

[A17a07]

Beam Steering by the Asymmetric Field Excitation of the Quadrupole Magnet

Y. Arakaki, S. Arai, A. Imanishi, K. Niki, M. Okada, Y. Takeda, E. Tojyo, and M. Tomizawa

High energy accelerator research organization, Tanashi-branch
3-2-1 Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188 Japan

Abstract

An RFQ/IH linac has been constructed for accelerating unstable nuclear beam at KEK-Tanashi. IH-Linac comprises four cavities, and three set of the quadrupole triplets placed between them. To compensate the beam deflection due to the misalignment of the quadrupole magnet, we have asymmetrically excited the quadrupole magnet. The magnetic field is investigated by using two dimensional code POISSON. The beam test shows the asymmetric field excitation is effective to compensate the beam deflection.

四重極電磁石の非対称励磁によるビームステアリング

1. はじめに

大型ハドロン計画 E アレナの開拓研究として、不安定核ビームを用いた物理実験と加速器開発研究を目的としたリニアック施設が建設された。25.5MHz 分割同軸型 RFQ(SCRFFQ)の後段加速器である 51MHz インターデジタル H 型線形加速器 (IH-LINAC) は 4 台の空洞とその間に設置された三連四重極電磁石から構成されている。[1] 今回、 H_2^+ イオンの加速テストの際、ビームの中心が水平方向に約 17mm ずれる現象が起り、その原因を調べる為 Q 電磁石の位置測定をした。その結果一カ所、ビーム軸に沿って左側に約 1.3mm のアライメントエラーがあることが確認された。アライメントエラーを直すのは困難の為、その代わりに、アライメントエラーによるビームの影響を補正する方法として、四重極電磁石の励磁電流を非対称に流すことで、その影響を補正する試みを行った。その結果について報告する。

2. Q マグネットの非対称励磁

図 1 は 2 台の電源を用いて、Q マグネットの電流を非対称に流した時の図である。

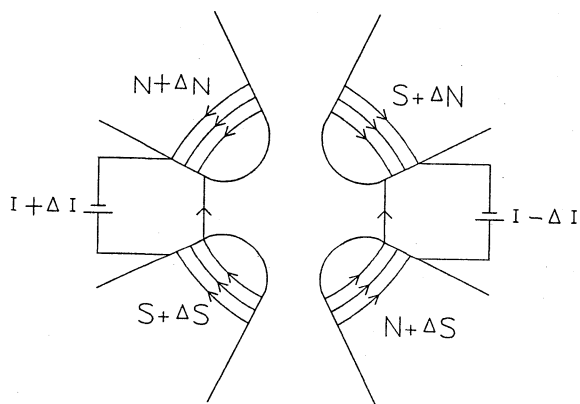


図 1

この時の磁場を 2 次元磁場解析コード POISSON を用いて計算した。計算に際して、ノーマル Q (図 1 で ΔI が零の場合) の場合とダイポール Q (図 1 で I が零の場合) の場合に分けてそれぞれの磁場を計算し、その重ね合わせで Q マグネットを非対称に励磁した場合の磁場を求めた。計算結果を図 2 に示す。(a) はノーマル Q の磁場で、励磁電流

は $I=180A$ (Ne^{2+} イオン加速時に相当) である。
 (b)はダイポール Q の磁場で、励磁電流は $\Delta I=20.24(A)$ である。Qマグネットを非対称に励磁した時の磁場 (c) は丁度 $1.3mm$ の所で(a)と(b)がキャンセルして零になっている。合成された磁場の直線性の評価としてノーマルQとダイポールQの磁場の多極成分を表1、表2に示す。高次成分は小さく直線性は良い。

