

社会インフラにおける加速器の活用
と将来展望に関する調査

報告書

<概要版>

2019年3月



一般社団法人 日本電機工業会

加速器特別委員会

まえがき

医療用加速器の市場に関して、2013年度に調査事業を実施しました。医療用加速器の市場は大きく拡大しており、今後の発展も期待できるものでありました。医療分野における加速器の利用は一般の人々にも広く知られるようになってきており、加速器が社会で役立っていることを関係者として大変喜ばしく考えております。

技術は日進月歩で進化しており、我々の生活環境も少しづつ改善されてきております。加速器の高度な技術・製品が、社会における進化を助けなくてはならないと考えています。その観点から、社会インフラ（エネルギー分野、農業分野、防災・防犯分野、ヘルスケア分野、交通分野、都市・ビル等の公共構造物分野）に加速器利用の可能性を見出したいと考えました。社会インフラにおける加速器利用の現状技術、市場ニーズ、市場動向、将来性を調査する事業を提案し、2018年度にこれを実行できました。今は小さな芽かもしれませんが、10～20年先には立派な事業として拡大し、広く社会に貢献できる製品が生まれているかもしれません。私は29年間エンジニアとして加速器製品に関わってきましたが、加速器技術がいろいろな分野に応用できることを確信しております。

最後に、本調査の実施にあたり御協力頂いた各関係機関、研究機関、専門家の皆様に厚く御礼を申し上げます。

2019年3月

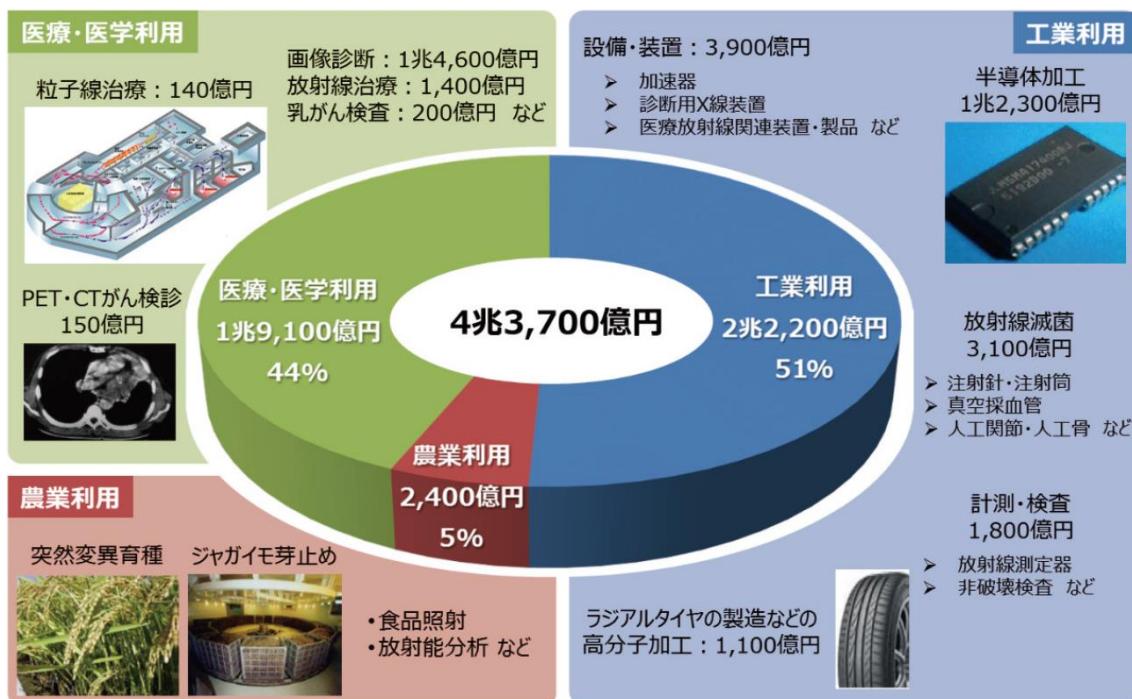
一般社団法人 日本電機工業会
加速器特別委員会
委員長 櫻島 広明

目 次

1. はじめに	1
2. 調査計画	3
2.1 調査対象	3
2.2 調査の流れ	3
3. 各産業・社会インフラ分野の調査概要	8
3.1 エネルギー分野	8
3.2 農業分野	8
3.3 防災・防犯分野	8
3.4 ヘルスケア分野	9
3.5 交通分野／都市・ビル（公共構造物）分野	11
4. まとめ	13

