

日本金属学会2016  
秋期講演大会  
2016.9.21

KRI

**KRI** NdFeB焼結磁石の  
内部磁場測定について(第2報)

(株)KRI 山本日登志、松本信子  
静岡理工科大学 小林久理眞、漆畑喜美子

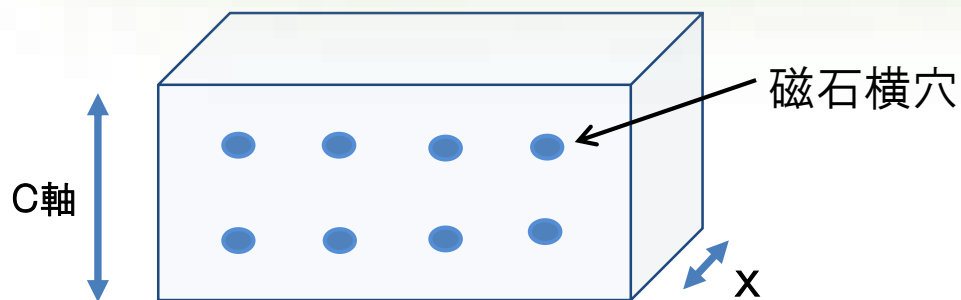
京都(東福寺)

# 磁石内部磁場測定(概念)

## <磁石内部磁場測定の背景>

従来、磁石表面の漏れ磁界を測定し、その値から内部磁場分布を推測する方法等のみであった。一方で、Dy拡散磁石の減磁状態を正確に把握する等磁石内部の減磁分布の測定が不可欠との認識が高まっている。

最近超小型ホール素子が開発され、この素子を使って磁石内部磁場の測定が可能になった。



Nd磁石ブロック(着磁品)



超小型ホール素子;  
幅 0.60mm x 厚さ 0.28mm

## 磁石内部磁場の測定から三次元情報を得る

- 熱減磁前後の局所磁場分布
- 着磁磁界による磁場分布
- 表面加工劣化分布

# モータ磁場解析シュミレーション値と実測値に 差異が出る理由

## 磁石に関する5つの前提（誤解？）

モータ設計では理想的磁石、理想的な条件が前提となる  
シュミレーションソフトが使われてきた。

**前提① 現物の磁石特性はカタログ値と同じ**

**前提② 磁石特性は均一**

磁気特性、温度特性、着磁特性、機械特性、  
電気抵抗、耐食性

**前提③ 量産バラツキは無い**

**前提④ 磁石材料の測定法、評価法は確立している**

**前提⑤ 磁石表面と内部は同一磁気特性を有する**

Dy拡散、Tb拡散あるいは表面加工劣化の影響。

# モータ最適設計のための新規磁石評価の提案

## 磁石内部の磁化評価法

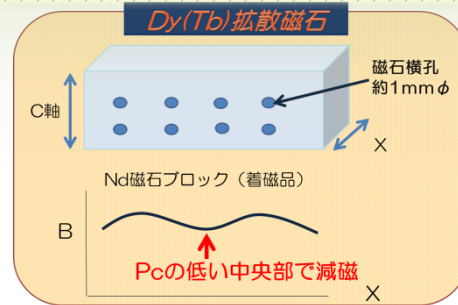
— 従来不可とされた磁石内部の磁化過程や減磁過程を把握する —

### < 磁石内部磁場測定の背景 >

最適モータ設計のためには磁石内部の減磁の把握が重要であるとの認識が高まっている。

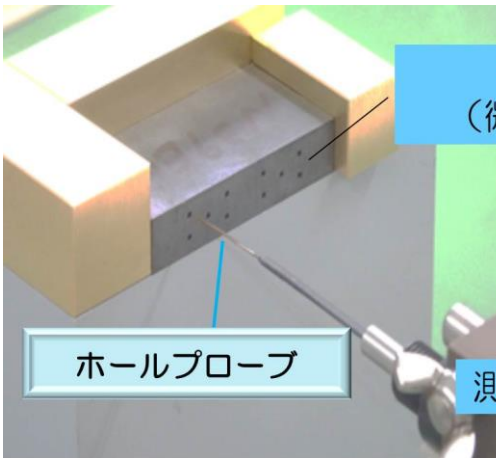
しかし従来の磁場測定は、磁石表面の漏れ磁界を測定し、内部分布を推測するという方法しかなかった。今回Nd磁石の超微細孔加工に成功、磁石内部磁場測定が可能になった。

通常磁石は表面から減磁。  
Dy(Tb)拡散では内部減磁の  
可能性も？



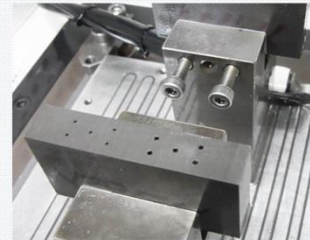
世界最小サイズホール素子による  
内部磁場測定

超小型ホール素子  
幅0.60mm×厚さ0.28mm



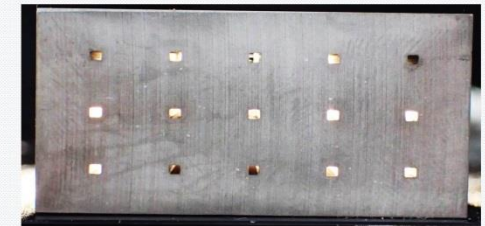
### 微細加工例

< 第1次加工試料 >



φ1mm微細孔  
(2種×5ヶ所)

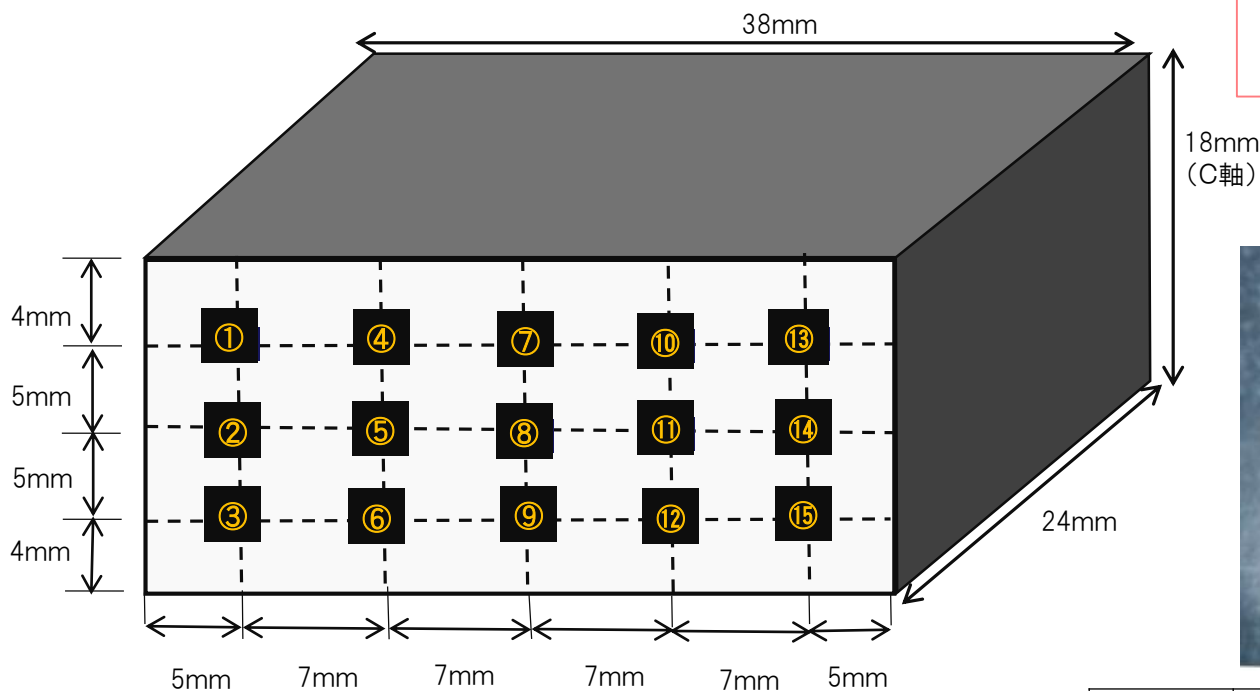
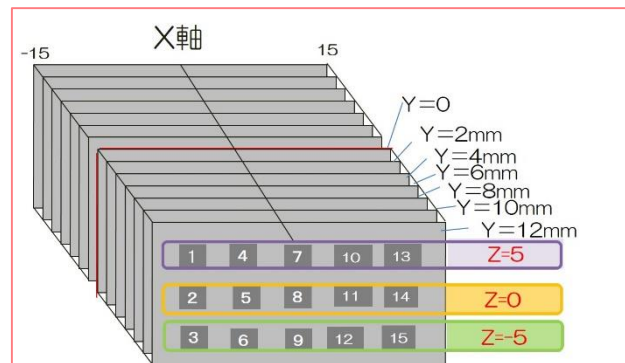
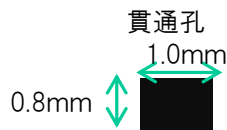
< 第2次加工試料 >



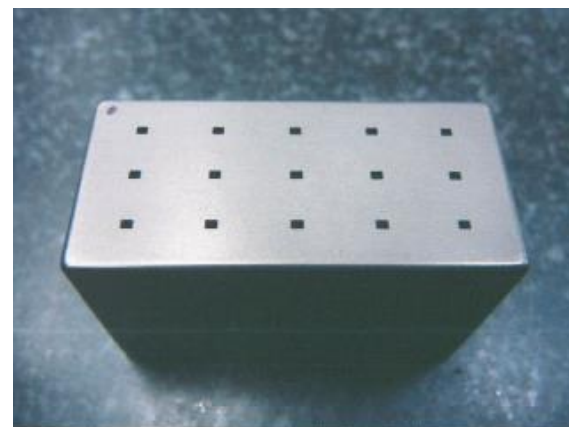
1.0×0.8mm微細貫通孔  
(3×5=15ヶ所)

## 市販Nd磁石供試料データ

<磁石加工仕様-LC>  
 仕様;N-40 24×38×18(磁場方向18)mm  
 貫通孔 数の黄色の孔15か所  
 孔公差 ⇒ 一般公差  
 孔テーパ ⇒ 実績仕様



