

# FABRICATION OF MULTI-ELEMENT CORRECTOR MAGNET FOR NEWSUBARU

Yoshihiko Shoji<sup>1,A)</sup>, Eisaku Fujimura<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> NewSUBARU/SPring-8, University of Hyogo,  
1-1 Kouto, Kamigori, Hyogo, 678-1205

<sup>B)</sup> TEIKOKU ELECTRIC MFG. CO, LTD.,  
3-29-2, Kouto, Shinguu, Tatsuno-shi, Hyogo, 679-5165

## Abstract

Multi-element octupole-base corrector magnets will be installed in the electron storage ring NewSUBARU in place of vertical steering (skew dipole) magnets. The new magnets use coil windings to produce the skew quadrupole, skew sextupole, normal octupole, and skew dipole fields. The skew dipole element is used to achieve vertical steering. We made six magnets. The yoke is a laminated core composed of 0.5 mm thick silicon steel plates. The number of coil turns for the dipole winding was changed from the calculation (129t & 92t) to 126t & 92t because of the space requirement.

## ニュースバル用多機能電磁石製作

### 1. はじめに

電子蓄積リングニュースバルの分散部用に、多機能補正電磁石を製作した。磁場計算及び設計については前年の加速器学会等に報告した<sup>[1, 2]</sup>ので、今回はその製作について報告する。

磁極形状は8極で、発生磁場はvertical dipole, skew quadrupole, skew sextupoleに加え、normal octupoleである。新しく加える多極磁場発生機能によって、カップリング補正や、その他ベータatron共鳴補正によるトップアップ入射の改善や、高次のdispersionとmomentum compaction factorの制御が可能になる

### 2. 設計の概略

Table Iに磁石の基本パラメータを、Fig. 1に磁場計算に用いた3Dモデルを示す。磁極形状は8極で、vertical dipole, skew quadrupole, skew sextupole, normal octupoleそれぞれの磁場成分に対して専用コイルを持つ。これによって全電源と制御が揃っていないなくても、使用できる。設計時のコイル構成をFig. 2に示す。

Table I: PARAMETERS OF CORRECTOR MAGNET

Parameters	Quantities
Magnetic Yoke Length	80 mm
Bore Radius	50 mm
Cross Section of Coil Conductor	2 mm X 3 mm
Cooling Method	air

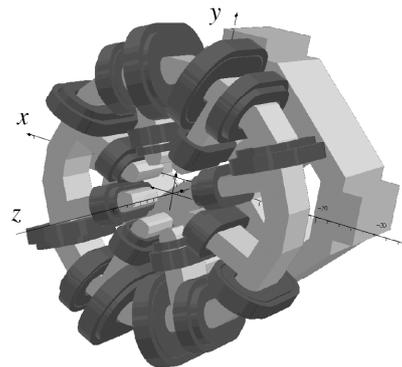


Fig. 1: 3D structure model of the multi-element corrector magnet (front) with the quadrupole lattice magnet nearby (back).

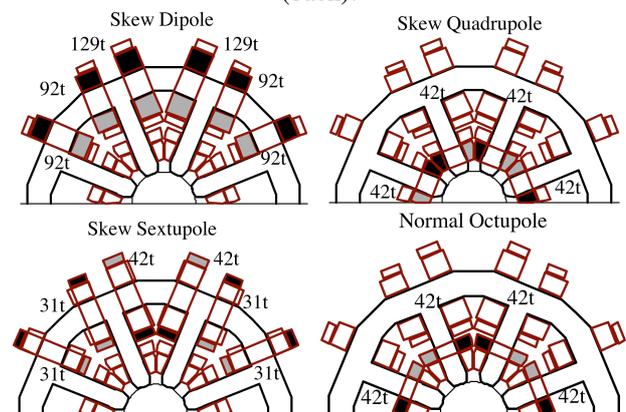


Fig. 2: Cross sections of the upper half of each element of the magnet illustrating the configuration of the coils. The shaded areas indicate the coils which were used in each element. Black and grey shaded areas indicate the direction of the current.