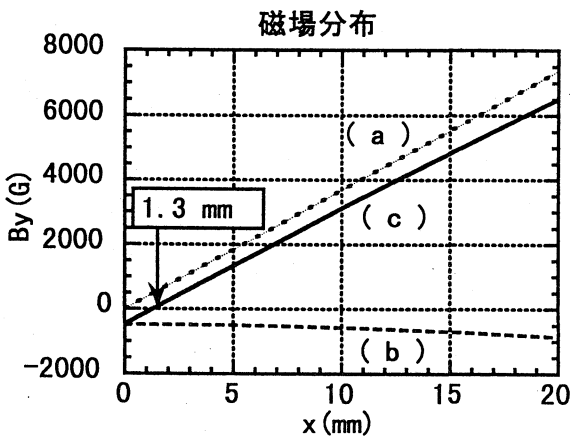


図2

表1 ノーマルQ ($I=180A$ の時) の多極成分

dB_y/dx [kG/cm]	3.6905
$d^5 B_y/dx^5$ [kG/cm ⁵]	4.6831×10^{-4}
$d^9 B_y/dx^9$ [kG/cm ⁹]	4.9045×10^{-5}
$d^{13} B_y/dx^{13}$ [kG/cm ¹³]	4.3640×10^{-6}
$d^{17} B_y/dx^{17}$ [kG/cm ¹⁷]	2.9843×10^{-7}

表2 ダイポールQ ($\Delta I=20.24(A)$ の時) の多極成分

B_y [kG]	-4.7785×10^{-1}
$d^2 B_y/dx^2$ [kG/cm ²]	-9.3093×10^{-2}
$d^4 B_y/dx^4$ [kG/cm ⁴]	-3.0313×10^{-3}
$d^6 B_y/dx^6$ [kG/cm ⁶]	5.9441×10^{-4}
$d^8 B_y/dx^8$ [kG/cm ⁸]	1.6565×10^{-5}

3. Qマグネットの中心の測定

IH-Linac の入射側 (MEBT) から出射側(HEBT) までのセットアップを図3に示す。図の中で、 $1.3mm$ のアライメントエラーがあるのは、Q1 マグネットである。そのマグネットの励磁電流を最も良い値にもっていく為に、一台ずつ他のQ マグネットの中心を測定し、その軸が揃うように励磁電流 I と ΔI を決めた。

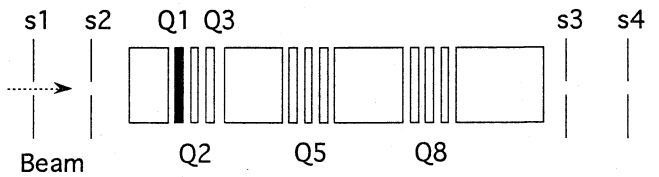


図3

一台のQマグネットだけを考えた場合、Qマグネットの中心から a だけずれて入って来たビームは、Qマグネットを励磁した場合としない場合で、S4の位置で Δx ずれる。この時 Δx と a の関係は以下の式で与えられる。

$$\frac{B' L_{eff}}{B_0 \rho_0} a = \tan^{-1} \Delta x / L \quad (1)$$

ここで、 L はQマグネットの軸方向の中心と観測位置S4間の距離、 $B_0 \rho_0$ はマグネットリジディティ、 L_{eff} はQマグネットの実効長、 B' は磁場勾配を表す。

IH 入射ビームのビーム軸は、RFQ 出口のスリット S1, と IH 入口のスリット S2, で決められた。S4 で Q マグネットを励磁せずに、ビームの位置を測定し、次にQマグネットを一台ずつ励磁して、ビームの位置を測定すれば、(1)式よりスリット S1, S2 で決めたビーム軸とQマグネットの中心との距離が求められる。実験は、RFQ で加速され

た He⁺ビームを使用した。ビームパルスの繰り返しは 50Hz で、幅は 1.2ms であった。

IH タンク間にある Q マグネットのラティスストラクチャーは DFD-FDF-DFD となっている。主な Q マグネットのパラメータを表 3 に示す。定格最大電流値は 300A で、ボア半径は、20mm である。

