

JAERI - M

84-032

2MeV, 60kW デュアルビーム形
電子加速器照射施設

1984年2月

四本 圭一・金沢 孝夫・春山 保幸・上松 敬
水橋 清・須永 博美・鷺野 正光・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。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。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, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷㈱

2 MeV, 60 kW デュアルビーム形
電子加速器照射施設

日本原子力研究所高崎研究所開発部
四本圭一・金沢孝夫・春山保幸・上松 敬
水橋 清⁺・須永博美・鷲野正光・田村直幸

(1984年1月30日受理)

昭和53年から56年にわたって更新作業が行われた日本原子力研究所高崎研究所1号加速器照射施設の仕様について報告する。

新1号加速器はコッククロフト・ワルトン型で、単一の高電圧発生装置に対して水平および垂直方向に2式の加速管を配置し、水平加速管への加速電圧の印加は、圧力容器中におかれた高電圧切換装置によって行えるようになっている。定格出力は加速電圧が2 MV、出力電子流は30 mAである。デュアルビーム方式を採用することによって垂直、水平両方向の照射室で照射実験を行うことができ、さらに垂直方向で照射実験を行っている間でも水平方向の照射室では実験の準備作業等ができる。

本報告では新1号加速器棟の仕様および排ガス処理設備、照射用コンベヤ、安全監視装置等の仕様についても述べる。

⁺ 現東海研究所核融合研究部

2 MeV, 60 kW Dual-beam Type Electron Accelerator
Irradiation Facility

Keiichi YOTSUMOTO, Takao KANAZAWA, Yasuyuki HARUYAMA,
Takashi AGEMATSU, Kiyoshi MIZUHASHI⁺, Hiromi SUNAGA,
Masamitsu WASHINO and Naoyuki TAMURA

Department of Development,
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI

(Received January 30, 1984)

The specification of new irradiation facility which has been constructed from 1978 through 1981 as the replacement of 1st Accelerator of JAERI, TRCRE are described.

The accelerator is the Cockcroft-Walton type and both vertical and horizontal accelerating tubes are arranged on a single high voltage generator. Transferring of the high voltage to the horizontal accelerating tube is performed with the high voltage changing system in the pressure vessel. The output ratings of the accelerator are 2 MV of acceleration voltage and 30 mA of beam current.

By providing the dual beam system, two irradiation rooms, one for vertical and the other for horizontal beam, are independently operable. Persons can enter the horizontal irradiation room for experimental setting even when the vertical irradiation room is in operation.

The specification of the buildings, the exhaust air treatment system, the irradiation conveyor and the safety observation system are also described.

keywords: Dual Beam, Electron Accelerator, Irradiation Facility,
Cockcroft-Walton, High Voltage Generator, Radiation
Processing, High Voltage Changing System, Vertical Irradiation
and Horizontal Irradiation, Specification

⁺ Department of Thermonuclear Fusion Research, Tokai, JAERI

目 次

1. はじめに	1
2. 1号加速器更新の経緯	2
2.1 更新の必要性	2
2.2 更新加速器の概略仕様	2
2.3 機器の選定	3
2.3.1 加速器の種類, 形式	3
2.3.2 加速器の出力	8
2.3.3 出力性能に関する購入仕様	10
2.3.4 機種を選定	11
3. 加速器の仕様	14
3.1 装置の概要	14
3.2 一般仕様	16
3.3 装置の構成	17
3.4 制御系	27
3.5 デュアルビーム方式の安全対策	32
3.6 所要設備	38
4. 加速器付帯装置の仕様	40
4.1 排ガス処理装置の仕様	40
4.2 照射用コンベヤの仕様	48
4.3 安全監視装置の仕様	52
5. 建家の仕様	60
5.1 建家本体の概略	60
5.2 特殊設備	63
5.3 建家付帯設備	75
6. 照射室等の遮蔽設計	77
7. 建設経過	93
7.1 建家の建設経過	93
7.2 更新加速器の設置経過	99
7.2.1 加速器の製作	99
7.2.2 加速器の搬入, 据付, 調整	99
7.2.3 加速器の受入試験	102
7.2.4 付帯装置の据付, 調整	111
8. あとがき	114

謝辞.....	114
参考文献.....	115
付録. 旧1号加速器照射施設の概要.....	116

Contents

1. Introduction	1
2. Replacement of Accelerator-1 of TRCRE	2
2.1 Requirement of the replacement	2
2.2 General description of the new accelerator	2
2.3 Selection of the accelerator	3
2.3.1 Type of the accelerator	3
2.3.2 Rated output of the accelerator	8
2.3.3 Accelerator performance	10
2.3.4 Selection of the accelerator	11
3. Specification of the new accelerator	14
3.1 General description of the accelerator system ..	14
3.2 Accelerator specification	16
3.3 System configuration of the accelerator	17
3.4 Accelerator control system	27
3.5 Safety system for the dual beam operation	32
3.6 Utility requirements	38
4. Incidental equipments	40
4.1 Exhaust gas treatment system	40
4.2 Irradiation conveyor	48
4.3 Safety interlock system	52
5. Building	60
5.1 Specification of the building	60
5.2 Special equipments	63
5.3 Building services	75
6. Design of radiation shielding	77
7. Facility installation	93
7.1 Building construction	93
7.2 Installation of the accelerator	99
7.2.1 Manufacture	99
7.2.2 Installation in TRCRE	99
7.2.3 Acceptance test	102
7.2.4 Installation of the accessories	111
8. Summary	114
Acknowledgement	114
Reference	115
Appendix : Old Accelerator-1 of TRCRE	116

1. はじめに

日本原子力研究所高崎研究所では昭和50年に「高崎研究所加速器検討委員会」が発足し、設置後10年以上稼動して老朽化の徴候が見られ、さらにメーカーの加速器製作停止により保守用部品類の入手が困難という事情も加わって、照射運転を継続することについて予測が立てられなくなった各加速器の更新を行い、大出力で高性能をもつ加速器を導入するという更新計画がたてられた。まず昭和51年から52年度に2号加速器の更新が行われて、3 MeV, 75 kWのダイナミトロン型電子加速器が設置され¹⁾、53年4月から新2号加速器による照射運転が開始された。ついで53年度から3年計画で1号加速器（共振変圧器型, 2 MeVp, 6 mA, 昭和39年2月設置）を更新し、新たにデュアル・ビーム方式を採用したコッククロフト・ワルトン型電子加速器（2 MeV, 30 mA）を設置した。

新1号加速器照射施設の特徴は、垂直、水平両方向に出力ビームを取り出し（デュアル・ビーム方式）垂直ビーム用、水平ビーム用の2つの照射室においてそれぞれ異なる照射実験が行えることである。また垂直ビームを用いて照射を行っている間でも、水平ビーム用の照射室へは自由に入室することが可能で、照射試料の調整や準備作業が行えるという利点がある。

本報告は、1号加速器更新の経緯、更新加速器の性能、仕様、排ガス処理装置、照射用コンベヤー、安全監視装置など付属設備の仕様、およびこれら照射設備を設置するため新たに建設された1号加速器棟の仕様などについて述べるとともに、建家を含めた1号加速器照射施設の建設経過を報告する。

2. 1号加速器更新の経緯

2.1 更新の必要性

1号加速器は昭和39年に設置以来、40年に発生した照射窓の焼損および50年に起きた加速管の損傷を除いてはほぼ順調に稼動してきた。しかし、この加速器のメーカーであるG.E.社（米国）は43年に既にこの型の加速器の製作を停止しており、そのため、加速管、高電圧発生用コイルスタックなどの主要部品類の入手が困難となった。予約によって製作を続けた加速管も、51年度購入分が最後となり、その平均寿命から考えて、1号加速器は54年度以降継続して運転できる保証が無かった。さらに設置後10年を経過した49年頃からは、一次側電源であるMGやSpeed Variatorをはじめ装置全体に老朽化が顕著となり十分な出力が得られず、2 MVp, 3 mA（定格値は6 mA）の範囲で運転が行われ、出力ビームの安定度も精度を要する照射実験には十分でない状態になってきた。

一方、1号加速器を設置した昭和39年頃は、G.E.が発売した絶縁テープ“Irrathem”等架橋ポリエチレンを中心に放射線化学工業が始ったところであり、線源となる電子加速器についても性能および照射コスト等が検討され、種々の形式の装置が開発及び試作の段階であった。その中でG.E.社の開発した共振変圧器型電子加速器（商品名、E.B.G.）は、性能的に優れ、また最も実績の多い装置であったが、その後の放射線加工処理工業化の進展に伴って加速器の製作技術が進歩し、数10 kWから100 kWもの高出力加速器が市販されている状況となるに到って、性能的に陳腐化してしまい、出力、照射機能などについて多様化する開発研究からの要求に対処できなくなってしまった。

以上の理由から1号加速器を更新することが決定された。

2.2 更新加速器の概略仕様

加速器検討委員会で決定された更新加速器本体の概略仕様は、次の通りであった。

- (1) 出力形式：直流加速形であって、電子ビームは、垂直、水平の2方向に取り出せる方式とする。
- (2) 加速電圧：最大2 MVとして可変であること。
- (3) ビーム電流：最大30 mAとし可変であること。
- (4) 走査巾：垂直方向は120 cm、水平方向は60 cmとする。

(1)の二方向へビームを取り出す方式は、加速電圧が1 MVを超える照射用電子加速器としては全く新しい試みであり、技術的な問題点も多いと予測されたのであるが、更新加速器を利用する研究対象のうちのいくつか（排ガスの脱臭浄化、分離機能高分子膜の合成、エマルジョンの橋かけなど）は電子線を水平方向から照射することが必要であるために採用された。

また、(2)、(3)、(4)の出力性能については、昭和51年から53年にかけて更新された2号加速器

(ダイナミトロン型, 最大出力: 3 MV, 25 mA, 75 kW) と比較して, やゝ低エネルギー側でより大電流が得られることが必要という理由からである。

この概略仕様を基本として具体的な仕様の検討が進められ, 昭和 53 年 5 月からは購入仕様書の作成作業が開始された。

2.3 機種を選定

2.3.1 加速器の種類, 形式

市販されている照射用電子加速器で, 上述の出力性能が得られるものとしては, 三菱電機のダイアトロン型加速器, 日新ハイボルテージ社の EPS 型加速器, 米国 Radiation Dynamics 社 (RDI) ダイナミトロン型加速器そして米国 High Voltage Engineering 社 (HVEC) の Insulating Core Transformer (ICT) 型加速器等があった。

三菱電機のダイアトロン型加速器は, 対称形コッククロフト・ワルトン昇圧回路を使用した高電圧発生装置により電子を加速する型式で, 加速電圧 600 kV - ビーム電流 100 mA のものから, 3 MV まで 20 mA までの出力装置が製作, 販売されている。600 kV 装置は, 高電圧発生部と加速管部が別々になっており, 各々を高圧ケーブルで接続する方式で, 1 MV 以上の装置は, 高電圧発生装置と加速管部を一体として圧力容器に収納する方式である。Fig. 1 にダイアトロン型加速器の標準的な機器構成を示す。最大加速電圧が 2 MV の場合コッククロフト・ワルトン昇圧回路の段数は 20, 駆動周波数は 8.3 kHz である。

日新ハイボルテージ社の EPS 加速器は, 1 MV 未満の低エネルギーの装置は変圧器整流形高電圧発生装置と加速管部をケーブルで接続する方式であり, 1 MV 以上の装置は, バランス形コッククロフト・ワルトン昇圧回路を使用した高電圧発生装置と加速管部が一体となって圧力容器に収納される方式の加速器である。Fig. 2 に圧力容器一体形の EPS 型加速器の標準的な寸法を示す。最大加速電圧が 2 MV の場合, 高電圧発生回路の段数は 12, 駆動周波数は 3 kHz である。入力電源は高周波発電機を用いる。

RDI のダイナミトロン型加速器は, シェンケル形倍電圧整流回路の容量の部分全てを浮遊容量で置き換えた特徴のある昇圧回路を高電圧発生装置に使用している。Fig. 1.3 にダイナミトロン型加速器の標準的な機器構成を示す。コッククロフト・ワルトン型が直列にコンデンサーを充電する方式であるのに対して, このダイナミトロン型では並列にコンデンサー (電極間の浮遊容量) を充電する方式であり, 加速電圧が 2 MV の場合の昇圧回路の段数は 40, 駆動周波数は約 100 kHz である。電源としては高周波発振器を使用しており, 加速電圧が 400 kV - ビーム電流 100 mA のケーブル接続形のものから 4 MV で 50 mA までの装置が製作されている。

HVEC の ICT 型加速器の高電圧発生装置は, 変圧器整流形の昇圧回路を使用している。ICT (鉄心絶縁変圧器) の名の通り, 変圧器の鉄心を分割して絶縁し各々の鉄心に二次コイルが巻いてある。直流高電圧は, 各コイルに誘起された交流電圧を整流し, カスケードに接続することによって得られる。300 kV から 800 kV までのケーブル接続形と, 750 kV から 2 MV までの圧力容器収納形とがある。Fig. 1.4 に ICT 型加速器の標準的な機器構成について示す。この型の加速器は MG あるいは発振器などの特別な入力電源を必要としない点も特徴の一つである。

以上述べてきた四種類の加速器はそれぞれに特徴はあるが、高電圧発生回路はいずれもカスケード整流形の範囲に入ると考えられ、さらに、この他の種類の加速器、例えばバン・デ・グラーフ型あるいは直線型といった加速器では、必要とする出力性能は得られないため、更新加速器の種類はカスケード整流形とすることとした。

次に出力ビームを垂直、水平の二方向に取り出す方式についてであるが、原子核実験などに用いられる粒子加速器では偏向電磁石を用いてビームを多方向に取り出す方式が一般的であり、また照射用電子加速器でも電磁石によりビーム軸を偏向する方式はそれほど特殊なものではなく、特に線型加速器などでは標準的な仕様である。このような目的の為に Pretzel magnet と呼ばれる集束性能の良い偏向電磁石も製作されている。

更新1号加速器でも、計画当初においては偏向電磁石を用いたスプリット・ビーム方式を主に検討していた。Fig. 2 に予算要求時に考えられていた更新加速器の原理図を示す。この方式において出力ビームは、加速管端部に置かれた偏向電磁石によって 0° および 90° (Pretzel magnet の場合、実際のビーム偏向角は 270°) に振り分けられた後、各方向のスクランナーで走査され大気中に取り出される。このスプリット・ビーム方式で実際の装置を検討すると、Fig. 3 に示すように、水平方向ビームについてのビームトランスポート系が複雑になり、また、垂直方向ビームで照射運転を行っている間に水平方向の照射室に入り作業等を行う場合の X 線の遮蔽が技術的問題点として残った。そこで考え出されたのが、二つの加速管を用いたデュアル・ビーム方式である。

加速電圧が 1 MV 以下の低エネルギー電子加速器では、単一の高圧電源に複数の加速管をケーブルで接続して使用する例はこれまでもあったが、この場合には一つの加速器だけに電圧を印加するという事はできず、常に接続された全ての加速管に高圧電源からの発生電圧が印加される方式であった。今回のデュアル・ビーム方式の場合は、最大加速電圧が 2 MV でしかも垂直方向ビームを発生している場合に水平照射室は安全に入室、作業ができるように、水平方向ビーム用の加速管には高電圧を印加しないための切換機構が必要となる。このような方式は照射用電子加速器として全く新しい試みであり、新たな技術開発を必要とする部分も多いが、Table. 1 に述べるように照射実験等で実際に利用する側から判断するとスプリット・ビーム方式に比べて有利な点が多く、また技術的にも製作可能であることが各加速器メーカーとの検討の段階で確認できたのでこのデュアル・ビーム方式を採用することとした。

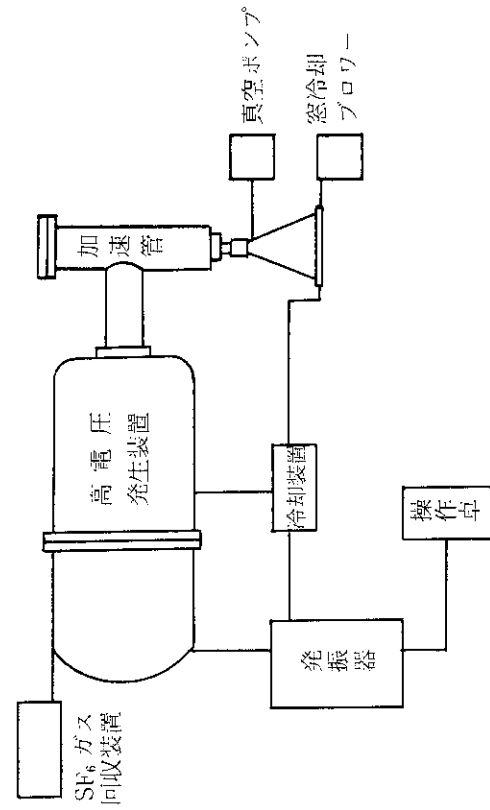


Fig. 1-3 System configuration of the DINAMITRON type electron accelerator.

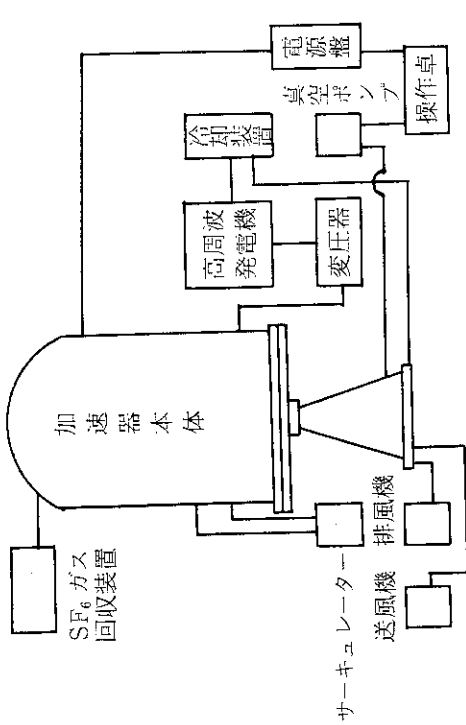


Fig. 1-1 System configuration of the DIATRON type electron accelerator.

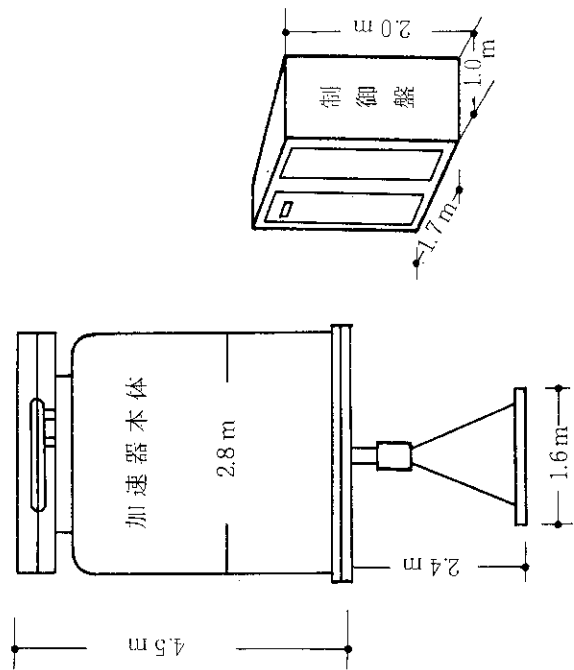


Fig. 1-2 Standard size of the EPS type electron accelerator system.

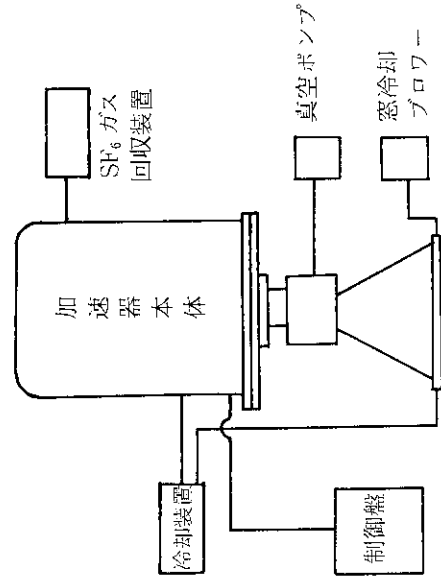


Fig. 1-4 System configuration of the ICT type electron accelerator.

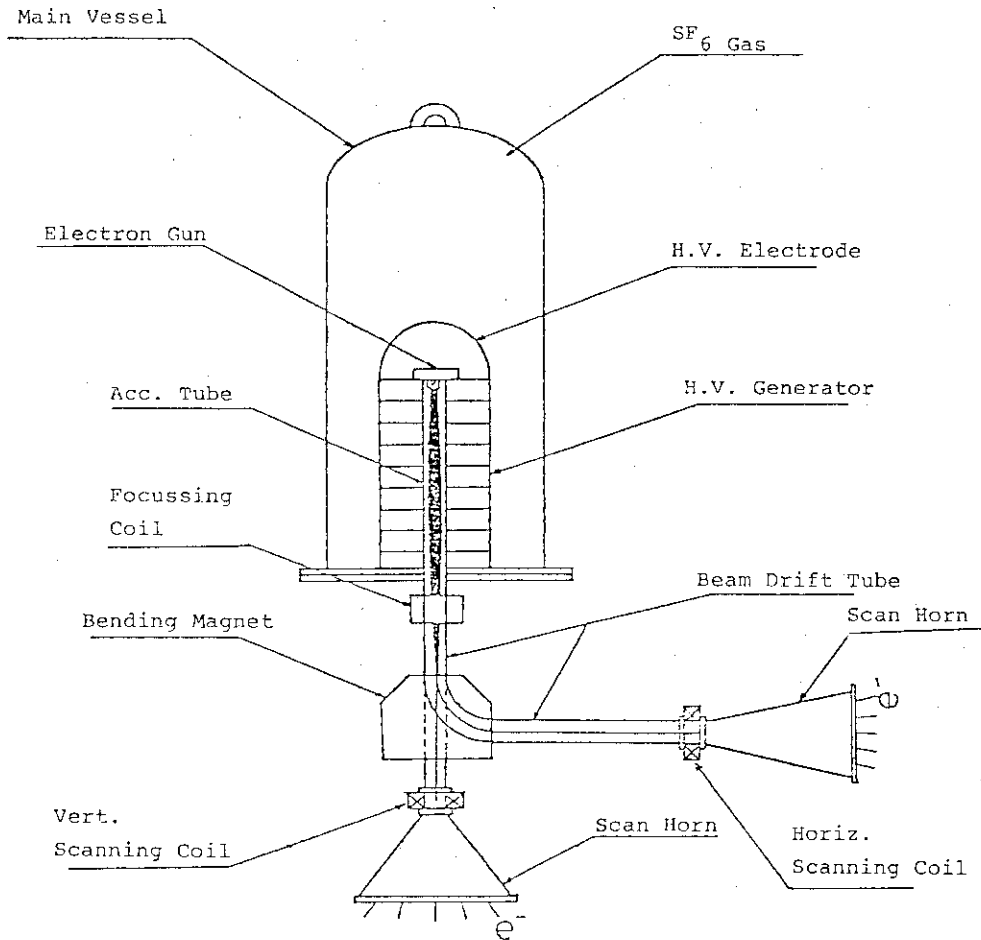


Fig. 2 Preliminary design of the new electron accelerator with a bending magnet

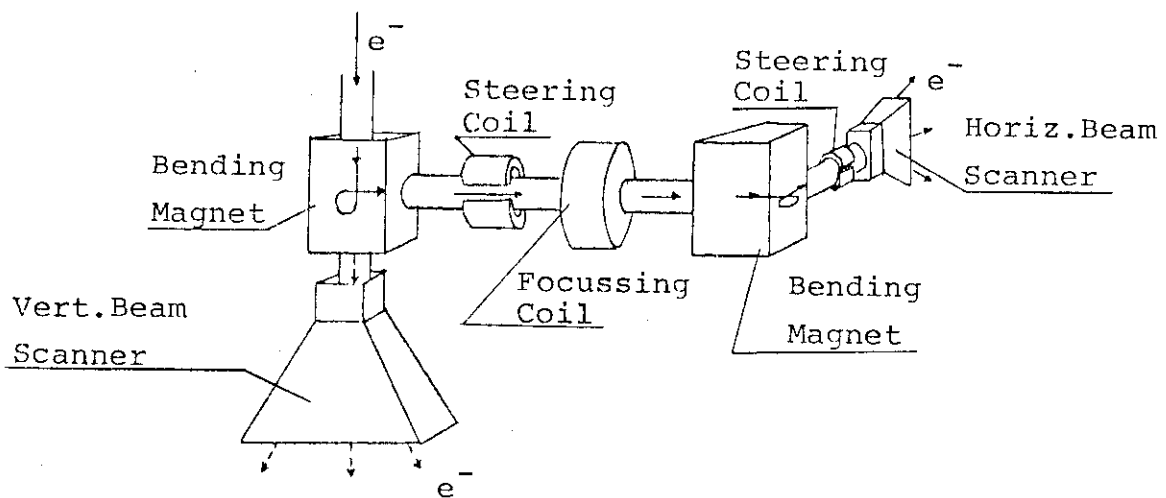


Fig. 3 Beam transport system which provides both a horizontal and a vertical beam output

Table 1 Comparison between a dual beam -
and a split beam accelerator

	デュアル・ビーム	スプリット・ビーム
形式	2本の加速管を用い、垂直及び水平方向に出力ビームを取り出す。	偏向電磁石を用い、垂直及び水平方向に出力ビームを取り出す。
特徴	<ol style="list-style-type: none"> 1. 両方向について出力が独立して得られる。 2. 両方向のビーム出力は略々同一値である。 3. ビームトランスポート系が短かく損失が少ない。 4. 一方向のみを運転しながら、他方の照射室で作業を行う場合の安全対策が容易である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1本の加速管によって両方向に出力が得られる。 2. 偏向電磁石のON/OFF動作によって出力方向の選択が容易に行える。 3. 加速器本体については標準型の装置が使用できる。 4. 電子ビームの偏向についてはpretzel magnetなど技術的に確立している。
問題点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各方向の加速管に加速電圧を印加する為、高電圧切換装置が必要となる。 2. 加速器本体については2本の加速管に対する特別な装置が必要となる。 3. 制御系統についても、同一のものが2式必要となる。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水平方向のビームトランスポート系が複雑になり、損失が大きい。 2. 両方向についてビームオプティクスが異なるため同一の出力が得られない。 3. 加速管等の真空系統について、どちらか一方で発生したトラブルが他方向に影響を与え易い。 4. 一方向のみを運転しながら、他方の照射室で作業を行う場合の安全対策が複雑になる。

2.3.2 加速器の出力

前述のように、加速器の出力に関して検討委員会が決定した仕様は、最大定格出力を2 MV、30 mA とするということであったが、照射実験用の加速器としてはできるだけ広い範囲で出力が可変であることが望ましい。加速電圧については、高電圧発生装置の発生電圧は前項で述べたカスケード式の装置では数10 kV から2 MV の範囲で可変にすることは容易である。しかし、この発生電圧を加速管に印加して一定のビーム電流を作り出すために必要な“加速電圧”とする場合には、可変範囲はさらに制限を受ける。

一般に加速管は多段式であり、高電圧発生装置の発生電圧はブリーダ抵抗と呼ばれる高抵抗により分割されて各段の電極に印加される。そして加速管の高圧端にある電子銃フィラメントから放射された電子ビームは、加速管の各電極間の電位勾配によって集束されつゝ次第に速度を増していくのである。加速管の材質あるいは電極の構造によって異なるが、各電極間の分担電圧は30～40 kV 程度であり、したがって最大加速電圧が2 MV の場合、加速段数（電極数）は50～70 である。加速電圧が一定の場合には各段間の電位勾配を一定に保つことによって加速管終端部でのビーム径を最適な状態に調節することは比較的容易であるが、加速電圧可変の場合には、この加速管終端部でのビーム径を一定に保つためには加速管導入部の電子レンズ系や加速段数を各加速電圧に対応して調節する必要があり、技術的にかなり複雑になる。したがって最大加速電圧の場合に加速管端部でビーム径が最小となるように導入部電子レンズ系を調整し、加速電圧を低くすることに対応してビームの径が大きくなっても加速電極にぶつからない範囲が加速電圧の可変範囲である。またビーム電流の調節は電子銃のフィラメント電流を制御する方法が一般的であるが、極端に低い加速電圧の場合には空間電荷の影響によって加速管中でビームが発散するため十分なビーム電流を得ることは困難である。これらの点を従来の例を参考にして考慮すると、加速電圧の可変範囲の設計仕様は最高加速電圧の $1/2$ 程度が適当であると判断される。

一方、加速器を用いて照射実験を行う側から考えると加速電圧は、被照射物質の“厚さ”に関わる主要なパラメータである。電子線照射の場合、被照射物質の厚さ（または深さ）方向についての線量率はFig. 4 に示すような特有な分布となることが知られており、この曲線を Depth

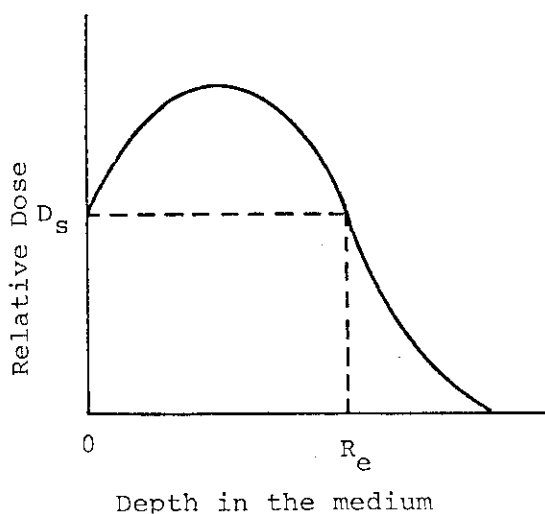


Fig. 4 Typical depth dose curve.

dose curve (深部線量分布曲線) と呼ばれている。横軸は被照射物質の厚さ、縦軸は相対線量である。実用上はこの depth dose curve において相対線量が入射表面と同じ値になる厚さ、すなわち表面線量 (D_s) から横軸に平行な線を引き曲線にぶつかった点での厚さを有効飛程 (R_e) と呼び、 R_e を照射処理が可能な試料の厚さの目安として照射に利用している。この R_e と入射電子線の運動エネルギー (2 MV の加速電圧の場合、運動エネルギーは 2 MeV となる) の間には、エネルギーが 0.3 MeV から 3.0 MeV の範囲で比例関係が成り立つことが実験的に確かめられており、我々が 2 号加速器 (ダイナミトロン型、定格出力 3 MeV, 25 mA, 75 kW) を用いて測定した CTA (三酢酸セルロース) 中の Depth dose curve (Fig. 5 参照) からは、電子線のエネルギーを E (MeV) とすると $R_e = 0.4 E - 0.155$ (g/cm^2) という関係が得られている。この関係から、被照射物質の密度を 1.0 (例えば水) とすると、加速電圧が 2.0 MV の場合は 6.45 mm, 1.0 MV の場合は 2.45 mm の厚さが有効飛程内で照射できることになる。

以上述べた点を考慮に入れて、加速電圧の可変範囲は 0.8 MV から 2.0 MV とするが、最大出力電流 30 mA の保証は 1.0 ~ 2.0 MV の範囲とし 0.8 MV から 1.0 MV の範囲については、加速電圧の低下に伴って最大出力ビーム電流は漸時低減し 0.8 MV では定格値の 1/2 である 15 mA が得られればよいこととした。

ビーム電流については、定格出力が 100 kW 以下の装置において最大出力電流は、照射窓の“冷却”によってのみ制限を受ける。一般的に照射用電子加速器では、加速管内で加速された電子ビームはその後走査管に導かれ電磁走査によって一定の巾に拡げられた後、薄い金属箔でつくられた照射窓を通して大気中に放出される。この照射窓箔としてはチタニウム、アルミニウム、ステンレススチール等が用いられるが、最近では 30 μ から 50 μ 厚のチタニウム箔を用いるのが

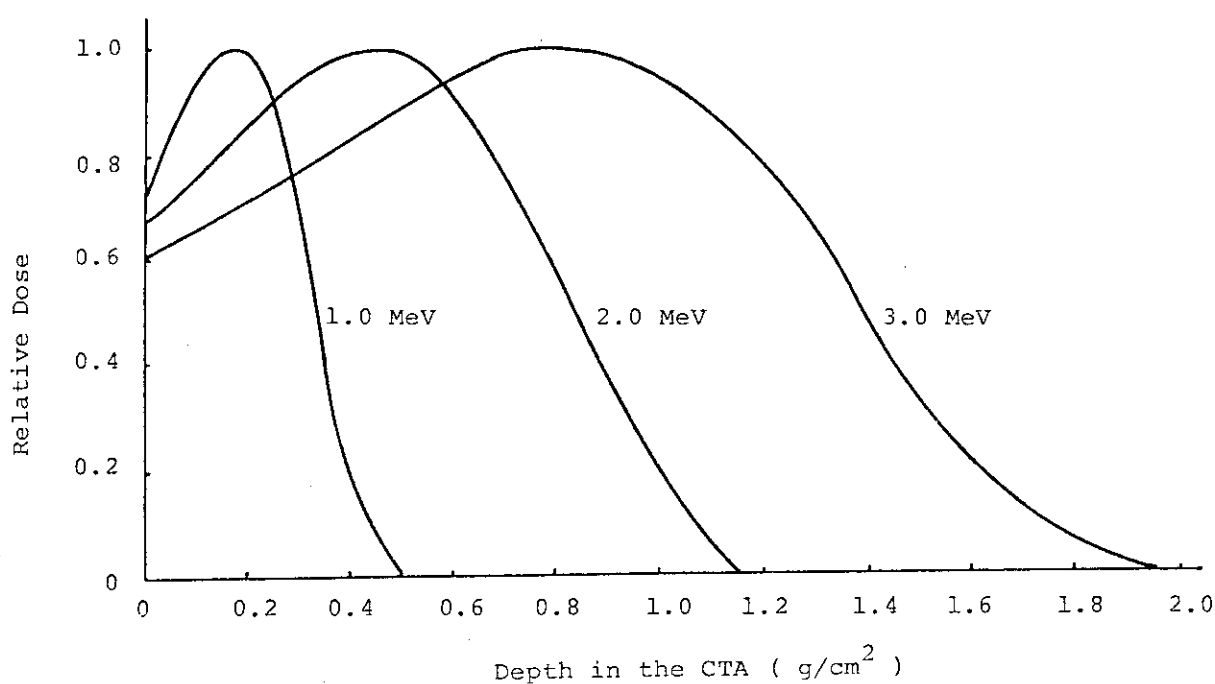


Fig. 5 Depth dose distribution in the bulk of CTA.

一般的である。加速された電子ビームがこの照射窓を透過する際のエネルギー損失の大部分が熱エネルギーとなり窓箔の温度上昇を引き起こすので、冷却も含めて考えた場合の単位走査幅当りの許容ビーム電流値が問題となる。各加速器メーカー共経験的にこの値は $550 \mu\text{A}/\text{cm}$ 程度で設計しており、ビーム電流の定格値が 30 mA に対しては走査幅が 60 cm 以上であればよい。

ビーム電流の可変範囲については、一般的にこのビーム電流値は加速管内を流れる電流の値（管内電流値）としており（装置によっては高電圧発生装置の負荷電流をビーム電流とすることもがあるので注意が必要である）、可変範囲はこの管内電流値の計測および制御の方法に依って制限される。管内電流の計測には、一般的に高電圧発生装置の全負荷電流からブリーダー電流等を電気回路的に差引く方法が用いられるが、この方法では管内電流値が $200\sim 300 \mu\text{A}$ とブリーダー電流と同程度の領域以下になると計測誤差が大きく、したがって制御も難しくなる。そこでこのように小さなビーム電流を制御するためには、管内電流を直接的に計測する必要があり、その方法としては、高電圧端で電子銃フィラメントに流入するビーム電流を測定する方法や、加速管の周囲に磁場を作ってホール電圧を測定するなどの方法がある。

照射実験用の加速器としては、可変範囲が広い程良いのであるが、以上述べた点を考慮して、ビーム電流の可変範囲を $100 \mu\text{A}$ から 30 mA までとし（ただし、加速電圧が 0.8 MV の場合には $100 \mu\text{A}$ から 15 mA までの範囲とする）、 $\pm 2\%$ を目標値とする安定度で制御できることとした。

走査幅の下限については先に述べたが、その最大振幅は照射試料の大きさによって任意に選定することができる。しかし、あまり走査角度を大きくすると試料面の走査端の部分で電子線の斜入射成分が多くなり、均一な照射処理をすることができなくなるので注意が必要である。加速器検討委員会での検討結果によって、垂直ビームについては最大 120 cm 、水平ビームについては最大 60 cm の走査幅とすることとし、また照射窓の許容電流密度の範囲内で走査幅を可変とした。

2.3.3 出力性能に関する購入仕様

加速器の種類、形式並びに出力についての検討の結果、更新加速器の出力性能に関する購入仕様を次の様に決定した。

本加速器の形式を絶縁ガス封入式多段カスケード整流形とし、加速管 2 式を使用して電子線出力を垂直方向および水平方向に取り出し、各々独立した照射室において交互に照射が行える方式とする。本加速器は次の性能を有するものとする。

(1) 定格出力： 60 kW （加速電圧 = 2.0 MV ，出力電子流 = 30 mA ）

(2) 出力可変範囲

加速電圧： 0.8 MV から 2.0 MV の範囲について連続可変であることとする。

ビーム電流：加速電圧一定の条件において、次の範囲で可変であることとする。

加速電圧が 1.0 MV から 2.0 MV については、 0.1 mA から 30.0 mA の範囲で連続可変とする。加速電圧が 0.8 MV から 1.0 MV については、加速電圧の低下に伴ない最大出力電子流は漸時低下するものとするが、加速電圧が 0.8 MV においても 0.1 mA から 15.0 mA の範囲で連続可変であることとする。

(3) 安定度

加速電圧：ビーム電流一定の条件において、一次側電源の入力変動が $\pm 10\%$ 以内の場合に

最大幅± 40 kV 以内で制御できることとし、0.8 MV から 2.0 MV の全範囲について設定値の ± 2 % を安定度の目標値とする。

ビーム電流：加速電圧一定の条件において、0.1 mA から 3.0 mA の範囲については ± 15 μ A 以内、3.0 mA から 30.0 mA の範囲については ± 300 μ A から 30.0 mA の全範囲について設定値の ± 2 % を安定度の目標値とする。

(4) 走査

走査幅：垂直方向の照射窓面上における電子線走査幅は出力可変範囲の全域について最大 120 cm とし、照射窓面での電子線束密度の許容限界面で可変とする。水平方向の照射窓面上における電子線走査幅は、出力可変範囲の全域について最大 60 cm とし、照射窓面上での電子線束密度の許容限界内で可変とする。

走査角度：垂直方向ビームの走査角度は 60° 以内、水平方向ビームについては 40° 以内とする。

平坦度：照射窓面から 15 cm の平面内における走査軸方向についての電子線束密度分布は、垂直照射の場合 120 cm、水平照射の場合 60 cm 以上の範囲にわたっていずれも ± 5 % 以内の平坦度であることとする。

(5) 電子ビーム取り出し方向の設定

電子ビーム取り出し方向の切り換えおよび設定の方法等については任意とするが、垂直方向の照射中においても水平方向の加速管には高電圧を印加しないことが可能であることとし、この場合に水平方向の照射室に人が入室し、照射窓の近傍で作業が行えるように漏洩 X 線対策その他安全系統には十分留意することとする。

(6) その他

照射窓面における電子線束密度の許容限界については製作者が限界条件を明示し、さらにスポット・ビーム運転時における出力電子流の最大値を明示することとする。

また走査については走査軸方向と直角な方向についての平坦度を考慮して、二軸走査が可能な機能も有することとする。

2.3.4 機種を選定

前項で述べた加速器の購入仕様に基づいて昭和 53 年 8 月契約請求の起票が行われ、国内 2 社、国外 1 社から見積仕様書が提出された。提出された各社の仕様書について技術審査を行い機種を選定作業を進めた。技術審査の項目は次の通りである。

- (1) 一般性能：出力の可変範囲、安定度、ビーム走査、運転制御方式および垂直-水平の切換方式について。
- (2) 各部仕様：入力電源、高電圧発生装置、加速管、真空排気装置、スキャナー、高電圧切換装置、制御装置、保護装置および付属装置。
- (3) 保守：高電圧発生部、水平加速管部、真空系統、冷却水系統およびサービス体制について。
- (4) その他：加速管保護装置、加速電圧の測定法、コンディショニングおよびスポットビーム照射について。
- (5) 形状、配置：構成機器の形状および配置さらに建家との関連について。(Fig. 6 参照)

各社から提出された仕様書を以上の項目について詳細に検討、審査した結果、各仕様書ともに購入仕様の技術基準を十分満足していると判断された。見積書に基いて、日新電機の受注が決定し契約仕様書の作成その他事務的な手続き等があり、正式契約は54年2月となった。

選定された日新電機の加速器は、コッククロフト・ワルトン型の高電圧発生装置に2式の加速管を垂直および水平方向に配置し、水平方向加速管への高電圧の印加はパワーシリンダーを用いた高電圧切換装置によって行うデュアルビーム形電子加速器である。出力性能は、加速電圧が0.8 MV から2.0 MV の範囲で連続可変、出力電子流は加速電圧が0.8 MV から2.0 MV の範囲で0.1 mA から30 mA まで連続可変、加速電圧が0.5 MV においても最大10 mA が得られるというものであり、購入仕様を十分満足する装置である。さらに、この装置では垂直、水平両方向同時にビームを取り出すことも可能なのであるが、購入仕様では垂直方向で照射実験を行っている間に水平照射室では実験等の準備作業のために人が照射室に入室できることを前提としており、また安全系統も複雑になるので、高電圧切換装置とX線シャッターおよびアース機構を連動させて垂直方向運転時には水平方向の運転ができないようにしてある。他の2社から提示された見積書も含めて、デュアルビーム形という全く新しい試みにもかかわらず、各社の仕様は十分な技術的検討がなされており、旧1号加速器（共振変圧器型、定格出力2 MV_p, 6 mA, 10 kW）を設置した昭和39年頃と比較すると、照射用電子加速器に関する製作技術が高出力化ということだけではなく、あらゆる点において格段の進歩がある。

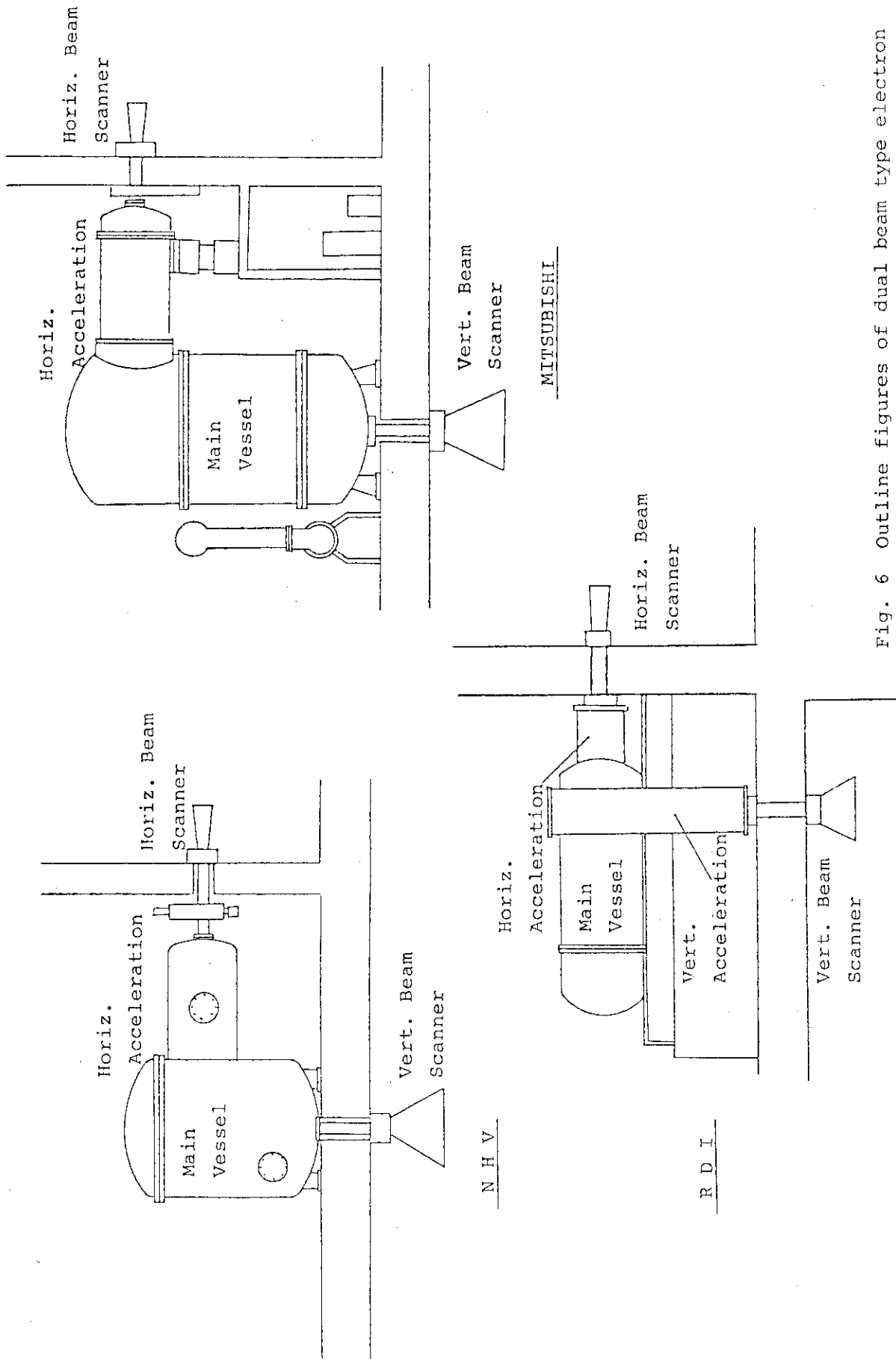


Fig. 6 Outline figures of dual beam type electron accelerator offered by different company.

3. 加速器の仕様

3.1 装置の概要

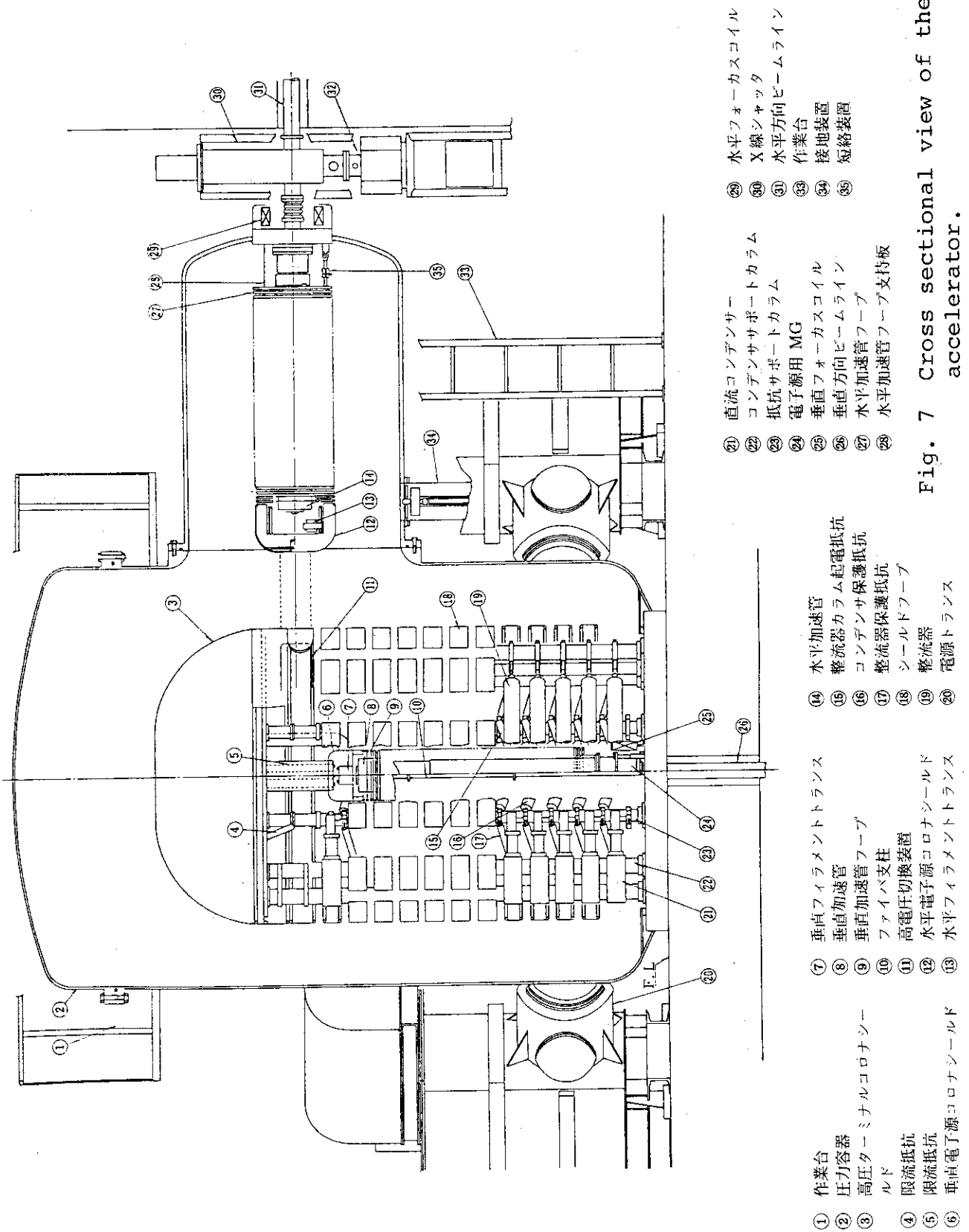
本装置は入力電源部、直流高電圧発生部、水平-垂直加速管および2式のスキャンナー部で構成され、直流高電圧発生部は絶縁ガスにSF₆を用いた多段カスケード整流形（バランス形コッククロフト・ワルトン回路）で、最大出力は2.0 MV - 30 mA, 60 kWである。バランス形コッククロフト・ワルトン回路は、変圧器を2台用いて互いに逆位相で同一値の出力電圧を整流器により連結された2組の直列コンデンサー群に供給して、積み重ねの直流高電圧が発生するようにした回路である。普通のコッククロフト・ワルトン型回路と異なり平滑用のコンデンサーは必要でなく、高電圧電極と圧力容器間の浮遊容量に平滑機能を持たせる構造である。

加速器本体の断面図をFig. 7に示す。本加速器は単一の高電圧発生装置に2式の加速管部を接続して、電子線出力を各々垂直方向、水平方向に取り出す方式（デュアルビーム方式）であり、垂直、水平、任意の方向の照射を行うことができ、さらに2方向の出力電子流の合計が定格電子流の範囲で同時に運転できる機能も有している。本加速器は全く新しいデュアルビーム方式であるため、照射運転時の安全面にも種々の対策が施されており、特に垂直方向運転時に水平方向の照射室へ人が立入ることを可能にするためX線シャッターやアース機構および放射線モニター等が配置されている。

照射方向の設定は「運転方向設定スイッチ」で行い、この設定に応じて「高電圧切換装置」が作動し、水平加速部に対して直流高電圧が入切できる様設計されている。垂直方向運転に設定した場合、「高電圧切換装置」は高圧ターミナル部に格納された状態になり、水平加速部は「アース機構」により接続され、水平ビームラインは「X線シャッター」によって遮蔽される。そして垂直方向において2 MV, 30 mAの定格出力で運転する場合でも水平照射室内での放射能リークは0.2 mR/h以下に保たれ、安全に照射準備作業等が行える。

水平方向運転に設定した場合、「高電圧切換装置」はFig. 7の点線で示すように水平加速部に接触し高電圧発生装置の発生電圧が印加できる状態になる。この「高電圧切換装置」が“入”の状態のとき「接地装置」は圧力タンク下部に収納され、「X線シャッター」は“開”となって水平電子流の取出しが可能となる。

本方式では2本の加速管の直空系統が独立しているので、窓箔交換等の作業が他方の加速管に影響を与えることなく単独に行える。この為、万一水平加速管にトラブルが生じたとしても垂直方向運転は何の支障もなく行うことができ、これも本方式の利点である。



- ① 作業台
- ② 圧力容器
- ③ 高圧ターミナルコロナシールド
- ④ 限流抵抗
- ⑤ 限流抵抗
- ⑥ 垂直電子源コロナシールド
- ⑦ 垂直ファイラメントトランス
- ⑧ 垂直加速管
- ⑨ 垂直加速管フェーズファイバ支柱
- ⑩ 高電圧切換装置
- ⑪ 水平電子源コロナシールド
- ⑫ 水平ファイラメントトランス
- ⑬ 水平加速管
- ⑭ 整流器カラム起電抵抗
- ⑮ コンデンサ保護抵抗
- ⑯ 整流器保護抵抗
- ⑰ シールドフェーズ
- ⑱ 整流器
- ⑲ 電源トランス
- ⑳ 直流通デンサ
- ㉑ コンデンササポートカラム
- ㉒ 抵抗サポートカラム
- ㉓ 電子源用 MG
- ㉔ 垂直フォカスコイル
- ㉕ 垂直方向ビームライン
- ㉖ 水平加速管フェーズ支持板
- ㉗ 水平加速管フェーズ支持板
- ㉘ 水平フォカスコイル
- ㉙ X線シャッタ
- ㉚ 水平方向ビームライン
- ㉛ 作業台
- ㉜ 接地装置
- ㉝ 短絡装置

Fig. 7 Cross sectional view of the accelerator.

