

QST 量医研サイクロトロン(NIRS-930)用小型 ECR イオン源の復旧1

RESTORATION OF COMPACT ECR ION SOURCE FOR NIRS-930 CYCLOTRON AT QST-iQMS

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

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

^{A)} National Institutes for Quantum Science and Technology, Institute for Quantum Medical Science (QST-iQMS)

^{B)} Accelerator Engineering Corporation (AEC)

Abstract

The NIRS-930 cyclotron (K=110) at the National Institutes for Quantum Science and Technology (QST) has been shut down due to a fire in November 2021. The NIRS-930 provided beams for basic science and applied research in the fields of nuclear medicine, biology, and physics. The main ion species for this purpose used were protons and helium, and it also provided heavy ions such as carbon and neon. These ions were produced using an ECR ion source (Kei-source) that forms a confining magnetic field using only permanent magnets. Kei-source also suffered damage from the fire, mainly due to soot stains and resulting corrosion on the surfaces of parts, but it was also thought that resin parts and permanent magnets may have deteriorated due to the increase in temperature during the fire. To restore the ion source, we decided to measure the magnetic field of the permanent magnets and reuse them if they were not demagnetized. As a result of measuring the magnetic field using a Hall probe, we found that the mirror magnetic field and the hexapole magnetic field were not demagnetized and could be reused.

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放射線核種(RI)生産専用として利用しているHM-18(K=20)の2台のサイクロトロンがある。2021年11月の火災によりNIRS-930とHM-18は共に停止していたが、まずはHM-18の復旧作業を進め、2022年9月より供給運転を行っている。

NIRS-930では核医学、生物学、物理学分野における基礎科学・応用研究のためにビームの供給を行っていた[2]。主に利用されていたイオン種は陽子、ヘリウムであり、また、炭素、ネオンなどの重イオンの供給も行っていた。これらのイオンの生成には、永久磁石のみで閉じ込め磁場を形成するECRイオン源(Kei-source[3])を使用している。Kei-sourceも火災の被害を受けており、主に煤の汚れとそれによる部品表面の腐食であるが、火災発生時の温度上昇による樹脂部品や永久磁石の劣化も考えられた。そこで、イオン源の復旧に向けて、永久磁石の磁場測定を行い減磁していなければ再利用することとした。

2. 小型 ECR イオン源の被害状況

火災によって発生した煤には塩化ビニル(PVC)の熱分解により、塩化水素(HCl)が含まれており、空気中の水分と結合し塩酸となる[4]。さらに消火用水による高湿度の環境のため、サイクロトロン本体室内にある機器に対し急激に錆びが進行した。Kei-sourceも同室内に設置されていたため、他の機器と同様に、鉄、ステンレス、アルミといった大気側の塗装されていない金属面に急激に錆び

が進行していた。また、真空フランジの合わせ面にも錆が発生し、上流側真空箱のコンフラットフランジのエッジ部分においても錆が発生していた(Fig. 1)。真空側の金属表面は、火災を原因とした影響はなかった。またバイアスディスクやプラズマ電極、引出電極、アインツェルレンズなどの真空中の部品においても、火災による影響は見られなかった。

大気側の金属部品は、アルカリの洗浄液にて中和させて、さらに水で洗い流すことによって煤を落とし、その後紙やすりを用いて錆を落とした。コンフラットフランジのエッジ部分は、錆を落とした後は段差ができており再利用は不可能だと考えられる。絶縁物として使用しているセラミックや樹脂製の部品も同様に煤が付着していたが、清掃後に表面を確認したところ目視程度では問題ないように見えた。

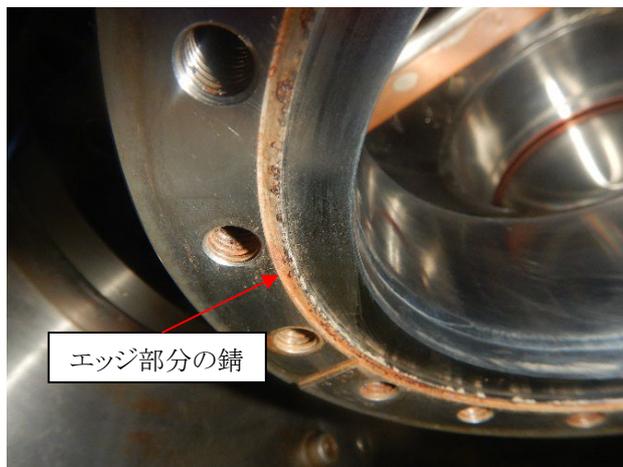


Figure 1: ICF152 flange at upstream vacuum chamber.

[#] muramatsu.masayuki@qst.go.jp

3. 磁場測定

3.1 測定方法

永久磁石は熱によって減磁する可能性がある。火災による影響を確認するために、ホールプローブを用いて軸方向の磁場(ミラー磁場)と径方向の磁場(6極磁場)の確認を行った。

紙製の治具(ロール紙の芯)の内側にトランスバースプローブを取り付け、治具の中心に位置するようにアキシャルプローブを取り付けた(Fig. 2)。ミラー磁場は、治具の中心に取り付けたアキシャルプローブを用いて 2.5 mm ステップで測定した。6極磁場は、治具に取り付けたトランスバースプローブを用いて5度ステップで測定した。トランスバースプローブは治具の内側に張り付けているため、磁極表面から 5.2 mm 離れている。



Figure 2: Hall probes for transvers and axial magnetic field.

