

豊かな生活を支える放射線・RIの産業利用 —今を知り、未来を語る—



登壇者

うえやまにしにしせ瀬かまわし	さか坂の瀬の納かわ川こ古だ田お尾	みつる氏 ¹⁾ ゆたか氏 ²⁾ のぶ氏 ³⁾ ゆき伸氏 ⁴⁾ しんや也氏 ⁵⁾ のり典氏 ⁶⁾ 敏光氏 ⁷⁾ まさ方氏
----------------	------------------	---

司 会 鷲尾

【2022年8月29日(月)対面開催】

—自己紹介—

鷲尾 今日、「放射線・RIの産業利用」をテーマとしてRIの産業利用の新たな可能性、将来展望等をお話しいたします。

まず自己紹介ですが、早稲田大学で加速器の研究をしております、鷲尾です。学生の頃の研究は、放射線高分子化学という分野で、加速器をただ使うユーザーさんの立場でしたが、そのあと東大の助手に採用されて、東海村にあるライナック運転管理部に配属となり、そこで加速器のハードまで全部やれということで、ハードもソフトも両方やるようなことになりました。助手のとき、上坂先生が学生でいらっしやった。今は放射線プロセスの研究開発を色々な方とやらせていただいて、特に本日登壇者で

いらっしやる澁谷工業の西納さんとは15年ぐらい前から電子線でのペットボトル滅菌のシステム開発をやって、実際に世の中に出していただきました。

上坂 原子力委員会の上坂です。大学院では核融合工学の研究をやっています、そのあと石川島播磨重工業(現IHI)に入社して、当時のX線リソグラフィ用¹⁾の小型シンクロトロン開発から加速器の分野に入りました。6年間IHIで研究開発や加速器の製作をやったあと、東大の原子力工学研究施設に助教授で赴任しました。

まず極短パルス電子ライナックの研究、更に住友重機械や鷲尾先生のご協力をいただいて、レーザーと電子加速器が連動するレーザープラズマ加速を高エネ研やJAEAとやりました。

その他、可搬型高エネルギーX線・中性子源開発、橋梁検査、福島での燃料デブリにウラン有無のその場非破壊検査、東北大と一緒に電子ライナックでの⁹⁹Mo/^{99m}Tcや²²⁵Acの製造の研究をやりました。

また20年前に東大の原子力工学研究施設が、原子力専攻(専門職大学院)という、主に社会人に原子炉主任技術者や核燃料取扱主任者の国家資格を取らせる大学院に改組しました。その専攻長をやった関係で、原子力全体の人材育成にも関わり、

- 1) 内閣府 原子力委員会委員長/東京大学名誉教授
- 2) 住重アテックス(株) 営業部 新規事業担当 首席技師
- 3) 澁谷工業(株) 常務取締役
- 4) 住友電気工業(株) エネルギー・電子材料研究所長
- 5) (国研)量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部 環境資源材料研究プロジェクトリーダー
- 6) ボニー工業(株) 執行常務取締役/熊取工場長
- 7) 早稲田大学 理工学術院 先進理工学研究科 共同原子力専攻教授

1 X線を光源とする高集積回路パターン作成のための露光技術



上坂 充 氏

IAEAの原子力エネルギーマネジメントスクールも日本で8回開催しました。2020年の12月からは原子力委員会委員長を務めています。

山瀬 住重アテックスの山瀬と申します。私は、東海大学の原子力工学科を卒業後、東京電力の関係会社の東電工業に入社して、主に福島第二原子力発電所で放射線管理や放射線の安全教育を担当しました。福島第一、柏崎刈羽に向出したこともありますが、そのときは順調に稼働している状況で、震災のだいぶ前に住友重機械工業へ転職しました。

当時、住友重機械工業で新しい電子線の事業を始める頃で、それまで低温で滅菌できる方法はエチレンオキサイドガス滅菌が半数以上で、発がん性のガスでもあり、将来、環境的に非常に問題が出てくるだろう、今後は電子線滅菌が良いだろうということで取りかかりました。医療機器は1991年に国内で最初に薬事承認を取ることができ、そのあと2006年には点眼薬の粉体で医薬品そのものの電子線滅菌も世界に先駆けて薬事承認を取りました。

今は電子線滅菌の普及活動、啓蒙活動をやっており、最近ではγ線を持っているような大手の医療機器メーカーさんがどんどん電子線による滅菌装置を導入しているので、そのお手伝いもさせていただいて、全体的な底上げをするような活動をしています。

その他ISOの滅菌の国内委員、行政関係の薬事監視員の研修の教育もやらせていただいております。

西納 澁谷工業の西納と申します。学生時代は機械工学の専攻で、機械設計をやっている根っからの機械屋ですが、鷲尾先生とのご縁をいただき、電子



山瀬 豊 氏

線の世界へ少しだけ首を突っ込ませていただいている次第です。

本社は金沢市にあり、主に、飲料や食品、医薬品の生産ラインの設計、製作をやっており、個別受注生産方式の設備システムの事業形態です。2006年にペットボトル飲料のアセプティック充填（無菌充填）システム^{*2}に電子線の殺菌技術を導入できないかということで開発に着手し、世界で初めてペットボトルの連続式生産ラインにおける電子線殺菌（EB殺菌）の実用化を達成することができました。

アセプティック充填システムは、もともと常温で無菌充填するので耐熱容器が要らない。つまり、樹脂ボトル資材を無菌状態にして、無菌環境で無菌の製品液を詰めて、常温流通でミルクティや色々な中性飲料まで含めて製造できるラインが実現できました。また、当初のシステムは、過酸化水素ないしは過酢酸の薬剤殺菌がメインでした。

