

〔7〕 電子線照射装置・高電圧試験装置

1952年に電子線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した電子線照射技術は、今日、工業的に広く利用されるようになった。真空中で加速した高速の電子を大気中に取り出し、種々の材料に照射する設備は、電子線照射装置（EPS: Electron beam Processing System）と名付けられ、当社は1950年代から商品化し市場に提供してきた。

電子線照射技術は、これまでポリエチレンやポリ塩化ビニル等の電線被覆を架橋させ耐熱性を改善したり、熱収縮チューブの形状記憶効果を安定させたり、タイヤ用ゴムシートの流動性を改善したりする等、多くのプロセスが実用化されている。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EPS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、当社は国内3拠点（京都、前橋、鳥栖）に保有するEPSを使用して、顧客のニーズに応じた多様な機能の付加などを目的とした実験照射や、顧客の各種部材や製品の受託照射加工を行っている。

2022年は、世界全体では新型コロナウイルスなどの影響による景気減速からの回復が期待されていたが、同年2月に発生したロシアによるウクライナ情勢の影響により、欧州を中心に景気回復の遅れが見られた。一方、当社における装置販売事業では、アジアを中心に、円安による追い風もあり、電線、タイヤ、発泡シート等の用途向けEPSの見積・受注が増加し、堅調な回復が見られた。メンテナンス・サービス事業では、当社の全世界に広がるEPSの安定稼働に向けて、サービス体制の強化を図っている。新型コロナウイルスの感染対策が緩和され、海外への移動の制約が少なくなったことから、顧客の状況に合わせて、出向サービスや遠隔支援サービスなどを提供できる体制を構築した。また、今後大きな景気拡大が期待されるインド・東南アジアでのメンテナンス・サービスの向上のため、タイにサービス拠点を立ち上げた。当社は、全世界へ納入したEPSのさらなる安定稼働を目指し、各地域でのメンテナンス体制の再構築を進めている。

中国市場においては、当社製品の拡販のため、2011年に日新馳威輻照技術（上海）有限公司を設立し、事業展開を進めている。2022年は上海ロックダウンなどゼロコロナ政策により、一部で経済回復の遅れが見られたが、全体としては回復基調で、自動車産業も需要の回復から、中国地域のタイヤ会社は国内設備の増強および東南アジアへの進出拡大があり、これらに向けたEPSの需要増により、中国国内でのEPS製造販売は堅調に推移した。

照射サービス事業においても、主要な受託照射であるパワー半導体のデバイス特性改善用途は、2022年前半に、新型コロナウイルスの影響などにより民生（主にエアコン）品や車載デバイスなどの需要の減少が見られたが、同年後半は徐々に回復し増加傾向となった。来年はさらなる増加が期待されている。また当社では、電子線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。2022年は、学習用として簡単に照射実験ができる実験樹脂の開発・製品化や量子センサの開発などを手掛けた。今後、電子線照射の用途が広がるように推進する所存である。

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の主力製品である高電圧試験装置は、電力機器や電力ケーブルの試験用途で使用され、開発途上国などでのインフラ整備のため需要が増加している。

2022年は、既存の高電圧試験装置の一部に使われているPCB（ポリ塩化ビフェニル）使用機器の法定処置期限が近づいており、更新需要が増加している。さらにEV用モータの評価試験装置（インバータパルス試験器）、高周波試験機も継続して納入を行っている。また、高電圧試験の一つである部分放電測定試験では規格改正が進んでおり、当社では、顧客に対して、新たな規格に対応した部分放電測定用計測器への更新の提案を始めることにより、今後さらなる拡大を期待している。

当社は、今後も社会の多様なニーズに応えられる技術と製品を開発し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 電子線照射装置 (EPS) のグローバルなメンテナンス・サービス体制強化

当社の主力製品であるEPSは、主としてタイヤ用製造設備、架橋電線用製造設備、発泡ポリエチレン用製造設備として利用される。いずれも自動車産業に関連しており、納入先はグローバルに広がる。

