

磁気アルキメデス浮上を利用した液中微粒子の分離回収法

日本大学生産工学部 機械工学科 安藤研究室
代表者 准教授・安藤 努

T. Ando, N. Hirota, M. Maie, Separation and Purification Technology Vol. 149 (2015) pp.197-207.

目的・背景

磁性を利用した微粒子の分離は、強磁性体とそれ以外の物質を分離する高勾配磁気分離が主な分離手法として知られているが、弱磁性(非磁性ともいわれている)物質同士を分離できる磁気アルキメデス分離は実験的試みはなされてきたが、回収率の定量評価までには至っていない等の理由により未だ認知度が低い。

磁気アルキメデス分離は周囲媒体と被分離物質の磁化率差および密度差によって物質の浮上位置が異なることで分離できる物理的手法であり、異種物質はもとより同種物質でも含まれる微量な添加物や不純物による物性の違いによって浮上位置が異なる場合は分離できる。そのため希少物質のリサイクルのみならず、様々な分野における新たな分離・分析手法としての可能性を秘めている。

物質	常磁性 磁化率(SI)	反磁性 磁化率(SI)
アルミニウム	2.07×10^{-5}	-3.45×10^{-5}
マンガン	8.6×10^{-4}	-2.53×10^{-5}
チタン	1.81×10^{-4}	-9.68×10^{-6}
空気	3.6×10^{-7}	-9.0×10^{-6}
酸素	1.94×10^{-6}	-6.75×10^{-9}



Fig. 1. 様々な磁気科学現象

全ての物質は磁性を有する ⇒ 磁性体である

磁性体の分類
強磁性体
弱磁性体 ... **常磁性体**: $\chi > 0$
反磁性体: $\chi < 0$

$M = \chi H$
M: 磁気モーメント
H: 外部磁場
 χ : 磁化率

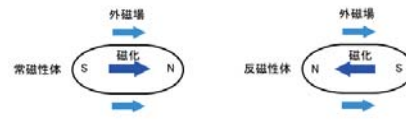


Fig. 2. 12T 超伝導マグネット (物質・材料研究機構 所有)

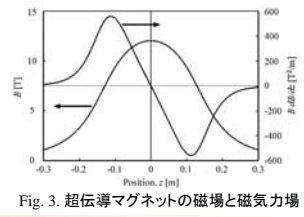


Fig. 3. 超伝導マグネットの磁場と磁気力場

原理・方法

単位体積当たりの全ポテンシャルエネルギー,

$$U = -\frac{1}{2\mu_0}(\chi_p - \chi_t)B^2 + (\rho_p - \rho_t)gz \quad (1)$$
ここで、 μ_0 : 真空の透磁率、 χ_p : 粒子の磁化率、 χ_t : 溶媒の磁化率、 B : 磁束密度、 ρ_p : 粒子の密度、 ρ_t : 溶媒の密度、 g : 重力加速度、 z : 粒子の鉛直方向位置。

中心軸上($r=0$)におけるz方向の力,

$$F_z = -\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{(\chi_p - \chi_t)}{\mu_0} B_z \frac{dB_z}{dz} - (\rho_p - \rho_t)g \quad (2)$$

磁気アルキメデス浮上は $F_z=0$ より下式の関係,

$$\frac{dB_z}{dz} = \frac{\rho_p - \rho_t}{\chi_p - \chi_t} \mu_0 g \quad (3)$$

Color of glass particle	Density ρ_p ($\times 10^3$)[kg/m ³]	Volume magnetic susceptibility χ_p ($\times 10^{-4}$)[SI]
Pink	2.497	-8.27
Green	2.509	-2.02
Brown	2.512	2.33

Medium	Density ρ_t ($\times 10^3$)[kg/m ³]	Volume magnetic susceptibility χ_t ($\times 10^{-4}$)[SI]
MnCl ₂ :aq. (8 wt%)	1.06	1.13

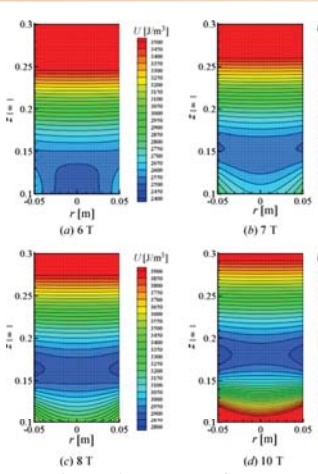


Fig. 5. ピンク色ガラス粒子の全ポテンシャルエネルギー等高線図: (a) 6T, (b) 7T, (c) 8T, (d) 10T.

