

JAERI - M  
93-114

高崎研 低エネルギー電子加速器  
(300kV, 100mA) の仕様と運転特性

1993年6月

春山 保幸・四本 圭一・岡本 次郎

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。  
入手の問合せは、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）で複写による実費請求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, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株

高崎研 低エネルギー電子加速器(300kV, 100mA)の仕様と運転特性

日本原子力研究所高崎研究所材料開発部  
春山保幸・四本圭一・岡本次郎

(1993年4月26日受理)

高崎研究所の低エネルギー加速器は日新ハイボルテージ社製で、非走査型の電子加速器である。本装置は油封入式高電圧発生装置と中心軸に線状カソードを配置した円筒型加速チャンバー及び照射用コンベアで構成される。高電圧発生装置と加速チャンバーはケーブルで接続され、照射用コンベアを用いて不活性ガス雰囲気中でバッチ式の照射が行える。加速器の出力は300kV, 100mAでビーム幅は60cmである。本報告では装置の仕様、運転手順及び運転特性について述べる。

The Specification and the Operation Characteristics  
of the Low Energy Accelerator in JAERI-TRCRE

Yasuyuki HARUYAMA, Keiichi YOTSUMOTO and Jiro OKAMOTO

Department of Material Development  
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received April 26, 1993)

The low energy accelerator system of JAERI TRCRE is of a non scanned type electron accelerator, manufactured by NISSIN HIGH VOLTAGE Co., LTD. The system consists of an oil filled d.c. high voltage generator, semi-cylindrical acceleration chamber in which a linear cathode is supported co-axially, and the products handling conveyor. The high voltage generator and the acceleration chamber are connected by a flexible cable. A batch irradiation can be carried out using the conveyor in inert gases. The output is of the accelerator is 300kV, 100mA and the beam width is 60 cm. The specification, the operation procedure, and the operation characteristics of the system are described.

Keywords: Low Energy, Self Shield Type, Non Scanned Type, Painting,  
Printing, Curing, X-ray, Area Beam

## 目 次

1.はじめに .....	1
2.装置の仕様および性能 .....	1
2.1 装置の概要 .....	1
2.2 装置の出力性能 .....	2
2.3 装置の構成および性能 .....	2
2.4 運転に係わる安全対策および遮蔽計算結果 .....	5
2.5 付帯設備 .....	7
3.装置の操作方法 .....	9
3.1 操作にあたっての遵守事項 .....	9
3.2 操作方法 .....	9
3.3 異常時の処置 .....	12
3.4 緊急時の処置 .....	13
4.電子線出力特性 .....	14
4.1 深部吸収線量分布の測定 .....	14
4.2 CTA 線量計による表面線量分布 .....	15
4.3 吸収線量 .....	15
5.まとめ .....	16
謝辞 .....	16
参考文献 .....	16
付録 .....	40

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Specification and Characteristics of the System .....	1
2.1 General Description of the Accelerator .....	1
2.2 Out Put Characteristics .....	2
2.3 Composition of the System .....	2
2.4 Safety Interlock System and Shielding .....	5
2.5 Auxiliary Equipments .....	7
3. Operation Procedure of the System .....	9
3.1 Observance for the Operation .....	9
3.2 Operation Procedure .....	9
3.3 Procedure for Abnormal Condition .....	12
3.4 Procedure in an Emergency .....	13
4. Operation Characteristics of the System .....	14
4.1 Measurement of Depth Dose Distribution .....	14
4.2 Dose Distribution .....	15
4.3 Evaluation of Absorbed Dose .....	15
5. Summary .....	16
Acknowledgement .....	16
Reference .....	16
Appendix .....	40

## 1. はじめに

本装置は、非走査型の低エネルギー電子加速器で、昭和60年6月高崎研究所に設置された。この形式の電子加速器は、線状または棒状の陰極から一定の幅に放出された熱電子を一段で加速して大気中に取り出し、照射に利用する装置である。多段式加速管を用いる走査型と比較して装置が小型にできるという特徴があり、発生するX線の遮蔽が比較的容易で、いわゆる自己遮蔽型の装置であるために特別な遮蔽施設を必要としないという利点がある。1960年代の後半に英国の Tube Investments L.T.D. から TIGER という商標で販売された150kV-120mAの装置が最初の装置である。

低エネルギー電子線を用いる「液状樹脂の硬化」が塗装、印刷、粘着等の分野を対象として早くから注目されていたが、最近では、架橋反応を応用した熱収縮製プラスチックフィルムの製造やグラフト反応を応用した繊維の表面処理等の他、医療器具の滅菌や排ガス処理などの用途にもその応用が検討されるようになり、再びこの非走査型電子加速器が注目されるようになった。

当時では、米国の R P C (Radiation Polymer Company)、フランスの A I D (Assistance Industrielle Dauphinoise)、および日本のアイグラフィックス、N H V (Nissin High Voltage) 等がエレクトロンカーテン、プロードビーム、エリアビーム等の商標でこの型式の加速器が製作販売されていた。また、走査型で自己遮蔽の低エネルギー電子加速器は西独の Otto - Durr 社の他、前述の4社が製作販売している。

非走査型電子加速器は、真空中に支持された線状のフィラメントで構成される陰極の温度分布や加速電圧を印加する時の電界分布および絶縁の問題、さらに加速された電子を取り出す照射窓箔の機械的強度および熱除去の問題等々があり、各社各様に工夫された装置が開発されているが、特にこの10年間における製作技術の向上は著しい。

本装置は定格出力 300kV, 100mA、電子幅60cm、N H V 社製で研究開発用の装置であるが、加速電圧 300kV で 30kW の電子出力は、世界でも最大級の装置である。本報告では、本装置の仕様、運転の方法および出力特性について述べる。

## 2. 装置の仕様および性能

### 2. 1 装置の概要

本装置は非走査型の照射用電子加速器で、直径0.35mm、長さ50mmのタンクステン線を36本梯子状に(直列接続)配置した陰極からの電子線を150~300kVの直流高電圧で一段加速し、アルミニウム製の照射窓箔(厚さ 50 μm)を通して大気中に取り出し、専用のコンベア装置によって照射容器内に送られる試料を照射処理する装置である。容器内は窒素ガスを導入することにより、酸素濃度を500ppm以下に調整することができる。

Fig.1に本装置の構成機器の配置を示す。本装置は直流高電圧発生器部、加速部、真空排気機器、照射用コンベア、照射雰囲気調整器、制御部および照射窓冷却機器で構成され、直流高

## 1. はじめに

本装置は、非走査型の低エネルギー電子加速器で、昭和60年6月高崎研究所に設置された。この形式の電子加速器は、線状または棒状の陰極から一定の幅に放出された熱電子を一段で加速して大気中に取り出し、照射に利用する装置である。多段式加速管を用いる走査型と比較して装置が小型にできるという特徴があり、発生するX線の遮蔽が比較的容易で、いわゆる自己遮蔽型の装置であるために特別な遮蔽施設を必要としないという利点がある。1960年代の後半に英国の Tube Investments L.T.D. から TIGER という商標で販売された150kV-120mAの装置が最初の装置である。

低エネルギー電子線を用いる「液状樹脂の硬化」が塗装、印刷、粘着等の分野を対象として早くから注目されていたが、最近では、架橋反応を応用した熱収縮製プラスチックフィルムの製造やグラフト反応を応用した繊維の表面処理等の他、医療器具の滅菌や排ガス処理などの用途にもその応用が検討されるようになり、再びこの非走査型電子加速器が注目されるようになった。

当時では、米国の R P C (Radiation Polymer Company)、フランスの A I D (Assistance Industrielle Dauphinoise)、および日本のアイグラフィックス、N H V (Nissin High Voltage) 等がエレクトロンカーテン、プロードビーム、エリアビーム等の商標でこの型式の加速器が製作販売されていた。また、走査型で自己遮蔽の低エネルギー電子加速器は西独の Otto - Durr 社の他、前述の4社が製作販売している。

非走査型電子加速器は、真空中に支持された線状のフィラメントで構成される陰極の温度分布や加速電圧を印加する時の電界分布および絶縁の問題、さらに加速された電子を取り出す照射窓箔の機械的強度および熱除去の問題等々があり、各社各様に工夫された装置が開発されているが、特にこの10年間における製作技術の向上は著しい。

本装置は定格出力 300kV, 100mA、電子幅 60cm、N H V 社製で研究開発用の装置であるが、加速電圧 300kV で 30kW の電子出力は、世界でも最大級の装置である。本報告では、本装置の仕様、運転の方法および出力特性について述べる。

## 2. 装置の仕様および性能

### 2. 1 装置の概要

本装置は非走査型の照射用電子加速器で、直径 0.35mm、長さ 50mm のタンクステン線を 36 本梯子状に(直列接続)配置した陰極からの電子線を 150~300kV の直流高電圧で一段加速し、アルミニウム製の照射窓箔(厚さ 50 μm)を通して大気中に取り出し、専用のコンベア装置によって照射容器内に送られる試料を照射処理する装置である。容器内は窒素ガスを導入することにより、酸素濃度を 500 ppm 以下に調整することができる。

Fig. 1 に本装置の構成機器の配置を示す。本装置は直流高電圧発生器部、加速部、真空排気機器、照射用コンベア、照射雰囲気調整器、制御部および照射窓冷却機器で構成され、直流高

電圧発生器と加速部は高電圧ケーブルで接続されている。また、加速部とコンベア部は鉄板および鉛板によって放射線遮蔽されている。

装置の外観をFig.2に、構造の概略をFig.3に示す。加速部は、中央に線形陰極、下部に照射窓を配置した円筒状のステンレス製真空チャンバーで、加速電圧はフィラメント加熱用の絶縁トランスを設置した圧力容器を介して陰極に印加される。圧力容器は絶縁のため、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)ガス1.6kg/cm<sup>2</sup>が充填されている。照射実験は二重のシャッターを介して照射コンベアによって行うが、照射容器の部分では静止照射の実験も行えるように照射窓面から250mmコンベアが下げられる構造を有している。

## 2. 2 装置の出力性能

照射装置の主要な性能は以下の通りである。

- 1) 加速電圧 : 150~300kV連続可変、安定度は設定値に対して±2%以内
- 2) 電子流 : <10~100mA連続可変、安定度は10~100mAの範囲で±2%以内
- 3) 照射幅 : 600 mm
- 4) 電子線分布均一性 : ±5%以内
- 5) コンベア搬送速度 : 5~100 m/min連続可変
- 6) 漏洩X線 : 装置の外部表面から10cm離れた位置に置いて最大線量当量率が  
0.6 μSv/h(0.06 mR/h)以下
- 7) 照射雰囲気酸素濃度 : 約10~500 ppmの範囲内で調整可能

## 2. 3 装置の構成および性能

本照射装置は次の各機器から構成されている。

### (1) 高電圧発生器

高電圧発生器はFig.4に示すように、IVR(誘導電圧調整器)によって制御された1次側の電圧を3相変圧器に供給し、発生した2次側の出力電圧を各相毎に倍電圧整流し、これを直列に接続して高電圧を得る方式で油入自冷式である。出力はケーブルによって加速部に接続される。運転中は装置の外周は全てアース電位に保たれる。

### (2) 加速部

加速部は中央部に片側のみで支持された線形陰極(0.35mmφ×50mm×36本、直列接続)を配置した真空容器と、この陰極に直流高電圧を印加する部分およびフィラメント電力を供給する電源部によって構成される。

加速部はコンベア部と一体となっており鉛の遮蔽箱に収納され、運転中は高電圧発生器と同様に全てアース電位に保たれるとともに、装置表面から10cm離れた位置に置いて放射線漏洩線量率が0.06 mR/h(0.6 μSv/h)以下となるように設計されている。

### (3) 真空排気装置

真空排気装置はクライオポンプ(排気速度 1,500 L/s)が主排気用であり、補助用として油回転ポンプ(260 L/min)も使用する。クライオポンプ用冷凍機は専用の箱内に収納されており、また、冷凍ガス中の不純物を取り除くための吸着筒も収納されている(10,000 hで吸着筒の交

換が必要)。ポンプ自体は駆動面が外部に露出しない構造である。ポンプ、バルブを含め、各機器はシーケンスコントローラによる自動運転制御方式で終夜連続運転されるが、保守・点検のために手動操作も可能である。

#### (4) コンベア部

コンベアはチェーン型で、駆動チェーンと照射試料を載せたパレットは摩擦により搬送される。各部の仕様は次の通りである。

1) 方式 : バッチ式(水平設置) 将来ローラーを取り付けることにより600 mm幅までのフィルム状試料が搬送できる設計になっている。

2) 速度可変範囲 : 5~100 m/min 連続可変

3) 被搬送物 : 寸法 600(幅)×600(長さ)×45 mm(厚さ) [専用パレット使用]  
重量20 kg以下、但し10 kg以上の場合は30 m/minを最大とする。

4) 空気層 : 照射窓箔面とコンベア面までの距離は通常の場合75mmであるが、照射窓直下部では手動昇降機能を持たせることにより最大250mmの空間が設けられる構造である。

平面なコンベアであるため、入口および出口にはそれぞれ2段のX線シャッターを配置して、必ずいすれかのシャッターが閉っている状態になるようインターロックされている。試料を搬入・搬出する場合でも放射線漏洩線量率は $0.6 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下となるように設計されている。

#### (5) 照射雰囲気調整器

共存酸素濃度10 ppm以下の窒素ガスを最大 $50\text{Nm}^3/\text{h}$ 流すことにより照射容器中の酸素濃度を100ppm以下にできる機能を有するものである。試料の搬入搬出部には使用済みの窒素ガス等を排気するためのプロワー( $60\text{Nm}^3/\text{h}$ )が配置してある。

窒素ガス供給設備は棟外東側壁面に設置し、排気プロワーの排気管は棟外屋上の排気口(高さ約7m)に接続してある。

#### (6) 制御部

照射装置の運転制御は操作盤により行い、制御部は以下に示すような制御および監視を行う。

##### 1) 加速電圧の測定および自動制御

加速電圧は高電圧発生器に内蔵されている電圧測定用抵抗器( $1,500\text{M}\Omega$ )を流れる電流によって測定し、操作盤上に指示される。自動制御はこの電流値を基準値と比較し、その差を増幅して高電圧発生器の入力の制御を行い、あらかじめ設定された加速電圧まで自動的に上昇させる。また、手動操作により加速電圧を制御する事も可能である。

##### 2) 電子流の測定および自動制御

出力電子流の測定は高電圧発生器の接地側に流れる負荷電流を測定し、操作盤上に指示するようになっている。自動制御は、この電流値と基準値の差を比較して、あらかじめ設定された電流値まで自動的に上昇させる。また、設定ダイアルにより連続的に電子流を可変出来るほか、手動制御により1mA以下の低電子流の出力も可能である。

##### 3) 操作回路

本照射装置の運転を自動制御するシーケンスコントローラおよび、真空系の自動制御を行うシーケンスコントローラ等が設けられている。

## 4) インターロック

人身および各装置に対しての安全確保を行うため、次の事態が起こった場合は高電圧発生器の入力側を自動的に遮断する。(Fig.5 フローチャート参照)

- a. 加速電圧が設定値の110%以上になったとき
- b. 電子流が設定値の110%以上になったとき
- c. 高電圧発生器の絶縁油が設定値以下になったとき  
および設定温度(105°C)を超えたとき
- d. 照射容器の扉、計測口の蓋またはコンベア部の遮蔽扉が開いたとき
- e. 漏洩X線の線量率が設定値(<0.2 mR/h)を超えたとき
- f. X線シャッターの動作異常、および過負荷によるコンベア動作異常のとき
- g. 入力電流が設定値(100A)を超えたとき
- h. 真空度が設定値( $1 \times 10^{-4}$  torr ( $1.33 \times 10^{-3}$  Pa))より悪化したとき
- i. 冷却水量が設定値(40 L/min)の90%以下に減少したとき
- j. 冷却水量が設定値(6 L/min)の80%以下に減少したとき
- k. 窒素ガスの流量が設定値(50 Nm<sup>3</sup>/h)の80%以下に減少したとき
- l. フィラメント印加電圧が設定値の110%以上になったとき
- m. 非常停止が押されたとき
- n. 加速部圧力容器内のガス圧力が1.3~1.9 kg/cm<sup>2</sup>Gの範囲を超えたとき
- o. 照射雰囲気温度が設定値(100°C)より上昇したとき

また、操作盤面のキースイッチを外すと照射装置の運転が出来ないようになっている。

## (7) 監視機器

照射運転中の加速電圧、出力電子流、真空度等を8chアナログ式記録計で監視するほか、照射装置とインターロックされたX線エリヤモニター、照射雰囲気中の酸素濃度を監視するための酸素濃度計、および照射雰囲気温度計が取り付けられている。また、それらを常時監視し、必要に応じて記録させるための自動記録装置(データロガー)を設けてある。モニターの仕様は次の通りである。

## 1) 放射線モニター

アロカ(株)製 MAR-303B

ハロゲンGM管式エリヤモニター

測定範囲: 0.01~10 mR/h (4デガード対数)

無接点メーターリレーにより照射装置とインターロックされている。また、警報表示はランプおよびブザー表示される。

## 2) 酸素濃度計

東レエンジニアリング(株)製 LC-700L

測定範囲: 0~10,000 ppm

ジルコニア系固体電解質を用いた固体電池(酸素濃淡電池)式酸素計である。本機器の特徴は、取扱いおよび保守が容易であり、高精度の酸素濃度測定ができる。

## 2. 4 運転に係わる安全対策および遮蔽計算結果

本照射装置は自己遮蔽型の電子加速器照射装置であり、専用の照射室を必要としない形式の照射装置である。

照射装置の運転に際し、照射実験を行う者および運転担当者に対する作業環境の安全を確保するために次の対策が講じられている。

- 1) 運転マニュアルを定め、インターロックの設定等を確実に行う。
- 2) 照射装置の運転動作を、照射容器扉、コンベア、X線シャッター、窒素ガス供給設備および放射線モニターの動作状態とインターロックする。
- 3) 照射装置の運転開始時には一定時間鳴動するチャイムを設置する。
- 4) 照射装置の運転状態を示す表示灯を設置する。
- 5) コンベアの入口および出口に漏洩放射線検出のための放射線エリアモニターを設置する。
- 6) コンベアの入口および出口にX線シャッター巻き込み防止の光電管スイッチを設置する。
- 7) 操作盤に酸素濃度計を設置し、照射容器内の酸素濃度を監視する。
- 8) オゾンプロワーを設置し、照射容器内を排気する。

### 2. 4. 1 インターロック

照射装置の運転フローチャートをFig.5に示す。通常の運転はコンベアを用いる照射運転であり、照射容器の扉、コンベア、X線シャッター等の動作状態を加速器の運転制御回路に導き、全ての安全が確保されない場合には運転が出来ないようになっている。また、運転中に不安全な状態が発生した場合には直ちに運転が停止するようになっている。インターロックする項目とその検出方法をTable 1に示す。

Table 1 The interlock items and detection methods.