1. はじめに

加速器は電子やイオンなどの荷電粒子を加速させる装置である。また、加速した荷電粒子から発せられる放射光やあるターゲットに照射することで、中性子やニュートリノといった中性粒子のビームを作り出す事もできる。これらの粒子が持つ透過、散乱等の性質を利用することで、これまで基礎科学から産業への応用まで、広い分野で加速器が用いられてきた。平成29年度版原子力白書では、加速器の利用を含む、放射線の産業利用での経済規模が示されており、近年では、医療分野での応用がめざましく、手術による切除を行うことなく、がんを治療できる治療方法として、放射線治療が一般にも知られるようになり、経済規模としても大きい（図1-1）。



出所) 原子力委員会「平成29年度版 原子力白書」265ページ、2018年7月

図1-1 2015年度の我が国における放射線利用の経済規模

上記の放射線利用の経済規模は、粒子線治療のように放射線を利用したサービスは、そのサービスの行為の価格を市場価格としており、加速器等の放射線を発生させる装置自体についてはその価格を市場価格として算定されており[1]、その経済規模は、放射線利用市場4兆3,700億円のうち、およそ3,850億円と試算されている[2]。

現在でも、小型化や高出力化といった加速器の技術開発が進められており、新たな産業インフラ分野へ応用が期待されている。本業務では、このような期待に留まらず、加速器が広く社会に普及し、国民生活に貢献していくために、現状の課題の把握や社会のニーズを拾い上げる調査を実施し、加速器利用の将来を展望することで、加速器メーカーの今後の研究開発や将来見通し等に資するデータを明らかにし、加速器の更なる普及・発展に寄与することをねらいとする。

本報告書では、第2章に本調査の計画について示し、第3章では調査対象とした分野に応じた調査の結果を示す。第4章では本調査結果のまとめを示す。

[1] 内閣府「放射線利用の経済規模調査（平成27年度）」（2017年8月29日）第29回原子力委員会資料第1-1号

[2] 内閣府原子力委員会「平成29年度版 原子力白書」（2018年7月）第7章放射線・放射性同位元素の利用の展開

2. 調査計画

本章では、加速器メーカーの今後の研究開発や将来見通し等に資するデータを明らかにするための調査対象と、実施項目や調査内容を含む調査の流れについて示す。

2.1 調査対象

調査対象としては産業・社会インフラ分野として下記に挙げる 6 つの分野を調査対象の候補とした。

- ① エネルギー分野
- ② 農業分野
- ③ 防災・防犯分野
- ④ ヘルスケア分野
- ⑤ 交通分野
- ⑥ 都市・ビル（公共構造物）分野

ただし、各分野については加速器利用の将来性に関して高低があると考えられる。したがって、調査を効率的、効果的に進めていくための調査方針として、以後に示す本調査の流れにおけるステップ 1 「加速器産業利用の現状や研究開発の動向整理」を実施した時点で、将来性が低いと見込まれる分野については、ステップ 2 「新しい流れを生み出す可能性をもつ分野の抽出」以降を実施しないこととした。また、ステップ 2 を実施した段階でも、将来性に関する経済規模等によって、見込まれる加速器利用の将来性の高低に応じ、ステップ 3 「加速器利用の将来性に係るニーズ情報の収集と整理」以降の調査の可否や粒度を決定することとした。

2.2 調査の流れ

調査の実施ステップは大きく 5 段階に分けた。

ステップ 1 では加速器産業利用の現状や研究開発動向の整理を実施項目とする。加速器産業利用の現状や研究開発動向を明らかとするために、公開文献や保有知見を情報源とした調査を実施し、内容を産業・社会インフラ分野毎に整理する。より具体的には国家戦略等に関連するような、産業・社会インフラ分野における大きな社会課題、社会ニーズの調査を行うことで、そもそもその市場形成の種となるようなニーズの有無を把握する。その上で、明らかとなった社会課題、社会ニーズに対する加速器および加速器技術の活用事例や活用のための技術研究開発の調査をすることとした。

ステップ 2 では新しい流れを生み出す可能性を持つ分野の抽出を行う。ステップ 1 での調査結果を踏まえ、各産業・社会インフラ分野において、加速器技術の利用ニーズが、今後拡大すると推定される分野を抽出し、必要に応じて有識者等へのヒアリングを実施することで、新しい流れを生み出す可能性に対する根拠を確認する。

ステップ 3 では、加速器利用の将来性に係るニーズ情報の収集と整理を行う。ステップ 2 で抽出した分野において、加速器利用率の向上に寄与する要因（図 2-1）を設定し、これら

の要因に基づいたニーズや課題等について、文献の調査や利用想定者等へのヒアリングを実施することで、情報を収集、整理する。

各産業・社会インフラ分野における加速器利用の将来性

$$= \text{加速器利用率の向上} \times \text{当該分野の市場成長}$$

- 当該分野に必要となる機能に対する加速器の適用性の向上
- 機能を発揮するための加速器のユーザビリティの向上
- 加速器技術の経済性の向上（省コスト）
- 加速器に対する当該分野のプレーヤーの認知度の向上

