

JAERI-M

8 7 7 8

多チャンネル光ビームモニタの試作

1980年3月

河合視己人・大賀徳道・奥村義和・柴田猛順

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

多チャンネル光ビームモニタの試作

日本原子力研究所 東海研究所 核融合研究部

河合 視己人・大賀 徳道

奥村 義和・柴田 猛順

(1980年2月12日受理)

強い中性水素ビームの中心軸の検出のための、多チャンネル光ビームモニタを試作した。
100 msec以下の短時間内にビームプロファイルが再現性良く測定でき、中心軸検出が可能
であることがわかった。

JAERI-M 8778

A Multi-channel Optical Beam Monitor of High Power Neutral Beams

Mikito KAWAI, Tokumichi OHGA, Yoshikazu OKUMURA,
and Takemasa SHIBATA
Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received February 12, 1980)

A multi-channel optical beam monitor has been constructed for detection of the axis of high power neutral beams. Beam profiles are obtained in less than 100msec with high reproducibility and the beam axis is easily detectable.

Keywords; Multi-channel, Optical Beam Monitor, Neutral Beam,
Beam Profiles.

目 次

1. はじめに	1
2. 原 理	1
3. 測定装置の概要	2
4. 測定結果	3
5. 問題点	4
5.1 反射光の存在とその対策	4
5.2 その他の問題点	4
5.3 Bonnal らの実験との比較	4
6. 結 論	5
7. おわりに	5
参 考 文 献	5

Contents

1. Introduction	1
2. Principle of Measurement	1
3. Experimental Apparatus	2
4. Experimental Results	3
5. Problems	4
5.1 Problem of Reflected Light	4
5.2 Other Problem	4
5.3 Comparison with Bonnal et al.'s Experiment	4
6. Conclusion	5
7. Acknowledgements	5
References	5

1. はじめに

中性粒子入射加熱装置 (NBI) では入射するビームの中心軸検出や発散測定を行う必要がある。このための装置としては、カロリメーターによる熱的測定法が一般的であるが、応答速度、コンパクト性、ビームパワーの測定限界などいくつかの問題がある。そこで、 H^+ 又は H^0 のビームが残存水素分子に衝突し、励起された水素原子または水素分子が基底状態にもどる際に発光する現象を利用して、この光量を検出してビームの形状を観測するのが光ビームモニタである。光ビームモニタの特徴としては、高速応答であること、コンパクトなこと、ビームを検出部に照射する必要がないためビームに外乱を与えないこと、およびどんな強いビームでも破壊されないことなどがある。これらの特徴を生かして、JT-60用NBIにもこの光ビームモニタを、入射するビームの中心軸検出(軸ズレ検出)のために設置する予定である¹⁾。また、イオン源開発用テストスタンドに設置して、長時間パルスビームなど熱的方法では困難な測定を可能とし、ビーム光学の研究の一助として使用することもできる。

ここでは、9チャンネルの走査型光ビームモニタを試作し、テストスタンドITS-2²⁾に設置して試験をしたので、その結果、問題点等について述べる。

Fontenay-aux-Roses の Bonnal らも $H\beta$ 光を用い、NBIのビーム形状を測定した報告³⁾をしているので、この結果との比較検討も述べる。

なお、この9チャンネルの光ビームモニタにより、すでに、70 kV, 5 A, 10秒の長時間ビームの発散が、時間的に変化しないことが確められるなど、ビーム光学の研究に役立っている⁴⁾。

2. 原 理

イオン源より引出されたイオンビーム(または、荷電交換後の中性ビーム)が真空中を走行する際に、真空中に残存する水素分子と衝突して発光する。この発光をビーム走行と直角方向から、ビームの径方向へ並べたいくつかのスリット付光電変換素子で受け、各光量を測定する。この場合、残存する水素分子数(すなわち、真空度)が一定ならば発光量はビームの径方向強度分布に比例するから、各光量を測定することによりビームの強度最大値(ビーム中心軸)を検出することができる。

また、円形の引出し電極を持つイオン源より引出されたビームはほぼガウス分布をしており、この時のビームの径方向強度分布 $i_0(r)$ は $i_0(r) \propto \exp(-r^2/r_0^2/e)$ であらわされる。一方、第1図のようにスリットを通してビーム進行と直角方向から x 方向の積分値として求めた強度 $I(y)$ は、

$$I(y) \propto \int_{-\infty}^{\infty} i_0(x, y) dx$$

1. はじめに

中性粒子入射加熱装置 (NBI) では入射するビームの中心軸検出や発散測定を行う必要がある。このための装置としては、カロリメーターによる熱的測定法が一般的であるが、応答速度、コンパクト性、ビームパワーの測定限界などいくつかの問題がある。そこで、 H^+ 又は H^0 のビームが残存水素分子に衝突し、励起された水素原子または水素分子が基底状態にもどる際に発光する現象を利用して、この光量を検出してビームの形状を観測するのが光ビームモニタである。光ビームモニタの特徴としては、高速応答であること、コンパクトなこと、ビームを検出部に照射する必要がないためビームに外乱を与えないこと、およびどんな強いビームでも破壊されないことなどがある。これらの特徴を生かして、JT-60用NBIにもこの光ビームモニタを、入射するビームの中心軸検出 (軸ズレ検出) のために設置する予定である¹⁾。また、イオン源開発用テストスタンドに設置して、長時間パルスビームなど熱的方法では困難な測定を可能とし、ビーム光学の研究の一助として使用することもできる。

ここでは、9チャンネルの走査型光ビームモニタを試作し、テストスタンドITS-2²⁾ に設置して試験をしたので、その結果、問題点等について述べる。

Fontenay-aux-Roses の Bonnal らも $H\beta$ 光を用い、NBI のビーム形状を測定した報告³⁾ をしているので、この結果との比較検討も述べる。

なお、この9チャンネルの光ビームモニタにより、すでに、70 kV, 5 A, 10 秒の長時間ビームの発散が、時間的に変化しないことが確められるなど、ビーム光学の研究に役立っている⁴⁾。

2. 原理

イオン源より引出されたイオンビーム (または、荷電交換後の中性ビーム) が真空中を走行する際に、真空中に残存する水素分子と衝突して発光する。この発光をビーム走行と直角方向から、ビームの径方向へ並べたいくつかのスリット付光電変換素子で受け、各光量を測定する。この場合、残存する水素分子数 (すなわち、真空度) が一定ならば発光量はビームの径方向強度分布に比例するから、各光量を測定することによりビームの強度最大値 (ビーム中心軸) を検出することができる。

また、円形の引出し電極を持つイオン源より引出されたビームはほぼガウス分布をしており、この時のビームの径方向強度分布 $i_0(r)$ は $i_0(r) \propto \exp(-r^2/r_0^2/e)$ であらわされる。一方、第1図のようにスリットを通してビーム進行と直角方向から x 方向の積分値として求めた強度 $I(y)$ は、

$$I(y) \propto \int_{-\infty}^{\infty} i_0(x, y) dx$$

$$\propto \int_{-\infty}^{\infty} \{ e^{-(x^2+y^2)/r_1^2/e} \} dx$$

$$\propto e^{-y^2/r_1^2/e} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x^2/r_1^2/e)} dx$$

$$\propto e^{-y^2/r_1^2/e}$$

となり、 $I(y)$ もまたガウス分布をしている。

以上のように、同一条件の各スリットを通して観測される光量は真空度が一定ならば、ビームの中心軸の検出が可能であり、さらに、断面が円形のビームに対しては発散角をも求められる可能性がある。

3. 測定装置の概要

試作した多チャンネル光ビームモニタの検出部を第2図に示す。図のようにフランジの大気側にセンサセルが計17個設置され、センサセル内にはフォトダイオード（浜松テレビ製：S874-18L）が取付けられる。各センサセルに対応してガラス小窓（側面より光が入り得るので測定中は側面部を遮光する）で真空シールされた真空側に各スリット部が設置されている。光源側の各スリット開口部は図に示されるようにビーム進行方向と平行に長手方向を持つ長方形で、その寸法は $3 \times 30 \text{ mm}$ であり、光源側スリットとディテクタ（フォトダイオード）間のきよりは約 245 mm である。

