

SESノート No.100 SEPAC/スペースラブ1号機実験 第一次報告書

昭和59年1月

文部省 宇宙科学研究所

1. 実験経過の概要

スペースシャトルを利用した宇宙科学実験SEPAC（荷電粒子加速器による科学実験）は11月28日から12月8日の間にわたって行われた。このSEPAC実験はスペースラブによる国際共同実験の一環として実施されたもので、次のような科学実験課題の研究を主目的としている。

- 電子ビーム放射に伴うスペースシャトル・オービタの帯電現象及びその中和効果
 - 荷電粒子ビームと宇宙空間プラズマの相互作用による波動励起や大気電離現象
 - 荷電粒子ビームが地球超高層大気内に作るオーロラ・大気光現象
- 実験機器は粒子加速器（EBA、MPD-AJ、NGP）、モニタTV（MTV）、プラズマ計測装置（DGP）及びこれらの制御・データ管理装置（IU、DEP、CP）から構成され、また、実験の一部は、同時に搭載されている微弱光観測TV装置（米国）、電子エネルギー分析器（西独）、低出力電子・イオンビーム装置（フランス）等と協同して行われた。フライト中のSEPAC実験班の構成は日本側21名、米国側13名であった。

スペースラブ-1 / STS-9は米国東部標準時11月28日11時00分(日本標準時11月29日01時00分)にフロリダ州ケネディ宇宙センターから高度250km、傾斜角57°の円軌道に打ち上げられ、約10日間(248時間)飛行ののち米国太平洋標準時12月8日午後3時47分(日本標準時12月9日午前8時47分)カリフォルニア州エドワード基地に帰還した。

この間、SEPAC実験班はテキサス州ヒューストンのNASAジョンソン宇宙センターのPOCC(Payload Operations Control Center)において、搭乗MS(Mission Specialists)やPS(Payload Specialists)と連絡しつつ実験にあたった。

SEPACの運用は打上げ25時間20分後の最初のバッテリー充電に始まり、その終了後、37時間に軌道上での機器チェックアウトを行った。

52時間30分には初のMPD-AJ噴射実験を実施し、結果は良好であった。

59時間20分から約1時間30分にわたってEBA電子銃の陰極を活性化したのち、ビーム放射実験が行われ、スペースシャトル実験としては初めて1.5KWレベルまでの電子ビーム放射に成功した。

その後は主として夜間の領域でEBA及びMPD-AJを単独あるいは複合に稼働させて4回にわたり実験が行われた。

打上げ後75時間00分、EBA大電力放射の試験準備中にEBAの陰極ヒータ系に不具合が発生し、その後不具合の原因究明と回復を試みたが復帰せず、以後電子ビームを放射することができなくなった(添付資料3、EBA不具合報告)。

しかし、引続きMPD-AJ噴射実験や宇宙プラズマ計測、MTVカメラによる観測が行われたほか、他の実験グループとの共同によるNGP中
和実験等が実施され、全体では29回にわたるSEPA C実験を行い、観
測資料が取得された。なお、予定された実験のうち一部実施を取り止めた
ものがあるが、これは主としてスペースラブのRAU(Remote Acquisition Unit
:スペースラブのコンピュータとの接続機器)の不調によるものである
(添付資料1、実験実施状況)。

2. 主要な科学的成果

SEPA C実験では多量の画像データ、広帯域プラズマ波動データのほ
か、5000 Mbits以上にわたる科学計測データが取得され、宇宙空間プ
ラズマ物理学上の新しい発見もなされた(添付資料2、科学データ例)。
その詳細については今後の解析にまつところであるが、現時点までに得ら
れている成果の概要は次のとおりである。