図 2-1 加速器利用率向上に寄与する要因

ステップ4では、加速器利用の方向性と課題を整理する。ステップ3の調査結果を踏まえ、現代技術に対する代替性や競合技術との比較を行う。また、加速器利用の障害となる技術面や法令（規制）面、経済面等の課題を分析整理する。さらに、加速器技術と他の技術を組み合わせた複合技術や異分野連携による将来の加速器利用の方向性を検討する。ただし、ヘルスケア分野は、ヒアリングから得られた情報から方向性と課題を整理だけに留めた。

最後に、ステップ5として、加速器技術の普及や発展に向けた提言の検討を行う。ステップ4で整理した加速器利用の課題をどのように克服するかといった必要となる方策や、加速器利用の方向性に沿って、産業・社会インフラでの利用や社会的認知を向上させるための提言をまとめる。

これまでに示した各ステップにおける実施項目と具体的な調査の方法と内容について表2-1にまとめた。

また、表2-2に分野毎の調査方針と、その理由を示した。ヒアリング先候補分類とその選定理由、ヒアリング実施の有無を表2-3に示す。

表 2-1 本調査の基本的な流れ

実施ステップ	実施項目	実施方法と内容
ステップ1	加速器産業利用の現状や研究開発動向の整理	産業・社会インフラにおける加速器利用の現状や研究開発動向の概況を文献調査により整理する。
ステップ2	新しい流れを生み出す可能性を持つ分野の抽出	ステップ1の調査結果を踏まえ、産業・社会インフラにおいて、加速器技術の利用ニーズが今後拡大すると推定される分野を文献調査や有識者等へヒアリングを行い抽出する。
ステップ3	加速器利用の将来性に係るニーズ情報の収集・整理	ステップ2で抽出した分野における、加速器利用率の向上に寄与する要因を設定し、これらの要因に基づきニーズや課題等を文献調査や利用想定者等へのヒアリングにより収集・整理する。
ステップ4	加速器利用の方向性、課題の整理	ステップ3の調査結果を踏まえ、現状技術の代替性や競合技術との比較や、加速器利用の障害となる技術面や法令（規制）面、経済面等の課題を分析・整理する。また、複合技術や異分野連携による将来の方向性の検討を行う。
ステップ5	加速器技術の普及・発展に向けた提言の検討	ステップ4の整理結果を踏まえ、課題克服のために必要な方策や、加速器の産業・社会インフラでの利用や社会的認知を向上させるための提言をまとめる。

表 2-2 各分野の調査方針

社会インフラ分野	重み	各分野の調査方針
①エネルギー分野	低	・エネルギー分野における加速器活用事例である加速器駆動システムについては、2030年以降に実用化となるかどうかが判明するため、この技術による市場形成はさらにその後になる。
		・従って、エネルギー分野の調査では、今回は公開情報による主なトピックスを中心に動向を整理するに留める。
②農業分野	低	・農業利用における放射線や加速器の利用は、工業利用の約10分の1(図1-1より)と少なく、目立って新しい技術開発は行われていない。
		・放射線育種についても、「ゲノム編集技術」といった代替される技術革新が進んでいるため、今回は公開情報による主なトピックスを中心に動向を整理するに留める。
③防災・防犯分野	中	・危険物検知技術は、セキュリティ対策への社会的関心の高まりを踏まえると、ニーズの高い分野であると言える。また、航空・港湾施設等に導入することを想定した場合、その数は膨大であり、市場規模も大きいと考えられる。
		・危険物検知のニーズ(高い精度と利便性)は、従来の加速器技術だけで解決するものではないため、AI等の周辺技術との組み合わせも想定し、最新技術や課題について調査する。
④ヘルスケア分野	高	・放射線治療装置については、既存の形成済み市場のため、ここでは除外という前提。
		・核医学治療のための短寿命の放射性同位元素(RI: Radio Isotope、以降「RI」とする。)の生産については、将来性も高く、調査の価値があると思われる。
		・短寿命RIの生産に係る加速器技術の利活用については、以下のインフラメンテナンス市場と同様の重みで調査を実施する。
⑤交通分野、 ⑥都市・ビル(公共構造物)分野	高	・インフラメンテナンス市場は規模が莫大ではあるが、河川管理施設、下水道管渠、港湾岸壁を対象とする場合には、加速器利活用の技術開発の動向が見られない。
		・そこで、インフラメンテナンス市場の中でも加速器利活用の技術開発が行われている道路橋、トンネルの深部検査に対象を絞り、調査を実施する。

