

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

報告書

概要版

2010年3月



社団法人 日本電機工業会

加速器専門委員会

まえがき

社団法人 日本電機工業会（JEMA）加速器専門委員会は 2005 年 4 月に加速器・放射線利用の普及・促進を目的として発足しました。以来主要な活動の一つとして、医療をはじめとする産業応用、加速器利用者の意識調査、教育分野など、加速器の普及に関連するテーマに関し調査を実施してきました。

本調査は、益々グローバル化する経済環境のなかで、加速器利用の先進地域である北米地域および、科学技術育成に急速に力を注ぎはじめ経済成長が著しい中国、韓国をはじめとするアジア地域における加速器の普及状況および将来展望を調査したものです。本調査は、文献調査および、限られた範囲ではありますが、関係国の政府機関、公的研究機関、加速器業界の関係者へ直接インタビューを実施し、それらのデータを踏まえて纏めたものです。従来散発的であった調査対象地域の情報を、網羅的・横断的に捉える事に努めました。

我が国の加速器業界を取り巻く環境は、我が国特有の放射線に対する国民的な理解不足に加え、様々な規制や昨今の景気低迷、公的研究開発費の有り方の再考など、厳しいものがあります。我が国の科学技術分野での優位性を今後とも維持・伸張してゆくためにも、加速器業界として諸外国の動向、特に近隣アジアの国々の動向に、今後とも注視して行く事が必要と考えております。

加速器は様々な分野で、基礎研究から応用まで科学技術・産業発展の有力なツールとなっております。本調査報告が我が国の科学技術の発展や、加速器に関連する多くの皆様のお役に立てれば幸いです。

末筆ながら、本調査の実施に当たりご尽力頂いた関係各位に厚く御礼申し上げます。

2010 年 3 月

社団法人 日本電機工業会
加速器専門委員会
委員長 伊藤 裕

目次

1. はじめに-----	1
(1) 調査の目的	
(2) 調査実施概要	
①調査対象国	
②調査実施期間	
③調査実施方法	
④調査担当	
2. 各国における加速器の普及状況-----	4
(1) 世界における加速器装置の設置状況	
(2) 調査対象主要国別加速器の普及状況	
①米国	
②中国	
③韓国	
④その他（インドネシア、マレーシア、インド、ベトナム、タイ、台湾）	
3. 需要分野別現状と将来展望-----	8
(1) 医療分野	
(2) 工業用	
(3) 滅菌・殺菌	
①医療用具・医薬品	
②食品・飲料容器	
③その他	
(4) 食品照射	
(5) 非破壊検査	
(6) 環境	
4. まとめ-----	17

1. はじめに

(1) 調査の目的

我が国において、放射線利用の一形態としての加速器は研究用にとどまらず、医療及び、工業、農業等産業にも利用され、広く我が国社会経済の発展に寄与している。

一方、海外においても加速器は普及が進展しているが、様々な側面で我が国とは異なり一定の「温度差」があるといわれている。

我が国の加速器メーカーを取り巻く環境は厳しい。即ち、(1) 昨今の深刻な不況下における企業の設備投資意欲の減退、(2) 公的機関における研究開発費のあり方の再考、(3) 様々な法規制の存在、(4) 放射線に対する国民的理解の不足等が背景にある。

我が国加速器メーカーが今後、必ずしも順風満帆な環境にあるとはいえない。そのような状況下で、彼我の「温度差」の原因は単なる国情の相違のみに留まらないことは想像するに難しくなく、我が国加速器メーカーは、むしろその背景を十二分に検証する必要がある。その上で、適宜必要な情報を海外から取り入れることにより、加速器業界を支える枠組みそのものに反映させる必要性を痛感している。

そこで、JEMA 加速器専門委員会は 2009 年度、我が国と共に加速器の先進地域である北米並びに経済発展が著しく今後の有望市場であるアジアに的を絞り、それら地域における加速器製造業界及びユーザ業界の実態、法規制など加速器を巡る各種施策などについて現状と将来展望を調査した。我が国加速器メーカーのより一層の海外市場開拓・進出の一助となること、そして、我が国加速器業界のあるべき姿を追求するに適したデータを構築することを目的としている。

(2) 調査実施概要

①調査対象国

- ・ 米国
- ・ 中国
- ・ 韓国
- ・ アジア（インドネシア、マレーシア、インド、ベトナム、タイ、台湾）

②調査実施期間

平成 21 年 7 月 21 日～平成 22 年 3 月 30 日

③調査実施方法

米国、中国、韓国に関しては、文献調査及び現地ヒアリング調査を実施した。それ以外の国に関しては、文献調査を実施した。

【現地ヒアリング調査先】

米国

政府機関

- ・ United States Nuclear Regulatory Commission/Office of Federal and State Materials and Environmental Management Programs

研究機関

- ・ Food Safety Intervention Technologies Research Eastern Regional Research Ctr./Agricultural Research Service/U.S. Department of Agriculture

企業

- ・ R&M Technical Enterprises, Inc.
- ・ L3 Communications Applied Technologies Pulse Sciences
- ・ IBA Industrial
- ・ Varian Medical Systems

中国

研究機関

- ・ Institute of Agro-food Science and Technology/Chinese Academy of Agricultural Sciences(CAAS)

大学

- ・ 清華大学

企業

- ・ NUCTECH Co, Ltd.

