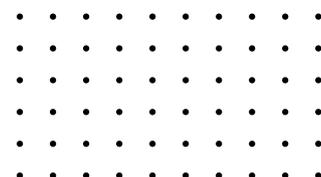


C-press

vol. 133号

2026.2.27発行

- ・ エネルギーサイト訪問記
- ・ 社会で役立つ放射線





第30回

中部地方を中心に、エネルギーの安定供給や次世代に向けた先端研究に関わる施設をシープレス編集部が訪問し、その取り組みをご紹介します。

薄く・軽く・曲がり、原材料を国内調達できる 「ペロブスカイト太陽電池」を開発し、 社会実装へ加速 ペクセル・テクノロジーズ株式会社 (神奈川県川崎市)



ペロブスカイト太陽電池の横浜港大栈橋での耐久試験(環境省カーボンニュートラル技術開発・実証事業)

どうい
桐蔭横浜大学 医用工学部 特任教授
東京大学先端科学技術研究センター・フェロー
ペクセル・テクノロジーズ株式会社 代表取締役

みやさか つとむ
宮坂 力さん

東京大学大学院工学系研究科を修了(工学博士)、富士写真フイルム(株)主任研究員を経て現職。2004年に横浜市のベンチャー推進策に呼応してペクセル・テクノロジーズ(株)を設立。

色素増感太陽電池の研究過程で、ペロブスカイトを増感剤に使う実験を始め、2006年～2009年に「ペロブスカイトを使った光発電」の論文を相次いで発表(ペロブスカイト太陽電池の開発)。

以降、多くの官民プロジェクトを通じた開発支援、電池性能の向上やコスト低減に注力。クラリベイト・アナリティクス引用栄誉賞、日本化学会賞、応用物理学会賞、山崎貞一賞、ランク賞、朝日賞、日本学士院賞など受賞多数。ノーベル化学賞の候補と目されている。著書に「大発見の舞台裏で!」(さくら舎)など。



日本が生んだ画期的な太陽電池の開発者に聞く

日本の電力需要はAI(人工知能)の普及に伴うデータセンターや半導体生産の増加、輸送機器の電動化などにより増え続けると予測されていますが、脱炭素電源の一つであるメガソーラーの適地は減少し、太陽光発電の大規模な開発は難しくなっています。

このような中で期待されるのが、設置場所が制約されることなく、多様な場所で手軽に発電できる次世代の太陽電池です。様々なタイプが研究される中で、本命視されているのが日本で発明された「ペロブスカイト太陽電池(Perovskite Solar Cell)」です。

そのパイオニアである桐蔭(とういん)横浜大学(横浜市)の宮坂特任教授は、研究室で技術探求と人材育成に取り組むとともに、大学発のベンチャー企業ペクセル・テクノロジーズ株式会社を設立し、ペロブスカイト太陽電池の製品化や開発支援、製造装置の開発などに注力されています。

シープレス編集部はこの画期的な太陽電池の特徴や開発のエピソード、今後の展望などを伺うため、ペクセル・テクノロジーズ株式会社を訪問しました。(本稿のデータは2025年11月の取材時点のものです)

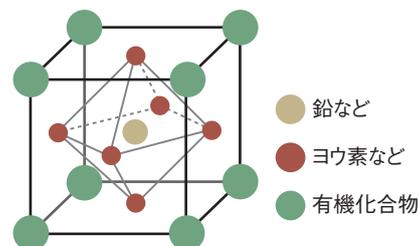
ペロブスカイト太陽電池とは？

●変わった名前ですが、どんな太陽電池なのですか？

ペロブスカイトは1839年、ロシアの鉱物学者ペロブスキーによって発見され、その名は彼に由来しています。特徴的な結晶構造を持ち、この構造を持つペロブスカイト酸化物の中には、電気的・磁気的な性質を示すものもあり、人工的に合成して新しい材料をつくるのが可能です。

この「ペロブスカイト構造」を利用し、ヨウ素などの元素を組み合わせると半導体として応用したものが、近年注目されている「ペロブスカイト太陽電池」です。光が当たると、マイナスの「電子」と、プラスの性質を持つ「正孔」が生成されます。これらが結晶内を移動することで電流が生じ、光エネルギーを電気へと変換します。

