

## 国内外加速器（放射線発生装置）の利用実態に関する調査

### 要 旨

平成 14 年 10 月 21 日

株式会社 三菱総合研究所

はじめに

国内、及び先進諸国では様々な研究開発用途、医療用途として大学等の教育機関、公的な研究機関、民間企業の研究部門等に加速器が設置され、運用されているところである。

一方、原子力委員会では研究開発専門部会に加速器検討会を設け、我が国全体の加速器の現状、及び利用実態を把握し、長期的視野に立った加速器開発・利用のあり方について検討を行うこととしている。

このような状況を踏まえ、**本調査では国内の加速器については把握しうる全ての施設に対しアンケート調査を行うことで、施設概要、利用実態（利用目的、利用頻度等）、ニーズ等を把握、分析し、データベース化を図る**ことで前記検討会での議論の基礎データに資することを目的に実施した。また、参考としての位置づけにおいて、国外の主要な加速器についても文献調査等によりその実態把握を行った。

本調査を実施するにあたり、ご協力頂いた学識経験者各位、関連機関担当者各位に対し、謝意を表する。

## 1．国内における加速器の保有・利用実態

### 1.1 加速器の保有実態

放射線利用統計（日本アイソトープ協会）によると、国内には2000年3月31日現在で1,136加速器（＝放射線発生装置）が存在している。これらには、医療機関（767施設）、教育機関（58施設）、研究機関（163施設）、民間企業（141施設）等となっている。

このように、国内に設置されている加速器の70%以上は、がんの放射線治療を目的として医療機関に設置された電子直線加速器（リニアックまたはライナック）である。

加速される電子のエネルギーは十数 MeV 以下、平均電流は数十ないし数百マイクロ・アンペアである。一方、設置数は限られているが、研究機関（大学を含む）に設置されているシンクロトロン等の大型加速器は、素粒子・原子核物理研究、放射光・中性子による物性研究等に用いられ、加速粒子のエネルギーは1GeVの程度またはそれ以上となる。これらの大型加速器は、単一の機種ではなく、複数の機種から構成される複合加速器（accelerator complex）である。

このように、加速器といっても様々な用途、規模のものが存在しており、本調査で実施する利用実態調査においてはこうした状況を勘案し、各々の実情に合致したアンケート調査を行うことが重要と考えられる。

### 1.2 アンケート調査に基づく加速器利用の実態

本節では、1.1 節に示した設置実態を踏まえ、各設置機関に対するアンケート調査を実施し、国内の加速器利用に係る実態把握、分析を行った。

アンケート調査の発送先は国内の加速器保有機関 853 機関であり、これらには公立・民間の医療機関、大学等の教育機関、国等の公立研究機関（独立行政法人含む）民間企業等を含んでいる。

アンケート調査を実施するにあたっては、文部科学省放射線規制室が保有する放射線発生装置設置に係る認可手続き、届け出手続き関連データを活用した。これらデータに基づき、関連機関 853 ヶ所を抽出（加速器複数台保有も含む）し、アンケート票を作成し郵送にて送付した。

以下にアンケート調査結果の概要を示す。

#### (1)加速器を所有する機関・組織および目的

我が国に設置されている加速器の約 7 割が医療機関にあることが確認された。電機メーカーによる市販医療用加速器のラインナップの充実も手伝い、医療機関におけるガン治療などへの加速器の臨床応用は確実に広がってきていることが伺える。また、約 1 割の加速器が民間企業において活用されており、加速器を線源とした放射線照射の工業利用も進展している。

教育機関および研究機関が所有する加速器は、それぞれ 4.7%、12.8%程度であり、加速器の開発・利用の最先端を担うべき機関が所有する加速器は、両機関属性を合わせても 17%程度に過ぎないことがわかった。これらの機関では、加速器科学の研究、原子・分子物理学、物質・材料科学の基礎研究分野から、表面解析や微量元素分析などの応用分野まで広範囲にわたって加速器が利用されている。その一方で、古い年代（60 年代以前）に設置された加速器が多く、最先端研究を引き続きリードしていくためには、全面的または部分的にも大規模な改修または更新を求められている加速器が多い。

#### (2)加速器の仕様

我が国における加速器の型式は、約 8 割弱がライナックであることがわかった。これは、加速器を所有する機関の約 7 割を占める医療用加速器の分野で、通常の電子線・X 線照射を行う放射線照射治療装置は、ライナックをベースに設計された機種が多いことも一因として挙げられる。

加速粒子として、医学利用の立場から電子（線）X 線が極めて多く扱われているものの、基礎研究や医学利用の立場から陽子、（重）イオン等も多く加速されていることがわかった。基礎科学の分野では、陽子エネルギー 1GeV の大強度陽子ビーム加速器の建設が検討されている。一方、医学利用の分野では 250MeV 前後の陽子ビームを利用した陽子線治療センター等の建設が計画され、実施され始めている。

