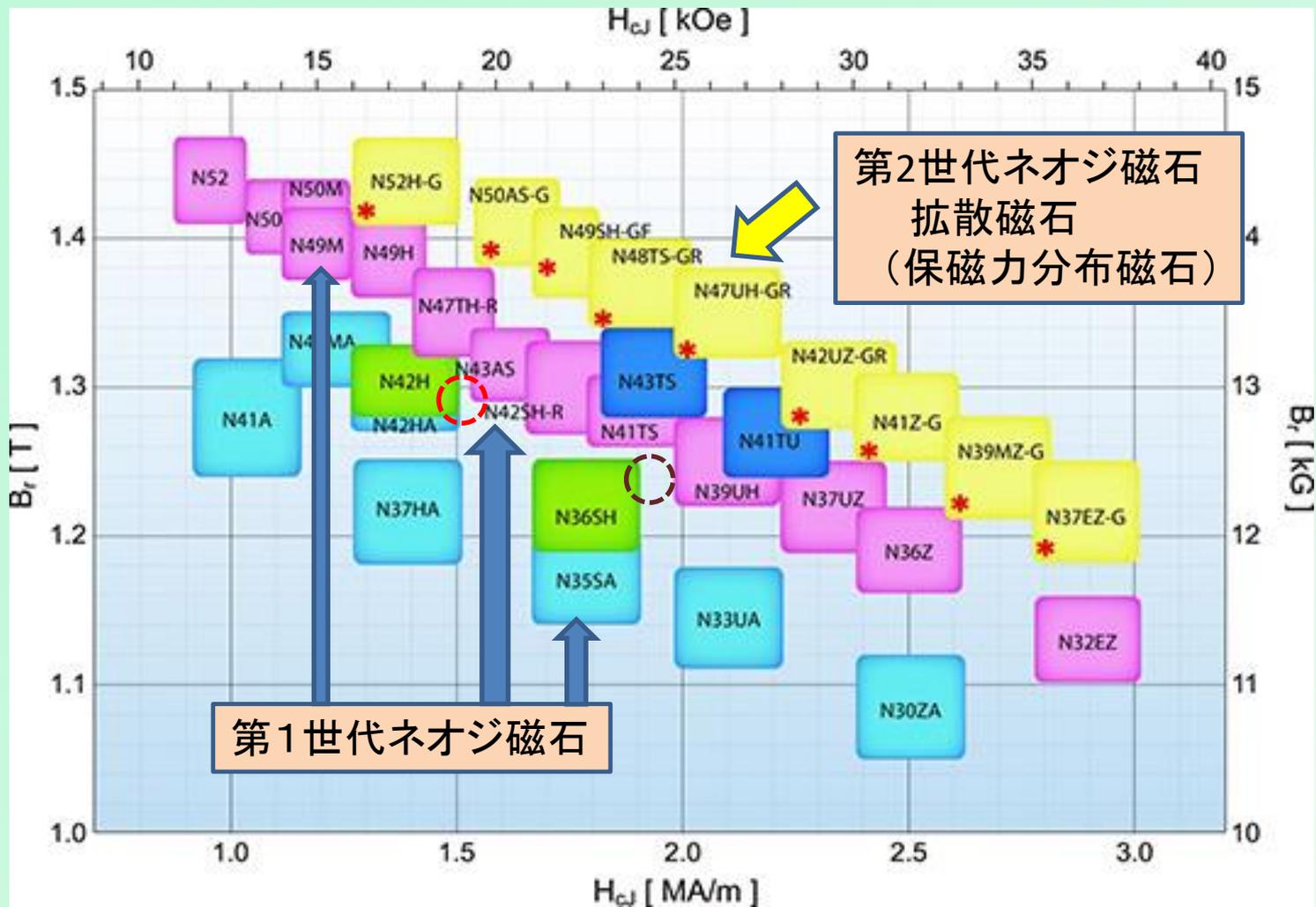


2019年電気学会産業応用部門大会
3-32
(長崎大) 2019.8.21

永久磁石モータ用Tb拡散ネオジム磁石の内部減磁分布(第2報)

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

国内ネオジメーカ(例;信越化学)の最新磁気特性



<ご参考>
外国製ネオジ



「拡散磁石（保磁力分布磁石）」 第2世代Nd磁石の時代に突入へ

＜拡散磁石の特徴＞

1. Tb,Dy原料の低減化
2. 従来Nd磁石（第一世代）より
高Br あるいは高HcJ化が可能
3. 実用上メリット
 - 1) 電子機器の小型、軽量化
 - 2) 高耐熱化
 - 3) Tb, Dy希土類資源調達リスクの低減
4. 課題；
 - 1) 拡散処理工程コスト（近年低減化）
 - 2) 保磁力分布の評価方法
 - 2) 有効活用（EV,HV用途等は大量に採用）しかし学会では。。？

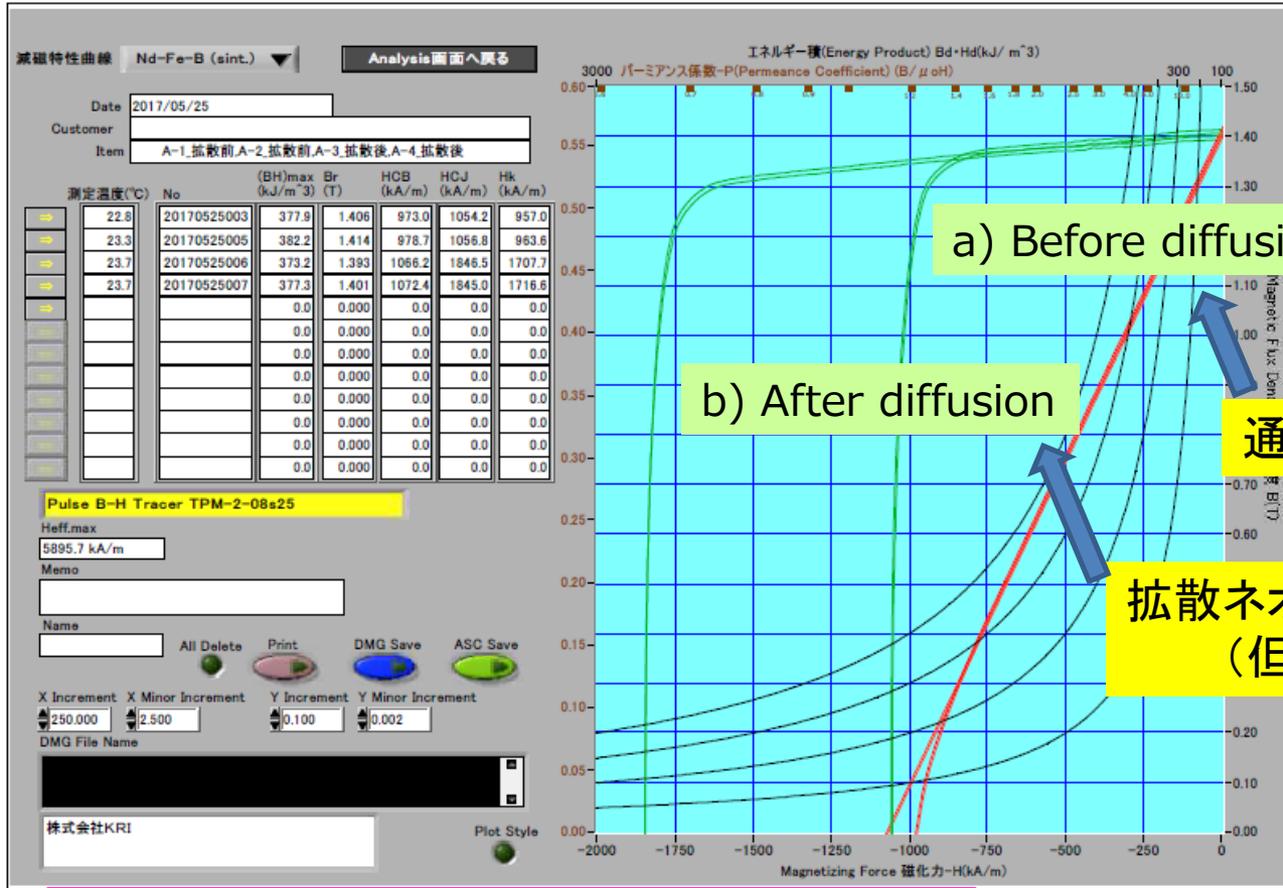
有効活用提案

（私見）保磁力分布特性； 可変磁束モータへの適用が有望では。。

粒界拡散磁石の磁気特性

T b 拡散磁石の一例

a) 拡散前 (n=2) b) 拡散後 (n=2)



約800kA/m (10 kOe) の大幅なHcJ上昇

	拡散前	=>	拡散後
Br	1.4137T(14.137kG)	=>	1.3931T(13.931kG)
HcJ	1.057MA/m(13.280kOe)	=>	1.847MA/m(23.204kOe)

