日立 1.5 MeV ファンデグラフ型電子加速装置

Hitachi 1.5 MeV Van de Graaff Accelerator

末 松 茂* 森 山 昌 和*
Shigeru Suematsu Masakazu Moriyama

内 容 梗 概

粒子加速装置には多くの型式があり、従来主として核物理関係の研究用に使用されていたが、最近放射線の高分子化学工業、X線工業への応用研究が進むにつれ、工業的な利用が急速に実用化しつつある。このような応用に対しては、必要な電圧、電流の程度からファンデグラフ型が最も適当しており、日立製作所においても、高分子材料への電子線照射研究を主目的とした 1.5 MeV ファンデグラフ型電子加速装置を製作、日立中央研究所に設置して現在盛んに照射研究を行つている。

本装置は高気圧竪型であり、すでに窒素ガス+炭酸ガス、 $13.5 \, \mathrm{kg/cm^2}$ 中で $1.6 \, \mathrm{MeV}$ の瞬間最高電圧を得ている。

本稿においてはファンデグラフ型加速装置の原理ならびに本 1.5 MeV 器の構造,実験結果について概要を述べている。

1. 緒 言

電子あるいはイオンの加速装置は、従来主として核物理などの研究用に使用されていたが、近年高分子化学工業、X線工業などへの工業的な応用が急速に実現される気運にある。

加速装置としては、コッククロフト、共振変圧器および本稿に述べるファンデグラフ型加速装置(以下 VdG と記す)のように、直接直流高電圧により加速するものと、サイクロトロン、ベータトロン、線型加速器のように、交番電圧、交番磁界によりくり返し加速するものなど多くの機種が実用に供されているが、工業的実用機として要求される、 $2\sim3\,\mathrm{MeV}$ 、数百 $\mu\mathrm{A}$ 乃至 $1\,\mathrm{mA}$ 程度には VdG が最も適していると考えられる。

VdG は、1931年 Robert Van de Graaff⁽¹⁾によって、初めて大気中に露出した型のもの(大気圧型)が製作されて以来、

- (1) 加速エネルギーを広範囲かつ連続的に調整しう
- (2) 安定かつ均一なエネルギーで良く収斂したビームが得られる

という大きな特長を有するため、低エネルギーの原子核 実験に広く使用されてきた。

その後、Van de Graaff、Trump⁽²⁾、Herb^{(3)~(5)}氏らにより、装置一式を高気圧中に封入して絶縁耐力を上げ小型化を図つた、いわゆる高気圧型 VdG が開発されたため、新たに硬X線発生装置としても採用されるようになり、さらに最近有機高分子材料に対する放射線照射の効果が研究されるに伴い、VdG の工業的な応用が各方面で採り上げられるようになつた。

* 日立製作所国分工場

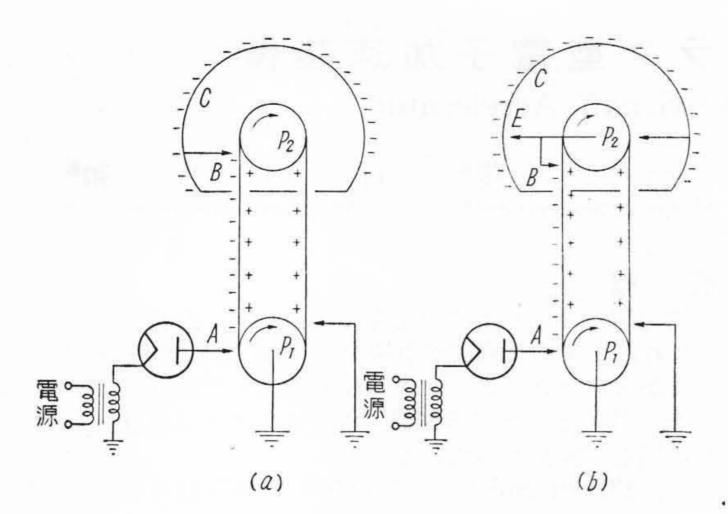
現在,主な用途としては次のようなものが,実用また は研究の段階にある。

- (1) 電子線として利用するもの
 - (a) 高分子物質の物理的化学的性質の改善
 - (b) 電気絶縁材料の性能向上
 - (c) 合成繊維の性質改良
 - (d) 食品,薬品の殺菌,防腐
- (2) 硬X線として利用するもの
 - (a) 構造物, 金属などの非破壊検査
 - (b) 癌治療などの医療への応用

日立製作所においては、早くより VdG の工業的利用について基礎的な研究を行つており、すでに昭和 24年以来、電子顕微鏡用電源として最高電圧 0.6 MV の大気圧型 VdG を大阪大学はじめ各方面に、多数納入してきたが、今回これらの経験に基き、高分子物質に対する電子線照射研究を目的とする、1.5 MeV、50 μA 高気圧型 VdG を完成したので、以下 VdG の原理構造ならびに 1.5 MeV 器の構造、実験結果につき概要を述べる。本装置は、すでに日立製作所中央研究所に設置され、各種照射実験を行うとともに VdG 本体に関する基礎研究を並行して進めている。

2 A 2///// Q

第1図 原 理 説 明 図



(a) 単一撒布法 (b) 自動重複撒布法 第2図 原 理 説 明図

2. VdG の原理⁽⁶⁾⁽⁷⁾

大気圧型 VdG

第1図は高電圧発生の基本原理を示す。Aは大地に対 して絶縁された導体で、その静電容量を1の位置におい て C_1 , 2において C_2 とする。これにQなる電荷を乗 せ1より2に動かせば、導体Aの電位は $\frac{Q}{C_1}$ より なり、 $C_1>C_2$ なる場合は $\dfrac{Q}{C_1}<\dfrac{Q}{C_2}$ 、 すなわち電位を 上げることができる。

