

シャトル／ミールミッション6号機における 宇宙放射線環境計測計画 及びスペースハブ利用蛋白質結晶実験の実施について

平成9年4月16日

宇宙開発事業団

1. 計画の概要

宇宙開発事業団（NASDA）は国際宇宙ステーション計画の組立て及び運用のリスク低減を目的に米露が実施しているシャトル／ミールミッション6号機（S/MM-6）の飛行機会を利用し、宇宙放射線環境計測技術の開発及び宇宙放射線環境データの蓄積を目的とした宇宙放射線環境計測、及び宇宙環境を利用した実験技術の習得を目的とした蛋白質結晶実験を実施する。

2. 打上げ日時等

飛行番号	STS-84（オービター名 アトランティス）
打上げ（予定）	平成9年5月15日午前4時07分（米国東部夏時間） 平成9年5月15日午後5時07分（日本標準時）
着陸（予定）	平成9年5月24日午前7時52分（米国東部夏時間） 平成9年5月24日午後8時52分（日本標準時）
飛行期間	9日間
搭乗員	コマンダー（船長） チャールス・プリコート 他6名 （うち1名はミール搭乗員と交代）

なお、日程については打上げ2週間前にNASAが正式に決定する予定。

3. 実験の概要

3. 1 宇宙放射線環境計測計画

シャトル／ミールミッション6号機における宇宙放射線環境計測計画の代表研究者、実験テーマ、実験概要を表-1に示す。

宇宙放射線環境計測は平成4年1月の国際微小重力実験室（IML-1）計画以降NASDAが継続して実験している。シャトル／ミールミッションにおいても4号機（平成8年9月）で実施し今回が2回目の飛行実験である。今後の計画も含めこれらの一連の実験計画を表-2に示す。

3. 2 蛋白質結晶実験

蛋白質結晶実験の代表研究者、実験テーマ、実験概要を表-3に示す。

4. 実施計画

シャトル／ミールミッション6号機に於ける実験実施計画を別添資料に示す。

表-1 シャトル／ミールミッション6号機における宇宙放射線環境計測計画 実験テーマ一覧

	代表研究者	実験テーマ	実験概要
1	道家忠義 (早稲田大学)	宇宙放射線に対する実時間線量計測	宇宙船内におけるプロトンから重粒子までの入射粒子によるLET(線エネルギー付与)分布をリアルタイムで計測し、線量等量を正確に推定する。低LET粒子も計測可能な、新たに開発したRRMDIII型を用いて、0.2から100keV/μmの範囲のLET粒子を観測する。宇宙ステーション時代に向けて、宇宙放射線環境を実時間で計測する手法を確立する。
2	古澤寿治 (京都工芸繊維大学)	カイコの胚の発生と分化に及ぼす宇宙放射線の影響	カイコの胚を用いて、微小重力や高エネルギー宇宙重粒子線による生体への影響を、その後の発生過程における形質の発現を指標として遺伝学的に研究する。発生初期、および休眠中の卵を宇宙放射線、微小重力環境に曝し、地上帰還後、回収した胚の孵化率、奇形の発生、次世代での突然変異の発生について調べる。放射線に感受性の高い受精卵や生殖細胞等に対する影響を生物サンプルとして研究が進んでいるカイコによる実験結果から解明する。
3	原田和樹 (PL学園女子短期大学)	宇宙放射線が与える大腸菌突然変異細胞への影響	大腸菌細胞、及びプラスミドDNAを用いて、生体に対する宇宙放射線の影響を分子遺伝学の観点から調べ、また、微小重力環境が大腸菌細胞の遺伝子修復反応へ与える影響を調べる。大腸菌の突然変異細胞とプラスミドDNAを宇宙船内に搭載し、回収後に生存率、突然変異誘発率、DNA塩基配列上の変異を調べる。また遺伝子に傷害を受けた大腸菌を船内で培養し遺伝子の修復反応を調べることにより微小重力環境が遺伝子修復反応に与える影響が地上と異なるかどうかを調べる。S/MM-4においては、サンプルの事前処理をガンマ線で実施したが、今回は重粒子線を模擬するために炭素イオンビームを用いた。
4	大西武雄 (奈良県立医科大学)	細胞性粘菌の遺伝子損傷による生物影響	原始的かつ単純な有核生物である細胞性粘菌を用いて、微小重力環境あるいは宇宙放射線がそれぞれ生物の分化形態形成に対しどのような影響を与えるか解明する。放射線感受性、非感受性細胞性粘菌胞子を船内環境に曝し回収後に発芽率、突然変異率を調べる。また粘菌胞子を船内で発芽さらに生育させて粘菌の成長・分化過程に及ぼす軌道上環境影響を解明する。
5	富田二三彦 (通信総合研究所)	宇宙放射線環境データのリアルタイム交換実験	太陽観測、静止衛星軌道での宇宙環境データとRRMDのデータをリアルタイムで比較し、さらに飛行後のデータ解析により宇宙環境の変動予測の研究に資する。飛行中はリアルタイムで宇宙空間のさまざまな場所における宇宙放射線の様子を表示する。飛行後は総合的な解析を行い、地球周回軌道上と太陽から地球までの宇宙環境の変動との間にどのような因果関係にあるか解明する。S/MM-4に引き続き実施し、宇宙放射線環境データの蓄積を図る。

表-2 宇宙環境利用における宇宙放射線環境計測

ミッション	IML-1	FMPT	IML-2	S/MM4	S/MM6	S/MM8	S/MM9	JEM (想定)
実施時期	1992.1	1992.9	1994.7	1996.9	1997.5	1998.1	1998.5	2001年以降
○線種 - 荷電粒子 • 重粒子 • 陽子線等 - 中性子線	○ △ ×	○ △ ×	○ × ×	○ × ×	△ ○ ×	△ ○ ○ (10Mev Max)	○ ○ ×	○ ○ ○
○LET分布 (Kev/ μ m)	1.5~100	1.5~100	5~400	3.5~400	0.2~100	0.2~100	0.2~100 3.5~400	0.2~100 3.5~400
○高度 (Km)	300	300	300	400	400	400	400	400
○傾斜角 (度)	57	57	28.5	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6
○リアルタイム性	無	無	有	有	有	有	有	有
○フライト期間 (日)	8	8	15	10	10	10	10	10~15年
○太陽活動	大	中	小	ほぼ下限	小	中	大	2000年頃ピーク
解析時間	数カ月	数カ月	10分	10分	10分	10分	10分	10分
実施方法	国際協力	日本独自	NASAとの 共同研究	NASAとの 共同研究	NASAとの 共同研究	NASAとの 共同研究	NASAとの 共同研究	国際協力
生物実験	実施	実施	実施	実施	実施	実施	実施	実施

(注) ○：計測可能、 △：一部の範囲で計測可能、 ×：計測不可

表-3 スペースハブ利用蛋白質結晶実験 テーマ一覧 (1/2)

	代表研究者	実験テーマ	実験概要
1	相原茂夫 (京都大学食糧科学研究所)	タンパク質結晶化に及ぼす微小重力の影響と利用に関する研究	タンパク質結晶成長に及ぼす微小重力の影響について検討し、同時に微小重力環境を利用して地上で得られる蛋白質結晶より高分解能のX線構造解析データが収集できるタンパク質単結晶を調製する。 1) ニワトリ卵白リゾチーム 2) ヒト尿トリプシンインヒビター
2	裏出良博 (大阪バイオサイエンス研究所)	プロスタグランジンD合成酵素の結晶構造解析	蛋白質X線結晶構造解析に用いることができるような結晶を微小重力下で得る。プロスタグランジンD合成酵素の結晶構造およびその活性中心の解析を行うことにより、プロスタグランジン類の共通前駆体であるPGH2の異性化反応機構を解明する。
3	梶山直樹 (キッコーマン(株))	ゲンジボタルルシフェラーゼの結晶化	微小重力環境下において、高分解能のX線構造解析が期待できる良質の結晶を作製する。あらかじめ地上(重力環境下)において、短時間で結晶化する条件を検討する。微小重力環境下において、地上で決定した条件を用いルシフェラーゼを結晶化させる。
4	高妻孝光 (茨城大学 理学部)	プラストシアニンの電子移動反応機構に関する分子科学的研究	光合成系の電子伝達蛋白質であるプラストシアニンの低モザイク性をもつ地上での結晶よりも大きく、光学的透明度の高い結晶を微小重力下で作成する。植物及びシアノバクテリアの光合成系で電子伝達体として機能するプラストシアニンをスペースシャトルに搭載し、微小重力下において高品位の単結晶を得る。
5	田中 勲 (北海道大学大学院 理学研究科)	微小重力下で作製した結晶を使った多波長異常分散法	微小重力下で作製した結晶は、地上で作製したものに比べて、結晶内での分子配向の乱れが少なく、より高分解能の回折が得られるという見解を検証する。微小重力下にてマクロファージ遊走阻止因子(MIF)の結晶化を行い、その異常分散項の測定を中心に、作製した結晶の評価を行う。

