

Title	低環境負荷プロセスによる金属・スラグの表面微細構造改質の試みとその応用
Author(s)	山本, 寿史
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52127
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (山本 壽史)

論文題名

低環境負荷プロセスによる金属・スラグの表面微細構造改質の試みとその応用

論文内容の要旨

本研究では、金属やスラグ・廃ガラスのようなエクセルギーの低い素材に対しても低環境負荷プロセスを利用して表面微細構造を改質し、未利用熱の有効利用に焦点を当てて電磁波の吸収による熱エネルギーの活用に寄与できる材料機能の創出を試みることを目的として各種検討を行った。以下に、本研究により得られた知見を総括する。

第1章では、エネルギー問題や資源の再利用について述べ、表面改質による電磁波吸収性の向上および水熱反応を利用した機能性セラミックス材料の創製に関する従来の研究について概説した。さらに本研究の目的を述べた。

第2章では、電磁波を吸収できる金属表面微細構造作製を目指して、銅基板と鉄基板を用いて表面細孔径と多孔質層の厚みに対する酸化・還元条件の影響を調査した。その結果、酸化還元処理は、金属の表面に多孔質の凹凸構造を作るための、また紫外-可視-赤外光の波長にわたって高い光吸収効率を得るための簡便な方法であることを明らかにした。

第3章では、鉄を基板材料として、電磁波吸収性のより優れた金属材料を創製することを目的に、鉄基板表面に対する還元処理の温度を 773K、1 時間に固定し、還元処理の温度と保持時間を変えることにより、表面微細組織の変化およびその変化にともなう鉄基板表面の電磁波吸収性について検討した。その結果、酸化・還元処理した鉄基板表面に対する電磁波吸収特性の向上は、表面微細孔構造の分布および細孔径の均一性が重要な要因であることを明らかにした。

第4章では、製鉄所の未利用の輻射熱を有効利用することを目指して、TPV 発電固体素子材料の吸収面の作製を試み、Mo 基板に酸化・還元処理を施すことによって形成される表面微細構造および光吸収率への影響を調査した。その結果、酸化・還元法により Mo 基板に表面微細構造が形成され、その光吸収率は鏡面状態の Mo 基板に比べて最大 7 倍向上し、赤外線領域においても 70% となることを見出した。さらに、表面微細構造を持つ Mo 基板を TPV 発電固体素子材料の吸収面として用いた結果、その表面温度は鏡面状態の Mo 基板より最大約 200K 上昇し、得られた起電力は、鏡面状態の Mo 基板より最大 0.25V 高い値を示すことを明らかにした。

第5章では、酸化還元処理を行うことによって形成される表面微細構造の形態と光吸収率の増加に対する関係について考察を行った。その結果、材料に対する光吸収率が元々高い値を持つ場合には、少ない回数の多重反射を仮定するのみで光吸収率の飛躍的な増加が見込まれることを見出した。また、表面微細構造へ光が入射した場合に多重反射を生じる確率は入射光の波長に依存する可能性があり、細孔径の小さな細孔が密に存在する場合よりも、細孔径の大きな細孔組織が最表面で密に分散している場合の方が、長波長域の光に対する多重反射を促進し、長波長に対する電磁波吸収性を向上させることができることを明らかにした。

第6章では、高炉スラグに水熱処理を施すことによって、微細な針状及び板状の水和物結晶をスラグ固化体の表面に生成させ、さらにこのような針状または板状の水和物結晶を表面に有するスラグ固化体材料に対する電磁波吸収性の向上を試みた。そのために、高炉スラグに水熱処理を施すことによる表面微細構造を有するスラグ固化体の作製方法、ならびに表面微細構造を有するスラグ固化体の電磁波吸収性について検討した。その結果、高炉水砕スラグに水熱処理を施すことによって板状または針状の結晶をスラグ固化体表面に形成させ、さらに表面を金属薄膜処理することによって電磁波吸収率を大幅に向上できることを明らかにした。

第7章では、表面・界面特性を活かし、かつ省エネルギーかつ低環境負荷である水熱反応を利用した高炉スラグの新たな利材化方法を見出すために、ホウケイ酸ガラスと高炉水砕スラグの混合物に水熱処理を施した後、大気中での再加熱によってスラグ含有発泡ガラス材料の作製を試みた。その結果、小粒子の高炉水砕スラグと大粒子ホウケイ酸ガラスを混合した原料において、200℃で8時間水熱反応を行うと、微細な針状結晶を生成し、再加熱によりポーラス構造を形成する材料を作製した。また、酸化・還元処理によって鉄基板の表面にはポーラス構造が形成し、水熱反応によってスラグがポーラス構造内部に侵入した状態で固化し、鉄基板表面にスラグが固着した材料が得られることを明らかにした。

