



技術解説

14 MeV 中性子源—世界の動向

高橋 亮 人*

1. はじめに

14MeV 中性子源利用の歴史をみると、1932年の中性子の発見を契機としてまず核物理・中性子物理研究の実験道具として使用が始まったと思われる。これは、Ra-Be のような放射性同位元素を用いる小さな中性子源以外では、D-T 反応 ($D+T \rightarrow 14\text{MeV } n + {}^4\text{He}$) を用いる加速器 (コッククロフト型) 中性子源が最も建設容易であった事情によるであろう。次に第2次大戦中の米欧での原爆と原子炉の開発研究にあたり、媒質中の中性子挙動や核反応データ測定のような基礎研究に利用されてきたようである。筆者が工学部旧枚方学舎で研究を開始した時期 (昭和38年ごろ) は、日本における原子力開発・研究用原子炉利用が開始されて間もない頃であったが、やはりコッククロフト型 14 MeV 中性子源が建設されていて原子炉物理の基礎研究が始まっていたのは、同じ流れであろう。原子炉物理の研究用としては、中性子は 14 MeV である必要はない。したがって D-T 反応は単に“中性子”を発生し D⁺ ビームにより制御可能な“線源”として利用されてきた。

しかし、1970年頃よりの核融合研究の急速な進展に伴い、核融合炉の実現が期待にのぼるようになった。またそれに伴い、14 MeV 中性子源が新たに注目されることとなった。これは、諸核融合反応のうち D-T 反応が最も実現容易 (最も低いエネルギーで反応する) で出力密度が最も高くエネルギーを取り出す炉には最も優れた反応である事実により、初期核融合炉は D-T 炉となるというのが、大方の結論になってきたからである。したがって、核融合炉の材

料損傷研究・中性子による核融合エネルギー取り出しと天然に産しない燃料であるトリチウム (T) の Li からの生産の研究・D-T 反応プラズマの計測の研究・14 MeV 中性子による放射化と遮蔽の研究、等々のために必要な中性子源は“14 MeV 中性子源”である必要性が生じた。また主に材料損傷の研究のため、強出力中性子源 (Infense 14MeV Neutron Source) が必要とされるに至ったために、米国・日本でいわゆる“強力” 14 MeV 中性子源が建設された。これについてはすでに、住田健二氏が本誌に紹介しておられる¹⁾²⁾。しかしその後、東欧や中国でも計画が進み建設が開始されているので、最近の動向を加えて利用状況及び装置の問題点に後でふれたい。

一方、14 MeV 中性子は、原子炉の中性子 (発生平均エネルギー 2 MeV、熱中性子まで減速して利用することが多い)、ライナックからの光中性子 ($\gamma - n$ 反応) や spallation 中性子と異なり、単色であることと各物質と核変換を伴う多くのしきり反応をおこすという特色がある。そのため基礎研究面での核物理・放射化学への応用のみならず、放射化分析を用いての鉄及び金属工業・農業・地球化学・鉱業等への応用や、ガン治療等の医学への応用も行われてきた。

筆者は、大阪大学強力 14 MeV 中性子源 (オクタビアン)²⁾ の建設とそれを利用した研究発表のため参加した数回の国際会議のうちに、各国の 14 MeV 中性子源建設・利用の状況をかい間見る機会を得た。また国際原子力機関 (IAEA) が国連の開発途上国援助の一つとして行っている 14 MeV 中性子源提供計画にのっとり、タイ国チェンマイ大学に専門家派遣員として滞在したおりに、途上国における 14 MeV 中性子源建設と利用について若干の体験をする

*高橋亮人 (Akito TAKAHASHI), 大阪大学工学部, 原子力工学教室, 工博, 助教授, 核融合中性子工学

機会を得た。本稿では、先進・途上を含めた各国での状況について、建設及び改良の問題点にふれながら概説してみたい。

なお、プラズマ閉じこめ装置を用いる14 MeV 中性子源やトリチウム加速のもの（LANL のINS 計画）は、概念の段階にあり、実用化には遠いのでふれない。

2. 回転ターゲット型強 14 MeV 中性子源

1970年頃までの14MeV 中性子源は、RF イオン源と固定水冷ターゲットを用いるものが殆んどで、 D^+ ビーム電流は普通数百 μA から多くて2 mA 程度であったから、平均中性子発生量は $10^9 \sim 10^{10} n/s$ であった。その後デュオプラズマトロンイオン源の普及により、10mA \sim 20mA の D^+ ビームを300 \sim 400kV 加速で100時間以上連続で使用することが可能となった。この場合に、3 \sim 8 kw のターゲットにおける発熱を除去するため回転ターゲット方式が考えられ、中性子発生量 $3 \sim 5 \times 10^{12} n/s$ の 14 MeV 中性子源が建設されるようになった²⁾。米国の RTNS-I、日本のオクタピアン（阪大）と FNS（原研）、米国の RTNS-II、等がそれである。

