

特 集 論 文**電子線照射装置の歴史と取り組み**

History and our challenge of Electron beam Processing System (EPS)

宇都宮 伸 宏*

N. Utsunomiya

矢 田 洋 三*

Y. Yada

水 谷 睦*

A. Mizutani

概 要

当社の電子線照射装置の開発は50年前に日新電機株式会社からスタートし、この技術は、日新ハイボルテージ株式会社、株式会社NHVコーポレーションと受け継がれてきた。これまでの電子線照射装置に対する取り組みと今後の技術について展望する。

Synopsis

Nissin Electric started development work of Electron Beam Processing System (EPS) about 50 years ago and the technology has been transferred to Nissin-High Voltage and then NHV Corporation. This report will introduce the history of EPS and discuss the trend of the EPS technologies in the future.

1. はじめに

電子線照射装置（EPS：Electron beam Processing System）が工業利用され始めてから、約50年が経過した。日本では1957年に日新電機株式会社（以下「日新電機」）において最初にEPSの開発が行われ、その後、1970年に株式会社NHVコーポレーションの前身である日新ハイボルテージ株式会社（以下「日新ハイボルテージ」）が設立され、専門メーカーとして種々の装置を開発し、現在まで300台を越えるEPSが納入された。この間、生産台数と共に利用分野も広く拡大してきている。

電子線の工業用利用分野の代表的なものに、電線の耐熱性向上があり、自動車用や家電内の機器電線として幅広く利用されている。この他に自動車の内装材等に使用される発泡ポリエチレンに電子線を用いた架橋技術が用

いられ、タイヤの製造工程では材料低減（軽量化）と品質安定の目的で利用されている。さらに、医療用具の殺菌処理では、有毒ガスの排出に対して規制強化される動きもあり、また、従来のCo60放射線源を使った放射線殺菌では、取り扱いの難しさもあり、それに変わる電子線殺菌法が注目されている。

当社では、お客様にご満足頂ける装置を製作し、新たな分野で利用される装置を開発することにより、社会に役立ちたいと考えている。本稿では、これまでの歴史を振り返ると共に開発・改良の取り組みについて述べる。

2. EPSの歴史

2.1 加速器の誕生

放射線の研究は、1895年にレントゲンが陰極線を研究中、偶然にX線を発見したことより始まる。1896年

*(株)NHVコーポレーション

ベクレルがウラン化合物から放出される放射線をベクレル線と名付け、その後ベクレル線はα線・β線・γ線の3種類であることがわかった。さらにα線はヘリウムの原子核であり、β線は電子線でγ線はX線と同等であることが明らかとなった。1898年にはキュリー夫妻がウランを含む鉱石からラジウム等を見出し、その後放射線は医学・理学で応用研究が拡大していった。

応用研究がはじまった当初は放射線源として放射性同位元素（ウラン等）を用い、これより発生する放射線を利用していた。放射性同位元素は放射線が時間と共に減衰していく事や、放射線を止める手段が大掛かりになる為、人工的に放射線を発生する装置の要求が強くなり、1932年にコッククロフトとワルトンが約500kVの直流電圧を発生させこの電圧で陽子（水素のプラスイオン）を加速しリチウムに当てることによって、人類で初めて人工的に原子核を変換（人工的に元素を別の元素に変換）することに成功し大いに注目を集めた。これが人類初の加速器である。この後、高電圧を発生させイオンを加速することで原子核実験が行われるようになり、またコッククロフト・ワルトン型や昇圧方式が異なるバンデグラフ型加速器が製作され、この後サイクロトロン、線形加速器（リニアック）などが考案されるなど加速器の研究開発が始まった。

2.2 EPSの工業利用

1952年にチャールスピーによりポリエチレンの放射線架橋が発見されて以来、これを利用して放射線による架橋分野の研究が活発となり、1961年には日本でもEPSを利用したポリエチレン架橋電線やテープの生産が開始された。1960年代に入ってから日本・米国を中心に工業利用の普及速度が増し、日新電機が開発したNS形、General Electric（以下「GE」）社が開発した共振変圧器形、High Voltage Engineering（以下「HVE」）社が開発した絶縁鉄心変圧器形、その他コッククロフト・ワルトン型など様々なEPSが製作された。

