

JAERI-M  
82-142

高崎研2号加速器 (3MeV, 25mA電子加速器)  
の概要と電子線出力特性

1982年10月

須永 博美・水橋 清・四本 圭一  
出中 隆一・田村 直幸

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、お申しこしてください。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 山 田 軽 印 刷 所

高崎研2号加速器 (3 MeV, 25mA 電子加速器)  
の概要と電子線出力特性

日本原子力研究所高崎研究所開発部

須永 博美・水橋 清<sup>+</sup>・四本 圭一

田中 隆一・田村 直幸

(1982年9月25日受理)

昭和53年3月に高崎研究所に設置した電子加速器“Dynamitron”について、装置の概要と電子線出力特性の測定結果をまとめた。この加速器は高電圧発生回路に、優れた負荷特性を有する並列給電方式多段整流昇圧回路を用いた装置で、出力範囲は、加速電圧1.0~3.0MV、ビーム電流0~25mAで、最大走査幅は60cmである。電子線出力特性として、電子エネルギー校正を3つの方法で行うとともに、電子流密度分布、試料中の深部線量分布を測定した。その結果をもとにして加速器の運転条件を決定し、線量率、線量率分布、照射処理速度などの出力データを照射パラメーターとしてまとめた。

JAERI-M 82-142

Outline and Beam Output Characteristics of 3MeV,25mA  
Electron Accelerator of TRCRE,JAERI

Hiromi SUNAGA, Kiyoshi MIZUHASHI<sup>+</sup>, Keiichi YOTSUMOTO,  
Ryuichi TANAKA and Naoyuki TAMURA

Division of Development,  
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI

(Received September 25, 1982)

The outline and the beam output characteristics of 3MeV,25mA Dynamitron electron accelerator installed in TRCRE,JAERI on March 1978 are summarized. It equips parallel coupled cascade high voltage generation circuit with excellent load characteristics for power supply. The accelerator is specified with following parameters: acceleration voltage-1-3MV, electron beam current-0-25 mA and maximum width of scanning beam on the beam window-60cm.

Electron energy was calibrated with three different methods and electron current density distribution in radiation field and dose distribution in irradiated material were measured as the beam output characteristics. Based on the results, the operating condition of the accelerator was decided and the output data-dose rate, dose rate distribution, product throughput etc. were summarized as the irradiation parameters.

Keywords: Electron Accelerator, Dynamitron, Parallel Coupled Cascade Circuit, Electron Energy Calibration, Beam Current Density, CTA Dose Meter, Depth Dose Curve, Radiation Processing, Outline

---

<sup>+</sup> Division of Thermonuclear Fusion Research, Tokai Research Establishment, JAERI

## 目 次

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                         | 1  |
| 2. 電子加速器“ダイナミトロン IEA-3000-25-2” ..... | 1  |
| 2.1 装置の概要 .....                       | 1  |
| 2.2 高電圧発生回路 .....                     | 2  |
| 2.3 装置の構成 .....                       | 5  |
| 3. 電子線出力特性 .....                      | 7  |
| 3.1 電子エネルギー .....                     | 7  |
| 3.2 電子流密度分布 .....                     | 10 |
| 3.3 吸収線量分布 .....                      | 11 |
| 3.4 加速電圧, ビーム電流の安定度 .....             | 13 |
| 4. あとがき .....                         | 14 |
| 謝 辞 .....                             | 14 |
| 参考文献 .....                            | 15 |

## Contents

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....  | 1  |
| 2. Electron accelerator "Dynamitron IEA-3000-25-2" .....                         | 1  |
| 2.1 Outline of the accelerator .....   | 1  |
| 2.2 High voltage generating circuit for the accelerator .....                    | 2  |
| 2.3 Components of the accelerator .....  | 5  |
| 3. Characteristics of electron beam output generated by the<br>accelerator ..... | 7  |
| 3.1 Electron energy .....  | 7  |
| 3.2 Distribution of electron beam current density .....                          | 10 |
| 3.3 Distribution of absorbed dose in irradiated materials ...                    | 11 |
| 3.4 Stabilities of accelerating voltage and beam current .....                   | 13 |
| 4. Summary .....   | 14 |
| Acknowledgement .....  | 14 |
| Reference .....  | 15 |

## 1. はじめに

日本原子力研究所高崎研究所では、昭和53年3月に、それまで使用していた3MeV, 5mAの電子加速器を更新し、新たに3MeV, 25mAの電子加速器“ダイナミトロン(Dynamitron) IEA-3000-25-2”を設置した。<sup>1,2)</sup>

設置後、本加速器は順調な稼働を続け、昭和57年9月現在、ビーム発生時間は2300時間余りに達している。

この間本加速器を使用して、所内においては、排煙処理の研究、機能性高分子の開発、プラスチックの改質、キュアリング、線量測定技術の開発などの研究が活発にすすめられるとともに、昭和54年4月からは、共同利用として、所外を対象とした研究開発のための利用にも広く供されてきた。一方、放出される電子のエネルギーや電子流密度分布、照射された試料内の吸収線量分布など、照射利用上必要なビーム出力性能についての測定実験が行われた。<sup>3)</sup>その結果、本装置の電子線出力特性が明らかになり、精度の高い条件で照射利用が行われるようになった。

本報では、まずこの加速器の仕様、構成、電子線発生回路の解説を行い、工業用電子加速器としての特長を述べ、次に、電子のエネルギーなど各パラメーターについての測定法および測定結果について述べる。

## 2. 電子加速器“ダイナミトロン IEA-3000-25-2”

### 2.1 装置の概要

高崎研2号加速器はRadiation Dynamics社製電子加速器“ダイナミトロン(Dynamitron) IEA-3000-25-2”である。装置の主な仕様性能を次に示す。

加速電圧：1.0～3.0 MV 連続可変

ビーム電流：0～25 mA 連続可変

ただし加速電圧1.5 MV以下では、最大ビーム電流は漸次減少する。

(Fig. 1)

定格出力：75 kW

安定度：加速電圧安定度 ±60 kV

ビーム電流安定度 0.1～2.5 mAでは±25 μA以内

2.5～25 mAでは±250 μA以内

ビーム走査：走査幅 最大60 cm

均一度 ビーム窓下15 cmにおいて±5%以下

走査周波数 200 Hz

Fig. 2は装置の概略図を示す。加速電圧発生部には、整流器とコンデンサを組み合わせて直

## 1. はじめに

日本原子力研究所高崎研究所では、昭和53年3月に、それまで使用していた3MeV, 5mAの電子加速器を更新し、新たに3MeV, 25mAの電子加速器“ダイナミトロン(Dynamitron) IEA-3000-25-2”を設置した。<sup>1,2)</sup>

設置後、本加速器は順調な稼動を続け、昭和57年9月現在、ビーム発生時間は2300時間余りに達している。

この間本加速器を使用して、所内においては、排煙処理の研究、機能性高分子の開発、プラスチックの改質、キュアリング、線量測定技術の開発などの研究が活発にすすめられるとともに、昭和54年4月からは、共同利用として、所外を対象とした研究開発のための利用にも広く供されてきた。一方、放出される電子のエネルギーや電子流密度分布、照射された試料内の吸収線量分布など、照射利用上必要なビーム出力性能についての測定実験が行われた。<sup>3)</sup>その結果、本装置の電子線出力特性が明らかになり、精度の高い条件で照射利用が行われるようになった。

本報では、まずこの加速器の仕様、構成、電子線発生回路の解説を行い、工業用電子加速器としての特長を述べ、次に、電子のエネルギーなど各パラメーターについての測定法および測定結果について述べる。

## 2. 電子加速器“ダイナミトロン IEA-3000-25-2”

### 2.1 装置の概要

高崎研2号加速器はRadiation Dynamics社製電子加速器“ダイナミトロン(Dynamitron) IEA-3000-25-2”である。装置の主な仕様性能を次に示す。

加速電圧：1.0～3.0 MV 連続可変

ビーム電流：0～25 mA 連続可変

ただし加速電圧1.5 MV以下では、最大ビーム電流は漸次減少する。

(Fig. 1)

定格出力：75 kW

安定度：加速電圧安定度 ±60 kV

ビーム電流安定度 0.1～2.5 mAでは±25 μA以内

2.5～25 mAでは±250 μA以内

ビーム走査：走査幅 最大60 cm

均一度 ビーム窓下15 cmにおいて±5%以下

走査周波数 200 Hz

Fig. 2は装置の概略図を示す。加速電圧発生部には、整流器とコンデンサを組み合わせて直



流高電圧を発生する多段整流昇圧回路の並列給電方式が採用されている。この回路方式については2.2で詳しく述べる。この昇圧回路はFig. 2に示すように主圧力容器内に収納され、シリコン整流器スタック、コロナリングと高周波電極間で、SF<sub>6</sub>ガスを誘電体として形成されるキャパシタンスとから成っている。

発振管の陽極は高周波同軸ケーブルにより高周波トランスのインダクタンスと、高周波電極とタンク壁等の中で形成されるキャパシタンスで構成される共振回路に接続される。この発振管、共振回路等より成る発振回路により、商用周波電力は高周波電力に変換され、高周波トランスの一次側に供給される。高周波電圧はここで増幅され、高周波電極に伝達される。このようにして高周波電極に形成された電場は、コロナ電極と高周波電極間の容量性結合により、それぞれの整流器スタックに印加される。各整流器スタックは直列に接続されているので、直流電圧は加算されて、高電圧端子で、所要の加速電圧に達する。この発生電圧は整流器スタックの段数により決まり、本装置の場合は60段である。なお、加速電圧の調整は発振管の陽極電圧を変化させることにより行う。

加速管の上端は高電圧電極に直接接続されており、各加速電極間は分割抵抗が接続されている。加速管の上端部には電子銃があり、フィラメントを加熱することにより熱電子が発生する。このフィラメント加熱のための電力は、低圧部にある電動機により絶縁ロッドを介して駆動される発電機により供給される。

ビーム電流の制御はフィラメント電流を変えることにより行い、これも絶縁ロッドを介し、低圧側より高電圧電極内のフィラメント電流制御用SCR回路内の可変抵抗の調整を行う方式となっている。

加速管内で加速された電子ビームは、スキャンチャンバー内で、200 Hzの三角波電流で生じる磁場により走査され、スキャンホーン内からビーム窓を透過して、大気中に放出される。

加速管およびスキャンホーン内は油回転ポンプおよび油拡散ポンプより成る真空排気系により高真空に保たれている。

本加速器はRadiation Dynamics社で工業用として製作されている標準機種であるDynamitron IEA-3000-25に改良を加えて、1 MVより電子線発生を可能(標準機種では1.5 MVより)とし、また加速電圧、ビーム電流の安定性を高めたものである。

## 2.2 高電圧発生回路

ダイナミトロン加速器の直流高電圧発生回路の基本は1919年にSchenkelによって報告されている交流電力を入力とし整流器とコンデンサを組み合わせた多段整流昇圧回路の並列給電方式回路である。<sup>4)</sup>(Schenkelの回路においては整流器でなく交流電源に同期させて機械的に切換えを行うロータリースイッチが用いられた。) Fig. 3にはこの並列給電方式回路を示す。この回路は以下に述べるように高電圧発生回路として優れた特性をもつが、各段のコンデンサにかかる電圧が段数毎に高くなり最終段では直流出力電圧そのものがかかるので、コンデンサの耐電圧により出力電圧が限定されてしまうという欠点をもつ。このため、ダイナミトロンが出現するまで、加速器用に高電圧を発生させるための回路としては実用化されなかった。

コンデンサと整流器を組み合わせた多段整流昇圧回路にはこのほか 1921年に Greinacher により開発され、<sup>5)</sup> 1932年の Cockcroft-Walton による原子核反応実験に用いられた直列給電方式の回路がある。この回路を Fig. 4 に示す。(この場合も当時は整流器ではなく、交流電源に同期させて機械的に切換えを行うロータリースイッチを用いた。)

両回路の特性比較を通して、加速器用高電圧電源としての並列給電方式回路の特徴を Cleland らの資料<sup>6,7)</sup>等を参考にして以下に考察する。

並列給電回路において負荷電流  $I$  (A)をとった場合の出力電圧  $V$  (V)は(1)式で示される。

$$V = V_0 - IZ \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $V_0$ は無負荷の場合の出力電圧(V),  $Z$ は回路の内部インピーダンス( $\Omega$ )を示す。無負荷時の出力電圧  $V_0$ は整流回路の段数を  $n$ とすれば(2)式で与えられる。

$$V_0 = nE \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $E$ は回路に供給される交流電圧の最大値を示す。またこの回路における内部インピーダンス  $Z$  ( $\Omega$ )は近似的に(3)式で示される。

$$Z = \frac{n}{f C_p} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $f$ は交流の周波数(Hz)  $C_p$ は結合コンデンサの容量(F)である。そこで電圧変動率  $\Delta V/V_0 = (V_0 - V)/V_0$ は(1)式より(4)式で与えられる。

$$\frac{(V_0 - V)}{V_0} = \frac{I}{f C_p E} \quad \dots\dots\dots (4)$$

この結果並列給電回路における電圧変動率は、整流回路の段数および無負荷時の出力電圧に無関係であることがわかる。そして許容し得る最大電圧変動率を  $G_{P \max}$ とすると最大負荷電流  $I_{P \max}$ は次式のようになる。

$$I_{P \max} = f C_p E G_{P \max} \quad \dots\dots\dots (5)$$

このように最大負荷電流は整流回路の段数や出力電圧に無関係であり、これは並列給電回路の大きな特徴である。

一方直列給電回路について考えてみると、まず内部インピーダンスは近似的に(6)式で与えられる。

$$Z = \frac{n^3}{12 f C_s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

これにより電圧変動率は、

$$\frac{(V_0 - V)}{V_0} = \frac{I n^2}{12 f C_s E} = \frac{I V_0^2}{12 f C_s E^3} \dots\dots\dots (7)$$

この結果電圧変動率は無負荷時の出力電圧、または整流回路の段数の2乗に比例して大きくなるのがわかる。ここで並列給電回路の場合と同様に、許容し得る電圧変動率を  $G_{s \max}$  とした場合にとり得る負荷電流を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} I_{s \max} &= \left( \frac{12 f C_s E}{n^2} \right) G_{s \max} \dots\dots\dots (8) \\ &= \left( \frac{12 f C_s E^3}{V_0^2} \right) G_{s \max} \end{aligned}$$

