

PRISM-FFAG 6 cell リング用電磁石磁場モニターの測定値(ホールプローブ)と計算値(TOSCA)の比較

Y. Arimoto

平成 20 年 3 月 19 日

概要

Magnetic fields measured by Hall probes are compared to calculation results by TOSCA on six cell PRISM-FFAG ring. The measured fields have agreed with the TOSCA calculations to accuracy of $\sim 0.5\%$.

1 ホールプローブ

PRISM-FFAG 電磁石の磁場を常時監視するために、モニター用のホールプローブが電磁石の F 磁極と D 磁極のシム付近にそれぞれ 2 ケ所ずつ固定されている (全体図：図 1。電磁石に対するプローブの位置：表 1、図 2)。

F コイルは 3 セル分のコイルを直列したものが 2 系統あり、これらを並列して電流を流している。LS-Y と LS-Z は F 磁極に設置されているが、D04 と D05 は直列の系統が異なっている。従って、各系統で抵抗が異なると電流値がずれ、磁場の大きさがずれる可能性がある。また、G3 と LS-X はともに D 磁極に設置してあるが、G3 の D コイルの起磁力はクランプがあるため、クランプの無い D 磁極の起磁力よりも大きくしてある。このため、D コイル電源は 2 台用意し、それぞれ、クランプ無しの D 磁極コイルとクランプ有りの D 磁極コイルへ電流を供給している。

Name	Position (see Fig 2)	Position (x,y,z)	Magnet ID	Pole	Magnet Type
LS-X	a=2 mm, h=12.5 mm	(713.7, 16.25, 59.3)	D02	D	no clamp
LS-Y	a=52 mm, h=17 mm	(711.2, 15.8, 0)	D04	F	no clamp
LS-Z	a=53 mm, h=16 mm	(711.1, 15.9, 0)	D05	F	no clamp
G3	see Fig. 2-(b)	(719.2, 16.6, 59.8)	D03	D	one clamp

表 1: モニター用ホール素子の位置。左から 3 列目の位置は TOSCA 座標系 (図 4 参照) で表わしている (単位は cm)。

これらのホールプローブのうち、LS-Y, LS-Z, G3 は 2006 年 9 月に NMR を用いて補正係数が得られている。この際、得られた補正係数 c を表 2 に示す。補正係数の測定は双極永久磁石を用いてなされた。ギャップ間の磁場強度は約 385 mT であり測定時の室温はだいたい 28 ~ 30°C であった。補正值 c は以下の式で定義した。