<出来上がり写真>



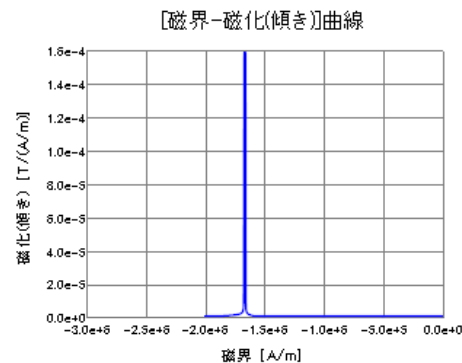
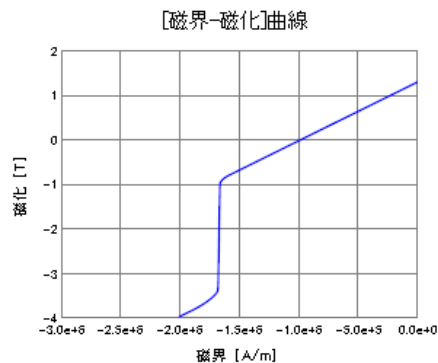
	図面寸法 mm	実測値 mm	図面寸法 mm	実測値 mm
①		1.005		0.805
⑦	1.0	1.005	0.8	0.804
⑧		1.003		0.802
⑮		1.007		0.805

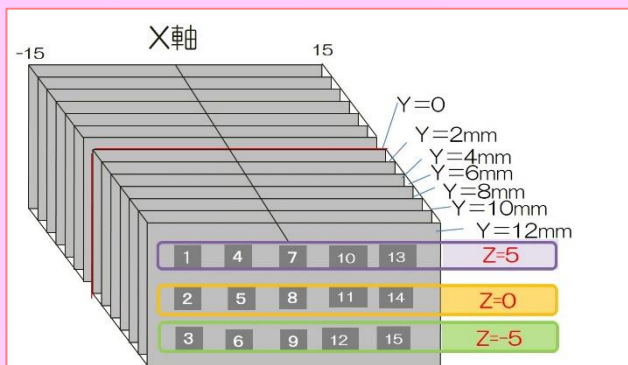
## 今回発表

前回磁場分布測定結果を検証するため、磁場解析を実施し  
実測値と解析値を比較検証、考察した。

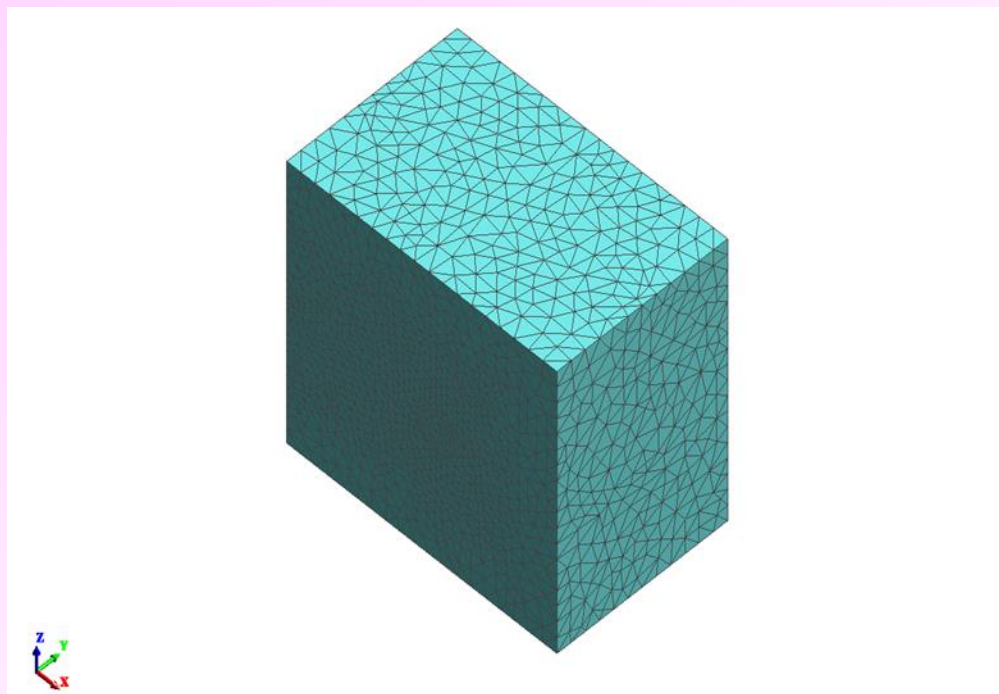
## 解析条件

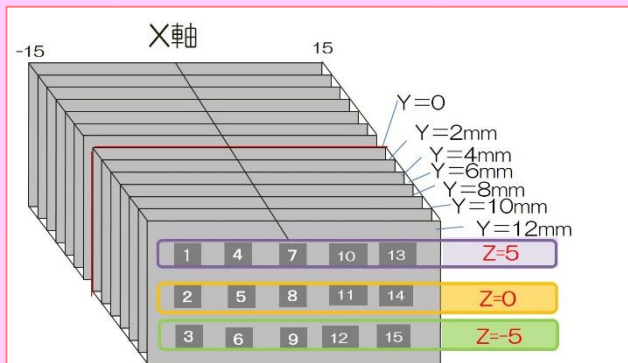
1. 使用ソフト; Femtet2016.0(ムラタソフトウェア株式会社)
2. 3次元
3. オートメッシュ 磁石部分1mm、孔部分0.2~0.5mm指定
4. 磁石磁気特性;  
Br=1.315T
5. 磁石磁化状態; 均一磁化と仮定
4. 計算時間; 1~5時間



