

電子照射用 600keV コッククロフト加速器

The 600 keV Cockcroft-Walton Accelerator for Electron Beam Irradiation

末 松 茂* 川 島 秀 男*
Shigeru Suematsu Hideo Kawashima

高 橋 重 昭* 菅 ノ 又 伸 治**
Shigeaki Takahashi Shinji Suganomata

内 容 梗 概

日立化成工業株式会社下館工場納めコッククロフト形電子照射装置が運転にはいった。本器は照射専用器で、耐熱性、耐溶剤性のポリエチレンフィルムの製造に使用されている。性能は加速電圧 600 kV、加速電流 5 mA である。電源周波数は 1 kc で、コッククロフトの容量性負荷を補償するため、電源変圧器二次側にリアクトルをそう入している。電子銃は、ピアス形でビームの集束は、加速管延長部の集束コイルで行なっている。

1. 緒 言

放射線化学の発展に伴い高分子物質に対する放射線の有用性が認められ、また食品や医薬品の放射線による殺菌、消毒の効果が確かめられるとともに、各地にこれらの照射設備が建設されつつある。開発の当初は、各種の研究実験を行なうために、バン・デ・グラーフ形加速器(以下 V. d. G. と略す)が多く使用された。しかしながら V. d. G. はベルトで電荷を運んで高電圧を発生し粒子を加速するので、一般に 1 mA 以上のビーム電流を得ることは困難であり、かつ消耗部品も比較的が多く、工業的な実用器としては多少の難点があった。

V. d. G. に代わるべき照射用大電流加速器としては、変圧器、整流器、コンデンサなどを組み合わせた共振変圧器形、コッククロフト形、I. C. T. (Insulating Core Transformer) 形などの加速器⁽¹⁾が開発され、漸時これらに移行する機運にある。このうち現在最も製作が容易で、取り扱い保守が簡単かつ経済性のよいものは大気圧形コッククロフト加速器(以下 C-W と略す)である。本報告では、ポリエチレンフィルム照射用として設計製作された、600 keV C-W 加速器の構成や性能について述べる。

2. 直流高電圧発生部

2.1 C-W 回路⁽²⁾

C-W 高電圧発生回路の基本形は第 1 図(a)に示すようなものである。第 1 図(b)はよく知られた倍電圧整流回路であり、これを多数段つみ重ねたものが第 1 図(a)の C-W 回路と考えられる。いまコンデンサ段数 n 段、電源電圧(実効値) v_0 とすると発生電圧 V は次の式で表わされる。

$$V = 2\sqrt{2}n v_0 - 4V \pm \delta V \dots\dots\dots (1)$$

(1)式において $4V$ はコンデンサによる電圧降下、 δV はリップル電圧のピーク値である。これらはそれぞれ次の式で表わされる。

$$\Delta V = \frac{I}{f} \sum_{i=1}^n \left(\frac{i^2}{X_i} + \frac{2i^2 - i + 1}{2C_i} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta V = \frac{n(n+1)}{4} \cdot \frac{I}{fC} \dots\dots\dots (3)$$

ここで I : 負荷電流, f : 電源周波数, n : C-W の段数

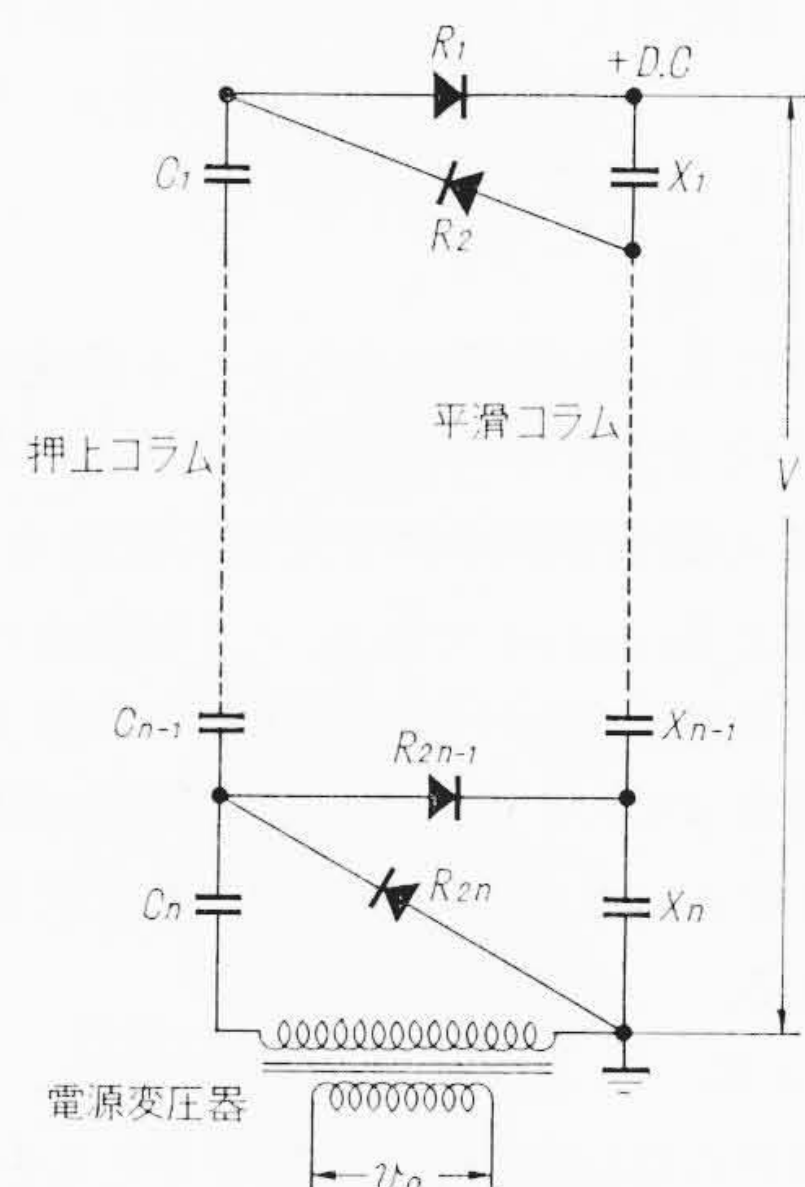
C_i : 押上げコラムのコンデンサ容量

X_i : 平滑コラムのコンデンサ容量

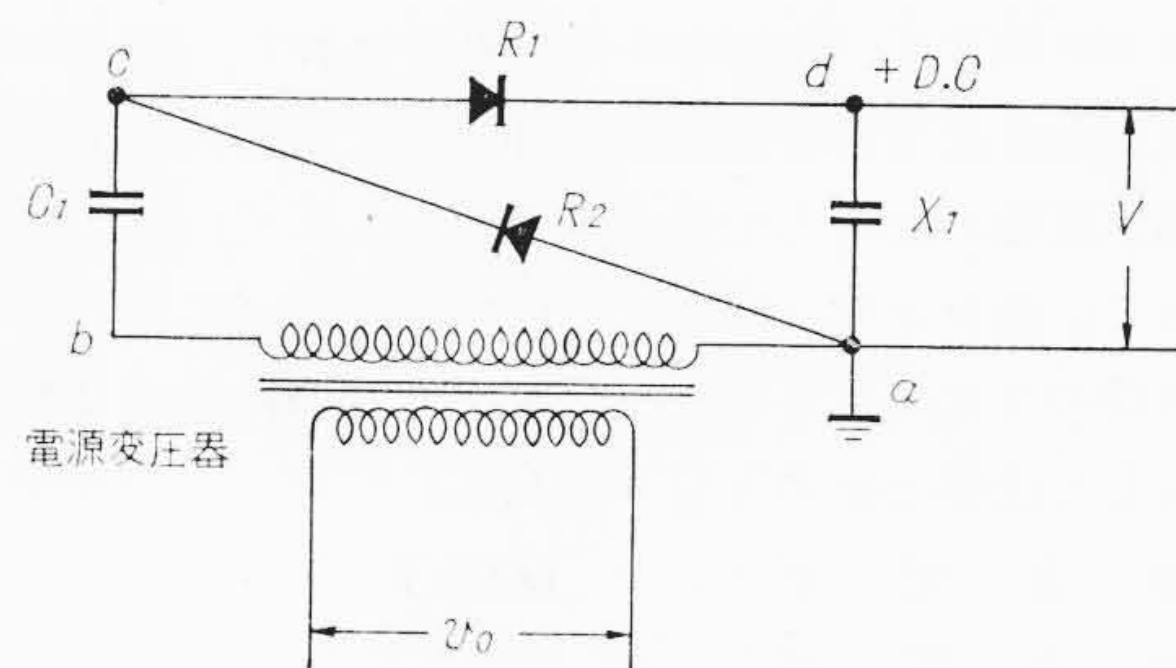
(2)式で $X_i = C_i$ であれば(3)式の C は $C = X_i = C_i$ である。通常 C_n だけを他のコンデンサ容量の 2 倍にとる。

