

JAERI-M
82-209

JT-60NBI原型ユニット用多チャンネル型
光ビームモニタの試験結果

1982年12月

河合 視己人・秋場 真人

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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。

入手の間合わせは、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 Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

JT-60NBI 原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタの試験結果

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

河合視己人・秋場 真人

(1982年12月15日受理)

JT-60NBI 原型ユニット用の多チャンネル型光ビームモニタの試験を行った。イオン源の角度調整量にして $\pm 0.06^\circ$ 以内（水平軸）の精度でビーム中心軸の検出が可能で、また、フィラメント発光分などのバックグランド光の影響は狭帯域フィルターの設置により除去可能であった。これらのことにより、多チャンネル型光ビームモニタは、JT-60NBIのビーム中心軸の検出器としても実用可能なことがわかった。

A multi-channel optical beam monitor for
the prototype neutral beam injector unit for JT-60

Mikito KAWAI and Masato AKIBA

Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 15, 1982)

A multi-channel optical beam monitor is equipped in the prototype neutral beam injector unit for JT-60 to measure the beam profile of intense neutral beams. Optical filters are used to eliminate background lights from hot tungsten filaments in the ion source. The performance test shows that the beam axis is determined within the accuracy of 0.06° for the horizontal direction, and thus the applicability of the optical beam monitor in the JT-60 neutral beam injector.

Keyword: Neutral Beam, Neutral Beam Injector, Optical Filter,
Beam Profile, JT-60, Performance Test

目 次

1. はじめに	1
2. 測定装置の概要	1
3. 測定結果	2
4. 考 察	4
4.1 ビーム中心軸検出の精度	4
4.2 反射光その他の影響	5
4.3 狭帯域フィルタの効果	5
5. 実機NBIへの応用について	6
6. 結 論	6
7. おわりに	7
参考文献	7

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental Apparatus	1
3. Experimental Results	2
4. Discussion	4
4.1 Accuracy of Detection of the Beam Axis	4
4.2 Effect of Reflected Light	5
4.3 Effect of Band-pass Filter	5
5. Application for JT-60NBI	6
6. Conclusion	6
7. Acknowledgements	7
Reference	7

1. はじめに

JT-60 粒子入射加熱装置 (JT-60 NBI) は 14 ユニットから構成されるが、これら実機 NBI の製作に先立って性能を確認するために製作された 1 ユニット相当の装置が JT-60 NBI 原型ユニット¹⁾(以下、原型ユニット)である。実機 NBI においては、JT-60 プラズマへの入射ビームの中心軸検出のための装置として、熱的方法にかわって光学的方法 (光ビームモニタ法) が用いられる予定である。光ビームモニタとして多チャンネル型がその予備試験²⁾の結果、この目的に使用できる可能性の高いことが既に確められている。また、光ビームモニタは、中心軸検出の他に、ビームの相対的発散の変化の有無等のチェックにも使用される。原型ユニットには水平軸用に 9 点、垂直軸用に 13 点、の各チャンネル数を持つ光ビームモニタが設置された。

ここでは、今回試験した原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタについて、その試験の結果、問題点などを述べる。

2. 測定装置の概要

原型ユニットのビームライン構成図を第 1 図に示す。同図に示されるように、多チャンネル型光ビームモニタはイオン源からの距離を Z として、 $Z = 4.9 \text{ m}$ の点の、第 2 ビームリミタの後方のドリフト排気部カバーと呼ばれる部分に設置されている。また、 $Z = 8.6 \text{ m}$ のところには原型ユニット固有の測定器である可動プローブ (図の Scanning Calorimeter) が設置^{注)}されており、ビーム強度分布を熱的に測定することができる。イオン源は矩形バケット型イオン源と呼ばれるものが 2 台設置され、図のように下側をイオン源 I、上側をイオン源 II と呼ぶ。排気ポンプはクライオポンプとターボ分子ポンプ (TMP) とを選択して用いることができる。

ドリフト排気部カバーと第 2 ビームリミタ付近の拡大図を第 2 図に示す。図のように、第 2 ビームリミタの先のビーム進行方向右側に垂直軸用 (13 CH)、下側には水平軸用 (9 CH) の各検出部が設置される。垂直軸用対向面側には赤外カメラ用部品があるため、これらを覆うよう黒化処理板を設置し、水平軸用は対向面を黒化処理している。また、ビームモニタガス導入系の吹出し口があり、この付近の真空度を加減し、ビームによる発光量を調節することができる。

多チャンネル型光ビームモニタ検出部の組立図を第 3 図に示す。なお、本図のセンサフランジは水平軸用のものを示している。同図右上部のような 1 式の光検出系を各チャンネル毎に持つ。センサとしてはフォトダイオード (S 874-18L) を用い、センサにはセンサスリットーガラス窓ーセンサフランジ貫通孔ースリットを介して見渡せる視野内の光が到達する。各チャ

注) 可動プローブの設置位置は水平軸用が $Z = 8.6 \text{ m}$ 、垂直軸用が $Z = 8.5 \text{ m}$ である。

1. はじめに

JT-60 粒子入射加熱装置 (JT-60 NBI) は 14 ユニットから構成されるが、これら実機 NBI の製作に先立って性能を確認するために製作された 1 ユニット相当の装置が JT-60 NBI 原型ユニット¹⁾(以下、原型ユニット)である。実機 NBI においては、JT-60 プラズマへの入射ビームの中心軸検出のための装置として、熱的方法にかわって光学的方法 (光ビームモニタ法) が用いられる予定である。光ビームモニタとして多チャンネル型がその予備試験²⁾の結果、この目的に使用できる可能性の高いことが既に確められている。また、光ビームモニタは、中心軸検出の他に、ビームの相対的発散の変化の有無等のチェックにも使用される。原型ユニットには水平軸用に 9 点、垂直軸用に 13 点、の各チャンネル数を持つ光ビームモニタが設置された。

ここでは、今回試験した原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタについて、その試験の結果、問題点などを述べる。

2. 測定装置の概要

原型ユニットのビームライン構成図を第 1 図に示す。同図に示されるように、多チャンネル型光ビームモニタはイオン源からの距離を Z として、 $Z = 4.9 \text{ m}$ の点の、第 2 ビームリミタの後方のドリフト排気部カバーと呼ばれる部分に設置されている。また、 $Z = 8.6 \text{ m}$ のところには原型ユニット固有の測定器である可動プローブ (図の Scanning Calorimeter) が設置^{注)}されており、ビーム強度分布を熱的に測定することができる。イオン源は矩形バケット型イオン源と呼ばれるものが 2 台設置され、図のように下側をイオン源 I、上側をイオン源 II と呼ぶ。排気ポンプはクライオポンプとターボ分子ポンプ (TMP) とを選択して用いることができる。

ドリフト排気部カバーと第 2 ビームリミタ付近の拡大図を第 2 図に示す。図のように、第 2 ビームリミタの先のビーム進行方向右側に垂直軸用 (13 CH)、下側には水平軸用 (9 CH) の各検出部が設置される。垂直軸用対向面側には赤外カメラ用部品があるため、これらを覆うよう黒化処理板を設置し、水平軸用は対向面を黒化処理している。また、ビームモニタガス導入系の吹出し口があり、この付近の真空度を加減し、ビームによる発光量を調節することができる。

多チャンネル型光ビームモニタ検出部の組立図を第 3 図に示す。なお、本図のセンサフランジは水平軸用のものを示している。同図右上部のような 1 式の光検出系を各チャンネル毎に持つ。センサとしてはフォトダイオード (S 874-18L) を用い、センサにはセンサスリットーガラス窓—センサフランジ貫通孔—スリットを介して見渡せる視野内の光が到達する。各チャ

注) 可動プローブの設置位置は水平軸用が $Z = 8.6 \text{ m}$ 、垂直軸用が $Z = 8.5 \text{ m}$ である。

ンネル間のセンサフランジ上の間隔は40mm（但し、垂直軸用の第7チャンネルの両側の間隔のみ各34mm）であり、センサとスリット（パイプ先端部）間の長さは約300mmである。また、真空シールはセンサフランジとガラス窓との間で各チャンネル毎になされる。

測定回路を第4図に示す。各センサ出力はそれぞれI/V変換されたあと、垂直軸用と水平軸用の各リレースキャナを介してオシロスコープに接続される。なお、測定回路の入力電流 i_s と出力電圧 e_H 又は e_L との関係は、 $e_H = -4 \times 10^9 \cdot i_s$ [V]又は、 $e_L = -8 \times 10^8 \cdot i_s$ [V]である（ e_H と e_L は感度切換スイッチにより決まる）。

3. 測定結果

垂直軸（13CH）と水平軸（9CH）の各出力波形の1例を第5図に示す。この例の場合、各チャンネルあたりの掃引時間は約5mSであるが、その直線性より1mS程度とすることも充分可能なことがわかる。

