

3. 我が国における加速器を用いた研究

3.1 研究の目的と現状

(1) 未知への挑戦

事務局 | 19 世紀から 20 世紀初頭にかけての多くの実験結果を基に、原子は原子核の周りを電子が取り巻いている構造であることが明らかになった。その後、量子力学が誕生して、より基本的な自然界の構造を探る研究が急速に進められた。人類の知的好奇心は原子核の構造に向かい、原子核が陽子/中性子（核子）で構成されることが明らかになると、原子核の性質や原子核同士の反応を究める数々の実験が行なわれるようになった。1938 年に発見されたウランの核分裂が、1942 年にはその連鎖反応を利用した世界最初の原子炉に発展し、エネルギー源として実用化されたのが今日の原子力発電である。また、原子核研究の重要な「道具」として発明され、多くの技術開発を経て今日の加速器が実現されている。

原子核研究はやがて核子の構造とその間に働く力の性質の研究へと発展した。今日では基本的な粒子として光子などのゲージボソン、電子とニュートリノを総称したレプトン（軽粒子）、中間子、核子などのハイペロン（重粒子）が知られている。ところがメソンとハイペロンはクォークと呼ばれる素粒子の複合体であることが明らかになってきて、より根源的な粒子とその間に働く力の性質あるいは基本原理の探求が続けられている。これらの粒子間に働く力の性質で、電荷・空間・時間に対する対象性はその最も基本的な性質で、その対称性の破れの度合いは現代のもっとも重要な研究課題である。

一方、私達の宇宙は 150 億年前に起ったビッグバンで誕生し、膨張してきたことが明らかになっている。膨張の過程で宇宙は冷えていき、それに伴って物質が作り出されてきた。これまでの研究から宇宙誕生のごく初期の超高温状態からクォークが生じ、やがてクォークが集まって核子になり、更に冷えてきて核子が結合し元素が生まれたとされている。ところがウランにいたる多様な重元素は、このときでなく、軽い元素でできた星の爆発によって生み出されてきたと考えられている。このような立場で見ると、先に述べた自然界のより根源的な構成要素と基本原理の探求は、宇宙進化の過程を逆にたどることに相当している。言い換えると、高エネルギー加速器でより高いエネルギーが集中した状態を作りだすことが宇宙進化の逆過程を進むことであり、人類が存在する現在の宇宙のルーツを探ることである。そのためにはエネルギーフロンティアを開拓する加速器が必要に

なる。

前章の2-2で述べた我が国の高エネルギー加速器で行なわれている研究のうち、対称性の破れを確かめる実験の目的は、ビッグバンでできた宇宙は陽子や中性子が多く、なぜ反陽子や反中性子が存在しないかを明らかにする鍵の発見である。またニュートリノ振動実験からはニュートリノが質量をもつかどうかが明らかになり、その大きさによっては宇宙全体の質量が変わってきてこの宇宙がどのように進化していくかが異なってくる。なお、最後にクォークにかかわる研究は、これまで核子に深く閉じ込められて見えなかったクォークの実態を明らかにする新しい研究の始まりと位置付けることができる。

原子核は高々300個の陽子と中性子から構成されているのに、その構造や性質はきわめて多様である。なかでも未だ数多くは創製/発見されていない極端に中性子が多い原子核あるいは少ない原子核には、殆どその創製/発見の度に未知の性質が見つかった。これまで我が国の研究者は、この領域の研究で既存の常識を覆す多くの発見をしてきた。このような未知の原子核を作り出してその性質を明らかにし、この宇宙でどのような過程を経て物質がつくられてきたかを地上で確かめようとする実験場がRIBFであり、原子核研究用加速器である。これまで我が国では重イオン加速器が安定領域から遠く離れた原子核のエキゾチックな性質を明らかにしてきた。一方、陽子/軽イオン加速器は原子核が高いエネルギー状態へ励起された時の形や性質を明らかにしている。

このような未知への探求は、自分の存在する自然界をより深く理解したいという人類の飽くなき知的好奇心の現れであり、その成果は人々の好奇心を更に刺激し、自然界に対する夢と畏敬の念を与えるものである。