$$B_{\text{corr}} = cB_{\text{Hall}} \quad (1)$$

c , B_{Hall} はそれぞれ補正係数、Hall プローブで測定された値である。

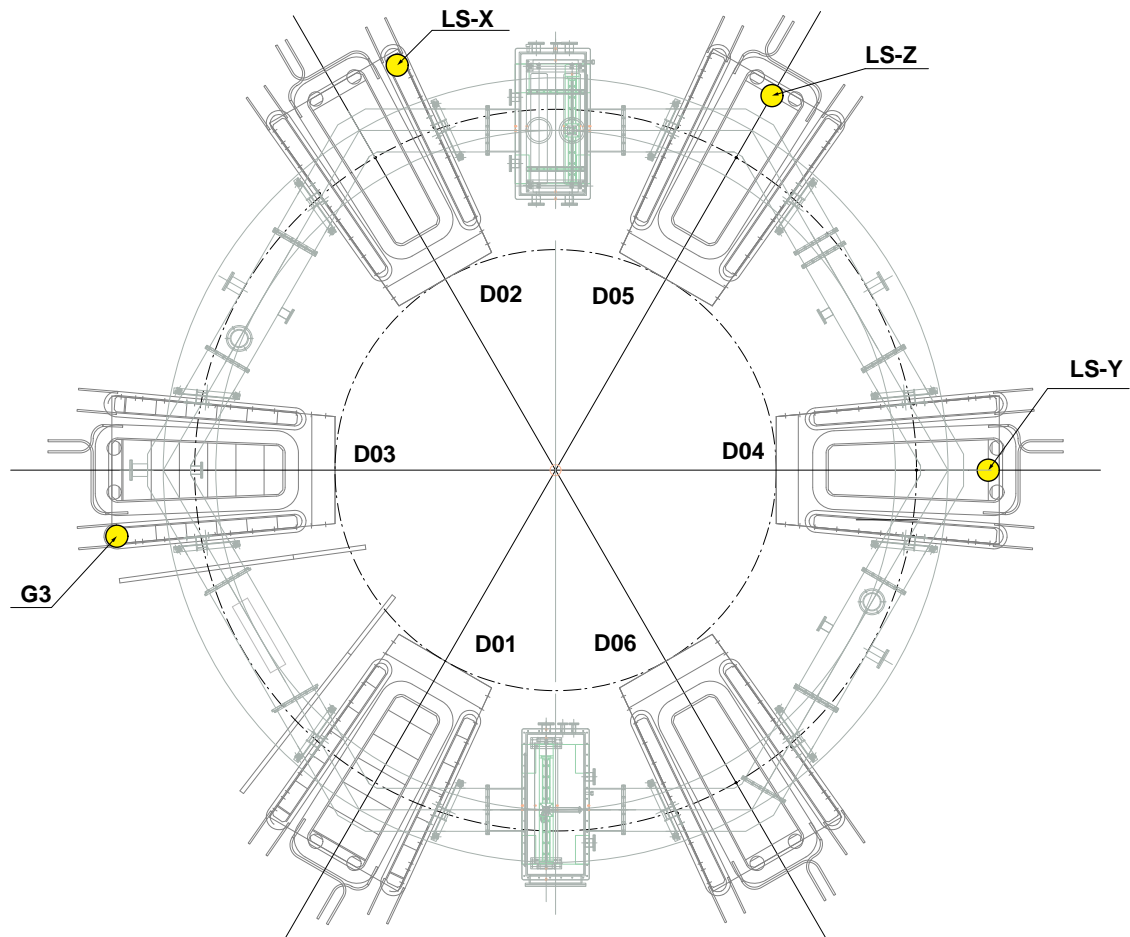


図 1: ホールプローブの 6 セルリング上の位置 (黄色の丸印)

Name	補正係数 (c)	Probe:型番	Serial Number	延長ケーブル:型番	Serial Number
LS-X	-	MNT-4E02-VH	H05642	-	-
LS-Y	0.954	MNT-4E04-VG	H04219	MPEC-25	H04213
LS-Z	1.014	MNT-4E04-VG	H04223	MPEC-25	H04214
G3	0.998	MPT-141-10S	01231804	-	-

