

QST 量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-iQMS

北條悟^{#, A)}, 涌井崇志^{A)}, 杉浦彰則^{A)}, 村松正幸^{A)}, 片桐健^{A)},
岡田高典^{B)}, 神谷隆^{B)}, 岩田佳之^{A)}

Satoru Hojo^{#, A)}, Takashi Wakui^{A)}, Akinori Sugiura^{A)}, Masayuki Muramatsu^{A)}, Ken Katagiri^{A)},
Takanori Okada^{B)}, Takashi Kamiya^{B)}, Yoshiyuki Iwata^{A)}

^{A)} Institute for Quantum Medical Sciences, QST

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

Abstract

The cyclotron facility of Institute for Quantum Medical Sciences (i-QMS), at National Institutes for Quantum Science and Technology (QST) includes the NIRS-930 cyclotron (Thomson-CSF AVF-930, Kb=110 MeV and Kf=90 MeV) and HM-18 cyclotron (Sumitomo- Heavy- Industry HM-18, K=20 MeV). The NIRS-930 has been used for production of radionuclide. Other purposes of NIRS-930 are research of physics, developments of particle detectors in space, research of biology, and so on. The HM-18 is a fixed-energy-negative-ion accelerator, has been providing 18 MeV protons and 9 MeV deuterons to produce short-lived radiopharmaceuticals for Positron Emission Tomography (PET). A fire broke out in the power supply of the cyclotron facility in November 2021. There were no casualties, but both the NIRS-930 and the HM-18 were stopped because power supplies have been damaged by the soot and water used to extinguish the fire. The HM-18 was back in operation for RI production in September 2022. The total operation time of the HM-18 at FY2024 was 1054 hours. The maintenance period was from December 2024 to March 2025. During the maintenance period, the power receiving panel, distribution panel, cooling water piping and valves were updated.

1. はじめに

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(QST)量子医科学研究所(量医研)のサイクロトロン施設には、1974年に運転開始したNIRS-930(Thomson CGR-MeV製K=110 MeV)[1]と、1994年に運転を開始した放射性核種(RI)生産専用のHM-18(住友重機械工業製K=20)の、2台のサイクロトロンがある。2021年11月末に火災が発生し2台のサイクロトロンは停止した。その後の2022年9月にHM-18は供給運転を再開している。NIRS-930は未だ停止中で、復旧作業を行っている。

2. HM-18 運転状況について

2.1 運転時間

2024年度のHM-18は、4月-11月までの期間を運転し、12月-3月まではNIRS-930の復旧作業のため、停止期間とした。2024年度の年間運転時間をTable 1に示す。年間の総運転時間は、1054時間であった。そのうち、陽子ビームによるRI生産のための運転時間が1015時間で、重陽子ビームによるRI生産は行われなかった。他

の39時間では、メンテナンス後のビーム確認や、ビーム調整を行った。NIRS-930が停止しているため、HM-18のエネルギーで製造可能な金属核種の生産を2023年度より進めている[2]。生産する核種が増えてきており、それぞれの核種に対応したターゲットに切り替えて照射を行う必要がある。各ターゲットでは、要求されるビームサイズやビーム電流が変わってくる。そのため、それぞれのターゲットに適したビームへの調整が行われた。

2.2 故障停止時間

2024年度の故障停止時間について、Table 2に示す。1054時間の総運転時間に対し、装置故障による運転停止した時間の合計は、10時間で総運転時間に対する割合としては、0.9%であった。供給停止に至る故障事例は、3件発生した。なかでも、最も長い故障停止時間となったのは、ビーム輸送系のスイッチングマグネットであるSWRの故障によるもので、7時間の停止時間であった。他の2件は、ターゲットフォイル冷却用のシステムの故障により2時間の停止、真空バルブの故障により1時間の停止、となっている。各事例の詳細について次に述べる。

Table 1: Annual Operation Time of the HM-18

Operation time	Total	1054 h
1. Protons used RI productions		1015 h
2. Deuterons used RI productions		0 h
3. Tuning operation and machine studies		39 h

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

Table 2: Unscheduled Beam Stop by Failure of the HM-18

Unscheduled beam stop by failure	Total	10 h
Beam transport magnet SWR failure (current leak)		7 h
Foile cooling system (DC power supply failure)		2 h
Vacuum valve failure		1 h
Unscheduled beam stop time / Operation time		0.9 %

2.3 故障事例

2.3.1 SWR の故障

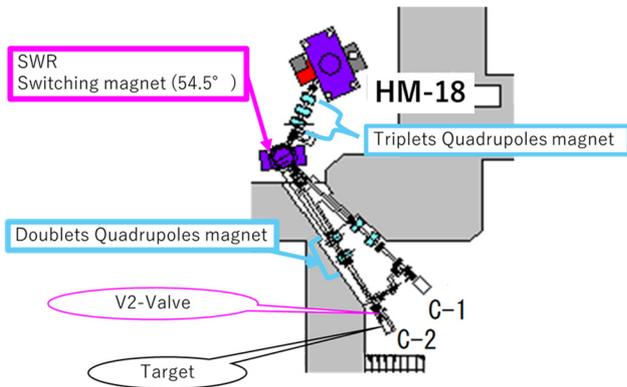


Figure 1: Layout of C-1 and C-2 course at HM-18.

