

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

Akinori. Sugiura^{A)}, Satoru. Hojo^{A)}, Katsuto. Tashiro^{A)}, Toshihiro. Honma^{A)}, Mitsutaka. Kanazawa^{A)}, Akira. Goto^{A)},
Takanori. Okada^{B)}, Takashi. Kamiya^{B)}, Yuichi. Takahashi^{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 an 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 cyclotron has been used for production of short-lived radio-pharmaceuticals for PET, research of physics, developments of particle detectors in space, and so on. In this report, operational status of the cyclotron facility and some improvements are presented.

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)のサイクロトロン棟には大型サイクロトロン(NIRS-930)と小型サイクロトロン(HM-18)が設置されている。

1974年に運転を開始した大型サイクロトロンは、放射性薬剤の製造・研究を中心に、物理研究や、粒子線検出器の開発、粒子線による損傷試験、照射システムの開発、生物実験、有料ビーム提供等の分野に対して使われ、老朽化対策を行いながらビームを提供している。また、大型サイクロトロンでは改良開発も行っており、ビーム強度の増強やビーム品質の向上を目指して、位相プローブの製作とシングルギャップビームバンチャー電極の製作を行った。

1994年に運転を開始した HM-18 は放射性薬剤の製造および開発専用に使われ、大きな故障も無く運転している。

本報告では、サイクロトロン施設の利用状況および改良開発について述べる。

2. 大型サイクロトロンの運転実績と利用状況

平成 22 年度の大型サイクロトロンの総運転時間は 1584 時間であった。大型サイクロトロンには、外部イオン源として永久磁石型 ECR イオン源(Kei-source)^[1]が設置されており、陽子をはじめとしてヘリウム(He)、炭素(C)、酸素(O)といった様々な粒子を加速することが可能となっている。加速可能なエネルギーは、陽子で 8~90 MeV である。

粒子・エネルギー別運転時間を図 1 に示す。主目的である放射性薬剤の製造・研究では主に 8~30 MeV の比較的低いエネルギーの陽子が利用され、

40~70 MeV の高いエネルギーの陽子は主に粒子線検出器の開発や有料ビーム提供で利用されている。そのため、陽子の運転時間が 72.0%を占めている。

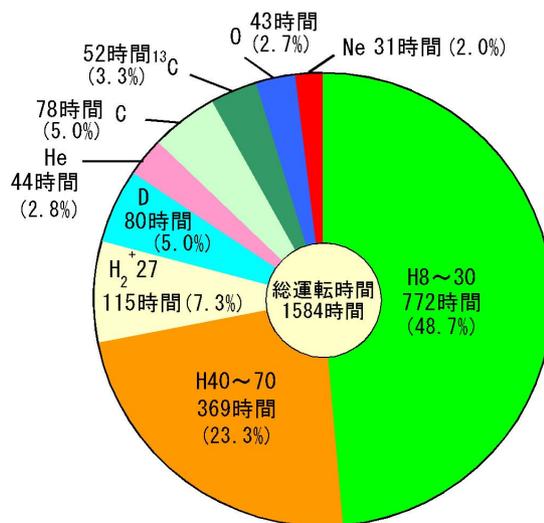


図1：大型サイクロトロンの粒子・エネルギー別運転時間

利用目的別運転時間を図 2 に示す。主目的である放射性薬剤の製造・研究では 27.9%の運転時間が当てられた。そのほかでは、物理研究に 10.6%、粒子線検出器の開発に 6.2%、粒子線による損傷試験に 3.8%、照射システムの開発に 3.7%、生物研究に 1.0%が当てられた。さらに、本年度は有料ビーム提供が大幅に増え昨年の倍以上である 12.0%になった。ビーム開発では、34.5%の運転時間が当てられ、輸送および透過効率の改善や、新規供給ビームの調整等に使われた。

#sugiura@nirs.go.jp

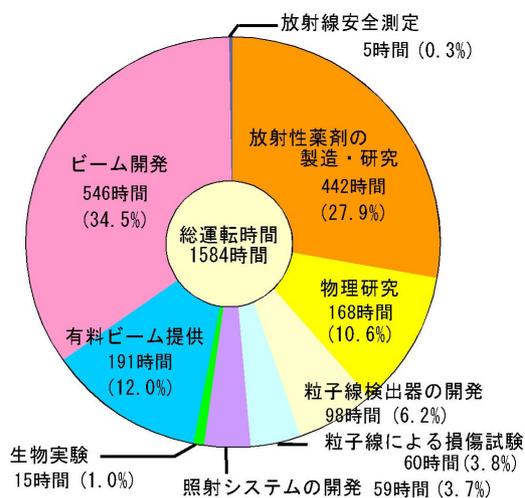


図2: 大型サイクロトロン分野別運転時間

3. 小型サイクロトロンの利用状況

小型サイクロトロンは、負イオン加速型のサイクロトロンであるため、陽子と重陽子のみが供給可能である。加速エネルギーも固定で、陽子で 18 MeV、重陽子で 9 MeV となっている。平成 22 年度の小型サイクロトロンの運転時間を図 3 に示す。総運転時間は 1691 時間で、そのうち 98.8% の 1671 時間が陽子による ^{11}C や ^{13}N 、 ^{18}F などの放射性薬剤の製造に利用された。重陽子は、前年度と同様に ^{15}O の提供依頼がなく、平成 22 年度も利用運転はなかった。また、定期点検に伴うビーム確認のための調整運転時間は、陽子が 11 時間で、重陽子が 9 時間であった。