(2) 広い科学技術分野における先端的基盤研究施設

この地球上に存在する安定元素は水素からウランまで 84 種しかなく、長寿命の放射性核種として存在する元素を含めても 92 種に満たない。ところがこの少数の元素からつくられた物質の種類は無数にあり、新しい原子構造（原子配列）や性質、機能を持つ物質の発見が続いてきた。とくに、20 世紀後半になって物質の熱的、電氣的、磁氣的特性と物質の原子配列あるいは電子状態との関係を解明する実験技術、解析手法や理論が進歩すると、新しい特性をもつ物質の探索/研究が急速に進み、また、人工的に原子配列を変えて新しい性質や機能をもつ物質の開発も行なわれるようになった。このような物質・材料科学の進歩が情報・通信技術・ナノテクノロジーの進歩を加速し、社会生活を一変させる大きな影響を現代社会にもたらしている。また、遺伝子の発見を端緒とする生命科学の発展も目覚しく、生体内で作り出される多様な物質の研究が行なわれて、生命現象の解明や病気の原因究明、治療法の開発に貢献している。なかでも生体機能をもつ蛋白質が次々に発見されており、その 3 次元原子配列（立体構造）を解析して新しい医薬品を創製する動きが活発になっている。

新しい機能をもつ物質の開発においては、物質中の原子配列と電子状態、微量成分元素の量と化学状態を精度よく決め、場合によってはその温度/圧力/磁場依存性や時間の経過に伴う変化を測定する必要がある。一般に、物質の特性や機能は表面、界面（二つの物質の接合面）、バルク（物質内部）で異なっているので、測定は表面/界面でも行なうことになる。なお、表面に吸着している不純物原子（分子）の量や表面の平面度/平滑度、界面における原子配列変化などは、ナノデバイス材料の良さを決める最も重要な指標である。

今日では、物質の研究には電子顕微鏡やトンネル顕微鏡によるイメージング法とともに、光（X 線）や中性子による回折、散乱、吸収（発光）分光、偏光計測などが最もよく使われている。なお、高温高压など極端条件下の計測や時系列計測など光や中性子のみで可能な計測も多い。

X 線や中性子を得るのに加速器を用いると、実験室 X 線源や原子炉中性子の場合に比べて 3 桁以上の輝度が得られるので、際立って高い精度の測定が可能になる。加速器が現代科学技術の研究開発において、最も重要な先端的基盤研究施設と言われる所以である。

生体高分子とくに酵素など蛋白質の立体構造を決めるのに、X 線回折と核磁気

共鳴 (NMR) が主に使われている。これまで立体構造が決められた蛋白質の総数 (蛋白質データバンク登録数) は、2003 年 10 月現在で約 22000 であり、そのうちほぼ 19000 が放射光 X 線回折で決められている。なお、中性子回折による蛋白質の構造解析は水素原子の位置を決めることができるという特徴があるが、これまでに解析された蛋白質の数は少ない。

我が国の放射光施設では、X 線領域で SPring-8 と KEK の放射光実験施設 KEK-PF が優れた成果を挙げている。SPring-8 の特長は X 線波長範囲が広く輝度が世界で最も高いことである。一方、KEK-PF はビームラインの使い易さなど実験環境に優れている。なお、KEK にはこの他に 6GeV の AR リング放射光源があり、波長の短い X 線を半ば占有的に使って、蛋白質構造解析や医学利用で優れた成果を得ている。この他、姫路工業大学、分子科学研究所、広島大学、立命館大学の小型放射光施設では、主に真空紫外・軟 X 線領域の放射光を用いた分光学や微細加工の研究が進められている。

放射光の特長は同時に多数のユーザーが実験できることで、スモールサイエンスの最先端研究施設である。SPring-8 に例をとると、2002 年の統計では、1 年間のユーザーは延べ 8843 人、実験課題数は 1434 件で、学術雑誌に発表した論文数は 347 編であった。なお、共同利用ビームラインの産業界による利用が増えていて、産業界の実験責任者が提案した課題が全体の 12%を超えている。