韓国

研究機関

- ・ Advanced Radiation Technology Institute(ARTI)/Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
- ・ Pohang Accelerator Laboratory

大学

- ・ Chungnam National University/Department of Animal Science and Biotechnology

・ Pohang University of Science and Technology

企業

・ EB-TECH Co., Ltd.

④調査内容

- イ) 各国における加速器の普及状況
- ロ) 国別加速器の現状と将来展望
 - ・ 加速器に関連する市場構造
 - ・ 加速器普及に関する国の施策
 - ・ 参入メーカーのリストアップと概要
 - ・ 加速器の需要規模と需要分野・需要動向
 - ・ 加速器市場の抱える現状の課題（産業野別）
 - ・ 各国における今後の加速器市場展望
- ハ) 全体のまとめ・提言
 - ・ 需要分野別現状と将来展望
 - ・ 受託加工市場
 - ・ 各国装置メーカーの現状と展望
 - ・ 加速器普及に関連する施策や規制
 - ・ まとめ

2. 各国における加速器の普及状況

(1) 世界における加速器装置の設置状況

世界の加速器市場は、あらゆる分野において年々拡大の一途を辿っている。それぞれの装置の年間の成長率は約 10%と言われており、いまやグローバルレベルでの重要な産業として位置づけられるようになってきている。

表 2-1 に、世界の加速器装置の 2008 年時における累計設置台数と年間販売台数及び年間販売金額を示す。需要分野は工業応用と医療応用に大別され、加速器応用装置の累計設置台数は 2 万 4,310 台、2008 年単年度の販売台数は 1,310 台、金額ベースでは 35 億 3 千万ドルとなっている。

装置別で見ると、まず工業用では主に半導体加工用として使用されるイオン注入用が累計で 1 万台、2008 年が 500 台と圧倒的に多い。金額ベースでも年間 14 億ドルと、大きな市場を形成している。電子線&X線照射装置は、累計は 2,075 台、2008 年単年度が 75 台の販売である。75 台の内訳は、1MeV 以上が 20 台、1MeV 未満が 50 台となっている。その他、非破壊検査装置は 2008 年に 100 台販売されており、累計で 750 台の稼働である。ラジオアイソトープは累計 610 台、年間 60 台の販売。イオンビーム分析装置が累計 225、年間 25 台となっている。

医療用では、がん治療装置が累計 9,600 台、年間 500 台の販売台数で、金額ベースでは 18 億ドルと、非常に大きな市場を形成するに至っている。また、中性子発生装置は、累計で 1,050 台、年間 50 台の販売規模となっている。

表 2-1 世界の加速器装置の販売台数&設置台数 (2008 年、単位:台、百万ドル)

用途		累計設置台数	年間販売台数	年間販売金額
工業用	イオン注入装置	10,000	500	1,400
	電子線&X線照射装置	2,075	75 (1MeV 未満 50,1MeV 以上 20)	130
	イオンビーム分析装置 (AMS 含む)	225	25	30
	ラジオアイソトープ (PET 含む)	610	60	70
	非破壊検査装置	750	100	70
がん治療装置		9,600	500	1,800
中性子発生装置		1,050	50	30
合計		24,310	1,310	3,530

出所 : Reviews of Accelerator Science and Technology vol.1(2008),Robert W.Hamm:Industrial Accelerators をベースにヒアリングを実施。矢野経済研究所作成

(2) 調査対象主要国別加速器の普及状況

① 米国

米国は加速器に関して、供給と需要の両面でこれまで世界をリードしてきている。同国における現状の応用装置の導入状況に関しては、下記表のように様々な分野において進んでいる。

ラジオアイソトープ発生装置は、世界市場全体の半数の約 300 台が米国で稼動している。次世代のガン治療装置である粒子線ガン治療装置は 45 台中 8 台が米国に設置されている。工業用の電子線照射装置も、世界の 1/3、650 台ほどが米国国内で稼動中である。非破壊検査装置に関しては、米国国内の稼動状況は不明であるが、同市場は米国企業である Varian と中国の NUCTECH が世界をリードしており、今のところ Varian が累計出荷台数で約 370 台と、一歩リードしている。

表 2-2 主要加速器応用装置における米国のウェイト(2008 年)

用途	世界市場	米国市場
ラジオアイソトープ	610 台	300 台
粒子線ガン治療装置	45 台	8 台
工業用電子線照射装置	2,075 台	650 台
非破壊検査装置	750 台	370 台※
食品照射(ガンマ線含む)	404,804 トン	92,000 トン