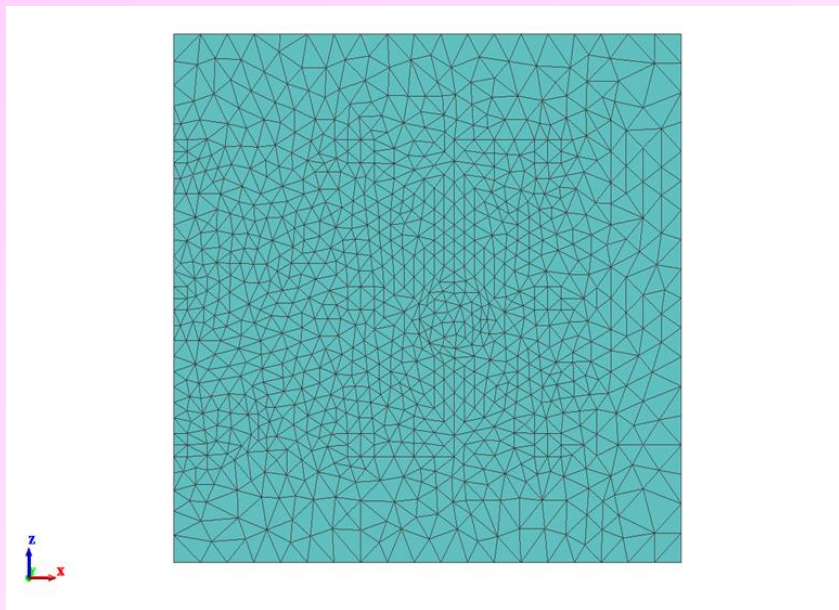


磁場解析条件  
分割メッシュ  
モデル; 1/1  
3次元投影図

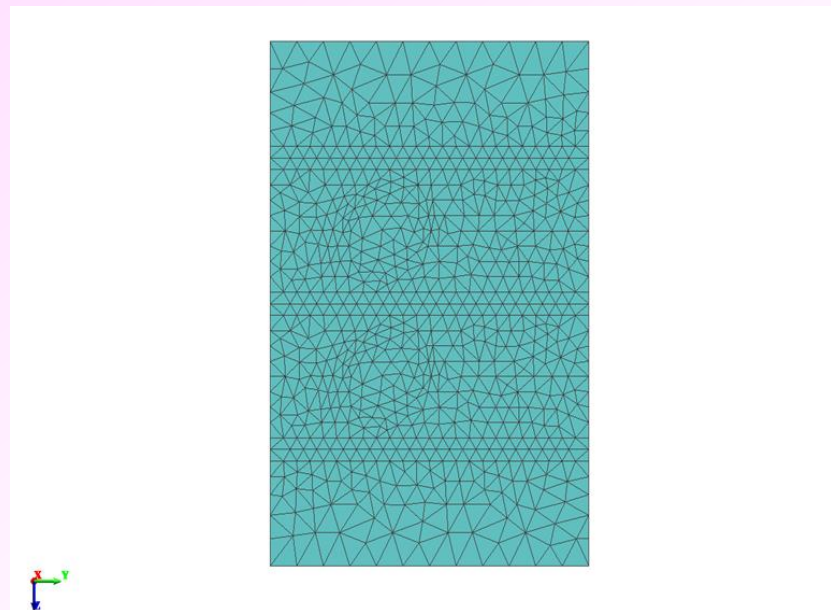




磁場解析条件  
 分割メッシュ  
 モデル; 1/4

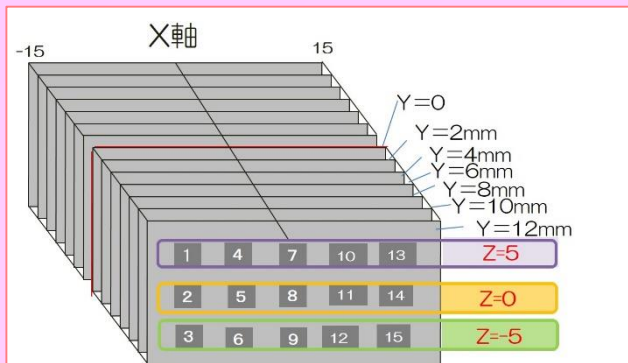


X-Z面  
 Y=0

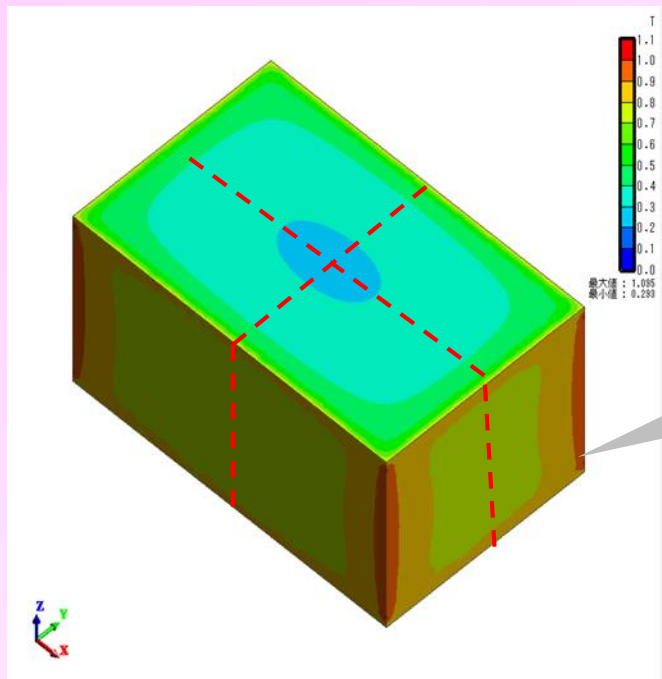


Y-Z面  
 X=0

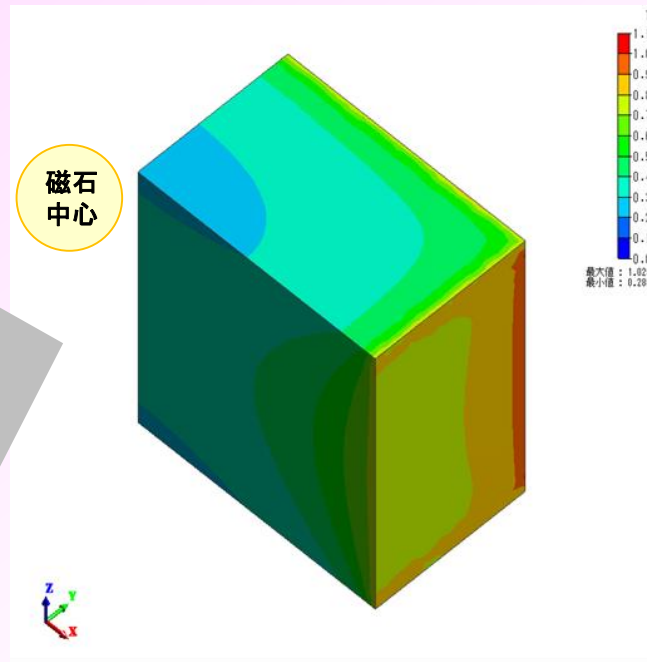




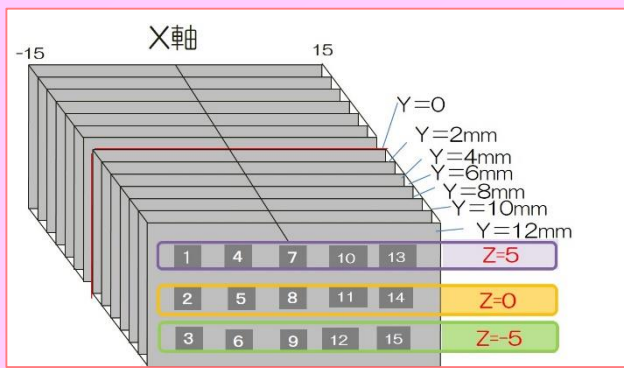
磁場解析結果  
 解析値； 磁束密度(B)  
 モデル； 磁石孔無し、1/1 及び1/4  
 解析面 3次元投影図



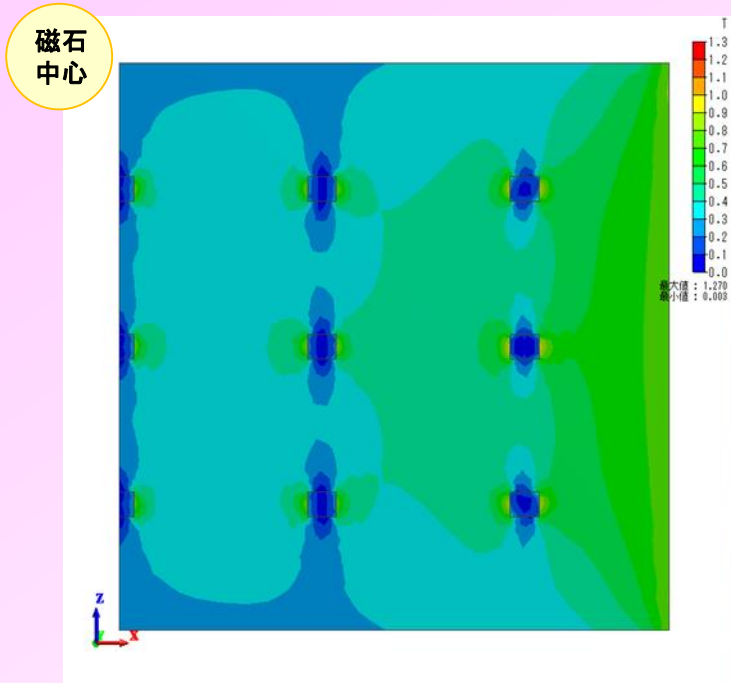
1/1 モデル



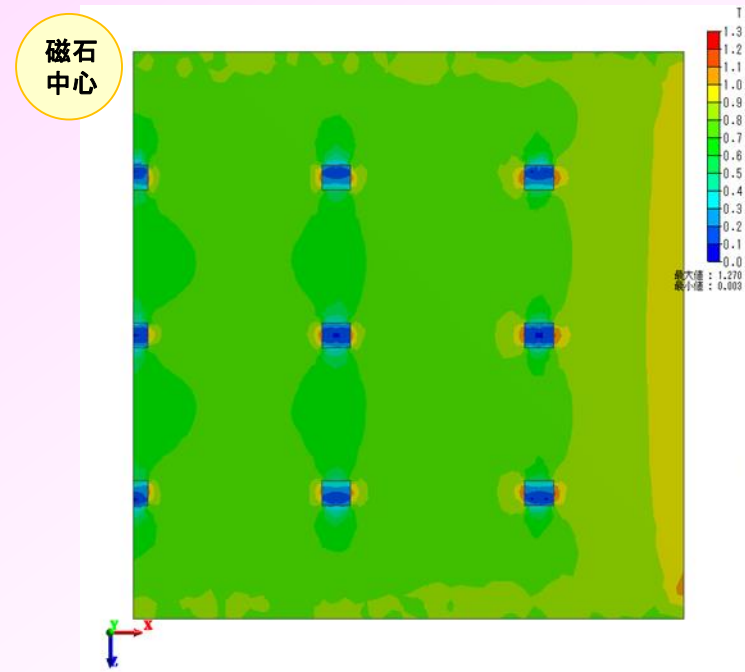
1/4 モデル (孔なし)



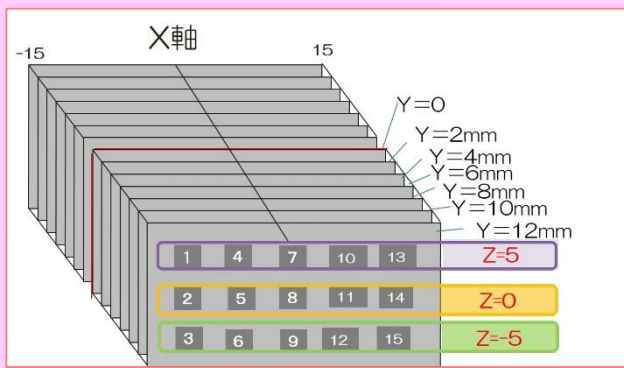
磁場解析結果  
 解析値; 磁束密度(B)  
 モデル; 1/4  
 解析面(x-z)



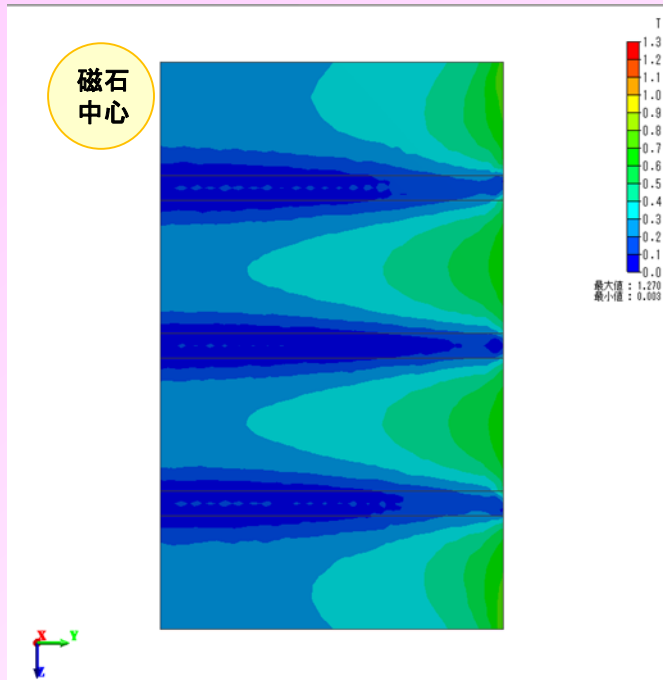
X-Z  
 Y=0



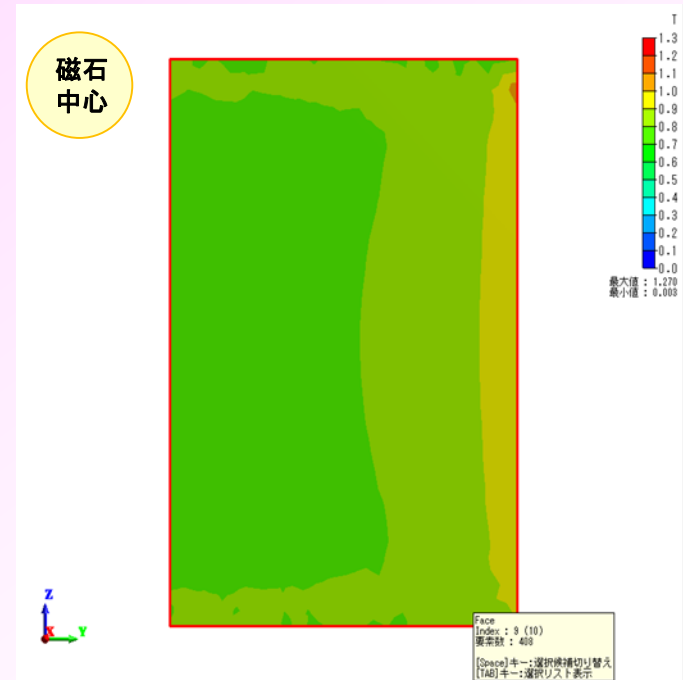
X-Z  
 Y=-12



磁場解析結果  
 解析値； 磁束密度(B)  
 モデル； 1/4  
 解析面(y-z)