したがって負荷電流は整流回路の段数または無負荷時の出力電圧を増せばそれらの2乗に反比例して減少することがわかる。

直列給電回路と並列給電回路において、許容電圧変動率、入力電源周波数および交流電圧をそれぞれ同一とすると、両回路のとり得る負荷電流の比は、(5)式と(8)式より

$$\frac{I_{s \max}}{I_{p \max}} = \frac{12 C_s}{n^2 C_p} \dots\dots\dots (9)$$

となる。もし両回路の結合コンデンサの容量の比  $C_s/C_p$  が段数に関係なく一定であるとすると、最大負荷電流の比は整流回路の段数の2乗に反比例する。

以上の検討の結果、高電圧（段数が多い）、大電流の大出力加速器の電源回路として並列給電回路が有利であることがわかる。ダイナミトロンはこの並列給電回路を直流高電圧発生回路に利用した加速器である。ダイナミトロンの回路のSchenkel回路との相違点は各整流器に並列に接続されるコンデンサ  $C_r$  があることである。Fig. 5 にダイナミトロンの回路の基本回路を示す。このコンデンサ  $C_r$  を含む回路の出力電圧  $V_0$  および内部インピーダンス  $Z$  は次のようになる。

$$V_0 = \frac{E n}{k} \dots\dots\dots (10)$$

$$Z = \frac{n}{k f C_p} \dots\dots\dots (11)$$

$$k = 1 + 4 (C_r/C_p) \dots\dots\dots (12)$$

ここで  $k$  は結合係数である。この場合の電圧変動率は

$$\frac{(V_0 - V)}{V_0} = \frac{I}{f C_p E} \dots\dots\dots (13)$$

で与えられ、これは Schenkel 回路の場合と同じである。したがって許容し得る電圧変動率を  $G_{\max}$  としたときの最大負荷電流  $I_{\max}$  も

$$I_{\max} = f C_p E G_{\max} \dots\dots\dots (14)$$

となる。ここで  $f$ 、 $C_p G_{\max}$  および  $V_0$  が Schenkel 回路の場合と同一であるとする、ダイナミトロン回路では供給する交流電圧  $E$  を  $k$  倍に大きくする必要があるが、その分だけ  $I_{\max}$  は大きくなる。

ダイナミトロンにおいては高電圧発生コラムを囲んでいる高周波電極とコロナリングとの間で高圧の  $SF_6$  ガスを誘電体として形成される浮遊容量が結合コンデンサとなっており、終段で発生する高電圧にも耐えられる構造となっている。この結合コンデンサの容量は数 pF と非常に低い値であり、蓄積されるエネルギーも少ない。したがって高電圧回路内において放電が生じた場合においても他の部分に与える損傷は少なく、これも回路の優れた負荷特性とともに大きな特徴の一つである。

## 2.3 装置の構成

本装置は大別して主圧力容器、発振器盤、ビームスキニング装置、真空排気装置、主制御盤および付属装置より構成される。Fig. 6 は装置の系統図を示す。

### 2.3.1 主圧力容器

直径 1981mm、高さ 6274mm、容積 17.3m<sup>3</sup>の圧力容器で、この中に高周波トランス、整流器モジュール、高周波電極、コロナリング、高電圧端子、電子銃、加速管、冷却器などが収納され、絶縁ガスとして  $SF_6$  がゲージ圧約 7  $\frac{kg}{cm^2}$  に充填されて用いられる。これらは高電圧発生回路に供給される高周波の発振回路の一部を形成し、また高電圧（加速電圧）発生、電子線の発生、制御、タンク内の冷却などの機能を果している。Fig. 7 はこの主圧力容器内部および後述するビームスキニング装置部分を示す。図に示すように主圧力容器は 3 分割できる構造となっており、最上段には高周波トランス、冷却器などが、中段には高周波電極がとりつけられている。また最下段には整流器モジュール、コロナリング、高電圧端子等から成る高電圧発生部および電子銃、加速管等が固定されている。したがって保守作業などで容器を開ける場合には適切な部分を切り離せばよいようになっている。

### 2.3.2 発振器盤

発振器盤には、商用周波電力を入力し高周波電力に変換し、高電圧発生回路へ供給するための各回路部品等、すなわち SCR 制御回路、3 相商用周波トランス、整流、平滑回路、発振管などが収納されている。ここで発生する高周波電圧の波高値は高電圧発生回路の出力電圧（加速電圧）を決定することになり、SCR 制御回路は発振管の陽極電圧を発生させる整流回路へ供給する商用周波電圧の制御、したがって加速電圧の制御を行っている。

この発振器盤の仕様概要は次の通りである。

|         |  |
|---------|--|
| 形 式     | MODEL 225                                    |
| 発 振 管   | Amperex Electronic 社製 Type8752 定格陽極入力 220 kW |
| 入 力 電 力 | 440 V 3相 50Hz 120kVA                         |
| 所要冷却水   | 4.8 m <sup>3</sup> /hr 水圧最大 70 psig          |

Fig. 8は発振器盤と前述の主圧力容器の外観の写真を示す。

### 2.3.3 スキャンニング装置

電子銃で発生し、加速管内で加速された電子線は直径 10 cm のドリフト管を経てスキャンニング装置に導かれる。

スキャンニング装置はスキャンチェンバー、スキャンホーンから成る。電子線はスキャンチェンバー内のコイルに 200 Hz の三角波電流を流すことにより生じる磁場により走査され、スキャンホーン内を通過し、底面の厚さ約 40  $\mu$  のチタン合金箔を透過し、大気中に放出されるこの箔はビーム窓の役割を果たすと同時に大気と内部の真空状態との真空シールの働きをしている。この箔の部分で吸収された電子による発熱を冷却するために圧搾空気が窓面に吹きつけられる。この空気は照射室迷路内に設置されたターボブロアにより供給され、ビーム窓の部分に据えつけられたノズルより窓面を均一に冷却するように吹きつけられる。Fig. 9はスキャンニング装置部分の写真を示す。

### 2.3.4 真空排気装置

加速管内およびスキャンホーン内の真空排気は油拡散ポンプ、油回転ポンプから成る系により行われる。油拡散ポンプは水冷バッフルを付加して用いられ、500  $\ell$ /sec の実効排気速度を有している。油回転ポンプは排気速度 20 m<sup>3</sup>/h のベルトレス、直結形のポンプである。また油拡散ポンプの高真空側には圧搾空気により作動する自動バルブが備えられており、停電時、油拡散ポンプの冷却水停止時および真空度低下時に動作するようになっている。油拡散ポンプ、水冷バッフル、自動バルブ等はスキャンホーンの横のステンレス製ボックス内に収納されており、油回転ポンプは加速器室内の床面上に設置されている。

真空度の測定は電離真空計および熱電対真空計によって行っており、表示は加速器主制御盤内に収納されている真空度表示メーターで行われる。またこの真空度に対するメーターリレーがあり、低真空時の自動バルブ閉鎖や油拡散ポンプの動作を停止させる機能を有する。

### 2.3.5 主制御盤

制御室に設置されている主制御盤は NEMA-12 の規格に基づいて製作されており、前面および背面は扉構造となっている。前面の扉には内部のメーター類が目視可能なように上部が窓になっており、その下には加速器制御に必要なスイッチ類、インターロック回路表示器などが設置されている。また扉の内部には加速電圧、ビーム電流、走査電流の設定器やこれらの値を示すデジタルメーターが配置されている。更に加速器各部制御用回路、走査電流発生回路、加速管内真空度測定器などもこの主制御盤内に収納されている。Fig. 10は主制御盤の外観写真を示す。

### 2.3.6 付属装置

#### a) SF<sub>6</sub>ガス回収装置およびストレージタンク

本装置は主圧力容器内の絶縁ガスとして用いるSF<sub>6</sub>ガスの充填、回収等、次に示す作業を行う場合に使用する。

- i 主圧力容器、ストレージタンクおよび配管類などから成る全体の系または個々の部分の排気
- ii 主圧力容器やストレージタンクへのSF<sub>6</sub>の充填
- iii 系内のSF<sub>6</sub>の除湿

SF<sub>6</sub>はすべて気体の状態で充填、回収が行われる。この系の主な構成部品は真空ポンプ、ガスコンプレッサー、乾燥筒などである。この装置は加速器室の主圧力容器の横へ設置されている。Fig. 11は装置の系統図を示す。

ストレージタンクは建家外に設置されており、その容積は22.6 m<sup>3</sup>である。加速器の点検時など、主圧力容器を開く場合にSF<sub>6</sub>をこのタンクに貯蔵する。

#### b) ビームシャッター

スキャンホーンの下部にとりつけられ、ビーム窓より放出される電子線を必要に応じ遮蔽するのがビームシャッターである。本体は厚さ0.7mmのステンレス3層から成っており、その間を水が流れることにより冷却する構造になっている。動作は“手動”および“自動”があり“手動”の場合にはシャッターの開閉をボタン操作により行い、“自動”ではボタン操作で開をした後、セットされた時間で自動的に閉となるようになっている。本装置は加速器の最大出力時においても完全に電子線を遮る機能を有するが、電子線が発生した状態で長時間にわたり“閉”にしておけるようには設計されていない。

#### c) 照射窓冷却用ブロー

本装置は電子線発生時に加速器ビーム窓を冷却するための圧搾空気を発生させるものである。Spencer社製のターボコンプレッサーで吐出量は470 ft<sup>3</sup>/minである。

## 3. 電子線出力特性

本加速器を用いて照射利用を行うために必要なデータとして出力電子のエネルギー、電子流密度分布、照射試料内の吸収線量分布などについての測定実験を行った。これらの測定の方法および結果について述べる。

### 3.1 電子エネルギー

加速器の操作盤上には加速電圧の値が表示され、この値が電子のエネルギーに相当する。加速電圧は、前報<sup>1)</sup>でも述べたように高電圧端子とアース間に接続された高抵抗回路(High Voltage Divider, HVD)を流れる電流を測定することによって校正されている。HVDを流れる電流と端子電圧との関係は、HVD素子一単体ごと(全部で206単体)の校正にもとづ

### 2.3.6 付属装置

#### a) SF<sub>6</sub>ガス回収装置およびストレージタンク

本装置は主圧力容器内の絶縁ガスとして用いるSF<sub>6</sub>ガスの充填、回収等、次に示す作業を行う場合に使用する。

- i 主圧力容器、ストレージタンクおよび配管類などから成る全体の系または個々の部分の排気
- ii 主圧力容器やストレージタンクへのSF<sub>6</sub>の充填
- iii 系内のSF<sub>6</sub>の除湿

SF<sub>6</sub>はすべて気体の状態で充填、回収が行われる。この系の主な構成部品は真空ポンプ、ガスコンプレッサー、乾燥筒などである。この装置は加速器室の主圧力容器の横へ設置されている。Fig. 11は装置の系統図を示す。

ストレージタンクは建家外に設置されており、その容積は22.6 m<sup>3</sup>である。加速器の点検時など、主圧力容器を開く場合にSF<sub>6</sub>をこのタンクに貯蔵する。

#### b) ビームシャッター

スキャンホーンの下部にとりつけられ、ビーム窓より放出される電子線を必要に応じ遮蔽するのがビームシャッターである。本体は厚さ0.7mmのステンレス3層から成っており、その間を水が流れることにより冷却する構造になっている。動作は“手動”および“自動”があり“手動”の場合にはシャッターの開閉をボタン操作により行い、“自動”ではボタン操作で開をした後、セットされた時間で自動的に閉となるようになっている。本装置は加速器の最大出力時においても完全に電子線を遮る機能を有するが、電子線を発生した状態で長時間にわたり“閉”にしておけるようには設計されていない。

#### c) 照射窓冷却用ブロワー

本装置は電子線発生時に加速器ビーム窓を冷却するための圧搾空気を発生させるものである。Spencer社製のターボコンプレッサーで吐出量は470 ft<sup>3</sup>/minである。

## 3. 電子線出力特性

本加速器を用いて照射利用を行うために必要なデータとして出力電子のエネルギー、電子流密度分布、照射試料内の吸収線量分布などについての測定実験を行った。これらの測定の方法および結果について述べる。

### 3.1 電子エネルギー

加速器の操作盤上には加速電圧の値が表示され、この値が電子のエネルギーに相当する。加速電圧は、前報<sup>1)</sup>でも述べたように高電圧端子とアース間に接続された高抵抗回路(High Voltage Divider, HVD)を流れる電流を測定することによって校正されている。HVDを流れる電流と端子電圧との関係は、HVD素子一単位ごと(全部で206単位)の校正にもとづ

いて決定されている。しかし前報でも示したように、電流と端子電圧との関係が非直線的であること、制動X線の曝射によりHVD素子の特性が変化する可能性があることなど、この測定方法による値のみから電子エネルギーを決定するのは十分正確ではないので他の方法を用いて電子エネルギーの校正を行った。

電子のエネルギー校正には種々の方法が試みられているが、測定系の問題があることや、方法によっては特定のエネルギーのみの適用に限定されたりするため、確立された方法はない。ここでは次に示す3種類の方法で校正実験を行い、それぞれの結果を比較した。

- 1)  ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$  核反応のしきい値エネルギーを用いる方法
- 2) 制動放射X線のエネルギースペクトルの測定による方法
- 3) 電子流密度測定および熱量測定の結果から導く方法

### 3.1.1 ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ 核反応のしきい値エネルギーを用いる方法

この方法は  ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$  核反応のしきい値が 1.667 MeV であることに着目し、電子線が物質に衝突したときに発生する制動放射X線によりこの反応を生じさせることによって電子のエネルギー校正を行う方法<sup>8)</sup>である。

制動放射X線の最大エネルギーは入射電子のエネルギーに対応するので、電子のエネルギーを徐々に上昇させていって、この核反応が生じはじめるときの電子のエネルギーが、この核反応のしきい値 1.667 MeV に等しいとみなせる。

Fig. 12 は実験配置を示す。加速器のビーム窓およびステンレスターゲットで生じた制動放射X線により、この下に置かれた試料が照射される。試料は 50 mm  $\phi$ 、2 mm 厚のベリリウム、10 mm 厚ポリエチレンおよび 0.3 mm 厚の銀板より成っている。

制動放射X線の最大エネルギーがしきい値より高い場合には、ベリリウムで  $(\gamma, n)$  反応が生じ、発生した中性子はポリエチレン中で減速されることによって銀を放射化し、 ${}^{108}\text{Ag}$  を生成する。 ${}^{108}\text{Ag}$  は半減期 2.3 分で  $\beta$  線を放出する。この  $\beta$  線強度を GM 計数管で観測することにより  $(\gamma, n)$  反応のしきい値を決定する。

本加速器の加速電圧の表示は前述のように HVD 電流を基準にしているので、この HVD 電流において加速電圧 1.667 MV に対応する値付近で電子線が発生させて  ${}^{108}\text{Ag}$  からの  $\beta$  線の計数を行った。Fig. 13 に HVD 電流 70 ~ 80  $\mu\text{A}$  に対する  $\beta$  線計測時間 150 秒間におけるカウント数を示す。この結果、 ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$  反応のしきい値 1.667 MeV に対応する HVD 電流は 71  $\mu\text{A}$  であることが確認された。