ラジオアイソトープではないですが、電子線殺菌の、しかも我々の身近な製品への活用ということで、面白い事例なのかなと認識しております。よろしくお願いたします。

鷲尾 過酢酸や過酸化水素を使わないということと同時に、水の使用量が圧倒的に減ったという意味で、環境負荷がすごく減って、究極のSDGsではないかと思っています。

西川 住友電気工業の西川と申します。私は、大学のときは光化学を専攻しており、放射線というよ

2 外気と隔離された無菌充填環境下で容器成形前に殺菌処理し、充填、シールする充填システム



西 納 幸 伸 氏

りは紫外線の勉強をしていました。超短パルスレーザーを励起光として、ピコ秒レーザー分光とフェムト秒分光を用い、有機化合物の電子移動の速度を見たり、メカニズムを解明したりしていました。

入社してからは、ポリマーを対象に放射線を照射して、メインは架橋を使って製品を開発しております。主には電子線とγ線を用いて、幅広いポリマーに照射して、架橋によって特性を上げるといって開発を進めております。

住友電工は電力ケーブルや光ファイバー、自動車のワイヤーハーネス、銅線や鋼線を伸線するためのの工具に用いる超硬素材等も扱っていますが、その中で、私は電線の被覆材を開発しています。

入社から今まで照射架橋に携わっていますが、お客様の新製品を開発することになると、新しい要求特性は出てきますので、それに見合ったような特性をどう達成するかということ長い年月継続して携わっていますが興味が尽きません。

瀬古 量研 (QST) の高崎からまいりました瀬古と申します。

学生時代は高分子の合成と高分子の物性評価をやっており、UVを当てて光異性化したときの熱を何かうまく利用できないかということをやってきました。就職するまで放射線とは関わりはありませんでした。

入職後、研修が終わると、青森のむつに行き、海中のウラン捕集のプロジェクトに従事しました。原子力燃料を日本が自国で生産する、産出させるということに夢があると若輩ながら思いました。そのプロジェクトに携われたことは、今もすごく良



西 川 信 也 氏

かったと思っています。

現在は、今で言うSDGsと言いますか、環境のための材料や資源循環できるような材料をつくっています。そういったものをIAEAが企画するRCA^{*3}というプロジェクトがアジアを中心にあるのですが、そこでお披露目する。そうすることで放射線照射技術やそのアプリケーションを国内外に普及しています。

釜田 釜田です。1981年にポニー原子工業（現・ポニー工業）に入社し、最初はフィルムバッジの特性を測定し、再確認をやっていました。

携わった技術的な案件として、六ヶ所村の再処理工場を建設する際、配管の放射線透過試験のためにイッテルビウム線源を使って撮影することになり、その照射装置を開発しました。そのような特殊な用途の放射線機器として、非破壊検査装置の開発に携わってきて今に至り、熊取工場で製造部門の取りまとめの工場長として、ますます放射線関係の機器の整備と、次の新しいものの開発をやっていければと考えております。

—放射線・RIの産業利用の紹介と問題点—

鷲尾 ありがとうございます。ご自身の分野で実際にどうRI・放射線が産業利用されていて、こういうところで困ったことが起こっているという問題

3 国際原子力機関 (IAEA) の技術協力局は、開発途上国において原子力分野の科学・技術の利用を進めるために地域協力協定に基づく協力を推進している。アジア・太平洋地域の協力協定 (RCA) は1972年に発足



瀨 古典明氏

点があればお聞かせください。

山瀬 私の専門は放射線を滅菌に利用することですが、 γ 線はもちろん、電子線にコンバータを付けたX線変換も世界では最先端の話で、今後成長が期待されているところです。

加速器や放射線を利用した滅菌方法は非常に増えてきてはいるものの、放射線の線源が非常に高騰していて、 γ 線の施設を持っているところは維持するのがなかなか大変です。電子線の加速器の場合ですと、非常に高額で大型になってくるので、もう少しコンパクトで、もっと安いものがないかという課題もあるわけです。

もともと当社は装置の販売をしていましたが、10億円するようなものを買ってくれる企業はそう簡単に出てこない。現在、滅菌、照射の受託サービスの専門になっていますが、そういった意味で、線源がもう少しコストがかからないようにできたり、加速器の場合もコンパクトで高出力なものにできたりすることは各社にとって期待されているところです。

ところで医療機器や医薬品に照射すると、材質劣化や品質低下をしてしまうことがあります。今私も放射線劣化を抑えるための酸化防止の材料やラジカスカベンジャーを色々探索しております。薬事承認でも使えるような安全性のあるものを探索していきたいと考えているので、滅菌や工業材料もそうですが、放射線の照射の利用において劣化の問題をクリアできるような添加剤ができるとより良いのかと考えています。

鷲尾 直感的には住友電工さんやQSTさん辺り



釜田敏光氏

に何か知恵がありそうな気がしますが、材質劣化を抑えるというところは、おそらく専門の人たちがやり始めると早く片付くような気もしています。そんな技術は何か落ちていませんか（笑）。

西川 材質劣化に関しては、抑えることはきっとできますが。

鷲尾 薬事（薬機）法の問題ですね。

西川 素材のメーカーとのタイアップをもっと深めれば、可能性はあるのかなという気がします。

山瀬 私たちは、薬事（薬機）法を考慮して検討したことがないですが、照射による劣化を防ぐということに関しては、照射だけではなくて、照射と並行して実施する重合等、照射以外の条件を見直すということは検討しています。