(1) ビーム放射に伴う帯電現象の検出

電子ビーム放射に伴うオービタの帯電状態が、電子エネルギー分析器
及びフローティング探針によって計測された。これらのデータとMTV
カメラによるオービタ表面の発光状況からオービタは800ボルト以上
帯電したことが判明した。過去に行われた飛翔体からの電子ビーム放射
実験で、その帯電状態が総合的に計測されたのはこれがはじめてのこと
である。これらのデータは、今後同種の実験を計画する場合の基礎とな
るばかりでなく、過去の電子ビーム放射実験におけるビームエネルギー
の再評価を可能にするものと期待される。

(2) プラズマ放出による帯電中和の検証

オービタの帯電現象は電子ビーム放射と同時に発射されたMPD-A Jからのプラズマによって中和されることが実験的に確認された。MPD-A Jの作動時間2 msに対して中和効果は30～60 ms持続する。

以上によって、SEPA C実験の主要目的の一つを概ね達成することができた。

(3) ビーム放射による放電現象の励起

ビーム放射強度が400ワットをこえると、周辺プラズマ密度の急激な増大、低周波波動の励起、高エネルギー電子群の発生が検出されるとともに、ビームの著しい拡散がMTVカメラで観測された。これは強いビームプラズマ相互作用の励起と放電現象の発生を示唆している。更に放射ビームのエネルギー(5 kV)以上の高エネルギーをもった電子群(10 KeV以上)が発生するという現象が認められたが、これは非線形波動粒子相互作用が起きたことを示している。これら放電現象の励起及び高エネルギー電子群発生の検出は、以前から実験室レベルでは実証されていたBeam Plasma Discharge現象が宇宙空間でも励起されることを示す初めての実験例となる可能性がある。

(4) 臨界速度効果の検証実験

オービタの姿勢制御によりMPDアークジェットプラズマを上流方向(オービタ進行方向)と下流方向に交互に放出し、プラズマ拡散の状況を調べた。これにより宇宙空間で初めて能動的な方法による臨界速度効果(中性粒子の非衝突電離仮説; Alfvén効果)を検証する光学・波動・粒子データが得られた。

又これとは別に、宇宙空間に中性ガスを放出した実験では、プラズマ密度の急激な増大が認められた。そのメカニズムもまた臨界速度効果

である可能性がある。

これら臨界速度効果のデータはすい星尾部や木星衛星イオにおける電離などの宇宙プラズマ現象の解明に応用できるものと期待される。

(5) モニタテレビカメラ及び計測診断装置による自然現象の観測

上記の能動的実験以外にも、スペースラブの豊富なデータ取得・伝送能力を活用して、オービタ周縁の発光現象(シャトルグロー)、自然大気光、雷放電等宇宙プラズマに関わる多くの自然現象の観測が行われた。

3. むすび

今回のSEPAC実験では大電力の電子ビーム放射によってのみ得られる特有の現象を作ることはできなかったが、その他の実験・観測の目的は概ね順調に達成され、得られた資料の解析から宇宙プラズマ研究上多くの興味ある科学的成果が期待される。これらについては、逐次、成果発表を行っていく予定である。

また、EBAの不調に関しては、1月初旬SEPAC機器がオービタから取り外されるのを待って点検を行い、原因を究明するとともに、宇宙科学研究所以外の専門家も加えたSEPAC評価小委員会を発足させて、今回の実験の科学的成果や将来への対応について検討していくこととしている。

この宇宙科学実験は米国航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)との共同作業として実施されたもので、初めての大規模な国際協力事業の意義は大きかった。これら外国機関及び国内関係省庁並びにSEPAC機器の制作、試験、飛しょう実験のために長年にわたって参加、協力された諸企業及び宇宙開発事業団の御支援に深く謝意を表する次第である。

