宇宙における宇宙科学研究はここ 10 数年順調に発展し,明年には我が国初の深宇宙ミッ ションが実現する運びとなり、ハレー彗星探査の成功に期待が集っている。この様な華や かな飛しょう体による宇宙科学研究を支えるものとしてスペースプラズマ専門委員会のス ペースチェンバー設備及びプラズマ発生/検出装置と宇宙放射線専門委員会の X 線/ IR/UV 等の較正設備があり、旧東大宇宙研発足当初から地味ながら着実に運用されて きた、プラズマ発生/検出装置はこの中でも宇宙空間プラズマ諸現象の実験室におけるシ ミュレーションを軸としてスタートしその後宇宙空間におけるアクティブ実験のシミュレ ーションや宇宙観測や実験の為の機器開発・試験の分野にも発展して成果を上げてきた. 一方、飛しょう体関係の順調な予算の伸びに比してこの領域では新しい大型設備の導入 が認められない事,経常費予算の停滞,共同利用者の旅費の著しい制限等の難しい環境の 中で新しい発展への模索をしてきた事も事実である。いま、研究所が東大をはなれて国立 大学共同利用機関となり更に駒場キャンパスを離れて新しい相模原キャンパスに移転する に際しこれらの問題点の解決を含めて総合的な宇宙理学共同利用施設「スペース・サイエ ンス・ラボラトリーズ (SSL)」の構想へと発展していく事が検討されているが. 本成果報告 書がこれ迄のこの様な実験室における宇宙科学研究の成果と問題点を浮彫りにして新しい スペース・サイエンス・ラボラトリーズへの発展に一助となる事を期待するものである。

スペースプラズマ専門委員会 主査 河島信樹

Preface

Activities and scientific achievement of Space Plasma Simulation Facility are reviewed. This facility has been managed under Laboratory Space Plasma Committee since 1969 and has been used in cooperative programs with universities and institutes all over the country. Experiment equipments and instruments are summarized in chapter 2 and scientific results are reviewed in chapter 4. Its contribution to an education of graduate students is also pointed out. A list of publication is attached.

宇宙科学研究所報告 特集第10号 1984年3月

第1章 プラズマ発生・検出装置経緯

プラズマ発生・検出装置は東京大学宇宙研究所発足間もない昭和40年と42年にそれぞれプラズマ発生装置及びプラズマ検出装置として設置されたものである。宇宙研究の中心的事業であるロケットや人工衛星を用いた宇宙科学研究と併行してこの様な実験室設備の重要性が認識され、スペースチェンバー設備と併行して設置された。元来は部門共通設備費として予算措置されたものであるが、宇宙研の全国共同利用研究所としての性格から、昭和44年から全国共同利用設備として活用されてきた。その共同利用の運営は宇宙研及び所外の関連研究者の代表から構成されているスペースプラズマ専門委員会が所掌している。東大宇宙研時代は宇宙研におけるロケットや人工衛星に直接関係する特別事業とは一線を画し、部門経常事業の枠内で共同研究委員会の傘下で取り扱われきたが、昭和56年国立大学共同利用機関として独立するに際し、理学系の特別事業関係をとりしきる宇宙理学委員会の下部科学研究の一翼を荷う事になった。設立時の予算規模は昭和40・42年度で総額約80,000千円であったが毎年の維持費・共同研究費等の経常費を除いては過去10年以上の間にまとまった設備の新設は、昭和55~56年度に配当されたのを含め約25,000千円が計上されている。

プラズマ発生、検出装置の初期の目的は、宇宙空間プラズマの諸現象の実験におけるシミュレーションであったが、その後宇宙空間におけるアクティヴ実験の発展に伴い、アクティヴ実験に関連した実験室シミュレーション及び宇宙観測及びアクティヴ実験の為の搭載機器の開発及び試験の比重が増大してきている。

研究テーマは毎年1月に2月末頃を期限とした公募が全国大学・研究機関に対してスペースチェンバー装置と一緒に行われ、これをスペース・プラズマ専門委員会で3月はじめに審査して決定され、4月から運用される。又、年度内でも随時専門委員会に申出てもらい審査の上弾力的に運用されている。

年間約10~15件の共同利用研究が進められ約20~30人の研究者がこれに参加している。年間の運用は経常経費が昭和58年度プラズマ発生装置の維持に直接必要な経費及び全国共同利用を運用するに必要な経費を合せて約7,000千円,その他光熱水料を含む共通経費で行われている。これまでの経常費の推移を見てみるとこの中で特に維持費及び設備改良費が高度成長時代を経過したにもかかわらず設立当初から全く増えていない事とプラズマ共同研究費がロケットによる宇宙観測の一つの搭載機器の経費の3分の1にも満たない事が発展の大きな制約になっている。同種の分野での名大プラズマ研究所におけるプラズマ共同利用研究経費に比べてもはるかに小さい。

運営は、設立当初は伊藤富造(当時助教授),久保治也(助手)が担当していたが昭和44年からは河島信樹(助教授),久保治也が担当し、最近は河島、佐々木進(助手)がこれに当っている。又設立のほぼ当初から技官の矢守章が実際の設備の保守運用に当りこれを技術補佐員の山口崇紀(昭42~44年)、渡辺勲(昭42~44年)、和宇慶朝繁(昭45~47)、萩原通伸(昭48~52)が補佐したが。昭和53年以降はこの技術補佐員の補充が認められずこれが第二の大きな制約条件となっている。第三の制約は旅費の不足である。現在1研究テーマ当り地方からの研究者に対しては2週間の旅費しか出していない。この二、三年更にこの制約は厳しくなってきている。これは他の全国共同利用研究所に比べてあまりにも制約が厳し過ぎる事から。宇宙研の利用に対する失望感を研究者に与えている事は否めない。このプラズマ発生検出装置は、全国共同利用研究として第三章に述べる様な多くの研究成果が得られているが。この他に大学院教育における貢献も見逃がせないものである。既に8人の学位取得者を関連研究所や大学・企業に送り出し又、博士課程中退者及び修士課程で企業に就職したのを含めれば、15人近い大学院の学生の教育に貢献している。

第2章 装置及び計測器の概要

プラズマ実験室に備えられている機器を大きく分けると次の四種類に分けられる.

- (1)プラズマ及び電子ビーム発生装置
- (2)電源機器及び発振器
- (3)計測器
- (4)真空系機器
- (1)の装置を使用しての実験を行なう際。 その目的に応じて(2)~(4)の各機器が色々組み合わさって使用される。
- (1)の装置の内容が本実験室を特徴づけるものと言えるであろう。以下順を追って各項目に属する機器の説明を行なう。

2-1 プラズマ及び電子ビーム発生装置

2-1-1 宇宙空間プラズマ実験用高密度プラズマ発生装置(プラズマ銃)

宇宙空間のプラズマ現象を実験室で模擬するには一般に高密度のプラズマと強磁場が要求される。本実験室では同軸型プラズマ銃を使用した高密度プラズマ発生装置を採用している。そのブロック図を Fig. 1 に示す。

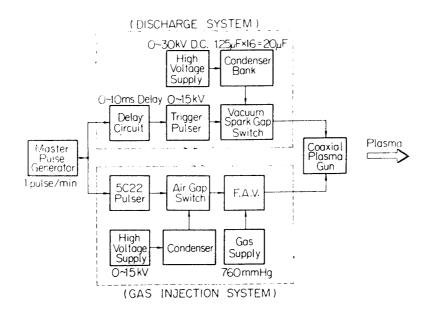


Fig-1 ブロックダイアグラム

プラズマ銃は機能上二つの部分に分けて考えられる。つまり一つはプラズマとなるべきガスを電極間にパルス的に放出される Fast Acting Valve (FAV) 部,もう一つはその放出されたガスを放電,加速する主放電回路である。Fig. 2-1 に主放電図路の概略図を示す。ここでスイッチはコンデンサ($20~kV~20~\mu F$. 4~kJ Typical)にたくわえられているエネルギーを8本の同軸ケーブル(10C2V)を通してプラズマ銃に注入するものであるが,現在はイグニトロンが使用されている。但し真空スイッチを使用する事も可能である。プラズマ銃の電極は一対の同筒状の電極から構成され,この電極間に流れる放電電流が作る磁場により $I\times B$ のローレンツ力がプラズマに作用して高速度に加速する。電極間の距離を大きくすると。電流の Path が長くなりプラズマに不安定が生じるが,プラズマ銃の耐圧は大きくなる。このプラズマ銃は電極間の圧力が 10^{-6} (Torr) で約 30(kV) の耐圧をもっている。

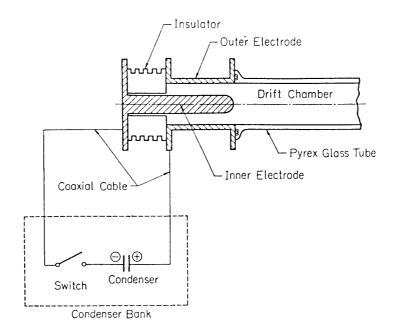


Fig-2-1 同軸型プラズマ銃の概略図

プラズマ銃の主要な寸法は次のとおりで、詳しい図を〔Fig-2-2〕に示す。

内部電極外径…… 49 mm φ 外部電極の長さ……160 mm

外部電極内径······· 152 mmφ 材質·············銅

内部電極の長さ…… 250 mm

下記の条件で本装置を動作させた時のプラズマのパラメーターを〔第1表〕に示す。グリッドはプラズマ・ガンの前方 25 (cm) の所に置かれ、プラズマ流中の turbulent な磁場・電場を減小させる。

充電電圧······16(kV)

ドリフト・チェンバー

F・A・V 作動とプラズマ

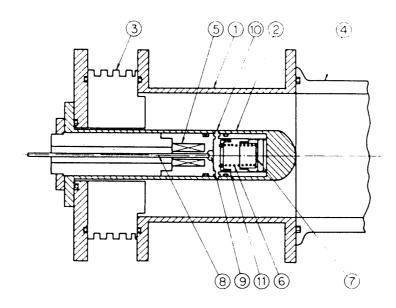
銃放電時間の間隔······350(μs)

プラズマ持続時間……約 $20(\mu s)$ (但しプラズマ銃より 1 m 離れた点)

写真-①に本装置の外観を示す.

2-1-2 定常高密度磁化プラズマ発生装置 (TPD)

本装置は定常的に高密度のプラズマを発生するもので [Fig3-1] に装置の全体図を示す。 放電部(I) はその真空度が 0.1~1(Torr) で, Anode-Cathode 間に 100 V 位の電圧が印加 されるとアーク放電を起し、プラズマがガイド磁場に沿って実験部(II)へと拡散してい く. その詳しい図を〔Fig3-2〕に示す. 動作範囲として



- ① Outer Electrode ② Inner Electrode
- (3) Insulator
- 4 Pyrex Glass Tube (5) Driving Coil
- 6 Spring

- (7) Stopper (10) Gas Exit
- 8 Teflon Tube
- (9) Plenum Chamber

Fig-2-2 Cross-Sectional View of the Coaxial Plasma Gun

11) Disk (aluminium)

第 1 表

	グリッドあり	グリッドなし
密度(cm ⁻³)	8. 5×10 ¹³	2 ×10 ¹⁴
電子温度(eV)	3. 5	6
速 度 (cm/s)	6×10°	2 ×10 ⁷

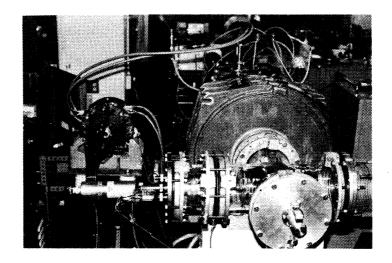
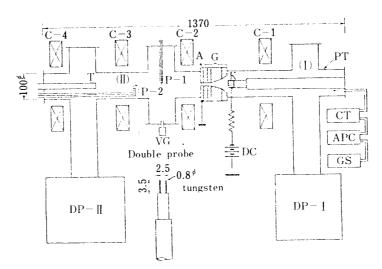


写真1



DP-I, DP- [:4"-oil diffusion pumps

(I): Discharge chamber

K: Oxide coated cathode

G: Intermediate electrodes(floating)

VG: Ionization vacuum gauge

CT: Liquid nitrogen cold trap

GS: Helium gas surce

DC: DC power supply

PT: Pyrex glass tube

(]]): Plasma drift chamber

A: Anode (grounded)

T: Target (floating)

P-1, P-2: Double probes

APC: Automatic pressure controller

C-1~C-4: Air-core coils

Fig. 3-1 Schematic diagram of DC plasma production device.

- ①放電電圧及び電流·····100 V-0.65~10 A
- ②放電部真空度………0.1~1 Torr
- ③実験部真空度·······10⁻⁴~10⁻³(Torr)
- ④ガイド磁場······800~3 k (Gauss)

代表的なプラズマパラメーターとして(放電電流=8A)

①プラズマ密度……1.5×10¹⁴(cm⁻³)

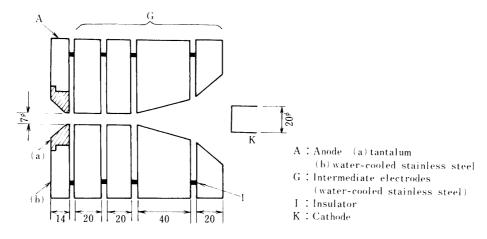


Fig. 3-2 Details of anode and intermediate electrodes.

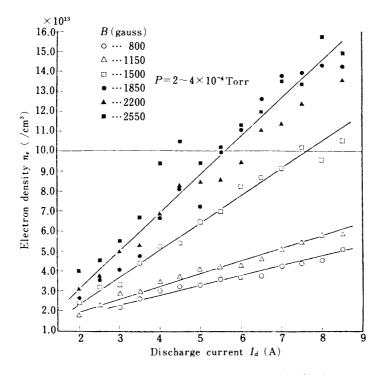


Fig. 3-3 Change of electron density with dischage current for various values of magnetic field strength.

- ②プラズマ温度······10 eV
- ③プラズマ径……·1.2 cm
- ③プラズマ長……50 cm

ガイド磁場をパラメーターとして、放電々流に対する電子密度の変化を〔Fig3-3〕に示す。

2-1-3 レーザープラズマ発生装置

2-2-5章に述べるジャイアントパルスレーザーからの大出力レーザーパルスを各種ターゲットに照射してパルスプラズマが発生される。

ターゲットとしては、各種金属・ポリエチレン等実験目的にあわせて選択するが、フィルム形状のターゲットについては自動まきとり装置を使用することができる.

生成されるプラズマパラメータはターゲットの種類にも依存するが典型的には,

生成量

 $10^{14} \sim 10^{15} \text{ pairs/shot}$

生成スケール $0.1\sim0.2 \text{ mm} \phi$ (focusing)

である.

プラズマ中には keV 以上の高速電子成分が一般に含まれる。

2-1-4 マイクロ波プラズマ発生装置

2-2-4 で述べる大出力マイクロ波発生振器からのマイクロ波を用いて. 電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) によりプラズマを生成する.

① X バンドマイクロ波発振器によるプラズマ生成

導波管回路:抵抗減衰器.無反射終端器.アイソレーター.サーミスタマウント. 方向性結合器.

共鳴磁場強度:3300 Gauss (fundamental harmonics)

② Sバンドマイクロ波発振器によるプラズマ生成

導波管回路:精密抵抗減衰器,方向性結合器。サーミスタマウント。

共鳴磁場強度: 880 Gauss (fundamental harmonics)

この方式によって生成されるプラズマ密度は真空度及びマイクロ波出力によって調整される。 典型的な電子温度は $10~{\rm eV}$ 程度であるが通常 ${\rm keV}$ 程度の高エネルギー電子も含まれる。

写真-②に外観を示す。

2-1-5 相対論的大電流電子ビーム装置

本装置は通称 $R \cdot E \cdot B$ (Relativistic Electron Beam) 装置と呼ばれるもので、約 5ns のパルス幅で大電流の高速電子ビームを発生させる。電子ビームのパラメーターとして、

PFN (Pulse Forming Network) の誘電体として油を使用した場合

「最大エネルギー……500(keV)

電流值 ·····約 10(kA)

「パルス幅 ……約 5(ns) で与えられる。

〔Fig-4〕にプロック図を示す

本装置は大きく分けて2つのブロックに分けられる.

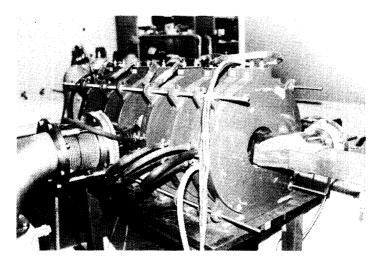


写真2

REB System Block Diagram

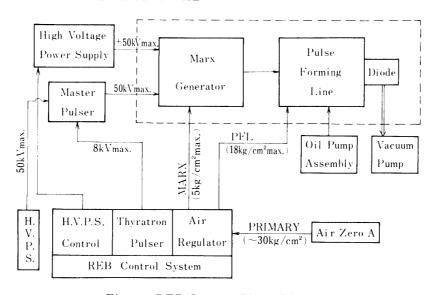


Fig-4 REB System Block Diagram

① 高電圧発生部 (Marx Generator)

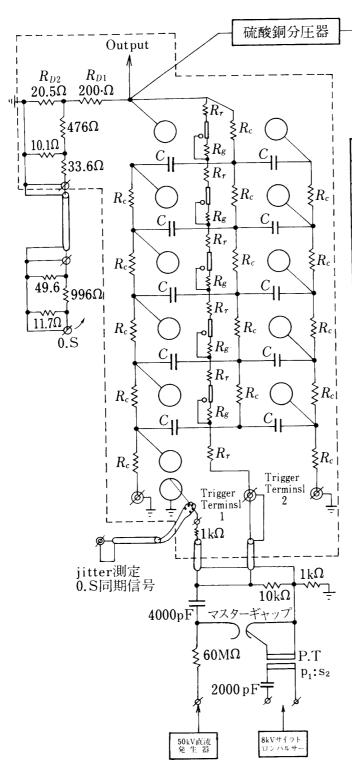
最大 500 (kV) という電圧の発生部で、その中心となるのは [Fig-5] に示した Marx Generator である。 Marx Generator はコンデンサーを並列充電し、スパーク・ギャップをとばして直列結合にして高電圧を発生させるものである。定格としては下記の通りである。

 公称発生最大電圧
500 (kV)

 公称合成充電容量
6 (nF)

コンデンサー充電電圧……±50 (kV)

最大充電エネルギー ……750 (J)



記号	名 称	定格
C	Capacitor	0.06µF
R_c	Charging Resistor	$20 \mathrm{k}\Omega$
R_r	Trigger Resistor	$1 \mathrm{k}\Omega$
R_{g_1}	火花照射抵抗	$10 \mathrm{M}\Omega$
R_{g_2}	"	$1 \mathrm{M}\Omega$
R_{D1}	Damping Resistor	200.2Ω
R_{D2}	"	20.54Ω

→ 0.S

Capacitor					
t	type NCBI-D20G40				
5	0kV,0.06	$\mu\mathrm{F}\!+\!0.06$	βμF		
rn de	#U.u. ===================================	実測静電	容量(αF)		
段数	製造番号	当図 左側	当図 右側		
5	T2005	0.0580	0.0585		
4	T2004	0.0598	0.0596		
3	T2003	0.0587	0.0589		
2	Т2002	0.0584	0.0586		
1	T2001	0.0586	0.0581		
直列結線静電容量5.872nF					

Fig-5

始動トリガー電圧 ……50 (kV)

形 状 ……1,150×930×1,250 (廣守)

重 量 ……1800 kg (推定)

② パルス電子ビーム発生部 (Pulse Forming Network Diode)

Marx Generator で発生した高電圧を約5 (ns) のパルス波形にする Pulse Forming Line と冷陰極電子放出による電子ビームを発生させる Diode より構成される。 Pulse Forming Line は Blumeline を採用している。 現在パルス巾の短い電子ビームを得る 為に Blumeline の誘電体として油を使用しているがこれを変える事により,例えば Blumeline の容器を充たしている液体を油より純水に変えることにより、そのパルス 巾と特性インピーダンスが変化しその結果 Diode に伝達されるエネルギーを大幅に 増加させる事が出来る。

Diode の Anode としては $20 \ge 20$ Ti Foil を使用している。 写真-③に外観を示す。

2-1-6 定常大電流電子ビーム発生装置

電子ビーム放出用の電子銃としては次の二種類が備わっている.

1. SEPAC 実験用電子銃(東芝製)

最大定格出力 10 kV 2.5A (25 kW)

カソード 傍熱型 10V 16A

電極方式 ウェネルト型、三電極

外形寸法 90^{\$\phi\$}×140^{\$\empty\$} mm

本電子銃は、カソード汚染劣化防止のため真空度 10-6 Torr 以下で使用する必要が

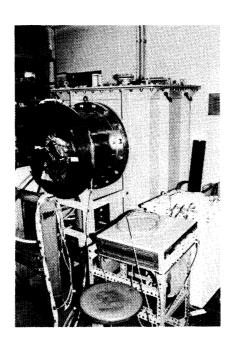


写真3

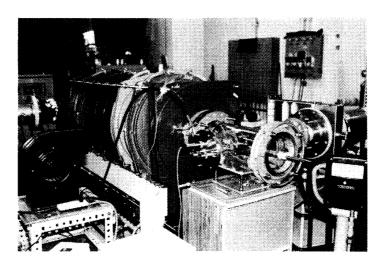


写真4

ある

2. 蒸着用電子銃(日本電子製)

最大定格出力 6 kV 0.5A (3 kW)

カソード 直熱型、トリウムタングステン

カソード定格 4V 40A $2 mm \phi$ (板ヒータータイプ)

電極方式 ウェネルト型、二電極

外形寸法 100×100×100hmm

これらの電子銃は用途にあわせ、2-2章の直流及びパルス電源と組み合わせて使用する。 写真-4に外観を示す。

2-2 電源機器及び発振器

2-2-1 コンデンサー・バンク

①コンデンサー・バンクF(日本コンデンサー製)

本機器は操作盤、本体との2体より成っている。操作盤の動作により本体をコントロールし、自動で充電、放電のくり返し動作が可能となっている。本体にはコンデンサー・バンク、イグニトロン又は真空スィッチ、真空ポンプ、始動パルス発生器、充電器等が設置されている。

定格として

コンデンサー容量············1.25(μ F)×16=20(μ F)

最大充電々圧……30(kV)

最大充電エネルギー……9(kJ)

出力端………両側接地せず

出力端短絡時の放電周期·····20μs

内部インダクタンス……0.5_μH

くり返し充放電周期……40(sec)

形 状………2,800×1,200×2,000

重 量······2,000(kg)

本機器はプラズマ・ガンのエネルギー源、その他大電流放電のエネルギー源として使用されている。 コンデンサー・バンクのエネルギー放電スィッチとして現在、イグニトロン・スィッチ($G \cdot E$ 社製-GL-37207)が使用されているが真空スィッチも使用可能となっている。

写真-⑤にその全体の外観を示す。

②コンデンサー・バンクS (日本コンデンサー製)

コンデンサー・バンクFに対して本機器は大容量、低電圧のコンデンサー・バンクで比較的タイム・スケールの長いパルス磁場の発生等に使用されている。コンデンサー・バンクFと同様操作盤、本体との2体より成っている。本体はコンデンサー・バンク、放電スィッチとしてのイグニトロン、始動パルス発生器、放電器等が設置されている。定格として

コンデンサー容量……200(μ F)×18=3600(μ F)

最大充電々圧……5(kV)

出力端………負側接地((+)出力)

内部インダクタンス(出力ケーブル含まず) ·····2μH

最大許容電流………60 kA

最大充電エネルギー……45(kJ)

繰り返し充放電周期……40 (sec)

形 状 ………2,200×1,350×2,500

重 量·······1,000 (kg)

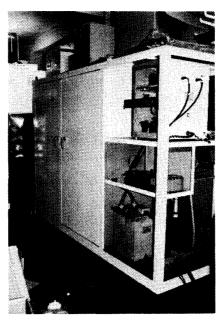


写真5

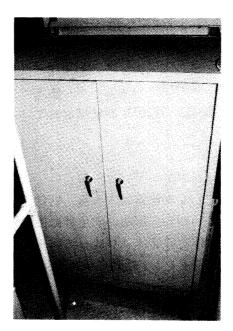


写真6

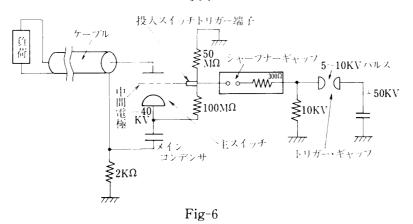


写真-⑥にその全体の外観を示す。

③ 40kV コンテンサー・バンク F

[Fig-6] に本機器の概略図を示す。 $5\sim10~\rm{kV}$ のトリガーパルスによりトリガー・ギャップが放電し、 $50~\rm{kV}$ のパルスがシャープナー・ギャップを動作させて、主スィッチの中間電極の高圧トリガー・パルスを印加する。その結果、 CO_2 ガスが流れている主スィッチが放電し、メイン・コンデンサーのエネルギーが負荷側に流れこんでいく。

定格として

コンデンサー容量······11.25 (μF)

最大充電々圧……40 (kV)

出力端······正側 2kΩ で接地(-)出力

内部インダクタンス………50 nH 以下 (同軸ケーブル 4.5 m 36 本並列の出力端)

出力端短絡時の放電周期……4 µsec

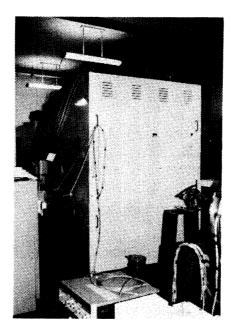


写真7

④ 2KJ コンデンサー・バンク S (俗称シャトル・バンク)

本コンデンサー・バンクはプラズマ・ガン動作用として作られたもので、主コンデンサー部と FAV (Fast Acting Valve) 用コンデンサー部の 2 系統より構成されている。本機器には Delay Pulser が内蔵されていて、主コンデンサー放電と FAV コンデンサー放電のタイミングが 0.1 (ms) ~ 1 (ms) の間で可変出来る様になっている。

定格として

主コンデンサー答	7量	$\cdots 2.5 \mu\text{F} \times 4 = 10 (\mu\text{F})$
主コンデンサー	最大充電電圧	·····20 (kV)
	出力端	······負側 1kΩ で接地((+)出力)
	内部インダクタンス	·····0.2μH 以下(全 2m×24 本ケーブル)
主コンデンサー	最大充電エネルギー	·····2 (kJ)
FAV コンデンサ	ー容量	$\cdots \cdot 4 (\mu F)$
FAV コンデンサ	- 最大充電電圧	·····10 (kV)
	出力端	······負側 6kΩ で接地((+)出力)
FAV コンデンサ	ー 最大充電エネルギー	-·····200 (J)
形 状	1,550 \times 80	$0 \times 1,200$

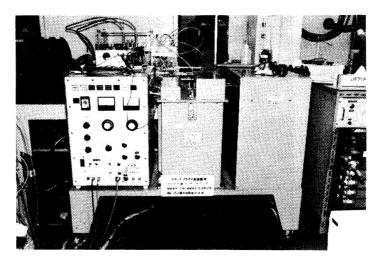


写真8

重 量………500kg (推定)

写真-⑧にその外観を示す。

⑤ 指月コンデンサー・バンク

本装置は次の機器を1匡体に収納している.

- 1) コンデンサー $20\mu F \times 8$ 個
- 2) 気中ギャップ
- 3) 充電器及びトリガーバルス発生器
- 4) 電圧調整器及び操作盤

定格としては.

- 1) コンデンサー容量 $\cdots 20\mu F \times 8 = 160\mu F$
- 2) 最大充電々圧 ······10kV D•C
- 3) 最大充電エネルギー8kJ
- 5) 総合残留インダクタンス……600nH 以下
- 6) 短絡負荷時の放電周期 ……20μs

形状

.....

重 量

·····800 kg

- ⑥ 小型コンデンサー・バンク一覧表
 - 1) 16μF——20kV DC——3.2KJ
 1台
 - 2.4μF——20kV D•C——480J 1台 大気圧ギャップスイッチ
 - 3) 0.1μF---15kV D•C---11J 3 台5C22 サイラトロン・スイッチ
 - 4) 1.5kV——

1台



写真9

	名	Ā	%	単 位	規 格	1/lii	زام
开乡	東各	流	li st		三相全波		
<i>)</i> 'L	范		格		S	100% 連新	hi.
./.	東各	流	100 100		压价瓜		
企	пј	飽和リラ	> クトル		11		
却	変	J f	ing fut		油冷式		
fj !	11]	飽和リアク	トル制御盤		自治式		
1.	14	FF (61)	御盤		"		
	ì	机	数	φ	3		
交		Jij i	皮 数	e _s	50	± 2 °s	
	路	電	7±	V	3300	± 150 V	
	操	相!	数	φ	3		
流	作	周 。	皮 数	e _s	50		
	路	電	J.E.	V	200		
100100101	1,,,	儙	J.E	V	500		
	連上	電圧調	整範囲	V ~ V	6~500		
p/sj	松	電	流	A	600		
	運	定電流。	改定 範 囲	A ~ A	60~600		
	一帳上	定 電 活		%以内	1	各設定値に於	いて

6G45 サイラトロン・スイッチ

写真-⑨に外観を示す。

2-2-2 直流及パルス電源

① 磁場電源(オリヂン電気製)

本器は強磁場発生コイル (MAGNION 社製) の電源として設計されたシリコン整流装置で、高圧受電盤(AOB),変圧器,可飽和リアクトル盤,可飽和リアクトル制御盤,シリコン整流器盤,切換盤,遠隔制御盤の各部に分れており,運転は遠隔制御盤にて行う。

可飽和リアクトル盤及びシリコン整流器は風冷式である.

		電 H	V	500	
	B.102	電 圧 調 整 範 囲	V~V	6~500	
	瞬	電流	A	2,000	
	時	定電流設定範囲		600~2,000	
		定 電 流 精 度	%以内	± 1	
流	連	通 電 時 間	秒	10	
()IL	転	休 止 時 間	秒	110	
	#44	繰 返 し 時 間	時間	3	
		停 止 時 間	時間	1	
	そ	電 流 変 動		± 1	
	0	1時間当りのドリフト	%以下	± 1	
	他	脈 動 電 圧	%以下	± 4	抵抗負荷に於いて

	受 電 盤	トランス	本 体	制御盤
形状	900× 1,600W×1,500h	1,300× 1,100×1,700h	3,900×1,000×2,050 (中) (奥行)(高さ)	1,600×900×1,500
重量	200kg	500kg	2,000kg	300kg

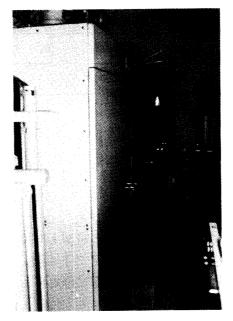


写真 10

本器の定格は下記の通り.

写真-⑩に本体の外観を示す.

② 13kV-2.5A 高圧直流及びパルス電源(京三製作所)

本器は電圧調整部・直流高電圧発生部・直流高圧スイッチ部の3つにより構成されている。最大13kVの直流電圧は高圧スイッチ盤により負のパルス出力及び連続出力となり負荷に印加される。

直流高電圧発生部

出力電圧 0-13kV 出力電流 0-2.5A

リップル及び安定度 1% (定格にて)

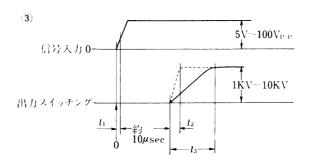
高圧スイッチ部の定格を下に示す.

- 1) 高圧入力 約 1kV~13kV(但し. 220V 入力で. スライダック調整による) 2.5A 連続
- 2) 高圧出力 約 1kV~10kV (但し、スライダック調整による)2.5A 連続(約 3A でカットオフ)
- 3) 信号入力と出力スイッチング特性。
- 4) 外部信号による運転。(出力のパルス幅)
 入力信号 J に対して: 1µsec ≤ J 〈約 10µsec のとき約 10µsec。
 J ≥約 10µsec のとき入力信号巾に準ずる。

写真-⑪に外観を示す.

- ④ 小型高圧電線類
 - 50kV-20mA……負極性(日本コンデンサー製)

 - ② 10kV-10mA······ 両極性(FLUKE 製)



		電圧調整部	高圧発生部	高圧スイッチ部
形	状	655×665×1,435 (巾)(奥行)(高さ)	1,000×750×1,400	570×450×1,574
重	量	100kg	1,000kg	100kg (推定)

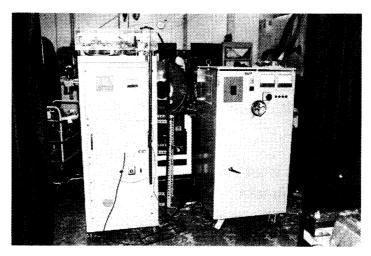


写真 11

- ③ 5kV-50mA……両極性 (パルス電子製)
- ④ 4kV-0.1mA(JANNU製)
- ⑤ 3kV-10mA (東京原子製)
- ⑥ 3kV-6mA (H•P製)
- ⑦ 2.7kV-1.1A (京三製)
- ⑧ 1.5kV-30mA (高砂電源製)
- ⑤ 小型. 低圧電源類
 - ① 500V-10A (昭和電子製)
 - ② 500V-0.5A/655 (メトロニクス製)
 - ③ 500V-0.2 "/USA-505 (昭和電子製)
 - ④ 200V-100A (オリヂン電気製)
 - ⑤ 100V-100 "/SSQ-10 (京三製)
 - ⑥ 100V-100A (京三製)
 - ⑦ 75V-1A/R-700 (昭和電子製)
 - ⑧ 55V-60A/GP055-60 (高砂電源製)
 - 9 55V-60A/GP055-60 (高砂電源製)
 - $10 \quad 50 \text{V} 2 \text{A} / \text{GP} 050 2 \quad (\quad n)$
 - ① 35V-1.25A/544B (メトロニクス製)
 - (12) 35V-1A/531C (")
 - 32V-22A/411-32 ("")
 - ②4V-120A (京三製)
 - ⑤ 20V-75A (NISTAC 製)
 - 16 18V-50mA/521A (メトロニクス製)

2-2-3 100 kW 高周波発振器 (日本高周波製)

本器は 2MHz, 7MHz, 15MHz の 3 周波数帯を出力する RF ハイパワーパルス発生器

で. 仕様は下記の通り.

周波数·······2MHz, 7MHz, 15MHz

出 力 ······ 各周波数 100kW

パルス幅………lms

立ち上り······100μs

立ち下り······5μs

繰り返し………内部 10 秒,外部及び単発可能

出力インピーダンス……50Ω

形 状·······電源部 800×1060×1310 h, 発振部 600×580×1170 h

10(s) 周期ののこぎり波形発振回路より起動パルスを作り,このパルスにより発振をスタートし。停止パルスによりストップする。なお。起動パルスはのこぎり波形発振回路の他、単発回路、外部入力回路よりも発生可能となっている。

2-2-4 マイクロ波発振器

① Xバンドパルスマイクロ波発振器

マグネトロン 周 波 数	2 J42 9375MHz
最大出力	9 kW
パルス幅	0.1~2.5μS (但し出力のくり返しを押える事による)
くり返し	2 kHz
駅 動 電 源	2-2-2 ② 13kV-2.5A 高圧パルス電源を使用
印加電圧	5.5kV
" 電流	2 A

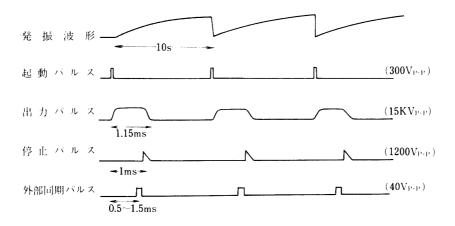


Fig-7

② S-バンド定常マイクロ波発振器

マグネトロン	2 M 69 (A)
最大出力 (定常)	1 kW
周 波 数	2.45 GHz
駆動 電源	2 - 2 - 2 (3) - (7)
	2.7 kV 1.1A (京三製)を使用
印加拉托	2.5 kV
" 電流	1 A
フィラメント電圧・電流	5 V ∼20A

2-2-5 ジャイアント・パルスレーザー JLS-R9 (日本電子製)

レーザー発振装置は、レーザー発振部(JLS-R9)とレーザー増幅部(JLS-R8)から構成され両者を合せて尖頭出力 320 MW。 パルス幅 20 ns 以下の高出力単一レーザーパルスを発生する。

レーザー発振部 (JLS-R9)

概 要

JLS-R9 ジァイアントパルスレーザは、ポッケルズセルQスイッチング方式による高 出力ジャイアントパルスレーザ装置である。

レーザ発振素子としてルビーロッドを使用しており、ルビーの螢光波長 6943 Åで尖頭 出力 80 MW. パルス幅 20ns 以下の高出力単一レーザパルスを発生する。

レーザヘッド部は $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 64 \text{ cm}$ とコンパクトにまとめられており、あらゆる姿勢で使用できる。電源部はレーザ発振に必要な全ての電気回路を収納しているほかレーザ増幅器(JLS-R8)との接続に必要な各種信号出力端子を備えている。

② 性能および仕様

総合性能仕様

発振波長労頭出力	6943Å >80MW	
パルス巾	<20ns	
ビーム開き角	<5 mrad (全 角)	注: 1
出力安定度	<5 % (標準編差)	iE 2
ジッタ	10ns	žit 3
発振くり返し	4 ppm	
増申器との接続	JLS-R8との接続により	出力320MW
Qスイッチ方式	ポッケルスセルQ スイッチ	

- 注1 1/2 強度になる全項角
- 注2 発振しきい値近傍を除き、コンデンサ充電電圧一定とする。
- 注3 ボッケルズセルが開いてからレーザ発振までの時間ジッタ。

Oレーザヘッド	$3/8" \times 4" (9.5 \text{mm} \phi \times 101 \text{mm})$
ルビーロッド	ヘリカル Xe ランプ
フラッシュランブ	ヘリカル Xe ランプ
集 光 器	MgO による完全拡散反射筒
偏 光 子	ブリュスタ角配置ガラスタタック
ホッケルズセル	KDP
冷 却 方 式	ルビー, Xe ランプ 共水冷
·	$102 \times 102 \times 640$
TC H	約1kg(ケーブルを除く)
〇電 源	
充電エネルギ	3240 J max
光 電 方 式	定電流定電圧充電方式(特許出願)
ボッケルズセル電源	組一込
電 源 入 力	AC 100V 50/60Hz
· 法	$770 \times 600 \times 450$
重	約120kg

② レーザー増幅器 JLS-R8 (日本電子)

本装置は $15 \text{ mm} \phi \times 150 \text{ mm}$ のルビーロッドを増幅素子とし、ヘリカルフラッシュランプで励起する大型レーザー増幅器であり、下記の各種レーザーとの併用が可能である。

JLS-R5	ジョイアントパルスレーザ	-(回転プリズム方式)
JLS-R6	n	(回転プリズム方式)
JLS-R9	n	(ポックルズセル方式)
JLS-R11	n	(ポッケルズセル方式)
JLS-R16	モードロックレーザー	

性能及び仕様は

增幅素子 增幅波長	人工単結品ルビー 693ÅA	15 mm $^{\phi}$ $ imes$	150mm ^{I.}
增幅倍率	4 倍以上		
尖頭出力	JLS -R 5 と併用の時	320MW	320MW
	JLS -R 9 "	11	n
	JLS -R 11 "	600MW	600MW
	JLS -R10B+L A 101	n = n	10GW
			(30ps)
くり返し	1 ppm		

となっている。

写真12に外観を示す。

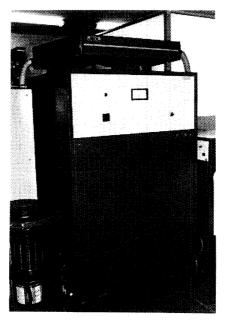


写真 12

2-3 計測器,信号発生器

2-3-1 オシロスコープ. メモリースコープ及びトランジェントレコーダ

① 7633 (SONY・TEKTRONIX 社製) ······ 3 台

100 MHZ (アンプ及本体) のメモリー・スコープで 7A26 プラグ・イン

2台使用すると2chの同時入力可能となる。

Writing Speed \begin{cases} 高速バイステーブル $50 \text{ cm/psec}(400)[() \text{ lt Reduced Scan})] \\ 高速連続 <math>150 \text{ //} \text{ (2,222)} \end{cases}$

② TS-8123 (岩通製)

100 MHz (本体) のメモリー・スコープで GPIB が設置されているので, コンピューターとの接続が可能となっている.

Writing Speed 2500 cm/µsec

X軸·····20 ns/div~0.5 s/div

Y軸…… $1 \text{ mV/div}\sim 5 \text{ V/div}$. 2 ch

③ 7844 (SONY·TEKTRONIX 社製)

400 MHz (本体) の Dual Beam のオシロスコープ

X軒·····10 ns/div~5 s/dv

Y軸……7A19 プラグ・イン (400 MHz)

10 mV/div~1 V/div 50Ω 入力

④ 555 (SONY·TEKTRONIX 社製)

30 MHz Dual Beam のオシロスコープ.

X軸…… $0.1 \mu s/div\sim 5 s/div$

⑤ V-108 (日立製)

1 MHz のメモリー・スコープ

X軸······1 μ /div~5 s/div

Writing Speed: 0.8 \(\mu\)s/cm

⑥ 323 (SONY·TEKTRONIX 社製)

二電源方式の4MH.ポータブル形式のオシロスコープ.

