



国際宇宙ステーション搭乗 宇宙飛行士の 放射線被曝管理について

航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する検討WG

平成16年12月7日

宇宙航空研究開発機構 宇宙医学グループ

矢部 志津



国際宇宙ステーション (ISS) 計画の概要

国際宇宙ステーション(International Space Station)は、宇宙の特殊な環境を利用したさまざまな実験や研究を長期間行うことができる宇宙の実験棟。

参加国： アメリカ、日本、
ロシア、カナダ、
ヨーロッパ11カ国
の計15カ国

最初の打上げ： 1998年

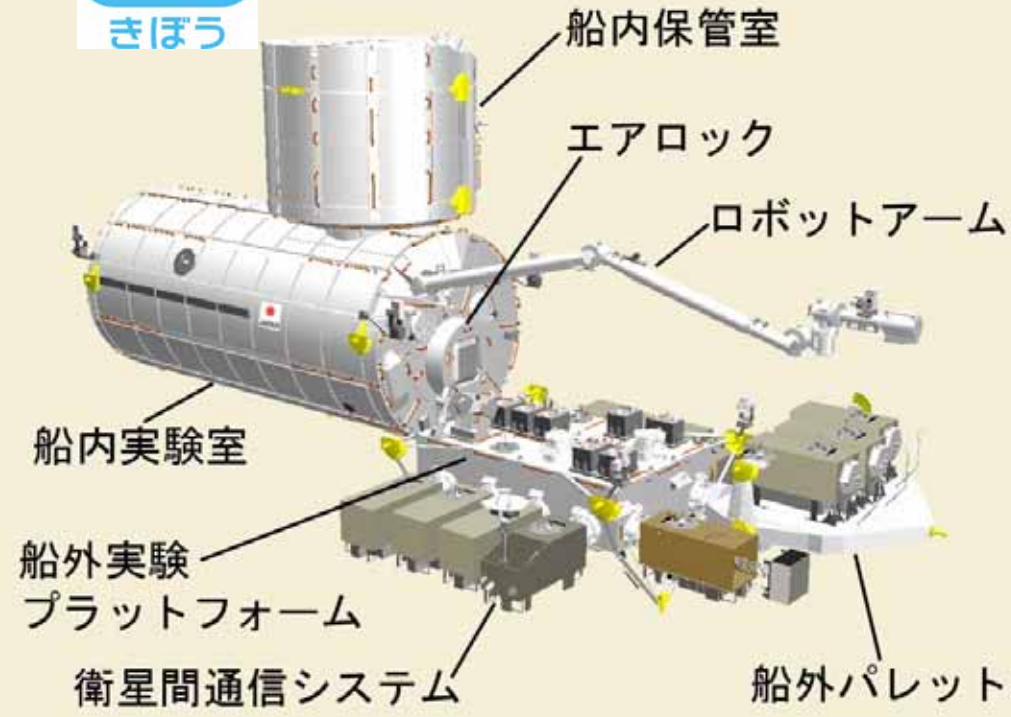
現在： 第10次長期滞在で
米ロ2名の宇宙飛行士が搭乗中



2002年12月現在のISS



きぼう及び日本人宇宙飛行士の紹介・ISS長期滞在計画



きぼうの概要

その後も定期的に日本人宇宙飛行士がISSに長期滞在する予定。

宇宙航空研究開発機構(以下、「JAXA」という。)は実験モジュール「きぼう」の開発を担当。

2007年頃にきぼうの船内実験室が打上げられる際、日本人宇宙飛行士が初めてISSに長期(数ヶ月)滞在する方向で検討中。



JAXAの8人の宇宙飛行士



有人サポート委員会

宇宙放射線被曝管理分科会報告書について

- JAXAの要請により、本分科会は平成9(1997)年5月に組織され、JAXAにおいて認定され国際宇宙ステーションに滞在する又は滞在予定の日本人宇宙飛行士及び候補者（以下、「ISS搭乗宇宙飛行士」という。）の放射線被曝管理に関し調査検討を行った。
- 平成13(2001)年12月に「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被曝管理指針」(案)、並びにこれを作成するために行った調査及び検討の結果等を報告書としてまとめ、一般に公表し意見を募集した。



