

# 電子線照射装置の技術とその利用

柏木正之・星康久

Electron Beam Processing System and Its Application — by Masayuki Kashiwagi and Yasuhisa Hoshi —  
Radiation chemistry is commonly used in manufacturing industrial products such as heat resistant electrical wires used in the electrical appliances, rubber material used in automotive tires, heat shrinkable tubes and films, foamed material, and battery separators. In radiation chemistry, electron beams are more widely used than gamma rays because of the good handling and operating characteristics, particularly for safety reasons. NHV Corporation has been concentrating its efforts on the development and global distribution of powerful electron beam processing systems. This report describes the technology and application of these systems.

Keywords: electron beam processing system, dose, cross-linking, graft polymerization, sterilization

## 1. 緒言

1895年にレントゲンがX線を発見して以来、放射線は核物理学、原子力工学、化学、同位元素利用などの様々な分野で使用されてきた。特に、チャールズビー教授が1952年にポリエチレンの電子線架橋現象を見つけた後、放射線化学は様々な産業分野で利用されることとなった。現在、それは材料特性を改良する非常に重要な工程、若しくはツールとなっている。その典型的な例は、電気器具で使用される耐熱性電線と自動車のタイヤに使用されるゴム材料であり、また、熱収縮チューブ、フィルム材料、発泡材、電池のセパレーター製造に、一般的に使用される。

電子ビームとガンマ線の両方が放射線化学の過程で使用されるが、取り扱いと操作がより簡単であり、特に安全観点で、電子線は広く使用される。

(株)NHV コーポレーションは、大容量の電子線照射装置の開発、および世界中のユーザーにシステムを提供するために精力的に活動してきた。このレポートでは、電子線照射装置の技術とその利用についてレビューする。

## 2. 電子線（放射線）加工

放射線加工とは、電子線やガンマ線（ $\gamma$ 線）のような放射線を物質に当てて、化学反応を起こし、その化学反応を利用することである。電子線とは、エネルギーを持った電子の流れを意味する。 $\gamma$ 線はエネルギーそのものの流れで、光と同じ電磁波である。このエネルギーを持った電子線あるいは $\gamma$ 線を物質に衝突させると電子と物質との相互作用により、物質に電離作用（イオン化）や励起状態を発生し、結果的に化学反応を起こす。このような化学反応を「放射線化学反応」といい、この電子線や $\gamma$ 線のようなものを

「電離放射線」と呼んでいる。電離放射線とは、そのエネルギーで物質を「電離（イオン化）」させる能力を持つ放射線をいう。放射線には、そのエネルギーが小さく、物質に「電離」作用を起こさない非電離放射線と、物質に「電離」作用を起こさせる電離放射線がある。放射線というと、「原爆」・「原子炉」＝「危険」といったマイナス面がイメージされる場合もあるが、もともとはその名前の如く、放射されたエネルギーの流れ（線）である。従って、電波、光、X線、 $\gamma$ 線、粒子線などの、エネルギーを持った全ての流れが放射線ということになる。放射線には、 $\gamma$ 線、X線のように電磁波に属するものと、 $\alpha$ 線、電子線のように粒子に属するものがある。現在、放射線化学工業に用いられている放射線は、ほとんどが電子線照射装置からの電子線であるが、放射性同位元素である $^{60}\text{Co}$ が崩壊する際に放出される $\gamma$ 線も、その透過性が強い特長を活かし、工業用として利用されている。電子線照射加工には、次のような特長がある。

①電子線照射による化学反応では、反応に使われるエネルギーを直接注入するため、エネルギー利用効率が極めて高い。それに対し、熱化学反応を利用するものは、熱エネルギーを与えることにより分子運動を活発にし、その結果として化学反応を起こさせるので、エネルギーの間接注入といえる。放射線のエネルギー吸収量である10kGy（キログレイ）は水1g当たり2.4calのエネルギー量に過ぎず、放射線化学反応で使用されるエネルギー量は数十kGyから200kGy程度であるので、プラスチック等の高温に弱い物質への処理が可能となる。また、化学反応は、室温はもとより低温から高温までの広い温度範囲に亘って起きるので、2