* 日立製作所国分工場

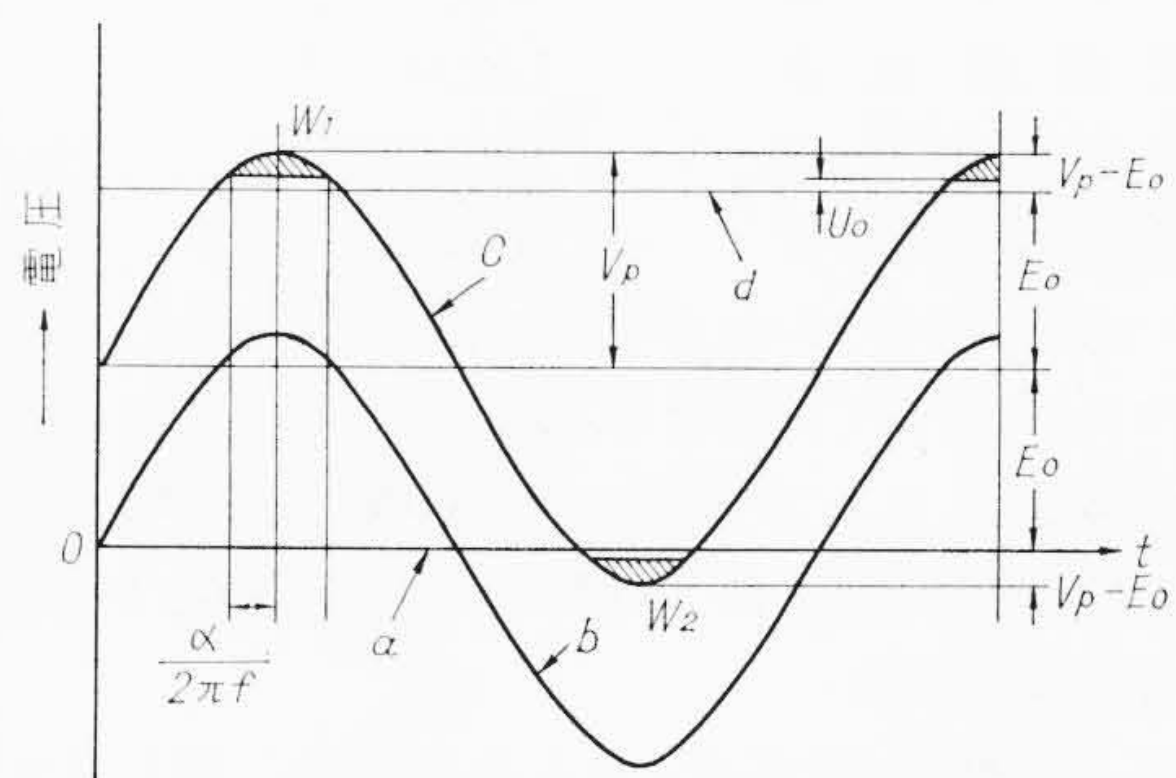
** 日立製作所日立研究所



第 1 図(a) C-W 回路



第 1 図(b) C-W 基本回路



第 2 図 C-W 基本回路の各点の電圧

2.2 整流器による電圧降下

整流器の順方向電圧降下は数式的に解くことがむずかしいので、簡単化のために第 1 図(b)のように半波整流回路が重なっていると考える。充電が終わったあとの a, b, c, d 各点の電圧の時間的変化は第 2 図のようで、 W_2 が R_2 の、 W_1 が R_1 の通流期間である。

b, c 各点が正弦波状の変化をしているとして, W_2 で流れる電流量と 1 サイクルでの負荷電流量を等しいとおけば, 通流期間の電気角 α が求められ, これから整流器の順方向電圧降下が近似的に求められる。このような考えに従って計算すると電気角 α (位相角 90 度を基準にして測る) と電圧の関係は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{E_0 + U_0}{V_p} &= \cos \alpha \\ \tan \alpha - \alpha &= \frac{\pi I r}{E_0 + U_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここで E_0 : 整流素子 1 枚あたりの発生電圧
 U_0 : 整流素子に電圧が印加されても通流の起こらない正方向電圧
 I : 負荷電流
 V_p : 整流素子 1 枚あたりの交流ピーク電圧
 r : 整流素子 1 枚あたりの等価内部抵抗

(4) 式で I, E_0, r, U_0 が与えられるので α , したがって V_p が決まり, 電圧降下は $V_p - E_0$ で求められる。

2.3 電源変圧器

3 段の C-W を例にとって電流の流れかたを模式的に示すと第 3 図のようにになる。このとき変圧器に流れる電流は第 4 図のようにになる。したがって整流器の通流期間中に変圧器に流れる電流は, $2 \times \sum_{i=1}^3 j_i$ であり, 出力電圧は $E_p \cos \omega t$ である。この両者の積を通流期間で積分して, それに周波数をかければ変圧器の容量 p を得る。通流期間の電気角 α は通常 $\alpha \ll \pi/2$ であり, この期間の変圧器の電圧は近似的に一定とみなせる。このような近似をして計算すると変圧器容量は次のようになる。

$$P = 6 \times I \times E_p \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式の P は損失のない理想的 C-W を考えると, その直流出力の電力と一致しなければならない。

2.4 装置の構成

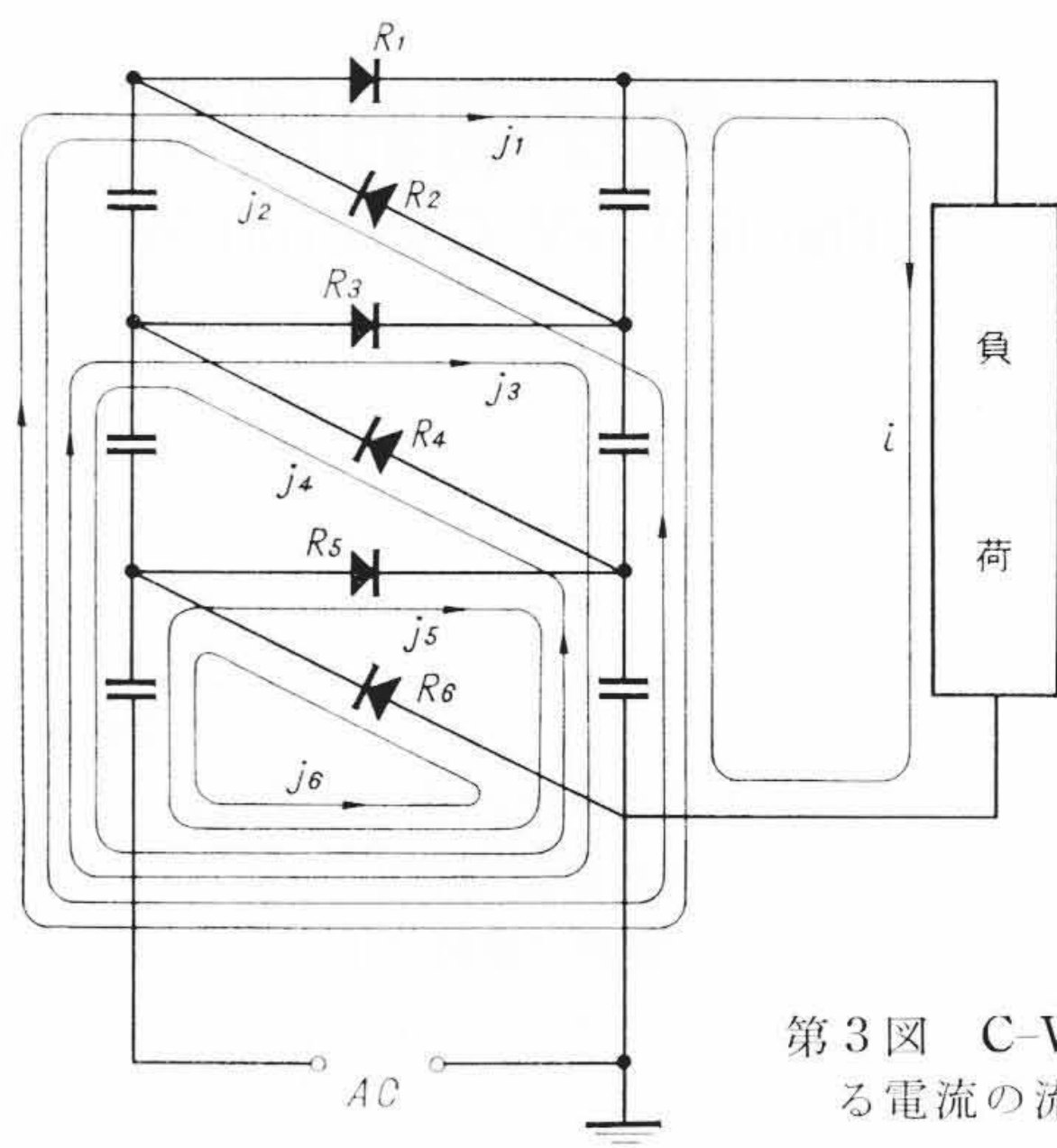
第 5 図は 600 keV C-W 加速器の主要部を示す。図の右側は C-W 形直流高電圧発生部で, 左側は電子加速部である。電圧発生部と加速部とは高圧電極のところで継ぎ管で連結されている。整流器は従来行なわれていたコンデンサコラム間にジグザグに取り付ける方式をやめて柱状の 1 本にまとめ, コンデンサ間の接続にはたわみ管を用いた。おもな仕様は次のとおりである。

加 速 電 圧	600 kV
加 速 電 流	5 mA
整 流 器	セレン整流器
C-W 段 数	3 段
電 源 周 波 数	1 kc/s
電 子 線 走 査 幅	1 m
電 子 線 走 査 周 波 数	200 c/s

