





2023年8月16日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻  
学位審査委員会  
委員長 服部 敏明 

## 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Mohamed Hamada Mohamed Abdelkodous	学籍番号	第 209203 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学専攻
博士学位 論文名	Engineered Design of Efficient Nanostructured Photocatalysts for Energy Storage and Conversion Applications (ナノ構造を有する高効率光触媒の工学的設計とエネルギー貯蔵・変換への応用)		
論文審査の 期間	2023年7月13日 ~ 2023年8月15日		
公開審査会 の日	2023年8月1日	最終試験の 実施日	2023年8月1日
論文審査の 結果※	合格	最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)			
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。			
委員長	武藤 浩行		
委員	河村 剛		松田 厚範 
		印	印
		印	印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

本論文では、エネルギー貯蔵・変換分野への応用を目指して、ナノ構造を有する新規コンポジット粒子の設計、合成、および特性評価を行っており、全体で8章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的を簡潔にまとめている。第2章では、 $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  粒子に  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  を交互に被覆し、 $\text{SiO}_2$  層を溶解することで中空粒子を調製している。さらにカーボンナノドット (C-dot) を担持させることでナノ構造を制御した  $\text{Co}_{0.9}\text{Ni}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{C-dots}$  コンポジット粒子を作製し、光触媒活性を評価している。第3章では、最適化された組成の  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  (CNFST) コンポジット粒子を、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) や、還元型グラフェン酸化物 (rGO) にも担持させ、その構造および形態を調べ、特性評価を行っている。第4章では、CNFSTの  $\text{TiO}_2$  層外表面に Cu ナノ粒子 (NP) を担持させることで金属-半導体ヘテロ接合を構築し、CNFST/Cu コンポジット粒子を作製している。調製したコンポジット粒子の光触媒特性を、種々の汚染物質の紫外線照射下での光分解速度から調べると共に、いくつかの細菌に対して抗菌活性を評価している。

第5章では、水分解による水素生成を目指して、可視光吸収プラズモニック粒子に酸素発生反応や水素発生反応のための効率的な助触媒を組み合わせている。フラックス法を用いて作製した Al ドープ  $\text{SrTiO}_3$  (Al-SrTiO<sub>3</sub>) 粒子に、金属ナノ粒子 (Au, Cu, Pt)、 $\text{RhCr}_2\text{O}_3$ 、および CoOOH 助触媒を多段階光析出法で担持し、紫外-可視光下での水分解性能を評価している。第6章では、Al-SrTiO<sub>3</sub> 上にプラズモニック Au NPs と CdS NPs を結合させ、2段階で光励起を行う Z-Scheme 型光触媒粒子を作製し、可視光下での光触媒作用による水分解・水素生成性能を確認している。第7章では、CNFST/C-dots を発泡ニッケル (NF) 基板上に担持することにより、キャパシタ性能が向上することを実証している。最後に第8章では、各章で得られた知見をまとめて全体を総括し、今後の展望を述べている。

## 審査結果の要旨

持続可能なエネルギー変換・貯蔵技術は、エネルギー危機と環境問題に対処する上で、ますます重要になっている。本論文は、表面修飾中空粒子のナノ構造を制御し、光触媒作用による環境浄化機能や電極反応による水素生成機能および電気貯蔵機能を向上させている。

本論文の前半では、リサイクルで回収することを念頭に磁性を有する  $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  粒子に着目して、新規ナノ構造を有する光触媒を開発している。紫外線照射によるクロラミン T の分解に対して CNFST/SWCNTs が高い活性を示すことを見出した。また、CNFST/C-dots 光触媒に対して種々のパラメータが分解効率に及ぼす影響を明らかにした。汚染物質を含む水溶液の紫外線照射下での光浄化を調べ、密度汎関数理論解析により、光触媒の電子物性と吸着特性を解析した。さらに調製した CNFST/Cu コンポジット粒子が、非常に優れた光触媒特性を示し、その効率が表面積の向上とヘテロ結合による電荷キャリア分離に起因することを明らかにした。これらの炭素担持 CNFST ナノコンポジットは、重金属、有機汚泥、病原菌などで複合的に汚染された廃水の処理に有用な光触媒として期待される。

本論文の後半では強誘電性を有する Al-SrTiO<sub>3</sub> 粒子をコアとする新規ナノ構造を有する光触媒の水分解・水素生成機能に焦点を当てている。Al-SrTiO<sub>3</sub>/Au/CdS が高い水分解・水素生成活性を有することを見出した。これは、効率的な光吸収と光生成電荷キャリアの長寿命化によるものであることを明らかにした。さらに、CNFST/C-dot のスーパーキャパシタ電極材料としての応用の可能性も検討している。NF 上に担持して CNFST/C-dot が、非常に高い静電容量と優れた容量保持率を示すことを実証し、スーパーキャパシタの新規電極材料として有望であることを明らかにした。

本論文の成果は、新規ナノ構造を有する高活性光触媒および電極材料の設計指針を提示するものであり、エネルギー変換・貯蔵の分野に貢献すると共に、工学的にも学術的にも価値のあるものである。以上により、本論文は博士 (工学) の学位論文に相当するものと判断した。

(各要旨は1ページ以上可)