表-3 スペースハブ利用蛋白質結晶実験 テーマ一覧 (2/2)

	代表研究者	実験テーマ	実験概要
6	田之倉優 (東京大学 生物生産工学センター)	プロテアーゼとプロテアーゼインヒビターの微小重力条件下の結晶化とX線構造解析	クロコウジカビ酸性プロテアーゼAとオリザシスタチンを用いて、微小重力環境下で良質な蛋白質単結晶を得て、高分解能での構造解析を行う。
7	新村信雄 (日本原子力研究所 先端基礎研究センター)	ニワトリ卵白リゾチームの微小重力下での結晶溶解速度	地上において最も結晶成長メカニズム研究のための基礎データがそろっている卵白リゾチームを用いて、微小重力下での蛋白質溶解データを得る実験を行う。結晶成長と結晶溶解は平衡状態にあり、結晶溶解速度は測定しやすいので、これを微小重力下で測定する。
8	藤田省三 (富士通研究所)	リボヌクレアーゼSの結晶多形における微小重力環境の影響の解析	リボヌクレアーゼSの結晶多形を対象として、結晶成長溶液の組成と微小重力場ならびに地上で成長させた結晶のX線回折データとの関連を解析し、微小重力環境の影響を解析する。これにより、微小重力場で結晶の大きさや質が改善される原因を探るとともに、地上においてよりよい結晶を成長させるための情報を得ることが可能になる。
9	三木邦夫 (京都大学大学院 理学研究科)	生物学上重要なタンパク質の結晶分解能・結晶性向上のための微小重力利用	蛋白質(シャペロニンなど)の結晶化を宇宙空間を利用して、微小重力下で行う。微小重力での結晶化において、分解能・結晶性に改善が見られる可能性を期待できる。対象とする蛋白質は、今その立体構造解明が待たれている生物学的に重要な役割を果たすものである。
10	森山英明 (東京工業大学 生命理工学部)	タンパク質の物性と生物の進化の関連を研究するための基礎的結晶化実験	生物の進化に対して、蛋白質の物性がどのように影響してきたかを調べるために蛋白質の構造解析を行う。宇宙での結晶化の有効性の評価と構造解析の結果からの進化についての考察を行う。蛋白質を地球周回軌道上で結晶化し、地球へ帰還後直ちに回折データを測定する。また、平衡濃度の設計値(地上実験実績)と微小重力下実験実績値の比較を行う。

シャトル／ミールミッション6号機における
宇宙放射線環境計測計画

および

スペースハブ利用蛋白質結晶実験
に関する搭載実験実施計画書

平成9年4月

宇宙開発事業団

目次

頁

1.	概 要	.....
1. 1	緒 言	.....
1. 2	S T S - 8 4 におけるミッション計画の概要	.....
1. 3	我が国の搭載実験の目的	.....
1. 4	搭載実験の実施機関	.....
1. 5	搭載実験の実施責任者	.....
1. 6	NASDA実験システムの名称	.....
1. 7	輸送システムの名称	.....
1. 8	スペースシャトル搭乗員名	.....
1. 9	実施日時及び飛行期間	.....
2.	打上げ及び実験運用計画	.....
2. 1	打上げ及び実験運用の実施場所	.....
2. 2	搭載実験の実施組織	.....
2. 3	打上げ・飛行・帰還の概要	.....
2. 4	実験運用計画	.....
3.	安全管理	.....
4.	関係機関等への情報の提供	.....
4. 1	関係機関	.....
4. 2	テーマ提案機関、代表研究者	.....
4. 3	報道関係	.....

図一覧

- 図-1 輸送システム（スペースシャトル／スペースハブ）
- 図-2 NASA施設の所在地
- 図-3 運用隊組織
- 図-4 打上げシステムの配置の概要図
- 図-5 NASDA RRM Dデータ伝送システム
- 図-6 RRM D装置外観、仕様、センサー断面
- 図-7 蛋白質結晶実験装置の外観
- 図-8 実験スケジュール

表一覧

- 表1 S/MM-6 ミッションの飛行計画の概要
- 表2 シャトル／ミールミッション6号機における宇宙放射線環境計測
計画 実験テーマ一覧
- 表3 スペースハブ利用蛋白質結晶実験 テーマ一覧

1. 概要

1. 1 緒言

本実施計画書は、国際宇宙ステーション計画のリスク低減を目的とした、シャトル・ミールミッション6号機(以下「S/MM-6」という。)での宇宙ステーション軌道における宇宙放射線環境の計測及びスペースハブ利用蛋白質結晶実験に関し、スペースシャトル84号機(以下「STS-84」という。)の打上げから、実験運用の実施、スペースシャトルの帰還までの搭載実験の実施計画について記述する。

1. 2 STS-84におけるミッション計画の概要

(1) シャトル/ミールミッション

シャトル・ミールミッションは、米露が国際宇宙ステーション計画参加各宇宙機関の協力を得て平成7年6月から平成10年5月までの間に、ミールへの9回のスペースシャトルの飛行により構成される国際宇宙ステーション計画・フェーズIの一環として行われる。

本ミッションの目的は以下の通りである。

- ・宇宙ステーションの開発、運用、利用に対するリスク低減のための経験の蓄積
- ・宇宙飛行士の長期滞在と医学サポートのための課題識別
- ・宇宙ステーション利用に先立って必要な技術開発の実施
- ・ミールへの生活物資の補給

具体的には、微小重力、環境計測、ランデブー・ドッキング、船外活動・組立、および搭乗員健康管理・環境制御生命維持システム(ECLSS)の5分野で20の実験テーマが計画されている。これまでにシャトル/ミールミッション1～5回までの実験が実施されている。

(2) スペースハブ利用ミッション

スペースハブ利用ミッションは米国スペースハブ社が提供する宇宙実験のための利用ミッションである。平成5年6月の1回目の飛行以来これまで5回の飛行実績がある。

今回の蛋白質結晶実験はシャトル/ミールミッションとの相乗りとして計画されNASDAの実験の他、欧州宇宙機関(以下「ESA」という。)が細胞培養実験を実施する。

1. 3 我が国の搭載実験の目的

(1) シャトル／ミールミッション宇宙放射線環境計測計画

宇宙開発事業団（以下「NASDA」という。）が実施する搭載実験の内、宇宙放射線環境計測実験は国際宇宙ステーションでの有人宇宙活動に備え、放射線環境計測技術及び評価技術の確立並びに、放射線環境予測研究に資するためのデータ蓄積を行う。同時に、各種の生物試料を搭載し、宇宙放射線の生物に対する影響に関する実験を実施する。

(2) スペースハブ利用蛋白質結晶実験

また、蛋白質結晶実験は、米国スペースハブ社の実験提供サービスを利用するもので、JEMの運用開始に向けて必要となる宇宙実験利用技術並びにJEM搭載用として開発中の蛋白質結晶実験装置の利用運用に向けての経験の蓄積をはかるとともに、宇宙での蛋白質結晶実験の早期実施を希望する研究者に実験機会を提供し、宇宙環境利用の有効性を示す。

1. 4 搭載実験の実施機関

宇宙開発事業団

理事長 内田 勇夫

東京都港区浜松町 2 - 4 - 1

世界貿易センタービル

1. 5 搭載実験の運用実施責任者

宇宙開発事業団宇宙環境利用システム本部

宇宙実験グループ総括開発部員

高松 英男

1. 6 NASDA実験システムの名称

1) シャトル／ミールミッション宇宙放射線環境計測宇宙実験システム

2) スペースハブ利用蛋白質結晶実験システム

1. 7 輸送システムの名称

1) スペースシャトル

アトランティス/スペースハブダブルモジュール (図-1)

