

## CONSTRUCTION STATUS OF THE MAGNET SYSTEM FOR THE RIKEN INTERMEDIATE-STAGE RING CYCLOTRON

J. Ohnishi<sup>A)</sup>, T. Mitsumoto<sup>B)</sup>, A. Goto<sup>A)</sup>, M. Kase<sup>A)</sup>, M. Nagase<sup>A)</sup>, Y. Yano<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Cyclotron Center, Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

2-1 Hirosawa, Wako-shi, 351-0098

<sup>B)</sup> Sumitomo Heavy Industries, Ltd

5-2 Soubiraki-cho, Niihama-shi, Ehime, 792-8588

### Abstract

The construction of the RIKEN Intermediate-stage Ring Cyclotron(IRC; K980-MeV) had been completed in the factory in the spring of 2001. The sector magnets were assembled in the factory, and the excitation test and the magnetic field measurements was performed. At present, the construction in the RIKEN site is advancing. This paper describes construction status, especially, results of the magnetic field measurements and alignment of the sector magnets.

## 理研中間段リングサイクロトロン(IRC)電磁石系の建設状況

### 1. はじめに

理研で建設が進められているRIビームファクトリーは既存の重イオンリニアックとリングサイクロトロンからのビームを現在建設中の3台のリングサイクロトロンでカスケード加速し、軽イオンからウランまでのすべての元素について核子あたり350MeV~450MeVのエネルギーの1次ビームを生成する計画である<sup>[1]</sup>。中間段リングサイクロトロン(IRC)は最終段の超伝導リングサイクロトロン(SRC)の手前に設置され、4台の常伝導のセクター電磁石から構成される<sup>[2]</sup>。IRCのパラメータを表1に、平面図を図1に示す。RF共振器は2台の加速用主共振器と1台のフラットトップ共振器が使用され、出射ビームの最大エネルギーは核子あたり127MeVである。

### 2. IRCセクター電磁石

セクター電磁石のパラメータを表2に示す。磁極ギャップは80mmで最大磁場は1.9Tである。ポール材とヨーク材は住友金属工業の炭素含有率が0.01%以下の高純度鉄(SSM250)を使用し、鋼板の厚さはそれぞれ260mmと280mm/215mmである。メインコイルは水冷ホロコン(16x16mm)を使用し、上下各198ターンで定格電流値は450Aである。図2に示すように上下ポール面に20対のトリムコイルが取り付けられており、それぞれ独立の電源(400A, 500A, 600A, 中ほどの14対は4セクター直列接続)で励磁され、等時性磁場を生成するために使用される。

### 3. ビーム入射取り出しチャンネル

ビームの入射用と取り出し用機器としては図1に示すように2台の静電チャンネル(EIC, EDC)及び4台の電磁チャンネル(MIC1, MIC2, MDC1, MDC2)が設置される。表3に静電チャンネルのパラメータを

表1 IRCのパラメータ

K値	980	MeV/A
入射半径	2.77	m
取出し半径	4.15	m
最大軌道平均磁場	1.1	T
最大B	4.57	Tm
ハーモニック数	7	
共振器(FT共振器)数	2(1)	
加速RF周波数	18-38.2	MHz
最大加速電圧	1000	kV/turn