3.2 一般仕様

本装置の一般仕様は次の通りである。

- (1) 形 式 絶縁ガス封入式コッククロフト・ワルトン型
- (2) 最大加速電圧 2.0 MV
- (3) 最大ビーム電流 30 mA 最大定格出力 60kW
- (4) 出力可変範囲
 - 1) 加速電圧 0.5 ~ 2.0 MV 連続可変
 - 2) ビーム電流 (加速電圧一定の条件で次の範囲内)

0.8 ~ 2.0 MV	: 0.1 ~ 30 mA 連続可変
0.5 ~ 0.8 MV	: 0.8 MV 以下では最大ビーム電流は加速電圧とともに徐々に減少
0.5 MV	: 0.1 ~ 10 mA 連続可変
- (5) 安定度
 - 1) 加速電圧 ビーム電流一定の条件において、1次側入力変動が±10%以内の場合に±40 kV以内で制御可能で、0.5~2.0 MVの全範囲にわたって、設定値に対して±2%以内。
 - 2) 出力電子流 加速電圧一定の条件において、0.1~3.0 mAの範囲は±15 μA以内、3.0~30 mAの範囲は±300 μA以内で制御できることとし0.1~30 mAの全範囲にわたって設定値に対して±2%以下を目標値とする。0.8~0.5 MVも上記に準ずる。
- (6) 走査
 - 1) 走査幅

垂直方向照射窓面上における電子線走査幅は出力可変範囲の全域にわたって最大120 cmとし照射窓面上の電子束密度の許容限界0.55 mA/cmの範囲内で走査幅可変。スポット運転における許容最大ビーム電流は照射窓冷却時で500 μA,冷却停止時で10 μAとする。0.5~0.8 MVの場合は各々2/3の数値とする。

水平方向においては出力範囲全域にわたり、最大60 cmでその他の条件は垂直方向と同仕様。
 - 2) 走査角度

垂直方向については走査幅120 cmに対して走査角度60°とする。

水平方向については走査幅60 cmに対し、走査角度40°とする。
 - 3) 線量平坦度

垂直、水平いずれの方向の照射についても、照射窓面から15 cm離れた平面において最大走査幅全域にわたり±5%以内の平坦度とする。
- (7) 連続運転

本加速器は垂直、水平いずれの方向についても、連続自動制御運転が可能である。
- (8) 電子線出力取出し方向の設定

電子線出力取出し方向の切換は高電圧切換装置、接地装置およびX線シャッターの切換によ

り行い、その操作は操作盤上の1ケの切換スイッチで行うことが可能である。

垂直方向の照射中においては、水平方向の加速管に高電圧を印加せず加速管部を大地電位として、さらにX線シャッターを動作させることにより水平照射室内での照射準備作業の安全を確保する。

3.3 装置の構成

Fig. 8に本装置の系統図を示す。

本装置の主な構成機器は次の通りである。

(1) 電源装置

直流高電圧発生装置駆動用の高周波電源装置であり、高周波電源、OF式電源変圧器および調整リアクトルで構成される。

1) 高周波電源 1台

立形の高周波電動発電機であり、入力は3kV, 50 Hzで容量は200 kVAである。出力は3 kHz, 64~640 V, 134 kVAで出力電圧の調整は界磁電圧の増減により行う。

現存する電子線照射装置に用いられている周波数範囲は1~100 kHz程度にわたる。その中から3 kHzが選択された理由は、低周波では直流高電圧発生回路に良好な諸特性が得られないこと、高周波も10 kHzを超えると電波放射、渦電流損など電力損失が大きくなって来るなどによる。電力変換効率は80%程度である。

冷却方法は水冷であり、30℃以下で4~6 kg/cm²Gの水を60 ℓ/min必要とする。

2) OF式電源変圧器 2台

高周波発電機の出力を昇圧して直流高電圧発生回路にき電するための変圧器で前述のようにバランス形コッククロフト回路であるので2台で構成される。定格は使用周波数3 kHzで出力電圧は80 kV, 容量は150 kVAである。

3) 調整リアクトル 2台

コッククロフト直流高電圧発生回路および電源変圧器の進相容量を補償、高周波発電機の負荷を軽減するためのもので容量は2台あわせて240 kVAである。

(2) 直流高電圧発生装置

高圧発生部は12段のシリコン整流器とコンデンサの組合せで構成され、Fig. 7に示すような配置で積み上げられている。高圧発生部は全体がFig. 9に示す圧力タンクに収納されSF₆ガス約6 kg/cm²Gで絶縁されている。

整流器はアバランシェ型の整流素子を直列に接続し、リング状にモールド成型したものを1単位としてそれをさらに直列接続したものである。整流器の保護のために、直列に保護抵抗、並列に保護ギャップを設けている。

コンデンサーは金属ケース入りのOF式コンデンサーで、1台の中に2ケの元素が組み込まれていて元素共通の電位を端子間中間電位として金属ケースに接続している。各元素と並列に保護ギャップ、直列に保護抵抗を設けて異常電圧が印加されても振動電流が流れない構造となっている。

バランス形コッククロフト回路はFig. 8に示すように平滑用コンデンサーがないため2本のコンデンサーカラムを対称位置に配置してコンパクトに構成される。

直流高電圧発生部および加速管部を収納する為の圧力タンク側面にはマンウェーが設けられ、そこからタンク内部に出入りして保守点検作業を行う。また圧力タンク上部にはSF₆ガス冷却装置が設置されている。

(3) 加速管部

加速管部は電子銃、加速管、ショーティングロッドなどで構成される。加速管は垂直用、水平用ともその掘付方向が異なるのみで全く同一の材質、構造であり、互換性がある。

1) 電子銃電源（電子源MG） 1台

電子銃のフィラメントを加熱するための専用電源で、Fig. 8に示すように大地電位部（圧力タンク底部）にある電動機（1.5kW）により、直流高電位部にある発電機（出力：500VA）を絶縁軸（ナイロン66製）によって駆動する方式である。垂直、水平の電子銃に対する電力調整は、高電圧電極内に設置された各々のSCR制御器によって行う。

2) 電子銃 2式

電子銃は各加速管頂部に設置され、フィラメント用変圧器、整流回路およびカソードフランジ、ウェーネルト電極、フィラメントで構成されている。フィラメントはU字形で、純タングステン線（直径1.0mm）を用いている。

3) 加速管およびブリーダー系 2式

加速管は円筒状の耐熱ガラスとアルミニウム合金製の電極を交互に積み重ねて接着したもので、加速段数は55段である。加速管内はイオンポンプにより $10^{-6} \sim 10^{-8}$ Torrの高真空に保たれ、各電極には加速電圧をブリーダー抵抗で分割した電位が与えられ、電子銃から放出された電子を加速、集束する。

4) ショーティング・ロッド 2式

ショーティング・ロッドは加速電圧の可変範囲が大きいときに、加速管内での電子ビームの引き出し、集束条件を一定にするため加速電極の一部を短絡させるための機構である。短絡段数は加速電圧によって決定される。本加速器の場合、加速電圧の可変範囲は0.5～2.0MVであるが、1MV以下の加速電圧で運転する場合にこの機構を用いている。

ショーティング・ロッドはパルスモーターによって接触子を加速電極に沿って移動させ、設定パルス数に対応した加速電極を短絡する。自動運転の場合には、後述するワンタッチ切換で加速電圧を選択すると、ショーティング・ロッドも加速電圧の設定に対応して作動する回路構成となっており、垂直用、水平用とも同期して動く。

(4) 高電圧切換部

デュアルビーム形加速器を特徴づける部分で、本加速器のみにある機構である。高電圧切換装置、接地装置、ビームラインX線シャッターで構成され、これらの各装置はマスター制御によって連動して作動する。

1) 高電圧切換装置

本装置は水平ビーム用加速管に対して高電圧発生装置からの“加速電圧”をON/OFFする装置である。接続導体部は外径200mmのアルミニウム製円筒で、駆動はパワーシリンダ

ーを用いる。ストロークは500 mm，動作時間は約1分である。

本装置のON-OFFの状況は，操作盤およびグラフィックパネルに表示されるが，圧力タンクに取付けてある覗窓から直接監視できるようにもなっている。

2) 接地装置

高電圧切換装置が“切”の場合に水平加速部を接地する装置で，Fig. 7に示すように水平加速部の圧力タンク下部に格納され，パワーシリンダーにより接地電極が上昇して水平加速部を接地する。接地動作は1分以内に完了し，その状況はグラフィックパネルに表示される。

3) ビームラインX線シャッター

垂直方向でビーム出力を取り出している場合に，水平方向の照射室で安全に照射準備作業を行えるようにビームラインからの漏洩X線を遮蔽するための装置である。X線シャッターは100 mm厚の鉛板を2.5 mm厚のステンレス板で包んだ構造であり，Fig. 7に示すように水平ビーム用集束コイルの右側に配置されている。シャッターの開閉はエアシリンダーにより行い，動作時間は約3秒である。“開”，“閉”どちらの状態でも水平加速器の真空ラインは遮断されないようになっている。

(5) 走査管部

垂直用，水平用の各走査管部は，スキャンホーン，スキャニングコイル，照射窓，冷却風用ノズルおよびビームシャッターで構成される。そして主要構成部はオゾンによる酸化を防ぐため，ステンレス鋼を使用している。また走査管部は大地に対して絶縁されているので，運転中に散乱等によってスキャンナーに流入する電子流を測定することが可能である。

1) 走査部

加速された電子を照射窓の長軸方向に走査する方法は電磁走査である。トランジスタ方式の三角波電流発生器を用い，走査周波数は200 Hzである。また，短軸方向についても固定照射の場合のビーム平坦度を向上させる目的で50 Hzの正弦波による走査が可能な二軸走査機能も有している。特定の加速電圧（0.5，0.6，0.8，1.0，1.5，2.0の6点）について各電圧選択スイッチと連動して自動的に走査出力が変化して標準の走査幅（垂直：120 cm，水平：60 cm）が得られる機構が装備されている。

また照射窓面上で単位走査幅当りの出力電子流が0.55 mA/cmの範囲内で任意の走査幅の設定が可能であり，さらに設定走査幅に対して出力電子流が0.55 mA/cm以上にならないようなインターロック機構付きである。

2) 照射窓

加速され走査された電子が管内高真空中から大気中に飛び出す部分である。照射窓箔の材質としては電子線が透過する際のエネルギー損失をできるだけ小さくするため低原子番号の金属箔が適当で，さらに真空シールに対して十分な機械的強度があること，耐熱性があることとして電子線照射により生成するオゾン等に対して耐久性があることなどが要求される。

チタニウムは耐食性，耐張力，耐熱性に優れていて原子番号（22），比重（4.5）も金属としては比較的小さいなど上記要求に合致するので，本加速器の照射窓は50 μ厚のチタニウム箔を用いている。照射窓箔の真空シールには金属Oリングを用い，窓箔の交換は容易に行える構造である。

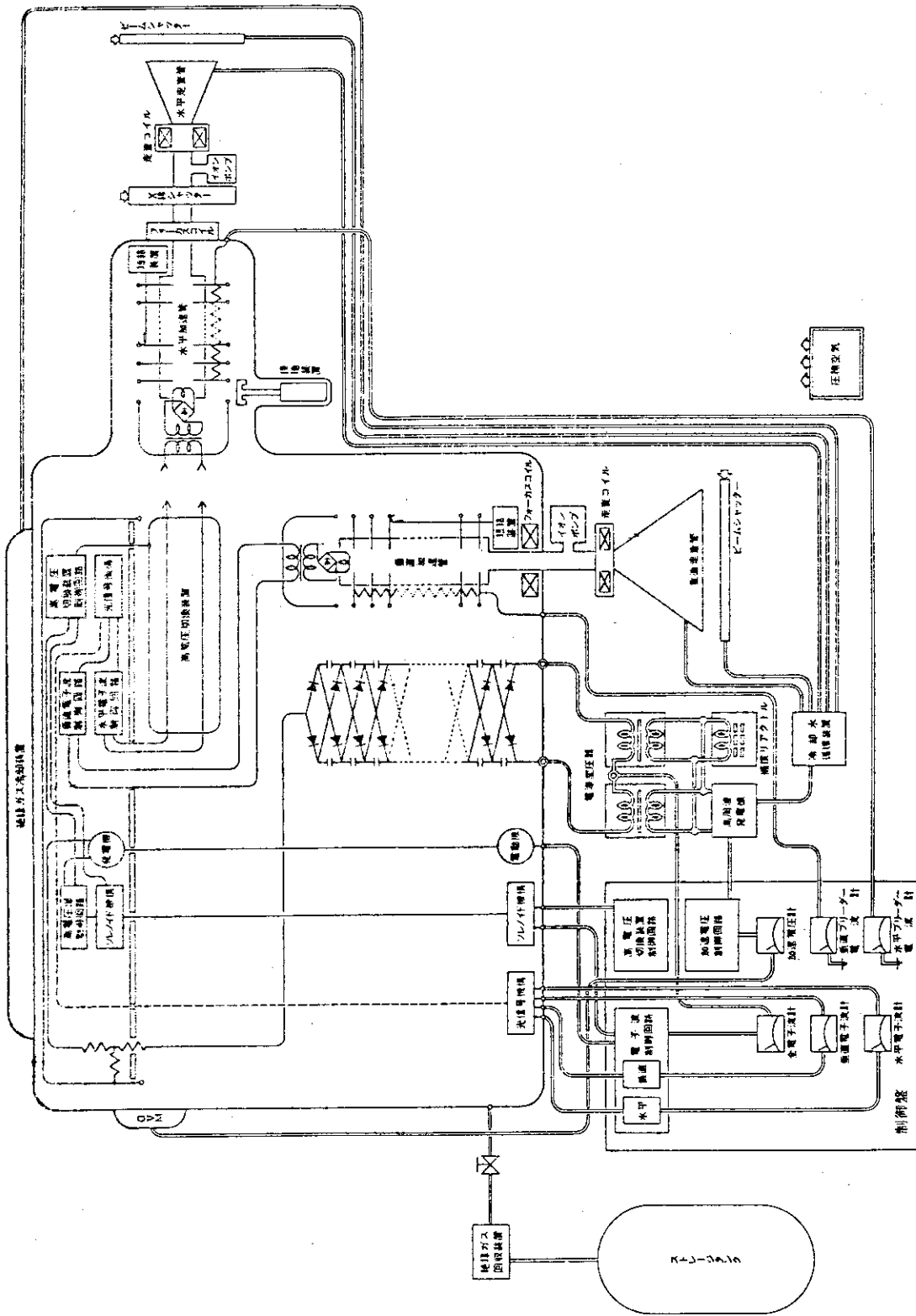


Fig. 8 Schematic diagram of the accelerator system.

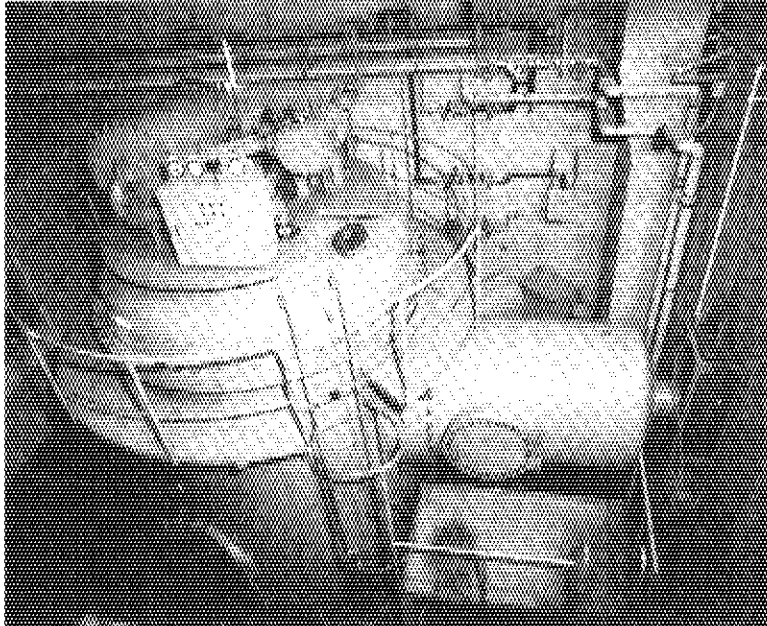


Fig. 9 Main pressure vessel of the accelerator

窓箔押えフランジには冷却空気吹付用のスリットが取付けられていて、ブローアからの冷却空気を照射窓面に吹きつけ窓箔の温度上昇を抑制する。

3) ビームシャッター

照射試料に対する電子線のON-OFF制御、ビームコンディショニング時のオゾン発生量の抑制および床面、周囲構造材の過熱防止の目的でビームシャッターを設置している。ビームシャッターの駆動はエアシリンダーを用い直線的にスライドする方式で、水平、垂直どちらもガイドレールに沿ってシャッター部がベアリングで移動する。冷却は水冷式である。

(6) 真空排気装置

加速管内を清浄な高真空に保つため真空排気装置としてスパッタ・イオンポンプを用いる。Fig. 8 に示すように垂直用イオンポンプは走査管部に、水平用はX線シャッター下部に設置されている。

照射窓箔の交換や電子銃フィラメントの交換後におけるビームコンディショニング時にはクイックコンディショナー（チタニウム・ゲッターポンプ）を用い、この際補助ポンプとして油回転ポンプを使用する。

(7) 付属装置

1) 照射窓冷却ブローア

垂直、水平各スキャンナーの照射窓を冷却する為のブローアで、吸入側、吐出側の両方にエアフィルターを設けて清浄な冷却風を吹きつけている。冷却空気の吐出圧力は $0.4 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ で、吐出風量は垂直用 $7 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、水平用 $3.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ である。駆動用モーターの所要電力は垂直用 11 kW 、水平用 7.5 kW である。

2) SF₆ ガス回収装置およびストレージタンク

本装置は直流高電圧発生装置、加速管および高電圧切換装置等の周辺機器の調整あるいは部品交換のために、圧力容器を開放する際、絶縁用のSF₆ガスを回収貯蔵するためのものである。

Fig. 10 にSF₆ ガス回収の系統図を示す。本装置はストレージタンク（ 25 m^3 ）に回収貯蔵したSF₆ガスを充填装置、除湿装置を用いて本体圧力容器に充填する能力を有する。また圧力容器からSF₆ガスを回収後および圧力容器に再充填する前に圧力容器内を十分に排気できる真空排気系も組込まれている。ストレージタンクの最高使用圧力は $9.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ で、本体圧力容器内のSF₆ガスの残圧力が 10^{-3} Torr まで回収可能である。回収のための所要時間は約6時間である。

3) データロガー、操作・故障記録装置

本装置は加速器の運転制御系およびインターロック安全系統と連係して加速器の照射運転状況の連続的な監視を行うことを目的として設置した。本装置の機能には大別して運転日誌作成機能と操作時刻および故障時刻の記録機能がある。

i) 運転日誌作成機能

所定のフォーマットにしたがって加速器各部の運転条件アナログ量の瞬時値をロギング用紙にタイプライターで記録する機能で、記録された用紙はそのまゝ運転日誌として用いることができる。

Fig. 11に運転日誌の例を示す。記録項目は加速電圧、出力電子流など22項目である。これらの各項目についての測定データを記録する方式としては、設定した時間々隔(1~25分の間)で一定時間毎に記録する“定刻記録”と任意の時刻におけるデータをボタン操作により記録する“任意記録”の2種類があり、自由に選ぶことができる。定刻記録は黒字、任意記録は赤字で印字される。

ii) 操作・故障記録

操作項目や故障項目のリレー接点の状態をサンプリング周期1秒で判別し、状態の変化があった時はFig. 12で示す記録を行う。

a) 操作記録

加速器本体および関連機器が変化(ON-OFF動作)した際にその時刻と機器の名称および動作をプリンターに黒色で印字記録する。記録項目は26項目で約70接点の動作状況が記録できる。

b) 故障記録

加速器系統に何らかの異状があって検出リレーが作動した場合にその時刻、機器名称および故障点の種別を赤字で印字記録する。故障検出項目は約40項目である。

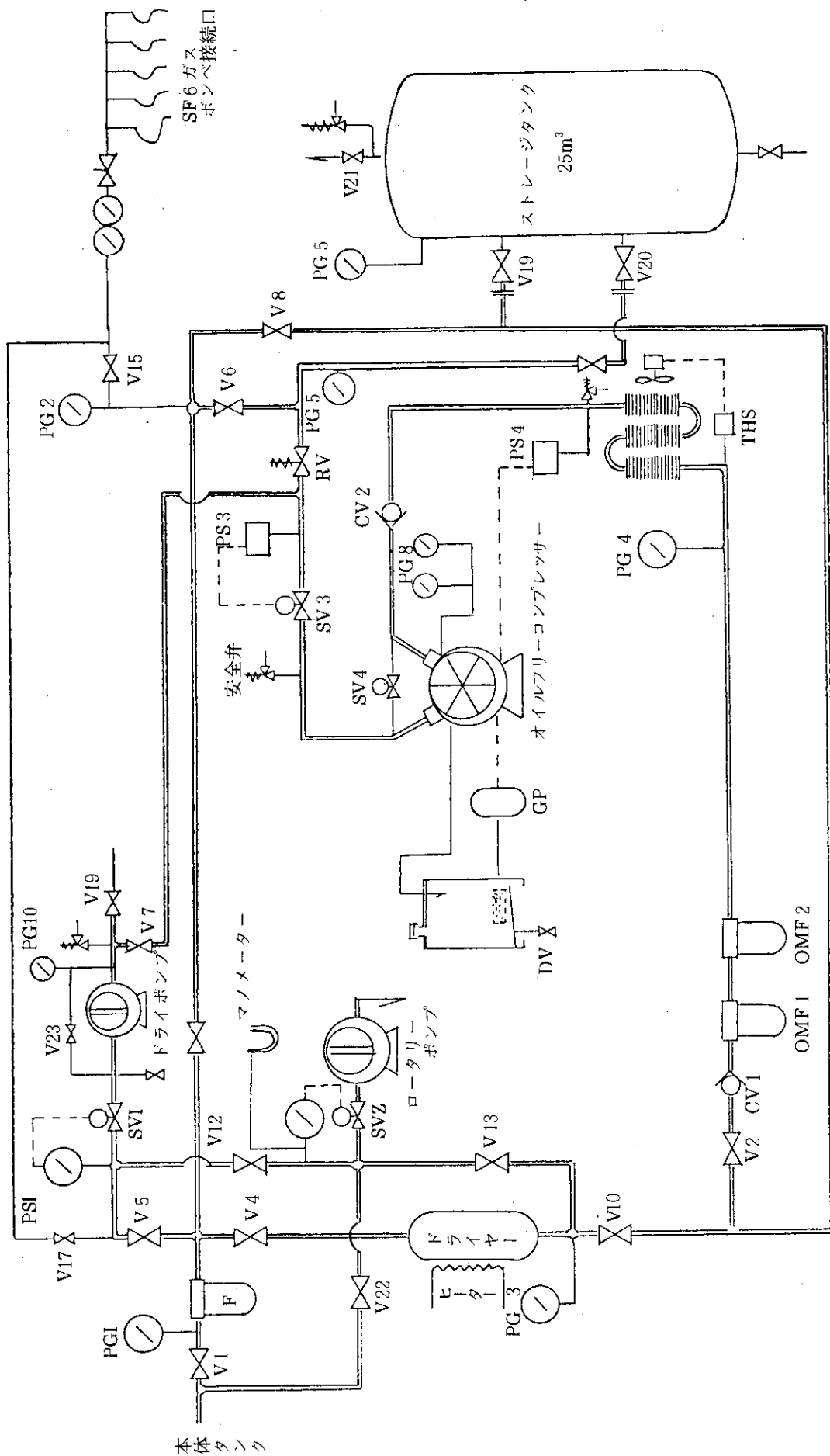


Fig. 10 SF₆ Gas Handling system.

日本原子力研究所

加速器 日誌

主任	加藤
主任	加藤

項目 時刻	記事	加速 電圧 MV	全 電子流 mA	垂直電子流			水平電子流			水			水 準	水 準 基	誘電機			変圧器			本 ソ ク	
				レンツ 1	レンツ 10	レンツ 30	レンツ 1	レンツ 10	レンツ 30	カソード 電流 mA	カソード 電流 mA	カソード 電流 mA			真空度 B	真空度 %	SCAN	出力 電圧 V	出力 電流 A	電流 (A)		電流 (L)
15:25		2.00	30.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
15:30		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
15:35		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	2.00	2.00	0.00	0.00	22
15:40		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	2.00	2.00	0.00	0.00	22
15:45		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	2.00	2.00	0.00	0.00	22
15:50		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	2.00	2.00	0.00	0.00	22
15:55		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:00		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:05		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:10		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:15		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:20		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:25		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:30		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:35		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:40		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:45		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:50		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
16:55		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:00		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:05		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:10		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:15		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:20		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:25		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:30		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:35		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:40		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22
17:45		2.00	30.2	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	130	0.00	0.00	0.00	450	160	1.50	1.50	0.00	0.00	22

← 水平 2HV 30mA
安定度試験
← 水平 1MV 0.1mA
安定度試験
← 水平 1MV 1mA
安定度試験
← 水平 1HV 10mA
安定度試験
← 水平 1HV 30mA
安定度試験

Fig. 11 Routine Operation Records.

10 05 MG-MAGNET/ON
 10 04 SF6 COOL/ON
 10 04 V-W BLOWER/ON
 9 29 V-ROOM SW
 9 28 V-ROOM DOOR
 9 24 MG-MOTOR/ON
 9 23 TANK ROOM SW
 9 23 EMERGENCY STOP
 9 23 TANK ROOM DOOR
 9 22 MG-MOTOR/OPR
 9 14 ACC VOLT/0.5MV
 9 14 V-SCAN
 9 11 OZONE-BL/OFF
 9 10 OZONE-BL/ON
 9 10 WATER-PUMP/ON
 9 10 V-SCAN
 9 10 SF6 COOLING
 9 10 V-COOLING AIR
 9 10 COOLING WATER
 9 10 V-ROOM SW
 9 10 V-ROOM DOOR
 9 10 TANK ROOM SW
 9 10 TANK ROOM DOOR
 9 10 MG COOLANT
 9 10 INTLK/OPR
 9 10 H-B SHUT/CLD
 9 10 V-B SHUT/CLD
 9 10 X-RAY SHUT/CLD
 9 10 EARTH ROD/ON
 9 10 HI VOLT SW/OFF
 9 10 EMERGENCY STOP

 58 01 28

Fig. 12 Operation and Objection Records

3.4 制御系

本加速器の制御系は加速電圧制御系と出力電子流制御系で構成される。加速電圧制御系は1系統のみであるが、出力電子流については垂直用、水平用のどちらについてもサイリスタ増幅器による制御とインバーターによる制御の2系統がある。通常の出力電子流の制御にはサイリスタ増幅器による制御系統を用い、インバーター制御系はバックアップとして用いる。Fig. 13 に制御系のブロックダイアグラムを示す。

(1) 加速電圧制御系

加速電圧制御系統をFig. 14に示す。高周波発電機の交流出力は絶縁変圧器を介してコッククロフト・ワルトン型高電圧発生回路に入力する。発生した直流高電圧は、圧力容器の壁面で高電圧電極と対向する位置に取り付けた回転電圧計を用いて測定する。そしてこの回転電圧計の計測信号によって高周波発電機の界磁電流を制御し、加速電圧を制御する（計測信号は加速電圧自動設定器からの信号と比較した後、発電機の界磁回路にフィードバックされる）ようになっている。

実際の運転においては自動電圧設定器の設定信号により、加速電圧が設定、制御されることになるが、この設定用信号はポテンショメーターを手動で調整する方法とワンタッチ切換機構による二つの方法によって得られる。このワンタッチ切換とは特定の設定加速電圧（0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0 MV の6点）について各々対応した押ボタンスイッチがあり、そのどれかを押すと選択した加速電圧の設定信号が自動的に作られる機能である。さらに、この選択によってショータニングロッドの短絡段数、走査電流、過電圧限界なども自動的に設定されるので、このワンタッチ切換法による運転操作は簡単になる。

加速電圧の制御法としては上記のような自動制御の他に手動制御と真空自動制御がある。手動は、高周波発電機の界磁電流を昇、降の押ボタンスイッチで変化させて加速電圧を制御する方法で、通常は使用しない。真空自動は窓箔交換あるいは圧力容器を開けて点検等を行ったあとの電圧コンディショニングの際に用いる機能で、Fig. 14 に示した自動制御の要素に真空条件を加味したものである。

(2) 出力電子流制御系

本加速器には垂直、水平2本の加速管があり、各々の電子流の制御は各々の加速管頂部にある電子銃フィラメントの加熱電力を制御することによって行う。電子銃フィラメントの加熱電力は、高電圧電極内に設置した電子源MGにより供給されるが、その制御法として電子源MGの出力をSCR増幅器によって位相制御する方法とインバーター装置を用いて周波数制御する2つの系を併設している。

1) 位相制御法

位相制御法は、Fig. 15.1 に示すように高圧電極内で検出した加速管内電子法の信号と電子流自動設定器の設定信号を比較して、その差が零になるような制御信号を光伝送システムを通じて高圧電極内に送り、電子源MGからフィラメントへの電力を制御する方式である。

光伝送部はトランスミッター、光ファイバー、レシーバーで構成され、トランスミッターは制御用電圧信号を光パルス信号に変換して光ファイバーを介して高電圧電極内のレシーバ

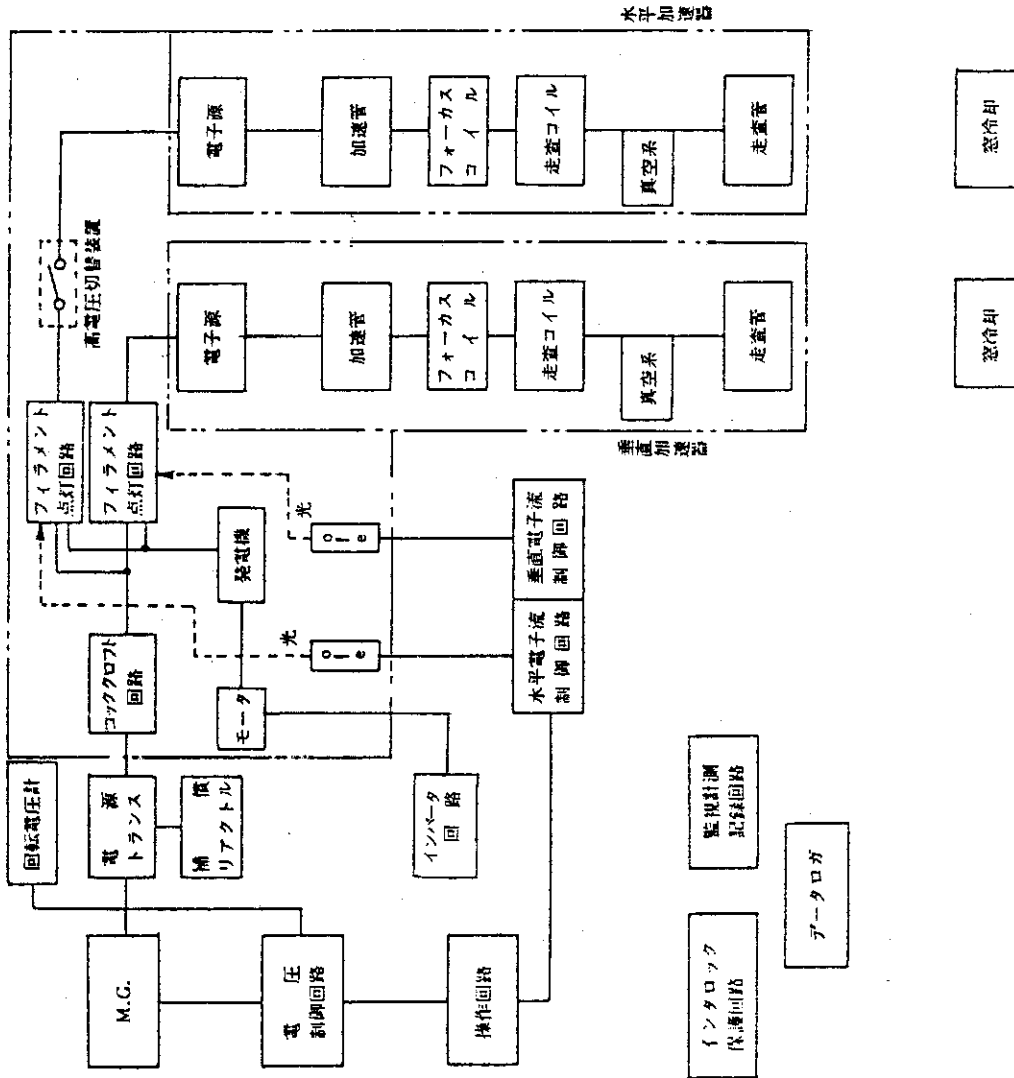


Fig. 13 Block diagram of the accelerator control system.

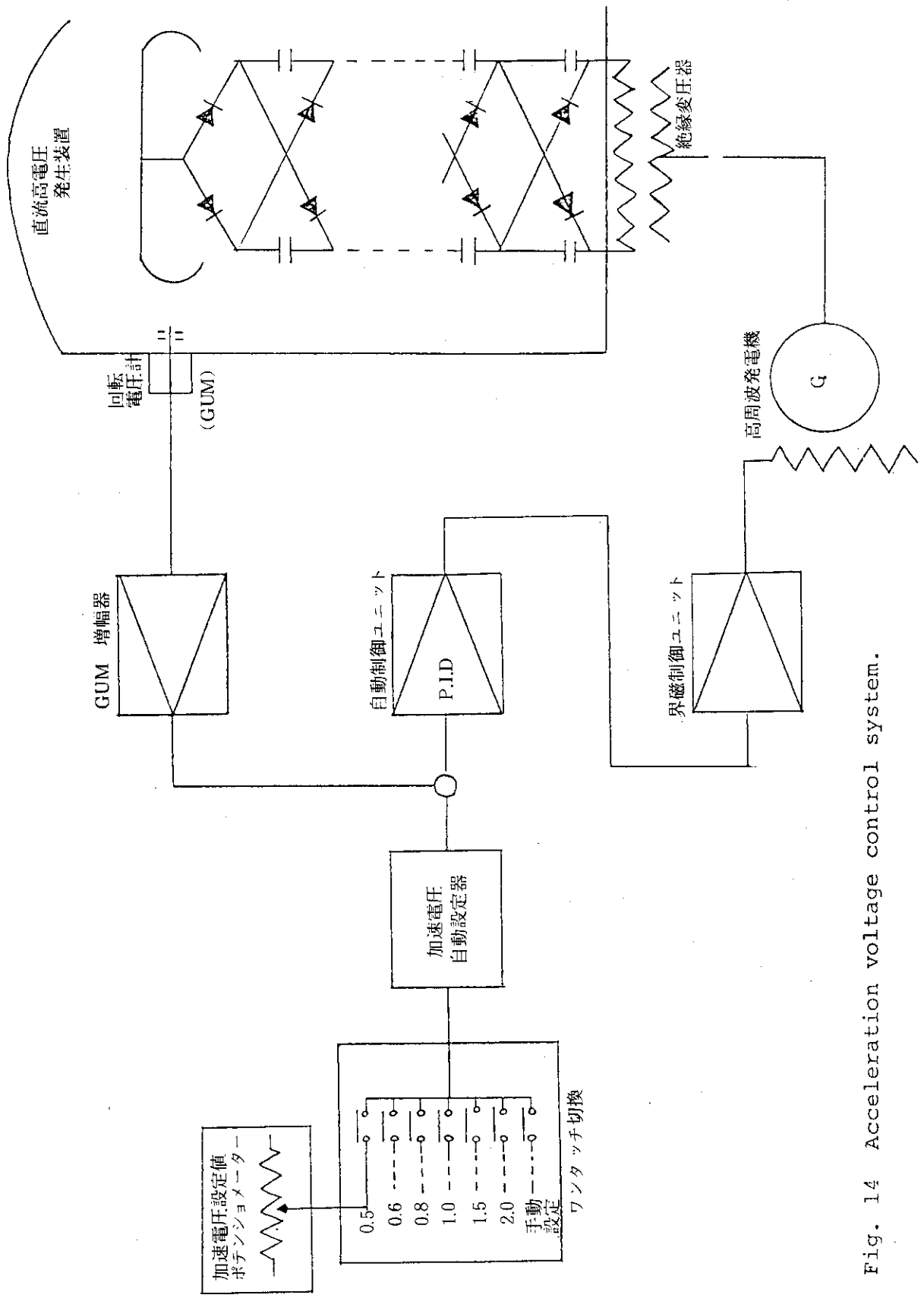
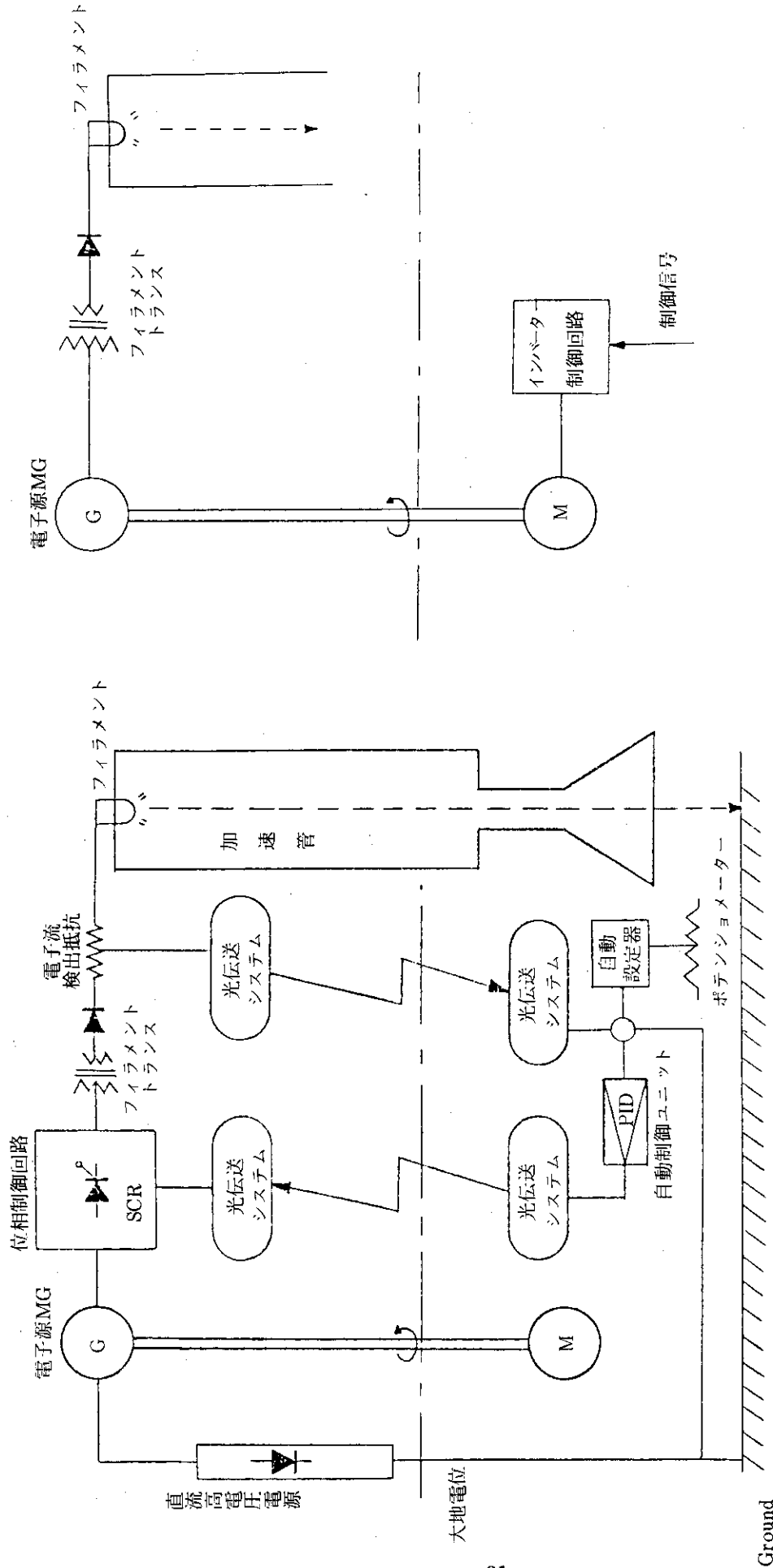


Fig. 14 Acceleration voltage control system.

ーに送り込む。レシーバーは光パルス信号を電圧信号に変換してSCRの制御信号入力としている。この光伝送システムの特徴は、アナログ量をパルス変換して送受信しているので信号の精度が高いこと、大地部から高電位部への信号伝達に際して絶縁ロッドや駆動部が不要なことなどである。

2) インバーター制御法

インバーター制御法は前に述べた位相制御系のバックアップ用として設けられている。Fig. 15.2 に示すインバーター装置を用い、電子源MGの回転数を変化させることによって発電電圧を調整し、フィラメントへの加熱電力を制御する方法である。



2. open circuit with the Inverter

1. closed loop circuit with the SCR module

Fig. 15 Beam current control system. Two modes of operation are possible: 1. Closed loop circuit with the SCR module 2. Open circuit with the Inverter.

