

一般論文

関連するSDGs



新型電子線照射装置EB-XWの開発

Development of the New EB-XW Electron Beam Processing System

永井 雅浩
Nagai Masahiro
水谷 睦
Mizutani Atsushi

馬場 隆
Baba Takashi

概要

電子線照射技術は、電線被覆の耐熱性やタイヤ用ゴムシートの流動性の改善などの多くの工業的プロセスで利用されている。当社はこれまでに、広範なエネルギー領域(100kV~5MV)の電子線照射装置(Electron Beam Processing System : EPS) を国内外の顧客に多数納入してきた。近年、自動車の電氣化に伴う架橋電線の需要の高まりから、500kV~1,000kVの中エネルギー領域のEPSのニーズが増加している。また、持続可能な開発目標の達成に向けた取組みにより、EPSに対して環境への配慮や作業者の安全確保、装置小型化の要求が高まっている。

これらの要求に対応するため、我々は環境負荷の高い鉛材の使用量を大幅に削減し、保守作業の安全性を向上させた新型のEPS (EB-XW) を開発したので、これを報告する。

Synopsis

Many processes employing electron-beam irradiation technology have been put into practical use, such as improvement in the heat resistance of wires via cross-linking and improvement in the flowability of rubber sheets for tires. Our company has delivered many electron beam processing systems (EPSs) over a wide energy range (100 kV up to 5 MV) for these applications to customers in Japan and around the world. In recent years, the demand for cross-linked electrical wires has increased with the spread of electric vehicles, and the need for EPSs in the medium energy range of 500 kV to 1,000 kV has been increasing. As a result of efforts to achieve the Sustainable Development Goals, there is increasing demand for to address environmental considerations, ensure worker safety, and downsize equipment.

In response to these requirements, we report that the development of a new EPS (EB-XW) that significantly reduces the amount of lead used, which has a high environmental impact, and improves the safety of maintenance work.

1. はじめに

電子線照射装置 (Electron Beam Processing System : EPS) は多種多様な製品の加工に使用されている。なかでも高分子の架橋反応の分野で多用されており、電線被覆の耐熱性やタイヤに使用される天然ゴムの強度、発泡シートの品質などの向上に寄与している。この分野では、500kV、800kV、1,000kVの中エネルギー装置が適用されることが多い。

また、これまでEPSには大出力化や安定稼働が求め

られていたが、近年の持続可能な開発目標の達成に向けた取組みにより、環境への配慮や作業者の安全確保、装置小型化の要求が高まっている。

このような要求に応えるべく、当社では主遮蔽材として鉛を使用せず、メンテナンス時の安全性を向上させ、かつ省スペースを実現した、800kV新型EPS (EB-XW) を開発した。この装置では、500kVおよび1,000kVの装置へも展開可能な、装置構成の共通化も図られている。

2. EB-XWの仕様

EB-XWの仕様を表1に示す。

表1 EB-XW仕様

項目	仕様
加速電圧	800kV
電子流	100mA
走査幅	120cm
走査角度	60°
直流電源方式	Cockcroft-Walton回路
遮蔽方式	自己シールド形(鉄遮蔽)
照射方向	水平照射

