

加速器検討会 今後の検討内容について（論点整理メモ）

平成 15 年 4 月 21 日  
原子力委員会事務局

本検討会の今後の検討内容については、これまでの検討会における審議の内容及び検討会委員の意見を踏まえると、当面、以下の事項について検討を進めることが考えられる。

1. 我が国の加速器研究開発利用の全体像のとりまとめ

(1) 加速器を利用した研究や加速器の開発等に携わっている専門家等から、以下のような観点で発表していただき、これをもとに、検討会において我が国における加速器研究開発の位置付け、あり方について検討を行う。

加速器を利用している方からお聞きする項目

利用者の立場から考える加速器の有用性

加速器の開発者に対する要望

次世代の加速器に期待すること

国または国の研究開発機関（原子力新法人、KEKなど）に期待すること

加速器の開発に携わっている方からお聞きする項目

自らが関わっている分野についての将来展望、国際競争・分担の現状

我が国が当該分野を国際的に主導する能力、メリット

他の加速器分野に比べた新規性、メリット

国または国の研究開発機関（原子力新法人、KEKなど）に期待すること

上記に記述した観点で、種々の加速器についての現状を明らかにし（大型放射光施設、重粒子線がん治療装置、大強度陽子加速器、RIビームファクトリーといった現在進行中の大型加速器計画のフォローアップが必要）、位置付けや意義を示しつつ、国際的な視点から、加速器分野の将来展望をとりまとめる。

また、我が国が次代の加速器計画に着手することの必要性や最優先とすべき計画を明らかにする。

(2) 国内外加速器の利用実態に関する調査を基礎データの一つとしつつ、中小型加速器の開発・利用促進方策、教育用加速器についての方向性について、原子力委員会として取り扱う範囲も含め、検討を行う。

2. 大型加速器計画のフォローアップ

上記 1. (1) の観点から、我が国において現在進行中の大型加速器計画のフォローアップを行い、計画の実施状況・進捗状況の把握に努める。

## 加速器検討会委員から頂いた主な意見

## 1. 研究用大型加速器について日本が果たすべき役割

- ・ 国内、国外の現在稼働中の、大型加速器における研究の動向調査。それぞれの研究施設で行われている研究は、いくつかの研究（学問）分野にわたっていることが多いであろうから、分野をわけて調べる必要がある。研究の際に必要な測定装置等の要求がどれだけ満たされているか、加速器に関してどのような改善計画があるかなどのデータも必要である（これは、以下の建設中のものに関しても同様である）。
- ・ 国内、国外の建設中の加速器に関する、進行状況、研究計画。更にこれに併せて、加速器の完成時において、重要課題として考えられている研究にすぐに取り掛かることが出来るだけの測定装置まで、計画の一環の中に入っているか、また加速器が稼働したのちに、出される多くの実験計画や加速器の改善に対し、どのように予算措置が取られていくかも調べる必要がある。
- ・ 将来計画として、日本を含め世界でどのような加速器（当然研究テーマを含む）が検討されているか。
- ・ 1) Ultimate Hard X-ray Source ESRF(仏)、APS(米)、SPring8(日)等いわゆる第3世代放射光源が既に稼働し多くの成果を挙げているが、今後もより高輝度な放射光源の重要性が増すと予想され、リングの大型化による超高輝度化(UHXS; Ultimate Hard X-ray Source)が世界的にも検討されている。この場合、建設コスト等もあり、ビームエネルギーよりむしろ超低エミッタンス化による輝度の更なる向上と、放射光 X 線の横方向空間コヒーレンスの向上がキーポイントとなる。このような観点から、リングの具体的なスペックとして、エネルギーは SPring8 と同クラス、周長は SPring8 より一回り大きいサイズ (2km - 2.5km)、エミッタンスは  $0.1 \text{ nmrad}$ 、輝度 (Average Brilliance) は  $10^{22}$  のオーダーが要求される。このレベルの大型放射光施設の建設は世界的スケールで考えるべきであり、わが国に建設する必要があるかどうかは更に検討が必要である。ただ、わが国は既に世界最大の放射光リング SPring8 をはじめ、KEK B-factory 等大型加速器建設の技術と知見を持っているので、UHXS 開発に関しても、積極的な技術協力を行って行く必要があろう。
- ・ 2) Energy Recovery Linac と X 線自由電子レーザー大型放射光施設の目標は、物質科学、ライフサイエンス、環境、医療などに係わる複雑な分子構造の単一分子状態での解明や、科学反応のリアルタイム観測などが考えられるが、これらの要求には X 線の高輝度化とともに、フェムト秒オーダーの短パルス化が重要となる。これらを満足する新しい放射光源として、エネルギー回収型リニアック (ERL; Energy Recovery Linac) をベースとする放射光源や、超低エミッタンス高エネルギーリニアックに SASE (Self Amplified Spontaneous Emission) の手法を組み合わせた X 線自由電子レーザー (XFEL) がある。これらの研究は欧米で既に先行して研究が進んでおり、特に XFEL は、ドイツと米国で装置開発が進みつつある。日本でも SPring8 サイトで比較的小規模ながら装置開発を開始する段階に入った。これらの研究は最先端科学技術を支えるため、今後も積極的に進める分野であると思われる。ERL を用いる

