

偏極パルス中性子を用いた交流磁場イメージング手法の開発

廣井孝介、篠原武尚、林田洋寿*、及川健一、原田正英、甲斐哲也、新井正敏
(原子力機構 J-PARC センター、*総合科学研究機構)

Development of AC magnetic field imaging technique using polarized pulsed neutrons

K. Hiroi, T. Shinohara, H. Hayashida, K. Oikawa, M. Harada, T. Kai and M. Arai
(J-PARC center, JAEA, *CROSS Tokai)

はじめに

現在我々は偏極パルス中性子を用いた定量的な磁場の可視化手法の開発を行っている。この手法では、中性子の高い物質透過性を生かし、物質内部の磁場強度・方向の空間分布を取得可能である。そのため、従来の磁気イメージング手法において困難であった稼働中の工業製品（モーターやトランス等）内部の磁場の定量評価を可能とする技術として期待されている。このような磁場を観測するためには時間的に変化する動的磁場を検出できる必要がある。本発表では現在開発中である偏極パルス中性子を用いた磁気イメージング法を交流磁場の解析に拡張する手法とその検証実験の結果を報告する。

実験方法

偏極パルス中性子を用いたイメージング実験は、J-PARC 物質・生命科学実験施設(MLF)内の BL10 において行った[1]。本手法では中性子スピンの磁場中でのラーモア歳差回転角を偏極度の変化として観測し、偏極度の中性子波長依存性からビーム経路中の磁場の強度を求める。パルス中性子の波長は飛行時間法により決定されるが、J-PARC の繰返し周期 (25Hz) の整数倍の周波数の交流磁場の場合には中性子波長 (飛行時間) と交流磁場の位相の関係が一意に決まってしまうため、偏極度の波長依存性を正確に把握することができない。そこで、磁場の周期を 25Hz の整数倍から一定の割合でずらして測定する手法を考案した。測定試料としては小型のソレノイドコイルを用意し、そのコイルに対して信号発生器と電流増幅器を用いて正弦波電流を印加し、コイル内に生じる交流磁場の測定を試みた。

実験結果

検証実験として、50.5Hz の正弦波電流を位相を変えながらコイルに印加し、交流磁場強度の評価を行った。このとき、磁場の位相と中性子の飛行時間の関係をあらかじめ把握するために、印加電流をパルス中性子の発生時刻に同期させた。図 1 (a) に実験により得られた偏極度分布像を示す。コイル部分に交流磁場により誘起された偏極度の変化が明確に観測された。中性子が検出された飛行時間から、その中性子が試料を通過した際の交流磁場の位相を求め、各位相に関して中性子偏極度の波長依存性を調べた。交流磁場の各位相に関して磁場強度を見積もった結果を図 1 (b) に示す。位相 0 から 2π で一周分分の正弦波波形が再現されていることが確認できた。また、得られた磁場強度の値も印加した電流から予想される値とほぼ一致しており、交流磁場強度の定量評価が可能であることを確認した。

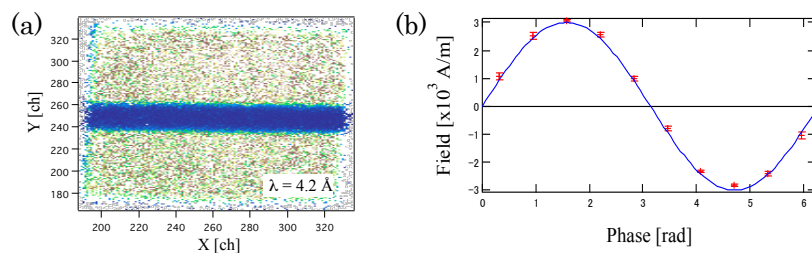


図 1 (a) 得られた偏極度分布像
(b) 偏極度解析により見積もられた交流磁場強度。実線は印加した電流からの予想値

参考文献

- [1] T. Shinohara, et al., Nucl. Instr. and Meth. A **651**, 121 (2011).