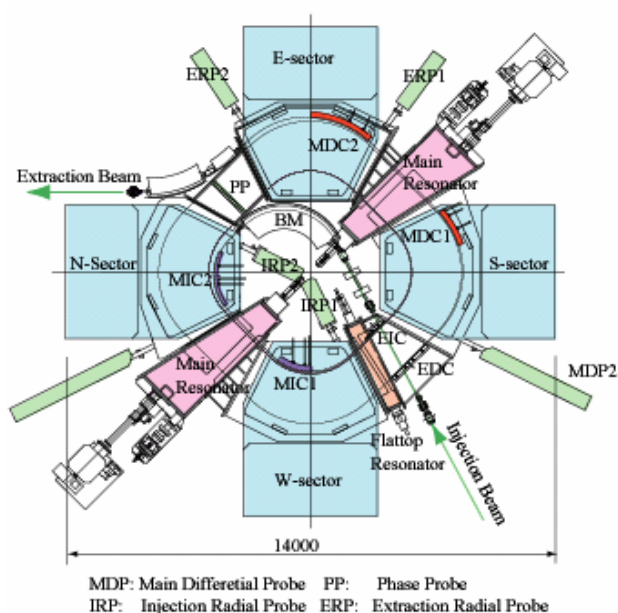


図1 IRC平面図

示す。図3に各電磁チャンネルの断面と最大電流、最大磁場を示す。周回軌道へのめれ磁場を小さくす

表2 セクター電磁石のパラメーター

セクター角	53	度
磁極間隙	80	mm
ビームチェンバーの開口	52	mm
重量	680	トン
最大磁場	1.9	T
メインコイル巻数 / 磁極	198	ターン
メインコイル最大電流値	450	A
トリムコイル数	20	組
トリムコイル最大電流値	400~600	A

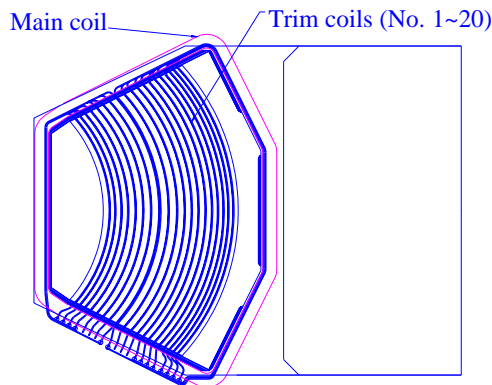


図2 セクター電磁石のトリムコイルの配置

表3 静電チャンネルのパラメーター

	電極長 (m)	電極間隙 (mm)	最大電圧 (kV)
EIC	0.7	12	120
EDC	1.3	12	120

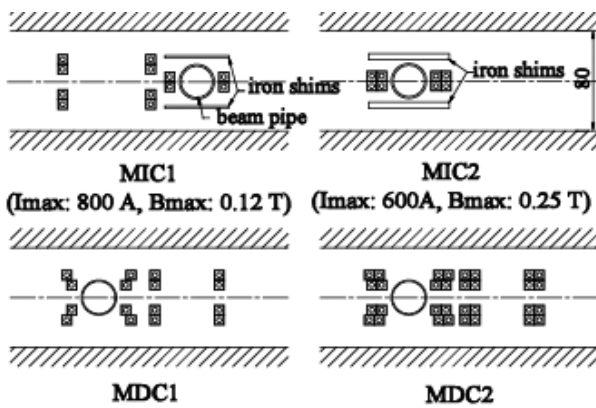


図3 電磁チャンネルの断面とパラメーター

るため、MIC1は内周側に、MDC1とMDC2は外周側に直列接続された補正コイルを持つ。MIC1とMIC2はそれぞれ2.2mmと5mm厚の鉄シムにより磁場のかさ上げを行なっている。各コイルは容器に収納され、52mmあるビームチェンバ内に設置される。MIC1とMIC2をセクター電磁石内に設置して測定した磁場を図4に示す。MIC2では鉄シムが作る最大磁場250mT、コイルが作る磁場は60mT程度であることが