表 2: NMR を用いて測定された Hall プローブの補正係数

2 固定点での磁場測定

2008 年 2 月 22 日に行なった電磁石安定性試験におけるモニター磁場を図 3 に示す。横軸は時間 (hour) である。

この時の電磁石電源の電流値は

- KEK PS #1 (D コイル用 クランプなし側) : 453 A

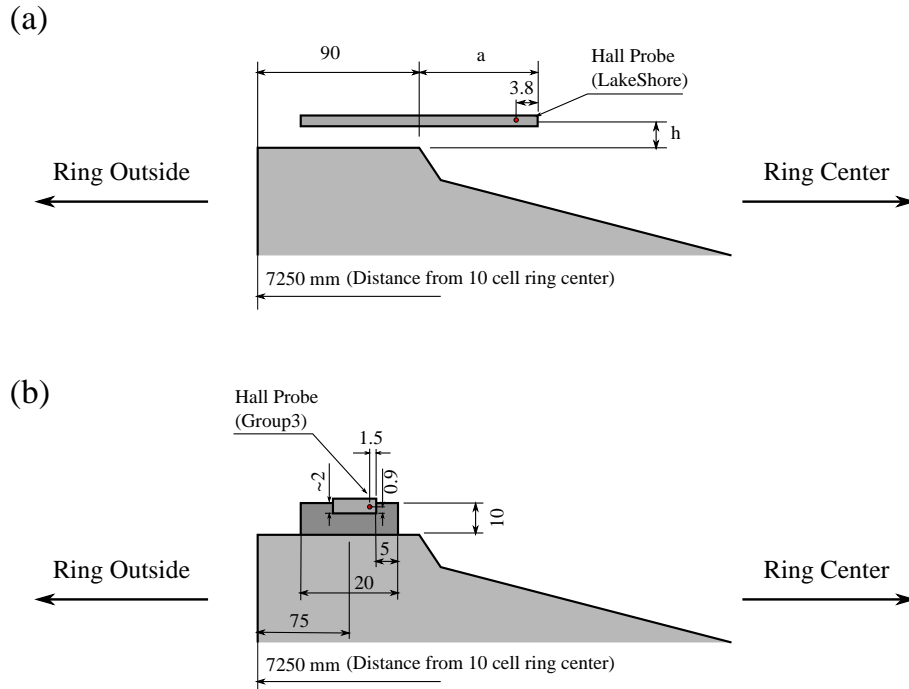


図 2: モニター用ホール素子の位置。断面図。

- KEK PS #2 (D コイル用 クランプ側): 609 A
- Mitsubishi PS (F コイル用): 2762 A

である。

3 TOSCA による計算値

計算に用いた TOSCA のモデル番号は ts190.oppre と ts191.oppre である。ts190 はクランプを片側に設置したモデルであり、ts191 はクランプのないモデルである。各モデルに入力したコイルの電流値を以下に示す。

Model	F coil [AT]	D coil 1 [AT]	D coil 2 [AT]
ts190	66284.3	-17650 (near side of clamp)	-13125.5 (far side of clamp)
ts191	66284.3	-13125.5	-13125.5

因みに F コイル、D コイルの 1 コイル当りの巻き数はそれぞれ、48, 29 ターンである。

1 セル分 (θ 方向に $\pm 30^\circ$) のモデルを作成し、隣接するセルからの漏れ磁場も考慮に入れるため、対称性を利用して、3 セル分の計算を行なった。このために、ストレートセクション中間面での境界条件は Tangential Magnetic とし、これらに対面する 2 つの各セル領域にコイルを設置した (図 4)。これらの条件で計算された磁場を図 5 に示す。ホールプローブの中心から ± 10 mm の領域の磁場を 10mm 間隔でプロットした。図 5-(a),(b) はそれぞれ、LS-Y, LS-Z 付近での磁場分布である。また図 5-(c),(d) はそれぞれ LS-X, G3 付近の磁場分布である。座標系は TOSCA 座標系 (図 4 参照) となっている。従って、グラフ中の B_y は鉛直方向成分の磁束密度を表している。