数 MeV に加速されたイオンによる分析も良く使われている。物質中の微量元素に衝突して出す X 線を測定して行なう定量や化学状態分析は PIXE 法と呼ばれていて、ppm (100 万分の 1) から ppb (10 億分の 1) の定量分析が可能である。このほか、入射イオンの後方散乱など原子核核反応やチャネリングを用いた欠陥の研究も行なわれているが、これらは主に大学、国公立研究所の小型加速器を用いて研究である。

1950 年代から多様な化学物質が大気或いは河川に流出して環境が悪化する問題が表面化してきた。とくに化学物質には極微量でも生体に悪影響を与えるものがある。このような化学物質の分析には PIXE と放射光による分光が重要な役割を果たしている。

更に 1960 年に発明されたレーザーは、特に 1990 年頃より CPA 法と呼ばれるパルス圧縮技術やレーザー媒質の開発により高強度・短パルスレーザーの分野で長足の進歩をした。その結果これらのレーザーの応用により、X 線や電子（更には陽子など）といった放射線を最近ではコンパクトで高輝度、短パルスで発生出来るようになった。例えば、レーザー駆動によるコンパクト X 線源やプラズマ X 線レーザーが開発されて来ている。今までの X 線の時間分解能を遥かに凌駕するピコ秒以下の時分割でかつ高縮重度（コヒーレント体積中の光子数 10^8 以上）のフォトンにより物性や生体の瞬間観測に利用されるようになって来ている。こうした高縮重、短パルス X 線フォトンを利用すれば、高輝度性の利用による X 線顕微鏡などに使える他に、X 線領域の物質の非線形性の研究という新しい領域も開拓できる。これらは X 線光学の重要な新分野である。さらに、レーザー加速による極短パルス、高質（低エミッタンス）の電子源が出来ている。これらは、他の加速器への入射器あるいは加速器要素、PET 源、高輝度短パルス X 線源、 γ 線源として使われようとしている。上記したレーザー駆動の短パルス放射源は、フェムト秒（ 10^{-15} 秒）（更にはアト秒（ 10^{-18} 秒））といった物質（原子など）の基本的時間単位までも解像できるので、（レーザー化学、レーザー生物学などの分野で）「フェムト秒科学」や「フェムト秒技術」を新たに生んでいる。このようにして高強度短パルスレーザーは、21 世紀の重要な科学・技術のツールであり、光科学技術の革命的進展をもたらすであろう。

(3) 原子力の先導的基盤研究

原子核変換の過程で生み出される原子力エネルギーの大部分は様々な放射線として放出される。核分裂によって放出されるエネルギーは、運動エネルギーを有する核分裂片、中性子、 γ 線等の放射線として放出され、物質の中で吸収され熱エネルギーに変わる。

このため、原子力エネルギー利用の研究開発は、放射線と物質の相互作用を理解することに始まり、加速器は放射線と物質の相互作用の基礎的な研究開発の道具として、原子力研究開発の歴史において極めて重要な役割を果たしてきており、原子力長計でも、歴史的に加速器の開発及びそれを用いた研究は原子力開発に新しい展開をもたらしてきたと加速器を位置づけている。

今日、我が国の軽水炉発電は既に広く定着しているものの、燃料サイクル全般を確立するまでには今後、幾多の困難な課題を克服することが必要である。即ち、原子力エネルギー利用が将来的なエネルギー需要に的確に応えてゆくためには、原子炉から燃料サイクル全般にわたる経済性、安全性、信頼性の更なる向上に加えて、廃棄物管理を適切に行うための革新的な技術開発が求められており、加速器はこうした課題を解決するための重要な手段の一つとして大きな役割を果たすことになる。

