

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15218

研究課題名（和文）磁性ナノ流体の磁気排除効果を利用した水素生成電解プロセスの高効率化

研究課題名（英文）Development of hydrogen production utilizing magnetic ejection effect of magnetic nanofluids

研究代表者

岩本 悠宏 (Iwamoto, Yuhiro)

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：30707162

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：環境保全と持続可能エネルギー社会の形成のためには、水力発電などの再生可能エネルギーを電源とした水素製造とその有効利用が不可欠である。そのために、本研究課題では、磁性ナノ流体を用いた新しい水電解技術を提案するとともに、従来技術では不可能であった多孔質電極を水電解に適応し、電極比表面積の飛躍的な拡大による水電解の高効率化を目指して、研究を実施した。本研究課題の成果として、磁性ナノ粒子の分散性に対する電解質の影響を明らかにした。また、CV法により磁性ナノ流体特有の酸化還元反応を確認した。さらに、CA法により電極表面の磁場強度が大きくなるにつれて、電解量が向上することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境保全や持続可能なエネルギー社会の構築のためには、安定的な水素製造・供給が不可欠である。真にCO₂フリーの水素製造・利用を実現するためには、再生可能エネルギーを電源とした水電解による水素製造の高効率化と普及が必要である。本研究では、磁性ナノ流体を水電解へ応用することにより、多孔質電極の水電解へ適応の可能性を見出し、水素技術に関連した新しい技術を創生した。さらに、本研究は、電磁流体力学と電気化学、材料科学、高分子化学の学際的研究であり、新しい学問領域を開拓した。

研究成果の概要（英文）：Hydrogen production using renewable energy such as hydroelectric power and its effective utilization are indispensable for a sustainable environment and energy. In the present study, novel water electrolysis using magnetic nanofluids has been proposed. This has the potential to apply the porous electrode to the water electrolysis, resulting in dramatical enhancement of its efficiency.

This study clarified the effect of the electrolyte on the dispersibility of magnetic nanoparticles. Furthermore, it was clarified that the electrolysis is enhanced when the magnetic field intensity on the electrode surface increase. In addition, the redox reaction peculiar to the magnetic nanofluid was confirmed.

研究分野：流体工学

キーワード：磁性ナノ粒子 磁性ナノ流体 磁性流体 水電解 数値解析 多孔質電極 水素製造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

環境保全と持続可能社会の形成には、水力発電などの再生可能エネルギーを電源とした水電解による水素製造とその有効利用が不可欠である。しかし、日本の再生可能エネルギーの低普及率から、我が国のエネルギー需要を満足するためには約 70 トン/日の大量な水素を輸入する必要がある。そのため水電解のブレイクスルー的な高効率化が不可欠である。その解決手段として比表面積が非常に大きい多孔質電極の有効利用が挙げられる。しかし、水電解に多孔質電極を用いた場合、多孔質内で発生した気泡(水素や酸素)が多孔質内部に拘束され、イオン(H^+ や OH^-)が電極に供給されないため、水電解の鈍化を招くという課題がある。たとえ外部から対流を誘起しても、内部から気泡を排除することは困難である。現在の工業水電解で用いられている平板型電極から多孔質電極へ転換することができれば、電極比表面積の飛躍的な拡大により、水電解の超高効率化と水電解装置の超小型化が可能となる。

2. 研究の目的

これまで水電解に多孔質電極を応用した例はない。本研究では、磁性ナノ流体を用いた新しい水電解手法を提案し、磁気排除効果により水電解の効率を向上させるとともに、水電解への多孔質電極の利用を実現し得る革新技术を提案する。

磁性ナノ流体中に非磁性の気泡が存在する場合、気泡には浮力とともに磁気浮力が作用する。磁気浮力が作用する方向は、磁場の弱い方向、すなわち磁石から排除される方向に作用するため、電極表面近傍に磁石を設置することで、電極表面からの気泡離脱が促進される(磁気排除効果)。本研究では、磁性ナノ流体を電解液とすることで、従来技術では不可能であった多孔質電極を水電解に適応し、電極比表面積の飛躍的な拡大により水電解の超高効率化と水電解槽の超小型化に挑戦する。