添 付 資 料 1

実 験 実 施 状 況

SEPAC SL-1 実験実施状況

予定 FO (実験内容)	予定時間 (MET)	実施時間 (MET)	支障なく 実施	EBAトラ ブルのため MPD又は NGPのみ 運用	RAUトラ ブルのため キャンセル	RAUトラ ブルのため MTVのみ 運用	ミッション 延長のため 機会を得た 実験	共同実験	備 考
FO 1 (機器チェックアウト)	日時分秒 1/14:01:00	同 左	レ						
FO 3 (MPD テスト)	2/04:47:00	同 左	レ						
FO13A (観測のみ)	2/07:30:00	同 左	レ						
FO13A	2/07:47:00	同 左	レ						
FO 2 (EBA テスト)	2/12:15:00	同 左	レ					ESA019	
FO5A (EBA低出力、単独)	2/13:38:00	同 左	レ (中断)						実験プロセッサ failure
FO5B (EBA低出力、単独)	2/13:55:00	—							実験プロセッサ failure
FO 6 (EBA低出力+NGP)	2/14:13:00	—							実験プロセッサ failure
FO 7 (EBA低出力+MPD)	2/15:06:00	同 左	レ					ESA019	PSのオペミスにより MTV OFF
FO 7	2/15:24:00	同 左	レ					ESA019	PSのオペミスにより MTV OFF

F08C (MPD 单独実験)	2/18:25:00	同 左	レ					
F04 (EBA 高出力テスト)	3/03:13:00	同 左		レ (MPD、 NGP)				
F06	3/06:23:00	同 左		レ (NGP)				
F05B	3/06:40:00	同 左		加速器運用 なし レ				
F09A (EBA 高出力+NGP)	3/07:30:00	同 左		レ (NGP)				
F09B (EBA 高出力+MPD)	3/07:50:00	—						PS のオペミスにより MPD shut down
F08A	3/09:00:00	同 左	レ					
F05A	3/23:26:00	—			レ			
F05A (SMO)	3/23:34:00	—			レ			
F014 (ESA 20ビーム観測)	3/23:56:00	—			レ			
F09A	4/03:06:00	—				レ		
F09B	4/03:14:00	—				レ		
F08B	4/04:26:00	—				レ		
F09C (EBA 单独高出力)	4/06:10:00	—				レ		

予 定 F O (実 験 内 容)	予 定 時 間 (MET)	実 施 時 間 (MET)	支 障 な く 実 施	EBAトラ ブルのため MPD又は NGPのみ 運用	RAUトラ ブルのため キャンセル	RAUトラ ブルのため MTVのみ 運用	ミッショ ン延長の ため機 会を得 た実験	共 同 実 験	備 考
FO13	日時 分 秒 4/10:17:00	—				✓			
FO13	4/10:34:00	—				✓			
FO10 (EBA高出力+MPD)	4/23:45:00	—				✓			
FO12 (EBA高出力+MPD)	5/00:04:00	—				✓			
FO9B	5/01:24:00	6/10:11:00		✓ (NGP)				ESA20	他PIと実験時間交換、 FO9B→FO6
FO5A	5/02:58:00	6/11:35:00		加速器運用 なし ✓					他PIと実験時間交換、 FO5A→FO13
FO9C	5/16:23:00	同 左		✓ (MPD)					FO9C→FO9Bに変更
FO9A	6/02:48:00	同 左		✓ (MPD)				ESA20	FO9A→FO9Bに変更
FO11	6/07:14:00	同 左		✓ (MPD)				ESA20	FO11→FO9Aに変更
FO11	6/08:43:00	同 左		✓ (MPD)					
FO13	6/09:19:00	同 左	✓						
FO13	6/09:36:00	同 左	✓						

FO13	8/07:37:00	8/09:50:00	✓				ESA20
FO13	8/07:54:00	8/13:50:00	✓				ESA20
FO 8 (MPD単独実験)	—	8/10:22:00	✓			✓	ESA20
FO 8	—	8/10:52:00	✓			✓	ESA20
FO 8	—	8/11:37:00	✓			✓	ESA20
FO13 (観測のみ)	—	8/16:20:00	✓			✓	
FO 1 (機器チェックアウト)	—	8/18:40:00	✓			✓	