インターロック項目	検出方法
・ 照射容器扉	リミットスイッチによって開閉の状態を検出する。
・ 照射容器側面ケーブル口	"
・ X線シャッター	"
・ 放射線モニター	GM式エリアモニターのメーターリレーによる。
・ 窒素ガス供給設備	流量計により流量を検出する。
・ 冷却水設備	"
・ 非常スイッチ	押しボタンスイッチにより検出する。

### 2. 4. 2 表示・警報等

インターロックに要する操作を確実に励行し、運転操作に対する注意を喚起するため次の表示および警報を設置する。

#### 1) 表示

- ①操作盤上に各インターロック項目の状態についての表示灯を設置する。

②加速部の上部に照射運転中に点灯する回転灯および“照射運転中”の表示灯を設置する。

## 2) 警報

①照射運転開始時に一定時間チャイムが鳴動する。

②インターロック項目が不安全な状態になった場合はブザーが鳴動する。

③照射運転中に酸素濃度が設定値(500 ppm)を越えた場合はチャイムが鳴動する。

## 2. 4. 3 遮蔽

照射装置を使用する際の遮蔽基準については、電離放射線障害防止規則第15条に規定されている $20 \mu \text{Sv/h}$ ( $2 \text{mrem/h}$ )の $1/10$ 以下とし、この基準に対して遮蔽計算の検討を行った。

漏洩線量率 $D$ ( $\text{mR/h}$ )は(1)式によって求められる。

$$D = \frac{D_0 \times \alpha \times A \times \cos \theta}{r_1^2 \times r_2^2} \times B \times \exp(-\mu \rho x) \quad (1)$$

ここで、 $D_0$ は線源から $1 \text{m}$ 離れた位置での線量率( $\text{mR/h}$ )、 $r_1$ は線源から散乱面までの距離( $\text{m}$ )、 $r_2$ は散乱面から計算する点までの距離( $\text{m}$ )、 $\alpha$ は微分アルベド、 $\theta$ は散乱角度、 $B$ はビルドアップ係数、 $\mu$ は減衰係数( $\text{cm}^{-1}$ )、 $\rho$ は密度( $\text{g/cm}^3$ )、 $x$ は遮蔽体厚さ( $\text{cm}$ )である。

発生源から $1 \text{m}$ の距離における空間線量率( $D_0$ )は(2)式で求められる。

$$D_0 = \frac{W \times \mu_a / \rho}{4 \pi \times 10^4} \times \frac{1}{87.3} \times 3,600 = 1.21 \times 10^4 \quad (\text{R/h}) \quad (2)$$

(2)式において、 $W$ ( $\text{erg/sec}$ )は加速器の最大出力( $300 \text{ keV} \times 100 \text{ mA} = 3 \times 10^{11} \text{ (erg/sec)}$ )にX線変換係数( $\epsilon$ )を掛けたものである。 $\mu_a / \rho$ は $0.0268 \text{ cm}^2/\text{g}$ (発生する制動放射X線の平均エネルギー $\approx 200 \text{ keV}$ に対する値)とする。

発生する制動放射X線量への変換係数( $\epsilon$ )はKoch and Motz<sup>2)</sup>の計算結果から(3)式で求められる。

$$\epsilon = \frac{3 \times 10^{-4} \times Z \times \tau_0}{1 + 3 \times 10^{-4} \times Z \times \tau_0} \quad (3)$$

ここで、 $Z$ は原子番号、 $\tau_0$ は入射電子の運動エネルギーを電子の静止エネルギー( $0.511 \text{ MeV}$ )で除した値である。鉄の場合、 $Z$ は26があるので変換係数( $\epsilon$ )は $4.56 \times 10^{-3}$ となる。

次に、メーカー側から提出された遮蔽計算式の検討を行った。

$$I = I_0 \times \frac{1}{D^2} \times \frac{1}{1000^n} \times B \times \exp(-\mu \rho x) \quad (4)$$

(4)式において、 $I$ は減衰後のX線量( $\text{mR/h}$ )、 $I_0$ は線源から $1 \text{m}$ 離れた位置でのX線量、 $D$ は線源から測定点までの距離( $\text{m}$ )、 $n$ は反射回数、 $B$ はビルドアップ係数( $1 + \mu \rho x$ )、 $\mu$ は質量吸収係数( $\text{cm}^2/\text{g}$ )、 $\rho$ は密度( $\text{g/cm}^3$ )、 $x$ は遮蔽体厚さ( $\text{cm}$ )である。この式を用いて計算した各部の結果をTable 2に示す。測定位置についてはFig. 6に示す。

(1)式および(4)式で用いたビルドアップ係数についてはそれぞれ以下のとおりである。

$$(1) \text{式} \quad B = 1 + \sum (\mu \rho x) \quad (5)$$

$$(2) \text{式} \quad B = B' \text{ Fe}(\mu_1 x_1) + B' \text{ Pb}(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2) - B' \text{ Pb}(\mu_1 x_1)$$

$$\text{層状物質の場合} \quad + B' \cdot Fe(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3) - B' \cdot Fe(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2) \quad (6)$$

$\gamma$ 線に対するアルベドの経験式<sup>3)</sup>については(7)式に示す。

$$\alpha_d = \frac{C(E_0) \times K_e(\theta_s) \times 10^{26} + C'(E_0)}{1 + \frac{\cos \theta_s}{\cos \theta}} \quad (7)$$

ここで、 $\theta_s$ は入射 $\gamma$ 線と出て行く散乱 $\gamma$ 線の間の角度である。 $(\cos \theta_s = \sin \theta_0 \cdot \sin \theta \cdot \cos \psi - \cos \theta_0 \cdot \cos \theta)$

200keVの場合、 $\theta_s$ を90度とすると

$$C : Fe=0.0272 \quad Pb=0.0044 \quad C' : Fe=-0.01 \quad Pb=-0.005$$

となる。よって、アルベド係数は

$$\alpha_d(Fe)=3.597 \times 10^{-2} \quad \alpha_d(Pb)=2.436 \times 10^{-3}$$

である。

以上の計算式をもとに計算した結果、たとえば14番の電源タンク(Fig.6参照)位置の場合、それぞれ $2 \times 10^{-3}$ および $5.3 \times 10^{-2}$ (mR/h)となり、両計算方法においても充分安全であることが確認された。

## 2.5 付帯設備

初めに述べたように、本装置は自己遮蔽型であり特別な遮蔽施設は必要としないが、専用の電源の他、窒素ガス供給設備、冷却設備等の各種付帯設備が必要となる。以下に付帯設備の概要について述べる。

### 2.5.1 窒素ガス供給設備

前項で述べたように、本照射装置の運転に当っては毎時 $50\text{Nm}^3$ の窒素ガスが必要となる。この窒素ガスは、照射装置窓箱の冷却および酸化防止と照射試料である樹脂の硬化反応のために使われる。硬化はおもにラジカル反応であるため、照射中は酸素の存在が影響する。従って、樹脂試料の照射に於いては酸素濃度は500ppm以下である必要がある。

照射装置設置当初は特定可搬式容器(内容積175 L)4本による毎週1回2本づつの交換による液体窒素の供給方式を取っていた。しかし、利用頻度の増加および長時間の実験等によって液体窒素容器の交換時期が不規則になり安定した供給が行えなくなってきたため、昭和62年10月液体窒素貯槽の設置を行った。この貯槽の貯蔵能力は約 $1,800\text{m}^3$ であり、平常の照射運転で約1ヶ月間の供給が可能である。可搬式容器の場合においては、蒸発器の処理能力は $60\text{m}^3/\text{h}$ であったが冬季に長時間の連続供給を行った場合能力低下が見られたため、貯槽設置にあたっては蒸発器の能力も $20\text{m}^3/\text{h}$ 増加させた。処理能力の算出は以下のとおりである。

K : ガスの液換算値(窒素=646)

$$Q = \frac{60+20}{646} \times 9.5 \times 24 = 28.24 (< 30 \text{ m}^3/\text{d}) \quad (8)$$

液体窒素貯槽の概略をFig.7に示す。

## 2. 5. 2 冷却水設備

冷却水は2系統あり、照射装置の照射窓の冷却と照射容器内および真空容器の冷却を行う。配管はステンレス製で、両系統共に集合盤を経て照射窓の冷却および、真空容器と照射容器内底板等の冷却を行う。集合盤には流量計および入口、出口の圧力計が設けられている。

### (1) 照射窓冷却系

最大定格出力(30kW)の照射装置の照射窓を冷却するためには毎分40 L以上の冷却水が必要となる。そのため、容積1m<sup>3</sup>の貯水槽を設置し精製水の循環方式を採用した。精製水は循環ポンプにより液等集合盤を経て照射装置に供給される。照射窓を冷却した精製水は放熱器により冷却された後貯水槽に戻される。循環水量は毎分40~45 L、照射装置への入口圧力約8kg/cm<sup>2</sup>、出口圧力約5.5 kg/cm<sup>2</sup>である。なお、流量計は照射装置にインターロックされており、冷却水量が毎分36 L以下になったときには照射装置は自動的に停止する。また25μmのフィルターにより、ゴミ等を除去している。

照射窓部の枠は6分割されており、照射窓全体が均等に冷却されるよう工夫されている。なお、窓部の冷却管は1.6mmの銅パイプ製でニッケル製の支持金具によって補強されている。

### (2) 真空容器冷却系

水道水により照射装置の真空容器および照射容器内の冷却を行っている。水量は毎分5~6 Lで、集合盤内の流量計で照射装置とインターロックされており、流量が毎分4.8 L以下になったときは照射装置は自動的に停止する。

## 2. 5. 3 オゾン排気設備

本照射装置の照射容器排気ブロワーは60Nm<sup>3</sup>/hの排気能力を有している。

通常の照射運転において、照射容器内の酸素濃度は窒素ガスを連続供給することにより500ppm以下に保たれる。したがって、オゾンの発生量はほぼ0ppmであるが、万一照射容器内が空気で満たされたまま照射運転が行われた場合を想定して、照射容器内の排ガスは排気ブロワーにより約7mの高さから屋外へ排気される。照射容器内が空気で満たされた場合のオゾン発生量は次のように推定した。

### 1) オゾン発生量

発生量が最大となる照射条件は、加速電圧が150kV、出力電子流が100mA、照射窓下の空気層が25cmである。150keVの電子線に対する空気の阻止能は、2.86 MeV·cm<sup>2</sup>/g<sup>4</sup>)であるから空気層で失われるエネルギー(E)は92.4keVとなる。この場合のオゾン発生量W(O<sub>3</sub>)は次式により求められる。

$$W(O_3) = 8.3 \times G \text{ 値} \times E \quad (L/kW \cdot h) \quad (G = 6) \quad (9)$$

排気ブロワーの排気速度は60Nm<sup>3</sup>/hであるから、ブロワーの排気口でのオゾン濃度は128 ppmとなる。

ブロワーの排気を棟外まで導き、6mの高さから大気中に放出する場合の最大着地濃度をSuttonの拡散式<sup>5)</sup>によって求めると、

$$C_{max} = (0.235 \times Q \times 10^6 \times C_z) / (U \times H^2 \times C_y) \quad (10)$$

ここで、 $C_{max}$ は最大着地濃度(ppm)、 $Q$ は汚染物質排出量( $m^3/sec$ )、 $C_z$ 、 $C_y$ は拡散パラメーター、 $U$ は風速( $m/sec$ )、 $H$ は高さ( $m$ )である。

$$C_{max} = (0.235 \times 0.4602 \times 10^6 \times 0.22) / (2 \times 36 \times 3600) = 0.092 \text{ (ppm)}$$

となる。

### 3. 装置の操作方法

本章は運転操作マニュアルである。本加速器は低エネルギー電子加速器としての出力は工業用規模の装置であるが、バッチ式連続照射や静止照射が可能なコンベアを備えた研究用の試作機である。装置が完成し、マニュアルによって一定の操作手順を定めるまでには多くの技術開発が必要であった。低エネルギー電子加速器が表面塗装の分野だけでなく、排煙脱硫などの環境保全技術への応用も展望される現状において、本報告で運転マニュアルについて述べることは、これらの分野で実際に利用される加速器の運転保守の際に役立つものと信ずる。

#### 3. 1 操作にあたっての遵守事項

- 1) 本照射装置は外部委託の運転担当者および照射施設課運転担当員以外の者が操作してはならない。
- 2) 運転担当者は必ず別紙1の日常点検表および別紙2の運転日誌を記帳する。
- 3) 照射申込書を受理した物以外の照射は行わない。
- 4) 運転中に異常が発生したら直ちに運転を停止し、その原因が明らかになるまでは運転を再開してはならない。
- 5) 加速器の調整運転、長時間照射運転の場合には2名以上で運転を行うこと。

#### 3. 2 操作方法

各機器の配置についてはFig.1に示す。NFB等の操作スイッチの配置については各パネル図に示す。

また、Fig.5に動作のフローチャートを示す。

##### 3. 2. 1 運転準備

( \*\*\* 電源盤にて \*\*\* )

- 1) 制御盤の、①主幹、②直流電源、③フィラメント引出し電源および④制御電源用NFBを投入する。  
〔※ ⑤真空用主幹電源は常時ONであること〕(Fig.8に各NFBの配置を示す)
- 2) コンベア電源盤の、①主電源、②入口コンベアモーター(M1)、③メインモーター(M2)、④出口モーター(M3)および⑤制御電源を投入する。(Fig.9に各NFBの配置を示す)
- 3) ⑦加速電圧、⑧電子流の積算時間を記録する。(Fig.10に配置を示す)
- 4) 高電圧発生器の油温を記録する。

ここで、 $C_{max}$ は最大着地濃度(ppm)、 $Q$ は汚染物質排出量( $m^3/sec$ )、 $C_z$ 、 $C_y$ は拡散パラメーター、 $U$ は風速( $m/sec$ )、 $H$ は高さ( $m$ )である。

$$C_{max} = (0.235 \times 0.4602 \times 10^6 \times 0.22) / (2 \times 36 \times 3600) = 0.092 \text{ (ppm)}$$

となる。

### 3. 装置の操作方法

本章は運転操作マニュアルである。本加速器は低エネルギー電子加速器としての出力は工業用規模の装置であるが、バッチ式連続照射や静止照射が可能なコンペアを備えた研究用の試作機である。装置が完成し、マニュアルによって一定の操作手順を定めるまでには多くの技術開発が必要であった。低エネルギー電子加速器が表面塗装の分野だけでなく、排煙脱硫などの環境保全技術への応用も展望される現状において、本報告で運転マニュアルについて述べることは、これらの分野で実際に利用される加速器の運転保守の際に役立つものと信ずる。

#### 3. 1 操作にあたっての遵守事項

- 1) 本照射装置は外部委託の運転担当者および照射施設課運転担当員以外の者が操作してはならない。
- 2) 運転担当者は必ず別紙1の日常点検表および別紙2の運転日誌を記帳する。
- 3) 照射申込書を受理した物以外の照射は行わない。
- 4) 運転中に異常が発生したら直ちに運転を停止し、その原因が明らかになるまでは運転を再開してはならない。
- 5) 加速器の調整運転、長時間照射運転の場合には2名以上で運転を行うこと。

#### 3. 2 操作方法

各機器の配置についてはFig.1に示す。NFB等の操作スイッチの配置については各パネル図に示す。

また、Fig.5に動作のフローチャートを示す。

##### 3. 2. 1 運転準備

( \*\*\* 電源盤にて \*\*\* )

- 1) 制御盤の、①主幹、②直流電源、③フィラメント引出し電源および④制御電源用NFBを投入する。  
〔※ ⑤真空用主幹電源は常時ONであること〕(Fig.8に各NFBの配置を示す)
- 2) コンペア電源盤の、①主電源、②入口コンペアモーター(M1)、③メインモーター(M2)、④出口モーター(M3)および⑤制御電源を投入する。(Fig.9に各NFBの配置を示す)
- 3) ⑦加速電圧、⑧電子流の積算時間を記録する。(Fig.10に配置を示す)
- 4) 高電圧発生器の油温を記録する。

- 5) 誘導電圧調整器 (I V R) の油温を記録する。(油量も確認する)
- 6) 圧力容器の S F<sub>6</sub> ガス圧力を記録する。  
(\* \* \* 液体窒素貯槽にて \* \* \*)
- 7) 液体窒素貯槽の液量および圧力を記録する。  
(Fig. 7 に液体窒素貯槽の外観, Fig. 11 に設置場所を示す。また別紙 3 に操作方法, 別紙 4 に点検記録用紙を示す)  
[※ 液体窒素貯槽の元バルブが閉じている場合には開く]  
[ 開・閉表示板も確認すること]  
(\* \* \* 照射室にて \* \* \*)
- 8) データロガーを起動する。  
(操作方法は別紙 5 の操作マニュアルを参照)

### 3. 2. 2 運転操作

運転は操作盤にて行う。(Fig. 12 に操作盤を示す)

==== 加速電圧 発生 ===

- 1) 運転モードが、『通常運転』であることを確認する。
  - 2) キースイッチを投入する。  
[※ 電磁弁が動作することを確認する]  
・窓冷却用循環水のポンプが起動する。  
・照射容器冷却用水道水が流れる。  
・窒素ガスが流れる。
  - 3) 冷却水(2系統)および窒素ガスの流量を記録する。[液等の集合盤にある]  
・照射窓冷却用循環水量は 40 L/min 程度であること。  
・照射容器冷却用水道水量は 5 L/min 以上であること。  
・窒素ガス流量は 50 m<sup>3</sup>/h 程度であること。
  - 4) 『表示復帰』のボタンを押し、インターロック表示を解除する。  
[加速電圧の『投入準備完了』が点灯することを確認する]  
[この時、酸素濃度は消灯しなくても良い]
  - 5) 加速電圧を設定する。[ダイヤル設定値の 1 / 2 が設定加速電圧(kV)となる]  
例 6 0 0 —— > 3 0 0 kV  
※ ただし、300 kV 設定の場合には、一度 280 kV 程度に設定してから、真空度を見ながら徐々に昇圧すること。  
(運転休止時間が48時間を超える場合は、真空度に特に留意する)
  - 6) 加速電圧『入』のボタンを押す。
  - 7) 加速電圧が設定値に達し、安定したことを確認し、運転状態を記録する。
- ==== 電子流 発生 ===
- 8) 酸素濃度警報ランプが消灯(500 ppm以下)していることを確認する。
  - 9) 電子流制御方式が『自動』であることを確認する。
  - 10) 電子流を設定する。[ダイヤル設定値の 1 / 10 が設定電子流(mA)となる]

例 500--->50mA

- 11) コンベアを起動する。
- 12) 電子流の『投入準備完了』が点灯することを確認する。  
[コンベアが起動していないと点灯しない]  
[酸素濃度が500ppm以上の場合、チャイムが鳴動する]
- 13) 電子流『入』のボタンを押す。
- 14) 電子流が設定値に達し、安定したことを確認し、運転状態を記録する。  
※ 真空度は、 $7 \times 10^{-4}$  Pa以内であること。