J-PARC 大強度中性子小角・広角散乱装置「大観」

大石一城, 鈴木淳市, 高田慎一*, 岩瀬裕希, 篠原武尚*, 奥隆之*, 中谷健*, 稲村泰弘*,
伊藤崇芳, 吉良弘, 森川利明, 佐原雅恵, 細谷倫紀*, 鈴谷賢太郎*, 相澤一也*,
新井正敏*, 大友季哉*, 杉山正明**
(CROSS 東海, *J-PARC センター, **京大炉)

Current Status of Small and Wide Angle Neutron Scattering Instrument “TAIKAN” in J-PARC

K. Ohishi, J. Suzuki, S. Takata*, H. Iwase, T. Shinohara*, T. Oku*, K. Nakatani*, Y. Inamura*,
T. Ito, H. Kira, T. Morikawa, M. Sahara, T. Hosoya*, K. Suzuya*, K. Aizawa*,
M. Arai*, T. Otomo*, and M. Sugiyama**
(CROSS-Tokai, *J-PARC Center, **KUR)

はじめに

大強度陽子加速器施設 J-PARC は、線形加速器、3 GeV シンクロトロン及び 50 GeV シンクロトロンからの加速器から構成されている。ハドロン実験施設及びニュートリノ実験施設では、50 GeV シンクロトロンから生成される K 中間子及びニュートリノビームを用いた原子核・素粒子実験が行われている。また、物質・生命科学実験施設(MLF)では、3 GeV シンクロトロンから生成される中性子ビームとミュオンビームを用いた物質・生命科学研究が行われている。今回の発表では、MLF に設置されている大強度中性子小角・広角散乱装置「大観」について紹介する。

中性子小角・広角散乱実験装置「大観」

中性子小角・広角散乱実験装置「大観」は、パルス中性子(入射中性子の波長: 0.05~0.8 nm)の飛行時間分析法を活用した幅広い q 領域(約 $5 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \leq q \leq 100 \text{ nm}^{-1}$)を一度の測定で観測することができる実験装置である。2011B 期より共用利用が始まり、すでに金属、磁性体、超伝導体、ソフトマター、生体高分子などの様々な対象のサブナノからミクロンスケールの平均構造や構造揺らぎを高効率・高精度に観測している。現在のところ、非偏極中性子の利用が大多数を占めるが、「大観」では 3 種類の特徴的な中性子ビーム(非偏極ビーム、偏極ビーム、偏極・集光ビーム)を利用するため、様々な上流光学機器が設置されている。現在、非偏極ビーム及び偏極ビームを用いた実験が可能であり、例えば、磁性体の実験では、10 T 超伝導磁石と 1,100 °C の高温炉を組み合わせた偏極実験及び 1 T 電磁石と冷凍機を組み合わせた偏極実験などが行われている。今年の夏期シャットダウン中、四極磁石及び六極磁石を上流光学機器内にインストールする計画で、2014B 期より偏極・集光ビームの利用が始まり、3 種類のすべてのビームを用いた実験が可能となる。

講演では、「大観」の特徴及び試料環境機器の紹介に加えて、これまでに行われた実験の一例を紹介する。

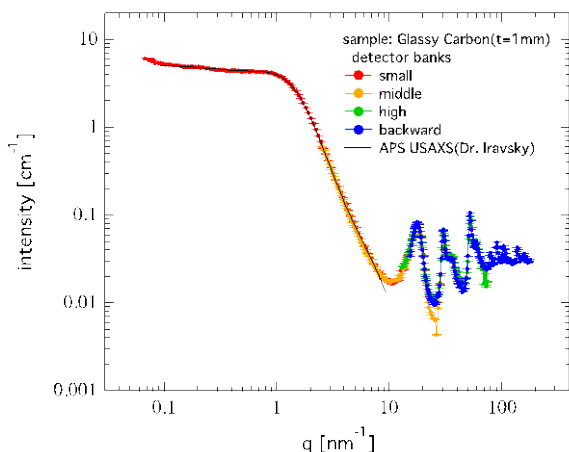


図 1: 標準試料 Glassy Carbon の測定結果。複数の検出器バンクを用いることで一度の測定で幅広い q 領域の観測が可能。

FPGA による高感度集積型磁気インピーダンスセンサの動作検証

奥田有記浩、呉鵬、田島真吾、渡辺高元*、内山剛
(名大、* (株) デンソー)

