

STATUS REPORT OF NIRS CYCLOTRON FACILITY(NIRS-930, HM-18)

A. Sugiura^{A)}, M. Kanazawa^{A)}, S. Hojo^{A)}, N. Suzuki^{A)}, T. Honma^{A)}, M. Muramatsu^{A)}, Y. Sakamoto^{A)}
 T. Okada^{B)}, T. Kamiya^{B)}, K. Komatsu^{B)}, and K. Noda^{A)}

^{A)} National Institute of Radiological Sciences
 4-9-1 Anagawa, Inage, Chiba, Japan

^{B)} Accelerator Engineering Corporation
 2-13-1 Konakadai Inage Chiba Japan

Abstract

The cyclotron facility at National Institute of Radiological Science (NIRS) constitutes of AVF-930 cyclotron (Thomson-CSF $K_m=110$ MeV and $K_r=90$ MeV), a small cyclotron (Sumitomo-Heavy-Industry HM-18), and nine experimental beam lines.

The AVF-930 has been used for productions of short-lived radio-pharmaceuticals for PET, research of physics, developments of the particle detectors in space and so on.

In this report, we present operational status of the cyclotron facility, and some improvements.

放医研サイクロトロン施設(NIRS-930, HM-18)の現状報告

1. はじめに

放射線医学総合研究所(放医研)のサイクロトロン施設には、 $K_r=90$ の大型サイクロトロン(NIRS-930)と、1994年に放射性薬剤の製造を目的として導入された小型サイクロトロン(HM-18)がある。現在、これら2台のサイクロトロンは、放射性薬剤の開発研究を中心とした研究に使われている[1]。これまでに施設の維持のために様々な改良及び更新を行ってきたが、2008年度は、小型サイクロトロンの制御系及び電源の更新、大型サイクロトロン用バックアップイオン源のビームテスト、直線照射コースのビーム輸送系の改良を行った。ここでは、2008年度におけるサイクロトロン施設の利用状況と、サイクロトロン施設で行なった改良について報告する。

2. 大型サイクロトロンの利用状況

2008年度の大型サイクロトロンの分野別運転時間を図1に、粒子・エネルギー別運転時間を表1に示す。大型サイクロトロンの利用時間は、全体の約1/2を放射線薬剤の製造が占めている。この放射性薬剤の製造では放射性薬剤自体の開発研究や、それを使った臨床研究及び脳機能研究に、P18 MeVやP30 MeV、 H_2^+28 MeV等が利用されている[2]。 H_2^+28 MeVはターゲット直前で解離させP14 MeVで利用している。また、利用時間全体の1/4を占める物理実験では、個人被ばく線量計や衛星搭載用の放射線測定装置の開発[3]に主にP70 MeV等が利用され、炭素イオンが水に衝突することによって発生する二次電子の研究には炭素(C)72 MeVが利用された[4]。また、外部機関への有料ビーム提供も行われ、衛星搭載用機器等に対する耐放射線試験にP70 MeVが利用され

た。残りの1/4を占める調整運転では、放射性薬剤の製造用に使われる低エネルギーのビーム輸送効率の向上や、 $^{13}C^{5+}143$ MeV、 $O^{5+}128$ MeV、 $O^{6+}170$ MeV等の新規ビーム加速調整が行われた。

