

審査の結果の要旨

氏名 崔復圭

本論文は、「Development of Fuel Cell/Battery System for Highly-Efficient Power Generation and High-Capacity Energy Storage (高効率発電及び大容量電力貯蔵が可能な燃料電池・蓄電池の開発)」と題し、燃料電池のアノード、カソードに水素および酸素をそれぞれ保持させ、燃料電池のエネルギー密度で、二次電池並の出力密度を持つエネルギー変換システムができると考え、これを燃料電池・蓄電池 (Fuel Cell/Battery: FCB) と名付けて開発を行ったものである。本論文の構成は9章から成っている。

第1章は序論であり、燃料電池はエネルギー密度が大きいが、電気化学反応が三相界面で起きるため出力密度が小さいという問題があるのに対して、FCBシステムは、アノードの水素還元と電気化学的酸化およびカソードでの酸素による酸化と電気化学的還元がすべて二相界面で起こるため、出力密度が二次電池並という特徴があることが述べられている。

第2章では、 LaNi_5 系水素吸蔵合金をFCBシステムのアノードとして用い、水素ガス充電および放電特性を調べた。その結果、水素吸蔵合金は高速ガス充電が可能であるとともに全て放電できることが明らかにしている。

第3章では、既存のニッケル水素二次電池のカソード活物質である水酸化ニッケル (Ni(OH)_2) の一部を、酸素還元反応を有する二酸化マンガン (MnO_2) に置換したカソードを用いたFCBシステムの特性を、過充電により発生する気体が貯蔵できるように実験セルを用いてカソード規制での過充電実験を行って確認している。過充電より発生した酸素はカソードの構成物質の一つである MnO_2 の燃料電池反応により還元されることができ、二次電池として作用した場合と比べて放電容量が約2倍向上したことが述べられている。しかし、過充電・過放電時の反応が不安定であることや電極劣化等の問題点も指摘している。

第4章では、カソードの水酸化ニッケル (Ni(OH)_2) の性能向上を目的とし、 $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ に Al をドーピングしインターカレーション制御することで、放電容量の向上を図るとともに、安定な充放電を可能とする方法について検討している。共沈法により Al-doped $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ を作製し、Al を 20% 添加したものが最も高い放電容量を示し、焼成によりそのサイクル特性が向上することを確認している。また、導電物質に Co を用いない場合において、充放電により $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ 中の Al が電解液中に溶出することで、放電容量が低下するという問題点を抽出

し、その解決策として電解溶液中に Al を添加することを試みている。その結果、電解溶液中に少量の Al イオンを加えることで $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ 内に AlO_2^- がインターカレートし、 $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ 構造を補修、安定化し、サイクル特性が向上されることを確認している。

第 5 章では、過充電によるカソードの体積変化から起こる高分子ヒドロゲル電解質とカソードの接触不良の問題を解決するために、過充電しても体積変化が起こらない Al をドーピングした $\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ をカソードの活物質として導入し、安定な充放電反応が可能で電極の劣化を防ぐことができることを確認している。

第 6 章では、FCB システムのカソードとして MnO_2 を用いて電気化学的な酸化還元反応及び酸素ガス供給による充電（化学的充電）等の特性を調べ、2 電子反応では不活性な Mn_3O_4 が生成し放電容量及び作動電位の低下が見られたが、1 電子反応では安定な充放電サイクル特性を示し、酸素ガスによっても再充電ができることを見いだしている。

第 7 章では、 MnO_2 電極の過電圧の低減を図るため、カーボンファイバーの表面に電解析出法で MnO_2 を析出させたファイバー状 MnO_2 電極構造を提案している。電解析出条件を制御することによって、従来のペースト状電極に比べて作動電位及び放電容量を向上することを確認している。

第 8 章、9 章には、それぞれ今後の課題と結論が述べられている。本研究では、アノードに水素吸蔵合金 (MH)、カソードに MnO_2 を用いることで、電池と同等の高出力密度、燃料電池と同等の高エネルギー密度、高い発電効率、電気充電と共に急速ガス充電が可能等の特徴を持つ FCB システムを構築できることを示した。

以上に示すように、本論文は、高効率発電及び大容量電力貯蔵が可能な燃料電池・蓄電池 (FCB システム) の開発を行ったもので、ここで得られた知見は、エネルギーを高度に有効利用するエネルギー変換システム開発に資するものであり、機械工学およびエネルギー工学に大きな貢献をするものである。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。