

放射線利用の経済効果と新量子ビーム利用に関する調査研究

(財)原子力研究プロジェクト推進センター 久米 民和

1. 調査の概要

(1) 調査の目的

電子線、 γ 線等の在来放射線を利用した工業や農業分野における製品、医学・医療分野における診療等の経済効果について最新データ（2006年度）に基づく市場調査を行い、国民生活の便益向上に果たしてきた放射線利用の役割を定量的に把握する。また、イオンビーム等の新たな荷電粒子を含む量子ビームの利用に基づく新物質・材料創生、環境保全、バイオ技術等に関する研究開発の動向調査及びその成果に伴う経済効果予測調査を行い、当該研究開発の方向性について提言を行う。

(2) 調査項目

在来放射線を利用している主要3分野（工業、農業及び医学・医療分野）について、最新の統計データ、関連市場資料、専門家ヒアリング・アンケート調査等を用いて、各分野における放射線利用の製品・診療の種類・内容、年間経済規模を明らかにする。また、イオンビーム、高エネルギー電子線等の新量子ビームの利用研究について、材料やバイオ技術等に関する最新の研究開発の動向調査を行うとともに、量子ビーム利用研究開発の方向性等の研究開発戦略について提言を行う。

2. 調査結果

(1) 放射線利用の経済規模

1) 工業利用

放射線工業利用は、1)放射線発生装置、放射性同位元素装備機器及び放射線測定器の製造、2)放射線による非破壊検査、3)放射線滅菌、4)ポリマー放射線加工及び5)半導体製造に分類される。1)放射線発生装置では、イオン加速器及び電子加速器の生産高は286億円、放射性同位元素装備機器及び放射線測定器が2,474億円であった。4)ポリマー放射線加工では、ラジアルタイヤ、耐熱電線、発泡ポリオレフィン、熱収縮チューブなどが電子線を用いて製造されているが、経済規模から見ると放射線加工の大部分はラジアルタイヤの製造である。電子線利用ラジアルタイヤの生産高は9,481億円であるが、照射されている部材（ポディープライ及びインナーライナー）のゴム重量比18%を放射線寄与率とすると、生産高は1,678億円となる。5)半導体製造の販売高は4兆7,667億円

であった。放射線寄与率をイオン及び電子線利用装置の設備投資額 22.7%として求めた場合、1兆 820 億円となる。なお、2)放射線による非破壊検査及び 3)放射線滅菌は 2006 年のデータが揃っていないため、2005 年の 315 億円及び 1,400 億円を参考値とした。放射線滅菌には、ガンマ線と電子線が使用されているが、今後は高エネルギー電子加速器による滅菌が増加することが確実と考えられた。

2) 農業利用

農業利用分野における放射線利用には、食品照射、不妊虫放飼法による害虫駆除、無菌動物用飼料や食品包装材の滅菌、突然変異育種、アイソトープ利用等が含まれる。農業分野の放射線利用経済規模は、突然変異育種とくにイネの突然変異育種が全体の約 90% (平成 9 年度: 94%) を占めている。2006 年度水稻上位 15 位内に入っている突然変異品種 7 品種の栽培面積は約 192,000 ha、経済規模は 2,170 億円と求められた。一方、2005 年度は栽培面積 173,581ha、経済規模 2,020 億円、突然変異 99 品種のトータルの経済効果は 2,453 億円であった。2006 年度も上位品種の占める割合が同じであると仮定してイネ全体での経済規模を求めると、 $2,170 \text{ 億円} \times 2,453 / 2,020 = 2,635 \text{ 億円}$ と推定された。イオンビーム育種も既に実用化が開始されており、カーネーションは 10.1 億円、無側枝キクの新品種「新神」は 13 億円と算出された。イオンビーム育種の経済規模はまだ小さいが、着実な伸びを示している。

食品照射は、馬鈴薯の年間処理量 3,339 トン、経済規模 2 億 9,440 万円と前年に比べ著しく減少した。2007 年度は多少回復傾向が見られ、香辛料の許可なども検討されている。食品照射は、殺菌や殺虫を効果的に行うことができ、食料損失防止や食中毒防止による莫大な経済効果が見込まれる技術である。

3) 医学・医療利用

医学分野の放射線利用では、検査、画像診断、放射線治療の 3 つの分野について、社会医療診療及び自由診療の経済規模を求めた。「社会医療診療行為別調査」がこれまで対象としてきた保険は [政府管掌保険と国民保険] であったが、1999 年度から組合管掌健保も対象に加わった。2003 年度からは「診断群分離による包括評価: DPC, Diagnosis Procedure Combination」が導入されており、これらの係数を考慮した経済規模も求めた。