例えば、原子炉構造材料等の照射損傷の基礎的な研究や材料の加速照射の研究には、加速器を使って得られる各種イオンビームや高速中性子の利用が有力な方法である。また、使用目的に合った精度の良い放射線管理機器や放射線検出器は、原子力を利用するための基盤技術であり、原子力利用の発展を支え、また原子力の新たな利用に応じて必要とされる技術であり、加速器は放射線測定器の開発と校正を行うための手段として欠かせない。こうした従来からの加速器利用に加えて、近年、原子力利用にブレークスルーを生み出すことが期待されている先導的な加速器利用として、加速器と原子炉等を組み合わせたハイブリッド技術がある。代表的なハイブリッド技術は、TRU等の長寿命の核種変換を行うための未臨界炉システムと大電流陽子加速器の組み合わせである。J-PARCプロジェクトでも計画されているが、高レベル廃棄物処理技術として国際的にも原子炉と加速器を組み合わせたハイブリッドシステムの研究開発が欧州を中心に盛んに行われている。核変換システム技術の開発には、高エネルギー陽子、中性子による核破砕反応及び反応生成物に関する物理データ測定などの基礎研究をはじめ、中性子工学、耐

放射線材料の開発など、付随的に加速器を利用した新たな研究が必要となる。

表 3.1(3)－1 は、加速器が原子力研究開発において、当初から大きな役割を担ってきたことを示している。即ち、1956 年に我が国の原子力研究開発の総合機関として設立された原研では、1957 年に 2 MV バンドグラフを設置し、中性子の核反応の測定などを開始して以来、これまでに数多くの加速器を原子力の研究開発に利用してきている。また、中性子単色エネルギー中性子場としての東北大学のダイナミトロン、TOF による中性子研究に特色を出した北大や京大原子炉実験所の電子リニアック、核融合中性子物理等の研究のために設置された阪大の OKTAVIAN など、多目的利用のための京大のタンデトロンなど、各大学の原子力関係学科には例外なく加速器が設置され、原子力の教育と研究に広く利用されて来ている。こうした事実が示すように、加速器は人材教育を含めて原子力エネルギー研究開発のための欠くべからざる手段として、今後も重要な役割を果たすことものと考えられる

以下は、原子力の各分野の研究開発における加速器利用の実績と将来展望である。

a) 核物理研究

新たな原子力利用や原子力利用の高度化の基礎となるのが、放射線と物質の相互作用を研究する原子核物理の研究であり、原子核物理の研究の最も重要な手段が加速器である。核分裂反応をはじめ、中性子と物質の核反応、核反応によって生じる中性子や核分裂生成物の収率、励起核から放出されるガンマ線やベータ線の特性を表す核構造等の研究開発が様々な加速器を利用して行われている。1956 年に設立された日本原子力研究所（原研）では、1957 年に 2 MV バンドグラフ加速器を設置し、中性子の核反応断面積の測定を開始して以来、電子リニアック、5.5 MV バンドグラフ加速器を利用した中性子核物理の研究が行われてきている。原子力分野における核物理研究のハイライトは核データに関する研究であり、1960 年代より原研が中心となり、大学、研究機関、民間と一体となって中性子断面積等の核データの測定と評価活動が続けられており、その成果は JENDL 核データファイルとして集約され、国内外において原子力研究開発及び利用のための基礎データとして広く利用されている。

今後、原子核物理研究で対象となる重要な元素は超ウラン元素である。超ウラン元素は核分裂物質としてばかりでなく、長寿命の放射性廃棄物としても重要であり、原子力エネルギー利用を推進する上で最も重要な核種である。このため、核変換システム等の次世代原子力技術を支える基礎研究として、数 10MeV 以上の中・高エネルギー中性子物理や重イオン物理の研究がタンデム・ブースターやサイクロトロン等の加速器を使った超ウラン元素の核物理研究が益々活発になると予測される。

b) 放射線測定器の開発と校正

原子力の利用は放射線の利用と表裏一体であり、様々な用途に応じた信頼性のある精度の高い放射線測定器や線量計の重要性は改めて云うまでもない。原子炉を始めとする原子力施設に必要な放射線測定器、あるいは個人や環境の線量計等の開発や校正には、加速器の制御された放射線の利用が必須であり、これまでも、こうした目的のために多くの加速器が利用されてきた。原研では、中性子測定器の開発と校正のための専用加速器として、平成14年に新たに 4 MVバンデグラーフを設置している。

