

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)}, 岡田 高典^{B)}, 神谷 隆^{B)}, 白井 敏之^{A)}

Satoru Hojo^{#,A)}, Takashi Wakui^{A)}, Akinori Sugiura^{A)}, Masayuki Muramatsu^{A)},

Takanori Okada^{B)}, Takashi Kamiya^{B)}, Toshiyuki Shirai^{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, $K_b=110$ MeV and $K_f=90$ 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 FY2022 was 708 hours.

1. はじめに

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($K=110$)[1]と、1994年に運転を開始したHM-18($K=20$)の2台のサイクロトロンがある。HM-18は、放射性核種(RI)生産専用で、陽子18 MeVと重陽子9 MeVが加速可能である。レイアウトをFig. 1に示す。

2021年11月に発生した火災[2]により2台のサイクロトロンは停止を余儀なくされたが、RI生産の早期再開を目指しHM-18の復旧作業を進めた。火災の影響は大きく、HM-18の復旧作業は電源、制御、真空、冷却水と多岐にわたり行われた。その結果、2022年9月にHM-18は、供給運転を再開することができた。運転を再開したHM-18の2022年度の総運転時間は718時間であった。

現在も、NIRS-930の復旧に向けて徐々に準備を進めている。本報告では、火災の影響とHM-18の運転再開に向けた復旧作業の報告等、量医研のサイクロトロン施設の現状について述べる。

2. NIRS-930 について

2.1 運転停止

火災により主要電源を焼損したNIRS-930は運転停止が続いている。焼損や腐食被害により使用不能となった電源や真空ポンプは、周辺ケーブルを含め撤去された。今後、新たに電源や真空ポンプ等の調達が必要となっている。また、大きな真空リークが発生しており、火災前の定期点検時での真空リーク量は、 1.5×10^{-4} Pa \cdot m³/sec程度であったのに対し、低真空領域を含めての計測であるが11 Pa \cdot m³/secと大きく悪化していることが確認でき

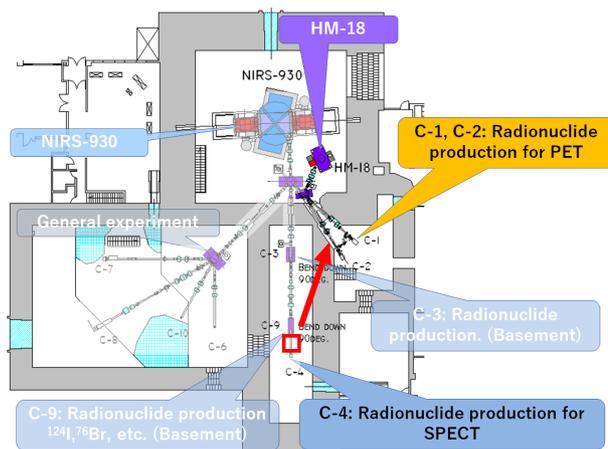


Figure 1: Facility layout of NIRS-930 and HM-18.

た。これはHM-18でも確認された、真空中の駆動系に用いられている溶接ベローズの腐食による真空リークが多発している可能性がある。このように、真空リークへの対応や、制御系の改修を含め運転再開を目指して復旧に向けた検討を行っている。

3. HM-18 の状況

3.1 運転時間

HM-18は2022年6月にHM-18内部でのビーム加速を確認し、9月からRI生産へのビーム供給を再開した。2022年度の運転時間の集計結果をTable 1に示す。総運転時間は708時間で、その内583時間が陽子18 MeVによるRI生産であった。残りの125時間を調整運転に用いた。重陽子9 MeVによるRI生産は、¹⁵O用の合成装置が火災の影響により改修中のため行っていない。

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

Table 1: Annual Operation Time of the HM-18

Operation time	Total	708 h
1. Protons used RI productions	583 h	
2. Deuterons used RI productions	0 h	
3. Tuning operation and machine studies	125 h	

2022年度までの運転時間と稼働率の推移を Fig. 2 に示す。通常運転を年間通して行うと 1500 時間程度の総運転時間となっていたが 2022 年度は、9 月からの供給運転を開始したため、半分程度となった。ここ数年、年間運転時間が下がっているが、2021 年度は火災の影響により 12 月以降 4 か月停止、2020 年度は COVID-19 緊急事態宣言対応で 3 か月間停止したため年間運転時間が少なくなっている。また、例年、調整運転の時間はごくわずかであったが、2022 年度は 125 時間と長い時間となっている。2021 年度は火災以降のマシントイムを実施できず、稼働率が 70% 以下となっている。