健保導入及び DPC を考慮しないレセプトベースの経済規模は、医科で 1兆 4,500 億円、歯科で 1,200 億円、その合計は 1兆 5,700 億円となった。健保導入及び DPC を考慮した場合の経済規模は約 1兆 6,150 億円であり、自由診療では粒子線治療が 32 億円であった。自由診療を含めた医学・医療分野における経済規模は、合計 1兆 6,200 億円となった。なお、自由診療には、粒子線治療以外

にも FDG-PET、CT 肺がん検診、マンモグラフィによる乳がん検診などがあるが、2006 年度のデータは得られていない。

新量子ビームの利用として、髄膜腫、皮膚がんや肺肉腫に対するホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) が原研 JRR-4 や京大炉 KUR で実施されている。2006 年度は原研 JRR-4 のみで 48 回照射が行われたが、治験であり経済規模はゼロとした。

(2) 新量子ビーム利用の将来展望

1) 工業利用

イオンビームによるイオン注入やスパッタリングによる微細加工は半導体製造に不可欠であり、半導体製造以外への応用も進展しつつある。実用化されている例としては、工具の寿命の改善がある。研究開発中のものに、燃料電池の電解質膜・電極/触媒アセンブリー材料がある。地球温暖化、エネルギー問題の克服に向け期待されている。

これからの量子ビーム利用としては、広く社会から技術開発が求められている分野として、①地球温暖化対策:CO₂ 排出削減のための石油の低温放射線分解、②バイオエネルギー:バイオディーゼル燃料の粘度を下げることに放射線分解の可能性やエタノール生産におけるバイオマスの品種改良など、③再生医療技術のための細胞培養器材への電子線重合、について提言した。

2) 農業利用

イオンビーム育種ですでに開発が進められている ①紫外線耐性植物、②環境浄化植物、③耐塩性の新品種について、研究の現状と実用化後の経済規模波及効果について考察した。これらイオンビーム育種による新品種の育成は、食糧増産や環境浄化の上でもたらす経済効果は計り知れない。

量子ビームの新しい利用分野として、ポジトロンイメージング技術を用いた農業利用、とくにコメにカドミウムを蓄積しないイネ品種開発について、経済効果を考察した。また、医学分野への応用(創薬)として、DNA 修復促進タンパク質の遺伝子工学試薬としての実用化例を示し、将来的な市場規模を考察した。

3) 医学・医療利用

創薬研究における放射線の寄与に関する計量書誌学的研究として、学術論文の検索及び特許データベースを用いて分析を試みた。過去 12 年の解析結果においては、創薬研究全体の中で放射線が高い寄与を示しているとはいえ、臨床試験より非臨床試験における寄与率が高い結果を認めた。しかし、臨床試験全体の論文数の増加とともに放射線の寄与する臨床試験の論文数も増加傾向にあることや、マイクロドーズ試験の特許件数が最近数年増加しているなどの分析

結果から、今後の創薬研究のうちとくに臨床試験の領域で放射線の寄与率が高くなることが予想され、医薬品開発の分野での放射線利用の経済効果が増していく可能性を考察した。

さらに、米国 FDA が提唱しているクリティカルパス計画、とくに臨床試験の効率化について考察を試みた。医薬品研究開発は、期間の長期化、成功確率の低下、費用の増大などの課題を抱えており、放射線技術による探索的臨床試験という考え方の重要性を指摘した。

(3) 経済的観点から見た放射線利用の評価

放射線技術の利益を計量的に評価する手法について考察した。放射線技術の利益には、(1)市場規模の拡大効果、(2)生産性上昇という効果、(3)機能・品質の向上という効果がある。機能・品質向上とは数値化できない性質のものであり、利益をどう評価するかが課題である。ここでは、論文データベースから得られるデータが代理変数の候補の一つとなりうるのではないかという考えを提起した。また、特許データを利用して課題解決を可能にしたかを計量的に分析することによって、その実態の一面にアプローチできるのではないかという考えを提起した。

これらの考えに基づく具体例として、紙パルプ製造工程における放射線利用の寄与を考察した。紙パルプ製造工程において重要な役割を果たしている抄紙機は、秤量、水分、厚みの制御が重要である。放射線は秤量に欠かすことのできないコア技術であり、紙製造への寄与率は 33%と考えられた。この放射線寄与率を考慮した紙パルプ製造の経済規模は 9,799 億円となる。紙パルプは放射線が直接作り出したものではないが、放射線を利用した計測器がなくては生産不可能な工業製品である。これまでの経済規模調査では、生産性上昇、機能・品質の向上という効果について具体的な数字で表してこなかったが、今後これら間接効果を数値化していく方法の確立は重要な課題である。