低：ステップ1まで、中：ステップ4まで、高：ステップ5まで

表 2-3 ヒアリング先候補分類

分野	有識者/ ユーザー	ヒアリング先候補	結果	選定理由（専門性や代表性）
③防災・防犯	ユーザー	一般社団法人	－	「航空保安検査の実施」、「航空保安検査に関する調査及び研究」を事業として実施している。
③防災・防犯	有識者/ ユーザー	民間研究会	○	航空会社OB、航空関係業界団体等から構成される研究会。
④ヘルスケア	有識者	大学教授	○	放射線科学基盤機構で産学連携を担当し、アルファ線核医学療法の社会実装に向けたコンソーシアムの領域統括。
④ヘルスケア	ユーザー	民間企業	○	国内の放射線医薬品メーカーの1社。
④ヘルスケア	ユーザー	民間企業	○	国内の放射線医薬品メーカーの1社。
⑤交通 ⑥都市・ビル	有識者 研究員	国立研究開発法人 研究員	○	インフラメンテナンスに高出力可搬型X線、小型中性子線の応用を研究。
⑤交通 ⑥都市・ビル	有識者	大学助教	○	インフラメンテナンスに高出力可搬型X線、小型中性子線の応用を研究。
⑤交通 ⑥都市・ビル	有識者 研究員	国立研究開発法人 研究員	○	インフラメンテナンスに利用するレーザー打音検査システム（加速器の競合技術候補）を研究。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	一般社団法人	－	インフラ管理会社からの発注を受け、メンテナンスを計画する企業群が加盟する協会。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	民間企業	○	大手建設コンサルタントで、モニタリングシステム技術研究組合、建設コンサルタント協会にも所属。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	民間企業	－	大手インフラ管理企業で、先端技術を利用したメンテナンスに关心が高い。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	民間企業	○	大手インフラ管理企業で、先端技術を利用したメンテナンスに关心が高い。モニタリングシステム技術研究組合にも所属。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	国道事務所	－	加速器技術を用いたインフラ構造物検査の実証実験で対象となった橋梁の管理主体で、加速器技術を経験した所見を有していると想定。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	自治体	○	加速器技術を用いたインフラ構造物検査の実証実験で対象となった橋梁の管理主体で、加速器技術を経験した所見を有していると想定。
⑤交通 ⑥都市・ビル	ユーザー	民間企業	○	加速器技術を用いたインフラ構造物検査の実証実験で検査を担当している。ユーザビリティに関する聴取が可能と想定。

○：ヒアリングを実施

－：諸般の事情によりヒアリングを実施せず

3. 各産業・社会インフラ分野の調査概要

2章で示した調査の基本的な流れに沿って、各産業・社会インフラ分野に関して得られた調査結果の概要を示す。

3.1 エネルギー分野

第5次エネルギー基本計画では、米国や欧州の革新的な原子炉の開発を踏まえつつ、民間の創意工夫や知恵を活かして技術間の競争と市場による選択をするということが掲げられている。その国家戦略の下に解決すべき社会課題として、放射性廃棄物の減容化と有害度の低減が挙げられている。ここでは、放射性廃棄物の減容化と有害度の低減という社会課題を解決する可能性のある、加速器技術を活用した研究開発事例を調査した。

加速器駆動未臨界炉は将来性の高い加速器活用技術であると考えられるが、現在の研究開発フェーズは基礎試験の段階である。

したがって、エネルギー分野において加速器駆動未臨界炉という加速器技術を活用したサービスが市場に展開されるまでには、少なくとも10年以上の期間がかかることが見込まれるため、現時点において、加速器メーカーの今後の研究開発や将来見通し等に資するデータを明らかにすることは困難であると考えられる。

3.2 農業分野

本調査では加速器技術に関わる社会課題を抽出するために、食料の安定供給の確保に着目し、この社会課題を解決する手段としての育種技術として、加速器の利用を含めた今後の放射線育種に関する技術開発を調査した。

育種技術に加速器技術を活用する事例として、重粒子線育種がある。重粒子線育種は放射線育種の発展的技術ではあるが、現状として、大掛かりな装置を用いるために、コストとその取り扱いのし難さが懸念されている。また、平成29年度版原子力白書によれば、もともと2013年度の農業分野における放射線利用の経済規模は少なく、加えて、加速器による育種技術に競合する技術としてゲノム編集技術や遺伝子組み換え技術がある。特に、加速器を使う突然変異による育種技術が低い確率でしか育種できないのに対し、ゲノム編集技術は標的とする遺伝子を狙って切断することが可能であり、精密な育種をすることができる。従つて現時点において、加速器メーカーの今後の研究開発や将来見通し等に資するデータを明らかにすることは困難であると考えられる。