X $mathred{m} \cdot ... \cdot 5 \mu s/div \sim 1 s/div$

Y軸……0.01 V/div~20 V/div

⑦ 5510 (菊水製)

 $DC\sim10 \text{ MHz}$ のオシロスコープ.

X m······1 μ s/div \sim 0.5 s/div

Y軸·····10 mV~10V/div

⑧ V-1010 (日立製)

100 MHz のオシロスコープである.

⑨ トランジェントレコーダ 610B (Biomation 社製): 3台

単発のトランジェント現象や繰返し現象を高速 A/D 変換する (サンプリング時間: 0. $1 \mu s$ (最小))

記録した信号を普通のオシロスコープや XY, SCR で表示する.

- ○バッファ デジタル出力 (6ビット×256ワード) 可能。
- ○記録時間:20 μ 秒~10 秒 (18 レンジ)
- ○広帯域周波数特性:DC~2.5 MHz
- ○デファレンシャル入力:フルスケール 50 mV~5 V (10 レンジ)

2-3-2 超高速度カメラ

(1) Image Converter Camera (HADLAND PHOTONICS LIMITED)

Image Comverter Camera は超高速の現象、例えば放電現象等を電気的に駒撮り、流し撮りするカメラである。

駒取りは 内部/外部

分解能 10 line pairs/mm(10⁵ フレーム)

プラグインとしては

プラグイン	FPS	露光時間(1駒当り)	インター フレーム	全記録時間 (8駒)	全記録時間 (16駒)	最初の駒まで の遅延時間
2/5T	2 ×10 ⁵	1 μs	5 μs	$40 \mu s$	$80\mu s$	$2.5\mu s$
1/6T	1 ×10 ⁶	200ns	1 μs	8 μs	$16\mu s$	570ns
$2/7\mathrm{T}$	2×10^{7}	10ns	50ns	400ns	800ns	95ns

流し撮し

分解能 12 line pairs/mm (0.1 mm/µsec)

プラグイン	スピードレンジ	最大記録時間	最少記録時間	記録開始まで の遅延時間
S. S.	100, 200, 500, 1000ns/ms	$75 \mu s$	750ns	70ns

光学レンズとして

- ① 76 m/m f1.9
- ② 152 m/m f2.8
- ③ 200 m/m f40 が準備されている.

写真(3)に外観を示す。

② Image Converter Camera (TRW 社)

本器は①のカメラと同種類のカメラで、駒撮り・流し撮り両方のプラグ・インを供えている。

駒撮りプラグ・イン Madel 9B. 26B 及び流し撮しプラグイン Model 5B の仕様は

プラグ・イン	9 B	26B	5 B
露出時間	0.5~10μs	50~500ns	0.5~10μs
インター・フレーム	$5 \sim 500 \mu s$	0.5~20 μs	
駒数	3	5	_
空 間 分 解 能	16line pairs/mm	16 line pairs/mm	
最初の駒までの遅れ	50ns	20 ns	20ns
時間 分解能			0.5ns

光学系として

- ① 10" f4.5
- ② 15" f5.6

が準備されている.

③ Kerr Cell カメラ (KAPPA 社製)

本器は 10 μ sec~5 nsec の範囲の露光時間をもつ Kerr 効果を利用した超高速の現象を撮るカメラである。Optical Transmission が Open/0.1。closed/5×10⁻⁶ の Kerr Cell シャッターに 30 kV の高圧のパルスを印加してシャッターを開き,Kerr Cell シャッター後方のカメラにより撮影する。接続は下図の様に,高圧電源(2-2-2 ④-①′50 kV -20 mA(正極性-と Thyratron Control Unit を接続し。Thryratron 放電制御用パルスを外部から入力して使用する。

口 径 0.8"×1.5" 針入射限界角 20°

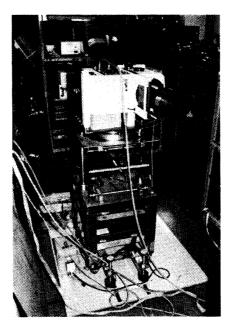
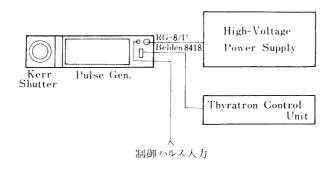


写真 13



2-3-3 周波数分析計/電界強度計

① Electro Magnetic Analyzer (EMC 社製)

本器は1 (GHZ) \sim 10.5 (GHz) の電界強度計で、RF 入力信号は本器内蔵のクライストロンよりの信号と mix され 240 (MHz) の I. F へと変換される。その後、更に 60 (MHz) の I. F に変更された後、LOG アンプを通り検波される。

測定周波数領域 1~10.5 GHz

入力感度 -102 dBm

写真-個に外観を示す。

② スペクトラム・アナライザー TR 4122B (タケダ理研製)

スペクトル・アナライザー部、トラッキング・ジェネレーター部。周波数カウンター部 より構成されているが、下に仕様を示す。

測定周波数範囲——100 (kHz) ~1500 (MHz)

中心周波数精度——±10 MHz 以内

スキャン幅 ——100 MHz/div~2 kHz/div 及びスロースキャン

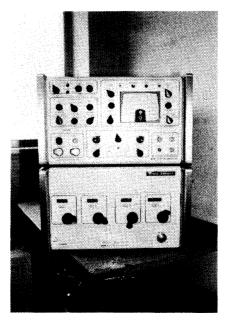


写真 14

最大入力感度 ——-115 dBm

なお、本器はゼロ・スキャンモードにすると画面の X 軸が時間軸となり単一信波数の 時間分析器として機能する.

2-3-4 可視光分光器等

① 平面回析格子分光器 GE-100 (島津製作所)

仕: 様

1,分光器 オフプレーンエバート形

2, 波長範囲2 000~27,000A

3, 回折格子米国ボシュロム社製 平面折格子 8, スリーッ ト 島津 SW形 または 1,200本

線引面積52×52mm

ブレース波長 3,000A または 5,000A

4,分解能

1,200本/mmの場合1次62,4000.2次124,800

5,分散度

1,200本/mmの場合1次 8.3A/mm 2 次 4.1A/mm 6, 主鏡焦点距離 1.0m

7,集 光 系 中間結像法

9,カ メ ラ 手動送り式

51×254mm乾板用

35mmフィルムホルダつき

- 10,同時撮影範囲 - 254mm幹板上で約4,200A

(600本/mm1次の場合)

ただし、分解能は回折格子の理論値であります。

本分光器は写真乾板による測定の他光電測光装置 M-4 型 (島津製) が取りつけられ、電 気信号としても出力される.

写真-⑤に外観を示す.

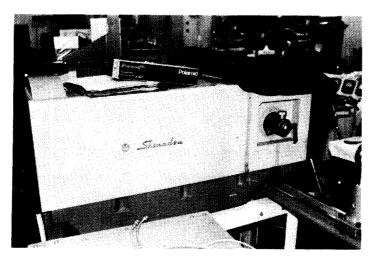


写真 15

② 分光用フォト・メーター (島津製作所)

写真乾板による分光測定後,本器により乾板上の濃淡が電気信号に変換され,記録紙上 に分光スペクトルが再現される.

2-3-5 マイクロ波干渉計

本器は100 (GHz), 10 (GHz) 帯の干渉計で。主に高密度プラズマの密度測定に使用される。周波数変調をかけられた,クライストロンよりのマイクロ波は2回路に分岐され,プラズマ通過による位相速度の変化をゼブラ・パターンの変化としてオシロスコープ上に記録し,その変化量よりプラズマ密度を測定する。下に100 GHz・10 GHz発振のクライストロンの仕様を示す。

○ VC-713 (VARIAN 製)

ELECTRICAL

Frequency Coverage ¹ ······80 to 110	GHz		
Tuning Range, each tube, min [±] ······2	GHz		
Output, minimum ······200	mW		
Beam Current, at 2500 beam volts ·····20	mAdc		
Electronic Tuning Range, min ······150	MHz		
Heater Voltage $\cdots 6.3 \pm 0.3$	V		
Heater Current, typical ······1.0	A		
○ 10 VB (日立製)			
空 胴 電 圧	500	300	V
空 胴 電 流	45	25	mA
モ ー ド	4 ¾	4 3/4	
周 波 数	10	10	GHz
リ ペ ラ 電 圧 —	300	-335	V
出 力			

整 合 負 荷 (VSWR<1.1) ·········	110	50	mW
最 適 負 荷	370	80	mW
電子同調範囲	47	20	MHz
変 調 感 度	0.6	0.46	$\mathrm{MHz/V}$
<u>集計プロック図を下げ</u> テオ			

干渉計ブロック図を下に示す.

写真-⑥に外観を示す。

2-3-6 シンチレーション・プローブ SP-I 型 (東京原子製)

シンチレーターとして NaI を使用した γ 線測定器で、エネルギー分解能は約 9.4 (%) で又、rise time 50 (ns) 以下のプリ・アンプが内蔵されている。

2-3-7 ガウス・メーター Model-330S (マエズミ製)

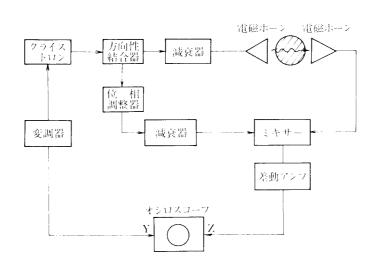
測定レンヂ……3 G~30 kG

2-3-8 カレント・プローブ

- ① P 6021 (TEKTRONIX 製)
 - ○周波数範囲——120 (Hz) ~54 (MHz)
 - ○最大電流 ——15 A 正弦波
 - ○感 度 ---2 mA/mV. 10 mA/mV の切り替え
- ② AM 503 (TEKTRONIX 製)
 - 周波数範囲——DC~50 MHz
 - ○感 度 ——1 mA~50 A
- ③ CT-5 (TEKTRONIX 製)

大電流測定のカレント・プローブで,前述のP6021と合わせて使用するものである。

○ 周波数範囲 ——12 (Hz) ~20 (MHz)



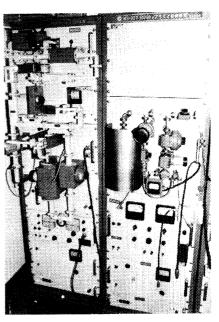


写真 16

- ○カレント・レンヂ──1 (A/div) ~1000 (A/div)
- ○最大電流 ——連続入力/1000 (A) パルス入力/5×10⁴ (A)

2-3-9 ビデオ機器

高感度テレビカメラの著しい発展に伴って、テレビやカメラによる二次元光学測定は、プラズマ現象の新しい観測手段として注目されるようになった。又ビデオ機器は、X線等が発生する場所での機器モニター。長時間にわたる光学現象観測や機器動作モニターに極めて有効である。プラズマ実験施設では、各種テレビカメラ。VTR。モニターTV及び関連ビデオ機器を備えている。

① テレビカメラ

微弱光検出テレビカメラ (LLLTV) (池上通信機)

モノカラー CTC-9000

最低被写体照度 10⁻² lux

寸法·重量 144×119×37.5 mm, 6 kg

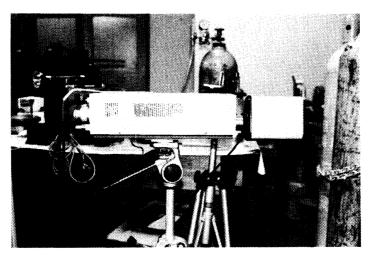


写真 17

準放送局用テレビカメラ (ソニー) 小型カラーテレビカメラ (フナイ):電源・VTR 付き

② VTR

1 inch VTR(Ampex VPR-IC) 1/2 inch オープンリール VTR(松下) U-matic VTR(Sony) β-max(東芝)

③ TV モニター

20 inch カラーモニタ 1台

10 inch モノクロ 3 台

④ 関連ビデオ機器

ビデオデンストメーター

ビデオスケーラー

マルチカラーアナライザー

ビデオタイマー

ビデオタイプライター

2-3-10 信号発生器

① パルサー 214 B (YHP製) 4台

214 A

パルス電圧

---0.3 V∼100 Vの 5 レンヂ

○パルス幅

---25 (ns) ∼10 (ms) の 6 レンヂ

○動作モード ――外部トリガー、ゲート、外部入力、手動

○パルス・ディレイ──10 (ns) ~10 (ms)

② 信号発生器 WG-202 A (沖電気製)

周波数範囲 10 (kHZ) ~50 (MHZ) で出力は 2 V固定出力及び 0.1 V~1 μ Vの可 変出力の 2 種類。出力インピーダンスは $300~\Omega$ 。 $50~\Omega$ 。 $75~\Omega$ となっている。変調は内 部 (400 HZ. 1kHZ) 及び外部よりかけられる.

③ ファンクション・ジュネレーター

○ Model FG-330 (岩通製)

4 台

○ Model 454A (菊水電子製)

1台

○ Model 5200A (KROHN-HITE 社製) 1台

各々の仕様は下記の通りとなっている.

	発 振 周 波 数	電 圧	動作モード
FG-330	0.1∼1 MHz	100 Vp-p (50Ω 負荷)	MAN, GATE 外部トリガー, CONTSWEEP
454A	0.005~100 kHz	300 Vp-p (開放)	START ボタンによる発振開始及 びストップ
5200A	0.00003~ 3 MHz	10V	MAN, GATE 外部トリガー, CONT SWEEP

2-3-11 データーレコーダー

① R-250 (TEAC 社製)

テープ速度

: $1\frac{7}{8}$ ips~30ips

チャンネル数

: 7 ch

記録•再生方式

:1 ch——DR 方式 300HZ~150kHZ

2~7 ch——FM 方式 DC~10kHZ

入力インピーダンス:100 kΩ

入力感度 : ±0.1dB~±20dB

② R-270 CTEA (社製)

テープ速度 : $1\frac{7}{8}$ IPS \sim 30IPS

チャンネル数 : 14ch

記録·再生方式 :1ch——DR 方式 300Hz~150kHz

2~14 ch——FM 方式 DC~10 kHz

入力インピーダンス:100 kΩ

入力感度 : $\pm 0.1 \, dB \sim \pm 20 \, dB$

2-3-12 ペンレコーダー

- ①マルチモニタレコーダ WR-3000 (渡辺測器)
 - 25 ch 熱ペンレコーダーで記録振幅 ±10 mmp-p
 - ○紙送りスピード 50~1 mm/sec & min
 - ○測定レンヂ 0.5~10 V/cm
 - ○入力抵抗 1MΩ
 - ○日時記録可能
 - ○周波数特性 0~40 Hz
- ②レクチグラフ 8S62 (三栄測器)
 - 8 ch インキレコーダーで記録振幅 40 mmp-p
 - ○紙送りスピード 1~500 mm/s & min
 - ○測定レンヂ 5mv/cm~100v/cm
 - ○入力抵抗 1 MΩ
 - 周波数特性 DC~50Hz (振幅が 40 mm の時)
- ③ レクチホリ 8K20 (三栄測器)
 - 4ch インキレコーダーで記録振幅 40 mmp-p
 - ○紙送りスピード 1~500 mm/s & min
 - ○測定レンヂ 5 mV/cm~100 V/cm
 - ○入力抵抗 1 MΩ
 - 周波数特性 DC~50 Hz (振幅が 40 mm の時)
- ④ Mark V (渡辺測器)
 - 8ch の熱ペンレコーダーで記録振幅 40 mmp-p
 - ○紙送りスピード 10~500 mm/s & min
 - ○測定レンヂ 10 mV/cm~100 V/cm
 - ○入力抵抗 1MΩ
- ⑤ TYPE 3046 (横河電機)
 - 1ch インキレコーダで 240 mm
 - ○紙送りスピード 2~60 cm/min & hr

- ○測定レンヂ 500 µV/cm~100 V/cm
- O入力抵抗 1 MΩ
- ○周波数特性 DC~5 Hz (振幅が 50 mm の角)
- ⑥ X-Y レコーダー PRO-12 (横河)
 - ○各軸とも 0.5 mV/cm~20 V/cm
 - ○時間軸 0.5~10 s/cm
- ⑦ X-Y レコーダー 3077 (横河)
 - ○各軸とも 0.1 mV/cm~10 V/cm
 - ○時間軸 0.5~10 s/cm

2-4 真空系機器

2-4-1 排気装置

排気装置としては、オイルフリーのターボポンプ。クライオポンプ及び従来型の油拡散 ポンプが備わっている。

ターボ・ポンプ 3133 C (SARGENT-WELCH 社製) 2 台

Specifications

Pumping speed for nitrogen	1500 1/sec
Pumping speed for hydrogen	1100 1/sec
Blank-off pressure	1×10^{-9} Torr
Backing pressure required (McLeod) for above	1×10^{-4} Torr
Typical backing pressure (thermistor)	1×10^{-2} Torr

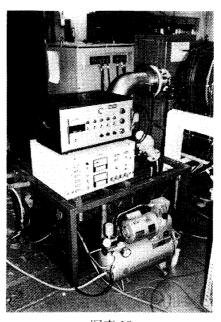


写真 18

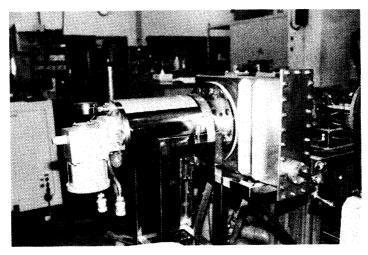


写真 19

外形寸法:1000×800×/100^h

重 量 : 200 kg

写真-18に外観を示す。

② ターボ・ポンプ (PFEITER 社製) 1台

排気速度:190 l/s

外形寸法:800×600×110^h

重 量 :30 kg

③ クライオ・ポンプ (HELIX 社製) 1台

本器は超低温にした absorber にガスを吸着させて排気するという,非常に clean な真空 状態を作り出すものである.

CRYO-TORR(R) 8 CRYOPUMP

Weight (approximate) 45 1bs (20.4 kg)

Pumping speeds

Water 4,000 liters/second
Air 1,500 liters/second
Hydrogen 2,000 liters/second
Argon 1,200 liters/second

外形寸法: $22 \phi \times 50^{\iota}$ (ヘッド部)

 $50 \times 50 \times 50$ ^h (コントロール部)

重 量 :30 kg (ヘッド部)

50 kg (コントロール部)

写真-⑩に外観を示す.

④ 6油拡散ポンプ YH-500 (日本真空製) 2台

①排気速度——490 (1/sec)

②到達圧力——10⁻⁷ (Torr) 但しトラップ使用

- ③所要電力——約1.9 (kW)
- ④冷却水量——3 (1/min)

外形寸法 600×800×800^h

- ⑤ 4 "油拡散ポンプ UHV-04SY (徳田製作所製) 2 台
 - ①排気速度 100 l/s
 - ②到達圧力 2×10⁻⁹ Torr
 - ③所要電力 1.4 kW (200V)
 - ④所要水量 1.2 l/min

外形寸法 610×690×900^h

2-4-2 真空関連計測器

① 真空度計

電離真空計(日本真空製)

- ○型式 G1-T…… 5 × 10⁻³ ~ 1 × 10⁻⁷ (Torr) 4 台
- ○型式 G1-TL2······ 5 × 10⁻³ ~ 1 × 10⁻⁸ (Torr) 2 台

ピラニ・ゲージ (日本真空製)

- ○型式 GP-2DH 0.001~20 Torr 1台
- ○型式 GP-2T 0.003~20 Torr 2台

アルファトロンゲージ (NORTON 社製)

- ○型式 820 5×10⁻⁵~1000 Torr 1台
- ② リークディテクター

He リークディテクター (島津製) 型式 MSE-110. 1台

島津質量分析計形へリウムリークデテクタ MSE-110 形は質量分析計の原理を応用した装置で、プロープガスにヘリウムを用い 8×10^{-11} atm cc/sec の検出感度を有し、各種の漏れ検知器のなかでも最も高感度な機種である。

可搬性を重視した小形・軽量で機動性の高い機器である。

③ 真空容器類

ガラス管 標準寸法:6 inch. 4 inch. 2 inch. 1 inch

形 状 : 直管. 曲管. クロス管. T字管

金属チェンバー

4 インチ (直管)

 $300 \phi \times 700 1 \text{ mm}$ (8, 6, 4 inch ポート付)

第3章 共同利用研究年次別共同研究一覧及び研究参加者一覧

昭和44年度

プラズマ発生装置を用いた宇宙空間プラズマ現象シミュレーションの共同研究

共円利用施設であるプラズマ発生装置の共同利用は. 44 年度後半から, 所内, 所外からの下記共同研究者によって行なわれた. テーマは

プラズマからふく射するイオン・スペクトル線のプロフィルの研究(村川(電機大))

Solar Wind と惑星との相互作用の Model 実験(伊藤・久保(宇宙研))

Model Solar Wind の生成(伊藤・久保(宇宙研))

Neutral Sheet および Solar Flare の Model 実験(河島(宇宙研))

Macroparticle のプラズマによる加速(河島(宇宙研))

が取り上げられた。これらの実験では、プラズマ銃からのプラズマの不純物による発光の 測定が行なわれ、これを取り除く方法の指針が得られた。またプラズマと中性気体塊による shock wave の生成過程の解析。モデル惑星背後の電場の測定や磁場変動から太陽プラズマ流と月、スイ星等の惑星の相互作用について検討された。

昭和 45 年度

プラズマ発生検出装置における共同利用研究

宇宙科学実験用プラズマ発生検出装置を用いた昭和46年度共同研究テーマは次のとおりである。

イオン・スペクトル線のシュタルク幅とシフトの研究(村川(電機大))

磁界中に突入する高温プラズマ流の分光学的研究(横田(広島大))

流体プラズマにおけるプローブ特性(雨宮(理研))

プラズマ拡散の局所的異常性(浦本(名大プラズマ研))

Macroparticle のプラズマによる加速 (河島 (宇宙研))

Neutral Point Discharge の実験(河島(宇宙研))

中性ガスの流れとプラズマの相互作用(木舟(宇宙研))

中性ガス塊とプラズマ流の相互作用(久保(宇宙研))

Comet の Simulation Experiment (久保 (宇宙研))

プラズマ銃の基礎研究(久保(宇宙研))

これらの成果は東京大学宇宙航空研究所 1971 年度スペースプラズマ研究会報告に発表されている。

昭和46年度

プラズマ発生検出装置における共同利用研究

宇宙科学実験用プラズマ発生検出装置を用いた昭和46年度共同研究テーマは次のとおりである。

アルゴン・プラズマの連続スペクトル (村川 (電機大))

磁界中プラズマ流の分光的研究(横田(広島大))

プラズマと磁気双極子との相互作用 (河野(相模工大))

VIF Triggered Emission の Laboratory Experiment (松本 (京大工))

中性ガス塊とプラズマ流との相互作用(久保(宇宙研))

Solar flare の model Experiment (久保 (宇宙研))

プラズマ流と双極子磁場との相互作用の分光学的研究(木舟(宇宙研))

太陽フレア。オロラフレアのモデル実験(河島(宇宙研))

Macroparticle によるプラズマの加速(河島(宇宙研))

これらの成果は東京大学宇宙航空研究所 1971 年度スペースプラズマ研究会報告に発表されている。

昭和47年度

プラズマ発生検出装置における共同利用研究

宇宙科学実験用プラズマ発生検出装置を用いた昭和47年度共同研究テーマは次の通りである。

- Microwave を用いての anomalous resistivity の研究(河島(宇宙研))
- プラズマと磁気双極子との相互作用 (河野(相模工大))
- ・回転プラズマの研究 (河島 (宇宙研))
- Solar flare の model Explriment (久保 (宇宙研))
- ・直読式プラズマ密度温度計の開発(矢守(宇宙研))
- 電子温度プローブの高密度プラズマへの応用(平尾(宇宙研))
- ・プラズマと原子又は分子との相互作用(久保(宇宙研))
- ・天体プラズマ輻射の分光学的研究(村川(宇宙研))
- ・中性粒子検出器を用いた高密度プラズマと中性ガスの相互作用の研究(石丸(東大理))
- ・ VLF トリガード・エミッションの地上実験(松本(京大工))
- Neutral Point Discharge の分光学的研究(横田(広島大))
- 電子ビームによる衛星電位の制御に関する実験室実験(木舟(宇宙研))
- 太陽フレア及び Neutral Sheet のモデル実験(Neutral point discharge)(河島(宇宙研))

これらの成果は東京大学宇宙航空研究所 1972 年度スペースプラズマ研究会報告に発表されている.

昭和 48 年度

プラズマ発生検出装置における共同利用研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和48年度共同研究テーマは次のとおりである。

- ・ 高密度高速度イオン流の開発 (井上 (東大工))
- ・ 多成分回転プラズマにおける粒子組成分布について (真瀬 (茨城大))
- 定常プラズマ流と双極子磁場との相互作用(河野(相模工大))

- ・電子ビームによる衛星電位の制御に関する実験室実験(河野(相模工大))
- Neutral Point Discharge の分光学的研究(横田(広島大))
- ・太陽風と惑星大気との相互作用における原子分子反応の実験的研究(蟻川(東大理))
- N Ⅲ及び Ar Ⅲのスペクトル線の幅(村川(電機大))
- Solar Flare の Model Experiment (久保 (宇宙研))
- 非円形断面コイルによるトロイダル θ -Pinch (河島 (宇宙研))
- 太陽フレア及び Neutral Sheet のモデル実験(Neutral Point Discharge)(河島(宇宙研))
- 直読式プラズマ密度温度計の高密度プラズマへの応用(河島(宇宙研))
- TPD プラズマと高出力マイクロ波パルスとの相互作用(河島(宇宙研))

これらの成果は東京大学宇宙航空研究所 1973 年度スペースプラズマ研究会報告に発表されている.

昭和49年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和49年度共同テーマは次のとおりである。

- ・中性点放電を利用したプラズマ加速器(河島(宇宙研))
- Delayed Emission of Cyclotron Harmonies (木舟 (宇宙研))
- 太陽風と惑星大気の相互作用における原子分子反応(蟻川(東大理))
- Space Shuttle 搭載用プラズマ加速器の開発(河島(宇宙研))
- ・高密度プラズマとマイクロ波の非線型相互作用(西田(宇都宮大))
- ・オーロラフレア・太陽フレアのモデル実験(河島(宇宙研))
- ・電子ビームによる衛星電位制御(河野(相模工大))
- He IIスペクトルの Stark Broadening (村川 (電機大))
- ・回転プラズマの研究(真瀬(茨城大))
- Neutral Point Discharge の分光的研究(河島(宇宙研))
- ・高密度高速イオン流の生成(井上(東大・理))

昭和50年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和50年度共同研究テーマは次のとおりである。

- ・中性ガスとプラズマ流の相互作用(蟻川(東大・理))
- ・ 雷子ビーム及び中性ガスによる衛星電位の制御に関する実験室実験(河野(相模工大))
- ・磁気中性点に於ける粒子加熱実験(渋谷(山形大))
- •回転プラズマの研究(真瀬(茨城大))
- ・太陽風プラズマと地球磁場の相互作用の研究(南(大阪市大))
- He II のスペクトルのシュタルク・シフト (村川 (電機大))
- ・ Neutral Point Discharge Plasma の分光学的計測(横田(愛媛大))

- ・大出力のイオンビーム源のテスト (伊藤 (宇宙研))
- ・レーザーによるプラズマ生成とその分光的研究(久保(宇宙研))
- ・ダイバータ型磁場配位によるプラズマの磁気中性点加熱実験及びプラズマ加速器の開発 (河島 (宇宙研))
- ・相対論的電子ビームとプラズマの相互作用(河島(宇宙研))
- ・スペースシャトル搭載用プラズマ加速器の開発(河島(宇宙研))
- Delayed Emissions Triggered by a High Power Microwave Pulse (佐々木 (宇宙 研))

昭和51年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和51年度共同研究テーマは次のとおりである。

- 第1~3型 Planetary magnetosphere の model 実験(斉藤(東北大))
- ・磁気中性点における粒子加熱実験(渋谷(山形大))
- ・磁気圏における電場の作用の研究(南(大阪市大))
- ・磁気中性点加熱及びそれを利用した高温プラズマインジェクタ (河島 (宇宙研))
- ・相対論的電子ビームとプラズマの相互作用 (際本 (横浜国大))
- ・相対論的電子ビームとプラズマの相互作用(菊地(日大・理工))
- ・相対論的電子ビームとプラズマの相互作用(岡村(名大プラズマ研))
- ・電子ビーム及び中性ガスによる衛星電位の制御に関する実験室実験(河野(相模工大))
- ・スペースシャトル搭載用電子加速器の開発(菊地(日大・理工))
- ・中性ガスとプラズマ流の相互作用(横田(愛媛大))
- He IIのスペクトルのシュタルク・スフト (村川 (電機大))
- He(2³S) の分光測定(久保(宇宙研))
- ・レーザーによるプラズマ生成とその分光学的研究(久保(宇宙研))
- ・ Neutral Point Discharge Plasma の分光学的計測(横田(愛媛大))
- ・磁場中プラズマと大電力マイクロ波との相互作用(佐々木(宇宙研))
- ・回転プラズマによる質量の研究(佐々木(宇宙研))

昭和52年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和52年度共同研究テーマは次のとおりである。

- ・磁気圏における電場の作用の研究(南(大阪市大))
- ・相対論的電子ビームとプラズマの相互作用(菊地(日大・理工))
- ・バリウムイオンガンの開発(横田(愛媛大))
- ・磁気中性点プラズマの分光計測(横田(愛媛大))
- ・磁気中性点加熱及びそれを利用したプラズマインジェクタ(岡村(名大・プラズマ研))
- ・磁気中性点におけるプラズマ現象の研究(岡村(名大・プラズマ研))

- レーザーによるプラズマ生成とその分光学的研究(久保(宇宙研))
- He(23S) の測定(久保(宇宙研))
- レーザーによるプラズマ生成と磁場との相互作用(佐々木(宇宙研))
- ・電子ビーム及び中性ガスによる衛星電位の制御に関する実験室実験(佐々木(宇宙研))
- 相対論的電子ビームとプラズマの相互作用(河島(宇宙研))
- 相対論的電子ビームと強磁場の相互作用及びイオンの集団加速(河島(宇宙研))
- ・第1~3型 planetary magnetosphere の model 実験(斉藤(東北大))
- 磁気中性点におけるプラズマ現象の研究(渋谷(山形大))

昭和53年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を用いた昭和53年度研究テーマは次のとおりである。

- ・バリウムプラズマの共鳴散乱による計測(中村(東大・教養))
- •音響光学フィルターを用いたプラズマ計測(横田(愛媛大))
- ・中性窒素の電波分光(村川(電機大))
- アダマール粒子分光法きよる高速プラズマの粒子エネルギー測定の研究(蟻川(農工大))
- ・磁気中性点における加熱機構の研究(渋谷(山形大))
- ・磁気中性点におけるプラズマの安定性と加熱(岡村(名大・プラズマ研))
- ・相対論的電子ビームとプラズマ・強磁場の相互作用(菊地(日大・理工))
- 相対論的電子ビームとプラズマの相互作用 (河島 (宇宙研))
- 相対論的電子ビームと中性大気の相互作用(河島(宇宙研))
- プラズマ中で帯電現象 中和の研究(佐々木(宇宙研))
- プラズマ中での高圧プローブ特性の研究(佐々木(宇宙研))
- レーザー生成プラズマと強磁場との相互作用の研究(佐々木(宇宙研))
- 科学衛星 EXOS-B 搭載計器 (CBE) 実験 (河島 (宇宙研))

昭和54年度

プラズマ発生検出装置を用いた共同研究

宇宙科学実験用プラズマ発生装置を実いた昭和54年度研究テーマは次のとおりである。

- プラズマ中での帯電現象中和の実験(河野(相模工大))
- バリウムプラズマ銃の開発(横田(愛媛大))
- •音響光学フィルターを用いたプラズマ計測(横田(愛媛大))
- ・相対論的電子ビームとプラズマ相互作用の研究(増崎(金沢大・理))
- ・二つのプラズマ柱のマージングの研究(遠山(東大・理))
- ・磁気中性点を利用したダイバータ型プラズマ入射器の研究(岡村(名大・プラズマ研))
- ・磁気圏プラズマのシュミレーション(南(大阪市大))
- 磁気中性点における加熱機構の研究(渋谷(山形大))
- 科学衛星 EXOS-B 搭載計器 (CBE) 実験 (河島 (宇宙研))
- プラズマ中での高圧プローブ特性の研究(河島(宇宙研))

・レーザー生成とプラズマと中性大気の相互作用の研究(佐々木(宇宙研))

昭和55年度

プラズマ発生装置を用いた共同研究

宇宙科学実験のためのプラズマ発生装置を用いた昭和55年度研究テーマは次のとおりである。

- ・高エネルギー・パルス・イオン流の発生(糟谷(東工大))
- ・ REB による高ベータミラープラズマの MHD 安定化 (際本 (横浜国大))
- ・バリウムプラズマ銃の開発(横田(愛媛大))
- ・モデル磁気圏における磁力線と波動現象の研究(南(大阪市大))
- ・ RETURN CURRENT による不安定性 (河合 (九大応力研))
- ・二つのプラズマ柱のマージングの研究(別生(京大ヘリオトロン))
- ・ CCD カメラによる磁場中のプラズマ伝播の研究(横田(愛媛大))
- ・木星イオ衛星のシュミレーション実験(小山(宇宙研))
- ・宇宙空間における帯電現象の研究(佐々木(宇宙研))
- ・高密度パルスプラズマの DOUBLE LAYER (佐々木 (宇宙研))
- ・"JIKIKEN" 電子ビーム実験シュミレーション(河島(宇宙研))
- ・相対的電子ビームとプラズマの相互作用の研究(河島(宇宙研))

昭和56年度

プラズマ発生装置を用いた共同研究

宇宙科学実験のためのプラズマ発生装置を用いた昭和56年度研究テーマは次のとおりである。

二種イオンプラズマ中でのイオンサイクロトロン周波数領域の加熱現象 篠原俊二郎 (東 大・理)

相対論的電子ビームによる遠赤外光励起の研究 河野 汀(相模工業大)

二つのプラズマ柱のマージングの研究 岡村昇一(名大プラズマ研)

CCD カメラによるプラズマ分光画像の研究 横田俊昭 (愛媛大教養)

Transient Double Layer の研究 河島信樹 (宇宙研)

科学衛星(JIKIKEN)電子ビーム放射実験シュミレーション 河島信樹(宇宙研)

Beam Plasma Discharge の研究 河島信樹 (宇宙研)

宇宙空間における帯電現象の研究 佐々木進(宇宙研)

プラズマ・ガンを使用したスペースシャトル帯電シュミレーション実験 佐々木進 (宇宙 研)

木星イオ衛星の Simulation 小山孝一郎 (宇宙研)

昭和57年度

プラズマ発生装置を用いた共同研究

宇宙プラズマ実験のためのプラズマ発生装置を用いた昭和57年度の研究テーマは次の通りである。

・大電流電子ビームによる軟 X線輻射の研究 河野汀 (相模工業大)

- ・分光型 CCD カメラの性能試験 横田俊昭(愛媛大・教養)
- Field Line Reconnection における磁気中性点の重要性の検証 岡村昇一(名大プラズマ研)
- ・二種イオンプラズマ中でのイオンサイクロトロン周波数領域の加熱現象 篠原俊二郎 (東大・理)
- Beam Plasma Discharge の研究 河島信樹(宇宙研)
- ・無重力下電子ビーム応用プラズマ実験の基礎研究 河島信樹(宇宙研)
- ・宇宙空間における帯電現象の研究 佐々木進(宇宙研)
- ・帯電現象等の実験のためのイオンスラスタプラズマ源 矢守 章 (宇宙研)
- He IIのスペクトル線のプラズマ・シフト 村川 漿 (東京電機大)

昭和58年度

プラズマ発生装置を用いた共同研究

矢守 章 低バックグラウンドイオンスラスタ型プラズマ源の開発(宇宙研)

佐々木進 電子ビーム応用宇宙プラズマ理工学基礎実験(宇宙研)

宮武貞夫 じきけん (EXOS-B) 電子ビーム実験における非線形現象シミュレーション (電通大)

岡村昇一 Field Line Reconnection と Double Layer に関するシミュレーション実験 (名大プラズマ研)

提井信力 宇宙空間における帯電現象の研究(武蔵工大)

百々太郎 ビーム・プラズマ放電の研究(愛媛大・理)

河島信樹 Beam Plasma Dischrge と Chaos (宇宙研)

河野 汀 高温高密度プラズマからの軟 X 線輻射及びその応用(相模工大)

横田俊昭 多チャンネル分光画像カメラの開発と応用(愛媛大教養)

第4章 主要な研究成果

プラズマ発生・検出装置を用いて行なわれた研究は大別して次の三つに分けられる。

- 1. 宇宙空間における自然のプラズマ諸現象の実験室におけるシミュレーションと応用
- 2. 宇宙空間におけるアクティブ実験の実験室におけるシミュレーション.
- 3. 飛しょう体を用いた宇宙観測及びアクティブ実験の搭載機器の開発及び試験。

1.の宇宙空間プラズマ諸現象のシミュレーションは、プラズマ発生・検出装置の主たる目的であり、特にプラズマ銃を中心とした高温高密度領域でのプラズマシミュレーション実験の領域で成果を上げてきた。又、相対論的大電流電子ビームを用いた実験も特に3nsecという短パルス巾の特色を生かした実験が行なわれている。この領域は高温、高密度プラズマを取扱う所から必然的に核融合プラズマ物理学とも密接な関連をもっており、宇宙のシミュレーション実験が核融合プラズマへの応用として発展した一種の宇宙科学研究の波及効果とも考えられる。

2.のアクティブ実験に関連した実験室シミュレーションは近年の電子ビームやプラズマを用いたアクティブ実験の急速な発展に対応したもので、スペースシャトルを用いたSEPAC実験を頂点としてその実験室におけるシミュレーションが主になっている。一般に宇宙のアクティブ実験においては宇宙空間を広大な実験室に見たてて実験室では出来ないスケールの実験を行う事が出来るが、一方では広大な空間に限られた計測手段で行なわれる為に計測データの不足からその物理機構の解明に不確定さが生ずる事が少からずある。実験室におけるシミュレーションは、この様な宇宙におけるアクティブ実験の不備を補いアクティブ実験のデータ解折に資すると共に、次の実験への指針を与える意味でも重要である。

3.の搭載機器の開発試験はプラズマ発生・検出装置のプラズマ発生装置や真空装置並びに計測装置を用いて行われたものである。

4-1 宇宙空間における自然のプラズマ諸現象の実験室におけるシミュレーション 4-1-1 プラズマ流と中性ガス塊の相互作用

プラズマ銃から高速パルスプラズマ流を真空中に孤立した中性ガス塊の相互作用を光学 及びプラズマ計測を駆使して調べたもので、宇宙空間物理現象との対応としては

- i) コメットと太陽プラズマ流(Solar Wind)の相互作用
- ii) 太陽プラズマ流 (Solar Wind) と惑星大気の相互作用
- iii) Alfven の提唱した Critical Velocity 現象の検証の目的をもっている.
- 昭和44年から49年にかけて行われ、下記の成果が得られていた。
- i) プラズマ流による中性ガスの電離とコメットと作用で shock 形成による電離とコメットの尾の乱れに対応するプラズマ乱流の生成.

ii) プラズマ形成よりはるかに遅れて再結合したプラズマと中性ガスによる Dissociative Excitation Transfer の現象が観測されその物理機構が解明された.

EXPERIRENTAL PROCEDURE

A schematic diagram of the experimental apparatus is shown in Fig. 1. A vacuum vessel is composed of pyrex glass tubes 6 inch in diameter evacuated to the pressure of 4×10^{-6} Torr. The plasma gun is a coaxial type and the distance from the gun nozzle to the center of interaction region is 1 m. Time-resoved photographs are taken and a double probe, magnetic probes and a spectrometer are used as diagnostics.

A plasma stream contains turbulent magnetic and electric field and, in order to eliminate them, a floating grid can be placed in front of the plasma gun. A fast-acitng gas valve is used to introduce a target gas, a column-shaped gas cloud is formed perpendicularly or antiparallel to the plasma steam. The radius of the gas column expands gradually. Gases used are Co₂, H₂, He, N₂, Ar and air.

The target gas denisty at the center of interaction region is about 10^{16} particles/cm 3 when the plasma stream impinges on it. The target gas comes to the center of the interaction region about $300~\mu sec$ after the opening of the F.A.V.

