

話 題 (Ⅷ)

原子力先端研究国際シンポジウム—加速器による新展開—  
International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research  
— Evolution by Accelerator —

(原 研) 水 本 元 治

1990年 1月24日～26日の3日間、水戸プラザホテルを会場にして、日本原子力研究所の主催、日本原子力学会、日本物理学会の後援で第2回原子力先端国際シンポジウムが開催された。会議は、元日本学術会議会長伏見康治氏、英国ラザフォード・アップルトン研究所 (RAL) 所長 P.R.Williams氏を始め、内外の著名な加速器研究者、原子力分野の専門家等600名にも及ぶ参加者を集めて行われた。会議のテーマは近年急速な進歩と利用への発展を見ている加速器技術を展望し、原子力を機軸とした新たな研究課題を議論すること、またこの議論を通じて、加速器技術者と、原子力研究者の交流を計り、加速器の応用における原子力研究の新しい展開を探求することであった。

会議では、特別講演2件、招待講演17件、ポスター発表112件とパネル討論が行われた。冒頭の特別講演では、伏見康治氏が「日本における加速器の過去と未来」という題で講演し、戦後我国の加速器開発が如何に進められてきたかを紹介し、また基礎的な研究に用いられてきた加速器が工学的な応用の広がりを見せつつある現状を解説した。RALのWilliams氏は核破砕中性子源ISISでの成果を例として、高エネルギー陽子加速器が強力な中性子源、中間子源として利用され物質の研究を行う上で有力な手段となっていること紹介した。

その後、引き続き招待講演が行われ、前半のセッションでは、国内外の加速器計画を中心に7件、後半のセッションでは加速器の利用に関して10件の発表が行われた。以下順を追ってその内容を紹介する。(この内容はシンポジウム企画調整部会が原研内資料として取りまとめたものを基礎としている。)

セッション I

I-1 大型陽子加速器の動向 山崎敏光 (東京大学原子核研究所所長)

大ハドロン計画 (JHP) では新たな加速器複合群により、高強度陽子をベースとする各種の不安定2次粒子ビームを作り出すことを目的としている。1GeVのリニアックと、コンプレッサーとストレッチャーとにより、パルスまたは連続陽子ビームが作られる。パルスビームはミューオン源 (Mアリーナ) と核破砕中性子 (Nアリーナ) のために利用され、陽子ビームの一部は不安定核を生成し、さらに核子当り数MeVまで加速される (Eアリーナ)。この大型加速器システムは素粒子物理・核物理の他ミューオン科学、熱中性子散乱による物性研究などの広範囲な基礎科学分野への適用が計画されている。

#### I-2 大強度陽子加速器計画 金子義彦（原研原子炉工学部長）

原子力エネルギーが、今後とも社会に受け入れられていくためには、核廃棄物処理技術の確立が必要である。大型陽子加速器を用いて、半減期の長いTRU核種を1000年程度の隔離期間内で放射能がほとんど自然消失するように核種変換してしまう技術の開発がオメガ計画の一環として提起された。この大強度陽子加速器計画は1.5GeV、10mA級の工学試験用陽子リニアックの建設を中核とするものでハイブリッド型消滅プラント等の技術開発を主目的とする。また、核燃料の生産等の工学的利用研究、パルス中性子源として基礎科学の分野への適用も考えられる。

#### I-3 強力中性子源 R.A.Jameson（ロスアラモス国立研究所主任研究員）

エネルギー選択型中性子照射試験施設（ESNIT）等材料研究開発用加速器型中性子源の概要を述べるとともに、大強度リニアックにおいて重要な加速器とビーム輸送系に於けるビーム損失を最小にするための技術の現状を紹介した。また、中性子源の中性子分布の平坦化のため多重ビームやビームプロファイルの制御に関する技術についても概括した。その他、ロスアラモス研究所で提案されているトリチウム生産用大強度陽子リニアック（ATP）計画の概要を報告した。

#### I-4 第3世代放射光の技術的挑戦 M.Cornacchia（スタンフォード大教授）

第3世代光源と呼ばれる放射光施設の世界に於ける建設プロジェクトを紹介した。また、シンクロトロン放射光の発生原理、そのための電子（陽電子）加速器の性能に就いて解説した。挿入光源を主な放射光発生源とする第3世代リングで重要なラティス（加速器の磁石配置）として、原研・理研共同プロジェクトである大型放射光施設用ストレージリングのラティス設計を紹介した。さらに、今後加速器建設を行うに際し、留意すべき技術的問題点の指摘、第4世代放射光源用加速器に要求される性能・仕様についての提案した。