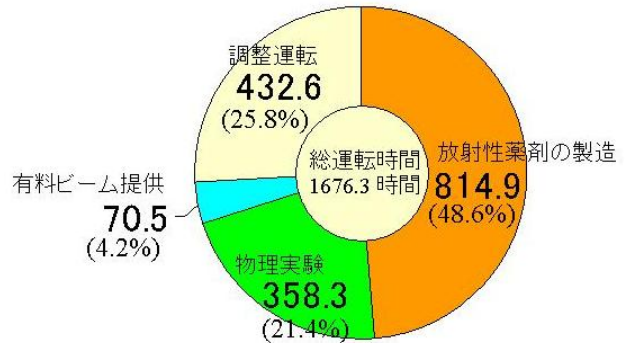


図1. 大型サイクロトロンの分野別運転時間

表1. 大型サイクロトロンの粒子・エネルギー別運転時間

陽子 (P)		重水素 (D)		水素分子 (H_2^+)		ヘリウム3 ($^3He^+$)		
エネルギー [MeV]	運転時間 [時間]	エネルギー [MeV]	運転時間 [時間]	エネルギー [MeV]	運転時間 [時間]	エネルギー [MeV]	運転時間 [時間]	
80	46.8	30	15.7	36	14.0	135	28.0	
70	124.7	12	15.3	28	299.8	105	4.0	
50	22.0			24	12.5	75	13.5	
40	29.4							
35	7.0							
30	244.6							
25	12.5							
20	11.5	アルファ粒子 (α)	9.5	炭素 (C)	16.0	(6価)		
18	370.8	100	6.0	72	111.3	170	7.5	
16	9.7	40	21.0	(^{13}C)		(5価)		
14	96.9	24		143	13.0	160	59.2	
12	50.8					128	3.5	
計	1026.6	計	36.5	計	140.3	計	70.2	
総運転時間 [時間]								1676.3

3. 小型サイクロトロンの利用状況

小型サイクロトロン(HM-18)は、放射性薬剤の製造専用、P18 MeVとD9 MeVのみの加速を行なっ

ている。小型サイクロトロン¹の運転時間を図2に示す。全体の84.8%が¹¹C,¹³N,¹⁸F等の製造に利用されるP18 MeVのビーム提供に、また、6.8%が¹⁵Oの製造に利用されるD9 MeVのビーム提供に使われた。残りの8.4%は後で述べる更新した制御系及び電源でのビーム確認等の運転に使われた。

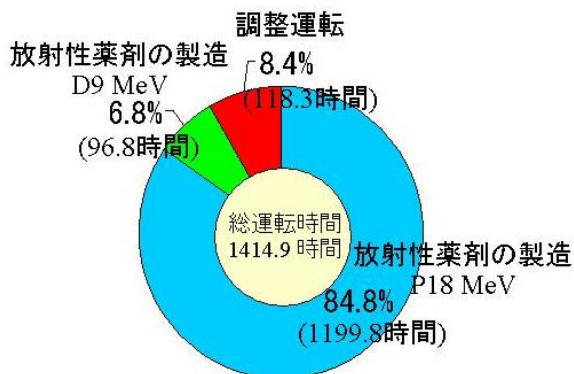


図2 小型サイクロトロン¹の運転時間

4. ビーム停止事例

表2に大型サイクロトロンと小型サイクロトロン¹のビーム停止事例を示す。復旧するまでに30分以上のビーム停止が起きた場合の事例を挙げている。ビーム停止回数及び総ビーム停止時間は、大型サイクロトロンで3回、計5時間50分、小型サイクロトロンで6回、計8時間25分だった。いずれの停止事例も、予備品の交換などにより当日中に復旧でき、最大でも3時間のビーム停止にとどめることができています。

表2. ビーム停止事例

日付	停止原因装置	事例	大別	原因	ビーム供給停止時間	
					大型	小型
2008.4.15	大型	AVF930用CH2側RF電源	ヒューマンエラー	別系統と表示されていたブレーカーをOFF	1時間30分	-
2008.7.4	大型	四重極電磁石電源故障	ハードウェア故障	電源故障	1時間	-
2008.7.11	大型	ECRイオン源のRFアンブ故障	ハードウェア故障	RFアンブ故障	2時間40分	-
2008.5.11	小型	RFコントロールグリッド電源用冷却ファン故障	ハードウェア故障	コントロールグリッド電源内部のファン故障	-	1時間
2008.6.20	小型	イオン源カソードショート	ハードウェア故障	原因不明 イオン源交換により復旧	-	2時間50分
2008.7.9	小型	直結ターゲット流量計漏水	ハードウェア故障	流量計より漏水	40分	40分
2008.8.7	小型	四極電磁石OR、ONI信号表示不良	ハードウェア故障	リレーの接点不良	-	30分
2008.9.26	小型	イオン源カソードショート	ハードウェア故障	カソードショートによりアークが立たなかった	-	1時間25分
2008.9.29	小型	D9MeVビーム提供中止	ヒューマンエラー	大気解放後、真空度が十分に回復しなかった	-	2時間

[-]は影響なし
[●]は同日別トラブルでビーム供給停止中

5. 小型サイクロトロン¹の制御系及び電源の更新

小型サイクロトロン¹は、1994年に設置されて以来、15年以上が経ち、電源内部の高電圧部や電気的接点部などの経年劣化が進み、これを原因としたトラブルが増えてきていた。また制御系では、電源の制御をPC9801計算機で行なっていたが、この計算機の互換機はすでに入手不可能であり、メンテナンスが困難になってきていた。さらに、計算機と各電