### 3. 2. 3 照射運転

- 1) コンベアの切換スイッチを『手動』にし、速度の設定を行う。  
(Fig.13にコンベア操作盤を示す)
- 2) コンベアの切換スイッチを『自動』に戻す。
- 3) コンベア入口部の、入口側シャッターAの『開可』の表示灯が点灯していることを確認し、『開』の押ボタンスイッチを押す。 [この操作は利用者が行う]  
[この時、試料の高さは45 mm以下であること]
- 4) パレットを軽く押込み、『挿入完了』表示灯の点灯を確認し、『閉』の押ボタンスイッチを押す。 [この操作は利用者が行う]  
[『照射開始』の押ボタンスイッチの表示灯が点滅する]
- 5) 操作盤の『照射開始』の押ボタンスイッチを押す。
- 6) 表示灯の『通過』、『照射完了』が順次点灯することを確認する。
- 7) 『照射完了』が点灯し、出口側シャッターDの『開可』表示灯が点灯したら、『閉』の押ボタンを押す。 [この操作は利用者が行う]
- 8) パレットが出たら、『閉』の押ボタンスイッチを押し、シャッターを閉じる。  
[この操作は利用者が行う]

[照射条件は運転中においても仕様の範囲内で連続して可変することが出来る]  
[ただし、真空度等装置の状態に注意しながら行うこと]

### 3. 2. 4 照射終了

==== 電子流・加速電圧の降下 ===

- 1) 電子流『切』の押ボタンスイッチを押す。  
[数秒で自動的に切れ、電子流は0となる]  
[※ ただし、300kVでの運転時には、一度280kV程度に電圧を下げてから  
電子流の『切』の押ボタンスイッチを押すこと。]
- 2) 電子流『切』表示の点灯を確認後、加速電圧『切』の押ボタンを押す。  
[ここでコンベアを停止しても良い]
- 3) 加速電圧『切』表示の点灯を確認後、キースイッチを切る。
  - ・コンベアが動作していれば停止する。
  - (電磁弁が動作し、以下が停止する)
  - ・窓冷却用循環水ポンプ。

- ・照射容器冷却用水道水。
- ・窒素ガス。

### 3. 2. 5 照射終了後の処置

- 1) 高電圧発生器の油温を記録する。
  - 2) 誘導電圧調整器 (I V R) の油温を記録する。
  - 3) 圧力容器の S F<sub>6</sub> ガス圧力を記録する。
  - 4) 加速電圧、電子流の積算時間を記録する。
  - 5) コンベア電源盤のモーター (M 1), (M 2), (M 3), 制御電源および主電源を切る。
  - 6) 制御盤の加速電源、フィラメント引出し電源、制御電源および主幹を切る。
- [※ 真空系統の電源は常時 ON であること]
- 7) 液体窒素貯槽の液量および圧力を記録する。
  - 8) キースイッチを保管する。
  - 9) ※ 週末等、48時間以上運転を休止する場合は、液体窒素貯槽の元バルブも閉じる。
  - 10) 照射室の照明を消す。

### 3. 2. 6 その他の操作

- 1) 窓冷却用精製水貯槽の水量が低下している場合には補充する。
- 2) 時々棟外の排気配管内を点検し、排水等を行う。

### 3. 3 異常時の処置

運転時に異常が生じた場合は、ただちに照射装置を停止する。主な異常に対する措置は以下の通りである。

#### 3. 3. 1 コンベア

コンベアのパレットが照射装置の内部で止ってしまったり、照射試料などがシャッターに挟まれた場合には、電子流、加速電圧を一度切ってから作業をすること。この時、人身等に対して危険があると判断される場合には、“『非常停止』”の押ボタンスイッチにより停止させる。（“『非常停止』”押ボタンスイッチは赤い大きな押ボタンで、操作盤の他、コンベアの入・出口部にもある）

操作盤上のキースイッチを投入し、コンベア切換スイッチを『手動』にすると、コンベア電源盤内にてモーターの起動・停止、およびシャッターの開・閉の手動操作が可能となる。手動操作スイッチはFig. 14に示す。また、各操作における動作はFig. 15に示す。

#### 3. 3. 2 真空系

真空計の表示が不良になった場合には記録計の指示で確認し、記録計においても異常な値が表示されている場合には、速やかに照射運転を中断すること。この時、照射装置に対して緊急に停止する必要があると判断される場合には、“『非常停止』”の押ボタンスイッチにより停

止させる。

#### [真空計の復帰]

キースイッチを切ってから、真空計の電源スイッチを一度切り、入れ直すと復帰する。また、真空系は通常全自動運転であるので、通常停電等の場合でも措置・操作の必要はない。自動的に復帰しない場合は、照射装置付属の取扱説明書を参照し、その手順に従って復旧する。Fig.16に真空系統および操作パネルを示す。

### 3. 4 緊急時の処置

照射運転中に以下のような緊急事態が発生した場合には、各処置を行う。

#### 3. 4. 1 断水の場合

運転中に断水した場合、“冷却水”のインターロックにより、照射装置は自動的に停止する。この時、照射中の試料が照射装置内に停留している場合には、前述のコンベア手動操作により速やかに取り出す。その他、キースイッチを切り、照射装置等に異常がないかを点検し、通水再開を待つ。

#### 3. 4. 2 停電の場合

運転中に停電した場合、照射装置は自動的に停止する。[真空系も停止する]この時、照射中の試料が照射装置内に停留している場合には、断水時と同様コンベア手動操作により速やかに取り出す。キースイッチを切り、照射装置等に異常がないかを点検し、通電再開を待つ。また、記録計等の電源スイッチも切っておく。

通電状態になったら、真空系が自動復帰することを確認する。

[操作盤上の真空系表示灯の『正常』が点灯する]

#### 3. 4. 3 火災の場合

火災の発生を知ったときは速やかに照射装置の運転を停止し、状況に応じて次の処置を行う。

- 1) 非常連絡(内線番号9222)及び消火活動を行う。
- 2) 照射依頼者と連絡を取り、被照射試料の安全を確認し、必要に応じて安全確保の処置を行う。運転の再開は、安全が確認されるまでは行ってはならない。
- 3) その他、高崎研究所防護活動規則に従って行動する。

#### 3. 4. 4 地震の場合

地震の発生を知った時は速やかに照射装置の運転を停止する。また、震度4以上の場合は、“地震時の点検要領”に従い点検を行う。

#### 3. 4. 5 その他

緊急時には速やかに照射装置を停止する。

その他、高崎研究所防護活動規則に従って行動する。

## 4. 電子線出力特性

本照射装置は、前にも述べたように、加速電圧を150kVから300kVの範囲において、出力電子流は100mAまでの範囲で連続的に可変する事が可能である。また、この範囲で出力を変化させることは運転を継続しながら行うことが可能で、Fig.17は加速電圧150kV、電子流10mAの運転状態から加速電圧300kV、電子流100mAまでの範囲を段階的に変化させて運転を行ったものである。電子流が60mA程度から若干変動が見られるが、ほぼ安定した照射運転を行う事が出来る。

照射実験を行う場合、照射装置の出力特性を把握しておく必要がある。

本照射装置は低エネルギー電子加速器であり、コンベア装置のパレットを使用したバッチ方式により電子線照射が行われる。そのため、各加速電圧に応じた電子流とコンベア速度と関連して、試料の吸収線量を測定しておかなければならぬ。また、深部吸収線量分布も必要となる。ここでは、装置メーカーから提出されていたブルーセロファン線量計による吸収線量データ(Fig.18)を基に、CTA(三酢酸セルロース)線量計<sup>6)</sup>およびRCD(ラジアクロミック線量計)のフィルム線量計を用いた吸光度変化による測定結果から比較検討を行った。なお、図中の横軸に示す深さ方向は、他の物質との比較が容易なように線量計の厚さ(mm)と密度(mg/mm<sup>3</sup>)を掛けた単位(mg/mm<sup>2</sup>)で表している。

### 4.1 深部吸収線量分布の測定

先程述べたように、低エネルギー電子線の場合物質への透過力が弱く、深部吸収線量を細かく測定するためには極力薄い線量計を用いる必要がある。現在使用されているフィルム線量計としてはブルーセロファン、CTA、RCDなどである。ブルーセロファンは入手が困難であったため、CTAおよびRCD線量計を用いた。

Fig.19に、コンベア照射1回当たりの線量を10kGy(Fig.18における表面線量)とし、5回の繰り返し照射を行ったときの各加速電圧に対するCTA線量計により求めた深部吸収線量分布を、電子流1mA、コンベア速度1m/minに換算して示す。なお、使用したCTA線量計の密度は1.29 g/cm<sup>3</sup>、厚さは125μmである。加速電圧150kVにおいては、CTA1枚目でほとんど吸収されてしまう事が分る。加速電圧200kVおよび250kVにおいても、CTA2~3枚でほとんど吸収されている。加速電圧300kVにおける深部吸収線量分布でもCTA5枚程度の透過力である。

以上の様に、CTA線量計ではフィルム1枚が厚すぎて、深部吸収線量分布の表面線量および最大飛程を求める事は難しい。

次にRCD線量計における深部吸収線量分布の測定結果をFig.20に示す。照射条件はCTA線量計と同様に1回当たり10kGy照射とした。RCD線量計の厚さは50μm、密度は約1.1 g/cm<sup>3</sup>である。CTA線量計に比べて約3倍の測定点数が得られる。RCD線量計でも、加速電圧150kVでは3枚目でほとんど吸収されてしまう。加速電圧200kVにおいてはRCD6枚でほとんど吸収されている。加速電圧250kVおよび300kVになると、RCD線量計では10~14枚程度の測定点数が得られる。また、300kVの深部吸収線量分布にピーク値が観測できるようになるが、CTA線量計と同様に線量計を積層する方法では表面線量、および最大飛程を求める事は難しい。この様な方法において、低エネルギー電子加速器の深部吸収線量測定には極力薄いフィル

ム線量計が必要である。別な測定法として、テープ状の C T A 線量計の上に P E T フィルムおよびアルミホイルを階段状に積層して得られた深部吸収線量分布を Fig. 21, 22 に示す。照射条件は、各電圧時共 30mA, 15mm/min の同一とした。この方法の場合、テープ状の C T A 線量計を連続的に測定できる専用リーダー (FDR-01)<sup>11</sup> が必要なこと、また若干ではあるが照射窓からの距離や、積層物質の阻止能比等の違いによる吸収線量の補正を考慮する必要があるが、相対的な比較検討を行う場合には簡便な方法である。

#### 4. 2 C T A 線量計による表面線量分布

本装置は冒頭で述べたように、照射はコンベアによるバッチ処理を前提としており、照射場を通過させた場合に 60cm 幅において均一な線量分布が得られるようになっている。しかし、実際には 36 本のフィラメント素子の特性のバラツキや、電界分布の乱れにより線量分布が不均一となる。

Fig. 23 に各加速電圧に対する C T A 線量計での表面線量分布の測定結果を示す。加速電圧を変化させた場合に表面線量の値が比較出来るように、電子流 30mA, コンベア速度 15mm/min の同一条件で照射した。この結果、150kV 以外の線量分布はほぼ同一の吸収線量になることが分る。

次に各加速電圧での有効照射幅 60cm 内の最大値と最小値の平均値を基準とした相対的な表面線量分布を Fig. 24 に示す。加速電圧 150kV におけるコンベアパレット面では、前述のようにエネルギーが低いため空気中での散乱が多く、分布もかなり不均一であるが、加速電圧 200kV, 250kV, 300kV においては有効幅 60cm の範囲においては ±10% 程度の均一度であることが分った。

#### 4. 3 吸収線量

前述したようにエネルギーの低い電子線の線量測定は、電子の散乱が多く測定が容易ではない。また、測定に適した線量計もほとんど無いのが現状である。現在使用されているフィルム線量計で最も薄いのがブルーセロファンである。本照射装置設置時に日新ハイボルテージ社によりブルーセロファンで測定された深部吸収線量分布曲線を基に吸収線量を算出している。吸収線量は加速エネルギー、電流値およびコンベア速度によって異なる。各エネルギーにおける線量測定結果から電流値とコンベア速度の関係を求めたのが Fig. 25 である。なお、被照射試料の組成および厚みによっても異なるため、本照射装置においては表面での吸収線量を基準としている。Fig. 25 から各エネルギーにおける吸収線量は次式のように表せる。

$$\text{表面線量} \quad D = \frac{I}{V} \times F \quad (\text{kGy/1 pass}) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (11)$$

ここで I は電子流 (mA), V はコンベア速度 (mm/min), F は各エネルギーにおける定数 (150kV - 25, 200kV - 33, 250kV - 29, 300kV - 25) である。

Table 3 に、各加速電圧における C T A 線量計 (密度 : 1.29 g/cm<sup>3</sup>, 厚さ : 約 125 μm) 1 枚当たりの吸収線量の実測値を示す。

## 5. ま と め

本照射装置が設置されてほぼ8年になるが、この間にいくつかの改良が行われた。大きな改良としては、スペーサコーンと呼ばれる絶縁碍子の交換が行われた。これは真空容器内の最大300kVに印加される陰極部を片側で支え、しかも照射装置外周と絶縁を保つ重要な役割を果す物である。また、照射窓の冷却も重要であり、設置当初3分割の構造であったが、より均等に効率良く冷却が可能となるよう6分割に改良が行われた。これらの改良により管内放電が減少し、照射窓の寿命も伸び、安定した照射運転が可能となった。

また、昭和61年9月には照射運転を安全かつ円滑に遂行できるよう、運転時に監視および計測が必要なメーター類に出力端子を設け、多チャンネルの計測器とパーソナルコンピュータの組合せによるデータロガー装置を取り付けた。これによって、運転中操作席から離れることなく常時監視できるようになった。

現在では順調に稼動し、各種照射実験に有効に利用されている。主なものとしては、液状樹脂の硬化、プラスチックの表面架橋、膜の合成、半導体素子の表面照射効果等である。

自己遮蔽型の照射装置は専用の照射室を必要とせず手軽で簡単に利用できるため、今後も各種用途に幅広く利用されていくと思われる。

## 謝 辞

本低エネルギー電子加速器の線量測定にあたって協力を頂いた、外国人研修生Miss.Rosmina D.L.T.(インドネシア)、Miss.Noriah M.A.(UTN MALAYSIA)、および照射施設課 研究員 小嶋拓治氏に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) NBS Handbook 76 NCRP 26
- 2) Koch H.W., Motz J.W.: Rev. Mod. Phys., 31, pp.920-955(1959)
- 3) Chilton A.B.: Nuc. Sci. & Eng., 17, pp.419-424(1963)
- 4) International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRP Rep. 37. Bethesda, Md. (1984)
- 5) 蒼野三郎,福井昭三:「環境公害学」, pp.30-34(1978)
- 6) 田中,三友,須永,松田,田村:JAERI-M 82-033 ' C T A 線量計マニュアル' (1982)
- 7) 須永,田中:「理工学における同位元素研究発表会要旨集」, p.141(1981)

## 5. ま と め

本照射装置が設置されてほぼ8年になるが、この間にいくつかの改良が行われた。大きな改良としては、スペーサコーンと呼ばれる絶縁碍子の交換が行われた。これは真空容器内の最大300kVに印加される陰極部を片側で支え、しかも照射装置外周と絶縁を保つ重要な役割を果す物である。また、照射窓の冷却も重要であり、設置当初3分割の構造であったが、より均等に効率良く冷却が可能となるよう6分割に改良が行われた。これらの改良により管内放電が減少し、照射窓の寿命も伸び、安定した照射運転が可能となった。

また、昭和61年9月には照射運転を安全かつ円滑に遂行できるよう、運転時に監視および計測が必要なメーター類に出力端子を設け、多チャンネルの計測器とパーソナルコンピュータの組合せによるデータロガー装置を取り付けた。これによって、運転中操作席から離れることなく常時監視できるようになった。

現在では順調に稼動し、各種照射実験に有効に利用されている。主なものとしては、液状樹脂の硬化、プラスチックの表面架橋、膜の合成、半導体素子の表面照射効果等である。

自己遮蔽型の照射装置は専用の照射室を必要とせず手軽で簡単に利用できるため、今後も各種用途に幅広く利用されていくと思われる。

## 謝 辞

本低エネルギー電子加速器の線量測定にあたって協力を頂いた、外国人研修生Miss.Rosmina D.L.T.(インドネシア)、Miss.Noriah M.A.(UTN MALAYSIA)、および照射施設課 研究員 小嶋拓治氏に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) NBS Handbook 76 NCRP 26
- 2) Koch H.W., Motz J.W.: Rev. Mod. Phys., 31, pp.920-955(1959)
- 3) Chilton A.B.: Nuc. Sci. & Eng., 17, pp.419-424(1963)
- 4) International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRP Rep. 37. Bethesda, Md. (1984)
- 5) 蒼野三郎, 福井昭三: '環境公害学', pp.30-34(1978)
- 6) 田中, 三友, 須永, 松田, 田村: JAERI-M 82-033 'CTA線量計マニュアル' (1982)
- 7) 須永, 田中: '理工学における同位元素研究発表会要旨集', p.141(1981)

## 5. ま と め

本照射装置が設置されてほぼ8年になるが、この間にいくつかの改良が行われた。大きな改良としては、スペーサコーンと呼ばれる絶縁碍子の交換が行われた。これは真空容器内の最大300kVに印加される陰極部を片側で支え、しかも照射装置外周と絶縁を保つ重要な役割を果す物である。また、照射窓の冷却も重要であり、設置当初3分割の構造であったが、より均等に効率良く冷却が可能となるよう6分割に改良が行われた。これらの改良により管内放電が減少し、照射窓の寿命も伸び、安定した照射運転が可能となった。

また、昭和61年9月には照射運転を安全かつ円滑に遂行できるよう、運転時に監視および計測が必要なメーター類に出力端子を設け、多チャンネルの計測器とパーソナルコンピュータの組合せによるデータロガー装置を取り付けた。これによって、運転中操作席から離れることなく常時監視できるようになった。

現在では順調に稼動し、各種照射実験に有効に利用されている。主なものとしては、液状樹脂の硬化、プラスチックの表面架橋、膜の合成、半導体素子の表面照射効果等である。

自己遮蔽型の照射装置は専用の照射室を必要とせず手軽で簡単に利用できるため、今後も各種用途に幅広く利用されていくと思われる。

## 謝 辞

本低エネルギー電子加速器の線量測定にあたって協力を頂いた、外国人研修生Miss.Rosmina D.L.T.(インドネシア)、Miss.Noriah M.A.(UTN MALAYSIA)、および照射施設課 研究員 小嶋拓治氏に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) NBS Handbook 76 NCRP 26
- 2) Koch H.W., Motz J.W.: Rev. Mod. Phys., 31, pp.920-955(1959)
- 3) Chilton A.B.: Nuc. Sci. & Eng., 17, pp.419-424(1963)
- 4) International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRP Rep. 37. Bethesda, Md. (1984)
- 5) 菅野三郎,福井昭三:「環境公害学」, pp.30-34(1978)
- 6) 田中,三友,須永,松田,田村:JAERI-M 82-033 'CTA線量計マニュアル'(1982)
- 7) 須永,田中:「理工学における同位元素研究発表会要旨集」, p.141(1981)

Table 2 Calculation result for shielding.