次・3次反応の温度制限を受けない。

- ②触媒等の第3物質を混入する必要がない。直接注入されたエネルギーを化学反応に直接利用するために、一般に種々の反応で使用される触媒が不要で、触媒等の反応系への影響を考慮する必要がない。
- ③電子線は指向性があり、高い処理能力を有する。電波、可視光線、UV、X線、 $\gamma$ 線等の電磁波よりエネルギー付与率（微小な距離を進む間に物質に与えるエネルギーの割合）は、粒子線であるため極めて高い。また、 $^{60}\text{Co}$ からのガンマ線は全方向に放出されるが、電子線は加速方向への高い指向性を有しているため、吸収線量率は非常に高い。近年、高出力の装置が出現しており、大量の加工製品の生産が可能である。イオンビームは電子線に比べて、エネルギー付与率は極めて高いが、透過能力が著しく劣るために、工業用としての利用は限られている。医療用としてガン治療のために使用されるイオンビームは、200MeV以上と極めて高いエネルギーのものとなっている。但し、物質注入の目的のイオン注入装置は、加速電圧が数十kVから数百kVと低く、半導体製造に広く使用されている。
- ④反応の制御が容易。電子線の発生は電気機器であるため、化学反応の開始・停止がスイッチのON・OFFのみで可能であり、極めて制御性が良い。
- ⑤取扱いが容易。 $^{60}\text{Co}$ のような常時放射線が発生している放射性同位元素を扱うわけではないので、その取扱いは極めて容易で、スイッチをOFF状態にすれば、装置本体の保守作業が可能。

特に、③～⑤の3項目は、 $^{60}\text{Co}$ による $\gamma$ 線照射設備と比べて大きな特長といえる。

### 3. 電子線（放射線）利用の始まり

放射線利用の始まりは、1895年10月、レントゲンが陰極線（これも広い意味での電子線）を研究中に、感光しないように遮光していた写真乾板が感光していたことにより、偶然にX線を発見したことに端を発しているといわれている。また、X線が写真乾板を感光する作用があることを認めたことが、放射線化学の始まりであるともいわれている。ちなみに、X線と名付けたのは、陰極線から、何か目に見えない、不思議な作用をする光線のようなものだからといわれている。彼は、このとき放射線の持つ作用のうち、ほとんどの作用、すなわち、前出の写真乾板の感光作用、蛍光作用、プリズムまたは磁場によって曲げられないこと、強度は距離の2乗に反比例すること、検電器が放電すること（空気の電離作用）などを、既に明らかにしていた。次いで、1896年ベクレルがウラニウムの化合物がX線と同様の目には見えないが、蛍光または燐光、写真乾板の感光作用及び電離作用を持つ放射線を放出していることを発見し、ベクレル線と名付けた。その後、このベクレル

線は $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の3種類であることが確認されている。1898年、ウラニウムを含む鉱石からキュリー夫妻がポロニウムとラジウムを分離、発見することとなり、その後、放射線または放射性物質の利用は理学、医学、工学の分野に拡大していった。

放射線の発見以来、利用される放射線は、専ら放射性同位元素より発生されるものに限られていたが、減衰、取扱い等の問題により、人工的に放射線を発生させる要求は強く、1932年コッククロフトとワルトンが約500kVの直流電圧によって、陽子（水素イオン）を加速し、リチウムに当てて、人類史上初めて人工的に原子核を変換したことは脚光を浴びた。また、当時、このコッククロフト等の方式だけではなく、色々な方法でイオンを加速する試みがなされており、バンデグラーフは1931年から現在のバンデグラーフ型加速器の研究を開始していたし、ロウレンスは同時期サイクロトロンを試作していた。また、電波を使った線形加速器などが考案されていた。しかしながら、放射線を化学反応に利用しようとする試みは、ずっと後の1955年以降のことであり、しばらくは原子核物理学の研究のために使用されるのみであった。

放射線化学は、1945年以降、原子炉建設のための各種材料の放射線劣化の研究から進展した。その後、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見出された結果、積極的にこれを利用して新しい分野を開く動きが活発となった。これこそが放射線の工業利用の幕開けであった。日本でも、1961年には、電子線照射装置（EPS）を利用したポリエチレン電線・テープの生産が開始された。

