

放医研サイクロロン施設の現状報告

STATUS REPORT OF NIRS CYCLOTRON FACILITY

北條 悟^{#, A)}, 涌井 崇志^{A)}, 片桐 健^{A)}, 杉浦 彰則^{A)},
岡田 高典^{B)}, 立川 裕士^{B)}, 山口 道晴^{B)}, 白井 敏之^{A)}
Satoru Hojo^{#, A)}, Takashi Wakui^{A)}, Ken Katagiri^{A)}, Akinori Sugiura^{A)},
Takanori Okada^{B)}, Yuji Tachikawa^{B)}, Michiharu Yamaguchi^{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, $K_b=110$ 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 1688 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 1547 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)のサイクロロン施設では、放射性核種の製造を主目的とした2台のサイクロロンが稼働している。1台は、1974年に運転を開始したNIRS-930サイクロロン[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サイクロロンである。NIRS-930は、放射性同位元素の製造以外に物理実験や生物実験等にも利用されており、2019年度の総運転時間は1688時間であった。故障による停止時間は32時間で、その主な要因としては、電力管用高圧電源の故障による停止があった。また、HM-18の総運転時間は1547時間であった。故障による停止時間はなく、順調な供給を行うことができた。これら運転状況や、各機器の故障対応、改良等について、報告を行う。

2. NIRS-930

2.1 運転状況について

NIRS-930が運転開始した1974からすでに45年以上がたっている。建設当初は、速中性子治療を目的としており、その後、陽子線治療も行った。現在では、治療照射は行っておらず、医療応用への放射性核種の製造が主な目的となっている。基本的に平日昼間のみの運転を行っており、年2回2週間程度停止期間を設けてメンテナンスを行っている。

2019年度の運転時間をTable 1に示す。総運転時間は、1688 hでその内、実験利用されたのは、1415 hである。放射性核種の製造には、862時間が充てられ、²¹¹At、⁶⁴Cu、²⁸Mg、⁶⁷Cu、⁷⁴As、⁸⁹Zr、¹¹¹Ag、¹⁹¹Pt、²²⁵Ac等様々な放射性核種の製造が行われた。そのほかでは、核物理実験に306 h時間、有償利用による放射線耐久試験に

163時間、細胞照射実験に59時間、放射線検出器の開発に、24時間であった。それ以外の時間では、ビーム調整が274時間となっている。これは、停止期間あけの運転確認や、装置の故障復旧後の運転確認、また、放射線安全のための漏えい測定に充てられた時間となっている。

Table 1: Annual Operation Time

Operation time	Total	1688 h
1. Experiment		1415 h
2. Tuning operation and machine studies		274 h
1. Experiment summary		
RI productions		862 h
Nuclear and atomic physics experiments		306 h
Radiation damage tests (Proprietary research)		163 h
Biological experiments		59 h
Studies on radiation dosimeters		24 h

全体の運転時間における、ビーム核種の比率をFig. 1に示す。最も割合が高いのは、陽子で、放射性核種の製造に多く用いられ、細胞照射、検出器の開発や、さらに、宇宙線を模擬した放射線耐久試験を行う有償利用にも多く用いられるため、52%となっている。また、水素分子は、放射性核種の製造において低いエネルギーの陽子の代用として12%となっている。これを合わせると、陽子の要求割合は、64%と非常に高くなっている。次に²¹¹Atの製造に用いられるヘリウムの割合が高く、28%となっている。その他の窒素、炭素、酸素等は、物理実験に用いられた。

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

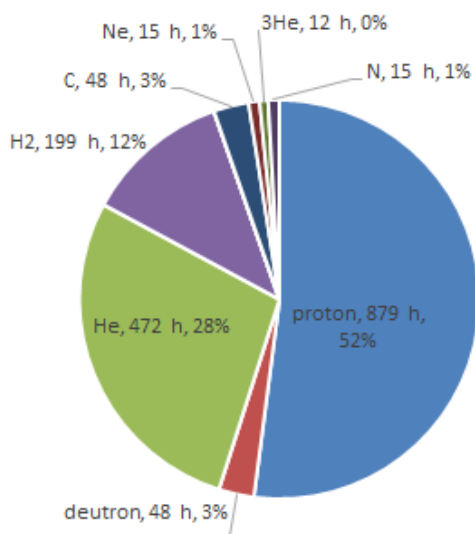


Figure 1: Operation time ratio of a beam particle.