	X線強度 (R/h)	遮蔽体 鉛	鉄	反射 回数	距離 (m)	全減衰量	漏洩X線 (mR/h)
1	1.320E+04	26	19	0	0.91	1/3.7801E+09	0.0035
2	1.320E+04	22	6	0	2.47	1/2.3234E+08	0.056
3	1.320E+04	26	17	0	0.70	1/1.8238E+09	0.0072
4	1.320E+04	32	24	0	0.69	1/6.8409E+11	0.0000
5	1.320E+04	26	30	0	0.46	1/2.9717E+09	0.0044
6	1.320E+04	24	38	0	0.89	1/4.4151E+09	0.0030
7	1.320E+04	26	15	0	0.61	1/1.1293E+09	0.0117
8	1.320E+04	26	12	0	0.56	1/7.0088E+08	0.0188
9	1.320E+04	27	14	0	2.05	1/2.7486E+10	0.0005
10	1.320E+04	23	8	0	2.03	1/4.5553E+08	0.0290
11	1.320E+04	13	33	1	2.58	1/1.7237E+09	0.0077
12	1.320E+04	30	15	0	1.26	1/1.5738E+11	0.0001
13	1.320E+04	25	50	0	2.45	1/2.7285E+11	0.0000
14	1.320E+04	12	22	1	2.58	1/2.4904E+08	0.0530
15	1.320E+04	16	5	1	1.33	1/3.5952E+08	0.0367
16	1.320E+04	24	17	0	1.00	1/6.5537E+08	0.0201
17	1.320E+04	11	6	2	1.83	1/1.1382E+10	0.0012
18	1.320E+04	18	12	1	1.78	1/7.1169E+09	0.0019
19	1.320E+04	14	9	1	3.42	1/6.5229E+08	0.0202
20	1.320E+04	16	6	1	1.79	1/7.1932E+08	0.0184

遮蔽材	$\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\mu \rho$
鉛	0.8	11.3	9.04
鉄	0.136	7.8	1.0608

## X線遮蔽計算式

$$I = I_0 \times (1/D)^2 \times (1/1000)^n \times B \times \exp(-\mu \rho X)$$

I: 減衰後のX線量(mR/h)

I<sub>0</sub>: 線源から1m離れた位置でのX線量(mR/h)

D: 線源からの距離(m)

n: 反射回数

B: ビルドアップ係数(1 +  $\mu \rho X$ ) $\mu$ : 質量吸収係数(cm<sup>2</sup>/g) $\rho$ : 密度(g/cm<sup>3</sup>)

X: 遮蔽体厚み(cm)

以上 日新ハイボルテージ(株)提出データ

Table 3 Beam current required for each nominal acceleration voltage.

低エネルギー電子加速器 線量データ

1990/3/1 データによる

	150 (kV)	200 (kV)	250 (kV)	300 (kV)
30 (kGy)	21.4 mA	9.6 mA	8.6 mA	9.7 mA
50 (kGy)	35.7 mA	16.1 mA	14.4 mA	16.1 mA
70 (kGy)	49.9 mA	22.5 mA	20.1 mA	22.6 mA
100 (kGy)	71.3 mA	32.1 mA	28.7 mA	32.3 mA

※ コンベア速度を一定にした時の値 (10m/min)

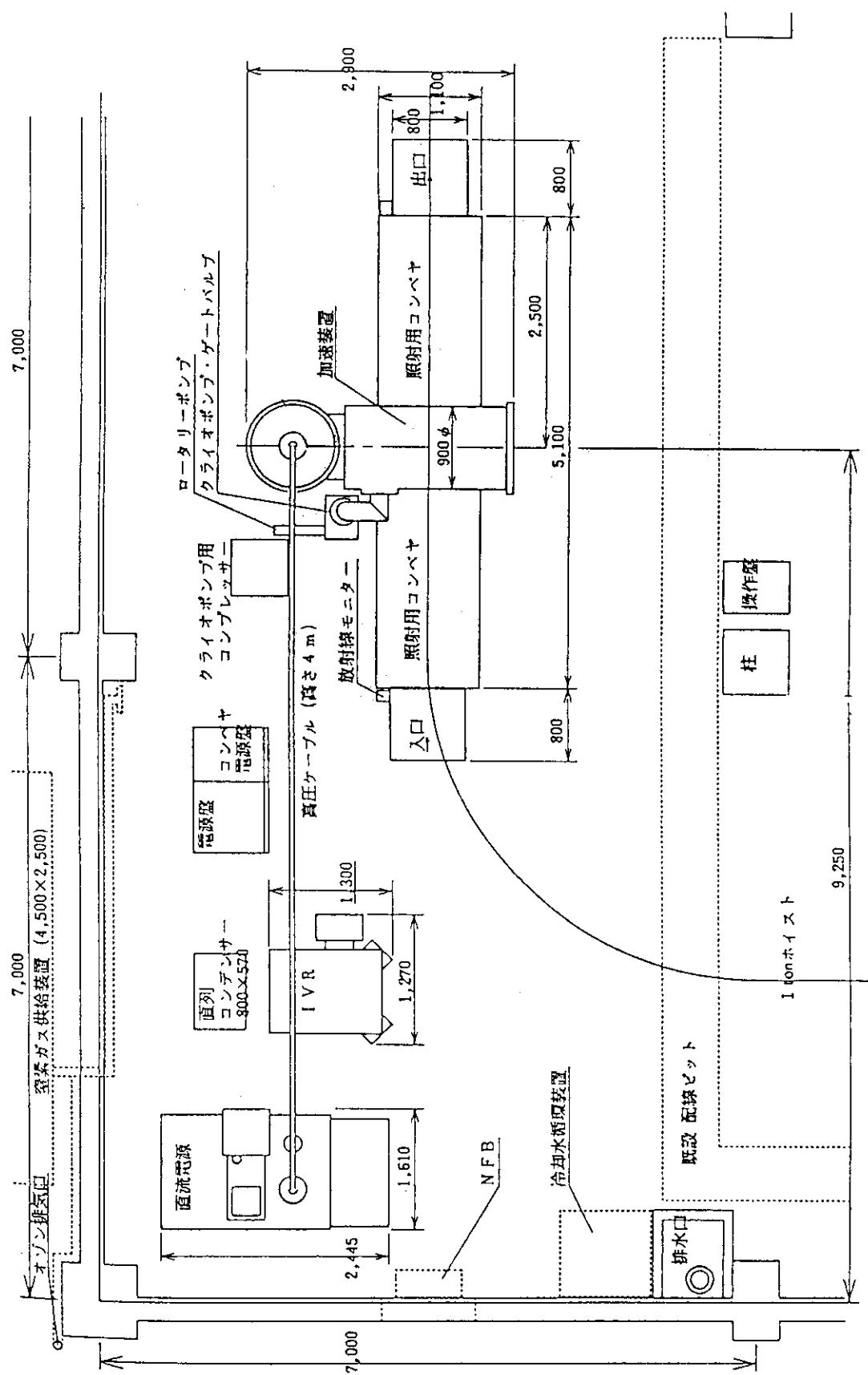


Fig. 1 The arrangement of the components in the facility.

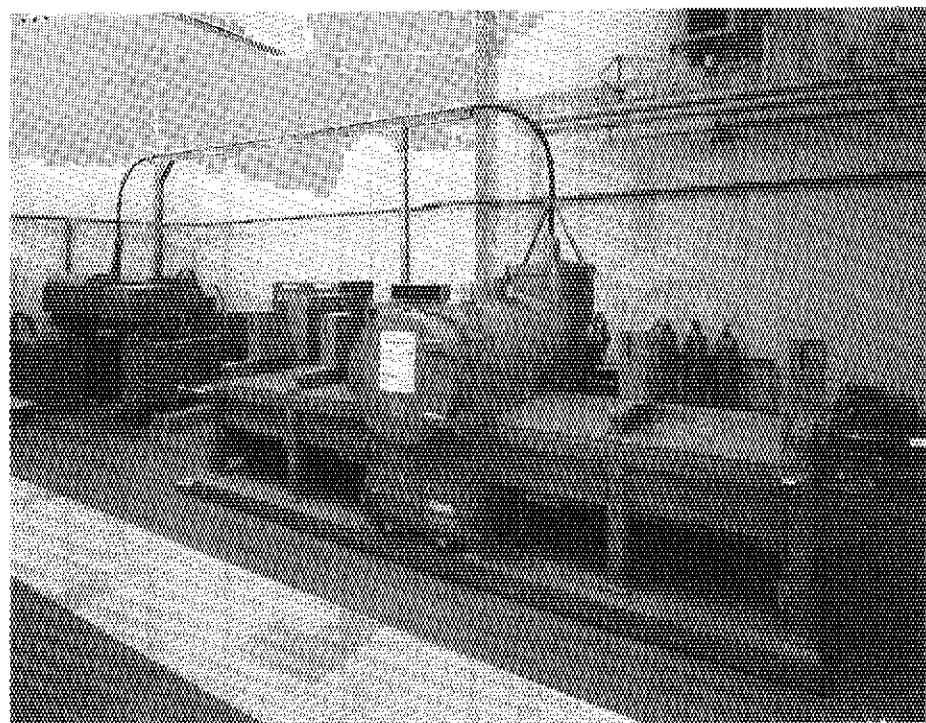


Fig. 2 General view of the 3rd accelerator.

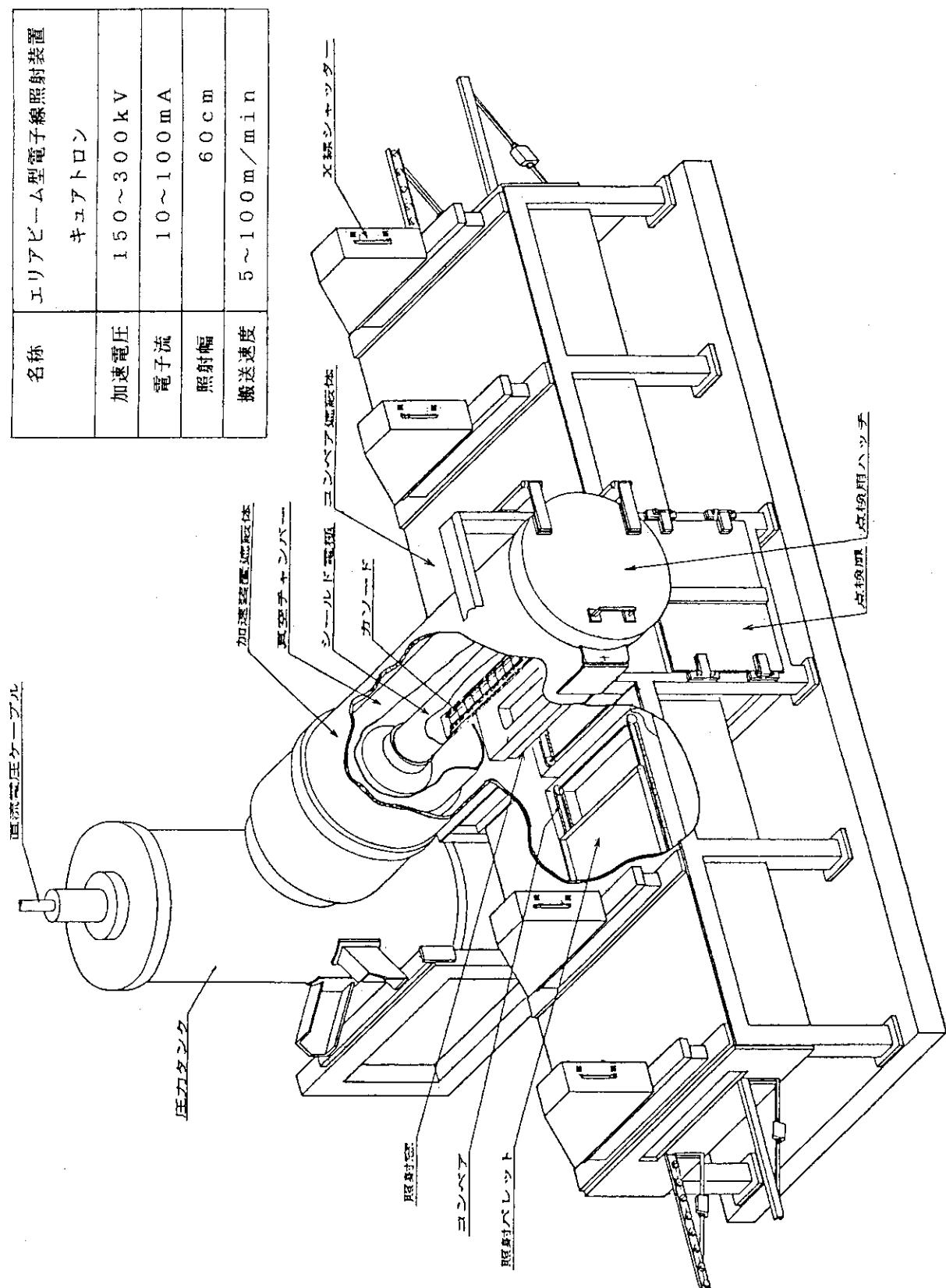


Fig. 3 General scheme of the irradiation system.

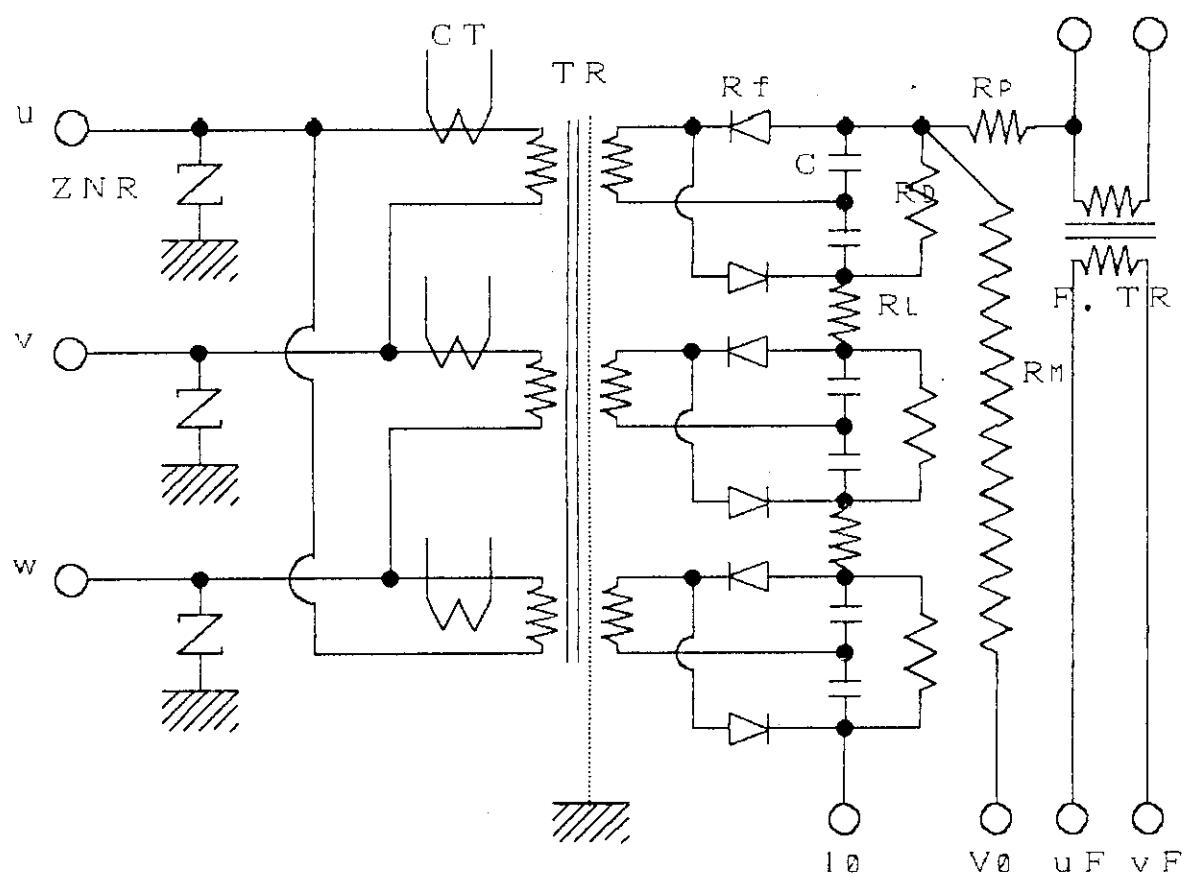


Fig. 4 High voltage generation circuit.

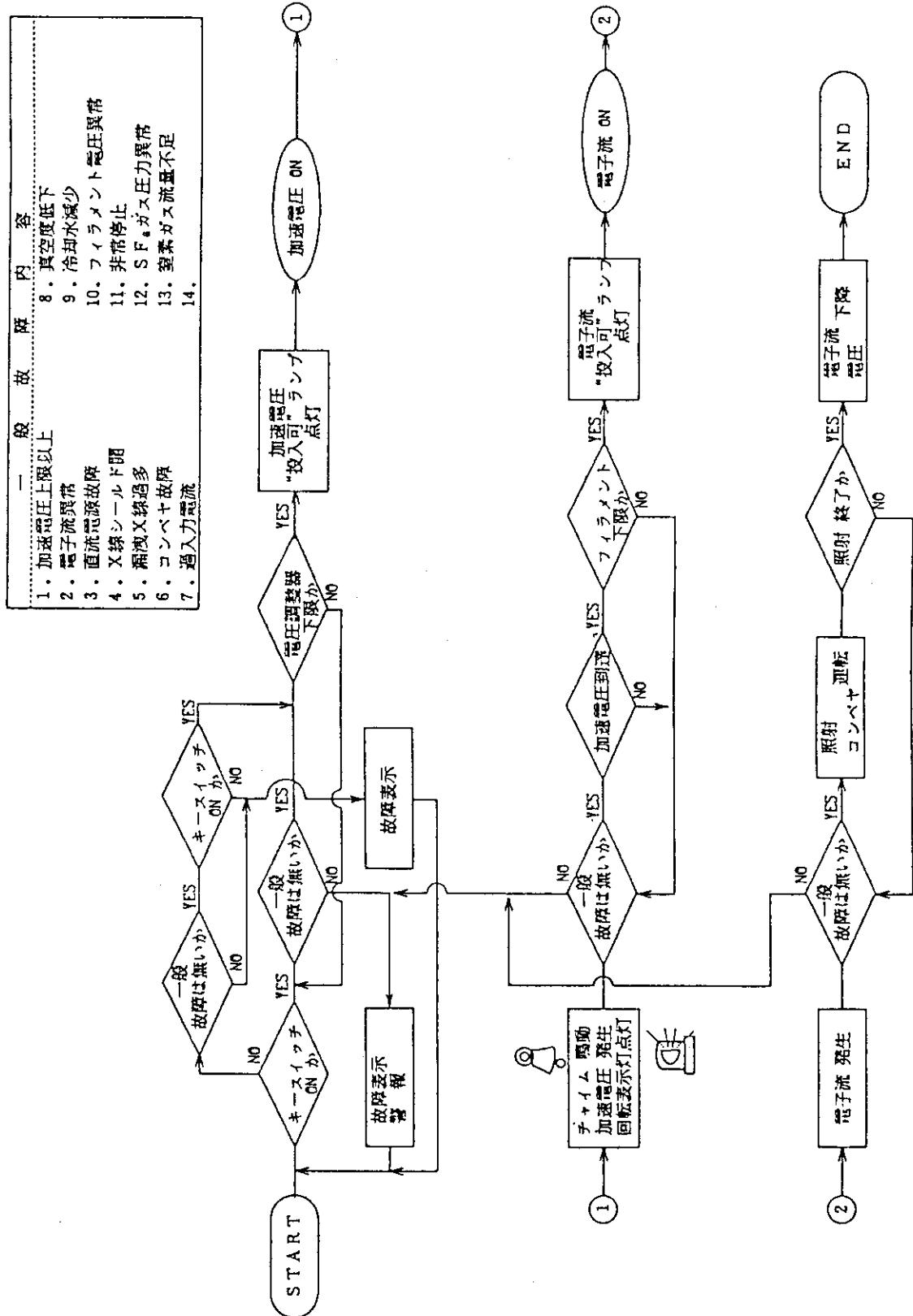


Fig. 5 The operation flow chart for the irradiation system.