### 4. 電子線照射装置の概要

電子線を物質に照射し、例えば化学反応をおこさせて利用するための装置を「電子線照射装置」という。「電子線照射装置」はEPSと略称しているが、EPSとは、“Electron beam Processing System”の頭文字を採ったものであり、ここでいう“Processing”とは「工程・過程」を意味しているが、電子線を使った工程とは「照射」を意味するので、日本語では、「電子線照射装置」となっている。「電子線」とは、“Electron Beam (EB)”をいい、「線」とはエネルギーを持った流れという意味であるので、エネルギーを持った電子の流れを表しており、そのエネルギーは電子が高電界中を移動する時に得られる運動エネルギーである。ちょうど、高いビルの屋上から落とされた小石が地球の重力場により加速されて、運動エネルギーを得るのと同じことになる。従って、電子にエネルギーを与えることを「加速 (acceleration)」ともいう。電子の加速原理の模式図を図1に示す。金属は原子番号も高いので、核外電子の数も多く、比較的移動しやすい自由電子と呼ばれる電子がある。この自由電子により、電気を流すことができる。この金属を熱してやると、原子内の電子は不規則

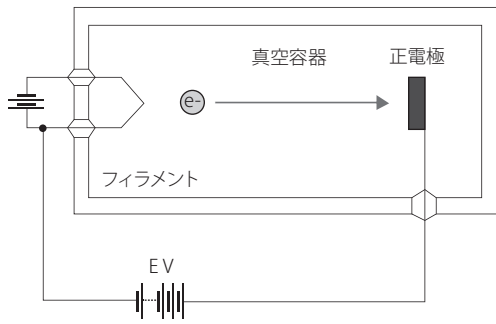


図1 電子の加速原理

に揺さぶられ、そのエネルギー量が大きくなると電子が金属から飛び出てくるようになる。電子そのものは負（マイナス）の電荷を帯びているので、その金属（フィラメント）に負の電圧を与えてやれば、反発力により電子は著しく飛び出しやすくなる。一方、少し離れた場所に電子が飛び出した金属（フィラメント）より正（プラス）の電極（陽極）をおくと、電子は陽極に向かって走り、フィラメントと陽極間に与えられている電圧（Eボルト）に対応して加速され、運動エネルギーを得る。そのときに、電子が得るエネルギー量は、 $EeV$ （エレクトロンボルト）となる。

実際の装置では、タングステンフィラメント（カソード）を加熱することにより、熱電子を発生する。直流高圧電源からの直流高電圧は加速管に取付けられた分圧抵抗により分圧された電位が加速管の各電極に与えられ、その電圧分担および加速管の電極形状により形成された電場によって電子は加速される。加速された電子は走査管上部に取付けられた走査コイルにより必要照射幅に走査され、走査管端部に取付けられた照射窓箔を貫通して大気中に照射される。照射窓箔には、加速された電子が容易に透過できる十分な薄さと大気圧力に耐えられる十分な厚さが要求され、通常数十ミクロンのチタンまたはチタン合金箔が使用されている。また、照射窓箔は、消費された電子線のエネルギーによる発熱で破損しないように、水冷または空冷構造となっている。また、加速管および走査管内は加速された電子が空気分子と衝突することなく、大気中に取り出せるように、真空ポンプが用意され、十分な高真空状態に保たれる。

電子線は、その透過能力が比較的小さいので、ボリュームのある照射対象物には専ら $\gamma$ 線が利用されてきたが、その取扱いの管理、毎年の補充による線源容量の維持などの問題もあり、電子線照射装置の制動X線を積極的に利用することも試みられており、X線への変換効率が比較的高い、5MeV以上の高エネルギーの電子線照射装置で実施されようとしている。 $^{60}\text{Co}$ からの $\gamma$ 線と比較しても十分エネルギーの高い、高指向性の制動X線が得られることが特長と