源間のインターフェイスとして使われていた、住友重機械工業のオリジナル規格であるUDC (Universal Device Controller) も製造中止になっていた。そのため、制御系と電源の更新を行った。

図3に制御系及び電源の新旧システムのブロック図を示す。電源を制御する計算機はAT互換機へ更新された。OSはそれに対応してWindows-XPに更新され、Windows-VISTAにも対応可能なプログラムになっている。また、計算機と電源間のインターフェイスには、一般的なPLC (Programmable Logic Controller) が使われている。そのため、制御部はモジュール化されたPLCを用いることにより、19インチラック1台分に小型化されている。さらに、各直流電源もシリーズレギュレータ方式の電源から、スイッチング方式の電源になり小型化された。この結果旧制御盤を設置していた副操作室に、制御盤及び電源とともに設置する事ができた。

しかしながら、副操作室に電源を移動したことにより、熱源が副操作室に集中した。これにより小型サイクロトロン¹を運転すると、電源の排熱を処理することができずに室温が上昇してしまう。そのため、副操作室の冷房能力の増強を予定している。

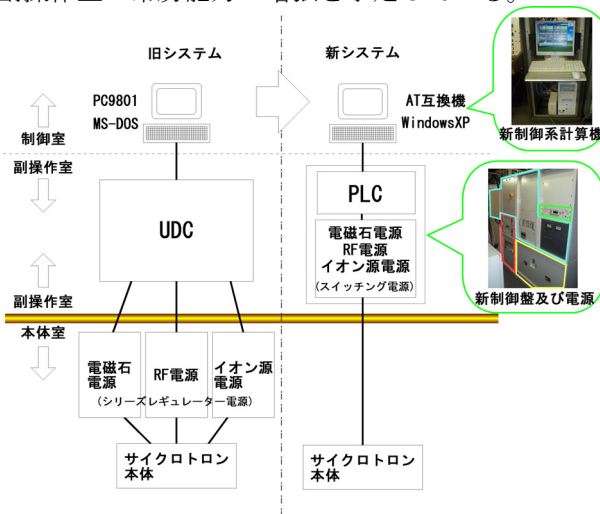


図3 制御系及び電源の新旧システムブロック図

6. 直線照射コース(C-4コース)におけるビーム輸送系の改良

直線照射室のC-4コースは放射性薬剤の製造専用で使用されていて、金属ターゲットへ照射し⁶²Cuや⁶⁴Cu等を製造することができるコースとなっている。このC-4コースにおいて、ターゲットと最後の90度偏向電磁石の間で、ビームの位置や形状を調整できるビーム輸送系の要素は、垂直方向のステアリング電磁石と四極電磁石2台のみのため、ターゲットでのビーム位置調整でビームロスが起こる等、調整が困難であった。最近、このコースの利用頻度が高くなったことからビーム調整の簡便化を図るため、四極電磁石1台を追加し、さらに水平・垂直ス

テアリング電磁石を四極電磁石の下流に追加した(図4)。また、放射化していたステンレス製のダクトを減衰の早いアルミ製のダクトへ変更した。このダクトの形状を四極電磁石内側の形状に合わせて円形から四角ダクトへ変更してビームのアクセプタンスを広げた。さらに、C-4コース下流のビームシャッターを板状のものから、ビームカレントの測定精度を上げるため2次電子の影響を受けにくいカップ型に変更した。このカップ型ビームシャッターは、放射化低減も狙ってカップ底面にグラファイトを埋め込んだ構造にした。

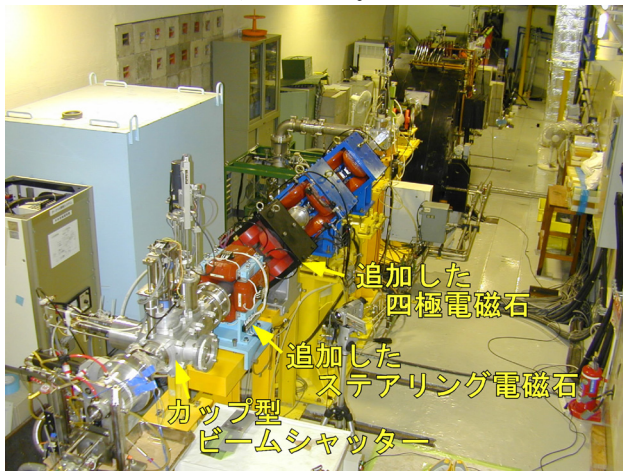


図4. 直線照射コース(C-4コース)

