

JT-60NBI加熱装置の低エネルギー
領域における高出力化

1988年5月

水野 誠・大楽 正幸・堀池 寛・北村 繁
小又 将夫・栗山 正明・松田慎三郎・松岡 守
大賀 徳道・小原 祥裕・大原比呂志・津田 文男
宇佐美広次・薄井 勝富・横山 堅二

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 (株)原子力資料サービス

J T - 60 N B I 加熱装置の低エネルギー領域における高出力化

日本原子力研究所那珂研究所 J T - 60 試験部・核融合研究部

水野 誠・大楽 正幸・堀池 寛・北村 繁
小又 将夫・栗山 正明・松田慎三郎・松岡 守
大賀 徳道・小原 祥裕・大原比呂志・津田 文男
宇佐美広次・薄井 勝富・横山 堅二

(1988年4月14日受理)

J T - 60 粒子入射加熱装置 (J T - 60 N B I という。) は、70 ~ 100 keV のビームエネルギーで最大 20 MW の入射パワーが得られるよう設計されているが、40 keV 程度の低ビームエネルギー領域では、入射パワーは 8 MW 程度にまで低下する。一方、低密度プラズマでの加熱実験領域の拡大および周辺プラズマ加熱による H モード達成のため、低エネルギー領域での入射パワー増大が必要とされた。

この目的で一段加速によるビーム引出しが、原型ユニットにおいて試験され、イオン源 1 台あたり、40 keV、48 A のビーム引出しにより、J T - 60 N B I において、17 MW の入射パワーが得られることが明らかになった。

昭和 62 年 6 月から 7 月にかけて、J T - 60 N B I に一段加速が適用され、最高 17.6 MW の入射パワーが得られ、J T - 60 において、H モード遷移現象が観測された。

Low energy, high power injection in JT-60 NBI

Makoto MIZUNO, Masayuki DAIRAKU, Hiroshi HORIIKE
Shigeru KITAMURA, Masao KOMATA, Masaaki KURIYAMA
Shinzaburo MATSUDA, Mamoru MATSUOKA, Tokumichi OHGA
Yoshihiro OHARA, Hiroshi OHHARA, Fumio TSUDA
Hiroji USAMI, Katsutomi USUI and Kenji YOKOYAMA

Department of JT-60 Facility
Department of Thermonuclear Fusion Research
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 14, 1988)

JT-60 neutral beam injector (JT-60 NBI) is designed to inject 20 MW neutral hydrogen beam at energies of 70 ~ 100 keV and the injection power decreases significantly at low energies (~40 keV).

For the extension of operation region aiming at the low density plasma heating and achieving H-mode by plasma periphery heating, increment of the injection power at low beam energies was required.

The single-stage acceleration system was investigated in advance at the Prototype Injector Unit. From this result, the total injection power of 17 MW at 40 keV, 48 A per source was expected at the JT-60 NBI.

This system was adopted in the JT-60 NBI from June, 1987 to July, 1987 and 17.6 MW neutral beam injection power was achieved. In the NB heating experiment, the H-mode transition phenomena was observed in JT-60 plasma.

Keywords: JT-60 NBI, Single-stage Acceleration System, Low Energy, High Power Injection

目 次

1. はじめに	1
2. 原型ユニットにおける試験	2
2.1 発散測定	2
2.2 熱負荷測定	2
2.3 入射パワー測定	3
3. JT-60NBIへの一段加速の適用	5
4. まとめ	6
謝 辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Investigation at Prototype Injector Unit	2
2.1 Beam-divergence measurement	2
2.2 Heat-loading measurement	2
2.3 Injection power measurement	3
3. Single-stage acceleration in JT-60 NBI	5
4. Conclusions	6
Acknowledgements	6
References	6

1. はじめに

J T-60粒子入射加熱装置（以下、J T-60 N B I と称する）は、高密度プラズマの中心加熱が行えるよう、70～100 keVのビームエネルギーにおいて20 MWの加熱パワーがプラズマに入射できるよう設計されている¹⁾。一方、イオン源で引出し可能なイオン電流は、引出し電圧の低下とともに、大略その3/2乗に比例して減少し、40 keV以下での入射パワーは、エネルギーが低いことと相まって、著しく減少する。しかるに、低密度プラズマでの加熱実験領域の拡大、及び、周辺プラズマ加熱によるHモード達成のため、低エネルギー領域での入射パワー増大が必要とされた。

低エネルギーでの入射パワーの増大の方法として、二つの方法が考えられる。第一の方法は、イオン源の低プロトン比化によるものである。通常、イオン源から引出されるイオンは、 H_1^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ より構成されており、J T-60 N B I用イオン源においては、 H_1^+ の比率（プロトン比）が約90%である。このプロトン比を下げることにより、実効的なビームエネルギーが下がり、したがって、その分中性化効率が上がることにより、入射パワーの増大をはかるものである²⁾。ただし、この場合には、ソースプラズマ体積を変えられるよう、上蓋受熱板を可動構造とし、フィラメントおよび磁気フィルターの交換等のイオン源の改造が必要となる。第二の方法は、電界強度を増大させることにより、引出し電流を増大し入射パワーを増大させるものである。引出し電流は、大略電極間電圧の3/2乗に比例し、電極間距離の2乗に反比例するので、電極間距離を縮めることにより、電界強度を高め、電流値を増大させることができる。しかし、電極間隔の調整には、かなりの労力が必要となることが欠点である。一方、電極間隔の調整をすることなく、電界強度を高める方法として、一段加速方式による方法がある。これは、引出し用電源の出力電圧を印加する電極を変えることにより、電極間隔の縮小と同様の効果を得るものである。なお、二段加速のまま、一段目だけ高い電圧を印加しようとした場合、現状の電源の構成では、一段目の電圧が最高30 kVであり、この時、二段目も含めた全体としての加速電圧は、50 kV未滿に出来ない。また、このような電圧分担では、ビームの発散が悪くなるので、二段加速のまま、一段目のみ高い電圧を印加し、逆に加速電圧を低く抑えての大電流のビーム引出しは不可能である。二段加速から一段加速への変更はイオン源とイオン源用電源の間のケーブルの接続変更により容易に行うことができる。

以上述べた方法の中で、イオン源自体の改造あるいは、調整の必要のない一段加速方式がJ T-60 N B Iに採用された。

本報告書では、一段加速に関して、J T-60 N B Iへの適用に先立ち原型ユニットにおいて行われた試験および、J T-60 N B Iにおける一段加速によるビーム引出しについて述べる。

2. 原型ユニットにおける試験

二段加速と一段加速の比較を第1図に示す。JT-60NB I用イオン源の電極は、第一正電極³⁾(PG)、第二正電極(GG)、負荷極(SG)、接地電極(EG)の4枚より構成されている。一段加速においては、第二正電極に、減速電圧を印加し、負電極は接地する。また、第二正電圧は、イオン源に印加されない。一段加速によるビーム引出しの場合、ビームレットの発散が大きくなることや、ビームレットが集束されないことにより、各部への熱負荷が増加することが考えられる。特にJT-60NB I用イオン源は一段加速によるビーム引出しを想定して設計したものであるため、電極への熱負荷を十分把握する必要があった。

