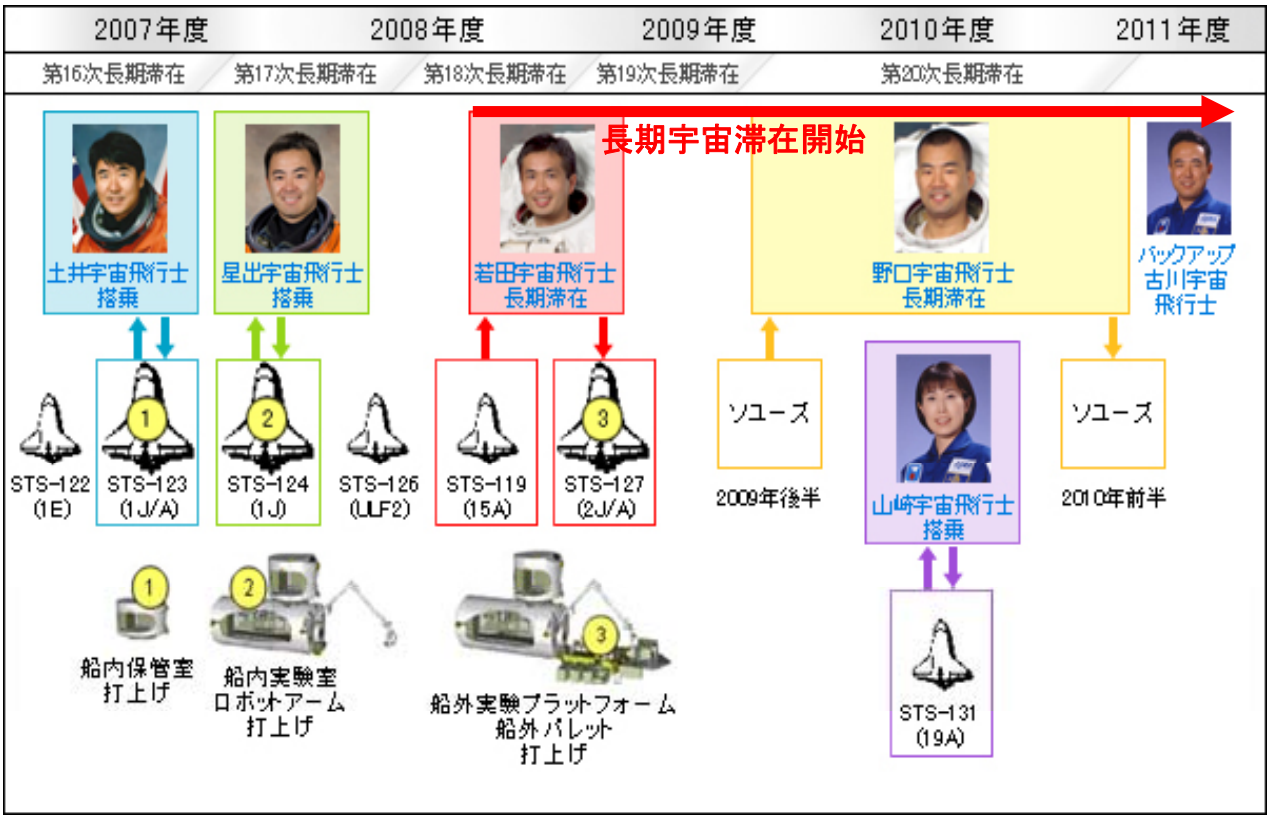
軌道上における
簡易型生体機能モニター装置の検証

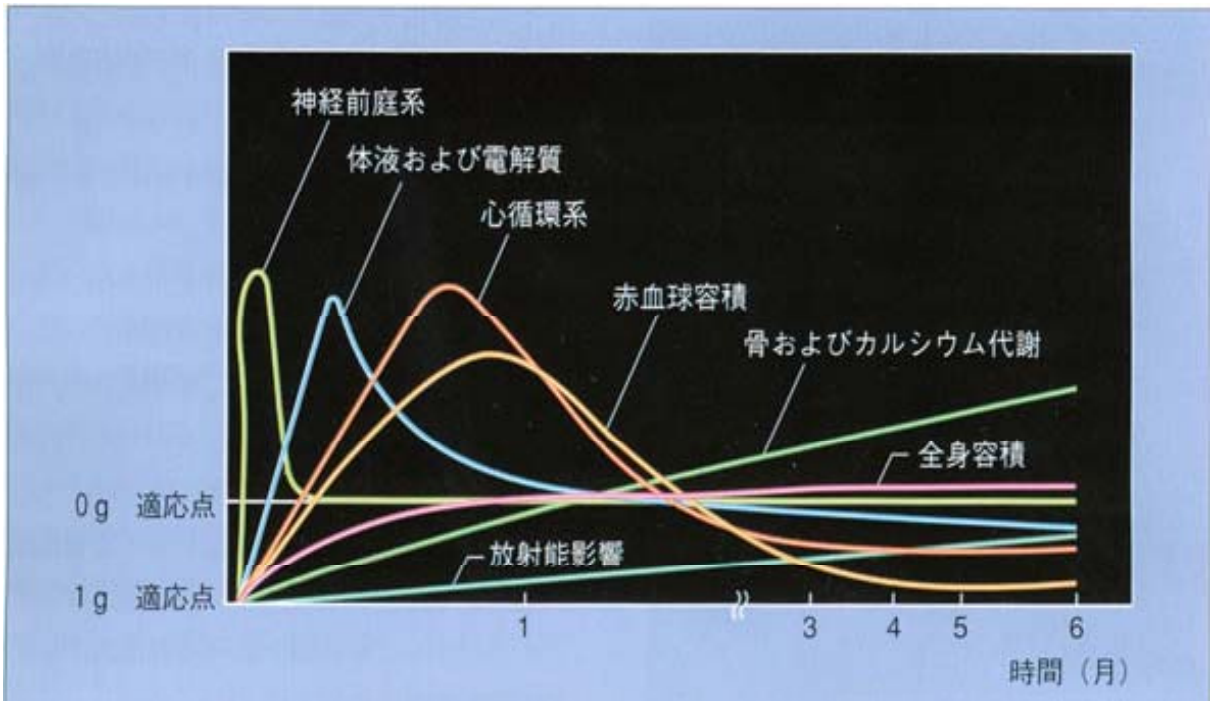
宇宙航空研究開発機構
有人宇宙技術部
大島博 、田山一郎 、石田暁 、水野康 、
坂田信裕、斎田俊明、向井千秋

若田飛行士の国際宇宙ｽﾃｰｼｮﾝ長期滞在時に実施する宇宙医学研究」ワークショップ
平成２１年２月４日（水） 日本橋ｻﾝｽｶｲﾙｰﾑ Ｊ室

日本人宇宙飛行士の搭乗計画



宇宙における生体の変化
(Space Medicine by A. Nicoggocian)