モータ磁場解析シミュレーション値と実測値に なぜ差異が出るのか？

磁石に関する5つの前提（誤解？）

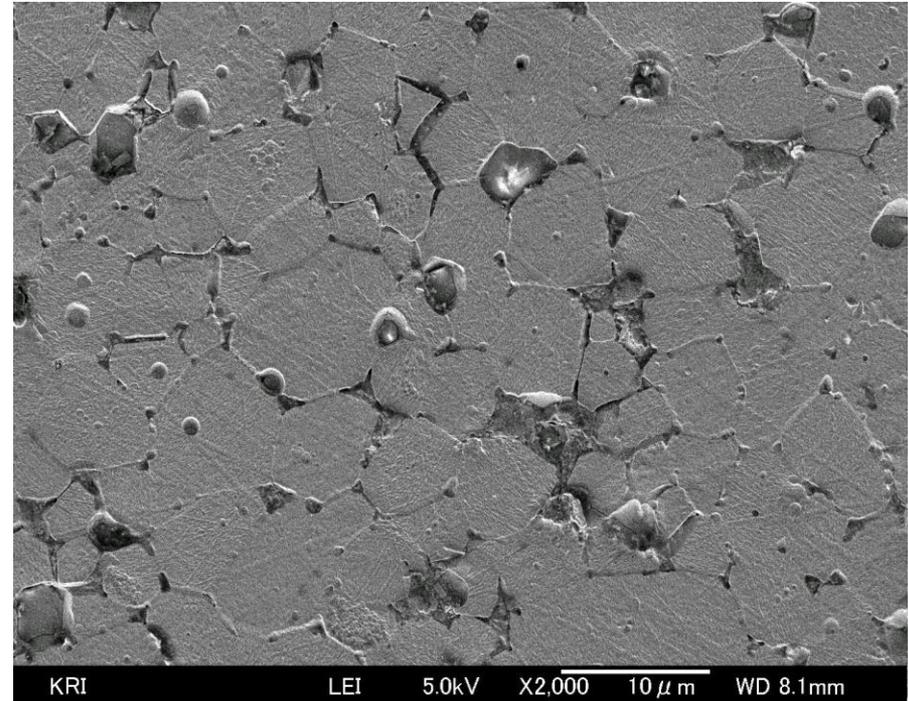
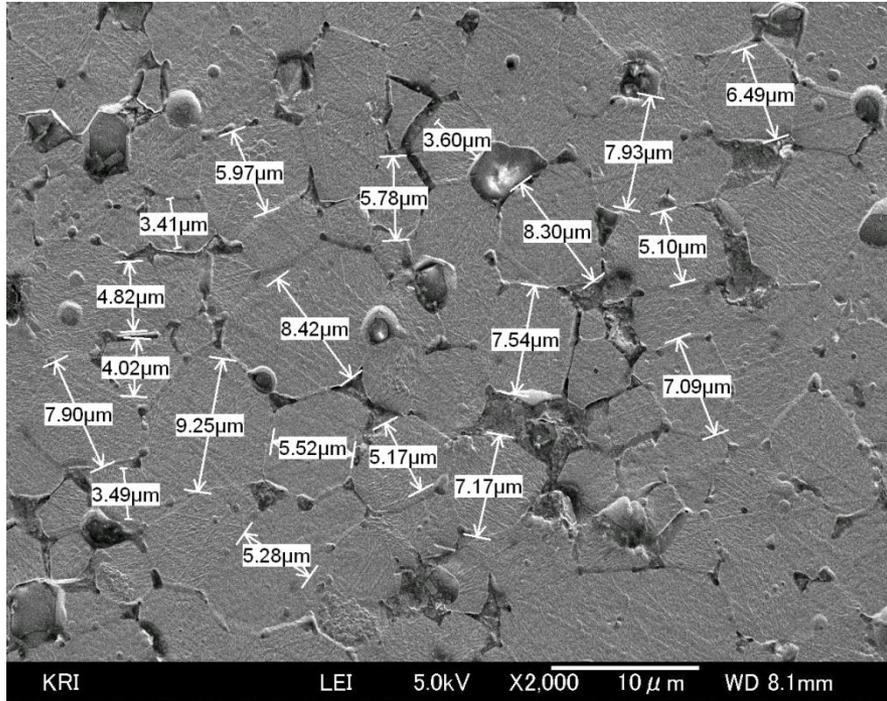
従来モータ設計では理想的磁石、理想的な条件が前提となるシミュレーションソフトが使われてきた。

- 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
- 前提④ 磁石材料の測定方法、評価方法は確立している
- 前提⑤ 磁石表面と内部は同一磁気特性である
最近ではDy拡散、Tb拡散あるいは表面加工劣化。



FE-SEMによる粒径観察

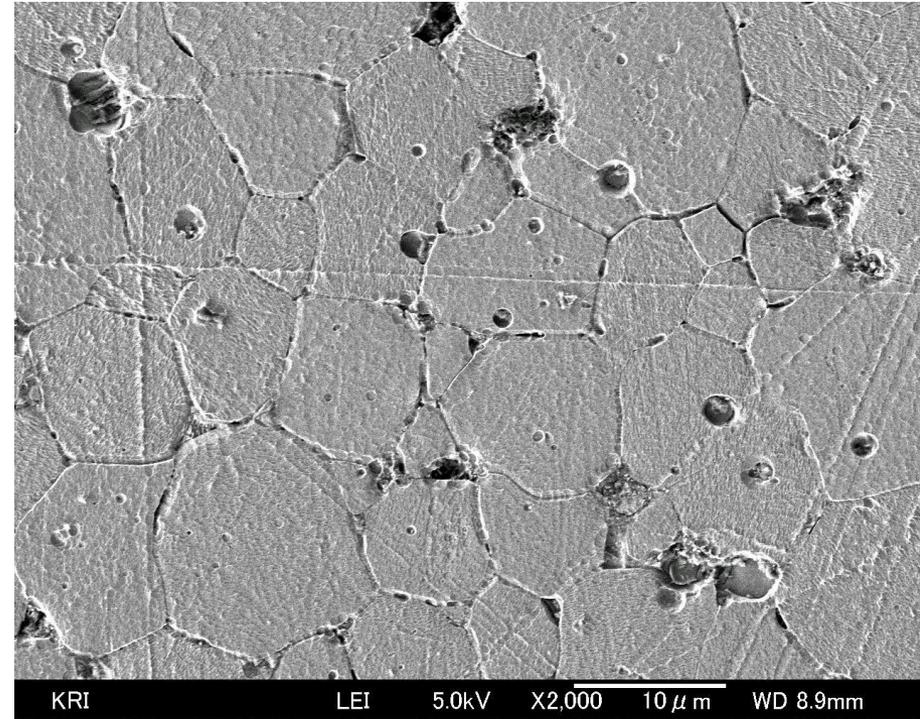
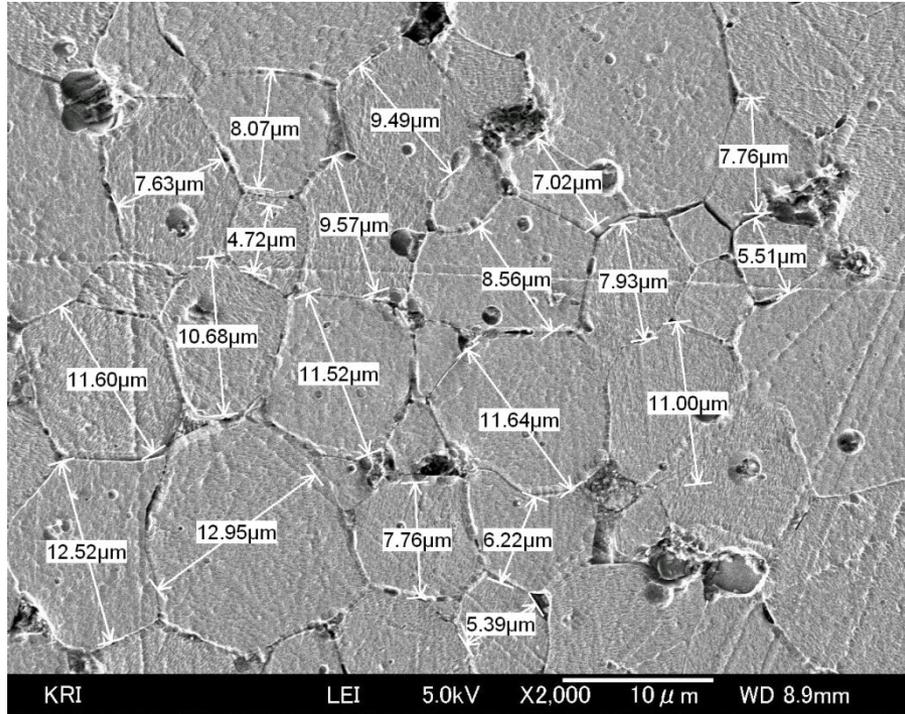
日系磁石A1