7. 大型サイクロトロン用バックアップイオン源の導入

大型サイクロトロンでは、ECRイオン源を使っているが、このECRイオン源にトラブルが起き運用不能になった場合のために、バックアップイオン源の開発を行っている。2008年度における大型サイクロトロンの運転時間では陽子の利用が全体の80%を占めている(表1)。そこで、開発しているイオン源では陽子のみを目標とした。この場合は、比較的電離エネルギーが小さいため、直流アーク放電のイオン源で発生させることができる可能性があり、ECRイオン源に必要なマイクロ波源やマイクロ波回路は不要となる。この目的のために、HIMACで以前試作して、その後使われなくなっていた2.45GHzのECRイオン源を、PIG型イオン源に改造した。改造後、テストベンチでのビーム試験を行い、PとH₂⁺を合わせて240 μAのビーム電流を確認した。そこで、大型サイクロトロンへ設置して、ビーム試験を行なった。その結果、H₂⁺を28 MeVで取り出した時、サイクロトロン入射位置で15 μAであった。イオン源出口から、サイクロトロン入射位置まで到達するビーム量が非常に少なく提供に必要なビーム量に満たなかった。イオン源の出口から、90度偏向電磁石を真直ぐに通る時のビームロスが多く、サイクロトロンの入口までの集束要素が不足していると考え

られる。今後、このイオン源の永久磁石を強化するなど、ビーム量を増強するための改造を行い、実際の運転で利用出来るようにしていく予定である。

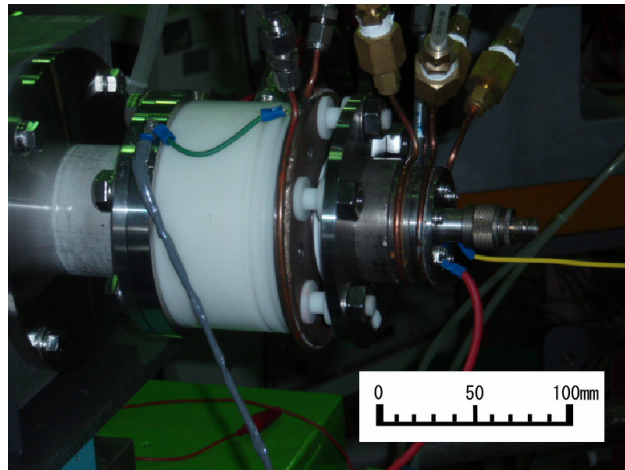


図5. バックアップイオン源
(コンパクトマイクロRFイオン源改造PIG型イオン源)

8. まとめ

2008年度は大型サイクロトロンを約1700時間、小型サイクロトロンを約1400時間運転し、放射性薬剤の製造及びその他の実験に利用された。二つの装置とも故障などによりビームを停止しているが、最大のケースでも3時間のビーム停止にとどめることができ、良好なビーム提供を実現できている。

2008年度も施設の維持のために様々な改良や更新を行った。大型サイクロトロンでは、直線照射コースにおけるビーム輸送系の改良を行ない、ビーム調整を容易にした。また、バックアップイオン源を導入するためのビーム試験を行なった。今後実際の運転で利用できるように開発して行く予定である。そして、小型サイクロトロンでは、制御系及び電源の更新を行った。冬の定期メンテナンス期間中に行なうことができ、新年度から新システムでビーム提供を行っている。

参考文献

- [1] 平成20年度 サイクロトロン利用報告書 NIRS-M-224. H21.7.
- [2] 鈴木和年., 放射線医学総合研究所におけるRI製造, Isotope News, P8-11, 2008年04月
- [3] Hisashi Kitamura, et.al., "Future ICCHIBAN Experiments Using Proton Beams", 13th WRMIS, Sept. 9th, 2008, Krakow, Poland
- [4] C. Dal Cappello, et.al., Theoretical and experimental investigations of electron emission in C⁶⁺ + H₂O collisions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267, 781-790 (2009)