西納 私共も、食品、飲料なので溶出やペットボトル樹脂の劣化がないか、あるいは製品としての官能試験にも異常がないかといったところはお客も含めてきちんと検証させていただきますが、今のお話と全く同じ立場にあるかと思います。

ペットボトル飲料の生産ラインというのは、1分間に900本とか1000本の処理能力を持っており、電子線殺菌も、非常に高速で、連続処理しないといけない。24時間稼働で、1年間生産するので、今ほどの話のように、水道の蛇口を開くとすぐに水が出るようなものが求められます。

また、製品の安全・安心が第一で、1日でだいたい100万本ぐらいつくるので、1年間で2~3億本にもなりますが、その中に1本でも品質的に問題があると大変なことになります。そのため、システム・品質上の信頼性の高さと、連続生産に耐えなければ



鷲尾方一氏

いけないということで、強靱な耐久性、堅牢性も生産設備としては求められ、それを何とか両立させていくことに技術的な進化があったのではないかと思います。一方で、競合メーカーもありますし、代替技術、競合技術があり、生産設備としては1本当たりいくらでつくれるというのが非常に重要な因子になり、EB 殺菌ではコスト面が大きな課題です。

西川 私共は、ポリエチレン以外のポリエステル、フッ素樹脂、PVC等各種の材料に放射線を当てて、絶縁の被覆、材料の耐熱性を上げる。あとは、形状記憶性を持たせた熱収縮チューブをつくっています。この技術開発としては1960年から始めていますが、1964年から量産しているという状況にあり、既に量産から60年近くになります。

放射線を使った絶縁材料等のポリマー関連製品は、住友電工だけでも年間数百億円レベルだと思います。統計を持ち合わせておりませんので恐縮ですが、全体的にはその10倍以上はあると思いますので、かなり大きな産業利用分野だと思っています。

課題というか問題点は、設備がなかなか高価な点です。我々がやっている絶縁層の架橋となると、MeVオーダーのエネルギーでないと透過しないということでかなり高額になります。すそ野を広げるという意味ではなかなか難しいのかなと思います。これは、逆に参入障壁になって、当社は既に設備を持っているので、それほどデメリットにはなりません。すそ野は広がりにくいのかなとは思いますが、

環境の面では、加速器も一定の期間でメンテをす

るということで、絶縁のSF₆⁴のガスの環境負荷も見逃せないという話もあります。そもそも高分子を架橋することでマテリアルリサイクル⁵ができないので、お客様からマテリアルリサイクルができるものをという話が出ている。それは考えていかなければならない問題だと思います。

鷲尾 実際に架橋物、要するに電線被覆等は、もともと架橋しない電線だと何か処理できるのですか。つまり、架橋体だと困ると言われても、架橋していないやつも困っていきそうな気がします（笑）。

西川 絶縁体はサーマルリサイクル⁶できますがマテリアルには返らない、導体はマテリアルリサイクルできますが、絶縁体はマテリアルには返らない。そういうものが問題になるだろうという問いかけだろうと思います。

鷲尾 例えば放射線処理していない安い電線があるとして、それだって導線はもちろん返るけれども、元のものになるわけでも何でもありません。処理のときにそっちは困らないと言っているのでしょうか。そんなことはないですよ。

西川 困らないと言っているわけではないですが、溶融して、混合物にはなりますが、もう1度成形体として使える。

鷲尾 そうか。架橋したやつは成形体に戻らないという。

山瀬 昔は例えば照射ではなくて、熱架橋というのが一方ではあります。熱架橋だとそれだけCO₂は使い、時間もかかり、非常にロスがあるので、それとの比較で照射の架橋のほうが非常に効率が良いのかと思いますが、そういう比較は？

西川 比較的薄い絶縁のものだと照射のほうがエネルギー効率は非常に良いので、今も使われています。例えばもう少し耐熱性の高いポリマーを使って、そもそも架橋しなくて良い素材ができないかという話に行きますので。

鷲尾 今はトータルライフの環境負荷という計算をマスコミの人たちはあまりしてくれないけれども、我々はそれをちゃんとしたほうが良い。

4 六ふっ化硫黄。一定以上のSF₆を含む温室効果ガスを排出する事業者は「地球温暖化対策の推進に関する法律」により排出量を算定し国への報告義務がある

5 廃棄物を製品原料として再利用するリサイクル手法

6 使用済みの資源を熱エネルギーに変えてリサイクルする方法

西川 本来は、LCA^{*7}で議論すべき内容なのですが、その前段としての議論、ご要望であると理解しています。

鷲尾 瀬古さん、ご自身でエマルジョングラフト等色々やっていたら、ご紹介いただけますか。

瀬古 エマルジョングラフトというキーワードは、グラフト重合して高分子材料をつくる時の手法の1つです。開発する材料をうちが売ることにはできないので、その都度企業さん等が困っていらっしやるようなニーズをおうかがいして、そのためにどうしたら良いか。素材や照射方法そのものではなくて、周りの技術を少し改良して、少しでも安価で提供するために開発した重合法です。企業さんのニーズに合わせながら、ご一緒しているというのが今の私たちの主たる研究スタイルになっているかなという気がします。

QSTは創薬、RI製造、重粒子による治療はもちろん研究をやっています。高崎では材料屋が多いので、医療材料に近づけたりとすることもありますが、企業さんが今何に困っていらっしやるかということができれば、たぶん世の中で流行っていくのだろうという邪な気持ちもありますが、そういったところで一緒に開発しています。

