

Test of Permanent Magnet Quadrupole Lens for ILC Final Focus System at ATF2

Y. Iwashita^{1,A)}, H. Fujisawa^{A)}, H. Tongu^{A)}, M. Masuzawa^{B)}, T. Tauchi^{B)}

^{A)} Kyoto University

Gokanoshō, Uji, Kyoto, Japan 611-0011

^{B)} KEK

Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

Abstract

Permanent Magnet Quadrupole Lens has been investigated as a final focus doublet for ILC. Although the adjustability has to be added for the real application, it has a good feature that there is no vibration mechanism at steady state. This feature is valuable since the beam size at IP, which is 4 or 5m far from the lens, is order of nm, and an excess vibration would disturb the interaction between beams. A five-ring-single type PMQ, which has strength adjustability has been fabricated to investigate the feasibility. A beam test is planned to realize an experience on a real beam at ATF2.

ILC最終集束レンズ用永久四極磁石のATF2でのテスト

1. はじめに

ILCの最終集束レンズとしては現在超伝導を使ったものがベースラインとして想定されている。これは交差角が14mradであることもあり特殊な形状が必要となるため、まだ実績が無く、液体He等を伝わってくるnmオーダーの振動の影響などが未知数である。一方、永久磁石は定常状態ではそのような震動要素がないが、永久磁石であるが故に可変性を持たせるために工夫が必要である。当初は交差角を20mradと大きく想定したため2重リング構造で可変性を実現して試作1号機を製作し、これの評価をおこなった¹⁾。しかし、14mradと小さな交差角の採用を受け、2号機では外形が小さくできるGlucksternの考案した5-ring-singlet構造^{2,3)}を採用した(図1参照)。この試作機のビームによる検証をATF2に設置して行うことを予定している。しかし、ATF2の電磁石による最終集束レンズとの置き換えは他の課題との干渉が発生するため、これを避けながらまず使用経験を積むために、前もって上流に設置して使用実績を積むことを考えている。

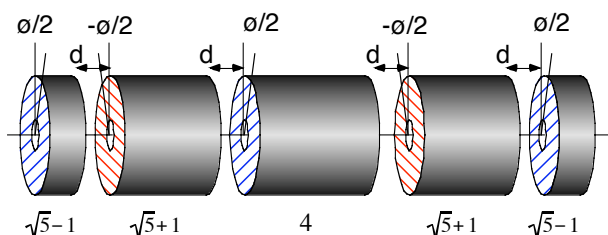


図1 5リング・シングレット。奇数番目と偶数番目のPMQをお互いに逆方向に回して集束強度を調節する。それぞれの長さの和が同じで、磁場勾配はどのPMQも同じなので、それぞれ±45度回すと全体の集束強度はほぼゼロとなる。

2. 5-ring-singlet 可変PMQ

永久磁石を使った集束レンズで強度の可変性を持たせる方法にもいくつかあるが、先に述べたように、外形が小さくできるという特色を生かして、ここではGlucksternの考案した5-ring-singlet構造を採用した。これは図1に示したように、5個のPermanent Magnet Quadrupole (PMQ)の長さを調節して並べ、奇数番目と偶数番目をそれぞれセットにして、お互いを逆方向に廻すことにより強度を打ち消して可変性を持たせたものである。偶数番セットと奇数番セットのそれぞれの長さの和が等しいので(お互いのGL積がキャンセルできる)集束強度ゼロまで可変させる事が出来る。四極を廻した際に気になるx-yカップリングもそれぞれの磁石の長さを調節することにより充分小さくできる。各PMQの長さはそれぞれ20, 55, 70, 55, 20mmとした。図2に試作2号機を示す。ILCではディテクターが持つソレノイド磁場の影響下に置かれるため駆動は超音波モーターを使う予定である。このため、これの検証を兼ねて