イオン源のアーク放電のみ、あるいはフィラメント通電のみの場合にも、かなりの光強度を得る現象がみられた。第6図はあるチャンネルの光強度の時間変化を示したものである。ビーム引出しをしなくとも大きな光強度出力が観察されることがわかる。この現象は前回の試験時には見られなかったものである。この原因は使用しているイオン源が前回と異っているためと考えられる。前回のイオン源は円形（10cm ϕ ）デュオピガトロンで、酸化物フィラメントのため発光量そのものが極めて少ない上に、構造上もフィラメントがカソードチャンバーと呼ばれる空間内に設置されているため、引出電極付近へ殆どフィラメント発光分が漏れてこなかった。一方、今回の矩形（12 \times 27cm）バケット型イオン源はタングステンフィラメント複数本を引出電極上流側に取付けているため、電極のビーム引出孔から、フィラメント発光分などのうちかなりの量が真空容器側へ漏れてくる。これをセンサが検知して第6図のようなバックグランド光になるものと考えられる。同図のようにバックグランド光はフィラメント通電開始と共にほぼ直線的に増加し、フィラメント通電終了で急激に減少している。このことから、バックグランド光はその殆どがフィラメント発光分であり、アーク発光分は無視できるレベルであることがわかる。

多チャンネル型光ビームモニタと可動プローブとの水平軸上のビームプロファイルの比較を第7図に示す。本図は角度調整機構（簡単にいえば、イオン源の首振り角度調整用の装置）により、角度にして -0.27° の調整前後の各プロファイルを示している。多チャンネル型光ビームモニタのデータはフィラメント発光分（第6図のバックグランド光の $t = 7$ 秒付近の値に相当する量）を差引いたビーム発光分のみを使用している。角度調整量の 0.27° は軸変化量であらわすと、 $Z = 8.6$ mでは4.1 cmに、 $Z = 4.9$ mでは2.3 cmに相当する（理論値）。この理論値と第7図の測定結果を比較すると、可動プローブ（ $Z = 8.6$ m）は4.1 cmに対し 4.0 ± 0.5 cm、光ビームモニタ（ $Z = 4.9$ m）は2.3 cmに対し 1.8 ± 0.5 cmであり、理論値と実測値とはほぼ一致した。なお、ここで実測値の後につけた ± 0.5 cmは絶対誤差を示す

ンネル間のセンサフランジ上の間隔は40mm（但し、垂直軸用の第7チャンネルの両側の間隔のみ各34mm）であり、センサとスリット（パイプ先端部）間の長さは約300mmである。また、真空シールはセンサフランジとガラス窓との間で各チャンネル毎になされる。

測定回路を第4図に示す。各センサ出力はそれぞれI/V変換されたあと、垂直軸用と水平軸用の各リレースキャナを介してオシロスコープに接続される。なお、測定回路の入力電流 i_s と出力電圧 e_H 又は e_L との関係は、 $e_H = -4 \times 10^9 \cdot i_s$ [V]又は、 $e_L = -8 \times 10^8 \cdot i_s$ [V]である（ e_H と e_L は感度切換スイッチにより決まる）。

3. 測定結果

垂直軸（13CH）と水平軸（9CH）の各出力波形の1例を第5図に示す。この例の場合、各チャンネルあたりの掃引時間は約5mSであるが、その直線性より1mS程度とすることも充分可能なことがわかる。

イオン源のアーク放電のみ、あるいはフィラメント通電の場合にも、かなりの光強度を得る現象がみられた。第6図はあるチャンネルの光強度の時間変化を示したものである。ビーム引出しをしなくとも大きな光強度出力が観察されることがわかる。この現象は前回の試験時には見られなかったものである。この原因は使用しているイオン源が前回と異っているためと考えられる。前回のイオン源は円形（10cm ϕ ）デュオピガトロンで、酸化物フィラメントのため発光量そのものが極めて少ない上に、構造上もフィラメントがカソードチャンバーと呼ばれる空間内に設置されているため、引出電極付近へ殆どフィラメント発光分が漏れてこなかった。一方、今回の矩形（12 \times 27cm）バケット型イオン源はタングステンフィラメント複数本を引出電極上流側に取付けているため、電極のビーム引出孔から、フィラメント発光分などのうちのかなりの量が真空容器側へ漏れてくる。これをセンサが検知して第6図のようなバックグランド光になるものと考えられる。同図のようにバックグランド光はフィラメント通電開始と共にほぼ直線的に増加し、フィラメント通電終了で急激に減少している。このことから、バックグランド光はその殆どがフィラメント発光分であり、アーク発光分は無視できるレベルであることがわかる。

多チャンネル型光ビームモニタと可動プローブとの水平軸上のビームプロファイルの比較を第7図に示す。本図は角度調整機構（簡単にいえば、イオン源の首振り角度調整用の装置）により、角度にして -0.27° の調整前後の各プロファイルを示している。多チャンネル型光ビームモニタのデータはフィラメント発光分（第6図のバックグランド光の $t = 7$ 秒付近の値に相当する量）を差引いたビーム発光分のみを使用している。角度調整量の 0.27° は軸変化量であらわすと、 $Z = 8.6$ mでは4.1 cmに、 $Z = 4.9$ mでは2.3 cmに相当する（理論値）。この理論値と第7図の測定結果を比較すると、可動プローブ（ $Z = 8.6$ m）は4.1 cmに対し 4.0 ± 0.5 cm、光ビームモニタ（ $Z = 4.9$ m）は2.3 cmに対し 1.8 ± 0.5 cmであり、理論値と実測値とはほぼ一致した。なお、ここで実測値の後につけた ± 0.5 cmは絶対誤差を示す

ものではなく、第7図のカーブの描く時およびそのカーブからピーク位置を読みとる時にそれぞれ含まれる誤差範囲の最大値を示すものである。(但し、この場合は両者共±0.5 cm でたまたま一致している。)

フィラメント発光分をバックグランド量として、全出力値から差引けば、ビーム中心軸の検出可能なことがわかったが、データ処理が複雑で誤差要因も多く現実的でない。そこで、ビーム発光分のみを選択的に透過する狭帯域フィルターを取付け、フィラメント発光分がセンサに達しないようにする方法が試験された。第8図はフィルター(中心波長; 650 nm, 半値巾; 30 nm, 中心波長での透過率; 85%)をつける前後のセンサ=フォトダイオードの感度曲線を示す。フィルターの有無による面積比は約1:16で、フィラメント発光分などの波長領域の広い光は約1/16となるが、ビーム発光分(H α 光)は約4/5にしかならず、S/N比を上げることができる。このフィルターはフィルター用ホルダーに入れられ、第3図の⑥センサスリットと⑦センサキャップとの間にセットされた。第9図はこのフィルターをつけた時のビームON時とビームOFF時(アーク放電のみ、およびイオン源への通電一切無しの2種)の出力波形(垂直軸)を示す。同図のうち、ビームOFF時の2枚の写真でわかるように、フィラメント発光分はチャンネルNo.6と7など中央部を除けば完全にカットできることがわかる。No.6や7についてもビームON時の出力の中に占める割合は8%以内で、普通の場合無視できる量であった。(なお、No.5チャンネルのビームOFF時の出力は信号測定回路のオフセットである。)また、ビーム発光分のみフィルターの有無による強度比は、同一ビーム電流値、同一真空度での比として、約1:3.5(約30%)であった。これは予想の4/5に比べ小さすぎるが、フィルターを取付けた場合、センサ位置が後方へ約30mmずれることに起因するものと思われる。

真空度と光強度との関係を第10図に示す。真空度はビームモニタガス導入系により水素ガス導入量を加減して変化させている。光強度を増すためには真空度(圧力)を大きくすればよいが、むやみに圧力上昇させると入射ビームの特性に影響が出てくる。今回、フィルターをつけることによる出力減少分は真空度を 5×10^{-3} [Pa](但し、メーターの読み値)程度とすれば、信号測定回路に大きな負担をかけず、かつ、ビームへ与える影響もなく測定可能であった。

各チャンネル間の感度のバラツキが、特に垂直軸のデータに対し目立った。第5図の出力波形は垂直軸と水平軸共に、アンプゲインは全チャンネル一定とし、検出部には一切手を加えずに得られた生データであるが、垂直軸のデータのバラツキの度合いは一見してかなり大きなことがわかる。このバラツキの最大の原因は、第3図の⑦センサキャップ内に設置されたセンサ(フォトダイオード)の受光部の微量の位置の差によるものである。これはこのセンサが鋭い指向性(方向依存性)を持つため、センサの支持方法やセンサの選定に改善を要する点である。今回の試験においては、同一測定条件で最大出力を得るような各センサの受光部位置調整を各チャンネル毎に試行錯誤的に行い、第9図のようにバラツキを小さくして使用した(なお、第9図では第5チャンネルの信号測定回路の零調整が不十分でオフセットが出ており、第9と第10の各チャンネルは単なる誤配線により入れ違っている)。