そこで、JT-60NB Iへの一段加速方式の適用に先立ち、同一のビームライン形状をもつ原型ユニット⁴⁾において、以下の項目について、試験を行った。

- ① 発散測定
- ② 各部熱負荷測定
- ③ 入射パワー測定

以下、各々について述べる。

2.1 発散測定

短パルスビームによる発散測定の結果を第2図に示す。加圧電圧(V_{acc})が30, 32.5, 35 kVに対する、イオン源1台当りの最適パービアンスでの加速電流(I_{acc})は、各々約34, 38, 45 Aとなっている。この電流値は、二段加速において $V_{acc} = 35$ kVで $I_{acc} < 10$ Aとなるのに比較すると、相当量の増大となっている。ただし、電源容量の関係上、48 A以上の電流を引出すことは、不可能なので、 $V_{acc} \approx 40$ kVにおいては、最適パービアンス電流より、小さい電流での引出ししか行えないことがわかる。最小の発散は、2段加速の場合、1度程度であるのに対して、約1.2度(Y方向)と大きくなっている。ただし、加速電圧の上昇にともない、わずかながらも、発散が小さくなっている。

以上のように、発散の測定より、引出し電流の大きな増大が可能となることが明らかとなり、入射パワーの増大が期待できることが示された。

2.2 熱負荷測定

次に、運転可能なパラメーター領域(加速電圧 V_{acc} vs. 加速電流 I_{acc})を見つけるため、イオン源各電極およびビームライン各機器への熱負荷を測定した。測定は、精度を上げるため、5秒パルスに対して行われた。第3図～第6図に測定結果を示す。 Q_{is} 、 Q_{ν} はそれぞれイオン源、中性化セルへのガス流量である。第3図と第4図、及び第5図と第6図は、それぞれ、別々のイオン源に対する結果である。電極熱負荷については、PGの熱負荷が、電流の増加とともに、

2. 原型ユニットにおける試験

二段加速と一段加速の比較を第1図に示す。JT-60NB I用イオン源の電極は、第一正電極(PG)、第二正電極(GG)、負荷極(SG)、接地電極(EG)の4枚より構成されている³⁾。一段加速においては、第二正電極に、減速電圧を印加し、負電極は接地する。また、第二正電圧は、イオン源に印加されない。一段加速によるビーム引出しの場合、ビームレットの発散が大きくなることや、ビームレットが集束されないことにより、各部への熱負荷が増加することが考えられる。特にJT-60NB I用イオン源は一段加速によるビーム引出しを想定して設計したものであるため、電極への熱負荷を十分把握する必要がある。

そこで、JT-60NB Iへの一段加速方式の適用に先立ち、同一のビームライン形状をもつ原型ユニット⁴⁾において、以下の項目について、試験を行った。

- ① 発散測定
- ② 各部熱負荷測定
- ③ 入射パワー測定

以下、各々について述べる。

2.1 発散測定

短パルスビームによる発散測定の結果を第2図に示す。加圧電圧(V_{acc})が30, 32.5, 35 kVに対する、イオン源1台当りの最適パービアンスでの加速電流(I_{acc})は、各々約34, 38, 45 Aとなっている。この電流値は、二段加速において $V_{acc} = 35$ kVで $I_{acc} < 10$ Aとなるのに比較すると、相当量の増大となっている。ただし、電源容量の関係上、48 A以上の電流を引出すことは、不可能なので、 $V_{acc} \approx 40$ kVにおいては、最適パービアンス電流より、小さい電流での引出ししか行えないことがわかる。最小の発散は、二段加速の場合、1度程度であるのに対して、約1.2度(Y方向)と大きくなっている。ただし、加速電圧の上昇にともない、わずかながらも、発散が小さくなっている。

以上のように、発散の測定より、引出し電流の大巾な増大が可能ながととなり、入射パワーの増大が期待できることが示された。

2.2 熱負荷測定

次に、運転可能なパラメーター領域(加速電圧 V_{acc} vs. 加速電流 I_{acc})を見つけるため、イオン源各電極およびビームライン各機器への熱負荷を測定した。測定は、精度を上げるため、5秒パルスに対して行われた。第3図～第6図に測定結果を示す。 Q_{IS} 、 Q_N はそれぞれイオン源、中性化セルへのガス流量である。第3図と第4図、及び第5図と第6図は、それぞれ、別々のイオン源に対する結果である。電極熱負荷については、PGの熱負荷が、電流の増加とともに、

増加するが、SGとEGは、電流の減少とともに増加する。特に、EGの熱負荷が、急激に増加する。これは、加速電圧が40 kVにおいては最適電流値が50 A以上であり、電流が減少すると、ビームの発散が急激に悪くなるためと考えられる。GGについては、他に比べて、明確な傾向は示さない。ビームライン機器の熱負荷については、中性化セル、ウォータージャケット、ビームダンプのいずれについても、電流の増加とともに熱負荷の増大が見られるが、EGのような急激な立上りは見られない。これらの中で、運転上の制限となるのは、EGと中性化セルへの熱負荷であり、それぞれ、30 kW、500 kW以下におさえる必要がある。熱負荷は、前述のような電流依存性があるため、一定加速電圧における最小加速電流がEGへの熱負荷、最大加速電流は中性化セルへの熱負荷で制限される。ただし、イオン源ごとに、熱負荷が異なるため、電流値はイオン源ごとに異なる。加速電圧が40 kV時には、イオン源1においては、 $48 \sim 50 A + \alpha$ 、イオン源2においては、 $44 \sim 50 A + \alpha$ となる。イオン源毎の差は、熱負荷の電流依存性より見て、最適パービアンス電流が異なるためと考えられる。

第7図に、イオン源1に対する運転領域を示す。運転領域は、EGおよび中性化セルへの熱負荷および、電源側からの制約として $V_{acc} \geq 30 \text{ kV}$ 、 $I_{acc} \leq 48 \text{ A}$ （イオン源1台当り）より決定される。 V_{acc} が高い領域での運転領域が非常に狭くなり、このイオン源の場合、40 kVを越える加速電圧によるビーム引出しは行えない。一方、イオン源2においては、42 kV程度までのビーム引出しは、可能である。このように、イオン源毎に、運転領域に差があるため、JT-60 NBIにおいて、一段加速によるビーム引出しを行う場合には、28台すべてのイオン源について、その運転領域を確認する必要がある。

なお、イオン源1台当りの加速電流48 Aは、本来の定格値40 Aを2割も越えるものである。

2.3 入射パワー測定

次に、2.2で求められた、運転領域内において、入射パワーの測定を行った。第8図に、結果を示す。40 kV、48 Aにて、イオン源1台当り、約650 kWの入射パワーが得られている。再電離ロス差し引いても14ユニット入射により、17 MW程度の入射パワーが期待できる。二段加速における、40 kVでの入射パワー8 MWに比較して、2倍以上の入射パワーが得られる。ただし、引出し電流の増加（15 A→48 A）ほどには、入射パワーは増加しておらず、その理由は発散の増大によるものであり、またこのため各機器への熱負荷が、大きくなっていることがわかる。

