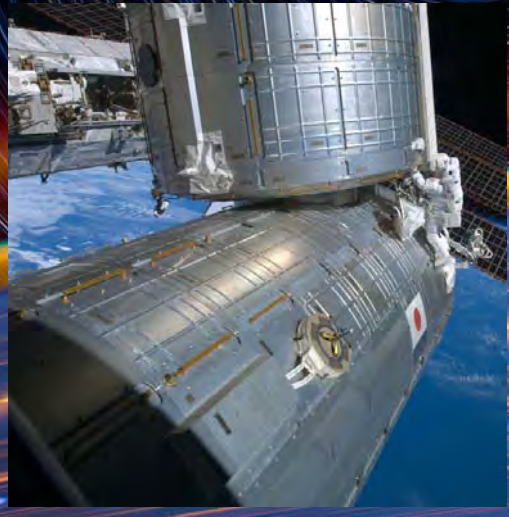




星出宇宙飛行士 ISS 長期滞在プレスキット



2012年7月10日 A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	2012.06.08	—	—
A	2012.07.10	目次, P1-1, 1-4, 1-5, 1-9, 1-17~1-19, 1-21, 1-23, 1-24, 1-35, 1-37, 1-38, 1-48, 1-49, 1-61, 1-64, 1-66, 1-71, 1-72, 3-2, 付録 3-1, 付録 3-11, 付録 3-12, 付録 3-14, 付録 3-15, 付録 3-19~付録 3-22	打上げ・ドッキング時刻を追記 Nano Step 実験の情報を追加 図 1.4.1.1-12 AQH の水槽部の図を更新 EVA の実施日を改訂 小型衛星と i-Ball の写真を追加 滞在期間を 130 日から 120 日間に変更 誤記訂正、情報の追加、表現の見直し 29S 帰還に伴い付録 3 のデータ集を更新

目 次

1. 星出宇宙飛行士の ISS 長期滞在ミッション	1-1
1.1 星出宇宙飛行士の ISS 長期滞在	1-1
1.2 ソユーズ TMA-05M(31S)フライト	1-4
1.2.1 飛行計画概要	1-4
1.2.2 ソユーズ TMA-05M 搭乗クルー	1-5
1.3 星出宇宙飛行士のプロフィール	1-6
1.4 星出宇宙飛行士の任務	1-14
1.4.1 第 32 次／第 33 次長期滞在ミッションの実験運用に関連する作業	1-15
1.4.2 ISS の定期的な点検・メンテナンス作業	1-61
1.4.3 ISS での船外活動	1-64
1.4.4 HTV とドラゴン補給船の把持運用	1-68
1.5 第 32 次／第 33 次長期滞在中の主なイベント	1-71
1.6 ISS 長期滞在ミッションに向けたこれまでの訓練	1-73
2. ソユーズ宇宙船について	2-1
2.1 ソユーズ宇宙船の構成	2-2
2.1.1 軌道モジュール	2-2
2.1.2 帰還モジュール	2-3
2.1.3 機器／推進モジュール	2-4
2.1.4 ソユーズ TMA 宇宙船の主要諸元	2-5
2.1.5 ソユーズ宇宙船の改良	2-6
2.1.6 ソユーズ宇宙船のシステム概要	2-8
2.1.6.1 環境制御／生命維持に関わる装置類	2-8
2.1.6.2 通信(アンテナ)に関わる装置類	2-8
2.1.6.3 電力に関わる装置類	2-8
2.1.6.4 Kurs ランデブ／ドッキングシステム	2-9
2.1.6.5 ドッキング機構	2-11
2.1.6.6 軌道制御エンジン／姿勢制御スラスター	2-12
2.1.6.7 打上げ時の緊急脱出に関わる装置	2-13
2.1.6.8 サバイバルキット	2-14
2.1.6.9 Sokol 与圧服と専用シート	2-15
2.1.6.10 ソユーズ宇宙船の着陸について	2-17
2.1.6.11 着地時に使う衝撃緩和用ロケット	2-17
2.1.7 ソユーズ宇宙船の運用概要	2-19
2.1.7.1 打上げ準備	2-20
2.1.7.2 打上げ／軌道投入	2-23
2.1.7.3 軌道投入後の作業(飛行 1 日目～3 日目)	2-24
2.1.7.4 ランデブ／ドッキング(飛行 3 日目)	2-27
2.1.7.5 再突入／着陸(帰還当日)	2-30
2.1.7.6 ソユーズ宇宙船の捜索・回収	2-33
2.1.7.7 帰還後のリハビリテーション	2-37
2.1.8 ソユーズロケットについて	2-39
2.1.8.1 第 1 段ロケット	2-40
2.1.8.2 第 2 段ロケット	2-41
2.1.8.3 第 3 段ロケット	2-42
2.1.8.4 フェアリングと緊急脱出用ロケット	2-43
2.1.9 バイコヌール宇宙基地について	2-45

3. 国際宇宙ステーション概要	3-1
3.1 概要.....	3-1
3.2 各国の果たす役割.....	3-3
3.3 ISSでの衣食住.....	3-5
3.3.1 ISSでの生活.....	3-5
3.3.2 ISSでの食事.....	3-14
3.3.3 ISSでの健康維持.....	3-19
3.3.4 ISSでの保全・修理作業.....	3-24
3.4 ISSでの水・空気のリサイクル.....	3-33
3.4.1 水の再生処理.....	3-33
3.4.2 空気の供給.....	3-39
4. 船外活動(EVA)について	4-1
4.1 船外活動(EVA)とは.....	4-1
4.2 宇宙服及び関連システム概要.....	4-4
4.2.1 米国の宇宙服.....	4-5
4.2.2 エアロック.....	4-14
4.2.3 EVA 工具、EVA 支援機器.....	4-16
4.2.4 EVA の運用(プリブリーズについて).....	4-26

付 録

付録 1 略語集	付録 1-1
付録 2 「きぼう」日本実験棟概要	付録 2-1
2.1 「きぼう」の構成.....	付録 2-1
2.2 「きぼう」の主要諸元.....	付録 2-11
2.3 「きぼう」の運用モード.....	付録 2-13
2.4 「きぼう」船内実験室のラック.....	付録 2-15
2.5 運用管制.....	付録 2-27
付録 3 参考データ	付録 3-1
3.1 ISSにおけるEVA履歴.....	付録 3-1
3.2 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴.....	付録 3-12
3.3 ISS長期滞在クルー.....	付録 3-15
3.4 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録.....	付録 3-21
3.5 各国の宇宙滞在記録.....	付録 3-22
3.6 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録.....	付録 3-23

1. 星出宇宙飛行士のISS長期滞在ミッション

1.1 星出宇宙飛行士のISS長期滞在

2012年7月中旬、星出宇宙飛行士が、若田、野口、古川宇宙飛行士に次いで、国際宇宙ステーション(ISS)での日本人として4人目となる長期滞在を開始します。星出宇宙飛行士は、第32次／第33次長期滞在クルーのフライトエンジニアとしてISSに約4ヶ月間滞在し、ISSの運用・維持管理を行うほか、「きぼう」日本実験棟での実験運用や、宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機(HTV3)の結合作業や物資の移送作業などを、また作業時間の調整が整えば船外活動も実施する予定です。



図1.1-1 第32/33次長期滞在クルー(NASA)

左からサニータ・ウィリアムズ、ユーリ・マレンチェンコ、星出彰彦、エヴゲニー・タレルキン、オレグ・ノヴィツキー、ケビン・フォード

ソユーズ宇宙船で打ち上げられた星出宇宙飛行士は、ISSに到着すると第32次長期滞在クルーとなります。2012年9月に第31/32次長期滞在クルーのパダルカ宇宙飛行士(コマンダー)とアカバ宇宙飛行士、レビン宇宙飛行士(共にフライトエンジニア)が帰還すると、ウィリアムズ宇宙飛行士をISSコマンダーとする第33次長期滞在ミッションが開始され、星出宇宙飛行士は第33次長期滞在クルーとなります。

※詳細は1.5項「第32次／第33次長期滞在中の主なイベント」を参照ください。

星出宇宙飛行士の参加する第32次／第33次長期滞在ミッションには、以下のような特徴および意義があります。

1) **自身が組み立てた我が家「きぼう」の利用へ**

星出宇宙飛行士は技術者出身の宇宙飛行士としての特徴を活かしながら、自身が1Jミッション(STS-124)で組み立てた「きぼう」船内実験室を中心に、ISSでの作業や実験運用を実施します。宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機(HTV3)で、新たに水棲生物実験装置(AQH)と、ポート共有実験装置(MCE)を運ぶため、これらの設置作業や点検作業を行う予定です。

AQH(Aquatic Habitat)、MCE(Multi-mission Consolidated Equipment)

2) **HTV3の把持作業、小型衛星の放出、ドラゴン補給船の把持作業 (※)**

星出宇宙飛行士は「こうのとり」3号機(HTV3)の把持・結合と解除作業を行います。日本人宇宙飛行士が滞在している期間中にHTVが到着するのは初めてとなります。また、米国のスペースX社が開発したドラゴン補給船の運用1号機(Spx-1)が早ければこの期間内にISSに到着する可能性があるため、その場合は同様に支援する予定です。ドラゴン補給船は、HTVと同じ方式でISSに結合されます。

また、HTV3でISSに運び込んだ小型衛星(CubeSat)を、きぼうのエアロックとロボットアームを使って船外に放出する作業も行う予定です。

※ 「こうのとり」3号機の把持・結合作業は、アカバが担当し、星出がサポートする予定です。

※ ドラゴン運用1号機の把持・結合作業は、ウィリアムズが担当し、星出がサポートする予定です。

※ 小型衛星放出時の操作を、地上から行うか、クルーが行うかは未定ですが、エアロックへの取り付け作業とエアロックの操作はクルーが行います。きぼうロボットアームの放出位置への移動は地上から行います。

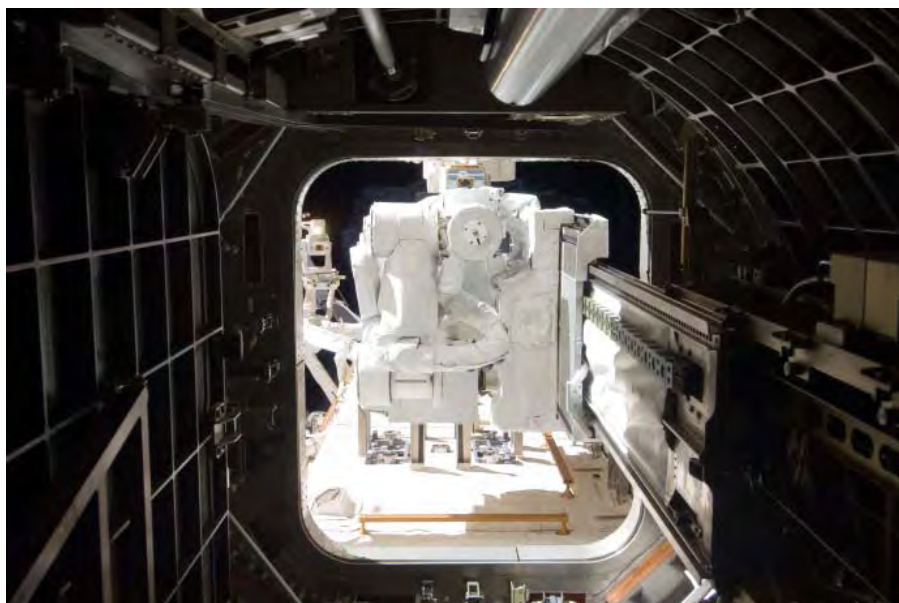


図1.1-2 エアロックを使って子アームを船外へ移動したときのエアロック内の様子(NASA)

3) ISSに滞在する日本人宇宙飛行士による初の船外活動 (※調整中)

日本人による船外活動は、これまで土井宇宙飛行士(STS-87で2回)、野口宇宙飛行士(ISSミッションであるSTS-114で3回)が行ってきましたが、ISS長期滞在クルーとして行うのは初めてとなります。ISS長期滞在クルーが行う船外活動作業は、軌道上での他の作業の状況に影響されるため、実施時期や作業内容もなかなか決まらない難しさがあります(※5月末現在、実施に向け調整中ですが、NASAとしては故障した機器の修理をできるだけ早く行いたい意向であるため、実施に向けた準備が進められています)。



図1.1-3 船外活動の訓練を行う星出宇宙飛行士 (JAXA/NASA)

4) 日本人3人目のソユーズ宇宙船フライトエンジニア

星出宇宙飛行士は、日本人としては野口、古川宇宙飛行士に次いで3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、ISSに打ち上げられます。ソユーズ宇宙船内で星出宇宙飛行士が座るのは、右側の座席です。

5) 補給物資、不用品の移送・収納作業

星出宇宙飛行士のISS滞在中、日本の宇宙ステーション補給機3号機(HTV3)、ロシアのプログレス補給船48P、49P、スペースX社のドラゴン補給船運用1号機(Spx-1)がISSに到着する予定です。その他、欧州補給機3号機(ATV-3)とプログレス補給船47Pの分離が行われるほか、ISS長期滞在クルーは、運ばれた物資を荷下ろしして所定の場所に収納あるいは設置したり、HTV3とATV-3の分離前にはISSからの不用品を積み込んだりといった作業を実施します。



図1.1-4 上:ISS内で物資を運搬・収納する様子(NASA)、
下:ズヴェズダにドッキングしたATV-3 (NASA)

【参考】星出彰彦 宇宙で楽しく働き未来につながる成果を残したい
(2012年6月21日 JAXAインタビュー)

http://www.jaxa.jp/article/interview/2012/vol72/index_j.html

1.2 ソユーズTMA-05M(31S)フライト

ソユーズTMA-05M(31S)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31回目、ソユーズ宇宙船の交換フライトとしては30回目となります。

1.2.1 飛行計画概要

ソユーズTMA-05M(31S)の飛行計画の概要を表1.2-1に示します。

表1.2-1 ソユーズTMA-05M(31S)フライトの飛行計画概要

2012年7月10日現在

項目	飛行計画	
ミッション番号	31S(ソユーズ宇宙船の通算31回目のISSフライト)	
機体名称	ソユーズTMA-05M	
打上げ予定日時	2012年7月15日11時40分 (JST) 2012年7月15日08時40分 (バイコヌール時刻)	
打上げ場所	カザフスタン共和国 バイコヌール宇宙基地	
飛行期間	約120日間	
搭乗員	ソユーズコマンダー フライトエンジニア フライトエンジニア	ユーリ・マレンチェンコ サニータ・ウィリアムズ 星出 彰彦
軌道高度	軌道投入高度 : 約200km x 250km ISSとのドッキング高度:(平均高度)約400km	
軌道傾斜角	51.6度	
ISSドッキング予定日時	2012年7月17日13時50分頃(JST)	
ISS分離予定日	2012年11月12日(GMT)	
帰還予定日	2012年11月12日(GMT)	
帰還予定場所	カザフスタン共和国	

飛行期間はNASA情報による。

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition33/index.html

1.2.2 ソユーズTMA-05M搭乗クルー



ソユーズコマンダー(Commander)

ユーリ・マレンチェンコ (Yuri Malenchenko)

1961年12月 ウクライナ生まれ。ロシア空軍大佐。

1987年に宇宙飛行士としての訓練を開始。

1994年7月から11月までミール16次クルーとしてミール宇宙ステーションに滞在。2000年9月、STS-106(2A.2b)でISSミッションに参加。2003年4月から10月まで、第7次長期滞在のコマンダーとしてISSに滞在し185日間の宇宙滞在を経験。2007年10月にソユーズTMA-11(15S)で打ち上げられ、192日間宇宙に滞在。4回の宇宙飛行の宇宙滞在期間は計514日11時間58分。今回が5回目の飛行で、ISS滞在は3回目となる。



フライトエンジニア(Flight Engineer)

サニータ・ウィリアムズ (Sunita Williams)

1965年9月、オハイオ州生まれ。

米海軍大佐。海軍のヘリコプターのテストパイロット。1998年に宇宙飛行士に選抜された。モスクワの連絡担当として第1次長期滞在クルーを支援。その後、ISSのロボティクス部門で特にSPDM「デクスター」に関する調整作業を実施。STS-116で初飛行し、STS-117で帰還(第14/15次長期滞在クルー)。

2006年のSTS-116のEVA 1回と、ISSで行われた3回のUS EVAを担当し、女性のEVA時間の最長記録29時間17分を樹立(→2008年1月にペギー・ウィットソンが6回のEVAで計39時間46分として記録を更新)。

前回の軌道上滞在時には、軌道上のTVISを使用してボストンマラソンに正式参加し、完走を果たした。

シャノン・ルーシッドが持っていた女性の1回の飛行での宇宙滞在記録188日4時間を更新し、194日18時間58分の記録を持つ。今回が2回目の飛行。



フライトエンジニア(Flight Engineer)

星出 彰彦 (JAXA)

プロフィールは次ページ参照

1.3 星出宇宙飛行士のプロフィール

星出 彰彦 ほしで あきひこ

【所属】

JAXA 有人宇宙環境利用ミッション本部
有人宇宙技術部 宇宙飛行士

今回が2回目の飛行。



表1.3-1 星出宇宙飛行士の経歴

1968年	東京都に生まれる。
1992年	慶應義塾大学理工学部機械工学科卒業。
1997年12月	UNIVERSITY OF HOUSTON CULLEN COLLEGE OF ENGINEERING 航空宇宙工学修士課程修了。
1992年 ～1994年	NASDA(現JAXA)名古屋駐在員事務所において、H-IIロケットなどの開発・監督業務に従事。
1994年 ～1999年	筑波宇宙センターやNASAジョンソン宇宙センターなどにおいて、宇宙飛行士訓練計画の開発支援や実験装置の人間機械系設計評価支援および、若田宇宙飛行士の搭乗したSTS-72ミッションなどの支援等、宇宙飛行士の技術支援業務に従事。
1999年2月	NASDA(現JAXA)よりISSに搭乗する日本人宇宙飛行士の候補者として、星出彰彦、角野(現:山崎)直子とともに選定される。
1999年4月～	NASDAが実施する日本人ISS搭乗宇宙飛行士の基礎訓練に参加。
2001年1月	宇宙飛行士として認定される。
2001年4月～	ISS参加機関の国際協力のもとに実施されるISS搭乗宇宙飛行士のアドバンスト訓練に参加。 併せて、ISSに取り付けられる「きぼう」日本実験棟および宇宙ステーション補給機(HTV)などの開発・運用に関わる技術支援業務などを実施。
2004年5月	ソユーズTMA宇宙船フライトエンジニア資格を取得。 同年6月よりNASAミッションスペシャリスト(搭乗運用技術者:MS)候補者訓練に参加。
2006年2月	NASAよりMSとして認定される。
2007年3月	「きぼう」日本実験棟の打上げ3便のうち、2便目の1Jミッション(STS-124)のスペースシャトル搭乗が決定。
2008年6月	スペースシャトル「ディスカバリー号」による1Jミッション(STS-124)に参加。日本人で初めてISSのロボットアーム(Space Station Remote Manipulator System: SSRMS)を操作して、「きぼう」日本実験棟船内実験室のISSへの取付けや、3月にISSへ仮設置された船内保管室の船内実験室への移設を行った。また、船内実験室の起動、「きぼう」ロボットアームの初期起動など、「きぼう」に関わる作業全般を担当。
2009年11月	ISS第32次／第33次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命。

- 星出宇宙飛行士の長期滞在ミッションのロゴマーク



JAXAが作成したこのロゴマークには、以下のような意味がこめられています。

このロゴは、星出宇宙飛行士が学生時代に親しんだスポーツであるラグビーのボールをモチーフにデザインされ、ISSでの運用・実験を成功に導くために必要不可欠なすべての関係者のチームワークを表す、「One for All, All for One(1人は皆のために、皆は1人のために)」という、ラグビーの精神を表現しています。



図1.3-1 Expedition 32, 33の各ミッションパッチ(NASA)



図1.3-2 ソユーズTMA-05Mのクルーパッチ (Roscosmos)

●宇宙飛行士 星出ヒストリー

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/history/

・宇宙飛行士になりたくてNASDAに入社

星出青年が大学4年生のとき、日本で2度目の宇宙飛行士候補者の募集がありました。宇宙飛行士候補者の募集には「実務経験3年以上」という要件があったため、当時の星出青年は要件を満たしていませんでしたが、熱意を見せるべく宇宙開発事業団(NASDA、現JAXA)の窓口で直談判しに行きました。当然応募は受け入れられませんが、星出青年は宇宙に携わっていきたいという思いから、NASDAへの就職を決めました。

1992年、旧宇宙開発事業団(NASDA、現JAXA)に入社した星出職員は、現場での仕事を志望したことから名古屋駐在員事務所勤務となりました。H-IIロケットなどの開発監督業務に従事し、ロケットの部品テストや、組立て後の試験に立ち会うなど、ものづくりに携わりました。

名古屋駐在員事務所での勤務が2年経過した1994年、筑波宇宙センターにある宇宙飛行士を支援する部署に異動になりました。同じころ、若田宇宙飛行士が宇宙飛行士候補者訓練を終了し、ミッションに向けての訓練を開始することになり、星出職員はヒューストンで若田宇宙飛行士の技術サポートを担当することになりました。

・宇宙飛行士候補者時代

1998年に日本で4度目の宇宙飛行士選抜試験が行われ、星出職員はもちろん試験に再チャレンジしました。そしてこの2度目の受験(応募要件を満たさなかった時を含めると3度目)で、とうとう星出職員はISSに搭乗する日本人宇宙飛行士候補者として、古川聡、山崎(旧姓角野)直子とともに選抜されたのでした。1999年4月から日本人ISS搭乗宇宙飛行士候補者として基礎訓練を開始しました。

基礎訓練では、ISSに滞在する宇宙飛行士として必要な科学的・技術的知識、技能、語学力、体力などを習得しますが、これが日本で初めて行われた宇宙飛行士候補者の基礎訓練となりました。

星出宇宙飛行士候補者は宇宙飛行士になる前にNASDAの職員として国際的な「宇宙飛行士基礎訓練要求」の作成に関わっていたこともあり、訓練を受ける立場からも訓練について改善点など意見を述べ、訓練する側・受ける側が一緒になって日本における訓練をつくりあげていきました。

・NASAのキャプコムを担当

最初の宇宙飛行を終えた星出宇宙飛行士は、STS-124(1J)ミッションの経験を活かし、ヒューストンの地上管制官の一員としてISSやスペースシャトルとの交信担当(CAPCOM)を担いました。2009年7月のSTS-127(2J/A)ミッションでは、交信担当の代表としてミッションをサポートし、若田宇宙飛行士らの「きぼう」への船外実験プラットフォームの取付けや、船外実験プラットフォームに船外パレットを取り付けるミッションに地上から貢献しました。また、山崎直子宇宙飛行士が搭乗したSTS-131(19A)ミッションでは、スペースシャトルとの交信担当としてミッションをサポートしました。

そして、2009年9月、「こうのとり」1号機が打ち上げられました。星出宇宙飛行士は「こうのとり」のISSへの結合時にはNASAのミッション・コントロール・センター(Mission Control Center: MCC)でCAPCOMを務め、「こうのとり」で運んだ船外実験装置の設置作業では、「きぼう」のロボットアーム運用の技術支援を行いました。



図 1.3-3 CAPCOM として HTV の ISS への接近をモニタする星出宇宙飛行士 (JAXA/NASA)

HTV 技術実証機が ISS に接近する際の NASA のミッション・コントロール・センター (Mission Control Center: MCC) の様子。星出宇宙飛行士は、ISS との交信を行う CAPCOM (Capsule Communicator) を担当。(2009/9/18)

【参考】STS-124(1J)ミッションについて

星出宇宙飛行士が前回飛行したSTS-124は、日本時間2008年6月1日に打上げられました。このミッションでは、きぼう船内実験室を運んでISSに設置を行い、起動する作業が行われました。

日本時間6月4日に、星出宇宙飛行士とナイバーク宇宙飛行士がISSのロボットアーム(SSRMS)を操作して、きぼう船内実験室をシャトルの貨物室から持ち上げてISSに結合させました。6月5日には、きぼうの起動作業が行われ、初めて入室が行われました。

入室前に、ハッチの前で星出宇宙飛行士が「ラックがまだ全部入っていないので、空っぽなんですけど、本当に夢がつまったモジュールだと思います。」と語った後、入室が行われました。星出宇宙飛行士とナイバーク宇宙飛行士の2人が入室して内部に問題がない事を確認すると、ゴーグルとマスクを外す許可が出され、10人全員がきぼう船内実験室内に入って、スカイラブ以来となった広大な空間をしばらく楽しみました。

その後、1J/Aミッションで船内保管室に搭載して先に運んでいたシステムラックと実験ラック計8台を船内実験室内に移設する作業を行いました。



図1.3-4 きぼう船内実験室を運んだSTS-124 (NASA)

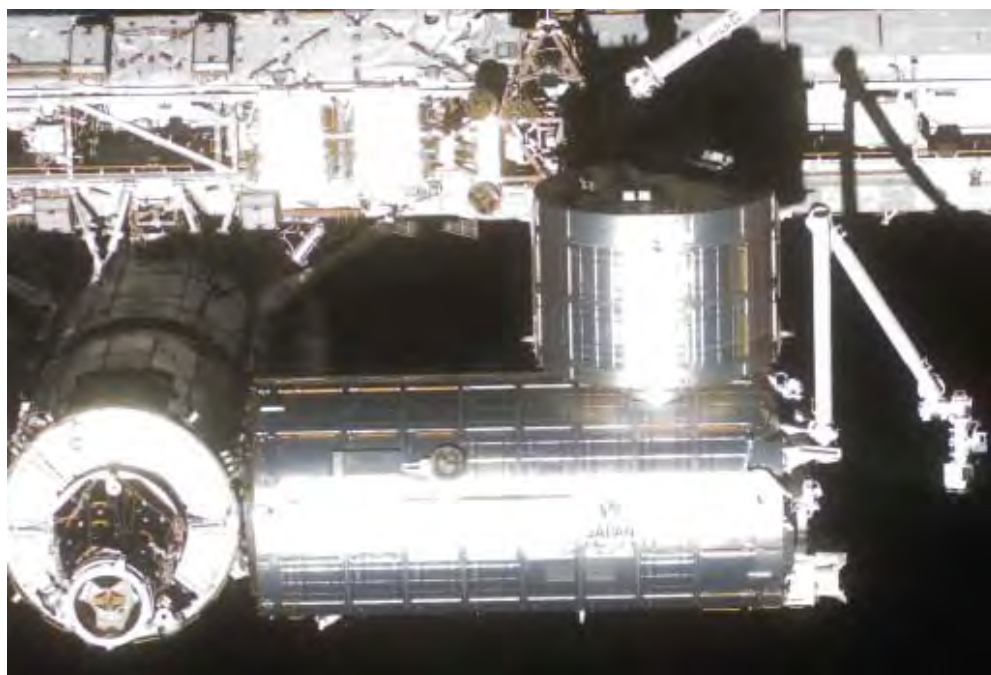


図1.3-5 STS-124ミッション終了時のきぼうの外観 (NASA)



図1.3-6 船内実験室への入室直後の様子 (NASA TV)



図1.3-7 ロボットアーム操作用のJEMRMSラックを移設する様子 (NASA)

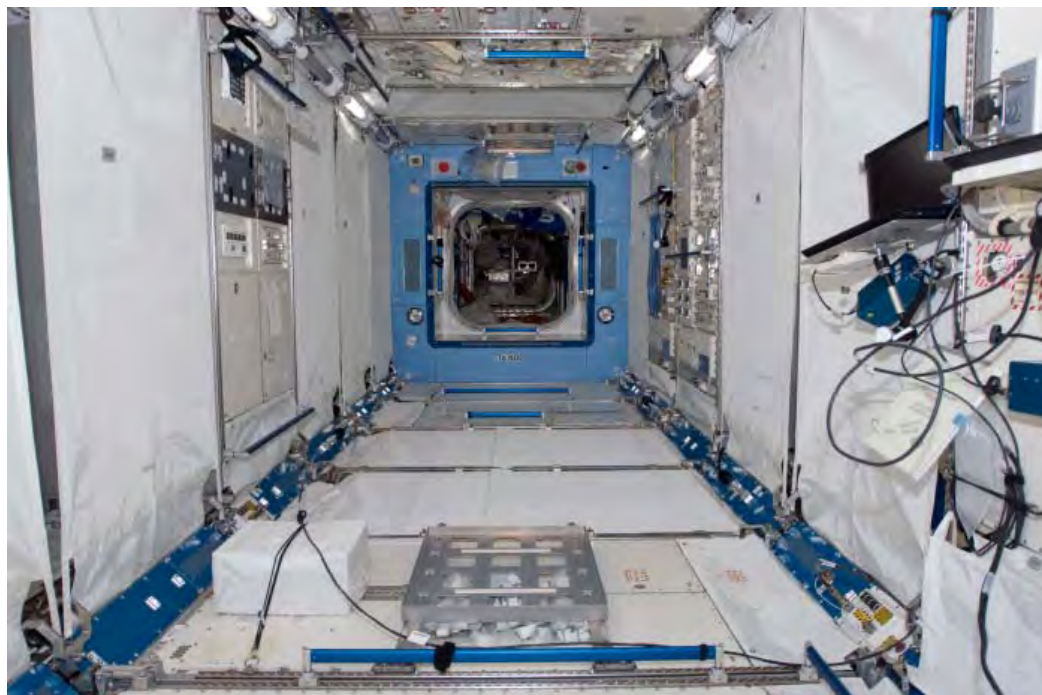


図1.3-8 STS-124の飛行7日目のきぼう船内保管室内の様子 (NASA)
(2008年6月)



図1.3-9 2012年4月に撮影されたきぼう船内保管室内の写真 (NASA)

1.4 星出宇宙飛行士の任務

ISSのフライトエンジニア(FE)である星出宇宙飛行士の今回の任務は、以下の通りです。

(1)実験運用に係る任務

「きぼう」日本実験棟の実験運用をとりまとめるとともに、「コロンバス」(欧州実験棟)及び「デスティニー」(米国実験棟)での実験運用も行います。

(2)システム運用に係る任務

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

(3)ISSのロボットアームの操作支援

滞在中に到着するHTV3、ドラゴン補給船をISSのロボットアームを使って把持、あるいは分離する作業を支援します。

(4)船外活動担当

滞在中に米国の船外活動を行う場合には作業を担当します。

(5)クルー・メディカル・オフィサーに係る任務

軌道上で病人や怪我人が発生した際に、地上の航空宇宙医師(Flight Surgeon: FS)の指示の下で救急処置を行います。

(6)その他の任務

ISSに結合した補給船の物資の運搬や収納・管理などの作業を実施したり、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を行ったり、広報イベントを行うなど、通常業務のほかにも様々な作業を行います。



トレッドミルの保全修理



細胞培養装置を扱う若田宇宙飛行士



冷凍冷蔵庫の冷凍試料を扱う野口宇宙飛行士

なお、星出宇宙飛行士のISSでの活動は、JAXA公開ホームページ「星出宇宙飛行士最新情報」(http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/news/)に最新情報として掲載します。

1.4.1 第32次／第33次長期滞在ミッションの実験運用に関連する作業

2009年7月、「きぼう」日本実験棟船外実験プラットフォームが「きぼう」に取り付けられ、日本初の有人宇宙施設、「きぼう」日本実験棟が完成しました。

現在、「きぼう」では船内実験室、船外実験プラットフォームでは、科学、応用利用、宇宙医学・有人宇宙技術開発、教育・文化利用、天体観測、環境計測分野の実験が実施されており、星出宇宙飛行士が参加する第32次／第33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://kibo.jaxa.jp/experiment/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。

注：夏に米国の船外活動を実施する場合は、クルーの作業スケジュールに影響が出るため、実験の実施予定が変わる可能性があります。

1.4.1.1 JAXAの実験

星出宇宙飛行士滞在中に実施が予定されている実験を以下に示します。

表1.4.1.1-1 星出宇宙飛行士が担当として割り当てられている実験(2012年6月現在)

分野		テーマ名	参照項番号
科学実験	物質科学	マランゴニ実験 (Marangoni)	(1)
		微小重力における溶液からのタンパク質結晶の成長機構と完全性に関するその場観察による研究 (Nano Step)	(2)
	生命科学	メダカにおける微小重力が破骨細胞に与える影響と重力感知機構の解析 (Medaka Osteoclast)	(3)
		放射線環境モニタリング (PADLES)	(4)
	宇宙医学	長期宇宙滞在宇宙飛行士の毛髪分析による医学生物学的影響に関する研究 (Hair)	(5)
		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)	(6)
		宇宙医学実験支援システムの機能検証	(7)
		国際宇宙ステーション内における微生物動態に関する研究 (Microbe3)	(8)
理工学ミッション		小型衛星放出ミッション	(9)
		再突入データ収集装置 (i-Ball) 放出	(10)
文化・人文社会科学利用		手に取る宇宙～message in a bottle～(再実験) : 小型衛星放出時に実施	(11)
有償テーマ			(12)
教育利用		3件(ふしぎ実験、レポート、ビデオ撮影)	(13-15)

なお、これ以外にもきぼうの船外では船外プラットフォームを利用した実験が継続的に行われています((16)～(18)参照)。

(1) マランゴニ実験（ハードディスク(HDD)の交換作業）

[マランゴニ対流実験は、RYUTAIラックの流体物理実験装置を使用します。]

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://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/first/marangoni/>



図1.4.1.1-1 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)

(2) 微小重力における溶液からのタンパク質結晶の成長機構と完全性に関するその場観察による研究（Nano Step）

RYUTAI実験ラックの溶液結晶化観察装置(Solution Crystallization Observation Facility : SCOF)に、リゾチーム種結晶とリゾチーム結晶成長溶液の入った試料セル(反射型干渉計を搭載)を設置して、温度を少しずつ上げ下げしながら、結晶表面の成長様式や微細欠陥、成長速度を反射型干渉計を使って詳しく観察したり測定することで、タンパク質結晶の成長機構を観察します。

タンパク質結晶以外の結晶成長では、その結晶が成長する溶液の濃度と成長速度の関係を調べれば、大体のメカニズムがわかりますが、タンパク質結晶は他の結晶に比べると成長するのが非常に遅いため、成長速度の測定には、レーザー干渉計という、光の波長を物差しとして速度を測る特殊な装置を使います。このように結晶が成長しているプロセスを直接観察したり測定したりする方法を“その場”観察法といい、世界に誇れる研究方法でもあります。これまでの欧米の研究のように、宇宙で結晶をつくり地上に回収してから結晶を調べるような間接的な方法とは一線を画する方法です。

ISSやスペースシャトルで行われたタンパク質の結晶をつくる実験では、結晶の完全性が向上する例が多数報告されています。これは、微小重力下では対流がないことから、タンパク質分子がゆっくりと結晶に取り込まれる(成長が遅い)効果によるところが大きいと考えられてきました。しかし、回収衛星での実験や航空機実験で調べたところ、微小重力のほうが結晶の成長が速いケースがあることがわかりました。これらの新しい現象を正しく理解して、完全性の高い結晶を得るための指針を探るために、“その場”観察を行います。

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/application/pm02/tsukamoto.pdf>

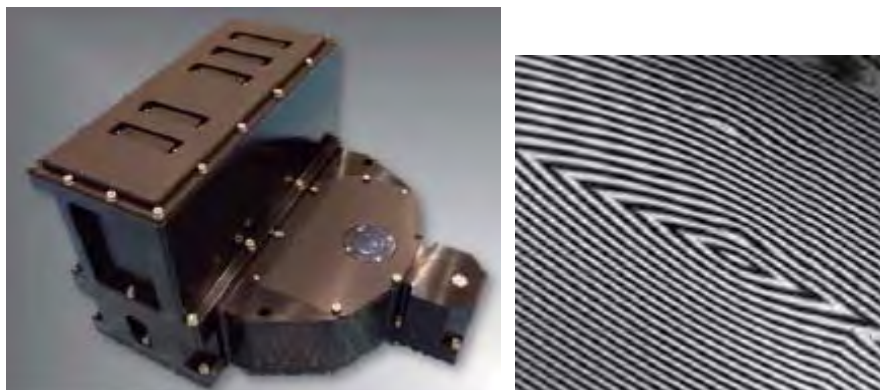


図1.4.1.1-2 Nano Step用の実験装置と反射型干渉計で観察した結晶表面

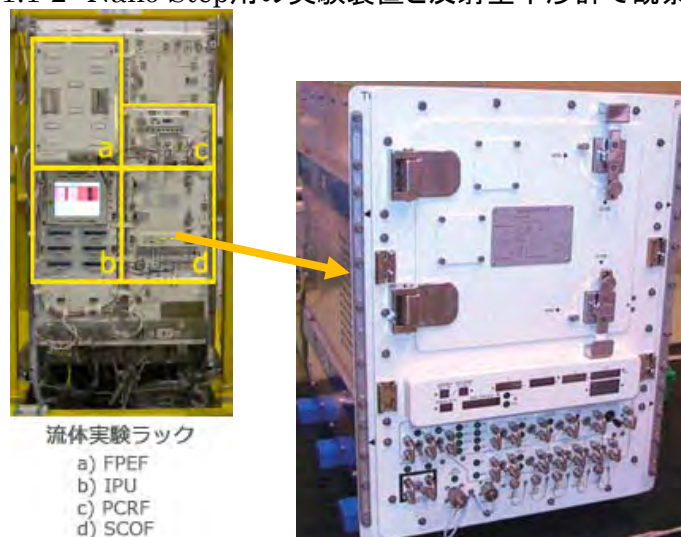


図1.4.1.1-3 RYUTAI実験ラックの溶液結晶化観察装置(SCOF)

本実験で使う装置(反射型干渉計も内臓)はHTV3で運搬され、ISS到着後、速やかに星出宇宙飛行士がSCOFに設置する予定です。実験装置に設置する試料セルは3つあり、1つのセルあたり35日間かけて実験を行うため、実験が終了するのは5か月後の12月となる予定です。

この実験は、成長させたタンパク質を地上に回収することはせず、映像を記録して成長機構を観察するのみとなります。

Nano Stepという名称は、タンパク質分子が結晶成長時につくる結晶表面の階段がナノレベルのサイズであることに由来しており、この様子を反射型干渉計を使って観察します。

(3)水棲生物実験装置(AQH)を使った「メダカにおける微小重力が破骨細胞に与える影響と重力感知機構の解析 (Medaka Osteoclast)」実験
http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/application/pm02/Kudo_J.pdf

HTV3で運搬する水棲生物実験装置(Aquatic Habitat: AQH)の設置作業を行い、メダカの飼育を行います。なお、メダカは10月中旬のソユーズ宇宙船でISSに輸送する予定です。Medaka Osteoclast実験は、微小重力の宇宙では、骨への荷重がなくなり、骨を支えている腱や筋肉がゆるみ、この“ゆるみ”が骨に影響することで破骨細胞を活性化し骨量減少を引き起こすのではないかととの考察を調べる実験を、蛍光タンパク質で破骨細胞と骨芽細胞の両方を識別できるトランスジェニックメダカを用いて行います。

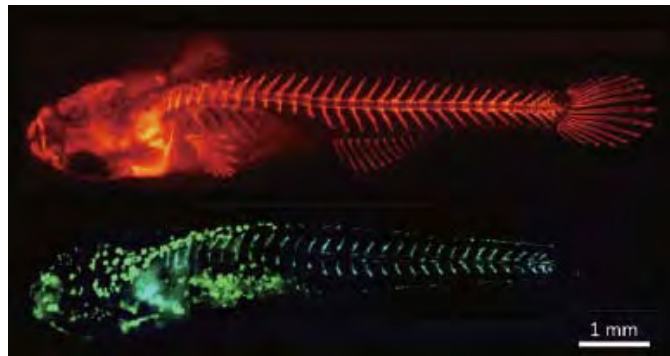


図1.4.1.1-4 ダブルトランスジェニックメダカの蛍光観察写真(提供:東京工業大学 工藤明教授)
 骨に局在している骨芽細胞(赤;上)と、破骨細胞(緑;下)の様子を生きた状態で観察することが可能

水棲生物実験装置は、HTV2で運搬した多目的実験ラック(Multi-purpose Small Payload Rack: MSPR)のワークボリューム(Work Volume: WV) (幅900 mm、奥行700 mm、高さ600 mm)に設置して使用される実験装置で、メダカやゼブラフィッシュなどの小型魚類を最大90日間飼育(最初のメダカ実験では60日間飼育予定)できます。

日本では、1992年の「ふわっど'92」第1次材料実験以降、様々な水棲生物の実験を行ってきました。その経験を活かし、ISSで長期間水棲生物の実験が可能な装置を世界で初めて開発しました。その結果、スペースシャトルでの実験では実現できなかった、親から孫の3世代に渡る飼育が可能となり、地上の重力を経験したことのない宇宙水棲生物の誕生や、将来の長期宇宙旅行に備え、宇宙環境が世代を超えてどのように影響するか観察することができるようになりました。

この装置は、飼育環境の制御や給餌、水槽内の観察、データモニタ等は全て自動化され、宇宙飛行士操作による生物試料の採取・化学固定・凍結や胚発生等の顕微鏡観察も実施できます。

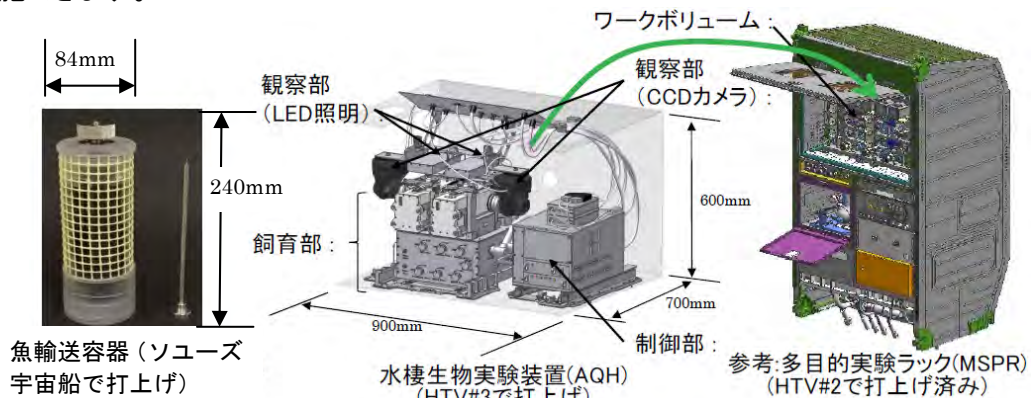


図1.4.1.1-5 水棲生物実験装置(イメージ図)

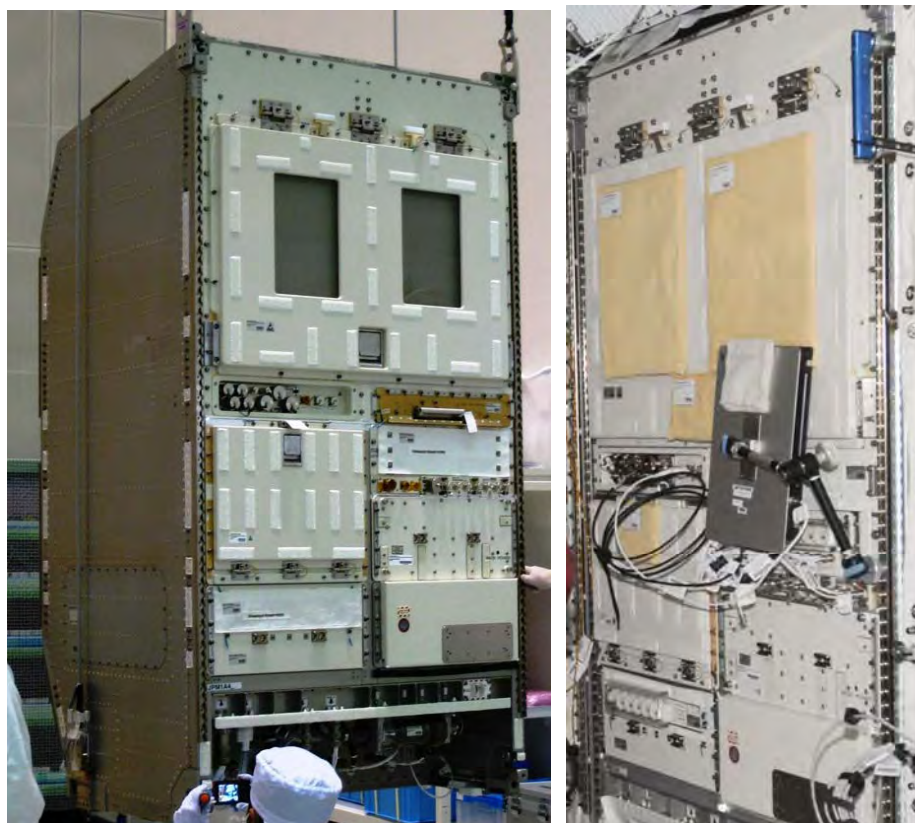


図1.4.1.1-6 多目的実験ラック (右は軌道上の写真)

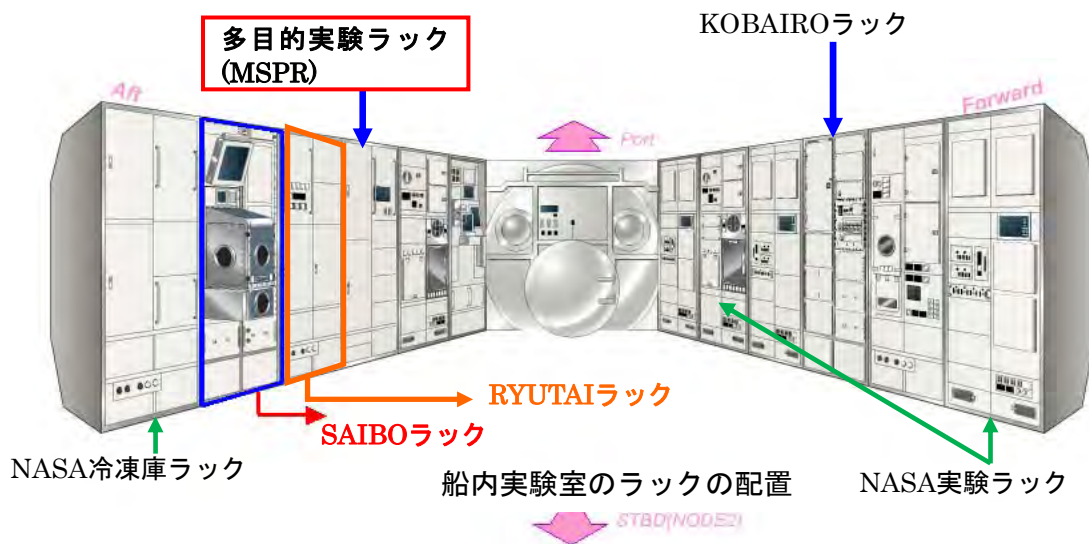


図1.4.1.1-7 【参考】多目的実験ラックの設置場所

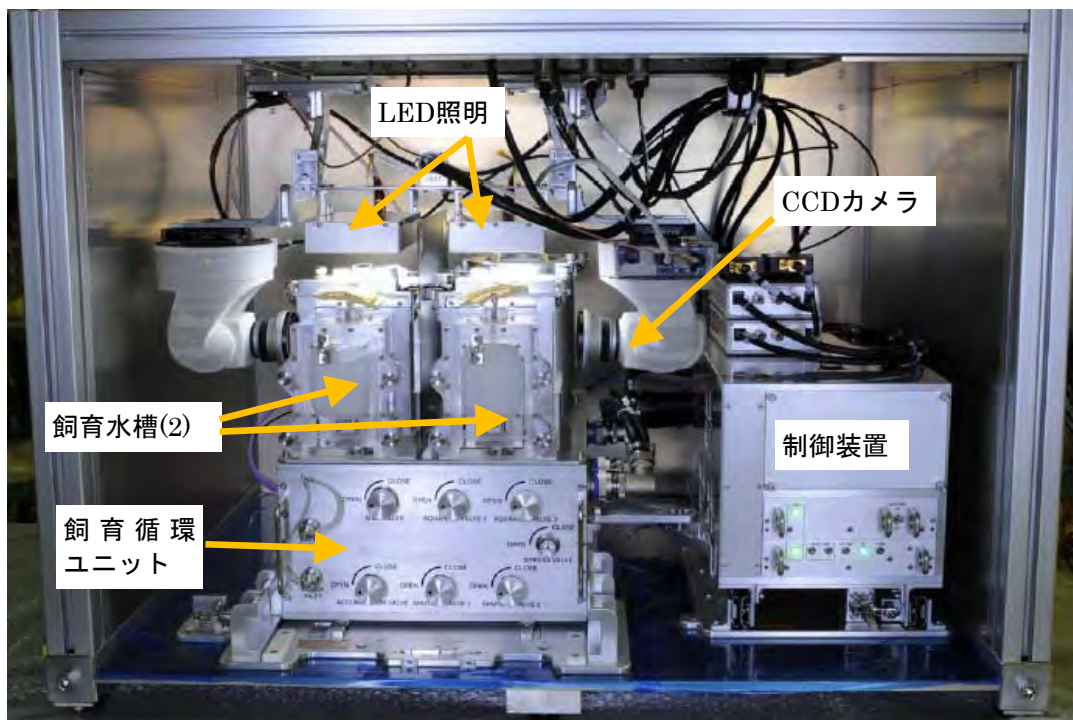


図1.4.1.1-8(1/2) 水棲生物実験装置(フライト品:ただし周囲の金属容器は地上設備)

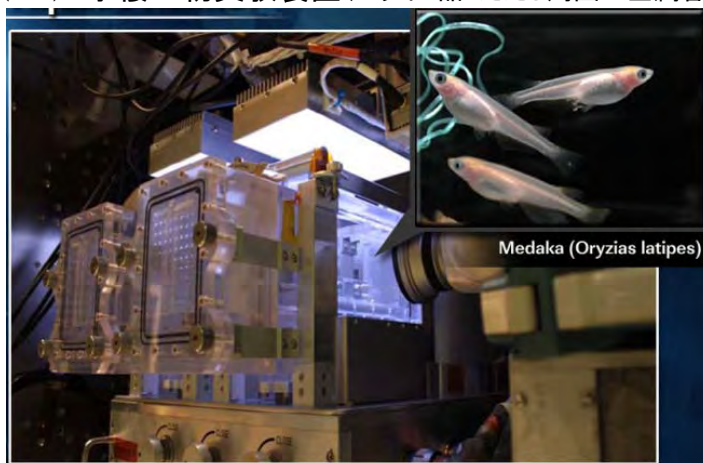


図1.4.1.1-8(2/2) 水棲生物実験装置でメダカを飼育・観察するイメージ(NASA)

表1.4.1.1-2 水棲生物実験装置の主な仕様

重量	打上げ時75kg
寸法	高さ約600mm×幅900mm×奥行700mm
飼育水槽 内寸	150×70×70mm
飼育水水温	25~30℃ (±1℃の設定で制御可能)
水質維持	生物フィルタ(硝化バクテリア附着濾材)によるアンモニア/亜硝酸処理、飼育水交換による硝酸除去、ウエストフィルタ(濾布・活性炭)による固形物捕捉と有機物質吸着
消費電力	180W(最大)
設計寿命	5年(年1回、最大90日間の実験を5回)
地上からの制御	飼育水の温度設定と流量設定、LED照明による昼夜サイクル制御、給餌制御、観察制御

