

〔7〕 電子線照射装置・高電圧試験装置

1952年に電子線（EB）照射によるポリエチレンの架橋反応が発見されたことに端を発するEB照射技術は、電線被覆材の耐熱性の改善、熱収縮チューブの形状記憶効果の安定化、タイヤ用ゴムシートの流動性の改善など、これまでに多くのプロセスにおいて実用化されている。当社は、これらの用途に使用される広範なエネルギー領域（数100kV～5MV）のEB照射装置（EPS: Electron beam Processing System）を、国内はもとより世界各国の顧客に多数納入してきた。また、国内3拠点（京都、前橋、鳥栖）に保有するEPSを使用して、顧客のさまざまなニーズに応じ、多様な機能の付加などを目的とした実験照射や、各種部材および製品の受託照射加工を行っている。

2024年は、ウクライナ危機や中東情勢の激化などの地政学的な問題が長引き、また、これまでに世界経済をリードしてきた中国などの国々の景気停滞の傾向がみられるようになってきた。当社の装置販売事業では、電気自動車（EV）の普及に伴いバッテリーケーブルやセンサー用ケーブルの需要が増加傾向にあること、また、1970年代・1980年代に設置されたEPSが更新時期を迎えていることなどから、電線用途向けEPSの受注が増加した。この状況を受け、当社は、顧客にメリットがある形でEPSを更新する方法を提案・実施している。

また、当社は、EB照射技術の普及と用途拡大のため、新たな照射製品の開発にも力を入れている。2024年には繊維材料へのEBグラフト重合による機能付与を検討し、新たな工業利用の可能性を探った。今後も、EB照射の更なる用途拡大を目指す所存である。

高電圧電源および高電圧電源応用製品については、関係会社である日新パルス電子株式会社（NPE）にて事業を展開している。NPEが独自開発したEV用モーターの評価試験装置（インバータパルス試験器）の市場はEV化が進むにつれて高まりを見せており、ラック形式であった従来型のインバータパルス試験機を大幅に小型化したポータブルタイプが製品化されている。

当社は、今後も社会の多様なニーズに応えるような技術と製品を開発・提供していく所存である。

（株式会社NHVコーポレーション）

7. 1 初期型EB照射装置の更新

EB照射は多種多様な製品の加工に使用されている。特に、高分子の架橋反応を利用することで、電線被覆材の耐熱性向上、タイヤに使用される天然ゴムの強度向上、発泡シートの品質向上等が期待できる。

図1に、当社が受注したEB照射装置の台数を分野毎の比率として示す。1970年代・1980年代に納入した電線分野向けEB照射装置が現在も稼働しているが、その多くが油入り（oil filled）直流電源（OF電源）と加速装置をoil filled式高圧ケーブル（OFケーブル）で接続した初期型装置であり、次の理由により装置寿命を迎えている。

- ① 絶縁変圧器、直流コンデンサ等に低濃度のPCB（ポリ塩化ビフェニル）が含まれている疑いがあり、2027年3月末までにこれらを処分する必要がある。
- ② OFケーブルが生産中止となり新規調達ができないため、OFケーブルにトラブルが発生した際に保守対応ができなくなる。

この状況を受け、2024年に、1973年および1981年に納入した2台の初期型装置を更新したので以下に説明する。

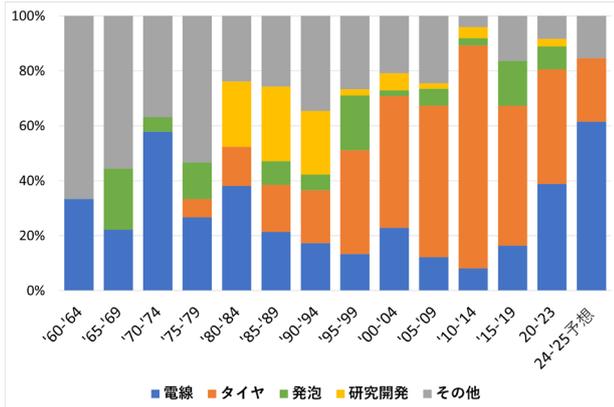


図1 当社EPSの分野別受注台数比率の推移

1. 初期型装置と現行装置の形状比較

初期型装置と現行装置の形状を図2に示す。OF電源またはCW（コッククロフト・ウォルトン）電源か、加速部が照射室内にあるか照射室外にあるか、電源部と加速部をOFケーブルで接続するか管路で接続するか、が主な形状の違いである。現行装置は、コンクリート遮蔽体の高さを低くするように、および油の使用を抑えて装置重量を軽くするように設計された。したがって、初期型装置から現行装置への更新の際にコンクリート遮蔽体を流用することは難しい。また、コンクリート遮蔽体を新設する場合、生産ラインを長期間停止する必要があるため、現在の電線市場が活況であることを考慮すると現実的ではない。よって今回の更新では、コンクリート遮蔽体および客先搬送設備を流用できるような装置形状を検討した。

