

# 磁気光学効果による炭素鋼の局所的磁気物性評価

室井慎平, 高瀬つぎ子, 山口克彦, 内一哲哉\*, 高木敏行\*  
(福島大, \*東北大)

Local magnetic property evaluation of carbon steel by magneto-optical effect

S. Muroi, T. Takase, K. Yamaguchi, T. Uchimoto\*, T. Takagi\*  
(Fukushima Univ. \*Tohoku Univ)

## はじめに

現在、構造材料の非破壊検査には電磁超音波探触子(EMAT)などの手法が用いられており、実際に EMAT による鉄の非破壊評価も行われている<sup>1)</sup>。しかし、新品の炭素鋼管を用いた測定にて、Fig.1 に示すようにパイプ周方向におけるエコー振幅に差異が生じた。このことより、試料周方向にて超音波信号の発生要因である磁歪効果やローレンツ力、伝搬、反射等について炭素鋼管の物性の差異が影響していると考えられる。

本研究では、磁区観察及び局所的磁気特性とエコー振幅の関連性に着目し、比較、検討を行うため、Fig.1 のようなエコー振幅の差異に注目してサンプルを切り出し、マイクロ磁気光学カー効果顕微鏡( $\mu$ -MOKE 顕微鏡)を用いて磁区観察及び局所的磁気特性の測定を行った。その結果をもとに、EMAT と局所領域における磁気物性の対応関係を確認した。

## 実験手法・結果

本実験では、EMAT によるエコー振幅(信号強度)の大きい箇所を sample S、小さい箇所を sample W とし、各々の箇所から 7.0×7.0×2.0[mm]サイズの炭素鋼試料を切り出した。その後、鏡面研磨を行い、 $\mu$ -MOKE 顕微鏡にて試料の同視野における磁区観察と局所的(スポット径  $\phi$  2~3[ $\mu$ m])磁気特性の測定を行った。Fig.2, Fig.3 に sample S と sample W 双方の磁区観察像と局所的磁気特性の測定結果を示す。

Fig.2 より、sample S は sample W よりサイズが大きい磁区の割合が多いことが確認された。また、Fig.3 より sample S は sample W より磁気光学カー効果による旋光角の値が大きいことが確認できた。このことから、磁性領域の形成や局所的な磁性の違いが EMAT におけるエコー振幅の差異に影響を与えていると考えられる。

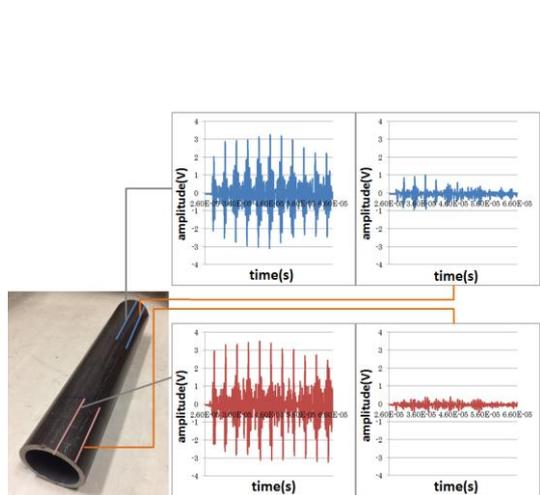


Fig.1 Difference of echo amplitude (in the circumferential direction)

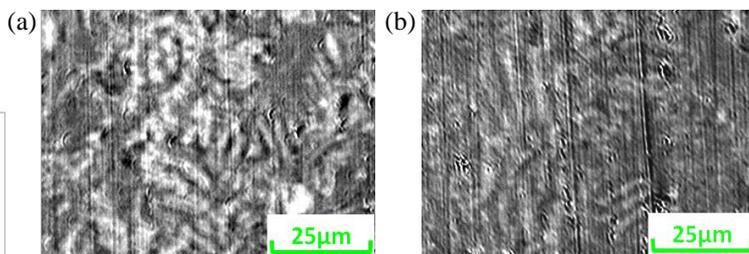


Fig.2 Magnetic domain image (magnetic fields :1100Oe)

