

学位被授与者氏名	前川 孝司 (Koji Maekawa)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 2 9 号
学位授与年月日	平成 2 4 年 3 月 2 0 日
論文題目	活性化アルミニウム微粒子と水との反応を用いた水素発生の制御システムの構築
論文題目 (英訳または和訳)	Construction of a control system of hydrogen generation from water molecules reacting with activated aluminum particles
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻准教授 高原 健爾 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 今村 正明 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 師岡 正美 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 横田 将生
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>近年、再生可能なエネルギーの一つとして水素が注目されている。水素は燃料電池の燃料として用いば排出されるのは水のみであり、クリーンなエネルギーである。しかしながらエネルギー源となる水素を環境に大きな影響を与えずに安定して製造する技術は確立されていない。従って、水素エネルギー社会を実現させるには水素製造システムを構築することが重要である。</p> <p>この論文では、水素製造法の一つである活性化アルミニウム微粒子と水との化学反応による水素発生技術を実用化するために、その制御システムの構築を目的としている。まず、制御対象である活性化アルミニウム微粒子と水との水素発生反応の特性を把握することを行なう。次に発生特性のモデル化を行ない、制御システムを構築する。構築するシステムはファジィ理論に基づいて持続的に水素発生を行わせるシステムと、PI 制御系を用いてエネルギー効率を上げるため反応熱を積極的に利用して水素発生を行わせるシステムの 2 つである。</p> <p>この論文は第 1 章から第 8 章で構成されている。第 1 章では、近年の水素製造技術とその問題点について触れ、本研究の目的について記述している。第 2 章では、活性化アルミニウム微粒子の製造方法や化学反応式ならびに化学反応で得られる水素量について述べている。また活性化アルミニウム微粒子を水素源の一つと考え、既存の水素貯蔵合金と比較し、この水素発生法の優位点について述べた。第 3 章では、水素発生測定システムについて記述し、種々の条件下で行なった水素発生実験の結果を示した。本論文では第 3 章で把握した水素発生の特성에基づいて制御システムの構築を行なう。第 4 章では、ブラックボックスモデルの一つである ARMA モデルを用いて水素発生特性の数式化を行なった。そして実測値を用いた同定実験によってモデルの有用性を明らかにした。第 5 章では、制御系の構築の考え方と構築するシステムの発想について記述した。第 6 章では、継続的な水素発生システムとして、反応物の一つである活性化アルミニウム微粒子の追加による制御システムの構築を行なった。試料によって異なる水素発生特性には、複数のルールによって制御対象の多少の変化に追従し制御できるファジィ理論を制御手法に用いることで対応した。1 分間あたりの水素発生を一定にした場合と徐々に変化させた場合の実験結果をそれぞれ示す。そして、追加をし続けることで水素発生を継続的に行わせることが可能であることも明らかにした。第 7 章では、発生した水素を燃料電池に用いることを想定し、高効率な水素発生システムとして、水を追加する制御システムの構築を行なった。水を少量ずつ加えることで反応熱を効率よく水素発生反応に利用した。内部温度を高温に保つことで反応を常に促進し、行なわせることで、試料によって異なる水素発生立ち上がりのバラつきをそろえた。PI 制御系に基づいて水素を発生させ、システムの有効性を確認した。燃料電池と構築したシステムを用いて、携帯型燃料電池システムを実現した。</p> <p>第 8 章は、この論文のまとめである。この研究の今後の方向性について記述している。</p>
論文内容の要旨 (英文)	<p>Recently, hydrogen is expected to become the key energy to solving our energy problems. But, it is necessary to generate hydrogen by some methods, because it does not occur in nature. The most common method to generate hydrogen, fuel reforming, produces CO and CO₂ as byproducts. That is, fuel reforming method is consumption of the petroleum, natural gas and so on, and is not environmentally-friendly. In order</p>

to realize a low-carbon society, an environmentally-friendly method to generate hydrogen is required.

The purpose of this thesis is to construct a control system of hydrogen generation from water molecules reacting with activated aluminum particles. The activated aluminum particles are made from aluminum alloy shavings. The reaction between the activated aluminum and water generates pure hydrogen and alumina. Therefore, this method is one of environmentally-friendly methods. In this thesis, the characteristics of the hydrogen generation were measured, firstly. Based on the characteristics of the hydrogen generation, I produce two different methods to control the reaction and confirm their effectiveness.

This thesis consists of 8 chapters. The first chapter describes the introduction of this study including the social background and the review. The second chapter illustrates the outline of hydrogen generation from water molecules reacting with the activated aluminum particles. In the third chapter, the characteristics of the hydrogen generation are measured under various conditions. In the fourth chapter, the characteristics of the reaction are described using an ARMA model by an adaptive estimation theory on the basis of the measured data. The fifth chapter shows the concept to design a control system of hydrogen generation coping with the characteristic differences of the reaction depending on the materials, the environmental condition and so on. The control system for supplying the activated aluminum particles to water in the reactor is designed by a fuzzy control theory in the sixth chapter. The proposed fuzzy controller is implemented in the developed experimental system. The proposed system is confirmed to be utilized to control the hydrogen generation at a certain level. In the seventh chapter, I design a PI control system to determine the water supply to the activated aluminum particles in the reactor to the needs of the quantity of hydrogen. In order to confirm the effectiveness of the control system, a portable hydrogen generator including the controller is developed and connected to a fuel cell. The effectiveness of the proposed system is confirmed under experimental condition changes. In the eighth chapter, conclusion of this thesis and some future visions are described.

