

On the Permanent Quadrupole Magnets
for the JHP Drift Tube Linac

Eiichi TAKASAKI, Takao KATO, Fujio NAITOU, Kesao NANMO
and Yosisige YAMAZAKI

KEK: National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

At KEK the Sm-Co and Nd-Fe-B permanent quadrupole magnets were designed and constructed. The discrepancies between magnetic center and mechanical center were measured. Dependences of the magnetic characteristics on the temperature environment were also measured. A radiation damage of samples of the permanent magnets is observed.

The results of these studies are described on this paper.

1) はじめに

JHP DTL リニアックのビームダイナミックスの計算から要求される四極磁石に関する性能を下記に列挙する。¹⁾

a) 磁場特性

入射エネルギー	磁場勾配×有効長
3. 0 MeV	5. 52 T
2. 5 MeV	6. 24 T
2. 0 MeV	7. 02 T

b) 機械中心と磁場中心のずれ(ずれ) 27 μ m 以下

c) 磁場勾配のバラツキ \pm 4. 4 %

d) 磁石の回転 17. 5 mrad.

リニアックとして組み上げる時、どの様に物を製造すれば、上記の性能をもったドリフトチューブを得ることが出来るかを考える。ドリフトチューブに課せられた誤差は、各部品の加工精度の積み上げにのみよって決まる。即ち、組立時に、各部品のエラーの補正をしない。このように製造目標を決める。各部品は数 μ m 以下の精度で製作することになる。同様に、四極磁石のずれも数 μ m 以下にする。

これらの要求に答えるべき四極磁石をいかに製造すればよいかを調べるために、何個かの磁石を試作した。

2) 磁石の形状

2種類 of 構造で四極磁石を試作した。写真1に製作した四極磁石を示す。

磁場勾配の要求及び Halbach の公式 ($r_1 = 7$ mm) により、四極磁石は、16セグメント構造になる(現在市販の永久磁石を使用すれば、)。

写真1-a) に示した四極磁石の組立方法は、内管へセグメントを外管からピストンで押しつけることである。この組立には非常な努力(指の力)が必要であり、

かつ内管及び外管（SUS材）にかなりの厚みが要求される（写真1-aでは、特に外管に歪みを生じた）。それは、セグメント間の斥力又は引力による反発等に対抗するかなりの力があるためである。またこれらの力は、セグメントの位置（ θ 方向）に歪を生ずる。四極磁石のx-y座標にかなりのあいまいさが残る。磁石の回転据え付けに不安を生じる。磁石が占める空間を大きくする必要がある。

写真1-bに見られるように、構造を変更した。外管にガイド（軸方向からセグメントをガイドに沿って挿入）及びセグメントに放電加工によりカップを加工し、外管へsusビスによりセグメントを引きつけるようにした。これは、たいした力も必要とせず、容易な四極磁石の組み立てを可能とした。