EPSは真空技術、高電圧技術、ビーム発生・制御技術などからなる複合技術を基礎としており、その維持管理は複雑となる。当社のEPSはさまざまな工夫により生産設備としての信頼性を極力高めているが、これは専門の知識を保有する人員による計画的なメンテナンスを前提としている。しかしながら、新型コロナウイルスの影響により、渡航規制や出入国後の隔離等のため、当社の技術者が顧客の工場へ訪問し点検することが困難となった。この期間は、顧客に説明資料をもとに、自ら点検作業を実施いただき、当社はWEB会議の仕組み等を用い、それを支援する取組みを行った。

このような経験を通じて、世界におけるメンテナンス・サービス体制を改めて整備する必要性を認識し、2022年10月にタイにアフターサービス拠点を設立した。また、その他の地域においても新たな取組みを開始している。以下にその概要を紹介する。

1. タイ

2022年10月に、日新電機グループのNISSIN ELECTRIC (THAILAND) CO.,LTD. (NET) の一部門として、EPSのアフターサービス事業を行う部門を新設した。この部門は、タイ国内に設置されたEPSのメンテナンス、技術サービスやトラブルの対応と同時に、メンテナンス部品販売を行うことを目的としている。

NETでは、日本より赴任したEPS技術者が一般機械メンテナンス経験の豊富な現地技術者にメンテナンスのスキル教育を行い、十分なサービスが提供できる体制とした。同年10月以降、多くの顧客から装置状況について相談があり、地域内にアフターサービス拠点が存在することで日本からでは成しえなかった顧客とのより深い関係性を構築できるものと確信している。

現在、タイでは約20台のEPSが稼働しており、まずはタイ国内のアフターサービスに注力し、数年後には東南アジア全域に事業範囲を拡大する計画である。東南アジア全域では約40台のEPSが稼働しているので、体制強化を行っていく所存である。

2. 米国

1988年にNHV AMERICA,INC. (NHVA) を設立し、北米南米地域を対象にEPS販売、メンテナンス、技術サービスやトラブルの対応と同時にメンテナンス

部品販売を行っている。2022年時点で6名体制であるが、アフターサービス面の充実を図るため、EPS技術を保有する現地エンジニアリング会社と提携を始めた。現在、NHVAの技術者が同エンジニアリング会社の技術者と共同でメンテナンスを行い、技術指導を進めている。2023年からはエンジニアリング会社単独でのメンテナンス実施を実現し、米国におけるメンテナンス人員の増強を目指している。

3. 中国

2011年に、日新馳威輻照技術（上海）有限公司 (NHV-AT) を設立し、中国国内向けのEPSの製造販売および自社が納入した製品のアフターサービスを行ってきた。

しかしながら、中国はゼロコロナ政策によって、当社（日本）からのメンテナンス人員の渡航が困難となったため、NHV-ATが自ら、当社が納入したEPSのアフターサービスも行う方針とした。このため、2021年に、NHV-AT内に当社仕様のトレーニング用EPSを設置し、その装置を用いてメンテナンストレーニングを行うとともに、当社からはWEB会議ツール等を通じて指導を実施した。

その結果、現在では、当社のEPS製品のメンテナンスについて主たる範囲が実施できるようになっている。今後、人員増強を進め、アフターサービス事業の拡大を進めていく計画としている。

4. 欧州

2022年現在、当社は欧州拠点を開設していないが、米国と同様に、EPS技術を保有する現地エンジニアリング会社と提携して、当社EPSのメンテナンスを開始した。

欧州の顧客に納入したEPSにおいて、当社の技術者と現地エンジニアリング会社の技術者とが共同でメンテナンスを行い、技術指導を行ってきた結果、現在では一部の機種について現地エンジニアリング会社単独でのメンテナンスが可能となっている。