#### I-5 自由電子レーザー C.A.Brau（バンダービルト大学教授）

自由電子レーザー（FEL）が最初に発振してから13年が経過し、波長可変と高出力という特徴が発揮されようとしている。FELの原理と、従来型レーザーより優れている点（マイクロ波より10mm（軟X線）にわたる範囲で、連続的にコヒーレントな光が得られ、大出力化可能）を解説し、将来の応用として、Vanderbilt大学のFEL研究施設で予定されている研究テーマ（生医学、固体物理、光化学）を中心にFEL利用の先端的研究を紹介した。

#### I-6 放射線高度利用加速器計画 丸山倫夫（原研放射線高度利用研究推進室長）

原研高崎研ではイオンビームを用いた材料研究として放射線高度利用を推進している。イオン加速器としてECRイオン源付きのサイクロトロン、3MVタンデム加速器、3MVヴァンデグラーフ加速器。400keVイオン注入装置が整備される。この施設では、各種イオンのパルス照射、拡大照射野、マイクロビーム照射、デュアル/トリプルビーム照射が可能である、これらの施設整備

計画とともにこれらを利用した宇宙環境材料、核融合、バイオ技術、新機能材料等先端的研究に就いての展望を示した。

#### I-7 重イオン加速器諸計画 平尾泰男（放医研医学用重イオン粒子線研究部長）

重イオンビームの応用として、新しい核物理研究、慣性閉じ込め核融合および癌治療がある。重イオン加速器はタンデム、サイクロトロンあるいはリニアック+シンクロトロンを使うなど、タイプ及び目的に応じ多様である。ここでは特に高エネルギーの代表的な装置についてその概要のザーベイがなされた。癌治療などへの応用は重要な項目であり、そのために建設中の放医研のHIMAC計画を詳しく紹介した。

### セッション II

#### II-1 核燃料サイクルにおける加速器技術の役割 高橋博（ブルックヘブン国立研究所主幹研究員）

核燃料サイクル確立を目的としてTRUおよび $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ などの核分裂生成物の消滅処理、さらに核燃料増殖の研究を歴史的に説明し、特に大強度陽子加速器の潜在的ポテンシャル、核破砕中性子源を基にした未臨界系の利点を解説した。この発表は、原子力エネルギー開発研究を進める上で重要な選択肢を与えるものであり、計画推進に就いて議論を深めて行くことの重要性を指摘した。

#### II-2 原子力材料の研究 大野英雄（原研主任研究員）

核融合炉を始めとする新しい核エネルギーシステム開発に不可欠な耐放射線、低放射化材料の開発のために必要とされる照射用中性子源の概要を発表した。とくに現在原研が中心となって計画を進めているd-Li反応を利用したエネルギー選択型中性子照射研究施設（ESNIT）構想及び今後必要とされる研究課題を展望した。

#### II-3 加速器を用いた放射性同位元素（RI）の生産 S.M.Qaim（ユーリッヒ原子核研究所）

医学、治療、生物学及び工業の分野で利用されているRIの生産において、加速器が果たしている中心的役割について述べた。近年需要は多様化、かつ特殊化しており、質の高いRIを安定に供給するには目的用途に応じて規模の小さい加速器（～MeV単一粒子）から核破砕中性子源用大規模加速器を含めた調和の取れた組合せが必須であることを強調した。

#### II-4 粒子加速器の医療への応用 坂本澄彦（東北大学教授）

加速器による高速中性子、陽子、負パイ中間子、重イオン等の粒子線を用いた最近の医療技術の著しい発展を紹介した。とりわけ癌治療において大きな成果が挙げられており、また粒子線を利用した診断技術の研究に期待が寄せられている。

## II-5 シンクロトロン放射を利用した材料科学 千川純一（高エネルギー物理学研究所教授）

高エネルギー円形電子加速器から放出される高強度シンクロトロン放射光源（SR）がもたらす新しい科学分野、物質の構造と物性の相関研究、エレクトロニクスデバイス開発、バイオテクノロジーを含んだ新物質創製について述べた。この理想的な光源であるSRは今までの方法では不可能であった物質構造の解明、X線磁気散乱、タンパク質微結晶構造解析、表面原子層の2次元構造解析に成果を挙げている。一方、半導体リソグラフィ、光エッチングによる材料加工技術を高め広い応用分野をつくり出している。

