

一般セッション(口頭講演) | 10 スピントロニクス・マグネティクス：10.5 磁場応用

■ 2023年9月19日(火) 9:30 ~ 12:00 | ■ C501 (国際交流会館)

[19a-C501-1~9] 10.5 磁場応用

諏訪 雅頼(阪大)、久住 亮介(森林総研)

◆ 奨励賞エントリー

9:30 ~ 9:45

[19a-C501-1] Vicalloy線のセンサ応用を見据えたひねり条件に対する基礎研究

○(M2C)西倉 温弘¹、渡邊 騎通¹、阿部 晋¹、中山 明芳¹ (1.神奈川大工)

9:45 ~ 10:00

[19a-C501-2] Diamagnetic Levitation of Aqueous Solution of Lysozyme by Permanent Magnets

○鈴木 智明¹、菅谷 将之¹、池添 泰弘¹ (1.日工大院工)

◆ 英語発表

10:00 ~ 10:15

[19a-C501-3] Development of AC magnetic field generator for magnetic hyperthermia effect and magnetic relaxation analysis of $\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{2.8}\text{O}_4$ nanoparticles○Yohei Fujita¹, Takeshi Sakamoto¹, Kazune Nii¹, Tomomasa Moriwaki², Hiroki Amano¹, Masayuki Abe³, Yuko Ichiyanagi^{1,3}, Kentaro Ohara¹, Kenta Nakazawa² (1.Grad. Sch. of Eng. Sci., YNU, 2.Grad. Sch. of Env. and Info., YNU, 3.Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ.)

10:15 ~ 10:30

[19a-C501-4] 交流と直流の直交磁場下における磁性ナノ粒子の配向運動

○諏訪 雅頼¹、野北 優¹、塚原 聡¹ (1.阪大理)

10:30 ~ 10:45

[19a-C501-5] 磁場中物理気相輸送法で作製した尿素結晶の評価

○高橋 弘紀¹、茂木 巖¹、淡路 智¹ (1.東北大金研)

11:00 ~ 11:15

[19a-C501-6] 磁場印加in-situ X線回折法による $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 粉末の構造の検討足立 伸太郎¹、○木村 史子¹、堀井 滋¹ (1.京都先端大)

11:15 ~ 11:30

[19a-C501-7] 磁場配向したセルロース微結晶のNMRスペクトルシミュレーション

○久住 亮介¹ (1.森林総研)

11:30 ~ 11:45

[19a-C501-8] FDTD法を用いた配向性微結晶の散乱特性

○武内 裕香¹、浜崎 亜富²、松田 瑞史¹、川口 秀樹¹ (1.室蘭工大、2.信州大理)

11:45 ~ 12:00

[19a-C501-9] 三重極電磁石による回転磁場発生装置の静磁場解析

○浜崎 亜富¹、柳井 秀太²、武内 裕香²、川口 秀樹² (1.信州大理、2.室蘭工大)



Vicalloy 線のセンサ応用を見据えたひねり条件に対する基礎研究

Basic Research on Twist Conditions for Sensor Application of Vicalloy Wire

西倉温弘^{1○(M2C)}, 渡邊騎通¹, 阿部晋¹, 中山明芳¹

Atsuhiko Nishikura^{1○(M2C)}, Norimichi Watanabe¹, Susumu Abe¹, Akiyoshi Nakayama¹

Kanagawa Univ.¹

E-mail: r202270149js@jindai.jp

ひねり処理を加えた Vicalloy 線と呼ばれる Fe-Co-V 合金の強磁性線では、磁壁の移動において大バルクハウゼンジャンプという効果を示す [1]。これまで我々は、強磁性線や強磁性薄膜における大バルクハウゼンジャンプを応用した新たなデバイスの創造のための基礎研究に取り組んできた。そして、それらのデバイスは 10 Hz 以下の低周波にも応答するセンサとして活用されている [2]。これは、従来より利用されている、ホールセンサに代表される磁場センサと比較して次のような利点がある。すなわち、1) 高い S/N 比を有す; 2) 外部磁界の変化速度に依存しない; 3) 広い動作温度領域をもち経年変化がない; 4) 永久磁石駆動により無電源で動作する といった点である。

本研究は、交流磁場に対して誘発される Vicalloy 線の出力パルス電圧において、より大きなピーク値と半値幅を示すための処理方法について検討するものである。これにより、CR 発振による近距離での無線接続が可能なセンサへの応用が期待される。

先行研究では、Vicalloy 線の一端を固定し、他端に張力とひねり応力を加えることで大バルクハウゼンジャンプを発生させた。Fig. 1 に、直径 0.25 mm の Vicalloy 線に張力を加えた状態でひねり処理を施した試料の磁化特性を示す。Fig. 1 には、大バルクハウゼンジャンプによる急激な磁化の変化が示されている。

これに対し、我々は Vicalloy 線の両端からひねりを加え、Vicalloy 線内部の応力分布を変化させた。そして、このときの励磁磁場に対するパルス応答のピーク値および半値幅を系統的に評価したので報告する。