ミッションが1日追加にな
ったための実験時間変更及
び追加

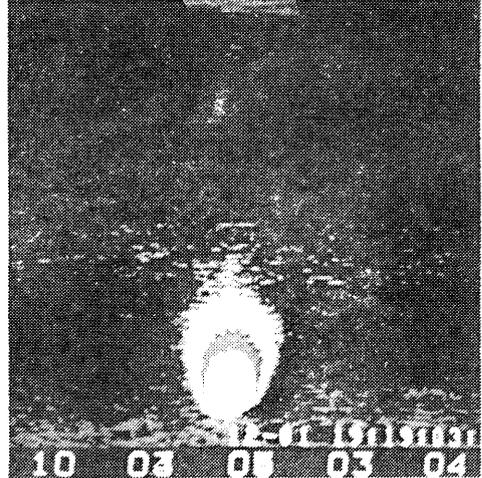
まとめ	予定した実験回数	38回	Active	FO	18回
	実施した実験回数	29回	この内	EBA運用	: 2回
	RAU不具合で中止した回数	11回		MPD運用	: 11回
	EBA不具合で内容変更した回数	11回		EBA/MPD運用	: 2回
	DEP不具合で中止になった回数	2回		NGP運用	: 3回
	PSミスオペで実施できなかった回数	1回	Passive	FO	11回
	ミッション延長で得た回数	5回			

添 付 資 料 2

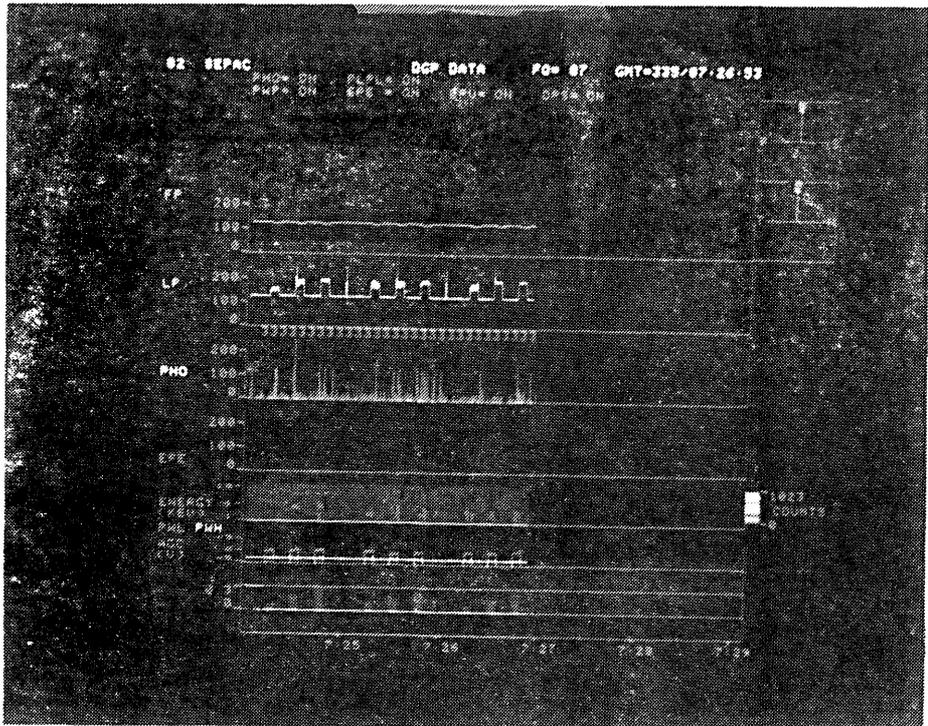
科 学 デ ー タ 例



電子ビーム放出時のパレット機器の発光(TV観測例)、ビーム放出とともにオービタ帯電のため、高速電子がパレット機器に衝突し発光する。この励起光強度が帯電強度の示標となる。