3.3 防災・防犯分野

文献調査および有識者にヒアリングから得られた加速器利用の方向性と課題を整理した。

(1) 方向性

- 検査装置といったハード面だけでなく、検査装置によって取得した画像をデータベースと照合し、危険物の有無を判断するAI等を利用したアプリケーションに代表され

るソフト面も重要である。

- 日本は、諸外国と比べ、日常的なテロの脅威が少ないため、オリンピック・パラリンピックのような一時的なニーズを契機にレンタルビジネスが盛んになる可能性がある。
- 空港以外でも CT 型 X 線検査装置がスタジアムやデータセンターで使われる方向性もある。10 年後には、港湾での検査でも CT 型 X 線検査装置が普及すると思われる。
- 米国に向かう出発空港では、米国運輸保安局の認証機器を用いることが義務付けられている関係から、米国製検査機を導入せざるを得ないという背景がある。なお、米国、欧州ともに認証の具体的な基準が非開示であり、日本企業が欧米の認証を得るのは非常にハードルが高い。日本でも独自の認証制度を設け国際的に認められていくことが必要。認証制度に基づいた検査装置の導入が義務付けられれば、インフラ輸出として市場拡大できる。

(2) 課題

- 認証制度を設けるためには空港法、航空法、放射線関連の法令等を改正する必要があり、省庁横断での取組が必要である。

3.4 ヘルスケア分野

文献調査および有識者、将来加速器を利用すると想定される放射性医薬品メーカーにヒアリングを実施した上で、加速器利用の課題の分析と加速器利用の方向性を整理し、課題克服のために必要な方策や、加速器の産業・社会インフラでの利用や社会的認知を向上させるための提言を検討した。

アルファ線核医学療法分野における加速器技術の普及・発展に向けた提言の内容を以下に示す。

(1) アルファ線核医学療法の市場の動向と加速器利用

次世代のがん治療薬であるアルファ線治療薬は世界的に研究開発が盛んに行われており、1 種類の薬剤あたり、世界で数百億円、国内では数十億円の市場が見込まれる。最近では、Xofigo が市場に流通したことで、次のアルファ線治療薬の開発に期待度が高まっている。

RI の生成方法は種々あるが、例えば ^{211}At のように必要な放射性核種が加速器技術でのみ製造可能なものもある。将来の加速器利用という観点からは、放射性核種を用いない他のがん治療薬や加速器以外で製造可能な放射性医薬品が競合となるが、我が国においては現時点では原子炉での放射性医薬品用の核種の製造が困難であるため、加速器技術でのみ製造可能な核種を用いたアルファ線治療薬であれば、原子炉が利用できないという外部環境も、加速器を利用する方向に働く。

このような環境を踏まえ、アルファ線核医学療法における加速器の市場規模について推計を行った。仮に、薬価 50 万円のアルファ線治療薬が年間で 500 億円という売上規模が実現

できる場合¹、ヒアリングで得たサイクロトロンの耐用年数を参考に、1つの加速器で10年間製造するとしたときのアルファ線治療薬の売上は5,000億円となる。この内、製造費については薬価の内の10万円（5分の1）[5]、さらに加速器に係る費用を10%と仮定すれば、加速器の売上規模は100億円となる。薬価からの推計以外に、ステップ2と同様に、加速器の導入される拠点数に5~8億円の加速器の単価を乗算する方法での推計を試みた。ヒアリングから得られた情報では、アルファ線治療薬を製造する加速器はBNCTの台数ほどに可能性が示されている。この情報を参考に、加速器の導入される拠点数を10箇所とすると、加速器の売上は50~80億円となる。

(2) 加速器利用の課題

加速器で製造される核種が用いられたアルファ線治療薬の人体での効果がわからないという現状では、加速器および付随する遮へいや廃止措置のコストを含め、設備投資するにはリスクが大きい。

仮に設備投資がなされたとしても、また薬剤を安定供給できるだけの強度や現在製造されている¹⁸Fも製造できるような機能が必要であり、放射線医薬品メーカーにとっての設備投資だけでなく、メーカーの加速器の開発に投資が必要な状況にある。

人体に治験できるだけのアルファ線治療薬が開発されていない中では、ユーザーの設備投資とメーカーの開発投資は二元的に対立構造にある上、アルファ線治療薬に必要な加速器が単に小型で安価な加速器ではなく、アルファ線核医学療法の分野に特有の治験やGMP基準といった加速器の要件に直結する内容を含むため、放射性医薬品メーカー単独あるいは加速器メーカー単独ではカバーできない領域であることが課題の本質であると考えられる。

(3) 課題を克服するための必要な方策

世界的に研究開発が活発で、トレンドが数年で変わりうる分野であるため、加速器のユーザーとなりうる放射性医薬品メーカーからの具体的な加速器の仕様に係るニーズが示されてからの対応では、加速器メーカーが機会を損失する可能性がある。放射性医薬品に係る加速器の性能や要件は、放射性医薬品業界に特有の治験や安定供給に必要な薬剤の量、GMP基準等に依存するため、加速器メーカー自身が能動的にアルファ線核医学療法に関する情報をキャッチアップし、理解していくことが重要になると考えられる。

