

[12P-49]

The 324MHz-DTL Focusing Magnets for the KEK/JAERI Joint Project

Kazuo YOSHINO^{*}, Eiichi TAKASAKI, Fujio NAITO, Takao KATO, Yoshishige YAMAZAKI
Keisuke TAJIRI^{A)}, Toshihiro KAWASUMI^{A)}, Yasuhisa IMOTO^{A)}, and Zensaburo KABEYA^{A)}

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, JAPAN

^{A)}Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Nagoya Aerospace Systems

10 Oye-cho, Minato-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken, 455-8515, JAPAN

ABSTRACT

The quadrupole magnets with a hollow coil made by the improved electroforming method have been developed. They will be installed in the each drift tube of the DTL (324 MHz) for the KEK/JAERI Joint Project for high-intensity proton accelerator facility. The properties of the model magnet have been measured. The results of the measurement are consistent with the estimated values calculated using the computer code. In this paper, we describe the measured results of the model magnet and the specifications of all the Q-magnet.

KEK/JAERI 統合計画 における 324MHz-DTL 用収束電磁石

1. はじめに

KEK と JAERI による大強度陽子加速器の為の統合計画において、共振周波数が 3 2 4 M H z のアルパレ型加速空洞 (D T L) のドリフトチューブ (D T) 用収束電磁石を開発した。本磁石に求められた機能として、(1) 収束力が可変な電磁石にする事。

(2) 従来(200MHz)より小さな (DT とそれを保持するステム) 空間内に磁石及びコイルを封入する事。(3) ビームに対して十分大きなボア径と高磁場を確保する事。(4) 十分な冷却能力を確保して、DT の熱変形を最小にする事、等があった。これらに対応する為、厚肉電鑄と機械加工によるホローコイル (電鑄製コイル ; 前回の研究会にて発表)⁽¹⁾ の開発や、パルス励磁の選択、材質や形状の十分な検討等を行った。本稿では、既に関連した入射エネルギー (3MeV) 用の磁石及び D T の特性及び、現在製作中の全磁石の仕様等について記述する。

表 1 磁石、電鑄コイル及び D T の各特性値

	測定値
磁極内径 (ボア直径) [mm]	1 5 . 6
磁極軸長 [mm]	3 3 . 0
定格磁場強度 ($G_q \times L_q$) [T]	4 . 1
実効長 (L_q) [mm]	3 9 . 2
鉄心材料 (ケイ素鋼板を主に 0 . 5 mm 厚使用)	
ヨーク外周直径 [mm]	1 1 5
コイル外寸 (軸垂直方向) [mm]	5 x 5 . 5
軸方向水路断面寸法 [mm]	3 . 3
軸垂直方向水路断面寸法 [mm]	3 x 3 . 5
コイル巻数 [Turn / Pole]	3 . 5
コイル全長 (計算値) [m]	3 6 . 2
定格励磁電流 (パルス) [A]	7 8 0
電流密度 [A / mm ²]	3 4 . 9
インダクタンス L [μ H]	1 8
電圧 [V]	1 . 8
抵抗 [m]	2 . 3
電力 [kW]	1 . 4
冷却水量 [L / min]	1 . 0
水温上昇 []	3 . 0
圧力損失 [kg / cm ²]	1 . 8
ドリフトチューブ外周直径 [mm]	1 4 0
ドリフトチューブ内周直径 [mm]	1 3
ドリフトチューブ軸長 [mm]	5 2 . 5