2) 飛行番号

STS-84

1. 8 スペースシャトル搭乗員名

Charles J. Precourt,	Commander
チャールズ J プリコート	コマンダー
Eileen M Collins,	Pilot
アイリーン コリンズ	パイロット
Carlos I Noriega,	Mission Specialist
カルロス I ノリエガ	ミッションスペシャリスト
Edward T Lu,	Mission Specialist
エドワード T ルー	ミッションスペシャリスト
Jean-Francois Clervoy,	Mission Specialist (ESA)
ジャン フランソワ クレルボワ	ミッションスペシャリスト ESA 宇宙飛行士
Elena V Kondakova,	Mission Specialist (Russian Cosmonaut)
エレナ コンダコワ	ミッションスペシャリスト RSA 宇宙飛行士
C. Michael Foale	Mission Specialist (Up to Mir only)
C マイケル フォール	ミッションスペシャリスト ミール往路
Jerry M Linenger	Mission Specialist (Down from Mir only)
ジェリー M リネンジャー	ミッションスペシャリスト ミール復路

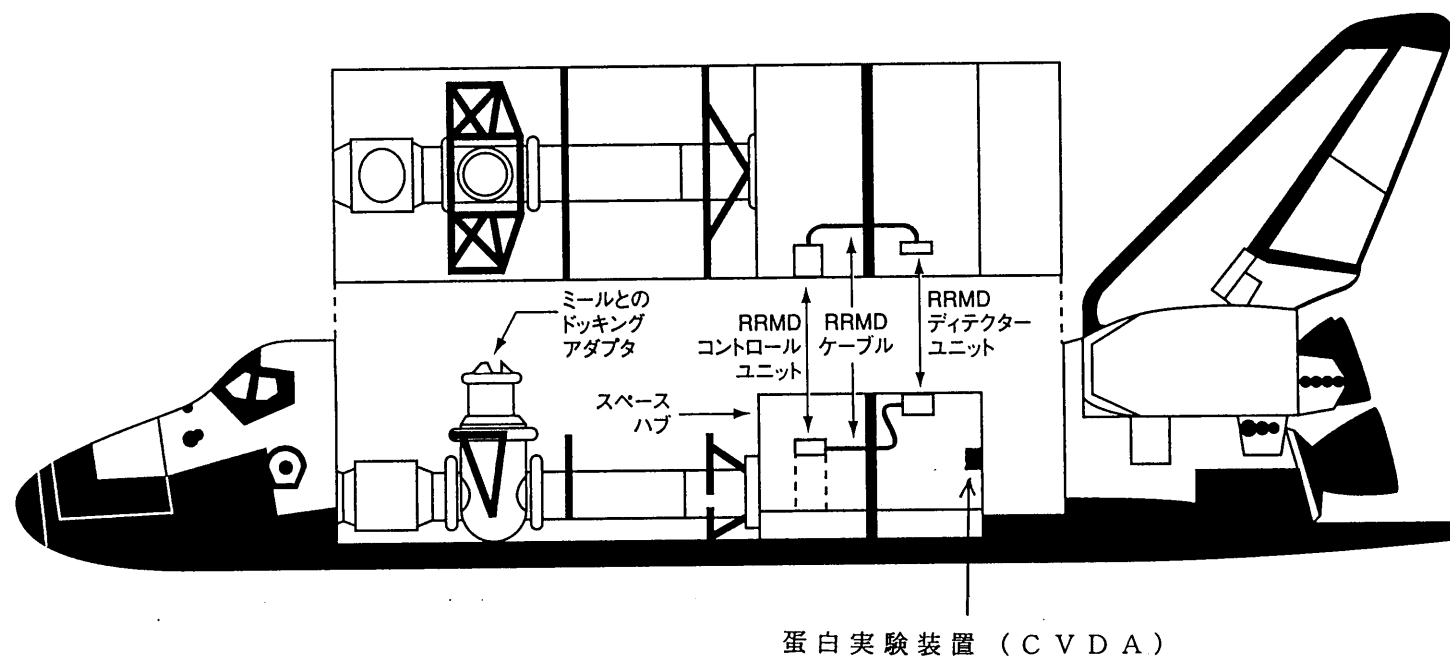


図 1 輸送システム (スペースシャトル/スペースハブ)

1. 9 実施日時及び飛行期間

1) 打上げ予定日時

平成 9 年 5 月 1 5 日	4 時 0 7 分 (米国東部夏時間)
同 5 月 1 5 日	1 7 時 0 7 分 (日本標準時)

なお、日程については打上げ 2 週間前に N A S A が正式に確定する。

2) 着陸予定日時

平成 9 年 5 月 2 4 日	7 時 5 2 分 (米国東部夏時間)
同 5 月 2 4 日	2 0 時 5 2 分 (日本標準時)

3) 軌道高度

投入時	約 3 0 0 km (160NM)
ミールドッキング時	約 4 0 0 km (210NM)

4) 軌道傾斜角

5 1 . 6 度

5) 飛行期間

9 日間
+ 予備日 (1 日 : ドッキングのため)

2. 打上げ及び実験運用計画

2. 1 打上げ及び実験運用の実施場所

搭載実験に使用するNASAの関係施設の配置を図-2に示す。主要な実施場所は次の通り。

打上げ射場：フロリダ州	ケネディ宇宙センター
着陸地：フロリダ州	ケネディ宇宙センター
代替着陸地：カリフォルニア州	ドライデン飛行研究センター
シャトル運用管制：テキサス州	ジョンソン宇宙センター
通信ネットワーク管制：メリーランド州	ゴダード宇宙飛行センター
通信地上局：ニューメキシコ州	ホワイトサンズ試験研究施設

