

THE RESEARCH ON THE USE OF ACCELERATORS AND FUTURE PROSPECTS IN THE ENVIRONMENTAL FIELD

Hiromitsu Inoue, Kunihiko Suzuki, Kiyotaka Ohtomo, Yuji Matsubara, Takeshi Yoshiyuki, Koichi Nakayama, Hiroaki Sakurabata, Yutaka Itou, Koichi Katayama, Takashi Baba, Masakazu Murakami, Yoshihisa Ookubo, Osamu Yushiro, Takeo Mori, Yukiya Hattori, Naoaki Ikeda, Katsuya Sennyu, Hiroki Watanuki
Accelerator Special Committee, The Japan Electrical Manufacturers' Association
17-4, Ichibancho Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0082, Japan

Abstract

The Accelerator Special Committee of the Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), which was organized in April 2005, is active to expand particle accelerator and their applications. A current member is composing of 11 companies. As one of the major activities, the usage survey of accelerator in various fields has been continued. In FY2010, the survey's scope was the use of accelerators in the environmental field. Activities of the committee and the essence of the survey are described in this paper.

環境分野における加速器の活用と将来展望に関する調査

1. はじめに

一般社団法人日本電機工業会^[1] (JEMA) 加速器特別委員会は、2004年2月に発足した産業用小型加速器懇談会を母体として、2005年4月より加速器の普及拡大を目的として活動を開始している。^[2]

活動の一つとして、加速器利用者の使用状況調査を進めており、2005年度に医療関係、2006年度に食品、医薬品関連、2007年度に、大学・研究機関での使用状況調査、2008年度に教育関係者の意識調査、2009年度は北米並びにアジアにおける加速器の調査を実施した。^[3] 2010年度は、今後大いに期待される「環境分野」での加速器利用に注目し、調査を実施した。

本調査では、加速器の環境分野応用の基本となる「技術の種」を可能な限り抽出し、データベース化した(全71件)。続いて、実用化への道を探る為に国内主要企業に対し加速器利用環境保全技術の認知状況・利用動向に関するアンケート調査およびインタビュー調査を実施した。

本稿では、有識者委員会による環境分野での加速器利用技術の抽出結果、アンケート調査の結果を中心に、今回の調査事業の概要を報告する。

なお、調査結果全体(詳細)に関しては、JEMA Web上に公開している報告書要約版または詳細版を参照されたい。^[4]

2. 環境分野での加速器利用技術の抽出

7名からなる有識者委員会(「環境分野での加速器活用検討委員会」)を構成し、国内外の環境問題への加速器活用個別技術とその内容をレビューできる日本人専門家の対を、将来性が高いと判断される

技術を系統的に整理しつつ、①環境浄化、②高機能材料、③環境分析・評価、④新分野・その他、で計71件を選出した。

技術の選出は各有識者委員の研究開発活動に伴う知見(関連ジャーナル掲載の文献(公開特許情報を含む)、国内外関連学会での発表・プロシーディングス、国際交流などによる私信など)に基づき抽出された。

3. 技術レビューの作成

有識者委員会委員の協力を得つつ、各専門家にレビュー執筆を依頼した。その際のレビューのフォーマットには、有識者委員会での検討も踏まえ、基本的に次に示す項目を含むこととした。

①技術タイトル、②利用量子ビーム種類、③利用加速器種類、④量子ビームエネルギー・電流、⑤照射・吸収線量(率)、⑥照射条件、⑦応用分野、⑧技術の概要、⑨代替技術との得失、⑩技術の現状段階(研究実験段階、実証試験段階、実用化段階など)、⑪実用化に向けての解決課題、⑫実用化予測概算年、⑬その他、⑭参考文献

レビューの結果、加速器利用環境保全技術のシーズを全71件抽出し、環境浄化関連(19件)、高機能材料関連(34件)、環境分析・評価関連(12件)、新分野・その他(6件)に分類し、一技術一葉形式にまとめた。一例を図1に示す。

