

DESIGN STUDY OF MAGNETIC CHANNEL AT NIRS-AVF930

Satoru Hojo^A, Mitsutaka Kanazawa^A, Katsuto Tashiro^A, Toshihiro Honma^A, Nobuyuki Miyahara^A,
Akinori Sugiura^A, Takanori Okada^B, Takashi Kamiya^B, Yuichi Takahashi^B, and Kouji Noda^A

National Institute of Radiological Sciences,^A

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, JAPAN

Accelerator Engineering Corporation^B

3-8-5, Konakadai, Inage-ku, Chiba 263-0043, JAPAN

Abstract: In The NIRS(National Institute of Radiological Sciences) -AVF930 cyclotron, a current magnetic channel has been used for ten years, and the flowing rate of cooling water gradually decreases. Therefore, the high energy operation such as 70 MeV proton became difficult recently. As the design specification of this magnetic channel, is very severe, the flow velocity of cooling water is very fast. The condition of the current magnetic channel and the design of a new one will be presented.

AVF930 サイクロトロン用マグネティックチャンネルの現状と改造検討

1. はじめに

放射線医学総合研究所(NIRS)の AVF930 サイクロトロン[1]では、最大エネルギーに近い陽子 70 MeV が頻繁に利用されている。しかしながら、この陽子 70MeV の運転において、ビーム取り出し効率の低下が問題となっている。その原因は、10 年前に更新され使用を続けてきたマグネティックチャンネルの運転可能な通電電流が低下している事にある。陽子 70 MeV のような高いエネルギーでの運転時には、一部のコイルの冷却水に冷凍機を用いているが、冷却水路の耐圧が高い特殊仕様であるため既設冷凍機と同メーカーでは、製造不能となっている。そのため、冷凍機を使用せずに、高いエネルギーでの運転を可能とするように、消費電力を抑え、冷却水の出口の温度が低いマグネティックチャンネルの製造が必要となった。

2. マグネティックチャンネルの現状

既設のマグネティックチャンネルは、断面が 6 mm 角で水路径 $\Phi 4$ のホローコンダクタを用いており、最大電流は、1300 A で電流密度が 56.5 A/cm^2 となっている。

マグネティックチャンネルの通電電流に対する A2コイルの冷却水出口の温度を図 1 に示す。A2コイルは、最もコイル長が長く、温度上昇が問題となっているコイルである。コイル電流を950 Aとしたときに冷却水の出口の温度は60 °Cを超えており、さらにコイル電流を1000 Aまで電流を増加させると最高使用温度の70 °Cとなってしまう。この原因として考えられる事は2つあり、1つめは、冷却水量が設置された当初に比べて低下している事である。設置された当初では、実冷却水流量が、3.0 L/min (4.0 m/sec)であったのに対

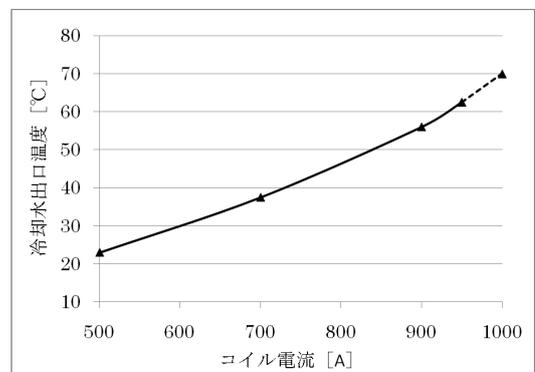


図 1 A2 コイル冷却水出口温度
入口温度 10 °C
水量 2.14 L/min

し、現在では、2.14 L/min (2.9 m/sec)に低下している。次に、2つめの原因は、抵抗値が上昇している事である。製作時に、48.9 mΩ(1200 A通電時)であったのに対し、現在は、54.2 mΩ(1000 A通電時)と、10%増となっている。この結果として、消費電力が増加し、発熱量も増加している。

