

特 集 論 文

スキャン型電子線照射装置の利用拡大

Expanding Applications of Scan-Type Electron Beam Processing System

梅 村 純 平* 金 澤 保 志*
J. Umemura Y. Kanazawa
矢 田 洋 三*
Y. Yada

概 要

スキャン型電子線照射装置は、高電圧によって加速された電子線を走査コイルで必要照射幅にスキャンする方式で、1957年に日新電機が日本で最初に開発を手がけたNS（Nissin-Sumitomo）型加速器の時代から、現在に至るまで、世界各国の様々な工業分野において使用されている。利用分野は、これまでのタイヤ、電線、発泡ポリオレフィン、殺菌などを主としたものから、最近では航空機エンジン材料である炭化ケイ素（SiC）繊維の製造にも拡大されている。また多様な顧客の要望に答えるために行っている各国規格への対応や搬送設備との融合に関する取り組みについても紹介する。

Synopsis

Scan-type Electron beam Processing System (EPS) accelerates an electron beam with a high voltage application and scans it with electro-magnetic coils to a designated irradiation width. This scan-type EPS has been used in various kinds of industrial fields all over the world since the NS (Nissin-Sumitomo) type electron accelerator was developed by Nissin Electric Co., Ltd. in 1959. These application fields include car tires, electrical cable insulators, foamed poly-olefines, and sterilization. Recently silicon carbide (SiC) fibers used for airplane engines are added as a new application. In this paper we will describe our efforts to deal with international standards or national regulations, and also to combine our EPS with material handling equipment. These efforts are our attempts to respond to the multiple requirements from our customers.

1. まえがき

電子線照射装置（EPS：Electron beam Processing System）が工業利用され始めてから、半世紀以上が経過した。日本では1957年に日新電機において最初の開発が行われ、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）が設立されて、電子線加速器専門メーカーとして種々の装置開発が進められてきた。

本論文では、スキャン型電子線照射装置の歴史、その技術と新規利用分野、納入実績、並びに、今後の展望について述べる。

2. EPSの歩み**2. 1 EPSの工業利用**

1952年にチャールスビーが原子炉を用いてポリエチレンの架橋反応を見出したことに始まる放射線架橋反応の歴史は、すでに半世紀を超えている。我が国でも1958年に放射線化学の研究センターとして日本放射線高分子研究協会大阪研究所（1967年に日本原子力研究所に移管）が設置され、放射線による高分子加工の研究開発が本格的にスタートした。1961年にはEPSによる架橋ポリエチレン電線の生産が開始され、電子線による高分子加工の幕開けとなった。以後、

*株式会社NHVコーポレーション

発泡ポリオレフィン、熱収縮材料、自動車用タイヤ、塗膜の硬化などに適用され、さらに医療器具の滅菌、食品照射、環境保全分野への利用など、様々な産業界で活発な実用化開発が行われてきた。

2. 2 当社EPS

1957年に日新電機にて日本で最初に開発に着手し、当時としては最大級である6kW出力のNS型EPSが製作された。

1970年、日新電機と米国のハイボルテージ・エンジニアリング（以下、HVEC）との合弁で日新ハイボルテージが設立された。HVECと日新電機の技術融合・改良により、スキャン型EPSの心臓部である電子源フィラメントや加速管、スキャン波形調整機能などの技術革新が進み、本格的な電子線加速器事業に乗り出した。

1983年になって、HVECが装置の製造活動を停止したのを機に、日新ハイボルテージは、合弁契約を解消して日新電機の100%子会社となった。2003年には日新ハイボルテージと照射受託サービス専門会社であった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」を設立することで総合力をより高め、さらなる事業の拡大発展をはかった。現在では、スキャン型EPSとして、300kVから5MVの装置をラインナップしており、30を超える国々に、400台以上を納入するまでの成長を遂げた。

