

特 集 論 文

S型電子線照射装置

S type Electron beam Processing System

杉 田 達 信*

M. Sugita

今 西 友 晴*

T. Imanishi

島 岡 義 治*

Y. Shimaoka

濱 野 勝*

M. Hamano

概 要

電子線照射装置は大規模工業設備として様々な分野で利用されているが、近年生産現場への設置が容易になる小型装置が要望されている。このニーズにこたえ、構成要素の最適化により小型化を実現したS型電子線照射装置を開発したので以下に紹介する。

Synopsis

Electron beam Processing System (EPS) has been utilized as a main equipment in the large industrial production among various fields. However, recent requirement urges us to develop a compact EPS for easier introduction to production field. The introduced below is a compact S type EPS, which we have developed to meet the above requirement.

1. はじめに

電子線照射装置は高分子材料の架橋、重合等の反応による材料改質を目的とした幅広い分野で使用されてきた。工業利用が進み、大量の製品を経済的かつ安定に生産するため、装置の高出力化、安定化が図られ、現在当社では加速電圧150kV～5MV、電子流最大500mAの電子線照射装置をラインアップしている。さらに最近では生産効率向上のために生産ラインがコンパクトになる傾向にあり、更なる装置の小型化が切望されている。

一般に電子線照射装置は、電子加速部、直流高圧電源部、真空排気部、電子走査・照射部、遮蔽体部、搬送装置部、制御装置部等の機器から構成されている。(図1 EPS構成図参照) これらの構成機器の中で、直流高圧電源部は搬送方法等に依存せず当社にて小型化が可能であり、装置全体サイズの小型化にも大きく寄与する。そこで、直流高圧電源の小型化をねらい、S型の昇圧回路

方式を採用するとともに、構成要素の最適化により、装置サイズを著しく小さくすることができた。その詳細を以下にまとめ報告する。

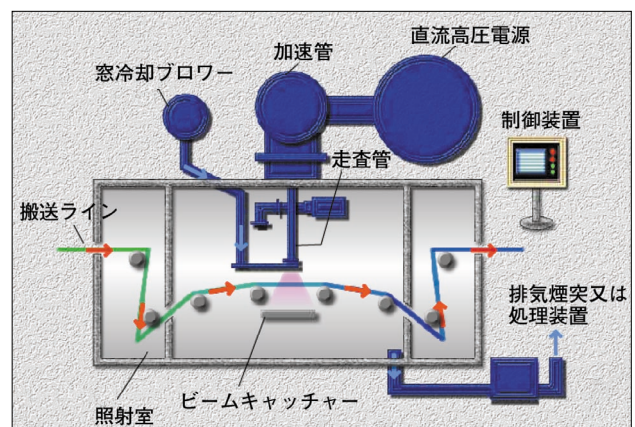


図1 EPS構成図

*(株)NHVコーポレーション

2. S型電子線照射装置

従来の直流高圧電源に使用されている昇圧回路としては、コッククロフト・ウォルトン回路または変圧器整流回路がある。前者は、コンデンサ素子と整流器をカスケードに積み重ねた回路構成となるが、超高電圧電源ではバランス型にする必要がありサイズが大きくなる。後者は、比較的電圧で利用されることが多い。共に直列に電圧を積み上げる直列充電方式であり、多段に積み上げた時には電源全体が大型化する傾向にある。小型化のためには、周波数を大きくしたり、コンデンサを小さくすることが効果的であるが、様々な比較検討の結果、コンデンサ素子を使用しないで、空間の浮遊容量を利用した並列充電方式を用いた電子線照射装置用S型直流高圧電源を開発したので、以下に紹介する。

2.1 設計方針

装置の小型化を図るため、以下のような設計方針で、1.5MV 100mAのS型電子線照射装置を試作した。

- (1) コンデンサ素子を使用しない並列充電方式であるS型直流高圧電源を採用し、直流高圧電源部と加速装置部を同一圧力容器内に収納して装置全体を小型化する。
- (2) コンデンサとして電極間の浮遊容量を使用し、電界強度を大きく設計することで、電極間浮遊容量を確保すると共に、装置を小型化する。
- (3) 発振器には、LC自動発振を使用することで、発振回路の簡素化を行なうと共に、高効率となるように調整できる機能を設ける。
- (4) RFトランスには、放電時の過渡現象により損傷することがないように、保護ギャップを備える。