3. 構造と改造案

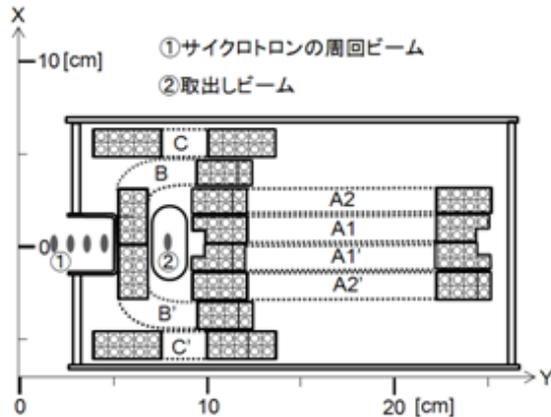


図 2-a マグネティックチャンネル A-A'断面図

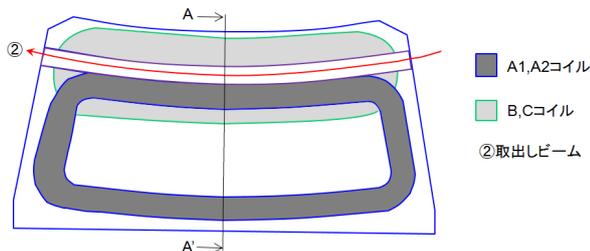


図 2-b メディアンプレーン (X=0) 断面図

冷却水出口での水温を下げるためには、冷却水流量を増加させることと、導体面積を広げ消費電力を抑える必要がある。既設マグネティックチャンネルの断面図を図2に示す。このマグネティックチャンネルでは、6 mm角Φ4のホローコンダクタをA1,A2,B,Cコイルの上下8系統すべてで使用している。この中で、温度上昇が最も高いA2コイルは、取出軌道の逆磁場を発生させるために、取出軌道より外側に巻かれているコイルである。サイクロトロンポールギャップ140 mmに対して、マグネティックチャンネルの高さは、133 mmで、これ以上高さを増やすことはできない。しかし、径方向に広げることが可能であるため、本検討では、A2

コイルにおいて、6×9 mmのホローコンダクタを用いて導体面積及び冷却水流路面積を拡張し、冷却水出口の温度の低下を図った。導体断面積は、6 mm角Φ4のホローコンダクタでは、22.6 mm²であったのに対し、6×9 mmのホローコンダクタでは、35.96 mm²と、約1.6倍程度にすることができる。導体断面積が広がったことにより、コイルの抵抗値は、既設の63%に低下し、それに伴い消費電力が低下し発熱も減少する。また、水路断面積も、12.5 mm²から、18 mm²と、1.4倍となり、既設と同じ流速が得られれば、冷却水流量は1.4倍になる。これにより、冷却水の温度上昇は、現在の50%程度に抑えることが可能となる。しかしながら、導体断面を拡張することにより、マグネティックチャンネルで形成される磁場が変化することが懸念されるため、OPERA-3d/TOSCAにより3次元磁場計算(図3)を行い、既設型と改良型の比較を行った。また、既設マグネティックチャンネル製作時の実測値との比較を行った。

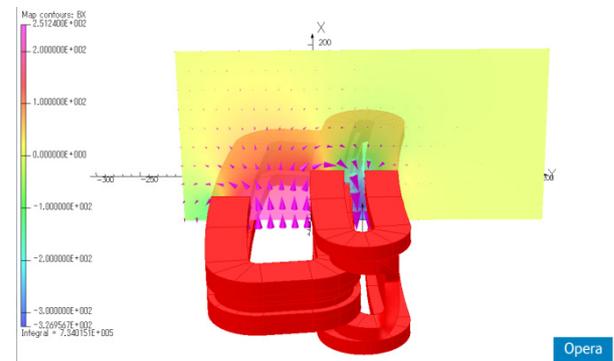


図 3. Opera 3D により 3次元磁場計算

マグネティックチャンネルの磁場における重要なポイントは2つあり、1つは取出し軌道上で一様で十分な強度の磁場を得ることと、もう1つは、サイクロトロン加速領域である周回軌道上への漏れ磁場を、極力少なくしなければならないということである。

そのため、サイクロトロン中心から、半径90 cmのArc軌道(図4①)と、半径94 cmのArc軌道(図4②)での漏れ磁場の比較を行った。また、

取り出し軌道上の磁場強度に対しては、マグネティックチャンネルのビームダクト中心の、半径 97.5cm (図 4 ③) の Arc 軌道での比較を行った。各軌道とコンダクタの位置関係を図 4 に示す。また、それぞれに、既設マグネティックチャンネル製作時の測定データを併記する。

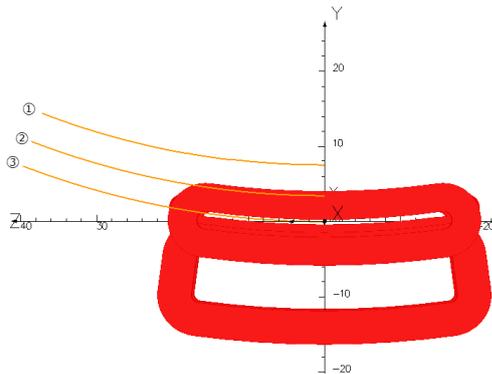


図 4. TOSCA 比較用 Arc 軌道

①サイロ中心から半径 90cm ②サイロ中心から半径 94cm ③サイロ中心から半径 97.5cm(取出し軌道)