測定のための回路を第3図に示す。各フォトダイオード（今回の測定には第2図のA-A'列の9チャンネルを使用）の出力はそれぞれI/Vコンバーターに入り、ウェットリードリレーを介し、シンクロスコープに接続される。このリードリレーはビームオンのタイミングとはほぼ同期（遅れ時間プリセット可）して走査される。I/Vコンバーターは低バイアス電流OPアンプ（テレダイン：1035）を用いたもので、一定入力に対し各コンバーターの出力が等しくなるように調整した（各検出部での個体差も当然あるが、この補正值をゲイン調整に加えることは今回行っていない）。

この光ビームモニタをイオン源テストスタンドITS-2に設置して測定を行った。設置位置を第4図に示す。図の長手方向左側に引出し部 $10 \text{ cm } \phi$ のDuoPIGatron型イオン源（2段加速型）が設置され、ビームは図の水平方向に引出される。光ビームモニタは図のⒶ部、次にⒷ部の2カ所の位置に設置した。なお、Ⓐ部設置の場合には図の点線で示される位置に中性化セル（内径； 140ϕ 、長さ； 1000 [mm] ）が設置されていた。また、Ⓑ部設置の場合には、図の矢印（△）で示した盲フランジに、対向面反射光の影響を調べるためにツヤ消黒塗料で無反射処理した面としていない面との2種類で測定を行った。Ⓑ部設置時には、ビームの正確な強度分布を測定するために図のⒸ部からカロリメーターを挿入することができるよう

$$\propto \int_{-\infty}^{\infty} [e^{-(x^2+y^2)/r_1^2/e}] dx$$

$$\propto e^{-y^2/r_1^2/e} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x^2/r_1^2/e)} dx$$

$$\propto e^{-y^2/r_1^2/e}$$

となり、 $I(y)$ もまたガウス分布をしている。

以上のように、同一条件の各スリットを通して観測される光量は真空度が一定ならば、ビームの中心軸の検出が可能であり、さらに、断面が円形のビームに対しては発散角をも求められる可能性がある。

3. 測定装置の概要

試作した多チャンネル光ビームモニタの検出部を第2図に示す。図のようにフランジの大気側にセンサセルが計17個設置され、センサセル内にはフォトダイオード（浜松テレビ製：S874-18L）が取付けられる。各センサセルに対応してガラス小窓（側面より光が入り得るので測定中は側面部を遮光する）で真空シールされた真空側に各スリット部が設置されている。光源側の各スリット開口部は図に示されるようにビーム進行方向と平行に長手方向を持つ長方形で、その寸法は $3 \times 30 \text{ mm}$ であり、光源側スリットとディテクタ（フォトダイオード）間のきよりは約 245 mm である。

測定のための回路を第3図に示す。各フォトダイオード（今回の測定には第2図のA-A'列の9チャンネルを使用）の出力はそれぞれI/Vコンバーターに入り、ウェットリードリレーを介し、シンクロスコープに接続される。このリードリレーはビームオンのタイミングとはほぼ同期（遅れ時間プリセット可）して走査される。I/Vコンバーターは低バイアス電流OPアンプ（テレダイン：1035）を用いたもので、一定入力に対し各コンバーターの出力が等しくなるように調整した（各検出部での個体差も当然あるが、この補正值をゲイン調整に加えることは今回行っていない）。

この光ビームモニタをイオン源テストスタンドITS-2に設置して測定を行った。設置位置を第4図に示す。図の長手方向左側に引出し部 $10 \text{ cm } \phi$ のDuoPIGatron型イオン源（2段加速型）が設置され、ビームは図の水平方向に引出される。光ビームモニタは図のⒶ部、次にⒷ部の2カ所の位置に設置した。なお、Ⓐ部設置の場合には図の点線で示される位置に中性化セル（内径： 140ϕ 、長さ： 1000 (mm) ）が設置されていた。また、Ⓑ部設置の場合には、図の矢印（ \cup ）で示した盲フランジに、対向面反射光の影響を調べるためにツヤ消黒塗料で無反射処理した面としていない面との2種類で測定を行った。Ⓑ部設置時には、ビームの正確な強度分布を測定するために図のⒸ部からカロリメーターを挿入することができるよう

になっていた。

第5図に真空容器の径方向断面での各位置関係を示す。

また、測定の際の真空容器内真空度は常にはほぼ一定であり、その値は水素換算値で 5.5×10^{-4} Torr であった。

4. 測定結果

多チャンネル光ビームモニタによる測定の結果の1例を第6図の写真1および写真2に示す。写真1は第4図のA部設置の場合を示し、写真2は同図B部設置の場合を示す。どちらも後に述べる問題点を含んではいるが、高速応答という特徴を生かし、ワンショットのビームパルス巾(この場合、200 msecと120 msec)の間にひとつのビームプロファイルが得られた。信号系の接続方法やアースのとり方によってはいくつかのチャンネルで発振する現象も見られたが、その対策を行うことにより、同一測定条件下においては非常に再現性の良いデータが得られた。

カロリメーターによるビームプロファイルと光ビームモニタによるそれとを比較したのが第7図である。カロリメーターによるビームプロファイルがそのまま強度分布を正しく表わしているとする、光ビームモニタのプロファイルは実際よりもピークが低く、端部の高いなだらかなカーブとなっている。しかし、ビームの中心軸についてみると、カロリメーターのそれは -6 mm、すなわち真空容器円筒部中心より下方 6 mmにあり、光ビームモニタで見たカーブのピークとを比較するとほぼ一致している。なお、光ビームモニタのカーブは生データと受光部個体差の補正を加えたデータを示してある。

中心軸検出のチェックと関連して、ディテクタより見渡せる範囲内に突起物があるとそこからの反射光の影響が強くあらわれることを示したのが第8図である。無酸素銅製で先端部分付近以外は 18 mm ϕ の管状をしたカロリメーターを -80 mmまで差込んだ時と $+65$ mmまで引抜いた時とを比較したもので、 -80 mmの位置では反射光がカーブの形を著しく変えているのがわかる。

断面が円形のビームに対して光ビームモニタを使用すれば、原理的には発散角も求められるはずである。しかし、第7図で示したように、実際のビーム強度分布と光ビームモニタによるカーブとは大きな差がある。この原因として第一に考えられることは、受光部の対向面となる真空容器内壁面からの反射光の影響である。第9図はB部設置の場合の対向面となる8B盲フランジの表面に無反射処理した時としない時との差をみたものである。各カーブの黒丸はフランジ面に黒色塗料で無反射処理した時、白丸は無処理(SUS面そのまま)の時を示す。同一条件のビームに対し、無反射処理の有無でその結果には2倍近くもの大きな差が出ていることがわかる。

中性化セル(140 mm ϕ)が設置されていて、そのすぐ出口部にあたるA部設置の場合の測定結果=写真1は中性化セルのない場合のカロリメーターによるプロファイルに似ているが、これも中性化セルによりビームがカットされているはずの両端の2チャンネルの値がゼロとな

になっていた。

第5図に真空容器の径方向断面での各位置関係を示す。

また、測定の際の真空容器内真空度は常にはほぼ一定であり、その値は水素換算値で 5.5×10^{-4} Torr であった。

4. 測定結果

多チャンネル光ビームモニタによる測定の結果の1例を第6図の写真1および写真2に示す。写真1は第4図のA部設置の場合を示し、写真2は同図B部設置の場合を示す。どちらも後に述べる問題点を含んではいるが、高速応答という特徴を生かし、ワンショットのビームパルス巾（この場合、200 msecと120 msec）の間にひとつのビームプロファイルが得られた。信号系の接続方法やアースのとり方によってはいくつかのチャンネルで発振する現象も見られたが、その対策を行うことにより、同一測定条件下においては非常に再現性の良いデータが得られた。