### 3.1.2 制動放射X線のエネルギースペクトルの測定による方法

電子線が物質に衝突した時に生じる制動放射X線は連続のエネルギースペクトルを有するが、この最大エネルギーは入射電子の最大エネルギーと一致する。ここでは本加速器より放出する電子のエネルギーが単一であると仮定して、ビーム窓およびステンレス製ビームシャッター部で発生するX線のエネルギースペクトルの高エネルギー端付近を測定することにより電子のエネルギーを決定する方法を試みた。ただし、エネルギー全体にわたる正確なスペクトルを求めることは必要としないので、測定法としてコンプトンスペクトロメーター法は用いずに単一ブ



ローブによる測定を行った。

測定器は東芝製 400 チャンネル NaI (Tℓ) シンチレーションスペクトロメーター, EDS-34802 形を用いた。スペクトロメーターのチャンネル校正は <sup>56</sup>Co, <sup>88</sup>Y の標準線源を用いて行った。X線スペクトルの測定では、計数率が高すぎることに伴うパイルアップを防ぐため、加速器からの電子線出力を 1 μA 以下に制御し、シンチレーションプローブへの入射系については約 1mm φ の鉛コリメーターを用い、プローブ全体の鉛遮蔽を十分に行った。X線発生部とプローブとの距離は十分長く (約 2 m) とった。

Fig. 14 に HVD 電流 42.0 μA, 97.5 μA, 165.0 μA に対する制動放射 X 線スペクトル端の測定結果を示す。この端部の直線部分を計数率零に外挿して得られたチャンネル番号から、対応する電子エネルギーを求めると、各 HVD 電流値に対してそれぞれ 1.08 MeV, 2.15 MeV, 3.24 MeV の値が得られた。

### 3.1.3 電子流密度測定および熱量測定の結果から導く方法

電子流密度測定器および熱量計を並べて、コンベアを用いて同時に電子線照射を行い、それぞれ入射電荷密度、エネルギー束を求めることにより入射した 1 個の電子当りのエネルギーを導いた。

Fig. 15 は電子流密度測定器の断面図を示す。測定器の吸収体にはカーボンを用い、その直径は 20mm である。電子密度測定器による入射電荷量の測定より入射電荷密度  $q$  (μc/cm<sup>2</sup>) は次式により与えられる。<sup>9)</sup>

$$q = \frac{4Q}{\pi d_e^2} \dots\dots\dots (15)$$

ここで  $Q$  は測定された入射電荷量 (μC),  $d_e$  は電子の後方散乱の影響を考慮した吸収体の実効直径 (cm) である。

Fig. 16 に熱量計の断面図を示す。吸収体の物質にはカーボンを用い、熱電対は 0.1 mm φ の銅-コンスタンタンを用いた。この熱量計によって測定される電子線照射による温度上昇からエネルギー束  $F$  (J/cm<sup>2</sup>) は次式により求めることができる。

$$F = \frac{4.19 \cdot C \cdot m \cdot (T - T_0)}{\pi r^2 (1 - \xi) (1 - \sigma)} \dots\dots\dots (16)$$

ここで  $C$  はカーボンの比熱 (cal/g · deg),  $m$  は吸収体の質量 (g),  $r$  は吸収体の半径 (cm),  $\xi$  はカーボンに対するエネルギー後方散乱係数<sup>10)</sup>,  $\sigma$  は放射収率そして  $(T - T_0)$  は電子線照射による温度上昇 (°C) である。ここで得られたエネルギー束と入射電荷密度の比をとることにより電子の平均エネルギー  $\bar{E}$  (MeV) を求めることができる。

$$\bar{E} = \frac{F}{q} \dots\dots\dots (17)$$

ただしここで得られた平均エネルギー  $\bar{E}$  は測定器に入射する電子のエネルギーであり、加速

管内における電子エネルギーに対応させるためにはビーム窓および空気層におけるエネルギー損失分を補正しなければならない。

$$E_0 = \overline{E} + \overline{\Delta E_w} + \overline{\Delta E_a} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここで  $E_0$  は加速管内における電子エネルギー (MeV)  $\overline{\Delta E_w}$ 、 $\overline{\Delta E_a}$  はそれぞれビーム窓 (チタン  $43 \mu$ ) および空気層 (25 cm) による平均エネルギー損失であり、Tabata らの経験式<sup>11)</sup>を用いることができる。

Fig. 17 は測定結果の一例で、HVD 電流  $71 \mu A$ 、電子流密度測定器とカロリメーターをビーム窓下 25 cm の照射面上でビーム走査と直角方向に一定速度で移動した場合の各測定器からの出力を示す。図中の 1)、2) は電子流密度測定器からの出力で、1) は入射電子流密度 2) はその積分値、すなわち入射電荷密度を、そして 3) は熱量計の出力で、吸収体の温度変化の状態を示す。

この方法により求めた HVD 電流  $42.0 \mu A$ 、 $97.5 \mu A$ 、 $165.0 \mu A$  における加速管内の電子エネルギーはそれぞれ 1.07 MeV、2.13 MeV、3.17 MeV となった。

以上 3 種類の方法により得られた結果を合わせて Fig. 18 に示す。これらの方法により得られた結果は互に良く一致する。このことはエネルギー校正結果が信頼性の高いことおよび電子のエネルギー校正法としてこれらの方法が適切であることを示唆する。

次に校正値が妥当な値であることをさらに確認するため、電子線を照射したアルミニウム媒質中の深部線量分布を求め、これまで報告されているデータと比較した。

深部線量分布の測定は、Fig. 19 に示すように階段状に厚さの変化するアルミニウム吸収体の下に CTA フィルム線量計<sup>12)</sup> テープ (FTR-125) をセットしたものを試料とし、これを加速器のビーム窓下を一定速度で移動させながら照射を行い、照射後 CTA 線量計用リーダー<sup>13)</sup> (FDR-01) で CTA テープに沿う線量分布を読みとることによって行った。深部線量分布の比較には Spencer のモメント法による計算結果<sup>14)</sup> および Berger and Seltzer によるモンテカルロ法による計算結果<sup>15)</sup> を用いた。このうち特にモンテカルロ法による結果は精度が高いことが確認されている。Fig. 20 は 1 MeV、2 MeV、3 MeV についての結果である。実験値と計算値の比較において、線量がピークとなる深さよりも深いところで両者のずれがあるが、本実験においては電子線の散乱による試料への斜入射電子の寄与があることを考慮すれば、両者は良く一致していると見なすべきであり、今回の校正結果が適正な値を示していることが確認された。

### 3.2 電子流密度分布

加速電子ビームは前述のように加速管内よりドリフトチューブを走り、スキャンチェンバー内で走査された後、ビーム窓より大気中に放出される。操作盤上の電子線電流メーターは加速管内における全電子線電流を示し、このメーター回路については前報<sup>1)</sup> に示したように正しい値を示すことが確認されている。ビーム走査は走査コイルを流れる 200 Hz の三角波電流によ

り生じる磁場で行われる。走査幅はビーム窓面において最大 60 cm で、単位走査幅当りのビーム電流が 1 mA/インチ以下となる条件で走査幅を減ずることができる。一般にはこの最大走査幅となる状態で照射運転を行う。

ビーム窓より大気中に放出される電子線の強度分布や空気の吸収線量率分布は、照射試料の寸法等を決定する上で基本的に重要なデータである。このため、エネルギー校正の結果をもとにした所定のエネルギー条件で、最大走査幅を与えるビーム走査条件におけるビーム窓下での走査方向およびその直角方向についての電子流密度分布の測定を行った。

測定にはカーボンを吸収体とする電子流密度測定器を用い、これを一定速度で照射場を移動させることにより行った。Fig. 21 ~ 23 は加速電圧 1.0 MV, 2.0 MV, 3.0 MV について、全電子線電流 1 mA の場合のビーム窓下 16 cm ~ 39.5 cm の電子流密度分布を示す。また Fig. 24 は各加速電圧に対する電子流密度を、ビーム窓からの距離の関数として示す。

ここで得られた電子流密度を  $\phi$  ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) とすると、その点における電子線強度  $I$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) および空気の吸収線量率  $D_a$  ( $\text{rad}/\text{sec}$ ) は(19)および(20)式より求めることができる。<sup>16)</sup>

$$I = \bar{E} \cdot \phi = (E_0 - \Delta E_w - \Delta E_a) \cdot \phi \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$D_a = \phi \cdot (dE/dr)_{\bar{E}} \cdot f_1 \cdot f_2 \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで  $\bar{E}$  は問題としている場所での電子の平均エネルギー、 $(dE/dr)_{\bar{E}}$  は空気の質量衝突阻止能、 $f_1$  は面強度から球強度<sup>17)</sup>への変換因子であり、約 1.0 ~ 1.75 の値となる。また  $f_2$  は後方散乱の影響を表わす因子である。

### 3.3 吸収線量分布

本加速器を用いて試料の照射を行う場合の試料の吸収線量、線量率、照射処理量などについて述べる。

電子線照射された物質の吸収線量の決定は  $\gamma$  線や X 線に比べ電子線の透過力が弱く、その飛程内で吸収線量が大きく変化し、その分布が物質の種類によって異なるなどの理由により面倒である。ここでは基準とする物質として、線量計として優れた特性を有している<sup>12)</sup>三酢酸セルロース (CTA) を選び、これを照射した場合について述べる。

CTA は化学式  $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_8$  のプラスチックで、実効原子番号は 6.7 であり、多くの種類のプラスチック中において平均的な値であり、CTA によるデータが他のプラスチックの場合にも適用し得ることが多い。

試料の照射方法はビーム窓の下へ試料を置いてそのまま照射を行う方法 (静止照射) とコンベア等で試料を移動させながら照射を行う方法 (移動照射) がある。両照射法とも、ビーム窓から試料までの距離は変化させて行うことができるが、本加速器の場合にはビーム窓下 20 cm を標準位置としている。また通常は走査幅が 60 cm になるようにして照射を行っており、以下この条件で照射を行った場合のデータを示す。

Fig. 25は厚さ125 $\mu$ のCTAフィルムを電子の飛程以上の厚さに積層した試料をビーム電流2mA, 試料の移動速度2m/minでビーム走査方向に対し直角方向に移動して3回照射した場合の各加速電圧に対する深部線量分布を示す。

深部線量分布は同じ加速電圧でも移動照射の場合と静止照射で、あるいはビームの中心軸上と走査方向に離れた位置においては異なることがある。これはビーム窓による散乱やビーム走査の影響により、試料に入射する電子線の入射角度が変化することによる。しかし本加速器の場合にはエネルギーが1MeV以上と比較的高く、ビーム窓厚がチタン約40 $\mu$ と非常に薄いこと、およびビーム走査角度が最大37.5度と比較的小さいことにより、実測の結果有意な差は認められなかった。

電子線照射を行った場合には、一般にこのような深部線量分布を描くので、試料の吸収線量を示すには、その深さに対応した値をいうのが正確である。しかし、この方法は複雑であり、実用的でない。一般的には吸収線量を、この深部線量分布において表面の吸収線量で代表させる場合、試料の厚さまでの平均値で示す場合、または表面と同じ吸収線量となる深さ、いわゆる有効飛程 $R_e$ までの平均値で示す場合がある。

いま吸収線量を $R_e$ までの平均値で表わすとするとFig. 25のデータより、加速電圧1.0, 2.0, 3.0MVでビーム電流1mAあたり1Mradの吸収線量になるように照射するためのコンベヤ速度はそれぞれ2.42, 2.26, 2.17m/minとなる。また、各加速電圧における最大ビーム電流、すなわち1MVのとき13mA, 1.5MV以上のとき25mAの運転条件とすると、それぞれ31.5, 56.5, 54.3m/minのコンベヤスピードとなる。

Table 1にはこれら各加速電圧に対する飛程、1Mradの吸収線量を与えるコンベヤ速度および後述の線量率、照射処理量など、本加速器の照射運転に関わる諸データを示す。

厚さが上記 $R_e$ に相当する試料を照射する場合、3MV, 25mAで1Mradの吸収線量になるように照射を行うと、照射処理量は20.7ton/hとなる。

線量率は図20より明らかのように電子流密度にほぼ比例するので、Fig. 21~23の電子流密度分布は相対的な線量率分布を示す。したがって線量率分布はビーム窓下20cmの位置においては、ビーム走査方向約60cmにわたり均一となるが、直角方向についてはガウス分布状となる。

CTAの深部線量分布のうち、前記同様 $R_e$ までの深さについて平均した吸収線量で考えると、1.0MV, 2.0MV, 3.0MVの加速電圧に対し、ビーム電流1mAの場合の線量率は、測定の結果それぞれ0.29Mrad/sec, 0.45Mrad/sec, 0.60Mrad/secとなり、最大ビーム電流での運転ではそれぞれ3.77Mrad/sec, 11.25Mrad/sec, 15.0Mrad/secの値となる。

照射されるビームは60cmにわたり走査されているため、照射物のある点での線量率は走査周波数に対応して周期的に変動することになる。この変動のパターンは電子エネルギー、ビーム窓からの距離、被照射面上の位置などによって異なるが、線量率のピーク値は平均値の数倍に達する。したがって照射対象によってはこれに起因する線量率の効果について考慮する必要がある。

### 3.4 加速電圧，ビーム電流の安定度

放射線照射処理に用いる電子加速器が備えるべき性能のうち基本的に重要なことは、長時間にわたって安定した運転が行えることである。

本装置の検収では長時間連続運転試験として、3MV、25mAの最大定格出力で8時間の連続運転を行うこととし、この実証試験を行った。Fig. 26はこの運転時の加速電圧、ビーム電流および加速管内真空度を記録したチャートの一部を示す。

本装置の加速電圧およびビーム電流の定格安定度については前記のとおり、加速電圧については $\pm 60$  kV、ビーム電流については0.1～2.5 mAの範囲の運転では $\pm 25$   $\mu$ A以内、2.5～25 mAでは $\pm 250$   $\mu$ A以内となっている。Fig. 26に示す連続運転の記録において、上記の定格仕様を十分に満たす安定度が得られることがわかった。またFig. 27は1MV、1mAの運転時における加速電圧およびビーム電流の運転記録を示す。この結果、低い加速電圧およびビーム電流での運転においても定格仕様を満たす安定度が得られることが確認できた。