放射光源に関しては、XFELに比べ、より汎用性・実用性に優れた手法と言え、また欧米においてもいまだ構想段階であることを考えると、今後世界の最先端に打って出る分野として、国内の構想を早急にまとめることが重要と思われる。

- ・ 中規模の硬 X 線加速器に関する考え方：上述のような大型加速器の研究開発は、科学技術の発展のため不可欠ではあるが、建設コストはもとより、利用できるマシンタイム、マシンの立地等ユーザーの利便性を考えた場合、むしろ中規模の加速器で対応することが現実的な場合も多い。ここで言う中規模加速器とは、例えば蓄積リングの場合は 2.5 - 4GeV クラスのものを指し、最近ではアンジュレータのシム技術、真空封止技術、リングのトップ・アップ運転などにより、硬 X 線利用研究のかなりの部分はこの規模の加速器でも対応が可能と考えられる。世界的には、DIAMOND(英)、SOLEIL(仏)、SSRF(中国)等 8 つの加速器が建設中あるいは提案中である。このクラスのマシンは基本的に硬 X 線利用を目指すものであり、SPring8 が既に稼働している現状で、国内にこのクラスのマシンを建設する必然性は今のところ少ないが、既存のリングのアップグレードという形でこの領域を狙うことは十分意味がある。
- ・ 中型加速器に関する考え方：ここでは便宜上、中型加速器として 1 - 2.5GeV クラスと定義することとする。このクラスは光子エネルギーとして極紫外から軟 X 線域を目指す放射光源として重要である。このエネルギー域は、物質の特性（原子レベルでの構造や電子状態）を観測するのに不可欠であり、また材料の局所構造解析、元素分析、偏光特性を利用した磁気的性質の解明、生体イメージング等、硬 X 線利用に重点をおいた大型加速器と相補的な位置づけで、非常に重要である。国内では KEK の PF や、分子研の UVSOR がこの範疇に入る。これらの装置はアップグレードによる高輝度化が行われているが、エミッタンスや輝度を考えた場合、未だ十分とは言えない。現在検討中の東大/東北大の極紫外・軟 X 線放射光源計画を含めて、このクラスの高輝度マシン開発は実用面、建設コスト面から見て今後も重要と考えられる。
- ・ 小型加速器についての考え方：ここでは便宜上、小型加速器として 1GeV 以下クラスと定義する。このクラスも光子エネルギー的には極紫外から軟 X 線域を目指す放射光源であるが、更に低エネルギーの遠紫外 - 真空紫外や赤外光源としても重要である。利用分野としては中型加速器同様、物質の原子レベルでの構造や電子状態の観測の他、生体観測、表面分子分析などに利用可能である。またこのクラスの加速器の内、周長 50m 以下クラスの小型装置は、そのフレキシビリティに大きなメリットがある。大・中型の加速器は基本的にはマルチユーザーマシンであり、マシンの動作パラメータを頻繁に変更することは不可能である。また、マシンの動作状態を大きく変えて、新たな量子放射を発生利用するような改造は原則的に不可能である。これに対して小型加速器では、ユーザーが限られるものの、チャレンジングな光源開発が可能となる。また開発コスト面でのリスクも小さい。例えば産総研の TERA、NIJI 等は極めて小型の装置（周長 30 エネルギー 0.3 - 0.8GeV）であるが、通常の放射光に加えて、高速変更可変アンジュレータによる偏光変調分光、レーザー逆コンプトン散乱線による金属内部の非破壊検査、赤外 - 真空紫外自由電子レーザー等の発生等や、これらの複合利用も可能である。この様な小型の加速器の開発も、上記の様な大・中型加速器を相補するものとして非常に重要であると考えられる。尚、これらに関

