

## 放医研サイクロトロン (NIRS-930, HM-18) の現状報告

### PRESENT STATUS OF CYCLOTRONS (NIRS-930, HM-18) IN NIRS

北條 悟<sup>#,A)</sup>, 片桐 健<sup>A)</sup>, 中尾 政夫<sup>A)</sup>, 杉浦 彰則<sup>A)</sup>, 村松 正幸<sup>A)</sup>, 野田 章<sup>A)</sup>,  
 岡田 高典<sup>B)</sup>, 高橋 勇一<sup>B)</sup>, 込山 明仁<sup>B)</sup>, 本間 壽廣<sup>B)</sup>, 野田 耕司<sup>A)</sup>  
 Satoru Hojo<sup>#,A)</sup>, Ken Katagiri<sup>A)</sup>, Masao Nakao<sup>A)</sup>, Akinori Sugiura<sup>A)</sup>, Masayuki Muramatsu<sup>A)</sup>, Akira Noda<sup>A)</sup>,  
 Takanori Okada<sup>B)</sup>, Yuichi Takahashi<sup>B)</sup>, Akihito Komiyama<sup>B)</sup>, Toshihiro Honma<sup>B)</sup>, and Koji Noda<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Radiological Sciences

<sup>B)</sup> Accelerator Engineering Corporation

#### Abstract

The cyclotron facility at National Institute of Radiological Science (NIRS) consists of a large cyclotron (Thomson-CSF NIRS-930,  $K_b=110$  MeV and  $K_f=90$  MeV), a small cyclotron (Sumitomo- Heavy- Industry HM-18), and nine experimental beam lines. The NIRS-930 has been used for production of short-lived radio-pharmaceuticals for PET, research of physics, developments of particle detectors in space, and so on. To carry out cyclotron operations for these purposes, some improvements have been done in the facility. In this report, we will present recent operational status of the NIRS cyclotron facility (AVF930, HM18), and its improvement points.

#### 1. はじめに

放射線医学総合研究所 (NIRS) には NIRS-930 サイクロトロン ( $K=110$ ) と HM-18 サイクロトロン ( $K=20$ ) の 2 台のサイクロトロンがある。NIRS-930 は分子イメージング研究のための RI 製造を主目的として利用され、それ以外にも検出器の開発、基礎物理研究、耐放射線性試験など、様々な目的で利用されている。HM-18 は、RI 製造専用利用されている。

NIRS-930 は、2007 年に高周波系の改良を行い、ムーバブルパネル型からショート板型の共振器への更新をおこなった。その際に、それまで用いていた内部イオン源から外部イオン源へ切り替え、垂直入射の実質的な運用を開始し、陽子をはじめに、重陽子、ヘリウム、炭素、酸素といった様々な核種を供給している。主目的である RI 製造には、高いビーム電流が必要なため、陽子においてビーム電流の増強を進めている。そのため、入射ビームラインの輸送効率の改善を目指し、ビームビューアとステアリングマグネットを追加して、ビームの軸だし調整を行った。また、迅速なビーム電流の制御のためにビームアッテネータを設置した。入射ビームライン以外では、マグネティックチャンネル通過後のサイクロトロンから取出されるビームのモニターとしてラディアルプローブを設置した。

HM-18 は、RI 製造専用として 1995 年に設置され、2009 年に制御系を含め電源の更新を行い、稼働を続けている。今回、昨年導入した位相プローブにより重陽子ビームの位相測定を行った。

#### 2. 利用状況

NIRS-930 の 2012 年度の総運転時間は 1936 時間であった。運転時間の目的別の割合を Figure 1 に示す。

す。主目的である放射性薬剤の製造研究に 35.4%、新ビーム調整や調整運転に 29.4%、その他の利用では、物理研究に 9.4%、粒子線検出器の開発に 7.7%、粒子線による損傷試験に 4.7%、生物研究に 3.3%であった。有料でのビーム利用が 9.7%ありここでは、主に宇宙関連の照射試験などが行われた。

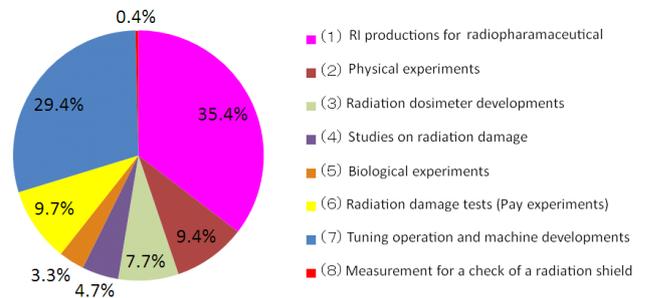


Figure 1: The purpose-oriented rate of the operated time at NIRS-930.