① タイトル (01)	電子線による燃焼排煙中 NO _x 及び SO _x 除去
② 利用量子ビーム	電子線
③ 利用加速器	電子加速器
④ エネルギー・電流	0.7 MeV, 380 mA
⑤ 線量(率)	N/A
⑥ 照射条件	大気中、65-80℃、常圧
⑦ 応用分野	石炭および石油燃焼排煙の浄化
⑧ 技術概要	<p>【処理手順】 ①ボイラーから排出された排煙に、排煙量と NO_x 及び SO_x 濃度から求めた当量のアンモニアを排煙中に噴霧する。②排煙を反応器に導き、電子ビームを排煙に直接照射することにより、NO_x および SO_x を酸化しそれぞれ硝酸、硫酸にし、さらに添加したアンモニアと反応させて、硝酸アンモニウム、硫酸アンモニウムの粉体とする。③反応器を出た排煙は、湿式電気集塵機に送られ、ここで生成した硝酸アンモニウムと硫酸アンモニウムが分離除去される。</p> <p>【反応機構】 排煙に電子ビームを照射すると、排煙中の窒素や酸素等が励起・イオン化を起こした後、排煙に含まれる水分子と反応して OH、HO₂ などの活性種を生じる。NO_x 及び SO_x は、これらの活性種により酸化され硝酸、硫酸となり、さらに添加したアンモニアと反応し、硝酸アンモニウム及び硫酸アンモニウムを生成する。これらの粉体は肥料として利用できる。</p>
⑨ 代替技術との得失	NO _x と SO _x の同時除去可能。副産物は肥料として利用可能。安定した高い脱硝率。
⑩ 技術の現状段階	実規模プラント試験実施中
⑪ 実用化への解決課題	長期連続運転
⑫ 実用化予測年	2015 年頃
⑬ その他	ポーランドのボモジャーニでは、270,000Nm ³ /hの排煙に対して、95%の脱硝率及び 70%以上の脱硝率を達成している。また、ブルガリアではパイロット試験を終了し、現在スピロザで 600,000Nm ³ /hの排煙処理が可能な実機の建設を計画中。
⑭ 参考文献	A.G. Chmielewski, J. Licki, A. Pawelec, B. Tyminski, and Z. Zimek: Operational experience of the industrial plant for electron beam flue gas treatment, Radiat. Phys. Chem. 71, 439, 2004. A.G. Chmielewski: Industrial applications of electron beam flue gas treatment- From laboratory to the practice, Radiat. Phys. Chem. 76, 1480, 2007.

図1 技術レビューの一例

環境浄化関連は、大きく排ガス処理・浄化と排水処理・浄化に分けることができる。排ガス処理・浄化では、代表的な大気汚染物質の除去・分解だけではなく発がん性物質であるダイオキシンの分解や脱臭も含まれた。また排水処理・浄化には、ダイオキシンや重金属の分解・除去以外に環境ホルモンの分解や殺菌も含まれた。

高機能材料関連は、大きくは吸着材作製、材料改質、ゲル作製に分けることができる。吸着材としては金属の回収・除去用途だけでなくホウ素・ヒ素の除去用途も含まれた。またゲル作製としては、金属除去・回収や発がん性物質除去といった直接的環境保全用途のものだけでなく、医療・漁業・農業分野などでの用途で環境負荷軽減に繋がるものも含まれた。

環境分析・評価関連には、主に粒子線励起X線分析 (PIXE) と加速器質量分析 (AMS) を用いる技術が紹介されたが、放射光などを用いる技術も紹介された。

新分野・その他には、主に微生物や植物の育種技術が紹介されたが、育種での評価技術や食品害虫防除技術も紹介された。

各技術での利用量子ビームとしては、環境浄化関連と高機能材料関連ではほとんど全ての技術が電子線を利用するのに対して、環境分析・評価関連や新分野・その他では陽子線やイオンビームが主となっている。

上記の様に、環境にかかわる多様な技術課題について、加速器を利用する事が将来それらの課題解決の一つの手段となる可能性を秘めている事が示された。また国内の多くの機関で研究開発が進められていることが示された。