カロリメーターによるビームプロファイルと光ビームモニタによるそれとを比較したのが第7図である。カロリメーターによるビームプロファイルがそのまま強度分布を正しく表わしているとする、光ビームモニタのプロファイルは実際よりもピークが低く、端部の高いなだらかなカーブとなっている。しかし、ビームの中心軸についてみると、カロリメーターのそれは -6 mm、すなわち真空容器円筒部中心より下方 6 mm にあり、光ビームモニタで見たカーブのピークとを比較するとほぼ一致している。なお、光ビームモニタのカーブは生データと受光部個体差の補正を加えたデータを示してある。

中心軸検出のチェックと関連して、ディテクタより見渡せる範囲内に突起物があるとそこからの反射光の影響が強くあらわれることを示したのが第8図である。無酸素銅製で先端部分付近以外は 18 mm ϕ の管状をしたカロリメーターを -80 mm まで差込んだ時と $+65$ mm まで引抜いた時とを比較したもので、 -80 mm の位置では反射光がカーブの形を著しく変えているのがわかる。

断面が円形のビームに対して光ビームモニタを使用すれば、原理的には発散角も求められるはずである。しかし、第7図で示したように、実際のビーム強度分布と光ビームモニタによるカーブとは大きな差がある。この原因として第一に考えられることは、受光部の対向面となる真空容器内壁面からの反射光の影響である。第9図はB部設置の場合の対向面となる8B盲フランジの表面に無反射処理した時としない時との差をみたものである。各カーブの黒丸はフランジ面に黒色塗料で無反射処理した時、白丸は無処理（SUS面そのまま）の時を示す。同一条件のビームに対し、無反射処理の有無でその結果には2倍近くもの大きな差が出ていることがわかる。

中性化セル（ 140 mm ϕ ）が設置されていて、そのすぐ出口部にあたるA部設置の場合の測定結果=写真1は中性化セルのない場合のカロリメーターによるプロファイルに似ているが、これも中性化セルによりビームがカットされているはずの両端の2チャンネルの値がゼロとな

っていないのはやはり反射光の影響と考えられる。

以上のように、反射光の影響を完全になくした状態にしないと発散測定の議論は事実上困難であることがわかった。

5. 問題点

光ビームモニタでの測定の際の最大の問題点はビーム走行による発光が直接受光部に達する以外に、真空容器内壁面などで反射してきた光が受光部に達してしまうことである。もともと真空容器内壁面は鏡面に近い状態に仕上げられており、ビームモニタの対向面となる部分の形状や表面状態により、その測定精度は重大な影響を受けることがわかった。

また、その他としてビーム周辺に存在する低エネルギー電子による発光が影響を与えていることも考えられる。

5.1 反射光の存在とその対策

ビーム走行による発光を一次光源とすれば、対光面は光ビームモニタにとって反射光による二次光源となる。この二次光源の影響をいかに小さくするかがポイントとなる。二次光源は第1図のような形で存在する。二次光源の明るさ(光束発散度)はその照度と反射率に比例するから、 d_3 を大きくとり、反射率の小さい面とすれば、その影響を小さくできる。また、 d_4 および d_1 を小さくすれば、二次光源の影響の割合を小さくできる。一般に d_3 および d_4 は他の条件で決定されており、二次光源(反射光)の影響を減らすためには、二次光源となる面の反射率を極力小さくすること、およびスリット1を除熱するなどしてなるべく d_1 を小さくすることの2つの方法が考えられる。

5.2 その他の問題点

光ビームモニタにより発散を測定しようとした場合、誤差の要因として考えられるもう一点は、ビーム周辺に存在する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があるということである。この現象はビームによる発光量に比べて無視できない量と予想され、ビームプラズマの密度分布がどうなっているか予想しがたいなどの問題を含んでいる。これを解決するには、ビーム方向に対し斜めの方向からの光を干渉フィルターを通して、高速水素原子からの $H\alpha$ や $H\beta$ のドップラーシフトしたものを測定するのが最も確実かも知れない。

5.3 Bonnal らの実験との比較

Bonnal らは $H\beta$ 光によりビームプロファイルを求めており、ファラデーカップによる測定結果と比較している。ビーム周辺からの光がファラデーカップの出力と比較して大きくなって

っていないのはやはり反射光の影響と考えられる。

以上のように、反射光の影響を完全になくした状態にしないと発散測定の議論は事実上困難であることがわかった。

5. 問題点

光ビームモニタでの測定の際の最大の問題点はビーム走行による発光が直接受光部に達する以外に、真空容器内壁面などで反射してきた光が受光部に達してしまうことである。もともと真空容器内壁面は鏡面に近い状態に仕上げられており、ビームモニタの対向面となる部分の形状や表面状態により、その測定精度は重大な影響を受けることがわかった。

また、その他としてビーム周辺に存在する低エネルギー電子による発光が影響を与えていることも考えられる。

5.1 反射光の存在とその対策

ビーム走行による発光を一次光源とすれば、対光面は光ビームモニタにとって反射光による二次光源となる。この二次光源の影響をいかに小さくするかがポイントとなる。二次光源は第1図のような形で存在する。二次光源の明るさ(光束発散度)はその照度と反射率に比例するから、 d_3 を大きくとり、反射率の小さい面とすれば、その影響を小さくできる。また、 d_4 および d_1 を小さくすれば、二次光源の影響の割合を小さくできる。一般に d_3 および d_4 は他の条件で決定されており、二次光源(反射光)の影響を減らすためには、二次光源となる面の反射率を極力小さくすること、およびスリット1を除熱するなどしてなるべく d_1 を小さくすることの2つの方法が考えられる。

5.2 その他の問題点

光ビームモニタにより発散を測定しようとした場合、誤差の要因として考えられるもう一点は、ビーム周辺に存在する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があるということである。この現象はビームによる発光量に比べて無視できない量と予想され、ビームプラズマの密度分布がどうなっているか予想しがたいなどの問題を含んでいる。これを解決するには、ビーム方向に対し斜めの方向からの光を干渉フィルターを通して、高速水素原子からの $H\alpha$ や $H\beta$ のドップラーシフトしたものを測定するのが最も確実かも知れない。

5.3 Bonnal らの実験との比較

Bonnal らは $H\beta$ 光によりビームプロファイルを求めており、ファラデーカップによる測定結果と比較している。ビーム周辺からの光がファラデーカップの出力と比較して大きくなって

いる以外は両者の測定結果はよく一致している。我々の方法と違うところは、レンズでビームの像をスリット上に結ばせていること、 $H\beta$ のフィルターを使っていること、ディテクタがフォトマルであること、などである。我々の結果より良いのは、レンズでビームを結像させているため反射光は結像されず、我々のものに比べて相対的に少ない影響しか与えていないためと思われる。ビーム周辺の光の存在は彼らも、ビームプラズマ中の電子による水素分子の励起によるものと考えている。フィルターにより $H\beta$ 光のみを見ていることも結果に良い影響を与えているのかも知れない。

6. 結 論

試作した多チャンネル光ビームモニタにより、以下のようなことがわかった。

- (1) 100 msec程度以下の短時間内に、ひとつのビームプロファイル(絶対精度は別として)を得ることができ、同一測定条件内での再現性の良さも確認された。
- (2) ビームの中心軸検出については、実際の中心軸と一致し、対向部に二次光源となりうる極端な形状のものがないように注意すれば、充分実用可能である。
- (3) ビームの発散の測定については、第一に反射光の影響を極力小さくすること、その他の問題の対策を施さなければ測定不能である。

7. お わ り に

多チャンネル光ビームモニタはビーム中心軸の検出を短時間内に、コンパクトな装置で検出するのに有用であるという結果が得られた。さらに実用的なものとするためには、発散測定をも可能なように、反射光の対策その他の改良を加える必要がある。今回の試作結果をもとにこれらの改良を加えた実験を行う予定である。

