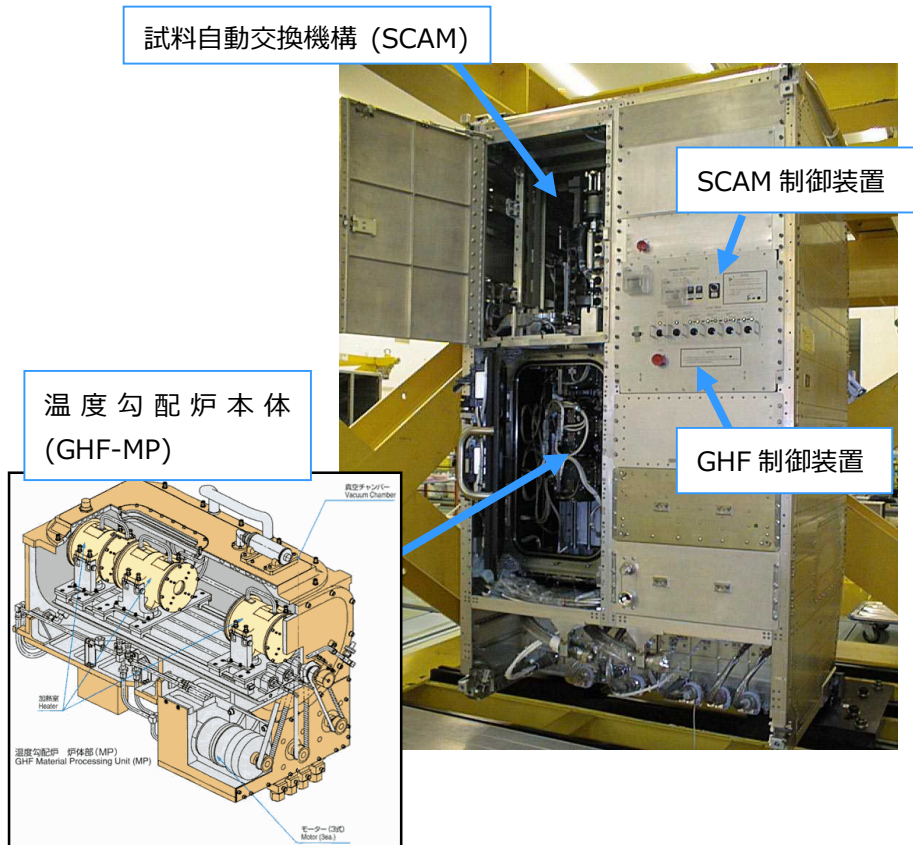


図 4.2.3-1 勾配炉ラックの構成

4.2.4 多目的実験ラック (MSPR)

多目的実験ラック(Multi-purpose Small Payload Rack: MSPR)は、ユーザーが独自の装置を開発・搭載し、実験を行なうことを想定して、電源、通信機能などを備えた作業空間を提供するラックであり、KOBAIRO ラックと共に「こうのとり」2号機でISSに運ばれました。

多目的実験ラックは、ワークボリューム(Work Volume: WV)、ワークベンチ(Work Bench: WB)、小規模実験エリア(Small Experiment Area: SEA)の3種類の実験空間を提供します。

燃焼実験を行うユーザーに対しては、ワークボリューム内に設置できる燃焼実験チャンバ(Chamber for Combustion Experiment: CCE)と、水棲生物実験装置(Aquatic Habitat: AQH)が用意されています。さらに静電浮遊炉(ELF)を設置する2台目の多目的実験ラック2(MSPR-2)が「こうのとり」5号機で運ばれました。

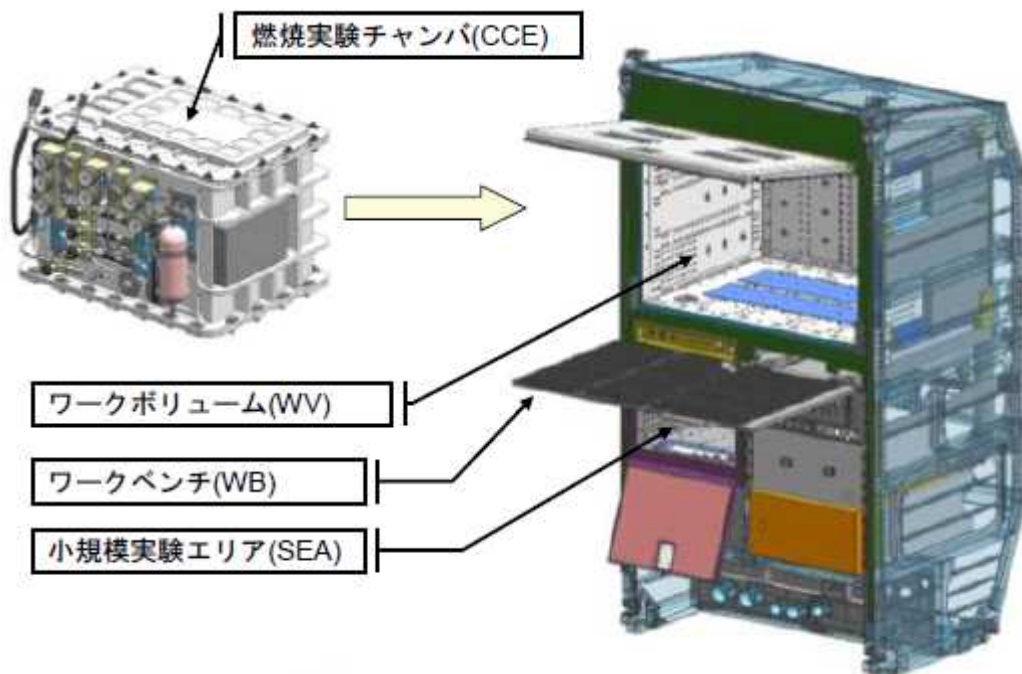


図 4.2.4-1 多目的実験ラック(MSPR) (イメージ図)



図 4.2.4-2 多目的実験ラックの写真(打上げ前)

4.2.5 「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS) 制御ラック

「きぼう」のロボットアームである親アーム、子アームは、共に 6 つの関節があるため、動きにかなりの自由度が得られ、人間の腕と同様の動作が可能です。船内実験室内では、クルーがロボットアームに取り付けられているカメラの映像をロボットアーム操作卓 (JEMRMS 制御ラック) のテレビモニターで確認しながら作業を進めていきます。

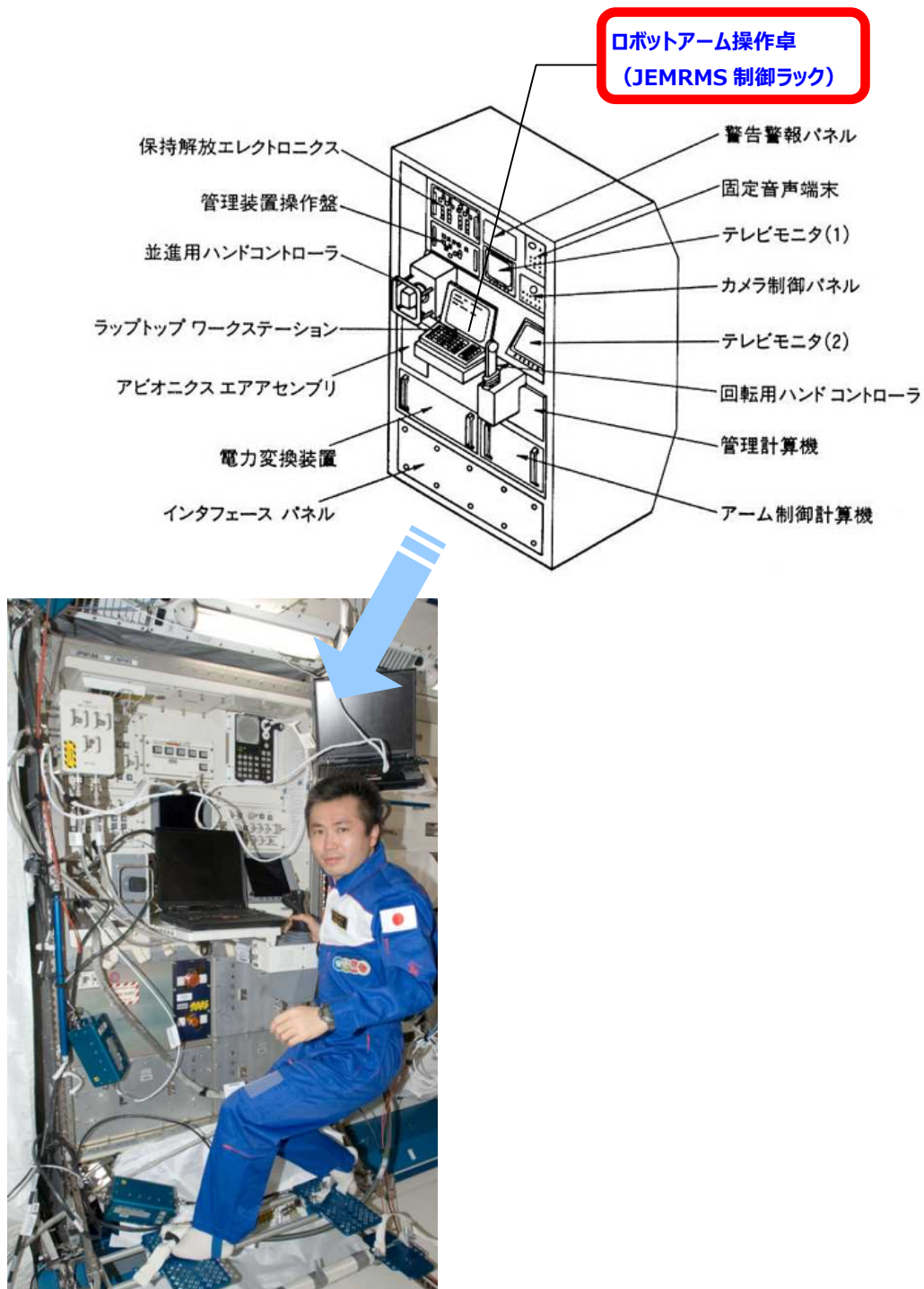


図 4.2.5-1 JEMRMS 制御ラックの構成

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss020e015807.php>

5. 運用管制

「きぼう」日本実験棟の「システム運用」と「実験運用」は、筑波宇宙センターから行います。筑波宇宙センターと「きぼう」との通信（音声、コマンド送信、テレメトリ受信、ビデオ受信）は、米国の追跡・データ中継衛星（TDRS）を経由して行います。

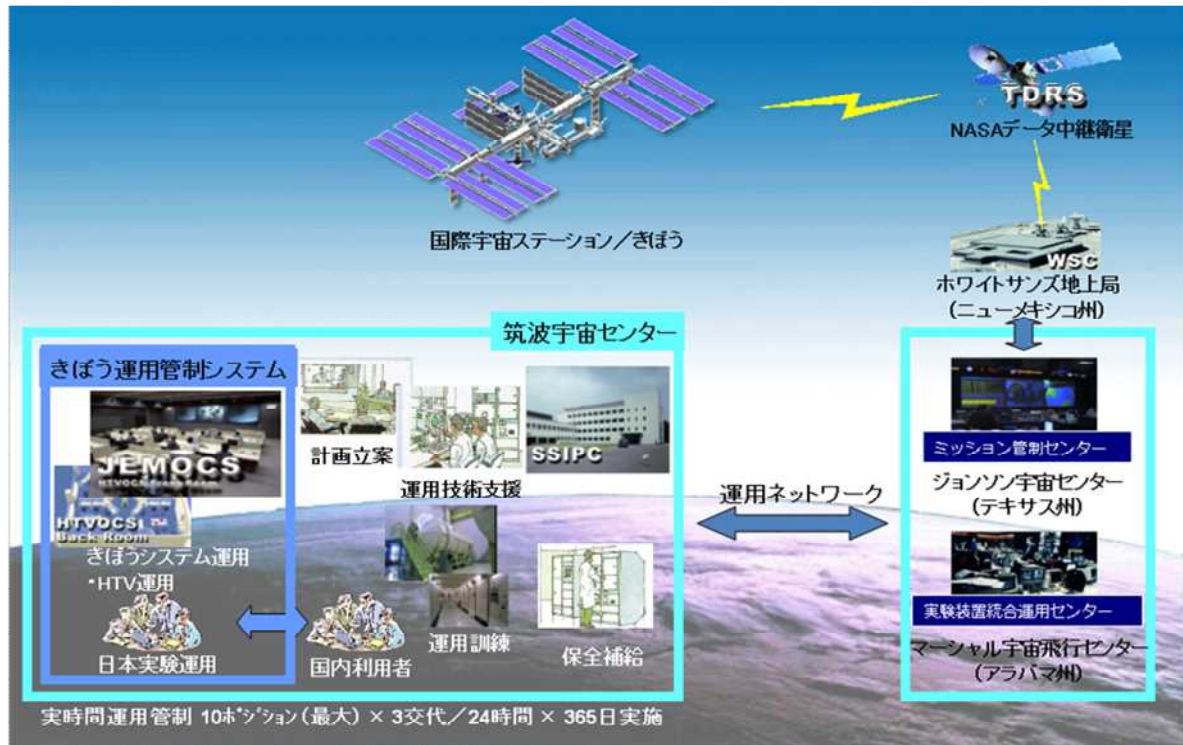


図 5-1 「きぼう」運用システム概要

■ システム運用

システム運用は、「きぼう」の熱制御システム、電力システム、通信システム、空調／熱制御・生命維持システム、ロボティクスシステムなどの各システムの状態を示すデータが正常であることを常に確認すると共に、火災、減圧、空気汚染の際に、ISS 滞在クルーが必要な行動をとることができるよう指示します。

また、「きぼう」の保全計画に基づき、「きぼう」に運ぶべき補給品の選定や、輸送手段（原則として「こうのとりのり」）、輸送時期などについての検討も行います。

「きぼう」の運用管制員が、「きぼう」運用管制チームの各ポジションに配置され、米国のフライトディレクターや飛行管制官と連携して、3 交代 24 時間体制で ISS 運用に参加しています。

運用管制室のバックルームでは、JEM 技術チームが「きぼう」の運用をモニタし、「きぼう」運用管制チームを技術面で支援します。

■ 実験運用

日本の実験運用の計画はシステム運用計画と共にとりまとめられ、これを米国のジョンソン宇宙センター（JSC）に送付します。そして JSC での調整を経て ISS 全体の運用計画に取り込まれ、これに従って実験が行われることとなります。

「きぼう」の利用は、「きぼう」実験運用管制チームが運用管制チームの J-Flight の指揮のもと、筑波宇宙センター内の運用管制室に隣接したユーザ運用エリアで行います。

実験ユーザは自分の実験の様相をユーザ運用エリアからモニタし、ISS 側と連絡をとりながら実験を進めることができます。

【参考】「きぼう」の運用管制について

JAXA 公開ホームページでは、画像や動画にてさらに詳しく紹介しています。

■ 「きぼう」運用管制システム

<http://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/ocs/>

■ 「きぼう」運用管制チーム

<http://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/team/>

■ 「きぼう」実験運用管制チーム

<http://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/plfct/>

5.1 運用管制チーム

運用管制チーム（JAXA Flight Control Team: JFCT）は、フライトディレクタと複数のポジションの運用管制員から成る 50 名以上のチームです。フライトディレクタが総指揮をとり、「きぼう」の各システムの専門知識を持つ運用管制員たちが支援します。以下に JFCT の各ポジションの役割について紹介します。

■ J-FLIGHT: JAXA Flight Director (J-フライト : フライトディレクタ)

「きぼう」の運用管制に関する全て（「きぼう」運用計画、システム運用、実験運用など）について責任があります。「きぼう」の運用では、あらかじめ用意した手順や計画にもとづき、各運用管制員や宇宙飛行士に作業指示を出すとともに、刻々と変化する状況に対して、各運用管制員からの報告を基に統合的に判断し、ISS 全体の作業指揮をとる NASA のフライトディレクタと連絡を密に行いながら、「きぼう」の運用の指揮をとります。

■ CANSEI: Control and Network Systems, Electrical Power, and ICS Communication Officer (カンセイ : 通信・電力・管制系機器担当)

「きぼう」のコンピュータや通信機器、電力系の機器の状態を、軌道上からリアルタイムで送られるデータによって監視するとともに、それらのシステムに対する制御を地上から実施します。

■ FLAT: Fluid and Thermal Officer (フラット : 熱・環境・実験支援系担当)

「きぼう」内の環境を整える機器や、装置から出る熱を制御する機器の状態を、軌道上からリアルタイムで送られるデータによって監視するとともに、それらのシステムに対する制御を地上から実施します。

■ KIBOTT: Kibo Robotics Team (キボット : ロボティクス・構造・機構系担当)

「きぼう」のロボットアーム、エアロック、機構系の運用を行います。

当初、ロボットアームの運用は、軌道上の宇宙飛行士が実施していましたが、技術の進歩により、現在は KIBOTT が地上から遠隔操作しています。エアロックとロボットアームの連携によって、小型衛星放出などを実施しています。

■ TSUKUBA GC: Tsukuba Ground Controller (ツクバジーシー : 地上設備担当)

運用管制システム、運用ネットワークシステムなど、「きぼう」の運用に必要な地上設備の運用・管理を行います。

■ **J-COM: JEM Communicator (J-コム : JEM交信担当)**

「きぼう」内の宇宙飛行士と実際に交信するのが J-COM です。「きぼう」内で機器の操作などを行う宇宙飛行士との音声によるコミュニケーションにより、宇宙飛行士と運用管制員の間で情報の橋渡しを行います。J-COM と宇宙飛行士の交信は英語で行われる一方、「きぼう」運用管制室内での会話や指示はすべて日本語のため、J-COM が英語にして宇宙飛行士に伝えます。

■ **ARIES: Astronaut Related IVA and Equipment Support (アリーズ : 船内活動支援担当)**

軌道上の宇宙飛行士の船内活動 (Intra-Vehicular Activity: IVA) を地上から支援したり、船内の機器や物品などの管理を行います。

■ **ExPO: (エキスポ : 曝露ペイロードオフィサー)**

ExPOは、曝露実験全体の運用の取りまとめを行います。



図 5.1-1 「きぼう」日本実験棟の運用管制室の配置図

<http://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/team/>

■ **J-PLAN: JAXA Planner (J-プラン : 実運用計画担当)**

「きぼう」運用の計画立案を行います。

宇宙飛行士の作業スケジュールを調整するのも J-PLAN の役割です。不具合が起きた場合などは、運用計画の変更・調整を行います。

※J-PLAN は、運用管制室には入りません。

■ JAXA EVA: JAXA Extravehicular Activity

(ジャクサイーブイイー：船外活動支援担当)

宇宙飛行士の「きぼう」に関わる船外活動（Extra Vehicular Activity: EVA）時および日本人宇宙飛行士の EVA 実施時に、技術面で地上から支援します。

※JAXA EVA は、運用管制室には入りません。

【参考】第 54 次／第 55 次「チーム・きぼう」の紹介 その 3

<https://ameblo.jp/astro-kanai/entry-12305746967.html>

金井宇宙飛行士のブログに運用管制チームのわかりやすい解説があるので紹介します。例えば、ARIES についてはこんなたとえで紹介してくれています。

「アリーズ」のみなさんは、宇宙飛行士のお母さん役です。宇宙実験に必要な機材や道具が、「きぼう」のどこにあるのか、すべて知っていて、いつでも助けてくれます。

「おかーさん、あれ、どこにあったっけ？」「そこにしまってますよ」「おかーさん、探したけど、ないよー」「じゃあ、きっとあそこですよ」「あ、見つかった！ありがとう！！」

その代わりに、使った道具は、きちんと元のところに戻さないと、怒られてしまいます。

5.2 JEM システム運用技術支援担当

JEM システム運用技術支援担当（JET: JEM Engineering Team（ジェット））は、「きぼう」の開発に携わったメンバーを中心に構成される、「きぼう」の技術支援チームです。JET は、「きぼう」運用管制室のバックルームで「きぼう」の運用をモニタし、JFCT を技術面で支援します。

「きぼう」が設計通りの性能を発揮しているかのデータ評価を行うと共に、「きぼう」の利用拡大を目的とした機能拡張機器の開発検討も進めています。

5.3 実験運用管制チーム

「きぼう」実験運用管制チーム（Payload Flight Control Team: PL FCT）は、大きく分けて、「きぼう」船内実験室に搭載されている実験装置の取りまとめを行う与圧実験運用管制チームと、船外実験プラットフォームに設置されている実験装置の取りまとめを行う曝露実験運用管制チームの二つがあります。

実験運用管制チームに関する詳しい説明は以下を参照ください。

<http://iss.jaxa.jp/kibo/system/operation/plfct/>

付録3 ソユーズ宇宙船について

ロシアの有人宇宙船であるソユーズ宇宙船は、カザフスタン共和国のバイコヌール宇宙基地からソユーズロケット（Soyuz FG）で打ち上げられます。

ソユーズ宇宙船は、NASAのスペースシャトルが2011年に退役した後、国際宇宙ステーション（ISS）の長期滞在クルーの往復のための唯一の輸送システムとして使われています。従来のソユーズTMA-M型に代わり、2016年7月からは最新型のソユーズMS型に切り替えられました。（日本では大西宇宙飛行士が初めて搭乗しました。）

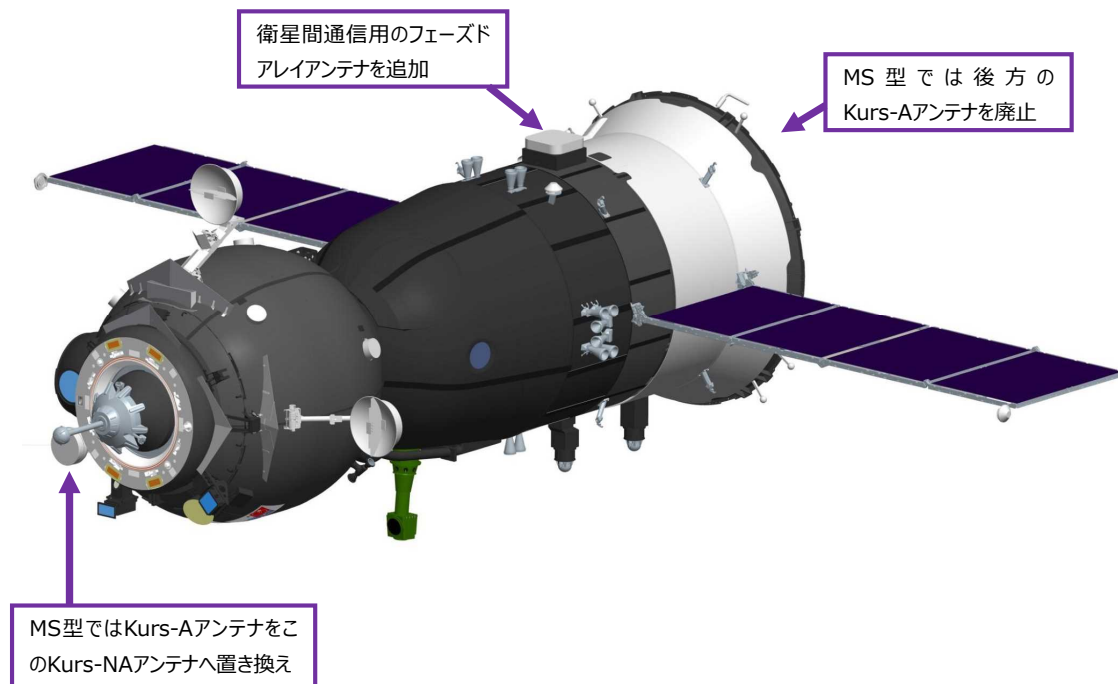


図1 ソユーズMS型の外観

ソユーズ宇宙船の役割は次のとおりです。

- ISSの長期滞在クルーをISSに一定の間隔で輸送します（2009年から年4機を打上げ）。
- 軌道上で不測の事態が発生した場合（デブリ接近時の緊急避難場所）や、宇宙飛行士が病気・怪我などで早期の帰還が必要になった場合の緊急帰還船として、ISSに常時係留[※]します。

※ソユーズ宇宙船の軌道上運用寿命は、200日間であるため、半年毎に新しいソユーズ宇宙船と交換する必要があります。

- 任務を終了した長期滞在クルーの帰還時には、実験試料などの物資約120kgを地上に回収できます。（スペースシャトルが退役した現在、Space X社のドラゴン宇宙船と、ソユーズ宇宙船だけが回収能力を持ちます。）
- 最上部の軌道モジュールには、ISSの不用品や使用済みの品などを搭載し、クルーが搭乗する帰還モジュールと分離した後、軌道モジュールごと燃焼させて廃棄します（ゴミ処理にも利用）。

1. ソーズ宇宙船の構成

ソーズ宇宙船は、3つのモジュール（軌道モジュール、帰還モジュール、機器／推進モジュール）から構成されています。

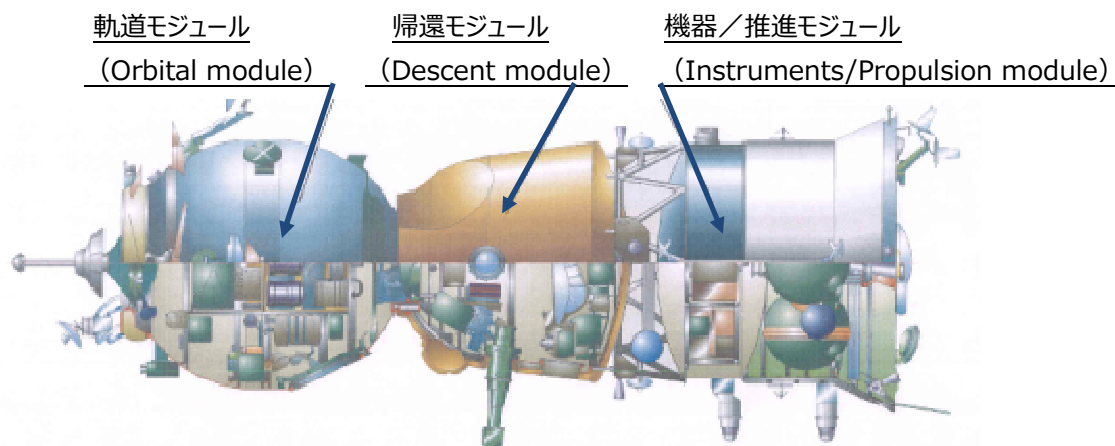
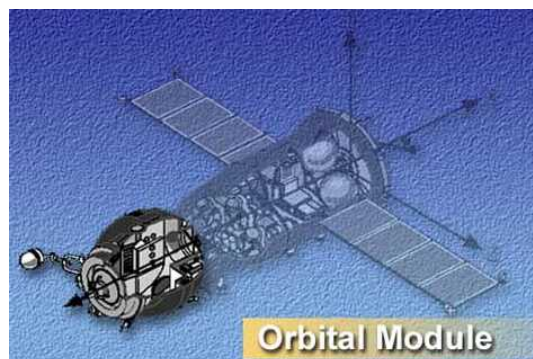


図1-1 ソーズ宇宙船の構成

1.1 軌道モジュール

軌道モジュールは、ソーズ宇宙船が地球周回軌道に投入された後、ISSに到着するまでの単独飛行中に、搭乗クルーが生活（着替えや食事、トイレ、睡眠スペースとして使用）するモジュールで、ランデブ飛行やドッキング運用に必要な機器類が搭載されています。モジュール内部は約6.3m³ほどの広さで、モジュールの前方部にはドッキング機構、ハッチ、そして自動ドッキングシステムのランデブ用アンテナが装備されています。モジュールの後方部は与圧ハッチで帰還モジュールにつながっており、搭乗クルーはこの与圧ハッチを通して帰還モジュールと軌道モジュール間を移動することができます。また射点でクルーがソーズ宇宙船に搭乗する際は、このモジュールのサイドハッチから乗り込みます。



ドッキング後、搭乗クルーは、軌道モジュール前方（ドッキング機構側）のハッチからISS船内へと入室します。軌道モジュールは、地上への帰還直前、軌道離脱噴射を終了した後に、帰還モジュールから分離して大気圏へ突入し、高熱で分解・燃焼します。



図1.1-1 軌道モジュールの外部（左）と内部（右）の写真

1.2 帰還モジュール

搭乗クルーは、打上げ時、および再突入／帰還時、ドッキング／分離時には、帰還モジュール内のシートに着席します。ソユーズ宇宙船の制御装置類とモニタ画面等がここに装備されています。

帰還モジュールには、生命維持機材や、帰還時に使用するバッテリー、着陸時に使用するパラシュートと着陸時の衝撃緩和用ロケットが装備されています。搭乗クルー個人専用のシートライナーは、着地時の衝撃からクルーを守り、安全を確保するものなので、各自専用のシートライナーを作って座席に装着します。



帰還モジュールにはペリスコープ(潜望鏡)が装備されており、ISSへの接近時にドッキングターゲットを確認したり、地球方向を確認したりすることができます。外を見ることが出来る窓も左右に2つあります。

