



油井宇宙飛行士 ISS長期滞在プレスキット



2015年10月7日 B改訂版
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	2015.4.24	—	—
A改訂	2015.7.17	i~iv, 1-1~1-4, 2-2, 2-3, 3-1~3-3, 4-2~4-11, 4-14~4-16, 4-18~4-22, 4-30, 4-39~4-42, 5-1~5-3, 付録 1-20, 付録 2-15, 付録 2-23, 付録 3-5, 付録 4-1, 付録 4-7, 付録 4-8, 付録 4-13, 付録 4-16, 付録 4-17, 付録 4-22, 付録 4-24~付録 4-28, 付録 5-4~5-6, 付録 6-3, 付録 6-1~6-16(3 ページ増)	<ul style="list-style-type: none"> -打上げ延期(5/27 から 7/23 へ)を反映して情報を更新。 -現状のスケジュールに合わせて情報を更新。 -軌道上ミッションの実施結果を反映(ExHAM の設置、Free-Space PADLES の実施、PMM 移設、41S 帰還、CubeSat の放出結果など)。 -HTV5 の打上げ日を追記 -静電浮遊炉(ELF)の情報を追加 -宇宙旅行者サラ・ブライトマンの交代→カザフスタン人宇宙飛行士と交代 -誤記訂正、体裁整え
A-1改訂	2015.7.24	i, ii, 1-3, 2-2, 4-1, 4-4, 4-7, 4-10, 4-21, 4-22, 付録 1-1, 付録 1-11, 付録 1-12, 付録 3-40, 付録 3-41, 付録 3-46, 付録 4-16, 付録 4-22, 付録 4-23	<ul style="list-style-type: none"> -URL リンク切れの修正 -打上げ実績の反映 -改訂したページへの写真の出典を追記 -誤記訂正、体裁整え、その他
B改訂	2015.10.07	i, ii, 1-2, 4-2, 4-9~4-43(1 ページ増), 5-1, 5-2	<ul style="list-style-type: none"> -Plant Rotation 実験の情報を追加 -ミッションスケジュール情報の更新 <p>注: 付録 4 参考データに関しては今回は改訂していません。</p>

目 次

1 油井宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション概要	1- 1
2 ソユーズ TMA-17M(43S)フライト	2- 1
2.1 飛行計画概要	2- 2
2.2 ソユーズ TMA-17M 搭乗クルー	2- 3
3 油井宇宙飛行士について	3- 1
3.1 油井宇宙飛行士のプロフィール	3- 1
3.2 油井宇宙飛行士の任務概要	3- 3
4 油井宇宙飛行士の任務	4- 1
4.1 第 44 次／第 45 次長期滞在ミッションの実験運用に関連する作業	4- 1
4.1.1 JAXA の実験	4- 1
4.1.2 NASA/ESA の実験(最近行われている主な実験)	4-24
4.1.3 その他(長期滞在期間中の広報・普及活動)	4-35
4.2 ISS の定期的な点検・メンテナンス作業	4-36
4.3 ISS に到着する補給船の運用	4-40
5 第 44 次／第 45 次長期滞在中の主なイベント	5- 1
5.1 長期滞在中の主なイベント	5- 1
5.2 (参考)ISS での 1 年間の長期滞在について	5- 5

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- 5
3.1 ISS での生活	付録 1- 5
3.2 ISS での食事	付録 1-15
3.3 ISS での健康維持	付録 1-20
3.4 ISS での保全・修理作業	付録 1-25
4 ISS での水・空気のリサイクル	付録 1-29
4.1 水の再生処理	付録 1-29
4.2 空気の供給	付録 1-36
付録 2 「きぼう」日本実験棟概要	付録 2- 1
1 「きぼう」の構成	付録 2- 1
2 「きぼう」の主要諸元	付録 2-11
3 「きぼう」の運用モード	付録 2-13
4 「きぼう」船内実験室のラック	付録 2-15
4.1 システムラック	付録 2-17
4.2 JAXA の実験ラック	付録 2-19
5 運用管制	付録 2-27
5.1 運用管制チーム	付録 2-29
5.2 JEM 技術チーム	付録 2-32
5.3 実験運用管制チーム	付録 2-32

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 TMA 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- 8
2.1 環境制御／生命維持に関わる装置類.....	付録 3- 8
2.2 通信(アンテナ)に関わる装置類.....	付録 3- 8
2.3 電力に関わる装置類.....	付録 3- 8
2.4 Kurs 自動ランデブ／ドッキングシステム.....	付録 3- 9
2.5 ドッキング機構.....	付録 3-11
2.6 軌道制御エンジン／姿勢制御スラスター.....	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 3-19
3.1 打上げ準備.....	付録 3-20
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 3-28
3.5 再突入／着陸(帰還当日).....	付録 3-31
3.6 ソユーズ宇宙船の捜索・回収.....	付録 3-34
3.7 帰還後のリハビリテーション.....	付録 3-38
4 ソユーズロケットについて.....	付録 3-40
4.1 第 1 段ロケット.....	付録 3-41
4.2 第 2 段ロケット.....	付録 3-42
4.3 第 3 段ロケット.....	付録 3-43
4.4 フェアリングと緊急脱出用ロケット.....	付録 3-44
5 バイコヌール宇宙基地について.....	付録 3-46
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 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴.....	付録 4-13
3 ISS 長期滞在クルー.....	付録 4-17
4 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録.....	付録 4-24
5 各国の宇宙滞在記録.....	付録 4-26
6 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録.....	付録 4-27
7 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録.....	付録 4-28
付録 5 略語集	付録 5- 1
付録 6 新たに出てくる ISS 用語の解説	付録 6- 1
CST-100、有人型ドラゴン宇宙船、IDA、C2V2、BEAM、プログレス MS-1 補給船、NREP、アトラス V ロケットで打上げられるシグナス補給船及び改良型アンタレスロケット、簡易曝露実験装置(ExHAM)、小動物飼育装置、高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)、静電浮遊炉(ELF)、液滴群燃焼実験供試体(GCEM)	

挑む。

今回の長期滞在ミッションのキャッチフレーズ、“挑む”は、油井宇宙飛行士が初飛行に挑むはもちろんのこと、「きぼう」日本実験棟が次なるステップに上がる、そこに“挑む”ことも示しています。

油井宇宙飛行士、大西宇宙飛行士、金井宇宙飛行士が宇宙飛行士候補者として選抜されたのは2009年。その一年ほど前に、「きぼう」は国際宇宙ステーションに取り付けられ運用を開始しています。彼ら3人は、「きぼう」以降に生まれた新世代の宇宙飛行士ともいえます。そして、油井宇宙飛行士の長期滞在中、船内・船外で新たな実験装置が「きぼう」に設置される計画です。「きぼう」利用も新たなステップが始まります。将来の宇宙活動に向けて重要な知見やデータ取得を目的とした米露宇宙飛行士による1年滞在ミッションも始まり、日本も宇宙医学研究の分野で参加しています。そのような時期に、初飛行がISS長期滞在となる油井宇宙飛行士にとっては、全てが挑戦、まさに“挑む”です。

油井宇宙飛行士もこれまでの報道に応える中で、「自分の限界や「きぼう」の性能の限界に挑みたい」と意気込みを語っています。また、自身のTwitterでも「小さな挑戦でも、それを積み上げる事が大切だと思っています。「挑む」の意味を知っている人は、それに必要な努力や勇気を知っているので、互いに尊敬しあう関係を築く事が出来る気がします！」（2015年3月20日）と書きこんでいます。

油井宇宙飛行士の“挑む”にはそんな気持ちが込められています。



1. 油井宇宙飛行士のISS長期滞在ミッション概要

当初の予定より約2か月遅れになりましたが、油井宇宙飛行士は、2015年7月から12月までの間、国際宇宙ステーション(ISS)で第44次／第45次長期滞在クルーとして初の長期滞在进行します。日本人としては今回で通算6回目のISS長期滞在となります。

油井宇宙飛行士の参加する第44次／第45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、船外での簡易曝露実験など多くの実験が予定されている他、「きぼう」日本実験棟には新たな実験機器が設置され、さらに利用の幅が広がります。また、米露宇宙飛行士による1年滞在や、モジュール移設作業などのISSシステムの運用作業が予定されています。

※滞在期間中に予定されているイベントの詳細は、5章「第44次／第45次長期滞在中の主なイベント」を参照ください。

★JAXA宇宙ステーション・きぼう広報・情報センター <http://iss.jaxa.jp/>
★油井宇宙飛行士の打上げ前の様子や、ISSでの日常や感じたことをTwitterでつぶやきます。https://twitter.com/Astro_Kimiya こちらもご覧ください。

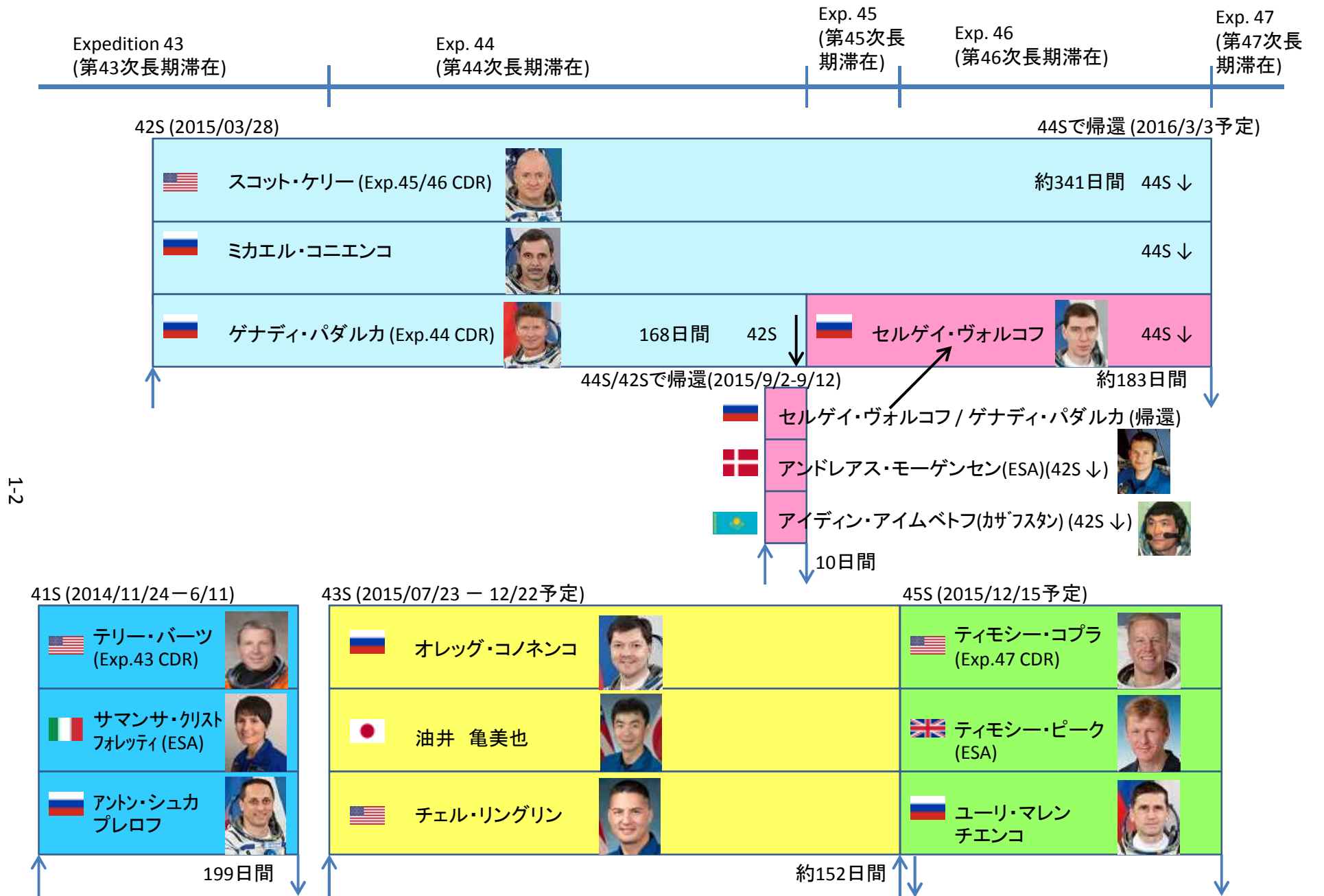


図1-1 油井宇宙飛行士滞在前後のISS滞在クルーのフライト計画 (H27.10.7更新)

【参考】短期訪問クルー
 新しいソユーズ宇宙船を運ぶ機会を利用して、ESAとカザフスタン人の宇宙飛行士が10日間という短期ミッションですが9月にISSを訪問します。



図1-2 日本人宇宙飛行士のISS長期滞在の流れ (JAXA)

注: 油井宇宙飛行士の打上げから1年後の来年6月頃には、大西宇宙飛行士がISSに向かいます。大西宇宙飛行士は以下のGoogle+で様々な情報を紹介しています。<https://plus.google.com/101922061219949719231?prsrc=3>

前回の若田宇宙飛行士の滞在時から更新されたISSの変更箇所、及び今後行われる変更箇所は以下の通りです。

・2014年5月以降、ISSには大きな変更はありませんでしたが、2015年はモジュールの移動や設置が多数行われます。これらの作業は「こうのとりのとり」や米国の商業補給機の2箇所目の結合場所を確保すると共に、米国の商業クルー輸送機(スペースX社のドラゴンV2、ボーイング社のCST-100)の到着に備えて予備のドッキングポートを確保するために行われます。

-PMA-2にドラゴン補給船7号機(SpX-7)で運んだIDA(国際ドッキングアダプター)の設置。→延期。

-ノード1「ユニティ」の下側に結合されていたPMM(恒久型多目的モジュール:保管庫)をノード3「トランクウィリティー」の進行方向側へ移設→5月27日に移設を終了。

-ノード3の左舷側に設置されていたPMA-3をノード2「ユニティ」の上部へ移設。

-SpX-8で米ビゲロー社のBEAMという空気膨張式モジュールを運び、ノード3の後方へ取り付け、空気を入れて膨らませることで、将来の居住モジュールへの利用をにらんだ技術実証試験を行います。

注:用語の解説は、5.1項および付録6を参照下さい。

・2015年3月から2人の米露クルーがISSへの1年間の長期滞在実験を開始。NASAのスコット・ケリー宇宙飛行士とロシアのミカエル・コニエンコ宇宙飛行士が、2015年3月より、1年間にわたるISS長期滞在ミッションを行っています。より長期間の宇宙滞在がヒトの身体にどのような影響を与えるか調べられるほか、骨・筋肉を維持する対策の評価などが実施されます。このような研究を通して、将来の月・小惑星・火星への有人探査に向けて貴重な知見を得ることになります。

2. ソユーズTMA-17M(43S)フライト

ソユーズTMA-17M(43S)フライトは、ロシアのソユ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ユーズ宇宙船の打上げとしては43回目となります。

【6時間でISSにドッキングするための特急フライト(急速ランデブー方式)】

2013年3月のフライト(34S)から、ソユーズ宇宙船のISSまでの飛行時間が大幅に短縮されるようになりました。ISS側の軌道を事前に調整すること、ソユーズ宇宙船の計算能力を強化(ソユーズTMA-Mで改良されたデジタル計算機への更新により対応が可能となった)し、最適な軌道制御を行うことで実現しています。もし、トラブルなどが起きて計画が狂った場合は、従来通り2日かけてISSに向かうシーケンスに変更します(2014年3月のフライト(38S)では投入軌道高度にずれが生じたため、打上げ後に計画を変更しました)。

メリットとしては、クルーが居心地の悪い狭い宇宙船内で長時間過ごす必要がなくなり、宇宙船の姿勢変更などで生じる負担が減ること。また、生物試料などを運搬する際にISSへの搬入時間が大幅に短縮できるなど、大きく改善されました。

一方で、飛行時間が短すぎるため座席を出て与圧服を脱いでくつろぐ時間がない(スーツの上半身のみ脱いでトイレには行けるようにしたり、脚のストレッチができるよう調整されたとのこと)、地上の作業負荷が高いという問題もありますが、これだけ時間短縮できるのはやはり大きな利点です。



この3人は2日かけてISSへ向かった



6時間で到着!

新幹線だと東京-熊本間くらいの時間感覚。
航空機の直行便だと成田からベトナムへ行くくらいの所要時間で、ハワイへ行くよりも早く着きます。

2.1 飛行計画概要

ソユーズTMA-17M(43S)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TMA-17M(43S)フライトの飛行計画概要

2015年7月24日現在

項目	飛行計画（実績反映版）
ミッション番号	43S(ソユーズ宇宙船の通算43回目のISSフライト)
機体名称	ソユーズTMA-17M
打上げ日時	2015年7月23日 06時02分(日本時間) 2015年7月23日 00時02分(バイコヌール時間) (当初予定していた5月27日から延期されました。)
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 オレグ・コノネンコ フライトエンジニア1 油井亀美也 フライトエンジニア2 チェル・リングリン
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401km
軌道傾斜角	51.6度
ISSドッキング日時	2015年7月23日11時45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	2015年12月22日(予定)
帰還予定日	2015年12月22日(予定)
帰還予定場所	カザフスタン共和国

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition44/index.html

通常、ISSクルーの交代は、約6か月間の長期滞在を終えたクルー3人が帰還した後にISSにドッキングしますが、今回は1年間の長期滞在ミッションを行うためにソユーズ宇宙船の入れ替えが必要になる関係から、9月1日にソユーズTMA-18Mがドッキングして、9月11日に古いソユーズTMA-16Mが帰還します。このため、その10日間は短期訪問クルーが加わり、ISS内のクルーが一時的に9人とにぎやかになります。また油井宇宙飛行士の帰還前にも先に(12月15日に)ソユーズTMA-19Mが到着し、9人態勢になります。

ソユーズ宇宙船がISSに3機同時にドッキングした状態になるのは、2009年9月と2013年11月、2013年11月(若田宇宙飛行士のISS到着時)以来であり、今回が4回目と5回目になります。

2.2 ソユーズTMA-17M搭乗クルー



ソユーズコマンダー(Commander)

オレグ・コノネンコ(Oleg Kononenko)

1964年 トルクメニスタン生まれ。

1996年にロシアの宇宙飛行士として選抜された。

2008年に第17次長期滞在クルーとして198日間滞在(ソユーズTMA-12/16S)。2011-2012年に第30/31次長期滞在クルー(ソユーズTMA-03M/29S)として、192日間滞在した。

今回は3回目の飛行で、ISS滞在も3回目。



フライトエンジニア(Flight Engineer)1

油井 亀美也(JAXA)

プロフィールは次ページ参照



フライトエンジニア(Flight Engineer)2

チェル・リングリン(Kjell Lindgren)

台湾台北市生まれ(育ちは米国中西部及びイギリス)。医学博士。2007年からNASAの医学部署での勤務を開始し、フライト・サーजनとしてISSクルーの訓練などを支援。

2009年にNASA宇宙飛行士として選抜され、第20期のNASA宇宙飛行士クラスで(油井、大西、金井の3名も参加)2年間の宇宙飛行士訓練を受ける。今回は初飛行。



3. 油井宇宙飛行士について

3.1 油井宇宙飛行士のプロフィール

油井 亀美也 ゆい きみや (45 歳)

JAXA 宇宙飛行士

初飛行。



表3-1 油井宇宙飛行士の経歴

1970年	長野県川上村生まれ。
1992年3月	防衛大学校理工学専攻卒業。
1992年4月	防衛庁(現 防衛省)航空自衛隊入隊。
2008年12月	防衛省 航空幕僚監部に所属。
2009年2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、大西卓哉とともに選抜される。
2009年4月	JAXA入社。
2009年4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	ISS搭乗宇宙飛行士として認定される。
2012年6月	米国フロリダ州沖にある海底研究施設「アクエリアス」(当時、米国海洋大気庁(NOAA)の所管)における第16回NASA極限環境ミッション運用(NEMO16)訓練に参加。
2012年9月	米国アラスカ州で実施されたNASAの野外リーダーシップ訓練(NOLS)に参加。
2012年10月	ISS第44次/第45次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命される。
2015年7月～ 12月(予定)	ISS第44次/第45次長期滞在クルーとしてISSに滞在予定。

日本人5人目のソユーズ宇宙船フライトエンジニア

油井宇宙飛行士は、日本人としては若田、野口、古川、星出宇宙飛行士に次いで5人目のソユーズ宇宙船フライトエンジニアとしてソユーズ宇宙船に搭乗します。

油井宇宙飛行士は今回、フライトエンジニア1として、左側の座席に座り、ソユーズ宇宙船の船長の作業を補佐します。この席に座るクルーは、ソユーズ宇宙船を操縦するロシア人船長の作業を補佐する重要な任務を有します。油井宇宙飛行士はテストパイロット出身でもあり、ソユーズ宇宙船を手動でドッキングさせる操縦技能は高く評価されています。

● 油井宇宙飛行士の長期滞在ミッションのロゴマーク



国際宇宙ステーション(ISS)第44次/第45次長期滞在ミッションのJAXAロゴは、油井亀美也宇宙飛行士の名前の漢字から連想される“亀”をモチーフにデザインしました。

また、“亀”は、コツコツと目標に向けて努力を積み重ねてきた油井宇宙飛行士の性格を表しています。甲羅部分は、国際宇宙ステーションに設置されている「キューポラ」(7つの窓を備えた、地球や天体などの観測用施設)に見立てました。キューポラから見える月と火星の輝きは、将来の宇宙開発への期待を表現しています。

図3-1 JAXAのミッションパッチ



図3-2 Expedition 44, 45の各ミッションパッチ(NASA)

左のパッチはアポロ17号のパッチデザインからヒントを得て作成。アポロ17号では太陽神アポロンのイラストが描かれていたが、セルゲイ・コロリョフのポートレイトを使用。アポロ17号のパッチでワシのシンボルが描かれていた部分はソユーズ宇宙船に変え、地球から太陽が昇ってくる部分は日本をイメージした。上に描かれたさそり座のアンタレスはこのミッションのコールサインにちなんでいる。



図3-3 ソユーズTMA-17Mのクルーパッチ(Roscosmos/spacepatches.nl)
右はデザインの参考にしたアポロ17号のパッチ

3.2 油井宇宙飛行士の任務概要

ISSのフライトエンジニア(FE)を務める油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。



トレッドミルの保全修理

(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。



細胞培養装置を扱う若田宇宙飛行士

(3) ISSのロボットアームの操作

滞在中に到着する補給船を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(誰が担当するかは、もう少し直前になって決められます)。

(4) 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。



冷凍冷蔵庫の冷凍試料を扱う若田宇宙飛行士

4. 油井宇宙飛行士の任務

4.1 第44次／第45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、油井宇宙飛行士が参加する第44次／第45次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/>)にて毎週更新しています。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

油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に示します。

表4.1.1-1 油井宇宙飛行士のISS滞在中に計画されている利用ミッション一覧
油井宇宙飛行士が担当/参加しないものも含まれます (2015年10月7日現在)

分野	テーマ名	参照項番号
物質・物理科学 実験	落下実験から生まれた新しい微粒化概念の詳細検証 (Atomization) →スケジュール見直し中	(1)
	高プラントル数流体の液柱マランゴニ振動流遷移における表面変形効果の実験的評価(Dynamic Surf)	(2)
	溶液における熱拡散現象のその場観察(Soret Facet)	(3)
生命科学実験	高品質タンパク質結晶生成(JAXA PCG)	(4)
	高品質タンパク質結晶生成実験 技術実証ミッション(JAXA PCG Demo)	(5)
	無重力ストレスの化学的シグナルへの変換機構の解明(Cell Mechanosensing) →スケジュール見直し中	(6)
	ISS 搭載凍結胚から発生したマウスを用いた宇宙放射線の生物影響研究(Embryo Rad)	(7)
	ほ乳類の繁殖における宇宙環境の影響(Space Pup)	(8)
	万能細胞(ES細胞)を用いた宇宙環境が生殖細胞に及ぼす影響の研究(Stem Cells)	(9)
	宇宙居住の安全・安心を保証する「きぼう」船内における微生物モニタリング(Microbe-IV)	(10)
	植物における回旋転頭運動の重力応答依存性の検証(Plant Rotation)	(11)
	植物細胞の重力受容装置の形成分化とその分子機構の研究(Plant Gravity Sensing)	(12)
	宇宙環境における線虫の老化研究(Space Aging) →実験終了	(13)
宇宙医学実験	前庭・血圧反射系の可塑性とその対策(V-C Reflex)	(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)	(15)
	長期宇宙滞在飛行士の姿勢制御における帰還後再適応過程の解明(Synergy)	(16)
	国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価(Myco)	(17)
	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(Biological Rhythms 48hrs)	(18)
有人宇宙技術 開発	「きぼう」船内の宇宙放射線環境の定点計測(Area PADLES)	(19)
	宇宙飛行士の個人被ばく線量計測(Crew PADLES)	(20)
	リアルタイム線量当量計測技術の確立(PS-TEPC) →スケジュール見直し中	(20)
システム検証	小動物飼育装置(Mouse Habitat Unit)の機能確認	(21)
	静電浮遊炉(ELF)の機能確認 →追加	(22)
船外利用	超小型衛星放出ミッション(J-SSOD)	(23)
	簡易曝露実験装置(ExHAM)を用いたミッション	(24)
	「きぼう」船外の宇宙放射線環境モニタリング(Free-Space PADLES) →実験終了	(25)
	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)	(26)
	全天X線監視装置(MAXI)	(27)
	宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP)	(28)

注: 実験の進捗状況やISSの運用状況によって、予定が変わる場合があります。

(1) 落下実験から生まれた新しい微粒化概念の詳細検証(Atomization)
 →スケジュール見直し中。油井飛行士のISS滞在中には実施されない予定です。

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。

微粒化観察装置を打上げた後、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。

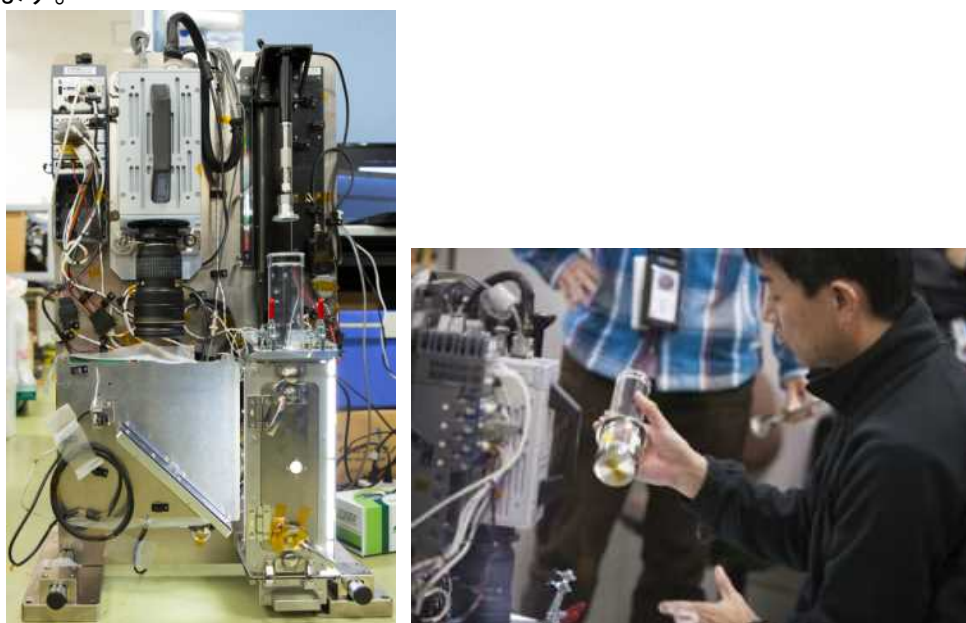


図4.1.1-1 実験に使う微粒化観察装置(左)と水を入れたシリンジ(右)
 左の写真の左上はハイスピードカメラで、その下の斜めの鏡を利用して右下のBox内の様子を撮影します。

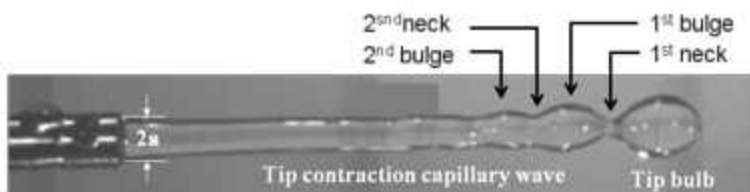


図4.1.1-2 微小重力下で噴射水流が分断される様子

(2) 高プラントル数流体の液柱マランゴニ振動流遷移における表面変形効果の実験的評価(Dynamic Surf 3)

宇宙で明らかになる流れの世界、材料製造などへの応用に期待

表面張力は液体の温度や溶けている物質の濃度によって変わり、表面張力の小さい方から大きい方に向かって流れが発生します。この流れにより生じる対流のことをマランゴニ対流と呼びます(19世紀にイタリアの物理学者マランゴニによってはじめて詳しく研究されたのにちなんだ名称)。地上では重力が作用して生じる熱対流に隠れてしま

い、マランゴニ対流の影響を観察することが難しいので、微小重力環境である宇宙で実験を行っています。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/marangoni/>

Dynamic Surfは、マランゴニ振動流遷移メカニズムの解明のため、振動流状態における気液界面変形の振幅発展のサイズ効果に関する仮説の検証を行います。JAXAが継続的に実施しているマランゴニ対流に関する3番目の実験で、日米加の研究者による国際共同研究です。振動流遷移に関する流体力学の根本的な課題解決にチャレンジします。

これらの成果は、流体力学の発展のみならず、材料製造や熱制御機器、マイクロ流体ハンドリング、医療診断などに応用されることが期待されます。



図4.1.1-3 マランゴニ対流の原理(左)と軌道上実験で作られた60mmの液柱(右)
[RYUTAIラックの流体物理実験装置を使用] (JAXA)

(3) 溶液における熱拡散現象のその場観察 (Soret Facet)

液体中の溶質成分の物質輸送メカニズムを理解し、石油精製プロセスなどの開発利用に期待

混合溶液に温度勾配をかけると濃度勾配が駆動される効果をソーレ効果といいます。本研究では、地上では対流効果により不可能である「ソーレ効果の精密測定」を微小重力環境下で行います。

今までの宇宙実験では濃度と温度の効果を切り分けることができませんでしたが、今回は世界で初めて濃度勾配、温度勾配の同時計測が可能である2波長干渉計を使用し、これまでよりさらに詳細なソーレ効果の解明が期待されます。(第41/42長期滞在ミッションからの継続実験)

温度勾配を利用した材料製造プロセスにおける材料の濃度分布に影響を与えることで、石油精製プロセスなどの開発への利用が期待されます。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/soret-facet/index.html>

(4) 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年に亘る実験を経て技術を積み上げてきました。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しました。これらの技術により、条件の整ったものについては約6割以上の確率で結晶品質が向上でき、X線回折実験により精密なタンパク質構造情報が得られています。また、病気に関わるタンパク質と薬の候補となる化合物の結合状況を詳細に把握することが可能となり、薬の研究開発に活かされています。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/protein/>



単結晶取得

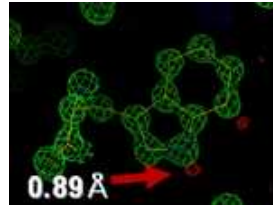


図4.1.1-4 タンパク質の結晶と結晶の構造解析のイメージ

油井宇宙飛行士の滞在期間中には第2期実験シリーズの第3回実験(きぼうでの通算9回目の実験)が行われます。この実験試料は、油井宇宙飛行士が搭乗するソユーズ宇宙船で運んで、回収します。



図4.1.1-5 ロシア人宇宙飛行士にタンパク質結晶成長試料が入った回収用バッグを引き渡す若田宇宙飛行士(2014年5月)

(5) 高品質タンパク質結晶生成実験 技術実証ミッション(JAXA PCG Demo)

本実験は高品質な結晶を生成するための各種条件を把握するための技術実証試験です。従来は20℃で結晶化していましたが、地上の研究では4℃での結晶化も一般的であるため、4℃での結晶化の技術実証実験を行います。

ドラゴン補給船で打上げて、きぼう内の冷蔵庫FROST内で温度管理された状態で結晶生成し、実験終了後は運搬に使用したドラゴン補給船で回収する予定です。1回目の実験はSpX-5で実施されました。

(6) 無重力ストレスの化学的シグナルへの変換機構の解明(Cell Mechanosensing) →スケジュール見直し中。油井飛行士のISS滞在中には実施されない予定です。

地上研究において骨格筋細胞には機械的ストレスのセンサー(受容器)が存在することが強く示唆されてきましたが、細胞自身がどのように機械的ストレス(重力)を感知し、それを細胞の応答(成長・増殖・分化)に結びつけるかは長年不明でした。本研究は、無重力環境で培養した骨格筋細胞を用い、細胞の機械的(重力)ストレスの感知機構を明らかにすることにより、無重力環境における筋萎縮のメカニズムを解明します。

筋肉細胞などが重力を感じるメカニズムを明らかにする一方で、筋萎縮への対策も確

認します。2010年に実施したJAXAのMyo Lab (タンパク質ユビキチンリガーゼCblを介した筋萎縮の新規メカニズム) 実験の結果、筋萎縮に効果があるとわかった薬剤を用い、骨格筋細胞に与えて、宇宙での筋細胞への効果を確かめる予定です。細胞に発現している遺伝子を比べるために、遺伝子を保存する薬剤を用いた上で冷凍して回収します。

本実験はシリーズの3回目で、スペースX社のドラゴン補給船運用7号機(SpX-7)で運ばれて実験が行われる予定。

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

(7) ISS搭載凍結胚から発生したマウスを用いた宇宙放射線の生物影響研究
(Embryo Rad)

凍結した受精卵を用いて宇宙放射線の影響を調べます。凍結していても宇宙放射線の影響を受けることは、2009年にきぼうで行われた実験(Rad GeneとLOH実験)で確認されています。

SpX-6でサンプルを打上げ、その後冷凍冷蔵庫内で冷凍保管し、SpX-8でサンプルを回収する予定です。

地上に帰還した凍結受精卵は、仮親に移植後、発生させて宇宙放射線被ばくの影響を解析します。生物には放射線等でDNAにできた傷を修復する仕組みが備わっていますが、放射線感受性の高いマウスやDNA修復欠損マウスの受精卵を発生させた宇宙マウスでは、地上マウスに比べて個体発生率の低下、寿命短縮、発がん率の増加及び宇宙放射線特有の遺伝子変異などが観察される可能性があります。本研究により得られる長期宇宙滞在による宇宙放射線の哺乳動物への影響に関する知見を活用し、将来の有人宇宙探査における放射線防護のための基礎データを提供し、リスク評価や防護基準の策定に貢献していきます。

・JAXAのEmbryo Rad紹介ページ

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

- ・国際宇宙ステーションへマウス凍結受精卵を打ち上げー宇宙環境がマウスの寿命や発がんに及ぼす影響を解析ー (2015年4月8日 放射線医学総合研究所プレスリリース)

http://www.nirs.go.jp/information/press/2015/04_08.shtml

表4.1.1-2 「凍結細胞の宇宙環境影響」に関する3テーマの特徴

	①Stem Cells実験 凍結ES細胞	②Space Pup実験 凍結乾燥精子	③Embryo Rad実験 凍結受精卵
サンプルの 作り方	マウス胚性幹細胞を作製して凍結	マウス精子を凍結乾燥	マウス精子と卵子を人工授精させ、2細胞に分裂した時期に凍結
特徴	-80℃冷凍において5年間保存検査済み。	一時的な温度上昇にも耐える。	様々な特徴を持つシステムを使う。
実施期間	2013年3月から約3年間	2013年8月から約3年間	2015年4月から6か月～1年間

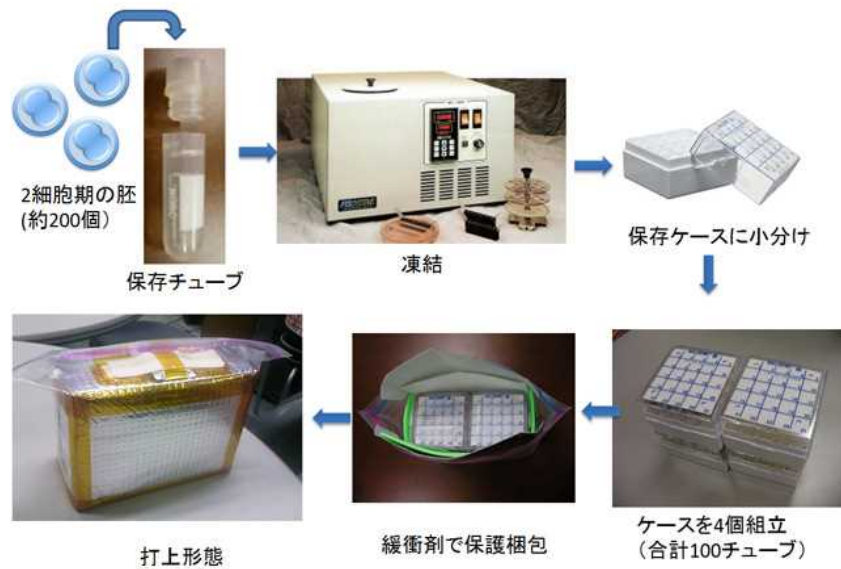


図4.1.1-6 Embryo Rad実験で使用する器具 (JAXA)

(8) 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 [「このとり」4号機でサンプル3式を打上げ、2013年8月からISSの冷凍冷蔵庫で保管中。SpX-3で第1回目の回収を実施、2回目の回収を今年行う予定です。]

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するための宇宙実験を行います。

フリーズドライ状態で保存した精子から産仔(子ども)を得る技術を用い、宇宙放射線の精子への影響を3回に分けて地上に回収して調査します。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)を行ないます。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、および最も重要な産仔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4.1.1-7 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。アンプルは右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。(「このとり」4号機で運搬) (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/>

(9) 万能細胞(ES細胞)を用いた宇宙環境が生殖細胞に及ぼす影響の研究(Stem Cells)

ES細胞を用いて、宇宙環境における放射線の影響が哺乳類動物細胞に与える影響を詳細に調べる [2013年3月(SpX-2でサンプル5式を打上げ)からISSの冷凍冷蔵庫で3年間凍結保存中。SpX-3で第1回目の回収を行い、2015年のドラゴン補給船で第3回目の回収を行います。]

本実験では放射線の影響を、マウスのES細胞を用いて調べます。長期(最長3年程度)の宇宙放射線の影響、特に子孫にかかわる生殖細胞への影響を評価します。このような長期の宇宙実験を実施できるのは、ISSのみです。宇宙実験の結果をもとに医療機器などによる放射線のリスク評価に利用できるだけでなく、地球環境における有害な化学物質の影響評価ができれば、食品添加物など発がん性や有害性のリスクを予測できると期待されます。この研究は、将来の有人月探査や火星探査、さらに移住など長期的な有人宇宙滞在や活動における安全性と防御対策に貢献できます。
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/stemcells/>

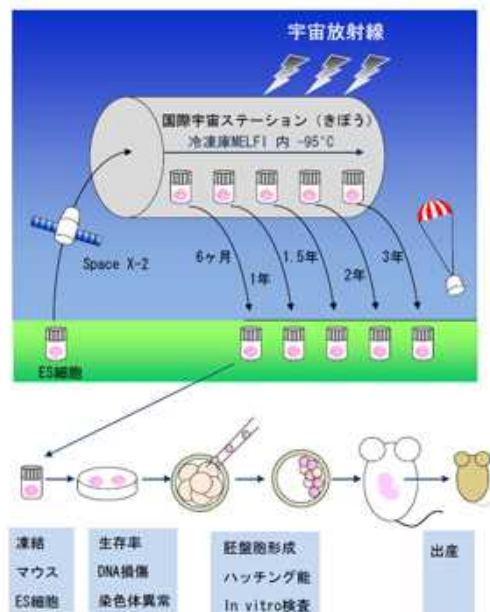


図4.1.1-8 Stem Cells実験の概要

(10) 宇宙居住の安全・安心を保証する「きぼう」船内における微生物モニタリング (Microbe-IV)

ISS内の微生物を継続的にモニタリングし、その動態を明らかにすることは、「きぼう」船内の微生物学的な環境管理に必須であり、ライフサポートにかかせない重要な研究です。本研究で確立される簡便・高精度な微生物サンプリング法は、宇宙などの閉鎖環境下のみならず、地上の医薬品製造や食品製造等、幅広い分野における衛生微生物学的な安心・安全の実現への寄与も期待されます。

この実験で開発されたサンプリングシートを使用した微生物採取法は簡便で精度が高く、その精度の良さから日本の薬事法にサンプリング供試体の例として記載されており、今後国際的な評価を得ることが期待されています。SpX-6でサンプルを打上げ、SpX-8でサンプルを回収する予定です。

・2009年から2012年まで行われたMicrobe-1～Microbe-3の紹介ページ
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/microbe/>

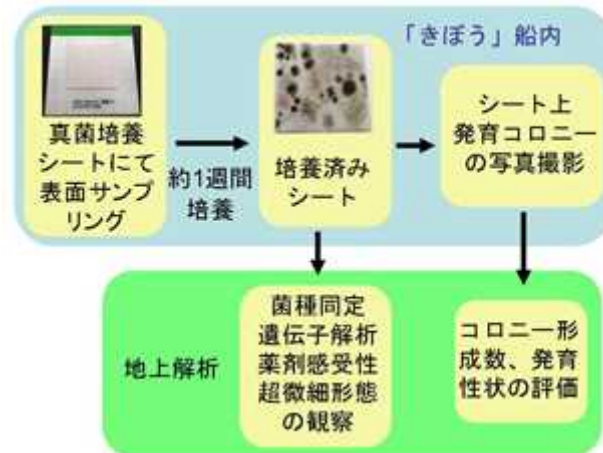


図4.1.1-9 真菌培養シートによるサンプリングの流れ

(11) 植物における回旋転頭運動の重力応答依存性の検証(Plant Rotation)

