

ABSTRACT

Permanent quadrupole magnets were constructed by using ALNICO-9 magnets. A bore radius and a core length are 17 mm and 100 mm, respectively. The field gradient and the effective length were measured to be 2.2 kG/cm and 114.3 mm with the search coil and the HALL probes. One of these magnets was mounted to the last cell of the 20 MeV Proton Linac and it has worked satisfactorily.

はじめに

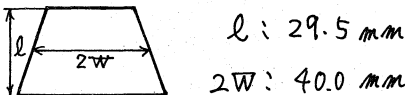
KEK Proton Linac の延長計画が計画されている。従来の四極磁石では、電源用スペースを広くとらなければならぬ。四極磁石は電源を用いない永久磁石で製造することを考えた。計画中の Linac に使用するには、サマリウム コバルト程大きい  $\mu_0 G$  (4 kG/cm) を必要としぬ。ALNICO で製造すると磁場を可変することが可能であり、Coil を巻いて四極磁石を作ると、D/T にマウントした後で着磁が出来る。このことは、現在 E レクトロン ビーム溶接 (EBW) でマウントしている技術を、そのまま生かすことが出来る。今回の永久四極磁石は、既存の 20 MeV TANK No 90 (端板) の母介として使用が出来る。Linac 延長用の口径 34 $\phi$  として製造した。

1-a 設計

今回の永久四極磁石の設計に関するパラメータは次の通りである。磁石の図面と定格は、Fig. 1, Fig. 2 に示す。

|         |            |   |
|---------|------------|---|
| Bore 半径 | 17 mm      | このパラメータの Bore 半径, 外径, 磁場勾配は Linac 延長    |
| 外径      | 135 $\phi$ | 計画のため決定された。長さは既存の Linac の No 90 (端板)    |
| 長さ      | 100 mm     | 母介に使用する為決定した数値である。このパラメータを元に            |
| 磁場勾配    | 2.2 kG/cm  | ALNICO 5 で検討すると 2.2 kG/cm の磁場勾配は確保出来    |
|         |            | ない。着磁用 coil 占有面積及び, 外径, Bore 半径等を考慮し, 下 |

記の様に、磁鋼の形状を考える。



磁石の形状から ALNICO 9 の動作点を検討すると、 $P = Bd/Hd \approx 7.4$  となる。

磁場勾配は

$$0 = \frac{1}{\mu_0} \int_0^{r_0} G r dr + (-Hd)l \quad (1)$$

$$Hd = \frac{G r_0^2}{2\mu_0 l} \quad (2)$$

$$G = \frac{2\mu_0 l Hd}{r_0^2} \quad (3)$$

ここで  $P \approx 7.4$  として動作点の Hd を減磁曲線から求めると  $Hd \approx 1050$  (Oe) であるこれを (3) 式に代入すると、 $G \approx 2.2$  kG/cm となる。

磁石の形状を上記の様にすると、ALNICO 9相当で2.2 KG/cm確保出来るのでALNICO 9で製造することにした。ALNICO 9による磁鎖の加工はホットモールド<sup>\*</sup>法と研磨により製造される。

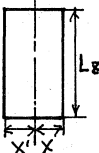
四極磁石の製造に与り、Dipole成分が少ないことがBeam Dynamicsから要求されるが、このことは永久磁石の特性として動作点での各磁鎖のバラツキが小さいことである。各磁鎖について測定された特性のバラツキは下記の通りである。

|             |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|
| 保磁力 (Oe)    | 1470 | 1470 | 1560 | 1470 |
| 残留磁束密度 (KG) | 9.9  | 10.0 | 10.3 | 10.1 |

\* ホットモールド法は鋳型に発熱材を用い、下に金属板を置き下から上に柱状晶化させ 結晶をそろえる。

## 2 測定および測定結果

2-2 高調波成分、磁場中心の測定はSearch Coilを用いて測定した。Search coilを50 Hzで回転し、Spectrum Analyzerで高調波成分を調べる。機械中心はX-Yテーブルを利用し、ダイヤルゲージで測定を行った。装置はFig. に示す

| Search coil寸法  | 東測測定Date      | 四極、二極磁石を用いて調べたeffectiveなDate |
|--|---------------|------------------------------|
|  | X'+X 14.97 mm | 14.35 mm                     |
|  | X'-X 1.26 mm  | 1.19 mm                      |
|  | Lz 199.97 mm  |                              |

高調波成分、磁場中心の測定結果

磁石を機械中心にSetした

Dipole ( $B_1/B_2$ )<sub>0</sub> 0.2% Sextupole ( $B_3/B_2$ )<sub>0</sub> 0.56%

磁石をDipole minimumにSetする

Dipole は0.01%以下でこの時の機械中心と磁場中心のズレは  $\Delta Y: 43\mu$   $\Delta X: 47\mu$   $\Delta r: 63.7\mu$ であった。これは1ヶのPoleの影響があると思われる。これはリターンの磁気路長を調整することにより、小さく出来た。Dipoleは現在、使用中の四極電磁石と比較しても充分に小さい。

### 2-b 磁石の有効長

ホール素子をFig. 3に示したSearch Coilに接着し、ホール素子の出力の最大値の場所にSearch Coilを固定する。磁石有効長( $l_a$ )は、四極磁石を軸方向に5~10mm間隔で動かして磁場分布(Fig. 4)を測定し計算した。各Poleの有効長を出し平均した。