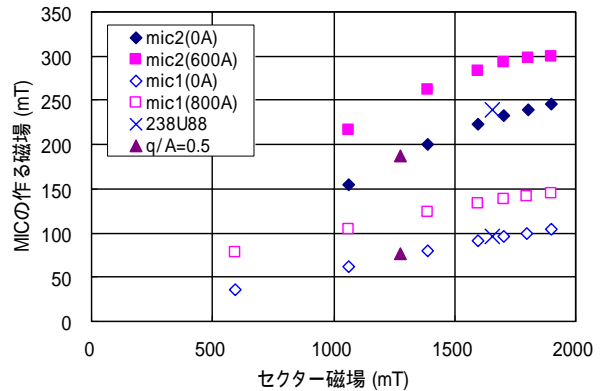


図4 MICの生成する磁場

コイル電流が0Aの場合でも、鉄シムによりセクター磁場にほぼ比例した磁場が生成される。

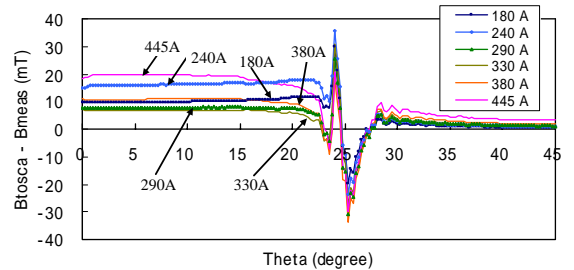
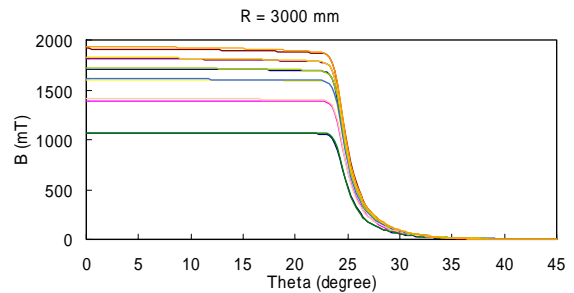


図5 セクター電磁石磁場の測定値とTOSCAによる計算値の比較 (メインコイル電流: 180A, 240A, 290A, 330A, 380A, 445A)

サイクロトロンを中心から3mの円周上の磁場を示す。横軸の方位角はセクター中心を0度としている。下図は計算値から測定値を引いた値を示す。

わかる。図中、 $^{238}\text{U}^{88+}$ と $q/A = 0.5$ のビームの入射に必要な磁場をプロットした。

#### 4. 磁場測定とTOSCA計算の相違

ビーム周回軌道の全領域の磁場測定を行なうため、径方向に200mm間隔で取り付けられた8個のホール素子を径方向に730mm (測定範囲は2450mm ~ 4580mm)、周方向に180度、エアで駆動する磁場測定器を製作した。磁場測定は製作工場でセクター電磁石の組立と配線配管を行って、運転に必要な等時性磁場を

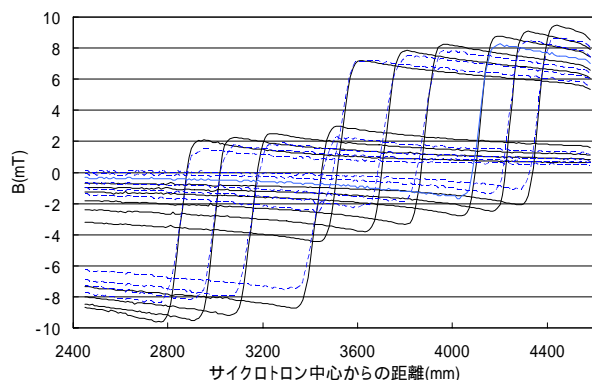


図6 内側から1, 3, 5, 8, 9, 11, 13, 16, 18, 20番目のトリムコイルが生成する磁場の測定値(実線)と計算値(破線)  
メインコイル電流値は330A、各トリムコイル電流値は400Aである。1~8番のトリムコイルは図2に示すようにポールの前側に巻かれており、メインコイル磁場を下げる方向を電流を流してしている。