3. 800kV従来装置との違い

EB-XWと従来装置の外形比較を図1に示す。

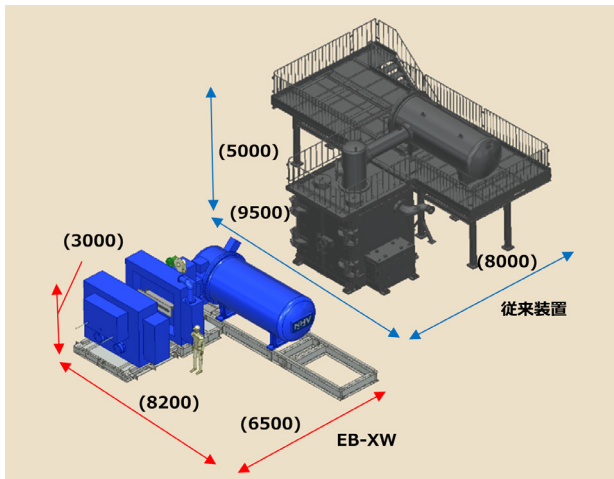


図1 EB-XWと従来装置の外形比較

3.1 照射方向

従来装置では、図2に示すように、電子をフロアレベルに向かって垂直に射出する垂直照射が多く採用されていた。垂直照射は重力方向と電子の進行方向が同一であるため、ビームラインの据付やアライメントが行いやすい。しかしその構造上、装置全体の高さが増加し、定期メンテナンス項目である加速装置部のメンテナンスが高所作業となる。そのため、EB-XWでは電子をフロアレベルに対して水平に射

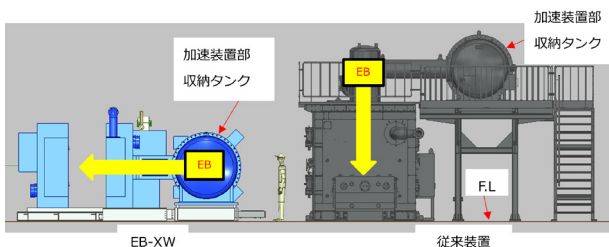


図2 照射方向比較
EB：電子線；F.L：フロアレベル

出する水平照射を採用した。水平照射では装置全体の高さが抑えられるため設置高さの制限が緩和され、加速装置部のメンテナンスは高所作業とならない。

3.2 タンク構造

従来装置は、図3に示すように、直流高圧電源と加速装置部を個別のタンクに収納し、その間を接続用タンクによって繋ぐ管路接続形を一般的に採用している。管路接続形の場合、接続用タンクを変更することにより、直流高圧電源用タンクと加速装置部用タンクの設置場所を自由に変更することができる。しかし、タンクが小型になり、かつ加速装置部のメンテナンスが閉所空間作業となるため、安全性が低く、メンテナンスに高いスキルと長時間を必要とする。

EB-XWの開発では、図4に示すように、直流高圧電源と加速装置部を同一タンク内に横並びで収納する一体型タンクを採用した。また図5に示すように、タンクを二分割構造にすることにより、タンク解放時に直流高圧電源全体が露出され、メンテナン

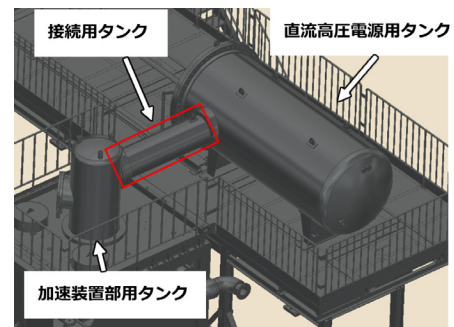


図3 従来装置のタンク構成

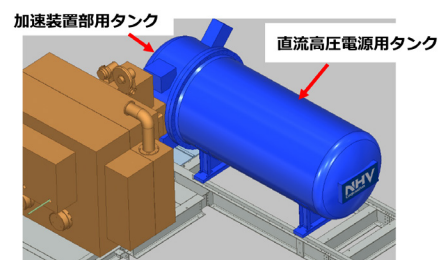


図4 EB-XWのタンク構成

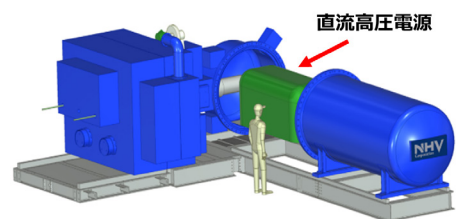


図5 直流高圧電源のメンテナンス

ス性が向上している。さらに図6に示すように、直流高圧電源と加速装置部を切り離し、直流高圧電源を分割された片方のタンクに収納することで、加速装置部のメンテナンスが閉所空間にならないようにした。