Plant Rotationは、植物が行う「首振り運動(回旋転頭運動)」の仕組みと重力の関係性を調べる実験です。

植物は、地球の重力を上手に利用し、生きていくのに必要な体作りや姿勢、伸長方向の制御を行っています。こうした植物の重力に対する応答でよく知られているのが「重力屈性」ですが、植物の他の成長現象も重力応答によって制御されることが報告されています。例えば、茎や根などの器官が首(先端部)を振り、回旋しながら伸長する「首振り運動(専門用語で回旋転頭運動)」も、重力の影響を受けると考えられてきました。

植物の首振り運動は、チャールズ・ダーウィンの研究以来、多くの研究者がそのメカニズムや重力応答との関係を明らかにしようとしてきました。しかし、首振り運動の原動力やメカニズムについては諸説あり、重力応答の必要性についても未だ論争が続いています。本実験では、植物の生存戦略としての「よじ登る」仕組みと重力の関係を明らかにしようとするものです。

宇宙実験では、アサガオとイネの種子を軌道上の細胞培養装置(CBEF)の0G(微小重力下)および1G(遠心機による人工重力)下で発芽・生育させ、それら芽生えの成長・運動を動画として撮影・記録します。

軌道上での芽生えの観察は、4回計画されており、1回目と2回目はアサガオの種子で行いました。油井飛行士滞在時には、イネの種子を用いて、3回目と4回目の実験を行います。<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/plantrotation/>



図4.1.1-10 植物の茎頂における回旋転頭運動(出典:東北大学)

(12) 植物細胞の重力受容装置の形成分化とその分子機構の研究(Plant Gravity Sensing)

Plant Gravity Sensingは、シロイヌナズナを生育させて行う実験で、第1回実験は2014年10月に行われました。今回は2回目と3回目の実験が行われます。

本研究では、植物が重力を感じて応答する(重力受容)、その具体的な分子機構に迫ります。この実験では、植物が重力を感じると細胞内のカルシウム濃度が上昇することを利用して、カルシウムイオン濃度が上昇すると細胞が光るように遺伝子工学的に操作した植物を使って実験を行います。重力のない宇宙で育った植物が、重力センサーを作ることができるかは分かっていないため、宇宙で種から植物を育てて、細胞培養装置(CBEF)に備えられている遠心回転装置で植物に重力を作用させて応答を調べます。植物が光れば、植物は重力の向きや大きさの情報を知らなくても、重力感知する仕組みを作る能力を備えていることがわかります。もし重力をかけても光らなければ、植物が重力感知する細胞を作るには、重力の向きや大きさの情報が必要であることが確認できます。
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/second/plantgravitysensing/index.html>



図4.1.1-11 シロイヌナズナの生育に使う植物実験ユニット(PEU)

日本はISSで多数の植物実験を行ってきました。それらをわかりやすくまとめた「宇宙を感じる植物のしくみ」(2015年6月22日公開)を以下で紹介しましたのでご参照下さい。

<http://iss.jaxa.jp/kiboresults/plant/index.html>

(13) 宇宙環境における線虫の老化研究 (Space Aging)
 →2015年6月9日に本実験は終了しました。

JAXAと健康長寿医療センター研究所のチームは、これまでにモデル生物である線虫を用いた宇宙実験、International C. elegans Space Experiment 1: ICE-First 2004 (<http://iss.jaxa.jp/utiliz/experiment/celegans/index.html>)に参加し、ISSに滞在した線虫で不活性になった7つの遺伝子を見出し、これら遺伝子を働かなくさせた線虫の寿命が通常の線虫より長くなることを世界に先駆けて示しました。本実験はこれまでの研究を発展させた実験です。

2004年の実験では、老化すると増えてくるマーカーを見て間接的に老化速度を推測しましたが、今回の宇宙実験では実際に線虫の寿命を計測します。線虫の寿命は線虫の動きで、老化の速度を分析します。若い線虫はよく動き、老化とともに動きがゆっくりになっていくことが分かっています。そして寿命が終わるまで宇宙で飼育します。線虫は通常は生まれてから3週間ほどで死んでしましますが、卵を産まなくした状態で培養すると、地上では寿命が約50日になります。2004年の宇宙実験で、宇宙に行くと寿命が延びると予想される結果が得られたので、宇宙では期間を1.4倍にして70日程度観察します。

この実験は、SpX-6でサンプルを打上げ、70日間、細胞培養装置(CBEF)でサンプルを培養します。

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



図4.1.1-12 線虫の顕微鏡写真 (東北大学)

(14) 前庭-血圧反射系の可塑性とその対策 (V-C Reflex)

宇宙飛行士の搭乗前後の前庭血圧調整力を調べ、帰還直後の起立時のふらつきや転倒の仕組みを解明。高齢者の健康維持にも貢献。

宇宙から帰還した直後の飛行士は、耳の奥にある前庭の血圧調整力が低下するために、起立時に転倒やふらつきの症状がみられるという仮説を証明するために、飛行士の打上げ前、帰還直後、2週間後、2ヶ月後の前庭血圧調整力を計測します(前庭系を外から電気刺激する方法—Galvanic Vestibular Stimulation (GVS)で前庭—血圧反射をブロックする効果を調べます)(軌道上での実験ではなく、地上での医学データの計測のみです)。これにより、宇宙滞在が前庭に与える影響と、回復の経過を調べ、対策を検討します。

これらの研究は、地上の高齢者にも共通の症状であるため、高齢者の健康維持にも役立つと期待されます。

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/lifeintao2009/v-c_reflex/

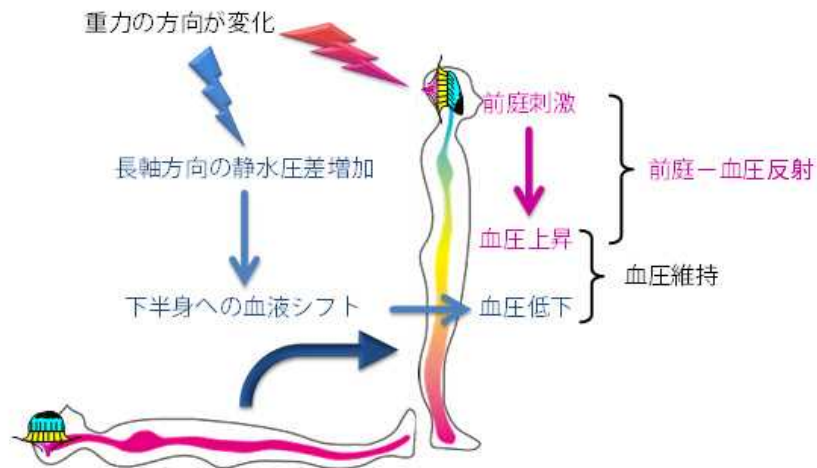


図4.1.1-13 ヒトが起立する時の血圧調節に重要な役割を果たしている前庭-血圧反射

(15) 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)

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使えません。本研究では近年開発・確立された非侵襲的頭蓋内圧推定法(解析法)を応用します。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。

(16) 長期宇宙滞在飛行士の姿勢制御における帰還後再適応過程の解明 (Synergy)

宇宙飛行士が帰還直後に歩行が困難となる原因は、長期宇宙滞在に適応した①下肢拮抗筋の拮抗状態の不均一性、ならびに②前庭系・小脳での体性感覚調節の地上への再適応の不完全性であるとの仮説に基づき、長期宇宙滞在した宇宙飛行士の飛行前後での重心の地上への適応過程を観察することにより、この仮説を検証します。

この研究を基に、軌道上滞在中の筋萎縮予防に対する運動処方並びに新たなトレーニング法、帰還後の効果的なリハビリテーション法に貢献できるデータの取得を目指します。

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

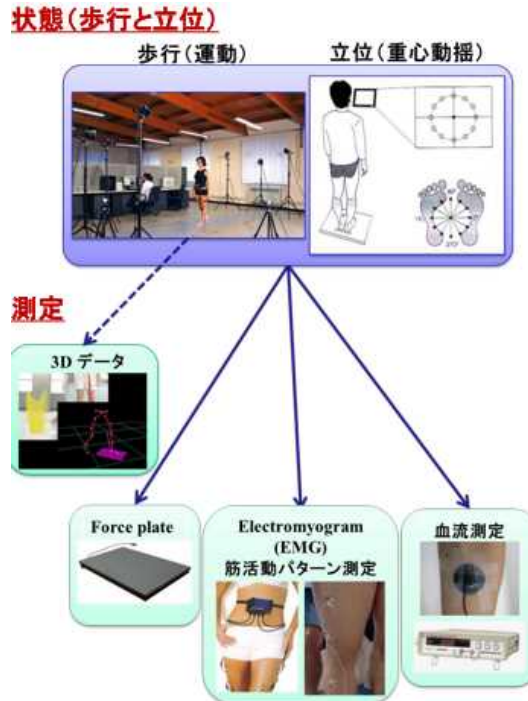


図4.1.1-14 Synergy実験の測定イメージ

(17) 国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価(Myco)

宇宙船内の微生物は機器や生活用品、クルー自身に付着し持ち込まれ、結果として船内の多くの場所が必然的に微生物の温床となります。

本研究では宇宙飛行士がISS滞在中に呼吸によって体内に取り込む、あるいは環境中の空気に暴露されることで皮膚に付着する微生物(特に真菌) 叢の変化を評価します。皮膚ではサンプリングシートを使用し、粘膜では綿棒を使ってスワブ採取を行い、これらを冷凍保存して地上へ回収します。

※菌叢(きんそう): ある空間に存在する菌(細菌・真菌)の種類、量、割合、分布など、菌全体の構成。



図4.1.1-15 Mycoサンプリングキット(右)、左はサンプリングシートを使って頬から皮膚の試料採取を行うイメージ

(18) 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(Biological Rhythms 48hrs)

初期のBiological Rhythms実験では、飛行前・中・後に24時間心電図記録を行い、心電図R-R間隔の変動データの周波数解析による心臓自律神経活動や生体リズム等について評価しました。その結果、フライト前から生体リズムが変調しており、フライト3ヶ月目

頃の方が心臓自律神経活動リズムの24時間への同調性が良好な状態になることなどが明らかとなりました。一方、24時間を超えた周期の生体リズムの例もあったことから、より正確に生体リズムの変動を調査するために、心電図の記録時間を48時間に延長して飛行前・中・後の心臓自律神経活動の評価を行います。自律神経活動は睡眠・覚醒リズムの影響を受けることから、ホルター心電計の装着2日前より装着終了時まで、腕時計型の加速度計(アクチウォッチ)を装着し、手首の活動量記録による睡眠・覚醒の評価を行います。これらを基に、心臓自律神経活動と睡眠覚醒の関係について総合評価を行います。



図4.1.1-16 アクチウォッチと携帯型ホルター心電計

(19) 「きぼう」船内の宇宙放射線環境の定点計測 (Area 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。

【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 はきぼう船内の放射線を計測する受動式線量計で、計 17 個をソユーズ宇宙船を使って約 6 ヶ月毎に交換して、地上で各滞在期間中の積算線量を管理するために継続的な計測を行っており、宇宙実験テーマ提案者や有償実験利用者等へ実験計画立案に必要な「きぼう」船内の宇宙放射線環境情報を提供しています。

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

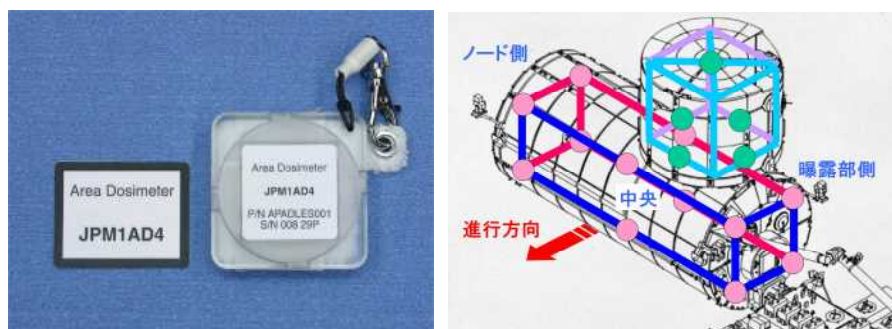


図4.1.1-17 AreaPADLESと設置位置

【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

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、2009 年から全 JAXA 宇宙飛行士用線量計として、ISS 長期滞在クルーの飛行中の被ばく線量計測を行っています。現在は、実験から医学運用に移行して実施中です。

コラム 1-1

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ミリシーベルトと言われて
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。

- (1) 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
- (2) 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



図4.1.1-18 JAXAが開発したCrewPADLES(受動式線量計) これを常に携帯します

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/>

(20) リアルタイム線量当量計測技術の確立 (PS-TEPC)

→スケジュール見直し中。油井飛行士のISS滞在中には実施されない予定です。

将来の深宇宙への有人探査を考えると、線量測定計測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ISS上に搭載し、動作の実証試験
を行います。

本装置はきぼう船内に設置して計測を行います。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。

<https://www.kek.jp/ja/Facility/ARL/RSC/AstronautRadiationPoisoning/>

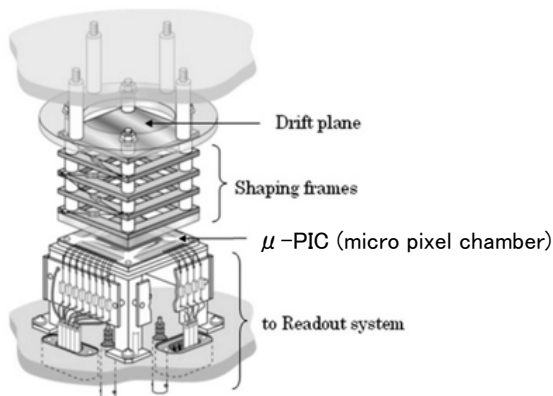


図4.1.1-19 PS-TEPCの構造 (高エネルギー加速器研究機構)



図4.1.1-20 PS-TEPCの設置位置

(21) 小動物飼育装置(Mouse Habitat Unit)の機能確認

小動物飼育装置は、きぼう日本実験棟でマウスの飼育を行えるようにする装置(1匹に1つの飼育装置を使用)で、「こうのとり」5号機で運びました。油井宇宙飛行士の滞在中は、この装置の機能確認を行います。実際にマウス実験を行うのは少し先になります。小動物飼育装置の概要については、付録6のISS用語の解説を参照下さい。

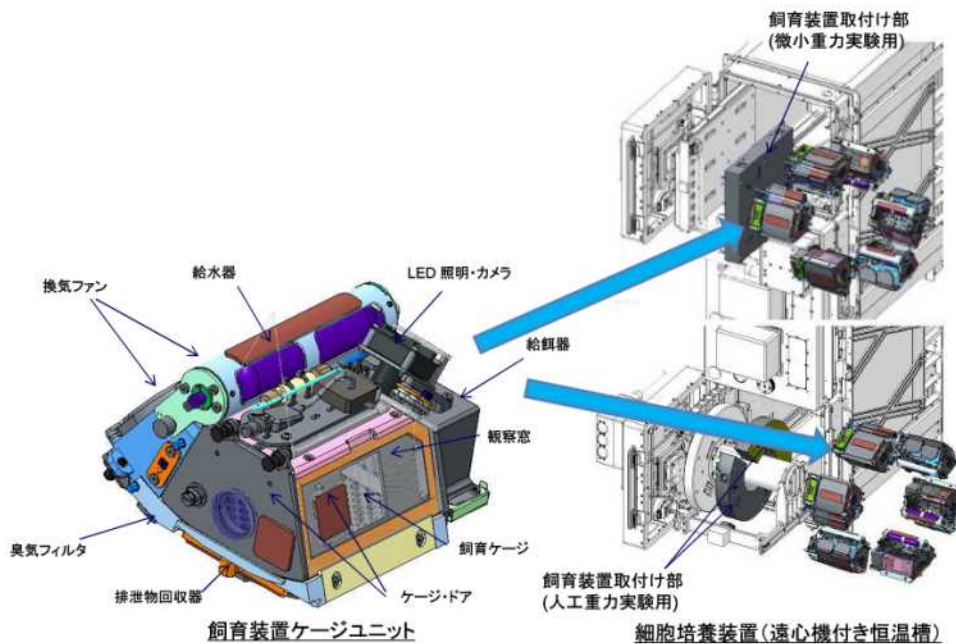


図4.1.1-21 小動物飼育装置のイメージ

(22) 静電浮遊炉(ELF)の機能確認

静電浮遊炉(ELF)の本体部分は「このとり」5号機で運びました。油井宇宙飛行士の滞在期間が12月末までとなったため、ELFの設置・機能確認がこの期間中に行われる可能性があります。ELFについては付録6を参照下さい。

(23) 超小型衛星放出ミッション (J-SSOD)

超小型衛星の新たな打上げ機会を提供

ISS の中では「きぼう」だけが専用のエアロックとロボットアームを装備しています。これらを使うことにより、船外活動をしなくても小型衛星を放出できるよう、小型衛星放出機構(JEM-Small Satellite Orbital Deployer: J-SSOD)及び、親アーム先端取付型実験プラットフォーム(Multi-Purpose Experiment Platform: MPEP)が開発されて「このとり」3号機でISSに運ばれました。2012年10月に最初の5機を放出して以降、米国製の放出機構も加わって非常に多数の超小型衛星が放出されています。

J-SSODによるCubeSatの放出は、「このとり」3号機と4号機で運んだ5機と4機に加えて、SpX-5で運んだAESP-14の計10機があり、今後も放出を計画しています。なお、「このとり」5号機でも超小型衛星2機を運び、放出を行いました。

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

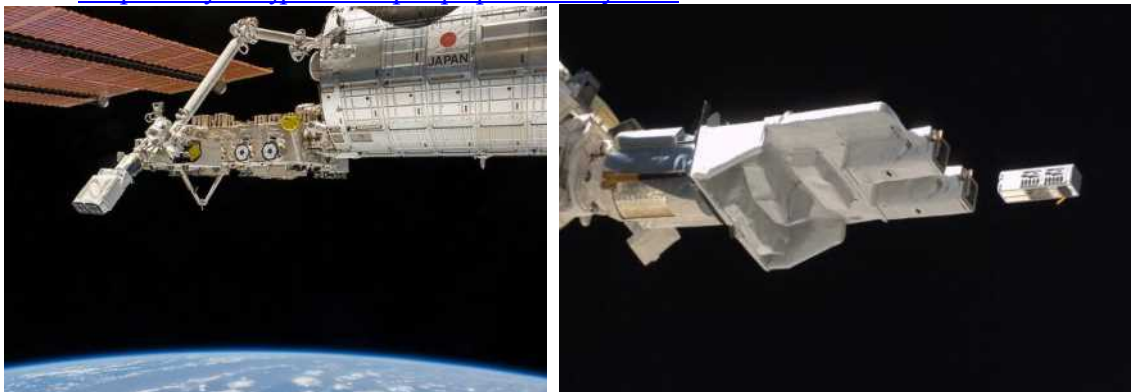


図4.1.1-22 超小型衛星の放出 (右:TechEdSat-3の放出)

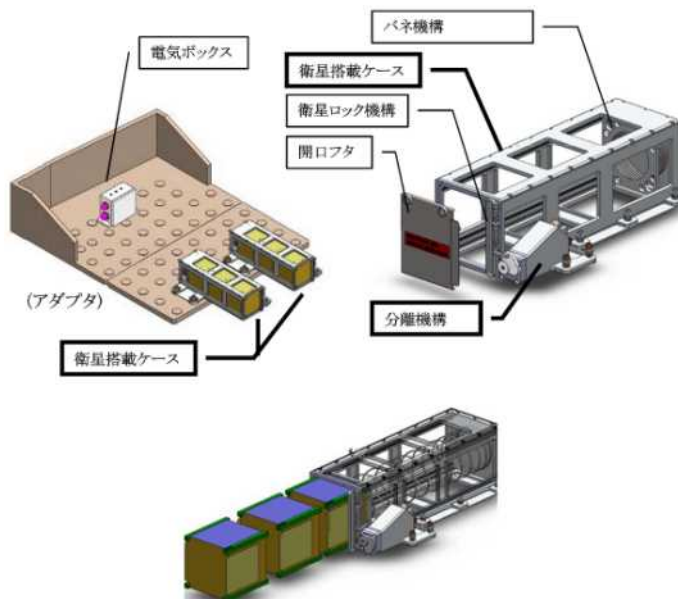


図4.1.1-23 小型衛星放出機構(J-SSOD)(右上)と、親アーム先端取付型実験プラットフォーム(MPEP)(左上)

超小型衛星

超小型衛星にもいろいろ種類がありますが、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。

J-SSODの衛星搭載ケースには、1Uサイズであれば、3機、2Uと1Uサイズであれば2機、3Uサイズであれば1機が搭載可能で、バネの力で放出します。



図4.1.1-24 CubeSat(星出宇宙飛行士が手に持っているのが1UサイズのCubeSat)



図 4.1.1-25 NanoRacks 社の CubeSat 放出機構を設置する若田宇宙飛行士
これを使えば、3U サイズの CubeSat が 16 機放出できます。

【参考】ISSから続々と放出されている超小型衛星

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、2015年7月16日までの時点で計88機の放出を終えています(その後、同10月6日には100機目を放出しました)。Planet Labs社の超小型地球観測衛星Flock-1(3Uサイズ)だけでも66機が放出されています。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)。

またCubeSatよりもやや大きな50kg級の超小型衛星の放出計画も増えてきており、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56cmの球体であるSpinsatを2014年11月に放出しています。また米国のNanoRacks社もKaberという50kg級衛星とCubeSatの両方を放出できる機構を開発しました。

JAXAも50kg級の超小型衛星を放出可能な放出機構を開発しており、2016年にも50kg級の超小型衛星を放出する計画です。

(24) 簡易曝露実験装置(ExHAM)による材料曝露実験

「きぼう」日本実験棟では、簡易曝露実験装置(ExHAM)「エクスハム」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簡易曝露実験装置(ExHAM)は、上面にロボットアーム(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。

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

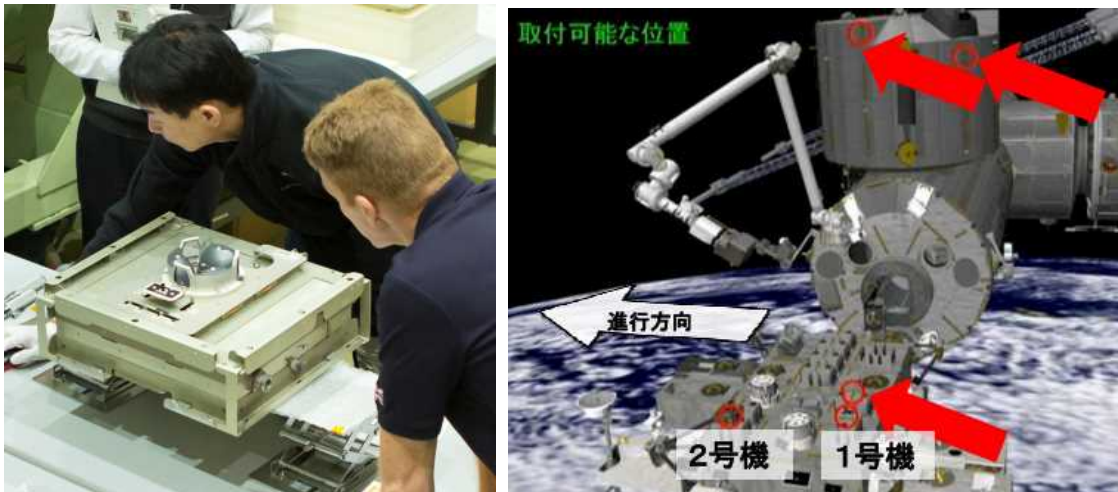


図 4.1.1-26 ExHAM 本体(左)と ExHAM を設置する場所

ExHAM は、ATV-5 で 1 基が軌道上に運ばれており、サンプルを取り付けた後、5 月 26 日に船外へ設置されました。サンプルは当初、Orb-3 で打上げられましたが、アンタレスロケットの打上げ失敗により失われたため、SpX-6 で以下の試料が運ばれました。

2 基目の ExHAM は「こうのとりのとり」5 号機で運びました。

- 有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集(たんぼぼ)
- 宇宙応用を目指した先端材料宇宙環境曝露実験(CNT)

- 炭素質ナノ粒子の宇宙風化と星間有機物進化の実証研究(QCC)
- 超低高度衛星技術試験機(SLATS)搭載材料劣化モニタ2(MDM2)
- PEEK 及び PFA 材料の宇宙環境曝露試験(PEEK)
- ターゲットマーカ代替品の宇宙実証(ArrayMark)

【参考】船外で行われる「たんぽぽ」実験

私達がISS滞在中に行われる予定の実験の一つに「たんぽぽ」宇宙空間の塵を捕まえて、含まれる有機物を分析するのは知っていましたが、地球から宇宙へ飛び出して行く塵に含まれる微生物を捕らえるというアイデアには驚きました！ 2015年3月19日油井宇宙飛行士のTwitterより

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/578739829757779968

→このたんぽぽ実験は、ExHAM(付録6の用語解説も参照下さい)に取り付けて行います。

「たんぽぽ計画」では、地球微生物が地球低軌道に到達する可能性と、生命の原材料である有機物が生命誕生前の地球へ宇宙塵によってもたらされた可能性を調べるために、宇宙塵の捕集実験と、地球微生物や有機物の曝露実験を行います。エアロゲルが搭載された捕集装置は、約1年間宇宙に曝露され、ドラゴン補給船によって地上に回収されます。その後、新しいエアロゲルに交換し、これが3回繰り返されます。「たんぽぽ計画」には、東京薬科大学、JAXAや千葉大学をはじめ、日本全国26の大学や研究機関の研究者が参加しています。

<http://www.chiba-u.ac.jp/general/publicity/press/pdf/2015/20150413.pdf>

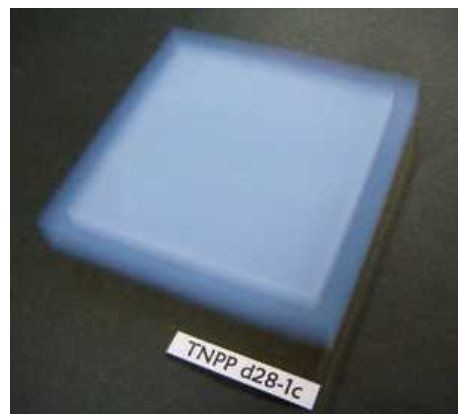


図4.1.1-27 千葉大学が開発した「たんぽぽ計画」用の低密度エアロゲル（千葉大）

(25) 「きぼう」船外の宇宙放射線環境モニタリング (Free-Space PADLES)

→Free-Space PADLESは、SpX-6で打上げ、船外で2週間(6月1日から6月15日まで)計測した後、船内に回収され、実験を終了しました。

本実験では、きぼうエアロックから Free-Space PADLES 線量計を船外に出し、きぼうロボットアームの先端に把持させた状態で線量計測を行います。遮蔽の厚さを 8 種類変えた与圧耐圧ケースを用いて、きぼう船内では取得不可能な(きぼう船壁よりも薄い)遮蔽厚に対する線量減衰データを取得します。同時に計測するきぼう船内の線量との比較により、船壁による遮蔽効果も評価します。これらのデータは、宇宙放射線の遮蔽材料の評価・新材料の創出に活用する予定です。

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/20150603_free-space_padles.html

http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/150622_free-space_padles.html

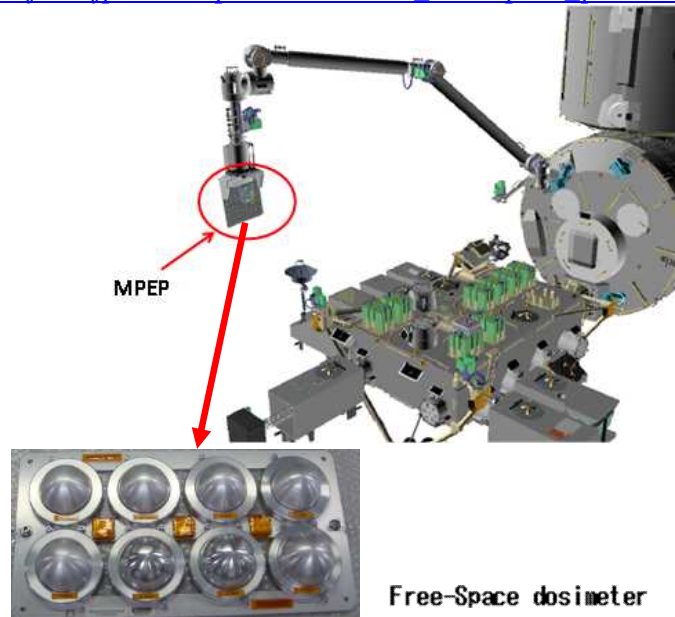


図4.1.1-28 Free-Space PADLESを使って船外で測定するイメージ

(26) 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CALET (CALorimetric Electron Telescope) 「キャレット」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/>

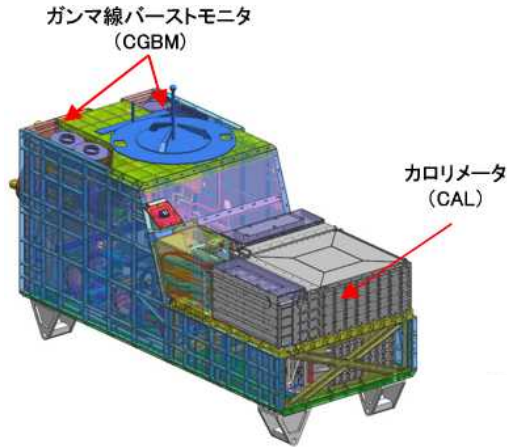


図 4.1.1-29 高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) (JAXA)

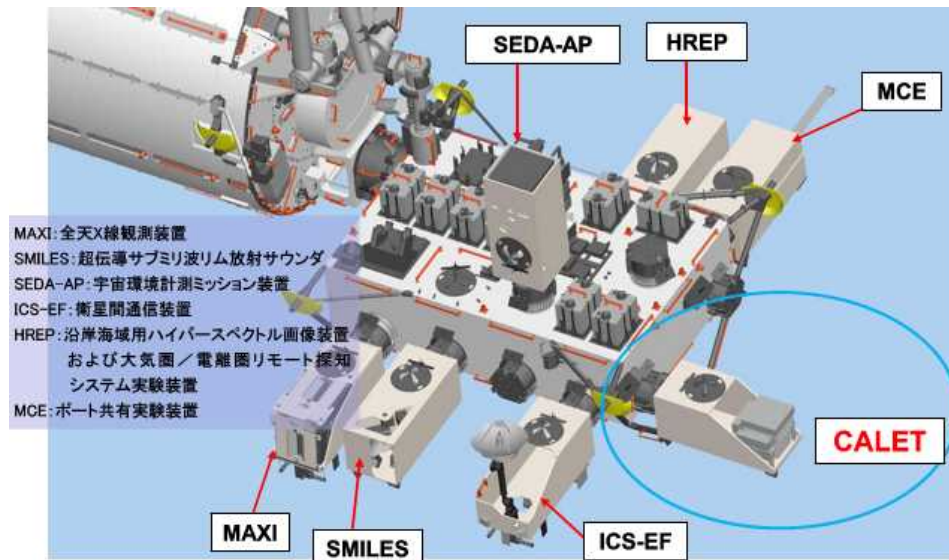


図4.1.1-30 CALETの設置予定場所 (JAXA)

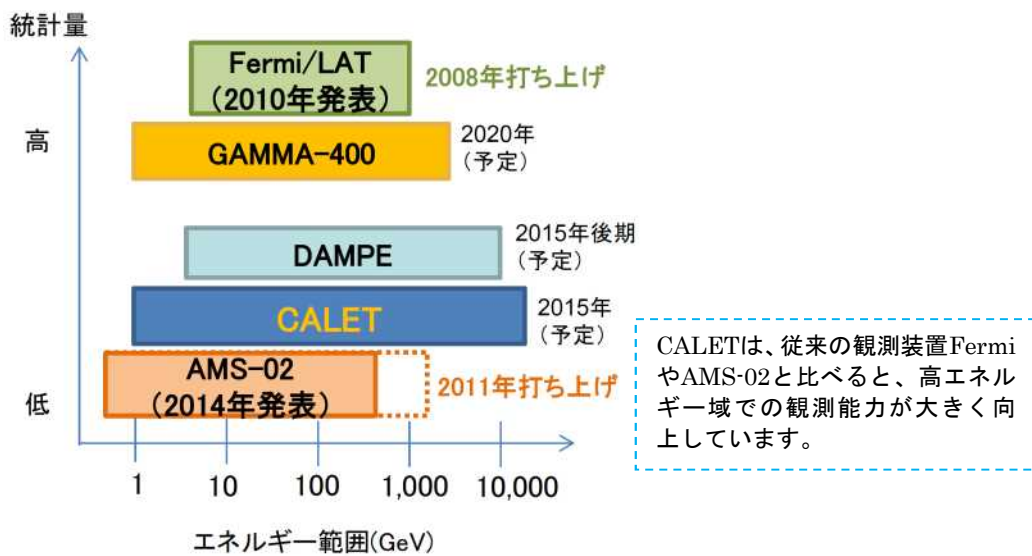


図4.1.1-31 CALETと他ミッションとの電子観測性能比較(JAXA)
(注: AMS-02もISSのトラスに設置されている観測装置です)

(27)全天X線監視装置(MAXI) [MAXIは船外実験装置で、継続実施中です]

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

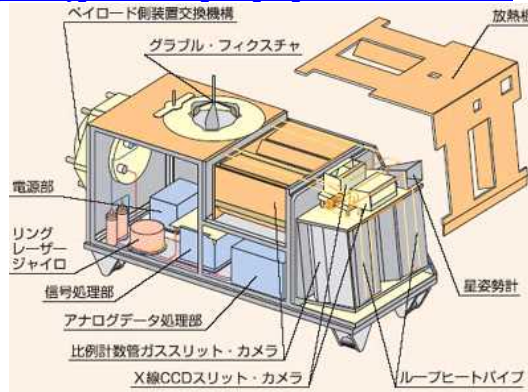


図4.1.1-32 MAXIの内部構造 (JAXA)

(28)宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP) [船外実験装置で、継続実施中です]

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

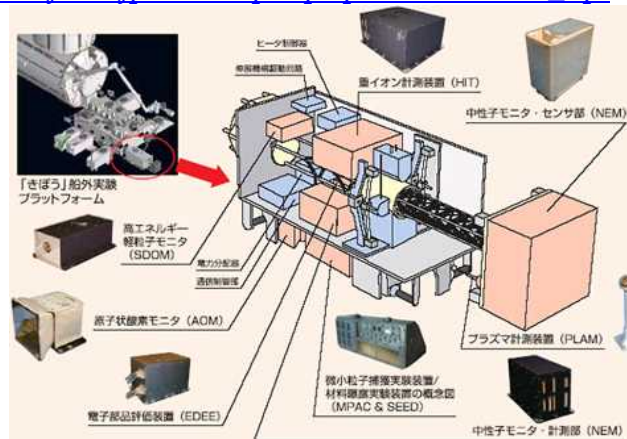


図4.1.1-33 SEDA-APの内部構造 (JAXA)

【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/>



4.1.2 NASA/ESAの実験（最近行われている主な実験）（油井宇宙飛行士が参加もしくは担当するかどうかは未定）

①Repository実験(NASA Biological Specimen Repository)

この実験は、飛行前、飛行中、帰還後の生医学標本(血液、尿など)を採取しておき、将来の研究に備えてNASAが長期間保存しておくものです。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/981.html



図4.1.2-1 Repository実験に使われるISSの採血セット



図4.1.2-2 医学試料を扱えるISSの冷蔵遠心分離器 (NASA)

②Ocular Health実験 (Prospective Observational Study of Ocular Health in ISS Crews)

これは2013年から開始された新しい実験で、現在、この眼の問題がホットな研究テーマとなっており説明が急がれています。微小重力環境では頭蓋内の圧力(体液シフト)により視野がぼける、眼圧の上昇、網膜の膨張などの問題がクルーの間から報告されています。超音波検査、眼底検査、眼圧測定、血圧測定、映像による確認などを行って、まずはデータを集めて何がこの問題を引き起こしているかを解明していき、帰還後の回復に役立てるようにしていきます。

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



図4.1.2-3 眼圧測定を行う様子



図4.1.2-4 眼球を超音波検査する星出宇宙飛行士

【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。

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。今回の1年間の宇宙滞在ミッションでもこの問題を調査します。今回は初めて、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消し、視覚に変化が出るかを確認します。

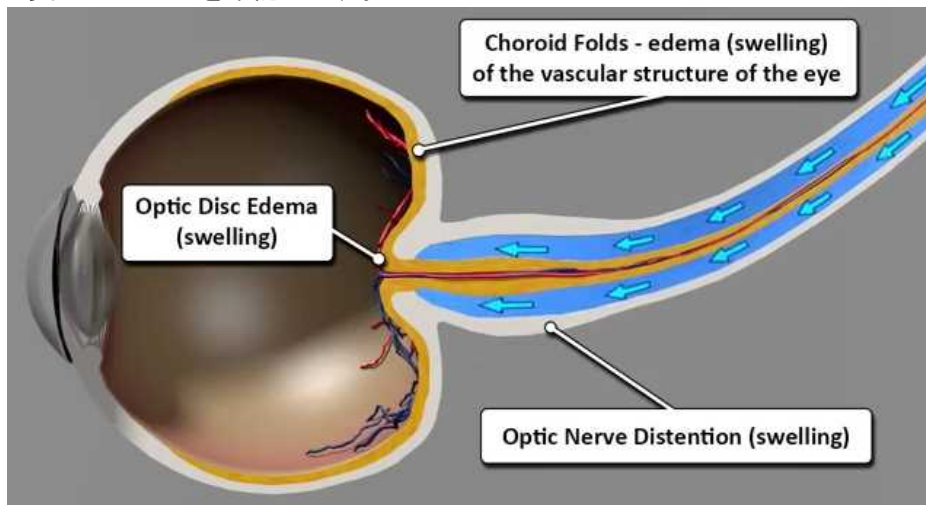


図 4.1.2-5 Vision Changes in Space (2014年2月 NASAの動画より)
Swelling(腫れ)、edema(浮腫)、distention(膨張)、Choroid fold(脈絡膜のしわ)

③Manual Control実験(Assessment of Operator Proficiency Following Long-Duration Space Flight)

シャトル帰還時の経験から微小重力環境に曝されていたクルーは操縦能力が低下することが確認されています。この実験は飛行前後に実施するもので、軌道上での実験は行いません。6自由度のモーションベースマシンを使って、飛行前後にローバーの操縦やT-38での着陸シミュレーションなどを行うことで、感覚運動障害の影響を調べるものです。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/850.html

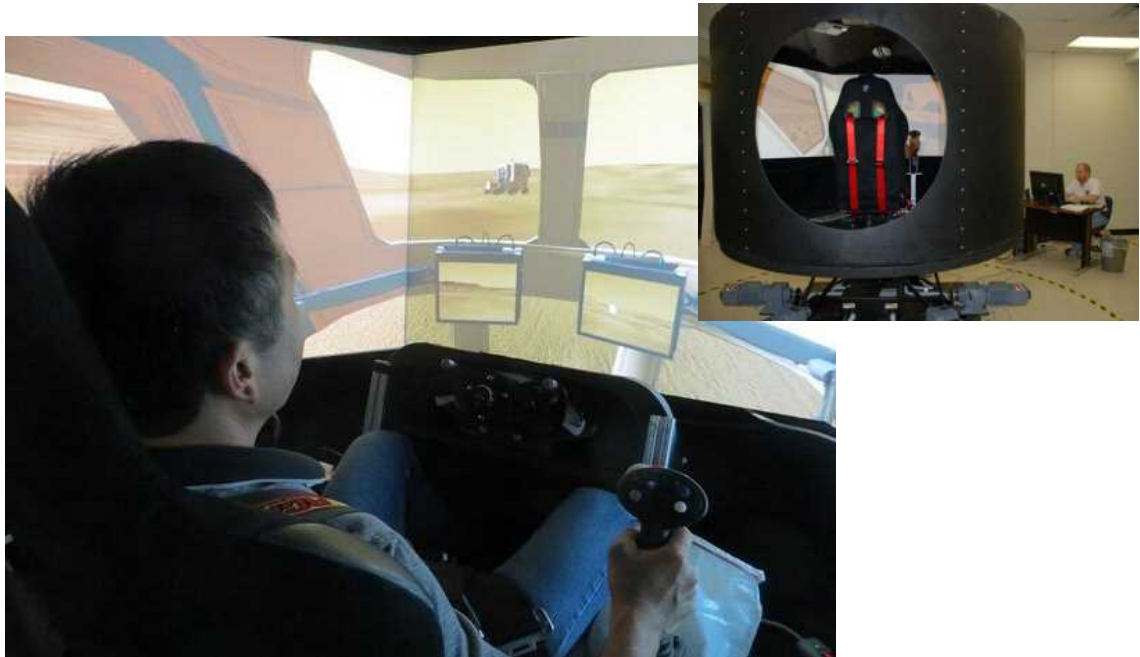


図4.1.2-6 Manual Control実験に参加した若田宇宙飛行士(右はこの設備の外観)

https://twitter.com/Astro_Wakata/status/349739782370377728/photo/1

「宇宙長期滞前後でのオペレータとしての操縦技量の変化を評価する実験に被験者として参加しました。データ取得は飛行前後で計7回実施されます。将来の有人惑星探査におけるクルーの操作技量維持等の対処策への応用が研究の成果として期待されます。」