報告書の構成

- ・ 報告書の概要
- ・ 「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被曝管理指針」(案)
- ・ 指針作成のための検討内容
 - 1 . 宇宙放射線被曝とは (ISS 搭乗宇宙飛行士のISS 飛行中の被曝線量の推定)
 - 2 . ISS 搭乗宇宙飛行士の放射線被曝に係る評価量等の定義について
 - 3 . ISS 搭乗日本人宇宙飛行士の線量制限値について
 - 4 . 宇宙放射線モニタリング及びISS 搭乗宇宙飛行士の被曝線量評価手法について
 - 5 . 太陽 地球圏の宇宙環境の監視について
 - 6 . 放射線障害防止のための教育訓練について
 - 7 . 宇宙放射線被曝に係わる健康管理について
- ・ その他



宇宙放射線被曝とは 宇宙放射線の概要

銀河宇宙線

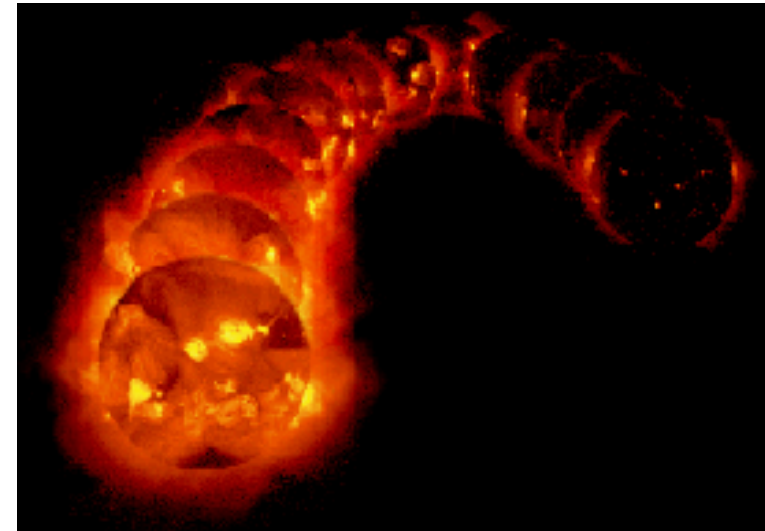
超新星爆発等を起源とし、太陽系外から飛来する粒子。約98%は陽子とそれより重い粒子で、約2%が電子と陽電子である。

太陽粒子現象

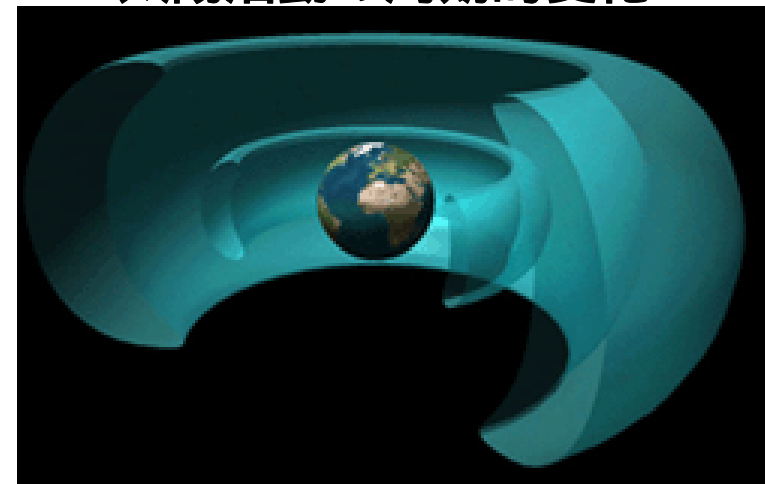
太陽表面の爆発現象(フレア)等に伴い突発的に高エネルギー粒子(80-90%が陽子)が放出される現象。太陽活動が活発な時期に多く発生する。