第2図はベルトによつて高電圧を発生する場合の説明 図である。撒布子Aよりのコロナ放電によつて, 絶縁性 ベルト (ベルトはプーリ P1 によつて駆動され,プーリ P_1 , P_2 の間を回転する)に乗せられた電荷が、途中で 空間に逸散せずに導体C内に運び込まれれば、ベルト表 面とCとの間に電位差を生じ、コロナ放電が蒐集子Bに 向つて起るので、電荷が連続的にCに乗り移りCの大地 に対する電圧は次第に上昇する。この電圧は、電極表面 よりのコロナ放電や絶縁支柱, ベルトなどを通じての漏 洩電流の和が, 運び込まれる電流とつり合う状態に達し て, 上昇を停止する。

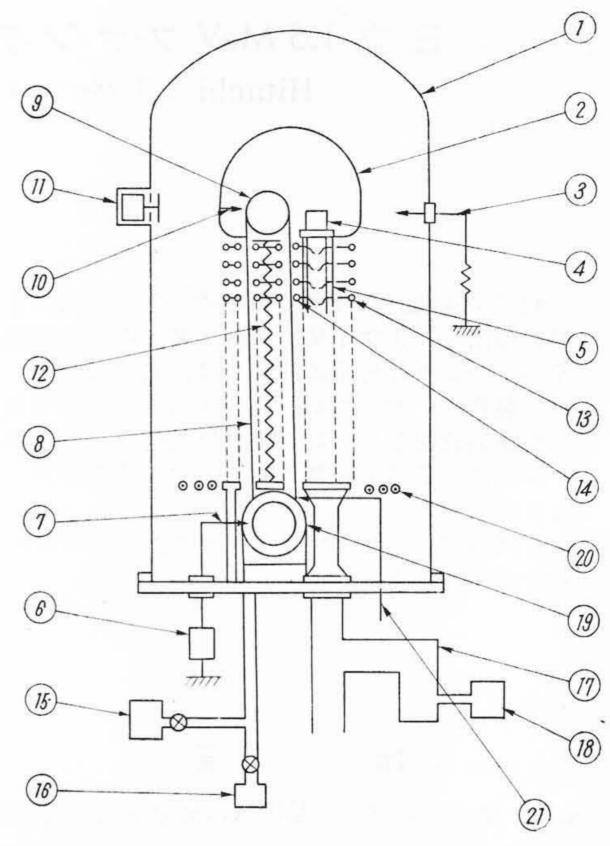
今かりに、大気中においた球状電極の VdG で 3 MV を得ようとすれば、電極直径は 2m 以上を要すること になり (大気の絶縁耐力を 30 kV/cm とする), 高電圧 のものでは設備が大型になると同時に,湿度の影響など から使用を制限されるので,工業的な実用機としては適 当でない。これらの不利な点を解決したのが高気圧型 VdG である。

2.2 高気圧型 VdG(2)~(5)

概略構造を第3図に示す。

2.2.1 高圧気体および気体中の固体絶縁物表面の絶 緣耐力

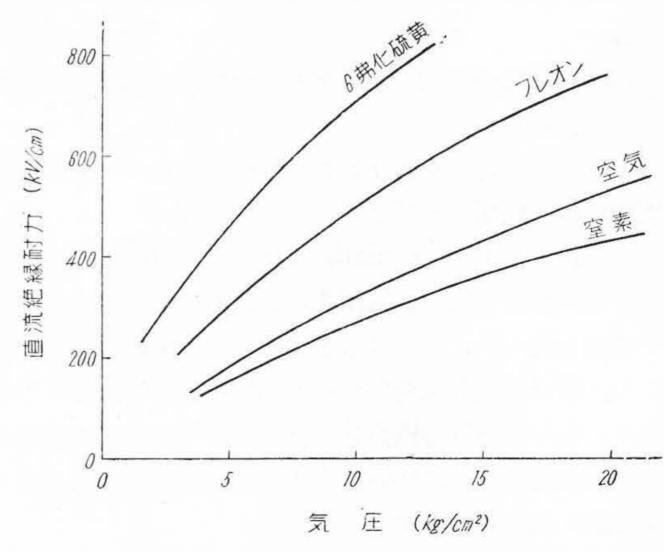
現在の実用機では,一般に圧力タンクの中に高電圧



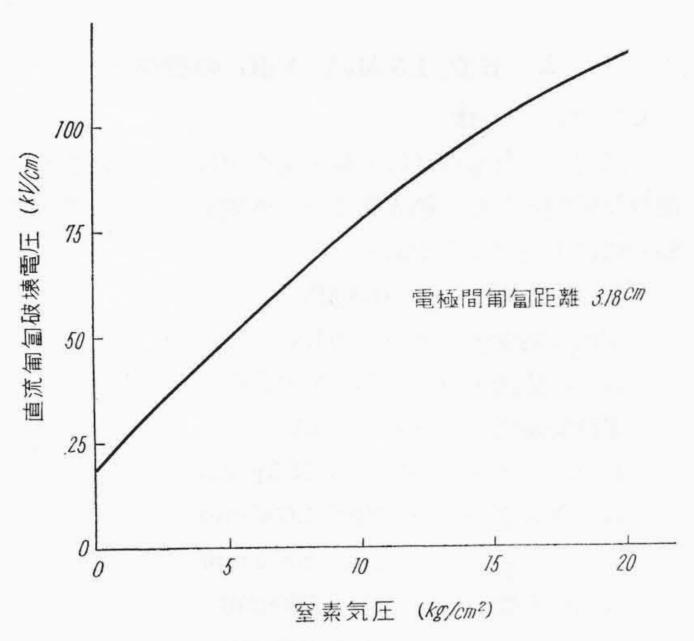
高圧電極 撒布電源 上部プーリ(発電機内蔵) ⑩ 分圧抵抗 回転電圧計 上部蒐集子 ④ ベルトフープ ⑮ ボンベ ⑯ 本 ⑪ 拡散ポンプ (18) 回転ポンプ 20 冷却水管 20 下部蒐集子 ベルト駆動用電動機 第3図 高気圧型 VdG 構造説明図