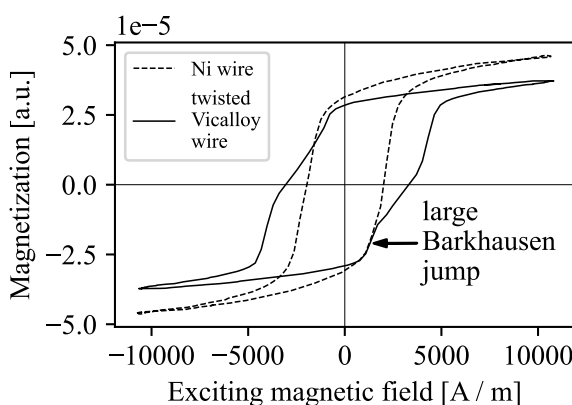


Fig. 1: Magnetization properties of twisted Vicalloy wire compared with Ni wire

参考文献

- [1] KJ Sixtus and L Tonks, "Propagation of large Barkhausen discontinuities," *Physical Review*, vol. 37, no. 8, p. 930, 1931.
- [2] S. Abe and A. Matsushita, "Construction of electromagnetic rotation sensor using compound magnetic wire and measurement at extremely low frequency rotations," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 30, no. 6, pp. 4635–4637, 1994.

永久磁石を用いたリゾチーム水溶液の反磁性磁気浮上

Diamagnetic Levitation of Aqueous Solution of Lysozyme by Permanent Magnets

日本工大院工 ○鈴木 智明, 菅谷 将之, 池添 泰弘

○Tomoaki Suzuki, Masayuki Sugaya, and Yasuhiro Ikezoe

Graduate school of Engineering, Nippon Institute of Technology

E-mail: y.ikezoe@nit.ac.jp

Protein crystals grown in the microgravity environment realized in the space station tend to grow larger than those on the ground, providing new insights in the fields of such as medicine and biology¹. However, experiments in space are subject to various constraints such as cost, time, opportunity, safety, etc. Therefore, developing an alternative technology for space experiments is attracting much attention, and diamagnetic levitation is a promising technique as one of the candidates. However, magnetic levitation usually requires an extraordinarily powerful magnet, which is set up to carry out some special experiments under a strong magnetic field of 20 T or more and is not suitable for daily use. Recently, we performed a precise computer simulation of the magnetic field distribution, where multiple permanent magnets were arranged in a specific arrangement. Furthermore, we succeeded in realizing diamagnetic levitation of water and several kinds of powder of solid like alumina and sodium chloride. In this paper, we report the levitation of aqueous solution of lysozyme using our levitation method and observation of recrystallization process of lysozyme under the levitation condition.

The magnets used in this study were a pair of small neodymium magnets with a depth of 5 mm, a width of 1 mm, and a height of 10 mm (magnet type A, Fig. 1), and another pair of much smaller cylindrical magnets with a diameter of 1 mm and a length of 3 mm (magnet type B, Fig. 1). These magnets were fixed inside of a transparent acrylic case (experimental space), into which microspheres of the aqueous solution of lysozyme (50 g/L) generated by an ultrasonic atomizer were introduced through a flexible silicone tube connecting to a small hole fabricated on the ceiling of the case. The microspheres of the solution introduced slowly settled downward and got together into the potential minimum generated in the gap surrounded by the two pairs of magnets. (Fig.2-a). Initially, the diameter of levitating droplet is 73.0 μm and soon decreased to 43.3 μm (after 8 min 38 s, Fig.2-b). After that, it did not change a lot, and even after about 41 hours, it was still 38.5 μm (Fig.2-c). Through this experiment, the position of levitating solution descended along with the increase of the density of the solution by the water evaporation, however, the crystallization of lysozyme was not clearly observed. In the final state, the solution appeared to have a gel-like structure. Importantly, the levitating state lasted for more than a day. The further discussion will be presented in the meeting.



Fig. 1 Experimental set up

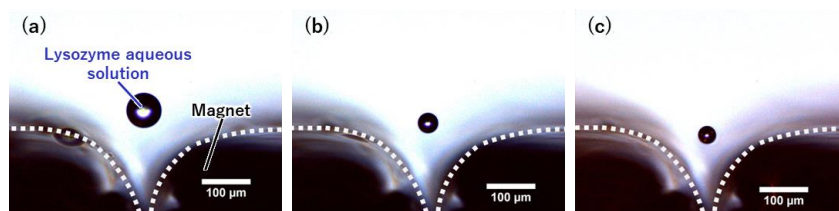


Fig.2 (a) Magnetic levitation of aqueous solution of lysozyme. (b) After 8 min 38 sec. (c) After about 41 hours.