なっている。

電子線照射装置（EPS）は、電子を発生し、加速するといった意味では、図2に示すように、原理的には、TVのブラウン管、あるいはX線装置のX線管と同じである。

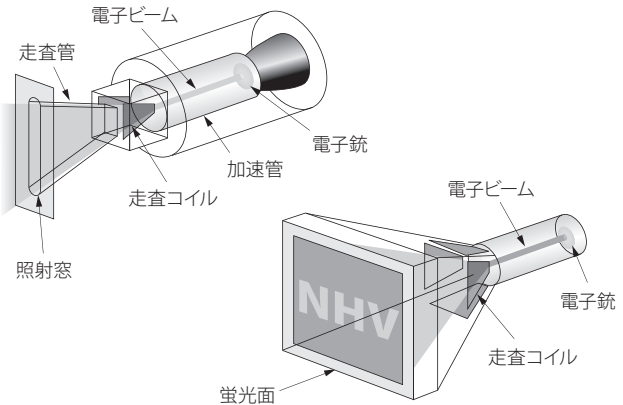


図2 静電加速器とブラウン管

電子線照射装置の構成は、最も一般的である静電（直流）加速方式走査型の装置を例にとってみると、

- ①直流高電圧を発生するための電源装置部
- ②電子を発生し、加速するための加速装置部
- ③加速された電子を必要照射幅に走査し、大気中に放出させるための走査管・照射窓部
- ④加速装置部および走査管部を超高真空状態に保持するための真空装置部
- ⑤および全ての装置を監視・制御するための制御装置部
- ⑥被照射物を搬送するための搬送装置
- ⑦電子線と物質の相互作用により発生するX線およびオゾンに対する遮蔽・安全技術

等の複合技術であるといえる。特に、直流高電圧を発生させる高電圧技術、電子を加速するビーム光学技術、超高真空を実現させる超高真空技術は、我々が普段の生活に馴染みがない、いわゆる「非日常技術」を使用している。電子線照射装置の使用における保守・メンテナンスのポイントともなってくる。

電子線照射装置には、走査型と非走査型と呼ばれるものがある。その違いは、図3に示されるように、水槽の水をシャワーを通して流している状態に喩えることができる。図の(a)のようにシャワーの蛇口が小さく、必要な幅に蛇口を振って幅方向を稼ぐのが走査型（Scan type）で、(b)のように必要幅まで蛇口を大きくしたのが非走査型（Area type）である。非走査型はその構造上の制限から、300keV以下の低エネルギー装置に適用される。

㈱NHVコーポレーションで製作している電子線照射装

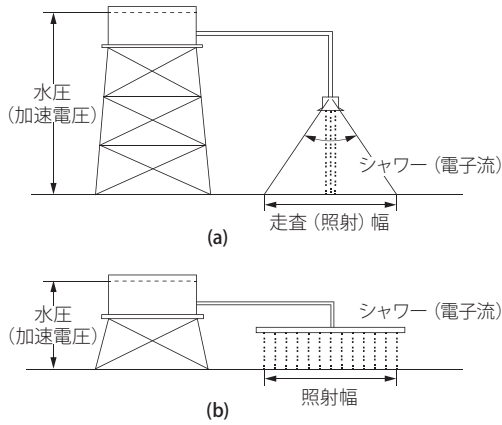


図3 電子線発生を模した図



写真2 エリア型EPS例

置は、その加速電圧により、300keV以下の低エネルギー装置には非走査型のエリアビーム装置 (Area type) が、また300keV～5MeVまでの装置には走査型 (Scan type) が使用されている。また、近年X線遮蔽に鉄・鉛を使用するいわゆる自己遮蔽形の装置も増加しており、800keV以下の装置に適用されている。図4に累計の納入台数の推移、写真1、写真2に走査型、エリア型のEPS例を示す。