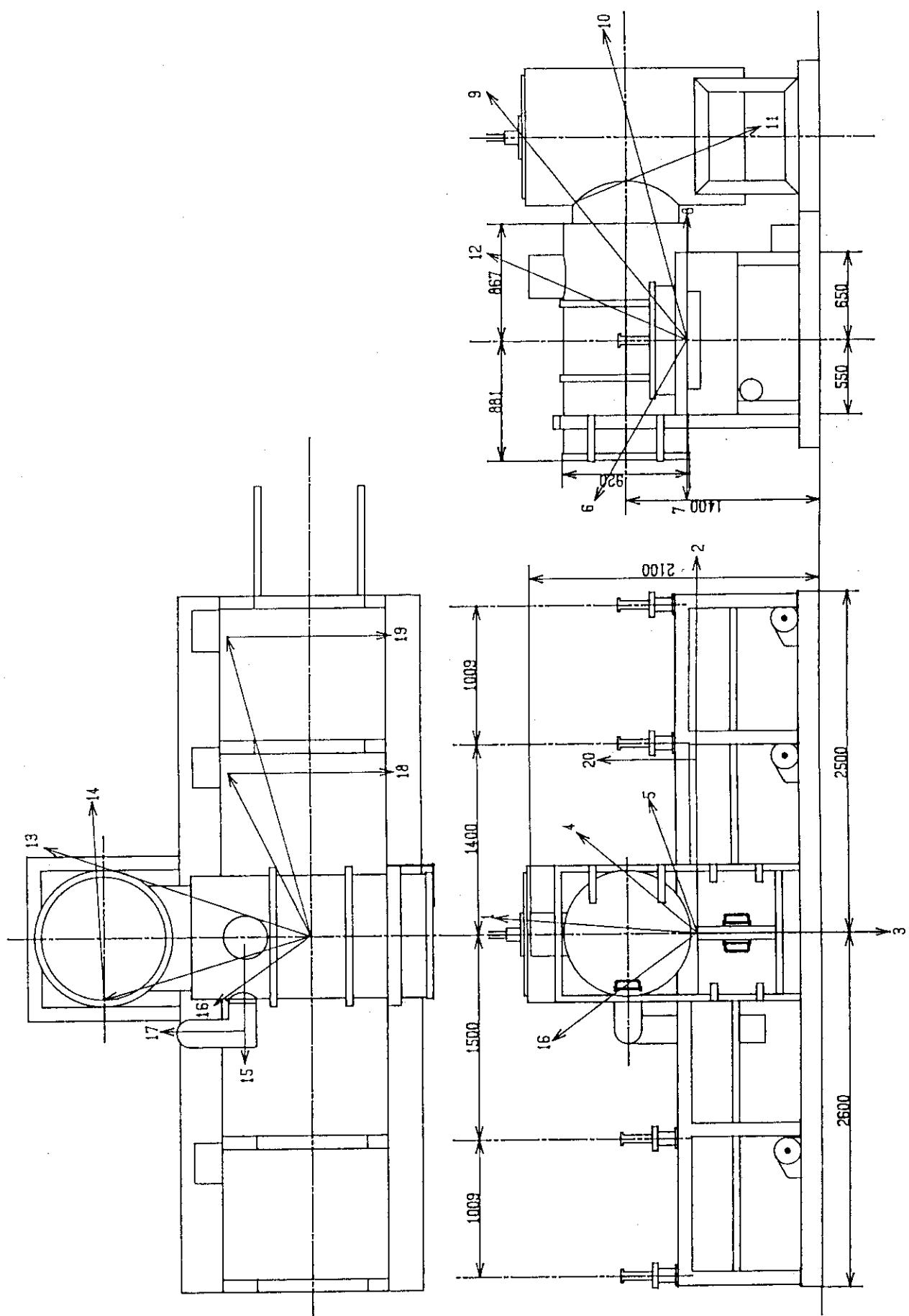


Fig. 6 Installation plan for the third accelerator.

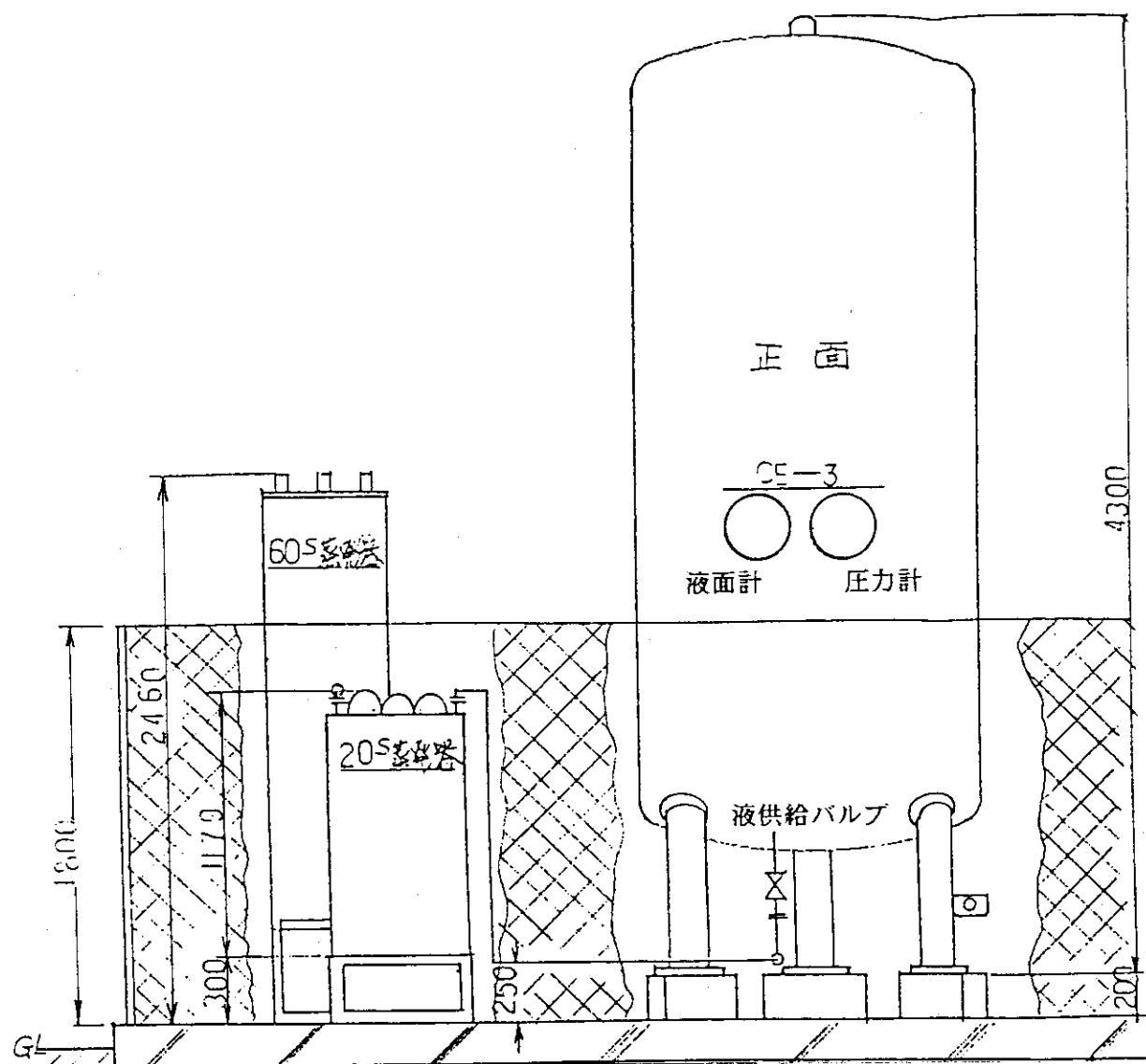


Fig. 7 The nitrogen gas supplying system.

- ① 主幹
- ② 直流電源
- ③ フィラメント  
引き出し電源
- ④ 制御電源
- ⑤ 真空用主幹

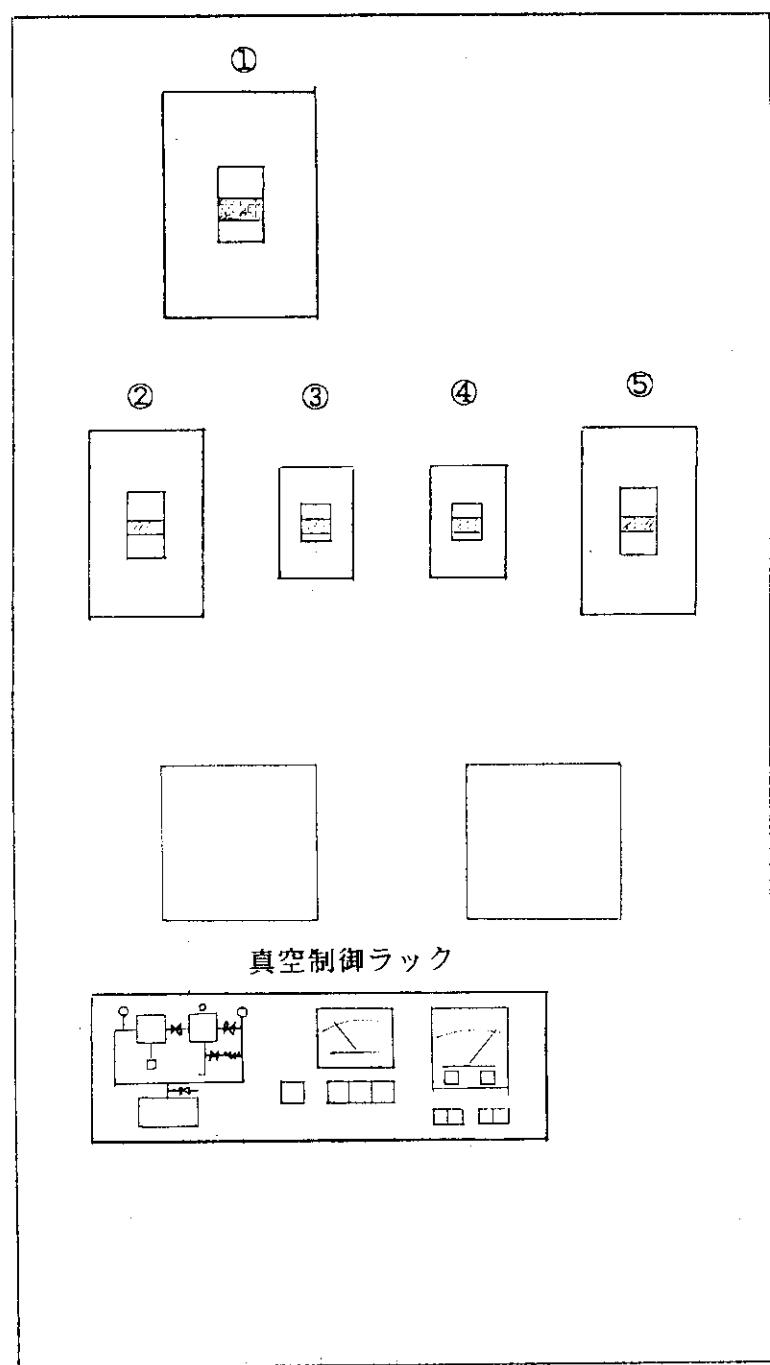


Fig. 8 Inside view of EBC control board.

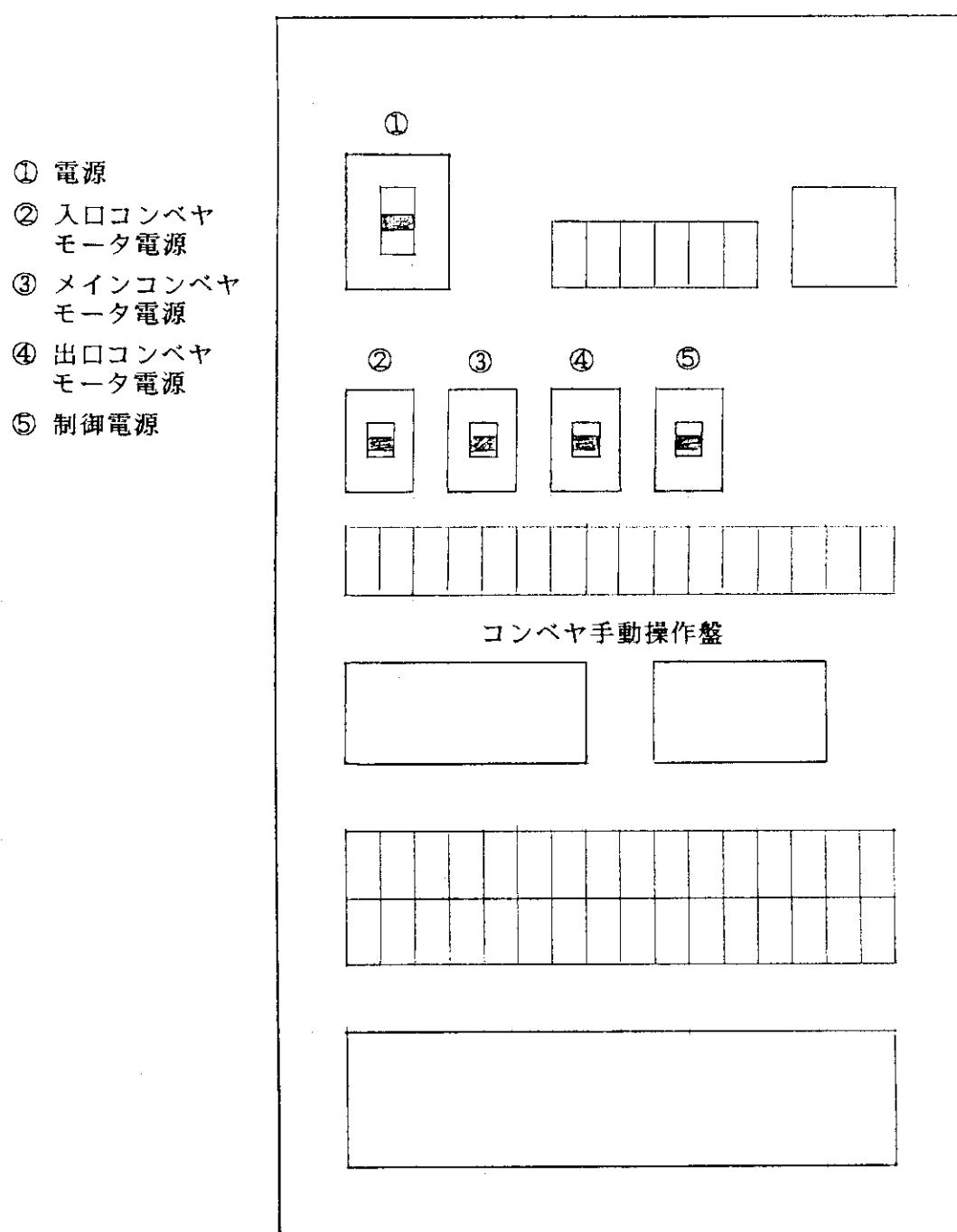


Fig. 9 The control box for the irradiation conveyor.

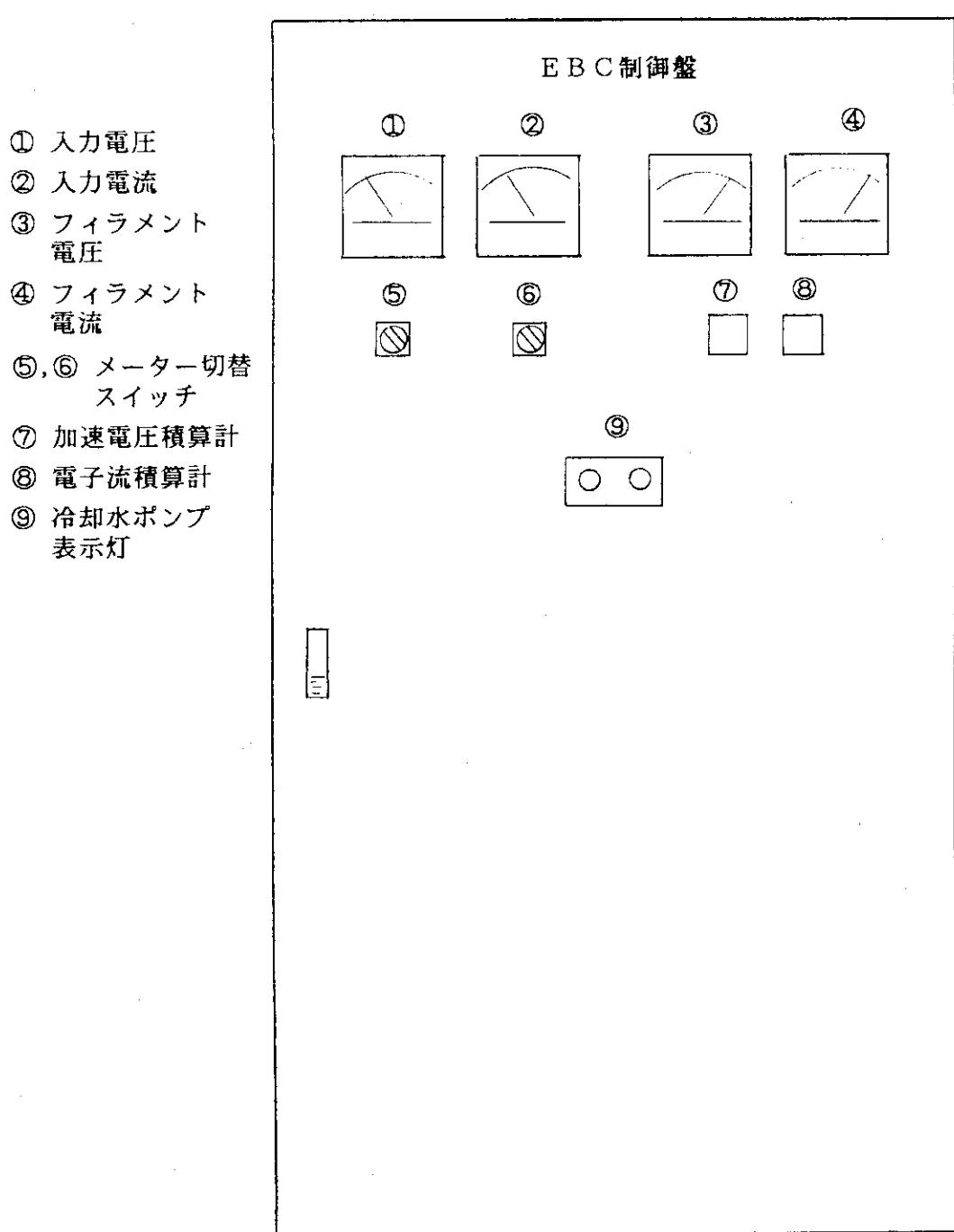


Fig. 10 EBC control board.