以上述べたように、原型ユニットにおける試験で、その有効性が確認されたため、JT-60 NBIにおいて一段加速を採用することになった。ただし、各機器、特にイオン源は、一段加速によるビーム引出しを想定した設計となっていない上に、各部への熱負荷がかなり大きく、限界領域での運転となるため、あくまで、配線変更による一段加速にてのビーム引出しは、一時的な処置であり、長期間にわたる運転は、行わないものとした。

なお、ここまで述べた以外に、

- ① 第二正電極および負電極を減速電位にする場合
- ② 第二正電極を接地し負電極を減速電位にする場合

についても、試験を行ったが、①については、発散が悪く、最小でも1.4度であり、②について

は、減速電流が異常に多く流れるという状態であったため、熱負荷等の詳細な測定は行わなかった。

3. JT-60NBIへの一段加速の適用

昭和62年5月下旬に、イオン源用電源とイオン源間の配線変更、および、運転領域の変更に伴う制御用計算機のソフト改造を行った後、昭和62年6月中旬よりJT-60NBIにおける一段加速によるコンディショニングが開始された。イオン源用電源は、第二正電極へのケーブルが、はずされていること以外は、従来とまったく同じように運転される。

原型ユニットにおける試験より、イオン源毎に運転領域を確認する必要があったが、イオン源の数が多く、時間的余裕もなかった。そこで、運転の領域を、ある程度制限し、必要最低限の確認を行うこととした。すなわち、最適のパービアンス上からはずれないようにし、電流が、48Aに達した後は、電流を48Aに保ったまま電圧を増加させるようにする。Fig. 7中のA-B-Cのライン上からはずれないように運転をする。この場合は、熱負荷による制限が生ずるのはC点のみである(EGの熱負荷)。したがって、48Aの電流で、電圧をどこまで増加させられるか確認すればよい。さらに、JT-60NBIの場合、ビームライン1ユニットにおいて、2つのイオン源に共通に1台の加速電源が用意されているので、2台のイオン源の低い方の最高運転電圧でそのユニットの電圧が決まる。

このような手順に従って求めた、各ユニットごとの最高運転電圧を第1表に示す。ユニット毎に、いいかえれば、イオン源毎に、かなりのばらつきが見られ、全ユニット共通で得られる運転電圧は、38kVであった。

ところで、上記の手順により、運転電圧を決める際、イオン源間の電流分担は、等しいものとしているが、電流分担を変えることにより、ユニットによっては、運転電圧を上げることが出来る。すなわち、EGの熱負荷に差のあるイオン源の組合せの場合、熱負荷の大きい方のイオン源の電流分担を増やし、熱負荷を低減することにより、運転電圧を上げるものである。この方法により、1kV程度運転電圧を上げることが出来ると思われるユニットもあったが、電流分担の調整が面倒になる等の理由により、実際には行わなかった。

昭和62年6月末から7月中旬にかけて、一段加速による中性ビーム入射が行われた。第9図に、代表的な加速電圧、電流波形を示す。全ユニットにおいて、加速電圧38kV、加速電流96A、パルス巾0.9秒の入射が行われた。再電離ロスを考慮すると17.2MWの入射パワーが得られたことになる。第10図に、入射データを示す。左側のデータが、一段加速、右側のデータが、二段加速時のデータを示す。実線は、原型ユニットにおける実験結果より予測された、入射パワーである。一段加速においては、加速電圧が、40kV以下におさえられる反面、低エネルギー領域での入射パワーが、二段加速の場合の2倍以上になっており、最高17.6MWの入射パワーが得られた。

本実験期間中に、JT-60プラズマにおいて、Hモード遷移現象が確認された。

なお、その後実験データの検討結果より、高いプラズマ密度での実験を行うこととなり、昭和62年7月下旬以降は、本来の二段加速へと、システムを復帰させ、運転を行っている。

4. ま と め

J T-60 N B Iにおいて、低エネルギーでの入射パワーを増加させるため、一段加速によるビーム引出しが採用された。

実機への適用に先立ち、原型ユニットにおいて、発散測定、熱負荷測定を行い、40 kV 以下の低エネルギーで、イオン源 1 台当り、48 A のビーム引出しが可能であるが、接地電極または中性化セルへの熱負荷および電源容量によって決まる運転領域がイオン源ごとに異なることが明らかになった。また、入射パワーの測定結果より、実機においては、17 MW の入射が可能ながことが明らかとなった。

昭和62年6月から7月にかけて、実機において、一段加速によるビーム入射が行われ、最高17.6 MW の入射パワーが得られ、J T-60 プラズマにおいて、Hモード遷移現象が観測された。

なお、熱負荷が大きく、定格の1.2倍のビームを引出すという苛酷な運転を行ったにもかかわらず、イオン源において、電極の変形等が見られなかったことが、その後の調査で確認されている。

謝 辞

本研究を実施するに際し、終始有益な議論をして頂きました、核融合研究部加熱工学第1研究室、J T-60試験部 J T-60第4試験室の皆様へ感謝致します。

また、終始激励と有益な助言を頂きました、白形弘文 J T-60第1試験室長(前加熱開発室長)、国枝俊介 J T-60第4試験室長、蛭田和治同室長代理に感謝致します。

最後に、不断の激励と支援を頂きました、飯島 勉 J T-60試験部長、田中正俊核融合研究部長に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) S.Matsuda, et al. : Fusion Engineering and Design 5 (1987), 85
- 2) 渡辺和弘他 : JAERI-M 82-022
- 3) Y. Ohara : J. Appl. Phys. 49 (1978) 4711
- 4) H. Horiike, et al. : Rev. Sci. Instrum. vol.55, (1955), 332

4. ま と め

J T-60 N B Iにおいて、低エネルギーでの入射パワーを増加させるため、一段加速によるビーム引出しが採用された。

実機への適用に先立ち、原型ユニットにおいて、発散測定、熱負荷測定を行い、40 kV 以下の低エネルギーで、イオン源 1 台当り、48 A のビーム引出しが可能であるが、接地電極または中性化セルへの熱負荷および電源容量によって決まる運転領域がイオン源ごとに異なることが明らかになった。また、入射パワーの測定結果より、実機においては、17 MW の入射が可能ながことが明らかとなった。

昭和62年6月から7月にかけて、実機において、一段加速によるビーム入射が行われ、最高17.6 MW の入射パワーが得られ、J T-60 プラズマにおいて、Hモード遷移現象が観測された。

なお、熱負荷が大きく、定格の1.2倍のビームを引出すという苛酷な運転を行ったにもかかわらず、イオン源において、電極の変形等が見られなかったことが、その後の調査で確認されている。

謝 辞

本研究を実施するに際し、終始有益な議論をして頂きました、核融合研究部加熱工学第1研究室、J T-60試験部 J T-60第4試験室の皆様へ感謝致します。

また、終始激励と有益な助言を頂きました、白形弘文 J T-60第1試験室長(前加熱開発室長)、国枝俊介 J T-60第4試験室長、蛭田和治同室長代理に感謝致します。

最後に、不断の激励と支援を頂きました、飯島 勉 J T-60試験部長、田中正俊核融合研究部長に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) S.Matsuda, et al. : Fusion Engineering and Design 5 (1987), 85
- 2) 渡辺和弘他 : JAERI-M 82-022
- 3) Y. Ohara : J. Appl. Phys. 49 (1978) 4711
- 4) H. Horiike, et al. : Rev. Sci. Instrum. vol.55, (1955), 332