The hydrogen plasma stream of $T_e \sim 3.5$ eV, $N_i \sim 8.5 \times 10^{13}/\text{cm}^3$, $V_p \sim 6 \times 10^6$ cm/sec is obtained with the grid mentioned above, and without it, we have $T_e \sim 6$ eV, $N_i \sim 4 \times 10^{14}/\text{cm}^3$, $V_p \sim 2 \times 10^7 \text{cm/sec}$, where T_e , N_i and V_p are the electron temperature of plasma, its ion density and the plasma velocity, respectively. The hydrogen plasma stream comes to the center of the interation region about 18 μ sec after the firing of the plasma gun when the gird is used, and it arrives much faster ($\sim 5 \mu$ sec) without it.

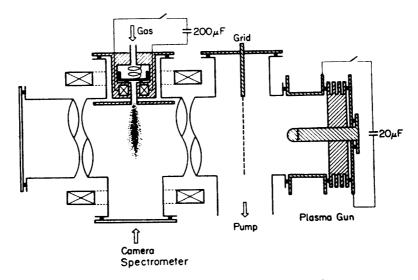


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

EXPERIMENTAL RESULTS

Figure 2 shows a series of time-resolved Kerr Cell photographs of the interaction of a hydrogen plasma stream with a CO₂ gas cloud with the grid in front of the plasma gun. The exposure time is 1 μ sec. No interaction is observed at $\tau = 0$ μ sec, where au is the time interval between the firing of the plasma gun and the opening of the Kerr Cell shutter. At $\tau = 5$ µsec a circular luminous part is observed at the interaction region. This would be due to the ionization and excitation by the precursor electrons. This luminosity once gradually decreases, that is to say, the number density of the ionized and excited CO₂ decreases ($\tau = 15 \mu \text{sec}$). At $\tau = 30 \mu \text{sec}$, a very luminous straight shock an order of magnitude slower than that of the plasma stream. At $\tau =$ 40 µsec this shock front moves past the center of the gas cloud and a stationary parabolic shock front is observed in front of the gas column. The neutral gas density gradually decreases along its axis from the muzzle of the gas port, so that the part of the straight shock front near the muzzle, where the neutral gas density is high, is almont stopped there forming a parabolic shock front, but the part of the straight shock front far from the muzzle moves past the neutral gas cloud since the gas density there is not enough to stop the shock wave. These situations are shown schematically in Figs. 2 (b) and (c). The process described above is confirmed by the phototgraph taken from the direction perpendicular both to the axis of the neutral gas column and the plasma stream. At $\tau = 55 \mu \text{sec}$ the straight shock front goes out of sight, and only the stationary parabolic shock front of weak luminosity is observed. Later on, the shock front gradually disappears.

Time exposure photographs of the interaction of plasma stream with a gas cloud are shown in Figs. 3(a) and (b). Figure 3(a) is the one which corresponds to a quiet plasma stream with a grid between the plasma gun and the gas cloud. The phenomenon in this quiet plasma stream is stable and reproducible as shown in Fig. 3 (a). A parabolic wake of a stationary shock wave can clearly be observed in front of the gas cloud. When the grid is taken out the plasma tream becomes turbulent and the interaction becomes unstable as shown in Fig. 3(b). What is most interesting in this photograph is the presence of a ray structure similar to that of actual comets. This ray structure is not reproducible from shot to shot, and as shown in Fig. 3(d), turbulent magnetic field signals are obtained in the plasma stream by two magnetic probes immersed in it.

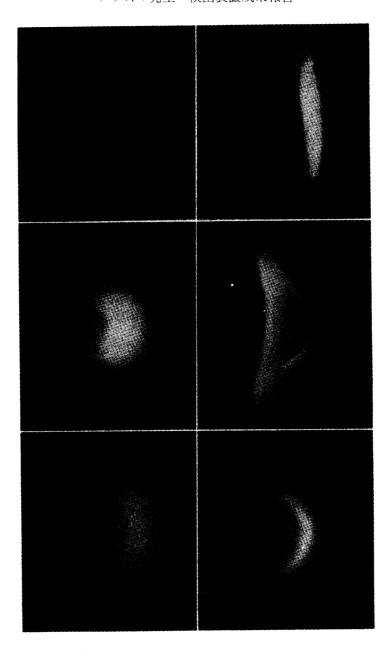


Fig. 2 Time-resolved photographs of the interaction of a quiet plasma stream with a gas cloud (Kell Cell photographs of the interaction of the hydrogen stream with a CO_2 gas cloud). Exposure time is I_{μ} sec.

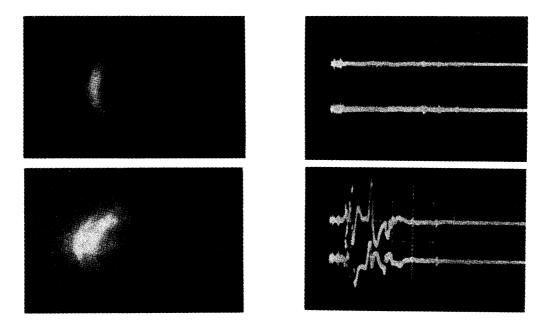


Fig. 3 Time exposure photographs of the interaction of plasma stream with a gas cloud and the oscilloscope display of the magnetic field (dB/dt) in the streaming plasma. (a) and (c) Quiet hydrogen plasma with a grid in front of the gun muzzle. (b) and (d) Turbulent plasma without a grid. (c) and (d) (Upper trace) Magnetic field parallel to the gas column axis, and perpendicular to the plasma stream, $13~G/\mu sec/div$. (Lower trace) Magnetic field perpendicular to the gas column axis, and parallel to the plasma stream, $7G/\mu sec/div$. Sweep $10~\mu sec/div$. Plasma stream comes from the left.

4-1-2 磁気中性点におけるプラズマ放電とリコネクション (Reconnection Phenomena in a Magnetic Neutral Point Discharge)

(I) 磁気中性点における乱流加熱(昭和 $45\!\sim\!49$ 年)

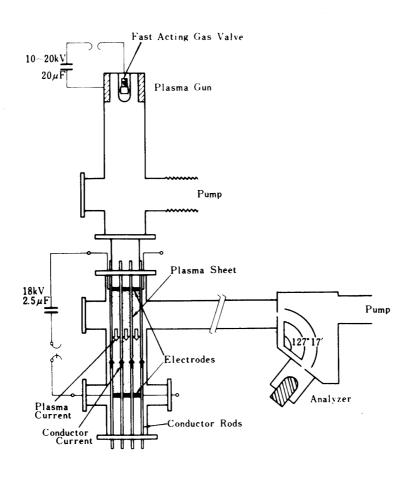
太陽面上の爆発現象「太陽フレア」や地球磁気圏尾部における Magnetic Substorm 現象のメカニズムの一つとして提唱されている磁気中性点におけるリコネクション (Reconnection) 現象を実験室で実現した。二次元の磁気中性点(線)領域プラズマを入射し中性線に沿って電流を流すと、

- i) 磁気中性面(Neutral Sheet)の生成
- ii) Neutral Sheet の Tearing Mode による崩壊
- iii)これに伴う高効率のイオン加速及びイオン加熱

が観測され、その物理的メカニズムの解明と核融合プラズマに於ける高効率のイオン加熱への応用が検討され、その後に発展した Divertor 型高温プラズマ・入射装置へと発展していった。

EXPERIMENT LAYOUT

A schematic layout of the experiment is shown in Fig. 1. Four pairs of current-carrying conductors are used to create a quasi-steady two-dimensional quadrupole magnetic field with a neutral line in the center. The current through these conductors is excited by the discharge of a slow capacitor bank $(2~\rm kV, 2400~\mu F)$ and it rises to a maximum value of $15~\rm kA/rod$ in $175~\mu sec$. A plasma is produced by a plasma gun and is injected into the current excitation region and its density ranges from 10^{12} to $10^{14}/$



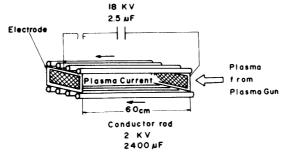


Fig. 1 Schematic layout of the experiment

cm³. At the peak of the conductor current, a fast capacitor bank ($18\,\mathrm{kV}$, $2.5\,\mu\mathrm{F}$) is discharged to excite a plasma current through the plasma along the two-dimensional neutral line between two meshed copper electrodes and thus a plasma current sheet is formed. The plasma current flows in the opposite direction to the current flowing through the conductors. The thickness of the formed plasma sheet is less than 1 cm and its width and length are 10 and 60 cm, respectively. X rays are observed by an NaI scintilliation counter and the energy spectzum of ions is measured by an electrostatic energy analyyzer.

ANOMALOUS RESISTIVITY

Figure 2 shows typical oscilloscope traces of the voltage between the meshed electrodes and the current through the plasma. From this figure, it is clear that about $2 \mu \text{sec}$ after the initiation of the plasma current discharge, a steep voltage hump appears and the magnitude of the hump often exceeds the initial charging voltage on the capacitor. As reported in our previous paper, this hump is attributed to the sudden

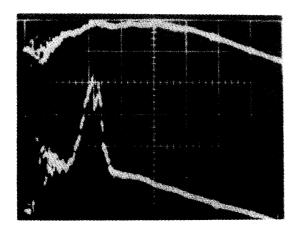


Fig. 2

Appearance of the anomalous resistivity in the plasma sheet. The upper trace is the signal of the plasma current (Ip) (8 kA/div) The voltage between two meshed electrodes (2 kV/div). Sweep: 1 μ sec/div. The charging voltage on the capacitor (2.5 μ F) for the plasma current excitation Vp=9.5 kV, the conductor current (which creates the external quadrupole magnetic field) Ic=10 kA/rod, hydrogen plasma, the initial plasma density no=1×10¹³/cm³.

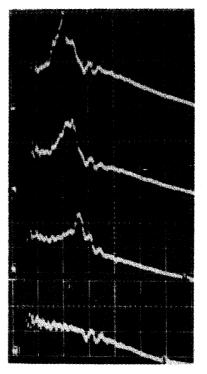


Fig. 3

Oscilloscope traces of the voltage between two electrodes are shown when the conductor current (for the external magnetic field) is varied. Vp=10~kV, $n_0=1.3\times10^{13}/cm^3$, helium plasma, $2~kV/div/\mu sec/div$.

increase in the plasma resistivity. In an example shown in Fig. 2, the total energy dissipated in the plasma sheet during the appearance of the hump is about 35 J. This value is 30% of the initially stored energy in the capacitor and is anomalously large.

The anomalous resistive voltage hump appears earlier and its height increases, as (i) the plasma density is decreased, (ii) the charging voltage on the capacitor for the plasma current excitation is increased, or (iii) the external quadrupole magnetic field is increase. Oscilloscope traces in Fig. 3 clearly show the dependence on the external quadrupole magnetic field.

When the anomalous resistive voltage hump appears, a hard x-ray emission is observed in an NaI scintillation counter (Fig. 4). The electron temperature is estimated from the absorption curve of the x-rays and rises to 10 keV. The dependence of the electron temperature on the experimental parameters is the same as that of the height of the resistive hump.

ION HEATING

Near the peak of the anomalous voltage hump, a high energy plasma cloud is ejected along the sheet plane and travels across the magnetic field an shown in Fig. 5. The energy distribution of the ions of this plasma cloud is measured by an electrostatic

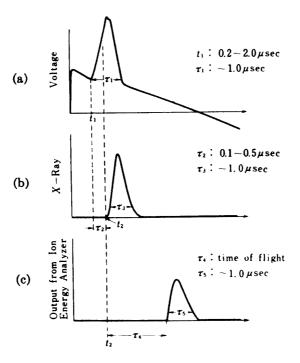


Fig. 4 Signal of hard X rays and high energy ions, (a) voltage (Vp) between the two electrodes, (b) X -ray signal from an NaI scintillator (c) ion signal from an electrostatic energy analyzer.

ion analyzer. The distance between the plasma sheet and the analyzer is 3 m. In such a system, we should be careful to avoid spurious effects of the simple electric potential difference. Most of our experiment is performed in such a way that the anode electrode (which is connected to the positive terminal of the capacitor) and the analyzer are electrically connected to the ground. There fore, it is expected that the potential of the plasma sheet becomes negative to the analyzer and the observed ion energy spectrum shifts toward the lower energy side than the spectrum in the plasma sheet. By comparing with the ion spectrum obtained with the cathode electrode grounded, the shift due to the simple potential difference is found to be less than 400 eV. This value is not so large as to give a serious effect to the ion energy spectrum measurement. Hydrogen plasma is mainly used in this measurement.

In Fig. 4, the temporal origin of high-energy ions is shown by a schematic representation of the voltage between the electrode, x-ray signal, and output signal from the ion electrosatic analyzer. The strong ion and electron heating starts from the time (t_2) which is a little later than the starting time (t_1) of the anomalous resistivity by τ_2 .

Typical energy spectra of the ejected ions are shown in Fig. 6. The output signal from the analyzer is proportional to $E\left(\frac{dN}{dE}\right)$ (where $\frac{dN}{dE}$ is the energy distribution of the ejected ions). The average energy of the ejected ion is defined as

$$Ti^* = {}^{\infty}_0 E \frac{dE}{dE} dE / \int_0^{\infty} \frac{dN}{dE} dE$$

As we measure ejected ions from the plasma sheet, there would be a question of whether the average energy of the ejected ions (Ti^*) should correspond to the ion temperature of the plasma in the heating region (i.e., in the plasma sheet). As will be described later, a considerable portion of the ions in the plasma sheet is heated and

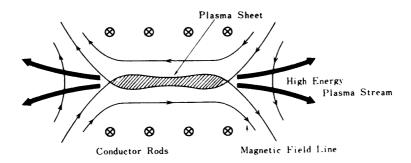


Fig. 5 Schematic picture of the plasma sheet and the direction of the high energy plasma stream ejcted from the sheet is shown by arrows.

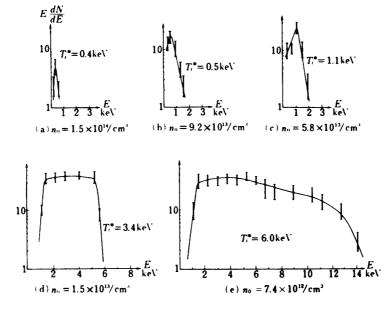
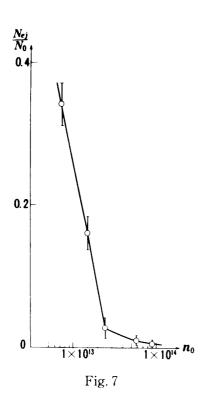


Fig. 6 Dependence of ion heating on the initial plasma density n_o. Ti is the average energy of the ejected ions. EdN/dE is taken as the ordinate. The charging voltage on the capacitor for the plasma current excitation Vp=13 kV, the conductor current Ic=15 kA/rod, hydrogen plasma.

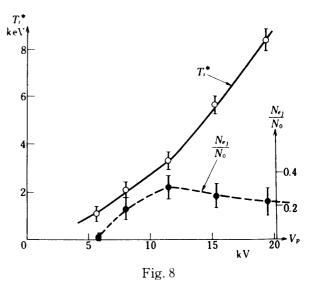
ejected outward, and there seems to exist a fairly good correspondence between the average energy of the ejected ions (Ti^*) and the ion temperature in the heating region. Measurement of the Doppler broadening of HeII λ 4686 due to the thermal motion of helium ions also supports this correspondence.

The dependence of ion heating on the plasma density is shown in Fig. 6. Ions are strongly heated in the low-density region $(n_0 < 10^{13}/\text{cm}^3)$ and Ti^* extends up to 6.0 keV. As the density n_0 is increased, the average ion energy (Ti^*) decreases. By measuring the spatial distribution of the ejected ions, the ratio of the number of the heated and ejected ions during the heating time to that of ions in the initial plasma sheet (N_{ej}/N_0) can be estimated and the dependence of this ratio on the plasma density (n_0) is shown in Fig. 7. As the plasma density (n_0) is increased, this ratio decreases sharply. In the low plasma density region,, a considerable part of the ions are heated and ejected from the plasma sheet.

The dependence of T_i^* and N_{ej}/N_0 on the charging voltage (V_p) on the capacitor for the plasma current excitation are shown in Fig. 8. By increasing the charging voltage (V_p) , the average energy of the ejected ions (T_i^*) increases more steeply than



Dependence of ratio of the number of ejected ions during the heating time to that of ious in the initial plasma (Nei/No) on the initial plasma density. The experimental conditions are the same as that of Fig. 6.



Dependence of the average energy of the ejected ions (Ti) and the ratio (Nej/No) on the charging voltage Vp on the capacitor for the plasma current excitation. The ratio (Nej/No) is the ratio of the number of ejected ions during the heating time to that of ions in the initial plasma. The conductor current (which creates the external quadrupole magnetic field) Ic=11 kA/rod, initial plasma density $no=7\times10^{12}/cm^3$ and hydrogen plasma is used.

linearly. However, the ratio N_{ej}/N_0 is almost constant for V_p above 10 keV and for V_p below 5 keV, it becomes negligibly small. The external magnetic field dependence of T_i^* is shown in Fig. 9. As the external quadrupole magnetic field is increased, the ion average energy T_i^* increases.

In summary, ions are heated to higher energies as (i) the plasma density (n_0) is decreased, (ii) the charging voltage (V_p) on the capacitor for the plasma current excitation is increased, or (iii) the external quadrupole magnetic field (I_c) is increased. The parameter tendency shown above is the same as that for the anomalous resistivity.

We also measure the ejected plasma cloud by an electrostatic double probe. Its velocity is obtained by varying the position of the double probe and is 10^8 cm/sec. This value agrees very well with the velocity $(2\,T_i^*/M)^{1/2}$ obtained from the ion analyzer. By measuring the spatial distribution of the ejected plasma, we can estimate the total amount of energy carried by ions which are ejected from the plasma sheet. From this rough estimate, 2.8×10^{16} ions with mean energy 5.6 keV are

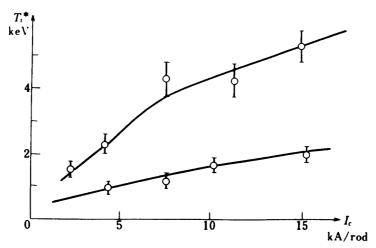


Fig. 9 Dependence of the of the average energy of ejected ions (Ti) on the external magnetic field. The experimental conditions of the upper curve are the charging voltage on the capacitor for the plasma current excitation Vp=17~kV and the initial plasma density $n_o=4\times10^{13}/cm^3$. Those of the lower curve are the charging voltage $V_P=10.5~kV$, initial plasma density injected from the gun $n_0=5.5\times10^{12}/cm^3$, and the initial hydrogen filling pressure $P_0=7.6\times10^{-4}$ Torr. Hydrogen plasma is used in both cases. In the lower curve, the vessel is filled by neutral hydrogen gas before the plasma current excitation.

produced and the total ion energy becomes 10% of the initial stored energy in the capacitor. This result shows that in our experiment, ions are heated with a high efficiency and a considerable part of the magnetic energy supplied by the capacitor bank is converted into ion energy.

(Ⅱ) 磁気中性面の精密計測(昭55~58年)

実験装置

実験は Fig. 1 に示す様に同一円周上の等分点に置いた 4 本の金属ロッドに互い違いの向きに電流を流し四重極磁場配位を形成する。これにはプラズマ主放電の周期 26 μ sec に比べて長い周期 (半周周期 580 μ sec) を持つコンデンサーバンクを用いており、(Fig. 2) 着目している時間内では四重極磁場は一定と考えて良い。プラズマは、最大 20kV, $10~\mu$ F, 2k joule のコンデンサーバンクによって、Ar ガス中で放電をつけて生成する。放電の周期は $26~\mu$ sec で、主として第 1 半周期の間の現象を観察している。実験条件を決めるパラメタは Ar ガス圧 P , 四重極磁場を作るコンデンサーバンクの放電電圧 V_{SHB} の 3 つがある。V

sB, V SHB と各々に実際に流れる電流の第1半周期のピーク電流値はそれぞれ

 I_{SB} (kA) = 12 × V_{SB} (kV),

 I_{SHB} (kA) = 1.8× V_{SHB} (kV)

で表わせる。P, V_{SB}, V_{SHB}は,

3 < P < 350 m Torr

 $0 \le V_{SB} \le 3.0 \text{kV}, \ 0 \le I_{SB} \le 36 \text{kA}$

 $5.0 \le V_{\text{SHB}} \le 20 \text{kV}, 9.0 \le I_{\text{SHB}} \le 36 \text{kA}$

の範囲で可変である。Fig. 3 には実際に行なわれた代表的なパラメタを格子点で表わしてある。

測定は、イメージコンバータカメラによるプラズマ形式の観察,放電極間の電圧波形, プラズマ全電流波形のモニター,及び磁気プローブ,ダブルプローブを用いたプラズマの 特性測定を主に行なっている.

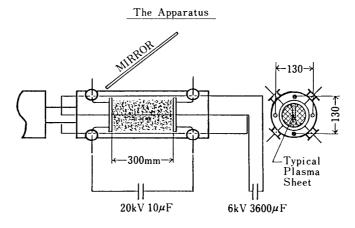


Fig. 1 The Apparatus

The Time Sequence of the Experiment

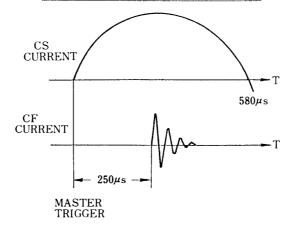
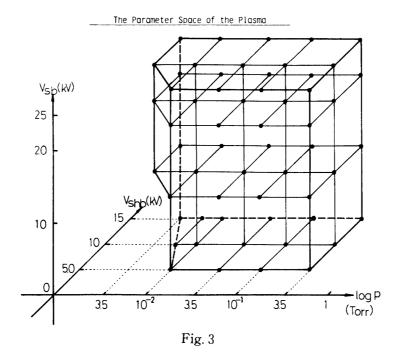


Fig. 2 The Time Sequence of the Experiment



実験結果

1. プラズマ形状のパラメタ変化

正面から見た写真から、P>8 mTorr の時、プラズマは左右に広がりシートが形成されることがわかる。(電流は写真の表から裏に抜ける向き)しかも、パラメータによってはシート内部が暗く、二層状の構造になることがわかる。このシートの形状を右図の様に定義すると、P>8 mTorr の時定性的に以下の様な特徴がある。

- シートの長さq
 q ↗, V_{SB} ↘, V_{SHB} ↗
- 2) シートの厚さW W⊿as P↗, V_{SB}↘, V_{SHB}↘
- 3) シートの形成速度 V
 V / as P \(\), V_{SB} / , V_{SHB} /
- 4) シートの発光強度 I/I。

 $I/I_0 \nearrow as P \nearrow$, $V_{SB} \nearrow$, $V_{SHB} \nearrow$

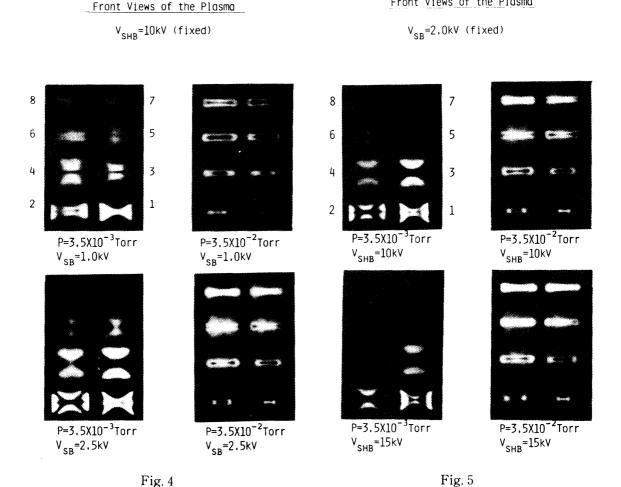
但し、シートの発光強度 I/I_0 は、カメラレンズの f 値と使用した ND フィルターの減衰率 と各写真の露出度を 1 つの放電例のそれと比較して決めたものである。

Front Views of the Plasma

一方,横方向から観察した場合は,上述したシートに相等する部分は丁度四重極ロッド の影になり、シートの左右に伸びる広がった部分のプラズマや、シートの上下にできるプ ラズマの発光を見ることになる。(電流は写真の右から左に流れる。)これによるとプラズ マ電流は kink like に大きく乱れることはないが、上下に fluctuation が観察される. (Fig. 5,6) その形状は細かいヒゲの様なものやシート面に向かって斜めになっている比較的大 きな構造など実験条件によって異なる.

2. 磁気プローブによる磁場分布の測定

小型の磁気プローブ (内径 2.2ϕ , 20 ターンの 2 つのコイルを直角につけたもの) によっ て、電流シート付近の磁場分布を 5 mm 間隔で 11×11 点測定し、その結果のベクトルBの 表示、 $\mathbf{P} \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}$ による電流分布の計算、及び $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ のベクトル表場表示を行なった。測定 は、p=8.3 mTorr, $V_{SB}=2.0 \text{kV}$, $V_{SHB}=7.5 \text{kV}$ ($I_{SHB}=13.5 \text{kA}$) で行なった。この結果をそ れぞれ Fig. 8, 9, 10 に示す。図は $t1\sim t6$ までの時刻を表示してあるが各時刻の間隔は 2μ sec であり、t1 はプラズマ放電開始後 2μ sec であり、t3 付近が全電流のピークである。Fig. 8において、プラズマ電流のピーク付近で x 軸の上下のベクトルが水平に向き、プラズ



マ電流がシート状になっていることがわかる。シートの上下付近の磁場の代表的な大きさは 1 kGauss 程度である。実際に電流密度を差分してみると Fig. 9 で明らかな様にプラズマ電流はシート状に流れていることがわかる。電流密度の代表的な値は,t3 の原点付近で 1 kA/cm² の程度である。プラズマに働くアンペアカ $j \times B$ は Fig. 10 からわかる様にt4 からt2 にかけてのシート形成期では,プラズマを左右に掃き出す向きの成分が大きいが,t3 以降ではシートを上下から抑える様に働きシートの左右端で x 成分が残っているのがわかる。

3. ダブルプローブによるxz面内の電場の測定

ダブルプローブによりプラズマのパラメタを測定中、xz面内 (Fig. 11) の電場が影響を与えていることに気づき、これをダブルプローブ特性のシフト量から評価した。特性のシフト量をバイアス電圧が kT_e に比べて小さい時、特性の線型性を仮定して、

 $\tilde{I} = I(V_o) + I(-V_o)$

Side Views of the Plasma

 $V_{SHB} = 10 \text{kV (fixed)}$

 $P=3.5X10^{-3}Torr$

 $V_{SR}=2.0kV$

という量から評価した。 \tilde{I} の値を Z 軸と平行な回転軸のまわりに回転した時の変化を調べると Fig. 12 の様に, $\theta = \frac{3}{4}\pi$ で $\tilde{I}=0$ になり, Fig. 11 (1)の様な方向に電場があることがわか

Side Views of the Plasma

 $V_{SR} = 2.0 kV (fixed)$

12 11 12 11 10 9 9 10 8 7 8 6 6 5 3 4 3 4 1 2 $P=3.5X10^{-2}$ Torr $P=3.5X10^{-3}Torr$ $P=3.5X10^{-3}Torr$ $P=3.5X10^{-2}$ Torr V_{SHB}=5kV $V_{SHB} = 5kV$ $V_{SB}=1.0kV$ $V_{sR}=1.0kV$

 $P=3.5X10^{-2}$ Torr

 $V_{SR}=2.0kV$

Fig. 6

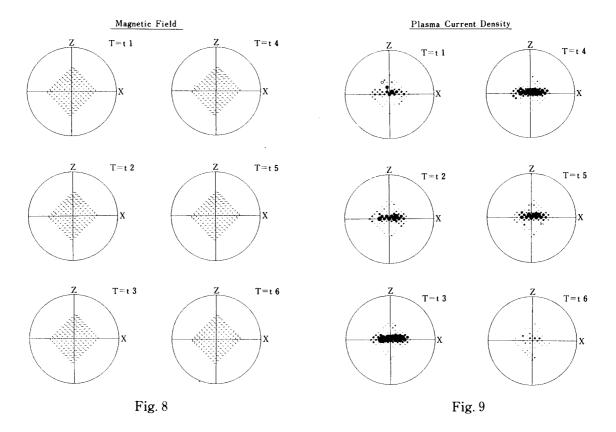
 $P=3.5X10^{-3}Torr$

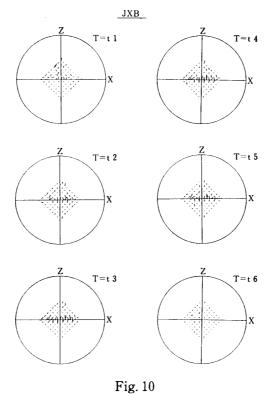
 $V_{SHB} = 15kV$

 $P=3.5X10^{-2}Torr$

V_{SHB}=15kV

Fig. 7





る。プラズマを作るために y 方向にかける電場の向きを考慮するとEの向きが Fig. 11 (1)の様に決まり |Ex| が |Ey| と同程度であることがわかる。一方,y 方向に定常磁場を作っておいて放電をつけると,Fig. 13 の様にシートが傾くのが観察される。(B_{ov} は写真の表から裏に抜ける向き) これは,Fig. 11 (2)の電場の向きを考えると $E \times B$ によるプラズマのドリフトによると考えられる。この様に xz 面内の電場成分の存在が確かめられている。

3. まとめ

Hall electric field

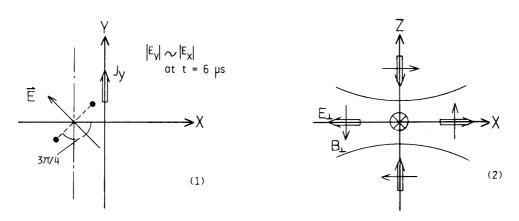


Fig. 11

Electric field measured by double probe

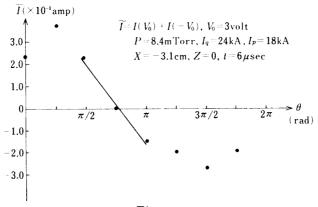


Fig. 12

と不完全電離であるために V_{SHB} と共に増加し,四重極磁場が強い程シートが圧縮されて n_P が増加すると考えられる。以上の様に $1)\sim 4$)の性質は定性的に説明ができる。一方、シートが二層状に見えることは興味有る現象であるがこの解明のための実験を現在行なっている。

xz 面内の電場の存在は中性電流シートの性質として大変興味深い。これは、四重極磁場とプラズマ電流の方向を考えるとj×Bに比例したホール電場の y 成分が存在し得ることになる。このことは理論的にシートの性質を調べる場合一般化されたオームの法則にホール項を考慮する必要があることを意味する。実際にホール項を含ませることによって中性電流シートのテアリング不安定性の成長率が上昇するという計算が有り(T. Terasawa

Plasma sheet when $B_{0y}=0$

P=8.4mTorr, Iq=12kA/rod, Ip=18kA

plasma sheet during the 2nd half cycle

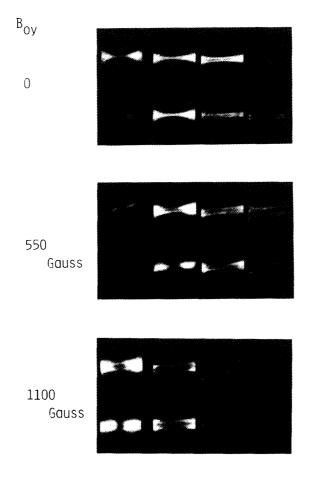


Fig. 13

1983), ホール項の重要性が指摘されている.

以上の様に、電流シートの定性的な性質と調べ、いくつかの興味ある結果を得ている。 今後さらに定量的な評価を行なうことにより、磁気圏尾部の中性電流シートや、核融合装 置における類似した配位中のプラズマとの対応を検討するつもりである。

4-1-3 回転プラズマによる質量分離の研究 (Experimental Study on Mass Separation by Plasma Centrifuge) (昭和46年~51年)

磁場に対し垂直な面内で,放射状に電流を流した場合に生成されるプラズマは,ローレンツカ $J \times B$ によって回転状態になる(回転プラズマ)。回転に伴う遠心力により質量分離現象が発生し,宇宙空間における元素偏存の一要因として考えられている。又遠心力を利用した質量分離は,ウラン 235 の同位体分離をはじめとして応用範囲も広い。本研究では軸方向に定常磁場を印加した同心円筒型電極に高電圧を印加し,弱電離プラズマを生成して,各実験条件の下での回転速度,圧力分布,質量分離効率を測定した。Ar と He の混合気体を用いた場合には,磁場強度 7.5 kGauss 放電電流 1 A の条件の下で,外壁における Ar の He に対する比は,回転前のそれの 1 .68 倍に達した。この結果をウラン 235 濃縮におきかえてみると,分離率は 1 .12 となり,エネルギー効率は,650 keV/ U^{235} となる。

EXPERIMENTAL LAYOUT

A schematic view of the rotating plasma device is shown in Fig. 1. A vacuum chamber is made of two stainless-steel coaxial tubes, one of which is an outer electrode of 10 cm inside diameter and 22 cm length, and another is an inner electrode of 1 cm outside diameter and 22 cm length. Between these electrodes a d.c. electric field is

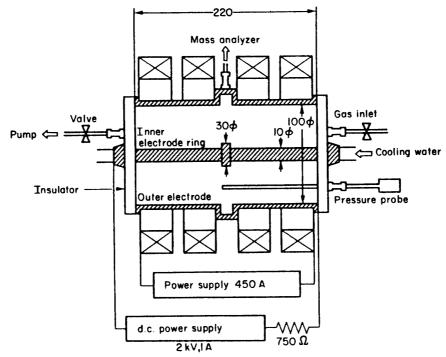


Fig. 1 Schematic view of the rotating plasma device.

applied $(2 \, kV, 1 \, A, \, max)$. Four magnetic coils create a steady longitudinal magnetic field of 7.5 kGauss (max). A resistor (750Ω) is needed for stabilizing the discharge. Gas is introduced from one side of the chamber and is exhausted from another side. Two diagnostic ports are located in the center of the wall of the outer electrode, through which samples of the gas are taken out and probes to measure pressure and velocity are inserted. Probes can be inserted axially through the side port as shown in Fig. 1. Because it is difficult to make a stable uniform discharge in the axial direction, a 'ring' 1 cm long and 3 cm in diameter is inserted at the center of the inner electrode so that a discharge should concentrate in the center of the chamber. If this ring electrode is not used, a discharge is apt to take place along the side insulator wall and generates impurity gases from the side walls. In our experiment plasma is generated steadily, and a considerable amount of heat is dissipated in the chamber so that a water-cooling system is needed.

We use He and Ar gases mixed in various ratios. Samples taken from the outer electrode are guided through a pipe 3 mm in diameter and 2.5 m long, into the vacuum chamber and there the ratio of He/Ar is measured by a mass analyzer. We use this long pipe in order to avoid the effect of the main magnetic field on the mass analyzer,

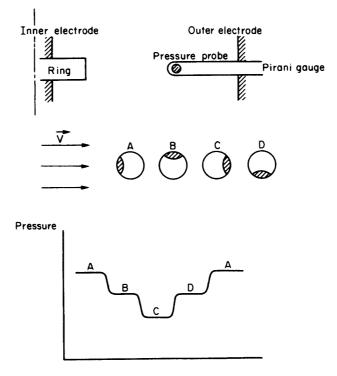


Fig. 2 Schematic view of the velocity probe and typical pressure change with the angle between flow and the aperture of the probe.

and also to maintain the pressure difference between the experimental region and the mass analyzer chamber.

EXPERIMENTAL RESULTS

Rotating velocity

In order to measure rotating velocities, we use a velocity probe which is made of a glass tube, 5 mm in diameter with an aperture 2 mm in diameter on the side of the tip. Because in our rotating plasma most part of the gas is neutral and the pressure on the surface of the velocity probe in the flow depends on the angle between the direction of the flow and the surface normal. If we point the aperture of the probe in various directions against the flow and read the pressure, we can obtain the rotating speed. In Fig. 2, we show typical pressure changes when the aperture is faced at angles of 0° , 90° , 180° , 270° against the flow, respectively. As can be seen from this figure, the pressure has a maximum value at $\theta = 180^{\circ}$. This means that the gas in the chamber cannot be treated as a perfect fluid. In fact the Reynolds number R is about 1 for He and 10 for Ar, when the velocity is taken to be 100 m/s and the typical length 0.5 cm (a diameter of the pressure probe). When R < 1, Oseen approximation can be applied (L_{AMB}, 1932) and we can obtain the pressure distribution as

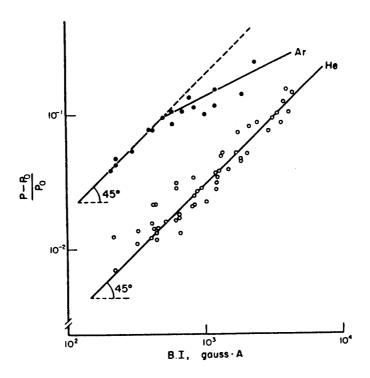


Fig.3 Dependence of the dynamic pressure (p-p₀) on the driving force (B • I).

$$p = p - \frac{4\mu v/a}{1.3 - \log R} \{\cos \theta + 0(R)\}$$

where

 μ : vicosity coefficient; v: velocity of the fluid; a: radius of the cylinder.

This expression can explain the pressure change of He shown in Fig. 2. Therefore this approximation is considered to be a better one for He in our experiment. From this expression we can say $v_{\theta} \propto p - p_0$. The experimental results show $p - p_0 \propto B \cdot Ir$ (Fig. 3), then we can say $v_{\theta} \propto B \cdot Ir$ and it agrees with the theoretical result. By using we can obtain the velocity. Its maximum value is about 200 m/s for He gas. For Ar, Oseen approximation cannot be applied for any higher velocity because R > 1. The lag of the curve from the linear dependence in Ar is considered to be caused by this effect.

Experiment on mass separation

We have performed experiments on mass separation in our rotating plasma device with a He-Ar gas mixture. When the gas begins to rotate, the ratio of He/Ar changes. We observe this change at the outer electrode a quadrupole mass analyzer. We choose the initial ratio of $He/Ar=\frac{2}{3}$ only due to the convenience of observation. After several experiments in various ratios we find the result described below is unaffected by the initial mixing ratio. When the plasma starts to rotate the ratio changes gradually and it takes about 30s to reach an equilibrium. This is because the sample needs time to reach the mass analyzer through a long pipe. About 2 min after the start of the operation, various impurity gases (H_2 , carbohydrates) begin to evapo-

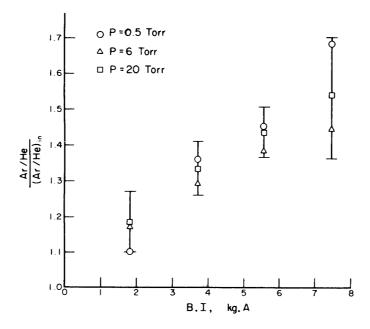


Fig. 4 (a) Dependence of the separation factor on B • I.

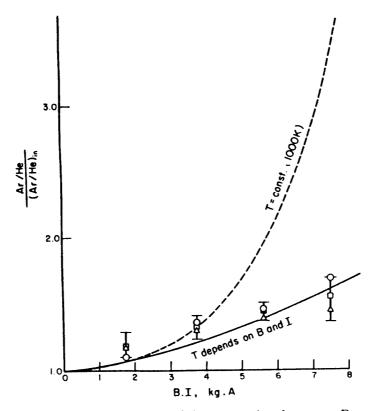


Fig. 4 (b) Dependence of the separation factor on B • I compared with the theoretical result.

rate from side insulators. In order to avoid the impurity effect, the ratio at 70s after operation is measured in the following data. We define the separation factor S by the Ar/He density ratio during operation divided by that before operation $(=\frac{2}{3})$ and observe its dependence on magnetic field and discharge current.

$$S = \frac{(Ar/He) \text{operation}}{(Ar/He) \text{initial}}$$

In Fig. 4(a) the dependence of S on the driving force $B \cdot I$ is shown at various pressure values. In Fig. 4(b) we show this dependence compared with the theoretical result. From these results we conclude that the separation factor increases linearly with $B \cdot I$ and their maximum values are

$$S=1.55\pm0.13$$
 ($P=0.5\sim20$ Torr)
($B=7.5$ kG and $I=1.0$ A) .

4-1-4 定常プラズマ流と双極子磁場の相互作用 (Interaction of a Steady Plasma Stream with a Magnetic Dipole)

太陽プラズマ流(太陽風: Solar Wind)と、地球磁場との相互作用によって地球の周辺

には磁気圏が形成されており、これの実験室におけるシミュレーションは主としてプラズマ銃等のパルスプラズマ流を用いて行われてきた。この研究ではプラズマ源として TP-D型プラズマ装置(装置編参照)からのプラズマ流中に永久磁石により双極子磁場を作った時に出来る相互作用領域に電場を加える時に出来るプラズマ・シース構造を調べたものである。これは磁気圏中における電場が磁気圏プラズマに与える基本的な効果をみる上で価値があると共に地球以外の宇宙の天体の磁化プラズマ中での帯電現象にも対応している。

In the earth's environmental space, the interactions between a flow of charged particles and the geomagnetic dipole field result in various interesting phenomena such as the formation of magnetosphere, collision-free shock waves and plasmapause, the excitation of aurora and so on. In recent years these phenomena have been investigated in detail by direct measurement using a number of space vehicles. So far experiments to simulate these phenomena have been performed using a pulsed high density plasma flow, and a simulated magnetosphere has been observed by time-resolved photography (Alfvén, 1963; Cladis *et al.*, 1964; Kawashima and Ishizuka, 1964; Kawashima and Fukushima, 1964; Osborne *et al.*, 1964). This experiment is to study the details of these geophysical phenomena in the laboratory using a steady plasma.

