

MEASUREMENTS OF PMQ LENSES FOR PROTON DTL

Hiromi OKAMOTO, Yoshihisa IWASHITA and Hidekuni TAKEKOSHI
Institute for Chemical Research, Kyoto University

ABSTRACT

A simple and low-cost measurement system to determine the magnetized direction of a small piece of permanent magnet was devised. About three hundred permanent magnet pieces, made of neodymium-iron-boron, were measured by this system. Using the results of this measurement, optimum combinations of these pieces were determined for thirty 8-segmented PMQ lenses.¹⁾ The characteristics of the bore field of these PMQs were measured by the rotating coil method.²⁾ An algorithm to determine a center position of the harmonic field with only one measurement is also presented in this paper.

陽子DTL用PMQの測定

1. はじめに

京大化研では現在7 MeVの陽子DTLを建設中であるが、³⁾今回このDTLに使用するPMQの組立及び測定を行った。日立金属製のHS-30CHを用いて約300個の永久磁石片を作製し各々の磁化測定を行った上で最適な磁石片の組を選定し30個のPMQを組み立てた。PMQのボア内磁場の測定は回転コイル法によった。この際HARMONIC FIELD CENTER (以下HFC)の位置を求めるための近似式を導入することによってHFC測定に要する時間を大幅に短縮した。本論文では磁化方向測定装置及びHFC測定系の原理と今回の測定結果とについて簡単に報告する。

2. 磁化方向測定

磁化方向測定装置の概略図をFig. 1に示す。この装置はヘルムホルツコイル、レーザー発振器及びジンバル (Fig. 2) から成っている。測定原理は極めて簡単で次の通りである: まず磁石片をジンバルに固定してテーブルにのせ、ヘルムホルツコイルを作動する。磁石片はヘルムホルツコイルによる均一磁場の影響でトルクを受け、磁化方向がヘルムホルツ磁場の方向と一致した後静止する。このときレーザー光をジンバル上面にはりつけてある鏡に鉛直に落し、反射光のつくる輝点の位置を測定テーブル上でとらえればよい。測定した永久磁石片は上底4.56 mm、下底11.75 mm、高さ8.70 mm、長さ28.80

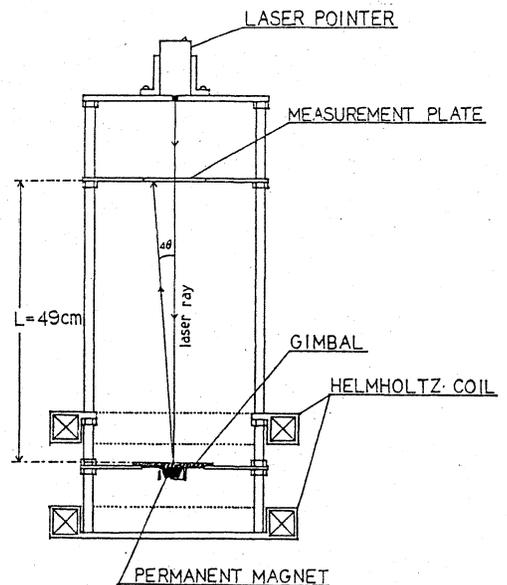


Fig. 1

mmの台形柱で、上底から下底に向かって磁化したもの（VL型）及びその逆（VU型）の磁石片がそれぞれ76個ずつ、底に平行に磁化したもの（H型）が150個である。測定結果をFig. 3-(a), (b), (c)に示す。どの型の磁石片についても測定点が±90°方向に偏る傾向が見られるが、これは着磁磁場の誤差等の影響であろうと思われる。これらの測定結果から計算された磁化方向のずれの大きさの平均値（ $\Delta\theta$ ）は次のようになった。

$$\Delta\theta = 1.15^\circ \quad (\text{for VL-type})$$

$$\Delta\theta = 1.22^\circ \quad (\text{for VU-type})$$

$$\Delta\theta = 1.08^\circ \quad (\text{for H-type})$$

これらの中からVL型、VU型についてはずれが1°以下のものをまたH型については2°以下のずれをもつものを選別し、さらにずれの方向及び大きさの似通ったものを8個ずつ組にしてPMQを組み立てた。