軌道上では使いませんが、推進スラスタ（過酸化水素スラスタ）を8基装備しており、大気圏突入からパラシュート展開までのカプセルの姿勢制御を行います。帰還モジュールには、帰還時に使用する航法誘導制御システムが装備されています。

帰還モジュールの重量は約2,900kgで、内部は約4m³の広さです。帰還モジュール内部には、搭乗クルー3名のほか、約120kgの回収品を搭載して地上に持ち帰ることができます。この帰還モジュールのみが地上に帰還します。



図1.2-1 帰還モジュールの内部

1.3 機器／推進モジュール

このモジュールは、酸素タンク、姿勢制御スラスタ、軌道制御エンジン、電子機器類、通信機器類、制御機器類、熱制御システム、推進薬タンク、バッテリー、太陽パネル、ラジエータが搭載されており、クルーが入ることはできない無人区画です。

推進薬は、燃料として非対称ジメチルヒドラジン（UDMH）、酸化剤として四酸化二窒素（Nitrogen Tetroxide）を使用します。

軌道モジュールと同様に、機器／推進モジュールは、軌道離脱マヌーバ実施後に帰還モジュールから分離して突入し、大気圏内で分解・燃焼します。



図1.3-1 機器／推進モジュール

1.4 ソユーズ宇宙船の主要諸元

表1.4-1 ソユーズ宇宙船の主要諸元 (ソユーズMS型)

重量	打上げ時重量	最大7,220 kg
	うち、帰還モジュール	約2,900 kg
長さ		6.98 m
直径	軌道モジュール、 帰還モジュール	2.20 m
	機器／推進モジュール	2.72 m
搭乗員数		2～3名
搭載ペイロード重量		200kg以下 (3名搭乗時)
回収ペイロード重量		65kg以下 (3名搭乗時)
飛行可能期間		200日間 (過去最長はソユーズTMA-9の215日間)
飛行可能高度		最大460km (ドッキング時は最大425km)
使用ロケット		ソユーズFG
着陸速度	主パラシュート使用時	最大6.8m/s、ノミナル1.5m/s (注：ノミナルとは衝撃緩和用ロケット噴射時)
	予備パラシュート使用時	最大9.6m/s、ノミナル2.5m/s
推進薬	燃料	非対称ジメチルヒドラジン (UDMH)
	酸化剤	四酸化二窒素 (NTO)
太陽電池	翼端までの長さ	10.7 m
パドル	面積	従来型より1.1m ² 増加

(RSC Energia社 HP)

<https://www.energia.ru/en/iss/soyuz-ms/soyuz-ms.html>

1.5 ソユーズ宇宙船の改良

(1)ソユーズTMA

ソユーズTMA宇宙船は、1986年から2002年までの約16年間にわたり、宇宙飛行士をミール宇宙ステーションやISSに運んでいたソユーズTMに改良を加えたもので、2002年から使用を開始し、2012年4月に後継機のTMA-Mと交替して退役しました。

ソユーズTMAでは安全性、特に帰還／着陸時の安全面が格段に向上しました。搭載コンピュータの小型化、コンピュータ／ディスプレイ画面の機能向上に加え、ソユーズTM時代には、身長182cm、体重85kg以上または、身長164cm、体重56kg以下の宇宙飛行士は搭乗することができませんでしたが、ソユーズTMAでは米国人の搭乗を考慮して制限が緩和されました（以下の表を参照）。

帰還モジュールの構造的な改良としては、衝撃緩和用ロケットを改良したことで、搭乗クルーが着陸時に体感する速度と負荷が約15～30%低減されました。また新しい再突入制御システムと3軸加速度計を採用したことで、着陸精度が向上しました。

コックピットは、搭乗クルーの飛行データ／情報取得などの運用性を考慮して設計変更されました。また、シートおよびシート衝撃吸収材もさらなる安全性を追及して改良されました。



図1.5-1 ソユーズTMA帰還カプセルの落下衝撃試験の様子

表1.5-1 主な改良点 搭乗クルー1名あたりの身長・体重制限

項目		ソユーズTM	ソユーズTMA
身長 (cm)	上限	182 cm	190 cm
	下限	164 cm	150 cm
座高 (cm)	上限	94 cm	99 cm
	下限	96 cm	制限無し
胸囲 (cm)	上限	112 cm	制限無し
	下限	96 cm	制限無し
体重 (kg)	上限	85 kg	95 kg
	下限	56 kg	50 kg
足のサイズ (cm)	上限	-	29.5 cm

(RSC Energia社HP)

http://www.energia.ru/eng/iss/soyuz-tma/soyuz-tma_02.html

(2)ソユーズTMA-M

ソユーズTMAの改良型であるソユーズTMA-Mは、2010年10月8日に初飛行しました。

ソユーズTMA-Mは、外観は従来型から変化していませんが、30年以上前の1974年から使われていた古いアナログ方式のアルゴン-16コンピュータを新しいデジタル方式のTsVM-101コンピュータ(計算能力は30倍に向上)に換装したり、テレメトリシステムのデジタル化が行われるなど、旧式化した36基の機器を19基の新しい機器に換装する改良が行われ、計70kg軽量化されました。その分、搭載ペイロードも50kgから120kgへ70kg増やせるようになりました。また、消費電力の削減や、打上げ準備段階での試験の簡素化が可能になりました。

座席の前の「ネプチューン」表示ディスプレイもカラー化されました（ソユーズTMAの後期タイプから一部を導入開始）。

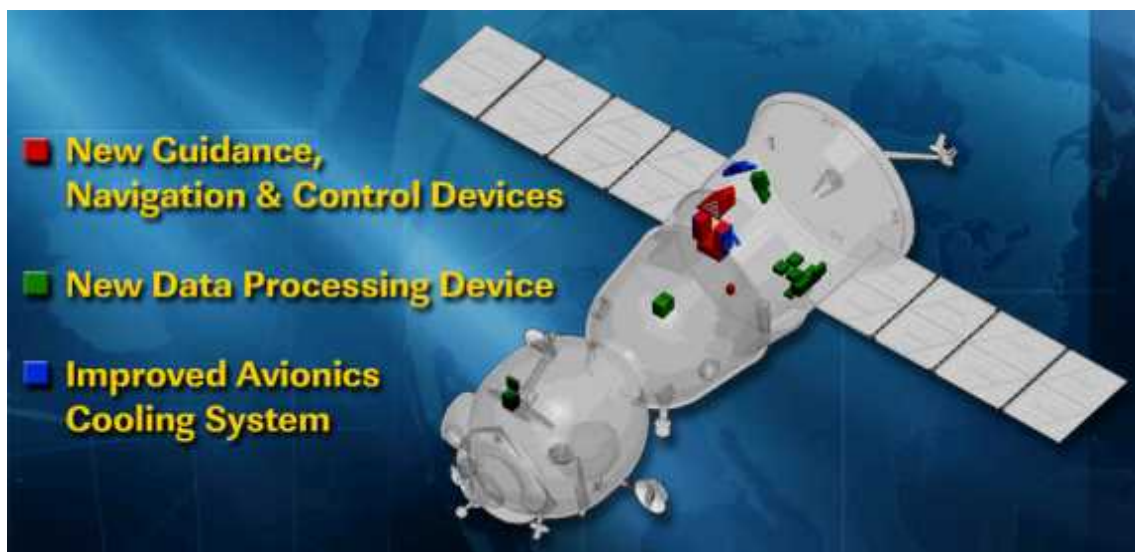


図1.5-2 ソユーズTMA-Mで改良した制御機器 (Roscosmos/RSC Energia)
(計36基の古い機器を19基の新しい機器で更新)

http://www.nasa.gov/images/content/485546main_Soyuz_TMA01-M.jpg

なお、ソユーズTMA-M宇宙船の改良はその後も続けられており、発電能力増強のための太陽電池の改良、デブリ防護能力強化のためのデブリシールドの追加や、航法装置の改良などが2012年から徐々に導入されています。

(3)ソユーズMS

ソユーズMSは2016年7月7日に初飛行しました。主に以下のような改良が行われています。

- ウクライナ製だったランデブーアンテナKurs-Aをロシア製のKurs-NAに更新（アンテナの数を削減、重量と電力消費量も削減。）
- 無線通信装置の更新（データ中継衛星経由での通信が可能となり、通信可能範囲が大幅に増加。従来はロシア地上局上空でしか通信ができませんでした。）
- 航法システムの強化（衛星航法システムを搭載し、測位精度も向上）

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

- 太陽電池パネルの発電能力の強化
- 大型と小型の2種類があった姿勢制御スラスタのサイズを大型1種類にまとめ、配置も変えるなど、信頼性を向上。

-その他、旧式化していた機器を更新。

・ソユーズMSの改良箇所を紹介した参考URL

http://www.energia.ru/en/news/news-2016/news_05-24.html

<https://www.energia.ru/en/iss/soyuz-ms/soyuz-ms.html>

2. ソーズ宇宙船のシステム概要

2.1 環境制御／生命維持に関わる装置類

ソーズ宇宙船の軌道モジュールと帰還モジュール内は、1気圧に維持されており、打上げ時とISSとのドッキング時、帰還時を除けば、普段着で過ごせます。

(ただし、2013年からは6時間でISSにドッキングする特急フライト（急速ランデブー方式）が導入されたため、特急フライト適用時は軌道投入後に与圧服を脱ぐことは止めました。上半身のみスーツを脱いでトイレを使えるようにする程度となっています。)

人が居住できる環境を保つために、酸素タンク、二酸化炭素除去装置、エアコン装置、飲料水供給装置、トイレなどが装備されています。

トイレは、12人日の保管能力がある小型のものが、軌道モジュールに設置されています（使用しない時はカバーで覆っているため、見た目はどこにあるか分からないようになっています）。

2.2 通信（アンテナ）に関わる装置類

ソーズ宇宙船は、地上及び、ISSとの通信が可能です。新型のMS型機からはロシアのデータ中継衛星を介した通信もできるようになったため、ロシアの地上局の上空でしか地上との通信ができなかった問題が解消されました。

2.3 電力に関わる装置類

ソーズ宇宙船は、軌道上を単独飛行している間は、太陽電池パネルで発電した電力と搭載バッテリーからの電力を使用します。ISSとドッキングしている間は、ISSからの電力供給のみで電力はまかなわれます。

2.4 Kurs自動ランデブ／ドッキングシステム

ソユーズ宇宙船は、無人のプログレス補給船でも使われている無線を使用したKurs「クルス」ランデブ／ドッキングシステムを使用しての自動ランデブ／ドッキングが可能です。通常はこのシステムを使用して自動でドッキングを行います。異常を感知した場合は直ちに手動操縦に切り替えてドッキングを行います。

なお、手動操縦に切り替えてのドッキングは珍しいトラブルではないため、ソユーズ宇宙船に搭乗する宇宙飛行士たちは、手動操縦でのドッキングの訓練を十分に実施しています。ソユーズMS及び、プログレスMSからはロシア製で新型のKurs-NAに機種更新され、精度も向上しました。



図2.4-1 ドッキング時の映像(カメラ映像にKursからのデータを重ねて表示)

(接近速度、ISSとの距離、姿勢の変化、時刻などを表示。中心線がドッキングポートの中心からずれるのは、そこにドッキングターゲットがあるためであり異常ではありません)

【参考】ランデブ、ドッキング、バーシングについて

- ・ランデブ：宇宙機同士が軌道高度を変化させながら遠距離から徐々に接近していくこと。
- ・ドッキング：ランデブを行った宇宙機同士が自らの推進系を使って近づき、構造結合すること。宇宙ステーション側が機能できなくなった時でも結合することができるため宇宙飛行士が搭乗する宇宙船ではこの方式を使う。(ソユーズ宇宙船、プログレス補給船などのロシアの宇宙機で使われている他、スペースシャトル、アポロ宇宙船、次世代のオリオン宇宙船で採用。)
- ・バーシング：ランデブを行った宇宙機がロボットアームの助けを得ながら構造結合すること。ドッキングとの違いは、推進系は停止した状態のため、自らの力では結合できず、ロボットアームによって近づけて結合機構を噛み合わせる位置に持っていく。衝突はしないため、ソフトに結合できる。(「こうのとり」、ドラゴン補給船、シグナス補給船などで採用)



ソユーズTMA宇宙船を前方から撮影した写真 (NASA)



ロシアのレーザー測距計 (RSCIエネルギー)



潜望鏡訓練の様子 (RSCIエネルギー)

図2.4-2 Kurs故障時に使う機器類

2.5 ドッキング機構

ソユーズ宇宙船は、プログレス補給船と同じタイプのドッキング機構（ハッチを兼ねる）を装備しており、「ズヴェズダ」の後部、「ピアース」(DC-1)下部、「ラスビエツ」(MRM-1)下部、「ポイスク」(MRM-2)上部の計4箇所にドッキングすることができますが、プログレス補給船のドッキング場所とのすみわけを行っているため、通常は「ラスビエツ」(MRM-1)下部と、「ポイスク」(MRM-2)上部の2箇所にドッキングします（図3.4-2参照）。

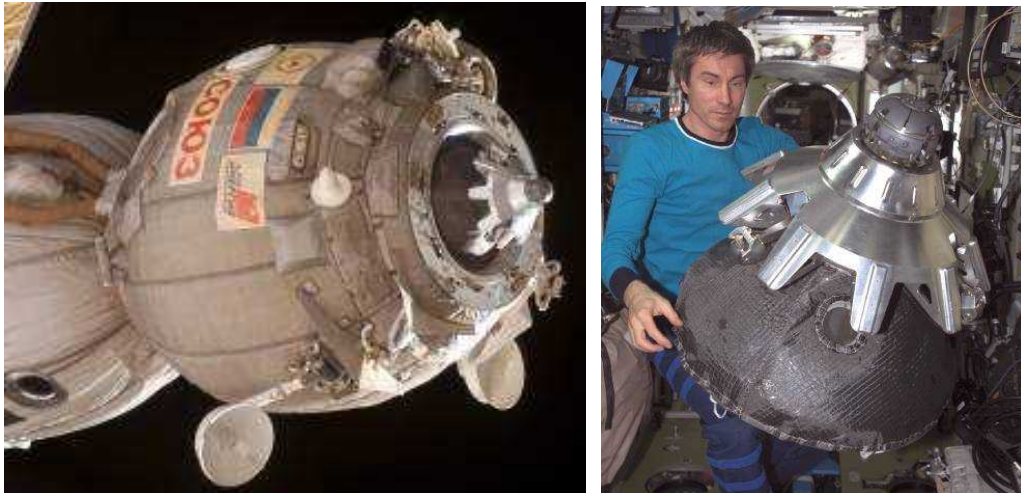


図2.5-1 ソユーズ宇宙船のドッキング機構

（ドッキング後に両宇宙機のドッキング機構の中央部を開き、相互に行き来ができるようにする）

【参考】ロシアのドッキング機構の仕組みは、以下のサイトがわかりやすく紹介しています。

（このサイト右上の赤い三角マークをクリックすると前後の結合シーケンスが確認できます。）

<http://www.russianspaceweb.com/docking.html>

2.6 軌道制御エンジン／姿勢制御スラスタ

ソユーズ宇宙船の後部には、メインエンジン1基が装備されており、軌道制御や、軌道離脱のための逆噴射時に使用されます。姿勢制御には20基以上装備されている小型のスラスタが使われます。なお、大気圏突入後のカプセルの姿勢制御は、帰還モジュールに装備している専用の小型のスラスタが使われます。

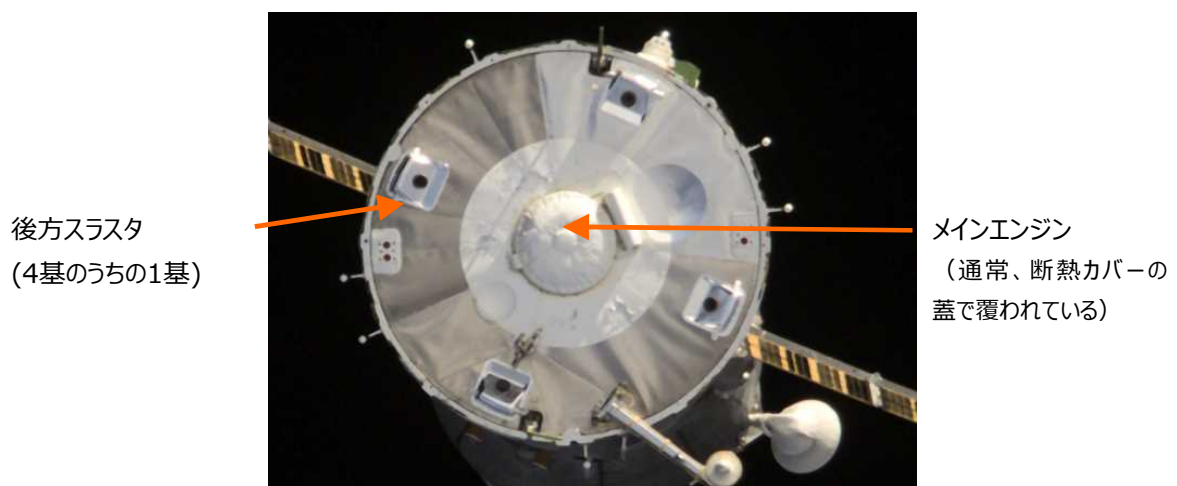


図2.6-1 ソユーズTMA宇宙船後方のメインエンジン

2.7 打上げ時の緊急脱出に関わる装置

ソユーズ宇宙船への搭乗クルーの乗り込みは、打上げ2時間前に行われます。打上げ時には米国のアポロ宇宙船とは異なり、フェアリングを装備しており、このフェアリングの頂部に緊急脱出用の固体ロケットが取り付けられています。

1983年のソユーズT10A打上げ時には、打上げ90秒前にロケットが爆発し、クルーがこの緊急脱出システムを使って無事脱出した例があります。

緊急時には、この固体ロケットの推力で上昇します（高度約950～1,200mまで上昇）。その後、4枚の空力安定用のグリッドフィンを展開することで速度を落とし、軌道モジュールと帰還モジュールを切り離した後、約2.5km離れた地点に着地することになります。なお、通常の打上げでは上昇の途中で、この緊急脱出用ロケットとフェアリングは分離・投棄されます。



図2.7-1 ソユーズロケット先端に装着される緊急脱出用ロケット(RSC)エネルギー社



図2.7-2 フェアリング上の空力安定用グリッドフィン
(青丸内：メッシュ状で、緊急時には90度下側へ展開)

2.8 サバイバルキット

ソユーズ宇宙船には、水上に着水した場合や回収部隊がすぐに到着できない時のような非常時に備えて、飲料水、食料(3人のクルーの1日分)、救急キット(薬、包帯など)、位置通知用ビーコン、無線装置、防水性のつなぎ、防寒服、発煙筒、シグナルミラー、発光灯、ナタ、マッチ、ロープ、ナイフ、保温用アルミシート、釣り具などのサバイバルキットを装備しています。これらは、氷点下の環境下でもカプセル内で3日間過ごせることを考慮して装備されています(初期のソユーズ18A, 23, 24号ですぐに救出できない状況を経験し、以後これらの装備が強化されました)。またパラシュートはテントとして使用することができます。

なお、ソユーズTMA-3からは弾道突入で帰還して捜索が遅れた場合などのケースに備えて、イリジウム衛星電話とポータブルなGPS受信機(緯度経度確認用)を搭載するようになりました。



図2.8-1 ソユーズ宇宙船に装備されている防寒服 (JAXA HP, ©GCTC)

2.9 Sokol与圧服と専用シート

Sokol（「ソコル」：ロシア語でハヤブサや鷹の意味）与圧服は、打上げ時とドッキング・分離時、帰還時に着用する与圧服で、ある程度の減圧や熱に耐えられます。2013年からは6時間弱でISSに到着することもできるようになったため、その場合はスーツを脱ぐのはドッキング完了後となっています。

着地時の衝撃に耐えるために、帰還モジュールには各クルー専用で作られたシートが使用されます。このシートには足方向がピボット部で固定され、頭上方向に衝撃吸収用ダンパーが取り付けられており、着地の約10分前にダンパーを上へ伸ばし、衝撃を吸収する仕組みになっています。

このシートは、クルー毎に石膏で型とりをして衝撃が集中することのないように体にピッタリとした形状で製造されます。

大気圏突入時のGは、通常約4～5G、最大で約10～12Gがかかります。



図2.9-1 ソユーズ宇宙船の座席シートと搭乗姿勢 (NASA)



図2.9-2 (左)大西宇宙飛行士のシートライナーを石膏で型とりする様子 (JAXA)

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/hL92k67e4iu>

(右)座席にシートライナーを装着した状態(カナダ人宇宙飛行士Chris HadfieldのTwitterより)

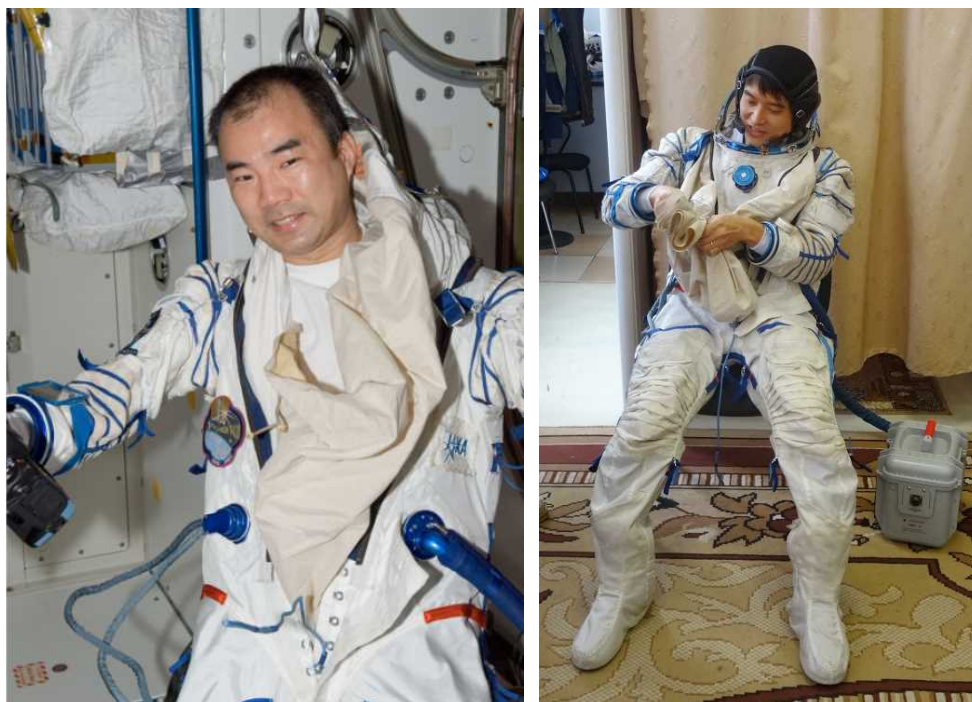


図2.9-3 Sokol与圧服を装着する様子

(右) <https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/e9Gvvg6w78W>

Sokol(ソコル)与圧服

Sokol与圧服は、お腹の袋の所から内部に入って着用します。この袋の口の部分は最後に束ねてひもで縛ることで気密を保つことができます。最後に表面生地ジッパーを閉じれば着用は終わりです。

野口宇宙飛行士がISS内で、このスーツの着用をデモンストレーションした映像があるので、こちらを見て頂くと着用の方法が分かります。

野口宇宙飛行士によるソコル宇宙服の紹介 [8分54秒]

http://iss.jaxa.jp/library/video/ng_sokol.html

(2010年5月31日掲載)

古川宇宙飛行士も打ち上げ前にTwitterで以下のように紹介しました。

「ソコル宇宙服は、打上げと帰還のときなどにソユーズ宇宙船内で着る与圧服。万一ソユーズに穴があいて減圧し、ソユーズ宇宙船内が真空になっても、ソコル宇宙服内は約0.4気圧に保たれ、クルーが守られる。」

大西宇宙飛行士のGoogle+での着用方法の紹介記事はこちら (2015年5月16日掲載)

<https://plus.google.com/photos/101922061219949719231/album/6149321786828167889/6149322432663764994>

2.10 ソーズ宇宙船の着陸について

ソーズ宇宙船は帰還時に3つに分離して、クルーが搭乗する真ん中の帰還モジュール(カプセル)のみがパラシュート降下して回収されます。

このパラシュートは完全な冗長構成になっており、主パラシュート(直径35m)が開かない時は、予備のパラシュート(直径27m)を使用します。このパラシュートで、降下速度を約7~9m/secまで減速し、着地直前に衝撃緩和用ロケット(以下を参照)でさらに減速します。

さらに座席を支える支柱の衝撃緩衝装置を組み合わせ着地の衝撃から保護しますが、座席と体の間に隙間があるとそこに力が集中して怪我する危険性があるので、着地時には身体をシートに密着させるよう指示されています。

2.11 着地時に使う衝撃緩和用ロケット

ソーズカプセルは、帰還モジュールの底に設置された放射性同位元素から放射されるガンマ線を使った高度計を使用(このため、降下中に底部の耐熱シールドを分離・投棄)し、地表高度約80cmで4基または6基の固体ロケットモータ(推力各2,500kg)を自動的に噴射させて、着地時の衝撃を緩和します。これにより、エアクッションのような効果を生じさせて衝撃を緩和します。

ソーズTMA宇宙船で、この着地時の速度をソーズTM宇宙船の時の2~3m/secから、1~2m/secにまで改善しました。



図2.11-1 ソーズTMA-13が着陸する様子 (NASA HP)

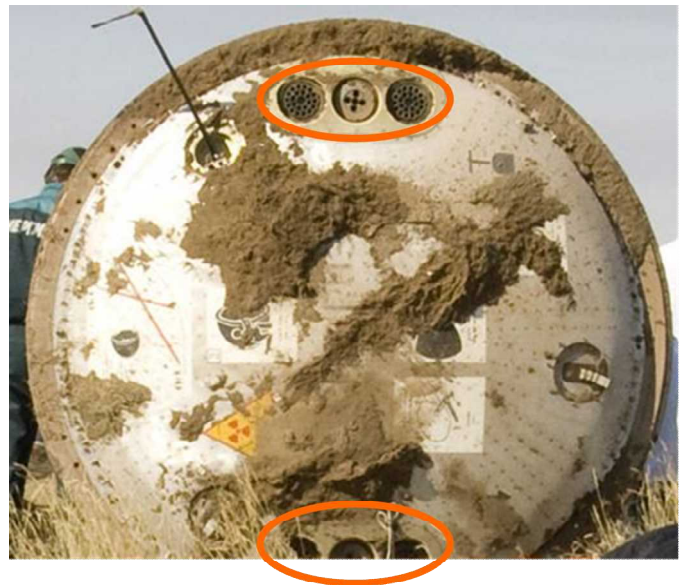


図2.11-2 ソーズTMA-11の衝撃緩和用ロケット (NASA HPより)

3. ソーズ宇宙船の運用概要

ソーズ宇宙船は、打上げ後2日間かけてISSに接近し、飛行3日目にISSにドッキングしていましたが、2013年3月のソーズTMA-08Mから、打上げ当日に4周回でドッキングを行う方式に変更されました。この方法だと、打上げから6時間以内でISSに到着します（トラブルが起きた場合は、従来方式の2日かけての接近に変更されます）。

ドッキング後は、ISSの緊急避難／帰還船としてISSに係留します。

ISSの緊急避難／帰還船としての役目を終えたソーズ宇宙船は、長期滞在任務を終えたクルーを乗せてISSから分離します。ソーズ宇宙船は、ISS分離から約2時間半後に（南大西洋上で）軌道離脱マヌーバを実施し、その約30分後に3つのモジュールを分離（だいたいエジプト上空付近）して大気圏に再突入、そしてその約23分後に帰還モジュールが地上に着陸します。

なお、ソーズ宇宙船の操縦は、アメリカ人が搭乗する場合でも全てロシア語で行われます（注：NASA TVで流れる英語は、NASAがロシア語の通訳を入れているものです）。

【バイコヌール入りした後の宇宙飛行士の活動】

宙亀日記 バックアップクルーの任務より抜粋

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/yui/sorakame/20141225.html

バイコヌール宇宙基地への移動は、バスも航空機も全てプライムクルーとバックアップクルーは別々です。それは、万が一の際に、プライムクルーとバックアップクルーを同時に失う事がない様にする為です。

バイコヌールの空港に到着すると、専用のバスに乗込み移動するのですが、入国の手続きなども特別に済ませてくれますし、移動時にはパトカーの先導もついているので、スムーズに移動できるんですよ。

移動を完了して最初の仕事は、ソーズ宇宙船に乗り込んで、内部の確認を済ませることです。この確認作業は、プライムクルーとバックアップクルーが交代で行いますので、結構時間がかかり終日行われます。（ソーズ宇宙船は狭いので、1クルーが乗るだけで一杯です）。休憩場所には軽食や飲み物が用意されています。少し甘やかし過ぎのような気もするのですが、これには食中毒の防止という理由があります。食事の安全性を確保する必要があるため、お医者さんからも、必ず準備されたものを飲食するように厳しく注意されるんですよ。