2011 年度以降の稼働率と運転時間の経緯を Fig. 2 に示す。2019 年度の故障等による停止時間は、32 時間で、稼働率は 98% であった。故障停止内容の詳細については後述する。2011 年度以降 98% 以上を維持することができている。2019 年度は昨年度同様に調整運転の時間も短く、実験供給時間が 1400 時間を超えており、効率的なビーム供給が行えている。

2.2 故障事例について

供給中に機器トラブル等によって発生した故障停止時間を Table2 に示す。2019 年度にビーム供給へ影響の出たトラブルは、電源が要因となるもののみであった。最

も影響が大きかったのは、最終段アンプの真空管用のプレート電源の故障によるものであった。平日昼間のみの運転のため、毎朝の立ち上げ時にプレート電圧を印加する。その際に、クローバーが発動し、プレートに高圧が掛からなくなる事象が発生していた。立上後 2 時間程度たつと事象が発生しなくなり、原因調査にも時間が掛かってしまった。原因は、クローバー用の放電管であるイグナイトロン管の交換を実施した。しかしながら、交換後のイグナイトロン管をベーキング不足の状態での運用を開始してしまったため、放電が繰り返され、停止時間が増加してしまった。その他にも輸送系の四重極電磁石用電源の故障が 2 回発生しており、計 9 時間の停止時間となっている。今回故障が発生した大型の電源は、どれも 20 年以上前の電源で、1970 年代から使用しているものもある。制御系を含めて、部品の供給も厳しくなりつつあり、今後、更新などの対策を進めていく必要がある。

真空排気系では、15 年以上稼働を続けていた、ターボポンプが故障停止をしており、内部の回転ローターが破断する事象が発生した。ターボポンプは、架台に自重で載っているだけで、固定はされていない。そのため、ローターが破断した勢いによりターボポンプが移動して直上にあるベローズが破断してしまった。この故障事例は、週末の夜間で運転をしていないタイミングだったため、マシンタイムを停止することなく、対処を行うことができた。

2.3 機器の改良開発について

NIRS-930 は、永久磁石型 ECR イオン源 Kei-source[2] からの外部入射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最大強度を得るためには、引き出し電極の位置を最適化する必要がある。しかしながら、引き出し電極の駆動機構に

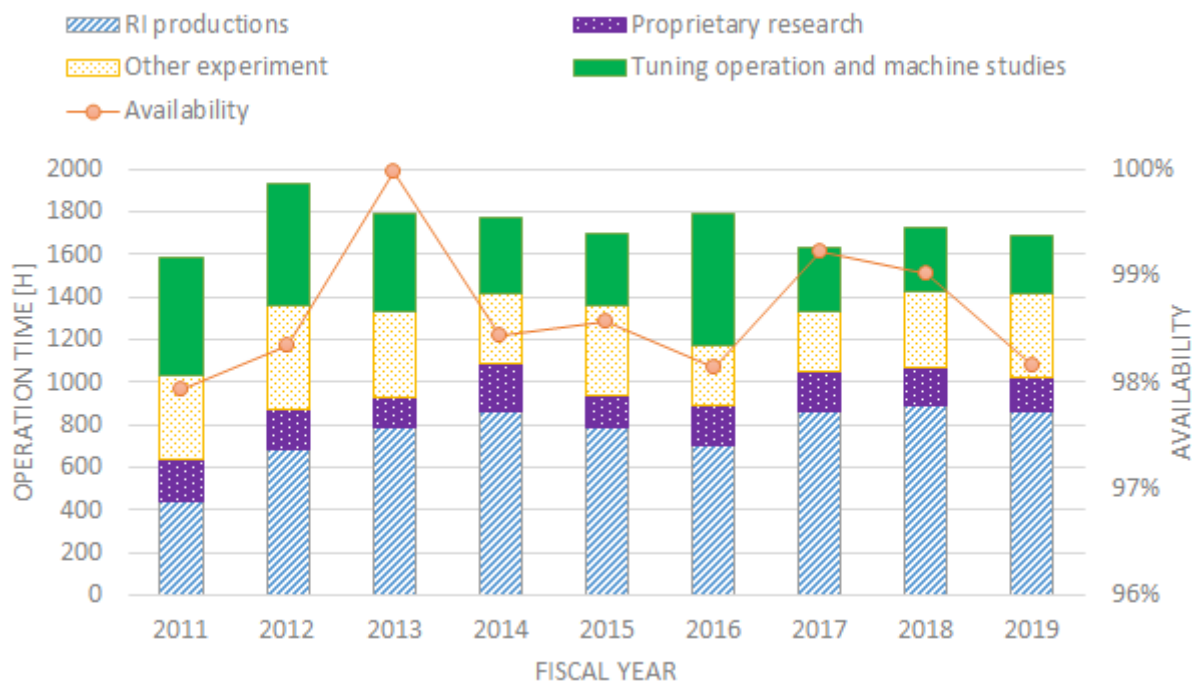


Figure 2: Operation time and availability.