特に本研究では、学際的な研究により多孔質電極を水電解に応用する革新技术を提案し、その有用性を実証するとともに、関連した諸物理現象を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の研究を実施した。

(1) 磁性ナノ粒子分散性への pH の影響調査

磁性ナノ流体中の磁性ナノ粒子の分散性を担保するため、その表面は界面活性剤で被覆されている。この界面活性剤が電解質と化学反応し、粒子の分散性が損なわれる可能性がある。また、これまで磁性ナノ流体を電解液とした水電解の研究報告はない。そこで、磁性ナノ流体に電気伝導性を付加するための電解質混合による pH が磁性ナノ粒子の分散性に与える影響を調査した。

(2) 磁性ナノ流体の酸化還元反応の調査

水電解において電流密度と電解量は 1 対 1 の関係にある。したがって、印加電圧を走査し電流密度を計測することで、電極表面での酸化還元反応(水電解プロセス)を解析することが可能である(CV 測定)。本研究では、磁性ナノ流体を電解液とした際の酸化還元反応を CV 測定により調査した。

(3) 磁気排除効果の水電解への影響調査

定電圧を印加し電解量(電流密度)を計測するクロノアンペロメトリ法(CA)測定により、磁気排除効果の水電解への影響を調査した。

(4) 磁性ナノ流体の水電解メカニズムの解明

電磁流体力学に基づいた支配方程式系と解析手法を構築することで、磁性ナノ流体を電解質とした際の、磁場環境下での水電解メカニズムを数値解析的に調査した。

(5) 多孔質電極の水電解への応用

多孔質電極を水電解へ応用した際の電解効果を、CA 測定を用いて調査した。

4. 研究成果

(1) 磁性ナノ粒子分散性への pH の影響調査

pH の異なる磁性ナノ流体を作製し、沈降実験を行った。その結果、強酸では磁性ナノ粒子表面の界面活性剤が剥離することで、磁性ナノ粒子の分散性が劣化することが明らかとなった。一

方で、中性・アルカリ性では磁性ナノ粒子の分散性を担保できることを確認した。

(2) 磁性ナノ流体の酸化還元反応の調査

pH の異なる水ベース磁性ナノ流体を電解液として CV 測定を実施した結果、通常の水と異なる酸化還元反応、特に水素・酸素発生電圧の遷移と電極表面での酸化被膜生成過程における特異なピーク電流の存在を確認した(図1参照)。また、水の電気分解中に発生する水素イオンが界面活性材と中和反応を起こすことで、磁性ナノ粒子の凝集・沈降が発生することが示差された。

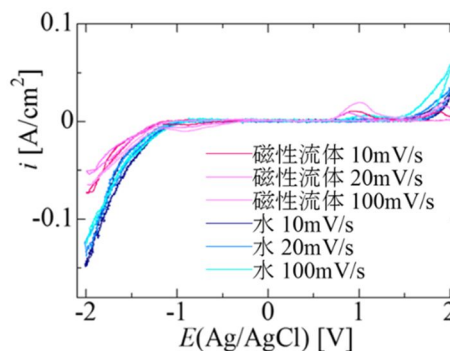


図1 酸化還元反応

(3) 磁気排除効果の水電解への影響調査

CA 測定により、磁場印加による水電解への影響を調査したところ、電極表面の磁場強度が大きくなるにつれて、磁気排除効果が作用することにより電解量が向上することを明らかにした(図2参照)。