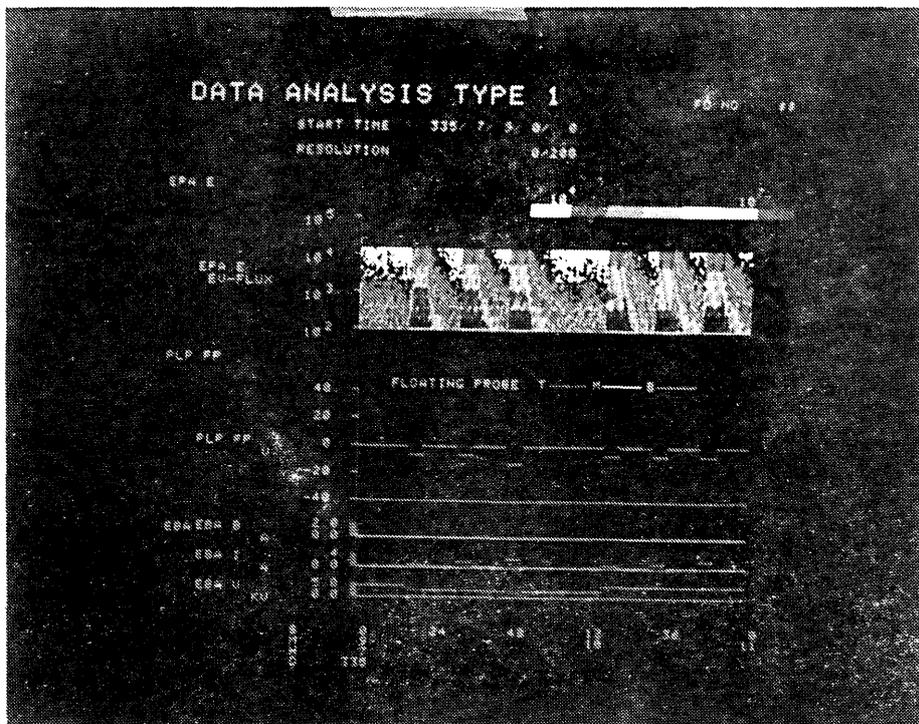
MPD-A J プラズマ雲放出の状況(TV観測例)プラズマはほぼ軸対象、垂直上方に放出されている様子がわかる。プラズマ雲のスケールは $\sim 10\text{ m}$ である。



科学実験データを実時間解析装置で表示した例

電子ビーム放出 (EBA) に伴い、オービタの帯電 (観測機器FP)、プラズマの生成 (観測機器LP)、高エネルギー電子群の発生 (観測機器EPA) 及び低周波波動の励起 (観測機器PWL) 等が認められる。

本画面は、オービタ上で実験が進行中、地上でその進行状況、科学的成果を実時間で判断するために準備された解析装置の表示例である。



電子ビーム放出時の粒子エネルギー分析器、フローティング探針器のデータ解析例

- EPA-E 縦軸エネルギー(0.1~1.5 KeV)、粒子カウント数がカラーコードで示されている。ビーム放出にともない10 KeV以上の高エネルギー電子が発生していることがわかる。
- PLP,FP オービタ帯電の指標、プローブ電圧が負になっているのは、オービタが正に帯電していることを示している。

添 付 資 料 3

SEPAC電子銃ヒータ系の異常に関する
第 一 次 報 告 書

SEPAC電子銃ヒータ系の異常に関する第一次報告書

1983-12-5

改訂 1983-12-11

1. 異常経過説明

打ち上げの75時間後に実施されたFO-4において、EBAのヒータ電源の異常信号(HTROLD)が発生し、同時にヒータ電圧/電流モニタがOV/OA(異常値)を示した。

