

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^{#,A)}, 涌井 崇志^{A)}, 片桐 健^{A)}, 杉浦 彰則^{A)}, 宮原 信幸^{A)}, 野田 章^{A)},
岡田 高典^{B)}, 立川 裕士^{B)}, 白井 敏之^{A)}

Satoru Hojo^{#,A)}, Takashi Wakui^{A)}, Ken Katagiri^{A)}, Akinori Sugiura^{A)}, Nobuyuki Miyahara^{A)}, Akira Noda^{A)},
Takanori Okada^{B)}, Yuji Tachikawa^{B)}, Toshiyuki Shirai^{A)}

^{A)} QST National Institute of Radiological Sciences

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

Abstract

The cyclotron facility at National Institute of Radiological Sciences (NIRS) consists of a NIRS-930 cyclotron (Thomson-CSF AVF-930, Kb=110 MeV and Kf=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 1731 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 1686 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では、2 台のサイクロトロンが稼働している。1 台は、1974 年に速中性子による治療と放射性同位元素(RI)の医学利用を主目的として運転を開始した NIRS-930 サイクロトロン(NIRS-930)[1]で、もう 1 台は、1994 年に運転を開始した PET 診断用核種製造専用の HM-18 サイクロトロン(HM-18)である。2 台のサイクロトロンは、平日昼間のみの運転を行っており、NIRS-930 のみが、月に 2 回程度、土曜日昼間の供給運転を行っている。マシンタイムは、2 期制で、それぞれのマシンタイム期間の終了後に 3 週間(HM-18 は 2 週間)のメンテナンス期間を設けている。2018 年度のそれぞれの運転時間は、NIRS-930 が 1731 時間、HM-18 では、1686 時間で概ねあった。これら運転状況や、各機器の改良、老朽化対策等について、報告を行う。

2. NIRS-930 運転状況

2.1 運転時間について

NIRS-930 は、放射性同位元素の製造を主目的として、それ以外にも物理実験や生物実験等にも利用されている。2018 年度の総運転時間は 1731 時間で各目的別の運転時間を、Table 1 に示す。総運転時間の中で、ユーザーに利用された運転時間は 1430 時間で、主目的である RI 生産には、889 時間が充てられた。そのほか、核物理実験に 243 時間、有償利用による放射線耐久試験に 177 時間、細胞照射実験に 104 時間、放射線検出器の開発に、17 時間であった。それ以外のビーム調整や装置開発、放射線安全のための漏えい測定等に充てられた時間は、301 時間であった。

Table 1: Annual Operation Time

Operation time	Total	1731 h
1. Experiment	1430 h	
2. Tuning operation and machine studies	301 h	
<hr/>		
1. Experiment summary		
RI productions	889 h	
Nuclear and atomic physics experiments	243 h	
Radiation damage tests (Proprietary research)	177 h	
Biological experiments	104 h	
Studies on radiation dosimeters	17 h	

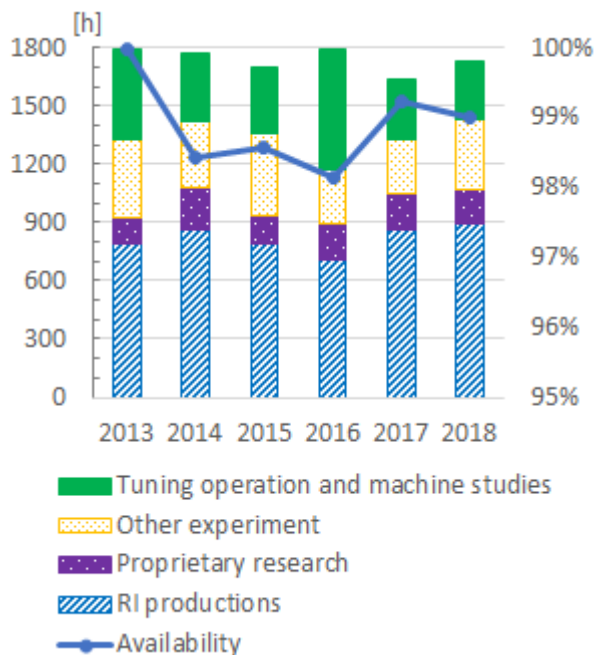


Figure 1: Operation time and availability.