※Varian 出荷実績

出所：Reviews of Accelerator Science and Technology vol.1(2008),Robert W.Hamm:Industrial Accelerators をベースにヒアリングを実施。矢野経済研究所作成

② 中国

中国における放射線の応用は古く、1950 年～1960 年代から徐々にはじまり、1980 年代には農業分野における放射線育種や高分子材料の改質などで市場は拡大した。その後、1990 年代に入ると工業分野を中心に本格的な普及が始まる。

図 2-1 に中国における工業用電子線照射装置の設置台数の推移を示す。このデータは、「Directory of Electron Beam Irradiation Facilities in Member States」をベースに 1978 年以降の設置台数をまとめたものである(このデータは、IAEA のアンケート調査によるもので中国国内設置台数の全てをカバーしているわけではない)。これによると、1978 年～1989 年にかけてわずか 8 台の設置であったものが、その後徐々に増えてゆき、特に 2000 年以降、急速に増加していることが分かる。2005 年以降は、現在設置中も含めて 60 台あり、累計では 144 台の規模に達している。

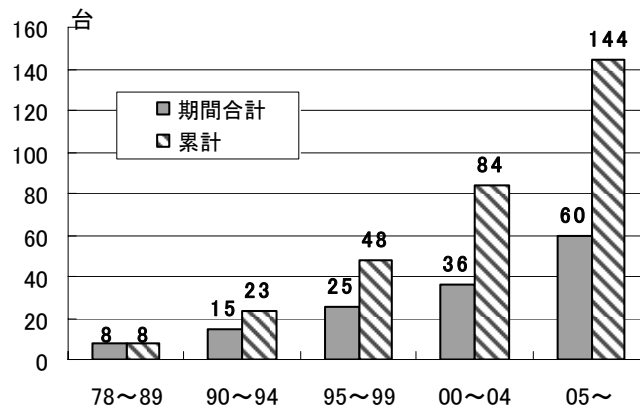


図 2-1 工業用電子線照射装置の設置台数推移

出所：IAEA「Directory of Electron Beam Irradiation Facilities in Member States」を元に
矢野経済研究所作成

③ 韓国

韓国に設置されている加速器の稼働台数については、2008 年末の段階で合計 1,023 台となっているが、そのうち 783 台が半導体製造用を中心とするイオン注入装置であり、全体の 75%以上のウエイトを占めるに至っている。

イオン注入装置に次いで多いのがリニア加速器で 167 台。うち 113 台は放射線治療用で、それ以外では産業用、放射線検査、セキュリティ検査などがある。

その他の加速器では、サイクロトンが 24 台、Cockroft Walton 加速器が 20 台、中性子発生装置が 11 台、Electron Transformer 加速器の 10 台がある。

また、主に工業用で使用されている電子線装置については、韓国内に計 39 台導入されている。主要需要分野は、電線やタイヤ、発泡体、熱収縮材料などの加工用が中心である。これらの用途で使用される電子線の電圧は、電線が 1MeV 前後、電流が数 10mA、タイヤが同 0.5MeV、同 150mA、発泡体が同 0.5~1MeV、同 100mA といったところである。そのほかに受託加工で 4 台、染色水浄化で 2 台の電子線が稼働している点が特徴である。

④ その他（インドネシア、マレーシア、インド、ベトナム、タイ、台湾）

以下に今回の調査で判明した各国・地域の加速器の普及状況について示す。

インドネシアでは、インドネシア原子力庁（BATAN）に 3 台と Gajah Tungaru 社の 1 台の計 4 台の電子線装置が設置されている。また、マレーシアには、計 7 台の電子線装置が 1990 年代に設置されている。このうち 3 台は、日系の現地法人による導入である。主な用途

は工業用であるが、その他に医療用具メーカーによる滅菌としても利用されている。

インドにも数台導入されており、電子線装置によるサービスを提供する国営の受託加工企業もある。ベトナムには電子線装置を2台所有する受託加工企業があり、医療用具の滅菌の他にも果物等の食品照射も積極的に行っている。タイには、3台の電子線装置が設置されている。受託加工企業による宝石の着色や、医療用具企業による自社製品の滅菌、さらに発泡体の加工を行う企業もある。

これら各国・地域における加速器の設置状況の特徴として、主に国立研究機関や国営の受託加工企業が中心となっている点があげられる。その他、海外メーカーの現地法人や海外受託加工企業によって普及が進んでいる。また、医療用加速器については、特に台湾やインドが積極的に導入している。

3. 需要分野別現状と将来展望

(1) 医療分野

加速器市場の拡大において、医療分野は非常に大きな割合を果たしてきた。同市場には主に PET など診断装置とがん等の治療装置があるが、特に治療装置市場の規模は大きく、世界の年間販売金額は 18 億ドルと推定され、さらに今後の展開が注目される。