最大値 = 9.250
最小値 = 3.410
平均値 = 6.112
標準偏差 = 1.782
測定点数 = 20
単位 <μm>

FE-SEMによる粒子径観察

中国磁石1

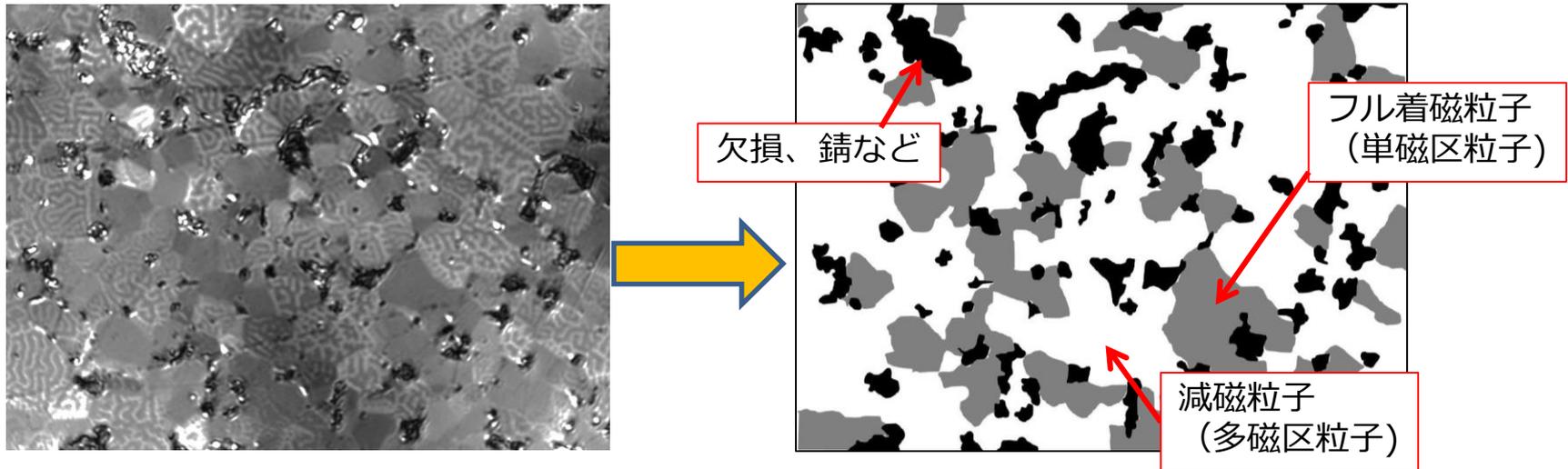


最大値 = 12.950
最小値 = 4.720
平均値 = 8.877
標準偏差 = 2.487
測定点数 = 20
単位 < μ m >

静岡理工科大 c 面磁区観察 (MOKE)

着磁粒子割合 (%) の測定
＜画像解析による着磁率定量化＞

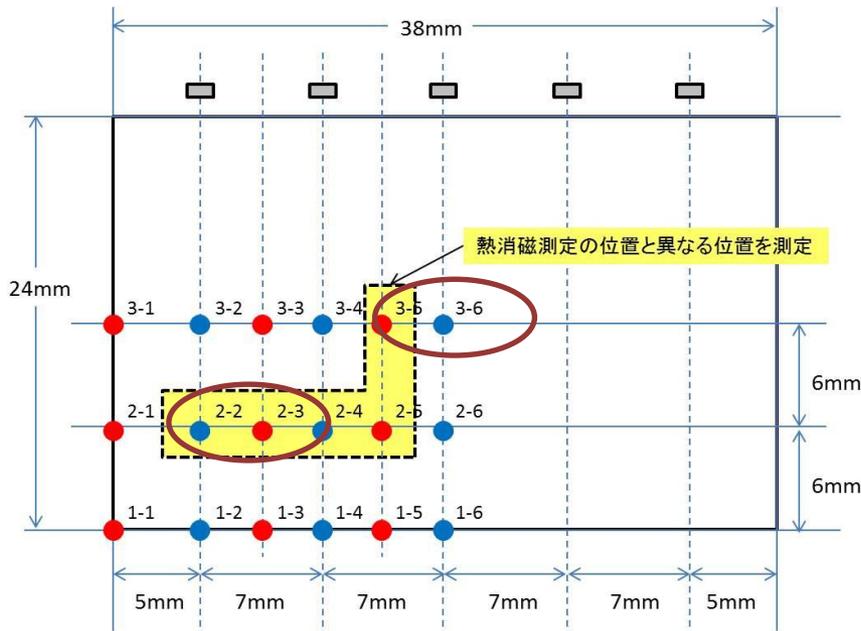
5 Teslaのパルス磁場でフル着磁後のMOKE画像



* 白黒の迷路磁区が見れる結晶粒が減磁した結晶粒

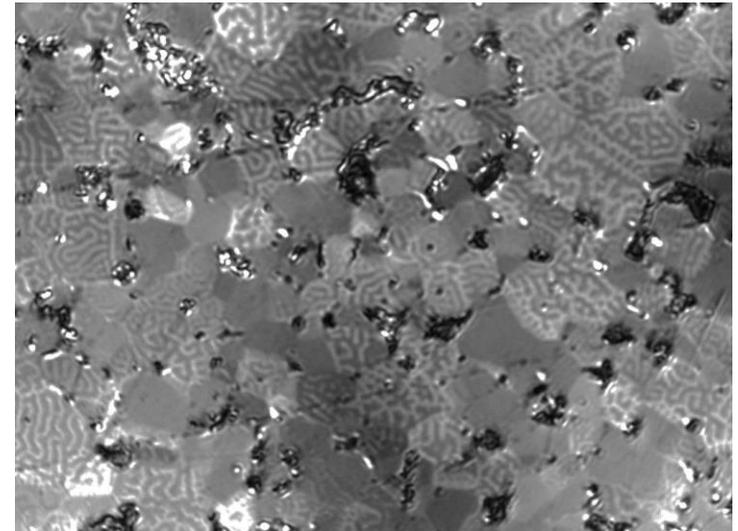
$$\text{着磁粒子割合(\%)} = \frac{\text{着磁領域の面積}}{(\text{着磁領域} + \text{未着磁領域}) \text{の面積}} \times 100$$

静岡理工科大学 c面フル着磁後の磁区観察 (MOKE)



フル着磁後_3-6

約74%減磁

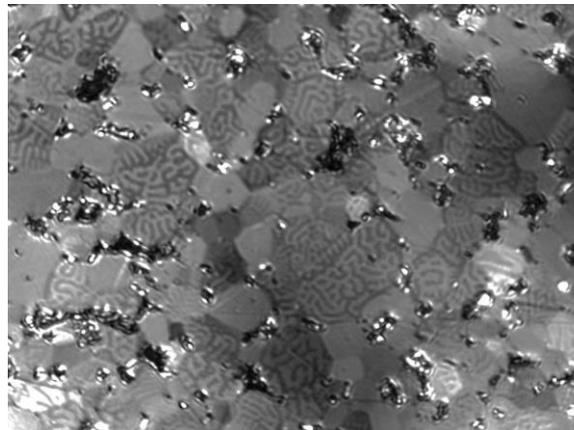
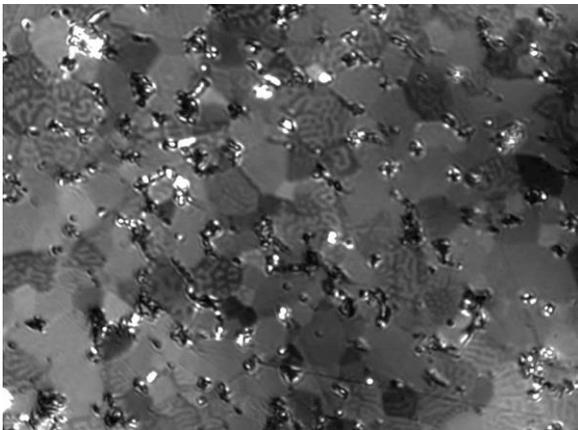


フル着磁後_2-2

約62%減磁

フル着磁後_2-3

約67%減磁

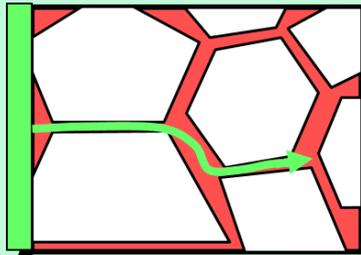


パルス着磁; 5Tesla
ところが。。。

**非常に大きなC面減磁
が発生している!!**

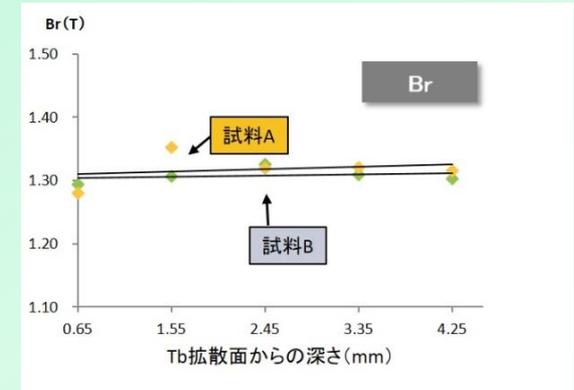
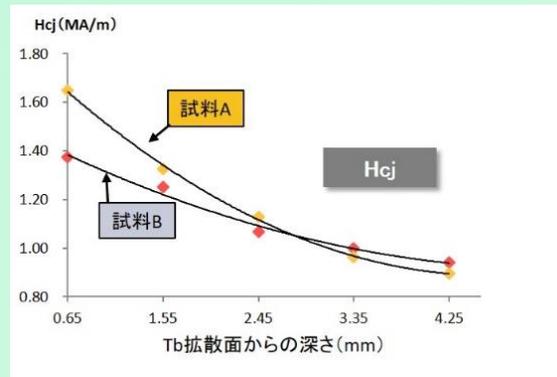
<解説>