最後に、今回の試作実験に御援助していただいた水谷泰彦氏に感謝致します。また本報告作成にあたって御支援および御指導をいただいた、森 茂東海研副所長兼核融合開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、白形弘文加熱工学研究室長、ならびにNBIグループリーダー、松田慎三郎氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 松田慎三郎 他: JAERI-M 7655 (1978)
- 2) 大賀 徳道 他: JAERI-M 7604 (1978)
- 3) J.F. Bonnal et al.: EUR-CEA-FC-958 (1978)
- 4) Y. Okumura et al.: Rev. Sci. Instrum. 51 (1980) 掲載予定

いる以外は両者の測定結果はよく一致している。我々の方法と違うところは、レンズでビームの像をスリット上に結ばせていること、 $H\beta$ のフィルターを使っていること、ディテクタがフォトマルであること、などである。我々の結果より良いのは、レンズでビームを結像させているため反射光は結像されず、我々のものに比べて相対的に少ない影響しか与えていないためと思われる。ビーム周辺の光の存在は彼らも、ビームプラズマ中の電子による水素分子の励起によるものと考えている。フィルターにより $H\beta$ 光のみを見ていることも結果に良い影響を与えているのかも知れない。

6. 結 論

試作した多チャンネル光ビームモニタにより、以下のようなことがわかった。

- (1) 100 msec程度以下の短時間内に、ひとつのビームプロファイル（絶対精度は別として）を得ることができ、同一測定条件内での再現性の良さも確認された。
- (2) ビームの中心軸検出については、実際の中心軸と一致し、対向部に二次光源となりうる極端な形状のものがないように注意すれば、充分実用可能である。
- (3) ビームの発散の測定については、第一に反射光の影響を極力小さくすること、その他の問題の対策を施さなければ測定不能である。

7. お わ り に

多チャンネル光ビームモニタはビーム中心軸の検出を短時間内に、コンパクトな装置で検出するのに有用であるという結果が得られた。さらに実用的なものとするためには、発散測定をも可能なように、反射光の対策その他の改良を加える必要がある。今回の試作結果をもとにこれらの改良を加えた実験を行う予定である。

最後に、今回の試作実験に御援助していただいた水谷泰彦氏に感謝致します。また本報告作成にあたって御支援および御指導をいただいた、森 茂東海研副所長兼核融合開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、白形弘文加熱工学研究室長、ならびにNBIグループリーダー、松田慎三郎氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 松田慎三郎 他：JAERI-M 7655 (1978)
- 2) 大賀 徳道 他：JAERI-M 7604 (1978)
- 3) J.F.Bonnal et al.: EUR-CEA-FC-958 (1978)
- 4) Y.Okumura et al.: Rev.Sci.Instrum. 51 (1980) 掲載予定

いる以外は両者の測定結果はよく一致している。我々の方法と違うところは、レンズでビームの像をスリット上に結ばせていること、 $H\beta$ のフィルターを使っていること、ディテクタがフォトマルであること、などである。我々の結果より良いのは、レンズでビームを結像させているため反射光は結像されず、我々のものに比べて相対的に少ない影響しか与えていないためと思われる。ビーム周辺の光の存在は彼らも、ビームプラズマ中の電子による水素分子の励起によるものと考えている。フィルターにより $H\beta$ 光のみを見ていることも結果に良い影響を与えているのかも知れない。

6. 結 論

試作した多チャンネル光ビームモニタにより、以下のようなことがわかった。

- (1) 100 msec程度以下の短時間内に、ひとつのビームプロファイル（絶対精度は別として）を得ることができ、同一測定条件内での再現性の良さも確認された。
- (2) ビームの中心軸検出については、実際の中心軸と一致し、対向部に二次光源となりうる極端な形状のものがないように注意すれば、充分実用可能である。
- (3) ビームの発散の測定については、第一に反射光の影響を極力小さくすること、その他の問題の対策を施さなければ測定不能である。

7. お わ り に

多チャンネル光ビームモニタはビーム中心軸の検出を短時間内に、コンパクトな装置で検出するのに有用であるという結果が得られた。さらに実用的なものとするためには、発散測定をも可能なように、反射光の対策その他の改良を加える必要がある。今回の試作結果をもとにこれらの改良を加えた実験を行う予定である。

最後に、今回の試作実験に御援助していただいた水谷泰彦氏に感謝致します。また本報告作成にあたって御支援および御指導をいただいた、森 茂東海研副所長兼核融合開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、白形弘文加熱工学研究室長、ならびにNBIグループリーダー、松田慎三郎氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 松田慎三郎 他：JAERI-M 7655 (1978)
- 2) 大賀 徳道 他：JAERI-M 7604 (1978)
- 3) J.F.Bonnal et al.: EUR-CEA-FC-958 (1978)
- 4) Y.Okumura et al.: Rev.Sci.Instrum. 51 (1980) 掲載予定

いる以外は両者の測定結果はよく一致している。我々の方法と違うところは、レンズでビームの像をスリット上に結ばせていること、 $H\beta$ のフィルターを使っていること、ディテクタがフォトマルであること、などである。我々の結果より良いのは、レンズでビームを結像させているため反射光は結像されず、我々のものに比べて相対的に少ない影響しか与えていないためと思われる。ビーム周辺の光の存在は彼らも、ビームプラズマ中の電子による水素分子の励起によるものと考えている。フィルターにより $H\beta$ 光のみを見ていることも結果に良い影響を与えているのかも知れない。

6. 結 論

試作した多チャンネル光ビームモニタにより、以下のようなことがわかった。

- (1) 100 msec程度以下の短時間内に、ひとつのビームプロファイル（絶対精度は別として）を得ることができ、同一測定条件内での再現性の良さも確認された。
- (2) ビームの中心軸検出については、実際の中心軸と一致し、対向部に二次光源となりうる極端な形状のものがないように注意すれば、充分実用可能である。
- (3) ビームの発散の測定については、第一に反射光の影響を極力小さくすること、その他の問題の対策を施さなければ測定不能である。

7. お わ り に

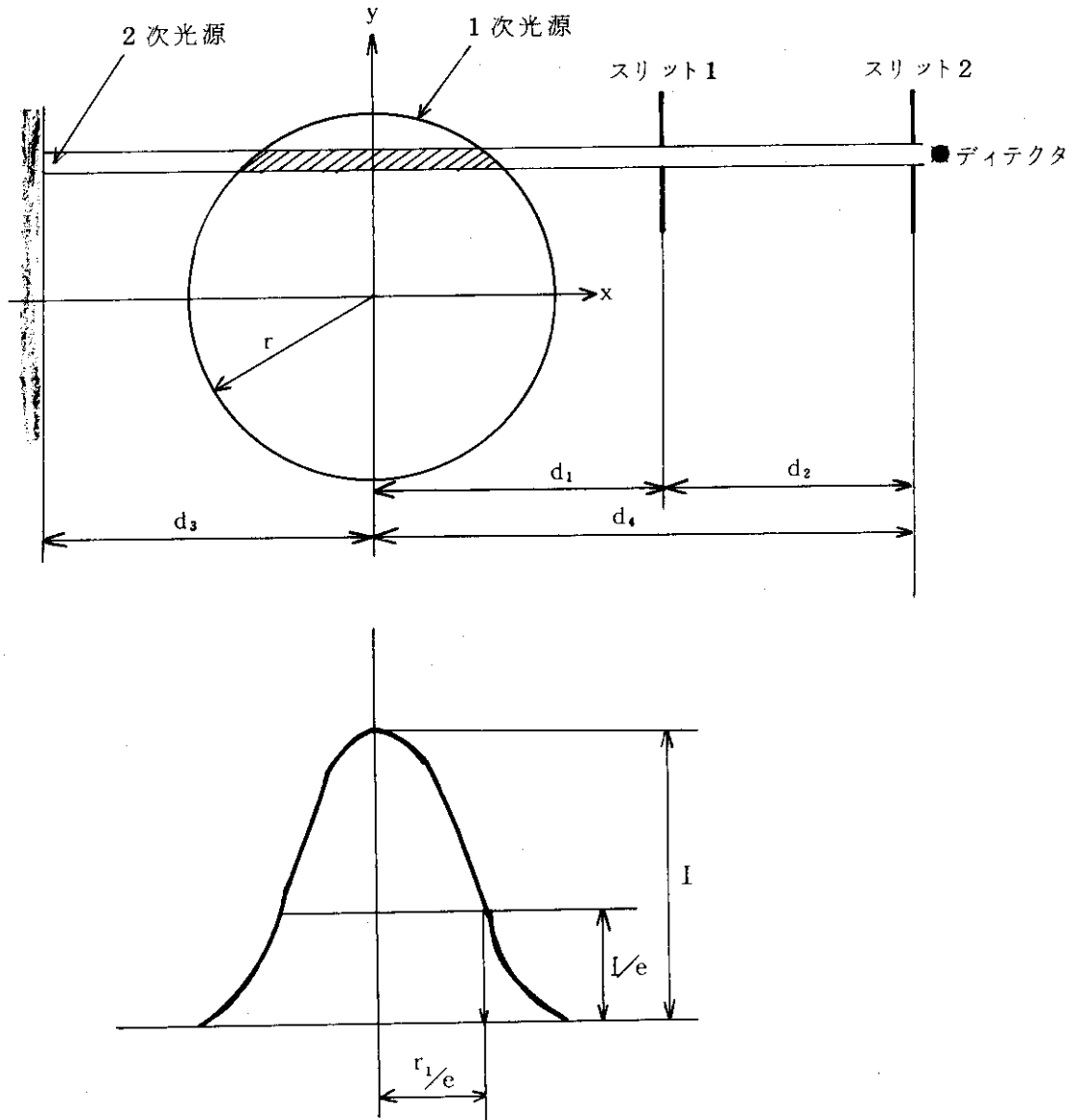
多チャンネル光ビームモニタはビーム中心軸の検出を短時間内に、コンパクトな装置で検出するのに有用であるという結果が得られた。さらに実用的なものとするためには、発散測定をも可能なように、反射光の対策その他の改良を加える必要がある。今回の試作結果をもとにこれらの改良を加えた実験を行う予定である。