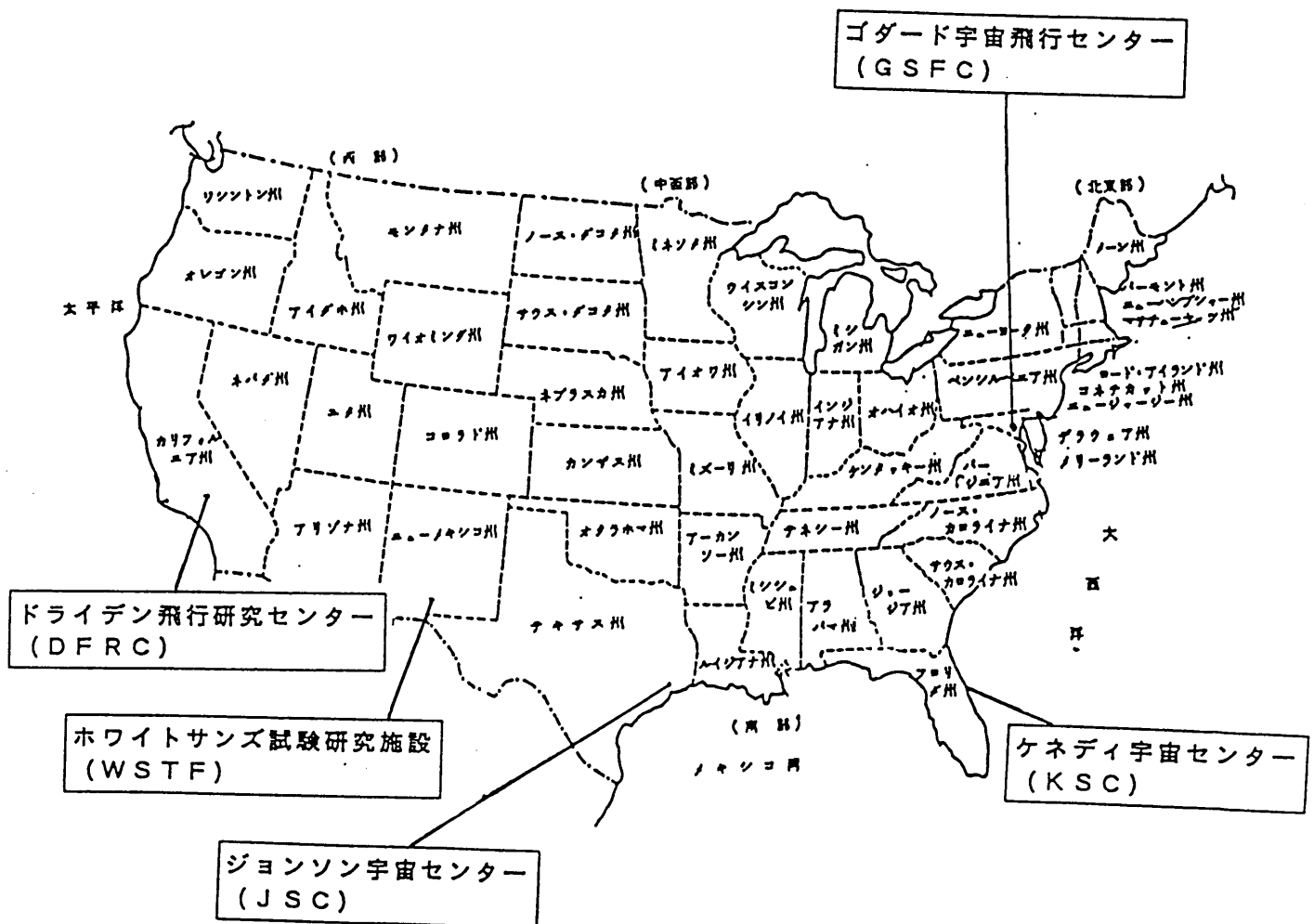


図-2 NASA施設の所在地

2. 2 搭載実験の実施組織

搭載実験は、シャトル／ミールミッション宇宙放射線環境計測／第1次微小重力科学実験室運用隊（RRMD／MSL-1運用隊）の内、企画班、後方支援班、RRMD班及び蛋白運用班により行う。運用隊組織を以下に示す（図-3）。

運用実施責任者

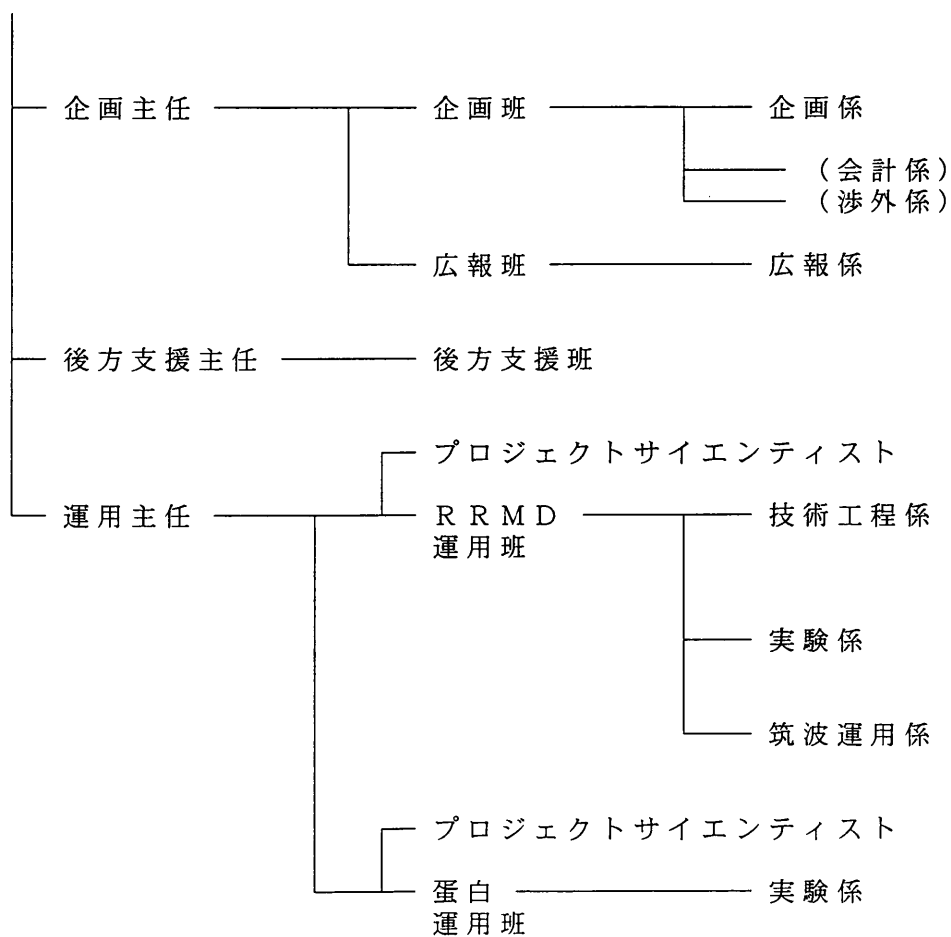


図-3 運用隊組織

2. 3 打上げ・飛行・帰還の概要

NASDA実験システムを搭載したスペースシャトル・アトランティス号は、ケネディ宇宙センターから打ち上げられる。飛行計画の概要を表1に示す。

軌道投入後、スペースハブを稼働させ、実験を順次開始する。2日目に、ミールとドッキングする。

様々な実験、観測、物資の移送、ミール搭乗員の交代等を行い、ミールと分離後に軌道を離脱し、ケネディ宇宙センターに着陸する。

着陸後、宇宙放射線環境計測実験では、スペースシャトルから回収された生物サンプルをNASAから受領し、日本に輸送し、研究者に生物サンプルを返却する。実験機器は着陸約1ヶ月後にNASAより受領する。

また、蛋白質結晶実験では、スペースシャトル着陸後直ちに実験装置をアラバマ大学バーミングハム校、分子結晶学研究センターに移送し、そこで結晶の取り出し、固定、X線回折データ取得などを行ったのち日本に持ち帰る。また一部実験は実験セルに封入したままの状態ですぐに日本の各研究者の実験室へ移送し、飛行後解析に入る。

表-1 S/MM-6 ミッションの飛行計画の概要

1	ミッション名	シャトル/ミールミッション6号機
2	STS 飛行番号	STS-84
3	オービタ名称	アトランティス号
4	構成	スペースハブダブルモジュール
5	打上げ予定日	1997年5月15日
6	打上げ予定時刻	午前4時07分(米国東部夏時間)
7	ロンチウインドウ	7~10分
8	打上げ場所	ケネディ宇宙センター、射点-39
9	軌道高度	160nm、円軌道
10	軌道傾斜角	51.6度
11	飛行期間	9日間3時間45分
12	周回周期	約90分
13	搭乗員数	7名
14	帰還地	主帰還地：ケネディ宇宙センター 代替帰還地：ドライデン飛行研究センター
15	着陸予定日	1997年5月24日
16	着陸予定時刻	午前7時52分(米国東部夏時間)

注：打上げ日時はNASAが打上げ約2週間前に最終決定する。

1) 打上げ

打上げは、ケネディ宇宙センター（KSC）にて行われる。宇宙放射線計測装置はKSCに隣接するスペースハブペイロード組立地上設備（SPPF）でスペースハブモジュールに搭載される。その後スペースハブモジュールは、整備点検（O&C）ビルへ運ばれシャトルへの搭載準備を行い、シャトル組立棟（VAB）に運び、垂直に立っているシャトルのカーゴベイへ搭載される。その後スペースシャトルは、打上げ射点に移動され打ち上げられる。