4. ま と め

J T-60 N B Iにおいて、低エネルギーでの入射パワーを増加させるため、一段加速によるビーム引出しが採用された。

実機への適用に先立ち、原型ユニットにおいて、発散測定、熱負荷測定を行い、40 kV 以下の低エネルギーで、イオン源 1 台当り、48 A のビーム引出しが可能であるが、接地電極または中性化セルへの熱負荷および電源容量によって決まる運転領域がイオン源ごとに異なることが明らかになった。また、入射パワーの測定結果より、実機においては、17 MW の入射が可能ながことが明らかとなった。

昭和62年6月から7月にかけて、実機において、一段加速によるビーム入射が行われ、最高17.6 MW の入射パワーが得られ、J T-60 プラズマにおいて、Hモード遷移現象が観測された。

なお、熱負荷が大きく、定格の1.2倍のビームを引出すという苛酷な運転を行ったにもかかわらず、イオン源において、電極の変形等が見られなかったことが、その後の調査で確認されている。

謝 辞

本研究を実施するに際し、終始有益な議論をして頂きました、核融合研究部加熱工学第1研究室、J T-60試験部 J T-60第4試験室の皆様へ感謝致します。

また、終始激励と有益な助言を頂きました、白形弘文 J T-60第1試験室長(前加熱開発室長)、国枝俊介 J T-60第4試験室長、蛭田和治同室長代理に感謝致します。

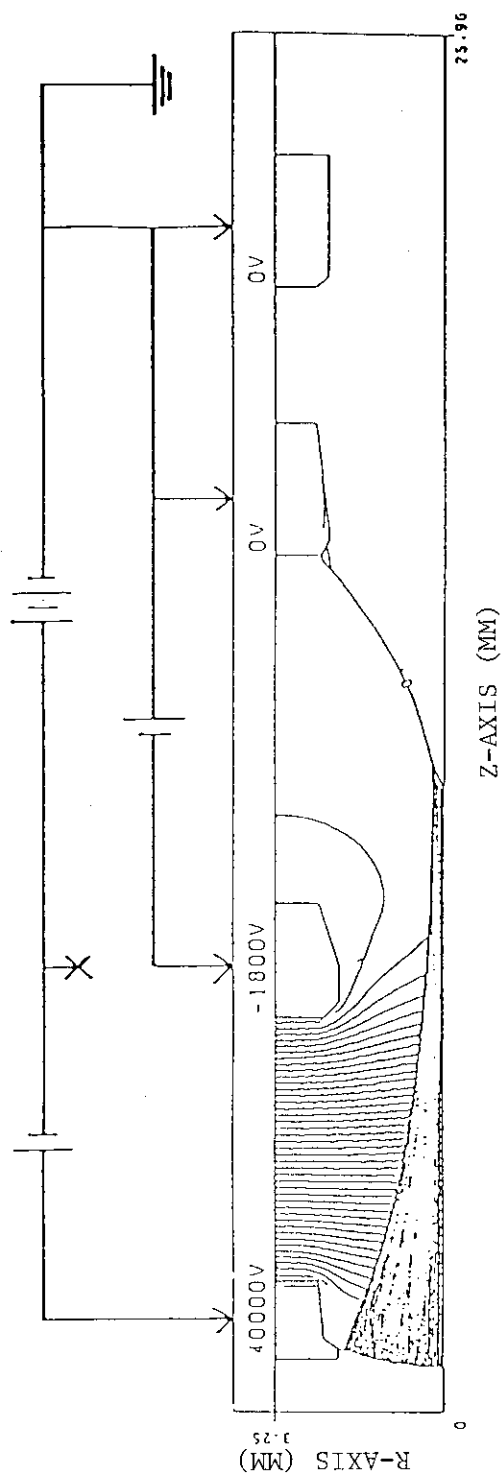
最後に、不断の激励と支援を頂きました、飯島 勉 J T-60試験部長、田中正俊核融合研究部長に感謝致します。

参 考 文 献

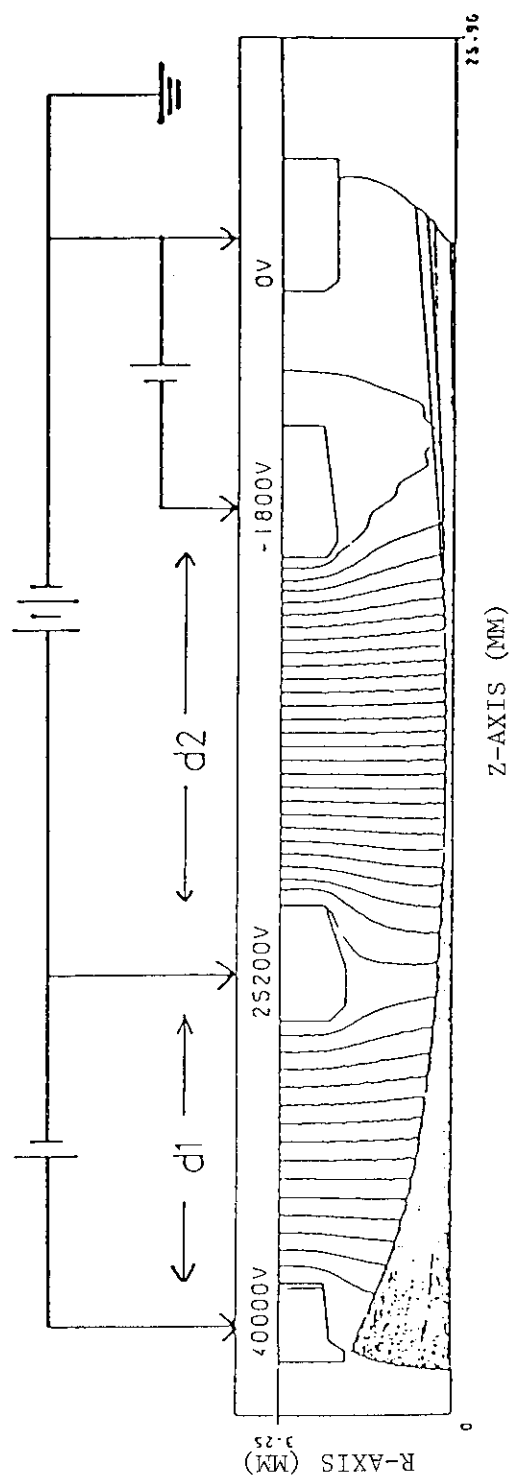
- 1) S.Matsuda, et al. : Fusion Engineering and Design 5 (1987), 85
- 2) 渡辺和弘他 : JAERI-M 82-022
- 3) Y. Ohara : J. Appl. Phys. 49 (1978) 4711
- 4) H. Horiike, et al. : Rev. Sci. Instrum. vol.55, (1955), 332

第1表 加速電流96Aに対する最大加速電圧

ユニット No.	最大加速電圧 (kV)
1	41
2	41
3	42
4	38
5	39
6	39
7	39
8	40
9	40
10	38
11	39
12	38
13	38
14	38