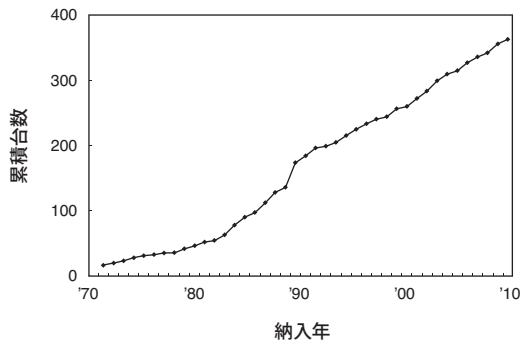


図4 EPSの累計納入台数の推移

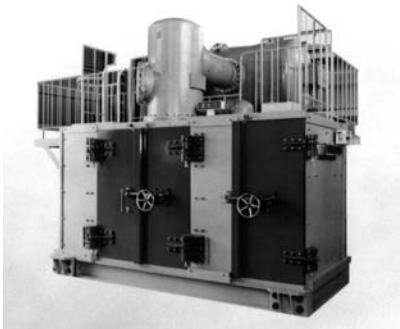


写真1 走査型EPS例

## 5. 電子線加工の現状

「電子線照射」とは、「電子線」を物質に当てて、物質中に「化学反応」を起こすことをいう。電子はマイナスの電荷を持っているので、物質内に入るとその物質を構成している原子あるいは分子の核外電子の制動 (ブレーキ) を受け、そのエネルギーの一部を原子あるいは分子に与え、2次散乱電子を創出する。2次電子は同様に次々とシャワー状に散乱電子を創出し、そのエネルギーを失う。創出された2次電子は反応性の高いラジカルあるいはイオンを形成し、物質内に化学反応を起こす。電子は原子を構成する一要素であるので、電子線は純粋にエネルギーのキャリアといえる。エネルギーのキャリアという意味では、電波、光、X線・γ線等の電磁波も同様であるが、電子線はそれらに比べ、エネルギーレベル、エネルギー付与率 (単位長さ当たりに物質に与えるエネルギー) が高くなっている。図5に各種の電磁波とエネルギーレベルの比較を示す。

電子線と高分子等の化学物質との相互作用は、図6に示すように、高分子間の重合反応である「架橋反応」、高分子

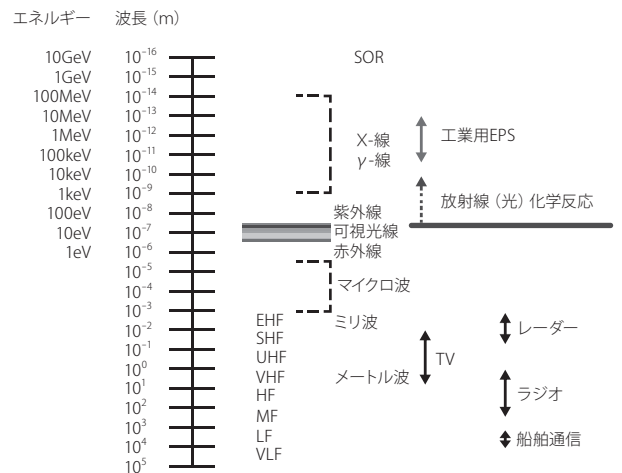


図5 電磁波のエネルギーと波長

と低分子の重合反応である「グラフト重合」、低分子間の重合反応である「キュアリング（ラジカル重合）」、高分子の主鎖切断の「崩壊反応」があり、単純に1つの反応が起きるわけではなく、同時にいくつかの反応が発生し、相対的に発生確率の高い反応が、全体としてその反応を主導する。

電子線照射の利用は、架橋、グラフト重合、殺菌、食品照射、環境保全、半導体の特性改善などであるが、以下にそれらの概要を紹介する。

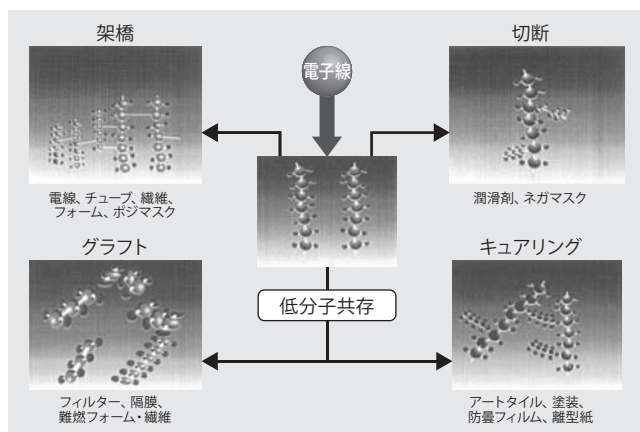


図6 電子線による高分子の化学反応

**5-1 架橋重合反応利用** 架橋反応は、分子間を結合し、3次元構造とすることにより耐熱性など高分子物性を改善しようとするもので、高分子同士の重合反応である。この技術は早くから耐熱被覆電線、耐熱シート・フィルム、熱収縮チューブ・フィルムなどの製造に利用され、日本でも最初に住友電気工業(株)、日立電線(株)などで電子線照射・熱収縮チューブ生産が開始された。現在でもその耐熱性、耐薬品性を活かし、電子機器、コンピューター、自動車などの配線材料として、広く利用されている。電子線照射装置としては、加速電圧 500kV～3MV 電子流 50mA～100mA の装置が使用されている。