宇宙放射線の生物に対する曝露実験に供する生物試料は打ち上げ前々日にスペースシャトルへ搭載される。

また、蛋白質結晶実験試料はやはり打ち上げ前々日にはSPPFにて実験装置に装着された後、装置と共に直ちにスペースシャトルへ搭載される。

KSCの設備、施設の配置の概要を図-4に示す。

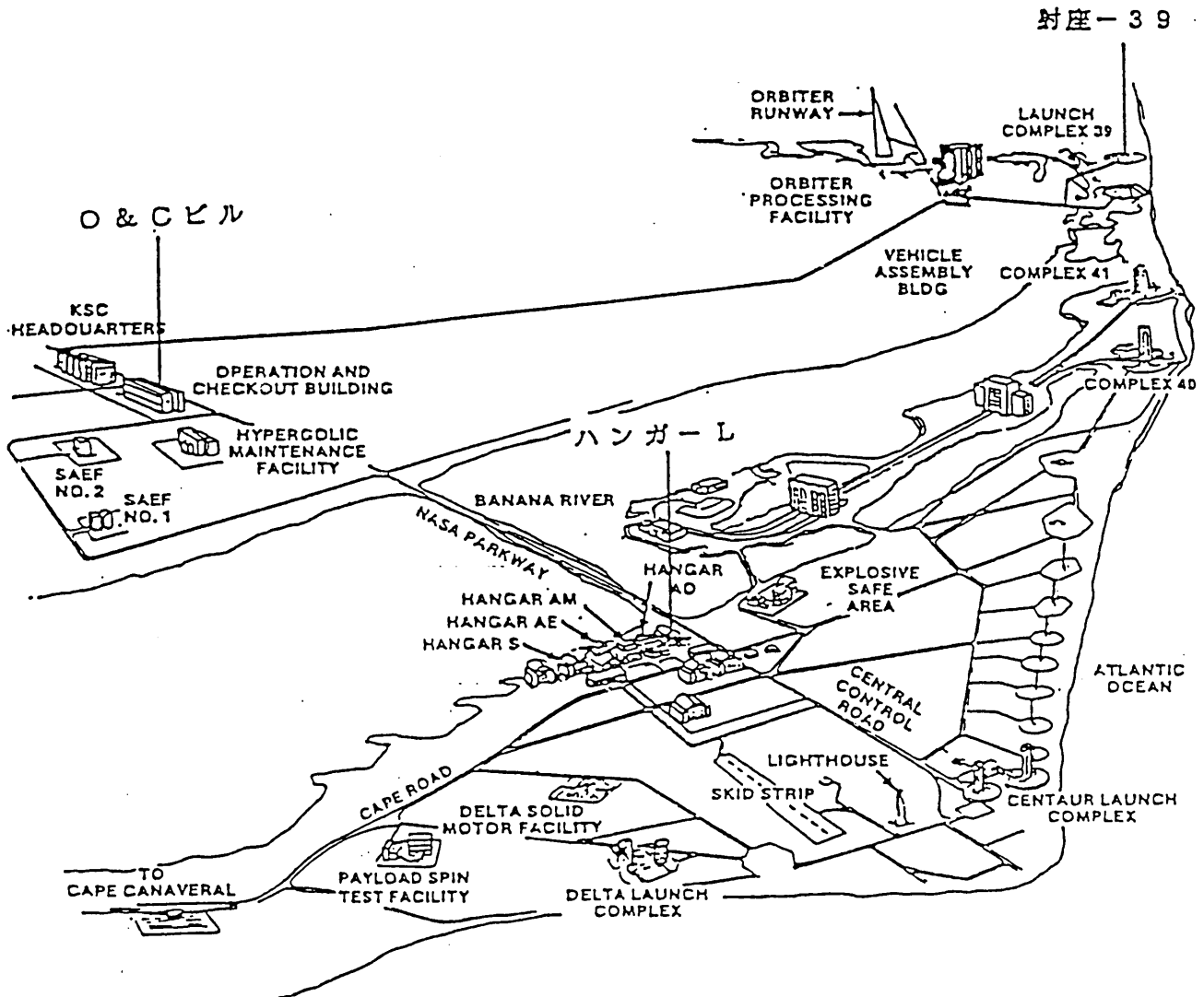


図-4 打上げシステムの配置の概要図

2) 飛行管制

飛行管制は、ジョンソン宇宙センター（J S C）のミッションコントロールセンター（M C C）で行う。M C Cはスペースシャトル運航全体に対して責任を有しており、シャトルの発射から着陸までの期間、24時間体制でオービターシステムの監視を行う。

3) 着陸システム

(a) 第一帰還地

S T S - 8 4 の第一帰還地はK S Cのシャトル着陸システムが予定されている。

(b) 代替着陸地

天候その他の理由によりK S Cに着陸出来ない場合は、代替着陸地として米国カリフォルニア州ドライデン飛行研究施設（D F R F）が用意されている。

2. 4 実験運用計画

(1) 運用システム概要

実験の運用は、軌道上でミッションスペシャリスト（MS）が実験運用を1シフトで担当する。

NASDAの行う実験運用作業は、24時間体制で搭載実験装置の運用状況及び実験実施状況の監視、評価を行うとともに、必要に応じパイロットクルーに対し音声による指示・支援を行う。

(2) RRMD運用

宇宙放射線環境データはスペースシャトルからダウンリンクされJSCのミッションコントロールセンターのワークステーションに記録されると共に、通信回線を経由して、日本に準リアルタイムで転送され、NASDA筑波宇宙センターのワークステーションに記録される。

各研究者は自己の研究室から通信回線を介してデータの取得が可能である。

NASDA RRMDデータ転送システムを図-5に示す。

(3) 蛋白質結晶実験運用

蛋白質結晶実験は、スペースシャトルからダウンリンクされる実験データはなく、実験装置の運転状況が定時刻にクルーにより口頭で報告される。

実験中の温度データ等は装置本体に記録されているため、各研究者はシャトル帰還後再生した温度データを受け取る。また、飛行中の微小重力環境データはNASA側で取得され、帰還後NASAによりデータ処理された後、スペースハブ社を通じてNASDAに提供される。

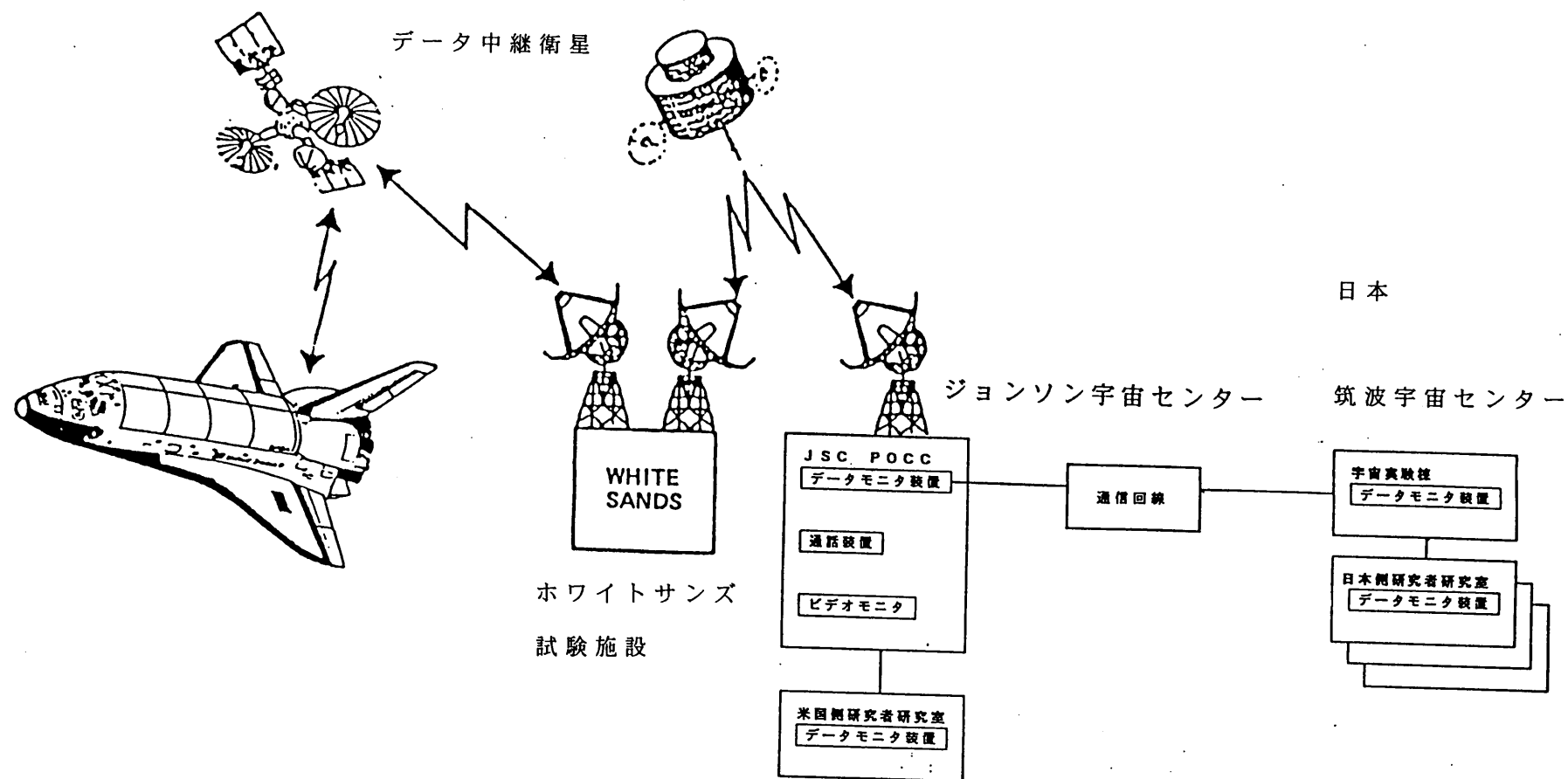


図- 5 NASA RRMDデータ伝送システム

(4)実験装置

S/MM6号機に搭載する実時間放射線計測実験装置（以下「RRMD: Realtime Radiation Monitoring Device」という。）は、シャトルミールミッション4号機で既に飛行した実験装置の制御部と今回新たに開発したディテクター部で構成される。RRMDの外観、構成、仕様、及びセンサー部断面を図6に示す。