部分を収納し, 高気圧の気体を封入して内部の絶縁耐 力を上げ, 電圧, 電流を増すとともに小型化を図つて いる。

各種気体の圧力と絶縁耐力との関係の一例を示すと 第4図のようになる(8)。



第4図 各種気体の絶縁耐力



第5図 碍子表面匍匐破壊電圧

空気は窒素より絶縁耐力は大きいが、絶縁物特にベルトの劣化の点を考慮すれば、窒素の方が有利であるため、工業用のものには窒素が広く用いられている。六弗化硫黄やフレオンは耐圧の面では有利であるが、耐コロナ性や維持費の点などから、研究用を除いてはあまり用いられない。なお窒素に 20 %程度の炭酸ガスを混入すれば(9)、さらに絶縁耐力が増すので高気圧のものでは効果的である。

高圧気体中の絶縁物表面の匍匐電圧も圧力とともに 増加するが、気体の絶縁耐力ほど急速には増さない。 第5図に窒素中における碍子表面の匍匐破壊電圧と圧 力との関係を図示する。

実用機では、絶縁耐力と必要なタンク強度とを勘案 し、運転取り扱いや経済的な面から 10~25 kg/cm² 程 度の圧力を選択するのが普通である。

2.2.2 支柱, フープ(3)~(5)

高圧電極をささえるのに、柱状の絶縁物を用いるが、 軸方向に電位差がある場合は、漏洩、コロナ電流や静 電容量の影響などによつて、必ずしも均等な電位分布 とはならない。このため、分圧抵抗または針状のコロ ナギャップにより、軸方向の電位分布を一様ならしめ るのが普通である。

また支柱内には後述するベルトそのほかが収められているが、その形状は必ずしも高電圧には適しないので、これらを一括して接地側に対し遮蔽する必要がある。このため一般にフープと呼ぶ金属管を環状に巻いたものを、支柱の継目ごとにとりつけ、半径方向の電界強度を緩和している。

2.2.3 ベルトフープ(2)(10)

空間に露出したベルトによつて電荷を運び上げる場

合は, 静電容量の減少による電圧上昇がはなはだしく, コロナ放電やベルトの沿面放電を生じて, 電荷を高圧 電極内に運び込むことができない。

ベルトの表面に接近してベルトフープと呼ぶ金属管をとりつけ、相対応するフープに接続すれば、ベルトの大地に対する静電容量が増加するので電荷の逸散を防ぐことができる。

2.2.4 電荷の撒布蒐集機構(11)(12)

電荷を運び上げるのに、ベルトの上昇側のみを利用する単一撒布法(第2図a)と、下降側をも利用する自動重複撒布法(第2図b)とがあるが、原理的にはまつたく同一のもので、得られる短絡電流は相等しい。

この二者はいずれも電荷を撒布するのに,下部撒布子にのみ電圧を印加する方式であるが,このほか,上部電極内の撒布子にも強制的に電圧を印加する強制重複撒布法があり,主として高気圧型のものに使用され,電荷の取り残しを少なくするのに有効である。

電荷を撒布するには、一般に針状あるいは網状電極によるコロナ放電が用いられるが、極端に気圧が高い場合にはコロナ放電が起りにくく、電荷の撒布蒐集が困難になるので、このような装置では、ベルト表面に多数の導体たとえばホッチキスのようなものをとりつけ、静電誘導(13)によつて荷電する"Inductive-conductive method"と呼ぶ方法が採用されている。

2.2.5 加速管

加速管は高圧電極内の電子銃またはイオン源と大地との間を結ぶもので、内部を 10⁻⁵~10⁻⁶ mmHg 程度の真空にして、高速度の電子またはイオンを走らせるものである。普通多数段の加速電極を使用し、相対応するフープに接続する。したがつて荷電粒子は一段ごとに加速されて、大地電位に達する時は高圧電極のポテンシヤルエネルギーに相当する運動のエネルギーをもつようになる。

真空中での電極間放電あるいは絶縁物内面の沿面放電に関しては、理論的にはいまだ十分解明されてはいないが、従来加速電極のない加速管では、数十万ボルトにしか耐えられないのに対し、多数段の加速電極を挿入し、各段の電位分布を均等にしたものでは、数百万から八百万ボルトをこすものが実用に供されている。

加速管の製作に当つては次のような点を考慮する必要がある。

(1) 加速電極間絶縁物の内面をビームからできる だけ遮蔽すること。収斂条件からはずれたビームや 散乱電子が絶縁物内面を衝撃する時は二次電子放射 がはなはだしく、場合によつては沿面放電を誘起す る。またこのため加速管中心に対する空間電荷の非 対称性を生じ、ビームが中心軸からはずれることに なる。

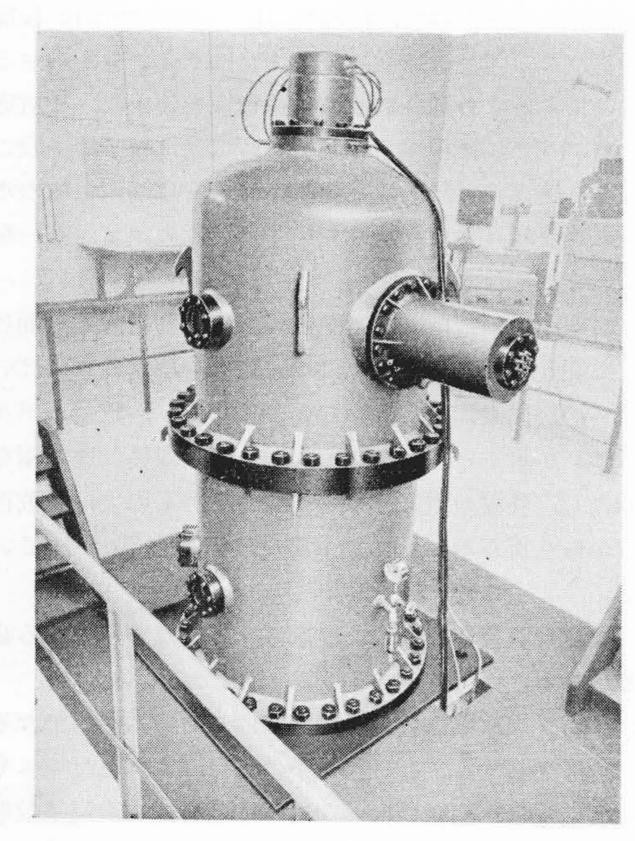
- (2) 加速電極間絶縁物内面と加速電極の衝合部は 電界強度の最も強いところであり、接着部にボイド があれば、この部分でまず絶縁破壊を起し、続いて 加速管内面の沿面放電を誘発することがあるので、 絶対にボイドを生じないような接着作業をしなけれ ばならない。
 - (3) 電極形状は二次電子がすみやかに中心軌道に乗り、ほかの電極を衝撃せぬように決定すべきである⁽¹⁴⁾。