健康管理といえば、クルーは、病気をISSに持ち込まないために、一般の人々から隔離されています。活動範囲が宿泊先のホテルと訓練を施設内に限られています。

打上げ前日は、打上げに向けた授業で必要な知識を再確認し、夜は伝統の映画「砂漠の白い太陽」を鑑賞。そして打上げに備えて就寝します。

打上げの当日は、本当に長い1日です。朝食、昼食、時間調整の昼寝の後は、非常に忙しく、様々な行事が予定されています。最後にホテルを離れる際は、星の街出発時と同様に、全員が着席します。また、最後の乾杯もあるのですが、そのグラスを割る伝統もあるようです。

ホテルを出発した後、プライムクルーは宇宙服への着替えを行います。バックアップクルーは着替えをしませんので、ここではプライムクルーを見守るのみ…プライムクルーは家族とのガラス越しでの短い会話をする時間があります。その後は、全員でロケットへ向かいます。

3.1 打上げ準備

組立棟でソユーズロケットに搭載されたソユーズ宇宙船は、打上げの2日前に、鉄道で射点まで移動します。射点に到着すると、ロケットが垂直に立てられ、電気系や機械系機器類の試験起動が行なわれます。

打上げ当日に、ロケットへの推進薬の充填が実施され、打上げの6時間前からカウントダウンが開始されます。ソユーズ宇宙船の打上げ準備の作業概要を以下に示します。

- ① 宇宙機組立棟でフェアリングに搭載、ロケット組立棟に移動してロケットに結合



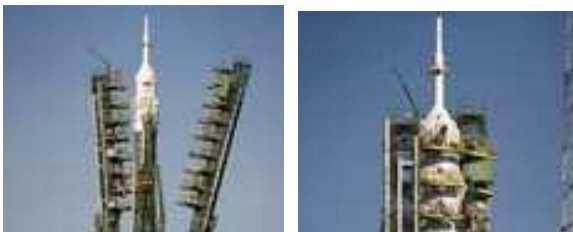
- ② 列車で射点に移動【打上げの2日前】



- ③ 射点に着／垂直に立てられる【打上げの2日前】



- ④ 射点の整備構造物の固定【打上げの2日前】



- ⑤ 打上げリハーサルの実施【打上げの2日前～打上げ前日】

⑥ Go/ No-go決定／推進薬の充填【打上げ当日】



⑦ クルーの搭乗【打上げ当日】



⑧ 整備構造物の展開【打上げ当日（45分前）】



⑨ 打上げ



【ロシアの有人宇宙船打上げ前に行われる伝統的なイベント】古川宇宙飛行士のTwitterより

- ・(打上げ2日前に行われる)ソユーズ宇宙船のロールアウトは、実際にそのロケットで飛び立つプライムクルーは見ないことになっている。代わりにバックアップクルーとプライムクルーの家族らが見守る。プライムクルーが見るのは縁起が悪いからだそうだ。
- ・記者会見の後、クルーと家族らは「砂漠の白い太陽」という映画（アクション、コメディ）を見た。この伝統は、関係者の話では1970年頃から続いているらしい。
- ・ソユーズ宇宙船によるプライムクルー打上げ当日。打上げ約6時間20分前、ホテルのドアにサイン。これも伝統。
- ・ソユーズ宇宙船打上げ約6時間10分前、クルーがホテルを出てバスに乗る。このとき出発にふさわしい音楽が流れる。テンポの良い曲で、好きである。関係者に聞いたところ、ソビエト時代1983年頃のEarthlings（Земляне）というアーティストによる“The Grass Near my Home”（Трава у Дома）という音楽で、それがかけられるのも伝統とのこと。
- ・打上げ約3時間前、プライムクルーのみビルを出てトップマネジメントに挨拶後、バスに乗って打上げ場所に向かう。
- ・打上げ場所から1km弱の地点でバスが停車。プライムクルー（通常男性のみ）がバスを降り、小用に立つのである。ガガーリン飛行士が行ったことから、伝統になっているらしい。

【ソユーズ宇宙船の打上げ当日のクルーの様子】大西宇宙飛行士のGoogle+ 2015/12/20より

<https://plus.google.com/101922061219949719231/posts/CWxk2sVpyZU>

これから、ソユーズ打ち上げ前の一連の験担ぎ、その最後を飾る「立ち小便」が始まるのです。50年以上前に、同じ発射台から人類初の宇宙飛行へ飛びたったユーリ・ガガーリン飛行士は、同じく発射台へ向かいながらここで尿意をもよおし、バスを降りて後輪に立ち小便をしたのでした。それ以後、続けられてきた慣習。

実際、このあと宇宙船に乗り込むと数時間トイレには行けませんから、極めて現実的な必要性も兼ねていると言えるでしょう。

しかしまあ、どうしても笑いが込み上げてきてしまいます(;´▽`)

先ほど念入りにスペシャリストが縛り上げたソコル宇宙服。

リークチェックを行って気密性が確認されたソコル宇宙服。

その紐を解いて、立ち小便をするクルー。

リークチェック台無しやんwww

けれど、宇宙船に乗り込んでからもリークチェックはもう1度行いますし、きつとさっきのは宇宙服に致命的な欠陥がないかどうかを見るためのものだったのでしょう。

穴が開いてしまったりすると、宇宙船では直せませんからね。

次にリークチェックが上手くいかないとする、それは例えばヘルメットを閉めるときにケーブルが挟まってしまったりとか、グローブがきつちりとロックされていなかったりということが原因、つまりすぐに修正可能な原因のはずです。

だから、ここでソコルの紐を解いてもちっとも問題は無いのです。

きつとそうに違いありません！

表3.1-1 打上げ準備カウントダウンの流れ

カウントダウン	主要作業
34時間前	ソユーズロケットへの推進剤の充填準備開始
6時間前	搭乗クルー Cosmonautホテルを出発
5時間30分前	ロシアの委員会（State Commission）によるGo/No-go決定
5時間15分前	搭乗クルー 打上げ施設（サイト254）に到着
5時間前	ソユーズロケットへの推進剤の充填開始
4時間20分前	搭乗クルー 打上げ／帰還用スーツを装着
4時間前	ソユーズロケットへの液体酸素の充填開始
3時間40分前	搭乗クルーの会見
3時間10分前	ロシアの委員会（State Commission）への報告
3時間05分前	搭乗クルー 射点へ移動開始
3時間前	第1段、第2段ロケットへの酸化剤の充填終了
2時間35分前	搭乗クルー 射点に到着
2時間30分前	搭乗クルー ソユーズ宇宙船（軌道モジュール）に搭乗開始
2時間前	搭乗クルー 帰還モジュールに搭乗完了
1時間45分前	帰還モジュールの機器点検、打上げ／帰還用スーツの換気
1時間30分前	軌道モジュールのハッチ気密点検
1時間前	ソユーズロケット制御システムの準備、ジャイロセンサの起動
45分前	射点の整備構造物の展開
40分前	帰還モジュールの機器類の点検完了； 打上げ／帰還用スーツの気密点検
40分前	緊急脱出システムの安全装置解除； 打上げ制御装置の起動
25分前	射点のサービスタワーの引き込み
15分前	打上げ／帰還用スーツの気密点検完了、搭乗クルーは脱出機器を自動モードに設定
10分前	打上げ用ジャイロセンサ固定解除、搭乗クルーは搭載レコーダを起動
7分前	打上げ前運用の完了
6分10秒前	最終打上げ運用の開始
6分前	射点およびロケットシステムの打上げ準備完了
5分前	オンボードシステム制御機器への電力投入
	地上システムの計器類の起動
	コックピットの操縦機器類の起動
	搭乗クルーはヘルメットを閉め、与圧服の空気循環開始
2分30秒前	ソユーズロケットの推進剤タンクの加圧開始
	ソユーズ宇宙船搭載計器類の起動
	窒素ガスによるすべての推進剤タンクの加圧開始
1分前	電力供給アンビリカル（地上システム）の切り離し
10秒前	第1段、第2段エンジン始動
5秒前	第1段エンジン最大推力
0秒	打上げタワー分離
	離陸

出典：NASA Expedition 21/22 press kit

3.2 打上げ／軌道投入

ソユーズ宇宙船は、カザフスタンのバイコヌール宇宙基地からソユーズロケットで打ち上げられます。

離陸後、まず第1段ロケット（周囲の4本）が分離し、その後中央の第2段ロケットで上昇が続けられます。第2段ロケットが分離すると、その後、第3段ロケットの燃焼が開始され、打上げから約9分後には、ソユーズ宇宙船は、初期軌道に投入されます。

ソユーズ宇宙船の打上げ／上昇シーケンスは以下のとおりです。

- ① 打上げ（第1段、第2段ロケット同時点火）
- ② 約1分58秒後に第1段ロケット（4本）分離
- ③ 約2分40秒後にフェアリング分離
- ④ 約4分58秒後に中核ロケットである第2段ロケットを分離し、第3段ロケットの燃焼開始
- ⑤ 約9分後に第3段ロケットエンジン燃焼終了／ソユーズ宇宙船を分離
- ⑥ ソユーズ宇宙船の太陽電池パネルと通信アンテナを自動展開

【参考】ESAがユーチューブにソユーズロケットの打上げを詳しく紹介したビデオを掲載しています(11分30秒)。

<http://www.youtube.com/watch?v=AVvqpKt5uCA&feature=youtu.be>



図3.2-1 ソユーズロケットの打上げ／上昇

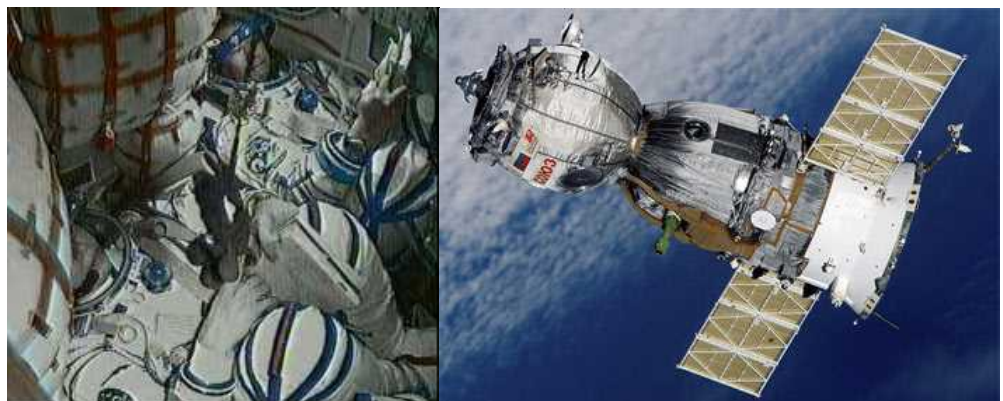


図3.2-2 ソユーズTMA-17上昇時の船内の様子（左）

図3.2-3 軌道上での太陽電池パドルと通信アンテナの展開イメージ（右）

3.3 軌道投入後の作業

表3.3-1に、軌道投入完了後からISSドッキングまでの搭乗クルーの作業例を示します。

表3.3-1 軌道投入からISSドッキングまでの主な搭乗クルーの作業
(打上げ後、2日間かけてドッキングするケース) (1/3)

飛行1日目開始	
Orbit 1 (軌道1周回目)	<p><u>軌道投入後の作業 (太陽電池パドルの展開、アンテナとドッキングプローブの展開)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 搭乗クルーは上記の展開作業を監視・確認。 推進系の加圧状態、環境制御システム、および搭乗クルーの健康状態について地上に報告。 地上との通信を確立。 地上の追跡システムから入手した初期軌道投入データを受信。
Orbit 2 (軌道2周回目)	<p><u>各システムの点検 (姿勢制御センサ、「クルス」ドッキングシステム、角加速度計、ビデオ画像ダウンリンクシステム、OMSエンジン制御システムなど)、手動による姿勢制御テストの実施</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 搭乗クルーは各システムの点検状況をモニタし、データを確認。 姿勢制御テストを手動で実施。 テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 レーダおよび無線トランスポンダ追跡。 手動姿勢制御 (太陽方向に+Y軸を向けヨー回転を開始。) レート確立後、モーション・コントロール・システム (MCS) を停止。
Orbit 3 (軌道3周回目)	<ul style="list-style-type: none"> 手動による姿勢制御 (太陽方向に+Y軸を向けヨー回転) を終了。MCSの再起動。自動マヌーバの開始 (LVLH (Local Vertical Local Horizontal) 基準姿勢の確立)。 軌道モジュールに入室。モジュール内の二酸化炭素除去装置を起動し、Sokolと圧服を脱ぐ。 搭乗クルーはLVLH基準姿勢データを確認。 軌道調整マヌーバ用のコマンド送信 (軌道調整マヌーバ: DV1とDV2) テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 レーダおよび無線トランスポンダ追跡。 自動マヌーバでDV1噴射に備えた姿勢に移行。(クルーの操縦は不要) <p><u>軌道調整マヌーバ (DV1) 実施。</u></p>
Orbit 4 (軌道4周回目)	<ul style="list-style-type: none"> 自動マヌーバでDV2マヌーバに備えた姿勢に移行。 <p><u>軌道調整マヌーバ (DV2) 実施。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 軌道モジュールと帰還モジュール内の圧力確認。 テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。 手動による姿勢制御 (太陽方向に+Y軸を向けヨー回転: 2度/秒) を開始。レート確立後、モーション・コントロール・システム (MCS) を停止。 外部カメラの点検 (LOS帯) 食事
Orbit 5 (軌道5周回目)	<ul style="list-style-type: none"> 外部カメラ点検の結果報告、および搭乗クルーの健康状態の報告、与圧服の整備 テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告
Orbit 6-12 (軌道6-12周回目)	<p><u>搭乗クルー就寝</u></p>

DV : Delta Velocity

表3.3-1 軌道投入からISSドッキングまでの主な搭乗クルーの作業
(打上げ後、2日間かけてドッキングするケース) (2/3)

飛行2日目開始	
Orbit 13 (軌道13周回目)	<p><u>搭乗クルー起床、起床後の活動、軌道モジュールと帰還モジュールの圧力確認と報告</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 14 (軌道14周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 15 (軌道15周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 16 (軌道16周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 17 (軌道17周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 姿勢制御（太陽方向に+Y軸を向けヨー回転）の終了。モーション・コントロール・システム（MCS）を再起動し、自動マヌーバを開始（LVLH基準姿勢の確立）。 ・ RHC-2の手動によるテスト制御 ・ 軌道調整マヌーバ噴射のデータをアップリンク ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。 ・ 自動マヌーバで高度調整噴射の姿勢へ移行。 <p><u>高度調整マヌーバ実施。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 手動による姿勢制御（太陽方向に+Y軸を向けヨー回転：2度/秒）を開始。レート確立後、モーション・コントロール・システム（MCS）を停止。
Orbit 18 (軌道18周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 19 (軌道19周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 二酸化炭素除去装置のカートリッジ交換 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 20 (軌道20周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 21 (軌道21周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 22 - 27 (軌道22～27周回目)	<p><u>クルーの就寝</u></p>

表3.3-1 軌道投入からISSドッキングまでの主な搭乗クルーの作業
(打上げ後、2日間かけてドッキングするケース) (3/3)

飛行3日目開始	
Orbit 28 (軌道28周回目)	<p><u>搭乗クルーの起床、起床後の活動</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 29 (軌道29周回目)	<p>軌道モジュールと帰還モジュールの圧力確認・報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 30 (軌道30周回目)	<p>Form 2 “Globe Correction”の読上げ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動ランデブコマンドタイムラインのアップリンク。 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
飛行3日目自動ランデブシーケンス開始	
Orbit 31 (軌道31周回目)	<p><u>Sokol与圧服に着替え、軌道モジュールと帰還モジュール間のハッチを閉鎖し、帰還モジュールに着席。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ソユーズ宇宙船の能動・受動状態でのステートベクトルのアップリンク ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
Orbit 32 (軌道32周回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 姿勢制御（太陽方向に対する転回）を終了、MCSの再起動、自動マヌーバを開始（LVLH基準姿勢の確立）。 <p><u>自動ランデブシーケンスの開始。</u></p> <p><u>搭乗クルーによるLVLH基準姿勢の監視と、自動ランデブシーケンスの実行。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
飛行3日目最終接近／ドッキング開始	
Orbit 33 (軌道33周回目)	<p><u>自動ランデブシーケンス（続き）、フライアラウンドマヌーバ、ISSとの距離保持</u></p> <p><u>搭乗クルーによる監視。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ フライアラウンド、ISSとの距離保持。 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
Orbit 34 (軌道34周回目)	<p><u>最終接近およびドッキング</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 捕捉からドッキングシーケンス完了まで（通常約20分）。 ・ ドッキングインタフェース圧力シールの監視。 ・ 軌道モジュールへの移動、Sokol与圧服を脱ぐ。 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
飛行3日目ISS船内入室	
Orbit 35 (軌道35周回目)	<p><u>ISSとソユーズ宇宙船の気圧の均等化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ すべてのモジュール内の圧力確認・報告。 <p><u>ハッチの開放、ISS船内へ入室。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。

出典：NASA Expedition 35/36 press kit

3.4 ランデブ／ドッキング

ソユーズ宇宙船は、打上げ後6時間（あるいは2日間）かけてISSに接近します。ソユーズ宇宙船のランデブ／ドッキングは通常、自動制御で実施されますが、トラブル発生時には、ソユーズ宇宙船の搭乗クルーが、手動で接近／ドッキング操縦を行います。

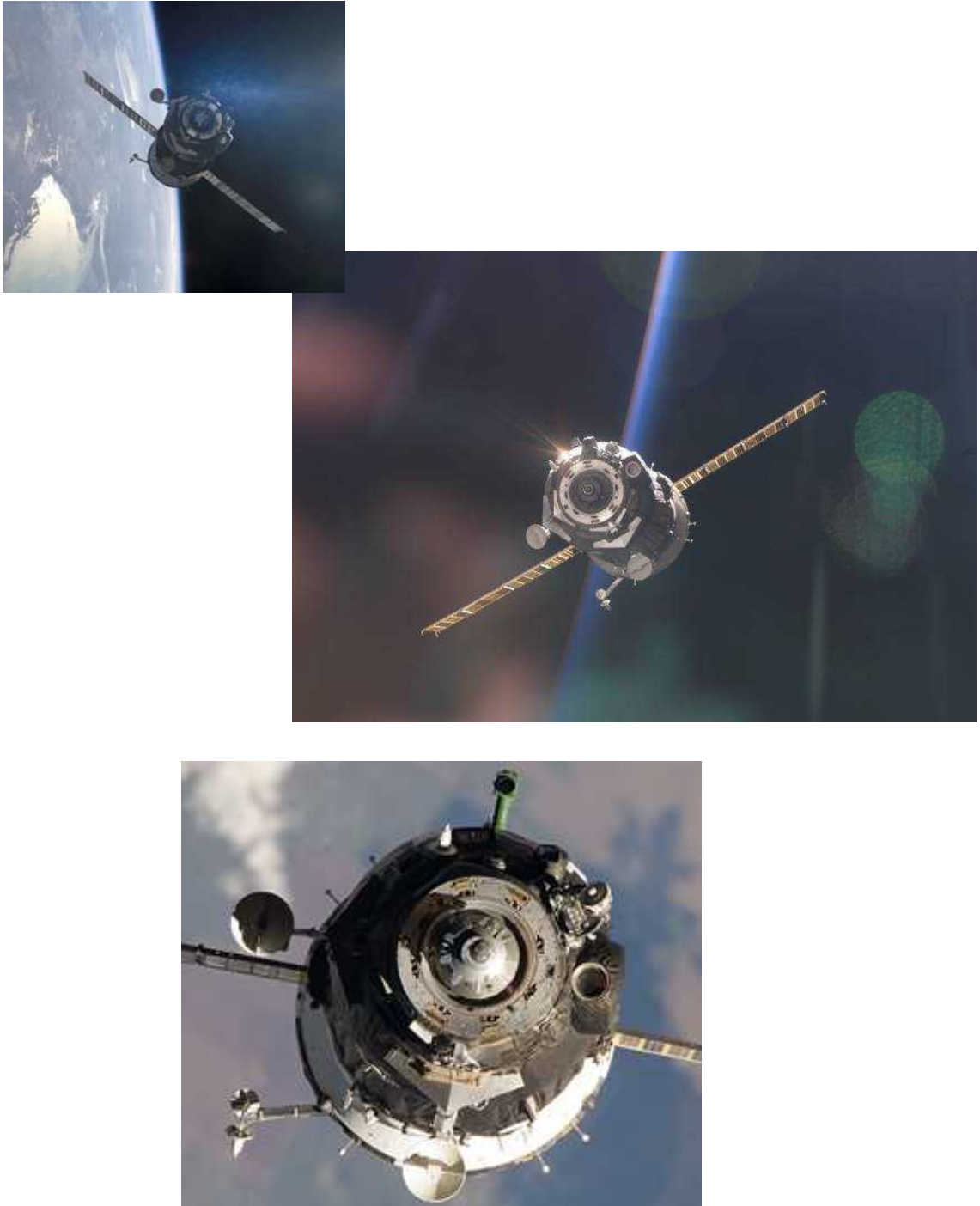


図3.4-1 ISSに接近するソユーズ宇宙船

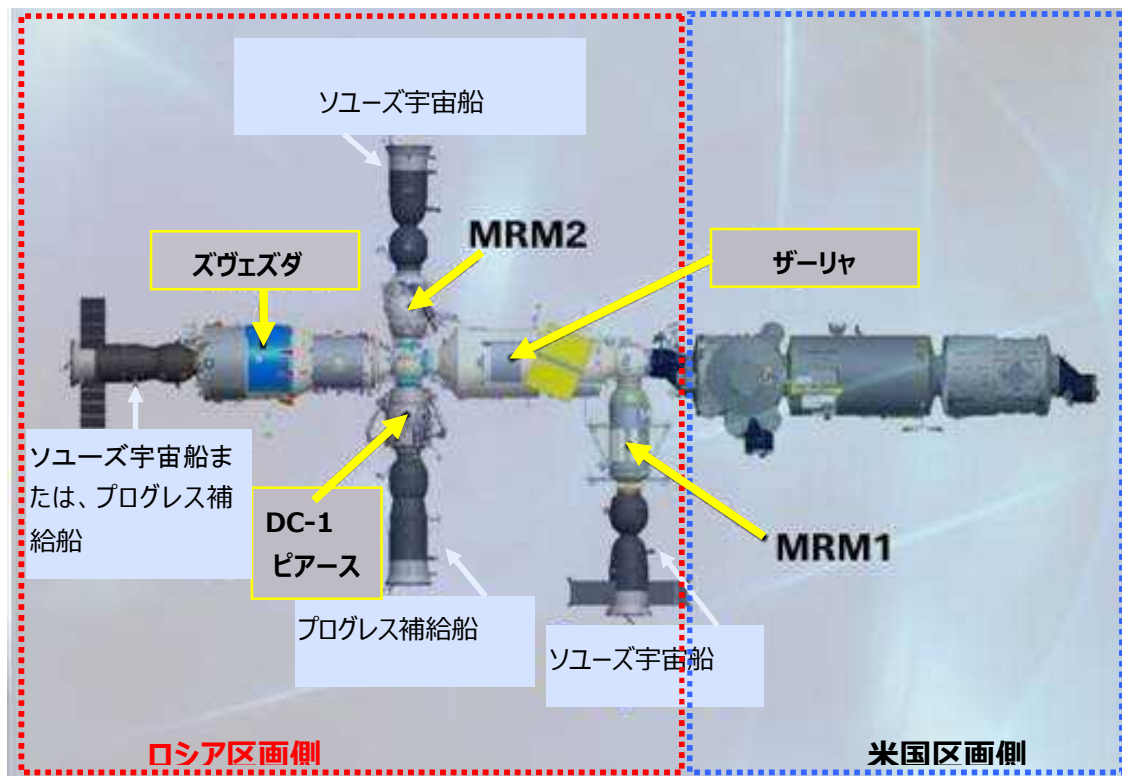


図3.4-2 2010-2017年時点のロシア区画の構成
※ソユーズMS-07は、MRM1「ラスヴェット」にドッキングする予定です。



図3.4-3 MRM1内部の様子

MRM1「ラスヴェット」は、2010年5月にSTS-132で運ばれて「ザーリャ」(FGB)下部に結合されました。



図3.4-4 MRM1にドッキングしたソユーズ宇宙船(39S) (NASA)
後方はプログレスM-23M(55P)補給船

<https://www.nasa.gov/content/soyuz-and-progress-docked-to-space-station>

3.5 再突入／着陸（帰還当日）

ソユーズ宇宙船は中央アジアに位置するカザフスタンの草原地帯に着陸します。ソユーズ宇宙船は、最大3名の宇宙飛行士を乗せて、ISS分離後、約3.5時間で地上に帰還します。

ソユーズ宇宙船は帰還モジュールのみが地上に帰還し、他の2つのモジュールは再突入の少し前（*機器／推進モジュールを使用した軌道離脱噴射後）に帰還モジュールから分離して、大気圏で燃焼して廃棄されます。

帰還モジュールは再突入の約23分後に着陸します。再突入から着陸までの流れは以下のとおりです。

- ① 軌道離脱噴射を実施。
- ② 軌道モジュールと機器／推進モジュールを分離。
- ③ 高度約100kmから再突入開始（ISS分離後、約3時間経過時点）。
- ④ 8つのスラスト噴射による再突入飛行の制御（スラスト噴射は着陸の約15分前（パラシュート展開時）に停止）。
- ⑤ 誘導パラシュート2個を放ち、減速用パラシュート（drogue chute）を展開。これにより、降下速度は秒速230mから秒速80mにまで減速。
- ⑥ 着陸の15分前にメインパラシュート（面積3,281m²）を展開。これにより帰還モジュールの降下速度は秒速7.3mにまで減速。
- ⑦ 着陸1秒前に帰還モジュールの小型ロケット（衝撃緩和ロケット）を噴射。これにより地上にタッチダウン時には秒速1.5m以下の降下速度に減速。

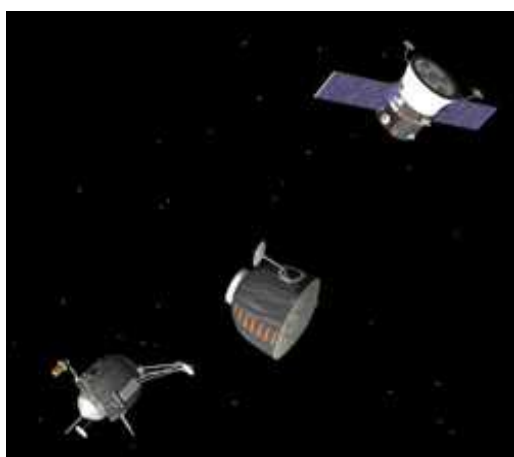


図3.5-1 ソユーズ宇宙船の分離イメージ（左）



図3.5-2 帰還モジュールの再突入イメージ（右）

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/soyuz/landing.html



図3.5-3 メインパラシュートを展開した帰還モジュール(左)



図3.5-4 衝撃緩和ロケットを噴射して着陸する帰還モジュール (右)



図3.5-5 ソユーズTMA宇宙船の着陸予定地の例(矢印の方向から帰還) (NASA)

注：ミッション毎に着陸地は多少移動します。

【ソユーズ宇宙船の軌道離脱に備えた訓練】 古川宇宙飛行士のTwitterより

「ソユーズ宇宙船が国際宇宙ステーションから離脱し、地上に帰還する部分のシミュレーション訓練。宇宙飛行において、最も危険性が高い時期のひとつのため、様々な異常事態に対処できるよう、繰り返し行う。

ソユーズ宇宙船の軌道離脱噴射が鍵。すなわち、ソユーズ宇宙船の姿勢を制御し、決められたタイミングで、決められた時間の噴射を行う必要がある。噴射が少な過ぎると、大気圏突入角が浅くて大気に弾かれ、噴射が多過ぎると大気圏突入角が深くて速度が上がりすぎ、空力加熱で機体破壊の恐れもある。

そのため、正常な軌道離脱噴射を妨げるような様々な異常事態への対処を訓練する。赤外線を使って地球の縁をとらえるセンサーの故障で、船長が手動でソユーズ宇宙船の姿勢を制御。軌道離脱噴射開始前に、メインで使用するデジタルループが故障しアナログループへ移行。軌道離脱噴射エンジン用燃料タンクを加圧するヘリウム系に漏れが発生。軌道離脱噴射中には、メインの軌道噴射エンジンが停止し、バックアップのエンジンを点火して噴射を継続。その他、帰還モジュール内への酸素漏れ、などなど。3人のクルーで力を合わせて乗り切る。」

【ソユーズ宇宙船の大気圏突入に備えた訓練】古川宇宙飛行士のTwitterより

「手で揚力をコントロールするソユーズ宇宙船帰還モードの訓練。帰還モードは4種類ある。1番目は、通常使われる自動で揚力をコントロールするモード。それが使えない場合、2番目の手動揚力コントロールモードを使用することがある。実際の飛行ではまだそれが使われたことはないという。

