

# 鋼板スリット部からの欠陥信号のモデル化

田中諒、笹山瑛由、圓福敬二  
(九州大学)

Modeling of defect signal from slit part of steel plate

R. Tanaka, T. Sasayama, K. Enpuku  
(Kyushu University)

## はじめに

鋼材は高い透磁率を持つため、表皮深さが非磁性の金属に比べて浅くなる。よって渦電流探傷法を用いた鋼材の内部のきずの検出には低周波を用いる必要がある。これまで、三次元有限要素法による電磁界シミュレーションによって、鋼材裏面のスリット状の亀裂を低周波渦電流探傷法によって検出できる可能性を示した。本研究では、さらに、同様の手法で亀裂の高さによる信号の変化を求めた。また、得られた結果を Cole-Davidson の式でフィッティングを行った。

## シミュレーション方法

Fig.1 に示すような 2 つの励磁コイルを鉄板の上側に平行に配置した場合の電磁界シミュレーションを行った。コイルと鉄板の距離  $Z$  (リフトオフ) は 5 mm であり、2 つのコイル中心間の距離は 95 mm とした。コイルの寸法は内径が 35 mm、外径が 45 mm、高さが 3 mm とし、巻数は 18 turn とした。励磁電流の振幅は 1 A、周波数  $f$  は 0~40 Hz とし解析をした。なお、電流の方向は 2 つのコイルでは逆向きとした。

検査対象物は板厚が 10 mm の鋼板(SM490A)を用いた。鋼板の裏面に、励磁方向と平行、および垂直方向に縦 20 mm、横 5 mm のスリット状の亀裂を設けた。亀裂の高さ  $d$  はそれぞれ 2、4、6、8、10 mm である。各  $d$  について、 $xy$  平面上( $Z=5$  mm)における亀裂によってのみ発生する  $z$  軸方向の磁束密度分布を求め、その空間分布における最大値  $\Delta B_z(f)$  を求めた。

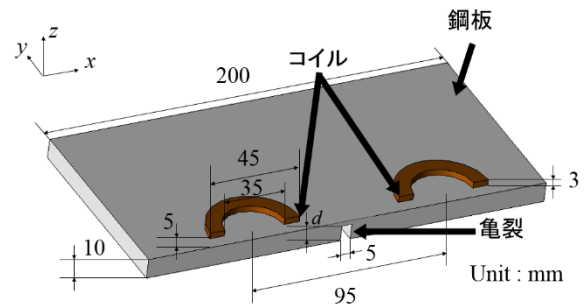


Fig.1 解析モデル (1/2 モデル)

## シミュレーション結果

Fig.2 に周波数  $f$  を 0 から 16 Hz まで変化させた場合の  $\Delta B_z(f)$  をそれぞれの亀裂高さ  $d$  について求めたグラフを示す。横軸に  $\Delta B_z(f)$  の実部、縦軸に  $\Delta B_z(f)$  の虚部を示す。グラフに示している数字は周波数を示す。亀裂高さによって周波数特性が違ってくる事が分かる。

また Fig.3 にそれぞれの亀裂の高さにおいて  $\Delta B_z(f)$  を  $\Delta B_z(0)$  で規格化したもの (○印) を、Cole-Davidson の式でフィッティングした結果 (×印) を示す。Fig.3 から分かるように、どの亀裂高さにおいても、14 Hz 以下ではおおよそフィッティングに成功した。

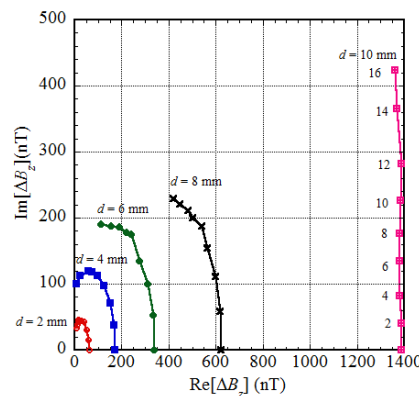


Fig.2 亀裂高さによる  $\Delta B_z$

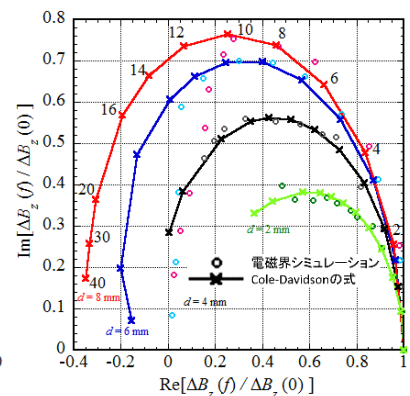


Fig.3 Cole-Davidson の式によるフィッティング

# バックライト一体型 MO イメージングプレートを用いた 円偏光変調法による大面積の磁場分布の定量測定法の開発

長久保洋介、佐々木教真\*、目黒栄\*\*、西川雅美、石橋隆幸  
(長岡技科大、\* (株) オフダイアゴナル、\*\*ネオアーク (株))