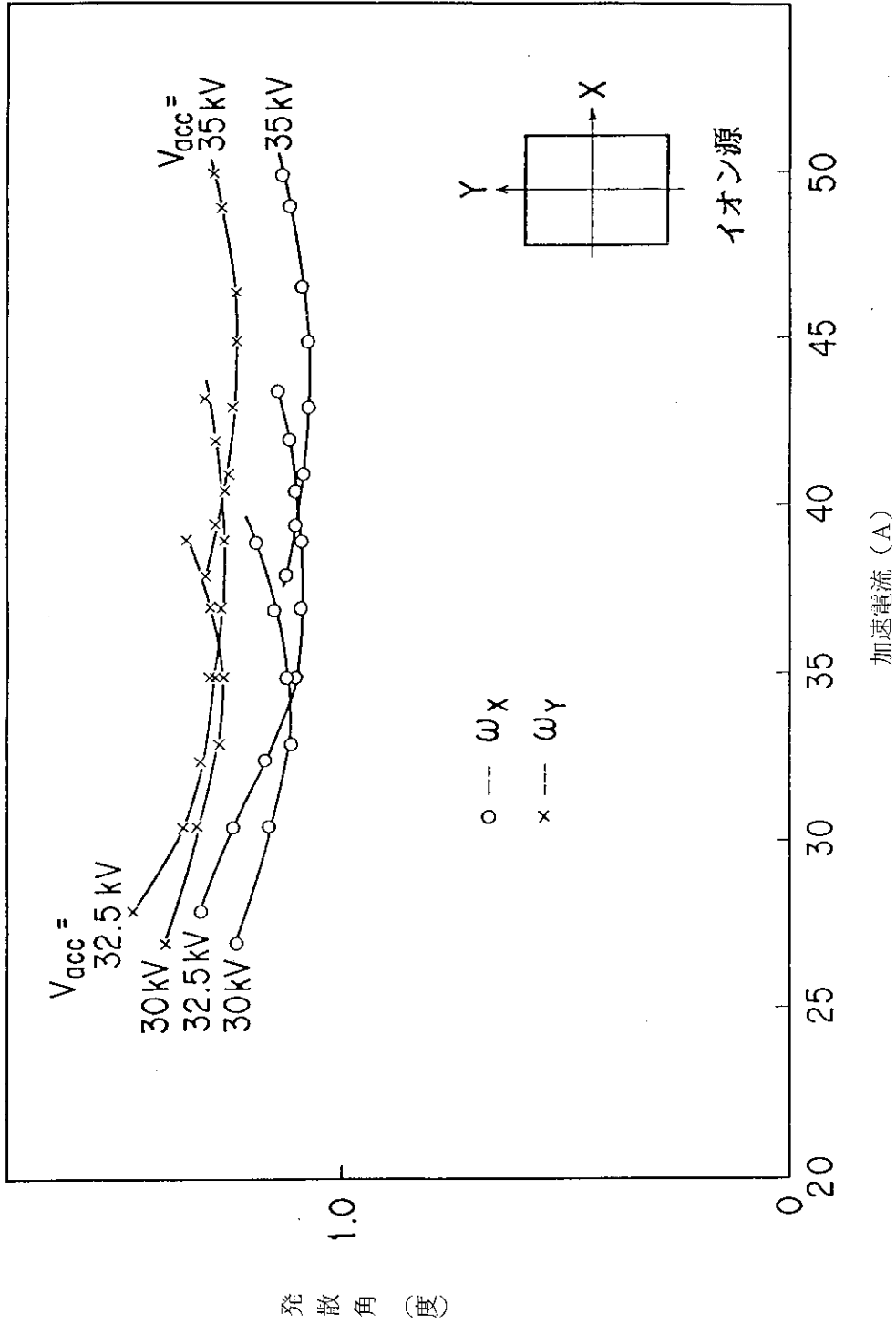


(a) 一段加速

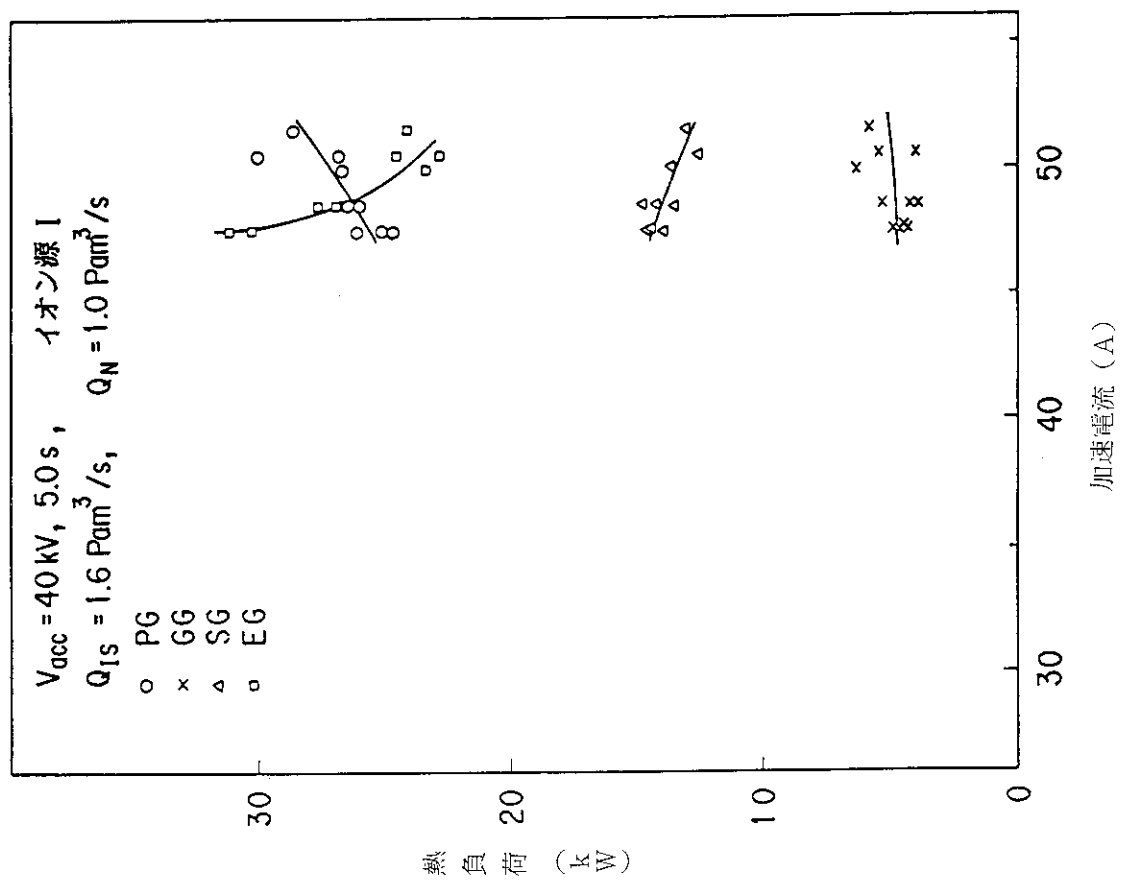


(b) 二段加速

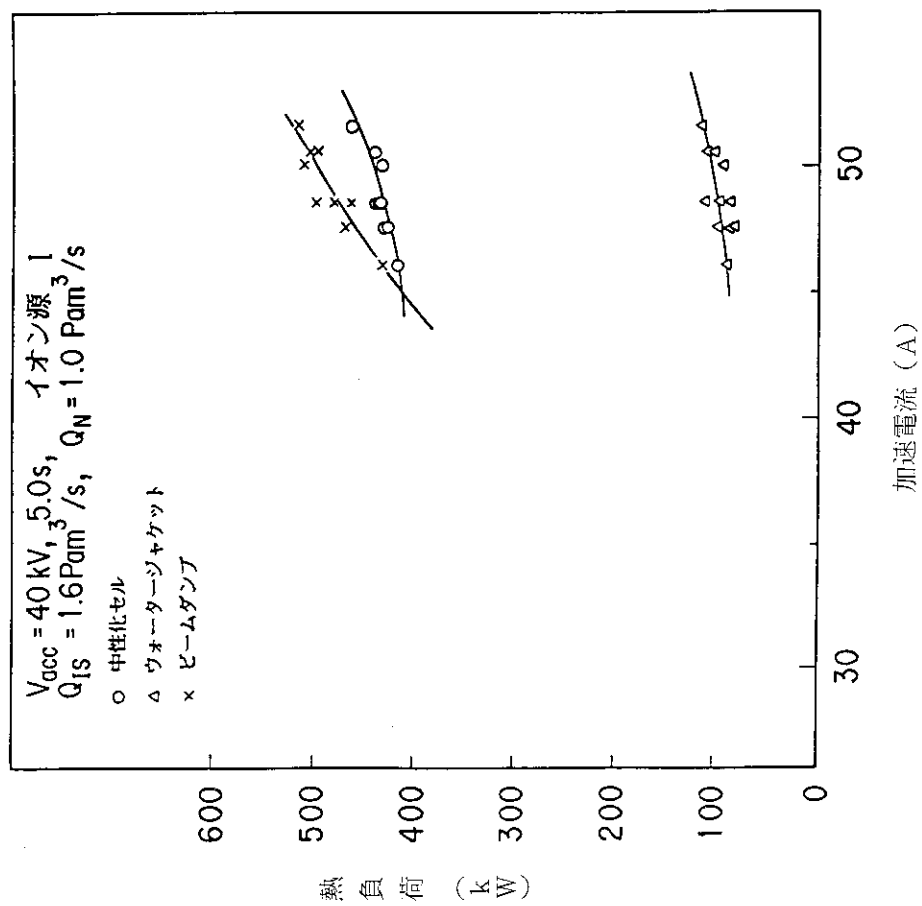