- 1) T. Nakamura et al., *Int. J. Microgravity Sci. Appl.*, **36** (1) (2019) 360103

Development of AC magnetic field generator for magnetic hyperthermia effect and magnetic relaxation analysis of $\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{2.8}\text{O}_4$ nanoparticles

Grad. Sch. of Eng. Sci., YNU.¹, Grad. Sch. of Env. and Info., YNU.², Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ.³, °Yohei Fujita¹, Takeshi Sakamoto¹, Kazune Nii¹, Tomomasa Moriwaki², Hiroki Amano¹, Kentaro Ohara¹, Kenta Nakazawa², Masayuki Abe³, Yuko Ichiyanagi^{1,3}
E-mail: fujita-yohei-yd@ynu.jp

Magnetic hyperthermia treatment (MHT) is a promising new method of cancer treatment. Since cancer cells are sensitive to heat, they can be killed by applying an AC magnetic field using magnetic nanoparticles (MNPs). The composition and properties of MNPs optimal for MHT applications have already been clarified by our previous experiments. Therefore, in this report, the improvement of AC magnetic field generator and theoretical analysis of the heat generation mechanism and magnetic relaxation are focused.

$\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{2.8}\text{O}_4$ NPs are prepared as samples for experiments and evaluated their physical properties to confirm that they had expected composition and showed superparamagnetic behavior. To realize high frequency AC magnetic field generation, a zero-voltage switching (ZVS) circuit was introduced. It can generate an AC magnetic field from a DC power source, eliminating the need for a large-scale AC magnetic field generator. The coil shape was also changed so that the object can be sandwiched for future *in vivo* experiments (Fig. 1). Even with the new shape, a temperature rise of MNPs of much higher than 42.5°C could be obtained. Cancer cells rapidly die at this temperature.

For magnetic relaxation analysis of $\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{2.8}\text{O}_4$ NPs, the results of magnetization measurements using a SQUID magnetometer were used. The blocking temperature T_B : the temperature that magnetic moment be fixed was identified. Using T_B , relaxation time τ : the time it takes for the magnetic moment of the particle to orient to the external magnetic field was calculated. Then the relationship between particle size and the dominance of Néel and Brownian relaxation in particle heating was visualized (Fig. 2).

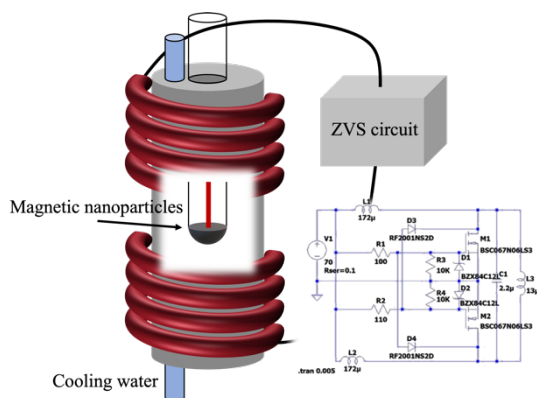


Fig. 1: Device system for MHT with ZVS circuit and modified coil shape.

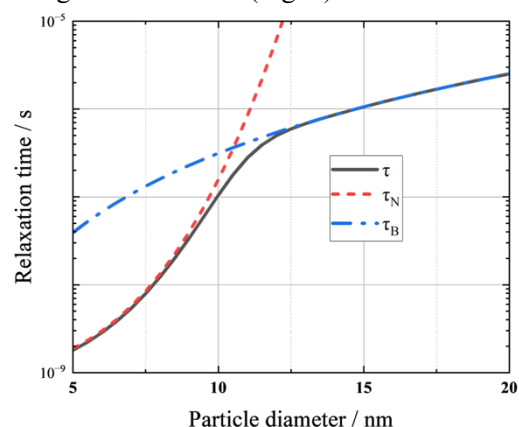


Fig. 2: Evaluation of dominant relaxation mechanism τ_N and τ_B depending on the size of $\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{2.8}\text{O}_4$ nanoparticles.

交流と直流の直交磁場下における磁性ナノ粒子の配向運動

Oriental motion of magnetic nanoparticle under ac and dc crossed magnetic field

阪大院理¹ ○諏訪 雅頼¹, 野北 優¹, 塚原 聡¹

Osaka Univ.¹, [○]Masayori Suwa¹, Masaru Nogita¹, and Satoshi Tsukahara¹

E-mail: msuwa@chem.sci.osaka-u.ac.jp

【序論】磁性ナノ粒子 (MNP) の配向運動は、磁場によって誘起される直線二色性 (MLD) により観測することが可能である。MNP の運動は交流磁場により広い周波数範囲で遠隔操作できるため、ナノレオロジー法への応用が期待できる。周波数 f の交流磁場下で MNP の回転モードは2種あり、異方性エネルギーの小さな MNP は $2f$ 、大きな MNP は f で配向する[1]。しかし、交流磁場のみを印加する以前の MLD 測定系[2]では、いずれの場合でも MLD の周波数は $2f$ となり、これらの区別は困難であった。ナノレオロジーでは配向運動の周波数依存性を調査する必要があり、配向モードが混在するような MNP では正確に測定できない。本研究では、直流磁場を重畳することで、交流磁場と MNP 配向運動の周波数が一致するような系を構築し、MNP の配向挙動を MLD 変化から考察した。