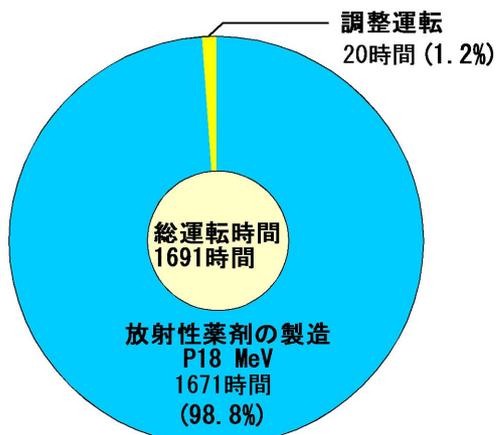


図3: 小型サイクロトロン運転時間

4. 位相プローブの製作

サイクロトロンにおいて粒子を加速するためには、粒子の周回周波数を一定(等時性)に保つ必要がある、そのためには等時性磁場を作ることが本質的な問題である。大型サイクロトロンではこの等時性磁場が、メインコイルの他に 12 個のトリムコイルによって形成されている。

現在は、新しい粒子を加速する場合、メインプローブと呼ばれる半径方向に移動するビームモニ

ターでビームを止めて電流を確認しながら、トリムコイルを用いて磁場の調整をしている。この方法では、ビーム加速調整に時間がかかる上に最終的に得た磁場が本当に等時性になっているかを確認することができない。

そこで、位相プローブを設置することとした。位相プローブは、平行平板の電極をビーム軌道を上下に挟むように半径方向に沿って複数対配置することで、ビームによる誘導電流を検知して、ビームが各電極対を通過するタイミングを測定する非破壊型ビームモニターである。これにより、等時性の確認が容易にできることから、ビームの品質や通過効率の向上、特に後述するネオンイオンの加速調整のような新規ビームの加速調整時間の短縮が期待される。

平成 22 年度は、位相プローブ本体の製作を行った。図 4 に位相プローブの配置図を、図 5 に位相プローブの設置写真を、表 1 に位相プローブの電極寸法を示す。位相プローブは 10 対の電極からなり、各電極の大きさはサイクロトロン最内周側から 58 mm×40 mm が 3 対、58 mm×60 mm が 4 対、58 mm×93 mm が 3 対で、電極間隔は 50 mm である。平成 23 年 7 月末に設置した。8 月よりビームテストを予定している。

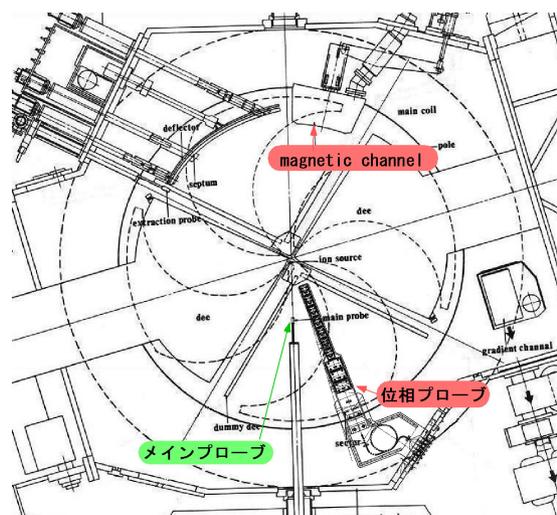


図4: 位相プローブの配置図

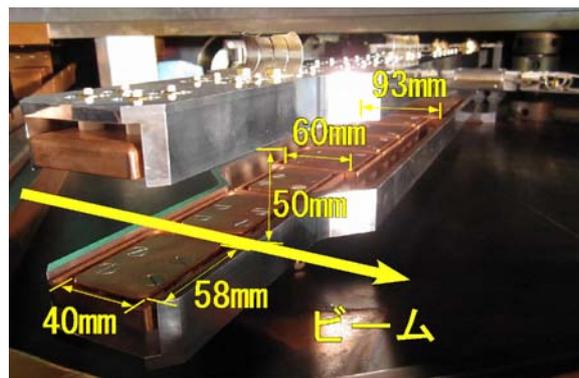


図5: 位相プローブの写真

表 1 : 位相プローブの電極寸法

電極間隔	50mm	
電極	10 対	
個数	幅[mm]	長さ[mm]
3	40	58
4	60	58
3	93	58

5. シングルギャップビームバンチャー電極の製作およびビームテスト

ビームバンチャーは、イオン源から引き出された直流ビームを、サイクロトロン加速周波数に合わせてバンチングする装置である。加速位相と比べて早いビームを減速し、遅いビームを加速させることにより、加速位相内にビームを集めてサイクロトロンへの入射効率を向上させる装置である。