2.2.6 高電圧 VdG

以上 VdG の基本的な原理,構造を述べたが,このほか原子核実験用の高電圧 VdG においては,

- (1) 高圧電極と大地との間に中間電極を挿入して 電圧上昇を図る⁽¹⁵⁾。
- (2) フープを楕円形⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ にして半径方向の電界 を緩和する。
- (3) 負イオン⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾ を正の高圧電極に向つて加速し、電極内で正イオンに変換してさらに大地に向って加速する、いわゆる二重加速と呼ばれる方法を採用する。

などの方法がすでに実用に供され、あるいは現在盛ん に研究されている。



第6図 日立 1.5 MeV VdG 外観図

3. 日立 1.5 MeV VdG の構造

3.1 本 体

今回製作したものは電子線照射を主目的とし、これに 便利な竪型とした。第6図はその外観を示し、主要な仕 様寸法は下記のようである。

加速電圧……1.5 MV

電圧安定度………±30 kV

加速電流······50 μA (電子)

電流安定度………± 1 μA

封入ガス……窒素 15 kg/cm²

高圧タンク……内径 1,060 mm

高さ 2,570 mm

高 圧 電 極………直径 560 mm

高さ 380 mm

絶縁支柱……高さ 1,250 mm

フープ段数……40段

加速電極……20個

ベ ル ト……幅 225 mm

速度約11 m/s

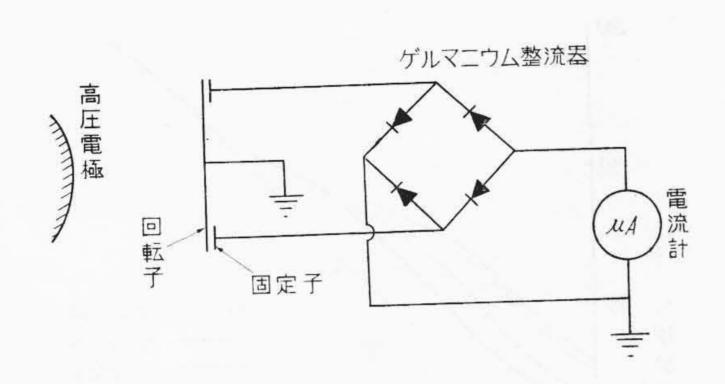
タンク上部には電圧制御および短絡電流測定用コロナポイントと,後述する回転電圧計とをとりつけてある。

フープは碍子と交互に積み重ねてあり、ベルト、ベルトフープ、分圧抵抗、加速管などを内蔵している。分圧抵抗については特に慎重に検討し、種々試作研究した結果十分安定に使用しうるものが得られ、本体製作当初から連続使用しているが劣化はほとんど認められない。

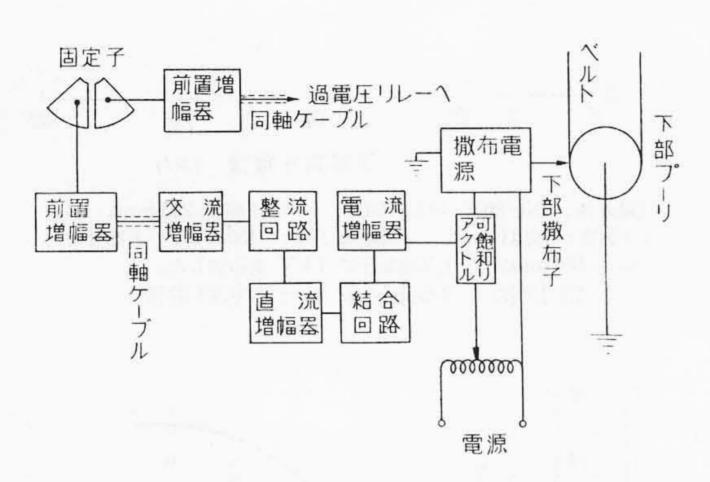
下部撒布子,上部蒐集子にはレコード針を用い,下部撒布電流による高電圧安定装置を使用する関係上単一撒布法を採用した。したがつて上部蒐集子は 15kg/cm^2 の窒素中でも,特に電圧を印加せずに十分作動するような構造としてある。ベルトはネオプレン木綿,天然ゴム絹など多数試作し,いずれも大気中での短絡電流 $65\sim95$ μ A を得ており,寿命試験の結果から優秀な性能のものを選択使用しているので,安定に連続運転することができる。なお J 字板を使用することにより,理論的短絡電流の 80%以上を得た。

加速管は特殊ガラスを接着して一体のものとし、分割はしていない。真空は加速管下部において 3×10^{-6} mmHg以下で、ビーム 20μ A をとつた場合でも 6×10^{-6} mmHg以下であつた。加速電極は、電極間絶縁物を十分遮蔽し、"Electron-loading"を少なくするよう慎重に検討して製作した。

