

平成22年9月17日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：平成19年度～平成20年度  
 課題番号：19750067  
 研究課題名(和文) 磁気アルキメデス分離を利用した新規多成分同時定量分析手法に関する研究

研究課題名(英文) Investigation about novel simultaneous quantitative analysis method using magneto-Archimedes separation technique

## 研究代表者

廣田 憲之 (HIROTA NORIYUKI)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノセラミックスセンター・主任研究員

研究者番号：10302770

## 研究成果の概要：

本研究では、物質固有の磁化率と密度の違いにより物質を分離する磁気アルキメデス分離の原理に基づき、新規の多成分同時定量分析手法開発のための基礎的な検討を行なった。

分離の基材物質としていくつかの無機材料または高分子材料をベースに検討し、20 μm程度までの微粒子の分離が可能なこと、より効率的な分離を実現するための磁場分布を計算機シミュレーションにより検討し、超伝導磁石へ磁性体を導入する方法が有効なこと、分離の観測・評価手法について、強磁場中での可視化手法の開発、また、発光材料の活用により、利便性の高い検出が可能であることを示した。

これらの成果により、磁気アルキメデス分離手法が多成分同時定量分析へ適用できることを示すことができた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	0	2,200,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	360,000	3,760,000

## 研究分野：科学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：分離分析、磁気科学、磁気力、磁気浮上、磁気アルキメデス分離

## 1. 研究開始当初の背景

超伝導磁石などにより発生される磁場空間に物質を置くと、その物質には、物質自身の磁性に応じて磁気力が作用する。この磁気力を重力と逆向きに作用させれば、物質の浮上も実現する。申請者らは、物質の周囲媒体を適切に選択することで、磁気力を増強することが可能で、物質浮上に必要な磁場の条

件を緩和できることを見出した(磁気アルキメデス浮上)。磁気アルキメデス浮上において、物質の浮上位置は、物質自身と周囲媒体の体積磁化率差と密度差により決定される。したがって、異なる物性を有する物質は、それぞれ異なる位置に浮上し、分離されることになる。

従来、免疫診断などの医療分析には、磁気

ビーズの利用が広く普及している。ここで用いられる磁気ビーズは、基材物質となるシリカやポリスチレン中にフェライトなどの磁性粉末を含有させることで大きな磁性を付与した粒子の表面に、特定の抗原に対し選択的に結合する抗体を付着させたもので、被分析試料中に分散して抗原と結合させた後、磁石により回収・濃縮する目的で用いられる。磁石につくか、つかないか、という要素だけで分離するため、多成分の分析を行なうには、その都度、分散・濃縮の操作を繰り返す必要がある、分析には時間を要する。

異なる種類の物質に異なる表面処理を施し、磁気アルキメデス分離の手法を導入すれば、新規の多成分同時定量が実現すると期待される。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、新規の多成分同時定量分析手法の開発を目指し、その基礎的な知見を得ることを目的として、磁気アルキメデス分離が、被分析物質と選択的に結合するような表面処理を可能とする基材物質の微小な粒子においても可能なことの実証、磁気アルキメデス分離に適した磁場空間設計に関する検討、および、強磁場中での観測手法についての検討、の各要素について評価を行なった。

## 3. 研究の方法

分離のための基材物質となる材料の検討では、表面の化学処理が可能で、微粒子化できる物質について調査し、いくつかの材料について磁化率、および密度等の測定を行ない、磁気アルキメデス浮上させた際に十分な分離性能が得られるかについて評価した。さらに、従来は、ミリ～数百 $\mu\text{m}$ での実施例しか知られていない磁気アルキメデス分離が数十 $\mu\text{m}$ の微粒子混合試料においても可能であるか、実証試験を実施した。

より効率的な分離を実現するための磁場分布の検討では、本研究で使用する多目的用に作られた普及型の超伝導磁石のボア内部に磁性体等を配置して空間磁場分布を制御する方法に関して計算機シミュレーションを行なった。