捕捉放射線

地球磁場に補足された荷電粒子のこと。電子及び陽子が主成分。



太陽活動の周期的変化



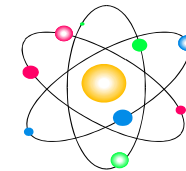
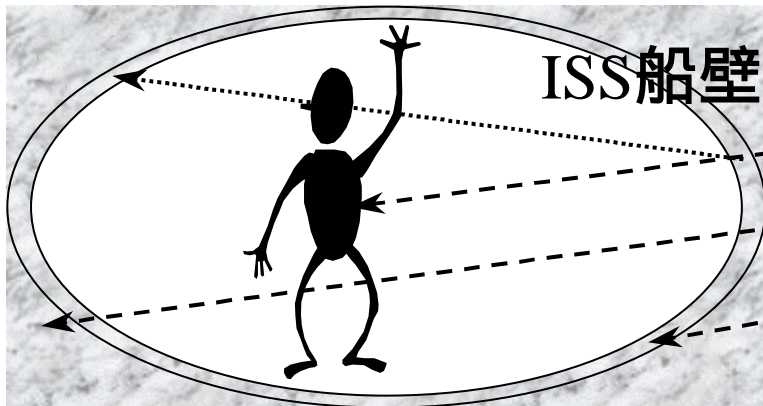
地球周辺の放射線帯



