

中性子回折を利用した電界中における 懸濁誘電体微粒子の結晶配向特性に関する研究

Characterization of crystal orientation of dielectric particles suspended in a liquid under the electric field using neutron diffraction

利用者 大槻 晶¹⁾、寺田 典樹²⁾、鈴木 博之²⁾、河村 幸彦²⁾、目時 直人³⁾

Akira OTSUKI, Noriki TERADA, Hiroyuki SUZUKI, Yukihiko KAWAMURA, Naoto METOKI

所属 ¹⁾University of South Australia、²⁾物質・材料研究機構、³⁾日本原子力研究開発機構

キーワード 誘電体粒子、数珠球形成、電界、結晶配向、中性子回折

1. 目的

微粒子工学の分野では、電気粘性流体を始め、電界中における誘電体粒子の数珠球形成に関する研究が数多く行なわれている¹⁻⁴⁾。この現象は、誘電分極により誘電体粒子が電場方向に配列するというものであり、数珠球形成のメカニズムは主に双極子モデル⁵⁾・多重極子モデル^{6,7)}によって説明されているが、一個粒子を数珠球形成の最少単位として扱い、その粒子の内部構造すなわち結晶構造が数珠球形成に寄与する点に関しては検討されていない。本研究では、粒子の結晶構造、具体的には粒子が有する結晶面が電界印加によって配向する過程を観察することによって、電界強度と特定の結晶面の粒子配列への寄与度を推定する。分極異方性と熱振動のエネルギーバランスが数珠球形成の成否を決定する重要な要素であり、電界強度を変化させることによりそのバランスは変化する。例えば、電界印加によって粒子に与えられる分極異方性エネルギーが熱振動エネルギーより大きくなると、数珠球構造が形成されると予想できる。この仮定に基づく理論値と中性子回折実験より得られた実験値を比較することにより、数珠球形成に寄与する電界強度と粒子内の結晶配向の関係性を定量的に評価する。

本研究では、中性子回折法を用いて溶液中に懸濁している誘電体微粒子の結晶配向特性の観察を行ない、従来困難であった電界印加した溶液中における誘電体微粒子の結晶配向特性と電界強度の関係を評価する測定技術を開発する。例えば、偏光顕微鏡法は、溶液中での粒子の結晶配向特性の観察が可能であるが、今回測定対象とする酸化チタン（ルチル）のような結晶面による光学的性質の差が小さい試料での観察には適さない。また、粉末X線回折法や電子線後方散乱回折法などでは、金属表面などバルク体の表面観察にはよく用いられるが、多孔質体や懸濁液中の微粒子の観察は困難である。本研究では、電界中における懸濁誘電体粒子の結晶配向特性の評価手法を開発し、電界強度と誘電体粒子の結晶配向特性の関係を明らかにする。本研究により、電界中における数珠球形成メカニズムのより深い理解、新たな電気粘性流体・数珠球形成を利用した微粒子の物性計測装置の開発への寄与が期待される。

2. 方法

電界強度と誘電体粒子の結晶配向特性の関係を明らかにするために、形状の異なる2種類のルチル粒子（球形粒子（平均粒子径200 nm）、針状粒子（短径270 nm、長径5.2 μm））の懸濁液を4種類の電界強度下（0, 2.5×10^5 , 3.8×10^5 , 5.0×10^5 V/m）に供試した。図1に測定セルの概要を示す。銅板を石英ガラスで挟み込み、その間に懸濁液を供試する。数珠球は中性子線が垂直にあたるよう形成した。試料粒子の粒度分布は単分散であり、粒子濃度は十分な回折強度を得るため2.5および10 vol. %とした。電界中で配列させた分極率異方性のある誘電体微粒子に対して中性子回折実験を行ない、結晶配向特性の電界強度依存性の定量的な評価を試みた。具体的には、

(1) 球状粒子を用いた分極率異方性に依存する結晶配向特性と電界強度の関係、(2) 球状粒子の測定結果と針状粒子の測定結果を比較することによる分極率異方性・形状異方性に起因する結晶配向特性と電界強度との関係を検討した。

3. 実験結果

水素を含まない非極性溶媒（フッ素オイル）中で、中性子回折実験により電界方向に配列させたルチル粒子の選択的結晶配向を観察するためのセル及び実験環境を整えることができた。しかし、電界強度を変化させることによる顕著な配向特性の変化は確認できなかった。溶媒中で粒子が凝集体を形成したため、1個1個の粒子が数珠球を形成するために必要な空間的自由度が低かったためと考えられる。

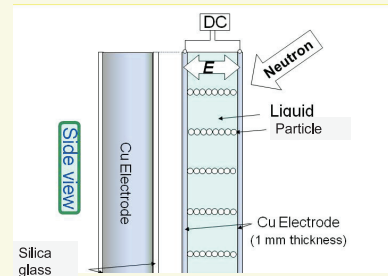


図1 測定セル

4. まとめ

水素を含まない非極性溶媒中で、中性子回折実験により電界方向に配列させたルチル粒子の選択的結晶配向を観察するためのセル及び実験環境を整えることができた。しかし、電界強度を変化させることによる顕著な配向特性の変化は確認できなかった。溶媒中で粒子が凝集体を形成したため、1個1個の粒子が数珠球を形成するために必要な空間的自由度が低かったためと考えられる。今後、界面活性剤（オレイン酸ナトリウム）被覆したマグネタイト微粒子をフッ素オイルなど水素を含まない非極性溶媒に分散させた懸濁液を用いることで浮遊する1個1個の粒子が数珠球形成に寄与できる条件下での回折実験を行なう。

5. 引用（参照）文献等

- 1) D.L. Klass, T.W. Martinek, J. Appl. Phys. 38 (1967) 67-74.
- 2) G.H. Kim, Y.M. Shkel, J. Intelligent Material Systems and Structures, 13 (2002) 479-483.
- 3) V. Pavlinek, P. Saha, T. Kitano, J. Stejskal, O. Quadrat, Physica A 353 (2005) 21-28.
- 4) B.X. Wang, X.P. Zhao, Y. Zhao, C.L. Ding, 67 (2007) 3031-3038.
- 5) A.P. Gast, C.F. Zukoski, Adv. Colloid Int. Sci. 30 (1989) 153-202.
- 6) Y. Nakajima, T. Saito, Journal of Electrostatics 45(1999) 213-226.
- 7) Y. Nakajima, T. Matsuyama, Journal of Electrostatics 55(2002) 203-221.