4. 技術利用可能性企業（環境推進部署）に対するアンケートとインタビュー

2009年度に環境報告書類を発行している国内主要産業の企業グループ（535社）にアンケート依頼をし、125社（回答率：23.4%）から回答と貴重な意見を頂いた。主な調査項目は、対象企業の基本属性、環境保全課題、加速器利用技術の認知動向および利用動向、加速器の認知動向である。

回答頂いた企業グループの環境保全に関する関心の度合を図2に示す。CO₂排出削減が最も高く、使用材料の環境保全化、環境汚染の削減がそれに続いている。

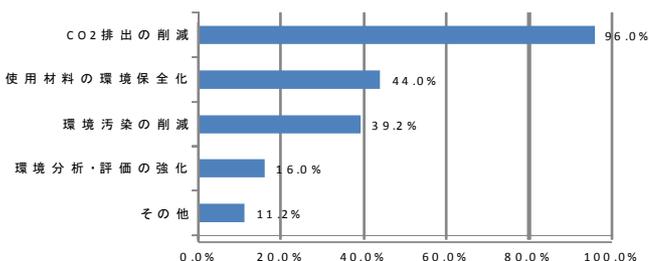


図2 環境保全に関する関心の度合

加速器・量子ビーム利用の当該技術の一部でも知っていた企業は約43%であった。その情報源を図3に示す。マスメディアが最も多く、次いでインターネットが挙げられ、記者会見やホームページ充実など技術シーズ側からの情報発信の重要性が示唆された。

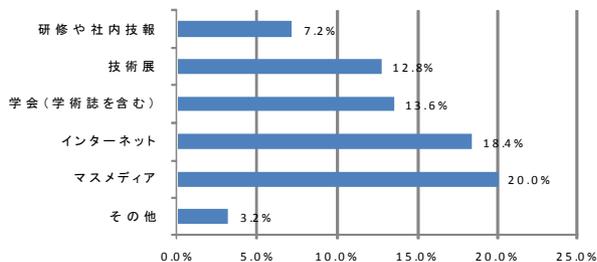


図3 量子ビーム応用環境技術の情報源

しかし、当該技術の企業内導入や技術を企業外部の照射施設で利用するための調査を実施または希望する企業累計数を図4に示す。調査を進めないとする企業数に対して、約4分の1と低い結果に留まった。調査を進めない主な理由としては、設備維持管理困難感、専門技術者確保困難感、技術成熟度への疑念が比較的に多く挙げられた。

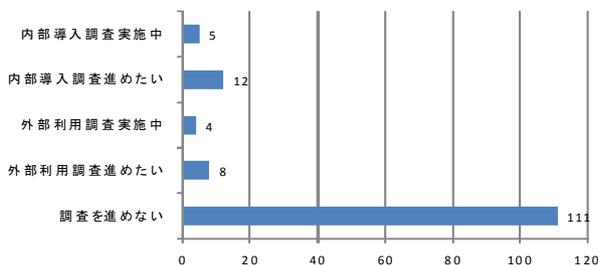


図4 量子ビーム応用環境技術導入・利用指向

当該技術の企業内導入調査希望では環境汚染削減目的が、企業外部の照射施設での利用調査希望では使用材料環境保全化目的が、他の目的に比較して多かった。いずれの場合でも、調査を進める動機と成った主な理由としては、環境対応への市場の要請と高い環境効果への期待感が目立った。しかし、調査実施中あるいは調査希望とした企業グループの数が少ないため、回答内容は各々の回答企業独自の事情に依存している可能性がある。

なお、加速器一般に関する認知度に関しては、回答頂いた企業の4分の3が量子ビームの生成に加速器が必要なことを知っていた。加速器の用途に関する認知度を図5に示す。宇宙・素粒子などの基礎科学分野の用途に関する認知度が高く、次いで医療分野応用となっており、小型加速器による環境保全などへの応用分野に関する認知度は比較的に低い事が示された。