[#] hojo.satoru@qst.go.jp

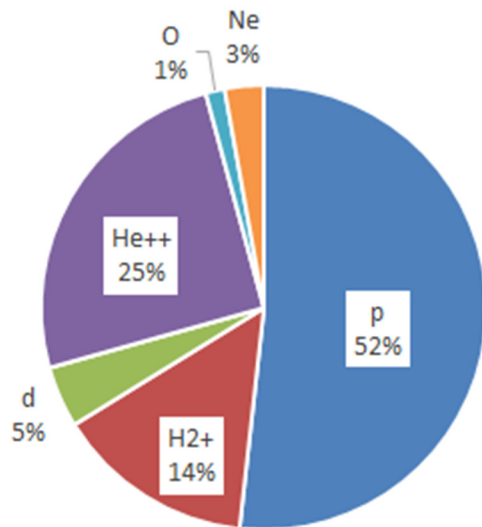


Figure 2: Operation time ratio of a beam particle.

2013 年度以降の稼働率と運転時間を Fig. 1 に示す。稼働率としては、2013 年度以降 98%以上を維持することができている。2018 年度は調整運転の時間も短く、調整運転を差し引いた実験供給時間が最大となっており、より安定したビーム供給ができています。RI 生産に用いられる時間も、最大であった。

また、運転時間の粒子別割合を Fig. 2 に示す。RI 生産や半導体の耐放射線試験に用いられる陽子の運転時間が 52%であった。また、He⁺⁺が 25%、H₂⁺が 14%、重陽子が 5%であるが、これらは RI 生産に用いられている粒子である。そのほか酸素やネオンといった比較的重い粒子は、物理実験に用いられている。

2.2 故障事例について

安定したビーム供給を行っているなかでも、故障による停止や供給遅延がいくつか発生している。その合計時間は 17 時間で内訳を Table 2 に示す。比較的長時間の停止要因としては、主に電磁石用の直流電源や電力管用高圧電源の故障による供給遅延が幾度か発生した。故障に対する対処を数時間で行ったため、マシンタイム供給を中止するまでには至らなかったが、数時間に及ぶ供給遅延となった。これらの故障が発生した電源の多くは、30 年を超えて運転を続けている電源が多く、日々の電源投入作業に用いられる NFB の故障など、長年使用を続けることによる故障が見受けられ、これらの更新を含めた対策を進めていく必要がある。

Table 2: Unscheduled Beam Stop by Failure

Unscheduled beam stop by failure	Total	17 h
Power supplies system	13 h	
Deflector system (condition)	3 h	
Cooling water system	<1 h	
ECR (condition)	<1 h	
Beam stop time / Operation time	1.0%	

2.3 機器の改良開発について

NIRS-930 は、元々内部イオン源で運転を行っていたが、外部入射系が整備されて以降、外部入射のみでビーム供給を行っている[2]。外部入射には、永久磁石型 ECR イオン源 Kei-source[3]が設置されており、このイオン源 1 台のみで陽子からネオンまでのビーム供給を行っている。そのため、各イオン種に切り替え調整を行う際には、引き出し電極の位置を最適化する必要があるが、引き出し電極の駆動機構に不具合が生じていたため、更新を行った。今回の更新では、遠隔駆動機構が備わっていないため、今後、構築して行く予定である。

また、ビーム強度増強に向けて、ビームバンチャーの鋸歯状波化の改良を進めている。これまで用いていたインピーダンス変換トランスに不具合が出てしまったため、昨年製作した変換率を高めたトランスを導入し、基本波でのビームバンチ動作を確認し供給運転に用いている。今後、鋸歯状波バンチャーに向けて、高調波を導入するためのローレベル回路の構築を行っていく予定である。

3. HM-18 運転状況

3.1 運転時間について

PET 用核種製造専用として 25 年間運転を続けている HM-18 の 2018 年度における運転時間と、故障停止による停止時間を、Table 3 に示す。総運転時間は 1686 時間で、ビーム利用運転時間では、1536 時間が陽子ビームによる利用であった。重陽子ビームによる利用運転時間は、92 時間で、調整運転時間は、陽子と重陽子を合わせて 58 時間用いられた。

Table 3: Annual Operation Time of the HM-18

Operation time	Total	1686 h
1. RI productions (Proton)	1536 h	
2. RI productions (Deuteron)	92 h	
3. Beam tuning / machine studies	58 h	
Unscheduled downtime	19 h	
Vacuum (leak of cooling water)	18 h	
Ion source (condition)	<1 h	
Unscheduled downtime / Operation time	1.1%	

3.2 故障停止について

故障による停止時間は 19 時間で、その内の 18 時間は、真空悪化によるものであった。これは、内部イオン源において、真空と冷却水の間 O リングに損傷があり、加速箱内部への冷却水の漏れが発生した。加速箱内部の真空計での真空度は、数時間で通常の値に復旧したが、ビームを加速取出しするまでには、48 時間を要した。中心領域において水に浸されたため、局所的な真空悪化により、加速できない状況が続いたと思われる。このトラブルにより、故障停止時間のみではなく、調整運転の時間も長くなってしまっている。