連して、産業応用を目指した実用サイズの小型リニアックをベースとする新しい量子放射源開発も今後重要となると考えられる。

- ・ 加速器駆動核変換システム (ADS) の実用化開発への利用：理化学研究所が建設中の超伝導リングサイクロトロン (世界初) の技術と、スイス PSI のリングサイクロトロンによる陽子 590 MeV 1.8mA の連続ビームの供給技術を結合して、超伝導リングサイクロトロンによる大電流ビームの加速を実現する。これにより経済的な高エネルギー大強度陽子ビームの供給が可能となり、加速器駆動核変換システム (ADS) の実用化開発を促進できる。
- ・ 加速器研究分野、特に基礎研究に関連した競争的資金制度を作る。最近では加速器を建設しても研究費は別にと風に言われるが、加速器を建設した 目的を遂行するためにはまとまった研究資金が必要である。しかしまだそのような資金制度は加速器分野にはない。
- ・ RIBF の建設の加速 (長計のフォローアップ)
- ・ J - Parc の建設
- ・ 全国の加速器科学のこれから 10 - 20 年の戦略
- ・ 大型加速器で日本が果たすべき役割は、未知への挑戦である。装置の大型化を進めてきたが、JLC 程度が限界ではないか。ここで発想を転換して、新しい原理の加速器は考えられないものか。
- ・ すでに設置してある設備のバージョンアップの長期計画はどうあるべきか。
- ・ 設備の建設維持に最先端技術を適用して行くに際し、国内外メーカーの育成葉どのようにあるべきか。

## 2. 教育用加速器についての方向性及びサポート方策

- ・ 大型加速器のカテゴリーに入っているようだが、実際には中、小型のものが多くはないか
- ・ 教育用加速器の使われ方は様々であろう。このような装置に対して外部評価出来るようなシステム (個々の加速器を個々の委員会が評価するのではなく、いくつかのものを比較検討して行うようなもの) を考えることは出来ないだろうか。
- ・ 国立大学においては、独立法人化との関連で、各大学が独自に検討を行うことはないのか。古い加速器が、ある程度整理されることを期待する (もしこのようなことが実際に進行しているのなら、前回の加速器に関する調査のこの部分は書き換えが必要になる)。
- ・ 教育用、技術者等養成用として安価な設備は作れないものか。

## 3. 中小型の工業用・医療用等加速器の開発・利用促進方策

- ・ この委員会として、この分野の事柄をどこまで扱うのかを、議論した方が良くはないか。
- ・ 高信頼、低価格で使い易い加速器の開発：現在 PET (ポジトロン断層撮影) 診断施設の建設が盛んである。その主要装置として、F-18 O-15 など短寿命 RI の製造に小型サイクロトロンが使われている。PET はガンの治療効果などの実時間判定にも大変有

効であり、今後アルツハイマ早期発見等、ますます活用が期待される。一方 PIXE の様な微量分析技術が、今後の環境汚染の原因分析など広い分野で必要となる。また加速器を使用して得られる放射光は物質の構造分析や医療、バイオ等のナノテクノロジー基盤研究に広く利用されているが、研究者の間では施設が少なく研究時間がとれないとの声が聞かれる。これからの国際競争ではこのような基盤技術の層の厚さが重要になってくる。各主要大学 / 研究施設に小型放射光設備を設置し、必要な時に、身近に利用できる施設があれば研究は飛躍的に進み大きな成果が期待できる。上記の目的のため、高信頼、低価格で使い易い加速器が望まれる。

- ・ フェムト秒 X 線を発生する実用的な装置の開発：加速された電子とレーザーの逆コンプトン散乱で小型の施設でフェムト秒の X 線が得られるようになってきた。高速移動体を停止させる事無く内部欠陥などを発見するのに用いる事が出来る。さらに、フェムト秒の X 線を用いると化学反応の過渡的な変化や高速で変化している物の瞬間の状況を (strikethrough: X 線で) 捉える事が可能になる。また、硬 X 線も得やすい為、物資の構造解析や回折型 X 線レントゲンの利用も考えられる。これらのためには安定してフェムト秒 X 線を発生する実用的な装置の開発が必要となる。フェムト秒 X 線の技術はまだ実用的なレベルではないが日本のフェムト秒テクノロジーは世界的なレベルに來ているので、世界に先駆けた事業が創製出来る。
- ・ 人間生活の質と利便性向上が役割である。このためには、使いやすいことが第一である。現在すでに種々の改良がなされているが、まだ大きく、重く、使いにくい。これを改良する何か画期的なアイデアはないものか。
- ・ 医療や放射線利用の分野の法規制で、さらなる普及の妨げになっている不要な法規制はないか。
- ・ 地方自治体に加速器を設置する動きがいくつか見られるが、設置にあたりコメントしてあげることがもっとないか。
- ・ 加速器のユーザ層の開拓と育成に技術や法規制面から何かリードすべきことはないか。