永久四極磁石有効長  $l_{a1} = 114.7\text{mm}$   $l_{a3} = 114.8\text{mm}$   $l_a = \frac{l_{a1} + l_{a2} + l_{a3} + l_{a4}}{4}$   
 $l_{a2} = 113.8\text{mm}$   $l_{a4} = 114.0\text{mm}$   $= 114.3\text{mm}$  at 2.2KG/cm

2-c 減磁曲線はホール素子をPole先端に固定し、full着磁(測定)→10A減磁→0A(電源off)→測定→full着磁測定→20A減磁----この操作を100Aまで行った。full着磁後の磁場強度のバラツキは小さかった。測定装置Fig. 5, 減磁曲線Fig. 6に示す。

## 3 結論

ALNICO 9で2.2 KG/cmの磁場勾配が得られ、Dipole成分は従来の四極磁石に較べて

を充分小さく出来た。又EBWが使用出来るまで小さく消磁(>4Guss)することが出来た。

今回ALNICO 9で製造したNo.90(タンク下流側端板)のD/Tは83年4月からの加速器運転でBeamを効率よく通している。永久四極磁石の磁場勾配を変え、Beamへの影響を調べたがBeam軌道(Beam centerのズレ)について著しい変化を与えずDipole成分が充分小さいことを示した。

謝辞

永久四極磁石製造に野田章氏(核研)のメモを参考にした。又東北金属、三菱重工、住友特殊金属、の各社に色々とお世話になりました。

References

1) S. Fukumoto, Proc. of the 7-th Symp. ISIAT (1983) to be Published  
 2) 第5回リニャック研究会報文集 P169 T.TAKENAKA S.INAGAKI.

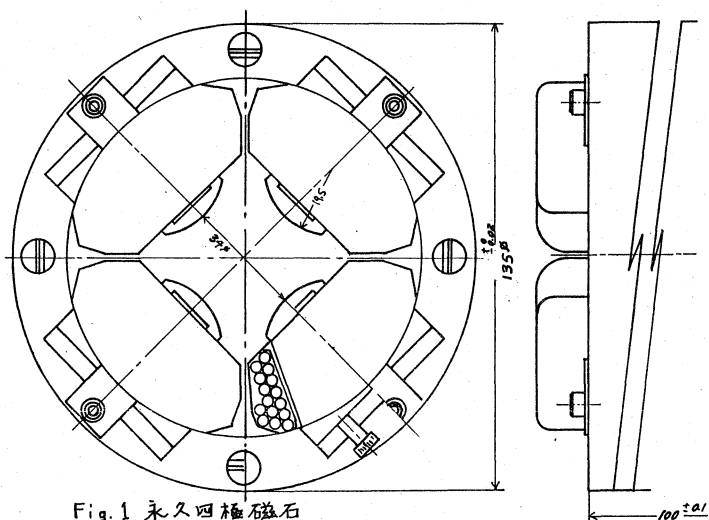


Fig. 1 永久四極磁石

特性及び定格

|              |             |
|--------------|-------------|
| 磁極口径         | 34φ ±0.1 mm |
| 磁場勾配         | 2.2 KG/cm   |
| 磁極長          | 100 mm      |
| 着磁コイル巻数      | 14T/P       |
| 着磁電流         | 1000A       |
| 抵抗           | 41mΩ        |
| 永久磁石材料       | ALNICO 9    |
| 磁場中心と外径中心のズレ | 20/1000 mm  |

Fig. 2 永久四極磁石の定格

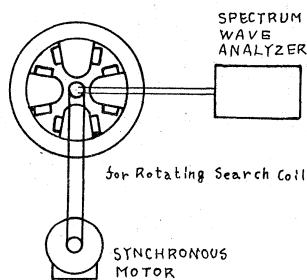


Fig. 3 高調波測定装置

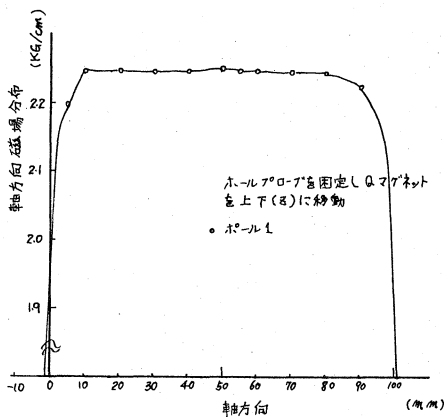


Fig. 4 軸方向磁場分布

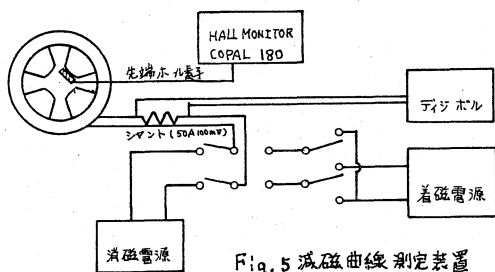


Fig. 5 減磁曲線測定装置

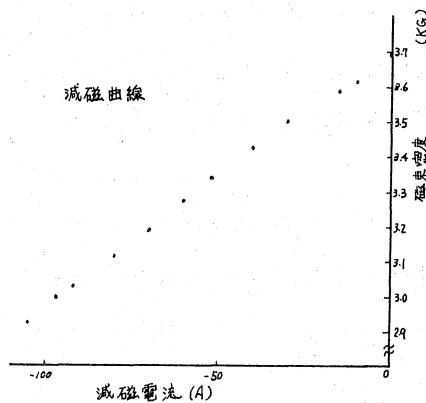


Fig. 6 減磁曲線