Development of quantitative measurement method for large area magnetic field distribution  
using MO imaging plate with backlight utilizing polarization modulation method

Y. Nagakubo, M. Sasaki\*, S. Meguro\*\*, M. Nishikawa, T. Ishibashi  
(Nagaoka Univ. of Tech., \*OFFDIAGONAL Co., Ltd., \*\*Neoark Corp.)

我々は、大面積 (数十 cm~1 m) の磁場分布を短時間で測定可能な磁気光学(MO)イメージング技術の開発を行っている。これまでに、磁気光学特性の優れた大面積ガーネット膜の開発<sup>1)</sup>およびφ3 inchサイズの反射型イメージング装置の開発に成功している。さらに、イメージング領域の大面積化を可能とする、バックライト一体型 MO イメージングプレートを開発することにも成功した<sup>2)</sup>。しかし、これらの方法では磁場の値を光強度と磁場強度の関係から求めるため、光学系の位置や光源の強度が変わるとその都度校正値を取り直す必要があった。そこで本研究では、校正値を用いずに磁気光学効果を定量的に計測可能な円偏光変調法<sup>3)</sup>とバックライト一体型 MO イメージングプレートを組み合わせた MO イメージング技術を開発した。

Fig. 1 に開発した MO イメージング装置の概略図を示す。MO イメージングプレートは、EL シート (EL-A6-SET、ルミテクノ) の上に偏光板とガーネット膜を重ねた構造とし、計測部として、カメラにλ/4板と検光子を組み合わせた。MO イメージングプレートの裏側に置かれた測定対象物を作る磁場分布は、ガーネット膜に磁気的に転写される。そして、λ/4板の光学軸を -45°、0°、45° の角度として 3 枚の画像を計測した後、すべての画素における光強度から、次式によりファラデー回転角が得られる。

$$\theta_F = \frac{2I_0 - (I_{45} + I_{-45})}{2(I_{45} + I_{-45})} \quad (1)$$

ここで、 $I_{45}$ 、 $I_0$ 、 $I_{-45}$  は、λ/4板の角度が-45°、0°、45°の時に測定された画像の光強度である。磁場の値はガーネット膜のファラデー回転角と磁場の関係から求められる。

Fig.1 に、フェライト磁石について測定した磁場分布像を示す。フェライト磁石の磁場分布が明瞭に観察されているのがわかる。得られた磁場の値は、ガウスメーターで測定した値と一致したことから、校正値を用いずに定量的な磁場分布計測が可能であることが確認できた。

本研究の一部は、名大未来材料・システム研究所との共同研究及び文科省「ナノテクノロジープラットフォーム」の支援を受けて行われた。

## 参考文献

- 1) T. Ishibashi, et al., *Sensors and Materials*, **27**, 965 (2015).
- 2) 長久保洋介 他, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 16a-423-9.
- 3) T. Ishibashi, et al., *J. Appl. Phys.* **100**, 093903 (2006).

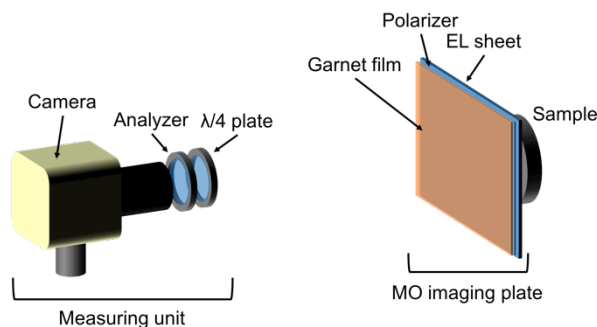


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental setup.

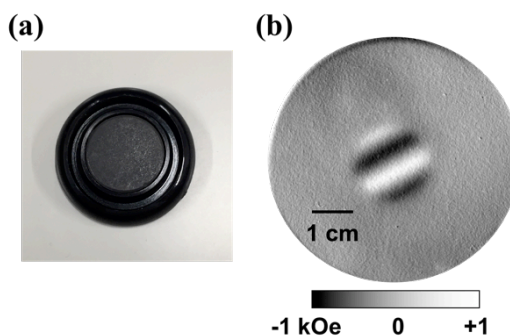


Fig. 2 (a) Digital photograph and (b) MO image of a ferrite magnet.