以上から、本加速器は加速電圧およびビーム電流についての優れた安定度と長時間連続運転を行い得る性能を有していることが確認された。

## 4. あとがき

近年、電子加速器を利用した放射線照射処理が商業ベースで盛んに行われるようになってきており、特に電線ケーブルの絶縁材料の改質、発泡プラスチック・熱収縮チューブの製造、キューリング、タイヤ材料の予備架橋などは電子加速器が最も活発に導入されている分野である。さらに石油、石炭の燃焼排ガス<sup>18)</sup>・工業排水等の廃水の処理<sup>19)</sup>、機能性高分子の開発<sup>20)</sup>などに対する電子線利用の研究が活発に展開されており、今後ますます電子加速器の利用が拡大するものと予想される。

このような電子加速器の普及に伴い、加速器の製作技術の向上も著しく、大出力で安定に動作する装置が作られている。これら加速器の性能の向上により、今後はさらにX線源としての利用も期待できる状況になっている。<sup>21)</sup>

本加速器は高崎研に設置されて以来4年余りを経過しているが、大きな故障もなく、安定した動作を続けており、工業利用のための加速器としては優れた性能を有していると言えよう。

電子線照射においては、電子線の透過力が弱く、しかもその短い飛程内において線量分布が平坦でないため、正確な吸収線量を与える照射は簡単にはできない。しかし、今後、照射対象によっては厳密な吸収線量の制御が要求される場合があることも考えられるので、照射処理に必要なとされる吸収線量の値については、試料内でどの程度の線量均一性が要求されるのか、対象に応じて明らかにすることが望ましい。

ここに述べた電子エネルギー、電子流密度、深部線量分布などは、電子線照射を行う上で必要な基本的なパラメーターであり、今回はこれまでの我々の経験に基づく方法でこれらを測定した。これらの測定技術に関してもさらに正確かつ簡便な方法を確立していく必要がある。

また今後、電子加速器の工業利用をすすめる上での照射技術上の課題としては、電子加速器自身の性能の向上とともに、周辺機器の充実による運転制御の自動化と、照射対象に応じた最適な照射方法の開発が挙げられよう。

## 謝 辞

出力特性の測定実験において御協力いただいた当研究所照射施設課栗林敏広氏、上松敬氏に感謝の意を表します。また、本報告書を作成するにあたり有益な御助言をいただいた鷲野正光照射施設課長に感謝の意を表します。

## 4. あとがき

近年、電子加速器を利用した放射線照射処理が商業ベースで盛んに行われるようになってきており、特に電線ケーブルの絶縁材料の改質、発泡プラスチック・熱収縮チューブの製造、キュアリング、タイヤ材料の予備架橋などは電子加速器が最も活発に導入されている分野である。さらに石油、石炭の燃焼排ガス<sup>18)</sup>・工業排水等の廃水の処理<sup>19)</sup>、機能性高分子の開発<sup>20)</sup>などに対する電子線利用の研究が活発に展開されており、今後ますます電子加速器の利用が拡大するものと予想される。

このような電子加速器の普及に伴い、加速器の製作技術の向上も著しく、大出力で安定に動作する装置が作られている。これら加速器の性能の向上により、今後はさらにX線源としての利用も期待できる状況になっている。<sup>21)</sup>

本加速器は高崎研に設置されて以来4年余りを経過しているが、大きな故障もなく、安定した動作を続けており、工業利用のための加速器としては優れた性能を有していると言えよう。

電子線照射においては、電子線の透過力が弱く、しかもその短い飛程内において線量分布が平坦でないため、正確な吸収線量を与える照射は簡単にはできない。しかし、今後、照射対象によっては厳密な吸収線量の制御が要求される場合があることも考えられるので、照射処理に必要なとされる吸収線量の値については、試料内でどの程度の線量均一性が要求されるのか、対象に応じて明らかにすることが望ましい。

ここに述べた電子エネルギー、電子流密度、深部線量分布などは、電子線照射を行う上で必要な基本的なパラメーターであり、今回はこれまでの我々の経験に基づく方法でこれらを測定した。これらの測定技術に関してもさらに正確かつ簡便な方法を確立していく必要がある。

また今後、電子加速器の工業利用をすすめる上での照射技術上の課題としては、電子加速器自身の性能の向上とともに、周辺機器の充実による運転制御の自動化と、照射対象に応じた最適な照射方法の開発が挙げられよう。

## 謝 辞

出力特性の測定実験において御協力いただいた当研究所照射施設課栗林敏広氏、上松敬氏に感謝の意を表します。また、本報告書を作成するにあたり有益な御助言をいただいた鷲野正光照射施設課長に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 四本, 須永, 水橋, 田中, 田村: JAERI-M 9345 "3MeV 75 kW 電子加速器設置報告" (1981)
- 2) 四本, 須永, 水橋, 田村: 第16回理工学における同位元素研究発表会要旨集 p128 (1979)
- 3) 須永, 水橋, 栗林, 四本, 田中, 田村: 同上 p129
- 4) Schenkel M.: *Elektrotechnische Zeitschrift*, 40, 333 (1919)
- 5) Greinacher H.: *Zeitschrift für Physik*, 4, 195 (1921)
- 6) Cleland M.R. and Thompson C.C.: RDI Technical Information Series, TIS 79-1 (1979)
- 7) Thompson C.C. and Cleland M.R.: *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-16, 124 (1969)
- 8) Nakai Y. and Horikiri S.: *Isot. Rad.*, 2, 233 (1959)
- 9) Tanaka R., Mizuhashi K., Sunaga H. and Tamura N.: *Nucl. Inst. Meth.* 174, 201 (1980)
- 10) Tabata T., Ito R. and Okabe S.: *Jap. J. App. Phys.*, 11, 1220 (1972)
- 11) Tabata T. and Ito R.: *Nucl. Inst. Meth.* 127, 429 (1975)
- 12) 田中, 三友, 須永, 松田, 田村: JAERI-M 82-033 "CTA線量計マニュアル" (1982)
- 13) 須永, 田中: 第18回理工学における同位元素研究発表会要旨集 p141 (1981)
- 14) Spencer L.V.: NBS Monograph 1, National Bureau of Standards (1959)
- 15) Berger M.J. and Seltzer S.M.: CCC-107, Radiation Shielding Information Center, ORNL (1969)
- 16) 田中, 須永, 水橋, 田村: 第14回理工学における同位元素研究発表会要旨集 p30 (1977)
- 17) Whyte G.N.: *Principles of Radiation Dosimetry*, John Wiley and Sons, Inc. New York (1959)
- 18) Washino M., Tokunaga O., Nishimura K. and Suzuki N.: JAERI 1265, "Radiation Chemical Studies on the Electron-Beam Treatment of Exhaust Gases" (1980)
- 19) Hashimoto S., Miyata T., Suzuki N. and Kawakami W.: *Rad. Phy. Chem.*, 13, 107 (1979)
- 20) Ishigaki I., Sugo T., Senoo K., Takayama K., Machi S., Okamoto J. and Okada T.: *Rad. Phy. Chem.*, 18, 899 (1981)
- 21) Farrell J.P.: *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-28, No. 2, 1786 (1981)



Table 1 Output Characteristics of the Accelerator

| acceleration voltage (MV)  | 1.0                                     | 1.5                                     | 2.0                                     | 2.5                                     | 3.0                                     |
|--|---|---|---|---|---|
| maximum beam current (mA)  | 13                                      | 25                                      | 25                                      | 25                                      | 25                                      |
| extrapolated range (g/cm <sup>2</sup> in CTA)  | 0.39                                    | 0.64                                    | 0.87                                    | 1.14                                    | 1.51                                    |
| effective range (g/cm <sup>2</sup> in CTA)   | 0.25                                    | 0.43                                    | 0.63                                    | 0.84                                    | 1.06                                    |
| dose rate at reference position* (in CTA) (Mrad/sec)   |   |   |   |   |   |
| beam current : 1mA   | 0.29                                    | 0.37                                    | 0.45                                    | 0.51                                    | 0.60                                    |
| beam current : max.  | 3.77                                    | 9.25                                    | 11.25                                   | 12.75                                   | 15.0                                    |
| line speed, giving 1 Mrad (CTA) (m/min)  |   |   |   |   |   |
| beam current : 1mA   | 2.42                                    | 2.30                                    | 2.26                                    | 2.21                                    | 2.17                                    |
| beam current : max.  | 31.46                                   | 57.50                                   | 56.50                                   | 55.25                                   | 54.25                                   |
| product throughput in max. beam current operation  |   |   |   |   |   |
| dose : 1Mrad (CTA) (ton/h)   | 2.83                                    | 11.6                                    | 12.8                                    | 16.7                                    | 20.7                                    |
| electron flux density at reference position* (cm <sup>2</sup> .sec) <sup>-1</sup>                                    |   |   |   |   |   |
| beam current : 1mA   | 5.81 <sub>12</sub><br>x10 <sup>12</sup> | 8.18 <sub>12</sub><br>x10 <sup>12</sup> | 1.07 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 1.25 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 1.47 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> |
| beam current : max.  | 7.55 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 2.04 <sub>14</sub><br>x10 <sup>14</sup> | 2.65 <sub>14</sub><br>x10 <sup>14</sup> | 3.12 <sub>14</sub><br>x10 <sup>14</sup> | 3.67 <sub>14</sub><br>x10 <sup>14</sup> |
| integral flux density received by sample on conveyor, conveyor speed : 1 m/min (cm <sup>2</sup> .pass) <sup>-1</sup> |   |   |   |   |   |
| beam current : 1mA   | 4.80 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 5.02 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 5.32 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 5.39 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> | 5.32 <sub>13</sub><br>x10 <sup>13</sup> |
| beam current : max.  | 6.24 <sub>14</sub><br>x10 <sup>14</sup> | 1.26 <sub>15</sub><br>x10 <sup>15</sup> | 1.33 <sub>15</sub><br>x10 <sup>15</sup> | 1.35 <sub>15</sub><br>x10 <sup>15</sup> | 1.33 <sub>15</sub><br>x10 <sup>15</sup> |

\* reference position : 20 cm under the beam window

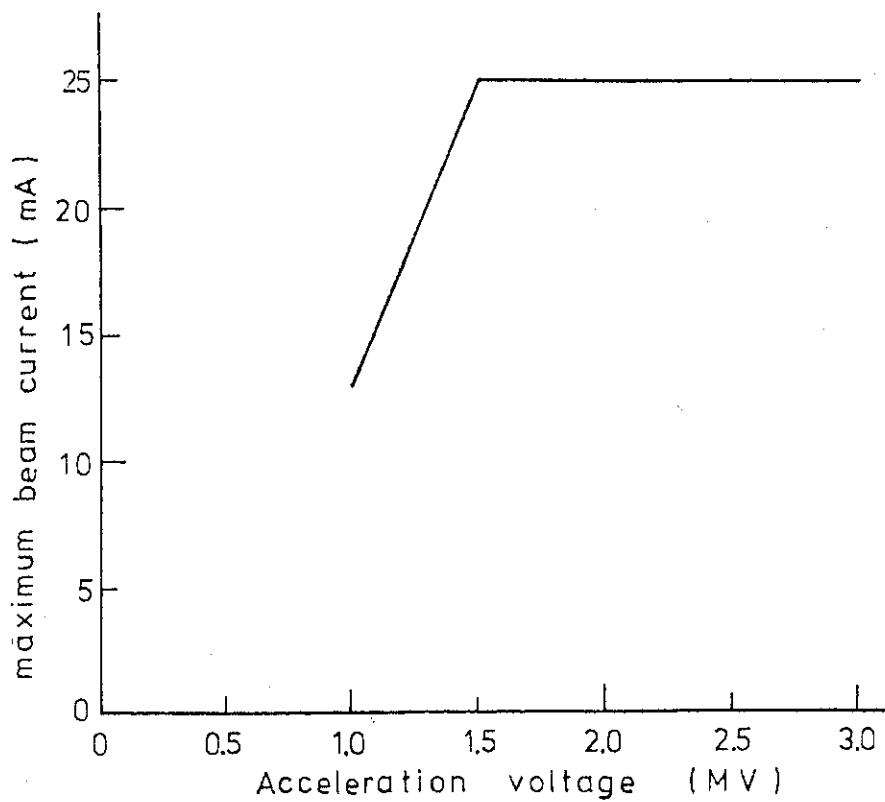


Fig.1 Maximum beam current as a function of acceleration voltage.

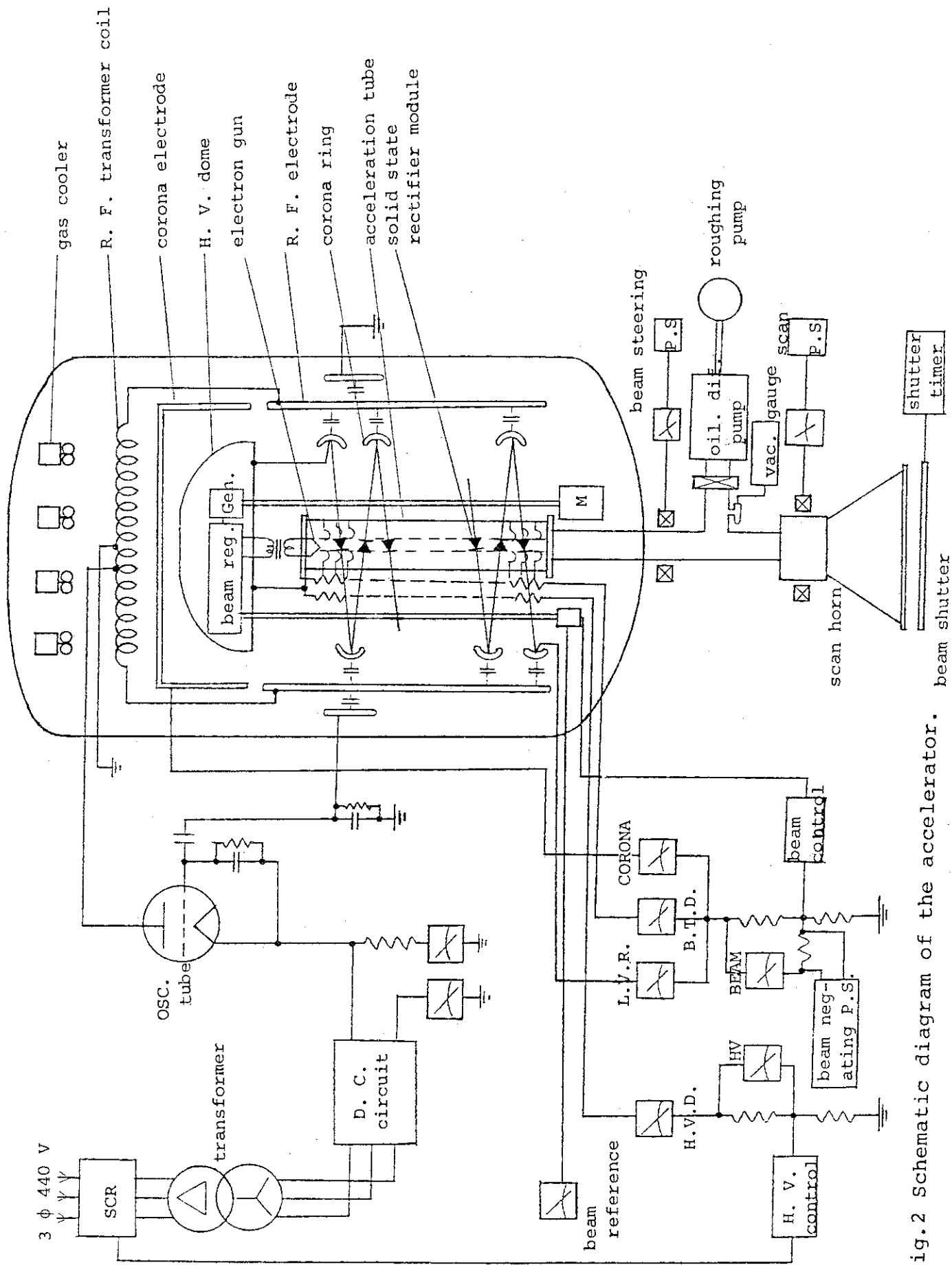


Fig.2 Schematic diagram of the accelerator.