4. 考 察

4.1 ビーム中心軸検出の精度

ビーム中心軸の検出は、イオン源の角度調整機構により、ビーム軸の調整を行う時に主に必要となる。ビーム軸の調整は、ふつう、NBIの主排気タンク内の各受熱機器、およびJT-60本体真空容器のNBI対向面、へのビームによる熱負荷が適正となるようになされる。NBIの各受熱器が熱負荷的に許容される角度調整範囲は、原型ユニットの場合、ビームライン中心軸に対し $\pm(0.15^\circ \sim 0.2^\circ)$ 以内であった。このことから、ビーム中心軸の位置の真値に対する測定値の誤差が $\pm 0.15^\circ$ 以内であれば、ビーム中心軸の位置検出器として実用可能である。

第7図の結果では、ビーム中心軸は理論値（真値とは異なる）と比べて $\pm 0.5 \text{ cm}$ ($Z = 4.9 \text{ m}$)の誤差範囲内で実測可能であった。なお、 $\pm 0.5 \text{ cm}$ ($Z = 4.9 \text{ m}$)は角度調整量で約 $\pm 0.06^\circ$ に相当する。これは可動プローブのデータと比べて、設置位置の差 ($Z = 8.6$ と 4.9 m)による精度面のハンディを考慮すると、何ら遜色のないものであった。このように第7図の結果はビームの中心軸検出器として、十分な性能といえるものである。

第7図の結果は水平軸についてのものであるが、垂直軸については次のような悪条件が加わると考えられる。

- (1) ビーム断面が長方形状（イオン源部で、 $12 \times 27 \text{ cm}$ ）で、垂直軸は長手方向に沿った、もともとなだらかな強度分布のビームのピーク位置を検出することになり、ピーク位置の検出が難しくなる可能性がある。
- (2) イオン源1台の運転の時に、残る1台のイオン源からのビーム軌道用空間部側で、第1および第2ビームリミタのビームリミタ効果（ビーム中心軸部から遠い周辺部の微弱成分をカットする効果）がないため、リミタ効果のある側とない側とで条件が異なる（後者が大きい値となり、ビームプロファイルの対称性がなくなる可能性がある）。
- (3) 第2図の黒化処理部の配置でわかるように、垂直軸用の黒化処理部はビーム軌道のま近にあるため、水平軸用に比べ反射光の影響等が大きい可能性がある。

上記3点について、次のように考えられる。

(1)は、計算法³⁾による、 $Z = 4.9 \text{ m}$ の点でのビーム断面強度分布図（第11図）によれば、ほぼ真円に近い楕円であり、特別に水平軸と区別して考える必要のないことがわかる。

(2)と(3)に関して、第9図のデータをもとにビームプロファイルを描くと（第12図）、図の右側のカーブの裾のレベルが大分高いのがわかる。ビームライン中心軸位置を -11.3 cm とすると、光ビームモニタによるビームプロファイルのピーク位置は $-10.5 \pm 0.5 \text{ cm}$ で、その差は 0.8 cm （角度調整量にして約 $\pm 0.09^\circ$ に相当）である。即ち、垂直軸は水平軸に比べて、ビームプロファイルの左右対称性が悪く、そのため中心軸検出精度もやや落ちることがわかる。なお、可動プローブのデータではプロファイルの左右対称性が悪いということはないが、光ビームモニタの位置とビームリミタ効果が全く異なるため直接比較の対象とはならない。また、カーブ

の裾のレベルが高い原因として、上記の2項目の他に、前回試験時にも問題となったビームプラズマ中の低エネルギー電子と水素分子との衝突による発光分の影響も存在する。いずれにしても、垂直軸の中心軸の検出誤差範囲も実用可能な範囲内であった。

4.2 反射光その他の影響

前回の試験時に問題点としてあげられた、反射光やビームプラズマ発光分などは、4.1節のように、主に垂直軸のビーム中心軸測定時にその検出精度に影響を与えている可能性がある。今回の試験では、反射光対策として、第2図のように、対向面側には突起状の物を視野内に入らぬように板を置くなどし、その板などの各対向面には黒化処理を施した。特に水平軸用対向面は第2ビームリミタとドリフト排気部カバーにはさまれた袋小路的な配置となっている。これらにより、センサに達する反射光の量は極めて小さいものと予想される。但し、垂直軸用対向面側の黒化板には真空容器内目視点検時に銅のスパッタリングの形跡が見られ、前述のように、良くない影響を与えている可能性はある。ビームプラズマ発光分の影響については、今回の試験では特に対策していない。これは多チャンネル型光ビームモニタの目的がビームの中心軸検出とビームの相対的発散の変化の有無のチェック等にあり、これらに対するビームプラズマ発光分の影響は他の要因による影響に比べて、小さなものと推定できるためである。

4.3 狭帯域フィルタの効果

イオン源のフィラメントの発光分の影響は狭帯域フィルターにより除去可能であった。この時の利点としては、

- (1) ビーム発光分とフィラメント発光分とを波長領域の差で区別するため、センサへの光路の途中にフィルターを入れるだけでよく、非常に簡便である。また、フィルター設置によるビーム発光分の減衰量はわずかである。
- (2) フィラメント発光分をほぼ完全に除去するので、フィルター無しの時に比べ、測定の精度・効率が上がる。

などである。

第3図の組立図のように、本フィルターは最初から設置の予定はなかったため、今回の試験では、本フィルター設置によりセンサが後方へ約30mmずれることになった。実用化にあたってはガラス窓をフィルターに置換えるなどの改良を要する。

なお、実機NBIの場合、角度微調整モードというプラズマのないJT-60本体へ短パルスのビームを入射して測定する運転モードの他、加熱実験中の入射ビームそのものの中心軸検出あるいは相対的発散の変化の有無検出などのために光ビームモニタを使用する場合もある。このJT-60のプラズマ着火中の測定時には、プラズマからの発光が今回のフィラメント発光分の影響と同様にバックグラウンド分となる可能性もある。この影響が出た場合、本フィルターは効果がなく、何らかの対策が必要となる可能性がある。

5. 実機 NBI への応用について

実機 NBI には原型ユニットの可動プローブにあたる測定器は設置されない。このため、入射ビームの中心軸の検出にはコンパクト性や高速応答性などの利点を有する光学的測定器（光ビームモニタ）が採用される予定である。多チャンネル型光ビームモニタはこの実用化の可能性の高い方式として、原型ユニットで今回の試験が行われた。その結果、水平軸用に比べ、垂直軸用はやや検出精度が落ちる傾向にあるが、共に実用可能な誤差範囲内でビーム中心軸の検出をすることが可能で、狭帯域フィルターを装着するなど今回のものに一部改良を加えることにより、実際の入射ビーム中心軸の検出器として実用の目途はたった。

しかし、同時に下記のようないくつかの改善したい項目も出てきた。

- (1) 測定の点数・位置が限定される。このため、例えば、中心軸（波形のピーク位置）付近のみを短いピッチで詳しくデータをとるなどが困難である。
- (2) 各チャンネル毎に独立した測定光路およびセンサを持つため、各チャンネル毎に個性を持ち、各チャンネル毎の感度較正を必要とする。
- (3) 各チャンネル間の個性のバラツキを小さくするために、検出部の加工および組立などの機械的高精度を必要とする。信号測定回路も微小電流を扱うため、使用部品や実装などに特別の配慮を必要とする。以上のことから高価となる。

これらは殆どすべて多チャンネル型の性格そのものに起因するものである。特に(1)の測定点数・位置はそのまま測定の精度と密接に関係する。

以上のことから、測定原理的には多チャンネル型光ビームモニタと同一で、凡用品である TV カメラを用いた測定法が現在検討されている。この方式によれば上記 3 点に対し有利で、かつ、多チャンネル型の持つ性能は殆どすべて同等又はそれ以上のレベルで満足する測定器となる可能性もある。

6. 結 論

原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタの試験により、次のことがわかった。

- (1) 多チャンネル型光ビームモニタは実機 NBI でも中心軸検出用として実用可能である。この時の検出精度は、 $Z = 4.9 \text{ m}$ において $\pm 0.5 \text{ cm}$ （イオン源の角度調整量にして $\pm 0.06^\circ$ ）以内であった。但し、垂直軸は水平軸に比べ、検出精度が落ちる（例えば、 $\pm 0.09^\circ$ 以内）傾向にある。
- (2) 垂直軸の検出精度が良くない原因のひとつに反射光の影響も無視できない可能性がある。今回の垂直軸用対向面側に設置した黒化処理板は実機 NBI においてはスパッタリングを受けることのないよう形状等を改良する必要がある。