その後自動的にソフトウェアによるリセット信号がEBAに対して合計3回送出されたが、これによるヒータ系機能の回復は見られなかった。

FO-4実施の約3時間後に行われたFO-6/5Bにおいては、異常信号(HTROLD)は発生しなかったが、ヒータ電圧/電流モニタはOV/OAのままであった。

FO-6/5B以降、ヒータ電流の設定値を変える等の復帰対策を行ったが、状況の変化は見られなかった。

異常発生経過および関連事項等を表1に示す。

表1 EBA及び他のサブシステムの異常

FO (T=OのMET)	EBA以外のサブシステム (SEPAC スペーススラブを含む)	EBA	備 考
5A/B/6 (2/13:38) 7/7 (2/15:06) 4 (3/ 3:13) 6/5B (3/ 6:23) 9A/B (3/ 7:30)	1. SEPACの制御シー ケンス(コマンド)が停 止 2. 上記異常に対する不適 正な処置 (例えばIU/DEPを OFF/ONをくり返 した?)	正 常 ? 正 常 ヒータ電源過負荷信号 ヒータ電源出力無し //	備 考 IHTR=14A ←ウォーター ダンプ IHTR=14A IHTR= 7A →10A →12A
	RAU異常) (RAU機能回復)		
7 (5/ 7:35) 9B (5/23:38) 9B (6/ 2:48) ⋮ 1 (8/18:40)	Experiment Computer からのミスコマンドにより HVCRST及びEBA自 動停止	ヒータ電源出力無し // // ⋮ //	IHTR=16A (OA/16A...) (くり返し) IHTR=16A (GPSSW OFF/ON) (くり返し) // IHTR=7A

2. 異常現状及び原因の推測

2-1 異常現状

前節異常発生の経過から次の二つの可能性がある。

- i) 電子銃ヒータが断線してその結果としてヒーター電源のDC/DCコンバータが異常を起した。
- ii) ヒーター電源のDC/DCコンバータのみが異常を起した。

2-2 原因の推測

- i) 電子銃のヒータの断線の原因としては異常直前まで電子銃に劣化の徴候が見られないところから、スペースシャトルからの廃棄水(Water Dump)等による真空の急激な劣化も考えられる。
- ii) DC/DCコンバータの異常の原因として、上記ヒータ断線による定電流電源の過大電圧発生によるもの、外部コマンドの短時間内ON/OFFの繰返しによるもの、内部素子の自然劣化によるものが考えられる。

3. 異常発生原因究明のスケジュール

1月10日頃	フライト機器引渡し(ケネディ宇宙センター)
1月11日～16日	ケネディ宇宙基地における第一次調査
1月25日	関係機器の日本へ送り返し
1月25日～2月上旬	宇宙研における詳細調査
2月上旬	修復作業開始

添 付 資 料 4

スペースラブ1号リフライトについて

スペースラブ1号搭載機器リフライトについて

NASAはスペースラブ1号を11月末に延期する際に夜の時間が大幅に短くなったため、影響をうけたSEPACをはじめとする下記の実験を1985年6月に再飛しょうする計画を検討している。

A E P I (高感度テレビカメラ)

S E P A C

A C R (太陽輻射常数計測器)

S O L A R C O N S T A N T (太陽輻射常数計測器)

S O L A R S P E C T R U M (太陽分光計測器)

I S O (大気光分光観測器)

G R I L L E (大気光観測器)

W A V E S (大気光波動計測器)

F A U S T (紫外望遠鏡)