これまでの原子力研究開発の歴史が辿ってきたように、原子力の利用が進むのに応じて新たな放射線測定器が必要になり、このための基盤的な装置として加速器は欠くことはできない。

c) 生体影響研究

さらに、低線量放射線による人体影響を明らかにするという課題は原子力の適切な利用を推進するために最も希求されている研究課題の一つである。低線量放射線の影響を研究するためには、様々な放射線のエネルギーを制御して発生させることのできる加速器の利用は欠かせないことは明らかである。即ち、放射線による人体影響の特徴として LET 効果、線量率効果などがあり、こうした効果を調べるためには、放射線の種類、強度、エネルギーを制御しつつ個体レベル、細胞レベル、将来は DNA レベルにおける低線量放射線の影響を研究することが必要であり、そのためには高度な加速器利用技術が必要となる。

文科省
後半について
は、低線量放射
線の影響の研究
についての記
述であり、例え
ば「生体影響研
究」などとして
別項目を設け
てはどうか。

④_d) 材料開発

原子炉材料等の照射損傷の研究には、従来からイオン加速器や電子線加速器が広く利用されてきた。中性子による損傷研究の場合は材料試験炉等による重照射研究が中心であるが、こうした研究と合わせて損傷の素過程や機構解明のための手段としてイオン加速器が利用されている。TIARA に設置された 3 種類のイオンを同時に照射できるトリプルイオン照射施設は、こうした用途を目的にした世界的にもユニークな加速器施設である。この他、各種ケーブル等の絶縁材などの寿命を予測するために、電子線加速器を使った有機材料等に対する照射線損傷試験は、新たな材料の開発と合わせて行われている。

原子炉材料 IASCC やケーブル等の照射劣化の評価は、原子力施設の安全性や信頼性を担保する上で極めて重要であり、原子炉の長期利用が想定されることを踏まえると、照射劣化に伴う材料特性の研究や新たな材料の開発研究のための手段として、イオン加速器をはじめ様々な加速器、及び加速器からの放射光や中性子線の利用が益々重要になる。

④_e) 原子力技術としての加速器開発

将来、加速器技術が原子力利用のブレークスルーとなることが期待されており、このためには、目的に応じた加速器技術の開発が必要となる。例えば、核変換のためには 10mA 級の大電流 CW 陽子加速器が必要とされ、超伝導加速空洞や大電流イオン源の開発、大出力高周波源の開発が必然となる。また、トカマク核融合炉の加熱装置としての大電流重陽子加速器技術の応用、自由電子レーザーのための超伝導電子加速器の開発とエネルギー回収型への高度化等に代表される単目的型の加速器の開発と利用も行われており、こうした先端的な加速器技術は原子力利用の範囲にとどまらず、他の広範な加速器技術をも先導的な役割も担っている。