1968年ごろから、塗膜の硬化用として低電圧・大電流（300kV 30～100mA）の装置が日新電機、松下電器産業株式会社、三菱電機株式会社などで開発されパイロットプラントに設置された。

2.3 当社のEPS

日新電機では1957年からEPSの開発を着手し、コッククロフト・ワルトン型の変形であるNS形EPS（1.2MV 3mA）が製作され、これが日本初の工業用EPSとなった。また1968年には塗膜の硬化用として300kV 30mAの低電圧・大電流装置を開発し“キュアトロン”と名付けた。加速された電子が被照射物等に衝突する

と制動X線が2次的に発生する。これを遮蔽する為にはコンクリートが用いられてきたが、このキュアトロンは遮蔽を鉄と鉛を用いて行い、装置単体で遮蔽するいわゆる自己シールドEPSである。コンパクトであり当時では大変画期的なものであった。

1970年に日新電機と米国のHVE社の合併によって当社の前身である日新ハイボルテージが設立され、本格的にEPS事業へ乗り出した。

2003年には日新ハイボルテージ及び照射受託サービス専門会社の日新エレクトロニクス株式会社を統合し、「株式会社NHVコーポレーション」を設立。総合力をより高め、さらなる事業拡大発展をはかった。

当社は現在まで300台以上を製作し世界の国々に納入してきた。図1に当社のEPS累計納入台数の推移を示す。お客様のご要望・用途に応じて150KV～5MVまでの加速電圧と最大電子流500mAのEPSをラインナップしている。

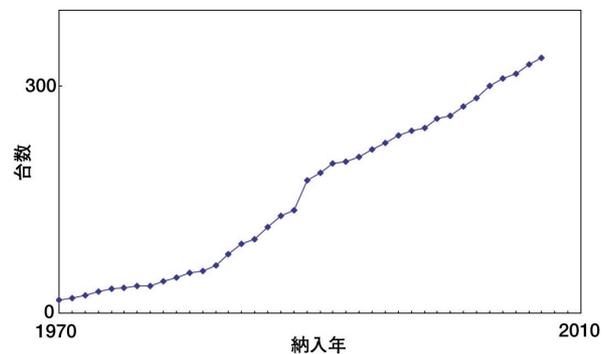


図1 EPSの累計納入台数の推移

3. EPSのしくみ

3.1 EPSの装置構成

EPSは高電圧技術、ビーム光学、真空技術、制御技術、および放射線遮蔽技術の複合技術から成り立っており一般的には下記のような部位より構成される。

- (1) 電子加速部
- (2) 直流高圧電源部
- (3) 真空排気部
- (4) 電子走査・照射部
- (5) 制御装置部
- (6) 遮蔽体部
- (7) 搬送装置部

現在、当社のEPSは電子の加速システムの違いにより走査型とエリアビーム型の2つに分類される。

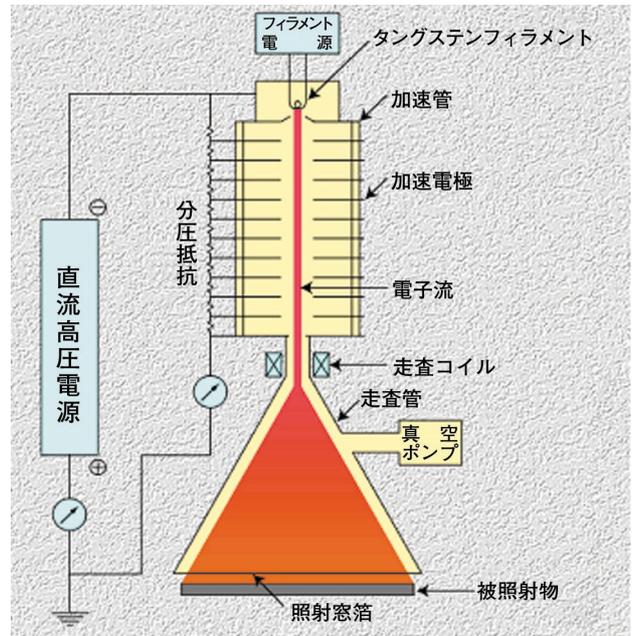
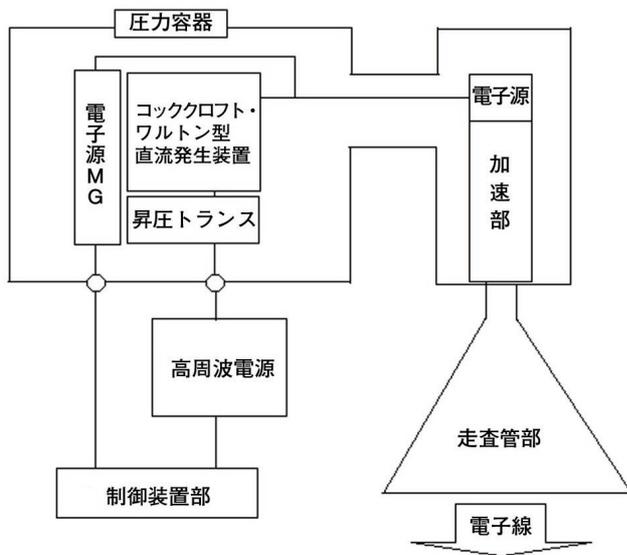