3. EPSの基本構成

EPSは、高電圧、ビーム光学、真空、制御、および放射線遮蔽等の技術を複合することで成り立っており、一般的には図1に示す機器で構成される。

- (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

なお、現在工業的に利用されているEPSは、電子加速システムの違いにより、スキャン型とエリアビーム型の2つに分類される。

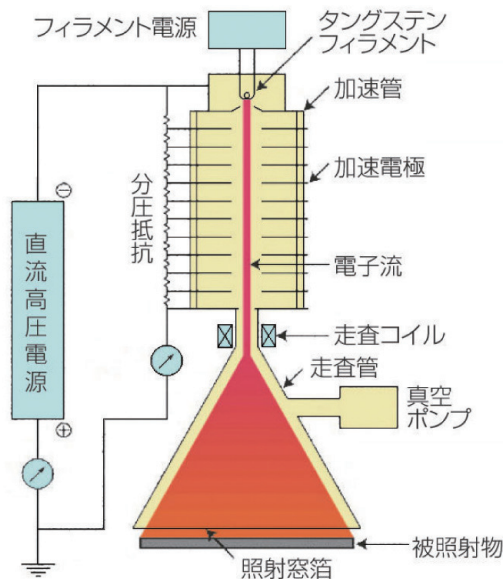


図1 スキャン型EPSの概念図

3. 1 スキャン型EPSの特徴

スキャン型EPSは真空中でフィラメントを加熱することにより放出された電子を、特殊なガラスと電極を複数段積み上げた加速管の各段間に均等な電界をかけることで加速し、走査コイルにより必要な照射幅に拡げて対象物に照射する装置である。照射幅を拡げるために電子を走査（スキャン）することからスキャン型と呼ばれている。

走査コイルによりビーム軌道を制御する機能を持つため、照射幅を対象物のサイズに合わせて自由に調整でき、ビーム利用効率や照射線量の均一性がエリアビーム型よりも良好である。また対応できる加速エネルギーの範囲が300kV～5MVで広いことを特長とする。

3. 2 直流高圧電源

1980年代まで、1MV以下の装置には日新電機製の油入変圧器型直流電源を使用していたが、メンテナンスや海外での使用が困難なため、現在では压力容器内にSF₆絶縁ガスを充填した直流電源回路が使用されている。

工業用EPSの殆どが直流高電圧を使用した装置であり、当社スキャン型EPSでは、整流回路として直列充電方式のコッククロフト・ワルトン型と並列充電方式のシェンケル型を採用している。

直列充電方式の基本回路は、図2に示すように、押し上げコンデンサコラムと平滑コンデンサコラムおよび整流器から構成される。この方式は並列充電方式と比べて電源周波数が低いので、コンデンサ容量を大きくする必要があり装置外形が大きくなるが、電波放

射、表皮効果による局部発熱等がないため、電源効率が約80%と高いのが特長である。定格電圧は300kV～5MV、最大出力は220kWである。

一方、図3のシェンケル型は、コンデンサの代わりに電極間の浮遊容量を利用するため、50～100kHz程度の高周波電源を必要とし、構成素子の熱損失による効率低下というデメリットがあるが、コンデンサを使用しないので、コッククロフト型と比較して装置の小型化・低コスト化が可能である。

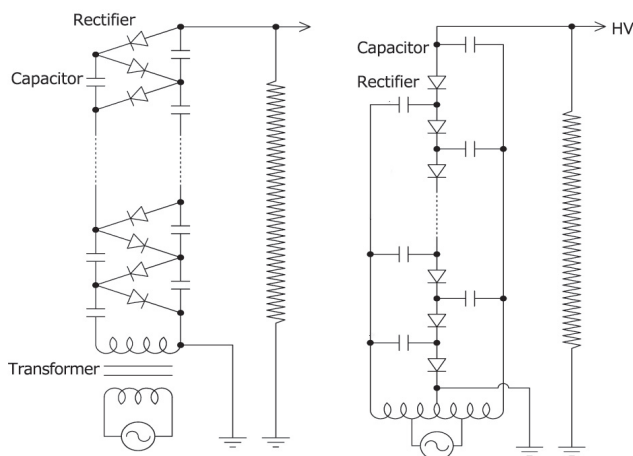


図2 コッククロフト・ワルトン型回路

図3 シェンケル型回路

4. 利用分野の現状と拡大

従来からの利用分野の現状と近年注目されている炭化ケイ素 (SiC) 繊維について、以下に紹介する。

4.1 タイヤへの利用

電子線 (EB) 照射によりゴムを軽度予備架橋して機械的強度を増すことで、加硫工程における形状・寸法精度が向上する。このことにより、タイヤの品質向上及びEB照射後のハンドリング性の良さから作業性の向上が見込まれる。その他、材料削減効果により、タイヤの軽量化による燃費向上や天然ゴムの使用量削減による環境負荷低減という面でも貢献している。

現在、世界的な自動車生産の増大に伴って、新興国のタイヤメーカーでもEPSの利用が拡大している。

4.2 電線への利用

電線被覆材料であるポリエチレン (PE) 等が、EB照射による架橋反応で耐熱性が向上するという特性を活かして、自動車用電線等に広く使用されている。

PEは可燃性であるため、難燃剤を添加する必要があったが、添加量増大に伴う強度低下という問題があった。そこで、反応性シランカップリング剤と電子

線照射を組み合わせ、金属水酸化物とポリエチレン系ポリマーを結合させるという方法が開発されて、機械的強度や耐熱変形性が改善されている。最近では、太陽光発電用ケーブルや自動車用バッテリーケーブル等にも利用が広がっている。