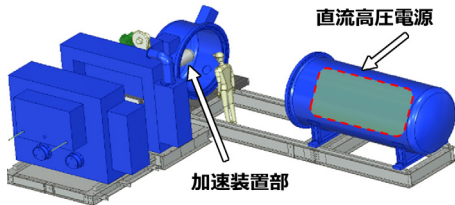


図6 加速装置部のメンテナンス

このような構造は、従来装置よりも安全性が向上し、かつメンテナンスに高いスキルと長時間が不要となり、メンテナンスコストの削減に繋がると考えられた。しかし、直流高圧電源と加速装置部を同一タンク内に横並びで収納する構造は、当社では初めての試みであり、直流高圧電源と加速装置部間の絶縁能力や加速装置部の冷却能力が十分に確保できるかが課題であった。

3.3 主遮蔽材

従来装置は遮蔽能力が高い鉛材を主遮蔽材とし、高強度な鉄と組み合わせた遮蔽構造体を採用していた。主遮蔽材に鉛を使用すると遮蔽体の厚みが薄くなり、装置の小型化に繋がる。しかし鉛は人体と環境に有害であり、また柔らかいため構造体としては扱いにくく、材料・加工のコストがかかる。そのため、EB-XWではより安全であり、加工性および流通性のある鉄材を主遮蔽材として採用した。ただし、鉄は鉛より遮蔽能力が劣るため、遮蔽体の厚みが増す。そこで遮蔽解析を行い、遮蔽厚みを最適化した。

4. 一体型タンクの検討

3.2節で述べたように、EB-XWは直流高圧電源と加速装置部を同一タンク内に横並びで収納する一体型タンクを初めて採用したが、その懸念点として、直流高圧電源と加速装置の箇所の電界強度と、タンク内の仕様温度以下への冷却の2点が挙げられた。

4.1 電界強度計算

過去にも直流高圧電源と加速装置部が同一タンク内に収納された装置はあったが、図7に示すように、加速装置部が直流高圧電源と同軸円筒状に配置された構造であった。これは、抵抗分圧された各加速電

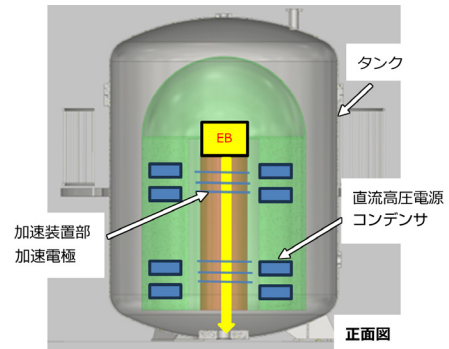


図7 同軸円筒状の配置が採用された装置

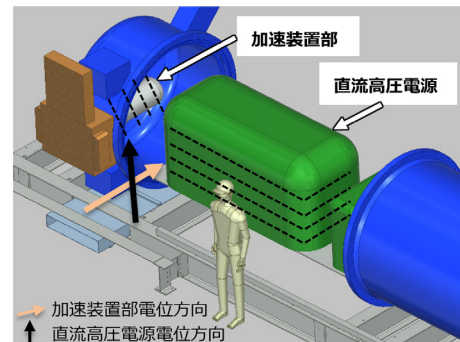


図8 EB-XWのタンク内配置

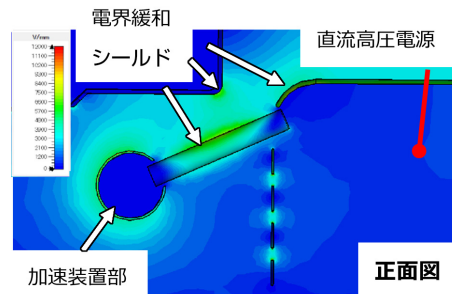


図9 タンク内の電界解析

極電位を直流高圧電源の各段のコンデンサ電位と近い位置に配置することによって、絶縁設計条件が緩和される構造であった。

EB-XWの場合は、図8に示すように、直流高圧電源と加速装置部は横並びの配置であり、かつ直流高圧電源と加速装置部の各段の電位変化が直交方向であるため絶縁設計条件が厳しくなる。そのため、図9に示すように、電界解析を行って最適な機器配置を検証し、電界緩和シールドを設け、実機検証にて880kV（定格の1.1倍）の耐電圧で問題がないことを確認した。