がん治療装置の今後の普及拡大のポイントとして、イ) 既存装置の小型化と低コスト化、ロ) 医療装置のよりいっそうの高度化の 2 つがある。イ) では、大規模企業でも既存装置の小型化及び低コスト化が進展する。さらに、中国や東南アジア諸国などの追随メーカーの発展によりこの傾向は加速されると考えられる。ロ) については、陽子線がん治療装置や重粒子線がん治療装置などの開発及びさらなる普及が期待される。

各国のメーカーの技術力や事業戦略に応じて状況は異なってはくるが、この 2 極化の方向性は、がん治療装置におけるリーディングカンパニーである Varian などにみとれる。同社は低コスト装置を展開することで東南アジア諸国など比較的経済力が小さい地域における拡販を狙う。またそれと同時に、陽子線がん治療装置などの普及についても力を入れて行く。このようにそれぞれのニーズに合わせた形で開発が進められている。その一方で、追随メーカーなどは、特にまずはイ) の低コスト装置の普及を徹底していくケースが多い。

また、装置メーカーにとって、この 2 点のどちらに注力していくかは販売先の地域特性も大きな要因となる。例えば、陽子線がん治療装置はすでに米国、中国、韓国、台湾などで少なくとも 1 台以上導入されているが、逆に他のアジア諸国の場合、既存の治療装置よりも、より高度な装置の設置が望まれているとは一概にはいえない。タイでは、国が予算を投じて陽子線がん治療装置を導入するよりも、既存装置の拡充や治療にあたる人材の育成の方が重要とみている。また、このような最新装置が導入されても、患者側の経済力の問題がネックになるという指摘もある。

国別で見ると、まず米国市場は今までもこれからも重要な市場となるだろう。特に政府の施策でも研究開発予算の重点分野としてがん治療をあげており、がん治療に関する研究開発も積極的に行なわれていく。

中国については、特に 2000 年以降医療用加速器の普及が加速しており、今後がん治療市場が急速に拡大していくと思われる。また、中国政府も医療用加速器の開発に力を入れており、医療用小型サイクロトロン的大量生産設備の整備を行なっていく方針である。また、欧州メーカーの Elekta によって中国の老舗メーカーの BMEI が買収されたが、同社の今後の展開も中国市場に大きな影響を与えると思われる。がん患者の拡大や保険制度の確立によって、中国市場は海外メーカーにとっても重要なマーケットとなることは間違いないだろう。今後、中国産装置の普及が加速していくことが考えられるなか、いかにこの大きな市場において販路を拡大していくかが加速器メーカーの成功に向けた大きなポイントとなる。

韓国では、国立の研究機関を中心にがん治療装置の開発に注力し、自国内での普及を図ってきている。最新の放射線治療装置の導入に関しては、欧米から帰国した医者がより積極的な姿勢を示している模様である。また、近年、ベトナムの 108 軍隊中央病院にあるサイクロトロン加速器センターに、自主開発した 13MeV のサイクロトロンを輸出するなど、今後は海外展開も狙っていく方針である。

その他アジア諸国・地域に関しても、台湾を筆頭にごん治療装置の導入には意欲的な国が多い。インドでは国立の研究機関、SAMEER が医療用加速器の開発を行っており、同機関の装置は国内の複数の病院に既に設置されている。

表 3-1 医療分野における加速器普及のポイント

国	ポイント
米国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今までもこれからも重要な市場となる。 ・ 政府の施策で、がん治療の開発が研究開発予算の重点分野とされており、同分野に関する研究開発も積極的に行なわれていく。 ・ 米国メーカーにおいても、米国市場は当然のことながら、特に中国及びアジア諸国で発展していくと思われる。
中国	<ul style="list-style-type: none"> ・ がん患者の拡大や保険制度の確立によって今後もがん治療市場が急速に拡大していくと思われる。 ・ 中国市場は海外メーカーにとっても今後、重要なマーケットとなる。 ・ 中国政府も医療用サイクロトロンの量産体制の構築を急ぐ。
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国立の研究機関を中心にがん治療装置の開発に注力。 ・ 今後の海外展開も注目される。
その他アジア諸国・地域	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特に台湾、インドががん治療装置の導入に積極的。 ・ 高機能高価格機よりも低コスト機のニーズが強い。 ・ 治療に関わる人材の育成が必要。

出所：矢野経済研究所

(2) 工業用

医療分野と並び工業分野の存在はとて大きく、各国でこの工業利用により加速器が普及拡大してきたと言っても過言でない。特にイオン注入装置や電子線装置などで普及が進んでいる。

米国は、自動車産業を中心に工業用の電子線装置が最も普及している国である。タイコエレクトロニクスレイケムは、熱収縮チューブへの加速器の利用に早くから取り組んできた代表的なメーカーである。また、米国では小型電子線装置を利用した塗料キュアリングも

積極的に行なわれており、建材などでも需要がある。

今後は、自動車産業の方向性が加速器の新規需要に与える影響が大きいと思われるが、次世代自動車や、航空宇宙、風力発電システム向けの新素材の加工などでも需要拡大が見込まれる。