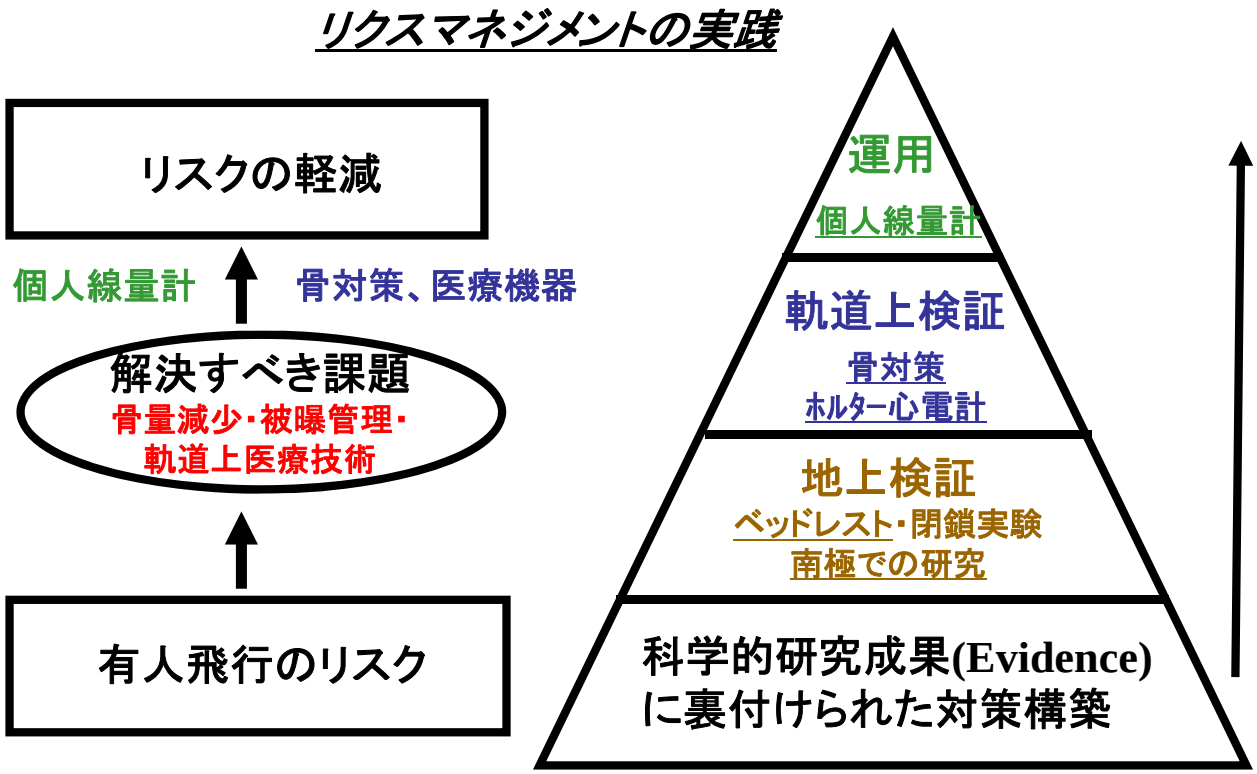


短期飛行では、宇宙酔いや体液シフトへの対応
長期飛行では、骨量減少・放射線被曝管理・遠隔医療がより重要

宇宙医学研究の最重要研究課題

生理的対策	・薬剤を用いた骨量減少・尿路結石対策 ・効果的な運動器具・トレーニング法
精神心理支援	・精神心理的な適応の評価法 ・多文化適応訓練法
放射線被爆管理	・バイオドジメトリ ・受動型個人線量計
軌道上医療システム	・簡易生体機能モニター装置 ・自動診断機能のある搭載用医療機器
宇宙船内環境	・船内環境モニタリング

リスク軽減をめざす宇宙医学研究



宇宙医学研究の戦略

技術成熟度

シャトル期 | ISS/JEM期 | POST-JEM期

9
8
7
6
5
4
3
2
1

予防医学フェーズ

- 軌道上医療機器開発
- 効果的な薬剤活用
- 診断法・治療法の開発

治療医学フェーズ

- 軌道上の医学運用経験
- 地上からの遠隔医療システム構築
- 軌道上初期治療の確立
- 宇宙生活支援品

自立医療フェーズ

- 超長期ミッション クルーの健康管理
- 宇宙での自立的医療（宇宙病院）
- 宇宙旅行の大衆化を支える宇宙医学

現在 | 10年後 | 20年後

有人宇宙活動からのスピンオフ

長期宇宙滞在の生理対策技術
骨量減少対策
筋萎縮対策

長期ﾍﾞｯﾄﾞﾚｽﾄによる検証

→ **予防医学の実践**
健康増進への活用
予防医学の啓発

長期宇宙滞在の精神心理支援
心理ﾘｽｸ管理
ストレス耐性訓練

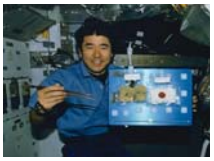
長期閉鎖実験による検証

→ **精神心理的健康の維持と予防**
作業環境の円滑化
（対人関係や士気の維持）

軌道上の遠隔医療技術
HDTVの活用
小型医療機器

→ **地上の遠隔医療**
遠隔医療システム
在宅医療、僻地医療

宇宙食
宇宙日本食の開発



→ **病院食への応用**
病院食や非常食、ごみの少ない容器

NASA有人宇宙活動からの波及例

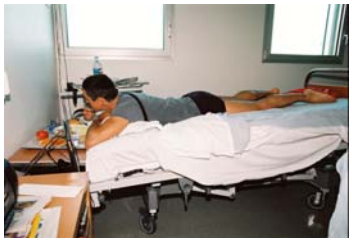
- ●診断装置
  - ➢赤外線式体温計
  - ➢錠剤型体温計
- ●小型治療法
  - ➢双方向ﾃﾚﾒﾄﾘ
  - ➢ペースメーカー
- ●軽量/小型/携帯装置
  - ➢ﾊﾟｰｿﾅﾙｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ
  - ➢冷却スーツ
  - ➢コードレス製品
- ●その他
  - ➢食品加工管理（HACCP）
  - ➢空気/排水浄化システム

骨量減少対策と社会貢献

（1）有人宇宙開発
・宇宙飛行では大腿骨の骨密度は毎月約1.5%減少し、骨折や尿路結石のリスクが高まる。
・骨吸収抑制剤を飛行前投与すれば、骨量減少・尿路結石を予防できる