2. 更新後装置の形状決定

更新後の装置形状を図2に示す。電源部と加速部を繋ぐ管路接続部を地面に対して垂直方向に設置し、さらに初期型装置の加速部の高さに合うように接続部を延長した。

3. 技術的な検討

① 管路接続部の検討

過去に同様の管路構造が使われたことがないため、図3に示す接続導体を新規に設計した。従来の設計手法では接続導体を支持する箇所には絶縁碍子を使用されるが、更新後の装置構造は大型になるため、水平方向および垂直方向の接続導体の支持部に複数の抵抗器を採用した。これにより接続導体の高電圧を分圧し、支持部の小型化を実現した。また、抵抗器周辺の電界を緩和するためにCAE（Computer Aided Engineering）による電界解析を実施し、効果的にフープ状の導体を配置することができた（図4）。

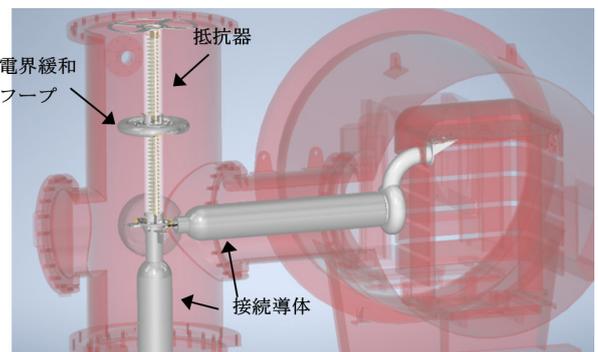


図3 接続導体の詳細形状

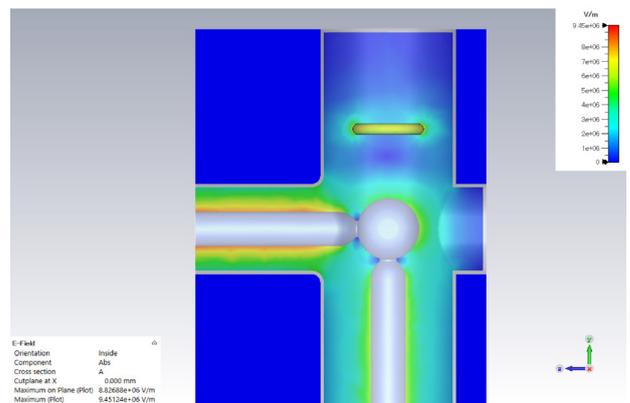


図4 電界解析結果

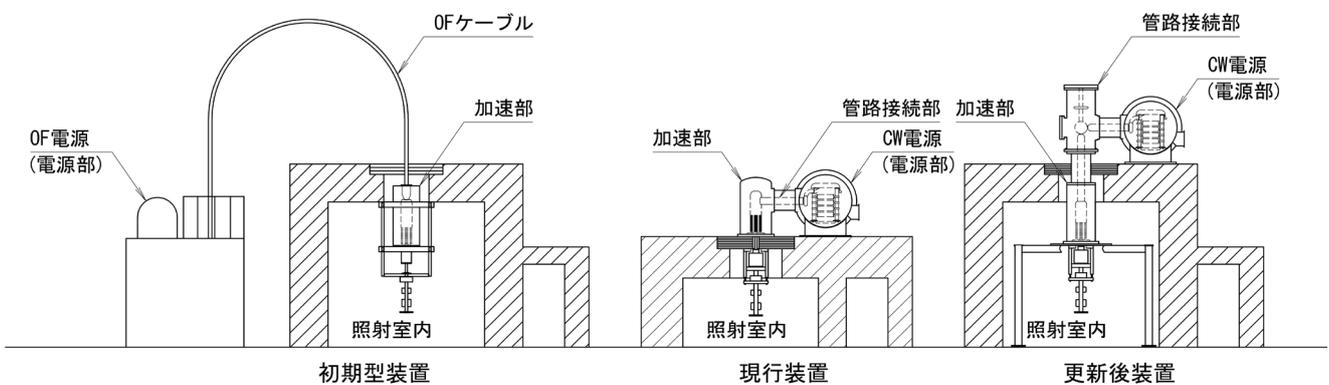


図2 初期型装置、現行装置、および更新後装置の形状比較

② 放射線挙動計算コード（PHITS）を用いたX線遮蔽設計の検討

従来の経験則に基づいたX線（放射線）遮蔽設計手法では裕度を持たせて安全率を計算する。今回は、X線の挙動を1つ1つ模擬できるCAEソフトのPHITS*⁽¹⁾を用いて解析することで、既存のコンクリート遮蔽体を流用するのに最適な遮蔽構造を実現した。