また、蛋白質結晶実験はスペースハブ社の提供する蒸気拡散型蛋白質結晶実験装置により実施される。

外観を図7に示す。

(3)実験テーマ

1)宇宙放射線環境計測計画

宇宙放射線環境計測計画は、宇宙放射線の計測（1件）、生物サンプルを用いる実験（3件）、宇宙環境解析（1件）の合計5件である。代表研究者、実験テーマ及び実験内容を表2に示す。

2)蛋白質結晶実験

蛋白質結晶実験テーマは、宇宙で高品質の結晶を得ることにより、各蛋白質の立体構造のより詳細な解析を主な目的とするもの、宇宙での結晶化のメカニズム解明に重点を置くもの等全部で10件である。代表研究者、実験テーマ及び実験内容を表3に示す。

(6)軌道上運用スケジュール

実験スケジュールを図8に示す。

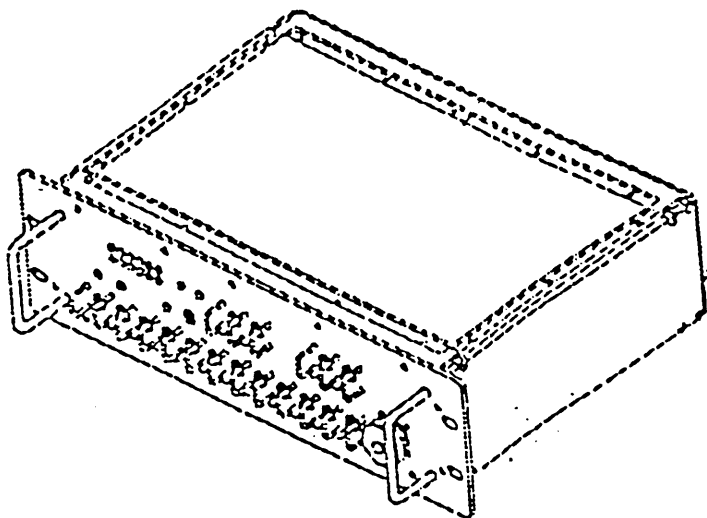
なお、スペースシャトルとミールとのドッキングは打ち上げ2日目、切り離しは同7日目に予定されている。

1)宇宙放射線環境計測計画

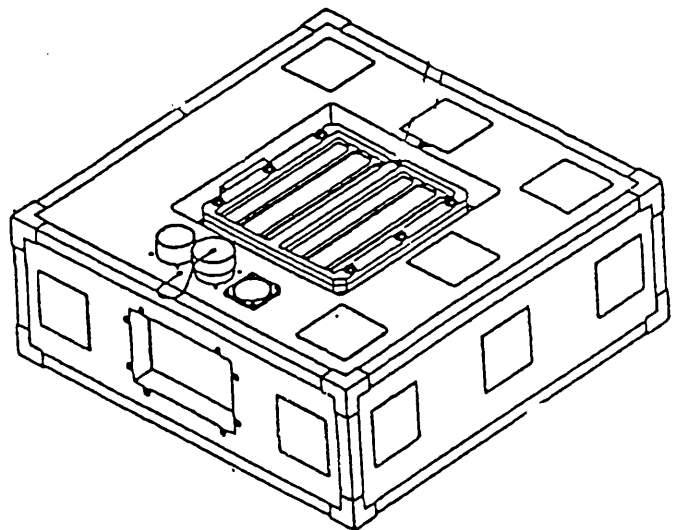
宇宙放射線環境計測は、打ち上げ直後から開始され、同時に生物実験の一部も始まる。宇宙放射線計測はスペースハブの活動完了時まで行う。残りの生物実験は、帰還2日前（7日目）に活性化され、スペースハブの活動完了時まで実験が行われる。スペースシャトルの軌道離脱前に生物サンプルは冷凍、および冷蔵され、着陸後研究者の手に渡るまで保存される。

2)蛋白質結晶実験

蛋白質結晶実験は打上げ約4時間後から実験を開始し、着陸の約8時間前まで結晶化を行った後、実験シリンジ内部に結晶を回収し、アラバマ大学で開封するまで温度が維持される。



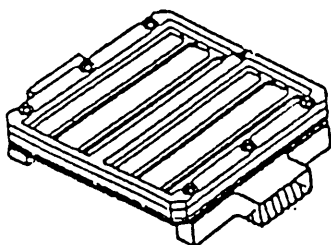
R R M Dコントロールユニット
(改修品)



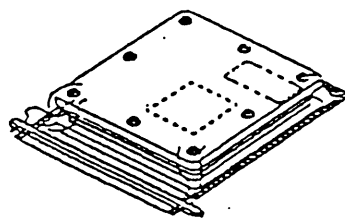
R R M Dディテクタユニット
(新規製作品)



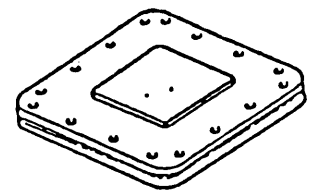
R R M Dケーブル
(リフrait品)



バイオスベシメンボックス
(改修品)



かいこ卵収納容器
(新規製作品)



ドシメータ
(リフrait品)

R R M D (S/MM-6用) の仕様

検出粒子の種類	陽子 (P ⁺ トン) 鉄 (Fe)
伝送データ	入射時刻 入射方向 エネルギー
装置寸法/重量	
コントロール ユニット	483W×133H ×300D (mm) / 9.28 (kg)
ディテクタ ユニット	320W×160H ×350D (mm) / 9.86 (kg)
ケーブル	35φ×7500L (mm) / 2.64 (kg)
バイオスベシメンボックス	140W×35H ×140D (mm) / 0.35 (kg)
ドシメータ	125W×15H ×125D (mm) / 0.20 (kg)