加速器のビームエネルギーが数百 MeV までは主に医療 治療 利用が主であり、100MeV 以上の加速器は、原子・分子物理学、物質・材料科学、加速器開発などの基礎研究・開発

に利用されていることも明らかとなった。

### (3)加速器の利用・管理

我が国の加速器の 9 割は活発に利用されていることがわかった。しかしながら、研究・教育機関で使用されている加速器の約 2 割程度が 1970 年代以前に建設された加速器であり、設備・施設の老朽化が進んでいる。このため、古い年代に設置された加速器は、稼動状況が低下しつつ、更新・改修の必要性が高まっていることがわかった。しかしながら、更新・改修費用の負担の見込みの立っていない組織・機関が多かった。

加速器の共同利用については、加速器を管理している自らの部門以外との共同利用が盛んに行われていることがわかった。基礎科学では、原子核物理学、原子・分子物理学、物質・材料科学、エネルギー科学、放射線化学、加速器開発、医療（研究）生命科学、教育訓練等の分野で海外も含めた共同利用が活発に行われていることがわかった。一方、応用分野では、表面解析、微量元素分析、医療（治療）の分野で共同利用が活発に行われていた。

利用料金を徴収して加速器を時間単位、半日単位、一日単位でユーザーに利用させる制度・仕組みを有している組織・機関・企業があることがわかった。研究機関等では、加速器の利用に係るコストを積算し、ユーザーに実費負担を請求するもの、研究成果を公開するならば利用料金を免除するもの、ビーム・ラインをまるごと借用できるもの、などさまざまな形態がある。一方、民間企業では受託測定という形で分析する試料、分析内容ごとに細かく課金制度を決めている、という事業形態もあることがわかった。このような仕組みは、加速器を自ら持たない組織・機関においても加速器を利用した測定・分析法を試みることができる有効な方法である。

自らの研究部門・チームで行っている研究について、公正なる第三者評価・外部評価制度を設けることは、加速器の開発・利用の推進に効果的である。特に教育機関、研究機関が所有する加速器の 5 割は、何らかの第三者評価・外部評価を 1 年から数年に一度以上の頻度で受けていることがわかった。今後、これらの評価結果を広く公開することによって、一般への加速器の開発・利用の現状をわかりやすく伝えることが必要になるであろう。

## 2 . 国外における加速器利用の現状

**基礎研究で高エネルギーを追求する場合は、陽子、電子共加速器は衝突型加速器（衝突器、Collider）となり、その施設の巨大化に伴い組織は国際協力となる。**陽子の衝突型加速器は、スイスの欧州合同原子核研究機関（CERN）において、周長 28 km の LHC（Large Hadron Collider）が建設中である。電子は、周回軌道ではシンクロトロン放射光（放射光）によるエネルギー損失の為、衝突型加速器では加速されるエネルギーに限界が生じる（周長 28 km の CERN の LEP で 104.5 GeV）。そこで対向する 2 台の長い直線加速器により、反対方向に加速された電子を衝突させる**リニアークライダーの開発が、米国、ドイツ、スイスと日本で進められている。**

電子の周回軌道でエネルギー損失となる放射光は、可視光から X 線までの強力な光源として、物質の構造解析に広く用いられている。波長の短い電磁波を発生するには、より高いエネルギーの電子を周回させねばならず、6 ~ 8 GeV という最も高いエネルギー領域の放射光施設が、米国、フランス、日本にある。

構造解析のもうひとつの有力な手段は、中性子である。飛行時間法（time of flight）に適したパルス中性子線は、加速器により作られた高強度陽子により重い元素を破砕して生成される。この目的の最も強力な施設はイギリスにあり、米国と日本にはこの分野のパイオニア的施設が現在も活発に稼動している。米国ではローレンス・バークレー国立研究所、ロス・アラモス国立研究所、アルゴンヌ国立研究所、ブルックヘブン国立研究所が協同して、オークリッジ国立研究所に強力な中性子源 SNS を建設中であり、**日本でも高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所が合同で進めている大強度陽子加速器計画に、新しい中性子源の建設が含まれている。**

パルス中性子源の加速器よりはビーム強度は遥かに低いけれども、エネルギーでは大差のない加速器が、がんの重粒子線治療に使われている。炭素ビームを使用できる医療施設は、現在日本に 2 ヶ所あるだけである。陽子線を用いる、より規模の小さい医療施設は、米国に 2 ヶ所、フランスに 1 ヶ所ある。後者では原子核研究用シンクロサイクロトロンを医療専用に転用した。スイスでは超伝導サイクロトロンを導入する医療専用施設が建設中である。日本では病院に設置された 2 施設が稼動中で、もう 1 施設が 2002 年内に運転開始を予定している。そして上記重イオン治療施設のうち 1 ヶ所では陽子線治療も実施している。