表3.1(3)-1 日本原子力研究所の加速器施設

加速器(所属)	エネルギー(MeV)	用途
日本原子力研究所		
電子リニアック(東海)	300	核反応、核構造
超伝導リニアック(東海)	38	FEL
コッククロフト電子線加速器(高崎)	2	高分子材料改質、排ガス処理、耐放射線性材料開発
コッククロフト電子線加速器(高崎)	3	複合材料開発、機能性材料開発、食品照射データ等
2MV バンデグラーフ(東海)	2	核反応、核構造、物性物理研究、放射線測定器開発
5.5MV バンデグラーフ(東海)	5.5	核反応、核構造、放射線測定器開発
4 MV バンデグラーフ(東海)	4	中性子測定器開発・校正
超伝導タンデム・ブースター(東海)	C: 250, Au: 910	重イオン原子核、超アクチノイド核化学、物質科学
重陽子加速器FNS(東海)	D: 0.4	核融合中性子工学(d-T中性子源)
負イオン加速静電加速器(那珂)	H: 0.4	1A級NBI 開発
TIARA(高崎)		
90MVサイクロトロン	H: 90, Xe: 450	耐宇宙線材料、核融合材料、バイオ技術、
3MVタンデム	H: 6, Ni: 15	機能材料開発等
3MV シングルエンド	H: 3	多重照射等の複合ビーム利用
400KV シングルエンド	Ar: 0.4	多重照射等の複合ビーム利用
J-PARC(東海)		
400MeVリニアック、3GeVシンクロトロン		中性子(生命科学、物質科学、産業利用)、核
SPRING-8(播磨)	8GeV	放射光利用研究
注: 赤は廃止した加速器 青は汎用型大型加速器		
大学(原子力関係)		
電子リニアック(北大)	45	中性子核物理、放射線化学他
バンデグラーフ(北大)	2.5	物性物理他
ダイナミトロン(東北大)	4.5	中性子物理・工学、中性子標準場、PIXE 他
サイクロトロン(東北大)	K=130	医療(PET)、RI 研究、中性子工学他
電子リニアック(東大)	35	中性子核物理、放射線化学他
電子リニアック(東大)	18	中性子核物理、放射線化学他
タンデムベレトロン(東大)	5	AMS、PIXE 他
タンデトロン(東大)	1.7	PIXE、物性(イオン注入)
タンデトロン(東大)	1	照射損傷(重照射)、物性(イオン注入)他
バンデグラーフ(名大)	3.75	中性子物理(放射化断面積)、放射線測定器開発他
バンデグラーフ(名大)	2.5	物性物理他
電子リニアック(京大炉)	46	中性子核物理、材料照射他
タンデトロン(京大)	1.7	中性子工学他
タンデトロン(京大)	1	照射損傷、イオン注入他
電子リニアック(京大)	45	FEL
CW:OKTAVIAN(阪大)	0.3	核融合中性子工学他
タンデムバンデグラーフ(九大)	10	中性子核物理他
CW	0.5	材料照射、放射線化学他
その他(研究機関)		
タンデトロン(放医研)	H: 3.4	元素分析、放射線科学他
サイクロトロン(物材機構)	H: 17	原子力材料他
タンデムバンデグラーフ(若狭湾エネ研)	5	材料、PIXE、AMS 他

(4) 医療への展開

現在、医療における加速器の利用は多岐に亘っている。日本人の死亡率の第1位をしめている悪性新生物による病気、いわゆる癌の死亡率は全体の約3分の1を占め、これに対する療法としての一つである放射線療法においては、殆どの装置が加速器を利用している。

電磁波放射線においては、外照射装置のコバルトや小線源治療としてのイリジウムなどを除いて、殆どの放射線治療はX線を用いており、その発生装置は電子ライナックであって、現在日本では、公共病院、個人病院を合わせて700台以上の電子加速器がX線治療に使用されている。エネルギー範囲は、6～20MeVに亘るが、近年はより高いエネルギーの加速器がふえつつある。

診断においては、SPECT (Single Photon Emission Computer Tomography) 用あるいはPET (Positron Emission Tomography) 用の放射性同位元素を作る為に、医療専用の小型サイクロトロン (主に10～20MeVの陽子及び重陽子加速) が製作され、国内でも商用化されて久しく、その数は既に70台近くになっている。特にPET敷設は今ブームともいえる様相を呈しており、どんどんその数は急速に増加しつつある。

事務局

これらにも増して、近年の医療に対する加速器の使用で特筆すべきは、粒子線治療の開発、そしてその普及への動きである。これには、陽子線、及び重粒子線 (今のところ炭素線) の2種類がある。

両者とも、治療法の研究開発において日本の果した歴史的役割は非常に大きく、また現状における進展状況も、世界的に断然他をリードしている。これらの加速器は粒子が癌腫瘍部分に到達する為に、陽子の場合約200MeV、炭素の場合核子あたり300～400MeVという医療用としては相当高いビームのエネルギーが要求され、大型の装置になっている。