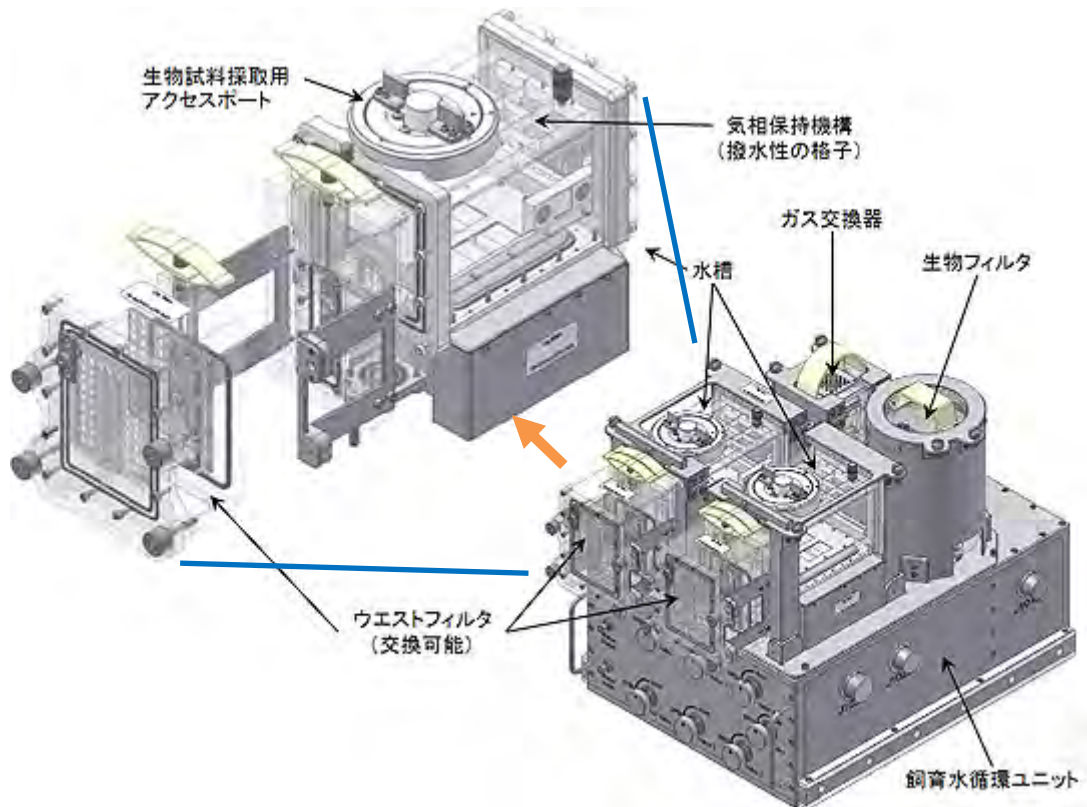


図1.4.1.1-9 水棲生物実験装置(AQH)の飼育部
(初回実験ではメダカを一水槽あたり幼魚 8匹飼育)

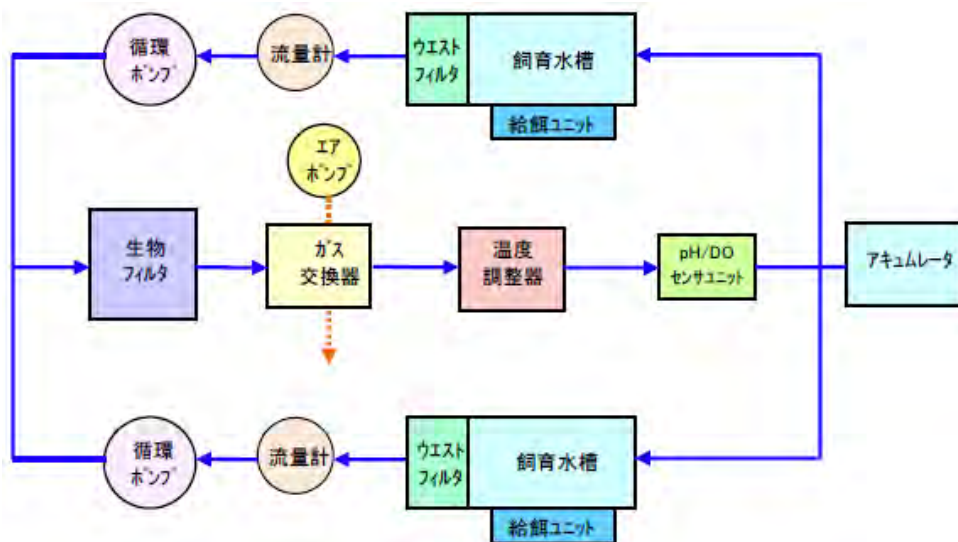


図1.4.1.1-10 AQHの飼育水循環系統図

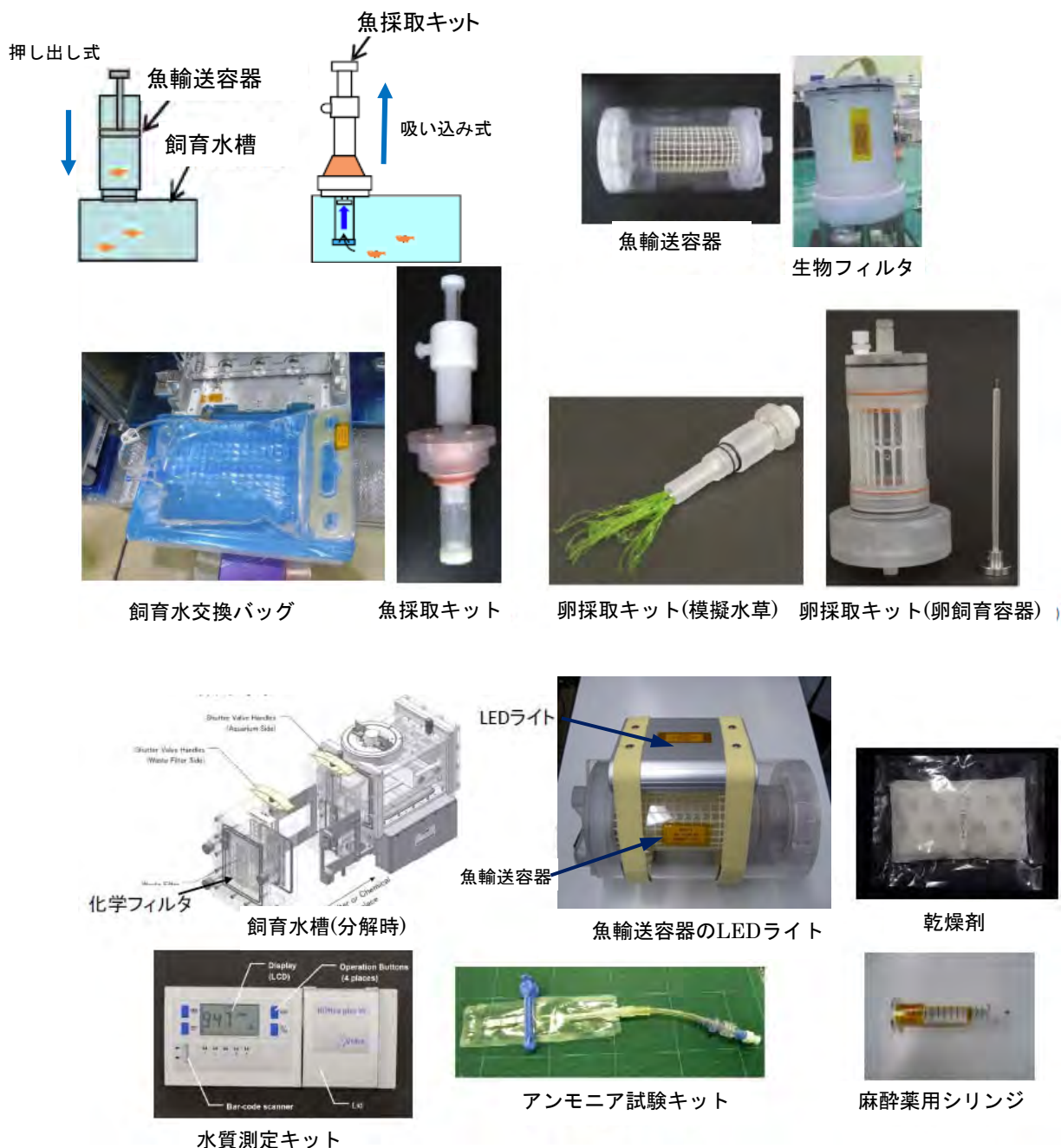


図1.4.1.1-11 AQHの様々な構成品

- ・魚輸送容器： 魚を「きぼう」上のAQHにまで輸送するための容器
- ・魚採取キット： 生物試料の処置、継代飼育時の世代交代等のため、飼育水槽内の魚をアクセスポートを介して採取する器具
- ・化学固定キット： 採取した生物試料を化学固定し、解析のために地上に回収
- ・卵採取キット： 飼育水槽内で産卵されたメダカの卵を採取し、孵化するまで維持を行う
- ・水質測定キット： サンプリングした飼育水の亜硝酸、硝酸濃度を測定
- ・アンモニア試験キット： サンプリングした飼育水のアンモニア濃度を測定
- ・飼育水交換キット： 硝酸蓄積時、あるいは水質悪化時に飼育水の置換を行う

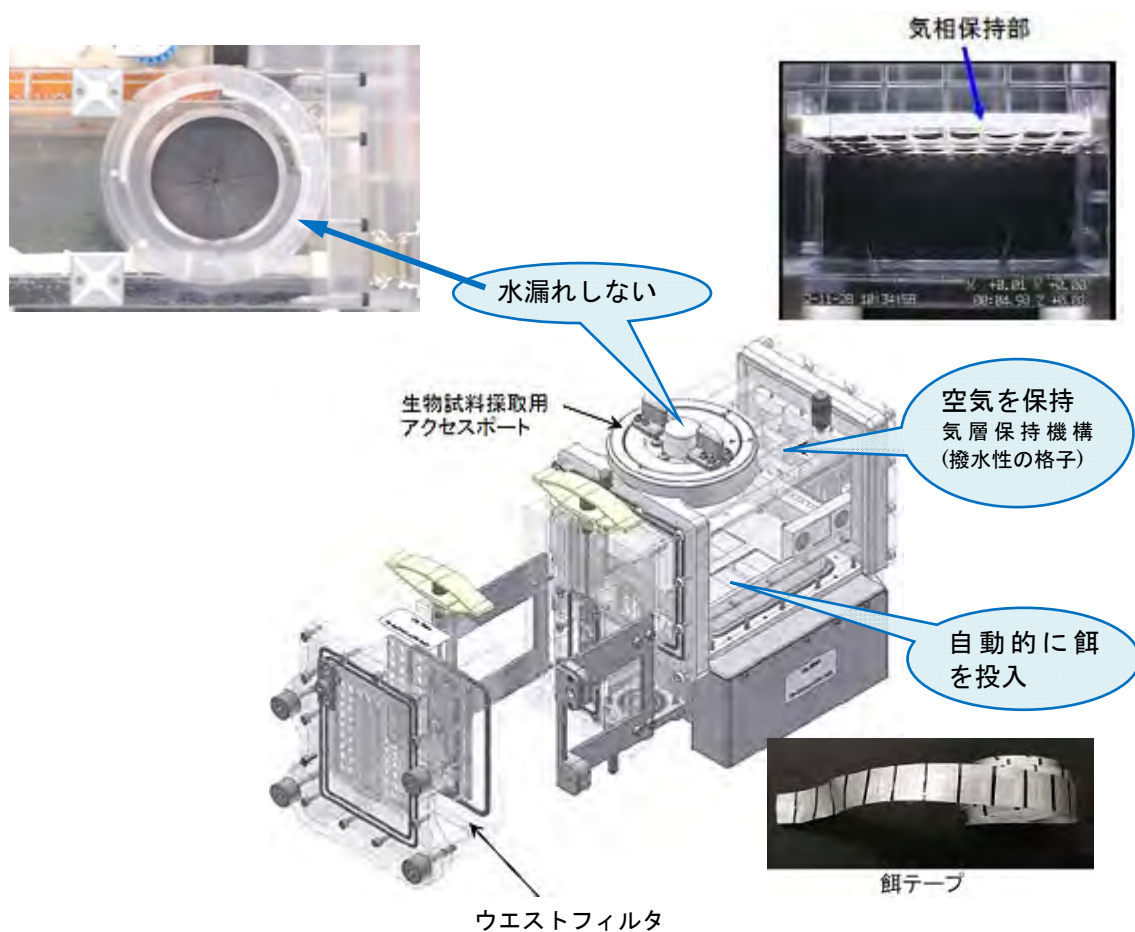


図1.4.1.1-12 AQHの水槽部の工夫

微小重力下では、蓋がない容器を使用すると水が浮いてふわふわと外に飛び出してしまいますので、完全閉鎖循環系（密閉システム）となっています。また、宇宙での水の使用量の制限を考慮し、飼育水はバクテリアを使って濾過し、少ない水量でも健康に飼育できるようにしてあります。

また、餌を1回分ずつ封入した給餌テープを順番に開いて、水槽の下部から自動的に餌を与えることができる自動給餌機構を備えています。

稚魚が浮き袋を膨らませる為には空気層が必要となります。装置内に水をはじく撥水性の格子を水槽上部に取り付けて空気を保持し、上方向から照明を照らすことによって微小重力下でも地上と同じように、光の方向に浮上すれば空気を吸うことができるようになっています。



水棲生物実験の特徴

モデル生物である メダカ、ゼブラフィッシュを選択



(写真) メダカ—日本が育てたモデル動物
東京大学 武田洋幸教授 (生命誌ジャーナル)

マウスに比べ宇宙での飼育が容易

⇒ 排泄物処理と水質維持を一元化

世代交代が早い (1~2カ月サイクル)

胚が透明で内部の観察が容易

⇒ 発生過程の研究ができる

ナショナルバイオリソースプロジェクトで供給体制を整備

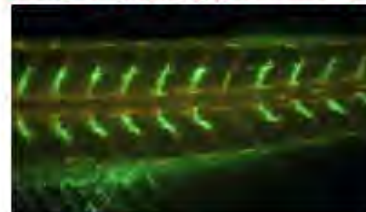
⇒ 蓄積されたゲノム情報

変異体が豊富

透明メダカ

GFP(緑色蛍光タンパク質)組み込みメダカ など

これらの特徴を最大に生かすために長期飼育に挑戦



メダカトランスジェニックライン(緑に光っているものが破骨細胞)

(解説)メダカは優れた実験動物



100年を超える、実験動物としての歴史

⇒ とくに日本での研究の蓄積

⇒ 全ゲノム塩基配列がすでに明らかにされている

毎週100~200個の産卵。2ヶ月ほどで成長する短い世代サイクル

⇒ 遺伝学的研究が容易

胚が透明で発生速度が速い

⇒ 発生学の対象として優れた特徴

胚操作が容易にできる

(マウスと違って)体外受精であるため、胚の直接操作により外来遺伝子導入などが容易にできる。これらの技術をつかって特定遺伝に着目した研究が容易にできる。

基本的に哺乳類と同等の器官・組織を備えている

ヒトの遺伝子疾患のモデルとして扱う場合、致死的な疾患であっても発生過程から観察が可能なため、実験として取り扱える

(参考) メダカ—日本が育てたモデル動物
東京大学 武田洋幸教授 (生命誌ジャーナル)

図1.4.1.1-13 宇宙実験でメダカを使う理由



宇宙での水棲生物実験の歴史

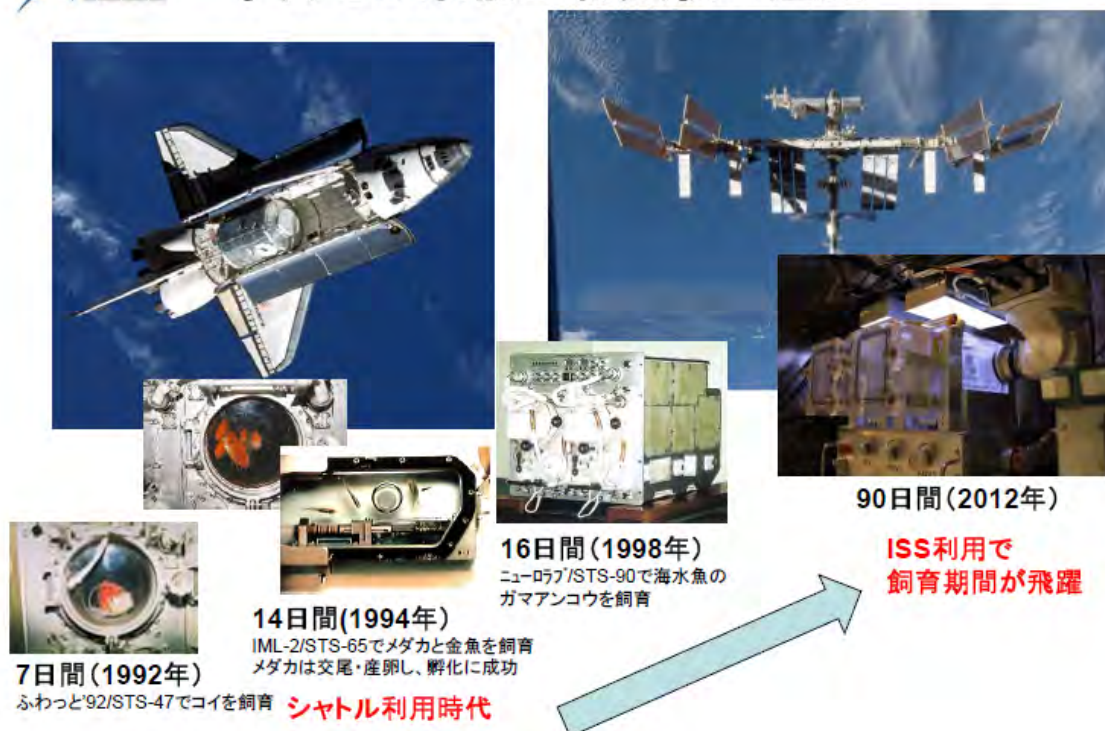


図1.4.1.1-14 日本が実施してきた宇宙での水棲生物実験の歴史

【参考】

ISSで水棲生物の飼育実験を行うのは、日本が初めてとなります。シャトル時代を含めても、日本はこの分野では非常に積極的に活動しています。上に示した図以外にも、日本は1998年のSTS-95でもガマアンコウを使った実験を行っている他、IML-2/STS-65ではイモリを使った実験を行っています。

日本以外で魚の実験を行った例としては、ドイツが開発した装置を使ってSTS-89とSTS-90、STS-107でソードテイルフィッシュの実験を行ったくらいであり、他には貝、小型のエビ、クラゲ、カエル、オタマジャクシ、アメリカによるメダカの実験は行われていますが、日本のように比較的大きな魚や長期間の飼育にチャレンジしている国はありません。

(4)放射線環境モニタリング (PADLES)

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が使われます。

[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います]

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

http://idb.exst.jaxa.jp/db_data/padles/NI001.html



図1.4.1.1-15 AreaPADLESと設置位置

コラム 1-1

宇宙飛行士が受ける放射線の被曝量

地上で日常生活を送る私たちの被曝線量は、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曝線量は、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曝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曝量が増えるにつれて生じる影響とがあります。このため被曝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では宇宙放射線被曝管理を実施し、被曝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、ミッション中の被曝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曝した線量を把握し、生涯の被曝線量を制限値以下に抑えること



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

http://idb.exst.jaxa.jp/db_data/padles/NI003.html

詳しくは以下を参照下さい【放射線被曝管理】

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

(5) 長期宇宙滞在宇宙飛行士の毛髪分析による医学生物学的影響に関する研究 (Hair)

国際宇宙ステーションでは、地上で浴びる自然放射線の約半年分を1日であびる程放射線被曝量が多いうえ、無重量環境のためさまざまなストレスを受けます。そのような宇宙環境が与える人体への影響を、毛髪分析で評価し、宇宙飛行士の健康管理に役立てるものです。具体的には、飛行前、飛行中、飛行後に毛根付きの毛髪を採取し、毛幹の微量元素含有量と、毛根の遺伝子やタンパク質などへの影響とストレス応答を検討します。日本人のみならず、各国の飛行士が被験者になって協力し、研究が進められています。

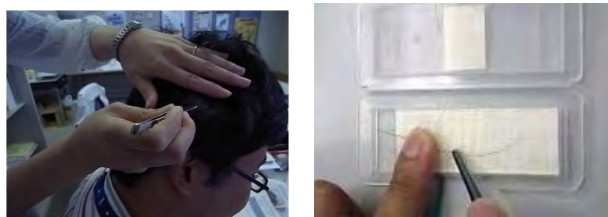


図1.4.1.1-16 毛髪サンプリングのイメージとサンプル回収キット(右)

(6) 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)

48時間連続で心電図の記録を行い、生物学的リズムの変動と、睡眠中における心臓の休息度等々を評価し、宇宙飛行士の健康管理技術の向上に役立てます。従来は24時間の記録でしたが、今回は記録時間を48時間に延ばします。

本実験では、ホルター心電計の他、腕時計型の加速度計(Actiwatch)を使用して活動量の記録を行います。



図1.4.1.1-17 心電計測に使うホルター心電計

(7) 宇宙医学実験支援システムの機能検証

JAXAでは、軌道上での医学実験データの一元管理機能を持つシステムを整備し、システムの発展的整備を通じて、軌道上と地上間の遠隔診断・健康モニタ構築につなげていく予定です。このような機器は単体としては過去にも使われたことがありますが、システムとして統合したものは前回の古川宇宙飛行士の滞在期間中に初めて技術検証実験として使いました。今回は、医師ではない星出宇宙飛行士が使うことにより、医師以外でも問題なく使えることを試します。

電子聴診器や脳波計、USBカメラなど5種の機器を使います。USBカメラは歯、目の状況を地上から健康診断を行うために使われます。このUSBカメラ(webカメラ)と電子聴診器のデータはリアルタイムで地上にも送信できます。



図1.4.1.1-18 宇宙医学実験支援システムの構成機器

(8) 国際宇宙ステーション内における微生物動態に関する研究 (Microbe 3)

<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/second/microbe/>

ISS内には様々な微生物が住んでいますが、その種類は地球上の微生物全体と比較して、とても偏っていることがわかっています。そこで、どんな微生物がISSに住んでいるかを「きぼう」を通して調べることで、完全に閉鎖されており、かつ微小重力という宇宙ステーションならではの特殊な環境における微生物の生態について理解し、ヒトや機器にどんな影響を及ぼすのかを考えます。

本実験は、真菌培養シートを表面に接触させてサンプリングする方法と、スワブ(ポリエステル綿棒)によるサンプリングに加えて、空気中の浮遊物の採取・計測も行います。いずれもサンプルは地上に回収した後、詳細に解析します。



真菌培養シートにて
表面サンプリング



培養2日

培養1週

培養2週

図1.4.1.1-19 真菌叢評価のためのサンプル収集キットと培養イメージ

(9) 小型衛星放出ミッション

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と、5機の小型衛星(CubeSat)がHTV3で運ばれ、技術実証が行われます。

この方法だと、衛星をバッグに梱包して打ち上げることができるため、打上げ時の振動環境が緩やかになることから、衛星の設計が楽になります。

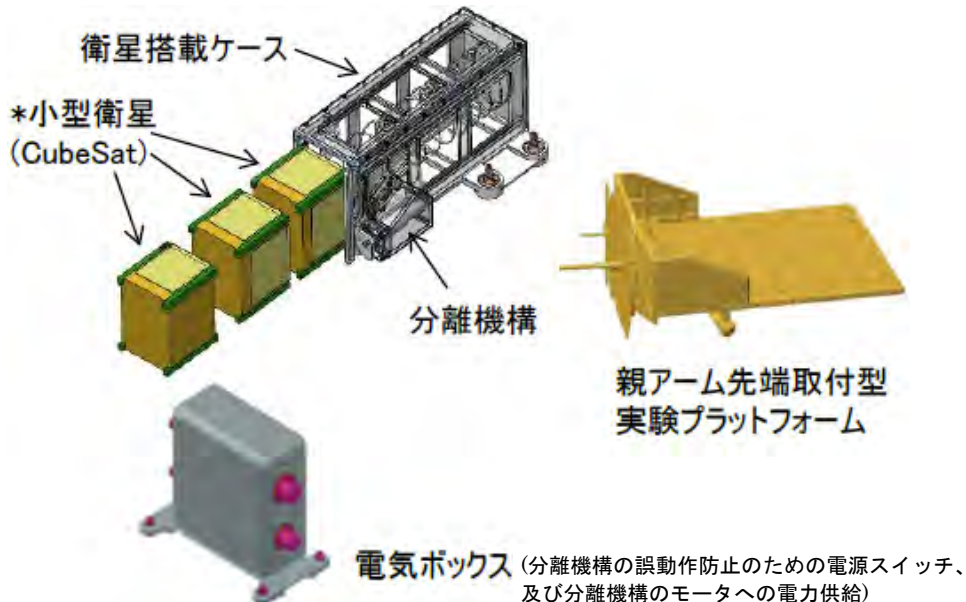


図1.4.1.1-20(1/2) 小型衛星放出機構(J-SSOD)、親アーム先端取付型実験プラットフォーム

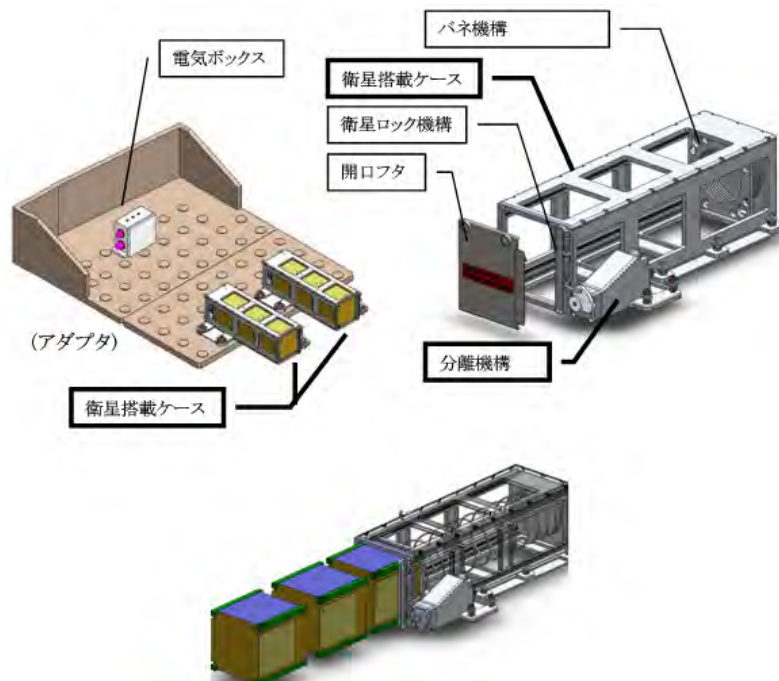


図1.4.1.1-20(2/2) 小型衛星放出機構(J-SSOD)、親アーム先端取付型実験プラットフォーム

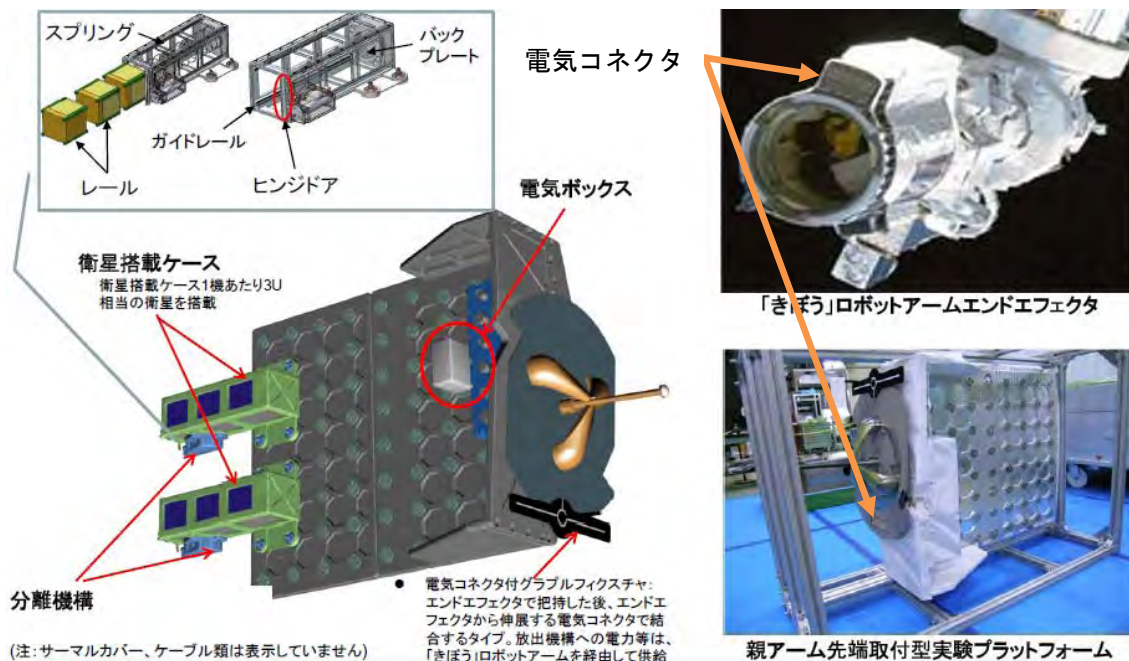


図1.4.1.1-21 親アーム先端取付型実験プラットフォームとロボットアームの結合インタフェース部

(9-1) 小型衛星の放出手順の概要

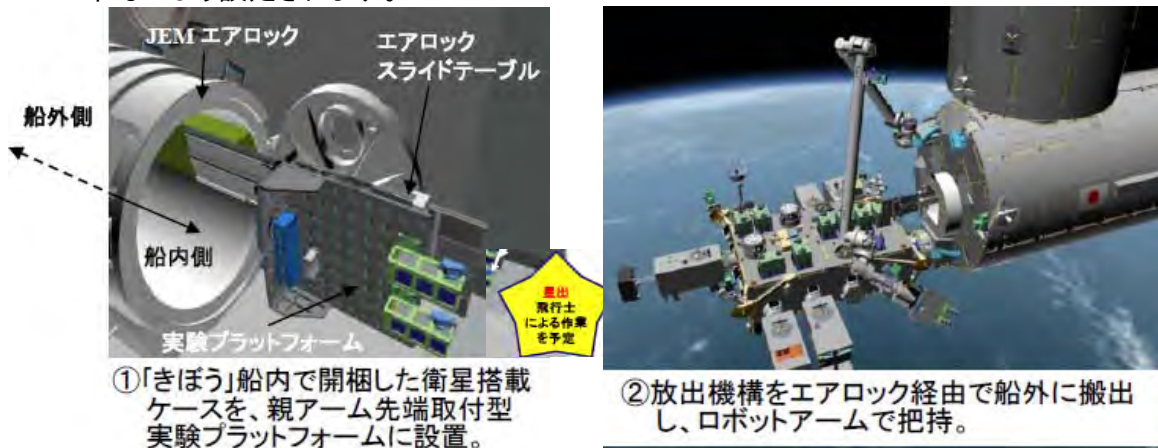
- ① 衛星は、衛星搭載ケースに収納した後、ソフトバッグに梱包して輸送機でISSに運ばれます。今回はHTV3で運搬しますが、ロシアや米国、欧州の補給機でも打ち上げ可能です。



- ② ISS到着後、ソフトバッグは「きぼう」内に搬入されます。
- ③ 「きぼう」のエアロックの内側ハッチを開けて、エアロック・スライドテーブルを船内側に伸展させます。
- ④ 衛星を搭載した小型衛星放出機構(J-SSOD)及び、親アーム先端取付型実験プラットフォームをエアロック・スライドテーブルのアダプタに取り付けます(この状態で、放出機構の動作確認を行い、問題ない事を確認します。最後にロンチカバーの取り外しなど放出前の最終作業を実施)。
- ⑤ スライドテーブルをエアロック内に収納し、エアロックの内側ハッチを閉鎖し、内部を減圧します。
- ⑥ エアロックの外側ハッチを開けて、エアロック・スライドテーブルを船外側に伸展させます。
- ⑦ 「きぼう」のロボットアームで親アーム先端取付型実験プラットフォームを把持し、スライドテーブルから外します。
- ⑧ ロボットアームで放出位置まで移動し、位置決めを行います。
- ⑨ 軌道上もしくは地上からのコマンドで、放出機構(片側)から衛星を放出します。終了するともう片方の放出機構からも衛星を放出します。放出は、分離機構のカムを回転させると正面の蓋が開き、バネの力で押し出される仕組みです(1Uタイプなら3個まとめて

放出)。

- ⑩ロボットアームで親アーム先端取付型実験プラットフォームをエアロック・スライドテーブルに戻し、ハッチを閉じて内部を再加圧して、船内に放出機構を戻します。
- ⑪衛星は放出から30分が経過するまではアンテナなどの展開はせず、電波の放射も行わないよう設定されます。



①「きぼう」船内で開梱した衛星搭載ケースを、親アーム先端取付型実験プラットフォームに設置。

②放出機構をエアロック経由で船外に搬出し、ロボットアームで把持。



③放出機構を放出方向に向け、小型衛星を放出。

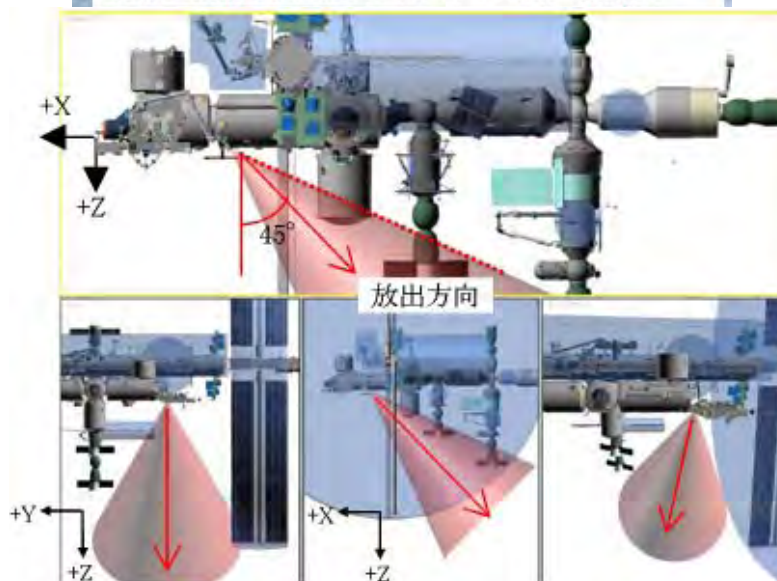


図1.4.1.1-22 小型衛星の放出運用イメージと放出方向

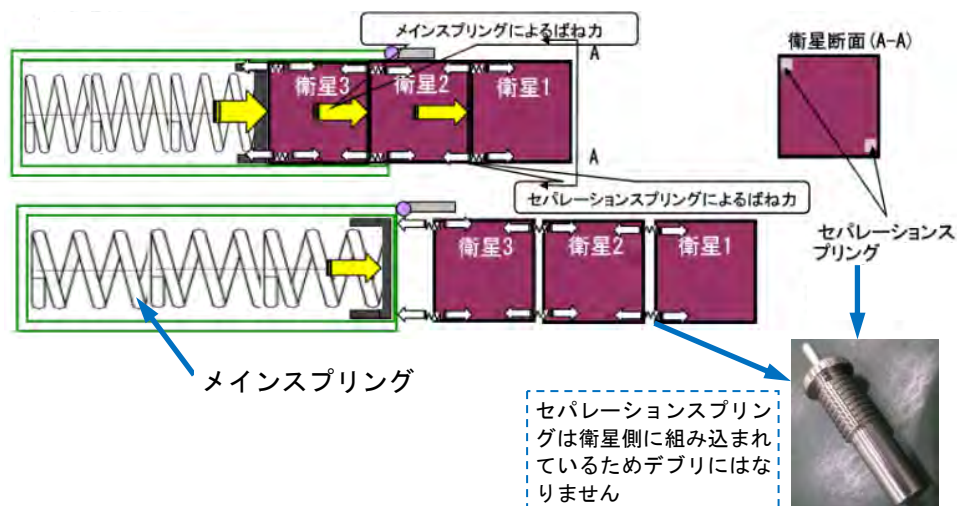


図1.4.1.1-23 小型衛星の放出に使われる2種類のバネ

【参考】誤動作で衛星を放出させてしまわないように、放出するためには3個の電源スイッチを投入しないと動作しないような設計となっています。

この小型衛星放出技術実証ミッションについては、以下のSPACE@NAVI-Kibo WEEKLY NEWS 第158号で動画が紹介されています(5分40秒以降)。

http://iss.jaxa.jp/library/video/spacenavi_wn120301.html

(9-2)小型衛星(CubeSat)について

小型衛星にもいろいろな種類がありますが、今回のJ-SSODで放出するものはCubeSatと呼ばれる10cm四方の大きさの片手で持てるサイズの小型衛星です。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、2003年6月にロケットに相乗りして余剰能力を利用する形で初めて打ち上げられました(この時打ち上げられた6機のうち2機は日本の大学のCubeSatでした)。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の今回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、バネの力で放出されます。今回、HTV3で運ぶCubeSatはJAXAが公募した3機(2Uサイズ1機を含む)と、NASAが提供する2機の計5機です。



図1.4.1.1-24 CubeSat(星出宇宙飛行士が手に持っているのが1UサイズのCubeSat)

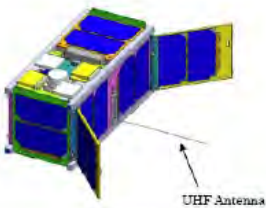

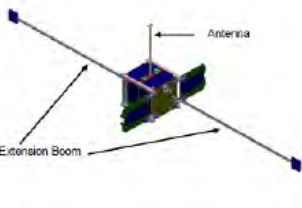
衛星名	RAIKO	FITSAT-1	WE WISH
外観			
サイズ	2U	1U	1U
機関	和歌山大/東北大	福岡工業大	明星電気
ミッション	<ul style="list-style-type: none"> ①魚眼カメラによる地球撮像 ②カメラ撮像によるISS放出時の相対運動計測 ③スターセンサの宇宙実証実験 ④膜展開による軌道降下実験 ⑤小型衛星可搬地上局の開発及び国際共同受信 ⑥Ku帯ビーコン電波のドップラ周波数計測による軌道決定実験 ⑦Ku帯通信機による高速データ通信実験 	<ul style="list-style-type: none"> ①小型衛星用高速送信モジュールの実証実験 ②高出力LEDによる可視光通信実験 	<ul style="list-style-type: none"> ①地域技術教育への貢献と小型衛星取得データの利用促進 ②超小型熱赤外カメラの技術実証

図1.4.1.1-25 JAXAが公募した3機のCubeSat

(RAIKOとWE WISHが一緒の衛星搭載ケースに格納され、FITSATはNASA側の2機と共に放出されます。)

(参考ホームページ)

・RAIKO (東北大学)

<http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/RAIKO/>

・FITSAT-1 (福岡工業大学)

<http://www.fit.ac.jp/~tanaka/fitsat.shtml>

・WE WISH (明星電気)

http://www.meisei.co.jp/news/2011/0617_622.html

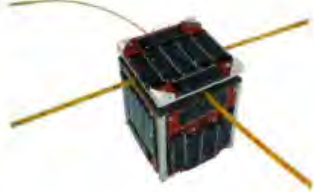

衛星名	F-1	TechEdSat
外観		
サイズ	1U	1U
機関	NANORACK社 /FPT Univ/UPPSALA Univ	NASA Ames Research Center/ San Jose State Univ
ミッション	<ul style="list-style-type: none"> ①CubeSat Magnetometer実証実験 ②C328低解像度カメラの実証実験 ③温度センサの実証実験 	<ul style="list-style-type: none"> ①SPA Hardware/Softwareの実証実験 ②Iridium 又はOrbComm衛星を介した衛星間通信実験

図1.4.1.1-26 NASAが提供する2機のCubeSat

(参考ホームページ)

・F-1(ベトナムのFPT大学の学生たちのチームFSpace Laboratory)

http://fspace.edu.vn/?page_id=23

・TechEdSat (AMSAT-UK)

<http://www.uk.amsat.org/5018>



図1.4.1.1-26A HTV3搭載前に記者公開された小型衛星と衛星搭載ケース(奥の2つ)

http://iss.jaxa.jp/library/photo/120625_gsn_4554.php

(9-3)これまでにISSの船外活動時に放出された小型衛星(参考)

・Nanosatellite(Nanosputnik) 重さ5kg 2005年3月28日のロシアEVA-13で放出

・RadioSkaf (SuitSat-1) 重さ約110kg 2006年2月3日のロシアEVA-15で放出
(不要になったOrlan宇宙服に無線機を設置するなど改造して放出)

・Kedr(RadioSkaf-V/ARISSat-1) 重さ30kg 2011年8月4日のロシアEVA-29で放出
いずれも、船外活動時時に手でつかんで後方に押し出す(次の周回でISSと衝突しないよう減速して高度を下げるように放出)方式で放出されています。



Nanosputnik



SuitSat-1



Kedr

図1.4.1.1-27 これまでにISSから放出された小型衛星の写真

(10)再突入データ収集装置(i-Ball)放出

HTV3では、米国製のREBR(Reentry Breakup Recorder)をHTV2に続いて再び搭載するとともに、国産のi-Ballを搭載して再突入時のデータ取得に挑みます。

本データ取得の目的は、再突入する宇宙機の破壊現象を特定することにより、落下の予測精度を高めて着水警戒区域の縮小につなげると共に、大気・加熱率等の再突入機的设计(回収機であれば耐熱性の検証、廃棄する機体であれば耐熱性や強度の余裕を減らして燃え尽きやすい設計)に役立てるためのデータ取得を行う予定です。

REBR、i-Ball概要		
名称	i-Ball	REBR (Reentry Breakup Recorder)
開発元	(株)IHIエアロスペース	Aerospace Corporation (米)
取得データの特徴	<ul style="list-style-type: none"> 温度データ 加速度/角速度データ カメラ静止画データ GPS航法データ: 高度50km以下 	<ul style="list-style-type: none"> 温度データ(ただし開示不可) 加速度/角速度データ 画像撮影機能なし GPS航法データ: 高度18km以下
サイズ	重量: 15.5kg(カバー込: 17kg) i-Ball外径: φ400mm コンテナ込み: 410×440×435mm	重量: 4kg(8.6kg) 直径: 300mm(360mm)、高さ: 230mm(280mm) ※()内はハウジング込みの値
着水方式	パラシュート開傘により減速し着水	弾道飛行のまま落下し着水

図1.4.1.1-28 HTV3に搭載される日米の再突入データ収集装置の概要



図1.4.1.1-29 REBR (ATV-2への設置前準備の様子。REBRは銅製の容器内に収納して壁に固定(銅製の容器は熱で溶けてREBRが放出されます)。

i-Ballは球形をしており、アブレータで高熱に耐えたのち、パラシュートを使って降下し、着水してからイリジウム衛星経由でデータを送信する方式です。データ送信を行うためにしばらくは浮いていますが、いずれ沈む設計となっており回収はしません。

i-Ballは、HTVの与圧部から放出される機構を持っているわけではなく、HTVの破壊と共に外へ放出されます。放出後しばらくは、姿勢が安定しない状態になると思われます。

従って、落下中に複数の写真を撮影することにより、HTVの破壊の様子が収められるかもしれないという前提で撮影を試みます。写真に関しては撮れていれば基本的に公表する方針ですが、取れるかどうかは試してみないと分かりません。

一方、与圧部内カメラは、機体内の温度分布の把握に使います。ハッチ周辺から破壊が進んでいくと思われるので、ハッチ方向に向けて撮影します。

HTV3のハッチを閉じる前のi-Ballを起動するためのスイッチ操作は、星出宇宙飛行士が行う予定です。



再突入時のデータ取得(計画値)

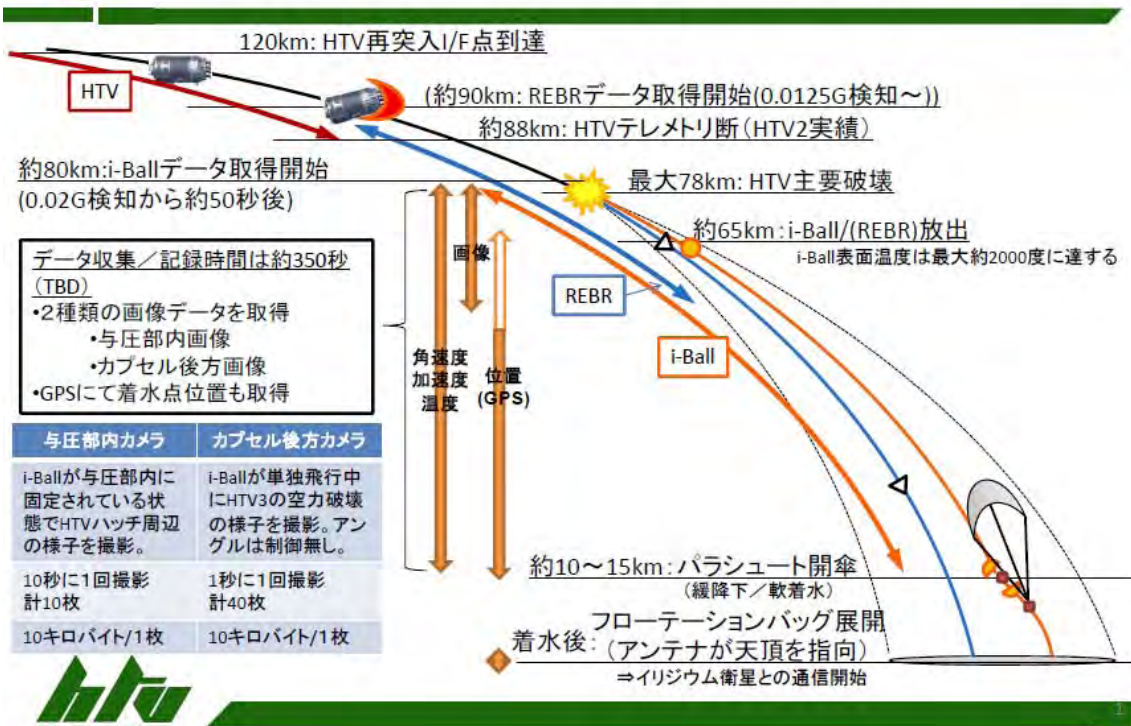


図1.4.1.1-30 i-BallとREBRの再突入時のデータ取得計画

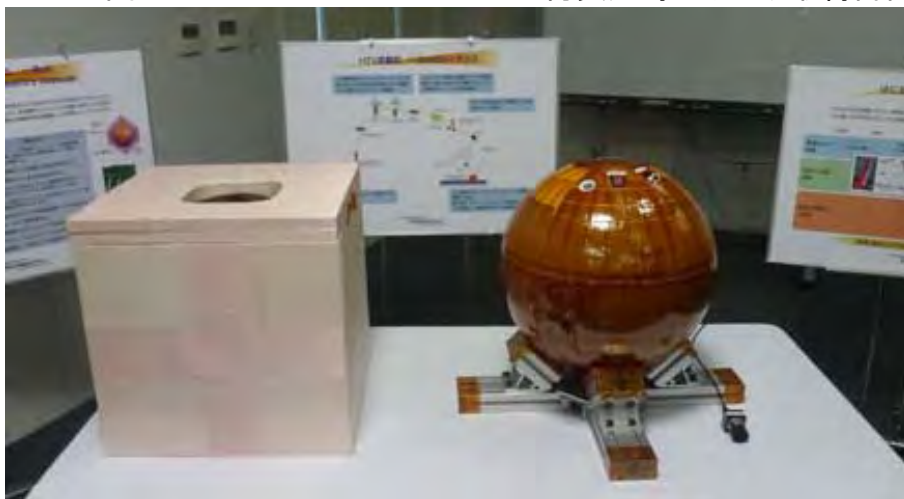


図1.4.1.1-30A 記者公開されたi-Ball (JAXA)

(11)文化・人文社会科学利用 手に取る宇宙～message in a bottle～(再実施)

手に取る宇宙～message in a bottle～は、2011年3月のSTS-133ミッション時の船外活動で実施し、小さな円筒形のボトル内に宇宙の真空を満たして回収しましたが、残念なことに日本への回収後、内部のガラス製のボトルが割れていたことが確認されました。このため、再実施します。今回は船外活動時に実施するのではなく、小型衛星の放出時を利用して、きぼうのエアロックから船外へ出してボトル内に真空を満たす予定です。

親アーム先端取付型実験プラットフォーム上の空きスペースにこのボトルを取り付けて、船外に持ち出されると、空気が自動的に抜けてボトル内の真空が保持される仕組みとなっています。小型衛星放出ミッションが終わったら、ボトルも船内に戻されます。その後、このボトルは地上に回収されます。



図1.4.1.1-31 STS-133で行われた「手に取る宇宙～message in a bottle～」

(12)有償テーマ

内容は非公開です。

(13)宇宙ふしぎ実験

「きぼう」内で利用できる小物を使って、微小重力環境の不思議さを紹介する実験を行います。古川宇宙飛行士の滞在中に行うアイデアとして一般から募集した2テーマ「氷結」、「宇宙うず巻き」は準備の都合上実施できなかったため、今回行う予定です。

(14)活動レポート

「きぼう」利用や宇宙長期滞在での生活等、有人宇宙活動を文章でレポートします。

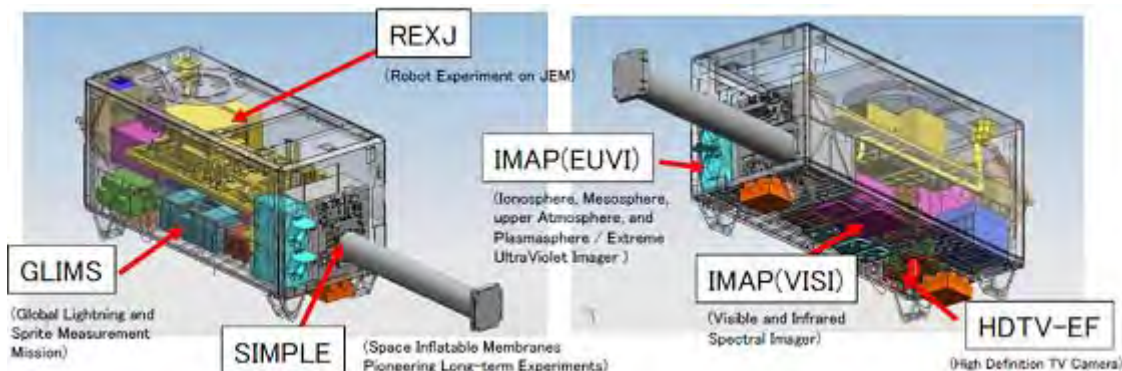
(15)企画映像、ビデオ撮影

「きぼう」利用やISS内での生活等の紹介、外部機関と連携した映像を取得します。

(16)ポート共有実験装置(MCE) [HTV3で運搬する船外実験装置]

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/ef/mce/>

ポート共有実験装置(Multi-mission Consolidated Equipment :MCE)は、比較的小型の5つのミッションをひとつの実験装置に混載し、ポートを共有して実験・観測を行う実験装置です(船外実験プラットフォームには、実験装置を取り付けるための設置場所である「ポート」が12箇所あり、このひとつを共同で利用する設計です)。



項目	主な仕様等
ミッション機器	1. 地球超高層大気撮像観測 (IMAP) 2. スプライトおよび雷放電の高速測光撮像センサ (GLIMS) 3. 宇宙インフレータブル構造の宇宙実証 (SIMPLE) 4. EVA支援ロボットの実証実験 (REX-J) 5. 船外実験プラットフォーム用民生用ハイビジョンビデオカメラシステム (HDTV-EF)
打上げ時質量	450kg
寸法	1,000mm(高さ)×800mm(幅)×1,850mm(奥行)の標準エンベロープ
設計寿命	2年
電力	435W(最大)
通信量	低速データ 20kbps、高速データ 27Mbps(ハイビジョン画像データ)
運用後の処置	運用後はHTVの曝露パレットに搭載して、大気圏突入により廃棄。