The general layout of the experimental device is shown in Fig. 1. A steady state plasma is produced in TP-D device (Takayama, 1966). A plasma diffuses out from the discharge chamber (left side) into the experimental region through a small aperture (7 mm in diameter) at the center of the anode along a guiding magnetic field. In this device, the experimental region is separated from the plasma production region by the anode orifice so that the plasma in the experimental region is quiet and stable. The guiding magnetic field is terminated at the entrance of the experimental region and the plasma expands along the diverging magnetic lines of force in the experimental region. The residual guiding magnetic field there is about 100 gauss. A small magnetic dipole (a cylindrical permanent magnet of 13 mm in diameter and 13 mm long, and the

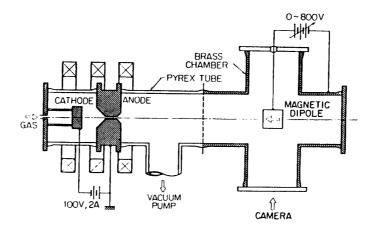


Fig. 1 A schematic layout of the experimental device.

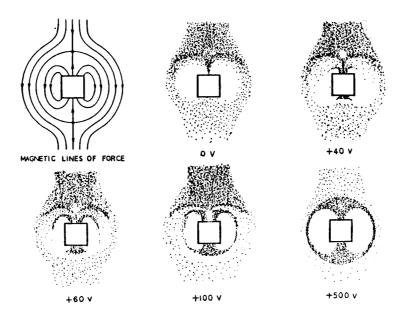


Fig. 2 Schematic drawing of the interaction of a steady plasma flow with a dipole magnetic field when a positive voltage is applied with respect to the wall.

magnetic field intensity of about 800 gauss at the surface) was set in the center of a cross-shaped metal chamber of 100 mm in inner diameter and 350 mm length (shown with bold lines). Observations were performed using a photographic camera through a window. The gas used for the discharge is helium; the plasma density is about 10^9 cm⁻³; the electron temperature is about 15eV, and the metal chamber is filled with helium or argon gas at a pressure of $8\sim 9\times 10^{-4}$ Torr. A voltage up to 800 V is applied between the dipole and the chamber wall.

The plasma in the absence of the electric field flows around the dipole according to the combined magnetic field of the guiding magnetic field and the dipole magnetic field, and a forbidden region (a dark space) is observed near the dipole when the dipole is directed in the opposite direction to the guiding magnetic field.

When a positive voltage (with respect to the wall) is applied to the dipole, small bright parts appear adjacent to both poles of the dipole.

These bright parts grow as the applied voltage is increased as schematically shown in Fig. 2 and form an ellipsoidal shape with a longer axis perpendicular to that of the magnetic dipole, and a dark region appears around the surface of the dipole. Here, it is drawn in such a way that a plasma comes from above in order to simulate the geophysical situation. This ellipsoidal shell expands with the increase of the applied voltage, and the expansion rate is greater in the direction of the dipole axis

宇宙科学研究所報告

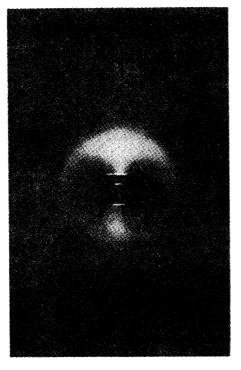


Fig. 3

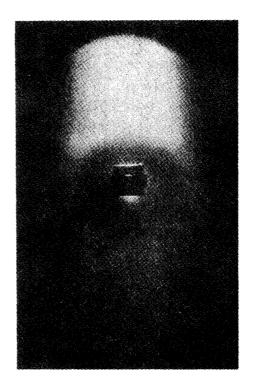


Fig. 4

Photograph of the interaction of a steady plasma with a dipole magnetic field when a positive voltage with respect to the wall (± 500 V) is applied to the dipole. A plasma comes from above.

Photograph of the interaction of a steady plasma with a dipole magnetic field when the applied voltage is negative (-500 V) with respect to the wall.

than in the radial direction. The shell becomes an almost completely spherical shape when the applied voltage is about 500 V (Fig. 3). With much more increase of the voltage the sphere changes to an ellipsoidal shape with a longer axis parallel to the dipole axis.

When the applied voltage is fixed and the plasma density is increased, the shape of the bright shell is compressed in the direction of the dipole axis, while the radial diameter of the ellipsoidal shell is not changed.

When the polarity of the applied voltage is inverted, that is, the dipole potential is negative to the wall, a spherical dark space surrounding the dipole is observed as shown in Fig. 4. In this case, the variations of the spherical shape with the change of parameters are similar to those of the positive cases, but the boundary is not so clear as in the former case.

4-1-5 高密度プラズマと大出カマイクロ波との相互作用の研究

(Study of Interaction between High Power Microwave Pulse and High Dense Magnet-

ized Plasma) (昭和 48 年~51 年) ミラー磁場に閉じ込められた高密度プラズマに、マイクロ波パルスを $f_0=\operatorname{nf}_{ce} \sim f_{pe}(f_o)$:マイクロ波周波数、 f_{ce} :サイクロトロン周波数、 f_{pe} :プラズマ周波数、n:整数)の条件の下に打ち込むと、入射終了後おくれてプラズマからマイクロ波帯のエミッションが戻ってくることを見い出した(delayed emission)。このエミッションの周波数スペクトラムは、実験条件を変えることにより、 $m \cdot f_{ce}$ 、($m+\frac{1}{2}$) f_{ce} $\sim (m+1)$ f_{ce} 、($0.8\sim 1.0$) f_{ce} の三種があることが確認された。この現象の各種実験パラメーター依存性を詳細に調べる事により、マイクロ波のエネルギーがパラメトリック不安定性でプラズマ電子に注入され(入射過程)、加熱された電子は、ミラー磁場に捕捉(保持過程)された後、最終的に静電不安定性によりエネルギーが再びマイクロ波の形で放出されることが判明した。本実験で研究された物理過程は、アロエット衛星等で見い出された磁気圏での RF 放射に伴う遅延波の発生機構と密接な関係があることもわかった。

EXPERIMENT

A. Experimental layout

The experimental layout is shown in Fig. 1. A steady arc plasma (He) is produced in a plasma source region between the anode and the hot cathode, and the plasma diffuses into a differentially pumped experimental region along magnetic field lines. The plasma density at the center of the plasma column is about $10^{11}/\,\mathrm{cm^3}$ and the electron temperature is several electron volts. There is a stationary electron beam of 1.2 A, 400 V through the plasma column along the magnetic field. The plasma is confined in a magnetic mirror field produced by coil I -IV and the diameter of the plasma column is about 1 cm. A high power microwave pulse with frequency $f_0 = 9.36$ GHz is transmitted transverse to the plasma column from an open-ended waveguide and the direction of the electric field of the microwave is either parallel or perpendicular to the magnetic field. The maximum power and the duration of the pumping microwave pulse are 10 kW and 7-10 μ sec, respectively. Microwave emissions from the plasma are detected by a spiral antenna and are analyzed by an electric field analyzer (EMA 910) with a measurable frequency range from 1 to 10 GHz. The

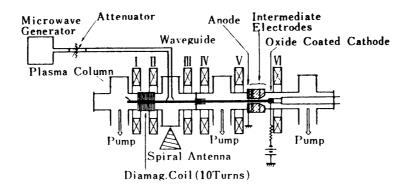


Fig. 1 Schematic layout of the experiment.

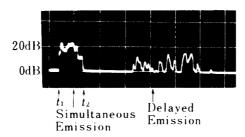


Fig. 2 Signal of the microwave emission of the second cyclotron harmonics from the plasma. The freguency of the pumping wave is five times the cyclotron frequency and the pumping wave is applied from time t_1 to the time t_2 . $12.5~\mu sec/div$.

plasma density is measuredd by a double probe and the x tays from high energy electrons are detected by a Nal scintillation counter and the energy of high energy electrons is obtained by the absorption method of x tays. The input energy into the plasma from the microwave is measured by a 10 turn diamagnetic coil.

B. Delayed emission (type I, Π)

When a high power microwave pulse is injected into the magnetized plasma under the condition of $f_0 = n f_{ce} \cong f_{pj}$ where (f_0) is the pumping frequency, f_{ce} is the electron cyclotron firequency, f_{pe} is the electron plasma frequency, n = 2,3,4,5), we observe the microwave emission (type I delayed emission) which appears after the termination of the pumping microwave pulse, in addition to simultaneous emission during the pumping time (between t_1 and t_2 in Fig. 2). The simultaneous microwave radiates continuously during the pumping and has a broad frequency spectrum peaked at cyclotron harmonics under the pump frequency (9.36 GHz). The delayed microwave radiates as a short chaotic pulse train and its delay time ranges up to $100 \ \mu \text{sec}$.

The delayed emission has a peculiar feature in its frequency spectra. Figure 3 shows the frequency spectra of type I delayed emission when n is varied. For each harmonic number n, the frequency spectrum has sharp peaks at the cyclotron harmonics (mf_{ce}) $(m=1,2,\ldots n)$. As is clearly shown in this figure, the emission at the second harmonic is the strongest and the emissions at f_{ce} (fundamental) and nf_{ce} (pumping frequency f_0) are much weaker than the others. The maximum intensity of the delayed emission is several tens of mW, whereas that of the simultaneous emission is several hundered mW.

When the microwave pulse is pumped under the condition of $f_o = nf_{ce} \cong 1.5$ f_{pe} (underdense plasma), small side peaks below the peaks of type I delayed emission become larger, while the peaks of type I emission (mf_{ce}) are supperessed. These side

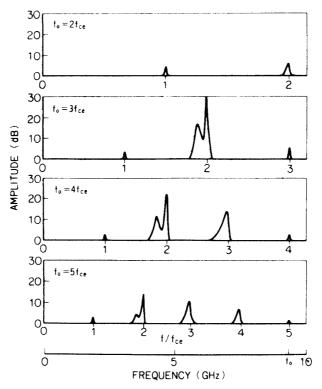


Fig. 3 Frequency spectra of type I delayed emission.

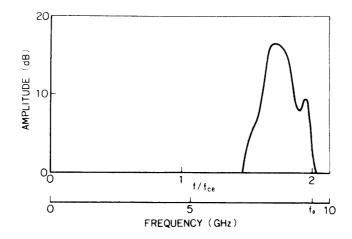


Fig. 4 Frequency spectrum of type II delayed emission in case of n=2.

peaks are called type II delayed emission in our experiment. Type II delayed emission appears continuously immediately after the termination of the pumping and the duration time is 30 μ sec at most. The radiation intensity is the same order of magnitude as that of the type I delayed emission. The frequency spectrum of type II delayed emission for the case of n=2 is shown in Fig. 4 where the type II delayed

emission is clearly distinguished from the type I delayed emission, and it ranges from 1.5 f_{ce} to $2f_{ce}$ (= f_0). More generally, the frequency specturum of type II has broad peaks between $(m+\frac{1}{2})f_{ce}$ and $(m+1)f_{ce}$.

Emissions with frequency above $nf = f_0$ are not measured because their frequency exceeds the measurable range of our receiver (EMA 910).

The following conditions are required for the excitement of the delayed emissions with respect to the magnetic field strength, plasma density, power of the pumping wave, and particle confinement. Figure 5 shows the parameter region for the appearance of the delayed emissions when the magnetic field strength and plasma density are varied. The resonance condition of cyclotron harmonics $(f_0 = nf_{ce})$ must be strictly satisfied and the plasma density must be $\leq 10^{12}$ /cm³[i.e., $f_0 \cong f_{ce}$ (electron plasma frequency)]. The plasma density has an approximately parabolic distribution in the radial direction and the plasma density in Fig. 5 refers to the density in the center of the plasma column. The most desirable plasma density region for type II delayed emission is about half of that for type I delayed emission. As we shall discuss later, slight, but definite difference makes the interaction of the microwave with plasma clearly different, and therefore, can give rise to the two types of delayed emissions with different frequenc spectra. The third condition for the delayed emission to appear is a requirement on the power of the pumping wave. As is shown in Fig. 6., there exists a clear threshold level of the pumping wave power and when the pumping power is increased above this critical level, the delayed emission appears and increases sharply. The threshold value is almost the -same for all resonance number $(n=2,\ldots)$

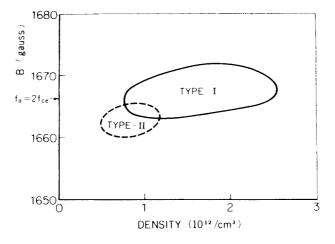


Fig. 5 The possible region of the magnetic field strength and the plasma density where the delayed emission appears in case of $f_0 = 2f_{ce}$ (n=2)

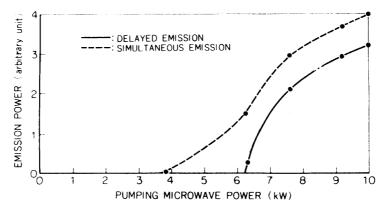


Fig. 6 Dependence of the delayed emission on the power of the pumping microwave.

5). The type I delayed emission has a lower threshold power value (6.3 kW) than type II (8.0 kW) and the simultaneous emission has a much lower value (3.7 kW) than type I. The fourth condition for the delayed emission to appear is that the magnetic field configuration must be a magnetic mirror. The radiated power decreases as the mirror ratio is decreased and never appears in a straight magnetic field configuration (mirror ratio=1). The simultaneous emission, on the contrary, is not sensitive to the mirror ratio at all.

DISCUSSION

The delayed emission appears after the complete termination of the pumping microwave when the frequency of the pumping wave is equal to the harmonics of the cyclotron frequency and is near the plasma frequency. The formation of the delayed emission requires three processes; microwave power absorption by plasma, energy storage in plasma, and microwave emission from plasma.

Plasma is usually heated effectively at the electron cyclotron frequency due to electron cyclotron resonance heating, but in our experiment, a different mechanism of plasma heating should exist, because the plasma is strongly heated at higher electron cyclotron harmonic frequencies as well as at fundamental cyclotron frequency and there is a definite threshold in the energy absorption. It is plausible that the plasma is anomalously heated by parametric instabilities. The condition of $f_0 = nf_{ce} \simeq f_{pe}$ for type I delayed emission corresponds to that of decay instability between Bernstein modes, whereas the condition of $f_0 = nf_{ce} \simeq 1.5 f_{pe}$ (underdense plasma) for type II delayed emission corresponds to that of kinetic instability. The energy absorption by the strong decay instability deposits most of the pump energy in the electrons and leads to highly energetic tails on the electron distribution function. Absorption of the kinetic instability leads to a heating of the main body and not to the energetic tails produced by resonant absorption. The experimental results agree well with these

interpretations.

The experiment when the magnetic mirror ratio is varied indicates that the hot electrons produced by the high power microwave pulse are trapped in the magnetic mirror and that the input energy is stored as in the perpendicular hot electron form.

The energy stored in the plasma is released by emitting the delayed emission. Under the condition where the perpendicular hot electrons exist in a cold Maxwellian plasma, electrostatic instabilitities are excited by the anisotropic velocity distribution of hot electrons. Post shows that there are two types of electrostatic instability due to double humped velocity distribution (type A) and temperature anisotropy (type B).

The electrostatic wave is converted into an electromagnetic wave through the plasma density gradient. Based on an investigation, oscillations near the upper hyarid frequency will be converted from longitudinal electrostatic waves to transverse electromagnetic waves in an inhomogeneous medium. Since the plasma column has a steep density gradient, the electrostatic waves below the plasma frequency excited near the center of the plasma column surely arrive at the density region where the conversion condition is satisfied.

Similar experiments in space have been carried out by the Alouette II and ISIS I satellites which contain a sweep frequency rf sounder of 400 W. The receiver on the satellites observed long duration (many milliseconds) electrostatic signals immediately after the termination of a short rf pulse (100 μ sec). The frequency spectra of the "resonances" are quite similar to those of the delayed emission (type I, II). Many interpretations of these phenomena have been proposed. The resonances at cyclotron harmoics have been interpreted in terms of the reception of Bernstein waves excited by the rf pulse traveling with the satellite. From our experiment, we consider that the resonances at cyclotron harmonics are the result of an instability driven by a secondary peak in the distribution function for electron velocities perpendicular to the magnetic field (type I). The resonances near the half cyclotron harmonics have been interpreted in terms of the Harris instability, which is similar to our interpretation of the type II delayed emission.

The main properties of these instabilities are explained in terms of the theory with a two-component plasma of perpendicular hot electrons and cold background plasma, but triggering or suppressing of both type of delayed emission by the electron beam modulation is especially interesting. The existence of the parallel electrons makes the delayed emission appear more easily. In order to analyse this problem, we must calculate the dispersion relation with a three component plasma of perpendicular hot electrons, background cold plasma, and parallel electron beam.

4-1-6 短パルス相対論的大電流電子ビームとプラズマの相互作用 (Interaction of a short-pulse Relativistic Electron Beam with a Plasma) (昭和 49 年~54 年)

パルス幅 3ns, 500 keV, 10 kA の大電流パルス電子ビームとプラズマの相互作用を研究したもので、宇宙空間における電子ビームとプラズマの相互作用におけるプラズマ加熱、波動の励起現象をシミュレートしたものである。

この研究では,

- i)電子ビームとプラズマ相互作用による強力なマイクロ波の発生とそのメカニズムの 解明
- ii)電子ビームによる効率良いプラズマ加熱の存在

が明らかにされ、又強磁場(100 kgauss)を用いた電子ビームの磁気バリアの通過実験では Collective な相互作用により予想以上に磁気バリアを乗り越えて電子ビームが通過する事が見出された.

I. Microwave Emission and Plasma Heating EXPERIMENTAL LAYOUT

A schematic view of the experimental setup is shown in Fig. 1. A vacuum chamber is made of brass tube of 10 cm in diameter and 1.2 m in length. Six magnetic coils, which are placed axially at intervals of about 18 cm, create a steady longitudinal magnetic field of 1.6kG (max). The magnetic field is nearly uniform but slightly rippling along its axis, creating magnetic mirrors with the mirror ratio $R_m \approx 1.3$. A plasma is produced by a laser plasma gun or a carbon plasma gun.

When the vacuum chamber is filled with plasma, the relativistic electron beam is injected axially through a Titanium anode foil. We use a Febetron as a relativistic electron beam source. A 600 kV (max), 40 ns pulse is created by the discharge of a Marx generator, and it is applied to a 'short pulse adapter' through a pressurized gap

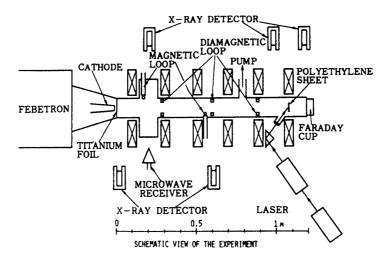


Fig. 1 Schematic view of the experiment

switch (SW₂in Fig.3). In this sub-system, the energy is once stored in a coaxial Blumlein line and then, by the self-firing of another switch (SW₃), a very short pulse of 4 ns is formed. The output pulse is applied to a diode, and a relativistic electron beam is emitted as a field emission. We use a stainless steel cathode and a 10 or 20 μ m thick Titaninum foil anode. The gap between the cathode and the anode foil is around 3 mm. The current of a beam produced in this system is around 2 kA and its pulse width is 3 ns (FWHM).

EXPERIMENTAL RESULTS

Propagation of a relativistic electron beam

A relativistic electron beam current and a time variation of a magentic field dB/dt due to the beam are measured by injecting the beam into a vacuum chamber. Typical oscilloscope traces of these signals without plasma are shown in Fig. 2, together with a voltage signal measured by a capacitive divider in a short pulse adapter.

The propagation of the electron beam in plasma is studied by Faraday cup and magnetic loop measurements. Figure 3 shows magnetic loop signals in the case when the relativistic electron beam is injected into plasma (Figs 3a-c). A signal without plasma is also shown for comparison (Fig. 3d). Time scales are all 5 ns/div.

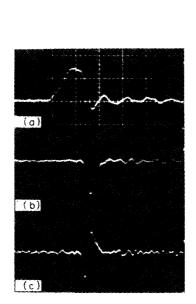
Plasma heating

An energy transfer from a relativistic electron beam to plasma is investigated by using diamagentic loops. A plasma diamagnetic signal is considered to show $W_T \cdot S$ (= $n_P k T \cdot S$), the perpendicular plasma energy in unit length along the external magnetic field.

The dependence of the plasma heating upon the initial plasma density is investigated. Results are shown in Fig. 4, where the plasma energy increment $(\Delta W_T \cdot S) \ vs$. the initial plasma density (n_p) is plotted. From this figure, we can see that the beam energy is transferred to plasma most efficiently when the plasma density is around $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$. In the low density region $(n_p \lesssim 2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3})$, the plasma energy increment increases with the increase of plasma density n_p , and in the high density region $(n_p \gtrsim 2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3})$, it decreases with the increase of n_p .

Microwave emission measurement

In Fig. 5 are shown frequency spectra of Emission C. Frequencies corresponding to an electron cyclotron frequency and its harmonics are shown in each spectrum. In these spectra in Fig. 5, we can find strong microwave emissions near the frequencies of electron cyclotron harmonics $(n \cdot f_{ce}, n=2,3\cdots)$. It should be noted that the fundamental $(f \simeq f_{ce})$ is very weak compared to the harmonics. In frequency spectra of Emission B, we have also found strong microwave emissions near electron cyclotron harmonics $(n \cdot f_{ce}, n=2,3\ldots)$. The amplitude of these emissions is about 20 dB larger



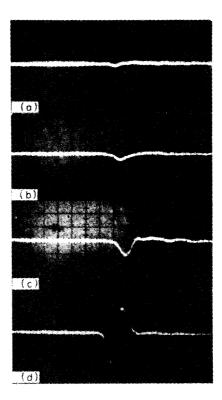


Fig. 2 Typical oscilloscope traces, time scales are all 10 ns/div. (a) Voltage at a capacitor in a short pulse adaptor; peak corresponds to around 500 kV. (b) Beam current measured by Faraday cup; pulse width is around 3 ns (FWHM). Peak current is 2 kA. (c) Time derivative of magnetic field dB/dt without plasma measured by a magnetic loop: it corresponds to a time derivative of beam current.

Fig. 3 Oscilloscope traces of magnetic loop signals with and without plasma.

- a) With plasma ($n_P = 3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$)
- b) With plasma ($n_P = 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$)
- c) With plasma ($n_P = 4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$)
- d) Without plasma ; external magnetic field B $B_0\!=\!1.2~kG$

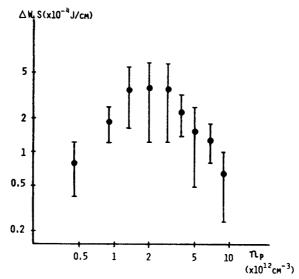


Fig. 4 Increment of perpendicular plasma energy $\Delta W \cdot S$ vs. plasma density n_P . Beam current is fixed to 2 kA. $B_0 = 1.2 \text{ kG}$, $V_D = 500 \text{ kV}$.

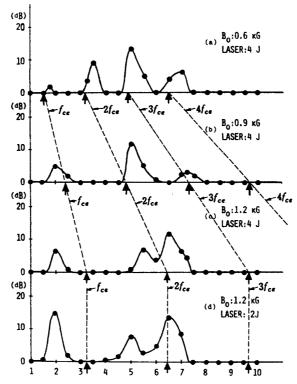


Fig. 5 Frequency spectra of type C microwave emissions; (a) $B_o\!=\!0.6~kG$, $E_L\!=\!4~J$: (b) $B_o\!=\!0.9~kG$, $E_L\!=\!4~J$: (c) $B_o\!=\!1.2~kG$, $E_L\!=\!4~J$ (d) $B_o\!=\!1.2~kG$, $E_L\!=\!4~J$ (d) $B_o\!=\!1.2~kG$, $E_L\!=\!4~J$ (d) $B_o\!=\!1.2~kG$, $E_L\!=\!2~J$: Bo is external magnetic field, E_L is laser energy for plasma production: $I_b\!=\!2~kA$, $V_P\!=\!500~kV$

than that of Emission C.

II. Beam Transmission through a Magnetic Barrier

A schematic view of the experimental setup is shown in Fig. 1. The drift tube is an 8-cm diam. metal tube, constricted to 3-cm at the strong magnetic field coil. The strong magentic field is provided by the discharge of a 30 kJ capacitor bank through a solenoid, and is as high as 110 kG at the center of the coil. The discharge period is sufficiently long (about 5 ms) to allow complete field penetration through the drift tube and provide a constant magnetic field over the beam pulse duration.

The relativistic electron beam is injected into the drift tube through a 20-\$\mu\$m-thick titanium anode foil, along the longitudinal magnetic field (5kG max.). The total beam current transmitted through the strong magnetic field is measured by a Faraday cup, which is spparated from the drift tube by a 50-\$\mu\$m-thick aluminized Mylar window and ewacuated inside. Figure 2 shows the beam current measured by the Faraday cup.

The transmission of the beam through the strong magnetic field (110 kG) is shown in Fig. 3 as a function of the hydrogen gas pressure. Here the guiding magnetic field is about 2kG. From Fig. 3 we can that the beam is efficiently transmitted through the strong magentic field in the very narrow pressure region around 0.7 Torr. Measurements with other background gases yield the same results, except for a change in the pressure corresponding to peak transmission (p_{peak}). A correlation of the gas pressure at peak transmission with the ionization cross section for 300 keV electrons is illustrated in Fig. 4, and we find that the product of both is constant.

This result indicates that when the beam current (I_b) is not larger than the Alfven current limit (I_A) , namely, $I_b/I_A < 1$, the density of the plasma created by the beam may be estimated by considering only the direct ionization due to collisions between the beam electrons and gas atoms. Since this condition is satisfied for the beam in our

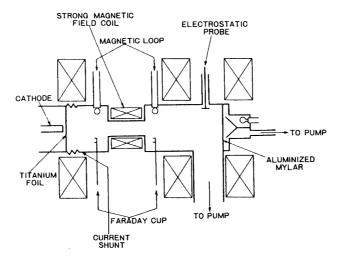


Fig. 1

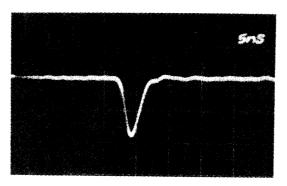
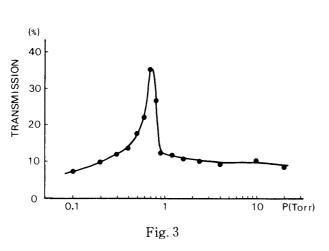


Fig. 2 Relativistic electron beam current waveform recorded by a Faraday Cup. Sweep speed is 5 us/div and peak current is 1.5 kA.



Transmission of the beam through a strong magnetic fieli (\sim 110 kG) in hydrogen. Transmission is calculated by the ratio of the beam current transmitted through a strong magnetic field to that without a strong magnetic field.

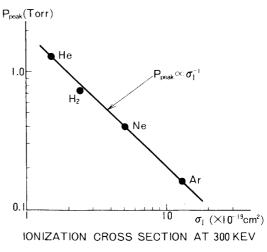


Fig. 4

Correlation of the peak transmission pressure with the ionization cross section of various gases for 300 keV electrons.

experiment ($I_{\rm b}/I_{\rm A}{\sim}0.07$), the produced plasma density is estimated as

 $n_{\rm p}$ $\propto p\sigma_{\rm I}$,

where p is the gas pressure, and σ_l is the ionization cross section for the beam electrons. Accordingly, the results illustrated in Fig. 4 suggest that the plasma density produced is the same for all gases at the peak transmission pressure, in other words, the beam is efficiently transmitted through the strong magnetic field only for a specific plasma density.

In order to understand these results, we will consider the propagation of an electron beam in a gas. When an electron beam is injected into a gas, both space-charge neutralization and current neutralization must be considered. Taking into account such neutralizations, the total in the radial direction on an electron at the surface of a cylindrical electron beam is expressed as

$$F = \frac{Ne^2}{2\pi\epsilon_0 r} [(1-f) - \beta^2 (1-f_{\rm m})],$$

where N is the number of beam electrons per meter, r is the radius of the beam, $\beta = v/c$, v and c are the velocities of the beam electrons and light, and f and f_m are the charge and current neutralization factors, respectively. The first term on the right is the electrostatic requisive force due to the beam space-charge, and the second is the magnetic pinch force due to the magnetic field of the beam current itself. In a low pressure range, the plasma density created by the beam is low $(f \ll 1)$ and no current neutralization occurs $(f_m \sim 0)$. Therefore the beam expands in the radial direction, because $\beta < 1$. As the produced plasma density is increased, the conditions $f_m \sim 0$, $1 - f \sim \beta^2$ are satisfied, and the totoal force is nearly zero, that is, the radial forces cancel. Then the beam drifts without expansion or compression, and the velocity vectors of the beam electrons are aligned in the direction of transmission. Under higher pressures, since the current neutralization is not complete $(0 < f_m < 1)$ because of the damping of the reverse current due to collisions with background gas molecules, while the charge neutralization is almost maintained $(f \sim 1)$, the beam is compressed in the radial direction.

In order to confirm this conjecture, we will calculate the total force factor $[(1-f)-\beta^2(1-f_m)]$ by measuring the electric field due to the net—space-charge and the self-induced magnetic field due to the net current. The electric field and the self-induced magnetic field are measured by an electrostatic probe and a magnetic loop or current shunt, respectively. Figure 5 shows the force factors calculated from these measurements, where the electron energy is 300 keV, $\beta^2 \simeq 0.1$. The light solid curve (a) is the repulsive force factor due to the net space-charge, and the dashed curve (b) is the pinch force factor due to the net current. The total force factor calculated from these force factors is indicated by the dark solid curve (c). Since the current neutralization starts after the charge neutralization, we can determine the point point at which the repulsive and pinch forces balance. The repulsive force decreases as the gas-pressure increases and balances the pinch force at $p \simeq 0.7$ Torr, that is, the radial forces cancel. If no current neutralization occurs, the pinch force due to the self-induced magnetic field increases rapidly; however, as the current neutralization starts from $p \simeq 0.8$ Torr, the pinch force is reduced in the high pressure region indicated by the hatchmarked

area. From this figure, we can conclude that the efficient transmission of the beam through a strong magnetic field in a very narrow pressure range is attributable to the balance of radial forces.

The condition under which force neutralization occurs can be written as

$$f = \frac{n_{\rm p}}{n_{\rm b}} \simeq 1 - \beta^2,$$

where n_p are the plasma and beam electron densities, respectively. Since n_b and β are constant for a given beam, the force balance is accomplished by a definite plasma density. This agrees with the result for peak transmission through strong magnetic fields in various gases (Fig. 4).

In a high pressure range the beam transmission is lower than that expected from the force factor. This can possibly be attributed to the interaction of the beam with the produced plasma and the collisions between the beam electrons and neutral atoms.

The discovery of the efficient transmission of an intense relativistic electron beam through a strong magnetic in a very narrow pressure range, as des_Dibed above, has a variety of applications in thermonuclear fusion research, such as in the focusing of multiple intense beams on a central target in REB pellet fusion, in the plasma heating of open ended systems by REB injection, etc. Studies on the transmission of more intense electron beams through much stronger magnetic fields will be done in future.

4-1-7 ダイバータ型プラズマ入射装置の関発 (Divertor Type Plasma Injector)

宇宙空間プラズマ現象の実験室におけるシミュレーションの応用として行われた研究で磁気中性点において磁場のリコネクションが起るとプラズマが効率良く加熱される事を利用して核融合炉開発におけるプラズマの追加熱の一つの可能性を追及したものである。

トーラス磁場中にポロイダル・ダイバータ磁場を作り、この磁気中性線に沿って誘導電

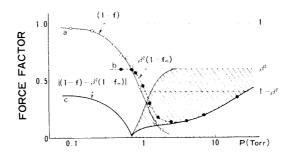


Fig. 5 Dependence of force factors on hydrogen gas pressure $\beta^2 \simeq 0.6$ for 300 keV electrons. The circles and solid points are the repulsive and pinch force factors, respectively, calculated from the experimental data. The dark solid line is the absolute value of the total force factor.

場励起用のパルスコイルを配置してこのパルスコイルにパルス大電流を流すと磁気中性線に沿ってパルスコイルと逆向きの環状電流が流れる。これにより磁気中性面が形成されこれがリコネクションでこわれる過程でプラズマが効率良く加熱され、トーラス中央に入射される。実験はトーラスの代りに直線磁場を用いて行われ予想通り 10 %を越える効率で高温プラズマの生成及び入射が可能である事が示され核融合プラズマへの応用が実験された。

Injection of Plasma Through a Divertor

On the basis of the results of the neutral-point discharge described in the previous chapter an experiment was performed to inject hot plasma into a magnetic bottle through a divertor. A schematic layout of the experiment is shown in Fig. 1a. A straight magnetic field is produced by a pair of coils S_1 and S_2 , where the magnetic field strength on the axis is 1200 G. To form a magnetic field configuration similar to a divertor, a 100-turn coil D is placed between the coils S_1 and S_2 and is excited by a slow capacitor bank discharge. By changing the current I_D through the divertor coil D, the location of the magnetic neutral point is shifted and the configuration of the magnetic field is varied. The distance of the magneticneutral point from the axis according to the divertor current I_D is shown in Fig. 3b (curve (1)).

A bydrogen plasma produced by a coaxial plasma gun is injected from outside along the axis of the magnetic field. The initial density of the injected plasma is 10^{13} $^{-10^{14}}$ /cm³ and the electron and ion temperatures are 5-10 eV.

The current through the neutral point of the divertor field is induced by a fast capacitor discharge 2.4 μ F, V_T =13.5 kV) through a pair of single-turn coils T_1 and T_2

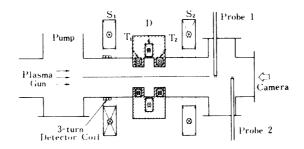


Fig. 1 Schematic layout of divertor injector experiment. Coils S₁, S₂, and D are used to generate a divertor-like magnetic field, and the single turn coils T₁ and T₂ excite the induced plasma current through the magnetic neutral point. The direction of the currents through the coils is indicated in the picture, and that of the induced plasma current is the same as that of the coil D.

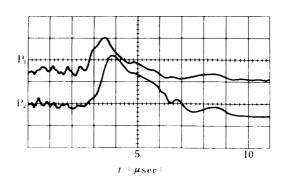


Fig. 2a Oscilloscope traces of the output signal from two double probes P_1 and P_2 . P_1 and P_2 are located at distances of 25.0 cm and 31.5 cm from the heating region, respectively. The ordinate 0. $78\times10^{14}/\text{div}$ for P_1 , and $0.16\times10^{14}/\text{div}$ for P_2 , respectively. t=o corresponds to the discharge of a fast capacitor bank. $I_D\!=\!124A$, $V_T\!=\!13.5$ kV, initial plasma density $n_o\!=\!10^{14}/\text{cm}^3$.

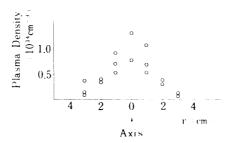


Fig. 2b Spatial distribution of the diffusing plasma measured by the double probe P_1 . r is the distance from the axis. $I_D = 124A$, $V_T = 13.5$ kV.

whose inner diameter is 9 cm, and the interval between them is j cm. The direction of the induced current is the same as that of the current through the divertor coil D, and period of the discharge is $5.1 \,\mu s$. The magnetic field generated by the coils S_1 , S_2 and D is altered by the current through the coils S_1 and S_2 .

Two electrostatic double probes are used to measure the injected plasma. The induced plasma current through the neutral point is measured by a 3-turn coil wound around the vacuum chamber under the coil S. A Rogowski coil is also used to measure the current through the single-turn coils T_1 and T_2 and its output signal is used to compensate the 3-turn coil signal so that the 3-turn coil should detect only the induced current. An image-converter camera is set at the point as is shown in Fig. 3a to take a series of five timeresolved photographs of plasma behaviour the interval of which is

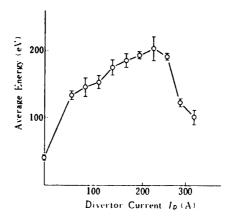


Fig. 3a Dependence of the average energy of the diffusing plasma on the divertor current $I_{\text{D}}.\ V_{\text{T}}$ = 13.5 kV.

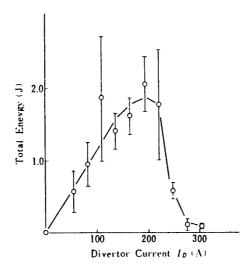


Fig. 3b Dependence of total energy carried by the diffusing plasma on the divertor current $I_\text{D}.$ $V_\text{T}\!=\!13.5\;kV.$

 $0.5 \mu s.$

Figure 2 shows oscilloscope traces of the output signal from two double probes P_1 and P_2 . P_1 is located nearer to the heating region, and their radial positions are both on the axis. From the time difference between two signals, we can estimate the average energy of plasma heated and injected through the neutral point of the divertor field. The radial distribution of the plasma diffusing along the magnetic field lines is measured by the double probe P_1 by moving it radially and it is shown in Fig.2b. It shows a maximum on the axis of the magnetic field. By changing the positions of two probes radially, it is found that the variation of the energy of the diffusing plasma is

negligible over almost all region of the plasma distribution.

The 3-turn coil detects the induced current which is about one third of that through the coils T_1 and T_2 . It also detects the diamagnetic signal of the diffusing plasma: Since we know the density distribution of the diffusing plasma and the magnitude of the magnetic field under the coil, we can estimate the thermal energy perpendicular to the magnetic field lines. It is about 90 eV when the divertor current $I_D = 124A$.

By changing the current through the divertor coil D, the distance of the magnetic neutral point from the axis can be varied, and it is expected that the plasma is most efficiently heated when the position of the magnetic neutral point coincides with that of maximum electric field. The dependence of the average energy of the injected plasma on the divertor coil current I_D is shown in Fig.3a. It shows a broad maximum between $I_D = 100 A$ and 250 A, and the maximum average energy is more that 200 eV. The total amount of energy carried by the injected plasma is estimated by integrating the double probe signal, and its dependence on the divertor current I_D is shown in Fig. 3b. It shows also a broad maximum with respect to the divertor current but the peak is a little more sharp.

4-1-8 二つのプラズマ柱の Merging (Merging of two plasma Columns) (昭和 51 ~57 年)

同方向に流れている二つのプラズマ電流柱が一つのプラズマ柱に Merging する際に起るプラズマの加熱現象は宇宙空間における太陽表面上の磁化プラズマ中の電流の急激な散逸プラズマ加熱や磁気園プラズマのリコネクションとも関連し、又その応用として核融合炉における燃料プラズマの注入、トーラスプラズマの加熱にも利用出来るものである。

実験は、二つのプラズマ電流柱が形成される境界条件を満足する金属容器を放電させて 生成され、二つのプラズマ柱の運動を計測し磁場、プラズマ密度、電流の分布から Merging

	Experiment	Fusion reactor
Minor radius or radius of circular magnetic neutral line	5 cm	200cm
Toroidal magnetic field strength	1kG	100kG
Magnetic field gradient at neutral point	0.25kG · cm ⁻¹	$2 - 4 \text{ kG} \cdot \text{cm}^{-1}$
Plasma density in pinched current sheet	$5 \times 10^{14} \mathrm{cm}^{-3}$	$1 \times 10^{16} \mathrm{cm}^{-3}$
Section of pinched current sheet	$4 \mathrm{cm}^2$	$10 - 20 \mathrm{cm}^2$
Numder of injectors set in a torus		10
Number of injectors set in a torus	6×10^{16}	$1.2-2.4\times10^{21}$
Average energy of injected particles	200 eV	10keV
Plasma current	13kA	~ 1 MA

Table 1. Parameters of our Experiment and a Divertor Injector for a Fusion Reactor

の機構が解明された。又 Merging に伴って生ずる中央での Magnetic Energy の散逸とプラズマの加熱が計測され、上記宇宙におけるシミュレーションと核融合プラズマへの応用の基盤を築く事が出来た。

Experimental Apparatus

The plane view and the cross sectional view of the experimental apparatus are shown schematically in Figure 1 and Figure 2. The apparatus consists of the magnetic coils, a plasma gum, 6 inches glass vacuum chamber, two electrodes, a copper shell and pumping system. The discharge was done in the inner region of the shell.