よく誤解されるが、弾道飛行モードはロール軸のスピンドで姿勢を安定させる一種の安全モードであり、「失敗」ではないのである。クルーには最高8-9G程度（通常は最高4G程度）の高い負荷がかかるものの、安全に帰還している。

3番目のモードは弾道飛行。過去に何回か実際に起こっている。1番目と2番目のモードが使用不可の場合に使われる。

4番目のモードはバックアップ弾道飛行モード。弾道飛行モードに必要な角速度センサーが故障した場合に備え、別系統の角速度センサーを使うもの。訓練ではしばしば起こるが、実際に起こったことはない。

というわけで、手動揚力コントロールモードでのソユーズ宇宙船帰還のシミュレーション訓練。画面の情報を見ながら先を予想し、左右のボタンを押して揚力をコントロールする。」



図3.5-6 手動揚力コントロールモードでのソユーズ宇宙船帰還時に使う操縦装置
(カナダ人宇宙飛行士Chris HadfieldのTwitterより)

3.6 ソユーズ宇宙船の搜索・回収

ソユーズ宇宙船（帰還カプセル）は、予定した帰還地点から約20～30kmの範囲に着地します。しかし、弾道モードで帰還した為に予定地点よりも約400kmも手前に着地し、搜索・到着が遅れた例もあり、そのような状況でも素早く搜索部隊が到着できるよう、事前に搜索計画が設定されるようになりました。

搜索は、予定の着地地点と、弾道モードで帰還した場合の着地点のどちらにも向かえるように、搜索部隊の最適な配置・展開が行われます。

搜索には10機以上のMi-8ヘリコプターが投入され、搜索範囲を広くカバーできるように航空機も使用します。また地上では、支援部隊が水陸両用車(All-terrain vehicle: ATV)とオフロード車に乗って配置・展開します。帰還カプセルの降下が確認された場合は直ちに全チームが着地点へ向かいます。

ソユーズ宇宙船のカプセルからはVHFビーコンが発信されているため、近くに搜索部隊がいれば、この信号をもとにパラシュート降下中のカプセルを発見し、着地後直ちにカプセルのハッチを開ける準備に移ることができます（2012年の30SからはGLONASS/GPS受信機の搭載を開始したため、帰還地を把握しやすくなりました）。また、カプセルを視認することが可能な距離であれば、クルーとの音声交信も可能です。しかし、ミッション毎に状況が変わり、無線が通じないブラックアウト期間を終えたパラシュート降下中でも音声交信がほとんどできない場合や、ノイズがひどく通信不能になる場合もあります。また現地からの簡易的な衛星中継に使うインマルサット衛星システムでは伝送容量に限りがあるため、衛星中継車が到着するまでは高画質な映像は得られません。

着地したカプセルは、パラシュートが風であおられた場合は横倒しになってしまいますが、問題はありません（約半数は横倒しとなります）。

もし着地後も搜索チームの到着が遅れてしまった場合は、クルーは船内に装備しているイリジウム衛星電話を使って、モスクワの管制センター等と連絡をとることが出来ます。

コラム付録3-1

【弾道モードでの着陸】

ソユーズ宇宙船の帰還カプセルは、姿勢制御装置のトラブルやモジュールの分離トラブルなどに見舞われた場合でも弾道モード（無制御状態）で安全に着地することが出来ます。

無制御状態の場合は、着地点が予定よりも約400km手前になり、クルーが受ける加速度も最大で8-10Gという厳しいものになりますが、これまでに何度も無事に帰還しています。

最近では、ソユーズTMA-1, TMA-10, TMA-11で弾道モードでの帰還となりました。TMA-10と11の事例は、モジュール分離用の火工品のトラブルが原因であったことが判明し、TMA-12からは再発防止のための改良が加えられました。

回収部隊によるソユーズ宇宙船の搜索・回収は以下の流れで実施されます。

- ① ヘリコプター等による搜索／着陸地の確認
- ② 着陸地に到着
- ③ 搭乗クルーをカプセルの外に出す
- ④ 医学検査用エアテント内で簡単な医学検査を実施
- ⑤ 帰還モジュールに搭載して持ち帰った実験試料の回収
- ⑥ ヘリコプターで空港に移動し、飛行機でモスクワへ移動（注：2010年6月より、NASAとJAXA(ロシア人以外)の宇宙飛行士はNASAのビジネスジェット機で米国へ直接移動するようになりました。）
- ⑦ 帰還モジュールカプセルをモスクワに回収



図3.6-1 ソユーズTMA-12着陸に備えて出動準備を行なうロシアの回収部隊



図3.6-2 古川宇宙飛行士を乗せて帰還したソユーズTMA-02Mカプセル (NASA/Bill Ingalls)



図3.6-3 ソユーズ宇宙船から搭乗クルーを引き出している様子
(カプセルが横倒しにならなかったときは、このように梯子を使って引き上げる)



図3.6-4 回収部隊に運ばれる搭乗クルー

帰還したクルーは、リクライニングシートに運ばれてしばらく重力に慣らした後、医療用テントへ運ばれます。その後は、ヘリコプターで空港まで運ばれます。

コラム付録3-2

【帰還直後の転倒の危険性について】

スペースシャトルでの帰還でも同様ですが、長期滞在を終えたクルーが帰還直後にすぐに立ち上がると、頭から下半身への血流のシフトが起きて貧血を起こした時のような状態になって転倒し、怪我をする可能性があります。このため、クルーには医者から許可が出るまでじっとしているように指示されています。

ミール時代やISSの初期の頃に比べると、クルーは軌道上でのエクササイズや帰還に備えた医学的な指示が充実してきたお陰で遙かに元気な状態で帰還できるようになりましたが、それでも着陸後数時間は、体を重力に慣らす必要があります。また、立ちくらみの危険性だけでなく、バランス感覚が戻るまではかなりの日数がかかるため、最近のリハビリテーションではバランス感覚を戻すことに重点が置かれています。



図3.6-5 医学検査用エアテント (inflatable medical tent)



図3.6-6 帰還モジュールに搭載して持ち帰った物品の取出し

コラム付録3-3

【帰還後の体の変化・回復状況】

ISSに長期滞在して帰還したクルーの様子は、プライバシーの問題があるため通常は公表されません。しかし、2013年5月に帰還したカナダのクリス・ハドフィールドの回復状況はCSAのホームページで(本人が同意の上で)公開されているので以下にその貴重な情報を紹介します。彼が地上に帰還したのは5月14日で、その日のうちにヒューストンに戻っています。

5/15 : 歩くときに時々脚をもつれさせている。背中に痛みがあり、歩いて角を曲がるのが困難な状態で、角にぶつかってしまう。めまいを感じており、階段を上り下りするのはかなり困難。彼が今回の飛行で喪失した骨密度の回復には約1年あるいはそれ以上かかる見込み。彼をうまくリハビリさせていくことで、シニア層へ役立てる重要な知見を得ていく。

5/16 : 既に彼の歩行能力と平衡感覚は飛躍的に改善してきた。とはいえ、彼が車を運転できる状態に戻るまでには、まだ約3週間かかるとみている。

5/17 : 重力への適応は日々進んでおり、めまいも消えて歩行もはっきりしてきた。心電図や脳波の測定、MRI検査を実施。

5/31 : ジムで毎日2時間のエクササイズを継続している。昨日初めてランニングを実施。重力に完全に慣れると感じるまでおそらく3-4か月かかるだろう。

<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/missions/expedition34-35/health.asp>

3.7 帰還後のリハビリテーション

帰還後のリハビリテーションは、任務を終了し帰還したISSクルーの最優先実施事項として実施します。帰還後のリハビリテーションプログラムは、帰還直後の転倒による骨折・捻挫の予防と、飛行前の体力復帰を目標として、宇宙飛行士ごとに個別に計画、実施されます。

ソユーズ宇宙船で帰還したロシア人宇宙飛行士以外の宇宙飛行士は、母国や居住地のある国に帰国してリハビリプログラムを実施します（母国に帰る時期は、宇宙飛行士の体調の回復状況などを担当のフライトサーजनや計画マネージャなどが判断します）。（注：野口宇宙飛行士が帰還した2010年6月より、NASA, ESA, JAXAの宇宙飛行士はNASAの専用機でその日のうちに米国ヒューストンへ直接移動するようになった（それ以前はロシアで初期リハビリを実施）。なお、2014年11月からはESAもドイツに直接戻ってリハビリを行うようになった。）

参考として、米国宇宙飛行士の場合の、長期滞在帰還後のリハビリテーションプログラムの概要を表3.7-1に示します。

コラム付録3-4

長期滞在ミッション終了後のリハビリテーションプログラム

宇宙での長期間任務を終了し地上に帰還した宇宙飛行士は、転倒による怪我の予防や体力復帰に向けたリハビリを実施します。約1ヶ月半にわたり毎日、体調にあわせてリハビリテーションを行い、地球の重力環境に少しずつ身体を慣らしていきます。

宇宙滞在中は、微小重力環境で生活することにより、宇宙飛行士の身体には様々な生理的変化が起こります。宇宙酔いや、体液シフト、骨密度の減少、筋肉の萎縮と筋力低下などがあげられます。1週間～2週間の宇宙飛行では宇宙酔いや体液シフトが生じますが、これらの変化は帰還後早期に回復します。約6ヶ月間にわたる宇宙滞在中では、骨量減少（大腿骨頸部で約-10%）や筋力低下（膝伸筋で約-30%）の影響が顕在化し、これらの回復には時間がかかります。身体のコンディションを飛行前の状態へと、早期に効果的に回復させるためには、計画的なリハビリテーションプログラムが必要となります。

ISS長期滞在クルーは、これらの健康上の問題に対処するため、宇宙滞在中は1日2時間の運動を毎日行なっていますが、骨や筋機能、感覚機能の維持には十分とはいえないのが現状です。

ISS長期滞在クルーの帰還後のリハビリは、3段階（フェーズ1、2、3）から構成されます（次頁の「表3.7-1：（米国の）ISS長期滞在クルー帰還後のリハビリテーションプログラム概要」を参照ください）。身体機能の低下と体力の回復は、年齢、飛行期間などにより、個人差が出るため、担当のフライトサーजनとリハビリテーションプログラム担当職員が、個人の体力に応じて、個別のリハビリテーションプログラムを作成します。

このリハビリテーションプログラム中、定期的に医学検査と体力機能検査を行います。これらの医学的な検査結果は、当該宇宙飛行士の健康管理に役立てるのみならず、ISSや月、火星ミッションに向けた有人宇宙開発の基礎データとして役立てることが期待されます。

表3.7-1 (米国の) ISS長期滞在クルー帰還後のリハビリテーションプログラム概要

目的	帰還後のリハビリテーションプログラムは、帰還直後の転倒による骨折・捻挫を予防し、飛行前体力への回復を目標として、宇宙飛行士ごとに個別に計画する。		
パラメータ	筋力、最大酸素摂取量、体力機能検査		
対象	ISS長期滞在ミッション（30日以上滞在）に参加した宇宙飛行士		
プログラムの構成	以下のフェーズ1、フェーズ2、フェーズ3で構成される。 担当のフライトサージャンの安全管理のもと、リハビリテーションプログラム担当職員の立会いの下で実施する。必要に応じて、NASAなどの運動プログラム担当者の支援を得て実施する。		
フェーズ1	帰還当日～ 帰還後3日目	1日 120分	介助付き歩行、立位訓練、ストレッチング、マッサージ、有酸素運動、筋力トレーニング、軽度な抵抗運動など。
フェーズ2	帰還後4日目～ 帰還後14日目	1日 120分	ストレッチング、有酸素運動、筋力トレーニング、敏捷性やバランスを高める運動、マッサージ、十分な休養など。
フェーズ3	帰還後15日目～ 帰還後45日目	1日 120分	フェーズ2と同様のプログラムを実施。 敏捷性、バランス能力、協調運動、温泉や保養所での療養。
使用する施設	自転車エルゴメーター、エリプスマシーン、トレッドミル、筋力トレーニングマシーン、ゴムバンド、バランスディスク、投的、メディシンボール		
備考	<ul style="list-style-type: none"> • 帰還から45日目まで就業中2時間のリハビリプログラムを計画する。 • 定期的に医学検査と体力機能検査を行う。 • 45日間のリハビリテーション後も延長して実施するかどうかについては、リハビリテーション担当職員の評価のもとに、担当フライトサージャンが決定する。 		

【参考文献】MR026L Postflight Rehabilitation (NASA JSC)、「宇宙飛行による骨・筋への影響と宇宙飛行士の運動プログラム」大島博、他（JAXA 有人宇宙技術部 宇宙医学グループ）

4. ソユーズロケットについて

ソユーズロケットは1966年から、1,800機以上もの打上げを実施してきており、数々の通信衛星、観測衛星、科学衛星、そして有人宇宙船を高い成功率で打ち上げてきました。

ソユーズ宇宙船の打上げに使われてきたソユーズロケットは3段式です。一番下の第1段ロケットは4本の液体ブースタで構成されます。第2段ロケットは第1段の中央部に位置しており、その上部に第3段ロケットが搭載されています。これらの3段式のロケット推進薬には、すべて液体酸素とケロシンが使用されています。

ソユーズロケットは、横倒しにした状態で、列車に載せて運搬できるのが特徴で、打上げまでの準備作業が迅速に出来る特徴を有しています。

ソユーズ宇宙船の打上げには、長年ソユーズUロケットが使われていましたが、2002年のソユーズTMA-1宇宙船の打上げから改良型のソユーズFGロケットに切り替えられました。また、2019年からはソユーズ2.1aロケットに切り替えることが計画されています。

ソユーズ宇宙船とプログレス補給船の打上げは、すべてカザフスタン共和国のバイコヌール宇宙基地で行われています。



図4-1 射点へ列車で運ばれるソユーズFGロケット(NASA)

4.1 第1段ロケット

第1段ロケットは、円錐形のブースタ4基から構成されます。これらのブースタは、第2段ロケットの周囲に取り付けられています。

各ブースタには、4基のエンジンノズルと2基のジンバル構造のバーニアスラストからなるRD-107Aエンジンが採用されています。3軸方向のロケットの飛行制御(姿勢制御)はバーニアスラストで行います。



図4.1-1 ソユーズFGロケットを後方から見た写真(NASA)

表4.1-1 ソユーズFGロケットの主要諸元

ロケット名称	Soyuz FG
全長	49.47m
最大直径	10.3m (1段ブースタ底部) 2.95m(中央部(2段)の直径)
打上げ時重量	305.0t
打上げ能力	約7,100~7,200kg

<http://www.federspace.ru/Rocket1Show.asp?RocketID=32> (注：リンク切れ)

(この諸元は上記英語ページを参照に作成したが、現在英語ページは削除されており、以下のロシア語ページしかない。しかしこの現在のページには諸元データは記述されなくなった)

<http://www.federspace.ru/467/> (ロシア語ページ)

4.2 第2段ロケット

第2段ロケットは、RD-108Aエンジンが使われています。第1段のRD-107エンジンとの違いはバーニアスラスタの数が2基から4基に増やされている点です。

射点からの上昇時は、5基のエンジン（エンジンノズルは計20基）を同時に燃焼して大きな推力を稼ぎます。

第2段は、1段の点火と同時に燃焼を開始し、1段を分離した後も燃焼を続けます。1段の燃焼時間は118秒間ですが、2段の燃焼時間は290秒間です。

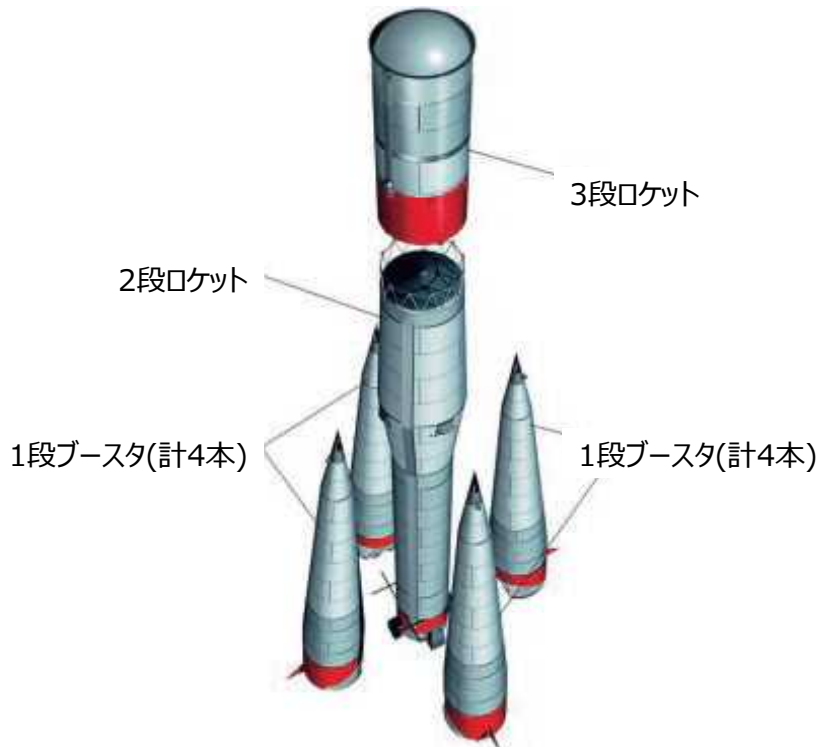


図4.2-1 ソユーズロケットの構成イメージ
(Starsem社のSoyuzユーザーズマニュアルより)

4.3 第3段ロケット

第3段は、第2段ロケットにトラス構造で結合されています。第2段ロケットの燃焼終了と同時に第2段ロケットが分離し、第3段ロケットのエンジンの燃焼が開始されます。



図4.3-1 第3段ロケットとソユーズ宇宙船を収納したペイロードシュラウドの結合作業
(RSCエネルギー社)

4.4 フェアリングと緊急脱出用ロケット

ソユーズ宇宙船は、フェアリング（ペイロードシュラウド）内に収納されて3段に結合されます。さらに先端には、ソユーズ宇宙船の打上げ時にのみ使われる緊急脱出用ロケットが装備されます。



図4.4-1 ソユーズFGロケットの上部(NASA)

Soyuz Insertion Timeline

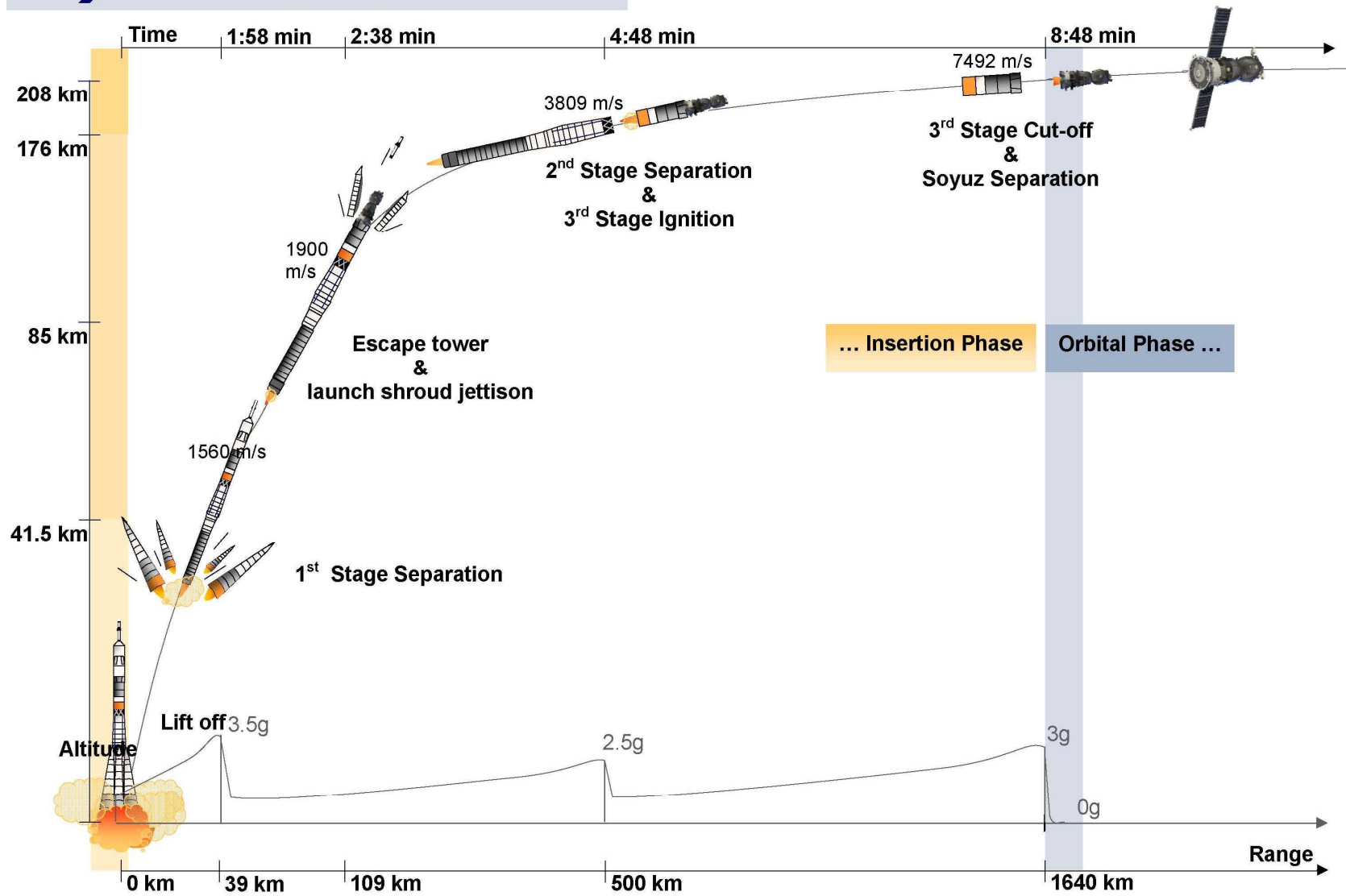


図4.4-2 ソユーズロケットの打上げシーケンスとG環境 (ESA HP) http://www.esa.int/images/Soyuz_insertion_timeline.jpg

5. バイコヌール宇宙基地について

バイコヌール宇宙基地は、カザフスタン共和国にあります。旧ソ連時代からここが有人宇宙機の打上げに使われてきましたが、ソ連崩壊後は、ロシアはカザフスタンにリース料を払って使用を継続しています。

バイコヌール宇宙基地には全部で9つの打上げ施設（射点）がありますが、そのうちの2つは、ソユーズロケット用の射点です。



図5-1 バイコヌール宇宙基地と着陸場所の例(NASA HP)

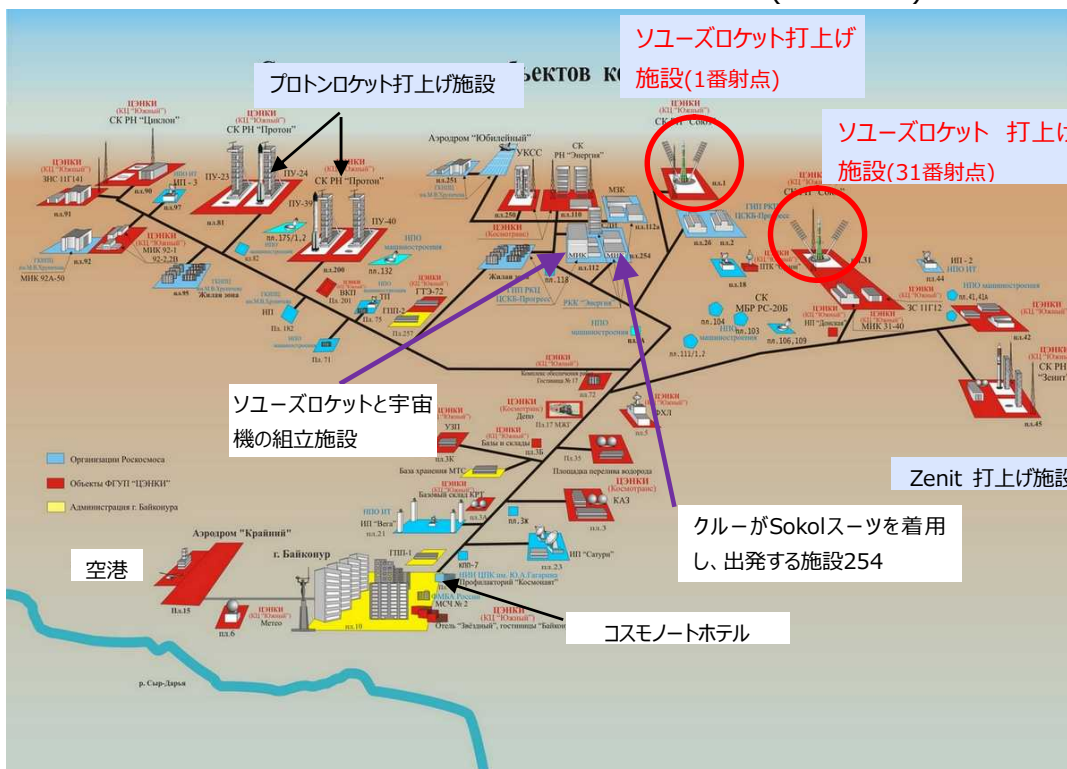


図5-2 バイコヌール宇宙基地のマップ（現在使用されている施設）(Roscosmos)

<http://www.roscosmos.ru/479/>

バイコヌール宇宙基地は、1957年から使用が開始され、当初は大陸間弾道ミサイル

(ICBM) R-7Aの打上げに使われていました。

このR-7Aを利用して、世界初の人工衛星スプートニクの打上げが行われ、R-7Aを基に改良されたヴォストークロケットで1961年4月12日にガガーリンによる世界初の有人宇宙飛行が行われました。ヴォストークロケットはその後、1966年にはソユーズロケットへと発展しましたが、このバイコヌール宇宙基地でソユーズロケットの打上げに使われている1番射点(LC-1/PU-5)は、ガガーリンの打上げに使われた射点が使われています。



図5-3 バイコヌール宇宙基地の1番(LC-1/PU-5)射点



図5-4 1番射点でソユーズTMA-17M宇宙船に搭乗する43Sクルー（参考）

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/201507230001hq.php>

付録4. 参考データ

1. ISSにおけるEVA履歴

表1-1に国際宇宙ステーション（ISS）組立て・メンテナンスに関する船外活動（EVA）の履歴を示します。米露以外の国籍では、これまでにカナダ人3名、フランス人2名、ドイツ人3名、スウェーデン人1名、イタリア人1人、イギリス人1人、および日本人3名が船外活動を実施しています。(2017年12月5日現在)

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴（1/13） 2017年12月5日現在

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
1	STS-88 (2A)	1998.12.07	7H21m	ジェリー・ロス ジム・ニューマン	STS	シャトル通算42回目のEVA。 初のISS組立EVA：ザーリヤとユニティの 結合作業。
2		1998.12.09	7H02m	同上		
3		1998.12.12	6H59m	同上		
4	STS-96 (2A.1)	1999.05.29 ～05.30	7H55m	タミー・ジャーニガン* ダン・バリー	STS	EVAクレーンの設置。
5	STS-101 (2A.2a)	2000.05.21 ～05.22	6H44m	ジェームス・ヴォス ジェフリー・ウィリアムズ	STS	EVAクレーンの組立。
6	STS-106 (2A.2b)	2000.09.10 ～09.11	6H14m	エドワード・ルー ユーリ・マレンチェンコ	STS	ズヴェズダとザーリヤ間の配線接続など。
7	STS-92 (3A)	2000.10.15	6H28m	リロイ・チャオ ウィリアム・マッカーサー	STS	Z1トラスとPMA-2の艀装作業など。
8		2000.10.16	7H07m	ピーター・ワイゾフ マイケル・ロペズ-アレグリア		
9		2000.10.17	6H37m	リロイ・チャオ ウィリアム・マッカーサー		
10		2000.10.18	6H56m	ピーター・ワイゾフ マイケル・ロペズ-アレグリア		
11	STS-97 (4A)	2000.12.03	7H34m	ジョー・タナー カルロス・ノリエガ	STS	P6トラスの結合、艀装作業など。
12		2000.12.05	6H37m	同上		
13		2000.12.07	5H10m	同上		
14	STS-98 (5A)	2001.02.10	7H34m	トム・ジョーンズ ボブ・カービーム	STS	デスティニーの艀装作業など。
15		2001.02.12	6H50m	同上		
16		2001.02.14	5H25m	同上		
17	STS-102 (5A.1)	2001.03.10 ～03.11	8H56m	ジェームス・ヴォス スーザン・ヘルムズ*	STS	デスティニーの艀装、ESP-1の設置など。 8H56mは、最長のEVA記録。
18		2001.03.12	6H21m	アンディ・トーマス ポール・リチャーズ		
19		STS-100 (6A)	2001.04.22	7H10m		
20	2001.04.24		7H40m	同上		
21	ISS 2-1 (ロシアEVA-1)	2001.06.08	19m	ユーリ・ウサチエフ ジェームス・ヴォス	SM	ズヴェズダの一部を減圧しての船内EVA。 Orlan宇宙服使用。