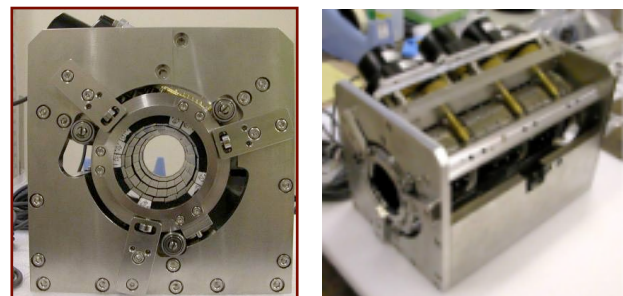


図2 試作した5リング・シングレット。左：対向ビームの逃げ道が左側に見える。右：三つの超音波モーターで駆動し、奇数番目の三つのPMQは機械的に繋がれていて、中央のモーターで回転させる。偶数番目は残り二つのモーターで独立に回転させる

¹⁾ E-mail: iwashita@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

3個の超音波モータUSR60-E^[4]を使った。奇数番目のPMQ同士を機械的に接続して一個の超音波モーターで駆動し、偶数番目の2個のPMQはそれぞれ独立な二つの超音波モーターで駆動している。それぞれの回転角が±45度のとき強度はゼロとなる。お互いのトルクはその時と強度が最大になる角度で、ゼロになり、22.5度の時最大になる。これは隣り合うPMQ同士で発生するので、3個のPMQを駆動している中央のモーターに対する負荷は偶数番目のその倍である。角度設定分解能を稼ぐためウォームギア等を使っていて、減速比を大きく取っているため、トルクは十分である。

ILCではこのようなユニットを10連程度並べることになる。一方、ATF2ではIPでのモニターの関係上、大きなボアが必要である。このため、PMQの外径を同じにすると磁場勾配が下がるが、ATF2ではエネルギーが低いこともあり、このユニット一台でQD0の置き換えが可能である(図3参照)。これにより、機械的な構造が同じとなり、これの実証が可能である。

分割数に関してはもっとも円周方向の磁場成分が大きくなる位置(図3で言うとX, Y軸の位置)に磁石の中心が来ないようにして磁石の容易化軸方向の逆磁場が大きくなるようにした。この逆磁場の大きさは外径と内径の比で決まる。今回のATF2用の様にボアが大きいPMQの場合には磁石内での逆磁場は大きくないが、外径と内径の比が大きいILCでは大きくなるので、これを緩和するようにこの配置を選んでいる。

3. 組立及び磁場測定

磁石の回転はホルダーの外径を基準にして行うが、この機械的中心(回転中心)と磁場中心は単に磁石を機械的に精度良く配置するだけでは必ずしも一致しない。これは、各磁石部品自身の強さや磁化方向に個体差があるため、これは実際に磁場を測定して磁場中心を導出しながら磁石位置を微調節する事により減らすことが出来る。このため、通常磁場測定にはローテーションコイルが使われるが、逆に磁石を回して固定したコイルに発生する起電力を測定することによって磁場測定を行うことにした。これにより、実際の使用状況と同じく、磁石ホルダーの外径を基準に回転させることが出来、個々の磁石の調節が可能となる。

ILCでは磁場勾配を極力大きくしたいため、磁石外径を大きく保ちながら、対向ビームとの干渉を無くするため、そのホルダーの厚さに制限があり、磁石固定はホルダーに設けた押しビスだけになっている。PMQ中の20個ある磁石のうち、ポール位置に来る四個の磁石以外は全て反発して外向きの力がかかるため、この外からの押しビスで位置調節出来るが、ポール位置の磁石は中心に向かって引き込まれるため、位置調節を容易にするため、内側から押してやる必要がある。このため、専用の組立治具を用意した。PMQを5個並べてお互いを廻した場合の変性や機械的構造に対する評価を早めを得る必要

表1: QD0のスペック

Parameters at IP	ILC	ATF2
Beam Energy [GeV]	250	1.3
L* [m]	3.5-4.2	1
Bore diameter [mm]	24	50
Gradient [T/m]	142	13
Integrated Gradient [T]	312	5.9

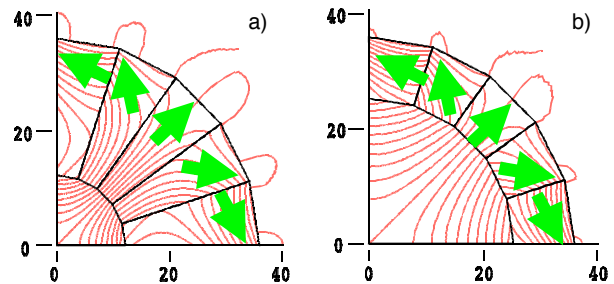


図3 外径72mmで設計したPMQの磁石配置と磁力線。a) ILC用の内直径22mm。b) ATF2用の内直径50mm。磁場勾配はそれぞれ140T/m及び30T/m。