3.2 制 御 系



第7図回転電圧計結線図



第8図 高電圧安定装置ブロック線図

る。固定子中6枚を整流回路を経て発生電圧測定用の電 圧計に接続し、1枚を発生電圧安定装置の検出回路に、 残り1枚を過電圧継電器に使用している。

固定子は回転子の回転に伴い、高圧電極に対し交互に 遮蔽、開放されるので、これに応じて高圧電極の電圧に 比例する充、放電電流をとり出すことができる。すなわ ちこの電流Iは次式のようにあらわされる。

I = nrcV

ここに n: 回転子の翼の数

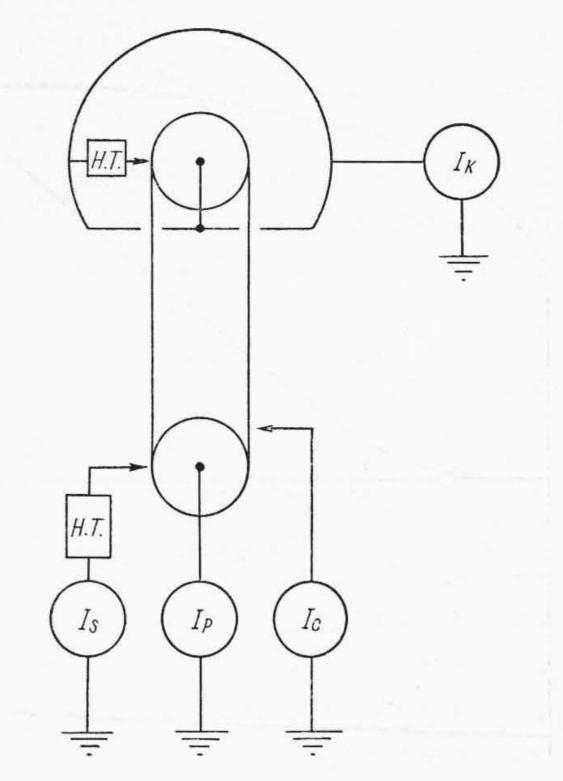
r: 回転子の回転数

c: 固定子と高圧電極の形成する静電容量

V: 高圧電極の電圧

この電流を整流して,適当な較正曲線より高圧電極の電 圧を測定し,あるいは制御,保護回路に利用することが できる。

今回使用した直読式の整流回路および電圧安定装置のブロック線図を第7,8図に示す。電圧安定装置は,第8回に示す増幅回路によつて適当に増幅した電流により可飽和リアクトルを制御する方式とした。すなわち高圧電極の電圧が上昇し過ぎたときは,リアクトル励磁電流が減少してリアクタンスが増加し撒布電圧が低下するので,高圧電極電圧が適正な値になるまで撒布電流を減少せしめることになり,電圧を安定させることができる。



本図は強制重複撒布法の場合の測定回路で, 単一撒布法の場合は 上部プーリを絶縁し, 上部蒐集子を直接高圧電極に結んだ。

I_K: 短絡電流 *I_C*: 下部蒐集子電流

Is: 下部撒布電流 *Ip*: 下部プーリ電流

第9図 短絡電流測定回路図

3.3 真空系

加速管排気ポンプは、トラップ付 1,500 l/s の油拡散 ポンプおよびこれに連なる 500 l/min の油回転ポンプを 用いた。このほか本体排気用油回転ポンプを備えている。

3.4 操作,保護装置

本体タンク内の制御調整装置は、タンク外より機械的に操作する部分はまつたくなく、コントロールモータなどによりすべて制御室より遠隔操作することができる。

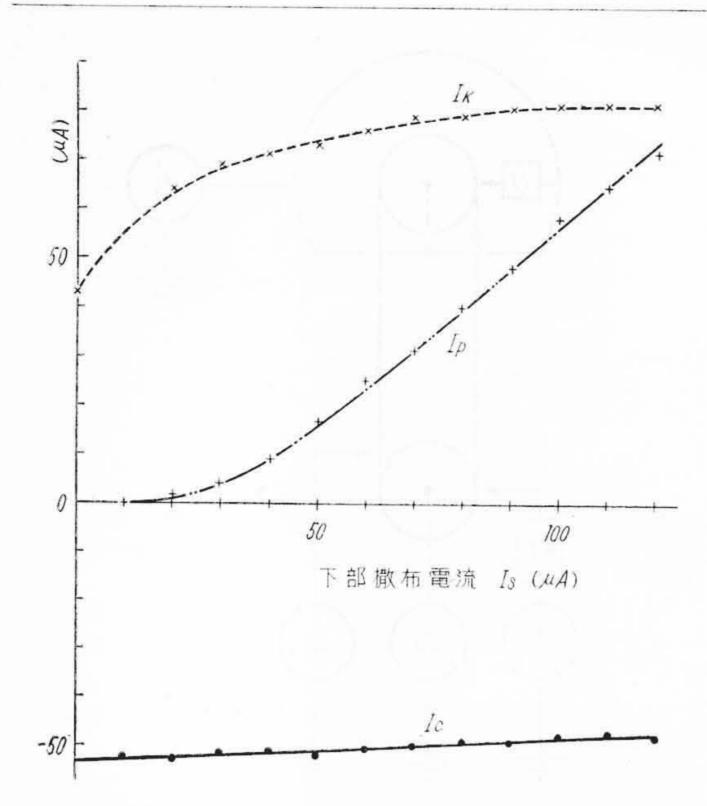
保護装置としては,高圧電極の過電圧継電器,撒布電流の過電流継電器,電源保護用過負荷継電器,加速管保護継電器,冷却水断水継電器などを使用し,各計器類にはすべてアレスターを付属せしめた。このほか,加速電極などの要所には適当なサージ防止装置を設けるなど,十分安全かつ安定な運転ができるように考慮してある。