鷲尾 産業界とやりとりしているときに、放射線応用の範囲で困ったことや、課題は。

瀬古 常々考えるのはコスト。コストというのは私たちのような研究だけやっている者にはなかなか難しいなと思います。つくるだけでの試算をしているので、EPR^{*8}やLCAという話もありましたが、そういうサイクルの話まで突っ込んで話はできていない、考えていないので、企業さんとのそのへんのギャップは大きい。

鷲尾 企業の人がないとその点は考えられないから、開発している立場の人間としては、企業さんとどれだけ一体になってやるか。

瀬古 加速器というキーワードで言えば、最近

多くの会社さんが自社でお持ちです。とはいえ、そこに最初から投資するというのはなかなか勇気の要る話なので、外部の照射サービスセンターをご紹介して勧めたりしています。ただ、どうしても純粋なコストを試算できないという現状があります。鷲尾先生のお話で、加速器をご自身でつくることができるとおっしゃっていたので、そういったところもご紹介しつつ、もう少し汎用性を高めていくことは必要かなと思います。

鷲尾 おそらく山瀬さんのところの照射施設は利用料がすごく安いので、便利かなと実は思っていますので(笑)、そのへんもお考えいただければと思います。釜田さん、よろしくお祈りします。

釜田 非破壊検査でも透過試験でRIが使われています。イリジウム線源の使用量は毎年それほど変化していません。微増、微減ではなくてほぼ平行線という格好です。コバルト線源はある程度の利用量はありますが、線源の価格が高騰していることが問題です。

化学工場のプラントの中でレベル計等が使われていますが、高熱、高所、電源が取れないといった環境の悪いところ。代替手段が出てくると、法律の障壁もあって、少しずつ減ってきていると考えます。

CTの分野に関しては、相当伸びてきています。計測用のものは完全に三次元計測をCTに置き換えようというところまで来ておりますので、今後もっと増えてくるのではないかと思います。

蛍光X線分析計は最近非常に多く出回っており、スクラップ業者がこのスクラップにステンレス、Ni、Crがどのくらい入っているかを調べる目的で使われています。当初はアイソトープを使ったものですが、小型のX線装置の性能の良いものが出てきたということで、今は全部X線に置き換わりました。一部レーザーを照射して計測するものもあります。この装置は、結構な数量をスクラップ業者が所有して活用しています。

そんな中で、アイソトープの値段が高騰しているということは我々にとっては一番のデメリット、問題点です。変な話、非破壊検査費用にそれだけ転化できないということもありますし、法律の壁が非常に大きなものになっていると考えております。

鷲尾 いま加速器ベースでこういう線源をつくる

7 Life-Cycle Assessment. 製品やサービス等の経済行為が地球環境に及ぼす影響を数字として「定量的に」表す手法として、世界の各国が国際標準として認めた手法

8 拡大生産者責任(Extended Producer Responsibility)は製品の環境負荷に対する生産者の責任が、製品の設計・製造・使用段階のみならず、消費後の廃棄・リサイクルの段階にまで及ぶという考え方

うということで、大出力の加速器開発をすごく頑張っている状況ですが、開発をやっている人たちにここまで大変なことになっているとどれだけ伝わっているか。

おそらく上坂先生からもご意見があるかと思いますが、加速器ベースでCTはキヤノンさんがすごく進化させていたりするのを見ていると、加速器本体と計測システムをコンバインした最先端のシステムをつくれれば、非破壊検査は結構いけるのかなと実は私は思っているの、そういったことを開発できる会社さんとコンビネーションを組まれると良いかなという気がします。つまり、RIを切望しているよりも、加速器でやってしましましょうよと。さっき加速器だと回せない、要するに3Dとか色々なことができないと言いましたが、例えば実際に澁谷工業さんはペットボトルを片方から照射して、全面に。

西納 そうです。

鷲尾 全面滅菌しているわけですから、しかも、首部、厚いところは実はビームを曲げて導入すると色々なことをやっていらっしゃるので、技術的にできることはまだまだありそうです。計測システムのほうにもう一工夫。どれだけコンパクトにするかは上坂先生からぜひ言っていただければ。

上坂 加速器の全体システムの小型化の開発研究をやりました。電子ライナックを小さくするため、加速高周波をSバンド(2.856GHz)からCバンド(5.712),Xバンド(9.3)で検討しました。レーザープラズマ加速(THz)実用化まではいかなかったのですが、Xバンドで実用化までこぎ着けました。一方、検出器を高感度にしていただければ、加速器出力は弱くて良く、加速器はもっと小型化できると思いますよね。

ところが、私はX線検出器しかよく分かりませんが、その開発がなかなか難しい。現在、高エネルギーX線非破壊検査では、人間ドックで胃を透視するバリウムの検査のX線カメラを使わざるを得ない。そのシンチレータはGOSですが、厚さが0.4mmしかないです。医療用ですから50keV程度に感度が合わせてあります。数十keV程度のX線がよく捕まるセンサーですから、1MeVや4MeVではスカスカじゃないですか。

鷲尾 浜松ホトニクスさんのCdTeでだめ？

上坂 素子開発はできていると思います。それを

大規模2次元アレイにして、かつすべての素子の歩留まりを少なく品質揃えて、きれいな画像にするエンジニアリングです。

基礎研究の課題よりはエンジニアリングだと思いますが、それをやるモチベーションが、非破壊検査から出てないです。市場の大きい医療にはあります。医療ではもう開発は収束してしまっています。理工学でのX線計測と放射線計測の開発は非常に喫緊の課題だと私は思います。問題は、大学での研究と、企業への橋渡しですね。ここができていない。