第1図 一段加速と二段加速の比較



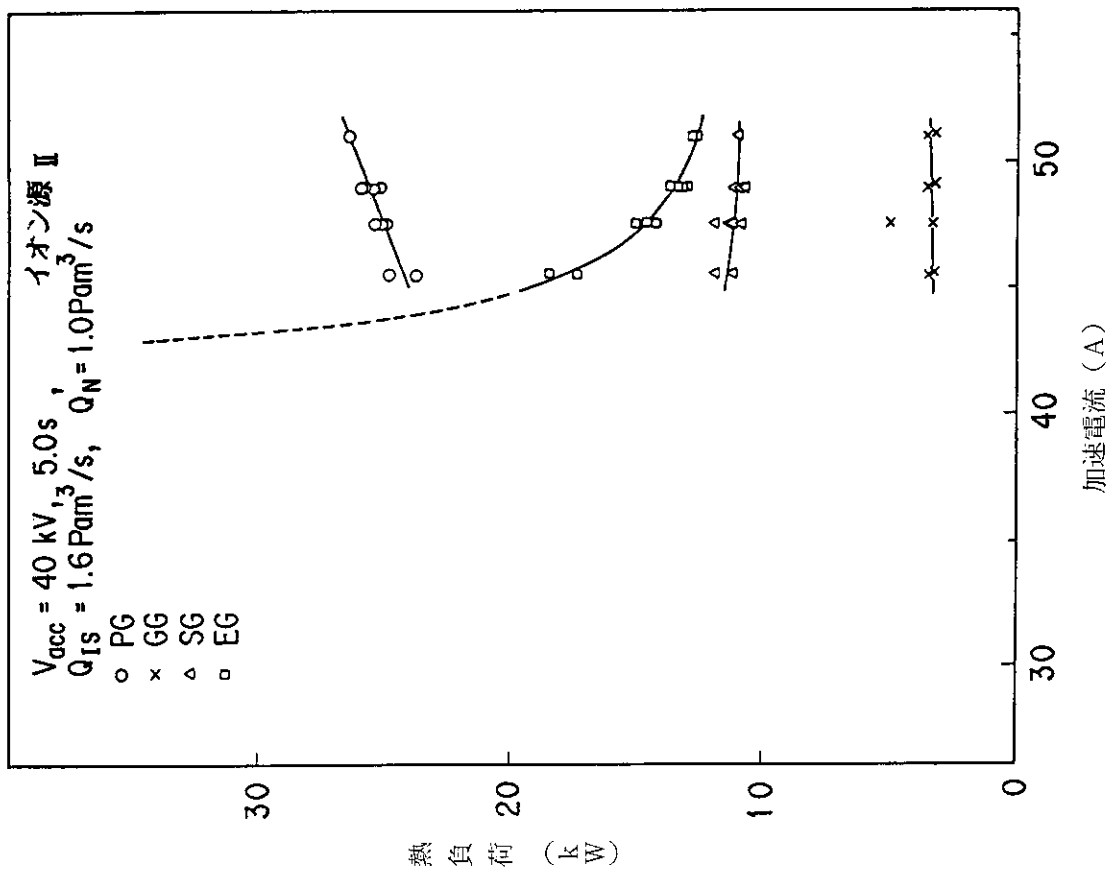
第2図 発散の引出し電流、電圧に対する依存性



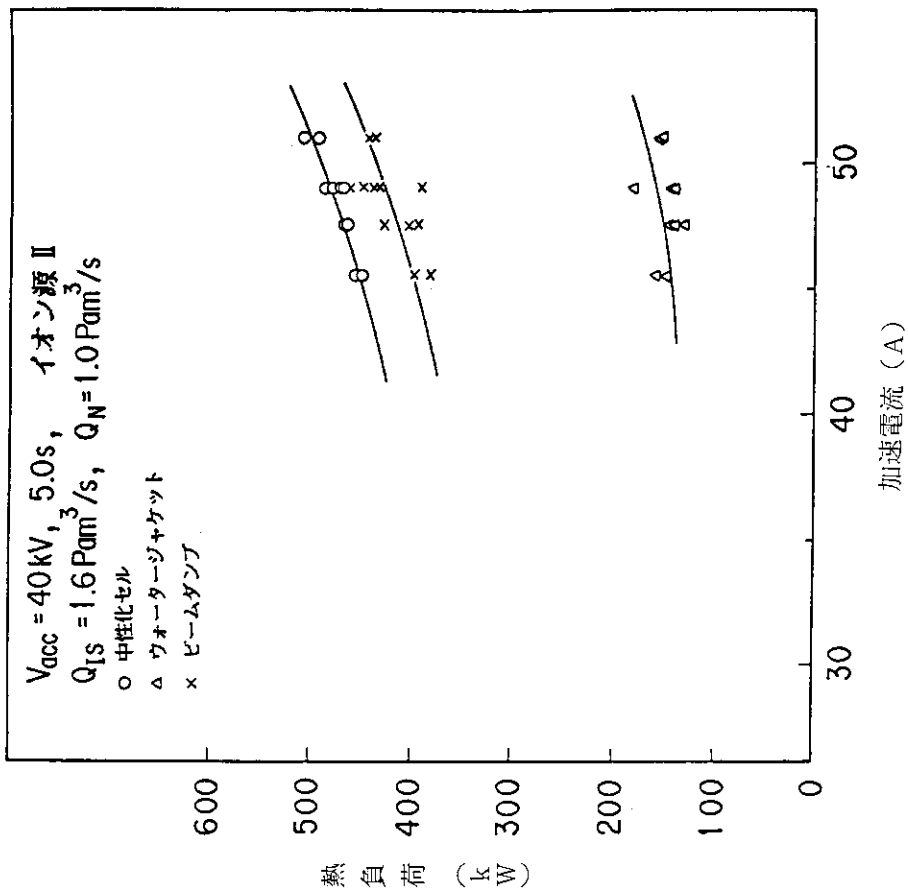
第3図 電極熱負荷 (イオン源 I)