熱収縮については、ポリエチレン (PE) などを照射して架橋した後、融点近くまで加熱して外力を加え、変形させた状態で冷却すると外力を取り去っても変形は保たれる。しかしながら、変形させた外力は内部応力として残留しており、これを再度融点近くまで加熱すると外力を加えない元の状態に復帰する性質を持っている。この性質を記憶効果あるいは熱収縮特性と呼んでおり、チューブやフィルムの形状で利用されている。チューブでの主な用途としては、配線の端末やパイプ接続部の防蝕用などであり、フィルムでは、食品包装用などに幅広く利用されている。

発泡ポリエチレン (PE) については、東レ(株)、積水化学

工業(株)で生産が開始されたが、これは日本で発明されたもので、現在でも世界的にリードしている分野の一つである。オレフィン系の樹脂、たとえばPEと発泡剤を均一に混合し、シート状にしたものを照射して架橋させた後、発泡剤の分解温度以上に加熱すると発泡PEができる。電子線架橋法は、従来の化学架橋法に比べると、架橋と発泡が別工程で行える利点があり、得られる製品は、次のような特徴がある。

- ①気泡のコントロールが可能である。
- ②衝撃吸収性がよい。
- ③表面平滑性のよいものが得られる。

最近では表面のみを電子線架橋することにより、表面平滑性を良くし接着性や印刷性を向上させ、全体を化学架橋法により発泡させることにより化学架橋の特徴である厚物シート対応可能という、化学架橋と電子線架橋を併用する方法も実用化されている。発泡ポリオレフィン (PE、PP、EVA など) の用途は、自動車の内装材や建築・土木分野、断熱工業分野、農林・水産分野、電線の絶縁体などへ利用されている。

電子線照射によるゴム架橋をタイヤ製造に利用する技術は、最初米国のグットイヤー、ファイヤストーンで始められたが、日本でも盛んに研究された。タイヤは各種異なった成分からなるゴムを貼り合わせ成形後、加硫工程を行って製造されるが、この成形、加硫工程は加熱を伴うため、ゴムの未加硫時の強度（グリーン強度）が充分でないと、タイヤコンポーネントを形成するコードのずれなどの欠陥が生じる。この欠点を改善するために開発されたのが、電子線照射による予備架橋である。これは電子線照射によりゴムを軽度架橋させ、その機械的強度を増し、最終加硫が完了するまで形状、寸法を保持しようとするものである。さらに副次効果として、架橋によりゴムの強度が増大するので、使用するゴム量を減らすことができる。現在、国内で19台の装置が設置されているが、更に、タイヤの海外生産のための工場設置とともに電子線照射装置の設置台数も拡大している。

また、近年生分解性のポリマーとして注目されているCMCの架橋も見出され、その特長を活かした絆創材、床ずれ防止マットなどのハイドロゲル生産も行われている。

**5-2 ラジカル重合反応利用** 1960年代に、低分子同士の重合反応であるラジカル重合反応を利用した塗料塗膜の瞬間硬化が注目され、塗料メーカー数社にパイロットプラントが設置された。生産用としては、米国フォード社、鈴木自動車工業(株)で自動車部品の塗装ライン、新日本製鐵(株)などの金属板、合板の塗装ラインに使用されたが、その後塗料塗膜の硬化はUV法が主流となり、電子線照射法は最初の注目から永らく停滞していた。1980年代に入り、低エネルギーの実験装置が発売され、塗料メーカーを始め、各会社の研究所などに設置され、研究が押し進められた。現在、リリース紙、凹版印刷、粘着剤、転写フィルム等に

利用され始め、その利用分野を急激に拡大しつつある。今後の技術動向としては、UV装置との競合とはならず、各々の装置の特性を活かし、厚みがあるものあるいは光が通りにくい処理対象に対しては、電子線照射装置といった使い分けがなされるものと考えられる。この分野で利用される電子線照射装置としては、300keV以下のいわゆる低エネルギーの電子線照射装置が中心となっている。

耐候性化粧パネルなど、電子線キュアリングの特性を活かした事例は、不透明塗装剤によるコーティング、高架橋密度コーティング、厚膜コーティング、熱に弱い製品へのコーティング、フィルム層を通しての硬化加工などである。

**5-3 グラフト重合反応利用** グラフト重合（高分子と低分子の重合反応）とは、幹となるポリマー鎖にそれと異なるモノマーを接ぎ木状に重合させて、幹ポリマーに枝ポリマーの性質を付加させるポリマーの改質技術の一つであり、イオン交換膜の製造を始め、電池のセパレーター、吸水性ポリマー、防曇フィルムなどの高機能性付加として利用されている。