Operation inspection of the high sensitive Magneto-impedance sensor by FPGA

Y. Okuda, P. Wu, S. Tajima, T. Watanabe*, and T. Uchiyama,
(Nagoya Univ., *DENSO CORP.)

はじめに

近年、スマートフォンやウェアラブル機器によりセンシング技術はより重要になり、センシングシステムの集積化が求められている。磁気インピーダンスセンサ (MI センサ) はアモルファスワイヤによる磁気インピーダンス効果 (MI 効果) を利用した磁気センサであり、現在 CMOS で集積化された MI センサ (MIIC) が実現されている。我々のグループではピコテスラ (10^{-12} T) オーダーまで測定可能な MI センサを開発し、さらに TAD (Time A/D converter) と組み合わせることにより高分解能、低ノイズ化させることを検討している¹⁾。現在研究室で試作している高感度 MI センサの駆動回路は CMOS IC、抵抗およびキャパシタのディスクリート素子により構成されている。抵抗およびキャパシタを含めた回路は集積化した場合の動作の検証が難しくなってしまうため、本研究では、高感度な MI センサの ASIC 化に向けて FPGA (Field Programmable Gate Array) により回路を構成し動作確認を行った。

実験方法

従来パルスを生成するため基板上に配置されていた CMOS IC、抵抗、キャパシタを省き、FPGA によるパルスで動作する MI センサ回路の構築を行い、動作の確認、感度の測定を行った。生成したパルスはアモルファスワイヤへ通電するためのパルス、ワイヤに巻かれたコイルの誘起電圧検出用スイッチの制御信号である。

実験結果

Fig.1 にディスクリート素子と FPGA それぞれにより生成された波形を示す。それぞれのパルス波形にほぼ差異は見られない。Fig.2 にディスクリート素子による駆動と FPGA 駆動の MI センサそれぞれに外部磁界を印加したときの電圧出力特性を示す。FPGA 駆動の場合についても、従来と同レベルの感度を得ることができている。また、ディスクリート素子による駆動時は上に凸であるのに対し、FPGA 駆動時は線形性を得ることができた。

まとめ

FPGA により駆動回路を構成することにより高感度 MI センサの集積化した場合の動作検証を行った。その結果、従来と比べ更に高い線形性を得られた。

今後、TAD を用いてセンサ駆動回路のスイッチ不要の検波回路の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Shingo Tajima, et al., "High Resolution Magneto-impedance Sensor with TAD for Low Noise Signal Processing," *Proc. IEEE INTERMAG*, 2014.

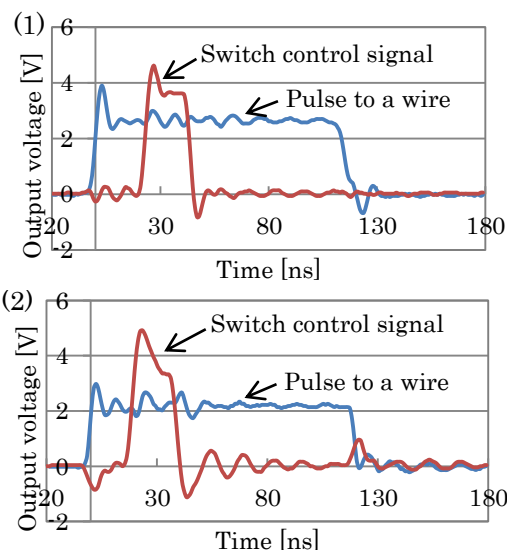


Fig.1 (1) Waveform by CMOS (74AC04, LMC555).
(2) Waveform by FPGA.

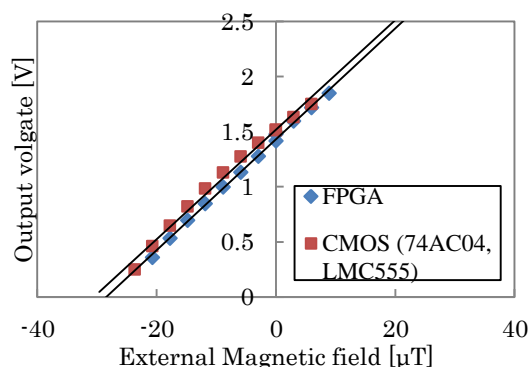


Fig.2 Relations of the sensitivity of CMOS (74AC04, LMC555) drive circuit and the FPGA drive circuit.

FPGA を用いた磁気マーカ高速位置検出システムの試作

高橋和輝, 藪上 信, 小澤哲也, 藤岡 修* 栢修一郎**, 金高弘恭***

(東北学院大学, *日本ナショナルインスツルメンツ, **東北大学電気信研究所, ***東北大学大学院歯学研究科)

Position Sensing System of Wireless Magnetic Marker using FPGA board

K. Takahashi, S. Yabukami, T. Ozawa, O. Fujioka*, S. Hashi**, H. Kanetaka***

(Tohoku Gakuin Univ., *Japan National Instruments, **RIEC Tohoku Univ., ***Grad. Sch. Dentistry Tohoku Univ.)