◆ペロブスカイトの結晶構造



●一般的な「シリコン太陽電池」とどこが違うのですか？

太陽電池には様々な種類がありますが、現在の主流は「シリコン太陽電池」で市場の95%を占めています。その仕組みは、性質の異なる2種類の半導体(n型とp型)を貼り合わせ、その2つが接する界面に光エネルギーが入ると電子(-)と正孔(+が発生して発電します。

シリコン太陽電池は、耐久性に優れ、変換効率(太陽光エネルギーを電力に変換できる割合)も高いという特徴があります。しかし、シリコンは薄くすると割れるため厚みが必要であり、それを保つためにガラスや頑丈な架台で補強する必要があります。そのため、設置場所は建物の屋根・屋上、地上などに限られます。また、製造の設備が複雑でコストが高いのも課題です。

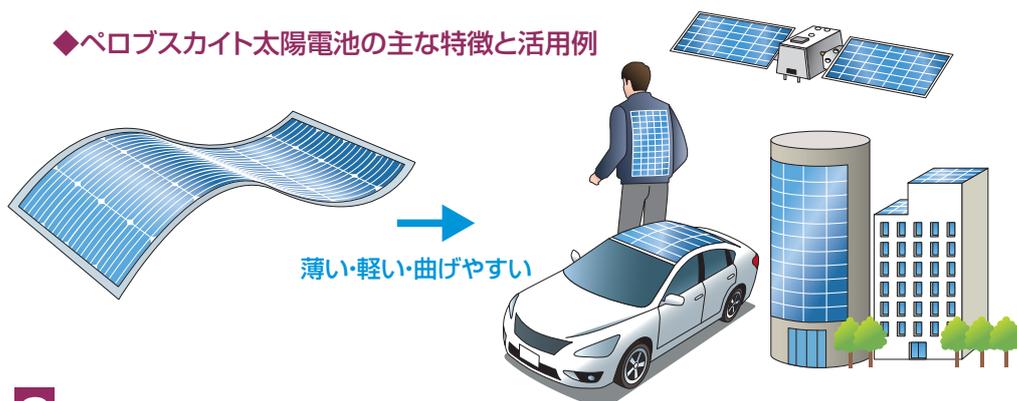
一方、「ペロブスカイト太陽電池」は、ヨウ素・有機化合物・鉛の結晶構造から組成された薄膜により発電する仕組みで、膜の厚みは1,000分の1ミリ(1マイクロメートル)以下、重さはシリコン太陽電池の10分の1程度です。しかも曲げやすく、薄く光も透過するため、窓や壁、自動車などにも設置が可能となります。そして、薄いガラスやプラスチックの基板に塗布・印刷することで形成できるため、簡単・低コストです。曇りや雨の日・室内の照明など弱い光も光源となり発電ができるため、屋内での設置も可能です。また、使用済みの製品を回収し処理するコストもシリコンより安価です。

さらに、日本にとって大きな強みとなるのが、主原料のヨウ素を国内で調達できることです。日本のヨウ素の生産量は世界2位

(世界シェア30%)で、他の半導体材料のように海外に依存しなくて済むため、サプライチェーンは日本のみで完結できる点も有利です。

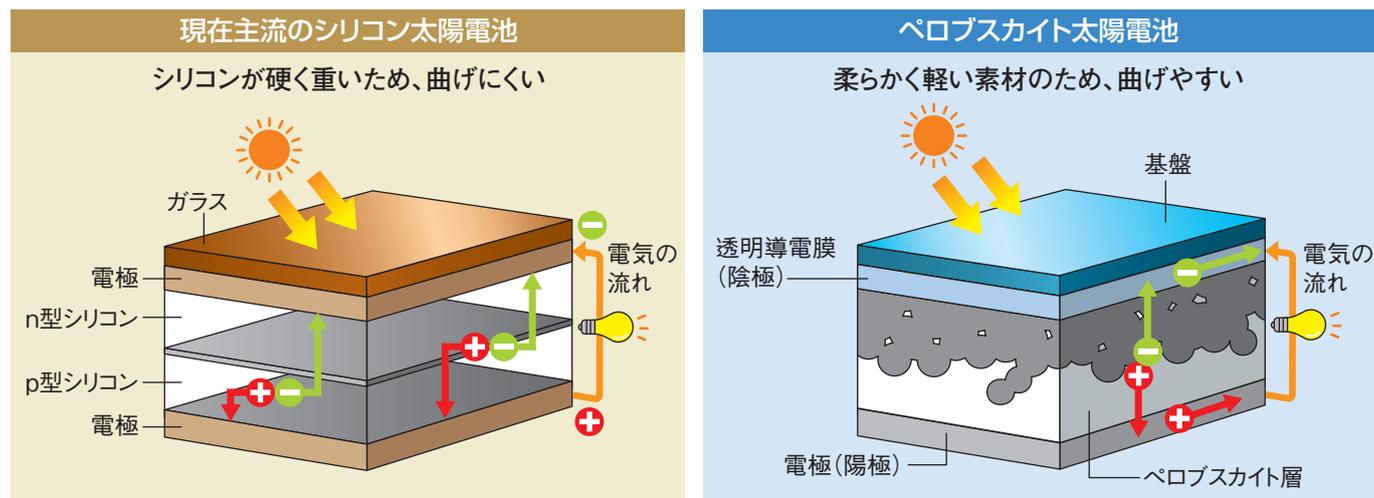
ただ、ペロブスカイト太陽電池は、湿気などの外的要因に弱いので、光を通しながら水分などを遮断する封止技術が重要です。この技術はコス