鷲尾 これはすべてについて同じです。大学で最先端研究をやって基礎はできていて、産業界はものすごくリクエストを出すけれども、そこがうまくつながらない。瀬古さんが困っていることと一緒にだと思います。民間の方に来ていただいて、実際に橋渡しができる可能性はこういう議論の中で生まれると思うので、今日を1つの契機にさせていただいて。

上坂 技術的にできないことはないと思うので、あとは動機だけだと思います。

鷲尾 私は西納さんの澁谷工業さんと実際に開発するときに、最初できるとは思っていなかった。ただ、どうしてもやると社長が言う。それだったら、本腰を入れてやってみようというやり始めたら、できそうな道が見えます。私、今まで痛感しているのは、研究をやっているメンバーは産業界の本当の現場に足をを入れて、なかなか一緒に開発をしない。でも、それをしないと絶対にいけないだろう。私は1回成功体験をしてしまったので、強気になっています。

西納 我々機械設備側から、こうなったら良いというところも一緒に考えさせていただいて、それで実現にこぎ着けられたという側面もありましたね。

上坂 大学人でも研究所の方でも企業人でも良いですが、基礎から実用まで通してやるという、熱く強い意志を持っている方がやってくれるとできると思います。そういう方を見つけてやりたいですね。

鷲尾 だから、人選は大事ですね。次は上坂先生から国策に関連したところでもよろしくお願ひします。

—放射線・RI 利用における国策の紹介—

上坂 私、今内閣府原子力委員会委員長の立場で



写真 座談会当日の様子

す。原子力にはエネルギー利用と非エネルギー利用があるのは当たり前であり、IAEAでもパワーアプリケーション、ノンパワーアプリケーションの2つの定義がある。特に途上国では原子力発電は始めから無理ですので、放射線利用から入って、社会受容性を高めて、発電エネルギー利用・応用まで行って欲しいと思っています。原子力にとって放射線利用が重要であるということをもっと申し上げたいと思います。

政策的なことですが、2021年11月から医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進の専門部会をやり、2022年5月31日にアクションプラン⁹を発売しました。6月の統合イノベーション戦略¹⁰、骨太の方針¹¹、新しい資本主義¹²にすべて書き込まれました。2023年度以降それをうまく活用していただければ、施策化、実現の可能性があると存じま

す。

また、福島イノベーション・コースト構想¹³で新産業創出等研究開発基本計画の中に5つの分野があります。そのうちの1つが「放射線科学・創薬医療、放射線の産業利用」です。その中でぜひRIの製造拠点ができて欲しい。ここでは、まず福島県医大を中心に²²¹Atを国産化して、²²⁵Acにもぜひチャレンジしていただきたい。

以上が内閣府原子力委員会として言える話です。以降、私の元研究者としての意見という形で申し上げたいのは産業用のRIです。例えば⁶⁰Coであれば、ロシア、インド、中国、カナダが主な製造元です。今までのグローバルゼーションでは、ある材料をどこかの国でつくって、それを貿易すれば良かったのです。今の情勢を見ますと、そういうことが言えなくなってきた。経済安全保障という言葉がありますが、ある程度自国でつくれるものはつくらなければいけない段階になってきているのではないかと。今までのグローバルゼーションでは、ある材料をどこかの国でつくって、それを貿易すれば良かったのです。今の情勢を見ますと、そういうことが言えなくなってきた。経済安全保障という言葉がありますが、ある程度自国でつくれるものはつくらなければいけない段階になってきているのではないかと。今までのグローバルゼーションでは、ある材料をどこかの国でつくって、それを貿易すれば良かったのです。今の情勢を見ますと、そういうことが言えなくなってきた。経済安全保障という言葉がありますが、ある程度自国でつくれるものはつくらなければいけない段階になってきているのではないかと。

⁶⁰Co、¹³⁷Cs、¹⁹²Ir等は、今は100%輸入ですが、少

9 <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/radioisotope/index.htm>

10 <https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/2022.html>

11 <https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2022/decision0607.html>

12 https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/index.html

13 <https://www.fipo.or.jp/>

しても国産化すべきではないかという必要性を今私は感じています。

また、世界の研究炉の多くは高濃縮ウラン炉ですが、核セキュリティの観点から、廃止か低濃縮化の方向です。東大も廃炉にしましたし、京大も低濃縮化しました。今⁹⁹Moをつくっている世界の6基のうち3基は廃止の方向で、20%以下の低濃縮ウラン炉により生産していくという方向になり、アメリカではそれをミズーリ炉でやっています。日本であれば、JRR-3で⁹⁹Mo/⁶⁰Coを、それから、もんじゅの跡地で計画されている新しい10MW炉でも⁹⁹Mo/⁶⁰Co等をつくれなかと期待しています。

コストの問題ですが、RIの多くは核物質由来です。ということは、ほとんど国立研究所由来です。したがって、原価計算に、原子炉の建設費と廃炉費を入れているかということ、そういうことはなく、国策としてやっているとします。価格の設定も国際協力で、程良いところで決められないか。

実際に⁹⁹Mo、^{99m}Tcは10年ほど前にあったOECD/NEAの価格調整会議でこんなものだろうと決めています。生産拠点では必ずしも赤字でないかもしれないですが、そこは各国の国策として、そういう形で無理のない価格設定をしていく。そういう考え方で、必要なものはローカルに国産化すべきではないかと個人的に思っています。今医療用は原子力委員会アクションプランのフォローアップの段階になっていますが、産業用のRIもぜひとも。

釜田 JRR-3でアイソトープを製造していくということは聞いております。安定的な供給を望みますがまだ年2回だと聞いていて、年6回供給があるとすると、あと4回は海外からなので、そういうところの不安定さは非常に困ります。