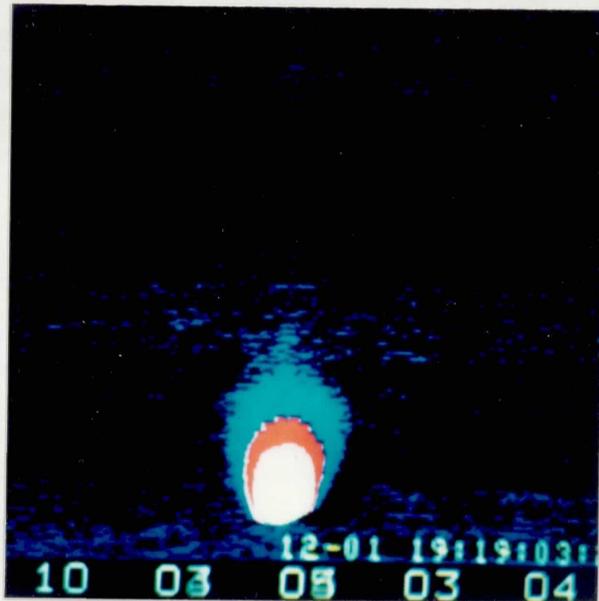
スケジュール

- | | |
|-----------|------------------------|
| 1983年12月 | 搭載機器内定 |
| 1984年 2月 | 実験要求条件審査会 |
| 5月 | 設計審査会 |
| 8月 | 組付前審査会及び機器引渡し(KSC) |
| 9月～ | 組付及びチェックアウト作業(レベルIV～I) |
| 1984年4～8月 | 搭乗者訓練及びシミュレーション |
| 1985年2～6月 | |
| 1985年 6月 | 飛翔実験 |

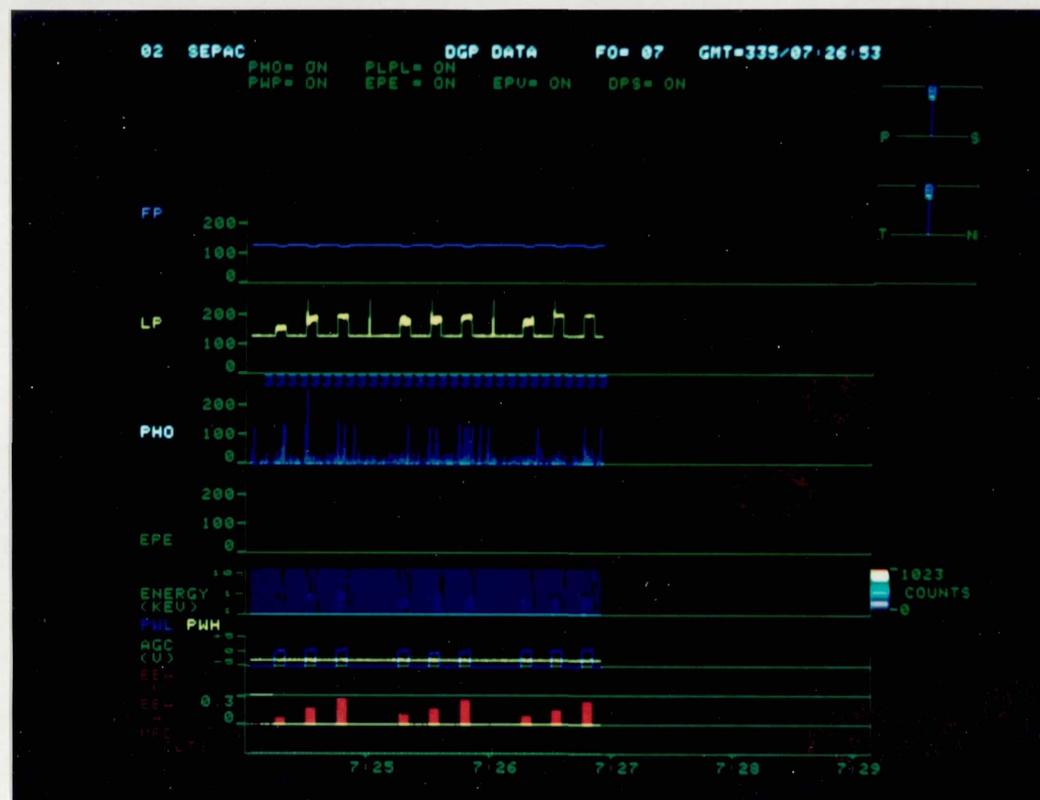
昭和58年実験時のシャトル搭載TV観測例



電子ビーム放出時のパレット機器の発光(TV観測例)、ビーム放出に伴いオービタ帯電のため、高速電子がパレット機器に衝突し発光する。この励起光強度が帯電強度の指標となる。