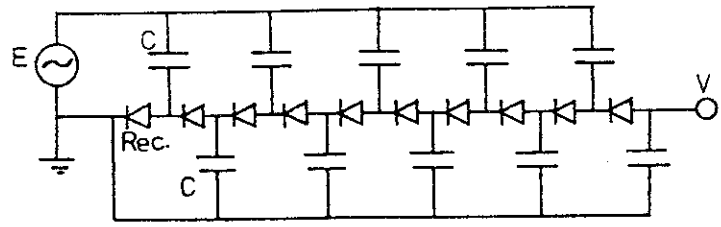


Fig.3 Parallel coupled cascade circuit.

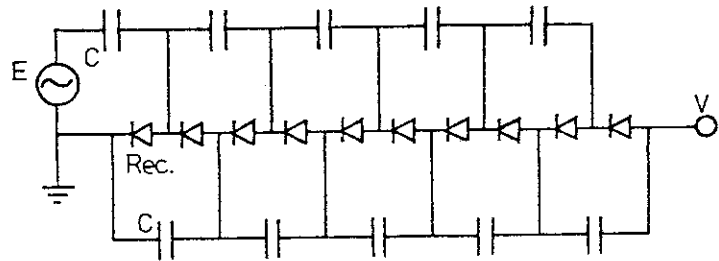


Fig.4 Series coupled cascade circuit.

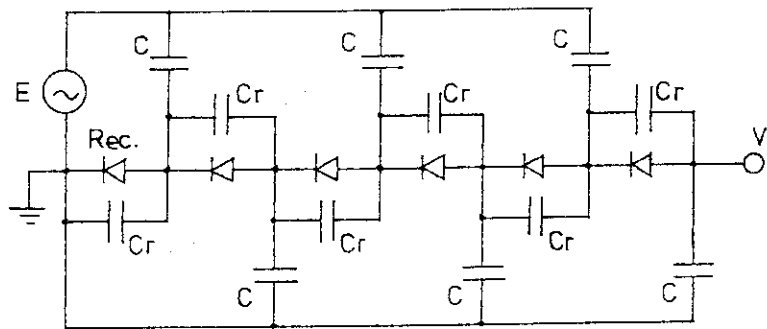


Fig.5 Dynamitron cascade circuit.

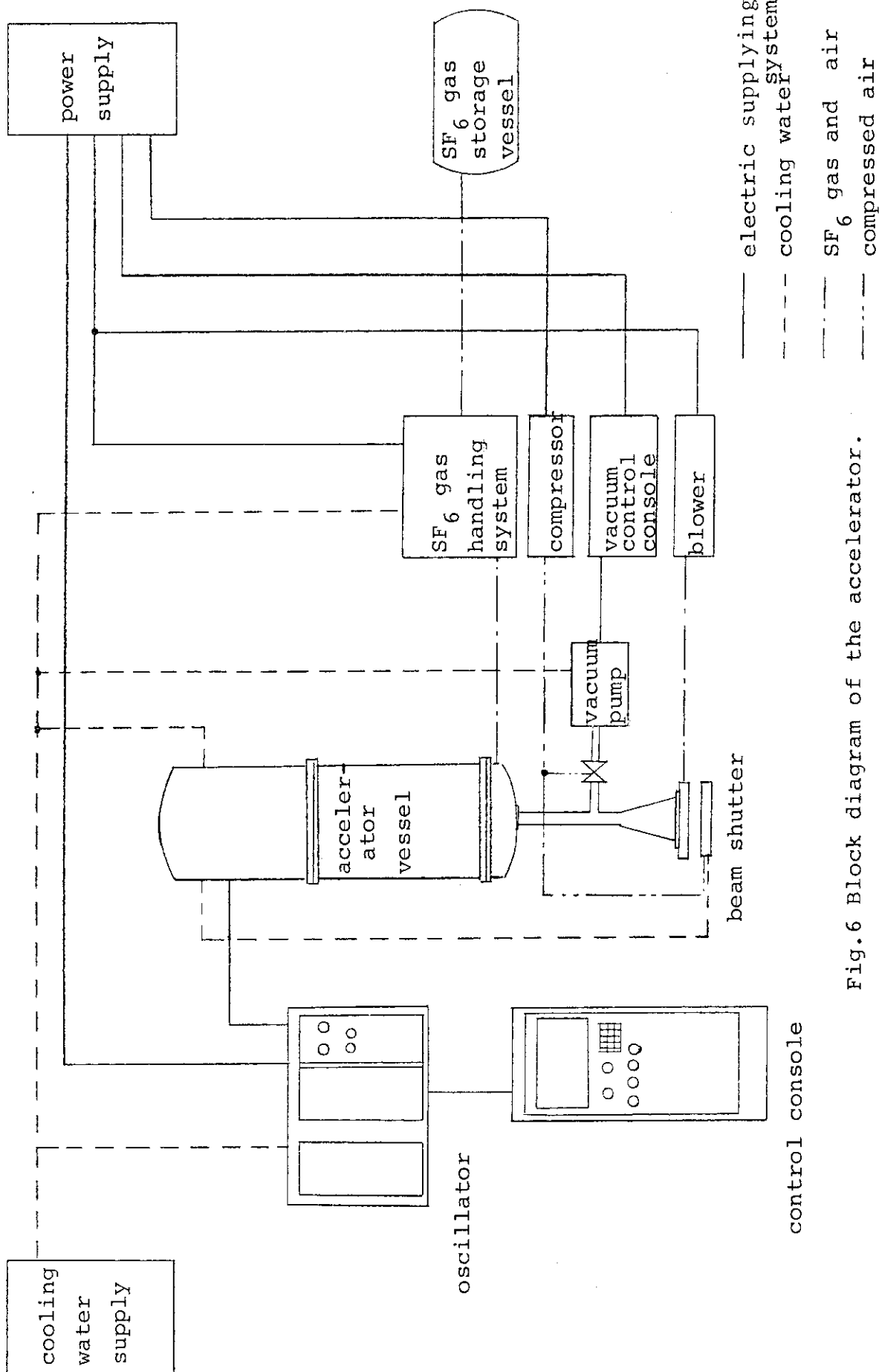


Fig.6 Block diagram of the accelerator.

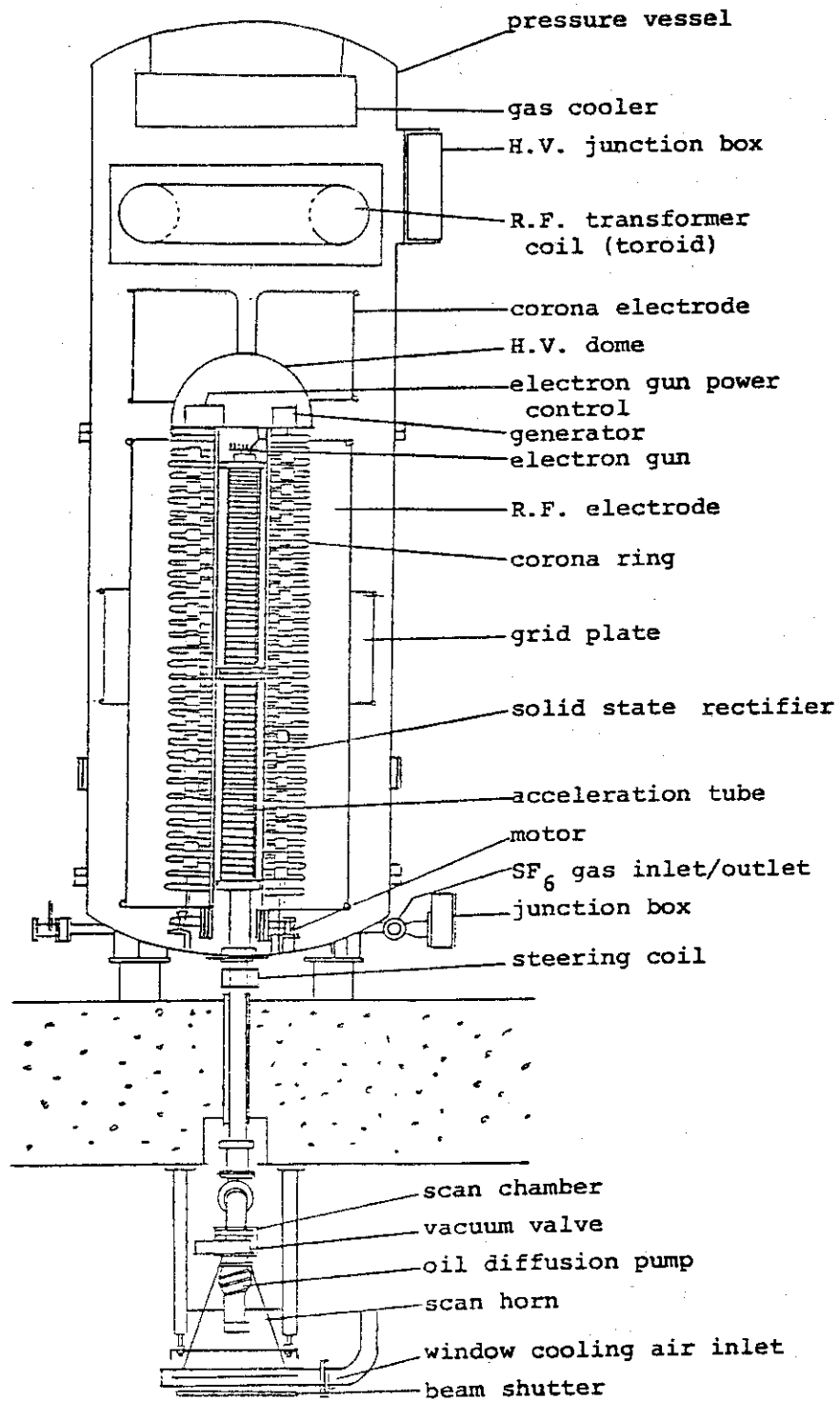


Fig.7 Sectional view of accelerator vessel and scanning system.

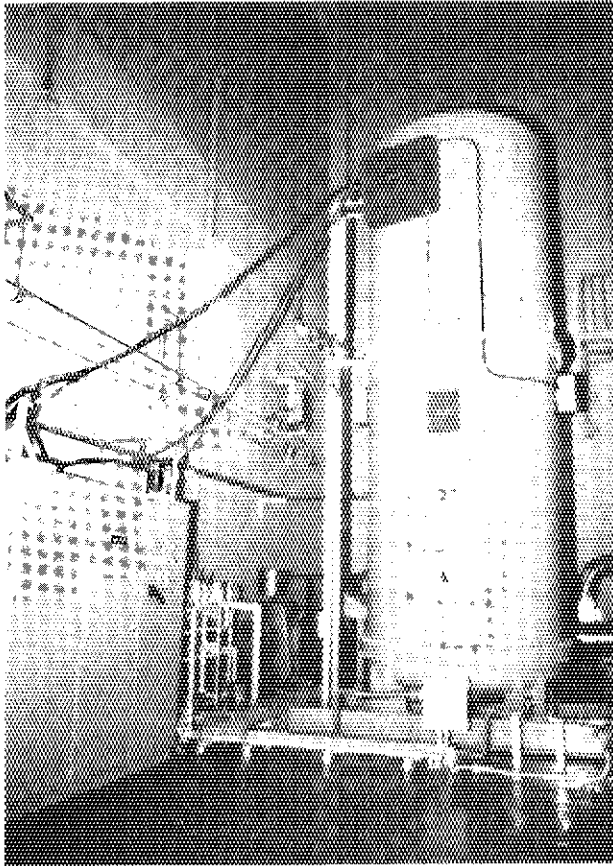


Fig.8 Picture of the accelerator vessel and oscillator console.

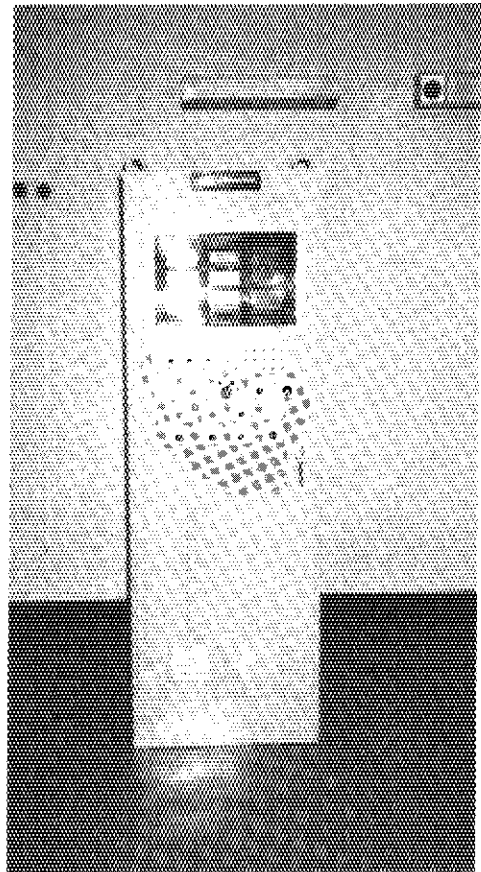


Fig.10 Picture of the control console.