## II-6 大出力粒子ビームを用いた核融合炉の開発 小原祥裕（原研主任研究員）

核融合炉開発研究に於けるプラズマ加熱およびプラズマ計測に大出力中性粒子ビーム（NBI）が果たしている役割について、原研のNBIイオン源開発を中心に紹介した。次段階のD-T燃焼ではプラズマ加熱に加え定常運転のための電流駆動を目標にして50MWを越えるNBIの大出力化が要求されており、これを実現するために大電流高エネルギー負イオン源の開発が精力的に進められている。この技術は核融合開発のみならず次世代の大強度大型加速器計画について不可欠なものである。

## II-7 新素材創出 難波進（大阪大学教授）

イオンビームによる材料改質の分野では、従来、半導体や金属についてイオン注入、スパッタリングミキシング等の技術が応用されてきた。しかし、最近では化学反応やin-situの蒸気化を利用したイオン誘起ケミカルデポジションやイオン蒸気法等により新材料創製の研究が進んでいる。得られる材料は、低温かつ高励起状態で生成し得ない新物質である。このような新技術によりイオンビーム利用は、研究の目的に留まらず、工業利用においても益々発展するものと予想される。

## II-8 加速器質量分析 A.E.Litherland（トロント大学教授）

加速器質量分析は、存在比 $10^{-12}$ ～ $10^{-15}$ の微量アイソトープの分析が可能でありその高感度に特徴がある。現在広く、人類学、考古学、地球及び惑星の化学特に気象学、水分学、魴物探査等に应用されている。また、環境及び医療分野でも利用が着実に増えている。今後は、人間活動に伴う微量分析の要請、例えば原子力利用で得られたアクチニドを含む長寿命放射性元素の環境レベル測定等でも重要な役割を果たすと期待される。

## II-9 物性研究 遠藤康夫（東北大学教授）

強力陽子加速器の物性研究への応用では、 $\mu$ SRと中性子散乱が重要な役割を担う。パルス状加速器中性子は飛行時間法の使用、熱外中性子の利用により幅広いQ-R空間の測定を可能にした。KENS、ISIS、LANCEなどの強力中性子散乱施設の完成により、高温超伝導体の結晶構造の精密化

や励起レベルの測定に実績を上げている。

## II-10 核破砕強力中性子源の建設および応用に関する核データ C.D.Bowman (ロスアラモス国立研究所主任研究員)

ロスアラモス研究所のLAMPF (PSR) 加速器で養われた技術的蓄積を基に使用済み核燃料燃焼用 (エネルギー1.6GeV電流、250mAの大出力陽子加速器) 核破砕強力中性子源センター構想を紹介した。この装置では、TW級のパルス陽子バーストにより最大 $10^{23}$  / 秒/ $m^2$  の中性子生成が予想され、消滅処理、 $^3T$  生産に可能性を示すものである。この装置を実現するためには、加速器そのものの開発に加えターゲット系の熱設計の他、高エネルギー陽子による核破砕反応率、中性子発生率、高エネルギー中性子による核分裂率、加速器構成要素並びに周辺構造材の核変換率などの基本的な核データの整備が、特に低放射化の問題に関する材料選択に大きな影響を与えている点で重要であることを紹介した。

### パネル討論 「原子力開発と加速器」

- 司会 住田健二 (大阪大学教授)
- パネリスト 鹿園直基 (原研東海研究所副所長)  
R.A. Jameson (ロスアラモス国立研究所主任研究員)  
渡辺昇 (高エネルギー物理学研究所教授)  
宮原昭 (核融合科学研究所教授)  
高橋博 (ブルックヘブン国立研究所主幹研究員)

「原子力開発と加速器」- 強力中性子源、強力中性子源によるブレイクスルーへの期待- と題し、先端的加速器の工学利用により大きな進展が期待される原子力関連分野、及び加速器の技術的課題に就いての発表と討論が行われた。