中国については、熱収縮チューブや電線ケーブル等の既存のメイン需要分野は、中国経済の発展に伴い、引き続き大幅に拡大していくことが予想される。自動車産業の発展や、原子力発電所の増設による電線ケーブルの需要増加により、同国での加速器のさらなる普及が考えられる。また、韓国など海外メーカーの中国への生産拠点の移設も増えていく。さらに、国産の電子線装置の設置も加速していくと思われる。

韓国では、現在 30 台程度の電子線装置が工業用でタイヤや電線メーカーにより利用されているが、今後、国内需要が大きく拡大する見込みはないと思われる。先述のように既にタイヤメーカーなどが中国へ工場を移設する動きもでてきており、また国内市場もさほど大きくはない。

その他アジア諸国・地域について、加速器メーカーにとっては、まずは海外メーカーが工場を建設するタイミングで確実に新規装置の導入を狙いところである。また、インドを始めその他諸国の自動車産業などが発展していく中で、需要の拡大にも期待したい。

(3) 滅菌・殺菌

加速器の応用分野として滅菌の需要は今後高まっていくと考えられる。滅菌の主な用途として医療用具及び医薬品の滅菌が主流であるが、その他食品・飲料容器や実験用器具など多岐にわたる。

① 医療用具・医薬品

今後の加速器の市場拡大において、医療用具及び医薬品の滅菌は世界的に非常に有望な需要分野である。同市場は、

- イ) 医療用具や医薬品などの照射対象物の増加
- ロ) 競合技術からの切り替え
- ハ) 照射装置の多様化

主にこの3点によって今後の発展が期待される。イ) では、医療及び医薬品産業の発展に伴い、ディスポーザブル製品や医薬品の生産量が増加することで滅菌のニーズが必然的に増大していくと考えられる。ロ) については、滅菌の競合技術であるガンマ線やエチレンガス、もしくは高圧蒸気滅菌から電子線滅菌への切り替えをいかに行なっていくかがポイントとなる。また、ハ) は大型電子線装置の他に X 線照射装置や小型電子線装置を利用した滅菌の普及拡大である。これら 3 つは、同分野における加速器の市場拡大にとって必要不可欠な点となる。

表 3-2 医療用具・医薬品の滅菌における加速器普及のポイント

国	ポイント
米国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 医療用具及び医薬品産業の発展が期待される。 ・ 米国政府も力を入れている。 ・ 照射対象物として、新たに医薬品や医療用具もしくはバイオ製品の組み合わせ製品のコンビネーションプロダクトも注目されてきている。 ・ 影響の大きい受託加工企業が、ガンマ線滅菌に力を入れている点が課題。 ・ 高エネルギー電子線による最終滅菌の他に、小型電子線装置を利用した無菌充填システムの普及に期待。 ・ 小型電子線装置は、特に医薬品メーカーの導入に期待。
中国	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常に重要な市場である。 ・ 従来はガンマ線を中心に滅菌が行われてきたため、今後はガンマ線の代替としての電子線装置の普及がポイント。 ・ 中国では、漢方などの医薬品のニーズも大きい。 ・ 日本など海外の医療メーカーによる生産拠点の設立による需要拡大の傾向。
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガンマ線による受託加工サービスが中心。 ・ 一部電子線の受託加工サービスも出てきている。 ・ ガンマ線の代替として電子線の拡大が必須。
その他アジア諸国・地域	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特にマレーシア、ベトナム、タイなどの市場に期待。 ・ 輸出用の医療用具の増加により滅菌需要は拡大傾向にある。 ・ 日本など海外医薬品メーカーの現地法人の設立が加速化。 ・ 特に日本メーカーの場合、比較的構造がシンプルなディスプレイ製品を現地で生産している傾向にある。 ・ 主流であるガンマ線滅菌の代替としての電子線滅菌の普及が重要。

出所：矢野経済研究所

国別に見てみると、まず米国では医療用具及び医薬品産業は、自動車産業の代替ともなり得るような基幹産業として発展していくと期待されている。また、照射対象物として、新たに医薬品や医療用具もしくはバイオ製品の組み合わせ製品であるコンビネーションプロダクトも注目されてきている。さらに、米国政府もワクチンの開発などに力を入れている方針である。同分野では、受託加工企業の存在は非常に大きいですが、受託加工企業がガンマ線滅菌に力を入れている点が、加速器普及における課題となっている。

その一方で、高エネルギー電子線を利用して最終滅菌を行なう既存方法の他に、最近の傾向として低エネルギー電子線装置を無菌充填システムの一部として利用するケースが増えてきている。小型電子線装置に関しては、特に医薬品メーカーへの導入が期待される。

中国は、非常に魅力的な市場であると言える。ただし、今まではやはりガンマ線を中心に滅菌が行なわれてきた。近年では、電子線装置を利用した受託加工企業もでてきている。今後はガンマ線の代替としていかに電子線装置を普及させていくかがポイントとなる。また、中国では、漢方などの医薬品のニーズも大きい。日本など海外の医療メーカーが中国に生産拠点を設け、現地で放射線滅菌をしているケースも増えてきている。

