

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 CHO HYUN SEOK  
 学位 博士 (工学)  
 学位記番号 新大院博(工)第424号  
 学位授与の日付 平成27年3月23日  
 学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
 博士論文名 Research of design, simulation and demonstration of solar reactor with ceria coated ceramic foam device for two-step thermochemical water-splitting cycle  
 (2段階水熱分解サイクルのためのセリア担持セラミック発泡体デバイスによるソーラー反応器に関する設計, 数値解析, 及び実証試験の研究)

論文審査委員 主査 教授・児玉 竜也  
 副査 教授・佐藤 峰夫  
 副査 教授・金 熙濬  
 副査 教授・松原 幸治  
 副査 教授・原田 修治  
 副査 准教授・郷右近 展之

博士論文の要旨

近年, サンベルトと呼ばれる太陽日射の豊富な地域において太陽集光システムで得られる高温太陽熱を, 水熱分解サイクルによって水素に転換するプロセスが注目されている。サンベルトから太陽エネルギーを日本へ輸送するためには燃料へ転換する必要がある, 日本にとって太陽熱水分解サイクルは重要な研究課題である。有望な水熱分解サイクルとしてセリウム酸化物の酸化還元系を利用した2段階水熱分解サイクルが検討されており, 欧州, 米の研究機関では金属酸化物を太陽集光で直接照射する石英窓型ソーラー反応器が開発されている。最も開発が進んでいる反応器はドイツの金属酸化物担持ハニカムデバイス式反応器であるが, これに対し新潟大学の研究者は新たな反応器としてセリア担持発泡体デバイス式反応器を考案している。ハニカム構造と比較し, 発泡体構造は, (1)構造がより緻密であるため, 太陽集光の吸収効率が高く, 反応温度をハニカムの1200°Cから1500°Cに上げ反応効率を高めることができる, (2)担持表面積が大きく反応性セラミックの被覆量を増大できる, (3)固気の接触効率が高まる, 等のメリットがある。

本研究では, これまでサンシミュレータからの疑似太陽集光による小型反応器でのみ試験されてきた本反応器の概念について, 大型太陽集光システムに適応させるための反応器の設計とその物理的パラメータに関する数値解析を行い, これを45kW<sub>th</sub>太陽炉試験用に作製し, 太陽炉を用いて初めて大型化実証試験している。反応器の太陽集光システムによる運転方法についても改良を行い, 水素製造量を増大させることに成功している。さらに, 反応デバイス形状の設計改良を行い, これに基づいて反応器を改造し, 太陽炉による光照射試験によって, 設計改良により反応デバイスの高温の温度領域を大きく拡大できることを明らかにしている。

この論文は7章からなっている。第1章では, これら研究の背景と本論文で検討するソーラー反応器の大型化試験の意義について述べている。第2章では, 従来のコンセプトを踏襲した平板型発泡体デバイスによる45kW<sub>th</sub>太陽炉試験用反応器を設計, 作製, 太陽炉試験用のガス制御・分析システム, 温度計測システムも設計, 構築して, 太陽炉による反応器の試験を行っている。合成条件の異なる3つの反応デバイスを試験し, 太陽集熱による

水熱分解サイクルによって水素を製造することに成功している。また、数値解析によってデバイスの温度分布が精度良く予測できていることも示された。第 3 章では、ソーラー反応器の太陽炉による運転方法について 3 つの方法を検討し、集光スポットをデバイス表面で移動して熱還元反応の領域を広げる方法が水素製造量を大きく高めることを実証した。第 4 章ではデバイスの形状を平面型から円錐型あるいは円柱型にしてデバイス表面上の太陽集光の熱束密度の分布をより均一化する方法を考案、光学的数値解析から円錐型デバイスが最も有望であることを見出している。第 5 章では、円錐型反応デバイスによる反応器を設計し、これに基づいて反応器を改造し、セリアを担持していないデバイスを搭載した反応器の太陽炉によりデバイスの温度分布を検討した。その結果、平板型デバイスと比較して熱還元温度である 1300~1500℃の領域が大きく拡大していることが明らかにされた。第 6 章では、デバイスの温度分布が平板型デバイスと比較して円錐型デバイスで均一化、高温化することを、数値解析からも証明している。第 7 章では、本研究の成果を総括している。

以上、本論文では太陽集熱によって水分解を行うソーラー反応器の大型化試験を行っており、その研究成果は、サンベルトの豊富な太陽エネルギーを、貯蔵・輸送が可能でクリーンな水素エネルギーに転換する技術の開発に、大きく寄与するものである。

#### 審査結果の要旨

本学位論文では、サンベルトにおいて大型太陽集光システムによって得られる 1400℃以上の太陽集熱を熱源として水熱分解サイクルを行い、水素を製造するソーラー反応器の開発に寄与することを目的として、これまでサンシミュレータによる小型反応器でのみ試験されてきたセリウム酸化物担持発泡体デバイスによるソーラー反応器の概念について、太陽集光システムに適応させるための反応器設計を行い、これを作製、45kW<sub>th</sub>太陽炉による反応試験を行い、水素を製造することに成功している。集光システムによる新たな反応器の運転手法を考案し、水素製造量を大きく向上させている。さらに発泡体デバイスの形状を従来の平面型から円錐型に改良した反応器を考案し、数値的解析と改造した反応器の太陽炉試験により、反応に寄与できる発泡体デバイスの高温の温度領域が、平面型よりも大きく拡大できることを明らかにした。以上の結果は、金属酸化物担持発泡体デバイスによるソーラー反応器の概念が、太陽集光システムでも活用可能であることを明らかにしたものと評価される。これら研究成果の学術雑誌への掲載実績については、国際学術雑誌に、論文 5 報（筆頭著者として 3 報、副著者として 2 報）を発表している。また、国際学会において発表（3 件）されている。

以上のように、本論文は工学及び工業上貢献するところ大であり、サンベルトの豊富な太陽エネルギーを利用して水分解によってクリーンな水素エネルギーを製造する技術の発展に寄与するものとして充分評価されるものである。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。