080222-mag_excit-01.txt

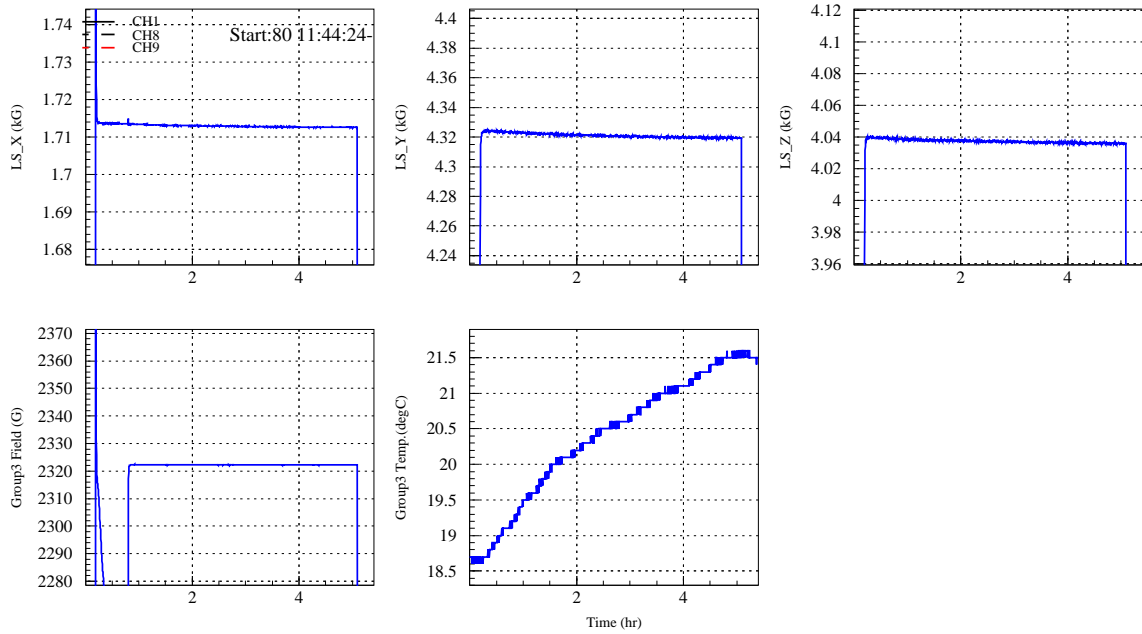


図 3: 6 セル PRISM-FFAG リングの磁場モニターの測定値。上段：左図;LS-X による磁場測定値。中図;LS-Y による磁場測定値。右図;LS-Z による磁場測定値。下段：左図;G3 による磁場測定値。右図；G3 による温度測定値。

測定値と計算値を比較したものを表 3 に示す。表内の Difference の定義を以下に示す。

$$Difference = B_{corr}/B_{tosca} - 1 \quad (2)$$

ここで B_{corr} 、 B_{tosca} はそれぞれ補正測定磁場及び TOSCA による計算磁場を表わす。

Hall Probe	Measured Value [G]	Corrected Value [G]	TOSCA Value [G]	Difference
LS-X	1712	-	1709.6	0.1 %*
LS-Y	4320	4120	4112.8	0.2 %
LS-Z	4031	4087	4097.9	-0.3%
G3	2322.1	2317.5	2327.1	-0.4%