3.5 デュアルビーム方式の安全対策

デュアルビーム方式を採用した本電子加速器の照射運転を安全且つ確実に行うための運転操作上の配慮および前項で述べた高電圧切換系を含めた保護監視機構は次の通りである。

(1) 運転方向の設定

1) 操作盤配列

本加速器の構成機器配置図をFig. 16 に示す。運転操作を行う制御室は1階の垂直照射室、2階にある水平照射室からは離れた位置にあるため、操作盤、監視盤および制御盤上で各機器の状態や各照射室内の状況が把握できるようになっている。また操作盤面の配列はFig. 17 に示すように、中央部に加速電圧制御関係、左側に垂直電子流部、右側に水平電子流部となっていて、メーター、スイッチ類の誤読、誤操作を起し難いように工夫されている。

2) 運転方向の設定

操作盤面に垂直方向、水平方向および同時（現在のところ通常運転には使用しない）の3つの押ボタンスイッチがあり、照射を行う方向のスイッチを運転開始前に押すと、その運転方向に沿ったインターロック条件の設定が行われる。Fig. 18 にインターロックの項目およびフローチャートを示す。運転停止の状態（各照射室に自由に出入りできる状態）でないとこの運転方向設定の切換はできない。また、垂直に設定して水平電子流の各種スイッチを押しても水平方向の電子流は発生できず、この逆も同様である。

(2) 高電圧切換系

垂直、水平の切換は操作盤上のマスタースイッチで行う。このスイッチが“入”で水平加速管部に高電圧が印加される状態となり、“切”では垂直加速管部のみに高電圧が印加される状態となる。また加速電圧がONの状態およびOFFの状態であっても残留電圧が零でない限り切換操作はできないようになっている。切換スイッチを入切することにより、高電圧切換機構、接地装置、およびX線シャッターがマスター制御で動作し、切換操作が2分以内（設定時間可変）に完了しない場合は制御監視盤に警報と異常表示がなされる。

a 高電圧切換機構

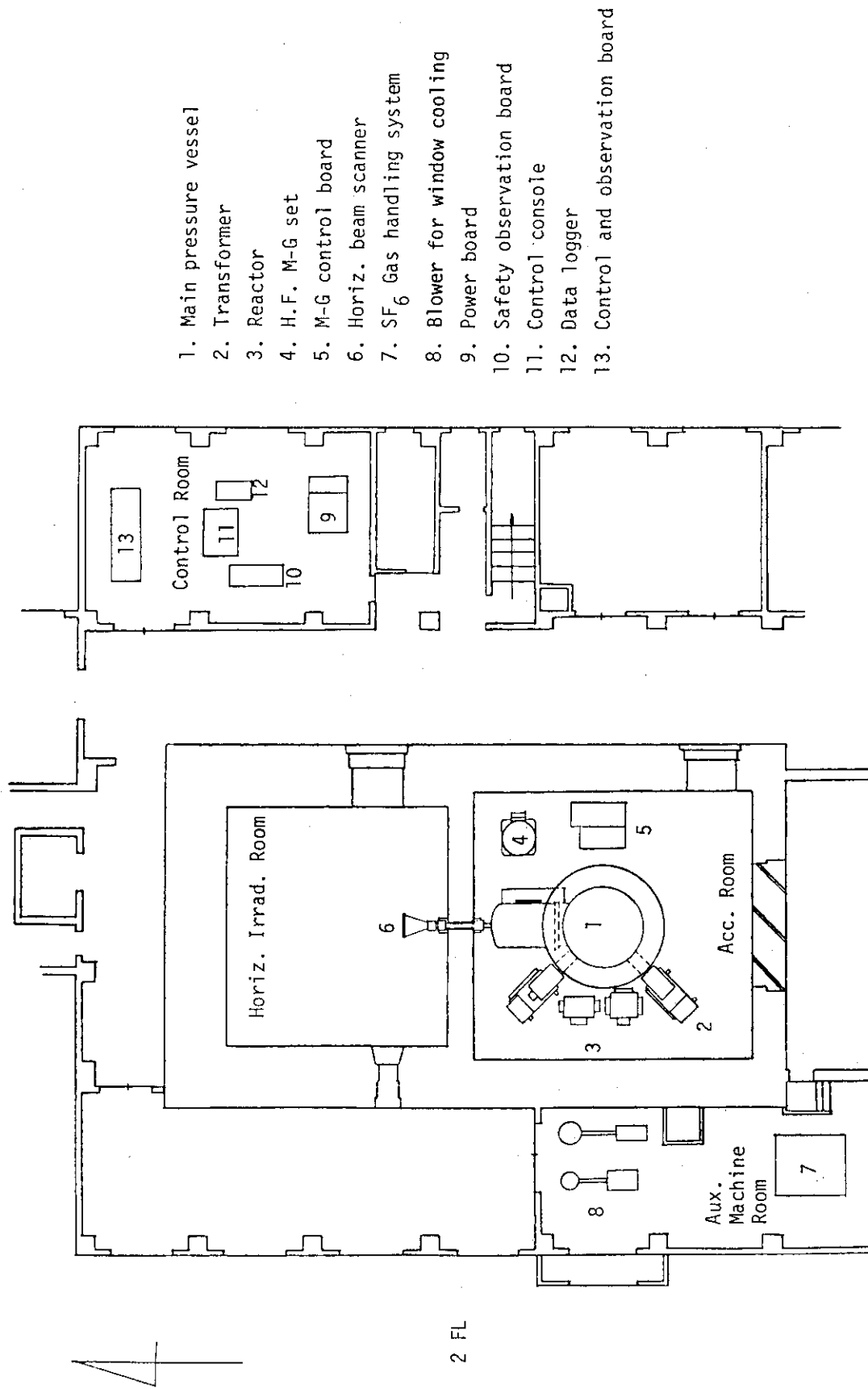
切換スイッチを“入”にすると、圧力タンク内の高電圧発生装置最上段に設置された 200 mm ϕ のアルミニウム製コロナシールド（内部にリード線と電極がある）がパワーシリンダーにより 500 mm の距離を移動して、水平加速部の受入電極部に接触する。動作の確認はパワーシリンダーの移動距離に合わせて設置してあるリミットスイッチからの信号および圧力タンクの覗窓からの目視確認により行う。

b. 接地装置

切換スイッチを“切”にするとパワーシリンダーによって先端に円盤状の電極をつけた接地棒が上昇して水平加速部を接地する。“入”にすると接地棒は加速管フープ部から離れ、格納位置まで引込む。動作の検出、表示はリミット・スイッチで行う。

c. X線シャッター

切換スイッチが“切”の場合、水平加速管部はX線シャッターによって閉鎖されている。このシャッターは圧縮空気を用いたシリンダーによって動作し、水平加速管内の真空度を保ちな



1. Main pressure vessel
2. Transformer
3. Reactor
4. H.F. M-G set
5. M-G control board
6. Horiz. beam scanner
7. SF₆ Gas handling system
8. Blower for window cooling
9. Power board
10. Safety observation board
11. Control console
12. Data logger
13. Control and observation board

Fig. 16 Arrangement of the accelerator in the facility

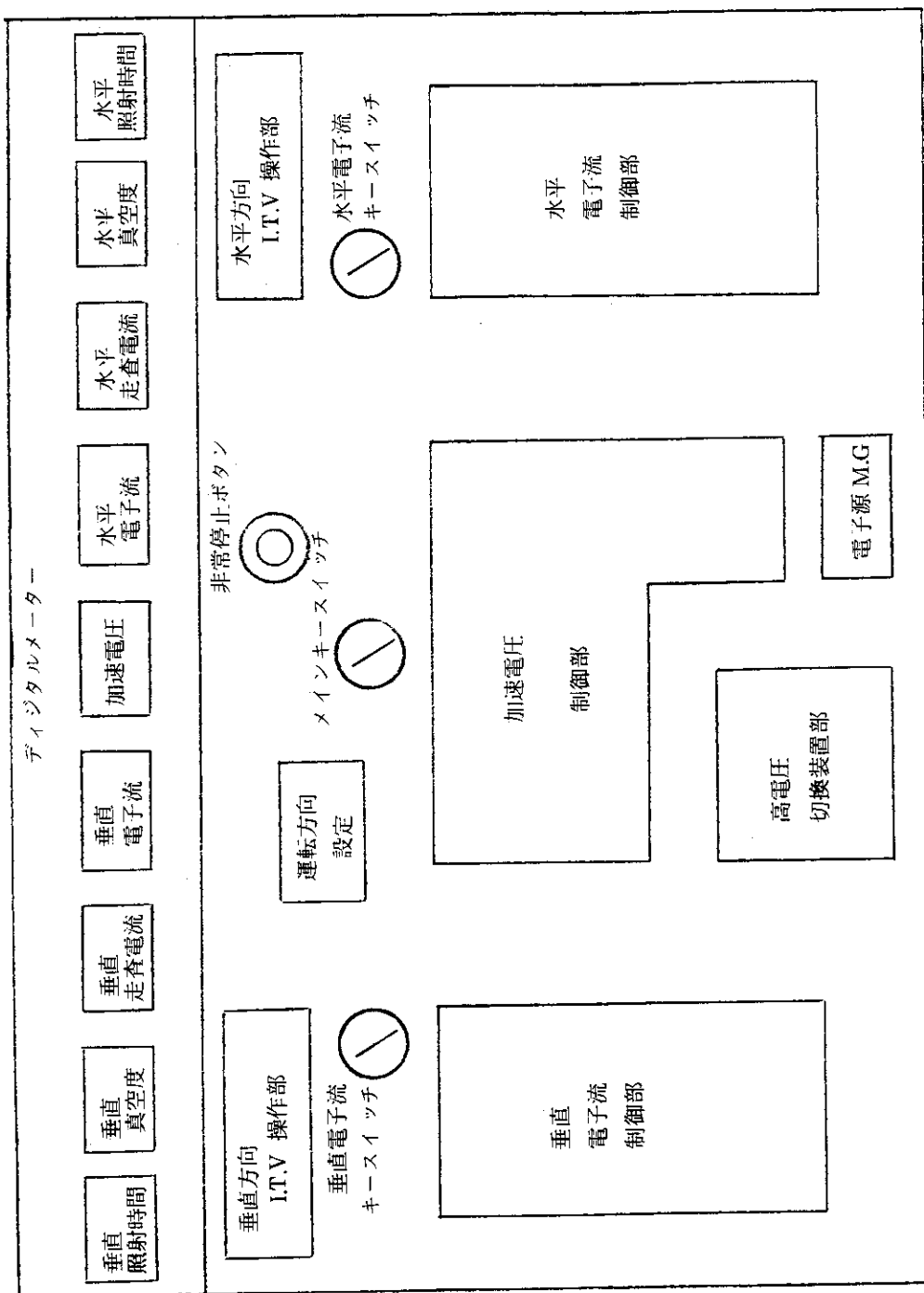


Fig. 17 Control console - Operator pannel

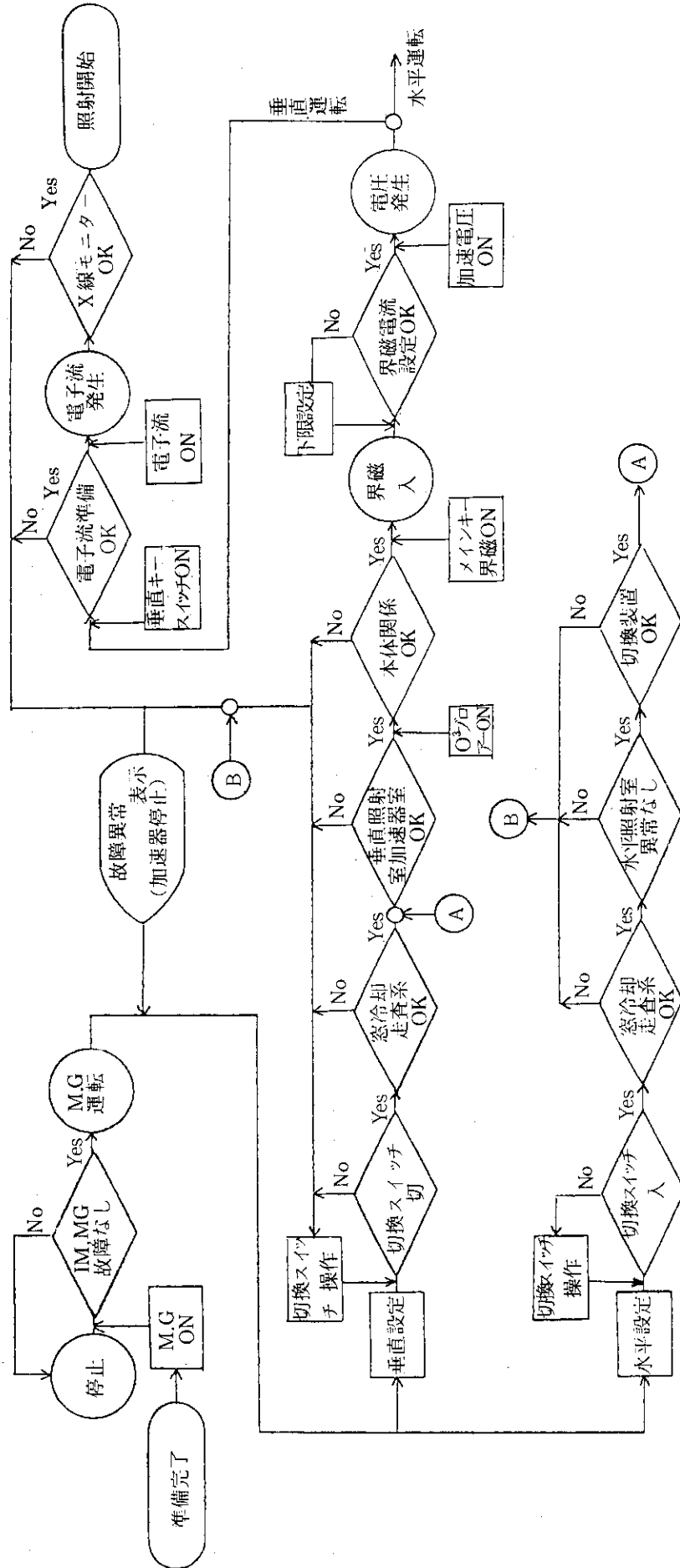


Fig. 18 Interlocking and safety elements for accelerator operation.

がらビームライン内で鉛製のシャッターを開閉する必要から、エアーシリンダーによる駆動部と鉛シャッターはペローズにより結合される。X線シャッターの位置検出表示はリミットスイッチからの信号により行うが、さらに加速器室において駆動軸の位置を確認することによっても開閉の確認ができる。

(3) 照射状況の監視, 記録

照射室内および加速器周辺機器に関連した監視・記録部としては次のようなものがある。

1) X線モニター

垂直方向運転時に水平照射室内の漏洩線量を測定するため、水平走査管下部にGM管式サーベイメーターを設置してある。「垂直」の設定によってこのモニターの電源がONとなり、設定線量を超えると照射室内に警報を発生し異常表示を行うとともに加速電圧をOFFする機構となっている。また「水平」の設定の場合にはモニターの電源はOFFとなる。

2) 制御監視盤

運転員が垂直、水平各照射室、加速器室および照射機械室の状況を監視するための盤である。Fig. 19に制御監視盤の写真を示す。盤の中央部には1000 mm × 900 mmの大きさのグラフィックパネルがあり、建家と加速器を図案化して、作業スイッチ、遮蔽扉、ビームシャッターおよび高電圧切換装置の状態を赤・緑のランプで表示する。またこのグラフィックパネルの左右にはITVモニターが配置され、各照射室のスキャンナー近傍が監視できる。さらに、グラフィックパネルの下の部分には故障表示部があって、加速器本体および付属機器に異常が起った場合、警報とともに黄色ランプが点灯して異常箇所を表示する。

3) データロガー, 故障操作記録

加速器の運転状況、操作手順および故障機器等について記録する装置である。故障操作記録部はイオンポンプと同様に無停電で駆動し、常時、状態変化を記録して保守点検用データを集積する。データロガーの記録と加速電圧、出力電子流の安定度およびイオンポンプによる加速管内真空度変化の記録をもとにして保守管理が行われる。

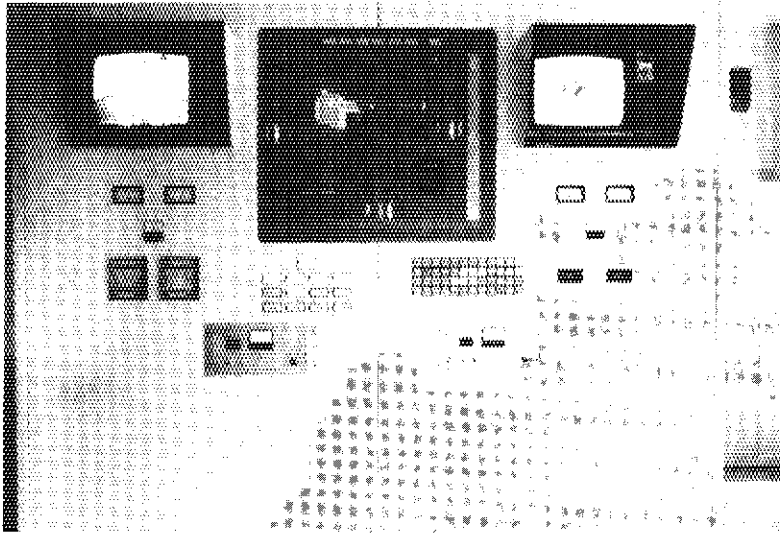


Fig. 19 Control and observation board

3.6 所要設備

(1) 電気設備

本加速器用の電気設備は次の通りである。

- 1) 加速器本体用 ; 3 kV, 3 ϕ , 250 kVA
- 2) 付属機器用 ; 200 V, 3 ϕ , 64.5 kVA

- 内訳
- a. SF₆ ガス熱交換器 : 7.5 kVA
 - b. 操作電源 : 8 kVA
 - c. SF₆ ガス回収装置 : 25 kVA
 - d. 冷却ブロワー (2台) : 24 kVA

- 3) イオンポンプ用 ; 200 V, 1 ϕ , 12 kVA

この中でイオンポンプおよび操作電源に含まれているデータロガーについては、エンジンジェネレーター式非常用電源に接続して無停電化している。

- 4) 付属設備用 : 200 V, 3 ϕ , 130 kVA

- 内訳
- a. 排ガス処理装置 : 50 kVA
 - b. 冷却水ポンプ : 3 kVA
 - c. 照射室用送風機 : 63 kVA
 - d. 保守点検用クレーン : 14 kVA

(2) 冷却水

Fig. 20に本加速器用の冷却水系統図を示す。冷却水は10 m³の貯水槽から各系統へ送り出され、各機器を通して再び貯水槽へ戻る循環方式であり、水温が一定値よりも上昇した場合には冷却塔を作動させる。冷却水の必要条件と冷却水量の内訳は次の通りである。

1) 条件

水圧力 : 4 ~ 6 kg/cm²G, 温度 : 30 °C以下

必要流量 : 210 l/min.

2) 内訳

- a. 高周波発電機 : 60 l/min.
- b. SF₆ ガス熱交換器 : 30 l/min.
- c. ビームシャッター : 60 l/min. × 2

(3) 圧縮空気

X線シャッターおよびビームシャッター駆動用として、6.5 ~ 9 kg/cm²Gの圧力で9 Nl/(動作)のコンプレッサーを設備する。

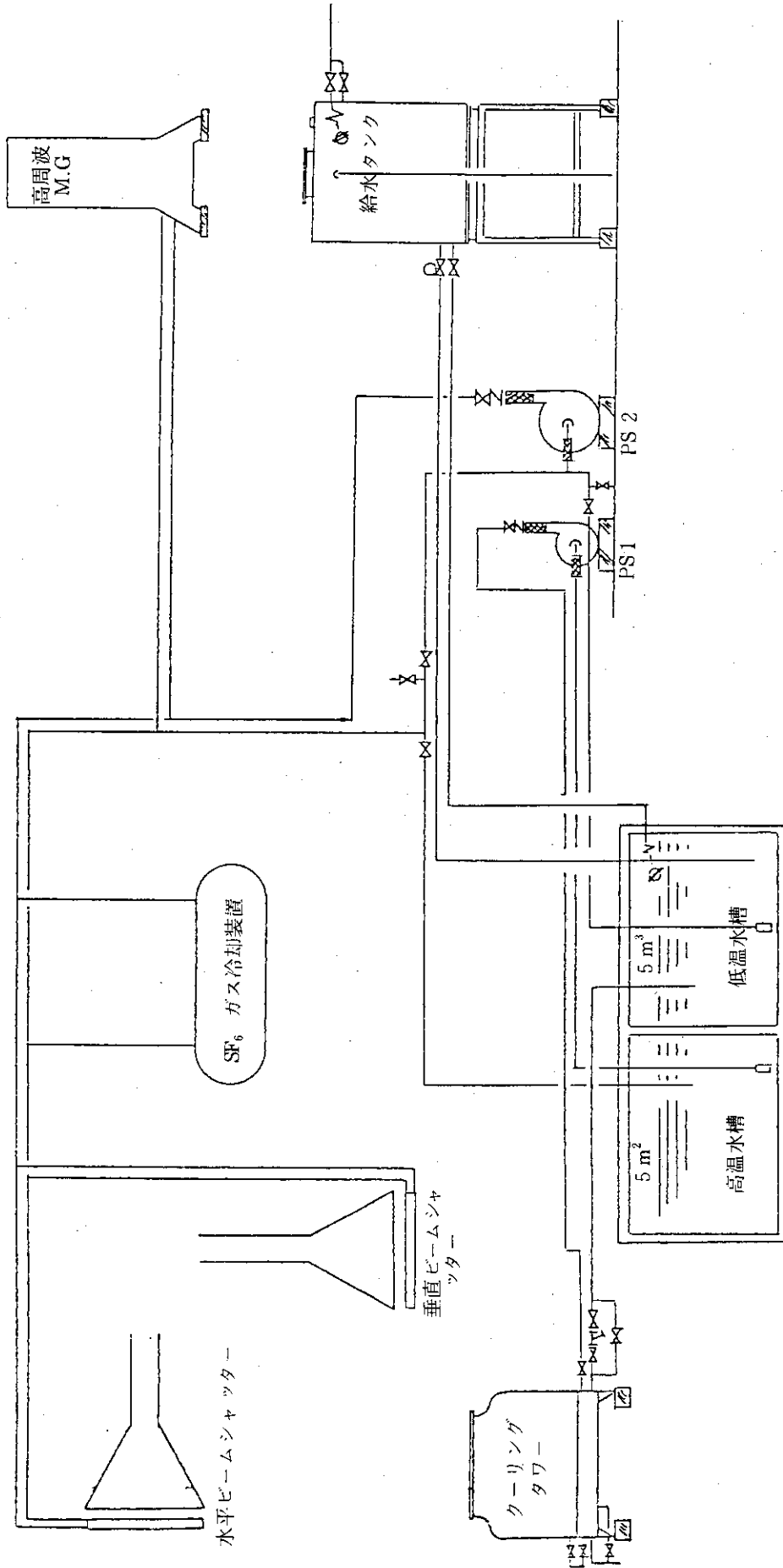


Fig. 20 Cooling water flow system.

4. 加速器付帯装置の仕様

4.1 排ガス処理装置の仕様

(1) 処理装置の概要

本装置は活性炭配合固型剤（以下処理剤と呼ぶ）を充填した処理槽に照射室内の排気系統を接続して排ガス中に含まれるオゾンや窒素酸化物を除去することを目的とする装置である。

本装置は処理槽、ブロワーおよび排気ダクト系により構成されている。Fig. 21 に本処理装置のフローチャートを示す。照射室内で発生したオゾンおよび窒素酸化物は室内の空気とともに照射室内排気口より排出され、ダクト内を通して1階の排ガス処理室に設置した処理槽に導かれる。ここでオゾンは処理剤と反応して分解除去され、また窒素酸化物は硝酸の形態で処理剤に吸着除去される²⁾。オゾンおよび窒素酸化物が除去された空気はブロワーに吸引され、さらにダクトを通して棟外の煙窓から大気中に放出される。Fig. 22 に処理槽の平面図および立面図を示す。

本処理装置の各部仕様は次の通りである。

1) 処理槽

主要寸法：1,900 × 1,900 × 1,000 2層直列

処理剤充填量：0.9 t/層 × 2 = 1.8 t

主要材質：ステンレス鋼

2) ブロワー

排気量：13,000 m³/h, 静圧：800 mm Aq.

駆動モーター：45 kW

主要材質：ステンレス鋼

3) 処理剤充填器

ブロワー容量：3.3 m³/min, 静圧：1,000 mm Aq.

駆動モーター：1.5 kW.

サイクロン：容量45 ℓ, ステンレス鋼製。

(2) 処理装置の設計条件

1) 最大許容排気オゾン濃度

100 ppmのオゾンを含む空気を高さ15 mの煙突（1号加速器棟の煙突と同じ高さ）から大気中に拡散させた場合の着地濃度を英国気象局方式により計算した。Fig. 23 にその結果を示す。図から各気象条件の場合の最大着地濃度は次のようになる。

Ⓐ 風速0.5 m/sec, 日射量50 cal/cm²・hの場合

約80 mの地点で0.44 ppm.

Ⓑ 風速0.5 m/sec, 本曇りの場合

約200 mの地点で0.37 ppm.

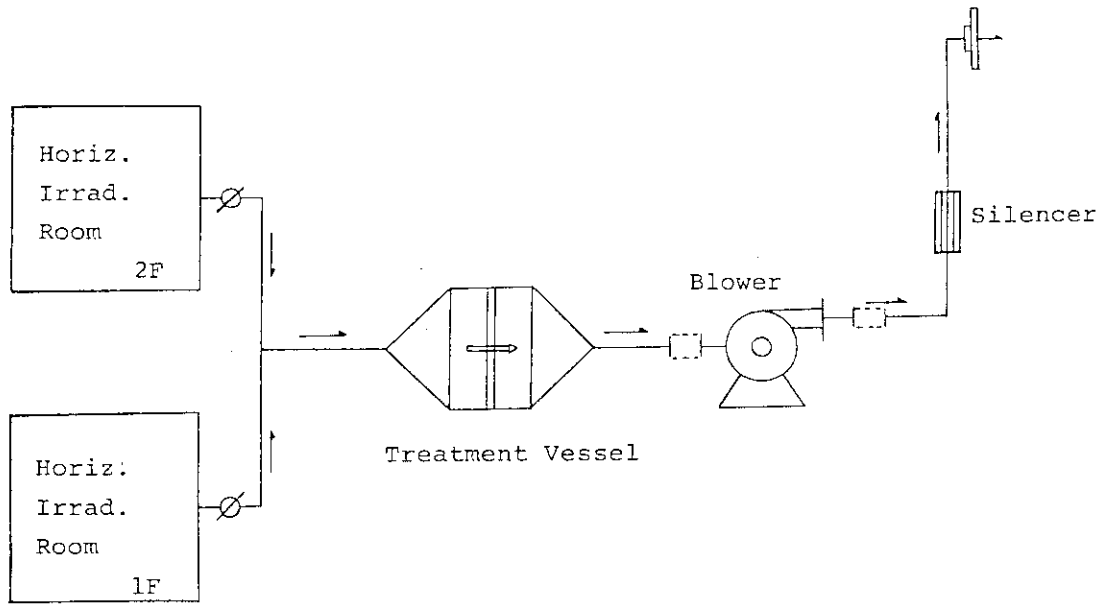


Fig. 21 Flow chart of the exhaust treatment

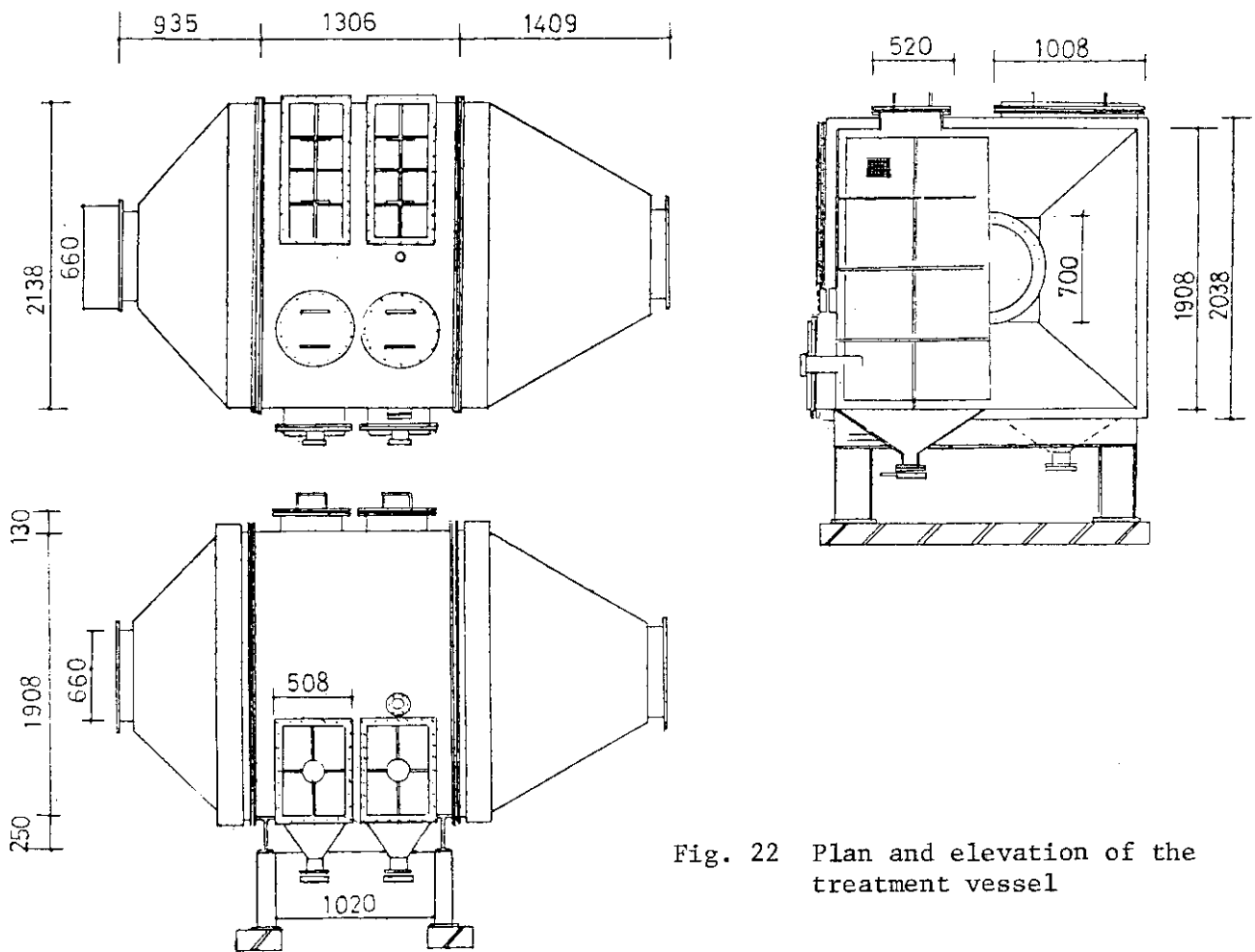


Fig. 22 Plan and elevation of the treatment vessel

◎ 風速 2 m/sec , 夜, 雲量が 4 - 0 の場合

約 500 m の地点で 0.07 ppm.

これらの計算結果から, 排気中のオゾン濃度を 10 ppm にすればオキシダント環境基準値 0.06 ppm およびオゾンの作業環境基準値 0.1 ppm 以下になると考えられるが, 安全側に考えて 5 ppm を最大許容排気オゾン濃度とした。

2) ブロワー

a. 排気量

照射室内排気用ブロワーの排気量については, 照射実験終了後に照射室へ立入る時の安全性および作業性を考慮して, 水平, 垂直各照射室内の空気を約 1 分間に 1 回の割合で排気できる能力を有するものとした。したがって水平照射室の寸法 (7,100 × 7,800 × 4,300) および垂直照射室の寸法 (8,500 × 7,800 × 3,100) からブロワーの排気能力は 13,000 m³/h とする。

b. 圧力損失

使用する処理剤の圧力損失と線速との関係を Fig. 24 に示す。図から線速が 100 cm/sec での圧力損失を求めると, 約 640 mm Aq. となる。(この線速 100 cm/sec については後に述べる) また, 照射室から煙窓までのダクト内での圧力損失は, 約 100 mm Aq 程度と見積られるので, 合計 740 mm Aq 程度の圧力損失があるものと考えられる。したがって, 使用するブロワーの静圧は 800 mm Aq 程度のものとした。なお, 使用前後における処理剤の圧力損失の差はほとんど無いことが確認されている。

c. オゾンの発生量

1 号加速器の照射運転において最もオゾンが発生する条件は, 加速器の出力が最大 (2.0 MV, 30 mA) で, 水平照射, 空気層が最大 (水平照射の場合 570 cm) となった時である。この条件で発生するオゾンの量は G(O₃) 値を 6 とすると約 2,707 ℓ/h, 重量に換算して約 5.8 kg/h となる。また窒素酸化物は, G(NO₂) 値を 3 として約 1,353 ℓ/h, 重量換算して約 2.8 kg/h となる。これら発生したオゾンおよび窒素酸化物を排気量 13,000 m³/h でそのまま排気した場合の煙窓におけるオゾンおよび窒素酸化物の濃度は, 各々 200 ppm および 100 ppm となる。したがって最大 200 ppm のオゾンを含む空気を処理槽に通し, 煙窓において 5 ppm 以下のオゾン濃度にする能力が必要である。

d. 有効処理時間

水平, 垂直各照射室における最大オゾン発生条件に換算した加速器の照射運転時間を水平照射 50 時間, 垂直照射 50 時間の合計 100 時間と予想すると, 水平照射室では約 300 kg, 垂直照射室では約 90 kg 合計約 400 kg のオゾンが発生する。これはオゾン濃度 200 ppm の空気を 13,000 m³/h の換気量で 80 時間処理する量に相当する。Fig. 25 に実験により求めた処理剤の接触時間と破過時間の関係を示す。この図から接触時間が 1 秒 (線速 100 cm/sec, 処理層 100 cm) の時, 破過時間は約 80 時間である。

Fig. 26 に接触時間と除去効率 (処理剤 1 g が破過時間までの間に処理する平均オゾン量) の関係を示す。この図から接触時間が 1 秒の場合の除去効率は 0.27 であり, 年間 400 kg のオゾン进行处理するためには, 約 1.5 t の処理剤が必要となる。また排気量と接触時間から

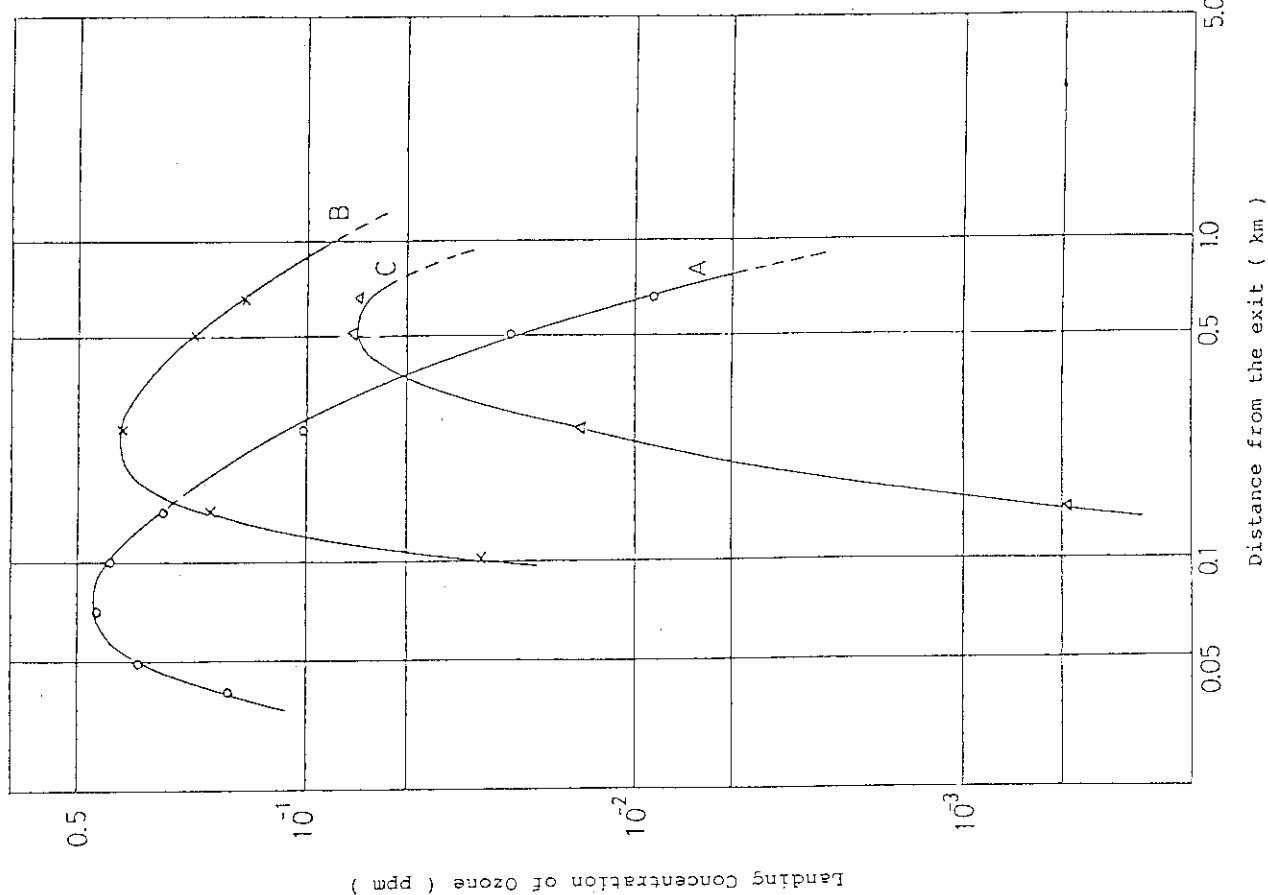


Fig. 23 Calculation results for the landing concentration of ozone

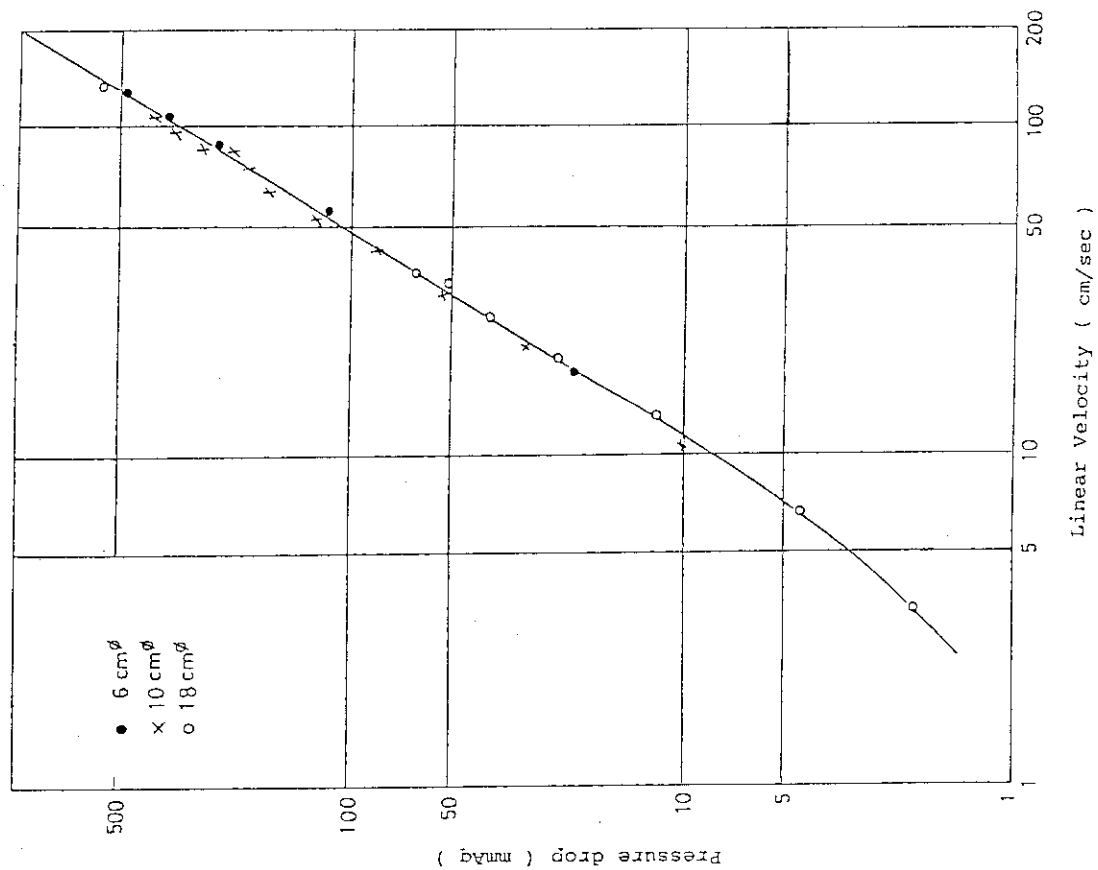


Fig. 24 Plot of the linear velocity vs. the pressure drop

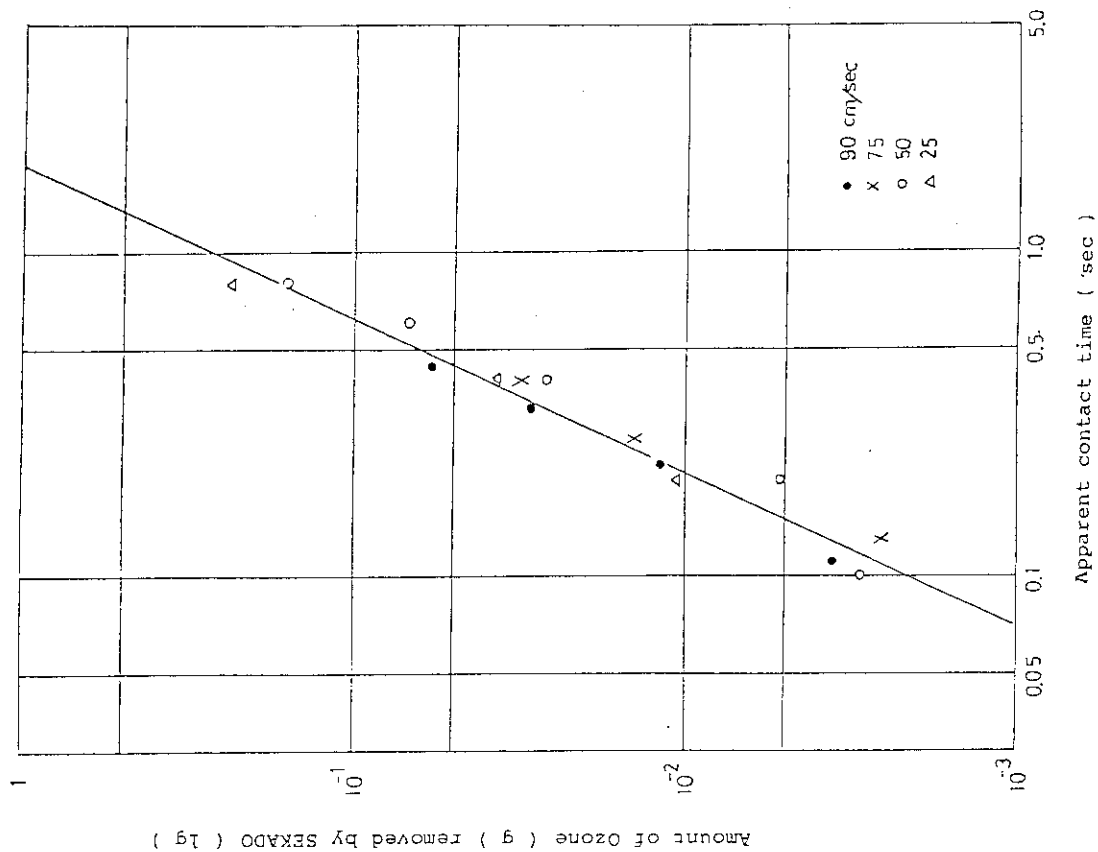


Fig. 26 Plots of the apparent contact time vs. the collection efficiency

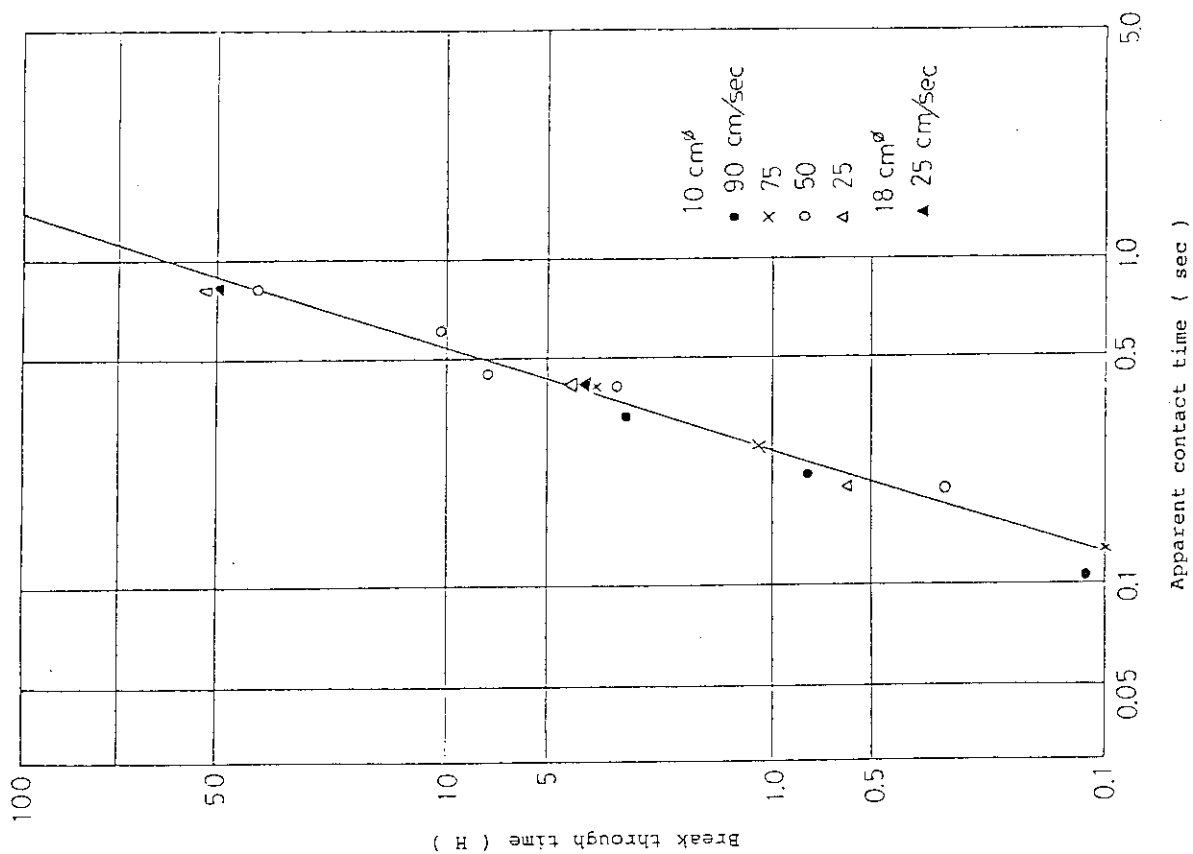


Fig. 25 Relation between the apparent contact time and the break through time

処理槽の容積は 3.6 m^3 となり、処理剤の充填密度を 0.52 とすると処理剤の量は 1.88 t となる。

(3) 処理装置の安全性

1) 処理剤

使用するオゾン処理剤は、品川白煉瓦（株）製のオゾン分解剤セカードMR-4（粒径約 4 mm）で2号加速器で使用しているものと同じものである。この処理剤はシリカアルミナゲルに約 20 %の活性炭が含まれているもので、活性炭量が少ないためオゾンと反応しても穏やかに燃焼する。2号加速器での使用経験から処理剤の発熱について問題はないが、本処理装置ではオゾン进行处理している間の処理剤層中心部の温度変化が監視できるようになっている。

2) 処理層およびダクト

本装置でオゾンを含む空気に接触する部分の材質は、すべてオゾンに対して安定なものを使用している。処理槽本体、ブロワーおよびダクトでオゾンを含む空気と接触あるいはその虞れがある部分はすべてSUSを使用し、接続フランジのパッキングはアスベスト製のものを使用した。

本装置は吸引方式を用いているため照射室排気口からブロワーまでは負圧となるが、さらに安全性を確認するため、処理装置はオゾンリークがないように設備工事後の検査では窒素ガスによる加圧試験を行うこととした。

3) 騒音対策

本装置には 45 kW のブロワーを使用しているが、このブロワー自身、あるいは処理槽を $13,000 \text{ m}^3/\text{h}$ の空気が流れる時に騒音が発生する。その対策として次に述べる処置を施した。

棟内への騒音対策としては、ブロワーおよび処理槽を防音壁で囲まれた排ガス処理室に設置した。また排気ダクトは、実験室あるいは作業エリア内にできるだけ露出しないよう配管し、さらに排ガス処理室を通過する他の空調用ダクトには吸音材を巻き、騒音がダクトを通して漏れることを防いだ。

また、ブロワーから発生する音がダクトを通り煙窓から棟外へ漏れるのを防ぐため、ブロワーと吸込口および吐出口はキャンバスタクトによって接続し、さらに吐出側にはサイレンサーを設置した。

4) オゾン濃度の監視

本装置運転中におけるオゾン濃度の監視は、処理槽の入口側と出口側の2ヶ所で行い、出口側では常に 5 ppm 以下であることを確認する。オゾン濃度の測定には dasibi Environmental Corp. 製の紫外線吸収方式のオゾンモニター 1003-HC と 1003-AH 型を使用した。このモニターの測定範囲は次の通りである。

① 1003-HC 型

測定範囲：0 ~ 100 ppm, 精度 $\pm 0.5 \%$

最小指示値：0.1 ppm.