大型サイクロトロンの入射系には、以前より正弦波の電圧を印加する共振型のダブルギャップビームバンチャー（以下ダブルギャップ）が設置されている。このダブルギャップによってビーム強度を 2～5 倍にする効果が得られている。

ビームバンチャーの理想的な電圧波形は、加速位相からずれた時間に比例した強さで加速および減速をする鋸歯状波形である^[2]。共振型のダブルギャップは必要電力を低くすることができる利点はあるが、電圧を鋸歯状波にすることができない。そのため、理想的なバンチャーに近づけ、さらなる高倍率を実現するためにシングルギャップビームバンチャー（以下シングルギャップ）の開発を行うこととした^[3]。

平成 22 年度は、シングルギャップの電極の製作を行いダブルギャップの上流に設置した。今回製作したシングルギャップ電極の構造図を図 6 に、写真を図 7 に示す。シングルギャップは、高周波電極とアース電極の 2 つの電極により構成されている。2 つの電極はそれぞれ内径 35 mm のリングに、直径 50 μm の金メッキされたタングステンワイヤーを 3 mm 間隔で張ったものを用いている。電極間のワイヤー間隔は 5 mm である。

ビームテストはダブルギャップの共振回路を使用して、高周波電極に正弦波電圧を印加した。ビームは 12 MeV の陽子であり、加速周波数は 16.55 MHz、ハーモニクスは 2 である。

ビームテストの結果、ダブルギャップのバンチング効率の 2.5 倍に対して、シングルギャップのバンチング効率は 1.7 倍と低い値であった。同じ効率が得られなかった原因は、バンチング効率やバンチ幅のビーム強度依存性の測定を行った結果、空間電荷

効果であることが分かった^[4]。また、鋸歯状波電圧を発生させるためのシステムは、今後構築する予定である。

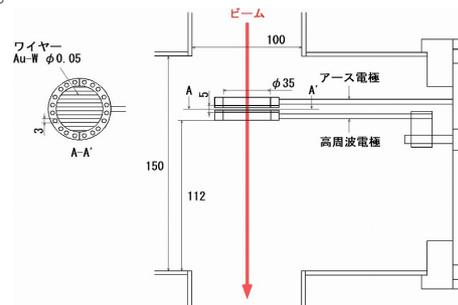


図 6 : シングルギャップ電極の構造図

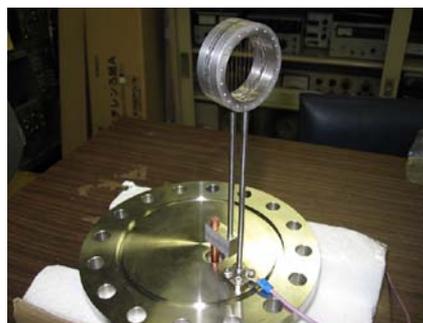


図 7 : シングルギャップ電極の写真

6. 老朽化対策

大型サイクロロンでは様々な老朽化対策を行っている。建設以来使用してきた差圧式の流量計を、フロート型流量計に順次入れ替えている。また、大型サイクロトロンのマグネチックチャンネルは、冷却水の流量低下により運転可能な通電電流が低下し、最大エネルギー(90 MeV)の陽子を取り出せなくなっていた。そのため、新たに同型のマグネチックチャンネルを製作した。3 月末に交換予定であったが、東日本大震災後の余震の影響により延期され、平成 23 年の 7 月末に交換作業を行った。

参考文献

- [1] Masayuki Muramatsu, Atsushi Kitagawa, Yukio Sakamoto, Shinji Sato, Yukio Sato, Hirotsugu Ogawa, Satoru Yamada, Yoshikazu Yoshida, Arne Drentje : Development of a compact electron-cyclotron-resonance ion source for high-energy carbon-ion therapy, Rev. Sci. Instrum.76 113304 (2005).
- [2] K.Ikegami, A.Goto : Beam Buncher in the Injection Beam Line for the Injector AVF Cyclotron., RIKEN Accel. Prog. Rep. 22 (1988).
- [3] 杉浦 彰則、金澤 光隆、北條 悟、本間 壽廣、田代 克人、岡田 高典、神谷 隆、小松 克好、野田 耕司、 : AVF サイクロトロン用高調波ビームバンチャーの開発。第 7 回日本加速器学会年会。WEPS057 p77. 兵庫県姫路市。2010.8.
- [4] 北條 悟、後藤 彰、本間 壽廣、杉浦 彰則、田代 克人、岡田 高典、神谷 隆、高橋 勇一 : AVF-930 サイクロトロン用高調波ビームバンチャーの開発(II)。第 8 回日本加速器学会年会。TUPS113. 茨城県つくば市。2011.8.