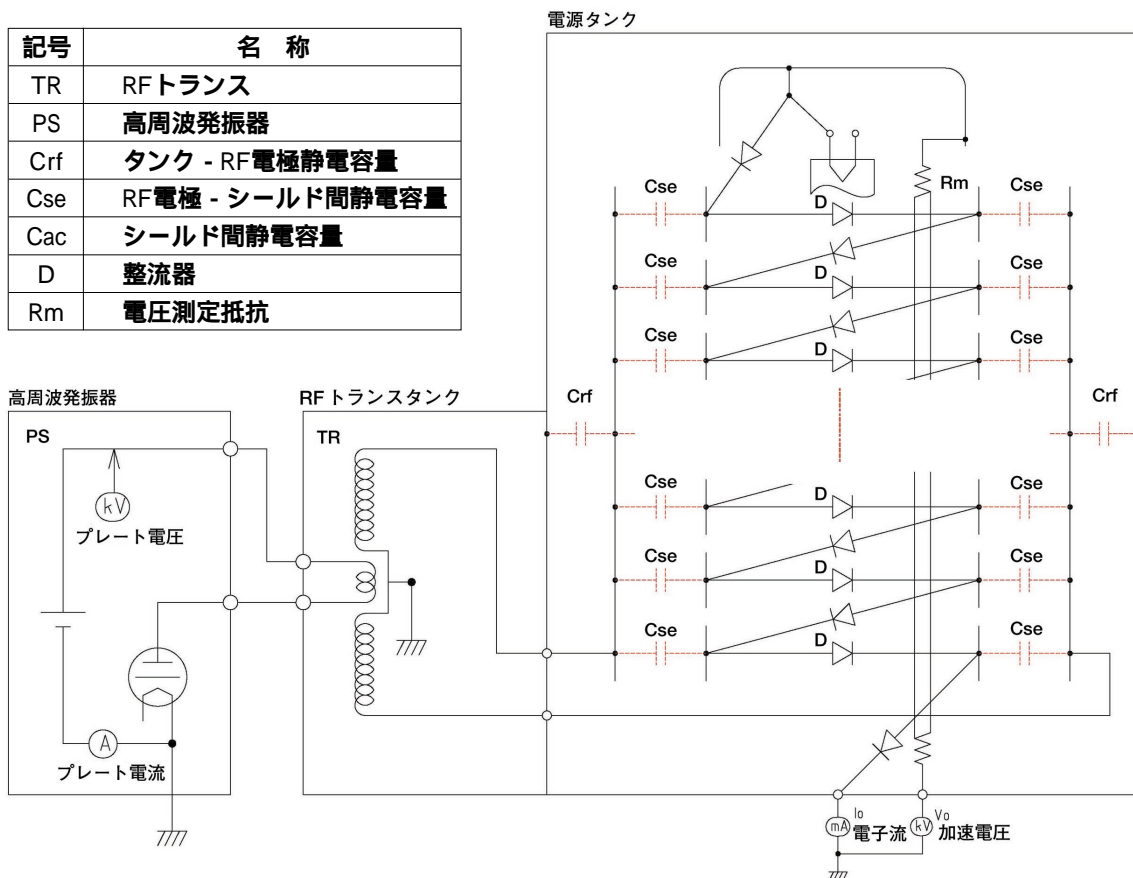


図2 S型直流高圧電源回路図

2.2 S型電源回路

1.5MV S型直流高圧電源の回路を図2に示す。高周波発振器には直流高圧電源、真空管、フィラメント点灯回路、真空管水冷装置を内蔵している。整流回路にはチョーク入力方式を採用しており、リップルを小さく抑えている。RFトランスは1次、2次共に空芯コイルからなり、高周波による表皮効果の影響を小さくするため特殊電線を使用している。RFコイルとRF電極を利用したLC自励発振を利用して、RF電極に高周波高電圧を発生させ、シールド電極間にC分圧により高電圧を発生させている。

2.3 S型電源の設計

2.3.1 S型電極形状

小型化のためには、耐電圧を低下させることなく、より小さいシールド電極で、より大きな電極間浮遊静電容量を確保することが必要である。シールド電極形状を決定するためには、電極電界強度の計算は3次元電界シミュレーションが有効である。3次元電界シミュレーションを繰り返し、最適化を行った。