があったため、これらの道具立てでまず仮組をしたのちKEKにてローテーションコイルを用いた積分磁場の測定を行った。

測定結果を図4に示す。磁場勾配はほぼゼロまでをカバーしている。ILCで要求されるエネルギー1/5でのエネルギーキャリブレーションに対応するためのレンジを6T~1.2Tと想定すると、この可変範囲で磁場平面の傾きも充分小さい。磁場中心はまだ仮組での状態のため、一つのPMQの磁場中心が機械的中心から0.3mm程ずれているため、移動が大きい。磁石の調整により改善可能と考えている。また、0~45度可変時の磁場勾配変化及び磁場平面の傾きの再現性は充分良い。ただし、当初の設計ではPMQの軸方向位置固定用にPMQ間に入れていたローラーがフレームに固定されていて相互の回転が独立

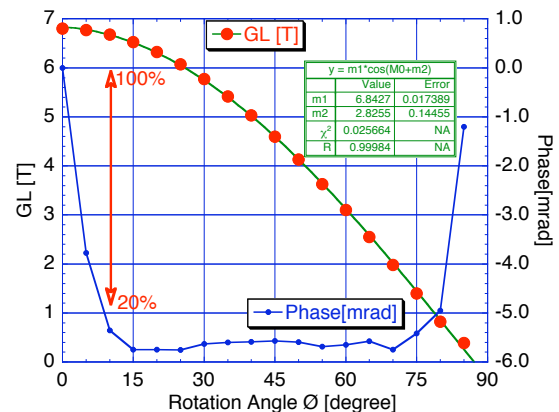


図4 磁石回転と積分磁場勾配及び磁場平面の傾き。横軸は二組の磁石間の回転角の差

に出来なかったため、このローラーを可動にして独立回転を可能にする改良を行った。このように一連の測定を通して回転機構などの問題点が発見できている。今後更なる調整ののち、ローテーションコイルによる再磁場測定を予定している。

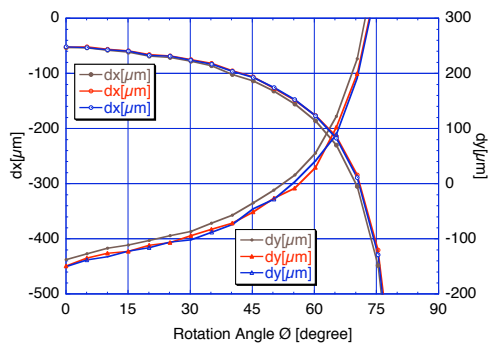


図 5 磁石回転と磁場中心の移動。まだ調整が完了する前であるため、移動量は大きいですが、再現性はよいことがわかる。

4. ATF2への設置

図 6 にATF2ビームラインの一部を示す。左端にビームダンプがあり、その直前が集束点である。最終集束レンズQD0はその一つ手前のコンポーネントで、最終的にはこれと交換して評価を行うのであるが、現時点ではATF2として他にプライオリティの高い課題がありこれらの課題と干渉を避ける必要が

あるため、これらの完結を待つ必要がある。しかし、このような使用実績のない磁石の使用経験を前もって積んでおくのは有意義であり、上流の比較的空いた部分に設置してこれを行うことを検討している。この下流にはワイヤーモニターなどがあるので、プロファイルなどが測定でき、集束性能や安定性などの評価も行える。また、これにより、実際のビームラインへの設置や撤去作業に於ける問題点などが洗い出せよう。一方、この磁石は通常の電磁石と違い、二つ割りに出来ないで、両端にフランジがついたビームパイプの挿入が困難である。このための工夫も今後の課題である。現在、設置に必要な架台や、精密位置調整のためのムーバーの調達について調査中である。

