

同時発表：
筑波研究学園都市記者会（資料配布）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）
経済産業記者会（資料配布）
茨城県政記者クラブ（資料配布）



中性子で微粒子の配向過程を解明

－ 中性子回折で実現したセラミックス微粒子配向過程の直接観察 －

平成20年3月18日

独立行政法人物質・材料研究機構

独立行政法人日本原子力研究開発機構

概要

1. 独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）量子ビームセンターの寺田典樹研究員らは、独立行政法人日本原子力研究開発機構（理事長：岡崎 俊雄、以下「原子力機構」という）先端基礎研究センターの目時 直人研究主幹らと共同で、原子力機構の研究用原子炉（JRR-3）における中性子散乱実験により、溶媒中に分散した弱磁性微粒子が磁場によって配向する過程を直接観察することに成功した。
2. セラミックスの中でもアルミナ材料は、電気絶縁特性、耐熱性、力学特性、熱伝導、光学特性が優れているため広く用いられている。アルミナ材料を形成するアルミナ微粒子を強磁場環境下において一定方向に配向することにより、こうした特性は更に向上する。しかしながら、磁場による配向をより完全にするためには、微粒子の配向過程の解明が求められていた。
3. 今回、原子力機構の研究用原子炉 JRR-3 に設置された多目的熱中性子ビームポート「武蔵」を用いた中性子散乱実験によって、10テスラまでの磁場下で、溶媒中に分散したアルミナ微粒子が配向する過程を観察することに初めて成功した。この結果、アルミナ微粒子を完全に配向させるためには20テスラ以上の強磁場が必要であることを明らかにした。
4. 本成果は、磁場によって弱磁性の微粒子が配向する過程を直接観察した初めての例であり、中性子回折が微粒子の配向過程を直接観測する手段として有用な方法であることを示した。X線と比較して物質を透過する能力の高い中性子を用いると、試料全体の磁場配向過程を捉える事ができるため、今後、中性子回折によって様々な材料の微粒子の配向過程が解明されることが期待される。
5. 本研究成果は、米国学術誌『Applied Physics Letters』に3月24日に掲載される予定である。

研究の背景

セラミックスはその優れた電気絶縁特性、耐熱性、力学特性、熱伝導性、光学特性から、多くの用途に用いられており、その特性は、セラミックスの種類や純度はもちろんの事、材料を構成している結晶粒の大きさや向きなどのマイクロな構造組織によっても大きく異なることが知られている。この組織制御が、セラミックスの特性を向上させる手段として用いられ、中でも微粒子の方向を揃える（配向と呼ぶ）制御は力学特性や光学特性などの機能性を向上³⁾させる手段として重要であり、近年では、微粒子を固める際に磁場によって結晶の向きを揃える技術が注目されている。 α -アルミナ（酸化アルミニウム）は、図1中に示されるような六角形を底面にして縦に長い六方晶構造をとる。アルミナのようなセラミックスは、通常、反磁性⁴⁾と呼ばれる性質を持ち、僅かに磁場に反応する。超伝導電磁石⁵⁾が発生する十数テスラという強磁場をかけながらセラミックスを固めると、図1に示すようにアルミナ微結晶の縦に長い方向（その方向をc軸と呼ぶ）が磁場と平行になるように回転して向きが揃うことがわかってきた。ところが、セラミックスを固める前の懸濁液の中で、磁場をかけることによって微粒子が回転し、配向する様子を観測した例はなく、その回転機構は完全には理解されていなかった。

研究成果の内容

中性子線回折は、X線回折や電子線回折と並んで、固体の結晶構造や、材料組織の規則性を知る手段である。中性子線はX線や電子線と比較して、高い物質透過性をもっているため、金属アルミニウム容器に入れた水の中でアルミナ微粒子が懸濁した状態でも、微粒子全体からの情報を得ることができる。中性子回折実験は、原子力機構の研究用原子炉JRR-3 ビームホールの多目的熱中性子ビームポート「武蔵」において、原子力機構が開発した無冷媒中性子散乱実験用高磁場マグネットを用いて行った。実験配置の模式図（図2）に示したように、今回の実験では磁場と垂直な方向の回折中性子を捉えた。この場合、六角形の面からの反射は、縦長の結晶軸が磁場と垂直であれば強く、磁場と平行になると消失すると考えられる。微結晶がランダムに向いている磁場の無い状態から、鉛直方向に磁場をかけていくと、この反射のピーク強度が減少する様子が観測された。（実験では、六角形の面からのいくつかの反射のうち006反射と呼ばれる反射を測定した。）強度が弱くなると、磁場が結晶軸と平行に配向することが確認された。（図3）水中の微粒子が配向していくメカニズムは、微結晶が磁場の方向に揃おうとする力と、反対に主に水分子との衝突によってランダムな方向を向こうとする力のバランスによって記述できると理論上考えられている。