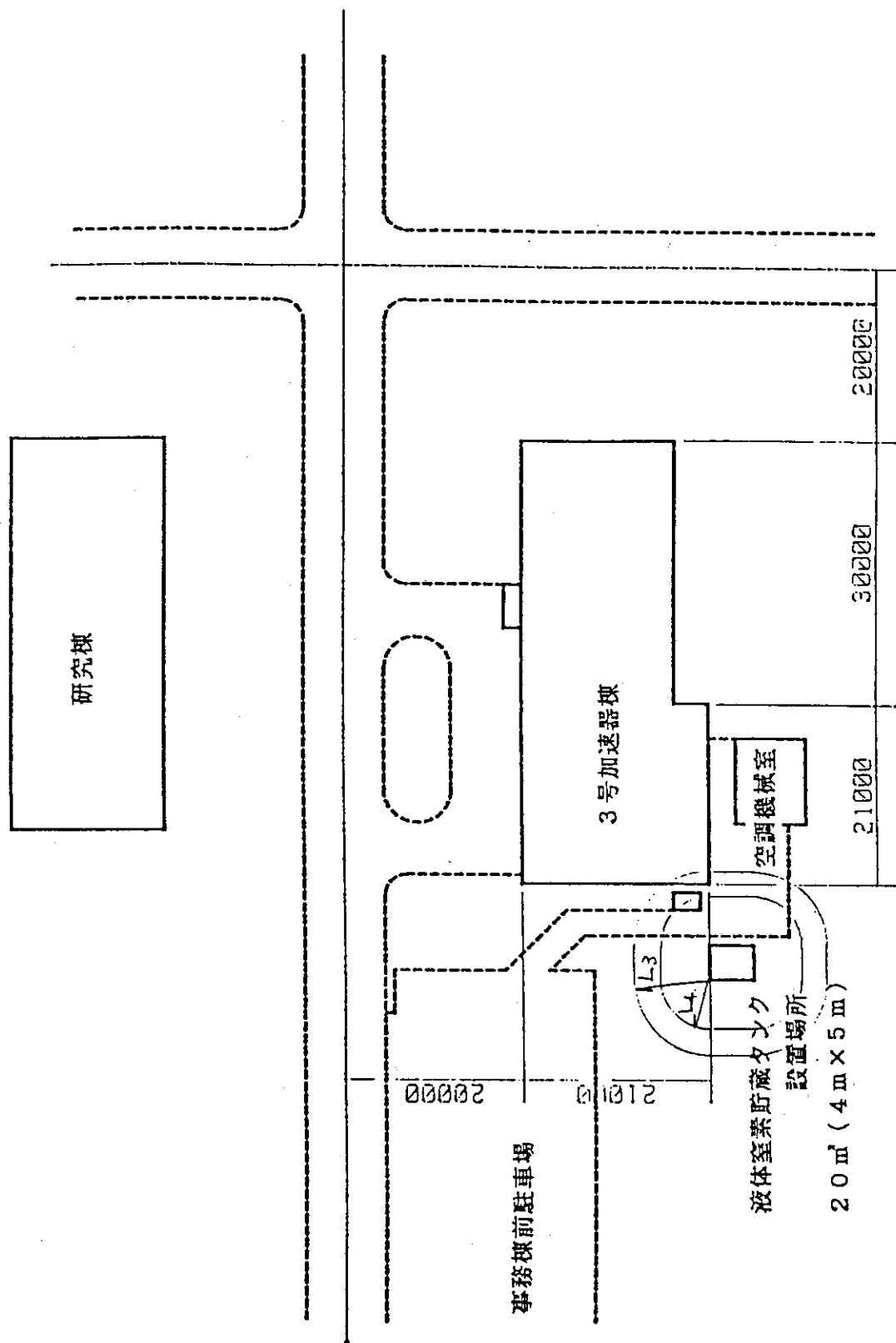


Fig. 11 Layout of the liquid nitrogen tank.

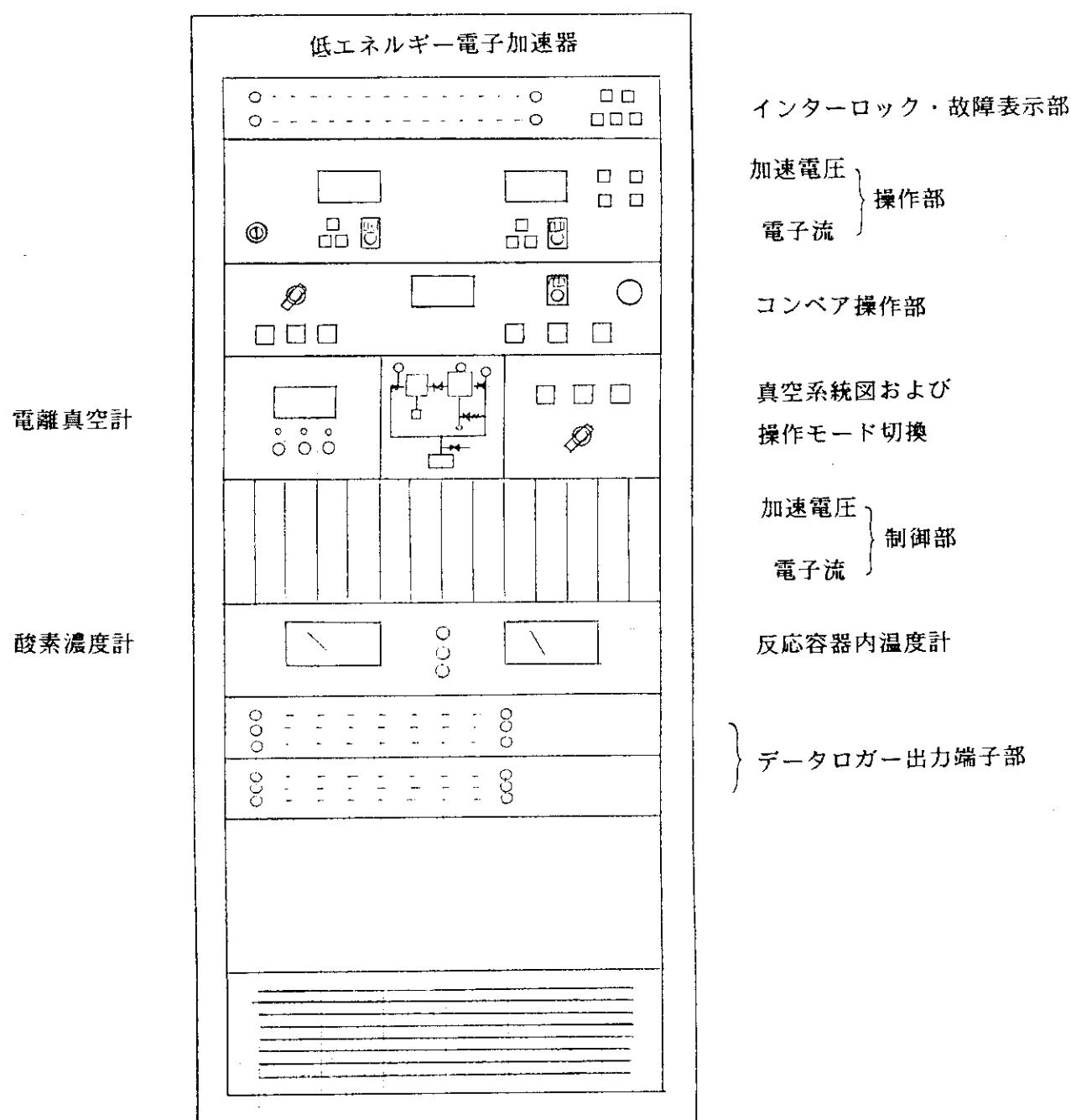


Fig. 12 The control console for the EBC.

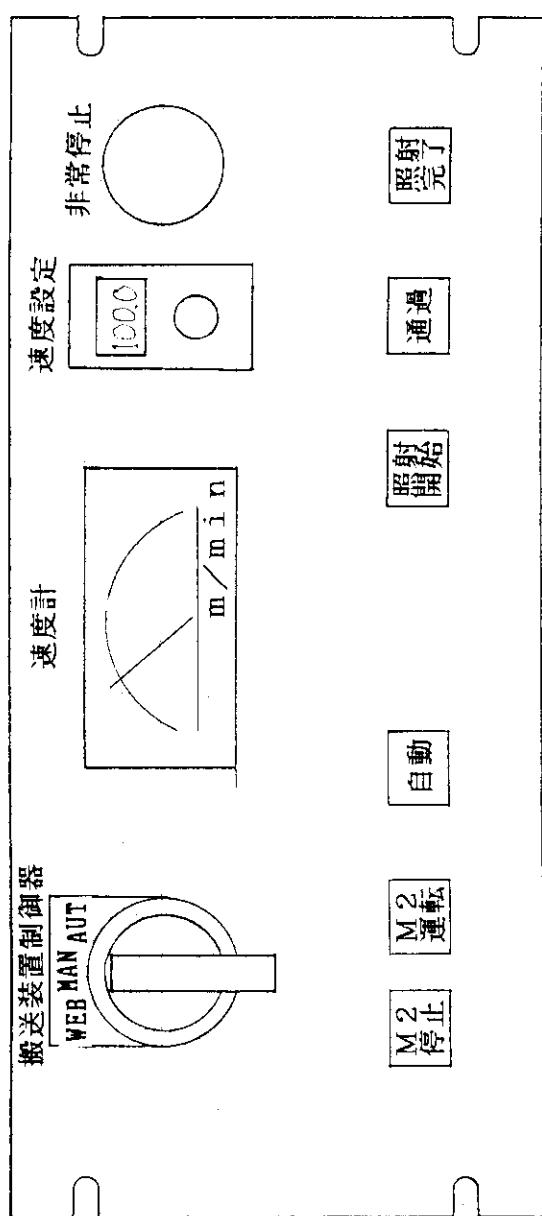
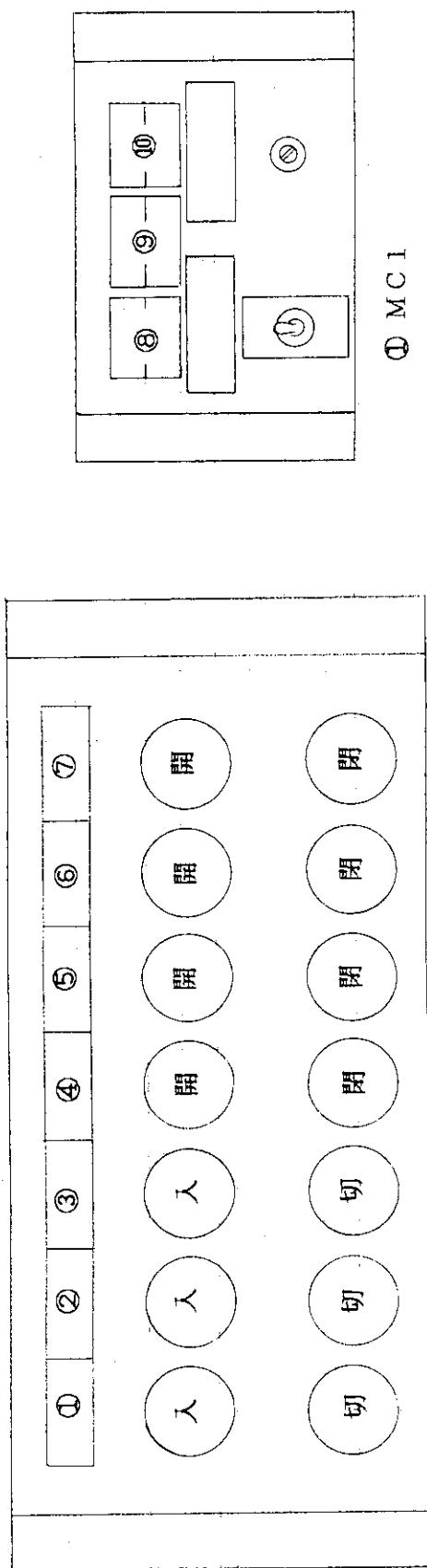


Fig. 13 Operation console for the conveyor.



- ① M C 1
- ② M C 2
- ③ M C 3
- ④ シャッターA
- ⑤ シャッターB
- ⑥ シャッターC
- ⑦ シャッターD
- ⑧ パレット挿入完了表示灯
- ⑨ パレット通過表示灯
- ⑩ パレット到着表示灯

Fig. 14 Manual operation panel of the conveyor.

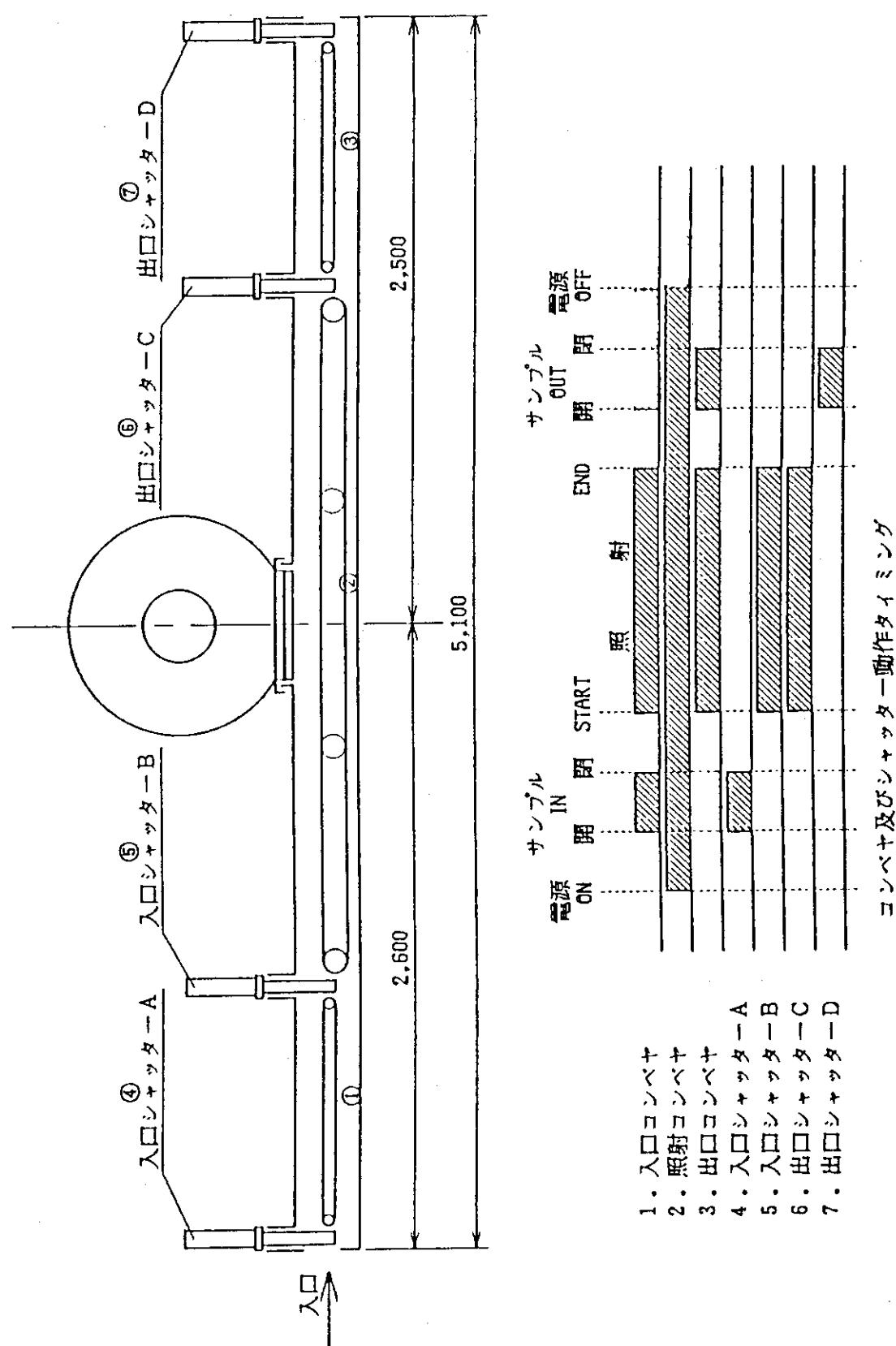


Fig. 15 The configuration of the conveyor line.

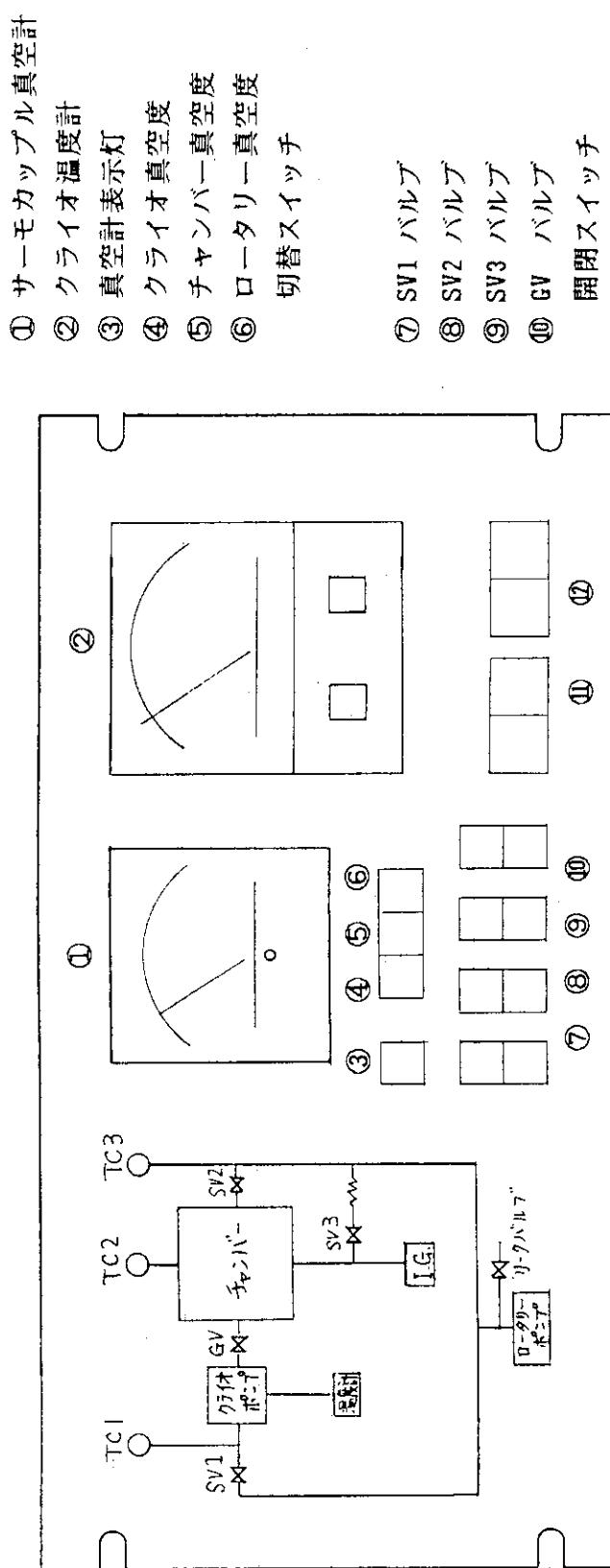


Fig. 16 Control panel of the vacuum system.