表の年月日は米国時間。

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (2/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
22	STS-104 (7A)	2001.07.14 ～07.15	5H59m	マイケル・ガンハート ジェームズ・ライリー	STS	クエストの取り付け、艀装作業など。
23		2001.07.17 ～07.18	6H29m	同上		
24		2001.07.20 ～07.21	4H02m	同上	クエスト	
25	STS-105 (7A.1)	2001.08.16	6H16m	ダニエル・バリー パトリック・フォレスト	STS	初期アンモニア充填装置 (EAS) の設置、米国の材料曝露実験装置 (MISSE) の設置など。
26		2001.08.18	5H29m	同上		
27	ISS 3-1 (ロシアEVA-2)	2001.10.08	4H58m	ウラディミール・ジェジュロフ ミハイル・チュリン	DC-1	「ピアース」(DC-1) 初使用。DC-1の艀装。
28	ISS 3-2 (ロシアEVA-3)	2001.10.15	5H58m	同上	DC-1	NASDA の材料曝露実験装置 (MPAC & SEED) の設置。DC-1の艀装。
29	ISS 3-3 (ロシアEVA-4)	2001.11.12	5H04m	同上	DC-1	DC-1の艀装。
30	ISS 3-4 (ロシアEVA-4A)	2001.12.03	2H46m	同上	DC-1	5P分離時に残っていた異物 (リング) を除去 (予定外のEVA)。
31	STS-108 (UF-1)	2001.12.10	4H11m	リング・ゴドウィン* ダニエル・タニ	STS	P6トラスのBGA (ベータ・ジンバル・アセンブリ) への断熱カバーの設置。
32	ISS 4-1 (ロシアEVA-5)	2002.01.14	6H03m	ユーリー・オヌフリエンコ カール・ウオルツ	DC-1	ロシアのEVAクレーンの移設。アマチュア無線 (ARISS) アンテナの設置。
33	ISS 4-2 (ロシアEVA-6)	2002.01.25	5H59m	ユーリー・オヌフリエンコ ダニエル・バーシュ	DC-1	ズヴェズダのスラスタガスの汚染防止機器の設置。
34	ISS 4-3 (US EVA-1)	2002.02.20	5H47m	カール・ウオルツ ダニエル・バーシュ	クエスト	8AのEVAに備えた作業。クエストの機能確認。
35	STS-110 (8A)	2002.04.11	7H48m	スティーブン・スミス レックス・ワルハイム	クエスト	S0 トラスの取り付け、モビル・トランスポーター (MT) の艀装作業など。ジェリー・ロス、通算 9 回の EVA で、合計 58H18m の EVA 作業時間を記録 (米国記録)。
36		2002.04.13	7H30m	ジェリー・ロス リー・モーリン		
37		2002.04.14	6H27m	スティーブン・スミス レックス・ワルハイム		
38		2002.04.16	6H37m	ジェリー・ロス リー・モーリン		
39	STS-111 (UF-2)	2002.06.09	7H14m	フランクリン・チャーディアズ フリップ・ペリン (CNES)	クエスト	モビル・ベース・システム (MBS) の取り付け。SSRMS「カナダアーム2」の手首ロール関節の交換修理。フリップ・ペリンはフランス人
40		2002.06.11	5H00m	同上		
41		2002.06.13	7H17m	同上		
42	ISS 5-1 (ロシアEVA-7)	2002.08.16	4H25m	フレリー・コルズン ペギー・ウィットソン*	DC-1	ズヴェズダのデブリ防御パネルの設置。 *印は女性宇宙飛行士
43	ISS 5-2 (ロシアEVA-8)	2002.08.26	5H21m	フレリー・コルズン セルゲイ・トreshieフ	DC-1	NASDA の材料曝露実験装置 MPAC&SEEDのパネル1枚を回収。

注：エアロック欄のSTSはシャトルのエアロックを使用。クエストは、米国製のジョイント・エアロック「クエスト」を使用。DC-1は、ロシアの「ピアース」を使用 (Orlan宇宙服を使用)。

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (3/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EVA種別	備考
44	STS-112 (9A)	2002.10.10	7H01m	デビッド・ウオルフ ピアース・セラーズ	クレスト	S1トラスの艀装、外部TVカメラの設置、アンモニア配管の機能改修器具 (SPD) の設置など。
45		2002.10.12	6H04m	同上		
46		2002.10.14	6H36m	同上		
47	STS-113 (11A)	2002.11.26	6H45m	マイケル・ロペズ-アレグリア ジョン・ヘリントン	クレスト	P1トラスの艀装、SPDの設置、UHFアンテナの展開など。
48		2002.11.28	6H10m	同上		
49		2002.11.30	7H00m	同上		
50	ISS 6-1 (US EVA-2)	2003.01.15	6H51m	ケネス・パウアーソックス ドナルド・ベティット	クレスト	P1トラスの艀装、ラジエータの展開など。 (医学上の問題により、EVAクルーがブダリンからベティットに交代された。)
51	ISS 6-2 (US EVA-3)	2003.04.08	6H26m	同上	クレスト	コロンビア号事故の影響でISS滞在クルーが2名になる前に修理作業等を実施
52	ISS 8-1 (ロシアEVA-9)	2004.02.26	3H55m	アレクサンダー・カレリ マイケル・フォール	DC-1	宇宙服の冷却トラブルにより途中で作業を中止した。JAXAのMPAC & SEEDパネルを1枚回収。
53	ISS 9-1 (ロシアEVA-9A)	2004.06.24	0H14m	ゲナディ・パダルカ マイケル・フィンク		
54	ISS 9-2 (ロシアEVA-9B)	2004.06.30	5H40m	同上	DC-1	故障したS0トラスのRPCMを交換し、CMG-2への電力供給を復活させた。 (6/24のEVAの再実施)
55	ISS 9-3 (ロシアEVA-10)	2004.08.03	4H30m	同上	DC-1	ESAの欧州補給機 (ATV) とのドッキングに備えてズヴェズダ後部へ各種機器を設置した。
56	ISS 9-4 (ロシアEVA-11)	2004.09.03	5H21m	同上	DC-1	ザーリヤのポンプパネルの交換、ATVアンテナの設置など。
57	ISS 10-1 (ロシアEVA-12)	2005.01.26	5H28m	リロイ・チャオ サリザン・シャリポフ	DC-1	ズヴェズダへのドイツの小型ロボット実験装置の設置など。
58	ISS 10-2 (ロシアEVA-13)	2005.03.28	4H30m	同上		
59	STS-114 (LF-1)	2005.07.30	6H50m	野口 聡一(JAXA) スティーブン・ロビンソン	STS	軌道上でのシャトルの熱防護システムの修理試験、故障したCMGの交換修理、ESP-2の取り付け、MISSE-1,2の回収と、MISSE-5の設置など。
60		2005.08.01	7H14m	同上		
61		2005.08.03	6H01m	同上		
62	ISS 11-1 (ロシアEVA-14)	2005.08.18	4H58m	セルゲイ・クリカレフ ジョン・フィリップス	DC-1	ロシアの材料曝露実験装置の回収、JAXAのMPAC & SEEDパネルをズヴェズダから回収、マトリョーシカの回収、TVカメラの設置
63	ISS 12-1 (US EVA-4)	2005.11.07	5H22m	ウィリアム・マッカーサー パレリー・トカレフ		
64	ISS 12-2 (ロシアEVA-15)	2006.02.03	5H43m	ウィリアム・マッカーサー パレリー・トカレフ	DC-1	スーツサット放出、モビルトランスポート (MT) の非常用ケーブルカッターへの安全ボルト取り付け、FGBに設置されていたロシアのStrelaクレーン用のアダプターをPMA-3に移設など

注：52～58回目のEVAは、ISS滞在クルーが2名のみであったため、EVA中はISS内は無人数状態であった。

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (4/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EVAロック	備考
65	ISS 13-1 (ロシア EVA-16)	2006.06.01	6H31m	パベル・ピノグラドフ	DC-1	エレクトロン（酸素発生装置）の水素排気口の設置、クロムカの回収、ピアース外壁に設置されていたBiorisk実験装置の回収、モービルベースシステム（MBS）のカメラの交換など
ジェフリー・ウィリアムズ						
66	STS-121 (ULF1.1)	2006.07.08	7H31m	ピアース・セラーズ	EVA	TUS (Trailing Umbilical System) リールアセンブリの交換準備、センサ付き検査用延長ブーム (OBSS) 足場安定性試験
			マイケル・フォッサム			
67		2006.07.10	6H47m	同上	EVA	ポンプモジュールの保管、TUS (Trailing Umbilical System) リールアセンブリの交換
68		2006.07.12	7H11m	同上	EVA	強化炭素複合材 (RCC) 修理方法の検証、赤外線ビデオカメラの性能試験など
69	ISS 13-2 (US EVA-5)	2006.08.03	5H54m	ジェフリー・ウィリアムズ	EVA	浮動電位測定装置 (FPMU)、材料曝露実験装置 (MISSE-3,4) の設置、ラジエータ回転用モータのコントローラ (RJMC) の設置など。ライターはドイツ人
トーマス・ライター (ESA)						
70	STS-115 (12A)	2006.09.12	6H26m	ジョセフ・タナー	EVA	P1トラスに結合されたP3/P4トラスを起動するための準備
ハイディマリー・ステファニション・パイパー*						
71	STS-115 (12A)	2006.09.19	7H11m	ダニエル・バーバンク	EVA	太陽電池パドル回転機構 (SARJ) の起動準備。マクレーンはカナダ人
			スティーブン・マクレーン(CSA)			
72	STS-115 (12A)	2006.09.15	6H42m	ジョセフ・タナー	EVA	P4 太陽電池パドル熱制御システム (PVTCS) のラジエータの展開準備、Sバンド通信機器の交換、P3/P4トラスの整備作業など
ハイディマリー・ステファニション・パイパー*						
73	ISS 14-1 (ロシア EVA-17)	2006.11.22	5H38m	ミハイル・チューリン	DC-1	プログレス補給船のトラブルを起こした自動ドッキング～アンテナ格納の試行と撮影、欧州補給機 (ATV) ドッキング用アンテナの移設、ゴルフボールの打ち出しなど
マイケル・ロペズ＝アレグリア						
74	STS-116 (12A.1)	2006.12.12	6H36m	ロバート・カービーム	EVA	P4トラスへのP5トラスの結合、P5トラスの把持部の移設、外部TVカメラ (External TV Camera Group: ETVCG) の交換
			クスター・フューゲルサンク(ESA)			
75		2006.12.14	5H00m	同上	EVA	ISSの電力系統の切替、CETAカートの移設
76	STS-116 (12A.1)	2006.12.16	7H31m	ロバート・カービーム	EVA	ISSの電力系統の切替、PMA-3 (与圧結合アダプタ3) へのサービスモジュール・デブリ・パネル (Service Module Debris Panel: SMDP) の仮設置など
77	STS-116 (12A.1)	2006.12.18	6H38m	ロバート・カービーム	EVA	収納に失敗したP6トラスの左舷側の太陽電池パドル (SAW) の収納作業 (追加EVA)
78	ISS 14-2 (US EVA-6)	2007.01.31	7H55m	マイケル・ロペズ＝アレグリア	EVA	冷却システムのA系配管の切替え、P6トラス右舷側の初期外部能動熱制御システム (EEATCS) ラジエータの収納、ISSからSSPTSスペースシャトルへの電力供給装置 (SSPTS) のケーブル敷設作業#1など

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (5/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	アロック	備考
79	ISS 14-3 (US EVA-7)	2007.02.04	7H11m	同上	ｸｲｽﾄ	冷却システムのB系配管の切替え、P6トラス後方の初期外部能動熱制御システム (EEATCS) ラジエータの収納、SSPTSケーブルの敷設作業#2など
80	ISS 14-4 (US EVA-8)	2007.02.08	6H40m	同上	ｸｲｽﾄ	P3トラスの断熱カバーの取り外しと投棄、P3トラスの曝露機器結合システム (UCCAS) の展開、SSPTSケーブルの敷設作業#3など
81	ISS 14-5 (ロシア EVA-17A)	2007.02.22	6H18m	ミハイル・チューリン	DC1	プログレス補給船のトラブルを起こした自動ドッキング～アンテナを切断して格納、外部機器の写真撮影と点検
				マイケル・ロベズーアレグリア		
82	ISS 15-1 (ロシア EVA-18)	2007.05.30	5H25m	フォードル・ユールチキン	DC1	サービスモジュール・デブリ・パネル (SMDP) の設置、欧州補給機 (ATV) ドッキング用アンテナの配線引き直し
				オレグ・コトフ		
83	ISS 15-2 (ロシア EVA-19)	2007.06.06	5H37m	同上	DC1	ピアースへのBiorisk実験装置の設置、ザリヤ外壁へのイーサネットケーブルの敷設、サービスモジュール・デブリ・パネル (SMDP) の設置 (続き)
84	STS-117 (13A)	2007.06.11	6H15m	ジェームズ・ライリー ジョン・オリバス	ｸｲｽﾄ	S3/S4トラスの取付け、S4トラスの太陽電池パドル (SAW) の展開準備
85		2007.06.13	7H16m	パトリック・フォレスト スティーブン・スワンソン	ｸｲｽﾄ	P6トラスの右舷側の太陽電池パドル (SAW) の収納、太陽電池パドル回転機構 (SARJ) の起動準備
86		2007.06.15	7H58m	ジェームズ・ライリー	ｸｲｽﾄ	シャトルの軌道制御システム (OMS) ボッドのめくれた耐熱ブランケットの修理、酸素生成システム (OGS) のバルブ設置、P6トラスの右舷側の太陽電池パドル (SAW) の収納
				ジョン・オリバス		
87		2007.06.17	6H29m	パトリック・フォレスト スティーブン・スワンソン	ｸｲｽﾄ	太陽電池パドル回転機構 (SARJ) の起動準備、S3トラスのレール上の障害物を取り除く作業、LANケーブルの敷設
88	ISS 15-3 (US EVA-9)	2007.07.23	7H41m	クレイトン・アンダーソン	ｸｲｽﾄ	初期アンモニア充填装置 (EAS) の投棄、ビデオ支柱支持アセンブリ (VSSA) 固定装置 (FSE) の投棄など
				フォードル・ユールチキン		
89	STS-118 (13A.1)	2007.08.11	6H17m	リチャード・マストラキオ ダフィッド・ウィリアムズ	ｸｲｽﾄ	S5トラスの取付け、P6トラス前方の初期外部能動熱制御システム (EEATCS) ラジエータの収納 ウィリアムズはカナダ人
90		2007.08.13	6H28m	同上	ｸｲｽﾄ	故障したコントロール・モーメント・ジャイロ (Control Moment Gyroscopes: CMG-3) の交換
91	STS-118 (13A.1)	2007.08.15	5H28m	リチャード・マストラキオ クレイトン・アンダーソン	ｸｲｽﾄ	Sバンド通信システムのアップグレード、CETA (Crew and Equipment Translation Aid) カートの移設

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (6/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	アロック	備考
92	STS-118 (13A.1)	2007.08.18	5H02m	ダフィッド・ウィリアムズ	クレスト	センサ付き検査用延長ブーム (Orbiter Boom Sensor System: OBSS) の固定機構の設置、外部ワイヤレス計測システム (External Wireless Instrumentation System: EWIS) アンテナの設置など
クレイトン・アンダーソン						
93	STS-120 (10A)	2007.10.26	6H14m	スコット・パラジンスキー	クレスト	Sバンドアンテナの回収、貨物室からの「ハーモニー」(第2結合部)の取外し準備、P6トラスの移設準備
ダグラス・ウィーロック						
94		2007.10.28	6H33m	スコット・パラジンスキー	クレスト	P6トラスの移設準備、右舷の太陽電池パドル回転機構 (Solar Alpha Rotary Joint: SARJ) の点検、「ハーモニー」(第2結合部)外部の艦装
ダニエル・タニ						
95	2007.10.30	7H08m	スコット・パラジンスキー	クレスト	P6トラスのP5トラスへの取付け、メインバス切替ユニット (Main Bus Switching Unit: MBSU) の船外保管プラットフォーム 2 (External Stowage Platform: ESP-2) への取付けなど	
ダグラス・ウィーロック						
96	2007.11.03	7H19m	スコット・パラジンスキー	クレスト	展開時に破損してしまったP6トラスの太陽電池パドル (Solar Array Wing: SAW) の緊急修理 (T-RADの実証試験をキャンセルして修理を実施)	
ダグラス・ウィーロック						
97	ISS 16-1 (US EVA-10)	2007.11.09	6H55m	ベギー・ウィットソン*	クレスト	与圧結合アダプタ2 (Pressurized Mating Adapter: PMA-2) の移設準備
ユーリ・マレンチェンコ						
98	ISS 16-2 (US EVA-11)	2007.11.20	7H16m	ベギー・ウィットソン*	クレスト	「ハーモニー」(第2結合部)外部の整備
ダニエル・タニ						
99	ISS 16-3 (US EVA-12)	2007.11.24	7H04m	同上	クレスト	「ハーモニー」(第2結合部)外部の整備、故障した右舷の太陽電池パドル回転機構 (Solar Alpha Rotary Joint: SARJ) の点検
100	ISS 16-4 (US EVA-13)	2007.12.18	6H56m	同上	クレスト	右舷側SARJの点検
101	ISS 16-5 (US EVA-14)	2008.1.30	7H10m	同上	クレスト	トラスの故障したマスト回転機構 (BMRM) の交換、右舷側SARJの点検
102	STS-122 (1E)	2008.02.11	7H58m	レックス・ウォルハイム	クレスト	コロンバスのパイロードベイからの取外し準備、コロンバス外部への電力・通信インタフェース付グラッブル・フィクスチャ (Power and Data Grapple Fixture: PDGF) の取付け
スタンリー・ラブ						
103		2008.02.13	6H45m	レックス・ウォルハイム	クレスト	P1トラスのNTA(窒素ガスタンク)の交換 シュリーゲルはドイツ人
ハンス・シュリーゲル(ESA)						
104	2008.02.15	7H25m	レックス・ウォルハイム	クレスト	コロンバスへの太陽観測装置 (SOLAR) と欧州技術曝露実験装置 (EuTEF) の取付け、故障したCMGの回収	
スタンリー・ラブ						
105	STS-123 (1J/A)	2008.03.14	7H01m	リチャード・リネハン	クレスト	「きぼう」船内保管室の取付け準備、デクスターの組立て作業#1
ギャレット・リーズマン						
106		2008.03.16	7H06m	リチャード・リネハン	クレスト	デクスターの組立て作業#2
マイケル・フォアマン						
107	2008.03.18	6H53m	リチャード・リネハン	クレスト	デクスターの組立て作業#3 運搬した曝露機器のISSへの設置	
ロバート・ベンケン						

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (7/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	アロック	備考
108	STS-123 (1J/A)	2008.03.21	6H24m	ロバート・ベンケン	クレスト	T-RAD(タイル修理用耐熱材充填装置)の 検証試験
マイケル・フォアマン						
109		2008.03.23	6H02m	同上	クレスト	センサ付き検査用延長ブーム (OBSS) の ISSへの保管、右舷側太陽電池パドル回 転機構 (SARJ) の点検、「きぼう」船内 保管室への断熱カバーの取付け
110	STS-124 (1J)	2008.6.3	6H48m	マイケル・フォッサム	クレスト	センサ付き検査用延長ブーム (OBSS) の S1トラスからの取外し、「きぼう」船内実験 室の取付け準備・窓のシャッターの固定解 除、右舷側太陽電池パドル回転機構 (SARJ) の関連作業
ロナルド・ギャレン						
111		2008.6.5	7H11m	同上	クレスト	「きぼう」日本実験棟の整備作業、 S1トラスの窒素タンク (NTA) の交換準 備、P1トラスの船外テレビカメラの回収
112		2008.6.8	6H33m	同上	クレスト	「きぼう」日本実験棟の整備作業、 S1トラスの窒素タンク (NTA) の交換
113	ISS 17-1 (ロシアEVA-20A)	2008.7.10	6H18m	セルゲイ・ヴォルコフ オレグ・コノネンコ	DC1	ソユーズTMA-12宇宙船の分離ボルト1本 の回収
114	ISS 17-2 (ロシアEVA-20)	2008.7.15	5H54m	同上	DC1	ロシアモジュール外部の整備作業、 Vspleskと呼ばれる高エネルギー粒子観測 装置の設置、ピアース外壁に設置されてい たBiorisk実験装置のコンテナ1基の回収
115	STS-126 (ULF2)	2008.11.18	6H52m	ハイディマリー・ステファニョン・パイパー *	クレスト	使用済みの窒素タンク (NTA) の回収、 「きぼう」船内実験室の船外実験プラットフ ォーム結合機構 (EFBM) の多層断熱材 (MLI) カバー取外し、右舷側太陽電池 パドル回転機構 (SARJ) 関連の作業
スティーブ・ボーエン						
116		2008.11.20	6H45m	ハイディマリー・ステファニョン・パイパー * ロバート・キンブロー	クレスト	CETAカートの移設。ISSのロボットアーム (SSRMS) のエンドエフェクタ (把持手) の潤滑作業、右舷側太陽電池パドル回転 機構 (SARJ) 関連の作業
117		2008.11.22	6H57m	ハイディマリー・ステファニョン・パイパー * スティーブ・ボーエン	クレスト	右舷側太陽電池パドル回転機構 (SARJ) 関連の作業
118		2008.11.24	6H07m	スティーブ・ボーエン ロバート・キンブロー	クレスト	太陽電池パドル回転機構 (SARJ) 関連 の作業、「きぼう」船内実験室の船外実験 プラットフォーム結合機構 (EFBM) 関連 の作業、P1トラスの下部への外部TVカメラ (ETVCG) の設置、「こうとり」(HTV) 用GPSアンテナ1基の設置
119	ISS 18-1 (ロシアEVA-21)	2008.12.22	5H38m	マイケル・フィンク ユーリ・ロンチャコフ	DC1	Langmuir probeの設置 Bioriskコンテナ#2の回収 ロシアの実験装置Impulseの取付け

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (8/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EPAロック	備考		
120	ISS-18-2 (ロシア EVA-21A)	2009.3.10	4H49m	同上	DC1	ピアースからのストラップの取外し、プログレス補給船のアンテナの撮影と点検、ロシアの曝露実験装置 (Expose-R) の設置と配線接続、ズヴェズダのめくれた多層断熱材カバーの修正、SKK #9カセットの位置の修正、ロシアセグメント外壁と構造の点検、撮影		
121	STS-119 (15A)	2009.3.19	6H07m	スティーブン・スワンソン	クイスト	S6トラスの結合、太陽電池パドル (SAW) の展開準備、多層断熱材カバー取外し		
リチャード・アーノルド								
122		2009.3.21	6H30m	スティーブン・スワンソン	クイスト	P6トラスのバッテリー交換準備「ここのとり」(HTV) 用のGPSアンテナ1基の設置、S1トラスとP1トラスのラジエータの赤外線カメラによる撮影		
				ジョセフ・アカバ				
123	2009.3.23	6H27m	ジョセフ・アカバ	クイスト	CETAカートの新設、ISSロボットアームのエンドエフェクタ (把持手) の潤滑作業			
			リチャード・アーノルド					
124	ISS-19-1 (ロシア EVA-22)	2009.6.5	4H54m	ゲナディ・パダルカ マイケル・バラット	DC1	MRM-2の結合に備えたズヴェズダ上部へのアンテナ設置作業。新型のオーラン宇宙服 (Orlan-MK) を初使用		
125	ISS-19-2 (ロシア EVA-23)	2009.6.10	12m	同上	SM	ズヴェズダの前方区画を減圧して、2つのドッキングハッチを交換する船内EVA (MRM-2結合準備作業)		
126	STS-127 (2J/A)	2009.7.18	5H32m	デイビッド・ウルフ	クイスト	JEM EFの結合準備作業、ノード1, 2の窓カバーの開放、CETAカートの改造、P3トラスUCCAS機構の展開、「きぼう」ロボットアームの接地ストラップの除去		
ティモシー・コブラ								
127		2009.7.20	6H53m	デイビッド・ウルフ	クイスト	ICC-VLDからのORUのESP-3への移送		
				トーマス・マシュバーン				
128		2009.7.22	5H59m	デイビッド・ウルフ	クイスト	EFペイロードからの断熱カバーの取外し、P6バッテリーORUの交換#1		
	クリストファー・キャシディ							
129	2009.7.24	7H12m	クリストファー・キャシディ	クイスト	P6バッテリーORUの交換#2			
			トーマス・マシュバーン					
130	STS-128 (17A)	2009.7.27	4H54m	同上	クイスト	EFへの視覚装置の設置、「デクスター」の断熱カバーの調節、Z1トラスのパッチパネルの切替え、「きぼう」船内実験室外壁へのハンドレールの取付け		
131				2009.9.1	6H35m	ジョン・オーバス	クイスト	P1トラス上のアンモニアタンク (ATA) の取外し、欧州技術曝露実験装置 (EuTEF)、材料曝露実験装置6 (MISSE-6) の回収
						ニコール・ストット*		
132				2009.9.3	6H39m	ジョン・オーバス	クイスト	新しいアンモニアタンクの取付け、古いATAの回収、ISSのロボットアームカメラへのレンズカバー取付け フューゲルサングはスウェーデン人
						クリスター・フューゲルサング (ESA)		

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (9/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EPAロック	備考
133	STS-128 (17A)	2009.9.5	7H01m	同上	クイスト	S3トラス上部のPASの展開、レートジャイロ・アセンブリの交換、S0トラスの遠隔電力制御モジュールとGPSアンテナの交換、ユニティー（第1結合部）のスライドワイヤの取外し
134	STS-129 (ULF3)	2009.11.19	6H37m	マイケル・フォアマン	クイスト	シャトルで運んだSバンドアンテナ（SASA）の保管、Kuバンドアンテナのケーブル敷設、トランクウィリティーの結合準備、ペイロード/軌道上交換ユニット把持装置（POA）と「きぼう」ロボットアーム先端部への潤滑、S3トラス下側のペイロード取付けシステム（PAS）の展開
ロバート・サッチャー						
135		2009.11.21	6H08m	マイケル・フォアマン ランドルフ・プレスニク	クイスト	「コロンバス」欧州実験棟外部へのアンテナの設置、浮動電位測定装置（FPMU）の移設、S3トラスのPAS 2基の展開、ワイヤレスビデオ送受信器（WETA）の取付け
136	STS-129 (ULF3)	2009.11.23	5H42m	ランドルフ・プレスニク	クイスト	ELC-2に載せて運んだ高圧ガスタンク（HPGT）のクレストへの移送と設置、ELC-2への材料曝露実験装置7（MISSE-7）の取付け
ロバート・サッチャー						
137	ISS-22-1 (ロシア EVA-24)	2010.1.14	5H44m	マキシム・ソレオブ オレグ・コトフ	DC1	ロシアの小型研究モジュール2（Mini-Research Module 2: MRM2）の整備
138	STS-130 (20A)	2010.02.11	6H32m	ロバート・ベンケン	クイスト	ノード3「トランクウィリティー」の設置、「デクスター」の軌道上交換ユニット仮置き場(OTP)の取り外し、キューボラ移設準備
ニコラス・パトリック						
139		2010.02.13	5H54m	同上	クイスト	ノード3「トランクウィリティー」を外部熱制御系に接続、キューボラ移設準備
140	STS-130 (20A)	2010.02.16	5H48m	同上	クイスト	トランクウィリティーのアンモニア冷却配管の開放、トランクウィリティー/与圧結合アダプタ3（PMA-3）間のケーブル接続、キューボラのMLIカバー取外し、キューボラのデブリ防護システムシャッターのロンチロック解除など
141				STS-131 (19A)	2010.4.9	6H27m
クレイトン・アンダーソン						
142	2010.4.11	7H26m	同上		クイスト	S1トラスの古いATAの取外し・仮置き、新しいATAのS1トラスへの設置
143	2010.4.13	6H24m	同上	クイスト	新しいATAへの流体配管の接続、クレスト外壁から外されて一時保管されていたデブリシールド2枚を船内へ回収、古いATAのシャトルへの回収、Z1トラスのKuバンド系の配線作業	