◆ペロブスカイト太陽電池の主な特徴と活用例



トが高く、今のところ耐久性が低いのも課題です。また、材料の一部に環境負荷の一因にもなる鉛が使われているため代替物質の研究が進められています。さらに、大面積にすると変換効率が落ちることも大型化・量産化の課題となっています。

◆シリコン太陽電池とペロブスカイト太陽電池の比較



27%超(最高値)	変換効率	27%超(最高値)
なし	柔軟性	曲げられる
重い	重さ	軽い
高い	製造コスト	安い(構成部材は高い)
15~20年程度	耐久性	理論値 10年程度

ペロブスカイト太陽電池の誕生

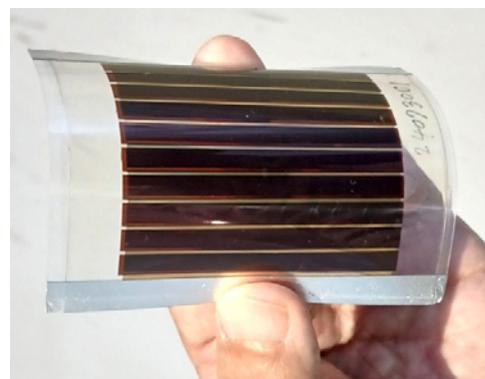
●どのようにして画期的な太陽電池を開発されたのですか？

私の専門は「光電気化学」です。これは光エネルギーを電気エネルギーや化学エネルギーに変換する電池に関する研究分野で、これまで大学や企業の研究所で「色素増感太陽電池」の開発に取り組んできました。この電池は、化学的な酸化還元反応を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換するもので、シリコン太陽電池に比べて効率的で再利用可能な色素を活用できる利点があります。

「ペロブスカイト太陽電池」もその延長に位置づけられますが、2000年代初頭にこの結晶構造が発電に使えるという知見はありませんでした。発端になったのは、2006年に大学院生の一人が「色素の代わりに、光を吸収すると発光する性質を持つ人工合成のペロブスカイトを使って太陽電池を作りたい」と発案し、私の研究室に加わったことです。

実験当初の変換効率は1%程度で不安定でしたが、コツコツ改良を重ねて2009年には4%近くまで向上し、研究論文を発表する中で次第に存在を知られるようになりました。そして、国際交流を通じて海外の研究生が私のもとでペロブスカイト太陽電池を学ぶようになり、帰国後に彼らはそれぞれ研究を進め、2012年に英国の研究生が変換効率10%超を達成したのです。

そのインパクトは大きく、色素増感太陽電池の研究者は次々にペロブスカイトに乗り換え、各国の企業も続々と参入し、今や世界の研究者数は7万人とも言われます。そして、変換効率は急速に向上し、現在ではシリコン型と同等の27%超まで開発が進んでいます。



薄く・軽く・曲がる ペロブスカイト太陽電池

ペクセル・テクノロジーズ株式会社の取り組み

●2004年に設立されたペクセル・テクノロジーズ株式会社についてご紹介ください

ペクセル・テクノロジーズ株式会社は、光電気化学の分野から生まれる光電変換技術の実用化に取り組む大学ベンチャー

企業です。当時の横浜市長が産業の活性化を図る一環としてベンチャー企業の設立を呼びかけ、それに呼応する形で設立しました。ペクセル (Peccell) の名称は、光電気化学セル (Photoelectrochemical Cell) から取り、光電気化学を専門に事業展開することを表しています。