Y-Z  
 X=0

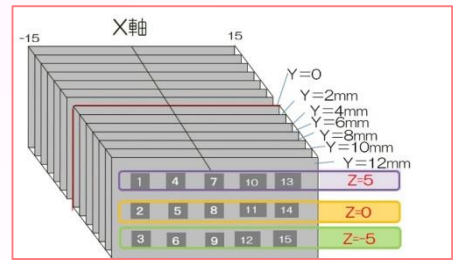
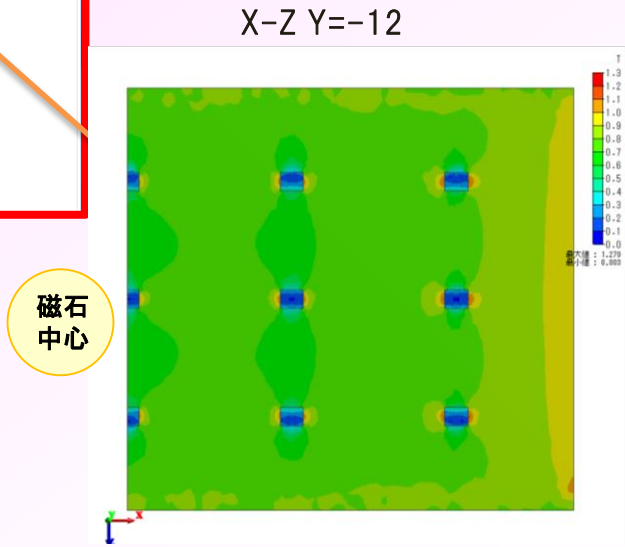
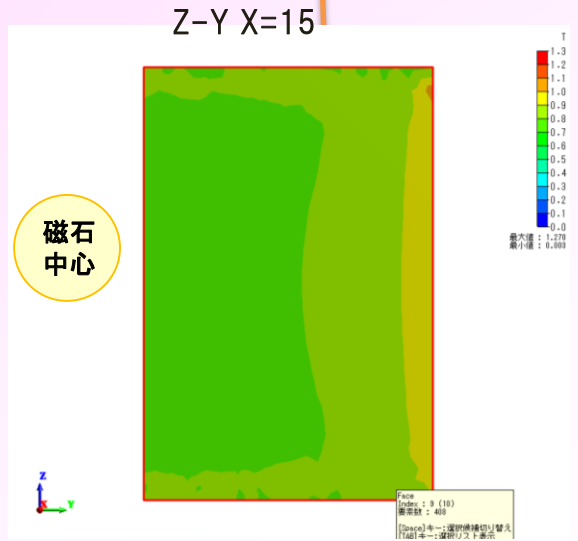
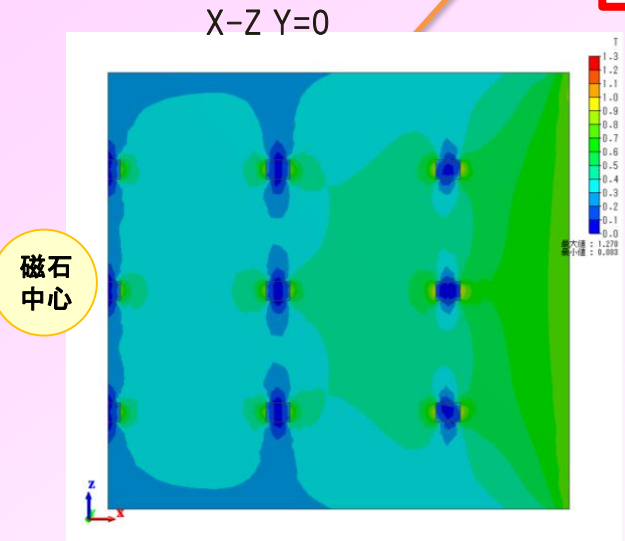
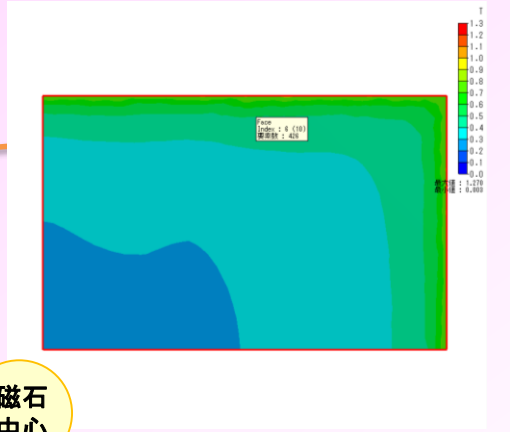
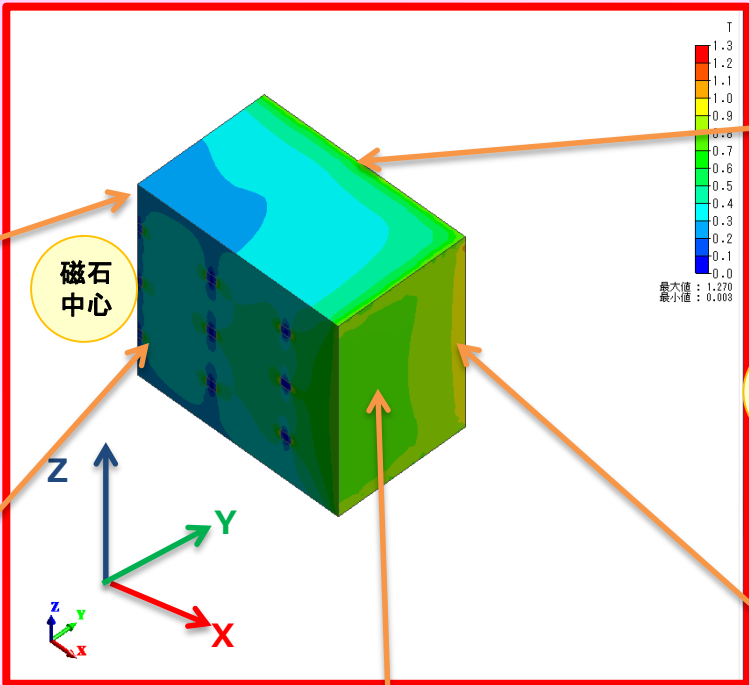
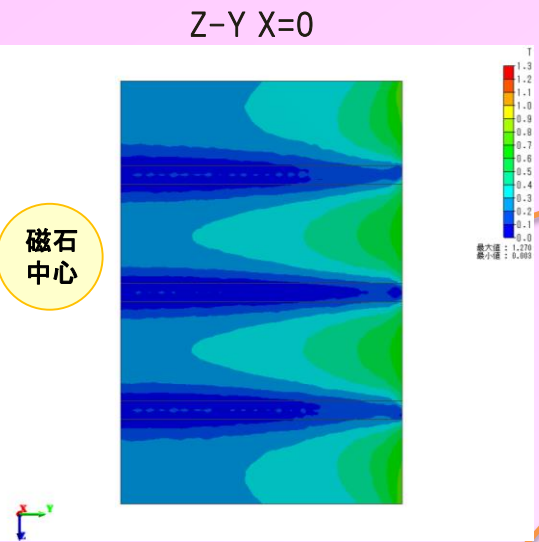


Y-Z  
 X=15

# 1/4モデル解析結果\_磁束密度

孔あり

X-Y Z=5



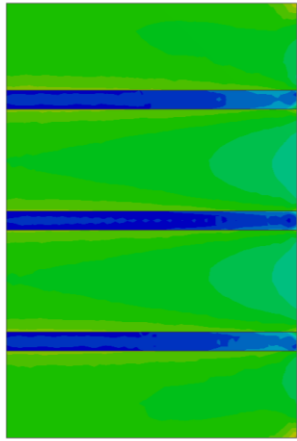
# 1/4モデル解析結果\_反磁界

孔あり

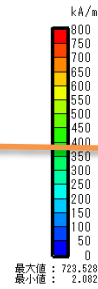
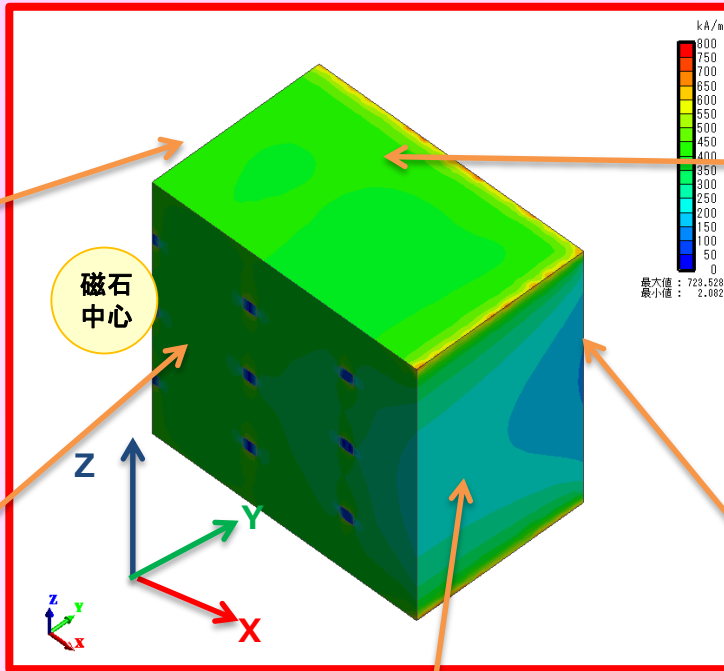
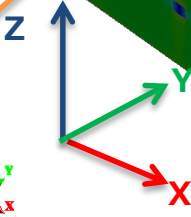
X-Y Z=5

Z-Y X=0

磁石中心



磁石中心

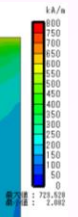
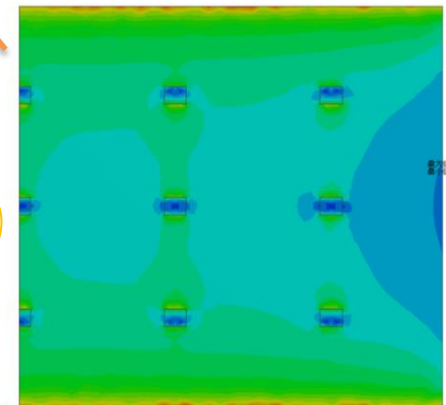