図4に示したように、10テスラまでの実験結果を理論曲線によって外挿することによって、懸濁液中の微粒子を完全に配向させるためには、20テスラ以上の磁場が必要であることが明らかになった。

波及効果と今後の展開

本研究は、中性子線回折を用いて実現したセラミックス微粒子配向の直接観測の最初の例である。この成果は、非常に小さい磁気異方性⁶⁾を有する弱磁性セラミックスが完全に配向する臨界磁場を明らかにしたばかりでなく、中性子線回折が微粒子の配向過程の解明に

有効であることを示した。今回、配向の臨界磁場（20 テスラ以上）が明らかになったことにより、配向によるセラミックス特性向上技術の実用化に一步近づいた。来年度後半には、大強度陽子加速器施設（J-PARC）の物質・生命科学実験施設における研究が開始されるなど、中性子科学の注目度は益々高まっており、本研究を出発点に、中性子線を利用した様々な微粒子⁷⁾の配向過程の解明が期待される。

問い合わせ先：

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1 - 2 - 1
独立行政法人物質・材料研究機構
広報室 TEL:029-859-2026

独立行政法人日本原子力研究開発機構
広報部次長 花井 祐 TEL：03-3592-2346

研究内容に関すること：

独立行政法人物質・材料研究機構
量子ビームセンター 中性子散乱グループ
研究員 寺田 典樹
TEL：029-860-4627
FAX：029-859-2801
E-mail：TERADA.Noriki@nims.go.jp

高磁場中性子散乱実験について

独立行政法人日本原子力研究開発機構
先端基礎研究センター
研究主幹 目時 直人
TEL：029-284-3872
FAX：029-282-5939
E-mail：METOKI.Naoto@jaea.go.jp

【用語解説】

1) 回折

中性子線や電子線等の粒子線や電磁波である X 線を、規則正しく並んだ原子から構造されている結晶に照射すると、それらの波としての性質によって干渉がおこり、特定の方向に強い粒子線あるいは電磁波を得ることができる。この回折現象を利用して、結晶構造の解析を行うことができる。それぞれ中性子回折法、電子線回折法、X線回折法として結晶構造の解析手法が確立されている。

2) テスラ

「磁界（磁束密度）」の単位。1 テスラ=10,000 ガウス。

3) 力学特性や光学特性などの機能性向上

微粒子を配向させて作成したセラミックス材料は、微粒子がランダムな方向を向いた多結晶体より単結晶に近い場合、単結晶が多結晶に比べてその特性が高ければ、配向によって擬単結晶化することで特性を向上させられる場合がある。例としては、力学特性として摩耗性向上や、光学特性としての光の直線透過性の向上が挙げられる。

4) 反磁性

磁場をかけたとき、物質が磁場とは逆向きの磁気を帯びる性質。一方、鉄やニッケルなどの強磁性体は磁場の向きに磁気を帯びて強力な磁石となる。

5) 超伝導電磁石

超伝導体を用いた電磁石のこと。超伝導体は電気抵抗がなく発熱の問題もないので、通常の電磁石よりも強力な磁力を発生させることができる。

6) 磁気異方性

物質に磁場を加えた場合に発生する磁気エネルギーが、磁場を加える方向によって異なる性質。アルミナの場合は磁場が c 軸と平行になる場合が最もエネルギーが低く安定するためにアルミナ微粒子は磁場と c 軸が平行になるように回転する。