<sup>1</sup> E-mail: gakkai@kasokuki.com

### 3. 製作

#### 3.1 磁石ヨーク

磁石ヨークは8分割で、0.5mmケイ素鋼板を積層した接着コアである。最初の積層接着試験では、板と板の間で微妙にズレて、0.1mm程度の歪み（倒れ）がでてしまったが、積層時の固定治具をより強固な設計に変更することで解決できた。積層接着コアと、テスト的に定盤の上で組み合わせたヨークをFig. 3 に示す。

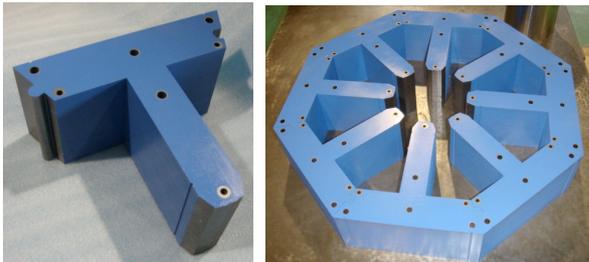


Fig. 3: Laminated yoke (core) unit, 1/8 of a magnet (left photo) and the test assembly of 8 unit cores (right photo).

#### 3.2 コイル

電磁石製作に当たり、コイルの取り回しの関係で、Table II に示す多少のターン数の変更を行った。Fig. 6 はヨークへのコイル配置を示す。コイルパッケージへの出入り部分が邪魔になり、図面上のスペースはギリギリに近い。

Dipole fieldとsextupole fieldのエラー成分は多少増えるが、計算すると十分許容範囲であった。またquadrupole fieldとoctupole fieldが若干弱くなったが、これも許容範囲である。

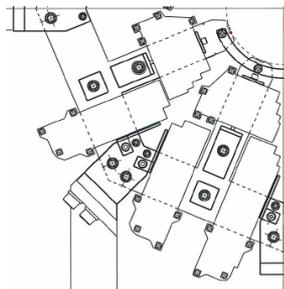


Fig. 4: Cross section of 1/4 of the corrector magnet.

Table II: Number of coil turns.

Field element	Design	Production
Dipole	129 T+ 92T	126T + 98T
Sextupole	31T + 42T	33T + 41T
Quadrupole	42T	38T
Octupole	42T	40T

同磁極に巻くquadrupoleとoctupole用コイル、また、同じリターンヨークに巻くsextupoleとdipole用コイルは、それぞれ一体化して1つのコイルパッケージに纏めた。

#### 3.3 組み立て

ヨークの組み立てはコイルを取り付けた後に行うので、Fig. 3 の状態ではなくFig. 5 のように磁石を立てた状態で行う。ヨークが8分割であるため、組み立てによる歪みが大きくなり易い。そのため、左右からのヨーク支持に加え、下は調整ボルトで支持し、上には吊り具を取り付けてクレーンで吊りながら位置調整を行った。組み立てて、調整後に固定してしまえば、後から歪む事は無い。

組み立て後に、磁極近くにビームを囲むように固定リングを取り付けるが、歪みが大きいと取り付ける事ができない。



Fig. 5: Magnet assembly. The ring at the top will be replaced by an alignment base.

### 4. 試験

#### 4.1 寸法検査

機械的製作精度が必要なのはpole faceで、特に均一性が重要である。Bore diameterに相当する対向磁極間寸法は平均100.17mmで設計より0.17mm大きかったが、同一磁石の4つの測定値の最大と最小の差は0.1mm以内であったので、問題ない。

#### 4.1 抵抗試験

電気抵抗は全数、自己インダクタンスは120 Hzで1台だけ測定した。測定結果をTable IIIに示す。

複雑なコイル配線をチェックするために、通常は行わない相互インダクタンスも全数測定した。一つの磁場要素用コイルに交流電流を通電し、他の磁場要素用コイルに励起された電圧を測定する。理想的には、dipole coilとsextupole coil間以外の相互インダクタンスはゼロとなる。80 Hzでの測定結果をTable IVに示す。ひとつの相互インダクタンスを2回測定する事になったが、整合性のとれた結果が

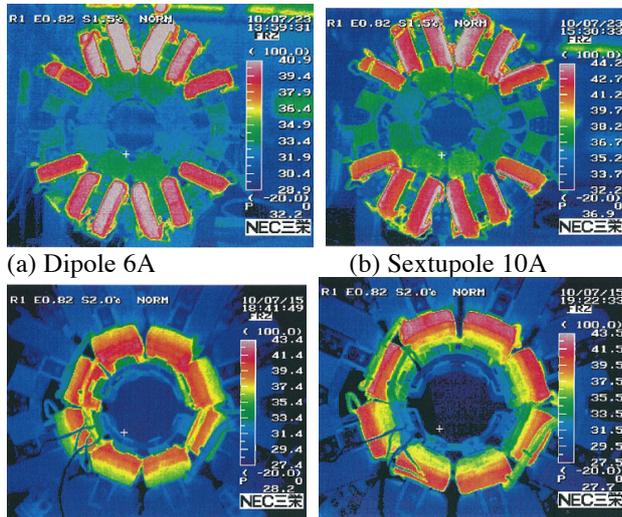
得られている。配線の取り回しに起因すると思われる微小インダクタンス以外には、明らかな異常は見されなかった。