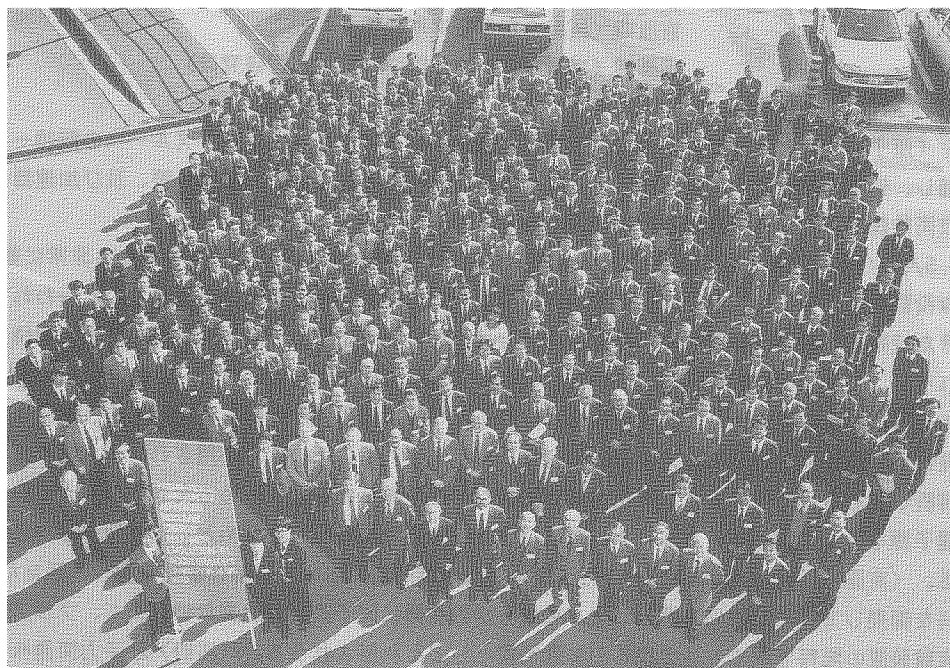
5人のパネリストからの発表の主な点は、(鹿園) 加速器は、原子力開発当初から非常に豊富な役割を果たしてきており、今後は、進歩の著しい加速器技術と原子力分野において培われてきた技術の融合による大強度加速器の実現と、それによる原子力の新たな分野の開拓が期待される。(Jameson) ロスアラモス研究所1.6GeV、250mAの陽子加速器(ATP)の例のように、大型加速器は技術的には十分に実現の見通しがある。(渡辺) 陽子加速器を利用した中性子源は物性物理等基礎科学研究の強力な手段に留まらず、工学利用にも幅広く応用されつつある。構造解析を主たる目的とするさらに強力で経済的な中性子源への要求は極めて大きい、加えて強力陽子源を介して創られるミュオン源は、ミュオン触媒核融合を始めとした利用が期待される。(宮原) ESNITのように強力中性子源は、強中性子場における材料の挙動を調べ、新たな材料を開発して行くための道具として、核融合炉の開発に欠くことが出来ない。また、プラズマ実験装置の燃料であるトリチウムの生産手段としても利用されうる。(高橋) 原子力開発への

加速器の直接的な応用として、核破砕反応を利用した長寿命放射性廃棄物の消滅処理や核燃料増殖等の可能性は大きく、加速器未臨界体系を組み合わせたハイブリッド炉は魅力的である。

一般参加者から、大出力加速器開発の技術開発課題と大型加速器の経済性、先端技術開発に於ける社会的・国際的責任、医療分野に置ける大型加速器の重要性、開発途上国に置ける小型加速器の役割、大学に置ける加速器科学教育の必要性等の意見が出された。最後に、強力中性子源、強陽子源の開発では、放射性安全、遠隔操作技術など利用に関わる周辺技術が非常に重要であることが指摘された。

### まとめ

今回のシンポジウムには研究所、大学のみならず一般企業からも予想を上回る多数の参加者が集まり、原子力分野への加速器の利用について、大きな関心もたれていることが明らかとなった。また、加速器による原子力研究の新展開についても積極的に活発な意見交換が行われた。シンポジウムは、1988年に行われた核データ国際会議と同じ会場が用いられ、会議を開催する上で、国際会議開催の際の多くの経験が生かされことも特記されよう。さらに、招待講演者、セッション司会者のなかに多数の核データ関係者が含まれていた事実が示すように、原子力への加速器の利用と今後の核データ活動の密接な関連も強く印象づけた。



参加者全員の記念写真