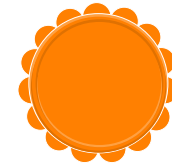
宇宙放射線被曝とは 宇宙放射線被曝の概要

高度約400kmのISS軌道においては、宇宙放射線により、1日あたりで、地上で自然放射線により被曝する量の約半年分の放射線(約1ミリシーベルト)を被曝する。

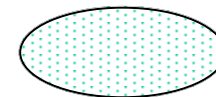
このため、ISSに長期滞在する宇宙飛行士には放射線被曝管理が必要である。



銀河宇宙線



太陽粒子現象



捕捉放射線

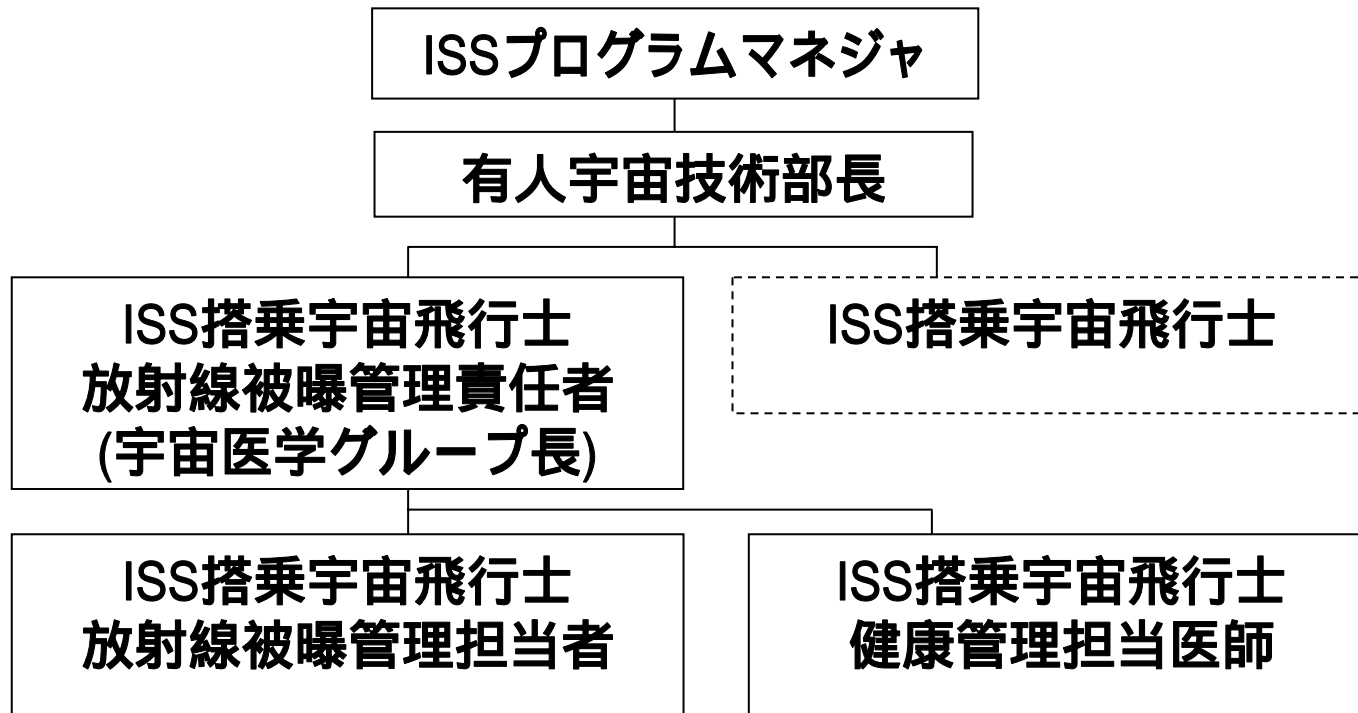


宇宙放射線被曝とは 太陽粒子現象による被曝線量について

- 1989年10月に起こった巨大太陽フレア時に、ISSと同軌道であるロシアのMIR内で放射線量が計測された。その結果から、20～40mSv程度の被曝線量になったことが示唆されている。
- また、モデル計算により推定した、1972年8月規模の太陽フレア時の被曝線量(実効線量)は、ISS船内で5mSv、ISS船外で30mSv程度である。
- 以上のことから、太陽フレア等による太陽粒子現象発生時には、その規模により通常の十数倍～数十倍程度の線量を被曝する場合もあることが推定される。



ISS搭乗宇宙飛行士の 放射線被曝管理運用体制



は放射線被曝管理の対象者を示す。



国際宇宙ステーション (ISS) 搭乗宇宙飛行士の 被曝線量の制限

生涯実効線量制限値 (全身)

被曝開始年齢	女		男	
		(リスク)		(リスク)
27-29	600	(3.2%)	600	(2.9%)
30-34	800	(3.1%)	900	(3.1%)
35-39	900	(3.1%)	1000	(3.1%)
40	1100	(3.0%)	1200	(3.1%)

(単位:ミリシーベルト)

*リスク:放射線被曝により、がんで死亡する確率



国際宇宙ステーション (ISS) 搭乗宇宙飛行士の 被曝線量の制限

等価線量制限値

組織・臓器	1 週間	1 年間	生涯
骨髄	-	0.5	-
水晶体	0.5	2	5
皮膚	2	7	20
精巣	-	1	-

(単位:シーベルト)

放射線による障害が発生しないよう、組織ごとに線量制限値を定めている。



国際宇宙ステーション (ISS) 搭乗宇宙飛行士の 被曝線量の制限

線量制限値は、以下の放射線被曝を合算したものに適用する。

- (1) 宇宙飛行による放射線被曝
- (2) 地上における放射線業務による放射線被曝
- (3) 航空機による高々度飛行訓練における放射線被曝
- (4) ISS搭乗宇宙飛行士に特有の医学検査による放射線被曝
- (5) その他被曝管理責任者が必要と認めた放射線被曝



国際宇宙ステーション (ISS) 搭乗宇宙飛行士の 被曝線量の制限

飛行中止レベル(暫定)

現在、ISS参加各宇宙機関の調整において、次の飛行中止レベルが暫定的に合意され、Flight Rules (ISS飛行時の運用手順書) に盛り込まれている。

	30日間	1年間
骨髄等価線量	0.25	0.5

(単位:シーベルト)

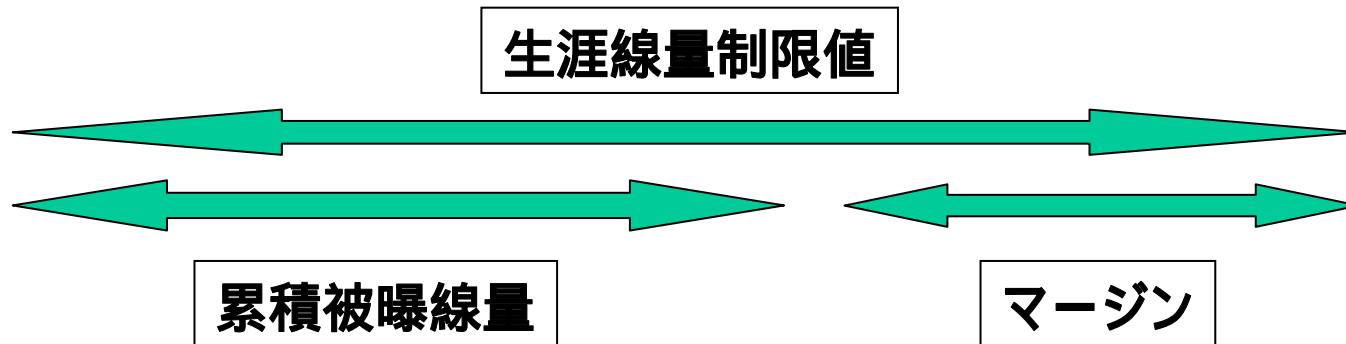
飛行中止レベルとは、値を超える被曝があったときに飛行中止が検討される基準であり、実際のISS飛行時には全宇宙飛行士がこの基準に従った被曝管理運用を受ける。