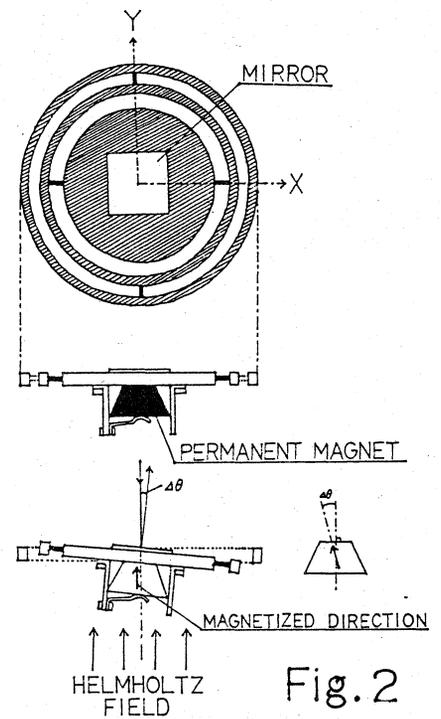


Fig. 2

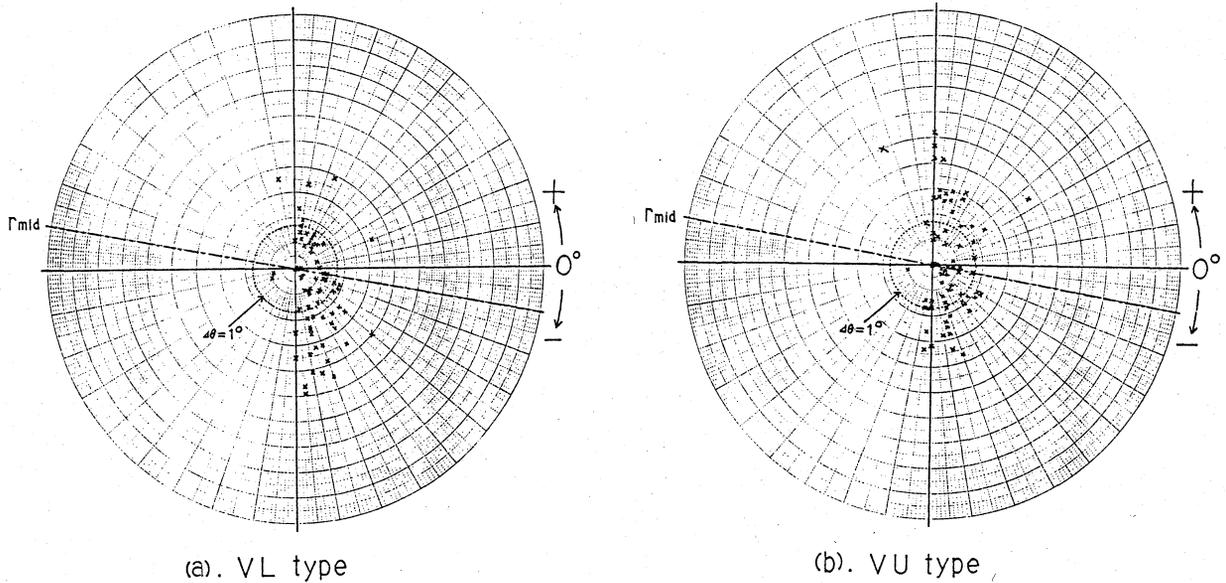
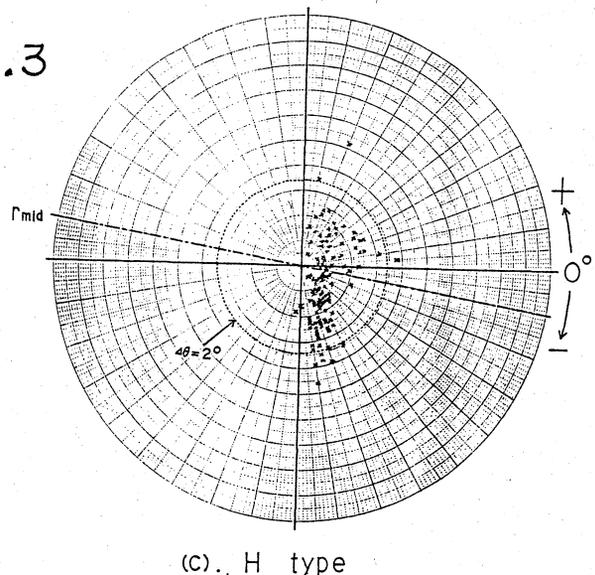