4.2 タンク内冷却能力

EB-XWでは、直流高圧電源の熱源と電子源部の熱源が同一タンク内にあるため、双方から発生する熱を冷却する構造が必要である。冷却能力が不十分

であれば、加速装置部からのアウトガスなどで電子線の引出しや加速性能が不安定になり、装置故障に繋がる。

直流高圧電源と加速装置部が同軸円筒状に配置された装置（図7）では、基本的にガス冷却装置をタンクと外部接続し、ガス循環冷却によってタンク内温度を一定に保つ。しかし、このガス冷却装置は高価かつ設置スペースが必要となるため、EB-XWの開発ではガス冷却装置を使用しない方針とし、タンク内にラジエーターとファンを設けてタンク内を強制循環冷却させる方式を採用した。また、加速装置部付近の温度を重点的に冷却するためにラジエーターとファンを加速装置部上部に配置し、整流板や湾曲したタンク壁面を活用することで、ラジエーターによって冷却されたガスを加速装置部付近へと整流させた。その上で、図10に示すように、流体解析と最大定格（800kV～100mA）の連続運転による実機検証を行い、仕様温度以下で問題なく装置を運転できることを確認した。

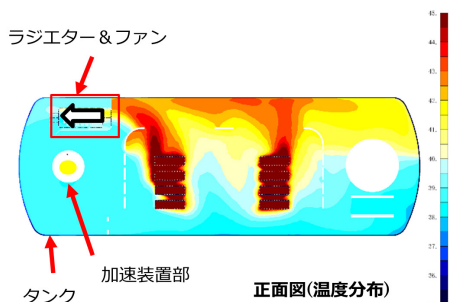
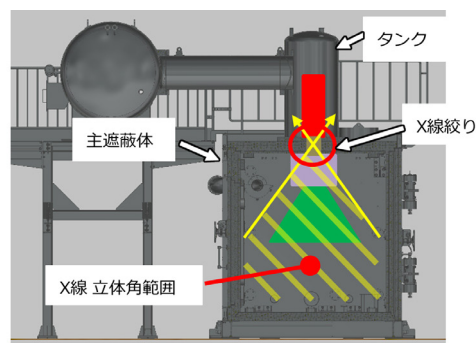
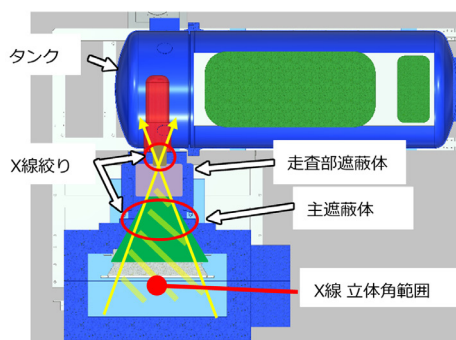


図10 タンク内温度分布解析

蔽計算には、遮蔽厚みの最適化を図るため、電子・光子輸送計算のモンテカルロシミュレーションを行う Electron Gamma Shower Version 5 (EGS5) を使用した（図12）。解析から必要な遮蔽厚みと範囲を算出し、タンク壁面の補助遮蔽鉛の厚みを最適化することができ、タンク壁面の補助遮蔽鉛が従来装置より75%以上削減された。また実機検証にて、X線漏洩量が基準値内（1.8 μ Sv/hr以下）に収まっていることも確認した。



従来装置 (側面図)



EB-XW (平面図)