また、加速器というハードだけでなく、アルファ線核医学療法に必要なソフト等も含めたサービスを検討することは有用であると考えられる。アルファ線核医学療法のビジネスモデルに必要不可欠な供給網の整備や、現在のPET用薬剤の技術ではまかないきれない無機化学と放射線の複合的な領域、及び関連する人材育成等の必要な要素と加速器を組み合わせ、将来の加速器ユーザーである放射性医薬品メーカーが得意としない部分を補完し、新たな付加価値を創出することで、ユーザーの設備投資とメーカーの開発投資という二元的な対立構造を緩和する。

加速器メーカーにとって専門外とする領域での情報のキャッチアップやソフトまで含めたサービスの検討を効果的に進めていくためには、放射性医薬品メーカーを始め、アルファ

¹ Xofigoの薬価[3]と年間の売上[4]を参考に設定

線核医学療法の社会実装に必要不可欠なノウハウ、要素技術を持つ企業や機関と一緒にビジネスを考えていく体制を作ることが重要である。

3.5 交通分野／都市・ビル（公共構造物）分野

文献調査および有識者やインフラ設備メンテナンスに関する道路管理者や建設コンサルタント、加速器を用いた検査作業を行う民間企業等にヒアリングを実施した上で、加速器利用の課題の分析と加速器利用の方向性を整理し、課題克服のために必要な方策や、加速器の産業・社会インフラでの利用や社会的認知を向上させるための提言を検討した。

橋梁等のインフラ設備メンテナンス分野における加速器技術の普及・発展に向けた提言の内容を以下に示す。

(1) 橋梁等のインフラ設備メンテナンスの市場の動向と加速器利用

橋梁等のインフラ設備メンテナンス市場の規模は莫大であるが、現時点で予防保全という考え方に基づいた点検の予算は比較的小ない。こと加速器が利用される可能性のある深部検査という点においては、現状では実施されていない。将来にわたっても、近接目視による点検のように法令等の義務付け等がなされなければ、国が管理する重要な道路や高速道路といった限られた範囲にとどまる。

(2) 加速器利用の課題

加速器技術を普及させるという観点からは、近接目視のコストや人員の効率化という道路管理者の大きなニーズに応えられないという点が課題である。現状では近接目視による点検が義務化されており、道路管理者としては、その対応が喫緊の課題であるため、深部検査という公に必要とされているメンテナンスを実施することは無い。本分野で加速器技術が利用され、大きな市場を形成するには、深部検査だけでなくスクリーニング等への利用を考慮した技術が必要となる。

(3) 課題を克服するための必要な方策

深部検査だけでなく、深部検査が必要な箇所のスクリーニングやその後の健全度の診断まで実施ができるといったような、様々なサービスをパッケージとして提供できることが加速器技術を普及させる方向性として考えられるが、今日では、加速器による深部検査の研究開発は、国の予算で大学や研究機関が実施しているに留まっており、研究段階といった要素技術も多い。今後は、加速器を開発するメーカーはもちろん、現場や実務を知っているインフラ構造物に係る多様な企業（例えば、材料・素材、設計、施工、維持管理に関連する企業）とのコンソーシアム等を組んでいくといった方策が必要となる。

[3] Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes 「医療用医薬品：ゾーフィゴ」

https://www.kegg.jp/medicus-bin/japic_med?japic_code=00066287

- [4] バイエル Japan HP 「2017年第3四半期決算バイエル：売上高と利益が増加（2017年11月01日）」<https://www.bayer.jp/ja/media/newslist/2017/20171101.php>
- [5] 中野貴志（大阪大学）「放射線利用の現状と課題について」第16回原子力委員会資料第1号（2018年4月24日）
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2018/siryo16/siryo1.pdf>