1. はじめに 高速 AD コンバータのデータを FPGA によりインライン処理することで磁気マーカの高速位置検出システムを試作した。

2. 実験方法 Fig. 1 は本システムの構成図である。本システムは励磁コイル(線径 1.0 mm, 200 mm×200 mm, 50 ターン)、検出コイルアレイ(線径 0.2 mm 直径 23 mm, 125 ターン, 40 チャンネル)、磁性リボンマーカ、FPGA を搭載した AD コンバータ(NI 5734 120 MS/s, 4 チャンネル×10 台)、DA コンバータ(NI 5402)およびアンプ(AD8021)から構成される。既報¹⁾に対して本システムは AD コンバータのサンプリング周波数を約 100 倍高速化するとともに、FPGA により 40 チャンネル分の正弦波から振幅および位相を FPGA 上で高速演算処理することで、システム全体の処理速度を高速化した。また、FPGA で一部演算を行うことで CPU の負荷も低減された。DA コンバータから励磁コイルへ約 60 kHz の交流磁界を発生させ、磁性リボンの機械的振動による誘導磁界を検出コイルアレイで計測した。マーカの中心位置および方向はマーカから発生する誘導磁界がダイポール磁界に近似できることを仮定して Gauss-Newton 法により最適化処理したり。マーカには防犯 IC タグ(高千穂交易社製 DR ラベル)を加工して使用した。

3. 実験結果 Fig. 2 はマーカを Z 方向(検出コイルアレイ面に垂直方向)および X 方向(検出コイルアレイ面に平行方向)へそれぞれ 100 mm マイクロメータにより移動させたときの、マーカ軌跡を示したものである。測定速度は最適化処理を含めて 10 Hz とした。100 mm の移動に対して、Z 方向および X 方向ともにマーカ位置はほぼ正確に計測されていることが分かり、FPGA を用いた高速制御が所望の通り正しく行われていることが示された。

謝辞 DR ラベルをご提供いただきました高千穂交易瀬澤外茂幸様に感謝いたします。本研究の一部は文科省平成 24 年度私立学校施設整備費補助金による成果である。

参考文献 1) S. Yabukami, T. Chiba, K. Takahashi, H. Kanetaka, S. Nogami, S. Hashi, K. Yamauchi, and T. Ozawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, vol. 38, No. 2-1, pp. 29-32 (2014).

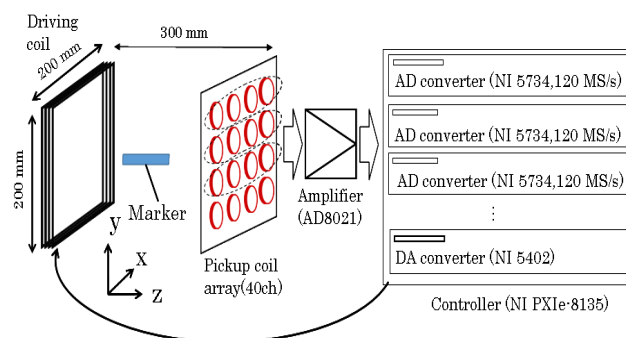


Fig. 1 Schematic diagram of a position sensing system.

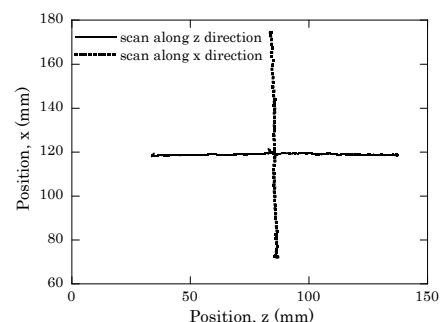


Fig. 2 Marker position during 100 mm scanning.

引張応力下における ΔE 効果

滝谷貴史、沓澤伸明、石井修
(山形大学)

The ΔE effect under Tensile Stress
T. Takiya, N. Kutsuzawa and O. Ishii
(Yamagata Univ.)