飛行中止レベルが守られていれば、1週間及び1年間の線量制限値を超えるような被曝はほぼない。



国際宇宙ステーション (ISS) 搭乗宇宙飛行士の 被曝線量の制限

ISS搭乗割当時の基準 (生涯線量制限値に対するマージン)

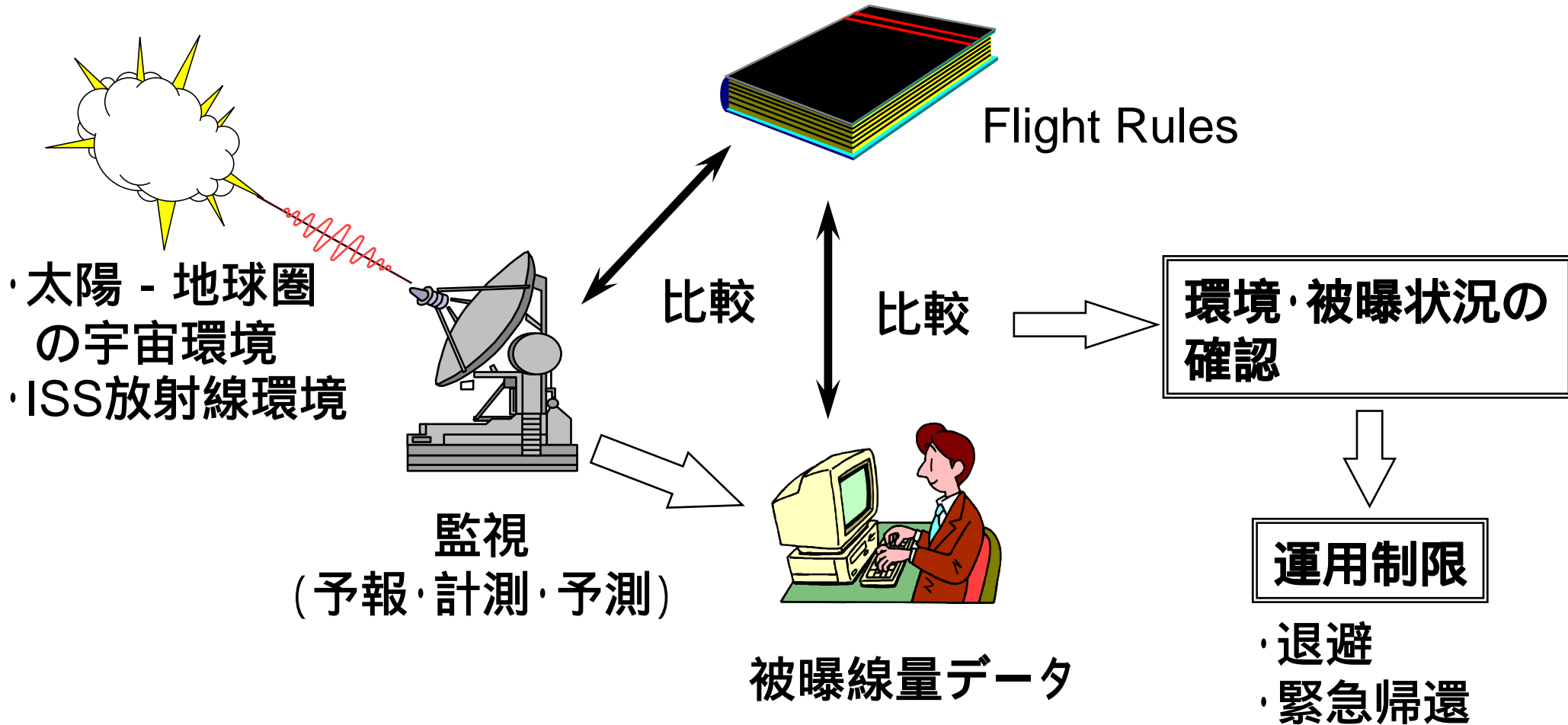


線量の種類	マージン	根拠
実効線量	0.5	実効線量と骨髄等価線量はほぼ等しい
水晶体等価線量	1.5	水晶体等価線量は骨髄等価線量の概ね3倍以内
皮膚等価線量	1.5	皮膚等価線量は骨髄等価線量の概ね3倍以内

(単位:シーベルト)



ISS飛行時の被曝管理運用の概要(案)