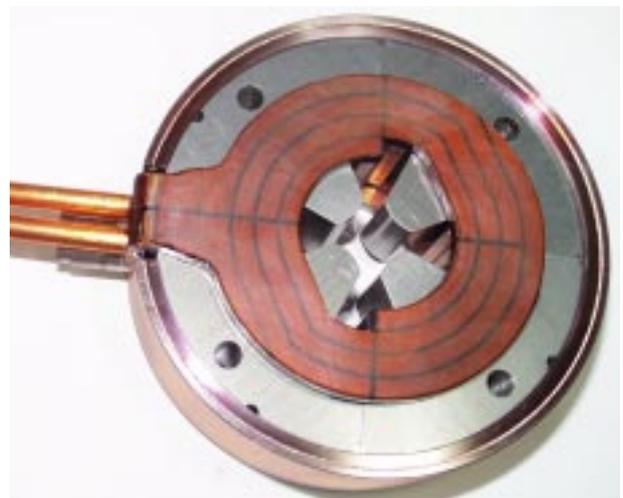


図 1 D T 用冷却水ジャケットで焼ばめ後の写真

2. 入射エネルギー（3MeV）用の磁石及びDTの特性

入射エネルギー（3MeV）用の磁石及びDTについて、実機と同じ仕様にて開発した。表1に、その特性値を、図1に磁石の写真を示す。パルス励磁は、繰り返し50Hzで、フラットトップ2msとし、立上がり及び立ち下がり部は、うず電流による効果を少なくするために、ゆっくり（5ms）と行う。

コイルの流量（図2）に関しては、定格の1L/min（2m/s）は圧損2Kg/cm²程度で確保できており、負荷が多くなったり、長尺モデルのコイルで圧力損失が大きくなってでも対応できる程度の余裕がある。

磁場特性に関しては、ホール素子で測定した磁場強度と3次元の磁場解析結果を図3に示す。高励磁

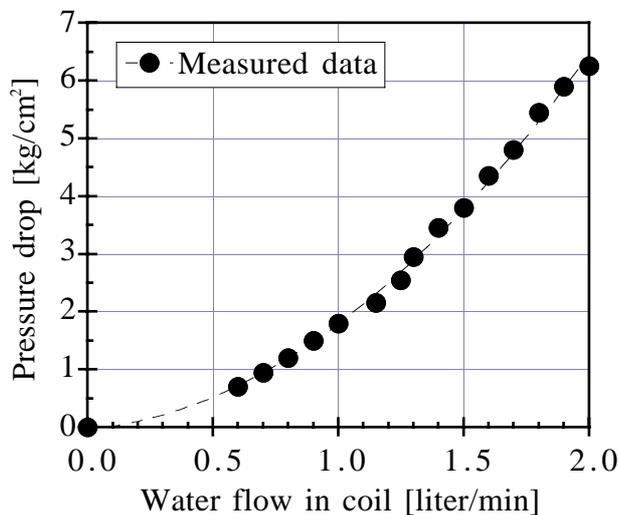


図2 電鍍コイルの流量と圧力損失の関係

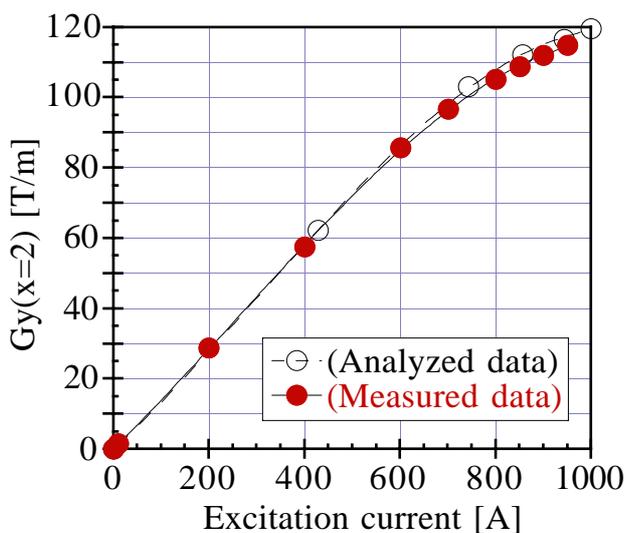


図3 励磁電流と磁束勾配（磁石中心付近）Gの関係（測定値と3次元解析MAFIAの値の比較）

領域で解析結果より若干（約2%）低くなっているのは、ケイ素鋼板間の絶縁材部分相当の、コア体積が少なくなっている為で、予想していた現象である。又、回転コイルで測定した磁場中心における多極成分（図4）は、四極成分に比べ0.11%以下となっており、十分小さい事が確認できた。4極磁場中心と（ポール先端間の）機械中心のずれも4μm程度と僅かであった。