S/MM-6センサー断面図
Cross-sectional view of S/MM-6 Sensor

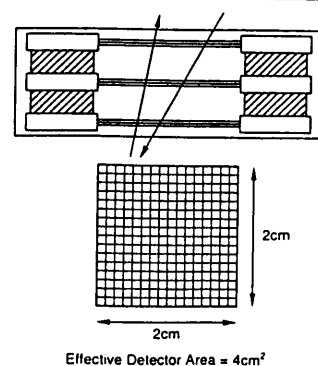
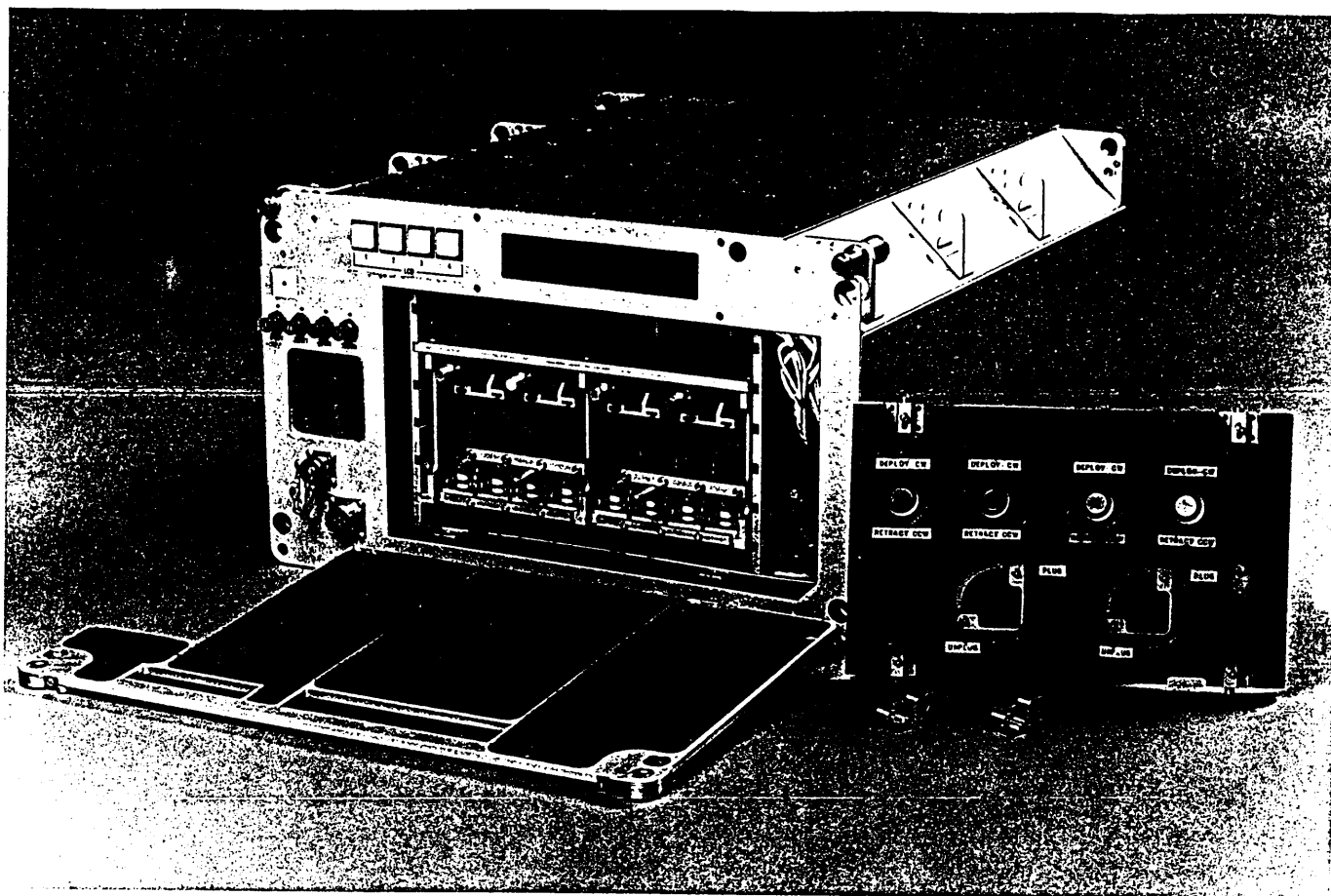


図 6 R R M D 装置の外観 仕様 センサー断面図



実験装置：CVDA（蒸気拡散法による蛋白質結晶実験装置）

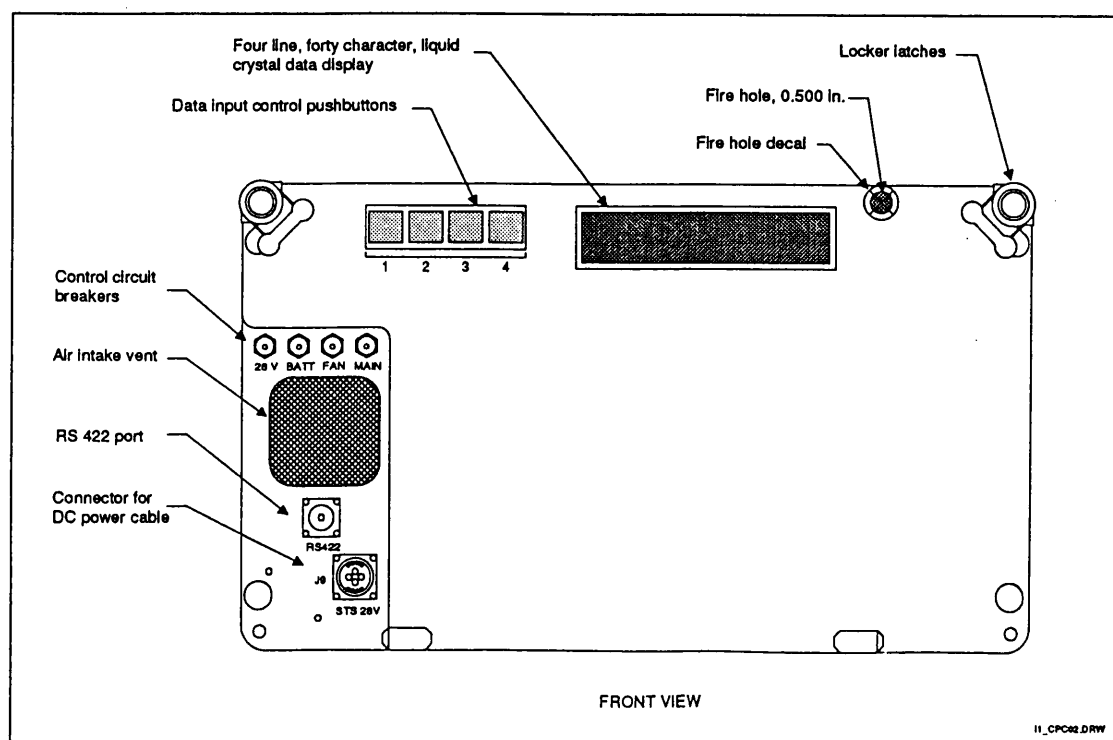


図 7 蛋白質結晶実験装置の外観

（写真・図提供：アラバマ大学分子結晶学研究センターの好意による）

表-2 シャトル/ミールミッション6号機における宇宙放射線環境計測計画 実験テーマ一覧

	代表研究者	実験テーマ	実験概要
1	道家忠義 (早稲田大学)	宇宙放射線に対する実時間線量計測	宇宙船内におけるプロトンから重粒子までの入射粒子によるLET(線エネルギー付与)分布をリアルタイムで計測し、線量等量を正確に推定する。低LET粒子も計測可能な、新たに開発したRRMDIII型を用いて、0.2から100keV/μmの範囲のLET粒子を観測する。宇宙ステーション時代に向けて、宇宙放射線環境を実時間で計測する手法を確立する
2	古澤寿治 (京都工芸繊維大学)	カイコの胚の発生と分化に及ぼす宇宙放射線の影響	カイコの胚を用いて、微小重力や高エネルギー宇宙重粒子線による生体への影響を、その後の発生過程における形質の発現を指標として遺伝学的に研究する。発生初期、および休眠中の卵を宇宙放射線、微小重力環境に曝し、地上帰還後、回収した胚の孵化率、奇形の発生、次世代での突然変異の発生について調べる。放射線に感受性の高い受精卵や生殖細胞等に対する影響を生物サンプルとして研究が進んでいるカイコによる実験結果から解明する。
3	原田和樹 (PL学園女子短期大学)	宇宙放射線が与える大腸菌突然変異細胞への影響	大腸菌細胞、及びプラスミドDNAを用いて、生体に対する宇宙放射線の影響を分子遺伝学の観点から調べ、また、微小重力環境が大腸菌細胞の遺伝子修復反応へ与える影響を調べる。大腸菌の突然変異細胞とプラスミドDNAを宇宙船内に搭載し、回収後に生存率、突然変異誘発率、DNA塩基配列上の変異を調べる。また遺伝子に傷害を受けた大腸菌を船内で培養し遺伝子の修復反応を調べることにより微小重力環境が遺伝子修復反応に与える影響が地上と異なるかどうかを調べる。S/MM-4においては、サンプルの事前処理をガンマ線で実施したが、今回は重粒子線を模擬するために炭素イオンビームを用いた。
4	大西武雄 (奈良県立医科大学)	細胞性粘菌の遺伝子損傷による生物影響	原始的かつ単純な有核生物である細胞性粘菌を用いて、微小重力環境あるいは宇宙放射線がそれぞれ生物の分化形態形成に対しどのような影響を与えるか解明する。放射線感受性、非感受性細胞性粘菌胞子を船内環境に曝し回収後に発芽率、突然変異率を調べる。また粘菌胞子を船内で発芽さらに生育させて粘菌の成長・分化過程に及ぼす軌道上環境影響を解明する。
5	富田二三彦 (通信総合研究所)	宇宙放射線環境データのリアルタイム交換実験	太陽観測、静止衛星軌道での宇宙環境データとRRMDのデータをリアルタイムで比較し、さらに飛行後のデータ解析により宇宙環境の変動予測の研究に資する。飛行中はリアルタイムで宇宙空間のさまざまな場所における宇宙放射線の様子を表示する。飛行後は総合的な解析を行い、地球周回軌道上と太陽から地球までの宇宙環境の変動との間にどのような因果関係にあるか解明する。S/MM-4に引き続き実施し、宇宙放射線環境データの蓄積を図る。