事業内容は、ナノケミストリーを基盤とする光エネルギー変換素子の実用化を目指し、「プラスチック色素増感太陽電池」の開発、「ペロブスカイト太陽電池」の研究開発に関わる材料や測定・製造装置などを取り扱っており、これらは桐蔭横浜大学で培った技術基盤に基づいて開発したものです。

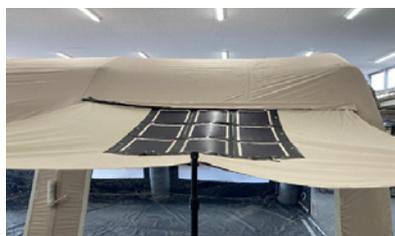
●官民プロジェクトへの参画や講演活動にも積極的に取り組まれています

さまざまな行政機関や企業などから相談や依頼をいただき、実証試験に協力したり、開発の助言を行ったりしています。講演については専門機関だけでなく、市民向けをはじめ各種団体・学校など幅広く行ってきました。これには意図があって、何よりもペロブスカイト太陽電池の存在や利便性を広く知っていただき、生活者のニーズとして早期の実用化と普及の機運を高め、産業化を加速しなければという強い思いがあるからです。

日本のエネルギー自給率はわずか15%で、エネルギー資源の大半を輸入に頼らざるを得ません。その意味で、電力会社から買う電気だけでなく、各家庭で少しでもエネルギーを自給自足するツールを持つ社会をつくることが重要です。わずかな光でも発電できるペロブスカイト太陽電池の製品が広く普及し、電力消費の5%でも10%でも自前で電気が賄えれば、社会全体で莫大な省エネにつながり、脱炭素社会にも貢献できます。

◆実証試験の一例

ぶどう農園で
鳥獣被害を防止する
監視カメラの
駆動電源に試験設置



災害用エアertentに
パネルを取り付け
発電して蓄電池に
貯める実証実験

日本の優位性をフル活用して国産エネルギー化へ

●日本や海外のペロブスカイト太陽電池の開発状況を教えてください

国内では、化学・電気・電機・自動車部品などのメーカーが、曲げられるフィルム型、窓ガラスに替えて設置できるガラス型、シリコン太陽電池と組み合わせて使うタンデム型などの事業化・量産化を目指し、建物に設置して実証試験を行ったり、量産工場の建設に着手している段階です。2025年に開催された大阪・関西万博では、ユニフォームへの装着やバスターミナルへの設置などで社会実装も遠くないことがアピールされました。

海外では、特にガラス型やタンデム型などの開発が進み、多くのスタートアップ企業が参入して量産に乗り出そうとしている状況です。その中でトップランナーとなっているのは中国で、すでに事業化・量産化を始めています。英国やポーランドなどの欧州勢も社会実装への動きを早めています。

●ペロブスカイト太陽電池の今後についてのお考えを

2000年頃まで日本はシリコン太陽電池の技術開発で世界を牽引し、シェア5割を誇った時期がありましたが、中国との低価格競争に敗れ、今ではシェア1%もありません。しかし、ペロブスカイト太陽電池は、材料の国産ヨウ素、日本が得意とする高度なフィルム技術を擁し、フィルム型では耐久性や大型化も含めて日本が技術開発をリードする立場にあります。

第7次エネルギー基本計画でも「ペロブスカイト太陽電池の早期の社会実装を進める」として、2040年の導入目標が約20GW(ギガワット)と設定されています。これは一般家庭の約550万世帯分の年間消費電力に相当します。さらに、高市内閣総理大臣は所信表明で「エネルギー安全保障の観点から原子力とペロブスカイト太陽電池は国産エネルギーとして重要」と演説し、あらためて産業育成を支援する意欲を示しています。

