

令和元年6月24日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04645

研究課題名(和文)高温太陽集熱による流動層ガス化水素製造システムの開発

研究課題名(英文) Development of hydrogen production system using fluidized bed reactor by high temperature solar heat

研究代表者

郷右近 展之 (Gokon, Nobuyuki)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：20361793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光を集光して作動する太陽熱発電は太陽日射が豊富なサンベルトとよばれる地域で実用化している。タワー型集光システムを用いる太陽熱発電では、～1500℃の高温太陽熱が得られることから、高温熱のエネルギー転換によるソーラー水素製造に関する研究開発が次世代技術として欧米諸国で推進されている。本研究では、申請者は高温熱のエネルギー転換法として、炭素資源を流動層化して高温太陽熱でガス化する流動層ガス化システムに関する研究開発を行っている。本研究では、ガス化反応器に炭素資源を連続的に供給する「連続供給系」と流動層反応器による「反応系」から成る新規水素製造システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽日射を集光して利用する太陽熱発電はスペインやアメリカで既に実用化している。この太陽熱発電は～1500℃の高温太陽熱が得られるが、熱媒体の制限により600℃以下での運転に限られている。化学反応の吸熱プロセスに太陽熱を用いる「高温太陽熱の水素エネルギー転換法」は次世代の太陽熱利用法として欧米諸国を中心に研究開発が進んでいる。本研究では、炭素資源の燃焼により高温熱源を得るのではなく、高温太陽集熱により炭素資源をガス化し水素を連続的に製造するプロセス開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Concentrated solar power is put to practical use in sun-belt region. The heat source is a concentrated solar radiation obtained by reflective mirrors called as heliostat. The temperature level reaches around 1500 degree C by using tower-type solar concentrating system. In EU and Unite State, energy conversion technologies of high temperature solar heat into hydrogen and chemical fuels are extensively studied as a next-generation technology. The author is developing solar hydrogen generation system that carbonaceous resource is gasified by concentrated solar radiation to produce hydrogen and syn-gas by using high temperature solar heat as an energy source. In the present study, continuous material fed system and fluidized bed reactor were respectively developed to combine the systems in order to realize continuous hydrogen production under renewable energy.

研究分野：エネルギー学

キーワード：高温太陽熱 水素 流動層 炭素資源のガス化 反応器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽日射が豊富な海外のサンベルト(日本では主に九州)では、太陽からの直達日射をヘリオスタット等で反射・集光することにより焦点部分で800~1500の高温太陽集熱が得られる。高温太陽集熱をエネルギー源とし、吸熱化学反応を行うことで、太陽エネルギーを化学エネルギーに転換できる。

炭素資源のガス化を高温太陽集熱で行うソーラーガス化プロセスでは、炭素資源に含まれる炭素と反応器に供給される水蒸気とのガス化反応($C + H_2O(g) \rightarrow H_2 + CO$)が吸熱反応である。供給される太陽集熱の一部が吸熱され、水素と一酸化炭素との合成ガス($H_2 + CO$)に転換される。生成した合成ガスの総熱量の約30%が太陽熱由来となり、太陽エネルギーの化学エネルギーへの転換が行える。得られた合成ガスはメタノール等の液体燃料に転換できることから、太陽エネルギーの貯蔵・輸送が容易となる。

化学源としては、埋蔵量が豊富な石炭やバイオマス等の炭素資源が候補となる。石炭には、石炭度により亜歴青炭、歴青炭等があり、石炭度が小さくなるにつれてソーラーガス化プロセスへの適用が困難となる。また、バイオマスガス化の場合にはCO₂ニュールの水素・液体燃料プロセスと見なせる。従って、最終的な開発ターゲットは発電等に不向きな未利用石炭である褐炭やバイオマスであり、石炭コークスは熱分解成分をほとんど含まないことからガス化が比較的容易な炭素種として位置づけられ、ソーラー反応器の性能試験用の炭素資源としてしばしば用いられる。

2. 研究の目的

本研究では大型太陽集光システムで得られる~1000の高温太陽集熱を利用し、炭素資源を反応器に連続供給しながら高温熱でガス化を行う「連続供給型の流動層ソーラーガス化水素製造システム」の開発を行った。すなわち、炭素資源連続供給下にて太陽集光の直接照射による流動層ガス化水素製造システムを設計・製作し、ビームダウン型集光シミュレーターや太陽集光システムを用いた反応試験により、プロトタイプ反応システムを開発することを目指した。

3. 研究の方法

1) 反応器のコールドモデルにより流動媒体・石炭コークスの流動性能試験・反応器の圧力損失評価を行い、得られた知見を基に、石英窓型ガス化反応器系の設計・製作を行った。また、炭素資源の連続供給系として、スクリュフィーダーの性能試験を行い、作製したガス化反応器系との統合による反応システム化を検討した。

