

# LOW IMPEDANCE KICKER FOR HIGH INTENSITY ACCELERATOR

Chihiro Ohmori\*<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>J-PARC KEK

Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki

## Abstract

A kicker magnet is one of the most important components in a synchrotron. To kick the beam from injection line to synchrotron orbit or opposite direction, a ferrite material is used to achieve a fast rise time. In case of a high intensity accelerator, the material is heated by beam current. Sometimes, it is reported that characteristic of material is changed when the material reaches Curie temperature. In this paper, we propose a low impedance kicker which consists of thin magnetic alloy ribbon. The structure of the new kicker is suitable to avoid to receive the beam effects.

## 大強度加速器のための低インピーダンスキッカー

### 1. はじめに

J-PARC MR<sup>[1]</sup> および CERN LHC<sup>[2]</sup> などで  $10^{14}$  個の陽子を加速または入射する場合、この強度の非常に高いビームによりキッカー電磁石のフェライトコアが過熱されキュリー温度付近に達し、正常なキッカー動作ができなくなる現象が報告されている。多くのキッカー磁石では磁性体としてフェライトが使用されているがこの材料のキュリー温度は 100 度から 200 度程度である。キッカー磁石が大強度のビームに発熱する理由は、キッカーに使われているフェライトなどの材料の形状がビームが誘起する高周波磁場を通しやすいためである。低インピーダンスキッカーの開発は将来のマルチ MW 級加速器の開発に向け<sup>[3,4]</sup>、避けて通ることのできない技術である。このような加速器では現状の MR の数倍の粒子数を扱う必要があり、キッカーの持つインピーダンスを数分の 1 以下に下げなければならない。この論文では、キッカーインピーダンス低減の方法として、積層構造およびナノ結晶磁区について異方性を持つファインメットを用いることで、ビームの誘起する高周波磁場が通りにくい構造を提案する。このような性質を持つファインメットのカットコアを用いたキッカー形状について、縦方向のインピーダンスのプリリミナリな測定結果と横方向のインピーダンス低減の可能性について検討する。

### 2. FERRITE KICKER

図 1 と図 2 に典型的なフェライトキッカーに用いられているフェライト材の形状とビームの関係を示す。ビームはキッカーの中心を通るため、この形状では図に示す方向に、高周波磁束が誘起される。キッカーのフェライトの間には隙間があり、この高周波磁束が通りにくくしている。しかし、極端に広い隙間はキッカー磁場の質を低下させることとなる。キッカーの横方向のインピーダンスは図に示すように、ビームが矢印の方向に運動した時に誘起される磁束に係る。

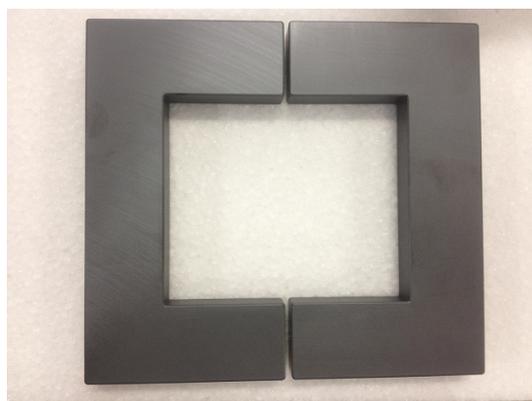


図 1: J-PARC MR の取出しキッカーに使われていたフェライト。フェライトの間に 6mm のスペーサーを入れて使用していた。

### 3. FINEMET KICKER

図 3 にキッカー用ファインメットカットコアの形状を示す。二つの C 型ファインメットはフェライトと同様に配置される(図 4)。しかし、ファインメットの透磁率はフェライトと異なり、方向性があるためビームの誘起する高周波磁束はファインメット内部はフェライト同様に通過するが、ファインメット間では磁束が通りにくい方向となる。これにより、ビームによるキッカー内での発熱を減らすことができると考えられる。