② 1003-AH 型

測定範囲：0 ~ 1 ppm, 精度 $\pm 0.5 \%$

最小指示値：1 ppb

処理剤は原則として1年に1回交換する必要があるが、使用期間にかかわらず処理槽の出口側のオゾン濃度が、常時5 ppm を超えるような場合はその時点で処理剤の交換を行う。

(4) 排気ダクト系の設計

垂直照射室および水平照射室で発生するオゾンを含む空気を処理槽に導くためのダクトの設計にあたっては次の点に留意した。

- a) 給気ブローアおよび排気ブローアは各1台とし、各照射室からの排気系はダンパー弁により切替える。
- b) ダクトの配管はできる限り人が立入らない場所を選ぶようにする。
- c) ダクトの材質はオゾンに対して耐性のあるSUSとし、800 mm Aq の負圧に対して十分な構造、強度をもつこととする。
- d) 各照射室のダクトの出入口には防火ダンパーおよび流量調節ダンパーを設ける。

Fig. 27 は各照射室へのダクト配管系統図である。給気系については、3階の照射機械室に設置した給気ブローア (ACS) により取り入れられた外気が、流量調節ダンパー (VD 1) を通り、モーターダンパー (MD 1, MD 2) および防火ダンパー (FD 1) を通って各照射室へ送られる。各照射室に対する給気の切替えは MD 1, MD 2 の開閉によって行う。

排気系は各照射室の排気口から防火ダンパー (FD 2), モーターダンパー (MD 3, MD 4), 流量調節ダンパー (VD 2) および防火兼用モーターダンパーを通り1階排ガス処理室に設置した処理槽に導かれる。各照射室の排気系の切替えは MD 3, MD 4 の開閉によって行い、給気側の MD 1, MD 2 と排気側の MD 3, MD 4 とは各々連動するようになっている。また、給気ブローアと排気ブローアも連動するようになっていて、照射室内が負圧あるいは加圧の状態にならないようにしている。さらに給排気系統の切替えに使用している各モーターダンパーの開閉状態を確認する機構を設け、不完全な状態ではブローアの運転ができないようにしてある。FD 1, FD 2 および SFD は棟内各箇所設置されている煙感知器の動作により自動的に閉じる。

Fig. 28 はダクトの配管平面図を示す。配管は3階照射機械室および加速器室の壁ぎわスペースを利用した。ダクトの断面積は $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$, 全長約 85 m で、 $13,000 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量の空気のダクト内での線速は約 $7.4 \text{ m}/\text{sec}$ となる。一般に線速が $15 \text{ m}/\text{sec}$ 以上となるときには、高速ダクトとして発生する騒音や圧力損失について十分な配慮が必要とされており、また $7.5 \text{ m}/\text{sec}$ の線速は、アパートやホテルなどの給気主ダクトの最大風速とされている。本ダクトについては線速 7.5 m として設計し、摩擦損失は 0.07 mm Aq , ダクト内での圧力損失は 7 mm Aq 以下と推定した。

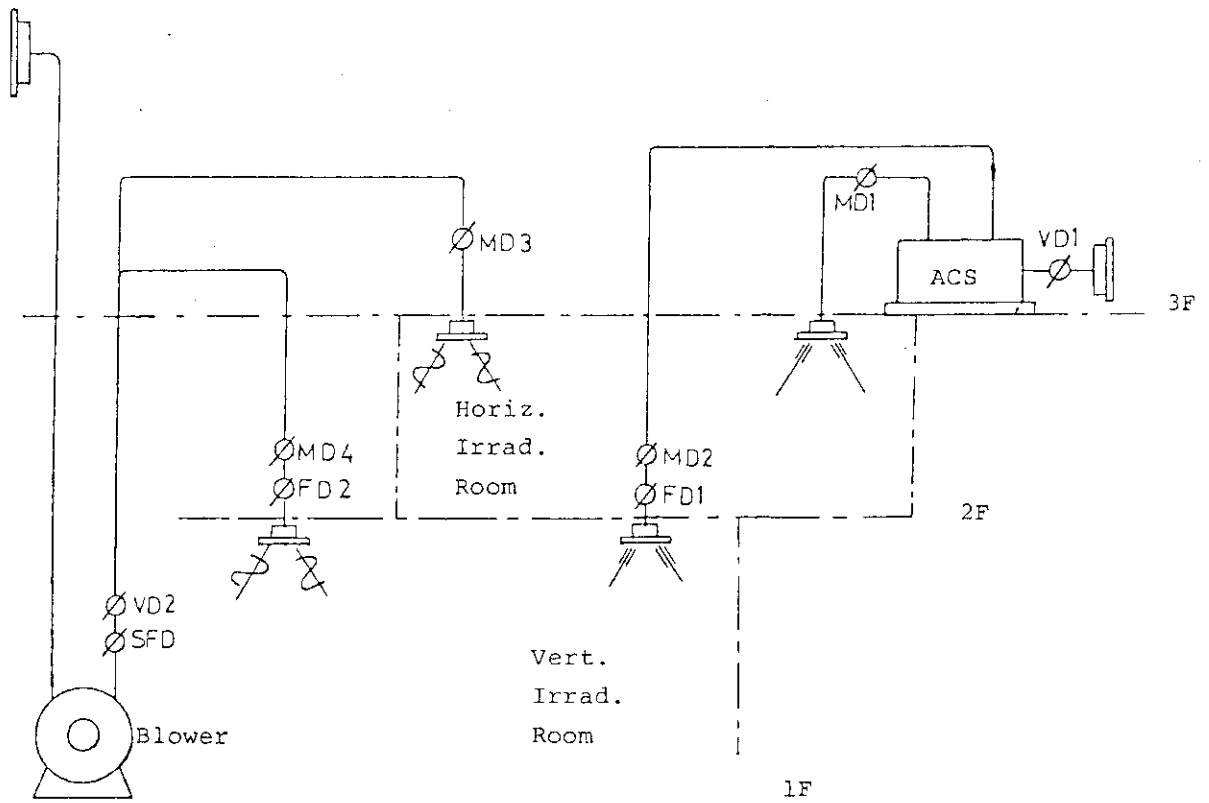


Fig. 27 Schematic diagram of the air circulation system

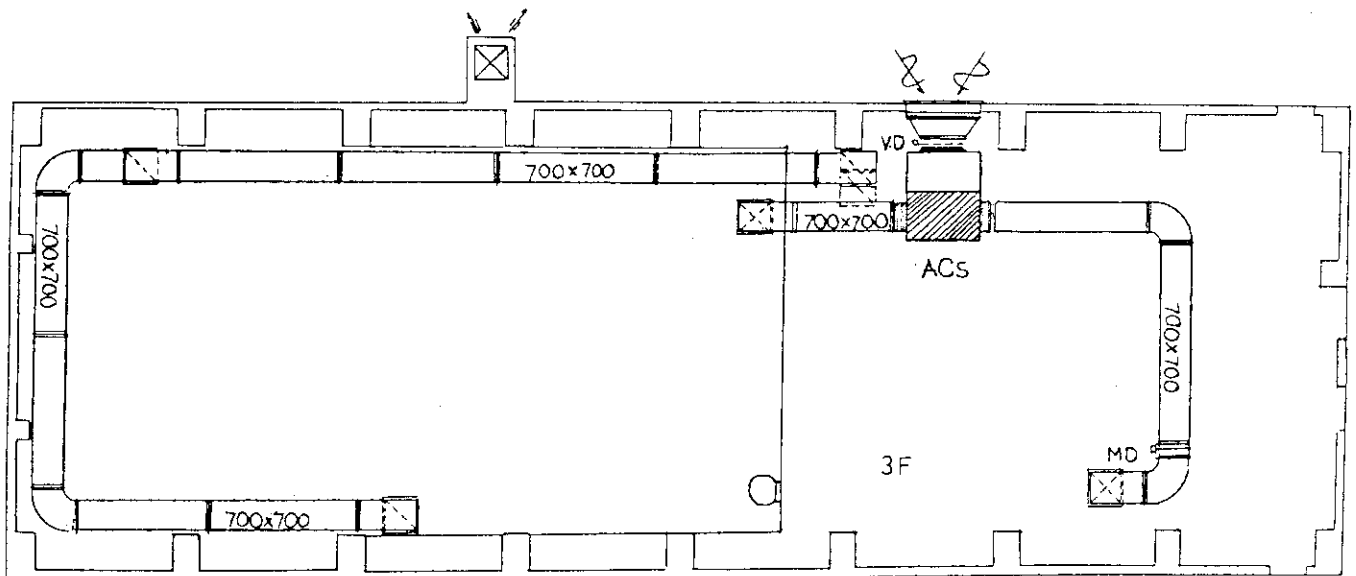


Fig. 28 Piping of the air-circulation ducts to the irradiation room

4.2 照射用コンベヤの仕様

(1) 一般仕様

本照射用コンベヤは垂直照射室に設置し、照射実験に利用するための装置であるが、仕様の決定に際しては旧1号加速器の照射用コンベヤの運転経験を参考にして検討を行った。

旧1号加速器の照射用コンベヤは、照射試料用台として用いるアルミニウム製パンケース（40 cm×40 cm）をフリーカーブ・チェーンによって駆動する方式のコンベヤであった。チェーンはループ式で全長60 m、パンケース102ケで、照射室外の作業エリアから照射室内へ専用の円形迷路を貫通して設置されていたため、加速器の運転を停止することなく照射室内へ試料の搬入が行えることを特徴としていた。

また一方では、専用装置による照射実験等の場合、コンベヤを部分的に取外すことが必要になるが、作業が複雑となり、また照射室内の利用効率が悪くなることが難点であった。

そこで、新1号加速器の照射用コンベヤは、垂直照射室の外側から専用迷路を貫通して試料の搬入搬出ができる構造とし、床面に布設されたレール中の駆動チェーンによって70 cm角のステンレス製試料皿をもつ搬送台車を移動するトウベヤ方式とした。この方式の特徴は、台車に取り付けられたトウピンの操作によって台車とチェーンの脱着が簡単に行えるという点である。

本装置は、駆動部、レール及チェーン、搬送台車、制御部および操作盤によって構成され、次の性能を有する。

- 1) 搬送速度：0.5～15 m/min. 連続可変
- 2) 搬送重量：20 kg/台×20台
- 3) 搬送台車数：20台
- 4) 走行安定度：上記の条件において±5%以内

(2) 各部仕様

1) 駆動部

直流サーボモーター（安川電機製直流カップモーター VGCMEM-15FB4, 1.5 kW）、減速機（椿本モールス製ウォーム減速機 70 V, 1/40）およびテークアップ（駆動チェーンの弛みを自動的に吸収する機構）などで構成される。この部分は垂直照射室北側のコンベヤ作業室の床下ピット内に設置する。

2) レール及びチェーン

レールは、コンベヤ作業室に設置した駆動部から迷路を通過して垂直照射室に入り、さらに迷路を通過して駆動部に戻る経路に沿って床面に布設される（Fig. 29 参照）。迷路は東西方向に対称な8字形迷路で、幅1.2 m、全長35 mであり、また、レールは直線レールと24ケの横曲りレール（600 Rで1つの横曲りに対して2ケ使用する）によって構成され、全長は46.81 mである。

直線レールのうち、照射室内で加速器照射窓下の部分については、電子線照射による発熱やオゾンの影響を考慮してステンレス鋼製の伸縮自在レールとした。レール内を走行する駆動チェーンはピッチ100 mmのフリーカーブチェーンで全長は49.4 mである。Fig. 30に示

すように、このチェーンは内リンクと外リンクによって構成され、内リンクの凹部に搬送台車のトウピンが入り、これを押し進める機構である。

3) 搬送台車

搬送台車はトウピンが駆動用チェーンの凹部に落ち込んだ状態で搬送され、トウピンを凹部から抜けばチェーンから簡単に外れる。Fig. 31 に台車の構造を示す。前部にトウピンが、また後部にはガイドピンがあり、このガイドピンはレールの内側でスプリングによりチェーンを押えるようになっていて、チェーンの凹部には落ち込まない構造である。台車の上部には照射試料を載せるステンレス鋼製のテーブルがあり、その高さは床面から1000 ± 300mmの範囲で変えることができる。テーブルの大きさは700 × 700 mmで、1台当りの最大積載量は20 kgである。

4) 制御および操作部

制御機構は全て中央制御盤に集中しており、コンベヤ作業室からの搬入、照射室内での正逆運転および搬出に係わる全ての制御信号はこの中央制御盤から駆動部へ伝えられ、また表示信号は各操作盤へ伝えられる。

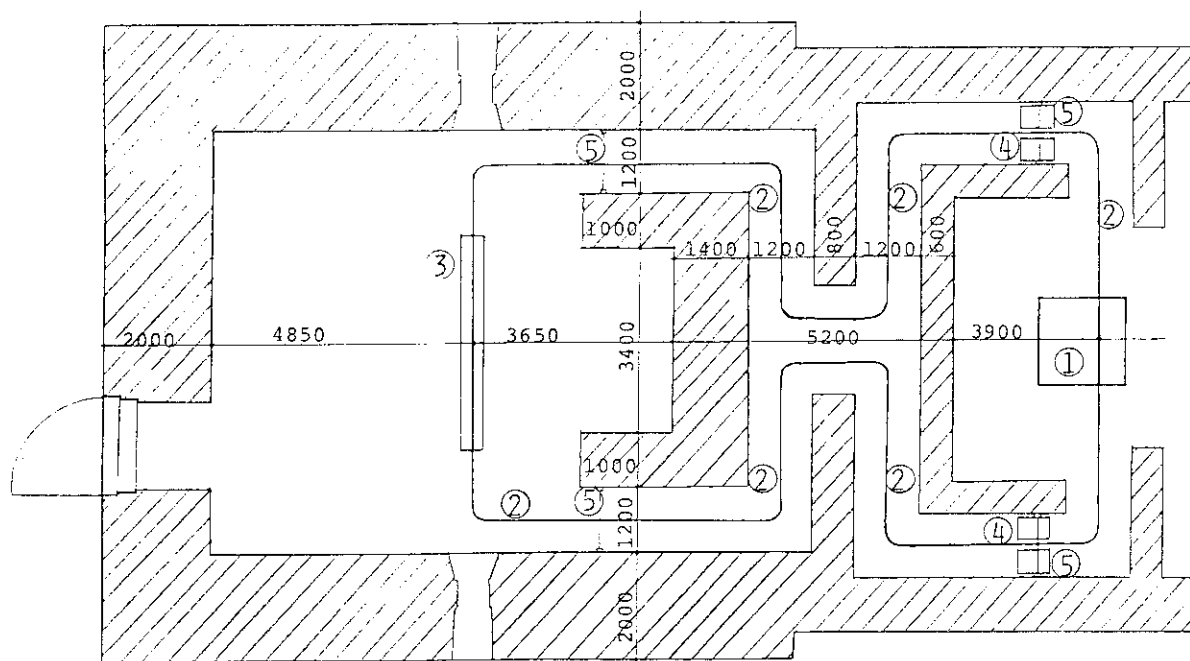
本コンベヤは設置当初は一定方向のみ進行する方式であったが、照射実験によっては繰り返して照射をする必要がある場合が多く、また加速器の利用効率を高めることにもなるので、その後トウピンおよびテークバック機構を改造して照射室内の軌道の範囲で正・逆運転ができるようにしてある。

また安全保護装置としては、駆動用モーターに異常負荷がかかった場合に動作するショックリレー、起動時に過負荷を軽減しながら定常運転まで制御するスロースターターおよび搬送台車に試料を載せ照射室内へ搬入する際、一定の高さ（床面から1250 mm）を超えると加速器照射窓に接触する虞れがあるため、迷路入口部には光電管式の制限高さ検出器などがあり、これらの各機器の制御系統も中央制御盤に収納されている。

操作盤は、加速器制御室に主操作盤が、また垂直照射室東側の放射線遮蔽窓の近傍に副操作盤があり、いずれの操作盤からでも押釦操作によって台車の正転走行、逆転および停止の指令や速度の調整が行える。

この照射用コンベヤは迷路開口部を通して台車により試料を照射室へ送る方式であるが、照射試料以外の物あるいは人がこの迷路開口部を通して進入する事に対して次のような配慮がなされている。

- a) コンベヤ作業室へはみだりに人が立入らないように入口部にはオーバースライダーを設置した。また、このオーバースライダーを開けて作業する必要がある場合には簡単に境界柵が立てられる構造とした。
- b) 迷路開口部にはフット・スイッチおよび光電管式検知器を設置した。
- c) これらのオーバースライダー、フット・スイッチおよび光電管式検知器の動作は、加速器及びコンベヤの運転条件とインターロックされており、正常な状態でなければ加速器およびコンベヤは運転できない仕組みとなっている。また万一運転中に人が迷路内に進入した場合には、警報を発すると同時に加速器およびコンベヤは停止する。



- | | |
|------------|------------|
| 1. 駆動装置 | 4. フットスイッチ |
| 2. レール | 5. 光電管式検知器 |
| 3. 伸縮自在レール | |

Fig. 29 The track of the irradiation conveyor

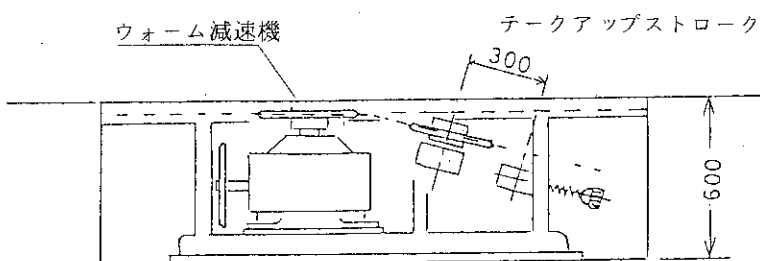
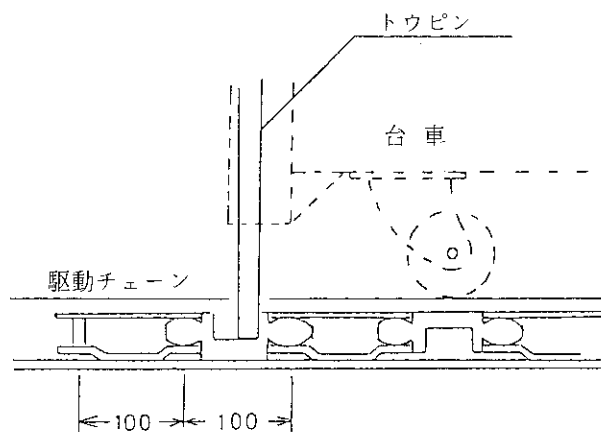
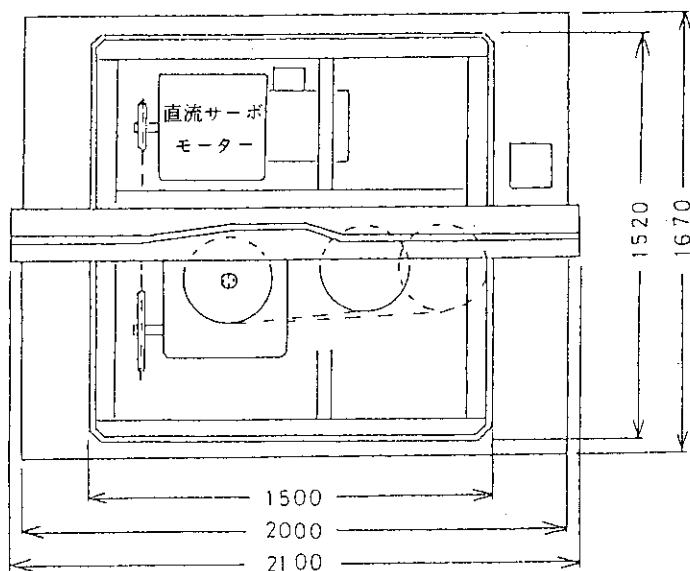


Fig. 30 The driving equipment of the irradiation conveyor

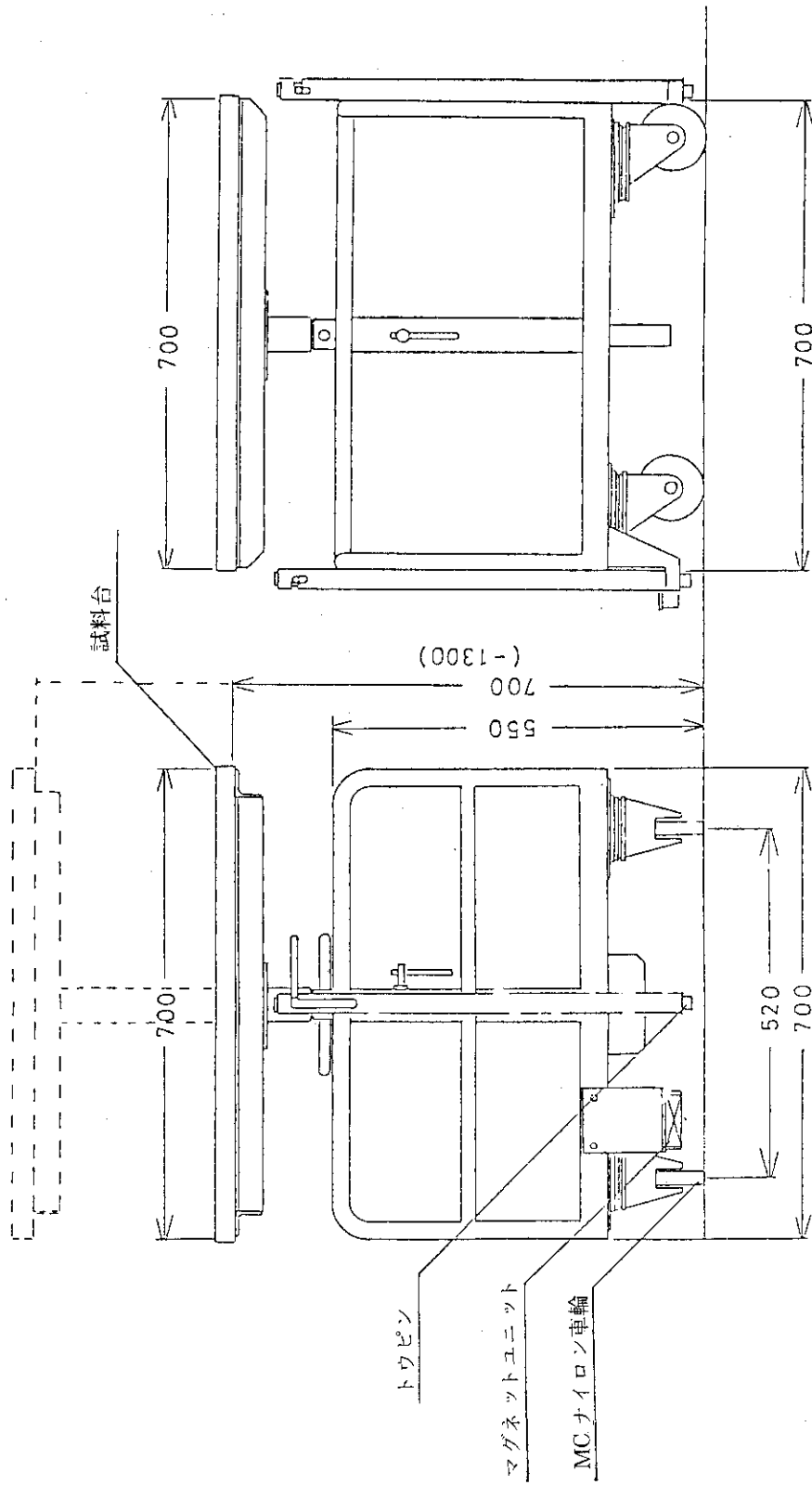


Fig. 31 The sample carrier of the irradiation conveyor

4.3 安全監視装置の仕様

新1号加速器の設置に際し、加速器の運転中に施設内に立入る人が放射線環境や照射によって発生する有害ガスの雰囲気曝露を防止するため種々の安全対策を検討し設置した。それらは、

- イ) 加速器の運転条件を照射室遮蔽扉、照射室内作業スイッチおよび排ガス処理装置の状態とインターロックする。
- ロ) 加速器の運転状況を示す表示器を各箇所に設置する。
- ハ) 施設内立入者に対して、インターロックシステムに関わる動作を確実に行わせ、また、表示器に対する注意を喚起するためブザー等を設置する。
- ニ) 作業エリアその他に放射線モニターを設置する。
- ホ) ITVを設置することにより、照射室内あるいは作業エリア等の状況を監視する。
- ヘ) オゾンモニターを設置する。

などから成っている。以下これらについて述べる。

(1) インターロック・システム

新1号加速器は水平方向および垂直方向にビームを取り出すデュアルビーム方式であり、水平方向運転時には水平照射室、垂直照射室とも立入ることはできないが、垂直方向運転時には、水平照射室への入室が可能である。また、水平方向運転時には水平照射室の階上にある照射機械室への立入りは禁止され、またリフターの運転も2階までとなる。

インターロック・システムはこのような加速器の運転条件を満足させながら、人が放射線被曝したり、照射によって発生する有害ガスの雰囲気曝露を防止するため、照射室入口遮蔽扉や排ガス処理装置等の動作状態を示す信号を加速器の制御回路に導きすべての安全が確保されない場合、加速器の運転ができないようにし、また、加速器運転中にこれらの安全確保のための条件が満たされなくなった場合には、直ちに運転を停止するためのものである。水平方向および垂直方向の各運転モードに対するインターロックの項目を Table 2 に示す。このインターロック・システムは Fig. 32 に示すように、加速器の運転操作系統のうち同図(b)における“IM運転”“発電機界磁入”の間に組み込まれる。そして同図(c)のように接続することによって、水平、垂直各運転モードに応じたインターロック条件が全て整った時にのみ加速器の運転が可能な状態となる。また、加速器運転中は、加速器側からの信号により、水平、垂直各照射室および加速器室の入口遮蔽扉は電氣的にロックされ開けることができないようになっている。

各インターロック項目の検出は次の方法による。

- イ) 遮蔽扉：リミット・スイッチにより扉の“開”，および“閉”を電氣的に検出する。
- ロ) 作業スイッチ：“作業中”および“作業完了”のキースwitchの切換動作を電氣的に検出する。
- ハ) 迷路内進入防止装置：迷路内2ヶ所にフロアマットを設置し、人が立入った場合にリミット・スイッチが動作することにより検出する。
- ニ) 迷路内制限高さ検出装置：迷路内の所定の高さの壁面に光電システムを設置し、その高さ

以上の物あるいは人間が通過して光路を遮ぎることにより検出する。

- ホ) リフター：リフターの位置を電氣的に検出する。
- ヘ) 排ガス処理装置：処理装置のプロワーの動作およびモーター・ダンパーの方向（水平照射室側または垂直照射室側）を電氣的に検出する。
- ト) 非常スイッチ：押ボタンスイッチにより検出する。

(2) 加速器運転表示器

施設内に立入る者に対して加速器の運転状態を示すため、運転表示器を次に示す位置に設置する。

設置位置		表 示
1階	垂直照射室入口	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」
1階	作業エリア	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」 3ヶ所
1階	照射実験室	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」
2階	加速器室入口	「運転中立入禁止」
2階	制御室	グラフィックパネル面上に運転モード, 加速電圧, 出力電子流, 各照射室及び加速器室の入口遮蔽扉, 作業スイッチの状況を表示
2階	作業エリア	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」 2ヶ所
2階	水平照射室入口	「水平方向運転中」
	水平照射室内	「垂直方向運転中」
2階	照射実験室	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」
3階	照射機械室	「水平方向運転中」, 「垂直方向運転中」

Table 2 Interlocking elements for horizontal beam
- and vertical beam operations

水平方向運転	垂直方向運転
水平照射室入口扉 L. S.W.	垂直照射室入口扉 L. S.W.
水平照射室作業スイッチ	垂直照射室作業スイッチ
垂直照射室入口扉 L. S.W.	加速器室入口扉 L. S.W.
垂直照射室作業スイッチ	加速器室作業スイッチ
加速器室入口扉 L. S.W.	コンベア部入口扉 L. S.W.
加速器室作業スイッチ	コンベア部迷路内進入防止装置
照射機械室入口扉 L. S.W.	コンベア部迷路内制限高さ検出装置
照射機械室作業スイッチ	排ガス処理装置
コンベア部入口扉 L. S.W.	垂直照射室内非常スイッチ
コンベア部迷路内進入防止装置	
コンベア部迷路内制限高さ検出装置	
リフター	
排ガス処理装置	
水平照射室内非常スイッチ	

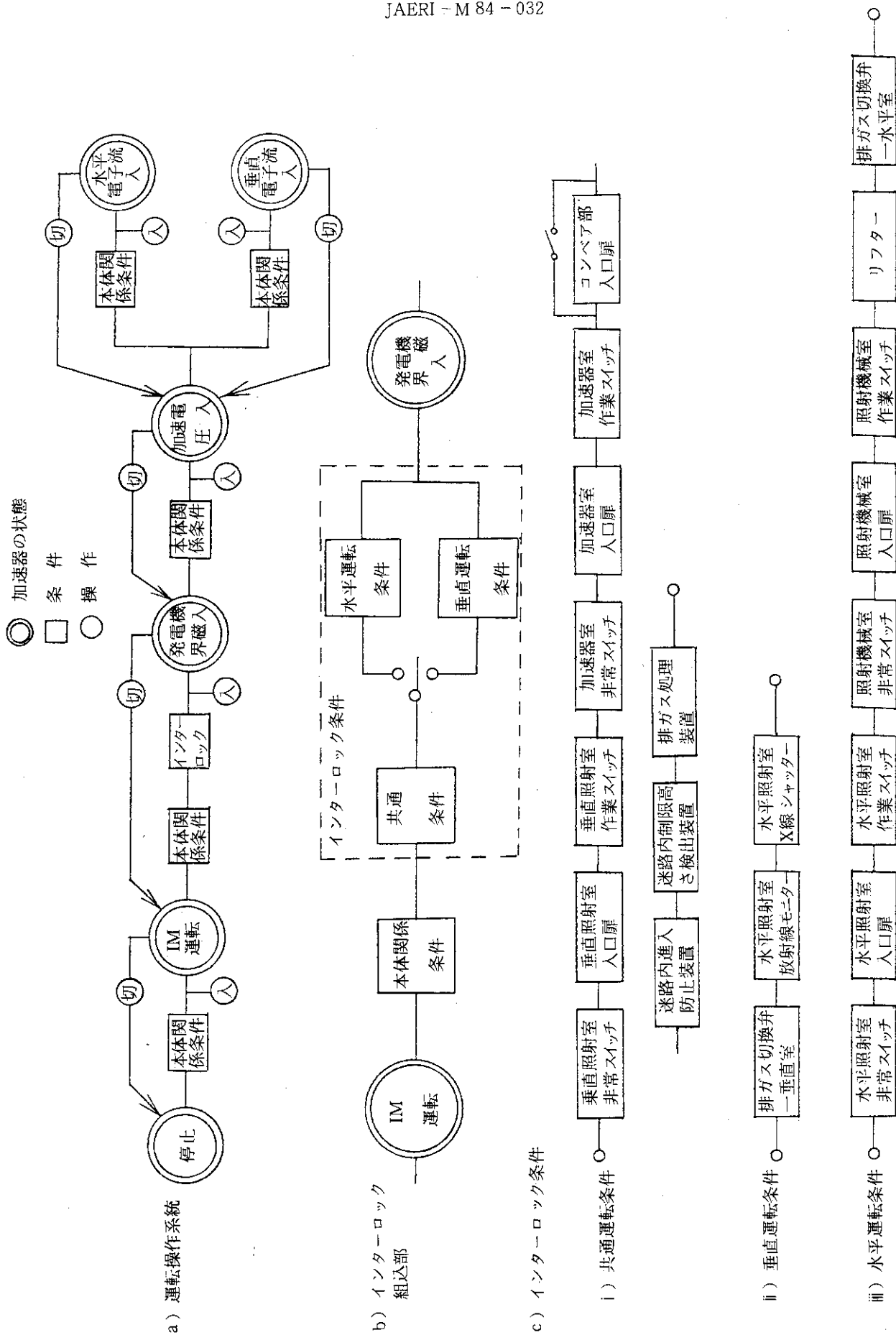


Fig. 32 Interlocking and safety circuit for the operation.

(3) ブザー

施設内に立入る者に対して、インターロックに関わる操作を確実に励行し、また加速器あるいは遮蔽扉に対して注意を喚起させるため、次の3種類のブザーを設置する。

A ブザー：照射室への立入りおよび退出に際し、立入りに作業スイッチの操作を確実に行わせ、また、照射室内に居る者に対して退出すべきことを知らせるため鳴動する。

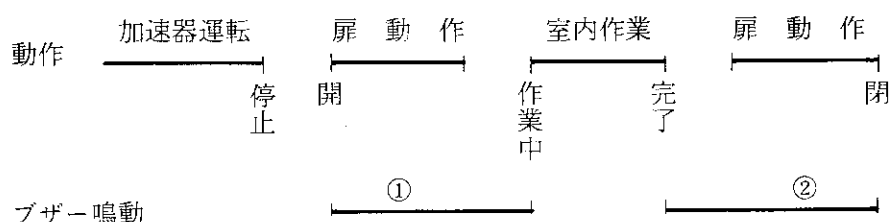
B ブザー：加速器運転表示器等に取付けられ、一定時間鳴動することによって、加速器の運転状況に対する注意を喚起する。

C ブザー：遮蔽扉の動作時に鳴動する。

各ブザーの設置場所および鳴動のタイミングを次に示す。

A ブザー：

水平照射室内、垂直照射室内および加速器室内に設置し、鳴動のタイミングは次の通りである。



ブザーは2種類のタイミングで鳴動し、①の鳴動の目的は照射室内立入りに際して作業スイッチを「作業中」に入れるように注意を促すためであり、②は「作業完了」にスイッチを入れた時は、次に扉が動作して「閉」となることを示し、したがって照射室内に居る者は速やかに退出するよう知らせるものである。またこの作業スイッチを「作業完了」にしないと扉の動作はできない。

B ブザー：

垂直照射室入口、水平照射室入口、加速器室、照射実験室および照射機械室に設置し、加速器が運転を開始してから表示器の点灯とともに一定時間鳴動する。

C ブザー：

垂直照射室、水平照射室及び加速器室の入口扉のところに設置し、扉の動作時に鳴動する。

(4) 放射線モニター

漏洩放射線の線量を測定するため加速器棟内8ヶ所に放射線モニターを設置する。測定器は電離箱式(7台)及びGM管式(1台)である。Fig. 33に放射線モニターの検出部の設置位置を示す。放射線モニターの仕様および設置場所は次の通りである。

1) 電離箱式放射線モニター

形式：応用技研製 AE-790 (I)及び(II)

仕様：リニアスケール、レンジ切換え付、ペンレコーダーによる記録が可能。

測定範囲：I形 0～10 mR/h 3段切換え

II形 0～100 mR/h 3段切換え

実効電離容積：I形 3.6 ℓ, II形 1.1 ℓ

壁材質：空気等価物質

検出部設置場所：Ⅰ形は1階作業エリア3ヶ所および2階作業エリア2ヶ所，Ⅱ形は加速器室および照射機械室に設置する。

制御部及びメーターは制御室の監視盤に設置する。

2) GM管式放射線モニター

形式：アロカ製MAR-301

仕様：対数スケール，レンジ切換なし

測定範囲：0.01～10 mR/h

設置場所：水平照射室内

この測定器は検出部とメーター指示部が一体となっており，所定の設定値以下の線量率では青色のランプが点灯し，設定値以上になると赤色のランプが点灯するとともに警報ブザーが鳴動する。また，水平方向運転中には電源OFFとなっており，高線量率の放射線による影響を少なくし，水平方向運転停止時のみ電源がONとなっており測定を行う。

(5) ITVシステム

加速器運転中に制御室の運転担当者が安全確保のため，照射室及び作業エリアの状況を監視できるようにITVシステムを設置する。監視カメラは水平，垂直各照射室内，1階作業エリア（3台），2階作業エリア，加速器室内および照射機械室内に設置し，ビデオモニターおよび操作器は制御室に設置する。各照射室監視用のシステムはカラーとし，各々専用のモニターで監視し，他の6式はモノクロームとし，2台のモニターにより必要なチャンネルを選択できる。各システムの仕様は次の通りである。

1) 水平，垂直照射室内監視用ITVシステム

監視用カメラ：日立電子製GP-5J-H2

レンズ：キャノン製V6×18 REA (DC)

電動ズーム，ズーム比1：1.6

雲台：日立電子製CH-12

回転角度：水平±30°，垂直±30°

操作器：日立電子製TIR-261

モニター：ビクター製C-8201B（20インチ）

2) 1，2階作業エリア，加速器室および照射機械室の監視用ITVシステム

監視用カメラ：日立電子製HV-17TJ

レンズ：日立電子製C5×MA-1，電動ズーム

雲台：日立電子製TIP-26，電動雲台

旋回角度：上下±45°，左右340°

操作器：6台の監視用カメラの映像を切換えてビデオモニターへ送り出すとともに，各チャンネル毎のカメラの電源，ズームレンズおよび雲台の操作を行う。

モニター：日立電子製VH-129J，12インチ

(6) オゾンモニター

電子線照射によって照射室内にはオゾンガスが多量に発生し，照射停止後，室内に立入るた

めにはこのオゾン濃度が十分低下したことを確認しなければならない。本照射施設においては、前述のように排ガス処理装置を設置し、照射室内からの排気中のオゾン濃度を十分低くした後に屋外に排出している。そこで、排気中のオゾン濃度の確認のためオゾンモニターを設置する。排ガスのサンプリングは、処理槽の前後で行い、濃度は制御室において読み取ることができる。(オゾンモニターの仕様は4.1の項参照)

(7) 監視盤

加速器運転中に運転担当者が安全に関わる各システムの状態を容易に確認することができるように、各モニター類の表示の部分等を収納する監視盤を制御室に設置する。またこの盤には照射運転に必要なコンベヤ等付属設備の操作盤等も収納する。Fig. 34に監視盤の概略図を示す。この盤には、以下に示す各表示及操作機器が収納されている。

1) インターロック表示盤

インターロック・システムに関わる遮蔽扉、作業スイッチ等の状態を表示する。Fig. 35に示すように水平および垂直の各運転モードに区別し、各項目毎にLED表示があり、安全側は緑、危険側は赤に点灯する。

2) ITVモニターおよび制御器

作業エリアの状況などを監視するための2台のビデオモニターおよび各カメラの方向や焦点距離などを制御し、またモニターカメラの選択などを行うITV制御器。

3) 放射線モニター

作業エリアなどに設置した電離箱式放射線モニターの制御部および表示部。

4) オゾンモニター

排ガス処理装置による処理前後のオゾン濃度を測定するモニターの制御部および表示部。

5) 記録計

放射線モニター、オゾンモニターなどの測定結果を記録するための8打点記録計。

6) 垂直照射室及照射機械室立入者カウンター

垂直照射室および照射機械室の入口に設置した光電管方式の室内立入者検出システムの立入者数表示部および制御部。

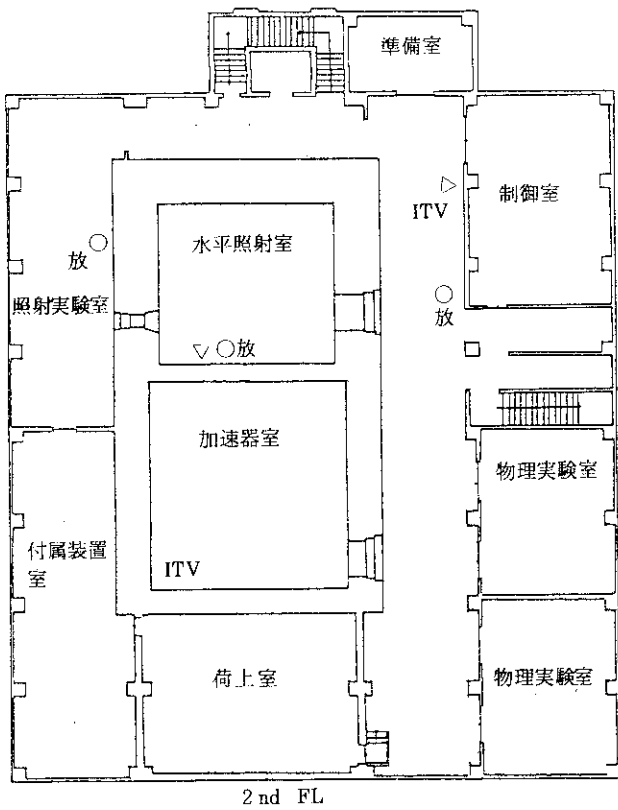
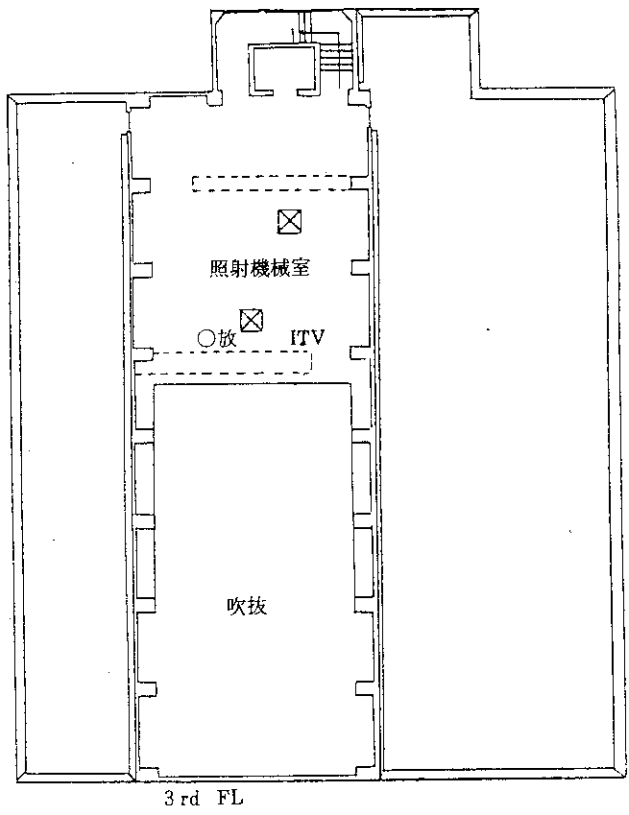
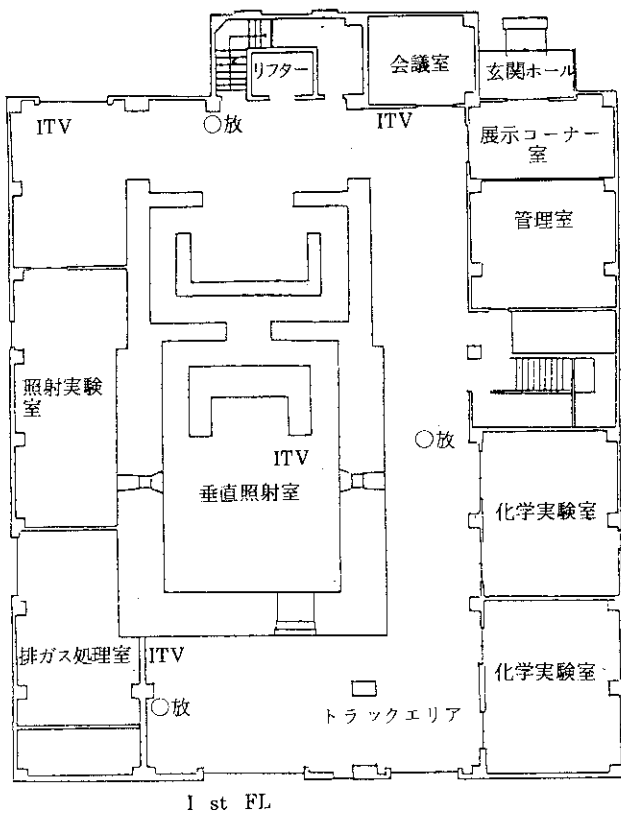
7) 排ガス処理装置操作盤

排ガス処理装置のブロワーの起動および停止の操作を行うための押ボタンスイッチおよび電流計。なお、ブロワーの起動は送風機の起動と連係している。

8) 照射用コンベヤ主操作盤

コンベヤの起動および停止の操作を行う押ボタンスイッチ、速度制御を行うダイヤルおよび速度計。

これらの各機器類の他に、監視盤には100V用コンセントも設備してある。



▽ITV: ITVカメラ
○放: 放射線モニター

Fig. 33 Equipment with the radiation monitor and the ITV camera in the facility.

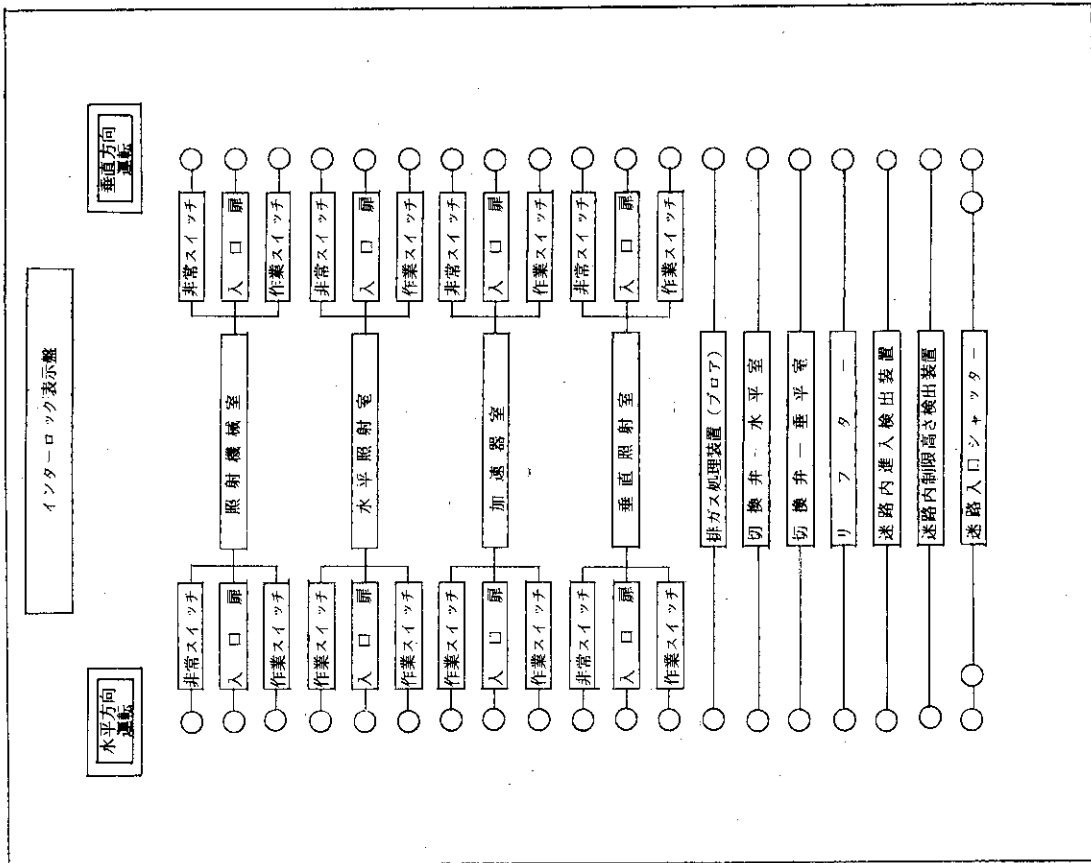


Fig. 35 The interlocking pannel.

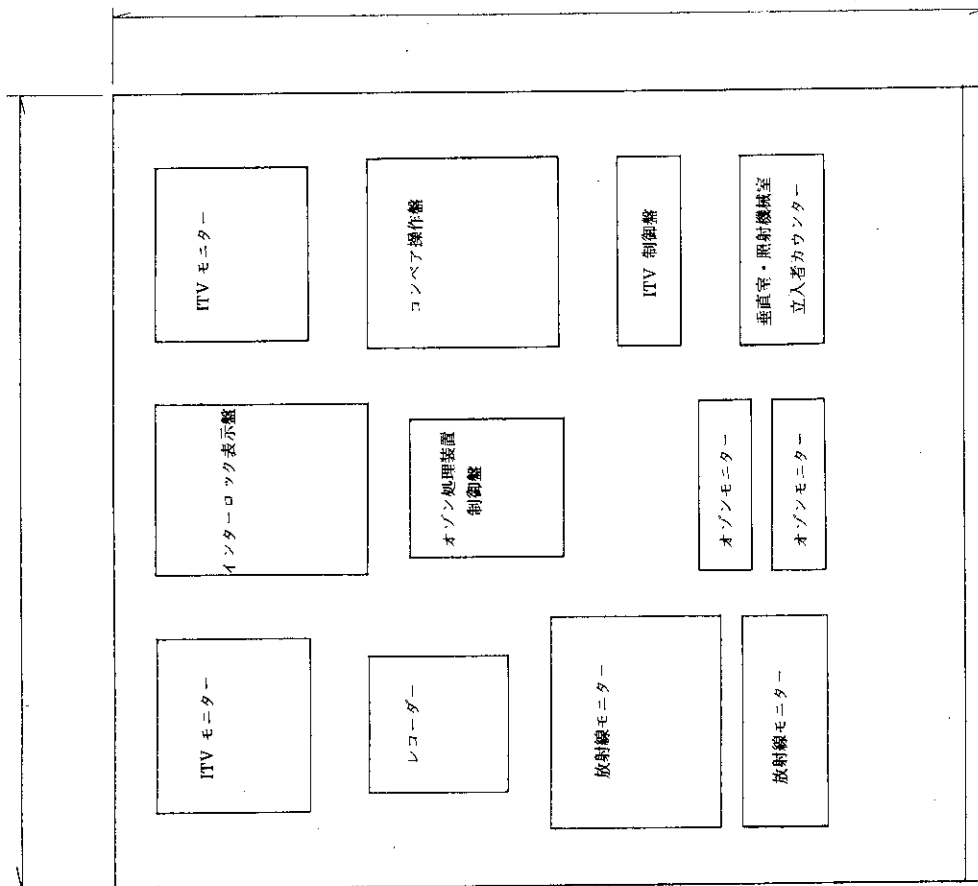


Fig. 34 Safety observation board.