5. 実機 NBI への応用について

実機 NBI には原型ユニットの可動プローブにあたる測定器は設置されない。このため、入射ビームの中心軸の検出にはコンパクト性や高速応答性などの利点を有する光学的測定器（光ビームモニタ）が採用される予定である。多チャンネル型光ビームモニタはこの実用化の可能性の高い方式として、原型ユニットで今回の試験が行われた。その結果、水平軸用に比べ、垂直軸用はやや検出精度が落ちる傾向にあるが、共に実用可能な誤差範囲内でビーム中心軸の検出をすることが可能で、狭帯域フィルターを装着するなど今回のものに一部改良を加えることにより、実際の入射ビーム中心軸の検出器として実用の目途はたった。

しかし、同時に下記のようないくつかの改善したい項目も出てきた。

- (1) 測定の点数・位置が限定される。このため、例えば、中心軸（波形のピーク位置）付近のみを短いピッチで詳しくデータをとるなどが困難である。
- (2) 各チャンネル毎に独立した測定光路およびセンサを持つため、各チャンネル毎に個性を持ち、各チャンネル毎の感度較正を必要とする。
- (3) 各チャンネル間の個性のバラツキを小さくするために、検出部の加工および組立などの機械的高精度を必要とする。信号測定回路も微小電流を扱うため、使用部品や実装などに特別の配慮を必要とする。以上のことから高価となる。

これらは殆どすべて多チャンネル型の性格そのものに起因するものである。特に(1)の測定点数・位置はそのまま測定の精度と密接に関係する。

以上のことから、測定原理的には多チャンネル型光ビームモニタと同一で、凡用品である TV カメラを用いた測定法が現在検討されている。この方式によれば上記 3 点に対し有利で、かつ、多チャンネル型の持つ性能は殆どすべて同等又はそれ以上のレベルで満足する測定器となる可能性もある。

6. 結 論

原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタの試験により、次のことがわかった。

- (1) 多チャンネル型光ビームモニタは実機 NBI でも中心軸検出用として実用可能である。この時の検出精度は、 $Z = 4.9 \text{ m}$ において $\pm 0.5 \text{ cm}$ （イオン源の角度調整量にして $\pm 0.06^\circ$ ）以内であった。但し、垂直軸は水平軸に比べ、検出精度が落ちる（例えば、 $\pm 0.09^\circ$ 以内）傾向にある。
- (2) 垂直軸の検出精度が良くない原因のひとつに反射光の影響も無視できない可能性がある。今回の垂直軸用対向面側に設置した黒化処理板は実機 NBI においてはスパッタリングを受けることのないよう形状等を改良する必要がある。

- (3) 前回試験時の問題点以外の新しい問題点として、イオン源のフィラメント発光分の影響とビームリミタ効果の差の2点が測定精度に影響を与える可能性のあることがわかった。このうち、前者に対しては、狭帯域フィルターを設置することにより、その影響をほぼ完全に除去できる。
- (4) 各チャンネル間の感度のバラツキの最大原因は、センサの設置位置のわずかなバラツキであり、感度のバラツキを最小限にするために、センサの支持方法やセンサ自身の選択などについて改良する必要がある。

7. お わ り に

原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタは実機NBIで実用可能であり、その場合の改良を要する点、性能的限界なども本試験により明らかにされた。本試験結果は、直接的にか間接的にかは別として、実機NBI光ビームモニタの設計に有用なものである。現在、本光ビームモニタは原型ユニット用データ処理計算機（ミニコンピュータ）に接続され、中心軸検出、相対的ビーム発散変化のチェックなどを短時間で得られることで役立っている。

最後に、今回の試験に御援助いただいた加熱工学第1研究室とJT-60第4開発室の諸氏に感謝致します。また不断の激励をいただいた磯康彦核融合研究開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、田中正俊核融合研究部次長、白形弘文JT-60第4開発室長に感謝致します。

参考文献

- 1) M.Akiba et al.; JAERI-M 82-045 (1982)
- 2) 河合他; JAERI-M 8778 (1980)
- 3) 小原・栗山; JAERI-M 82-066 (1982)

- (3) 前回試験時の問題点以外の新しい問題点として、イオン源のフィラメント発光分の影響とビームリミタ効果の差の2点が測定精度に影響を与える可能性のあることがわかった。このうち、前者に対しては、狭帯域フィルターを設置することにより、その影響をほぼ完全に除去できる。
- (4) 各チャンネル間の感度のバラツキの最大原因は、センサの設置位置のわずかなバラツキであり、感度のバラツキを最小限にするために、センサの支持方法やセンサ自身の選択などについて改良する必要がある。

7. お わ り に

原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタは実機NBIで実用可能であり、その場合の改良を要する点、性能的限界なども本試験により明らかにされた。本試験結果は、直接的にか間接的にかは別として、実機NBI光ビームモニタの設計に有用なものである。現在、本光ビームモニタは原型ユニット用データ処理計算機（ミニコンピュータ）に接続され、中心軸検出、相対的ビーム発散変化のチェックなどを短時間で得られることで役立っている。

最後に、今回の試験に御援助いただいた加熱工学第1研究室とJT-60第4開発室の諸氏に感謝致します。また不断の激励をいただいた磯康彦核融合研究開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、田中正俊核融合研究部次長、白形弘文JT-60第4開発室長に感謝致します。

参考文献

- 1) M.Akiba et al.; JAERI-M 82-045 (1982)
- 2) 河合他; JAERI-M 8778 (1980)
- 3) 小原・栗山; JAERI-M 82-066 (1982)

- (3) 前回試験時の問題点以外の新しい問題点として、イオン源のフィラメント発光分の影響とビームリミタ効果の差の2点が測定精度に影響を与える可能性のあることがわかった。このうち、前者に対しては、狭帯域フィルターを設置することにより、その影響をほぼ完全に除去できる。
- (4) 各チャンネル間の感度のバラツキの最大原因は、センサの設置位置のわずかなバラツキであり、感度のバラツキを最小限にするために、センサの支持方法やセンサ自身の選択などについて改良する必要がある。

7. お わ り に

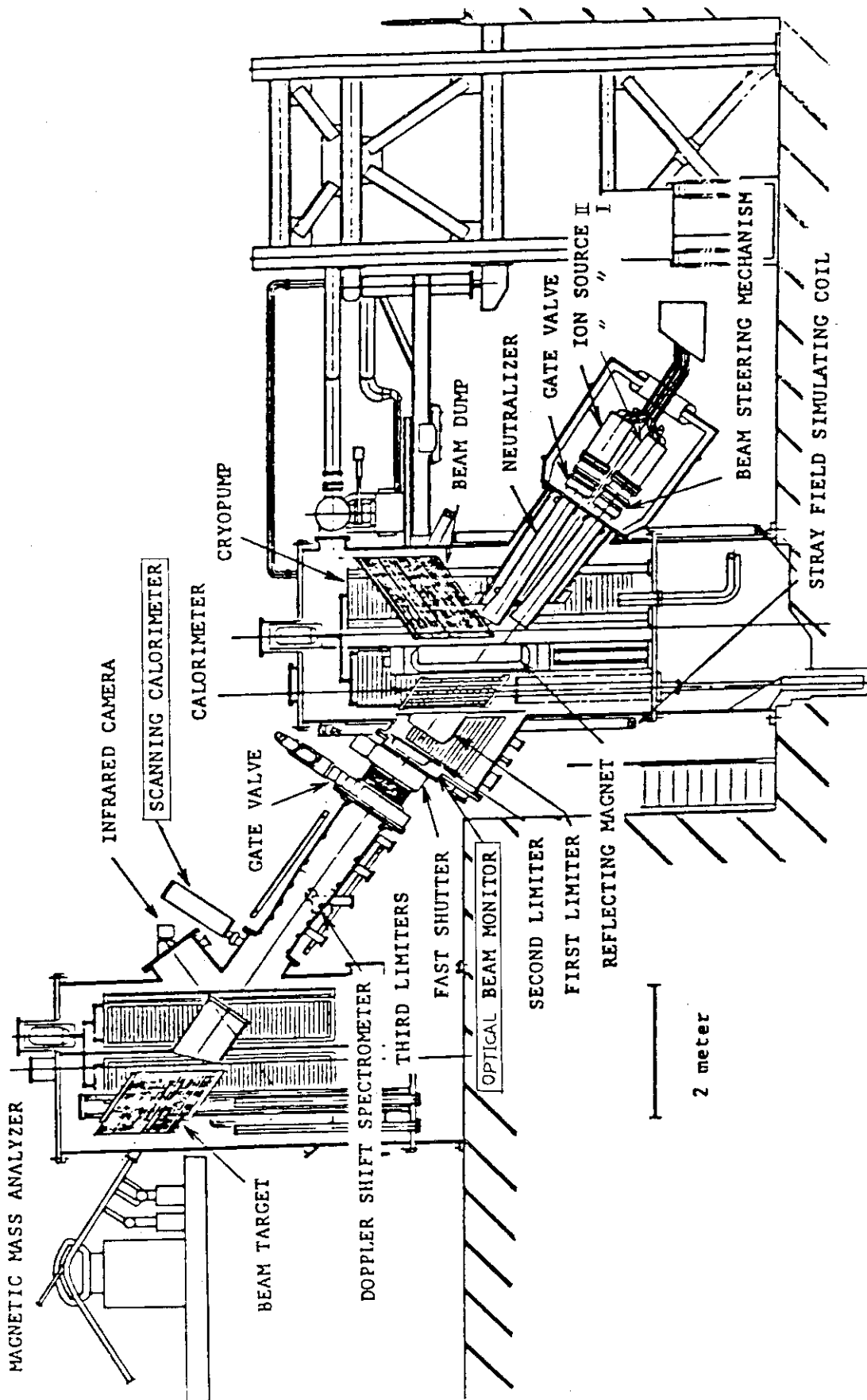
原型ユニット用多チャンネル型光ビームモニタは実機NBIで実用可能であり、その場合の改良を要する点、性能的限界なども本試験により明らかにされた。本試験結果は、直接的にか間接的にかは別として、実機NBI光ビームモニタの設計に有用なものである。現在、本光ビームモニタは原型ユニット用データ処理計算機（ミニコンピュータ）に接続され、中心軸検出、相対的ビーム発散変化のチェックなどを短時間で得られることで役立っている。