【実験】測定装置の概略を Fig. 1 に示す。交流磁場 (B_{ac}) 発生用のスプリット型コイルを直流磁場 (B_{dc}) 発生用電磁石の磁極間に設置した。波長 405 nm のレーザー光を B_{dc} と平行な直線偏光とし、スプリットコイル内のセルに照射、透過光を $\lambda/2$ 波長板とウォラストンプリズムによって B_{dc} に対し 45° および -45° の直線偏光に分離、これらの強度差から MLD を求めた。試料として直径 9 nm および 29 nm の酸化鉄 MNP を用いた。

【結果と考察】交流・直流直交磁場下での MLD 波形を Fig. 2 に示す。9 nm と 29 nm の MNP 両者について、磁場と同じ周波数 f の MLD を観測した。MLD 強度は B_{dc} に依存し、直流磁場方向への MNP の整列で MLD 信号が増強することが分かった。交流磁場のみを印加した以前の測定系と比較して信号雑音比は最大で約 20 倍となり、高感度化にも成功した。さらに、MLD 信号の振幅および位相の周波数依存性を調査することで配向緩和時間を見積もることができた。

[1] N. A. Usov, Y. Liubimov, *J. Appl. Phys.* **112**, 023901 (2012)

[2] M. Suwa, A. Uotani, Y. Tojo, R. Onodera, S. Tsukahara, *Langmuir* **38**, 9708-9719 (2022)

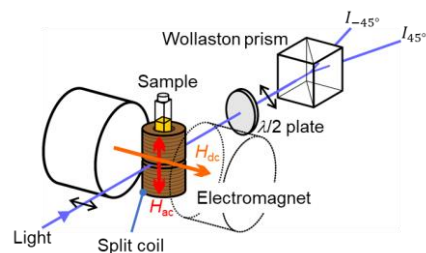


Fig. 1 The schematic apparatus for MLD measurement under a crossed field.

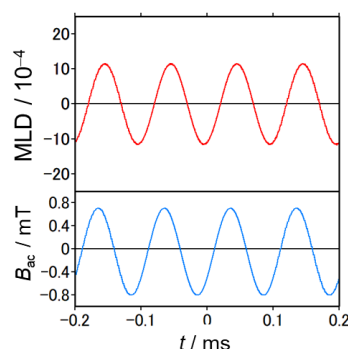


Fig. 2 Time variation of MLD (top) and ac magnetic field (bottom). $B_{dc} = 9.7$ mT.

磁場中物理気相輸送法で作製した尿素結晶の評価

Evaluation of urea crystals prepared by physical vapor transport in high magnetic fields

東北大金研 °高橋 弘紀, 茂木 巖, 淡路 智

IMR, Tohoku Univ., °Kohki Takahashi, Iwao Mogi, Satoshi Awaji

E-mail: kohki.takahashi.e5@tohoku.ac.jp

磁場などの外場を用いた材料プロセスは、材料の高品質化、高機能化が期待できることから様々な研究が行われている。中でも磁場は非侵襲で物質に作用し、材料を構成する分子や微結晶の配向や配列が期待できる。勾配磁場下で物質に働く磁気力は、強磁場マグネットを利用することで反磁性などの磁化率の小さな物質であっても重力に匹敵するほどの大きさになる。そのため、強磁場、高磁気力場は新しい材料プロセスの場として注目されている。我々はこれまで、磁場中での試料の加熱とその場観察が可能な装置を開発し、有機材料などの磁場中熔融凝固過程のその場観察や、最近では尿素の物理気相輸送法による結晶作製の試みについて報告してきた[1, 2]。物理気相輸送法による結晶作製は、Fig.1 に示すように成長容器として市販の試験管を用い、加熱には透明ガラスヒーターを使用することで CCD カメラによるその場観察も可能にしている。試験管は小型のダイアフラムポンプで排気を行い、100°C まで昇温後、一定時間保持した後室温まで降温した。磁場、磁気力場の印加には東北大金研強磁場センターの 15T 無冷媒超伝導マグネットを使用し、最大 15 T までの磁場及び $\pm 900 \text{ T}^2/\text{m}$ までの磁気力場を印加した。作製した試料は、磁場印加方向を保ったまま取り出せるように試験管内に薄い石英板を挿入し、石英板上に結晶を析出させた。Fig. 2 は取り出した石英板上の結晶の例である。析出した結晶の位置は、既報と同様に磁気力場の方向によって変化しているのが観察されている。今回は析出した結晶の X 線回折を行い、得られた回折パターンと磁場による作製条件との関連について報告する。