最後に、今回の試作実験に御援助していただいた水谷泰彦氏に感謝致します。また本報告作成にあたって御支援および御指導をいただいた、森 茂東海研副所長兼核融合開発推進センター長、小幡行雄核融合研究部長、白形弘文加熱工学研究室長、ならびにNBIグループリーダー、松田慎三郎氏に感謝致します。

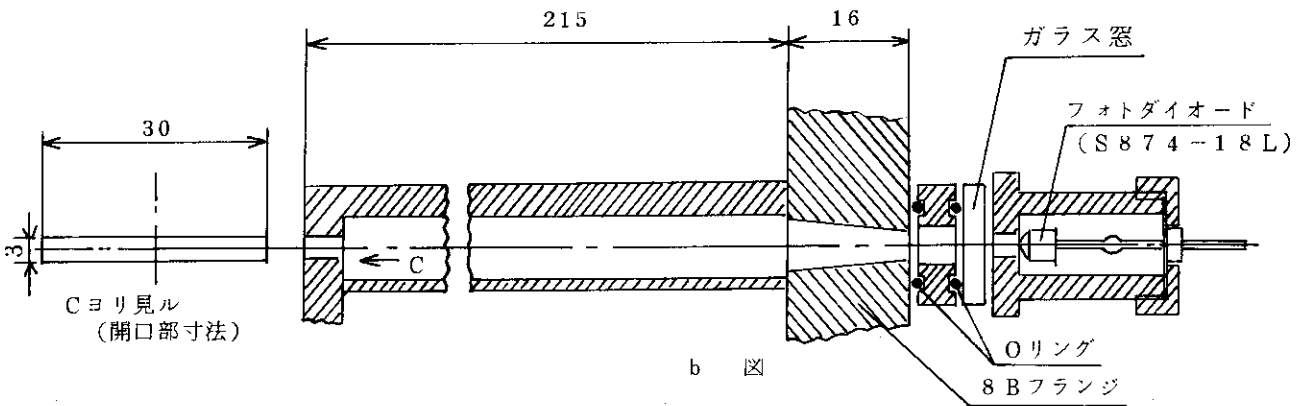
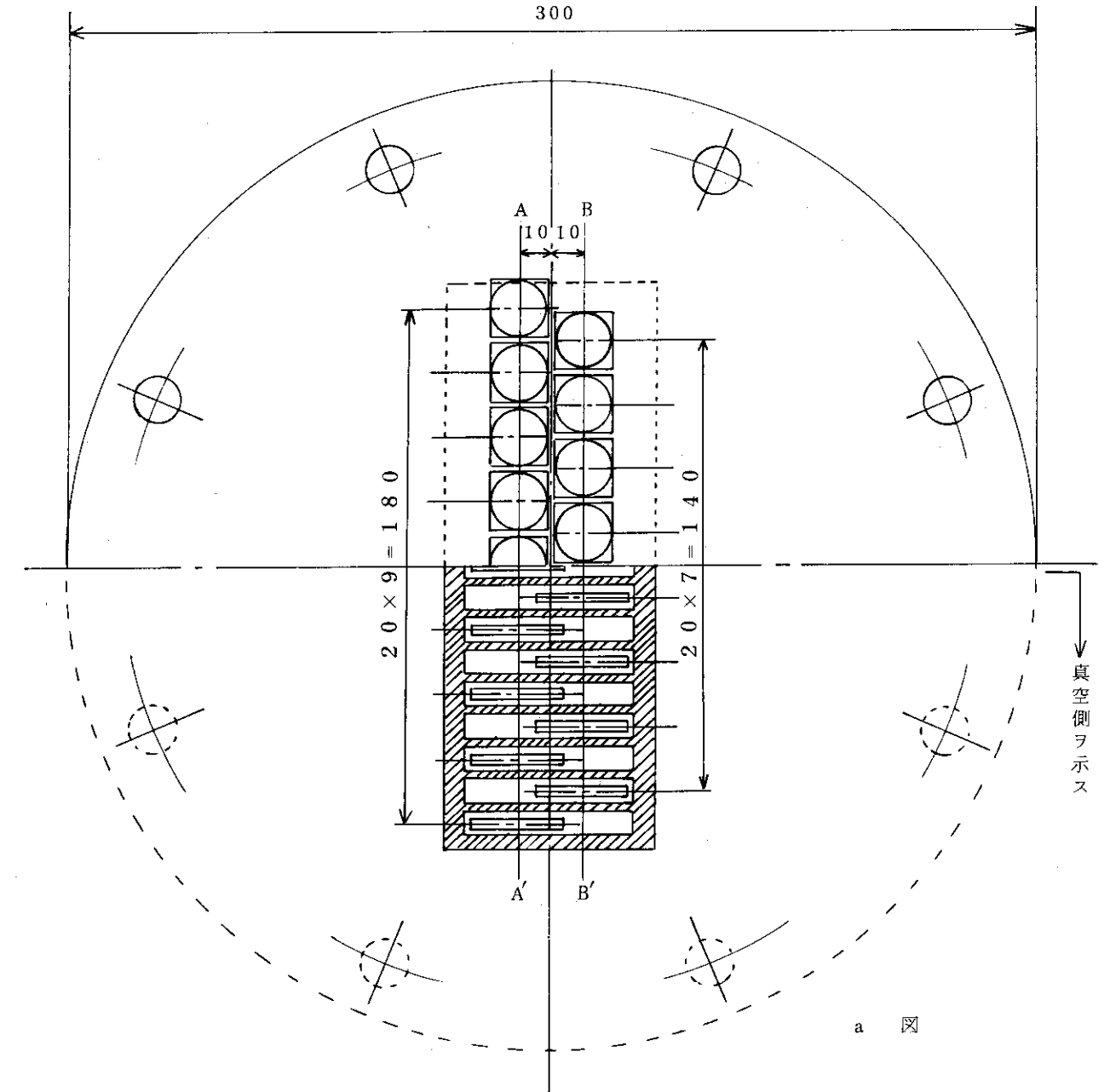
参 考 文 献