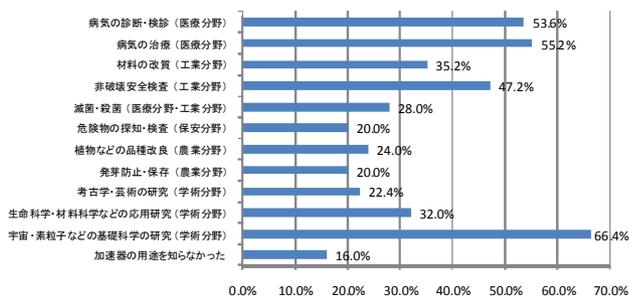


図5 加速器用途の認知度

アンケート結果を補足するために、量子ビーム応用環境技術の企業内導入調査や企業外部の照射施設での利用調査を実施または希望する企業の環境推進部署(CSR部署)に対してインタビュー調査を行った。

照射施設の内部導入か外部利用かの判断指標としては、施設の利用頻度、照射により得られる製品の取扱量、内部導入でのコスト面が挙げられた。

当該技術に期待される成果に関しては、分析・評価では国際競争力や国際基準を担保できる高い精度が、一般的にはコストパフォーマンスが主に挙げられた。

当該技術に期待される技術成熟度レベルに関しては、即戦力となる安定度、実利用までのコストの低さなどが求められた。

当該技術普及策に関しては、非専門家が利用判断できる形態での紹介、用途・機能別の分類提示、関連工業会の展示会での紹介などが挙げられた。

量子ビーム利用技術導入での対顧客面影響に関しては、社のイメージに悪影響がある可能性があるとする企業から悪影響はないとする企業まで様々であったが、製品の安全性に対する社会的説明だけでなく、従業員に対する安全性説明の困難さを指摘する声もあった。

加速器普及策に関連しては、安全性の確保と安価な提供が特に小型器を中心に求められた。さらには、ラインに柔軟に適用できるアッセンブリ技術や安価なメンテナンスノウハウの提供、ユーザのニーズに合わせた利用技術とセットにした提供を期待する声も挙げられた。また、企業での加速器の利用用途および形態の違い、即ち研究・開発或いはサンプリング的な検査業務に用いる場合と、生産プロセスに組み込んで使う事を目的とした場合で、要求される技術レベル、成熟度に大きな開きがあることが示された。

このように加速器の普及は、ユーザ企業でのニーズにあった利用技術による事業化と大きく連関する。

5. 事業化における障壁と推進面に関する分析(有識者、検討委員会意見)

対環境保全用高エネルギー電子線処理技術と、その他一般用低エネルギー電子線処理技術による事業化に関して、その歴史と現状の概略および導入推進とそこでの障壁について、有識者へのインタビューおよび「環境分野での加速器活用検討委員会」での討論を行った。有識者のご意見および「環境分野での加速器活用検討委員会」で得られた結果を以下に紹介する。

対環境保全用高エネルギー(約1MeV以上)電子線処理技術に関しては、世界において石炭火力発電量が全発電量に占める割合は将来的に増加することが予測されており、また、排煙ガス中の毒性汚染物の処理に関しては、従来法に比較し電子線利用法は、建設費および運転費ともに安価であるという試算がIAEA(国際原子力機関)会合でたびたび報告されている。この電子線利用法は35年以上前から研究開発

されてきているが、信頼性が高く連続運転が可能な高出力の電子線加速器の作成に課題が残っており、十分に普及しているとは言えない。日本でも、実証実験に成功しながらも、2000年に実用化を断念した経緯がある。

この排煙ガスの電子線処理の普及策に関しては、主に以下のような意見が挙げられた。

営利企業が環境保全を目的とした研究開発に積極的に取り組むには、国なりの後押しにより多くの人々が、その必要性を感じる事が動機付けのひとつとなりやすい。従来法で安全に処理できるのに、あえて新しい量子ビーム利用技術を導入する必然性（メリットや環境条件）が明確にならないと、それを強かに推進しようとする人はまずいないだろう。企業も、新しい技術にはなかなかチャレンジしないだろう。

韓国では、ロシアの高エネルギー関連研究所の技術で作られた加速器を導入して、環境分野へ利用している事例も見られる。日本も、国から交付金を受けている研究所が加速器技術の発展により一層寄与すべきである。