図2 EPSの構成 (走査型)

3.2 走査型EPSの構成

図2に走査型EPS装置構成図を示す。

走査型EPSの特徴は真空中でフィラメントから発生したスポット状の電子を加速部（加速管）によって加速し、その後走査コイルによって電子を走査し、必要な幅に拡げて被照射物に照射する。電子を走査することから走査型とよんでいる。

直流電源部にはコッククロフト・ワルトン型直流発生装置を用いている。図3に走査型EPSの概観を示す。

3.3 エリアビーム型EPSの構成

図4にエリアビーム型EPS装置構成図を示す。

エリアビーム型EPSの特徴は必要照射幅に応じてフィラメントを複数本並列に配置し、真空中で電子を加速する。電子を走査する事無くエリア状の電子を加速し照射する事からエリアビーム型とよんでいる。装置がコンパクトにできるメリットがあるが、300kVを超える加速電圧は真空絶縁の特性上難しいとされており、300kV以下の装置に用いられている。

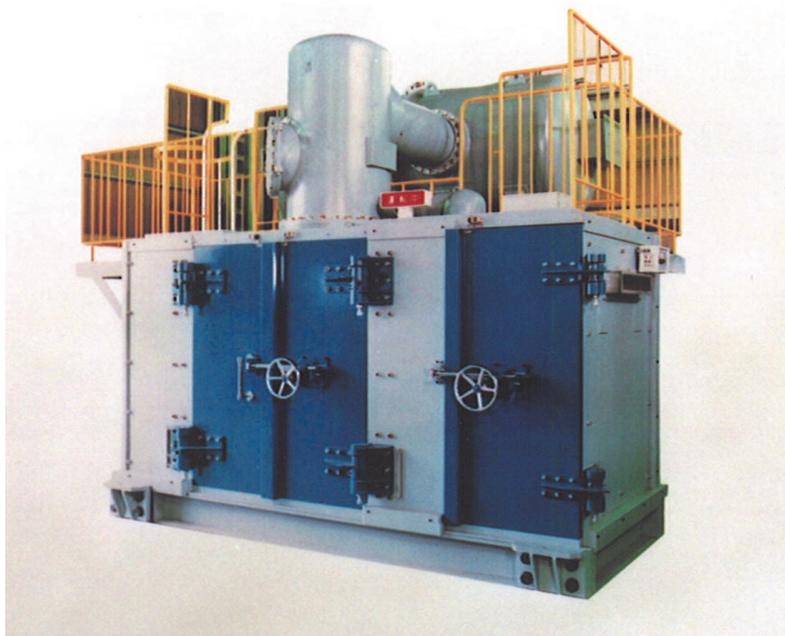


図3 走査型EPS概観

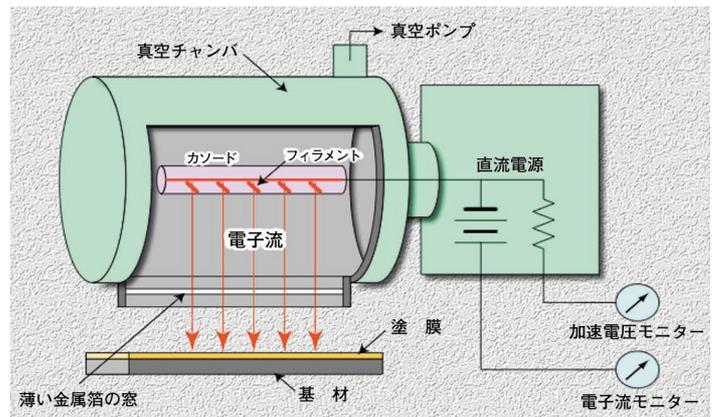
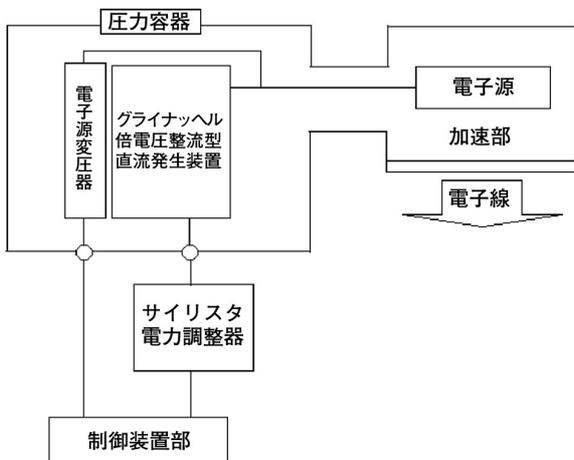


図4 EPSの構成（エアビーム型）

直流電源部にはグライナッヘル倍電圧整流型直流発生装置等を用いている。図5にエアビーム型EPSの概観を示す。

4. EPSの開発・改良

4.1 直流高圧電源部の開発・改良

直流高圧電源を設計する上で重要な項目に絶縁がある。1957年、設計されたNS形EPSは、空間絶縁を空気で行っていた。空気で絶縁すると大きな絶縁距離が

必要で装置は大きくなり、また天候（湿度）の影響を受けるなどの欠点がある。その後、1969年に日新電機が油入り変圧器技術を活かし、グライナッヘル倍電圧整流回路を油絶縁した直流電源を開発した。この電源により加速器の大出力化が可能になり、高電圧・大電流EPSの普及を加速させ、多くのEPSが工業利用目的で設置された。油入り直流高電圧電源は故障時に容易に修理する事が難しく、これに替わる電源として1985年頃より絶縁に六フッ化硫黄（SF6）を用い、コック