(a) sample S, and (b) sample W

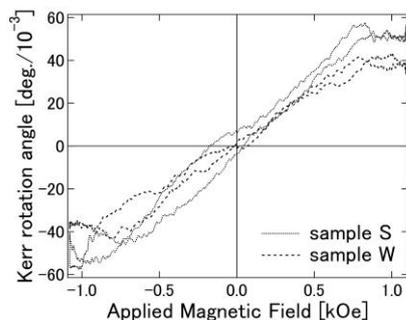


Fig.3 Local magnetic properties of

sample S and W

## 参考文献

- 1) 大瀧 啓太郎, 内一 哲哉, 高木 敏行: “電磁超音波-渦電流複合プローブを用いた鉄の非破壊材質評価”, 日本機械学会論文集(A編)76巻767号, pp.186-193(2010).

# 正方配列 Au 粒子/Bi:YIG 複合構造体におけるファラデー効果 および極カー効果の FDTD シミュレーション

板橋悠人<sup>1</sup>, Ilham Surya Priasmoro<sup>1</sup>, 高田一紀<sup>1</sup>, 水戸慎一郎<sup>2</sup>, Andrey Fedyanin<sup>3</sup>,  
後藤太一<sup>1</sup>, 中村雄一<sup>1</sup>, P. B. Lim<sup>1</sup>, 内田裕久<sup>1</sup>, 井上光輝<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>豊橋技科大, <sup>2</sup>東京高専, <sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University)

FDTD simulations of Faraday and polar Kerr effects for composite structures  
with squarely arranged Au particles and Bi:YIG films

Y. Itabashi<sup>1</sup>, S. P. Ilham<sup>1</sup>, K. Takada<sup>1</sup>, S. Mito<sup>2</sup>, A. Fedyanin<sup>3</sup>, T. Goto<sup>1</sup>, Y. Nakamura<sup>1</sup>, P. B. Lim<sup>1</sup>,  
H. Uchida<sup>1</sup>, M. Inoue<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Toyohashi Univ. of Tech., <sup>2</sup>NIT, Tokyo College, <sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University)

## はじめに

透明な磁性ガーネットは磁気光学効果を利用した磁気イメージングセンサなどに用いることが可能である。例えば、磁性材料の傷を探查する場合、測定対象物に磁気光学膜を近づけて反射光の回転角を測定する極カー効果測定が適し、その回転角が大きいことが望ましい。また、周期配列させた Au 粒子と磁性ガーネット (Bi:YIG) 薄膜との複合構造体では、局在型表面プラズモン共鳴によってファラデー回転角を増大させることができるが<sup>1,2)</sup>、カー効果についてはまだ十分に研究が行われていない。したがって将来の応用を考えて、本研究では、正方配列 Au 粒子/Bi:YIG 複合構造体のファラデー効果と極カー効果について FDTD シミュレーションを用いて回転角を大きくする方法について考察する。

## 磁気光学応答の FDTD シミュレーション

Au 粒子は電子線描画装置を用いて作製するが、Fig. 1(a)は周期 200nm の正方配列 Au 構造であり、この上に Bi:YIG を成膜した複合構造体について FDTD シミュレーションを行った。モデルは Au 粒子の長軸直径 109 nm, 短軸直径 92.2 nm の扁平楕円体であるとし、Bi:YIG の厚さを 110 nm とした。Fig. 1(b)に計算で得られた透過率とファラデー回転角を、Fig.1(c)に反射率と極カー回転角を示す。透過率とファラデー回転角はプラズモン共鳴波長で回転角が増大した。この結果は、実験結果とよく一致する。また極カー効果も変化した。このモデルでは角度変化が小さかった。