PHITSによる計算結果を図5に示す。コンクリート遮蔽体上部の装置外部の空間は全て緑色を示し、放射線量が十分に低レベルとなっていることがわかる。

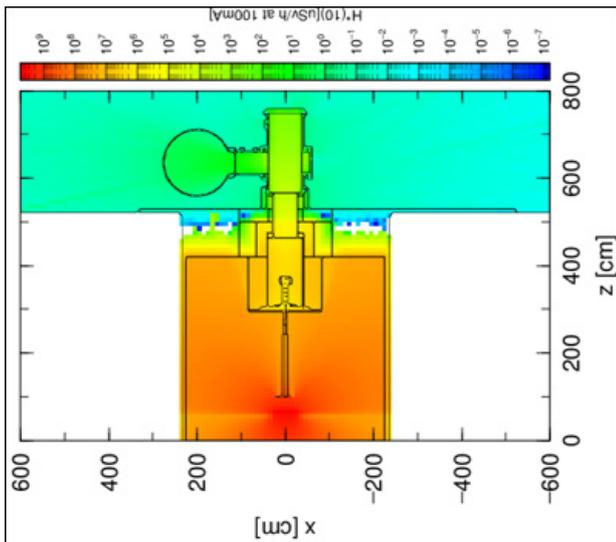


図5 PHITS計算結果

4. 更新のメリット

① 工期短縮

顧客の生産ラインの停止期間を大幅に短縮できる。

② 廃棄物削減

既設コンクリート解体時の廃棄物が削減でき、「持続可能な開発目標（SDGs）」にも貢献できる。

③ コスト削減

既設コンクリート解体作業費およびコンクリート遮蔽体新設施工費が削減できる。

④ スペースの有効利用

更新後は電源部をコンクリート遮蔽体上部へ設置するため、更新前に電源部を床置きしていたスペースを有効利用できる。

5. 最後に

初期型装置は顧客の工場で現在も稼働しており、今後も同様の更新が必要となることが予想される。今回の更新方法が今後の主流になると期待する。また今回の管路接続形状を応用することで、装置形状（レイアウト）の自由化、およびPHITSを使用することによるコンクリート遮蔽体の更なるコンパクト化を目指していく。

7. 2 SDGsに貢献するEBグラフト重合による繊維加工

EB照射は、高分子材料に高エネルギーの電子を照射することで高分子材料にさまざまな効果をもたらす。主な効果として、高分子鎖同士を結合させて3次元構造を形成する「架橋」があり、材料の耐熱性向上や加熱時の流動性の制御を目的として広く工業利用されている。

また、EB照射の効果には高分子材料に別の機能を付与する「グラフト重合」がある。しかしながら、グラフト重合によって親水性やハッ水性といった機能をフィルムなどに付与する研究事例は報告されているものの、実用化に至った例は少ない。これは、量産化における技術面やコスト面のハードルの高さが起因していると思われる。

当社では、環境に優しいクリーンなプロセスである「EBグラフト重合」を工業利用し、繊維材料に機能を付加する可能性を探っている。本節ではその成

果の一部を紹介する。

1. EBグラフト重合の原理

EBグラフト重合では、高分子材料にEBを照射して活性点（ラジカル）を生成し、それを別の機能をもつモノマーと反応させる。これにより高分子材料にモノマーがグラフト（接ぎ木の意）され、機能が付与される（図6）。

EBの透過能力や吸収線量をコントロールすることで、グラフト重合する部位（表面または内部まで）やグラフト重合の程度を調整できる。また、グラフト重合では機能性モノマーが高分子材料と化学的に結合するため、コーティングなどの加工法よりも付与した機能の耐久性が高い。