3.2 測定結果

Table 1 に磁石製作時に行った磁場測定の結果と今回の測定結果を比較する。ミラー磁場のピーク値 (Binj, Bext) と B minimum(Bmin)に違いは見られなかった。多少高い値になっているのは測定誤差と考えている。6極磁場については、直接プローブを磁石表面に当てて測定するのが困難であったため、S 極と N 極の1か所ずつ測定を行った。磁極表面で 1.1 T であったのが、S1 では 1.17 T、N1 では-1.27 T となった。

Table 1: Comparison of Magnetic Fields Before and After the Fire

	Before	After
Binj	0.51 T	0.512 T
Bmin	0.25 T	0.256 T
Bext	0.75 T	0.759 T
S1	1.1 T	1.17 T
N1	-	-1.27 T

軸方向の磁場分布を Fig. 3 に示す。磁石設計時に計算した結果(グレー)と比較して、製作直後(2000年)の磁場測定結果(青)は上流側ミラー磁場のピークで8%程

度下がっている。これは磁石の制作誤差が原因だと考えている。製作直後の測定結果と比較して、今回の測定結果(赤)に違いは見られなかった。したがってミラー磁場を形成するリングマグネットは、火災による減磁は無いと言える。径方向の測定結果を Fig. 4 に示す。各磁極で極端に下がっている個所は見られなかった。Figure 5 に計算結果と測定結果($r=24.8$ mm)の比較を示す。ほぼ計算値と同じ値になっており、減磁は見られない。

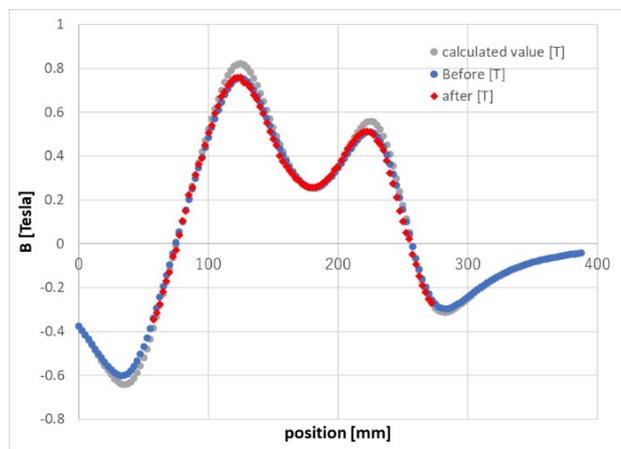


Figure 3: Mirror magnetic field.

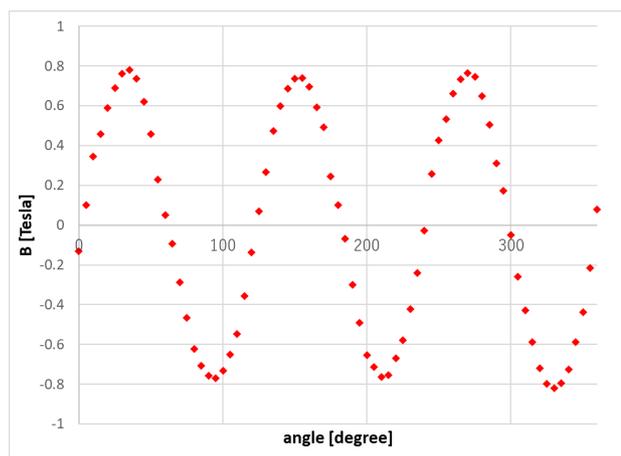


Figure 4: Hexapole magnetic field at $r=24.8$ mm.

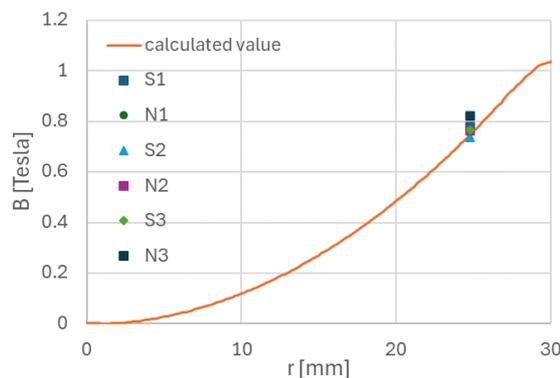


Figure 5: Comparison of hexapole magnetic fields calculated and measured value.

4. まとめと今後の予定

2021年に発生した火災により Kei-source も被害を受けたが、引出電極などの真空内の部品には影響はなかったため再利用が可能だと考える。しかしながら真空箱のコンフラットフランジのエッジ部分は錆が出ており、再利用することはできないと考える。磁場測定の結果、ミラー磁場、6極磁場ともに火災による減磁が見られなかったため、磁石の再利用は可能と考える。

今後 Kei-source の復旧を行うにあたって、真空箱の更新を行うとともに、いくつかの改良を考えている。1. ネオンなどの多価イオンのビーム電流増強のためにマイクロ波2重加熱が行えるようにする。Kei-source はプラズマチャンバーの内径が 50 mm と小さいので、同軸線を使用することを想定している。2. 引出電極の駆動範囲を広げる。以前ヘリウムでのビーム試験を行った結果、現在の

駆動範囲内ではビームの輸送効率が最大にならないことがわかっている[5]。したがって、駆動範囲の見直しを考えている。

参考文献

- [1] H. Ogawa *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No.2 (1978) p. 1988.
- [2] S. Hojo *et al.*, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP058, 2021.
- [3] M. Muramatsu *et al.*, Rev. Scientific Instr. Vol.73, No2 (2002) 573-575.
- [4] リカバリープロ株式会社. 火災で発生する有毒物質. <https://recoverypro.jp/recovery/download/>
- [5] M. muramatsu *et al.*, Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THP004, 2021.