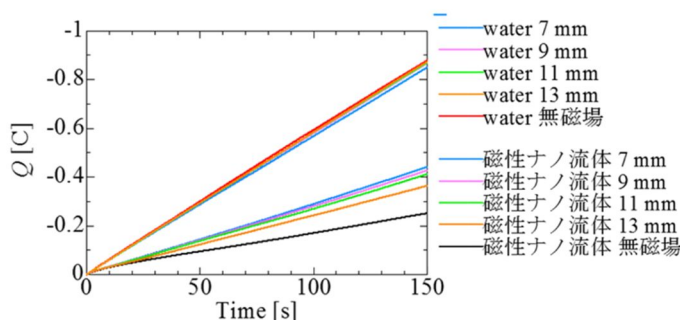


図2 磁気排除効果の電解量への影響(平板電極)

(4) 磁性ナノ流体の水電解メカニズムの解明

磁性ナノ流体を電解液とし、磁場環境下での水電解メカニズムを明らかにするため、電磁流体力学に基づいた支配方程式系と解析手法を構築し、その基礎解析コードを開発した。磁場下における非磁性気泡近傍(水素・酸素想定)の電荷変化(図3参照)およびローレンツ力と磁気体積分力分布を明らかにし、磁場下における気泡運動挙動に資する知見を得ることができた。

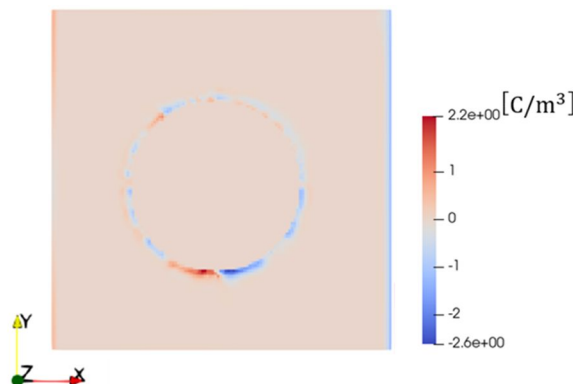


図3 磁場環境下における気泡近傍の電荷分布

(5) 多孔質電極の水電解への応用

磁性または非磁性の多孔質電極を用いた際の磁気排除効果の水電解への影響について、CA 法により調査を行った。磁性多孔質電極を用いた場合、外部磁場を印加した際、電極自体が磁化するため、磁気排除効果が発揮されないことを明らかにした。一方で、非磁性多孔質電極を用いた場合、磁気排除効果により電解量の向上を確認することができた(図4参照)。さらに、電極表面の親水・撥水性が電解効率に大きく影響を与えることも明らかとなった。

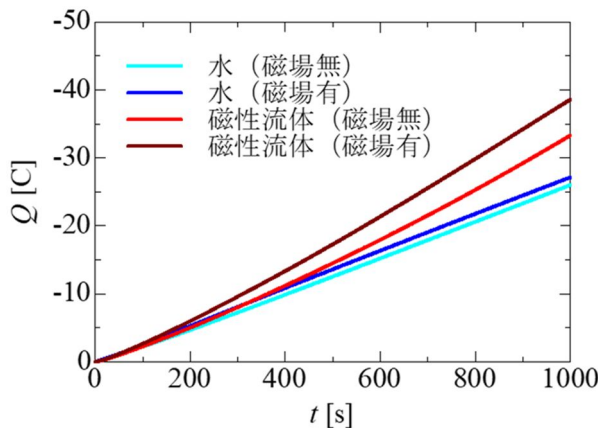


図4 磁気排除効果の電解量への影響(多孔質電極)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩本悠宏
2. 発表標題 磁性微粒子分散系機能性流体・材料の紹介と現状
3. 学会等名 第5回電磁界応答流体によるエネルギー・環境技術の新展開に関する調査専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平野智哉, 岩本悠宏, 井門康司, 石井陽祐, 川崎晋司, パラチャンドラン ジャヤデワン
2. 発表標題 磁性ナノ流体を用いた水電解に対する電圧波形の影響
3. 学会等名 2021年度磁性流体連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本悠宏
2. 発表標題 電磁機能性流体・ソフト材料のダイナミクスと工学応用
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本悠宏
2. 発表標題 磁性微粒子分散系磁気機能性流体のダイナミクス
3. 学会等名 日本機会学会 流体工学部門 第1回 機能性流体工学研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------