

PRESENT STATUS OF CYCLOTRONS (AVF930, HM18) IN NIRS

M. Kanazawa^{A)}, S. Hojo^{A)}, A. Sugiura^{A)}, T. Honma^{A)}, K. Tashiro^{A)}, H. Suzuki^{A)}, H. Kitamura^{A)}, Y. Uchihori^{A)},
T. Okada^{B)}, T. Kamiya^{B)}, Y. Takahashi^{B)}

^{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

Since Japanese government launched a new program of the “Molecular Imaging Research Program” in 2005, NIRS AVF930 cyclotron has been mainly operated to produce radio-isotopes together with a small cyclotron (HM18) for PET diagnosis. There is also machine operation of AVF930 for physical experiments and tests of radiation damage on electric devices. To carry out cyclotron operations for these purposes, some improvements have been done. In this report, we will present recent operational status of NIRS cyclotron facility (AVF930, HM18).

放医研サイクロトロン (AVF930, HM18) の現状

1. はじめに

1974年に運転を開始した放射線医学総合研究所(放医研)のAVF930サイクロトロンは、速中性子線を利用した癌治療を行うために建設された。実際のビーム利用では癌治療を行うため、速中性子線の利用の他に、陽子線を使った癌治療及び放射性薬剤を利用するためのRI製造のためにも利用された。しかし、HIMAC(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)を使った炭素イオンビームでの癌治療が1994年に開始されるのに合わせて、速中性子線を利用した癌治療は終了した。陽子線を使った眼球腫瘍の治療はしばらく続いたが、HIMACでも眼球腫瘍の治療を炭素イオンビームで開始した時点で、サイクロトロンのビームを利用した癌治療はすべて終了した。一方、RI製造に関しては、AVF930設置の最初の段階から図1のC1及びC2ビームラインを使って研究が行われてきたが、HIMACで炭素イオンビームでの癌治療が1994年に開始されたのに合わせて、RI製造のために専用のサイクロトロンであるHM18が導入された。このサイクロトロンで作られる¹¹Cで標識されたメチオンinは、HIMACで重粒子線治療を行う際に、治療前の及び治療後のPET診断に利用され、治療効果の判断のために無くてはならない手段になった。さらに、2005からは、分子イメージング研究の研究プロジェクトがスタートして、AVF930からのビームも利用して、RI製造を行っている。このプロジェクトのスタートに合わせて、安定した運転を実現するために、AVF930サイクロトロンのD電極を含めたRF装置を更新した[1]。

又、小型サイクロトロン(HM18)は1994年以来RI製造専用利用しているが、そこで使用している制御装置が古くなり、修理が困難になってきていた。そこで、2009年春にその制御系を電源類及び駆動用モーターと共に一新している。

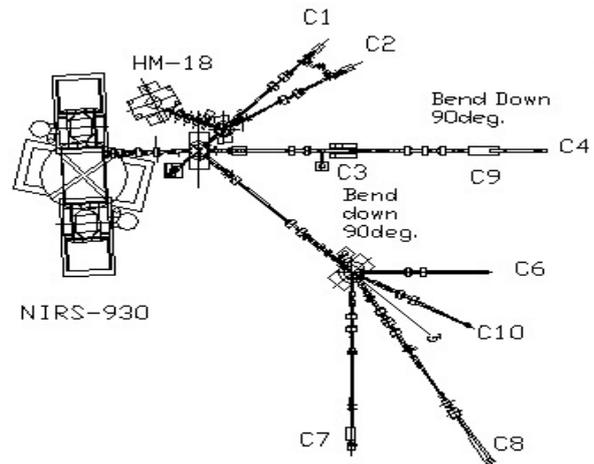


図1：サイクロトロン及びビームラインの配置。

2. AVF930及びHM18運転の現状

AVF930サイクロトロンのビーム利用は月曜から金曜までの昼のみの運転で行っており、週一回程度はRI製造以外の一般的な実験及び放射線損傷のテストにビーム提供を行っている。RI製造には金属ターゲットを照射できロボットで照射したターゲットを取り出せるC4コース、及び垂直ビームラインを利用して、融点が比較的低い物質で、照射中は液体になっているターゲットを照射できるC9コースを利用する事ができる。それ以外の一般的なビーム利用には、汎用照射室の3つのビームライン(C6, C8, C10)がある。特にC8コースは一様な照射場を作るために、ワブラー電磁石が設置されている。又、直線照射室のC3コースにはBeターゲットが設置されており、中性子の照射が出来る様に整備されている。