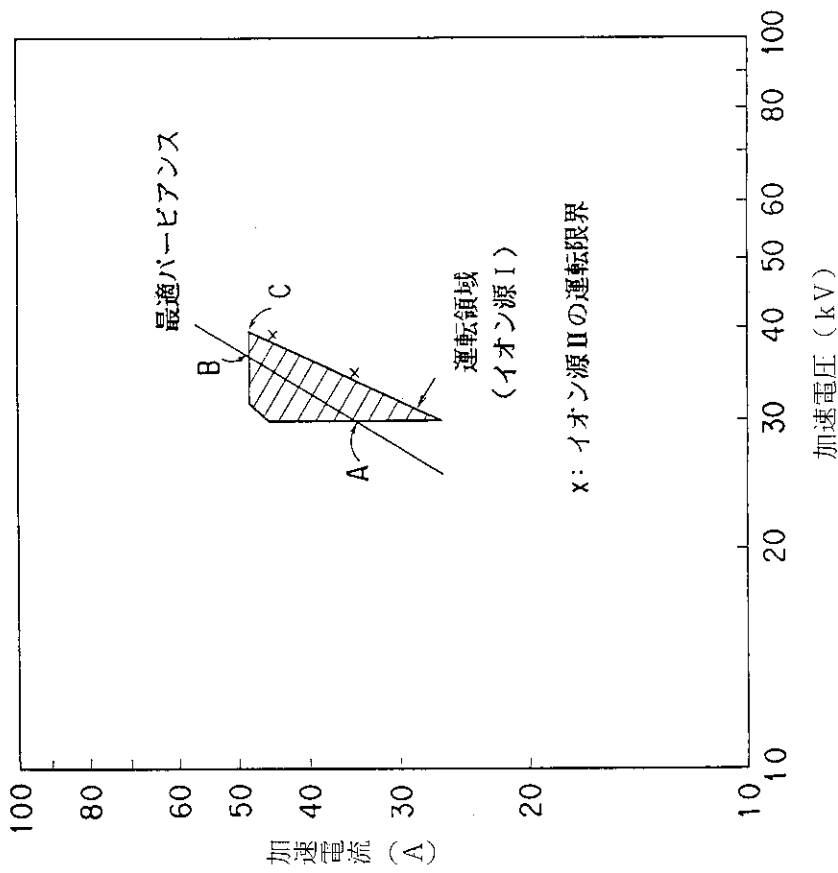
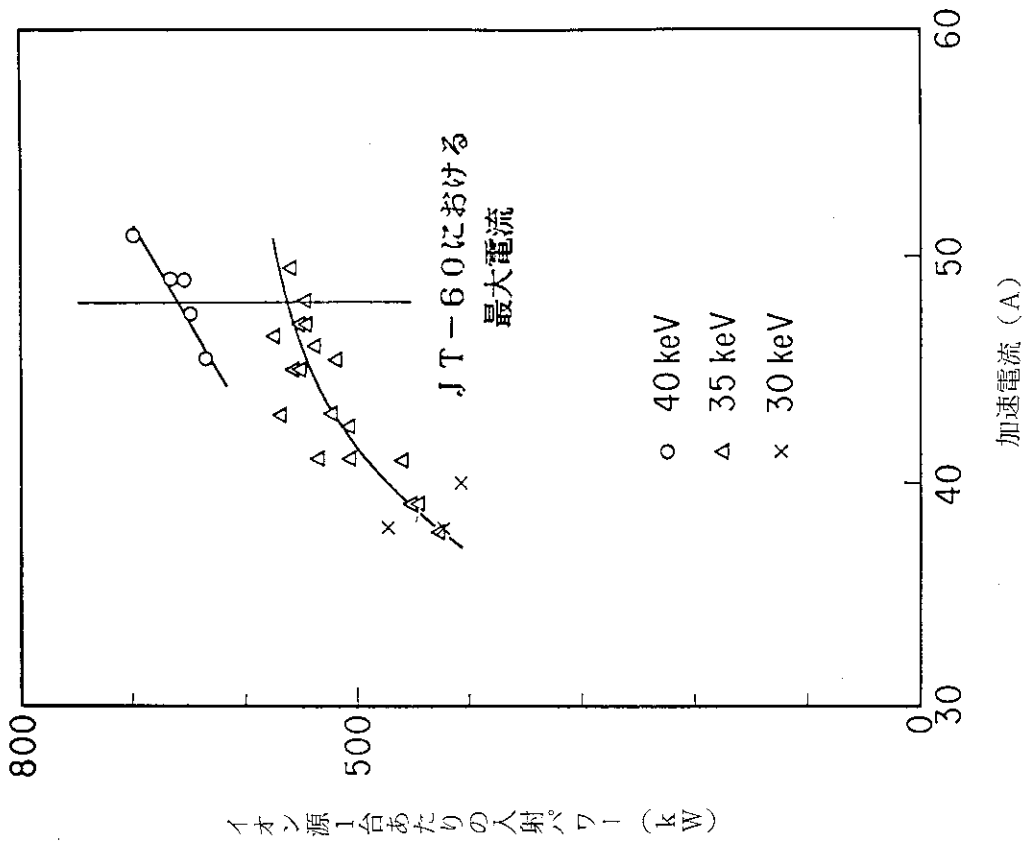
第4図 ビームライン熱負荷 (イオン源 I)



第5図 電極熱負荷 (イオン源Ⅱ)