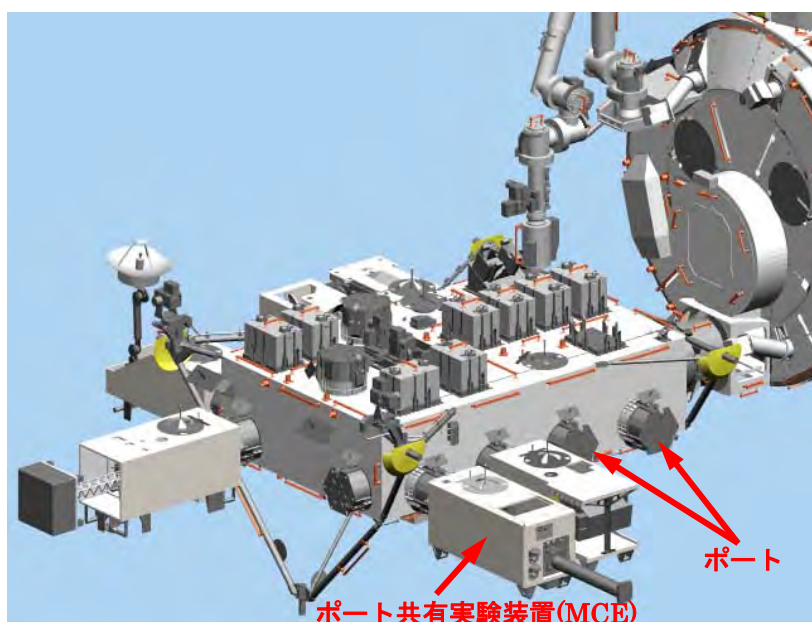


図1.4.1.1-32 ポート共有実験装置(MCE)と設置場所



図1.4.1.1-33 JEMRMSを使ってMCEを移動するイメージ



図1.4.1.1-34 MCE完成時の写真と、MCEロゴ

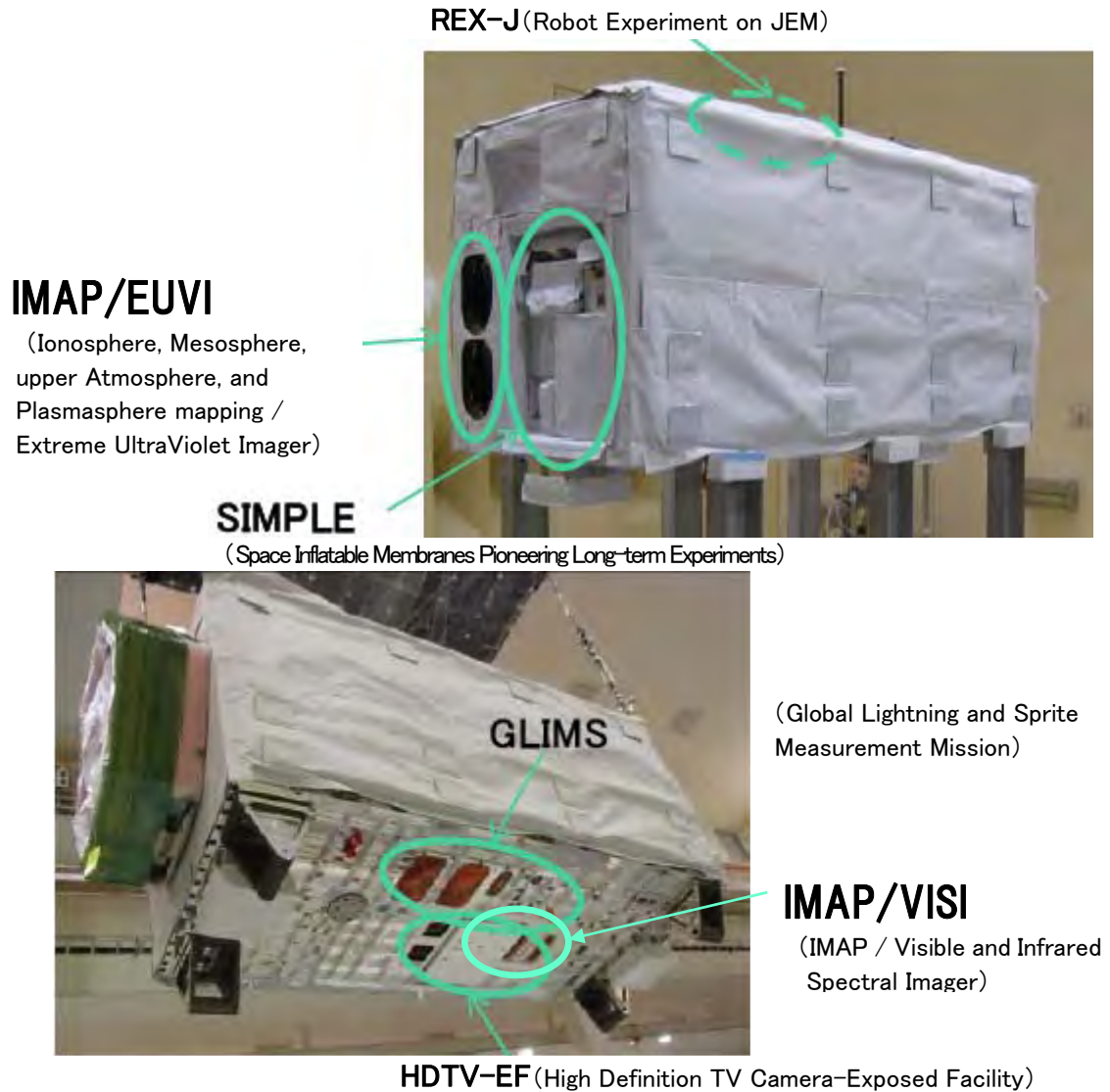


図1.4.1.1-35 ポート共有実験装置(MCE)の外観写真

MCEに搭載される5つの実験装置は以下の通りです。

①地球超高層大気撮像観測(IMAP: Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere mapping)

地球超高層(高度80kmから20,000km)における、大気光とプラズマ共鳴散乱光の2つの光学現象(目には見えない弱い光)を可視、近赤外、極端紫外の3つの波長域で観測し、地球大気と宇宙空間のはざままで起こっている様々な現象をとらえます。

観測に使うのは、可視・近赤外分光撮像装置(VISI)と、極端紫外線撮像装置(EUVI)の2セットのカメラと、そのデータを処理するミッションデータ処理装置(MDP)の3つです。VISIはISSから下を見下ろすように下部に取り付けられ、酸素原子(O)と水酸基分子(OH)、酸素分子(O₂)の3種類の原子・分子が出す大気光を撮像します。EUVIは、ISSから地球の縁とその上の空間を見るように後方に向けて取り付けられ、ヘリウム原子イオンと酸素原子イオンが太陽からの紫外線を反射して出す光を撮像します。ヘリウム原子イオンは、高度500km付近から地球大気的最も遠いところ(高度20,000km)まで存在します。

GPS 衛星や通信衛星、放送衛星からの電波は、超高層大気を通り抜けて地球へ送られるため、この領域で起きるプラズマの乱れによって衛星からの信号が利用できなくなることがあります。今回の観測では、こうした乱れがいつ、どこで、どのようにして起こるかを詳しく撮像することで、その謎を明らかにします。



図 1.4.1.1-36 IMAP 観測機器(左:IMAP/VISI、右:IMAP/EUVI)

②スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ (GLIMS: Global Lightning and Sprite Measurement Mission)

CMOS カメラ 2 台、フォトメータ 6 台、VHF 干渉計 1 式、VLF 受信機 1 台を用いて、地球規模で雷放電及びスプライト現象を観測し、高高度放電発光現象・雷放電の全球分布とその変動、スプライト水平構造の観測と対応する雷放電進展の時間・空間分布の差、高高度放電発光現象の電子エネルギーの特定、雷放電・スプライトとガンマ線放射 生起時間の差と放電過程の特定を行います。

雷による光が検出された瞬間、すべての機器に信号が送られて観測が行われますが、光学観測については、ISS が地球の夜の間だけ稼働するように調整されています。

(スプライトとは、落雷に伴い高度 40~90km の上空で発光する現象です)

・北海道大学の JEM-GLIMS ホームページ

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~jemglims/>

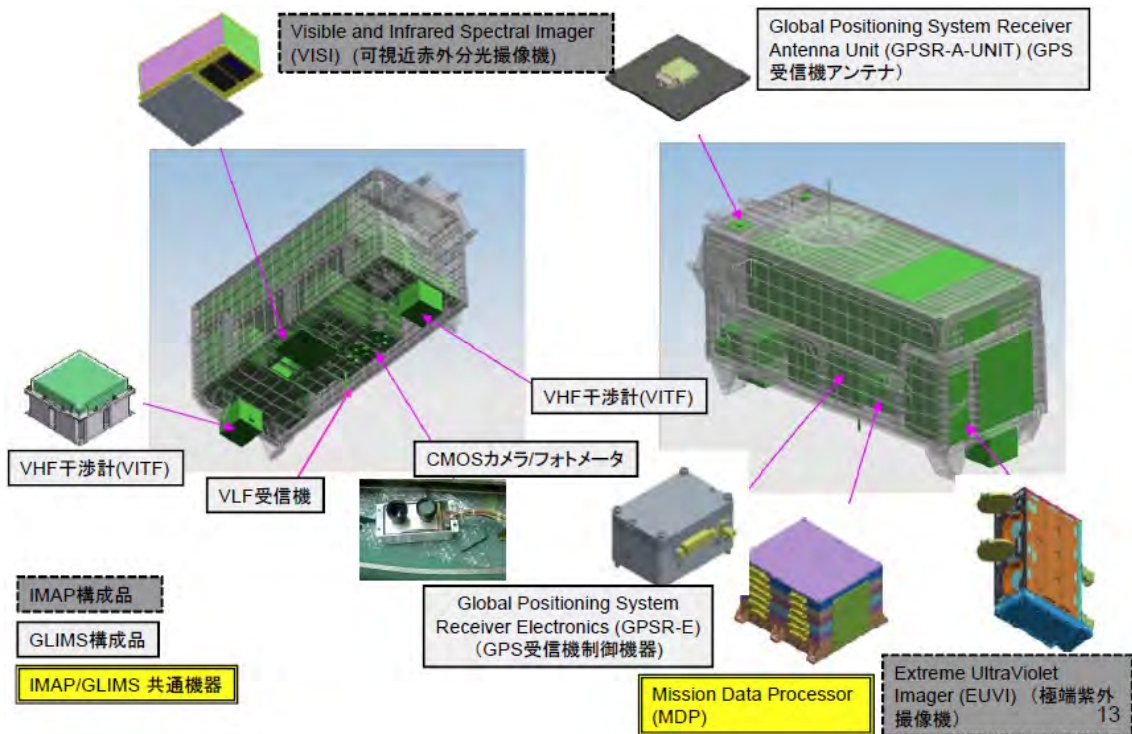


図 1.4.1.1-37 IMAP/GLIMS 機器の設置場所

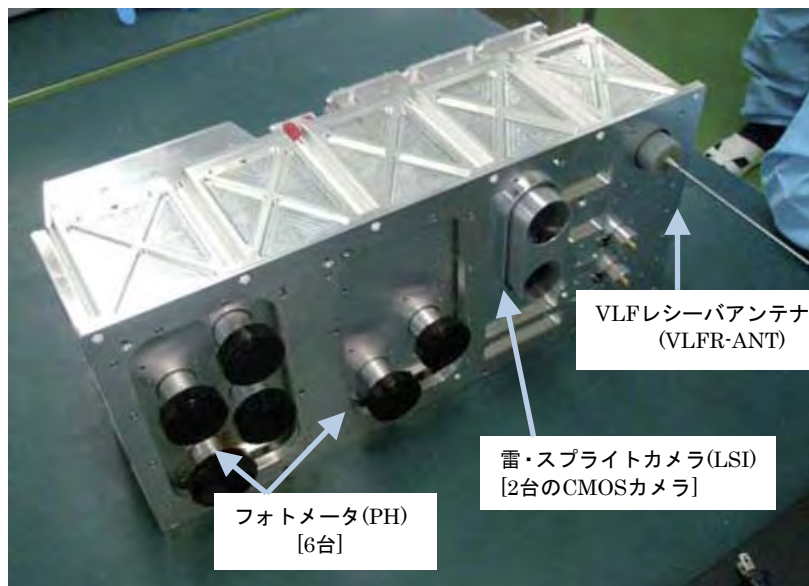


図 1.4.1.1-38 GLIMS 観測機器

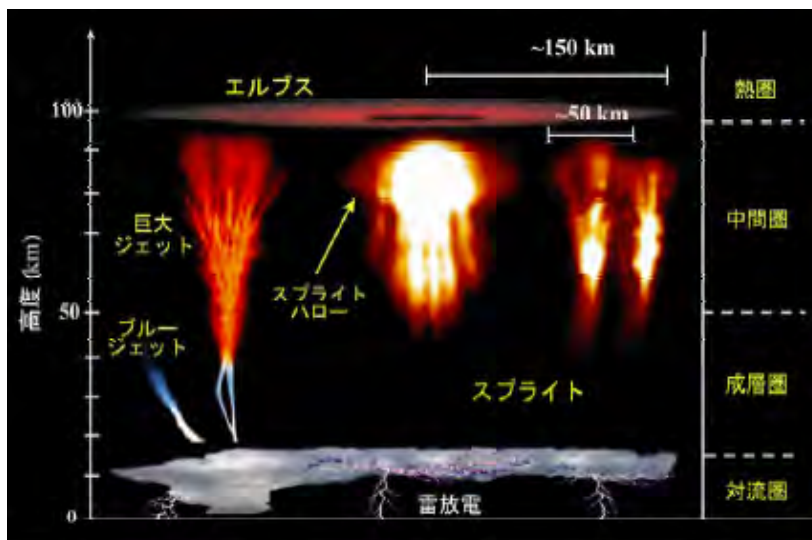


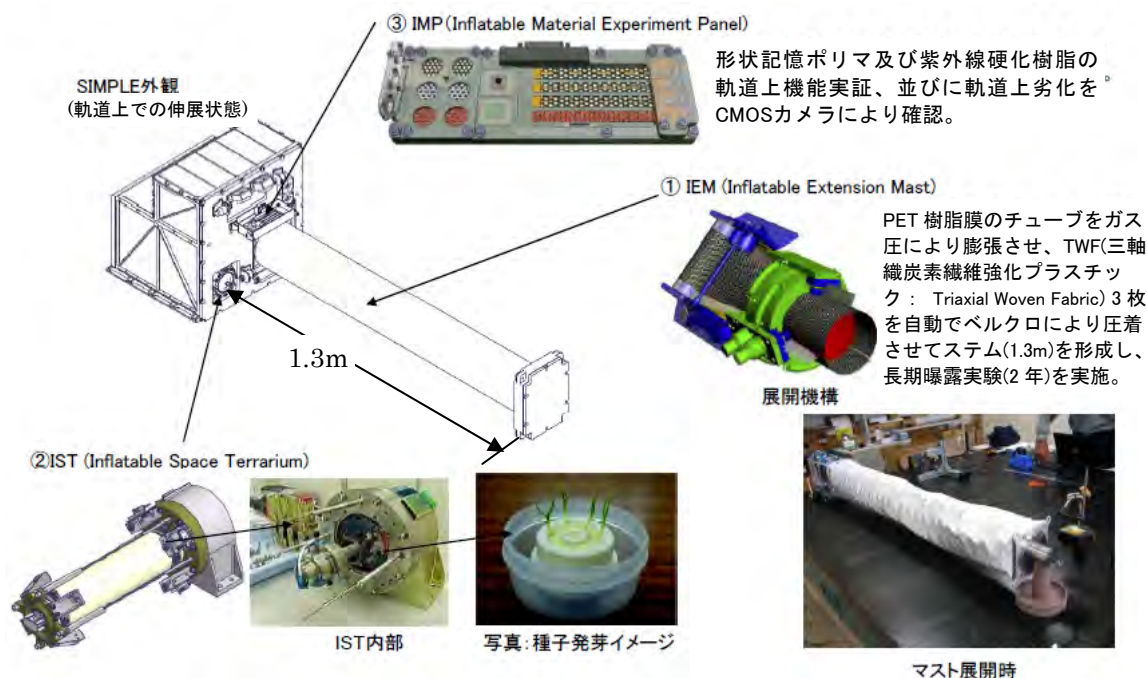
図 1.4.1.1-39 GLIMS が撮影を狙う高高度放電発光現象

ほんの一瞬のできごとである雷は、短命であるがゆえに観測や研究が容易ではありませんでした。しかしこの GLIMS 実験で広範囲にわたって観測が可能になれば、これまで知られていなかった雷の秘密が明らかになると期待されます。

③宇宙インフレータブル構造の宇宙実証(SIMPLE : Space Inflatable Membranes Pioneering Long-term Experiments)

インフレータブル構造(袋状の膜材内に、ガスカートリッジまたは小型圧力容器からガスを放出することで、内圧を上げて膨らむ力を利用する超軽量構造)を実際の宇宙環境のもとで長期間運用し、その実用性を実証するとともに今後の宇宙構造物への適用のための基礎データを集めます。SIMPLE では以下の3つの実験を行います。

- インフレータブル伸展マスト IEM(Inflatable Extension Mast)の展開実験:インフレータブルチューブによってマストを伸展させます。長さ 1.3m。その固有振動数を計測することで長年にわたる構造特性を調べます。
- インフレータブル・スペース・テラリウム IST(Inflatable Space Terrarium):長さ 30cm、外部へ伸展するのではなく、MCE 内部に伸展。内部を 1 気圧に保ち、植物の種を発芽させる実験。
- インフレータブル材料実験パネル IMP(Inflatable Material Experiment Panel):形状記憶ポリマの伸展(形状回復)や紫外線硬化樹脂の硬化機能の実証や、宇宙環境での劣化を調べる実験を行います(回収はせずに、映像で確認します)。



ガス圧によりアルミ蒸着フィルム製チューブとペクトラン製チューブを膨張。内部にホウレンソウ、プチトマト、ミヤコグサの種子を播種しCMOSカメラで観察。

1.4.1.1-40 SIMPLE の3つの実験

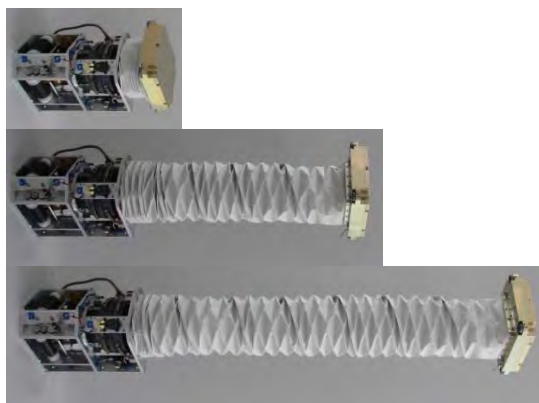


図 1.4.1.1-41 SIMPLE IEM の展開イメージ

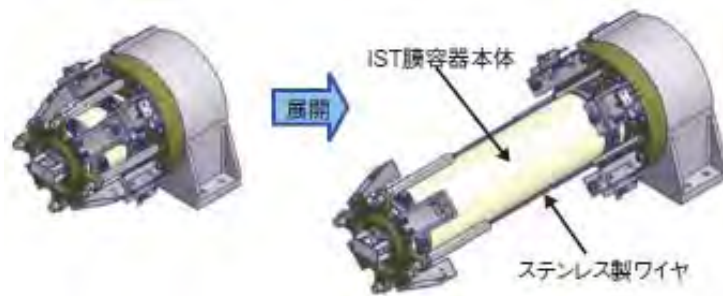


図 1.4.1.1-42 SIMPLE IST の展開イメージ

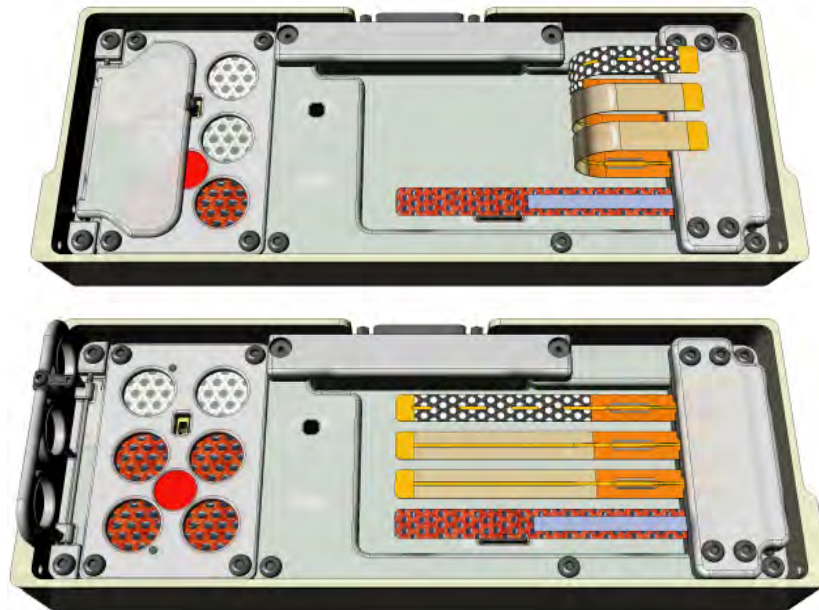


図 1.4.1.1-43 SIMPLE IMP の実験イメージ(上:実験開始時、下:全実験終了時)



図 1.4.1.1-44 SIMPLE の技術を発展させた将来構想の例

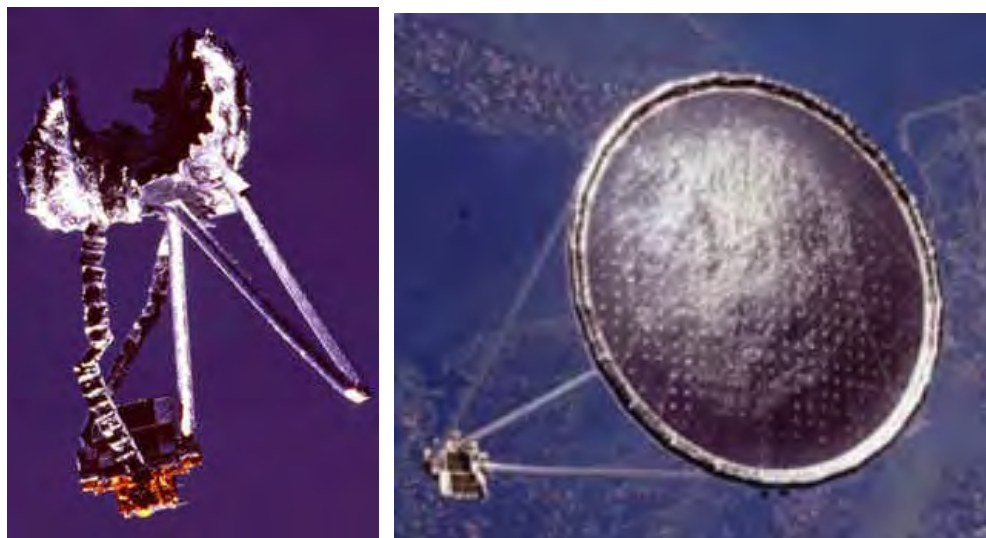


図1.4.1.1-45 (1/3) インフレーターブル実験の海外事例
1996年5月のSTS-77でのSpartan/IAE(Inflatable Antenna Experiment)実験
(L'garde社HP) <http://www.lgarde.com/gsf/spdeploy.htm>



図1.4.1.1-45 (2/3) インフレーターブル実験の海外事例
RIGEX(Rigidizable Inflatable Get-Away-Special Experiment) (NASA)
STS-123で土井宇宙飛行士がシャトルの貨物室の小型の容器内で伸展させる
RIGEX実験を担当



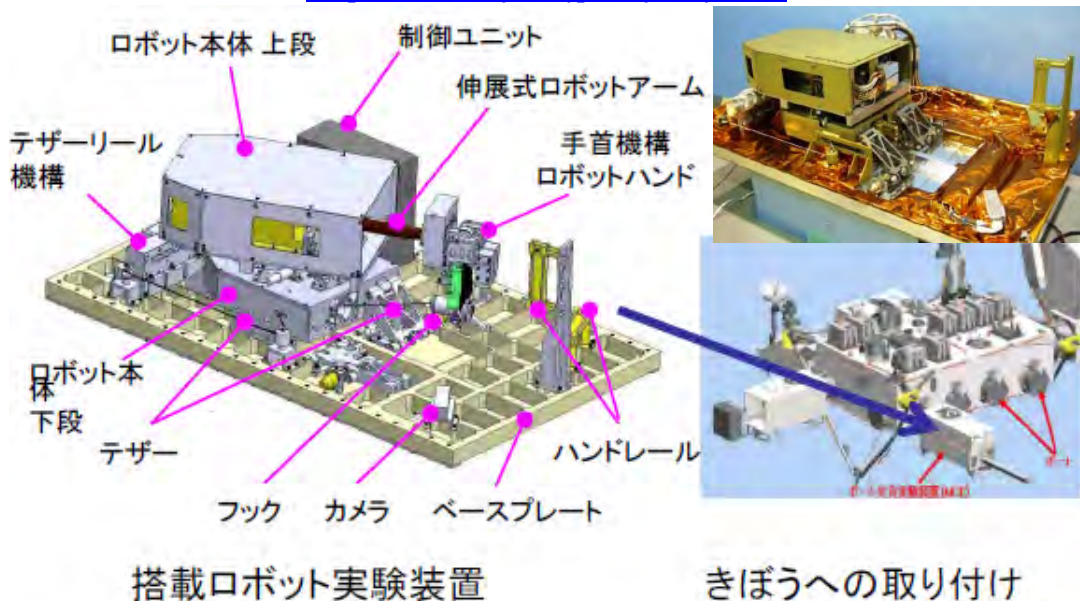
図1.4.1.1-45 (3/3) インフレーターブル実験の海外事例
右: ビゲローエアロスペース社の Genesis-I の軌道上写真
[ジェネシス I 2006年7月12日打上げ、ジェネシス II 2007年6月28日打上げ]
この試験機を元に大型化した与圧モジュールを2014年に打上げ、宇宙ホテルにする計画

④EVA 支援ロボットの実証実験(REX-J: Robot Experiment on JEM)

宇宙飛行士の船外活動(EVA)を支援するロボットに不可欠な空間移動機能、作業機能を伸展式のアームとテザーを内蔵するロボットにより実証します。

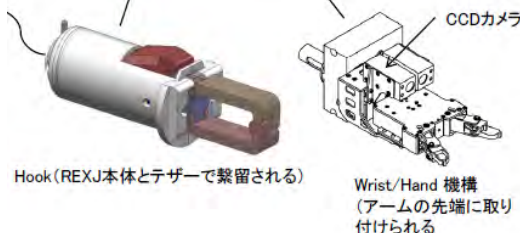
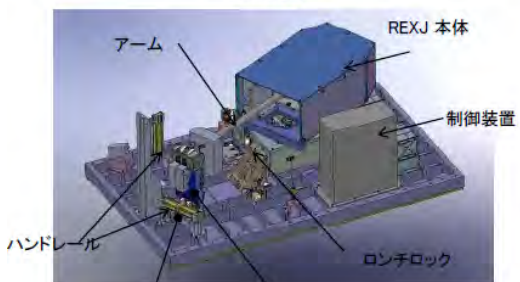
本ロボットは、巻尺のように伸び縮みする伸展式ロボットアームにより、ロボット本体に内蔵するテザー先端のフックをつかんで引き出し、ISSの各所に取り付けられているハンドレール(宇宙飛行士の船外活動用に設置されているものと同等の断面形状)に固定した後、テザーの長さを調整する(テザーで引っ張る)ことで移動するというコンセプトを実証するもので、今回のREX-Jでは、以下のロボット実験装置(ハンドレールは2個のみで、実験装置の外に移動することもできません)を使って、容易なロボットの空間移動、物資搬送が可能となる技術蓄積を図ります。

・REX-Jホームページ <http://robotics.jaxa.jp/rexj/rexj.html>



きぼうへの取り付け

・伸展式のアームとテザーを内蔵するロボットが移動
 REXJ外観



①初期位置



②Wrist/Hand機構がHookを掴んだまま、アームを伸展させ、Hookをハンドレールに取り付ける。(その後アームは本体内に退避)



③Hookに取り付けたテザーを巻き取りREXJ本体が移動

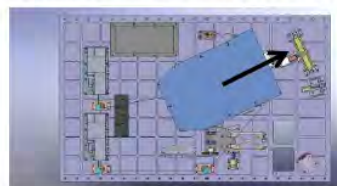


図 1.4.1.1-46 REX-J

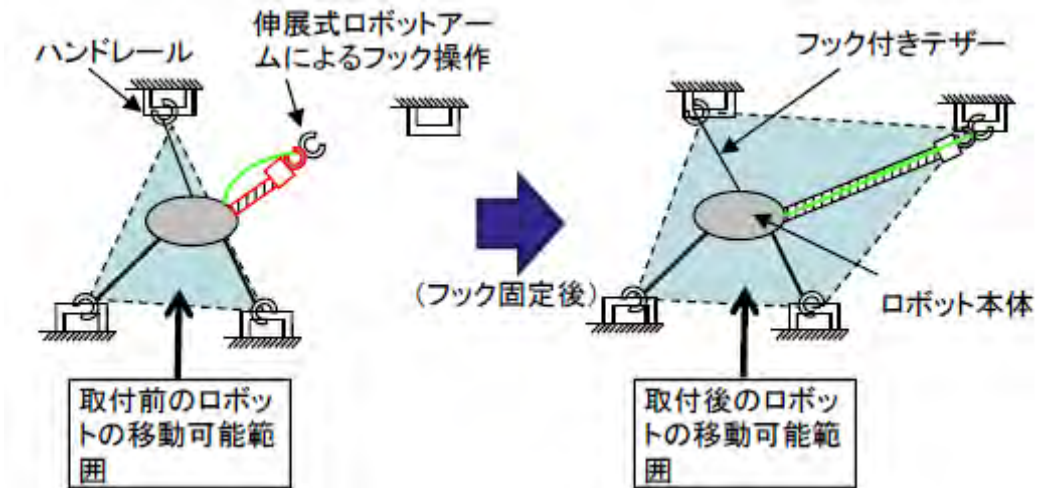


図 1.4.1.1-47 REX-J のロボットの移動原理

本ロボットのように、巻尺のように伸び縮みするロボットアームとテザーを使って移動するロボットは、ロボットそのものの大きさを小さくでき、広範囲に移動できるのが特徴です。

・REX-J ミッションプレスキット

http://iss.jaxa.jp/htv/mission/htv-3/library/presskit/htv3_presskit.pdf

⑤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

(COTS HDTV-EF: Commercial off - the - shelf High Definition TV Camera - Exposed Facility)

日本製の民生品ハイビジョンビデオカメラ2台を搭載して、高度400kmから国際宇宙ステーション直下の地球表面(画面内範囲200km×350km)を動画撮影し、家庭用カメラが宇宙の曝露環境でも使えるかどうか画質や寿命のデータを取得して、その有効性を評価します。宇宙空間は放射線が強いので、耐放射線特性に優れたCMOSセンサを持つカメラを使います。2台のカメラを切り替えながら使って1年間にわたって撮影を行う予定です。カメラの1台はISSの直下方向に向けられ、もう1台は進行方向に対して左へ10度傾けて設置されています。2台とも地上からの制御でズームができるようになっています。



図1.4.1.1-48 HDTV-EF



図1.4.1.1-49 HDTV-EFによる日本列島の撮影予想イメージ

【参考】2013年夏ごろには、NASAも同様の実験装置HDEV(High Definition Earth Viewing)をISS船外に設置する予定であり、こちらも民生品のHDTVカメラ4台を搭載します。搭載されるのはパナソニック、東芝、ソニー、日立とすべて日本のメーカーのカメラが使われます。

- (17) 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://kibo.jaxa.jp/experiment/ef/maxi/>

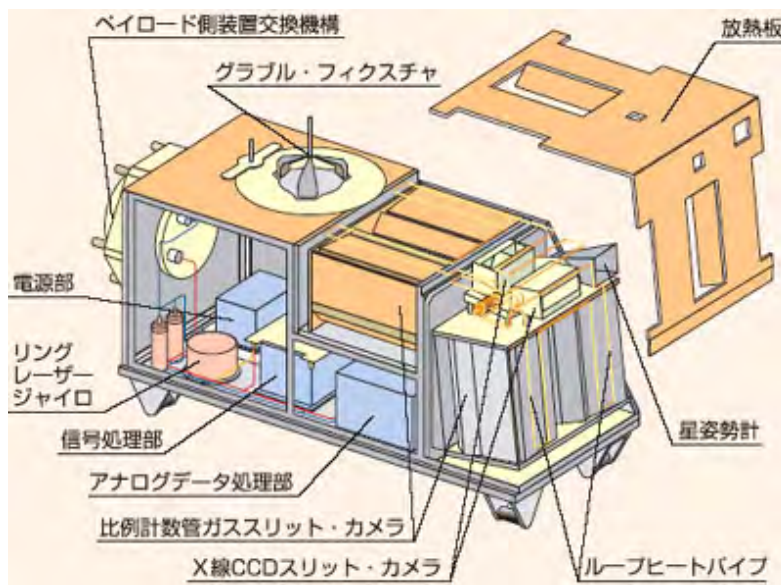


図1.4.1.1-50 MAXIの内部構造

- (18) 宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP)
 [SEDA-APは船外実験装置で、継続実施中です]
http://kibo.jaxa.jp/experiment/ef/seda_ap/

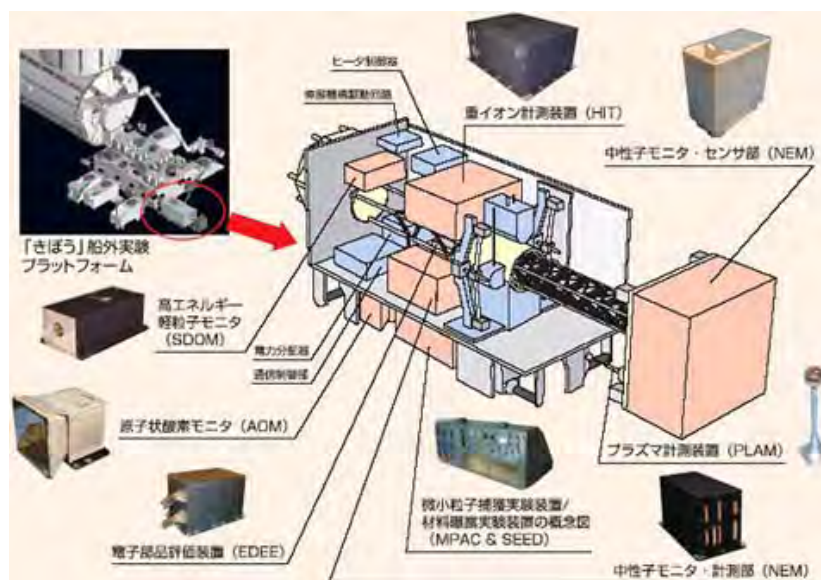


図1.4.1.1-51 SEDA-APの内部構造

1.4.1.2 NASAの実験（注：本実験は①を除くと古川宇宙飛行士の滞在中に、被験者として参加した代表的なNASAの生医学実験であり、星出宇宙飛行士が参加するかどうかは不明です）

① Sprint実験(Integrated Resistance and Aerobic Training Study)

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

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、負荷の高い運動を従来よりも短い時間で行う新しいエクササイズ方法を評価します。2011年3月から2013年10月までの間に、計20人の被験者のデータを収集する予定です。

エクササイズ方法は、週3日間筋力トレーニングに使うAREDを使って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ります。これまでは、AREDを週6日間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)も効率的に行います。

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います。

このようにして、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、有効性を確認します。

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)では、週に2-3日のエクササイズだけで十分な効果があるとの結果が出ているため、これを軌道上で検証するものです。しっかりしたエクササイズは1日おきに行い、運動の負荷(軽、中、重)も日によって変えていくなど工夫することで、従来の方と比べると、週に3時間エクササイズ時間を節約できると見積もられています。

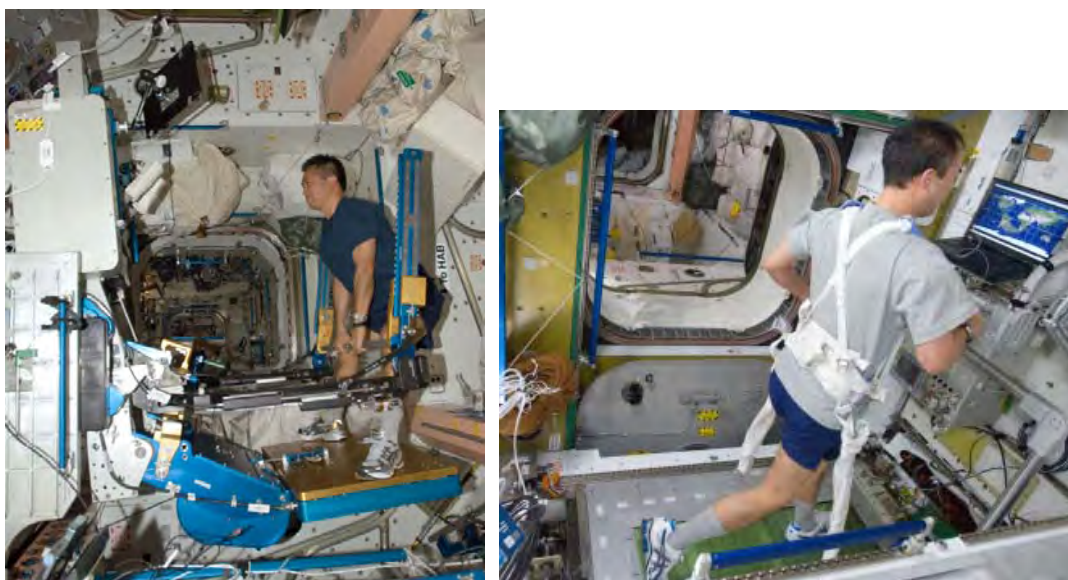


図1.4.1.2-1 ISSのARED(左)とトレッドミル(T2)(右)

- ② ICV実験(Cardiac Atrophy and Diastolic Dysfunction During and After Long Duration Spaceflight: Functional Consequences for Orthostatic Intolerance, Exercise Capacity, and Risk of Cardiac Arrhythmias)
 長期宇宙滞在によってもたらされるであろう地上帰還後の心肺機能の変化を心電図、血圧、超音波検査、MRI等で測る実験です。
- ③ Integrated Immune 実験 (Validation of Procedures for Monitoring Crewmember Immune Function)
 宇宙滞在に伴う免疫機能の変化が過渡的な反応なのか、宇宙滞在期間全体を通して存在するものなのか血液・尿・唾液を採取して調べます。



図1.4.1.2-2 Integrated Immune実験で使う採血セット

- ④ Kinematics-T2 実験 (Biomechanical Analysis of Treadmill Exercise on the International Space Station)
 ISS上でのトレッドミル運動が効果的に行われているか、映像をもとに地上で動作解析して評価する実験で、体にマーカーとなるテープを装着します。また、エクササイズ時の心拍数や走行速度、加速度データなども収集します。
- ⑤ Nutrition 実験 (Nutritional Status Assessment)
 宇宙滞在中の栄養状態を、血液・尿の分析、体重などの変化、食事、運動記録等から評価する実験です。



図1.4.1.2-3 Nutrition実験で使う採尿、採血キット(左)と、医学試料を扱えるISSの冷蔵遠心分離器(右) (NASA)

⑥Reaction Self Test実験 (Psychomotor Vigilance Self Test on ISS)

自分では気が付かない作業能率低下やエラーの増加を簡単な認知機能テストで自己評価する実験です。



図1.4.1.2-4 海底基地での滞在(NEEMO)中にReaction Self Test実験を行う様子(NASA)

⑦Repository実験 (ISSMP/NASA Biological Specimen Repository)

飛行前中後の血液、尿サンプルを採取し標本化することで、将来の宇宙医学研究に活用するプロジェクト。

[Nutrition実験で使う採尿、採血キットをこちらの実験でも使います。]

1.4.1.3 ESAの実験（注：本実験は古川宇宙飛行士の滞在中に、被験者として参加した代表的なESAの生医学実験であり、星出宇宙飛行士が参加するかどうかは不明です）

① Passages実験（Scaling Body-Related Actions in the Absence of Gravity）

微小重力環境滞在がすき間の通り抜け感覚等の位置感覚等に与える影響を調べるため、コンピュータ上のバーチャル環境を移動しながら測ります。



図1.4.1.3-1 コロンバス内で行われたPassages実験の様子(NASA)

② 3D-Space実験(Mental Representation of Spatial Cues During Space Flight)

微小重力環境下での図形の描画や二次元・三次元図形の認識に変化が起きるかコンピュータグラフィックスとデジタイザ等を用いて測ります。



図1.4.1.3-2 3D-Space実験（NASA）

③Vessel Imaging実験 (Vascular Echography)

長期間の宇宙滞在が、血管の特性や断面積にどのような変化が起こるか超音波検査等で測ります。

④CARD実験(Long-term Microgravity: A Model for Investigating Mechanisms of Heart Disease With New Portable Equipment, & Mechanisms of Activation of Sympathoadrenal Activity in Humans During Spaceflight)

宇宙飛行中の塩分や水分摂取の不足が心肺機能の低下につながるという仮説を、心拍出量や血圧等の変化から検証します。

測定は2日かけて24時間行われます(CARD実験中も、通常のISS運用作業を行う)。心拍出量はESAが開発した肺機能システム(PFS)を用いて4時間ごとに測定(4時間間隔で計5回測定)。このほか、24時間採尿を実施。宇宙飛行士はホルター心電計と血圧計を装着して、日中は毎時、夜間は2時間ごとに上腕動脈を測定します。2日目の朝は、まず心拍出量測定を実施してから、血液サンプル9 mLを2本採取。交感神経活性を確認するため、最大20 mLの血液採取を行います。



図1.4.1.3-3 若田宇宙飛行士がCARD実験を行った時の様子

●星出宇宙飛行士滞在期間中にISSで行われる可能性がある興味深い実験
(注:これらの実験は、星出宇宙飛行士が担当するというわけではありません。また、本滞在期間中には実験を行わない可能性もあります。)

・RRM (Robotic Refueling Mission)

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(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。本実験は2012年9月から年末にかけて実施予定です。



・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(現在はまだ上半身のみ)で、宇宙でのロボットの有効性を検証するため、掃除などの単純作業を行わせていく予定です。



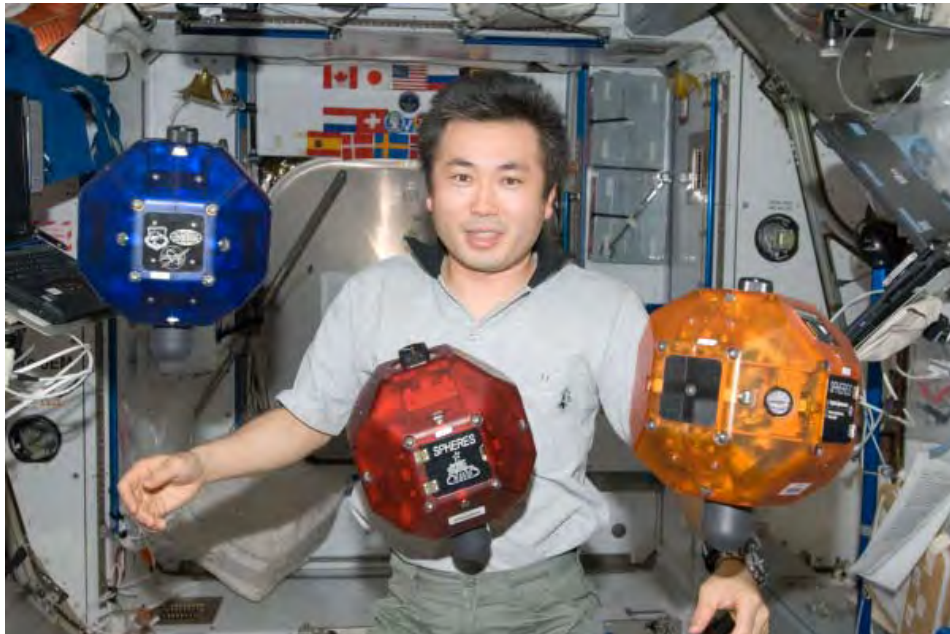
・CIR (Combustion Integrated Rack)

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。



・SPHERES(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。



・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で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焼実験や流体実験などの多様な実験を行うことができます。



・ロシアの植物栽培実験装置Lada

ロシアはこの装置を使って、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。



1.4.1.5 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など教育を目的に、ISS/「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やメディアによる交信、その他無線を活用した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「星出宇宙飛行士最新情報」(http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/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1.4.1.5-1 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」

★星出宇宙飛行士は、ISSでの日常や感じたことをTwitterでつぶやきます。

http://twitter.com/#!/Aki_Hoshide

ぜひご覧ください。

1.4.2 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
火災検知機器、非常用照明装置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(フィルタ交換など)を行います。
- 「きぼう」の冷却水循環ポンプの交換作業
「きぼう」船内実験室の冷却水循環ポンプ2台のうち1台が現在故障しており、HTV3(こうのとりの3号機)で交換用の予備品を緊急輸送します。HTV3到着後、この交換作業を速やかに行う予定です。
- 「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移動するなど、定期的に整理作業を行います。
- 実験装置の保守・点検、機能確認
各実験装置のメンテナンスや、HTV3で運んだ水棲生物実験装置(AQH)の機能確認などを行います。

■ 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
トレッドミル(TVIS, T2)、改良型エクササイズ装置(ARED)、サイクルエルゴメータ(CEVIS)の定期点検を行い、使用に問題がないことを確認します。
- ISSのトイレ(WHC)のメンテナンス
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滞在クルーの作業状況は、以下のNASAのサイトで毎日公開されています。

ISS On-Orbit Status report

http://www.nasa.gov/directorates/somd/reports/iss_reports/index.html

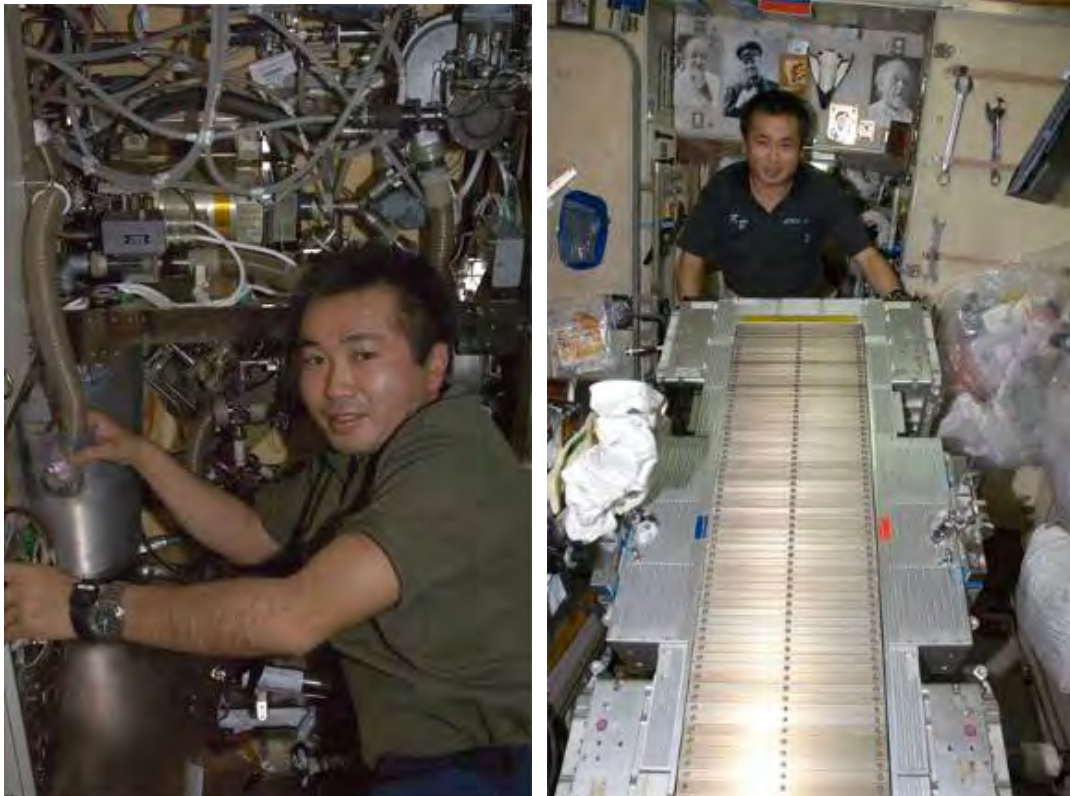


図1.4.2-1 水再生システムを点検する若田宇宙飛行士(左)

図1.4.2-2 トレッドミル(TVIS)のメンテナンス(右)

コラム 1-3

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(司令官)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、修理を行いますので、ISSのシステム及び実験装置に精通している必要があります。また、スペースシャトルがISSにドッキング／分離するときにはその運用をISSからサポートしたり、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。

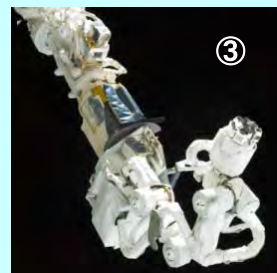
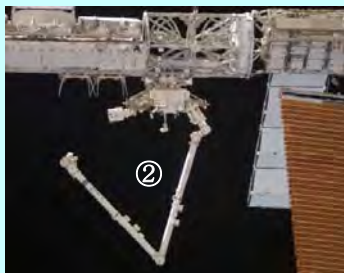
フライトエンジニアは、技術者であり研究者であり教育者であり、人類の宇宙進出への代表としてあらゆる要素を含んでいるのです。

*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 1-4

ISSで利用されるロボットアーム

星出宇宙飛行士滞在中には、以下に示すISSの3台のロボットアームのうち、①と②が使われます。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予定です。



- ① 「きぼう」ロボットアーム (JEMRMS)
<http://iss.jaxa.jp/glossary/jp/ki/jemrms.html>
- ② 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>
- 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。

1.4.3 ISSでの船外活動

8月30日には、ウィリアムズ飛行士(EV1)と、星出飛行士(EV2)が船外活動(EVA)を行う予定です(軌道上の作業状況次第では、キャンセルされる可能性もあります)。

EVAを実施する場合、2011年末から通信が不調な状況となっているMBSU-1(Main Bus Switching Unit 1)の交換を行います。現在はまだ給電できていますが、今の状態でもし何かあった場合は電源の再投入ができなくなるため、NASAは早めに交換したいと考えています。この船外活動で計画されている作業は以下の通りです。

①故障しかけているMBSU-1の交換

ESP-2(船外保管プラットフォーム2)に保管されている予備のMBSUを外してS0トラスに運び、故障しかけているMBSU-1と交換したのち、MBSU-1はESP-2に保管。この作業時、星出宇宙飛行士はSSRMSの先端に足を固定した状態でMBSUの運搬、固定していたボルトの取り外し/固定作業を行います。

②S0トラスと「ザーリャ」(FGB)間へのMLM(Multipurpose Laboratory Module)用の電力ケーブルの敷設

③ シャトルが退役して以来使わなくなったPMA-2への断熱カバーの装着(時間があれば実施)

④ JEMの船外プラットフォームのTVカメラの交換(時間があれば実施)

⑤ FGBのPDGF(Power and Data Grapple Fixture)の点検(時間があれば実施)

MBSUはS0トラス上に4基が設置されており、ISSのメインバス電力系統の切り替え(P6, P4, S6, S4トラスに設置された各DCSU(直流切り替えユニット)からのメインバス電力を、上流側の機器の故障時にはクロスストラップで切り替えて復旧させることが可能)に使われる装置で、電力の供給に使われる重要な装置です。

MBSUの予備品は、ESP-2の上部と下部に各1基、計2個が保管されており、HTV4でも1基を運搬する予定です。

MBSUが故障すると、ISSの供給電力の1/4が失われることになることからEVAによる速やかな交換が必要となります。

MBSUのサイズは71.1cm×101.6cm×30.5cmで、重量は99.8kgあります。



図1.4.3-1 MBSU (NASA)

