

FIELD MEASUREMENT OF BUMP MAGNETS FOR J-PARC SLOW EXTRACTION

Eiichi Yanaoka, Katsuya Okamura, Masafumi Tawada, Masahito Tomizawa

A) High Energy Accelerator Research Organization(KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

At Slow Extraction of J-PARC MR ring, Bump Magnets make bump orbit and increase efficiency of extraction. Before Bump Magnets are installed, we measure magnetic field of Bump Magnets for a performance test.

J-PARC 遅い取出しバンパ電磁石磁場測定

1. はじめに

J-PARC 主リングの遅い取出しでは、4 台のバンパ電磁石でバンパ軌道を形成している。(図 1)

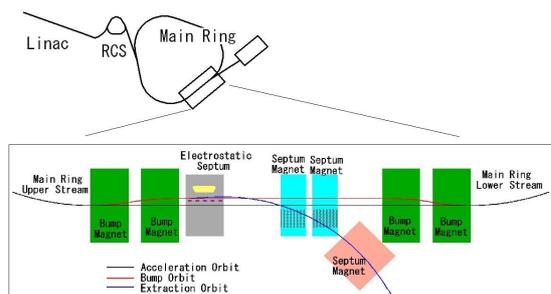


図 1 J-PARC 遅い取出し概略図

バンパ電磁石の構造は、上下に磁極がある 2 極電磁石である。(図 2) バンパ電磁石はスピル量により磁場を変化させる為、渦電流による磁場の遅れを軽減したい。また、取出し点の近くで、出し際のビームロスの影響を受けるため、交換等がしやすい架台になっている。



Specification

Field	0.7T
Effective Length	1.4m
Useful Aperture	140mm
Gap Height	132mm
Length (including coil)	1700mm
Cooling Water Pressure	0.4Mpa
Cooling Water Amount	18L/min
Water Temperature Rise	11 degC
Number	4

図 2 バンパ電磁石

なお、4 台の電磁石はまったく同じ仕様だが加速空洞内に設置した場所で上流から 1、2、3、4 と番号を付けている。

2. 基準座の測定 (工作精度)

電磁石を加速器空洞内に設置する際には、磁極を正確に位置決めしなければならない。電磁石のアライメントの位置測定に使うのは電磁石鉄芯の上に付けられている基準座である。したがって基準座と磁極の位置関係、水平度をおさえていなければならない。

基準座は、150mmX150mm の平らな面の真ん中にアライメント用の球面ターゲットを取付けるための穴が開いており、鉄芯上面の Transverse 方向の真中に上流側下流側に 1 つずつ付いている。

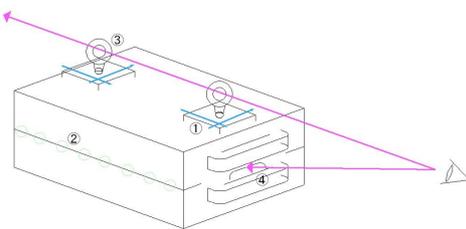


図 3 基準座測定

まず基準座の水平面をつかい水平にし(図 3①)、オートレベルで横から上鉄芯と下鉄芯の合わせ面の高さを等間隔に片側 10 箇所測る(図 3②)。その際鉄芯の歪みがあるので、2つの基準座に矛盾が生じるが、歪みは均等に配分する。測角儀を、上下流の基準座につけた測定用のターゲット(図 3③)を参照しながら、測角儀をターゲット中心の延長線上にセットし、その測角儀をしたにむけ磁極を測定する(図 3④)。

		unit.mrad			
		Bump 1	Bump 2	Bump 3	Bump 4
Base1	Transverse Inclination	0.01	0.03	0.01	-0.04
	Longitudinal Inclination	0.1	0.06	0.06	0.05
Base2	Transverse Inclination	-0.03	-0.03	0	0.04
	Longitudinal Inclination	-0.09	-0.07	-0.05	-0.03

Base1は上流側の基準座、Base2は下流側

ビームの進む方向にむかって外側(右側)、前が高いときプラス

図 4 基準座の傾き

合わせ面の高さを、ビーム進行方向上流の外側を0として左周りに各点をグラフにしたのが図5である。塗装の上からの測定で測定誤差がおおきいが1.5mmにおさまっている。磁極中心のずれは目視での測定では正確に測れない程度のずれである。基準座の測定は、測定というより製作の間違いがないかの確認となった。