論文審査結果

この論文は、活性化アルミニウム微粒子と水との化学反応を利用した水素発生について、理論的および実験的な側面から研究を進め、実用化のために制御システムの構築を行ったものである。本論文で利用されている活性化アルミニウム微粒子と水との反応による方法では純粋な水素が得られ、この方法は水素エネルギー社会を実現するために有効な方法のひとつと期待されている。しかしながら、その反応は発熱反応であり温度により促進されるので、実用化のためには適切な制御が行われなければならない。

そのような社会的な要請に対して、本論文では、まず活性化アルミニウム微粒子と水との反応について述べ、活性化アルミニウム微粒子は水素源として考えた場合に既存の水素貯蔵合金と比較して優位であることについて言及している。そして、水素発生測定システムを自作し、種々の条件下で実験を行い、水素発生特性の測定を行った。測定した水素発生特性に基づいて、温度と水素発生量をそれぞれ入力と出力とする ARMA モデルを用いて水素発生特性のパラメータ同定を行った。特性測定と同定の結果に基づいて検討を行い、継続的に水素を得るために活性化アルミニウム微粒子を反応器内に追加する制御システムの構築を行なっている。活性化アルミニウム微粒子は、原料のアルミニウム合金の違いから試料によって水素発生特性が異なるが、複数のルールによって制御対象の変化に追従し制御できるファジィ理論を用いて制御系を設計した。設計された制御系を実験装置に実装し、所望の水素発生量を継続的に実現できることを明らかにしている。さらに、発生した水素を燃料電池に用いることを想定し、高効率な水素発生システムとして、水を追加する制御システムの構築を行なっている。具体的には、水を少量ずつ反応器内の活性化アルミニウム微粒子に加えることで反応熱を効率よく水素発生反応に利用する方法を提案し、実際のシステムとして実現した。注水するための PI 制御系を設計・実装し、

	<p>燃料電池と構築したシステムを用いて携帯型燃料電池システムとして実現し、その有効性を確認した。このような水素発生制御系の設計・実現に関する研究は他では行われておらず、学位論文として十分な価値があると認められる。</p> <p>論文は全8章で構成されており、第1章では社会的な背景および研究の意義と目的について述べている。第2章では活性化アルミニウム微粒子について述べている。第3章では、構築した測定システムを用いて水素発生特性の測定を行い、第4章ではARMAモデルによる同定結果を示している。第5章では制御系設計の基本的な考え方を述べ、その思想に基づいて第6章で活性化アルミニウム微粒子を反応器に投入する制御を実現している。さらに、第7章では活性化アルミニウム微粒子に注水する制御系を設計し、燃料電池システムに応用している。第8章でこの論文のまとめを示している。</p> <p>本研究の成果は、学術論文3編（第1著者2編）、国際会議2編（第1著者2編）として発表されており、これらの結果は新規性と有用性が認められる。</p> <p>以上の理由により、審査委員会は提出された論文が学位論文の内容として適していると判定した。</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。</p> <p>以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 6編1冊</p> <p>(学術論文)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “ファジィ理論に基づいた活性化 Al 微粒子と水との反応による水素生成の制御”, 計測自動制御学会論文集, Vol.47, No.3, pp.150-156(2011) 著者：前川孝司, 高原健爾, 梶原寿了, 渡辺正夫 2. “ARMA モデルを用いた活性化 Al 微粒子と水との水素発生反応の記述”, 計測自動制御学会産業論文集, Vol.8, No.8, pp.68-75(2009) 著者：前川孝司, 高原健爾, 梶原寿了, 大山和宏, 渡辺正夫 3. “Identification of hydrogen generation characteristics from activated aluminum particles using ARMA model on the assumption of the applications for fuel-cell electric vehicle”, Journal of Asian Electric Vehicles, Vol.6, No.2, pp.1153-1157(2008) Authors : Kenji Takahara, Koji Maekawa, Toshinori Kajiwara, Masao Watanabe <p>(国際会議)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “Development of a portable hydrogen generator system”, Proceedings of ICCAS 2011, pp.1350-1353, October 2011 Authors : Koji Maekawa, Kenji Takahara 2. “Identification of Hydrogen Generation from Water Molecules Reacting with Activated Aluminum Particles Using ARMA Model”, Proceedings of 8th APCCM, pp.64-67, July 2008 Authors : Koji Maekawa, Kenji Takahara, Toshinori Kajiwara, Masao Watanabe, Jiro Kasahara <p>(紀要)</p>

	<p>1. “活性化 Al 微粒子を用いた水素発生特性の測定と EPMA による分析”， 福岡工業大学エレクトロニクス研究所所報，Vol.24，pp27-33 (2007) 著者：高原健爾，前川孝司，梶原寿了，大山和宏，渡辺正夫，山之内庸一，川 口秀樹</p>
--	--