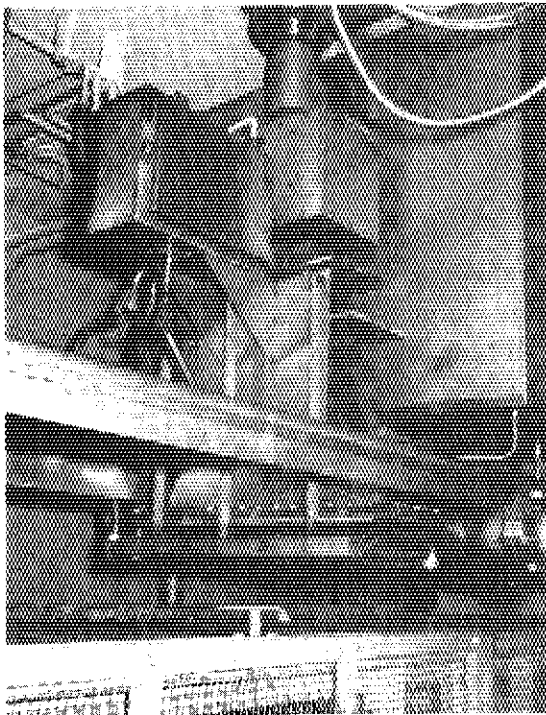


Fig.9 Picture of the scanning system.

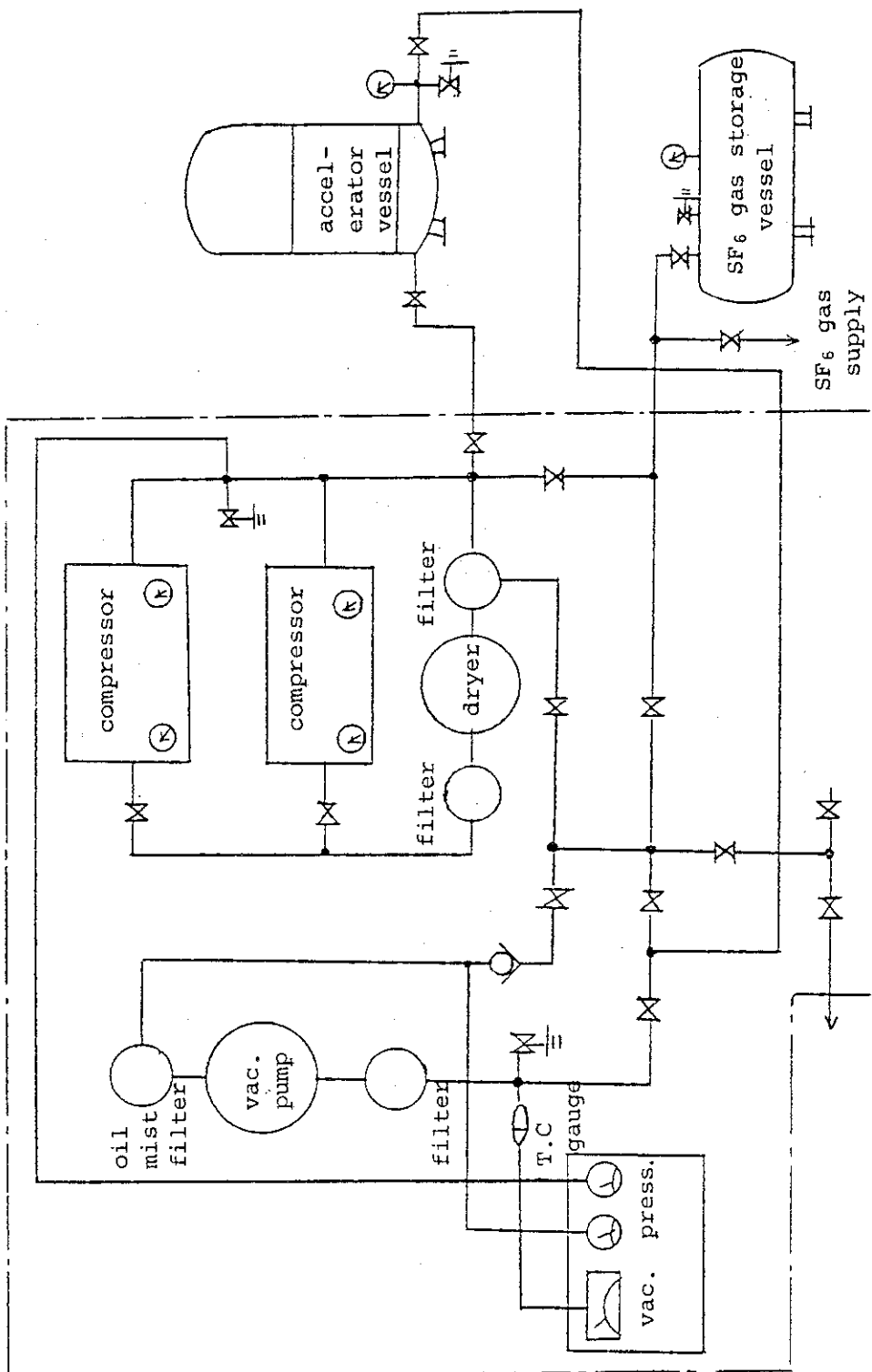


Fig.11 Block diagram of the SF<sub>6</sub> gas handling system.



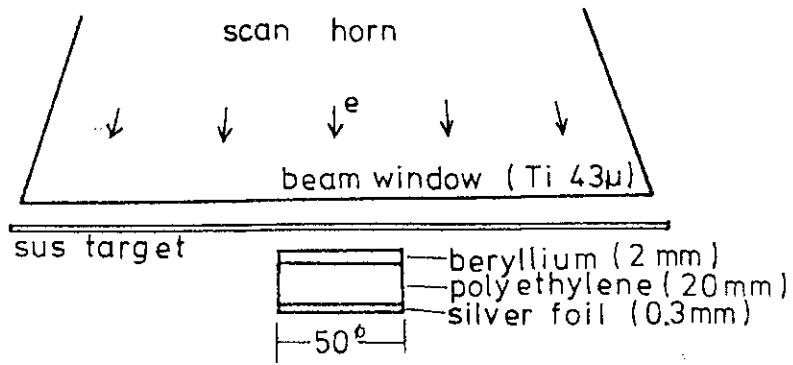


Fig.12 Experimental arrangement of detecting the threshold for photo nuclear reaction of beryllium giving 1.667MeV.

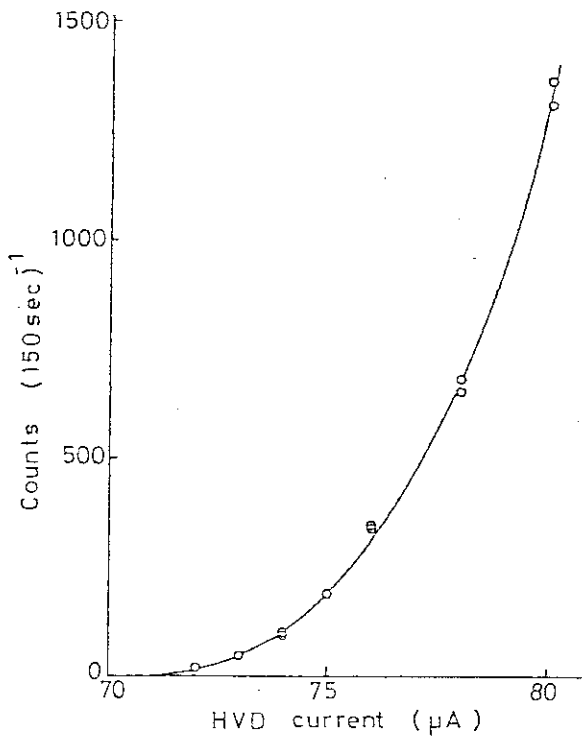


Fig.13 Relationship between HVD current and detected counts of beta particles

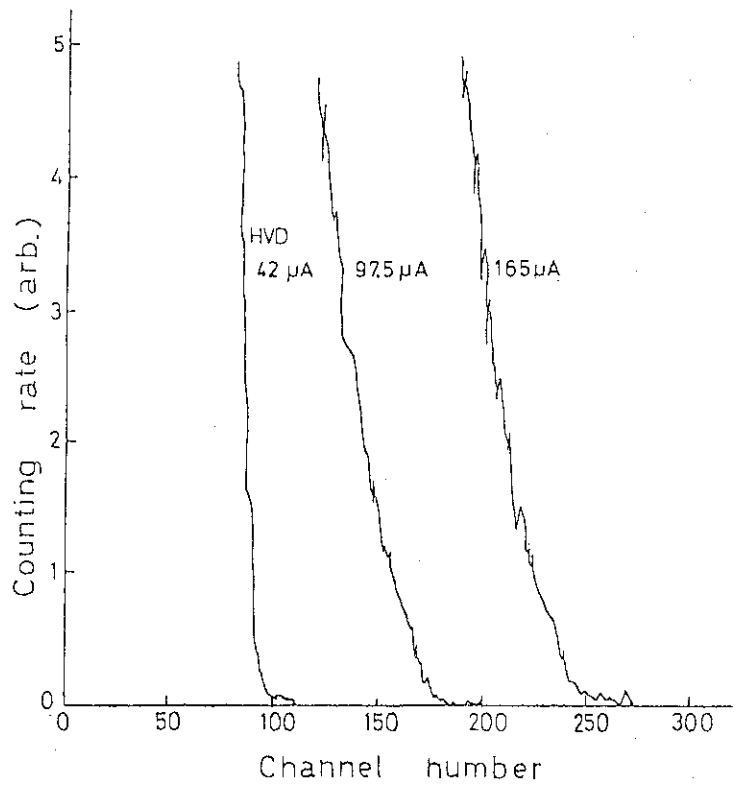


Fig.14 The edges of energy spectra on the high energy part of Bremsstrahlung x-rays emitted from the beam window and the beam shutter.

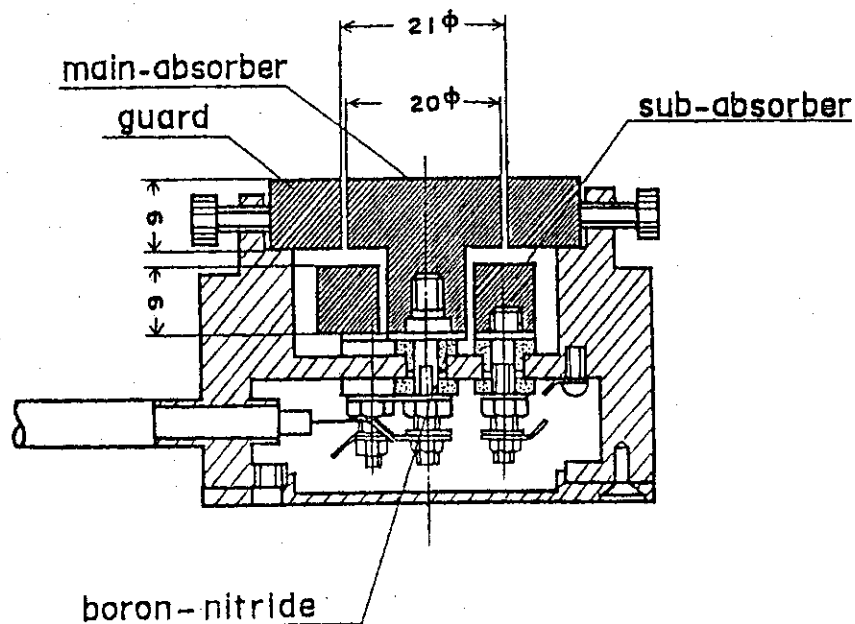


Fig.15 Sectional view of the charge collector.

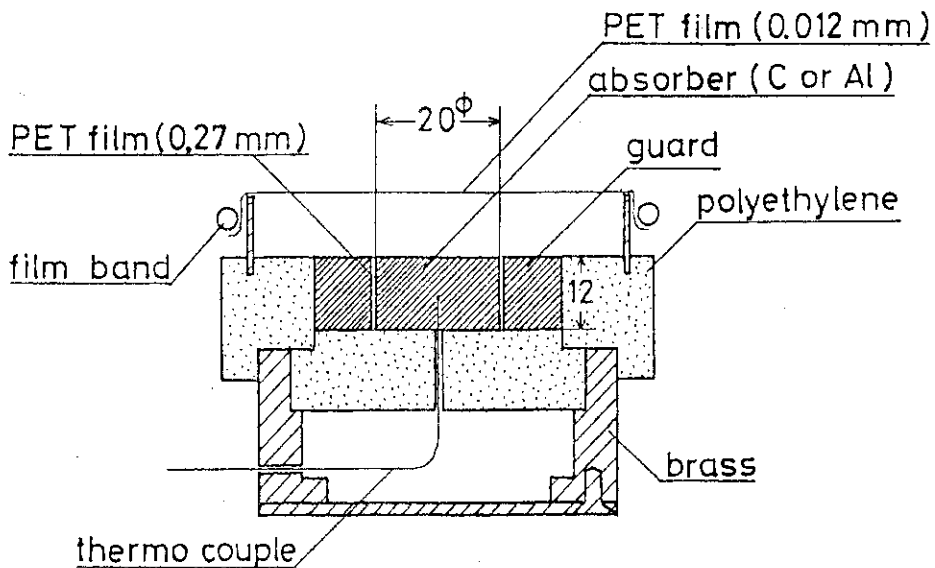


Fig.16 Sectional view of the calorimeter.

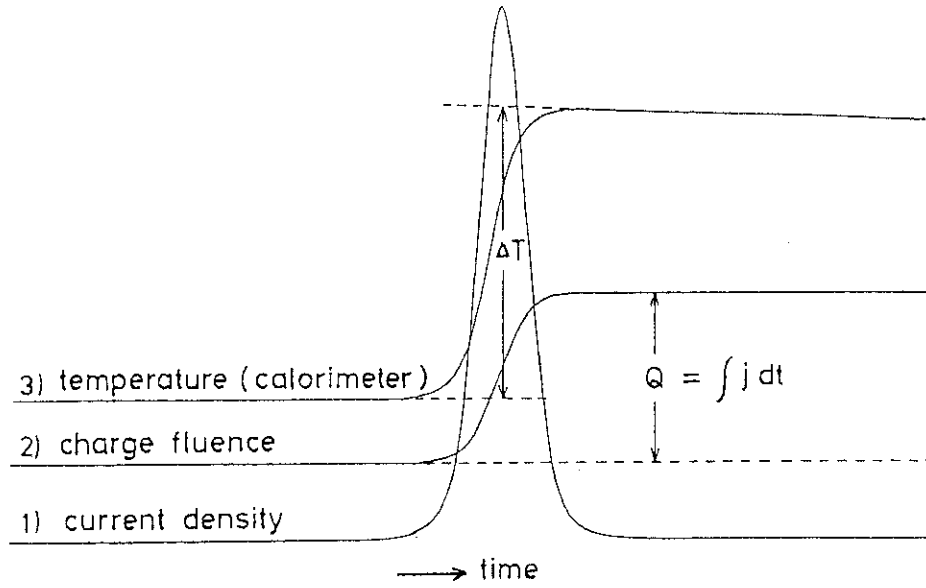


Fig.17 An example of recorded trace of electron current density and its integrated charge density measured by the charge collector and temperature rise in the calorimeter.