最後に第8章として、本研究の内容を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 本 壽 史)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教 授	田中 敏宏
	副 査	教 授	竹内 栄一
	副 査	教 授	宇都宮 裕
	副 査	准教授	勝山 茂

論文審査の結果の要旨

持続的循環型社会構築のためには、エネルギーならびに資源の有効活用が必須の課題である。本研究では、金属やスラグ・廃ガラスのようなエクセルギーの低い素材に対しても低環境負荷プロセスを利用して表面微細構造を改質し、未利用熱の有効利用に焦点を当てて電磁波の吸収による熱エネルギーの活用に寄与できる材料機能の創出を試みる検討を行っている。本論文はこれらの成果についてまとめたもので、以下のように要約される。

1. 電磁波吸収性の高い金属表面微細構造作製を目指して、銅基板と鉄基板を用いて酸化還元処理法によって生成する表面微細孔組織とその光吸収性を調査し、酸化還元処理法は金属表面に多孔質の凹凸構造を作ることによって紫外域から赤外域の広い波長域にわたって高い光吸収効率を得るための簡便な方法であることを明らかにしている。

2. 電磁波吸収性のより優れた金属材料を創製することを目的に、鉄基板表面に対する酸化処理ならびに還元処理条件を変えることにより、表面微細組織の変化およびその変化に伴う鉄基板表面の電磁波吸収性について検討している。その結果、酸化・還元処理した鉄基板表面に対する電磁波吸収特性の向上に対しては、表面微細孔構造の分布および細孔径の均一性が重要な要因となることを明らかにしている。

3. 製鉄所の未利用の輻射熱を有効利用することを目指して、熱光発電固体素子材料の光吸収面の作製を試み、Mo基板に酸化還元処理によって形成される表面構造および光吸収性を調査している。その結果、酸化還元法によりMo基板表面に微細な凹凸構造が形成され、その光吸収率は鏡面状態のMo基板に比べて最大7倍向上し、赤外線領域においても70%となることを見出している。さらに、表面微細構造を持つMo基板を熱光発電固体素子材料の吸収面として用いた結果、その表面温度は鏡面状態のMo基板より上昇し、得られた起電力は鏡面状態のMo基板より高い値を示すことを明らかにしている。

4. 酸化還元処理を行うことによって形成される表面微細構造の形態と光吸収率の関係について考察を行っている。表面微細構造へ光が入射した場合、多重反射によって光吸収率が増加し、光吸収率は入射光の波長に依存する可能性があり、細孔径の小さな細孔が密に存在する場合よりも、細孔径の大きな細孔組織が最表面で密に分散している場合の方が長波長域の光に対する多重反射を促進し、長波長に対する電磁波吸収性を向上できることを見出している。

5. 高炉スラグに水熱処理を施すことによって微細な針状および板状の水和物結晶をスラグ固化体の表面に生成させることのできる作製条件を見出している。さらに得られた針状または板状の水和物結晶の表面を金属薄膜処理することによって金属の鏡面状態に比べて電磁波吸収率を大幅に向上できることを明らかにしている。

6. 水熱反応を利用した高炉スラグの新たな利材化方法を見出すために、大粒子のホウケイ酸ガラスと小粒子の高炉水砕スラグの混合物に水熱処理を施した後、大気中での再加熱を行うことによって微細な針状結晶を表面に有するスラグ含有発泡ガラス材料の作製に成功している。また、酸化還元処理によって得られた微細孔表面を有する鉄基板と粉末状スラグを用いて水熱反応を行うことにより、スラグが金属表面の微細孔構造内部に侵入した状態で固化し、鉄基板表面にスラグが固着した材料が得られることを明らかにしている。

以上のように、本研究では、金属やスラグ・廃ガラスのようなエクセルギーの低い素材に対して酸化還元法や水熱反応などの低環境負荷プロセスを駆使して表面微細構造を改質し、紫外域から赤外域にわたって電磁波を吸収する微細構造を有する機能性材料表面を作製することに成功している。また得られた成果は相変化蓄熱材料への熱吸収や熱光発電用素子への応用が期待できる。本論文は電磁波吸収による熱エネルギーの活用に寄与できる材料機能の創出に関わる多くの知見を含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。