最後に、今回の試験に御援助いただいた加熱工学第1研究室とJT-60第4開発室の諸氏に感謝致します。また不断の激励をいただいた磯康彦核融合研究開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、田中正俊核融合研究部次長、白形弘文JT-60第4開発室長に感謝致します。

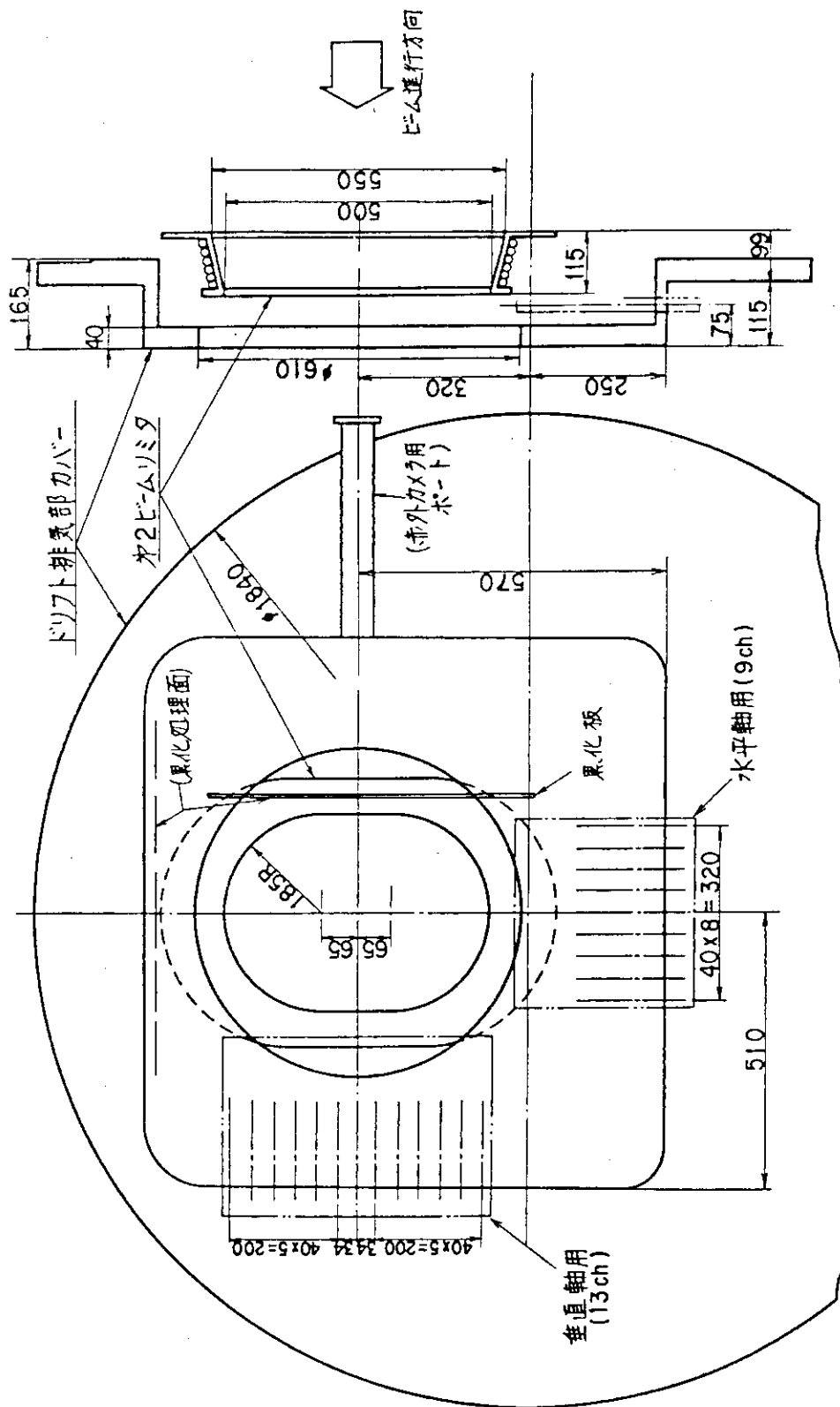
参考文献

- 1) M.Akiba et al.; JAERI-M 82-045 (1982)
- 2) 河合他; JAERI-M 8778 (1980)
- 3) 小原・栗山; JAERI-M 82-066 (1982)

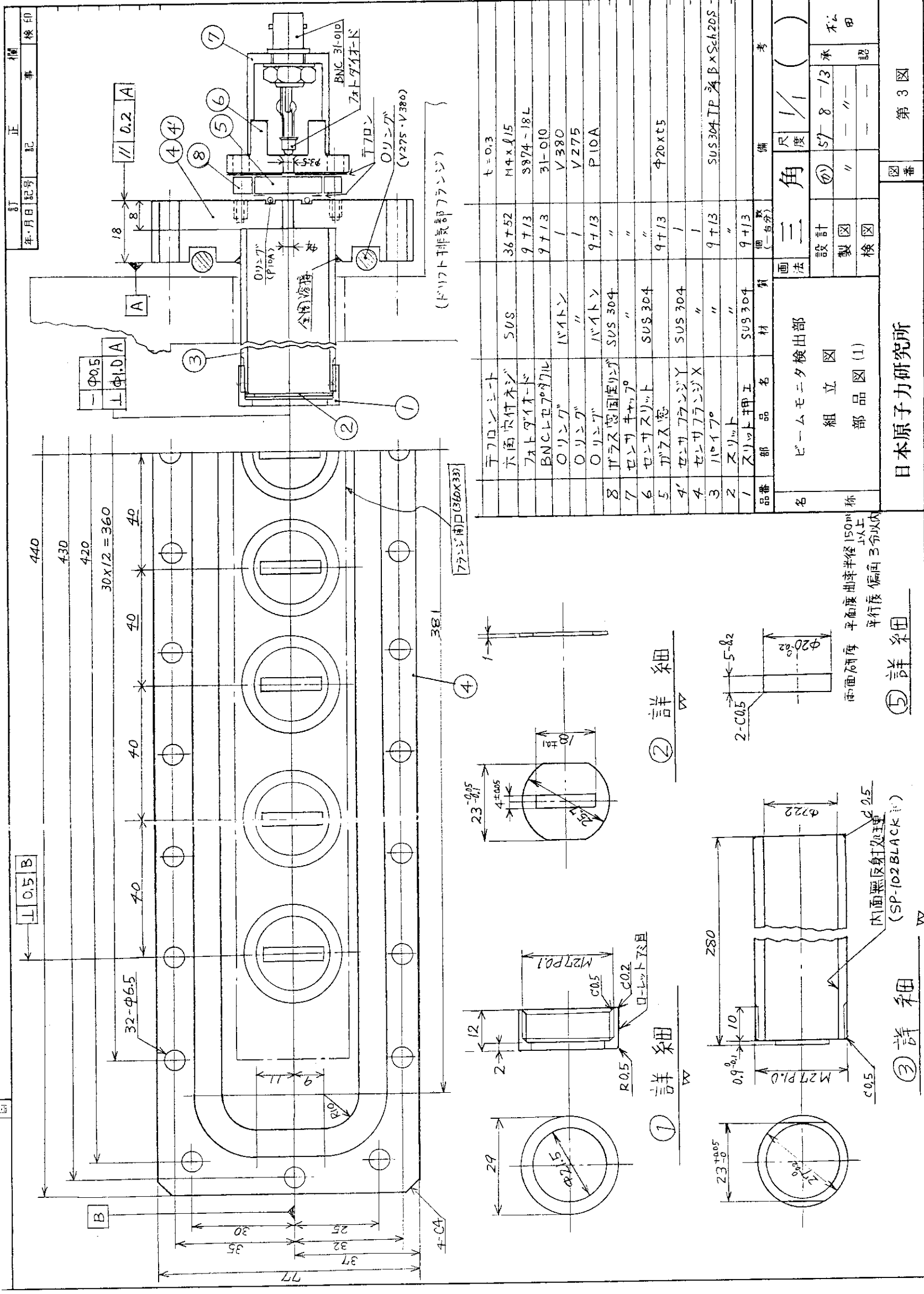
TARGET CHAMBER DRIFT TUBE BEAM LINE CHAMBER