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (10/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エピソード	備考
144	STS-132 (ULF4)	2010.5.17	7H25m	ギャレット・リーズマン	E1	Z1トラスへの冗長系のKuバンドアンテナの設置、「デクスター」への改良型軌道上交換ユニット仮置き場 (Enhanced OTP: EOTP) の設置、P6トラスのバッテリー軌道上交換ユニット(ORU)の交換準備
スティーブ・ポーエン						
145	STS-132 (ULF4)	2010.5.19	7H09m	スティーブ・ポーエン	E1	シャトルのセンサ付き検査用延長ブームOBSSのケーブルの噛み込みの修正、P6トラスのバッテリーORU 4個の交換、冗長系のKuバンドアンテナのアンテナ部と支柱のボルトの増し締め
マイケル・グッド						
146	STS-132 (ULF4)	2010.5.21	6H46m	ギャレット・リーズマン	E1	P6トラスのバッテリーORU 2個の交換、非常時用のアンモニア配管の設置、シャトルで運んだ電力・通信インタフェース付グラブ・フィクスチャ(PDGF)の船内への回収
マイケル・グッド						
147	ISS-24-1 (ロシア EVA-25)	2010.07.26	6H42m	ミカエル・コニエンコ	DC-1	ズヴェズダ後方のATVドッキング用TVカメラの交換、MRM1のデータ/Ethernetケーブルをズヴェズダから敷設、MRM1のKurs-Pケーブルのザーリヤへの接続
フォードル・ユールチキン						
148	ISS-24-2 (US EVA-15)	2010.8.7	8H03m	ダグラス・ウィーロック	E1	S1トラスの故障したポンプモジュールの一部の着脱コネクタ (Quick Disconnect: QD) の解除 (QD取り外し時にトラブルが発生したため、予定変更)
トレシー・カードウェル*						
149	ISS-24-3 (US EVA-16)	2010.8.11	7H26m	ダグラス・ウィーロック	E1	故障したポンプモジュールの残りのQDの解除、故障したポンプモジュールのS1トラスからの取外しと、モバイルベースシステム (MBS) 上への仮置き、予備品のポンプモジュールの移動準備
トレシー・カードウェル*						
150	ISS-24-4 (US EVA-17)	2010.8.16	7H20m	同上	E1	予備品のポンプモジュールのS1トラスへの設置、新たに設置したポンプモジュールへの電力・データ通信コネクタの接続、アンモニア流体配管のQDの接続
151	ISS-25-1 (ロシア EVA-26)	2010.11.15	6H27m	フォードル・ユールチキン	DC-1	ズヴェズダ右舷側への多目的ワークステーションの設置、ズヴェズダ外部に設置していたロボット実験装置Konturの回収、MRM2 (Mini-Research Module 2) とズヴェズダ間、MRM2とザーリヤ間へのストラットの設置、ズヴェズダとDC-1外部での微生物サンプルの採取
オレグ・スクリポチカ						
152	ISS-26-1 (ロシア EVA-27)	2011.1.21	5H23m	ドミトリー・コンドラティエフ	DC-1	ズヴェズダ船外への新しい高速データ転送システムの設置、ズヴェズダ船外の故障していたplasma pulse generatorの回収、ズヴェズダ船外から材料曝露実験装置EXPOSE-Rの回収、MRM1 (Mini-Research Module 1) へのTVカメラの設置
オレグ・スクリポチカ						
153	ISS-26-2 (ロシアEVA-28)	2011.2.16	4H51m	同上	DC-1	ズヴェズダ船外へ観測装置2基を設置、ザーリヤの材料曝露パネル2個を回収
154	STS-133 (ULF5)	2011.2.28	6H34m	アルヴァイン・ドルー	E1	故障して仮置きしていたポンプモジュールをESP-2に回収。JAXAのMessage in a Bottleなどを実施。
スティーブ・ポーエン						

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (11/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EPAック	備考
155	STS-133 (ULF5)	2011.3.02	6H56m	同上	ｸｲｽﾄ	LWAPAをシャトルへ回収、SPDMへのカメラの設置、カメラレンズカバーの設置、外部照明の設置など
156	STS-134 (ULF6)	2011.5.20	6H19m	アンドリュー・フォイステル グレゴリー・シャミトフ	ｸｲｽﾄ	STS-134では計4回の船外活動を実施 材料曝露実験装置MISSEの交換
157		2011.5.22	8H07m	アンドリュー・フォイステル マイケル・フィンク	ｸｲｽﾄ	P6トラスの熱制御系へのアンモニアの補充、左舷SARJの潤滑作業
158		2011.5.25	6H54m	同上	ｸｲｽﾄ	ザーリヤへのPDGFの設置
159		2011.5.27	7H24m	マイケル・フィンク グレゴリー・シャミトフ	ｸｲｽﾄ	シャトルのOBSSをISSに移設 ISSでのEVA時間が累計1,000時間を突破、シャトル最後のEVA
160	STS-135 (ULF7)	2011.7.12	6H31m	ISSクルー(ロナルド・ギャレン、マイケル・フォッサム)が担当	ｸｲｽﾄ	故障したポンプモジュールの回収、RRM実験装置のISSへの設置など
161	ロシアEVA-29	2011.8.03	6H23m	セルゲイ・ヴォルコフ アレクサンダー・サマクチャイエフ	DC-1	小型衛星の放出、光通信装置の設置
162	ロシアEVA-30	2012.2.16	6H15m	オレグ・コノネコ アントン・シュカブレロフ	DC-1	DC-1からMRM-2へのストレラクレーン1の移設
163	ロシアEVA-31	2012.8.20	5H51m	ゲナディ・パダルカ ユーリ・マレンチェンコ	DC-1	DC-1からザーリヤへのストレラクレーン2の移設、ズヴェズダへのデブリパネルの設置、小型衛星の放出など
164	US-EVA-18	2012.8.30	8H17m	サニータ・ウィリアムズ* 星出 彰彦 (JAXA)	ｸｲｽﾄ	MBSU-1の交換(設置は完了せず)
165	US-EVA-19	2012.9.05	6H28m	同上	ｸｲｽﾄ	MBSU-1の設置(トラブル対応のため追加実施)
166	US-EVA-20	2012.11.01	6H38m	サニータ・ウィリアムズ* 星出 彰彦 (JAXA)	ｸｲｽﾄ	P6トラスのアンモニア漏れの修理
167	ロシア EVA-32	2013.04.19	6H38m	パベル・ビンogradフ ロマン・ロマネンコ	DC-1	ズヴェズダへのObstanovkaプラズマ波観測装置の設置、ATV用のレーザー反射鏡の交換、Biorisk-MSNキャニスターの回収
168	US-EVA-21	2013.05.11	5H30m	クリストファー・キャシディ トーマス・マシュバーン	ｸｲｽﾄ	P6トラスのアンモニア漏れの修理のために追加で実施(PFCSを予備品と交換)
169	ロシア EVA-33	2013.06.24	6H34m	フョードル・ユールチキン アレクサンダー・ミシュルキン	DC-1	ザーリヤの流量調整弁の交換、実験装置2個の回収と、新たな実験装置1個の設置
170	US-EVA-22	2013.07.09	6H07m	クリストファー・キャシディ ルカ・パルミターノ	ｸｲｽﾄ	Kuバンド送受信機の交換、材料曝露実験装置MISSE-8の回収、RGB (radiator grapple bar) 2個のトラスへの設置など ルカは、イタリア人初のEVAを実施。
171	US-EVA-23	2013.07.16	1H32m	同上	ｸｲｽﾄ	ルカのヘルメット内で水漏れが発生したため、作業を早期に打ち切った。
172	ロシア EVA-34	2013.08.16	7H29m	フョードル・ユールチキン アレクサンダー・ミシュルキン	DC-1	MLM用の配線を敷設 7時間29分の作業時間は、ロシアEVAとしての(この時点での)最長記録
173	ロシア EVA-35	2013.08.22	5H58m	同上	DC-1	12月のEVAでHDカメラを設置するのに備えてレーザ通信実験装置を外して回収するとともに、指向装置などを設置
174	ロシア EVA-36	2013.11.09	5H50m	オレグ・コトフ セルゲイ・リャザンスキー	DC-1	ソチオリンピックのトーチリレー、船外実験装置の設置準備作業

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (12/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	EPAック	備考
175	US-EVA-24	2013.12.21	5H28m	リチャード・マストラキオ マイケル・ホプキンス	刈スト	故障したS1ポンプモジュールの取り外し
176	US-EVA-25	2013.12.24	7H30m	同上	刈スト	新しいS1ポンプモジュールの設置
177	ロシア EVA-37	2013.12.27	8H07m	オレグ・コトフ セルゲイ・リャザンスキー	DC-1	商業用の高精細度ビデオカメラの設置（失敗）、新たな実験装置の設置 8時間7分の作業時間は、ロシアEVAとしては過去最長記録
178	ロシア EVA-37a	2014.01.27	6H08m	同上	DC-1	商業用の高精細度ビデオカメラの再設置
179	US-EVA-26	2014.04.23	1H36m	リチャード・マストラキオ スティーブン・スワンソン	刈スト	EXT-2 MDMの交換修理のため急きょ実施
180	ロシアEVA-38	2014.06.19	7H23m	アレクサンダー・スクボルソフ オレグ・アルテムエフ	DC-1	フェーズドアレイアンテナの設置、MPAC&SEEDの設置フレームを投棄
181	ロシアEVA-39	2014.08.18	5H11m	同上	DC-1	ペルーのCubeSat放出、ESAの曝露実験装置EXPOSE-R2の設置
182	US-EVA-27	2014.10.07	6H13m	リード・ワイズマン アレクサンダー・ゲルスト(独)	刈スト	US-EVA-24で外したポンプモジュールを仮置き場所から保管場所へ移動
183	US-EVA-28	2014.10.15	6H34m	リード・ワイズマン バリー・ウィルモア	刈スト	故障していた電力系のSSUの交換、船外カメラや無線中継機器の移設
184	ロシアEVA-40	2014.10.22	3H38m	マキシム・スライエフ アレクサンダー・サマクチャエフ	DC-1	不要になった実験装置とアンテナの取り外し・廃棄
185	US-EVA-29	2015.02.21	6H41m	バリー・ウィルモア テリー・バーツ	刈スト	米国の商業クルー輸送機用のドッキングポート(IDA)設置に備えた配線敷設作業
186	US-EVA-30	2015.02.25	6H43m	同上	刈スト	配線敷設作業の続き、カナダアーム2の把持機構の潤滑、ノード3へのPMMとBEAMモジュールの移設準備
187	US-EVA-31	2015.03.01	5H38m	同上	刈スト	米国の商業クルー輸送機用の通信アンテナC2V2を設置
188	ロシアEVA-41	2015.08.10	5H31m	ゲナディ・パダルカ ミカエル・ゴニエンコ	DC-1	窓ふき、実験装置の回収など
189	US-EVA-32	2015.10.28	7H16m	スコット・ケリー チエル・リングリン	刈スト	カナダアーム2の把持機構の潤滑、商業クルー輸送機のドッキングポートIDA用の配線敷設など
190	US-EVA-33	2015.11.06	7H48m	同上	刈スト	P6トラスのアンモニア冷却ラインを2012年11月1日の修理前の設定に戻す作業
191	US-EVA-34	2015.12.21	3H16m	スコット・ケリー ティモシー・コブラ	刈スト	動けなくなったモビル・トランスポーター(MT)を動けるようにするため、予定外で作業を実施。10月にやり残していたIDA用配線敷設の残作業も実施。
192	US-EVA-35	2016.01.15	4H43m	ティモシー・コブラ ティモシー・ピーク(ESA)	刈スト	電力系の故障したSSU-1Bの交換。コブラのヘルメット内で少量の水漏れが見つかったため、作業は早目に打ち切られた。
193	ロシアEVA-42	2016.02.03	4H45m	ユーリー・マレンチェンコ セルゲイ・ボルコフ	DC-1	2014年8月に設置したESAの材料曝露実験装置EXPOSE-R2の回収、ロシアの材料曝露実験装置の交換、船外の断熱材の修理試験など
194	US-EVA-36	2016.08.19	5H58m	ジェフリー・ウィリアムズ キャスリーン・ルビンズ*	刈スト	民間有人宇宙船用のドッキングポートIDA-2を設置。

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴 (13/13)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
195	US-EVA-37	2016.09.01	6H48m	同上	クレスト	P6トラスのラジエータ1枚の収納、トラス上にHDTVカメラ2台を設置。
196	US-EVA-38	2017.01.06	6H32m	シエーン・キンブロー ベギー・ウイトソン*	クレスト	HTV6で運んだISSバッテリーの交換作業支援(S4トラス)
197	US-EVA-39	2017.01.13	5H58m	シエーン・キンブロー トマ・バスケ(ESA)	クレスト	HTV6で運んだISSバッテリーの交換作業支援(S4トラス)
198	US-EVA-40	2017.03.24	6H34m	同上	クレスト	PMA-3の移設準備作業、「まぼろ」の船外カメラ2台の交換、S0 EXT MDMの交換など。
199	US-EVA-41	2017.03.30	7H04m	シエーン・キンブロー ベギー・ウイトソン*	クレスト	S0 EXT MDMの交換(2台目)、PMA-3移設後の配線接続など、ノード3左舷CBMへのデブリシールドの設置など
200	US-EVA-42	2017.05.12	4H13m	ベギー・ウイトソン* ジャック・フィッシャー	クレスト	ELC-4のExPCAの交換、AMS-02のデータバスへのターミネータ設置など。EVA前に船内でSCUアンビリカルの問題が起きたため、作業時間を短縮。
201	US-EVA-43	2017.05.23	2H46m	ベギー・ウイトソン* ジャック・フィッシャー	クレスト	EVA-41で設置したEXT-1 MDMが5/20に故障したため交換のために実施。
202	ロシアEVA-43	2017.08.17	7H34m	フョードル・ユールチキン セルゲイ・リザンスキー	DC-1	5機の超小型衛星の放出等を実施。Orlan-MKS宇宙服を初使用。
203	US-EVA-44	2017.10.05	6H55m	ランドルフ・プレスニック マーク・ヴァンデハイ	クレスト	カナダアーム先端のLEE-Aの交換作業など。
204	US-EVA-45	2017.10.10	6H26m	同上	クレスト	LEE-Aへの潤滑剤塗布、船外カメラの交換など。
205	US-EVA-46	2017.10.20	6H49m	ランドルフ・プレスニック ジョセフ・アカバ	クレスト	LEE-Aのカメラ照明の交換、船外カメラの交換、SPDMのヒューズ交換など。

注：エアロック欄のSTSはシャトルのエアロック使用。クレストは、米国のジョイント・エアロック「クレスト」使用。DC-1は、ロシアの「ピアース」使用（Orlan宇宙服を使用）。表の日付は米国時間。*印は女性宇宙飛行士を示す。JAXA HPでもEVA情報を提供しています。<http://iss.jaxa.jp/iss/eva/>

2. ISS向けソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴

表 2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴 (1/4)

2017年12月25日現在

	宇宙船の名称 (機番)	打上げ 年月日	ISSとの ドッキング 年月日	ISSからの 分離 年月日	打上げ時の搭乗クルー	特記事項
2R (1S)	ソユーズTM-31 (No.205)	2000.10.31	2000.11.02	2001.05.06	ビル・シェパード(NASA) ユーリー・キトゼンコ(ロシア) セルゲイ・クリカレフ(ロシア)	第1次長期滞在クルー搭乗。 ISSクルー滞在開始。
2S	ソユーズTM-32 (No.206)	2001.04.28	2001.04.30	2001.10.31	オレグ・ムズバエフ(ロシア) ユーリー・バトウリン(ロシア) デニス・トスト(宇宙旅行者)	世界初の宇宙旅行者デニス・トスト搭乗。 3人はTM-31で帰還。操作ミスにより、再突入が遅れ7G近い加速度がかかった。
3S	ソユーズTM-33 (No.207)	2001.10.21	2001.10.23	2002.05.05	ウイクター・アファナシエフ(ロシア) コンスタンチン・コザエフ(ロシア) クラウディウス・ニール(ESA)	3人はTM-32で帰還。
4S	ソユーズTM-34 (No.208)	2002.04.25	2002.04.27	2002.11.10	ユーリー・キトゼンコ(ロシア) ロベルト・ヒットリ(ESA) マーク・シャトルワース(宇宙旅行者)	3人はTM-33で帰還。
5S	ソユーズTMA-1 (No.211)	2002.10.30	2002.11.01	2003.05.04	セルゲイ・ザリョーティン(ロシア) フランク・デグレイブ(ESA) ユーリー・ロンチャコフ(ロシア)	3人はTM-34で帰還。 帰還時は第6次クルー3名が搭乗。弾道状態で帰還(8G以上の負荷)。
6S	ソユーズTMA-2 (No.212)	2003.04.26	2003.04.28	2003.10.28	ユーリー・マレンチェンコ(ロシア) エドワード・クル(NASA)	長期滞在クルーの交代(第6次→第7次)。
7S	ソユーズTMA-3 (No.213)	2003.10.18	2003.10.20	2004.04.30	アレクサンダー・カリ(ロシア) マイケル・フォル(NASA) パトリック・デュク(ESA)	長期滞在クルーの交代(第7次→第8次)。 デュクはTMA-2で帰還。
8S	ソユーズTMA-4 (No.214)	2004.4.19	2004.4.21	2004.10.24	ゲナディ・パダルカ(ロシア) マイケル・フィンク(NASA) アントレ・カバース(ESA)	長期滞在クルーの交代(第8次→第9次)。 カバースはTMA-3で帰還。
9S	ソユーズTMA-5 (No.215)	2004.10.14	2004.10.16	2005.04.25	クリサン・シャリホフ(ロシア) ロビー・チャオ(NASA) ユーリー・シキレフ(ロシア)	長期滞在クルーの交代(第9次→第10次)。 シキレフはTMA-4で帰還。
10S	ソユーズTMA-6 (No.216)	2005.04.15	2005.04.17	2005.10.11	セルゲイ・クリカレフ(ロシア) ジョン・フリック(NASA) ロベルト・ヒットリ(ESA)	ヒットリはTMA-5で帰還。
11S	ソユーズTMA-7 (No.217)	2005.10.01	2005.10.03	2006.04.09	ウァレリ・トカレフ(ロシア) ウィリアム・マッカーサー(NASA) グレゴリー・ベレン(宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第11次→第12次)。
12S	ソユーズTMA-8 (No.218)	2006.03.30	2006.04.01	2006.09.29	パウル・ヒンクワト(ロシア) ジェフ・ウィリアムズ(NASA) マルコス・ポンテス(ブラジル)	長期滞在クルーの交代(第12次→第13次)。 ポンテスはTMA-7で帰還。
13S	ソユーズTMA-9 (No.219)	2006.09.18	2006.09.20	2007.04.21	ミハイル・チーリン(ロシア) マイケル・スミス(NASA) アンソニー・アンソリ(宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第13次→第14次)。 アンソリはTMA-8で帰還。 過去最長の215日間飛行。着陸地の状態が悪く、帰還を1日延期した。

注：日付は日本時間(JST)をベースに記述。

表 2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴 (2/4)

	宇宙船の名称 (機番)	打上げ 年月日	ISSとの ドッキング 年月日	ISSからの 分離 年月日	打上げ時の搭乗クルー	特記事項
14S	ソユーズTMA-10 (No.220)	2007.04.08	2007.04.10	2007.10.21	フョードル・ユルチン (ロシア) オレグ・コトフ (ロシア) チャールズ・シモニー (宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第14次→第15次)。 シモニーはTMA-9で帰還。旅行費用は2,000万ドルから2,500万ドルへ上昇。 帰還時に弾道モードで突入。(8.5Gの負荷を記録)
15S	ソユーズTMA-11 (No.221)	2007.10.10	2007.10.12	2008.04.19	ヘンリー・ウイットソフ(NASA) ユーリ・マレンチenko (ロシア) Sheikh Muszaphar Shukor(マレーシア)	長期滞在クルーの交代(第15次→第16次)。 Shukor は TMA-10 で帰還。帰還時に弾道モードで突入。
16S	ソユーズTMA-12 (No.222)	2008.04.08	2008.04.10	2008.10.24	セルゲイ・ウラコフ (ロシア) オレグ・コノネン (ロシア) イ・ソヨ(韓国)	長期滞在クルーの交代(第16次→第17次)。 TMA-11の帰還時トラブルを受けて、7月のEVA-20AでソユーズTMA-12のPyroホルト1本を回収した。
17S	ソユーズTMA-13 (No.223)	2008.10.12	2008.10.14	2009.04.08	マイケル・フィンク(NASA) ユーリ・ボンチャコフ (ロシア) リチャード・ギャリオット (宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第17次→第18次)。ギャリオットはTMA-12で帰還。旅行費用は3,000万ドルに上昇。 着陸地の状態が悪く帰還を1日延期。
18S	ソユーズTMA-14 (No.224)	2009.03.26	2009.03.28	2009.10.11	ゲナディ・パダラカ (ロシア) マイケル・バレット(NASA) チャールズ・シモニー (宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第18次→第19/20次)。 シモニーはTMA-13で帰還。
19S	ソユーズTMA-15 (No.225)	2009.05.27	2009.05.29	2009.12.01	ロマン・ボラソフ (ロシア) フランク・テビエナ(EESA) ロバート・サークス(CSA)	長期滞在クルーが到着(第20/21次) このドッキングによりISSは6名体制へ移行、2機のソユーズが常時ドッキング。
20S	ソユーズTMA-16 (No.226)	2009.09.30	2009.10.02	2010.03.18	マキシム・シュライフ (ロシア) ジェフ・ウリアムズ(NASA) ギー・ラバルテ(宇宙旅行者)	ISSに初めて、ソユーズ3機が同時期に結合。 ラバルテはTMA-14で第19/20次長期滞在クルーと帰還。 19S分離から21Sドッキングまでの間は2名体制。
21S	ソユーズTMA-17 (No.227)	2009.12.21	2009.12.23	2010.06.02	オレグ・コトフ (ロシア) 野口聡一(JAXA) ティモシー・クリマー(NASA)	これ以降、3名の長期滞在クルーの交替はソユーズで実施。 第22/23次長期滞在
22S	ソユーズTMA-18 (No.228)	2010.04.02	2010.04.04	2010.09.25	アレクサンダー・スクホルソフ (ロシア) トーマス・カトウェル(NASA) ミカエル・コエソフ (ロシア)	第23/24次長期滞在 分離トラブルで帰還を1日延期

表 2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴 (3/4)

	宇宙船の名称 (機番)	打上げ 年月日	ISSとの ドッキング 年月日	ISSからの 分離 年月日	打上げ時の搭乗クルー	特記事項
23S	ソユーズTMA-19 (No.229)	2010.06.16	2010.06.18	2010.11.26	フョートル・ユルチキン(ロシア) ダグラス・ウィロック(NASA) ジャン・ウオーカー(NASA)	第24/25次長期滞在
24S	ソユーズTMA-M (No.701)	2010.10.08	2010.10.10	2011.03.16	アレクサンダー・カリ(ロシア) オレグ・スクリホフ(ロシア) スコット・クリー(NASA)	改良型ソユーズTMAの初飛行 第25/26次長期滞在
25S	ソユーズTMA-20 (No.230)	2010.12.16	2010.12.18	2011.05.24	ドミトリー・コトヴィエフ(ロシア) パオ・ネズナリ(ESA) キャスリン・コルマン(NASA)	第26/27次長期滞在。 分離後にSTS-134がドッキングした状態のISSの撮影を実施。
26S	ソユーズTMA-21 (No.231)	2011.04.05	2011.04.07	2011.09.16	アントレイ・ホルジェンコ(ロシア) アレクサンダー・サマクチャイフ(ロシア) ロナルド・ギャレン(NASA)	第27/28次長期滞在
27S	ソユーズ TMA-02M (No.702)	2011.06.08	2011.06.10	2011.11.22	セルゲイ・ウオルコフ(ロシア) マイケル・フォッサム(NASA) 古川聡(JAXA)	第28/29次長期滞在
28S	ソユーズTMA-22 (No.232)	2011.11.14	2011.11.16	2012.04.27	ダニール・バレーンコ(NASA) アントン・シカポレフ(ロシア) アナトリー・ウァニシン(ロシア)	第29/30次長期滞在
29S	ソユーズ TMA-03M (No.703)	2011.12.21	2011.12.24	2012.07.01	オレグ・コノネンコ(ロシア) アントレ・カイルス(ESA) ドナルド・ペティット(NASA)	第30/31次長期滞在
30S	ソユーズ TMA-04M (No.705)	2012.05.15	2012.05.17	2012.09.17	ゲナデー・パダルカ(ロシア) セルゲイ・レビン(ロシア) ジョセフ・アカバ(NASA)	第31/32次長期滞在
31S	ソユーズ TMA-05M (No.706)	2012.07.15	2012.07.17	2012.11.19	サニータ・ウリアムス(NASA) ユーリー・マレンチェンコ(ロシア) 星出彰彦(JAXA)	第32/33次長期滞在
32S	ソユーズ TMA-06M (No.707)	2012.10.23	2012.10.25	2013.03.16	ケビン・フォード(NASA) オレグ・ノヴィツキー(ロシア) イヴァグ・ニコラエフ(ロシア)	第33/34次長期滞在
33S	ソユーズ TMA-07M (No.704A)	2012.12.19	2012.12.21	2013.05.14	クリス・ハドフィールド(CSA) トマス・マシバーン(NASA) ロマン・バネンコ(ロシア)	第34/35次長期滞在
34S	ソユーズ TMA-08M (No.708)	2013.03.29	2013.03.29	2013.09.11	パベル・ヒルナゴラフ(ロシア) クリストファー・キャシディ(NASA) アレクサンダー・ミシュキン(ロシア)	第35/36次長期滞在 ここより打上げ当日のドッキングを開始
35S	ソユーズ TMA-09M (No.709)	2013.05.29	2013.05.29	2013.11.11	フョートル・ユルチキン(ロシア) カレン・ナイバーク(NASA) ルカ・パルミターノ(ESA)	第36/37次長期滞在
36S	ソユーズ TMA-10M (No.710)	2013.09.26	2013.09.26	2014.03.11	オレグ・コトフ(ロシア) マイケル・ホプキンス(NASA) セルゲイ・リザンスキー(ロシア)	第37/38次長期滞在
37S	ソユーズ TMA-11M (No.711)	2013.11.07	2013.11.07	2014.05.14	ミハイル・チュリン(ロシア) リチャード・マストラキオ(NASA) 若田光一(JAXA)	第38/39次長期滞在

注：日付は日本時間(JST)をベースに記述。

表 2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴 (4/4)

	宇宙船の名称 (機番)	打上げ 年月日	ISSとの ドッキング 年月日	ISSからの 分離 年月日	打上げ時の搭乗クルー	特記事項
38S	ソユーズ TMA-12M (No.712)	2014.03.26	2014.03.28	2014.09.11	アレクサンダー・スクホールコフ(ロシア) ステイファン・スワソソ(NASA) オレック・アルテムエフ(ロシア)	第39/40次長期滞在
39S	ソユーズ TMA-13M (No.713)	2014.05.29	2014.05.29	2014.11.10	マキシム・スライエフ(ロシア) リト・ワイスマン(NASA) アレクサンダー・ゲルスト(ESA)	第40/41次長期滞在
40S	ソユーズ TMA-14M (No.714)	2014.09.26	2014.09.26	2015.03.12	アレクサンダー・サマチャイフ(ロシア) エリナ・セリワ(ロシア) バリー・ウルフ(USA)	第41/42次長期滞在
41S	ソユーズ TMA-15M (No.715)	2014.11.24	2014.11.24	2015.06.11	テリー・バーツ (NASA) サマンサ・クリストフォレッティ(ESA) アントン・シカポレフ(ロシア)	第42/43次長期滞在
42S	ソユーズ TMA-16M (No.716)	2015.03.28	2015.03.28	2015.09.12	ケナティ・パダル(ロシア) スコット・クリー(NASA) ミハイル・ニコラエフ(ロシア)	第43/44/45/46次長期滞在。1年間滞在する2人は44Sで帰還
43S	ソユーズ TMA-17M (No.717)	2015.07.23	2015.07.23	2015.12.11	オレック・コノネコ(ロシア) 油井亀美也(JAXA) チエル・リンケリン(NASA)	第44/45次長期滞在
44S	ソユーズ TMA-18M (No.718)	2015.09.02	2015.09.04	2016.03.02	セルゲイ・ウーロコフ(ロシア) アントレウス・モーゲンセン(ESA) アティーン・アムハトフ(カザフスタン)	第45/46次長期滞在 2人は42Sで帰還
45S	ソユーズ TMA-19M (No.719)	2015.12.15	2015.12.16	2016.06.18	ティモシー・コアラ(NASA) ティモシー・ヒック(ESA) ユーリ・マルチンコ(ロシア)	第46/47次長期滞在
46S	ソユーズ TMA-20M (No.720)	2016.03.19	2016.03.19	2016.09.07	ジェフリー・ウリアムス (NASA) アレクセイ・オボチニン (ロシア) オレック・スクリホフ(ロシア)	第47/48次長期滞在
47S	ソユーズMS-01 (No.731)	2016.07.07	2016.07.09	2016.10.30	アトリー・イヴァンシン (ロシア) キャスリン・ルビンス (NASA) 大西卓哉 (JAXA)	第48/49次長期滞在
48S	ソユーズMS-02 (No.732)	2016.10.19	2016.10.21	2017.04.10	ロバート・キングロー (NASA) アントレイ・ホリシエンコ (ロシア) セルゲイ・イリジコフ (ロシア)	第49/50次長期滞在
49S	ソユーズMS-03 (No.733)	2016.11.18	2016.11.18	2017.06.02	ヘギー・ウイトソフ(NASA) オレック・ノヴィツキー (ロシア) トマ・ハスケ(ESA)	第50/51次長期滞在 ペギーは50Sで帰還
50S	ソユーズMS-04 (No.735)	2017.04.20	2017.04.20	2017.09.03	フートル・ユルチキン (ロシア) ジャック・フィッシャー (NASA)	第51/52次長期滞在
51S	ソユーズMS-05 (No.734)	2017.07.29	2017.07.29	2017.12.14	セルゲイ・リザンスキー (ロシア) ランドルフ・フレズニック (NASA) パオロ・ネズホリ (イタリア)	第52/53次長期滞在
52S	ソユーズMS-06 (No.736)	2017.09.13	2017.09.13		アレクサンダー・ミシユルキン (ロシア) マーク・ウァンデルハイ (NASA) ジョセフ・アカバ (NASA)	第53/54次長期滞在
53S	ソユーズMS-07 (No.737)	2017.12.17	2017.12.19		アントン・シカポレフ (ロシア) スコット・ティンクル (NASA) 金井宣茂 (JAXA)	第54/55次長期滞在