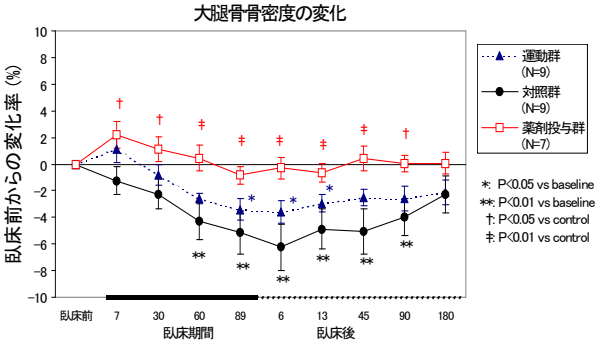
（2）社会貢献・経済効果
（骨粗鬆症学会誌Osteoporosis Japanより）
・平均寿命上昇に伴い骨粗鬆症患者の増加
・骨粗鬆症患者1,200万人、年間12万人が大腿骨頚部骨折（医療費150万円/1人）、3年以内に30%が死亡、社会復帰まで約3か月間
・骨折に伴う医療・介護費用は6,657億円/年

・宇宙での骨量減少対策の成果を、地上の骨粗鬆症の予防啓発に活用すれば、健康寿命拡大と医療費削減に寄与できる。



国際共同ベッドレスト研究

90日間の臥床で大腿骨骨密度は減少するが、事前の薬剤投与により骨量減少を予防できる



軌道上遠隔医療と社会貢献

（1）有人宇宙開発
・無拘束、無侵襲的に、飛行士のバイタルサインを測定
・業務を阻害することなく、地上から健康管理と疾病予防を行う

（2）社会貢献・経済効果
（健康日本21より）
・生活習慣病予防で2.8兆円削減（厚労省試算）
・遠隔医療の普及は、家庭での健康管理が啓発され、医療費削減に大きく寄与できる。

・遠隔医療で平均血圧5mmHG低下（鎌田報告）
・仮に、国民の平均血圧が2mmHg低下すれば
→約286億円の医療費削減
脳卒中発症者は19,757人減少
脳卒中死亡者は1万人減少
循環器疾患全体死亡者は2万人減少