Fig. 3

3. HARMONIC FIELD測定

PMQのボア内磁場の測定はよく知られた回転コイル法によった。コイルは1.6mm厚のエポキシ板上で9回巻いてあり毎秒4回回転させた。

ドリフトチューブのアラインメントは通常Q-マグネットのHFCとビームラインが一致するように行われる。したがってHFCの位置をできる限り正確に知っておく必要がある。回転



(c). H type

コイルによる従来の方法ではHFCの位置を求めるために数回測定を繰り返す必要があった。我々の測定系ではHFCの位置の解析的な評価式を用いることにより一回の測定結果からHFCを求めている。コイルの回転軸を原点とした座標上におけるHFCの位置を $(\Delta x, \Delta y)$ とし、HARMONIC FIELDを複素フーリエ変換したときのn次のフーリエ係数の実部及び虚部をそれぞれ F_{cn}, F_{sn} とするとHFCの位置 ΔR は次の式によって計算される。

$$\Delta R = \Delta x + i\Delta y = -r_c \left(\frac{F_1^*}{F_2^*} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_{n1}^*}{F_{n2}^*} \right) \quad (1)$$

$$F_{nm}^* = \left(\frac{r_c}{z_n} \right)^{m-1} \sum_{l=m}^{\infty} F_l^* {}_{l-1}C_{m-1} \left(\frac{z_n}{r_c} \right)^{l-1}$$

$$(F_n = F_{cn} + iF_{sn}, z_n = -r_c \sum_{k=1}^n \frac{F_{k-1,1}^*}{F_{k-1,2}^*}, F_{on} = F_n)$$

ここで r_c はコイル幅を表し z_n 付き文字は複素数を表している。

ボア内磁場の測定結果の一例をFig. 4に示す。双極成分は四極成分に対して3.842%あるが高次成分は十分小さいことがわかる。(1)式によってHFCの位置を求めると次の結果が得られた。

$$\Delta x = 29.2 \mu\text{m}$$

$$\Delta y = -132.6 \mu\text{m}$$

この値に従ってマイクロメーターによりPMQを動かし再度測定を行うと双極成分は0.126%に減少し測定から得られたHFCの位置とのずれの大きさは $4.5 \mu\text{m}$ であることがわかった。この結果からHFC位置の評価式(1)は十分正確であることがわかった。

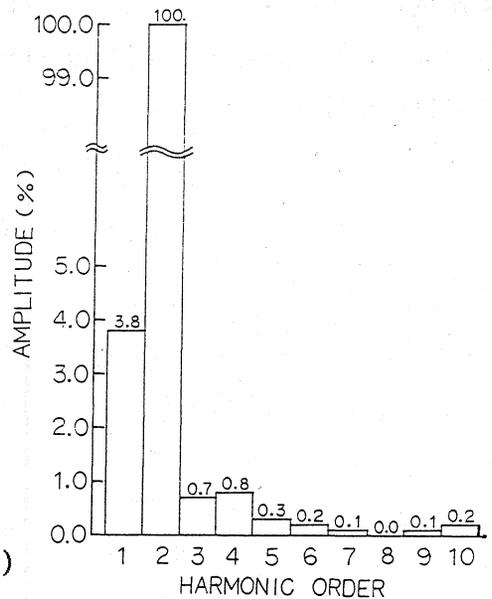


Fig. 4

4. おわりに

永久磁石片の磁化方向をあらかじめ測定し最適な組合せを選ぶことによって十分に性質のよいPMQを組むことができた。またHFCの位置を一回測定により正確に評価する簡単な式を得た。これによりボア内磁場の測定に要する時間を大幅に短縮することができた。今後工作上的誤差を考慮しないで済むようにドリフトチューブ内にPMQを固定した後再度ボア内磁場の測定を行う予定である。

REFERENCES

- 1) K. Halbach, Nucl. Instr. Meth., 169(1980) p. 1
- 2) M. Kobayashi et. al., Japanese J. Appl. Phys., Vol. 10, No. 9(1971) p. 1195
- 3) M. Sawamura et. al., Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol. 66, No. 1(1988) p. 38