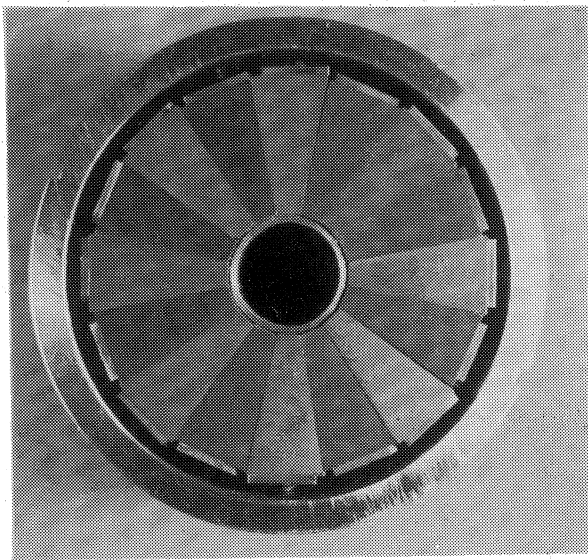


写真1-a 試作1

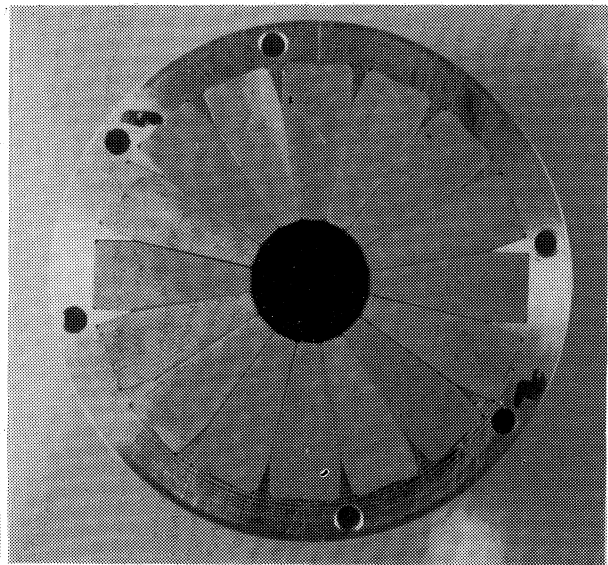


写真1-b 試作2

3) 磁場中心と機械中心のずれ

磁場中心と機械中心（外管の中心）とのずれを図1に示す。図1から明らかのように、このずれは、ドリフトチューブに要求されるずれの範囲に入っていない。ずれの原因を調査するため、セグメントの位置の移動（ r -方向）、セグメントの交換（磁束密度の変化）によりずれがどのように変化するか測定した。”PANDIRA”の計算結果と上記測定結果を比較した。 r -方向の位置誤差による影響は、約 $40\mu\text{m}/\text{mm}$ であり、磁気特性の誤差による影響は、約 $35\mu\text{m}/\%$ であった。この結果は一個のセグメントの誤差による影響である。磁気特性のパラッキの影響は、再度調べる予定である。これは、永久磁石製造の方法及び使用可能なセグメントの選定方法に影響を与える可能性がある。

4) 環境による影響

一方、経年変化等諸々の外部条件により、磁場がどのように変化するか調べる必要がある。

Sm-C o系四極磁石

N d - F e - B系四極磁石

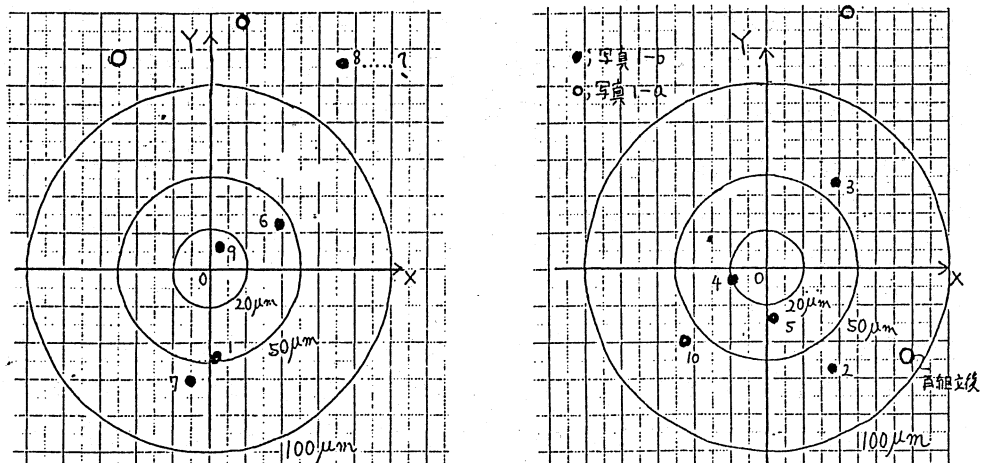


図1 磁場中心と機械中心のずれ

a) 経年変化について

経年変化による影響は、加速テスト法でNd-Fe-B系磁石の錆を観察した。図2に、空气中19年間放置に相当する加速テストでのNd-Fe-B系磁石の姿をみせる。赤錆で表面がボロボロになる。そのような状態での磁気特性についてはまだ測定していない。表面をNiコーティング又はアルミ・クロメート処理することを考えている。

b) 放射線について

KEKブースター室に一年半放置した後、磁片(10φ3mm厚さ)の磁気特性を測定した。結果を図3に示す。図3から、Nd-Fe-B系の磁石は一年で15%の減磁であり、Sm-Co系は1-2%減磁であった。

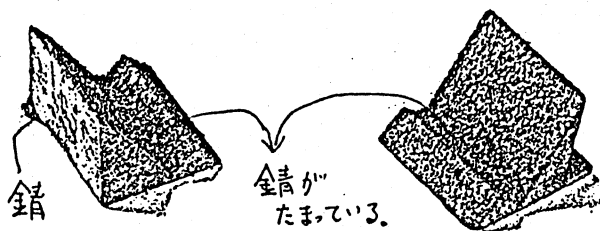


図2 耐候テスト(19年後)