第1図 ビームライン構成図

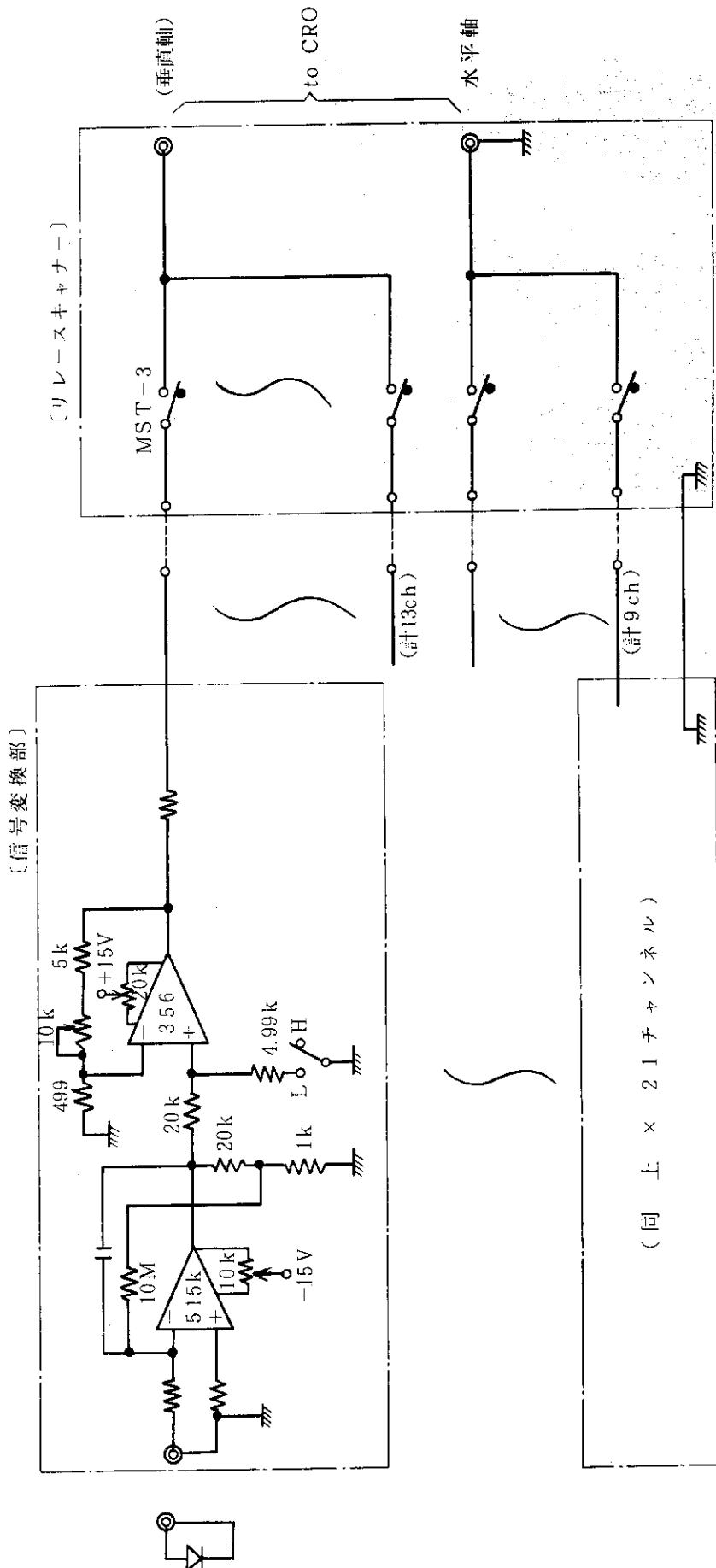


第2図 ドリフト排気部カバー付近図



日本原子力研究所

第3図

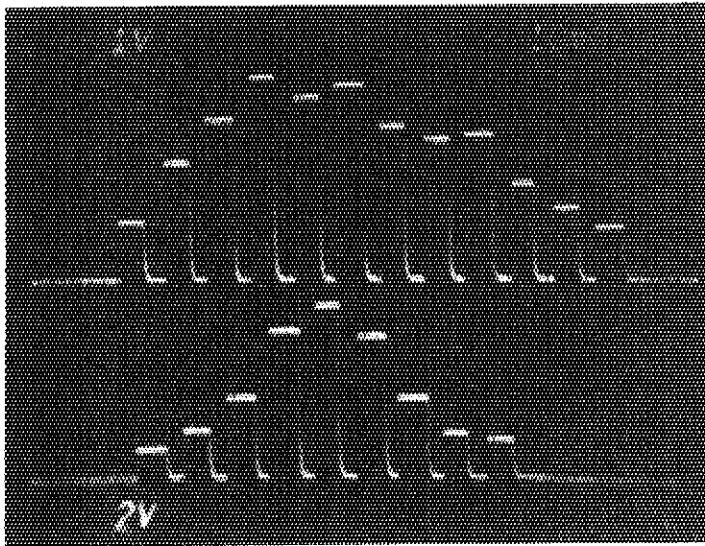


注) 垂直軸用のリレーキヤナのチャンネル数は12ch。

$$\begin{cases} e_H = -4 \times 10^9 \cdot i_s \text{ (V)} \\ e_L = -8 \times 10^8 \cdot i_s \text{ (V)} \end{cases}$$

第4図 信号測定回路

(820806)