グラフト重合は、電子線照射により幹ポリマーにラジカルを生成させた後モノマーと反応させる前照射法と、モノマーとの共存下で電子線を照射させて同時にグラフト重合を行う同時照射法に分けられ、前照射法の応用例としては電池用隔膜、イオン交換膜などがある。同時照射法の応用例として連続気泡型PEフォームにビニルフォスフォネートを含浸し、電子線照射してグラフト重合した難燃性PEフォームがある。

電子線照射装置としては、300keV～500keVの低エネルギー装置が中心に使用される。

**5-4 排煙処理** 排煙からのNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の除去については、1970年に(株)荏原製作所にて実用化が検討され、その後(株)荏原製作所と(独)日本原子力機構との共同研究として展開された。排水処理の要らない、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の同時処理システムであり、副生成物に重金属などの有害物質が含まれていなければ、生成物を肥料として使用できるといった特長がある。1992年に中部電力(株)新名古屋火力発電所に800kV45mA×3の電子線照射装置がパイロットプラントとして設置され、その後、中国の成都熱電廠(800kV400mA×2)、ポーランドのドルナオドラ火力発電所(800kV375mA×2、2セット)に電子線照射装置が実証プラントとして設置されたが、設備の二重化など設備コストが高くなる要素があり、本格的な実用化には至っていない。

**5-5 半導体デバイス応用** インバータに使用されるサイリスターに電子線照射を行い、デバイスに格子欠陥を作り、スイッチング特性を改善するものであり、各パワーデバイスメーカーにて実施されている。但し、各社での加速電圧、吸収線量等の照射条件は各企業秘密となっていて、公開されないが、使用電力を抑えることができるため、節電・省エネの観点から、その利用が急速に増加している。

**5-6 殺菌・滅菌利用** 放射線による殺菌・滅菌は古くからよく知られており、特に医療器具等の殺菌はコバルトからのγ線を利用して広く行われてきた。高エネルギー電子線の装置が開発されるにつれ、その取扱いの容易さ、処理量の大きさから電子線照射が見直されている。殺菌のメカニズムには直接作用と間接作用があり、菌細胞のDNAが放射線により再生不可能な状態まで切断されることにより菌細胞死に至るのが直接作用であり、間接作用とは、細胞内にある水分に放射線が作用し、HやOHのような活性原子あるいは分子を生成し、この活性原子あるいは分子が細胞のDNAと反応し、細胞死に至るものである。電子線照射装置としては、透過能力が要求されるので、5MeVあるいは10MeVの装置が使用されている。

医療器具の殺菌ばかりでなく、食品包装材の殺菌なども関心を集めており、容器・袋などの殺菌にはさほど透過能力を要求されないので、1MeV級の中エネルギー電子線照射装置でも十分対応できると思われる。

世界的には、1980年代以降、電子線照射施設は増加傾向であり、それに呼応して電子線滅菌製品の放射線滅菌に占める割合も、徐々にではあるが伸びてきている。現在、滅菌の対象となっている製品は、医療用具だけでなく、不織布製ガウン、ドレープ、マスクや試験用検査器具類(シャーレ等)、医薬品容器など多岐に及んでいる。電子線による滅菌は、次のような特長がある。

- ①常温で処理可能なため、耐熱性の低い素材にも適用可能
- ②照射線量率が高く、短時間の処理が可能
- ③照射に方向性があり、線源の利用効率が高い
- ④製品の種類、製品量に応じて照射条件(電圧、電流)を調整することが可能
- ⑤線源の補充と廃棄物の処理がなく、ラジオアイソトープ固有の線源の減衰がない
- ⑥電源スイッチを切れば、即座に電子線の発生は停止するため、施設の安全性が高く、立地条件の選択が容易
- ⑦高線量率照射のため、プラスチック等の材質では酸化劣化が小さく、長期保存における材質劣化も小さくなる
- ⑧ドジメトリックリリースのため、14日間の無菌培養試験が不要なため、照射後の滞留がない

