



JFEテクノロジーの永久磁石評価 ワンストップソリューションサービス

種々の磁気特性と微細組織構造を関連づけることで、お客様の課題解決をお手伝いいたします。

永久磁石評価の概要

近年、自動車用駆動モータをはじめとして、ネオジム磁石などの希土類磁石が広く使用されています。磁気特性は、結晶相組成、結晶方位配向度、結晶粒径、粒界の元素の偏析状態といった微細構造因子の影響を受けることが知られています。当社は、永久磁石の種々の磁気特性の測定と、それらに影響を与える微細構造の解析をワンストップで総合的に行う、ソリューションサービスを提供いたします。

磁気測定評価試験例

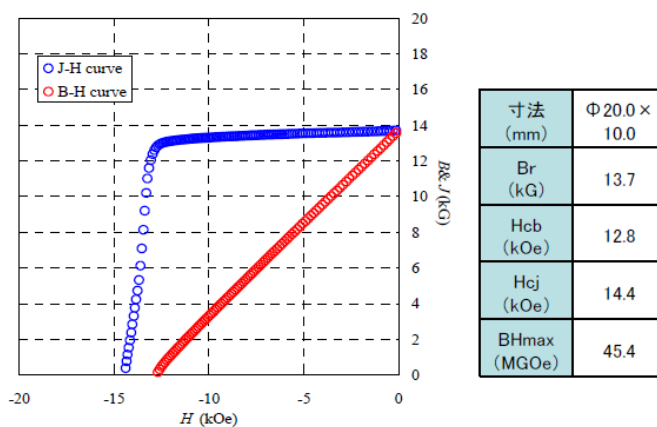
● 磁石単体の基本的な磁気特性を評価いたします。(直流磁気特性および減磁曲線)

・ 直流BHTレーサー

JIS C 2501永久磁石試験法に準拠して、円柱または角柱状の試料と電磁石型磁化器で閉磁路を構成し、J(B)コイルによって磁気分極Jで表すJ-H減磁曲線や磁束密度Bで表すB-H減磁曲線、履歴曲線を測定します。(右図)

・ 超電導VSM

磁性体を一定の周波数、振幅で振動させ、電磁石側に取り付けたサーチコイルの出力を検出します。高感度なので、弱い磁性体でも測定できます。バルク形状の試料他、粉体や薄膜試料にも対応できます。超電導コイルで、5Tまでの高磁場での測定及び900°Cまでの高温測定が可能です。



ネオジム磁石の減磁特性測定例

● 磁化に伴う磁石によるエネルギー損失を測定いたします。(磁石損失)

・ 渦電流損失測定

交流磁石損失から、直流磁石損失(ヒステリシス損)を差し引くことで、高周波用途で特に重要となる渦電流損失値を測定いたします。

・ 高温損失測定

モータ内に埋め込んで使用する場合、高温下での損失を考慮して設計する必要があります。200°Cまでの高温下で磁石損失を測定いたします。

● 磁石の作る磁場の大きさを測定いたします。(磁束密度)

・ ガウスメータ

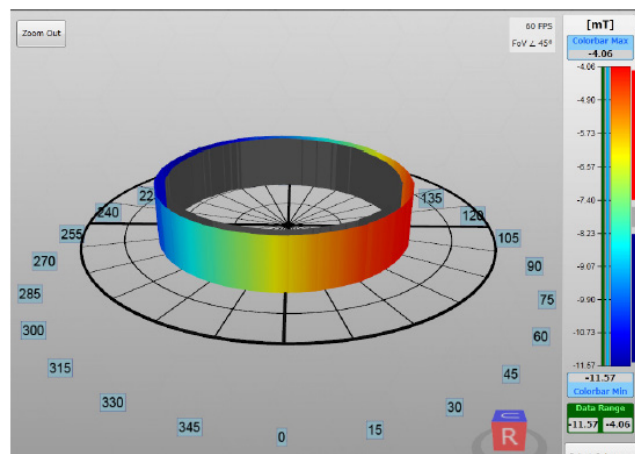
任意の空間1点の磁場の大きさを測定します。

・ フラックスメータ

磁石全体の総磁束密度を測定します。

・ 3軸ホールセンサ

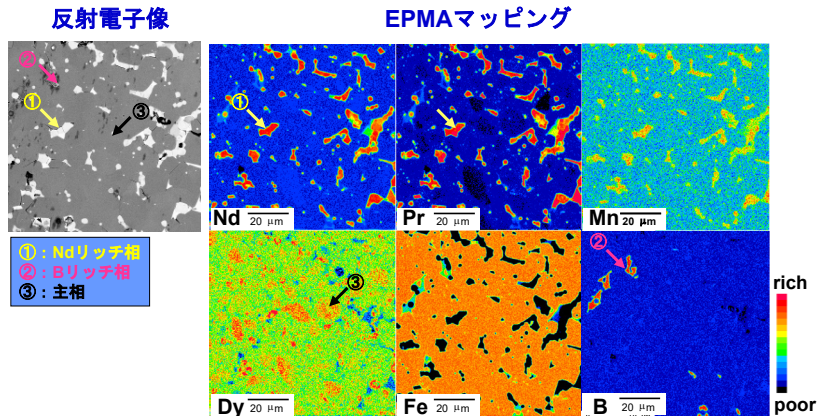
磁石単体や磁石埋込型コアの表面磁束密度を測定する3軸ホールセンサを用いて、局所毎の三次元方向の磁束密度を測定できます。(右図)レーザー距離計と精密なロボット制御により、従来困難であった特殊な形状をした磁石やロータコアの表面形状に沿った測定が可能です。