韓国については、ガンマ線装置を利用した受託加工企業を中心に滅菌が行なわれてきた。韓国の電子線装置メーカーである EB-TECH が、一部ではあるが滅菌の照射サービスも行なっている。また、国立の研究機関も電子線装置による受託加工サービスで滅菌を行なっている。

韓国の滅菌市場に関しては、少なくともガンマ線の代替としての電子線のニーズはあるが、それほど大きなものは期待できそうもない。

その他アジア諸国・地域に関しては、特にマレーシア、ベトナム、タイなどの市場に期待したい。これら諸国・地域では、中国同様、輸出用の医療用具の増加に伴い滅菌の需要は拡大傾向にある。さらに、日本も含めた海外の医薬品メーカーによる現地法人の設立が加速していくことで、需要は確実に高まっていくことになる。特に日本メーカーの場合、マスクや医療用チューブ、ラテックス手袋など、比較的構造がシンプルなディスポーザブル製品を中国もしくは東南アジア諸国で生産している。これらアジア諸国・地域においても、ガンマ線による滅菌が主流となっているが、電子線による滅菌をいかに普及させていくかが重要となる。

②食品・飲料容器

先述した米国における小型電子線装置を利用した無菌充填システムの普及により、その波及効果として食品包装容器やペットボトル及びキャップなどの飲料容器の滅菌としての電子線装置の市場拡大も期待できる。食品包装容器には、フィルム、BIB（バックインボックス：食料原料の輸送用容器で、小売店向けの業務用ソフトクリームなどに使用するプラスチック容器）の他、バター、クリーム、油脂等の容器、ハム用綿糸、飲料用のコルクなど多様である。同分野でもガンマ線滅菌の代替として、電子線滅菌をいかに普及させていくかが重要となる。また、大型電子線装置もしくは、無菌充填システムとして小型電子線装置の食品・飲料メーカーへの導入にも期待したい。

③その他

実験用器具や羽毛及び関連製品、化粧品容器及び原料・用具、雑貨類など、その他滅菌の需要もある。現在、ガンマ線による滅菌が主流となっていることが多いため、今後は電子線滅菌への切り替えをいかに行なっていくかが重要である。

米国では、鳥インフルエンザの影響から輸入羽毛や羽毛を利用したソファを始めとした家具や羽毛布団、枕等の寝具への滅菌の需要も拡大してきている。韓国では、化粧品容器以外にも化粧品原料やブラシなど、化粧用具もガンマ線滅菌ではあるが行なわれている。化粧品原料に関しては、天然由来の原料への滅菌のニーズが大きい。

また、中国では、ぬいぐるみや雑貨類の滅菌のニーズも消費者側からの要望により高まってきている。さらに特にアジアでは医薬品として利用されるハーブ類の滅菌市場も重要である。

(4) 食品照射

食品への放射線照射については、既に世界の多くの国で実施されており、加速器普及にあたり欠くことができない需要分野となっている。放射線の食品照射に関する研究開発についても、様々な形で各国にて積極的に取り組みが行なわれている。今後の方向性として、

イ) 照射許可品目の拡大

ロ) 競合技術の代替として加速器の普及

がポイントとなる。まず、イ) の照射食品量の拡大については、IAEAやCODEX、そして各国の政府機関の政策によるが、従来からの流れとして、照射許可品目は確実に増加してきている。その動きの中で、ロ) ガンマ線装置の競合技術の代替として電子線装置もしくはX線装置をいかに普及させていくかが、同分野における加速器普及において必須の課題である。ガンマ線の方が多様性の面で比較的優位性があるため、食品照射には向いているという考え方もある。一方でガンマ線の場合は装置そのものの設置が容易ではない。そのような背景において今後の加速器の普及を考えた場合、それぞれの装置の特性に応じた食品照射技術の確立が必要である。

国別にみると、米国では、照射可能食品の品目は確実に増加してきている。最近では2008年にレタスの照射許可があり、また、今後新たに切り身を含む加工肉やオイスターなど魚介類への照射が認可される可能性も大きいと言われている。米国では電子線装置やX線装置を利用した食品照射施設も稼働している。一部の施設では、ミンチ肉の照射のために照射施設全体が冷蔵雰囲気となっているところもある。また、2007年以降、東南アジア諸国やメキシコで照射処理されたトロピカルフルーツの輸入も行なわれている。これらの国からの果物の輸入は増加傾向にあり、照射処理されていない果物についても、殺虫を目的に米国内で照射するニーズも高まってきている。