The six independent conductor rods in the shell were furnished in parallel with the axis of the shell. The surfaces of the conductor rods and the copper shell were covered with the black insulator which prevented the reflection of the light from the

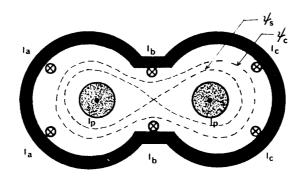


Fig. 1 Schematic view of the experimental apparatus (cross section)

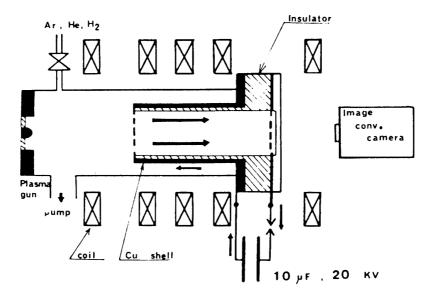


Fig. 2 Schematic view of the experimental apparatus (plane view)

plasma. The two electrodes had the same shape as the cross section of the peanut, and were made from the copper mesh with 1 mm in diameter, 5×5 mm section. The apparatus was evacuated by the turbo molecular pump and the base pressure was 1×10^{-6} Torr. The experiment were performed with the filling gas of several m Torr. Argon, Helium and Hydrogen were used. A direct inoization of the gas by a discharge was employed to produce plasma. The plasma current was excited between two electrodes by capacitor bank $10~\mu\text{F}$, 20~kV. The half period of the plasma current discharge was $9.0~\mu\text{sec}$ and the maximum plasma current was 50~kiloampere. The plasma current returned through the copper shell which surrounded the plasma columns. The plasma columns were stabilized both by the copper shell and by the mirror force of the returning current in the shell.

The diagonostics of the plasma were done by the image converter camera through the transparent window. The exposure times in the framing photographs were $50 \sim 500$ nanoseconds.

Experimental Results

There were three key points in this work: the first was to produce the two independent plasma columns separately, the second was to analyse the motion of the two plasma columns and the third was to control the position of the two plasma columns artificially. Figure 3 shows the cross-section of the plasma columns. And this is the photograph taken at 4 μ sec after the beginning of the discharge. The exposure time was 0.5 μ sec. This photograph indicates clearly that the two plasma columns were produced separately.

The two plasma columns approached together and then joined to be one plasma column. This merging process was investigated in Figure 4. Figure 5 is the streak photograph through the image converter camera. It shows the motion of the two

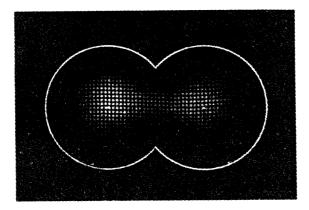


Fig. 3 The framing photograph which shows the cross section of the two plasma columns. 4 μ sec after the initiation of the discharge.

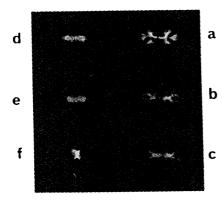


Fig. 4

The framing photographs which indicate the spontaneous merging

- a) $2 \mu \sec$ b) $3 \mu \sec$ c) $4 \mu \sec$ d) $5 \mu \sec$
- e) $6 \mu \text{sec}$ f) $7 \mu \text{sec}$

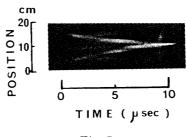


Fig. 5

The typical streak photograph which shows the relative motion of the two plasma columns. The bright strips indicate the centers of the plasma columns.

plasma columns. The bright stripes in the Figure 5 are the centers of the two plasma columns. The time evolution of the plasma columns is clearly shown.

A very precise measurement of physical parameters such as magnetic field, current density and plasme density was performed as shown in Figs. $6(a)\sim(c)$

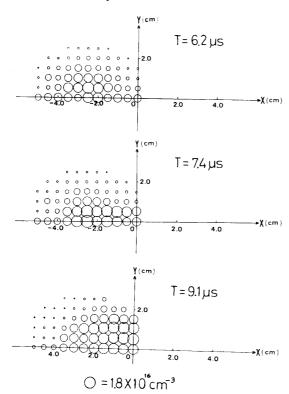
4-1-9 太陽プラズマ流 (Solar Wind) と地球磁場の相互作用 (Simulation of a Solar Plasma Stream with a Geomagnetic Field)

プラズマ銃からのパルスプラズマ流と双極子磁場の相互作用は太陽プラズマ流(Solar Wind)と地球磁場の相互作用による磁気圏の形成として既にプラズマ発生・検出装置が出来る前に日本原子力研究所において顕著な成果を上げていたが、その発展として実験室で生成されたモデル磁気圏の中に小さな一対の電極を挿入し、これに速いパルス電流を流す事によって磁気圏プラズマに攪乱を与え、これが磁気圏内を如何に伝幡し、又この攪乱で如何に増幅されるかを調べる実験で行われた。Kerr Cell カメラや Image Converter カメラを用いて時間分解写真を撮り、これによって攪乱が磁力線に沿って地球方向及び地球と反対方向に伝幡する様子が明瞭に示された。

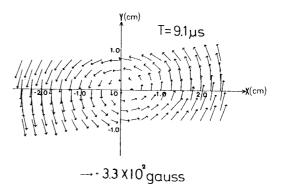
実験方法

実験に用いた装置はこの種のシュミレーション実験にはよく用いられるもので,その構成を第1図に示す。モデル地球は約10 k ガウスの赤道表面磁場を発生させる直径 25 mm の球体であり,図の左側には同軸プラズマ銃がある。この電源のエネルギーは最大 4 [kJ] で 20(kV), $20(\mu F)$ のコンデンサを用いている。射出されるプラズマの密度は約 $10^{14}[/cc]$ プラズマの速度は約 $5 \times 10^6 (cm/s)$ である。今回の実験に用いたプラズマは空気より生成した。図中右側には磁気圏尾部に相当する位置に,先に述べた可動のダブルプロープ(P.D. P.) を取り付けてあるのが特徴である。なおこの P.D.P.の形状,寸法を第 2 図に示す。この P.D.P.により生成されるプラズマのエネルギーは,効率を 100 %として,約 10[J] で,

Plasma Density



Magnetic Field (fine) $T = 6.2 \, \mu s$ -1.0 -1.0 $-5.4 \, \times 10^{2} \, gauss$



Current Density

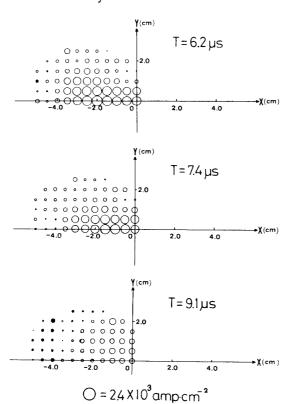


Fig. 6

Precise measurement of plasma parameters in Merging Plasma Column

- (a) Magnetic field
- (b) Current density
- (c) Plasma density

その電子温度は数〔eV〕程度である。

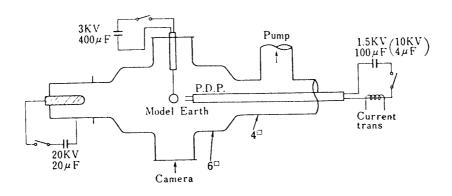
この実験にはいくつかの遅延回路が用いられている。今回の実験ではメインプラズマ銃の放電後の P.D.P.の放電の遅延はプラズマの intrusion による自己着火に任せた。この点火時期については強制トリガによる方法も行なったが、この実験に関しては大きな差異は認められず、発光はほぼ準定常的であった。発光の様子は子午面と赤道面上より光学的に調べた。

実験結果

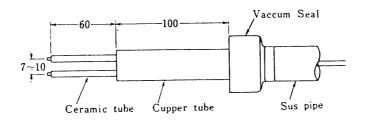
このモデル実験により得られた磁気圏の様子を Time exposure camera で光学的に撮影した結果を示す。第 3 図に P.D.P.の位置を変化させた時の典型的な発光の様子を示した。この発光は左側からやってくる高速プラズマ流とダイポール磁場により生じたショック面の明るさとの比較,及び発光の形状によりこの図に示した 4 つのタイプに分類できる。個々の性質については後でのべるがこれらの写真から夜側磁気圏において P.D.P により注入されたプラズマエネルギーが地球ダイポールの磁力線にまきつきながら地球に向かって降下していくことがわかる。第 3 図の発光の部分を P.D.P の位置を含めて,第 4 図にイラスト的に示した。なお第 4 図に示したうち地球中心からの距離が 45~55 mm の位置に P.D.P がある時三ケ月状の幅広い強い発光が見られた。なお第 4 図における発光の様子は,次の第 1 表に示すように 4 つに分類することができた。

結 論

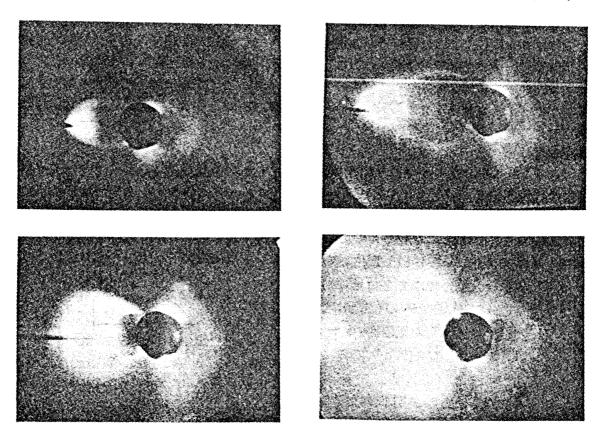
磁気ダイポールと高速プラズマ流の相互作用により作られるモデル磁気圏において、夜間尾部子午面上にエネルギーを蓄積した Powered Double Probe と称する電極を設けた



第1図 実験装置の概要



第2図 パワードダブルプローブ (P.D.P.) の概要 (単位 mm)



第3図 P.D.P. による放電と磁気圏の形状の例

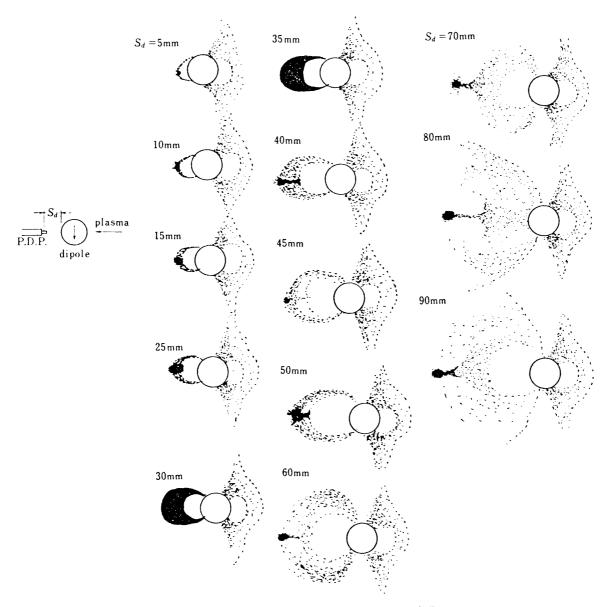
第1表 放電発光の子午面から見た分類

Туре	Magnetic field	Thickness of illumination	Intensity	P.D.P.position (mm)
A	closed	filamented	+	20~40
В	closed	wide with sharp boundary	++	45~55
С	closed	filamented	+	60~70
D	conjectured open field	sharp boundary		80~110

際に現われる諸現象について提出し、検討を加えた。この P.D.P.によるプラズマは磁力線にまきついて発光し、モデル磁気圏尾部の磁場構造を知る手がかりを与えたほか、特定の位置に P.D.P.がある時、特に強い発光帯が生じ、この現象がオーロラ粒子の加速発光機構の説明に利用できる可能性があることを見出した。

4-1-10 高温・高密度プラズマからの強力な電磁輻射の研究

宇宙空間には太陽表面をはじめとして高温高密度のプラズマ領域が多く存在しそこから



第4図 P.D.P. による尾部の発光の変化

は強力な X 線や紫外線が放射されている。この物理機構,特に非線型効果を調べる研究である。この研究は又応用としては強力な紫外線や X 線源の開発につながり,実用面で LSI 用のリソグラフィ軟 X 線光源や表面洗浄等の強力紫外光源の開発につながる。

具体的には,

- i) プラズマ・フォーカスを用いた方法
- ii) 相対論的大電流電子ビームをターゲットにフォーカスしてここに出来る高温高密度 プラズマを利用する方法
- iii)電子サイクロトロン共鳴を利用してこのプラズマからの輻射を利用する方法で現在研究がすすめられている。

- 4-2 宇宙空間におけるアクティブ実験の実験室におけるシミュレーション
- 4-2-1 電子エミッターによる衛星帯電中和の研究 (Charge Nentralization of Spacecraft by an Electron Emitter) (昭和 48 年-54 年)

プラズマ密度の希薄な宇宙空間を飛翔する衛星が、自然帯電して極端な場合には放電事故を誘起することがしばしば報告されている。帯電要因としては、高エネルギー電子群と遭遇する場合(負帯電)が最も深刻と考えられ、地球磁気圏や活発な電子加速機構を持つ木星ミッションでは、衛星は容易に帯電し、又プラズマ密度が希薄な為、自然中和されにくい。本研究では、電子エミッターを用いた簡便な方法で帯電中和を試み、予想通りの中和効果を得た。実験は、エミッターを装着した金属板に電子ビームを照射して帯電させ、エミッターの効果を試験した。エミッターからの熱電子放出により帯電電圧が急速に減少することが確認され、その定量的な解析も行った。負電位に帯電した飛翔体を中和するには、電子銃を用いる方法も提案されているが、電子エミッターを用いた方法は、高圧電源を用いないため、小型・軽量・高信頼性の点で優れており、又帯電が中和されると電子の放出も自然に止まるため逆帯電の心配もないという利点を持っている。

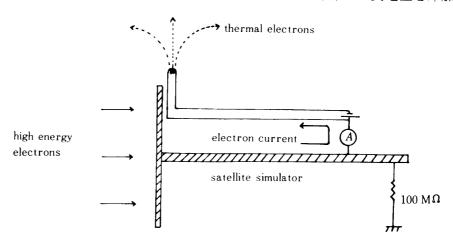
実験装置・方法

第1図に示すようなサテライトシミュレーターをチェンバー壁から高インピーダンス $(100\ M\Omega)$ でうかしその前方約 $1.5\ m$ の所に設定した電子銃(定格 $6\ kV$, $500\ mA$)から,電子ビームを照射した。照射用電子銃は蒸着用直熱型(板タングステンヒーター使用)で, $50\ ms$ 及び定常で運転を行った。使用したプラズマ源は磁場拡散型 $(Ar\ \emph{ti}$ ス使用)である。サテライトシミュレーターは直径 $120\ mm$ 厚さ $2\ mm$ のステンレス円板で,縁部に $8\ to$ フィラメント(定格 $4.0\ V$, $300\ mA$)を装着している。実験ではこのうち, $1\ to$ フィラメントを使用した。

実験結果

i)フィラメント電子エミッターの特性

電子ビームを照射する前にサテライトシミュレーターに外部から負電位を印加し, 今回



第1図 実験に用いたサテライトシミュレーターのブロック図

使用したフィラメント系のエミッション特性 (電圧-電流特性) を調べた。この場合,フィラメント系は,一種の電子銃と考えることができ,空間電荷制限領域で定義されるパービアンスは 0.07×10^{-6} である。

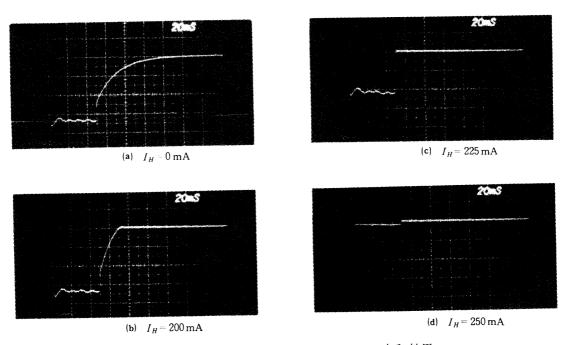
熱電子制限電流値は,

ヒーター電流	熱電子制限電流		
300 mA(定格)	100 μA		
275 mA	17 μA		
250 mA	1.6 μA		

と実測された.

ii)帯電中和効果とエミッション電流

この衛星シミュレーターのフィラメント(定格 $4\,\mathrm{V}$, $300\,\mathrm{mA}$)を点燈した場合の帯電状態を第 $2\,\mathrm{図}$ に示す。実験条件は真空度 $2.6\times10^{-6}\,\mathrm{Torr}$,照射電子ビーム $4\,\mathrm{kV}$, $80\,\mathrm{mA}$ の場合である。(a) はフィラメント電流 (I_H) が $0\,\mathrm{mA}$ の場合で (b) は, $200\,\mathrm{mA}$ の場合である。(b) では帯電電圧は(a) と同じ($1700\,\mathrm{V}$) であるが帯電電圧の decay の仕方が RC decay からずれて,フィラメントから放出される熱電子の影響が表われている。(c) はフィラメント電流が, $25\,\mathrm{mA}$ の場合で帯電電圧は $1100\,\mathrm{V}$ まで下がるとともにビーム照射終了後,ただちに 0 になっている。(d) はフィラメント電流が, $250\,\mathrm{mA}$ で帯電電圧は $80\,\mathrm{V}$ にまで下がり,電子エミッターの効果が十分に表われている。この場合,ファラメントを点燈しなかった場合に比べて帯電電圧は約 1/20 になっている。



第2図 帯電に対する電子エミッターの中和効果

また、帯電電圧とエミッション電流の変化の様子の一例を第3図に示した(照射用電子銃からシミュレーターへの電子ビーム $4\,kV$, $1\,mA$)。 I_H が $250\,mA$ になって、フィラメントが活性化されエミッション電流が流れ始めると帯電中和効果が現われ始め、エミッション電流が増加するに従って帯電電圧が小さくなっていく。このことは、フィラメント点燈時の帯電中和が予想通りフィラメントからの熱電子放出によって達成されていることを示している。

帯電電圧は理論的には定常状態で

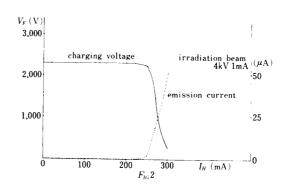
$$I_{IR} = I_E(x_F) + V_F / R$$

I_{IR}; サテライトシミュレーターへの照射電子ビーム量

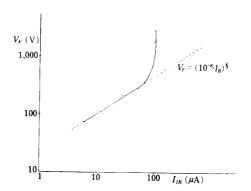
 V_F ; 重電電圧

 I_E ;フィラメントからのエミッション電流

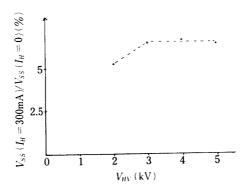
R;電圧検出抵抗



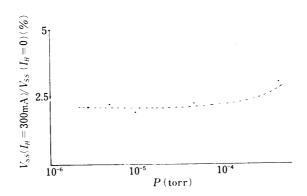
第3図 帯電電圧とフィラメントのエミッション電流との 関係,フィラメントからのエミッション電流によって中和が行なわれていることがわかる



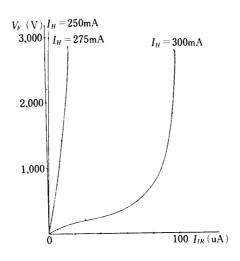
第4図 サテライトシミュレーターへの照射電子ビーム量 (= 7 $_{1R}$ $_{1R}$



第5図 帯電中和効果の照射電子ビームエネルギー依存性



第6図 帯電中和効果の真空度依存性



第7図 各フィラメント電流の場合の中和効果の限界電流 と等しくなった時が、中和効果の限界となる。

で決まる. 一方, フィラメントの空間電荷制限領域では

$$I_E(V_F) = PV_F^{3/2} / 10^6$$

P; \mathcal{N} - \mathbb{P}

が成立するから検出抵抗が十分大きければ

$$V_F = 10^6 (I_{IR}/P)^{2/3}$$

となる。第4図に、 I_H =300mAの時の I_{IR} に対する V_F の依存性を示した。図から明らかな様に空間電荷制限領域では、上記の理論に従って V_F は、 I_{IR} の 2/3 乗に比例しており、これからパービアンスは、0.01 と求まる。ところが i)で述べたようにフィラメント系のパービアンスは 0.07 と実測されており大きく異なっている。これは電子ビーム照射時にはサテライトシミュレーター付近に照射ビームによる電界が存在し、それによって実効的にパービアンスが下がる為と考えられる。実際照射電子ビームの存在する時としない時では、空間電荷制限領域で、フィラメントのエミッション特性が異なっている。但し、iv)で示す様に帯電中和の限界と関係のある熱電子制限電流値は照射電子ビームが存在しても減少せず影響をうけない。

iii) 帯電中和のパラメーター依存性

第5図及び第6図にこのフィラメントを用いた帯電中和の効果のビーム電圧依存,真空度依存を示した。縦軸($V_{ss}(I_H=300~{\rm mA})/V_{ss}(I_H=0)$)は,フィラメントを点燈した時としなかった時とのシミュレーターの帯電電圧の比でこの比が小さい程,帯電中和効果が大きいということになる。一般にiv)で述べるようにビーム電流の増加に伴って,中和効果は小さくなるが,ビーム電圧,真空度に対しては,それ程強く依存しない。これらの依存性は,もっと真空度のよい磁気圏や惑星間空間の環境条件の下でも,そして,もっと高電圧に帯電する場合でも,この実験と同様な帯電中和効果が期待できることを示している。

iv) 帯電中和の限界

サテライトシミュレーターへの照射ビーム量を増やしていくと、ある量から急に中和効果が失われていく。この帯電中和の限界は、フィラメントの熱電子制限電流で決まると考えられる。第7図に大型スペースチェンバーの実験の場合について照射ビーム量が各フィラメント電流値(250 mA, 275 mA, 300 mA)での熱電子制限電流値に近づいた時、中和効果が失われていく様子を示した。

4-2-2 宇宙空間における帯電現象の実験的研究(Laboratory Experiment on Space-craft Charging)(昭和 52 年~58 年)

宇宙空間における電子ビーム放出実験に関連して、飛翔体から電子を放出した場合の帯電現象を実験室で模擬し研究した。自走型の小型電子銃装置 (Fig. 1) を開発し、宇宙空間プラズマを模擬した希薄プラズマ中で動作させてその帯電状態を調べた (Fig. 2)。プラズマの存在により帯電が緩和される様子を定量的に計測し、理論値と比較した。ビーム電流が小さく帯電電圧が比較的小さい場合には、理論予測とほぼ一致することがわかった (Fig. 3)。又磁化プラズマ中に球プローブを挿入し高電圧を外加して、電流・電圧特性の取得、

周囲プラズマの光学観測を行った(Fig. 4)。その結果電圧が充分高い場合には、電離の平均自由行程が装置のスケールよりもはるかに大きい場合にも、大量の電離がプローブ周辺に励起されることがわかった(Fig. 5, 6)。これは帯電体周辺に電場と磁場により電子が捕捉され、それによって空間的な電離確率が増大するものと考えられる(Rotating Electrons Discharge)。この結果は宇宙空間における電子ビーム実験で何故帯電が従来の理論予測よりも小さいかを説明することができる。

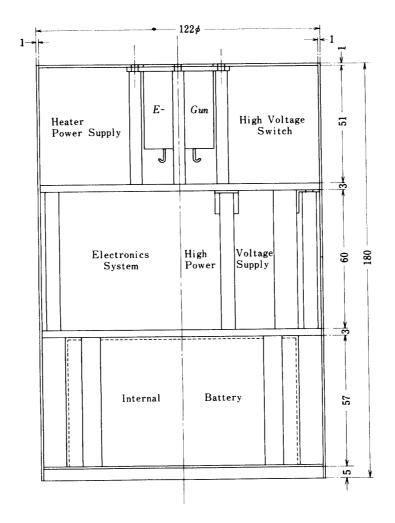


Fig. 1

小型電子銃システムの構成図.装置は、ビーム放出口、受光部、コネクター部を除きステンレスのカバーでおおわれている.

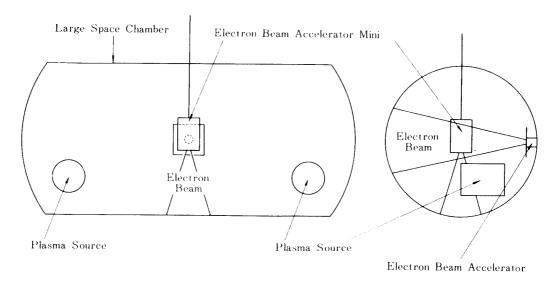


Fig. 2 電子銃部, ヒーターは市販の豆球 (MB-726) を用いている.

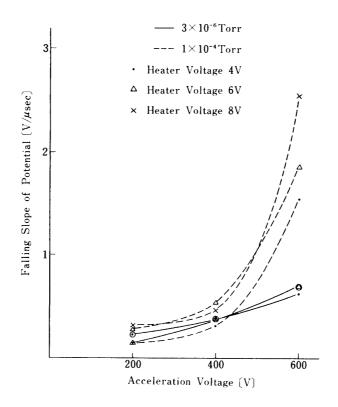


Fig. 3 システム内部に設定したシーケンス・プログラム。 一周期に① \sim 9の9種類の電圧,電流の組合せのビームを放出することができる。

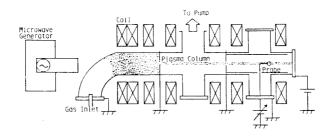


Fig. 4 実験装置、プラズマは、電子サイクロトロン共鳴加熱で、定常的に作り、コラム状にして実験領域に導入する。

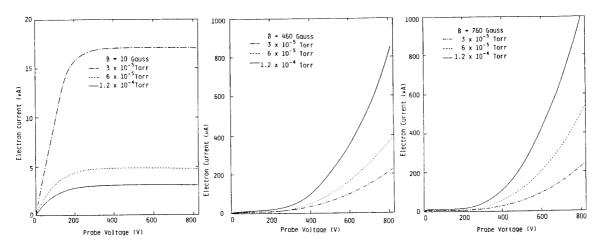


Fig. 5 プローブ電圧・電流特性。

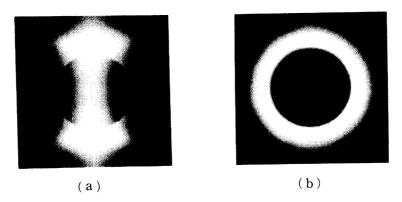


Fig. 6 プローブ周囲の写真観測例。

4-2-3 スペースシャトルによる電子ビーム放出実験の模擬実験 (Simulation Experiment on Electron Beam Ejection from Space Shuttle) (昭和 54 年~55 年) 昭和 58 年 11 月 に 行われたスペースシャトルからの大出力電子ビーム放出実験 (SEPAC 計画) でのオービターへの帰還電子経路を研究するための模擬実験を行った。シ

ャトルオービーター(30 m)の 1/180 モデルに、オービターの導電部を模擬した金属体をとりつけ、プラズマ中で模型に正電位を印加して各部に流れる電流を測定した。又オービターの 1/60 モデルに、自走式の小型電子銃をとりつけ、プラズマガンによるプラズマ流内に設置して動作させオービター各所への帰還電子電流分布を測定した。真空度が悪い場合には、各導電部でほぼ一様の電流密度が得られたが、高真空の下では、電子銃に最も近い導体部への電流密度が最も大きいことがわかった。又オービター各部への電流分布は、プラズマ流とオービターの姿勢の相対関係に大きく依存し、帯電を最も小さくする(帰還電流を大きくする)ためのオービターの姿勢のとり方に関する知見が得られ、その結果はSEPAC実験に反映されることになった。

Return Current Collection Experiment

Space shuttle has only a limited area of conductive surface which will be useful for the return current collection. Possible return current collectors on the shuttle is shown in Fig. 1. The main engine nozzles are the largest, and others have not a large contribution. The objective of this experiment is to verify how much of return current flows in each part of conductive surface and whether it is proportional to the surface area.

A 17 cm long shuttle model with metal surfaces at the corresponding places was used in this experiment. Plasma flow from an coaxial plasma gun was used. Its plasma parameters were $n\sim 10^{11}/cm^3$, $T_e\sim 5 eV$ flow velocity ~ 8 km/sec and plasma duration $\sim 100~\mu sec$. The plasma density was so chosen to keep the parameter S of Debye length length $(\lambda_d)/S$ cale of shuttle $(L)\equiv S$ should be kept invariant $(S\sim 10^{-3})$.

Fig. 2 shows that how return current is distributed over the shuttle surface for various values of angle of attack θ . From this figure, it is clear that the contribution of the main engine nozzles is the largest even in the case of the nozzles in the wake $(\theta=0^{\circ})$. Though the effective current collecting area relative to the main engine is 3 to 5 times the actual conductive area for hinges and wheels, the return current collected by the main engine is dominant so long as the engine nozzle is facing, in some way, to the plasma.

Electron Beam Emission Experiment Using A Completely Isolated Shuttle Model

In order to simulated the charging phenomena, a completely isolated shuttle model has been produced. This model is free from any external power and signal cables. It is battery powered havning a small telemeter and command system. Only interactive object with surrounding wall is an insulated suspension wire. Table 1 shows its characteristics and Fig. 3 shows the block diagram of the system and a photographic view of the shuttle model is shown in Fig.4. An electron beam current is 10 mA maximum and its energy is 1,000 eV.

The charging voltage due to the beam emission was measured as a function of the background pressure and it is obtained that the model shuttle is charged up to the beam

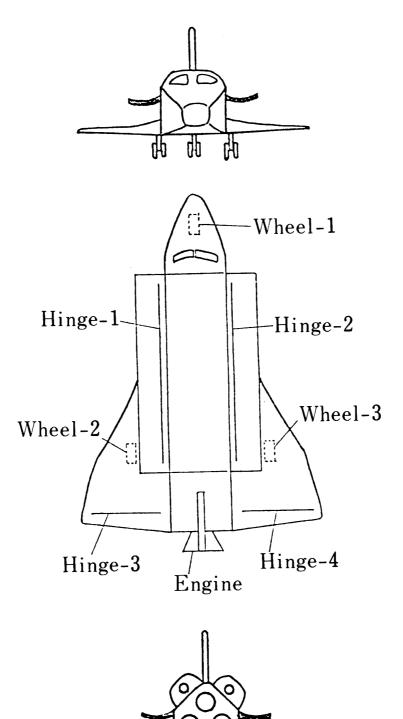


Fig. 1 Possible return current collectors on the space shuttle.

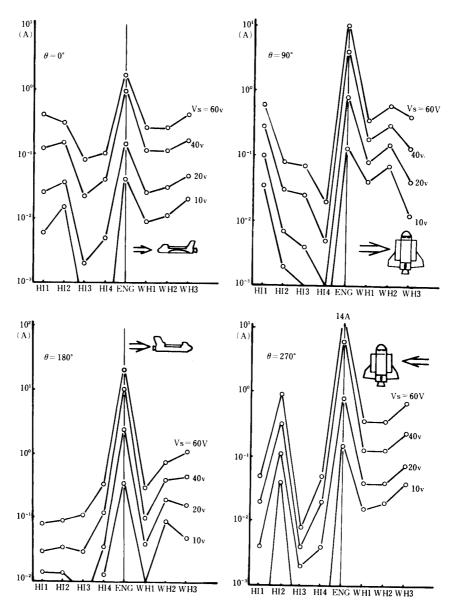


Fig. 2 Return current distribution over the shuttle surface for valious valuen of angle of Attack θ .

voltage when the background prossure is below 10^{-5} Torr. The beam current dependence is slight, though there is a tendency that the charging is more suppressed for higher beam current. This implies that the plasma production by the beam is non-linear process and the plasma production rate increases more than linearly.

The return currest distribution is shown in Fig. 5. When the background pressure is high, the return current is coming onto the shuttle surface uniformly so that the contribution of the main engine nozzle is the largest. On the other hand when background pressure is low, the plasma production by the beam has a negligible

Table 1. Specification of space shuttle model completely isolated from the wall

(1)	length	50cm	
(2)	surface	brass covered with insulator	
(3)	beam energy	0 1 keV	
(4)	beam current	0 100 mA	
(5)	beam duration	5 msec	
(6)	telemeter system		
	analog signal	$105 \sim 110 \text{ MHz}$	
	discrete signal	135 MHz 155 MHz	
(7)	battery	Ni-Cd	
(8)	system start	laser beam	
		first-on	
		second-off	

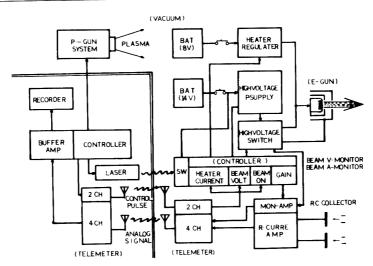


Fig. 3 Block diagram of a laboratory space shuttle experiment completely isolated from the chamber wall.

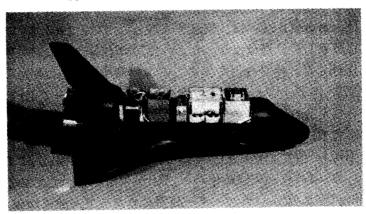


Fig. 4 Photograph of model space shuttle with subsystems.

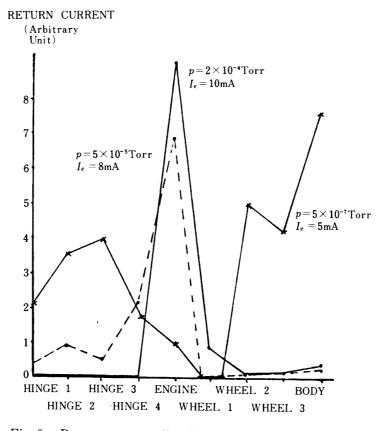


Fig. 5 Return current distribution on the shuttle for various values of the background pressure.

contribution to the return current. Consequently, the return current distribution is such as shown in Fig. 5 and most electrons emitted from the gun comes back to the most adjacent conductive surfaces. The fraction of the current flowing in to the main engine nozzle is extremely small because it is in the shadow with respect to the electron gun.

4-2-4 ビームプラズマ放電の実験的研究(Laboratory Experiment on Beam Plasma Discharge)(昭和 56 年~)

Beam Plasma Discarge (BPD) は,実験室実験としては,1960年代に Gelly らによって研究され,それ以降新しい発展はなかったが,1970年代後半になって宇宙空間での電子ビーム放出実験に関連して,再び注目を集めている.飛翔体周辺に極めて大量のプラズマが生成されるが,19778年 Bernstein等が大型スペースチェンバーで BPD の実験を行って以来,飛翔体周辺での大量のプラズマ発生メカニズムは,BPD によるものだと信じられるに至っている.本研究では,BPD の発生する条件に関する scaling 則を広いパラメータ範囲で確立し,特に BPD の発生にかかわっている非線形現象を明らかにすることを目的として実験を行っている.これ迄の実験結果から,Bernstein等の示している線形理論から導かれた単純な scaling 則は,広いパラメーター範囲にわたって一律には成立していない.こ

のことは線形理論のみで、BPDのメカニズムを説明していない事を示しており、その解明を急いでいる。

4-3 飛しょう体を用いた宇宙観測及びアクティブ実験用搭載機器の開発及び試験

4-3-1 直読式プラズマ密度及温度計の開発 (Direct Display Plasma Density and Temperature Meter) (昭和 45~48 年)

プラズマ密度や温度計測にはラングミュア探針が用いられる。この電流電圧特性から密度や温度を導出するには複雑なデータ処理を要する。この研究はこれを改良してプラズマ密度温度が直接表示される様に工夫したもので,ラングミュア探針特性に交流を重量し,その二次高調波を検出し,二次高調波の位相が反転するラングチュア掃引電圧の所に,掃引電圧を固定する事により,その点におけるラングミュア特性の直流電流値と交流一次基本波の電流値からプラズマ密度と温度をリアルタイムで表示するものである。プラズマ発生装置の各種プラズマ源においてこのプラズマ温度・密度計の試験が行われ, $10^4 \sim 10^{13}/\text{cm}^3$ の広い領域にわたって実用に供し得る事が実証された。又このプラズマ密度温度計は宇宙研のロケットに搭載され電離層プラズマの計測でも実証された。

Priciple and Experiment

It has already been well established that when a low frequency AC voltage superposed on the DC voltage is applied a Langmuir probe, the AC current takes its maximum value at the inflection point of the Langmuir DC voltage-current characteritic and the phase of the second hamonic component of AC current is reversed at that point. This point moves higher towards the space potential of plasma as the frequency becomes higher. The principle of the development of direct display plasma density-temerature meter in this experiment is based on this property. The DC voltage is automatically fixed at the inflection point by detecting the phase reversal of the second harmonic component of AC current. If the voltage-current characteristic is ideal, the DC and AC currents at the space potential of plasma can expressed as

$$I_{DC} = \frac{1}{2} e n S \cdot \sqrt{\frac{2KT_e}{\pi m}},$$

$$i_{AC} = \frac{ev}{KT_e} \bullet I_{DC},$$

where

e: electronic charge

m: electron massn: plasma density

S: probe area

 KT_e : electron temperature

v: ACvoltage

From these expressions, the density and tempeerture are given by

$$n = \frac{2I_{DC}}{e} S_{\sqrt{\frac{2KT_e}{\pi m}}},$$

$$KT_e = ev \cdot \frac{I_{DC}}{i_{AC}} \cdot \tag{4}$$

Generally, the Langmuir characteritic of ordinary probes is not ideal, and the space potential does not always coincide with the inflection point on the voltage-current characteristics stated above. Consequently, it is assumed here that the DC and AC currents at the inflection point can be experessed as follows using two geometrical constants G_1 and G_2 :

$$I_{DC}^* = G_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot enS\sqrt{\frac{2KT_e}{\pi m}},\tag{5}$$

$$i_{AC}^* = G_2 \cdot \frac{ev}{KT_e} \cdot I_{DC}^* \tag{6}$$

This experiment is to verify that constants G_1 and G_2 do not depend on plasma parameters and to develop a device to display directly the plasma density and temperature by fixing the DC voltage automatically at the inflection point on the Langmuir

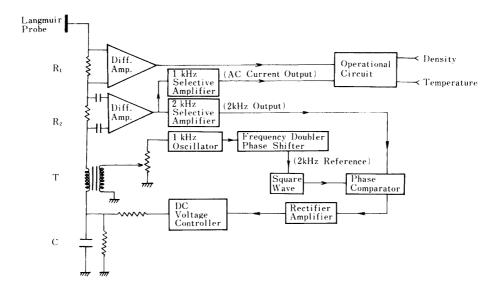
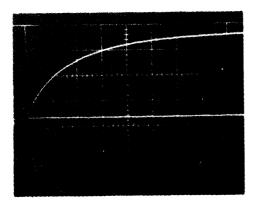


Fig. 1 Schhematic diagram of a direct display plasma density and temperature meter based on the Langmuir probe method.

characteristic. A schematic diagram of this experiment is shown in Fig. 1.

A noiseless plasma produced by a back-diffusion type plasma source in a large vacuum chamber (2 m in radius ×3 m in length) for space 2 m long is produced in it, and the plasma density can be varied from $5\times10^3/\text{cm}^3$ to $2\times10^6/\text{cm}^3$ and the electron temperature is about 0.2 eV. Plane probes of various sizes are used in this experiment. An AC voltage of 1 kHz is imposed on a Langmuir probe through a tranformer T_1 . An DC voltage is applied to the probe from a voltage control circuit. current is detected through a differential amplifier, and its fundamental and the second harmonic components are separated with each other by the use of band pass filters. The fundamental component is amplified and taken out as it is. The second harmonic component is also amplified and put into a phase sensitive detector. The phase of the signal is compared with a reference second harmonic which has been created by a non-linear circuit, and the DC voltage control circuit is controlled by the output of this phase sensitive detector. Figure 2 shows oscilloscope trace of the applied voltage to the probe after the circuit is switched on. The upper trace is the voltage when the probe is not in a plasma and it increases according to the charging time constant for a capacitor C in the schematic diagram of circuit shown in Fig. 1. When the probe is immersed in a plasma, the applied voltage first increases as in the upper trace, but it is stopped at the inflection voltage of Langmuir characteristic. The phase locking of the DC voltage at the inflection point on the Langmuir characteristic works very fine. The electron density and temperature are directly tranformed into the density and temperature by the use of operational circuits. Actually, the density and



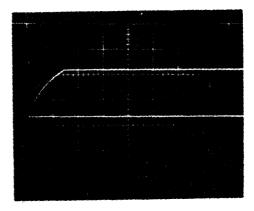


Fig. 2 Oscilloscope traces of the applied voltage to the probe electrode after the switch of the circuit is turned on a) Without plasma b) With plasma

Sweep: 0.5 sec/div Vertical: 2 V/div temperature thus obtained contain constant factors and should be compared with those obtained from the ordinary analysis of Langmuir probe characteristic. From eqs. (5) and (6), the electron density and temperature can be given as

$$n = \frac{2I_{DC}}{G_1 \cdot eS \cdot \sqrt{\frac{2KT_e}{\pi m}}} \tag{7}$$

$$KT_e = G_2 \cdot ev \cdot \frac{I_{DC}^*}{i_{AC}^*} \tag{8}$$

Experimentally, $n^* = G_1 \cdot n$ and KT_e/G_2 are obtainable instead of n and KT_e themselves and these values should be compared with those obtained by the ordinary analysis of Langmuir characteritic. An experimental verification of the constancy of

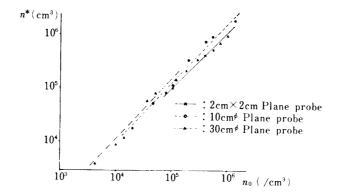


Fig. 3 Dependence of

$$n^* = \frac{2I_{\text{DC}}}{\text{es}\sqrt{2KTe/\pi m}}$$

obtained in this direct display system on the plasma density n_{o} obtained by the ordinary analysis of Langmuir characteristic.