被曝管理運用に必要な太陽 - 地球圏の宇宙環境情報(案)

日本人宇宙飛行士がISSに滞在中、以下の情報を入手予定。

(独)情報通信研究機構による宇宙天気予報情報

米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) による太陽粒子現象警告の発令

静止軌道上での陽子 (10MeV以上、100MeV以上) フラックス情報

地磁気指標値

(米国コロラド州ボ - ルダー地磁気観測所で観測される、地磁気擾乱を示す値。)

放射線帯擾乱に係る情報(詳細未定)



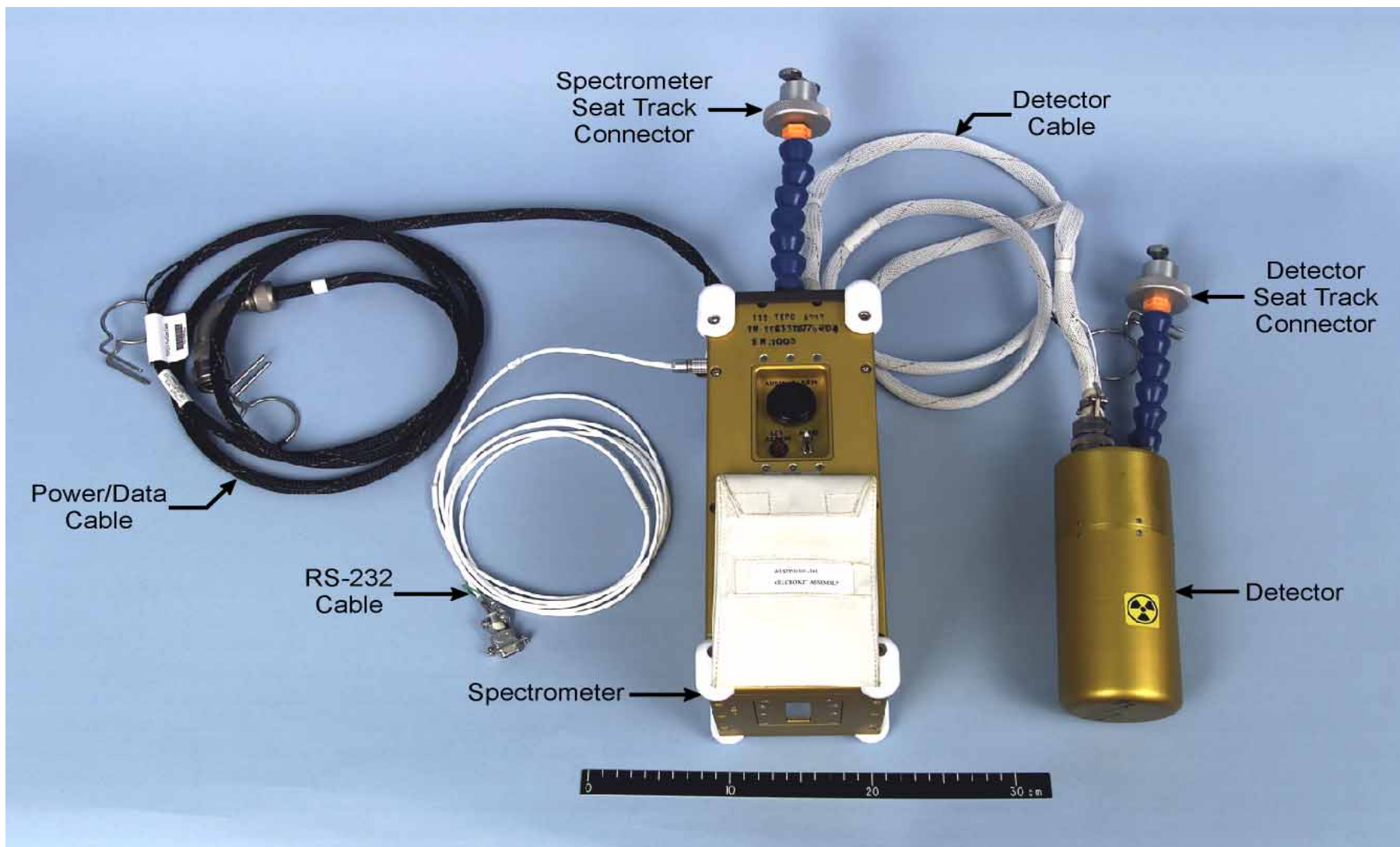
被曝管理運用に必要なISS放射線環境情報(案)