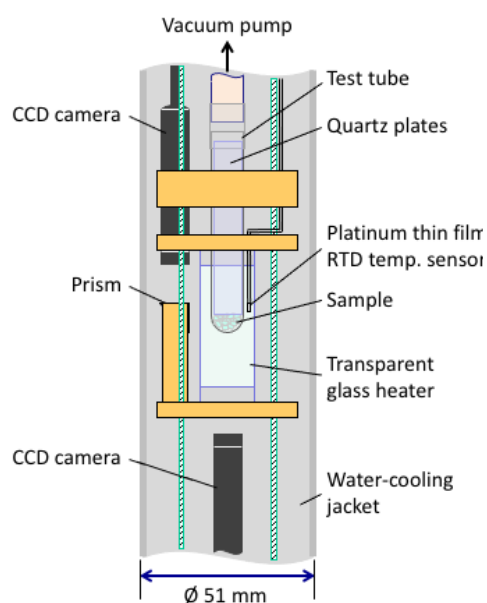


Fig. 1 Schematic illustration of the glass-heater furnace used for the growth of urea crystals.

本研究は JSPS 科研費 JP22K04944 の助成を受けたものである。

[1] 高橋ら, 第 82 回応用物理学会 秋季学術講演会 (2021) 12a-N324-3.

[2] 高橋ら, 第 69 回応用物理学会 春季学術講演会 (2022) 22a-E205-2.

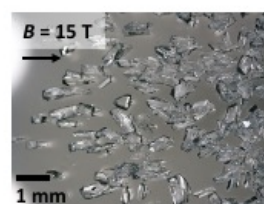


Fig. 2 Photograph of urea crystalized in a magnetic field of 15 T.

磁場印加 in-situ X 線回折法による DyBa₂Cu₃O_{7-δ} 粉末の構造の検討

Study on crystal structures in DyBa₂Cu₃O_{7-δ} powder by in-situ X-ray diffraction measurements under modulated rotating magnetic fields

京先端大 足立伸太郎, ○木村史子, 堀井滋

Kyoto Univ. Adv. Sci., Shintaro Adachi, Fumiko Kimura, Shigeru Horii

E-mail: kimrui.fumiko@kuas.ac.jp

1. はじめに

高い臨界温度を有する超伝導セラミックスである DyBa₂Cu₃O_{7-δ} (略 Dy123, 0 ≤ δ ≤ 1) の超伝導特性は、酸素量に敏感である。Dy123 相の合成には 900℃ 程度の高温焼成が必要であり、相生成時は δ ~ 0.7 程度の正方晶構造をとる。合成後の冷却プロセスや酸素アニール (350 ~ 450℃) プロセスで斜方晶へ構造相転移する。δ 値が結晶系の転移領域に近い場合は、a 軸と b 軸の長さがわずかに異なる斜方晶と、a 軸と b 軸の長さが等しい正方晶が存在する。この相転移付近での正方晶と斜方晶の区別は、2 つの結晶系で磁化率異方性が異なることを利用して区別が出来ることを我々は既に報告した⁽¹⁾。

Dy123 相の合成後の酸素アニール (300 ~ 450℃) プロセスでは δ ≈ 0 の斜方晶となる。斜方晶の Dy123 は ab 面内に双晶構造を有する。正方晶から斜方晶に変化する際、結晶はひずみエネルギーを最小化するように、つまり、a, b 軸方向の長さの変化による結晶粒の変形なるべく生じないように、(110)面を双晶面として双晶組織を形成する。

本研究では、冷却プロセスの異なる Dy123 及び酸素アニールした Dy123 を用いて、その磁気異方性から試料の双晶組織の形成を検討したので、報告する。

2. 実験方法

固相反応により多結晶 Dy123 粉末を調製した。Ar と O₂ の混合ガス (99.9% Ar+0.1% O₂) を流しながら、多結晶粉末を 650℃、または 550℃ でアニールし、急冷した。それら試料は、#650、#550 として表した。酸素アニールした Dy123 (δ ≈ 0) は酸素 100% 雰囲気下でまず 450℃ その後 300℃ でアニールした。得られた試料は #300 とした。乳鉢で粉碎した Dy123 微結晶粉末 #650 を粘度計校正用標準液 JS14000 (日本グリース株式会社製、粘度: 20℃ で 12 Pa s) に、また粉碎試料 #550 と #300 は粘度計校正用標準液 JS160000 (日本グリース株式会社製、粘度: 20℃ で 140 Pa s) に分散させ、約 10 wt% 微結晶懸濁液を調整した。

2D XRD 回折測定では、2 次元検出器を用い、懸濁試料に変調回転磁場を印加しつつ in situ XRD 測定を行った。変調磁場発生には 90° 変調磁場を用いた。回転速度比を変えて測定を行った。磁場強度は 1 T であった。また、特定の回折面をみるため、試料とコリメータの間にシャッタを置いた。尚、線源には MoKα を用いた。

データ整理では、回折面 (200) と (006) の半値幅をもとめた。その回転比に対して半値幅をプロットし、フィッティングを行い、(χ₂-χ₃)/(χ₁-χ₃) の比を求めた。ここでは、磁化率の大きさを χ₁ > χ₂ > χ₃ で定義した。