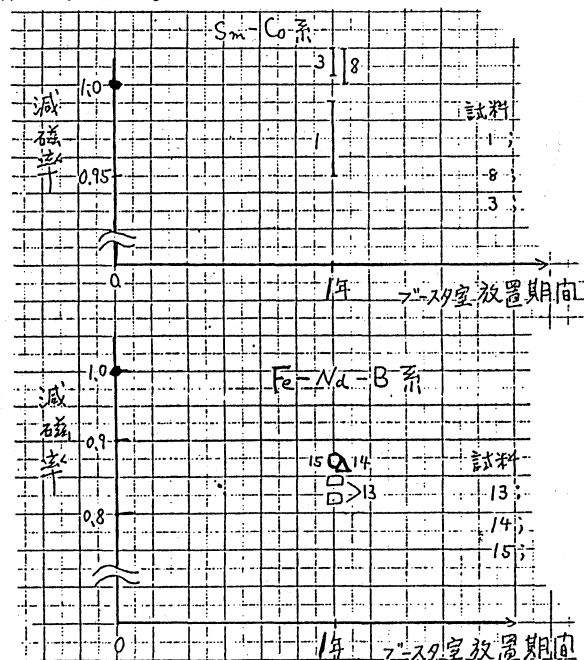


図3 放射線による減磁率

一年間の放射線照射量は、KEK放射線管理室により測定された。結果は、 γ 線の照射量が ^{60}Co 換算線量で $4 \times 10^4 \text{R}$ であり、高速中性子(13MeV以上) $1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ である。他の研究所のデータを見ても、Nd-Fe-B系磁石は、放射線損傷を受けやすいという結果が発表されている²⁾。即ちNd-Fe-B系の磁石の使用は、DTLの低エネルギー部での使用(磁場勾配が高いため)に限定する必要がある。

c) 温度について

何年間の運転期間中には、冷却水の断という故障が生じることがある。その結果、ドリフトチューブの温度上昇ということが起こるかも知れない。またドリフトチューブの製造過程においてある程度の温度上昇が考えられる。温度に対する永久磁石式四極磁石の磁場勾配の変化を調べた。結果を図3に示す。温度制御は、指定温度(横軸の温度)の滞在時間が1時間位になる様にし、磁石表面の温度を監視しながら、行った。その結果、温度に対する磁場勾配の変化が使用した永久磁石に非常に関係していることを示した。Nd-Fe-B系四極磁石では、70-90℃で磁場勾配が5%減磁する。今後、温度変化の小さい永久磁石を使用する予定である。

references

- 1)大型ハドロン計画陽子リニアック JHP-10
- 2)E. W. Blackmore; RADIATION EFFECTS OF PROTONS ON SAMARIUM-COBALT PERMANENT MAGNETS ,IEEE TRANS.N.S. Vol.NS-32 p.3669

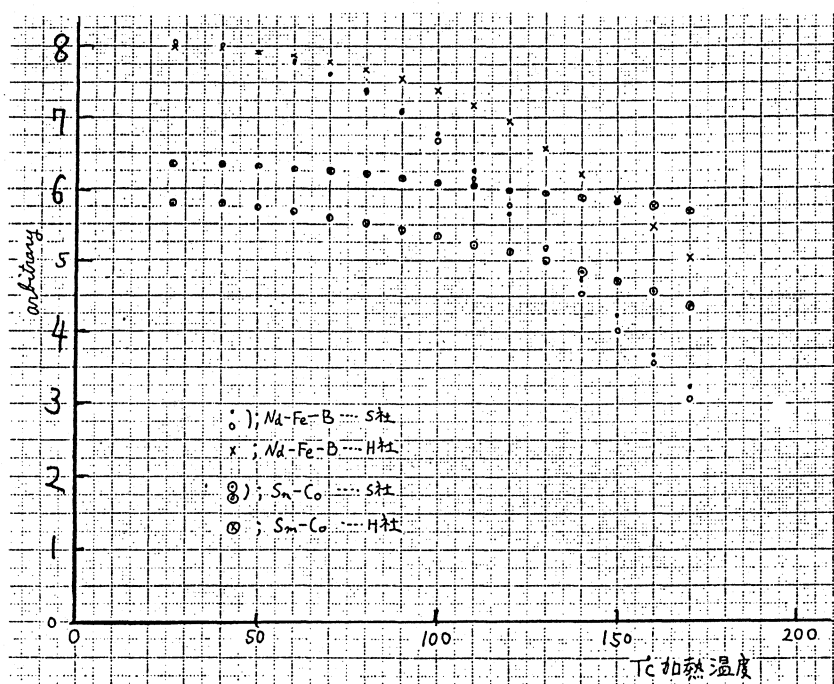


図4 磁場勾配の変化と加熱温度