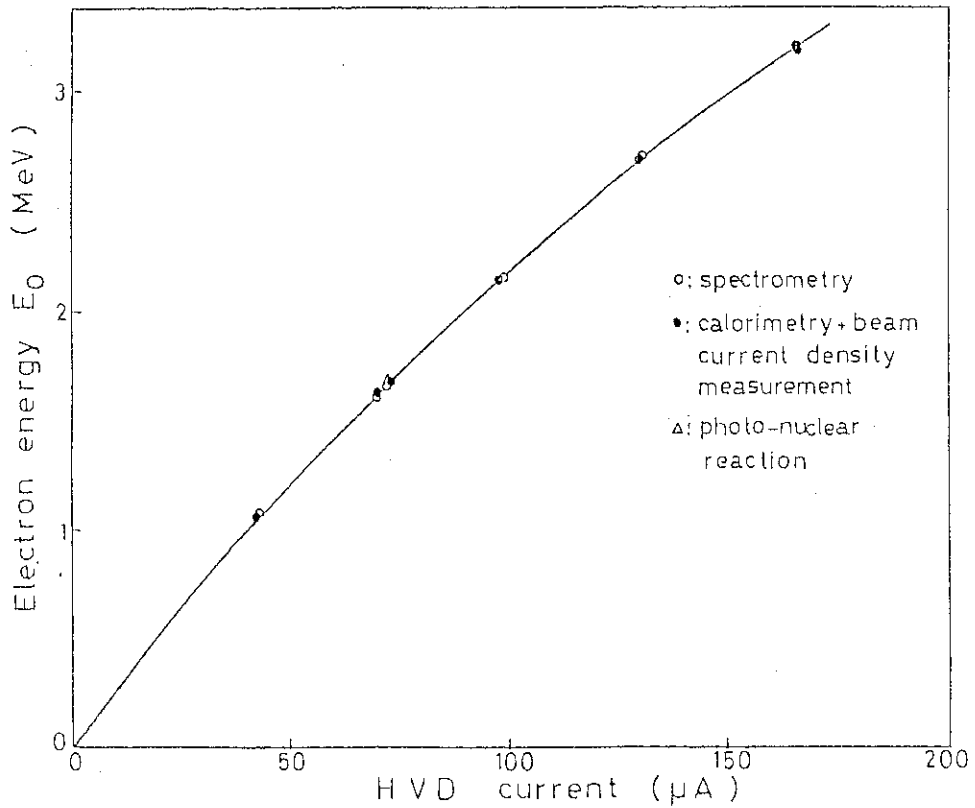


Fig.18 Relationship between HVD current and electron energy, determined by the experiment.

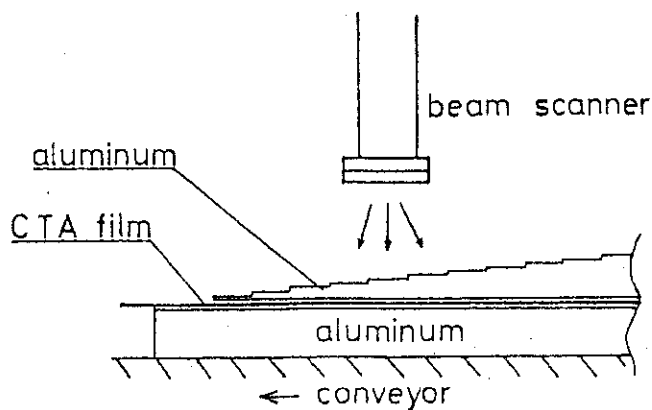


Fig.19 Wedge-shaped aluminum absorber, graded stepwise with a slight gradient for depth dose measurement with CTA dose meter.

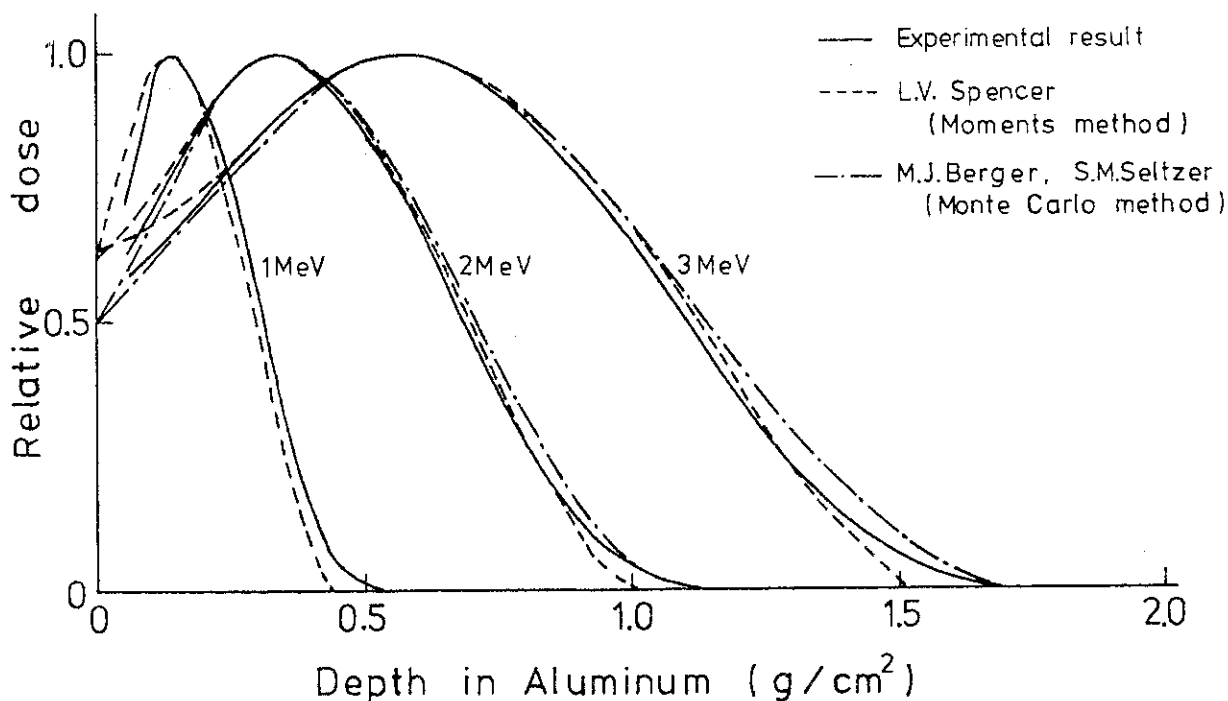


Fig.20 Comparison of measured depth dose profiles in aluminum with theoretical results.

- present experiment
- moment method
- - - - - Monte Carlo method

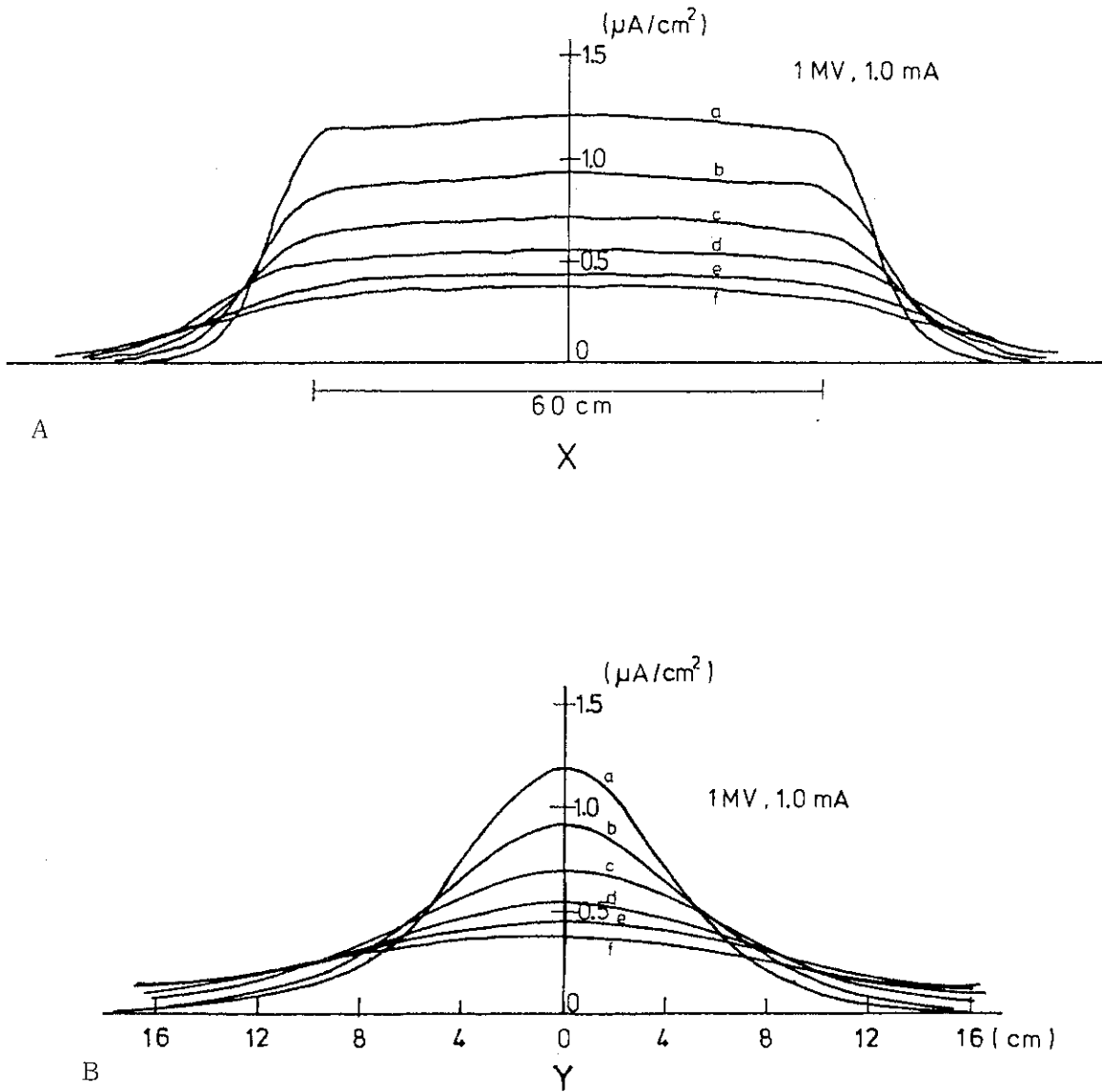


Fig.21 Beam current density distribution under the beam window.

(A) beam scanning direction (X)

(B) the normal direction to beam scanning (Y)

acceleration voltage : 1.0 MV

beam current : 1 mA

distance from the beam window : a) 16 cm b) 20 cm

c) 25 cm d) 30 cm e) 35 cm f) 39.5 cm

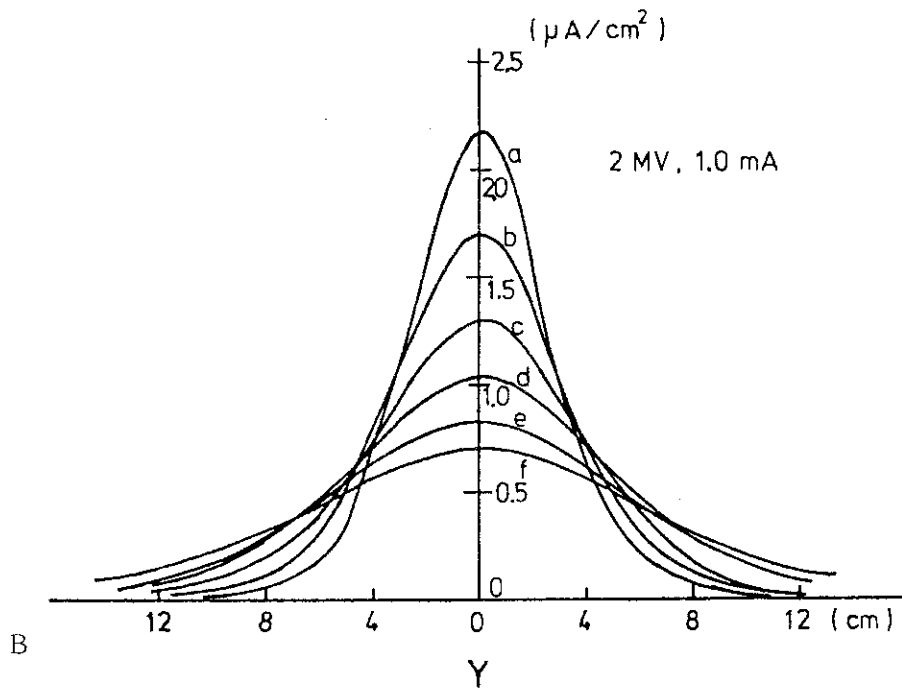
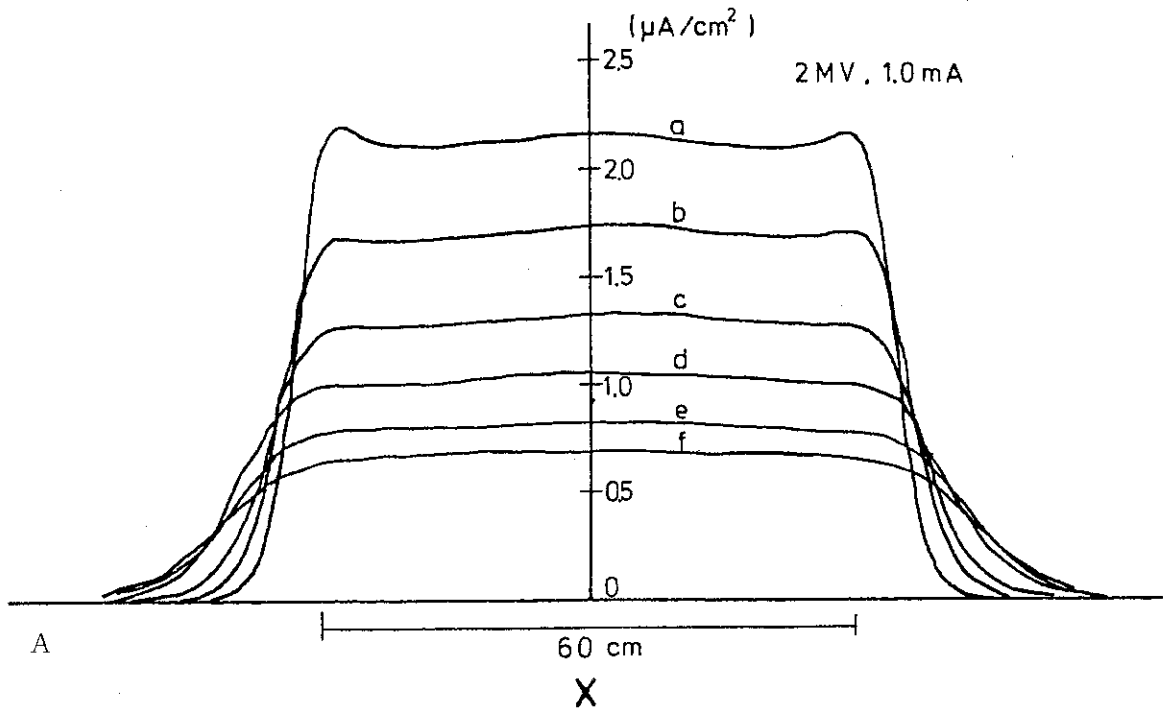


Fig. 22 Beam current density distribution under the beam window.