現在日本で加速器総数の約 70%を占める医療用電子直線加速器（リニアック、又はライナック）は、1960 年代の初めから世界で急速に導入され、1986 年には 2,500 台に達し、その半数は米国にあった。そして現在の総数は 5,000 台と推定されている。**日本では以前は民間企業 3 社が製造していたが、現在は 1 社となった。**

医療目的の寿命の長い RI 製造には中型サイクロトロンが使われ、PET 診断用短寿命の

RI 製造用の小型サイクロトロンは病院に設置されている。この中にはイギリスから輸入された超伝導サイクロトロンがあり、米国、イタリア、オランダには研究用の大型の超伝導サイクロトロンがあるが、日本にはまだ超伝導サイクロトロンは建設されていない。

一方、アジア諸国（中国、マレーシア、韓国、ベトナム、インドネシア、インド等）における加速器開発・利用の現状は、それぞれの国情に応じて研究用大型加速器、医療用加速器、産業利用加速器が設置されてきており、基礎科学から応用科学の諸分野で加速器の活発な利用が始まっている。一方、自国で所有していない加速器（大型、放射光源など）については、国際協力に活路を見出そうとしている国々が多く、共同利用や共同研究を通じて日本の加速器の基礎・応用研究機関に対する期待が大きいこともわかった。

### 3. 今後の加速器開発・利用における課題整理と対応のあり方検討

#### (1) 我が国における加速器利用の現状

我が国に設置されている加速器の約7割が医療機関に設置されており、ガン治療などへの加速器の臨床応用は確実に広がってきていることがうかがえる。また一方で、約1割の加速器が民間企業において活用されており、加速器を線源とした放射線照射の工業利用も進展している。

我が国における加速器開発は、主に教育機関、研究機関によって行われているが、加速器の開発・利用の最先端を担うべきこれらの機関が所有する加速器は、教育機関に39台、研究機関に96台となっており、全数814台（アンケートの有効回答数）のうち両機関を合わせても17%程度に過ぎない。また、加速器開発に利用される加速器は試作的な小規模なものが多く、実験が終了したと同時に稼動しなくなるデッド・ストック状態の加速器もあることがわかった。

研究機関における加速器についても、すでに必要十分な加速器が設置されているように見えるが、実際には、入射用加速器、初段加速、および蓄積リングなどの複数の加速器を組み合わせで一連の複合型加速器施設を構成している場合が多い。このため、設置台数で評価するよりは、むしろ複合型加速器を一式の加速器施設とみなす必要がある。

以上のことから、我が国の加速器利用の現状は、医療機関における治療用途が大多数を占めており、一見すると加速器の設置台数は十分にあるようにみえても、最先端の加速器科学の研究や人材育成を担う教育機関、および研究機関における加速器の実質的な台数は未だに十分であるとは言い難い。

#### (2) 加速器の管理・保守・共同利用

我が国に設置されている加速器の9割は活発に利用されていることがわかった。しかしながら、研究・教育機関で使用されている加速器の約2割程度が1970年代以前に建設された加速器であり、設備・施設の老朽化が進んでいる。このため、古い年代に設置された加速器は、稼動状況が低下しつつ、更新・改修の必要性が高まっている。しかしながら、更新・改修費用負担の見込みのたっていない組織・機関が多く、加速器の設置に伴う費用の助成だけでなく、継続的な運転・保守コストへの費用助成を求める声も大きい。

加速器の共同利用については、原子核物理学、原子・分子物理学、物質・材料科学、エネルギー科学、放射線化学、加速器開発、医療（研究）、生命科学、教育訓練等の分野で海外も含めた共同利用が活発に行われている。特に国際的な共同利用の仕組みの確立と推進は、アジア諸国で大型加速器を自ら持たない国の研究機関から求める声も高まっており、アジアのCERNのような役割を担っていくことが求められている。

### (3)我が国における加速器開発・利用の推進に求められていること

我が国に設置されている加速器の約7割は医療機関に設置されている。現在の加速器を取り巻く法制度では、大多数の医療機関に設置されているメーカー製の市販加速器であっても、大型加速器と同様に放射線発生装置として監督官庁の管理下にある。このため、特に医療分野では設置許可申請に伴う手続きの煩雑さと、維持管理にかかる膨大なコストが指摘されている。一方、教育機関・研究機関にある試作的で小規模な加速器についても、実験が終了したと同時に稼動しなくなりそのままデッド・ストック化してしまう加速器もあることがわかった。

以上のことから、試作的で小規模な加速器や、すでに実用段階にある医療用のメーカー製加速器や産業用の加速器については、大型加速器とは区別して設置・廃止手続きの簡素化、加速器の規制エネルギー（現行 1Mev 以上）の緩和、等、一段の規制緩和が望まれる。