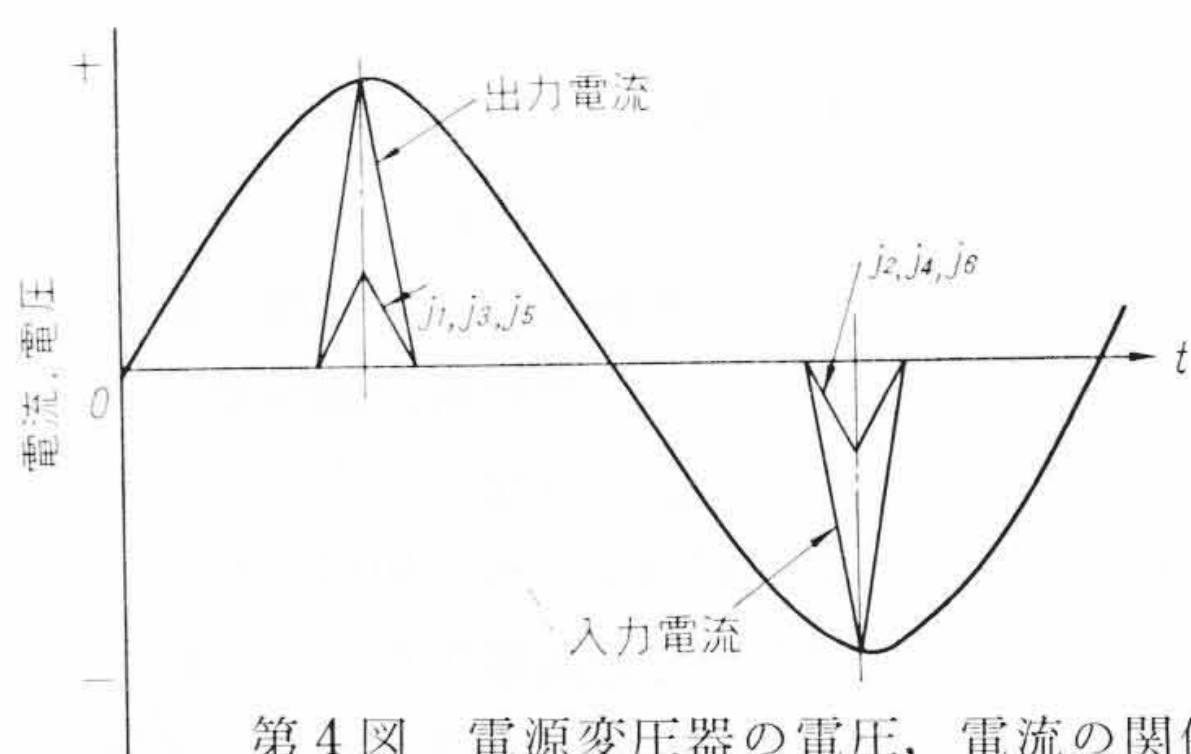
コンデンサには $0.05 \mu F$ のものを使用した。これらの数値を用いて (2) ~ (4) 式に従って計算すると, コンデンサによる電圧降下は 3.8 kV (約 0.6%), リップル電圧は $\pm 600 V$ ($\pm 0.1\%$), セレン整流器による順方向電圧降下は 45 kV で発生電圧の約 10% となる。

2.5 容量負荷の補償

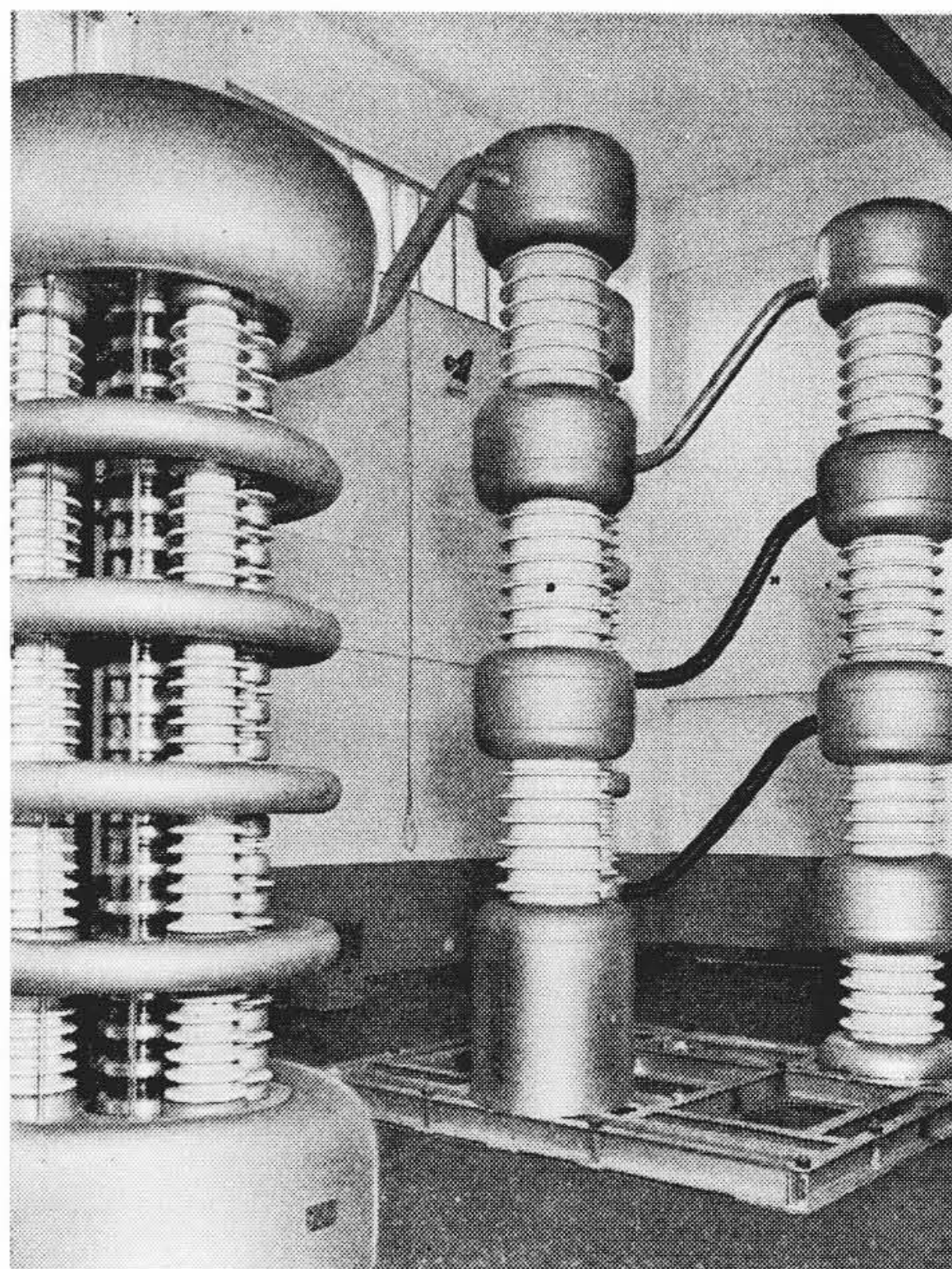
C-W 回路の電源周波数が高くなると, 平滑, 押上両コラム間の浮遊容量を通して進相電流が流れ, 電源容量が不足して十分な電圧の発生ができなくなる。浮遊容量は整流器のもつものと各コラムの構造配置によるものとがあるが, これを補償するためには電源変圧器二次側と浮遊容量とを並列共振させることが考えられる。しかし, これは実際にはむずかしいので, 後に述べるように容量負荷の影響を実測して共振するインダクタンスをきめ, リアクトルを変圧器二次側に並列接続して共振させる方法が普通とられる (第 6 図)。