(A) beam scanning direction (X)

(B) the normal direction to beam scanning (Y)

acceleration voltage : 2.0 MV

beam current : 1mA

distance from the beam window : a) 16 cm b) 20 cm

c) 25 cm d) 30 cm e) 35cm f) 39.5 cm

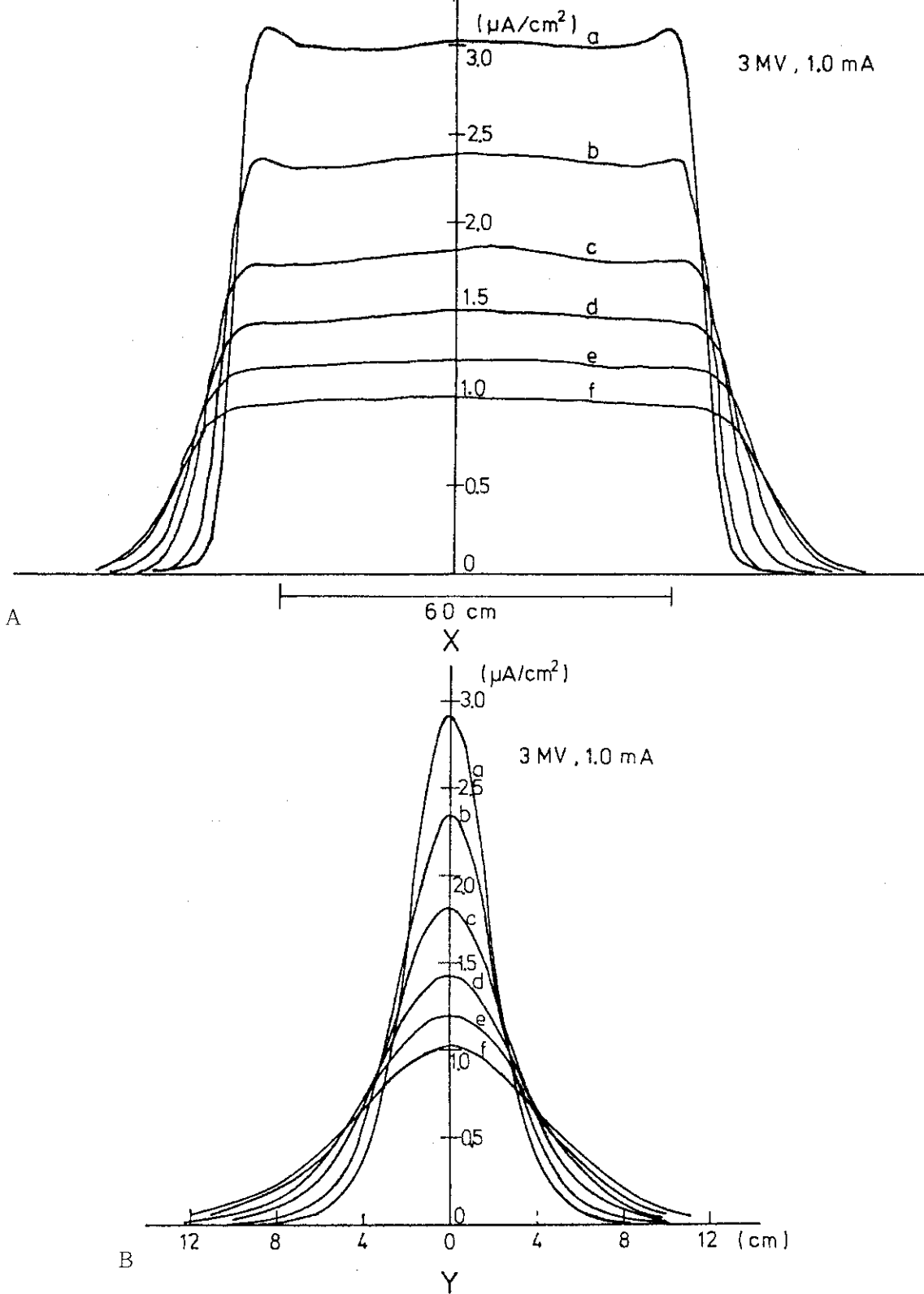


Fig.23 Beam current density distribution under the beam window.

(A) beam scanning direction (X)

(B) the normal direction to beam scanning (Y)

acceleration voltage : 3.0 MV

beam current : 1 mA

distance from the beam window : a) 16 cm b) 20 cm

c) 25 cm d) 30 cm e) 35 cm f) 39.5 cm

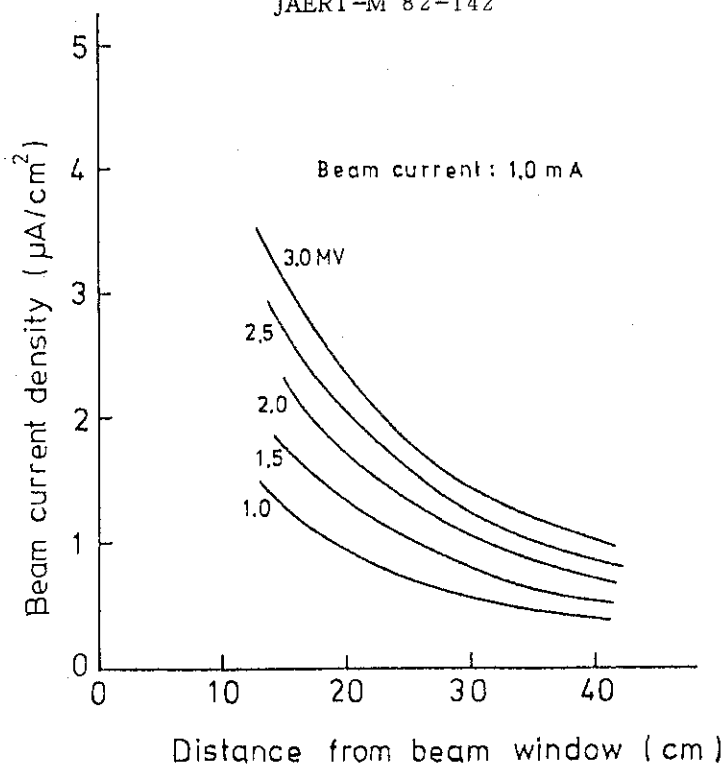


Fig.24 Relationship between beam current density and distance from the beam window.

acceleration voltage : 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 MV  
 beam current : 1 mA

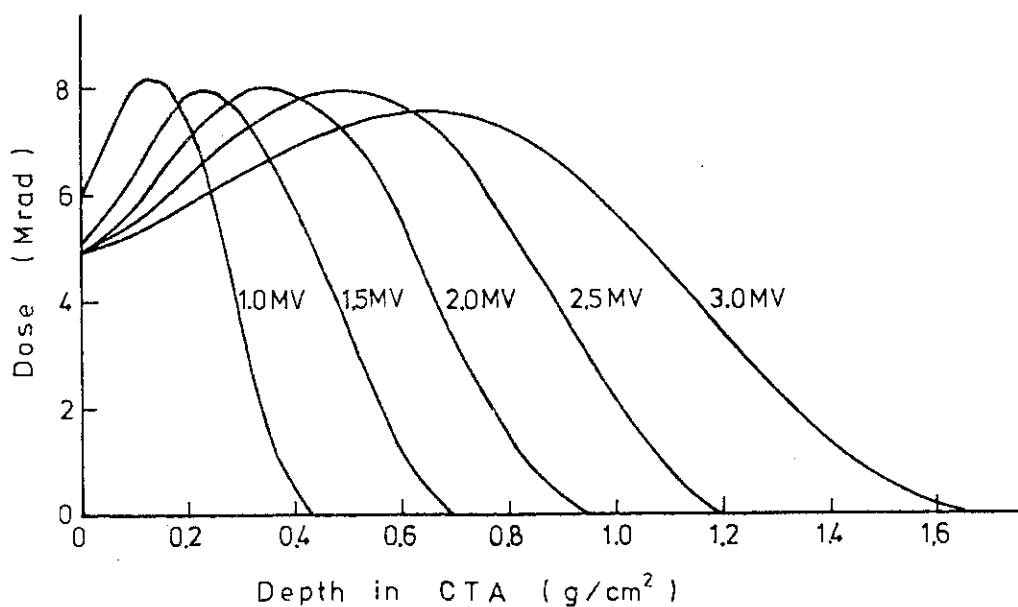


Fig.25 Depth dose curve in CTA in several acceleration voltage conditions.

acceleration voltage : 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 MV  
 beam current : 2 mA  
 conveyor speed : 2 m/min x 3 pass  
 sample position : 20 cm under the beam window



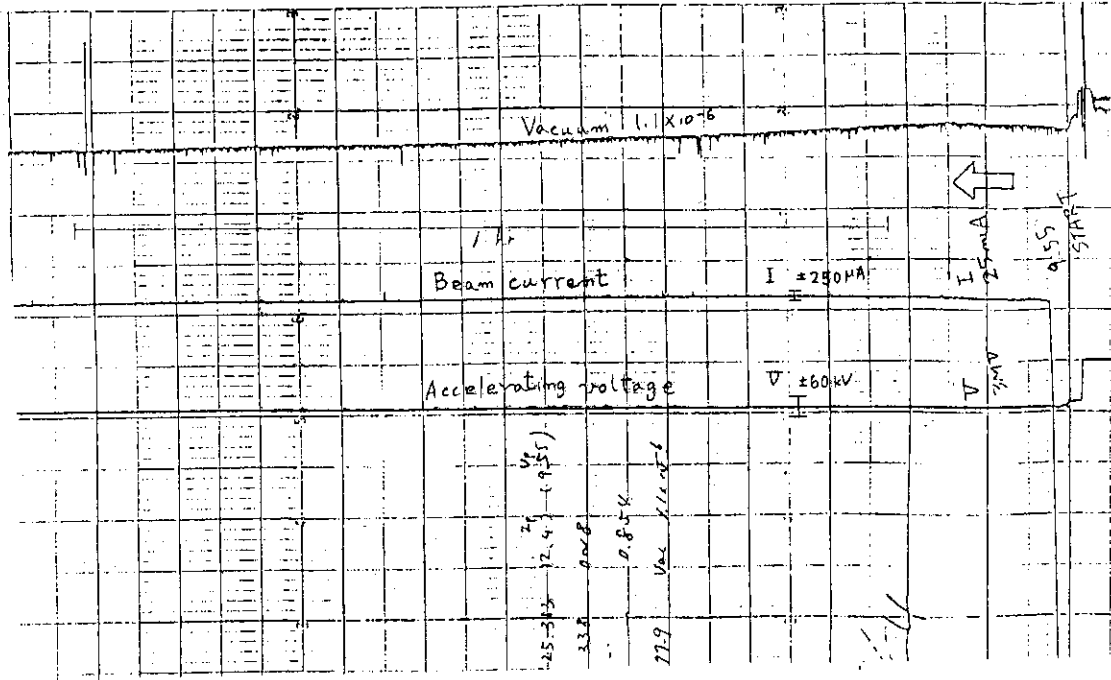


Fig.26 Records of acceleration voltage, beam current and the degree of vacuum in acceleration tube at 3 MV 25 mA.

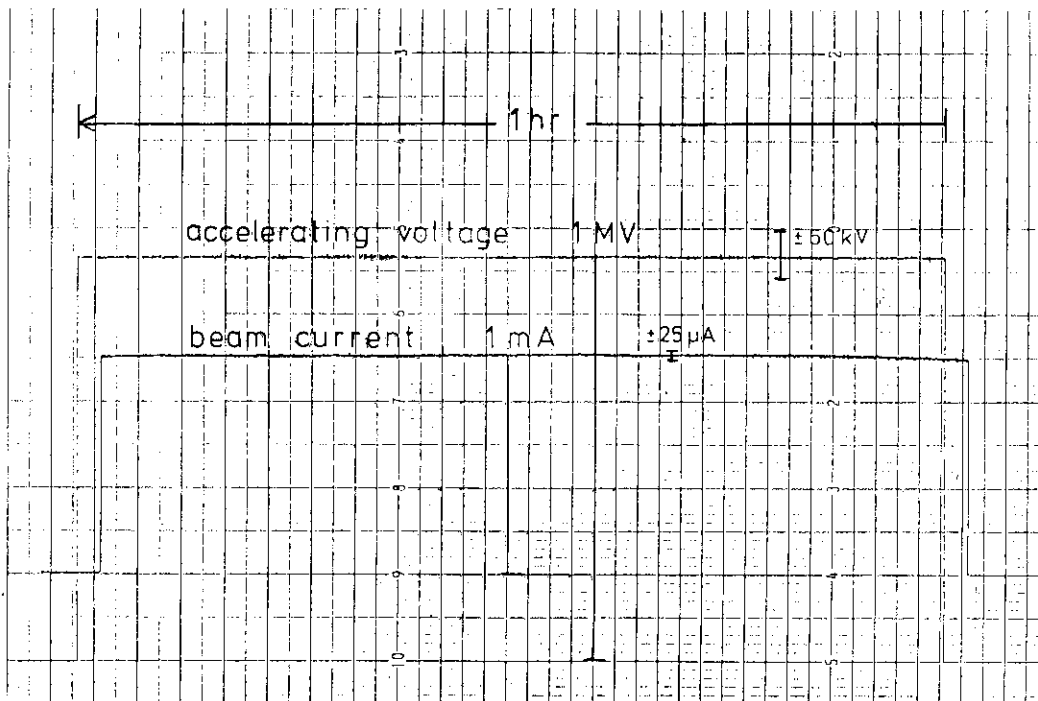


Fig.27 Records of acceleration voltage and beam current at 1 MV 1 mA.