現地エンジニアリング会社の人員体制が小規模なため、現在は一部の顧客に限定した対応となっているが、今後は人員増強を進めていく所存である。

5. 今後の展開

上記のとおり、当社は東南アジア・米国・中国・欧州のメンテナンス・サービス体制の強化を進めており、今後も市場拡大が著しい地域を中心に積極的に体制強化を図っていく予定である。

また、これら海外拠点を統括する当社の機能強化も重要と考えている。IoTを使った装置運転データ等の情報自動収集システムなどにより得られたデータを解析して、各装置に必要なメンテナンスを顧客へ提案しつつ、地域ごとの拠点から顧客を訪問しメンテナンス

を行うといった姿を目指していく。

このような新しい機能やサービスにより、EPSの安定稼働を実現させて顧客の事業に貢献し続ける所存である。

7. 2 電子線照射のアプリケーションへの取り組み

電線被覆材やタイヤに使われるゴムシートの耐熱性向上などを目的とした電子線照射の工業利用は、半世紀以上の歴史をもち、今なお広い分野で利用されている。また、炭化ケイ素繊維の超耐熱化やパワー半導体向けのシリコンウエーハの特性向上といった新しい用途が開発されるなど、電子線照射のアプリケーションは近年広がりを見せている。

当社は電子線照射技術の普及と適用分野拡大のため、新たなアプリケーションを見出すことに注力している。本稿では、その活動の中で、特に注目される2つのアプリケーションについて紹介する。

1. 学校教材「生分解性 放射線（電子線）実験樹脂」

2021年度より中学校において実施されている学習指導要領⁽¹⁾に、放射線に関わる学習が盛り込まれており、放射線の存在とその利用方法について教育することが奨められている。

理科の学習においては、実際に体感できる教材が非常に有効であるが、放射線の存在を観察したりその量を測定したりする教材はあるものの、放射線の効果を体感する教材は無かった。そこで、当社は国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構（QST）の技術指導を受けて、学校教材「生分解性 放射線（電子線）実験樹脂」を開発し、2022年4月より販売を開始した（図1）。

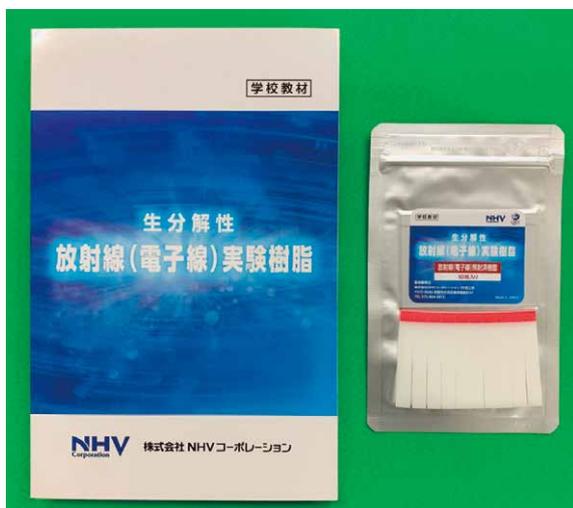


図1 放射線（電子線）実験樹脂

放射線の一種である電子線は、ポリエチレンなどのフィルムに照射して架橋することで、形状記憶を付与することができる。ここでいう形状記憶とは、加熱により特定の温度に達すると収縮が起こり、電子線照射した際の形状まで戻る性質を指し、食品包装用のフィルムなどに利用されている。この性質を簡便かつ安全に体感できるものが、今回開発した学校教材である。

本教材は、ポリカプロラクトン（PCL）という生分解性樹脂を用いている。生分解性樹脂は、最近マイクロプラスチックによる汚染で問題視されている汎用プラスチックの代替として、注目されているものの、熱にかなり弱いという欠点をもっている。そのため、電子線架橋による耐熱性の向上が研究されており、今回はPCLを電子線架橋により、耐熱性を加えたほか、形状記憶も併せて付与した。通常のPCLは60℃以上の温水に浸漬すると、透明になるとともに軟化して、軽く引張ると塑性変形を起こし、元の形に戻ることは無い。電子線架橋したPCLは、60℃以上の温水で透明になり、引張ると塑性変形を起こすが、通常のPCLより硬くなっており耐熱性が向上している。また再び温水に浸漬することで、元の形状に戻る。本教材には電子線未照射のPCLと照射済みのPCLを同梱しており、これらを比較することで、電子線照射の効果をはっきりと実感することができる。