中国は、世界で最も多くの食品照射が行なわれている国である。従来はガンマ線を中心

に行なわれてきたが、Ningbo Superpower High-Techのように、電子線を利用した照射サービスもでてきている。中国では、食品照射が活発化する一方で、国による規制も今後強まっていくことが考えられる。また、照射食品の検知に関しても、検知法の確立など国の研究機関を中心に積極的に行なっている。日本の消費者にとっても、中国産の食品の安全性は非常に重要なテーマとなっており、中国における輸出食品に対する検知システムの発展は意義深いものとなる。

韓国は、ガンマ線のみによる食品照射しか許可されておらず、電子線の利用は禁止されている。しかしながら、今後、政府による食品照射のための電子線装置の利用が認可される可能性も大きい。また、食品照射を好ましく思わない韓国消費者に対して、照射食品の啓蒙活動も積極的に行なわれている。韓国ではキムチなど韓国食品の照射が認可されている。

その他アジア諸国・地域に関しては、各国にてガンマ線を中心に食品照射を行なっている。輸出用の食品照射も多く、タイ、インド、ベトナムでは米国輸出用の果物に400 Gyの線量で殺虫処理をしており、ここに電子線装置の新規需要がある。一例として、ベトナムの受託加工企業のSonSon Co., Ltdは、L3-Communicationsの電子線装置を利用して米国輸出向けの主にドラゴンフルーツへの照射を積極的に行なっている。

インドでは、ターメリック、唐辛子、コリアンダーなどの香辛料や乾燥野菜への照射が多い。またインドネシアでは、香辛料や乾燥野菜、冷凍エビ、ベトナムでは主に輸出用のエビなど冷凍魚介類、タイでは香辛料や発酵ソーセージが処理されている。

(5) 非破壊検査

非破壊検査用加速器は、世界市場全体において非常に有望な需要分野である。この点に関しては、今回の調査の中ですべてのヒアリング対象先に一致する見解であった。同分野の特徴として、

- イ) 世界的な装置導入需要の高まり
- ロ) 政府およびその関連組織が主要顧客
- ハ) 技術開発のニーズ

があげられる。まず、イ)については、テロ対策や密輸の取り締まりなど国家保全の面で特に各国の港、国境、そして空港などで貨物などの検査装置の導入需要が高まっている。

また、潜在需要として、これら港や空港などを通過する貨物の量に対して、実際にそれらを処理するだけの装置がまだ十分に導入されていないのが現状で、まだまだ装置導入のニーズがあると思われる。また、原子力発電所や橋梁などの大型設備の内部欠陥検査においても新規需要がある。

ロ)は、同分野ならではの特徵で、装置の主な販売先が政府及び関連組織であるという点である。ただし、各国政府の施策や予算配分に大きく影響を受ける。ハ)は、装置メー

カーにとっても今後、技術開発のニーズがあるという点で、これからの発展が期待される。具体的には走査スピードや安全性の向上、さらに核共鳴蛍光（NRF、Nuclear Resonance Fluorescence）の発展など可能性は多岐にわたる。

米国でも同分野は確実に需要が拡大していくことが見込まれる。特に 9.11 のテロ以降、セキュリティ関連の需要の高まりは加速しており、同市場は年間 20%の割合で伸びてきていると言われている。米国政府も同分野を研究開発予算における重点分野と位置づけており、また特に国土交通省については取り組みが活発化している。潜在需要も非常に大きく、現時点で空港や港、国境での貨物の処理量は全体の数%にとどまっており、装置普及の余地は十分あると考えられる。米国メーカーの Varian Medical Systems の今後の動向も見逃せない。

中国に関しては、中国経済の発展に伴い、国内需要が拡大していくことが見込まれる。またそれと同時に、有力輸出産業としても大きな期待がかかっている。中国政府も非破壊検査装置の量産体制を構築していく方針である。また同分野における世界的メーカーである NUCTECH は、先にあげた Varian Medical Systems の競合で、この 2 社が世界市場をリードしている。

韓国については、現在 8 台のリニア加速器が港などに設置されている。米国や中国と比べて市場はさほど大きくはないが、今後も新規装置の導入ニーズはあると思われる。

その他アジア諸国・地域についても、インドやベトナムなど積極的に研究開発を行なっている。装置メーカーにとって、東南アジア諸国での事業展開も重要となってくる。例えば米国の Rapiscan はインドで合弁会社を設立し既に事業を行なっている。

（6）環境

長年、加速器を利用した環境分野における研究開発を中心に取り組みが行なわれてきた。排煙及び排水処理や汚泥処理など世界的にニーズがある。しかしながら、同分野は触媒などの競合技術に対して特に経済性の面で課題も多く、民間レベルだけでは普及の可能性は非常に低い。当面は、政府主導で行なわれていくことが予想される。

環境分野における加速器普及の方策としては、もう一つ以下のような考え方がある。加速器の初期投資コストやランニングコストを抑えるために、まず工場から排出される排煙や排水自体の処理量をいかに減らすか。例えば、バイオ技術などを使い排出量を削減し、それで処理しきれない分を加速器で対応する。このような考え方をもってすれば、技術特性に応じて、加速器が環境分野で普及する可能性はあると考えられる。