4. まとめ

本調査では社会・産業インフラ分野での加速器の将来利用の可能性を明らかにすべく、下記の分野について、調査を実施した。

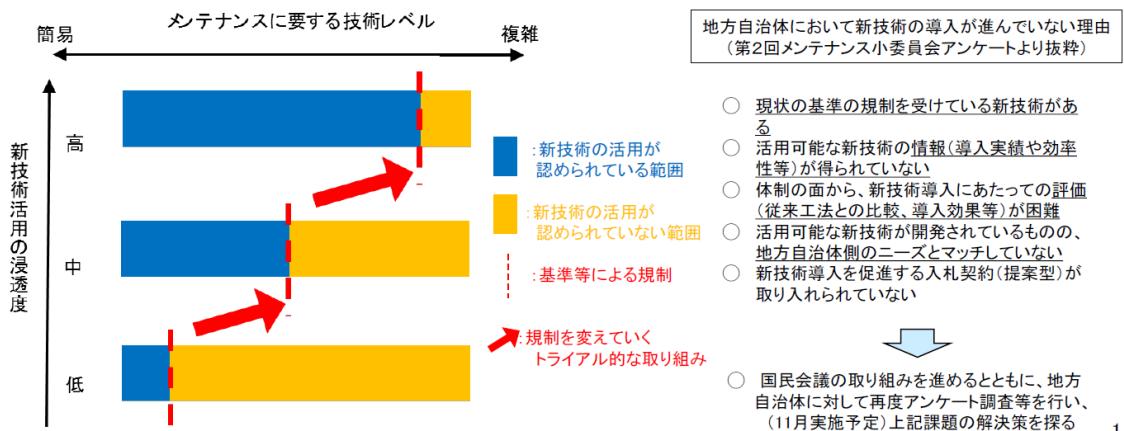
- ① エネルギー分野
- ② 農業分野
- ③ 防災・防犯分野
- ④ ヘルスケア分野
- ⑤ 交通分野
- ⑥ 都市・ビル（公共構造物）分野

各産業インフラ分野については、将来の加速器利用の可能性に濃淡があると考えられるため、それぞれの社会課題とそれに応じた加速器の研究開発の状況によって、深掘り調査する分野を選択した。特に防災・防犯分野については、手荷物検査の高度化という分野における加速器利用の課題と方向性を明らかにした。ヘルスケア分野についてはアルファ線核医学療法、交通／都市・ビル（公共構造物）分野についてはインフラ構造物のメンテナンスに着目して調査を実施し、加速器技術の普及・発展に向けた提言まで検討した。検討の結果を表 4-1 にまとめた。

アルファ線核医学療法およびインフラ構造物のメンテナンスとともに、加速器の利用は現時点では市場化されていない未開拓の挑戦的な分野であるため、加速器メーカー単独でビジネスを考えるには限界がある。加速器利用の普及・発展に向けた方策として、ユーザーさえも巻き込んだ周辺領域の民間企業と共にその課題を捉え、加速器技術の応用先を検討していくことは、共通する事項として考えられる。これらの新しい分野における加速器の利用については、当該分野の全体的な動向に左右されることも大きいと考えられる。アルファ線核医学療法については、メガファーマを含む製薬会社が積極的な投資をしており、 ^{211}At のような加速器で生成される核種を用いた薬剤の開発が急激に進展する可能性があり、それに伴って加速器の需要も急速に高まる可能性がある。また、インフラ構造物のメンテナンスにおいても、現状では近接目視による定期点検のみが義務付けられているが、今後もメンテナンスが継続的に実施された際に深部検査を必要とする結果が現れれば、現在の定期点検のような義務付けが深部検査にもなされ、それに必要な加速器を利用した新技術が認められることで、将来的な利用拡大が期待できる。国としても、メンテナンスに必要となる技術が複雑になっていくことに併せ、民間等で開発された新しい技術を活用する範囲を広げていく方向性を示しているところである。

メンテナンスにおける「新技術」の導入方針

- ロボットやセンサー、AI等の技術革新がめざましく進む中、メンテナンスの現場における効率化・生産性向上に資する各種技術開発が民間等により積極的に進められているところ。
- 地方自治体等の維持管理を一層効率化するため、これら新技術等の活用を積極的に進めることが求められている。
- 導入にあたり規制を変える必要がある新技術については、基準等の見直しに向けたトライアル的な取組を通じて、新技術活用の幅を広げていく。
- 既に活用可能な新技術については、地方自治体の抱える課題を踏まえつつ、国民会議の取組を通じて優良事例を横展開するなど、導入実績を増やしていく。



出所) 国土交通省「1.新技術・データの活用に向けて」2ページ、2018年10月22日、第22回メンテナンス戦略小委員会（第3期第4回）資料2

図 4-1 インフラ構造物のメンテナンスにおける新しい技術の導入方針

また、ヘルスケア、交通／都市・ビル（公共構造物）以外の分野についても決して将来性が無いわけではない。本調査では将来性の一つの観点として、未だに市場を形成していないが、今後発展の可能性がある領域を中心に深掘りした。将来性を今後の市場形成に限らず、現在ある市場の成長と捉える場合には、各分野について本調査で着目したものとは異なった加速器の将来の利用拡大が見込まれる領域があると考えられる。ただし、既存領域でのさらなる発展には、競合・代替技術に勝る技術革新とそのような技術基盤を支える法令や規則等の整備も必要になってくると考えられる。この場合には、加速器メーカーの他に、基礎研究を実施できる研究機関や、法令・規則に関する国との連携が必要になる。産官学の連携により加速器が発展する基盤を構築し、そこに加速器技術の各利用領域におけるユーザーを巻き込むことができれば、加速器技術という軸による横断的なつながりが、様々な分野間のシナジーを生み、新たな技術の創造や発展につながっていくことが期待できる。

