
キッカー電磁石の概要

～ 電磁石設計時点で考えること ～

報告者： 中村英滋 (加速器第六研究系 研究機関講師)

要約

キッカーの電磁石に重点を置いた話。

序

「キッカー」と呼ばれるもの

電界キッカー	低エネルギー粒子の軌道制御。高応答且つ安定度が優 / 出力が小さい
磁界キッカー	高エネルギー粒子の軌道制御。高応答且つ安定度が劣 / 出力が大きい
R F キッカー	粒子バンチの特定状態により有用。空間電荷効果緩和に用いられるのが一般的だが、特定の条件で入射・取出 (S X のサポート) に用いられる。
電磁界複合型	(実働機は未だ無いと思う)

キッカー電磁石の種類

～ 実働機レベル ～

偏向集中定数型	所謂、ブロック形状で縦磁場を発生させる一般的な電磁石
偏向分布定数型	高応答性能を必要とする場合に用いられる電磁石
偏向複合型	電磁石は集中定数型だが、励磁電源と電磁石の間に素子を入れ性能改善
偏向空心型	磁性体を用いないもの (低エネルギー粒子対象か低速粒子対象)
四極キッカー	アクセプタンスが大きい大型加速器の入射に使われた (KEK-B 入射)
六極キッカー	アクセプタンスが大きい大型加速器の入射に使われた

～ 実働機クラスの開発機 ～

open-C キッカー	アクセプタンスが大きい大型加速器の入射に使えると思って考えてた。 (そろそろ誰かが手掛けるはず)
多極可変型	(特許出願手続き中)
偏向非線形型	磁性材料等の非線形特性を用いるもの (特願 2007-71350 ; 科研費研究)
偏向有限分布型	(特願 2009-150087)
材料複合型	磁性体の を利用して集中定数電磁石のみでディレイラインを形成する。

～ 電源からみたインピーダンスマッチングによる分類 ～

集中定数型	不整合
分布定数型	ほぼ整合
複合型	理論的には完全整合も有る (PADN-445, 特願 2006-334739 大木俊征氏)
有限分布型	ほぼ整合

入射・取り出しのキッカー電磁石への要求の共通事項

早いレスポンスを要求されるため、殆どの場合、「高電圧」での励磁が前提になっている。更なる特性が必要な場合、「シングルターンコイル」、「真空環境下動作」等々の付加的な条件が増えていく。GeV クラスのハドロンでは、概ね上記のような条件がつくことが多い。

電磁石そのものは、その構成部品はさほど特殊なものではない。キッカー電磁石が一般の電磁石と異なる点は、「殆どの時間において磁場はゼロでなければならない」という点である。従って、磁化や永久磁石化は回避しなければならない。そのため、理想を言えば、磁性体はヒステリシスループに乗らない「可逆領域」での励磁としなければならない。実際は、可逆領域は非常に狭く実用的ではないが、キッカー電磁石の励磁時間が短ければ磁化しにくくなるため、飽和点の 1/3 ~ 1/4 を動作点にとることが多い。

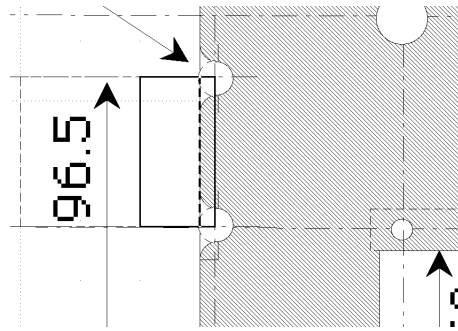
なお、真空動作にするか大気動作にするかは電圧や高応答特性により決定する。ハドロンキッカーの殆どは真空環境動作。