④Functional Task Test実験(Physiological Factors Contributing to Postflight Changes in Functional Performance)

宇宙飛行を行うと心臓血管系、感覚運動系などの生理系に変化が生じますが、このような状態だと惑星に着陸した直後に行う重要な作業に影響を及ぼすことが考えられます。このため、打上げ前と帰還後に試験を行って、体にどのような影響が生じるのかを調べます(軌道上では実験しません)。試験項目には、はしご上り、ハッチを開ける操作、飛び降りる動作、手動操作や工具の使用、座席からの脱出、障害物の回避、繊細な作業の試験など、身体機能や運動能力の確認が行われます。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/126.html

→1年間滞在するクルーも参加する実験のため、5.2項でもこの実験の紹介をしています。



図4.1.2-7 体性感覚の変化を調べる実験を行う若田宇宙飛行士

https://twitter.com/Astro_Wakata/status/318958218976043009/photo/1

「体性感覚が宇宙飛行の前・後でどう変化するか調べるため、足で立つ基部が傾いたり動いたりする検査装置を使い、頭を前後に傾ける動作をしながら、体のぐらつきをデータとして取得している所です。打上げ2ヶ月前と着陸数日後にも同様な検査を行います。」(右の写真は装置の全景: [Luca Parmitano](#)のFace bookより)

⑤Sprint実験 (Integrated Resistance and Aerobic Training Study)

ISS滞在クルーの長期滞在中に、筋力や骨量の喪失と、心臓血管系機能の低下をできるだけ減らすために、負荷の高い運動をあまり時間をかけずに行うエクササイズ方法を評価する実験です。エクササイズプロトコルとしては、週3日AREDを使った負荷の高い抵抗運動を行うことで、骨格筋の量と機能の喪失を防ぐと共に、骨の健全性を守るというものです。

これまでは、AREDを週6日間、比較的負荷の低い状態で時間をかけてエクササイズを行っていました。また、心肺機能を維持するためのエアロビックエクササイズ(T2を使用)もこれまでのように毎日行うのではなく、1日おきに負荷を高めて実施することで効率を上げるというものです。

これらの効果を比較するために、最大酸素摂取量の測定と、心拍数、超音波装置を使った筋量の計測を軌道上と飛行前後に地上で行います。また帰還後に筋肉の組織検査を行うなどして、従来方式のエクササイズを行ったクルーとの比較を行い、有効性を確認する実験です。

ISSでの現状のエクササイズは、長期間の宇宙飛行における喪失を防ぐには不十分であり、180日間を超えるような長期滞在を行う場合、エクササイズ時間の合計を減らすことができれば非常に効率的となります。

地上でのベッドレスト実験(頭を下げた状態で寝たまま過ごすことにより、宇宙滞在中と同様な体の衰えを模擬する実験)や、軌道上でのこれまでの実験成果ではいい効果がでていようようです。

エクササイズは1日おき(運動をした翌日はエアロビック運動を15-30分行うのみ、

また運動の負荷(軽、中、重)も日によって変えていく)となり、従来の方法と比べると、週に3時間エクササイズ時間を節約できることとなります。

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

・動画 ISS Update: SPRINT Exercise Program (2012年3月26日)

<http://www.youtube.com/watch?v=UYQm9xHXgoU>

⑥Journals 実験 (Behavioral Issues Associated with isolation and Confinement: Review and Analysis of Astronaut Journals)

閉鎖環境におかれた状況で起きる行動に関する問題(ストレスや健康状態、意欲)を日誌に記録していく実験です。ここで得られた教訓を基に、機器の設計や手順書の改良などに反映していきます。2003年から長期間にわたって続けられている実験です。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/991.html

⑦Reaction Self Test実験(Psychomotor Vigilance Self Test on the ISS)

ISS滞在中の疲労度をラップトップを使って5分間で判定していく簡単な実験です。睡眠時間の減少や残業の影響、生体リズムのずれなどの影響で疲労が出て作業効率に低下が生じていないかを調べます。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/982.html

⑧Space Headaches実験

この宇宙での頭痛実験は、微小重力環境下で報告されている頭痛の原因を調べ、対策を探るためのESAが実施する研究です。どのような時に頭痛が起きたか状況を記録していきます。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/181.html

⑨Haptics-1

Haptics-1はATV-5で運ばれて2014年秋から行われているESAの実験で、宇宙から惑星や衛星へ降ろした探査ローバーなどをリモートコントロールで操縦しようとする場合に、力のフィードバックをhaptic(触覚)で感じることで操縦能力を向上できということを実証するための基礎実験です。サーボモータに接続されたジョイスティックを操作し、データの取得を行います。

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Astronaut_feels_the_force

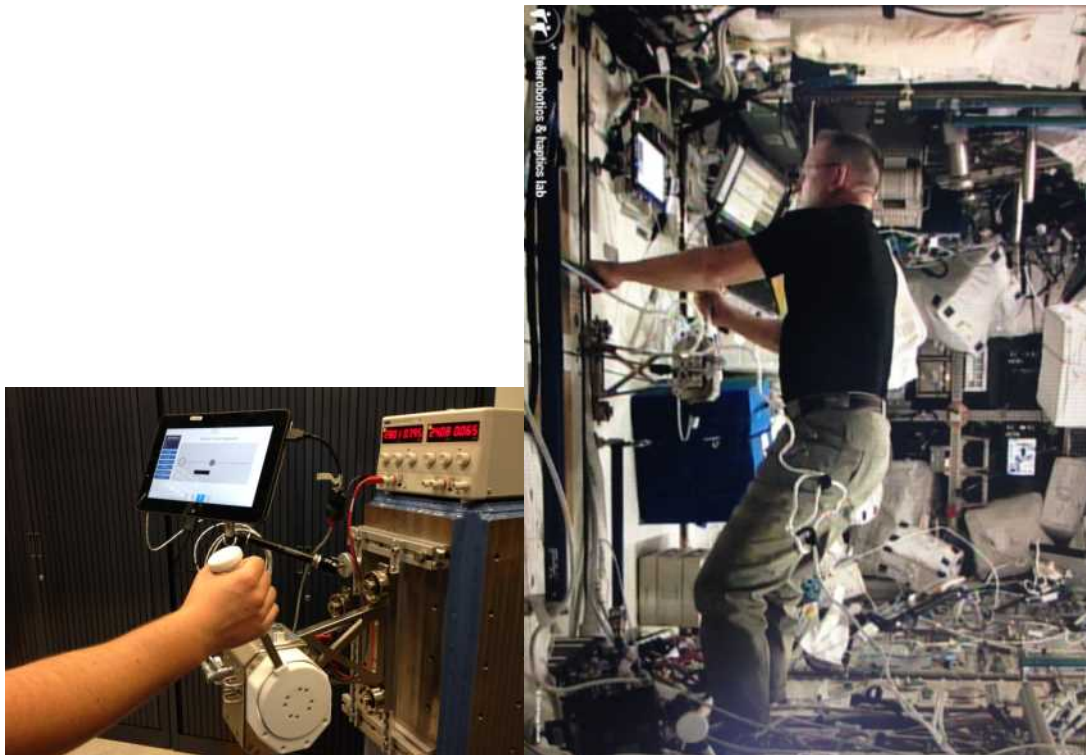


図4.1.2-8 Haptics-1のジョイスティック、右は軌道上で実験を行う様子 (ESA)

2015年4月10日の油井宇宙飛行士のTwitterより

ドイツでの訓練最終日は、Hapticsと呼ばれる実験の為にデータ取得を行いました。この実験では、ISS上のフォース・センサーとモーターによるフィードバック機能のついたジョイスティックで、地上のスティックやロボットを操作する計画があります。操作感覚も宇宙へ行くと少し変化する様です。

https://twitter.com/Astro_Kimiya/status/586671983321985024

⑩ロボノート2 (R2)

NASAとゼネラルモーターズ(GM)社が開発した人型ロボットで、宇宙でのロボットの有効性を検証するため、掃除や簡単な操作などの単純作業を行わせる実験を続けています。2014年末には2本の脚が追加され、これから新たな検証実験が行われる予定です。

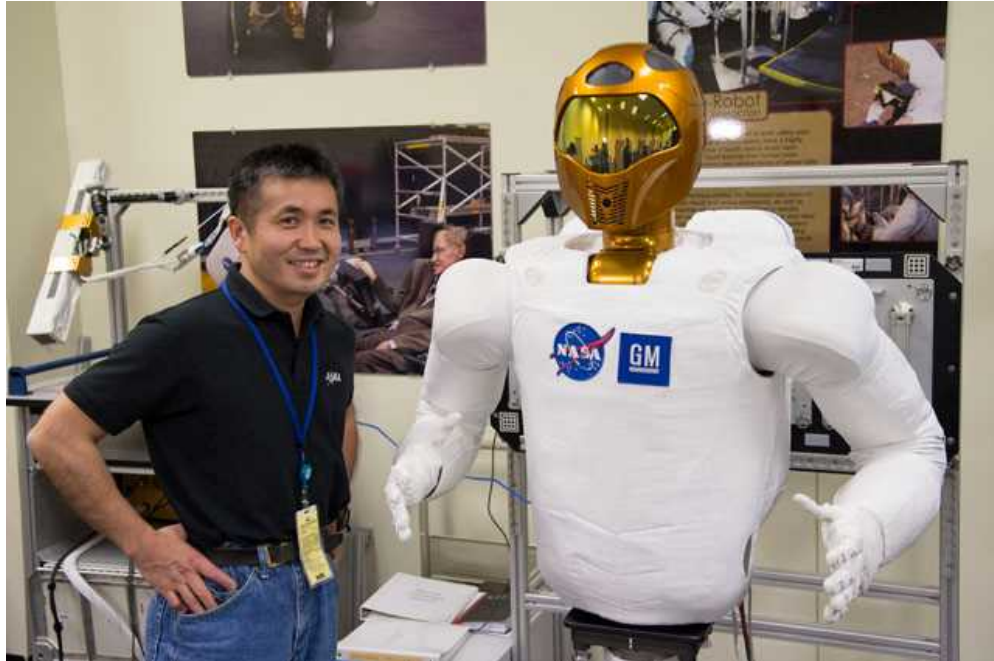


図4.1.2-9 ロボノート2と若田宇宙飛行士



図4.1.2-10 2本脚を追加したロボノート2

⑪RRM (Robotic Refueling Mission)

RRMは地上からロボットを操作することで、軌道上で人工衛星に燃料補給するのに必要な各種技術を検証する米国の実験です(地上からすべて行われるためクルーは本作業には関わりません)。「カナダアーム2」(SSRMS)で「デクスター」(SPDM)を把持し、SPDMの腕でRRM用に開発された4種類のツールを把持して様々な作業を行えるようにしています。「こうのとりのこ」4号機とATV-5に搭載して運んだ第2期実験用の新たな装置を2015年5月初めにきぼうのエアロックから船外に持ち出しました。今後、第2期実験が行われる予定です。



図4.1.2-11 RRM実験

⑫CIR (Combustion Integrated Rack)

NASAが管理する大型冷蔵庫ほどの大きさのある大型の燃焼実験装置で、燃焼現象や火災の消火に関する基礎的な実験を行っています。



図4.1.2-12 CIRと若田宇宙飛行士

⑬SPHERES(Synchronized Position Hold Engage and Reorient Experimental Satellites)

米国が開発した小型衛星の実験装置であり、二酸化炭素を噴射することで姿勢を変更でき、赤外線通信で位置と姿勢情報を検知できる仕組みで、3機の姿勢や位置を同期させながら編隊飛行させたりする実験に使われています。アメリカとヨーロッパの大学生がこれを動かすプログラムを開発して制御能力を競う学生コンテストも行われています。最近SPHERESに新たな機能を追加して行う様々な応用実験(右の写真)が行われるようになっていきます。

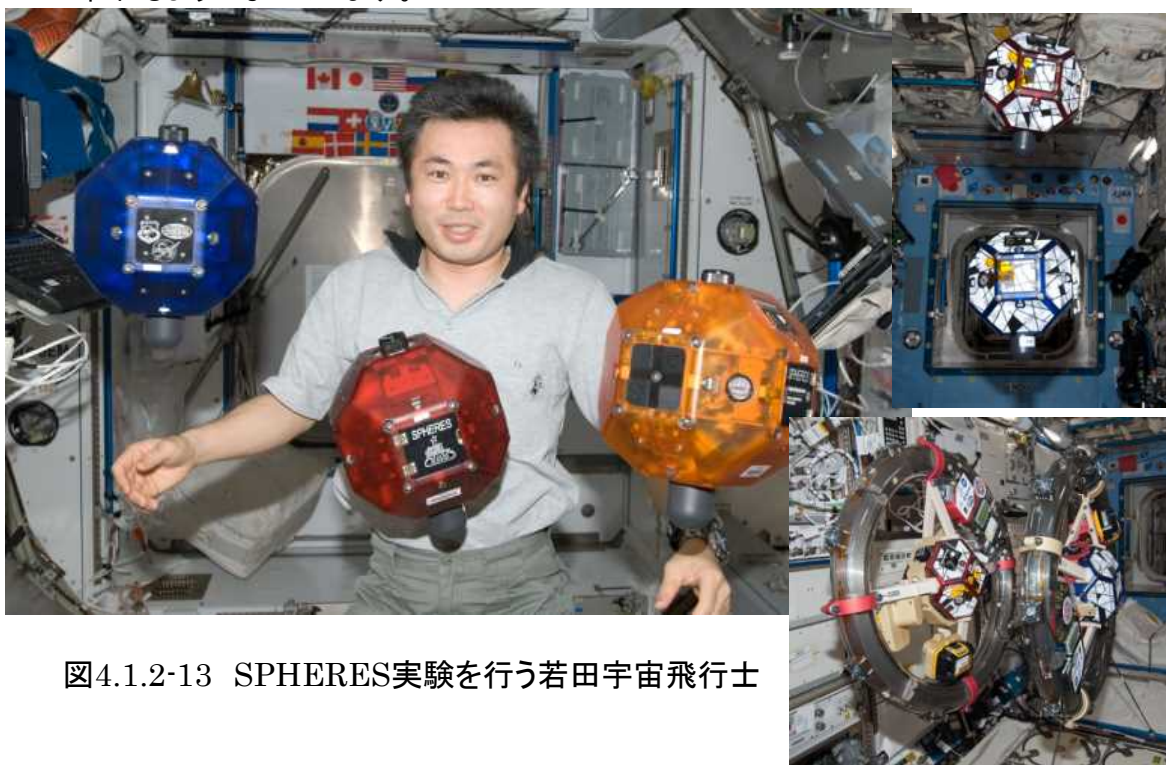


図4.1.2-13 SPHERES実験を行う若田宇宙飛行士

- ⑭微小重力実験用グローブボックス MSG(Microgravity Science Glove Box)
有害なガスや生物試料等が外部に漏れることが無いようにISSの与圧空間内よりも常に低い気圧を維持し、清浄度の高い空気を循環できる隔離・密閉された作業空間を有したグローブボックスであり、この中に様々な装置を設置することで燃烧実験や流体実験など、通常の空間で行うにはリスクを有する実験を行うことができます。最近では3Dプリンターの実証試験もこの中で行われました。



図4.1.2-14 MSG実験を行う若田宇宙飛行士

- ⑮ロシアの植物栽培実験装置Lada
ロシアは米露が共同開発したこの装置を使って、これまでに水菜、えんどう豆、大根、小麦、ミニトマトなどの栽培実験を行っています。この装置の原型はミール時代から使われており、何度も改良されながら植物栽培実験が続けられています。



図4.1.2-15 Ladaで栽培した水菜

4.1.3 その他(長期滞在期間中の広報・普及活動)

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、その他NASAの無線交信イベントも計画されています。

広報イベントの実施時期は、JAXA公開ホームページ「油井宇宙飛行士最新情報」(http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/yui/news/)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。



図4.1.3-1 第18次長期滞在中、若田宇宙飛行士が実施した「ライブ交信と宇宙授業」

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。故障が見つか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)によるサンプリングした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。

【参考】

ISS滞在クルーの日々の作業状況は、以下のNASAのサイトで定期的に公開されています。

ISS Daily Summary Report

<http://blogs.nasa.gov/stationreport/category/2015/>



図4.2-1 水再生システムを点検する若田宇宙飛行士(左)



図4.2-2 トレッドミル(TVIS)のメンテナンス(右)



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)



図4.2-4 ノード3内で騒音の計測を行う若田宇宙飛行士(右手に持っているのが騒音計)

コラム 1-2

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か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。

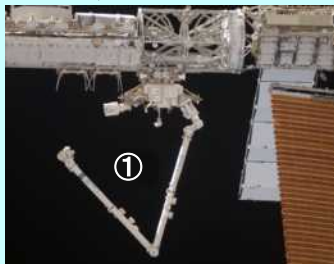
フライトエンジニアは、技術者であり研究者であり教育者であり、人類の宇宙進出への代表としてあらゆる要素を含んでいるのです。

*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。

コラム 1-3

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「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る場合があります。



- 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」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。

シグナス補給船に関しては、JAXAが「こうのとり」用に開発した近傍通信システム(PROX)をそのまま利用しているため、シグナスがISSに接近するフェーズではJAXAの運用チームがNASAの運用をサポートします。

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する操作のみクルーが担当し、残りの作業は、基本的に地上からの操作で実施される予定です。

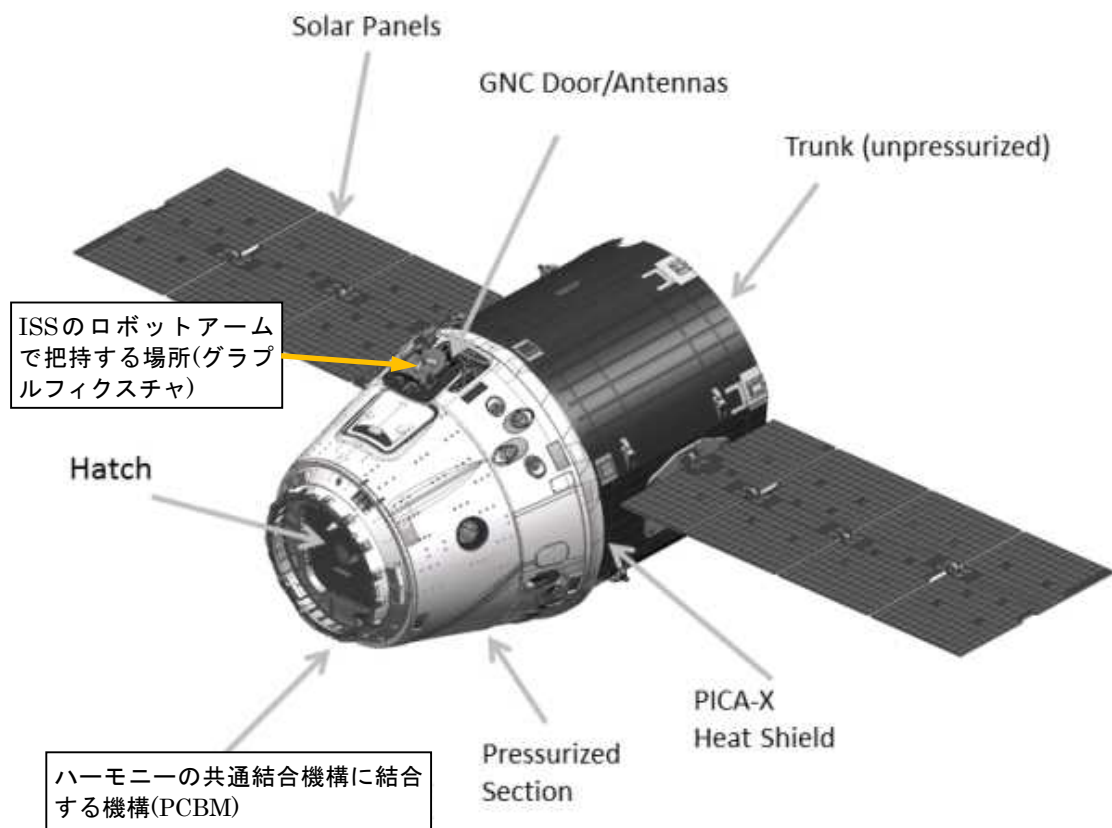


図4.3-1 Space X社のドラゴン補給船 (Space X社)



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(C2+)(NASA)

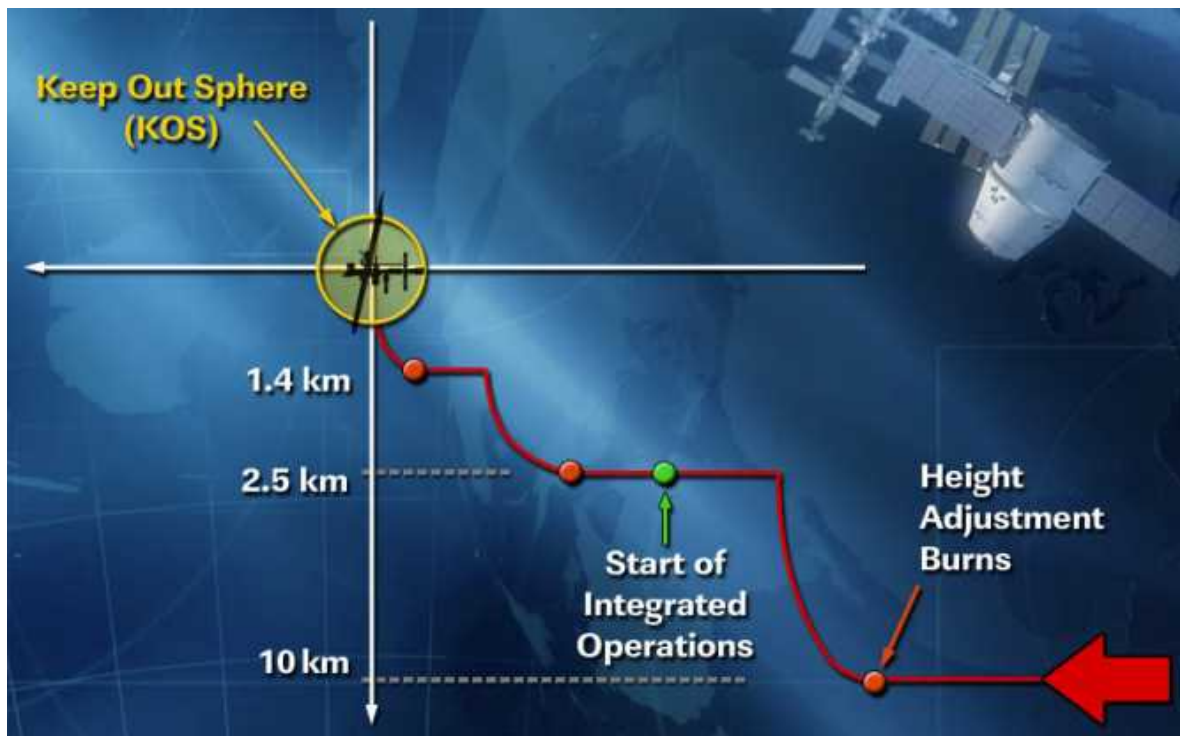


図4.3-3 ドラゴン補給船がISSに接近する方法 (Space X社)

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)

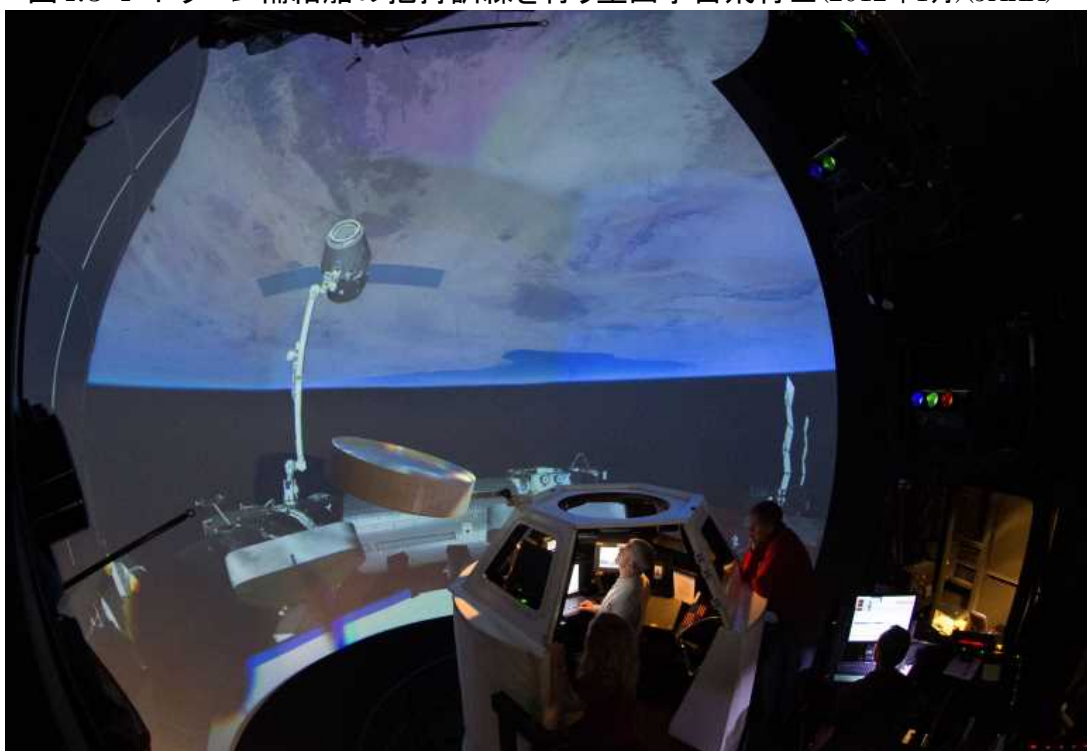


図4.3-5 ドラゴン補給船の把持訓練に使われるNASAの訓練設備



図4.3-6 「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。ドラゴンとシグナスも同様の作業を行います。)



図4.3-7 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)



図4.3-8 ロボットアームで把持されたシグナス補給船実証機 (NASA/OSC社)

5. 第44次／第45次長期滞在中の主なイベント

5.1 長期滞在中の主なイベント

油井宇宙飛行士のISS長期滞在中の主なイベントを表5.1-1に示します。

表5.1-1 油井宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(1/2) (2015/10/7現在)

時期	イベント		備考
	ソユーズ関連	その他	
2015年 5月		■SSRMSを使用してのPMMの移設(ノード2からノード3へ)(5/27)	
6月	▼ソユーズTMA-15M/41S帰還(6/11)	▲ドラゴン補給船7号機(SpX-7)打上げ失敗(6/28)	41Sの帰還延期により、サマンサの宇宙滞在日数が女性の最長記録を更新(従来は、スニータ・ウイリアムズの195日間だったが199日間へ) (6/11)41S帰還。 →軌道上のISSクルーは3人となります (6/29)ゲナディ・パダルカの累積宇宙滞在日数が803日間を超え、セルゲイ・クリカレフが有していた世界記録を更新(最終的には878日間の記録を達成)。
7月	▲ソユーズTMA-17M/43S 打上げ/ドッキング(7/23)	▲プログレス 60P 打上げ(7/3) ●プログレス60Pドッキング(7/5)	(7/23)43Sで油井宇宙飛行士がISSに到着。 →軌道上のISSクルーは6人となります
8月	■ソユーズTMA-16M移設(MRM-2からズヴェズダ後方へ)(8/28)	■ロシアEVA-41(8/10) ▼プログレス58P分離(8/14) ▲「こうのとりの5号機」打上げ(8/19) ●「こうのとりの5号機」結合(8/24)	

※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、目安程度とと考えてください。

表5.1-1 油井宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(2/2) (2015/10/7現在)

時期	イベント		備考
	ソユーズ関連	その他	
9月	<p>▲ソユーズTMA-18M/44S打上げ(9/2)</p> <p>●ソユーズTMA-18M/44Sドッキング(9/4)</p> <p>▼ソユーズTMA-16M/42S帰還(9/11)</p>	<p>■超小型衛星放出(2機)(9/17)</p> <p>▼「こうのとりのり」5号機分離(9/28)</p>	<p>(9/4)44Sで第45次／第46次長期滞在クルーがISSに到着。 →軌道上のクルーは一時的に9人となります</p> <p>(9/11) 42Sの帰還。→軌道上のISSクルーは6人に戻ります 第45次長期滞在ミッション開始。</p>
10月		<p>▲プログレスM-29M/61P打上げ・ドッキング(10/1)</p> <p>■超小型衛星放出(16機)(10/5-10/7)</p> <p>■米国EVA-33(10/28)</p>	<p>(10/14)スコット・ケリーが、マイク・フィンクが有していたアメリカ人の累積宇宙滞在記録381日間を更新(計521日間程度まで延ばす予定)。</p> <p>(10/28) スコット・ケリーがアメリカ人宇宙飛行士の1回の飛行での最長滞在記録215日間を更新。</p>
11月		<p>■米国EVA-34(11/6)</p> <p>▼プログレス60P分離(11/19)</p> <p>▲プログレスMS/62P打上げ・ドッキング(11/21)</p>	<p>(11/2)ISS有人化から15周年</p> <p>(11/20)ISSの建設開始から17周年</p>
12月	<p>■ソユーズTMA-17M/43Sの移設(MRM-1からズヴェズダ後方へ)</p> <p>▲ソユーズTMA-19M/45S打上げ/ドッキング(12/15)</p> <p>▼ソユーズTMA-17M/43S帰還(12/22)</p>	<p>▲シグナス補給船運用4号機(OA-4)打上げ(再開フライト)(12/3目標)</p>	<p>(12/15)45Sで第46次／第47次長期滞在クルーがISSに到着。 →軌道上のISSクルーは9人となります</p> <p>43Sで油井宇宙飛行士が帰還。第46次長期滞在ミッション開始。→軌道上のISSクルーは6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。

●ソユーズ宇宙船の交代、ソユーズTMA-16Mのリロケーション

ソユーズ宇宙船の軌道上寿命は約200日間ですので、1年間滞在するクルーの場合は、乗ってきたソユーズ宇宙船を途中で入れ替えて寿命が切れないようにする必要があります。これに備えて、古くなったソユーズTMA-16M/42Sは、結合していたMRM-2からズヴェズダの後方へ移動し、新しいソユーズTMA-18M/44S用のドッキング場所(MRM-2)を空けます。ズヴェズダ後方は、基本的にはリブーストに使えるプログレス補給船を結合するのに使うため、このような一時的なドッキングポートの入れ替えが必要となります。



図5.1-1 【参考】35S時のリロケーション運用イメージ (NASA TV)

油井宇宙飛行士のISS滞在中には、シャトル退役後初めてとなるISS形態の変更が行われますので、以下に紹介します。

(1)PMMの移設

「こうのとりの」と米国の商業貨物補給機が結合するための共通結合機構(CBM)は、これまでノード2「ハーモニー」の地球方向側のCBMが使われていましたが、1箇所だけでは打上げが遅れると後続の補給機の計画が玉突きで影響を受けてしまううえ、トラブル時の対応も難しいことから、予備用にもなる2箇所目が必要となっています。このため、ノード1「ユニティ」の地球方向側のCBMを新たな結合場所にすることにしました。現在、ここには恒久型多目的モジュール(PMM)が設置されているため、ノード3「トランクウィリティー」の前方側のCBMへ移設して場所を空けます。この移設作業は2015年5月27日に行われました。

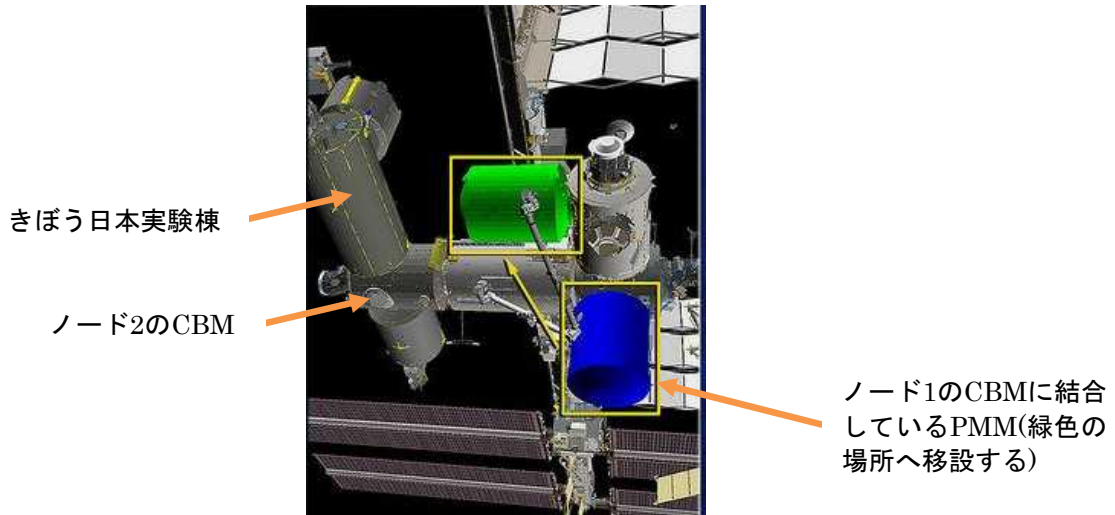


図5.1-2 PMMの移設イメージ(ISSを左舷下方向から見たイメージ)

(2)PMA-3の移設

米国の商業クルー輸送船は、ISSの先端に設置されたPMA-2(以前シャトルがドッキングしていた場所)にIDA(国際ドッキングアダプター)を取り付け、そこにドッキングする計画です。しかし、1箇所だけだと故障時の対応ができないため、予備としてもう1箇所ドッキングができる場所を用意する必要があります。これに備えて、ノード3に保管していたPMA-3をノード2の上部に移設する作業を行います。

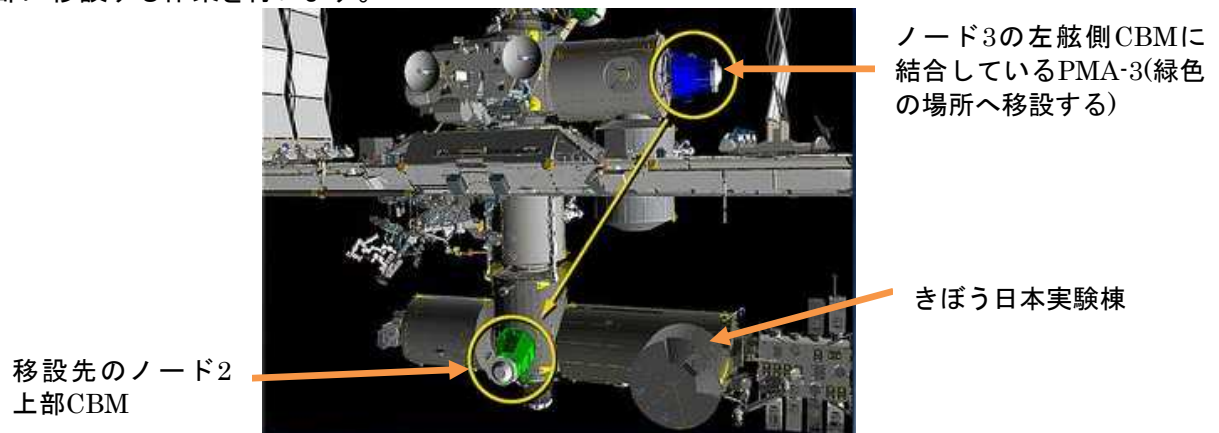


図5.1-3 PMA-3の移設イメージ(ISSを上方向から見たイメージ)

5.2 (参考)ISSでの1年間の長期滞在について

無重量環境や放射線が人体にどのような影響を与えるかは、ISSでの6か月間にわたる長期滞在の研究からだいぶ理解が進みました。しかし、より長期間となるとまだ分からないことが出てくるかもしれません。例えば、微小重力環境が眼に与える影響(頭蓋内の圧力の影響によって眼の焦点が合いにくくてぼやける)が問題になり、本格的な研究が行われるようになったのはつい最近、2013年からです。これは2011年ごろから認識されるようになった新しい問題です。

ロシアはミールで1年間の長期滞在を行った経験がありますが、当時使用していた医学用の検査機器は現在の物と比べると非常に精度が低く、最新の検査機器を使えば、当時分からなかったことが把握できるようになると考えられています。

日本でも、長期宇宙滞在における日本人宇宙飛行士の健康管理に向けて宇宙医学研究を積極的に進めてきています。

今回の1年滞在中に行われる『長期滞在中におけるリスク低減を目的とした宇宙医学研究』について、日本もデータシェアや共同研究等で参加しており、将来の宇宙探査にも資する知見を得られる重要な機会と考えています。

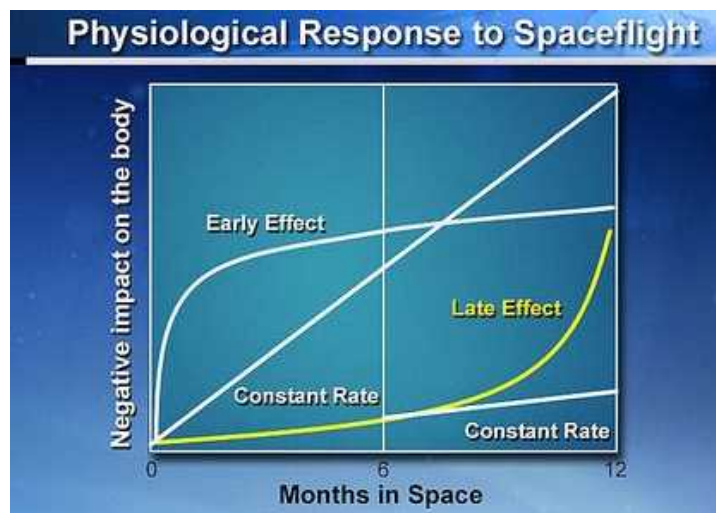


図5.2-1 宇宙滞在期間と人の体に影響を及ぼす要因の説明図 (NASA)

[この図は、宇宙滞在期間が長くなると体に悪影響を与えるようになる比率を模擬的に示しています。滞在期間と共に一定の比率でリスクが増えていくもの(Constant Rate)は直線で示されます。無重量環境に曝されるとすぐに体に影響が出るものの、徐々に体が順応していくものはEarly Effectで示されます。これは従来の6か月間の滞在でも調査は可能でした。しかし、火星への有人飛行のように長期間となるとどのような影響が出るかわかりません。図中に黄色で示されたLate Effectというタイプのリスク要因が隠れていた場合は6か月間の滞在ではそのリスクを把握することはできません。これが今回、1年間の長期滞在中に行って宇宙飛行が人の体にどのような影響を及ぼすかを調査する目的です。]

コラム 1-4

宇宙滞在記録の更新

1回の宇宙滞在としては、ロシアのワレリー・ポリヤコフが1994-1995年にかけてのミールミッション時に437日間17時間58分間の宇宙滞を実施したのが最長記録です。1年以上の宇宙滞を経験した4人はいずれもロシア人で、セルゲイ・アヴデエフの379日14時間58分間(1998-99年)、ウラジミール・チトフとムサ・マナロフの365日22時間38分間(1987-88年)の記録があります。今回の滞在はこれに次ぐ5, 6人目の記録になります。

なお、アメリカ人の最長記録は、マイケル・ロペスアレグリアが2006-2007年にISS滞在中の215日8時間22分間で、スコット・ケリー宇宙飛行士はこの記録を更新します。

その他、今回の滞在期間中には、累積での宇宙滞在記録を米露共に更新するという記録的なフライトになります(表5.1-1参照)。

(1)ISS での 1 年間の長期滞在ミッションに関する研究 (NASA の実験分)

<http://www.nasa.gov/content/one-year-mission/>

1年間の滞在中に、NASA は以下の 7 つの研究領域の 19 件の実験を実施します。その他、ロシアも 14 件の実験を実施します。

- ・人体機能
 - 長期間の宇宙滞在後の機能的な感覚運動能力の回復 (Field Test)
 - 機能的な性能が飛行後に変化する生理学的要因の寄与度(Functional Task Test)
- ・行動保健学(Behavioral Health)
 - 宇宙飛行による疲労を個人ごとにリアルタイムで神経認知状況(Neurocognitive)を評価するツールキット (Cognition)
 - 神経認知能力に対する宇宙飛行の影響:程度、滞在期間、神経ベース (Neuromapping)
 - ISS-12 ミッションにおける睡眠/覚醒判定法(actigraphy)と露光 (Sleep ISS-12)
 - 閉鎖環境への隔離に伴う行動上の問題:宇宙飛行士の日記の分析 (Journals)
 - ISS での精神運動警戒(psychomotor vigilance)セルフテスト(PVT) (Reaction Self Test)
- ・視覚への障害
 - 体内の流体容積の合計 (Integrated Fluid Volume/Fluid Shifts)
 - ISS クルーの眼球の健康状態に関する観察研究 (Ocular Health)
- ・代謝
 - NASA Biochemical Profile プロジェクト (Biochemical Profile)
 - 炎症ストレスと酸化バイオマーカーの間の関係の定義と長期滞在を行った宇宙飛行士のアテローム性動脈硬化症のリスク (Cardio Ox)
 - クルーの免疫機能のモニタリングのための検証手順(Integrated Immune)
- ・身体能力
 - 抵抗運動と有酸素性トレーニングの一体的な研究 (Sprint)
 - 骨に関する職業的なリスク調査:腰骨への飛行中の対策に対するパイロット検討評価 (HIP QCT)
- ・微生物学
 - 宇宙飛行士の微生物叢*に長期間の宇宙飛行が与える影響 (Microbiome)
 - *:微生物叢(そう) (ある空間に存在する微生物の種類、量、割合、分布などの構成のこと)
- ・ヒューマンファクター
 - 細かい運動能力に対する長期間の微小重力環境の影響 (Fine Motor Skills/Fine Motor Control)
 - ISS の居住性評価 (Habitability)
 - 長期間の宇宙飛行が訓練の記憶力に及ぼす影響 (Training Retention)

