

## 放医研サイクロトロン(NIRS-930, HM-18)の現状報告

### STATUS REPORT OF NIRS-930 AND HM-18 CYCLOTRON AT QST-NIRS

北條 悟<sup>#, A)</sup>, 涌井 崇志<sup>A)</sup>, 片桐 健<sup>A)</sup>, 杉浦 彰則<sup>A)</sup>, 宮原 信幸<sup>A)</sup>, 野田 章<sup>A)</sup>,  
岡田 高典<sup>B)</sup>, 青山 功武<sup>B)</sup>, 立川 裕士<sup>B)</sup>, 白井 敏之<sup>A)</sup>

Satoru Hojo<sup>#, A)</sup>, Takashi Wakui<sup>A)</sup>, Ken Katagiri<sup>A)</sup>, Akinori Sugiura<sup>A)</sup>, Nobuyuki Miyahara<sup>A)</sup>, Akira Noda<sup>A)</sup>,  
Takanori Okada<sup>B)</sup>, Isamu Aoyama<sup>B)</sup>, Yuji Tachikawa<sup>B)</sup>, Toshiyuki Shirai<sup>A)</sup>

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

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

#### Abstract

The cyclotron facility at National Institute of Radiological Sciences (NIRS) consists of a NIRS-930 cyclotron (Thomson-CSF AVF-930,  $K_b=110$  MeV and  $K_f=90$  MeV) and a small cyclotron HM-18 (Sumitomo- Heavy- Industry HM-18,  $K=20$  MeV). The NIRS-930 has been used for production of radionuclide. The other purposes of NIRS-930 were research of physics, developments of particle detectors in space, research of biology, and so on. The annual total operation time of NIRS-930 in last year was 1788 hours. The HM-18, that is a fixed energy negative-ion accelerator, has been providing 18 MeV protons and 9 MeV deuterons in order to produce short-lived radio-pharmaceuticals for Positron Emission Tomography (PET). The annual total operation time of HM-18 in last year was 1654 hours.

#### 1. はじめに

量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所(放医研)のサイクロトロン施設のレイアウトを Figure 1 に示す。放医研のサイクロトロン施設は、稼働から 40 年を超える NIRS-930 と、20 年を超える HM-18 の 2 台のサイクロトロンによって構成される。主目的を放射性薬剤の研究開発としているため、9 つある照射ポートのうち C-1, C-2, C-3, C-4, C-9 の 5 つは、放射性薬剤の研究開発専用のポートとなっている。NIRS-930 は、すべての照射ポートへのビーム導入が可能で、標的アイソトープ治療の研究開発に向けた放射性薬剤の研究開発を中心に、高精度陽子線治療に向けたイメージング技術の研究、荷電粒子の核破砕反応測定、放射線生物学の基礎実験、放射線検出器の開発、半導体素子の耐放射線性評価試験等に利用された。HM-18 は、C-1, C-2 の 2 つの照射ポートと、直結ターゲットにより、PET 核種の製造専用利用されている。それぞれのサイクロトロンについて報告を行う。

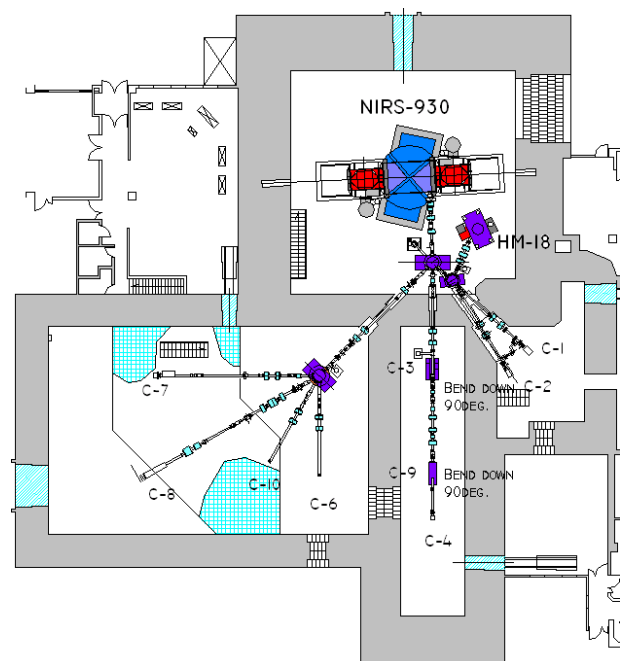


Figure 1: Layout of NIRS cyclotron facility.