キッカー電磁石設計時の留意点

~ 高電圧・電気絶縁対策 ~

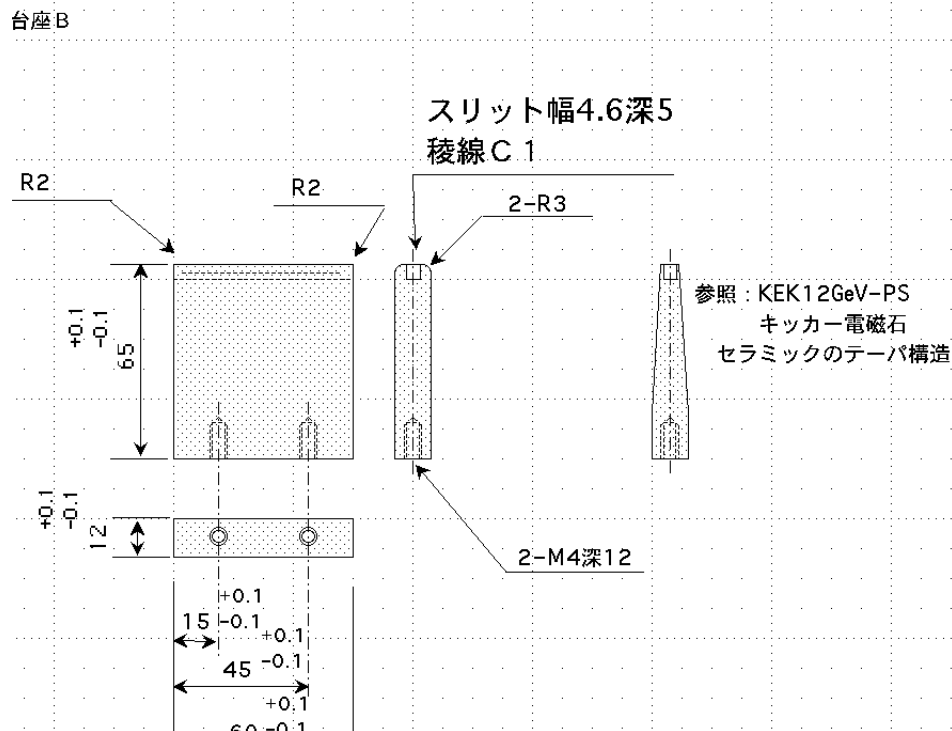
磁石内での電気絶縁破壊により励磁電流が所定のループをまわらないと、必要な磁場が発生せず問題である。電気絶縁対策の基本は以下の3つ。

- ・ 距離
- ・ 時間
- ・ 材料



(1) 距離 (高電圧部の低電圧部の間の絶縁距離の確保)

- ・ テーパ構造 (下図)
- ・ R加工 / C加工
- ・ 電界集中部カット (右上図太線部のようにセラミックを挟む時、高電圧板を削り貫く)



(2) 時間 (励磁時間を極力短くする)

放電現象はプラズマ生成過程の考え方と同様、「カスケードを起こし成長する」ことが前提である。プラズマが瞬間的に灯いても、それが極小空間で成長しなければ良いという発想。

(3) 材料 (絶縁材料等)

- ・ セラミクススペーサ
- ・ SF₆ 局部充填
- ・ セラミック溶射
- ・ コーティング

(ピットフリー研磨: KEK 12GeV-PS FX キッカー、J-PARC MR 入射キッカー)

~ 高応答特性・インピーダンス整合 ~

特に給電線部が問題 (ここを真面目にできている物は無いと思う)。高周波関係ではできているが、これはあくまで AC 且つ低電流が前提であり、片極の大電流パルスには不向き。