(2)双子の宇宙飛行士を使った研究

<http://www.nasa.gov/content/twins-study/>

双子の宇宙飛行士であるスコット・ケリーが1年間のISS滞在を行う際に、地上にいる元宇宙飛行士マーク・ケリーも比較のために実験に参加します。飛行前後と飛行中に、定期的に2人の血液サンプルを採取して比較を行います。また、経験したことは日誌につづり、長期間の宇宙滞在が精神にどんな影響を及ぼすかの研究に役立ててもらうため、一部は研究者に公開する予定です。通常の人間の遺伝子は約99.5%が共通となっていますが、双子の場合はほぼ100%共通となります。このため双子で比較実験を行う事により、無重量環境などの宇宙飛行の影響をより理解できるようになる貴重な機会だと考えられています。提案された40件の実験テーマの中から以下の10件が選ばれました。

- ・人間生理学
 - 双子の宇宙飛行士のアテローム性動脈硬化に関する代謝学(メタボロミクス)及びゲノムマーカー
 - 双子の宇宙飛行士の体液シフトに関するプロテオミクス評価と頭蓋内圧力と視力障害の調査
- ・行動保健学(Behavioral Health)
 - 一卵性双生児の地上での認識力
- ・微生物学/微生物叢
 - 双子の宇宙飛行士の胃腸管内細菌のメタゲノムシーケンス解析
- ・分子/オミクス(Omics)
 - 双子の宇宙飛行士の宇宙飛行に伴うテロメアへの影響
 - 一卵性双生児の宇宙飛行に伴うエピジェネティクスの差を調べるゲノム解析
 - 生化学的側面:12か月間の宇宙飛行に曝された双子
 - 宇宙飛行前、飛行中、飛行後のDNA, RNAのメチル化に関する全体解析
 - 宇宙飛行に伴う生体分子への影響に関する縦断的な統合マルチオミクス解析
 - ベースラインの免疫状態からの個人変化の特性付けと不活性化して無害なインフルエンザの予防接種による免疫反応の刺激

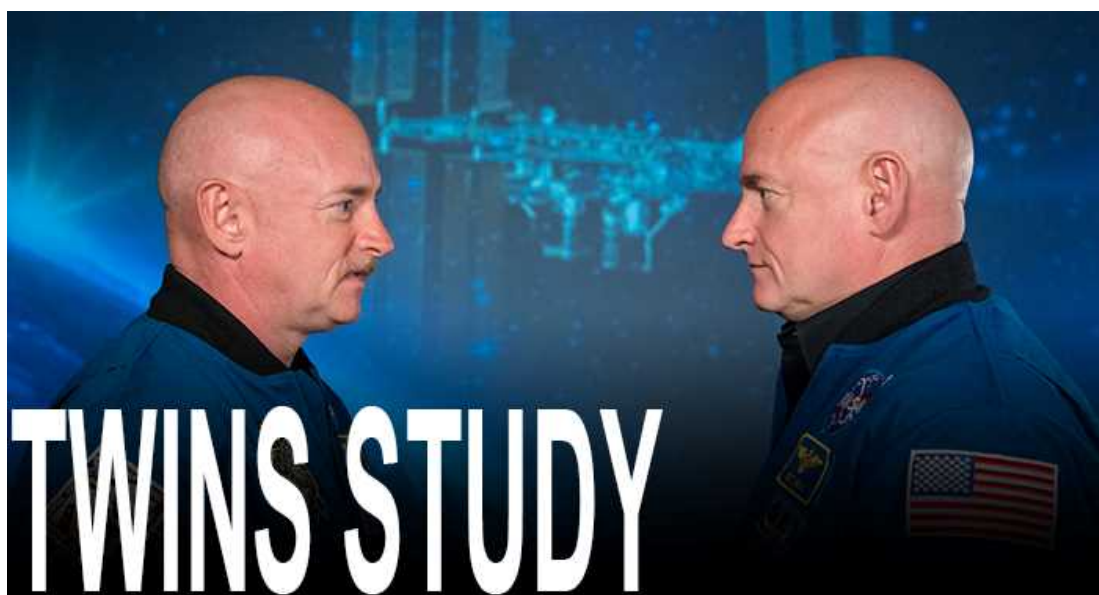


図5.2-2 マーク・ケリーとスコット・ケリー

(3)ロシアが実施しているISSからの帰還直後の火星着陸シミュレーション実験

2013年3月のソユーズTMA-06M/32Sのロシア人クルーの帰還時から行われるようになったロシアの興味深い実験を紹介します。

この実験は、火星への着陸と、船外活動にどのような問題があるか調べるための実験で、地上へ帰還して重力に慣れていない状態のまま(着陸の翌日)、遠心加速器に搭乗して、重力のある天体に手動操縦で着陸させる事を模擬した試験が行われています。

また、火星と同等な0.38Gの重力を模擬できるようワイヤーで吊り下げたOrlan-MK宇宙服を着て船外へ出る試験も着陸から約4日後に行っています。このような試験を重ねながら課題を明らかにしていく地道な研究が行われています。



図 5.2-3 帰還直後に遠心加速器に搭乗して操縦試験を行う様子 (GCTC)



図 5.2-4 帰還直後に火星の重力を模擬して船外活動を試験する様子 (GCTC)

(4)着陸後に実施されている長期飛行の影響評価試験 (Functional Task Test実験)

NASAでも似たような実験が行われており、ソユーズTMA-08M/34S帰還時に初めて行われたのは、着陸直後のメディカルテント内で行う実験で、いくつかエクササイズ(椅子に座った状態から立ち上がる(宇宙船から出るための能力の確認)。横たわった状態から立ち上がり少しジャンプする等)を行ってもらい、クルーにコンディションはどうか?どのくらいできそうかを尋ねる実験です。火星着陸ではサポートしてもらえないメディカルスタッフはいません。カプセル内で安静にしていることもできますが、いずれカプセルから出なければなりません。その場合に、いつなら安全に出られるかを知るためのデータ収集が必要になります。

将来の火星着陸では、帰還直後はバランス能力と体の能力が低下しているため、このように体を動かすことも難しくなります。

これまではコンセプトを確認するためのパイロット試験でしたが、2016年3月にISSに1年間滞在したクルーが帰還する際は貴重なデータが得られるため、本格的な実験となります。

また、着陸直後だけでなく、少し時間が経過した状態での評価試験も行われています。



図5.2-5 梯子の昇降能力を試す試験、トルクをかけて回転させる試験の例(NASA)



図5.2-6 組み立て能力を確認する試験の例(NASA)

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/126.html

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「ザーリャ」(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。2013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 <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>

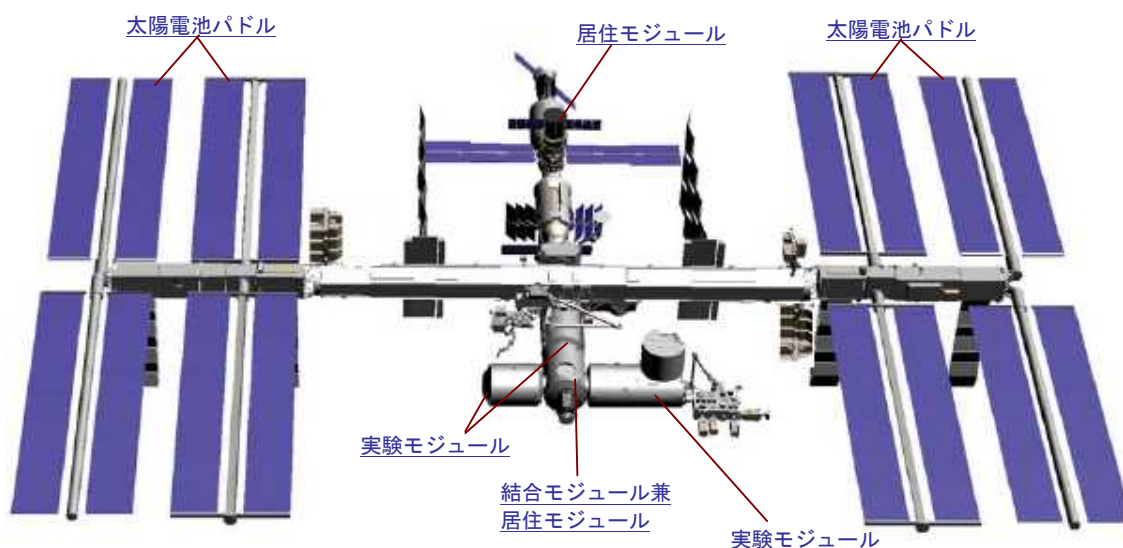


図1-1 ISS全体構成

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390トン(2011年秋時点)
電力	110kw(最大発生電力)
全与圧部容積	935m ³
与圧モジュール数	14棟 [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)、ザーリャ、MRM-1,2、多目的実験モジュール(MLM)(MLMは、2017年頃にDC-1「ピアース」と入れ替え予定))
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330～415km) 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、アンタレス、アトラスV)

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【ロシア連邦宇宙局(Federal Space Agency: FSA)】

最初に打ち上げられた「ザーリヤ」(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。

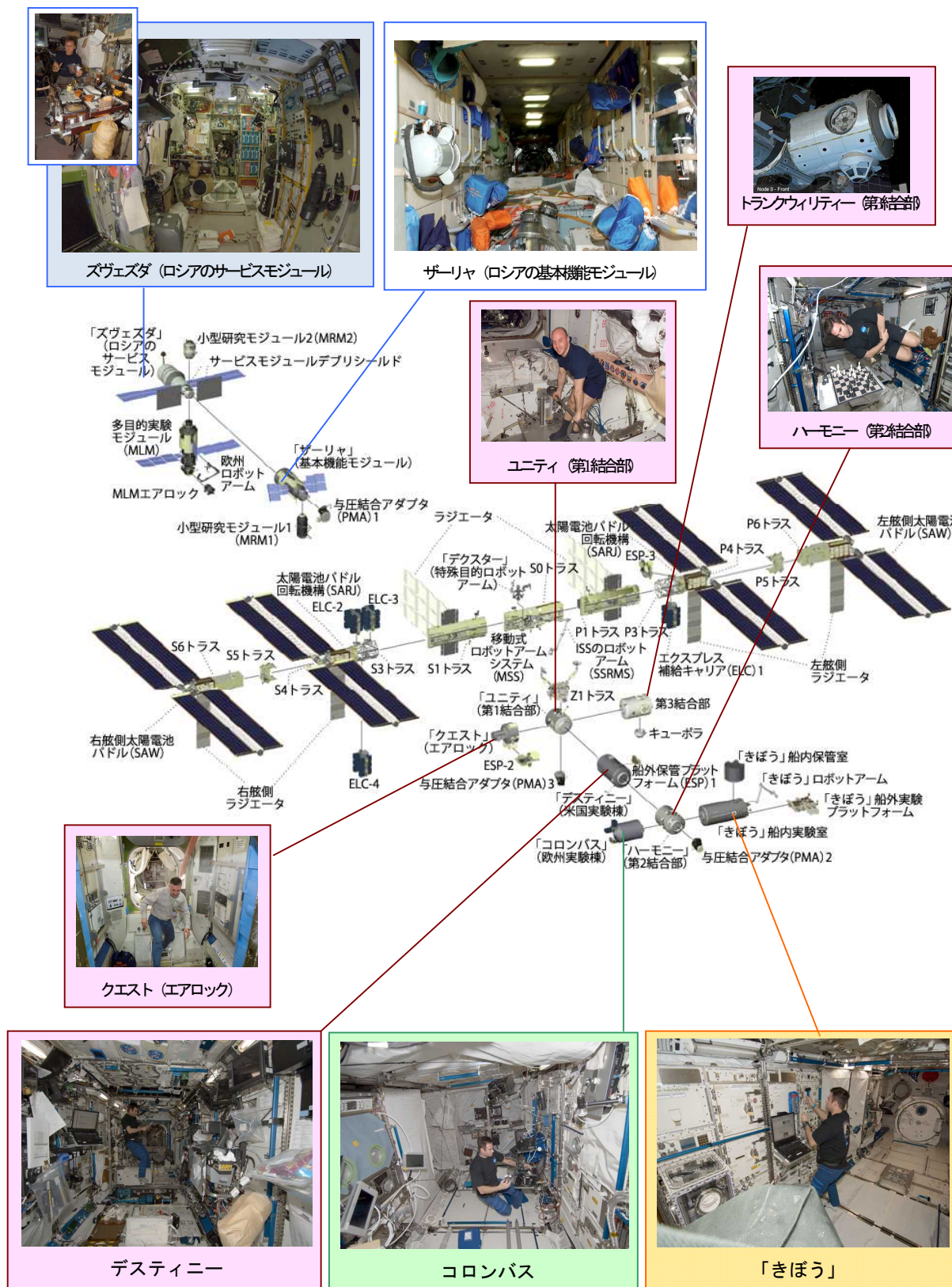


図2-1 ISS構成要素

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

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、クルーによって実施時間帯が異なります。

図3.1-1 ISSでの平日の活動スケジュール(例)

(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)



図3.1-3 米国製の個室(ハーモニー内)(左)



図3.1-4 寝袋を使用して眠る若田宇宙飛行士(きぼう内)(右)

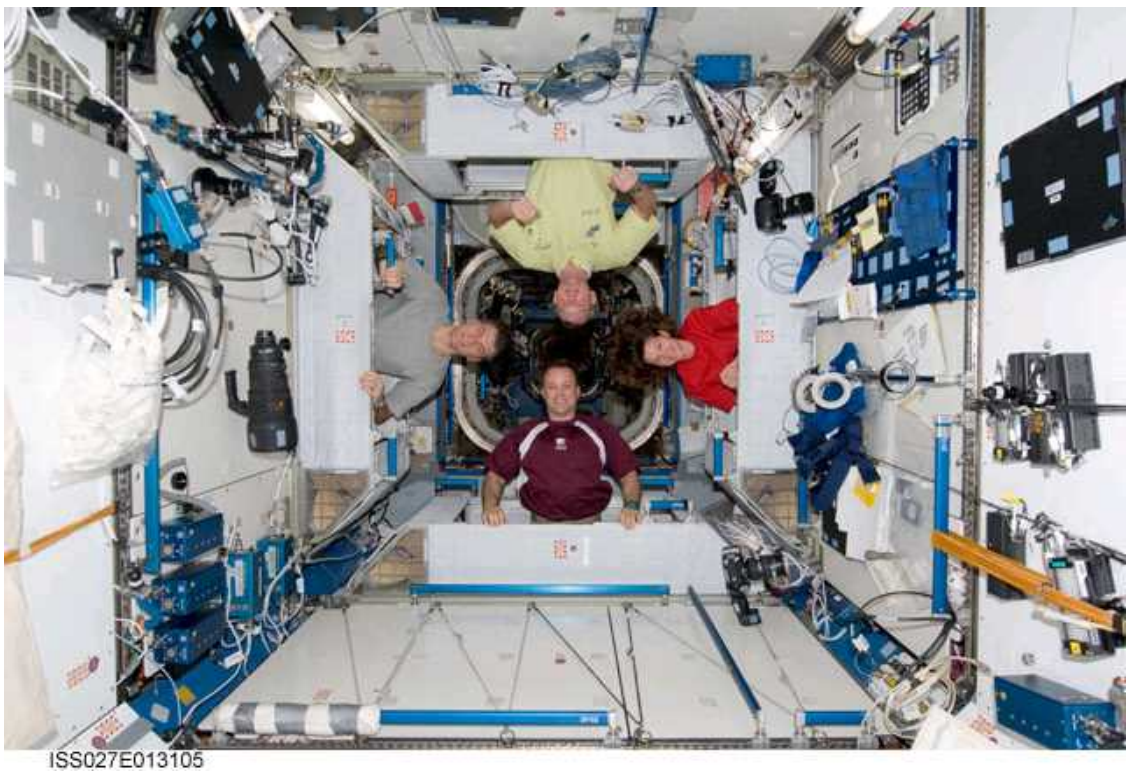


図3.1-5 ハーモニーに設置された4つの個室

(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「トランクウィリティー」(ノード3)が到着した後は、WHCとWRSはトランクウィ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。

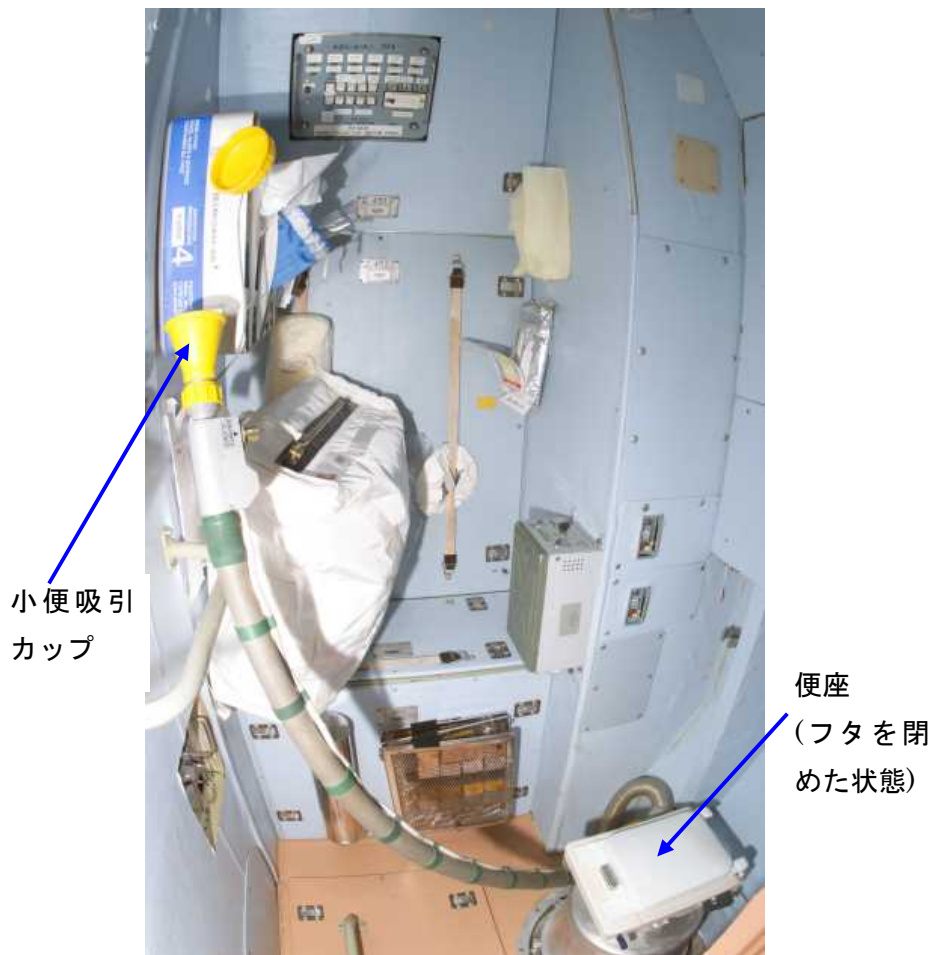


図3.1-6 ズヴェズダ後方に設置されているロシアのトイレ



※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)

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、ウェ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1-1 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し、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ると思います。

コラム付録1-2 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。

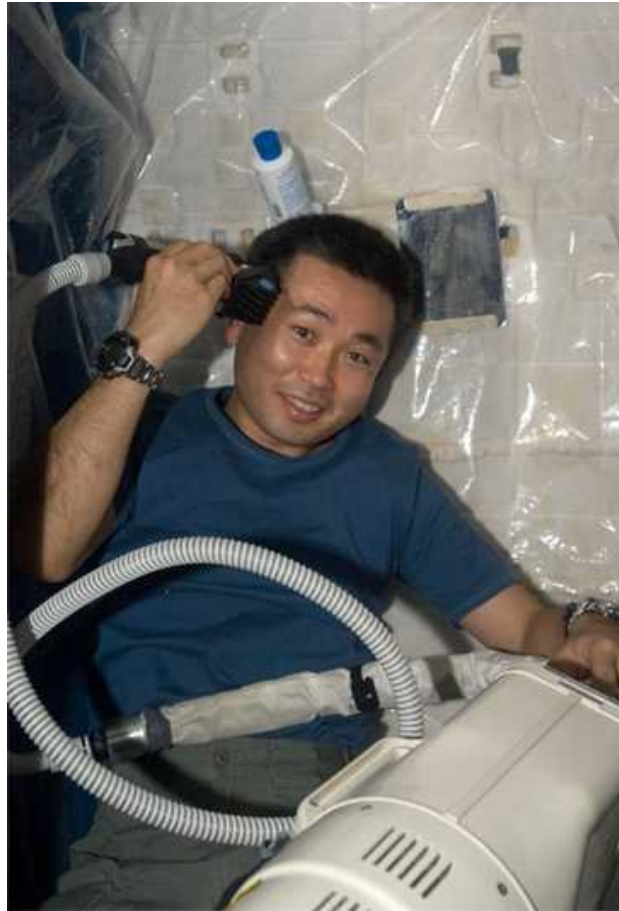


図3.1-8 個室で散髪する若田宇宙飛行士はさみやバリカン、そして吸引用の掃除機を使用します。



図3.1-9 宇宙での洗髪 (STS-121)
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 ギター演奏 (NASA)

<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/14597582176/>



図3.1-11 地上とチェス対戦 (NASA)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-17/html/iss017e011574.html>

図3.3.1-12 新鮮な果物と野菜でリフレッシュ(NASA)

<http://iss.jaxa.jp/library/photo/iss019e016481.php>



図3.1-13 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3.1-14 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1-3 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3.1-15 ISSのキューポラから撮影されたイタリアの夜景（2010年10月撮影）
<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-25/inflight/ndxpage8.html>
（地球の縁に見える緑色の光は大気光で、高感度カメラでないと写らない弱い光です）



図3.1-16 ISSのキューポラから撮影された大気光と天の川(2012年3月撮影)
http://www.flickr.com/photos/astro_andre/6799748616/in/photostream

コラム付録1-4

ISSから撮影した夜景が綺麗になった理由

ここ数年、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

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)で米国のギャレーとなるEXPRESS-6ラック(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。

※ 米国のギャレーは、デスティニー中央部の天井ラックに収納されていますが、食事はテーブルがあるユニティ(またはズヴェズダ)で行われています。

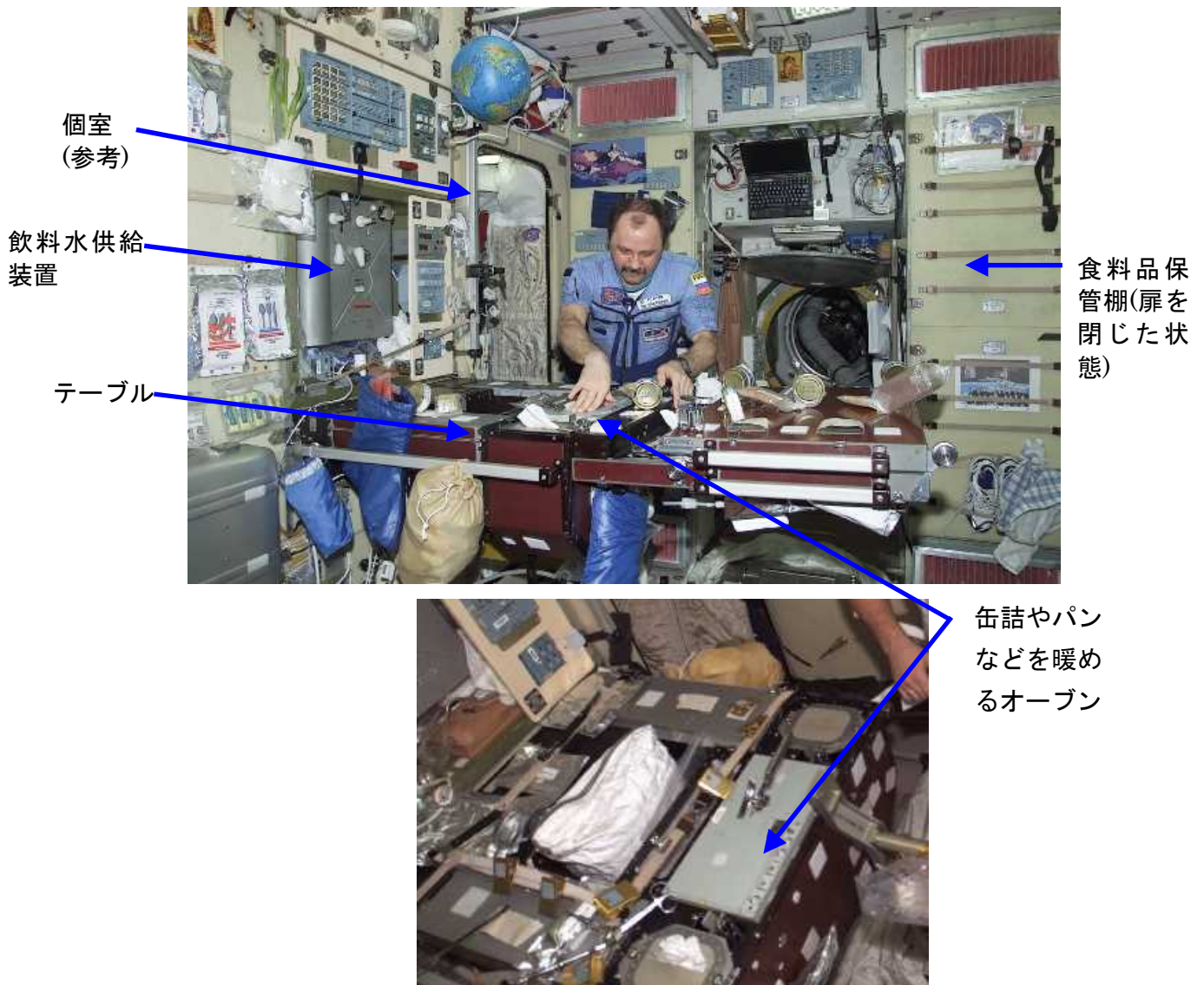


図3.2-1 ズヴェズダ内の食事用テーブル・調理設備



図3.2-2 ズヴェズダ内で食事している様子



図3.2-3 ユニティ内に設置された2台目のテーブル

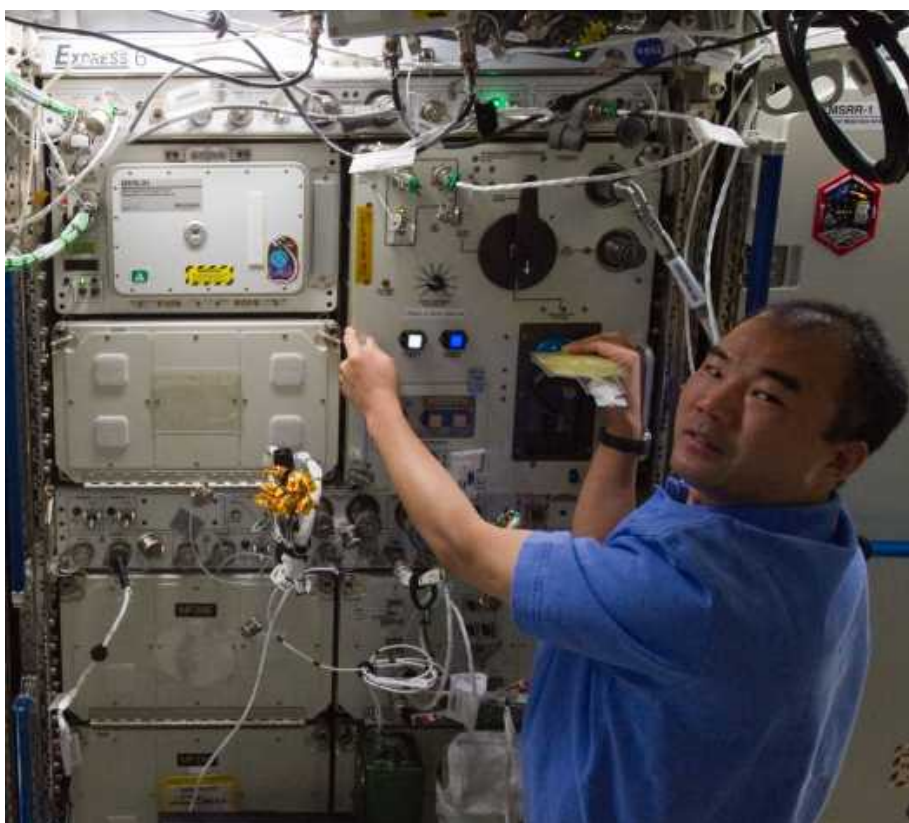


図3.2-4 飲料水供給装置を使う野口宇宙飛行士
(上はロシアの機器、下は米国の機器)

(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。



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、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用します。

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「トランクウィリティー」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「COLBERT(コルベア)」を使ってのエクササイズ
(※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)



図3.3-4 ロシアのVELO(右)

(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使用時は頭上に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。

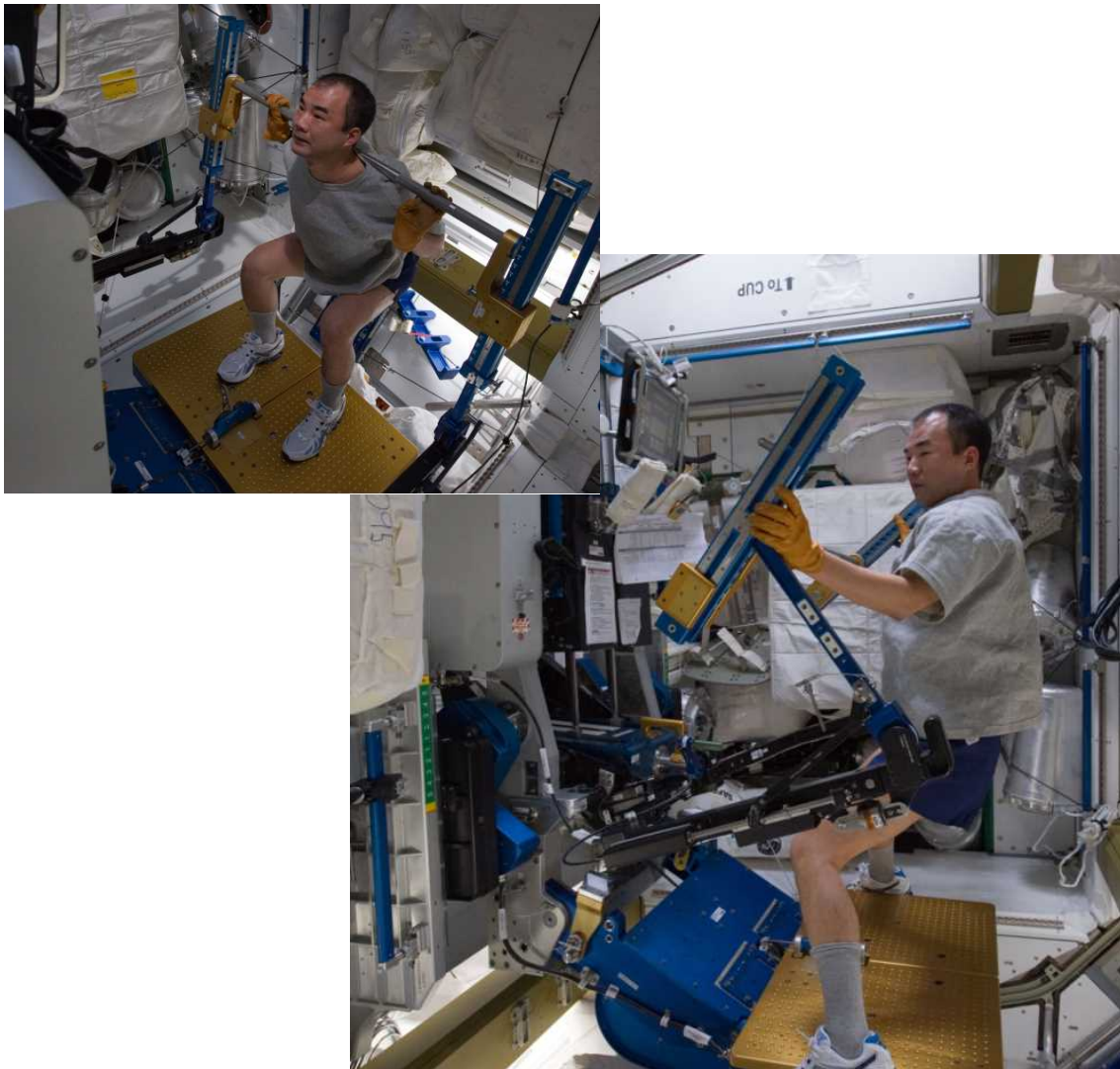


図3.3-5 AREDで運動する野口宇宙飛行士

(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 水質検査作業



図3.3-7 ISS内での空気サンプルの採取作業(回収して地上で分析)



図3.3-8 デスティニー内のクルー健康管理システムラック(CHeCS2ラック)

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:2002年10月)



図3.4-2 米国の二酸化炭素除去装置(CDRA)の修理 (デスティニー内)



図3.4-3 米国の有害ガス除去装置(TCCS)の修理 (デスティニー内)



図3.4-4 デスティニー内での熱制御系の冷却水の補充作業



図3.4-5 故障した装置(揮発性有機物分析器(VOA))の修理



図3.4-6 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)



図3.4-7 「きぼう」内でのラックの搬入・設置作業



図3.4-8 船外活動(EVA)による修理作業

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、加熱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くなっていました。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す。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。

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

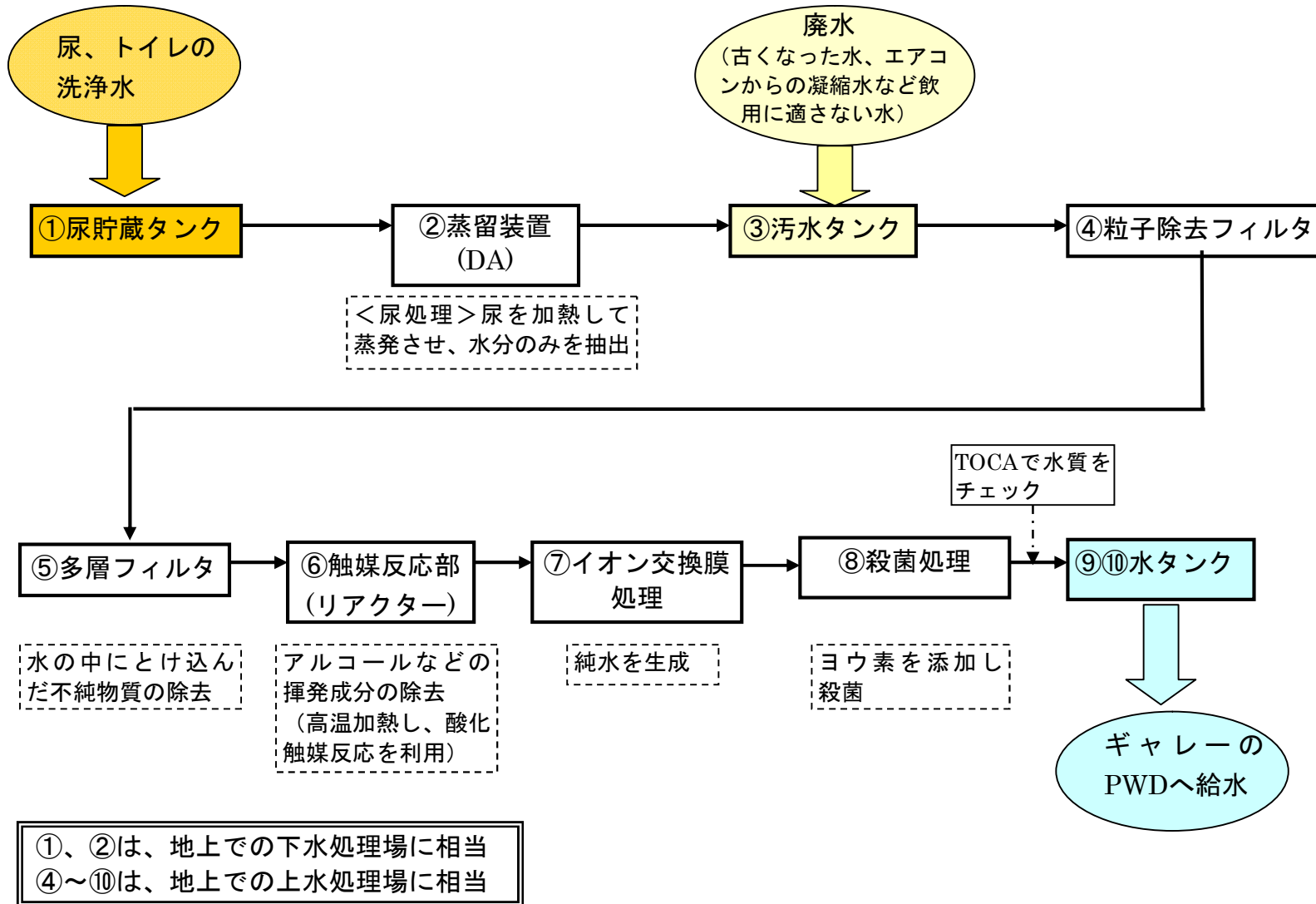


図4.1-2 ISSでの水再生処理の流れ

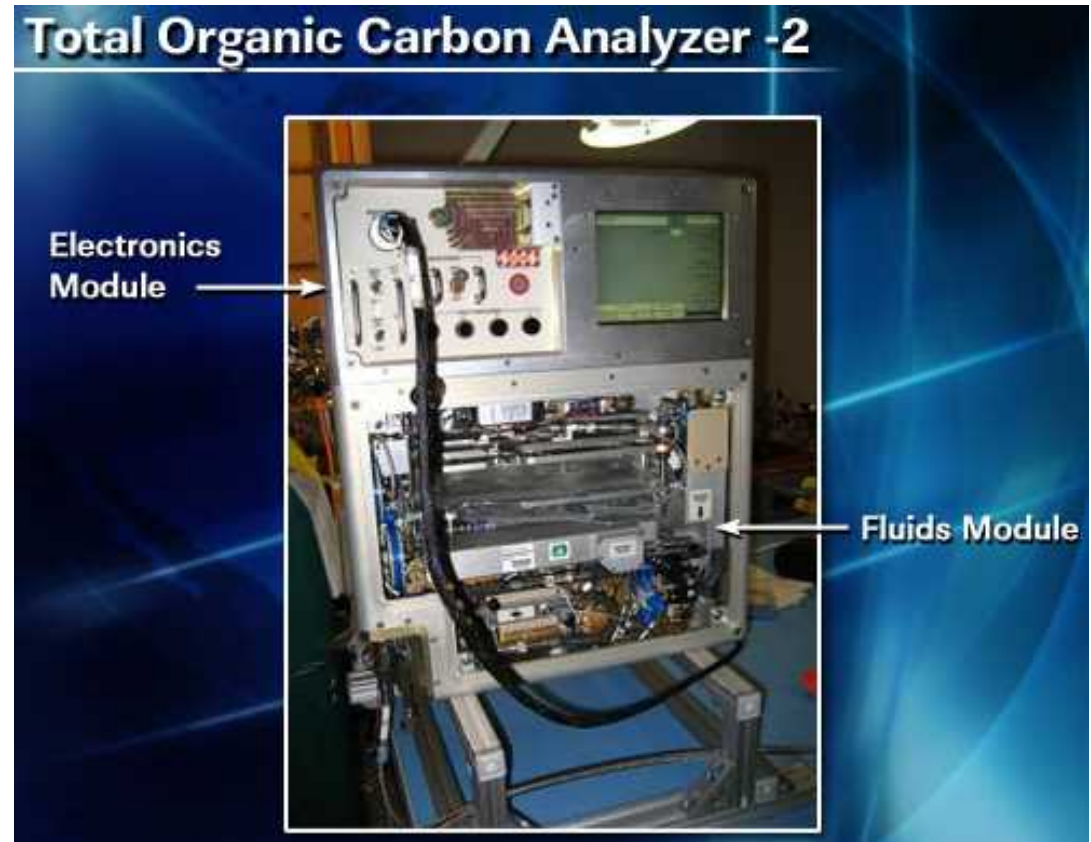


図4.1-3 水質測定・分析用のTOCA-2

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)