- 1) 松田慎三郎 他：JAERI-M 7655 (1978)
- 2) 大賀 徳道 他：JAERI-M 7604 (1978)
- 3) J.F.Bonnal et al.: EUR-CEA-FC-958 (1978)
- 4) Y.Okumura et al.: Rev.Sci.Instrum. 51 (1980) 掲載予定

- 5) 岡村 勉夫：「解析デジタル回路」，CQ出版社（1976）
- 6) 蒲生 良治：「アナログ回路のトラブル対策」，CQ出版社（1977）

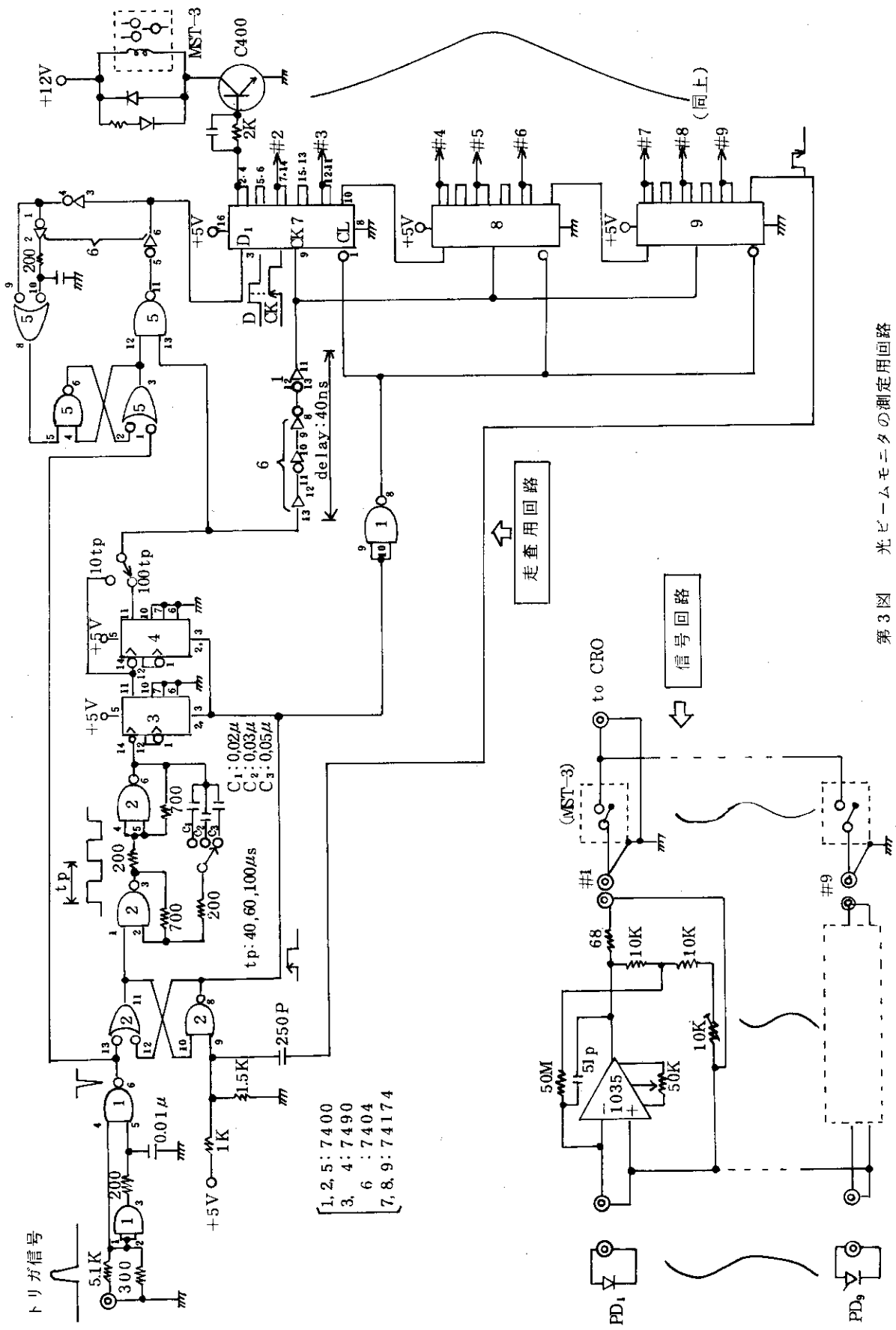


第1図 ビームモニタによる円形ビーム形状測定
の原理および2次光源の存在

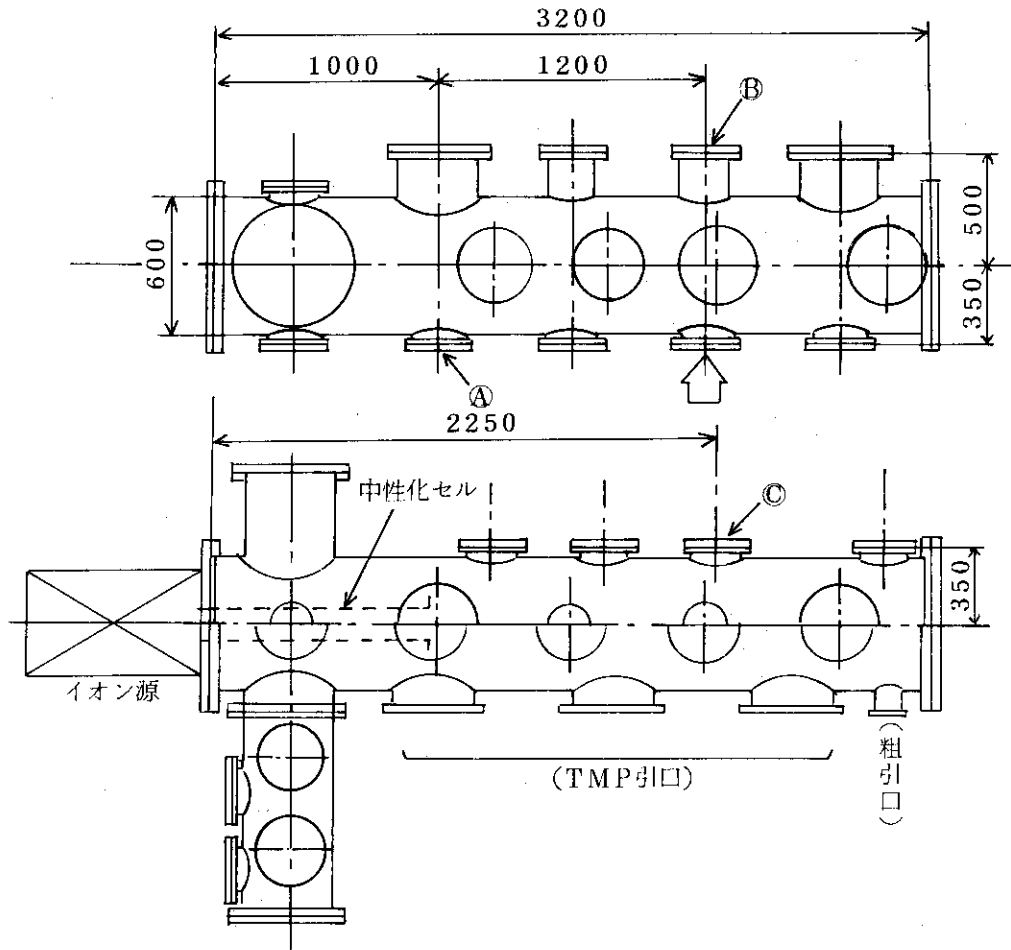