米国リバモア研究所（LLNL）においては当初、 D^+ ビーム電流20mA で400kV 加速、回転ターゲットを用いる RTNS-I が建設され、発生量 $5 \times 10^{12} n/s$ を実現した。その後、スケールアップされた2号機 RTNS-II が建設され、現在直流ビーム電流 \sim 120mA \cdot 400kV 加速 \cdot 中

性子発生量 $\sim 2 \times 10^{13} n/s$ で運転されていて、世界最強の14 MeV 中性子源となっている。

RTNS-II は、核融合材料研究用共用施設として、日米協力研究計画にも組みこまれ、すでに多くの日本人研究者が滞在して材料損傷素過程の研究や誘導放射化の研究に用いてきたのは良く知られている。RTNS-II の技術的ネックポイントは、イオン源 \cdot ビーム収束 \cdot 回転ターゲットであった。イオン源としては多孔方式が用いられている。イオンビームの加速は少数ギャップ加速方式で、以後の Cockcroft 型強14 MeV 中性子源に多く採用されるようになった。ビーム収束には、2体の四重極磁気レンズ（トリプレット）を用いているが、完全な収束は難しくビーム輸送管の全体が水冷されている。技術的に最も問題となっているのは、トリチウム回転ターゲットである。RTNS-II に現在採用されている二重首振り方式のものの概略図を図-1 に示す。サンプル照射点での中性子束強度を上げるためには、 D^+ ビームは小さくターゲット上に収束させることが望ましいが、そうすると単位面積当たりの発熱量が増加して冷却困難となる。ターゲットの回転（RTNS-II では直径50cm のターゲットで5000 rpm）により冷却条件は緩和されるが限界がある。また、数十mA をこすとビームの収束がむつかしくなる。オクタピアンで観測したところでは、ビームは中空円筒状となる。ターゲット上のビームスポットサイズは1 \sim 2 cm^2 程度が限界で、発熱量は20 \sim 50kw/ cm^2 に達する。そこで水冷による熱除去の問題よりも、ターゲッ

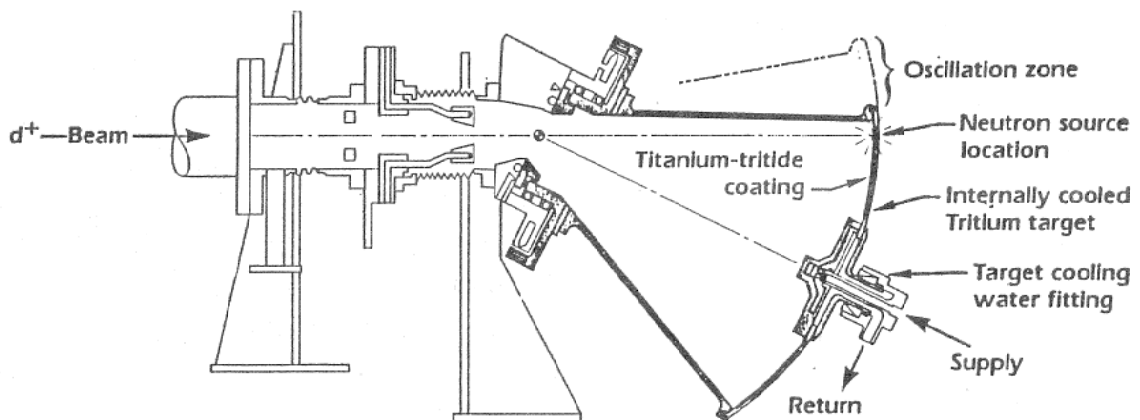


図1 RTNS-II に使用中的回転ターゲット

ト表面温度が問題となる。ターゲットには、銅のバッキングメタルの上にチタニウムを蒸着しそのチタン層にトリチウムを吸蔵したもの (TiT ターゲット) が用いられているが、このターゲットは、表面温度120℃ふきんからトリチウムを放出しはじめ、180~200℃になると急激にトリチウムを放出して寿命となる。また放出されたトリチウムは放射線管理上やっかいな問題となる。このためターゲット表面温度を120℃以下におさえるように設計し、またビームの収束しすぎに注意した運転が必要になる。

真空中で回転するターゲットの表面温度の測定は、赤外線検出器とマイコングラフィック表示により原理的には連続監視が可能であるが、実際には発生した14 MeV 中性子による検出器の損傷劣化によりオンラインの観測は大変困難となる。

原研の FNS と阪大のオクタビアンはともに回転ターゲットを用い、D⁺ ビーム電流約 20 mA で、14 MeV 中性子発生量も $3 \sim 5 \times 10^{12}$ n/s と同程度であり、現在順調に運転されている。両装置の利用研究の重点は、核融合ニュー

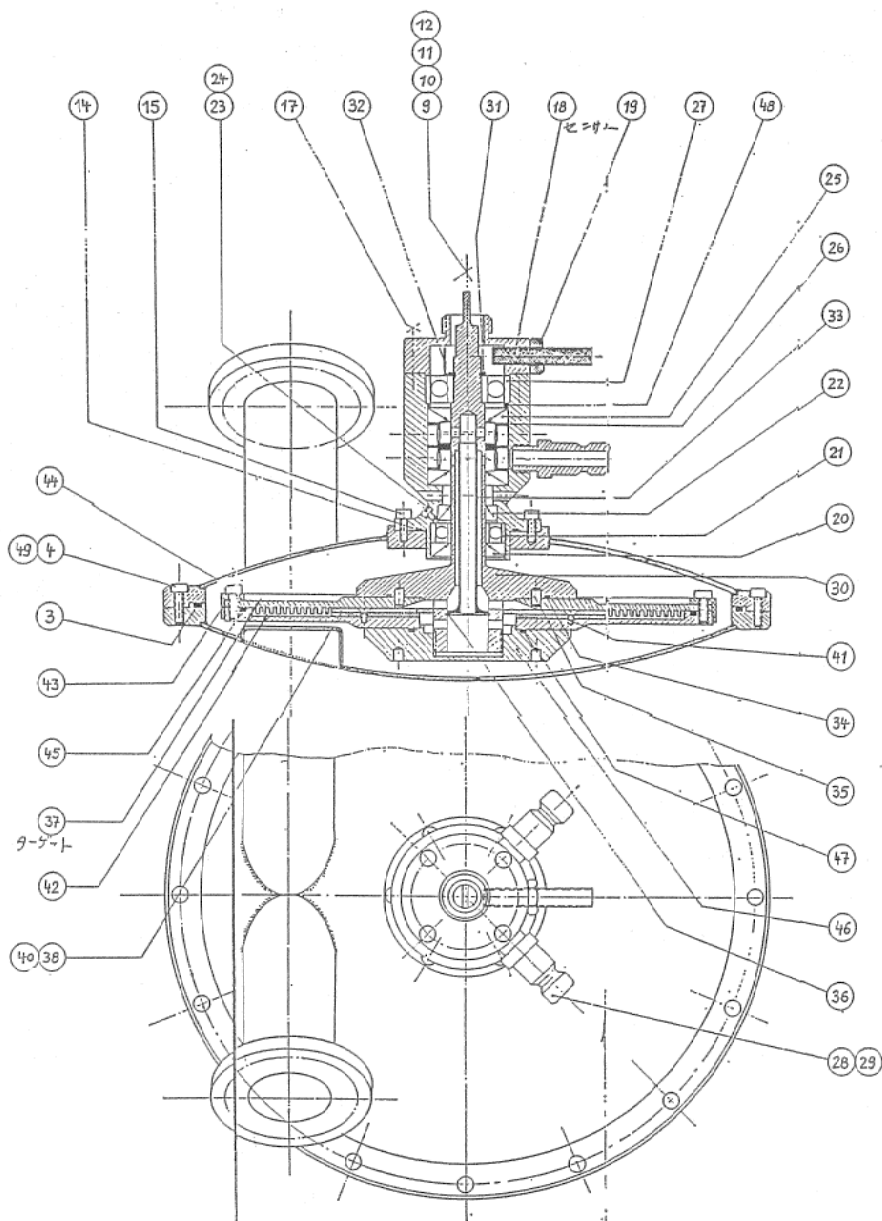


図2 オクタビアンに使用中の回転ターゲット

37: TiT ターゲット, 42: 冷却水, 44: SUS 真空容器
21, 27: ボールベアリング軸シール

トロニクス（トリチウム増殖，核発熱・放射化・遮蔽，核データ測定，計測技術）と材料損傷素過程の研究におかれていて，成果についてはすでに多数の報告がなされている．FNS は RTNS-Ⅰ型の回転ターゲットを採用している．オクタビアンにおいては，RTNS-Ⅱ方式と異なり，図-2 に示すような回転ターゲットを用いている．RTNS-Ⅱ型では，図-1 に示すように真空の外側（大気側）より水冷する方式であり，構造上からくる冷却水の圧力損により大気中での水留めが必要となる．内側の TiT 層より透過拡散してくるトリチウム（割合は少量だが実用の1000Ci クラスのターゲットでは，放射線管理上は大量といえる）が冷却水に混入して SUS ケースを透過拡散し大気にふれる，という問題がある．オクタビアンでは，この点を防ぐため図-2 に示すようにトリチウムターゲット（25cm直径・幅4cmの円形ベルト状の TiT 層が銅のパッキングメタルにのったもの）は，SUS の真空容器中で回転させることとし，冷却も回転軸を通しての二重管により回転するターゲットの裏側より真空中に密閉して冷却するようにした．冷却水用熱交換器とチラーのループは三次系まで用いることにより，トリチウムの外気への放出を極力防いでいる．しかし，このような放射線管理面の重視により生じた欠点は，サンプル照射位置での中性子束（フルーエンス）の低下である．RTNS-Ⅱでは， 10^{17} ～ 10^{19} nvt に及ぶフルーエンスの照射が可能であるのに対し，オクタビアンでは同時間の運転をしても 10^{15} nvt から 10^{16} nvt のケタ止りとなっている．Li を用いた核融合炉ブランケット模擬実験³⁾⁴⁾ の場合のように，照射によるトリチウム生成量を測定する必要がある場合には，照射室環境でのトリチウムレベルが低いことが幸いして良好なデータをとることが可能となっている．しかし，材料損傷その他の研究で大フルーエンスが要求されることもあり，今後において，今のような密閉構造でフルーエンスを増大できるような構造のターゲットが開発される必要がある． D^+ ビーム電流自体の増大は，NBI（中性粒子ビーム入射装置）の最近の技術をとりにいれば，例えば200～300mA・300～

400kv 加速は可能であろう．しかし，固体（TiT）型以外のターゲットの使用は現実的に困難であるので，上記のような性質の大容量 TiT 回転ターゲットの開発が，今後より大出力の加速器型14MeV 中性子源を建設する上で最大のネックポイントであるといえよう．

さて，米国・日本等はすでに回転ターゲット型強力14MeV 中性子源を建設し運転・利用の実績を上げているこの方面での先進国といえる．その他の国々はどうか？ 西欧・カナダについては文献²⁾ に紹介されているので，東欧や中国の計画について紹介してみよう．ソ連・東ドイツ・チェコ・ハンガリーでは1970年代の終り頃より，強力14MeV 中性子源の建設計画がたてられていた⁵⁾．用いる加速器として，図-3 に示すようなデュオプラズマトロンイオン源と単一ギャップ加速方式の加速管

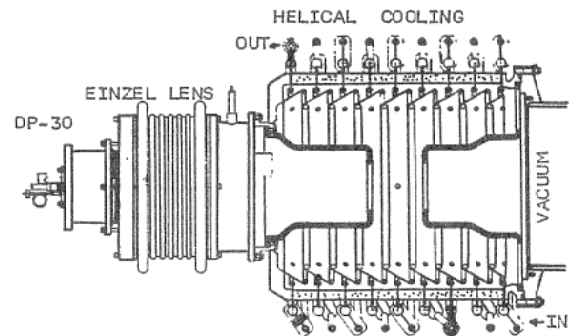


図3 デュオプラズマトロンイオン源と単一ギャップ方式の加速管

よりなるものが考えられていた．筆者が1983年に東独のドレスデン工大を訪問した時には，すでにイオン源部分とギャップ加速管からなるテストベンチが出来ておりDビーム10mA 以上が得られていた．図-3 に示す装置では，イオン分析用の磁石は存在しない．よく知られているように，デュオプラズマトロンで生成するイオンの約60%くらいは D^+ であるが，残りは D_2^+ と D_3^+ の分子イオンである．実は，この分子イオンが TiT ターゲットを照射すると，ターゲット寿命が数分の1に短くなるのである．このことは，東欧では未だ知られてなかったようである．イオン分析マグネットは，強力14MeV 中性子発生用の加速器には不可欠のものであ

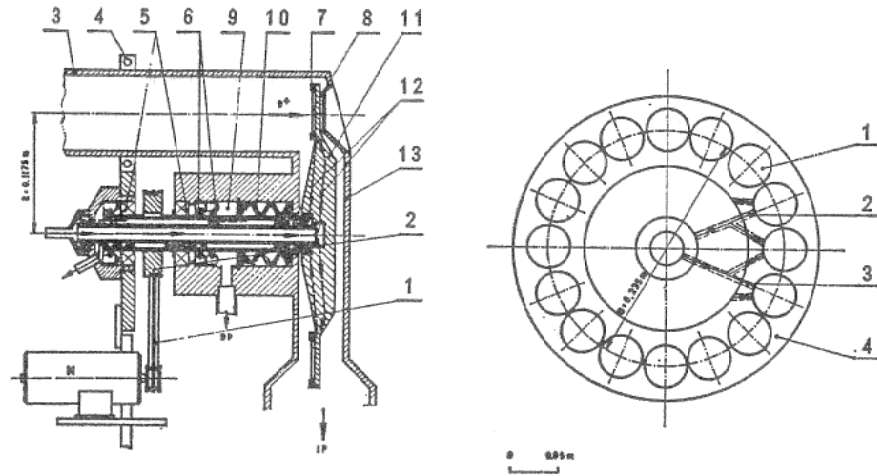


図4 東欧(チェコ)における回転ターゲットのデザイン例

る。しかしながら、東欧で強力中性子源を建設する場合の問題点は、やはりターゲット部分と思われる。図-4に、プラスタラバ研究所(チェコ)のデザイン⁵⁾を示す。16コのディスク状TiTサブターゲットを用いている。これは一見して、中性子発生量及び熱伝導・除熱において不利とみてとれるが、大きなディスク状ターゲットの製造は東欧では困難とのことであった。おそらく、銅バックングへのTiの真空蒸着は可能であったとしても、トリチウム化装置の大きなものがないのであろう。後述の中国に

おいても事情は同じとのことである。とりもなおさず、ソ連レニングラードの研究所ではすでにこの方式のものが稼動していると聞いているし、東独・ハンガリーでも建設が進行している。利用目的は、核融合関連の研究もあるが、むしろ重点は多くの核種についての放射化断面積の測定とそれを放射化分析に応用しての鉱工業・農業面への利用にあるような感触である。一方中国では、蘭州大学において図-5に示すようなプロトタイプが出来ている⁶⁾。昨年来日し、オクタビアンに滞在した同大学の研究者の

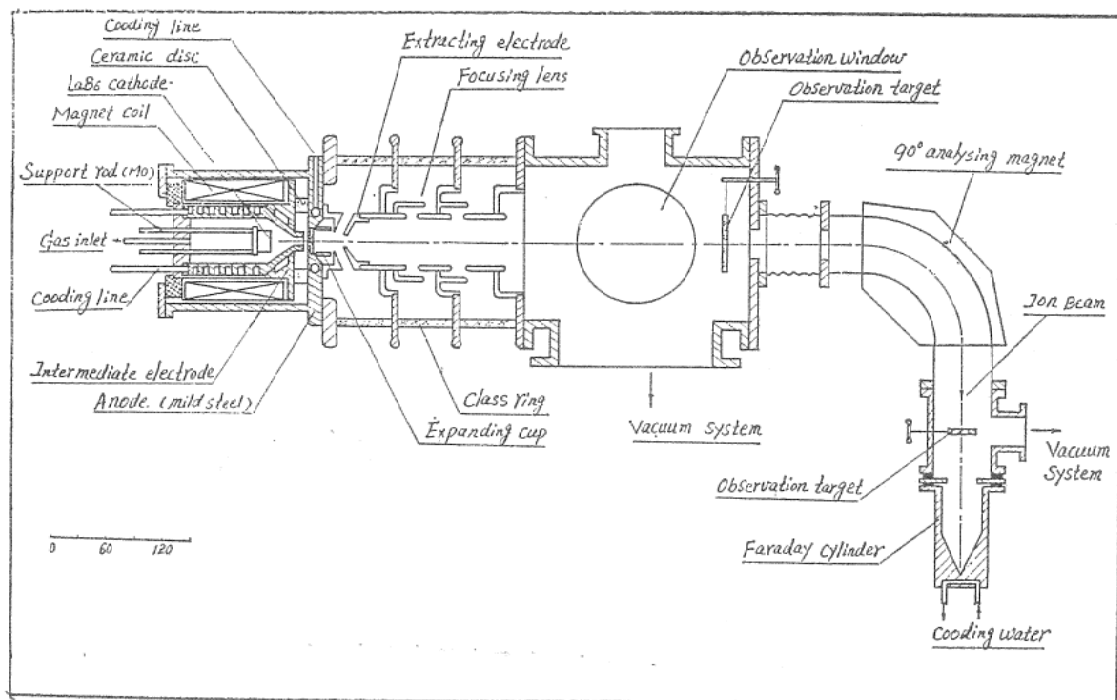


図5 中国蘭州大学強力 14 MeV 中性子源のビームテストベンチ

話では、鉱業・農業面への利用を真剣に考えているとのことであった。国情の違いを考えさせられた。図-5に見られるように、中国ではイオン分析用マグネット（偏向磁石）がとりつけられていて、東欧との違いがみられる。回転ターゲットについては開発研究にとりくんでいるが、回転軸の真空シールが大変難しく、現在までに成功していないとのことである。オクタビアンで使用中的のものと同じものを購入できないかとのことであった。実は、オクタビアンの回転ターゲットは日本国内には製造できるメーカーが存在しなかったために、西独のメーカーに特別注文して作ったものである。回転する機械の部分といい、トリチウムターゲットといい外国製なのである。FNSの回転ターゲットも同様にアメリカから輸入している。核融合炉実現へ向けての開発研究の段階を考えると、D-Tプラズマ燃焼装置は最重要のステップであるが、少なくとも年間数グラム（1グラムは約1万Ci）のトリチウムの扱いが必要となる。しかし国内技術の現状は、数百Ciのトリチウムターゲットの製造さえ出来ないのである。このギャップを埋めることは、“核融合先進国日本”にかせられた大きな課題の一つにちがいない。最近中東のある石油産出国が、原研FNSのデッドコピーを建設したい意向であるとの話を聞いた。技術は経済力のみで買えるものであろうか？

3. 強力 ns パルス 14 MeV 中性子源

前節では、連続運転型の強力14 MeV 中性子発生装置について、世界の様子を概観した。材料損傷にしても、核融合炉ブランケット模擬系の中性子の挙動にしても、時間的に変化する過渡現象が積分されてゆくことには変りない。したがって、よりミクロの立場に立って現象のメカニズムを理解したり、核反応の微分データ・原子ノックオンスペクトルといったような理論解析に不可欠の基本的データを得るには、パルス状に発生する強力14 MeV 中性子源が必要となる。14 MeV 中性子は1 m 飛行するのに約20 ns の時間を要するから、中性子源のパルス幅は ns 領域以下であることが望ましい。すなわ

ち、D⁺ ビームを幅～ns のパルス状に発生させる必要がある。このための技術は核物理実験で古くより用いられていて、その原理は；直流のD⁺ ビームを普通XとYの二重のデフレクターを用いてパルス幅 20～30ns 程度にチョップする。そのあと、クライストロンバンチャー部（ダブルギャップ方式が有効である）でパルス幅内の前と後の部分を、それぞれ減速及び加速することにより、最終ターゲット上に同時刻に着くようにすれば（バンチング）、ns 以下の幅のD⁺ ビームパルスを実現できる；ことにある。

原研 FNS と阪大のオクタビアンには、ns 幅パルス14 MeV 中性子源に専用のビームラインが設けられている。従来のものについても同様なパルス化装置はあったが、本体のD⁺ ビーム量が 100～300 μ A 程度であったから、FNS とオクタビアンのものはパルス運転では世界最強のものとなった。しかし、両者の通常運転時におけるD⁺ ビーム尖頭値は20～50mA 程度であり、中性子発生量は $5 \times 10^3 \sim 10^4$ n/pulse でそんなに強出力とはいえない。しかしながら、最大繰り返し周波数は 2 MHz であり、時間的に平均すると $10^9 \sim 10^{10}$ n/s の発生量があるので、1970年ごろまでの14 MeV 中性子発生用加速器の直流運転に相当している。この装置の完成により、核融合ニュートロニクスの実験や14 MeV 中性子核反応データの測定が飛躍的に高い精度で行えるようになった⁴⁾。

海外では今のところ、米国リバモア研のRTNS-I 付設のパルス化装置が、少し弱い唯一オクタビアンやFNS と比肩できるものである。RTNS-II にはパルス化用ビームラインが設けられていない。東西ヨーロッパや最近（1984年末）稼動を始めた北京師範大学等での ns パルス14 MeV 中性子源は、発生量でオクタビアンの数10分の1程度である。東側においても、強出力 ns パルス14 MeV 中性子源は、回転ターゲット型直流マシンとともに、開発の重点となっている。

このように、オクタビアンのパルスラインは ns パルス14 MeV 中性子源としては、現在のところ世界最高級の性能であるが、原子ノックオンスペクトルやノックオンカスケードのような

材料損傷のトランジェントを測定するには、出力が未だあまりにも低すぎるといえる。現在のものの百倍程度の出力とするためには、バンチャーとデフレクター電源の増強が、もちろん必要となる。しかし、ネックポイントはビーム輸送と収束であろう。良質のエミッタンスを持つ大電流イオン源をいかにして実現するか、またバンチャー電極の小アパーチャー(約1 cm直径)を通過出来るだけのビーム収束とその後ターゲットまでの8メートル程度のビーム輸送を少ない損失でいかに実現するかが課題となろう。

レーザー核融合研究の進展により、現在D-Tペレットで1爆縮あたり $10^9 \sim 10^{10}$ コの14 MeV中性子が得られるようになったと聞いている。しかし、爆縮の繰り返しを1秒以下に出来るのは、まだかなり先のことであろう。したがって、パルスあたり $10^5 \sim 10^6$ nの発生量で2 MHz程度の繰り返しが可能で加速器型の強力パルス14 MeV中性子源(時間平均発生量 $i \sim 10^{12}$ n/s)の建設は、核融合関連の研究やそれ以外の基礎研究にとって有用であり、近い将来世界的に建設競争がなされる可能性がある。

4. 開発途上国における 14 MeV 中性子源

タイ北部にあるチェンマイ大学では、チーク・ココヤシ・マンゴ等の樹木が繁る広く(阪大吹田キャンパスの2倍はあろうか)美しいキャンパスに、近代的建物が点在している。この中を学生達は日本製のバイクで行き来し、教職員はやはり日本製の中古車で行き来する。一般道路のような交通量と騒音である。町に出ると一層多くのバイクと中古車・シロー(四輪軽トラックの相乗りタクシー)等によるけたたましい音と混雑とほこりで、何か20年前の大阪に迷いこんだようなショックである。テレビ・ラジカセ・電卓・カメラも売ってれば、タイ料理の青空レストラン・中華風の夜市も賑わい、沢山の野犬がうろつき、朝には黄衣のたくはつ僧の列である。異質なものが渾然一体となってわめきちらしている。このような場所に筆者が2カ月あまり(1984年12月～1985年2月)滞在することになったのは、IAEA(国際原子力機関)

の専門家派遣員としてで、チェンマイ大学理学部にIAEAが提供した14 MeV中性子源の改良とその利用研究の技術指導のためであった。

IAEAは、国連の開発途上国援助計画のもとに、これまでに小型14 MeV中性子源の提供を、モロッコ・ザイール・イラク・パキスタン・バングラディシュ・タイ・マレーシア・ベトナム等の研究所・大学に対して行ってきた。また、それらを利用した研究の推進と関連する技術の援助のためにCRP(Coordinated Research Program)が生まれ、そのメンバーには米国・西独・東独・オーストリー・ポーランド・チェコ・ハンガリー・ユーゴ等の14 MeV中性子源利用研究の“先進国”の研究所・大学も加入している。2年に一度くらいの割合でCRPのミーティングが、国際会議とのだき合わせで開かれている。日本はこのCRPには加入していない。筆者は国際会議参加のうちにたまたま二度このCRPにオブザーバーとして参加した。IAEAが各国に提供してきた小型14 MeV中性子源は、150kV加速・Dビーム電流1～2 mA程度(直流運転のみ)の性能で、RFイオン源・絶縁高圧トランスと倍電圧整流回路よりなる簡単な高電圧源・絶縁トランスを介してのイオン源部の制御・固定水冷ターゲット・制御盤等よりなるコンパクトなものである。製造メーカーは、ハンガリー・イギリス・フランスのものがなぜか選ばれてきた。

この中性子源の各国での利用状況をみると、放射化分析が最も多く、次いで放射化断面積の測定である。このためIAEAは、純ゲルマニウムガンマ線検出器・マルチチャンネルアナライザー・マイコンといったような測定解析装置も同時に提供している。放射化分析技術の工鉱業・農業への応用、例えば放射化ガンマ線スペクトル分析による鉄脈の探査、 $^{14}\text{N}(n, p)$ 反応ト्रेसによる肥料や蛋白質の分析といった具合である。一方エネルギー開発(原子炉・核融合)にも関連して、前記CRPでは、中性子微分核反応データ(中性子及び荷電粒子放出反応)の測定と理論解析のような基礎研究面への利用グループも組織されている。工業水準が低く、農業や観光業が主体の途上国においては、

エネルギー開発の必然性を説くのは難しいが、将来にそなえての科学技術のレベルアップのためと筆者は理解している。筆者がチェンマイ大学に派遣されたのは、後者の応用核物理的な基礎研究への利用に関連している。

さて、筆者がチェンマイ大学に到着した日は丁度、チェンマイ大学理学部の高速中性子研究施設が新設され IAEA 提供のフランス AID 社製14MeV 中性子源 (150kV, 2mA) の据えつけテストも終了して、披露パーティーが近くの高校生も含めた学外者も招待されて賑やかに行われた日であった。これがタイ最初の加速器とのことである。(すぐ後に、チェンマイ大学医学部に日本製のライナックが導入された。) 筆者の役割は、この AID 製のコンパクト加速器に本体を上まわる大きさの ns パルス D⁺ ビーム系をつけ加えること、および関連する利用技術であるところの中性子飛行時間スペクトル分析の技術指導である。翌日からの休日なしの悪戦苦闘の始まりであった。

予算は数百万円でコンポーネントの輸入は無理、材料・パーツの入手も困難、知識のあるスタッフは殆んどいない。このような“ないないづくし”のなかで、いかにしてパルス化装置とビームラインを作るのか、全くの難問と思えた。マイペンライ (Never mind = どうにかなるさ) / ともかく一週間がかりで概略のシステム設計を行い、エレクトロニクス系 (RF アンプ、トラスジスタカスケードスイッチ、バンチャーアンプ等) とビーム輸送系 (偏向磁石、真空ポンプ系、スリット、収束レンズ、X-Y 偏向電極、バンチャー、ターゲット部等) の各コンポーネントの詳細設計に移ることとなった。人手の組織化以外に頼るものなしの状況であるから、教職員+学生約10人の設計製造チームをまず組織することとした。各コンポーネント毎に分担者を定め、スケジュール表を作って毎日進行状況をチェックすることにした。といっても、原理の説明に多くの時間を費やす毎日であった。曲りなりにも最後に製造段階にこぎつけることが出来たのは、滞在中の英米日独のボランティアの皆様のおかげである。特にシェフィールド大卒のイギリス人エレクトロニクス

屋 (チェンマイ大理学部に10年滞在) とバークレイ卒のアメリカ人物理屋 (同2年滞在) がチームに参加してくれたことが大きな助けとなった。もちろん、タイ人スタッフと学生の向上心とねばり強い努力は忘れてはなるまい。パーツや材料の調達のために何回も遠路バンコックまで買い出しに行った者、パーツ調達と町工場との折衝でチェンマイの下町をバイクで走り廻った者、大学のメカニカルショップで古びた旋盤やボール盤に汗を流した者、ベトナム戦争時の米軍残品から使えそうな部品やラックをかき集めてきた者、等々のことである。電子部品 (真空管、トランジスタ、特殊キャパシター、ポテンシオメーター、フィードスルー等) や材料 (ステアタイト、SUS 管、銅板・コイル、シール材、アルミ管等) の入手性がおさえられてコンポーネントの設計図が出来上った時には2カ月近くが過ぎていた。タイで製造可能なコンポーネント (ビーム輸送管、スリット部、ターゲット部、電子回路、バンチャー及び X-Y デフレクター) は、チェンマイ市内で製作する方針とし、町工場技術者との折衝が続けられた。殆んど町工場 (大きな工場はない) は、農業用機器の修理や小型農機の製造が中心で、真空機器製造の経験は全くない。ようやく西独の特種機器メーカーと提携している町工場を探しあてて、そこに製造を注文することとなった。他のコンポーネント、すなわちゲートバルブ、ベローズ、真空ポンプ (分子ターボと拡散ポンプ、ロータリーポンプ)、偏向磁石、収束磁石、等はタイ国内での製造は不可能で、外国よりの輸入とせざるを得なくなった。IAEA と相談したところ、幸い (?) 西側の金 (US\$) に不換の東側資金がかなりたまっているとのことで、磁石類はその資金を使って東側より輸入することとなった。真空機器については、IAEA の取り引きの関係で、イギリスとスイスのメーカーに発注することになった。