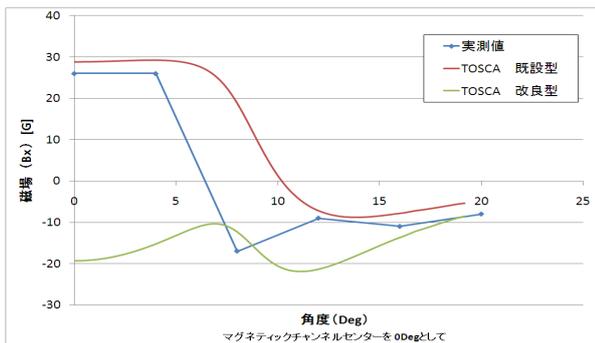


図 5. Arc 軌道①半径 90cm における Bx

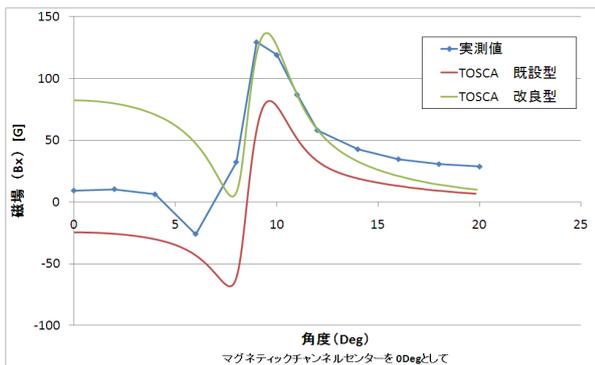


図 6. Arc 軌道②半径 94cm における Bx

Arc 半径 90 cm における漏れ磁場(図 5)では、改良型が全体的にマイナス側ではあるが、最大で 20 G 程度と低くなっている。Arc 半径 94 cm

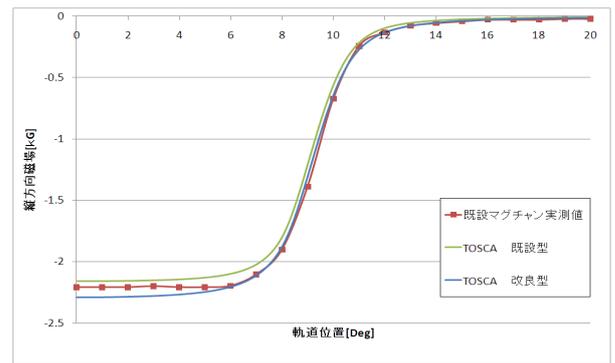


図 7. 取出ビーム位置 Arc 軌道③における Bx

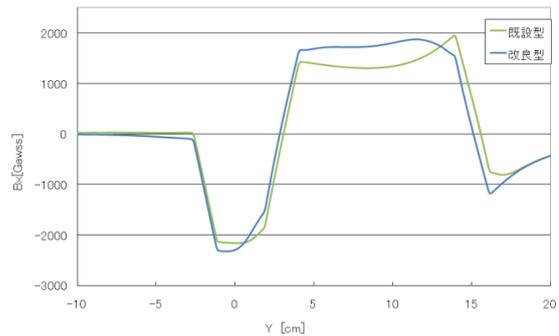


図 8. マグネティックチャンネル中心の Bx 径方向分布

における漏れ磁場では、改良型で、100 G を超える点があり再度、検討が必要である。また、取出ビーム位置では、十分な角度分布が得られているが、径方向の分布に勾配が生じているため、他のコイル配置等による調整が必要である。

まとめ

マグネティックチャンネルの A2 コイルにおいて、導体断面積と冷却水路面積を増やすために、ホローコンダクタの形状を変更し、3次元磁場計算を行った。その結果、周回軌道上の漏れ磁場に局所的に高い場所があり、また、取出し軌道上の磁場に径方向の勾配が生じている。そのため、今後、他のコイル配置の変更を行うなど、さらに十分な検討が必要となった。

参考文献

[1] M.Kanazawa, K.Tashiro, T.Honma, S.Hojo, A.Sugiura, T.Okada, T.Kamiya, Y.Takahashi, Present status of cyclotrons (AVF930, HM18) in NIRS, Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan 2010, WEPS027,