日本人宇宙飛行士がISSに滞在中、以下の情報をNASAより入手予定。

船内放射線計測機器からの実測データ

船外放射線計測機器からの実測データ

組織等価ガス比例計数管 (NASA)



船内荷電粒子エネルギー spektrometer (NASA)





船外荷電粒子エネルギー spektrometer (NASA)





被曝管理運用に必要な宇宙飛行士の 個人線量計情報(案)

- ・日本人宇宙飛行士がISSに滞在中、NASAの個人線量計を常時装着する。
- ・日本人宇宙飛行士が帰還後、NASAから個人線量計の解析結果を取得し、その情報をもとに個人被曝線量を計算する。





運用イメージ(案) ISS飛行中 - 通常時 -

24時間

自動(無人)作業

太陽 - 地球圏の宇宙環境情報、ISS放射線環境情報を準リアルタイムで入手。

Flight Rulesの警戒値を超えていないことを監視。

1日1回

作業者：被曝管理担当者

ISS放射線計測機器のデータから、現在までの宇宙飛行士の個人被曝線量を見積もる。

(独) 情報通信研究機構より太陽 - 地球圏の宇宙天気予報を入手。

ISS滞在終了までの個人被曝線量を予測。



運用イメージ(案) ISS飛行中 - 船外活動時 -

作業者：被曝管理担当者

24時間前

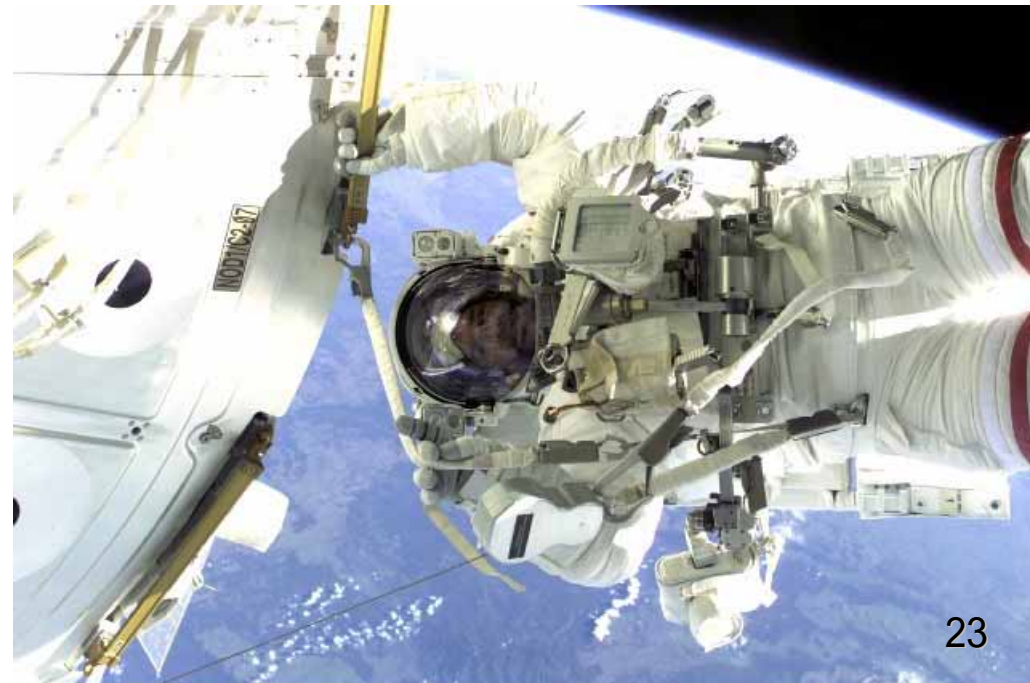
(独)情報通信研究機構から太陽-地球圏の宇宙環境情報の当該船外活動時間中の予報を入手。
船外活動線量予測値を求める。