はじめに

幅方向に異方性を付与した高磁歪磁性リボンの機械共振周波数, f , は、磁性リボンの湾曲(応力印加)によって変化することが報告されている¹⁾。 f は磁性リボンのヤング率, E , の平方根に比例するため、 ΔE 効果が f の変化を引き起こすと考えられるが¹⁾、応力と f の関係は不明である。また、磁性リボンに引張応力, σ_x , を印加した場合、磁性リボンの異方性磁界, H_a , が減少し、 ΔE 効果が増すと推察される¹⁾。本稿では、磁性リボンに σ_x を印加した場合の f を測定し、応力下の磁性リボンの ΔE 効果を検討した。

実験方法

Fig.1 に共振周波数測定系を示す。ピックアップコイル内に $5 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 24 \mu\text{m}$ の形状の磁性リボンを配置した。磁性リボンは、幅方向に異方性を付与するため 100 Oe の磁界を印加しつつ窒素気流中 $410 \text{ }^\circ\text{C}$ で 10 分間熱処理を施した。ヘルムホルツコイルを用いて直流バイアス磁界, H_{dc} , を磁性リボン長手方向に印加した。磁性リボンに 0.156 g ($\sigma_x = 12.2 \text{ kPa}$) 及び 8.33 g ($\sigma_x = 681 \text{ kPa}$) の重りを吊り下げ、 $f - H_{dc}$ 特性を測定した。

実験結果

Fig.2 に磁性リボンの $f - H_{dc}$ 特性を示す。 H_a は、 f が最小となる H_{dc} である¹⁾。 $\sigma_x = 12.2 \text{ kPa}$ の場合 $H_a = 7.2 \text{ Oe}$ であり、 $\sigma_x = 681 \text{ kPa}$ の場合 $H_a = 6.2 \text{ Oe}$ であった。したがって、 σ_x を 669 kPa 増加させた場合の異方性磁界の変化量, ΔH_a , は 1.0 Oe である。次に、(1)式¹⁾を用いて ΔH_a の理論値を求める。

$$\Delta H_a = \frac{3\lambda_s \sigma_x}{M_s} \dots (1)$$

ここで、 M_s は磁性リボンの磁化 (1.34 T)、 λ_s は磁性リボンの飽和磁歪定数 (30×10^{-6}) である²⁾。 (1)式より $\Delta H_a = 1.0 \text{ Oe}$ となるために必要な σ_x は 1.18 MPa となり、重りの質量, m , に換算すると約 14.5 g となる。 Fig.2 で、 $\Delta H_a = 1.0 \text{ Oe}$ とするために必要な m は 8.17 g であるため、理論値と実験値では 6.33 g の差が生じる。これは、磁界中熱処理に伴う H_a の変動が主因と推察する。

以上の結果より、磁性リボンに σ_x を印加した場合 H_a は減少し、 ΔE 効果による f の変動量が增大することを明らかにした。この現象は、高感度応力センサ等への応用が期待される。

参考文献

- 1) O. Ishii *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 250-254 (2013)
- 2) "Technically Superior Data" from Allied Signal Co., Ltd.

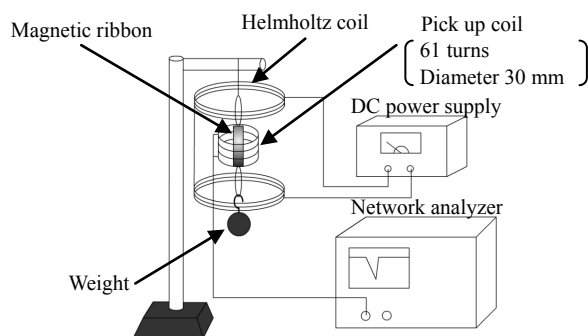


Fig.1 Resonant frequency measurement setup

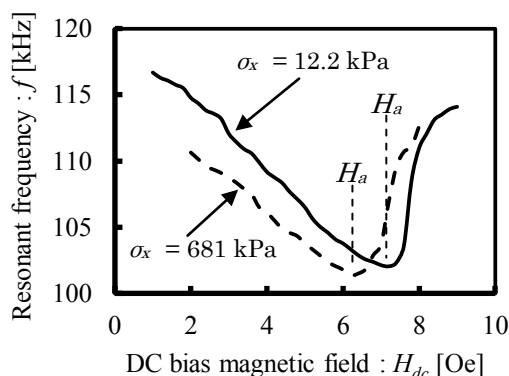


Fig.2 DC bias magnetic, H_{dc} , vs resonant frequency, f ,