MPD-AJプラズマ雲放出の状況(TV観測例)プラズマはほぼ軸対象、垂直上方に放出されている様子がわかる。プラズマ雲のスケールは $\sim 10m$ である。

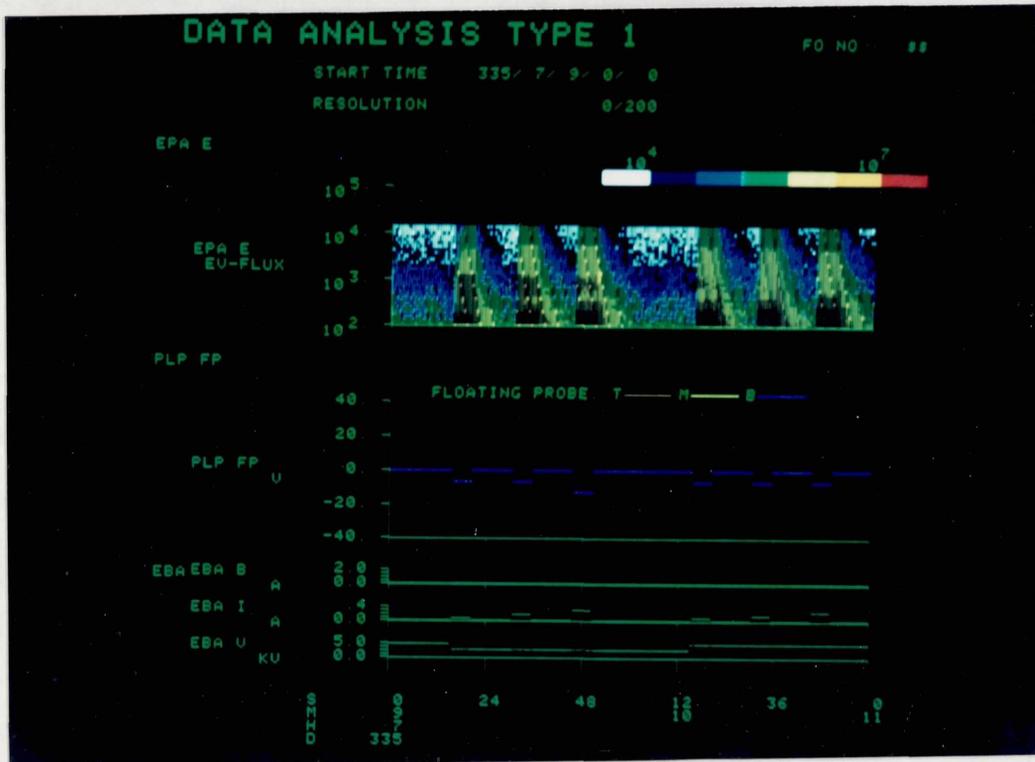


科学実験データを実時間解析装置で表示した例

電子ビーム放出(EBA)に伴い、オービタの帯電(観測機器FP)、プラズマの生成(観測機器LP)、高エネルギー電子群の発生(観測機器EPA)及び低周波波動の励起(観測機器PWL)等が認められる。

本画面は、オービタ上で実験が進行中、地上でその進行状況、科学的成果を実時間で判断するために準備された解析装置の表示例である。

(要返却)



電子ビーム放出時の粒子エネルギー分析器、フローティング探針器のデータ解析例

- EPA-E 縦軸エネルギー（0.1～1.5 KeV）、粒子カウント数がカラーコードで示されている。ビーム放出にともない10 KeV以上の高エネルギー電子が発生していることがわかる。
- PLP, FP オービタ帯電の指標、プローブ電圧が負になっているのは、オービタが正に帯電していることを示している。