半減期が74日しかありませんので、どうしても2か月ごとに頒布されないと、2か月後には撮影時間が倍になりますので困ります。それをX線に置き換えるということもありますが、置き換えられる場所とそうでない場所があります。γ線の装置はせいぜい20kgぐらいなので、そういうものを持って鉄塔の上に乗りますが、X線装置もそのぐらいになっていますが、電源ケーブルをそこまで引っ張るのは不可能な話という格好になりますので、そういうところが一番の活躍の場です。

あと、日本で⁷⁵Seが使えれば、ちょうどエネルギー

が約300 keVぐらいのエネルギーとなり、¹⁹²Irでエネルギーが約500 keVぐらい、⁶⁰Coで約1.3 MeVというエネルギーが低いところから高いところまで揃うという形になります。低いエネルギーの方はまだあまり使われておらず、ほとんどイリジウムで非破壊試験を実施していて、それより低いエネルギーはX線で非破壊試験を実施しているという感じになっています。

線源の国内生産のインフラというところでは非常にありがたい話ですし、ある先生からは福島にもう1基生産用の原子炉を建てれば良いという話をお聞きすることもあります。国内で生産したものを国内で使うということであれば、そういう動きは非常にありがたいと感じております。それが一番大きなところかなと思います。

西納 我々産業界で色々機械を設計していく中では、ソフト面もかなり重要な因子かなと思います。真空中の電子線の挙動、色々な軌跡のシミュレーション、ペットボトルの透過を含めた空気中での散乱、透過のシミュレーション、発生するX線の量と遮蔽のシミュレーション等、色々やらないといけないことが結構多くて、今バーチャルエンジニアリングといいますか、物をつくる前にシミュレーションで本質的に問題解決しておくことが非常に重要になってきます。もっと簡単に民間企業が使えるようなソフト支援があるとありがたいという気もします。

上坂 西納さんがおっしゃっているのは、モンテカルロシミュレーション等のシミュレーションコードをゼロからつくるといったことではない。そういうコードはあるので、メッシュジェネレータのような、形状のインプットデータがしてくれるものが欲しいと。そこに一番、手間とお金がかかります。大学教員のとき、橋の検査で、放射線安全のための規制庁の認可を得るために、放射線遮蔽計算をモンテカルロシミュレーションを使ってやりました。それをメーカーさんにお問い合わせすると高価になり、全検査費用のかなりの割合になってしまいます。だけど、1度やったインプットデータを共有できるようにして、形状が異なる部分のみマイナーチェンジするだけにすると、安価で普及しやすい。

鷺尾 それもみんなでも共有できるようにしたいね。

—放射線・RIの産業利用の将来展望と期待—

鷲尾 次は放射線・RIの産業利用の将来展望と期待ということで、手短に上坂先生からお考えをお聞かせ願えればと思います。

上坂 現状の政策は先ほど説明してしまいました。それから、これも私の元研究者としての考えです。今日皆さんのお手元にアメリカ物理学会*¹⁴の放射線応用のパンフレットの最新版と、7月にサンフランシスコで行われたSEMICON WEST*¹⁵という半導体の製造に関する国際会議にて、私のアメリカの知り合いの方々が話したプロシーディングがあります。

この考え方は、SMR*¹⁶をエネルギー源にして、例えば半導体産業やサプライチェーンの良いものをつくります。そこにはRI製造もあって、製造過程で出てきた汚染物を電子線による放射線化学反応で無害化する。ゼロエミッション、ゼロコンタミネーションのスマートシティをつくらないかという、とてつもない構想です。

SMRを日本ですぐつくりできないのは残念ですが、ぜひこういうスケールの大きい構想では、今日お話ししたことは全部入るのではないかと思うのです。日米で協力して良いものの1番目を、例えばアイダホ辺りにつくってみる。そのあと良ければ日本にもつくる。こんなプロジェクトに若い学生、技術者、研究者が加わってみたら面白いと思います。私は、この話を人材育成の観点で申し上げていますが、日本加速器学会にも話しました。ぜひ鷲尾先生らに、原子力のエネルギーと放射線応用をうまく融合した夢のある話にしてください、特に若い人が参画できることを検討して欲しいと思います。

鷲尾 1970年代にアメリカが放射線の産業利用をものすごくリードして、それに日本が乗っかっていって今のような状況になっています。あのときも、アメリカがものすごく突っ走って、色々な技術をどんどん実用化して、若い人もものすごくいっぱい入りました。そのときと同じように、今SEMICONでお話があったSMR等の最新の加速器技術の話がア

メリカで動き始めているとしたら、日本の若い人たちがジョインするチャンスだと思います。

山瀬 平成17年の原子力政策大綱というものがあります。その中で、私も関わっていた食品照射が世界各国で色々進んでいる中で、日本は立ち後れているので今後そういったものを前向きにやろうということ。それから放射線の利用についてもインフラを含めて支援していこうということ、それから人材育成をしていこうということが、原子力政策大綱で閣議決定されてから10年経っているけれども、どうなっているのかという話を内閣府原子力委員会でさせていただきました。そのあと震災等があった色々バタバタしているという回答をいただきましたが、新しく出てくる色々な計画では以前に閣議決定されたようなものも含めて、ご検討いただければなと。