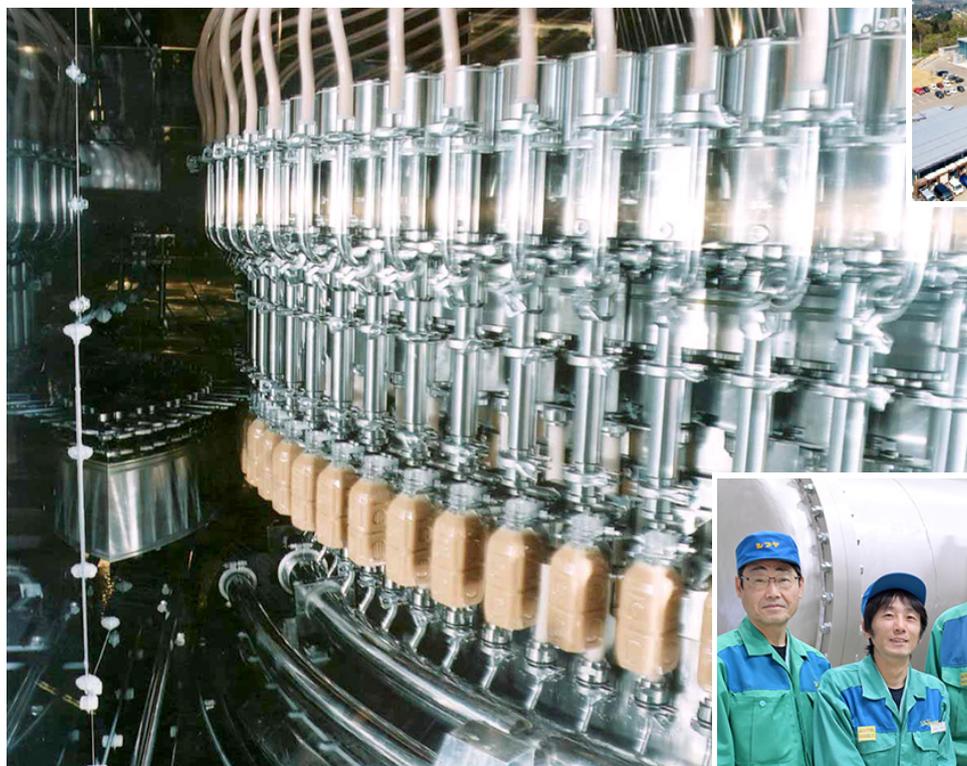
こうした目標を実現するには基板や封止フィルムなどの構成部材のコストダウンが重要で、それに成功すればペロブスカイト太陽電池の価格はシリコン型の半分程度になり一気に普及するでしょう。そのために私も部材のコストダウンの研究開発を加速しています。こうした技術革新を早期に実現して、皆さんが「創エネと省エネを日々実感できる生活」に貢献できればと考えています。

ありがとうございました。ペロブスカイト太陽電池が暮らしのあらゆる場面で使える時代の到来を待ち望んでいます。

電子線で飲料用PETボトルを 高速・大量に滅菌処理



澁谷工業(株)EBシステム森本工場



電子線で滅菌したPETボトルに飲料を高速充填するボトリングシステム



グループ生産・情報統括本部開発本部EB技術部の方々
(左から) 次長/山本 幸宏 さん 柞山 公佑 さん 部長/西 富久雄 さん
江尻 雅成 さん 参事技監/阿部 亮 さん



世界で初めて飲料用PETボトルを電子線で滅菌する充填システムを開発

生活に無くてはならないPETボトル※1飲料。その生産は高度に自動化されていますが、工程の中で重要なポイントとなる容器の滅菌処理に、放射線の一種である電子線(EB=Electron Beam)が活用されているのをご存知ですか。

従来、滅菌処理は加熱や薬剤で行われてきましたが、熱を加えると飲料の品質に影響を与える心配があり、薬剤では残留リスクが伴うほか洗浄に大量の水を使う必要があります。これらの課題を解決するために開発されたのが、PETボトルに電子線を照射して滅菌する技術です。

ボトリング(液体充填)システムのトップメーカーである澁谷工業(株)は、2006年に世界で初めてこの技術を実用化。PETボトル供給→EB滅菌処理→飲料の充填→キャップ装着→ラベル貼付→箱詰めに至る全工程を自動化したボトリングシステムを国内の飲料メーカーなどに納入しています。

そこで、シープレス編集部はシステムの部品加工と組立を担う澁谷工業(株)EBシステム森本工場を訪問し、EB技術部の方々にお話を伺いました。

※1：PETボトルの原料は石油からつくられるポリエチレンテレフタレート(POLY ETHYLENE TEREPHTHALATE)という樹脂で、英語の頭文字をとって「PET(ペット)」と呼んでいる。