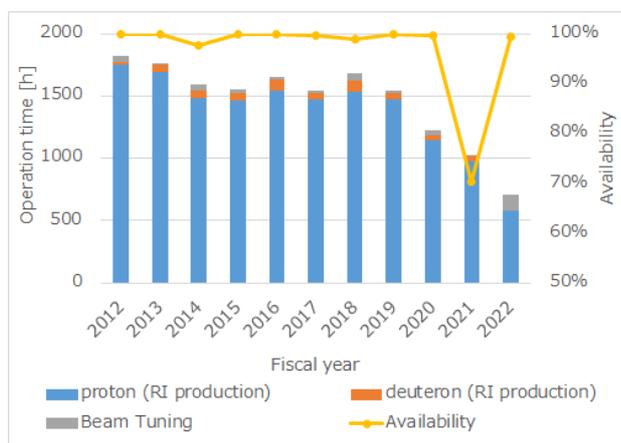


Figure 2: Operation time and availability of the HM-18.

2022年度の調整運転における照射コース別運転時間とその割合を Fig. 3 に示す。HM-18 内部で行われた調整運転は、22 時間、C-1 コースでは 25 時間、C-2 コースでは 77 時間であった。調整運転の 62% が C-2 コースで行われている。HM-18 内部での調整運転では、火災からの復帰後初のビーム確認や、HM-18 の電磁石、イオン源、高周波等の動作確認が行われた。C-1 コースの調整運転では、RI 生産の再開にむけたビーム確認が行われ

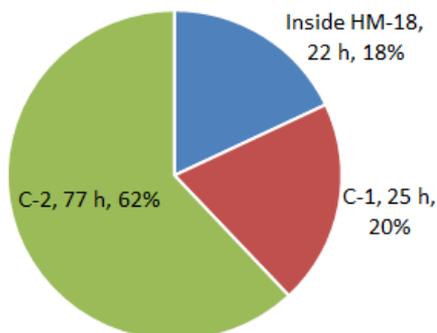


Figure 3: Beam tuning time of the HM-18.

た。すべてのビーム輸送系(BT)系マグネット用の電源は火災前から変更されているため、BT 系マグネットのパラメータ調整を行った。C-2 コースでは、金属ターゲットへの照射に向けたビーム調整を行った。

年間の故障停止時間とその内容を Table 2 に示す。2022 年度の故障停止時間は、4 時間となっており、そのうちの 3 時間がクライオポンプの停止によるものである。クライオポンプが停止した原因は、夜間の瞬時電圧低下である。クライオポンプを再起動して、ビーム供給開始までに 3 時間を要した。その他では、圧空駆動装置の故障による停止が 1 時間となっている。その内訳は、20 分程度の故障停止が 3 回で、いずれもビームシャッター用の駆動機器で発生している。それぞれ電磁弁、エアースリッダー、制御用リレーの故障によるものであった。

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

Unscheduled beam stop by failure	Total	4 h
Vacuum cryopump (Instantaneous voltage drop)	3 h	
Compressed air drive	1 h	
Beam stop time / planning time	0.6 %	

3.2 C-2 コースの改修

これまで NIRS-930 の C-4 コースで行っていた金属ターゲットへの照射を、HM-18 の C-2 コースで実施できるようにするための改修を行った。これまで C-2 コースでは気体のターゲットへの照射が行われてきた。ビームスポットの形状やサイズの確認は行っておらず、ビーム電流とターゲット直前のコリメーターのビーム電流の確認のみで照射を行っていた。金属ターゲットへの照射の場合、ビームスポットが小さすぎると発熱が集中してしまい、溶融する可能性がある。また、目的の核種を効率よく生産するためには、ターゲットへの均一な照射が理想的であり、ビームスポットのサイズと位置の調整も必要となる。そのため、C-4 コースから C-2 コースへ (Fig. 1 赤矢印にて示す。) ビーム調整用の機器をターゲットシステムと併せて移設した。Figure 4 に C-1、C-2 コースのマグネット写真を示す。写真奥が上流本体室で C-2 コースへ移設したス

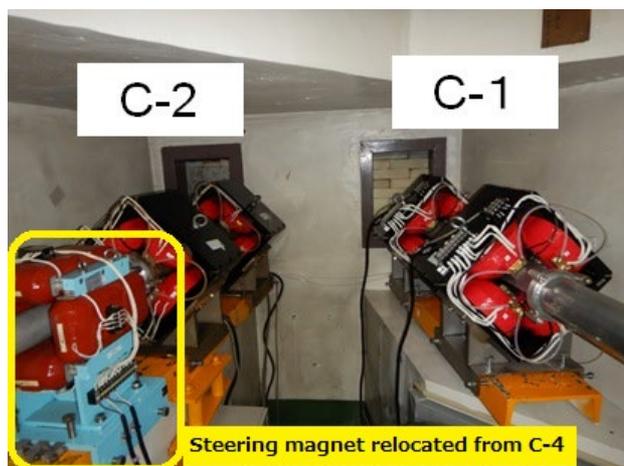


Figure 4: Magnet at the C-1 and C-2 beam course.