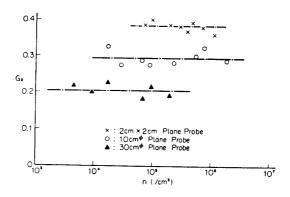


Fig. 4 Dependence of G_2 on the plasma density n.

 G_1 and G_2 is shown in Figs. 3 and 4. Figure 3 shown n^* versus the density n_0 obtained by the ordinary analysis of Langmuir characteristic and n^* is a linear function of n_0 for each probe. Figure 4 also shows that G_2 is a constant for each probe in the density range of $5\times10^3-2\times10^6/\mathrm{cm}^3$. The temperature was also varied and it has been confirmed that the constancy of factors G_1 and G_2 is satisfied.

If the voltage-current characteristic of Langmuir probe is similar with respect to plasma parameters, the constancy of G_1 and G_2 is obvious. Usually from our experience, it cannot be said that the shape of Langmuir characteristic is exactly similar, depending on the scale of Debye length with respect to the probe size. But the experimental results shown above indicate that even if a probe characteristic displaces from the similar shape, the location of the inflection point and the gradient $\mathrm{d}I\mathrm{d}V$ there does not change so much, resulting in the constancy of G1 and G2 in the density range of $5\times10^3-10^6/\mathrm{cm}^3$ which is typical in the ionosphere. The performance of the automatic fixing of the probe voltage at the inflection point has been also verified in much higher density plasmas, such as in a TPD device and a DP device. The confirmation of the constancy of G1, G2 in such a high density plasmas is now under investigation. The time response of this circuit was studied by varying plasma density stepwise and we saw the time variation of the output from this circuit. When the time response of the device, a higher frequency was also employed and so far an experiment with 80 kHz has been successful. The time response has been improved to about 500 μ sec in this device.

4-3-2 電離層イオン及び中性大気温度の同時測定装置の開発 (Development of rocket instrument to measure the temperatures of ion and neutral gas in the ionosphere) (昭和 47 年~50 年)

電離層を構成している電子、イオン、中性ガスの温度、密度の測定は、電離層の dynamics を研究する上で不可欠である。プラズマ密度電子温度については、計測方法が確立され、多くのデータが取得されているが、イオン及び中性ガス温度については信頼できる測定器の開発が遅れており、データも少ない。本研究ではロケットが電離層中を超音速で飛翔することを利用して、単純な形状の障害物の下流側に粒子ディテクターを置く方法(shadow method)による測定器を開発した。中性ガスについては電離真空計を、イオンについては円環ラングミュアプローブをディテクターとして用い、地上真空装置でその性能テストを行った。飛翔実験は、K-10-9、10、11 号機で行われ、これらの温度の電離層プロファイルが得られた。夜間においては、中性ガス及びイオン温度は、電子温度とほぼ一致しているが、 E_s layer のやや上では CIRA1972 のモデルより、温度が約 200° K 上昇していることが見い出された。

Principle of Measurement

The velocity of spacecraft in the ionosphere is usually supersonic or at least

comparable to the thermal velocity of ions and neutral particles there. As seen from a spacecraft, the surrounding medium is moving with the velocity of the spacecraft. When an obstacle is placed in a streaming medium, a shadow is formed behind it, and its structure is dependent on the ratio of the thermal velocity of the streaming particle to the stream velocity (Mach number), so long as the mean free path of the streaming particles is larger than the size of the obstacle.

If the Maxwell distribution (drifted Maxwellian) is assumed for the particles, the reduction of the density δn and the flux δF_z behind the obstacle (Figure 1) are given by

$$\delta n(x, y, z)$$

$$= \frac{n_0}{z^2} \left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{3/2} \cdot \int_{s_0} dx_0 \, dy_0 \int_0^\infty V^2 \exp\left\{-\frac{M}{2kT}\right\} \\ \cdot \left[\frac{V^2 (x - x_0)^2 + [V (y - y_0) - V_0 z \sin \psi]^2}{z^2} + (V - V_0 \cos \psi)^2\right] dV$$

$$\delta F_z(x, y, z) = \frac{2Mn_0}{z^2} \left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{3/2} \cdot \int_{s_0} dx_0 \, dy_0 \int_0^\infty V^3 \exp\left\{-\frac{M}{2kT}\right\} dV$$
(1)

$$\cdot \left[\frac{V^2(x-x_0)^2 + [V(y-y_0) - V_0 z \sin \psi]^2}{z^2} + (V - V_0 \cos \psi)^2 \right] dV$$
 (2)

respectively, where

 S_0 integration over the area of the obstacle;

n density of the particles;

M mean mass of the particles;

T temperature of the particles;

 (x_0, y_0) coordinates on the obstacle plane;

V stream velocity:

 ψ angle between the normal to the obstacle and the stream direction.

Ion and neutral temperatures can be deduced from (1) and (2) when n and δn or F_z and δF_z are measured. This principle has already been verified in laboratory plasma, and the ion temperature of streaming plasma from a plasma gun could be measured.

Instrument

Ion temperature measurement. The ion density reduction in the shadow is measured by two Langmuir probes. The ambient ion density is measured by the upper (upstream) Langmuir probe, and the ion temperature is determined from the ratio of the disturbed density measured at the lower (downstream) electrode to the ambient

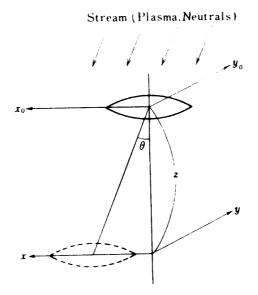


Fig. 1 Schematic drawing of the shadow method for the ion and neutral particle temperature measurements and coordinate systems used.

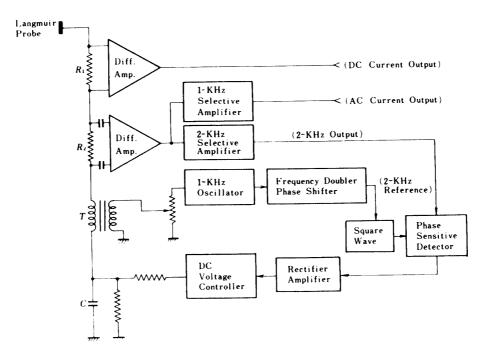


Fig. 2 Block diagram of the new direct display system of electron density and temperature (mode 1)

density. The two Langmuir probes are both ring-shaped gold-plated copper, 1 mm in thickness, 110 mm in outer diameter, and 45 mm in inner diameter. A new direct display system of the electron density and temperature measurements (mode 1) was employed in the ion temperature measurement together with the ordinary Langmuir method of applying a sawtooth voltage on the probe (mode 2). A block diagram of mode 1 is shown in Figure 2. An ac voltage (1 kHz) is superposed on the swept dc voltage of the Langmuir probe system. A second harmonic component $i_{2\omega}$ of the ac current is detected, and the swept dc voltage is automatically fixed at the inflection point of the Langmuir current voltage characteristes at which the phase of the $i_{2\omega}$ reverses. The electron density and temperature can be obtained from dc current and ac current at the inflection point of the Langmuir characterisics.

The relation between the Mach number of the rocket and the ratio of the ion

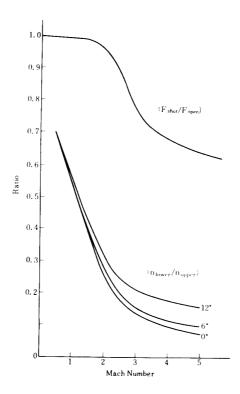


Fig. 3 Relation between the Mach number of the rocket and the ratio of the ion density measured at the upstream electrode to that measured at the downstream electrode calculated by using (1) for various attack angles. Relation betweem the Mach numer of the rocket and the ratio of the neutral flux measured with the shutter opened.

density measured by the upstream electrode to that measured by the downstream electrode calculated by using (1) is shown in Figure 3.

Neutral particle temperature measurement. The neutral density is measured by an ionization gauge located below the lower Langmuir probe, and a mechanical shutter (diameter, 45 mm) is buried in the center of the upper Langmuir probe. The shutter is driven by a solenoid. The neutral particle temperature is determined from the ratio of the density of neutral particles measured with the shutter closed to that measured with the shutter opened. The flux of the neutral particles into the ionization gauge chamber is directly proportional to the density measured by the ionization gauge. Consequently, the density ratio n(shutter closed)/n(shutter opened) measured by the ionization gauge is equal to the flux ratio F_z (shutter closed) F_z (shutter opened), which is a function of the neutral temperature through (2). In the case of our instrument the number of neutral particles that enter the chamber after reflection by the upper and lower walls of the Langmuir probes is smaller by 2 orders of magnitude than the number that enter the chamber directly. The relation between the flux ratio and the Mach number of the rocket is calculated, shown in Figure 3. The ionization gauge is composed of cathode (electron emitter), grid (electron accelerator), plate (ion collector), and four meshed electrodes at the entrance of the chamber on which a retarding voltage is applied in order to avoid the disturbance of the ambient plasma to the neutral density measurement. Moreover, alternating current of 30 Hz is used

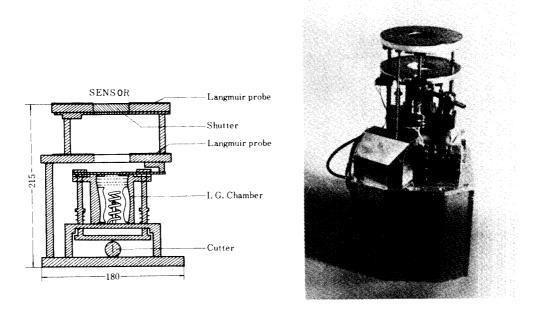


Fig. 4 Schematic illustration and photograph of the isntrument on board the K-10-10 rocket.

for the cathode heater current in order to modulate the emission current, and only the 30 Hz component of the ion current is detected. In this way the measurement is completely free from effects of the ambient plasma because its time variation is usually much slower than 30 Hz. The ion current at the plate is given by $I_{\ell} = G \cdot n \cdot I$ $_{\ell}$, where n is the neutral density, I_{ℓ} is the emission current from the cathode, and G is the geometrical constant of the ionization gage. The geometrical factor G in our experiment is 10^{-19} in mks units. The neutral density is directly proportional to the ion current when the emission current is kept constant, and this has been confirmed by the laboratory test in the neutral density range from $1.5 \times 10^{14}/\text{cc}$ to $1.5 \times 10^{10}/\text{cc}$. In our rocket payload the emission current was controlled automatically to be kept constant so as not to be affected by the change of the ambient neutral density.

Since the rocket is launched from the ground, the ionization chamber should be sealed off on the ground in our experiment. The seal was opened mechanically at altitude of 90 km. A diagram and photograph of the instrument on board the K-10-10 rocket are shown in Figure 4.

Experimental Results

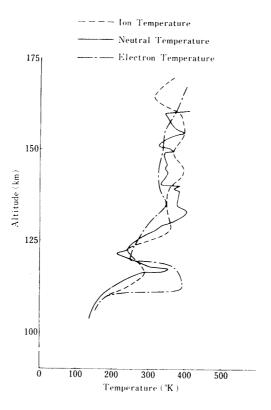


Fig. 5 The measured ion and neutral temperatures are plotted together with the electron temperature measured from the same payload.

A Japanese two-stage rocket K-10-10 was used in this experiment, and it was launched from Uchinoura, Kagoshima, Japan, at 1815 Japanese standard time on September 22, 1973. The rocket achieved an altitude of 240 km, and the nose cone of the rocket was opened at an altitude of 70 km. The result is shown in Figure 5, together with the electron temperature at that time measured from the same payload (K. Hirao et al., personal communication, 1974). Ion and neutral temperatures agree very well, and they also agree well with the electron temperature, which shows that the exospheric temperature was about 500°K at that time. The solar flux was 89.6 solar flux units on September 22, 1973.

4-3-3 ロケット搭載用プラズマ加速器の開発 (Developement of a plasma Accelerator for Rocket Experiment)

電離層中にロケットに搭載されたプラズマ加速器からプラズマを放出し,プラズマの宇宙空間での伝幡,電離層プラズマとの相互作用による波動の励起,粒子の加速等の現象を調べるアクティブ実験の為のプラズマ加速器の開発を行った.

プラズマ加速器はコンデンサ、充電用高圧電源、放電用スイッチ、プラズマ銃電極部及び制御回路から構成され、各部の性能及び耐久試験、真空試験が行われた.

開発の主要な点は

- i) 小型軽量化による大容量コンデンサーバンクを搭載する事
- ii) 高圧放電に対する安全対策を確立する事
- の二点にあり、両者は密接な関連をもったものである。

このプラズマ加速器は、K-9M-46 号種(1974.9)及び K-9M-51 号種(1975.9)に搭載され、以下に示した様にほぼ所期の目的を達した。

DESCRIPTION OF APPARATUS

A controlled active experiment with a plasma gun has been made by the mother-daughter rocket system as shownn in Fig. 1. The plasma gun used in this experiment has a capacitor bank which comprises 23 pieces of $0.035\,\mu\text{F}$ cylindrical capacitors, being charged to 8 kV by a high voltage power supply (DC-DC converter: Primary 28 V, secondary: 9 kV, 1 mA). The gun is a coaxial carbon type with inner and outer electrodes of 6 mm and 28 mm diameters, respectively. The discharge occurs across the carbon surface inserted between inner and outer electrodes. Characteristics of the plasma stream are: velocity 5×10^6 cm/s, density at 1 m from the gun $10^{10}/\text{cm}^3$, time duration $20~\mu\text{s}$, electron temperature 5-10 eV, angular spread 90° and total number of ejected parrticles 10^{16} ion and electron pairs.

EXPERIMENTAL RESULTS

The rocket was launched at 20:40 on September 15, 1974 from Kagoshima Space Center. 91s after lift-off, the daughter rocket was separated from the mother rocket at an altitude of 150 km. The separation speed was monitored by a planar multi-hole slit attached to the daughter rocket which passed between a LED-Phototransistor

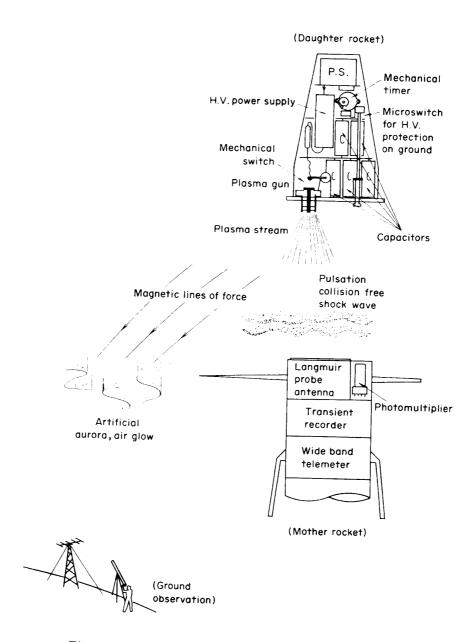


Fig. 1 Schematic Illustration of the Plasma gun experiment by Rocket in the Ionosphere.

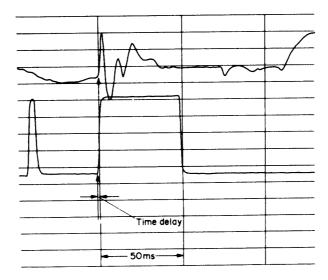


Fig. 2 Expanded Display of the Plasma signal on the TEL.

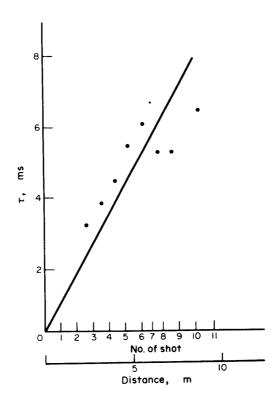


Fig. 3 Delay time of the Plasma signal with respect to the Plasma gun light signal as a Function of the Distance between the mother and daughter rockets.

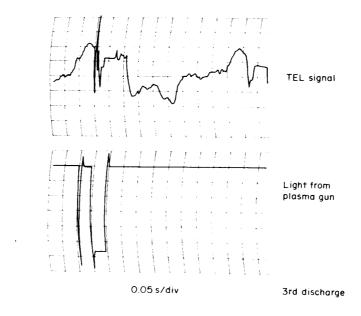


Fig. 4 Plasma signal on the TEL when a low energy electron beam is emitted.

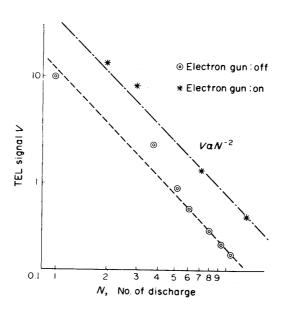


Fig. 5 The Amplitude of the Plasma signal on the TEL as a function of the Number of shots (the distance between the mother and daughter rockets.).

system at the separation. The separation speed of the daughter rocket was about 80 cm/s. The first discharge of the plasma gun was initiated at 104s and afterwards, regularly every 12.4s.

The effect due to the plasma gun discharge observed in electron temperature probe (TEL) is shown in Fig. 2. The standard TEL signal is a two-step curve in one 0.3s period. Superposed on it, rapid time varying signals are observed, coinciding with the light signals.

The delay time τ is plotted versus the number of shots (mutual distance between mother and daughter rocket) in Fig. 3 and a linear relationship is found. The velocity obtained from this figure is about 106 cm/s, much slower than that of the plasma stream measured in a vacuum chamber at a prelaunch test. It is concluded from these data that the signal on the TEL probe is generated when the plasma stream has actually arrived at the TEL probe. The amplitude of the signal decreases as the plasma gun departs from the mother rocket. The reason why the second and the third shots are not shown is explained in Fig. 4. During these second and third shots, a low energy electron beam (several eV) was emitted from the rocket body in another experiment on-board the same rocket. When the electron beam is emitted the electron temperature probe (TEL) signal itself is strongly disturbed and the amplitude of the plasma gun signal on it increases considerably (Fig. 4). In Fig. 5, the amplitude of signal (V) is plotted as a function of the shot number (N), and it is found that Vis proportional to the inverse square of N. This indicates that the signal amplitude is proportional to the inverse square of the distance between the daughter and mother rockets.

4-3-4 EXOS-B (じきけん) 用電子銃の開発 (Developemnst of an Electrom Gun on Board EXOS-B (JIKIKEN) (昭和 47~53 年)

我国初の磁気圏探査衛星「じきけん (EXOS-B)」には小型の電子銃が搭載された。エネルギー $100\sim200~{\rm eV}$ ビーム電流 $0.25\sim1.0~{\rm mA}$ で,磁気圏プラズマと電子ビームの相互作用を調べ波動の励起,プラズマ加熱を人工的に宇宙空間に実現して自然現象との対応を調べ,その物理機構を解明する事を目的としたものである。電子銃の開発の主要は点は

- i) 長寿命小電力のカソードヒータの開発
- ii) 電子銃制御内高圧電源の開発の二点に集約された。特にi) のカソードヒータの開発が最も力を入れた部分である。電力が豆電球程度の1W程度に制限されたので豆球装填以前の豆電球用ラメントを大量に購入試験した。この結果優れた性能の電子源が開発され「じきけん(EXOS-B)に搭載されて所期の目的を達した。「じきけん(EXOS-B)」は1978年8月に打上げられ多くの科学成果を生み出したが、現在でも電子源関係の実験は打上直後と同じ状態で作動しており、下に示した様な成果が得られている。

Instrumentation

An electron gun on board "JIKIKEN" is a Pierce type axi-symmetric parallel

beam electron gun with Wehnert electrode. The beam diameter at the exit is 5mm and the beam divergence is about 3 rad. Both the beam current and beam voltage can be changed in 4 steps as in the following.

$$I = 0.25 \text{ mA}, 0.5 \text{ mA}, 0.75 \text{ mA}, 1.0 \text{ mA}.$$

and

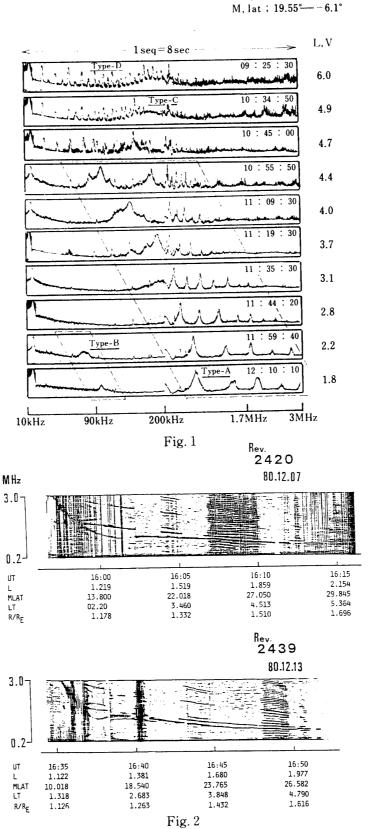
$$V = -100V, -125V, -150V, -200V$$

They can be controlled either by discrete command (DC) or by organized command (OG). In the DC command we can select beam current and beam voltage arbitrarily so that 16 combinations are possible, while in the OG command they are changed stepwise automatically with the intervals of 8 or 32 sec.

Because the main objective of "JIKIKEN" Satellite is the studies on the wave-particle interaction in the magnetosphere, the instruments for the scientific observation consist of two groups; i.e., wave measuring instruments and particle measuring ones. They make simultaneous observations as to the spatial and temporal variation of both electric and magnetic field and particle energy distribution. The wave measuring instruments installed on "JIKIKEN" are Stimulated Plasma Waves (SPW), Natural Plasma Waves (NPW), Doppler Detector of Artificial VLF Waves (DPL), Impedance and Electric Field (IEF), and Magnetic Field (MGF). Hereafter, we use abbreviated nomenclatures as NPW, IEF, MGF etc. NPW measures naturally and artificially generated plasma waves, taking four modes as NPW(V), NPW(VL), NPW(S) and NPW(A). NPW(V) and NPW(VL) detect a wide band of VLF range (750Hz $\sim \! \! 10$ kHz), while $NPW\left(S\right)$ and $NPW\left(A\right)$ make swept frequency analyses in the LF and HF ranges (10 kHz \sim 200 kHz; 180 kHz \sim 3.0 MHz), with a narrower band width (1 kHz) ature, plasma impedance and electric field with the four modes of the operations as IEF (I), IEF(C), IEF(S) and IEF(D). IEF(I) is the mode for the measurement of the plasma impedance from LF to HF range by using a swept frequency impedance probe technique, and the plasma density is measured very accurately from the detected upper hybried resonance frequency. IEF(C) mode is for the measurement of the electric field. IEF(S) and IEF(D) are the operation of the single and double Langmuir probes, respectively; both uses a swept or fixed bias voltage to obtain the electron density and temperature. MGF measures the magnetic field by using a flux-gate magnetometer. The particle energy distribution is measured by ESP (Energy Spectrum of Particles). ESP measures the energy distribution of electrons, ranging from 5eV to 11keV; and also the energy distribution of ions ranging from 20 eV to 30 keV. Among these insutrumentations, NPW(A) and IEF(I) are mainly used in the present experiment.

CBE (V₄, I₄) - NPW(A)

Rev, 654; 1979. 5. 4



Experimental Results

Typical frequency spectra of the waves received in NPW receiver, when the CBE system is operated in the maximum beam voltage and beam current mode ($V=-200\mathrm{V},\,I=1.0\mathrm{mA}$), is shown in Fig. 1. A significant interaction between the surrounding plasma is clearly seen in this figure. In Fig. 2, a dynamic spectrum of excited waves is shown; the received wave amplitude is represented being modulated in Z-axis of a CRT display tube. A strong wave excitation is taking place coinciding with the operation of CBE. It is found that five types of the waves appear making interaction with CBE electrons through the magnetospheric plasma.

4-3-5 EXOS-B (じきけん) 搭載用粒子エネルギーアナライザの開発及び試験 (Developement and Test of Particle Energy Analyser onboard EXOS-B) (昭和47年~53年)

磁気圏探査用の科学衛星じきけん (EXOS-B) は 1978 年 9 月打上げられたがこれに搭載された粒子エネルギー分析器のうち主としてイオンのエネルギー分析器の開発及び試験が行われた。エネルギー分析器は静電偏向型のもので、同心円上の二枚の平板の間に電圧を

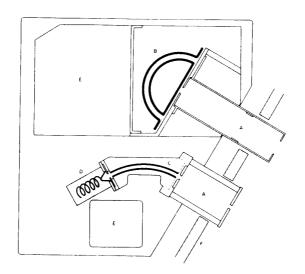


Fig. 1 Schematic diagram of charged particle detectors.

A: Collimators B: Hemispherical electrostatic analyzer (for electrons) C: Cylindrical electrostatic analyzer (for ions) D: Channeltron and its support E: Sweep voltage power supply, high voltage power supplies for channeltrons, charge amplifiers, and pulse discriminating and shaping circuits. F: Surface of the satellite.

印加して分析するものである。

この開発及び試験のうち主として真空中における特性試験及びイオン源を用いた校正試験が行われた。この為に校正用のイオン源が製作されこれを用いてイオンエネルギー分析器の校正が精密に行われた。

搭載された粒子エネルギーアナライザーは長期間にわたって正常に作動し、磁気圏における Energetic Particle の挙動に関する貴重なデータが得られた。

Instrumentation

Charged particle detectors (ESP) are composed of an electron sensor, an ion sensor and electronic circuits. The electron and ion sensors measure electrons and ions in the energy ranges from a few eV to 10 keV and from 10 eV to 30 keV, respectively.

ESP installed in the satellite is shown in Figz 1. It is composed of charged particle energy analyzers, a sweep voltage power supply for analyzers, channeltrons, high voltage power supplies for channeltrons and pre-amplifiers. The electron sensor is composed of a front collimator, a hemispherical electrostatic energy analyzer whose inner and outer radii are 28 mm and 32 mm, respectively, and a channeltron as a detector. The ion sensor is composed of a collimator, a 60° -cylindrical electrostatic analyzer whose inner and outer radii are 58.5 mm and 61.5 mm, respectively, and a channeltron. Optical axes of both electron and ion collimators are parallel and installed in the satellite so that they are perpendicular to the satellite main axis of inertia. Both collimators extrude from the satellite surface by about 15 mm. Charged particles entering the analyzers through the collimators are deflected by the electric field ($E \propto \frac{1}{r^2}$ for the electron analyzer, $E \propto \ln \frac{1}{r}$ for the ion analyzer), and particles having the appropriate energies can pass through the analyzers and impinge on to the channeltrons.

A high voltage of about $3.0~\rm keV{\sim}4.0~\rm kV$ is applied to the output terminal of the electron detecting channeltron, and accelerating voltage of about $300~\rm V$ is applied to the input terminal in order to maintain the counting efficiency nearly constant over the measured every range (Paschmann et al. 1970). For the ion detecting channeltron, a high voltage of $-2.8~\rm kV{\sim}-4.0~\rm kV$ is applied to the input terminal making the detection efficiency nearly constant, and the output terminal is set nearly at the ground potential.

Data

The most convenient presentation from of data is a so-called E-t (energy-time) diagram. The example of the 20-minute data at Rev. 143 (November 6, 1978) is shown in Fig. 2 in which the sun angle (the angle between the orientation of the sensor collimator and the Sun) and the particle pitch angle are also presented. Abscissa scale is time (UT) and the orbital positions of the satellite are also presented every 2

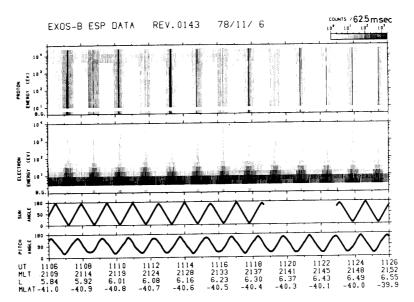


Fig. 2 An example of E-t diagram. The sun angle and the particle pitch angle are also shown. A remarkable spin modulation of the electron and ion counts are seen. $\sum_{n=0}^{K} = 4^{+}$.

minutes.

4-3-6 ロケット搭載用電子加速器及び計測器の開発(Development of Electron Beam Accelerator and Associated Diagnostic Instruments)(昭和 50 年~53 年)

観測ロケットを用いた宇宙空間での電子ビーム放出実験を行うため、搭載用電子加速器及び観測装置(プラズマプローブ、電位計、フォトメーター、粒子エネルギー分析器、波動受信器)の開発・試験を行った。電子加速器システムはロケットの電源容量、与えられたスペース等にあわせて最小出力 1 W から最大出力 1.8 kW 迄の 9 種類を製作した。高圧部分の耐圧試験、大気圧封印部分のリーク試験、電子ビームの性能試験をプラズマ実験棟の各種設備を用いて繰り返し行った。又粒子エネルギー分析器等の性能試験も校正電子銃を真空チェンバー内に設置して行った。各電子加速器システム及び計測器は、K-10-11、12号機、K-9M-51、57、58、61、66、69号機及び S-520-2号機に搭載され、電子ビーム放射に伴う帯電とロケット周辺のポテンシャル分布、プラズマ生成、オーロラ線の励起、高/低周波数帯波動の励起のデータが得られた。これら一連の実験で特に注目されるのは、大出力電子ビームを放出した時形成されるロケット周囲の turbulent 状態で、高密度高温プラズマが生成されたことが見い出されている。

Experiment Configuration

A list of rocket experiment that have been done is shown in Table 1. Experiments started with a low power electron beam experiment in K-10-11 and 12. High power experiment was done in K-9M-57 and 58 using 300 W and 1.5 kW electron beam,

Table 1 List of electron beam experiments on Japanese rockets

ROCKET	LAUNCHING TIME	MAXIMUM BEAM ENERGY & CURRENT	DIAGNOSTICS
K - 10 - 11	1975. 9. 24 14:00 LST	300 V 3.7 mA C.W.	LANGMUIRE PROBE (BIAS-0.5V + 3 V)
K - 10 - 12	1976.1.18 14:20 LST	200 V 2 mA	FLOATING PROBE LANGMUIRE PROBE (BIAS-12V~+5V)
		C.W.PULSE (100 ms)	RECEIVERS VLF (0~30kHz) HF (1 MHz~10MHz)
K - 9M - 57	1976.8.31 04:55 LST	3 kV 100 mA	FLOATING PROBE (RANGE+10V -100V) LANGMUIRE PROBE (BIAS+10V -50V)
		PULSE (180 ms)	PHOTOMETERS 3914A 5577A RECEIVERS VLF (0~10MHz)
K - 9M - 58	1977.1.16 21:45 LST	5 kV 350 mA	FLOATING PROBE (RANGE+10V -200V) LANGMUIRE PROBE (BIAS+10V -50V)
		PULSE(130ms)	PHOTOMETERS 3914A 5577A 8446A
K - 9M - 61	1978.1.27 20:00 LST	2 kV 35mA	FLOATING PROBES $(RANGE+10V \sim -400V)$ LANGMUIRE PROBE $(BIAS+10V \sim -100V)$
		C.W.	ELECTRON ENERGY ANALYSER
K - 9M - 66	1979.1.21 18:06 LST	1 kV 1 mA Max C.W.	ELECTRON ENERGY ANALYSER RETURN CURRENT COLLECTORS
K-9M-69 (INT. COLABORA- TION WITU	1980.1.16 12:00 LST	1 kV 30mA Max C.W.	WAVE DETECTOR FLOATING PROBE CHARGE PROBE
USU)			LANGMUIRE PROBE (TETHERED MOTHER AND DAUGHTER)
S-520-2 (INT. COLABORA- TION WITH USU)	1981.1.29	1 kV 30mA C.W.	WAVE DETECTOR FLOATING PROBE CHARGE PROBE LANGMUIRE PROBE (TETHERED MOTHER AND DAUGHTER)

respectively. Since phenomenon associated with high power electron beam is too violent to analyse the charging phenomena, the beam power has been reduced to an intermediate level of tens of Watts ($1\sim2$ kV, $10\sim30$ mV).

K-9M-69 and S-520-2 were intended to perform a mother-daughter rocket experiment with a tethered wire, though they were partially successful.

Diagnostics were mostly floating probe and Langmuir probe. The floating potential of the rocket with respect to the space potential is measured by either the output of the floating probe or the shift of the Langmuir V-I characteristic of Langmuir probe. The V-I characteristic usually shifts toward negative when the vehicle potential rises positive. The floating potentials determined by both methods agree with each other fairly well. The spatial distribution of the floating potential was measured in K-9M -61 and S-520-2 deploying a multiprobe.

Experimental Results

Typical experimental results of the floating probe measurement are shown in Figs. 1 and 2. Fig. 1 shows examples of low power beam experiment of K-10-11, 12 and K-9M-61, while Fig. 2 shows a high power experiment results. It is clear that the floating potential shows a violent variation for a high power beam. This indicates a strong discharge is excited when a high power electron beam is emitted. For low power beam experiments, data are very stable and reproducible. Generally, the

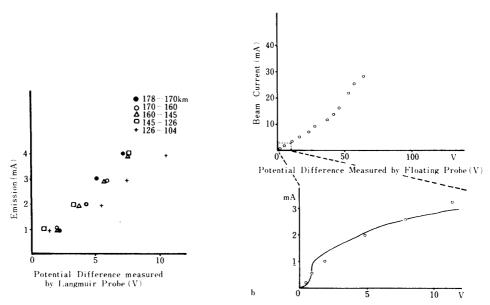


Fig. 1 Potential shift of rocket measured by Langmuir probe for low power experiments.

- (a) K-10-12
- (b) K-9M-61

FLOATING VOLTAGE

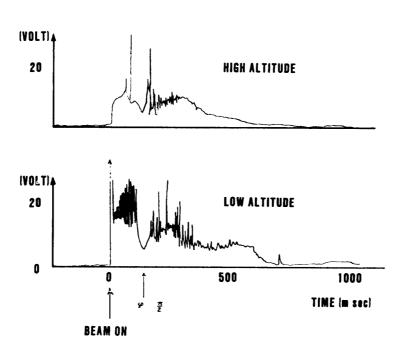


Fig. 2 Potential shift of rocket for high power experiment of K-9M-58.

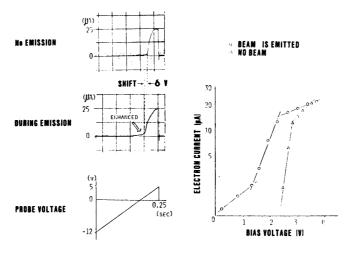


Fig. 3 Electron temperature increqse of ambient plasma by the electron beam emission (K-10-11)

floating potential increases as the beam current is increased and the density of space plasma decreases (i. e. altitude decreases).

The electron temperature is measured by Langmuir probe and a plasma heating by the electron beam is observed in K-10-12 and K-9M-58 (Fig. 3). It should be noted

that the Langmuir characteristic has a high energy tail forming a two component plasma.

4-3-7 スペースシャトル搭載用電子ビーム加速装置の試験(Test of an Electron Beam Accelerator System for a Space Shuttle Experiment)(昭和52年~56年)

我国初のスペースシャトル搭載大型科学実験 SEPAC (Space Experiment with Particle Accelerators) は 1983 年 10 月 28 日に打上げられたスペースシャトル第 9 号に搭載されたが、この中で主要な機器の一つである電子ビーム加速器シスラムの小規模試験が行われた。なお大規模な試験は 40、46 号館のスペースチャンバー設備、東芝の熱真空試験装置及び NASDA の大型スペースチェンバーを用いて行われた。プラズマ発生装置の設備を用いて行われた試験は主としてコネクターやスイッチ等の部品レベルの真空試験、耐圧試験及び両者を組合わせたものである。なお SEPAC 装置の概要は以下の通りである。

Scientific Objectives

Scientific objectives of SEPAC are;

- i) to study the vehicle charging in space and charging neutralization by using plasma and neutral gas plume,
- ii) to study the beam-plasma interaction in space, in particular, wave excitation in VLF to HF frequency range in the interaction of the electron beam with the non-linear beam-plasma interaction,
- iii) to study the beam atmospheric interaction exciting artificial aurora and airglow and
- iv) to trace the magnetic field configuration of the magnetosphere and detect the field aligned electric field.

SEPAC Hardwares

SEPAC consists of the following subsystems:

- i) Electron Beam Accelerator (EBA)
- ii) Magnetoplasma Arcjet (MPD)
- iii) Neutral Gas Plume Generator (NGP)
- iv) Power Supply for EBA and MPD (PWR)
- v) Diagnostic Package (DG)
- vi) Monitor TV (MTV)
- vii) Control and Data Management System (CD)

The block diagram is shown in Fig. 1.

Electron Beam Accelerator (EBA)

i) Electron Beam Accelerator (EBA)

It consists of Electron Gun (EBA), Gun Power Supply (GPS) and High Voltage Converter (HVC). EBA and GPS is intergrated in one unit.

Beam energy: $0\sim7.5 \text{ keV Variable}$

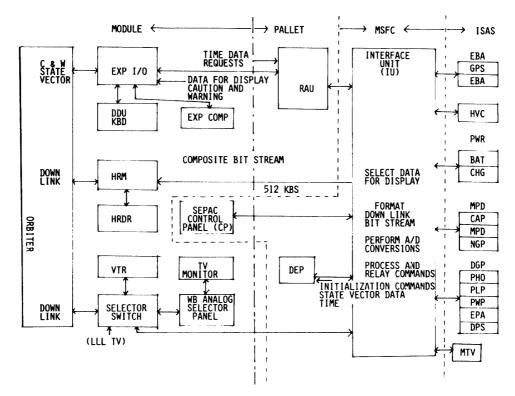


Fig 1 (a) System Block Diagram.

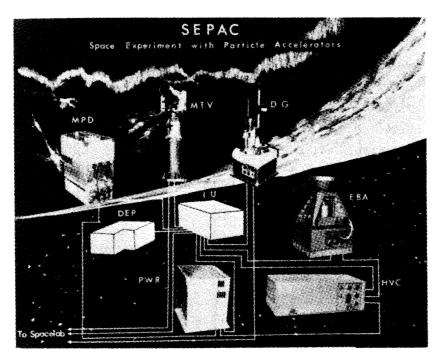


Fig. 1 (b) Schematic Layout of SEPAC with Flight Model Hardwares.

Beam current: $0 \sim 1.6 \text{ A}$

Maximum Output power: 12.5 kW Average Output power: ∼1 kW

Perveance: 2.5×10^{-6} (A/V^{2/3})

Pulse width: 1 msec∼1 sec (High Power)

1 msec~CW (Low Power)

Deflection Capability: $\pm 30^{\circ}$

Beam Diameter: 20 mm at the exit Cathode: impregnated cathode

ii) Magnetoplasma Arcjet (MPD)

It consists of MPD-AJ and Capacitor Bank (CAP) intergrated in one unit together with NGP below.

Energy stored: 2kJ

Discharge Pulse Width: 1msec

No. of ion-electron

pairs produced per shot: 1019 pairs

Plasma density

1 m from MPD: 10^{12} /cm³ 15m from MPD: 10^{9} /cm³

Plasma flow velocity: 2x10⁴/sec

Beam spread: $\pm 20^{\circ}$

Electron Temperature: 3~5eV

Ion Temparature: \sim Te

Gas: Argon

iii) Neutral Gas Plume Generator (NGP)

It is integrated in MPD subsystem.

Gas: Nitrogen
Pulse width: 0.1sec

Ejected Velocity: 400m/sec

Ejected Number of

Molecules/shot: 10²³ molecules/shot

iv) Power Supply for EBA and MPD (PWR)

It consists of Battery Package (BAT) for EBA and Charger (CHG) for MPD and BAT.

Charger for MPD: 500V 1kW

Battery Package for EBA: 450V 4AH

Endurable to 15C 1sec discharge

v) Diagnostic Package (DG)

It consists of several intruments as described below:

vi) Monitor TV

This is a high sensitivity TV camera to monitor the near field and far field views of the electron beam profile in space.

Field of view

:28.7°x21.7°

Sensitivity

 $:0.01\sim10^5\ 1ux$

Spectral response

:3900~7000 Å

Frame rate

:30Hz

vii) Control and Data Management (CD)

It consists of Dedicated Experiment processor (DEP), Interface Unit (IU), and Control Panel (CP). Its functions are;

Control of SEPAC Hardwares by sending a sequence of commands,

Control of SEPAC instrument and scientific data,

PCM :512 kbps

Analog: 4.2 MHz

TV Video signal

Communication with the Spacelab Experiment Computer (EC),

Display of SEPAC status and data on DDU (Data Display Unit) of EC,

Control of IU and DEP through DDU key board of EC, and

Management of data coming from Space Shuttle through EC.