2013 年度以降の運転時間と稼働率を Fig. 3 に示す。

2015 年度以降稼働率 99%以上であったが、今回の加速箱内への水漏れによって、99%を下回った。2014 年度は、メインコイル電源の故障と、イオン源の故障 2 件といった停止時間への影響が大きかった事例が 3 件発生しており、のべ 5 日間程度供給できなかったため、97.5%と 2018 年度より低い値となっている。

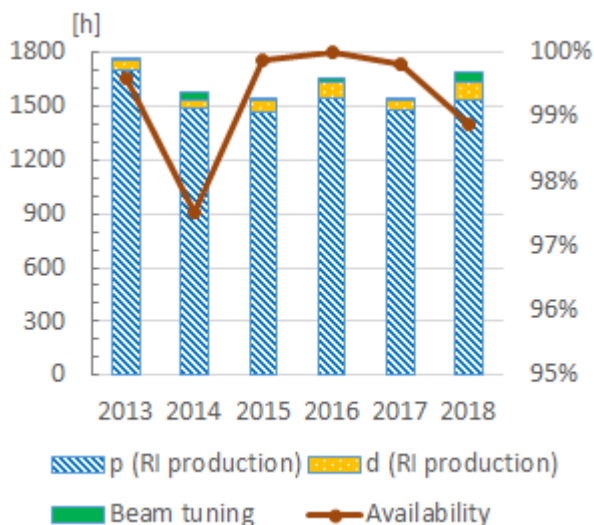


Figure 3: Operation time and availability.

4. 施設設備の老朽化対策について

放医研のサイクロトロンは、運転開始から 45 年を迎え稼働し続けている。同様に、周辺の施設設備についても同じ年数を重ねており、老朽化が進んできている。これまで、空調設備や、サイクロトロン熱源回収施設、受電設備といった直接サイクロトロン運転に係る設備については更新を随時進めてきている。こういった、直接運転停止に係るものではなく、長年の使用により、問題となってきたものの中に、遮蔽扉がある。これら遮蔽扉は、駆動レールや車輪等駆動部の劣化、建屋のゆがみ等により、壁とのクリアランスの問題や、開閉時の駆動不良などの問題が生じており、整備改修を進めることとなった。

放医研のサイクロトロン棟には、電動ステップバック式の遮へい扉が 6 基設けられている。屋内に設けられているステップバック扉が 4 基で、屋外には 2 基が設けられている。屋外の 2 基はコンクリート製で、屋内の 4 基の内 1 基がコンクリート製で、残り 3 基が内部の遮蔽体として水を用いた水扉になっている。

ステップバック扉のなかでも開閉頻度のもっとも高い屋内の水扉では、駆動シャフトからの漏水や、給水フランジ部や水位計部分の腐食に加えて、駆動時に壁面クリアランスがなくなり、接触してしまっており、応急的に、壁面との接触部にローラーを設けて動作不能となるのを回避している状態であった。この水扉は、遮蔽用の水を一度すべて抜き取り、オイルジャッキによるジャッキアップを行い、車輪部、駆動部のメンテナンスを行ったところ、車輪の擦り減りに著しいところがあった (Fig. 4)。そのため、車輪の交換を行った。また、駆動シャフト部のシール及びフランジの交換、内部の防水、水位計、給水フランジの更新と

いった対応を行い、接触を低減することができた。

屋外のステップバック扉では、開閉動作途中で駆動モーター用のトルクリミッターが動作してしまうなど、駆動状態に問題が生じてしまっていた。また、扉のはまり込む建屋の枠の腐食による膨みと、ステップバック扉の傾きにより、壁や枠との擦れが生じているところが複数箇所あった (Fig. 5)。そのため、腐食した枠の撤去と補修を行い、さらに、ステップバック扉は、オイルジャッキによるジャッキアップを行い、車輪の回転部分の整備と高さ補正を行い、壁とのクリアランスを確保した。また、レールの老朽化により、トルク不足となりモーターへの過負荷となっていた扉においては、ギア比を落とし、駆動速度を遅くして、モーターの負荷を低減した。



Figure 4: Photo of iron wheel for radiation shield doors.



Figure 5: Photo of radiation shield doors.

参考文献

- [1] H. Ogawa *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No.2 (1978) p. 1988.
- [2] T. Honma *et al.*, Proc. 17th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications 2004, Oct. 18-22, 2004, RIKEN, Tokyo, JAPAN, p154-156.
- [3] M. Muramatsu *et al.*, Rev. Scientific Instr. Vol.73, No2 (2002) 573-575.