5. 建家の仕様

5.1 建家本体の概略

加速器の仕様がスプリット・ビーム方式からデュアルビーム方式に変更になったことによって基本設計が遅れ、また詳細設計に入ってから、重コンクリートと普通コンクリートを重ね合わせてつくる予定の遮蔽壁が、コストの点から普通コンクリートでつくることに変更されたこともあり、当初の予定より大分遅れたが、54年7月、建家の設計が終了した。Fig. 36に1号加速器棟建家の平面図および断面図を示す。建家本体部は、東西方向が26.2 m、南北方向が33 m、鉄筋コンクリート造り3階建て、建築面積は862.3 m²、延床面積1,840 m²である。機械室は床面積132 m² 鉄骨平家で、建家本体の南西部に配置した。

建家内部は、1階 (Fig. 36-2a 参照) の中央部に面積約50 m²の垂直照射室があり、北側に照射コンベヤー用迷路、南側にはトラックエリアが配置されている。照射室の東側は作業エリアで、遮蔽壁に放射線遮蔽窓 (照射室内側で70 × 70 cm角) を設置して照射室内を監視しながら実験を行うことができる。また西側遮蔽壁に面して垂直照射実験室および排ガス処理室がある。作業エリアを挟んでさらに東側には、玄関、管理室および2つの化学実験室などが並んでいる。

2階 (Fig. 36-2b 参照) は垂直照射室の真上の部分に加速器がある。加速器室は約80 m²の広さで天井は吹抜けとなっており、南側の荷上げ室との境界は加速器を搬入する際容易に解体できるように、重コンクリートブロックを積み重ねる構造になっている。水平照射室は加速器室の北側に隣接しており、面積は約55 m²である。照射室西側の遮蔽壁には放射線遮蔽窓が設備された水平照射実験室が、またその隣は加速器付属装置室が配置されている。東側は作業エリアを挟んで制御室、物理実験室および化学実験室などがある。

3階 (Fig. 36-2c 参照) は水平照射室の真上になる照射機械室 (面積約72 m²) があり、水平ビームを利用する際に必要な実験用機器が設置できる。照射機械室の北側からは東西の屋上に出られる。屋上には加速器用ストレージタンクや空調用機器を設置する。

リフター塔は建家北側の中央に配置され、1階から3階まで各階への実験機材等の運搬に利用する。

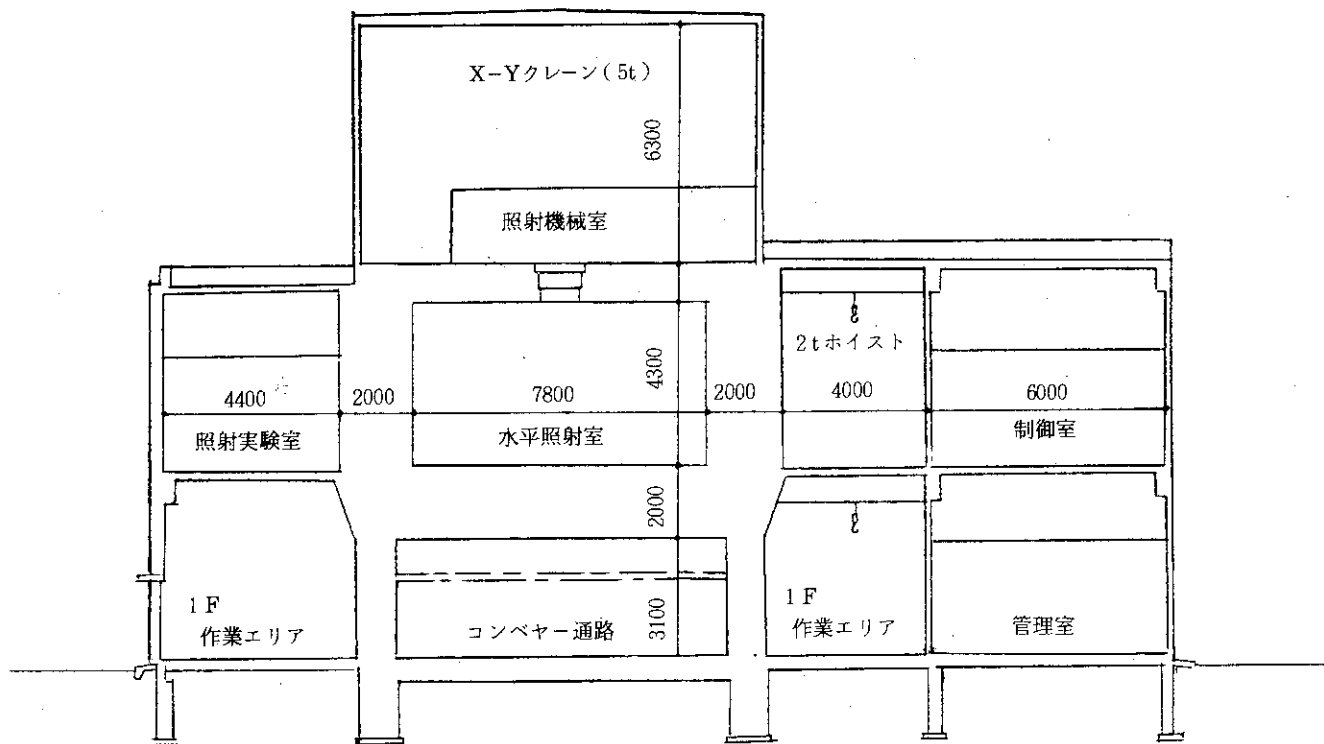
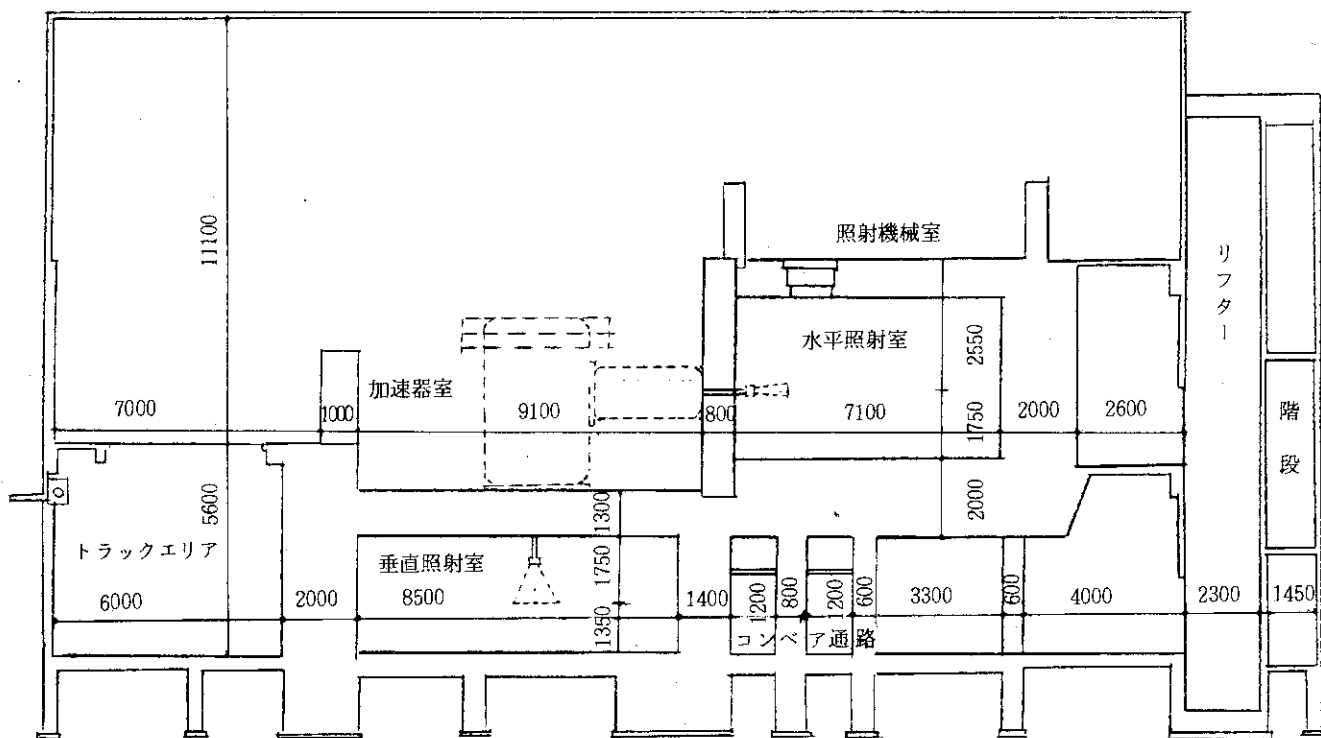
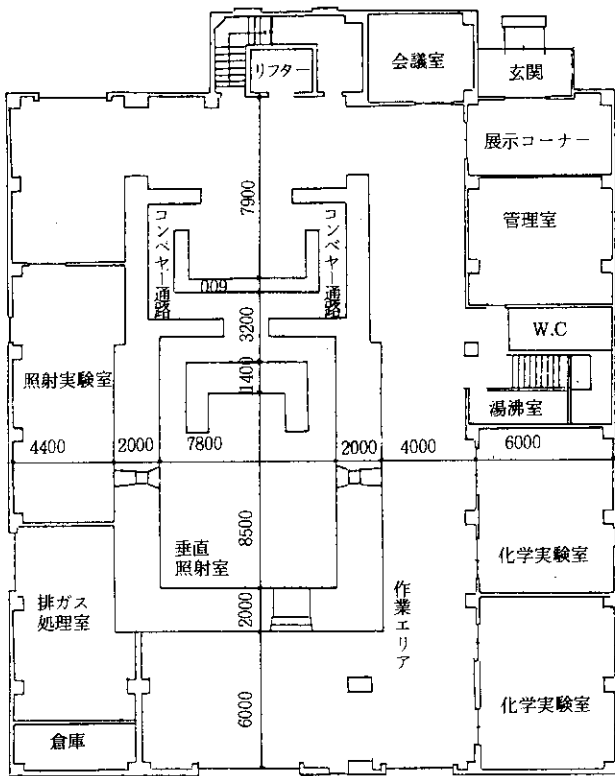
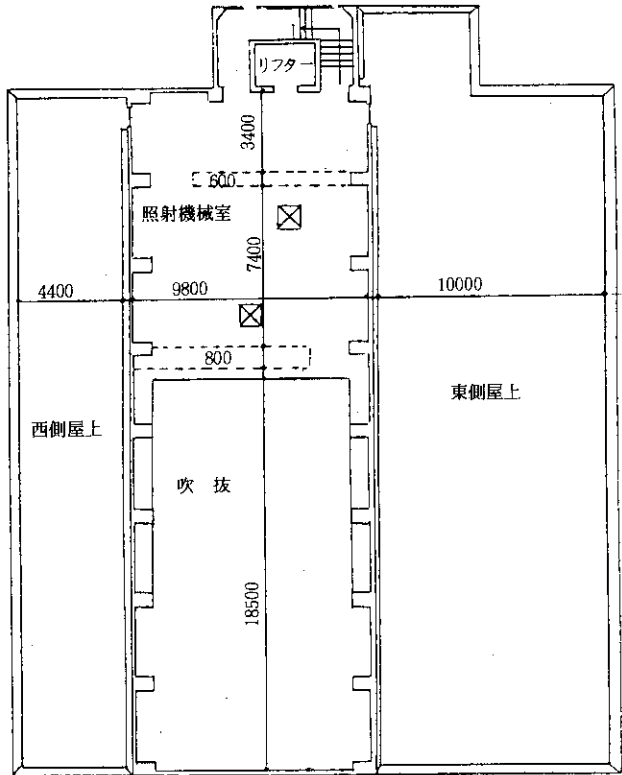


Fig. 36-1 Crosssectional figure of the accelerator building



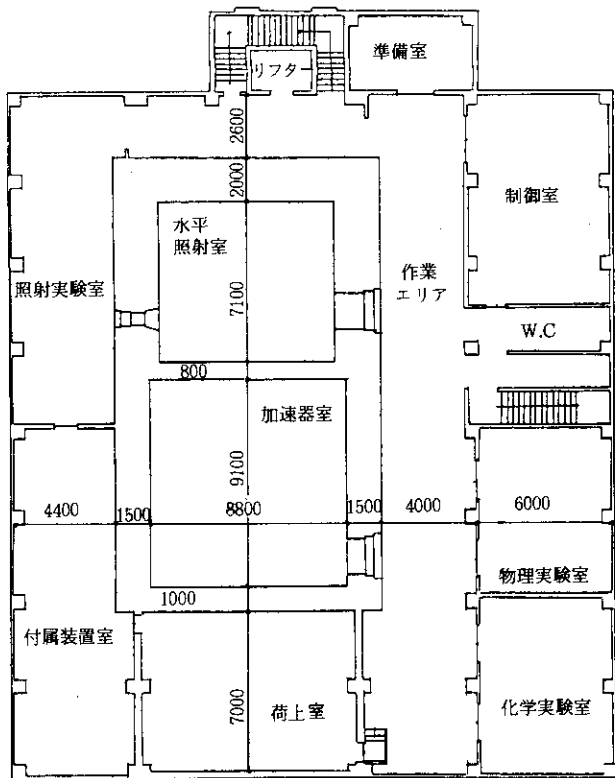
1階平面図

(a)



3階平面図

(c)



2階平面図

(b)

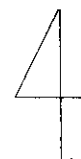


Fig. 36-2 Plane figure of the accelerator building

5.2 特殊設備

建家の特殊設備としては、照射室および加速器室の遮蔽躯体、遮蔽扉、放射線遮幣窓、コンクリート・ハッチ、スリーブ・プラグ、加速器本体の保守に用いる5t天井走行クレーン、作業エリアで実験用器材の運搬に用いる2tホイスト、各照射室の1tホイスト、排ガス処理室および付属装置室に設置した機器保守用のホイストなどの他、実験器材運搬用として最大積載荷重1tのリフター設備がある。

(1) 照射室および加速器室の遮蔽躯体

垂直照射室の遮蔽壁（東壁及び西壁：各12.8m×高さ3.1m、南壁：7.8m×高さ3.1m）は壁厚2mで普通コンクリート造り、北側迷路の遮蔽壁（東壁及び西壁：各7.4m×高さ3.1m）は壁厚1mで普通コンクリート造りである。

水平照射室の遮蔽壁のうち、東壁および西壁（各9.1m×高さ4.3m）と北壁（7.8m×高さ4.3m）は壁厚2mで普通コンクリート造り、南側の加速器室との境の遮蔽壁（8.8m×高さ6.15m）は壁厚80cmの重コンクリート造りである。また水平照射室の床（面積=7.1×7.8m²）は1階迷路の天井部になるが厚さ2m、天井は3階照射機械室の床面に当るが厚さ1mで何れも普通コンクリート造りである。

加速器室の東西の遮蔽壁（各10.1m×高さ5.8m）は壁厚1.5mで普通コンクリート造り、南側の荷揚室との仕切り壁（8.8m×高さ3.6m）は一部重コンクリートブロックを積み重ねる構造となっている。また加速器室の床（面積9.1m×8.8m²）は1階垂直照射室の天井部になるが厚さ1.3mの普通コンクリート造りである。

これらの遮蔽躯体の遮蔽能力については6.照射室等の遮蔽設計の項で述べる。

(2) 遮蔽扉

遮蔽扉は垂直、水平各照射室と加速器室に設置しており、鋼板製で軸吊電動方式の片開き遮蔽扉である。各扉の有効開口寸法は3基ともに1.6m(W)×2.0m(H)で、扉の板厚は各照射室用が60cm、加速器室用が40cmである。

各扉共通の仕様は以下の通りである。

- 1) 扉全開位置は150°以上で、全開時に有効開口幅が枠の延長上でも確保できる。
- 2) 扉本体は厚さ50mm以上の圧延鋼材による積層鋼板で継目のない構造である。
- 3) 停電時には手動による開閉が可能である。
- 4) 非常時には内部より開いて脱出できる。
- 5) 扉の開閉速度は中間点で6cm/sec程度で、開閉行程の終端で衝撃を小さくするため、約2cm/secに減速する機構を有する。
- 6) 扉本体、埋込枠等全てについて放射線漏洩防止について十分考慮されている。
- 7) 扉と枠とのクリアランスは3mm以下である。
- 8) 扉と枠の間には電気錠を設け、また制御盤にはキー・スイッチを設け特定者以外の操作が不可能になっている。
- 9) 扉の開閉途中で障害物があって一定以上の力（約7kg）が加わった場合、トルクリミッターにより扉の運転が停止する機能を有する。

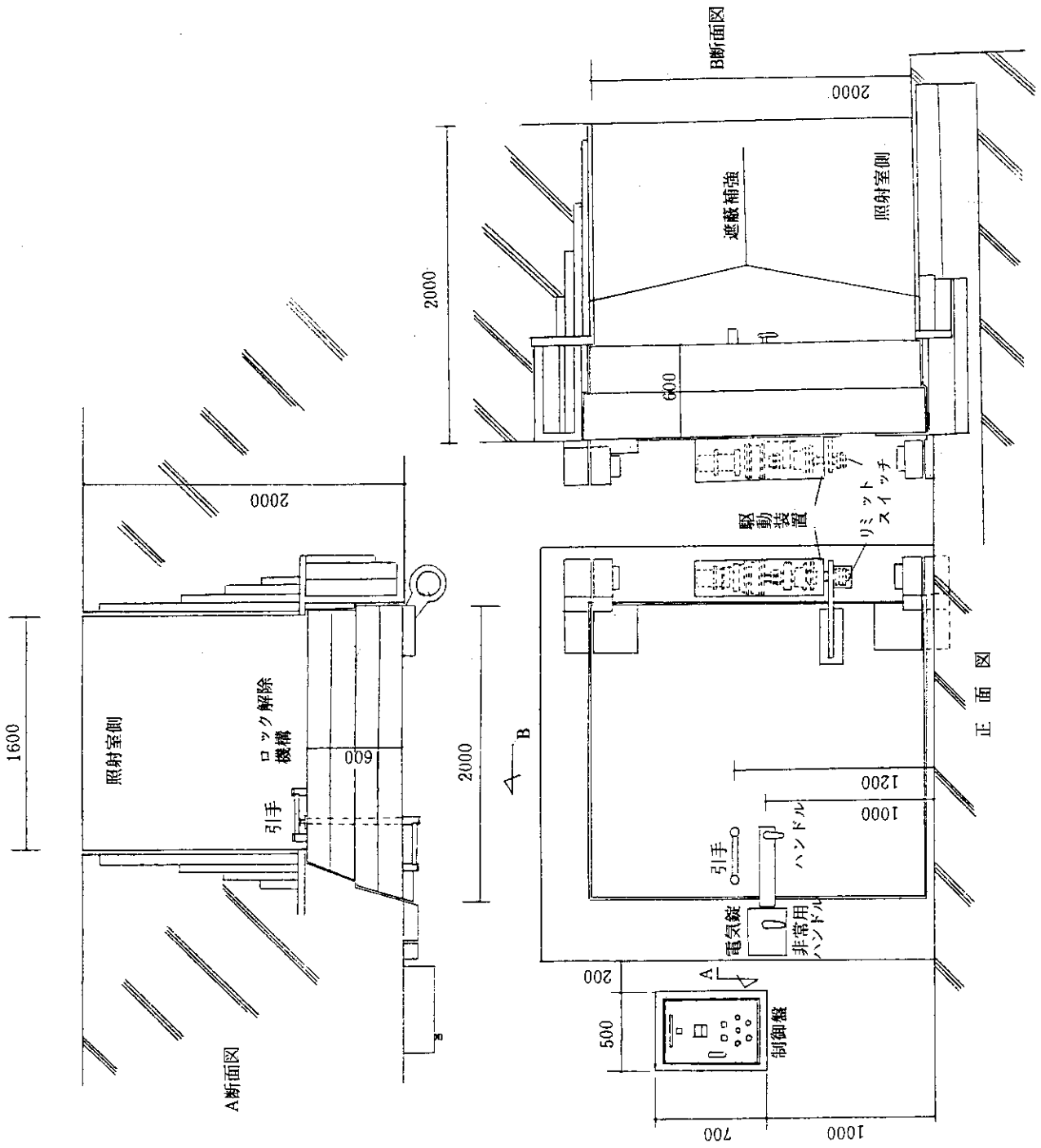


Fig. 37 The shielding door equipped to the irradiation room.

10) 加速器の運転とインターロックするため、扉が閉じている時に作動する電気接点が設けられている。

11) 各扉の沓摺は2段ステップで、室内外の段差は100 mm以内である。

扉の全体図をFig. 37にまた電気制御回路をFig. 38に示す。

(3) 放射線遮蔽窓

放射線遮蔽窓は垂直照射室の東西の遮蔽壁に各1基、水平照射室の西側の遮蔽壁に1基、合計3基が設置された。Fig. 39に窓本体の構成図を示すが、Schott社(西独)製で有効寸法はホット側(照射室内側)700×700 mm、コールド側(作業室側)500×500 mm、4枚の遮蔽ガラスと4枚のカバーガラスによって構成されている。Table 3に各構成ガラスの寸法を示す。ガラスの型名は、RSの次の数字が密度の100倍を、またGの後の数字がCeO₂の重量含有率(%)の10倍を表わしている。

本遮蔽窓の設計、製作に当っては下記の事項に特に留意した。

- 1) 遮蔽窓の遮蔽能力は、各構成ガラスの密度×厚さの総和が432 g/cm²以上とした。この値は、遮蔽窓を設置する各照射室の遮蔽壁と同等の遮蔽能力をもつ厚さである。
- 2) 窓本体フレームと埋込枠にはステップを設け、放射線の漏洩のない構造とし、遮蔽不足となる部分は鋼材等により補強している。Fig. 40に埋込枠の寸法を示す。
- 3) 各ガラスは耐放射線性を有すること。Table 4にメーカーから提出された放射線による着色、および帯電に関するデータを示す。
- 4) 各窓ガラスの全光透過率は、波長590 nmの光に対して35%以上とする。
- 5) 視角はコールド側の保護ガラス面から30 cmの点で中心視角が上下左右各16°以上とし、また最大偏軸視角は38°以上とする。
- 6) 各ガラス内部の気泡、石等の含有物、脈理および傷などについては標準仕様とし、可及的に高品位のものとする。Table 5にSchott社の標準仕様を示す。また、Table 6に本遮蔽窓を構成する各ガラスの物理特性データを示す。

(4) スリーブ、ハッチ等

照射実験等に使用するため、各照射室の遮蔽壁にはスリーブおよびプラグを、また照射機械室には床ポートおよびハッチを設備した。スリーブおよびプラグは1インチ型、2インチ型および4インチ型の3種類であり、Fig. 41に2インチ型の構造を示す。プラグは両端から差込むタイプである。Fig. 42に床ポートおよびハッチの構造図を示す。プラグは何れも鋼板製の枠に普通コンクリートを充填したものである。このほか、垂直照射室には流動照射試験のため2インチのステンレス鋼製パイプを設置した。Fig. 43にその構造を示す。

Table 7にこれらスリーブ等の設置数を示す。

(5) クレーン等

1) 加速器室及び照射機械室5 t 天井走行クレーン加速器保守用に設置したものでその仕様は以下の通りである。

型式形状：ダブルレール型ホイスト式、容量5 t

揚程：14 m 50 cm、(トラックエリアFLより)

スパン：9 m 20 cm

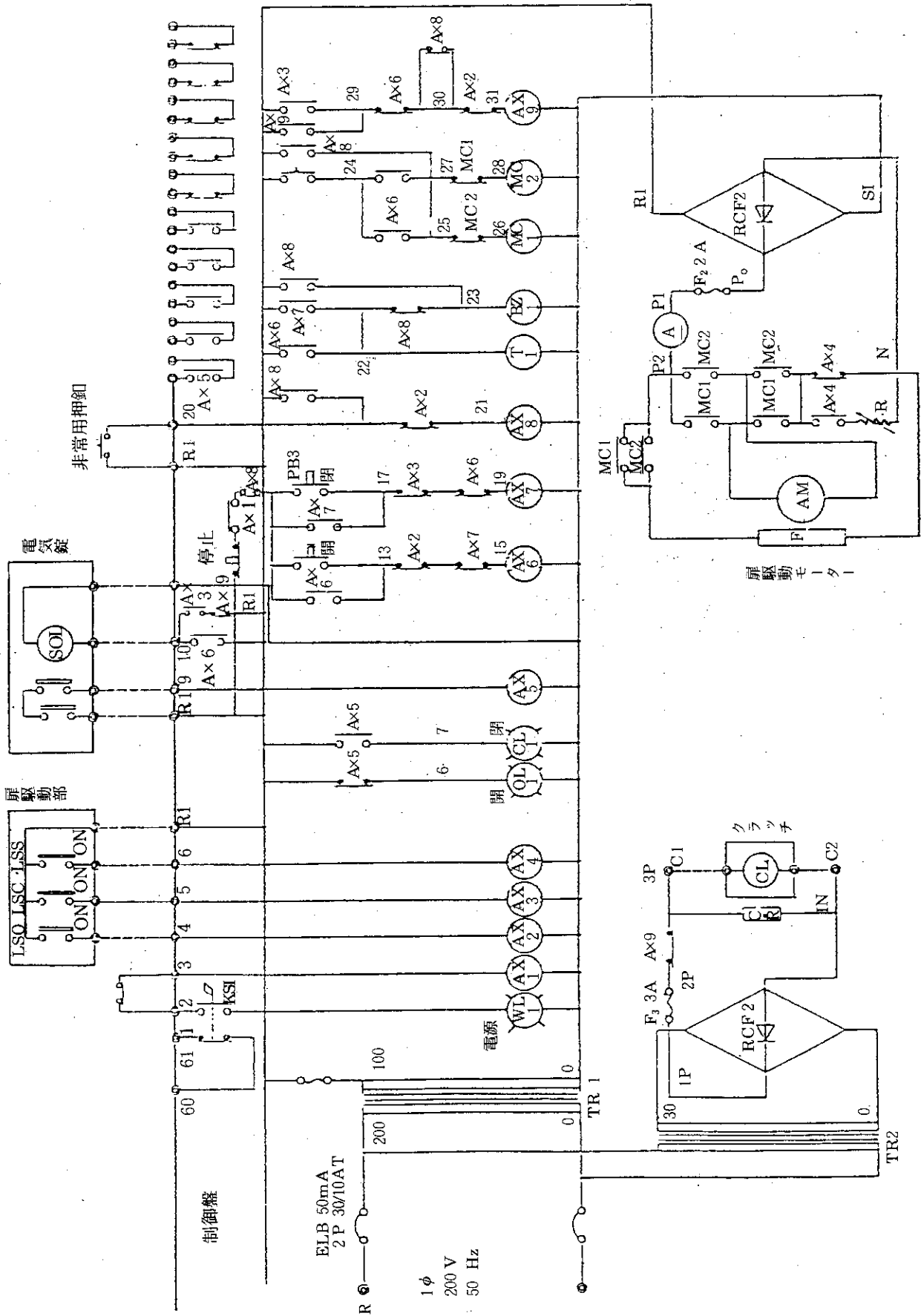


Fig. 38. Electrical control circuit of the shielding door.

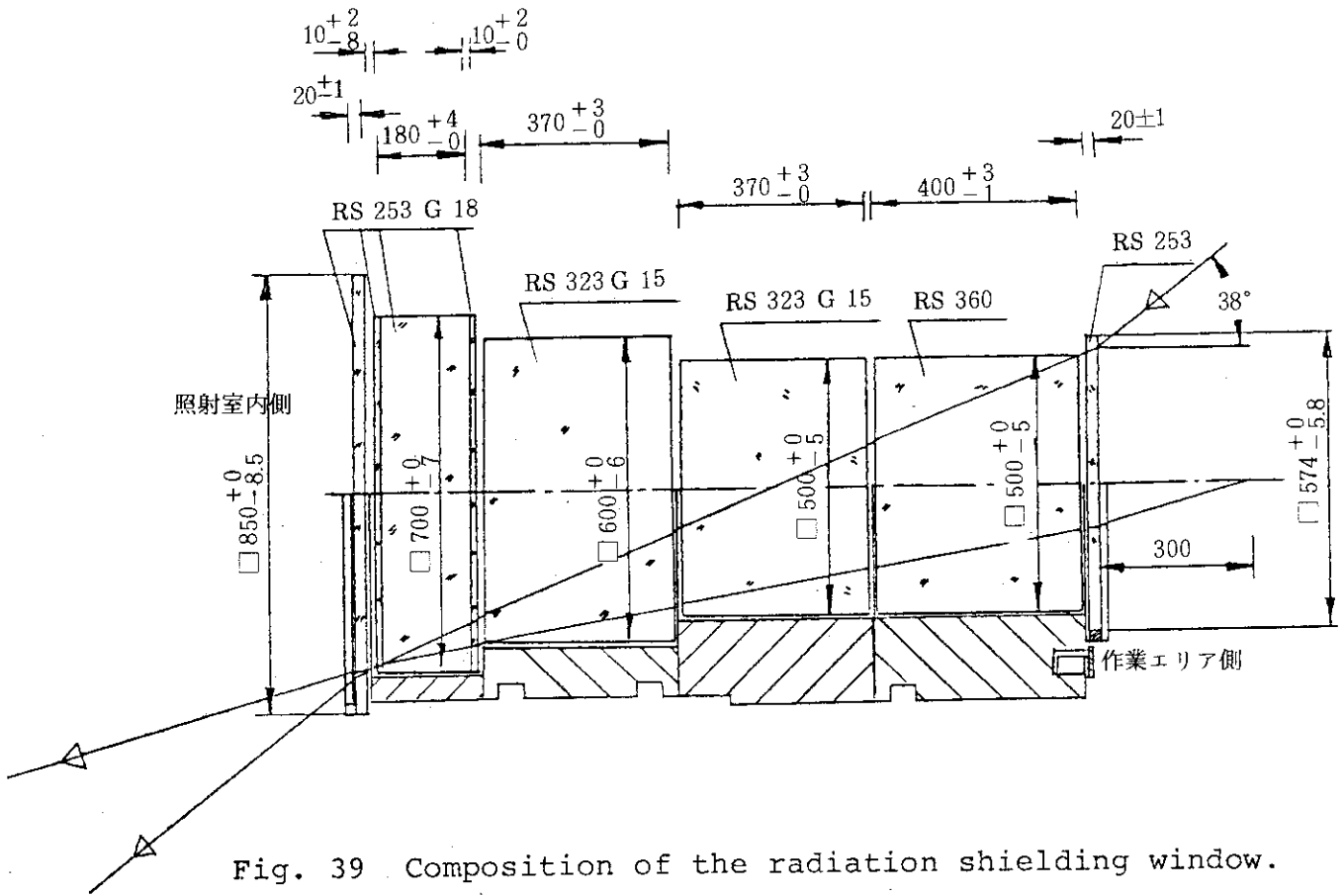


Fig. 39 Composition of the radiation shielding window.

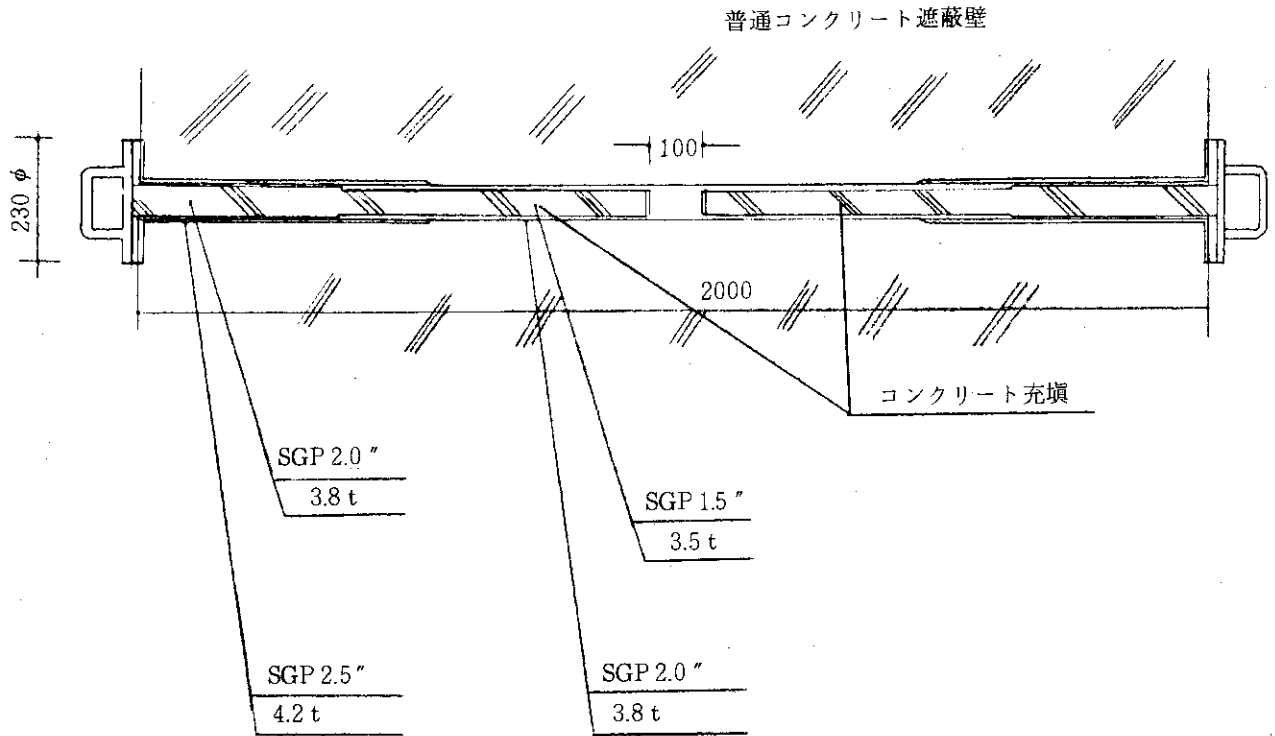


Fig. 41 2" sleeve and plug for experimental use.

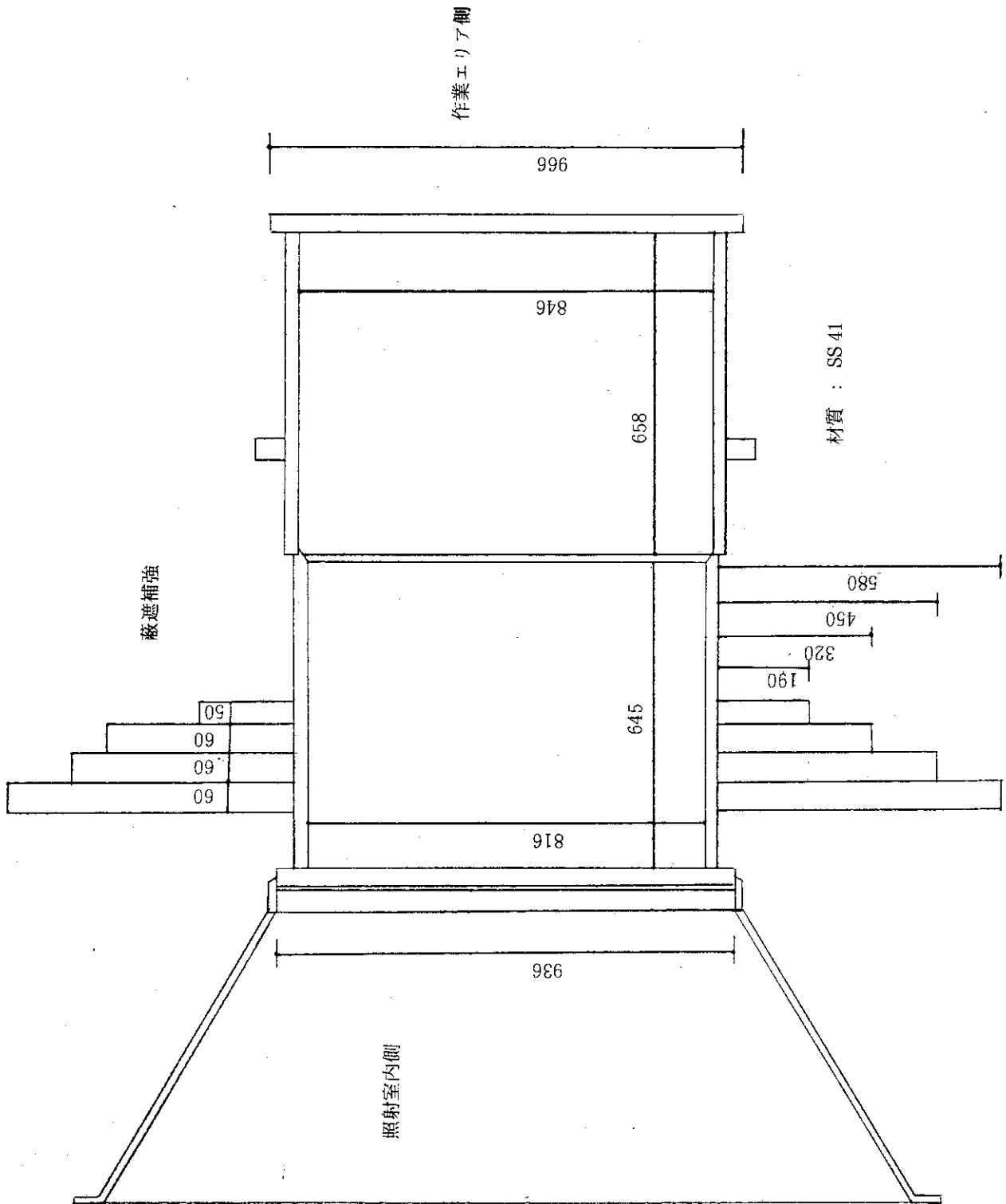


Fig. 40 Mounting plate of the radiation shielding window.

Table 3. The size of component glasses in the radiation shielding window.

* pos.	Glass type	size
1.	RS253G18	850 x 850 mm thickness 19 - 21 mm
2.	RS253G18	700 x 700 mm thickness 10 - 12 mm
3.	RS253G18	700 x 700 mm thickness 180 - 184 mm
4.	RS253G18	700 x 700 mm thickness 10 - 12 mm
5.	RS323G15	600 x 600 mm thickness 370 - 373 mm
6.	RS323G15	500 x 500 mm thickness 370 - 373 mm
7.	RS360	500 x 500 mm thickness 400 - 403 mm
8.	RS253	574 x 574 mm thickness 19 - 21 mm

* Nos. from inside to out side the irradiation room
(cf. Fig. 39)

Table 4 Characteristics against browning and electric discharge

	RS253G18	RS323G15	RS360	RS253
Browning resistance				
max. dose rate (rads/h)	1×10^6	5×10^5	10	10
max. total dose (rads)	5×10^9	1×10^8	10^3	10^3
Discharge resistance				
max. dose rate (rads/h)	4×10^4	1×10^4		
max. total dose (rads)	5×10^9	5×10^6		

Table 5 Standard specification of the Schott's radiation shielding glass.

size	RS253G18 700 x 700 x 180	RS323G15 500 x 500 x 370	RS360 500 x 500 x 400
Bubbles, Inclusions.			
max. projected area	0.0004%/10 mm	0.0004%/10 mm	0.0003%/10 mm
adm. total number	0.6/100 cm ³	0.6/100 cm ³	0.6/100 cm ³
max. size	2.5 mm	1.5 mm	1.5 mm
Finishing			
Hypotenuse	7.0 mm	5.0 mm	5.0 mm
Parallelism	1.4 mm	1.0 mm	1.0 mm
Edge chips	14 mm	10 mm	10 mm
Striae	no deforming	no deforming	no deforming

Table 6 Physico-technical data of the radiation shielding glass.

	RS253G18	RS323G15	RS360	RS253
Density (g/cm ³)	2.53 ± 0.01	3.23 ± 0.01	3.61 ± 0.01	2.52 ± 0.01
Refractive index (at 589.6 nm)	1.52	1.58	1.62	1.52
CeO ₂ content	1.8 %	1.5 %	0 %	0 %
PbO content	0 %	0 %	45 %	0 %
max. fabricable weight per glass	1260 kg	1610 kg	1440 kg	1250 kg

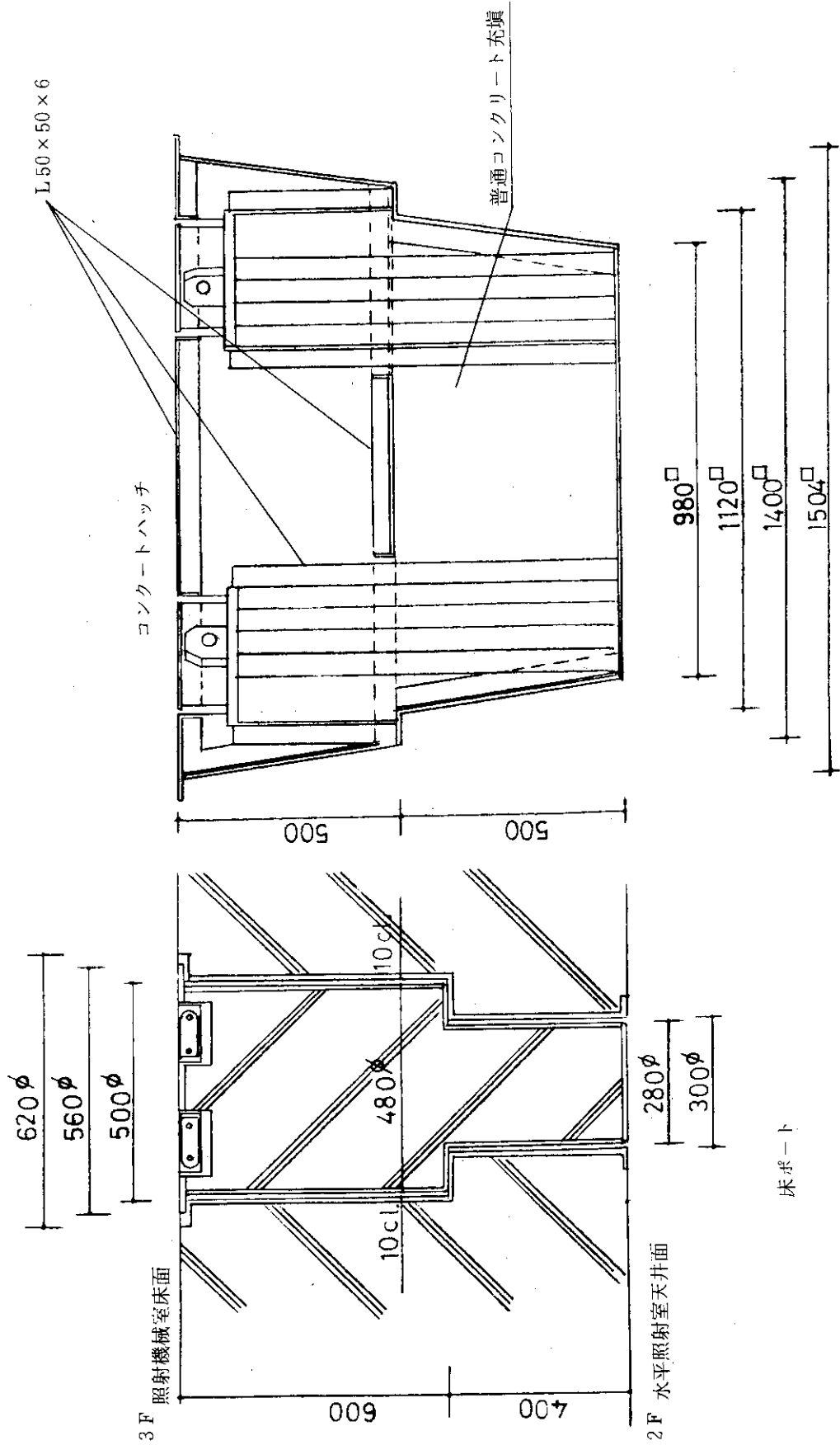


Fig. 42 The structure of the floor port and the hatch.

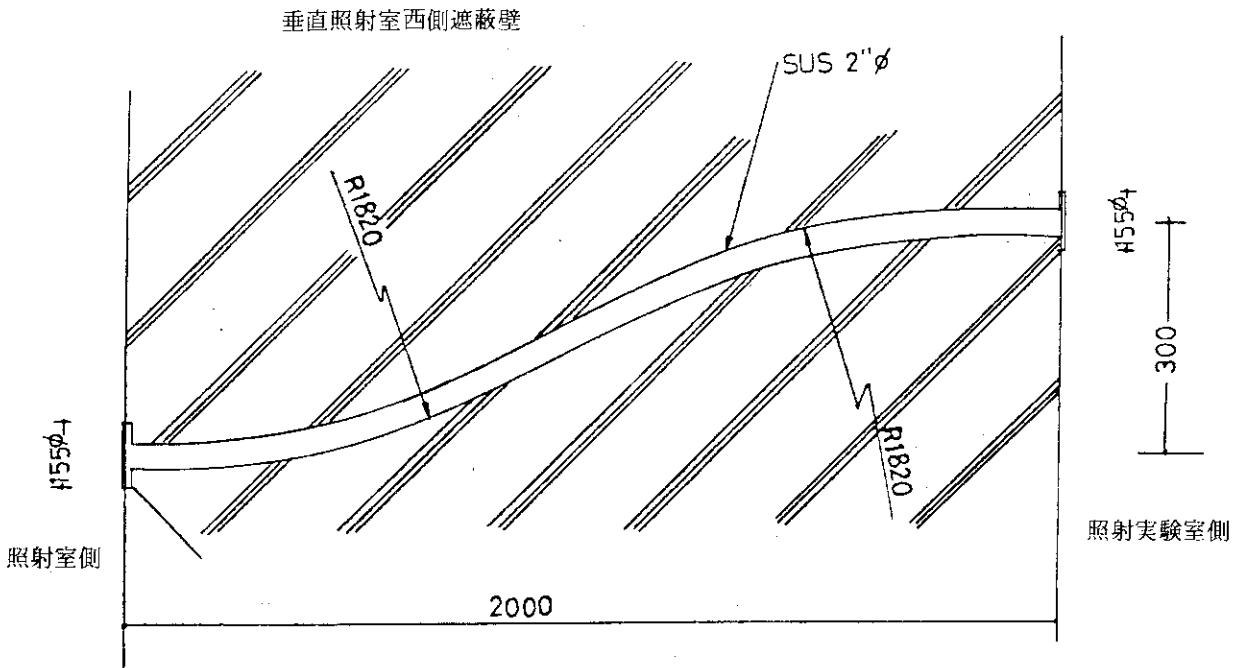


Fig. 43 2" SUS pipe were mounted into the shielding wall of the vertical irradiation room.

Table 7 Number of the sleeve & plug and the floor port.

Size	Length	1F a)	2F b)	3F b)
4 inch	200 cm	4	4	-
2	200	4	8	-
2	150	-	1	-
2	100	2	-	-
1	200	10	5	-
SUS Pipe 2 inch		2	-	-
Floor Port 300 ϕ		-	-	3
Total		22	18	3

- a) for the vertical irradiation room
- b) for the horizontal irradiation room

走行距離：29 m 60 cm, (柱芯間)

巻上速度：3.4 m/min.

走行速度：15/5 m/min (2段切換)

横行速度：5.5 m/min.

操作方式：無線および床上押釦操作

設置場所：加速器室および照射機械室の天井下部に設置する。

2) 1階作業エリア2t モノレールホイスト

実験器材運搬用として設置したものでその仕様は次の通りである。

型式形状：ローヘッド型トロリー, 容量2t

揚程：3 m 45 cm (トラックエリアFLより)

走行距離：45 m 50 cm (支持スパン3 m 70)

巻上速度：8.4 m/min.

走行速度：10.5 m/min.

操作方式：床上押釦, 給電：絶縁トロリー

3) 2階作業エリア2t モノレールホイスト

実験器材運搬用として設置したものでその仕様は次の通りである。

型式形状：ローヘッド型トロリー, 容量2t.

揚程：8 m 90 cm (トラックエリアFLより)

走行距離：29 m 60 cm (支持スパン3 m 70)

巻上速度：8.4 m/min.

走行速度：10.5 m/min.

操作方式：床上押釦, 給電：絶縁トロリー

4) 水平および垂直照射室内電動チェーンブロック

実験器材運搬用として設置したものでその仕様は次の通りである。

定格荷重：1t, モートルブロック：1F-T

走行全長：垂直照射室 6.6 m, 水平照射室 9.6 m

リフト：垂直照射室 3 m, 水平照射室 4 m

巻上速度：3.75 m/min, 0.7 kW

走行速度：5 m/min, 0.07 kW

操作方法：床上押釦, 電源 200 V, 50 Hz

5) 排ガス処理装置電動チェーンブロック

排ガス処理室の保守用として設置したものでその仕様は次の通りである。

定格荷重：0.5t, モートルブロック 1/2 F-T

走行全長：7.7 m, リフト：4 m

巻上速度：3.6 m/min, 0.32 kW

走行速度：5 m/min, 0.07 kW

操作方法：床上押釦, 電源 200 V, 50 Hz

6) 付属装置室電動チェーンブロック

絶縁ガス回収装置の保守用として設置したものでその仕様は次の通りである。

定格荷重：1 t，モートルブロック 1FH-T

走行全長：6 m，リフト：9 m

巻上速度：3.8 m/min，0.7 kW

走行速度：10.5 m/min，0.14 kW

操作方法：柱部固定押釦，電源 200 V，50 Hz.

電動チェーンブロックの給電方式は何れもキャップタイヤコード・カーテン式である。

(6) リフター

実験器材の運搬用として，建家北側に人荷共用のリフターを設置した。仕様は次の通りである。

形式：油圧間接式，人荷共用

積載量：1000 kg，(定員 15 名)

籠寸法：間口 1800 × 奥行 1300 × 高さ 2250

昇降行程：10.4 m，昇降速度：20 m/min.

停止箇所：1 階，2 階，3 階，3 箇所

運転方式：方向性乗合全自動方式 (加速器の運転条件によって籠が 3 階へ行かない制御付)

5.3 建家付帯設備

建家の付帯設備としては、電気設備、空調換気設備、給排水設備、消火設備、ガス設備および圧縮空気設備等があるが、このうち加速器の運転に必要な電気設備、照射室内換気設備および冷却水設備について述べる。

(1) 電気設備

高周波発電機駆動用の電源設備としては、屋外キュービクルに3φ、250 kVA、6600 V / 3300 Vの専用変圧器を設置し、ケーブルを建家内に引込み端末は加速器室に準備した。制御用の電源設備としては、屋外キュービクルに設置した3φ、500 kVA、6600/210 VAの変圧器から分岐して250 A容量の端子（電磁開閉器 MCB 3P 400/250 付）を制御室に準備した。また加速器真空排気用のイオンポンプおよびデーターローガーを停電時にも動作させるため3φ、200 V、30 kVAの非常用電源（エンジン発電機）を機械室に設置し、屋外キュービクルに設置したスコットトランスを介して制御室に専用の端子を設けた。Fig. 44に電気設備の単線結線図を示す。

(2) 照射室内換気設備

各照射室への給気は3階照射機械室に設置した送風機（ $12000 \text{ m}^3/\text{h} \times 43 \text{ mm Aq}$ ）により行い、排気は排ガス処理を行った後、西側屋上の煙窓から屋外に排出される。（Fig. 27参照）加速器の運転モードに対応した給排気系統の切換えは、制御室に設置した制御盤からの信号によりモーター・ダンパーが動作して自動的に行う。

(3) 冷却水設備

加速器用の冷却水は水圧4～6 kg/cm²、水温30℃以下で水量210 l/minが必要である。このため、加速器専用の冷却水環循設備を機械室および屋外に設置した（Fig. 20参照）。この設備は低温水槽、高温水槽、冷却水ポンプおよび冷却塔によって構成される。各機器の主な仕様は次の通りである。

1) 冷却塔：標準丸型カウンターフロー

容量80 RT，水量530 l/min.

2) 冷却水ポンプ（1次側）：自吸式多段

80 φ × 530 l/min. × 8 m

3) 冷却水ポンプ（2次側）：自吸式多段

50 φ × 210 l/min × 71 m

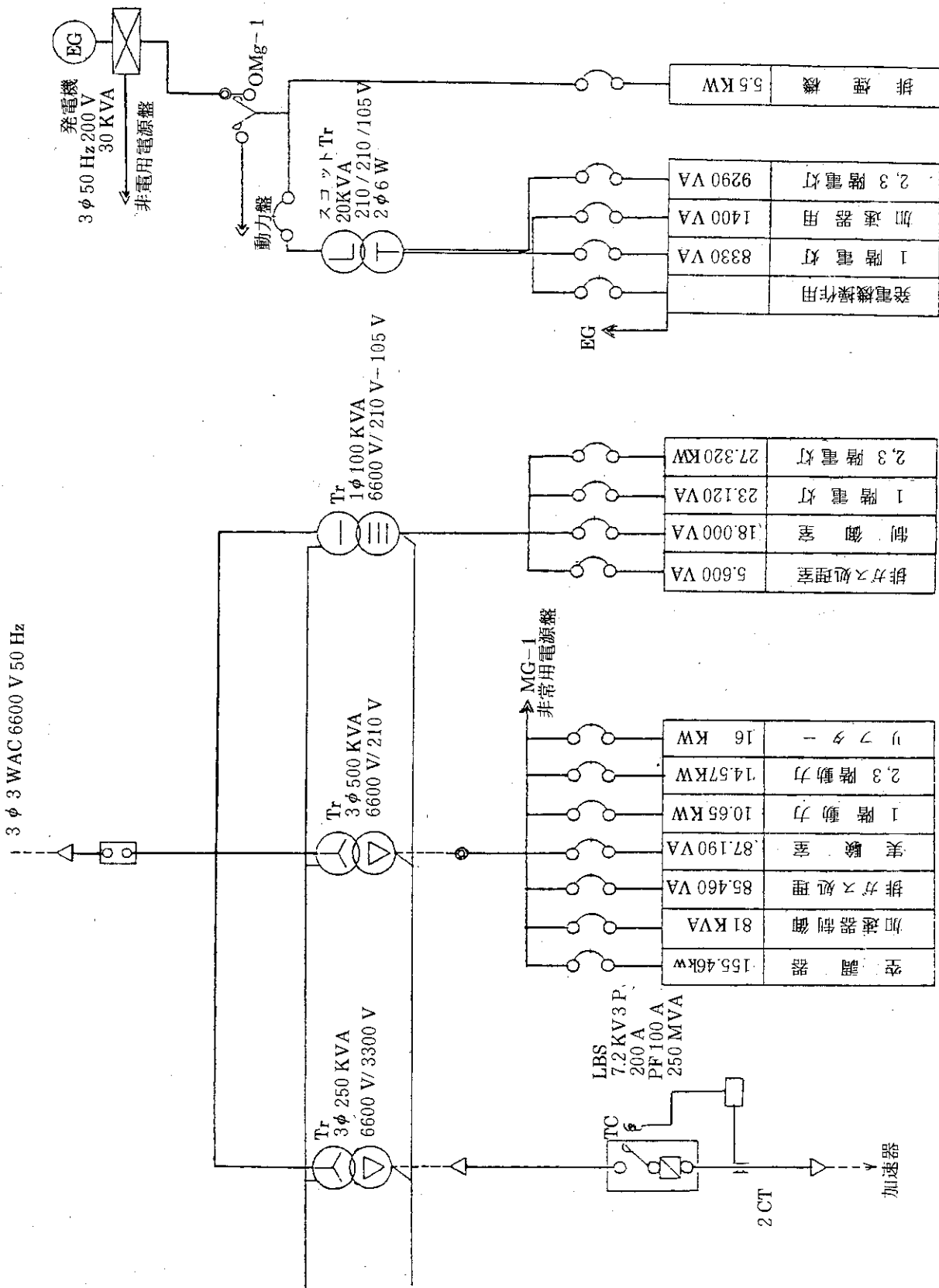


Fig. 44 Electrical skeleton of the 1st accelerator building.