第 3 図 C-W における電流の流れ方

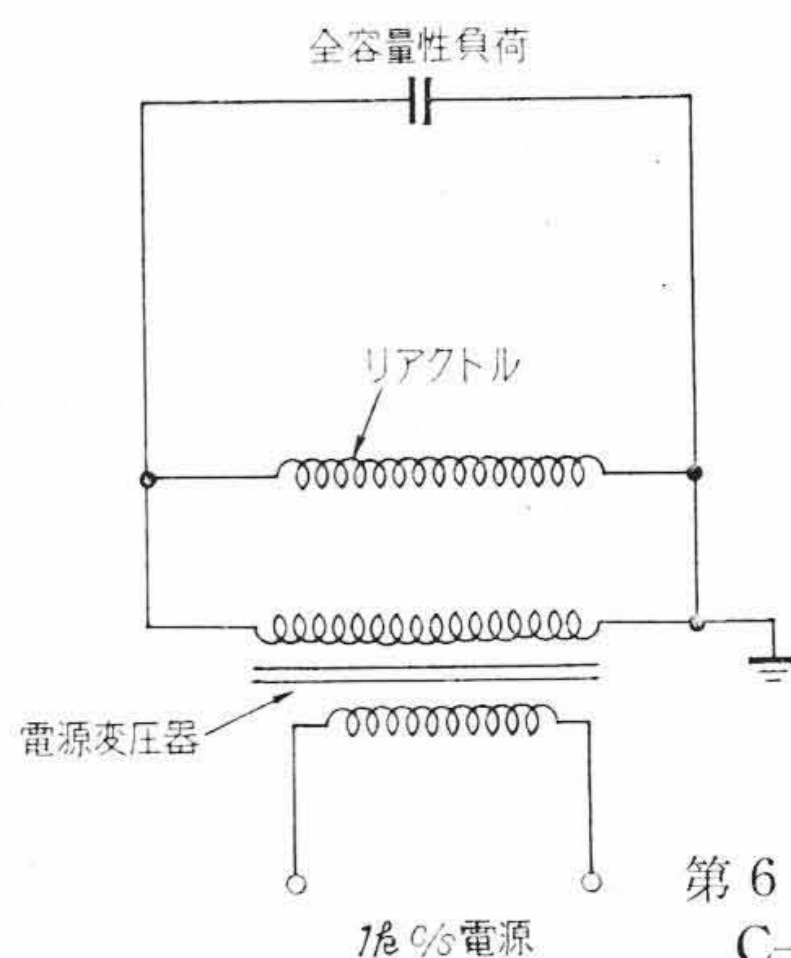


第 4 図 電源変圧器の電圧、電流の関係

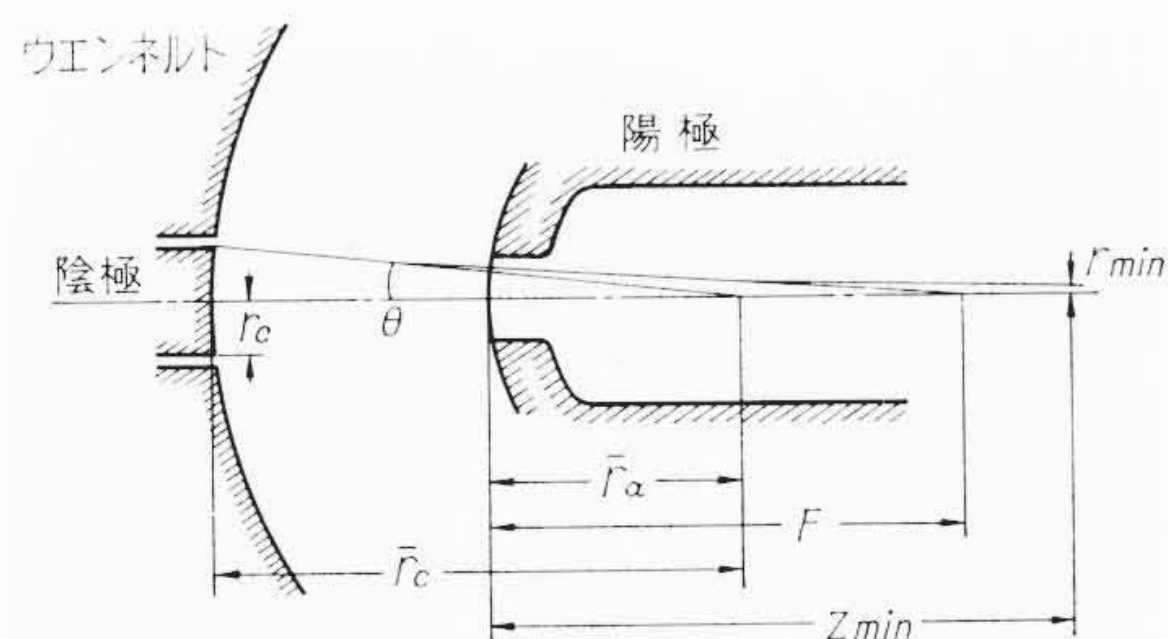


右側：高電圧発生部 左側：電子加速部

第 5 図 日立化成工業株式会社下館工場納 C-W 形加速器



第 6 図 浮遊容量を考えた C-W 等価回路



第7図 ピアス形電子銃原理図

3. 加速部

3.1 電子銃

大電流の電子流を能率よくとり出すには、通常ピアス形電子銃が用いられる。第7図はピアス形電子銃の原理図である。熱陰極より放出された電子は同心球状の陰極、陽極間の電界によって加速集束され、陽極中心の穴を通して加速管にはいる。各電極の曲率半径やビーム通路孔は空間電荷の影響を考慮して決められる。陽極電圧 V_a とビーム電流 I との関係は一般に次式で与えられる⁽³⁾。

$$I = 14.67 \times 10^{-6} \frac{1 - \cos \theta}{(-\alpha)^2} V_a^{3/2} \quad (6)$$

ここで θ : ビームの放出角

α : 陰極半径 ($\bar{r}_c$) と陽極半径 ($\bar{r}_a$) の比で表される量

θ が小さいときは陽極でのビーム半径を r とすると $\theta = r/\bar{r}_a$ である。(6)式からビームのパービアンス $I/V_a^{3/2}$ が計算できる。使用している電子銃は $\bar{r}_c/\bar{r}_a \approx 2.2$ 、パービアンスは約 $0.02 \text{ A/V}^{3/2}$ である。電子ビームは 10 mA 以上をとり出すことができる。電子銃の運転に必要なフィラメント電流や、陽極電圧の電力は高压電極内に設置された発電機を絶縁ベルトで駆動して供給する。

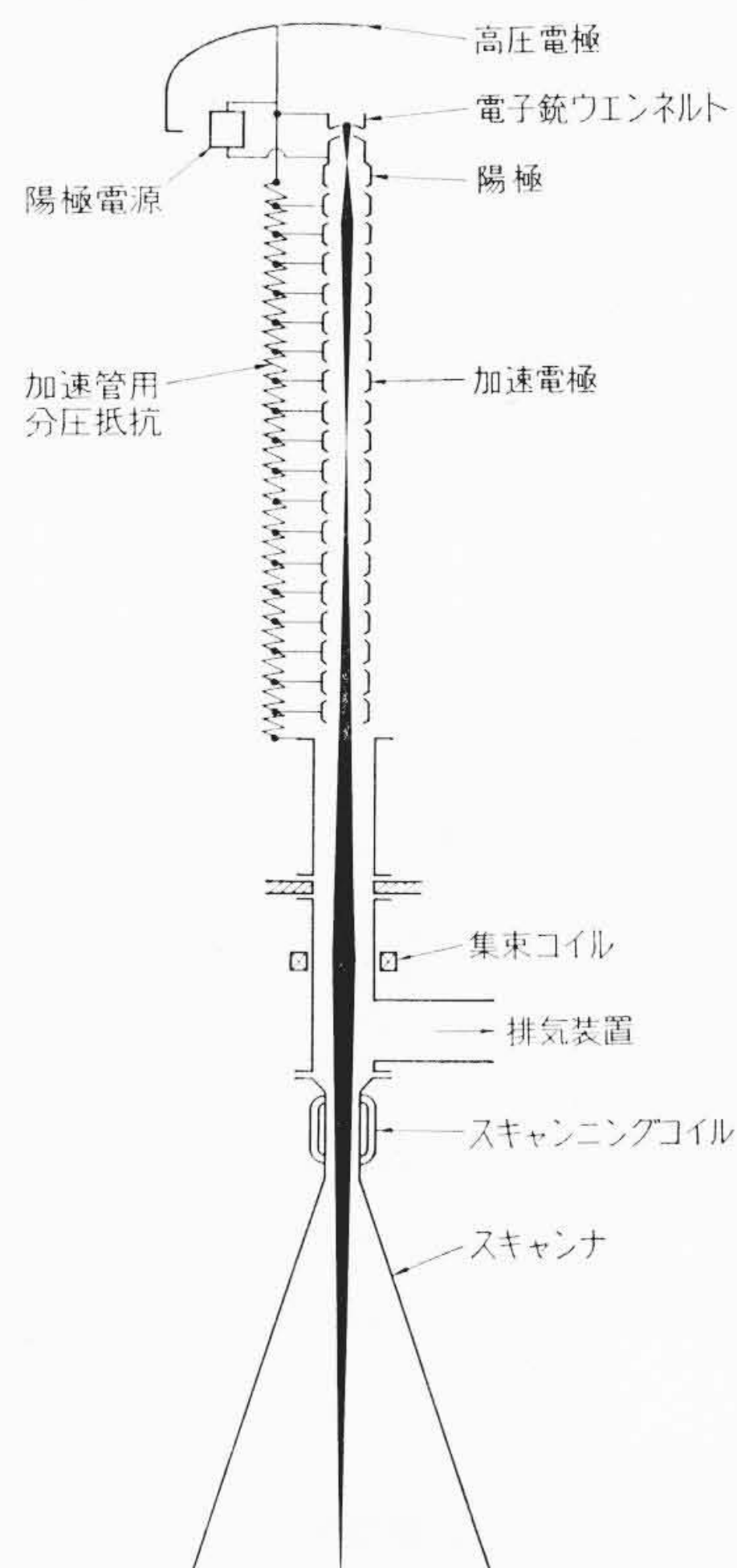
3.2 加速管

加速管は、ガラス管と加速電極とを接着して製作されたもので、20段加速である。加速電極はアルミニウム製で互いにオーバーラップしており、分圧は1対1に対応する分圧抵抗によって行なわれ、抵抗を流れる電流は 600 kV で 1.2 mA である。これまでのC-Wの加速管は、加速段数の少ないのが普通であり、このような加速管では耐圧やビームの集束に対して必ずしも十分満足できるものではなかった。今回用いた多段形の加速管は従来用いられていたものの欠点を改善し、性能を向上させている。

電子ビームは電子銃陽極孔から引き出され、ある広がり角をもって加速管にはいる。加速管入口の電界は強いレンズ作用をもつために、ここでビームな集束作用をうけ、さらに加速管内の電極間電界でも少しずつ集束作用をうける。このような加速管におけるビームの集束は、管内での電界の一樣性を仮定すれば M. M. Elkind 氏⁽⁴⁾の方法で計算できる。しかし、多段加速管とはいっても、1段あたりの寸法が長い場合には一樣電界と考えることはできない。このような場合には電極間に2円筒間レンズの式⁽⁵⁾を適用してくりかえし計算するか、マトリックス法⁽⁶⁾によらねばならない。大体の目安を得ようというときには、加速管入口のレンズ作用だけを考えてもよい。本装置では、特に集束のための電極や電源を設けない一種の固定集束である。しかしながら、加速管初段付近の分圧抵抗を適当に選べば、電極に流れ込むビームを最小にし最適の集束を行なうことができる。第5図の左側、加速部の中央にみえるのが加速管である。

3.3 集束コイル

電子ビームは加速管で集束され、ほぼ平行ビームに近い形で加速管から出る。しかし加速管の集束作用だけではビーム直径を非常に小さくすることはできず数 cm の程度になる。また接地電位のビー



第8図 加速電圧 550 kV、陽極電圧 8 kV のときのビームプロフィール

ムダクトを走る間にもビーム自身の空間電荷のために少しずつ広がる。このようなビームの広がりを押えて能率よくビームを取り出すために、ビームダクト中間に集束コイル（磁気レンズ）を設けている。集束コイルは通常空心コイルで長焦点のものが用いられる。コイル中心軸（ビームダクト中心軸と一致する）上の磁界分布がベル形であるときの焦点距離 f はよく知られた次の式⁽⁵⁾で求められる。

$$f = \frac{a}{\sin \frac{\pi}{\sqrt{1+k^2}}} \quad (7)$$

$$k^2 = \frac{e B_m^2 \alpha^2}{8 m V}$$

ここで B_m : コイル中心での磁束密度

a : 磁界分布の半値幅

V : 加速電圧

e/m : 電子電荷と質量との比 $1.76 \times 10^{11} \text{ c/kg}$

現在用いている集束コイルは、平均半径約 14 cm のもので、このコイルによってビームはスキャンナのビーム取出窓に集束される。加速全系としてのビームプロフィールを模式的に示すと第8図のようになる。