また、周囲媒体中に浮上分離した複数の基材物質表面に付着した被分析試料を定量分析するための評価手法について、強磁場中での可視化手法の検討を行なった。

## 4. 研究成果

分離のための基材物質となる材料の検討では、無機材料または高分子材料をベースに、いくらかの金属等を含有させることによって浮上位置の異なる組み合わせを得ようとした。その結果、配合割合の制御によって磁

化率・密度の制御は可能であるものの、浮上条件は類似してしまい、分離が不十分であることが分かった。この結果、組み合わせの異なる物質を使用するほうが有利であることがわかった。

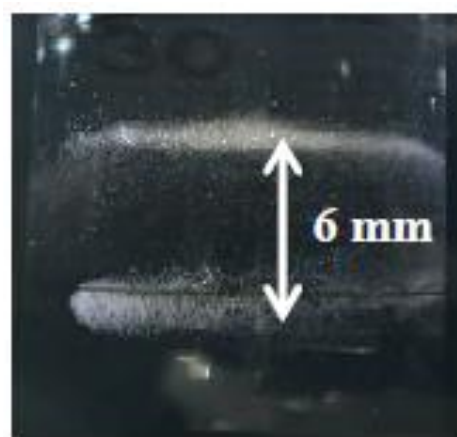


図1 2種のガラス粒子の磁気アルキメデス分離。粒子径はともに $50\ \mu\text{m}$ 。微粒子の場合でもガラスの種類の違いにより空間的に分離可能であることが実証された。

基材物質として選択した数種の材料にそれぞれ異なる添加物が含まれる微粒子の磁気アルキメデス分離について検討し、 $20\ \mu\text{m}$ 程度までの分離が可能であることを明らかにした。

より効率的な分離を実現するための磁場分布の検討では、本研究で使用する普及型の超伝導磁石のボア内部に磁性体等を配置した場合の空間磁場の变化を計算機シミュレーションにより評価した。

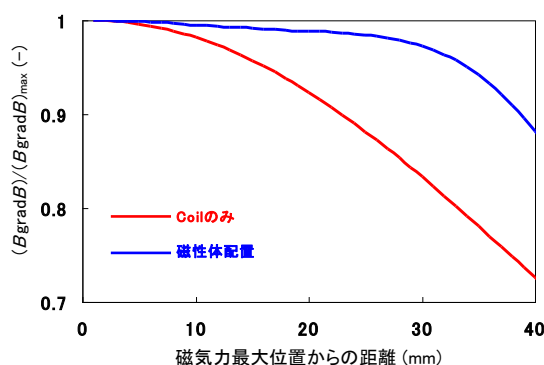


図2 超伝導磁石の磁場空間中に磁性体を配置することで磁場と磁場勾配の積を緩やかに変化させたシミュレーション結果の例。磁性体を空間中で対称に配置することで磁気アルキメデス分離の分解能を飛躍的に向上できることが期待される。

同一平面内でより均一な磁場を得る方法については、磁性体円盤を制御したい空間の付近に配置し、その大きさや位置を変化させることで制御する手法について系統的に評価した。その結果、磁性体の形状次第で容易に制御可能なこと、広い空間の磁場を制御するには、単純な形状では難しいことが明らかとなった。

また、磁気アルキメデス分離の分解能を向上するためには、磁場と磁場勾配の積が緩やかに変化する空間を作ることが有効である。これは、物質に作用する磁気力が、磁場と磁場勾配の積の値に比例するため、このような磁場の空間的制御が可能になれば、磁気アルキメデス浮上するときの物質間距離が稼げることに起因する。このような磁場制御を行なうためには、超伝導磁石のボア空間内に、磁性体材料を対称に配置することが効果的であることがわかり、磁性体のサイズや設置位置などのパラメーターに対する依存性が明らかとなった。図2のように、適切な条件を選択して磁性体を配置することによって、磁性体のないケースに比べて、磁場と磁場勾配の積がかなり緩やかに変化する磁場空間の設計が高精度で可能になることが分かった。