参考文献

- [1] Strong Variable Permanent Multipole Magnets, Y.Iwashita, M.Ichikawa, Y.Tajima, S.Nakamura, M.Kumada, C.M.Spencer, T.Tauchi, S.Kuroda, T.Okugi, T.Ino, S.Muto, H.M.Shimizu; Applied Superconductivity, IEEE Transactions on 18, 2, June 2008, 957 - 960
- [2] R.L.Gluckstern et al, Variable Strength Focusing with Permanent Magnet Quadrupole, Nucl. Instrum. Meth., 187, 119, (1981)
- [3] R.L. Gluckstern and R.F. Holsinger: Adjustable Strength REC Quadrupoles, IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-30, No. 4, August 1983, http://epaper.kek.jp/p83/PDF/PAC1983_3326.PDF
- [4] <http://www.shinsei-motor.com/html/lineup.html>

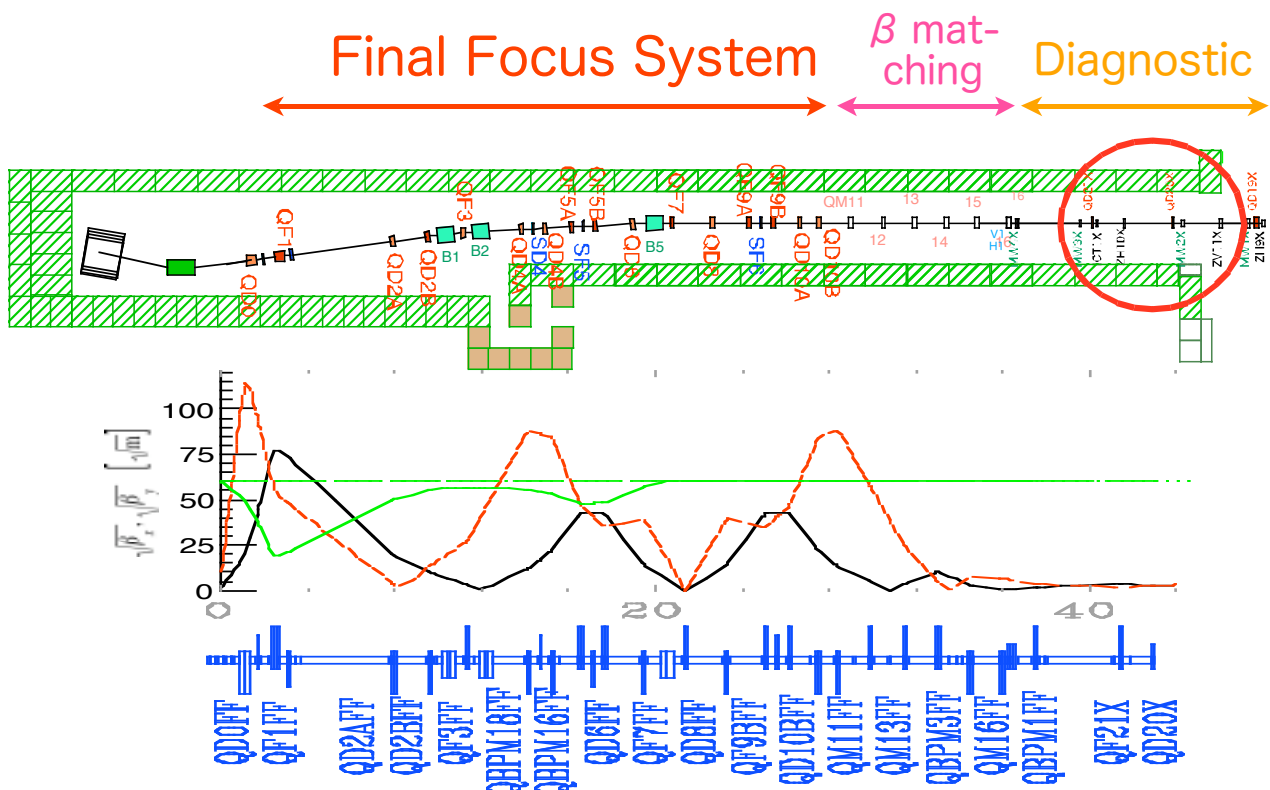


図 6 ATF2ビームラインとオプティクス