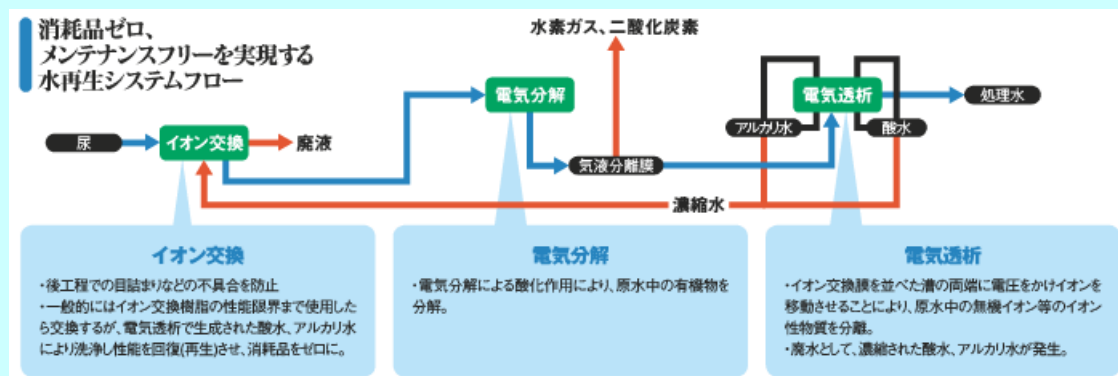
現ISS水再生システムの1/4以下

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

画像: NASA



(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基本的には同じです。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)

(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)
(ビニールのような容器を金属容器で囲ったもの)



図4.1-6 米国の水容器(CWC)
(表面が布地のソフトタイプの容器)

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が使えるようになりました。)

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)によって酸素や空気が供給されます。これらはタンクバルブを開いてガスを船内に放出するだけの単純な方法が使われています。

シャトルのドッキング時には、ISSの「クエスト」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でき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。

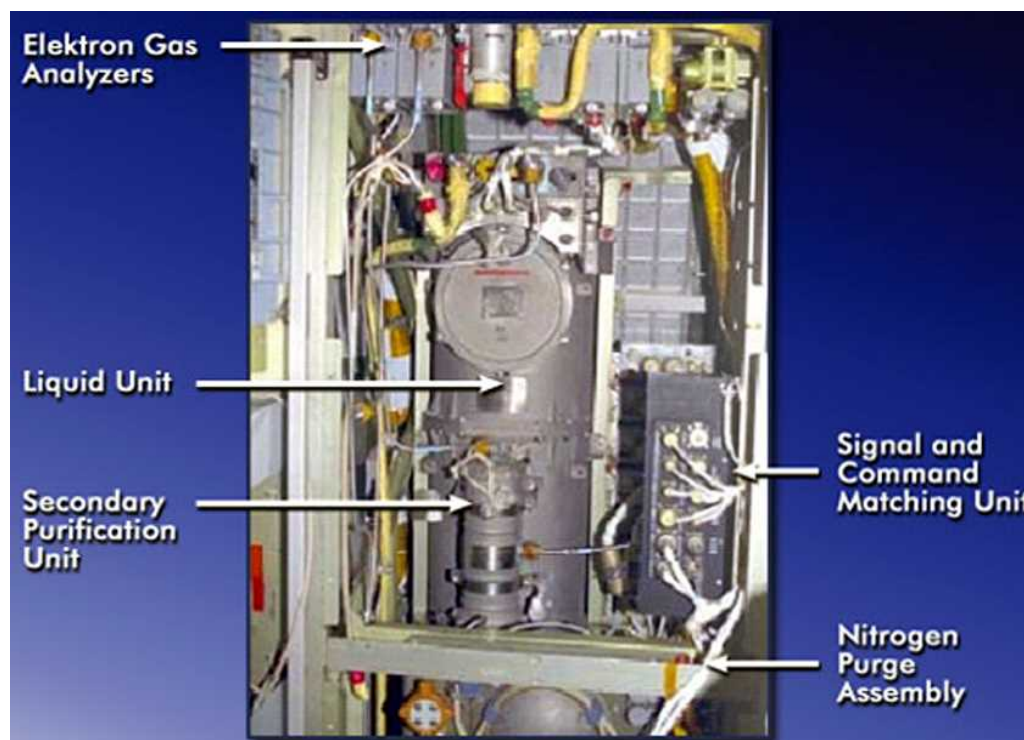


図4.2-1 ロシアの酸素生成装置エレクトロン



ISS020E031128

図4.2-2 ズヴェズダ内に設置されているSFOG容器2本(矢印)



図4.2-3 米国の酸素生成装置(OGS)

(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)



図4.2-5 ロシアのVozdukh
(表面に見えているのはパネルのみで、本体はパネルの背後に収納)

(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)

付録 2 「きぼう」日本実験棟概要

1. 「きぼう」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、「船内保管室」および「船外パレット」、実験や作業に使用する「ロボットアーム」および「衛星間通信システム」の6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、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。

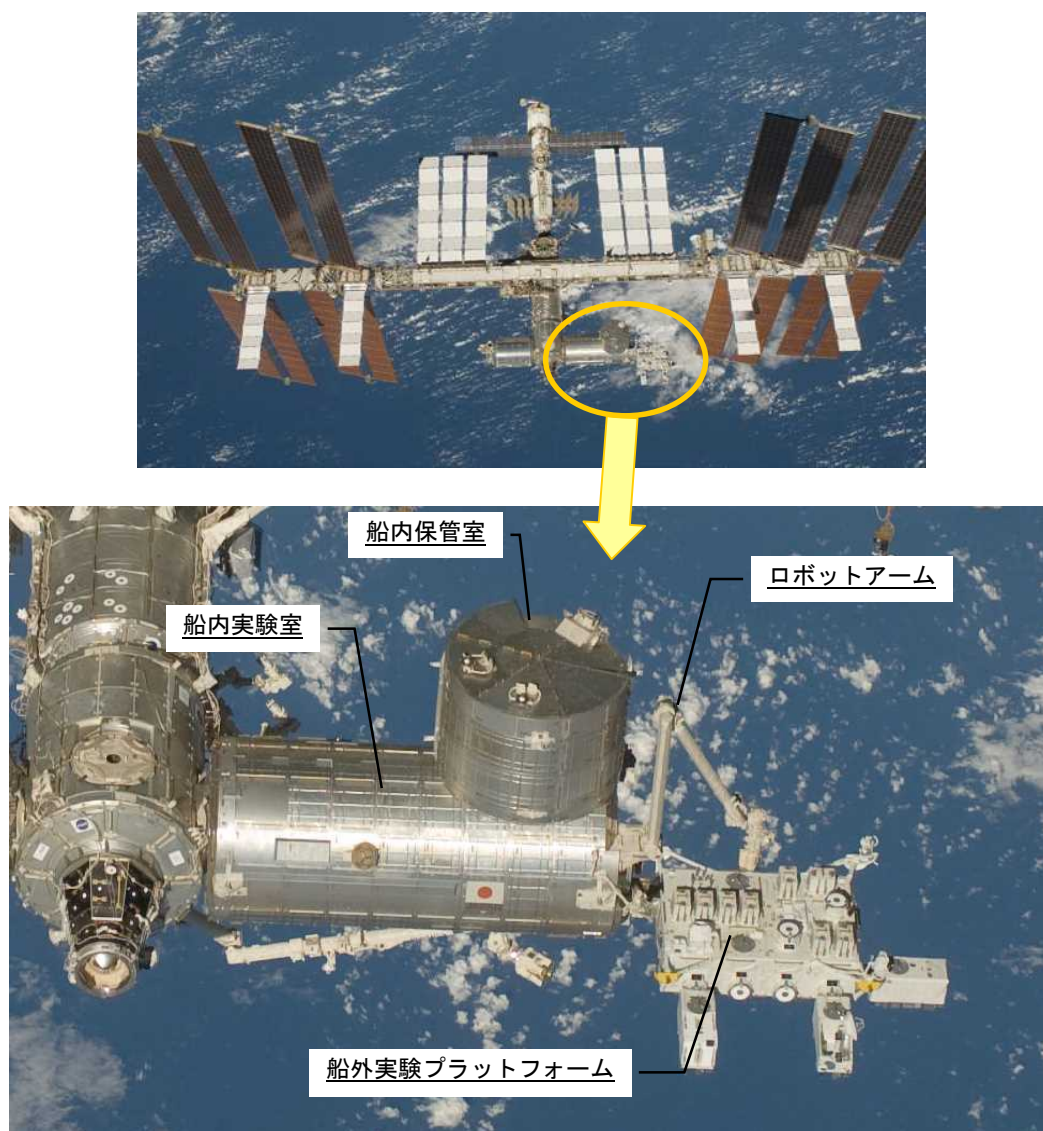


図 1-1 「きぼう」の構成(STS-127 ミッション終了後)

(1) 船内実験室

船内実験室は、「きぼう」の中心となる実験スペースで、1気圧、常温の空気で満たされており、宇宙飛行士が実験を行うことができます。主に微小重力環境を利用した実験を行います。内部には、「きぼう」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4.4メートルです。

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エアロックが設置されています。

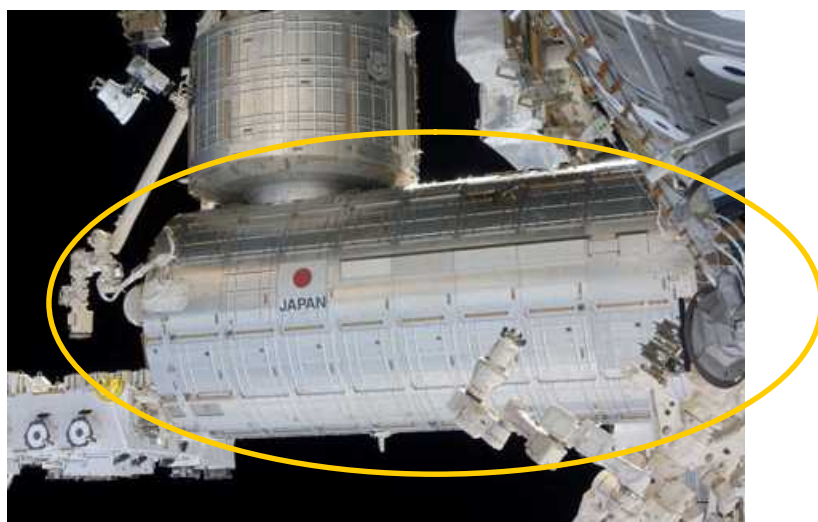


図 1-2 船内実験室(外観)

「きぼう」
エアロック



図 1-3 船内実験室(船内)



図 1-4 子アームを船外へ出すためにエアロック内部を開けた状態(2010年3月)

(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」だけです(注: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 外部で、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）ロボットアーム（JEMRMS）を操作して行います。

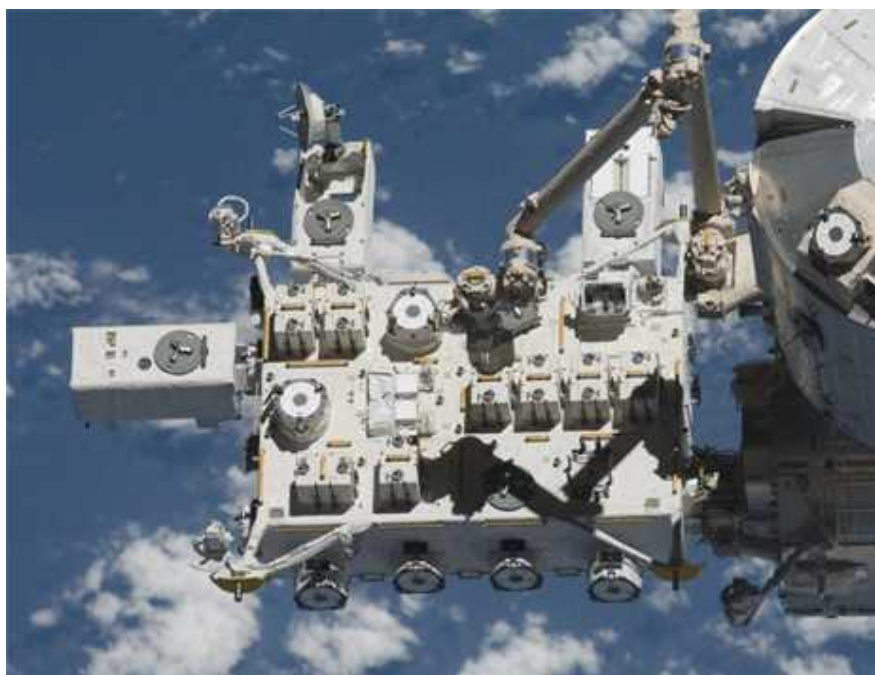


図 1-7 船外実験プラットフォーム外観(上は 2J/A フライト後、下は 2015 年 1 月)



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) 船外パレット

船外パレットは STS-127(2J/A)ミッションで、衛星間通信システム(ICS)曝露系サブシステム(ICS アンテナ)と、船外実験装置 2 台の運搬に使用された後、地上に回収されました。



図 1-9 船外パレット外観



図 1-10 船外パレット外観 (船外実験プラットフォームから取り外されたところ)

(5) ロボットアーム(JEMRMS)

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、船内実験室内から作業の様子を確認することができます。

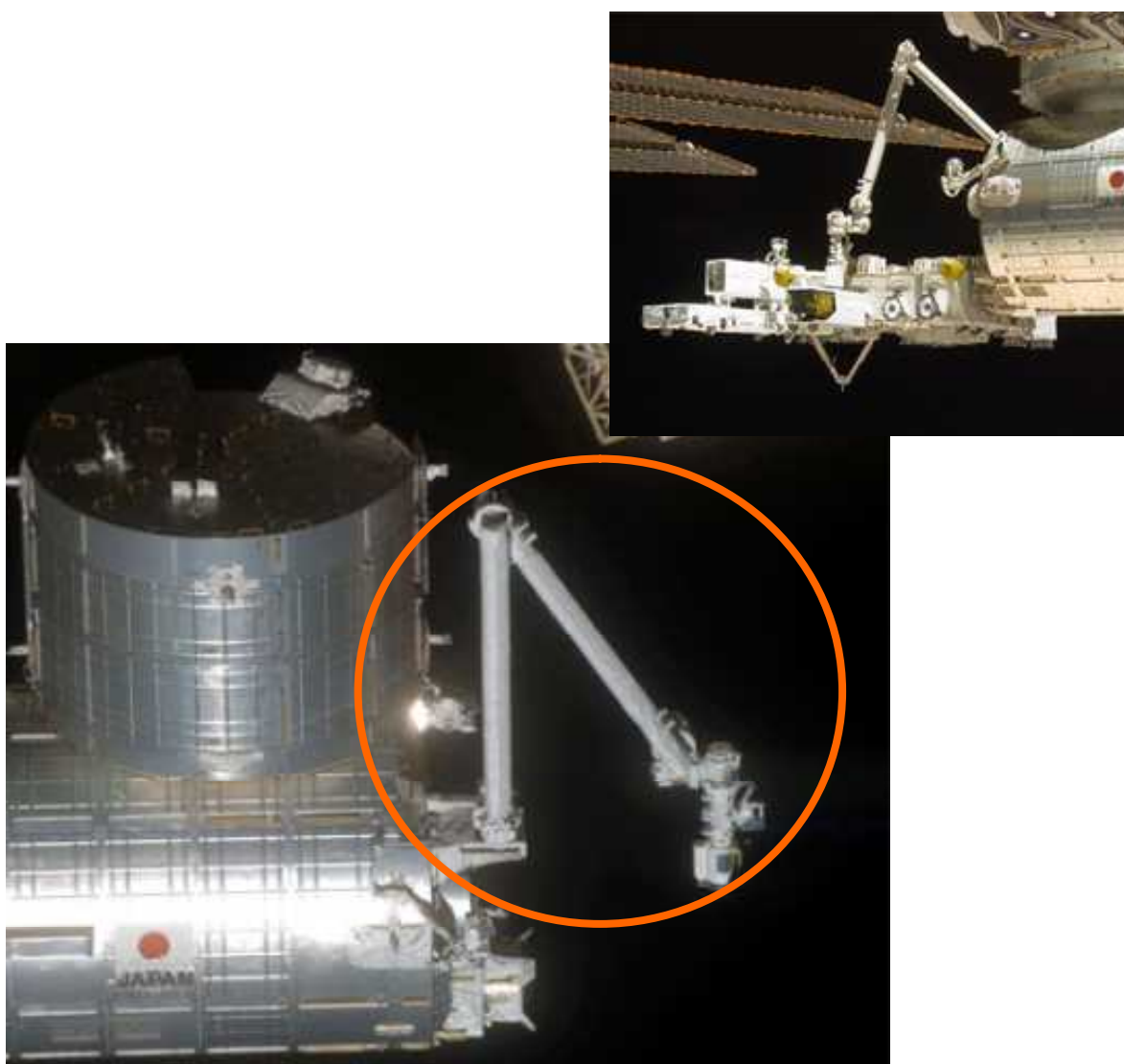


図 1-11 「きぼう」ロボットアーム



図 1-12 「きぼう」ロボットアームワークステーション

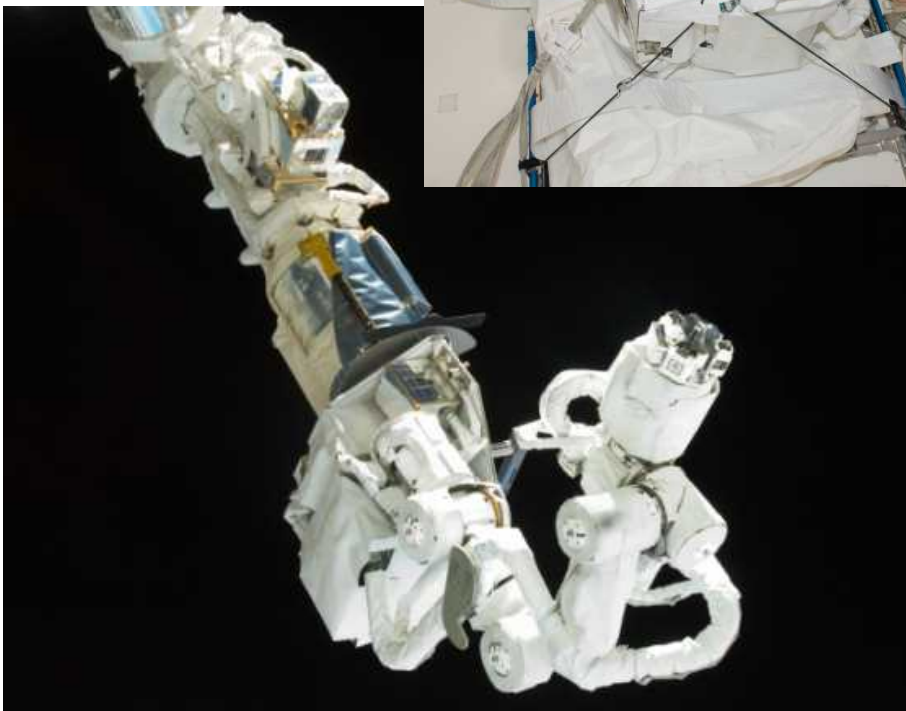


図 1-13 「きぼう」ロボットアームの先端で把持された子アーム
(2010年3月)

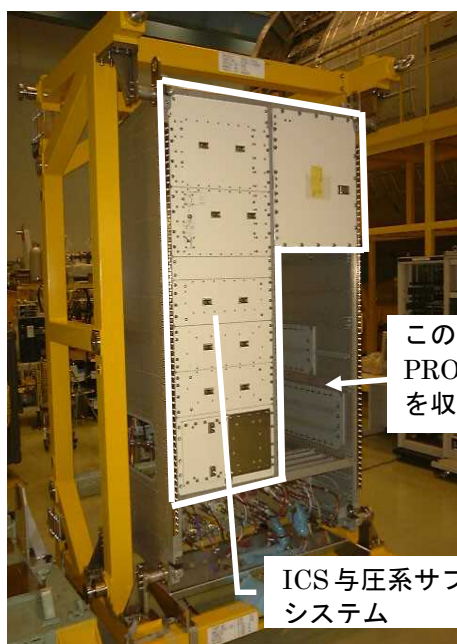
(6) 衛星間通信システム

衛星間通信システム(Inter-orbit Communication System: ICS)は、日本独自で地上との双方向通信を行うシステムです。JAXAのデータ中継技術衛星「こだま」を介して「きぼう」の実験データや画像や音声などを地上に伝送し、また地上からのコマンドや音声データなどを受信します。

ICSは、船内実験室に搭載されICSの管理制御やデータ処理を行う与圧系サブシステムと、船外実験プラットフォームに取り付けられデータ中継衛星と通信するアンテナなどからなる曝露系サブシステムから構成されます。



図 1-14 ICS 曝露系サブシステム



この部分には
PROX 通信機器※
を収容

ICS 与圧系サブ
システム

※PROX (Proximity Communication System)
は宇宙ステーション補給機 (H-II Transfer
Vehicle: HTV) の近傍通信システム

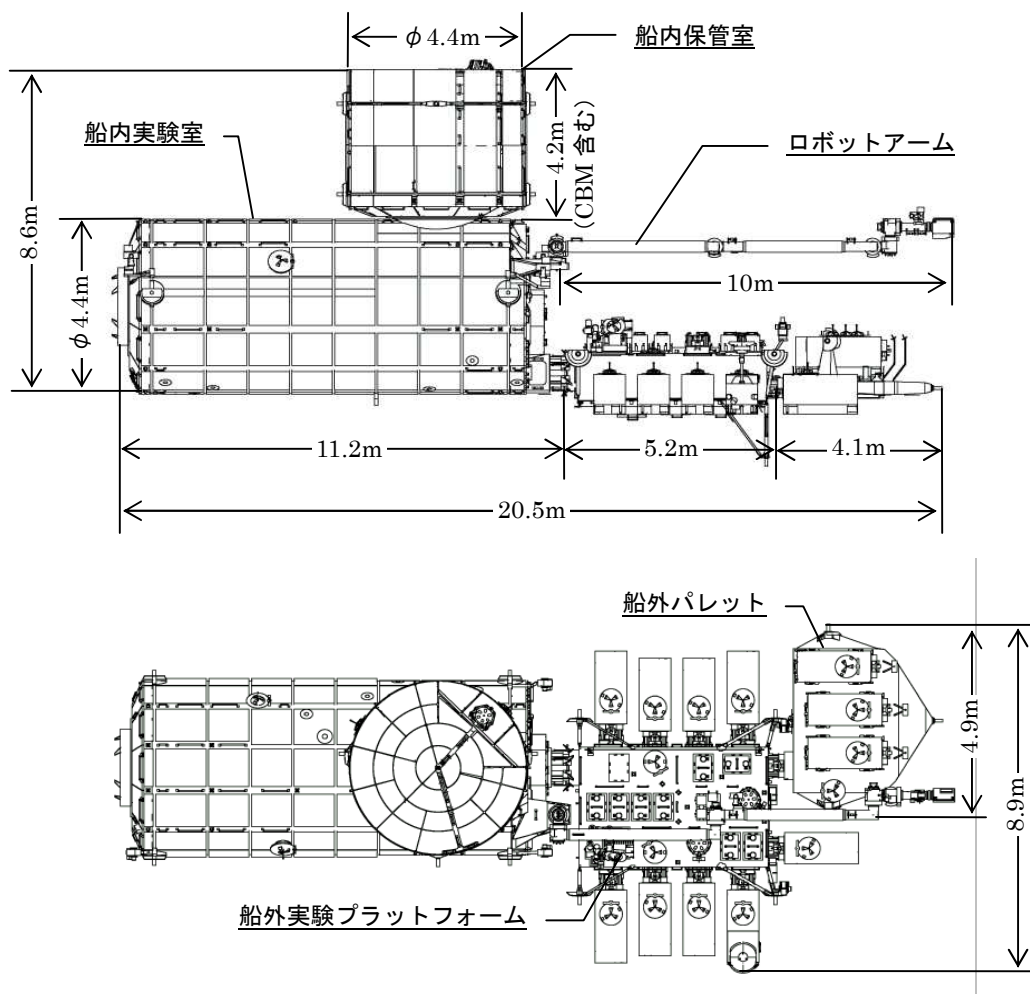
図 1-15 ICS 与圧系サブシステム

2. 「きぼう」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
ロボットアーム	親アーム長さ : 10 子アーム長さ : 2.2	1.6 (ロボットアーム 操作卓等を含 む)	親アーム取扱い重量 最大 7t
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」の寸法図

3. 「きぼう」の運用モード

「きぼう」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」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」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」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」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」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」の運用モード

運用モード	概要
標準	「きぼう」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。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	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」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」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。

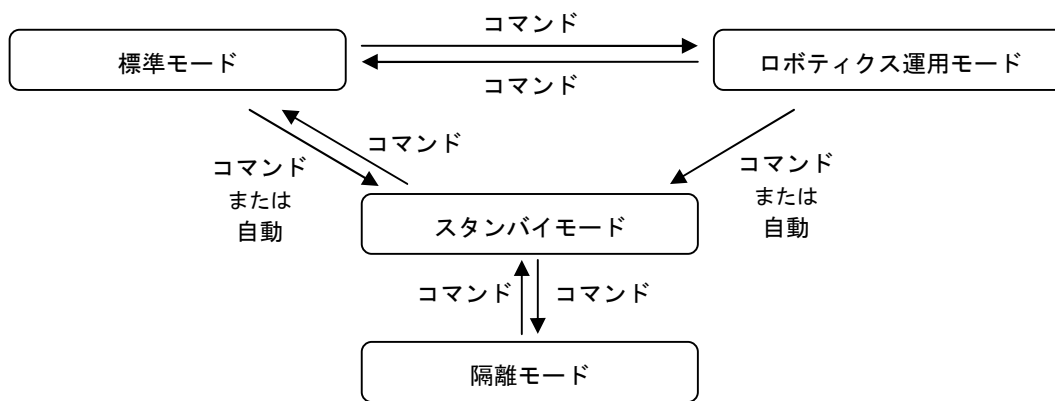


図3-1 「きぼう」運用モードの遷移

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

システムラックは、「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、船内実験室の構造部には、「きぼう」の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 JEMRMS 制御ラック上のロボットアーム(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出し入れするためのエアロックが装備されています。

2015 年 7 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)
- 電力(EPS)ラック-2(B 系)
- 情報管制(DMS)ラック-1(A 系)
- 情報管制(DMS)ラック-2(B 系)
- 空調／熱制御(ECLSS/TCS)ラック-1(A 系)
- 空調／熱制御(ECLSS/TCS)ラック-2(B 系)
- 「きぼう」のロボットアーム(JEMRMS)制御ラック
- ワークステーション(WS)ラック
- 衛星間通信システム(ICS)ラック
- SAIBO ラック(JAXA の実験ラック)
- RYUTAI ラック(JAXA の実験ラック)
- KOBAIRO ラック(JAXA の実験ラック) (「こうのとりのり」2 号機で運搬)
- 多目的実験ラック(MSPR) (JAXA の実験ラック) (「こうのとりのり」2 号機で運搬)
- 多目的実験ラック(MSPR) (JAXA の実験ラック) (「こうのとりのり」2 号機で運搬)
- 「きぼう」の保管ラック 2 台

- 多目的実験ラック 2(MSPR-2) (JAXA の実験ラック)
(「こうのとりのり」5 号機で運搬予定)

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



図 4-1 STS-124 ミッション終了後の船内実験室内部のイメージ
(ハーモニー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

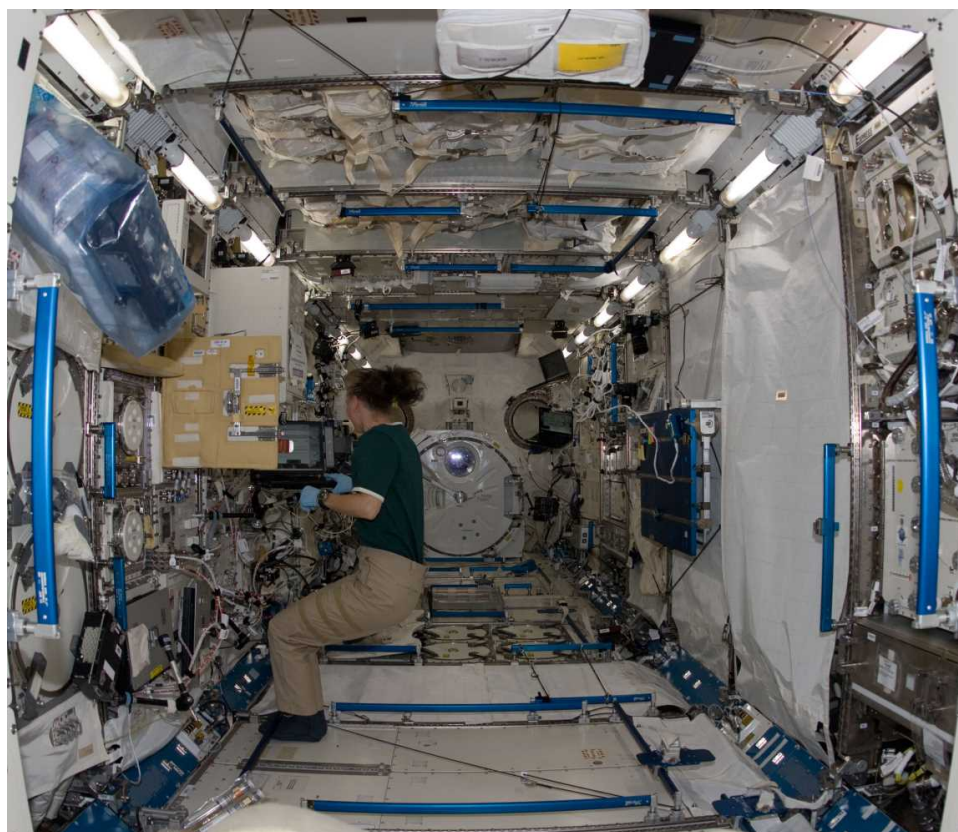




図 4-2 船内実験室(2010年10月時点)

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働しています。

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 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 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 2 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 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。

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」のロボットアーム (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、冷却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。

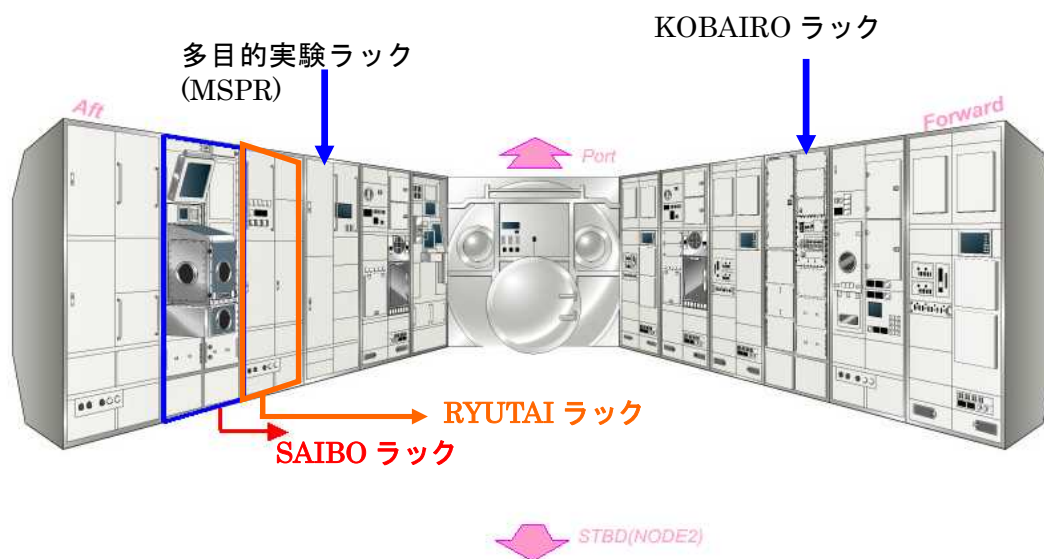


図 4.2-1 船内実験室のラックの配置

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 を收容



■ 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)



■ 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)

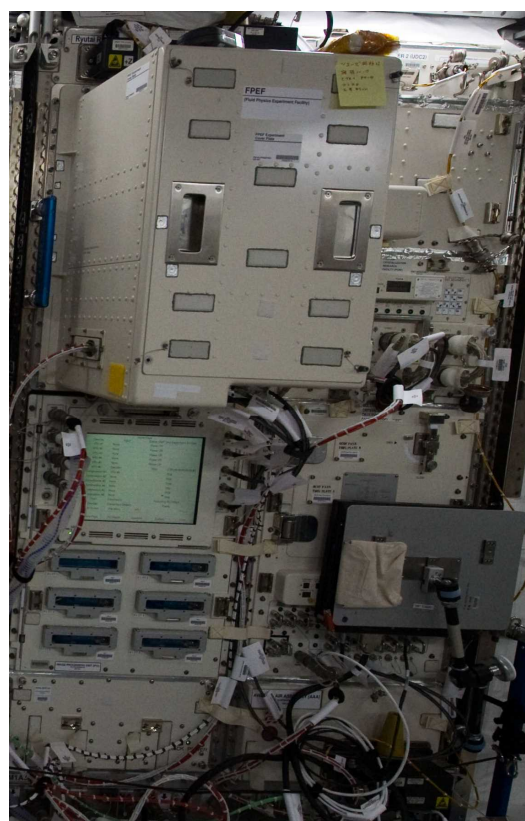


4.2.2 流体(RYUTAI)ラック

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)

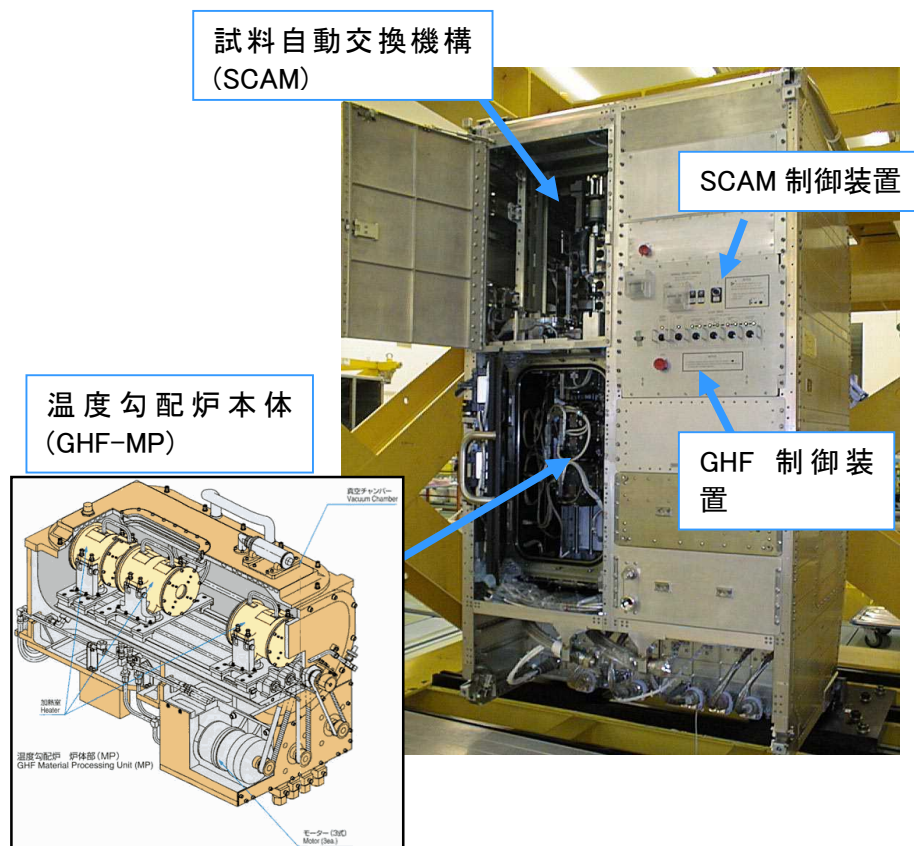


図 4.2.3-1 勾配炉ラックの構成

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「こうのとりの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)と多目的実験ラック 2(MSPR-2)が「こうのとりの5号機」で運ばれます。

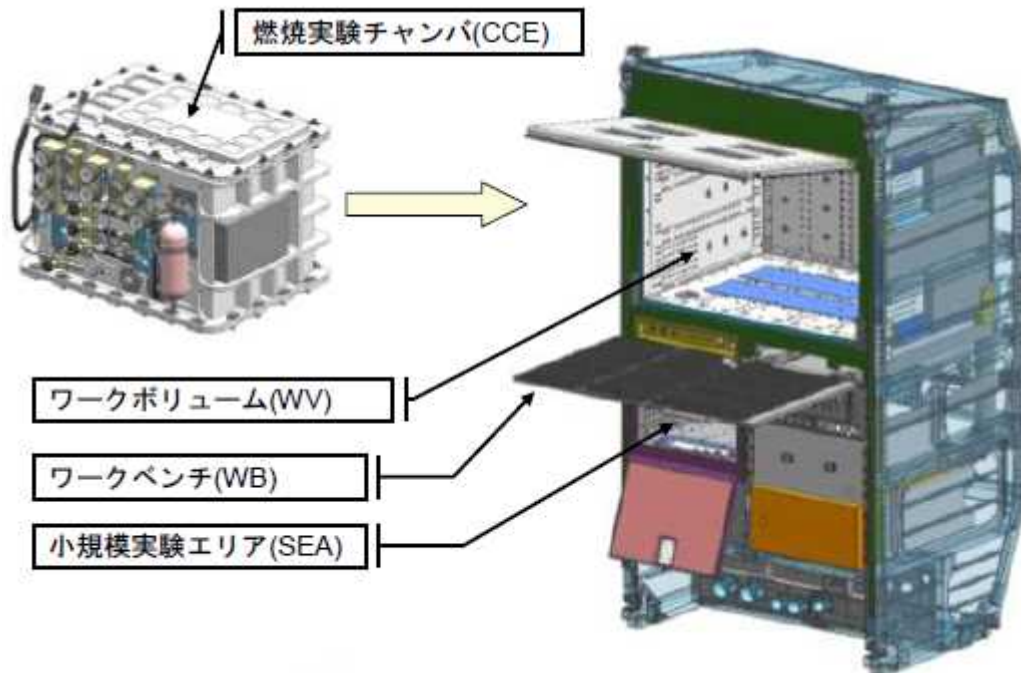


図 4.2.4-1 多目的実験ラック(MSPR)(イメージ図)

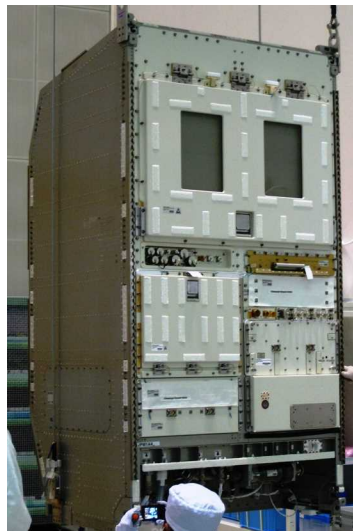


図 4.2.4-2 多目的実験ラックの写真(打上げ前)

コラム付録 2-1

実験ラックの役割

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、出っ張ったりしている場合は、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、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: 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 3 年以上と非常に長いため、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で開発されています。

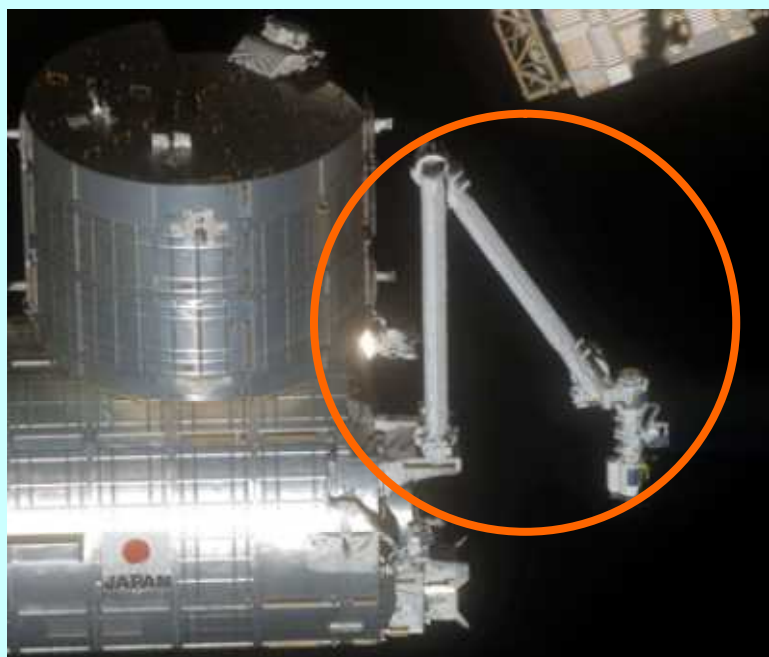
4.2.5 「きぼう」のロボットアーム(JEMRMS)制御ラック

「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。

コラム付録 2-2

「きぼう」のロボットアームの軌道上での保存姿勢

保存姿勢とは、ロボットアームの使用を終えたときの収納姿勢です。ロボットアームを使用しない時は、この姿勢に投入されます。



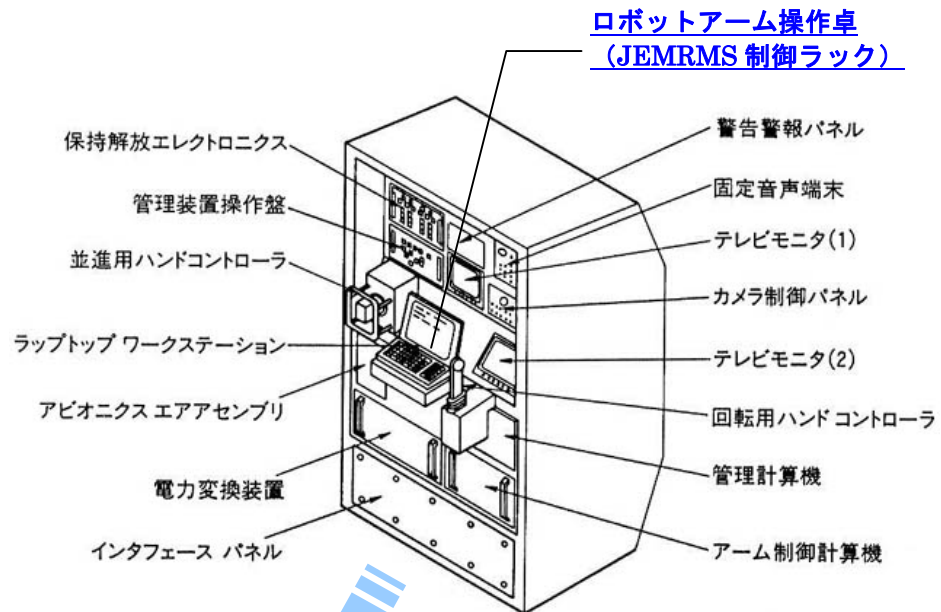


図 4.2.5-1 JEMRMS 制御ラックの構成

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、原則として米国の追跡・データ中継衛星(TDRS)を経由して行います。きぼうに搭載した衛星間通信システム(ICS)を使えば、日本のデータ中継技術衛星「こだま」(DRTS)を経由する通信も可能で、大量の実験データなどを筑波に直接送信するような場合には有効です。