拡散磁石(粒界拡散磁石とも言う)とは通常の焼結Nd磁石の表面にDy(ディスプロシウム)やTb(テルビウム)を含む合金、フッ化物、酸化物などを塗布し拡散熱処理することにより表面の保磁力を上げるという工程を加えた高性能Nd磁石。



拡散させるDyやTb含有化合物
 1.メタル:スパッタリング、蒸着
 2.フッ化物: DyF_3 , TbF_3
 3.酸化物: Dy_2O_3 , Tb_4O_7

保磁力を向上させるため
 主相の表面の逆磁区の発生を抑制。
 主相表面のみにTb,Dyを局在。
 この構造をコアシェル構造と言う。



1.3mm切り出し磁石微小試験片による拡散磁石のKRI測定例

磁石表面の保磁力Hcjが大で、内部にいくにつれて減少。一方残留磁束密度Brは変わらず(但し拡散処理条件によってBr低下)

供試料と測定磁場Bg (T)の方向

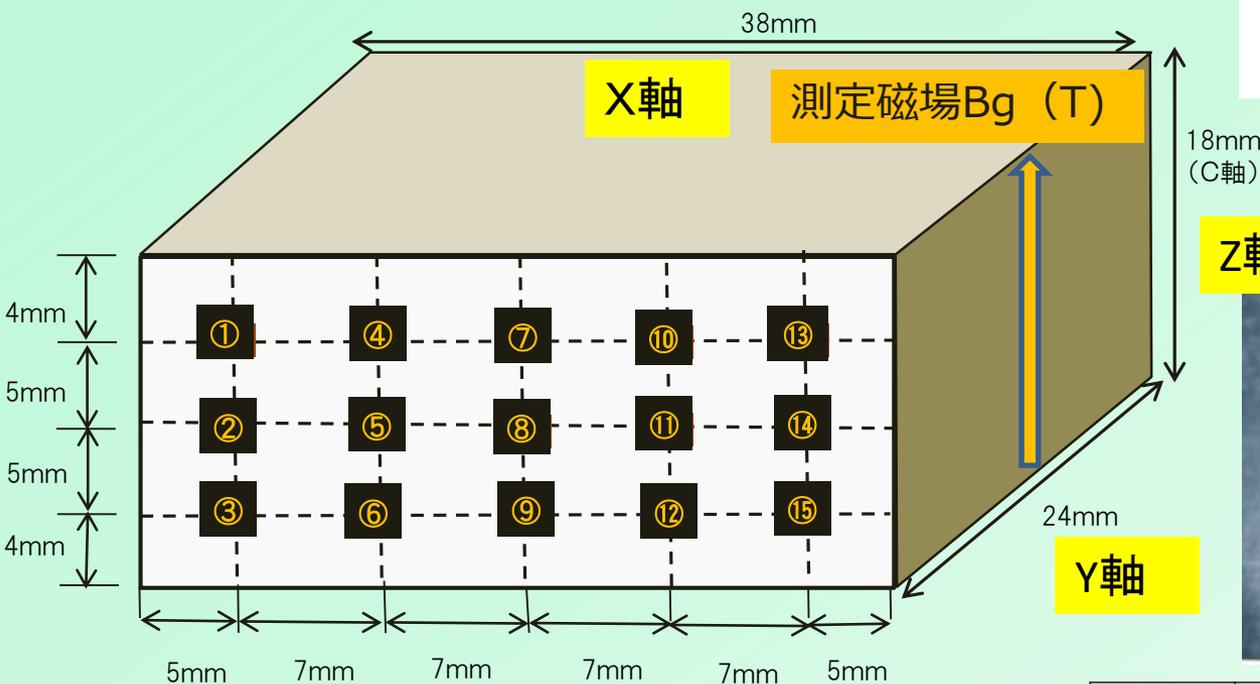
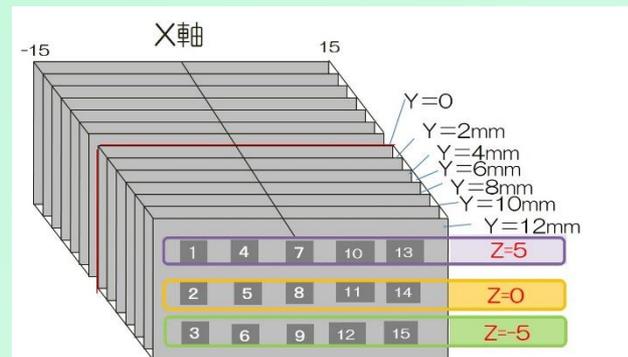
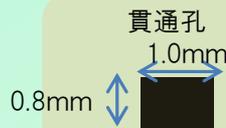
<磁石加工仕様-LC>

仕様;N-40 24×38×18(磁場方向18)mm

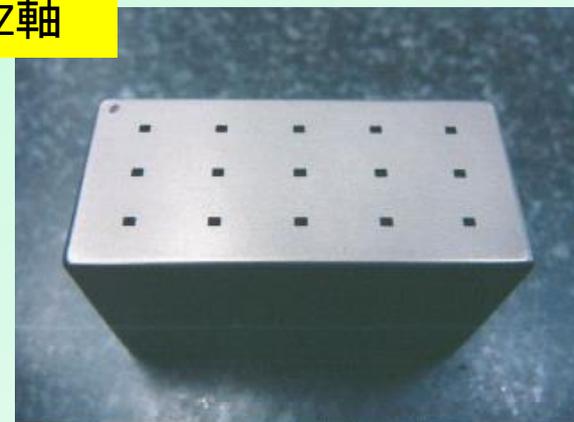
貫通孔 数の黄色の孔15か所

孔公差 ⇒ 一般公差

孔テーパ ⇒ 実績仕様



<出来上がり写真>



次ページ; Y = 0 断面の2次元(x-Z面)磁場分布

熱減磁; 前、60°C、100°C、140°C

供試料; 通常ネオジ、**片面拡散磁石**

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

<予備知識> 立方体の反磁界 H_d の3次元分布（1/8部分）

立方体（直方体）の磁石はc面中央部が最も反磁界 H_d が大きい。また深さ方向（c軸平行方向）では反磁界 N_d は徐々に低下する。

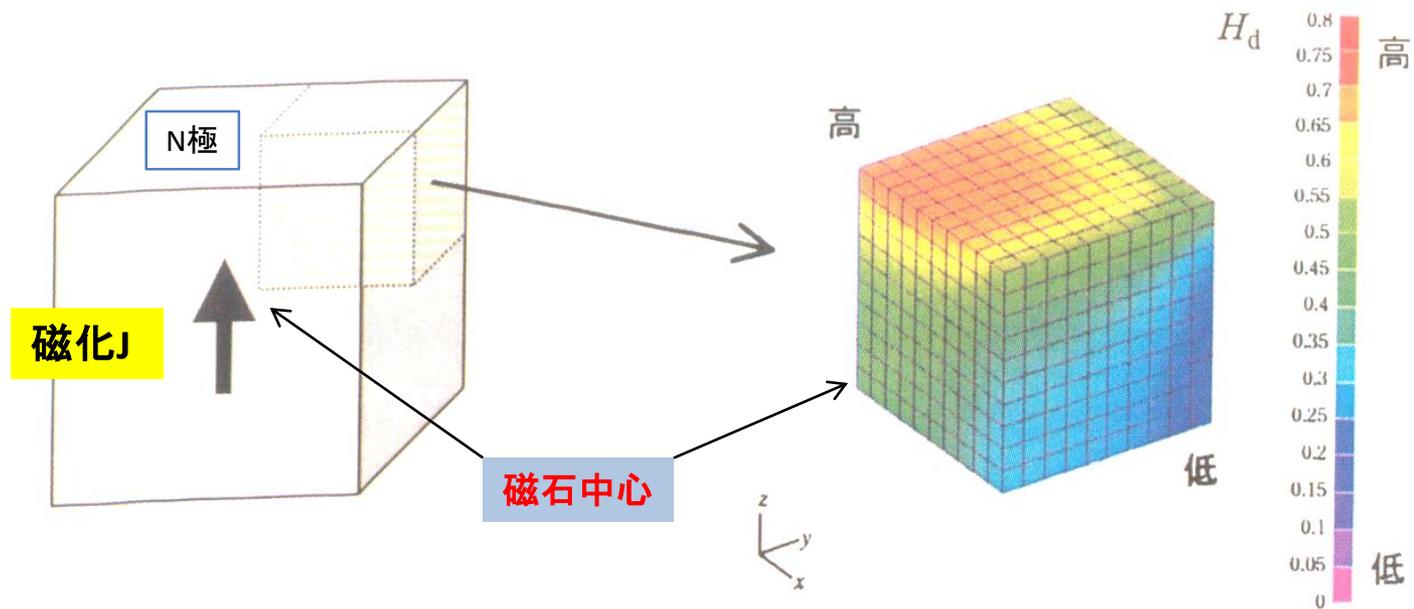


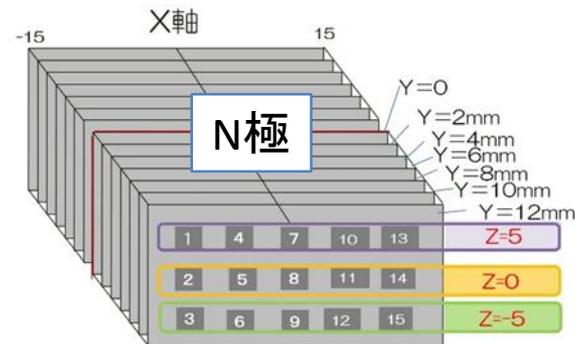
図 11.4 立方体磁石（左図）の反磁場 H_d の分布（右図，対象性より 1/8 部分を解析）