中国では、環境汚染が製造業における大きな課題となっており、国をあげて取り組んできている。実際の設置台数については、排煙及び排水処理のために累計 10 台の電子線装置が導入されている。中国政府の施策としても、環境問題に対する加速器の技術開発に力を入れていくとしており、今後の動向が注目される。

韓国については、唯一の加速器メーカーである EB-TECH が同分野で積極的に事業展開を行っている。具体的には、排水処理システムで、バイオ技術を併用した電子線装置の利用を狙う。既に国内にて排水処理のための電子線装置を導入している。また、国立研究機関である韓国原子力研究所の共同で進めているプロジェクトに、移動式加速器を利用した環境分野への応用展開がある。

4. まとめ

今回の調査では、米国、中国、韓国、インドネシア、マレーシア、インド、ベトナム、タイ、台湾のアジア諸国・地域の加速器の普及状況、研究開発動向等に関して調査を行なった。特に米国、中国、韓国に関しては、関連政府機関、主要研究機関、大学、有力企業に対してヒアリング調査を実施した。

米国は、従来通り今後も加速器における重要な市場であることは間違いない。大型加速器施設を所有する国立研究所を中心に開発される新規技術が、今後いかに産業化されていくかが注目される。需要分野については、がん治療などの医療分野をはじめ、特に非破壊検査、滅菌分野が有望である。滅菌分野では、小型装置の需要拡大も期待できる。従来の医療用具や医薬品の他にも、コンビネーションプロダクトや食品及び飲料容器や化粧品容器なども潜在需要として見込める。また、受託加工企業の今後の展開も注目すべきポイントである。

中国については、本調査によって今後最もウォッチングしていくべき国であることが明らかになった。中国の加速器市場は、その市場規模の拡大に伴い技術力及び産業基盤も拡充していくと考えられる。需要分野としては、工業、医療、滅菌、環境、非破壊検査、食品照射など幅広い分野で、需要拡大が期待できる。また、受託加工企業の存在も大きくなっていくと考えられる。同国の技術力の強化と産業基盤の育成については、政府の施策など今後とも注目していくべきである。同時に関連する研究機関及び大学の研究開発動向、そして加速器メーカーの今後の動向も詳細に追っていく必要がある。同国の加速器メーカーは今後、確実に技術力と生産力を向上させていくことは間違いない。そのなかにあって、海外メーカーにとって、大幅な市場拡大が見込まれる同国において如何にシェア拡大を図っていくか、今後の両者のせめぎ合いが注目される。

韓国は、政府が加速器の産業応用の推進に力を入れていく方向にあり、今後の動向が注目される。その実行部隊が韓国原子力研究所（KAERI）やその他の研究機関であり、これら研究機関を中心に研究開発が進められていくことになるであろう。いくつかの国家プロジェクトをきっかけに、有力加速器メーカーが出現するかもしれない。

アジア諸国・地域については、各国とも国立研究機関を中心に研究開発を行なっている段階にある。それらの研究成果がいかに産業化に結びつくか、また新たな需要が創生されていくかが今後の注目ポイントとなる。これら各国への資金供与や共同研究の実施など、協力体制の構築もアジア地域の加速器産業の発展において有意義なものとなるかもしれない。また、需要分野については、滅菌市場や食品照射が有望と考えられる。食品照射については、特に殺虫を目的に輸出用果物への電子線照射のニーズがある。さらに工業分野の需要拡大も、自動車産業をはじめとした成長産業分野においては十分期待できる。

一般的に、各国の加速器産業発展において重要なポイントは、イ) 研究開発力の強化と、ロ) 産業育成の強化の 2 点あげられる。イ) 国全体の研究開発力を強化していくためには、加速器メーカーの自主努力のみならず、政府機関のバックアップ体制の充実が必須と

なる。また、ロ) その研究成果を産業化に結びつけるためには、場合によっては政府による助成も必要となる。

各国における加速器産業の発展の経緯を見ても、通常、まず国立研究機関を中心に研究開発が行なわれることで国の開発基盤が構築され、その後、徐々にその研究成果を産業化する形でメーカーが設立されてきている。米国でのスピナウト組みや中国の国営企業作りはそのよい一例で、国立研究機関及び大学を中心に加速器関連技術が発展し、その後、それらの技術を移転する形で多くのメーカーが設立されてきた。特に中国政府は、加速器産業の発展のための大胆な施策を講じており、同国加速器産業の発展は、このような政府のバックアップによるところが非常に大きいと言える。また、米国や韓国に関しても、政府が研究開発機関へ研究開発予算を積極的に投じるなど施策を講じている。

わが国の加速器関連の研究開発は、世界において非常に重要な役割を果たしてきているが、一方で産業化という観点で見れば、これまでに十分な成果が得られているとはいえない。今後わが国の加速器市場が大きく発展していくためには、従来どおり研究開発の推進はもちろんのこと、産業育成を意識した施策を充実させていくことも重要となる。