また、ビームの見る横方向のインピーダンスについても図 5 に示すように垂直方向の運動については縦方向のインピーダンスと同じ機構で、磁束が通りにくいいため低減できる可能性がある。

### 4. 測定結果

ビームが見るインピーダンスを評価するためにパイプ内に厚さ 25mm のキッカー用磁性材料一組を置き、測定をおこなった。測定はフェライトについてギャップ間距離 0mm、3mm、6mm の 3 つの場合について行い、ファインメットについては材質として通常の材質 FT3M と

\* chihiro.ohmori@kek.jp

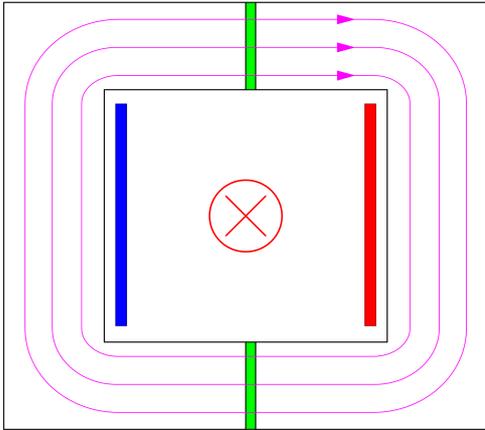


図 2: ビームがフェライト内部で作る高周波磁場。フェライトの間の距離が広い場合磁束は弱くなるが、ビームをキックするのに必要な磁場が中心部付近で低下する。



図 3: ナノ結晶構造を持つ高特性の磁性材料ファインメットを用いたキッカーコアの試作品。

磁場処理を行うことで BH 曲線を角形にした FT3H の二つを測定した。FT3H はパルス圧縮などの目的でエキシマレーザー電源に組み込まれている材質である。この FT3H では積層の巻き方向に平行にナノ結晶の磁区が揃っていると考えられる。これはナノ結晶化の際の磁場中熱処理により、ナノ結晶の磁化容易軸が揃うためである。これにより、材料そのもととしても、透磁率に異方性を持つこととなる。特に図 4 のように二つのファインメットカットコア間を横切る磁束とナノ結晶の磁化容易軸は垂直となる。このような磁気異方性がビームの見るインピーダンスにどのような影響をもたらすかを調べるためファインメットキッカーの材料としてナノ結晶自体に異方性を持たない FT3M と異方性を持つ FT3H の二種類を制作し、比較を行っている。図 6 に測定結果を示す。フェライトキッカーではギャップの幅を広げることでビームが誘起する磁束が通りにくくなるため、損失が減少していくことがわかる。6mm は実際にキッカーとして使われていた時の幅である。ファインメットキッカーでは、フェライトに比べ損失が少ないことがわかる。これはファインメットの構造からくる磁束の通りにくさからくると考えられる。この点を確認するため

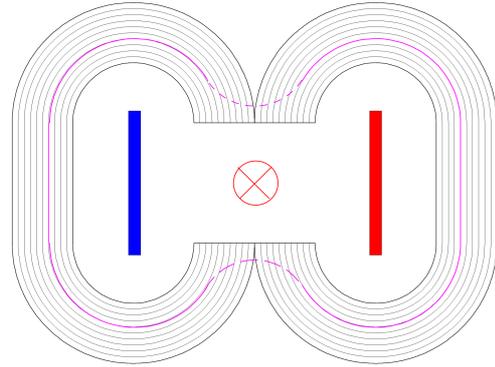


図 4: ビームがファインメットキッカー内部で作る高周波磁場。2つのファインメット間を横切る磁束はファインメットの層間に垂直に横切ることとなるため、多数の層間絶縁層をも横切ることとなり、磁束が弱くなる。