最大値 : 723.528  
最小値 : 2.082

磁石中心

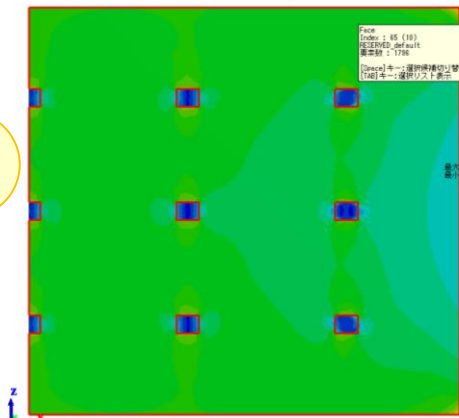
X-Z Y=-12

磁石中心



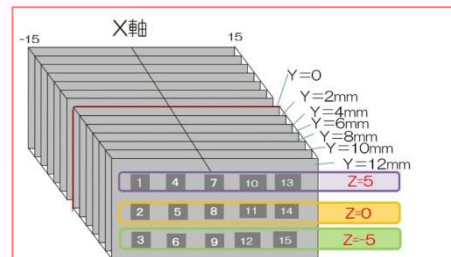
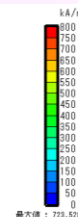
X-Z Y=0

磁石中心



Z-Y X=15

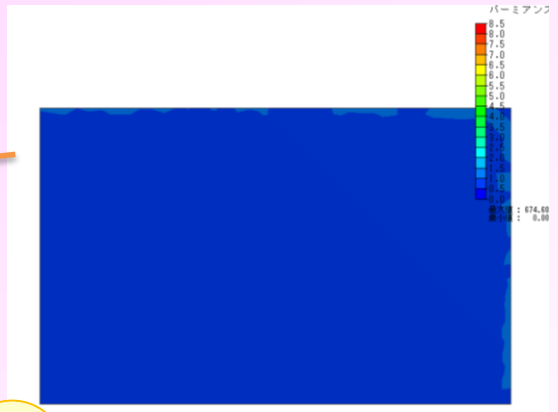
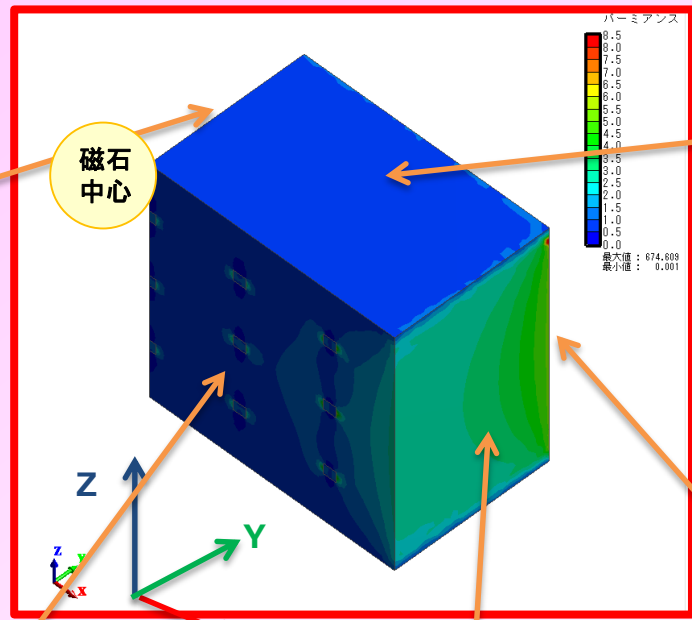
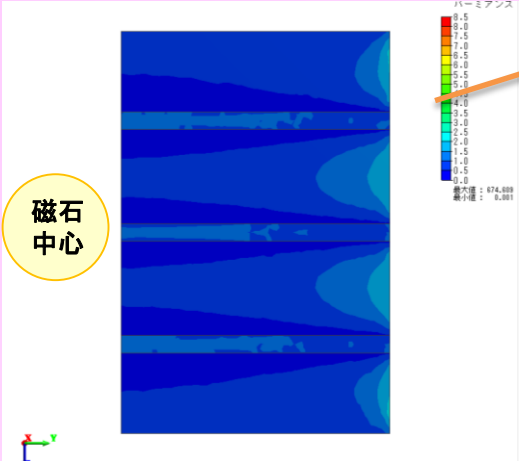
磁石中心



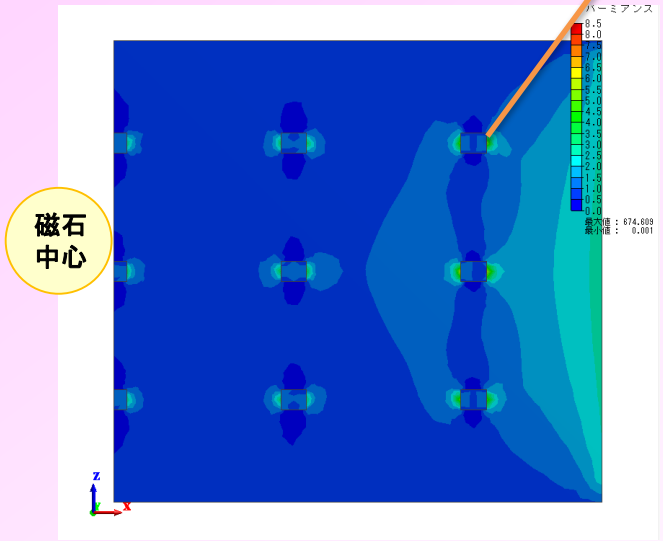
孔あり

X-Y Z=5

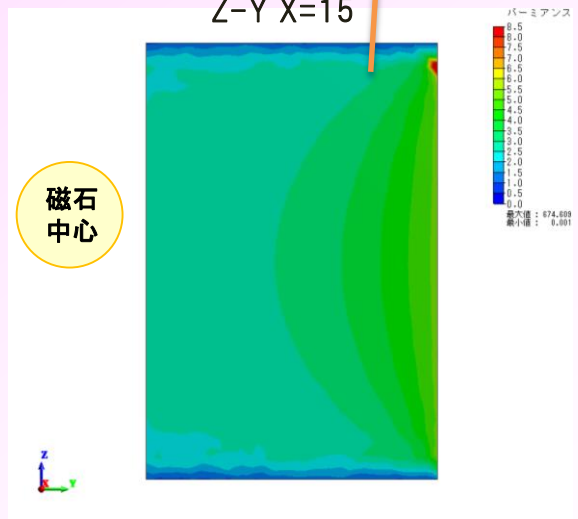
Z-Y X=0



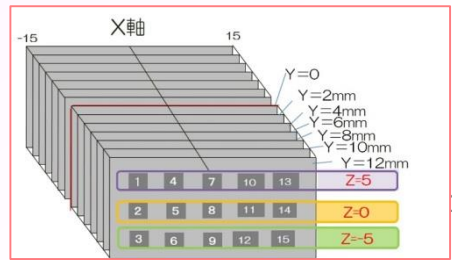
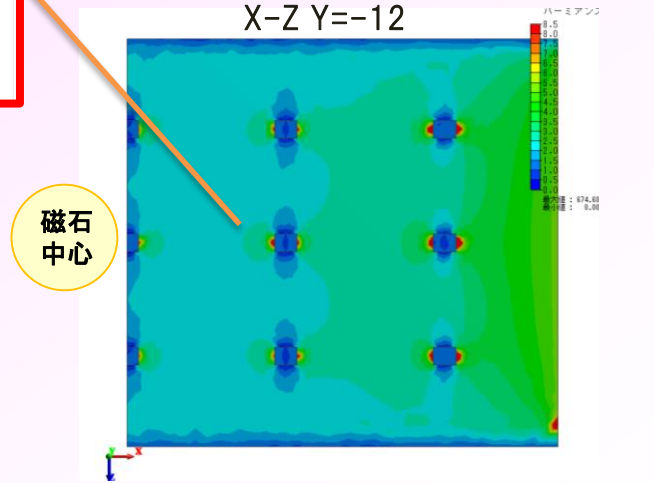
X-Z Y=0