2.3.2 シールド電極間浮遊静電容量

シールド電極間浮遊静電容量をコンデンサとして使用するため、この静電容量を正確に算出することが必要である。また、数pF単位の精度が必要なため、

主な構成物(圧力容器、各電極、整流器、絶縁支柱、加速管)全ての静電容量を考慮する必要がある。そこで、3次元電界計算を利用して、各電極に誘導される電荷を集計し、容量係数、静電容量係数から全電極間浮遊静電容量を算出した。

2.3.3 各種電源特性の評価

2.3.2で算出した全電極間浮遊静電容量を使用して、回路シミュレーションにて計算した。

各段の浮遊容量の差により発生電圧が異なり、整流器耐圧を超えることなく昇圧段数を決定することが可能である。また、リップル電圧、電圧降下率、共振周波数、充電速度、放電時過渡現象の検討も可能な計算モデルを確立した。計算結果を図3に示す。

2.3.4 発振回路の選択

他励発振と自励発振回路が考えられるが、負荷変動時の周波数追従や価格面から、自励発振回路を選択した。真空管グリッド制御回路には、真空管特性に合わせて調整できるように定数が安易に変更できる素子構成とした。自励発振回路を図4に示す。

2.3.5 RFトランスの高耐電圧化

RFトランスはRF電極のLC共振を使用してピーク電圧400kVを発生している。また、電源放電時には過大なサージ電圧が印加され、過渡的な内部振動によりレアショートが起こりやすい。今回製作したRFトランスは、レア間に空間絶縁を取り入れ構造的に耐電圧性を向上させている。

2.4 性能及び諸特性

性能検証試験より得られた特性を以下に示す。

2.4.1 加速電圧、電子流

- ・過電圧印加試験：1.65MV-4時間(定格1.5MV×1.1倍)
- ・定格発生試験：1.5MV-100mA-4時間
- ・長時間運転試験：1.5MV-80mA-72時間

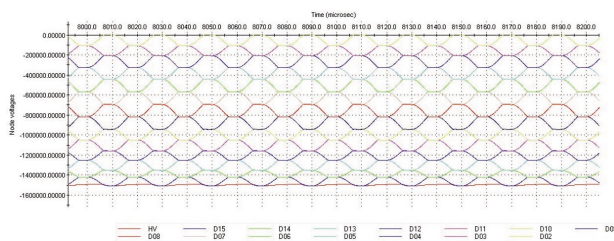
性能試験として長時間運転試験を実施して、異常のないことを確認した

加速電圧、電子流の平坦度は±2%以内になっている。連続運転結果を図5に示す。

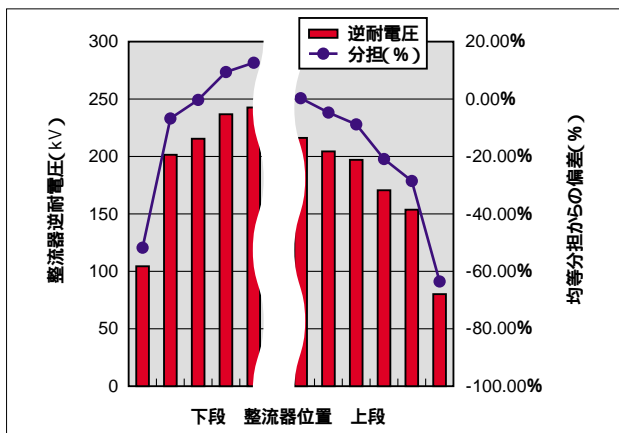
2.4.2 効率

定格1.5MVでの効率測定結果を図6に示す。

電源効率とは、真空管を含めた発振器からみた電力効率で76%以上となっており、C級アンプ動作させていることを考慮すると理論値に近い。全体効率とは、発振器受電から見た電力効率であり63%となっている。本試作機においては、直流電源部のダミーロード分を含む値であり、今後これらの最適化を



(シールド電位)



(整流器電圧)

図3 回路シミュレーション結果

図ることである。更なる全体効率アップを行うことが可能である。

2.4.3 装置サイズ

3Dモデル、試作機の外形を図7に示す。

従来コッククロフト・ウォルトン型1.5MV器と比較して、体積比1/3、設置面積比1/5を実現した。

3.まとめ

装置サイズの小型化のため、S型直流高圧電源を採用した。構成要素を最適化設計し、1.5MV試作機では従来に比べ体積比1/3、設置面積比1/5を実現した。また、試作機を加速器に組み込み、長時間連続運転等の必要な性能検査を行い、良好な結果を得た。