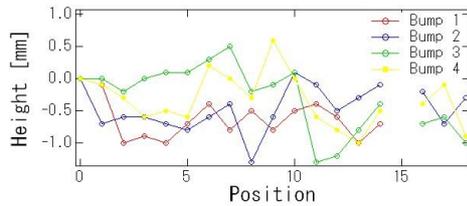


図5 鉄芯合わせ面高さ

	unit:mm			
	Bump 1	Bump 2	Bump 3	Bump 4
Upper Side	0.1	-0.1	-0.02	0
Lower Side	-0.07	-0.04	-0.04	0.04

ビームの進方向に向かって右が正

図6 磁極中心のずれ

3. 磁場測定

3.1 励磁曲線の測定

まずは、中心にホール素子をおいての磁場の確認である。

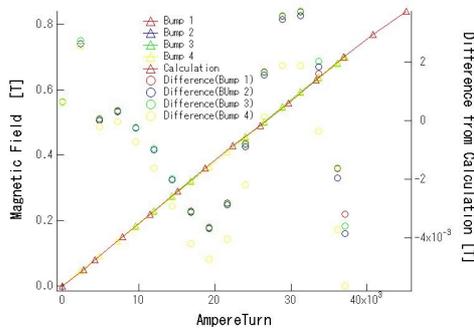


図7 起磁力と磁場の関係

電源の制約の為直流で定格いっぱい電流を流すことが出来ない。その為NMRでの校正が出来ないが、直流が流せる3.7Tまでの範囲では0.1%程度に収まっている事を確認した。また、各マグネット間の差より磁場計算との差の方が大きい。これは、測定がうまくいって各マグネットの個性が少ないことを示している。

3.2 マッピング測定

4台のうち一台は磁場分布を測定した。これは、ピックアップコイルの測定に使うコイルの校正にも必要である。

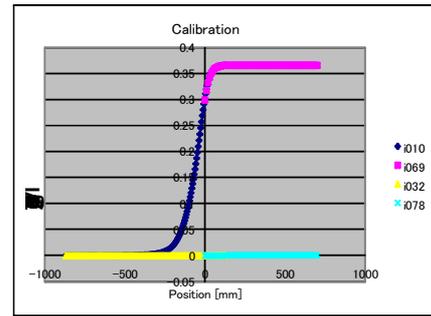


図8 ピックアップコイルの校正

コイルを磁極間に置き電流を0Aから400Aまであげたときの起電力を測り、コイルを置いた場所の400A (i010,i069) のときと0A(i032,i078)のときの磁場の分布を測定しその差を積分する。磁場の面積積分が起電と等しいので、この2つを比較することでコイル面の面積(変換の係数)がわかる。

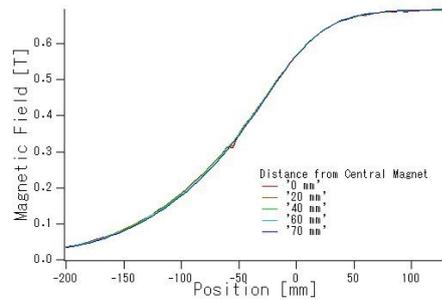


図9 Longitudinal方向の磁場分布

3.3 ピックアップコイルをつかったBL積測定

バンパ電磁石はビーム軌道を曲げる電磁石で、その曲げる角度はBL積によって決まってくる。その為この測定が今回の測定の中で最も重要なものである。



図10 ピックアップコイルを使った測定

BL積のエキサイテーションカーブ(図11)をみると、必要なBL積(1T m)が出ているのが確認できる。またスピルにあわせて軌道を変えるとき制御を容易にするために、なるべく磁場と電流が一次の係数で結ぶことが望ましいが、その確認もこの測定でできる。