Table III: Resistance and inductance

Field element	Resistance ( $\Omega$ )	Inductance(mH)
Dipole	1.528~1.542	328
Sextupole	0.503~0.511	15.6
Quadrupole	0.307~0.311	6.9
Octupole	0.342~0.345	14.5

### 4.3 励磁試験

各コイルを定格励磁した時の温度上昇をFig. 6に、また温度分布をFig. 7に示す。



(a) Dipole 6A (b) Sextupole 10A  
(c) Quadrupole 10A (d) Octupole 10A  
Fig. 7 Temperature distribution of the magnet.

## 6. まとめ

電子蓄積リングニュースパルの分散部用に、6台の多機能補正電磁石を製作した。2010年夏の運転停止期間に、これらのうち4台を分散部に、2台を無分散直線部に設置予定である。

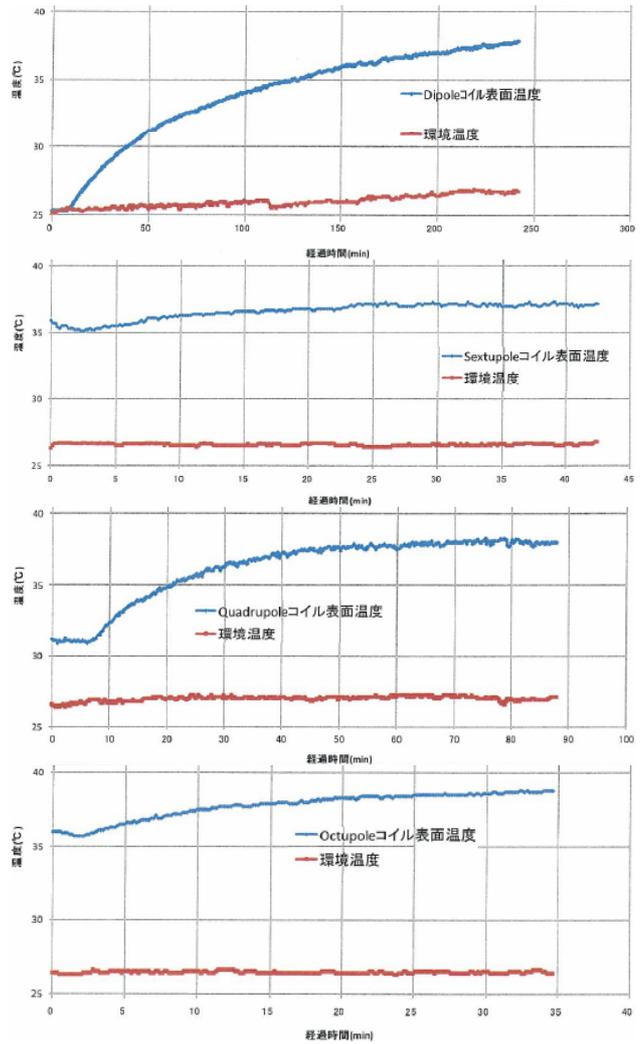


Fig. 6: Temperature rise with time

## 参考文献

- [1] Y. Shoji, “ニュースパル用多機能補正電磁石の設計”, Proceedings of the 6th PASJ Meeting, Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- [2] Yoshihiko Shoji, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.20, No.3, pp.230-233 (2010).

Table IV: Mutual inductance

Current driving coil		Dipole	Sextupole	Quadrupole	Octupole
Voltage induced coi	Current (A)	$\pm 0.086$	$\pm 2.15$	$\pm 5.85$	$\pm 2.46$
Dipole			+9.7 ~ +10.1	-0.10 ~ +0.05	-0.8 ~ -0.5
Sextupole	Inductance (mH)	+9.2 ~ +10.5		-0.11 ~ +0.06	-0.4 ~ -0.1
Quadrupole		-0.10 ~ +0.08	-0.14 ~ +0.06		-0.12 ~ +0.01
Octupole		-0.6 ~ -0.2	-0.4 ~ -0.1	-0.12 ~ +0.04	