又、HM18の陽子のエネルギーは18MeV、重陽子

のエネルギーは 9MeV と一定であり、短寿命 RI 製造専用に利用されている。このサイクロトロンを使って、一般的な ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{13}N の製造を、4つのポートの内部ターゲット及び C1,C2 コースを利用して行っている。

大型及び小型サイクロトロンの運転に関して、2004 年から各年度の積算時間を図 2 に示す。図を見てもわかるように、大型及び小型サイクロロンとも最近の運転時間は約 1500 時間になっている。ただし、2005 年と 2006 年の運転時間が少なくなっているのは、2005 年度の終わりに AVF930 の RF 装置の更新作業をするために、運転時間が短くなっている。このため、同じ放射線の管理区域にある HM18 の運転時間も短くなっている。又、大型及び小型サイクロロンとも約 1500 時間運転することが出来ているが、これは、年に春と夏のメンテナンス期間が合わせて 5 週間、及び月曜日のメンテナンス（2 週間に 1 回は一日、他は半日）を考えると、2つのサイクロロンとも順調に運転できている。

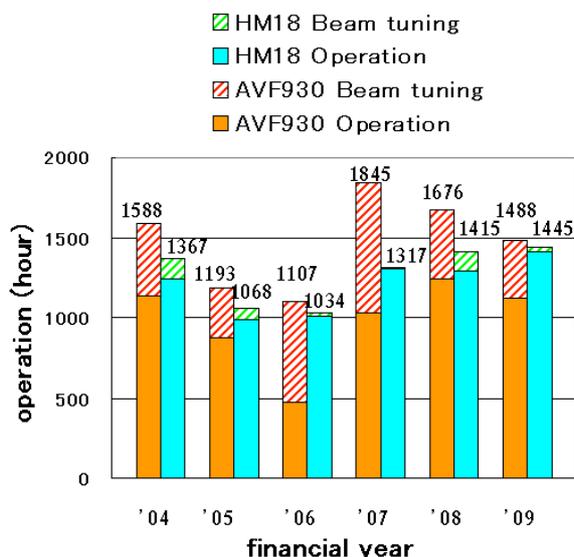


図 2: AVF930 と HM18 各年度の運転時間。

AVF930 に関しては、利用分野ごとの運転時間を表 1 に示す。これからわかるように、メインの利用は確かに RI 製造のための運転であり、全体の 37% を占めている。それ以外の利用では、放射線検出器の開発関連が 22% と多く、一般的な物理実験にも 8% のマシンタイムが使われている。又、宇宙環境で使用する電子部品の放射線耐性のテストにも 5% のマシンタイムが利用されているが、多くが有料実験として行われている。又、2% とわずかではあるが、中性子の放射線耐性を調べる実験も行われている。生物実験に関しては、1% とわずかではあるが、陽子ビームの利用がされている。これは、大型サイクロトロンのビーム強度が十分高いため、高線量率の生物実験がし易い事から来ている。その他、新しい粒子、あるいはエネルギーのビームを提供するための調整に 24% の運転時間が使われた。（この時間には、

サイクロトロンの運転で起こった問題を解決するための調整運転も含んでいる）

表 1: AVF930 の分野別運転時間

RI productions for radiopharmaceutical	547.8h(36.8%)
Studies on radiation dosimeters	329.9h(22.2%)
Physical experiments	124.0h(8.3%)
Studies on radiation damage with neutron	30.4h(2.0%)
Biological experiments	14.8h(1.0%)
Radiation damage tests (Pay experiments)	78.3h(5.3%)
Tuning operation and machine developments	362.3h(24.4%)
Total	1487.5h

利用したビームの粒子及びエネルギーに関しては表 2 にまとめたが、 H_2^+ を含めて陽子の利用が最も多い。又運転時間の多いエネルギーは ^{124}I 製造のための H_2^+ 加速の 27MeV になっている（ H_2^+ の 28MeV は 27MeV と同じ RI 製造のための運転で、製造する RI の励起関数に応じてエネルギーを最適化した結果 27MeV を最終的に利用した）。その他では、放射線検出器の開発及び電子部品の放射線耐性のテストに利用する 70MeV が多く、それに ^{62}Cu 製造のための 30MeV の利用が続いている。陽子ビーム以外では、水分子からの二次電子放出断面積の測定を行っている炭素ビームの利用が目立っている。