今私は、滅菌の世界でもコンプライアンス云々というところをテーマにやっていますが、WHO、国際食品規格等でも食品照射が認められています。ところが、日本はジャガイモの芽止めだけで、それ以外は拒否されています。アメリカでは鶏肉、牛肉、レタス、卵に照射を認めていて、アジアではフルーツ類、ベトナムではエビやフルーツに照射できるようになっていて、アジアとアメリカで輸出入をしているわけです。ハワイにも照射施設があります。日本は、ジャガイモのときは世界で最初に認めたということでもかなり画期的でしたが、その後は、世界でも非常に取り残されてずっと停滞しているのです。そのへんをもう一度議論いただきたいと思います。国策関係での提案はもうひとつあります。

人材育成の観点ですが、現在、大学でどんどん原子力関係の学科が廃止に追い込まれています。学生が集まらず、大学は経営上厳しい状況にあるので仕方がないのかもしれませんが、今後、原子力や放射線の利用に関する人材育成は非常に重要であり、国がそれに対して何らかの支援をしていかないと、人材育成の機会がどんどん失われるのではないかと思いますので、そのへんをご検討いただきたいということです。

現在、エチレンオキサイドガス滅菌は、WHO、FDA、ヨーロッパのEMAで医療機器、医薬品では原則として使用不可、どうしてもできない場合のみと言われていますが、アメリカでも日本でもその滅

14 <https://www.aps.org/>

15 <https://www.semiconwest.org/>

16 Small Modular Reactors：小型モジュール炉

菌が50%以上やられています。それはいかなものかということで、2021年辺りからFDAがエチレンオキシドの施設をいくつか停止させていますし、日本の環境省も動き出しています。アメリカのFDAもエチレンオキシドに代わるものとして放射線にもうちょっと力を入れて、薬事的な承認も含めて緩和しようというプログラムができています。それが2022年に始まったようですが、今後は環境への影響物質を少なくして、クリーンな放射線、電子線による滅菌が推進されることを期待したいと思います。

西納 私も全くそう思います。私共の市場においても、SDGs、カーボンニュートラル等環境や社会に配慮したサステナブルな製品、あるいはシステムをつくることの重要性が非常に高くなってきているのではないかなと思います。

薬剤殺菌ですと殺菌したあとに無菌水、あるいは無菌温水でリンスしないといけません、電子線殺菌ですと、薬剤を使っていないのでノーリンスで良いわけです。無菌水の削減によって、仕様にもよりますが、年間で1000tぐらいの炭酸ガス排出量の削減につながります。設備ですから何万tというわけではないですが、それでも大きな削減効果を得ることができます。

ペットボトル飲料も非常に環境に優しい優等生の製品です。その1つとして、アセプティックの技術や電子線殺菌が少なからず寄与していると思います。環境社会に配慮したSDGs、カーボンニュートラル、サステナブルをキーワードにして、もっと電子線、あるいは放射線、RIを活用することによって、更に環境に優しくなるというのを、もう少し前面に押し出せるのではないかと感じております。

西川 我々は基本的に電子線の架橋技術で新しい製品をつくっていますが、電線以外では2つだけ例を挙げます。

1つは、PTFE、テフロン製の架橋製品です。テフロンは非常に低い摩擦係数を持ちますが、比較的摩擦しやす素材です。これを架橋することによって耐摩耗性が上がる。これを照射架橋で行うということで、コーティング材やテープに加工したものを製品化し、新製品として出すことができました。これによって、例えば摺動性が上がることでエネルギーの削減に役立ちますので、このへんは将来につながる

技術だということで、若い人を含めてアピールしていくものかなと思います。

もう1つは、リチウムイオン電池は缶型とパウチ型というフィルムがカバーになっているものがあります。パウチ型リチウムイオン電池の中の電極から電気を取り出すリード線にタブリードという部材があって、そこに放射線で架橋した絶縁が貼ってあります。分かりにくいですね。

パウチ型の電池では、電解液が漏れないようにパウチを封止しつつ電極を通じて電気を取り出す必要があります。一方、パウチ材はアルミ箔がラミネートされており、このアルミ箔と電極は熱変形でショートしないが、熱封止はできるようにちょうど良い具合に架橋した絶縁フィルムを電極に貼った部材です。そこにも放射線照射による架橋技術が使われています。

瀬古 うちとしては何かを開発する際には、今後AIを併用して活用していくことが重要だと思います。私は最近マテリアルズ・インフォマティクス(MI)^{*17}をやっている中で、どうしても内挿しかできなくて、外挿、未知なるものを予測するのは難しいです。高分子材料の開発では、結果が予測どおりにならないことが多いので、更に多くのデータ、ビッグデータをどんどん蓄積して、機械学習から得られた結果からより良いものをつくっていききたいというのが1つの理想です。

環境というキーワードが出たこともあって、私は環境資源材料というグループでやっていますが、環境、SDGsをうたうなら、材料開発するだけでなく、その後のバックエンドまでちゃんと意識してやらなくてはいけないと考えております。

釜田 非破壊検査の中の細かいところですが、JISのZ3110^{*18}という銅溶接部におけるデジタルの規格が制定されています。これはデジタル関係で初めて施行されたもので、実はISOの焼き直しという形にはなりますが、これによってある程度デジタルの撮影ができるということが出てきています。デジタルの良いところは、そういうものを使えば電子

17 ビッグデータ、AI、機械学習等といったデジタル技術の進展により、膨大な数の実験や論文を解析して材料の製造方法を予測する等、材料開発の効率を向上させる取組み

18 JIS Z 3110：2017 溶接継手の放射線透過試験方法—デジタル検出器によるX線及びγ線撮影技術

データで情報が取れて、即座に結果が出るようになっていきます。

我々の業界はいかに楽に、楽な環境でデータが得られるかというところに関しては課題になっております。例えばデータをクラウドに上げて、すぐに別の部隊が解析するというところも今考えられてきております。とにかくフィルムという、アナログなものからデジタルということ少し進んだのかなと思います。ただ、映り方や得られる情報としてはフィルムには敵わないところがあり、ある範囲のある部分であればフィルム相当でできる。非破壊検査は物を壊さずに中を見る技術だということで、鋼だけではなくて、先ほどあった橋梁といったところに発展していければと考えております。