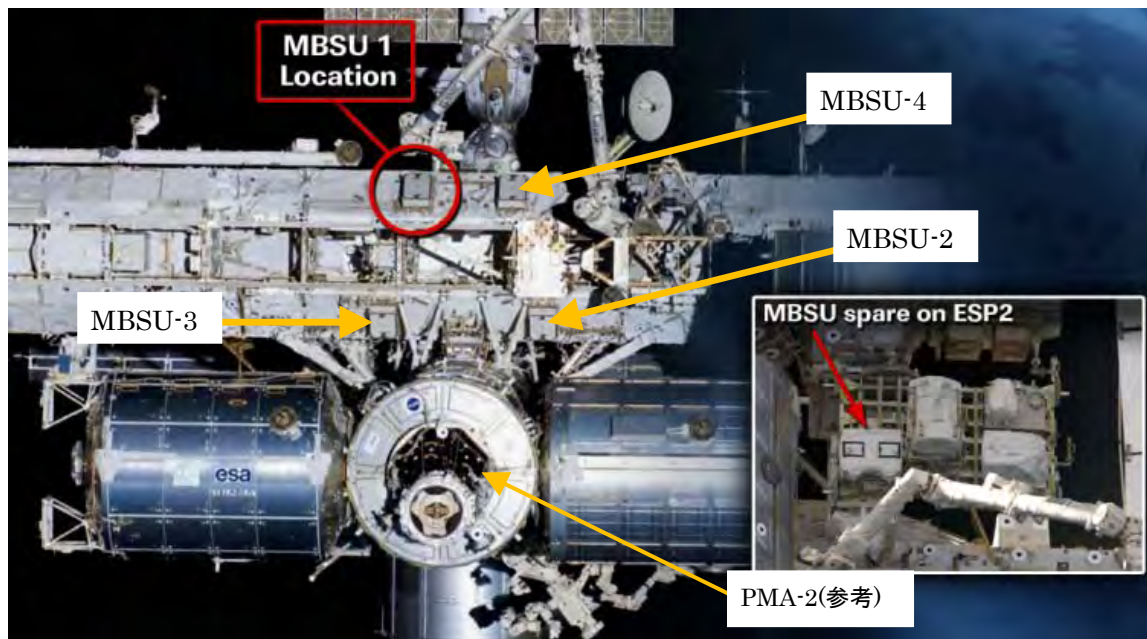


図1.4.3-2 MBSUの設置場所 (NASA)



図1.4.3-3 PMA正面に設置する断熱カバー(水中訓練時の写真) (NASA)

米国の宇宙服やエアロック、船外活動工具などの情報は、4章を参照下さい。

【参考】ロシアの船外活動(ロシアEVA-31)

8月16日にはロシア人宇宙飛行士がロシア区画での船外活動を行う予定です。

ロシアEVAを行う時は、ピアース(DC-1)エアロックのハッチが万が一故障した場合には、ズヴェズダの一部の区画を非常時のエアロック代わりに使うことになっています。従って、クルーがMRM-2にドッキングしたソユーズ宇宙船にアクセスできなくなって緊急避難手段が失われるのを防ぐために、ISS内に残ったクルーは、各自が搭乗してきたソユーズ宇宙船内で待機することになっています。以下に、古川宇宙飛行士が滞在中であったロシアEVA-29の時の各クルーの配置図を参考に示します。

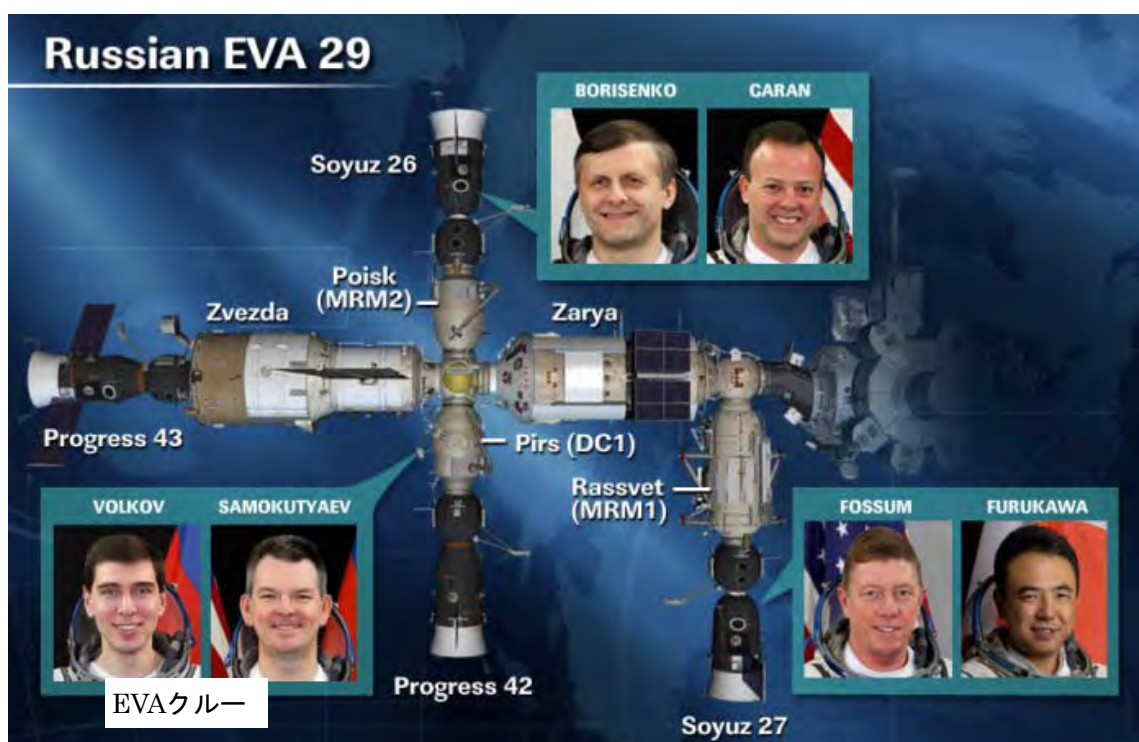


図1.4.3-4 ロシアEVA-29実施時の各クルーの作業場所 (NASA)

このロシアEVA-31では、ロシアのストレラ(Strela) 2クレーンを、ピアースからザーリャに移動する作業と、ズヴェズダへのデブリシールド5枚の追加設置、デブリの軌道降下率を測定するための小型の球形の衛星(直径53cm、13kg)の放出などが行われる予定です。

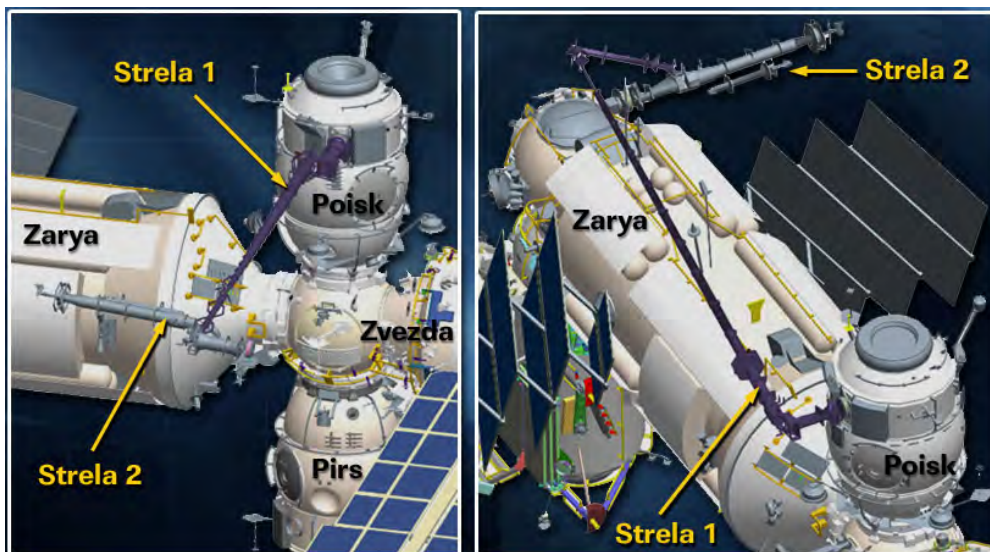


図1.4.3-5 ストレラ2クレーンの移設イメージ (NASA)

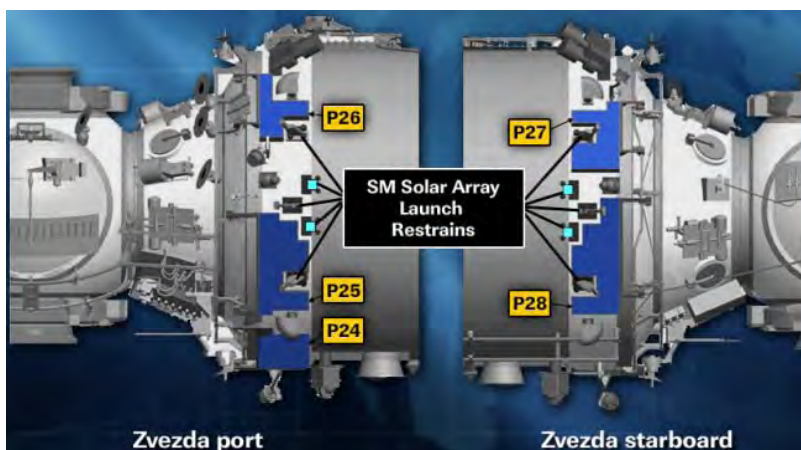


図1.4.3-6 ズヴェズダに追加設置する5枚のデブリシールド (NASA)

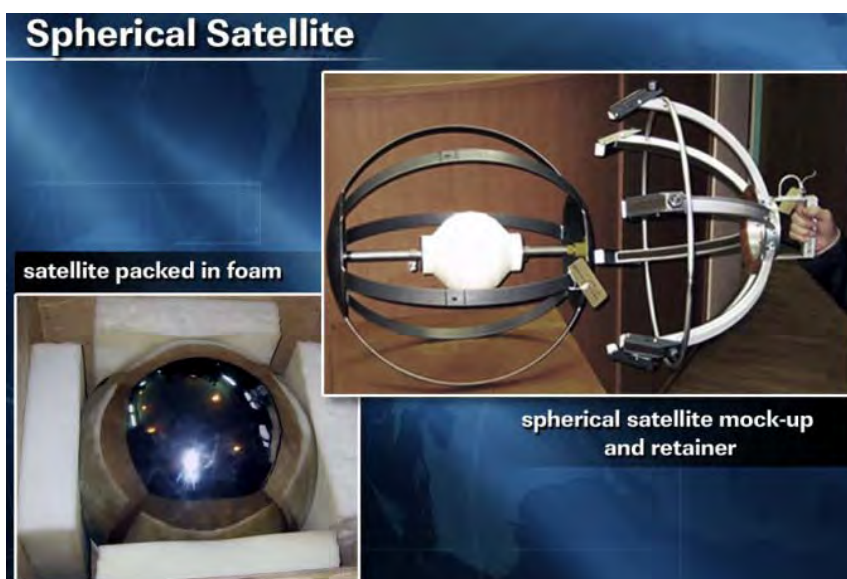


図1.4.3-7 放出される小型の衛星(中空の金属球) (NASA)

1.4.4 HTVとドラゴン補給船の把持運用

星出宇宙飛行士の滞在期間中には、日本のHTV3と、スペースX社のドラゴン補給船の商業輸送飛行1号機(5月の試験飛行に次いで2回目の結合)がISSを訪問する予定です。

いずれも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となります。HTVが実証したISSとの結合方法を、米国の民間企業も採用しています。

HTV3に関する情報については、「HTV3プレスキット」を参照下さい。

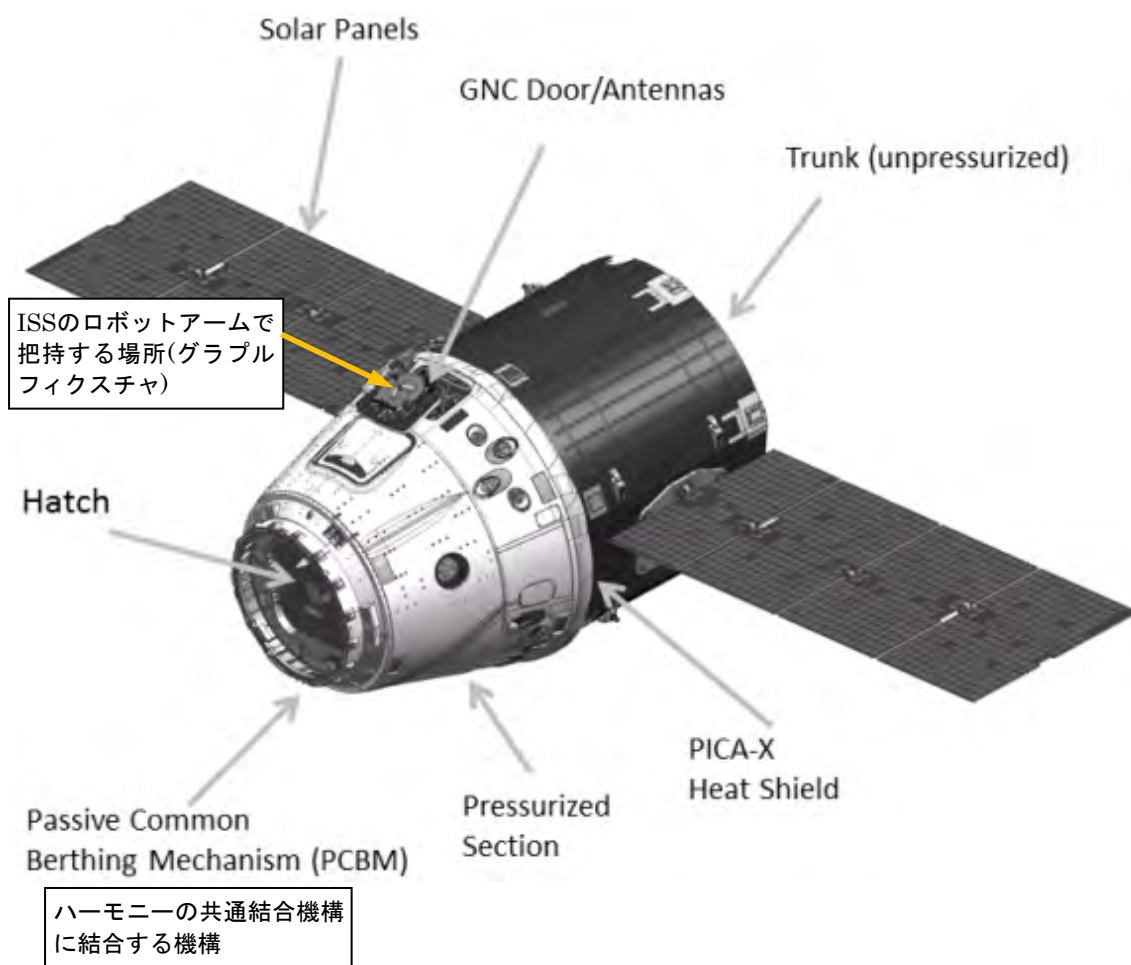


図1.4.4-1 Space X社のドラゴン補給船 (Space X社)



図1.4.4-2 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)

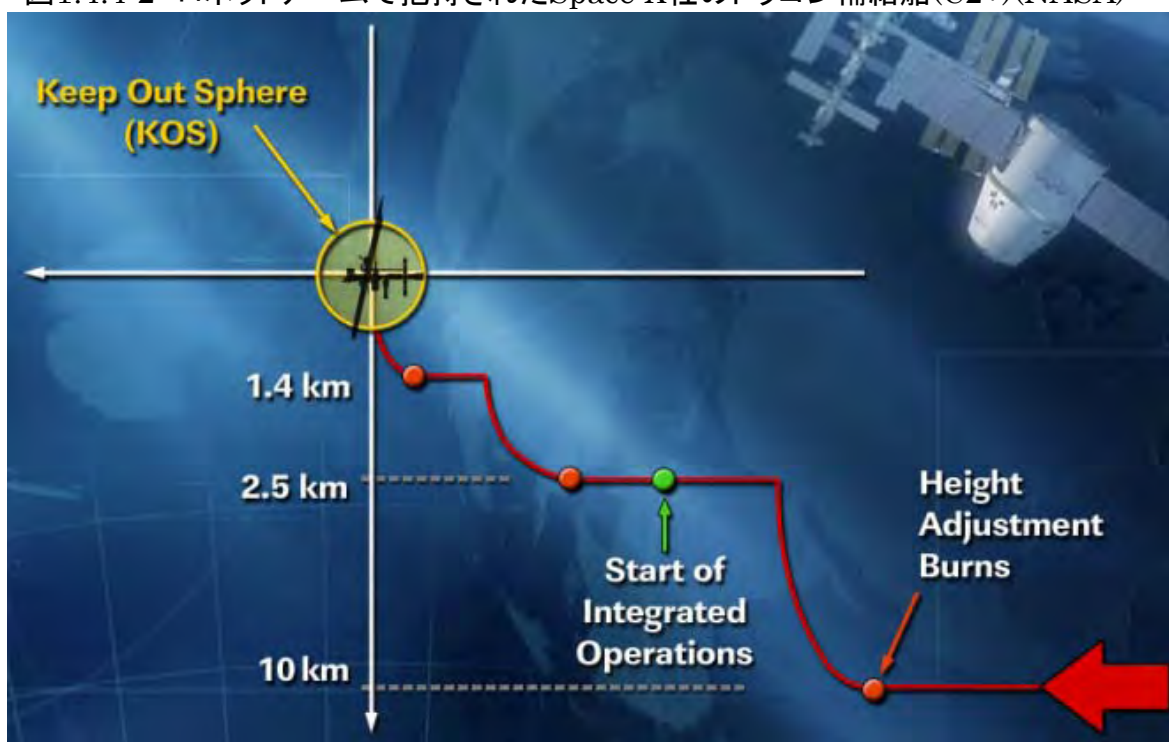


図1.4.4-3 ドラゴン補給船がISSに接近する方法 (Space X社)

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1.4.4-4 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1.4.4-5 HTV「こうのとり」到着時の共通結合機構の位置調整作業
(右は、ハーモニーの窓に位置決め用に設置するCBCS (Centerline Berthing Camera System)から撮影した映像)



図1.4.4-6 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)

1.5 第32次／第33次長期滞在中の主なイベント

星出宇宙飛行士のISS長期滞在中の主なイベントを表1.5-1に示します。

表1.5-1 星出宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(1/2) (2012/7/10現在)

時期	イベント			備考
	ソユーズ関連	補給機関連	その他	
2012年 7月	<ul style="list-style-type: none"> ▼ソユーズ TMA-03M/29S 帰還(7/1) ▲ソユーズ TMA-05M/31S 打上げ(7/15) ●ソユーズ TMA-05M ドッキング(7/17) 	<ul style="list-style-type: none"> ▲HTV3打上げ(7/21) ●プログレス47P再ドッキング試験(7/23-24) ●HTV3結合(7/27) ▼プログレス47P分離(7/30) 	<ul style="list-style-type: none"> ●きぼうの冷却水循環ポンプの交換(TBD) 	<p>(7/1) ソユーズTMA-03Mで第30次／第31次長期滞在クルーが帰還。→軌道上のISSクルーは3名となります</p> <p>(7/17)ソユーズTMA-05Mで星出宇宙飛行士がISSに到着。第32次／第33次長期滞在クルーとして約4ヶ月ISSに滞在する予定。→軌道上のISSクルーは6名となります</p> <p>HTV3到着後、Nano Step実験装置の設置を実施</p>
8月		<ul style="list-style-type: none"> ▲プログレス48P打上げ(8/2) ●プログレス48Pドッキング(8/2) ▼HTV3 分離(8/26: TBD) 	<ul style="list-style-type: none"> ●HTV3曝露パレット/実験装置の移動運用(8/3-8/7) ■ロシアEVA-31(8/16) ■米国EVA-18(8/30) 	<p>(7/27-8/12までロンドンオンライン開催)</p> <p>48Pでは初めて、打上げから6時間後のドッキングを試みます。</p> <p>米国EVA-18は、ウィリアムズと星出宇宙飛行士が作業を担当。</p>
9月	<ul style="list-style-type: none"> ▼ソユーズ TMA-04M/30S 帰還(9/17) 	<ul style="list-style-type: none"> ▼欧州補給機(ATV-3)のISS分離(9/25) ●Space X社のドラゴン補給船(Spx-1)結合(9月後半以降) 		<p>(9/17) ソユーズTMA-04Mで第31次／第32次長期滞在クルーが帰還。→軌道上のISSクルーは3名となります</p> <p>ウィリアムズがISSコマンダーとなり、第33次長期滞在ミッション開始。</p>

※表の日付は米国時間です。スケジュールはISSの運用状況などによって適宜変更されます。

表1.5-1 星出宇宙飛行士長期滞在中の主なイベント(2/2)

時期	イベント			備考
	ソユーズ関連	補給機関連	その他	
2012年 10月	<ul style="list-style-type: none"> ▲ソユーズ TMA-06M/32S 打上げ(10/15) ●ソユーズ TMA-06M ドッキング (10/17) 	<ul style="list-style-type: none"> ▼Space X社のドラゴン補給船(Spx-1)の分離 		<p>(10/17)ソユーズTMA-06Mで第33次/第34次長期滞在クルーがISSに到着。 →軌道上のISSクルーは6名となります このソユーズ宇宙船でメダカが到着。</p>
11月	<ul style="list-style-type: none"> ▼ソユーズ TMA-05M/31S 帰還(11/12) 	<ul style="list-style-type: none"> ▲プログレス49P打上げ(11/1) ●プログレス49Pドッキング(11/3:TBD) 		<p>(11/12)星出宇宙飛行士がソユーズTMA-05Mで地上に帰還。第34次長期滞在ミッション開始。 →軌道上のISSクルーは3名となります</p>
12月	<ul style="list-style-type: none"> ▲ソユーズ TMA-07M/33S 打上げ(12/5) ●ソユーズ TMA-07M ドッキング (12/7) 	<ul style="list-style-type: none"> ●Space X社とOrbital社の民間補給船到着(TBD) ▼プログレス48P分離(12/25) 		<p>(12/7)ソユーズTMA-07Mで第34次/第35次長期滞在クルーがISSに到着。 →軌道上のISSクルーは6名となります</p>

※表の日付は米国時間です。スケジュールはISSの運用状況などによって適宜変更されます。

1.6 ISS長期滞在ミッションに向けたこれまでの訓練

星出宇宙飛行士は、第30次／第31次長期滞在クルーのバックアップクルーとして、また第32次／第33次長期滞在クルーとして、ISS長期滞在ミッションに向け、ISSの概要、構造、システム運用、実験運用など、多種にわたる訓練に参加し、ISSのフライトエンジニアに必要な技術と資格を取得しました。また、ソユーズ宇宙船で打上げ／帰還することから、ソユーズ宇宙船の運用訓練に参加し、ソユーズ宇宙船の操縦資格を取得しました。

星出宇宙飛行士が実施してきた訓練の様子は以下を参照下さい。

http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/news/



図1.6-1 ISSのモックアップ(実物大模型)で緊急避難手順を確認(NASA JSC)
[頭にかぶっているのはアンモニア漏れ発生時に装着するマスク]



図1.6-2(1/2) 船外活動訓練(JSC)



図1.6-2(2/2) 船外活動訓練(JSC)



図1.6-3 HTV「こうのとり」のためのロボットアームの運用訓練(JSC)



図1.6-4 きぼうロボットアーム操作訓練(筑波宇宙センター)



図1.6-5 ソユーズ宇宙船のシミュレータを使った訓練(ガガーリン宇宙飛行士訓練センター)



図1.6-6 小型衛星放出機構のプレス公開時の説明(筑波宇宙センター)



図1.6-7 きぼうのエアロックの操作訓練(筑波宇宙センター)

2. 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、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 2-1 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ため、Space X社のドラゴン宇宙船が実用化されるまではソユーズ宇宙船が唯一の回収手段となります。)
- 最上部の軌道モジュールには、ISSの不用品や使用済み品などを搭載して、大気圏突入時にクルーの搭乗している帰還モジュールと分離し、軌道モジュールごと燃焼させて廃棄します。

2.1 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。

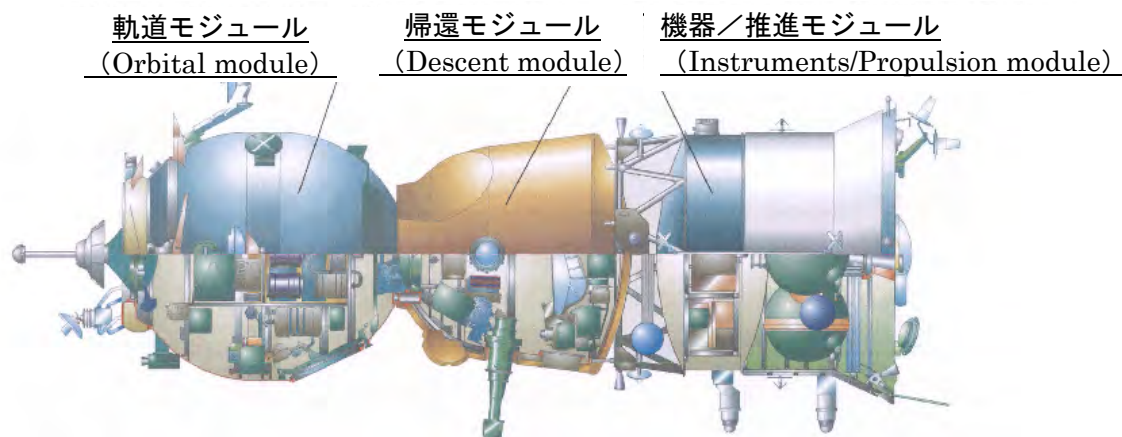
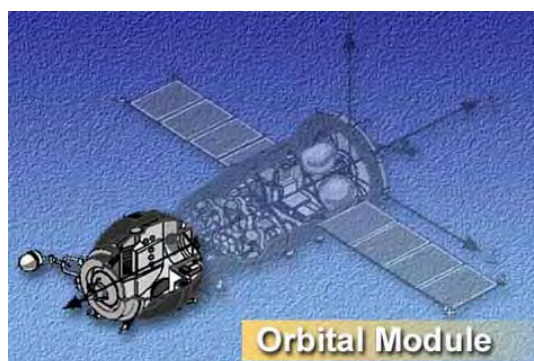


図2.1-1 ソユーズ宇宙船の構成

2.1.1 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2.1.1-1 軌道モジュールの外部と内部の写真

2.1.2 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、着地時の衝撃から守り、クルーの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、または地球方向を確認したりすることができます。外を見る事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50kg (TMA-Mから120kgへ増加)の回収品を搭載して地上に持ち帰ることができます(搭乗クルーが2名の場合は最大100kgの回収品を追加可能)。この帰還モジュールのみが地上に帰還します。



図2.1.2-1 帰還モジュールの内部

2.1.3 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2.1.3-1 機器／推進モジュール

2.1.4 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		14日間
飛行可能期間		200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/eng/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増加できるようになりましたが、それ以外の仕様はほとんど同じです。

2.1.5 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(表2.1.5-1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2.1.5-1 ソユーズTMA帰還カプセルの落下衝撃試験の様子

表2.1.5-1 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、星出宇宙飛行士のフライトが5号機となります。

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)と置き換えると共に、システムモニタ用の5台のアナログプロセッサを1台の新しい機器に置き換える等の改良が行われ、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導入済み)。

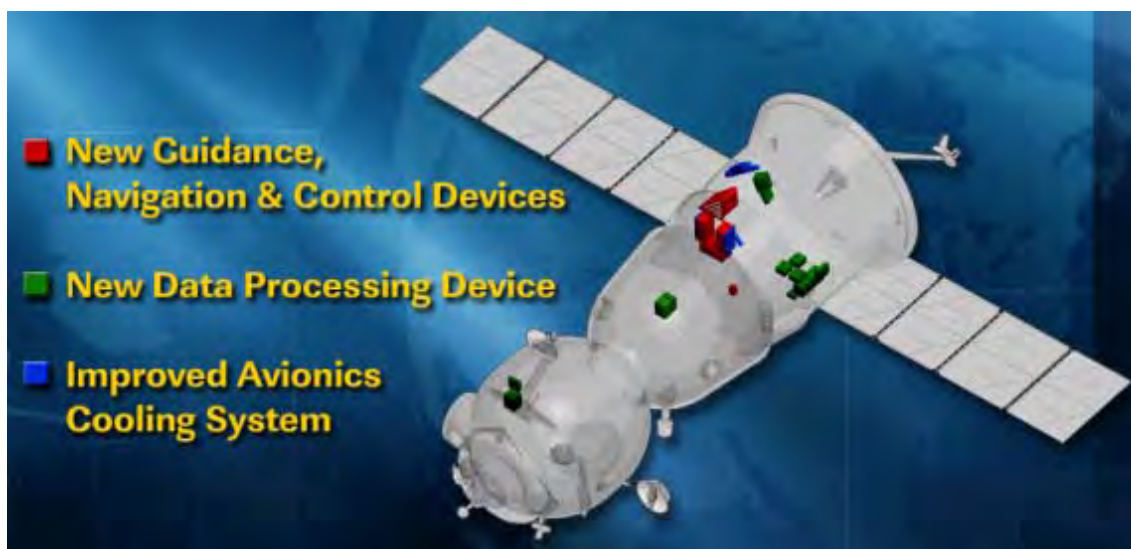


図2.1.5-2 ソユーズTMA-Mで改良した制御機器 (Roscosmos/RSC Energia)
(計36基の古い機器を19基の新しい機器で更新)

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

なお、現在もソユーズTMA-M宇宙船は改良が続けられており、発電能力増強のための太陽電池の改良、デブリ防護能力の強化や、航法装置の改良などが2012年から徐々に導入されているところです。

2.1.6 ソユーズ宇宙船のシステム概要

2.1.6.1 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。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)。

2.1.6.2 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。

2.1.6.3 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。

2.1.6.4 Kurs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「コース」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が、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2.1.6-1 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)

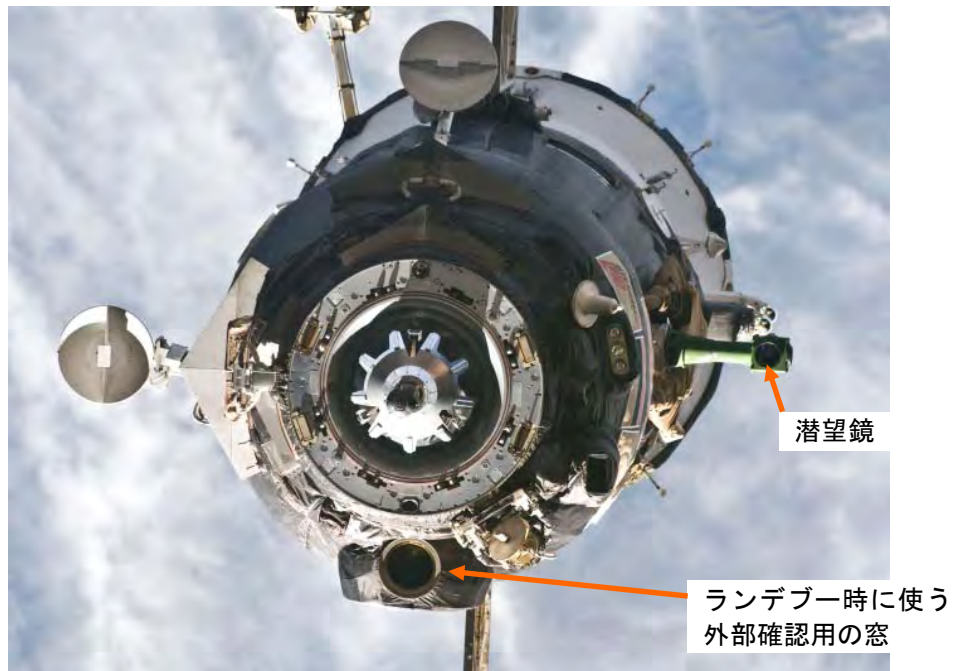
【Kurs故障時の対応】 古川宇宙飛行士のTwitter情報を参考に修正

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映像を元に、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、訓練は終了。



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 (ESA)



潜望鏡訓練の様子 (RSCエネルギー)

図2.1.6-2 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、万一両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。」

2.1.6.5 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箇所にもドッキングすることができます(図2.1.7-5参照)。



図2.1.6-3 ソユーズ宇宙船のドッキング機構

2.1.6.6 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。

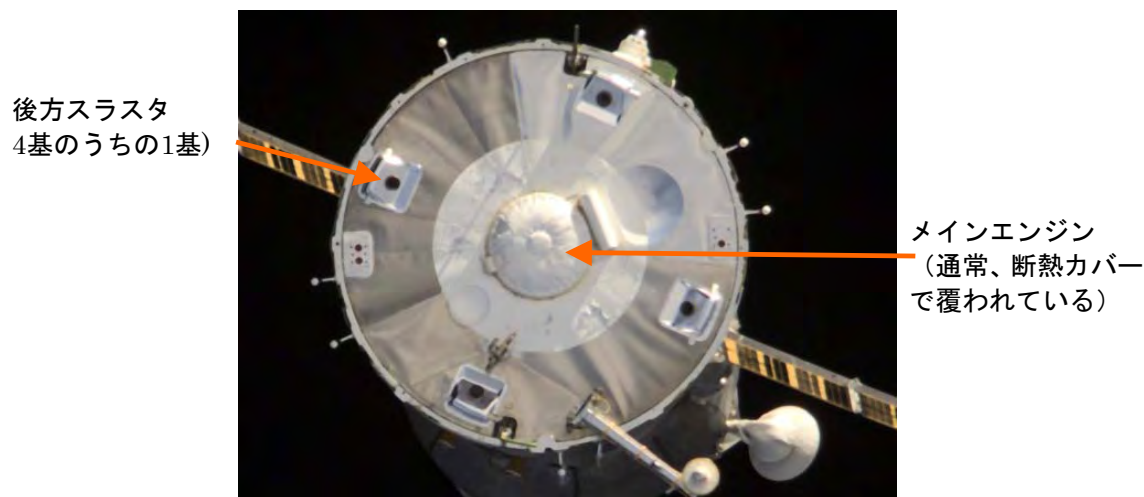


図2.1.6-4 ソユーズ宇宙船後方のメインエンジン

2.1.6.7 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れた後、約2.5km離れた地点に着地することになります。なお、通常の打上げでは打上げ158秒後には、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2.1.6-5 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2.1.6-6 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)

2.1.6.8 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2.1.6-7 ソユーズ宇宙船に装備されている防寒服(JAXA HP, ©GCTC)

2.1.6.9 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。

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2.1.6-8 ソユーズ宇宙船の座席シートと搭乗姿勢 (NASA)



図2.1.6-9 (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2.1.6-10 Sokol与圧服を装着する様子

Sokol与圧服は、この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ます。

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Twitterで以下のように紹介しています。

「ソコル宇宙服は、打ち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。」

2.1.6.10 ソユーズ宇宙船の着陸について

ソユ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。

2.1.6.11 着地時に使う衝撃緩和用ロケット

ソユーズカプセルは、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。

ソユーズTMA宇宙船では、この着地時の速度をソユーズ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2.1.6-11 ソユーズTMA-13が着陸する様子 (NASA HP)

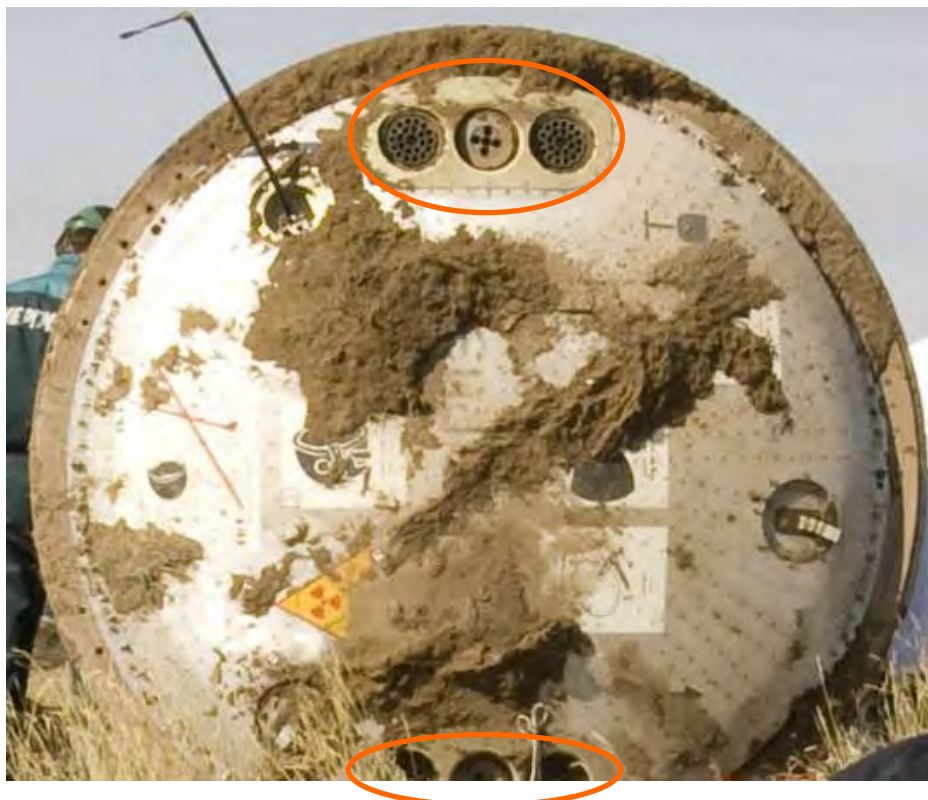


図2.1.6-12 ソユーズTMA-11の衝撃緩和用ロケット(NASA HPより)

2.1.7 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・リビア上空付近)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。

ソユーズ宇宙船の運用概要は以下のとおりです。

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入れています)。

- ① 組立棟でフェアリングに搭載、ロケット組み立て棟へ移動してロケットに結合
- ② 射点に移動【打上げの2日前】
- ③ Go No-go決定、推進剤の充填、クルーの搭乗【打上げ当日】
- ④ 打上げ
- ⑤ 軌道投入、太陽電池パドルと通信アンテナの展開
- ⑥ ISSへの単独飛行
- ⑦ ISSとのランデブ／ドッキング【飛行3日目】
- ⑧ ドッキング中の運用
- ⑨ ISSからの分離
- ⑩ 軌道離脱噴射、軌道モジュールと機器・推進モジュールの投棄
- ⑪ 再突入
- ⑫ パラシュート展開
- ⑬ 着陸
- ⑭ 回収部隊と合流



2.1.7.1 打上げ準備

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

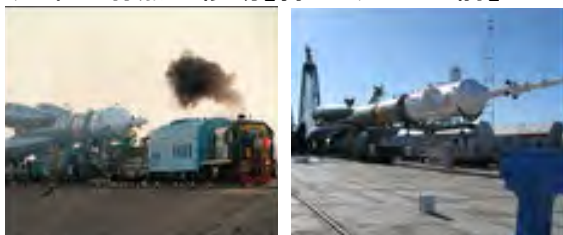
打上げ当日に、ロケットへの推進薬の充填が実施され、打上げの6時間前からカウントダウンが開始されます。

ソユーズ宇宙船の打上げ準備の作業概要を以下に示します。

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



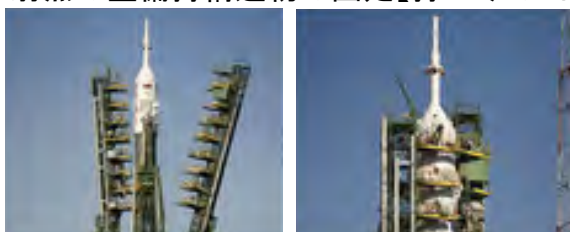
- ② 列車で射点に移動【打上げの2日前】



- ③ 射点に着／垂直に立てられる【打上げの2日前】



- ④ 射点の整備持構造物の固定【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ち上げ当日。打ち上げ約6時間20分前、ホテルのドアにサイン。これも伝統。
- ・ソユーズ宇宙船打ち上げ約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。
- ・打ち上げ約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、バスに乗って打ち上げ場所に向かう。
- ・打ち上げ場所から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2.1.7-1 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	ソユーズロケットブースタへの推進剤の充填準備開始
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に到着(254番サイト)
5時間前	ソユーズロケットブースタ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	ソユーズロケットブースタへの液体酸素の充填開始
3時間40分前	搭乗クルーの会見
3時間10分前	ロシアの委員会(State Commission)への報告
3時間05分前	搭乗クルー射点へ移動開始
3時間前	第1段、第2段ロケットへの酸化剤の充填終了
2時間35分前	搭乗クルー射点に到着
2時間30分前	搭乗クルーソユーズ宇宙船(軌道モジュール)に搭乗開始
2時間前	搭乗クルー帰還モジュールに搭乗完了
1時間45分前	帰還モジュールの機器点検、打上げ/帰還用スーツの換気
1時間30分前	軌道モジュールのハッチ気密点検
1時間前	ソユーズロケット制御システムの準備、ジャイロセンサの起動
45分前	射点の整備構造物の展開
40分前	帰還モジュールの機器類の点検完了; 打上げ/帰還用スーツの気密点検
40分前	緊急脱出システムの安全装置解除; 打上げ制御装置の起動
25分前	射点のサービスタワーの引き込み
15分前	打上げ/帰還用スーツの気密点検完了、搭乗クルーは脱出機器を自動モードに設定
10分前	打上げ用ジャイロセンサ固定解除、搭乗クルーは搭載レコーダを起動
7分前	打上げ前運用の完了
6分10秒前	最終打上げ運用の開始
6分前	射点およびロケットシステムの打上げ準備完了
5分前	オンボードシステム制御機器への電力投入
	地上システムの計器類の起動
	コックピットの操縦機器類の起動
	搭乗クルーはヘルメットを閉め、与圧服の空気循環開始
2分30秒前	ソユーズロケットブースタの推進剤タンクの加圧開始
	ソユーズ宇宙船搭載計器類の起動
	窒素ガスによるすべての推進剤タンクの加圧開始
1分前	電力供給アンビリカル(地上システム)の切り離し
10秒前	第1段、第2段エンジン始動
5秒前	第1段エンジン最大推力
0秒	打上げタワー分離
	離陸

出典: NASA Expedition 21/22 press kit

2.1.7.2 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秒後に緊急脱出用ロケット分離
- 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



図2.1.7-1 ソユーズロケットの打上げ／上昇



図2.1.7-2 ソユーズTMA-17上昇時の船内の様子(左)

図2.1.7-3 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)

2.1.7.3 軌道投入後の作業(飛行1日目～3日目)

表2.1.7-2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(例:ソユーズTMA-16の飛行タイムライン)。

表2.1.7-2 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(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プローブの展開)</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。 ・ 突入時の熱センサを手動で停止。 ・ 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。 ・ 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。 ・ 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)。 ・ 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	<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2.1.7-2 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(2/3)

飛行2日目開始	
Orbit 13 (軌道13 周回目)	<p>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</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"> ・ 昼食 ・ 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>LOS中に高度調整マヌーバ実施。</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 ・ 搭乗クルーの自由時間 ・ 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"> ・ 搭乗クルーの自由時間 ・ 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"> ・ 搭乗クルーの自由時間 ・ 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>クルーの就寝</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2.1.7-2 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(3/3)

飛行3日目開始	
Orbit 28 (軌道28周 回目)	<p><u>搭乗クルーの起床、起床後の活動</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 29 (軌道29周 回目)	<p>搭乗クルーの自由時間、軌道モジュールと帰還モジュールの圧力確認・報告</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ レーダおよび無線トランスポンダ追跡の報告。
Orbit 30 (軌道30周 回目)	<p>搭乗クルーの自由時間、Form 2 “Globe Correction”の読上げ 昼食</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動ランデブコマンドタイムラインのアップリンク。 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
飛行3日目自動ランデブシーケンス開始	
Orbit 31 (軌道31周 回目)	<p><u>Sokol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></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ソユーズ宇宙船の能動・受動状態でのステートベクトルのアップリンク ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
Orbit 32 (軌道32周 回目)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 姿勢制御(太陽方向に対する転回)を終了、MCSの再起動、自動マヌーバを開始(LVLH基準姿勢の確立)。 <p><u>自動ランデブシーケンスの開始。</u> <u>搭乗クルーによるLVLH基準姿勢の監視と、自動ランデブシーケンスの実行。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
飛行3日目最終接近/ドッキング開始	
Orbit 33 (軌道33周 回目)	<p><u>自動ランデブシーケンス(続き)、フライアラウンドマヌーバ、ISSとの距離保持</u> <u>搭乗クルーによる監視。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ フライアラウンド、ISSとの距離保持。 ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。
Orbit 34 (軌道34周 回目)	<p><u>最終接近およびドッキング</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 捕捉からドッキングシーケンス完了まで(通常約20分)。 ・ ドッキングインタフェース圧カシールの監視。 ・ 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)	<p><u>ISSとソユーズ宇宙船の気圧の均等化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ すべてのモジュール内の圧力確認・報告。 <p><u>ハッチの開放、ISS船内へ入室。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テレメトリデータとビデオ画像のダウンリンク。 ・ 無線トランスポンダ追跡。

出典: NASA Expedition 21/22 press kit

2.1.7.4 ランデブ／ドッキング(飛行3日目)

ソユーズ宇宙船は、打上げ後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2.1.7-4 ISSに接近するソユーズ宇宙船

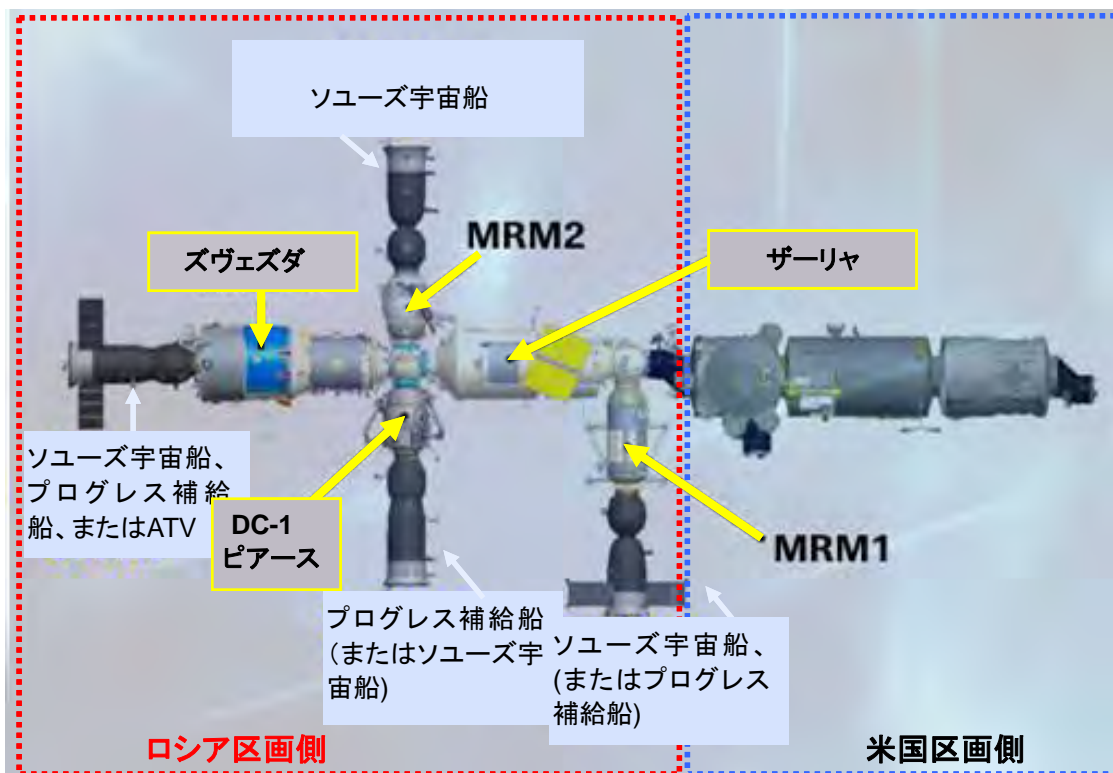


図2.1.7-5 2010年時点のロシア区画の構成
 ※ソユーズTMA-05Mは、MRM1「ラスビエツ」にドッキングする予定です。



図2.1.7-6 MRM1内部の様子

MRM1「ラスビエツ」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2.1.7-7 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

2.1.7.5 再突入／着陸(帰還当日)

ソユーズ宇宙船は中央アジアに位置するカザフスタンの草原地帯に着陸します。ソユーズ宇宙船は、最大3名の宇宙飛行士を乗せて、ISS分離後、約3.5時間で地上に帰還します。

ソユーズ宇宙船は帰還モジュールのみが地上に帰還し、他の2つのモジュールは再突入の少し前(*機器／推進モジュールを使用した軌道離脱噴射後)に帰還モジュールから分離して、大気圏で燃焼して廃棄されます。

帰還モジュールは再突入の約23分後に着陸します。再突入から着陸までの流れは以下のとおりです。

- ① 軌道離脱噴射を実施。
- ② 軌道モジュールと機器／推進モジュールを分離。
- ③ 高度約100kmから再突入開始(ISS分離後、約3時間経過時点)。
- ④ 8つのスラスト噴射による再突入飛行の制御(スラスト噴射は着陸の約15分前(パラシュート展開時)に停止)。
- ⑤ 誘導パラシュート2個を放ち、減速用パラシュート(drogue chute)を展開。これにより、降下速度は秒速230mから秒速80mにまで減速。
- ⑥ 着陸の15分前にメインパラシュート(面積3,281m²)を展開。これにより帰還モジュールの降下速度は秒速7.3mにまで減速。
- ⑦ 着陸1秒前に帰還モジュールの小型ロケット(衝撃緩和ロケット)を噴射。これにより地上にタッチダウン時には秒速1.5m以下の降下速度に減速。

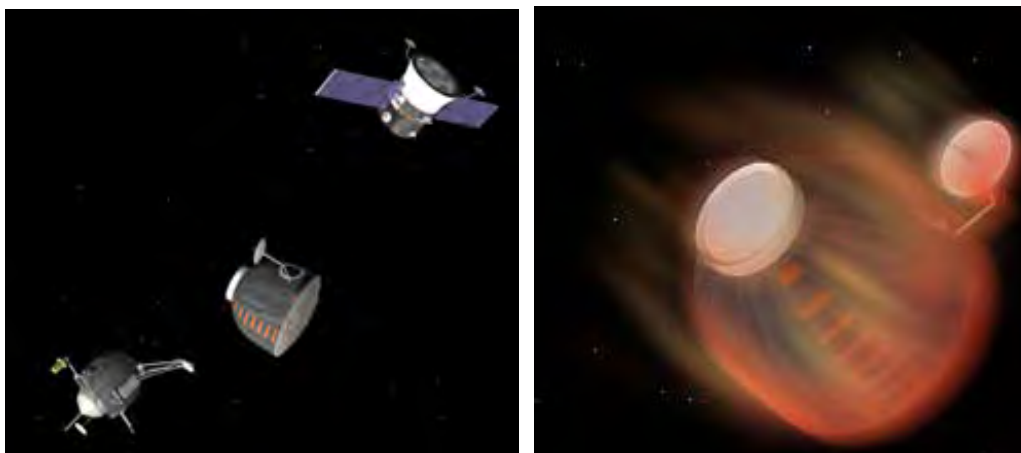


図2.1.7-8 ソユーズ宇宙船の分離イメージ(左)

図2.1.7-9 帰還モジュールの再突入イメージ(右)



図2.1.7-10 メインパラシュートを展開した帰還モジュール(左)



図2.1.7-11 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2.1.7-12 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。噴射が少な過ぎると、大気圏突入角が浅くて大気に弾かれ、噴射が多過ぎると大気圏突入角が深くて速度が上がりすぎ、空力加熱で機体破壊の恐れもある。

そのため、正常な軌道離脱噴射を妨げるような様々な異常事態への対処を訓練する。赤外線を使って地球の縁をとらえるセンサーの故障で、船長が手動でソユーズ宇宙船の姿勢を制御。軌道離脱噴射開始前に、メインで使用するデジタルループが故障しアナログループへ移行。軌道離脱噴射エンジン用燃料タンクを加圧するヘリウム系に漏れが発生。軌道離脱噴射中には、メインの軌道噴射エンジンが停止し、バックアップのエンジンを点火して噴射を継続。その他、帰還モジュール内への酸素漏れ、などなど。3人のクルーで力を合わせて乗り切る。」