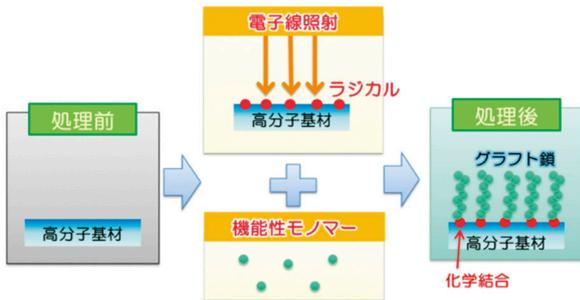


図6 EBグラフト重合の原理

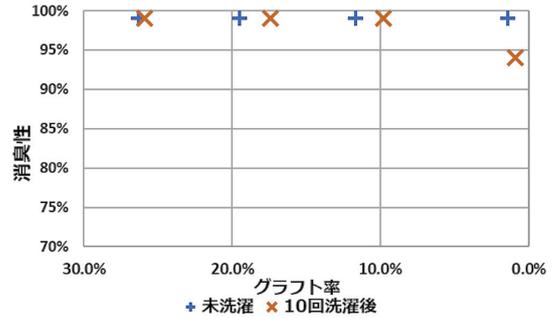


図8 アンモニア消臭試験

2. 繊維への機能付与

2.1 吸着機能

当社は、EBグラフト重合を用い、粒子状の高分子材料に陽イオン交換基であるスルホン酸基をもつp-スチレンスルホン酸ナトリウムをグラフトし、水中の金属イオンを吸着する材料を開発した。この材料は市販のイオン交換樹脂よりも吸着速度が速いことが分かる(図7)。

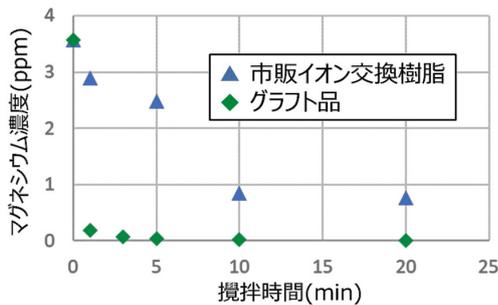


図7 地下水中のマグネシウムの吸着比較

また、機能性モノマーであるアクリル酸の綿繊維へのEBグラフト重合も検討している。アクリル酸がもつカルボキシル基はアンモニア等の悪臭物質を吸着するため、繊維に消臭効果を付与することが期待できる。

EBグラフト重合は、酸素による重合反応の阻害を防ぐため、通常は窒素ガスなどの不活性ガス雰囲気下で行わなければならない。そのため今回、大気中でEBグラフト重合を行う方法を確立した。これにより量産化のハードルはかなり下がると考えられる。グラフト重合した繊維のアンモニア消臭試験を行ったところ、10回の洗濯後もほぼ完全にアンモニアを吸着し、消臭効果が維持されていた(図8)。これは、EBグラフト重合の特長である高い吸着性能と機能の高耐久性を示すものである。

2.2 抗菌機能

当社では、EBグラフト重合を用いた綿やポリエチレンテレフタレート(PET)繊維の抗菌加工法の開発も行っており、良好な抗菌性能の発現を確認できてい

る。抗菌性レベルは、抗菌試験(JIS L 1902)に基づいて抗菌活性値を測定し、繊維評価技術協議会(SEK)で定められた評価基準にしたがって決定している。繊維の抗菌性レベルには、低い方から、抗菌防臭、制菌(一般用途)、制菌(特定用途)があり、そのレベルに応じて用途が定められている。

開発した抗菌加工繊維の抗菌性は最も高い制菌(特定用途)のレベルを達成しており、将来的には、医療用ユニフォーム向けなどの高い抗菌性性能かつ高耐久性が求められる用途への展開を考えている。

3. 環境負荷の低い繊維加工

カーボンニュートラル等の環境への配慮が求められる昨今、サステナブルな製品やシステムの重要性が高くなってきている。EBグラフト重合は、重合開始剤を必要とせず、かつ30~60℃程度の反応温度で実施可能であるため、上記のようなニーズを満たしている。

従来の化学修飾法では、反応開始剤、加熱処理や水処理で使う溶剤や触媒などが必要となる。一方、EBグラフト重合は、このような第三の物質を必要とせず、環境にクリーンなプロセスであるといえる。また、熱処理を必要としないドライプロセスであるため、エネルギー消費を抑え、CO₂排出を削減することができる。

さらに、加工後の製品は、洗濯耐久性が良好で機能性を維持するため、製品の寿命延長、そして廃棄物の削減にも繋がる。このように、EBグラフト重合は、繊維加工においてSDGs達成へ大きく貢献することが期待できる。

4. 今後の展望

EBグラフト重合は、繊維加工との親和性が高いと考えられるが、繊維業界における知名度は低い。当社は、繊維業界へのプロモーション活動の一貫として、2024年11月に開催された国際繊維学会にEB照射技術を出展し、反響を得ることができた。また数キロ単位での重量の繊維加工の試作も進めている。今後も、繊維加工法の開発を進めるとともに、繊維業界へのプロモーション活動を推進し、EB加工技術の用途拡大を図っていく所存である。