永久磁石、佐川真人他、p.352（2007）

< 今回報告 >

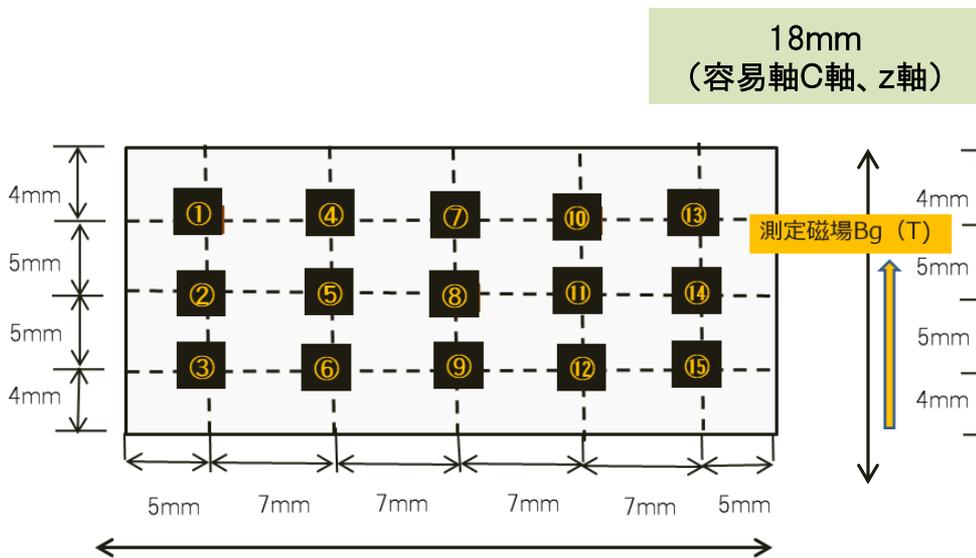
通常ネオジ ↔ 拡散ネオジの熱減磁分布の違い

磁場分布測定供試料断面図 (Y=0)

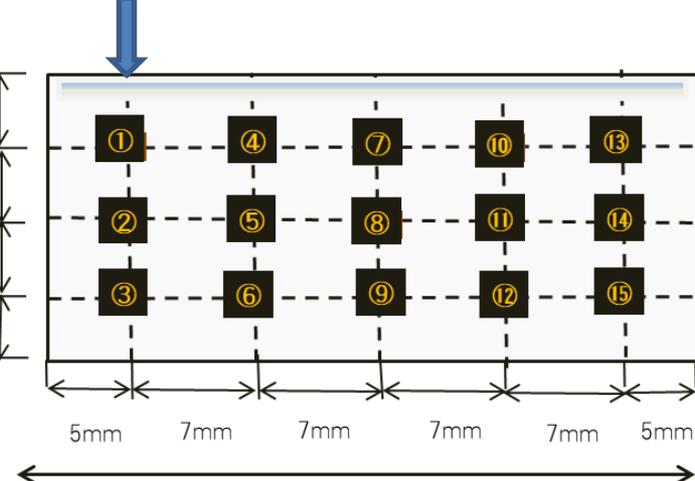


通常ネオジ焼結磁石 *

Tb拡散ネオジ焼結磁石



Tb拡散処理 (片面のみ)



* 報告済

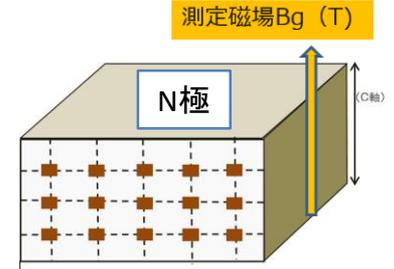
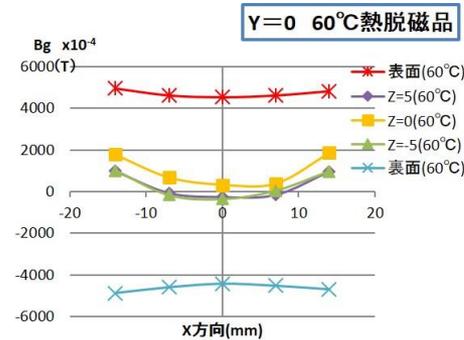
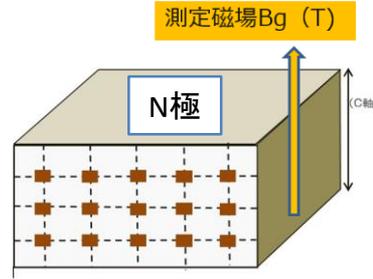
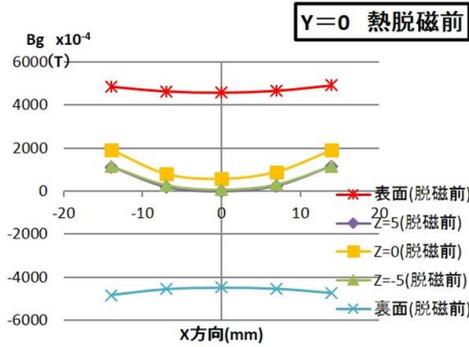
2018年電気学会産業応用部門大会

R3-16、3-71 (横浜国大) 2018.8.30

<復習> 通常ネオジムの熱減磁分布

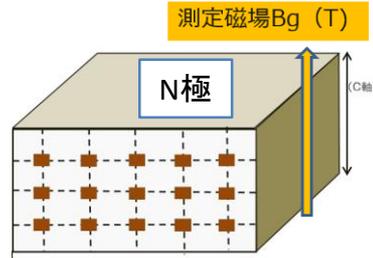
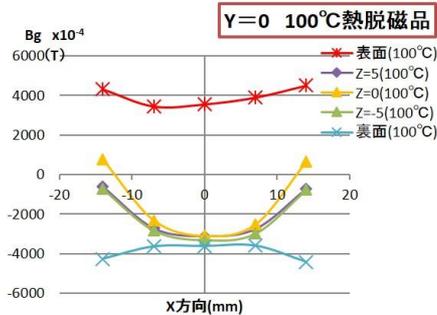
通常ネオジム磁石データ

* 報告済
2018年電気学会産業応用部門大会
R3-16、3-71 (横浜国大) 2018.8.30

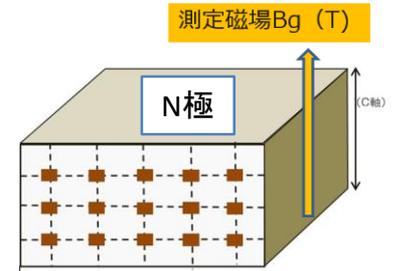
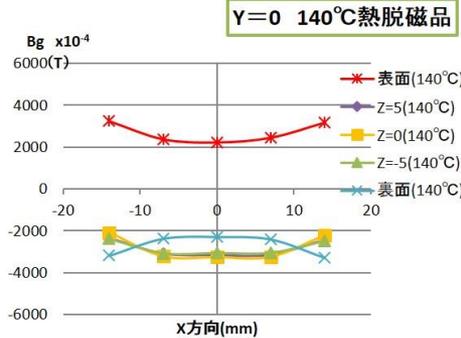


減磁は無し。ただし磁区観察(MOKE)では磁石表面は非常に大きな減磁

内部で減磁が始まる。一方表面磁束分布はほとんど変化無し。既に熱脱磁前で磁石表面は減磁しており、それ以上の減磁は進行しづらい？



内部が大幅に減磁した。表面磁場に比べて内部で非常に大きな減磁が発生した理由は不明??