筑波大学では高エネルギー研究所のブースターシンクロトロンからのビームを使用することで、医療照射装置を付置し、1983年から国内で初の本格的陽子線治療を開始した。以来、世界初の試みとして肝臓、食道、などを中心とした深部がんを対象にして、2000年までに計700人を治療した。また患者の呼吸同期法を開発し、この実績をもとに、専用の陽子線治療施設を新たに建設し、この施設の運用が2002年の秋から始まっている。

千葉県柏市にある国立ガンセンター東病院は、厚生労働省での陽子線治療施設

で、ベルギーのサイクロトロンの設計を導入し、日本側で製作、据え付け、調整を担当した。回転ガントリー2台で1998年より治療を開始している。

一方、重粒子線治療は、3.2 (4)で詳しく後述されるように放射線医学総合研究所で、世界初の医学専用重粒子加速器施設 (HIMAC) が建設され、1994 年から炭素線による本格的臨床試験治療を開始、身体の各部位に亘って現在まで9年間に約1500人の治療を実施している。

放医研の治療開始後、続いて兵庫県が県立粒子線医療センターの建設を決定し、重粒子線と陽子線の両者を具有し比較検討を目的とする施設とした。加速器の構成は HIMAC と同じであるが、炭素の最高エネルギーが 320MeV/n で全体の規模は約 $2/3$ 。陽子線用に回転ガントリーが2台ある。2001年陽子線、2002年炭素線による治療を開始した。

これに加えて福井県は若狭湾エネルギー研究センターを設立、地域の産業振興を目的としての静電加速器を据え付けたが、それにシンクロトロンを付加し治療にも兼用とし、2003年より陽子線による患者治療研究を開始した。また静岡県は県立静岡がんセンターの開設に伴い、陽子線治療施設を建設、2003年秋から患者治療を開始した。

以上のように、現在、日本では医療専用として建設された本格的粒子線治療施設 (陽子線および炭素線) は、5カ所あり、併用施設としての1カ所を含めると計6カ所で、世界的にみても他国より数段進んだ体制となっている。

外国では、旧来の原子核物理研究用の加速器を使つての陽子線治療施設は数多いが (大部分はエネルギーが低いので、治療患者数の多い施設は欧米人に多い眼瞼メラノーマ専用が大半である)、治療専用加速器施設として作られたものは現在陽子線2カ所だけであり、ロサンゼルス大学 (カリフォルニア) と北東陽子線治療施設 (ボストン) がある。

前者は1990年より稼働 (半数が前立腺患者)、後者は建設、調整が大幅に遅れ、2002年より稼働。他に、放医研の実績を参考に、1997年に開始したドイツ GSI の炭素線治療の実績 (頭頸部症例、年間20~30人) を基礎としてハイデルベルグに欧米初の炭素線治療施設の建設が本年より認められた。

なお、最近テキサスのアンダーソン病院で陽子線治療施設の建設が決まった。

以上から解るように、重粒子線治療は日本は少なくとも10年以上世界に水をあけてリードしており、陽子線をふくめた実績はある意味で突出しているのでは

あるが、重粒子線の治療効果が極めて優秀であることと、がん患者の発生、あるいは死亡数を考えると、この治療法を今後、できるだけ広く普及し、国民の要望に応じていくことが、最重要なる使命である。

国立ガンセンター及び兵庫県立粒子線医療センターでの陽子線治療が、治療試験から高度先進医療の認定を受けて、新しいシステムでの治療体制となり、放射線医学総合研究所の重粒子線治療施設も2003年11月より、国から高度先進医療の適用施設と認定された。

事務局
べき論で普及
していくもの
でない

放医研での経験に則し、今後この装置を全国に普及すべきであるが、一際の際の難点は施設が大規模になることと、必然的に高コストになることである。HIMACは研究用の色彩が強く、加速イオン種を含め、広い応用範囲をカバーする為に、大型になったなっているが。粒子線治療を普及させる為には、ハード的には装置自体の小型化、コストダウンに向けての技術の研究、また、普及するに際してのソフト体制の整備が必須であり、放医研を中心とし、医用原子力技術振興財団、加速器メーカー等の協力のもとにこの面での努力が継続されている。