・ユビキタスセンサー技術の活用
→老人医療費を6,002億円削減

指輪型酸素モニター

ハイビジョンカメラ

24時間心電図

腕時計型血圧計

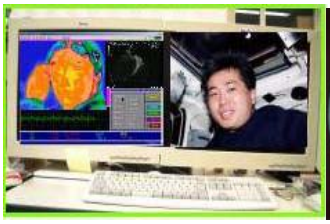
軌道上

医療機器の搭載化（医学情報）

HDTVカメラ（映像音声情報）

地上

遠隔医療・健康管理への活用



JAXA遠隔医療の経緯

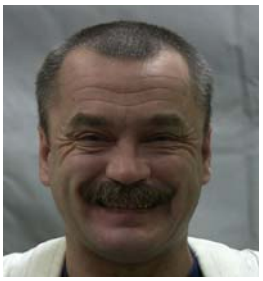
毛利飛行士のシャトルフライト

・バックパックに搭載した生体モニター（心電図、脈拍、呼吸数）情報を、赤外線で受信機に飛ばす（関口千春PI）

STS-65, 1992

高精細度テレビカメラによる視診および心理適応評価

・HDTVカメラを用いてロシア人飛行士の視診や、心理的状態を評価する（宮本晃PI）



ISS, 2001-2002

↓

軌道上における簡易型生体機能モニター装置の検証

・小型24時間心電図(ホルター心電計)と遠隔皮膚画像 (HDTVカメラ)を取得し、ダウンリンクさせて評価する（向井千秋PI）

ISS, 2009

搭載用医療機器の課題とJAXAの取り組み

搭載用医療機器の課題

・米ロ製のものがほとんど

・JAXAの搭載機器はない

・大型から小型機器への更新

ISS初期に搭載された除細動器

→

2008年に搭載された除細動器

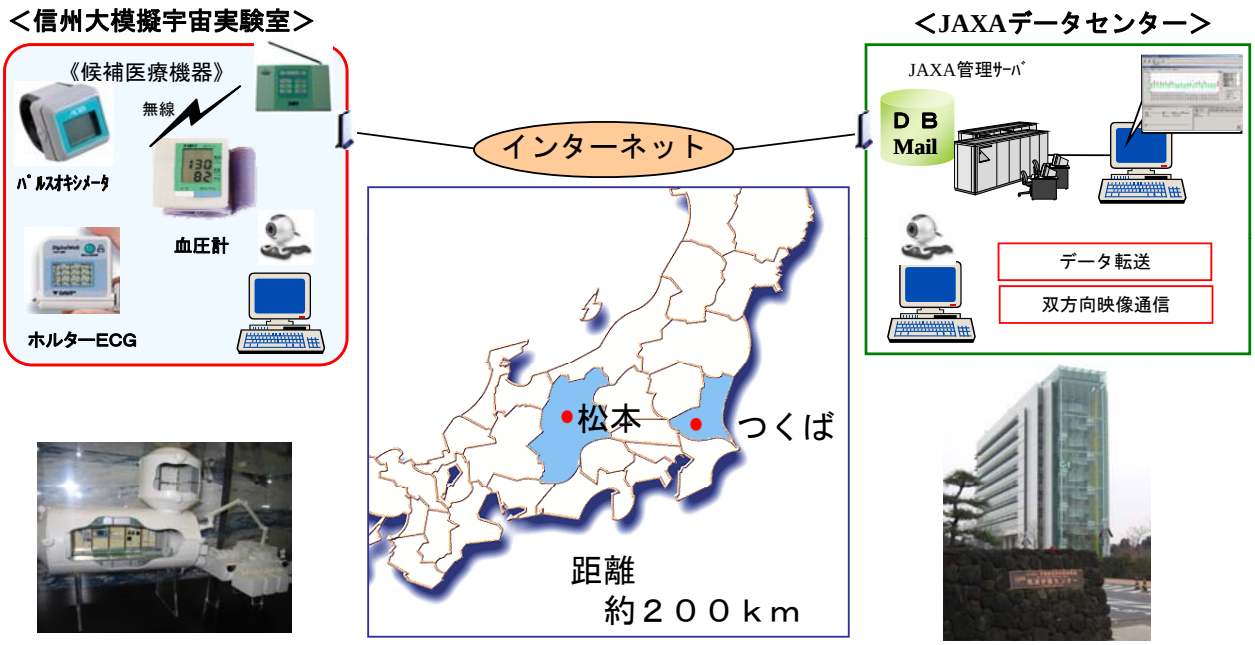
→

JAXAの取り組み

・日本製の医療機器をISSに搭載し、飛行士の健康管理・宇宙医学研究に役立てる

・以下の特性を備える医療機器
　小型、高機能、易操作性、
　自動診断機能、他国より優れる