表 4-1 産業インフラ分野における加速器技術の普及・発展に向けた提言

産業インフラ分野	ヘルスケア分野	交通／都市・ビル（公共構造物）分野
着目した領域	アルファ線核医学療法	インフラ構造物のメンテナンス
市場の動向と加速器利用	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代のがん治療薬であるアルファ線治療薬は世界的に研究開発が盛ん ・1種類の薬剤あたり、世界で数百億円、国内では数十億円の市場を見込む ・²¹¹At のように必要な放射性核種が加速器技術でのみ製造可能な核種を用いたアルファ線治療薬であれば、原子炉が利用できないという外部環境も、加速器を利用する方向に働く 	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁等のインフラ設備メンテナンス市場の規模は莫大だが、現時点で予防保全という考え方に基づいた点検の予算は比較的少ない ・現在の X 線検査技術では、規制の範囲内のエネルギー 3.95MeV でコンクリート厚さ 80cm までを調べることができ、非破壊としては他にここまで深さを精緻に調べる技術はない ・加速器が利用される可能性のある深部検査は、国が管理する重要な道路や高速道路といった範囲に限定
加速器利用の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・加速器および付随する遮へいや廃止措置のコストを含め、設備投資するにはリスクが大きい ・仮に設備投資がなされたとしても、また薬剤を安定供給のための強度や現在製造されている RI も製造できるような機能が必要 ・メーカーの加速器の開発に投資が必要な状況であり、ユーザーの設備投資とは二元的に対立構造にある ・アルファ線核医学療法の分野に特有の治験や GMP 基準は加速器の要件に直結し、放射性医薬品メーカー単独あるいは加速器メーカー単独ではカバーできない 	<ul style="list-style-type: none"> ・近接目視のコストや人員の効率化という道路管理者の大きなニーズに応えられない ・近接目視による点検が喫緊の課題であるため、現状として、深部検査という公に必要とされていないメンテナンスを実施することは無い ・本分野で加速器技術が利用され、大きな市場を形成するには、深部検査だけでなくスクリーニング等への利用を考慮した技術が必要
課題を克服するための必要な方策	<ul style="list-style-type: none"> ・トレンドが数年で変わりうる分野、かつ、放射性医薬品に係る加速器の性能や要件が放射性医薬品業界に特有の治験や安定供給に必要な薬剤の量、GMP 基準等に依存するため、加速器メーカー自身が能動的にアルファ線核医学療法に関する情報をキャッチアップし、理解していくことが重要 ・加速器というハードだけでなく、アルファ線核医学療法に必要なソフト等も含めたサービスを検討することは有用 ・加速器メーカーにとって専門外とする領域での情報のキャッチアップやソフトまで含めたサービスの検討を効果的に進めていくためには、放射性医薬品メーカーを始め、アルファ線核医学療法の社会実装に必要不可欠なノウハウ、要素技術を持つ企業や機関と一体となってビジネスを考えていく体制を作ることが重要 	<ul style="list-style-type: none"> ・義務付けられた近接目視による点検が終了し、次のステップとして詳細に深部を検査するということが義務付けられる可能性が有り、その際には加速器技術が必要 ・深部検査だけでなく、深部検査が必要な箇所のスクリーニングやその後の健全度の診断まで実施ができるといったような、様々なサービスをパッケージとして提供できることが加速器技術を普及させる方向性 ・加速器を開発するメーカーの他に、現場や実務を知っているインフラ構造物に係る多様な企業（例えば、材料・素材、設計、施工、維持管理に関連する企業）とのコンソーシアム等を組んでいくといった方策が必要

<加速器特別委員会 加盟会社>

(会社名 五十音順)
株式会社 NHV コーポレーション
住友重機械工業 株式会社
東芝エネルギーシステムズ 株式会社
ニチコン 株式会社
ニチコン草津 株式会社
株式会社 日立製作所
日立造船 株式会社
株式会社 日立パワーソリューションズ
三菱電機 株式会社

「社会インフラにおける加速器の活用と将来展望に関する調査 報告書<概要版>」

2019年3月

発行所 一般社団法人 日本電機工業会 原子力部
〒102-0082 東京都千代田区一番町 17-4
電話 : 03(3556)5886、FAX : 03(3556)5890
URL <http://www.jema-net.or.jp/>

協力機関 エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ 株式会社
〒100-6105 東京都千代田区永田町二丁目 11 番 1 号 (山王パークタワー5階)
電話 : 03(6705)6500 (代表)

本書の記事、データの無断転載、コピー禁ず

原-7708