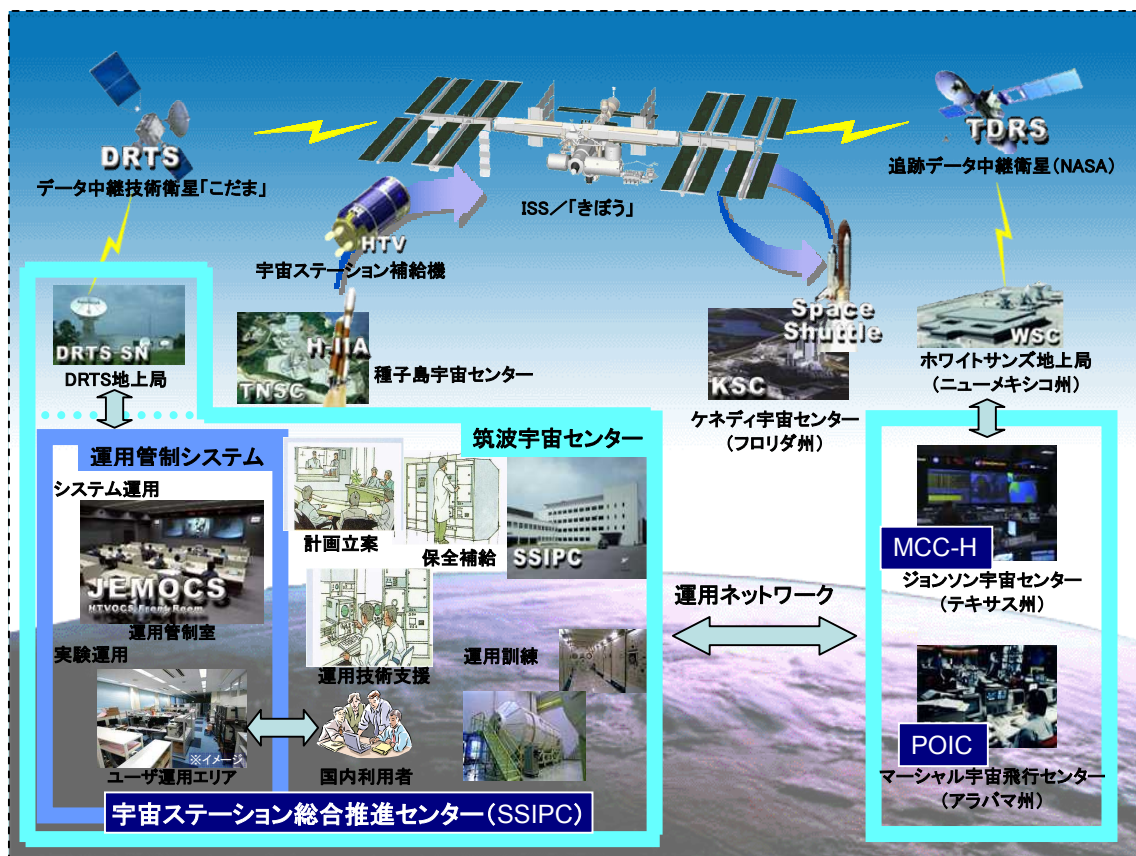


図 5-1 「きぼう」運用システム概要

■ 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 JEM PAYLOADS 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模様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、運用管制員や宇宙飛行士の作業指揮をとります。「きぼう」の運用では、各運用管制員は J-FLIGHT に現状報告を欠かさず行い、J-FLIGHT は NASA のフライトディレクタと連絡を密にとり、「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:管制、通信、電力系機器担当)**
 「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:環境・熱制御系機器担当)**
 「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:ロボットアーム・機構系担当)**
 「きぼう」のロボットアーム、エアロック、構造・機構系の運用・管理を行います。
 ロボットアームの運用時には、必要な軌道上システムの準備および監視を行い、軌道上の宇宙飛行士によるロボットアーム運用の支援を行います。
- **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。
 運用中は計画進行状況を監視し、不具合が起きた場合などには運用計画の変更・調整を行います。
- **TSUKUBA GC: Tsukuba Ground Controller (つくばジーシー: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: 交信担当)**

「きぼう」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に対し、音声で必要な情報を通知し、また宇宙飛行士からの連絡に対して応答します。飛行管制官からの通話や指示はすべて J-COM を通して行われます。

■ **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。

■ **JEM PAYLOADS: JEM Payload Officer
(ジェムペイロード: ペイロード運用担当)**

「きぼう」での実験運用が円滑に実施されるよう、実験実施者の窓口となり、取りまとめを行います。

JEM PAYLOADS の下に「実験運用管制チーム(Payload Flight Control Team: PL FCT)」が属しており、実験運用管制員たちが実験装置の運用を行います。

■ **JAXA EVA: JAXA Extravehicular Activity
(ジャクサイーブイエー: 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)時に、地上から支援します。

※JAXA EVA は、運用管制室には入りません。



図 5.1-1 「きぼう」日本実験棟の運用管制室の配置図

5.2 JEM 技術チーム

JEM 技術チーム(JET: JEM Engineering Team(ジェット))は、JEM 開発プロジェクトチームのメンバーで構成される、「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、「きぼう」運用管制チーム(JFCT)を技術面で支援します。

JET の技術者は、「きぼう」の運用に関して何か問題が発生した場合、NASA と共に問題対処にあたるように NASA のミッションコントロールセンターにも配置されます。

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、「きぼう」運用管制チームで「きぼう」利用全体の取りまとめを行う JEM PAYLOADS に属するチームで、日本の実験運用とりまとめ担当である JPOC、個々の実験装置の運用担当(FISICS、BIO)から構成されます。現在、約 25 名の実験運用管制員が所属しています。「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載される曝露実験装置の運用が始まると、曝露ペイロード運用チームが加わるようになります。

実験運用管制員は、「きぼう」に搭載されている実験装置を使って実験を遂行します。実験装置の状態監視、制御コマンドの送信やリアルタイムでの運用計画の管理を行います。また、教育文化ミッションや医学ミッションなど、「きぼう」を利用する各ミッションを実施します。



図 5.1-2 「きぼう」日本実験棟 実験運用管制室内の配置(ユーザ運用エリア(UOA))

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(Soyuz TMA-M)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。



図1 ソユーズ TMA(RSC Energia 社 HP)

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

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(デブリ接近時の避難場所として使用)や、宇宙飛行士の病気・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(最新型のTMA-Mでは最大約120kg)を地上に回収できます。(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て、(大気圏突入時にクルーが搭乗している)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(ゴミ処理にも利用可能)。

1. ソユーズ宇宙船の構成

ソユーズ宇宙船は、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。

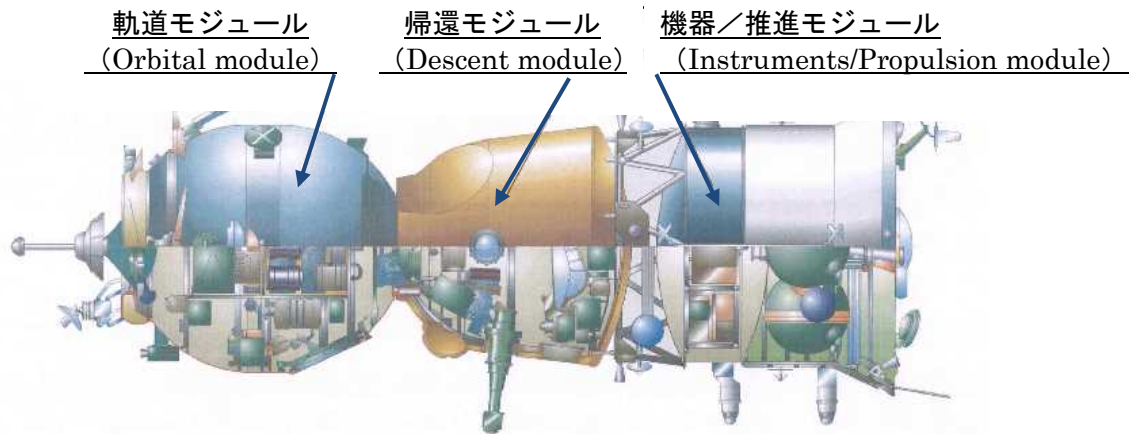
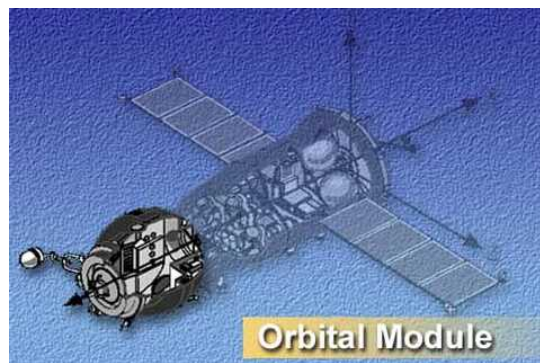


図1-1 ソユーズ宇宙船の構成

1.1 軌道モジュール

軌道モジュールは、ソユ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ユ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と内部の写真

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います。

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TMA宇宙船の主要諸元

表1.4-1 ソユーズTMA宇宙船の主要諸元

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		100kg以下(3名搭乗時)
回収ペイロード重量		50kg以下(3名搭乗時)
単独飛行可能期間		4日間
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2.6m/s、ノミナル1.4m/s (旧世代のソユーズTMは、3.6m/s、2.6m/s)
	予備パラシュート使用時	最大4.0m/s、ノミナル2.4m/s (旧世代のソユーズTMは、6.1m/s、4.3m/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 パドル	翼端までの長さ	10.7 m
	面積	10 m ²
	発電量	最大1 kW

(RSC Energia社 HP)

http://www.energia.ru/en/iss/soyuz-tma/soyuz-tma_01.html

ソユーズTMAは、2002年10月から2012年4月まで10年間で22機が使われ退役しました。2010年10月から使われるようになった後継機のソユーズTMA-Mはコンピュータをデジタル化し、約70kg軽量化されたためペイロードの搭載量も70kg増加し、120kg搭載できるようになりましたが、構造としての仕様はほとんど同じです。

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1.8m、体重85kg以上または、身長1.6m、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。また新規の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
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)。

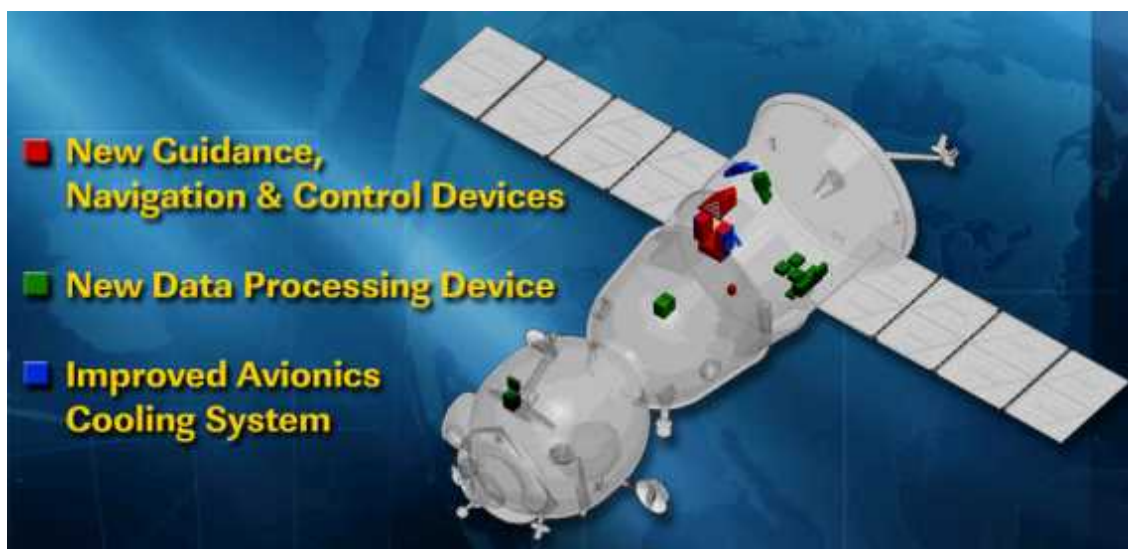


図1.5-2 ソユーズTMA-Mで改良した制御機器 (Roscosmos/RSC Energia)
(計36基の古い機器を19基の新しい機器で更新)

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。

2. ソユ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

ソユ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、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

ソユーズ宇宙船は、地上及び、ISSとの通信が可能ですが、データ中継衛星を介した通信は出来ないため、ロシアの地上局の上空でのみ地上との通信が可能です。

2.3 電力に関わる装置類

ソユーズ宇宙船は、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。



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)

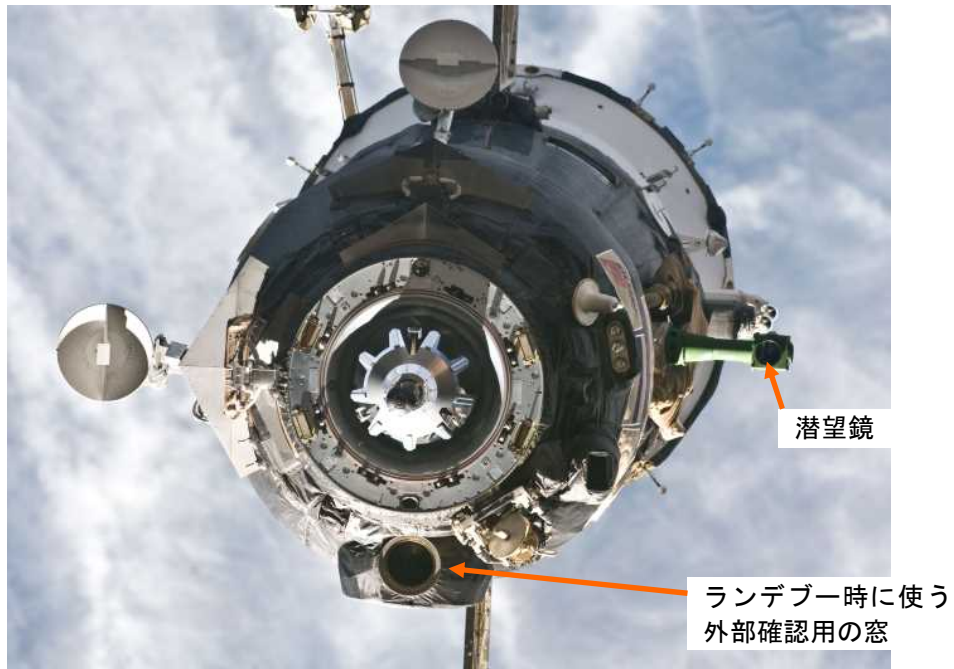
【Kurs故障時の対応】 古川宇宙飛行士のTwitter情報を参考に修正

ソユーズ宇宙船がISSまで数kmの距離まで飛行してきた時点で自動ランデブシステムが故障したという想定で、そこからの手動ランデブを訓練で模擬。

船長補佐のフライトエンジニア1が軌道モジュールに移動し、小さな窓際に設置されたレーザー測距計を使ってISSまでの相対距離を測定する。時間をあけて距離を2回測定すると、その間の平均相対速度も測定できる。

それらの相対距離、相対速度情報を帰還モジュール中央席に座る船長に口頭で伝える。それとソユーズ宇宙船の潜望鏡からのISS映像を基に、船長が手動でランデブを実施。

ISSからある距離まで近づいた後、ドッキングポートの正面まで回りこむように飛行。その後ドッキングポートからある距離まで近づいて相対的に停止するのをシミュレーターで模擬したところまでで、訓練は終了。



潜望鏡

ランデブー時に使う
外部確認用の窓

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 (RSCエネルギー)



潜望鏡訓練の様子 (RSCエネルギー)

図2.4-2 Kurs故障時に使う機器類

【ドッキング訓練の様子】古川宇宙飛行士のTwitterより

「ソユーズ宇宙船のドッキング運用シミュレーション訓練。適切なタイミングで主エンジンを噴射して軌道高度を上げながら、国際宇宙ステーションへ徐々に近づいてゆく。自動ランデブー・ドッキングシステムが正常に働いているかを注意深くモニターしながら、コマンドを打つ。

自動ランデブー・ドッキングシステムは2系統あり、もし一方が故障しても他方があるし、万一方が故障しても手動でのランデブーやドッキングという選択肢がある。ソユーズは、何重にも冗長な大変信頼性の高い宇宙船である。

いつものごとく、訓練では様々なものが次々に壊れた場合の対処を実施。自動ランデブー・ドッキングシステムの1系統が最初に故障、後にもう一方も故障し、手動で最終接近・ドッキングを行うシナリオであった。その他の細かい故障も多数。3人のクルーで協力して対処。」

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Probe/Drogue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(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

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別システムの小型のスラスタが使われます。

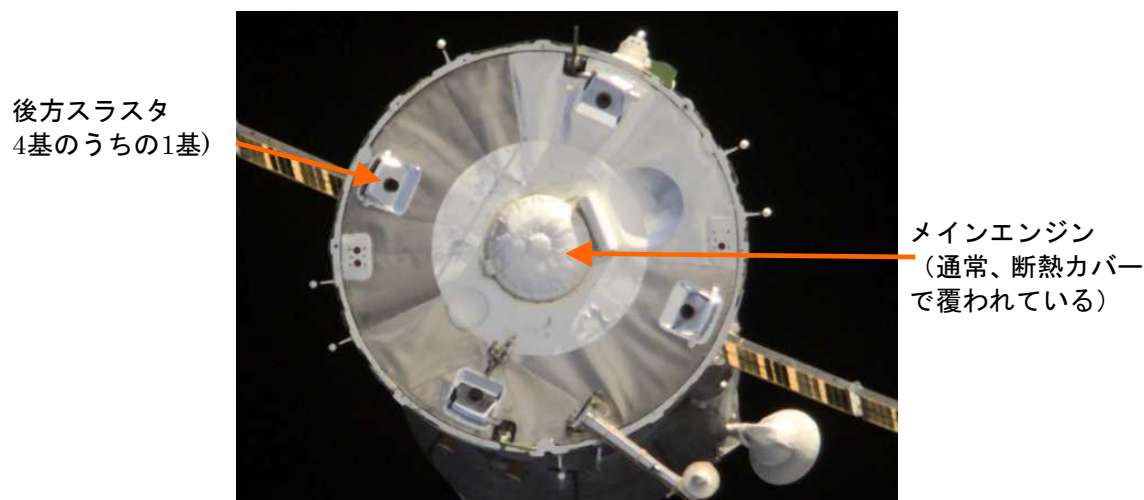


図2.6-1 ソユーズ宇宙船後方のメインエンジン

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に到着できるようになったため、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、ソユーズTM宇宙船の場合で通常約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)シートライナーを石膏で型とりする様子 (ESA)
(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

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。最後に表面生地の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。」

2.10 ソューズ宇宙船の着陸について

ソュ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ることで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

ソューズカプセルは、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。

ソューズTMA宇宙船では、この着地時の速度をソューズ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 ソューズTMA-13が着陸する様子 (NASA HP)

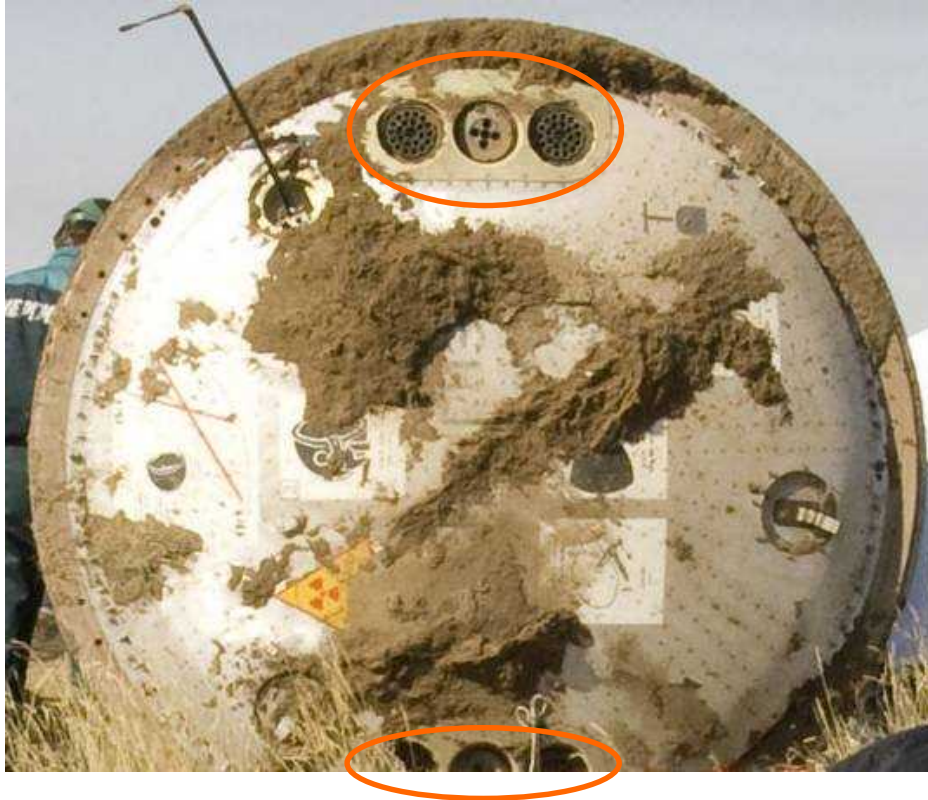


図2.11-2 ソユーズTMA-11の衝撃緩和用ロケット(NASA HPより)

3. ソユーズ宇宙船の運用概要

ソユーズ宇宙船は、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月のソユーズ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ユーズ宇宙船は、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。ソユーズ宇宙船は、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、ソユ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雇っているために聞こえます)。

【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、ソユ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。(ソユ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しますが、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のです、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グ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。射点に着くと、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。

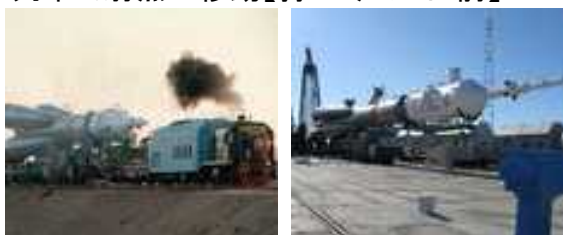
打上げ当日に、ロケットへの推進薬の充填が実施され、打上げの6時間前からカウントダウンが開始されます。

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



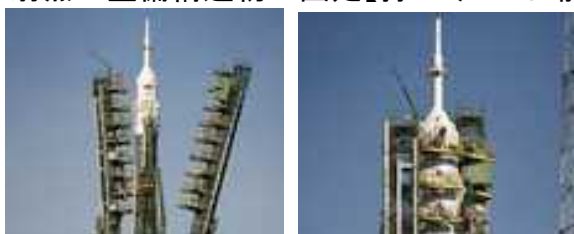
- ② 列車で射点に移動【打上げの2日前】



- 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、ソヴィエト時代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。

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
2分30秒前	搭乗クルーはヘルメットを閉め、与圧服の空気循環開始
	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
1分前	窒素ガスによるすべての推進剤タンクの加圧開始
	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=AVvgpKt5uCA&feature=youtu.be>



図3.2-1 ソユーズロケットの打上げ／上昇

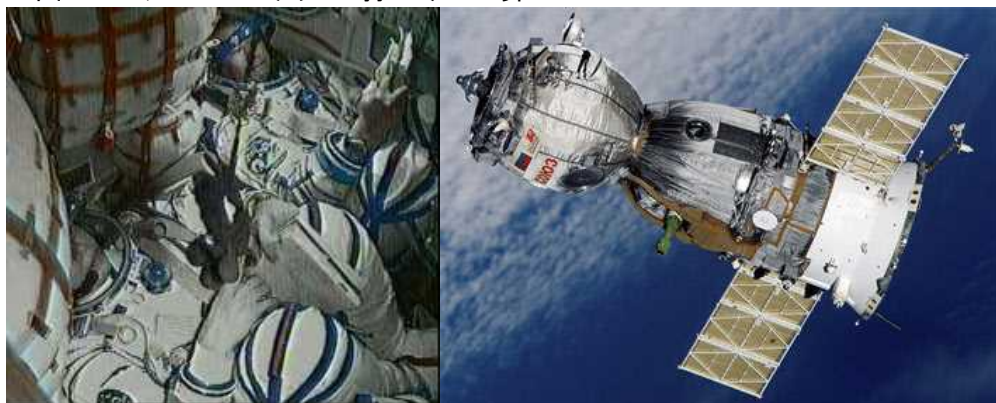


図3.2-2 ソユーズTMA-17上昇時の船内の様子(左)

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と表3.3-2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(参考)を示します(注:表3.3-1が約6時間でドッキングする特急フライト(急速ランデブー方式)のもので、表3.3-2は打上げ後2日間かけてドッキングする方式の例です)。

表3.3-1 軌道投入からISSドッキングまでの主なイベント(特急フライト)

Orbit 1 (軌道1周 回目)	L+ 約 9分 軌道投入(太陽電池パドル展開、アンテナとドッキングプローブを自動展開) L+ 約13分 太平洋上空に入り、地上局との通信が途絶える L+ 約43分 第1回ランデブー・バーン L+約1時間30分 第2回ランデブー・バーン
Orbit 2 (軌道2周 回目)	L+約2時間04分 第3回ランデブー・バーン L+約2時間38分 第4回ランデブー・バーン
Orbit 3 (軌道3周 回目)	L+約3時間50分 ISSをドッキング姿勢に変更 L+約4時間10分 自動ランデブーの開始 L+約4時間17分 第5回ランデブー・バーン L+約4時間41分 第6回ランデブー・バーン L+約4時間42分 自動ランデブー・ドッキング用のKurs-Aシステムを起動(ISSまで約200km)
Orbit 4 (軌道4周 回目)	L+約5時間03分 第7回ランデブー・バーン L+約5時間08分 ISSまで約80kmに接近 L+約5時間38分 ISSまで約 8kmに接近(ソユーズ宇宙船のTVカメラを起動) L+約5時間56分 ISSの周りを約45度周回(フライアラウンド) L+約6時間06分 最終接近を開始 L+約6時間14分 ドッキング L+約6時間半 ドッキング機構のフックをクローズ(構造結合完了)
Orbit 5 (軌道5周 回目)	L+約8時間31分 ハッチ開放。 入室後、地上の家族等との交信を実施

ソユーズTMA-11M/37Sミッションでの計画値を参考とした。

表3.3-2 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>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ブローブの展開)</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>各システムの点検(姿勢制御センサ、カーズドッキングシステム(Kurs)、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</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。 ・ 可視領域外/通信不能帯(Loss Of Signal: LOS)飛行中に、自動マヌーバでDV1噴射に備えた姿勢に移行。(飛行状況は、搭乗クルーが監視。なお、クルーの操縦は不要。) <p><u>LOS中に軌道調整マヌーバ(DV1)実施。</u></p>
Orbit 4 (軌道4周 回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ LOS中に、自動マヌーバでDV2マヌーバに備えた姿勢に移行。 <p><u>LOS中に軌道調整マヌーバ(DV2)実施。飛行状況は、搭乗クルーが監視。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 可視領域/通信可能帯(Acquisition Of Signal: AOS)にて、地上に軌道調整マヌーバの状況を報告。 ・ 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>搭乗クルー就寝</p> <p>ロシアの追跡域外(off of Russian tracking range)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時には、NASAのVHFネットワーク回線を介してVHF2通信が可能

DV:Delta Velocity

表3.3-2 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。 ・ LOS中に、自動マヌーバで高度調整噴射の姿勢へ移行。 <p><u>LOS中に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"> ・ AOSにおいてマヌーバ実施状況の報告 ・ 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> <ul style="list-style-type: none"> ・ ロシアの追跡域外(off of Russian tracking range) ・ 緊急時には、NASAのVHFネットワーク回線を介してVHF2通信が可能

表3.3-2 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)	<u>搭乗クルーの起床、起床後の活動</u> <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)	軌道モジュールと帰還モジュールの圧力確認・報告 <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)	Form 2 “Globe Correction”の読上げ <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)	<u>Sokolと圧服に着替え、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> <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)。 <u>自動ランデブシーケンスの開始。</u> <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> <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)	<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> <u>搭乗クルーによる監視。</u> <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)	<u>最終接近およびドッキング</u> <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カシールの監視。 ・ 軌道モジュールへの移動、Sokolと圧服を脱ぐ。 ・ 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)	<u>ISSとソユーズ宇宙船の気圧の均等化</u> <ul style="list-style-type: none"> ・ すべてのモジュール内の圧力確認・報告。 <u>ハッチの開放、ISS船内へ入室。</u> <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。

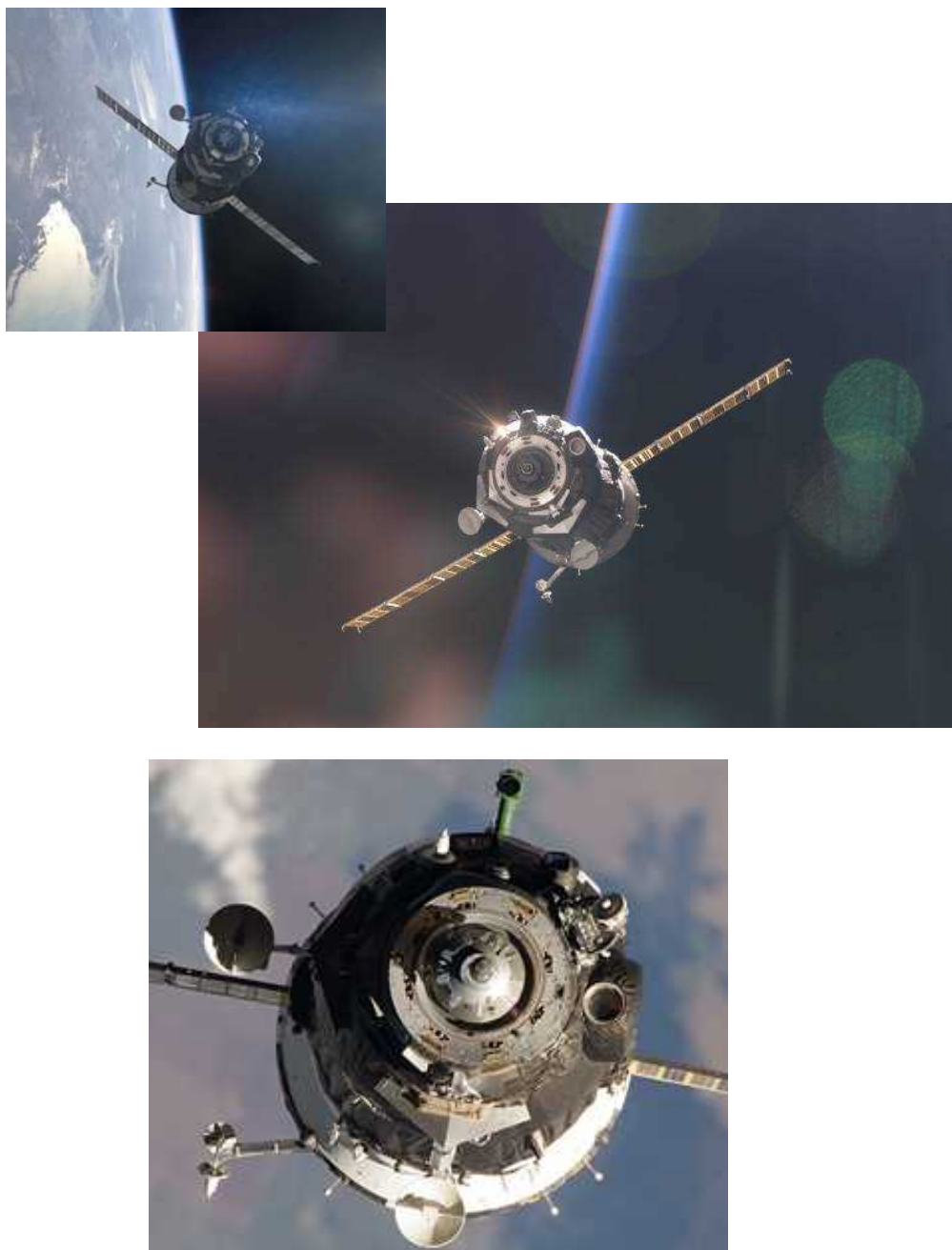


図3.4-1 ISSに接近するソユーズ宇宙船

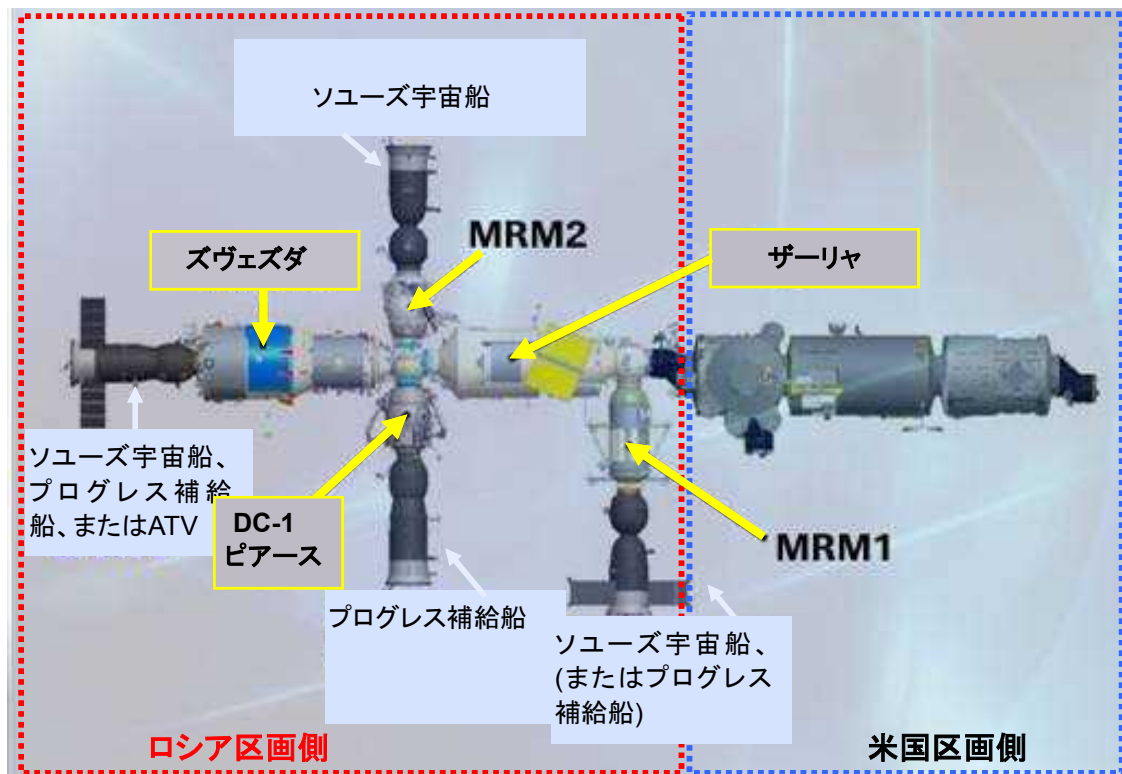


図3.4-2 2010-2015年時点のロシア区画の構成
 ※ソユーズTMA-17Mは、MRM1「ラスヴェット」にドッキングする予定です。



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「ザーリヤ」(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(29S) (ESA/NASA)
後方はプログレスM-12M(46P)補給船

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つのスラスタ噴射による再突入飛行の制御(スラスタ噴射は着陸の約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。

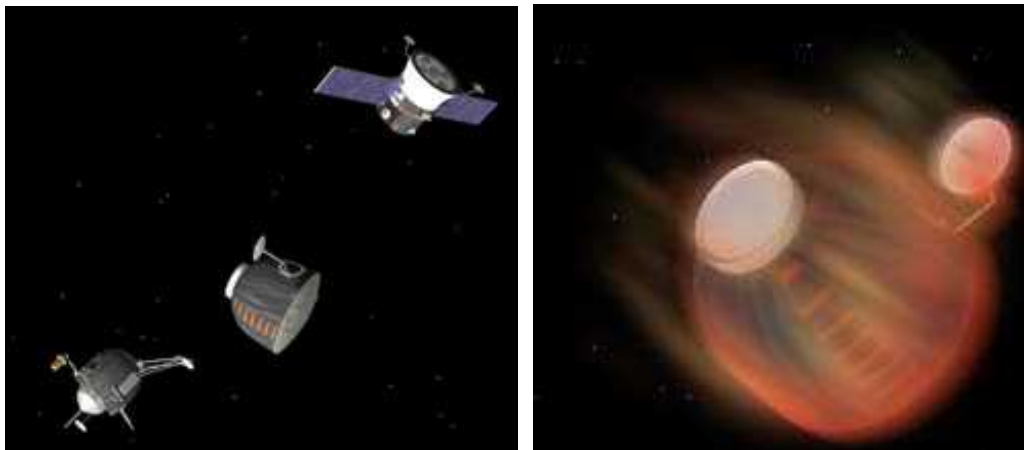


図3.5-1 ソユーズ宇宙船の分離イメージ(左)

図3.5-2 帰還モジュールの再突入イメージ(右)



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)

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。噴射が少なすぎると、大気圏突入角が浅くて大気に弾かれ、噴射が多す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

「手動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。弾道飛行モードで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っていますが、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に長期滞在中に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しっかりしてきた。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りました。）

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、筋カトレーニング、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、筋カトレーニング、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、筋カトレーニングマシン、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・ファミリーは1950年代末から、1,845回(2015年7月24日現在)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、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タからなる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)はバーニアスラスタで行います。



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パーニアススタの数が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。

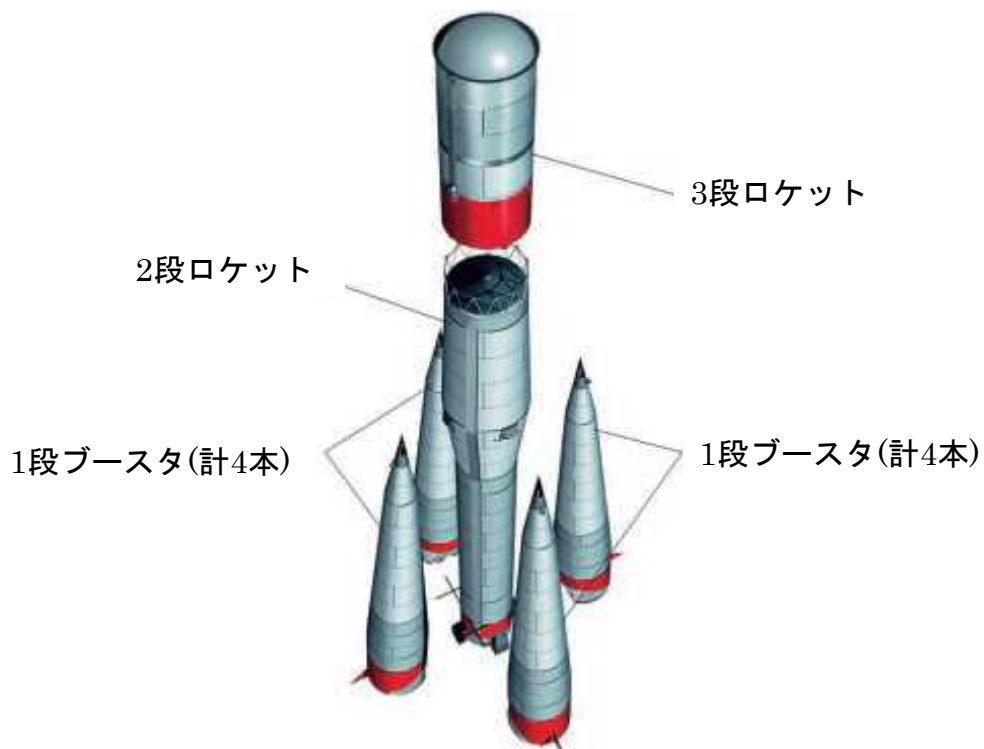


図4.2-1 ソユーズロケットの構成イメージ
(Starsem社のSoyuzユーザーズマニュアルより)