また放射線や電子線については、中学校の教員も今まで触れる機会が少なかったため、指導の仕方に苦勞しているとの意見があり、当社HPにて、放射線や電子線について本教材を使った解説ページを公開した⁽²⁾。本教材による実験の際に参照すれば、学習者の理解が深まると考えている。今後、本教材を通じて放射線の教育がより盛んになっていくように、教材メーカーや教育機関への働きかけをしていく所存である。

2. NVセンサ用ダイヤモンドの作製

有機材料である樹脂の加工に用いられることが多い電子線照射であるが、半導体向けのシリコンウエーハなどといった、無機材料へ照射する事例もある。これらは電子線照射により、結晶中の「原子のはじき出し」や「電子の励起による欠陥生成」を目的として

いることが多い。当社は、近年、住友電気工業株式会社、日新電機株式会社と共同で、この欠陥生成を量子センサへ応用する研究を進めている。以下にその概要を紹介する。

窒素（N）を微量に含んだ人工ダイヤモンドに電子線を照射すると、空孔（V）が生成される。その後の処理によって、窒素と空孔が結合することで、NV⁻センターが生成される（図2）。このNV⁻センターは、電子を捕獲して、磁場、電場、温度に対して電子スピンの状態を変化させる。この状態変化を高感度で検出でき、さらにダイヤモンドの強固な結晶構造に起因して、室温でも状態変化の測定が可能な点から、電子線照射した人工ダイヤモンドは、高感度センサ（NVセンサ）などへの応用が期待されている⁽³⁾。

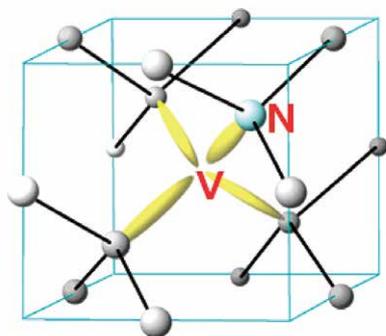


図2 NV⁻センターの模式図

この時の電子線照射は、樹脂に行うような極短時間の照射とは異なり、長時間の照射を行う。電子線照射においては、照射量がNV⁻センターの生成量に直結するため、照射時間をしっかりと管理する必要がある。

このような、通常と異なる照射方法についても対応できるように照射材料の搬送方法や照射条件の検討を行うことで、NVセンサの開発に貢献している。

3. さいごに

電子線照射技術は、熱処理など他の技術と比較して省エネルギーで、有害な溶剤などを使用しなくてもよいといった特長をもっている。今後もさまざまなアプリケーションを作り出し、電子線照射が顧客のニーズやSDGsの達成に貢献できる技術になるように研究開発を推進していく所存である。

7. 3 新規格に準拠した部分放電測定器

当社では、高電圧電源の設計・製造技術を活用したユニークな製品の開発・販売、また高電圧試験関連の知識と経験を用いて、ヘフリー社（スイス）およびハイポトロニクス社（米国）の高電圧試験装置および各種計測装置の輸入代理店販売と技術サービス提供を行っている。

本稿では、2021年6月、測定技術の一つである部分放電測定の新規格"JEC-0401"が大幅に改定されたことで、今後需要の増加が期待されるヘフリー社製の部分放電測定器とその関連機器について報告する。