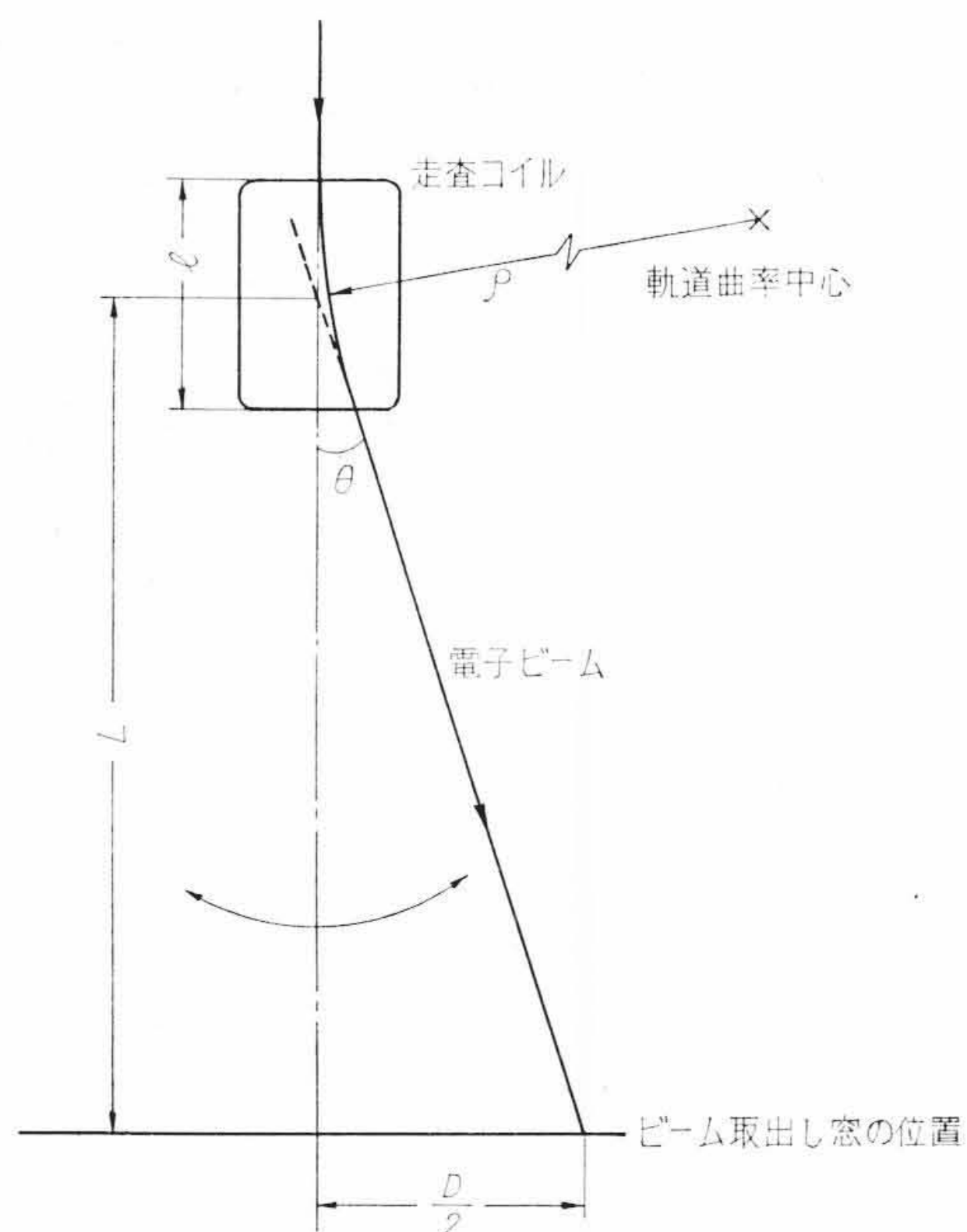
3.4 スキャンナ

電子ビームを真空中より空気中に取り出し、ある広さの試料に照射するためにスキャンナがある。ビームは第9図に示したように、三角波で励磁された走査コイルの磁界によって周期的に偏向され、ビーム取出窓より大気中に取り出される。窓にはアルミニウム箔（はく）を使用しているが、エネルギーの損失を少なくするためにできるだけ薄くし、かつ温度上昇を防ぐため周囲より水冷却を行なっている。

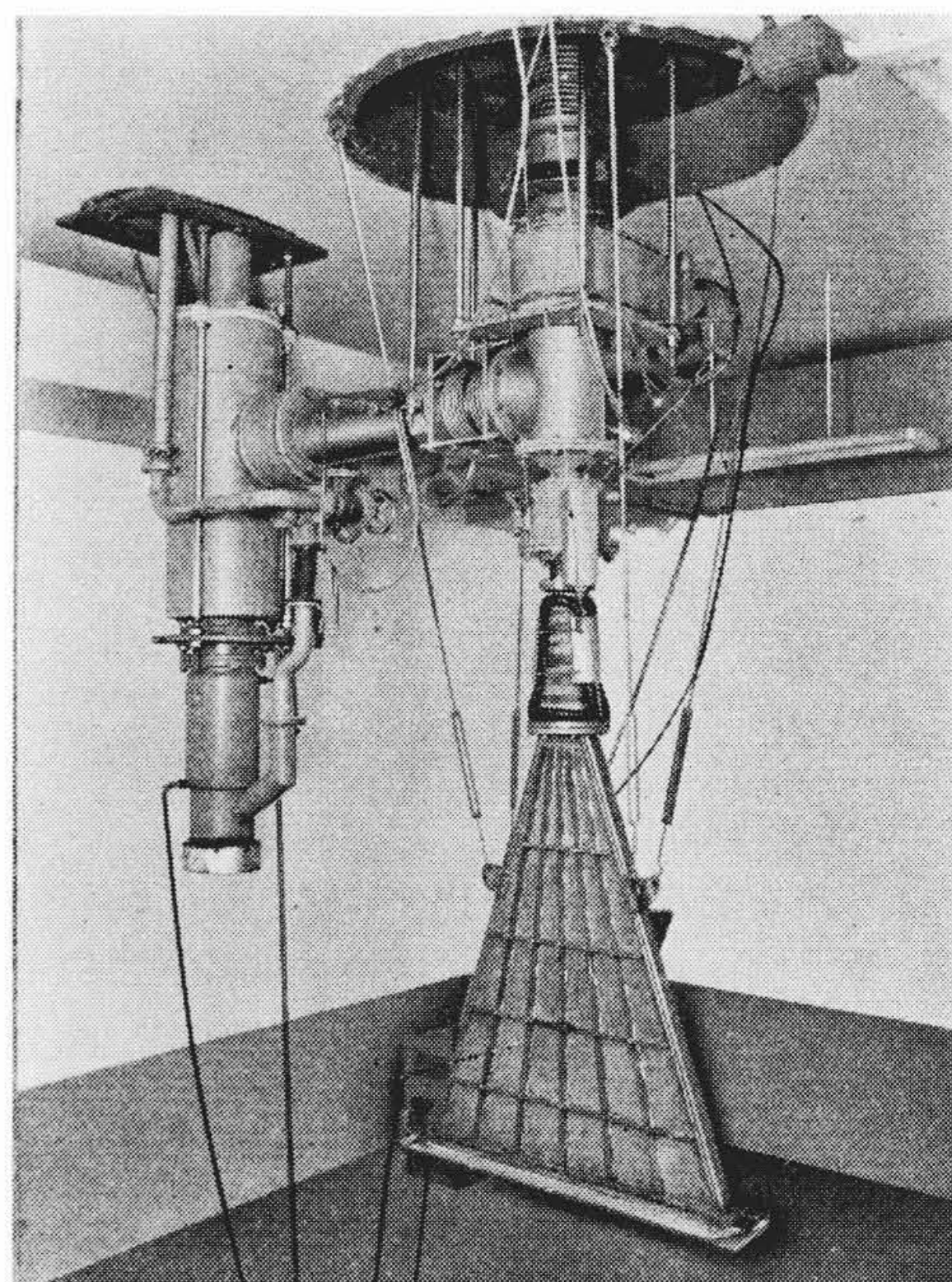
電子が磁束密度 B なる一樣磁界中で運動するときの軌道半径 ρ は

$$B\rho = \frac{10^4}{3} \sqrt{E^2 + 1.02E} \quad (8)$$

ここで E : 電子エネルギー



第 9 図 ビームの走査



第 10 図 スキャンナおよび真空装置

で与えられる。スキャンナでの必要なビームの偏向角 θ は、ビーム取り出し窓の長さ D とコイル中心より窓までの距離 L できまり、また偏向角 θ と軌道半径 ρ との関係は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta &= \frac{D}{2L} \\ \rho &= \frac{l}{\sin \theta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ここで l : 磁界の長さ