2) 小型石英窓型ガス化反応器系の運転条件の最適化と集光照射加熱によるガス化試験を行った。すなわち、反応器への投入集光エネルギーとガス化速度の関係、流動媒体の粒径と流動性との関係、ガス化前処理過程の加熱条件と流動層温度・ガス化効率の関係について調査した。

3) 流動媒体として粒径200-300ミクロンの狭い粒径分布を有する石英砂を流動媒体として用い、炭素資源として粒径100-300ミクロンの粒径分布を有する石炭コークスをを用いガス化反応器試験を実施した。すなわち、石炭コークスをスクリュフィーダーによりガス化反応器に連続的に供給する炭素資源の「連続供給系」と、石英窓を有する直接集光照射型の流動層反応器から成る「ガス化反応系」を連結した炭素資源の連続供給型ガス化システムを構築し、集光シミュレーターによる集光照射でのガス化性能を評価した。

4. 研究成果

1) コールドモデルによる性能試験・評価では、ドラフトチューブ設置の有無による流動媒体の流動降下速度・流動距離について、反応器外部からの動画・画像による粒子追跡評価とともに流動層の圧力損失に及ぼす影響について検討した。また、流動媒体に炭素資源として石炭コークスを使用した際の石炭コークスの降下速度・流動距離について評価した。

石英砂の粒径300~500ミクロンと500~700ミクロンにおけるドラフト管無し・設置による圧力損失結果から、石英砂粒径が大きい場合には最小流動化速度は大きくなるが、ドラフト管の有無では最小流動化速度はほとんど変わらないことが分かった。また、石英砂の粒径300~500ミクロンは他の粒径と比べて流動状態が最も安定していた。ドラフト管を設置した場合、最小流動化速度以上のガス流量(平均ガス線流速0.14 m/s)において、圧力損失が次第に減少し、ドラフト管無しの場合の圧力損失より低くできることが分かった。この結果より、平均ガス線流速が0.14 m/sよりも大きい場合は、ドラフト管を設置した方が圧力損失を小さくでき、ガス供給に伴うエネルギー消費を低減できると結論した。

次に、反応器内の石英砂流動層の粒子流動性を評価することを目的として、石英砂の流動速度と移動距離を測定し、比較・検討した。コンプレッサからAirを流速0.088~0.15 m/sで反応器下部から流通し流動層を形成する。その後、反応器上部のガス排出管から着色した石英砂を供給し、その着色粒子が反応器壁面を粒子上部から55mm下部まで降下する時間を動画・画像による粒子追跡にて計測し、粒子の流動速度を求めた。圧力損失の結果より、流動状態が最も安定していた石英砂粒径300~500ミクロンを用いて調査した。ドラフト管無し・設置における着色石英砂粒子の流動速度、ドラフト管無し・設置における着色石英砂粒子の移動距離の結果から、石英砂粒子の流動速度は、ガス流量と共に大きくなり、ドラフト管の有無によって、顕著な差は認められなかった。移動距離については、最初のガス線流速0.088 m/sの場合を除い

て、ドラフト管を設置した場合、大きくなることが分かった。この結果から、ドラフト管を設置した方がガス平均線流速を大きくした場合、反応器のより底部まで石英砂が流動し、反応器内において組織的な循環流動を形成しやすいと結論した。

次に、石英砂流動層における石炭コークス粒子の連続的な供給条件下における石炭コークス粒子の流動性を評価することを目的として、石炭コークスの流動速度と移動距離を測定した。ドラフト管 無し・設置における石炭コークス粒子の流動速度結果、ドラフト管 無し・設置における石炭コークスの移動距離の結果から、粒子の流動速度はガス流量が大きくなるにしたがって大きくなり、さらにドラフト管を設置した方がドラフト管 無しよりも全体的に大きく、最大で4倍程度の流動速度が得られた。この結果から、ドラフト管の設置には流動層の循環流動を促進する効果があり、ガス化試験の際により多くの石炭コークス粒子が反応器下部から送られる水蒸気に接触しやすくなると考察した。また、ドラフト管を設置した方が、石炭コークス粒子の移動距離が大きくなることが分かった。この結果から、ドラフト管を設置した方がガス平均線流速を速く流した場合、より反応器深くまで石炭コークス粒子が流動することを見出した。これらの結果より、連続供給系としてのスクリュューフィーダーを反応器コールドモデルと統合し、反応器システムのモデル化を行い、連続供給系としての性能が十分に発揮できる装置構成を見出した。

2) ガス化速度とバランスする炭素資源の供給速度を算出し、反応システム運転のための基礎データを得た。さらに反応器の分散板の熱耐久性と流動化ガス削減を目的として、新設計の多孔を有する平板型分散板を設計し、集光加熱条件下で性能評価を行った。その結果、流動化ガスの削減に成功し、新設計の分散板は熱耐久性にも優れていることから、大型反応器による流動層ガス化に有効であることを実験的に明らかにした。