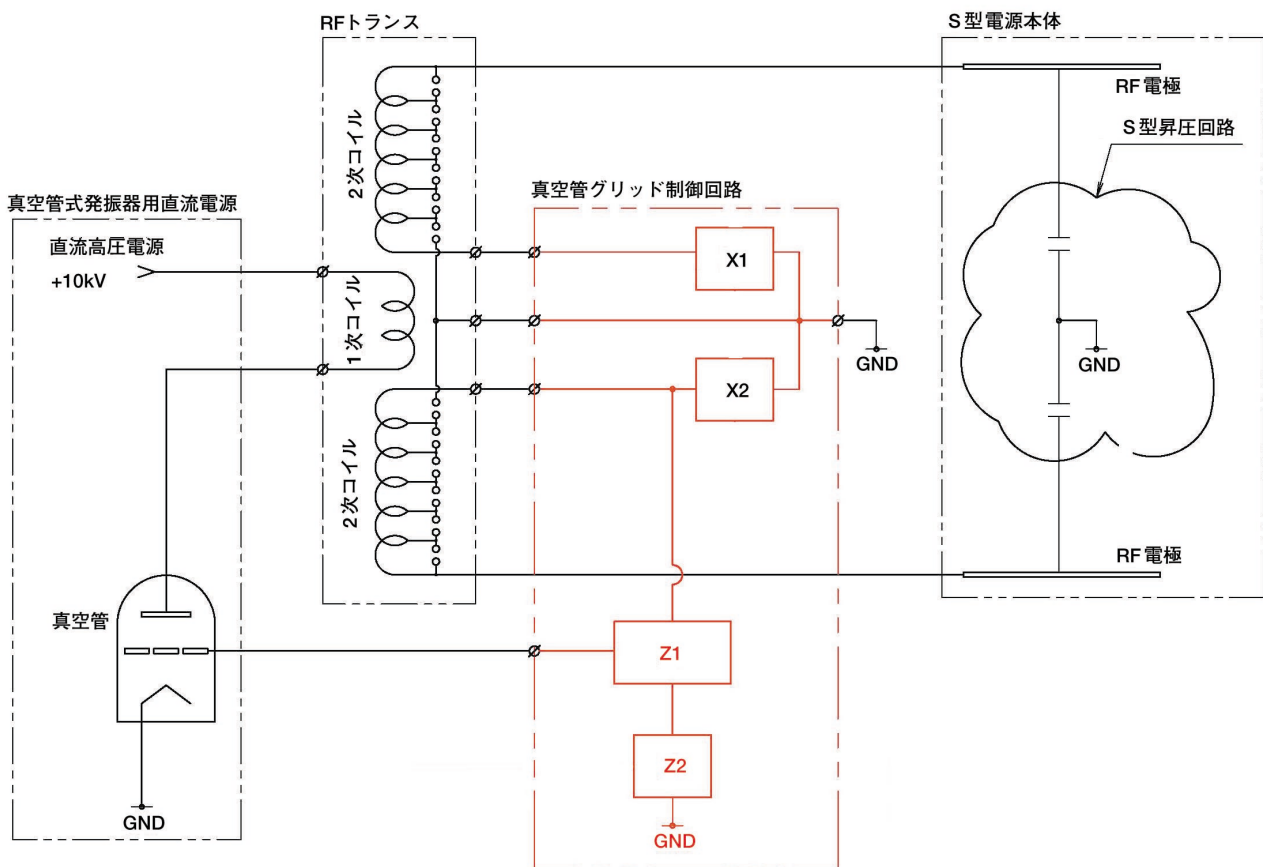


図4 自励発振回路

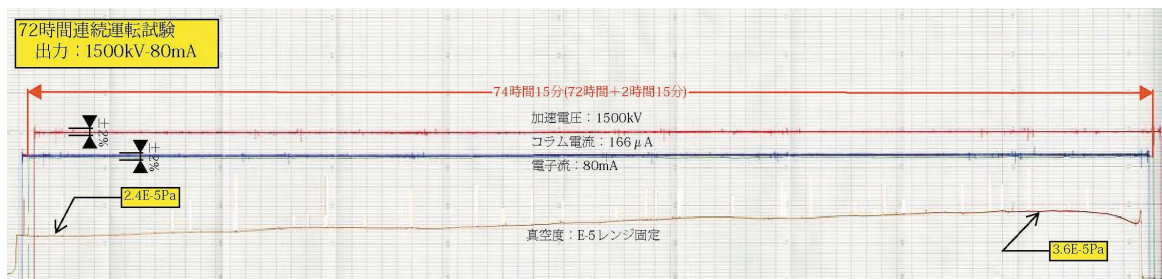


図5 72時間連続運転試験結果

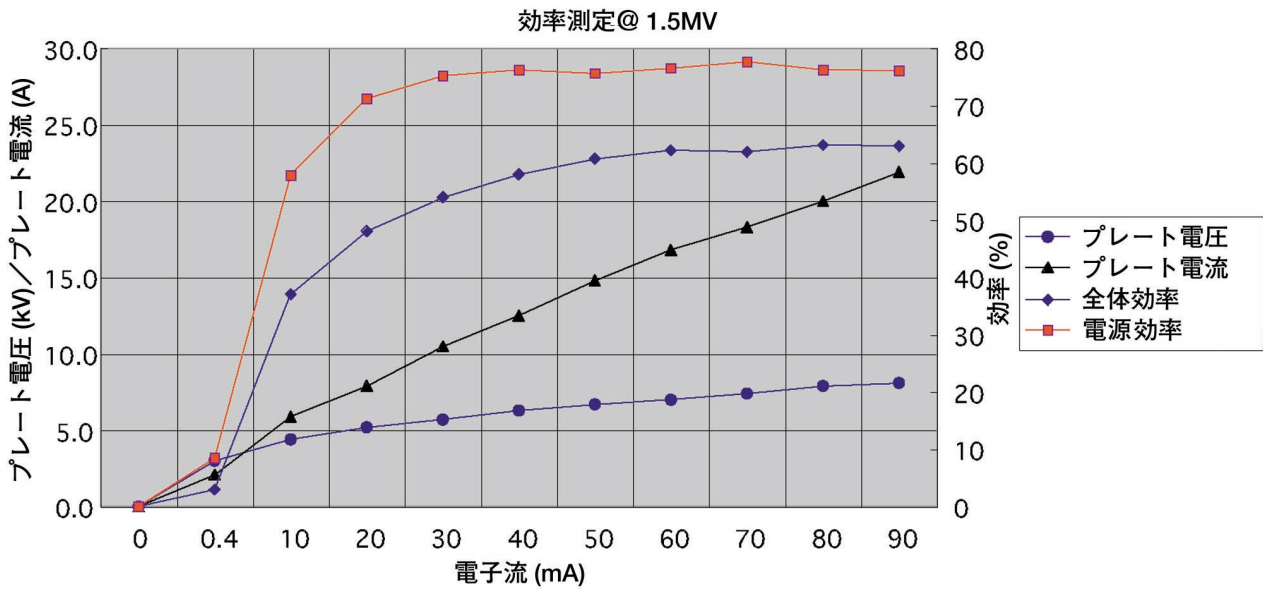


図6 効率測定結果

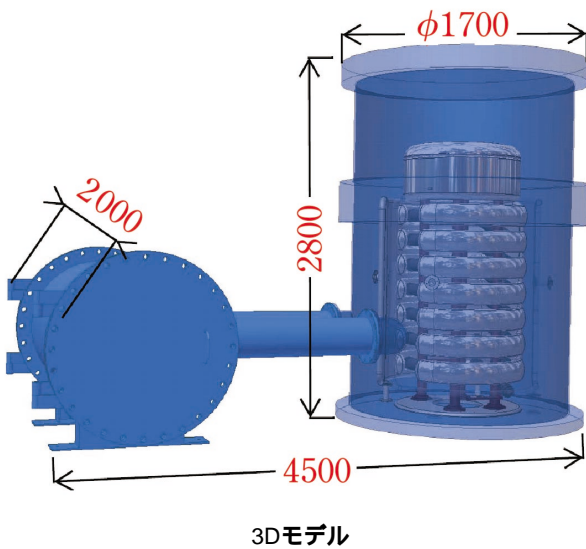


図7 3Dモデル・試作機外形

4. 謝辞

今回のS型電子線照射装置の開発に当たっては、その基本検討時から、日新電機株式会社の高電圧技術の諸先輩からご支援、ご助言をいただきましたことを感謝いたします。

参考文献

- (1) 松原克夫：電子線照射装置用直流高圧電源への共振型空芯トランスの適用

執筆者紹介



杉田達信 Michinobu Sugita
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
開発部 主任



島岡義治 Yoshiharu Shimaoka
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部 グループ長



今西友晴 Tomoharu Imanishi
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
開発部



濱野 勝 Masaru Hamano
(株)NHVコーポレーション
執行役員