注: 裏面磁場Bg (青色)は便宜的にマイナスで表記
実際はBはプラス(上向きの磁場)

内部孔近傍はほぼ消磁状態と推測。
内部磁場は表面の残留磁化分布に依存

X軸方向 表面+內部磁場：脱磁前,60,100,140°C熱脱磁品

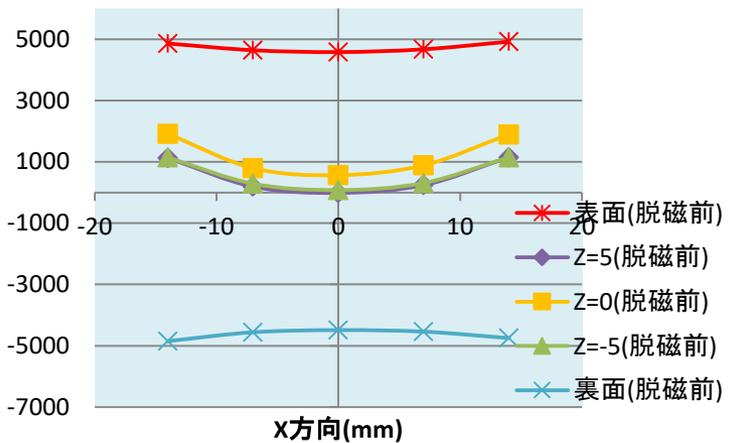
①通常Nd

②拡散Nd

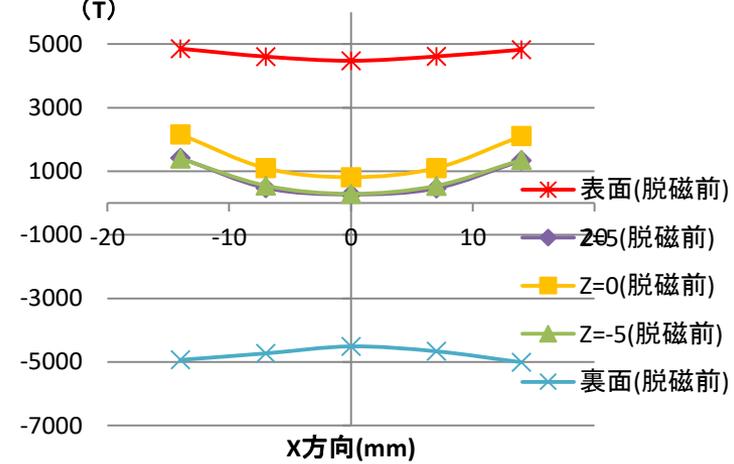
Y=0

測定磁場Bg (T)

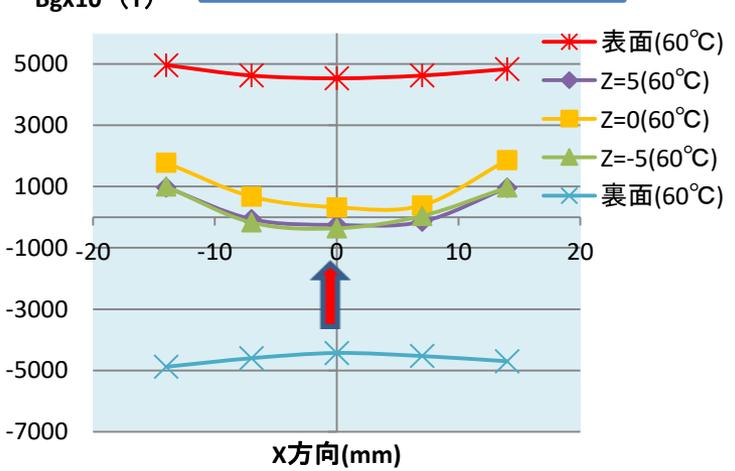
①通常Nd 熱脱磁前



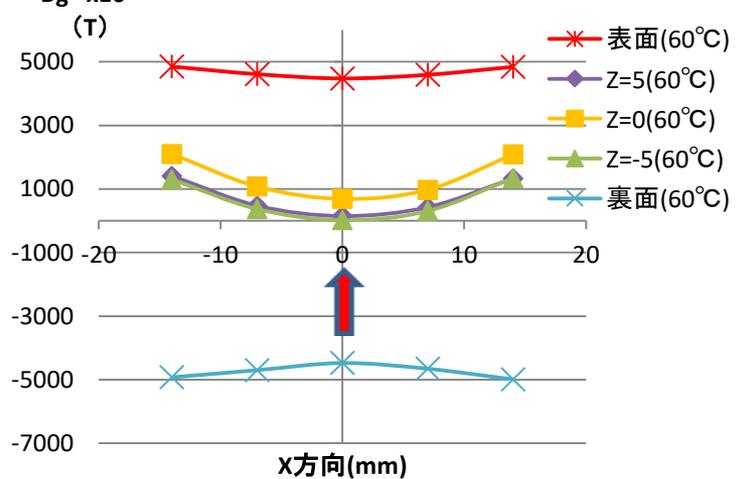
②拡散磁石 熱脱磁前



①通常Nd 60°C熱脱磁



②拡散磁石 60°C熱脱磁



X軸方向 表面+内部磁場：脱磁前,60,100,140℃熱脱磁品

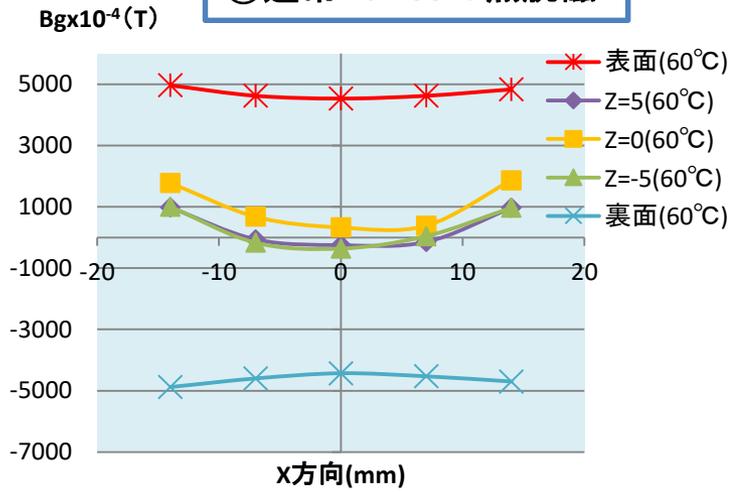
①通常Nd

②拡散Nd

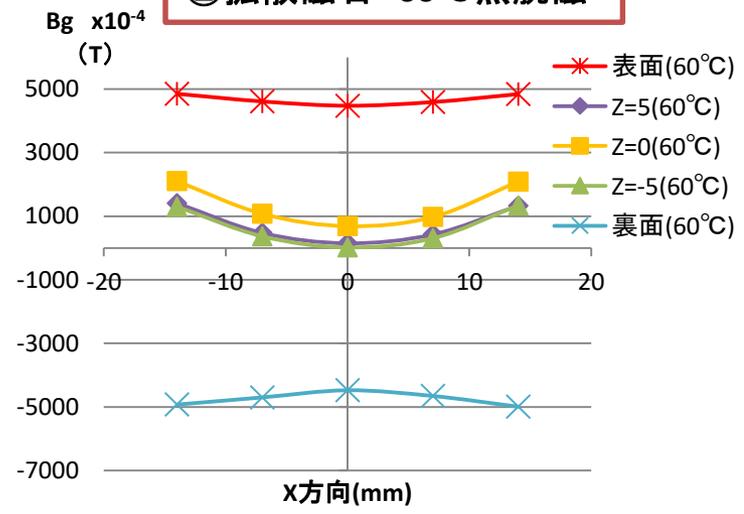
Y=0

測定磁場Bg (T)

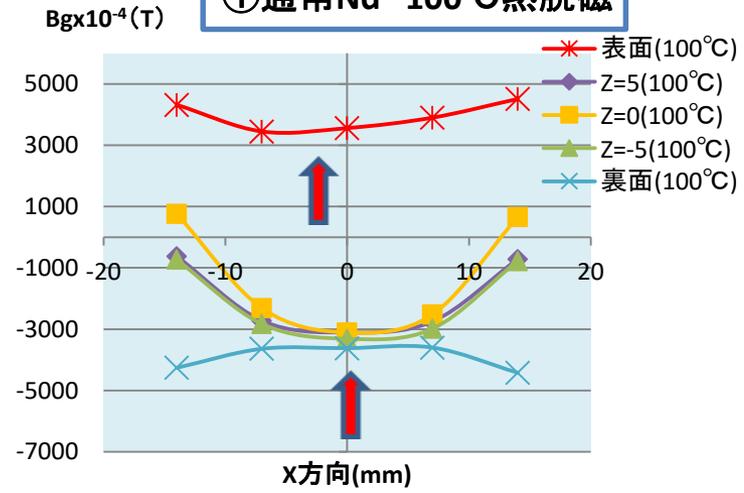
①通常Nd 60℃熱脱磁



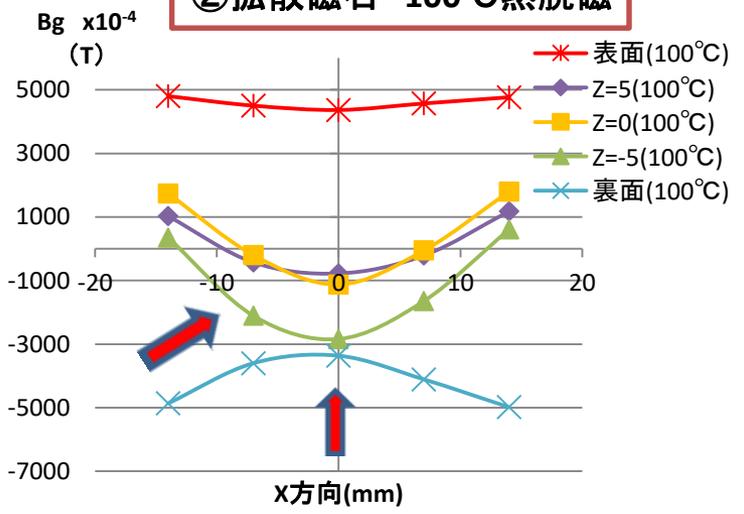
②拡散磁石 60℃熱脱磁



①通常Nd 100℃熱脱磁



②拡散磁石 100℃熱脱磁



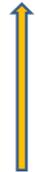
通常Ndは表面減磁大、拡散磁石の拡散面は小。内部磁場激減(孔部減磁?)