3. 結果と考察

Figure 1 には、配向揺らぎの定義を示した。今回の実験系では、配向揺らぎ <φ²> と <θ²> が観測できる。Figure 2 に #300 の懸濁液を 90° 毎に 30rpm 及び 75rpm で回転させて得られ in situ X 線回折像を示した。左と右の回折像の違いはシャッタを用いているため、観察される回折面が異なるためである。左の試料を 90° 回転させると右の回折像が得られる。左の回折像は (χ₁-χ₃) 面を表しており、青色のサークルの中のスポットは (006) 面の回折点である。一方、右の回折像は (χ₂-χ₃) 面を表している。赤いサークル中のアークは (200) 面を示している。明らかに (006) と (200) の回折点の半値幅が違ってくる。

このようにして得られた半値幅を回転速度比に対してプロットし、熱による配向揺らぎの式で fitting をかけて磁化率異方性比 (χ₂-χ₃)/(χ₁-χ₃) を得た。発表では、得られた結果を示し議論する。

参考文献 (1) F. Kimura, S. Adachi, S. Horii and T. Kimura, *CrystEngComm*, **2022**, 24, 3807–3811.

謝辞 本研究の一部は、JST・研究成果最適展開プログラム(A-STEP, ステージ I)および科学研究費助成事業 (17H03235) の助成によって行われたものである。

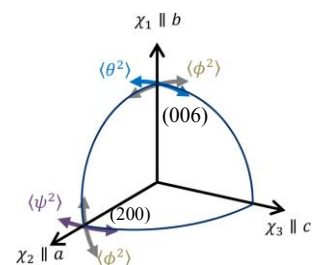


Figure 1 Mean square fluctuations <ψ²> of the a axis about the b axis, <θ²> of the b axis about the a axis, and <φ²> of the a and b axes about the c axis.

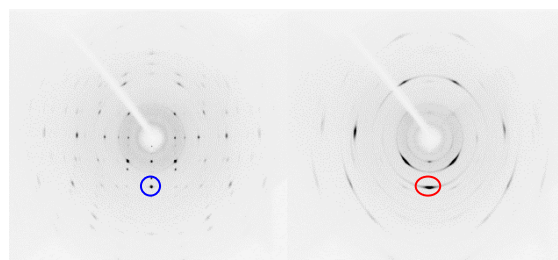


Figure 2 In situ XRD images of #300 obtained at a rotation ratio of 2.5 under a magnetic field of 1 T. The difference between the sample rotation angles (left) and (right) is 90 degrees. The blue and red circles correspond to the (006) and (200) planes.

磁場配向したセルロース微結晶の NMR スペクトルシミュレーション

NMR spectral simulations for magnetically oriented cellulose microcrystals

森林総研 久住 亮介

Forestry and Forest Research Products Institute, Ryosuke Kusumi

E-mail: rkusumi@ffpri.affrc.go.jp

核磁気共鳴 (NMR) では、核外電子による磁気遮へいの効果 (化学シフト、CS) を通じて原子レベルの構造情報が得られる。特に固体では分子の運動が束縛されているため、固体 NMR を測定すれば遮へいの主値とその主軸方向 (CS テンソル) を決定できる。CS テンソルは原子核周りの電子環境を鋭敏に反映するため、これを評価できれば緻密な構造情報を取得できるが、 μm サイズの単結晶が必要であることから、CS テンソルを活かした構造解析はほとんど行われていない。

一方、我々は変調回転磁場を用いた反磁性微粒子の三次元磁場配向化法¹⁾が、 μm サイズの微結晶粉末からの CS テンソルの決定に有効であることを示してきた²⁾。近年では試料の三次元磁場配向が可能な固体 NMR プローブ³⁾を開発し、三次元磁場配向した微結晶の懸濁体 (Magnetically Oriented Microcrystal Suspension, MOMS) の in situ 固体 NMR を通じて、液体中にある微結晶粉末から CS テンソルを直接決定することにも成功している⁴⁾。この開発したプローブ (MOMS プローブ) では、対象の原子レベルの構造情報を液体中で非破壊に抽出することが可能である。現在、より強力な磁気拘束力を得るべく、強磁場仕様の MOMS-NMR システムを構築中である。

MOMS プローブの有用性を活かした応用展開の一つとして、天然セルロースの構造解析がある。セルロースは天然において植物細胞壁の主成分などとして存在しており、これらを微細化すると幅数~数十 nm サイズのナノファイバー (CNF) が得られる。形態観察や計算科学的なアプローチの結果、CNF は繊維軸周りにねじれが存在することが示唆されている。しかしながら、実環境に近い湿潤下での構造や結晶領域 (ナノクリスタル、CNC) におけるねじれの有無は不明瞭である。