次に、扁平楕円体 Au の長軸直径を 130 nm, 短軸直径を 110 nm と大きくし、Bi:YIG の厚さも 120 nm にしたときの透過率とファラデー回転角、反射率とカー回転角の計算結果を Fig. 2(a)と(b)にそれぞれ示す。Au 粒子のサイズを大きくすることで、波長 660 nm 付近のファラデー回転角が正の大きな値に変化し、またカー回転も同じ波長で大きくなった。また極カー効果は、光の往復によるファラデー回転の単純な 2 倍の値になる訳ではないことも分かった。このように本研究により、ファラデー回転角だけでなく、極カー回転角の大きさも構造によって制御できる可能性があることが明らかになった。

## 参考文献

- 1) H. Uchida et al., J. Phys. D: Appl. Phys., 44, 064014 (2011).
- 2) 板橋悠人他, 第 42 回日本磁気学会学術講演会概要集 11pPS-11 (2018).

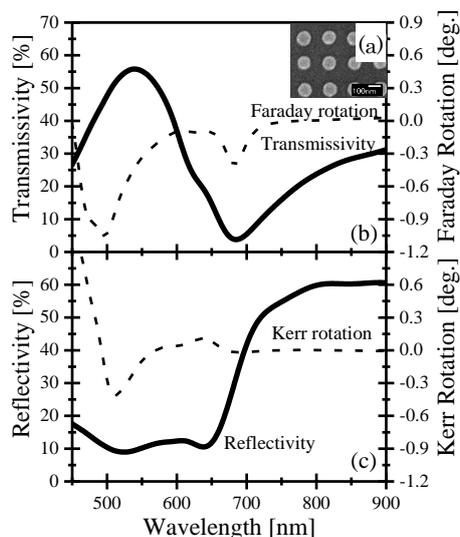


Fig. 1 (a) A top view of fabricated Au particles, (b) calculated transmissivity and Faraday rotation, and (c) reflectivity and polar Kerr rotation.

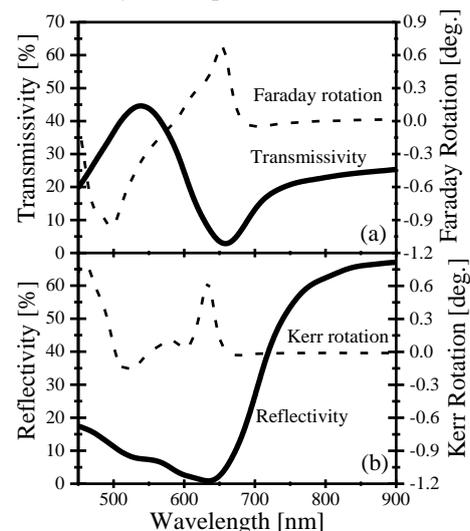


Fig. 2 (a) Calculated transmissivity and Faraday rotation, (b) reflectivity and polar Kerr rotation.

## X線磁気円偏光発光を利用した放射光磁気顕微鏡

稲見俊哉、菅原健人、中田崇寛\*、阪口友唯\*、高橋真\*

(量研放射光、\*JFE テクノリサーチ)

Scanning magnetic microscope based on x-ray magnetic circularly polarized emission

T. Inami, K. Sugawara, T. Nakada\*, Y. Sakaguchi\*, and S. Takahashi\*

(QST, \*JFE-TEC)

### 1 はじめに

X線磁気円二色性は、磁化した試料に円偏光 X 線を入射した際にその吸収量が円偏光の左右に依存するという現象であり、元素選択的な磁化測定が出来ること、微小試料の観察や微小モーメントの検出に適していること、磁気光学総和則が使える場合があることなどから、磁気測定において標準的な手法の一つとなっている。しかしながら、物質透過能の高い硬 X 線領域においては、3d 遷移金属に対して感度が低い(反転比で 0.5% 以下)という問題が存在していた。薄膜試料等、透過法の使える試料についてはこの問題は改善されてきたものの、バルク測定が必要な対象については、硬 X 線領域で 3d 遷移金属に対し大きな反転比を持つ新しい測定手法の開発、測定原理の発見が求められている。