Z-Y X=15

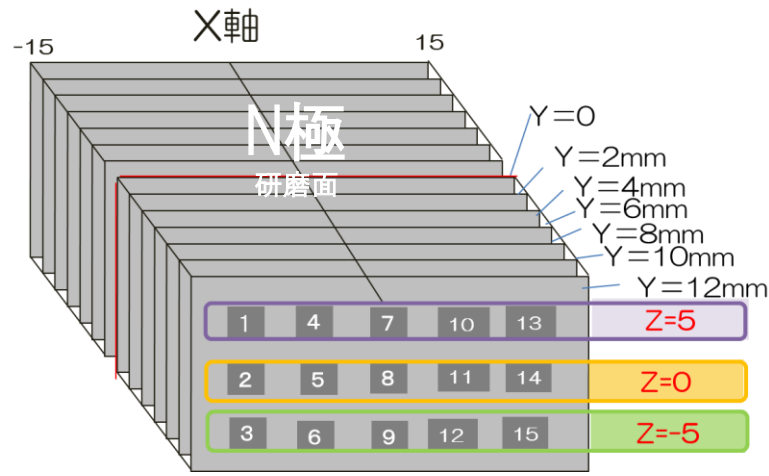


X-Z Y=-12

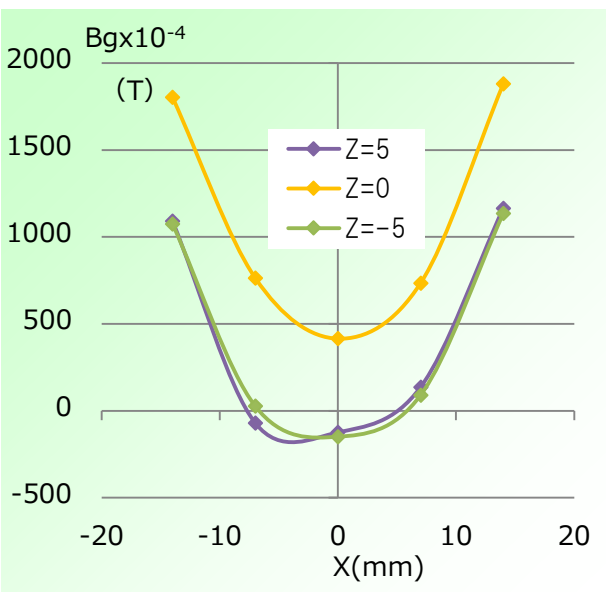


## 測定値と解析値の比較 内部磁場

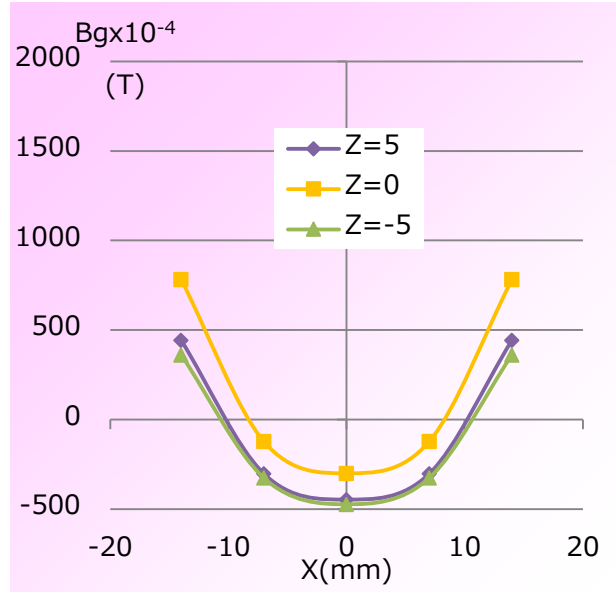
孔あり Y=0



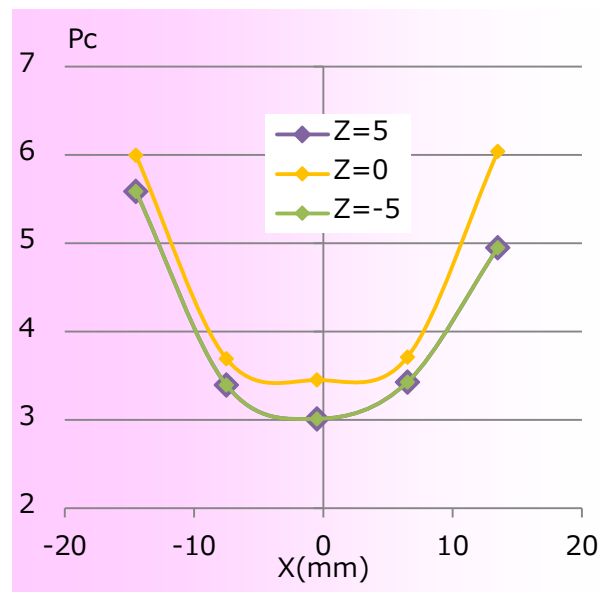
内部磁場 測定値



内部磁場 解析値

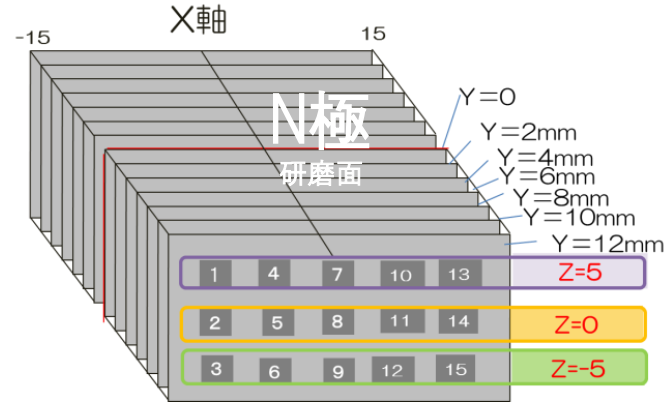


パーミアンス係数 解析値

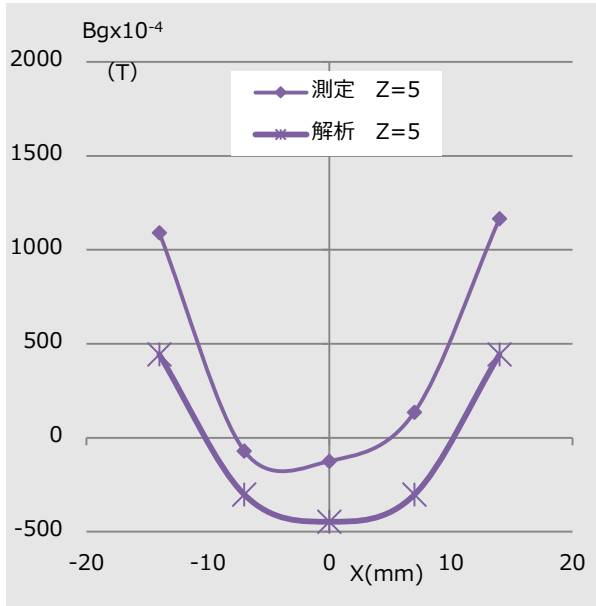


## 測定値と解析値の重ねあわせ 内部磁場

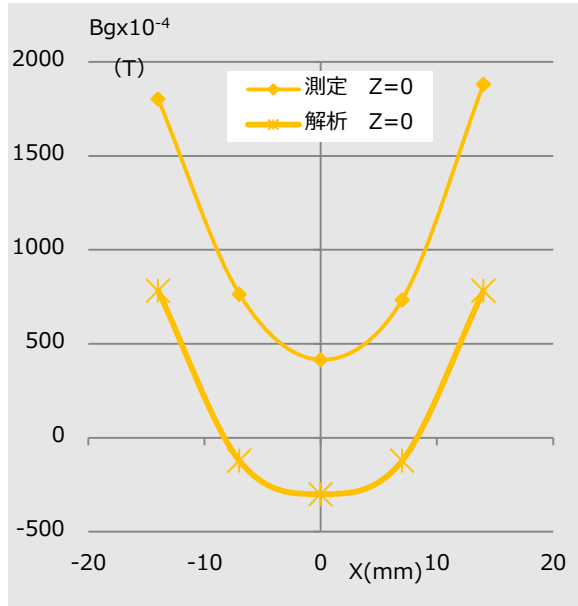
測定値: 孔あり, 解析値: 孔あり



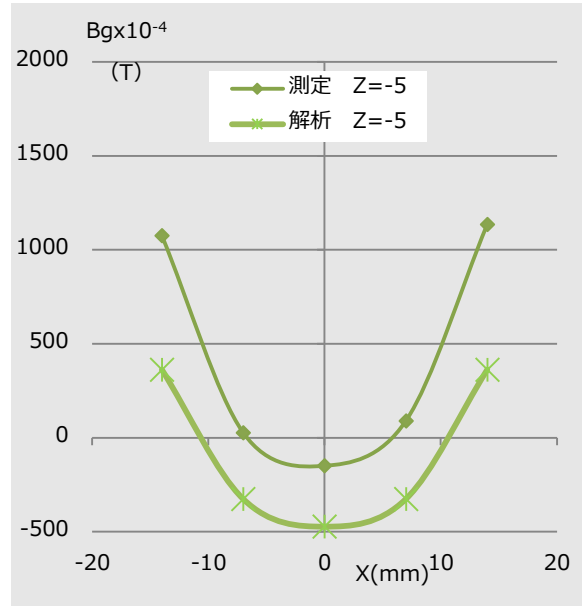
内部磁場 Z=5



内部磁場 Z=0



内部磁場 Z=-5





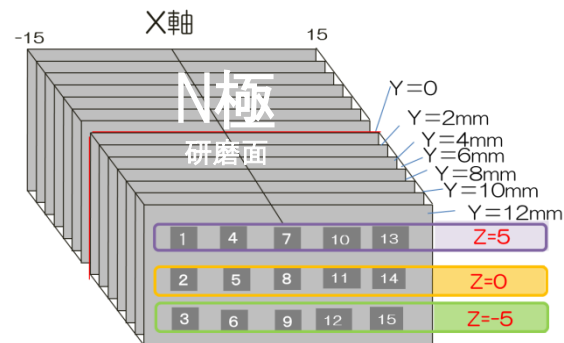
## 測定値と解析値の比較

孔あり

Y軸方向

Y=12mmの磁石側面で急激に  
磁場低下を観察！！

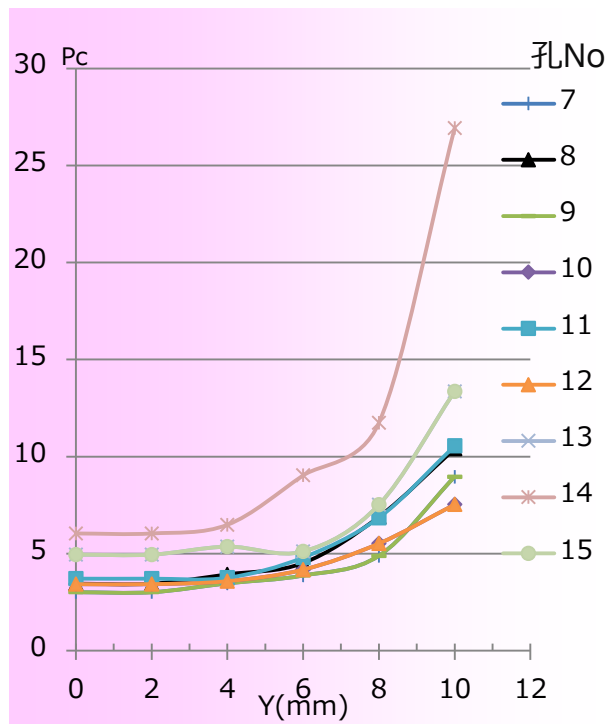
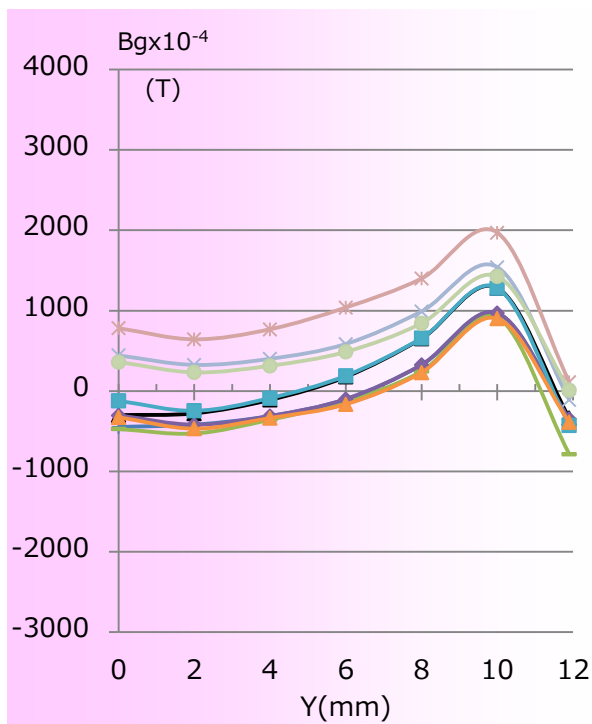
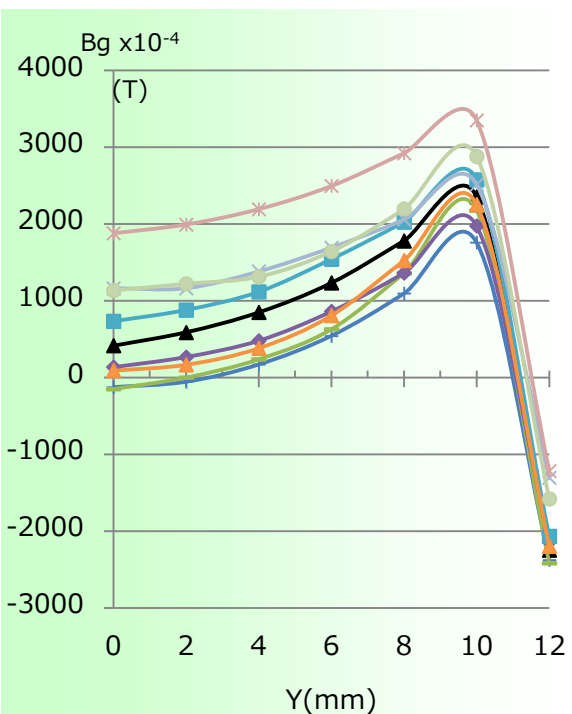
Y=12まで  
スムージングあり