また、HM-18 の 2012 年度の総運転時間は、1823 時間であった。粒子目的別の割合を Figure 2 に示す。95.7%が陽子、1.4%が重陽子による RI 製造に利用された。

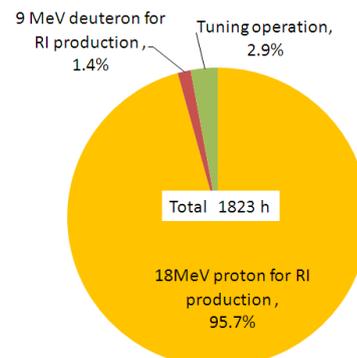


Figure 2: The purpose-oriented rate of the operated time at HM-18.

<sup>#</sup> s\_hojo@nirs.go.jp

### 3. NIRS-930 における改良

#### 3.1 入射ビームラインの効率改善

NIRS-930 において、主目的となっている RI 製造には、高いビーム電流での照射が必要になる。そのため、いくつかのビーム電流増強のための改良が進められている。そのひとつとして今回、入射ビームラインの透過効率の改善を行った。NIRS-930 の入射ビームラインのレイアウト図を Figure 3 に示す。入射ビームラインには、3 連と 2 連の静電四重極レンズ (T-D-QE) があり、T-D-QE 入り口のファラデーカップ (FCN2) から T-D-QE 出口のファラデーカップ (FCN3) までの透過効率が低く、イオン源でのビーム電流を増やしてもサイクロトロンから取出されるビーム電流が増強できない要因の一つと考えられた。既設の入射ビームラインは、T-D-QE の上流にはイオン分析用の水平方向の偏向マグネットのみで、入射ビームの T-D-QE での軸調整が非常に困難であった。そのため、イオン源分析マグネットの上流と下流に、それぞれ縦方向①と縦横両方向②のステアリングマグネットの増設を行った。さらに、ビームビューアーを 3 箇所⑤⑥⑦に導入しビームの位置と形状の確認に用いた。ビームビューアーは、サイクロトロン本体と同室に設置せざるを得ず、放射線量が高いため、CCD カメラを遮蔽して 10m のファイバースコープを用いて、ビームプロファイルのモニターを行った。

ステアリングマグネットの増設後、30 MeV 陽子用の入射ビームで、輸送調整を行った。調整前後の各ファラデーカップとインフレクターにおけるビーム電流と透過効率を Table 1 に示す。調整前では 68%であった FCN2 から FCN3 までの効率は、76%に改善し、さらに FCN4 からインフレクターまでの効率も、78%から 90%へと改善することができた。今後、このパラメータでの入射を行い、サイクロトロンでの加速、取出し調整を実施し、取出されるビーム電流の増強を目指す予定である。

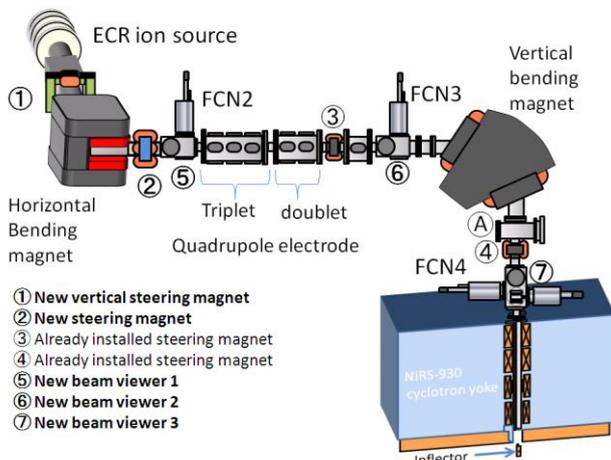


Figure 3: Layout of axial injection line at NIRS-930.

Table 1: Beam current and efficiency of axial injection line at NIRS-930 in 30 MeV protons operating.