この問題に対し、最近我々は X 線磁気円偏光発光という新しい X 線磁気分光法の発見に成功した<sup>1)</sup>。これは、磁化した試料の発する蛍光 X 線(特性 X 線)が円偏光を含むという現象であり、蛍光 X 線の円偏光度から発光領域の磁化(の出射方向成分)を見積もることができる。硬 X 線領域にある 3d 遷移金属の  $K\alpha$  発光において 20% 近い大きな反転比を示すという優れた特徴を持ち、応用研究への発展が期待される。現在、本手法を利用した放射光励起の走査型磁気顕微鏡の開発を進めており、この発表では開発の現状について報告する。

### 2 結果および考察

開発は大型放射光施設 SPring-8 の量研ビームライン BL11XU で行っている。本手法による磁気顕微鏡の構成図を Fig.1 に示す。入射 X 線は、まず集光光学系により試料上に集光される。空間分解能はここで決まり、当面は樹脂製屈折レンズを用いた  $10\ \mu\text{m}$  集光で開発を進めている。試料からは蛍光 X 線が発せられ、これを集めて平行化し、後ろの円偏光解析装置に供給する部分が平行化光学系である。Montel 型多層膜ミラーで実現され、高効率測定に必須の光学素子である。円偏光解析装置はダイヤモンド移相子と Ge(400) エネルギー兼直線偏光分析器からなる。移相子により円偏光と直線偏光の相互変換を行い、続いてエネルギー兼直線偏光分析器でエネルギー分解すると同時に直線偏光度を評価し、ここから円偏光度を得る。得られた円偏光度から発光領域の磁化が求まり、試料を走査することにより、磁化の 2 次元マップを得る。

試料は、磁区が比較的大きく、また、3d 遷移金属元素が主たる磁性を担っているという観点から、方向性電磁鋼板を選んだ。入射 X 線のエネルギーは 17.3 keV、出射角は 45 度とした。この場合、表面から  $10\ \mu\text{m}$  程度の領域の情報を得ていると見積もっている。横  $65\ \mu\text{m}$  ステップ、縦  $30\ \mu\text{m}$  ステップで、約  $3\ \text{mm}\times 3\ \text{mm}$  の領域を走査し、ストライプ状の磁区と複数の lancet 磁区を観察することができた。今後は、入射 X 線のエネルギーを上げたより深部の測定等を検討している。

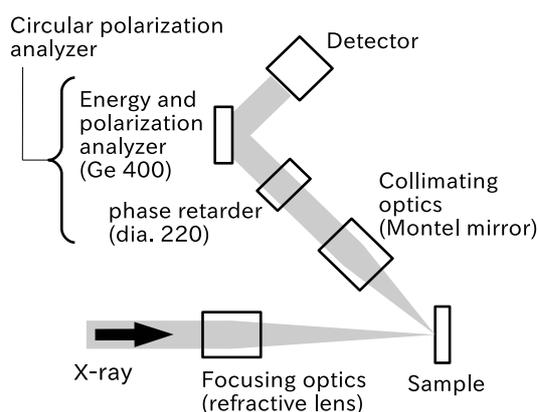


Fig. 1 Top view of experimental layout.

### References

- 1) T. Inami: *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 137203 (2017).

## マイクロレンズアレイを用いた磁気光学 3次元ディスプレイの高視野角化と像拡大化

○Altankhuyag Khishig-Ochir、木村陽太、伊藤誉敏、堀米秀嘉\*、後藤太一、中村雄一、  
Lim Pang Boey、内田裕久、井上光輝  
(豊橋技科大, \*ホーリーマイン)

Increasing viewing angle and magnifying image for magneto-optical 3D display using microlens array  
A. Khishig-Ochir, Y. Kimura, Y. Ito, T. Goto, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue  
(Toyohashi Univ. of Tech., \*Holymine)