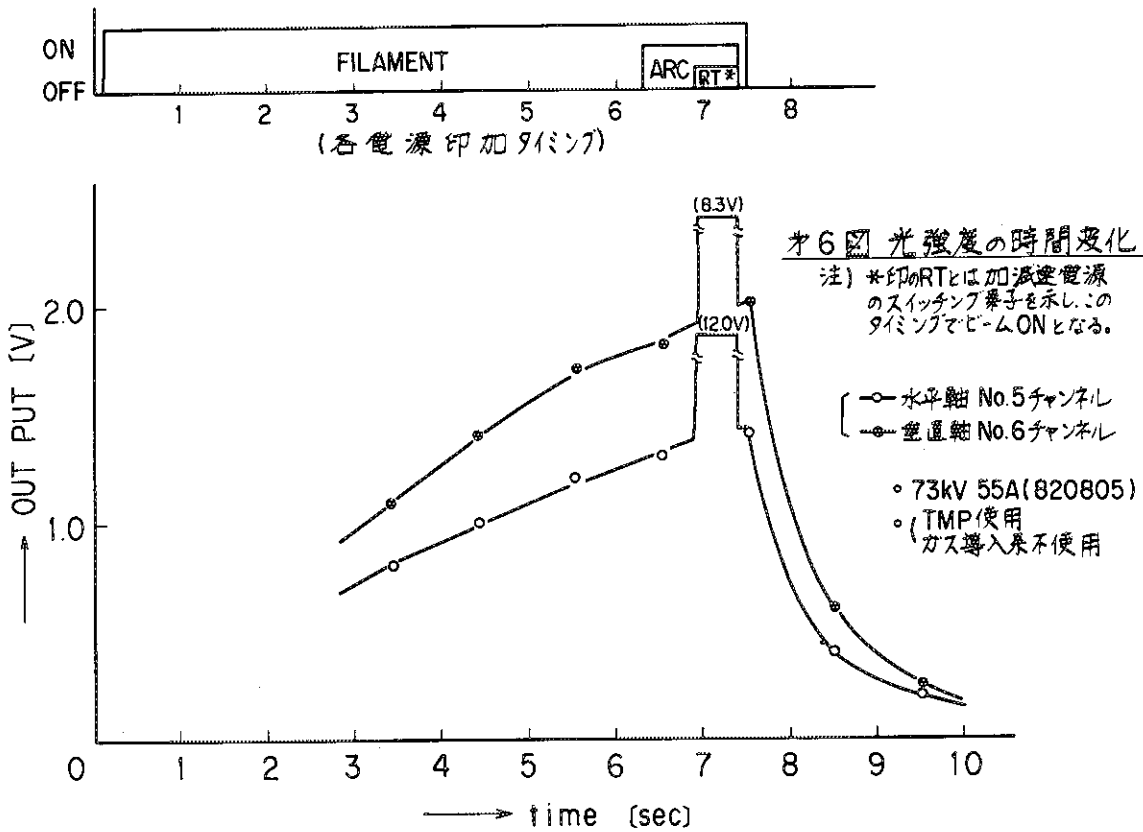
← 垂直軸
(1 V/div)
注) 第13チャンネルは省略

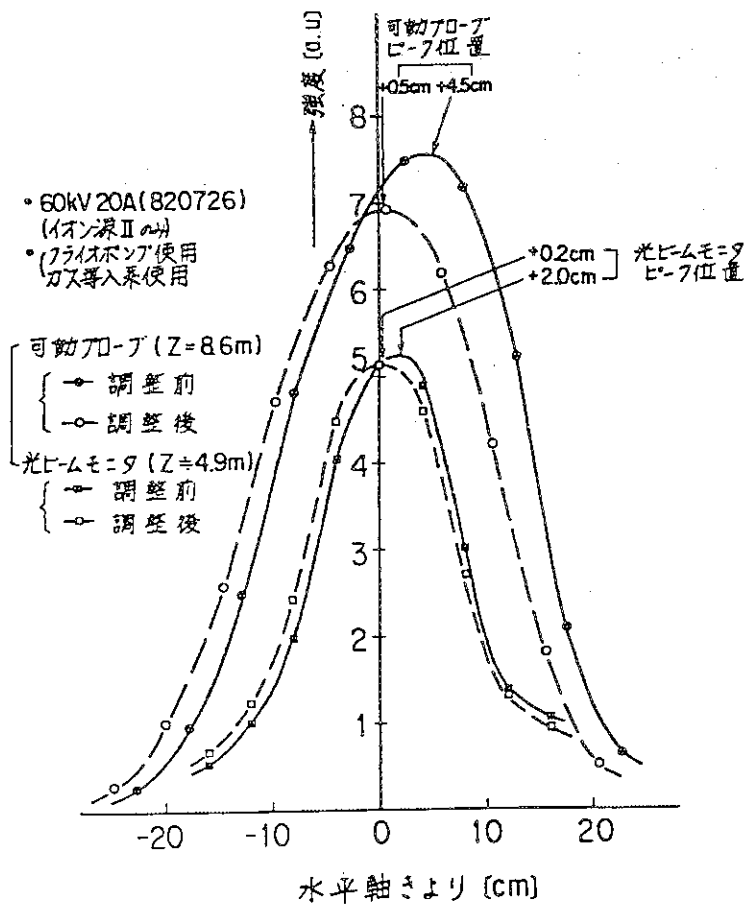
← 水平軸
(2 V/div)

(10m S/div)

- 75 kV 25 A
- イオン源Ⅱのみ
- (TMP使用
ガス導入系不使用)

第5図 出力波形の1例

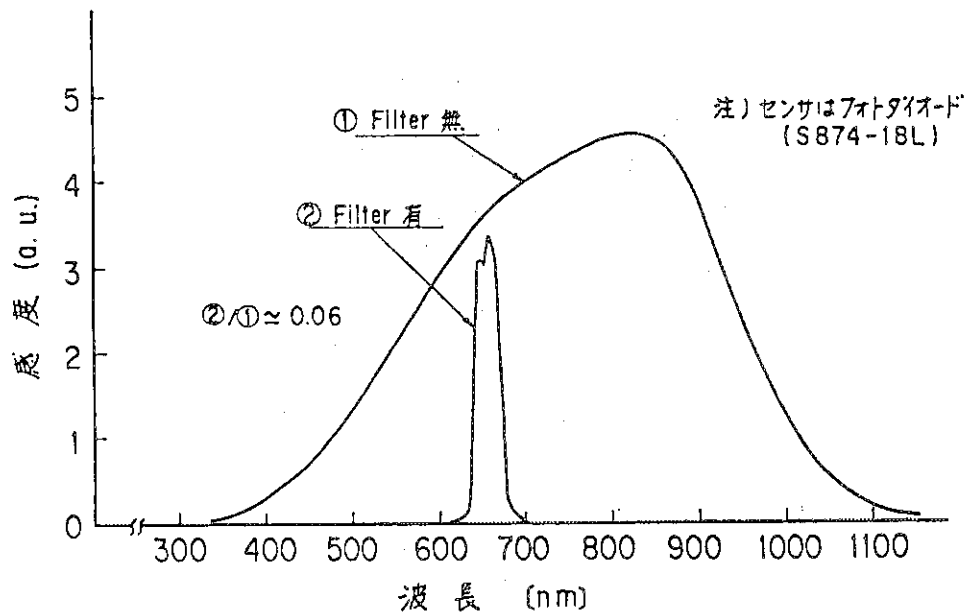




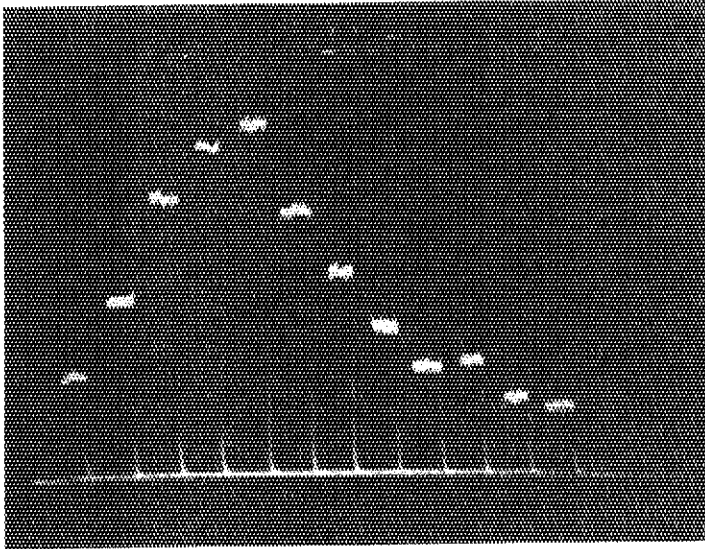
第7図 ビームプロファイルの比較

(イオン源IIのみの水平軸のデータ)

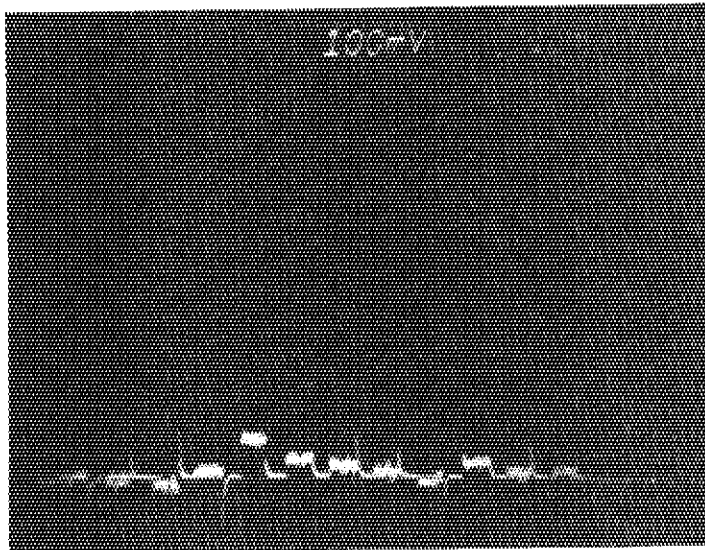
注) 可動プローブのピーク値が異なるのは
 ビーム自身の強度の差である。



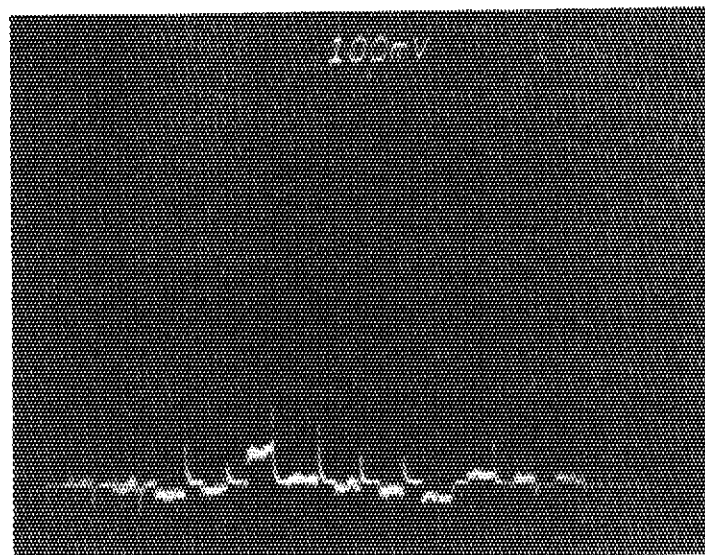
第8図 センサの感度曲線



← ビームON時
 ○ 77.5 kV, 34 A
 (イオン源Ⅱ)