テアリングマグネットである。また、ファラデーカップ、三線式プロファイルモニタ、上下左右の4分割コリメータもターゲットシステムと併せて移設した。

移設後ビーム調整を行い、 $30\ \mu\text{A}$ でのターゲット照射が可能となり、2022年度は ^{64}Cu の臨床提供を3回実施することができた。

3.3 HM-18の復旧作業について

火災後からHM-18運転に向けた復旧作業は、真空、冷却水、電源、制御、ガス系等多岐に亘った。まず、HM-18本体周りの電源は、出火元とは別の部屋に設置されていた為、煤の除去をする程度で使用可能であった。

BT系の電源は、出火元の電源室に設置されていた為、浸水と大量の煤が入り込み、使用不可となった。使用不可となった既設のBT系電源は、各マグネットのインピーダンスに合わせた電流と電圧で設計製作されたものであった。今回、早急にC-1,C-2コースへビーム供給を行うために、NIRS-930のBT系で用いていた市販の電源を流用した。制御は、アナログ制御を用いており、制御室のポテンシオメータで出力の設定を行っている。

NIRS-930とHM-18の冷却水の系統は共通で、循環ポンプ1台で運転していた。このポンプの吐出圧力は1.5 MPaで、吐出流量は $1.5\ \text{m}^3/\text{min}$ であった。これに対し、HM-18やRI生産照射室のBTラインのみの運転時の必要量は、圧力:1 MPa 流量: $0.2\ \text{m}^3/\text{min}$ と、既設のポンプでは大きすぎるため、小型のポンプに切り替えて運転を行った。冷却水ポンプの写真をFig. 5に示す。冷却水経路をHM-18の系統のみに絞ったことにより全体の流量が低下し、温度調整用の三方弁が調整できず、 18°C から 28°C の幅でハンチングが発生してしまった。温度調節器の比例帯の再調整を行い、冷却水の水温を安定させることができた。

安全インターロックでは、ハードワイヤーリレーを用いている。NIRS-930では制御配線等が焼損した箇所もあるため系統を切り離し、HM-18の系統のみに切り分けて、電源の供給を行い正常に動作することを確認した。

真空系では、NIRS-930と同様に煤の影響により、駆動用の溶接ベローズが腐食し、真空リークが多く発生し

た。各ベローズを予備と交換し対応した。各真空ポンプも煤の影響を受けているため、交換を行った。クライオポンプでは、冷媒のヘリウムガス用のステンレスホースにリークが生じて、動作不良となった。清掃と中和処理作業を実施していたが、ホースの外側に保護用のステンレスの網線があり、内部のベローズまで中和処理が届かずに腐食が進んでいた。

また、火災後1年後にHM-18の内部点検を実施するために、上ヨークをジャッキアップしたところ、上下ヨークの接合面に腐食が生じてしまっていた(Fig. 6)。通常、上下ヨークは、ほとんど隙間なく接合しているにも関わらず、煤が入り込み腐食が進んでいた。錆を除去し、アルカリ洗浄液で中和処理を実施した。しかしながら、およそ1か月後のジャッキアップ時に腐食が進んでいる箇所があり、再度防錆処理作業を実施した。さらに3か月後に再度点検を行った際には再び腐食は見られなかったが、今後も注視していく必要がある。



Figure 6: Joint surface of magnet yokes at HM-18.

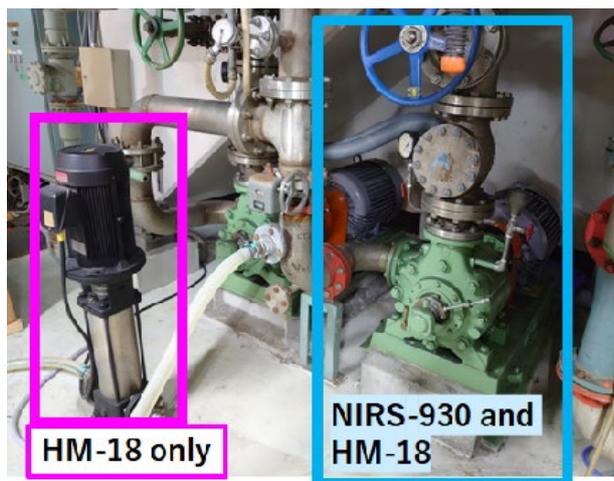


Figure 5: Cooling water pump.

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] QSTプレスリリース "千葉地区内サイクロトロン棟地下電源室の火災発生について", <https://www.qst.go.jp/site/press/20211126.html>