~ 熱問題 (ビーム誘導等) ビームカップリングインピーダンス ~

バンチの di/dt が大きくなると、磁性体や構造体が発熱する。物によっては冷却水配管を沿わせるで水冷。

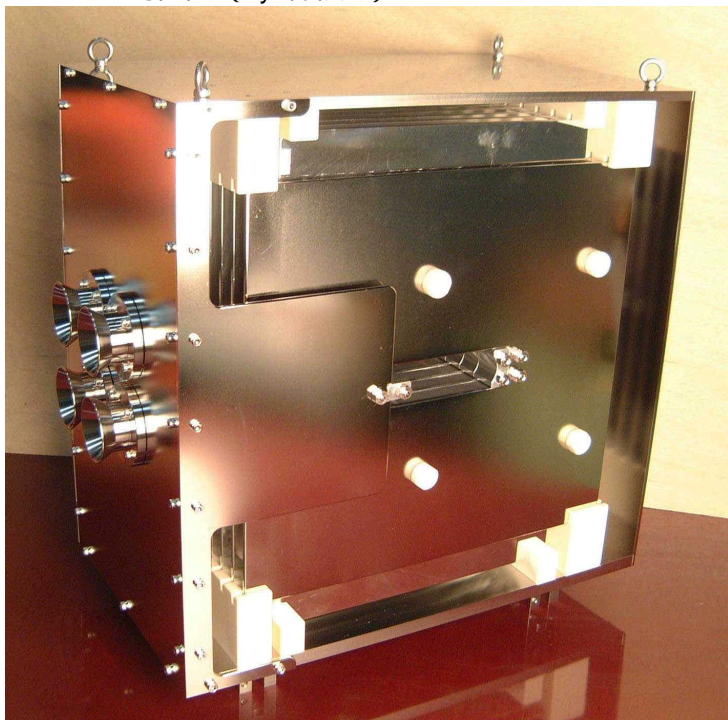
まとめ

...