得るためにメインコイル磁場及びトリムコイル磁場の測定を行なった<sup>[3]</sup>。建物の制約のために4台のセクター電磁石のうち2台を90度に配置してマッピング測定を行なった。メインコイルの6レベル(180A, 240A, 290A, 330A, 380A, 445.5A)の電流値について測定した結果と3次元磁場計算コード(TOSCA)の計算値との比較を図5に示す。磁場計算も2台のセクター電磁石のメッシュ(約4.1万要素)を作成して行なった。鉄の磁気特性はTOSCA内部に持っている純鉄のデータを使用した。この特性は実際の鋼材で測定した特性より悪いものであるが、セクター内部の磁場は計算値の方が測定値に比べて7mT~20mT程度(セクター中心磁場の0.4%~1.2%に相当)大きくなっている。これはヨーク鋼板の表面の塗装が10~20 $\mu$ mあり、磁気回路内に平均的に20枚程度の鋼板が存在するため、80mmの磁極間隙に対して0.5%~1%の空隙の増加となることが一因であると考えられる。また、この測定値はNセクターのものであるが、測定結果によればセクター間で3mT~7mTの磁場の差が見られる。図6はメインコイル電流値330A(セクター磁場約1.7T)におけるトリムコイルの生成する磁場の測定値と計算値を示す。トリムコイルは全部で20組あるが、図では10組の分布を示す。メインコイル磁場を減少させる方向において測定値と計算値の差が大きく、1mT~2mTの違いが見られる。原因の一つは計算に用いた磁気特性の違いが考えられる。磁場測定を行わずに磁場計算からビーム運転に必要な等時性磁場のコイル電流値を求めるのは、少し誤差が大き過ぎると思われる。

## 5. セクター電磁石のアライメント

セクター電磁石ヨークは2003年10月から2004年1

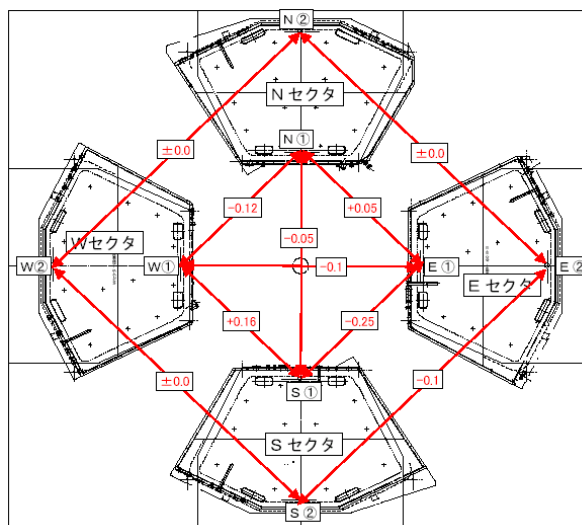


図6 アライメント後の所定寸法からのずれ(mm)

月にかけて理研への搬入と据付が行なわれた。アライメントは下半分のヨークとポールユニット(上下ポール、トリムコイル、ビームチェンバーを組み立てたもの)を据え付けた状態(重量約400トン)で行なわれた。上ポールの上面にある各基準点間をインサイドマイクロメーターで測定して、ヨーク架台部に置いたジャッキ(300トン1個、400トン2個)を用いて、上下方向と水平方向の位置調整を行なった。位置調整後の基準点間距離のずれを図6に示す。上下レベルのずれも最大0.1mm以下に調整が行なわれた。上ヨーク据付後、上下レベルの再測定を行なったところ、4セクターとも室内の壁の基準点に対して0.5mm程度の沈降が見られたが、セクター間のレベル差はほとんど変化がなかったので、再調整は実施しなかった。

## 6. 今後の予定

現在、理研において冷却水配管と電磁石配線の工事が行なわれており、2004年秋より電磁石の励磁を行なう予定である。また同時に真空系の組立も進めており、2004年秋より真空排気を開始する。来年度にはRF共振器のパワー試験とエージングを行なう予定である。ビームコミショニングは超伝導リングサイクロトロン(SRC)の完成を待って2006年秋頃から開始する予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Yano et al., in these proceedings.
- [2] T. Mitsumoto et al., "Construction of the RIKEN IRC", Proc. 16th. Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications, East Lansing, USA, 2001, p. 167.
- [3] J. Ohnishi et al., "Magnetic field measurement of RIKE IRC sector magnets", Proc. 16th. Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications, East Lansing, USA, 2001, p. 351.