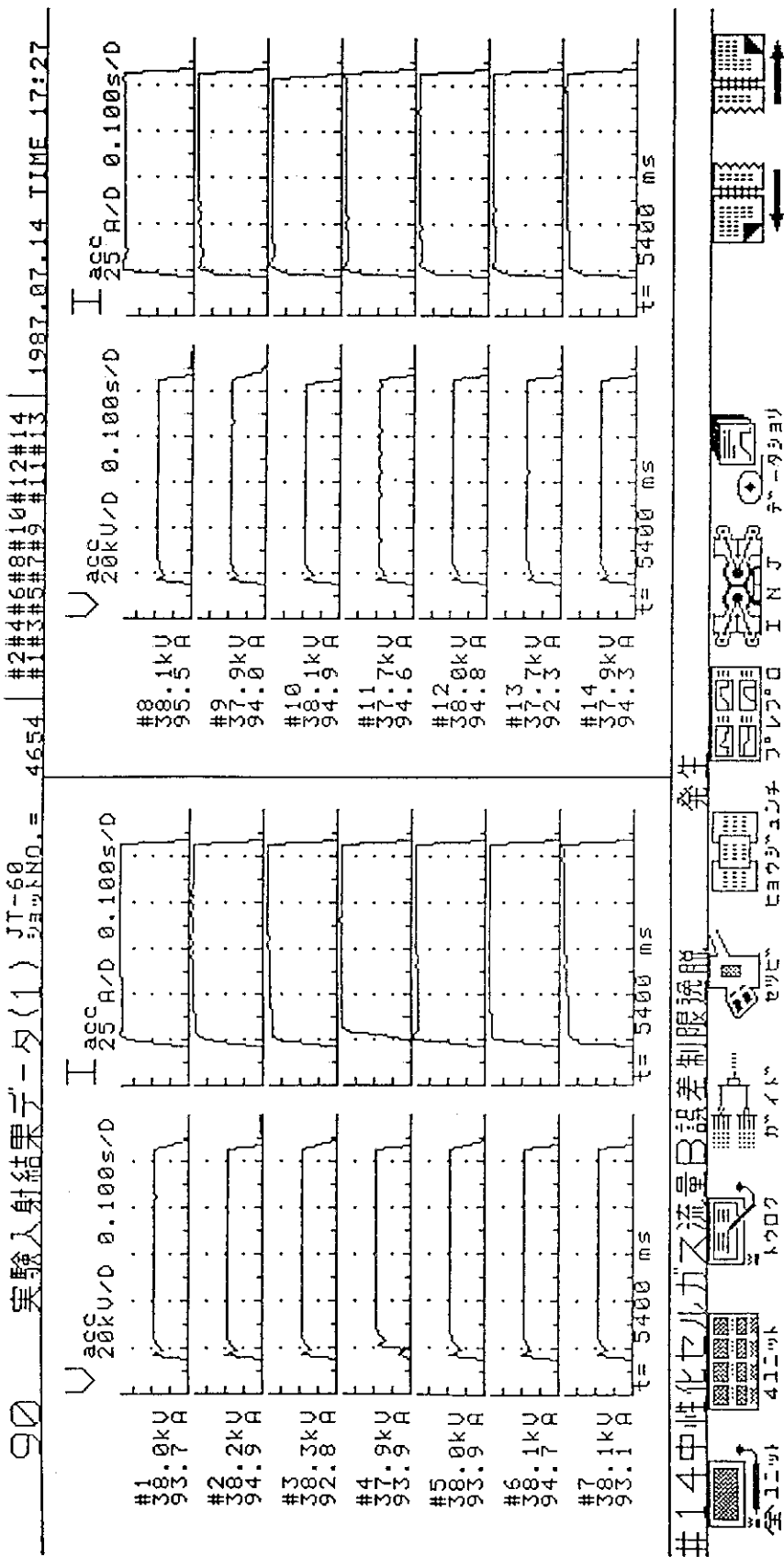


第6図 ビームライン熱負荷 (イオン源Ⅱ)

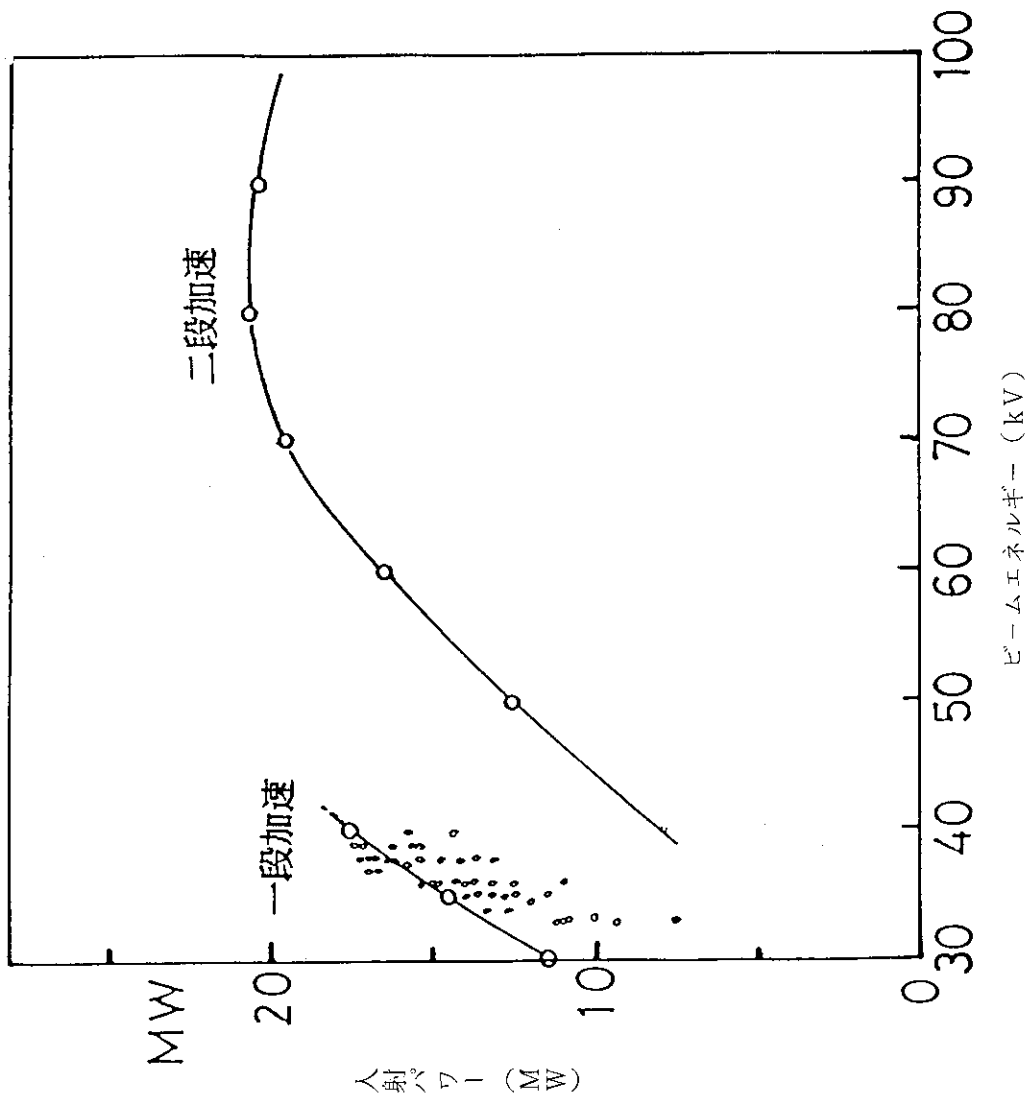


第7図 イオン源1台あたりの運転領域 (イオン源I)

第8図 イオン源1台あたりの入射パワー (イオン源II)



第9図 入射時の加速電圧・電流



第10図 入射パワーのビームエネルギー依存性