4. 実 験 結 果

最初ベルトおよび絶縁支柱の振動試験を行うため、 17 m/s のベルト速度で運転し良好な結果を得た。

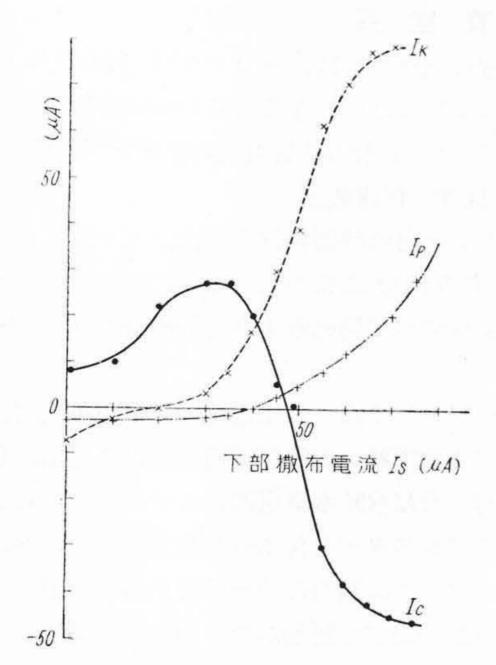
4.1 大気圧中での短絡試験

短絡電流測定回路は第9図に示されるとおりで、上部 蒐集子に7kVの電圧を印加したいわゆる強制重複撒布 法と下部撒布子にのみ電圧を印加した単一撒布法との比 較実験を行つた。この結果の一例を第10,11図に示す。 ベルトは羽二重四重天然ゴム製で、ベルト速度は11m/s



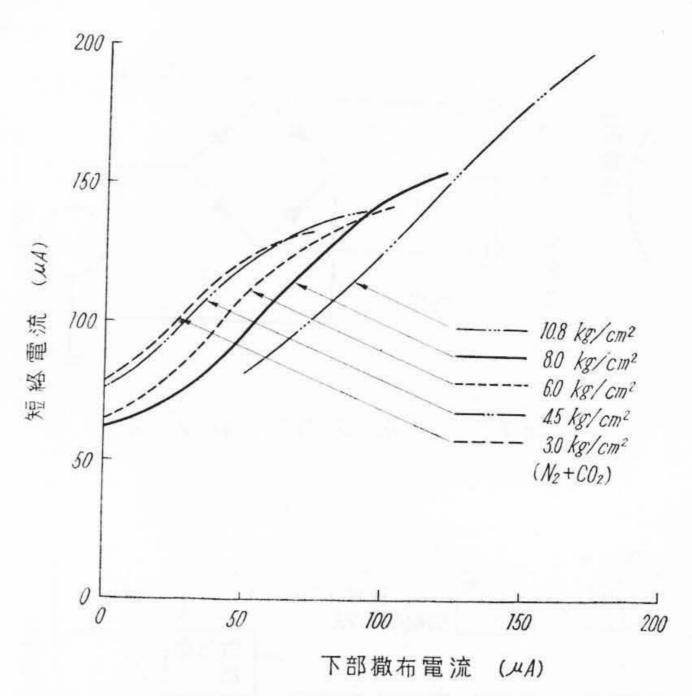
 I_K : 短絡電流, I_P : 下部プーリ電流, I_S : 下部撒布電流 I_C : 下部蒐集子電流,ベルト幅: 225 mm, ベルト速度: 約 11m/s,下部撒布子幅: 150mm,上部蒐集子幅: 180mm上部蒐集子電圧: 7kV

第10図 大気圧中における短絡電流測定の一例 (強制重複撒布法)

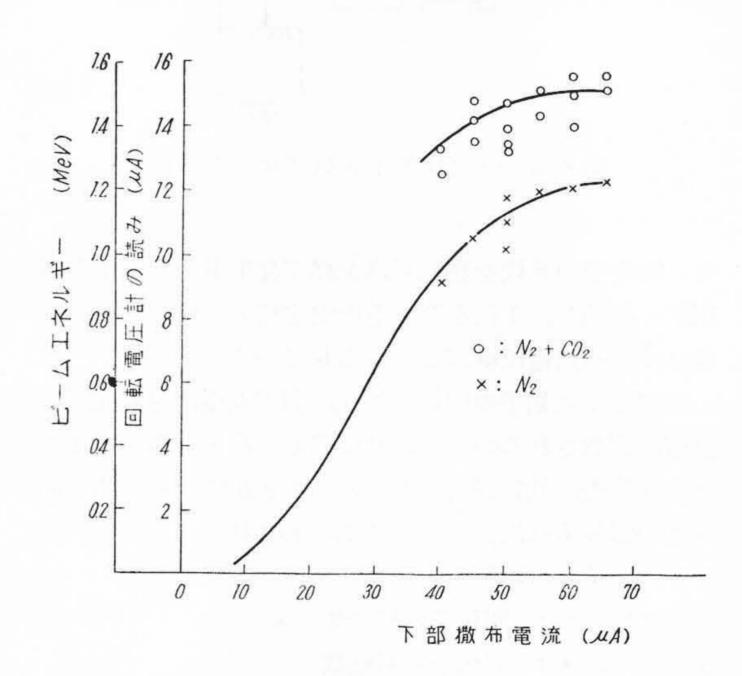


IK: 短絡電流, Is: 下部撒布電流, Ic: 下部蒐集子電流,IP: 下部プーリ電流,ベルト幅: 225 mm, ベルト速度: 約11m/s, 下部撒布子幅: 150mm, 上部蒐集子幅: 180mm第 11 図 大気圧中における短絡電流測定の一例(単 一 撒 布 法)

である。下部撒布子と上部蒐集子の幅はおのおの 150, 180 mm で, 下部プーリには J 字板を取り付けている。 第10, 11 図 の実験結果は強制重複撒布法, 単一撒布法のいずれの場合においても, 得られる短絡電流値は相等しいことを示している。



絶縁ガス: N₂(80%)+Co₂(20%), ベルト幅: 225 mm, ベルト速度: 約11 m/s, 下部撒布子幅: 150 mm, 上部蒐集子幅: 180 mm, で上部蒐集子に 7 kV を印加した。 第12 図 高気圧中における短絡電流