図5 エリアビーム型EPS概観（株式会社東京セロレーベル様納入）

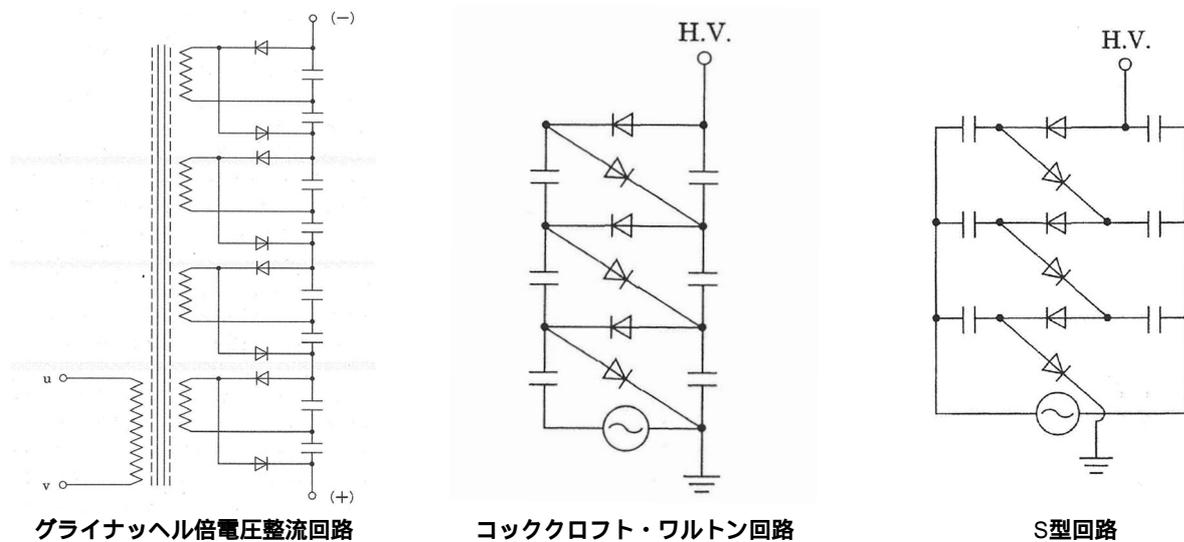


図6 昇圧回路の違い

クロフト・ワルトン型電源を開発した。この電源により信頼性・保守性の向上を図る事ができ、EPS事業を海外に広く展開する基礎となっている。

絶縁方式変更に従って、NS形 油入りグライナッヘル倍電圧整流回路 コッククロフト・ワルトン回路と昇圧方式も変遷してきている。さらに近年、S型電源を採用したEPSを開発した。これは、イオンビーム加速器で培った技術を基にEPS用に高出力（1500kV 100mA）化したものである。

S型電源の特徴は、回路上のコンデンサを電極間の浮遊容量を利用しており、回路構成部品を少なくする事により小型化できる利点がある。

コッククロフト・ワルトン型昇圧回路で発生できる電圧も高くなってきており、3MVは1980年、5MVは1991年に達成した。

一方、エリアビーム型EPS電源も、1983年開発当時の出力は200kV 20mAであったが現在はSF6で絶縁したグライナッヘル倍電圧整流回路の電源で300kV 500mAまでの出力を発生する事が可能となった。

4.2 制御システムの改良

電子機器の進歩に合わせ、電子線照射装置の制御システムも改良を行ってきた。エリアビーム型では、高速な搬送ラインに対応する為、電子線の出力制御方式の改良を行った。海外顧客の増加に合わせ、アフターサービスを充実させるべく、通信回線を利用して制御プログラムメンテナンスが行えるよう制御装置に通信機能を持たせている。さらに、遠隔地の装置状態を監視できるシステムも開発中である。

5. 将来展望

当社ではEPSの工業利用の拡大に対応し、様々なEPSを開発・製造してきた。これからどのような用途にEPSが期待されるかを展望する。

低エネルギー装置（～300kV）は、塗料や樹脂の硬化を中心に発展してきており、このエネルギーではエリアビーム型がほぼ採用されている。新しい用途として、食品容器の殺菌・滅菌市場が広がる兆しがある。電子線を用いた殺菌は薬品を使用しないことから残留薬品のリスクが無く、廃水処理低減などのメリットがある。