地上検証実験
（筑波宇宙センターと信州大学間のデータ伝送実験）



ホルター心電計は、24時間のデータ取得・データ伝送、機器操作に問題なく、循環・自律神経評価に有益で、搭載性の技術要求に適合することを確認

研究の目的と概要

1．目的

ホルター心電計とHDTVカメラの軌道上運用を検証し、以後の遠隔医療（健康管理、宇宙医学研究）を充実させる 。

2．概要

（方法）

①長期宇宙滞在する宇宙飛行士の24時間連続心電波形をホルター心電計で記録し、データをダウンリンクさせる。

②HDTVカメラを用いて、電極装着部位確認と電極取り外し後の皮膚遠隔診断を試みる。

（データ取得）

飛行前1回、飛行中2回、飛行後1回

使用する日本製器材

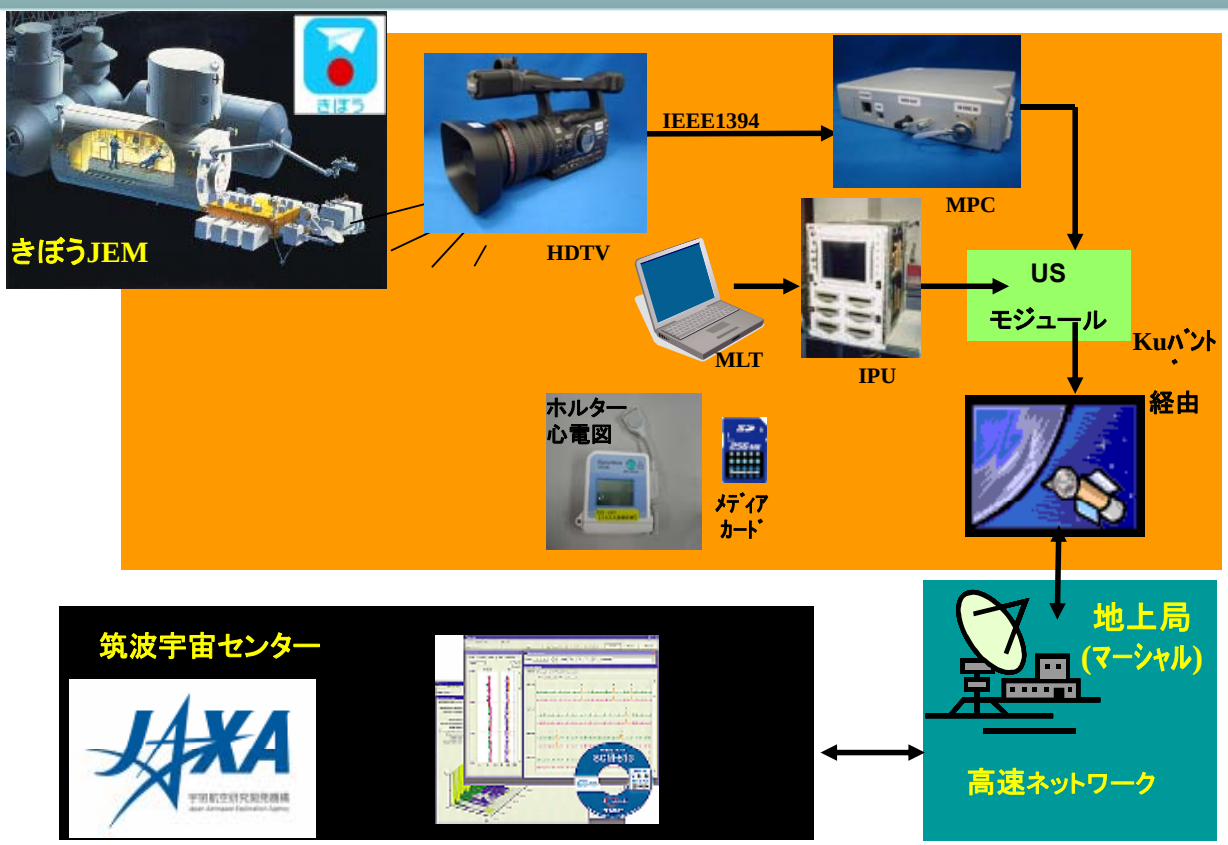
デジタルホルター心電計

・小型（65（W）x18（D）x62（H）mm）
・軽量（78g）、耐水性、易操作性
・PCでデータ送信可
・自動解析ソフトで、虚血性変化、
　不整脈、自律神経機能評価が可能

HDTVカメラ

・10Aフライトで搭載ずみ
・画像素子3CCD
・最小照度0.4ルクス
・約2.3kg（本体のみ）
・16.3×18.9×35.0cm

データのダウンリンク



軌道上検証の準備

（1）実験計画の承認
- 科学審査：国際公募で採択
  有人サポート委員会研究推進分科会
- 倫理審査：JAXA，NASA，国際倫理委員会
- プログラム審査：JAXA本部会議

（2）実験運用準備
- 宇宙飛行士：説明と同意の取得
  飛行士訓練
- 実験運用：　<u>運用手順書</u>
  <u>利用/補給要求</u>
- 搭載機器：　<u>安全審査</u>