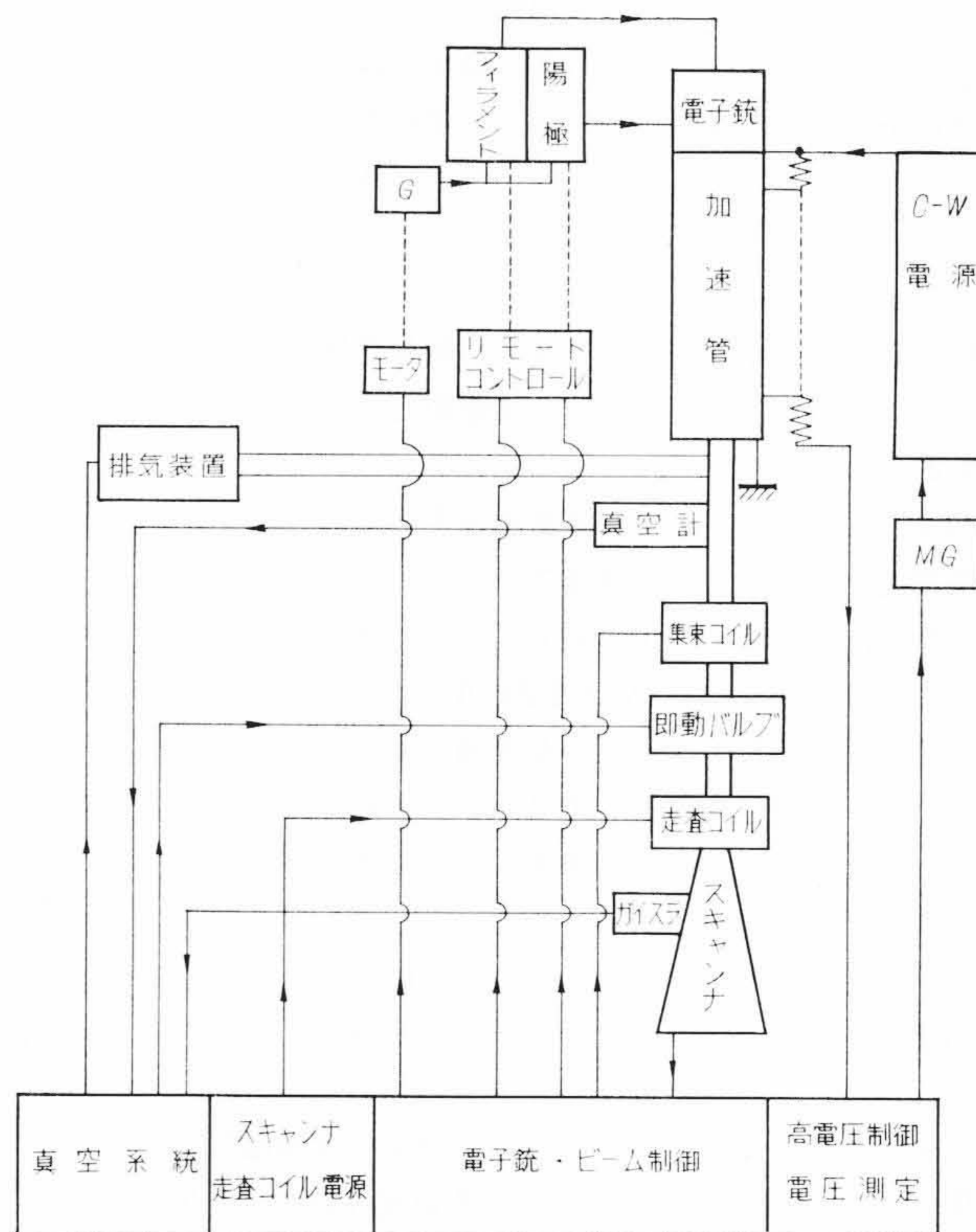
したがって(8)、(9)式から走査に必要な磁束密度 B 、すなわちコイルのアンペアターンがきまる。(9)式の l は近似的にはコイルの長さにとってもよい。走査コイルはテレビの偏向コイルと同様の形状のもので、周波数は 200 c/s である。スキャンナ付近の様子を第 10 図に示す。

3.5 排気装置

一般に電子加速においては、イオン加速のようにイオン源用のガスを流さないで、排気装置の負荷は軽減される。排気系は 8 インチ油拡散ポンプと 600 l/min の回転ポンプとからなり、コールドトラップとしてはドライアイスと冷凍機を組み合わせたものを使用している。またビームダクトとスキャンナとは、ビーム取出窓の破損事故に備えて、即動バルブで連結されている。

4. 制御および保護装置

照射用加速器の運転に際しては、加速電圧(ビームエネルギー)、ビーム電流、走査コイル電流、加速管真空度を把握していなければならない。制御および保護装置はこのような観点から設計製作されている。第 11 図は制御系統の概略を示したブロック図である。図からわかるように、装置の運転調整に必要な操作はすべて制御盤から遠隔操作される。加速電圧は M-G の出力電圧により調整され、ビーム電流は電子銃フィラメント電流および陽極電圧によって制御される。ビームの集束は電子銃陽極電圧によっても変わるが、照射電流の損失を小さくするために、集束コイルの電流を変えてスキャンナに流れ込む電流が最小になるように調節する。スキャンナの走査コイル電流が流れていなければ加速電源 M-G、電子銃電源 M-G は運転されない。走査幅は最大 1m まで可変である。ビーム取出窓の事故を防ぐため通常走査幅 1m で運転する。



第 11 図 制御系統ブロック図

加速管の真空は電離真空計で測定する。ビーム取出窓の破損事故などが起こるとスキャンナ、したがって加速管の真空が一時に悪くなり、加速管放電などの事故に発展する。このような事故を防ぐために、ガイスラー管形の検出部でスキャンナの真空度低下を検出し、即動バルブが動作するようになっている。また、大電流のビームで照射しているときには、走査コイルの電流が減少し、ビームが窓のある部分に集中しはじめると窓の破損が起こる。このために、走査コイルの電流が減少したときも即動バルブが働くようになっている。このほか、加速電圧の過電圧保護、電源の過電流保護、断水リレーなどの保護回路を備え、万一の異常現象に対して十分なる保護を行なっている。

5. 装置の動作性能

5.1 電源の特性

すでに 2.5 においてのべたように、電源変圧器からみた C-W 回路は容量性負荷であり、そのために進相電流が流れ、変圧器や M-G の容量不足をきたすことがある。この影響は電源周波数が高くなるにしたがって大となる。ここでは周波数 1 kc/s であるので、容量性負荷の効果が現われ、第 12 図に示すように 600 kV の発生電圧を得るのに変圧器一次電流は約 80 A にも達することになる。実測から推定される C-W 回路の全容量は約 500 pF である。この容量負荷を補償するためにリアクタを変圧器二次側に並列に接続すると特性は著しく改善される。すなわち第 12 図にみられるように、 T_3 タップでは 600 kV の発生電圧に対して入力約 30 A となり、容量負荷と共振して補償が十分に行なわれている。

5.2 電子ビーム

ビーム電流は電子銃フィラメント電流と陽極電圧によって変わる。陽極電圧によるビーム電流の変化の一例は第 13 図に示すとおりである。ビーム 5 mA をとるためには陽極電圧は 8 kV 程度でよい。数 mA のビームをとって加速器を運転しているとき、加速管の真空は 5×10^{-6} Torr $\sim 10^{-5}$ の間である。加速管の耐圧は問題なく、600 kV で十分運転ができる。加速管を出たビームは集束コイルで集束される。スキヤンナより取り出される照射ビーム電流はビームの集束状況によって著しく変わる。第 14 図は集束コイルの起磁力と照射ビーム電流との関係を示しており、ビームエネルギー 600 keV における最適コイル電流は約 0.7 A である。ビームの集束が悪いと、広がりビームはスキヤンナの壁に衝突し、温度上昇や真空度低下などの悪影響を与える。照射中のビーム集束の調整は、スキヤンナに流れ込むビーム電流を最小にするように調節して行なわれる。

5.3 ビームの走査

電子ビームはスキヤンナにおいて 200 c/s で走査される。走査コイル励磁電流の波形は第 15 図に示したようである。ビームを 1 m 走査するのに必要な走査コイル励磁電流とビームエネルギーの関係は第 16 図のように、エネルギー 600 keV でコイル電流が約 250 mA (ピーク) である。照射に必要な全エネルギー範囲で十分に 1 m の走査を行なうことができる。

走査されて大気中に取り出された電子ビームは、ビーム取出窓におけるエネルギー損失があるために、加速されたエネルギーよりもわずかに低いエネルギーを持つ。またビーム電流も窓による吸収のためにわずかに減少する。これらは電子の飛程とエネルギー関係や吸収曲線から容易に求められ、被照射体における電子の到達深さも同様に知ることができる。電子の飛程とエネルギー関係は次式⁽⁷⁾で与えられる。

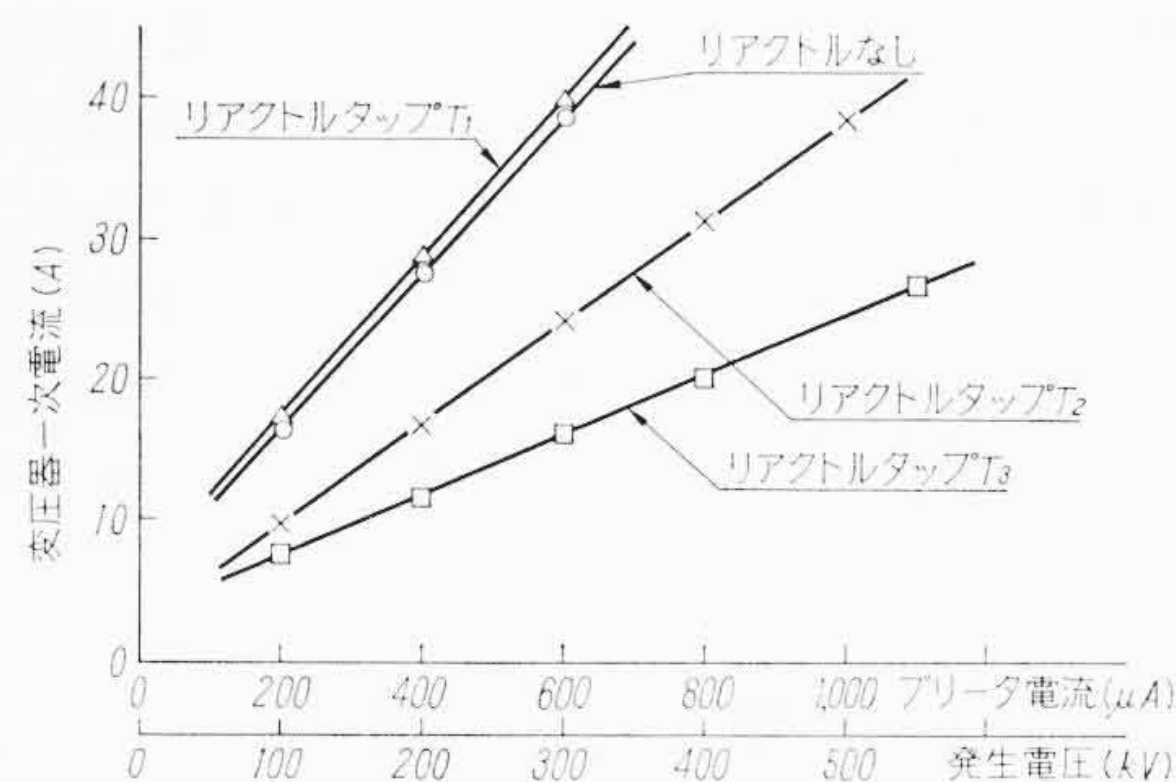
$$\left. \begin{aligned} R &= 412 E^n \\ n &= 1.265 - 0.0954 \ln E \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