6. 照射室等の遮蔽設計

(1) 発生する制動放射 X 線の強度

電子加速器の照射室等の遮蔽設計については電子線照射に伴い発生する制動放射 X 線に対する遮蔽の検討が主になる。制動放射 X 線は、入射電子と物質中の原子核の電場との相互作用によって発生し、入射電子の X 線へのエネルギー変換率 ϵ は Koch と Motz³⁾ の計算結果から (1) 式により与えられる。

$$\epsilon = 3 \times 10^{-4} Z J_0 / (1 + 3 \times 10^{-4} Z J_0) \quad (1)$$

ここで Z は物質の原子番号、 J_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 ($m_0 c^2 = 0.511 \text{ MeV}$) で除した値である。(1) 式から明らかなように ϵ は入射電子のエネルギーおよびターゲット物質の原子番号に依存する。したがって制動放射 X 線の発生量は、加速器の出力および被照射物質によって変化する。Fig. 45 に入射電子のエネルギーを 2 MeV とした時の ϵ と Z の関係を示す。

本加速器を利用する実験計画等から、ターゲット物質として銅 ($Z = 29$) を仮定して遮蔽設計を行った。加速器の最大定格出力は 2 MeV , 30 mA , 60 kW 、 ϵ は Fig. 45 より 0.03 であるから、最大定格出力運転時の水平、垂直照射室での制動放射 X 線の発生量は、 $60 \times 0.03 = 1.8 \text{ kW}$ となる。さらに、点状等方線源として、発生源 (ターゲットの位置) から 1 m の距離における空間線量率は (2) 式から求められる。

$$D = \frac{1.8 \times 10^{10} \times \mu_a / \rho}{4 \pi \times 10^4} \times \frac{1}{86.9} \times 3600 \quad (\text{R} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (2)$$

空気の質量吸収係数 μ_a / ρ を $0.026 \text{ cm}^2 / \text{g}$ (発生する制動放射 X 線は入射電子のエネルギー 2 MeV を最大とする連続エネルギースペクトルであるが、平均エネルギー $\approx 1.2 \text{ MeV}$ に対応する値) とすると D は $1.5 \times 10^5 \text{ R/h}$ となる。

実際に加速器からの電子ビームをターゲットに入射させ、発生する制動放射 X 線の強度を測定した報告は少ないが、Buechner 等の報告⁴⁾ が最も詳細であり、他の実験結果とも良く一致している。この報告では、バンデグラーフ型電子加速器を用いて、 1.25 MeV から 2.35 MeV のエネルギーの電子ビームを Be , Al , Cu , Ag , W , Au の 6 種類のターゲットに当て、発生する制動放射 X 線の強度を入射電子の方向に関して 0° から 140° の範囲について電離箱によって測定を行い、その結果、発生する X 線の強度は 0° 方向に強い角度分布をもち、この傾向は入射電子のエネルギーが高い程顕著となることが示されている。

本加速器の遮蔽設計においては、 0° 方向および 90° 方向の X 線強度が問題となるが、これらのデータを検討した結果、 0° 方向及び 90° 方向についての空間線量率 D はそれぞれ (3), (4) の近似式で表わされることがわかった。

$$D \approx 5.5 E^{3.0} Z^{0.58} \quad (\text{R/min}) \quad (3)$$

$$D \approx 0.15 E^{2.0} Z^{1.25} \quad (\text{R/min}) \quad (4)$$

ここでDは入射電子線電流1mAでターゲットからの距離1mにおける空間線量率を示している。

以上の検討結果から、加速器を最大定格出力で運転し、銅のターゲットを仮定した場合の制動放射X線の強度は、

0°方向について 6×10^5 R/h at 1m

90°方向について 8×10^4 R/h at 1m

となる。

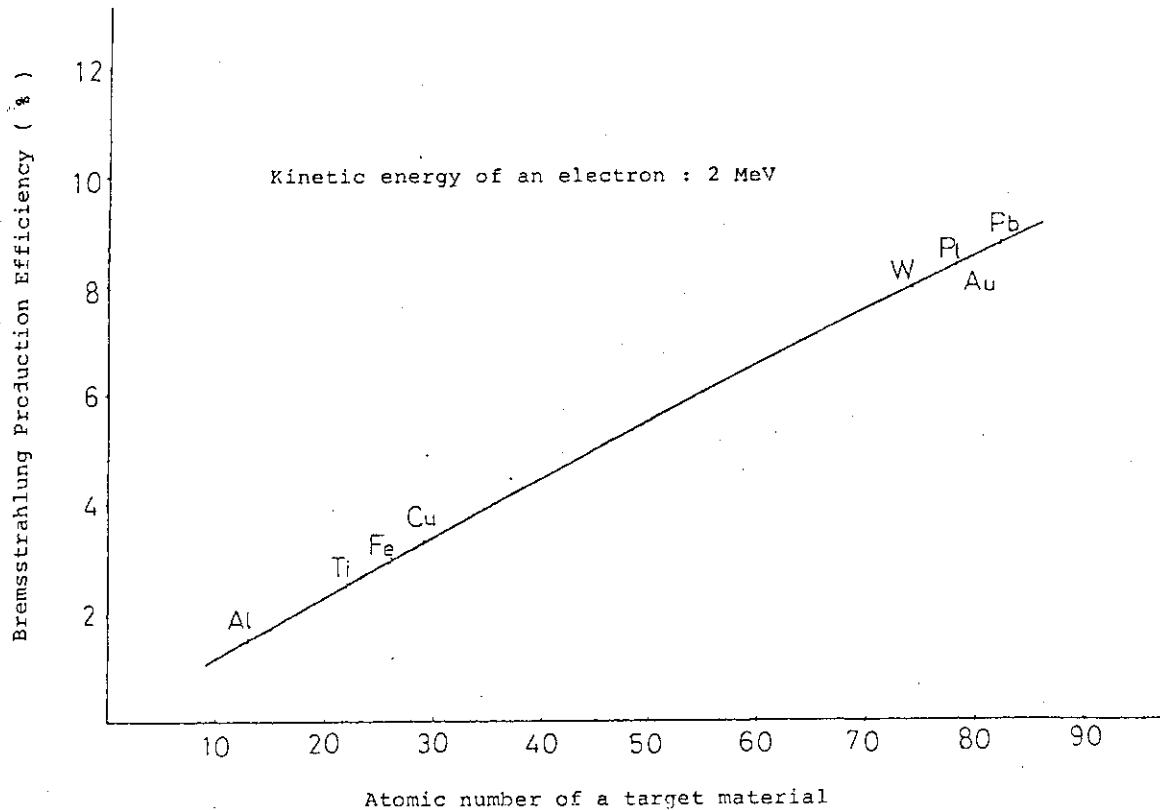


Fig. 45 The Bremsstrahlung production efficiency

(2) 遮蔽設計の条件

照射用電子加速器の遮蔽設計においては、前述の制動放射X線に対しての遮蔽を考えればよい。放射線障害防止法によると遮蔽壁あるいは遮蔽物に係わる許容線量は100 m rem/weekであり、加速器の運転時間を50 h/weekとすると、許容線量率は2 m rem/hである。高崎研究所の照射施設の設計においては、この許容線量率を1/10の0.2 m rem/hとすることが、所内基準となっている。

新1号加速器照射施設の放射線遮蔽に係わる設計条件は次の通りである。

- 1) 加速器が定格出力(2 MeV, 30 mA, 60 kW)で垂直方向運転の場合、垂直照射室および加速器室以外で人が常時立入る区域(水平照射室, 照射機械室を含む)での漏洩線量率は0.2 m rem/h以下とする。
- 2) 加速器が定格出力(2 MeV, 30 mA, 60 kW)で水平方向運転の場合、水平照射室, 垂直

照射室，加速器室および照射機械室以外で人が常時立入る区域での漏洩線量率は0.2mrem/h以下とする。

- 3) 垂直，水平何れ方向についても制動放射 X線を発生するターゲットは銅を仮定する。また発生する X線の強度については，電子線がターゲットに入射する方向を 0° としてターゲットから1mの距離における線量率を次の通りとする。

$$0^\circ \text{ 方向について } D_0 = 6 \times 10^5 \text{ R/h}$$

$$90^\circ \text{ 方向について } D_{90} = 8 \times 10^4 \text{ R/h}$$

- 4) 垂直方向運転の場合，加速器本体から1mの距離における漏洩線量率は10 R/h/mAとする。

(3) 遮蔽壁厚の決定

遮蔽壁を透過した制動放射 X線の線量率は(5)式によって求められる。

$$D = D_0 \times B \times e^{-\mu t} / r^2 \quad (5)$$

ここで，D：遮蔽壁面（透過後）での線量率 mR/h，

D_0 ：発生する X線の線量率 mR/h at 1 m.

μ ：遮蔽壁の質量減衰係数 cm^2/g

t：遮蔽壁の厚さ g/cm^2

r：ターゲットから遮蔽壁面までの距離 m

B：ビルドアップ係数 である。

(5)式においてBは μ およびrの関数であるが， $B = r^2$ と仮定して式を変形すると(6)式が得られる。

$$t = 1/\mu \times \ln D_0/D \quad (6)$$

D_0/D の値は，設計条件から，ターゲットへの入射電子の方向に対して直角の方向に配置される遮蔽壁については， 3×10^9 ，入射電子の方向に対して平行に配置される遮蔽壁については， 4×10^8 である。 μ の値は遮蔽物質の種類および入射光子のエネルギーに依存する。Fig. 46に主な遮蔽物質について μ と光子エネルギーの関係を示す。

制動放射 X線のエネルギーは，ターゲットへ入射する電子のエネルギーを最大とする連続スペクトルであり，スペクトルの形は，入射電子のエネルギー，入射角度およびターゲット物質の原子番号等に依存する。Miller等⁵⁾がタングステン・ターゲットに1.0 MeV, 1.25 MeV, および1.4 MeVの電子線を入射して発生させた制動放射 X線のエネルギーをコンプトンスペクトロメーターを用いてえた測定値，およびWyard⁶⁾がBethe-Heitlerの理論から導いた計算を参考にした結果，遮蔽設計の条件である2 MeV電子線が銅ターゲットに入射する場合の制動放射 X線のエネルギースペクトルはFig. 47に示されるものと仮定した。このスペクトルを数値積分して求めた平均エネルギー \bar{E} ($= \sum E_i I_i / \sum I_i$)は1.17 MeVである。

実際の遮蔽計算については，このスペクトルの横軸を均等に分割し各エネルギー区分毎に μ およびBを用いて遮蔽能力を計算する。この場合，問題となるのは平均エネルギーよりも高エネルギー側の部分のみであり，遮蔽設計上は X線のエネルギーを最大値の67～70%に見積ればよいことが，これまでの経験からわかっている。

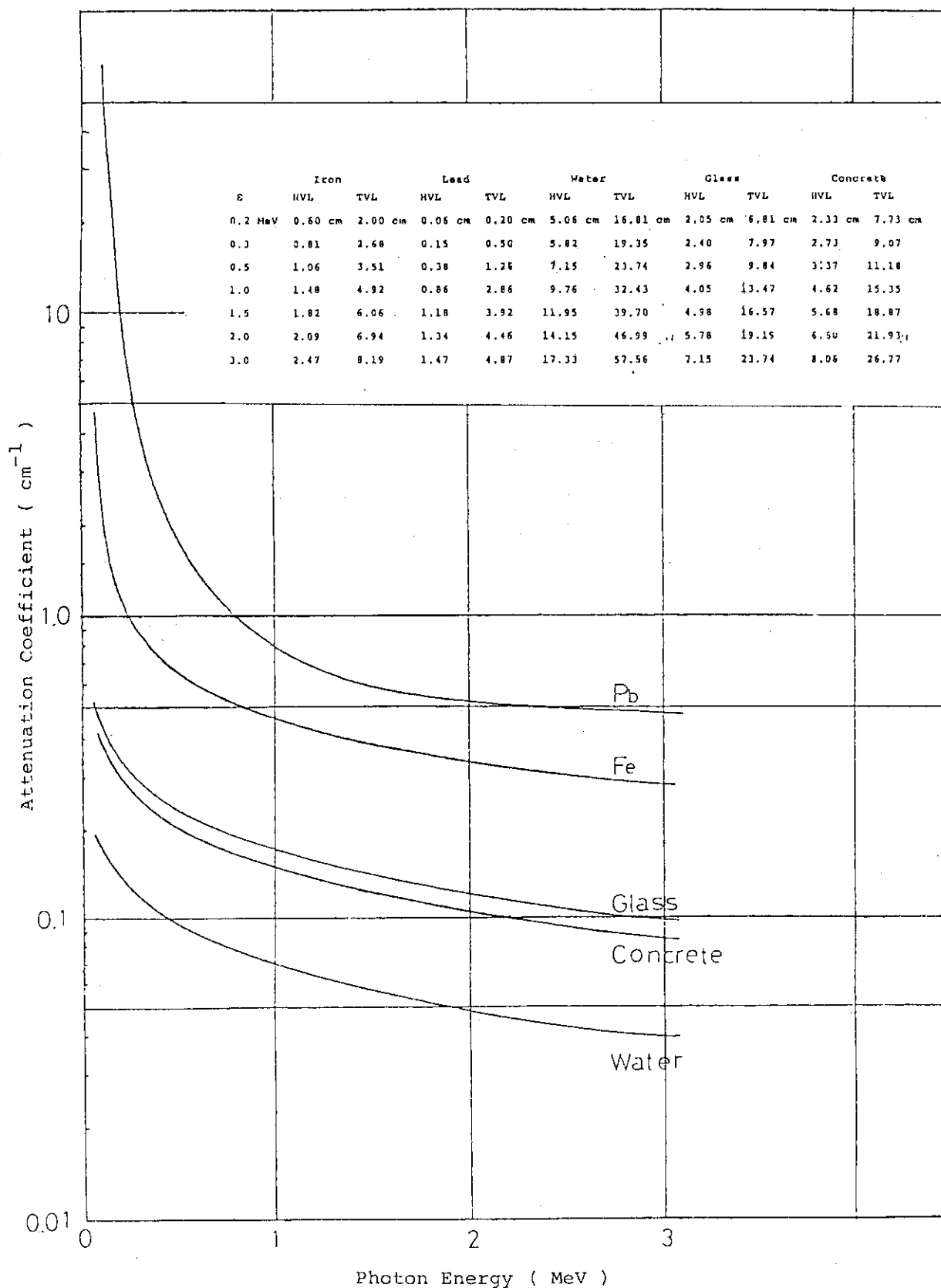


Fig. 46 Attenuation coefficient of a various shielding material.

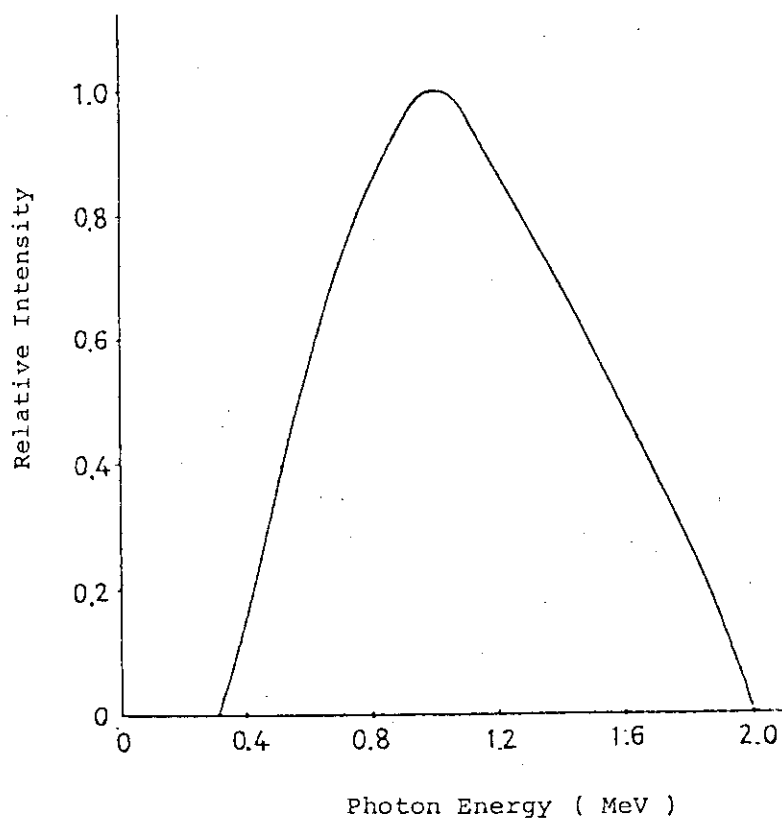


Fig. 47 Bremsstrahlung spectra for 2.0 MeV electrons impinged on the copper target.

Table 8 The attenuation coefficient for 1.5 MeV photons.

Shielding Material	Mass Attenuation Coefficient
Iron	0.0487 cm ² /g
Lead	0.0518
Glass	0.0515
Concrete	0.0519

μ については、光子のエネルギーが1.5 MeVのときの値を用いて設計を行った。Table 8に各種遮蔽材についての μ の値を示す。遮蔽壁を普通コンクリート（密度2.1 g/cm³）で造る場合、入射電子の方向に対して垂直な面に配置する遮蔽壁は2 mの厚さが必要である。

またICRP専門委員会の報告⁷⁾では、X線発生装置の一次防護壁の厚さは(7)式で算出されるBの値によって決められるべきであるとしている。

$$B = Pd^2 / WUT \quad (7)$$

ここで、P：遮蔽設計上の許容線量で、管理区域内で100 mR/week

d：線源から人が常時立ち入る場所までの距離

W：週間稼働負荷

U：使用係数

T：居在係数 である。

dを6 m、Wを36,000（4 h/day × 60 min × 5 day × 30 mA）、UおよびTを1.0としてBを求めると 1×10^{-4} となり、必要な防護壁の厚さは普通コンクリート（密度2.35 g/cm³）で150 cmであった。また遮蔽設計の条件である管理区域内で0.2 mR/h、週50時間稼働の場合は、 $B = 4 \times 10^{-4}$ となり182 cmの厚さが必要となる。

以上の検討結果に基づいて、各照射室の遮蔽壁は普通コンクリート（密度2.1 g/cm³）で2 m厚とし、付設する遮蔽扉、放射線遮蔽窓についても同等の遮蔽厚で設計を行った。また加速器室の遮蔽壁は普通コンクリートで1.5 m厚とし、遮蔽扉についても同等の遮蔽厚で設計を行った。水平照射室と加速器室の境界の遮蔽壁については、加速器のドリフト管をあまり長くはできないという点を考慮して重コンクリート（密度3.6 g/cm³）で80 cm厚とした。

(4) 遮蔽計算

1) 遮蔽壁について

建家の設計が完了した後、次の手順で遮蔽計算を行った。まず各遮蔽壁については、Fig. 47で示したX線のエネルギースペクトルを100 keV毎に均等に分割し、各エネルギー区分について μ およびBを用いて計算を行った。遮蔽壁の外側での漏洩線量率Dは(8)式によって求められる。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} B_i \cdot D_i \cdot e^{-\mu_i t}}{r^2} \quad (8)$$

Table 9に各エネルギー区分に対するスペクトルの面積比、 μ_i 、 B_i の値および $\sum D_i = 6 \times 10^5$ R/h、 $r = 7.1$ mの場合の計算結果を示す。ここで μ_i の値はEvans⁸⁾による質量源衰係数の表を参考にして定め、また、 B_i についてはMorrisら⁹⁾がモーメント法を用いて計算した結果を参考にして求めた値である。Table 9に示した計算結果0.144 mR/hは、X線のエネルギーを1.5 MeVとした時の μ およびBを用いて(5)式によって計算した結果

$$D = \frac{34 \times 6 \times 10^8 \times 3.4 \times 10^{-10}}{(7.1)^2} = 0.14 \text{ mR/h.}$$

とよく一致する。

Table 9 The attenuation coefficient μ/ρ , build up factor B_i and exposure D_i for each energy fraction of photons.

Energy range	Flux	μ/ρ	B	D_i^*
0.2 - 0.3 MeV	1.4 %	0.1080 cm ² /g	1300	1.872 x 10 ⁻¹⁰ mR/h
0.3 - 0.4	2.5	0.0962	900	4.082 x 10 ⁻⁸
0.4 - 0.5	3.4	0.0875	590	1.440 x 10 ⁻⁶
0.5 - 0.6	4.3	0.0808	370	1.758 x 10 ⁻⁵
0.6 - 0.7	5.8	0.0754	235	1.447 x 10 ⁻⁴
0.7 - 0.8	6.7	0.0709	165	8.078 x 10 ⁻⁴
0.8 - 0.9	8.2	0.0674	120	2.900 x 10 ⁻³
0.9 - 1.0	8.8	0.0637	90	1.114 x 10 ⁻²
1.0 - 1.1	9.2	0.0610	71	2.907 x 10 ⁻²
1.1 - 1.2	9.1	0.0588	60	6.293 x 10 ⁻²
1.2 - 1.3	8.6	0.0562	50	1.478 x 10 ⁻¹
1.3 - 1.4	7.9	0.0542	43	2.962 x 10 ⁻¹
1.4 - 1.5	6.8	0.0519	38	5.194 x 10 ⁻¹
1.5 - 1.6	5.7	0.0502	34	8.282 x 10 ⁻¹
1.6 - 1.7	4.4	0.0490	31	9.598 x 10 ⁻¹
1.7 - 1.8	3.7	0.0476	28	1.142
1.8 - 1.9	2.7	0.0456	26	1.872
1.9 - 2.0	1.2	0.0447	24	1.411

Total : 7.283

$$* D_i = B I_0 \exp(-\mu/\rho \times \rho t)$$

$$I_0 = 6 \times 10^8 \text{ mR/h, } \rho t = 420 \text{ g/cm}^2$$

$$D = \sum D_i / r^2 \text{ mR/h}$$

Substituting ; $r = 7.1 \text{ m}$

$$D = 0.144 \text{ mR/h}$$

Table 10 Results of the calculation for the shielding wall

1 F 垂直照射室		
東側遮蔽壁	0.027	mR/h
西 " "	0.027	
南 " "	0.020	
遮蔽扉外側	0.008	
視窓作業エリア側	0.017	
2 F 水平照射室		
東側遮蔽壁	0.030	
西 " "	0.030	
北 " "	0.145	
視窓照射実験室側	0.017	
遮蔽扉外側	0.010	
垂直方向運転時の		
南側遮蔽壁 (室内側)	0.070	

Table 10 に各遮蔽壁に対する計算結果を示す。

2) 照射コンベヤ用迷路の遮蔽計算

1階垂直照射室の照射コンベヤ用の通路は Fig. 48 に示すように 8 字形の迷路構造であり、照射室内の S 点 (ターゲット想定位置) で発生した X 線は 4 回散乱で迷路出口の P 点に到達する。S 点から 1 回散乱面までの距離を r_1 , 以下順次に各散乱面までの距離を $r_2 \sim r_4$, 4 回散乱面から P 点までの距離を r_5 とし、各散乱面についての面積を $A_1 \sim A_4$, 微分線量アルベドを $\alpha_1 \sim \alpha_4$, 入射角を $\theta_1 \sim \theta_4$ とすれば P 点での線量率 D_p は (9) 式によって求められる。

$$D_p = \frac{D_0 A_i \alpha_i \cos \theta_i}{r_1^2 \cdot r_2^2 \cdot r_3^2 \cdot r_4^2 \cdot r_5^2}, \quad i = 1 \sim 4 \quad (9)$$

微分線量アルベド α は、各散乱面に入射する光子のエネルギー E_0 , 入射角 θ_0 , 反射角 θ および散乱角 θ_s に依存し、Chilton¹⁰⁾ が Raso¹¹⁾ の行ったコンクリートに対する γ 線の反射についてのモンテカルロ計算と比較して係数を定めた半経験式 (10) によって計算できる。

$$\alpha = \frac{C(E_0) \cdot K(\theta_s) \cdot 10^{26} + C'(E_0)}{1 + \cos \theta_0 / \cos \theta} \quad (10)$$

ここで $K(\theta_s)$ は Klein-Nishina の微分エネルギー散乱係数、 $C(E_0)$, $C'(E_0)$ はモンテカルロ計算と比較して定められた係数である。

実際の計算手順は、まず 1 回から 4 回までの各散乱面を約 1 m^2 程度の微小区分に区切り、

(1)式の計算を行う。Fig. 49 に各散乱面の分割について示す。

$$f_n = \frac{\alpha_{in} \cdot A_{in} \cdot \cos \theta_{in}}{r_{in}} \quad (11)$$

ここで α_{in} , A_{in} , $\cos \theta_{in}$, r_{in} は各々区分けされた微小散乱面についてのそれぞれ微分線量アルベド, 面積, 入射角および距離である。

1回散乱面についての α_{in} は E_0 を 1.5 MeV として計算した。2回散乱面についての入射エネルギー E_0' は(12)式によって求められる。

$$E_0' = \frac{E_0}{1 + E_0/m_0 C^2 (1 - \cos \theta_s)} \quad (12)$$

ここで E_0 は1回散乱面への入射エネルギー 1.5 MeV, $m_0 C^2$ は電子の静止エネルギー 0.511 MeV, θ_s は散乱角で Fig. 50 の散乱条件において(13)式により与えられる。

$$\cos \theta_s = \sin \theta_0 \sin \theta \cos \phi - \cos \theta_0 \cos \theta \quad (13)$$

Fig. 51 に E_0' と散乱角についての関係を示す。計算の結果 E_0' の最大値は 0.685 MeV, 最低は 0.218 MeV で, 大部分について 0.25 MeV \pm 0.03 MeV の範囲であった。3回散乱面, 4回散乱面については(10)式の E_0 についての適用範囲が 0.2 MeV \sim 10 MeV であるので, $E_0 = 0.2$ MeV として計算を行った。Fig. 52 に入射エネルギー E_0 が 1.5 MeV および 0.2 MeV の場合の α_{in} の計算結果を示す。

次に, このようにして求めた f_n を積分して各散乱面についての減衰率 F_i ($i = 1 \sim 4$) を求める。この F_i を用いると迷路出口 P 点での線量率 D_p は(14)式により求められる。

$$D_p = D_0 \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 / r_s^2 \quad (14)$$

Table 11 に F_i の計算結果を示した。(14)式に $D_0 = 8 \times 10^4$ R/h, $r_s = 2$ m を代入して求めた D_p は 0.06 mR/h であった。

3) 水平照射室の遮蔽

垂直方向運転時における水平照射室の遮蔽については, 以下のような検討を行った。

定格出力 2.0 MV, 30 mA で垂直方向の運転を行っている場合に出力電子流の 0.1%, 30 μ A のスポットビームが加速管の最終段電極に入射すると仮定して, この位置に X 線源を想定する。加速電極の材質を鉄として(1)式により変換効率 ϵ を求め, 点状等方線源を仮定して(2)式を用いて発生源から 1 m の位置における空間線量率を求めると 152 R/h が得られた。Fig. 53 において水平照射室側 a 点での漏洩線量率 D は, (5)式に $D_0 = 1.52 \times 10^5$, $\mu = 0.0519$, $t = 288$ (この壁は密度 3.6 g/cm³ の重コンクリート壁で, 厚さ 80 cm である), $B = 29$, $r = 6.45$ を代入すると $D = 0.03$ mR/h であった。

また加速器の照射窓近傍の点 b については, s 点から水平タンク内を通過して加速管に入り, X 線シャッターを透過して照射窓部への漏洩 X 線について考慮する必要がある。b 点での漏洩線量率 D_b は(15)式により計算を行った。

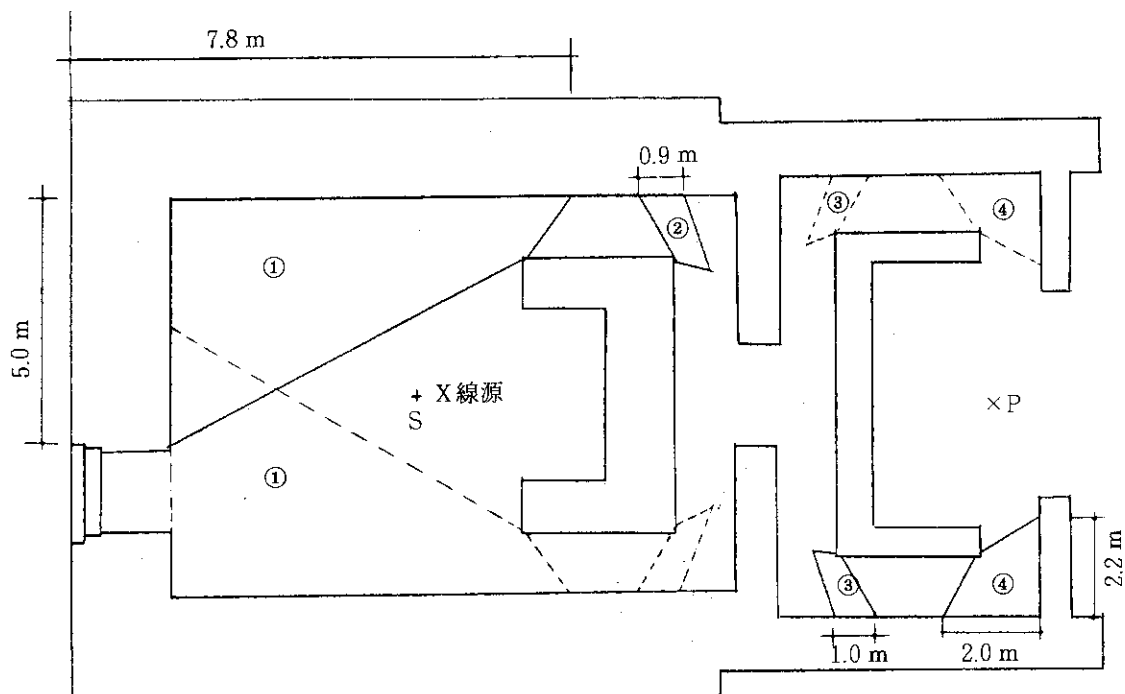


Fig. 48 Labyrinth geometry for multiple scattering

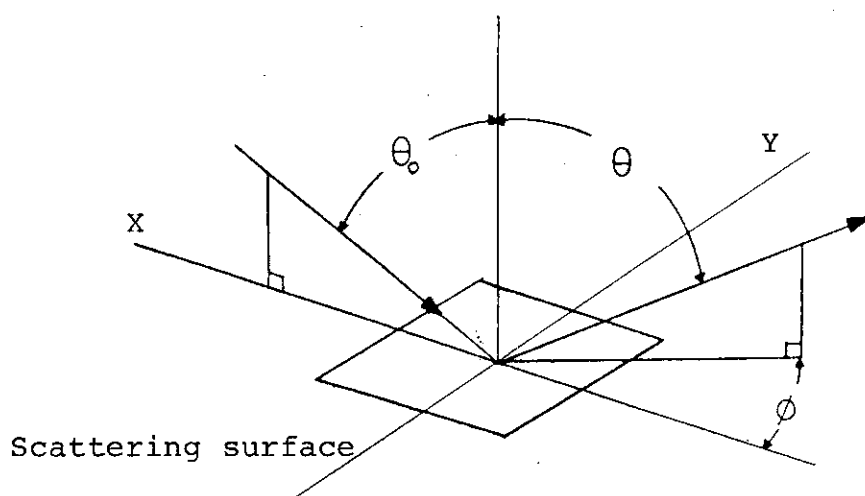


Fig. 50 Scattering geometry of X-rays.

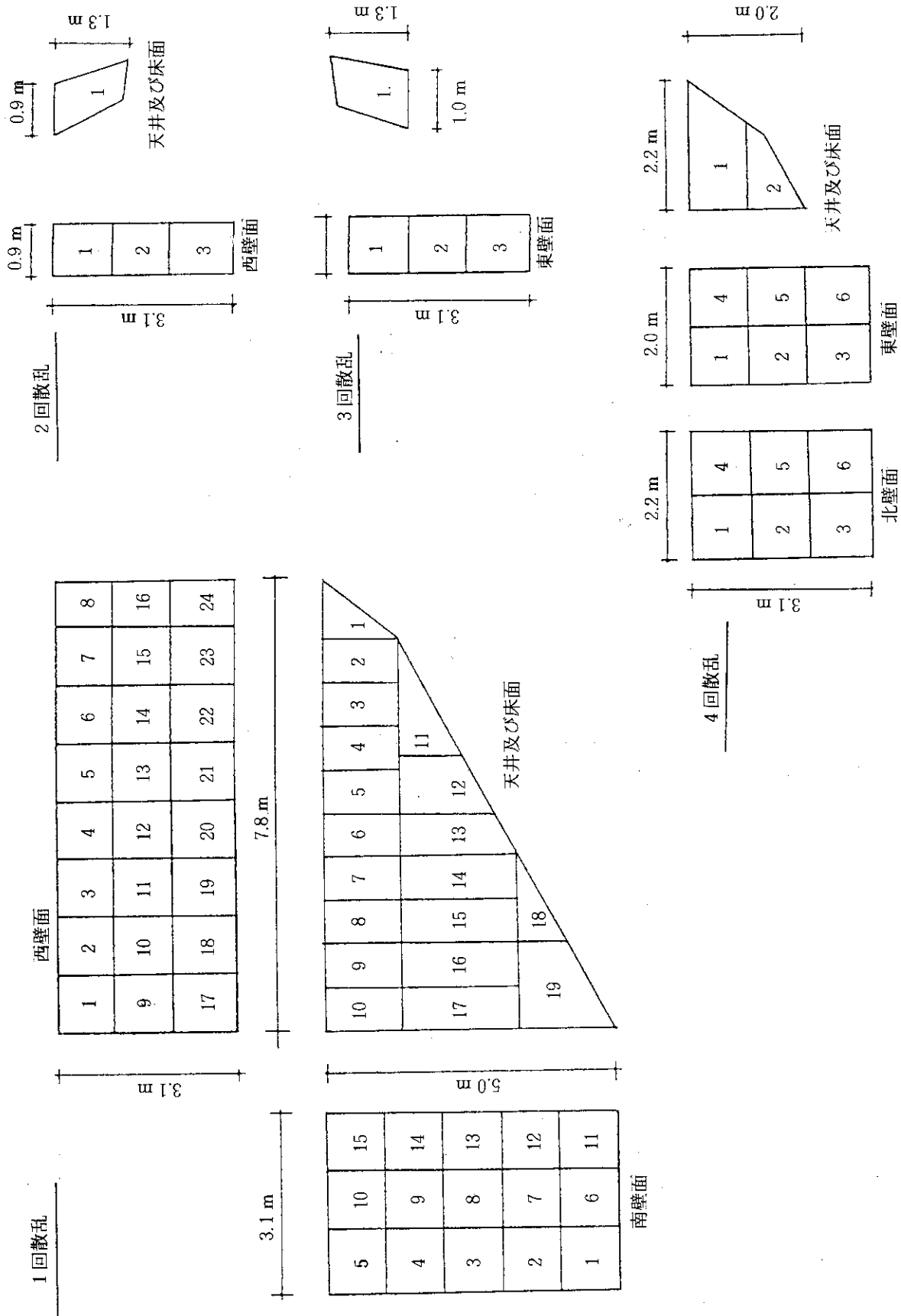


Fig. 49 Division of the scattering area for calculation

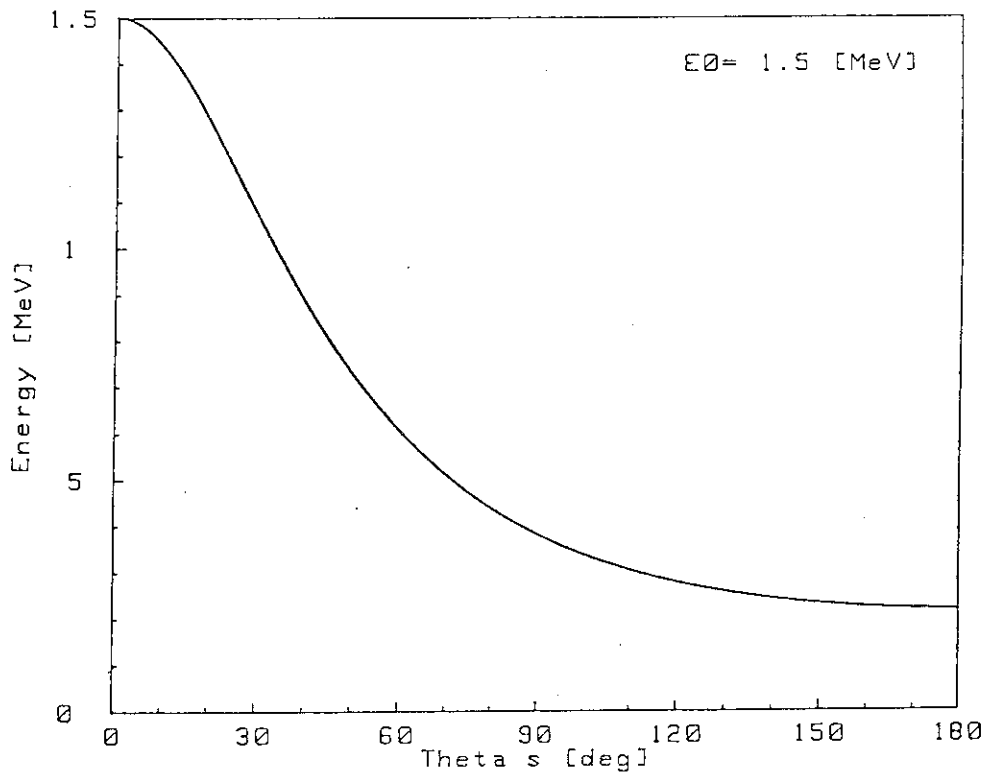


Fig. 51 Relation between the photon energy and the scattering angle

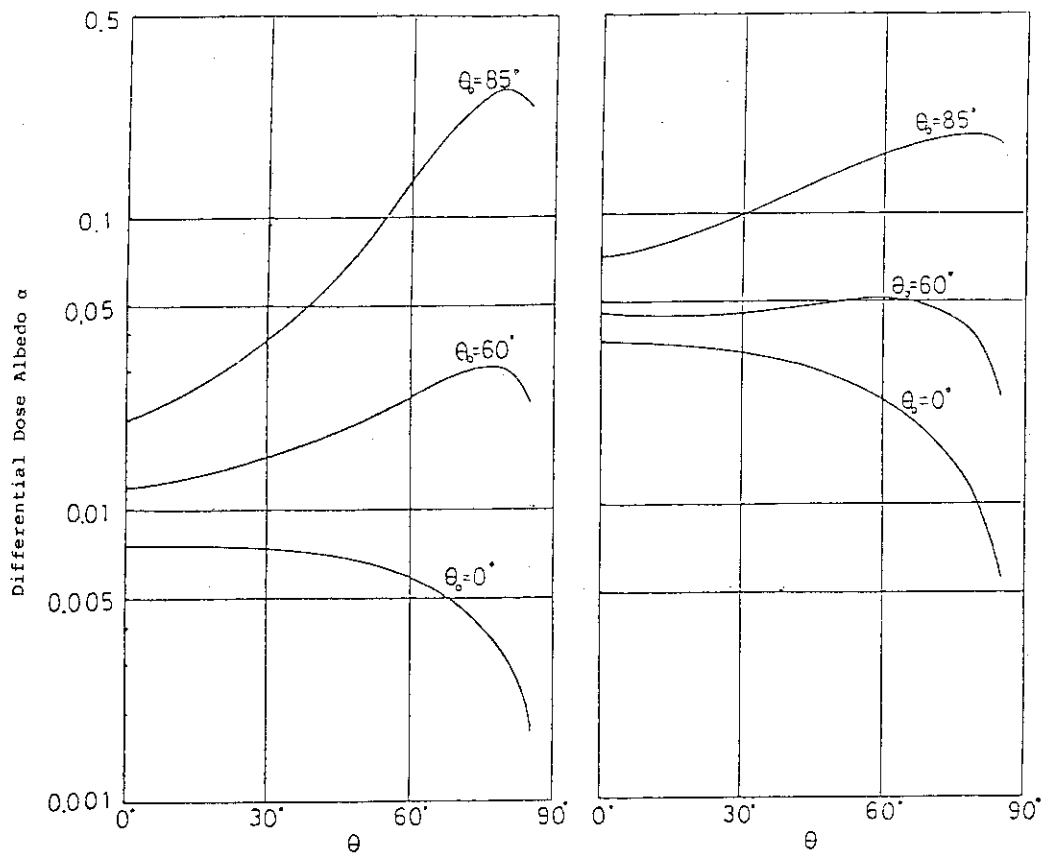


Fig. 52 Calculated value of α for 1.5 MeV and 0.2 MeV photons

Table 11 Calculation results of the shielding factor (F_i)

First scattering		
Scattering surface	Area	F
South wall	15.5 m ²	3.5 x 10 ⁻⁵
Floor	22.5	1.5 x 10 ⁻⁴
Ceiling	17.7	6.8 x 10 ⁻⁴
West wall	24.2	1.6 x 10 ⁻⁴
Total	79.9 m ²	1.0 x 10 ⁻³
Second scattering		
Scattering surface	Area	F
West wall	2.8 m ²	7.5 x 10 ⁻⁴
Floor	1.0	2.4 x 10 ⁻⁴
Ceiling	1.0	2.4 x 10 ⁻⁴
Total	4.8 m ²	1.2 x 10 ⁻³
Third scattering		
Scattering surface	Area	F
East wall	3.1 m ²	3.0 x 10 ⁻³
Ceiling	1.0	2.4 x 10 ⁻³
Floor	1.0	2.4 x 10 ⁻³
Total	5.1 m ²	7.9 x 10 ⁻³
Fourth scattering		
Scattering surface	Area	F
North wall	6.8 m ²	6.0 x 10 ⁻²
East wall	6.2	1.8 x 10 ⁻²
Ceiling	2.6	3.0 x 10 ⁻³
Floor	2.6	3.0 x 10 ⁻³
Total	18.2 m ²	8.4 x 10 ⁻²

$$D_b = D_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (15)$$

ここで、 f_1 : タンクの鉄板による減衰率 = 0.215

f_2 : X線シャッターの鉛ブロックによる減衰率 = 8.4×10^{-6}

f_3 : 距離による減衰率 = 0.028 である。

計算結果は $D_b = 0.008 \text{ mR/h}$ であった。

4) スカイシャイン線量の評価

加速器からのX線が、建家の天井部を透過し、大気中で空気分子によって散乱されるスカイシャインについては、Trubey¹²⁾が単純な散乱条件を仮定して導いた近似式(16)によって検討を行った。

$$\text{Dose}(E, X, \varphi) = \frac{N C(E) \cdot D(E, \varphi)}{X \sin \varphi} \quad (16)$$

ここで、 $\text{Dose}(E, X, \varphi)$ は線源から水平距離で $X \text{ m}$ 離れた点での線量率、 N は空気中の電子密度 ($3.8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$)、 $C(E)$ 、 $D(E, \varphi)$ は散乱係数で Klein.-Nishina の散乱断面積 $d\sigma/d\Omega$ を積分して得られる。 φ は散乱点の線源に対する角度である。また Trubey¹²⁾ はエネルギーが $0.6 \text{ MeV} \sim 12 \text{ MeV}$ の範囲、角度 φ が $30^\circ \sim 180^\circ$ の範囲についての $C(E)$ および $D(E)$ の値を与えている。

Fig. 54 に示すように、 Q_1 点のスカイシャインによる線量率は、X線源の位置 S から X_1 を通り P_1 点で散乱されるX線と、 X_2 を通り P_3 点で散乱されるX線が奇与すると考える。(16式に Table 12 に示した各数値を代入して Q_1 点での線量率を求めると $4.0 \times 10^{-7} \text{ R/h}$ となった。また、 Q_2 点についても同様に S から X_1 を通って P_2 点で散乱されるX線と、 X_3 を通り P_4 点で散乱されるX線について計算した結果、線量率は $1.6 \times 10^{-6} \text{ R/h}$ であった。

(16式は単一エネルギーの γ 線を仮定しており、計算は係数 $C(E)$ 、 $D(E, \varphi)$ の関係でX線のエネルギーを 2.0 MeV として行った。線源 S からの光子束密度を一定とした場合、スカイシャイン線量はX線のエネルギーが低い程高くなり、仮に 0.6 MeV とすると Q_1 、 Q_2 での線量率は上の計算結果の 2.4 倍になる。

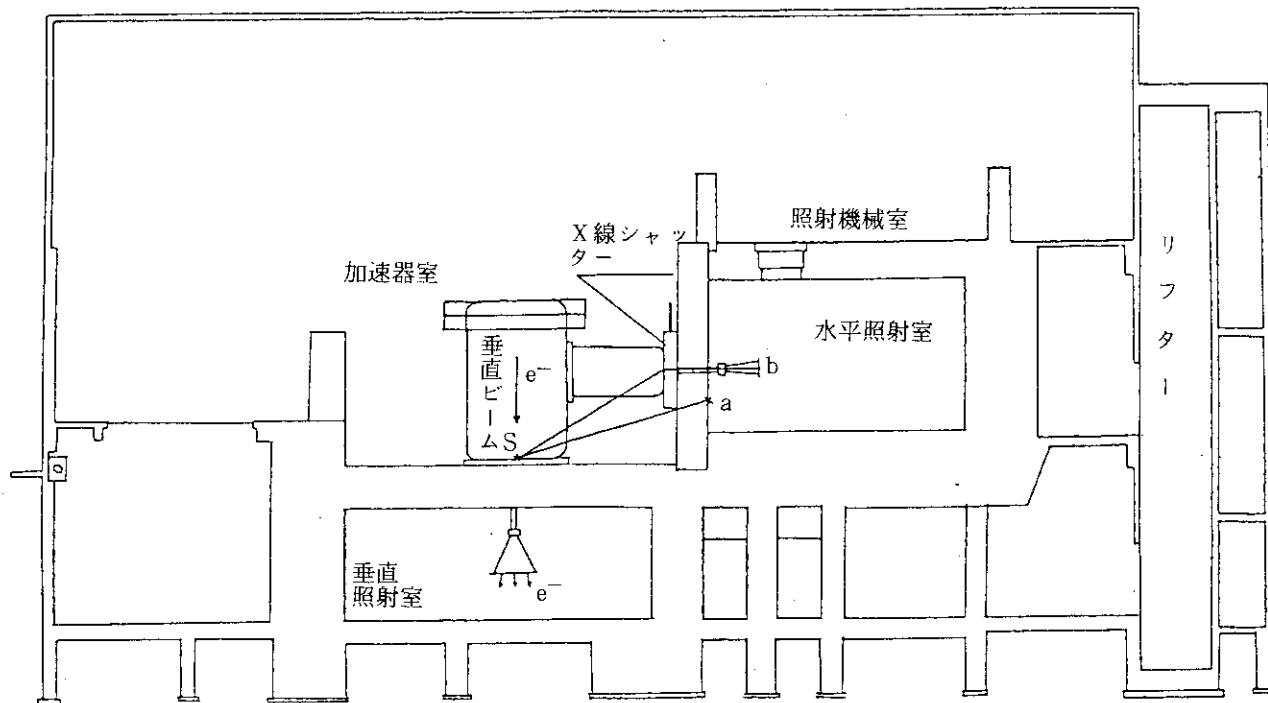


Fig. 53 Shielding geometry in the horizontal irradiation room during vertical beam operation.

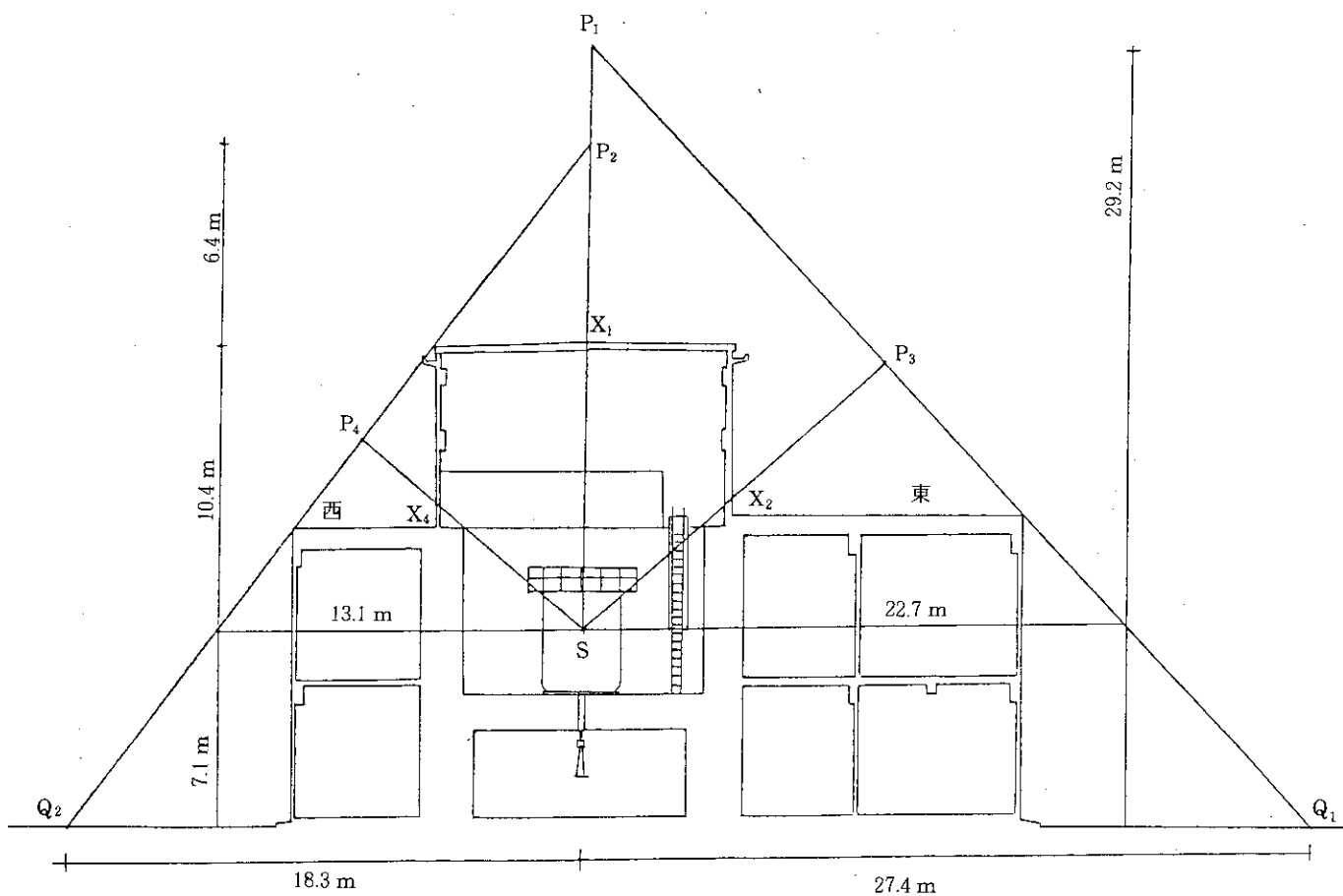


Fig. 54 Geometry for the estimation of the Sky-Shine

Table 12 Calculation results of the Sky-Shine.