コイルの水温については、磁石を組込んだDTを、DTLタンク内に取り付け、真空中での励磁電流との関係を測定した（図5；高周波発熱は無し）。コイルの定格流量（1L/min）、定格磁場（780A）では3の上昇にとどまっております、問題無い事が確認できた。DT流量差による水温の違いは、熱負荷が小さ

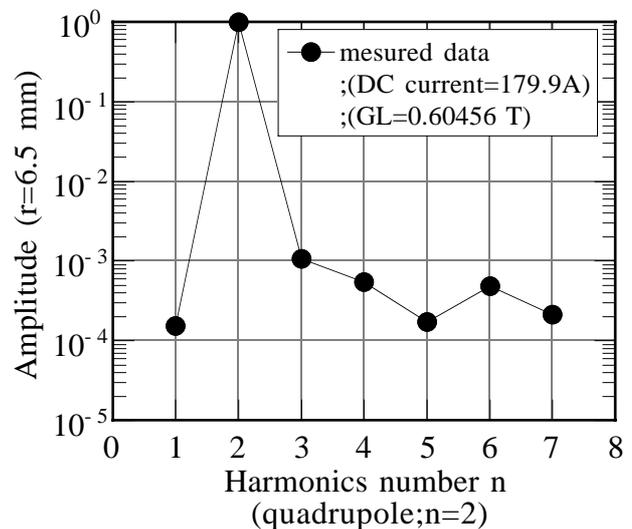


図4 回転コイル中心が磁場中心の場合の（半径6.5mmの位置における）各成分の振幅比

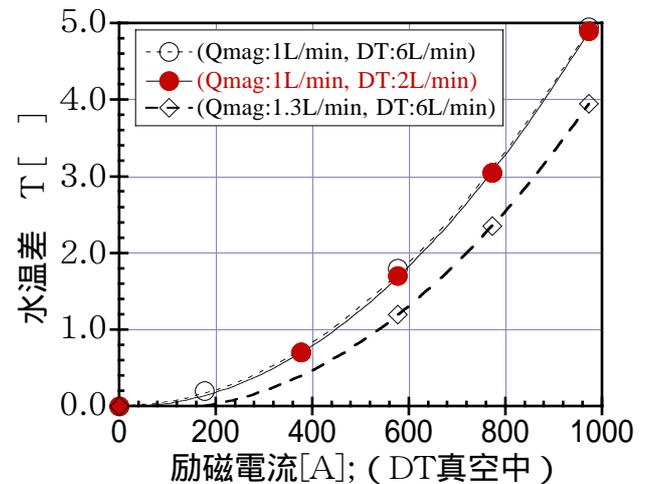


図5 励磁電流（パルス励磁）とコイル水温上昇値の関係（DTは真空中）

表 2 . 全磁石 1 4 9 台の構成 (断面形状 A ~ F に関しては図 6 を参照)

DTL tank No	1					2		3
Number of the DTs	77					44		28
DT outside diameter [mm]	140							
Qmag outside diameter [mm]	115							
Qmag core length [mm]	33	35	50	76	80	80	90	125
DT bore diameter [mm]	13	13	13	13 ~ 18	18	22	22	26
Qmag bore diameter [mm]	15.6	16	16	21	21	25	25	29
Number of the magnets	6	17	33	1	20	1	44	28
Type of the cross section form	A	B	C	D	D	E	E	F