## J-PARC MLF における偏極パルス中性子イメージング技術の開発

廣井孝介、篠原武尚、林田洋寿\*、Joseph Don Parker\*、蘇玉華、及川健一、甲斐哲也、鬼柳善明\*\*  
 (日本原子力研究開発機構 J-PARC センター、\*総合科学研究機構、\*\*名古屋大学)

Development of Polarized Pulsed Neutron Imaging Technique at MLF J-PARC

K. Hiroi, T. Shinohara, H. Hayashida\*, J. D. Parker\*, Y. Su, K. Oikawa, T. Kai and Y. Kiyanagi\*\*  
 (J-PARC Center JAEA, \*CROSS, \*\*Nagoya University)

### はじめに

現在、我々は J-PARC センター 物質・生命科学実験施設 (MLF) において、偏極パルス中性子を用いた磁気イメージング手法の開発を行っている。本手法は、中性子ビーム経路内の磁場による中性子スピンのラーモア歳差回転に伴う中性子偏極度の変化を中性子 2 次元検出器を用いて取得し、そのエネルギー (波長) 依存性を位置毎に解析することで中性子が感じた磁気情報を定量的に評価するものである。本手法の特徴は、プローブとなる中性子ビームの高い物質透過能力により、比較的大きな固体試料内部の磁気情報を取得できる点や、物質中と空間中両方の磁束密度をベクトル情報として定量的に評価できる点、さらに、他の磁気イメージング手法に比べ、一度に観察できる視野範囲が数 cm 四方と広い点が挙げられる。これらの特徴から、本手法は他の磁気イメージング手法では困難であった稼働状態での磁場関連機器内部の磁場観察への応用が期待されている。そのため、我々は時間変動する交流磁場を解析する手法や観察視野の拡大など、本手法を磁場関連製品の観察技術として実用化するため技術開発を進めてきた。本発表では、MLF において開発が進められている偏極パルス中性子を利用した磁気イメージング手法の概要と、それを利用した幾つかの応用研究の結果を説明する。

### 実験方法

偏極パルス中性子イメージングは MLF の BL22 に設置された、エネルギー分析型中性子イメージング装置「螺鈿」にて実施した。螺鈿におけるイメージング用偏極度解析装置の模式図を Fig. 1 に示す。この装置では、偏極子および検極子に V 型磁気スーパーミラーキャビティを使用した。中性子波長約 1.5 ~ 8 Å の範囲での偏極度解析が可能であり、画角約 40 mm 四方の偏極度分布像を取得できる。試料スペースの前後には中性子スピンの向きを回転させる 2 組の spin 回転子が設置されており、任意の方向に中性子スピンを制御することで、3 次元での偏極度解析が可能である。これにより、試料空間内の磁束密度の 3 次元ベクトル情報を取得する。現在、我々はこのイメージング用偏極度解析装置を利用して、稼働状態の小型モーターの磁場の観察や、トランス模擬試料からの漏洩磁場の観察、方向性電磁鋼板の磁区観察等の応用研究を実施しており、その結果を紹介する。

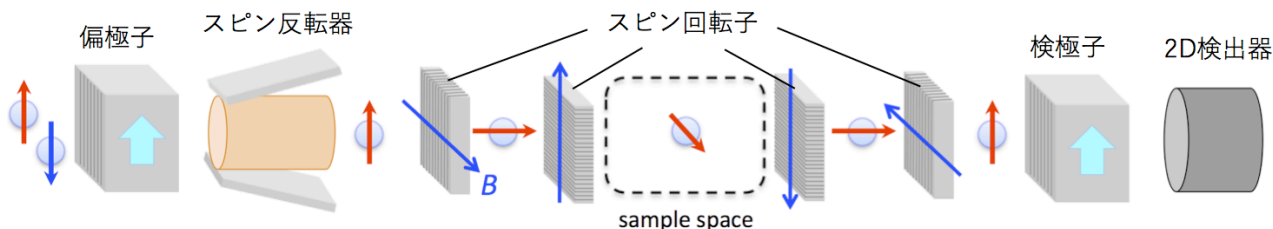


Fig.1 中性子イメージング用偏極度解析装置の模式図

### 謝辞

本研究は文部科学省 光・量子融合連携研究開発プログラム「実用製品中の熱、構造、磁気、元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現」により実施された。