Table 2: Unscheduled Beam Stop by Failure

Unscheduled beam stop by failure	Total	32 h
Power supplies system		32 h
•RF Plate HV power supplies		20 h
•Harmonic coil power supplies		2 h
•Q-magnet power supplies		9 h
•Main coil power supplies		1 h
Beam stop time / Operation time		1.9%

は遠隔制御が備わっていないため、整備を行った (Fig. 3)。Kei-source の引き出し電極部分は、サイクロトロンの入射エネルギーに対して、イオン源からの引き出し電位を上げるために、減速電圧を印加している[3]。そのため、駆動機構との電氣的絶縁が必要となり、絶縁体の駆動軸を用いている。また、サイクロトロン本体と同室にあるため、モーターや制御用の電子機器には放射線の遮蔽を考慮した架台となっている。

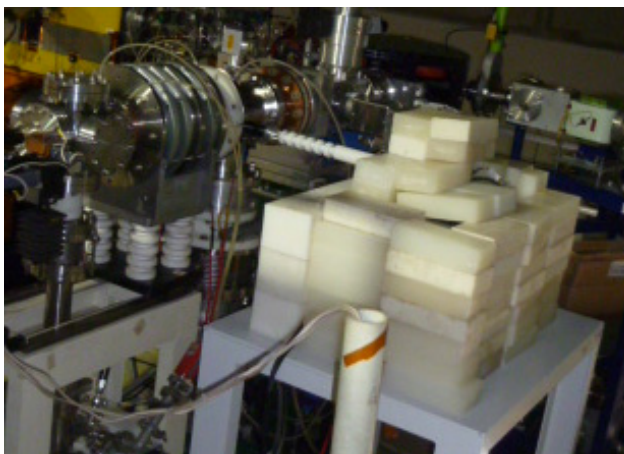


Figure 3: photo of Kei-source and radiation shield for moving system of extraction electrode.

3. HM-18 運転状況

PET 用核種製造専用として 25 年を超えて運転を続けている HM-18 の 2019 年度における運転時間を、Table 3 に示す。総運転時間は 1547 時間で、ビーム利用運転時間では、1439 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、44 時間で、調整運転時間は、陽子と重陽子を合わせて 24 時間であった。故障による停止時間はなく安定した供給を行うことができています。

2011 年度以降の運転時間と稼働率を Fig. 4 に示す。昨年の 2018 年度は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つたため、97.5%と 2018 年度より低い値となっている。

Table 3: Annual Operation Time of the HM-18

Operation time	Total	1547 h
1. RI productions (Proton)		1479 h
2. RI productions (Deuteron)		44 h
3. Beam tuning / machine studies		24 h
Unscheduled beam stop by failure		0 h
nothing		0 h
Unscheduled downtime / Operation time		0.0%

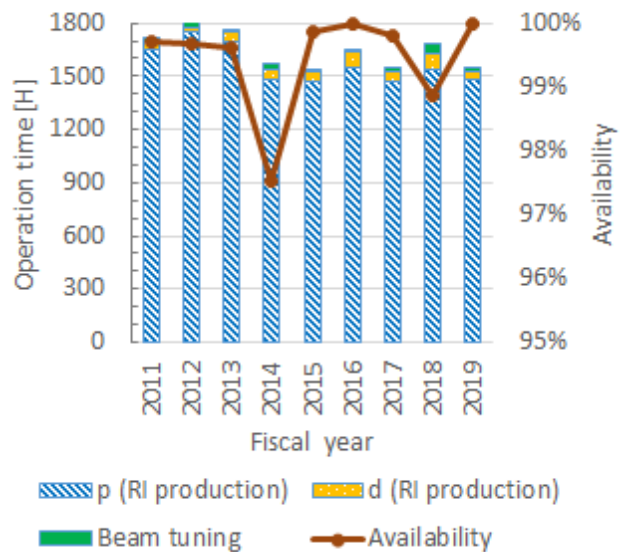


Figure 4: Operation time and availability.

参考文献

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