中エネルギー装置（300kV～3MV）はタイヤ・電線・発泡用として先進国に普及しており、今後は発展途上国を中心に納入台数が増えていくと考える。

高エネルギー装置（5MV～10MV）は主に殺菌・滅菌用途で使用されている。今後は殺菌・滅菌分野でコバルト60や有毒ガスの代替としてますます高エネルギー（10MV）のEPSが求められてきている。現在、10MV級FFAG型EPSの開発を進めている。

環境により配慮したEPSを開発することが命題であるとする。直流電源の絶縁ガスとして使用しているSF6は1997年に開催された気候変動枠組み条約締約国会議（COP3）で温室効果ガスと認定された。SF6は二酸化炭素（CO₂）を1とした時の地球温暖化に及ぼす係数は23900とされており非常に大きいものである。SF6は絶縁ガスとして非常に優秀であり現在産業界でも多く使用されており、置き換える事のできる代替ガスが無いのが現状である。京都に拠点を置く企業として、このガスを使用しない技術を確認するなど、今後、環境にやさしいEPSを開発・製造していきたい。

6. あとがき

1957年に日新電機グループにおける電子線加速器の開発がスタートしてから52年が経過しようとしている。その間、加速電圧及び電子流量の増大、小型化、信頼性・保守性の向上などに努力し産業界に微力ながら貢献できたと考える。今後も、さらにお客様の声をお聞きしご要望に応える装置を開発していく所存である。

参考文献

- (1) 「加速器」共立出版、実験物理学講座28
- (2) 「電子線照射装置の歴史と将来展望」日新電機技報Vol.40, No.2 (1995)

執筆者紹介



宇都宮伸宏 Nobuhiro Utsunomiya
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部長



矢田洋三 Yoza Yada
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部 グループ長



水谷 睦 Atsushi Mizutani
(株)NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部 主任