Q はじめに貴社のプロフィールを教えてください

当社は1931年に蒸した酒米を広げる際に使う麻布の製造販売業として金沢市で創業しました。その後、お客様の要望を受けて1953年に2本の一升瓶の内外を同時に洗浄できる「二連式瓶洗機」を開発し、手洗いで行っていた作業を大幅に効率化しました。そして、この技術を応用して、液体を容器に充填するボトリングシステム分野に本格参入し、清酒・清涼飲料・洋酒、調味料、医薬品、化粧品など対象業種を広げていき、1980年代にはボトリングシステムの国内トップメーカーとなりました。

さらに、1994年に薬剤滅菌によってPETボトルに無菌状態で充填できる装置を開発。これによりPETボトルの加熱殺菌が不要となり、ボトルの薄肉化・軽量化が進められ、お客様のコストダウンに大きく貢献しました。

2025年時点で、PETボトル飲料の「無菌充填システム」は国内シェア80~90%、ボトリングシステム全体の国内シェアでも60%超を占めています。

また、この間にも蓄積した技術を発展させて、レーザー加工機や半導体製造装置、人工透析器などの医療機器、農業設備システムなど事業領域を拡大し、近年では「ロボット式の自動細胞培養システム」をはじめとする再生医療分野でも注目を集めています。



PETボトル滅菌の必要性とEB滅菌のメカニズム

Q なぜPETボトルを滅菌処理して無菌化する必要があるのですか？

私たちのまわりには様々な微生物が無数に存在し、中には食品や飲料に悪影響を与える細菌もあります。そのため飲料を充填する環境や容器を限りなく無菌状態にすることが必要です。

微生物には酸性の度合いにより繁殖可能な領域があります。たとえば食中毒に関係するボツリヌス菌などは、高酸性の領域では繁殖しませんが、pH^{※2}が中性に近いところでは繁殖し、強い耐熱性を持ち、熱湯などの簡単な熱殺菌では死滅しにくいという特徴があります。

一方で、カビや酵母などは高酸性の領域でも発生しますが、耐熱性が弱く、簡単な熱殺菌で死滅できるため、昔から行われてきた「高温充填^{※3}」という方式で対応できます。

飲料製品は、2000年以降の健康志向の高まりによって中性や低酸性のお茶や乳飲料などの製品が増えています。これらの製品の滅菌は、PETボトルのように耐熱性のないボトルでは対応が難しいことから、薬剤や電子線による滅菌が必要なのです。

※2：pH（ペーハー）：酸性・中性・アルカリ性の度合いを示す数値。

※3：高温にした内容物をボトルに充填・密封して殺菌する方法で、耐熱用ボトルを用いる。

◆製品pH



飲料製品のpH分類

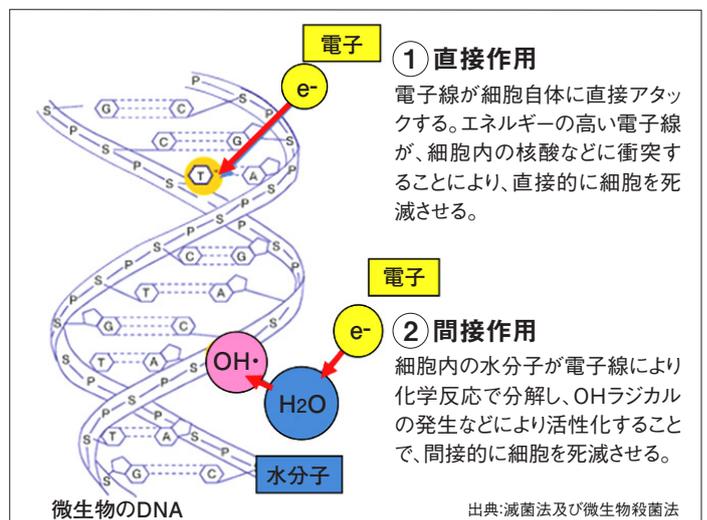
Q 微生物はEB照射でどのように死滅するのですか？

電子線による滅菌のメカニズムは、直接作用と間接作用の複合的な効果によるものと言われています。

まず、エネルギーの高い電子線が細胞内の核酸に衝突することで直接死滅させます。さらに、細胞内の水分子が電子線による化学反応で分解して生成したOHラジカルなどの活性酸素を発生させることで、間接的に細胞を死滅させる仕組みです。