* 補正係数がないので補正していない値 (Measured Value) から求めた。

表 3: 測定値と計算値の比較

4 まとめ

モニター磁場と TOSCA 計算のずれは 0.5 %以下であった。良く合っていると見える。

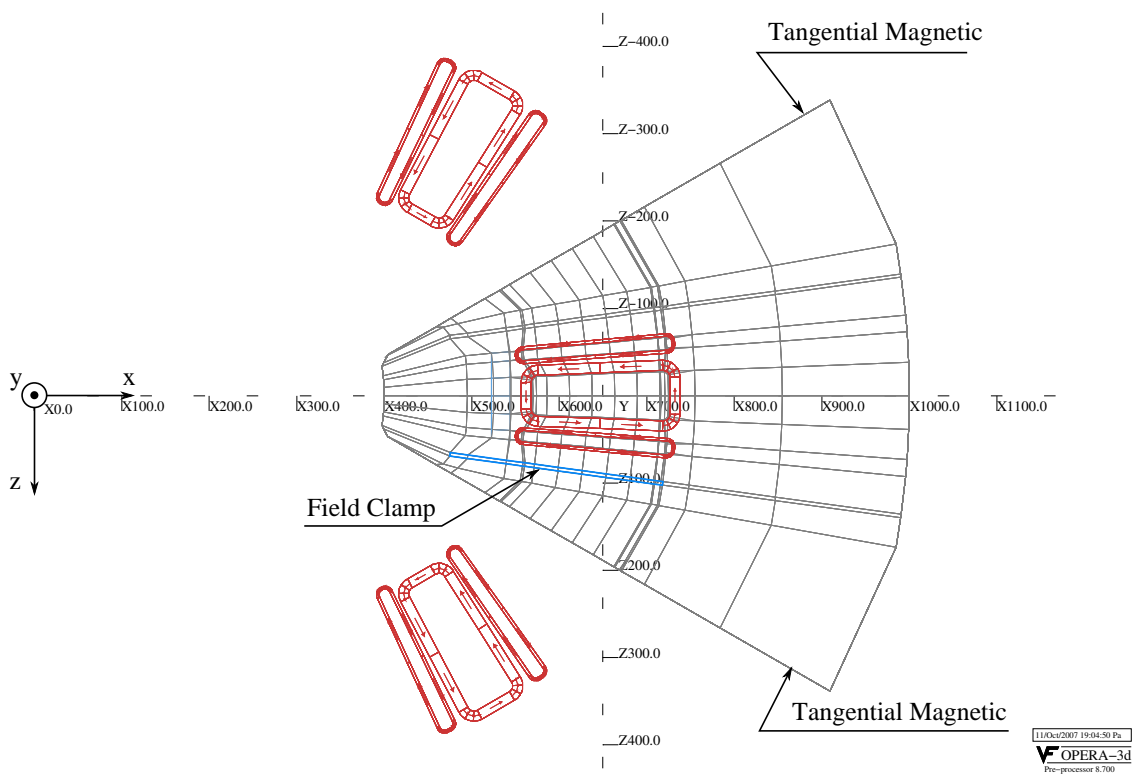


図 4: TOSCA モデル (平面図)。ts191 では Field Clamp の材質は空気とした。

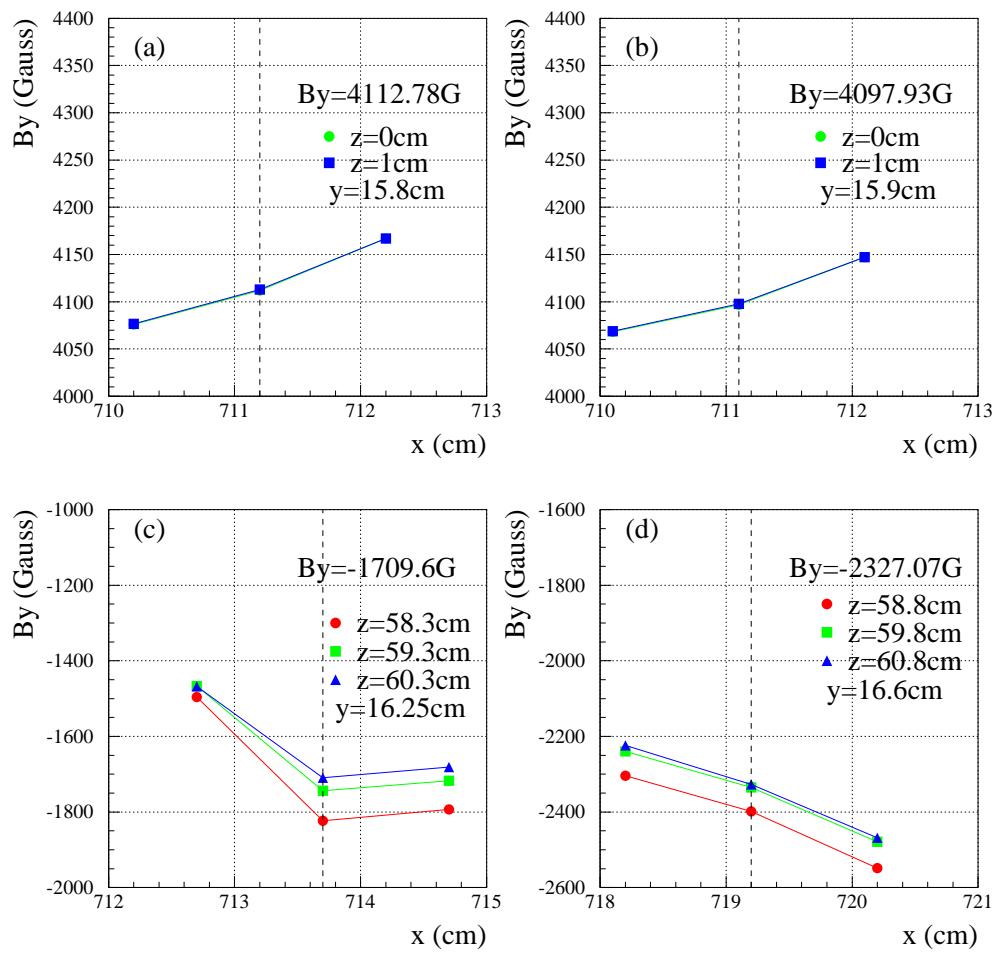


図 5: TOSCA 磁場分布。横軸 x 、縦軸 B_y (TOSCA 座標系)。 x 方向のプローブ位置は点線で、また z 方向の位置は緑のマーカーで示されている。座標系は図 4 を参照のこと。