Beam current [ $\mu\text{A}$ ]	FCN2	FCN3	FCN4	Inflector
Pre-Adjustment	217	148 (68%)	134 (91%)	104 (78%)
Adjusted	218	166 (76%)	155 (93%)	139 (90%)

(Transmission efficiency)

#### 3.2 ビームアッテネータの導入

RI 製造において大電流での金属ターゲットへの照射を行う場合、照射前にターゲット位置でのビームスポットの確認を行っている。ビームスポットの確認の際には蛍光板の劣化を避けるためにビーム電流を極端に下げなければならない。これまで、ビーム電流の調整にはイオン源引き出し直後のスリットを用いていた。しかしながらスリットを用いたビーム電流の調整は、エミッタンスが変化し、ターゲット位置でのビーム形状にも影響を与えてしまう。そのため、エミッタンスに変化を与えずにビーム電流の調整ができるようにビームアッテネータを入射ビームライン(Figure 3(A))に導入した。製作したビームアッテネータの写真 Figure 4 に示す。このビームアッテネータの減衰板は、強制冷却をせずに材質をスパッターしにくいモリブデンとした。モリブデン減衰板の厚さは 0.05 mm で、1/10 と 1/100 メッシュの 2 枚を取り付けた。

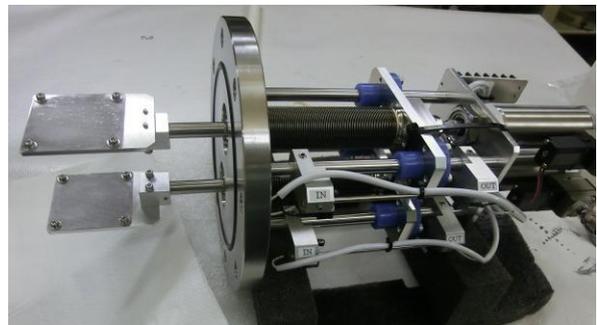


Figure 4: Photograph of beam attenuator.

#### 3.3 ラディアルプローブを導入

NIRS-930 から取り出されるビーム電流を検出するために、ラディアルプローブを導入した。NIRS-930 のレイアウトを Figure 5 に示す。これまで、静電デフレクタの入口でビーム電流を確認した後は、取り出し後のビームラインへ入り 3 連四重極電磁石を通った後のファラデーカップまで、ビームをモニターする事ができなかった。取出されるビームは、マグネティックチャンネルを通った後の Ch2 側 Dee 電極と、同軸型空洞共振器間の電極内部を通過して、グラディエントコレクタ入口に到達する。そのため、Ch2 側 Dee 電極の内部に、同軸型空洞共振器の背面から内筒内部を通してプローブを挿入しビーム電流を計測するラディアルプローブを導入した。このラディアルプローブを用いた 30 MeV と 18 MeV の陽

子の Ch2 側 Dee 中心軸での取出しビームの分布を Figure 6,7 にそれぞれ示す。両ビームとも、1125 ~ 1130 mm の位置で、ビーム幅も 12mm 程度であることが分かった。

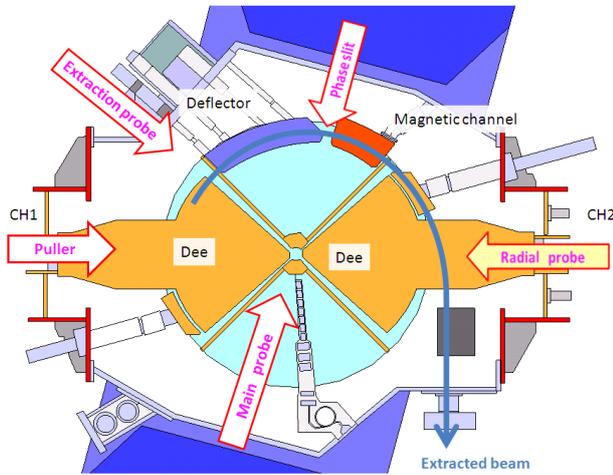


Figure 5: Layout of NIRS-930.

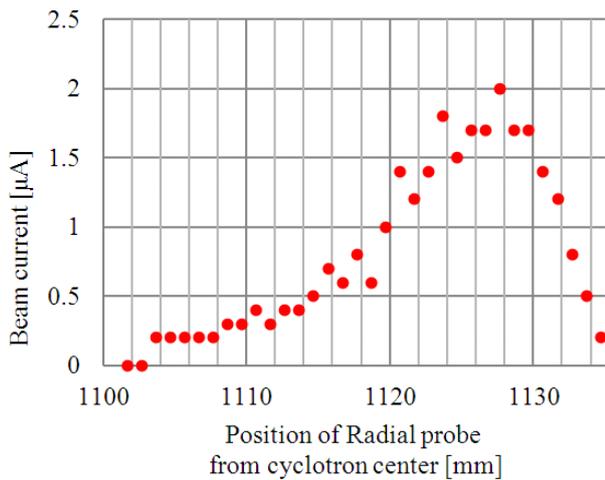


Figure 6: Beam profile by radial probe (30 MeV protons).