7. 3 インバータパルス発生器（ポータブルタイプ）

CO₂排出削減対策の一環として、EV、プラグインハイブリッド車（PHEV）、燃料電池車（FCEV）が普及拡大している。いずれのタイプにも、高効率なモータ駆動を実現するためにインバータ駆動方式が採用されているが、スイッチング動作に伴って高電圧のサージが発生する。それにより絶縁材料において部分放電が生じて絶縁が劣化することがモータ故障の要因となっている。

当社は、インバータサージ電圧を模擬的に発生させるインバータパルス発生器を独自開発し、広く市場に供給してきた。当社のインバータパルス発生器は、**図9**に示すように、任意の電圧・パルス幅・周波数等の設定条件でインバータサージ波形を発生させることができる。従来は高周波（正弦波）による試験装置が一般的であったが、高周波（正弦波）ではピーク電圧付近での時間が長く継続するため、部分放電の発生状況が実機とは異なる。実機に類似した波形が出力できるインバータパルス発生器を用いて部分放電評価することで、より精密な絶縁劣化の評価が可能になる。

当社は、従来の制御ラック形式のインバータパルス発生器と比較して、質量・サイズともに約1/6と大幅な小型化を実現したポータブルタイプを開発し、2024年12月に初号機を納入した。開発品と既存装置との仕様比較を**表1**に示す。開発品の定格電圧の増加要求も2件受けており、どちらも2025年3月までに納入予定である。近年、ポータブルタイプに限らず、インバータパルス発生器の引合いや問合せが増えており、試験需要も増加傾向にある。

当社は、電気学会で発足した「次世代パワーエレクトロニクスと共に発展するインバータ駆動回転機の絶縁技術 調査専門委員会」に参画している。この委員会では、自動車業界だけでなく、航空機業界でも電動化を目指す動きが活発になっていることも議論されている。これに示唆されるように、当社のインバータパルス発生器が、従来のEV関連の分野にとどまらず、今後、インバータサージ電圧の発生を伴うさまざまな分野の試験装置として適用され、その需要が拡大していくことが期待される。

当社は、今後とも、従来培った技術力やノウハウを生かし、さまざまなニーズに対応できる製品の開発・提供に邁進していく所存である。

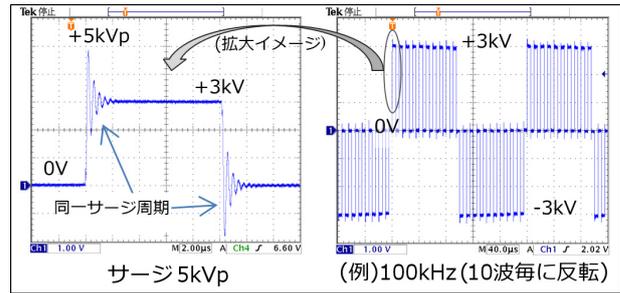


図9 出力波形例

表1 インバータパルス発生器の既存装置と開発品の比較

	既存装置 従来型ラック式： PG-W03KP-A	開発品 新型ポータブル式： PG-W03K-PORT
平坦部電圧	0～±3kV（可変）	0～±3kV（可変）
サージ電圧	0～±5kVp（可変）	0～±5kVp（可変）
パルス幅1	1μs～1ms（可変）	1μs～1ms（可変）
パルス幅2	100/200/300 ns	100/200/300 ns
周波数	10Hz～100kHz	10Hz～10kHz
極性反転 パルス数	1～999	1～99
質量	約210kg	・操作電源ユニット： 約22kg ・波形発生ユニット： 約11kg 計 約33kg
サイズ	W570×H1700× D800 mm	・操作電源ユニット： W480×H300×D535 mm ・波形発生ユニット： W480×H200×D535 mm
外観		

用語集

※ PHITS

Particle and Heavy Ion Transport code System (粒子・重イオン輸送計算コード)。あらゆる物質中でのさまざまな放射線挙動を核反応モデルや核データなどを用いて模擬するモンテカルロ法による計算コード。

参考文献〔7〕 電子線照射装置・高電圧試験装置

- (1) T. Sato, Y. Iwamoto, S. Hashimoto, T. Ogawa, T. Furuta, S. Abe, T. Kai, Y. Matsuya, N. Matsuda, Y. Hirata, T. Sekikawa, L. Yao, P.E. Tsai, H.N. Ratliff, H. Iwase, Y. Sakaki, K. Sugihara, N. Shigyo, L. Sihver and K. Niita, Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33, J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024)