表-3 スペースハブ利用蛋白質結晶実験 テーマ一覧 (1/2)

	代表研究者	実験テーマ	実験概要
1	相原茂夫 (京都大学食糧科学研究所)	タンパク質結晶化に及ぼす微小重力の影響と利用に関する研究	タンパク質結晶成長に及ぼす微小重力の影響について検討し、同時に微小重力環境を利用して地上で得られる蛋白質結晶より高分解能のX線構造解析データが収集できるタンパク質単結晶を調製する。 1) ニワトリ卵白リゾチーム 2) ヒト尿トリプシンインヒビター
2	裏出良博 (大阪バイオサイエンス研究所)	プロスタグランジンD合成酵素の結晶構造解析	蛋白質X線結晶構造解析に用いることができるような結晶を微小重力下で得る。プロスタグランジンD合成酵素の結晶構造およびその活性中心の解析を行うことにより、プロスタグランジン類の共通前駆体であるPGH2の異性化反応機構を解明する。
3	梶山直樹 (キッコーマン(株))	ゲンジボタルルシフェラーゼの結晶化	微小重力環境下において、高分解能のX線構造解析が期待できる良質の結晶を作製する。あらかじめ地上(重力環境下)において、短時間で結晶化する条件を検討する。微小重力環境下において、地上で決定した条件を用いルシフェラーゼを結晶化させる。
4	高妻孝光 (茨城大学 理学部)	プラストシアニンの電子移動反応機構に関する分子科学的研究	光合成系の電子伝達蛋白質であるプラストシアニンの低モザイク性をもつ地上での結晶よりも大きく、光学的透明度の高い結晶を微小重力下で作成する。植物及びシアノバクテリアの光合成系で電子伝達体として機能するプラストシアニンをスペースシャトルに搭載し、微小重力下において高品位の単結晶を得る。
5	田中 勲 (北海道大学大学院 理学研究科)	微小重力下で作製した結晶を使った多波長異常分散法	微小重力下で作製した結晶は、地上で作製したものに比べて、結晶内での分子配向の乱れが少なく、より高分解能の回折が得られるという見解を検証する。微小重力下にてマクロファージ遊走阻止因子(MIF)の結晶化を行い、その異常分散項の測定を中心に、作製した結晶の評価を行う。

表-3 スペースハブ利用蛋白質結晶実験 テーマ一覧 (2/2)

	代表研究者	実験テーマ	実 験 概 要
6	田之倉優 (東京大学 生物生産 工学センター)	プロテアーゼとプロテアーゼインヒ ビターの微小重力条件下の結晶化と X線構造解析	クロコウジカピ酸性プロテアーゼAとオリザシスタチンを用いて、微小重力環境 下で良質な蛋白質単結晶を得て、高分解能での構造解析を行う。
7	新村信雄 (日本原子力研究所 先端基礎研究センター)	ニワトリ卵白リゾチームの微小重力 下での結晶溶解速度	地上において最も結晶成長メカニズム研究のための基礎データがそろっている卵 白リゾチームを用いて、微小重力下での蛋白質溶解データを得る実験を行う。結 晶成長と結晶溶解は平衡状態にあり、結晶溶解速度は測定しやすいので、これを 微小重力下で測定する。
8	藤田省三 (富士通研究所)	リボヌクレアーゼSの結晶多形にお ける微小重力環境の影響の解析	リボヌクレアーゼSの結晶多形を対象として、結晶成長溶液の組成と微小重力場 ならびに地上で成長させた結晶のX線回折データとの関連を解析し、微小重力環 境の影響を解析する。これにより、微小重力場で結晶の大きさや質が改善され る原因を探るとともに、地上においてよりよい結晶を成長させるための情報を得 ることが可能になる。
9	三木邦夫 (京都大学大学院 理学研究科)	生物学上重要なタンパク質の結晶分 解能・結晶性向上のための微小重力 利用	蛋白質(シャペロニンなど)の結晶化を宇宙空間を利用して、微小重力下で行う 。微小重力での結晶化において、分解能・結晶性に改善が見られる可能性を期待 できる。対象とする蛋白質は、今その立体構造解明が待たれている生物学的に重 要な役割を果たすものである。
10	森山英明 (東京工業大学 生命 理工学部)	タンパク質の物性と生物の進化の関 連を研究するための基礎的結晶化実 験	生物の進化に対して、蛋白質の物性がどのように影響してきたかを調べるために 蛋白質の構造解析を行う。宇宙での結晶化の有効性の評価と構造解析の結果から の進化についての考察を行う。蛋白質を地球周回軌道上で結晶化し、地球へ帰 還後直ちに回折データを測定する。また、平衡濃度の設計値(地上実験実績)と 微小重力下実験実績値の比較を行う。

▽打上げ

▽着陸

ミッション経過時間	日	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	時	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18
1. ミッションイベント		△スハ-スハ'稼動	△ミ-ルとのドッキング					△ミ-ルとのアンドッキング		△スハ-スハ'停止	△帰還
2. 放射線モニタ装置 (RRMD)											
1) 放射線計測・利用実験 RRMD		△RRMD立上げ・計測開始								△RRMD立下げ・計測終了	
2) 大腸菌(1) DOSIMETER		△被曝開始								△被曝終了・試験冷蔵	
3) 大腸菌(2) BIOSPECIMEN BOX									△試料活性化 △試料不活性化・試料冷凍		
4) かいこ卵 SILKWORM EGG CONTAINER		△冷蔵庫からの取り出し(初期発生卵)								△実験終了	
		△冷蔵庫からの取り出し(休眠卵)								△実験終了	
5) 粘菌 SPORE CULTURE CHAMBER		△バッファ注入・培養開始 △フィルタ状態確認						△培養状態確認	△ビデオ撮影		
3. 蛋白質結晶実験		△結晶実験開始								結晶実験△終了	

図-8 実験スケジュール

3. 安全管理

R R M D 宇宙実験システム及びスペースハブ利用蛋白質結晶実験システムのスペースシャトルによる打上げ、地球周回軌道への投入、スペースシャトルの飛行管制、スペースハブの運用地球への帰還はN A S Aにより実施され、これに関する安全管理はN A S A側で実施される。

安全審査は、飛行実験時の搭乗員の安全に関する安全審査（飛行運用）及びK S C組立整備作業の安全に関する安全審査（地上運用）に分かれて実施され、飛行運用はN A S A / J S Cにより、地上運用はN A S A / K S Cにより審査される。

R R M DにはK S C設備を使用した組立作業等はないので、地上運用安全審査の対象外となっている。

また、飛行運用安全審査に関しては、N A S A / S P A C E H A B社の検討の結果、I M L - 2で搭載したものを改修しているが改修規模が小さいため、フェーズ1・2審査は必要ないと判断され、審査は無かった。

フェーズ3審査は、1996年12月に開催され、R R M Dシステムは安全上問題ないことが確認された。

また、スペースハブ利用蛋白質結晶実験システムはスペースハブ社の提供する実験システムであり、安全審査等はスペースハブ社とその契約者が対応しており、R R M Dと同様飛行に問題となることはないことが確認済みである。また、蛋白質実験試料についてもN A S A / J S Cの安全審査担当と調整し、問題のないことを確認した。

4. 関係機関等への情報の提供

4. 1 関係機関

搭載実験の状況等の情報については、関係官庁等関係機関に速やかに通知する。

4. 2 テーマ提案機関、代表研究者

進行状況に応じ適宜情報を提供するほか、搭載実験の結果得られたデータ等は速やかにそれぞれのテーマ提案機関、代表研究者に提供する。

4. 3 報道関係

1) 報道関係者に対し、可能な限り取材の便宜を図る。

2) 搭載実験の状況については、状況に応じて随時発表を行う。