注：日付は日本時間(JST)をベースに記述。

3. ISS長期滞在クルー

2017年12月25日現在

表 3-1 ISS長期滞在クルー(1/9)

Expe dition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時 間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
1	第1次長期滞在クルー (以下は、左記番号に代えて省略) ウィリアム・シェパード (NASA) (軍) ユーリー・ギドゼンコ (ロシア) セルゲイ・クリカレフ (ロシア)	▲2000.10.31 ソユーズTM-31 (2R)	140日 23時間38分	実施せず	
2	ユーリー・ウサチエフ (ロシア) (民) ジェームス・ヴォス (NASA) スーザン・ヘルムズ* (NASA)	▲2001.03.08 STS-102 (5A.1) ▼2001.08.22 STS-105 (7A.1)	167日 6時間40分	1回 (19分)	
3	フランク・カルバートソン (NASA) (軍) ウラディミール・ジエジュロフ (ロシア) ミハイル・チュエリン (ロシア)	▲2001.08.10 STS-105 (7A.1) ▼2001.12.17 STS-108 (UF-1)	128日 20時間44分	4回 (18時間 40分)	
4	ユーリ・オヌフリエンコ (ロシア) (軍) カール・ウォルツ (NASA) ダニエル・バーシュ (NASA)	▲2001.12.05 STS-108 (UF-1) ▼2002.06.19 STS-111 (UF-2)	195日 19時間39分	3回 (14時間 48分)	
5	フレリー・コルズン (ロシア) (軍) ベギー・ウィットソン* (NASA) セルゲイ・トreshchev (ロシア)	▲2002.06.05 STS-111 (UF-2) ▼2002.12.07 STS-113 (11A)	184日 22時間14分	2回 (18時間 40分)	
6	ケネス・バウアーソックス (NASA) (軍) ドナルド・ベティット (NASA) ニコライ・ブダーリン (ロシア)	▲2002.11.24 STS-113 (11A) ▼2003.05.04 ソユーズTMA-1 (5S)	161日 1時間14分	2回 (9時間 46分)	
7	ユーリ・マレンチェンコ (ロシア) (軍) エドワード・ドラー (NASA)	▲2003.04.26 ソユーズTMA-2 (6S) ▼2003.10.28 ソユーズTMA-2 (6S)	184日 22時間47分	実施せず	コロンビア号事 故の影響によ りクルーを2名 に削減
8	マイケル・フォール (NASA) (民) アレクサンダー・カレリ (ロシア)	▲2003.10.18 ソユーズTMA-3 (7S) ▼2004.04.30 ソユーズTMA-3 (7S)	194日 18時間34分	1回 (3時間 55分)	
9	ゲナディ・パダルカ (ロシア) (軍) マイケル・フィンク (NASA)	▲2004.04.19 ソユーズTMA-4 (8S) ▼2004.10.24 ソユーズTMA-4 (8S)	187日 21時間17分	4回 (15時間 45分)	
10	リロイ・チャオ (NASA) (民) サリザン・シャリポフ (ロシア)	▲2004.10.14 ソユーズTMA-5 (9S) ▼2005.04.24 ソユーズTMA-5 (9S)	192日 19時間02分	2回 (9時間 58分)	
11	セルゲイ・クリカレフ (ロシア) (民) ジョン・フィリップス (NASA)	▲2005.04.15 ソユーズTMA-6 (10S) ▼2005.10.11 ソユーズTMA-6 (10S)	179日 0時間22分	1回 (4時間 58分)	クリカレフは2回 目のISS滞 在。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(2/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
12	ウィリアム・マッカーサー (NASA) (軍) バレリー・トカレフ (ロシア)	▲2005.10.01 ソユーズTMA-7 (11S)	189日 19時間53分	2回 (11時間 40分)	
	▼2006.04.08 ソユーズTMA-7 (11S)				
13	パベル・ビノグラドフ (ロシア) (民) ジェフリー・ウィリアム (NASA)	▲打上げ 2006.03.30 ソユーズTMA-8 (12S)	182日 22時間43分	2回 (12時間 25分)	スペースシャトルでクルー1名の交替を開始することにより、ISSを3名体制に戻した
	▼帰還 2006.09.29 ソユーズTMA-8 (12S)				
14	トーマス・ライター (ESA)	▲打上げ 2006.07.04 STS-121	14次に記載	5回 (33時間 02分)	ESA初のISS滞在 215日間はISS最長の滞在期間
	マイケル・ロペズ-アレグリア (NASA) (軍) ミハイル・チューリン (ロシア)	▲打上げ 2006.09.18 ソユーズTMA-9 (13S)	215日 8時間22分		
	▼帰還 2007.04.21 ソユーズTMA-9 (13S)	▼帰還 2006.12.22 STS-116	171日 3時間54分		
15	サニータ・ウィリアムズ* (NASA)	▲打上げ 2006.12.10 STS-116	15次に記載	3回 (18時間 43分)	
	フョードル・ユールチキン (ロシア) (民) オレグ・コトフ (ロシア)	▲打上げ 2007.04.07 ソユーズTMA-10 (14S)	196日 17時間04分		
	▼帰還 2007.10.21 ソユーズTMA-10 (14S)	▼帰還 2007.06.22 STS-117	194日 18時間02分		
16	クレイトン・アンダーソン (NASA)	▲打上げ 2007.06.08 STS-117	16次に記載	5回 (35時間 21分)	ISS初の女性コマンドー誕生
	ペギー・ウィットソン* (NASA) (民) ユーリ・マレンチェンコ (ロシア)	▲打上げ 2007.10.10 ソユーズTMA-11 (15S)	191日 19時間07分		
	▼帰還 2008.04.19 ソユーズTMA-11 (15S)	▼帰還 2007.11.07 STS-120	151日 18時間23分		
	ダニエル・タニ (NASA)	▲打上げ 2007.10.23 STS-120	119日 22時間28分		
	▼帰還 2008.02.20 STS-122	▲打上げ 2008.02.07 STS-122	48日 4時間54分		
レオポルド・アイハーツ (ESA)	▼帰還 2008.03.27 STS-123	▲打上げ 2008.03.11 STS-123	17次に記載		
ギャレット・リーズマン (NASA)					

注) 名前の後ろの* マークは女性。

下線のクルーはISSコマンドー (指揮官)。(軍)は軍出身者、(民)は民間出身者。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(3/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
17	セルゲイ・ヴォルコフ (ロシア) (軍) オレグ・コノネンコ (ロシア)	▲打上げ 2008.04.08 ソユーズTMA-12 (16S) ▼帰還 2008.10.24 ソユーズTMA-12 (16S)	198日 16時間20分	2回 (18時間 43分)	
	ギャレット・リーズマン (NASA)	▼帰還 2008.06.14 STS-124	95日 8時間47分		
	グレゴリー・シャミトフ (NASA)	▲打上げ 2008.05.31 STS-124	18次に記載		
18	マイケル・フインク (NASA) (民) ユーリ・ロンチャコフ (ロシア)	▲打上げ 2008.10.12 ソユーズTMA-13 (17S) ▼帰還 2009.4.8 ソユーズTMA-13 (17S)	178日 0時間15分	2回 (10時間 27分)	日本人初のISS 滞在
	グレゴリー・シャミトフ (NASA) (STS-124で2008.05.31に打ち上げられ、STS-126で2008.11.30に帰還)	▼帰還 2008.11.30 STS-126	183日 0時間22分		
	サンドラ・マグナス* (NASA) (STS-126で2008.11.15に打ち上げられ、STS-119で2009.3.28に帰還)	▲打上げ 2008.11.15 STS-126 ▼帰還 2009.3.28 STS-119	133日 18時間18分		
	若田光一 (JAXA) (STS-119で2009.3.15に打ち上げられ、STS-127で2009.7.31に帰還)	▲打上げ 2009.03.15 STS-119	20次に記載		
19	ゲナディ・パダルカ (ロシア) (軍) マイケル・バラット (NASA)	▲打上げ 2009.3.26 ソユーズTMA-14 (18S)	20次に記載	実施せず	パダルカは初めて2 回ISSコマンダーを 担当(第9次に続いて担当)。
	若田光一 (JAXA) (STS-127で2009.7.31に帰還)	*18, 20次に記載	20次に記載		
20	ゲナディ・パダルカ (ロシア) (軍) マイケル・バラット (NASA)	▼帰還 2009.10.11 ソユーズTMA-14 (18S)	198日 16時間42分	2回 (5時間 6分)	ISS滞在クルー6 名体制へ移行。 CSA初のISS滞 在
	若田光一 (JAXA)	▼帰還 2009.7.31 STS-127	137日 15時間05分		
	フランク・デヴィン (ESA) ロバート・サースク (CSA) ロマン・ロマネンコ (ロシア)	▲打上げ 2009.5.27 ソユーズTMA-15 (19S)	21次に記載		
	ティモシー・コブラ (NASA)	▲打上げ 2009.07.15 STS-127 ▼帰還 2009.9.12 STS-128	58日 2時間50分		
	ニコール・ストット* (NASA)	▲打上げ 2009.08.29 STS-128	21次に記載		

注) 下線のクルーはISSコマンダー (指揮官)。太字はJAXA宇宙飛行士。
(軍)は軍出身者、(民)は民間出身者。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(4/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
21	<u>フランク・デヴィン</u> (ESA) (軍) ロバート・サースク ロマン・ロマネンコ	▼帰還 2009.12.01 ソユーズTMA-15 (19S)	187日 20時間40分	実施せず	ESA 初の ISS コマンダー(ベルギー人)。 ストットは、シャトルで帰還した最後のISS滞在クルー。
	ニコール・ストット* (NASA)	▼帰還 2009.11.27 STS-129	90日 10時間45分		
	ジェフリー・ウィリアムズ (NASA) マキシム・ソレオブ (ロシア)	▲打上げ 2009.09.30 ソユーズTMA-16 (20S)	22次に記載		
22	<u>ジェフリー・ウィリアムズ</u> (軍) マキシム・ソレオブ	▼帰還 2010.03.18 ソユーズTMA-16 (20S)	169日 4時間09分		
	オレグ・コトフ (ロシア) 野口聡一 (JAXA) ティモシー・クリマー (NASA)	▲打上げ 2009.12.20 ソユーズTMA-17 (21S)	23次に記載		
23	オレグ・コトフ (軍) 野口聡一 ティモシー・クリマー	▼帰還 2010.06.02 ソユーズTMA-17 (21S)	163日 5時間33分	(上記参照)	
	アレクサンダー・スクボルソフ (ロシア) トレーシー・カードウェル* (NASA) ミカエル・コニエンコ (ロシア)	▲打上げ 2010.04.02 ソユーズTMA-18 (22S)	24次に記載		
24	<u>アレクサンダー・スクボルソフ</u> (軍) トレーシー・カードウェル* ミカエル・コニエンコ	▼帰還 2010.09.25 ソユーズTMA-18 (22S)	176日 1時間19分	23/24で 4回実施 (29時間 31分)	ISSに女性2人の滞在クルーが揃ったのは初めて
	ダグラス・ウィーロック(NASA) シャノン・ウォーカー* (NASA) フォードル・ユールチキン (ロシア)	▲打上げ 2010.06.15 ソユーズTMA-19 (23S)	25次に記載		
25	<u>ダグラス・ウィーロック</u> (軍) シャノン・ウォーカー* フォードル・ユールチキン	▼帰還 2010.11.26 ソユーズTMA-19 (23S)	163日 7時間11分	24/25で 1回実施 (6時間 28分)	11月2日、ISSでの有人運用開始から10周年を達成。
	スコット・ケリー(NASA) アレクサンダー・カレリ(ロシア) オレグ・スクリポチカ(ロシア)	▲打上げ 2010.10.07 ソユーズTMA-M (24S)	26次に記載		
26	スコット・ケリー (軍) アレクサンダー・カレリ オレグ・スクリポチカ	▼帰還 2011.03.16 ソユーズTMA-M (24S)	159日 8時間43分	25/26で 2回実施 (10時間 14分)	
	ドミトリー・コンドラティエフ(ロシア) キャスリン・コールマン* (NASA) パオロ・ネスポリ(ESA)	▲打上げ 2010.12.15 ソユーズTMA-20 (25S)	27次に記載		
27	<u>ドミトリー・コンドラティエフ</u> (軍) キャスリン・コールマン* パオロ・ネスポリ	▼帰還 2011.05.24 ソユーズTMA-20 (25S)	159日 7時間18分	(上記参照)	
	アンドレイ・ボリシェンコ(ロシア) アレクサンダー・サマクチャイエフ(ロシア) ロナルド・ギャレン(NASA)	▲打上げ 2011.04.04 ソユーズTMA-21 (26S)	28次に記載		

注) 下線のクルーはISSコマンダー(指揮官)。太字はJAXA宇宙飛行士。
(軍)は軍出身者、(民)は民間出身者。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(5/9)

Expe dition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
28	アンドレイ・ボリシェンコ (軍) アレクサンダー・サマクチャイエフ ロナルド・ギャレン	▼帰還 2011.09.16 ソユーズTMA-21 (26S)	164日 5時間41分	27/28で 2回実施 (12時間 54分)	
	マイケル・フォッサム(NASA) 古川 聡(JAXA) セルゲイ・ヴォルコフ(ロシア)	▲打上げ 2011.06.07 ソユーズTMA-02M (27S)	29次に記載		
29	マイケル・フォッサム (民) 古川 聡 セルゲイ・ヴォルコフ	▼帰還 2011.11.22 ソユーズTMA-02M (27S)	167日 6時間14分	(上記参照)	
	ダニエル・バーバンク(NASA) アントン・シュカブレロフ(ロシア) アナトーリ・イヴァニシ(ロシア)	▲打上げ 2011.11.14 ソユーズTMA-22 (28S)	30次に記載		
30	ダニエル・バーバンク(沿岸警備隊) アントン・シュカブレロフ アナトーリ・イヴァニシ	▼帰還 2012.04.27 ソユーズTMA-22 (28S)	165日 7時間30分	30/31で 1回 (6時間15分)	
	オレグ・コノネンコ(ロシア) アンドレ・カイパース(ESA) ドナルド・ペティット(NASA)	▲打上げ 2011.12.21 ソユーズTMA-03M (29S)	31次に記載		
31	オレグ・コノネンコ (民) アンドレ・カイパース ドナルド・ペティット	▼帰還 2012.07.01 ソユーズTMA-03M (29S)	192日 18時間58分	(上記参照) 30/32で1回 (5時間51分)	
	ゲナディ・パダルカ (ロシア) ジョセフ・アカバ (NASA) セルゲイ・レビン (ロシア)	▲打上げ 2012.05.15 ソユーズTMA-04M (30S)	32次に記載		
32	ゲナディ・パダルカ (軍) ジョセフ・アカバ セルゲイ・レビン	▼帰還 2012.09.17 ソユーズTMA-04M (30S)	124日 23時間51分	32/33次で 4回実施 (27時間14分)	パダルカは3 回目のコマン ダー
	サニータ・ウィリアムズ* (NASA) ユーリ・マレンチェンコ(ロシア) 星出彰彦(JAXA)	▲打上げ 2012.07.15 ソユーズTMA-05M (31S)	33次に記載		
33	サニータ・ウィリアムズ* (軍) ユーリ・マレンチェンコ 星出彰彦	▼帰還 2012.11.19 ソユーズTMA-05M (31S)	126日 23時間15分	(上記参照)	
	ケビン・フォード (NASA) オレグ・ノヴィツキー (ロシア) エヴァゲニー・タレルキン (ロシア)	▲打上げ 2012.10.23 ソユーズTMA-06M(32S)	34次に記載		
34	ケビン・フォード (軍) オレグ・ノヴィツキー エヴァゲニー・タレルキン	▼帰還 2013.03.16 ソユーズTMA-06M(32S)	143日 16時間14分	実施せず	
	クリス・ハドフィールド (CSA) トーマス・マシュバーン (NASA) ロマン・ロマネンコ (ロシア)	▲打上げ 2012.12.19 ソユーズTMA-07M(33S)	35次に記載		
35	クリス・ハドフィールド (CSA) (軍) トーマス・マシュバーン ロマン・ロマネンコ	▼帰還 2013.05.14 ソユーズTMA-07M(33S)	145日 14時間18分	2回実施 (12時間08分)	カナダ人初の ISSコマンダ ー
	パベル・ビノグラドフ(ロシア) アレクサンダー・ミシュルキン (ロシア) クリストファー・キャシディ (NASA)	▲打上げ 2013.03.28 ソユーズTMA-08M(34S)	36次に記載		

表 3-1 ISS長期滞在クルー(6/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
36	パベル・ビノグラドフ (民) アレクサンダー・ミシュルキン クリストファー・キャシディ	▼帰還 2013.09.11 ソユーズTMA-08M (34S)	166日 6時間14分	5回実施 (27時間40分)	
	フョードル・ユールチキン (ロシア) カレン・ナイバーク* (NASA) ルカ・バルミターノ (ESA)	▲打上げ 2013.05.28 ソユーズTMA-09M (35S)	37次に記載		
37	フョードル・ユールチキン (民) カレン・ナイバーク* ルカ・バルミターノ	▼帰還 2013.11.11 ソユーズTMA-09M (35S)	166日 6時間17分	実施せず	
	オレグ・ゴトフ(ロシア) マイケル・ホプキンス(NASA) セルゲイ・リザンスキー(ロシア)	▲打上げ 2013.09.25 ソユーズTMA-10M (36S)	38次に記載		
38	オレグ・ゴトフ (軍) マイケル・ホプキンス セルゲイ・リザンスキー	▼帰還 2014.03.11 ソユーズTMA-10M (36S)	166日 6時間25分	5回実施 (32時間23分)	
	若田光一 (JAXA) ミハイル・チューリン (ロシア) リチャード・マストラキオ(NASA)	▲打上げ 2013.11.07 ソユーズTMA-11M (37S)	39次に記載		
39	若田光一 (民) ミハイル・チューリン リチャード・マストラキオ	▼帰還 2014.05.14 ソユーズTMA-11M (37S)	187日 21時間43分	1回実施 (1時間36分)	日本人初のISSコマンドー
	スティーブン・スワンソン(NASA) アレクサンダー・スクボルソフ(ロシア) オレグ・アルテミアフ(ロシア)	▲打上げ 2014.03.25 ソユーズTMA-12M (38S)	40次に記載		
40	スティーブン・スワンソン (民) アレクサンダー・スクボルソフ オレグ・アルテミアフ	▼帰還 2014.09.11 ソユーズTMA-12M (38S)	169日 5時間05分	2回実施 (12時間34分)	
	マキシム・スライエフ(ロシア) リード・ワイズマン(NASA) アレクサンダー・ゲルスト(ESA)	▲打上げ 2014.05.28 ソユーズTMA-13M (39S)	41次に記載		
41	マキシム・スライエフ (軍) リード・ワイズマン アレクサンダー・ゲルスト	▼帰還 2014.11.10 ソユーズTMA-13M (39S)	165日 8時間00分	3回実施 (16時間28分)	ロシア人女性宇宙飛行士初のISS滞在
	バリー・ウィルモア(NASA) エレナ・セロヴァ* (ロシア) アレクサンダー・サマクチャイエフ(ロシア)	▲打上げ 2014.09.25 ソユーズTMA-14M (40S)	42次に記載		
42	バリー・ウィルモア (軍) エレナ・セロヴァ* アレクサンダー・サマクチャイエフ	▼帰還 2015.03.12 ソユーズTMA-14M (40S)	167日 5時間42分	3回実施 (19時間02分)	ESA 女性宇宙飛行士初のISS滞在
	テリー・バーツ(NASA) サマンサ・クリストフォレッティ* (ESA) アントン・シュカブレロフ(ロシア)	▲打上げ 2014.11.23 ソユーズTMA-15M (41S)	43次に記載		
43	テリー・バーツ (軍) サマンサ・クリストフォレッティ* アントン・シュカブレロフ	▼帰還 2015.06.11 ソユーズTMA-15M (41S)	199日 16時間42分	実施せず	ケリーとコニエニコはISSに1年間滞在
	スコット・ケリー(NASA) ミカエル・コニエニコ(ロシア) ゲナディ・パダルカ(ロシア)	▲打上げ 2015.03.27 ソユーズTMA-16M (42S)	45次に記載		

注) 名前の後ろの* マークは女性を示す。下線のクルーはISSコマンドー (指揮官)。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(7/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
44	ゲナディ・パダルカ (軍)	▼帰還 2015.09.12 ソユーズTMA-16M (42S)	168日 5時間08分	1回実施 (5時間31分)	パダルカは4 回目のコマン ダー、宇宙滞 在記録878 日間を樹立
	スコット・ケリー ミカエル・コニエンコ	1年間滞在	-		
	オレグ・コノネコ(ロシア) チェル・リングリン (NASA) 油井亀美也(JAXA)	▲打上げ 2015.07.22 ソユーズTMA-17M (43S)	45次に記載		
45	オレグ・コノネコ チェル・リングリン 油井亀美也	▼帰還 2015.12.11 ソユーズTMA-17M (43S)	141日 16時間09分	2回実施 (15時間04分)	ケリーは米国 の累計宇宙 滞在記録を 更新 → 520 日間
	スコット・ケリー (NASA) (軍) ミカエル・コニエンコ (ロシア)	▼帰還 2016.03.02 ソユーズTMA-18M (44S)	340日 8時間43分		
	セルゲイ・ヴォルコフ(ロシア)	▲打上げ 2015.09.02 ソユーズTMA-18M (44S)	46次に記載		
46	スコット・ケリー (軍) ミカエル・コニエンコ セルゲイ・ヴォルコフ	▼帰還 2016.03.02 ソユーズTMA-18M (44S)	ヴォルコフ 181日 23時間48分	3回実施 (12時間44分)	
	ティモシー・コブラ (NASA) ティモシー・ピーク (ESA) ユーリ・マレンチエンコ(ロシア)	▲打上げ 2015.12.15 ソユーズTMA-19M (45S)	47次に記載		
47	ティモシー・コブラ (軍) ティモシー・ピーク ユーリ・マレンチエンコ	▼帰還 2016.06.18 ソユーズTMA-19M (45S)	185日 22時間12分	実施せず	
	ジェフリー・ウィリアムズ(NASA) アレクセイ・オブチニン(ロシア) オレグ・スクリポチカ (ロシア)	▲打上げ 2016.03.18 ソユーズTMA-20M (46S)	48次に記載		
48	ジェフリー・ウィリアムズ (軍) アレクセイ・オブチニン オレグ・スクリポチカ	▼帰還 2016.09.07 ソユーズTMA-20M (46S)	171日 3時間47分	2回実施 (12時間46分)	ジェフは米国 の累計宇宙 滞在記録を 更新 → 533 日間
	アナトーリ・イヴァニシン(ロシア) キャスリーン・ルビンズ*(NASA) 大西卓哉(JAXA)	▲打上げ 2016.07.07 ソユーズMS-01 (47S)	49次に記載		
49	アナトーリ・イヴァニシン (軍) キャスリーン・ルビンズ*	▼帰還 2016.10.30 ソユーズMS-01 (47S)	115日 2時間21分	実施せず	
	ロバート・キンブロー(NASA) アンドレイ・ポリシェンコ(ロシア) セルゲイ・リジコフ(ロシア)	▲打上げ 2016.10.19 ソユーズMS-02(48S)	50次に記載		
50	ロバート・キンブロー (軍) アンドレイ・ポリシェンコ セルゲイ・リジコフ	▼帰還 2017.04.10 ソユーズMS-02 (48S)	173日 3時間15分	4回実施 (26時間8分)	
	ベギー・ウィットソン*(NASA) オレグ・ノヴィツキー(ロシア) トマ・ベスケ(ESA)	▲打上げ 2016.11.17 ソユーズMS-03(49S)	51次に記載		
51	ベギー・ウィットソン* (滞在延長)(民) オレグ・ノヴィツキー トマ・ベスケ	▼帰還2017.06.02 ソユーズMS-023(49S)	196日 17時間50分	2回実施 (6時間59分)	ベギーは女性 及び米国人の 累計宇宙滞在 記録を更新 → 665日間
	フォードル・ユールチキン (ロシア) ジャック・フィッシャー (NASA)	▲打上げ 2017.04.20 ソユーズMS-04(50S)	52次に記載		

表 3-1 ISS長期滞在クルー(8/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日 (GMT)			
52	フョードル・ユールチキン (民) ジャック・フィッシャー ペギー・ウイットソン*	▼帰還2017.09.03 ソユーズMS-04(50S)	135日18時間8分。ペギーは289日5時間1分	1回実施 (7時間34分)	51次滞在より、 ロシア人を1人削減中
	ランドルフ・プレスニク (NASA) セルゲイ・リザンスキー (ロシア) パオロ・ネスボリ (イタリア)	▲打上げ 2017.07.29 ソユーズMS-05(51S)	53次に記載		
53	ランドルフ・プレスニク (軍) セルゲイ・リザンスキー パオロ・ネスボリ	▼帰還2017.12.14 ソユーズMS-05(51S)	138日16時間56分	3回実施 (20時間10分)	
	アレクサンダー・ミシュルキン(ロシア) マーク・ヴァンデハイ (NASA) ジョセフ・アカバ(NASA)	▲打上げ 2017.09.13 ソユーズMS-06(52S)	54次に記載		
54	アレクサンダー・ミシュルキン (軍) マーク・ヴァンデハイ ジョセフ・アカバ	▼帰還2018.02(予定) ソユーズMS-06(52S)			
	アントン・シュカブレロフ (ロシア) スコット・テングル(NASA) 金井宣茂(JAXA)	▲打上げ 2017.12.17 ソユーズMS-07(53S)	55次に記載		
55	アントン・シュカブレロフ (軍) スコット・テングル 金井宣茂	▼帰還2018.6.3(予定) ソユーズMS-07(53S)			
	アンドリュー・フューステル(NASA) オレグ・アルテムエフ(ロシア) リチャード・アーノルド(NASA)	▲打上げ2018.03 (予定) ソユーズMS-08(54S)	56次に記載		
56	アンドリュー・フューステル (民) オレグ・アルテムエフ リチャード・アーノルド	▼帰還2018.10(予定) ソユーズMS-08(54S)			
	アレクサンダー・ガーステ (ドイツ) Sergei Prokopyev (ロシア) ジャネット・エップス * (NASA)	▲打上げ 2018.06 (予定) ソユーズMS-09(55S)	57次に記載		
57	アレクサンダー・ガーステ (民) Sergei Prokopyev ジャネット・エップス *	▼帰還2018.12(予定)			
	TBD (ロシア) TBD (ロシア) ニック・ヘイグ (NASA)	▲打上げ 2018.09 (予定)	58次に記載		
58	TBD (ロシア) Serena Auñón-Chancellor * (NASA) David Saint-Jacques (CSA)	▲打上げ 2018.11 (予定)	59次に記載		

注) 名前の後ろの*マークは女性を示す。下線のクルーはISSコマンダー(指揮官)。太字はJAXA宇宙飛行士。(軍)は軍出身者、(民)は民間出身者。

表 3-1 ISS長期滞在クルー(9/9)

Expedition	長期滞在クルー	▲ 打上げ日 (GMT)	宇宙滞在時間	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼ 帰還日 (GMT)			
59	シャノン・ウォーカー* (NASA)	▲ 打上げ 2019.春 (予定)	60次に記載		
60	シャノン・ウォーカー*				
61					
62	野口聡一 (JAXA)	▲ 打上げ 2019末(予定)			
63	野口聡一	▼ 帰還2020(予定)			