磁石の表面磁束密度測定例

● 結晶相の同定
(極低加速電圧SEM+FE-EPMA)

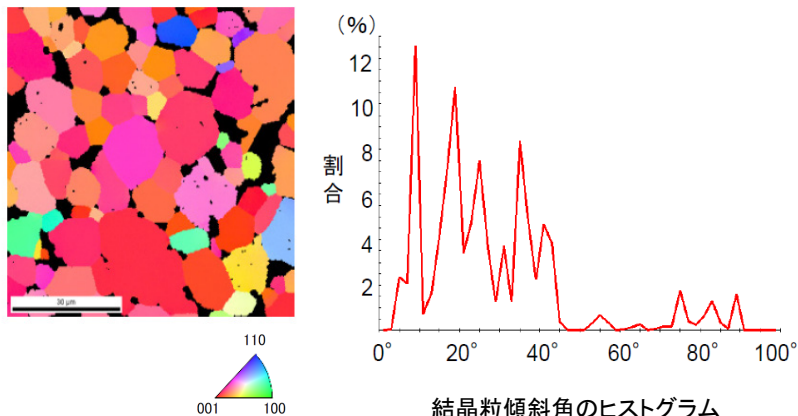
希土類磁石は、構成する元素の種類と構成比、結晶構造の情報から結晶相を同定することが解析の基本となります。この目的では、極低加速電圧SEMによる微細組織観察と、FE-EPMAによる元素分析を併用します。極低加速電圧SEMでは、反射電子像により組成に依存したSEM像を得ることができます。FE-EPMAマッピングでは、100nmの分解能で主要構成元素の分布を知ることができます。右に示した測定例では、①: Ndリッチ相、②: Bリッチ相、③: 主相に分類でき、Ndリッチ相において、Prが濃化していることがわかります。



ネオジム磁石の極低加速電圧SEM+FE-EPMA測定例

● 結晶粒径、結晶粒方位集積度の測定
(EBSD)

希土類磁石は、結晶粒径は微細化するほど、磁化容易軸であるc軸に結晶方向を揃えるほど保磁力が高まることが知られています。結晶粒径と結晶方位集積度の解析には、EBSDを用います。右の測定例では主相 ($Nd_2Fe_{14}B$) は、約 $10\mu m$ の結晶粒により構成されており、その多くはc軸<001>が測定面とほぼ垂直に配向していることがわかります。



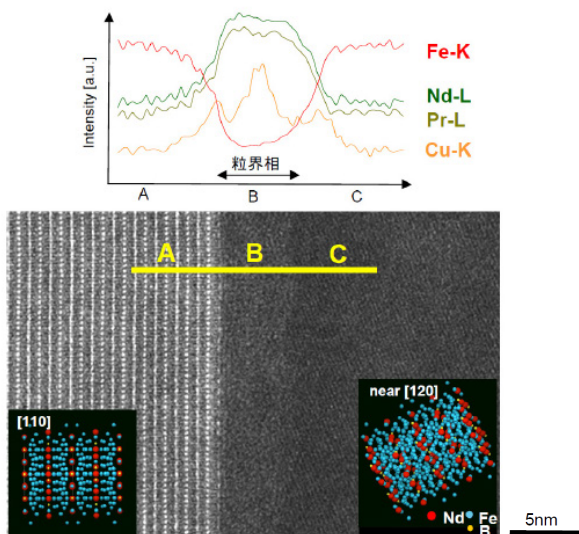
$Nd_2Fe_{14}B$ 結晶粒方位分布

結晶粒傾斜角のヒストグラム
(法線からの角度)

ネオジム磁石のEBSD測定例

● 粒界における元素濃度調査
(収差補正STEM+EDX)

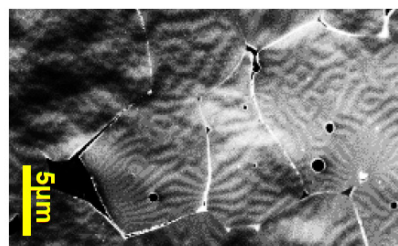
保磁力増大のため、粒界拡散処理により結晶粒界を主相とは磁氣的に異なる相として、磁壁の移動を妨げる方法があります。粒界構造の実態把握には、収差補正STEMとEDXを用いた微細構造解析が有効です。右に主相の結晶粒界を収差補正走査透過電子顕微鏡 (Cs-STEM) で観察しHAADF(High Angle Annular Dark Field) 像および黄線に沿ったEDX線分析結果とA~C位置の結晶構造モデルを示します。結晶粒Aの白点はNd原子で、(110)方向からの構造モデルと一致しました。粒界には、約5nm厚の非晶質と微結晶からなるNdリッチ相(B)が生成しており、Pr、Cuの濃化も認められます。



ネオジム磁石のHAADF-STEM像と粒界を挟んだEDX線分析結果

● 磁区観察(極低加速電圧SEM)

磁区構造変化を観察することで、保磁力や磁化過程に関する知見を得ることはとても重要です。低加速電圧の入射電子を用い二次電子の検出条件を最適化することで、右図に示すように磁区コントラストを観察することができます。



ネオジム焼結磁石から得られた磁区像