図11 遮蔽構造の比較

5. 遮蔽部材削減の検討

3. 3節で述べたように、EB-XWでは加工性および流通性のある鉄材を主遮蔽材として採用した。さらに、加速装置部を収納するタンクに使用する補助鉛を削減すべく、ビームライン箇所の遮蔽構造の検討を行った。従来装置は、図11に示すように、走査管部全体を主遮蔽体の中に入れた構造を有する。単純な構造であるが、加速装置部から主遮蔽体が見える立体角の広がりが大きいため、主遮蔽体内で発生したX線の減衰量（絞り）が少なく、タンク壁面全体に多くの補助遮蔽鉛が使用されていた。EB-XWは加速管中央部を主遮蔽体に貫通させ、はみ出た走査部に小さな走査部遮蔽体を設ける構造とした。これによりX線の絞り箇所が主遮蔽体と走査部遮蔽体の2箇所となり、加速装置部へのX線量が従来装置に比べて少なくなった。遮

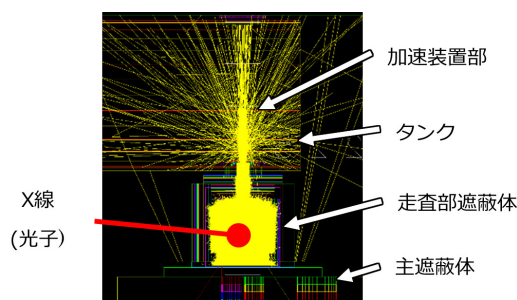


図12 EGS5解析

6. 共通構造化

EB-XWの開発では、今後の各種アプリケーションやレイアウトの展開を意識し、共通構造を採用した。具体的には、図13に示すように、X線遮蔽体を縦に二分割し、片側を走査管（真空チャンバ）の固定用、も

う片側を照射対象物の搬送ユニットの固定用に分けた構造とした。その結果、搬送ユニット側の遮蔽体を変更することによって各種アプリケーションに対応可能となっている。また、加速装置部を収納しているタンクは任意方向に設置可能とした。これにより、同一構造で照射方向を自由に変更することができる。

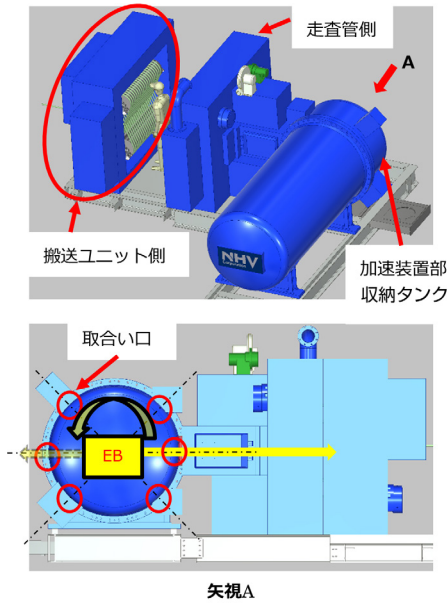


図13 共通構造化

7. まとめ

近年、産業分野において環境や人への配慮が重要視されてきており、このような時代のニーズに沿えるよう新型EPS（EB-XW）の開発を行った。今後さらに地球温暖化や高齢化などが進むと予想されているため、今以上に厳格な環境や人への配慮が必要になると考えられる。

また、EPSでは絶縁ガスとしてSF₆（六フッ化硫黄）が使用されているが、これは温暖化係数が高いため、使用制限が今後ますます厳しくなると予想される。しかし、同等の絶縁性能を有する代替ガスは現状存在しない。そのため当社では、絶縁方式を変更したEPSを開発することが命題であると考えており、現在、二酸化炭素などの自然由来ガスを使用する新たな代替方式の検討を進めている。

最後に、今回開発したEB-XWについては、500kVや1,000kVへの装置展開を進める予定であり、今後も時代のニーズの変化に対応したEPSを継続して開発・製造していく所存である。

執筆者紹介



永井 雅浩 Nagai Masahiro
株式会社NHVコーポレーション
技術部 主任



馬場 隆 Baba Takashi
株式会社NHVコーポレーション 取締役
博士(工学)



水谷 睦 Mizutani Atsushi
株式会社NHVコーポレーション 理事