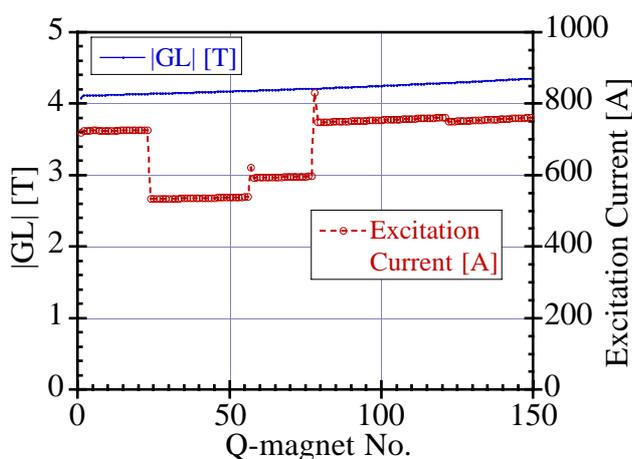


図 6 全磁石の定格要求磁場 (絶対値) と励磁電流値 (磁場飽和が無い場合の計算値)

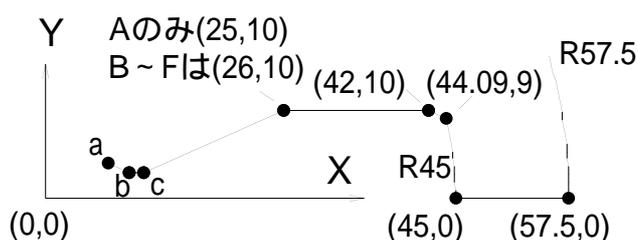
くで見えていない。

3 . 全磁石の仕様

全磁石 1 4 9 台の構成を表 2 に示す。タンク毎の磁石数、D T 外径・内径・軸長、必要な磁場強度等 (図 6) は、ビームダイナミクスから決めた値である⁽²⁾。それらの値と開発した入射部磁石の仕様を基に全磁石の仕様を定めた。コアの断面形状は、2・3 次元の磁場解析コード (POISSON,MAFIA) を使って決めた (図 7)。又、コイルの断面形状は全て同一にしている。当初磁石軸長の種類数は、断面形状の種類数と同じ 6 種であったが、軸長だけを変えた 2 種類 { (Type D (80 から 76 mm) と Type E (90 から 80 mm) のそれぞれ 1 台 } を、製作上の都合により増やしている。

4 . 結論

今回、324MHz の DTL 用収束電磁石を実機と同じ仕様で試作し、各特性を測定した。結論として、1) 磁場強度に関しては、ケイ素鋼板間の絶縁材部



	a	b	c
	X, Y	X, Y	X, Y
A	7.58, 4.01	9.83, 2.81	10.63, 2.81
B	8.69, 3.68	11.31, 2.63	12.62, 2.63
C	9.62, 3.33	11.73, 2.57	13.18, 2.57
D	11.48, 4.80	14.72, 3.52	16.00, 3.52
E	13.68, 5.71	17.13, 4.22	18.12, 4.22
F	14.19, 7.41	18.68, 5.15	19.64, 5.15

図 7 全磁石 (Type A ~ F) の断面形状 (磁極先端は双曲線 ; mm)

分相当の、コア体積が少なくなっている為、解析結果より低くなっているが、予想の範囲内である。

2) 磁場中心における多極成分は、四極成分に比べ 0.11% 以下と十分小さく、4 極磁場中心と機械中心のずれも 4 μm 程度と僅かであった。

3) コイルの流量は、定格の 1 L/min (2m/s) は圧損 2 Kg/cm² 程度で確保できており、圧力損失が大きくなる長尺モデル等にも対応できる。

4) 磁石を組込んだ D T における、コイル水温の上昇幅は、コイルの定格流量、定格磁場では 3 の上昇にとどまっており、問題無かった。

5) 全磁石の仕様を確定した。

参考文献

- (1) K. Yoshino et al., Proceedings of the 24th Liner Accelerator Meeting in Japan, 353 (1999).
- (2) KEK Report 97-16 (1998) chapter 4.