

# APPLICATION NOTES



## 保磁力の高感度測定を研究開発に活用

産業分野:	大学・研究機関・企業の研究所
素材/部品タイプ:	軟磁性材料・金属結晶
測定パラメータ:	保磁力
業界標準:	IEC 60404-7
FOERSTER 装置:	KOERZIMAT 1.097 Hcj

2019年1月に37年ぶりに改訂されたIEC60404-7では開磁路における保磁力の正確な測定方法が新たに規定され、フェルスターのKOERZIMAT Hcjはこれに準拠している事が確認された。非破壊で手間とコストをかけずに手軽に保磁力を1 A/m (0.012 Oe) 以下の感度まで測定出来る装置は他に無い。研究開発分野で保磁力に着目した先端材料や高機能材料の基礎研究や製品開発への利用や分析・評価効率アップが期待される。

またmax Φ 40 mm x 130 mmの測定空間に入る試料は複雑な形状でも正確に測定出来るメリットから、半製品や最終製品段階での保磁力測定による分別も可能なため、生産管理や品質管理に向けての問題点のクリアを研究室から工場へのスケールアップまでシームレスに貢献できる測定装置となっている。

### 1. 超低損失軟磁性材料の開発に保磁力の高感度測定を活用

軟磁性材料の開発には保磁力測定は不可欠であるが特にパーマロイ・アモルファス・ナノ結晶などの高性能軟磁性材料の開発においては、保磁力が数 A/m から 0.2 A/m 程度しかない材料と同等以上の性能を目指した開発も行われる。日本で広く普及している VSM (振動試料型磁力計) は、コイルがシールドされていないことからノイズが大きく、必要とされる保磁力測定感度がなるとともに試料サイズに制約 (10 mm<sup>3</sup> 程度) がある。このことから、2019年1月の改訂時に IEC60404-7 では VSM は正確な保磁力測定装置から外されている。他方 SQUID のような超電導を利用した特殊な装置はコストが高く、こちらも VSM と同じ試料サイズの制限があり限定的な基礎研究用途以外では実用的でない。

これに対し KOERZIMAT Hcj では、面倒な試料の事前準備が不要かつ短時間で極めて正確に保磁力を測定することが可能である。磁気ヒステリシスなど、広範囲な磁気特性の測定は VSM や SQUID で行うしかないが、ある程度の試料数の測定が必要な研究においては、ヒステリシスの相似性に着目し、正確に測定したヒステリシスの内外挿により全体の磁気特性を評価する事で、測定効率を飛躍的に向上させる事ができる。

その点、保磁力測定に特化した KOERZIMAT Hcj は、試料の数が多いほど相性が良い。VSM の保磁力測定感度を補う補助装置としての役割に加え、試料が多数に及ぶ研究や受託試験会社において、測定時間の長い VSM でヒステリシスを測定する試料を厳選するために保磁力で事前に選別するなど、測定効率を上げる補助装置としても活用が期待される。更に軟磁性材料の開発時の材料評価等で飽和磁化も測定する場合には姉妹機の KOERZIMAT MS が対応している。

鉄系軟磁性材料におけるヒステリシス損の応力依存性の研究では引張・圧縮ともに保磁力との相関があり圧縮領域で特に顕著との報告もあり、ここでも高感度測定が威力を発揮する。

### 2. 保磁力により転位密度を測定し X 線回折の代替手段に

転位密度の測定は材料強度や内部応力の解析に役立つ。正確な転位密度は電子顕微鏡で観察が必要だが X 線回折のプロファイルは転位などの格子欠陥の影響を受けるため、結晶材料評価の方法の一つとして X 線回折装置で転位密度の測定が行われている。しかしながら薄くスライスした試料を測定する以上、これは破壊検査であり生産管理や品質管理目的には適していない。

一般に、金属材料のせん断応力は転位密度の平方根に比例する。Fe や Ni などの強磁性金属は磁壁移動と磁化回転によって磁化され、転位はその周囲の応力場によって磁壁をピン止めする。そのため、転位密度が増加すると保磁力が増加し、壁移動の際に受ける最大の力は転位密度の平方根に比例する。ゆえに、せん断応力は保磁力に比例し、保磁力測定結果の大小によって材料強度の判断が可能になる。

せん断力と引張強度にも相関があり、また硬さ (ビッカース、ロックウェル) に関しても同様の相関が確認された研究成果があるため、保磁力の高感度測定により非破壊で様々な内部応力の評価が可能になる。また、粉体冶金で製造される圧粉磁心の硬さと保磁力にも一定の相関が見られるなど、様々な製品分野で、X 線回折装置に代わる内部応力の評価手法としての活用が期待される。

保磁力の高感度測定により微小な変化で内部応力の変化を推定する事が出来れば、基礎研究段階はもとより、実用的な安全率を用いて試作段階での試行錯誤から生産管理や品質管理までが非破壊で出来るという大きなメリットを享受する事が可能となり、X 線回折法では実現できない高速の全品検査が可能となる。