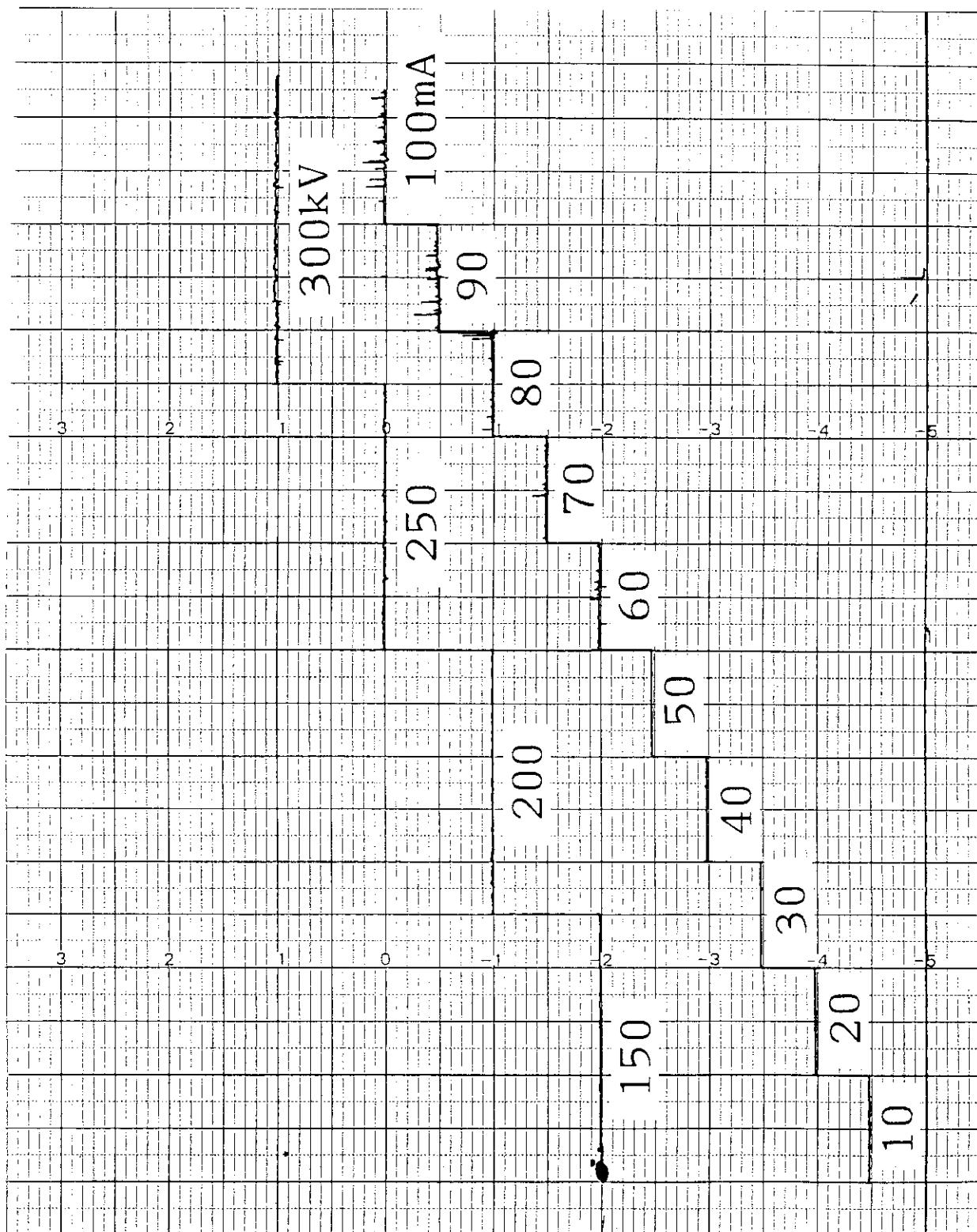


Fig. 17 Test operation for the beam current variation.

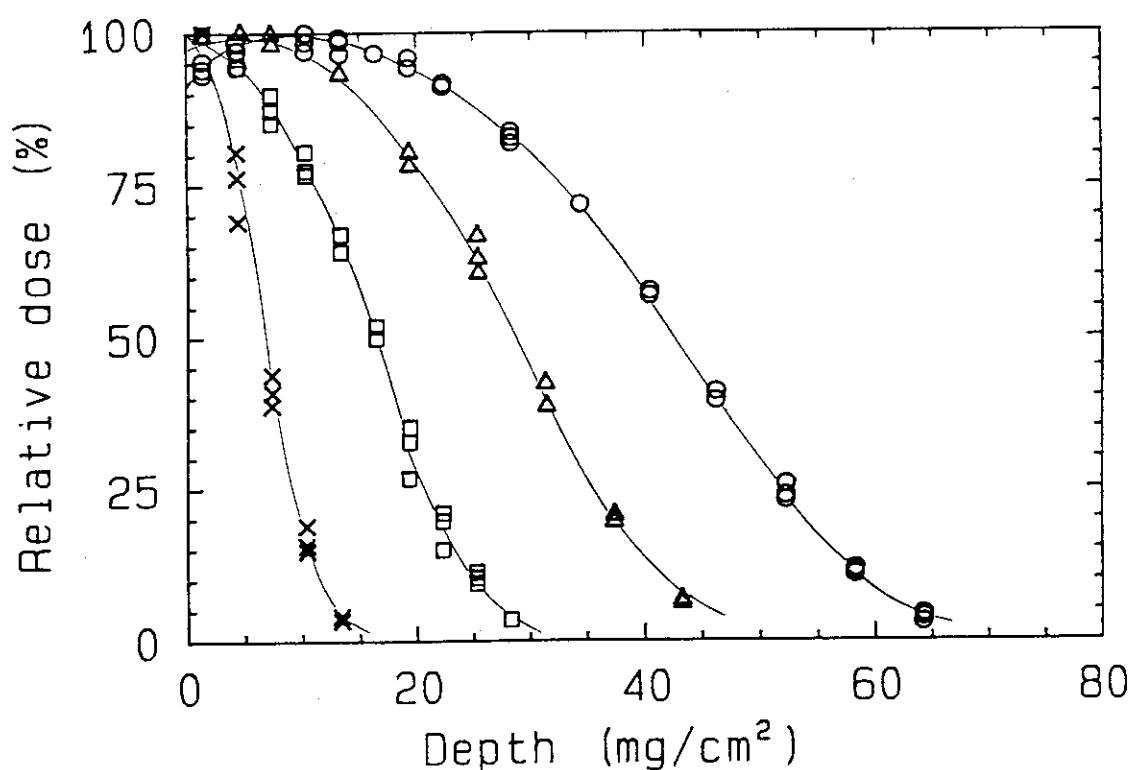


Fig. 18 Depth dose curve obtained by various plastic dosimeter.

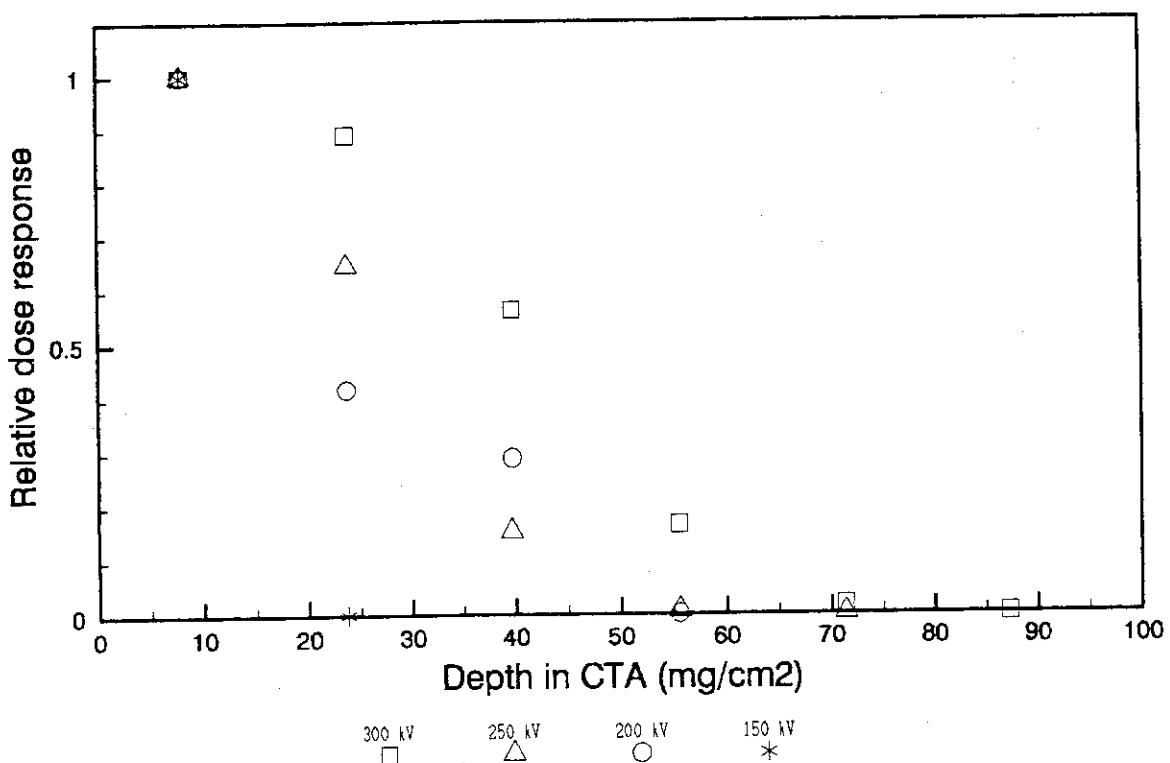


Fig. 19 Depth dose curve obtained by the CTA film dosimeter.

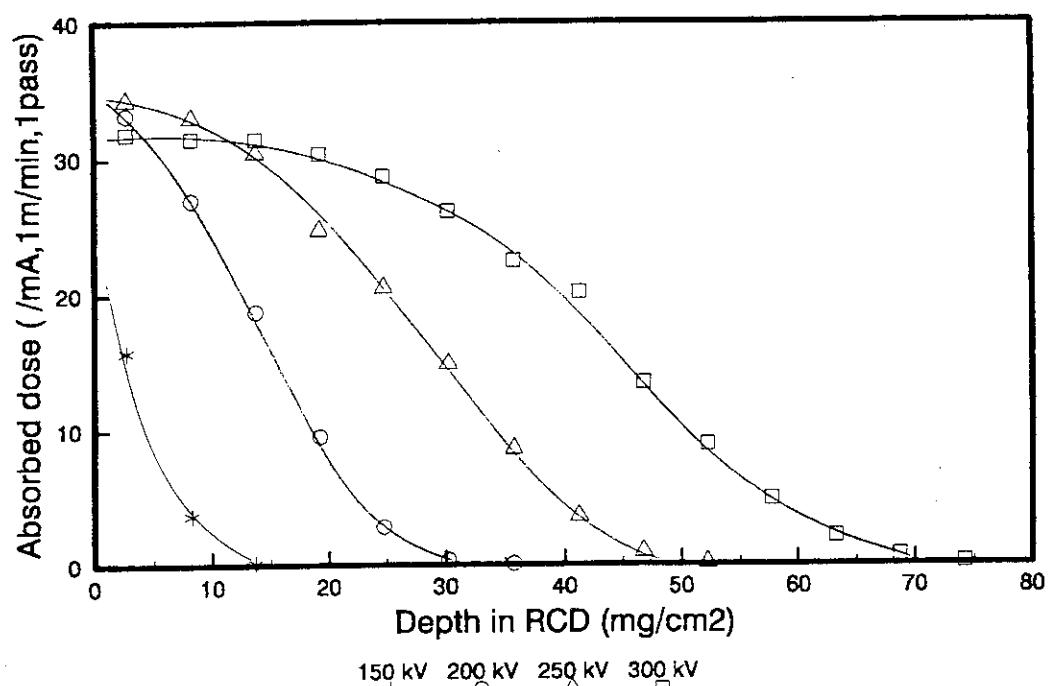


Fig. 20 Depth dose curve obtained by the RCD dosimeter.

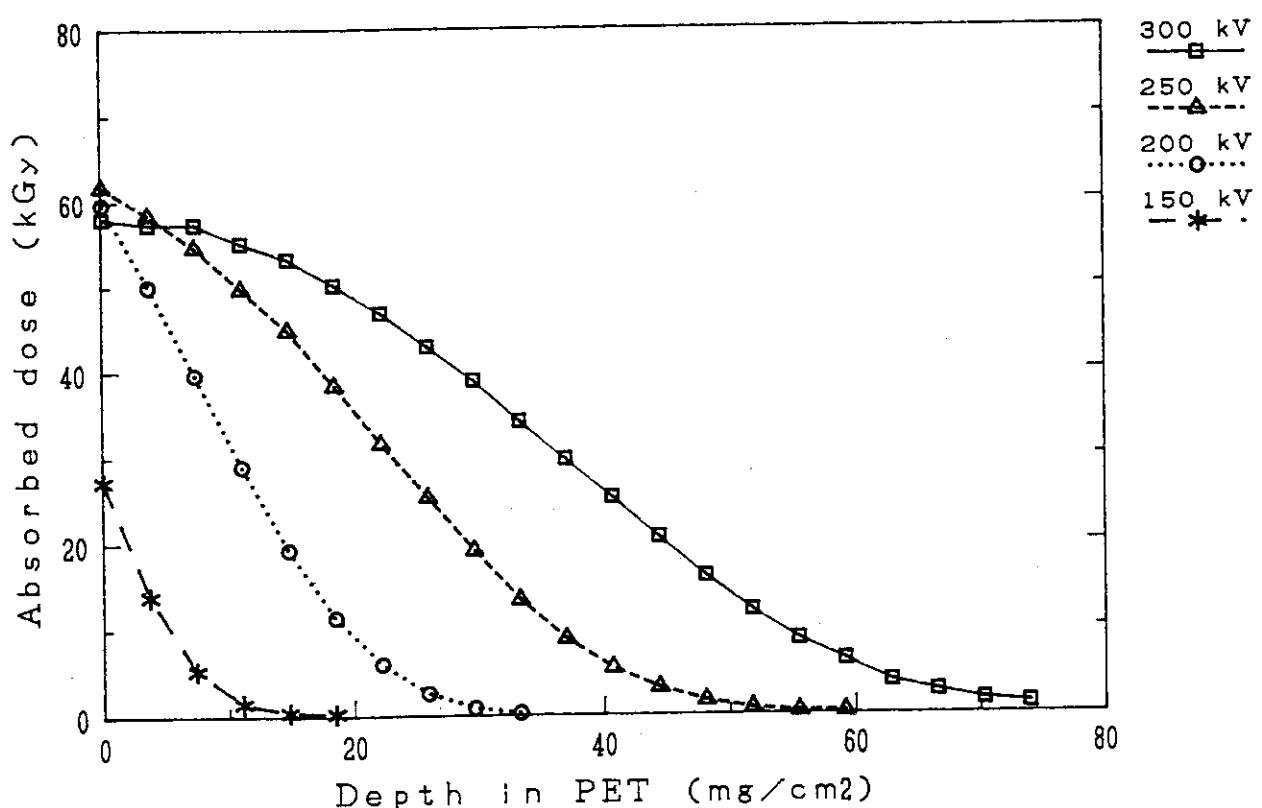


Fig. 21 Depth dose curve obtained by the PET.

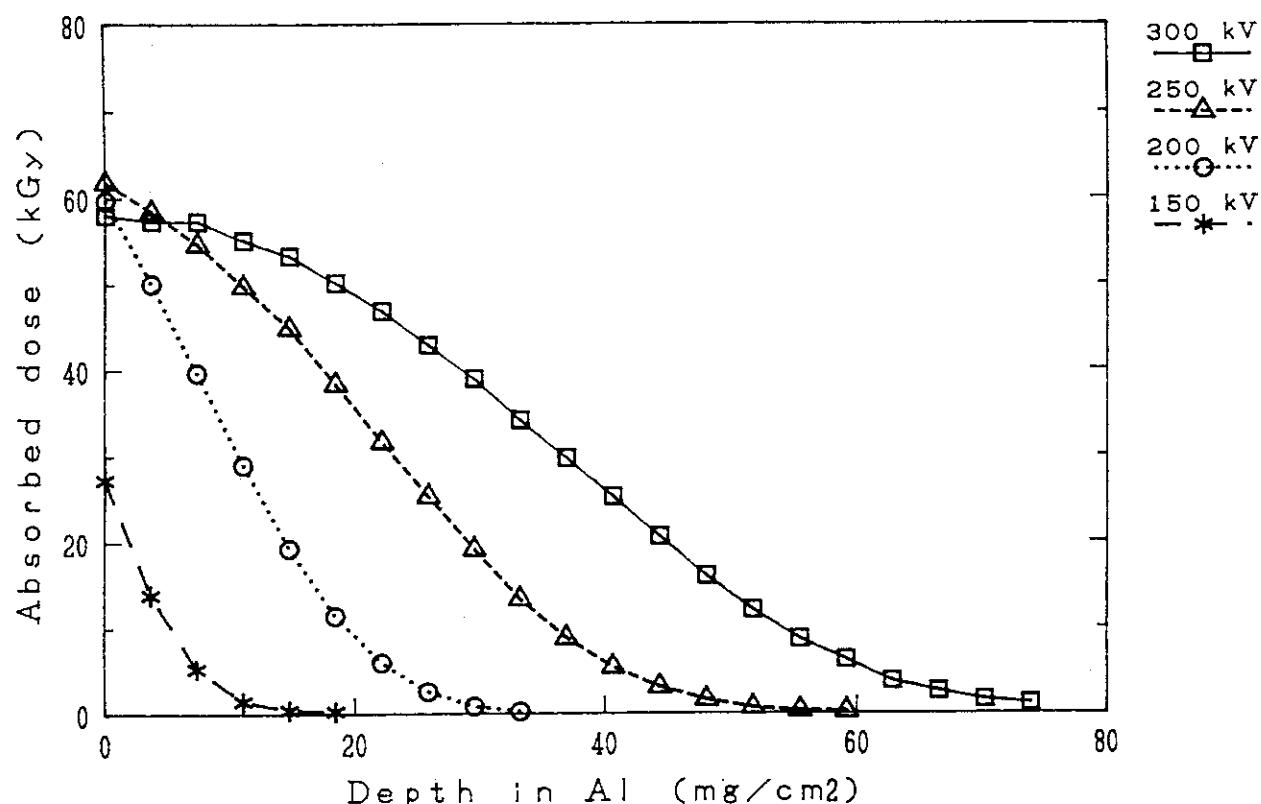


Fig. 22 Depth dose distribution in the layer of Aluminum.