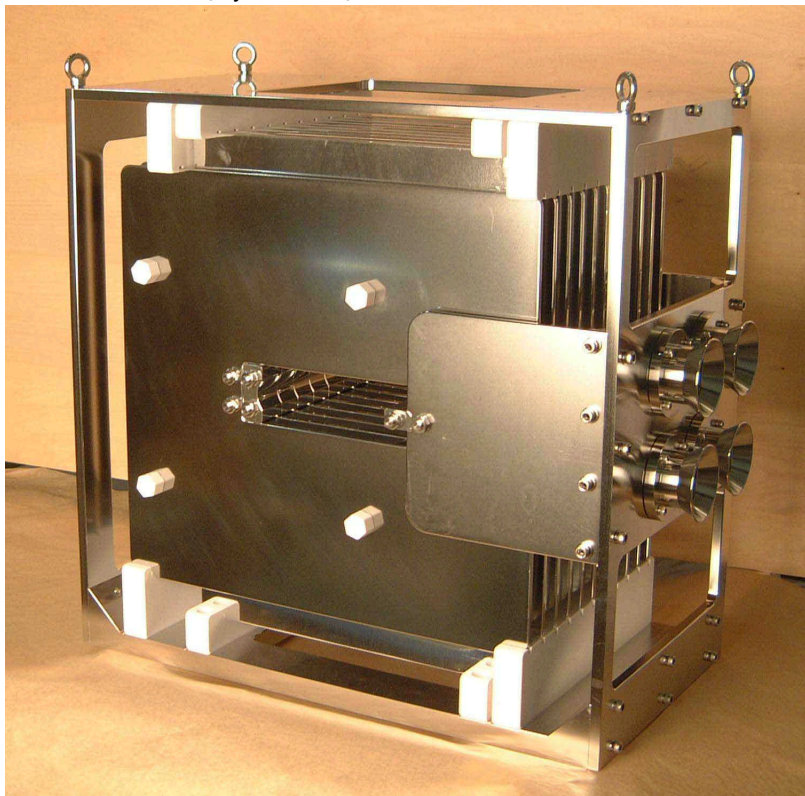
< 参考資料 >

付録A： KEK-PS の入射取り出しキッカー

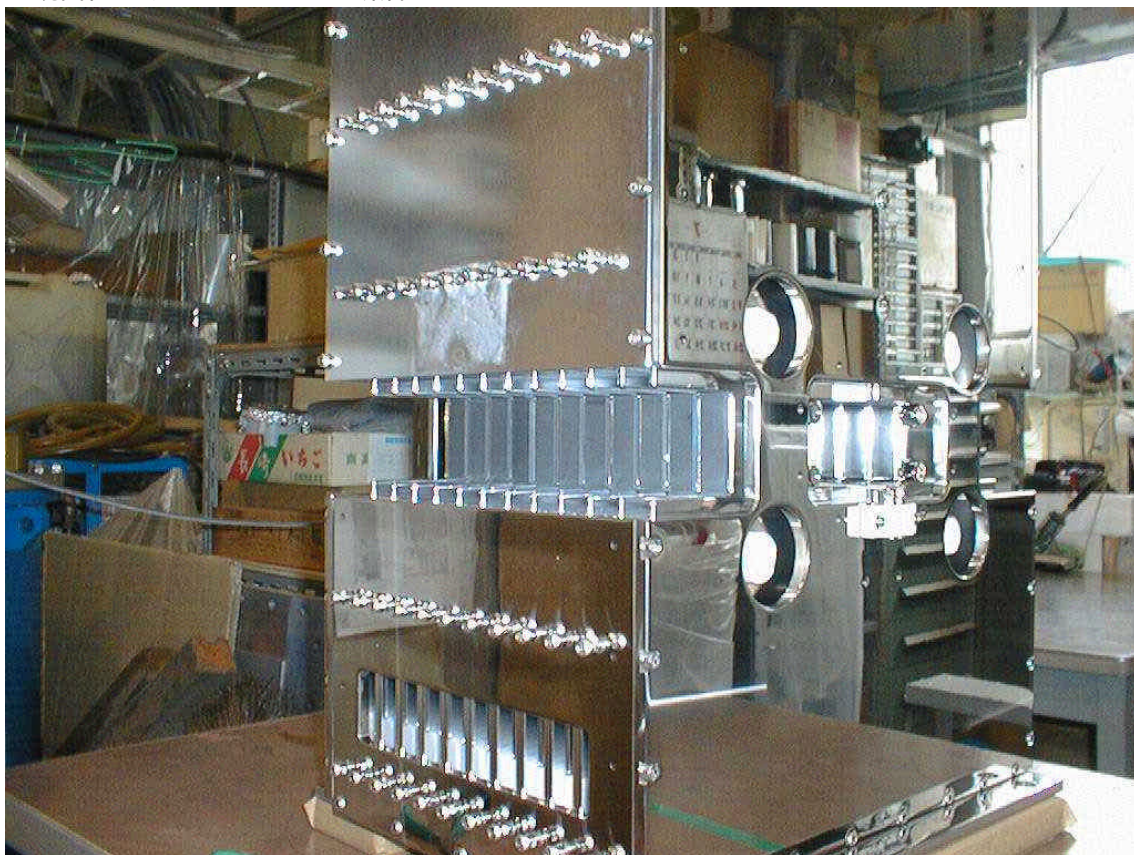
ブースター引出 (by 村杉茂)



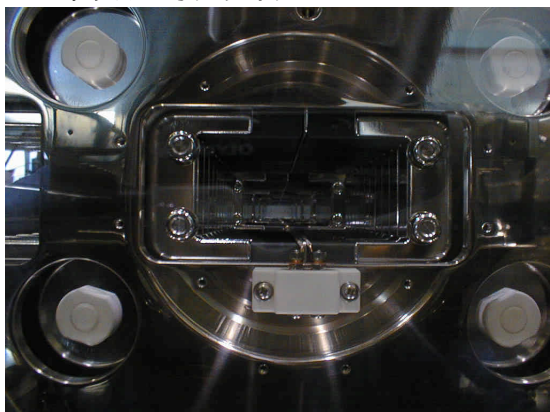
主リング入射 (by 村杉茂)



主リング速い取り出し用キッカー (by 中村英滋)
・鏡面仕上げはピットフリー研磨



F Xキッカーオンライン



S X E S S オンライン