7) 様々な微粒子

特に、配向することによって誘電率が向上する誘電体や、圧電性が向上する圧電体など。

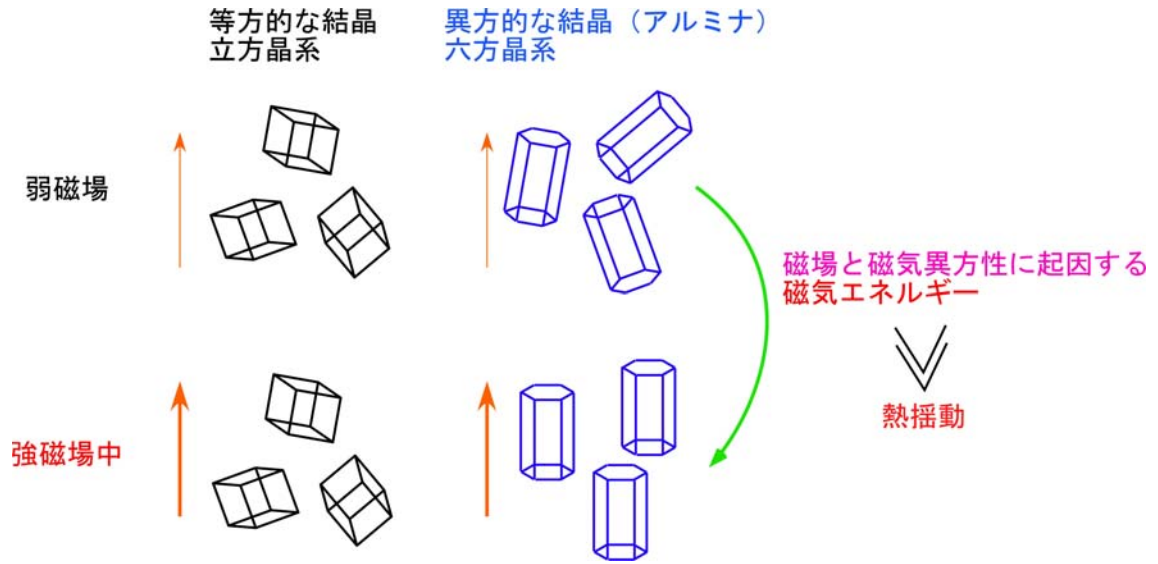


図1：微粒子の磁場による回転の模式図

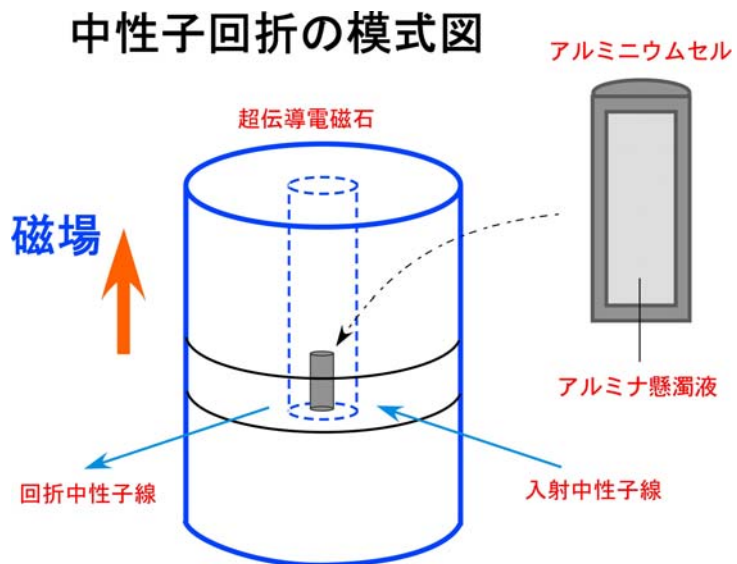


図2：中性子回折実験の模式図

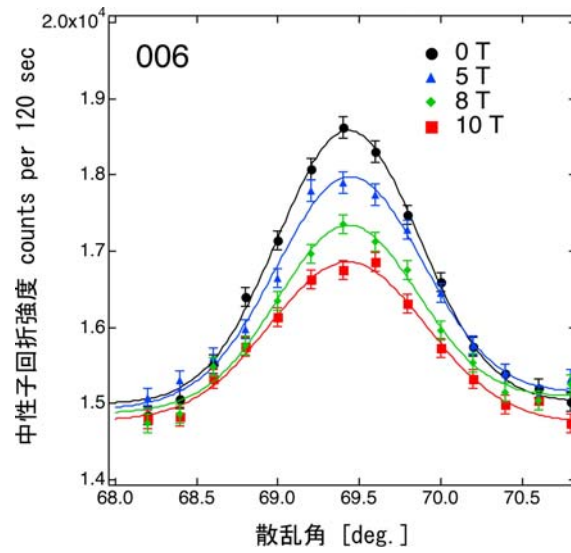


図 3 : 006 反射の中性子回折プロファイルの磁場依存性

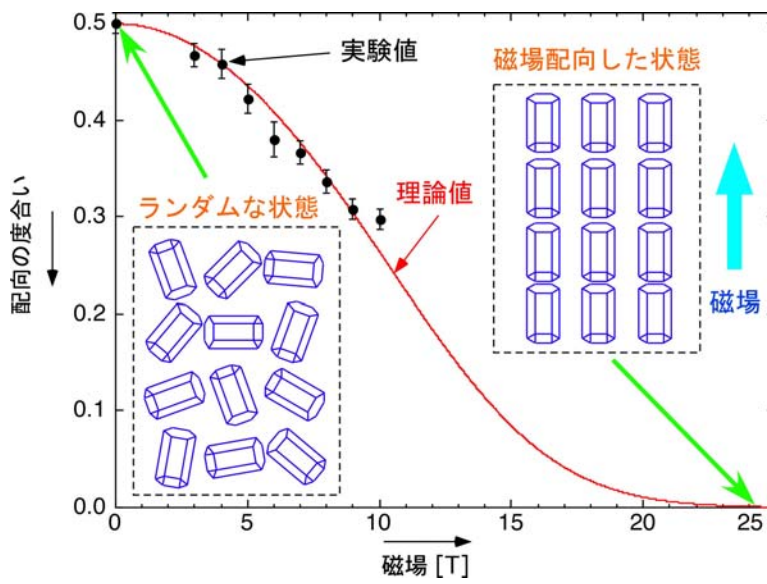


図 4 : 006 反射強度の磁場依存性の実験値と理論値