また、分離の観測・評価手法については、可視化手法、発光材料の利用などについて評価した。強磁場中での現象の可視化には、構造材料として磁性体が使えない、超伝導磁石の磁場空間は金属で囲まれたボア空間で外部からの可視化には困難が伴う、空間内および超伝導磁石の周囲には可視化のための装置の設置ができず、1.5~2.0 m程度の距離離して設置する必要があるなど、制約が多い。このため、本研究では、光ファイバーを利用して照明光を導入し、光学レンズを組み合わせることで高分解能の観測を可能にする光学系を開発した。また、粒子の標識に発光材料の活用することで、利便性の高い検出が可能であることがわかった。実際、数種の微粒子を用いて磁気アルキメデス分離を行ない、光学的な手法で浮上位置の違いにより異なる物質が分離されていることを確認している。

これらの成果により、磁気アルキメデス分離手法が多成分同時定量分析へ適用できることを示すことができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Noriyuki Hirota, Tsutomu Ando, Tamotsu Shimada, Hitoshi Wada, Yoshio Sakka, *In situ* observation of the magnetic

orientation process of feeble magnetic materials under high magnetic fields, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 査読有, 9 (2008) 024211-1-4.

- ② Akihisa Miyazoe, Hideki Abe, Tsutomu Ando, Noriyuki Hirota, Masaki Sekino, Hitoshi Wada, A New Approach to MgB<sub>2</sub> Superconducting Magnet Fabrication, *Journal of Physics Conf. Series*, 査読有, 97 (2008) 012272-1-6.
- ③ 廣田憲之, 弱磁性物質の物理化学過程への強磁場影響, *材料の科学と工学*, 査読有, 44 (2007) 41-46.
- ④ Kazuya Yokoyama, Noriyuki Hirota, Masakazu Iwasaka, Separation of Collagens by magneto-Archimedes Separation, *IEEE. Trans. Magn.*, 査読有, 17 (2007) 2181-2184.
- ⑤ Noriyuki Hirota, Soma Hara, Yoshio Sakka, *In Situ* Microscopic Observations of Magnetic Field Effects on the Growth of Silver Dendrites, *Materials Trans.*, 査読有, 48 (2007) 2888-2892.

[学会発表] (計7件)

- ① 廣田憲之, 弱磁性物質の磁気アルキメデス浮上の利用, 日本マイクログラビティ応用学会, 2008.11.25, Kyoto. 京都大学
- ② Noriyuki Hirota, Tsutomu Ando, Investigation of novel applications of magnetic separation technology to promote the recycling-oriented society, アジア研究教育拠点事業「材料電磁プロセッシングの世界拠点の構築」講演会, 2008.9.26, Nagoya. 名古屋大学
- ③ Noriyuki Hirota, Effects of magnetic force on feeble magnetic materials, 日本磁気学会 国際シンポジウム, 2008.9.13, Sendai. 東北学院大学
- ④ Noriyuki Hirota, Tsutomu Ando, Ryo Tanaka, Hitoshi Wada, Yoshio Sakka, Control of the lattice spacing in the triangle lattice of feeble magnetic particles formed by induced magnetic dipole interactions, International Workshop on Material Analysis and Processing in Magnetic Fields, 2008.5.15, Tokyo. Univ. of Tokyo
- ⑤ Noriyuki Hirota, Tamotsu Shimada, Tsutomu Ando, Hitoshi Wada, Yoshio Sakka, *In situ* observation of the magnetic orientation process of feeble magnetic materials under high magnetic fields, International Conference on Magneto-Science 2007, 2007.11.11-15, Hiroshima, Hiroshima International

Conference Hall.

- ⑥ Noriyuki Hirota, Control of the thermal convection of water by utilizing the magnetic force, Summer School on Electromagnetic Processing of Materials, 2007.7.9-12, Research Institute of Industrial Science and Technology (Korea)
- ⑦ 廣田憲之、目義雄、島田保、安藤努、和田仁，弱磁性物質の配向過程の強磁場中その場観察，日本磁気科学会第2回年次大会，2007.6.6-8，大阪大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

廣田 憲之 (HIROTA NORIYUKI)  
物質・材料研究機構・ナノセラミックス  
センター・主任研究員  
研究者番号：10302770

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし