

## 研究室だより (I)

### 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

— 放射線管理研究部・加速器放射線工学講座 —

馬場 護

980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

e-mail:babam@cyric.tohoku.ac.jp

#### 1. はじめに

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (以下 CYRIC と略称) については、本誌 51 号(1995 年)に織原彦之丞氏によって紹介がなされていますので、ここではその後の進展と現在筆者が所属する放射線管理研究部における計画を中心に紹介します。

51 号で紹介されたように、CYRIC はサイクロトロンの多目的利用、各部局では取扱い困難な高レベル RI やサイクロトロン生成短寿命核種の利用、RI の安全取扱いに関する全学的な教育訓練、などを目的として昭和 52 年に設立された全学共同利用施設です。おそらく大学の部局名としては日本で最も長いこの名称は、サイクロトロン施設とラジオアイソトープセンターのジョイント施設であることに由来します。ラジオアイソトープセンターは全国 20 ほどの大学に設置されていますが、加速器設備を含む RI センターは他にはなくユニークな存在であるといえます。

CYRIC には加速器、測定器、核薬学、サイクロトロン核医学並びに放射線管理の 5 つの研究部がおかれ共同利用の支援及びサイクロトロン、RI 利用に関する研究教育を行っています。それぞれの研究部は理学 (加速器、測定器)、薬学、医学、工学 (放射線管理) 研究科に所属し、それから分かるようにすぐれて学際的な組織です。ここでは、サイクロトロンのビームと RI を用いた理工学の研究に加えて、サイクロトロンを用いて陽電子放出核種標識薬剤を製造し、陽電子断層撮影 (PET) に利用した核医学研究が行われています。サイクロトロン核医学の臨床研究は、核医学は勿論のこと、薬剤製造、加速器運転、放射線管理など各研究部の協力の下に行われ、当センターの中心的なアクティビティとなっています。

旧サイクロトロンの老朽化に伴い、サイクロトロンと測定器系の更新・拡充が 3 年にわたって行われ、現在その最終段階を迎えつつあります。まだ具体的な実験結果を示すには至っていませんが、更新の概要と核データに関連した計画を紹介したいと思います。

#### 2. 設備更新の概要

平成 9 年度までの 22 年に亘って、住友重機械製 680 型サイクロトロン (K=50、陽子

40 MeV) が用いられてきましたが、老朽化に伴って平成 10、11 年度予算によって加速器と実験設備の更新が認められ、サイクロトロンは 930 型 (K=130、陽子 100 MeV) に更新されました。新サイクロトロンは原研高崎研のサイクロトロンと同型機ですが、Table 1 に示すように、p、d、He などの軽粒子から Xe などの重イオンまでの加速が可能です。かつ正イオンとともに p、d については負イオンの引き出しも可能でこれによって p、d の大電流ビームが得られますので、これを利用して強力な中性子場源を開発することが計画されています。同一加速器での正負イオン加速は世界でも初めての試みとことです。また、交流磁石の利用によって 3 ポートまで同時にビームを供給する工夫もなされています。

新サイクロトロンではエネルギーの増大によって中重核トレーサーが新しく利用可能となり PET の応用範囲が更に拡大されるとともに、イオン種とビーム強度の増大、以下に述べるような TOF 設備の拡張と中性子源の設置、などによって核データ関連分野でも大きな進展が期待されます。

Fig. 1 に新サイクロトロン実験室の平面図を示します。ビーム輸送系は基本的に従来と同様で、それぞれの実験装置に適したビームを輸送します。第 1 ターゲット室 (右上) にはペビーサイクロトロン (陽子 12 MeV) も設置され、主として RI 製造に用いられます。サンプルの自動照射・搬送設備も整備されており、荷電粒子の放射化断面積測定や荷電粒子放射化分析などに応用できると考えられます。第 2 ターゲット室 (右下) には当施設の目玉の 1 つであるオンライン質量分析器 (EMIS) が設置され、新設のコンプトン抑止型 Ge ボール検出器 (クローバ型) と組み合わせて新同位体の探索や不安定核の核構造研究に用いられます。第 3 ターゲット室 (中下) には、1000 cc の CsI(Tl) 148 個からなる大立体角高エネルギーガンマ線検出システムが設置され、重イオン衝突による高エネルギーガンマ線や  $\pi$  中間子の生成など **coherent extreme** の実験が予定されています。第 4 ターゲット室 (左下) には、核融合炉材料開発のための材料照射コースとともにホウ素捕獲療法の基礎研究などを目的とした減速中性子場が予定され、現在設計が進められています。この中性子場は負イオンの大電流を最大限に生かした強力な減速中性子場として放射化及び即発ガンマ線分析、中性子ラジオグラフィなどへの利用も考えられています。

第 5 ターゲット室 (左上) にはビームスウィンガーが設置され、その先の 45 m 飛行管と大立体角中性子検出器システムとの併用によって、中性子の TOF スペクトルを高いエネルギー分解能と効率で測定することができます。ビームスウィンガーは中性子検出器を固定したままで入射角度を広く変えることができるのが特長で、CYRIC のスウィンガーは日本における先駆けとなったものです。今回の更新でスウィンガーの大型化と中性子検出器 (8" 径 x 2" の NE213) の 32 個への増設が行われました。この設備は (p、n)

反応や(d,n)反応による核力の荷電対称性、核構造の研究などに用いられますが、中性子生成や中性子散乱などの工学実験にも極めて有用です。また、適当な減速材の設置により MeV 以下の低エネルギー中性子を生成し、天体核反応データ測定などに利用することも考えられます。ただし、新サイクロトロンビーム幅が旧サイクロトロンの場合 (~500 ps) より広くなる心配があり、改善のための技術開発が必要かもしれません。

また、もう1つの中性子コースとして  ${}^7\text{Li}(p,n)$  反応による擬似単色中性子源を直線コースの先端部に設置し、スペクトロメータをその外の建屋に設置して実験を行う計画が進められています。当初は旧サイクロトロン電磁石を二次荷電粒子スペクトロメータとして用いる計画でスタートしましたが、中性子による放射化や荷電粒子生成断面積の測定にも大いに利用できるものと考えています。

なお、計画と CYRIC の詳細は CYRIC のホームページ <http://www.cyric.tohoku.ac.jp> で見ることができます。

### 3. CYRIC における核データ測定の計画

上述のように、CYRIC の新しいサイクロトロンでは多様な荷電粒子と中性子のビーム及びビームスウィンガーTOF 装置と  ${}^7\text{Li}(p,n)$  中性子源が利用でき、種々の核データ測定への利用が期待されます。我々の研究室では、加速器の有効で安全な利用と言う観点から、高エネルギー加速器システムの設計や運転、安全管理、廃棄などで問題となる

- 1) 中性子生成と中性子の輸送、
- 2) 荷電粒子及び中性子による放射化、放射性核種の生成、
- 3) 荷電粒子及び中性子による二次荷電粒子の生成、

などに関連した実験を優先的に実施したいと考えています。また、宇宙における機器のアップセットや被曝の問題にも関心があり、それらの取組みも進めつつあります。

具体的には以下のような実験を考えています。

- a) (p,n)、(d,n)、(H<sub>i</sub>, n) 中性子二重微分断面積データ；ビームスウィンガー+TOF  
加速器、ターゲット、ビームダンプ、の構成材核種
- b) 荷電粒子による放射化、放射性核種生成断面積；(RI 製造コース)  
加速器、ターゲット、ビームダンプ、の構成材核種  
標識化合物用アイソトープ生成反応
- c) 中性子による放射化、放射性核種生成断面積；(Li 中性子源)  
空気、土壌、加速器、ターゲット、ビームダンプ、の構成材核種
- d) 中性子による荷電粒子生成二重微分断面積： (Li 中性子源)  
数 10 MeV、 Li 中性子源  
< MeV TOF コース
- e) 中性子散乱及び二重微分断面積

a)~d) までの実験は装置の完成とともに実施可能ですが、連続中性子の二重微分データは中性子輸送の観点で非常に重要であるにもかかわらず 30 MeV 以上の領域では中性子源が単色でないため原理的な困難があります。弾性散乱や離散成分に着目した実験を行いながら、測定手法の開発を行うことになると思います。

現在、加速器は加速器研究部と測定器研究部の努力によってほぼ完成し、ビーム加速試験とビーム輸送系および測定器系の整備が並行的に進行中です。今年秋から試験利用を開始し、年明けから共同利用を開始することが予定されています。なるべく早く実験結果を紹介できることを願っています。

Table 1 CYRIC 新サイクロトロンにおける加速ビーム

a) 正イオン

粒 子	エネルギー (MeV)	ビーム強度 ( $\mu\text{A}$ )
H	10 - 90	50
D	10 - 65	50
He-3	20 - 170	50
He-4	20 - 130	50
C-12	20 - 397	5 p*
N-14	20 - 463	5 p*
O-16	20 - 530	5 p*
Ne-20	20 - 662	5 p*
S-32	20 - 698	3 p*
Ar-40	20 - 744	3 p*
Kr-85	20 - 695	3 p*
Xe-120	20 - 748	1 p*

\* Particle  $\mu\text{A}$ 、 内部ビーム

b) 負イオン

粒 子	エネルギー (MeV)	ビーム強度 ( $\mu\text{A}$ )
H	10 - 50	300
D	10 - 25	300

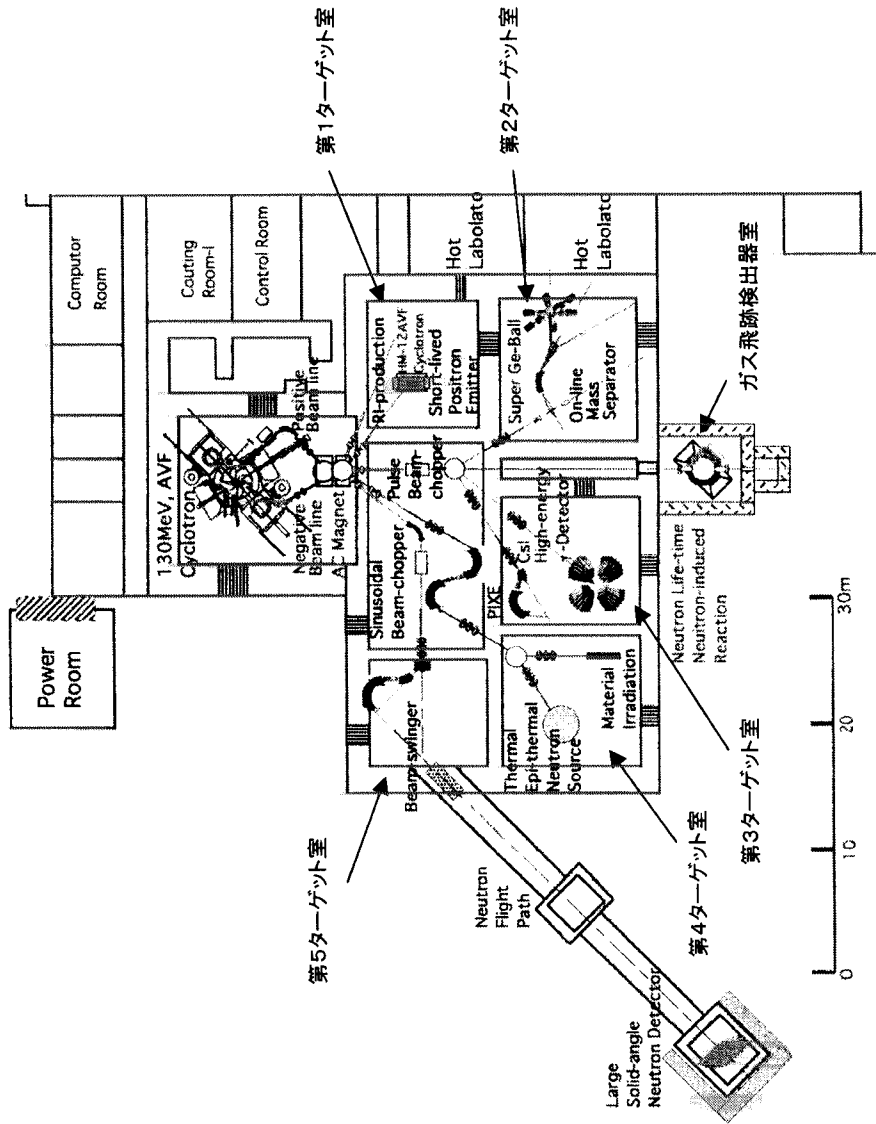


Fig. 1 新サイクロトロン実験室の平面図