【ソユーズ宇宙船の大気圏突入に備えた訓練】古川宇宙飛行士のTwitterより

「手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。」

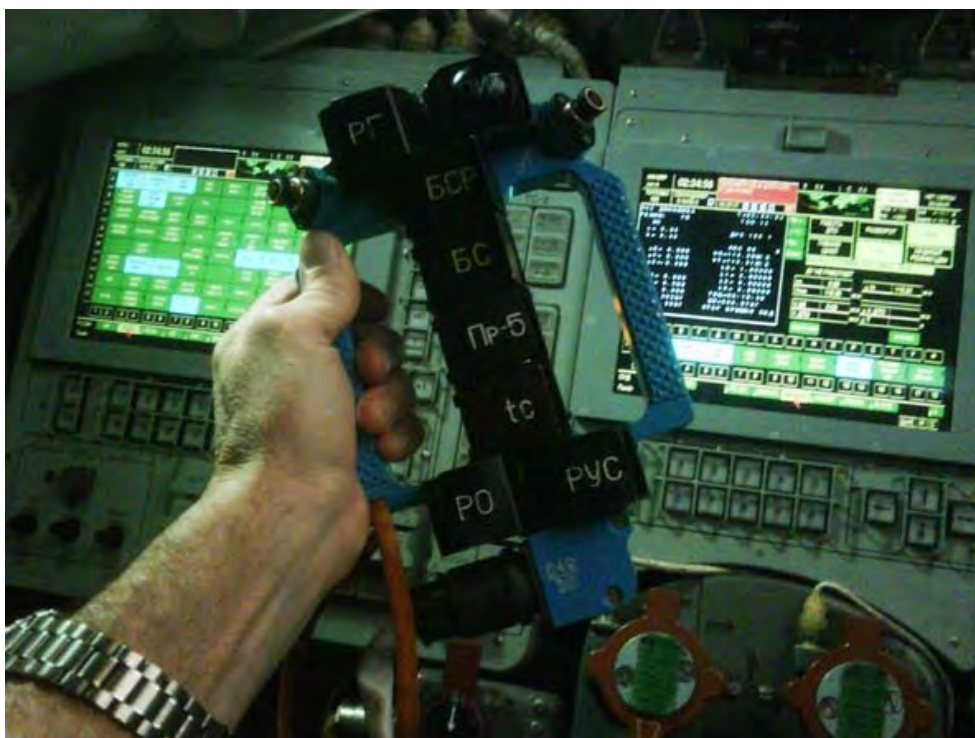


図2.1.7-13 手動揚力コントロールモードでのソユーズ宇宙船帰還時に使う操縦装置
(カナダ人宇宙飛行士Chris HadfieldのTwitterより)

2.1.7.6 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。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2-1

【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。なお、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2.1.7-14 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2.1.7-15 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2.1.7-16 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2.1.7-17 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2-2

【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2.1.7-18 医学検査用エアテント (inflatable medical tent)



図2.1.7-19 帰還モジュールに搭載して持ち帰った物品の取出し

2.1.7.7 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。

ロシアのソユーズ宇宙船で帰還する場合は、ロシアのガガーリン宇宙飛行士訓練施設(GCTC)で約2週間のリハビリテーションプログラムを実施します(フェーズ2まで)。その後、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継続します(着陸地から母国に帰る時期は、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ジャン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2.1.7-1に示します。

コラム2-3

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「参考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ジャン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2.1.7-1 (米国の) ISS長期滞在クルー帰還後のリハビリテーションプログラム概要

目的	帰還後のリハビリテーションプログラムは、帰還直後の転倒による骨折・捻挫を予防し、飛行前体力への回復を目標として、宇宙飛行士ごとに個別に計画する。		
パラメータ	筋力、最大酸素摂取量、体力機能検査		
対象	ISS長期滞在ミッション（30日以上滞在）に参加した宇宙飛行士		
プログラムの構成	以下のフェーズ1、フェーズ2、フェーズ3で構成される。 担当のフライトサージャンの安全管理のもと、リハビリテーションプログラム担当職員の立会いの下で実施する。必要に応じて、NASAなどの運動プログラム担当者の支援を得て実施する。		
フェーズ1	帰還当日～ 帰還後3日目	1日120分	介助付き歩行、立位訓練、ストレッチング、マッサージ、有酸素運動、筋力トレーニング、軽度な抵抗運動など。
フェーズ2	帰還後4日目～ 帰還後14日目	1日120分	ストレッチング、有酸素運動、筋力トレーニング、敏捷性やバランスを高める運動、マッサージ、十分な休養など。
フェーズ3	帰還後15日目～ 帰還後45日目	1日120分	フェーズ2と同様のプログラムを実施。 敏捷性、バランス能力、協調運動、温泉や保養所での療養。
使用する施設	自転車エルゴメーター、エリプスマシーン、トレッドミル、筋力トレーニングマシン、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)

2.1.8 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、1,700回以上もの打上げを実施してきており、数々の通信衛星、観測衛星、科学衛星、そして有人宇宙船を高い成功率で打ち上げてきました。

ソユーズ宇宙船の打上げに使われてきたソユーズロケットは3段式です。一番下の第1段ロケットは4本の液体ブースタで構成されます。第2段ロケットは第1段の中央部に位置しており、その上部に第3段ロケットが搭載されています。これらの3段式のロケット推進薬には、すべて液体酸素とケロシンが使用されています。

ソユーズロケットは、横倒しにした状態で、列車に載せて運搬できるのが特徴で、打上げまでの準備作業が迅速に出来る特徴を有しています。

ソユーズ宇宙船の打上げには、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2.1.8-1 射点へ列車で運ばれるソユーズFGロケット(NASA)

2.1.8.1 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2.1.8-2 ソユーズFGロケットを後方から見た写真(NASA)

表2.1.8-1 ソユーズFGロケットの主要諸元

<http://www.federal-space.ru/Rocket1Show.asp?RocketID=32>

ロケット名称	Soyuz FG (11A511FG)
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

2.1.8.2 第2段ロケット

第2段ロケットは、RD-108Aエンジンが使われています。第1段のRD-107エンジンとの違いはバーニアスラスタの数が2基から4基に増やされている点です。

射点からの上昇時は、5基のエンジン(エンジンノズルは計20基)を同時に燃焼して大きな推力を稼ぎます。

第2段は、1段の点火と同時に燃焼を開始し、1段を分離した後も燃焼を続けます。1段の燃焼時間は118秒間ですが、2段の燃焼時間は290秒間です。

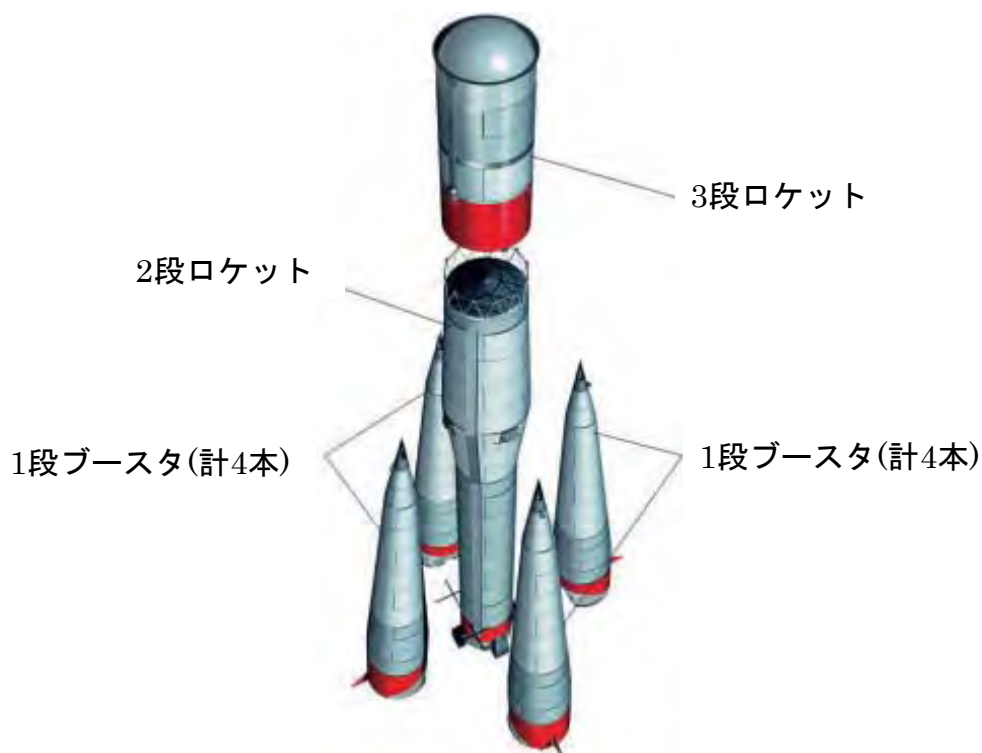


図2.1.8-3 ソユーズロケットの構成イメージ
(Starsem社のSoyuzユーザーズマニュアルより)

2.1.8.3 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2.1.8-4 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)

2.1.8.4 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2.1.8-5 ソユーズFGロケットの上部(NASA)

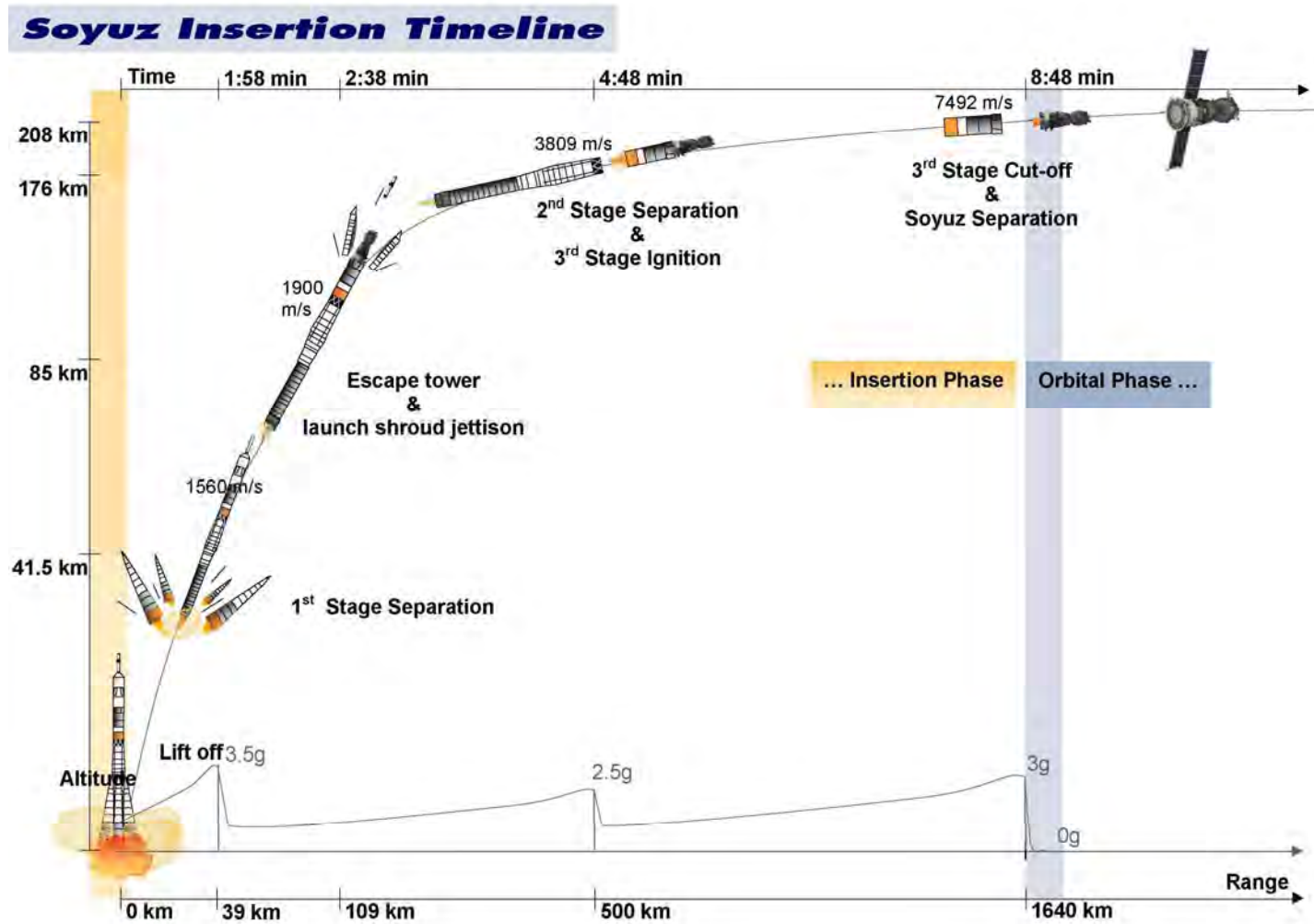


図2.1.8-6 ソユーズロケットの打上げシーケンスとG環境 (ESA HP)
http://www.esa.int/images/Soyuz_insertion_timeline.jpg

2.1.9 バイコヌール宇宙基地について

バイコヌール宇宙基地は、カザフスタン共和国にあります。旧ソ連時代からここが有人宇宙機の打上げに使われてきましたが、ソ連崩壊後は、ロシアはカザフスタンにリース料を払って使用を継続しています。

バイコヌール宇宙基地には全部で9つの打上げ施設(射点)がありますが、そのうちの2つは、ソユーズロケット用の射点です。



図2.1.9-1 バイコヌール宇宙基地と着陸場所の例(NASA HP)

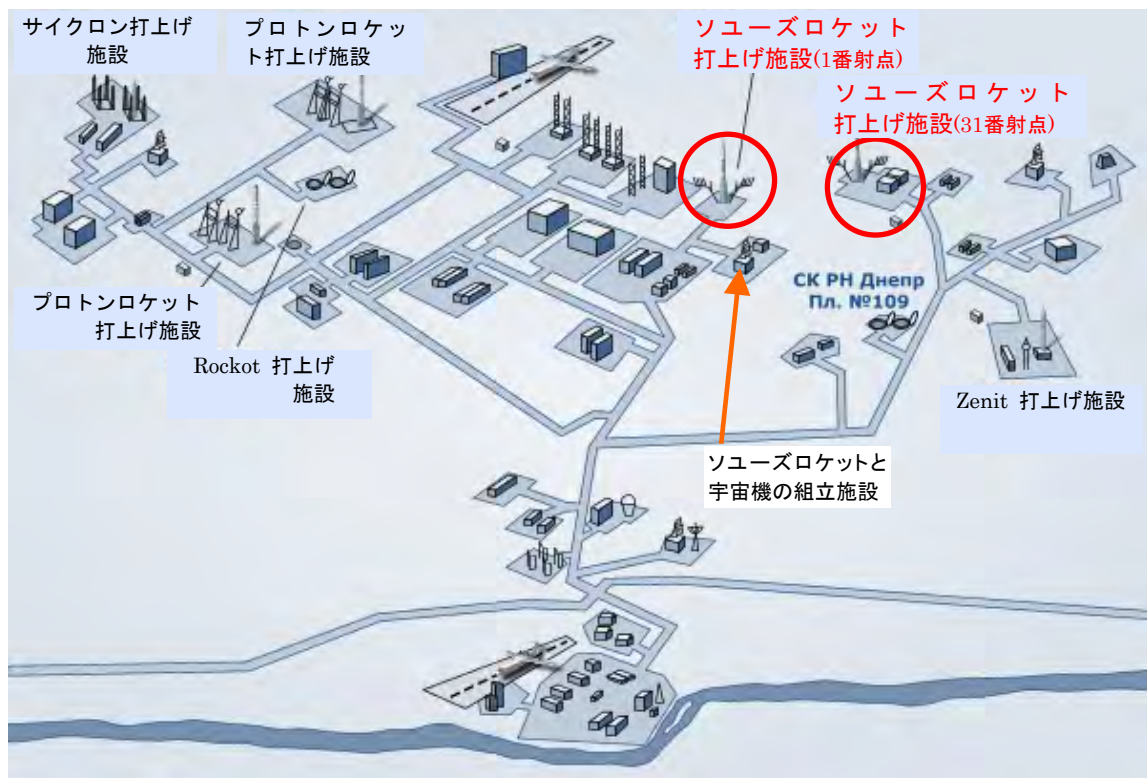


図2.1.9-2 バイコヌール宇宙基地のマップ(現在使用されている施設)

<http://www.roscosmos.ru/Drom1Show.asp?CosDromID=1>

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い続けられているものです。



図2.1.9-3 バイコヌール宇宙基地の1番(LC-1/PU-5)射点



図2.1.9-4 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)

3. 国際宇宙ステーション概要

3.1 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でもあるのです。

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

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

ISSの主な目的は、宇宙だけの特殊な環境を利用した様々な実験や研究を長期間行える場所を確保し、そこで得られた成果を活かして科学・技術をより一層進歩させること、そして、地上の生活や産業に役立てていくことにあります。2012年初めまでに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/iss/about/benefits/>

ISSの全体構成を図3.1-1、仕様を表3.1-1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、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。

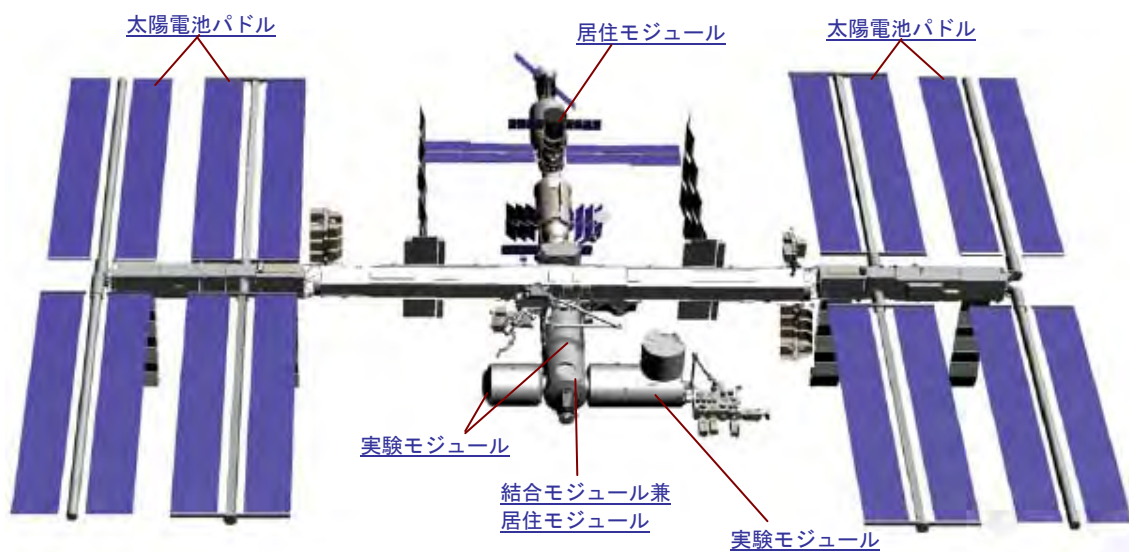


図3.1-1 ISS全体構成

表3.1-1 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)(2013年以降に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330~400km) 軌道傾斜角51.6°
輸送手段	組立:スペースシャトル(引退)、ソユーズ/プロトンロケット(露) 補給:スペースシャトル(引退)、ソユーズロケット(露)、アリアン5ロケット(欧)、H-IIBロケット(日)、米国の商業ロケット(ファルコン9、アンタレスが参入予定)

3.2 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)を提供。

(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(H-II Transfer Vehicle: HTV)を提供。

ISS構成要素を図3.2-1に示します。

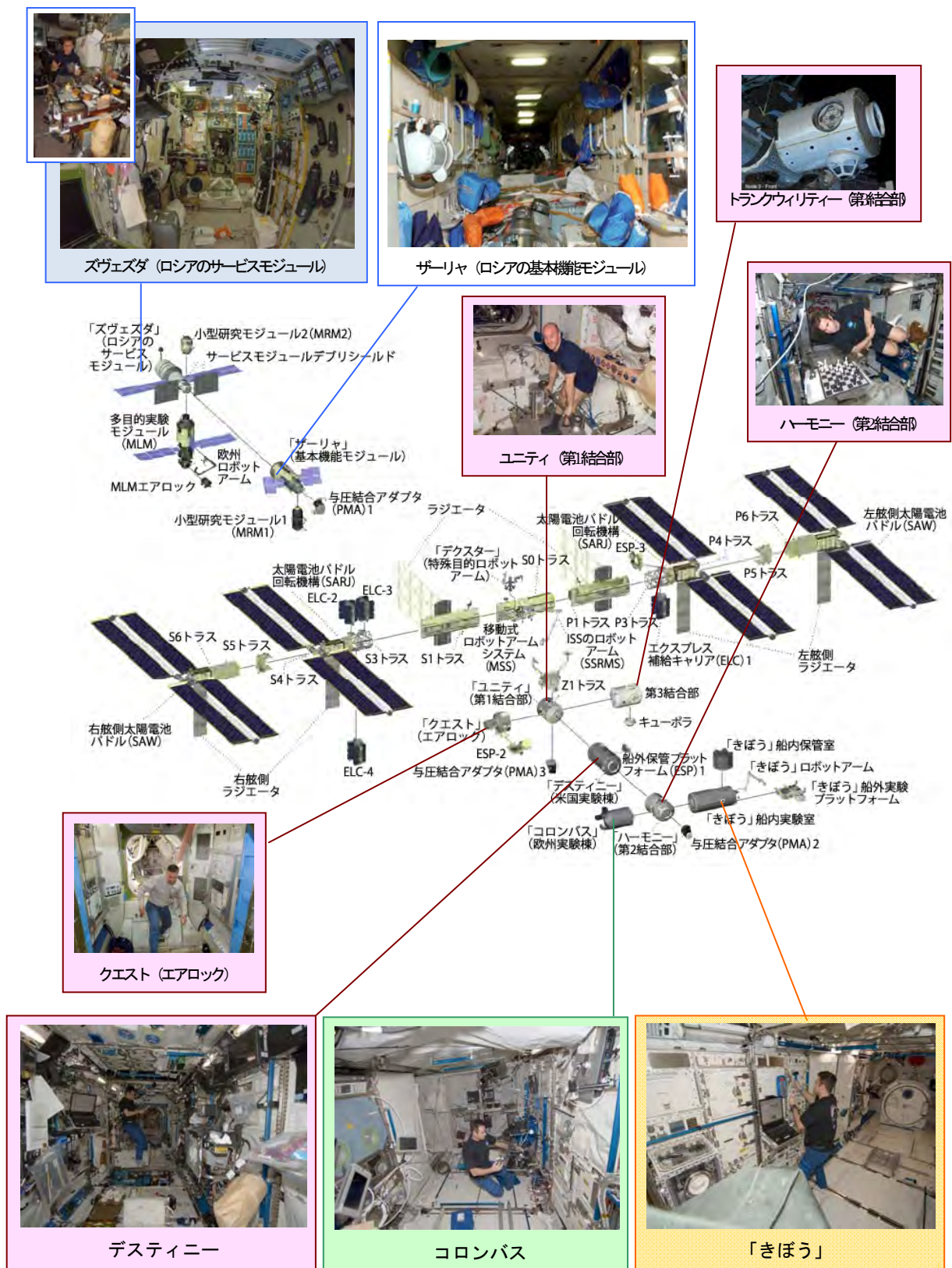


図3.2-1 ISS構成要素

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

3.3 ISSでの衣食住

3.3.1 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3.3.1-1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3.3.1-1 ISSでの1週間の活動スケジュール(例)

日	月～金	土
休み	図3.3.1-1参照	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。

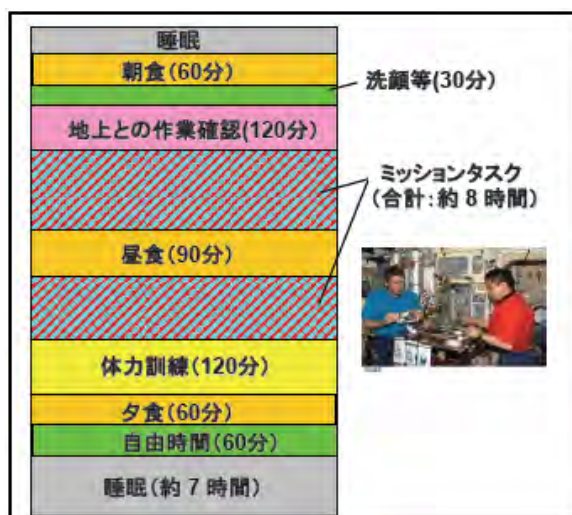


図3.3.1-1 ISSでの平日の活動スケジュール(例)

※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。また体力訓練(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。

(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3.3.1-2 ズヴェズダ内の個室 (ロシア人が使用)



図3.3.1-3 米国製の個室(ハーモニー内)(左)



図3.3.1-4 寝袋を使用して眠る若田宇宙飛行士(きぼう内)(右)



図3.3.1-5 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、4.4.1項を参照下さい。

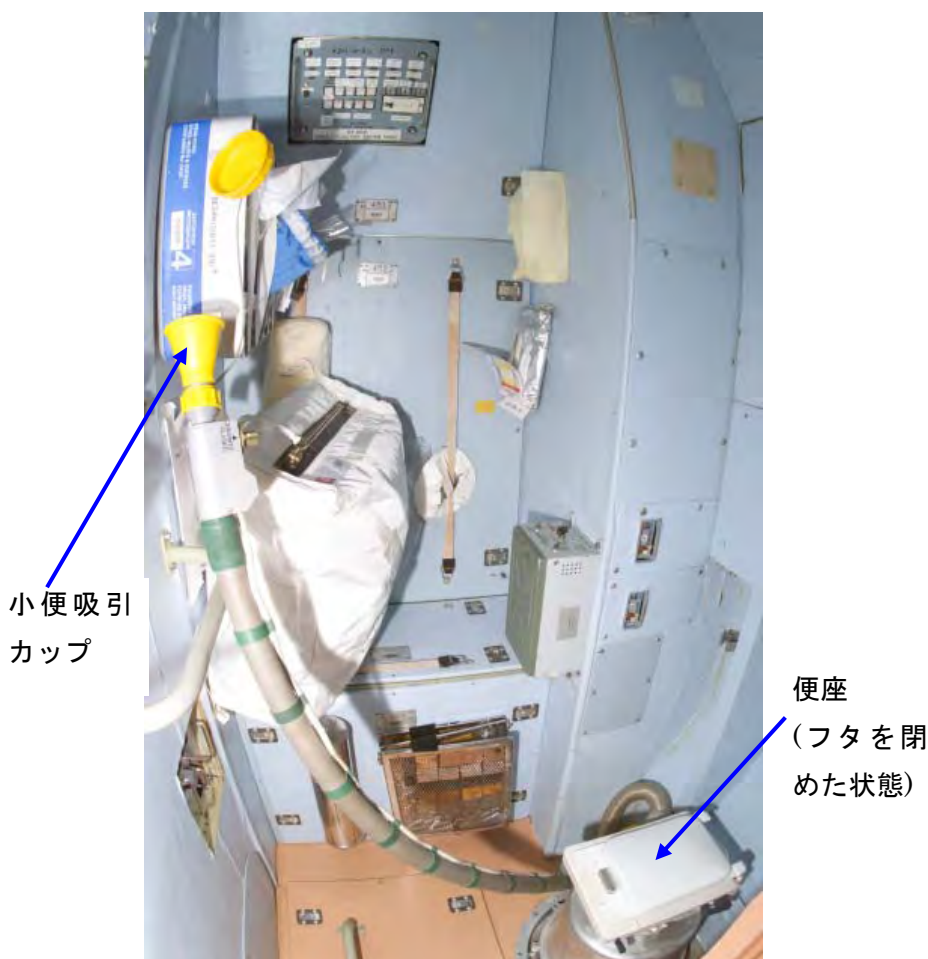


図3.3.1-6 ズヴェズダ後方に設置されているロシアのトイレ



※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3.3.1-7 米国のトイレ(WHC)

ISSでトイレを使用する時に、もしパネルの「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3-1

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。

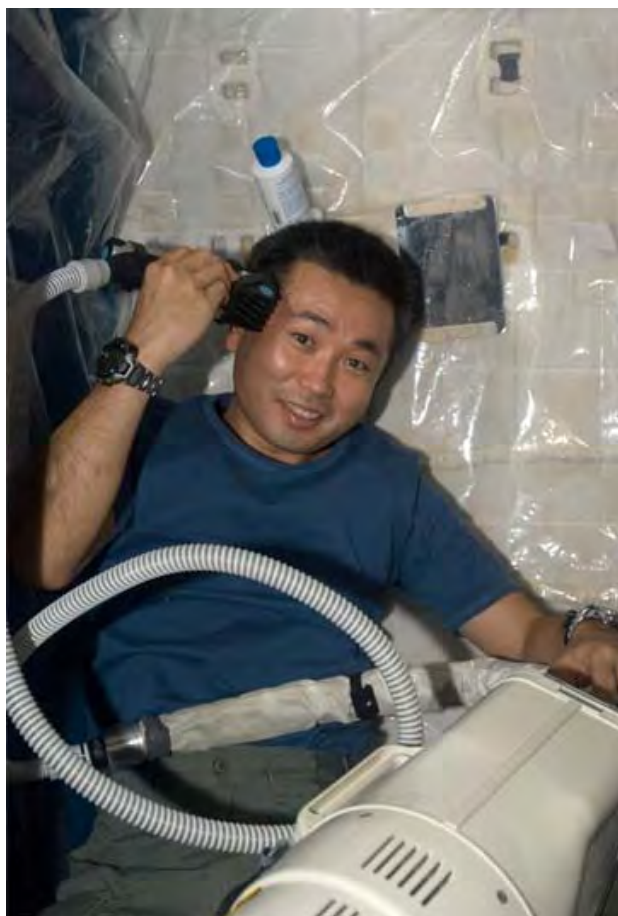


図3.3.1-8 個室で散髪する若田宇宙飛行士はさみやバリカン、そして吸引用の掃除機を使用します。



図3.3.1-9 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内での娯楽

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娯楽品も使えます。

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3.3.1-10 キーボード、ギター演奏



図3.3.1-11 地上とチェス対戦



図3.3.1-12 新鮮な果物と野菜でリフレッシュ



図3.3.1-13 地上とのTV会議
※日曜日には家族との会話もこのように感じで行えます。



図3.3.1-14 野菜の栽培（ズヴェズダ内）



図3.3.1-15 クリスマスの飾り付け（ズヴェズダ内）

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。



図3.3.1-16 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3.3.1-17 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

3.3.2 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。

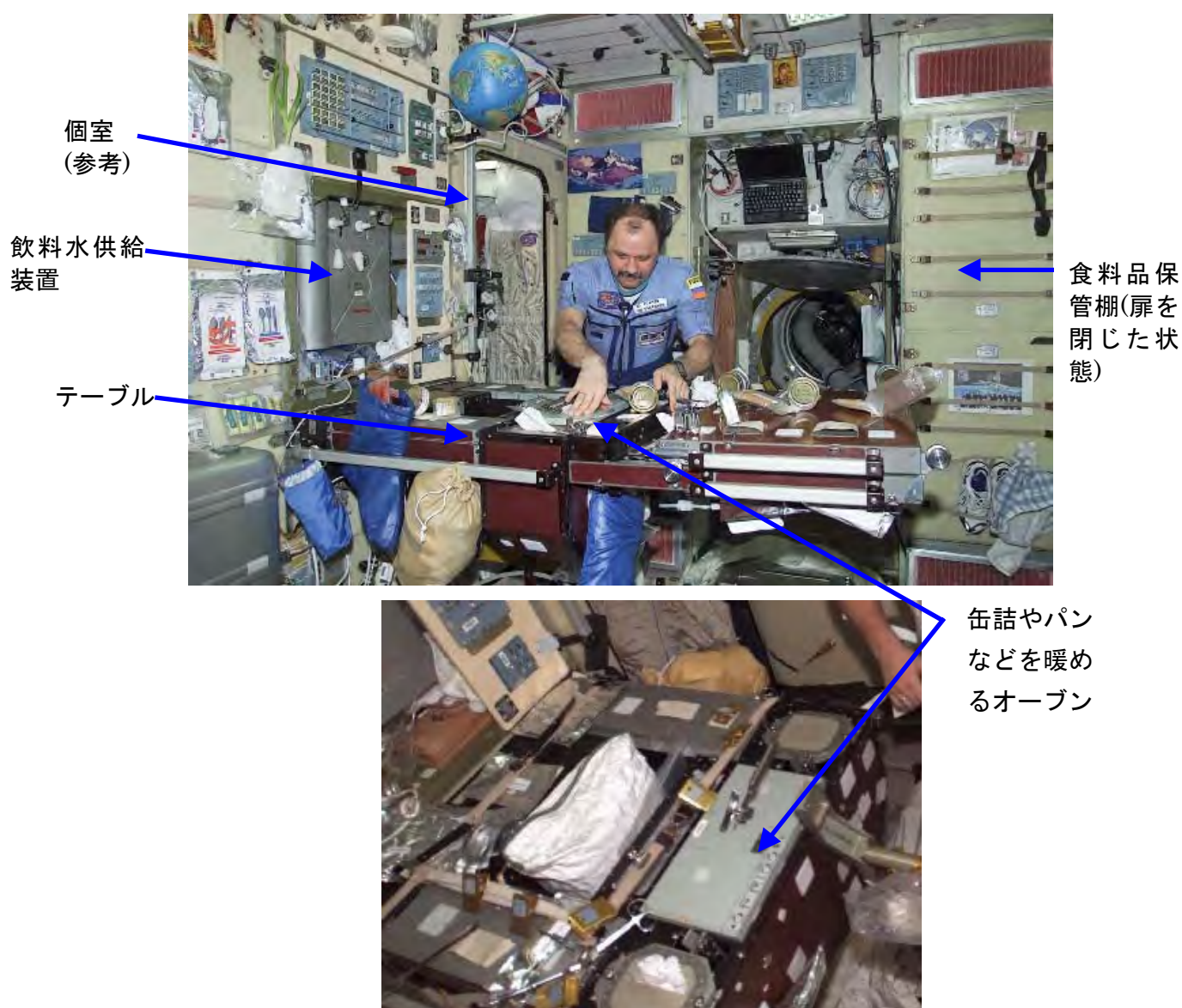


図3.3.2-1 ズヴェズダ内の食事用テーブル・調理設備



図3.3.2-2 ズヴェズダ内で食事している様子



図3.3.2-3 ユニティ内に設置された2台目のテーブル



図3.3.2-4 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。

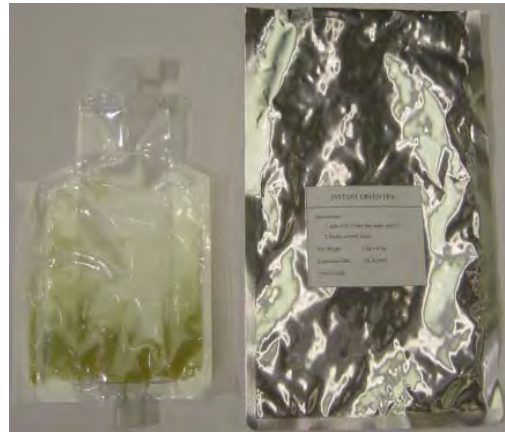
その後、システムが変わり、今では16日間のローテーションメニューになりました。基本は、ロシアとアメリカの宇宙食が半々ですが、アメリカの宇宙食では16日毎に繰り返される標準メニューを止め、バラエティを増やしています。また月に1度はボーナス宇宙食が入った箱を利用する事が出来ます(ボーナス宇宙食は、冷蔵が不要で、NASAの微生物検査をパスしたものなら市販品の食品でも好きなものを含める事が出来ます)。

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



ポークカレー



しょうゆラーメン



マヨネーズ



羊羹

図3.3.2-5 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/index.html>

3.3.3 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)

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あり、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)に設置されています。なお、STS-128(17A)フライトで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3.3.3-1 TVISを使ったエクササイズ(※ゴム製のひもで体をトレッドミルに押しつけます)



図3.3.3-2 ノード3内に設置された「COLBERT(コルベア)」を使っでのエクササイズ

(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3.3.3-3 CEVISで運動する若田宇宙飛行士(左)



図3.3.3-4 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。

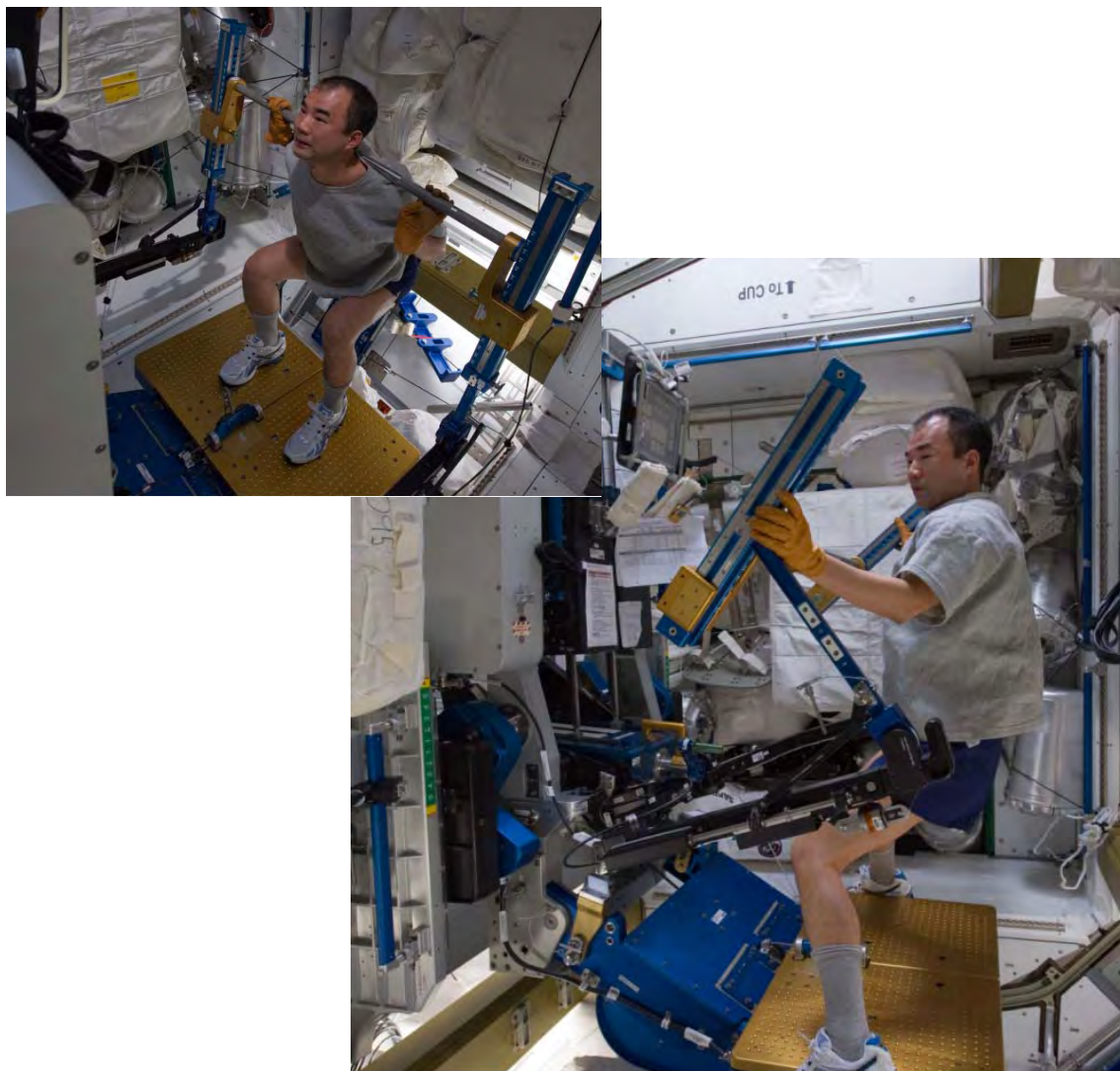


図3.3.3-5 AREDで運動する野口宇宙飛行士

(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3.3.3-6 水質検査作業



図3.3.3-7 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3.3.3-8 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)

3.3.4 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3.3.4-1 パワーツールを使用した装置の分解



図3.3.4-2 TVISの修理(床下の機器を取り出した状態:2002年10月)



図3.3.4-3 米国の二酸化炭素除去装置(CDRA)の修理 (デスティニー内)



図3.3.4-4 遠隔電力制御モジュール(RPCM)の交換修理 (ユニティ内)

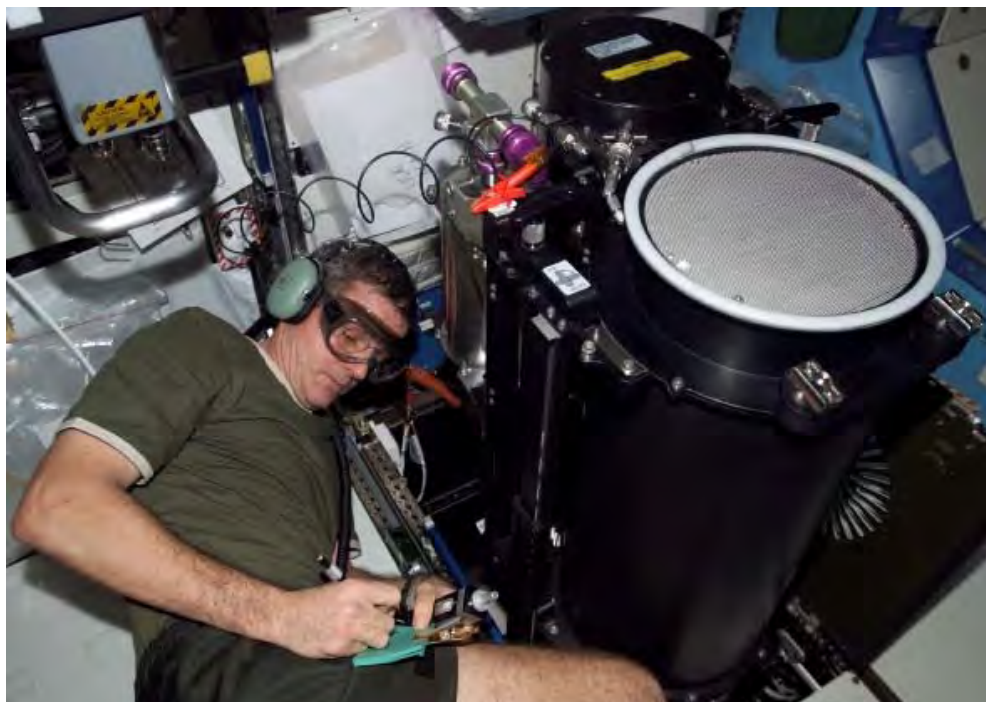


図3.3.4-5 米国の有害ガス除去装置(TCCS)の修理 (デスティニー内)



図3.3.4-6 米国のトイレ(WHC)の内部機器の組立作業



図3.3.4-7 故障した装置(揮発性有機物分析器(VOA))の修理



図3.3.4-8 デスティニー内での熱制御系の冷却水の補充作業



図3.3.4-9 米国のモジュール間での電力・通信・流体配管の接続作業



図3.3.4-10 水再生システム(WRS)ラック 尿処理装置のトラブル対応作業



図3.3.4-11 「きぼう」内のラックの電力・通信・流体配管の接続作業



図3.3.4-12 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3.3.4-13 「きぼう」内でのラックの搬入・設置作業(上・下)



図3.3.4-14 狭いCBMハッチ部を通すラックの移動作業



図3.3.4-15 ラック背面からアクセスしての修理・保全作業



図3.3.4-16 米国の宇宙服の背中の機器のメンテナンス(定期保全)



図3.3.4-17 船外活動(EVA)による修理作業

3.4 ISSでの水・空気のリサイクル

3.4.1 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シャトル等で補給し、残りの1.5 リットル分をロシアの凝縮水再生処理でまかなっていました。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せん（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。

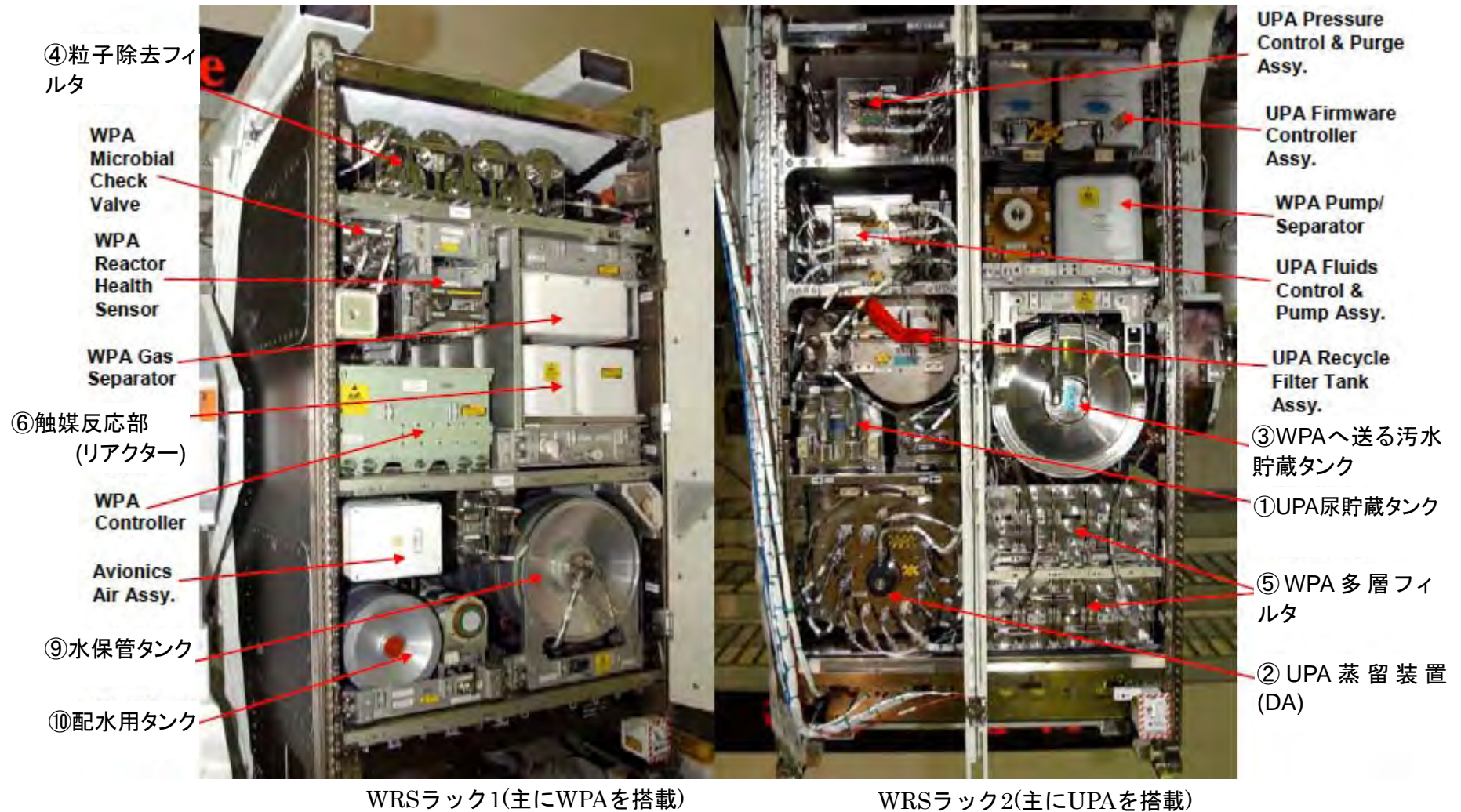


図3.4.1-1 WRS1, 2ラックの機器構成と水処理の主な流れ

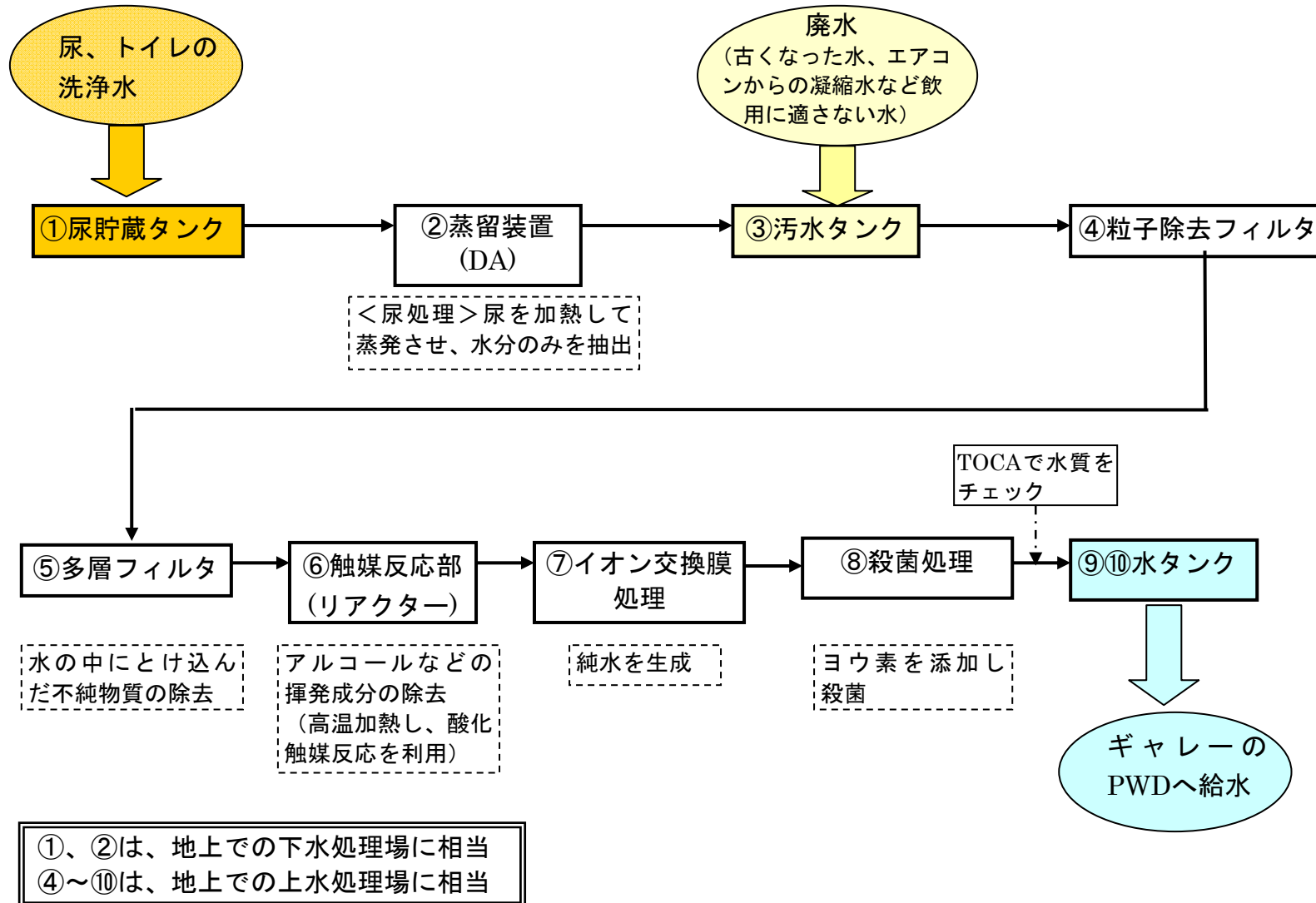


図3.4.1-2 ISSでの水再生処理の流れ

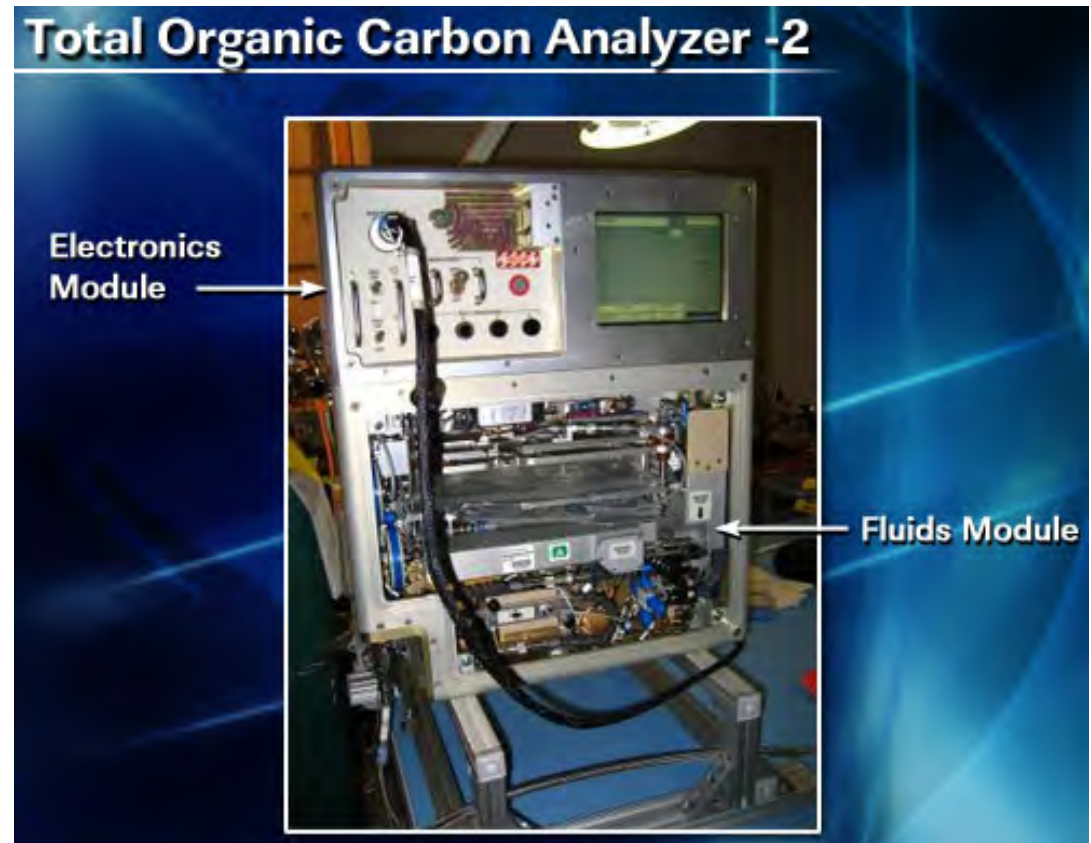


図3.4.1-3 水質測定・分析用のTOCA-2

(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3.4.1-4 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3.4.1-5 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3.4.1-6 米国の水容器(CWC)
(表面が布地のソフトタイプの容器)