表 3 Q マグネットの主なパラメータ

	実効長 (m)	磁場勾配 (T/m)
Q1,Q3	0.105	10.4
Q2,Q5	0.155	11.2
Q8	0.175	11.2

Q8 については、磁場データがないので、実効長は Q 2, Q 5 比べて 20mm 長いぶんだけ加えて計算した。磁場勾配は励磁電流 50A の時の測定データである。

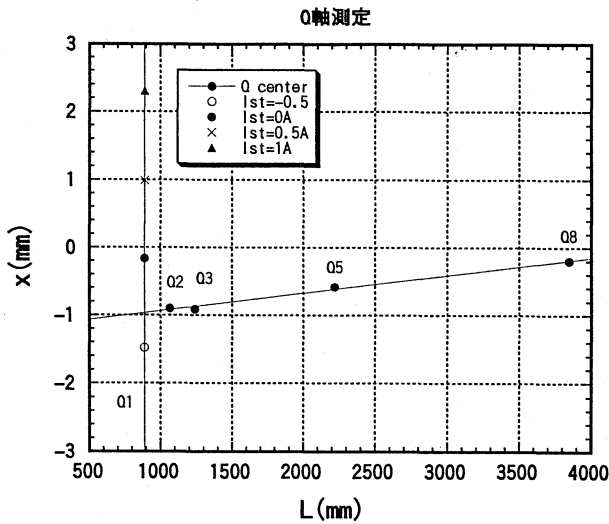


図 4

図 4 に測定の結果を示す。 $x=0$ の軸がスリット S1,S2 で決めたビーム軸で、IH の各タンク間の Q マグネットの中心位置がプロットされている。Q 1 の中心は、他の Q の中心と比べて約 0.8mm のずれである。また、非対称に励磁した時の Q 1 の位置をステアリング電流値 ΔI を変えて一緒にプロットした。2つの直線の交点より丁

度 Q 1 が最も良く補正される所の電流値が求められる。Q 1 のその時のステアリング電流 ΔI とメイン電流 I との比 $\Delta I / I$ は実測が 0.060 で、計算値が 0.069 であった。Q 1 マグネットのビームに対するステアリング効果を見るためにプロフィール測定を行った。図 5 は S4 の位置で、Q 1 の電流値 $I=5A$ の時、ステアリング電流値 ΔI を変えて測定した結果である。

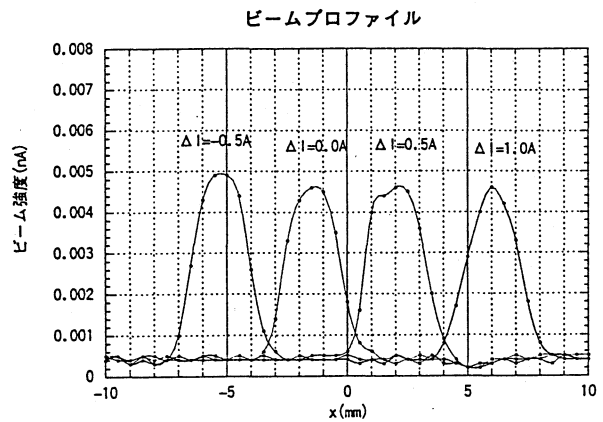


図 5

5. まとめ

四重極電磁石の電流値を非対称に励磁してマグネットの据え付け誤差を磁場で補正することができた。また、それに加えてステアリング電磁石として機能することも確認した。Q マグネットの中心位置の測定から得られたアライメントエラーの値は実測値に比べて多少小さく出たが、これは主に四重極電磁石の B'_{Leff} の誤差によると思われる。またステアリング電流の値 ΔI が小さいのでメーターの精度も一要因として考えられる。

参考

[1] S. Arai et al "Performance of the RNB Linac at KEK-TANASHI" Presented at the 6th European Particle Accelerator Conference, EPAC'98 Jun 22-26, 1998, Stockholm, Sweden