4.3 発泡材料への利用

EB架橋法は、化学架橋法とは異なり、架橋と発泡が別工程で行えるという利点があり、発泡条件のコントロールが容易なので、得られる製品は、衝撃吸収性と表面平滑性がよいという特長がある。

電子線により表面のみを架橋させて表面平滑性を良くし、接着性や印刷性を向上させるとともに、材料全体を化学的に架橋させることで耐熱性を向上させるという、化学架橋とEB架橋を併用する方法も実用化されている。その他、自動車用内装材料や建材への利用も増えている。

4.4 殺菌・滅菌への利用

主な放射線殺菌・滅菌法として、EB照射とコバルト線源を用いた γ 線照射があるが、EBは γ 線と比較して、短時間で処理ができるので生産性が高く、また、電源を切れば放射線は全く発生しないので、設備の管理・操作性がよいという特長がある。

ダンボール箱等に最終梱包された製品をまとめて滅菌する場合には、高エネルギーEPSが使用される。一方、個包装状態での滅菌には、中エネルギーEPSがコンパクトであるという利点を生かして、インラインで利用されている。

4.5 航空機用素材への利用

航空機用素材の一つとして利用拡大が期待されている炭化ケイ素 (SiC) 繊維の製造装置として、NGSアドバンストファイバー株式会社向けに2台目となるEPS (図4) を2016年に納入した。SiC繊維 (図5) は、比重が金属の1/3程度でありながら金属と同等以上の耐熱性、強度、耐久性などを有する材料であり、特殊な条件下で電子線照射による架橋反応を行うことで、従来材料よりも300℃高い1700℃の超高耐熱性を実現している。これらの性能を活かして、航空機用エンジンのタービンプレード部品に適用され、機体の軽量化による燃料コストの低減が期待されている。

NGSアドバンストファイバー製SiC繊維はボーイングとエアバスの次世代航空機用エンジン「LEAP」の材料として採用されており、今後、多数の需要が見込まれている。

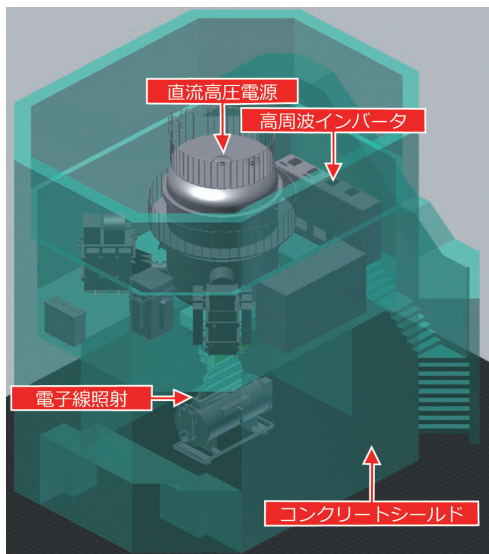


図4 電子線照射装置の外観



図5 炭化ケイ素 (SiC) 繊維 (日本カーボン株式会社 提供)

5. 納入国拡大への対応

電子線照射装置の納入地域は、従来のアジア・欧米から南米・アフリカに拡大し、世界30ヶ国以上で様々な用途に利用されている。各国ともに安全に関わる法整備や規制見直しが進んでおり、納入国毎に異なる法令・規制、製作規格への準拠や輸出手続きなどの対応が必要である。

各国の主な安全規格を表1に示す。EPSで使用される直流高圧電源の圧力容器や電気機器等で対応が必要となる場合が多い。特に欧州向けには、電磁放射ノイズ等を制限するEMC (Electro-Magnetic Compatibility : 電磁両立性) 試験をクリアする必要があり、それらに対応するための装置改良も行ってきた。

米国向け装置では、従来よりUL規格などの安全規格への適合が必要だったが、近年、適合がより厳格に求められるようになり、第三者機関による適合性評価(フィー

ルドエバリュエーション: FE) が必要となってきた。最近、審査機関の協力を得て、FE検査に合格した装置をテネシー州、ジョージア州等に納入した。

表1 各国の主な規格

代表的な安全規格対応	
米国	フィールドラベリング、UL 規格
欧州	CE マーキング
ロシア	EAC 認証
中国	GB規格
韓国	KOSHA規格
ブラジル	NR規格