実験手順書の準備

2.001 DIGITAL WALK HOLTER ECG PREPARATION AND RECORDING START
(HOLTER ECG/15A/BAS/Payload/HC)　Page 5 of 15

3. PREPARATION OF DIGITAL WALK HOLTER ECG

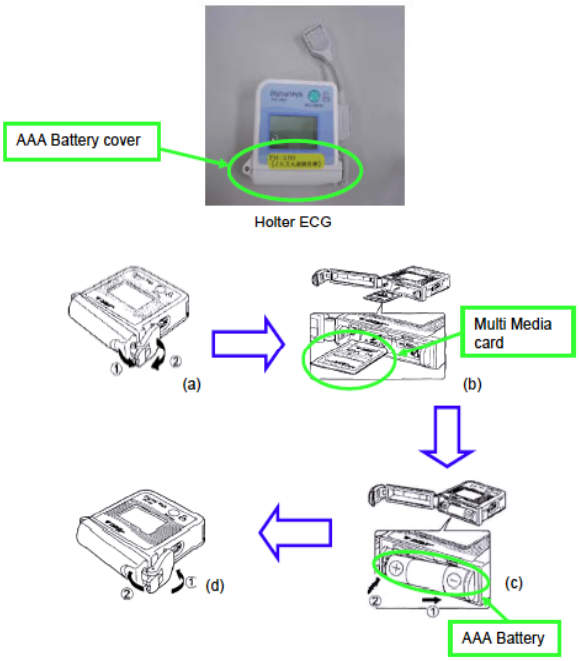


Figure 2.- Multi Media Card and AAA Battery insertion to Digital Walk Holter ECG

2.001 DIGITAL WALK HOLTER ECG PREPARATION AND RECORDING START
(HOLTER ECG/15A/BAS/Payload/HC)　Page 6 of 15

Holter Soft Bag	3.1	Remove Digital Walk Holter ECG from Holter Soft Bag.
Digital Walk Holter ECG	3.2	Unlock AAA Battery cover of Digital Walk Holter ECG. Refer to Figure 2 (a).
		√No Multi Media Card inside Digital Walk Holter ECG Refer to Figure 2 (b).
		Remove Multi Media Card from Multi Media Card case. Stow Multi Media Card case into Holter Soft Bag.
	3.3	Insert Multi Media Card to Digital Walk Holter ECG until it is latched. (Place the label face up.) Refer to Figure 2 (b).
	3.4	Insert AAA Battery to Digital Walk Holter ECG. Refer to Figure 2 (c).
	3.5	Lock AAA Battery cover of Digital Walk Holter ECG. Refer to Figure 2 (d).

利用要求と補給/保全要求

利用要求：クルー時間、電力量、時間、ダウンリンク容量など、各活動毎の要求

補給/保全要求：打ち上げ・回収・保管・廃棄するアイテム、個数、容量、重量、保管条件等の要求

・これらは、国際間調整を通じて承認を得ていく。
・打ち上げスケジュール変更に伴い、その都度修正が必要となる。

利用要求の例

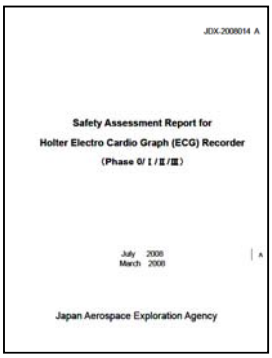
シーケンス番号				1				2	3					
シーケンス名				準備作業（セッション1）				計測（セッション1）	後作業（セッション1）					
アクティビティ番号				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
アクティビティ名				取付し（Holter ECG+HDTV）	HDTV準備、服装	HDTV撮影、Holter ECG装着	着衣、片付け	計測開始～計測終了	MPC取付し、準備 *1	HDTV準備、服装	Holter ECG取外し、HDTV撮影	HDTVデータ巻き戻し、着衣、PC立上げ、MPC立上げ	データダウンリンク（HDTV）心電データ圧縮、ダウンリンク	収納（Holter ECG、MPC立ち下げ *2）
実施時間			min	5min	10min	10min	5min	24H	10min	10min	5min	5min	15min	5min
実施フェーズ														
クルー人数			-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
クルータイム	クルー1		min	5min	10min	10min	5min	0	10min	10min	5min	5min	15min	5min
	クルー2		min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	クルー3		min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
電力	UP	電力	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		時間	min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		電力量	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UDP	電力	W	-	-	50W	-	-	-	-	50W	110W	110W	-
		時間	min	-	-	10min	-	-	-	-	10min	5min	15min	-
		電力量	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

搭載機器の安全性確認

搭載機器のハザードを識別し、安全基準要求を満たすことを確認

搭載性試験
・一般検査（外観、シャープエッジ）
・オフガス試験
・機能試験（バーンイン）
・可燃性評価
・電磁適合性試験
・温度サイクル試験
・減圧/加圧試験
・振動試験

SAR

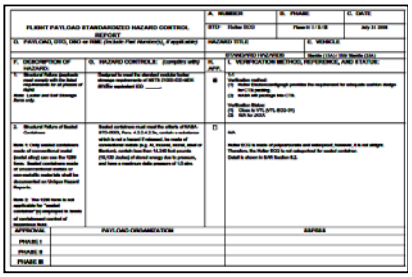

JDX-2008014 A

Safety Assessment Report for
Holter Electro Cardio Graph (ECG) Recorder
(Phase 0/Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ)