← ビームOFF時
 ○ アーク放電のみ
 (イオン源Ⅱ)



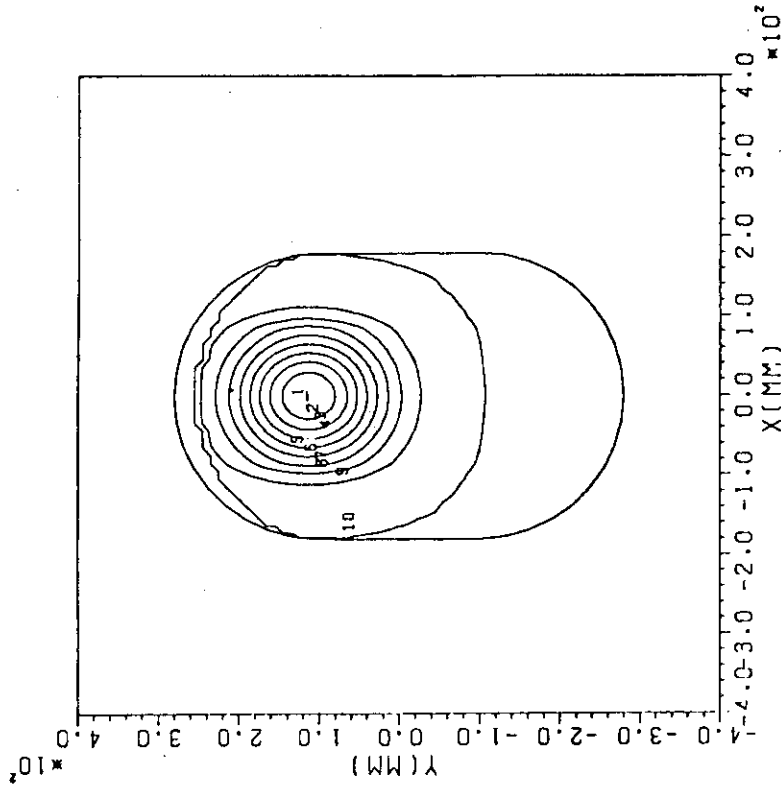
← ビームOFF時
 ○ イオン源への通電なし

- ◎ 共通データ
- (TMP使用)
 - (ガス導入系不使用)
 - 100mV/div.
 - 10mS/div.
 - ノイズフィルター使用
 - CH. No. 9と10が入れ違い

CH.No 1 2 3 4 5 6 7 8 10 9 11 12
 (上側) (下側)

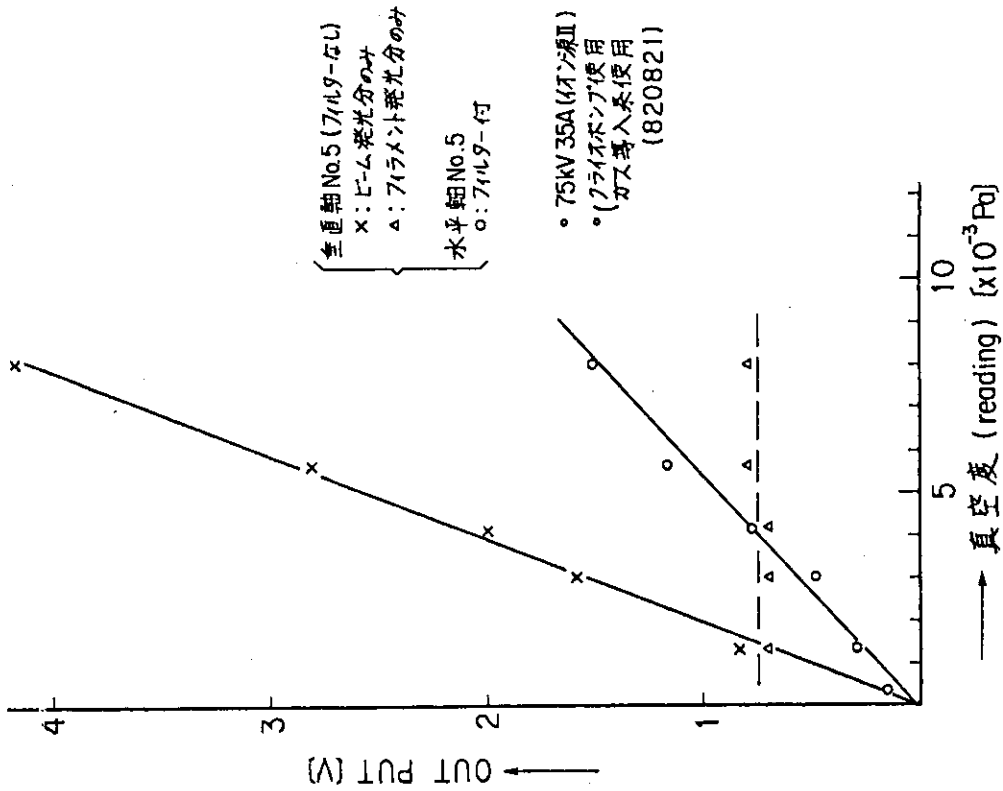
第9図 フィルター付の出力波形
 (820809)

ARGUS-V3 ID= 4.9E+03

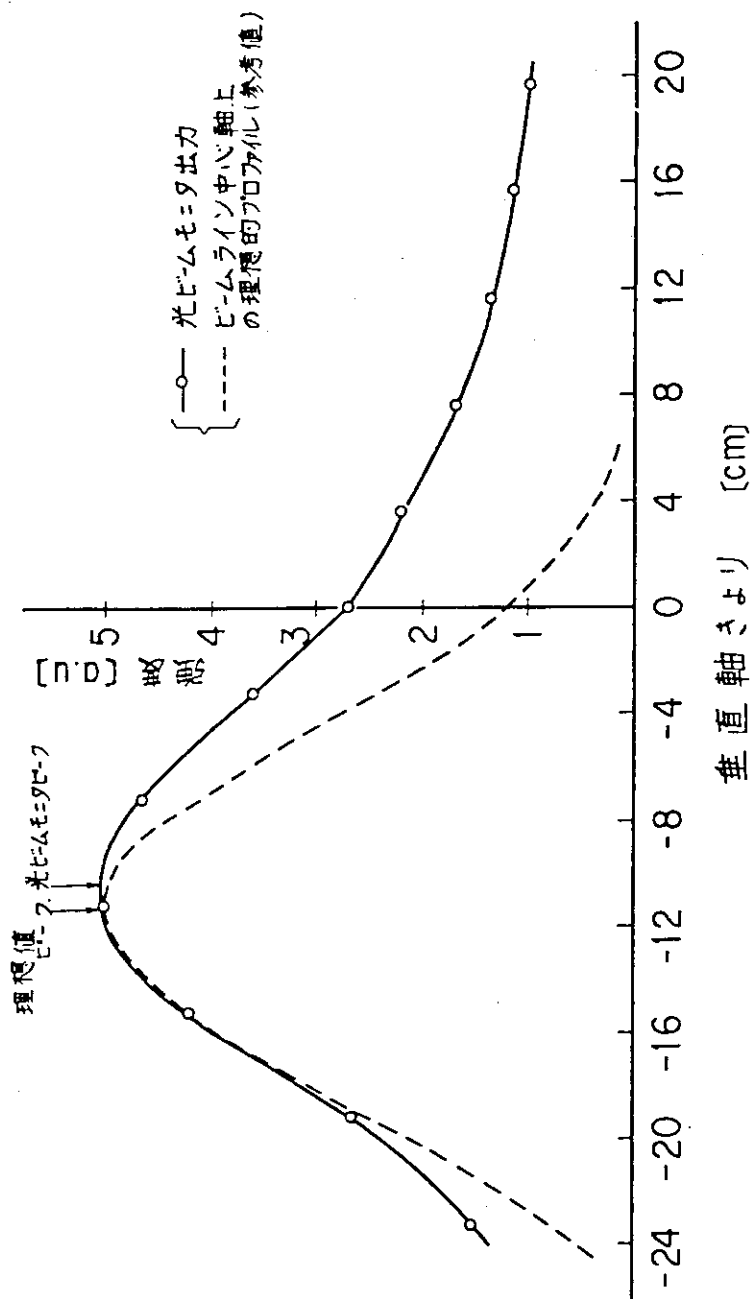


第11図 ビーム断面強度分布図 (参考図)

- 注1) X; 水平軸, Y; 垂直軸
- 2) 外周の長円は第1ビームリミタの内周 (560 × 360) を示す。



第10図 光強度と真空度変化



第12図 垂直軸ビームプロファイルの例