All SEPAC instruments other than CP are located on the pallet. SEPAC is controlled by the payload crew through the DDU of EC and CP of SEPAC. The layout on the SL-1 is shown in Fig. 2. CD subsystem is developed in NASA MSFC and other subsystems are developed in Japan. Total weight is about 400kg, and the average electric power consumption is about 1kW.

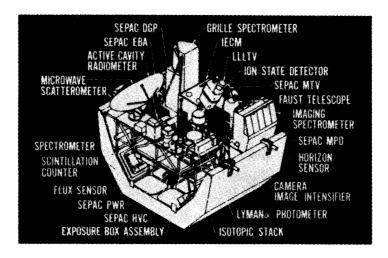


Fig. 2 SEPAC on SL-1 pallet.

4-3-8 ロケット搭載用アダマール電子エネルギー分析器の開発 (Development of Hadamard Electron Energy Spectrometer) (昭和 52 年~54 年)

アダマール粒子分光法を用いた粒子分析器は,従来のエネルギー分析器とは異なり,一個の検出器の位置を一点に固定したままで,しかも分析器の電場あるいは磁場の強さも掃引することなく,スペクトル全体が同時に測定できるという特徴がある。従ってロケット観測のように時間的に刻々と変化するスペクトルをできるだけ短時間のうちに観測する必要のある場合に極めて適している。本研究では,ロケットからの電子ビーム放出時に帰還してくる電子のエネルギー分布を観測するため,小型軽量で高信頼性のエネルギー分析器を開発し,チェンバーテストでその性能を実証した。静電エネルギー分析器の分解能は 1/10 で Geometrical Factor は 5×10^{-4} cm² ster であり,エネルギーレンヂは,130 eV ~ 14 keV を 6 段階に分割している。本器は K-9M-66 号機に搭載され,同時搭載された電子銃を動作させた時の帰還電子エネルギー分布を計測することに成功した。

3.2 測定系

アダマール電子エネルギー分析器

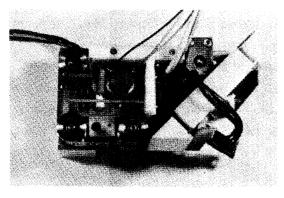
写真 la に示すようにアダマール電子エネルギー分析器は平行平板型静電エネルギー分析器, アダマールマスクとその駆動部, 検出器からなる.

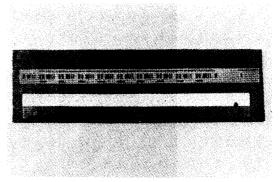
(1)静電エネルギー分析器

平行平板型のエネルギー分析器は電子ビームが分析器に 45 度で入射したあと、エネルギーの違いにより電子の軌跡が異なることを利用している。この平行平板型の静電エネルギー分析器は小型化が可能でしかも分散型の分析器であるからロケット実験でのアダマール粒子分光に最適といえる。本実験で用いた分析器の分解能は 1/10(実験値)で,Geometrical Factor は 5×10^{-4} cm² ster である。エネルギー分布の測定は下記のようにオーバーラップさせた 6 段階のエネルギーレンジに分割して行う(図 1)。

I: $130\sim256 \ (eV)$

II: 185~364 III: 260~511





(a)

(b)

IV: 371~729 V: 481~944 VI: 702~1379

(2)アダマールマスクとその駆動部

図 1(b)に本実験で使用したアダマールマスクを示す。このアダマールマスクは厚さ $50\mu m$ のステンレス板(SUS 27)にフォトエッチングでスロットを刻んだものである。 1 周期のスロット数は 19 で 10 周期あり,比較のため単スリットも刻まれている。このアダ

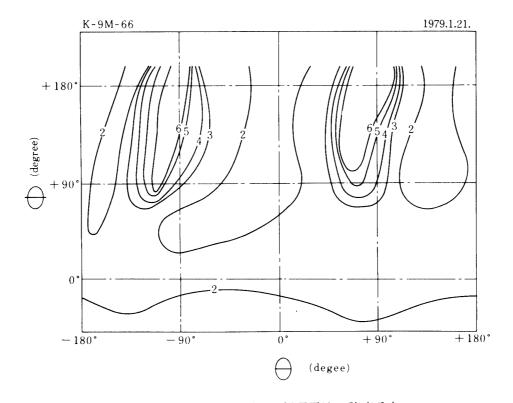


図 2 カレントプローブへの帰還電流の強度分布

スピンフェイズ θ はロケットスピンによる相対角度を示す。リターン角 ϕ は電子銃の位置と帰還した電子との角度を表わす。

1から6段階までの単位面積あたりの帰還電流値を以下に示す。

1:0.08 μA 以下 4:0.23~0.30 2:0.9~0.14 5:0.31~0.38 3:0.15~0.22 6:0.38 以上

電子ビームのエネルギーが 400 eV で分析器のエネルギーレンジは 3 である. ピークは 400 eV 付近にある.

マールマスクの両端を連結してエンドレスとし四つのローラーで回転させる。駆動用のモーターはロケット用 CL-2A-30R (オリンパス社製) を用いた。アダマールマスクの回転速度は $47 \, \text{mm}$ /秒で,1つのエネルギーレンジに要する時間は約 0.5 秒である。

(3)検出器

エネルギー分析された電子はアダマールマスクされた後、チャンネルトロンに検出され、パルス計数される。最大計数率は 10^7 電子/秒である。チャンネルトロンの前には二次電子追い返し用のダングステンメッシュ(スクリーン 100)があり、測定期間中は-55V に保たれている。チャンネルトロンは CEM4039CB1(Galileo Electro-Optics Corp.)を用いた。このチャンネルトロンのコーンの大きさは $10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ の角型である。

ロケット実験および検討

K-9M-66 号機は昭和 54 年 1 月 21 日 18 時 06 分に鹿児島宇宙空間観測所から打ち上げられた。発射角は 76.5 度で打ち上げ後 290 秒には最高高度 336 km に達し,552 秒後には内之浦の南東 310 km の海に落下した。

アダマール電子エネルギー分析器と電子銃は打ち上げ後 92 秒から作動し,電離層の電子 エネルギー分布および帰還電子のエネルギー分布測定とカレントプロープによる帰還電流

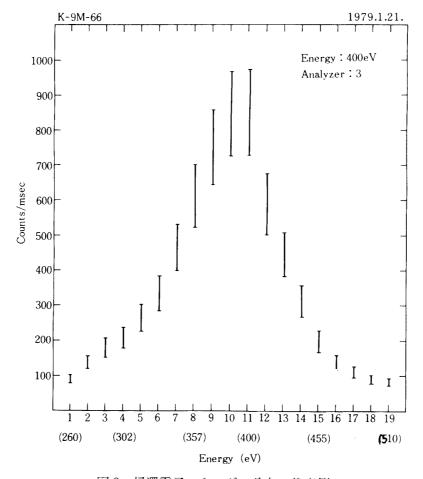


図3 帰還電子エネルギー分布の代表例

の強度分布測定を行った.

カレントプローブによる帰還電流の強度分布測定

図 2 に代表的な分布を示す。これは高度による影響は少ないとして,電子ビームのエネルギーが 400~eV で下降時のカレントプローブの出力をまとめたものである。この図からスピンフェイズ θ が ± 90 度で,リターン角 ϕ が ± 180 度で最大を示している。

4-3-9 テザーロケット実験システムの開発 (Development of Tethered Payload System) (昭和 54 年~56 年)

本研究はロケットを導電性ワイヤをつけたまま親子分離し、両ロケット間に高電圧を印加してワイヤに電流を流し、宇宙空間に大規模な擾乱を引きおこし、その応答を調べようとするものである。これによって、アルフベン波やホイッスラー波の励起と伝播、電離層内に形成される電流経路、シース形状を研究する。又本研究は、工学的にも $V \times B$ 発電、大型宇宙建造物の姿勢制御等への応用が考えられている。テザーロケット実験システムは、ワイヤ繰出し機構部、負電位側の対プラズマインピーダンスを下げるための電子銃部、親子間に電圧を印加する高電圧電源部及び関連計測機器類から成っている。特にワイヤー展出機構部は新しい技術が必要で、伸展ワイヤ張力計測装置を製作して試験を繰り返し、ワイヤがスムーズに伸展するための最適構造を持った機構を開発した。本研究は、米国ユタ州立大学、スタンフォード大学との共同研究として行われているもので、S-520-2、K-9M-69号機での実験の後、1983年には、米国ホワイトサンズでS-100m以下であったが、第3回目の実験では、予定通り400mの伸展に成功した。親子ロケット間への高電圧印加実験はバス電源のトラブル等の為、これ迄の所、所期の成果が得られておらず、再度の実験が予定されている。

The tether mechanism consists of the following components:

- i) Tether wire
- i i) Spool
- iii) Casing with exit hole
- iv) Length monitor
- v) Brake mechanism

The development of the tether mechanism was performed based on the following philosophy:

- i) Wire stored in the mechanism shall be as long as possible.
- ii) The deployment shall be smooth be smooth and stable.
- iii) Wire shall not be damaged during the deployment.

During the development, we encountered various difficulties but we believe that we have solved them well and the system is now established.

The drawing of Tether Mechanism employed in K-9M-69 is shown in Fig. 1.

4-3-10 ロケット搭載用 CCD テレビカメラの開発 (Development of CCD TV Camera for Sounding Rockets) (昭和 56~57 年)

固体撮像素子の性能が急速な進歩をとげた結果,小型・軽量のテレビカメラを観測ロケ

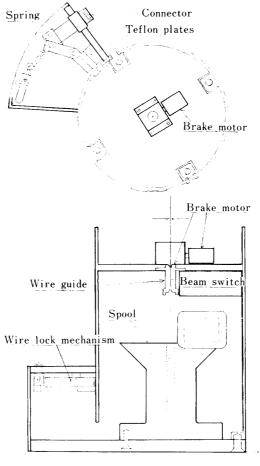


Fig. 1

ットに搭載することが可能となった。テレビカメラの使用よって、観測ロケットでの正確な機器モニター、大気光・オーロラの画像取得が可能となる。本研究では、 32×32 画素のCCD素子及び 100×100 画素のフォトダイオードアレイ素子を用いて、小型 TV カメラを開発し、その光学試験を行った。カメラは、光学系、ビデオアンプ、A/D コンバーター、フレームメモリ、テレメータインターフェイスから構成され、約4秒に1回で1画面を伝送することができる。 32×32 素子カメラは、S-520-2 号機に搭載され、分離された子ロケットの運動と親子ロケット間につながれたワイヤーの挙動を撮像することに成功した。 100×100 画素カメラは、K-9M-73 号機に搭載され、ロケットから繰り出されたワイヤアンテナ(5 m)の運動を捕えることができた。ワイヤーアンテナは伸展後、極めて大きいすれ角で振動したことが得られた画像から明らかになった。

TV Camera System

The camera system is made up of PDA optical sensor with F 1.5 TV lens, analog signal processor board, digital processor with 500 kbit memory and PCM interface. A flashlight is also installed in the system to observe the wire antenna even in the dark. They are assembled in a package of 200 mm ϕx 80 mmh. The weight of the package

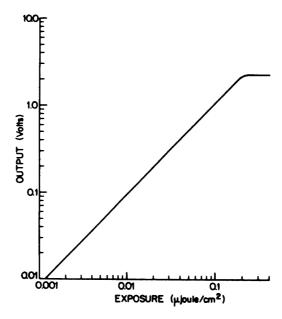


Fig. 1 Optical-to-electrical transfer function of the element. Output vs Exposure (2870°K tungsten source measured using a detector with flat response and 370 to 1040 nm bandwidth). This data is derived from data sheet provided by EG & G RETICON.

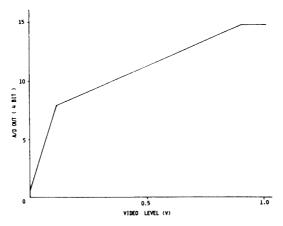


Fig. 2 A/D converter characteristics for video signal. Video level (0-1.0V) is converted to digital with 16 steps (4 bit). First 8 steps correspond to low video level (0-0.1V) and second to high video level(0.1-1.0V).

is 2.1 kg.

i) Optical Performance

A two-dimensional 100×100 matrix photodiode array (RETICON RA 100×100) is used as the image sensor, which can be operated with high sensitivity, high speed, and low blooming with respect to comparable CCD devices. The sensitivity of the element is shown in Fig. 1. The dynamic range of the sensitivity of the camera is measured to be 38 dB at room temperature. The spectral response ranges from 400 nm to 1550 nm peaked at 850 nm. The camera lens is 8.5 mm focal length F 1.5 with fixed focus at 2.4 m. The field of view is 40×40 (X-Y full angle) .

Alternative frame scan rates of 10.5 and 52.8 Hz are selected to get a wider dynamic range (50 dB). The dot resolution is 4 bits (16 steps), with low video level exaggerated, as shown in Fig. 2.

ii) Electrical Performance

The electronics consist of video signal processor, calibration signal generator, A/D converter, buffer static RAM (10×4 Kbit), main dynamic RAM (8×64 Kbit), CPU, PCM telemeter interface, flashlamp controller and power supply. The functional block diagram is shown in Fig. 3. The PDA control and video signal processing are performed by the analog processor board. Two clock signals of 105 kHz and 528 kHz are alternatively supplied to the image sensor for dot scan. The calibrator generates a saw tooth analog level to give a density test pattern, which is used to check the digital board logics. The analog video signals are converted into digital signals and memorized in the RAM, together with frame and line status. The video data and associated real time monitors (camera operation monitor and flashlight monitor) are

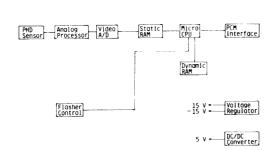


Fig. 3 Block diagram of camera electronics. functions are controlled by micro CPU.

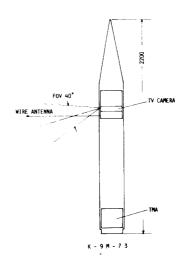


Fig. 4 K-9M-73 payload configuration. TV camera looks downward to observe the wire antenna and TMA ejection.

combined and transmitted to the ground via PCM/FM hybrid telemeter. The bit rate assigned for the TV camera is 12.8 KBPS. The frame data acquisition is nominally performed every 4.2 sec in accordance with the PCM bit rate. Using the main memory (500 kbit), faster data acquisition is possible for continuous 10 video frames. The fast data acquisition every 1.2 sec is performed when the wire antenna is being extended in the K-9M-73 experiment. The flashlight (6 watt) can be synchronously

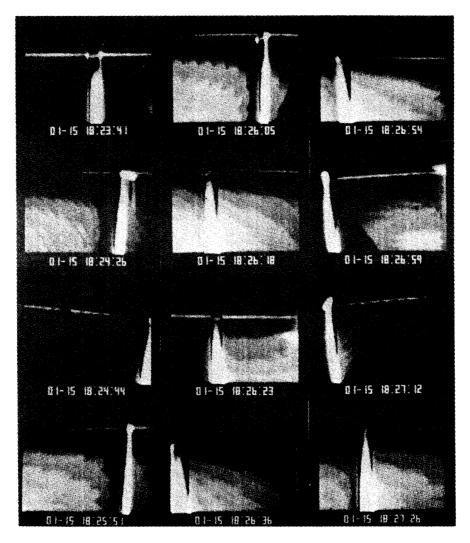


Fig. 5 Typical pictures of the wire antenna motion. Since the antenna moves with high speed, the image of the wire streams and it can be seen only when it reflect the sun light directly towards the camera. From the trajectory of the wire tip (holizontal white line), the antenna motion can be clearly seen.

operated during the data acquisition. The average power consumption of the camera system is 12 Watt.

iii) K-9M-73 Experiment Result

The K-9M-73 sounding rocket was launched at 18:20 on January 15,1982 from Kagoshima Space Center. The payload configuration is shown in Fig. 4. TMA chemical release, electric field measurement using four 5m-antennas and Jobian electromagnetic wave measurement were successfully carried out. The TMA was ejected from the rocket for 16 sec at the height from 75 km to 110 km. It was observed by the TV camera through a small window $(20 \text{ mm } W \times 40 \text{ mm } H)$ in the rocket skin. The nose cone was removed at 150 km and after that the extension of the wire antennas was performed during 10.1 secs. The typical pictures of the wire motion are shown in Fig.5.

第5章 研究成果発表

5-1 学会等講演

昭和43年度

伊藤富造, 久保治也:プラズマ流と磁場との相互作用,日本地球電気磁気学会第 43 回講演会 (1968/5)

久保治也,河島信樹:Comet のモデル実験,日本地球電気磁気学会第 44 回講演会 (1968/10)

昭和44年度

河島信樹:Neutral Sheet の Model 実験, 第 46 回日本地球電気磁気学会(1969/10)

河島信樹: Magnetosphere 内のプラズマ分布の Local Time Asymmetry, 第 45 回日本地球電気磁気学会(1969/5)

久保治也,河島信樹,プラズマ流と中性ガス塊との相互作用IV,日本物理学会分科会(1969/10)

伊藤富造, 畚野信義, 久保治也:Solar Wind Simulator による高速プラズマ流の発生, 日本地球電気磁気学会第 46 回講演会(1969/10)

久保治也,河島信樹,伊藤富造:Comet O Model Experiment II,日本地球電気磁気学会第 46 回講演会(1969/10)

昭和45年度

河島信樹:Plasma Current Experiment,日本物理学会 春の分科会(1970/4)

河島信樹, 大藪修義: Neutral Sheet Pinch Experiment, 第25回日本物理学会 年会 (1970/10)

河島信樹, 大藪修義: Neutral Sheet のモデル実験, 第 48 回地球電気磁気学会 (1970/11) 久保治也, 伊藤富造, 矢守章: プラズマ流と磁場との相互作用-プラズマ流の磁化, 日本物理学会講演 (1970/4)

久保治也, 矢守章, 伊藤富造, 太陽風-惑星相互作用における電場生成のモデル実験, 第47回日本地球電気磁気学会講演(1970/6)

昭和46年度

N. Kawashima: Neutral Point Discharge as a Simulation Experiment on Solar Terrestrial Plasmas, The 3rd U.S.-Japan Seminar on plasma physics held at University of California, Los Angeles, (1971/7)

大藪修義,河島信樹:Neutral Point Discharge,第26回物理学会予稿集(1971/9)

矢守章,河島信樹:直読式プラズマ密度計 (II),第26回物理学会予稿集(1971/9)

久保治也,河島信樹,伊藤富造:中性ガス塊とプラズマ流の相互作用(II)電離現象,第 26回物理学会予稿集(1981/9)

- 河島信樹,矢守章:電離層測定直読式プラズマ密度温度計の開発 (II),第 50 回地球電気 磁気学会 (1971/10)
- 河野汀,河島信樹,久保治也:定常プラズマと双極子磁場の相互作用(I),(II),第50回地球電気磁気学会(1971/10)
- 河野汀,河島信樹,久保治也,定常プラズマ流と双極磁場との相互作用,物理学会春の分 科会 (1971/6)
- H. Kubo, N. Kawashima, and T. Itoh: Interaction of Plasma Streams with a Neutral Gas Cloud, International Symposium of Theoretical and Applied Mechanics (1971/9)
- 河野汀,久保治也,河島信樹:定常プラズマ流と双極磁場との相互作用II,物理学会第26回年会(1971/10)
- 久保治也,河島信樹,伊藤富造:中性ガス塊とプラズマ流の相互作用II 電離現象,物理学会第26回年会(1971/10)

昭和47年度

- 久保治也,河島信樹,伊藤富造:中性ガス塊とプラズマ流との相互作用における Excitation Transfer,日本物理学会年会予稿集
- 河島信樹:電子ビームによる衛星電位制御によるプラズマパラメータの測定,地球電気磁気学会第51回講演会予稿集(1972/5)
- 河島信樹,大藪修義,岡村昇一:Neutral Sheet のモデル実験 (II),地球電気磁気学会第 52 回講演会予稿集 (1972/10)
- 佐々木進,河島信樹:電離層プラズマのイオンおよび中性粒子の温度測定装置の開発,日本物理学会第27回年会予稿集(1972/10)
- 河野汀, 岡村良, 河島信樹, 定常プラズマ流と双極子磁場との相互作用III, 日本物理学会第 27 回年会予稿集 (1972/10)
- 大藪修義,河島信樹,横田俊昭:磁気中性点におけるエネルギーの散逸,日本物理学会第 27回年会予稿集(1972/10)
- 木舟正: X線偏極度測定用ガス比例計数管の開発,日本物理学会第 27 回年会予稿集(1972/10)
- N. Kawashima: Observation of Anomalous Resistivity in a Neutral Point Discharge, Gorden Conference, Tilton (1972)

昭和48年度

- 大藪修義, 岡村昇一, 河島信樹: 磁気中性点における乱流加熱, 第 28 回日本物理学会予稿集 (1973/4), 70
- 河島信樹, 大藪修義, 岡村昇一: Neutral Sheet のモデル実験(III), 第 53 回日本地球電気 磁気学会予稿集 (1973/4), 23
- 河島信樹:実験室から見た宇宙空間におけるプラズマ加熱,プラズマ若手夏の学校(1973/8),107
- N. Kawashima, N. Ohyabu and S.Okamura: Laboratory Experiment on the Magnetic

- Energy Dissipation in the Neutral Sheet, IAGA, Program and Abstracts for the second General Scientific Assembly, (1973/9), 449
- 佐々木進,村里幸男,矢守章,河島信樹:K-10-10 による電離層イオン及び中性粒子温度の測定,第 54 回日本地球電気磁気学会予稿集 (1973/11),46
- 河島信樹:プラズマ銃による Controlled Magnetospheric Experiment の実験の可能性, 第 54 回日本地球電気磁気学会予稿集 (1973/11), 58
- 大藪修義, 佐々木進, 河島信樹: Delayed Emission at the Cyclotron Harmonics Triggered by a High Power Microwave Pulse, 日本物理学会秋の分科会予稿集 (1973/11), 85

昭和49年度

- 佐々木進,村里幸男,矢守章,小山孝一郎,河島信樹,平島邦雄:K-10-10号機によるイオン,中性粒子,電子温度の同時測定,日本地球電気磁気学会第55回講演会(1974)
- 河島信樹, 矢守章, 村里幸男, 佐々木進, 金子修, 岡村昇一:K-9 M-46 号機による Controlled Plasma Expriment, 日本地球電気磁気学会第 56 回講演会(1974)
- 佐々木進, 大藪修義, 河島信樹: Delayed Emissions of Cyclotron Harmonics Triggered by a High Power Microwave Pulse II, 日本物理学会 1974 春の分科会(1974)
- 岡村昇一,河島信樹,大藪修義:中性点放電によるダイバータ型プラズマインジェクタ, 日本物理学会 1974 春の分科会(1974)
- 河島信樹, 矢守章, 佐々木進, 岡村昇一, 村里幸男, 金子修: プラズマ銃を用いた電離層 における非線型現象励起実験, 日本物理学会第29回年会(1974)
- N. Kawashima and T. Obayashi: Controlled Plasma Experiment in the Ionosphere with a Plasma Gun, Presented at the 3rd NASA AMPS Working Group Meeting held at Johnson Spacecraft Center in December 2-4 (1974)
- N. Kawashima and T. Obayashi: Design of Throwaway Plasma Accelerator for the AMPS Experiment, Presented at the 3rd NASA AMPS Working Group Meeting held at Johnson Spacecraft Center in December 2-4 (1974)
 - Obayashi and N. Kawashima: Instrument Requirements and Operational Profile of Throw Away Plasma Accelerator (TAPAC), Presented at the 3rd NASA AMPS Working Group Meeting held at Johnson Spacecraft Center in December 2-4 (1974)
- 佐々木進,金子修,大藪修義,河島信樹:Delayed emissions of cyclotron harmonics triggered by a high power microwave pulse III, 日本物理学会第 29 回年会(1974)
- N. Kawashima, N. Ohyabu, S. Sasaki and O. Kaneko: Delayed Emission at Cyclotron Harmonics Triggered by a High Power Microwave Pulse, Presented at the 3rd Japan U.S. Seminar at Kyoto (1974)
- 岡村良,河島信樹:相対論的電子ビームとプラズマの相互作用,ビーム・プラズマ相互作用研究会(1975)於名大プラズマ研究所
- 河島信樹:中性点放電におけるプラズマ加熱,宇宙空間における電磁場によるプラズマ加 速研究会 (1975) 於 東京天文台

- T. Obayashi, N. Kawashima, K. Kuriki and M. Nagatomo: Controlled Active Experiment in Ionosphere and Magnetosphere with Plasma Accelerators On-Board the Spacelab, Presented at the 1st NASA AMPS Working Group Meeting held at Marschall Space Flight Center in August 6-8 (1974)
- T. Obayashi, N. Kawashima, M. Nagatomo and K. Kuriki: Design of High Power Plasma Gun for Space Shuttle AMPS Mission, Presented at the 2nd NASA AMPS Working Group Meeting held at Marschall Space Flight Center in September 18-20 (1974)
- T. Obayashi, N. Kawashima, M. Nagatomo and K. Kuriki: Instrument Requirements for AMPS Plasma Accelerator Experiment, Presented at the 2nd NASA AMPS Working Group Meeting held at Marschall Space Flight Center in September 18-20 (1974)
- T. Obayashi, N. Kawashima, M. Nagatomo, and K. Kuriki: Instrument/Experiment Operations and Operational Requirements for AMPS Plasma Accelerator Experiment, Presented at the 2nd NANA AMPS Working Group Meeting held at Marschall Space Flight Center in September 18-20 (1974)

昭和50年度

- 大藪修義, 岡村昇一, 河島信樹:Current Sustaining in Tokamak, 日本物理学会 1975 年春の年会(1975)
- 金子修,佐々木進,真瀬寛,河島信樹:回転プラズマを用いた質量分離実験,日本物理学会 1975 年春の年会 (1975)
- 岡村良,河島信樹,大藪修義:相対論的大電流電子ビームによるプラズマ加熱,日本物理 学会 1975 年春の年会 (1975)
- 佐々木進, 金子修, 大藪修義:Delayed Emission Triggered by a High Power Microwave Pulse (IV), 日本物理学会 1975 年春の年会 (1975)
- 河島信樹,長友信人,栗木恭一,大林辰蔵:スペースシャトルを利用したプラズマ実験計画(I),日本物理学会1975年春の年会(1975)
- 佐々木進,金子修,河島信樹:Delayed Emission Triggered by a High Power RF Pulse, 日本地球電磁学会第 57 回講演会(1975)
- 河島信樹,佐々木進,矢守章,金子修,村里幸男:プラズマ銃を用いた電離層中の Controlled Experiment (II),日本地球電磁気学会第57回講演会(1975)
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:REBによるプラズマ加熱実験,ビームによる加熱研究会 (1975) 於 名大プラズマ研究所
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:相対的大電流電子ビームによるプラズマ加熱,日本物理学会 1975 秋の分科会 (1975)
- 金子修,佐々木進,真瀬寛,河島信樹:回転プラズマを用いた質量分離実験,日本物理学会 1975 秋の分科会 (1975)
- 佐々木進,金子修,大藪修義,河島信樹:Delayed Emission Excited by a High Power

Microwave Pulse (V), 日本物理学会 1975 秋の分科会(1975)

- 河島信樹,長友信人,栗木恭一,大林辰蔵:スペースシャトルを用いた宇宙空間プラズマ 実験,日本理学会1975秋の分科会(1975)
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:相対論的大電流電子ビームとプラズマ加熱の相互作用,日本地球電磁気学会第58回講演会
- 佐々木進,金子修,戸沢洋二,河島信樹: Delayed Emission Excited by a High Power Microwave Pulse (II),日本地球電磁気学会第58回講演会
- 河島信樹,佐々木進,矢守章,金子修,材里幸男,萩原通伸,大林辰蔵:プラズマ銃を用いた電離層中の Controlled Experiment (III),日本地球電磁気学会第58回講演会
- 岡村昇一,河島信樹:磁気中性点放電の実験室実験,オーロラフレアーと太陽フレアー 1975 年度研究会

昭和51年度

- 岡村昇一,河島信樹:中性点放電によるダイバータ型プラズマインジェクタ II,日本物理学会第31回年会予稿集(1976/4)
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:大強度相対論的電子ビームとプラズマの相互作用,日本物理学会第31回年会予稿集(1976/4)
- 金子修,佐々木進,河島信樹,真瀬寛:回転プラズマを用いた質量分離実験,日本物理学会第31回年会予稿集(1976/4)
- 河島信樹,佐々木進,岡村良,中村幸男,大林辰蔵:相対論的大電流電子ビームを用いた 宇宙空間での Active Experiment,第 59 回日本地球電磁気学会予稿集(1976/5)
- 金子修,中村幸男,佐々木進,久保治也,村里幸男,河島信樹:電子ビーム放出によるロケット電位制御実験(K-10-11, K-10-12),第59回日本地球電磁学会予稿集(1976/5)
- 河島信樹:スペースプラズマの実験室シミュレーション,プラズマ研究所研究会報告書 (1976/5)
- 岡村昇一,河島信樹,中村幸男,河島信樹:中性点放電によるダイバータ型プラズマイジェクタ III相対論的電子ビームと強磁場との相互作用実験,日本物理学会 1976 年の分科会予稿集 (1976/10)
- 佐々木進,金子修,中村幸男,河島信樹,久保治也,宮武貞夫:ロケット搭載電子銃の装置を用いた電離層プラズマと電子ビームとの相互作用実験,日本物理学会 1976 年秋の分科会予稿集 (1976/10)
- 佐々木進,戸沢洋二,河島信樹,鶴岡重信:ロケット搭載用電子銃装置を用いた室内実験, 第60回日本地球電磁気学会予稿集(1976/10)
- 金子修,佐々木進,河島信樹:K-9M-57号機による電離層への大出力電子ビーム放出実験,第60回日本地球電磁気学会予稿集(1976/10)
- 河島信樹:Space Shuttle 加速器実験, MAP 計画会議および特別シンポジウム成層圏, 中間圏・大気の変動と汚染の影響(1976/11)

昭和52年度

岡村昇一,河島信樹:ダイバーター型プラズマインジェクターIV,日本物理学会年会(山口)

予稿集(1977/4)

- 河島信樹,佐々木進,金子修:ロケットによる電離層プラズマへの電子ビーム放出実験, 日本物理学会春の分料会(山口)(1977/4)
- 佐々木進、岡村良、金子修、河島信樹、栗木恭一、中丸邦男、大林辰蔵:NASA 大型スペースチェンバー($17 \,\mathrm{m}\,\phi$ 、 $27 \,\mathrm{mh}$)における電子ビーム・プラズマ相互作用実験、日本物理学会 1977 年春の分科会予稿集(1977/4)
- 佐々木進,河島信樹,栗木恭一,中丸邦男,長友信人,大林辰蔵:NASA-JSC 大型スペースチェンバーにおける電子ビーム放出実験,日本地球電磁気学会,第61回講演会講演予稿集(1977/5)
- 河島信樹,佐々木進,金子修:K-9M-58 号機による電離層への大出力電子ビーム放出実験,日本地球電磁気学会(東京)(1977/5)
- 中村幸男,河島信樹:REBと強磁場の相互作用実験(II),日本物理学会 予稿集(1977/10)
- 岡村昇一, 別生栄, 河島信樹: ダイバーター型プラズマインジェクター V, 日本物理学会 32 回年会(東京)予稿集(1977/10)
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:短パルス REB とプラズマの相互作用,核融合連合講演会予稿集(1978/2)
- 岡村昇一,大藪修義,別生栄,河島信樹:磁気中性点,加熱を利用したダイバーター型プラズマイジェクター,核融合連合講演会予稿集(1978/2)

昭和53年度

- 中村幸男,河島信樹:短パルス REB と強磁場との相互作用III,日本物理学会春の年会 (1978)
- 別生栄, 岡村昇一, 河島信樹: 直線ダイバーター型プラズマ加熱装置, 日本物理学会春の年会(1978)
- 佐々木進,金子修,河島信樹:宇宙研大型スペースチェンバーにおける電子ビーム放出実験,日本地球電磁気学会第63回講演会(1978)
- 河島信樹, 栗木恭一, 江尻全機, 荒木哲夫, 佐々木進, 矢守章, 中丸邦男, 長友信人, 大林辰蔵, 工藤勲:宇宙開発事業団筑波大型チェンバーにおけるスペースシャトル搭載用粒子加速器 (SEPAC) 実験, 日本地球電磁気学会第63回講演会 (1978)
- 中村幸男,河島信樹:短パルス REB と強磁場との相互作用,核融合研究別冊 vol.41-1 43 (1979)
- 村川漿, 別生栄: He-IIのスペクトルのシュタルク・シフトの実験, 核融合研究別冊 2 Vol.40 93 (1978)
- 佐々木進,金子修,八木康之,矢守章,河島信樹,大林辰蔵:スペースジャトルを用いた 宇宙空間での電子ビーム放出実験,日本物理学会1978年秋の分科会予稿集
- 河島信樹,佐々木進,金子修:K-9 M-61 号機による電離層プラズマ中への電子ビーム放出 実験,日本地球電磁気学会第 64 回講演会(1978)
- 河島信樹, 佐々木進, 金子修:電子ビーム放出によるシース生成のシミュレーション実験,

- 日本地球電磁気学会第64回講演会(1978)
- 河島信樹,佐々木進,金子修:高エネルギー電子ビーム放出によるオーロラシミュレーション実験,南極資料第63号,p42(1979)
- N. Kawashima, Y. Murasato: Controlled Beam Experiment for Genetation of Plasma Waves, Proc. of International Workshop on Magnetospheric Physics, Tokyo (1979) 昭和 54 年度
- 久保治也,向井利典,河島信樹,蟻川達男:"JIKIKEN"による高エネルギー粒子の観測, 日本地球電気磁気学会第 65 回講演会(1979/5)
- 久保治也,向井利典,河島信樹: "JIKIKEN"による荷電粒子の観測-L-MLT座標上の分布,日本地球電気磁気学会第66回講演会(1979/10)
- 佐々木進,八木庫之,矢守章,河島信樹,大林辰蔵:スペースシャトルからの大出力電子 とビームと宇宙空間プラズマとの相互作用の研究,日本物理学会第35年会予稿集 (1980/3)
- 中村幸男,河島信樹:強磁場ミラーへの REB 入射,日本物理学会春の分科会予稿集 (10980/3)
- 別生栄,河島信樹: Experiment on Merging of Two Current-Carrying Plasma Columns, 日本物理学会春の分科会予稿集(1980/3)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 久保治也, 向井利典, 江尻全機, 森岡昭, 大家寛, 宮武貞夫, 松本紘:科学衛星「JIKIKEN」からの電子ビーム放出とブラズマの相互作用-II, 日本物理学会 1980 年 3 月第 35 回年会予稿集
- 河島信樹,佐々木進,八木康之,赤井和憲,中井豊:極域における電子ビームを用いた Active Experiment (計画),極域における電離圏。磁気圏総合観測シンポジウム予稿集 (1980/3)
- 別生栄,河島信樹,佐々木進:スペースシャトル帯電現象のシュミレーション実験,日本地球電磁学会第66回講演予稿集(1979/10)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 久保治也, 向井利典, 江尻全機, 森岡昭, 大家寛, 宮武貞夫, 松本紘: "JIKIKEN"電子ビーム放出により磁気圏プラズマとの相互作用(I) (II), 惑星プラズマ圏および磁気圏研究会 (1979/10)
- 佐々木進,田村定三,広田実,菊地弘,河島信樹:衛星電位制御実験,日本大学理工学部 学術講演会予稿集(1979/11)
- 矢守章,河島信樹,広田実,山崎浩,田村定三,渡辺伸二,菊地弘:スペースシャトルの 電気的中性化(II),日本大学理工学部学術講演会予稿集(1979/11)
- Y. Nakamura and N. Kawashima: Efficient Transmission of Relativistic Electron Beam (REB) through a Strong Magnetic Field in Gases, J. J. Appl. Phys. Vol. 19 (1980), February, PL 119
- 中村幸男,河島信樹:強磁場ミラーへの REB 入射,日本物理学秋の分科会予稿集(1979/10)
- 佐々木進、金子修、河島信樹、大林辰蔵:スペースシャトルからの大電力電子ビーム放出

- と宇宙空間プラズマとの相互作用、日本物理学会秋の分科会予稿集(1979/10)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 久保治也, 向井利典, 江尻全機, 森岡昭, 大家宏, 宮武貞夫, 松本紘: 科学衛星「JIKIKEN」からの電子ビーム放出とプラズマの相互作用-I, 日本物理学会秋の分科会予稿集(1979/10)
- 別生栄,河島信樹: Merging Tokamak の基礎実験,日本物理学会秋の分科会予稿集 (1979/10)
- 八木康之,佐々木進,金子修,河島信樹:宇宙空間における帯電現象,日本地球電磁気学 会第 66 回講演予稿集(1979/10)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 久保治也, 向井利典, 江尻全機, 森岡昭, 大家寛, 宮武貞夫, 松本紘:磁気圏における電子ビーム放出実験-II (JIKIKEN…CBE), 日本地球電磁気学会第66回講演予稿集(1979/10)
- 中村幸男,河島信樹:ガス中における REB の伝播特性,日本物理学会春の分科会予稿集 (1979/4)
- 別生栄, 岡村昇一, 河島信樹: プラズマ柱の merging, 日本物理学春の分科会予稿集 (1979/4)
- 別生栄, 河島信樹: 太陽フレアーのシュミレーション実験, 日本地球電磁学会第 65 回講演 予稿集(1979/4)
- 佐々木進,矢守章,八木康之,河島信樹,大林辰蔵,金子修:高エネルギー電子ビームを 用いたロケット実験(帯電現象),日本地球電磁気学会第65回講演予稿集(1979/4) 昭和55年度
- 平尾邦雄,河島信樹,小山孝一郎,佐々木進,渡辺勇三,八木康之,赤井和憲,中井豊, 大林辰蔵:K-9 M-69 号機及び S-520-2 号機 Tethered Payload Experiment,日本地 球電磁学会第 68 回講演会予稿集(1980/11)
- 佐々木進,小山孝一郎,高橋邦明,河島信樹:宇宙空間における帯電現象の研究,日本地球電磁会学会第 67 回講演会予稿集(1980/5)
- 矢守章, 佐々木進, 河島信樹, 大林辰蔵: Space Shuttle からの大出力電子ビーム放出 (SEPAC 計画) の室内シミュレーション実験, 日本物理学会秋の分科会予稿集 (1980/10)
- 矢守章, 佐々木進, 河島信樹:Space Shuttle リターン電流のシミュレーション実験, 日本地球電磁学会第 67 回講演会予稿集(1980/5)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 大家寛, 森岡昭, 宮武貞夫, 松本紘, 江尻全機: 科学衛星 "JIKIKEN" (EXOS-Bからの電子ビーム放射による宇宙プラズマとの相互作用, 日本物理学会秋の分科会予稿集 (1980/10)
- 河島信樹,牛越淳雄,村里幸男,久保治也,向井利典,江尻全機,大家寛,森岡昭,松本 紘,宮武貞夫:磁気圏における電子ビーム放射実験-III (JIKIKEN-CBE),日本地球電 気磁気学会第67回講演会予稿集(1980/5)
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 大家寛, 森岡昭, 松本紘, 宮武貞夫, 江尻全機: 磁気圏 における電子ビーム放射実験-IV (JIKIKEN-CBE), 日本地球電気磁気学会第 68 回講演

会予稿集 I-64, p.64 (1980/11)

- 久保治也,向井利典,河島信樹: "JIKIKEN" (EXOS-B) による荷電粒子の観測 (ESP), 日本地球電磁気学会第 68 回講演会 (1980/11)
- 久保治也,向井利典,河島信樹:JIKIKEN による荷電粒子の観測,磁気圏プラズマ構造と ダイナミックスに関するシンポジウム(1980/12 京都)

昭和56年度

- 八木康之,河島信樹:「Merging Tokamak」の基礎実験,昭和 56 年物理学会秋の分科会 講演
- 大林辰蔵,河島信樹,栗木恭一,長友信人,二宮昭雄,後川昭雄,佐々木進,柳澤正久, 工藤勲,江尻全機:SEPAC 科学実験計画,日本地球電気磁気学会第 69 回講演会予稿集 (1981/5) 141
- 平尾邦雄,河島信樹,小山孝一郎,佐々木進,渡辺勇三,赤井和憲,中井豊,大林辰蔵,横田俊昭,J. Raitt, P. Banks, R. Williamson, B. Denig:S-520-2 号機ワイヤ連結型親子ロケット分離実験,日本地球電気磁気学会総会第70回講演会講演予稿集(1981/10)
- K. Hirao, T. Obayashi, N. Kawashima, K. Oyama, S. Sasaki, Y. Murasato, S. Sharp, P. Banks, J.W. Raitt, W.F. Denig and P.R. Williamson: US-Japan Tether Payload Experiment, 日本地球電気磁気学会総会第70回講演会講演予稿集(1981/10)II-7
- 八木康之,河島信樹,別生栄:2本のプラズマ柱のマージング実験,日本地球電気磁気学会学術講演予稿集(1981/5)
- 佐々木進,小山孝一郎,中井豊,河島信樹,横田俊昭:飛翔体搭載用小型テレビカメラの開発,日本地球電気磁気学会学術講演予稿集(1981/5)
- 佐々木進,高橋邦明,矢守章,河島信樹:電子ビームによる Beam Plasma Discharge (BPD) 研究,日本物理学会学術講演予稿集 (1981/10)
- 河島信樹,佐々木進:電子ビームを用いた宇宙でのアクティブ実験の問題点,日本物理学会学術講演予稿集(1981/10)
- 八木康之,河島信樹,別生栄:Merging Tokamak の基礎実験,日本物理学会学術講演予稿集(1981/10)
- 佐々木進,高橋邦明,河島信樹:宇宙空間での電子ビームによる BPD (Beam Plasma Discharge) の研究,日本地球電気磁気学会学術講演予稿集 (1981/10)