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)

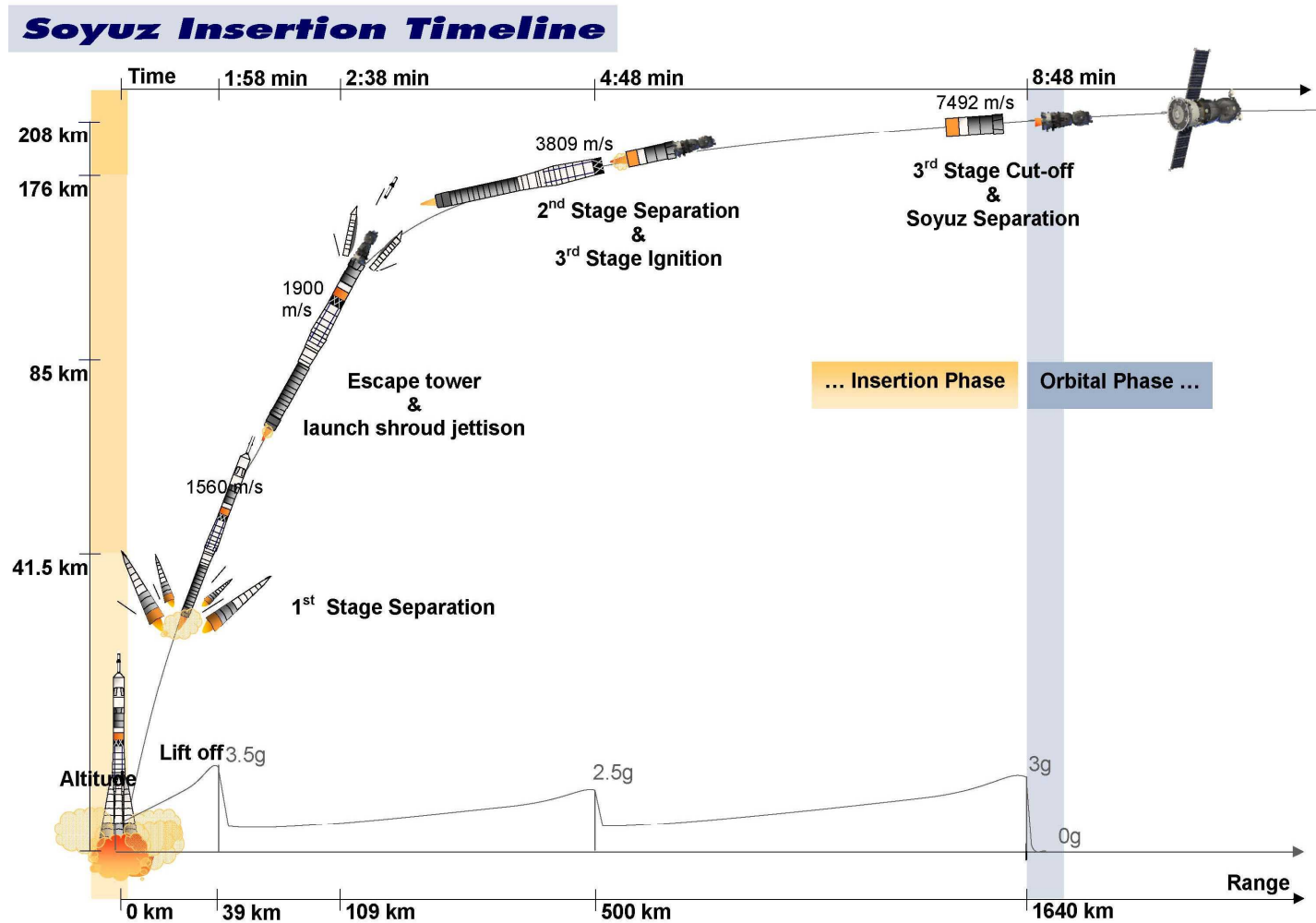


図4.4-2 ソユーズロケットの打上げシーケンスとG環境 (ESA HP)
http://www.esa.int/images/Soyuz_insertion_timeline.jpg

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続けています。

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)

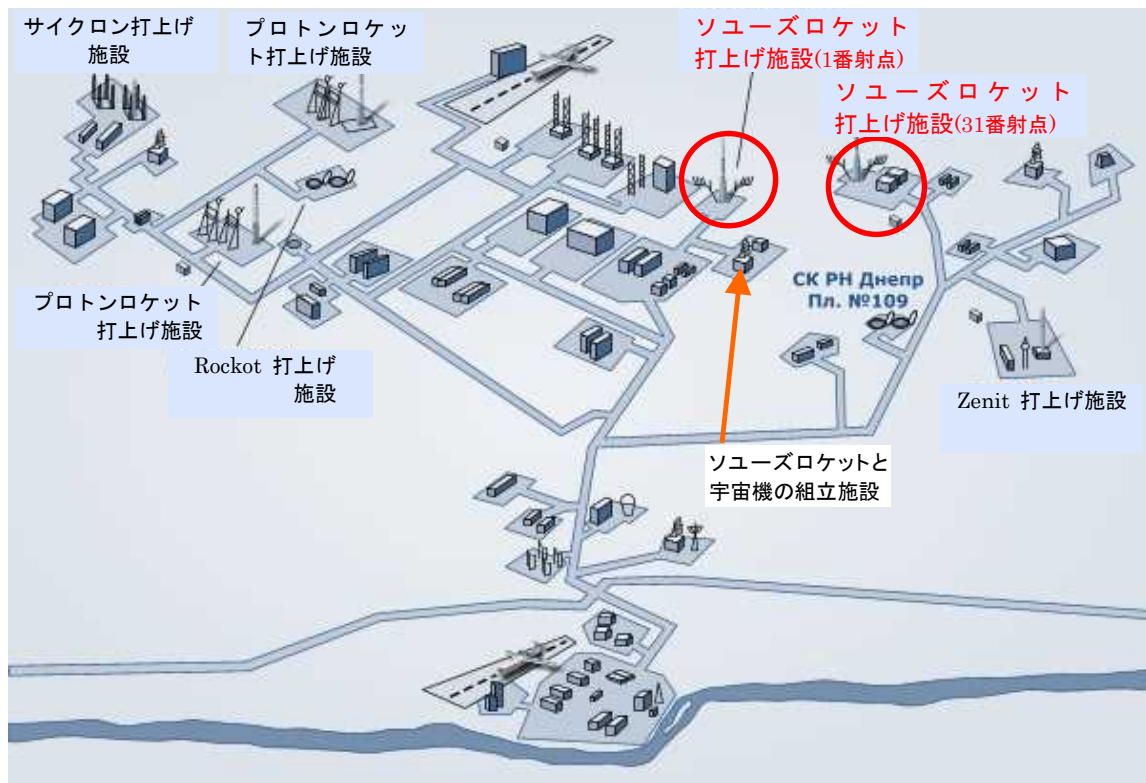


図5-2 バイコヌール宇宙基地のマップ(現在使用されている施設)(Roscosmos)

<http://www.roscosmos.ru/Drom1Show.asp?CosDromID=1> (ページが削除されたためリンク切れになります)

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続けています。



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-17宇宙船に搭乗する21Sクルー(参考)

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1名、ドイツ人3名、スウェーデン人1名、イタリア人1人、および日本人3名が船外活動を実施しています。(2015年7月16日現在)

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(1/12) 2015年7月16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	STS	Z1トラスとPMA-2の艀装作業など。
ウイリアム・マッカーサー						
2000.10.16		7H07m	ピーター・ワイゾフ マイケル・ロペズ-アレグリア			
2000.10.17		6H37m	リロイ・チャオ ウイリアム・マッカーサー			
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宇宙服用。

表の年月日は米国時間。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(2/12)

	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、艙装作業など。
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・チューリン	DC-1	「ピアース」(DC-1)初使用。DC-1の艙装。
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の艙装。
29	ISS 3-3 (ロシア EVA-4)	2001.11.12	5H04m	同上	DC-1	DC-1の艙装。
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	リンダ・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ト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、モバイルトランスポーター(MT)の艙装作業など。ジェリー・ロスは、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・チャンディアズ フィリップ・ベリン (CNES)	クエスト	モバイル・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。フィリップ・ベリンはフランス人
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	ワレリー・コルズン ベギー・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	ワレリー・コルズン セルゲイ・トレンエフ	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)。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(3/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
44	STS-112 (9A)	2002.10.10	7H01m	デビッド・ウォルフ ピアース・セラーズ	クエスト	S1トラスの機装、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	クエスト	P1トラスの機装、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・ペティット	クエスト	P1トラスの機装、ラジエータの展開など。 (医学上の問題により、EVAクルーがブダーリンからペティットに交代された。)
51	ISS 6-2 (US EVA-3)	2003.04.08	6H26m	同上	クエスト	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	DC-1	宇宙服の酸素供給のトラブルで作業しないまますぐに帰還した。
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 サリザーン・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	DC-1	ESAのATVとのドッキングに備えたアンテナの設置(3回目の作業)。
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 バレリー・トカレフ	クエスト	P6トラス頂部のFPPの取り外し、投棄、MTの故障したRPCMの交換修理
64	ISS 12-2 (ロシア EVA-15)	2006.02.03	5H43m	ウィリアム・マッカーサー バレリー・トカレフ	DC-1	スーツサット放出、モビルトランスポータ(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内は無人状態であった。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(4/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	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		2006.07.08	7H31m	ピアース・セラーズ	クエスト	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)の足場安定性試験
				マイケル・フォッサム		
67	STS-121 (ULF1.1)	2006.07.10	6H47m	同上	クエスト	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	クエスト	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	クエスト	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		2006.09.12	6H26m	ジョセフ・タナー	クエスト	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	クエスト	太陽電池パドル回転機構(SARJ)の起動準備 マククリーン ¹ はカナダ人
				ステイブン・マククリーン(CSA)		
72		2006.09.15	6H42m	ジョセフ・タナー	クエスト	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		2006.12.12	6H36m	ロバート・カービーム	クエスト	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 フューゲルサンク ¹ はスウェーデン人
				クリスター・フューゲルサンク(ESA)		
75	STS-116 (12A.1)	2006.12.14	5H00m	同上	クエスト	ISSの電力系統の切替、CETAカードの移設
76		2006.12.16	7H31m	ロバート・カービーム	クエスト	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
				スニータ・ウィリアムズ*		
77	2006.12.18	6H38m	ロバート・カービーム	クエスト	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)	
			クリスター・フューゲルサンク			

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(5/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
78	ISS 14-2 (US EVA-6)	2007.01.31	7H55m	マイケル・ロペズ-アレグリア	クエスト	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
				サニータ・ウィリアムズ *		
79	ISS 14-3 (US EVA-7)	2007.02.04	7H11m	同上	クエスト	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	クエスト	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・ロペズ-アレグリア		
82	ISS 15-1 (ロシア EVA-18)	2007.05.30	5H25m	フョードル・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、ザー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・オリーバス	クエスト	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 ステイブン・スワンソン	クエスト	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 ジョン・オリーバス	クエスト	シャトルの軌道制御システム (OMS) ポ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
87		2007.06.17	6H29m	パトリック・フォレスト ステイブン・スワンソン	クエスト	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	クエスト	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
				フョードル・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	クエスト	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
				ダフィッド・ウィリアムズ		
90	STS-118 (13A.1)	2007.08.13	6H28m	同上	クエスト	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		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	クエスト	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
92		2007.08.18	5H02m	ダフィッド・ウィリアムズ	クエスト	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					

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(6/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考	
93	STS-120 (10A)	2007.10.26	6H14m	スコット・パラジンスキー	クエスト	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	クエスト	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)外部の艀装	
				ダニエル・タニ			
95		2007.10.30	7H08m	スコット・パラジンスキー	クエスト	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	クエスト	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	ペギー・ウィットソン*	クエスト	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	ペギー・ウィットソン*	クエスト	「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	クエスト	「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	クエスト	右舷側SARJの点検	
101	ISS 16-5 (US EVA-14)	2008.1.30	7H10m	同上	クエスト	S4トラスの故障したマスト回転機構(BMRRM)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	クエスト	コロンバスのペ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	クエスト	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	クエスト	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			

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(7/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
105	STS-123 (1J/A)	2008.03.14	7H01m	リチャード・リネハン	クエスト	「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	クエスト	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	クエスト	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						
108		2008.03.21	6H24m	ロバート・ベンケン	クエスト	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	ロバート・ベンケン	クエスト	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
マイケル・フォアマン						
110	STS-124 (1J)	2008.6.3	6H48m	マイケル・フォッサム	クエスト	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	クエスト	「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
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						
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

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(8/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
115	STS-126 (ULF2)	2008.11.18	6H52m	ハイディマリー・ステファニシ ン・パイパー*	クエスト	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・ポーエン						
116		2008.11.20	6H45m	ハイディマリー・ステファニシ ン・パイパー*	クエスト	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
				ロバート・キンブロー		
117	2008.11.22	6H57m	ハイディマリー・ステファニシ ン・パイパー*	クエスト	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・ポーエン						
118	2008.11.24	6H07m	スティーブ・ポーエン	クエスト	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 宇宙ステーション補給機(HTV)用GPS アンテナ1基の設置	
ロバート・キンブロー						
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
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	クエスト	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	クエスト	P6トラスのバッテリー交換準備 宇宙ステーション補給機(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	クエスト	CETAカートの移設 ISSの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)

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(9/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
126	STS-127 (2J/A)	2009.7.18	5H32m	デビッド・ウルフ	クエスト	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	デビッド・ウルフ	クエスト	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	デビッド・ウルフ	クエスト	EFペイロードからの断熱カバーの取り外し、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	クエスト	P6バッテリーORUの交換#2
トーマス・マシュバーン						
130		2009.7.27	4H54m	同上	クエスト	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		STS-128 (17A)	2009.9.1	6H35m	ジョン・オリーバス	クエスト
ニコール・ストット*						
132	2009.9.3		6H39m	ジョン・オリーバス	クエスト	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)						
133	2009.9.5	7H01m	同上	クエスト	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	クエスト	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	クエスト	「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	
ランドルフ・ブレスニク						
136	2009.11.23	5H42m	ランドルフ・ブレスニク	クエスト	ELC-2に載せて運んだ高圧ガスタンク(HPGT)のクエ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	DC1	ロシアの小型研究モジュール2(Mini-Research Module 2: MRM2)の整備
オレグ・コトフ						

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(10/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
138	STS-130 (20A)	2010.2.11	6H32m	ロバート・ベンケン	クエスト	トランクウィリティー(Node-3)の設置関連作業、 「デクスター」の軌道上交換ユニット仮置き場(OTP)の取り外しと保管
ニコラス・パトリック						
139		2010.2.13	5H54m	同上	クエスト	
140		2010.2.16	5H48m	同上	クエスト	トランクウィリティーのアンモニア冷却配管の開放、 キューボラの多層断熱材(MLI)カバー取外し、 キューボラのデブリ防護シャッターのロンチロック解除
141	STS-131 (19A)	2010.4.9	6H27m	リチャード・マストラキオ	クエスト	シャトルで運んだ新しいアンモニアタンク(Ammonia Tank Assembly: ATA)の移動、仮置き、 JAXAの微小粒子捕獲実験装置/材料曝露実験装置(MPAC&SEED)回収、 S0トラスの(Rate Gyro Assembly: RGA)交換
クレイトン・アンダーソン						
142		2010.4.11	7H26m	同上	クエスト	
143		2010.4.13	6H24m	同上	クエスト	新しいATAへの流体配管の接続、 クエ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
144	STS-132 (ULF4)	2010.5.17	7H25m	ギャレット・リーズマン	クエスト	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
ステイーブ・ポーエン						
145		2010.5.19	7H09m	ステイーブ・ポーエン	クエスト	
マイケル・グッド						
146	2010.5.21	6H46m	ギャレット・リーズマン	クエスト	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ル・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
フョードル・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	クエスト	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、予定を変更)
トレーシー・カードウェル*						

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(11/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
149	ISS-24-3 (US EVA-16)	2010.8.11	7H26m	ダグラス・ウィーロック	クエスト	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、モービルベースシステム(MBS)上への仮置き、予備品のポンプモジュールの移動準備
トレーシー・カードウェル*						
150	ISS-24-4 (US EVA-17)	2010.8.16	7H20m	同上	クエスト	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・データ通信用コネクタの接続、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	フョードル・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	アルヴィン・ドルー	クエスト	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。
155		2011.3.02	6H56m	ステイーブ・ポーエン	クエスト	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	クエスト	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	グレゴリー・シャミトフ	クエスト	
158		2011.5.25	6H54m	アンドリュー・フォイステル マイケル・フィンク	クエスト	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
159		2011.5.27	7H24m	同上	クエスト	ザーリヤへのPDGFの設置
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	クエスト	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
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	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
162	ロシアEVA-30	2012.2.16	6H15m	オレグ・コノネンコ アントン・シュカブレロフ	DC-1	小型衛星の放出、光通信装置の設置
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MRM-2へのストレラクレーン1の移設
164	US-EVA-18	2012.8.30	8H17m	サニータ・ウィリアムズ* 星出 彰彦 (JAXA)	クエスト	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
165	US-EVA-19	2012.9.05	6H28m	同上	クエスト	MBSU-1の交換(設置は完了せず)
166	US-EVA-20	2012.11.01	6H38m	同上	クエスト	MBSU-1の設置(トラブル対応のため追加実施)
				同上	クエスト	P6トラスのアンモニア漏れの修理

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(12/12)

	ミッション	年月日	作業時間	EVAクルー	エアロック	備考
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	クエスト	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	クエスト	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	クエスト	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
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	クエスト	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	クエスト	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	クエスト	EXT-2 MDMの交換修理のため急ぎよ実施
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)	クエスト	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 パリー・ウィルモア	クエスト	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	パリー・ウィルモア テリー・バーツ	クエスト	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	クエスト	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	クエスト	米国の商業クルー輸送機用の通信アンテナC2V2を設置

注: エアロック欄のSTSはシャトルのエアロック使用。クエストは、米国のジョイント・エアロック「クエスト」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/assemble/doc04.html

2. 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)

2015年7月13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・シエハート(NASA) ユリー・キトゼンコ(ロシア) セルゲイ・クリカレフ(ロシア)	第1次長期滞在クルーが 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	タルガット・ムサハエフ(ロシア) ユリー・ハトウリン(ロシア) デニス・チト(宇宙旅行者)	世界初の宇宙旅行者デ ニス・チト搭乗。 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・ハニヤール(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	ユリー・キトゼンコ(ロシア) ロベルト・ビットーリ(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・ティヴェナ(ESA) ユリー・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。 カフセルは弾道状態で帰 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	ユリー・マレンチェンコ(ロシア) エドワード・ルー(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・カレリ(ロシア) マイケル・フォール(NASA) ペドロ・デュク(ESA)	長期滞在クルーの交代(第 7次→第8次)。 ペドロ・デュクはTMA-2で 帰還。
8S	ソユーズTMA-4 (No.214)	2004.4.19	2004.4.22	2004.10.24	ゲナデー・バダルカ(ロシア) マイケル・フィンク(NASA) アントレ・カイハース(ESA)	長期滞在クルーの交代(第 8次→第9次)。 アントレ・カイハースは TMA-3で帰還。
9S	ソユーズTMA-5 (No.215)	2004.10.14	2004.10.16	2005.04.25	サリザン・シャリホフ(ロシア) リロイ・チャオ(NASA) ユリー・シャキーン(タジークルー)	長期滞在クルーの交代(第 9次→第10次)。 ユリー・シャキーンはTMA-5 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・フィリップス(NASA) ロベルト・ビットーリ(ESA)	ロベルト・ビットーリはTMA-5 で帰還。
11S	ソユーズTMA-7 (No.217)	2005.10.01	2005.10.03	2006.04.09	ヴァレリー・トカレフ(ロシア) ウィリアム・マッカーサー(NASA) グレゴリー・オルセン(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	パブル・ビノグラドフ(ロシア) ジェフ・ウィリアムズ(NASA) マルコス・ホントス(ブラジル)	長期滞在クルーの交代(第 12次→第13次)。 マルコス・ホントスは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・チューリン(ロシア) マイケル・ロヘス・アレクシア (NASA) アニューシャ・アンサリ(宇宙旅行 者)	長期滞在クルーの交代(第 13次→第14次)。 アニューシャ・アンサリは TAMA-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。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

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・ユールチキン(ロシア) オレグ・コトフ(ロシア) チャールス・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)。 チャールス・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	ペギー・ウایتソン(NASA) ユーリ・マレンチェンコ(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)。 Sheikh Muszaphar 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・ウオルコフ(ロシア) オレグ・コノネンコ(ロシア) イ・ソヨン(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) ユーリー・ロンチャコフ(ロシア) リチャード・キャリオット(宇宙旅行者)	長期滞在クルーの交代(第17次→第18次)。 リチャード・キャリオットは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・パダルカ(ロシア) マイケル・ハレッド(NASA) チャールス・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)。 チャールス・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・ロマネンコ(ロシア) フランク・デビュナー(ESA) 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・シュライエフ(ロシア) ジェフ・ウィリアムズ(NASA) ギー・ラリベルテ(宇宙旅行者)	ISSに初めて、ソユーズ3機が同時期に結合。 ギー・ラリベルテは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) トレーシー・カトウェル(NASA) ミカエル・コニエンコ(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

注: 日付は日本時間(JST)をベースに記述。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

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	フョードル・ユールチキン(ロシア) ダグラス・ウィーロック(NASA) シャノン・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・カレリ(ロシア) オレグ・スクリホフ(ロシア) スコット・ケリー(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・コンドラティエフ(ロシア) パオロ・ネスポリ(ESA) キャスリン・コールマン(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・ホルシenko(ロシア) アレクサンダー・サマクチャイェフ(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・ヴォルコフ(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	ダニエル・バーバンク(NASA) アントン・シュカプレフ(ロシア) アナトリー・イヴァニシン(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・カイバース(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・ウィリアムズ(NASA) ユーリー・マレンチenko(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) エウゲネー・ゲレルキン(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) トーマス・マシュパーン(NASA) ロマン・ロマネンコ(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・ビノグラドフ(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	フョードル・ユールチキン(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・ホフキンス(NASA) セルゲイ・リャザンスキー(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・チューリン(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
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・スクホルソフ(ロシア) ステイブーン・スワンソン(NASA) オレグ・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) リード・ワイスマン(NASA) アレクサンダー・ケルスト(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・サマクチャイェフ(ロシア) エレナ・セロヴァ(ロシア) ハリー・ウィルモア(NASA)	第41/42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
41S	ソユーズ TMA-15M (No.715)	2014.11.24	2014.11.24	2015.06.11	テリー・ハーツ(NASA) サマンサ・クリストフォレッティ(ESA) アントン・シュカプレフ(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		ゲナディ・パダルカ(ロシア) スコット・ケリー(NASA) ミカエウ・コニエンコ(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		オレグ・コノネコ(ロシア) 油井亀美也(JAXA) チエル・リングリン(NASA)	第44/45次長期滞在
44S	ソユーズ TMA-18M (No.718)				セルゲイ・ウオルコフ(ロシア) アントレアス・モーゲンセン(ESA) アイティン・アインベトフ(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)				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)	第46/47次長期滞在
46S						

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

2015年7月13日現在

表 3-1 ISS長期滞在クルー(1/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日(米国時間)			
1	第1次長期滞在クルー (以下は、左記番号で省略) 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	実施せず	
		▼2001.03.21 STS-102(5A.1)			
2	ユーリー・ウサチェフ(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)	167日 6時間	1回 (19分)	
		▼2001.08.22 STS-105(7A.1)			
3	フランク・カルバートソン(NASA)(軍) ウラディミール・ジェジュエロフ(ロシア) ミハイル・チューリン(ロシア)	▲2001.08.10 STS-105(7A.1)	128日20時間	4回 (18時間 40分)	
		▼2001.12.17 STS-108(UF-1)			
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)	195日19時間	3回 (14時間 48分)	
		▼2002.06.19 STS-111(UF-2)			
5	ワレリー・コルズン(ロシア)(軍) ペギー・ウィットソン*(NASA) セルゲイ・トレシェフ(ロシア)	▲2002.06.05 STS-111(UF-2)	184日22時間	2回 (18時間 40分)	
		▼2002.12.07 STS-113(11A)			
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)	▲2002.11.23 STS-113(11A)	161日 1時間	2回 (9時間 46分)	
		▼2003.05.03 ソユーズTMA-1(5S)			
7	ユーリ・マレンチェンコ(ロシア)(軍) エドワード・ルー(NASA)	▲2003.04.25 ソユーズTMA-2(6S)	184日21時間	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
		▼2003.10.27 ソユーズTMA-2(6S)			
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)	194日18時間	1回 (3時間 55分)	
		▼2004.04.29 ソユーズTMA-3(7S)			
9	ゲナディ・パダルカ(ロシア)(軍) マイケル・フィンク(NASA)	▲2004.04.18 ソユーズTMA-4(8S)	187日21時間	4回 (15時間 45分)	
		▼2004.10.19 ソユーズTMA-4(8S)			
10	リロイ・チャオ(NASA)(民) サリザン・シャリポフ(ロシア)	▲2004.10.13 ソユーズTMA-5(9S)	192日19時間	2回 (9時間 58分)	
		▼2005.04.24 ソユーズTMA-5(9S)			
11	セルゲイ・クリカレフ(ロシア)(民) ジョン・フィリップス(NASA)	▲2005.04.14 ソユーズTMA-6(10S)	179日0時間	1回 (4時間 58分)	クリカレフは 2回目のISS 滞在。
		▼2005.10.11 ソユーズTMA-6(10S)			
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	2回 (11時間 40分)	
		▼2006.04.09 ソユーズTMA-7(11S)			

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 3-1 ISS長期滞在クルー(2/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日(米国時間)			
13	パベル・ピノグラドフ(ロシア)(民)	▲打上げ 2006.03.30 ソユーズTMA-8(12S)	182日23時間	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
	ジェフリー・ウィリアム(NASA)	▼帰還 2006.09.29 ソユーズTMA-8(12S)			
	トーマス・ライター(ESA)	▲打上げ 2006.07.04 STS-121	14次に記載		
14	マイケル・ロペズ・アレグリア (NASA)(軍)	▲打上げ 2006.09.18 ソユーズTMA-9(13S)	215日8時間	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
	ミハイル・チューリン(ロシア)	▼帰還 2007.04.21 ソユーズTMA-9 (13S)	171日3時間		
	トーマス・ライター(ESA)	▼帰還 2006.12.22 STS-116			
	サニータ・ウィリアムズ*(NASA)	▲打上げ 2006.12.09 STS-116	15次に記載		
15	フョードル・ユールチキン(ロシア) (民)	▲打上げ 2007.04.08 ソユーズTMA-10(14S)	197日17時間	3回 (18時間 43分)	
	オレグ・コトフ(ロシア)	▼帰還 2007.10.21 ソユーズTMA-10(14S)	194日18時間		
	サニータ・ウィリアムズ*(NASA)	▼帰還 2007.06.22 STS-117			
	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		
16	ペギー・ウィットソン*(NASA)(民)	▲打上げ 2007.10.10 ソユーズTMA-11(15S)	191日19時間	5回 (35時間 21分)	ISS初の女 性コマンダ ー誕生
	ユーリ・マレンチェンコ(ロシア)	▼帰還 2008.04.19 ソユーズTMA-11(15S)	151日18時間		
	クレイトン・アンダーソン(NASA)	▼帰還 2007.11.07 STS-120			
	ダニエル・タニ(NASA)	▲打上げ 2007.10.23 STS-120 ▼帰還 2008.02.20 STS-122	120日11時間		
	レオポルド・アイハーツ(ESA)	▲打上げ 2008.02.07 STS-122 ▼帰還 2008.03.26 STS-123	48日4時間		
	ギャレット・リーズマン(NASA)	▲打上げ 2008.03.11 STS-123	17次に記載		
17	セルゲイ・ヴォルコフ(ロシア)(軍)	▲打上げ 2008.04.08 ソユーズTMA-12(16S)	198日16時間	2回 (18時間 43分)	
	オレグ・コノネンコ(ロシア)	▼帰還 2008.10.24 ソユーズTMA-12(16S)	95日8時間		
	ギャレット・リーズマン(NASA)	▼帰還 2008.06.14 STS-124			
	グレゴリー・シャミトフ(NASA)	▲打上げ 2008.05.31 STS-124	18次に記載		

注) 名前の後ろの* マークは女性。

下線のクルーはISSコマンダー(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(3/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲ 打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼ 帰還日(米国時間)			
18	マイケル・フィンク(NASA)(民)	▲ 打上げ 2008.10.14 ソユーズTMA-13(17S)	178日0時間	2回 (10時間 27分)	日本人初のISS滞在
	ユーリ・ロンチャコフ(ロシア)	▼ 帰還 2009.4.8 ソユーズTMA-13(17S)			
	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		
	サンドラ・マグナス*(NASA) (STS-126で2008.11.14に打ち上げられ、STS-119で2009.3.28に帰還)	▲ 打上げ 2008.11.14 STS-126 ▼ 帰還 2009.3.28 STS-119	133日18時間		
	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)	▲ 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)。
	マイケル・バラット(NASA)				
	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)	▼ 帰還 2009.10.11 ソユーズTMA-14(18S)	198日16時間	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
	マイケル・バラット(NASA)				
	若田光一(JAXA)	▼ 帰還 2009.7.31 STS-127	137日15時間		
	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 2009.9.11 STS-128	58日2時間		
	ニコール・ストット*(NASA)	▲ 打上げ 2009.08.28 STS-128	21次に記載		
21	フランク・デヴィン(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	実施せず	ESA初のISSコマンダー(ベルギー人)。 ニコール・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12時間		
	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	ジェフリー・ウィリアムズ(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	22/23で1回実施 (5時間 44分)	
	オレグ・コトフ(ロシア) 野口聡一(JAXA) ティモシー・クリーマー(NASA)	▲ 打上げ 2009.12.21 ソユーズTMA-17(21S)	23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(4/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日(米国時間)			
23	オレグ・コトフ (軍) 野口聡一 ティモシー・クリーマー	▼帰還 2010.06.02 ソユーズTMA-17(21S)	163日5時間	(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	アレクサンダー・スクボルソフ (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	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) フョードル・ユールチキン (ロシア)	▲打上げ 2010.06.16 ソユーズTMA-19(23S)	25次に記載		
25	ダグラス・ウィーロック (軍) シャノン・ウォーカー* フョードル・ユールチキン	▼帰還 2010.11.26 ソユーズTMA-19(23S)	163日7時間	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 2010.10.08 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	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 2010.12.16 ソユーズTMA-20(25S)	27次に記載		
27	ドミトリー・コンドラティエフ (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	(上記参照)	
	アンドレイ・ボリシエンコ (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		
28	アンドレイ・ボリシエンコ (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	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 2011.06.08 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	(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) アナトリー・イヴァニシン (ロシア)	▲打上げ 2011.11.14 ソユーズTMA-22(28S)	30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。

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 3-1 ISS長期滞在クルー(5/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼帰還日(米国時間)			
30	ダニエル・バーバンク(沿岸警備隊) アントン・シュカプレロフ アナトリー・イヴァニシ	▼帰還 2012.04.27 ソユーズTMA-22(28S)	165日7時間	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・ベティット(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・ベティット	▼帰還 2012.07.01 ソユーズTMA-03M(29S)	192日18時間	(上記参照) 30/32で1回 (5時間51分)	コノネンコ は2回目の コマンダー
	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	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	(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	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	2回実施 (12時間08分)	カナダ 人初のISS コマンダー
	パベル・ピノグラドフ(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・キャンディ(NASA)	▲打上げ 2013.03.29 ソユーズTMA-08M(34S)	36次に記載		
36	パベル・ピノグラドフ(民) アレクサンダー・ミシュルキン クリストファー・キャンディ	▼帰還 2013.09.11 ソユーズTMA-08M(34S)	166日6時間	5回実施 (27時間40分)	
	フォードル・ユールチキン(ロシア) カレン・ナイバーグ*(NASA) ルカ・パルミターノ(ESA)	▲打上げ 2013.05.29 ソユーズTMA-09M(35S)	37次に記載		
37	フォードル・ユールチキン(民) カレン・ナイバーグ* ルカ・パルミターノ	▼帰還 2013.11.11 ソユーズTMA-09M(35S)	166日5時間	実施せず	
	オレグ・コトフ(ロシア) マイケル・ホプキンス(NASA) セルゲイ・リャザンスキー(ロシア)	▲打上げ 2013.09.26 ソユーズTMA-10M(36S)	38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(6/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲ 打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼ 帰還日(米国時間)			
38	オレグ・コトフ(軍) マイケル・ホプキンス セルゲイ・リャザンスキー	▼ 帰還 2014.03.11 ソユーズTMA-10M(36S)	166日6時間	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	1回実施 (1時間36分)	日本人初のISSコマンダー
	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・アルテミエフ(ロシア)	▲ 打上げ 2014.03.26 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・アルテミエフ	▼ 帰還 2014.09.11 ソユーズTMA-12M(38S)	169日5時間	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 2014.05.29 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	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 2014.09.26 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	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 2014.11.24 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	実施せず	ケリーとコニエンコはISSに1年間滞在
	スコット・ケリー(NASA) ミカエル・コニエンコ(ロシア) ゲナディ・パダルカ(ロシア)	▲ 打上げ 2015.03.28 ソユーズTMA-16M(42S)	44次に記載		
44	ゲナディ・パダルカ(軍)	▼ 帰還 2015.09.11(予定) ソユーズTMA-16M(42S)			パダルカは4回目のコマンダー
	スコット・ケリー ミカエル・コニエンコ オレグ・コノネンコ(ロシア) チェル・リングリン(NASA) 油井亀美也(JAXA)	1年間滞在	45次に記載		
45	オレグ・コノネンコ チェル・リングリン 油井亀美也	▼ 帰還 2015.12.22(予定) ソユーズTMA-17M(43S)			
	スコット・ケリー(NASA)(軍) ミカエル・コニエンコ(ロシア)	1年間滞在			
	セルゲイ・ヴォルコフ(ロシア)	▲ 打上げ 2015.10.01(予定) ソユーズTMA-18M(44S)	46次に記載		

注) 名前の中の * 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(7/7)

Expedition	長期滞在クルー	▲ 打上げ日(米国時間)	宇宙滞在日数	EVA回数 (合計時間)	その他
		▼ 帰還日(米国時間)			
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(予定) ソユーズTMA-18M(44S)	47次に記載		
	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.(予定) ソユーズTMA-19M(45S)			
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.(予定)	48次に記載		
	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.(予定)			
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	▲ 打上げ 2016.06.(予定)	49次に記載		
	アナトリー・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)				
49	アナトリー・イヴァニシン (軍) キャスリーン・ルビンズ*		50次に記載		
	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)				
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		51次に記載		女性の宇宙滞在記録を更新予定
	ペギー・ウイトソン*(NASA) オレグ・ノヴィツキー(ロシア) トマ・ベスケ(ESA)				
51	ペギー・ウイトソン* オレグ・ノヴィツキー トマ・ベスケ				

注) 名前の中の * 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。

4. 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録

2015年7月13日現在

表 4-1 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	宇宙滞在日数	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01分 12日21時間43分 137日15時間05分 187日21時間44分 =347日8時間33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	
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13分	
-	油井亀美也	ソユーズTMA-17M/43S (第44/45次長期滞在)	(1)	約152日間(予定)	
4	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16分 =140日17時間29分	
5	土井 隆雄	STS-87 STS-123	2	15日16時間34分 15日18時間11分 =31日10時間45分	
6	向井 千秋	STS-65 STS-95	2	14日17時間55分 8日21時間45分 =23日15時間40分	
7	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08分	
8	山崎 直子	STS-131	1	15日02時間47分	
9	秋山 豊寛	ソユーズTM-11	1	7日21時間54分	
-			17	総計929日18時間34分	合計時間には油井宇宙飛行士の滞在予定は含めない

注: 秒処理の関係で誤差が生じる場合があります。

表 4-2 日本人宇宙飛行士の1回の飛行での最長飛行記録

2015年7月13日現在

	クルー	フライト	宇宙滞在日数	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44分	
2	古川 聡	ソユーズTMA-02M/27S (第28/29次長期滞在)	167日06時間13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	
-	油井亀美也	ソユーズTMA-17M/43S (第44/45次長期滞在)	約152日間(予定)	
4	星出 彰彦	ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	126日23時間16分	
5	土井 隆雄	STS-123	15日18時間11分	

5. 各国の宇宙滞在記録

2015年6月12日
(41S帰還時点)

表 5-1 宇宙滞在の国別記録

	国	合計滞在日数	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連含む、 ウクライナ人 1人を含む)	2万4575日	117人	注:2015年6月11日に41Sで帰還したクルーの滞在までの記録。軌道上に滞在しているクルーの日数は含めていない。
2	米国	1万7465日	335人	同上
3	日本	929日	9人	秋山氏の飛行を含む
4	ドイツ	658日	11人	
5	イタリア	627日	7人	
6	カナダ	506日	9人	ギー・ラリベルテ氏の飛行を含む
7	フランス	433日	9人	

2015年12月22日(43S帰還)時点の予定

表 5-2 宇宙滞在の国別記録(43S帰還時の予定データ)

	国	合計滞在日数	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連含む、 ウクライナ人 1人を含む)	2万4575日 +319日(予定)=約2万4894日	117人	42Sクルー1人 +167日 43Sクルー1人 +152日 注:この時点で軌道上にいる44S, 45Sクルーの記録は含まない。
2	米国	1万7465日 +152日(予定)=約1万7617日	335人 +1人	41Sクルー1人 +191日 43Sクルー1人 +152日 注:この時点で軌道上にいる44S, 45Sクルーの記録は含まない。 米国人宇宙旅行者の記録を含む
3	日本	929日 +152日(予定)=約1081日	9人 +1人	43Sクルー1人 +152日 秋山氏の飛行を含む
4	ドイツ	658日	11人	
5	イタリア	627日	7人	
6	カナダ	506日	9人	ギー・ラリベルテ氏の飛行を含む
7	フランス	433日	9人	

注:軌道を周回した民間の宇宙旅行者も含む。
X-15とSpace Ship Oneで弾道飛行した3人は除外(弾道飛行はマーキュリーの2人のみカウント)

6. 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

2015年7月13日現在

表 6-1 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	
—					

7. 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

表7-1 各国の宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録 2015/7/13 現在

	国	フライト/クルー	回数	EVA時間
1	アメリカ			総計約2,745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1,212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	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・マクリーン	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
5	スウェーデン	STS-116、STS-128 /クリスター・フューゲルサング	3+2	18時間14分(STS-116) 13時間40分(STS-128) 総計 31時間54分
6	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・ベリン	3	計19時間31分
				総計 31時間50分
7	ドイツ	1995-1996年ミール(ESAクルー) /トーマス・ライター	2	8時間22分
		第13/14次長期滞在 /トーマス・ライター	1	5時間54分
		STS-122(ESAクルー) /ハンス・シュリーゲル	1	6時間45分
		第40/41次長期滞在(ESAクルー) /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・パルミターノ	2	7時間39分
10	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、http://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・秒処理等の累積の関係で時間・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 の筋カトレーニング装置
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(「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
CANSEI	Control and Network Systems, Electrical Power and ICS Communication Officer	カンセイ(「きぼう」管制チーム)
CAPCOM	Capsule Communicator	キャプコム
CATS	Cloud Aerosol Transport System	(曝露部の米国パイロード)
CB	Clean Bench	クリーンベンチ(「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
CDR	Commander	コマンダー
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
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

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
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
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の実験装置)
EMU	Extravehicular Mobility Unit	船外活動ユニット(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
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)曝露ペイロード
EVA	Extravehicular Activity	船外活動
ExHAM	Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism	簡易曝露実験装置
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・カップラ
FLAT	Fluid and Thermal Officer	フラット(「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
FSA	Federal Space Agency	ロシア連邦宇宙局(Roscosmos)
FSL	Fluid Science Lab	(ESAの実験ラック)
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

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
GLIMS	Global Lightning and Sprite Measurement Mission	(MCE)スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ
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-EF	High Definition TV Camera-Exposed Facility	(MCE)船外実験プラットフォーム用民生品ハイビジョンビデオカメラシステム
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
IMAP/EUVI	IMAP/ Extreme UltraViolet Imager	IMAP/極端紫外線撮像装置
IMAP/VISI	IMAP / Visible and Infrared Spectral Imager	IMAP/可視・近赤外分光撮像装置
IMMT	ISS Mission Management Team	ISS ミッションマネジメント
IP	International Partner	国際パートナー
IPU	Image Processing Unit	画像取得処理装置(「きぼう」の実験装置)
iRED	Interim Resistive Exercise Device	(CHeCS)初期筋力トレーニング機器
IRED	Isolated Resistive Exercise Device	(CHeCS)筋力トレーニング機器
ISLE	In Suit Light Exercise	(プリブリーズの方法)
ISON	International Scientific Optical Network	(ISON 彗星)
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
JAXA PCG	JAXA Protein Crystal Growth	JAXA のタンパク質結晶実験
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	ジェムペイロードス(「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(「きぼう」管制チーム)
J-PLAN	JAXA Planner	J-プラン(「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(「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)
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	可視範囲からでること
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