内部磁場 測定値

内部磁場 解析値

パーミアンス係数 解析値

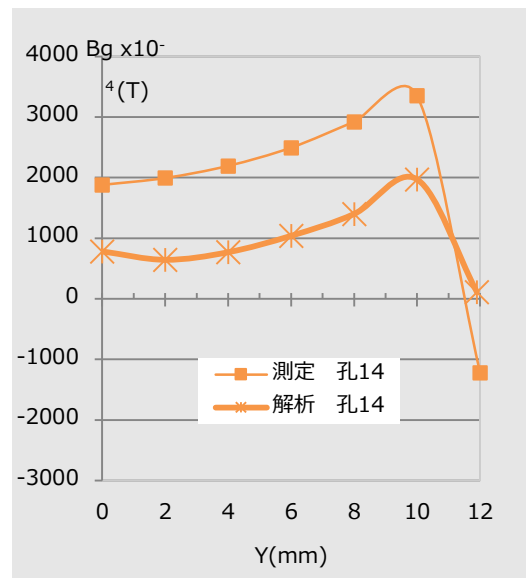
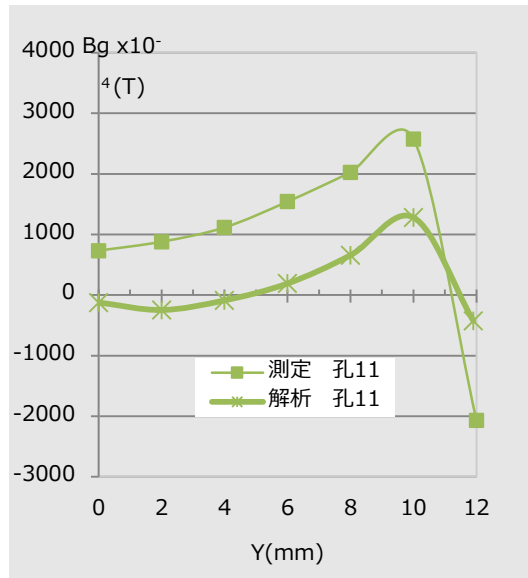
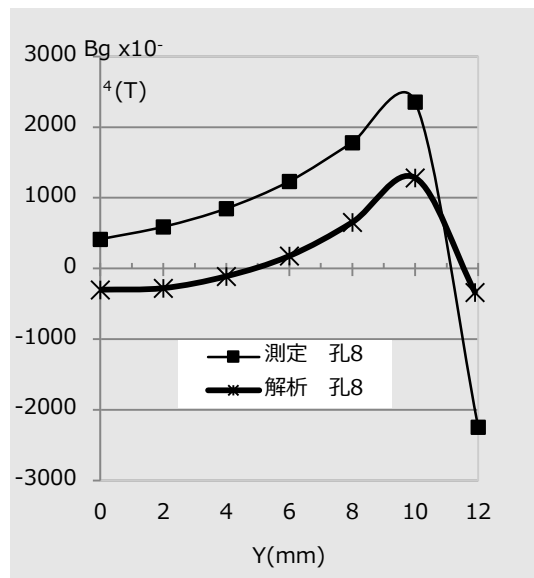
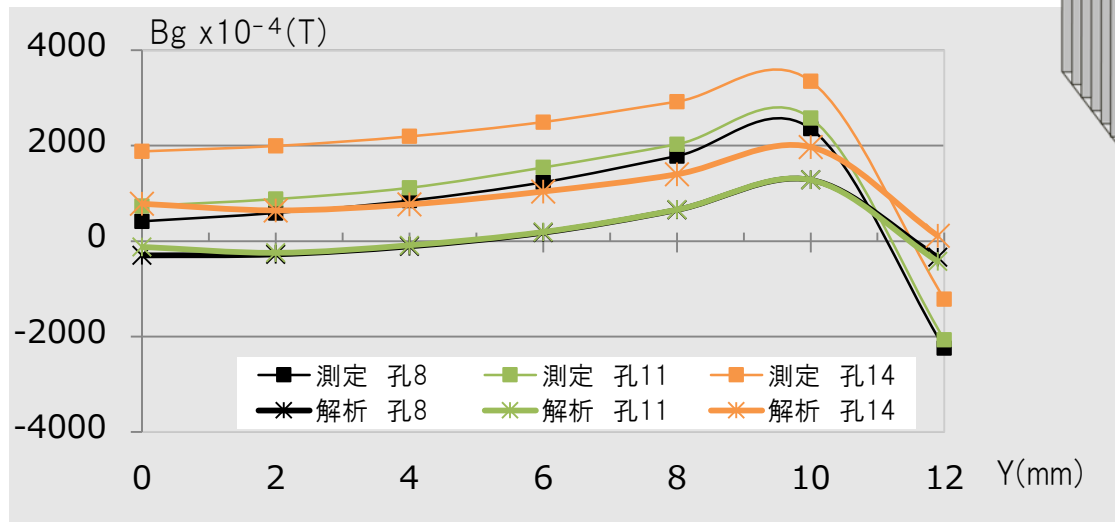
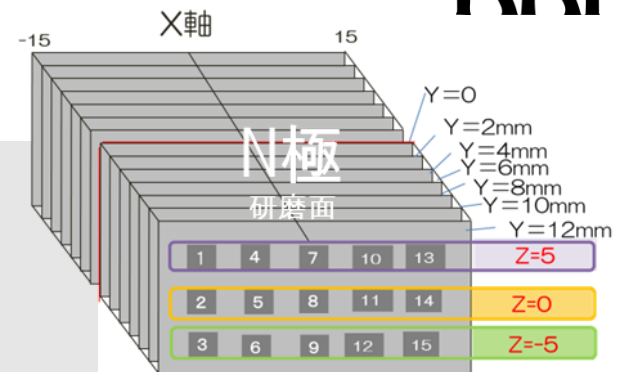