以上を踏まえ、CNF/CNC の MOMS-NMR の実測に先立ち、種々のセルロースの磁場配向を仮定した際に観測され得る NMR スペクトルの理論的シミュレーションを行なった。Fig. 1 は、繊維軸周りのねじれ構造の有無を仮定して得られた、静磁場配向下のセルロース結晶の ^{13}C 共鳴ピークの例である。天然セルロース I 型結晶の CS テンソルは不明であるため、ここではセルロース II 型のテンソルデータ⁵⁾を使用しその静磁場下での配向形態⁶⁾を踏まえてシミュレーションを行なった。ねじれ構造のない結晶に比べ、ねじれを仮定した結晶では繊維軸 ($\parallel \chi_3$ 軸) 周りのランダム配向を反映してピークの形状がより複雑になることが分かる。MOMS プローブにより実測スペクトルが取得できれば、ねじれの有無やその程度について有用な知見が得られると期待される。

参考文献

- 1), T. Kimura et al., *Langmuir* **22**, 3464 (2006); 2), R. Kusumi et al., *J. Magn. Reson.* **223**, 68 (2012); 3), R. Kusumi et al., *J. Magn. Reson.* **309**, 106618 (2019); 4), R. Kusumi et al., ISMAR-APNMR 2021; 5), L. Svenningsson et al., *Cellulose* **26**, 4681 (2019); 6), M. Wada et al., *Cellulose* **28**, 6757 (2020).

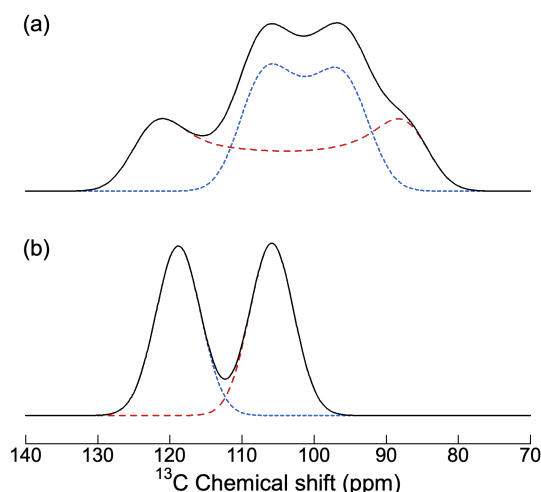


Fig. 1 The ^{13}C resonance peaks simulated for C1 of uniaxially oriented cellulose II crystals (a) with and (b) without twisting around fiber axes. The dotted and broken lines show the ^{13}C peaks calculated for C1 of origin and center chains in the crystal lattice, respectively.

FDTD 法を用いた配向性微結晶の散乱特性

Light Scattering Properties of Oriented Microcrystals by FDTD Method

武内裕香¹, 浜崎亜富² 松田瑞史¹, 川口秀樹¹

Muroran Inst. of Tech.,¹ Shinshu Univ.²

Yuka Takeuchi¹, Atom Hamasaki², Mizushi Matsuda¹, Hideki Kawaguchi¹

E-mail: yuka0122@mmm.muroran-it.ac.jp

一般に、等方性粒子の場合、入射光の波長に比べて小さな粒子からの前方散乱光と後方散乱光の強度はほぼ等しくなる。一方、入射光の波長に比べて大きな粒子では、回折に起因する強い前方散乱が発生する。しかし、異方性を持つ物質の散乱分布は非常に複雑である。本研究はセルロースの微結晶を数値モデルとし、磁場印加前後の結晶の光の伝搬の様子を FDTD シミュレーションによって解析を行った。FDTD 法におけるグリッドは一辺 26 nm の立方体とし、グリッド数は 500×500×500 とした。また、比誘電率 1.77 の空間に散乱体としてセルロース微結晶を模した長さ 5.0 μm 、半径 1.0 μm 、比誘電率 2.28 の円柱を解析領域中心に配置した。X 軸方向から波長 785 nm の励起光（平面波）を照射した。

図 1 は各軸に平行な角度で結晶を置いた時の解析結果を示す。散乱体は励起光よりも大きいため、前方散乱が最も強いのが確認できる。次に、Y 軸方向への散乱強度は状態 (iii) の時が最も強く、(i), (ii) の時の約 3 倍である。また、Z 軸方向への散乱強度は状態 (ii) の時が最も強く、(i), (iii) の時の約 3.5 倍である。セルロースは磁場に対して垂直に配向するため、X 軸方向に磁場を印加すると、状態(i)の結晶は (ii) または (iii) の方向へ配向する。その散乱光の変化(磁場効果)を Z 軸方向から検出すれば、磁場による光強度の大きな変化を得ることが期待できる。以上の結果は、配向性の結晶の光検出において重要となる、励起光・磁力線・検出方向の各軸の関係を最適化する際に有用である。