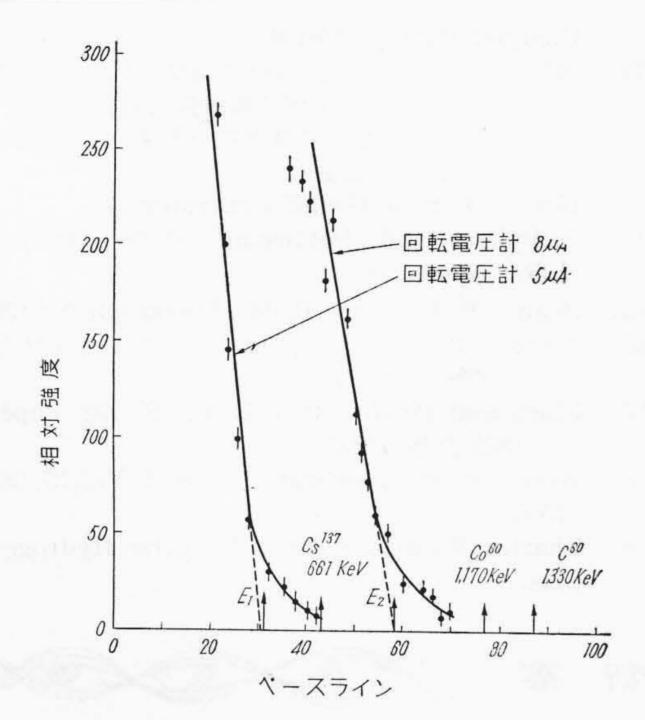


〇,×印はガス圧力 $13.5 \,\mathrm{kg/cm^2}$ の窒素ガスおよび窒素ガス(80%)炭酸ガス(20%) の混合ガス中で保護用火花ギャップの作動した電圧を示す。

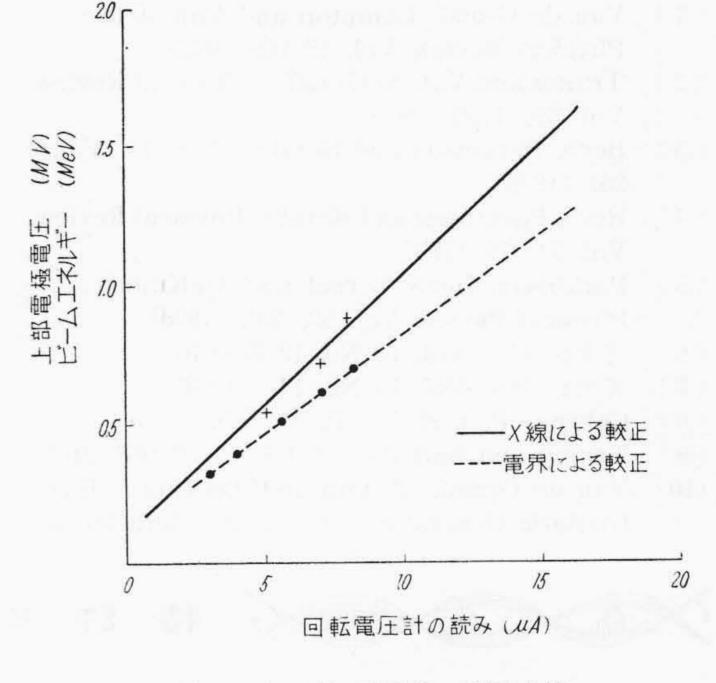
第13図 下部撒布電流と発生電圧の関係

4.2 高気圧中での短絡試験

測定条件は 4.1 で述べたものと同一で、撒布機構は強制重複撒布法を使用した。絶縁気体は窒素ガスに成分比で約 20%の炭酸ガスを混入したもので、10.8, 8, 6, 4.5, $3 \, \mathrm{kg/cm^2}$ のおのおのの圧力で実験を行つた。実験結果は $\mathbf{第12}$ 図に示されるとおりで、 $10.8 \, \mathrm{kg/cm^2}$ の圧力においては電流計の関係上 $200\mu\mathrm{A}$ までしか測定しなかつたが、実際の飽和短絡電流値はこれよりもさらに多いものと推定される。以上の実験結果よりしてベルト速



第14図 制動輻射によるX線スペクトラ



第15図 回転電圧計の較正曲線

度 20 m/s, ガス圧力 15 kg/cm^2 では十分 $500 \,\mu\text{A}$ 以上 の短絡電流を得ることが期待される。

4.3 高電圧試験

窒素ガス 13.5kg/cm² の圧力で、下部撒布電流と発生電圧の関係を求め、次に炭酸ガス 20%を混入し同じ圧力で同様の実験を行つた。実験結果は第13回のとおりで発生電圧は約25%上昇し、1.5 MV の電圧を得ている。この時ベルトおよび加速管にはなんらの異常も認められず、もつぱら電圧はフープ間に取り付けられた異常電圧保護用火花ギャップの作動でおさえられた。今後これを調整することによりさらに高い電圧を得るものと思われる。

4.4 回転電圧計の較正

電子加速用 VdG においては普通下記のような数種の 方法で回転電圧計の較正を行う。

- (1) 回転電圧計の表面電界を容易に計算または測定できる模型で実験を行い、表面電界と回転電圧計の読みとの関係を求め、これを実際の場合に外挿する。
- (2) 定エネルギーの電子線でX線用ターゲットを照 射し、制動輻射による硬X線の最高エネルギーを波高 分析器で測定する。
- (3) 制動輻射によるX線で核反応を起させ、これによりX線の最高エネルギーを求める。
- (4) 一様磁場内に電子線を入れ、これをまげることにより電子線のエネルギーを求める。

などの方法であるが、(1)の方法では電圧計の表面電界を十分に解明することができず、常に $\pm 10\%$ 程度の誤差が入るので、単に発生電圧を推定する程度に留る。