ここまで進展した段階で筆者の派遣期限が切れて、帰国することとなったが、これらのコンポーネントが集りそしてチェンマイ製のコンポーネントを加えてビームラインの組立てが行えるようになるには、あと一年は要するであろう

う。チェンマイ大学の高速中性子研究施設の建物には、30メートルの中性子飛行時間スペクトル分析が出来る配慮がなされていて、nsパルス14MeV中性子源が完成するのを待っている。14MeV中性子は、種々材料の原子核との反応で、直接過程による原子核の集団励起から複合核形成による平衡状態励起に至る複雑な非弾性散乱をおこすことが最近明らかになりつつある。このようなデータは、核融合中性子工学のようなエンジニアリングの面で重要であるのみならず、核物理的にも未知な現象を含んでいて興味がある。チェンマイ大のnsパルス14MeV中性子源と30mの中性子飛行時間スペクトル分析の装置が実現すれば、“先進国”の研究を凌駕する画期的データが得られるのでは、という夢を当地のスタッフも筆者も持っている。

このチェンマイ大の14MeV中性子源はタイ唯一のものだから、学内他学部はもちろん、チュラロンコン大、コーンケン大といった国立大からも利用者が集まりつつある。現在のところ放射化分析法を用いての肥料や種子の分析のような農業面への応用・利用が盛んに行われていた。また、化学・核物理面への利用も進みつつある。IAEAの技術援助事業では、タイは優等生だそうである。たいていの国では、派遣専門家の帰国後は元に戻される例が多いそうである。筆者にはチェンマイだけが唯一の経験であるから、その辺の事情は良く解らない。しかし、ハノイではIAEA提供のハンガリー製14MeV中性子源とアメリカ製の放射化分析装置を用いて研究をはじめているのは面白いし、少なくともCRPのミーティングで発表される“途上国”の成果報告には、各国の熱意が感ぜられた。

5. おわりに

日本においては、原子力開発の初期に各大学やメーカーを含めた研究所に、いまからみると小型の14MeV中性子源(加速器)が据えられ炉物理や核データ測定等の基礎研究に用いられてきた。20年程を経過して、殆んどものは老

朽化し現在では殆んどが用いられていない。IAEAの援助により“途上国”では今、同じようなことが繰り返えられるのであろうか? 筆者には、各国の利用の仕方や目的に、日本のひと昔前とはずい分違ったところがあるように思える。

一方、オクタビアン・FNS・RTNS-IIに代表されるような“強力”14MeV中性子源は、核エネルギー開発研究の進展とともに、利用のニーズが増加しつつあり、より強力なものが建設される方向に向っているように思える。スーパーRTNS-II計画、オクタビアンを数十倍増強した2号機計画等の声がある。これらは独特の技術開発課題を持っているが、D-T燃焼プラズママシンによる“超強力”14MeV中性子源が実用に至るまでの過渡期の装置として、エネルギー開発上は位置づけられるであろう。また加速器であるゆえの融通性から、広くその他の科学への利用の面で位置づけられるだろうことは言うまでもない。

以上雑文に終始したが、筆者の最近の限られた経験をもとに、14MeV中性子源の建設及び利用の状況について所感を含めて書かせていただいた。

参考文献

- 1) 住田健二;「強力 14 MeV 中性子源について」, 生産と技術, S52年秋号, P.19 (1977)
- 2) 住田健二;「大阪大学強力 14 MeV 中性子工学実験装置 (OKTAVIAN) について」, 生産と技術, Vol. 33, [4], P. 53 (1982)
- 3) K. Sugiyama, et al: Proc. ANS Topical Meet. Fusion, March 3-7, 1985, San Francisco, U.S.A
- 4) A. Takahashi; 「14 MeV Neutron Experiments at OKTAVIAN」, OKTAVIAN Rep B-84-01 (Preprint of Proc. Int. Conf. Fast Neutrons on Science and Technol., Febr. 4-8, 1985, Chiang Mai, Thailand)
- 5) J. Pivarc, et al; 「Rotating Target for a 300 KeV Neutron Source」, ZfK-459 (1981)
- 6) S. Biehe, et al; 「A Duoplasmatron Source for the Production of Intense DC Ion Currents」, Proc. 2nd China-Japan Symp. Accelerators for Nuclear Science and their Applications, Oct. 1983, Lanzhou, China