鷲尾 非常に少ないデータできれいに再構成するという技術ができ始めていて、そういう先生方とタイアップしていただくとすごく負荷が軽くなるような気がします。ぜひそういうところもご検討いただければ良いのかなと思います。

上坂 ここまでのお話の中で原子力委員会への言及がいくつかあったので、それに対してお答えします。

まず、山瀬さんの食品照射ですが、特に福島事故以降まだ社会受容性的に国民の理解がなかなか得られていないような状況です。一方、FNCA、アジア原子力協力フォーラムでは、ベトナム等が食品照射をして輸出している報告がありました。したがって、先ほどのお話ではないですが、世界レベルで、ぜひそれらを受け入れる国に対して、日本の技術で食品照射をやることも検討いただければと思います。

大学への支援ですが、いま文科省、経済産業省がやっています。すべての大学で例えば放射線実習教育ができるという時代でもなくなってきています。大学・院ネットワークをつくってお互いに授業・実習をシェアしようということは、国際的レベルで、国としてやっているところです。

全体をとおしてですが、原子力発電と放射線への社会受容性をもっと上げなければいけない。そのためには、我々はもっと明解に説明しなければいけない。各機関が非常に分かりやすいコンテンツ、セミナー、説明会を独自にやっています。今原子力人材育成ネットワークができています。そこで、原子力・放射線の分かりやすい説明コンテンツを全部見に行

けるような、リンクが貼ってあるホームページをつくっていただくようにご相談しています。

それから、小中高での教育も重要です。日本原子力学会の教育委員会が小中高の教科書の原子力と放射線に関する科学的、技術的な正確さをチェックする作業を約20年やっています。今年の報告書が8月に出たところです。そこに提言も加えてあります。ぜひエネルギー・原子力・放射線についてもっと記述して欲しい、良いことだけではなくて、もちろん課題を含めて適切に書いていただきたいという運動をやっているところです。

社会受容性を高める必要があると思いますので、ぜひ皆さんと協力して、分かりやすい説明・広報活動やっていきたいと思います。それを原子力委員会として推進していきたいと存じます。

—読者に向けて—

鷲尾 ありがとうございます。では、最後に読者に語りたくてをお願いします。

山瀬 私は専門が滅菌ですが、それ以外にも放射線の利用についてももう少し読者の方にご理解いただければと思います。

西納 最近の若い世代は、いかに社会貢献をしているかとか、今話題のSDGs、カーボンニュートラル、あるいはサステナブルというキーワードに非常に敏感に反応して興味を持っていると思います。

電子線、放射線の利用は本当に社会のために役立っていますし、医療面を含めれば、健康で豊かな社会生活を送るうえでなくてはならないものであると思います。そのへんをぜひ若い世代にもPRしていただければ、先ほどの大学の人材確保のお話に対しても、色々な意味でイメージが変わってくるのではないかと思いますのでご配慮いただければと思います。

西川 このへんの技術を有用なものだと認識してもらうことで、社会貢献や環境に優しいということにつながると特に強調できるような形をお願いしたいと思います。若い世代に伝えられるような工夫がどこにあるのか。人材育成が最重要だと思いますので、ぜひともそちらのほうを。

鷲尾 私も最重要だと思います。若い人に夢と希望を与えるようなことを私たちから伝えられれば良

いですけどね。

瀬古 今日の座談会の趣旨は、私たちの生活を豊かにするというのがキーワードでしたが、アイソトープ、つまり、それによって健康寿命を長くすることだと思えます。照射する放射性同位元素自体の国産化はすごく良い言葉だと私は思いましたが、そういうアイソトープや資源をつくるにしても、自国でつくっていくという夢を語りながら、本当にやれるような研究環境をつくっていき、若い世代にやってもらいたいと思えます。

鷲尾 自分たちでできる、やれるというのは大事ですよ。国産化は大きいね。

材料、技術の国産化は大事ですが、海外諸国の力をお借りするというのは絶対やっておいて欲しいと思えます。ありがとうございます。

釜田 これから先例えばデジタル、AIというところに進んでいくと思えます。とはいえ、研究をな

さっている方が少なくなってきたという感はあると思いますが、まだまだ研究する課題はたくさんあると思えます。それによって、もっと高付加価値な検査と言ったら大げさですが、そういうものができてくるのではないかなと。

鷲尾 今まで見られなかったものが見られるようになるという話だと思えます。

釜田 そうですね。それによって、長寿命化が図れたり安全が担保されたりという格好になってくると思えますし、まだまだそういうところには研究の価値というか余裕があると考えますので、是非とも若い人たちにそういうところを目指していただければありがたいと考えます。

鷲尾 『Isotope News』の若い読者にそれをぜひ伝えていただけるような誌面づくりをお願いしたいと思います。ありがとうございました。

(了)



Isotope Newsライブラリーを公開しました

1952（昭和27）年の創刊号から現在までの「協会ニュース」「Isotope News」を会員の方限定で公開しております。電子ブックで閲覧・ダウンロードができます。貴重な記事の数々をぜひご覧ください。

協会ホームページ「会員マイページ」からログインし
「広報誌」内の「Isotope News ライブラリー」をクリック！

会員マイページ ⇒ <https://jrm.jrias.or.jp/mypage/login/login>