表 2: AVF930 の運転の加速粒子とエネルギー。

proton		carbon (6+)		other particles	
energy (MeV)	operation (h)	energy (MeV)	operation (h)	energy(MeV)	operation(h)
80.0	11.5	180.0*	4.0	H_2^+ 27.0	288.9
70.0	273.9	156.0*	3.5	H_2^+ 28.0	166.0
50.0	9.0	144.0	28.0		
40.0	34.3	120.0	24.5	d^+ 30.0	39.6
30.0	163.9	72.0	173.5		
18.0	65.3	48.0	32.8	α 40.0	10.5
16.0	23.0				
12.0	74.0			$^{13}\text{C}^{4+}$ 104.0	24.3
10.0	26.0			$^{13}\text{C}^{4+}$ 143.0	11.0
	680.9		266.3		540.3
【*】 wit hout beam extraction				total time(h)	1487.5

3. 物理汎用コース C8

C8 コースは図 3 に示すように、ターゲットポイントの上流約 3m の所にワブラー電磁石が設置されており、この電磁石のすぐ上流の所に置かれた散乱体と組み合わせて、ターゲットの所で一様なビームの分布が利用出来るようになっている。この様にして得られたビーム分布を測った例を図 4 に示すが、 $\pm 4\text{cm}$ の範囲で $\pm 5\%$ 以内の一様な分布のビームを利用することが出来ている。



図 3: 空間的に一様分布を得られるようにワブラー電磁石が設置されている C8 コース。

又、実験によっては照射する線量の値を正確にコントロールしたい場合がある。このために、ワブラーマグネットの上流にクイックシャッターを設置した。このシャッターは手動での開閉動作以外に、TTL 信号でも開閉動作させられる様になっている。このシャッターを閉じる時間を、超過して通過するビーム量から推定したところ、約 200ms であった[2]。現在、このコースは宇宙の放射線環境で使用する電子回路等の耐放射線性のテストに頻繁に利用されている。その場合のビームエネルギーは陽子 70MeV が使われているが、ビーム取り出し用マグネティックチャンネルの磁場を 70MeV に対応した値まで高くできない問題を抱えていて、現在新しいマグネティックチャンネルの設置を検討している[3]。

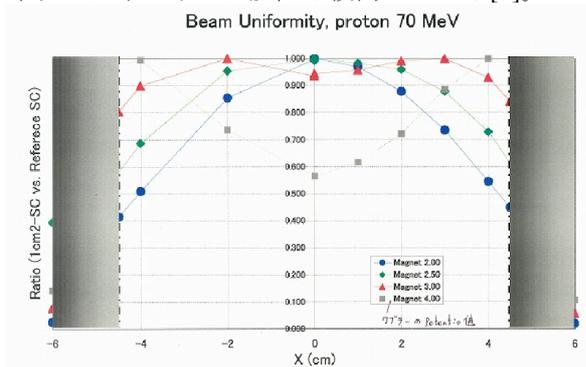


Figure 4: ワブラー電磁石と散乱体を使って得られたビームの分布。

4. 水平直線照射室 C4

C4 コースは垂直照射の C9 コースと共に、一般的な短寿命 RI 以外を作る場合に利用する照射コースになっている。垂直照射では、Te をターゲットとして効果的に ^{124}I を作る事に成功している。これに対して、C4 コースの照射では、融点の高い金属を照射出来るようになっている。このポートで作る代表

的な RI としてはジェネレーターの $^{62}\text{Cu}/^{62}\text{Zu}$ が挙げられ、2007 年から 2009 夏まで共同研究として、放医研内及び外部 3 箇所への供給を行った。そのためにプロトンエネルギー 30MeV、ビーム強度 20 μA で、朝 9 時から午後 7 時まで Cu ターゲットを照射した。このような外部への RI 提供を伴う照射は、2010 年終わりに再開する予定である。そのために、ターゲット直前に図 5 に示すように Q 電磁石一台とステアリング一台を追加設置し、ターゲット上でのビーム形状と位置の調整をし易くした。さらにターゲット部を更新して、冷却を強化したターゲット部を設置する予定である。又、ビームに関しては、高調波を使ったビームバンチャーを利用して、ビーム強度を上げられるように開発を進めている[4]。これにより、外部への RI 提供を伴う場合でもより短時間の照射でも、できる様になる。



図 5: C4 コース。

参考文献

- [1] T.Honma et al., Proc. 18th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications 2007, Oct. 1-5, 2004, Giardini Naxos, Italy, p137-139.
- [2] H.Kitamura, 平成 21 年度 サイクロトロン利用報告書
- [3] S.Hojo et al., in this conference.
- [4] A.Sugiura et al., in this conference.