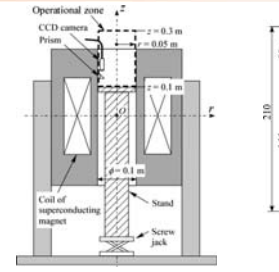


Fig. 6. 実験セットアップ

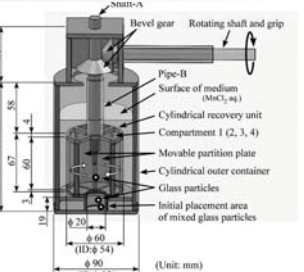


Fig. 8. 磁気アルキメデス分離の回収装置

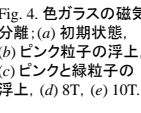


Fig. 4. 色ガラスの磁気分離: (a) 初期状態, (b) ピンク粒子の浮上, (c) ピンクと緑粒子の浮上, (d) 8T, (e) 10T.

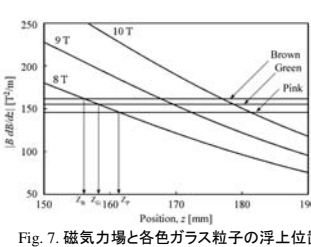


Fig. 7. 磁気力場と各色ガラス粒子の浮上位置



Fig. 9. 回収実験の初期状態

結果・まとめ

- 水溶液中の混合色ガラス粒子を分離回収する装置を開発した。
- 水溶液中の3種類の混合色ガラス粒子を以下の2つの方法で分離回収して、回収率の比較を定量的に行なった。
 - 方法A:** 混合状態から直接磁気浮上させて回収する方法
 - 方法B:** 混合状態から一度磁気浮上させた後に磁場を下げて色ガラス順に積層させる。その後再度磁気浮上させて回収する方法
- 方法Bは3色の色ガラス粒子全てにおいて95%以上が目的の格納部に回収された。

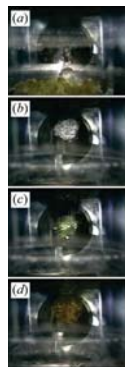


Fig. 10. 方法Aによる回収実験. (a) ピンク粒子の浮上開始, (b) ピンク粒子の浮上, (c) 緑粒子の浮上, (d) 茶色粒子の浮上.

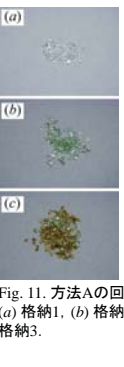


Fig. 11. 方法Aの回収粒子. (a) 格納1, (b) 格納2, (c) 格納3.



Fig. 12. 方法Bによる回収実験. (a) 全粒子の浮上, (b) 磁場減による粒子の積層, (c) ピンク粒子の浮上, (d) 緑粒子の浮上, (e) 茶色粒子の浮上.

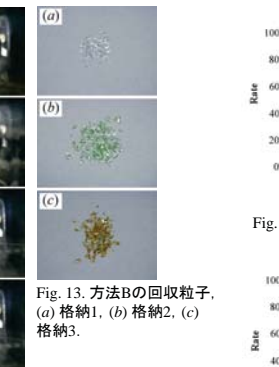


Fig. 13. 方法Bの回収粒子. (a) 格納1, (b) 格納2, (c) 格納3.

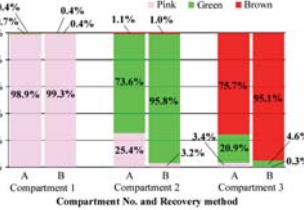


Fig. 14. 格納部に回収された各色ガラス粒子の割合.

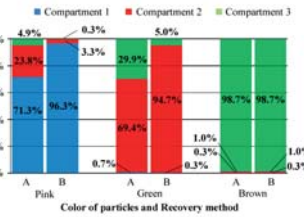


Fig. 15. 色ガラス毎の各格納部における回収確率.

応用分野・用途

- 希少物質のリサイクル
- 不純物質または添加物質の分析・評価
- 付加価値物質の分離・回収
- 希少金属の分離・回収
- 新たな分離分析

血成分の分離: DNA, ヘモグロビン, コレステロール

コラーゲンの分離: 牛のアキレス腱のコラーゲン, 阻害物質

BzMA (0.7wt%BPO), TM, MnCl₂ Langmuir

磁気アルキメデス浮揚を利用して作製された高分子真珠

磁気トルクを利用した磁場配向

日本大学産官学連携知財センター (NUBIC)

〒102-8275 東京都千代田区九段南4-8-24 日本大学会館
 Tel: 03-5275-8139 Fax: 03-5275-8328 E-mail: nubic@nihon-u.ac.jp http://www.nubic.jp