事務局

文科省
3.2(4)章と
記述を調整す
る必要がない
か？

文科省
「粒子線高度
がん治療促進
研究整備事業」
は粒子線治療
の研究を促進す
るために施設整
備の一部を補助
する制度であり、
治療施設の整
備を目的とした
ものではなく、
趣旨にあわい
いものと考え
られるため、
削除。

~~それと共に、いざ治療施設を立ち上げる段階では、国としての資金援助が是非必要になると思われる。平成8年度より13年度まで、科学技術庁では「生活・地域科学技術研究施設整備費補助金」の一つの柱として「粒子線高度がん治療促進研究整備事業」が創設され、自治体対象に、5年間30億円の交付金制度が創設された。この結果、兵庫県と静岡県がこの制度を利用して、施設の建設を行った。その後、文部科学省となってこの制度は継続されていないが、是非ともこの制度と類似の事業を立ち上げることが望ましく、また重粒子線施設建設のためには、現時点で増額が必要である。~~

(5) 産業基盤技術開発と工業利用

我が国の新技術や新産業の創出を図るためには、産学の共同研究開発や研究開発成果の民間での利用促進を図ることが必要である。加速器科学の応用は、現在、主として大学や国立研究機関等で行われているが、民間、特に地域産業や中小企業における利用の普及促進を図ることによって、広く産業・地域の活性化につながると考えられる。また、研究成果の具体的な技術移転に関しては、技術移転システムを効果的に機能させるとともに、知的所有権やさまざまなノウハウを含む成果活用方法の整備が不可欠である。

事務局
具体例を入れるなどして、一般国民にも容易に加速器の産業利用の意義が理解できるようにしてはどうか

イオン加速器の産業利用については、半導体への不純物導入としてのイオン注入技術が1970-80年代に大きく普及した(E; 数10keV~数MeV)。またRBS/PIXE等分析技術の利用も普及しており、一部は加速器利用技術というよりは、分析技術として市民権を得ている。また電子線型加速器は、電子入射器・非破壊検査・滅菌処理・加工分析等に利用されてきた。陽電子発生利用・自由電子レーザー(FEL)発生・フェムト秒X線発生などは最近の電子線型加速器利用のユニークな例である。両加速器とも、産業の現場で使えるという利点を有しており、今後は新たな性能の賦与と同時に小型化・簡便化・低コスト化などが課題である。

事務局
加速器自身がビックサイエンスであるとの認識からすると、もう少し言葉を足して説明した方がよいのでは

一方、放射光利用は、分野の異なるスモールサイエンス(少人数で行う科学)の集合であり、また産学官にまたがる学際、業際分野である。具体的な利用目的は、イメージングおよび微小部分分析、表面・界面の構造/組成解析、単分子レベルの機能計測、高速蛋白結晶構造解析等、非常に多彩性に富んでいる。特に最近ではライフサイエンス分野の利用のニーズが急速に増えており、ポストゲノムの本命と考えられている有用蛋白質の研究と関連分野である創薬への応用が期待されている。また環境保全と結びついた触媒、電池材料等の研究で成果が期待される。さらに放射光を深部までの微細加工に利用するLIGAプロセスも利用範囲が広がっている。

文科省

放射光利用技術としては小型放射光施設を現場で建設・利用する場合と、大型共同利用施設を利用する場合がある。小型放射光施設開発は1980-90年代に、我が国で特に活発化し、日本は世界で中小放射光開発・利用の最も盛んな国になった。大学・公的研究機関・産業界には技術が蓄積されており、今後もこれらの技術を有効に活用すべきである。また大型先端研究施設SPring-8は、高輝度放射光の産官学の共同利用施設であり、最近では産業利用が活発化しており、自社で

の研究開発の課題解決へ利用したいという要望が強い。今後の施策としては、産業応用優先のビームラインの増加、利用機会の増大、コンサルティング・技術支援・指導の充実などが課題である。