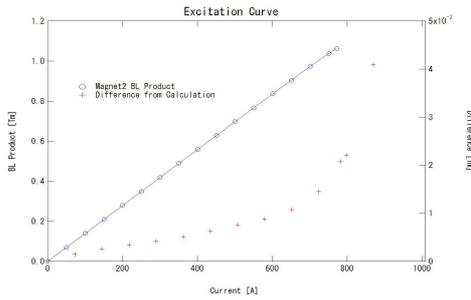


図 11 BL積エキサイテーション

バンパ電磁石の特徴として4台でバンパ軌道を形成するので、4台の個性が一緒であることが望ましい。その為に4台の鉄芯とも同一の炉で出来た鉄で製造されている。

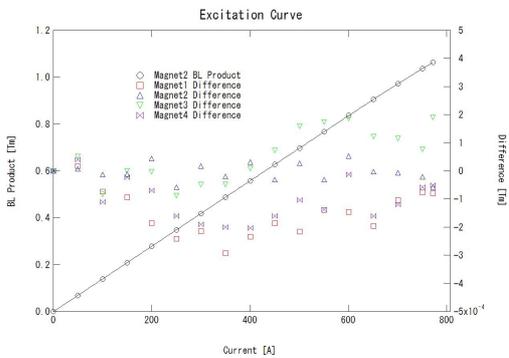


図 12 4台のBL積比較

Bump2を基準にしたとき、最も誤差が大きいところは0.3Tm付近で0.1%であった。

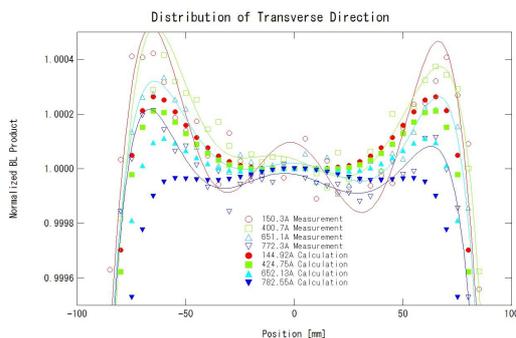


図 13 Bump2の各電流値に対するBL積分布

さらにビームの安定な領域でビームにあたる影響が均一である必要があるために Transverse 方向のBL分布が平らである必要がある。それを測定した結果が図 13 である。ビームアパーチャーはφ130 m mであるが、各電流ともBL積は0.2%にの差しかない磁場計算の繰返しの結果であろう。この分布についてマグネットの個性をみたのが図 14 である。

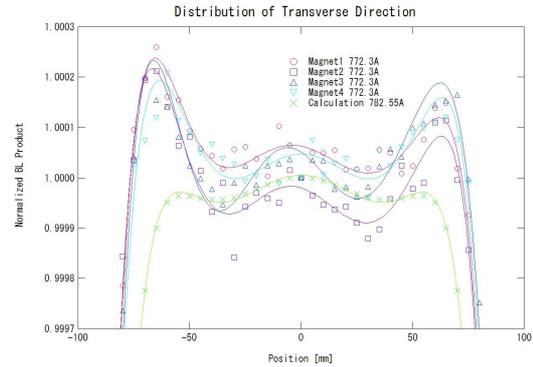


図 14 各電磁石の Transverse BL 積分布

4. バンパ電源

主目的は、磁場測定であったが電流値も正確にわかっていないと意味がない。本番でもつかう電源に外付けのDCCTをとりつけて磁場測定に使用した。バンパ電磁石は加速後の取出しの際のみ電流がながれるパターン電流で励磁する。このような場合問題が発生しがちなのが立ち上がりである。立ち上がりのところが電源にとって一番きついのと0からの立ち上がりであるから何かしらの電源の状態がわかるためである。

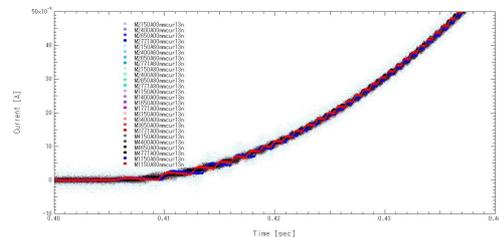


図 14 パターン立ち上がり部の電流とBL積

図 14 は立ち上がり部を拡大したものである。1 ミリ秒ごとのデータを入力しているその間を補間して電流制御しているはずであるが、ミリ秒程度の階段状のグラフになっている。のちの参考になるであろう。

5. まとめ

磁場測定により電流と磁場の関係式がもともと加速器の運転の際に役だっている。現在スパルヤスパル波形整形様の電磁石の信号をフィードバックしてバンパ電磁石を動かすシステムを構築中である。

参考文献[1] E.Yanaoka, et al., "Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting of Japan(August 1-3, 2007, Wako Japan),p778-790
[2] M.Tomisawa, et al., "Proceedings of the 8th European Particle Accelerator Conference", 2002, p1058-1060