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット Rev.A

略語	英名称	和名称
MCC	Mission Control Center	ミッション管制センター(JSC)
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)
MELFI	Minus Eighty degrees Celsius Laboratory Freezer for ISS	ISS 実験用冷凍・冷蔵庫
MERLIN	Microgravity Experiment Research Locker Incubator	米国のギャレーの冷蔵庫
MET	Mission Elapsed Time	ミッション経過時間
METOX	Metal Oxide	
MHU	Mouse Habitat Unit	小動物飼育装置
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
MSS	Mobile Servicing System	ISS のロボットアームシステム
MT	Mobile Transporter	(MSS)モバイル・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
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
OAST-Flyer	Office of Aeronautics and Space Technology Flyer	(STS-72)
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
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)	オービタル社の補給フライト
ORU	Orbital Replacement Unit	軌道上交換ユニット
OSC	Orbital Sciences Corporation	オービタルサイエンシーズ社
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(JAXA)
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

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット Rev.A

略語	英名称	和名称
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	(耐燃材)
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
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	(ChES)筋カトレニング機器
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
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」
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

油井宇宙飛行士長期滞在プレスキット Rev.A

略語	英名称	和名称
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
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
TeSS	Temporary Sleep Station	(Lab 内の)クルーの個室
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
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)
UT	Universal Time	世界標準時
V-C Reflex	Vestibulo-Cardiovascular Reflex	前庭-血圧反射(前庭-心血管反射) (実験テーマ)前庭-血圧反射系の可塑性とその対策
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
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 新たに出てくる ISS 用語の解説

●CST-100

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。2017年1月頃に無人での初飛行が成功すれば、2017年夏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。この無人型も貨物輸送用として商業輸送契約(CRS-2)向けに提案が行われています。

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するよう両社に求めています。

<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/boeing/defense-space/space/ccts/index.page>



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/>

●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です(異常時にはパラシュートでの降下に切り替え可能)。ただし初期段階で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予定です。このカプセルは最大 10 回の使用が可能な設計です。



図 3 ドラゴン V2 のイメージ (Space X)



図 4 ドラゴン V2 のモックアップ (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

https://www.youtube.com/watch?v=Cf_g3UWQ04

●IDA(国際ドッキングアダプター)

IDA(International Docking Adapters)は、米国の商業クルー輸送機(CST-100と有人型ドラゴン宇宙船)がISSにドッキングする際に使用する国際標準のドッキング装置です。シャトルがISSにドッキングする際に使用していたノード2前方のPMA-2にIDA#1を設置し、ノード2上部に移設されるPMA-3にIDA#2を設置することで、2箇所のドッキング場所が利用できるようになります。2基のIDAは、2015年の2回のドラゴン輸送船(SpX-7等)のフライトで運ばれて、ロボットアームを使って設置される予定でした。→SpX-7で失われたIDA-1に関しては、予備品を使って3基目を製造する予定です。

現在、ドラゴン補給船が使用しているCBMへのバーシング方式では、ロボットアームを使って離脱していますが、有人機の場合は緊急帰還時に素早く対応できないといけないことから、ドッキング機構への結合が必要となります。

CST-100と有人型ドラゴン宇宙船だけでなく、NASAのオリオン宇宙船や、ロシアの宇宙機、中国の神舟宇宙船でもこの国際標準インターフェース(International Docking System Standard (IDSS)で規定)が採用されるため、今後は緊急時のレスキュー対応が容易になります。細かい点では各国で開発中のドッキング機構はそれぞれ異なる点がありますが、最低限のインターフェースは合うような設定となっています。



図5 SpX-7で運搬するために準備された国際ドッキングアダプター1(IDA1)
(NASA/Cory Huston)

●C2V2

C2V2(Common Communications for Visiting Vehicles)は、米国の商業クルー輸送機(CST-100と有人型ドラゴン宇宙船)がISSに接近する際の通信(音声、ビデオ、テレメトリ)システムで、2015年3月1日に行われた船外活動時に、S3トラスとP4トラス上にアンテナが2基ずつ設置されました。またレーザー反射鏡も備えているため、接近時の距離の測定にも使えます。

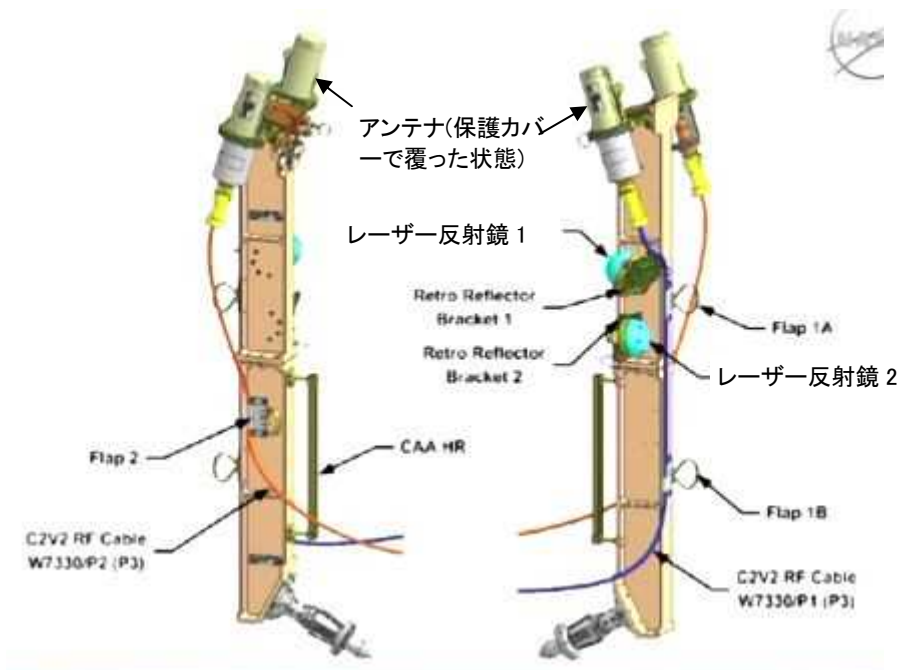


図 6 C2V2 のイメージ図 (NASA TV)

上部の 2 本の円筒部がアンテナで、保護カバーを取り付けた状態。このカバーは設置後外された。

●BEAM(Bigelow Expandable Activity Module)

BEAMは2013年1月にNASAがISSへの設置を発表したビゲロー・エアロスペース社のインフレーター方式の試験用モジュールで、2015年にSpace X社の8機目のドラゴンによる補給フライト(SpX-8)で運ばれます。重量は1,360kg。ドラゴンのトランク部に曝露貨物として収納されて打ち上げられ、ロボットアームを使ってノード3の後方側の共通結合機構(CBM)に設置します。その後、内部に空気を注入して膨らませることで広い空間(直径を2.4mから3.2mにまで膨張)を得ます。このモジュールは試験用の機体(2年間、他の金属製モジュールとの比較を行ったり、耐久性を確認したのち廃棄する予定)のため、宇宙飛行士がこの中で生活することはしませんが、データの取得などのために内部に入ることは行います。

ビゲロー社は商業用宇宙ホテルの開発を進めており、ジェネシスという実験用のインフレーターモジュールを2006年と2007年に2機打ち上げており、デブリとの衝突耐性や放射線の防護能力に関しては金属製のモジュールよりも優れた性能が確認されています。同社は、商業用のより大型の宇宙ホテルの開発や、深宇宙探査用の居住モジュールの開発につなげるため、ISSでの実証試験を行います。



図7 2015年3月12日に初公開されたBEAMの実機(打上げ時の収納状態)(NASA)

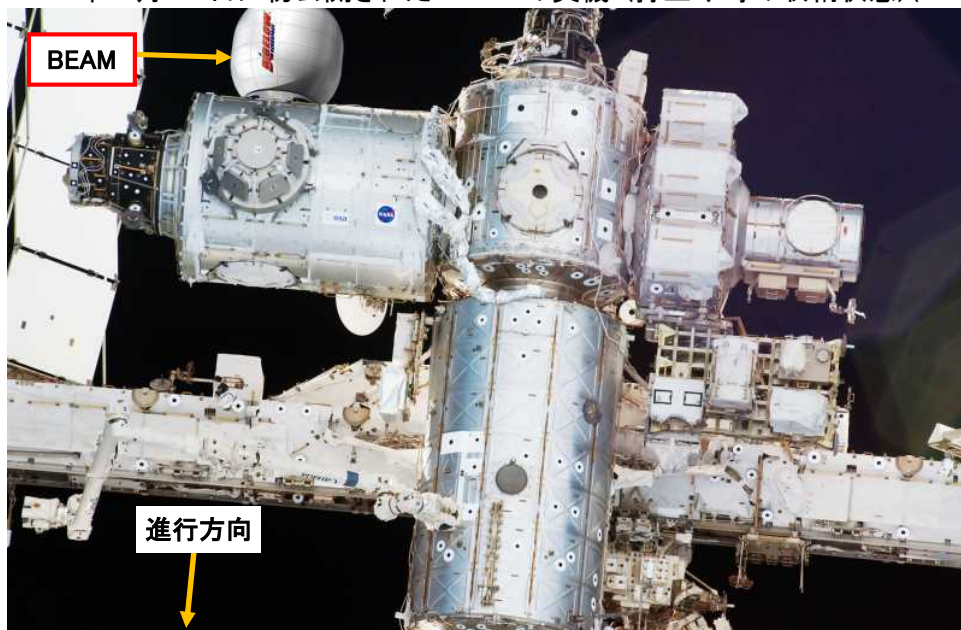


図8 ISSのノード3に取り付けられたBEAMのイメージ図(ビゲロー・エアロスペース社)

ISSを地球方向側から見た写真 <http://bigelowaerospace.com/beam/>

●プログレス MS-1 補給船

プログレス MS-1 は、現在使われているプログレス M-***M 型補給船の次世代機となります。

2015年10月に初号機が打ち上げられる予定で、2016年半ばからはこのタイプに完全に切り替えられる計画です。プログレス MS 型の打上げには、ソユーズ U ロケットではなく、ソユーズ 2-1A ロケットが使われます。既に2014年10月のプログレス M-25M の打上げからソユーズ 2-1A ロケットが試行的に一部使われ始めています。

制御装置をデジタル化したプログレス M-***M 型は機体のシリアルナンバーに M-401 から 429 番を使っていました(旧モデルのプログレス M-***型はシリアルナンバーに M-3**番台を使用)が、プログレス MS のシリアルナンバーは M-431 番以降を使うところを見てもそれほど大きな改良型ではありません。ロシアらしく地道な改良型になります。

伝えられる情報では、テレメトリ・コマンドシステムを更新するほか、ウクライナ製だった Kurs-A ランデブー・ドッキングシステムをロシア製の Kurs-NA に更新したり、デブリ防御能力を強化したり、衛星航法システムを使える航法システムに更新したり、信頼性を向上するなどの改良が行われる模様です。

●NREP(NanoRacks External Payload Platform)

NREP は ISS で利用可能な初の商業曝露プラットフォームで、アメリカの NanoRacks 社が所有する装置です。船外に設置した後は、きぼうのエアロックとロボットアームを使って試料の交換を行う予定です。

ペイロード(基本は 10×10cm、深さ 40cm のサイズ)には電力と通信インタフェースを提供し、基本的には 1 年後にドラゴン補給船に搭載して試料を回収する流れです。

最初のペイロードとしては、フロリダ工科大の実験用のデジタル画像センサを約 90 日間宇宙環境に曝さず試験が行われる予定とされています。

<http://nanoracks.com/external-payload-platform-ready-for-space-station/>



図 9 NREP の外観写真 (NanoRacks 社)

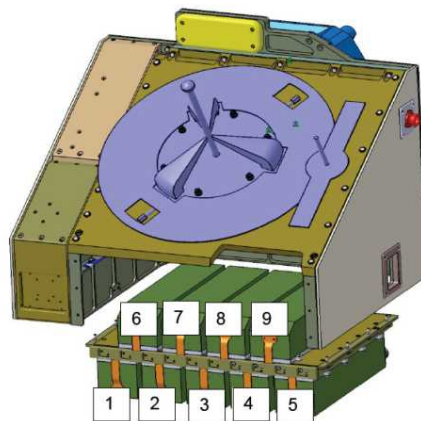


図 10 NREP へのペイロード搭載説明図 (NanoRacks 社)

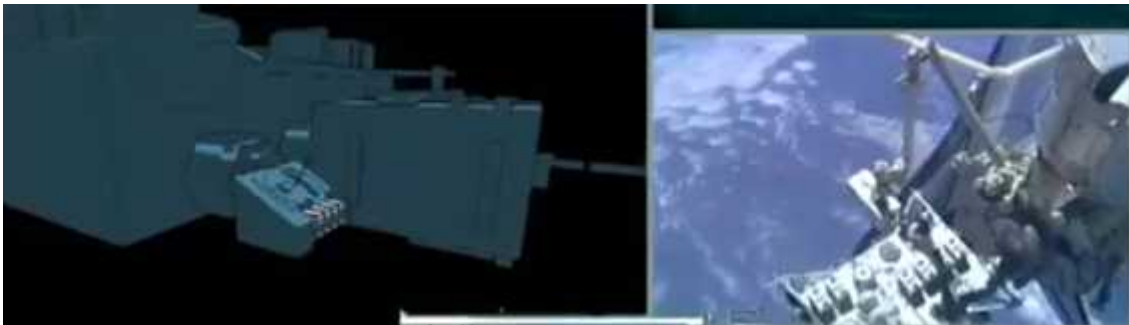


図 11 NREP の設置場所と設置イメージ (NanoRacks 社)

●アトラス V ロケットで上げられるシグナス補給船及び、改良型アンタレスロケット

オービタルサイエンス社が請け負っている ISS への商業貨物補給フライトは、アンタレスロケットを使ってシグナス補給船を打ち上げていますが、2014 年 10 月 29 日に運用 3 号機(Orb-3)の打ち上げに失敗しました。同社はこれを受けてアンタレスロケットの 1 段エンジンとして使っていたロシアの NK-33 エンジン(米国で AJ-26-62 エンジンに改修)の使用は止める決断をし、代替エンジンとしてロシアの RD-181 エンジンを採用することになりました。しかし切り替えのためには約 1 年半を必要とするため、その間の補給を賄うために、アトラス V ロケットを購入して 2015 年 12 月頃にシグナス補給船 4 号機を打ち上げることになりました。アトラス V 401 型の打ち上げ能力はアンタレスロケットよりも大きいので、打ち上げ可能な貨物重量を約 35%増やせる見込みです。

また、RD-181 エンジンを搭載した新しいアンタレスロケットは 2016 年 3 月頃に飛行を再開する計画です。こちらも従来使う予定だったアンタレスロケットよりも打ち上げ重量が 20%増やせるため、当初、8 号機まで使って貨物輸送サービスを行う計画でしたが、7 号機までで運べる見込みとなり、スケジュールの遅れはこの輸送量の増強で肩代わりできると考えられています。



図 12 Orb-3 打ち上げ用のアンタレス 130 ロケット (Orbital 社)

●簡易曝露実験装置 (ExHAM)

簡易曝露実験装置 (ExHAM) (エックスハム) は、宇宙の曝露環境を利用する小型の実験サンプルを「きぼう」船外に取り付けることを可能にするための機構です。材料や部品の宇宙環境による変化・劣化を調べたり、宇宙空間に浮遊している物質を捕獲できます。

10 cm × 10 cm (タイプ 1)、もしくは 10 cm × 20 cm (タイプ 2) の大きさのサンプルを搭載することができ、タイプ 1 の搭載サンプルは ExHAM の上面に 7 個、側面に 13 個搭載することが可能です。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。

ExHAM は、ATV-5 と「こうのとり」5 号機で 2 基が軌道に運ばれます。曝露するサンプル試料はその都度、補給機を使って運搬・回収されます。1 基目は 2015 年 5 月 26 日に設置されました。

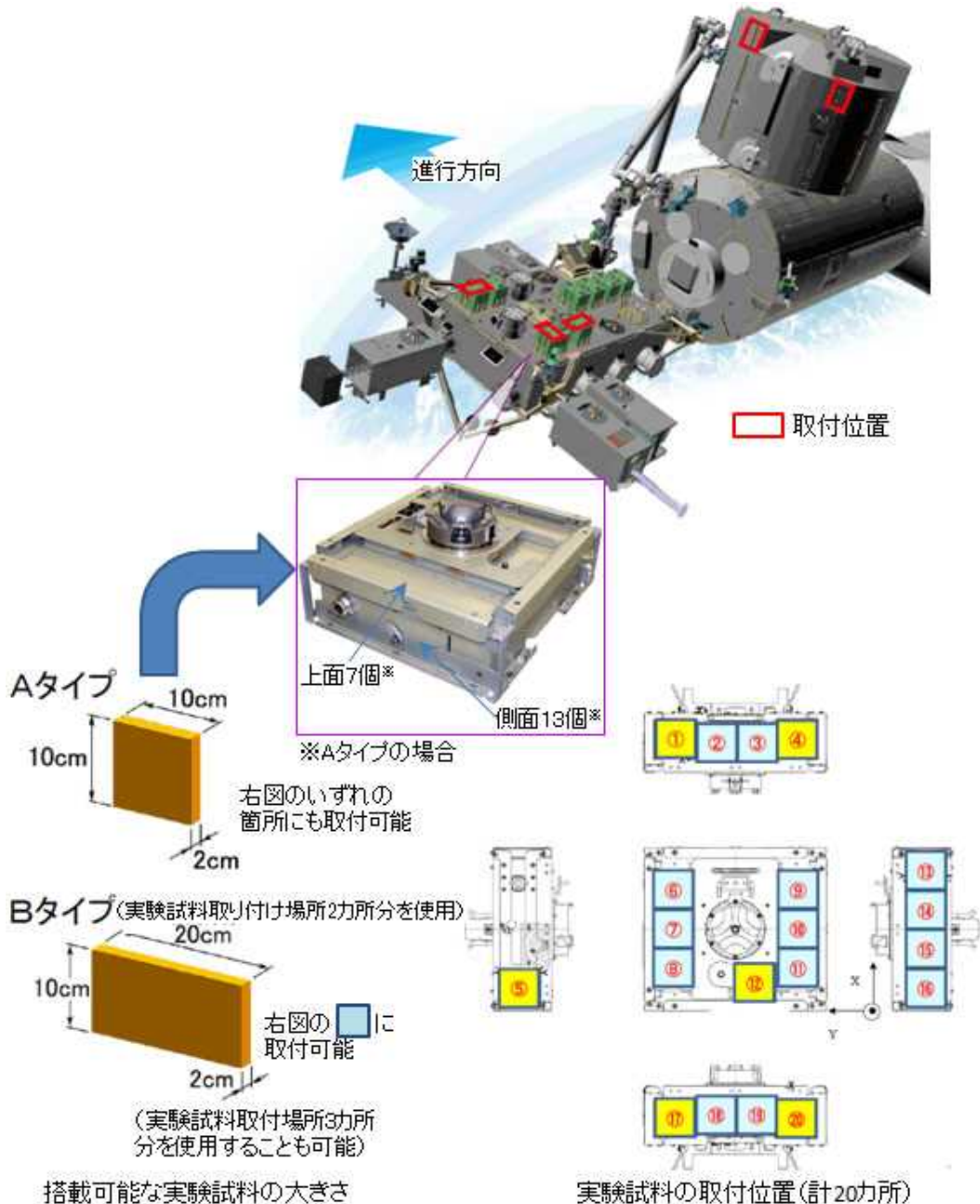


図 13 簡易曝露実験装置 (ExHAM)

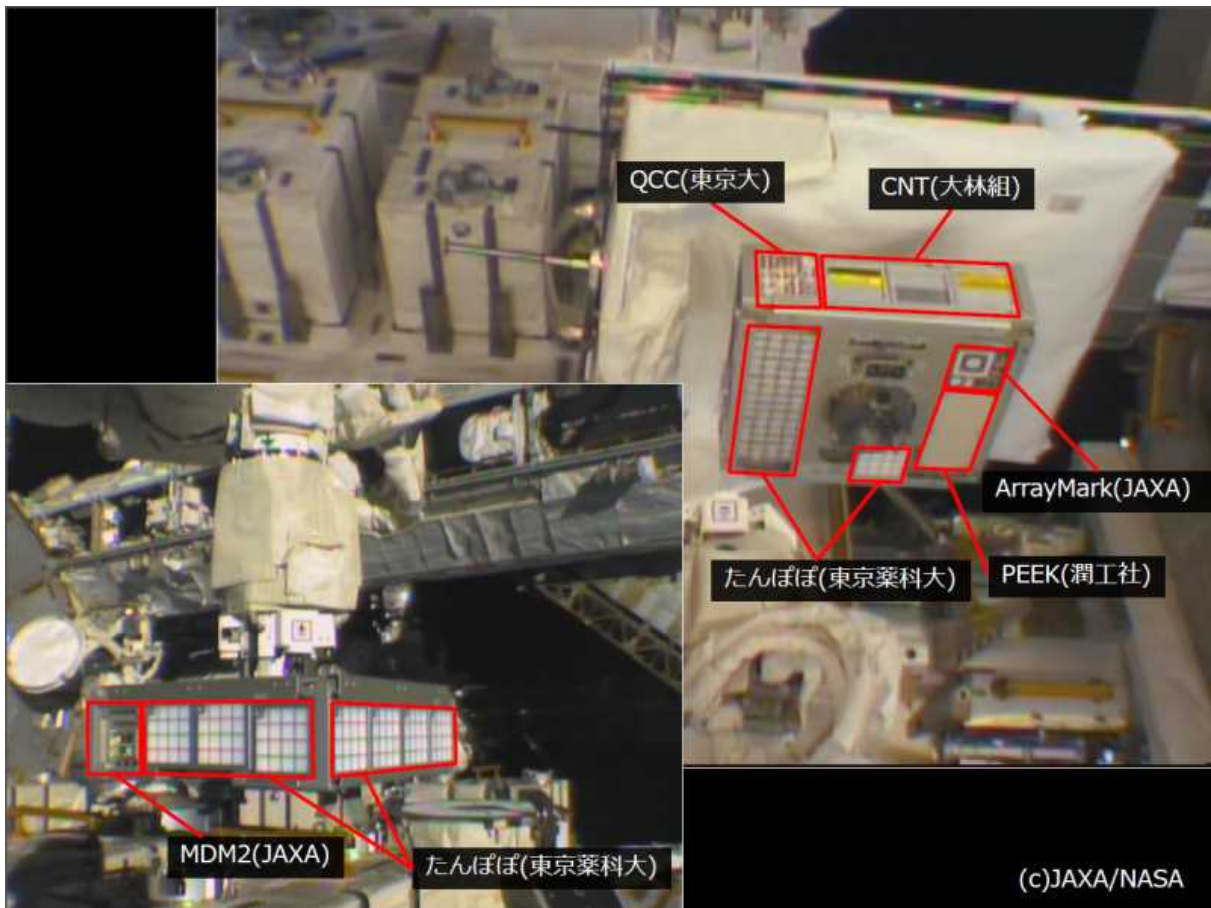
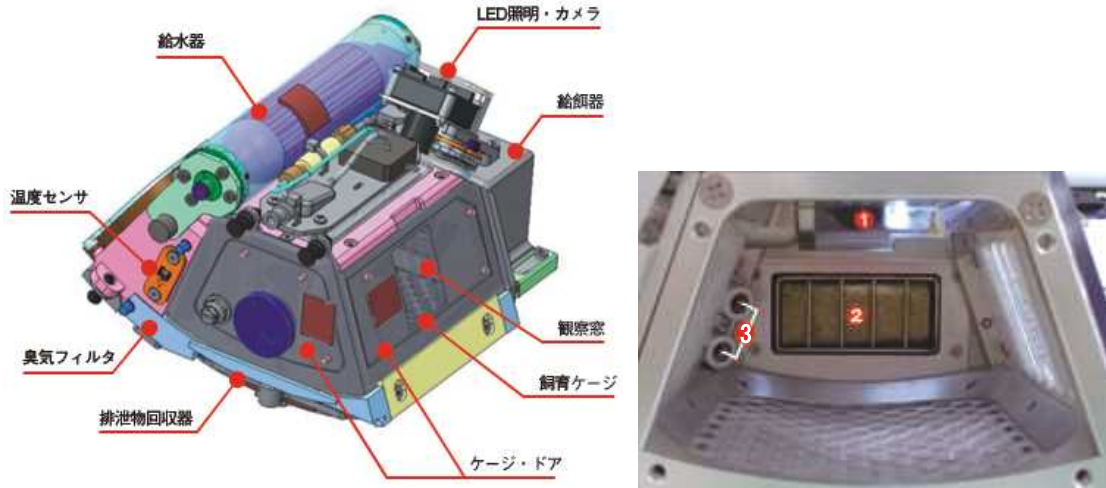


図 14 船外に設置された 1 つ目の簡易曝露実験装置 (ExHAM) 設置時の写真

●小動物飼育装置 MHU(Mouse Habitat Unit)(「こうのとり」5号機で打上げ)

マウスを1ケージに1匹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・観察する装置で、JAXAが開発しました。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、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(NASAもネズミの飼育を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)。実験終了後は、地上へ生きたまま回収することもできます。

この装置は飼育するマウスの数だけ運んで設置することになります。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。なお、マウスの輸送には別の輸送容器(12匹を運搬可能)が使われ、軌道上で飼育装置にマウスを移すための簡易なグローブボックスも用意しています。



① 照明・カメラ、②給餌口、③給水口(2個)

図 15 JAXA の小動物飼育装置のイメージ図

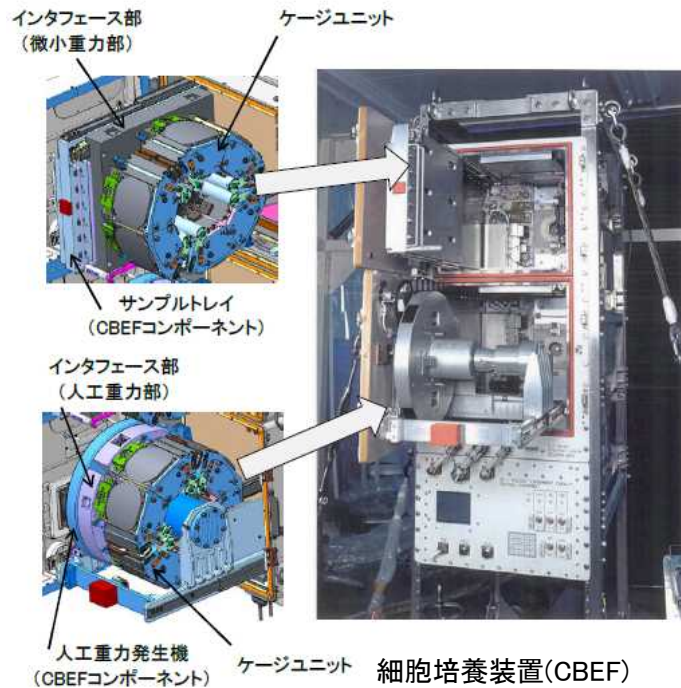


図 16 小動物飼育装置を CBEF に設置したイメージ図

【参考】JAXA 機関誌 JAXA's No. 61 「宇宙と地上 重力環境の違いが及ぼす生命への影響は？ 小動物飼育装置」より抜粋引用
http://fanfun.jaxa.jp/c/media/file/media_jaxas_jaxas061.pdf

白川 輸送機の往復のスケジュールから当初は 30 日間の飼育を考えていますが、ケージを交換すれば 6 か月間ぐらいまでは飼育が可能です。

ーマウスの飼育は、ISSですで行われていますか。

白川 NASAは2014年からマウスの実験等を行っています。イタリアも2009年「きぼう」に設置されたイタリアが開発した実験装置で宇宙実験を行ったことがあります。これらの海外の実験装置と大きく異なる特徴として、JAXAの実験装置は、無重力環境と人工重力環境の両方で同時に宇宙で飼育できる点があります。

白川 1 週間分の餌を一体成型し、バネで押して、少しずつケージ内に出す方法にしてあります。

ー給水はどうするのですか。

白川 医薬品注入用のバッグを使っています。風船と同じように収縮する力を使って水を押し出します。給水口には突起があり、マウスがこれを上げると水が出る仕組みになっています。無重力下で餌を食べたり、水を飲んだりするには足場がないと難しいので、ハンドレールのようなものもつけてあります。とにかく、そのへんをいろいろ試行錯誤しました。

ー排泄物の回収はどのようにしますか。

白川 ケージ内はファンによって上から下に風が流れるようにしてあります。そのため、排泄物は無重力においても自動的にケージの下にたまるようになっています。

ーカメラもついていますね。

白川 マウスの行動を観察するためのビデオカメラです。1 週間くらいたつと尿などで観察面が汚れて見えなくなってしまうので、自動車のワイパーのようなものをつけ、地上からのコマンドで掃除できるようにしています。

ーなるほど。いろいろな工夫がありますね。1 匹ずつケージに入れて飼育する理由は何ですか。

白川 限られた匹数の飼育なので、飼育の条件を揃え体重の増加などの成長のばらつきをなるべく抑えることができるという科学的なメリットや、環境条件や行動を詳細に記録できること、性別や系統の違うマウスを同時に飼育できる利点があると考えています。

ーAQH を運用することによって得た、動物を飼うためのノウハウがかなり生かされていますね。

白川 そう思います。効率よく飼育ができるよう軌道上の作業を細かく分析して、クルーが作業する時間も省力化しました。地上からもってきたマウスを飼育ケージに入れた後は、1 週間に 1 度、餌カートリッジの交換、給水バルーンへの水補給、フィルタ交換、排泄物の回収を行うだけです。

●高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 (CALET) (「こうのとりのこ」5号機で打上げ)

CALET (CALorimetric Electron Telescope) 「キャレット」は、「きぼう」船外実験プラットフォームに設置し、高エネルギー宇宙線・ガンマ線の起源と加速のしくみ、宇宙線が銀河内を伝わるしくみ、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を探ります。

CALETの主要な観測装置は、「カロリメータ」と呼ばれる装置で、3つの検出器を積み重ねることで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。

また、硬X線観測装置(HXM)、軟ガンマ線観測装置(SGM)から構成されるガンマ線バーストモニタ(CGBM)の他、相乗りミッション機器としてコンパクト赤外線カメラ(CIRC)も搭載されています。



図17 CALETの構成機器

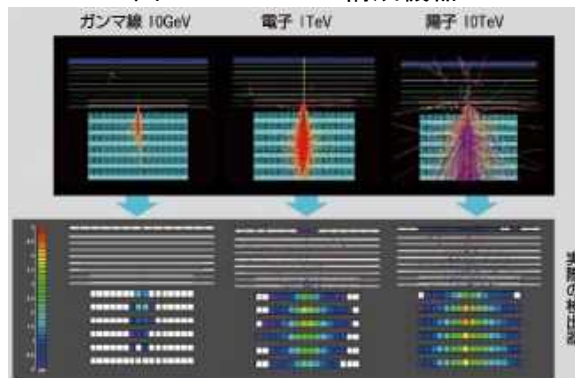


図18 カロリメーターでガンマ線、電子、陽子を見分ける仕組み



図19 CALETのフライトモデル(左手前の装置)

●静電浮遊炉(ELF)

JAXA が開発した静電浮遊炉(ELF「エルフ」)は、融点が 3000°C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。高精度な熱物性値(粘性、密度、表面張力)の取得や、過冷却凝固が可能な実験装置です。ELF は「このとり」5号機で打ち上げて宇宙飛行士が軌道上で組み立て、冬には実験を開始する予定です。ELF は、多目的実験ラック 2号機(MSPR2)に収容して実験が行われます。

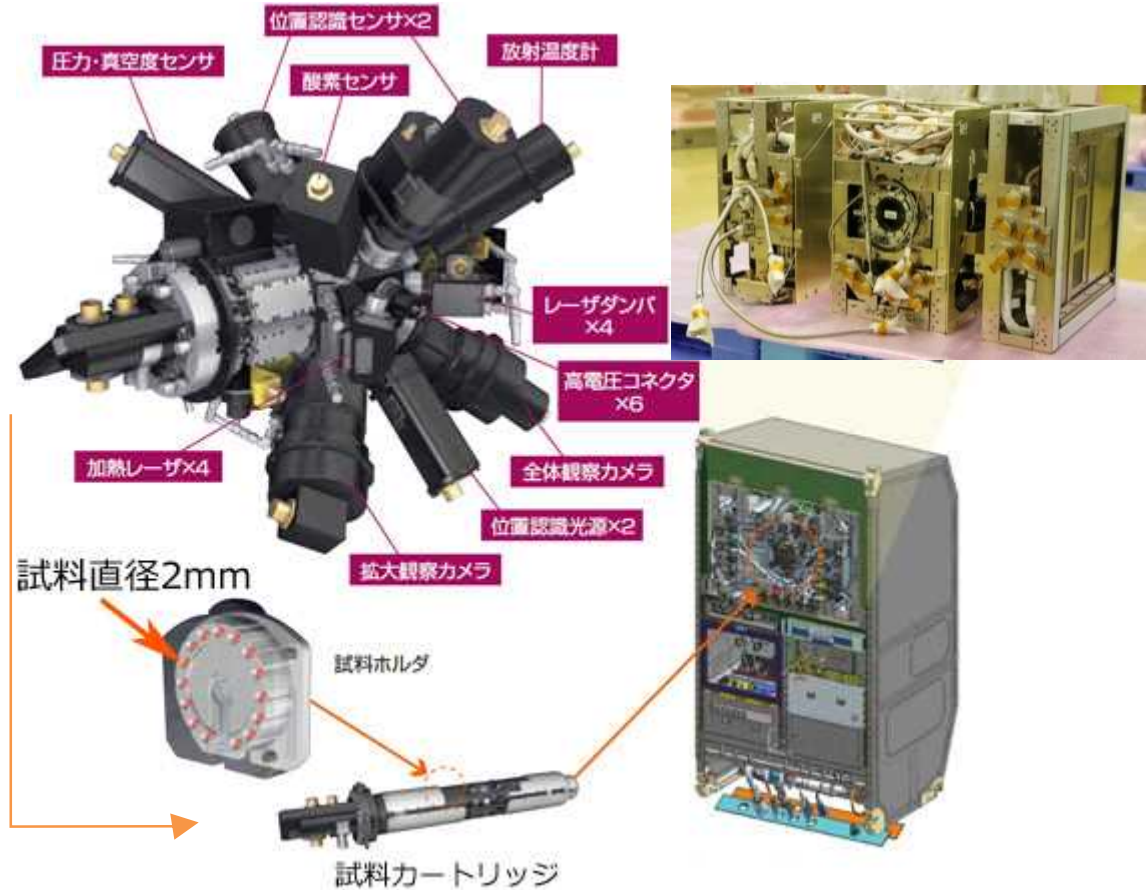


図 20 静電浮遊炉(ELF)と、それを収容する多目的実験ラック 2(右下)

注:ESA も、電磁気を利用して導伝性試料を浮遊させる電磁浮遊炉 Electro-Magnetic Levitator (EML)を 2014 年夏に ISS に運びました。一方、JAXA の ELF のターゲットは酸化物で、絶縁体で帯電もしにくく地上でも ESA でも扱えない試料で実験を行います。まずは、ジルコニアや希土類の酸化物 15 種類について実験を行う予定です。

	低温	高温
伝導体	音波浮遊炉 (米国)	電磁浮遊炉 (欧州)
絶縁体		静電浮遊炉 (日本)

静電浮遊炉の国際的優位性

図 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)

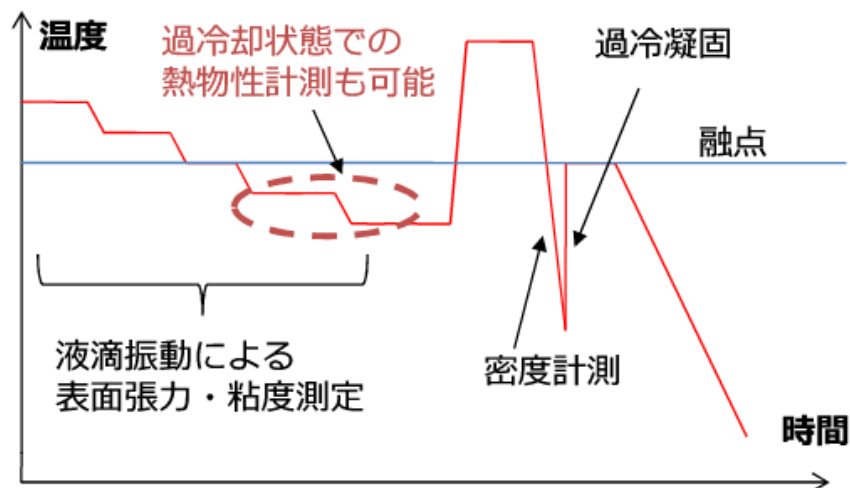


図 22 静電浮遊炉を使った熱物性データの取得の流れ

既に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～
(2015/4/20 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°C)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。

ホウ素の性質について、これまでさまざまな研究が行われてきましたが、ホウ素の溶融状態については、2,000°Cを超える高い融点を持つことと、ホウ素の融体を保持する容器が存在しないことが障害となり、その性質は良く分かっていませんでした。

●液滴群燃焼実験供試体(GCEM)

液滴群燃焼実験供試体(Group Combustion Experiment Module: GCEM)は、微小重力下における2次元配置された液滴間の火炎燃え広がりに関する仮説を検証するための実験装置で、噴霧燃焼の効率的かつ高精度な数値シミュレーション手法の構築、および、エンジン等における数値シミュレーションの活用範囲の拡大を目指します。

GCEMは、燃焼実験チャンバ(CCE)内に入れてガス漏れなどが起きないように封入し、多目的実験ラック(MSPR)に入れて実験を行います。

補給機の搭載計画が変更になったため、今後の計画は調整中です。

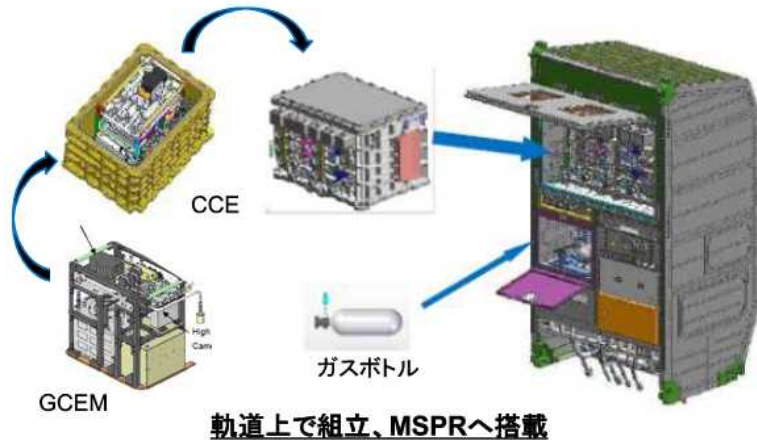
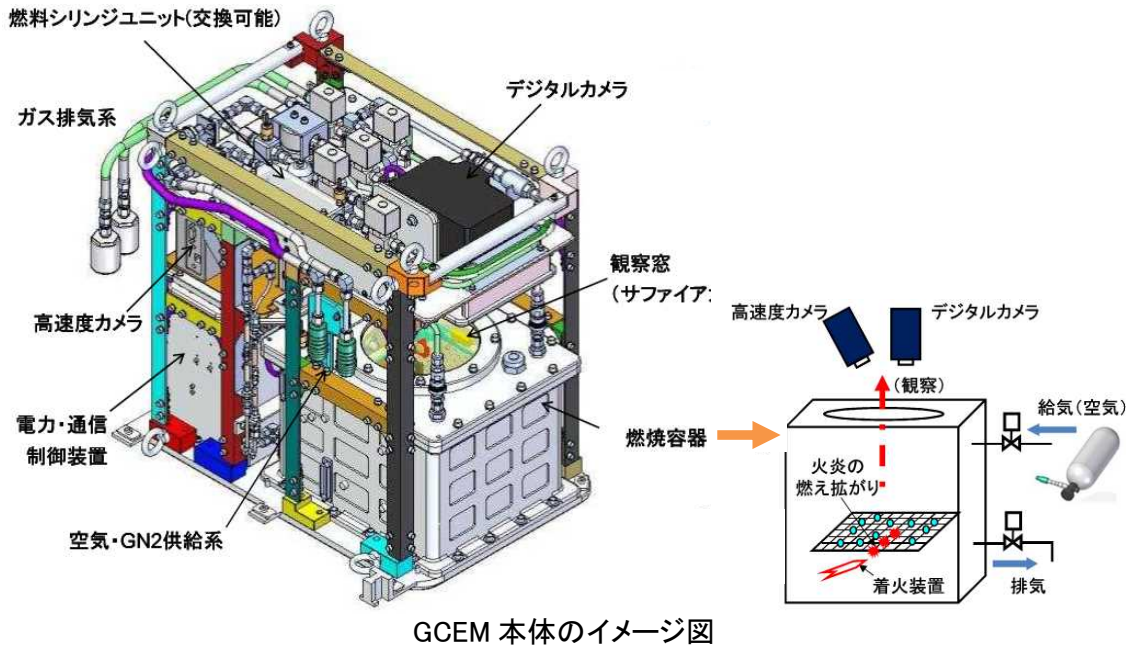


図 23 GCEMはCCEに封入した後、多目的実験ラック(MSPR)に設置して実験を行う