1. 部分放電試験とは

部分放電（Partial Discharge）とは、導体間の絶縁部分に電界が集中して局所的に生じる放電現象のことである。部分放電自体は局所的な小さい放電ではあるが、この放電が継続することで絶縁部分・材料等の劣化が進展し、絶縁部分の完全短絡等の大きな故障や事故を生じる恐れがある。特に、安定供給が重要視される電力網の主要機器となる変圧器、開閉器、電力ケー

ブルなどの製造工場での出荷前の製品試験や、電力関係の研究所等における電気性能の検証試験に、部分放電試験が実施される。この部分放電試験は、商用周波数の交流電圧を対象物に印加し、その機器から部分放電が発生しているか否かを確認する試験である。

部分放電は一般的に信号レベルが小さく、その放電信号の検出と測定には専用測定器が必要となる。また、放電の様相は対象機器に印加される交流電圧の位相にも依存することが多く、位相の情報とともに部分放電の発生位相を示すことが必要となる。ヘフリー社では、この測定に特化し、国内外の規格に準拠した専用測定器を最新のデジタル技術を取り入れて開発・製造・販売を行っており、顧客の使用条件・試験種に応じて複数の製品ラインアップを揃えている。

また、部分放電試験を実施するためには、対象製品へ電圧を印加する交流発生装置（試験用変圧器）、高電圧が印加状態で部分放電の信号を検出する結合コンデンサ、交流信号から部分放電信号のみを取り出し測定器へ送る検出インピーダンス、測定される信号を正

しく表示するための校正パルス発生器等の付属機器が必要となる。

2. 部分放電試験に使用される測定器

部分放電試験の一般的な簡易回路を図3に示す。

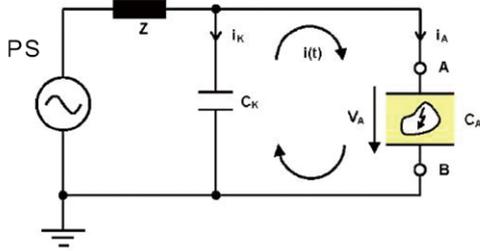


図3 部分放電測定回路

ここで、

- PS：交流高電圧電源
- Z：ブロッキングコイル
- C_K ：結合コンデンサ
- C_A ：被試験体

となる。

被試験体 (C_A) で発生した部分放電は、結合コンデンサ (C_K) の低電圧側にある部分放電信号検出用の検出インピーダンスで検出され、同軸ケーブル（または光ファイバケーブル）を介して測定部へ送られ、専用画面上に位相情報とともに部分放電信号が表示される。画面表示例を図4に、接続状態を図5に示す。

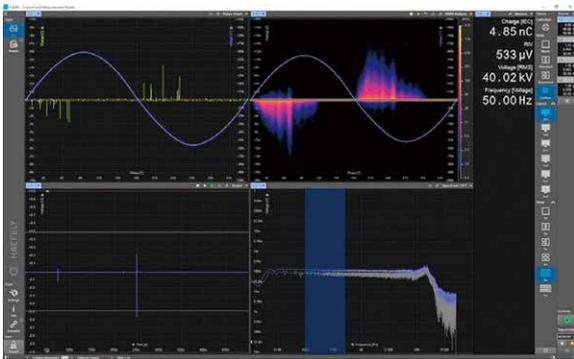


図4 画面表示例



図5 三相変圧器での高電圧側の接続状態
(結合コンデンサとの組合せ例)

部分放電測定では、部分放電の信号レベルが小さいこと、測定周波数が数10kHz～数MHz帯であるため、試験電源の交流電圧に含まれる高周波信号成分や空中にあるラジオノイズ等の外来ノイズによる影響を受けやすい。よって、測定においては供給電源にノイズ抑制用のフィルタ回路・変圧器を追加するとともに、空中からの伝播ノイズに対してはシールドルーム設置等も必要になる。