3.4.2 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)によって酸素や空気が供給されます。これらはタンクの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。

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。

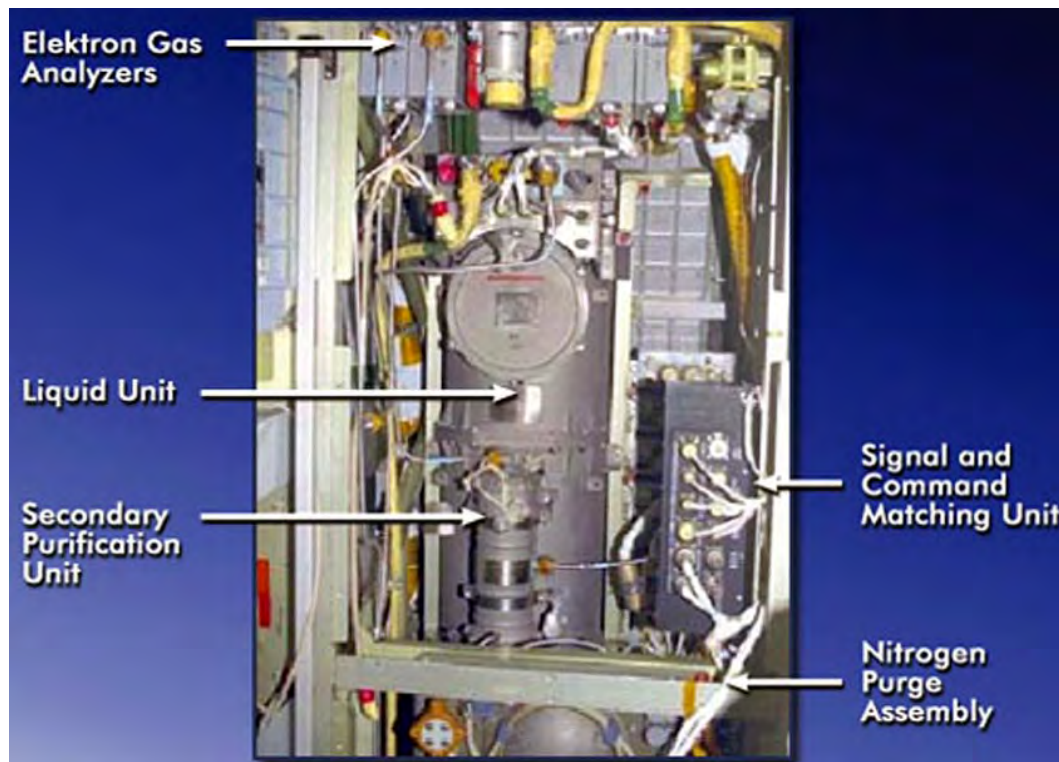
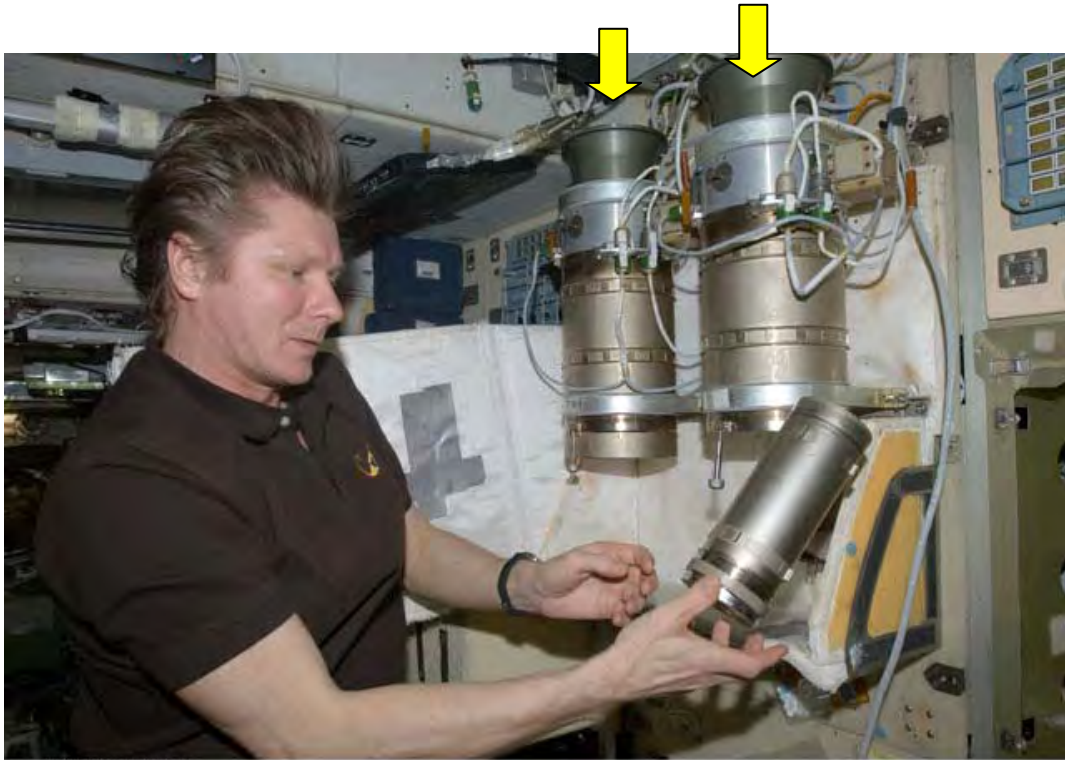


図3.4.2-1 ロシアの酸素生成装置エレクトロン



ISS020E031128

図3.4.2-2 ズヴェズダ内に設置されているSFOG容器2本（矢印）



図3.4.2-3 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一部再利用。)



図3.4.2-4 米国の二酸化炭素除去装置(CDRA) (修理時の写真)



図3.4.2-5 ロシアのVozdukh
(表面に見えているのはバルブパネルのみ)

(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。

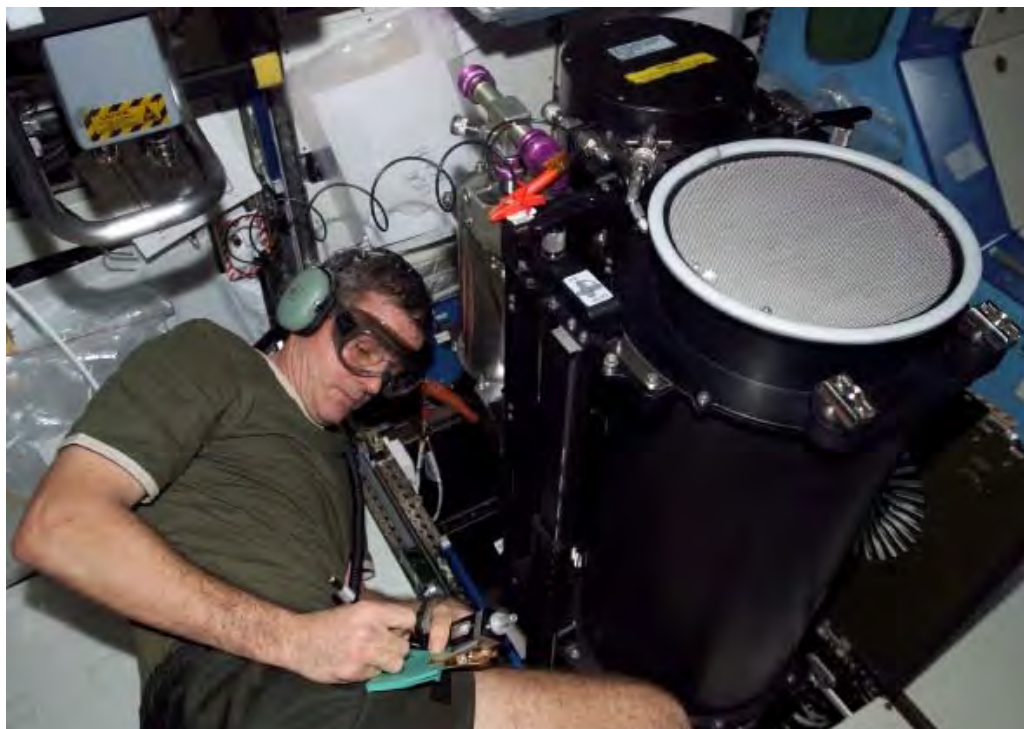


図3.4.2-6 米国の有害ガス除去装置(TCCS) (修理時の写真)

4 船外活動(EVA)について

4.1 船外活動(EVA)とは

宇宙飛行士が宇宙船の外で行う各種作業のことを、船外活動(Extra Vehicular Activity : EVA)と呼びます。世界で初めてのEVAは、1965年3月18日(米国時間)に旧ソ連のヴォスホート2号でレオノフ宇宙飛行士によって行われました。

一方、米国初のEVAは1965年6月3日(米国時間)、ジェミニ4号のエドワード・ホワイト宇宙飛行士によって行われました。

宇宙飛行士がエアロック(宇宙空間への出入り口として使う気圧調整用の部屋)を通過して宇宙船の外に出て作業する場合には、真空や高温、低温といった宇宙空間の過酷な環境から宇宙飛行士を守るために、船外活動用の宇宙服を着用しなければなりません。この宇宙服のことをNASAでは船外活動ユニット(Extravehicular Mobility Unit: EMU)と呼んでいます。この宇宙服には小型の生命維持装置が取り付けられており、宇宙で作業を行うために様々な機能が備わっています。

この船外活動ユニットは、体温を保持したり、有害な紫外線、宇宙線や微小な宇宙塵から体を守り、宇宙飛行士が安心して船外で作業を行うことが出来ます。

(1)ISS建設におけるEVAの必要性

国際宇宙ステーション(International Space Station : ISS)の組立てには1,260時間(約200回)以上の船外活動(Extra-vehicular Activity : EVA)が必要となります。シャトルで運んで単純にロボットアーム等を使用して結合させただけではISSは使えません。現在のロボットアームの能力には作業スピードや精密さの点で限界があり、細かい作業は人間が行わざるを得ない状況です。打上げ時に固定していた打上げ固定具の解除、電力・通信・流体配管の接続、壊れやすい小型の機器や実験装置の取り付け、故障した装置の交換、機器等の設置場所の移動など様々なEVA作業が必要になります。

(2)エアロック、宇宙服の選択

ISSにはエアロックが2つあります。1つは、米国が開発したジョイント・エアロック「クエスト」で、もう1つはロシアの「ピアース」です(エアロックに関しては4.1.4項を参照下さい)。基本的には、米国側部分の作業を行う場合には、米国の船外活動用宇宙服(Extra-vehicular Mobility Unit : EMU)とクエストを使用し、ロシア側の作業を行う場合にはロシアのオーラン(Orlan)宇宙服(2009年6月に新型のOrlan-MKをOrlan-Mに代わって使用開始)とピアースを使用します。

ピアースは、2013年頃には廃棄される予定のため、その後はMRM-2「ポイスク」がエアロックとして使われるようになる予定です。

(3)シャトル時代のEVAとISS時代のEVAの違い

シャトル単独でのEVAとISSでのEVAの大きな違いは以下の通りです。

- ・セルフレスキュー装置の導入： シャトルのEVAの場合、誤ってEVAクルーが投げ出されてしまっても、シャトルが救出しに行くことが出来ましたが、ISSの場合はそのような機動的な対処は無理です。このため、セルフレスキュー用の装置として、ISS建設用にEVA時のセルフレスキュー推進装置(Simplified Aid For EVA Rescue : SAFER)が開発されました。(詳細は、4.1.5項(2)⑤を参照下さい)ISSで米国のEMUを使う場合にはSAFERの装着が義務づけられています。
- ・快適性の向上： シャトルのEVAではシャトルの貨物室の内側や、その近くで作業を行いましたが、ISSでの作業の場合は構造物から遠く離れた場所で作業を行うことになり、温度低下が激しくなることから、シャトル用の宇宙服では冷えすぎることが分かりました。このため、冷却水の循環を緩やかにしたり、指先にヒーターを装着したりする改良が行われました。また、手先の細かい作業を行いやすくするための改良や、指先と手のひらのゴムが剥がれにくくするための強化も行われました。
- ・プリブリーズ手順の進化： ISSの組立てでは、EVA回数が多いため、EVA準備作業の1つであるプリブリーズ(体内の窒素抜き)時間を減らす必要がありました。このため、ISS用として新たにエクササイズ・プリブリーズという手法が開発され、プリブリーズ時間を大幅に削減しました。その後、クエスト内を3/4気圧に下げた状態で一晚過ごすキャンプアウトという方法を使うようになり、プリブリーズ時間は長くなりますがシャトル時代と同様に起床後すぐに作業に着手できるように見直されました。さらに2011年夏からはISLE(In Suit Light Exercise)という方法が開発され、宇宙服を装着して手脚を軽く動かすだけで、エクササイズ・プリブリーズよりもプリブリーズ時間を約1時間短縮し、約3時間で済むようになりました。
- ・新しい機器の導入： 宇宙服のヘルメットにTVカメラを標準装備して、地上でもクルーの目線で作業状況をリアルタイムで確認できるようになったほか、照明の向きを調節できるようにし、2010年には照明をLED化。主バッテリーも2011年にはリチウムイオン電池に切替えられました。また、EVA用の電動工具や様々な工具が開発されるなど、EVAの作業効率や宇宙服の整備性はISSの建設が始まる前と比べると飛躍的に向上しました。

(4)EVA時の注意点

EVA時には、宇宙飛行士が誤って宇宙機から飛ばされないように、安全、かつ確実に船外活動を行うことが要求されています。このため、移動する際には2本のテザーを使用して、1本は必ずどこかに固定しておき、誤って手や足の固定を外してしまったり宇宙機から離れてしまわないようにしています。テザーの使用は、高所作業で使われている命綱と同様の役割です。

また、アンテナや実験装置等の繊細な機器を足で蹴って壊したりしないように注意しなければなりません。さらに、鋭利な箇所宇宙服を破かないよう注意する必要も

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

あります。このため、触ったり、近づいてはいけない場所(Keep Out Zone)が決められています。EVA 訓練時には、そのような場所に注意して訓練が行われています。

4.2 宇宙服及び関連システム概要

米国の EVA を実施するためのシステムは、次の 3 つの要素から構成されます。

- ①船外活動ユニット(Extravehicular Mobility Unit : EMU)
- ②エアロック
- ③EVA工具、EVA支援機器

これらはさらに幾つかの要素から構成されます。

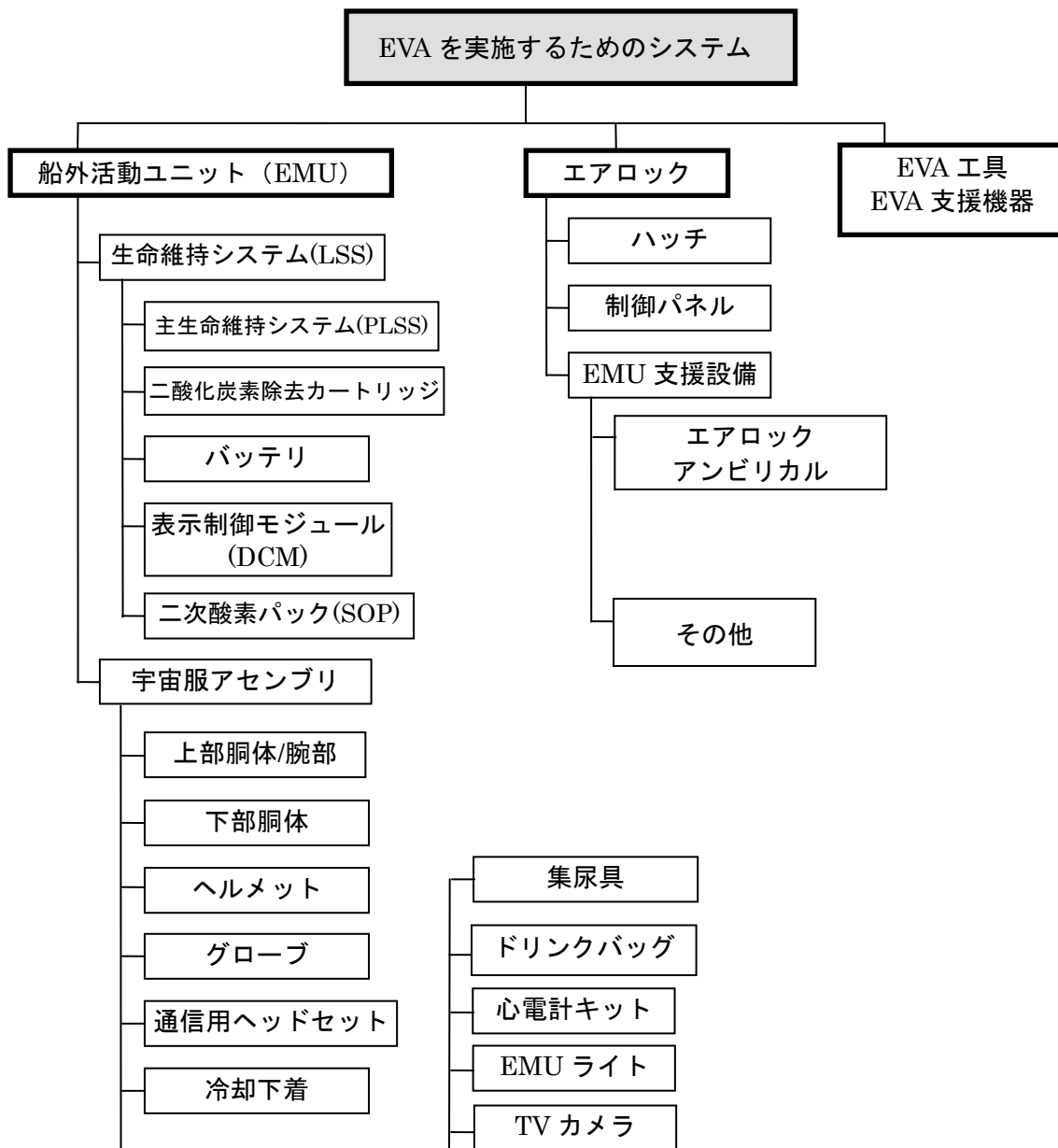


図4.2-1 EVA を実施するためのシステム全体の構成概要

4.2.1 米国の宇宙服(EMU)

米国の宇宙服である船外活動ユニット(EMU)は宇宙飛行士を宇宙環境から保護するとともに宇宙飛行士の生命を維持して、船外活動を行うための装置です。EMUは大きく2つの部分から構成されます。EMUの重さは約120kgです。

- ① 宇宙服アセンブリ
- ② 生命維持システム

EMUは計画上、約7時間のEVAが可能です。ただし、酸素の消費量には個人差があるため、実際にはもう少し長時間の作業が行われることがあります。

EMUは、米国のハミルトン・サンドストランド(Hamilton Sundstrand)社が製造しています。

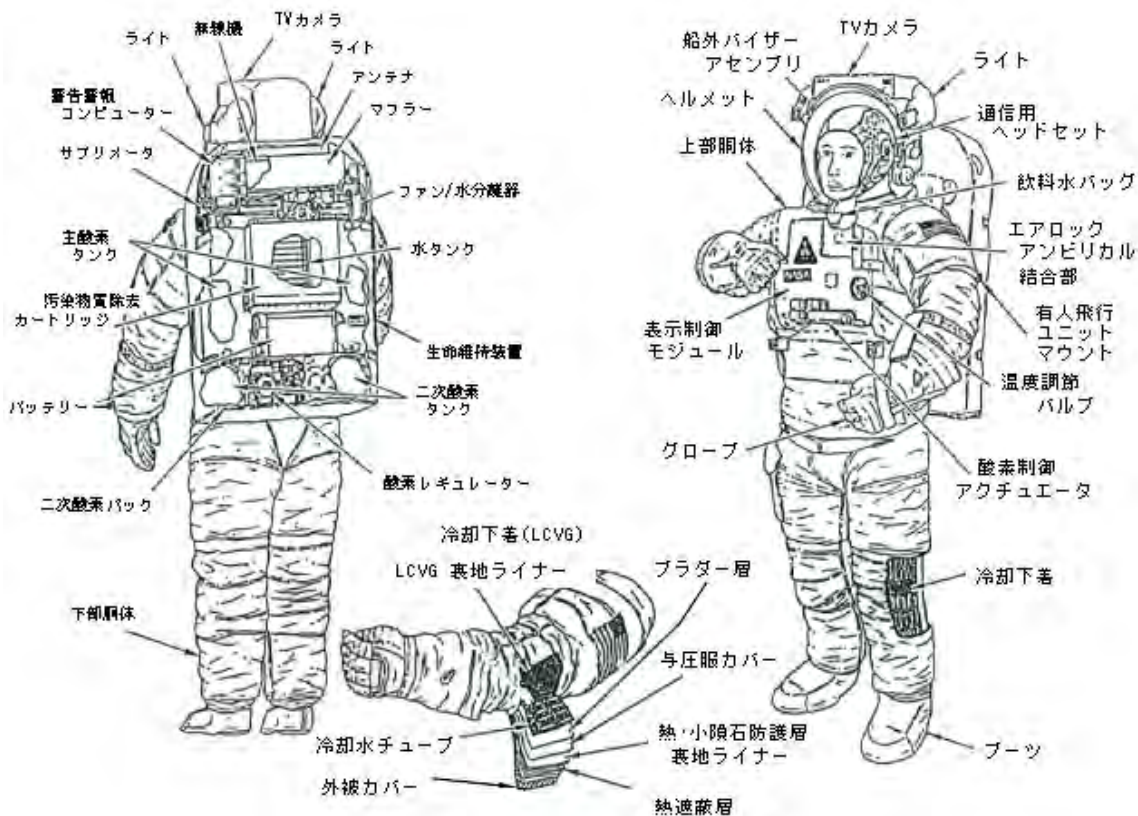


図4.2-2 EMUの構造

(出典 : National Space Transportation System Reference.

Volume 1 Systems and Facilities)

(1)宇宙服アSEMBリ

宇宙服アSEMBリは、胴体、腕、脚、グローブと各パーツ毎にM, L, XLサイズが用意されているので、それらを組合せることにより使う人のサイズにほぼ合うようになっています。

宇宙服は、温度の維持や圧力の確保、微小隕石からの保護等のいろいろな役目を持つ14層(冷却下着(図4.2-8参照)の3層を含む)の生地で構成されています。

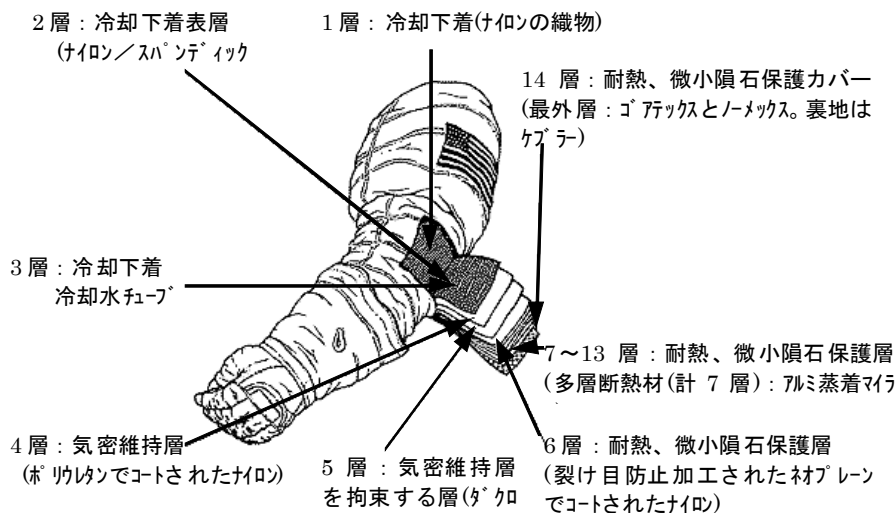


図4.2-3 宇宙服を構成する14層(素材には商標名を使用)

① 上部胴体/腕部

宇宙服の上半身に当たる上部胴体の胴の部分は硬いグラスファイバー製でできており、この上から全体を保護服で覆うことにより厳しい外部環境から体を守るようになっています。この胴の部分に両腕、背中の主生命維持システム、胸の部分の表示制御モジュールが取り付けられており、着用時にはヘルメット、下半身、グローブを取り付けて使用します。



図4.2-4 上部胴体の胴の部分の基本構造 (ハミルトン・サンドストランド社HPより)

② 下部胴体

宇宙服の下半分で、この下部胴体の最上部の腰部リングが、宇宙服の上下を装着するときの接合部となります。



図4.2-5 下部胴体
(ハミルトン・サンドストランド社HPより)

③ グローブ

グローブは、手を保護するとともに指先を動かして、ある程度の細かい作業ができるように作られています。指先は力を感じやすいようにシリコンゴムでできています。

STS-82(1997年2月)から使用されるようになった新しい宇宙服は、ISS用に改良されたものであり、低温環境にも耐えられるようにグローブの指先にヒーターがつけられました。これをさらに改良してSTS-88(1998年12月)からISS用に設計されたフェーズIVグローブが使われるようになり、製造性と装着性が大きく改善されました。



図4.2-6 改良型のグローブ
(ハミルトン・サンドストランド社HPより)

④ ヘルメット

ヘルメットはEVAクルーの頭部を熱環境や衝撃等から保護します。内側には与圧を確保するための耐圧性の透明なプラスチック容器があり、その上に後頭部のカバーや太陽からの強烈な日ざしを緩和するために金でコーティングしたバイザーや可動式の3枚(正面と両横)の日除けが装備されています。

作業用の照明として使われるEMUライトは、このヘルメットの側面に取り付けられます。

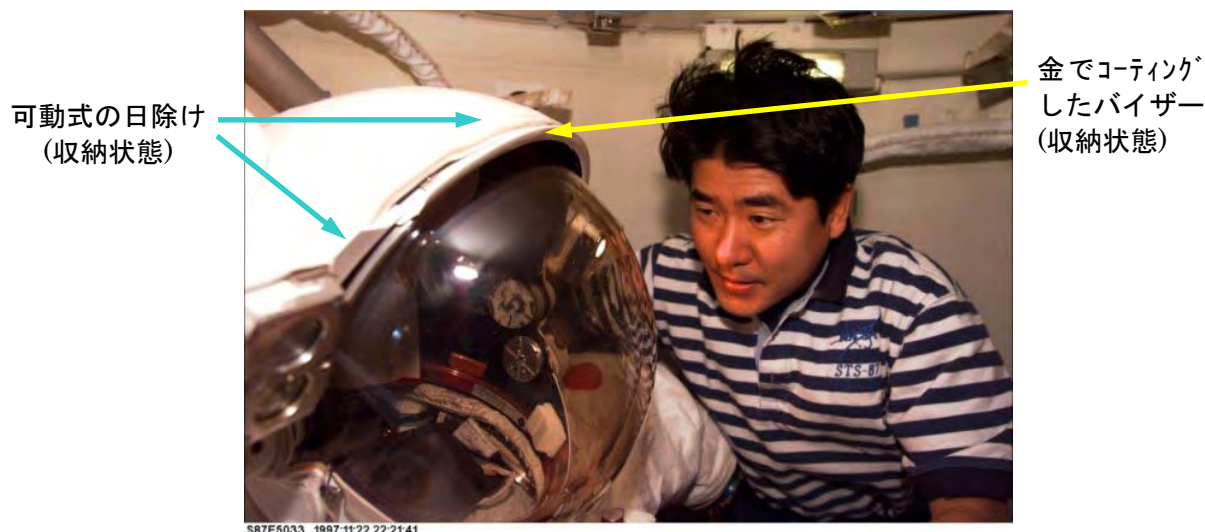


図4.2-7 宇宙服のヘルメットと土井宇宙飛行士 (NASA HP より)

⑤ 通信用ヘッドセット(Comm Cap)

マイクロフォン、イヤフォン、電子回路などを組み込んだ柔らかい布製の帽子で頭にかぶって使用します。マイクロフォンとイヤフォンは、2個ずつあり、同時に故障しないよう別系統となっています。この帽子は白と黒の2色のデザインのため、NASAではスヌーピーキャップと通称されています。

⑥ 冷却下着

冷却下着は宇宙服を着用する前に着る柔軟性のあるスーツで、スーツ、冷却水パイプ、酸素還流パイプから構成されます。

この冷却下着は、作業中に暑くなりすぎないように肌の上に着用します(着心地区を良くするためにこの下に下着を着用しても良い)。細いパイプの中を流れる冷却水で上昇した体温を冷やします。また、心電計や放射線被曝量を管理するための線量計を収めるポケットも取り付けられています。

図4.2-8に冷却下着を示します。



図4.2-8 冷却下着(STS-87の土井宇宙飛行士とウinston・スコット宇宙飛行士)(NASA)

⑦ 集尿具

EVA作業中はトイレに行けないため、使い捨ての大人用サイズの紙おむつ(Maximum Absorption Garment : MAG)を冷却服の下に着用します。

⑧ 心電計キット(Biomed kit)

EVA中のクルーの心電図データは地上でモニターされていますが、そのために使われる電極、コード、信号調整器その他の小物から構成されます。

⑨ 飲料水バッグ(Drink Bag)

約621ccの飲料水を入れるバッグであり、宇宙服胴体内側のヘルメットのネックリングのすぐ下側に取り付けます。



図4.2-9 飲料水バッグ(STS-120)(NASA)

⑩ フードスティック（使用中止）

包装ごと食べられる棒状に加工したフルーツで、布製の袋に入れて飲料水バックにマジックテープでとりつけて使われていました。これはシャトルでの初期のEVA時に準備されましたが、宇宙飛行士からの要望がないため現在は使われていません。EVA前に食事をとることで対処しています。

⑪ EMUライト

ヘルメットにとりつけて使用するライトで、4灯のランプを個別に点灯できます。照射角度の調整も可能であり、使われている電池は軌道上(ISS内)で充電や交換が可能です。2010年のSTS-132からハロゲンランプに替えてLED化されました。

⑫ TVカメラ

宇宙服のヘルメットの上にとりつけてEVAクルーの視野と同じような光景を見られるようにしたTVカメラで、映像は無線でISSを経由して、地上に中継されます。初期段階のシャトルのEVAで試行的に使われた後、使われなくなりましたが、ISS組立開始後に改良されたタイプが再び使われるようになりました。TVカメラとしては、3.5mmのワイドレンズ、6mmレンズ、12mmのクローズアップレンズの3種類があり切り替えて使用します。

トラブル発生時には、船内のクルーや地上の専門家がこのカメラからの映像を見ることにより、状況を素早く把握することができます。またEVAクルーが見ているのと同じ映像を見ながら直接作業指示が出せるため、予定外の作業の追加や作業状況の確認が行えるなど、運用性は大きく改善されました。

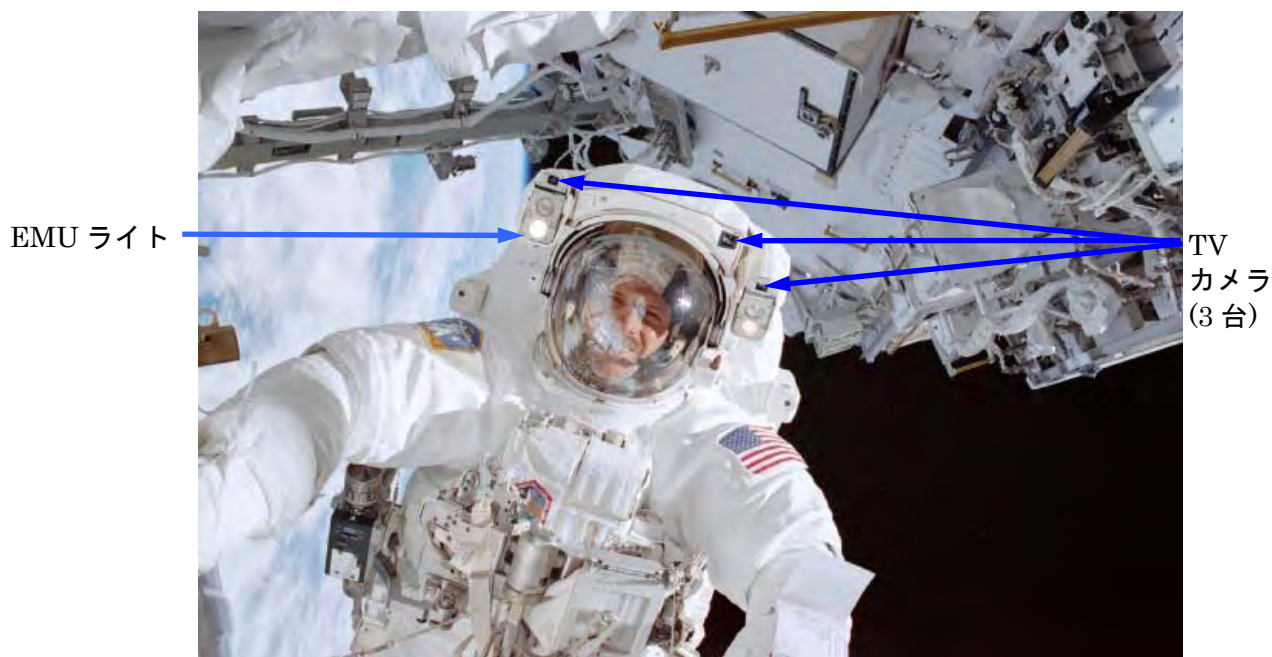


図4.2-10 EMUライトとTVカメラ（NASA HPより）

(2)生命維持システム(Life Support System : LSS)

LSSは、宇宙服の内部気圧と温度をコントロールし、呼吸用の酸素や電力を供給する他、通信機能を提供するシステムであり、宇宙服の背中に取り付けられています。万一故障などで酸素が供給できなくなった場合に備えて、バックアップ用の二次酸素タンク(SOP)も装備されています。

宇宙服内は、約0.3気圧(4.3psia)の純酸素で満たされており、その環境をLSSが維持します。生命維持システムは主に以下の機器から構成されています。

- ・主生命維持システム(Primary Life Support System : PLSS)
- ・水酸化リチウム(LiOH)カートリッジ、または、再生が可能なISS用のMETOXと呼ばれるキャニスター
- ・バッテリー
- ・表示制御モジュール(Display and Control Module : DCM)
- ・二次酸素パック(Secondary Oxygen Pack : SOP)

① 主生命維持システム(PLSS)

PLSSは、シャトルの宇宙服を、他の機器や装置などから独立して使用できるようにするものであり、内部気圧と温度を制御するほか、酸素や電力を供給します。宇宙服内の空気は、PLSS内の水酸化リチウムカートリッジで余分な水分、二酸化炭素、その他の有害物質等を取り除いて再循環されています。また、外部との音声通信や心電図データ、酸素消費量等を知らせるための通信装置や、宇宙服にトラブルが発生した時の警告警報機能があります。

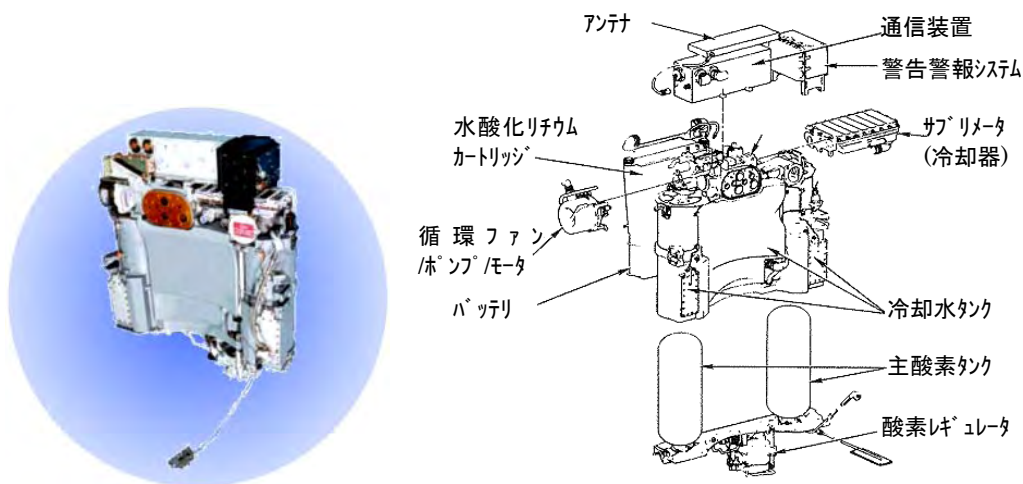


図 4.2-11 PLSS の構成
(写真は、ハミルトン・サンドストランド社HPより)

② 水酸化リチウム(LiOH)カートリッジ

水酸化リチウムカートリッジは、水酸化リチウム、活性炭、微粒子フィルターの3層からなり、呼吸用酸素の浄化のために次の機能を果たします。

- ・水酸化リチウム層での二酸化炭素の吸着
- ・活性炭層での微量成分(有害ガス)の吸着
- ・微粒子フィルターでの固体の微粒子や水酸化リチウムの塵の拡散防止

LiOHカートリッジは使い捨てのため、ISSでは再生して再利用が可能なMETOXキャニスターが使われています。EMUではどちらでも使用可能でキャニスターの再生はクレストエアロック内の再生装置で高温の空気で加熱することで繰り返し使用できます。LiOHカートリッジは、METOXキャニスターよりも長時間使用することができるため、現在でも長時間の作業が予想されるときはLiOHカートリッジを使うことがあります。



図4.2-12 METOX キャニスター
(ハミルトン・サンドストランド社HPより)

③ バッテリー

EMU宇宙服のバッテリーには、銀亜鉛電池(26.6 AH:重量4.3kg)を使用しており、EMUの全ての電気機器の電源となります。通常のEVA作業(6~8時間程度)を行うには問題のない容量です。PLSSの背中に装着して使用し、使用後は、軌道上で交換され、充電されます。また宇宙服を着た状態のまま、エアロックの電力・流体供給用ケーブルを接続して、酸素と共に不足分の電力を充電することもできます。このバッテリーも、2011年からリチウムイオン電池タイプに交換され、1年弱から5年にまで寿命を延長しました。



図4.2-13 EMUバッテリー(ハミルトン・サンドストランド社HPより)

④ 表示制御モジュール(Display and Control Module : DCM)

表示制御モジュールは、宇宙服の胸部に装着されており、宇宙服の状態表示と各機器の調節を行うためのものです。通信機器、温度調節、換気、電力系統、宇宙服内の気圧等の制御が可能なほか、警告警報システムも装備しています。

エアロック内にいる間は、宇宙服で消費する酸素、電力消費を節約するため、電力・流体供給用アンビリカルケーブルを経由して電力と酸素が供給可能です。

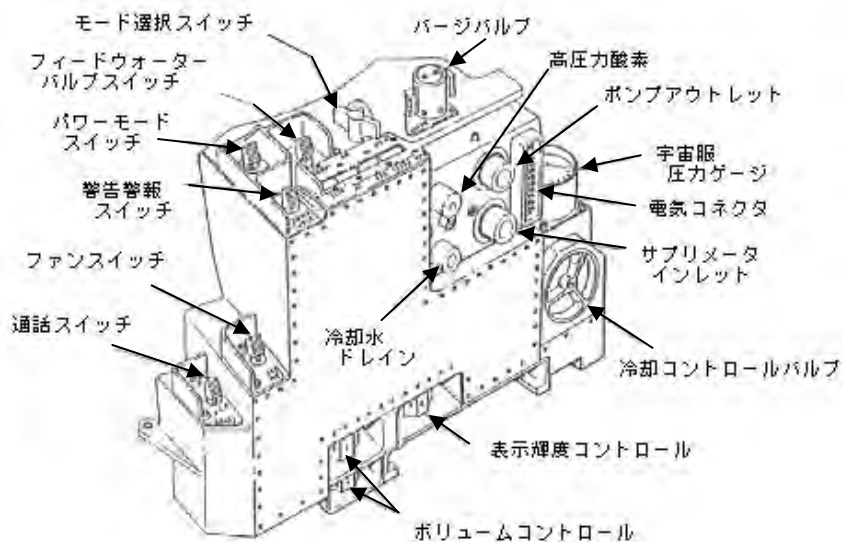


図 4.2-14 表示制御モジュール(DCM)の外観
(出典 : EVA SUITS AND LIFE SUPRORT SYSTEMS G.LUTZ 1/10/91)

⑤ 二次酸素パック(Secondary Oxygen Pack : SOP)

SOPはPLSSが故障したり、PLSSの酸素を使い切ったり、宇宙服に小さな穴が開いて酸素が漏れ出すといった緊急時に、自動的に切替わって最低30分間、生命維持装置のバックアップとして酸素を供給します。SOPはPLSSの下部に装着されます。緊急用の装備であるため、SOPは地上でしか再充填はできません。

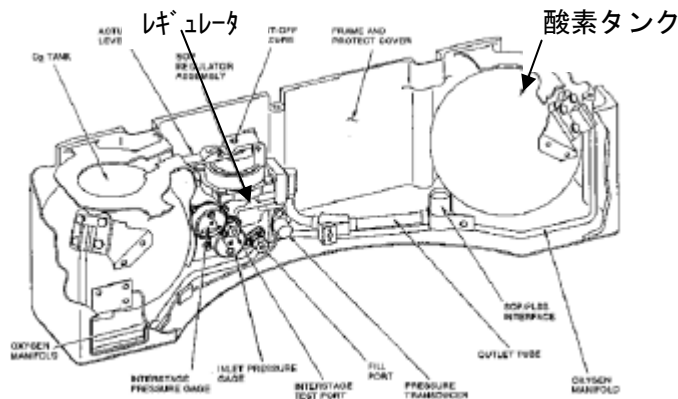


図 4.2-15 二次酸素パック(SOP) (ハミルトン・サンドストランド社 HP)

4.2.2 エアロック

エアロックは、EVAの際に宇宙船から出入りするための設備です。エアロックを使うことにより、宇宙服を着たクルーは船室全体の気圧を下げることなく宇宙船に出入りすることができます。EVA開始前の宇宙服の装着や各種準備作業、EVA終了後の宇宙服の消耗品の再充填や整備作業等もエアロックで行われます。

(1)ISSのエアロック

ISSには、米国製の「クエスト」と、ロシア製のDC-1「ピアース」の2つのエアロックがあります。クエストでは米露どちらの宇宙服を使用したEVAでもできるような設計になっていますが、ピアースではロシアのオーラン宇宙服を使用したEVAにしか使用できません。(注：設計上では可能でも、使用する計画がないため、クエスト内の機器の調整が必要なことからロシアの宇宙服は現状では使えません)

米国のエアロックは、減圧時に大半の空気を船内にロシア製のポンプを使って回収しますが、ピアースのエアロックは、空気を船外に排気して真空にします。なお、シャトルのエアロックもピアース同様、空気は船外に排出していました。

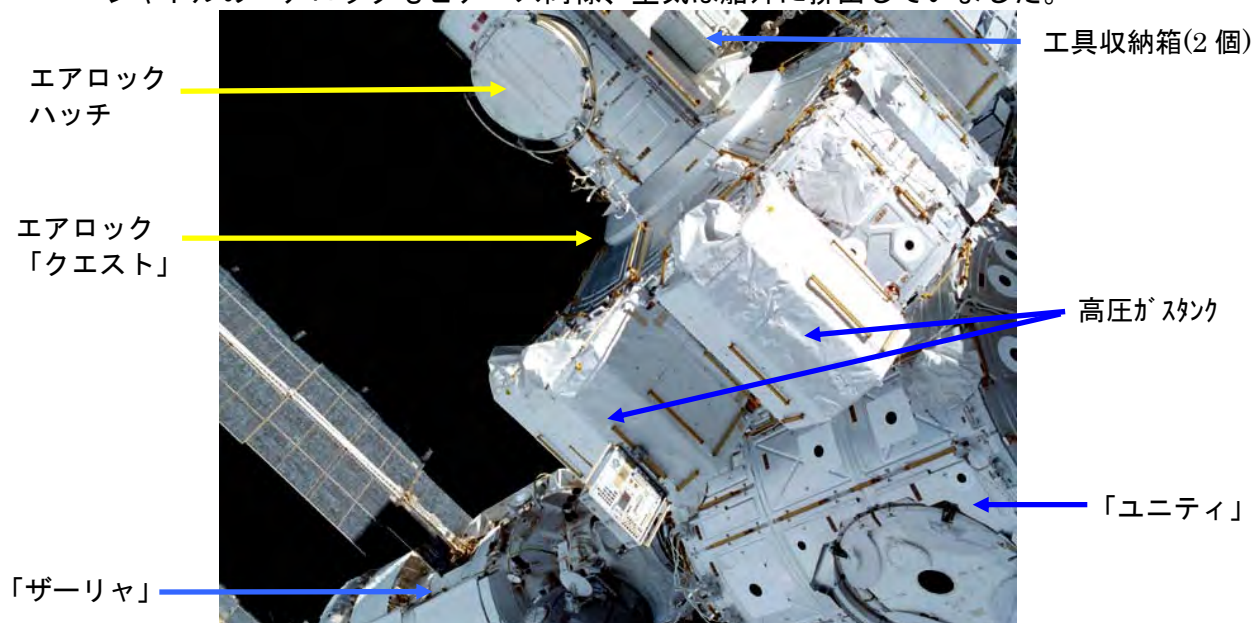


図4.2-16 米国のエアロック「クエスト」(ISSの下方から見た写真)(NASA HPより)



図4.2-17 クエストの内部 (NASA HPより)

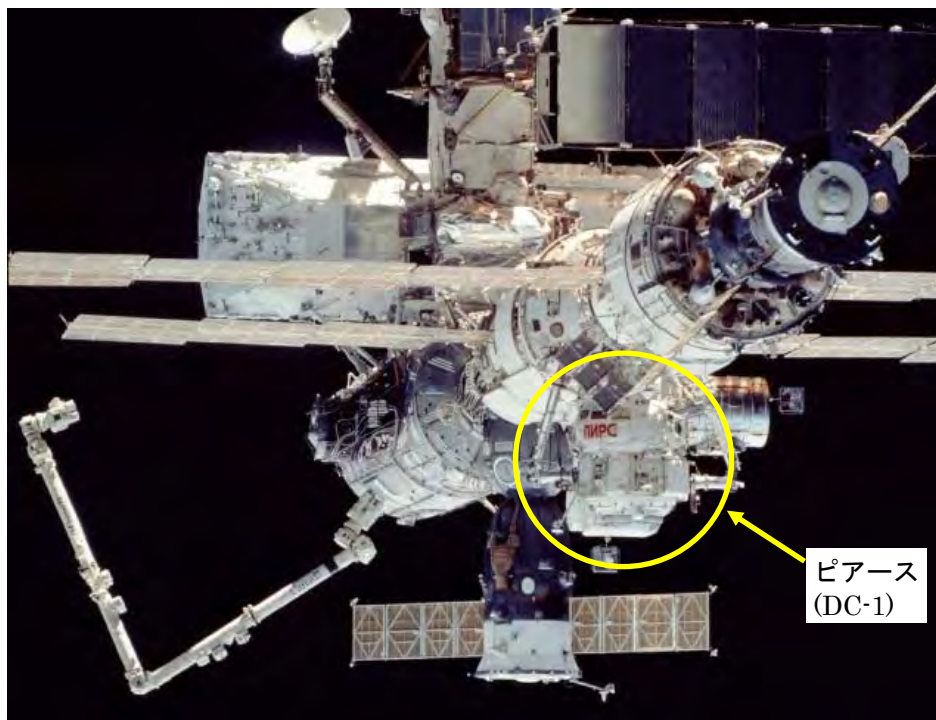


図4.2-18 ロシアのエアロック「ピアース」(NASA HP より)

4.2.3 EVA 工具、EVA 支援機器

船外活動(EVA)を行う際には、クルーの安全な船外での移動を支援する機器や、厚いグローブをはめて作業するための特殊な工具類が使われます。ここではその代表的な機器を示します。なお、EVA工具は継続的に新たな工具の開発や改良が行われており、その種類は増えています。

(1)移動支援機器、足場等の固定機器

①セーフティ・テザー

セーフティ・テザーは、クルーをハンドレール等に繋ぎ止めておくための巻き取り式のワイヤ・ケーブルであり、腰の固定具に取りつけて使用します。使用の際にはリールケースに腰の固定具を取りつけ、反対側のEVAフックをISS側に取り付けます。

セレクトタ(選択)レバーをアンロック位置にするとケーブルは自動的に巻き取られてゆるみが除かれます。ロック位置にするとケーブルの巻き取りはされなくなります。ロック/アンロックのどちらの位置でもケーブルを引くとケーブルを引き出すことができます。

STS-114からは、長さを55ft(16.5m)から延長した85ft(25.5m)のセーフティ・テザーが使われるようになり、行動範囲が広がるようになりました。

クルーは通常、短いテザーで安全を確保しますが、セーフティ・テザーは、このテザーの取り付け場所を変える際の安全を確保します。ロシア側ではこれを使用していないため、船外での移動時には2本のテザーを両手に持って、絶えずつなぎ替える作業が必要になります。