## 測定値と解析値の重ね合わせ：内部磁場

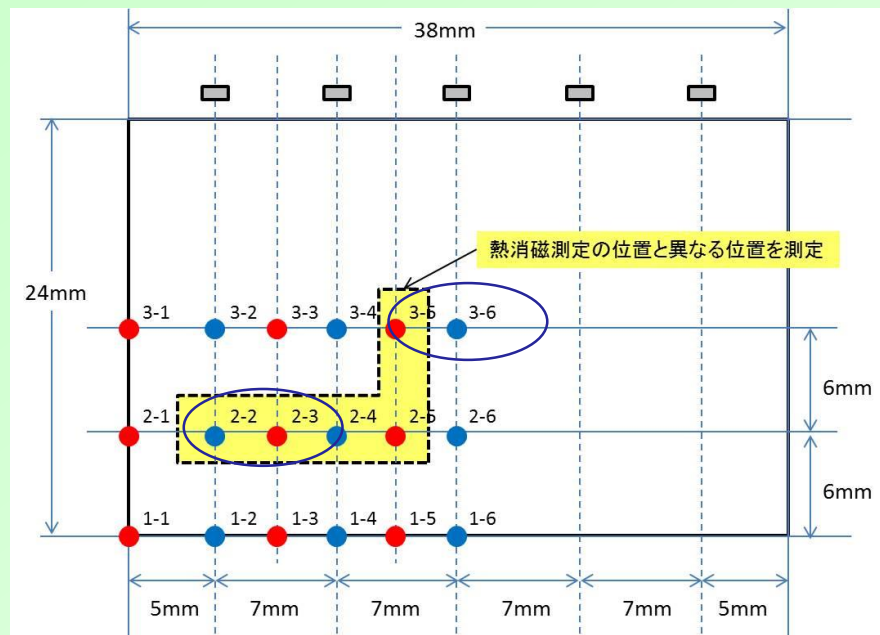
孔あり

Y軸方向

Z=0 孔8,11,14

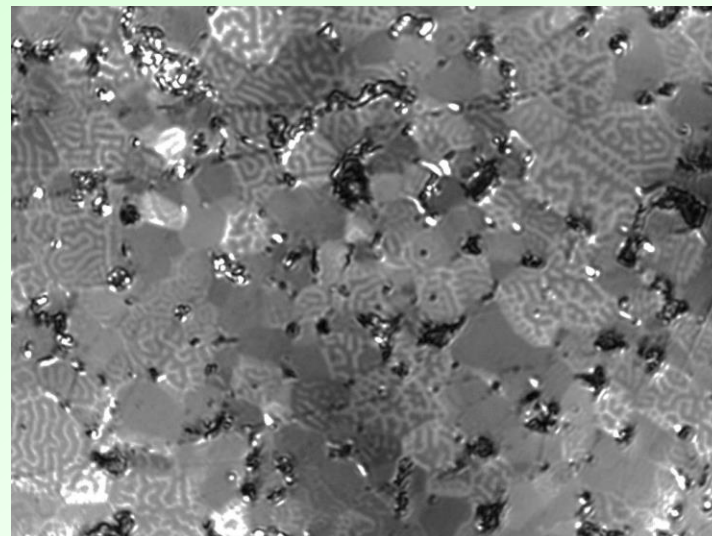


## 静岡理工科大学 c面磁区観察(MOKE) データ速報



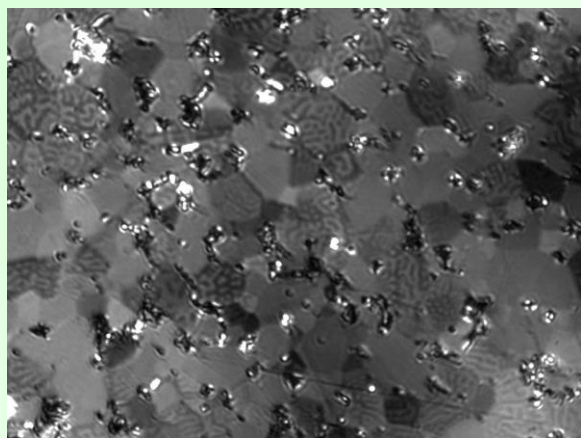
フル着磁後\_3-6

約74%減磁



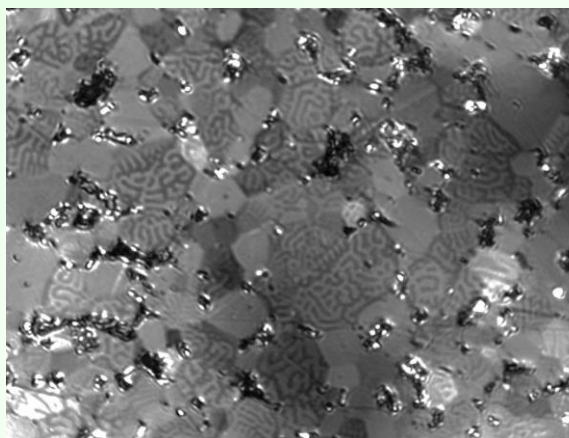
フル着磁後\_2-2

約62%減磁



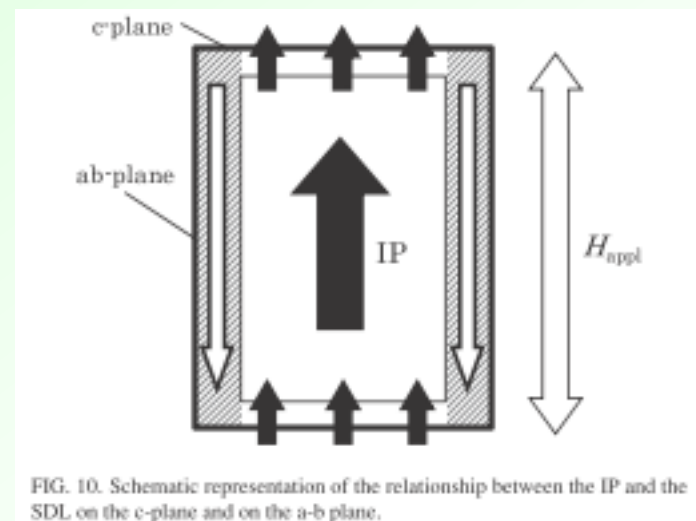
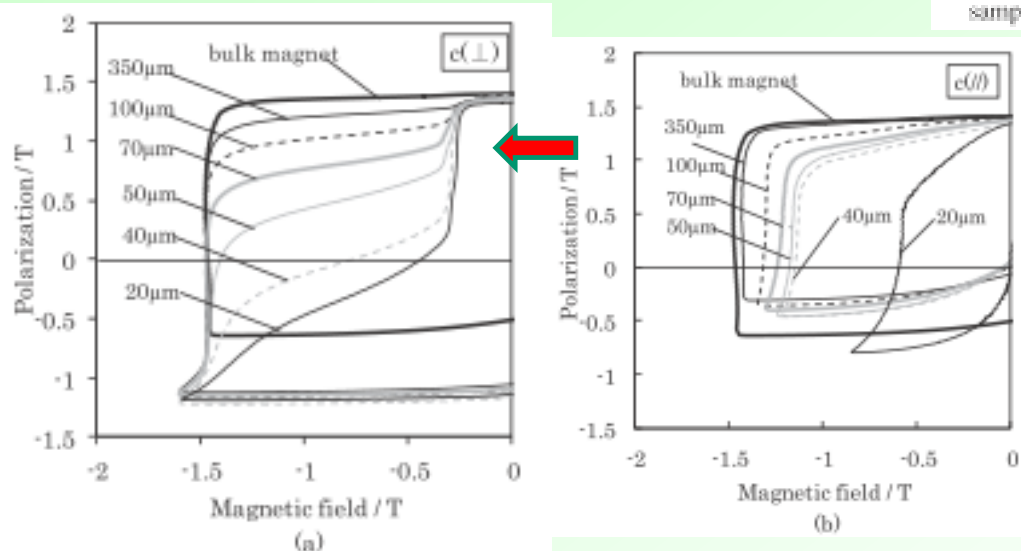
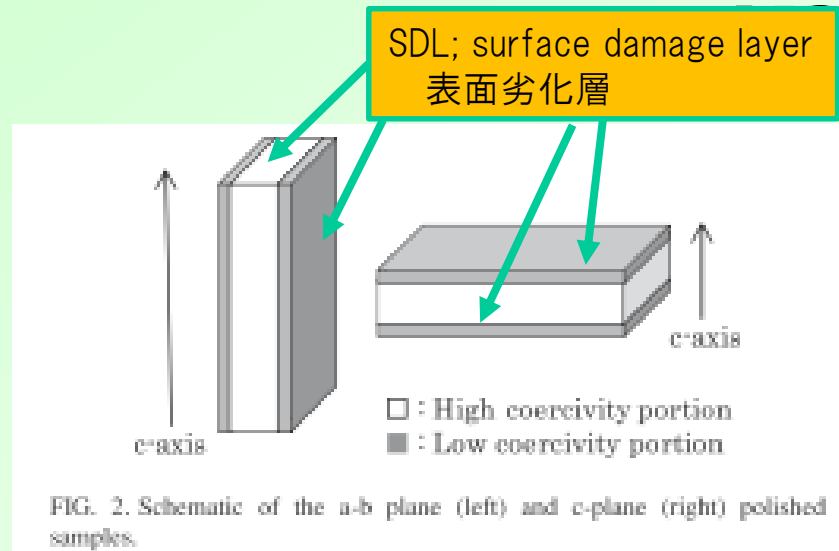
フル着磁後\_2-3

約67%減磁



詳細データは  
別途報告予定

試料; 市販焼結Nd磁石 (NEOMAX-48)  
 寸法; 1mmx5mmx (20-350  $\mu$ m)  
 磁場方向;  
 c( $\perp$ ); ab面を荒研磨  
 c( $//$ ); c面を荒研磨  
 研磨方法; エメリー紙  
 測定; VSM 5Teslaフル着磁後

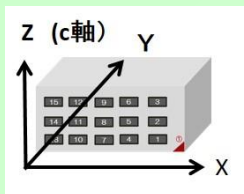


ab面は保磁力 $H_cJ$ 以下の低磁場で既に逆磁区存在。すなわち磁壁は存在。

文献; 小林、中村、漆畑、 JAP, 117 173909 (2015)

Magnetic properties of the surface layer and its magnetic interaction with the interior of NdFeB sintered magnets

## <考察> 実測値と解析値の違いの理由は？

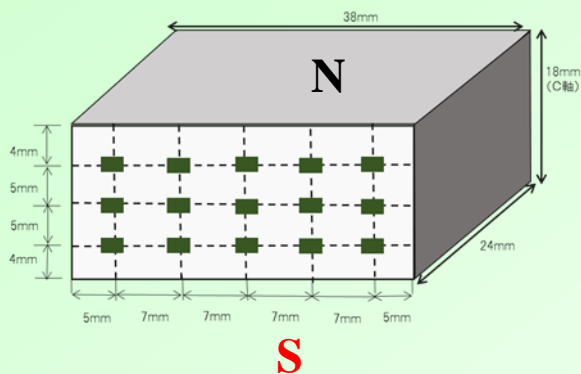


### 解析

均一磁化(M)を仮定  
減磁は全く無い

Hd 大

C面磁極からの反磁界Hd



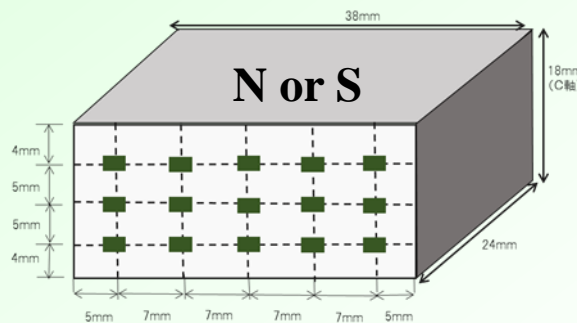
孔部磁極からの磁界Ha

磁石内部磁場;  $H = Ha - Hd$

### 実測

Hd 小

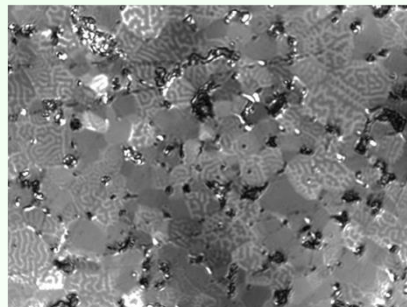
C面磁極からの反磁界Hd



孔部磁極からの磁界Ha

フル着磁後\_3-6

約74%減磁

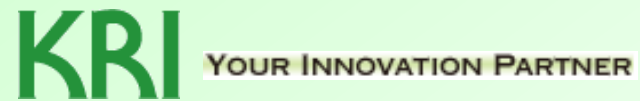


C面は減磁している  
ので反磁界Hdは小さい

- 解析値と内部磁場実測値の三次元分布の傾向はほぼ類似している。
- 内部磁場の測定値は、常に解析値より高い値となった。  
磁石の三次元部分減磁の影響がある可能性がある。
- x方向については内部磁場の測定値は解析値に対して $z=0$ (磁石中央)で最も差異が大きい。
- y方向については、内部磁場の測定値は解析値に対して中央孔(8番)で差異が少なく、両端孔(2, 14番)で若干大きくなる傾向がある。  
y=12mmでの磁場の急減は解析ではあまり顕著では無く、磁石側面の減磁の可能性はある。

お問い合わせ ; 株式会社 KRI フェロ&ピコシステム研究部  
kri-magnet@kri-inc.jp  
<http://www.kri-inc.jp/ts/dept/magnet.html>





## フェロ&ピコシステム研究部

 お問い合わせ

お問い合わせボタンをクリックすると、問い合わせ入力ページが開きます。  
お気軽にお問い合わせください。