6. 搬送設備との融合

電子線照射装置の工業利用には、加速器だけではなく照射する材料を搬送する設備が重要となる。搬送設備はEB照射によって発生するオゾンや放射線等の過酷な環境下で使用されるため、ステンレス材や耐食性の高い特殊な部品で構成している。

連続シートの搬送には、図6に示すロール (roll to roll) 搬送やメッシュコンベアを、連続的でない場合には、バッチコンベアを使用している。電線・チューブは、図7に示すように照射域直下に設置されたプリーで搬送し、照射幅内で複数回ターンすることで、最大1000m/分に近い高速での処理を実現している。

従来においては、EB照射部分の搬送装置のみを提供し、お客様が前後装置を設置される例が多かったが、最近では、前後装置を含めたトータルシステムの提供要望が増えており、生産システム全体を納入することもある。直近では、インドネシアの電線メーカーに、1.5MVのEPSを中心に、電線の巻出から巻取までのシステム一式を納入した。

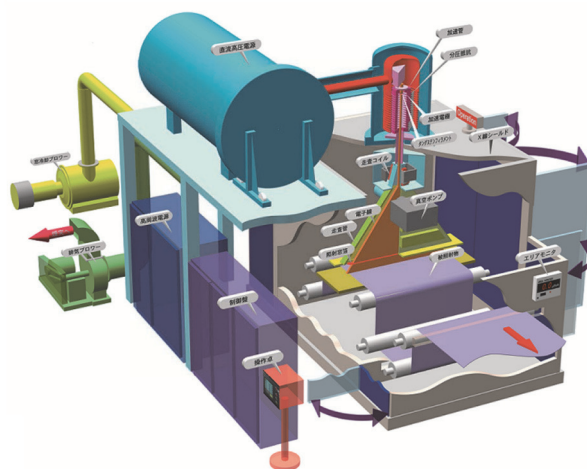


図6 ロール搬送タイプEPSのイメージ図

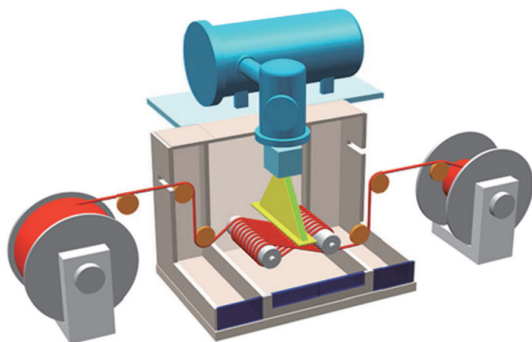


図7 電線搬送タイプEPSのイメージ図

7. 今後の展望

今回紹介したような装置の小型・低コスト化、各国規格対応、搬送装置との融合というような様々な技術革新により、スキャン型EPSは、生産設備として今後さらに普及が進むものと考えている。当社ではEB加工事業部で素材開発の技術支援も行っており、素材の開発から装置導入後の生産まで一貫した提案が出来るという強みを活かして、EPSの利用拡大を進めていきたいと考えている。特に殺菌・滅菌分野への導入拡大ができるように、インライン化対応や更なる高エネルギー加速器の技術開発に注力していきたい。

また新たな利用分野として、航空機エンジン用SiC織

維を紹介したが、加えて強化プラスチック、太陽電池、燃料電池のような先端技術への応用研究も進められており、今後更なる利用分野の拡大が期待されている。

8. あとがき

電子線照射装置の工業利用が始まってから50年以上が経過し、お客様は、欧米・日本から始まって、今では、アジア・東欧・南米など全世界に広がっている。利用分野は、従来の架橋・発泡・硬化等に加えて、殺菌や航空機材料など、ますます広がりを見せている。

今後も産業界の発展に貢献できる製品の開発や利用分野の拡大に努める所存である。

参考文献

- (1) 「電子線照射装置の最近の動向」日新電機技報Vol. 62, No. 2(2017.5)
- (2) 坂本良憲、「実務者のための電子線加工」、新高分子文庫27、(株)高分子刊行会
- (3) 「電子線照射事業のあゆみ」日新電機技報Vol. 62, No. 1(2017.3)
- (4) NISSIN TOPICS No. 1601 p.15

執筆者紹介



梅村 純平 Junpei Umemura
株式会社 NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部



金澤 保志 Yasushi Kanazawa
株式会社 NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部 主査



矢田 洋三 Yozo Yada
株式会社 NHVコーポレーション
加速器事業部
技術部長