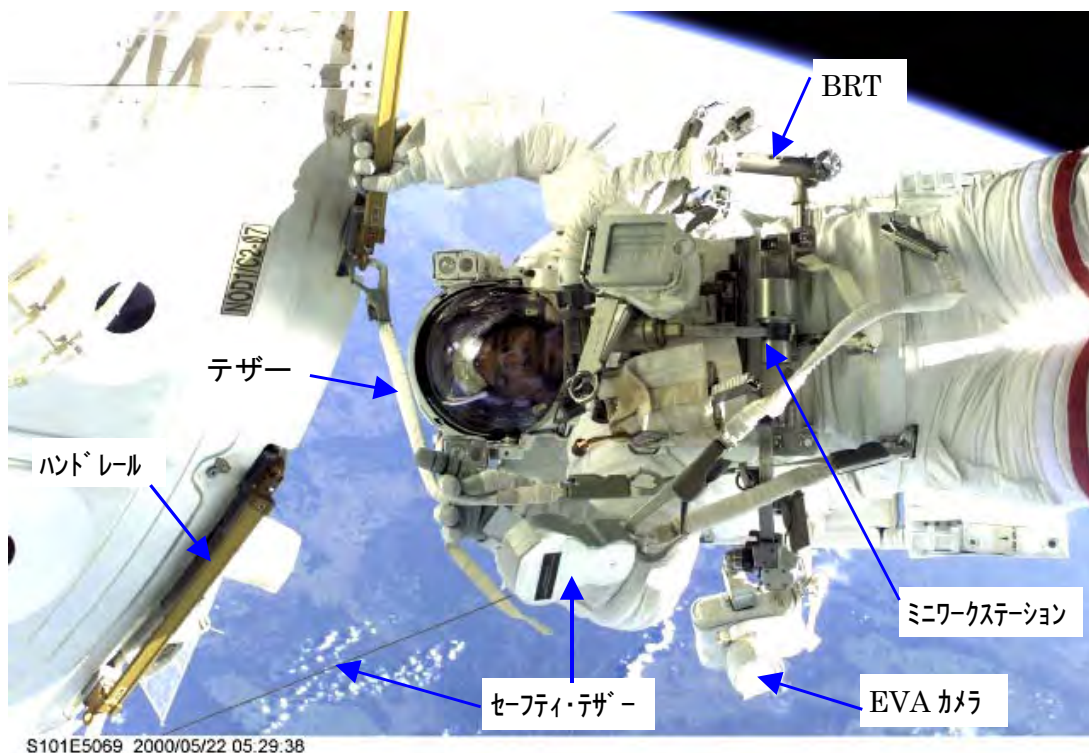


図4.2-19 宇宙服に装備された各種 EVA 工具 (NASA HP より)

②ハンドレール

クルーが移動する時につかむ手すりのことで、ISSの外部には、多数のハンドレールが取り付けられており、新しいEVA工具と併用することで、身体の固定や、小型の機器の固定等にも使われます。

③テザー

EVA作業時に機器を一時的に繋ぎ止めておくためのベルト状のロープで、手首テザーはEVA機器を使用中や移動中に失わないために利用し、腰部テザーはEVA中のクルーを宇宙船に繋ぎ止めておく(セーフティ・テザーに繋ぐ)ために使用したり、2人のクルーを繋ぎあわせておくために使います。手首テザーや腰部テザー以外にも、様々な長さや機能を持つテザーが準備されています。なお、テザーフックは取り外すためには2アクションが必要な設計となっています。

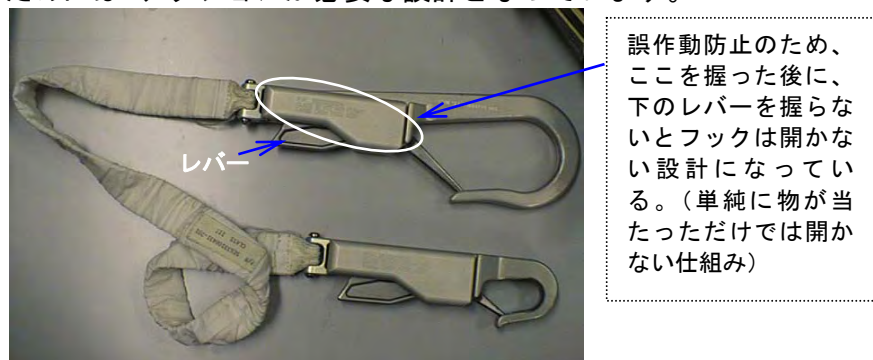


図4.2-20 腰部テザー (JAXA 撮影)

④ 関節付きポータブル・フット・レストRAINT

(Articulating Portable Foot Restraint : APFR)

APFRは、可動式の関節部を持った船外活動用の足場であり、APFRに足を固定した宇宙飛行士自らが、ヨー方向、ロール方向の2軸の角度を調整レバーで変更することができます。これにより、作業時の無理な姿勢を減らして、作業がしやすくなります。APFRの登場までは関節部を持たないPFR (Portable Foot Restraint)が使われていました。

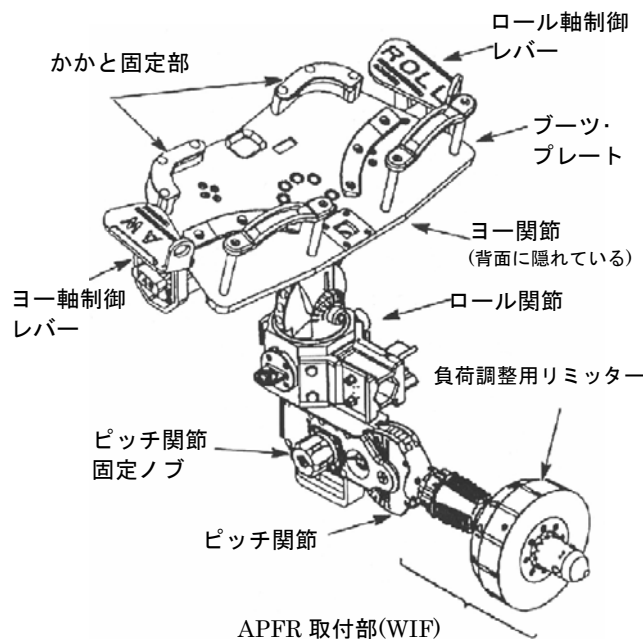


図4.2-21 APFR(Articulating PFR)
(出典：EVA checklist STS-88)



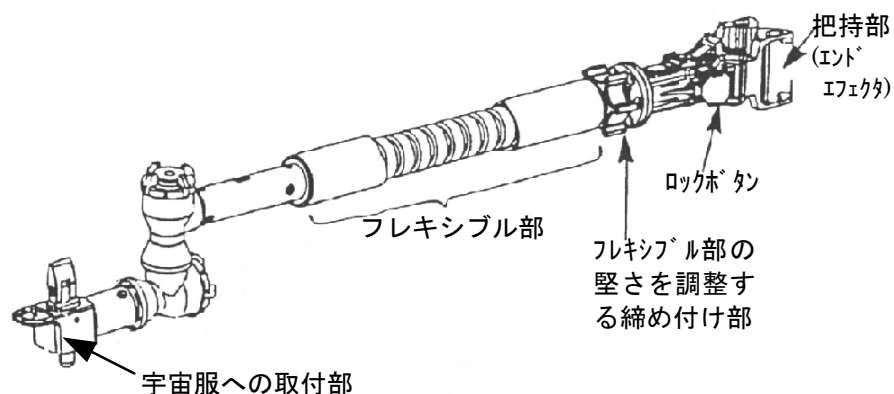
図4.2-22 SSRMSの先端に取り付けたAPFRに足を固定し、交換用の機器を運搬・移動するクルー (STS-122) (NASA)

⑤宇宙飛行士身体固定用テザー(BRT : Body Restraint Tether)

BRTは、EVAの際に宇宙服側にBRTの一端をとりつけ、他端をハンドレールに固定することにより、両手を自由に作業に使えるようにするための工具であり、ISSの組立に備えて開発された新しい機器です。

また、クルーの両手を自由にした状態で機器をBRTで把持したまま移動する用途にも使用できます。なお、BRTの中央部は柔軟に曲げられるフレキシブル構造になっています。

BRTの評価試験は、土井宇宙飛行士がEVAを実施したSTS-87(1997年11月)等で実施されました。



(出典 : EVA checklist STS-87)

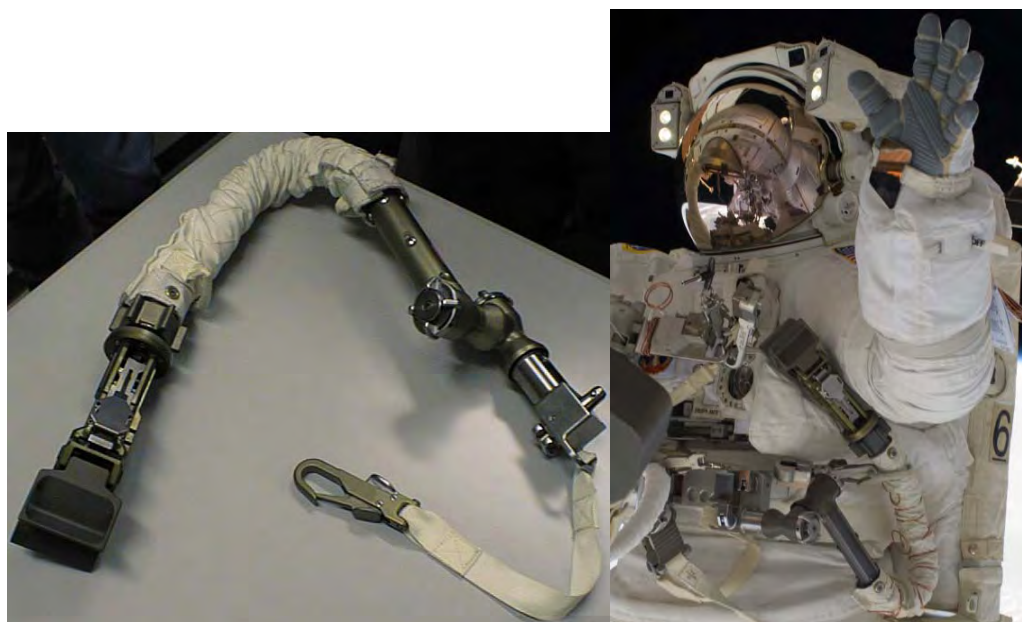


図4.2-23 BRT(Body Restraint Tether) (左:JAXA、右:NASA)

(2)宇宙服の装備品及び、EVA工具

① ミニ・ワークステーション(Mini-Workstation : MWS)

ミニ・ワークステーションは、宇宙服の胸に取り付けて使用し、EVA工具を固定したり、巻き取り式のミニテザーを使って自分の身体やEVA工具を繋ぎ止めたりするのに使用されます。

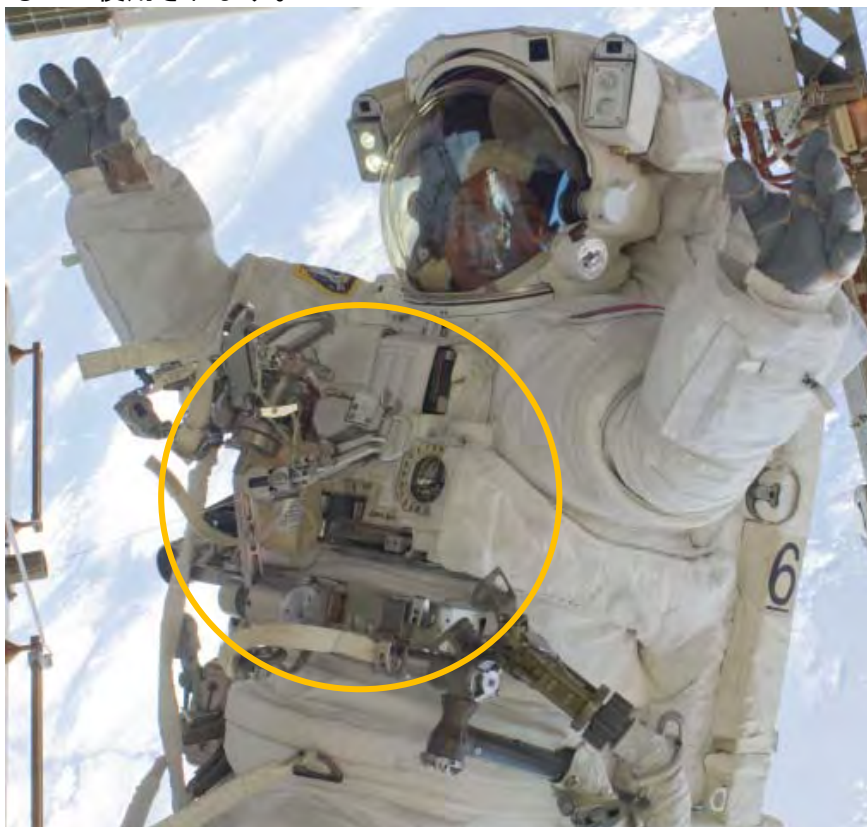


図4.2-24 ミニワークステーションの装着場所(NASA)

② EVAカフ・チェックリスト

EVA作業の手順書や宇宙服の不具合対応などを記したチェックリスト(簡単な手順書)であり、宇宙服の袖口(カフ)にはめて作業します。



図4.2-25 EVAカフチェックリストの装着状況(NASA)

③ 手首ミラー

宇宙服の手首に伸縮性のベルトでとりつけ、胸に装着している表示制御モジュールの表示等をこのミラーに反射させて読みとるために使用します(ヘルメット装着時には、自分の胸部は死角となって見えないためです)。



図4.2-26 手首ミラー (NASA)

④ ピストル型パワー・ツール(Pistol Grip Tool : PGT)

PGTは、バッテリー駆動式の電動工具であり、ボルトの締め付け、緩め作業に使用します。PGTは、作業で使うためのトルクや回転数を何通りも設定できるようになっています。地上の民生品と比べるとコンパクトでかつ、正確なトルク調整が出来る特徴があります。

PGTは、STS-82(1997年2月：ハubble宇宙望遠鏡の2回目の修理ミッション)から使われるようになりました。また、土井宇宙飛行士がSTS-87で使用した後、STS-88(1998年12月)以降のISS組立ミッションでは主たる作業用工具として活躍しています。



図4.2-27 PGT(Pistol Grip Tool) (NASA)

⑤ EVA時のセルフレスキュー用推進装置

(Simplified Aid For EVA Rescue : SAFER)

SAFER「セイファー」は、EVA中の宇宙飛行士が誤って宇宙空間に放り出されたりした場合に、自ら飛行して宇宙船に帰還できるようにするための小型の推進装置で、宇宙服の背中中の生命維持装置下部に取り付けられています。

SAFERは、初期のシャトル飛行段階に使用された有人飛行ユニット(Manned Maneuvering Unit : MMU)の小型版であり、機能はMMUとほぼ同等ですが、推進剤タンクの容量を減らしたり、一部の機器を省略する等により小型化されました。しかし一番の違いは使用目的であり、MMUがEVA中の自由飛行を目的としたのに対し、SAFERはセルフレスキュー用でありISS組立時の米国のEVAでは宇宙服に必ず装着する事になっています。このため、SAFERは非常時以外使用しません。

表 4.2-1 SAFERとMMUのサイズの比較

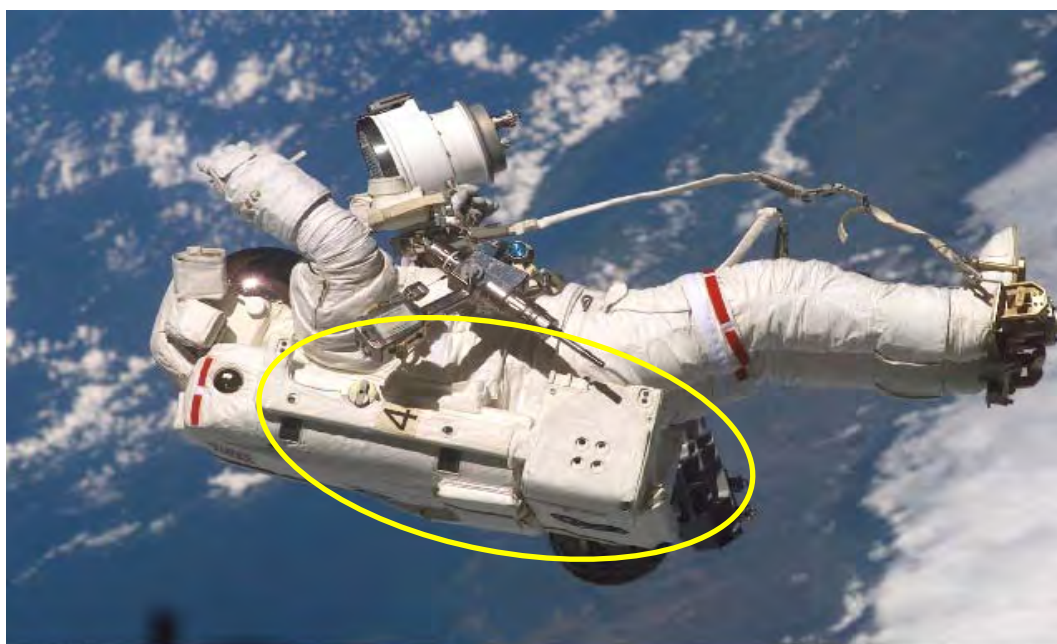
	SAFER	MMU
縦	35 cm	127 cm
横	66 cm	84 cm
奥行	25 cm	68 cm
重量	38 kg	152 kg
推進能力(ΔV)	3m/秒	20m/秒

シャトルでEVAを行う場合は、飛ばされたEVAクルーをシャトルで追跡して救助することができますが、シャトルがISSとドッキングしていたり、シャトルがないときにISS上でEVAを実施するような場合には救助することが出来なくなります。このような場合に備えて、ISSで米国製宇宙服を用いてEVAを行うクルーは、SAFERを必ず装着することになっています。

SAFERは、窒素ガスを使う小型のジェットスラスタ(24基装備)を13分間噴射することができます、元の場所に帰還したり、EVAクルーの姿勢を安定状態に戻すことができます。

SAFERはクルーが一人で着脱でき、右下の部分にある収納部から取り出したハンドコントローラを宇宙服の胸の表示制御モジュール部に装着することにより、片手で6自由度の制御を行うことができます。

SAFERはSTS-64(1994年9月)で初めて試験飛行を行い、EVA中の自由飛行テストに成功しました。その後、STS-76(1996年3月)、STS-86(1997年9月)で機能確認試験が行われた後、ISSの第1回組立フライトであるSTS-88(1998年12月)から実用装備されるようになりました。



S110E5816

図4.2-28 SAFER を装備した EVA クルー(8A フライト) (NASA HP より)



図4.2-29 SAFER を確認する野口宇宙飛行士 (NASA HP より)

⑥ その他の EVA 工具

これまでに示したのは、ほんの一部のEVA工具であり、その他各種工具が用意されています。

- ・ EVAクレーン(Orbital Transfer Device: OTD): STS-87で土井宇宙飛行士が試験を行った手動式のEVAクレーン。ISS外部に保管されていますが、使われたことはまだありません。
- ・ EVAクルー及び機器移動補助(Crew and Equipment Translation Aid: CETA)カート : ISSのトラス上を移動するための手動で移動する台車で2台あります。



図4.2-30 トラスのレール上に設置された CETA カート (NASA)

- ・ その他、EVA工具箱、デジタルカメラ(ニコン)、ハンマー、ハサミ、ラチェットレンチ、トラッシュ・バッグ、Dハンドル、トルク・マルチプライヤー 等
- ・ EVA用デジタルカメラ
STS-114からEVA用のデジタルカメラ(カメラ本体はNikon F5)の使用を開始しました。また同時に、気密ハウジングに収納した船外用のフラッシュも新たに開発されました。

・バルサラバ・デバイス

宇宙服のヘルメットをかぶった状態で、顔がかゆくなってかきたくなくなった場合はここにこすりつけることで対処できます。この装置の本来の目的は、宇宙服内の圧力が変化した際に、ここに鼻を押し当てることで、鼻を指でつまむのと同じように息抜きができるようにするためのものです。



図4.2-31 耳抜き用のバルサラバ・デバイス (NASA)

4.2.4 EVAの運用(プリブリーズについて)

EVAは単に宇宙服を装着して船外に出て仕事をして戻ってくるといった簡単なものではなく、船外に出る際には、何時間もかけて周回の準備をする必要があります。作業が終わって船内で通常の状態に戻るためにも、定められた手順を経なければなりません。ここでは、その中でもプリブリーズと呼ばれる減圧症の予防手順を紹介します。

プリブリーズ(Prebreathe)

宇宙服を着用した状態で精密な作業をするには、できるだけ宇宙服内の圧力を下げて、真空の宇宙空間に対して宇宙服内が風船のように膨れ上がるのを防止する必要があります。特に指を曲げられるようにしないと物をつかむことができなくなります。そこで、現在のNASAの宇宙服は約1/3気圧(4.3psi)の圧力で作業を行うよう設計されています。(ロシアの宇宙服は約0.4気圧(5.7psi)と若干高いためプリブリーズ時間はほとんど不要で短くなりますが、指先の作業性が劣ります。)しかし、宇宙服の圧力が低いと、船内圧力から宇宙服着用時の圧力へ低下させる時に減圧症を引き起こすリスクが発生します(これまでEVA作業時に減圧症が発生した事例はありませんが、常に想定外に備えた準備ができています)。

私たちが通常呼吸する大気の中には窒素(大気成分の約78%が窒素で、酸素は約21%)が含まれていますが、圧力を急激に低下させると、この体内にとけ込んでいた窒素が血液中に微少な泡となって生じ、細い血管を詰まらせるベンズと呼ばれる減圧症の一症状を引き起こします。

プリブリーズは、この減圧症を防ぐために実施される手順であり、EVAの実施までに体内にとけ込んだ窒素成分を、酸素を呼吸しながら体外へ追い出すものです。

(1)シャトルのプリブリーズ手順

シャトルで使用された手順は、以下のようなものです。

- ・マスクを装着して100%の酸素を約60分呼吸した後、シャトルの船内気圧を1気圧(14.7psi)から約0.7気圧(10.2psi)に下げ、12時間以上(すなわち1晩以上)その状態に保ちます。マスクは減圧終了後に外します。(シャトルの船室内)
- ・宇宙服内の窒素を追い出し、100%の酸素を40～75分間呼吸した後、宇宙服を約1/3気圧(4.3psi)に減圧し、エアロックを減圧し、ハッチを開けてEVA作業を開始します。(シャトルのエアロック内)

(2)ISSのプリブリーズ

(2-1) エクササイズ・プリブリーズ

ISS建設に備えて研究を進めた結果、運動をしながらプリブリーズを行うと、体内に溶け込んだ窒素の排出が早まることが判りました。このため、酸素マスクを装着して純酸素を呼吸するプリブリーズ中にエクササイズ(自転車こぎ)を行う新しい「エクササイズ・プリブリーズ」がISSの組み立て初期に採用され、

2時間20分でプリブリーズを終了させることができるようになりました。すなわち、EVA準備開始から4時間半で船外へ出ることが可能となり、シャトルEVA時の18時間以上と比べて大幅に準備作業を短縮させました。この方法は、2001年7月の7Aフライトでテストされた後、2002年4月の8Aフライトから実用化されました。

エクササイズ・プリブリーズの手順は以下のようなものです。

- ・酸素マスクを着用し、1気圧(14.7psi)の状態自転車をこぎを実施、各10分間(上半身は筋力トレーニングを行う)
- ・エアロック内を約0.7気圧(10.2psi)に減圧 20分間
(エクササイズ・プリブリーズ開始からここまでで80分)
- ・宇宙服(EMU)の装着
- ・EMUを装着した状態で60分間のプリブリーズ(約1/3気圧(4.3psi)で100%酸素を呼吸)を行う。その後、エアロック内を減圧し、ハッチを開けて船外へ出る。



図 4.2-32 エクササイズ・プリブリーズに使われるサイクルエルゴメータ (NASA)



図 4.2-33 エアロック内でマスクを付けてプリブリーズ中のクルー (NASA HP より)

(2-2)キャンプアウト・プリブリーズ

エクササイズ・プリブリーズは優れた方法でしたが、それでもこの方法だと1日の作業時間が非常に長くなり、クルーへの負担が大きいことから、2006年9月のSTS-115からキャンプアウト・プリブリーズという方法に切替えられました。この方法は、「クエスト」エアロック内を約0.7気圧に減圧した状態で一晩寝る方式であり、シャトルのプリブリーズに戻ったような形でした。ただし、シャトルの場合は搭乗した全員が約0.7気圧に減圧した状態となるのと比べて、クエストを使う場合はEVA作業に携わる2人だけがこの状態で一晩過ごします。この方法の利点は、朝起きてすぐにEVA作業準備に着手できるため、全体の作業時間を少し短縮できるようになりました。

(2-3)ISLE(In Suit Light Exercise)

ISLE「アイル」は、2011年のSTS-134から使用を始めた新しい方法です。宇宙服を着用した状態で、脚や手を軽く動かす軽い運動を行うプリブリーズで、エクササイズ・プリブリーズの発展型ともいえるべきものです。軽い運動でも十分な効果があると分かったため、一晩エアロック内に隔離される不便さが解消されるうえ、準備時間がさらに短縮化できることから、今後はこの方式が使われる予定です。

具体的な手順としては、エアロックの壁に宇宙服を固定した状態で装着し、50分間、片足を交互にゆっくりと前に出す運動と、両腕を軽く回す運動を行うのみです(1分間動かしては1分間の休息を繰り返す)。

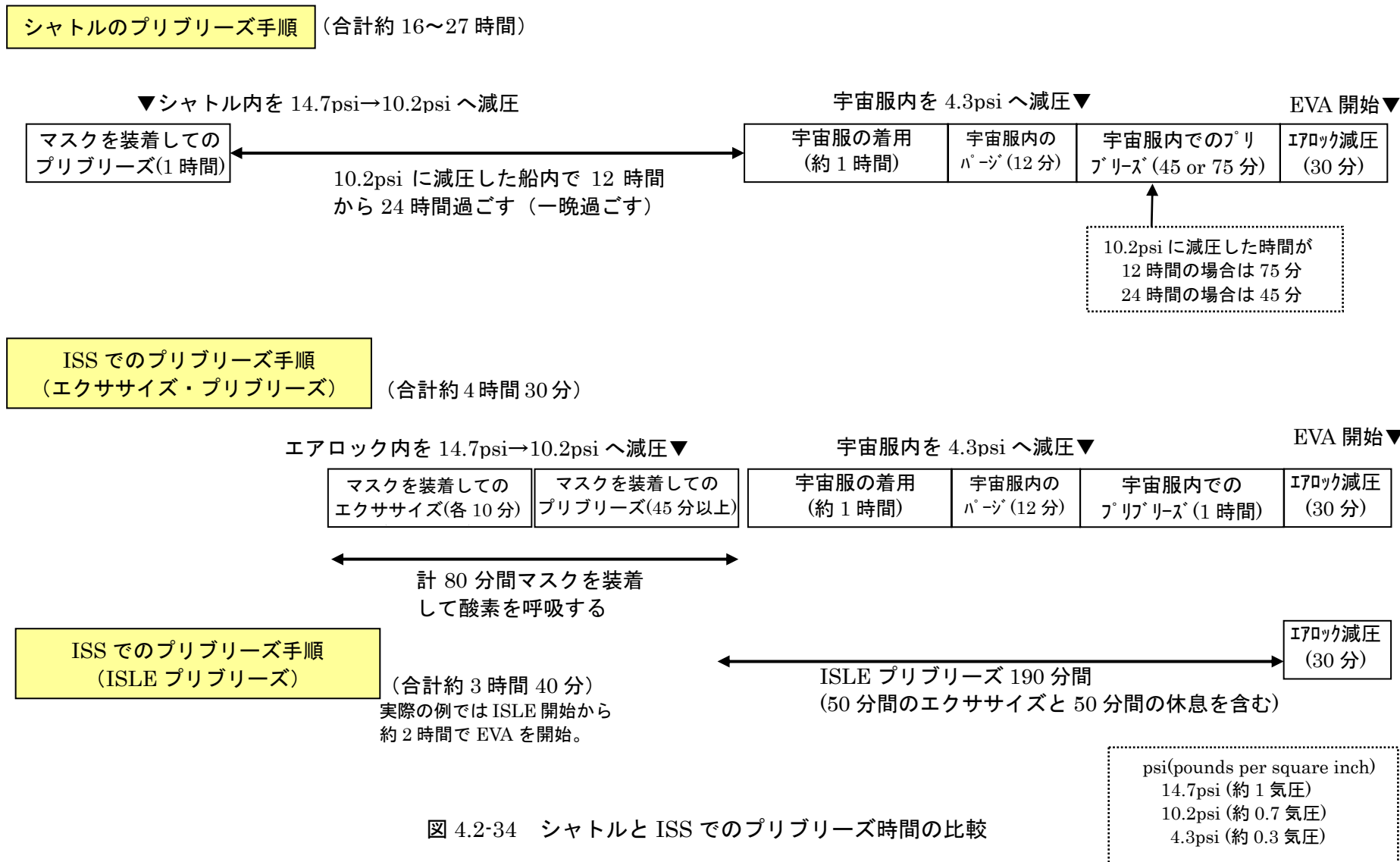


図 4.2-34 シャトルと ISS でのプリブリーズ時間の比較

付録1 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
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
CB	Clean Bench	クリーンベンチ(「きぼう」の実験装置)
CBCS	Centerline Berthing Camera System	
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	(CH _e CS)二酸化炭素モニタ装置
CDMK	Carbon Dioxide Monitoring Kit	(CH _e CS)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)
CSA	Canadian Space Agency	カナダ宇宙庁
CsPINs		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

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
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	
ELC	EXPRESS Logistics Carrier	エクスプレス補給キャリア
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
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
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
FGB	Functional Cargo Block	基本機能モジュール(ザーリヤ)
FE	Flight Engineer	フライトエンジニア
FLAT	Fluid and Thermal Officer	フラット(「きぼう」管制チーム)
FHRC	Flex Hose Rotary Coupler	フレックス・ホース・ロータリ・カップラ
FPEF	Fluid Physics Experiment Facility	流体物理実験装置(「きぼう」の実験装置)
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(Roskosmos)
FSL	Fluid Science Lab	(ESA の実験ラック)
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
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
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
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

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
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)初期筋カトレーニング機器
IRED	Isolated Resistive Exercise Device	(CHeCS)筋カトレーニング機器
ISLE	In Suit Light Exercise	(プリブリーズの方法)
ISPR	International Standard Payload Rack	国際標準ペイロードラック
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
IVA	Intra-Vehicular Activity	船内活動
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JAXA PCG	JAXA Protein	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	
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
Marangoni UVP		マランゴニ対流における時空間構造(JAXA)
MAXI	Monitor of All-sky X-ray Image	全天 X 線監視装置(JAXA)
MBS	Mobile Base System	(MSS)モバイル・ベース・システム
MBSU	Main Bus Switching Unit	メインバス切替装置
MCC	Mission Control Center	ミッション管制センター(JSC)
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	米国のギャラリーの冷蔵庫
MET	Mission Elapsed Time	ミッション経過時間
METOX	Metal Oxide	
MLM	Multipurpose Laboratory Module	(ロシア)多目的研究モジュール
MMA	Microgravity Measurement Apparatus	微小重力計測装置
MPLM	Multi-purpose Logistics Module	(ISS)多目的補給モジュール

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
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
Myco	Mycological evaluation of crew member exposure to ISS ambient air	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(JAXA)
Myo Lab		蛋白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(JAXA)
NANOSKELETON	Production of High Performance Nanomaterials in Microgravity	微小重力環境でのナノスケルトン作製(JAXA)
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
Neuro Rad	Biological Effects of Space Radiation and Microgravity on Mammalian Cells	宇宙放射線と微小重力の哺乳類細胞への影響(JAXA)
NTA	Nitrogen Tank Assembly	窒素タンク・アセンブリ
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
ORU	Orbital Replacement Unit	軌道上交換ユニット
PAO	Public Affair Office	広報(広報イベント)
PAO	Public Affair Officer	広報担当オフィサー
PBA	Portable Breathing Apparatus	(ISS 内の)非常用酸素マスク
PCBM	Passive CBM	パッシブ側共通結合機構
PCG	Protein Crystal Growth	タンパク質結晶生成実験(JAXA)
PCS	Portable Computer System	ラップトップ・コンピュータ
PDGF	Power & Data Grapple Fixture	電力・通信インタフェース付グラブル・フィクスチャ
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
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
PWD	Potable Water Dispenser	(ISS) 水供給装置
RCS	Reaction Control System	姿勢制御システム
REBR	Reentry Breakup Recorder	再突入データ収集装置(米 Aerospace 社)
RED	Resistive Exercise Device	(CHeCS)筋カトレーニング機器
REX-J	Robot Experiment on JEM	(MCE) EVA 支援ロボット実証実験
RPCM	Remote Power Controller Module	(ISS) 遠隔電力制御モジュール
RPDA	Remote Power Distribution Assemblies	(ISS) リモート電力分配装置

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
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
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)
SENIN	System Element Investigation and Integration Officer	センニン(「きぼう」管制チーム)
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
SIMPLE	Space Inflatable Membranes Pioneering Long-term Experiments	(MCE)宇宙インフレーター構造の宇宙実証
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)
SSCC	Space Station Control Center	宇宙ステーション管制センター
SSIPC	Space Station Integration and Promotion Center	宇宙ステーション総合推進センター(JAXA TKSC)
SSRMS	Space Station Remote Manipulator System	ISS のロボットアーム
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)
VELO		(ロシアの)サイクル・エルゴメーター
VHF	Very High Frequency	超短波
VLF	Very Low Frequency	超長波
VOA	Volatile Organic Analyzer	(ISS) 揮発性有機物分析装置
VR	Virtual Reality	バーチャル・リアリティー
WHC	Waste and Hygiene Compartment	ISS の 2 台目のトイレ
WPA	Water Processing Assembly	(ISS) 水処理装置
WRS	Water Recovery System	(ISS) 水再生装置(UPA+WPA)

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

略語	英名称	和名称
WS	Work Site	(MT の)作業場所
zenith		天頂

付録 2 「きぼう」日本実験棟概要

2.1 「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。

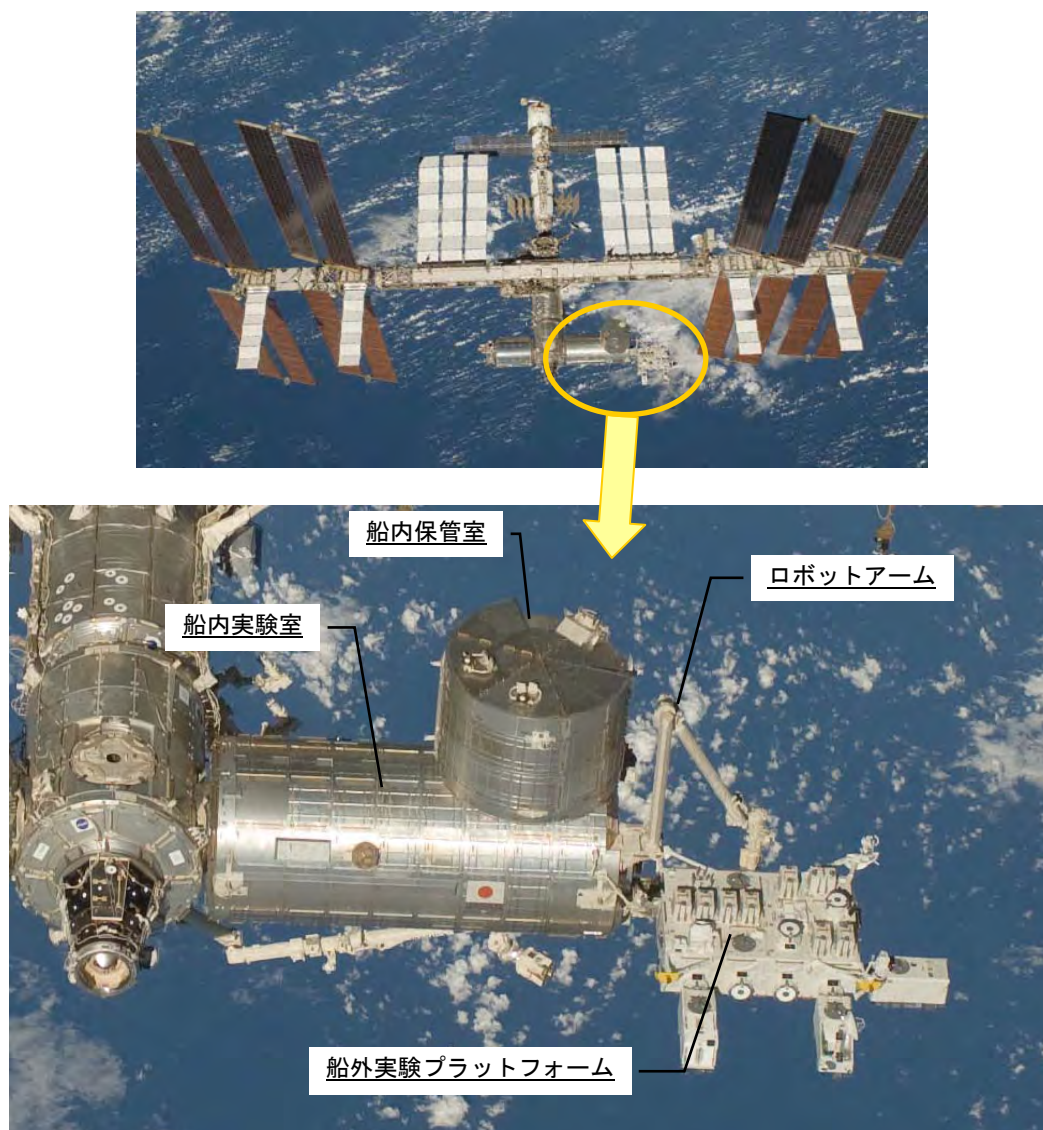


図 A2.1-1 「きぼう」の構成(STS-127 ミッション終了後)

(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。

船内実験室の外観を図A2.1-2に、船内の様子を図A2.1-3に示します。

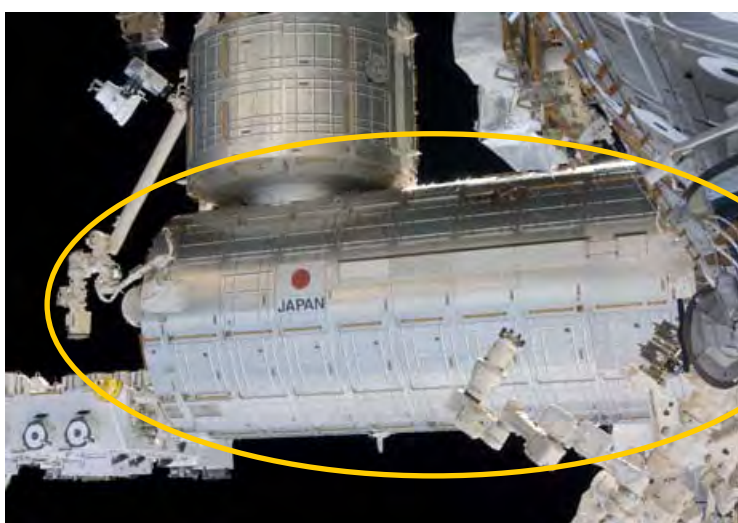


図 A2.1-2 船内実験室(外観)



図 A2.1-3 船内実験室(船内)



図 A2.1-4 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「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ぎ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 A2.1-5 船内保管室(外観)



図 A2.1-6 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ロボットアーム(JEMRMS)を操作して行います。

船外実験プラットフォームの外観を図 A2.1-7 と図 A2.1-8 に示します。

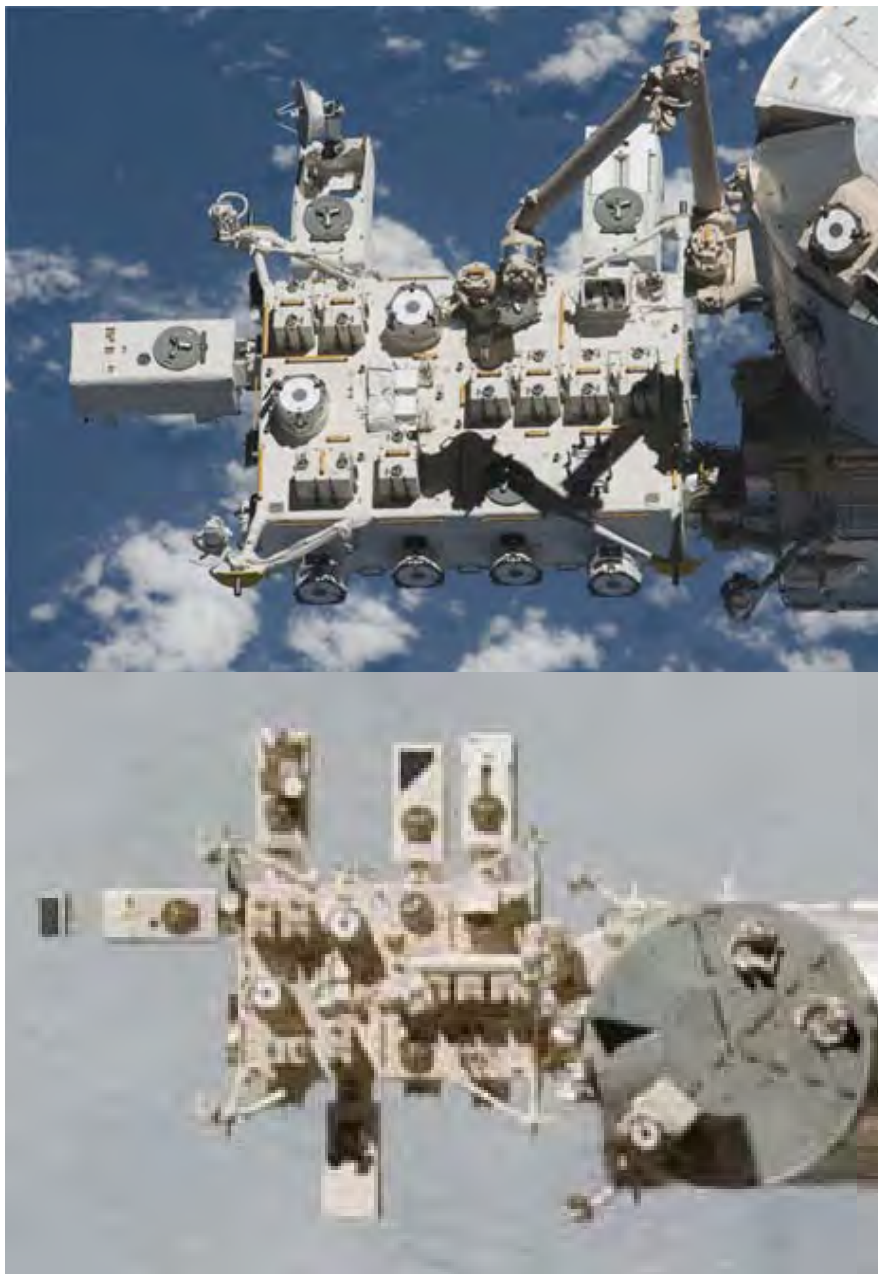


図 A2.1-7 船外実験プラットフォーム外観(上は2J/Aフライト後、下はHTV1後)



図 A2.1-8 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。

「きぼう」ロボットアームで船外パレットが「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられる様子を図 A2.1-9 に、船外パレットの外観を図 A2.1-10 に示します。



図 A2.1-9 船外パレット外観

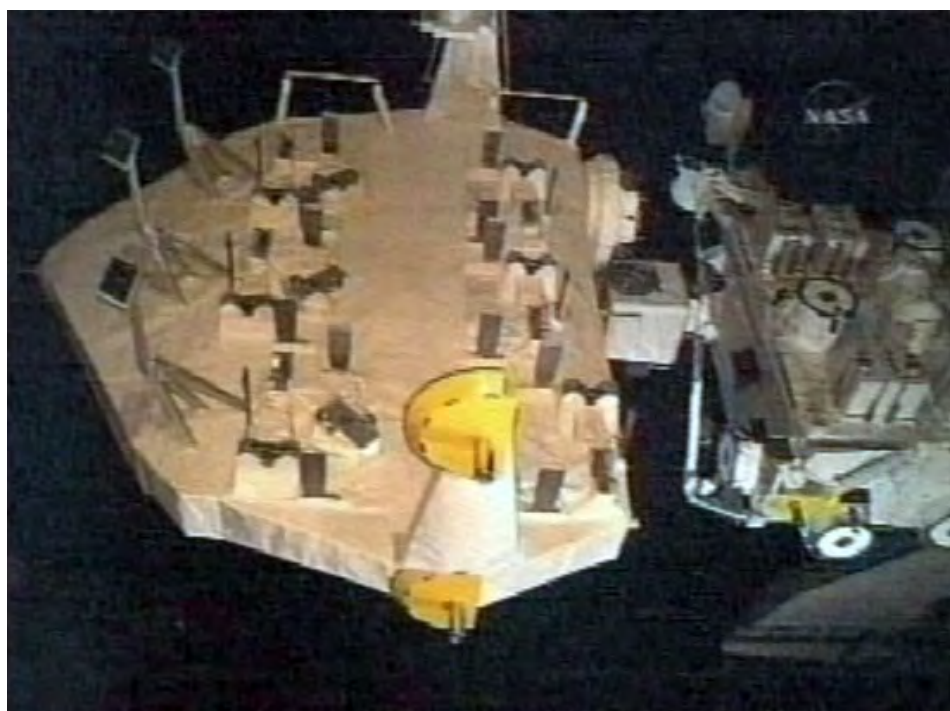


図 A2.1-10 船外パレット外観 (船外実験プラットフォームから取り外されたところ)

(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。

ロボットアームの外観を図 A2.1-11 に、「きぼう」ロボットアームのワークステーションを図 A2.1-12 に示します。

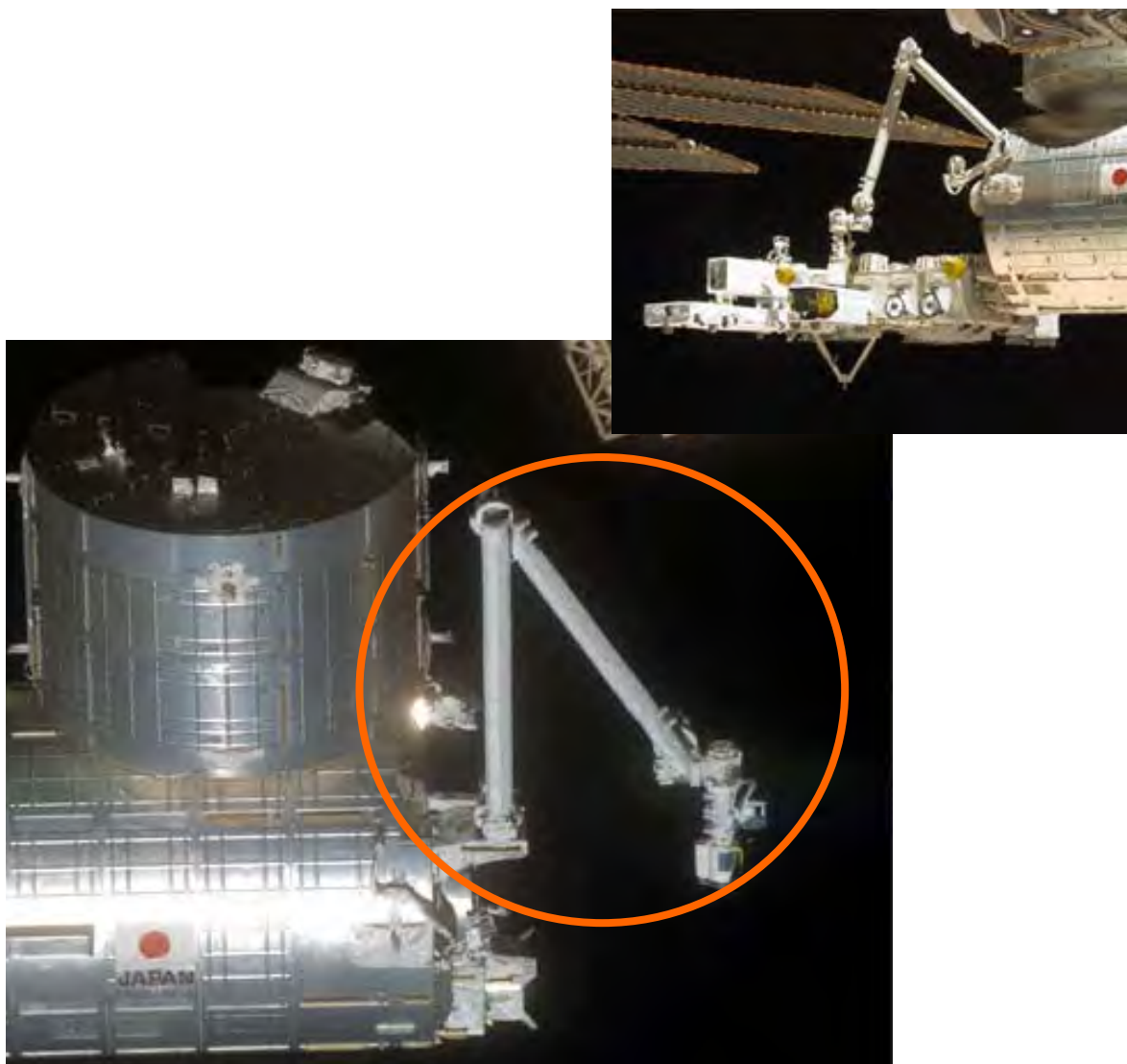


図 A2.1-11 「きぼう」ロボットアーム



図 A2.1-12 「きぼう」ロボットアームワークステーション

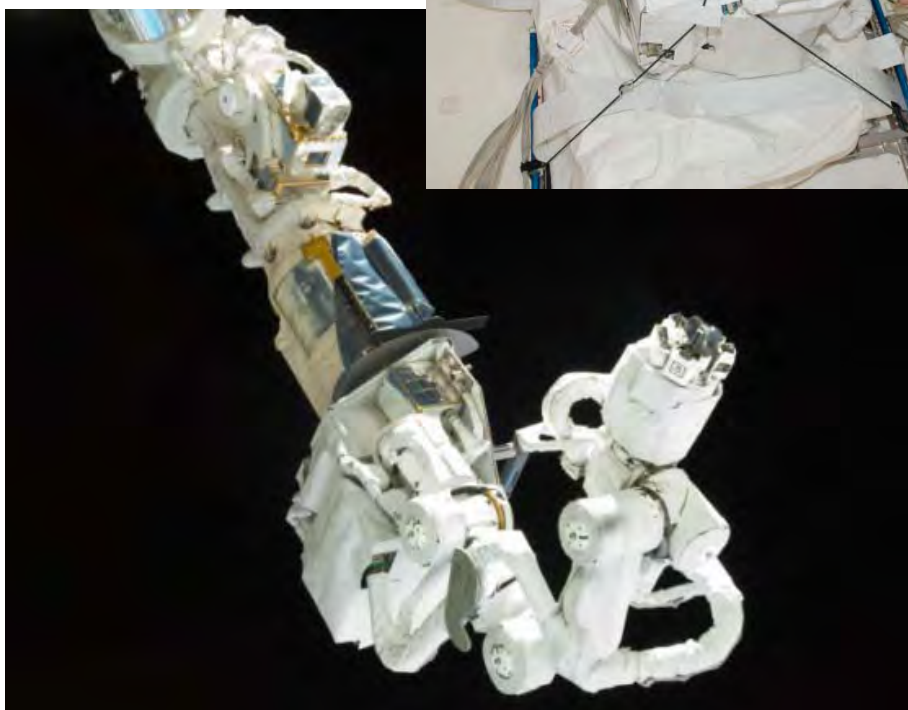


図 A2.1-13 「きぼう」ロボットアームの先端で把持された子アーム
(2010年3月)

(6) 衛星間通信システム

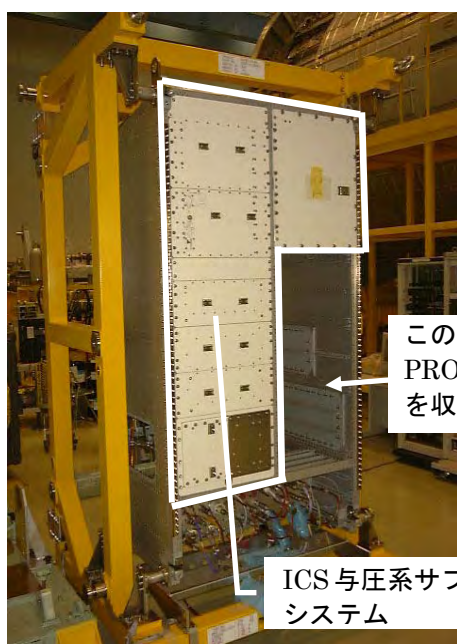
衛星間通信システム(Inter-orbit Communication System: ICS)は、日本独自で地上との双方向通信を行うシステムです。JAXA のデータ中継技術衛星を介して「きぼう」の実験データや画像や音声などを地上に伝送し、また地上からのコマンドや音声データなどを受信します。