第2図 光ビームモニタの検出部

- a 図：全体図
- b 図：A-A列上部断面図

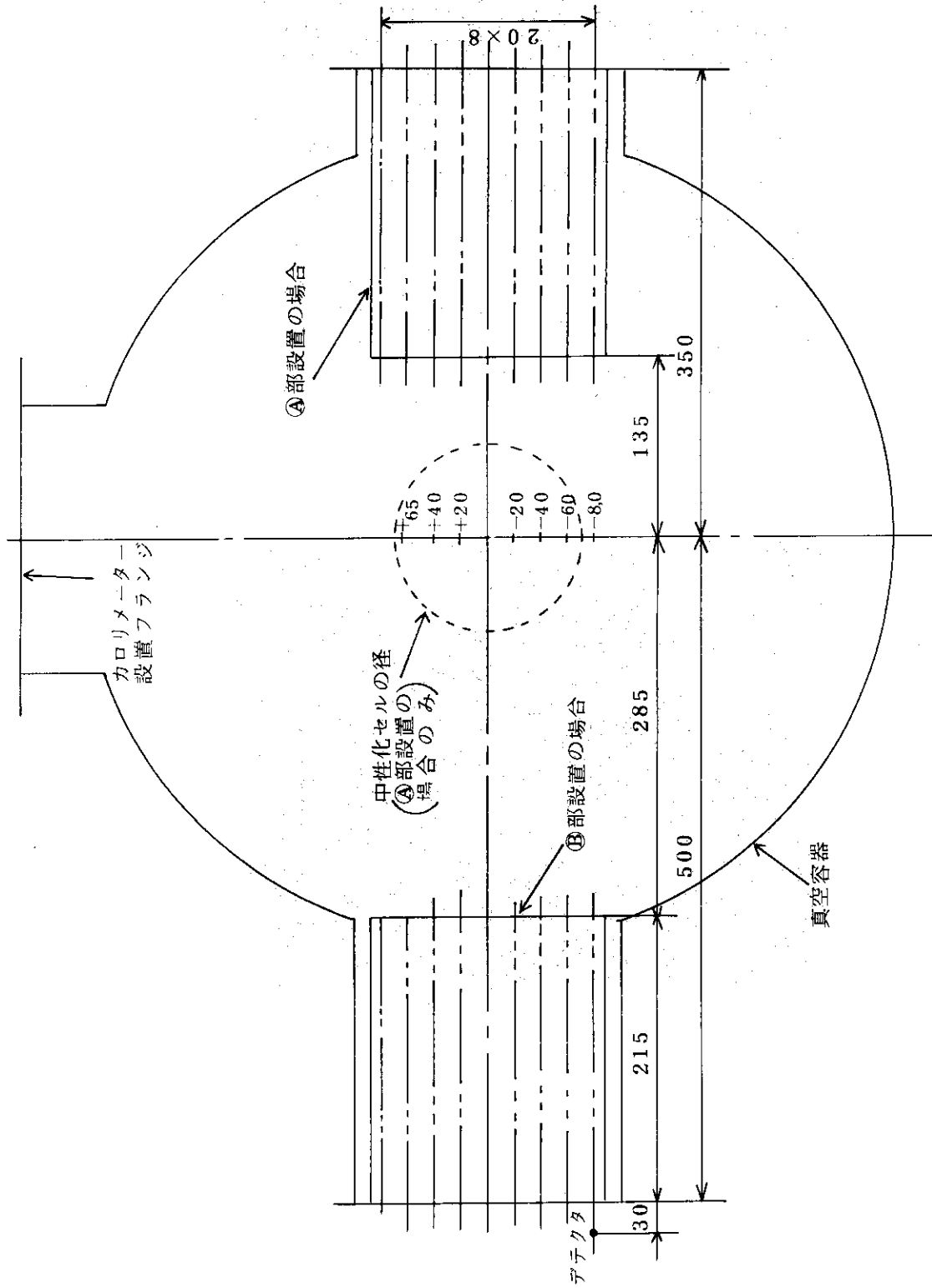


第3図 光ビームモニタの測定回路



第4図 イオン源用テストスタンド (ITS-2) への取付位置

- { ①部設置時 = 中性化セル付, カロリメーター無
- { ②部設置時 = 中性化セル無, カロリメーター付



第5図 真空容器内の設置位置関係

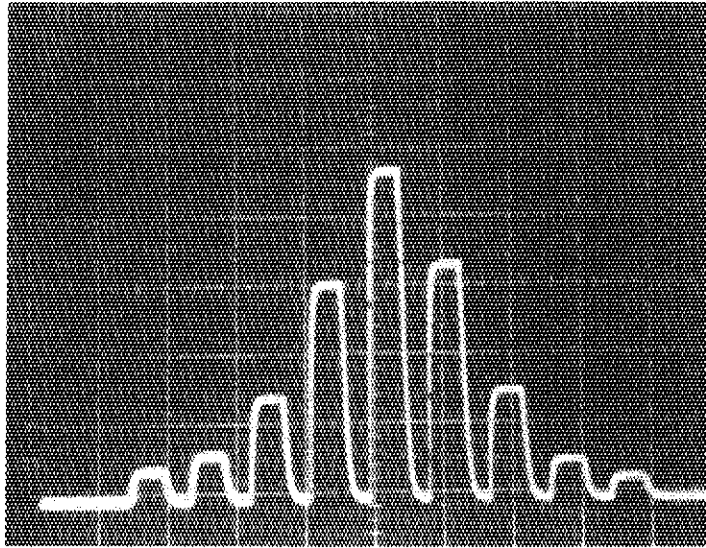


写真1

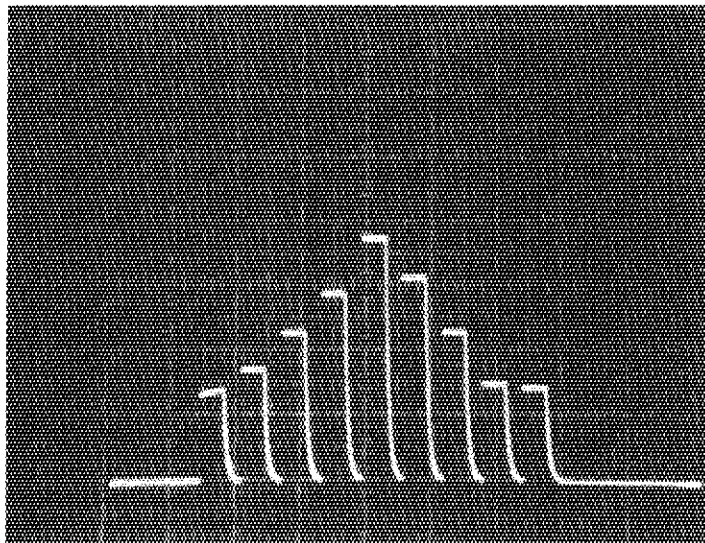
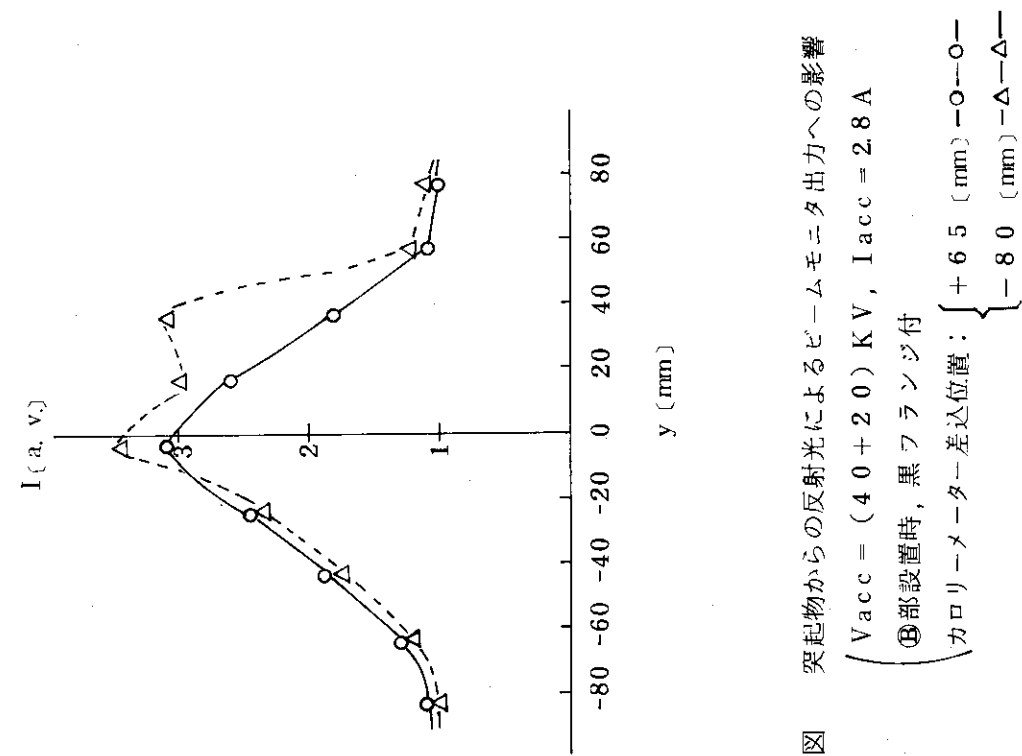