一方、食品照射については、日本ではジャガイモの発芽防止に唯一照射が認められているが、世界的に見れば、香辛料、冷凍海老、ひき肉(ハンバーガーのパテ)などのたくさんの食品が照射認可され、2002年のデータでは53の国または地域で実施され、その対象品目は230にのぼる。表1にその概要を示す。また、穀物のでんぷんは放射線により分子が低分子化し、粘りが低下する問題があり、放射線殺菌が必ずしも有効でなかったが、穀物の菌は表面の殻に付着しているので、150keVの低エネルギー電子線で表面のみを殺菌し、脱穀することにより、殺菌され、かつ成分が変質していない穀物が得られる特長がある。また、日本では前述のジャガイモの他に、2000年に香辛料業界が

表1 世界における食品照射の処理量 (2005年)

	国	照射食品	処理量 (ton)
1	中国	ニンニク、香辛料等	146,000
2	米国	冷凍肉、果実、香辛料	92,000
3	ウクライナ	小麦、大麦	70,000
4	ブラジル	香辛料、果実等	23,000
5	南アフリカ	香辛料、蜂蜜、その他	18,185
6	ベトナム	冷凍エビ、魚介類等	14,200
7	日本	ジャガイモ	8,096
8	ベルギー	カエル脚、鶏肉等	7,279
9	韓国	香辛料、乾燥野菜	5,394
10	インドネシア	冷凍エビ、ココア粉末等	4,011
11	オランダ	香辛料・ハーブ、鶏肉等	3,299
12	フランス	鶏肉、カエル脚、香辛料	3,111
13	タイ	香辛料、醃酵ソーセージ	3,000
14	インド	香辛料、玉葱	1,600
15	カナダ	香辛料	1,400
16	イスラエル	香辛料	1,300
	その他		2,929
	合計		404,804

厚生労働省に香辛料の放射線殺菌の許可申請をしているが、未だ認可の動きはない。

## 6. 結 言

1957年に日新電機(株)の研究開発部において、電子線照射装置の開発がスタートして、早55年が経過しようとしているが、この間、3MeV、あるいは5MeV級の高エネルギー電子線照射装置の開発・納入、あるいは300keV級の低エネルギー非走査型電子線照射装置の開発・納入、更には150keV級装置の開発・納入を通じて、顧客のニーズに応えてきた。また、更なる装置の高エネルギー化、小型化などの技術開発に加え、保守性の改善、お客様へのサービス向上に取り組んでいく所存である。

### 用語集

#### ※1 放射線化学

放射線を物質に照射することにより、化学反応を起こすこと。高分子改質に利用される。

#### ※2 放射線

電磁波、粒子線など、物質を電離（イオン化）する作用を持つエネルギーの流れ。広義には、電波、光なども含まれる。

#### ※3 電子線照射装置

電子を加速（エネルギーを付加）して、物質に照射するための装置。

#### ※4 放射性同位元素

放射線を出す元素。放射線を出す能力を放射能、放射能を持つ元素を放射性同位元素という。同位元素とは同じ元素で、異なる中性子数を持つ元素。

#### ※5 加速器

電子やイオンを加速し、エネルギーを付加するための装置。

#### ※6 線量 (dose)

放射線を物質に照射した際に、物質が放射線から吸収するエネルギー量。グレイ (Gy) の単位が使用される。10kGyは水1g当たり2.4calに相当する。

#### ※7 架橋反応

高分子同士を化学反応させて、より大きな分子量とすること。耐熱、耐薬品性が向上する。

#### ※8 グラフト重合

高分子に機能性モノマーを枝継ぎして、新たな機能を付加する反応。

#### ※9 ラジカル重合

比較的低分子を照射により、ラジカル（反応点）を生成し、高分子化する反応。塗膜硬化などに利用される。

#### ※10 ドメスティックリリース

殺菌の完了判定を線量管理にて行うこと。ガス殺菌、蒸気殺菌などでは、殺菌後に14日間の無菌培養試験が必要。

### 参 考 文 献

- (1) 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
- (2) 「電子線照射装置の現状と今後の展望」、日新電機技報Vol.31、No.4 (1986)
- (3) 「荷電粒子装置の現状と動向」、日新電機技報Vol.35、No.3 (1990)
- (4) 水沢、江尻 他、「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

---

柏木 正之 : (株)NHVコーポレーション 顧問  
電子線照射装置の開発、設計に従事



星 康久 : (株)NHVコーポレーション 社長  
電子線照射装置の開発、設計に従事