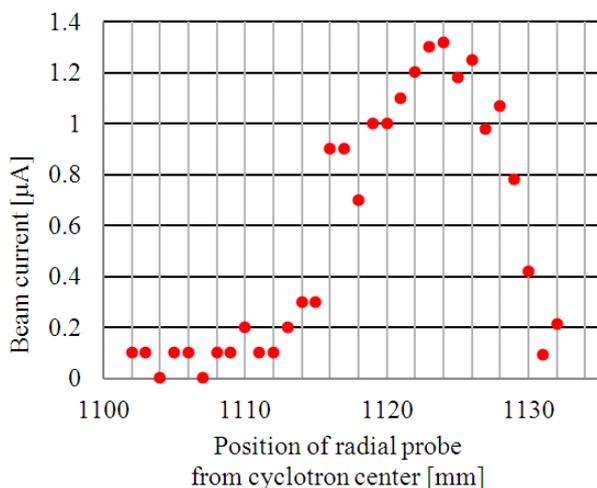


Figure 7: Beam profile by radial probe (18 MeV protons).

#### 4. HM-18 における重陽子ビーム位相測定

これまで位相プローブを用いて陽子のビーム位相測定を行い、等時性磁場の形成を行った<sup>[1],[2]</sup>。そこで今回、重陽子のビーム位相測定を行った。まず、これまでビーム供給時のメインコイル電流、トリムコイル電流での測定をおこなった。最もサイクロトロンに近い No.1 位相プローブを 0 度として、ビーム位相のずれを測定した。その結果、ビーム位相のずれは最大で 60 度程度であった(Figure 8 丸印)。全体のズレが+の方向だったため、メインコイルによる全体磁場の調整を行った。位相のズレを 30 度程度に収めることができたが、ビーム電流が 14  $\mu\text{A}$  から 11  $\mu\text{A}$  まで低下してしまった(Figure 8 三角印)。これは陽子ビームでの調整と同じく中心バンパ領域の磁場が変わったためと考えられる。今後、良い等時性磁場を確保しつつビーム電流を増すよう中心領域の改造等の検討をすすめる予定である。

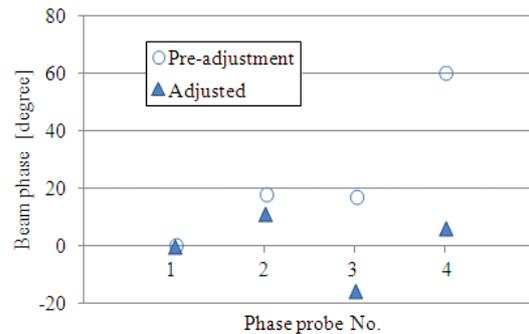


Figure 8: Phase excursion of a 9 MeV deuterons.

#### 5. まとめ

NIRS-930 は、分子イメージング研究のための RI 製造を主目的とし様々な目的で利用され年間の総運転時間は 1936 時間であった。また、ビーム電流の増強を目指し入射ラインの輸送効率の改善を行った。さらに、取出されるビームをモニターするため、ラディアルプローブを導入した。今後、ビームバンチャーの改良など取り出しビーム電流の更なる増強を進める予定である。

HM-18 の年間の総運転時間は 1823 時間であった。また、重陽子のビーム位相測定により等時性磁場の調整を行ったが、ビーム電流の増強につながらず、中心領域の改良等が今後の課題となっている。

#### 参考文献

- [1] Satoru Hojo, Ken Katagiri, Akira Goto, Yuichi Takahashi, Toshihiro Honma : DEVELOPMENT OF PHASE PROBE FOR THE NIRS SMALL CYCLOTRONS HM-18, International Beam Instrumentation Conference, Tsukuba, Japan MOPA07
- [2] Satoru Hojo, Ken Katagiri, Akira Goto, Yuichi Takahashi, Toshihiro Honma : 放医研小型サイクロトロン (HM-18) 用位相プローブの開発, 第 9 回日本加速器学会年会, 大阪, WEPS029, p424-426