### はじめに

眼精疲労が生じにくく、広い視野角を持つ、ホログラフィック 3次元(3D)ディスプレイを実現するために磁気光学効果が応用されている<sup>1)</sup>。大きな視野角を得るためには微小なピクセルが必要であり、1  $\mu\text{m}$ サイズで大規模領域にピクセルを形成すること、および書き換え時間を短くすることが、3Dディスプレイの実用化への課題である。先行研究ではホログラムをページデータとして記録することで記録時間の短縮を図ってきたが、走査距離が媒体の書き込むホログラムの全域と広く、高分解能で広範囲に書き込むことが困難であった。そこで我々はマイクロレンズアレイ (MLA) と呼ばれる微小レンズが配列された素子を用いて、多数のピクセルを同時に書き込み、かつ走査距離を短縮する方法を用いた<sup>2)</sup>。本研究では、この MLA を用いた光学系によるホログラムの記録と 3次元像の再生において、視野角を広げることと像を拡大する方法について検討する。

### 光学系

ホログラムの形成では、レーザ光をデジタルミラーデバイス (DMD) で強度変調をした後、MLAによって集光し、縮小したピクセルを磁気光学媒体に書き込んだ。MLAのレンズピッチはDMDのピクセルピッチと同一で13.68  $\mu\text{m}$ である。このときDMDのピクセル間隔に相当する13.68  $\times$  13.68  $\mu\text{m}^2$ の面積を走査することでDMDのサイズである1  $\text{cm}^2$ の画面サイズの磁気書込みが可能となり、ピエゾステージの使用が可能になり、動作速度を向上させることができる。また焦点距離と移動距離を調整することで、ピクセルサイズを変えることができる。再生は、ホログラム記録媒体からの0次透過光が小さくなるように、偏光子と $\lambda/4$ 波長板を透過した楕円偏光を入射させ、検光子で反射光の変調成分を取り出す。像の拡大は、レンズを二つ用いて幾何光学による2倍の結像光学系で再生像を拡大する方法を用いた。

計算機ホログラムによって、立方体フレームのホログラムを計算した。記録・再生に用いる磁性薄膜にはイオンビームスパッタ法によって成膜したSiN(30 nm)/*a*-TbFe(50 nm)/SiN(20 nm)/ガラス基板を用いた。

### 3D像の再生

熱磁気記録を用いてホログラムを磁性体に記録し、波長532 nmのレーザ光によって再生した立方体フレームのホログラフィをFig. 1に示す。計算で求めた通りに2.5 mm角の立方体の3次元像が再生された。ピクセルピッチは1  $\mu\text{m}$ であり、このとき視野角29 deg.が得られた。次に2倍の結像光学系を用いて磁気ホログラフィの再生像の拡大を行った。その結果、横倍率が2倍になることを確認することができた。

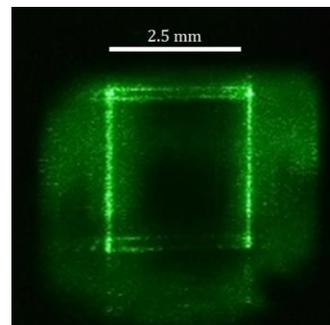


Fig. 1. A 3D cubic frame image reconstructed using magneto-optical holography.

### 参考文献

- 1) K. Nakamura, et al., *Appl. Phys. Lett.* 108, 022404 (2016).
- 2) 木村陽太他, 第42回日本磁気学会学術講演会概要集 12aPS-60 (2018).

## 機械学習と非線形フィルタによる高速磁区観察像のノイズ低減

小田切 雄介、阿部 正英\*、洞口 勇太\*、柳沢 栄二、目黒 栄、川又 政征\*、斉藤 伸\*  
(ネオアーク株式会社、\*東北大学)

Noise reduction for high speed domain observation images using machine learning and non-linear filters

Y. Odagiri, M. Abe\*, Y. Horaguchi\*, E. Yanagisawa, S. Meguro, M. Kawamata\*, S. Saito\*  
(Neoark Corporation, \*Tohoku University)