<p>P₁ : $\psi = 90^\circ$, X = 22.7 m, C(E) = 12.046×10^{-32}, D(E ψ) = 0.03, D = 6.05×10^{-16} (R h⁻¹/photon sec⁻¹) Flux = 1.2×10^8 photon/sec D' = 7.26×10^{-8} R/h</p>
<p>P₃ : $\psi = 39^\circ$, X = 22.7 m, C(E) = 12.046×10^{-32}, D(E ψ) = 0.12 D = 1.52×10^{-15} (R h⁻¹/photon sec⁻¹) Flux = 2.16×10^8 photon/sec D' = 3.29×10^{-7} R/h</p>
<p>Dose rate at Q₁ is 4.0×10^{-7} R/h</p>
<p>P₂ : $\psi = 90^\circ$, X = 13.1 m, C(E) = 12.046×10^{-32}, D(E ψ) = 0.03 D = 1.05×10^{-15} (R h⁻¹/photon sec⁻¹) Flux = 1.2×10^8 photon/sec D' = 1.25×10^{-7} R/h</p>
<p>P₄ : $\psi = 39^\circ$, X = 13.1 m, C(E) = 12.046×10^{-32}, D(E ψ) = 0.12 D = 6.66×10^{-15} (R h⁻¹/photon sec⁻¹) Flux = 2.16×10^8 photon/sec D' = 1.44×10^{-6} R/h</p>
<p>Dose rate at Q₁ is 1.6×10^{-6} R/h</p>

7. 建設経過

7.1 建家の建設経過

新1号加速器棟の詳細設計が終了して特記仕様書が作成され、これに基づく建家新築工事の入札が行われたのは昭和54年8月30日であった。その結果、戸田建設(株)の受注が決定し、9月から建設工事が開始された。Fig. 55は着工前の建家敷地の状況である(消火栓の右側が予定敷地で、左奥に見えるのはコバルト第2照射棟である)。建設予定地は旧陸軍造兵廠時代に火薬製造工場であり、貯水槽、排水桝などの付帯設備が残存し周囲は土塁で囲われていた。そこで工事の安全を期するため、ダイナマイトによる危険物(主にニトログリセリン)の誘爆除去作業が9月19日に行われた。高崎研究所では昭和38年から39年の間に、構内に残存する火薬格納庫や製造工場跡を中心に約1450箇所についてダイナマイト約250kgを使用し誘爆作業が行われたのであるが、建設予定地はその時の実施対象区域に含まれていなかったため実施したものである。誘爆作業は200gのダイナマイトを使用し、土塁内13箇所について行われたが誘爆箇所はゼロであった。

土塁の撤去が終わり、整地作業も済んだ建設予定地で、10月4日に地鎮祭が行われ、11日から杭打ち作業も始まって本格的に建設工事は開始された(Fig. 56)。また9日には設備関係の入札が行われ、電気設備工事は日本電設工業(株)、空調、給排水設備工事は三機工業(株)の受注が各々決定している。

杭はベント工法による“場所打ちコンクリート杭”で、ベントマシンと呼ばれる堀削機を用いて所定の地盤が出る深さまで掘り下げた後、円筒状に配筋された鉄筋を入れ、コンクリートを流し込む工法である(Fig. 57)。全部で62本の杭が打設され、垂直照射室の部分には直径1.2mの杭が20本打設された。杭耐力の設計値は230t/本である。

引き続き土工事、地業工事が行われ、12月末までに建家本体部の基礎工事が終わり、55年1月初めから垂直照射室遮蔽壁の配筋工事が始まった。遮蔽扉および放射線遮蔽窓用埋込桝の据付け工事、実験用スリーブの設置工事および電気、水、空気等の埋込み配管の配置などが配筋工事と並行して進められた(Fig. 58)。第1回目のコンクリート打設は1月22日に行われた。直径が5cm以上の配管等を埋込む際には遮蔽能力が損なわれないように、相当する厚さの鉄板で補強した後にコンクリートを打設するようにした。

Fig. 59は昭和55年2月7日の時点における建設の状況である。垂直照射室遮蔽壁のコンクリート打設が終わり、2階加速器室の床スラブ部分の配筋を行う直前で、中央に見える上端にフランジが付いた円筒は、加速器の垂直ビーム用ドリフト管のスリーブである。このフランジの上部に加速器本体が設置されることになり、フランジ面と加速器室床面は同一平面に仕上げられる。

2月20日からは実験室や管理室などの部分についてもコンクリート打設が開始され、工事は順調に進んだ。Fig. 60は3月7日に撮影したものであるが、1階外壁の型枠は既に解体されている。中央に開口部が上下に2つ見えるが、これは空調用ダクトスペースで、この手前に機械

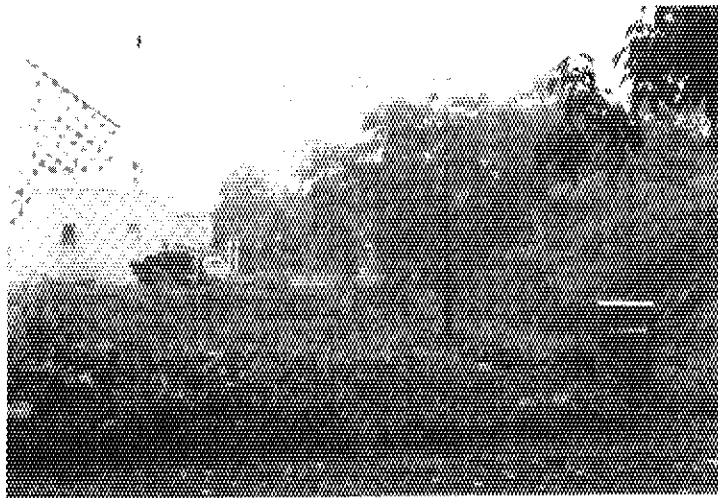


Fig. 55 Building site before construction

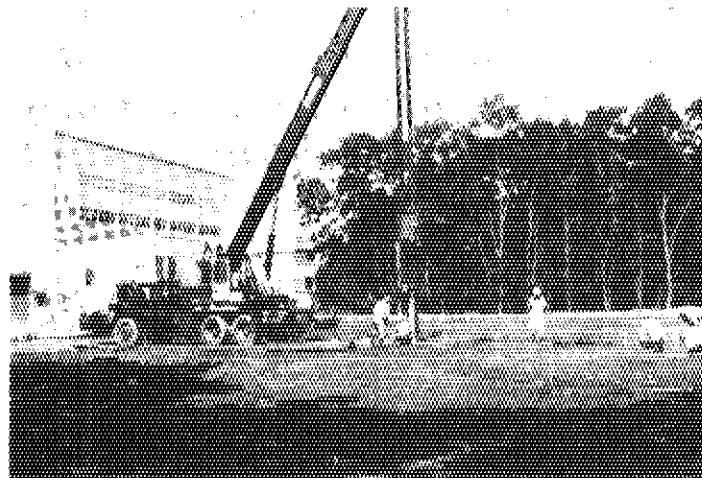


Fig. 56 The driving of a pile was commenced on October 11, 1979

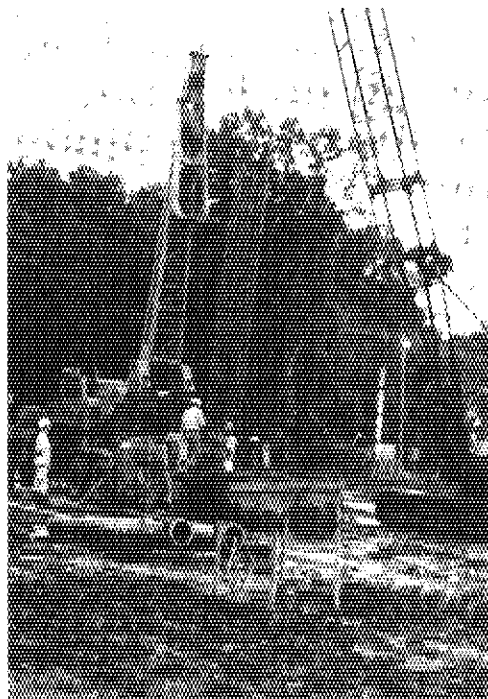


Fig. 57 Pile construction with Benoto-Machine

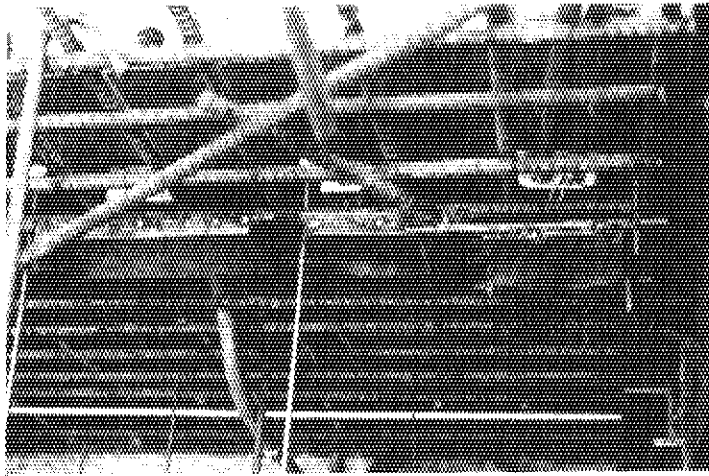


Fig. 58 The reinforcing bar assembly and piping in the shielding wall

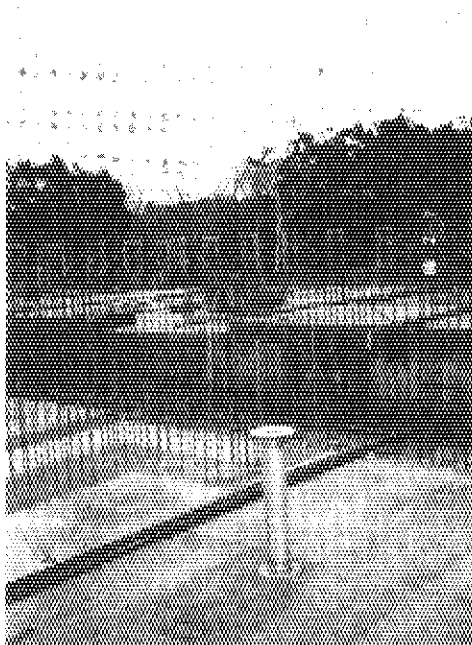


Fig. 59 Condition of the construction on February 7, 1980

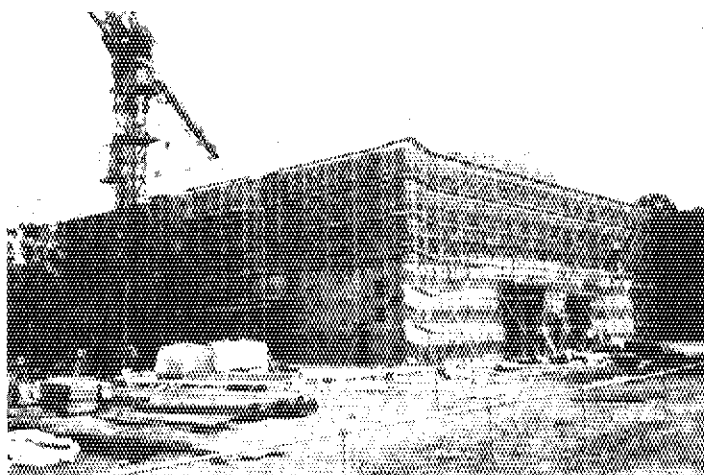


Fig. 60 A condition of the construction on March 7, 1980

室が建設される。2階の型枠の内側では、水平照射室遮蔽壁のコンクリート打設が終わり、3階照射室の配筋工事が行われている。

水平照射室と加速器室との境の重コンクリート遮蔽壁の打設作業は4月9日から22日の間に行われた。Table. 13 に各照射室および加速器室の遮蔽コンクリート壁の打設状況について示す。普通コンクリートの遮蔽壁は7回に分けて1,145 m³のレデーミクスト・コンクリートが打設され、また重コンクリートの遮蔽壁については、現場プラントで調合を行い44.8 m³を6回に分割して打設している。各打設時にサンプリングして比重を測定しているが、普通コンクリートについての気乾比重（4週）の平均は2.33、重コンクリートについては3.77であった。

55年5月になると外壁は大体でき上り、加速器室天井部に5t 2軸走行クレーンを設置した後、軽量コンクリートの屋根工事が行われた（Fig. 61）。建家内部では、各部屋の土間コンクリート打設工事が行われた。Fig. 62は水平照射室側からみた重コンクリート遮蔽壁である。右上に見えるフランジの部分は水平ビーム用ドリフト管のスリーブが埋め込まれ、ここに走査幅60 cmの水平ビームスキャンナーが取付けられる。

6月初めからは最終段階である外装工事が開始された。建家内部では天井が張られ、また各照射室、作業エリアおよび排ガス処理室ではホイスや配線用ダクトの設置工事が行われた。7月10日に1階作業エリアに土間コンクリートが打設され、建家についてのコンクリート打設工事は全て終了した。引き続いて内装工事が進められ、各照射室、加速器室の床はエポキシ塗床に、作業エリアはフェロコンハード塗床、また1階の照射実験室はウレタン系塗膜防水床等々各々の使用目的に合わせ、塗装が行われた。電気設備や空調、給排水設備の各種機器の取付け工事も順調に進み、8月に入るとこれら各機器の調整やクレーンあるいはエレベーターの試運転が行われ、また建家周囲の道路他の外構工事も完成し、8月31日、予定通りの工期で新1号加速器棟は竣工した（Fig. 63）。

放射線遮蔽窓は建家本体と別に発注され、昭和54年12月に伯東商事（株）が受注した。窓枠の部分については各遮蔽壁のコンクリート打設時に設置工事が行われたが、窓本体はSchott社（西独）で製作され9月22日から30日の間に搬入および据付けを完了した。

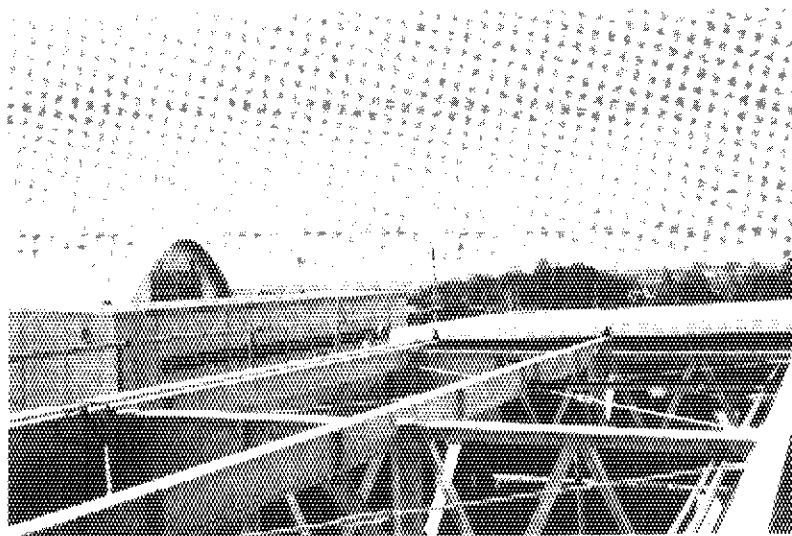


Fig. 61 The roof construction

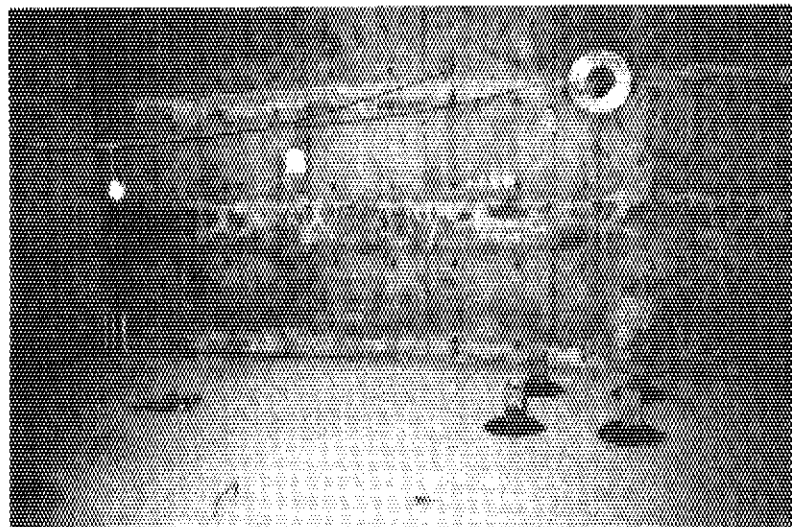


Fig. 62 4" SUS pipe for the horizontal drift tube was mounted in the heavy concrete wall

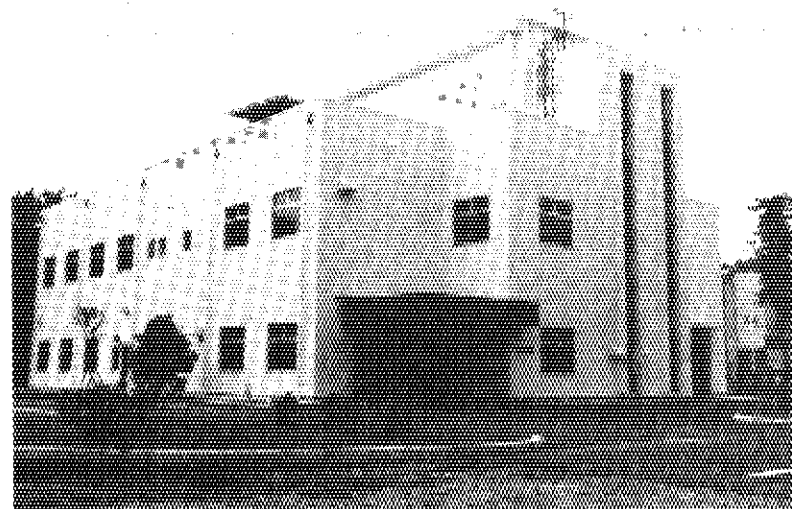


Fig. 63 The building construction was completed on August 31, 1980

Table 13 The amount of the concrete for the shielding wall

普通コンクリート

打設日	打設量	場 所	比 重
1. 55. 1. 22	185 m ³	1 F 垂直照射室遮蔽壁	2.35
2. 2. 6	120	"	2.36
3. 2. 13	240	2 F 加速器室, 水平照射室床	2.34
4. 2. 18	120	" 遮蔽壁	2.30
5. 3. 5	180	" "	2.33
6. 3. 15	150	" "	2.34
7. 3. 26	150	3 F 照射機械室 床	2.35
Total	1145 m ³		av. 2.35

重コンクリート

打設日	打設量	場 所	比 重
1. 55. 4. 9			3.71
2. 4. 10	21 m ³	2 F 水平照射室遮蔽壁	3.72
3. 4. 11			3.76
4. 4. 17	7.9 m ³	"	3.80
5. 4. 18	7.9	"	3.80
6. 4. 22	8.0	"	3.83
Total	44.8 m ³		av. 3.77

7.2 更新加速器の設置経過

7.2.1 加速器の製作

新1号加速器本体については昭和53年12月から、製作を担当する日新ハイボルテージ社と契約仕様や建家の仕様に関して詳細な打合わせが行われ、正式契約は昭和54年2月であった。

このデュアルビーム形の加速器は世界に例がなく、制御室が照射室と離れていることなど、運転担当者に未経験の事柄が多いことから、安全面の手助けとするため照射条件記録装置もあわせて発注し、これは同年3月末に契約された。

加速器本体の製作は日新ハイボルテージ社京都工場において行われた。正式契約後、主要構成機器や部品の詳細設計が行われ、5月になると高周波発電機や圧力タンクなどの長納期の機器類については発注が開始された。設計製作の状況は同社から原研に「工程進捗状況報告書」が月1回の割合で提出され、その都度双方で確認が行われた。主要構成機器の設計製作は順調に進み、8月には承認申請図が提出され、また詳細設計が完了した新1号加速器棟の建設に関する工事分担や、電気、水および空気など所要設備の工事範囲について詳細な打合せも行われた。

高崎研究所内においては、54年10月から約2ヶ月間かけて新1号加速器の安全審査が行われた。放射線安全専門部会において、加速器本体に係わる安全性および照射運転に係わる安全性について審査が行われたが、審査の結果は安全面で問題はないと思われるとの合格の判定であった。

構成機器や部品の製作および調達は、SF₆ガス冷却装置の一部を除いて54年11月末までに終わり、12月初めからは工場内で組立て作業が開始された。工場内での組立ては昭和55年2月末までに完了し、3月11日には立会検査を行って各機器の外観および寸法について確認した。

以上のように加速器の製作は、組立完了時点までは順調に進んでいたが、調整運転の段階に至ってから幾つかのトラブルが発生した。その1つは、高電圧電極内に設置した信号制御系のうち、アナログ制御系については問題ないが、ON-OFF制御系では運転時にサージ・ノイズが入り誤動作が生ずるというもので、結局、ON-OFF制御系については、光ファイバーを用いる当初の方式からソレノイド・スイッチを用いる方式に変更した。その後も調整運転が続けられ、55年9月10日～11日に調整完了時の工場立会試験が行われたが、低加速電圧域での電子流取出しがスムーズに行かず、最終的に低加速電圧域ではショータニング・ロッド方式を採用することになった。10月になってから再び行われた工場立会試験では所定の性能が確認された。

7.2.2 加速器の搬入、据付、調整

加速器の搬入は昭和55年10月16日に準備作業が開始され、20日に圧力タンクの搬入作業が行われた (Fig. 64)。搬入に際しては荷上室の天井部分に設置した10tフックに電動ウィンチをかけて圧力タンクを引き上げ、それを5tクレーンで支持しながら加速器室まで横引きする方法で行った。この際、加速器室と荷上室の境界のブロックは一時的に取り外した。23日までに搬入および定置作業が終了し、その後は昇圧回路の組立作業、各機器間の配線配管作業、冷却水、冷却空気、SF₆ガス等の配管作業が各作業毎にチームが編成され、並行して進められた。

組立に際しては垂直方向、水平方向の加速管の据付け、芯出しに時間をかけ、特に水平方向ビームラインのドリフト管の設置には十分な注意が払われた。各加速管とも壁および床を貫通する

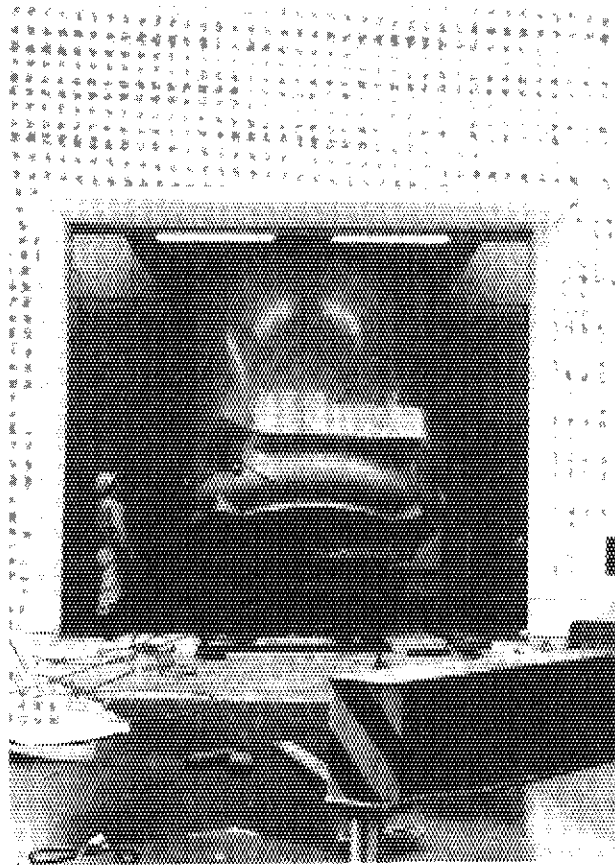


Fig. 64 Main pressure vessel was carried into the building on October 20, 1980

スリーブとドリフト管との間隙には鉛毛を充填し X線漏洩対策とした。

11月10日にはSF₆ガス系のリークテストなど配管の洩れチェック、電気配線の導通チェックなども含めて組立完了となり、原研内での組立完了時検査が行われた。

その後、ショートニングロッドの動作チェック、フィラメント点灯状況の確認、高電圧切換装置の駆動テストおよび大気中での低電圧印加試験等が行われ、11月14日から圧力タンクへSF₆ガスを充填する作業が開始された。そして11月17日、原研において初めて加速電圧ONの状態となり、調整運転が開始された。運転は2人1組で昼夜通して2交代で行われ、19日明方には垂直方向で2MVまでの電圧コンディショニングが達成された。しかしこの時点で出力電子流の取り出しについてスミリンク、インバーター方式共にうまく行かず、高電圧切換装置の動作不良も加わったため、圧力タンクを開けて故障修理をすることになった。トラブルの原因はどちらも操作信号を伝えるリミットスイッチの動作不良によるものであることが判り、対策としてリミットスイッチの位置の変更および改造を行った。11月21日から再度電圧コンディショニングが開始され、その日のうちに垂直方向電子流取出しに成功した。ここで感光紙を用いてビームスポットやビームパターンの測定およびベリリウム・ターゲットを用いて加速電圧測定用回転電圧計の較正などを行った。この段階で垂直ビームスキャンナーの基部にビームが当たっていることが判ったため、加速管との軸合せを行い、垂直方向のビームコンディショニングを開始した。11月23日30mAが達成された（これに合わせて排ガス処理装置の動作試験や建家内でのリークテストを行い問題がないことを確認した。特に水平照射室内のリークテストは念入りに行いバックグラウンドレベルであることを確かめた。）翌11月24日には、2MV、30mAの最大定格出力を達成し、垂直方向最大定格出力で運転中でも水平照射室内のリークテストの結果はバックグラウンドであることが確認され、垂直方向のコンディショニングは終了した。

続いて水平方向での電圧コンディショニングが垂直方向と同様の手順で進められ、11月26日2MVまでの電圧コンディショニングが終了、ビームスポット、ビームパターンの測定および軸合わせを行った後ビームコンディショニングに入り、28日、1.5MV、30mA、29日に2MV、30mAが達成された。また同日1.5MVの加速電圧で垂直ビーム15mA、水平ビーム15mAの同時運転にも成功した。

このように垂直、水平両方向共1.5MV以上の加速電圧では電子流の取出しが順調に進んだが、低加速電圧域ではビームスポットが大きくなるためスキャンナー基部に当るビームが多くなり、軸合わせを行っても十分な成果は得られなかった。このため圧力タンクを開けて加速管自体の芯出しを再度行うことになった。垂直、水平両方向共トランシットにより測定した光学的な芯とビーム軸が合うようにドリフトチューブやスキャンホーン支持架台の位置を調整した。

12月7日から電圧コンディショニングを再開し、垂直方向については10日に1MV、30mAが達成されたが、水平方向については依然として1MV、2mA位からスキャンナー基部に当るビーム量が多くなり、再調整が必要と判断された。この状態を改善するための検討を進めながら、調整運転に関しては垂直方向に切換えて、0.8MV以下についてコンディショニングが行われた。そして13日、0.8MV、30mA、14日には0.5MV、10mAを達成し、垂直方向については、ワンタッチ切換の全てのレンジ（0.5、0.6、0.8、1.0、1.5、2.0MV）についてその加速電圧での最大定格出力が確認され、またビームスポット、パターンなどの運転特性データが得られた。

水平方向の低加速電圧域については、検討の結果 1.3 MV 以下では電子流取出しにしいき値（1.0 MV で 1 mA, 1.05 MV で 3 mA 位）があり、それを超えると漏れ電子流が急増すること、またこの現象はブリーダー電流が少ないほど顕著であることなどが判った。その対策として、1 MV についてもショータンニングロッド方式を用いることとし、15 日に 1 MV, 30 mA が達成され、16 日には 0.8 MV, 30 mA, および 0.5 MV, 10 mA も確認され、水平方向についても全レンジについて最大定格出力が確認された。

その後垂直方向についても、水平方向と同じショータンニングロッドの使用範囲とするための設定および調整が行われ、12 月 18 日、調整運転は完了となった。

7.2.3 加速器の受入試験

調整運転完了後、昭和 55 年 12 月 19 日から、各加速電圧についての線量分布平坦度の測定や深部線量分布の測定など加速器の出力性能を確認するための試験、測定が行われ、22 日からは調完了時立会検査（受入試験）が開始された。

12 月 24 日、垂直ビームについての安定度試験を行っている最中に何度か Trip-off が発生、やがてビームが出ない状態となった。同時に高電圧切換装置も動作不能となったことから、電子源 MG に関するトラブルであると予測して圧力タンクを開けて調べたところ、発電機と駆動用絶縁軸のカップリングの部分に破損しているのが発見された。カップリングは手配も迅速に行われ 26 日には交換されたが、SF₆ ガスの充填作業や電圧電流のコンディショニングが必要なこともあり、連続運転の立会試験は年明けに行うことになった。

57 年 1 月 6 日から立会試験が再開され、1 月 7 日、垂直方向について 2 MV, 30 mA 最大定格出力で 4 時間連続運転試験（安定度試験および関連機器全ての動作、性能試験を兼ねる）が順調に達成され、翌 8 日には、水平方向について 2 MV, 30 mA, 4 時間連続運転および加速電圧 2 MV で垂直 15 mA, 水平 15 mA, 1 時間連続運転も順調に達成された。またインターロック動作試験も問題なく終わり、57 年 1 月 9 日、受入れ試験は完了となった。以下に試験結果等について記す。

(1) 試験結果およびデータ

1) 連続運転試験

垂直方向、水平方向とも 2 MV, 30 mA で 4 時間連続試験を行い、仕様書の性能が確認された。また 2 MV において 15 mA + 15 mA の同時連続運転も達成された。Fig. 65 に同時運転の場合の加速電圧および垂直、水平の各電子流の記録を示す。

2) 安定度試験

加速電圧が 0.5 MV, 0.8 MV, 1.0 MV, 2.0 MV, 電子流が 0.1 mA, 1.0 mA, 10 mA, 30 mA の組合わせで 26 点について試験を行い加速電圧および出力電子流の変動が垂直水平とも許容範囲内であることを確認した。Fig. 66 に水平方向で加速電圧 2 MV, 電子流 1 mA の場合の安定度を示す。

3) インターロック動作試験

インターロック動作については、その項目全部にわたって良好な動作特性を認めた。Table 14 に試験結果を示す。

4) 高電圧装置部動作試験

a. 高電圧切換装置

動作が正常に行われ且つ1分以内に動作が完了することを目視で確認した。

b. 接地装置

動作状況は円滑で正常であった。

c. X線シャッター

開閉動作は3分以内で正常に行われ、遮蔽性能については、垂直方向最大定格出力(2 MV, 30 mA)で運転中に水平照射室内の漏洩放射線量がバックグラウンドであることから仕様書の性能を満たすものと確認された。

5) ビームシャッター動作試験

垂直方向、水平方向ともに開閉動作は正常に行われ、仕様書の性能を満足することが確認された。

6) 制御機能の確認

a. 自動運転

最大定格値までの上昇下降時間が仕様書に記された通りであり、機能は正常であると認められる。

6点の加速電圧設定ボタンと連動して走査電流の設定やショータンニングロッドの動作が正常に行われてワンタッチ切換機能は仕様書の性能を満足するものであることが確認された。

b. 真空自動運転

コンディショニング運転時に加速電圧、出力電子流が真空度の模擬信号に応じて自動的に制御される様子をFig. 67に示す。制御動作は正常であると認められた。

7) データ提出項目

原研内での調整運転が完了した後に測定された加速器の出力に関する測定データは、仕様性能を満足することを確認した。Fig. 68に線量分布平坦度の測定結果、Fig. 69に深部線量分布測定の結果、そしてFig. 70にはビームスポット、パターンの測定結果を示す。

8) 付属装置

データロガー、グラフィックパネル、電子流ターゲット、SF₆ガス回収装置などの付属装置の動作動特性が仕様性能を満足することを確認した。

(2) 結果の判定

以上のように受入検査の試験項目全搬にわたり、所定の性能が確認され、検査結果は合格と判定された。

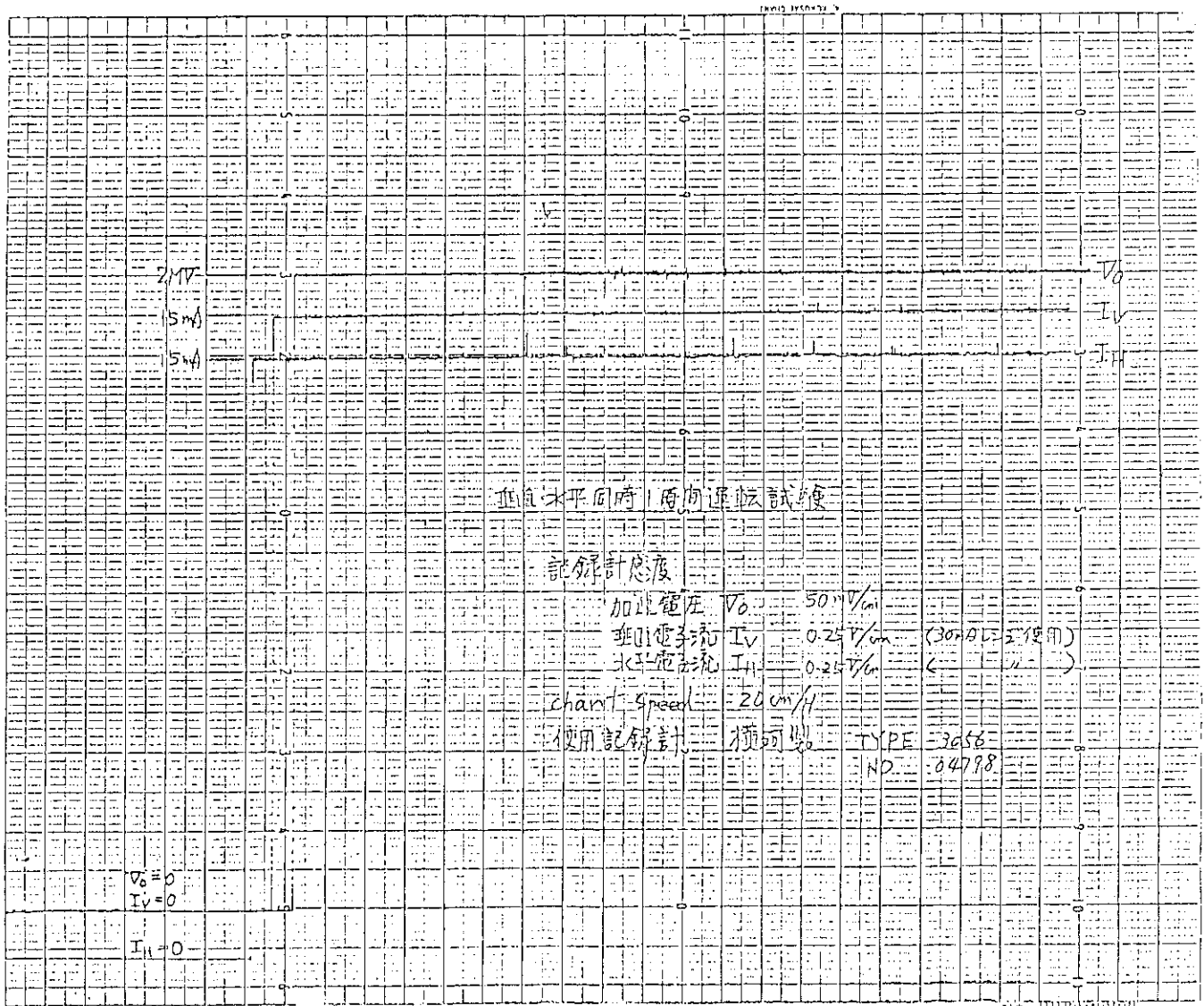


Fig. 65 Data of the acceptance test.

1. one hour continuous operation with the dual beam.

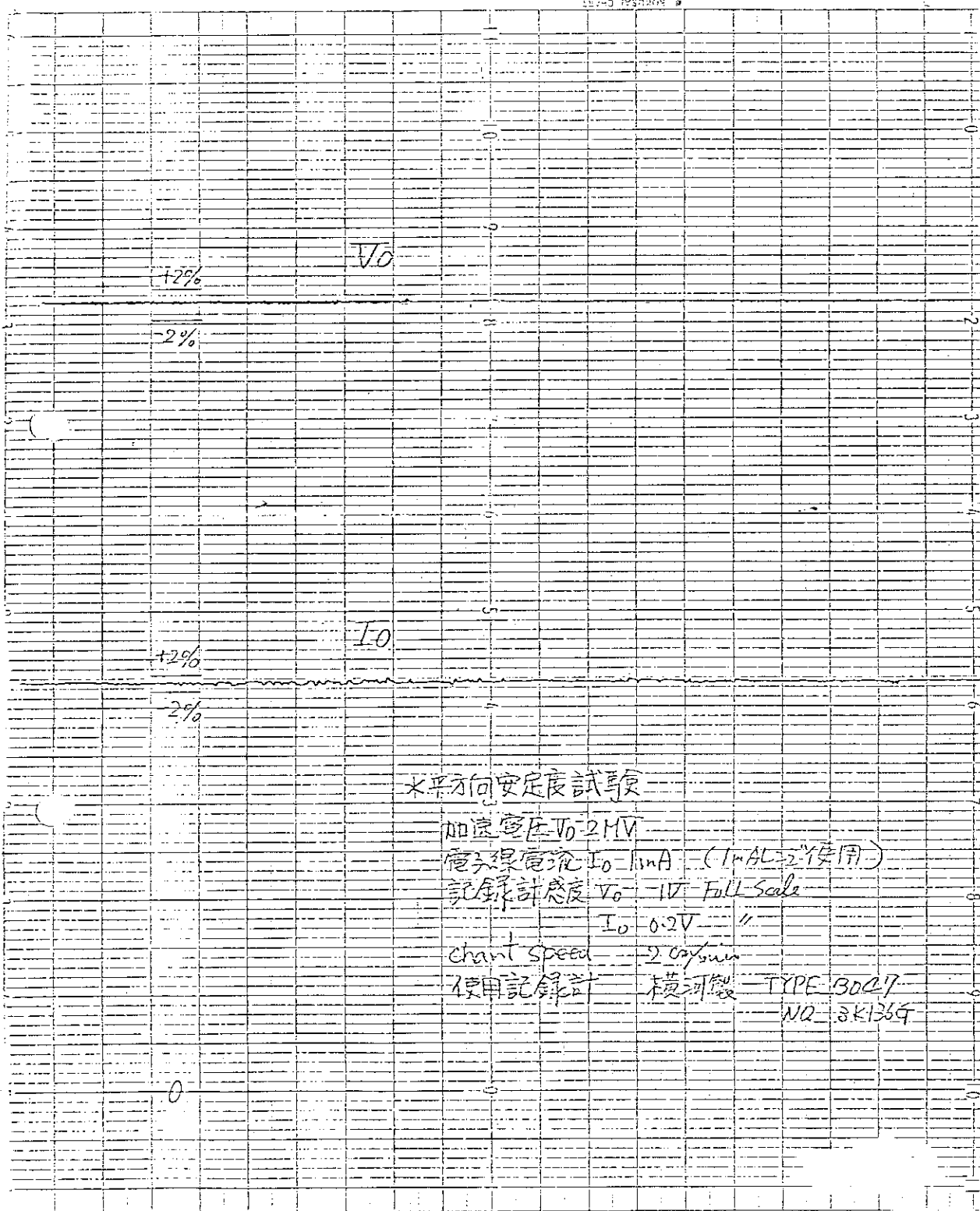


Fig. 66. Data of the acceptance test.

3. The stability of the out put.

Table 14 Results of the acceptance test.

2. Function test of the interlocking circuit

(i) 垂直・水平同時照射

故障名称	動作条件	Trip リレー	試験結果
① R Y 電源	模擬信号	52 G, 41, 88 VY, 88 HY	良
② 高電圧切換装置	"	"	良
③ 接地装置	"	"	良
④ X 線シャッター	"	"	良
⑤ 電源変圧器	"	"	良
⑥ 加速電圧過電圧	メータリレー	"	良
⑦ 出力電子流過 (V)	"	"	良
⑧ " (H)	"	"	良
⑨ 出力電子流過 (一括)	"	"	良
⑩ 入出力不平衡	模擬信号	"	良
⑪ ブリーダー電流 (V)	メーターリレー	"	良
⑫ " (H)	"	"	良
⑬ 電流不平衡	模擬信号	"	良
⑭ 入力不平衡	"	"	良
⑮ MG 欠相・逆相	"	"	良
⑯ MG モーター過電流	"	"	良
⑰ MG 過電流	"	"	良
⑱ MG 過電圧	"	"	良
⑲ MG 界磁過電流	"	"	良
⑳ MG 冷却水不足	模擬信号	52 G, 41, 88 VY, 88 HY	良
㉑ MG 軸受温度異常	"	"	良
㉒ MG 冷却水温異常	"	"	良
㉓ 本体室扉開	"	"	良
㉔ 照射室 "	"	"	良
㉕ "	"	"	良
㉖ X線漏洩	"	"	良
㉗ 本体室安全 S W	"	"	良
㉘ 照射室 " (V)	"	"	良
㉙ " (H)	"	"	良
㉚ 非常停止	押	"	良
㉛ 真空度 (V)	"	"	良
㉜ " (H)	"	"	良
㉝ フィラメント電圧 (V)	メータリレー	"	良

故障名称	動作条件	Trip リレー	試験結果
⑳ ファイラメント電圧 (H)	メータリレー	52 G, 41, 88 VY, 88 HY	良
㉑ 走査電流 (V)	"	"	良
㉒ " (H)	"	"	良
㉓ 本体冷却水	模擬信号	"	良
㉔ 窓冷却風 (V)	停止	"	良
㉕ " (H)	"	"	良
㉖ SF ₆ 冷却装置	模擬信号	"	良
㉗ ガス圧力	メータリレー	"	良
㉘ ビームシャッター (V)	模擬信号	"	良
㉙ " (H)	"	"	良
㉚ 漏洩電子流 (V)	"	"	良
㉛ " (H)	"	"	良
㉜ 切換機構	"	"	良
㉝ CPU 異常	"	"	良
㉞ タイプライター異常	模擬信号	52 G, 41, 88 VY, 88 HY	良
㉟ デジタルプリンタ	"		良
(ii) 垂直照射			
○ 水平側窓冷却風, 走査電源, ビーム・シャッター, 真空度及び水平照射室扉のインターロックが解除されている事を確認			良
(iii) 水平照射			
○ 垂直側窓冷却風, 走査電源, ビーム・シャッターのインターロックが解除されている事を確認			良

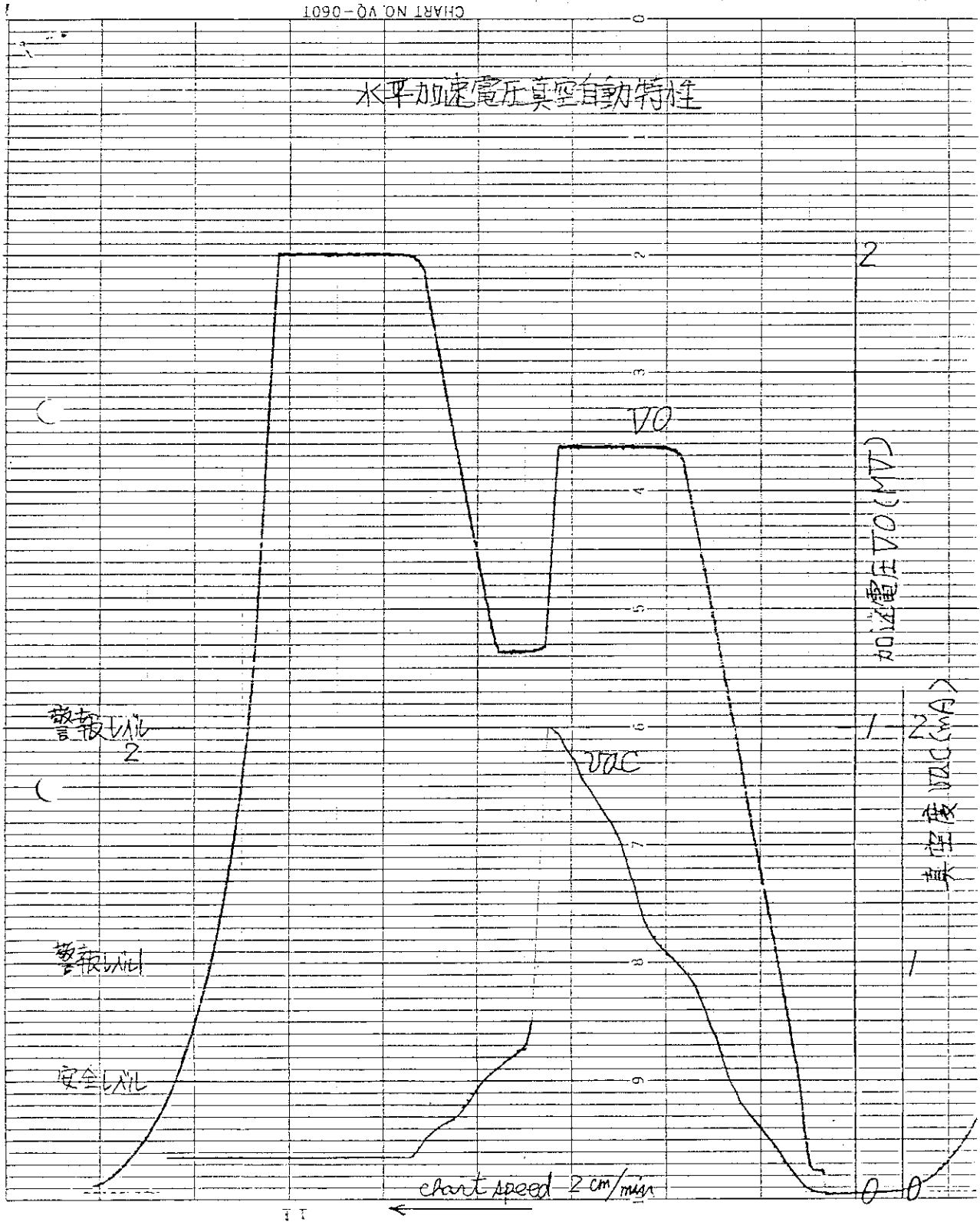


Fig. 67 Data of the acceptance test.

4. Automatic acceleration voltage control with the vacuum condition of the beam tube.

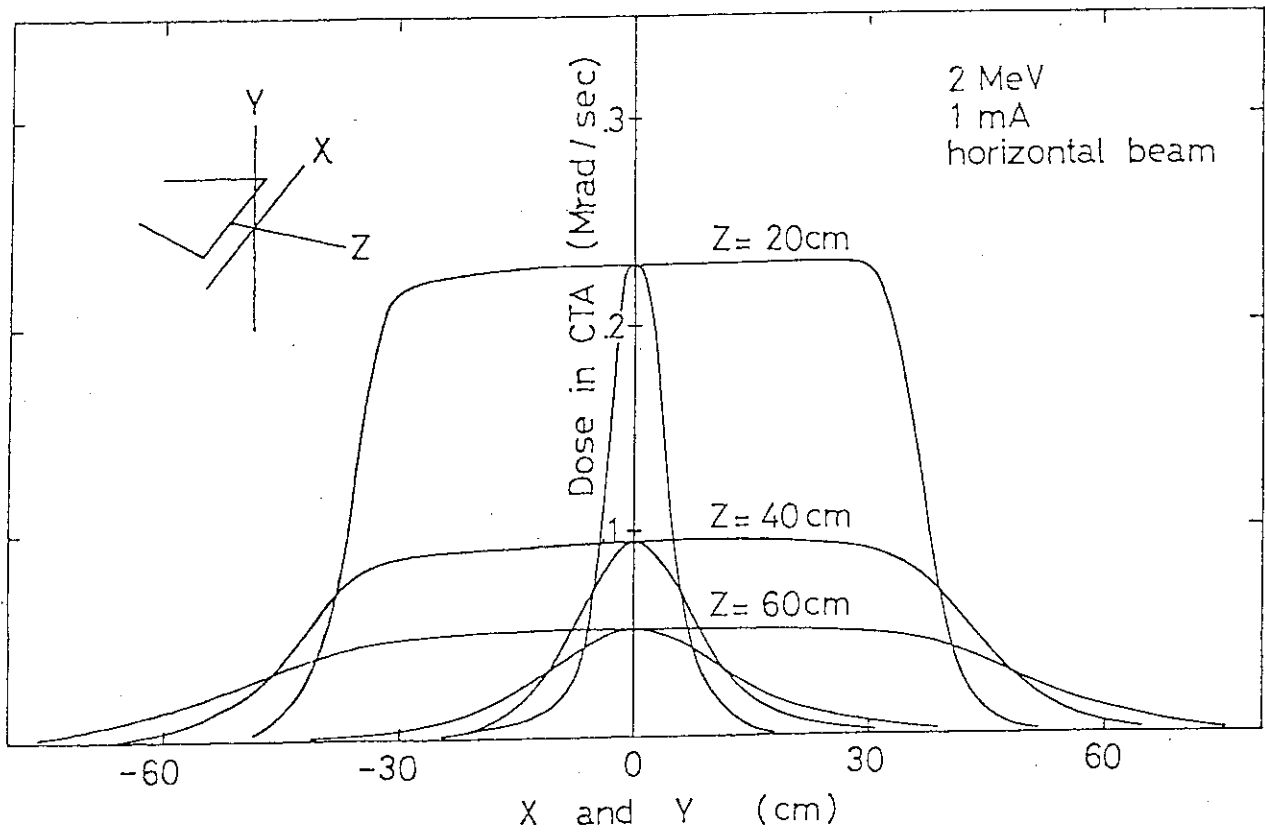


Fig. 68 Data of the acceptance test.