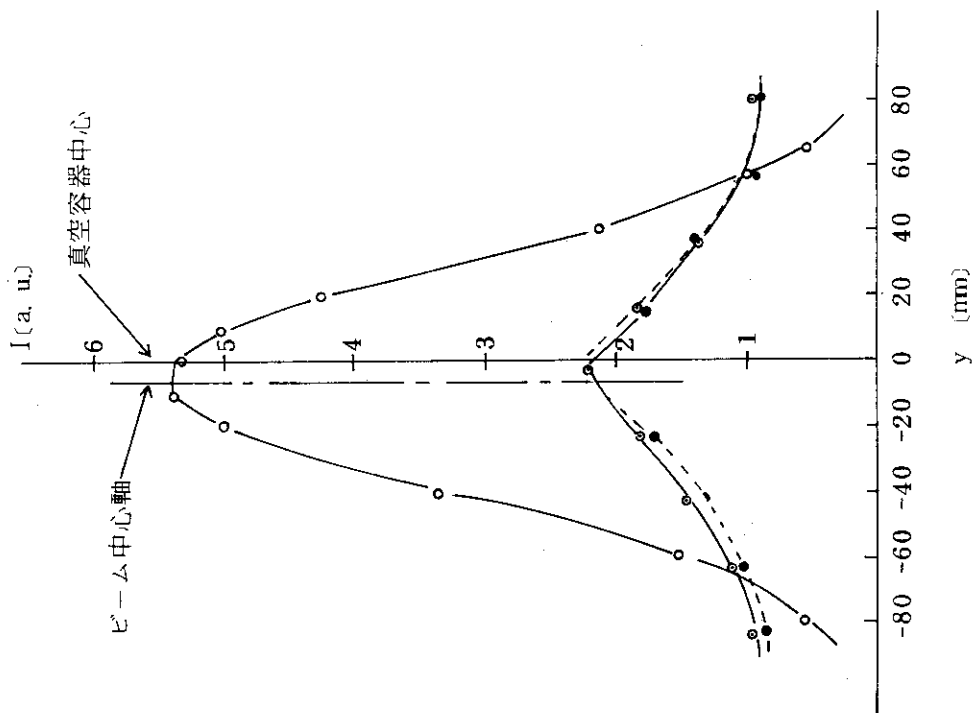
写真2

第6図 光ビームモニタによる測定結果例

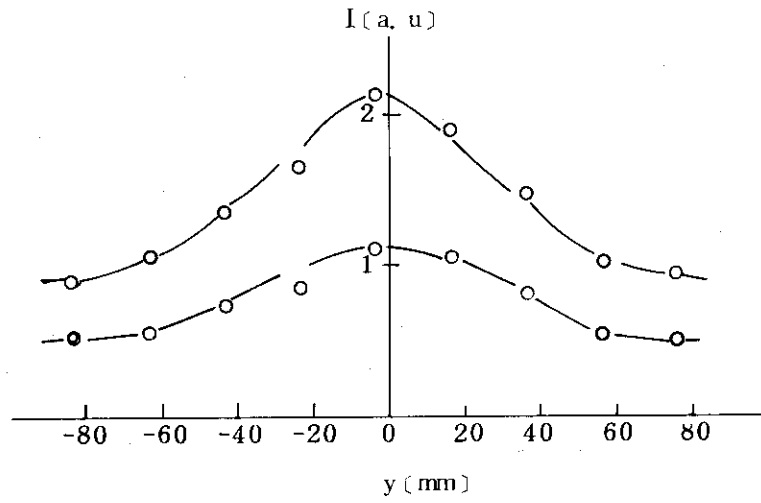
写真1 : $I_{acc} = 2.0 \text{ A}$, $T_{beam} = 200 \text{ msec}$, ㊸部設置時
 写真2 : $I_{acc} = 2.4 \text{ A}$, $T_{beam} = 120 \text{ msec}$, ㊹部設置時
 共通データ { $V_{acc} = (33+17) \text{ KV}$, $P_{H_2} = 5.5 \times 10^{-4} \text{ Torr}$
 20 msec/div , 0.1 V/div , 対向面に黒フランジ無



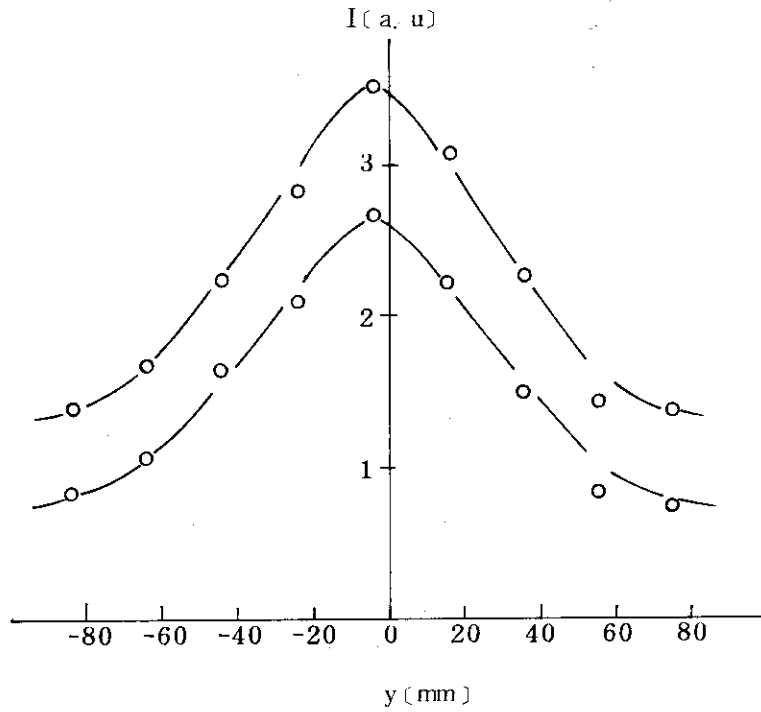
第7図 光ビームモニターおよびカロリメーターによるビーム
 プロファイル測定結果
 $V_{acc} = (40+20) \text{KV}$, $I_{acc} = 2.8 \text{A}$, 中性化セル無
 カロリメーター: $\text{---} \text{O---}$
 光ビームモニター: $\text{---} \bullet \text{---}$ (生データ)
 $\text{---} \circ \text{---}$ (検出部の個体差補正)
 ⑧部設置・黒フラランジ無



第8図 突起物からの反射光によるビームモニタ出力への影響
 $V_{acc} = (40+20) \text{KV}$, $I_{acc} = 2.8 \text{A}$
 ⑧部設置時, 黒フラランジ付
 カロリメーター差込位置: $\left\{ \begin{array}{l} +65 \text{ (mm)} \text{---} \text{O---} \\ -80 \text{ (mm)} \text{---} \Delta \text{---} \end{array} \right.$



a 図



b 図

第9図 光ビームモニタ対向面からの反射光の影響

$$V_{acc} = (33 + 1.7) \text{KV}, \begin{cases} I_{acc} = 1.4 \text{A} : \text{a 図} \\ I_{acc} = 2.4 \text{A} : \text{b 図} \end{cases}$$

-○-○-: 対向フランジ面を黒色塗料処理していない時。

-●-●-: 対向フランジ面を黒色塗料処理し、反射光を少なくした時。