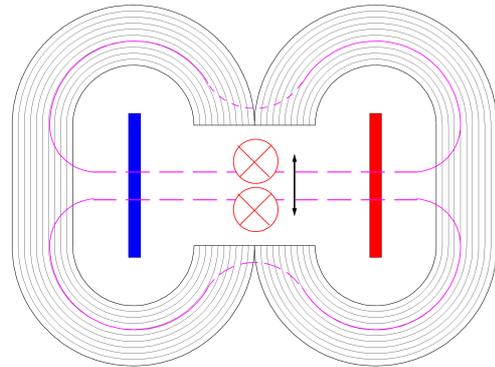


図 5: ビームの垂直方向の振動がファインメットキッカー内部で作る高周波磁場。2つのファインメット間を横切る磁束はファインメットの層間に垂直に横切ることとなるため、多数の層間絶縁層をも横切ることとなり、磁束が弱くなる。

にファインメット間の距離をフェライト同様に広げてみた(図)。しかし、優位な変化は損失には現れなかった。一方、ファインメットの材質としての磁気異方性を持つ FT3H と持たない FT3M では、FT3H のほうが損失が少ないことがわかった。

横方向のインピーダンスについてはワイヤーを 2 本用いることで評価することができるが、今回はまだ測定されていない。今後、測定装置にこのファインメットキッカーを組み込み測定を行う予定である。図 5 に示したように、垂直方向の振動については縦方向(進行方向)と同様にコア間で磁束が通りにくいいため、フェライトキッカーに比べてインピーダンスが低くなることが期待できる。

## 5. まとめ

これまでキッカーの材料として使われてきたフェライトと異なり、透磁率が方向によって差を持つ薄膜でできたファインメットキッカーについてコア 1 組を制作し測

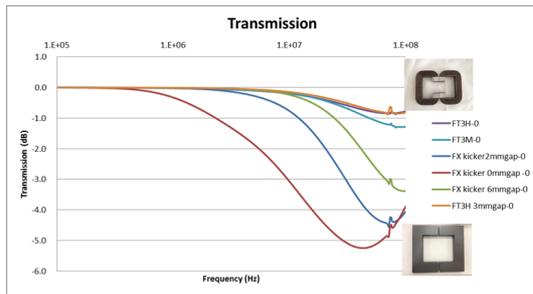


図 6: ワイヤ法を用いたキッカーコア 1 枚の測定。旧 FX 用キッカーコア、ファインメットコア (FT3H、FT3M) について測定している。旧 FX キッカーコアはコア間の隙間を 0mm、2mm、6mm の 3 つの場合で測定している。ギャップが広くなるに従い、トランスミッションロスが減少していくことがわかる。ファインメットコア FT3H では 0mm と 3mm について測定しているが大きな差は見られなかった。

定をおこなった。その結果、ファインメットではフェライトより損失が少なく、キッカーを低インピーダンス化できる可能性があることがわかった。また、材料として磁気異方性を持つ FT3H のほうが、異方性を持たない FT3M より損失が少ない。

今後、この可能性をさらに探るためには、高電圧パルスの印加なども含めたより現実に近い状態での試験が必要となる。

## 6. 謝辞

この論文をまとめるにあたり高田耕治氏はじめ J-PARC RF グループの皆様にご協力いただきました。また、J-PARC 入射グループおよびビーム不安定性グループからフェライトコアの提供やインピーダンスの考え方について貴重なアドバイスをいただきました。

## 参考文献

- [1] T. Koseki, " Status of J-PARC Main Ring After Recovery from the Great East Japan Earthquake Damage ", Proceedings of IPAC12, New Orleans, May 20-25, 2012, THPPP079.
- [2] M. J. Barnes, " Analysis of Ferrite Heating of the LHC Injection Kickers and Proposals for Future Reduction of Temperature", Proceedings of IPAC12, New Orleans, May 20-25, 2012, TUPPR090.
- [3] C. Ohmori *et al.*, "HIGH GRADIENT MAGNETIC ALLOY CAVITIES FOR J-PARC UPGRADE" IPAC11, San Sebastian, Spain, September 2011, p. 2885 (2011).
- [4] 大森千広 *et al.*, "J-PARC MR ビーム増強のためのバンチ操作" 本加速器学会年会、大阪 2012 年。