



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	磁気現象を利用した高機能材料の創製 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	萩尾, 健史
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12300号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61852
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takeshi_Hagio_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 萩尾 健史

学 位 論 文 題 名

磁気現象を利用した高機能材料の創製

(Creation of High Performance Materials Utilizing Magnetic Phenomena)

現代社会に求められている持続可能な社会の構築、Quality of Life の向上を実現するためには、高機能材料の開発が不可欠であり、その手法として電場や磁場などの外場を利用する方法が注目されている。中でも磁場は、近年における超伝導技術の飛躍的發展による磁場強度の大幅な増加により、その利用が活発に検討されている。磁場は、物質に並進運動や回転運動を誘起するなど、様々な磁気現象を引き起こす。そして、強力な磁場は、強磁性体のみならず、非磁性体にも磁場の影響を顕在化可能としたため、磁気現象の利用は多様な材料を高機能化し得るようになった。

本論文は、磁気現象を誘起する機能を材料に付与、あるいは材料の構造制御に磁気現象を利用し、『環境』、『エネルギー』、『医療』の各分野において、高機能材料の創製を目指したものであり、全5章から構成されている。

第1章では、『環境』、『エネルギー』、『医療』の各分野における高機能材料の必要性を述べ、高機能材料の創製に対する磁気現象利用の可能性について言及し、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、環境汚染を引き起こす廃水中の有害物質を除去するため、磁場による分離・回収機能の付与により高機能化させたゼオライト系吸着材を作製するとともに、その実用的な製法を検討した。吸着材は微細なほど吸着性能が向上する一方、廃水中からの分離・回収が困難となる。そこで、人体に安全な強磁性体であるマグネタイト (Fe_3O_4) をゼオライトと複合化することを試みた。ゼオライト中最大のイオン交換能をもつため、重金属イオン除去用に適する LTA ゼオライト (LTA) の原料中に Fe_3O_4 を添加して水熱合成することで、 Fe_3O_4 との複合化に成功し、永久磁石で分離可能なほど、磁化を大幅に増加できた。また、染料などの生態系に悪影響のある大型有機分子の除去用として、LTA より大きい細孔と耐酸性を有する MOR ゼオライト (MOR) を、LTA と同手法で複合化し、永久磁石で容易に分離・回収できることを示した。加えて、染料であるメチレンブルーに対する吸着性は、中性溶液のみならず酸性溶液でも良好であった。更に、ゼオライト合成を容易にすることで知られる種結晶添加法を応用し、ゼオライトと Fe_3O_4 の新たな複合方法を提案した。具体的には、 Fe_3O_4 とゼオライト種結晶とをミリングした後に合成原料中に添加することで、 Fe_3O_4 と複合化したゼオライトの合成時間を大幅に短縮した。本手法は、MOR のみならず、結晶構造が異なる LTL ゼオライトにも有効なことを確認しており、他のゼオライト種への展開も期待できる。

第3章では、未利用エネルギーである排熱からのクリーンなエネルギー回収方法として熱電材料の高性能化を試みた。有効なエネルギー回収手段がない中温域 (600-900K) で、高マンガンシリサイド ($\text{MnSi}_{1.73}$) やナトリウム層状コバルト酸化物 (Na_xCoO_2) は高い熱電性能を有するものの、その熱電性能が結晶方位に強く依存することに着目し、磁場により結晶配向させた多結晶体を作製するとともに、磁場印加条件を探索した。c 軸と垂直方向の熱電性能が高い $\text{MnSi}_{1.73}$ は、凝固中の磁場印加で、c 軸が磁場と垂直に配向した組織をもつ試料が得られ、無磁場で凝固した試料より熱電性能が高いことを確認した。c 軸と垂直方向の熱電性能が高い Na_xCoO_2 に対しては、従来の固相

反応法で合成すると、磁場による結晶配向に適さない磁気異方性が見掛け上小さい凝集粉末となるため、凝集が少ない粉末の合成法を考案した。そして、同手法で作製した粉末を用いて、磁場を印加しながらスリップキャスト成形することで、結晶配向バルク多結晶体を得た。c 軸が磁場と垂直に配向したことから、 Na_xCoO_2 の磁化困難軸は c 軸であることを見出した。

第 4 章では、生体骨と類似の化学組成を有するため、骨代替材料として注目されているリン酸カルシウム系セラミックス (CaP) の磁場による結晶配向バルク多結晶体の作製を行い、生物学的特性の結晶面毎の差異を評価した。まず、骨の無機成分であるハイドロキシアパタイト (HAp) では、磁場を印加しながらスリップキャスト成形し、細胞培養可能なサイズの a 面あるいは c 面で表面が構成された焼結体を作製した。これを用いた疑似体液浸漬や細胞培養などの生物学的特性の評価から、六方晶系に属する HAp の c 面は a 面よりも骨との接合性が高く、a 面は c 面よりも細胞と接着しやすいという結果を得た。この結果より、HAp 骨代替材料の表面に必要とされる結晶面、すなわち高機能化のための指針を得た。更に、より生体吸収性が高い CaP である、六方晶系に属する β 型リン酸三カルシウム (β -TCP) と単斜晶系に属するリン酸水素カルシウム二水和物 (DCPD) も磁場により結晶配向できることを明らかにした。その結果、 β -TCP の磁化困難軸は c 軸であり、DCPD のそれは b 軸であることが示され、生物学的特性の結晶面毎の差異が評価可能な、特定結晶面で構成された表面をもつバルク多結晶体の作製指針が得られた。

第 5 章では本論文の総括として、各章で得られた成果をとりまとめた。