注) 名前の後ろの*マークは女性を示す。下線のクルーはISSコマンダー（指揮官）。太字はJAXA宇宙飛行士。(軍)は軍出身者、(民)は民間出身者。

4. JAXAの現役宇宙飛行士

JAXAの現役宇宙飛行士は、現在以下の7人です。詳しくはJAXAのホームページをご覧ください。

<http://iss.jaxa.jp/astro/index.html>

 若田光一	 野口聡一	 古川聡	 星出彰彦
 油井亀美也	 大西卓哉	 金井宣茂	

5. 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録

2016年12月25日現在

表5-1 日本人宇宙飛行士の合計宇宙滞在記録

	クルー	フライト	飛行回数	宇宙滞在時間	備考
1	若田 光一	STS-72 STS-92 STS-119/STS-127 (第18/19/20次長期滞在) ソユーズTMA-11M/37S (第38/39次長期滞在)	4	8日22時間00分 12日21時間42分 137日15時間05分 187日21時間43分 =347日8時間32分	1回の飛行としての日本人最長記録
2	野口 聡一	STS-114 ソユーズTMA-17/21S (第22/23次長期滞在)	2	13日21時間32分 163日05時間33分 =177日03時間05分	
-	 金井 宣茂	ソユーズMS-07/53S (第54/55次長期滞在)	1	約168日間を予定	
3	古川 聡	ソユーズTMA-02M/27S (第28/29次長期滞在)	1	167日06時間14分	
4	油井 亀美也	ソユーズTMA-17M/43S (第44/45次長期滞在)	1	141日16時間9分	
5	星出 彰彦	STS-124 ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	2	13日18時間13分 126日23時間15分 =140日17時間29分	
6	大西卓哉	ソユーズMS/47S (第48/49次長期滞在)	1	115日2時間21分	
7	土井 隆雄	STS-87 STS-123	2	15日16時間34分 15日18時間10分 =31日10時間44分	
8	向井 千秋	STS-65 STS-95	2	14日17時間55分 8日21時間44分 =23日15時間39分	
9	毛利 衛	STS-47 STS-99	2	7日22時間30分 11日05時間38分 =19日04時間09分	
10	山崎 直子	STS-131	1	15日02時間47分	
11	秋山 豊寛	ソユーズTM-11	1	7日21時間54分	
-			19	計1,186日13時間05分	

注：秒処理の関係で誤差が生じる場合があります。

表5-2 日本人宇宙飛行士の1回の飛行での最長飛行記録

2017年12月25日現在

	クルー	フライト	宇宙滞在時間	備考
1	若田 光一	ソユーズTMA-11M/37S (第38/39次長期滞在)	187日21時間43分	
-	 金井 宣茂	ソユーズMS-07/53S (第54/55次長期滞在)	約168日間を予定	
2	古川 聡	ソユーズTMA-02M/27S (第28/29次長期滞在)	167日06時間14分	
3	野口 聡一	ソユーズTMA-17/21S (第22/23次長期滞在)	163日05時間33分	
4	油井亀美也	ソユーズTMA-17M/43S (第44/45次長期滞在)	141日16時間09分	
5	星出 彰彦	ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	126日23時間15分	
6	大西卓哉	ソユーズMS/47S (第48/49次長期滞在)	115日2時間21分	

6. 各国の宇宙滞在記録

表 6-1 宇宙滞在の国別記録 (51S帰還時点)

	国	合計滞在時間	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連を含む)	2万6853日08時間02分	121人	注：2017年12月14日に51Sで帰還したクルーまでの合計滞在時間記録。引き続き軌道に滞在している52S、53Sクルーの日数は含まれていない。
2	米国	1万9130日22時間10分	336人	同上
3	日本	1186日13時間05分	10人	秋山氏の飛行を含む
4	イタリア	765日22時間09分	7人	
5	ドイツ	658日23時間25分	11人	
6	フランス	628日22時間23分	10人	
7	カナダ	506日03時間34分	9人	ギー・ラリバルテ氏の飛行を含む

表 6-2 宇宙滞在の国別記録 (53S帰還時のデータ)

	国	合計滞在時間	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連を含む)	2万6853日08時間02分 + 167日(52S) + 168日(53S) = 2万7188日8時間2分 (予定)	121人	
2	米国	1万9130日22時間10分 + 167日×2人(52S) + 168日(53S) = 1万9632日23時間10分 (予定)	337人 +53S で1人	米国人宇宙旅行者の記録を含む
3	日本	1186日13時間05分 + 168日(53S) = 1354日13時間05分 (予定)	11人 +53S で1人	秋山氏の飛行を含む
4	イタリア	765日22時間09分	7人	
5	ドイツ	658日23時間25分	11人	
6	フランス	628日22時間23分	10人	
7	カナダ	506日03時間34分	9人	ギー・ラリバルテ氏の飛行を含む

注：軌道を周回した民間の宇宙旅行者も含む。

高度100km以上でも弾道飛行した者は除外(軌道飛行のみをカウント)

注：人数の欄は延べ人数ではないため、初飛行以外はカウントアップしない。

7. 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

2017年12月5日現在

表7-1 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

	クルー	フライト	EVA回数	EVA記録(米国時間)	備考
1	星出 彰彦	ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	3	US EVA18 2012年8月30日 8時間17分 US EVA19 2012年9月 5日 6時間28分 US EVA20 2012年11月1日 6時間38分 計21時間23分	
2	野口 聡一	STS-114/LF-1	3	EVA#1 2005年7月30日 6時間50分 EVA#2 2005年8月 1日 7時間14分 EVA#3 2005年8月 3日 6時間01分 計20時間05分	
3	土井 隆雄	STS-87	2	EVA#1 1997年11月24-25日 7時間43分 EVA#2 1997年12月 3日 5時間00分 計12時間43分	
-					

8. 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

表8-1 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録 2017/12/05 現在

	国	フライト/クルー	回数	EVA時間
1	アメリカ			総計約2,878時間
2	ロシア(旧ソ連含む)	(カザフスタン、ウクライナを含む)		総計約1,248時間
3	日本	STS-87/土井 隆雄	2	計12時間43分
		STS-114/野口 聡一	3	計20時間05分
		第32/33次長期滞在/星出 彰彦	3	計21時間23分
				総計約54時間11分
4	フランス	1988年ミール /Jean-Loup Chretien	1	6時間00分
		1999年ミール (ESAクルー) /Jean-Pierre Haignere	1	6時間19分
		STS-111/フィリップ・ペリン	3	計19時間31分
		第50/51次長期滞在/トマ・ベスケ	2	計12時間32分
				総計 44時間22分
5	カナダ	STS-100/クリス・ハドフィールド	2	計14時間50分
		STS-115/スティーブン・マクレーン	1	7時間11分
		STS-118/ダフィッド・ウイリアムズ	3	計17時間47分
				総計 39時間48分
6	スウェーデン	STS-116、STS-128 /クリスター・フューゲルサンク	3+2	18時間14分(STS-116) 13時間40分(STS-128) 総計 31時間54分
7	ドイツ	1995-1996年ミール (ESAクルー) /トーマス・ライター 第13/14次長期滞在	2	8時間22分
		/トーマス・ライター STS-122 (ESAクルー)	1	5時間54分
		/ハンス・シュリーゲル 第40/41次長期滞在 (ESAクルー)	1	6時間45分
		/アレクサンダー・ゲルスト	1	6時間13分
				総計 27時間14分
8	スイス	STS-103/Claude Nicollier (ESAクルー：ハッブル修理ミッション)	1	8時間10分
9	イタリア	第36/37次長期滞在 (ESAクルー) /ルカ・バルミターノ	2	7時間39分
10	イギリス	第46/47次長期滞在 (ESAクルー) /ティモシー・ピーク	1	4時間43分
11	中国	神舟7号/翟志剛と劉伯明	1	0時間22分 総計 0時間44分

下線はISSでのEVA

注：カザフスタンとウクライナを旧ソ連から外して整理する例もあるが、カザフスタン人のタルガット・ムサバイエフ(8回/計42時間36分)と、ウクライナ人のオレグ・コノネンコ(3回/計18時間27分)とセルゲイ・ヴォルコフ(3回/計18時間35分)は通常、ロシア宇宙飛行士として扱われるためここではロシアに含めている。

注：米露のEVA時間は、https://www.worldspaceflight.com/bios/eva/eva_stats.php を参考にした(分単位での積算までは考慮していない)。

注：分・秒の処理の関係で分単位で誤差が生じる場合があります。

付録 5 略語集

略語	英名称	和名称
ACBM	Active Common Berthing Mechanism	アクティブ側共通結合機構
AED	Automated External Defibrillator	自動体外式除細動器
AL	A/L Airlock	エアロック
AMS	Alpha Magnetic Spectrometer	アルファ磁気スペクトロメータ
AOS	Acquisition of Signal	信号捕捉
APFR	Articulating Portable Foot Restraint	関節付きポータブル・フット・レストレイント
AQH	Aquatic Habitat	(JAXA)水棲生物実験装置
AR	Atmosphere Revitalization	空気浄化(ラック)
ARED	Advanced Resistive Exercise Device	ISS の筋力トレーニング装置
Area PADLES	Area Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space	「きぼう」船内の宇宙放射線計測装置
ARIES	Astronaut Related IVA and Equipment Support	アリーズ：船内活動支援担当 (「きぼう」管制チーム)
ARS	Atmosphere Revitalization System	空気浄化システム
ASI	Agenzia Spaziale Italiana	イタリア宇宙機関
ATA	Ammonia Tank Assembly	アンモニア・タンク
ATV	Automated Transfer Vehicle	(ESA)欧州補給機
BDS	Backup Drive System	(JEMRMS)バックアップ駆動システム
BEAM	Bigelow Expandable Activity Module	ビゲロー社の商業インフレーターブルモジュール(実験用)
Biorhythms	Biological Rhythms	長期宇宙飛行時における心臓自律神経活動に関する研究(JAXA)
BRT	Body Restraint Tether	宇宙飛行士身体固定用テザー
CALET	CALorimetric Electron Telescope	高エネルギー電子・ガンマ線観測装置
CANSEI	Control and Network Systems, Electrical Power and ICS Communication Officer	カンセイ：通信・電力・管制系担当 (「きぼう」管制チーム)
CAPCOM	Capsule Communicator	キャプコム (軌道上クルーとの交信担当)
CATS	Cloud Aerosol Transport System	雲やエアロゾルを観測する曝露部の米国ペイロード
CAVES	Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and performance Skills	ESA 主催の洞窟探査を通じた宇宙飛行士訓練
CB	Clean Bench	グリーンベンチ (「きぼう」の実験装置)
CBCS	Centerline Berthing Camera System	センターライン・バーシング・カメラ・システム
CBEF	Cell Biology Experiment Facility	細胞培養装置 (「きぼう」の実験装置)
CBM	Common Berthing Mechanism	(ISS の)共通結合機構
CDM	Carbon Dioxide Monitor	(CHeCS)二酸化炭素モニタ装置
CDMK	Carbon Dioxide Monitoring Kit	(CHeCS)二酸化炭素モニタリングキット

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
CDR	Commander	コマンドー（指揮官・船長）
CDRA	Carbon Dioxide Removal Assembly	二酸化炭素除去装置「シードラ」
CEVIS	Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System	振動分離機構付きサイクル・エルゴメータ「シービス」
CIR	Combustion Integrated Rack	(NASA)燃焼実験ラック
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	相補型金属酸化膜半導体
COLBERT	Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill	ISS のトレッドミル(T2)の愛称
COTS	Commercial Orbital Transportation Services	商業軌道輸送サービス
Crew PADLES	Crew Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space	個人被ばく線量計測装置(JAXA)
CRS	Commercial Resupply Service	(ISS への)商業補給サービス
CSA	Canadian Space Agency	カナダ宇宙庁
CsPINS	Gravity-regulated Growth and Development in Cucumber	植物の重力依存的成長制御を担うオーキシン排出キャリア動態の解析(JAXA)
CTB	Cargo Transfer Bag	物資輸送用バッグ
CWC	Contingency Water Container	水バッグ
DA	Distillation Assembly	蒸留装置（尿処理装置の構成要素）
DC-1	Docking Compartment	(ロシアモジュール)ドッキング区画
DCM	Display and Control Module	(EMU)表示制御モジュール
DCSU	Direct Current Switching Unit	直流切替ユニット
DRTS	Data Relay Test Satellite	データ中継技術衛星「こだま」
ECLSS	Environmental Control and Life Support System	環境制御・生命維持システム
EDR	European Drawer Rack	(ESA の実験ラック)
EE	End Effector	エンド・エフェクター
EF	Exposed Facility	船外実験プラットフォーム
EFBM	Exposed Facility Berthing Mechanism	船外実験プラットフォーム結合機構
EHS	Environmental Health System	環境衛生システム
ELC	EXPRESS Logistics Carrier	エクスプレス補給キャリア
ELF	Electrostatic Levitation Furnace	静電浮遊炉（JAXA）
ELM-ES	Experiment Logistics Module-Exposed Section	「きぼう」船外パレット
ELM-PS	Experiment Logistics Module-Pressurized Section	「きぼう」船内保管室
EMCS	European Modular Cultivation System	ESA の植物実験装置
EML	Electro Magnetic Levitator	ESA の電磁浮遊炉
EMU	Extravehicular Mobility Unit	船外活動ユニット(米国の宇宙服)
EPF	External Payload Facility	コロンバス曝露ペイロード施設
EPM	European Physiology Module	欧州生理学実験ラック
EP-MP	Exposed Pallet - Multi-Purpose	HTV 多目的曝露パレット

略語	英名称	和名称
EPO	Education Payload Observation	JAXA の文化/人文社会科学利用
ERA	European Robotic Arm	ヨーロッパロボットアーム
ES 細胞	Embryonic Stem cells	胚性幹細胞
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
ESP	External Stowage Platform	船外保管プラットフォーム
ESR	European Stowage Rack	ヨーロッパの保管ラック
ETC	European Transport Carrier	(ESA の実験ラック)
EuTEF	European Technology Exposure Facility	(ESA)曝露ベイロード
EV1, EV2	Extravehicular crew 1, 2	船外活動クルー 1、2
EVA	Extravehicular Activity	船外活動
ExHAM	Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism	簡易曝露実験装置 (JAXA)
FDIR	Fault Detection, Isolation, and Recovery	故障検知、分離、回復
FDS	Fire Detection and Suppression	火災検知・消火
FE	Flight Engineer	フライトエンジニア
FGB	Functional Cargo Block	基本機能モジュール「ザーリヤ」
FHRC	Flex Hose Rotary Coupler	フレックス・ホース・ロータリ・カプラー
FLAT	Fluid and Thermal Officer	フラット：熱・環境・実験支援系担当 (「きぼう」管制チーム)
FPEF	Fluid Physics Experiment Facility	流体物理実験装置 (「きぼう」の実験装置)
Free-Space PADLES	Free-Space Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space	「きぼう」船外の宇宙放射線環境モニタリング
FRGF	Flight Releasable Grapple Fixture	グラブル・フィクスチャ
FSL	Fluid Science Lab	ESA の流体科学実験ラック
GCEM	Group Combustion Experiment Module	液滴群燃焼実験供試体
GCTC	Gagarin Cosmonaut Training Center	ガガーリン宇宙飛行士訓練センター
GHF	Gradient Heating Furnace	温度勾配炉
GMT	Greenwich Mean Time	グリニッジ標準時(世界標準時)
GNC	Guidance Navigation and Control	誘導、航法及び制御
GVS	Galvanic Vestibular Stimulation	前庭感覚電気刺激
HDTV-EF2	High Definition TV Camera-Exposed Facility 2	船外実験プラットフォーム用 次世代ハイビジョンカメラ技術実証
HTV	H-II Transfer Vehicle	宇宙ステーション補給機「こうのとり」
ICS	Inter-orbit Communication System	(JEM)衛星間通信システム
IDA	International Docking Adapter	国際ドッキングアダプター
IELK	Individual Equipment Liner Kit	(ソユーズ宇宙船のシート)
IMAP	Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere mapping	(MCE)地球超高層大気撮像観測
IMMT	ISS Mission Management Team	ISS ミッションマネージメント
Int-Ball		JEM 自律移動型船内カメラ
IP	International Partner	国際パートナー

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
IPU	Image Processing Unit	画像取得処理装置（「きぼう」の実験装置）
IPVI	Intracranial Pressure & Visual Impairment	無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立
IRED	Isolated Resistive Exercise Device	(CHeCS)筋カトレーニング機器
i-SEEP	IVA-replaceable Small Exposed Experiment Platform	中型曝露実験アダプター
ISLE	In Suit Light Exercise	（プリブリーズの方法）
ISPR	International Standard Payload Rack	国際標準ペイロードラック
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
IVA	Intra-Vehicular Activity	船内活動
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JCP	JEM Control Processor	JEM 管制制御装置
JEF	JEM Exposed Facility	船外実験プラットフォーム
JEM PAYLOADS	JEM Payload Officer	ジエムペイロードズ：ペイロード運用担当 （「きぼう」管制チーム）
JEMRMS	JEM Remote Manipulator System	「きぼう」ロボットアーム
JFCT	JAXA Flight Control Team	「きぼう」管制チーム
J-FIGHT	JAXA Flight Director	J-フライト：フライトディレクタ （「きぼう」管制チーム）
J-PLAN	JAXA Planner	J-プラン：実運用計画担当 （「きぼう」管制チーム）
JLP	JEM Logistics Module Pressurized Section	「きぼう」の船内保管室
JPM	JEM Pressurized Module	「きぼう」船内実験室
JRSR	JEM Resupply Stowage Rack	「きぼう」の保管ラック
JSC	Johnson Space Center	NASA ジョンソン宇宙センター
J-SSOD	JEM Small Satellite Orbital Deployer	小型衛星放出機構
JST	Japanese Standard Time	日本標準時
KIBOTT	Kibo Robotics Team	キボット：ロボティクス・構造・機構系 担当（「きぼう」管制チーム）
KOS	Keep Out Sphere	進入禁止域（ISS から半径 200m）
Lab	United States Laboratory Module	「デスティニー」（米国実験棟）
LBNP	Lower Body Negative Pressure	下半身陰圧負荷装置
LEE	Latching End Effector	(SSRMS)ラッチング・エンド・エフェクタ
LiOH	Lithium Hydroxide	水酸化リチウム
LOS	Loss Of Signal	信号喪失
LVLH	Local Vertical Local Horizontal	水平・垂直
MAXI	Monitor of All-sky X-ray Image	全天 X 線監視装置（JAXA）
MBS	Mobile Base System	(MSS)モバイル・ベース・システム
MBSU	Main Bus Switching Unit	メインバス切替装置
MCC	Mission Control Center	ミッション管制センター(JSC)

略語	英名称	和名称
MCC-H	MCC-Houston	ミッション管制センター・ヒューストン
MCC-M	MCC-Moscow	ミッション管制センター・モスクワ
MCE	Multi-mission Consolidated Equipment	(JAXA)ポート共有実験装置
MCS	Motion Control System	姿勢制御系 (ロシアの宇宙機)
MED-2	Miniature Exercise Device	小型エクササイズ装置
MELFI	Minus Eighty degrees Celsius Laboratory Freezer for ISS	ISS 実験用冷凍・冷蔵庫
MERLIN	Microgravity Experiment Research Locker Incubator	米国のギャレー用冷蔵庫
MET	Mission Elapsed Time	ミッション経過時間
METOX	Metal Oxide	(EMU の)再生式二酸化炭素吸着装置
MHU	Mouse Habitat Unit	小動物飼育装置(JAXA)
MISSE	Materials on International Space Station Experiment	ISS での材料曝露実験装置
MLM	Multipurpose Laboratory Module	(ロシア)多目的研究モジュール「ナウカ」
MMA	Microgravity Measurement Apparatus	微小重力計測装置
MPEP	Multi-Purpose Experiment Platform	親アーム先端取付型プラットフォーム
MPLM	Multi-purpose Logistics Module	(ISS)多目的補給モジュール
MRM-1	Mini Research Module-1	(ロシア) 小型研究モジュール「ラスヴェット」
MRM-2	Mini Research Module-2	(ロシア) 小型研究モジュール「ポイスク」
MSG	Microgravity Science Glove Box	微小重力研究グローブボックス
MSPR	Multi-purpose Small Payload Rack	多目的実験ラック (JAXA)
MSS	Mobile Servicing System	ISS のロボットアームシステム
MT	Mobile Transporter	(MSS)モービル・トランスポーター
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NBL	Neutral Buoyancy Laboratory	無重量環境訓練施設 (NASA)
NEEMO	NASA Extreme Environment Mission Operations	NASA 極限環境ミッション運用
NET	No Earlier Than	～以降
NOLS	National Outdoor Leadership School	野外リーダーシップ(訓練)
NORS	Nitrogen/Oxygen Recharge System	窒素/酸素補給システム
NTA	Nitrogen Tank Assembly	窒素タンク・アセンブリ
OA	Orbital ATK	オービタル ATK 社の商業補給フライト
OAST-Flyer	Office of Aeronautics and Space Technology Flyer	(STS-72 搭載ペイロード)
ODF	Operations Data File	運用手順書
OGA	Oxygen Generation Assembly	(米国)酸素生成装置
OGS	Oxygen Generation System	(米国)酸素生成システム

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
OMS	Onboard Measurement System	(ロシア)通信／計測系
OMS	Orbital Maneuver System	軌道制御システム
Orb	Orbital (Sciences Corporation)	オービタル社の商業補給フライト
ORU	Orbital Replacement Unit	軌道上交換ユニット
PAO	Public Affair Office	広報(広報イベント)
PAO	Public Affair Officer	広報担当オフィサー
PBA	Portable Breathing Apparatus	(ISS 内の)非常用酸素マスク
PCBM	Passive CBM	パッシブ側共通結合機構
PCG	Protein Crystal Growth	タンパク質結晶生成実験
PCRF	Protein Crystallization Research Facility	タンパク質結晶生成装置(JAXA)
PCS	Portable Computer System	ラップトップ・コンピュータ
PDGF	Power & Data Grapple Fixture	電力・通信インタフェース付グラブル・フィクスチャ
PEU	Plant Experiment Unit	植物実験ユニット
PFCS	Pump and Flow Control System	ポンプ流量制御装置
PFE	Portable Fire Extinguisher	(ISS 内の)消火器
PGT	Pistol Grip Tool	ピストル型パワーツール
PI	Principal Investigator	代表研究者
PICA	Phenolic Impregnated Carbon Ablator	(耐熱材)
PLT	Payload Laptop Terminal	ペイロードラップトップターミナル
PM	Pressurized Module	「きぼう」の船内実験室
PMA	Pressurized Mating Adapter	(ISS) 与圧結合アダプター
PMM	Permanent Multipurpose Module	恒久結合型多目的モジュール
POCC	Payload Operations Control Center	ペイロード運用センター
POIC	Payload Operations Integration Center	ペイロード運用統合センター
PROX	Proximity Communication System	近傍通信システム
PS-TEPC	Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber	リアルタイム線量当量計 (JAXA)
PWD	Potable Water Dispenser	(ISS) 水供給装置
RCS	Reaction Control System	姿勢制御システム
RED	Resistive Exercise Device	(CHeCS)筋カトレーニング機器
REX-J	Robot Experiment on JEM	(MCE) EVA 支援ロボット実証実験
RPCM	Remote Power Controller Module	(ISS) 遠隔電力制御モジュール
RPDA	Remote Power Distribution Assemblies	(ISS) リモート電力分配装置
RRM	Robotic Refueling Mission	(NASA)ロボット燃料補給ミッション
RSC Energia	RSC Energia	(ロシア) ESC エネルギア社
RYUTAI	RYUTAI Rack	流体実験ラック(JAXA)
SAFER	Simplified Aid For EVA Rescue	EVA 時のセルフレスキュー推進装置
SAIBO	SAIBO Rack	細胞実験ラック(JAXA)
SAW	Solar Array Wing	(ISS) 太陽電池ウイング

略語	英名称	和名称
SCAM	Sample Cartridge Automatic Exchange Mechanism	(GHF)試料自動交換機構
SCAN Testbed	Space Communications and Navigation Testbed	(NASA)衛星間通信実験装置
SCOF	Solution Crystallization Observation Facility	溶液結晶化観察装置(JAXA)
SEDA-AP	Space Environment Data Acquisition equipment - Attached Payload	宇宙環境計測ミッション装置(JAXA)
SFA	Small Fine Arm	「きぼう」のロボットアームの子アーム
SFOG	Solid Fuel Oxygen Generator	酸素発生装置
SFU	Space Flyer Unit	宇宙実験・観測フリーフライヤー
SIMPLE	Space Inflatable Membranes Pioneering Long-term Experiments	(MCE)宇宙インフレータブル構造の宇宙実証
SM	Service Module	「ズヴェズダ」(サービス・モジュール)
SMDP	Service Module Debris Panel	ズヴェズダのデブリ防御パネル
SMILES	Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder	超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(JAXA)
SPCF	Solution/Protein Crystal Growth Facility	溶液・タンパク質結晶成長実験装置(JAXA)
SPDM	Special Purpose Dexterous Manipulator	(MSS)「デクスター」(特殊目的ロボットアーム)
SPHERES	Synchronized Position Hold Engage and Reorient Experimental Satellites	(NASAの実験装置)
SpX	Space X	スペースX社の商業補給フライト
SSCC	Space Station Control Center	宇宙ステーション管制センター
SSIPC	Space Station Integration and Promotion Center	宇宙ステーション総合推進センター(JAXA TKSC)
SSRMS	Space Station Remote Manipulator System	ISSのロボットアーム「カナダアーム2」
STS	Space Transportation System	スペースシャトルのフライト番号
SWC	Solid Waste Container	(ISS) 汚物容器(SWC/KTO)
T2	TVIS-2	2台目の振動分離機構付きトレッドミル
TCCS	Trace Contaminant Control Subassembly	(ISS) 有毒ガス除去装置
TCS	Thermal Control System	熱制御系
TKSC	Tsukuba Space Center	筑波宇宙センター
TOCA II	Total Organic Carbon Analyzer II	(ISS) 有機炭素分析器
TPF	Two Phase Flow	沸騰二相流体ループ実験(JAXA)
TVIS	Treadmill Vibration Isolation System	(ISS) 振動分離機構付きトレッドミル
ULF	Utilization Logistics Flight	(ISSの)利用フライト
UPA	Urine Processor Assembly	尿処理装置
U.S. LAB	United States Laboratory Module	「デスティニー」(米国実験棟)

金井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
UT	Universal Time	世界標準時
VELO		(ロシアの) サイクル・エルゴメーター
VHF	Very High Frequency	超短波
VLF	Very Low Frequency	超長波
VOA	Volatile Organic Analyzer	(ISS) 揮発性有機物分析装置
VR	Virtual Reality	バーチャル・リアリティー
WHC	Waste and Hygiene Compartment	ISS の 2 台目のトイレ
WPA	Water Processing Assembly	(ISS) 水処理装置
WRS	Water Recovery System	(ISS) 水再生装置(UPA+WPA)
WS	Work Site	(MT の)作業場所
zenith		天頂

付録 6 ISS の将来に関する用語解説

●ボーイング CST-100「スターライナー」

CST(Crew Space Transportation)-100 (100 は高度 100km のカーマンラインから来ている) は、ボーイング社が開発中の商業有人宇宙機で、有人打上げ対応型のアトラスVロケットで打上げ、最大 7 人を ISS へ運ぶことができます (クルーの人数は 5 人(パイロット 1 人+乗客 4 人)、要求があれば 7 人まで搭乗可能)。クルーの人数を減らせば貨物も混載可能です。帰還時はパラシュートで陸上に降下し、エアバッグを使って着地時の衝撃を緩和します。

CST-100 は溶接組立てではなく、1 つの大きな金属から削り出しなどの金属加工で作られます。直径は約 4.5m で、最大 10 回の再使用が可能な設計です。2018 年 8 月以降に無人での初飛行が成功すれば、2018 年末に有人での試験飛行(2 人が搭乗して ISS へ飛行)を行う予定です。

NASA はボーイング社とスペース X 社の 2 社と 2014 年 9 月に CCtCap (Commercial Crew Transportation Capability) 契約を結んでおり、2017 年末までに ISS への有人輸送サービスを提供できるようにするための開発を両社に求めていました。

<http://www.nasa.gov/press/2014/september/nasa-chooses-american-companies-to-transport-us-astronauts-to-international/>



図 1 CST-100 のイメージイラスト (Boeing 社)

<http://www.boeing.com/space/starliner/>



図 2 アトラス V ロケットに CST-100 を搭載したイメージ図(NASA)

<http://www.nasa.gov/content/boeing-finishes-commercial-crew-space-act-agreement-for-cst-100atlas-v/>



図 3 ボーイング社が開発した CST-100 用の"Boeing Blue"与圧服

<http://www.boeing.com/features/2017/01/space-suit-01-17.page>

●スペースX 有人型ドラゴン宇宙船

スペースX社が開発中の有人型ドラゴン宇宙船は、ドラゴンV2あるいはドラゴン2と呼ばれており、最大7人が搭乗可能です。ファルコン9ロケットで打上げ、緊急脱出時に備えてカプセルの外周に8基装備したスーパードラコエンジンを噴射して減速・降下し、着地するコンセプト（異常時にはパラシュートでの降下に切り替え可能）でしたが、当分は無人のドラゴン補給船と同様に、パラシュートで降下して着水する方式を採用する方式に変更されています。このカプセルは最大10回の使用が可能な設計です。無人飛行試験は2018年春、有人飛行試験は2018年夏に計画されているようです。



図4 ドラゴンV2のイメージ(2014年9月時点) (Space X)

<http://www.spacex.com/news/2014/09/16/nasa-selects-spacex-be-part-americas-human-spaceflight-program>

・ドラゴンV2の打上げからISSへのドッキング、帰還・着陸までを紹介した2分10秒間の動画(2014年5月公開) https://www.youtube.com/watch?v=Cf_g3UWQ04



図 5 ドラゴン V2 の内部を紹介したモックアップ (2017 年)

<http://www.spacex.com/crew-dragon>



図 6 SpaceX 社が開発した与圧服と最新の有人型ドラゴンの機体(2017 年 9 月発表)

<https://instagram.com/p/BYyvO2WA3Ra/>