昭和57年度

- 小山孝一郎, 平尾邦雄, 河島信樹, P. Banks, R. Wiliamson and J. Raitt:スペースステーションによる紐つき衛星の実験,スペースステーションシンポジウム講演集(1982/11) 38-40 (航技研, 宇宙研, 宇宙開発事業団, 経団連, 宇宙開発推進本部)
- 大林辰蔵,河島信樹,栗木恭一,長友信人,二宮敬虔,佐々木進,柳沢正久,江尻全機, 工藤勲,中村嘉宏:第3回NASDA/SEPAC実験総合報告,日本地球電気磁気学会第71 回講演会予稿集(1982/5)86
- 矢守章,河島信樹,佐々木進,大林辰蔵:第3回NASDA/SEPAC帯電実験報告,日本地

球電気磁気学会第71回講演会予稿集(1982/5)87

- 鶴田浩一郎,西田篤弘,早川基,松本紘,佐々木進,森岡昭,小川俊雄:K-9M-73 号機によるワイヤーアンテナの伸展及びワイヤーアンテナによる電場の計測,日本地球電気磁気学会第71回講演会予稿集(1982/5)91
- 佐々木進,小山孝一郎,鶴田浩一郎,河島信樹,横田俊昭:K-9M-73 号機 CCDTV カメラ によるワイヤーアンテナの観測結果,日本地球電気磁気学会第 71 回講演会予稿集(1982/5) 92
- 大林辰蔵, 江尻全機, 佐々木進, 小林健三, 堀輝久, 吉武清武, 桐生力夫:スペースシャトル搭載オーロラ観測用低照度 TV カメラ, 電気学会, 光応用視覚研究会資料(1982/1) 佐々木進, 小山孝一郎, 鶴田浩一郎, 河島信樹, 横田俊昭: K-9M-73 号機 CCDTV カメラによるワイヤーアンテナの観測結果, 地球電気磁気学会第 71 回講演会予稿集 (1982/5) 高橋邦明, 佐々木進, 河島信樹:電子ビームによる Beam-Plasma-Discharge の研究, 日
- 本地球電気磁気学会第 71 回講演会(1982/5) 八木康之,別生栄,河島信樹:二本のプラズマ電流の Merging の研究,日本地球電気磁気 学会第 71 回講演会(1982/5)
- 八木康之,別生栄,河島信樹:二本の平行プラズマ電流のマージング過程における field line reconnection,日本地球電気磁気学会第71回講演会(1982/5)
- 佐々木進,高橋邦明,河島信樹,大林辰蔵:スペーシャトル SEPAC 実験での Beam Plasma Discharge と帯電の研究,日本地球電気磁気学会第71回講演会 (1982/5)
- 高橋邦明,佐々木進,河島信樹:電子ビームによる Beam-Plasma-Discharge の研究,日本地球電気磁気学会第 72 回講演会(1982/10)
- 八木康之,別生栄,河島信樹:二本の平行プラズマ電流による field line reconnection,日本地球電気磁気学会第72回講演会(1982/10)
- 赤井和憲,河島信樹,村里幸男:じきけん(EXOS-B)電子ビーム実験における波動励起, 日本地球電気磁気学会第 72 回講演会 (1982/10)

5-2 和文学術論文

- 河島信樹: ダブル・プローブによるプラズマ流のイオン温度測定, 核融合研究, **15**, (1965) 423
- 河島信樹: Magnetic Cavity に侵入するプラズマに関するモデル実験, 天体プラズマ箱根研究会, (1966) 69
- 河島信樹:宇宙空間プラズマ諸現象のモデル実験,日本物理学会誌,21,424
- 河島信樹, 森茂: Multipole 磁場 Current Hoops の Levitation, 核融合研究, 23, (1969)
- 河島信樹:太陽プラズマと地球磁場の相互作用, 78, (1969) 219
- 河島信樹:地球磁場と太陽プラズマ流の相互作用に関するモデル実験,電波研季報,15,(1969)
- 河島信樹,森茂:Linear Plasma Current Multipole Experiment,核融合研究,24,(1970)

201

- 久保治也,矢守章,伊藤富造,河島信樹:宇宙空間プラズマ実験用高密度プラズマ発生装置,東大宇宙航空研究所報告,**6**,(1970)232
- 河島信樹, 大藪修義:Neutral sheet の Model 実験, スペースプラズマ研究会東大宇宙研, (1979-44
- 河島信樹:宇宙空間プラズマ現象のシュミレーション実験,超高温研究,7,(1970) 121 矢守章,河島信樹:直読式プラズマ密度温度計の開発,東大宇宙研報告,7,(1971) 192 大藪修義,河島信樹:太陽フレアおよび Neutral Sheet のモデル実験,東大宇宙研報告, 7,(1971) 217
- 大藪修義,河島信樹: Neutral Sheet Pinch Experiment,核融合研究, **26**, (1971) 274 矢守章,河島信樹:直読式プラズマ密度温度計,核融合研究, **27**, (1971) 96
- 矢守章,河島信樹:電離層観測用直読式プラズマ密度温度計の開発(II),東大宇宙研報告, 8,(1972) 181
- 久保治也,河島信樹,伊藤富造:太陽風と惑星大気との相互作用のモデル実験,東大宇宙研報告,8,(1972)202
- 大藪修義,河島信樹,横田俊昭:太陽フレアおよび Neutral Sheet のモデル実験,東大宇宙研報告, 8, (1972) 210
- 久保治也,河島信樹,伊藤富造:プラズマ流と中性ガス塊の相互作用に於ける電離機構と Excitation transfer,核融合研究, 27, (1972) 243
- 河島信樹:宇宙空間プラズマ諸現象のシュミレーション実験,超高温研究,7,(1972)121
- 河島信樹:定常プラズマ流と双極磁場との相互作用,超高温研究,7,(1972)121
- 村川慧:アルゴン、プラズマの分光学的研究、東大宇宙研報告、8、(1972)
- 大藪修義:大出力マイクロ波を利用した Turbulent Heating, 核融合研究, 27, (1972)252
- 河島信樹:荷電粒子流を用いた衛星電位制御による磁気圏惑星間空間のプラズマパラメータ測定法,東大宇宙研報告, 9, (1973) 451
- 河島信樹, 大藪修義, 岡村昇一: Neutral Point Discharge を利用した Divertor 型 Plasma Injecter, 核融合研究, **29**, (1973) 330
- 大藪修義, 岡村昇一, 河島信樹, 横田俊昭:太陽フレアおよび Neutral Sheet のモデル実験 (III), 東大宇宙研報告, 9, (1973) 488
- 佐々木進,小山一郎,村里幸男,矢守章,河島信樹,平尾邦雄:K-10-10号機による下部 電離層のイオン及び中性大気温度の同時測定,東大宇宙研報告,10,(1974)551
- 佐々木進,金子修,大藪修義,河島信樹: Delayed Emission triggerd by a High Power Microwave Pulse,東大宇宙研報告, 10, (1974) 695
- 大藪修義, 岡村昇一, 河島信樹: Strong Ion Heating in a Magnetic Neutral Point Discharge, 核融合研究, 31, (1974) 193
- 河島信樹,長友信人,栗木恭一:宇宙推進用動力源としての核融合,核融合研究,**31**,(1974) 244
- 河島信樹:実験室から見た宇宙空間におけるプラズマ加熱、プラズマ夏の学校講演集

- 岡村昇一, 大藪修義, 河島信樹: Neutral Point Discharge を利用した Divertor 型 Plasma Injecter: II, 核融合研究, 32, (1974) 74
- 岡村昇一, 大藪修義, 河島信樹, 横田俊昭:太陽フレアおよび Neutral Sheet のモデル実験IV, 東大宇宙研報告, 10, (1974) 621
- 河島信樹,村里幸男,矢守章,佐々木進,岡村昇一,金子修:K-9M-46号機によるプラズマ銑を用いた電離層中の制御実験計画,東大宇宙観測シンポジウム別刷,(1974)(6月)
- 大藪修義, 岡村昇一, 河島信樹: Strong Ion Heating in a Magnetic Neutral Point Discharge, 核融合研究, 31, (1974) 193
- 河島信樹,村里幸男,木舟正:ワイヤーカッターBの信頼性について,東大宇宙観測シンポジウム別刷,(1974)(6月)
- 佐々木進,村里幸男,河島信樹,小山孝一郎,矢守章,平尾邦雄:K-10-10号機による下部電離層のイオン及び中性大気温度の同時測定,宇宙研報告,10,(1974)
- 佐々木進, 大藪修義, 金子修, 河島信樹: Delayed Emission Triggerd by a High Power Microwave Pulse, 宇宙研報告, 10, (1974)
- 岡村良,大藪修義,河島信樹:相対論的大電流電子ビームによるプラズマ加熱,核融合研究,33,(1975)165
- 岡村良,中村幸男,河島信樹:相対論的大電流電子ビームの相互作用,東大宇宙研報告, 11,(1975)737
- 佐々木進,金子修,大藪修義,河島信樹: Delayed Emission Excited by a High Power Mirowave Pulse,核融合研究, 34, (1975) 295
- 佐々木進,金子修,戸沢洋二,河島信樹: Delayed Emission Excited by a High Power Microwave Pulse II, 東大宇宙研報告, 11, (1975) 747
- 金子修,佐々木進,真瀬寛:回転プラズマによる質量分離の研究,東大宇宙研報告,12, (1976) 679
- 大林辰蔵, 竹内一, 木村磐根, 河島信樹, 大家寛, 槇野文命, 西田篤弘:磁気圏・スペースプラズマ研究, 宇宙研報告, 12, (1976)
- 矢守章, 萩原通伸, 金子修, 佐々木進, 河島信樹:ロケット搭載用大出力電子銃装置, 東大宇宙研報告, 13, (1977) 645
- 佐々木進,河島信樹,栗木恭一,中丸邦男,長友信人,大林辰蔵:スペースシャトル搭載 用電子加速器を用いた大型スペースチェンバー(宇宙研及び NASA)における室内実験, 東大宇宙研報告,13,(1977)1003
- 河島信樹:相対論的大電流電子ビーム (REB) とその応用,レーザー研究, 6, (1978) 124 河島信樹,佐々木進,金子修:高エネルギー電子ビーム放出によるオーロラシュミレーション実験,南極資料 NO.63, (1979) 42
- 萩原通伸,佐々木進,河島信樹:小型電子銃を用いた電子ビームによる帯電実験,東大宇宙研報告,14,(1978)719
- 杉森欣三,伊藤圭次郎,岡村良,河島信樹:スペースシャトルによる宇宙実験用電子銃装置,電気学会電子装置研究会資料 資料番号 EDD-78(1978)116

- 河島信樹:惑星探査ミッションにおける一般相対論検証実験の提案, (1979/9)
- 別生栄,河島信樹:二つのプラズマ柱のマージング,核融合研究,41,(1979)553
- 佐々木進,田村定二,八木康之,菊地弘,河島信樹:電子エミッターを用いた衛星帯電中和の研究,東大宇宙研報告,15,(1979)525
- 別生栄,河島信樹:太陽フレアーのシュミレーション実験-2つのプラズマ柱のマージング,東大宇宙研報告,**15**,(1979)187
- 河島信樹, 牛越淳雄, 村里幸男, 江尻金機, 森岡昭, 大塚寛, 宮武貞夫, 松本紘: 科学衛星 JIKIKED (EXOS-B) における電子ビーム放出実験, 東大宇宙研報告, **15**, (1979) 767
- 久保治也,向井利典,河島信樹:科学衛星 JIKIKEN (EXOS-B) による荷電粒子の観測, 東大宇宙研報告, 15, (1979) 751
- 中村幸男,河島信樹:ガス中における相対論的電子ビームの伝播特異性,核融合研究,41,(1979)519
- 中村幸男,河島信樹:強磁場中における相対論的電子ビームの伝播,東大宇宙研報告, 15, (1979) 573
- 佐々木進,金子修,矢守章,八木康之,河島信樹,大林辰蔵:ロケット搭載大出力電子銃 装置を用いた Active Experiment,南極資料 68 号,(1980) 161
- 大林辰蔵, 林友直, 後川昭雄, 河島信樹, 井上浩三郎, 河端征彦, 大家寛:第6号科学衛星「じきけん」, 東大宇宙研報告, **16**, (1980) 71
- 河島信樹:宇宙と磁気,応用磁気講算会資料,(1981)65
- 河島信樹:人工衛星やスペースシャトルによる宇宙科学研究に用いられるセンサ,電気学会研究会資料,電子デバイス研究会 EDD-81-70-72 (1981) 1
- 河島信樹:人工衛星・スペースシャトルのセンサ、センサ技術時代、(1981) 224
- 河島信樹:宇宙への夢,技術・家庭教育,32,(1981)
- 河島信樹:身近かになった宇宙,物理 NO.12 (数研,教材研究),(1982) 1
- 河島信樹,中井豊:惑星探査ミッションにおける重力波検出の可能性,宇宙科学研究報告 5号,(1982) 1
- 河島信樹, 佐藤禎司, 胡間圭二, 岡村良: 粒子加速器による宇宙実験, 東芝レビュー, 37, (1982) 1
- 河島信樹: Drag-free の人工衛星と一般相対論の検証実験,日本物理学会誌,37, (1982) 357
- 河島信樹:人工オーロラを作り出す SEPAC 計画,天文と宇宙 (1982)
- 河島信樹:宇宙における一般相対論の検証実験、自然2月号、(1983) 56
- 佐々木進,田沢仁志,河島信樹,堤井信力:飛翔体帯電に伴う電離現象の実験的研究,宇宙研報告11号,(1983)
- 中井豊,河島信樹:Drag-Free 衛星を用いた一般相対論検証実験の可能性,宇宙研報告 13

号, (1983)

河島信樹:磁気中性点における Magnetic Field Dissipation (Tokamak プラズマ及び宇宙プラズマへの応用),昭和55~57年度科学研究費補助金 (一般 B)研究成果報告書, (1983)

5-3 英文学術論文

- N. Kawashima and K. Hirao: Ion Temperature Measurents in the Ionosphere by K -9M-22 (I), JAERI-memo, 2551, 1966
- N. Kawashima: Demodulation of Amplitude Modulated RF Waves in a Plasma at Resonance: Radio Science, 3, 4, 377-381, 1968
- N. Kawashima: Analysis of Fluctuation in the Magnetic Field obtained by IMP-11, GSFC, 1968
- N. Kawashima and S. Mori: Experimental Study of Forces on a Body in a Magnetized Plasma Stream, AIAA Journal, 6, 1, 110-113, 1968
- N. Kawashima and S. Mori: Levitation of Current Carrying Hoops of Quadrupole Magnetic Field for Thermonuclear Fusion Device, J, Nucl. Sci. Technol., 6, 9, 526-530, 1969
- N. Kawashima: Analysis of Fluctuations in the Interplanetary Magnetic Field Obtained by IMP 2, J. Geophys. Res., 74, 1, 225-230, 1969
- N. Kawashima: Linear Plasma Current Multipole Experiment, Plasma Phys., **12**, 203 –204, 1970
- H. Kubo, N. Kawashima and T. Itoh: Interaction of Plasma Streams with a Neutral Gas Cloud, Plasma Phys., 13, 131-140, 1970
- H. Kubo, N. Kawashima and T. Itoh: Simulation Experiment on the Tail of Type 1 Comets, J. Geophys. Res., 75, 10, 1937-1939, 1970
- M. Kono and H. Kuno: Steady-State Plasma Production Device dy Direct Current Discharge, ISAS Report., No. 446, 1970
- H. Kubo, T. Itoh and A. Yamori: Laboratory Experiment on the Solar Wind Interaction with Planetary Bodies, Rep. Ions. Space Res. Japan, 24, 313, 1970
- N. Kawashima: Characteristics of Intruding Plasma in a Simulated Magnetoshere, Cosmic Electrodynamics, 1, 415-427, 1971
- N. Kawashima and N. Ohyabu: Neutral Point Discharge as Simulation Experiment of Solar and Terrestrial Plasmas, ISAS Report, 414, 1971
- N. Kawashima and A. Yamori: Direct-Display of Plasma Density and Temperature, J. appl. Phys., **42**, 13, 5400-5403, 1971
- H. Kubo, T. Itoh and A. Yamori: Laboratory Experiment on the Solar Wind Interaction with Planetary Bodies, ISAS Report, No. 458, 1971
- N. Kawashima: Use of an Electron Beam for Low-temperature Plasma Measurement

- in the Magnetosphere and Interplanetary Space, J. Geophys. Res., 77, 34, 6896-6899, 1972
- M. Kono, N. Kawashima and H. Kubo: Interaction of a Steady Plasma Flow with a Dipole Magnetic Field in the Presence of a Radial Electric Field, Rep. lonos. Space Res, 102-105, 1972
- T. Kifune and N. Kawashima: Windowless Proportional Counter for Soft X-rays, Nucl. Instruments & Methods, 103, 1, 167-168, 1972
- N. Kawashima and A. Yamori: Direct-Display Plasma Density and Temperature Meter by the Use of Langmuir Probe, J. J. Appl. Phys. 12, 8, 1227-1231, 1972
- H. Kubo: Excitation Transfer in Gas Cloud-Plasma Stream Interaction,: Physics Letters, **39A**, 67, 1972
- N. Ohyabu and N. Kawashima: Neutral Point Discharge Experiment, J. Phys. Soc. Japan 33, 2, 496, 1972
- T. Kifune: Development of S-ray Polarimeter by Detecting Secodary Florecent X-rays, ISAS Report, No. 489, 1972
- M.J. Lighthill, I. Imai and H. Sato: Dynamics of Ionized Gases, Proceedings of the International Symposium on Dynamics of Ionized Gases, 509-522, 1973
- N. Ohyabu and N. Kasashima: Anomalous Resistivity in a Magnetic Neutral Point, ISAS Report, 512, 173-179, 1974
- N. Ohyabu, S. Sasaki, N. Kawashima: Delayed Emission of Cyclotron Harmonics Triggered by a High-Power Microwave Pulse, Phys. Rev. letters, **33**, 6, 344-346, 1974
- N. Ohyabu, S. Okamura, and N. Kawashima: Strong Ion Heating in a Magnetic Neutral Point Discharge, Phys. Fluids, 17, 11, 2009-2013, 1974
- N. Ohyabu, S. Okamura, and N. Kawashima: Simulation Experiment of the Current Dissipation and Plasma Acceleration in the Neutral Sheet, J. Geophys. Res., **79**, 13, 1977–1979, 1974
- S. Okamura, N. Ohyabu, N. Kawashima: A Hot-Plasma Injector Using a Divertor Based on the Magnetic-Neutral-Point Discharge, Nucl, Fusion, 15, 207-212, 1975
- S. Sasaki and N. Kawashima: Rocket Measurement of Ion and Neutral Temperatures in the Lower Ionosphere, J. Geophys. Res. 80, 19, 1824-2828, 1975
- R. Okamura and N. Kawashima: Plasma Heating by a Short Pulse Width Relativistic Electron Beam, Phys. Letters, **54A**, 1, 101-102, 1975
- T. Obayashi, N. Kawashima, K. Kuriki and M. Nagatomo: Space Shuttle: Amps Mission Space Experiment with Plasma Accelerators (SEPAC), Rep. Ionos. Space res. Japan, 29, 105-117, 1975
- N. Kawashima and T. Obayashi: Space Experiment with Plasma Accelerators (SEPAC) for AMPS-Space Shuttle Project II-Design of Plasma Accelerators and

- Preliminary Test of Throw-Away Plasma Accelerators, Proceedings of the Eleventh International Symposium on space Technology and Science, 1013-1018, 1975
- R. Okamura, Y. Nakamura and N. Kawashima: Microwave Emission from the Magnetized Plasma Heated by a Short Pulse Width Relativistic Electron Beam, Research Note, No. 2, 1975
- S. Sasaki, N. Ohyabu, O. Kaneko and N. Kawashima: Delayed Emission Excited by a High Power Microwave Pulse, Research Note, No. 10, 1975
- S. Sasaki, N. Ohyabu, O. Kaneko, and N. Kawashima, Delayed Emission Excited by a High Power Microwave Pulse, Phys. Fluids, 19, 6, 906-911, 1976
- R. Okamura, Y. Nakamura, and N. Kawashima: Microwave Emission from a Magnetized Plasma Heated by a Short-Pulsewidth Relativistic Electron Beam, Phys. Letters, 28, 12, 701-703, 1976
- Y. Kiwamoto, N. Kawashima, and T. Obayashi: Propagation and Expansion of an Electon Beam Ejected from the Space Shuttle into the Ionosphere, ISAS Res. Note, 19, 1976
- N. Kawashima, S. Sasaki, O. Kaneko and A. Yamori: Controlled Plasma Experiment in the Ionosphere with a Plasma Gun, Research Note, No. 17, 1976
- R. Okamura, Y. Nakamura and N. Kawashima: Experiments on the Interaction of a High-Intensity Short Pulswidth Relativistic-Electron-Beam with Plasma, Reseach Note, No. 21, 1976
- R.Okamura, Y. Nakamura, and N. Kawashima: Interaction of a High Intensity Short Pulse-Width Relativistic Electron Beam with Plasma, Plasma Phys., **19**, 997-1016, 1977
- K. Kuriki, K. Nakamaru, H. Suzuki, S. Sasaki, N. Kawashima, Nagatomo, and T. Obayashi: MPD Arcjet Test in a Large Space Chamber, ISAS Res. Note, 33, 1977
- S. Sasaki, N. Kawashima, K. Kuriki, K. Nakamaru, M. Nagatomo, T. Obayashi, H. Misawa, T. Okamoto, and K. Goma: Laboratory Experiment with Electron Beam Accelerators in the Large NASA JSC Vacuum Facility, ISAS Res. Note, 34, 1977
- N. Kawashima, S. Sasaki, O. Kaneko, A. Yamori, R. Okamura, and S. Okamura: Controlled Experiment in the Ionoshere with a Rocket-Borne Plasma Gun, Planet. Space Sci., 26, 367-373, 1977
- S. Sasaki, O. Kaneko and N. Kawashima: Laboratory Experiment on the Electron Cyclotron Harmonic Waves Observed in the Top-side Rf Sounder Experiment, Research Note, No. 44, 1977
- R. Okamura, Y. Nakamura, N. Kawashima: Reply to Comments of H.J. Hopman, B. Jurgens, and P. De Haan, Plasma Phys, **30**, 401, 1978
- O. Kaneko, S. Sasaki, and N. Kawashima: Mass Separation Experiment with a

- Partially Ionized Rotating Plasma, Plasma Phys., 30, 11, 1167-1178, 1978
- T. Obayashi, H. Oya, and N. Kawashima: EXOS-B Project-Report of EXOS-B Science Team, Satellite EXOS-B, 153-158, 1978
- S. Sasaki, O. Kaneko, M. Hagiwara, and N. Kawashima: Laboratory Experiments with High Power Electron Guns in a Large Vacuum Chamber, ISAS Res. Note, 62, 1978
- T. Obayashi, K. Kuriki, N. Kawashima, M. Nagatomo, I. Kudo, K. Ninomiya, A. Ushirokawa, M. Ejiri, and S. Sasaki: SEPAC Particle Accelerator Test in NASDA Space Chamber, ISAS Report, 562, 141-174, 19788
- T. Obayashi, k. Kuriki, N. Kawashima, M. Nagatomo, I. Kudo, K. Ninomiya, A. Ushrokawa, M. Ejiri and S. Sasaki: Diagnostic Studies of SEPAC Test in NASDA Space Chamber, ISAS Report, 563, 175–216, 1978
- S. Sasaki, O. Kaneko, and N. Kawashima: Laboratory Experiment on the Excitation of Electron Cyclotron Harmonic Waves Observed in the Topside RF Sounder Experiment, Radio Sci., 13, 4, 753-762, 1978
- Y. Nakamura and N. Kawashima: Propagation Characteristics of a Relativistic Electron Beam in Gases, ISAS Res. Note, 74, 1978
- S. Besshou and N. Kawashima: Merging Experiment of the Two Current-Carrying Plasma Columns, ISAS Res. Note, 76, 1978
- O. Kaneko, S. Sasaki, and N. Kawashima: Active Experiment in Space by an Electron Beam, ISAS Res. Note, 85, 1978
- N. Kawashima, A. Ushikoshi, Y. Murasato, M. Ejiri, A. Morioka, H. Oya, S. Miyatake, and H. Matsumoto: Wave Excitation in the Beam-Plasma Interaction Experiment in a Japanese Magnetospheric Satellite "JIKIKEN" (EXOS-B), ISAS Res. Note, 90, 1979
- EXOS-B Team: Summary on JIKIKEN Observation-Preliminary Report for the Initial Phase of the Observation Results-Solar Terr. Environmental Res. in Japan, 3, 163-188, 1979
- H. Kubo, T. Mukai, and N. Kawashima: Observation of Charged Particles on Board The Scientific Satellite JIKIKEN (EXOS-B), ISAS Res. Note, 97, 1979
- A. Yamori, N. Kawashima, and S. Sasaki: Simulation of Return Current Collection by Space Shuttle in Laboratory, ISAS Res. Note, 111, 1979
- T. Yokota, O. Kaneko, S. Okamura, and N. Kawashima: Monochromator with Acousto-oqtic Tunable Filter for Plasma Observation, ISAS Res. Note, 123, 1979
- N. Kawashima: Laboratory Experiments Related to Magnetospheric Plasma Physics, No. 93, 1979
- N. Kawashima: Laboratory Experiments Related to Magnetospheric Plasma Physics (Revised), ISAS Res. Note, 130, 1980

- T. Obayashi, K. Kuriki, N. Kawashima, M. Nagatomo, I. Kudo, K. Ninomiya, A. Ushirokawa, M. Ejiri, and S. Sasaki: SEPAC System Test in NASDA Space Chamber, ISAS Report, 577, 1980
- Y. Nakamura and N. Kawashima: Efficient Transmission of a Relativistic Electron Beam (REB) Through a Strong Magnetic Field in Gasses, J.J. Appl. Phys., 19, 2, L119
 –L122, 1980
- S. Sasaki, O. Kaneko, N. Kawashima, Y. Yagi, K. Akai, and Y. Nakai: Active Experiment with High-Power Electron Gun in the Polar Region (Plan), Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue, 18, 493–500, 1981
- Y. Nakai, N. Kawashima, S. Sasaki, Y. Yagi, K. Akai, K. Oyama, K. Hirao, and T. Obayashi, Tether Experiment Project Team: Tether Mechanism for Rocket Experiment, ISAS Res. Note, 151, 1981
- S. Sasaki, M. Ejiri, T. Oguchi, N. Kawashima, T. Obayashi, T. Hori, and K. Yoshikawa: SEPAC Low Light Level Television Camera for Observation of Artificial Aurora, ISAS Res. Note, 156, 1981
- N. Kawashima, A. Ushikoshi, Y. Murasato, A. Morioka, H. Oya, M. Jjiri, S. Miyatake, and H. Matsumoto: Beam-Plasma Interaction Experiment in the Magnetosphere by Emitting an Electron Beam from Satellite JIKIKEN (EXOS-B), J. Geomag. Geoelectr., 33, 145-159, 1981
- N. Kawashima, S. Sasaki, A. Ushikoshi, Y. Yagi, T. Obayashi, and O. kaneko: Electron Beam Experiments in Japanese Satellites and Rockets, Adv. Space Res., 1, 159-161, 1981
- S. Sasaki, N. Kawashima, A. Yamori, T. Obayashi and O. Kaneko: Laboratory Experiments on Spacecraft cherging and Its Neutralization, Adv. Space Res., 1, 417 -420, 1981
- N. Kawashima: Experimental studies of the Neutralization of a Charged Vehicle in Space and in the Laboratory in Japan, Research Note, No. 153, 1981
- K. Hirao, N. Kawashima, T. Obayashi, K. Oyama, P.R. Williamson, W.E. Sharp, and K.D. Baker: US-Japan Tetherd Payload Experiment I.S.T.S Symp (in press)
- S. Sasaki, k. Oyama, K. Tsuruda, and T. Yokota: Standard Solid State TV Camera for Sounding Pockets, ISAS Res. Note, 172, 1982
- N. Kawashima, S. Sasaki, K. Oyama, K. Akai, and Y. Nakai: Floating Potential and Return Current Measurements in an Electron Beam Experiment on Board S-520-2 Rocket, ISAS Res. Note, 173, 1982
- T. Obayashi, K. Kuriki, N. Kawashima, M. Nagatomo, K. Ninomiya, I. Kudo, S. Sasaki, M. Yanagisawa, and Bill B. Baker: SEPAC System Test in NASDA Space Chamber, ISAS Report, 599, 1982
- S. Sasaki, M. Ejiri, K. Ninomiya, H. Yanagisawa, K. Nomoto, K. Uehara, and T.

- Obayashi: Scientific On-Line Data Analysis Quick Look System for SEPAC Experiment, ISAS Res. Note, 185, 1982
- S. Sasaki, T. Hori, K. Nomoto, K. Uehara, and T. Obayashi SEPAC Team: MTV/SODA-QL Joint Report on the Third NASDA-SEPAC Test (Summary), ISAS Res. Note, 187, 1982
- S. Sasaki, K. Takahashi, and N. Kawashima: Beam Plasma Discharge in Space Experiment with a High Power Electron Beam, ISAS Res. Note, 190, 1982
- N. Kawashima, A. Yamori, S. Sasaki, K. Kuriki, M. Yanagisawa, K. Ninomiya, M. Nagatomo, T. Obayashi, and Y. Nakamura: Charging and Charging Neutralization Experiments Using SEPAC Flight Hardwares in a Large Space Chamber, ISAS Res. Note, 191, 1982
- N. Kawashima: Experimental Studies of the Neutralization of a Charged Vehicle in Space and in the Laboratory in Japan, Proc. Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, 597-626, 1982
- N. Kawashima and the JIKIKEN (EXOS-B) CBE Project Team: Wave Excitation in Electron Beam Experiment on Japanese Satellite "JIKIKEN" (EXOS-B)", Proc. Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, 101-110, 1982
- T. Obayashi, N. Kawashima, K. Kuriki, M. Nagatomo, K. Ninomiya, S. Sasaki, A. Ushirokawa, I. Kudo, M. Ejiri, W.T. Roberts, R. Chappell, J. Burch, and P. Banks: Space Experiments with Particle Acceleratrs (SEPAC), Proc. Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, 659-671, 19821
- S. Sasaki, Y. Yagi, A. Yamori, and N. Kawashima: Charging Model of a Spacecraft Emitting an Electron Beam in Space, ISAS Res. Note, 192, 1982
- Y. Ogawa, J. Hirao, N. Kawashima, and Y. Nakai: Recent Progress in Space Experiments on Gravitation by a Precise Tracking of Deep Space Satellite, ISAS Res. Note, 193, 1982
- J. Hirao, N. Kawashima, Y. Ogawa, and Y. Nakai: Effect of Non-Uniform Mass Distribution in a Drag-Free Deep Space Satellite, ISAS Res. Note, 194, 1982
- S. Sasaki, T. Hori, A. Yamori, N. Kawashima, and T. Obayashi: Observation of Electron Beam Propagation in a Large Space Chamber, ISAS Res. Note, 199, 1982
- N. Kawashima, S. Sasaki, K. Oyama, K. Akai, and Y. Nakai: Floating Potential and Return Current Measurements in a Rocket-Borne Electron Beam Experiment, Geophys. Res. Letters, 2, 9, 1061-1063, 1982
- N. Kawashima, I. Kudo, and K. Goma: Development of Electron-Beam Accelerator for SEPAC Experiment on Spacelab One, Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Space Technology and Science, 711-718, 1982
- S. Sasaki, T. Hori, A Yamori, N. Kawashima, and T. Obayashi: Observation of Electron Beam Propagation in a Large Space Chamber, ISAS Res. Note, 199, 1982

- T. Yokota, S. Sasaki, N. Kawashima, K. Oyama, Y. Nakai: Observation of Daughter Payload and Tether Wire by CCD Camera Onboard S-520-2 Rocket, ISAS Res. Note, 209, 1982
- K. Oyama, N. Kawashima, S. Sasaki, K. Hirao and T. Obayashi: Tethered Subsatelite Experiment by means of Space Station, Proceedings of the Space Station Symposium, 58-60, October 21, 1982
- S. Sasaki, T. Hori, A. Yamori, N. Kawashima, and T. Obayashi: Observation of Electron Beam Propagation in a Large Spae Chamber, ISAS Res. Note, 199, 1982
- T. Yokota, S. Sasaki, N. Kawashima, K. Oyama, Y. Nakai: Observation of Daughter Payload and Tether Wire by CCD Camera Onboard S-520-2 Rocket, ISAS Res. Note, 209, 1982
- N. Kawashima: Highlights of the Electron Beam Experiments in Space in Japan, ISAS Report, 231, 1983
- N. Kawashima: Sensors in Space Research, Proceedings of the 3rd Sensor Symposium (Invited) (at Tsukuba), 113-118, 1983
- N. Kawashima, S. Sasaki, K. Takahashi and T. Obayashi: BPD Experiments in the Laboratory Proc. of Active experiments in Space Symposium (at Alpbach 24-28 May 1983) (ESA SP-195), 1983
- N. Kawashima: Highlights of the Electron Beam Experiments in Space in Japan, Proc. of Active experiments in Space Symposium (at Alpbach 24-28 May 1983) (ESA SP-195), 1983

5-4 単行本

河島信樹:宇宙・プラズマ・核融合(工業調査会, 1982)

第6章 大学院教育その他における貢献

6-1 大学院教育

プラズマ発生・検出装置の共同利用研究には協力者として大学院学生が参加しており, 実際の研究成果を上げる上で大きな寄与をしている.

第6-1表には上記大学院学生のうちにプラズマ発生装置を利用して学生論文を完成し、学位も取得したものの論文名とその後の就職状況を示したものである。この他に修士課程修了で又、博士を取得しないで就職したもの、他の研究室へ移ったもの、外国の大学で学位を取得したものの一覧表が第6-2表に示してある。

宇宙研における大学院教育の特色の第一は勿論飛しょう体を用いた宇宙観測及び実験にある。ただ一般にはこの種の研究は計画から実行迄の期間が長く、又、関連した作業の中には大学院教育と云う観点からは適さないものの比重が多く直接飛しょう体を用いた宇宙観測及び実験の分野で収容しうる大学院学生の数は限られてくる。その意味で実験室におけるスペースプラズマ研究の様な分野は大学院教育の巾を拡げる意味で価値があると云えよう。少くともこのプラズマ発生・検出装置(年間約600万円)一つを例にとってみても

第	56 —	1表	ブラス	で発	生装置で	学位的	を取得し	て就職し	た大	学院学生	E
---	------	----	-----	----	------	-----	------	------	----	------	---

氏名	論 文 名	学位取得	現 職
大藪修義	Energy dissipation in a magnetic neutral point	昭和49年3月	GA 社主任研究員
简村 良	Delayed Emission Excited by a High Power Microwave Pulse	昭和51年3月	字笛研助手
佐々木進	Experiments on the interation of high intensity relativistic electron beam plasma	昭和51年10月	東芝宇宙開発事業部主務
简朴另一	Magnetic neutral point discharge and its application to high temperature plasma injector	昭和53年3月	名大プラズマ研助手
金子 修	Active experiment in space by an electron beam	昭和54年3月	名大フラズマ研助手
中村幸男	Experiments on the interactior of a relativistic electron beam with plasme in a strong magnetic field	昭和55年3月	九大応力研助教授
別生。栄	Experiment on inerging of two current-carrying plasma columns	昭和55年3月	京大ペリオトロン助手
八木康之	Experiment stndy of current sheet in the quadrupole magnetic field	昭和59年3月	電総研研究員

······································	15	ηť	数(名)			
修士修了。	で就職したもの	7)	3			
修士途中。	修士途中で他研究室へ移った者					
修士修了。	修士修了で米国大学へ行き学位を取得したもの					
博士課程名	ととらずに就り	職したもの	1			

第6-2表修上課程等迄フラズマ発生装置で研究をした大学院学生

第6-3表 大学院学生現員数

修	l	2	博	1	2	3	4
	1	l			2		1

合計 5名

宇宙研における今迄に軌道に乗った8個の科学衛星(総額約100億円)及び年間数機のロケット実験(年間5~10億円)に直接関与した研究で学位を取得した学生数に匹適する学位取得者を生み出している事は特筆に値すると云えよう。現在の場に行政改革の嵐の中で恒常的に定員削減が続き新しい専任スタッフの増強が困難となり、新陳代謝が滞りがちな現状において常に新鮮な環境の維持してくれる大学院学生の存在は貴重である。

又,大学院学生にとっては宇宙研の大型プロジェクト科学研究に直接間接に接し又全国 共同利用と云う多くの人との協調の中で行う環境で研究を遂行した経験は大学院課程修了 後他の研究機関や企業に就職した際に大いに役立っている。又特に近年科学研究の中でプロジェクト的大型研究の比重が高まる中で受入れ側からも好評を得ている。

以上の様にプラズマ発生・検出装置では若手の養成と云う意味での大学院教育に於いて 顕著な貢献をしてきたと云える.

6-2 学部卒業研究生の教育

プラズマ発生・検出装置の共同利用研究者の中には実験補助者として学部学生を伴ってくる場合があり、これら学部学生の卒業研究の一部にもなっている事が多い。過去にも鶴岡紘一(日大昭:53)、田村定三(日大昭:54)、中西繁孝(大阪市大昭:54)、伊沢正陽(東京農工大昭:52)、平出和弘(東京農工大昭:56)、田沢仁志(武蔵工大昭:57)、乾悦治(東海大昭:57)、西尾幸治、長井孝(武蔵工大昭:58)、佐藤進(電通大昭:58)、居城、橋本(相模工大昭:58)等10名越える学生が卒業研究のテーマを共同利用研究から得て卒業論文を仕上げている。この中には優れた学生も多く、共同研究後半には単独でも相当の作業がこなせる迄に成長して通常の学部研究室では出来ないレベル迄の教育がなされた事になり、プラズマ発生・検出装置が学部学生の教育の面でも成果があった事を示している。

6-3 民間企業との協力

最近社会の要求として大学や研究機関の研究成果がもっと民間企業を通して社会に還元されるべきであるとの声も多く、文部省からもこの様な民間との協力研究を推進する様にとの通達も出されている。しかしながら宇宙の理学系は過去にはあまりこの様な例は少なかった。ただプラズマは元来理工の学際的な学問分野であり、既に多くの応用工学の分野でプラズマは利用されている。

プラズマ発生,検出装置ではこの面ではそれ程多くはないがいくつかの例が上げられる.

i) 回転プラズマを用いた質量分離の研究(昭50~51)

4-1-3 に述べた研究で日立製作所中央研究所(百々太郎, 岡田修身)との共同研究で行われた。

ii) 強力軟 X線源の開発(昭 56~58 年)

4-1-10 に述べた高密度高温プラズマからの強力な輻射の研究の応用として LSI 製造に 用いられるリソグラフィー用光源としての軟X線源の開発をウシオ電機(平本立躬,島田 秀樹)との間で共同研究が行われた。

なお両者に関してはそれぞれ宇宙研は奨学寄附金を受入れている.

年度	寄附者	宇宙研 テーマ		金額	
48	日立製作所(株)	河揚	回転プラズマの研究	300 F-[1]	
56	ウシオ電機(株)	河温	軟X 線源の開発	500 T·[1]	

結 語

プラズマ発生・検出装置は上記の様に全国共同利用研究設備として宇宙プラズマ現象のシミュレーション研究やロケット、人工衛星、スペースシャトル等の搭載機器の開発試験に多くの成果を上げてきた。これは関連の研究者や職員の努力もさる事ながら、スペースプラズマ専門委員会前々委員長平尾邦雄教授、前委員長主査伊藤富造教授をはじめ所内、外の専門委員に代表される多くの良き理解者の温かいはげましの賜であり、ここに深意の謝意を表する次第である。

宇宙科学研究所の新しいキャンパス移転に際し、宇宙科学研究所のこの種の研究施設の新しい発展の為の礎として本報告書が大いに役立つ事を期待する.