5. Dose uniformity.

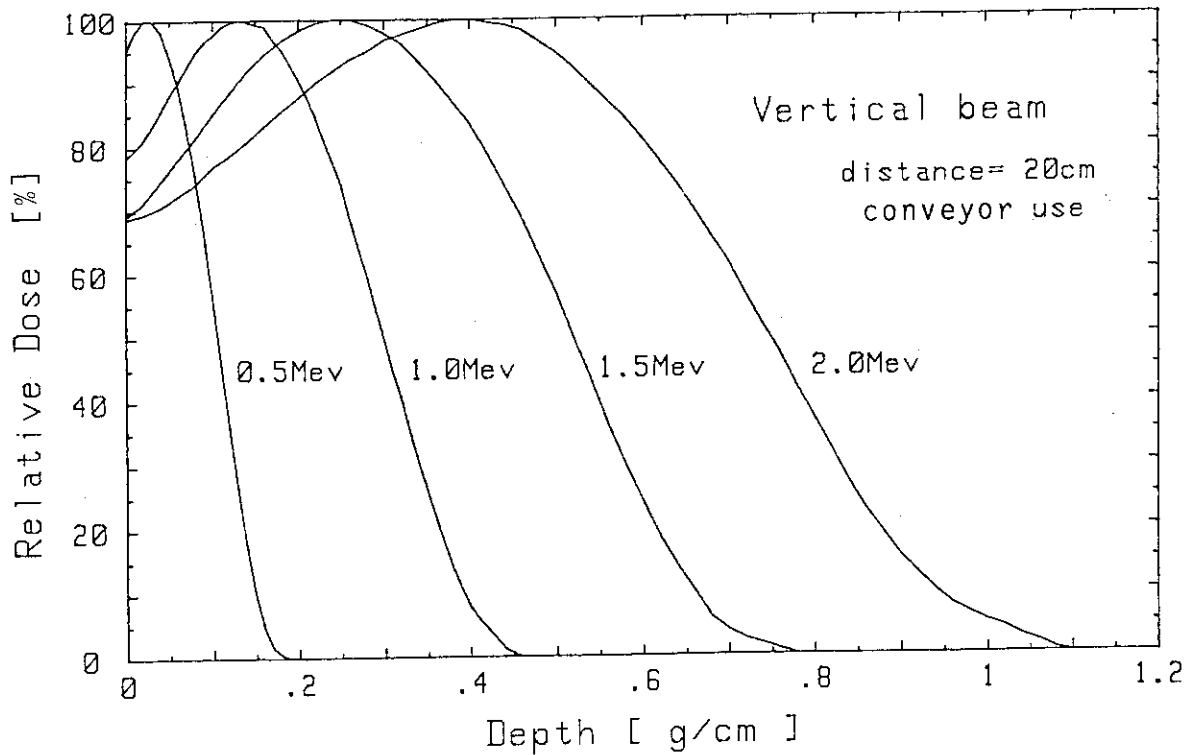


Fig. 69 Data of the acceptance test.

6. Depth dose distribution obtained by the CTA film dosimeter.

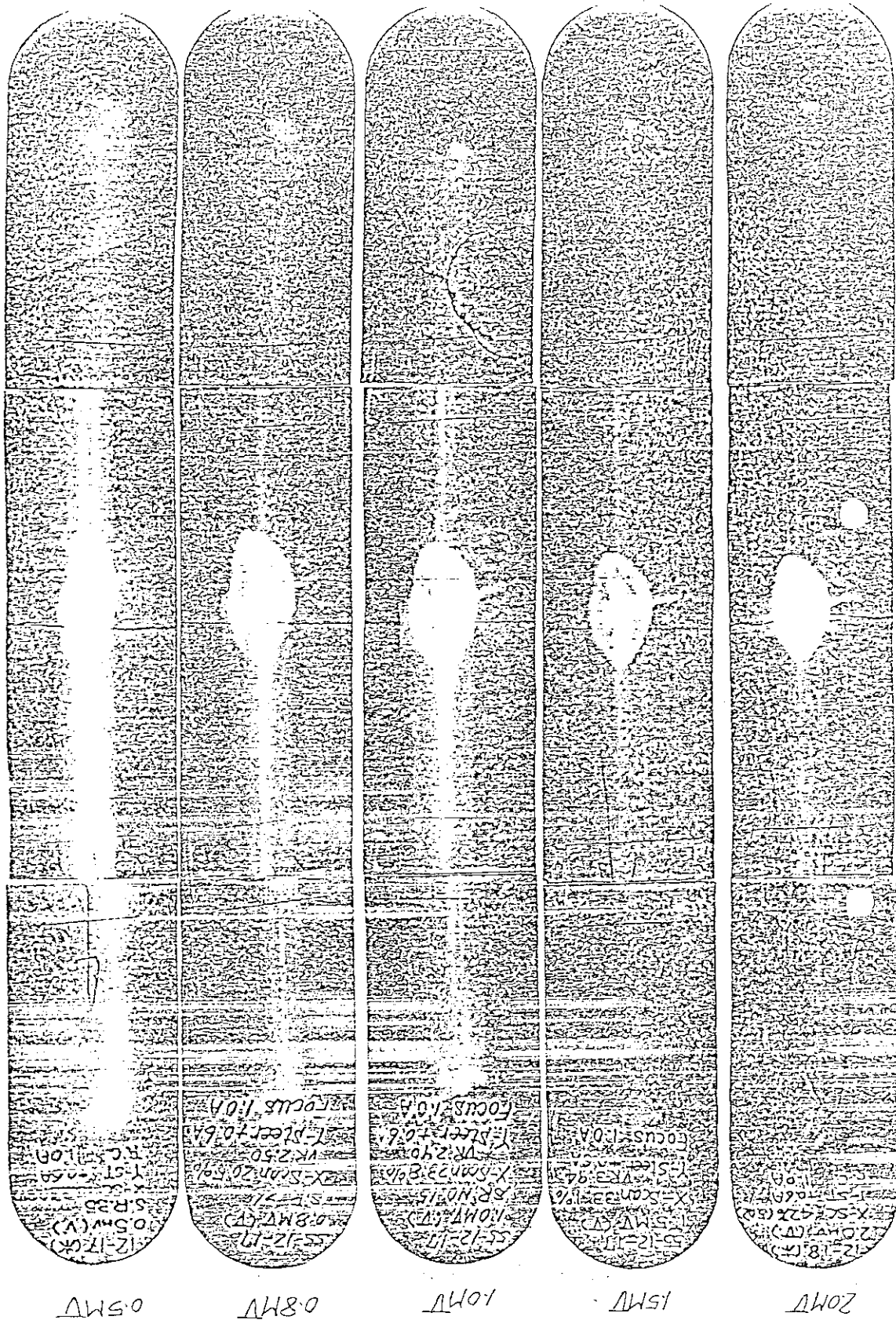


Fig. 70 Data of the acceptance test.
7. Beam pattern; spot and scanned

7.2.4 付帯装置の据付調整

(1) 照射用コンベヤ

1号加速器照射用コンベヤは昭和55年3月末に椿本興業(株)の受注が決定した。本コンベヤは加速器棟1階の垂直照射室および迷路の床面にレールを布設し、その上を台車が走行するフローコンベヤ方式であるため、迷路構造、出入口部の安全対策の問題、据付工事範囲等々、建家の建設工事と密接な関わりがある。そこで建家設計の段階から十分な連絡をとり製作を進めた。

迷路の構造については遮蔽設計との関連で、通路の横幅、奥行、曲り角の数などが決定されるが、コンベヤに対しては、特に曲り角における車輪の軌跡に留意する必要がある。迷路の横幅は120cm、コンベヤのレールはその床面の中央部で両方の壁面から60cmの位置に布設される。台車はトウピンにより駆動チェーンに固定されて進み、曲り角にいくと台車の車輪は進行方向に対して内側にずれる軌跡を画く。その結果として台車上部のパレット(70cm×70cm)と壁面との距離が短くなり、直進部では25cmであるが曲り角では最小12.5cmとなる。また本コンベヤの場合、高さ方向については一切の構造物あるいは支持台を必要としないので、通路はグレーチング板で2段に仕切り上段の出入口には長さ50cmの下り壁を設けた。

安全対策としてコンベヤ作業室の出入口には安全フェンス(オーバースライダー)を設置し、迷路の出入口には人が迷路内へ進入することを防ぐためフットスイッチおよび光電式検出器も設置した。

レールの布設工事は、垂直照射室および迷路の土間コンクリート打設の直前、昭和55年4月16、17日の2日間にわたって行われた(Fig. 71)。レールの通り芯、水平度、ねじれおよび接続部の状態について確認しながら作業が進められた後、土間コンクリートが打設された。

コンベヤ本体の据付工事は、建家竣工後の昭和55年9月16日から開始され、駆動装置の取付調整、駆動チェーンの取付調整、制御盤及び操作盤の据付調整が順調に進められ、27日、全工事が完了、30日には完成時立会検査が行われた。以下に検査結果を示す。

1) 技術検査の結果

a. 外観検査

各構成機器の員数、連結状態、部品取付部の歪、溶接不良、および塗装の状態について目視検査を行った結果、良好であることが確認された。

b. 組立検査

駆動軸、軸受および鎖車のセット状態、プーリーの回転状態、テークアップの状態および台車の動作状況は、目視検査によって良好であることが確認された。

c. 機能検査

コンベヤ本体、移送回数検出器、迷路内進入防止検出器および速度検出器について動作状態を確認するとともに、コンベヤ本体については全負荷運転を行い走行状態が良好であることを確認した。各設定速度における実測の結果をTable. 15に示す。

Table 15 The speed test of the irradiation conveyor

Setting Speeds	0.5 (m/min)	2.0	5.0	10.0	15.0
No. 1	0.505	2.024	4.990	10.042	14.907
No. 2	0.504	2.017	5.021	10.042	15.287
No. 3	0.507	2.024	5.021	10.042	14.907
No. 4	0.503	2.027	5.021	10.084	14.907
No. 5	0.503	2.030	5.031	10.042	15.000
Average	0.504	2.024	5.017	10.050	15.002

(2) 安全監視装置

インターロック・システム、放射線モニターおよび ITV などの安全装置機器の設置に必要な配管、配線工事は、建家建設工事に合わせ適宜進められた。昭和 55 年 7 月 24 日、ITV 装置が据付完了となり、10 月 3 日には放射線モニターが据付調整完了、11 月 8 日、インターロック・システムが調整完了して安全監視装置の据付調整作業は終了した。各装置機器の技術検査をその都度行った結果、すべて合格であった。以下に検査結果について記す。

1) 技術検査の結果

a. インターロック・システム

加速器の制御盤から模擬信号を送り、表示灯およびブザー等の動作が正常であることを確認した。照射室および加速器室の入口遮蔽扉、作業スイッチ、排ガス処理装置、照射用コンベヤなどの動作状態と加速器の運転条件との関係が適切にインターロックされていることを確認し、その時のインターロック表示盤の動作が正常であることを確認した。監視盤については、各モニター類、表示盤および操作盤などの配置、取付け状態が適切であることを確認し、また各機器の動作状態が良好であることを確認した。

b. 放射線モニター

作業エリア、加速器室および照射機械室に設置された各検出部（イオンチェンバー）の取付け状態が適正であることを確認した後、各チェンバーの上に ^{60}Co 、 $10\ \mu\text{Ci}$ （1974-10）を載せて検出動作の確認を行った結果、CH1~CH5 の出力および CH5 と CH6 の出力はそれぞれ良い一致を示した。

c. ITV 装置

テレビカメラ 5 台、電動ズームレンズ 5 台、支持台 5 式、ビデオモニタ 2 台および操作器などの各機器の取付け状態が適正であることを確認した後、撮影範囲、チャンネルの切り換え動作および映像出力などについて各機器の動作状態を目視で検査した結果は良好であった。

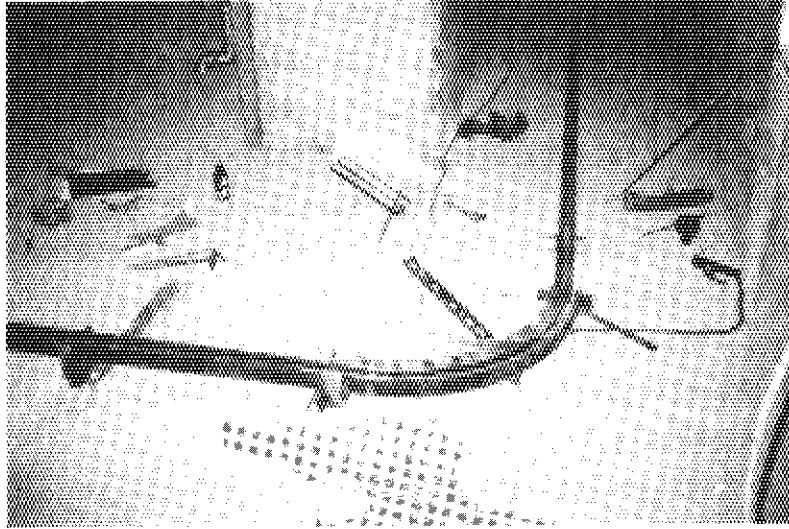


Fig. 71 Conveyor rail construction

8. あ と が き

新1号加速器は昭和56年1月9日に「受入れ試験, 検査」が済み, 更新作業は完了した。その後, 線量測定やリークテストおよび安全関連機器の整備を行い, 2月14日から照射運転が開始された。1号加速器を利用する照射実験としては, 「電子線による廃水処理」, 「PVC積層鋼板の電子線加工」, 「粘着剤の電子線硬化」, 「電子線による排煙処理」, 「セルロース廃資源の糖化発酵のための前処理」および「電子線照射技術の開発」などがあり, 昭和57年12月末までに垂直ビーム: 450.1時間, 水平ビーム: 418.7時間の運転を行った。この間の加速器の運転状況としては56年7月頃まで, 主に高電圧電極内のビーム制御系にトラブルが発生し, 圧力容器を開けて補修を行うということも度々あったが, その都度改良してトラブルの発生回数も徐々に少なくなり, 56年末頃から安定した運転状態が得られるようになってきている。本報告では新1号加速器照射施設の仕様および建設経過を中心に述べたので, 実際の照射運転における加速器の運転特性については改めて報告する予定である。

付録として旧1号加速器照射施設の概要と運転実績について示した。昭和39年2月「セルロース繊維へのスチレンのグラフト重合中間規模試験」の電子線源として設置されたこの共振変圧器形電子加速器は, 以来16年間にわたり種々の照射実験に利用され, 55年8月に運転を停止するまでに照射利用件数7931件, ビーム発生時間: 8474時間の運転実績を残した。この間に得られた運転経験は, 今後の新1号加速器の照射運転に役立つものと信ずる。

今日, 照射用電子加速器は架橋電線や高分子発泡材その他の生産等, 工業的にも広く使われているが, 新たに照射室など使用施設の設計を行う場合遮蔽を含めてその設計基準がないのが実情である。電子加速器の照射室の設計に際しては, 制動放射X線に対する遮蔽について配慮しなければならないことは勿論であるが, その他に電子線と空気分子との相互作用によって生成するオゾンや窒素酸化物などに対しても十分配慮することが必要である。電子線出力が数十kW以上の装置では, 運転時間1時間当たり数kgのオゾンが生成する可能性があり, 室内の換気に留意し排気の処理についても考慮する必要がある。また照射室に付属して遮蔽扉や迷路, あるいは監視用視窓, ITV, 照明設備, 給排水設備などの諸設備が必要となるが, 現状ではこれらの諸設備についても適当な設計基準がなく, 各加速器メーカーや利用者の経験を頼りに設計が行われている。本照射施設についても, 原研における加速器の設置および運転経験に基いて設計が行われたのであるが, 安全且つ経済的な施設を設計するためにはこれらのデータを集積, 整備し設計指針をつくるのが急務である。

謝 辞

1号加速器の更新に際して, 建家の基本設計について, 御尽力戴いた故味岡勝重氏(当時建設課長代理)に対し深く哀悼の意を表するとともに感謝申し上げる。また建家の建設に御尽力戴いた佐藤春人氏(当時建設課長), 設備課長高橋寛氏, 建設課主査中山洋一氏, 設備課主査笠原壮

8. あ と が き

新1号加速器は昭和56年1月9日に「受入れ試験、検査」が済み、更新作業は完了した。その後、線量測定やリークテストおよび安全関連機器の整備を行い、2月14日から照射運転が開始された。1号加速器を利用する照射実験としては、「電子線による廃水処理」、「PVC積層鋼板の電子線加工」、「粘着剤の電子線硬化」、「電子線による排煙処理」、「セルロース廃資源の糖化発酵のための前処理」および「電子線照射技術の開発」などがあり、昭和57年12月末までに垂直ビーム：450.1時間、水平ビーム：418.7時間の運転を行った。この間の加速器の運転状況としては56年7月頃まで、主に高電圧電極内のビーム制御系にトラブルが発生し、圧力容器を開けて補修を行うということも度々あったが、その都度改良してトラブルの発生回数も徐々に少なくなり、56年末頃から安定した運転状態が得られるようになってきている。本報告では新1号加速器照射施設の仕様および建設経過を中心に述べたので、実際の照射運転における加速器の運転特性については改めて報告する予定である。

付録として旧1号加速器照射施設の概要と運転実績について示した。昭和39年2月「セルロース繊維へのスチレンのグラフト重合中間規模試験」の電子線源として設置されたこの共振変圧器形電子加速器は、以来16年間にわたり種々の照射実験に利用され、55年8月に運転を停止するまでに照射利用件数7931件、ビーム発生時間：8474時間の運転実績を残した。この間に得られた運転経験は、今後の新1号加速器の照射運転に役立つものと信ずる。

今日、照射用電子加速器は架橋電線や高分子発泡材その他の生産等、工業的にも広く使われているが、新たに照射室など使用施設の設計を行う場合遮蔽を含めてその設計基準がないのが実情である。電子加速器の照射室の設計に際しては、制動放射X線に対する遮蔽について配慮しなければならないことは勿論であるが、その他に電子線と空気分子との相互作用によって生成するオゾンや窒素酸化物などに対しても十分配慮することが必要である。電子線出力が数十kW以上の装置では、運転時間1時間当たり数kgのオゾンが生成する可能性があり、室内の換気に留意し排気の処理についても考慮する必要がある。また照射室に付属して遮蔽扉や迷路、あるいは監視用視窓、ITV、照明設備、給排水設備などの諸設備が必要となるが、現状ではこれらの諸設備についても適当な設計基準がなく、各加速器メーカーや利用者の経験を頼りに設計が行われている。本照射施設についても、原研における加速器の設置および運転経験に基づいて設計が行われたのであるが、安全且つ経済的な施設を設計するためにはこれらのデータを集積、整備し設計指針をつくるのが急務である。

謝 辞

1号加速器の更新に際して、建家の基本設計について、御尽力戴いた故味岡勝重氏（当時建設課長代理）に対し深く哀悼の意を表するとともに感謝申し上げる。また建家の建設に御尽力戴いた佐藤春人氏（当時建設課長）、設備課長高橋寛氏、建設課主査中山洋一氏、設備課主査笠原壮

介氏, 城設計事務所長丸谷貞秀氏, 戸田建設作業所長尾沼久男氏に対して厚く感謝の意を表す。
さらに新型加速器の製作に御尽力戴いた日新ハイボルテージ社取締役技術部長坂本勇氏, 技術課長水沢健一氏, 技術課谷口周一氏に対して厚く感謝の意を表す。

おわりに, 更新計画当初からその実現に尽力された加速器検討委員会の委員の方々, および建家建設の際に遮蔽について検討していたいた照射施設課主査田中進氏に対して深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1.) Yotsumoto K., Sunaga H., Mizuhashi K., Tanaka R., and Tamura N. :
JAERI-M 9345 (1981)
- 2.) Mizuhashi K., Tokunaga O., Washino M. and Tamura N. :
" KOGAI to TAISAKU ", 12, 122 (1981)
- 3.) Koch W. and Motz J.W. : Rev. Mod. Phys., 31, No4, 920 (1954)
- 4.) Buechner W.W., Van de Graaff R.J., Burril E.A. and Sperduto A. :
Phys. Rev., 74, No10, 1348 (1948)
- 5.) Miller W., Motz J.W. and Ciafella C. : Phys. Rev. 96, No5, 1344 (1954)
- 6.) Wyard S.J. : Proc. Phys. Soc., A 65, 377 (1952)
- 7.) ICRP series " radiation Protection against X rays and Gamma rays
of energies up to 3 MeV " Japan Radio Isotope Association (1952)
- 8.) Attix F.H. and Roesch W.C. " Radiation Dosimetry " Vol.1,
Academic press (1968)
- 9.) Morris E.E., Chilton A.B. and Vetter A.F. : Nuc. Sci. & Eng.,
56, 171 (1975)
- 10.) Chilton A.B. and Huddleston C.M. : Nuc. Sci. & Eng., 17, 418 (1963)
- 11.) Raso D.J. : Nuc. Sci. & Eng. 17, 411 (1963)
- 12.) Trubey D.K. : Nuc. Sci. & Eng., 10, 102 (1961)

8. あ と が き

新1号加速器は昭和56年1月9日に「受入れ試験、検査」が済み、更新作業は完了した。その後、線量測定やリークテストおよび安全関連機器の整備を行い、2月14日から照射運転が開始された。1号加速器を利用する照射実験としては、「電子線による廃水処理」、「PVC積層鋼板の電子線加工」、「粘着剤の電子線硬化」、「電子線による排煙処理」、「セルロース廃資源の糖化発酵のための前処理」および「電子線照射技術の開発」などがあり、昭和57年12月末までに垂直ビーム：450.1時間、水平ビーム：418.7時間の運転を行った。この間の加速器の運転状況としては56年7月頃まで、主に高電圧電極内のビーム制御系にトラブルが発生し、圧力容器を開けて補修を行うということも度々あったが、その都度改良してトラブルの発生回数も徐々に少なくなり、56年末頃から安定した運転状態が得られるようになってきている。本報告では新1号加速器照射施設の仕様および建設経過を中心に述べたので、実際の照射運転における加速器の運転特性については改めて報告する予定である。

付録として旧1号加速器照射施設の概要と運転実績について示した。昭和39年2月「セルロース繊維へのスチレンのグラフト重合中間規模試験」の電子線源として設置されたこの共振変圧器形電子加速器は、以来16年間にわたり種々の照射実験に利用され、55年8月に運転を停止するまでに照射利用件数7931件、ビーム発生時間：8474時間の運転実績を残した。この間に得られた運転経験は、今後の新1号加速器の照射運転に役立つものと信ずる。

今日、照射用電子加速器は架橋電線や高分子発泡材その他の生産等、工業的にも広く使われているが、新たに照射室など使用施設の設計を行う場合遮蔽を含めてその設計基準がないのが実情である。電子加速器の照射室の設計に際しては、制動放射X線に対する遮蔽について配慮しなければならないことは勿論であるが、その他に電子線と空気分子との相互作用によって生成するオゾンや窒素酸化物などに対しても十分配慮することが必要である。電子線出力が数十kW以上の装置では、運転時間1時間当たり数kgのオゾンが生成する可能性があり、室内の換気に留意し排気の処理についても考慮する必要がある。また照射室に付属して遮蔽扉や迷路、あるいは監視用視窓、ITV、照明設備、給排水設備などの諸設備が必要となるが、現状ではこれらの諸設備についても適当な設計基準がなく、各加速器メーカーや利用者の経験を頼りに設計が行われている。本照射施設についても、原研における加速器の設置および運転経験に基いて設計が行われたのであるが、安全且つ経済的な施設を設計するためにはこれらのデータを集積、整備し設計指針をつくるのが急務である。

謝 辞

1号加速器の更新に際して、建家の基本設計について、御尽力戴いた故味岡勝重氏（当時建設課長代理）に対し深く哀悼の意を表するとともに感謝申し上げます。また建家の建設に御尽力戴いた佐藤春人氏（当時建設課長）、設備課長高橋寛氏、建設課主査中山洋一氏、設備課主査笠原壮

介氏、城設計事務所長丸谷貞秀氏、戸田建設作業所長尾沼久男氏に対して厚く感謝の意を表す。さらに新型加速器の製作に御尽力戴いた日新ハイボルテージ社取締役技術部長坂本勇氏、技術課長水沢健一氏、技術課谷口周一氏に対して厚く感謝の意を表す。

おわりに、更新計画当初からその実現に尽力された加速器検討委員会の委員の方々、および建家建設の際に遮蔽について検討していただいた照射施設課主査田中進氏に対して深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1.) Yotsumoto K., Sunaga H., Mizuhashi K., Tanaka R., and Tamura N. :
JAERI-M 9345 (1981)
- 2.) Mizuhashi K., Tokunaga O., Washino M. and Tamura N. :
" KOGAI to TAISAKU ", 12, 122 (1981)
- 3.) Koch W. and Motz J.W. : Rev. Mod. Phys., 31, No4, 920 (1954)
- 4.) Buechner W.W., Van de Graaff R.J., Burril E.A. and Sperduto A. :
Phys. Rev., 74, No10, 1348 (1948)
- 5.) Miller W., Motz J.W. and Ciafella C. : Phys. Rev. 96, No5, 1344 (1954)
- 6.) Wyard S.J. : Proc. Phys. Soc., A 65, 377 (1952)
- 7.) ICRP series " radiation Protection against X rays and Gamma rays
of energies up to 3 MeV " Japan Radio Isotope Association (1952)
- 8.) Attix F.H. and Roesch W.C. " Radiation Dosimetry " Vol.1,
Academic press (1968)
- 9.) Morris E.E., Chilton A.B. and Vetter A.F. : Nuc. Sci. & Eng.,
56, 171 (1975)
- 10.) Chilton A.B. and Huddleston C.M. : Nuc. Sci. & Eng., 17, 418 (1963)
- 11.) Raso D.J. : Nuc. Sci. & Eng. 17, 411 (1963)
- 12.) Trubey D.K. : Nuc. Sci. & Eng., 10, 102 (1961)

付 録：旧 1 号加速器照射施設の概要

旧 1 号加速器は、セルロース繊維のグラフト重合中間規模試験を主目的として、昭和 39 年に、高崎研としては最初に設置された電子加速器である。

本加速器は米国 General Electric 社製の共振変圧器型電子加速器、商品名、Electron Beam Generator (EBG) で、その主要性能は次の通りである。

- (1) 加速電圧：2,000 kVp. (一定)
- (2) 出力電子流：0 ~ 6 mA (連続可変)
- (3) 走査：2 軸走査 長軸 = 232 Hz (正弦波)
短軸 = 200 kHz (正弦波)
走査幅 = 40 cm (長軸)

Fig. A. 1 に本装置の概略図を示す。本装置の高電圧発生部は大容量の共振変圧器であり、変圧器の二次巻線のインダクタンス L と浮遊容量 C で形成される並列共振回路に、一次側から共振周波数の交流電力を供給することによって効率よくエネルギーが伝えられることを特徴としている。共振周波数は 180 Hz で、一次側の交流電力は 50 Hz の商用電力を M-G 方式で周波数変換を行うことにより得ている。

加速管はこの共振変圧器の中心部に配置されていて、その最上部にある電子銃フィラメントは変圧器 2 次巻線の高圧端側に巻かれたフィラメント用巻線に接続され、また分圧電極はそれぞれ 2 次コイルの中間タップに接続している。加速管への印加電圧は交流であるが、アースに対して負の電位となる半サイクルの間のみが電子を加速することができ、さらにこの半サイクルのうち低電圧部分については電子銃にバイアス回路を設けることにより、フィラメントから出た電子が加速されないようになっている。Fig. A. 2 に加速電圧と出力電子流との位相の関係を示す。出力電子流は繰り返し周波数 180 Hz、パルス幅 1.11 msec のパルス・ビームである。

本装置は大別して、本体圧力容器、電源部、制御盤および付属設備より構成される。本体圧力容器には高電圧発生部（変圧器）、加速管および冷却装置等が収納され、SF₆ ガスが絶縁ガスとして充填されている。このうち加速管は 24 ケの加速電極をもつ多段式加速管（ガラス製）で、下部に 3" × 15" の照射窓があるスキャンホーンとは溶接によって一体化されており、全体は 10⁻⁸ Torr 以上の高真空で“封じ切り”の状態にしてある。照射窓箔は 0.007" のチタニウム箔で、ステンレス鋼製の窓枠にろう付けしてある。Fig. A. 3 に本体圧力容器の構造を示した。

電源部は 50 Hz の商用電源から 180 Hz の加速器本体用入力を供給し、また他の各機器の制御用電力を供給する部分であり、M-G set と Speed Variator で構成されている。

操作盤はコンパクトな卓上形となっており、加速電圧、出力電子流、走査電流などを制御するためのスイッチ、ダイヤル、メーター類が収納されている。

付属設備としては、照射窓冷却用の圧縮空気を発生するためのコンプレッサー、本体圧力容器冷却用の冷却水循環装置がある。コンプレッサーは 50 kW の電動機で駆動する整形 1 気筒複動水冷式コンプレッサーで、12.4 m³/min の圧縮空気を発生する。

Fig. A. 4 は本加速器が設置されていた旧 1 号加速器棟の 1 階平面図を示す。本建家は鉄筋コンクリート造一部 2 階建、延床面積 962 m² で、事務室、化学実験室、機械室、コントロール室、M-G 室、加速器室（照射室の階上）等より成る。このうち、加速器の運転および照射実験に直接関わりをもつ室は、コントロール室、M-G 室、照射室、照射試料準備室および加速器室である。

コントロール室には加速器の操作盤が設置され、ここで加速器の運転制御を行うとともに遮蔽窓および ITV 装置によって照射室内の試料の観察を行う。

M-G 室には加速器の電源部と照射窓冷却用のコンプレッサーが設置されている。

照射試料準備室はコンベヤの運転および照射試料の積み降し作業を行う場所であり、また照射室への立入りはこの照射試料準備室に面する照射室入口より行う。

Fig. A. 5 に示すように加速器本体は加速器室内中央部に縦置きに設置され、電子線は照射室内に配置されるスキャンホーン下部の照射窓から下方に放出される。照射室は円形の構造で、この中で照射が行われる。

照射用コンベヤラインが照射試料準備室より通じており、通常の照射はこのコンベヤを用いる。このコンベヤは、試料積載用の 40 cm × 40 cm のアルミニウム製パレット 102 ケがチェーンによって連結し循環する方式で、速度は 0.1 ~ 10 m/min の範囲で連続可変である。また、このコンベヤラインは照射室内の部分については脱着が可能で、専用照射装置などコンベヤを使用しない照射実験を行う場合には、ラインを切り離し、移動できるようになっている。

照射室内は加速器運転中において、オゾンその他有害なガスが発生するので、これを除去するため 238 m³/min の速度で換気を行っている。

照射室の遮蔽壁の厚さは 1.6 m である。

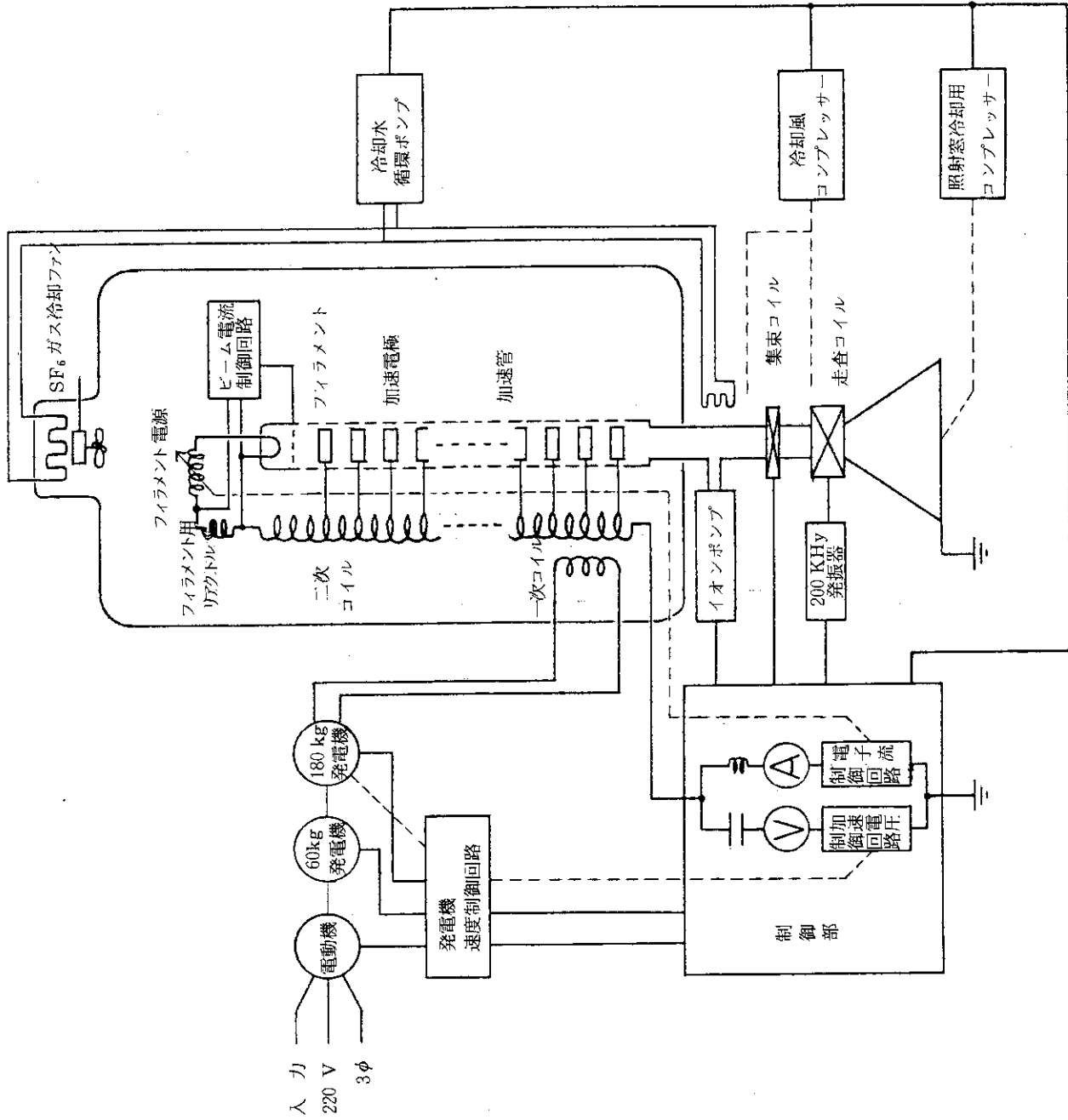


Fig. A.1 The schematic diagram of the old accelerator-I system

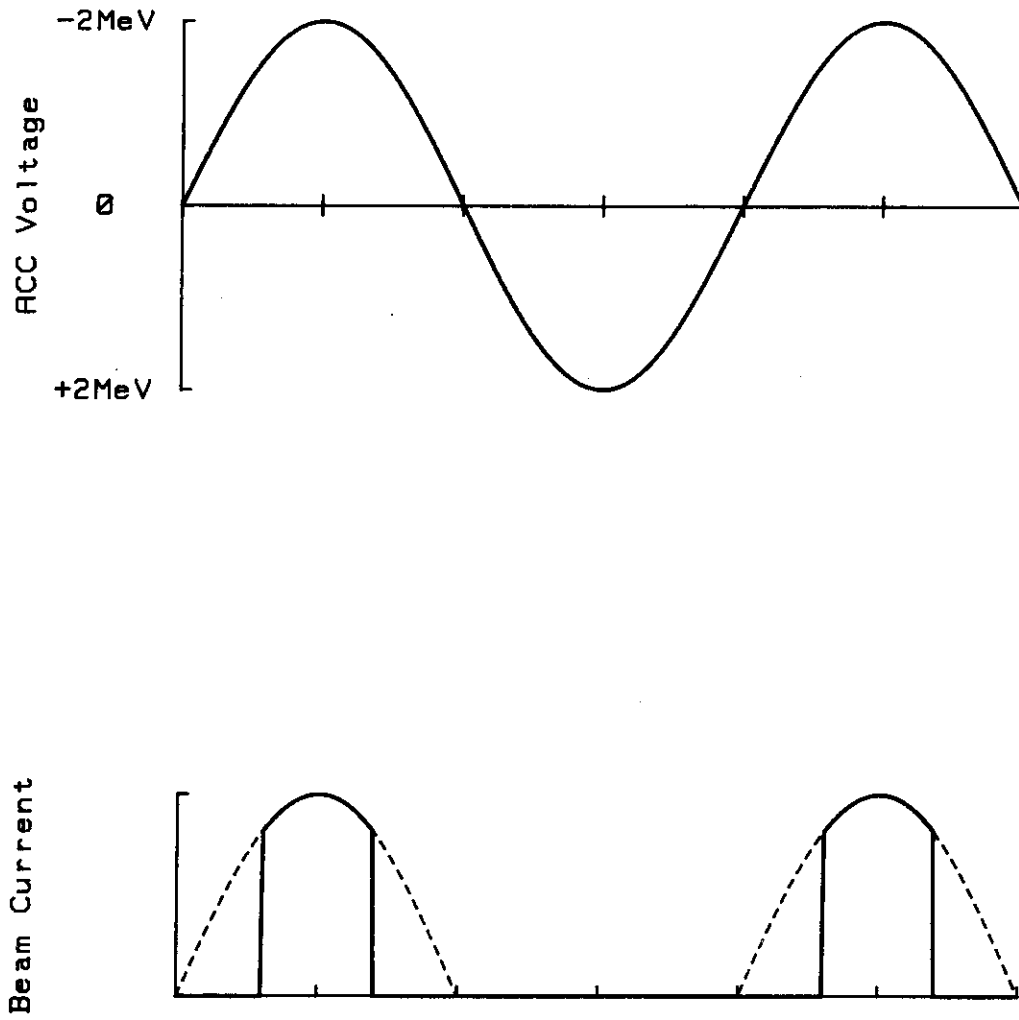


Fig. A.2 Phase of the acceleration voltage and the beam current

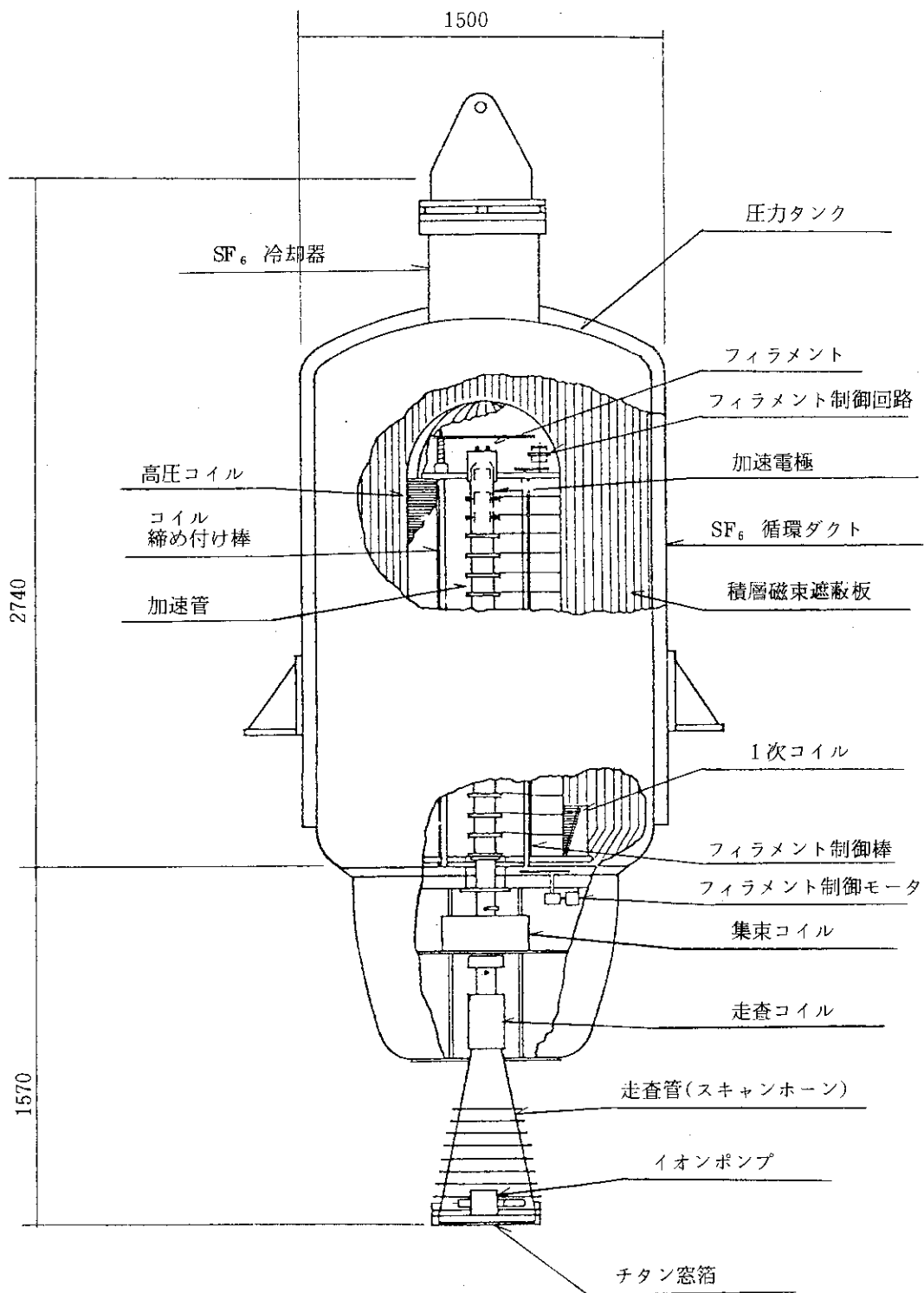


Fig. A.3 Tube head assembly of the 2MeV E.B.G.

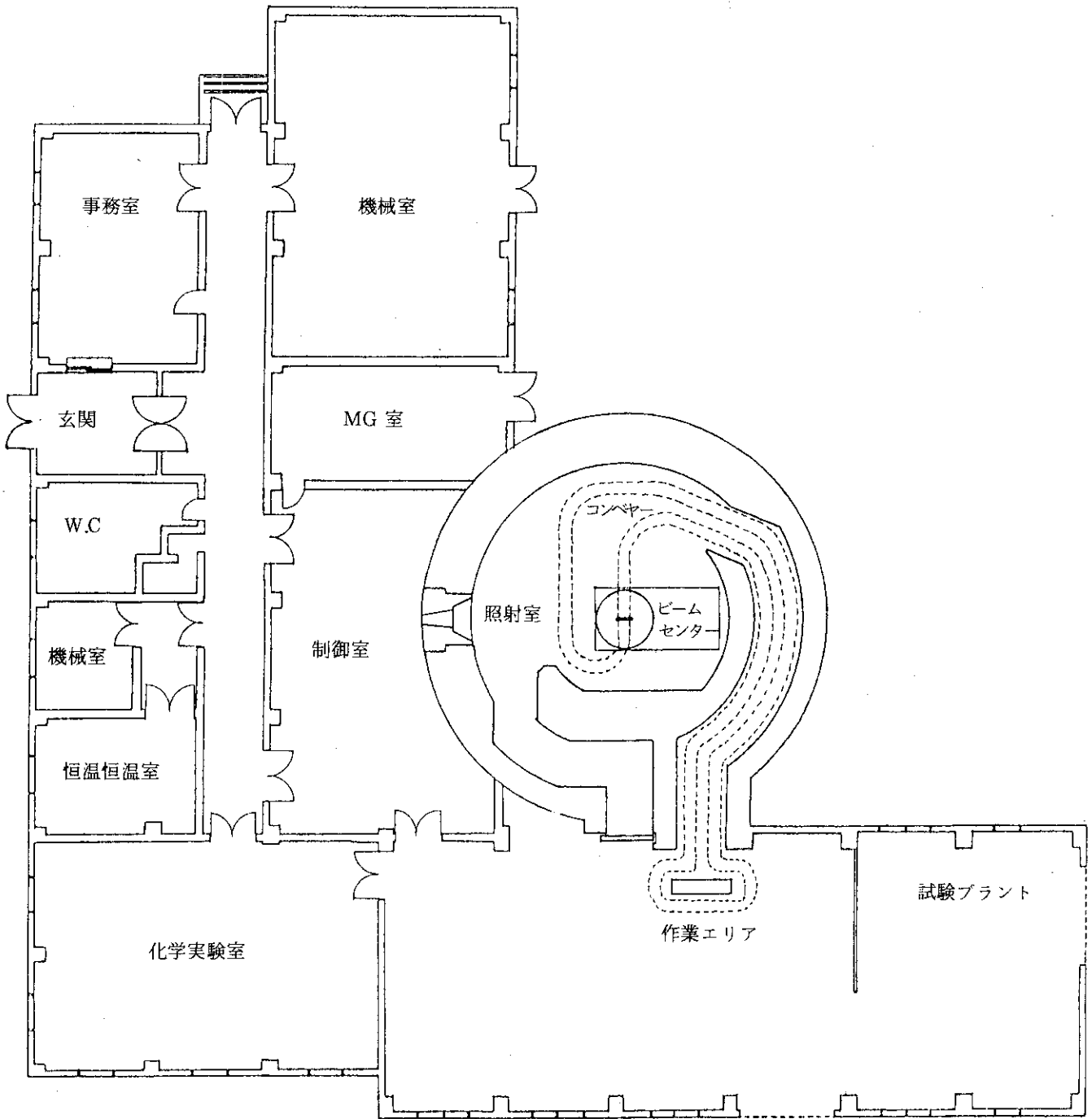


Fig. A.4 Plan of the building; 1st floor

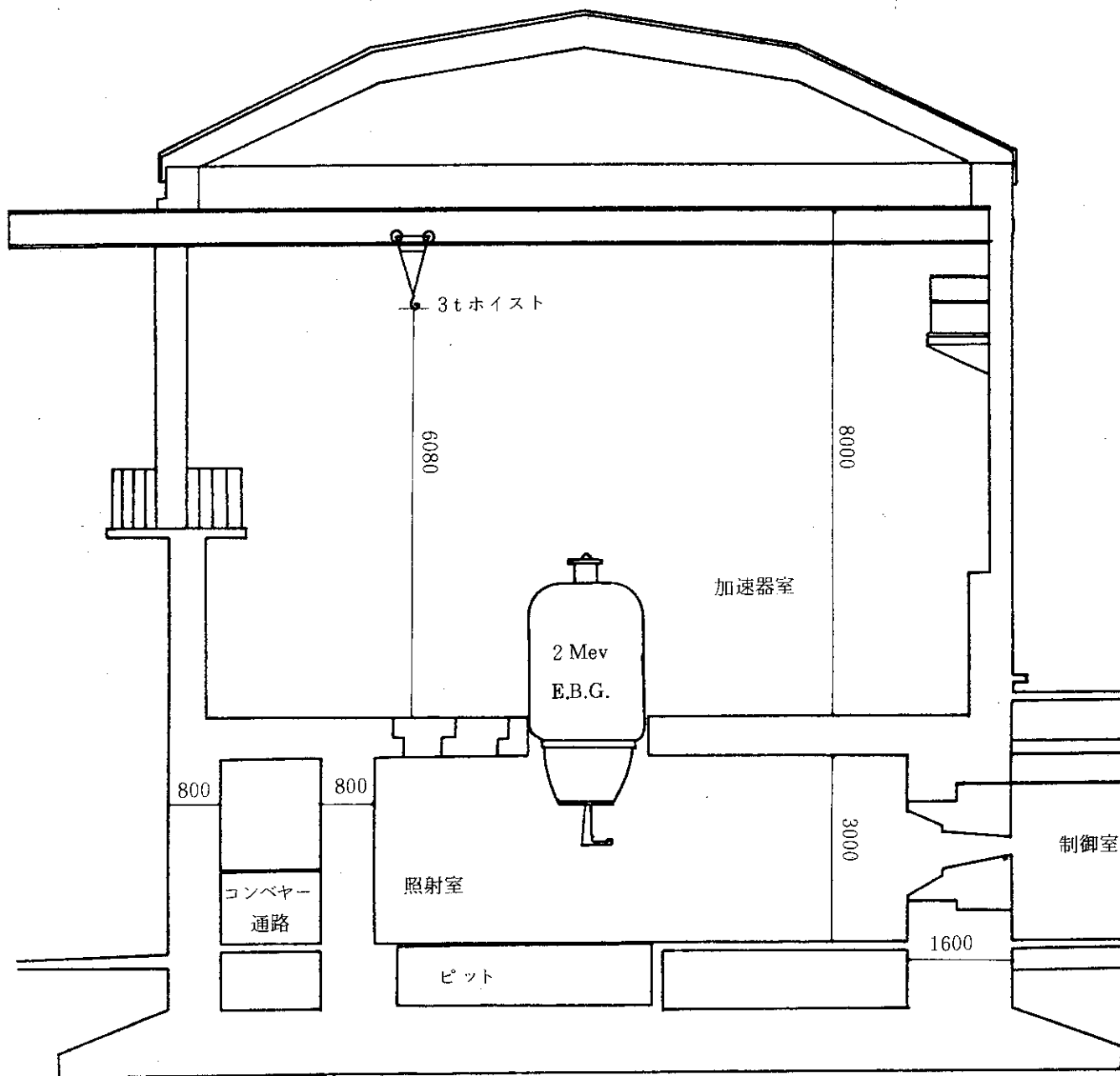


Fig. A.5 Crosssection of the old accelerator-I facility