3. 当社取扱いの部分放電測定器

当社が取扱うヘフリー社製 部分放電測定器 (DDXシリーズ) は、国際規格であるIEC 60270:2000+Amd.1:2015、IEC60600 part 1&2の他、ANSI、IEEE Std.等の各種規格にも準拠しており、また、部分放電測定的一种であるNEMA、ANSI、CISPR等の国際規格で定めたラジオ障害波電圧 (Radio Interference Voltage) の測定にもオプション機能・機器の追加により対応することができる。

この測定器は、部分放電および電圧信号の測定を行う本体ユニット、測定器の制御や電圧信号の解析・表示を行う自社開発の専用ソフトウェアで構成されている。専用ソフトウェアは一般的に使用されているパソコンにインストールし、光変換ユニットまたはLANケーブルを経由して本体ユニットと接続される。部分放電測定器は、接続方法や用途に応じて大きく分けて2種類あり、その主要な仕様一覧を表1に、それぞれの外形を図6、図7に示す。

表1 部分放電測定器の主な仕様

型 式	DDX 9160/9161	DDX 9121b
信号伝達	光ファイバ	同軸/LANケーブル
設置場所	高圧エリア内	測定室内
周波数帯域 (-6dB)	30kHz~1.5MHz 300kHz~20MHz (9160/9161 共通仕様)	30kHz~1.5MHz
測定感度	0.01pC以下	0.1pC以下
測定 チャンネル数	最大4ch	同左
検出 インピーダンス	内蔵(最大1A)、 または別置き	別置き
機器寸法 (W×D×H)	170×250×55mm (9160) 342×315×86mm (9161)	483×306×89mm
機器質量 (本体のみ)	1.3kg (9160) 6.0kg (9161)	6.2kg
駆動電源	直流電源 (9160) 商用電源 (9161)	商用電源
規格対応	IEC 60270、IEC 60600-1.2、ANSI、IEEE等	
制御/測定用 PC	一般的なPCへ専用ソフトをインストール	



図6 部分放電測定器 タイプDDX9160_9161
(左: DDX9160、右: DDX9161)



図7 部分放電測定器 タイプDDX9121b

また、2022年にリリースされた「DDX9160」および「DDX9161」は、下記の特徴を備えている。

① 安全設計

測定器本体を、高電圧試験エリアに設置された結合コンデンサの近くに設置し、本装置（試験エリア側）と制御・解析用PC（測定室側）間を光ファイバケーブルで接続することが可能なため、完全な電氣的絶縁が保たれ、異常時の高電圧短絡とサージ発生による機器破損や感電事故等のリスクを大幅に軽減できる。

② ノイズの排除設計

測定器本体からの信号を光信号で送るため、同軸ケーブルと比較して外来ノイズによる測定信号への影響を軽減できる。さらに、これまで同社の製品には搭載していない検出インピーダンスの内蔵により、電源部分についても外部由来のノイズの影響を軽減できる。

4. 今後の展望

2022年1月に部分放電測定の内規規格が改正され、他の電気規格と同様に国際規格への対応が進んでいる。また、改定された規格では使用する測定器、付属機器（校正パルス発生器）のトレーサビリティに関する記載も追加され、測定器・付属機器の性能維持や測定の確からしさに関する要求レベルが上がり、同社の部分放電測定器および付属機器への更新・新規需要は増えてくるものと期待している。

当社は、技術力を活かしてヘフリー社の正規代理店として、今後とも同社の部分放電測定器の販売を通して、要求レベルの高まる部分放電測定試験について、顧客の支援を実施していく所存である。

参考文献 [7] 電子線照射装置・高電圧試験装置

- (1) 「中学校学習指導要領 第2章 各教科 第4節 理科」(文部科学省) (https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/ri.htm)
- (2) 株式会社NHVコーポレーション:「学校教材 生分解性放射線(電子線)実験樹脂」(<https://www.nhv.jp/eb/educational.html>) (参照: 2023/3/17)
- (3) 左亦康、林司他,「NVセンサ用ダイヤモンド素子とその応用の可能性」, 住友電工テクニカルレビュー, 第198号, PP. 67-72(2021)