ここで R : 電子の飛程 (mg/cm²)

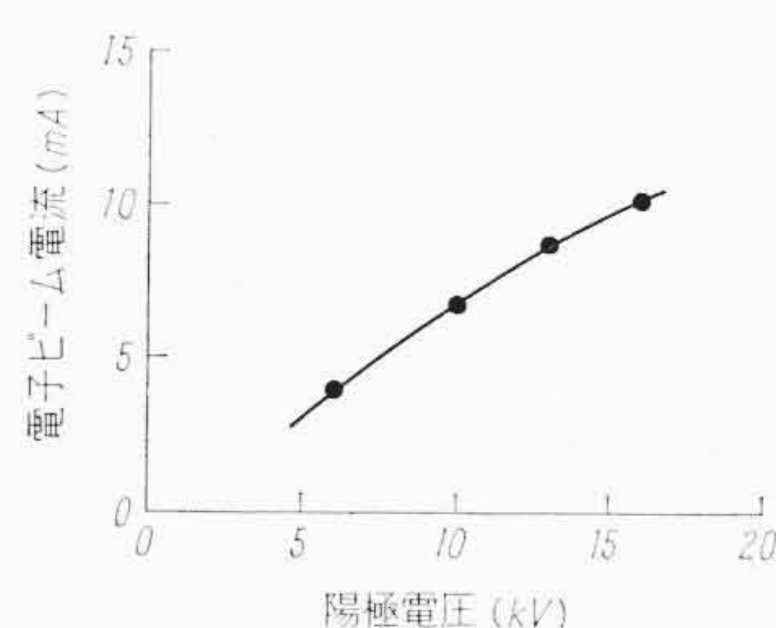
E : 電子エネルギー (MeV)

ビーム取出窓には 100 μ のアルミニウム箔を使用しているので、ビームエネルギーの損失は 500 keV 以上で 50 keV 程度であり、またビーム電流の吸収は 5% 以下である。このことはガラスの着色によるエネルギーの測定などによっても確かめられている。第 17 図は (10) 式の飛程とエネルギー関係である。原子番号のあまり大きくない物質に対しては mg/cm² で表わした飛程を密度でわれば電子の到達深さ (mm) が得られる。

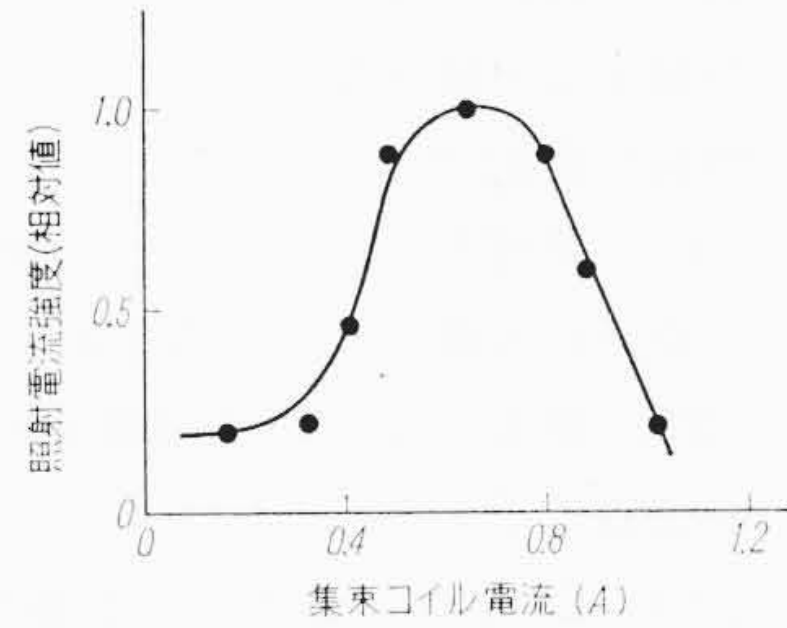
照射電流を知ろうとすると、簡便法としてスキヤンナのビーム取出窓の下に金属板をおき、ビーム電流を測定することがある。このような場合には、電子の後方散乱による誤差を考慮しなければ