**はじめに** 電磁鋼板や軟磁性薄帯は変圧器やモーターのコア材として幅広く活用されており、その性能改善はエネルギー利用効率上昇に直結するため、地球温暖化対策の一環として極めて重要である。これら軟磁性材料の磁気特性把握の手法としては実働状態における磁区観察が有用である。我々はこれまで磁気光学 Kerr 効果を利用した cm オーダ領域の広視野磁区観察装置の開発を行ってきており<sup>1)</sup>、商用周波数励磁下で繰り返し再現性の低い磁区観察を行うために、10,000 fps 以上のフレームレートでのワンショット撮像に取り組んできた。受光画素の大きい高速度カメラの採用、光学系の伝送効率の改善といった工夫により 50 Hz の磁場掃引において FeSi 系アモルファス薄帯の磁化過程のワンショット観察を達成できている。しかしながら高速度撮像の性質上、時間・空間領域の平均化が制限されるため、ショットノイズ等のノイズ低減が課題であった。そこで本研究では、高速磁区観察時のノイズを低減するために、画像処理によるノイズフィルタを検討した。

**フィルタの検討** 時間変化に伴う磁区構造の変化が緩慢になることを避けるためには、まず、フレーム単位で空間領域のフィルタによるノイズ低減が必要である。これを実現する手法として機械学習を用いた画像処理を提案した。今回の機械学習では Convolutional Neural Network によるオートエンコーダを用い、教師あり学習を行った。学習素材については、教師データとして 256 回の平均化を行った画像を、入力データとしてワンショットで取得した画像を用いた。次に、時間変化によるちらつきを低減するためには非線形フィルタを時間領域に適用することが有効である。今回は突発的な輝度値の時間変化を取り除く効果が期待できるメディアンフィルタを用いた。

**観察結果** Fig. 1 はアモルファス薄帯を高速度カメラで観察した動画から 1 フレームを切り出したものであり、(a) は飽和像差分画像、(b) は (a) に対しノイズ低減フィルタを適用した画像である。どちらの画像も 8 ビットの色深度で処理を行っている。左上部に注目すると、ショットノイズが大幅に低減された結果、複雑な磁区パターンが顕在化したことがわかる。(c) は (a)、(b) の像中の直線部に対応する輝度のラインプロファイルを示しており、ノイズが大幅に低減されていることがわかる。(a)、(b) の像中の四角で囲んだ領域の輝度ヒストグラムの分散半値幅を評価すると、フィルタ適用前は 75 だったのに対して、フィルタ適用後は 5.1 へと改善しており、フィルタ効果を定量的に確認できる。

講演では、機械学習フィルタと非線形フィルタの構成の詳細および、時間方向のフィルタリングの効果を動画も用いて報告する。

**参考文献** 1) S. Meguro et al.: 28<sup>th</sup> Ann. Conf. Magn. Soc. Jpn., 24aF-9 (2004).

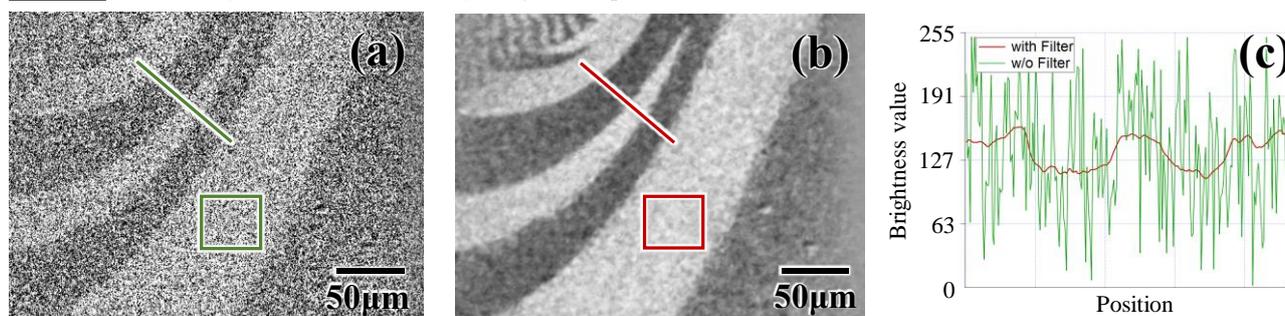


Fig. 1 Magnetic domain images (a) without and (b) with machine learning and non-linear filters. (c) Brightness line profiles.