船外活動中

宇宙環境及び宇宙飛行士の行動状況を常時監視。

船外活動後

船外放射線計測機器のデータから船外活動中の個人被曝線量を見積もる。

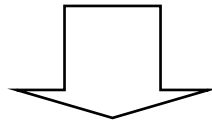




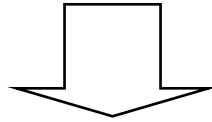
運用イメージ(案)

ISS飛行中 - 太陽 - 地球圏の宇宙環境、 ISS放射線環境異常時 -

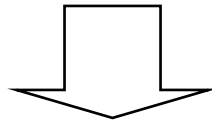
太陽 - 地球圏の宇宙環境、もしくはISS放射線環境のパラメータが、
Flight Rulesに定められた警戒値を超える。



自動監視を実施中のシステムから、警報発令



被曝管理担当者の携帯電話等へ自動で連絡

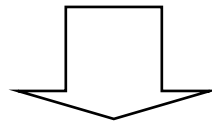


放射線量の増加が予測され危険な場合には、
被曝管理責任者等へ連絡、国際調整を行い、
遮蔽の厚い場所への退避等の措置を講じられるようにする。

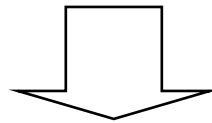


運用イメージ(案) ISS飛行中 - 放射線被曝状況異常時 -

ISS放射線計測機器のデータから見積もられた個人被曝線量、
または宇宙天気予報から予測された個人被曝線量が、
飛行中止レベルを超えたか、超えるおそれがある。



被曝管理担当者から被曝管理責任者等へ連絡



国際調整を行い、遮蔽の厚い場所への退避または
飛行中止等の措置を講じられるようにする。

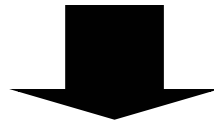


宇宙飛行士への教育訓練

目的：安全を基本とする姿勢を確立し、
危険防止に必要な情報を提供すること

6時間以上の時間数で教育訓練を行う。

- ・放射線防護に関する基礎知識
- ・放射線防護に関する実務知識



リスクの説明と同意(インフォームドコンセント)
ISS搭乗での放射線被曝により生じる、発がん等に係るリスク
について説明を行い、同意書を取得する。



ISS搭乗



宇宙飛行士の健康診断

**目的： 宇宙放射線被曝による放射線障害が発生していないことの確認
事故等により線量制限値を超える被曝があった場合の情報提供
ISS搭乗宇宙飛行士としての医学的適性の確認**

- 問診（被曝状況聴取）：ISS飛行後等
- 水晶体検査（白内障の有無を確認）：ISS飛行前後
- 皮膚検査（皮膚の異常の有無を確認）：ISS飛行前後
- 血液検査（造血能の確認）：ISS飛行前後
- 精子数検査（精子数減少の程度を検査）：希望に応じて
- 妊娠検査（妊娠していないことを確認）：ISS飛行前

上記の健康診断の結果により、放射線障害が発生した又はそのおそれがあると判断した場合は、ISS搭乗宇宙飛行士の健康の保持に必要な措置を講じる。



被曝管理関連業務の進捗状況

1. 国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被曝管理規程

一般からの意見も踏まえて最終的にまとめた「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被曝管理指針」を基に、平成15年4月、JAXA内規定として「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被曝管理規程」を制定した。

2. 宇宙放射線被曝管理地上支援装置の整備

2007年以降の日本人宇宙飛行士初のISS長期滞在までに、飛行中の放射線環境の監視及び被曝線量の計算を行う地上支援装置を整備するため、現在作業を進めている。