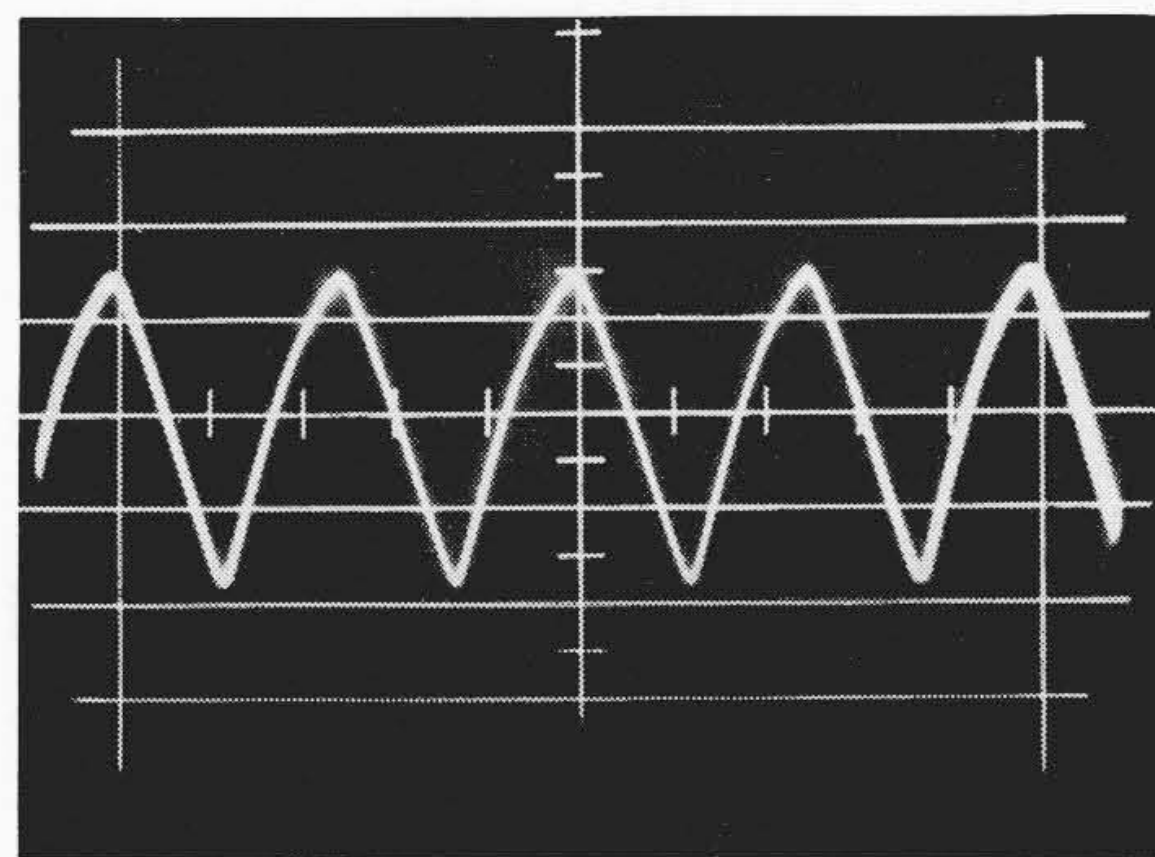
第 12 図 補償リアクトルをそう入した場合の C-W の特性



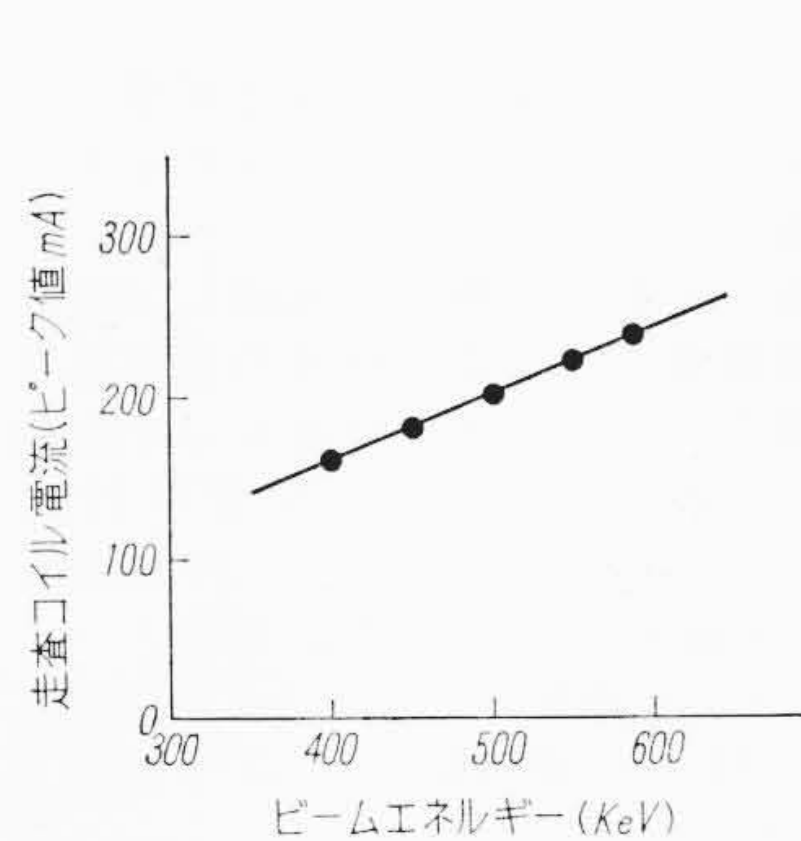
第 13 図 陽極電圧とビーム電流の関係



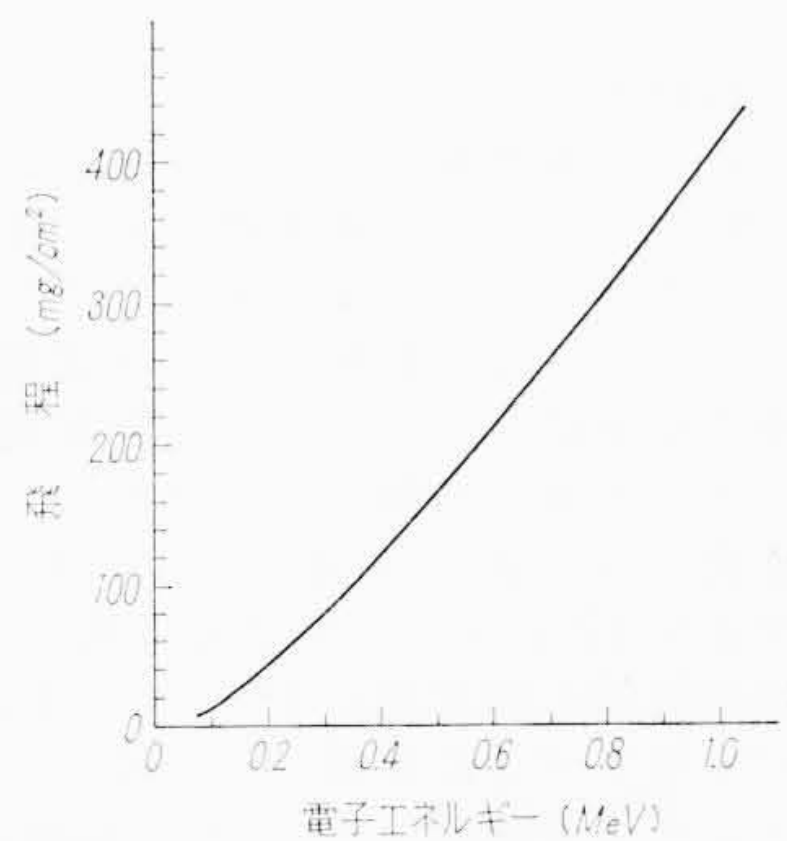
第 14 図 ビームの集束



第 15 図 スキヤニング電流の波形



第 16 図 ビームエネルギーと走査コイル励磁電流の関係

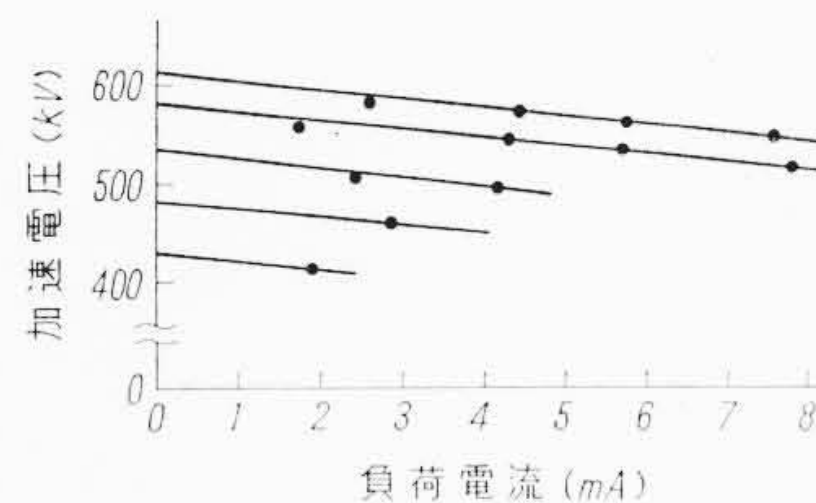


第 17 図 電子のエネルギーと飛程の関係

らない。一般に金属の原子番号が大きいほど、ビームエネルギーが小さいほど後方散乱は大きくなる。反射する電子の平均エネルギーは入射電子エネルギーの $\frac{1}{2}$ 以上であるので、反射電子を簡単に取り除くことは困難である。このために反射係数のできるだけ小さい金属板を選ぶべきであり、アルミニウム板を用いたときはエネルギー 0.3~3 MeV の範囲で反射は 10~3% である⁽⁸⁾。

5.4 加速電圧と負荷電流の関係

C-W 加速器の総合特性として加速器負荷電流と加速電圧の関係を測定した結果は第 18 図のようになる。C-W の電圧変



第 18 図 C-W 負荷特性

動率は約8kV/mAであり、10mAの負荷のとき発生電圧600kVに対して約13%に相当する。M-Gの電圧変動率を考慮すればC-W自身の電圧変動率は非常に小さく、わずか2%程度である。この値はコンデンサによる電圧降下約0.7%と整流器による通流中の電圧降下約3%を合わせたものの0.6倍程度である。この違いは電源変圧器で電圧位相角90度において充電電流が最大となると仮定したためであろう。

6. 結 言

以上、照射専用器として設計、製作したC-W加速器についてその構成、特性、性能について述べたが、今回の製作経験を通じて本器が最も安全確実な工業用加速器であるという感を深くした。本器の特長を要約すると、

- (1) 整流器、コンデンサを柱状の3本にまとめ、相対応する部分をたわみ継ぎ管でつなぎ組み立てやすい形としたこと
- (2) 電源に1kc/sの高周波を使用し、電圧脈動率、電圧変動率を著しく小さくしたこと
- (3) C-Wの容量性負荷を補償するため、電源変圧器二次側にリアクトルを入れ、電源変圧器、M-Gの容量を小さくしたこと
- (4) 加速管を多段加速とし、電極のオーバーラップ部を多くし、ビームの遮へいを完全なものとし、耐圧を著しく向上させたこと

(5) 電子銃として数10mAを取り出し得るピアス形電子銃を採用したこと

(6) 大電流加速時のビームの発散を防ぐために、集束コイルを取り付けたこと

などである。

終わりに臨み、終始ご指導、ご激励を賜はった日立製作所日立研究所河合部長(元下館工場研究部長)、日立化成工業株式会社下館工場前田研究課長、および種々ご協力をいただいた関係者のかたがたに深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) Nucleonics 18, No. 8, 52 (1960)
- (2) E. Baldinger: Handbuch der Physik XLIV, S. 1 (Springer Verlag, 1959)
- (3) J. R. Pierce: Theory and Design of Electron Beams, Chap. X, p. 173 (D. Van Nostrand Co., 1954)
- (4) M. M. Elkind: Rev. Sci. Instr., 24, 129 (1953)
- (5) たとえば Zworykin, et al: Electron Optics and the Electron Microscope, Chap. 13, p. 423 (John Wiley & Sons, 1945)
- (6) たとえば M. Sonoda, et al: J. Phys. Soc. Japan, 15, 1680 (1960)
- (7) L. Katz & A. S. Penfold: Rev. Mod. Phys., 24, 28 (1952)
- (8) K. A. Wright & J. G. Trump: J. Appl. Phys., 33, 687 (1962)



登録新案第712910号

新 案 の 紹 介



横内直中・外山仁一

自 動 ク ラ ッ チ 装 置

自動車が大衆化されつつある現在その運転操作の簡易化が望まれている。本考案はこのような要望を満足するもので、図面に示すようにエンジン1と変速機2間に電磁クラッチ3を介在し、エンジン1にはバッテリー4を充電するための充電発電機5を連結し、電磁クラッチ3の従動板6には充電発電機5と同じ電圧特性の補助発電機7を連結した。そして充電発電機5の出力端子を変速レバー連動スイッチ8と始動リレー9を介して切換リレー10の固定接点11に接続し且つ前記変速レバー連動スイッチ8と切換リレー10の励磁コイル12を介して補助発電機7の同極側に接続した。切換リレー10の他側の固定接点13は他の変速レバー連動スイッチ14を介してバッテリー4に接続し、切換リレー11の中間可動接点15は電磁クラッチ3の励磁コイル16に接続した。

従って発進時に変速機2を操作する場合には、変速レバー連動スイッチ8、14がそれぞれ開放するために電磁クラッチ3は付勢されず従って電磁クラッチ3は切れている。そして操作完了後は変速レバーを離すことによって両連動スイッチ8、14が入る。エンジン1がアイドリング状態の場合には充電発電機5の発生電圧が低く始動リレー9は働かず、補助発電機7の発生電圧が零であるために切換リレー10の可動接点15は固定接点11に接している。発進するためにエンジン1を加速すると充電発電機5の発生電圧が増加し始動リレー9が閉じて電磁クラッチ3はエンジン1の出力に比例した充

電発電機5の発生電圧で付勢され自動車が円滑に発進する。電磁クラッチ3の滑りがなくなった時には切換リレー10の励磁コイル12に加わる電圧が零となり電磁クラッチ3はバッテリー4にて付勢されるように切換えられる。そして以下2段、3段等の変速も同様に行なわれる。

本考案は以上の様に電磁クラッチ3を自動的に制御するもので、自動車を2ペダルシステムにすることができる (仙波)