その他一般用低エネルギー（約1MeV以下）電子線処理技術においては、フロッピーディスクや感熱プリンター用紙のように、時代の流れと共に消えた量子ビーム利用技術商品もあるが、熱収縮チューブや電池隔膜などは現在でも電子線を利用して製造が続けられている。基本的な必需商品で、かつ、製造には量子ビーム照射しかないという製品は、全て生き残っている。

このような事業化における障壁と推進面については、主に以下のような意見が挙げられた。

加速器を製造ラインに組み込むためには物理と化学の両方の知識が必要である。過去に事業化に成功してきた企業は、いずれも加速器ユーザ側が物理を学び、成功してきた所である。加速器メーカーが化学を学びユーザ側に接近し成功してきた例はほとんど無い。100keV以下の低エネルギー電子線照射装置では、ユーザ側のニーズをうまく捕らえ事業化している加速器メーカーも何社かある。しかし多くでは、加速器メーカーはメンテナンスなどを背負いながらあまり利益が上がらず、ユーザ側がその加速器を用いて利益を上げている、と言う構図が定着している。

今後は、まず加速器メーカー側が的確に市場のニーズをつかみプロセス特許を押さえ、ニーズにあった加速器技術でそのユーザ側と共同開発を進めることである。しかし現実にはユーザ側の化学力が余りに強く、メーカー側が共同開発に入っていけないという隘路が立ちほだかっている。

日本にもいくつかの加速器技術関連の学会や研究会が存在するが、0.8MeV程度の電子線加速器となると商業分野に入り、学会などで取り上げられていない。従って、誰かがその分野の研究会などを組織しないと、日本の技術はプロセス適用まで発展しないのかも知れない。

6. おわりに

今回の調査事業を通して得られた成果を以下にまとめる。

- ① 環境分野での加速器応用に関する技術シーズを71件摘出し、一技術一葉の形式でデータベースとしてまとめた。
- ② 国内産業界の「環境分野での加速器応用」に関する認知度、関心度は決して高くない。利用できる技術を、技術シーズ側（研究開発機関、加速器メーカー）が、ニーズ側にとってアクセスしやすい手段を工夫して、情報発信することが必要である。
- ③ 技術シーズを産業界に根付かせるためには、産官学連携の研究・開発・情報交換の場としての学協会活動の活発化が望まれ、技術シーズ側としての研究機関の指導性発揮が期待される。
- ④ 「環境分野での加速器応用」を産業界に普及させるには、経済性も含めたプロトタイプによる実証が不可欠である。この推進には国家の支援（研究助成、開発支援、規制）が必要である。
- ⑤ 加速器メーカーは、プロセス側まで踏み込んだソリューションを、使用方法や安全確保、メンテナンスノウハウなども含めてパッケージで提供する事に努める必要がある。

一般社団法人日本電機工業会・加速器特別委員会は、加速器関連機器の製造に関わる業界の団体として、関係官庁、団体等との連携を進めながら、加速器分野の発展に寄与していきたいと思っております。本稿で紹介した調査事業の他、PRパンフレット作成、自主統計集計など各種事業を展開しております。今後とも皆様の御理解、御支援をよろしくお願いいたします。

参考文献

- [1] <http://www.jema-net.or.jp/>
- [2] 宮岡丈治「日本電機工業会の加速器への取組と、加速器学会への期待」日本加速器学会誌 Vol.4. No.3, 2007 (248-251)
- [3] (社)日本電機工業会 加速器特別委員会「北米並びにアジアにおける加速器の普及状況と将来展望調査について」加速器 (319-323) Vol.7, No. 4, 2010
- [4] https://www.jema-net.or.jp/cgi-bin/jem_mok.cgi
調査報告書は、JEMAオンラインストアから有償配布されている。（要約版はWeb上に公開）

※加速器特別委員会 構成会社（12社 2010年度）

(株)NHVコーポレーション、(株)IHI、(株)神戸製鋼所、住友重機械工業(株)、(株)東芝、東芝電子管デバイス(株)、ニチコン(株)、ニチコン草津(株)、(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス、(株)日立製作所、三菱重工業(株)、三菱電機(株)