X軸方向 表面+内部磁場：脱磁前,60,100,140℃熱脱磁品

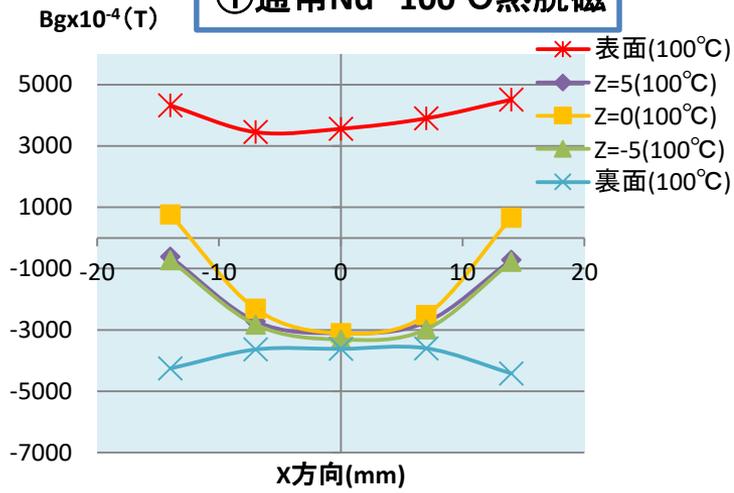
①通常Nd ②拡散Nd

Y=0

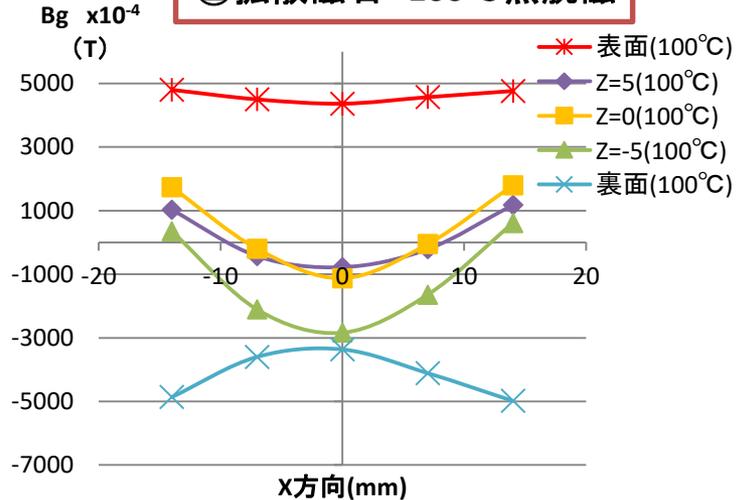
測定磁場Bg (T)



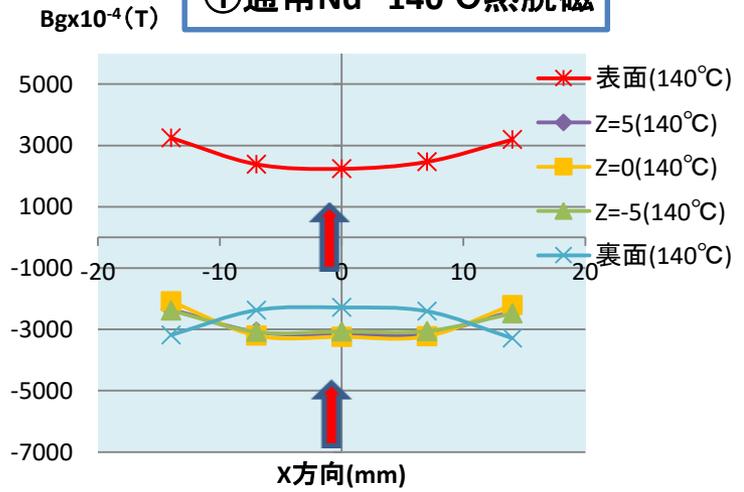
①通常Nd 100℃熱脱磁



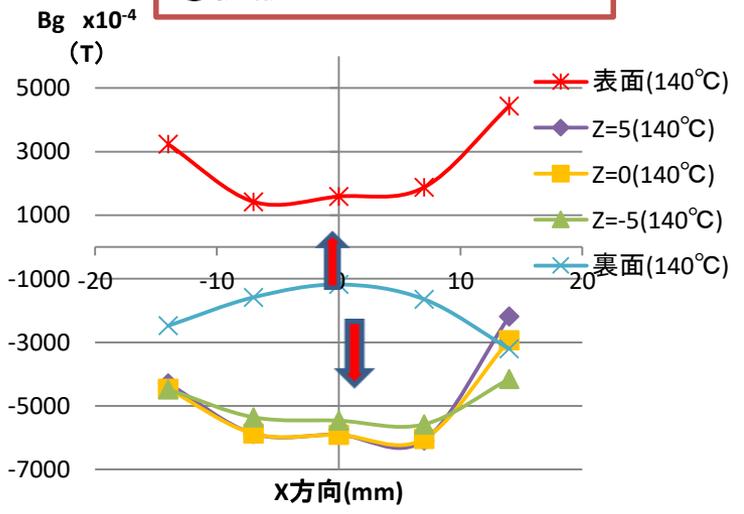
②拡散磁石 100℃熱脱磁



①通常Nd 140℃熱脱磁

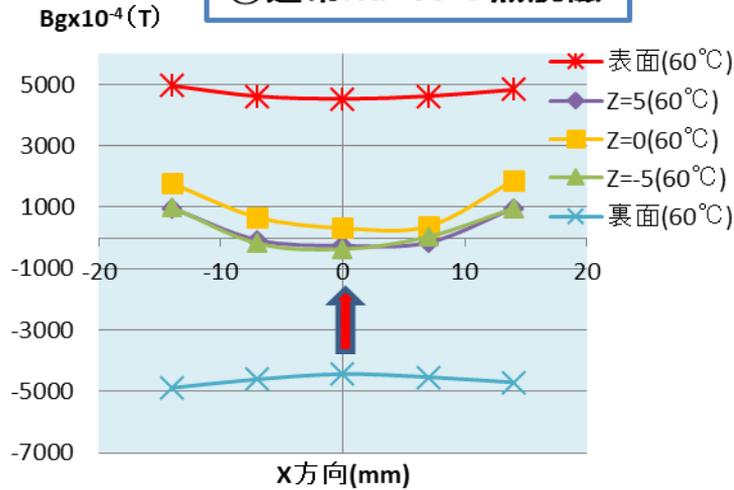


②拡散磁石 140℃熱脱磁

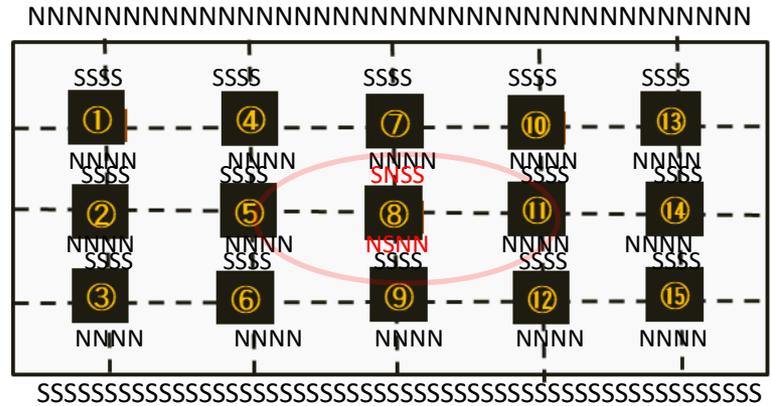
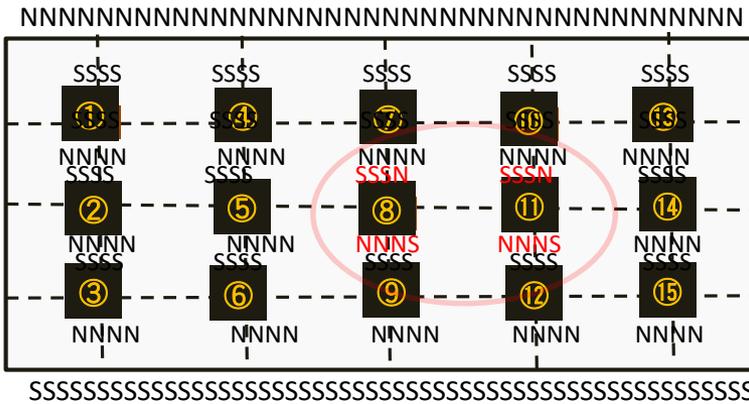
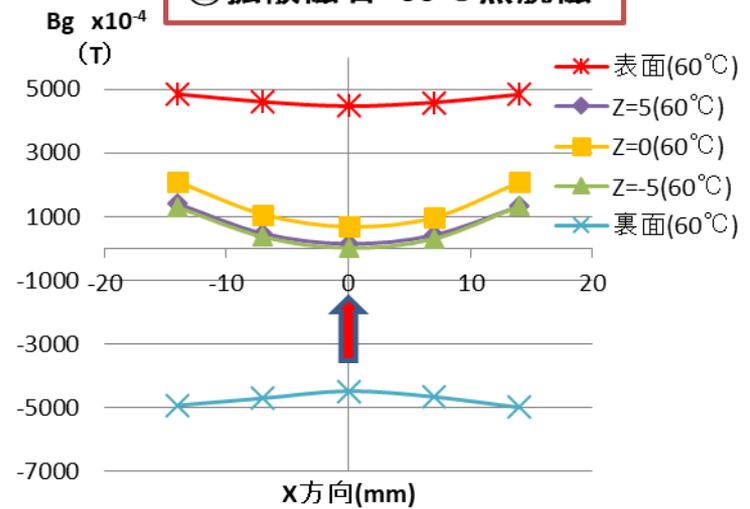