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。

ICS の曝露系サブシステムの外観を図 A2.1-14 に、与圧系サブシステムを図 A2.1-15 に示します。



図 A2.1-14 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

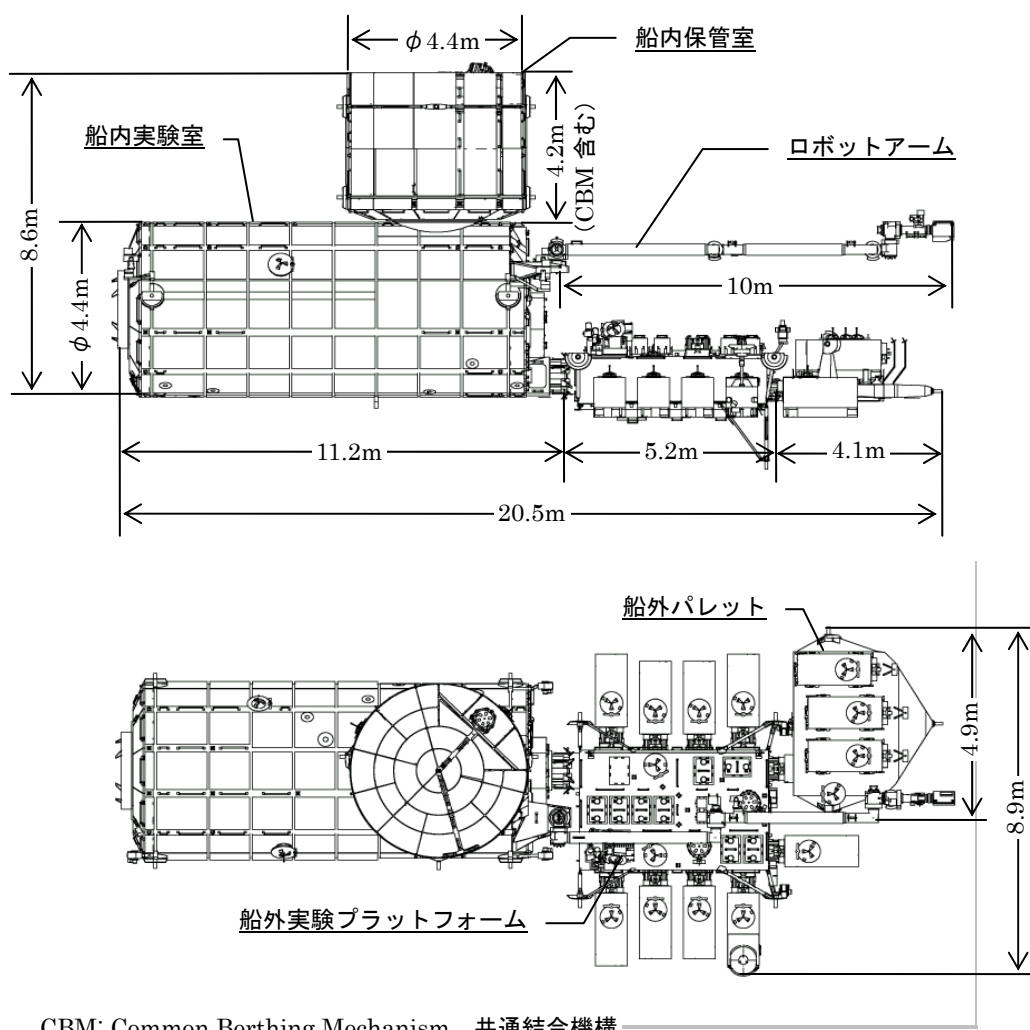
図 A2.1-15 ICS 与圧系サブシステム

2.2 「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表 A2.2-1 に、寸法図を図 A2.2-1 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 章を参照ください。

表 A2.2-1 「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 A2.2-1 「きぼう」の寸法図

2.3 「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。

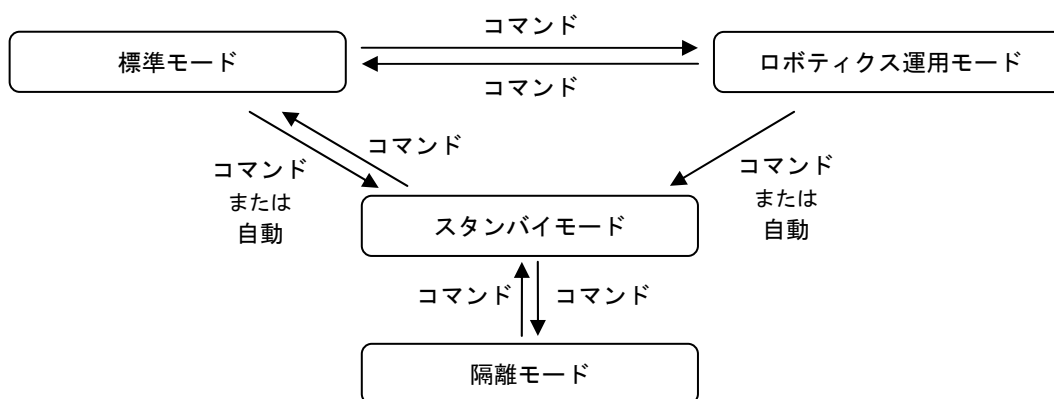
ISSでは、ISS運用モードが優位です。「きぼう」運用モードは、ISSの運用モードと整合をとって運用されます。

「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。

「きぼう」の運用モードを表A2.3-1に、「きぼう」運用モードの遷移の仕方を図A2.3-1に示します。また、ISSの運用モードを表3.3-2に示します。

表 A2.3-1 「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A2.3-1 「きぼう」運用モードの遷移

表 A2.3-2 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

2.4 「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。

2012 年 5 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) (HTV2 で運搬)
- 多目的実験ラック(MSPR) (JAXA の実験ラック) (HTV2 で運搬)
- 「きぼう」の保管ラック 2 台

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。

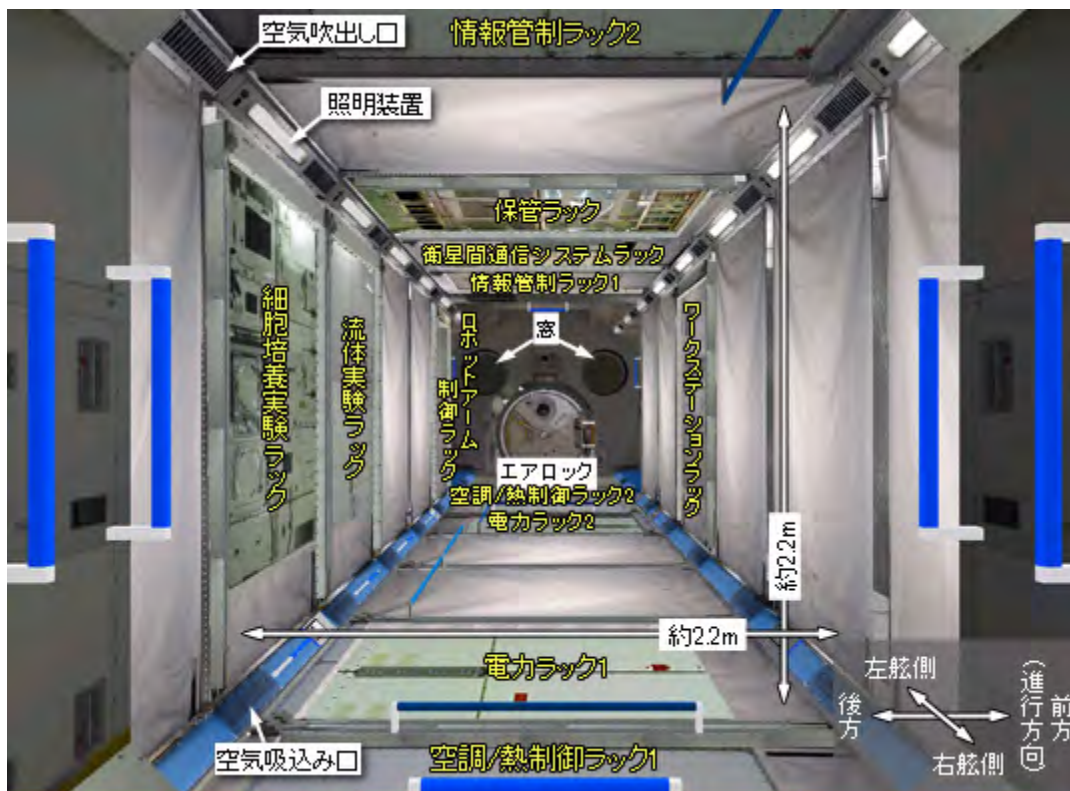


図 A2.4-1 STS-124 ミッション終了後の船内実験室内部のイメージ
(ハーモニー側から見たイメージ)

* 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 A2.4-2 船内実験室(2010年10月時点)

2.4.1 システムラック

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

各システムラックの機能は以下の表に示すとおりです。

表 A2.4.1-1 「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>

<p>◆ ワークステーションラック WS(Work Station)Rack</p> 	<p>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。</p>
<p>◆ 衛星間通信システムラック ICS(Inter-Orbit Communication System) Rack</p> 	<p>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。</p> <p>また、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV) がランデブー時に使用する近傍通信システムも搭載しています。</p>

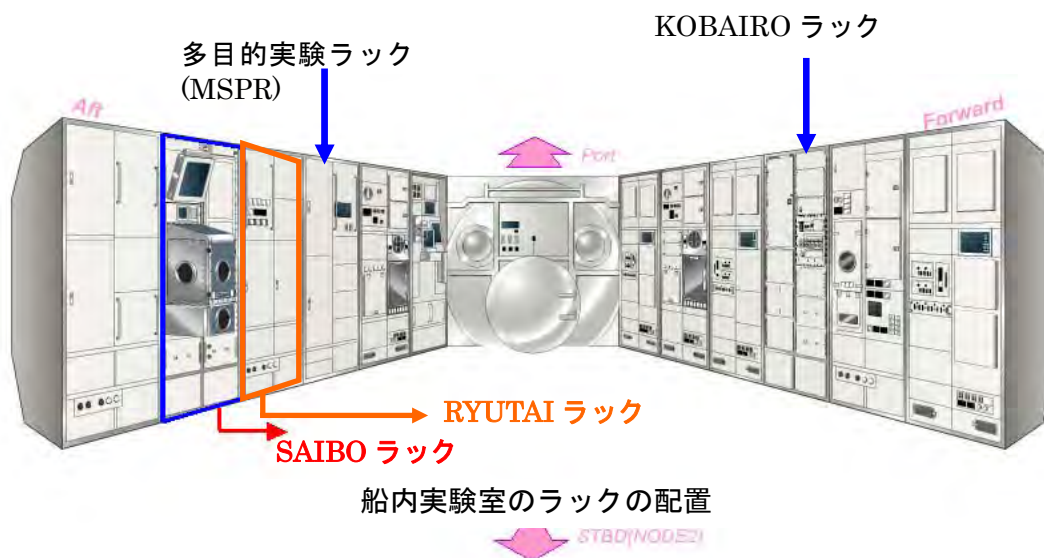
※「きぼう」のロボットアーム (JEMRMS) 制御ラックは、2.4.3 項を参照ください。

2.4.2 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。



2.4.2.1 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 を収容



■ 細胞培養装置(CBEF)

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

細胞培養装置(CBEF)



■ 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)



2.4.2.2 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・蛋白質結晶成長実験装置(SPCF)

溶液・蛋白質結晶成長実験装置(Solution/Protein Crystal Growth Facility: SPCF)は、蛋白質結晶生成装置(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]

2.4.2.3 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)

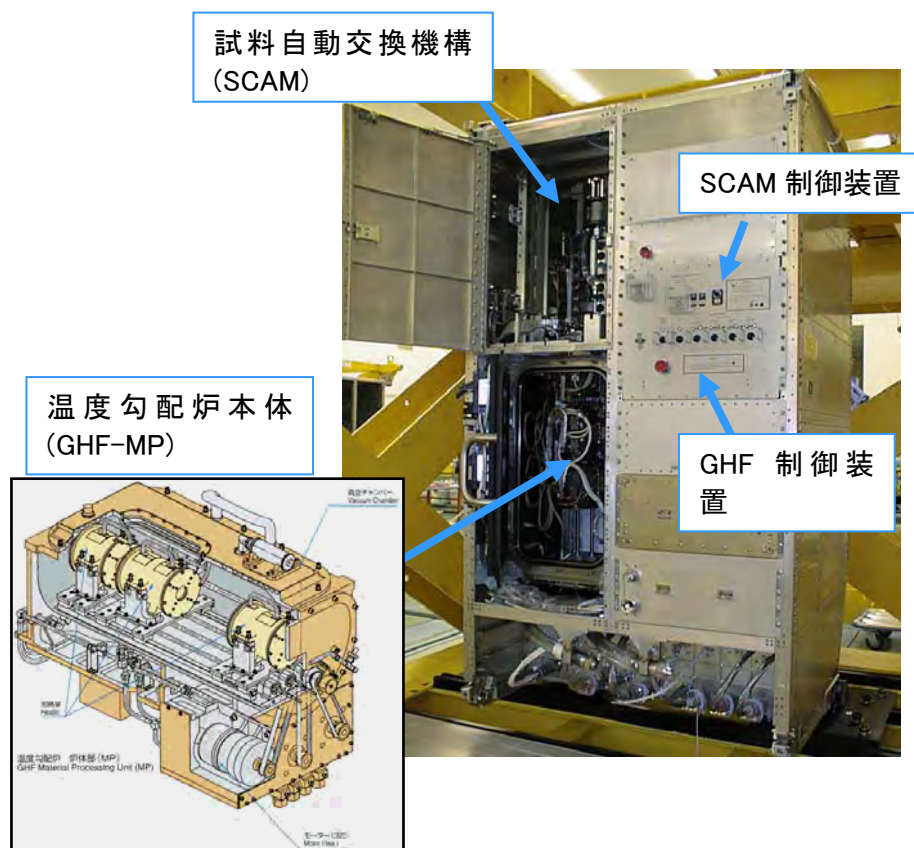


図 A2.4.2.3-1 勾配炉ラックの構成

2.4.2.4 多目的実験ラック(MPSR)

多目的実験ラック(Multi-purpose Small Payload Rack: MPSR)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 ラックと共にこのとり2号機(HTV2)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)を多目的実験ラックの構成品として用意しています。また同様に、水棲生物実験装置(Aquatic Habitat: AQH)が2012年7月のHTV3で運ばれます。

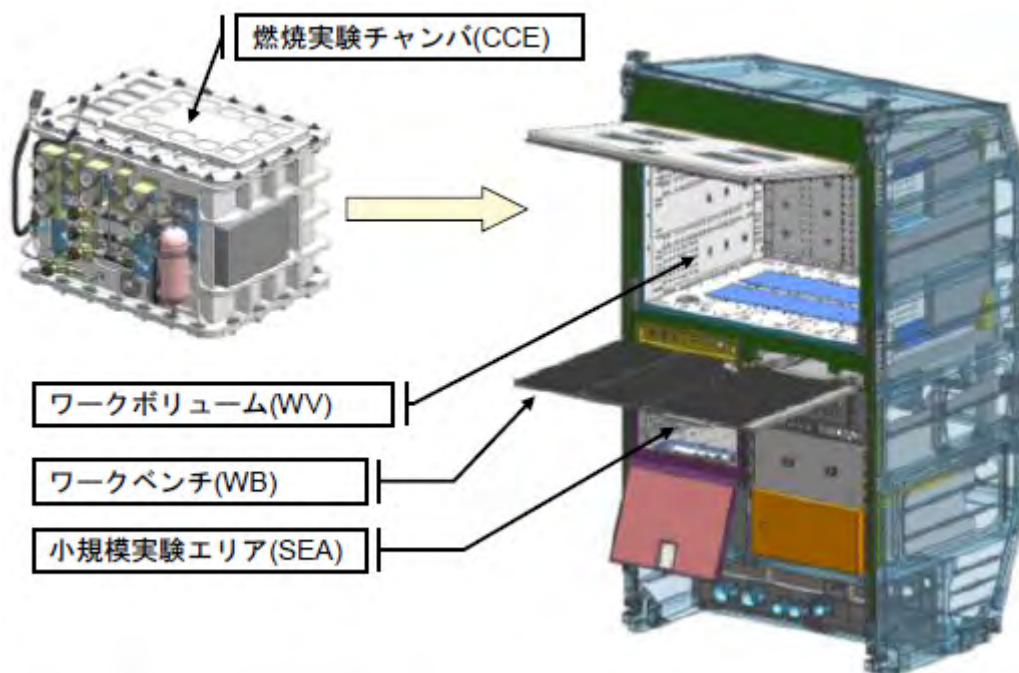


図 2.4.2.4-1 多目的実験ラック(MPSR) (イメージ図)



図 2.4.2.4-2 多目的実験ラックの写真(打上げ前)

コラムA2-1

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たり、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（H-II Transfer Vehicle: HTV）「こうのとり」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。

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。

2.4.3 「きぼう」のロボットアーム(JEMRMS)制御ラック

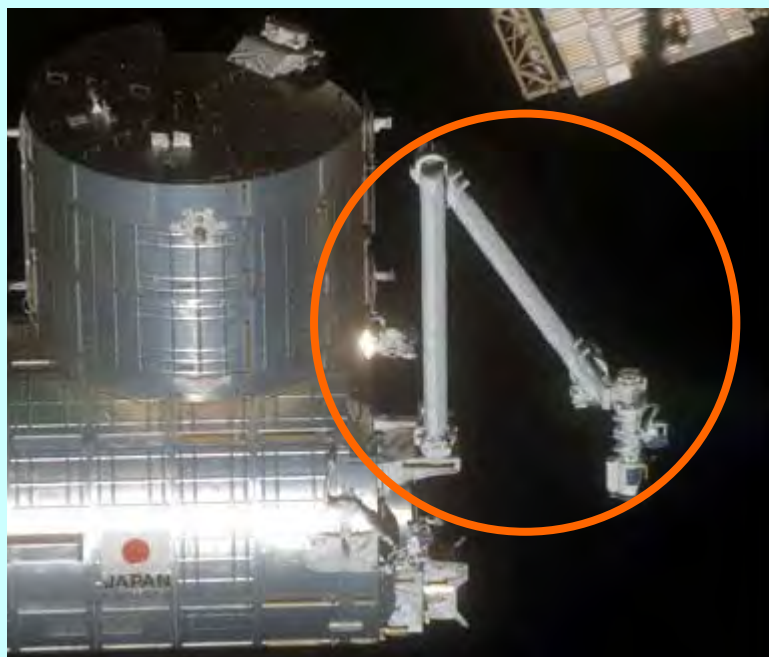
「きぼう」のロボットアームは、親アーム、子アームはともに6つの関節があるため、動きにかなりの自由度が得られ、人間の腕と同様の動作が可能です。船内実験室内では、クルーがロボットアームに取り付けられているカメラの映像をロボットアーム操作卓(JEMRMS 制御ラック)のテレビモニターで確認しながら作業を進めていきます。

JEMRMS 制御ラックの構成を図 A2.4.3-1 に示します。

コラム A2-2

「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。



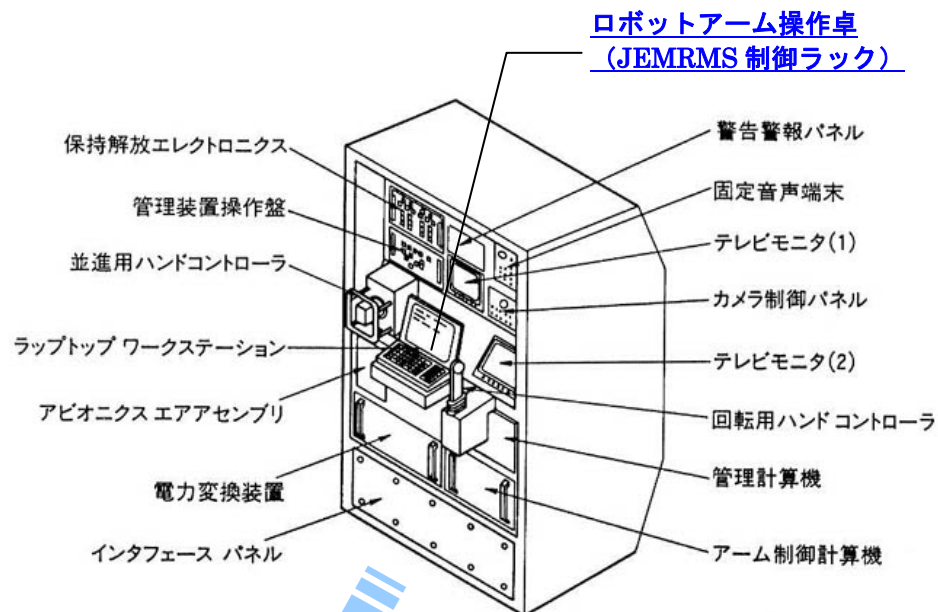


図 A2.4.3-1 JEMRMS 制御ラックの構成

2.5 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。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。

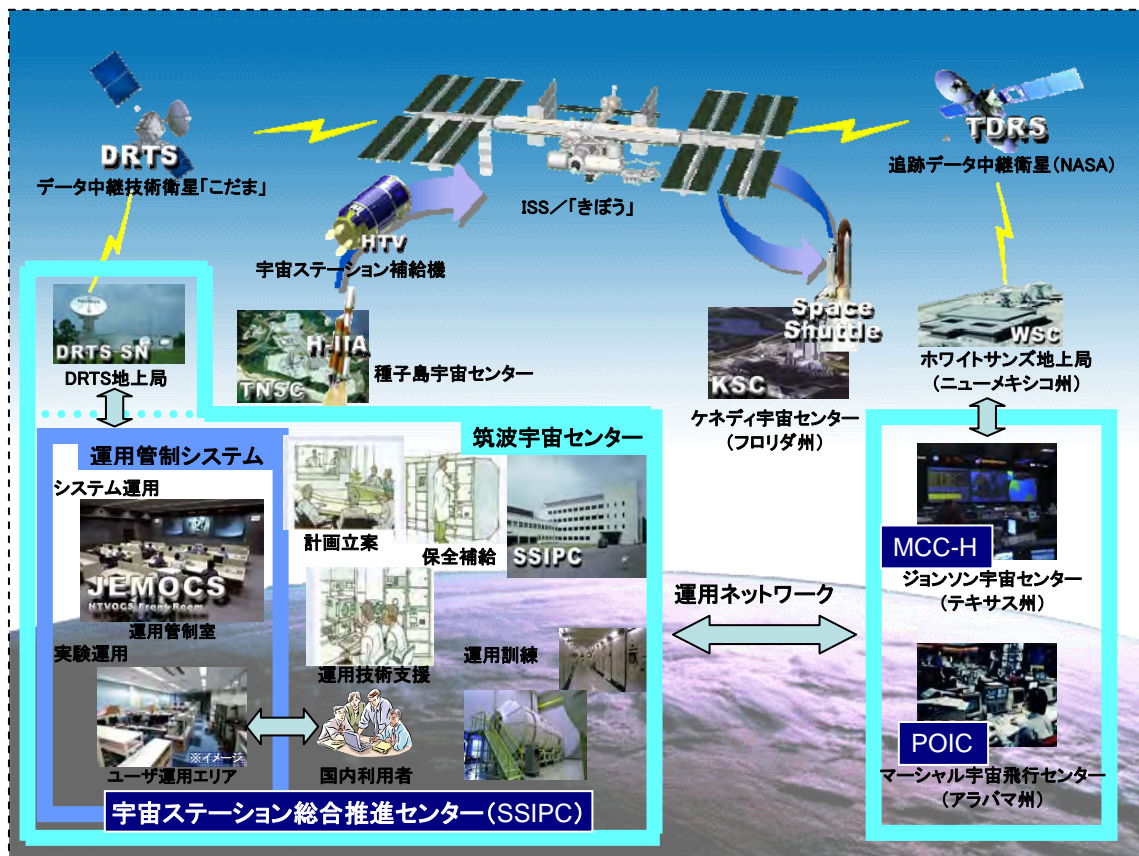


図 A2.5-1 「きぼう」運用システム概要

■ 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 HTV)、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。「ユーザ運用エリア」の準備が進められています。

【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/>

2.5.1 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。
- **SENIN: System Element Investigation and Integration Officer (センニン:システム担当)**
「きぼう」のシステムが正常に機能しているかどうかを監視します。
複数のポジションの運用管制員が関わる作業に対し、「きぼう」システム全体の取りまとめを行います。

■ **TSUKUBA GC: Tsukuba Ground Controller**

(ツクバジーシー:地上設備担当)

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

■ **J-COM: JEM Communicator(J-コム: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 A2.5-2 「きぼう」日本実験棟の運用管制室の配置図

2.5.2 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。

2.5.3 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。

以下に PL FCT の各ポジションの役割について紹介します。

■ JPOC: JAXA Payload Operations Conductor

(ジェイポック: 日本の実験運用取りまとめ)

実験運用管制室のリーダー。

「きぼう」で実施する日本の実験運用に関して、実験計画の調整、進行管理を中心に、実験全般の取りまとめを行います。また、運用管制室にいる JEM PAYLOADS を、ユーザ運用エリア(UOA)から補佐します。

■ FISICS: FluId Science and Crystalization Science Ops Lead

(フィジクス: 流体実験ラック運用担当)

流体実験ラックに搭載される実験機器(流体物理実験装置(FPEF)、溶液結晶化観察装置(SCOF)、蛋白質結晶生成装置(PCRF)、画像取得処理装置(IPU))の運用全般を統括します。

流体実験ラックに搭載される実験機器の状態を、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、それらの機器に対する制御を地上から実施します。

- **BIO: BIoology Ops Lead(バイオ:細胞実験ラック運用担当)**
細胞実験ラックに搭載される実験機器(細胞培養装置(CBEF)、クリーンベンチ(CB))の運用全般を統括します。
細胞実験ラックに搭載される実験機器の状態を、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、それらの機器に対する制御を地上から実施します。

- **RYUTAI Rack UI/PI/Eng.:**
User Integrator/Principal Investigator/Engineer (RYUTAI Rack)
(リュウタイ ユーザインテグレイター/パイ/エンジニア:流体実験ラック実験研究者チーム、エンジニアチーム)
実験テーマ提案者である代表研究者「PI」、メーカーと共に個別の実験機器、実験サンプルの製作を担当し、また PI と共に実験計画の検討を行ってきた「UI」、流体実験ラック搭載機器の開発を行ってきた実験装置開発担当「Engineer」から構成されます。
実験運用管制室では、実験の映像やデータをモニタしながら、実験条件の変更等をリアルタイムで検討します。研究者チーム、エンジニアチームと PL FCT とが協調し、状況に応じて臨機応変に対応し、実験を遂行します。

- **SAIBO Rack UI/PI/Eng.:**
User Integrator/Principal Investigator/Engineer (SAIBO Rack)
(サイボウ ユーザインテグレイター/パイ/エンジニア:細胞実験ラック実験研究者チーム、エンジニアチーム)
実験テーマ提案者である代表研究者「PI」、メーカーと共に個別の実験機器、実験サンプルの製作を担当し、また PI と共に実験計画の検討を行ってきた「UI」、細胞実験ラック搭載機器の開発を行ってきた実験装置開発担当「Engineer」から構成されます。
流体実験ラックと同様、研究者チーム、エンジニアチームと PL FCT とが協調し、状況に応じて臨機応変に対応し、実験を遂行します。

- **EPO/Medical: Education Payload Observation Officer**
(イーピーオー/メディカル:教育文化・医学ミッション担当)
「きぼう」では、科学的な実験の運用のほかにも、国際宇宙ステーション(ISS)独自の環境を利用した、さまざまな教育文化ミッション(教育、人文科学、芸術等に関する試み)や宇宙飛行士の健康を管理する医学ミッションが行われます。
ミッション提案者と共に、使用する機器の製作、ミッション計画の検討を行ってきた教育文化・医学ミッション担当者が、「EPO」や「Medical」として、実験運用管制室に入り、JEM PAYLOADS、JPOC らと連携して、運用を行います。

■ SEDA-AP

MAXI #1 & #2

Space Environment Data Acquisition equipment - Attached Payload Monitor of All-sky X-ray Image

(セダエーピー、マキシ:曝露ペイロード運用チーム)

宇宙曝露環境を利用して実験や観測を行う装置(宇宙環境計測ミッション装置(SEDA-AP)、全天 X 線監視装置(MAXI))の運用を担当します。(超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)は故障のため 2010 年に実験運用を終了しました。)

「きぼう」には、宇宙飛行士が普段着で作業を行うことができる船内実験室のほかに、宇宙空間をそのまま利用して実験を行う船外曝露実験エリアである、船外実験プラットフォームがあります。この曝露環境を利用して実験や観測を行う装置を運用するのが、曝露ペイロード運用チームです。

JEM PAYLOADS、JPOC らと連携して、UOA から実験運用を行います。



図 A2.5-3 「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))



図 A2.5-4 実験運用管制室内の様子

付録3. 参考データ

3.1 ISSにおけるEVA履歴

表 A3.1-1 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2名、スウェーデン人1名、および日本人1名が船外活動を実施しています。(2012年7月4日現在)

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(1/11) 2012年7月4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		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	STS-88 (2A)	1998.12.09	7H02m	同上		
3		1998.12.12	6H59m	同上		
4	STS-96 (2A.1)	1999.05.29 ~05.30	7H55m	タミー・ジャーニガン* ダン・バリー	STS	EVAクレーンの設置。
5	STS-101 (2A.2a)	2000.05.21 ~05.22	6H44m	ジェームス・ヴォス ジェフリー・ウィリアムズ	STS	EVAクレーンの組立。
6	STS-106 (2A.2b)	2000.09.10 ~09.11	6H14m	エドワード・ルー ユーリ・マレンチェンコ	STS	ズヴェズダとザーリヤ間の配線接続など。
7	STS-92 (3A)	2000.10.15	6H28m	リロイ・チャオ ウィリアム・マッカーサー	STS	Z1トラスとPMA-2の艀装作業など。
8		2000.10.16	7H07m	ピーター・ワイゾフ マイケル・ロベズーアレグリア		
9		2000.10.17	6H37m	リロイ・チャオ ウィリアム・マッカーサー		
10		2000.10.18	6H56m	ピーター・ワイゾフ マイケル・ロベズーアレグリア		
11			2000.12.03	7H34m		
12	STS-97 (4A)	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	クリス・ハドフィールド スコット・バラジンスキー	STS	SSRMSの展開、UHFアンテナの設置など。 クリス・ハドフィールドは、 <u>カナダ人</u> 初のEVAを実施。
20		2001.04.24	7H40m	同上		
21	ISS 2-1 (ロシア EVA-1)	2001.06.08	19m	ユーリ・ウサチエフ ジェームス・ヴォス	SM	ズヴェズダの一部を減圧しての船内EVA。Orlan宇宙服使用。

表の年月日は米国時間。

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(2/11)

	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 ジェイムズ・ライリー	STS	クエストの取り付け、艀装作業など。
23		2001.07.17 ～07.18	6H29m	同上		
24		2001.07.20 ～07.21	4H02m	同上	クエスト	
25	STS-105 (7A.1)	2001.08.16	6H16m	ダニエル・バリー パトリック・フォレスト	STS	初期アンモニア充填装置(EAS)の設置、米国の材料曝露実験装置(MISSE)の設置など。
26		2001.08.18	5H29m	同上		
27	ISS 3-1 (ロシア EVA-2)	2001.10.08	4H58m	ウラディミール・ジェジュロフ ミハイル・チューリン	DC-1	「ピアース」(DC-1)初使用。DC-1の艀装。
28	ISS 3-2 (ロシア EVA-3)	2001.10.15	5H58m	同上	DC-1	NASDAの材料曝露実験装置(MPAC & SEED)の設置。DC-1の艀装。
29	ISS 3-3 (ロシア EVA-4)	2001.11.12	5H04m	同上	DC-1	DC-1の艀装。
30	ISS 3-4 (ロシア EVA-4A)	2001.12.03	2H46m	同上	DC-1	5P分離時に残っていた異物(リング)を除去(予定外のEVA)。
31	STS-108 (UF-1)	2001.12.10	4H11m	リンダ・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タガスの汚染防止機器の設置。
34	ISS 4-3 (US EVA-1)	2002.02.20	5H47m	カール・ウオルツ ダニエル・バーシュ	クエスト	8AのEVAに備えた作業。クエストの機能確認。
35	STS-110 (8A)	2002.04.11	7H48m	スティーブン・スミス レックス・ワルハイム	クエスト	S0 トラスの取り付け、モバイルトランスポーター(MT)の艀装作業など。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	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・トレンシェフ	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)。

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(3/11)

	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・ウオルフ ピアース・セラーズ	クエスト	S1トラスの艤装、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トラスの艤装、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トラスの艤装、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 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、モー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、FGBIに設置されていたロシアのStrelaクレーン用のアダプターをPMA-3に移設など

注: 52~58回目のEVAは、ISS滞在クルーが2名のみであったため、EVA中はISS内は無人数状態であった。

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(4/11)

	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
				トーマス・ライター		
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
72				2006.09.15		
			ハイディマリー・ステファニョン・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
				クリスター・フューゲルサンク		
75	STS-116 (12A.1)	2006.12.14	5H00m	同上	クエスト	ISSの電力系統の切換、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の電力系統の切換、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		

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(5/11)

	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
				スニータ・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 ダフィッド・ウィリアムズ	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
				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
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	STS-118 (13A.1)	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
92				クレイトン・アンダーソン		

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(6/11)

	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	
				ハンス・シュリーゲル			
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			

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(7/11)

	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	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	
113	ISS 17-1 (ロシア EVA-20A)	2008.7.10	6H18m	セルゲイ・ヴォルコフ	DC1	ソユーズTMA-12宇宙船の分離ボルト1本の回収
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 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(8/11)

	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)

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(9/11)

	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		
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	P1トラス上のアンモニアタンク(ATA)の取外し、欧州技術曝露実験装置(EuTEF)、材料曝露実験装置6(MISSE-6)の回収	
ニコール・ストット*							
132		2009.9.3	6H39m	ジョン・オリーバス	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
クリスター・フューゲルサンク							
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・プレスニク							
136	2009.11.23	5H42m	ランドルフ・プレスニク	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							

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(10/11)

	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	
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*					

表 A3.1-1 ISS組立てに関するEVA履歴(11/11)

	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			
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		
				グレゴリー・シャミトフ				
157	STS-134 (ULF6)	2011.5.22	8H07m	アンドリュー・フォイステル	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		
158				2011.5.25	6H54m		同上	クエスト
159				2011.5.27	7H24m		マイケル・フィンク	クエスト
				グレゴリー・シャミトフ		シャトルのOBSSをISSに移設、ISSでのEVA時間が累計1,000時間を突破、シャトル最後のEVA		
160	STS-135 (ULF7)	2011.7.12	6H31m	ISSクルー(ギャレン、フォッサム)が担当	クエスト	故障したポンプモジュールの回収、RRM実験装置のISSへの設置など		
161	ロシアEVA-29	2011.8.03	6H23m	ヴォルコフ、サマクチャイエフ	DC-1	小型衛星の放出、光通信装置の設置		
162	ロシアEVA-30	2012.2.16	6H15m	コノネンコ、シュカブレロフ	DC-1	DC-1からMRM-2へのストレラクレーン1の移設		
163	ロシアEVA-31	2012.08.16 予定		パダルカ、マレンチェンコ	DC-1	DC-1からザーリヤへのストレラクレーン2の移設、ズヴェズダへのデブリパネルの設置など		
164	US-EVA-18	2012.8.30予定		ウィリアムズ*、星出	DC-1	MBSU-1の交換など		

注: エアロック欄のSTSはシャトルのエアロック使用。クエストは、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

3.2 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴(今後の予定を含む)

表 A3.2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴(1/3)

2012年7月4日現在

	宇宙船の 名称(機番)	打上げ 年月日	ISSとの ドッキング 年月日	ISSからの 分離 年月日	打上げ時の搭乗クルー	特記事項
2R (1S)	ソユーズTM-31 (No.205)	2000.10.31	2000.11.02	2001.05.06	ビル・シェパード(NASA) ユリー・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・ムサハリエフ(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・ハニャール(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・テイヴェナ(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	ゲナディ・パダルカ(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	サリサン・シャリポフ(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・ピノグロフ(ロシア) ジェフ・ウィリアムズ(NASA) マルコス・ボンテス(ブラジル)	長期滞在クルーの交代(第 12次→第13次)。 マルコス・ボンテスはTMA-7 で帰還。
13S	ソユーズTMA-9 (No.219)	2006.09.18	2006.09.20	2007.04.21	ミハイル・チューリン(ロシア) マイケル・ロペス・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。

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴(2/3)

	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・ウィットソン(NASA) ユリー・マレンチenko(ロシア) Sheikh Muszaphar Shukor(マレーシア)	長期滞在クルーの交代(第15次→第16次)。 Sheikh Muszaphar ShukorはTMA-10で帰還(JAXAのPADLESを携行)。 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・ヴォルコフ(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・キヤリオット(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・キヤリオットは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	ゲナデー・パダルカ(ロシア) マイケル・ハレット(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・テイビュナー(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。 TMA-14帰還のため、長期滞在クルーは交代(第19次→第20次)。
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・ラベルテはTMA-14で第19/20次長期滞在クルーと帰還。 TMA-15帰還のため、長期滞在クルーは交代(第20次→第21次)。 19S分離から21Sドッキングまでの間は2名体制。

注: 日付は日本時間(JST)をベースに記述。

表 A3.2-1 ソユーズ宇宙船ミッションの飛行履歴(3/3)

	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
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次長期滞在クルー。
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・カトウエル(NASA) ミカエル・コニエニコ(ロシア)	第23/24次長期滞在クルー。 分離トラブルで帰還を1日延期
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・ウィロック(NASA) シャノン・ウオーカー(NASA)	第24/25次長期滞在クルー。
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・スクリボチカ(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次長期滞在クルー。
25S	ソユーズTMA-20 (No.230)	2010.12.16	2010.12.18	2011.05.24	ドミトリー・コンドラティョフ(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次長期滞在クルー。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・ホルシェニコ(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次長期滞在クルー。
27S	ソユーズ TMA-02M (No.702)	2011.06.08	2011.06.10	2011.11.22	セルゲイ・ウオルコフ(ロシア) マイケル・フッサム(NASA) 古川聡(JAXA)	第28/29次長期滞在クルー。
28S	ソユーズTMA-22 (No.232)	2011.11.14	2011.11.16	2012.04.27	ダニエル・バーバソク(NASA) アントン・シュカプ・レロフ(ロシア) アナトリー・イヴァニシ(ロシア)	第29/30次長期滞在クルー。
29S	ソユーズ TMA-03M (No.703)	2011.12.21	2011.12.24	2012.07.01	オレグ・コノネニコ(ロシア) アントレ・カイパーズ(ESA) トナルト・ペティット(NASA)	第30/31次長期滞在クルー。
30S	ソユーズ TMA-04M (No.705)	2012.05.15	2012.05.17	2012.09.17 (予定)	ゲナデー・パダルカ(ロシア) セルゲイ・レビシ(ロシア) ジョセフ・アカバ(NASA)	第31/32次長期滞在クルー。
31S	ソユーズ TMA-05M (No.706)	2012.07.15 (予定)	2012.07.17 (予定)	2012.11.12 (予定)	スニータ・ウイリアムズ(NASA) ユーリー・マレンチェニコ(ロシア) 星出彰彦(JAXA)	第32/33次長期滞在クルー。
32S	ソユーズ TMA-06M (No.707)	2012.10.15 (予定)	2012.10.17 (予定)	2013.03.19 (予定)	ケビン・フォート(NASA) オレグ・ノヴィツキー(ロシア) エヴァ・アケニョ・タレキン(ロシア)	第33/34次長期滞在クルー。
37S		2013.11. (予定)			若田光一(JAXA) リチャード・マスチオラキオ(NASA)	第38/39次長期滞在クルー。

注: 日付は日本時間(JST)をベースに記述。

3.3 ISS長期滞在クルー

2012年7月4日現在

表 A3.3-1 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) 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) 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・カルパートソン(NASA) 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) 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) ペギー・ウィットソン*(NASA) セルゲイ・トレシエフ(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) 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) 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) 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) 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) 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) 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) 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)			

星出宇宙飛行士長期滞在プレスキット

表 A3.3-1 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・ビノグラドフ(ロシア)	▲(Up) 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)	▼(Down) 2006.09.29 ソユーズTMA-8(12S)			
	トーマス・ライター(ESA)	▲(Up) 2006.07.04 STS-121	14次に記載		
14	マイケル・ロペズ・アレグリア (NASA)	▲(Up) 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 <u>215日間は ISS最長の 滞在期間</u>
	ミハイル・チューリン(ロシア)	▼(Down) 2007.04.21 ソユーズTMA-9(13S)			
	トーマス・ライター(ESA)	▼(Down) 2006.12.22 STS-116	171日3時間		
	スニータ・ウィリアムズ*(NASA)	▲(Up) 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)	▲(Up) 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)	▼(Down) 2007.10.21 ソユーズTMA-10(14S)			
	スニータ・ウィリアムズ*(NASA)	▼(Down) 2007.06.22 STS-117	194日18時間		
	クレイトン・アンダーソン(NASA)	▲(Up) 2007.06.08 STS-117	16次に記載		
16	ペギー・ウィットソン*(NASA)	▲(Up) 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)	▼(Down) 2008.04.19 ソユーズTMA-11(15S)			
	クレイトン・アンダーソン(NASA)	▼(Down) 2007.11.07 STS-120	151日18時間		
	ダニエル・タニ(NASA)	▲(Up) 2007.10.23 STS-120 ▼(Down) 2008.02.20 STS-122	120日11時間		
	レオポルド・アイハーツ(ESA)	▲(Up) 2008.02.07 STS-122 ▼(Down) 2008.03.26 STS-123	48日4時間		
	ギャレット・リーズマン(NASA)	▲(Up) 2008.03.11 STS-123	17次に記載		

表 A3.3-1 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)			
17	セルゲイ・ヴォルコフ(ロシア)	▲(Up) 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)	▼(Down) 2008.10.24 ソユーズTMA-12(16S)			
	ギャレット・リーズマン(NASA)	▼(Down) 2008.06.14 STS-124	95日8時間		
	グレゴリー・シャミツフ(NASA)	▲(Up) 2008.05.31 STS-124	18次に記載		
18	マイケル・フィンク(NASA)	▲(Up) 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)	▼(Down) 2009.4.8 ソユーズTMA-13(17S)			
	グレゴリー・シャミツフ(NASA) (STS-124で2008.05.31に打ち上げられ、STS-126で2008.11.30に帰還)	▼(Down) 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)	▲(Up) 2008.11.14 STS-126 ▼(Down) 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)	▲(Up) 2009.03.15 STS-119	20次に記載		
19	ゲナディ・パダルカ(ロシア)	▲(Up) 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コマンダーを担当したクルーとなった(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		

表 A3.3-1 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)			
20	ゲナディ・パダルカ(ロシア) マイケル・バラット(NASA)	▼(Down)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
	若田光一(JAXA)	▼(Down) 2009.7.31 STS-127	137日15時間		
	フランク・ディビュナー (ESA) ロバート・サースク (CSA) ロマン・ロマネンコ(ロシア)	▲(Up) 2009.5.27 ソユーズTMA-15(19S)	21次に記載		
	ティモシー・コブラ(NASA)	▲(Up) 2009.07.15 STS-127 ▼(Down) 2009.9.11 STS-128	58日2時間		
	ニコール・ストット*(NASA)	▲(Up) 2009.08.28 STS-128	21次に記載		
21	フランク・ディビュナー (ESA) ロバート・サースク ロマン・ロマネンコ	▼(Down)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滞在クルーとなった。
	ニコール・ストット* (NASA)	▼(Down) 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)	▲(Up) 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 マキシム・ソレオブ	▼(Down)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)	▲(Up) 2009.12.21 ソユーズTMA-17(21S)	23次に記載		
23	オレグ・コトフ 野口聡一 ティモシー・クリーマー	▼(Down)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)	▲(Up) 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 トレーシー・カードウェル* ミカエル・コニエンコ	▼(Down)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) フォードル・ユールチキン (ロシア)	▲(Up) 2010.06.16 ソユーズTMA-19(23S)	25次に記載		

表 A3.3-1 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)			
25	<u>ダグラス・ウィーロック</u> シャノン・ウォーカー* フョードル・ユールチキン	▼(Down)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)	▲(Up) 2010.10.08 ソユーズTMA-M(24S)	26次に記載		
26	<u>スコット・ケリー</u> アレクサンダー・カレリ オレグ・スクリポチカ	▼(Down)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)	▲(Up) 2010.12.16 ソユーズTMA-20(25S)	27次に記載		
27	<u>ドミトリー・コンドラティエフ</u> キャスリン・コールマン* パオロ・ネスポリ	▼(Down)2011.05.24 ソユーズTMA-20(25S)	159日7時間	(上記参照)	
	アンドレイ・ポリシェンコ (ロシア) アレクサンダー・サマクチャイエフ (ロシア) ロナルド・ギャレン(NASA)	▲(Up) 2011.04.04 ソユーズTMA-21(26S)	28次に記載		
28	<u>アンドレイ・ポリシェンコ</u> アレクサンダー・サマクチャイエフ ロナルド・ギャレン	▼(Down)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)	▲(Up) 2011.06.08 ソユーズTMA-02M(27S)	29次に記載		
29	<u>マイケル・フォッサム</u> 古川 聡 セルゲイ・ヴォルコフ	▼(Down)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)	▲(Up) 2011.11.14 ソユーズTMA-22(28S)	30次に記載		
30	<u>ダニエル・バーバンク</u> アントン・シュカブレロフ アナトリー・イヴァニシン	▼(Down)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・ペティット(NASA)	▲(Up) 2011.12.21 ソユーズTMA-03M(29S)	31次に記載		
31	<u>オレグ・コノネンコ</u> アンドレ・カイパース ドナルド・ペティット	▼(Down)2012.07.01 ソユーズTMA-03M(29S)	192日18時間	(上記参照)	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)	▲(Up) 2012.05.15 ソユーズTMA-04M(30S)	32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。

表 A3.3-1 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)			
32	ゲナディ・パダルカ ジョセフ・アカバ セルゲイ・レビン	▼(Down)2012.09.17(予定) ソユーズTMA-04M(30S)	33次に記載	2回予定	パダルカ は3回目 のコマン ダー
	スニータ・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)	▲(Up) 2012.07.15(予定) ソユーズTMA-05M(31S)			
33	スニータ・ウィリアムズ* ユーリ・マレンチェンコ 星出彰彦	▼(Down)2012.11.12(予定) ソユーズTMA-05M(31S)	34次に記載		
	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)	▲(Up) 2012.10.15(予定) ソユーズ32S			
34	ケビン・フォード オレグ・ノヴィツキー エヴァゲニー・タレルキン	▼(Down)2013.03(予定) ソユーズ32S	35次に記載		
	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)	▲(Up) 2012.12.(予定) ソユーズ33S			
35	クリス・ハドフィールド (CSA) トーマス・マシュバーン ロマン・ロマネンコ	▼(Down)2013.05(予定) ソユーズ33S	36次に記載		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・キャシディ (NASA)	▲(Up) 2013.03.(予定) ソユーズ34S			
36	パベル・ピノグラドフ アレクサンダー・ミシュルキン クリストファー・キャシディ	▼(Down)2013.09(予定) ソユーズ34S	37次に記載		
	Fyodor Yurchikhin (ロシア) (に 変更予定) カレン・ナイバーグ(NASA) ルカ・パルミターノ (ESA)	▲(Up) 2013.05.(予定) ソユーズ35S			
37	Fyodor Yurchikhin (ロシア) カレン・ナイバーグ(NASA) ルカ・パルミターノ (ESA)	▼(Down)2013.11(予定) ソユーズ35S	38次に記載		
	マイケル・ホブキンス(NASA) Oleg Kotov(ロシア) Sergei Ryazansky(ロシア)	▲(Up) 2013.09.(予定) ソユーズ36S			
38	マイケル・ホブキンス	▼(Down)2014.03(予定)	39次に記載		
	若田光一(JAXA) Mikhail Tyurin (ロシア) リチャード・マストラキオ(NASA)	▲(Up) 2013.11.(予定) ソユーズ37S			
39	若田光一 Mikhail Tyurin (ロシア) リチャード・マストラキオ	▼(Down)2014.05(予定) ソユーズ37S	40次に記載		日本 人初 のISS コマン ダー
	Alexander Skvortsov(ロシア) Oleg Artemyev(ロシア) Steven Swanson(NASA)	▲(Up) 2014.03.(予定) ソユーズ38S			
40	Alexander Skvortsov(ロシア) Oleg Artemyev(ロシア) Steven Swanson(NASA)	▼(Down)2014.09(予定) ソユーズ38S	41次に記載		
	TBD (ロシア) G. Reid Wiseman(NASA) Alexander Gerst(ESA)	▲(Up) 2014.05.(予定) ソユーズ39S			

注) 名前の後ろの* マークは女性を示す。各長期滞在クルーの先頭のクルーがISSコマンダー(指揮官)。太字はJAXA宇宙飛行士。

3.4 日本人宇宙飛行士の宇宙滞在記録

2012年7月6日現在

表 A3.4-1 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	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	
2	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	1回の飛行としての日本人最長記録
3	若田 光一	STS-72 STS-92 STS-119/STS-127 (第18/19/20次長期滞在)	3	8日22時間01分 12日21時間43分 137日15時間04分 =159日10時間48分	2013年秋に第38/39次長期滞滞在を予定
4	星出 彰彦	STS-124 ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	2 (予定)	13日18時間13分 +120日間の予定 =約134日 (予定)	

3.5 各国の宇宙滞在記録

2012年7月15日11時40分
(31S打上げ時点)

表 A3.5-1 宇宙滞在の国別記録

	国	合計滞在時間	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連含む、 ウクライナ人 1人を含む)	2万1871日18時間53分	114人	2012年7月1日17時15分(29S帰還) 時点の実績は、2万1844日6時間3分
2	米国	1万5584日13時間58分	332人	2012年7月1日17時15分(29S帰還)時 点の実績は、1万5583日19時間33分
3	日本	614日21時間33分	9人	秋山氏の飛行を含む
4	ドイツ	493日5時間20分	10人	
5	フランス	433日4時間33分	9人	

2012年11月12日時点の予定

表 A3.5-2 宇宙滞在の国別記録(31S帰還時の予定データ)

	国	合計滞在時間	人数	備考
1	ロシア (旧ソ連含む、 ウクライナ人 1人を含む)	2万1844日6時間3分 +72日+72日+120日 =約2万2108日	114人 +2人 (32S)	30Sのパダルカ/レビン宇宙飛行士、31Sの マレンチェンコ宇宙飛行士の滞在予定を含む (32Sクルーの新人2人を含めれば+56日= 約2万2164日)
2	米国	1万5583日19時間33分 +72日+120日 =約1万5775日	332人	30Sのアカバ宇宙飛行士、31Sのウィリアムズ 宇宙飛行士の滞在予定を含む (32Sクルー1人を含めれば+28日=約1万 5803日)
3	日本	614日21時間33分 +120日=約735日	9人	31Sの星出宇宙飛行士の滞在予定を含む 秋山氏の飛行を含む
4	ドイツ	493日5時間20分	10人	
5	フランス	433日4時間33分	9人	

3.6 日本人宇宙飛行士の船外活動(EVA)記録

2012年6月2日現在

表 A3.4-1 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	備考
1	野口 聡一	STS-114/LF-1 ソユーズTMA-17/21S (第22/23次長期滞在)	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 4日 6時間01分 計20時間05分	
2	土井 隆雄	STS-87	2	EVA#1 1997年11月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	
3	星出 彰彦	ソユーズTMA-05M/31S (第32/33次長期滞在)	1 (予定)		