July 2008
March 2008

Japan Aerospace Exploration Agency

ハザード評価表


FLIGHT PAYLOAD STANDARDIZED HAZARD CONTROL REPORT

安全評価レポート
（Safety Assessment Report）
の作成

→

JAXA，およびNASAの
安全審査委員会での審査

結果：承認（平成20年8月）

デジタルホルター心電計

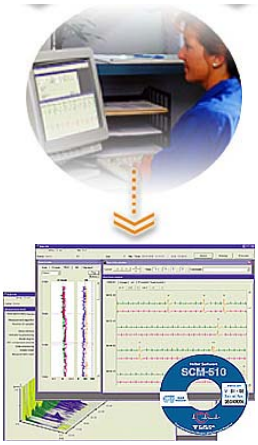
デジタルホルター心電計
65(W)x18(D)x62(H)mm 、
78g

Multi Media Card

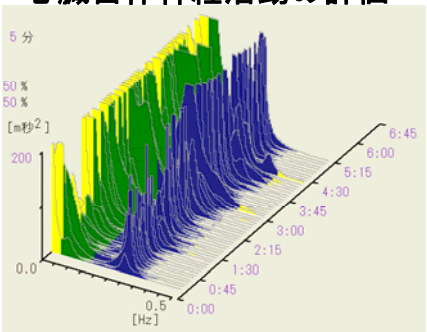
小型、軽量、耐水性、
PCでデータ送信可、
自動解析ソフト

↓

・不整脈
・虚血変化
・自律神経機能評価

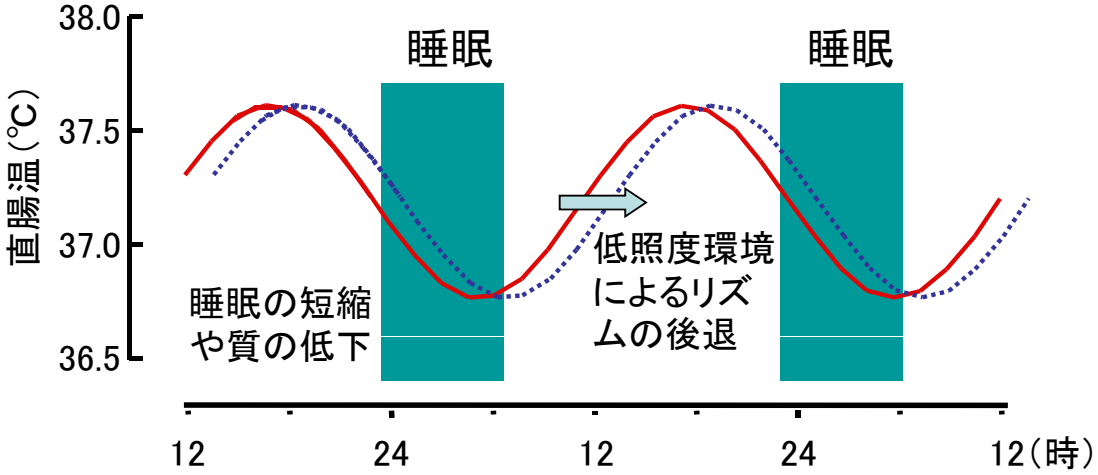


心臓自律神経活動の評価



ヒトの生体リズムの変調

ー体温・交感/副交感神経・睡眠/覚醒リズムへの影響ー



○低照度環境である宇宙では、長期滞在時に最大2時間の体温リズムの後退や睡眠時間の短縮等が報告されている。
(Gundel A, et al, 1997他)

○南極の越冬時にも、睡眠時間の短縮や、特に白夜となる冬季に睡眠の質的な低下が認められている。
(Bhattacharyya M, et al, 2008)

研究の意義と今後の計画

研究の意義

ヒトの昼夜の体内リズムは、毎朝明るい光を浴び24時間周期になっている。
ISSでは室内照明のみ、南極では季節により日照時間が変動するため、両者とも自律神経活動や睡眠覚醒などの体内リズムが変調することが 予想され、その実態解明と対策に役立てる。

長期宇宙滞在時の
医学運用・医学研究

昭和基地隊員の医学研究
（極地研との共同研究）

今後の計画

①健康管理運用

動悸や打撲時の遠隔医療の実践（循環機能や皮膚局所診断）に活用する。

②宇宙医学実験

次フライトより、長期宇宙滞在が概日リズム（自律神経機能）に及ぼす影響に関する宇宙医学研究を計画する。さらに、日本南極地域観測隊員を被験者とする研究（JAXAと極地研との共同研究）と一緒に、宇宙での長期滞在と南極越冬生活における健康管理技術の向上に役立てる。

まとめ

1）若田フライトで計画する遠隔医療実験の概要、および実験準備を紹介した。

2）本軌道上検証で、ホルター心電計と皮膚遠隔診断の運用の実用性が確認できれば、以後の宇宙医学研究や健康管理の運用に活用したい。

3）宇宙実験は、多くの準備作業（文書作成・審査）とスケジュール変更に伴う修正対応が必要であり、多くの実験運用関係者により支えられている。

謝辞

・信州大学
　・村瀬澄夫
　（前遠隔医療学会会長
　　現東員病院認知症疾患センター院長）
　・坂田信裕、斎田俊明、宇原久
・JAXA
　・泉龍太郎、 井上夏彦（有技部）
　・村上敬司、高橋　晋平（利用センター）
・SED、JAMSS
　・児崎章、甲斐雅一、渡辺吉男、松尾隆
　　川口聡、永田秀樹、岡田くにこ、志村譲二