(2)~(4) の方法はエネルギーの絶対測定であるので、この方法を多数回くり返し行えば $\pm 1\%$ 程度の誤差で較正曲線を求めることができる。

われわれは(1)の方法で大略の電圧を推定し,(2)の方法で電子線のエネルギーを測定した。 X線用ターゲットとしてはモリブデン板を使用し,硬X線のエネルギー測定にはシングルチャンネルの波高分析器を使用した。ベースラインの較正には放射性同位元素 Cs^{137} の 661 KeV, Co^{60} の 1,170 KeV,1,330 KeV の γ 線を使用した。発生電圧は回転電圧計で $8\,\mu\text{A}$ と $5\,\mu\text{A}$ のところで一定に保ち実験を行つた。実験結果を示せば第 14 図のとおりで,両曲線の直線部分を延長してベースラインとの交叉点を求め,これを発生電圧とした。このようにして得られた較正曲線を 第 15 図 に示す。

4.5 負荷試験

電子線は厚さ 60μ のアルミ箔を透して空気中に取り出され、ガス圧力 $10\sim15\,\mathrm{kg/cm^2}$ 、電圧 $1.2\mathrm{MV}$ 、電流 $20\,\mu\mathrm{A}$ で照射実験を行つている。電子線直径は電子銃のバイアス、静電レンズの電圧を調整することにより $2\sim15\,\mathrm{mm}$ の間任意に調整することができる。

5. 結 言

本装置は、日立電線株式会社、日立製作所中央研究所、日立研究所、国分工場の協力によつて完成されたもので、すでに基礎的な試験、調整を完了し盛んに照射研究を行っている。今後は予想される VdG の活発な需要に備え、照射研究担当者と協同してさらに実用機の性能向上に資すべくいつそうの努力を続ける所存である。

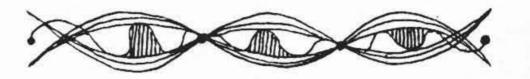
参考文献

- (1) Van de Graaff, Compton and Van Atta: Physical Review Vol. 43 149 (1933)
- (2) Trump and Van de Graaff: Physical Review Vol. 55, 1160 (1939)
- (3) Herb, Parkinson and Kerst: R. S. I. Vol. 6 261 (1935)
- (4) Herb, Parkinson and Kerst: Physical Review Vol. 51, 75 (1937)
- (5) Parkinson, Herb, Bernet and MaKibben: Physical Review Vol. 53, 642 (1938)
- (6) 青木: 科学 Vol, 10 No. 13 昭和16
- (7) 青木: 科学 Vol. 10 No. 14 昭和 16
- (8) Cohen: P. I. E. E. P. 56 Feb. (1956)
- (9) Trump and Andrias: A. I. E. E. P. 986(1941)
- (10) Van de Graaff, Trump and Buecher: Electrostatic Generator for The Acceleration of

Charged Particle PSPR

- (11) 水野: ベルト起電機の特性に関する研究 (その 一,二,三)九州大学理学部報告 (昭和 24)
- (12) 水野: 静電場を数値計算する一方法 九州大学 理学部報告(昭和 24-4)
- (13) Herb: Van de Graaff Generator
- (14) Lamphere and Robinson: P. 28 October (1952) Nucleconies
- (15) Boag: P. I. E. E. P. 63 Monograph No. 63
- (16) 水野: 改良式ベルト起電機について 九州大学 理学部報告(昭和 24)
- (17) Chick and Petrie: P. I. E. E. P. 132 Paper No. 1869 July (1955)
- (18) Weinman and Cameron: R. S. I. Vol. 27, 288 (1956)
- (19) Charles Whittier: Fast Negative Hydrogen Ions.

特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その3)

(第11頁より続く)

区別	登録番号	名	称	工場別	氏	名	登録年月日
実用新案	475962	車 輌 制	動機	笠戸工場	大 橋 島	義 雄 幸 男	33. 4.22
"	475964	台 車 心	皿 装 置	笠戸工場	村 田小 橋	師 男正 人	"
	475915	可焼リンク	チェーン		渋 谷 亀 井	英 寅 茂 樹	"
"	475927	グランドパッキ	ング締付装置	亀 有 工 場	山 内小野寺	章 正正 昭	"
"	475929	コンベヤトラ	フ 連 結 装 置	亀 有 工 場	亀 井 飛知和	茂 樹	"
"	475932	竪軸ポンプ用ラジアル 装置	, スラスト兼用軸受	亀 有 工 場	寺 田大 貫	康 志	"
"	475939	ボギー台車の	車体取付装置	亀 有 工 場	沖	稻 住	"
"	475940	コンクリー	トバケット	亀 有 工 場	松 崎富 田	直 忠 男	"
"	475952	走行クレーンの巻上お	おび走行制限装置	亀 有 工 場	鈴 木石 山	実実	"
"	475954	多索巻上装置におけ	る鋼索保護装置	亀 有 工 場	井 上	啓	"/
"	475959	フ ッ ク	装置	亀有工場	上川	時二郎	"
<i>"</i>	475960	パワショベル系掘削機 メント	のクレーンアタッチ	亀有工場	安河内	春 雄	"
"	475916	リミットスイッ	チの減速装置	多賀工場	横 内河 村	直 中三郎	"
"	475917	ホイスト用上下限リ	ミットスイッチ	多賀工場	河村	三郎	"
"	475918	ホイスト集電	子 抜 止 装 置	多賀工場	杉 山河 村	避 三 郎	"
//	475919	コンデンサ	取 付 装 置	多賀工場	小祝	孝夫	"
"	475924	電 機 固 定 子 鉄	心締付金具	多賀工場	古 市	光 之	"
"	475925	制御開	閉 装 置	多賀工場	河井	陽一	"
"	475947		置の安全装置	多賀工場	横江	邦 治	"
"	475948	ネジ型ホ	イスト	多賀工場	横内	直中	"
"	475955	ホーイ	スト	多賀工場	横 内古 市	直 中 光 之	"
"	475956	ホ イ	スト	多賀工場	横内	直中	"
				750 2.52	古 市	光之	