もちろんEB照射による飲料の香り・味などの製品品質およびPETボトルの材質に影響がないことは、厳密な溶出・官能試験で確認・実証しています。

◆EB(電子線)による滅菌メカニズム





PETボトルの効率的な全面滅菌や装置の小型化・コスト低減を実現

Q EB滅菌システムの開発に至るまでの経緯を教えてください

1990年代後半からPETボトル飲料の市場が急拡大し、高温充填に適さないお茶や乳飲料が増加しましたが、当時は過酢酸や過酸化水素による薬剤殺菌システムしかありませんでした。そこで、当社は2000年から次世代滅菌方式の検討を開始し、新たにEB滅菌システムの研究開発に着手しました。

これを実用化できれば薬剤方式に比べて装置を小型化でき、薬剤の残留リスクを解消できるうえ、洗浄・すすぎ用の水使用量・エネルギー消費量なども大幅に削減できます。しかし、その開発は容易ではありませんでした。

EB滅菌方式を組み入れた無菌充填システムを完成させるには、薬剤方式と同様に製品や飲料を無菌にし、充填環境も無菌にしたうえで充填し、さらにキャップ装着までの一連の工程で無菌環境を長時間維持し、きちんと管理することが重要です。

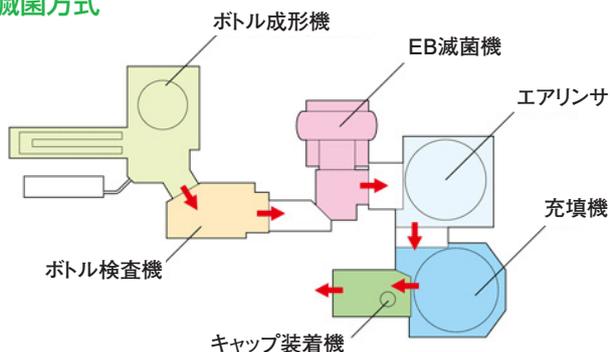
しかも、産業用の生産ラインですから、毎分600~1,200本の処理能力が要求され、24時間で100万本以上生産し、年間6,000~8,000時間稼働できる信頼性が重要です。

当社の開発陣は、これら多くの課題を乗り越え、先行する他メーカーが挑んでも実現できなかった「EB滅菌方式による飲料用PETボトル無菌充填システム」を世界で初めて実用化したのです。



EB滅菌方式無菌充填システム

◆EB滅菌方式



◆PETボトル用 EB滅菌の特徴・メリット

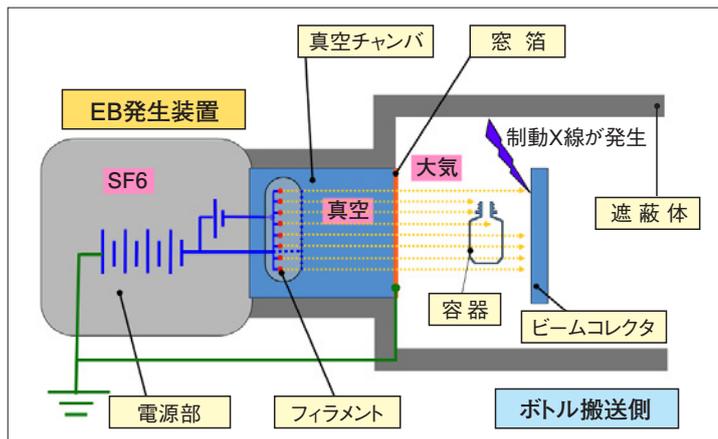
EB滅菌の特徴	EB滅菌のメリット
<ul style="list-style-type: none"> ● 滅菌時に薬剤を使用しない ● 滅菌時に加温の必要がない ● 滅菌時に水を必要としない ● 照射の制御が容易 ● 滅菌の処理時間が短い ● 化学的インジケータによる滅菌評価が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 薬剤残留リスクの排除 ● ランニングコストの削減 ● 水使用量の削減 ● 検証時間の削減