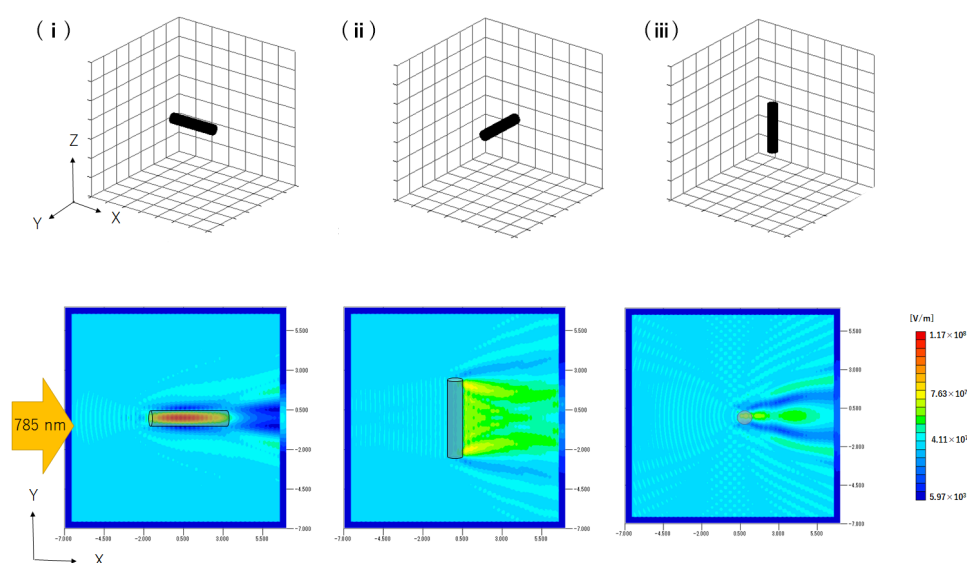


Fig.1 FDTD シミュレーション 上段：数値解析モデル，下段：セルロース結晶の散乱特性

三重極電磁石による回転磁場発生装置の静磁場解析

Magnetic Field Analysis for a Rotating Magnetic Field by Triple-pole Magnet

浜崎亜富², 柳井秀太¹, 武内裕香¹, 川口秀樹¹

Muroran Inst. of Tech.,¹ Shinshu Univ.²

°Atom Hamasaki², Shuta Yanai¹, Yuka Takeuchi¹, Hideki Kawaguchi¹

E-mail: atom@shinshu-u.ac.jp

反磁性物質であっても磁場を印加すると、磁化率異方性に起因して物質がエネルギー的に安定な方向へ揃うことが知られている。我々はこの現象を利用して、10 テスラの強磁場を黒鉛調製過程に印加すると、エネルギー使用量を 10% 程度抑制できることを見出した[1]。ここで、静磁場を使う場合、完全な配向を起こすことは困難であり、完全配向を達成するには回転磁場を用いる必要がある。つまり、回転磁場を用いることで低い磁場でもこれまでと同様の磁気配向が期待できる可能性がある。ただし、回転磁場を印加しようとする冷却装置やヒーターを含む試料部分を磁石に組込む必要があるため、四方を囲まれた空間では、スペース的に難しい。そこで、我々は三重極磁石を用いて、それぞれの磁極を独立させその電流値を変化させることで 90° の回転磁場を発生できると考えた。中心部に均一の磁場強度かつ回転磁場を発生させるための印加電流比は、以前開発した四重極磁石と比べ非常に複雑である[2]。そこで、それぞれの磁極に電流を印加した場合の磁力線の変化を 3 次元有限積分法 (FIT) でシミュレーションすることによって、一定の強度で回転磁場を発生させられるか検討した。

図 1 に示すようにコイルの大きさは全て同じとし、3 つの磁極は装置中心で向かい合い、磁性体の外枠で囲まれて閉じた磁気回路を構成する。まず、シミュレーションでは最大電流値は 3 つのコイルとも同じと仮定した。例えば、磁力線を 45° の方向に向けたい時には、図に示す Coil A と C に対して Coil B に 1.96 倍 の電流を流すとよい。この時のベクトル成分は概ね 4×4 mm² の範囲で目的の方位を向くことがわかった。同様に、60° および 90° の時は Coil A と C に対して Coil B に 1.15 倍、および 0.017 倍の電流値とすればよい。また、磁場強度は 90° の時を基準にすると、45° と 60° では 64% および 76% 程度しか発生しない。ただし、飽和磁化を考えないことを前提すれば、最大電流値を調整することで磁場強度を一定にすることができる。

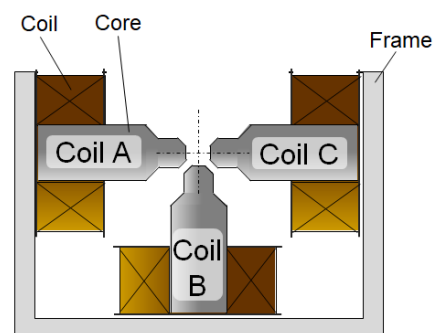


Fig.1 三重極磁石

参考文献

- [1] A. Hamasaki, A. Furuse, Y. Sekinuma, K. Fujio, M. Iide, S. Ozeki, Sci. Rep. 9, 7489 (2019).
- [2] Y. Takeuchi, H. Kawaguchi, M. Matsuda, A. Hamasaki, Appl. Phys. Express 14, 057002 (2021).