SWR は HM-18 からのビームを C-1 と C-2 の 2 つの R I 生産照射コースに振り分けるスイッチングマグネットで、本体室に設置されている (Fig. 1)。C-1 と C-2 コースは、1 日に数回切り換えが行われることもあり、SWR は磁場の上げ下げが頻繁に行われるマグネットである。この SWR の故障により、7 時間の故障停止で終日供給停止となった。トラブルとしては、運転開始時の立ち上げ作業において、SWR の通電電流を増やしていくと、一定の値で SWR 用の直流電源が O.C や O.V などの警報を出さずに停止した。SWR のコイルやヨークを現場で確認しながら電流を増やしていくと、上側のコイルが上ヨークに近づくように持ち上がり、上ヨークとの隙間が無くなると電源が停止した。電源が停止すると、コイルが下がり、ヨークとの間に 5 mm 程度の隙間ができていた。上側のコイルは、コイル支持用のジャッキが 4 隅にあり、これにより上ヨーク側に押し当てられて固定される構造になっている。しかしながら、コイル支持用のジャッキのうち 2 か所に緩みがあり、そのうち 1 か所は台座から外れてしまい (Fig. 2)、上コイルが下がっていた。そのため、上ヨークとの間に隙間が生じて上コイルが上下に動いていた。コイルが動き上ヨークとコイルの隙間がなくなると電源が停止するため、上ヨークとコイルの間に絶縁材のスペーサーを入れてコイルを固定した。またマイクロゲージにより、コイルの動きを監視しながら、運転を再開した (Fig. 3)。

上コイルは、上下に動く度に他の金属部に接触した絶縁層が摩耗し、コイル導体と接触して電流がもれた可能



Figure 2: A coil jack that has shifted from its base.



Figure 3: Monitoring movement with a micrometer.

性がある。詳細の確認には、クレーンが必要となるが、本体室のクレーンが故障中のため、今後、確認予定となっている。

2.3.2 ターゲットフォイル冷却装置

HM-18 は、ビーム輸送系の逆サイドに直結ターゲットを備えている。直結ターゲットと HM-18 の間には、HM-18 の真空を保つための真空フォイルと、ターゲットガスを保つためのターゲットフォイルがある。その両方のフォイルを冷却するためにフォイルの間に冷却したヘリウムガスを流している。このヘリウムガスを流すシステムがターゲットフォイル冷却装置である。この冷却装置内の制御

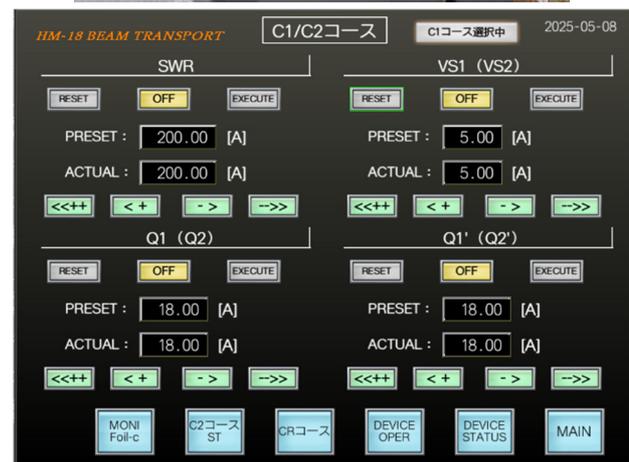


Figure 4: Power supply and control panel for C-1 and C-2 course.

用直流電源に故障が生じ、調査及び交換作業のため、2時間停止した。直結ターゲット用の冷却装置は、本体室に設置されており、火災後に清掃と部品交換を行い、運転を続けてきた。しかしながら、故障した制御用直流電源は、火災後の対応で見落とししており、そのまま使用していた。交換後、取り外した電源の内部を確認すると火災の煤が侵入しており、基盤や電子部品等の表面に腐食が見られた。この電源自体も、20年以上使用していたため、火災後の対応にて交換すべきであった。

2.3.3 ターゲット真空バルブの故障

ターゲット真空バルブの不具合により1時間の故障停止が発生した。C-1, C-2 コースのビームラインは、1台の真空排気装置で真空排気を行っている。ターゲットの交換作業等を行う際には、それぞれのコースのターゲット直前の真空バルブを閉じて行っているが、C-2 コース側のターゲット直前の V2 バルブの真空シール部が腐食し、真空が悪化した。このバルブは20年以上使用していたもので、交換を行った。

HM-18での故障事例の機器は、どれも20年以上使用していた機器によるもので、他の機器でも老朽化対策を早急に進める必要がある。

2.4 制御系の改修

HM-18の制御はWindows PCで行っているが前回の改修作業より15年が経過し、OSやソフトウェアなどの更新が必要となったため、装置メーカーによるPCと制御用アプリケーションへの更新を行った。

また、ビーム輸送系は照光式のスイッチとポテンシオメータによるアナログ制御を行っていたが、交換部品等の調達が困難となったため、Windows PC とシーケンサーによる制御系に更新を行った。各マグネットの電源には、市販のカタログ製品の直流電源を用いて、各電源に合わせた制御装置を製作した。操作パネルと電源の写真を Fig. 4 に示す。

3. NIRS-930 の状況について

NIRS-930 は、未だ停止中となっている。老朽化対策として、受電盤、配電盤や冷却水配管の更新を行った。また、大型直流電源の製作を行った。しかしながら、本体室電源室への搬入口が近隣の建設工事により封鎖されており、火災復旧作業については、未だ進んでいない。本体室搬入口が使用可能となつてから、天井クレーンの修理を行い、大型機器を搬入し復旧作業を進める予定である。

参考文献

- [1] H. Ogawa *et al.*, "STATUS REPORT ON THE NIRS-CHIBA ISOCHRONOUS CYCLOTRON FACILITY", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 26, No. 2, April 1979. doi:10.1109/TNS.1979.4329792
- [2] S. Hojo *et al.*, "STATUS REPORT OF NIRS-930 AND HM-18 CYCLOTRON AT QST-IQMS", Proceedings of the 21th Annual Meeting Particle Accelerator Society in Japan, Yamagata, Jul.- Aug. 2024, pp. 1219-122.