ケミカルフリー・ウォーターフリー

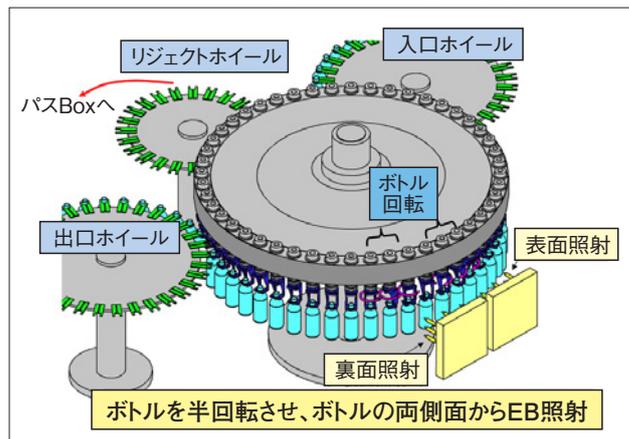
Q EB滅菌機の仕組みや特徴を教えてください

EB滅菌は、下左図のようにEB照射時に発生するX線やオゾンを遮蔽するため鉛をステンレスで挟んだ筐体(チャンバ)の中で行います。加速器の出力は300kVで、ボトルの側面からEBを照射することでボトルの内外面を滅菌します。ただ、この照射方法では1回の照射だけでボトルの全面を滅菌することができないため、下右図のように照射エリア(下右図の黄色部)を通過する間にボトルを半回転させ、ボトルの両側面からEB照射することで全面を滅菌しています。この方式で1分間に最大1,000本の滅菌処理が可能となりました。

◆EB滅菌機の構成と構造



◆ボトル全面へのEB照射と安定した搬送機構



開発の過程では、ボトルをつかむ口の部分の殺菌が難しく、部品形状の試行を繰り返し、口の部分を面ではなく複数の点接触によってつかむことで、電子線が漏れなく当たるようにしました。また、ボトル内部まで効率よく殺菌できるように、磁石を用いて電子線の向きを変えて口の上部から内部へ電子線を導く工夫も凝らしました。

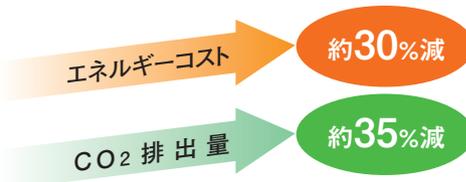
Q 薬剤方式に比べてどのような効果がありましたか？

薬剤を使用しないので、薬剤の残留リスクを排除でき、後工程の無菌水によるすすぎが不要となるため、生産中の水・蒸気およびモータなどの動力や圧縮エアといったエネルギー関連コストが約30%削減でき、エネルギー消費に伴うCO₂排出量も約35%削減できました。これらはお客様に納入したシステムを調査し、6,000時間の稼働を仮定して算出した数字です。

さらに、システムを管理するための項目数を比べても、薬剤方式では薬剤の温度、濃度および量、PETボトルとの接触時間など管理項目が多くなります。しかし、EB方式では、加速電圧、ビーム電流、搬送速度の3つのみのため運用管理の負担が軽減できます。

加えて、実際に微生物がどれだけ死滅できたかの検証についても、薬剤方式では微生物の確認に1週間ほど要しますが、EB方式では線量フィルムを貼って照射すれば殺菌強度(吸収線量)を短時間で確認できるため非常に効率的です。

◆EB滅菌システムによる効果



小型化や省メンテナンス化を推進して他分野への展開も推進

Q EB滅菌方式を今後どのように進化・展開させていく計画ですか

当社はこれまでにEB滅菌方式による飲料用PETボトルの無菌充填システムを13ライン納入し、14年以上問題なく稼働し続けています。この間にお客さまのご要望に応じて高速化による処理能力の増強、加速電圧やビーム電流の増大による多様なPETボトル形状への対応強化などを図ってきました。

しかし、今後さらなる普及を図るには、装置の小型化による設置スペースの縮小、消耗品の寿命延長によるメンテナンス期間の短縮が重要なテーマと認識して取り組みを進めています。



小型化して設置スペースを縮小した開発中の新型機

医薬品の包材の表面滅菌を行うシステムも納入しています。今後は培ったEB滅菌方式による技術を製薬や食品業界へ展開することを検討しています。

小型化についてはEB照射装置と搬送機の構造を見直し、新型機では設置スペースを約30%削減します。また、消耗品については、設計を変更することで寿命を延長し、中間メンテナンスを1年に3回から1回に短縮し、消耗部品交換に伴うライン停止の期間を大幅に短縮します。

さらに最近では、最新のシミュレーション技術を採用入れて、ボトルの三次元データを基に吸収線量を定量評価するなど、より効率的に装置を設計するための研究開発を大学と共同で行っています。

一方で、PETボトル以外の展開としては、加速エネルギーが150kVの出力が低いEB装置を使って、

ありがとうございました。貴社のEB 滅菌方式が幅広い業種へ普及拡大していくことを期待しています。

LINE公式アカウントはじめました！