通常Nd、拡散磁石共に表面減磁拡大。内部磁場の孔依存性が無くなりほぼ消磁状態？

①通常Nd 60°C熱脱磁

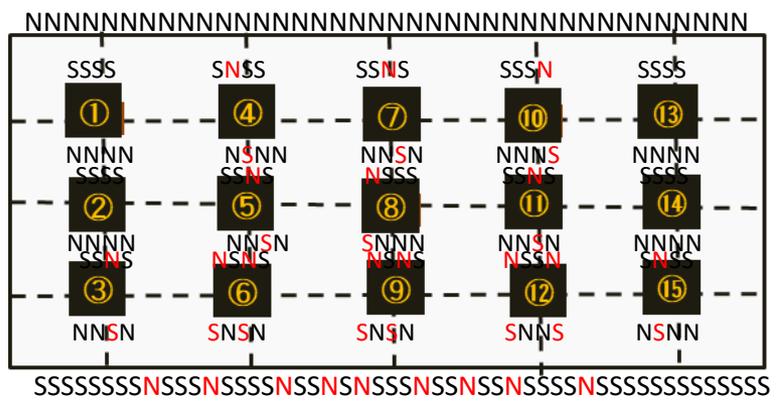
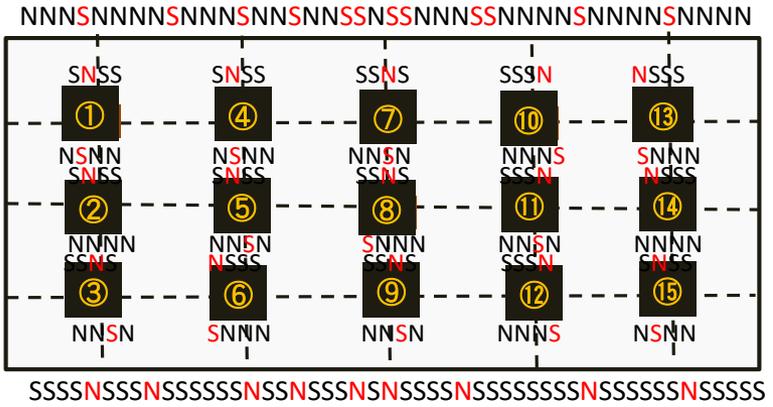
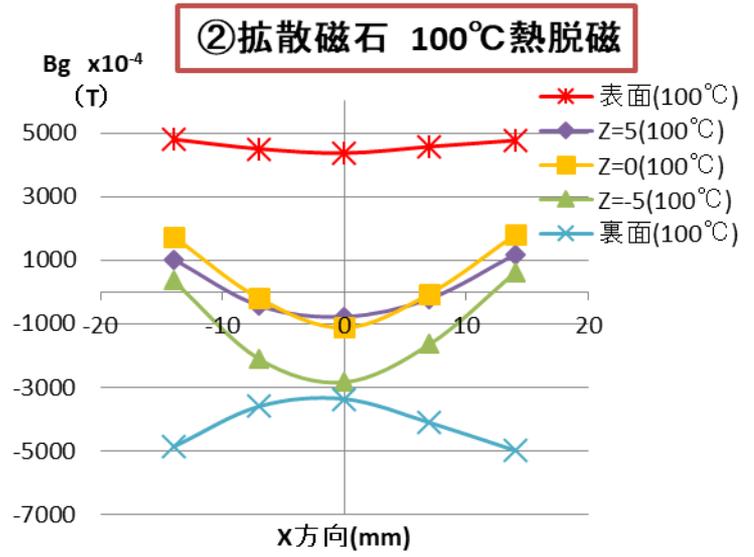
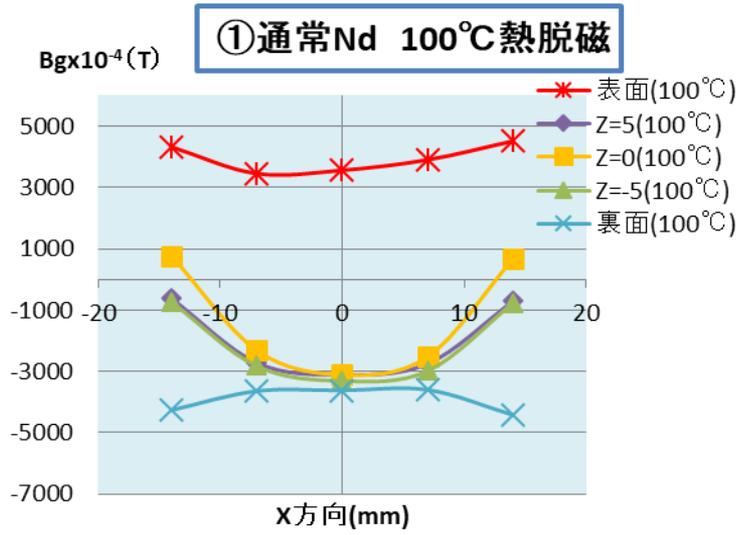


②拡散磁石 60°C熱脱磁



60°C熱脱磁後では

通常Ndと拡散Ndでは磁石表面ではほとんど熱減磁は起こっていない。
 ただし 磁石内部の磁極に近い孔中央部(z=5, -5)で非常に小さい減磁が
 観察された。 内部で減磁が先行するのは、表面研磨と孔加工(強加工)の
 違いによる加工劣化の違い?もしくは反磁場の違いと推察する。



100°C熱脱磁後では

通常Ndで磁石表面の熱減磁が始まる。特に**中央部の減磁**が大(反磁場大のためか?)
 一方拡散Ndの**拡散面は減磁無し**、**裏面は減磁**が進行し、特に磁石中央部の減磁が大。
 通常Ndで磁石内部で非常に大きい熱減磁が発生。一方拡散Ndは上部孔列(z=5),
 中央孔列(z=0) の**減磁はわずか**で、下部孔列(z=-5) の**減磁が大きい**。

考察と結論

熱脱磁前(5Teslaパルス着磁)

- ・ 通常Ndと拡散Ndの表面磁場、内部磁場の分布はほぼ同じ分布である。

60°C熱脱磁後では

- ・ 通常Ndと拡散Ndでは磁石表面ではほとんど熱減磁は起こっていない。
- ・ ただし 磁石内部の磁極に近い孔中央部($z=5, -5$)で非常に小さい減磁が観察された。 内部で減磁が先行するのは、表面研磨と孔加工(強加工)の違いによる加工劣化の違いあるいは反磁場の違いと推察する。

100°C熱脱磁後では

- ・ 通常Ndで磁石表面の熱減磁が始まる。 特に中央部の減磁が大(P_c 小のためか?) 一方拡散Ndの拡散面は減磁無し、裏面は減磁が進行し、特に磁石中央部の減磁が大。
- ・ 通常Ndで磁石内部で非常に大きい熱減磁が発生。 一方拡散Ndは上部孔列($z=5$), 中央孔列($z=0$) の減磁はわずかで、下部孔列($z=-5$) の減磁が大きい。

140°C熱脱磁後では

- ・ いずれも磁石表面の熱減磁がさらに進行。 ただし拡散Ndの磁場分布は中央が激減。
- ・ 磁石内部磁場も大きく減少。 内部磁場の符号は全て負に逆転。 孔部はほぼ消磁?
- ・ 磁石表面と内部磁場の磁束分布と“類似した”磁場分布形状。 理由? 孔部分の磁界は減磁しゼロで、表面磁場のみとなったためか?



フェロ&ピコシステム研究部

 お問い合わせ

お問合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。
お気軽にお問合せください。