#### 2. 小型サイクロトロン HM-18 の運転状況

HM-18 は、PET 診断薬の需要が高まり、それまで NIRS-930 のみで行われていた PET 核種の製造を賄うために 1994 年に導入されたサイクロトロンである。HM-18 からは、C-1, C-2 の 2 つの照射ポートと、本体に直結された 4 つのターゲットにより、PET 核種の製造が行われている。2016 年度の HM-18 運転時間を Table 1 に示す。総運転時間は 1654 時間であった。そのうち 1544 時間が陽子ビームの供給で、 $^{11}\text{C}$  や  $^{18}\text{F}$  の製造が行われた。重陽子ビームの供給による運転時間は、94 時間で、 $^{15}\text{O}$  の製造が行われた。長期メンテナンス後のビーム確認や、障害防止法に基づく定期測定などの調整運転に充てられた時間は、16 時間であった。2016 年度は、30 分以上の供給遅延が発生するような故障も無く、順調な運転を

行うことができた。

<sup>#</sup> hojo.satoru@qst.go.jp

Table 1: Annual Operation Time of the HM-18 (FY2016)

Operation time	Total	1654h
1. RI productions (Proton)	1544 h	
2. RI productions (Deuteron)	94 h	
3. Beam tuning / machine studies	16 h	
4. Beam stop by failure	0 h	
Unscheduled downtime / Operation time	0%	

### 3. 大型サイクロトロン NIRS-930 の運転状況

#### 3.1 運転時間について

NIRS-930 は、1974 年に速中性子治療と放射性同位元素の製造を目的として運用を開始した。その後、陽子線治療、分子イメージング研究と主目的を移行し、現在では、放射性同位元素の製造を主目的として稼働を続けている。2016 年度の運転時間と故障停止時間を Table 2 に示す。故障停止時間は、故障などによりビーム供給予定に 30 分以上の遅延が発生した際の遅延時間である。NIRS-930 の総運転時間は、1788 時間であった。この内、調整運転にあてられた時間は 615 時間で、新しいビームの調整や定期点検後のビーム確認、ビーム効率の改善、ビームのエネルギー測定、障害防止法に基づく漏えい測定などに用いられた時間である。

ユーザーへ供給された運転時間の合計は、1173 時間であった。主目的である、放射性同位元素の製造には、704 時間が充てられた。製造された放射性同位元素としては、PET 核種である  $^{11}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$  に加え、 $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{43}\text{Sc}$ ,  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{135}\text{La}$ ,  $^{211}\text{At}$  などの製造が行われた。

その他の利用では、物理実験での利用が 236 時間、生物実験が 7 時間、放射線検出器の開発に 39 時間が充てられ、187 時間が耐放射線性の試験等の有償利用に充てられた。

Table 2: Annual Operation Time of the NIRS-930

Operation time	Total	1788 h
1. Experiment	1173 h	
2. Tuning operation and machine studies	615 h	
1. Experiment summary		
RI productions	704 h	
Nuclear and atomic physics experiments	236 h	
Radiation damage tests (Proprietary research)	187 h	
Biological experiments	7 h	
Studies on radiation dosimeters	39 h	

#### 3.2 故障停止時間について

2016 年度における、NIRS-930 サイクロトロン故障停止時間は、34 時間であった。故障停止時間を故障停止となった原因別に Table 3 に示す。もっとも停止時間多かった原因としては、取り出しの静電デフレクタシステムによるもので 14 時間であった。静電デフレクタは、2016 年 3 月に更新した新しいシステムで、これに伴い、高電圧電源システムも更新した。更新した高電圧電源システム

において、微小電流変化の検出の感度設定が高く、微少な放電を感知して異常停止するといった過度な異常検出設定となっていた。高電圧電源システムの異常検出設定を変更するまでの期間に、電源の異常停止が多く発生してしまったため、静電デフレクタシステムによる供給遅延が多く発生してしまい、故障停止時間が大きな値になってしまっている。また、RF システムが原因となった故障停止時間は、7 時間あった。最終段の真空管の故障や、風量センサーの故障などが発生した。風量センサー故障においては、軽微な故障にもかかわらず、同室にある HM-18 が運転中であったため、現場確認等の作業ができずに NIRS-930 の供給遅延の時間が長くなってしまった。その他、入射ビームと RF コンディショニングや、制御回路、電磁石電源での不具合等により各数時間ずつの停止時間が発生している。電磁石電源が設置されているのも、HM-18 と同室となっているため、現場に入室できずに停止時間が増えることが多い。