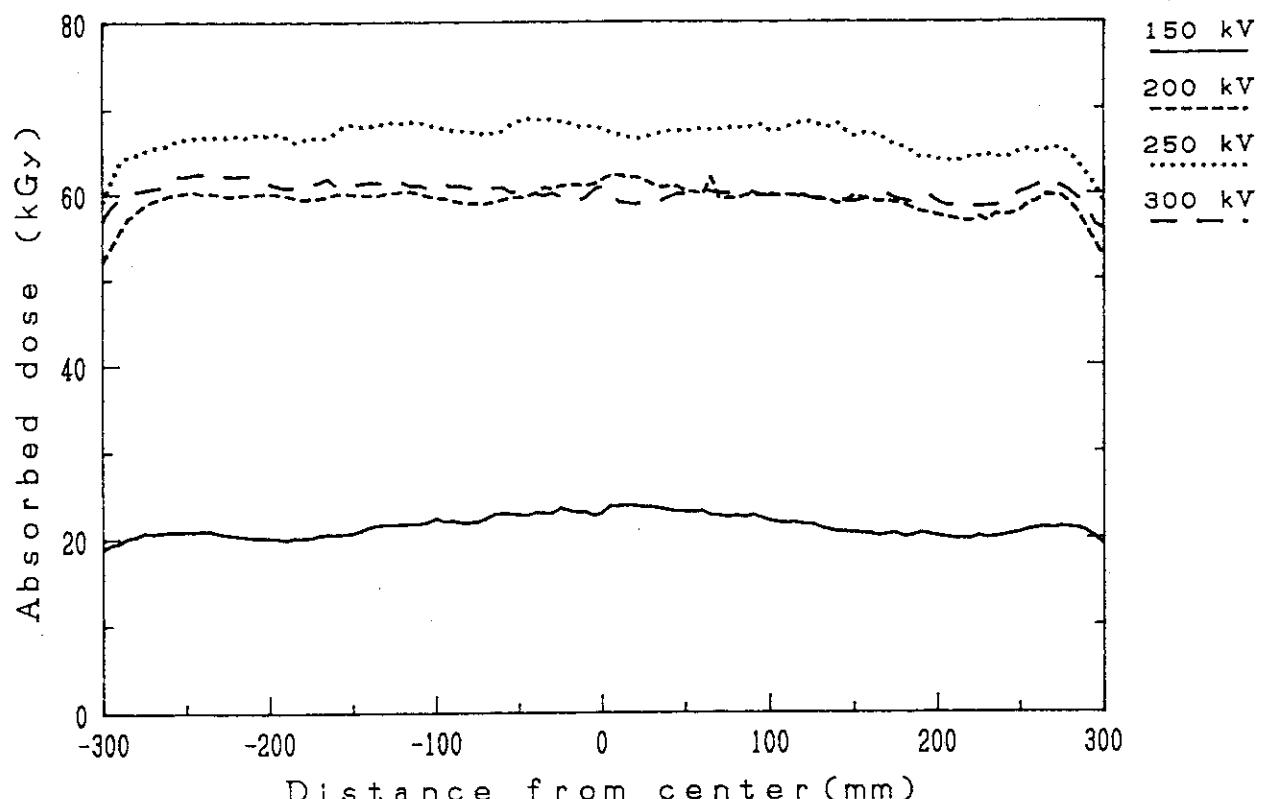


Fig. 23 Dose distribution in the irradiation area.

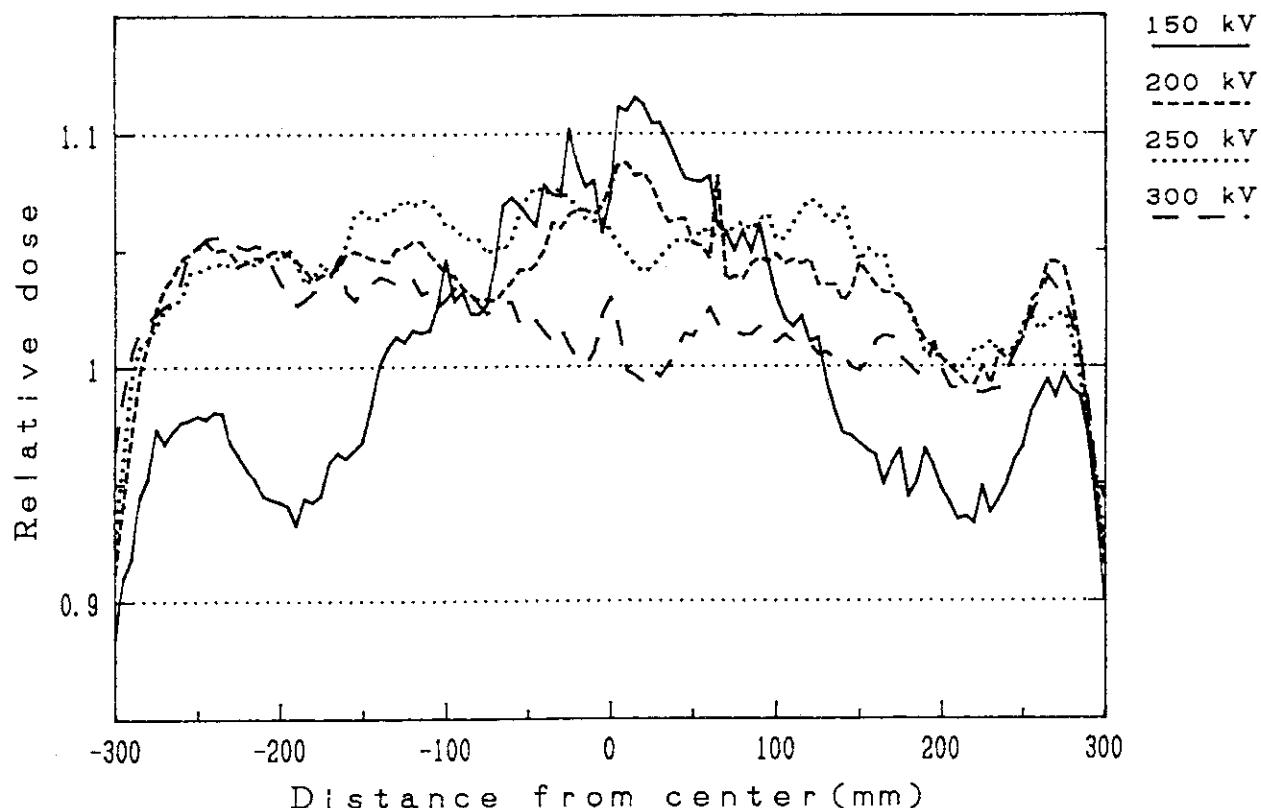


Fig. 24 Homogeneity of the dose distribution.

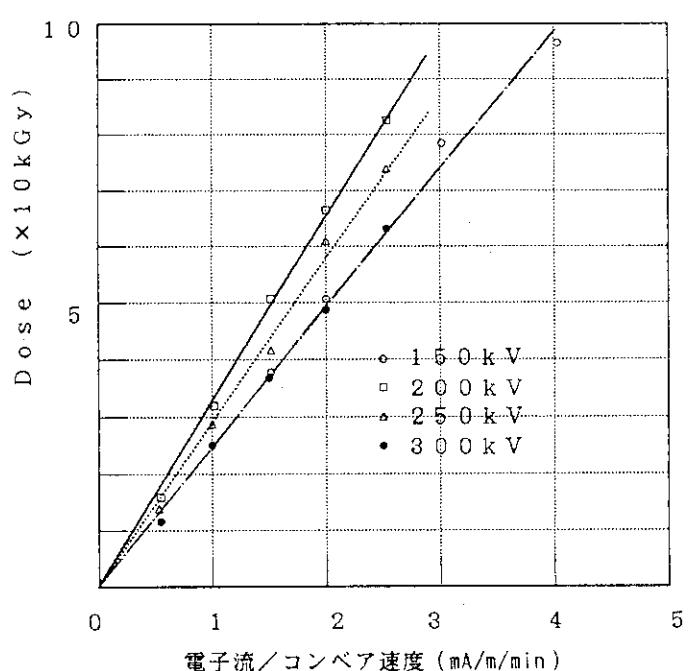


Fig. 25 Relation between the beam current density and the surface dose.

## 付 錄

別紙 1

## 低エネルギー電子加速器 日常点検表

照射施設課

点検期日 平成 年 月 日 ( )

課長	係長	担当員	担当者

運転開始前… 加速電圧積算時間 h, 電子流積算時間 h

運転終了後… 加速電圧積算時間 h, 電子流積算時間 h, 照射件数 件

項目	確認事項	基 準	判 定	開始前点検(測定値)	終了時の点検	判 定
加速器操作盤 真空系統 真空計 インターロック表示	バルブ開閉表示 真空度 表示状態	定常状態 $<10^{-4}$ Pa 正常表示	良・否 良・否 良・否	$\times 10^{-}$ Pa	$\times 10^{-}$ Pa	良・否
加速器本体 放射線モニター 圧力容器ガス圧 酸素濃度計 クライオポンプ コンベア	動作状態 ガス圧力 動作状態 動作状況 指示温度 異常表示	$<0.1$ mR/h 設定範囲内 LED点滅 異音等 $<18$ K 表示消灯	良・否 良・否 良・否 良・否 良・否 良・否	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	良・否
I VR 油温 油量	温度 油量	常温程度 基準量	良・否 良・否	°C	°C	良・否
直流電源 温度	温度	常温程度	良・否	°C	°C	良・否
冷却水設備 冷却水タンク 〃 ポンプ 〃 流量 〃 圧力 〃〃 〃 流量	冷却水量 電流値 循環冷却水流量 PG 1 水圧計 PG 2 〃 冷却水流量	下限以上 設定範囲内 設定範囲内 基準範囲内 〃 設定範囲内	良・否 良・否 良・否 良・否 良・否 良・否	L/min $kg/cm^2$ $kg/cm^2$ L/min		良・否
コンプレッサー 圧力計	圧力	設定範囲内	良・否			良・否
液体窒素設備 液体窒素タンク 液体窒素タンク 減圧弁	液体窒素残量 タンク圧力 出口圧力	使用範囲内 使用範囲内 $5 kg/cm^2$	良・否 良・否 良・否	$m^3$ $kg/cm^2$ $kg/cm^2$	$m^3$ $kg/cm^2$	良・否
窒素ガス流量計	窒素ガス流量	$50 \pm 10 m^3/h$	良・否	$m^3/h$		良・否

特記事項（異常があった場合等の内容）

## 低エネルギー電子加速器 補助業務報告書

照射施設課

期 日 平成 年 月 日 ( )

課長	係長	担当員	担当者

項目	内容	備考
1. 低エネルギー電子加速器 本体関係		
2. 付帯設備関係		
3. その他		

## 低エネルギー電子加速器 運転記録

平成元年 4月25日 (Tuesday)

担当者

時刻	操作	加速電圧 (kV)	電子流 (mA)	真空度 (Torr)	入力電圧 (V)	入力電流 (A)	フイードメント (V)	酸素濃度 (ppm)	反応容器 (℃)	コソベヤ (m/min)	備考
14:06	Acc. ON		1.5							19.4	川手氏
14:10	*	251.0	.2	1.4	262	2.70	50	.02	82	19.2	0.00
14:14	Beam ON	301.0	.4	3.0	314	4.10	36	2.88	46	19.1	13.10
14:16	*	300.0	30.2	5.5	340	18.00	85	5.10	37	20.7	13.30
14:20	Beam OFF	<<< Beam time = 5 min Conveyor pass = 1 >>									
14:21	Acc. OFF	<<< Acc. time = 15 min >>>								24.9	朱氏
14:25	Acc. ON		1.8								
14:34		251.0	.4	1.6	263	2.70	50	.02	17	20.9	0.00
14:37	Beam ON	250.0	30.4	9.2	289	17.30	86	4.92	10	27.6	86.90
14:44		251.0	30.0	7.3	289	17.20	90	5.02	12	33.8	99.20
14:50	Beam OFF	<<< Beam time = 12 min Conveyor pass = 6 >>>									
14:51	Acc. OFF	<<< Acc. time = 26 min >>>									

時刻	排気量 (L/min)	電子流 時間計(Hr)	タンク圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	直達電源 油温(℃)	V <sub>R</sub> 油温(℃)	循環水圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	冷却水 流量(L/min)	空氣ガス量 (Nm <sup>3</sup> /Hr)	保長	係長	担当
2:00	1453.2	1589.6	1.6	21.5	17.	PG-1	5.4	41.5	50		
3:20	1453.8	1589.9	1.6	22.	18.	PG-2	8	水道水	5.6		

日本原子力研究所 高崎研究所

## 窒素ガス供給設備の取扱い

本窒素ガス供給設備（以下、CE）は、照射装置の運転に必要な窒素ガスを供給するために設置されており、液化窒素を蒸発器により気化させて供給するものである。タンクの容積は約2,500 L、蒸発器能力は80 Nm<sup>3</sup>/hである。CEはフェンスで区画されており、その区域内は火気厳禁である。

CEの保守作業は、照射装置にガスを供給するための液供給バルブ（図7に示す）の開・閉操作、および別紙4“CE日常巡回点検記録表”（以下、点検表）に示す項目の点検である。点検は原則として始業、使用中、終業の3回とし、結果を点検表に記帳する。操作バルブ、安全弁、継手部の緩みによるガス洩れのチェックは備え付けの石鹼水を用いて行う。締め付け部分の緩みによるガス洩れを発見したときは、速やかに措置を講じるとともに点検表に記録すること。その他の異常が発見された場合には、速やかに責任者に連絡すること。なお、CE内に枯葉などが堆積し著しく汚れた場合には清掃を行うこと。また、CE内に不用な物は持込まないこと。

以下に手順を説明する。

### 週のはじめの作業

1. 点検表の項目に従い点検を行う。
2. CEの液供給バルブ（V3）を開ける。  
(液の流れる音を確認しながら徐々に開ける)
3. V3の『開・閉』表示板を『開』にする。
4. フェンス扉は確実に閉める。

### 日常の作業

1. 点検表の項目に従い点検を行う。
2. フェンス扉は確実に閉める。

### 週末の作業

1. 点検表の項目に従い点検を行う。
2. CEのV3を閉じる。
3. V3の『開・閉』表示板を『閉』にする。
4. 配管内のガス圧を1 kg/cm<sup>2</sup>程度に下げる。
5. フェンス扉は確実に閉める。

### 地震時の措置（点検）

震度4以上の地震が発生した場合、速やかに点検を行い、異常の有無を点検表に記帳するとともに、責任者に連絡する。

- 以上 -

## C E 日 常 巡 回 点 檢 記 錄 表

平成 年 月 日 時 刻 し：異常なし ×：不良（状況・処置を備考欄に記入）

月 ノ 日	時 刻	貯 槽 圧 力 kg / cm <sup>2</sup>	液 面 m <sup>3</sup>	蒸発器		電 気	周 囲 の 状 況	減 圧 弁	その 他		備 考
				外 ガス 洩 れ	安全 弁 等 元 弁				電 源 ボ ック ス	銀 鏡	
(月)											
(火)											
(水)											
(木)											
(金)											

## 記録計およびデータロガーの使用方法

操作盤脇に EBC の運転状態を監視するための記録計およびデータロガーが設置されている。また、これらは無停電電源により短時間の停電に対して保持される。

記録計およびデータロガーの取扱は以下の通りである。なお、詳細の機能については各機器の取扱説明書を参照すること。

### 1. 机上の無停電電源のスイッチを ON する。

これで、記録計およびデータロガーのプリンタの電源が ON となる。

### 2. 記録計のペンを記録状態にする。

ペンがセットされていない場合は取付ける。

### 3. コンピュータ下のデータ集録装置のスイッチを ON する。

### 4. コンピュータ脇のテーブルタップのスイッチを ON する。

これで、コンピュータ本体およびディスクドライブ装置等の電源が ON となる。

### 5. "EBC \_ LOGGER" と書かれているプログラムディスクをディスクドライブに挿入する。

### 6. プログラムは自動的に起動し、年月日および時刻の入力待ちとなる。

入力の方法は次の例の通りである。

例 10 Apr 1989 と表示される。これを変更する場合は変更を要する部分にカーソルを移動し、変更を行った後 [EXECUTE] キーを押す。

なお、月の入力は始めの 1 文字は大文字、以下は小文字で入力すること。

続いて時刻を入力する。

例 10:30:00 と表示される。これを変更する場合も変更を要する部分にカーソルを移動し、変更を行った後 [EXECUTE] キーを押す。

年月日および時刻の入力が終了すると、自動的にデータロガー・プログラムを起動し実行する。

\*注 ここで、記録計、データ集録装置、プリンタ等の電源が ON されていないと、データロガーの動作は中断されてしまう。

### 7. ディスクドライブからプログラムディスクを外す。

8. デタロガープログラムが起動すると、" INTERVAL TIME ?" と問い合わせてくるので定刻記録を行う時間（分）を入力する。ただし、無入力状態では10分にセットされているため、変更する必要が無ければ省略しても良い。一定時間後次の動作を開始する。

(※ デタロガープログラムが停止している場合は" R U N " キーを押し起動する)

9. 冷却水量等の記入された低エネルギー電子加速器運転記録（以後、記録用紙と記す）

をプリンタの吸入口にセットする。オンラインランプが点灯していたらスイッチを押してオンラインランプを消灯させ、単票吸入スイッチを押して記録用紙を印字可能な状態にセットする。

記録用紙が吸入されたら、オンラインスイッチを押してオンラインランプが点灯する状態にする。

(これで、自動的にタイトルおよび日付の印字を開始する)

以上でデータロガーによる運転状態の記録が自動的に行える。なお、プリンタにはバッファ（メモリー）装置が取付けてあるため、オンライン状態で無くてもデータロガー機能は正常に動作する。オンライン操作を忘れていた場合には、その時点でオンライン状態にすること。

また、必要に応じて任意に状態記録およびコメント等の記録が可能である。

10. 加速器の加速電圧をONすると、照射依頼者の名前を問い合わせてくるので英文字で入力を行う。なお、一定時間入力が無いと自動的に次の記録を開始する。ただし、名前の印字欄は空白となる。その場合は、後で忘れずに記入する。

11. 照射運転中には設定された時間おきにデータを記録するが、必要に応じて任意に記録することも可能である。

12. その日の照射運転が終了したら、[EXIT]と表示されているファンクションキーを押して、データロガーを終了させる。

13. プリンタから記録用紙を外し、運転終了後の積算時間計等の記入を行い所定のファイルに保存する。

以後からは[RUN]キーを押してデータロガーを起動する。(8. の操作から行う)

週の照射運転が終了したら、起動と逆に手順により各装置の電源をOFFし、データロガーを停止させる。