2016 年度の総運転時間に対する故障停止の割合は、過去 5 年の平均 1.4%と比較すると、高い 1.9%であった。これは、先に記述した、デフレクタの高電圧電源システムによる停止時間の増加が要因となっている

Table 3: Unscheduled Downtime of the NIRS-930

Unscheduled downtime by failure	Total	34 h
Deflector system	14 h	
RF system	7 h	
Beam conditioning	5 h	
Control system	5 h	
Power supplies systems	2 h	
Human error	<1 h	
Unscheduled downtime / Operation time	1.9%	

### 4. 改良開発と老朽化対策

#### 4.1 デフレクタ電源制御システム

静電デフレクタの高電圧電源システムの更新に伴いその制御系の更新を行った。制御画面を Figure 2 に示す。高電圧電源システムの出力電圧モニター値と設定電圧との差を検出し、入射ビームを停止するシステムとした。出力電圧と電流の時間変化をモニターするためにトレンド画面を設けた。

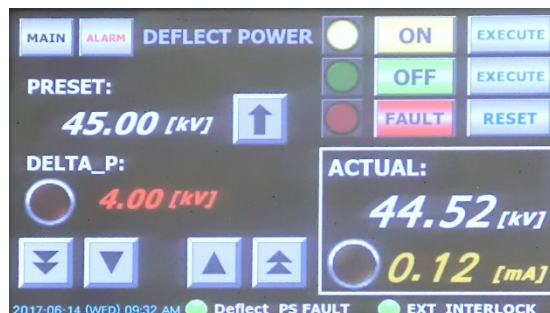


Figure 2: Display for deflector voltage control system.

#### 4.2 老朽化対策

NIRS-930 の高周波系システムは 2006 年に更新を

行ってから、10年間、大きな故障もなく稼働を続けている。10年を超えて稼働を続けているため空洞共振器を開放し点検整備を行った。共振器内部の消耗品である、Dec電極の機械的荷重を支えている絶縁碍子や、外筒と内筒の間のショート板に流れる電流を伝えるコンタクトフィンガーの交換を実施した。絶縁碍子の表面は、目視では黒化しており、部分的に電気的な抵抗値の低下が見られるところもあった。内筒及び外筒に用いていたコンタクトフィンガーは、弾性もあり、局所的な発熱などによる焼け溶解等は見られなかった。高周波系の冷却水流量計には、フロート式の流量センサーを用いているが、複数個所で正常に動作していなかったことが点検により発覚し対応を行った。

そのほか、ビーム輸送ラインでは、モールドされた間接冷却のコイルを用いた四重極マグネットに老朽化が進んでおり、複数のコイルにおいて、モールド内部からの水漏れが多々発生していたため、更新作業を実施した。

また、サイクロトロン冷却系において、サイクロトロンや各電源、ビーム輸送ラインの機器などに流れる2次冷却水用の純水生成用のイオン交換樹脂塔において、老朽化により亀裂が入り、漏水が発生していたため、樹脂塔の更新を行った。これまでの樹脂塔は75Lが6本設置されており、2本を1セットとして、使用中、予備、交換用として2-3年に1度切り替えるといった、長い周期で切り替えての使用を続けていた。容量が大きいため、1度の交換作業に要する作業時間やコストが大きくなってしまっていた。今回の更新に伴い、1回の交換作業でのコスト低下を図るため、交換作業も比較的容易に行うことができ、メーカーでの引取詰め替え対応が可能となるように容量を下げた50Lの樹脂塔を用いることとした。通水量はこれまでと同様になるよう3本2セットとしての運用を行っている。

また、この純水の2次冷却水を冷却するためのプレート熱交換器の分解清掃を行った。1次水の流れる系統は、冷温水発生装置で作られた冷水を屋上に設置された冷水槽に貯めて用いているため、純水ではない。また、一部古い鉄配管なども残ってしまっているため、プレート熱交換器の分解清掃を行った際には、錆などによるプレートの汚れが、1次冷却水側には顕著に見られた。プレート間のパッキンもすべて交換を実施した。

今後、埋設配管や、建屋内の部分的に残された鉄配管等の対応や、40年以上使われてきた冷却水用の大口径バルブ等の改修が必要となってきている。さらに、運転を開始して以来40年を超えるNIRS-930においては、サイクロトロンポール内部等における冷却水路の状況も不安の要因となってきている。そのため、ポール内部の更新に向けた具体的な検討等を進めている。