圧力損失測定において石英砂粒径 100~200 ミクロンでは最小流動化速度は最も小さかったが粒子の飛散が見られた。500~600 ミクロンでは他の3つに比べて最小流動化速度が著しく大きかった。従って、石英砂粒径 200~300 ミクロンが本反応器の流動媒体として最も好ましいと判断した。流動層の温度分布については、石英砂粒径 200~300 ミクロンを採用した。層内温度は最高で1100 に到達し、ガス化反応に十分な高温にまで達することが分かった。

また、反応器のコールドモデルによる検討、すなわち流動媒体・石炭コークスの流動性能試験・反応器の圧力損失評価に基づき製作したプロトタイプ反応器に、炭素資源の連続供給系を組み込み、反応器システムを試験した。

ガス同伴により石炭コークスが流動層に連続供給できることを実験的に明らかにした。また、プロトタイプ反応器はバッチ式にて集光照射加熱によるガス化試験を行い、炭素資源連続供給下にて流動層ガス化が十分期待できることを明らかにした。

3) 石炭コークスの連続供給下でガス化反応器が作動し、集光照射によるガス化反応が進行することを明らかにした。この結果から水素製造システムが設計通り作動していることがわかった。ガス化試験は、1) 40%出力による集光照射による予備加熱過程(~450)、2) 100%出力による集光照射による流動層形成過程(450~950)、3) 集光照射加熱による水蒸気ガス化過程(950~1200)で行った。

連続供給式バッチ式ガス化試験では、ガス流量 1.25Umf~1.50Umf (Umf:最小流動化速度) が流動性良好であり、流動層温度 1000~1200 が得られた。流動層内の温度分布は極めて小さく、ガス流量 1.25Umf においてエネルギー転換率および炭素転換率が最も高くなることを見出した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

1) Selvan Bellan, Nobuyuki Gokon, Koji Matsubara, Hyun Seok Cho, Tatsuya Kodama, "Heat transfer analysis of 5kWth circulating fluidized bed reactor for solar gasification using concentrated Xe light radiation", Energy 160 (2018) 245-256.

2) Selvan Bellan, Nobuyuki Gokon, Koji Matsubara, Hyun Seok Cho, Tatsuya Kodama, "Numerical and experimental study on granular flow and heat transfer characteristics of directly-irradiated fluidized bed reactor for solar gasification", International Journal of Hydrogen Energy 43[34] (2018) 16443-16457.

3) Selvan Bellan, Koji Matsubara, Cho Hyun Cheok, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, "CFD-DEM investigation of particles circulation pattern of two-tower fluidized bed reactor for beam-down solar concentrating system", Powder Technology 319 (2017) 228-237.

4) Tatsuya Kodama, Selvan Bellan, Nobuyuki Gokon, Hyun Seok Cho, "Particle reactors for solar thermochemical processes", Solar Energy, 156 (2017) 113-132.

5) Selvan Bellan, Koji Matsubara, Hyun Seok Cho, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, A "CFD-DEM study of hydrodynamics with heat transfer in a gas-solid fluidized bed reactor for solar thermal applications", International Journal of Heat and Mass Transfer, 116, (2018), 377-392.

6) Mitsuho Nakakura, Koji Matsubara, Hyun-Seok Cho, Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, Selvan Bellan, Kazuo Yoshida, "Buoyancy-opposed volumetric solar receiver with beam-down optics irradiation" Energy 141 (2017) 2337-2350.

7) Nobuyuki Gokon, Tomoya Yamaguchi, and Tatsuya Kodama, "Cyclic thermal storage/discharge performances of hypereutectic Cu-Si alloy in vacuum for solar thermochemical process", Energy, 113 (2016) 1099-1108.

〔学会発表〕(計 45 件)

- 1) 宮口陽輔, 熊木聡, 倉田夏希, 児玉竜也, 簀町剛, 郷右近展之, “10kW石英窓型ソーラーガス化反応器の設計および温度分布測定・バッチ式反応器試験” 日本化学会第99春季年会2019, 兵庫, (2019), 甲南大学.
- 2) 熊木聡, 宮口陽輔, 倉田夏希, 児玉竜也, 旗町剛, 郷右近展之, “10kW石英窓型流動層ソーラーガス化反応器による石炭コークスの連続供給ガス化試験” 日本化学会第99春季年会2019, 兵庫, (2019), 甲南大学.
- 3) 大畑陽向, 志田円造, 斉勝拓海, 郷右近展之, 簀町剛, 児玉竜也, “熱重量分析を用いたコバルトドーブセリアによる二段階熱化学サイクルの水分解性能に関する研究” 日本化学会第99春季年会2019, 兵庫, (2019), 甲南大学.
- 4) 西澤碧生, 八幡岳宏, 簀町剛, 児玉竜也, 郷右近展之, “太陽熱発電における化学蓄熱材料としての金属ドーブMn酸化物の検討” 日本化学会第99春季年会2019, 兵庫, (2019), 甲南大学.
- 5) 郷右近展之, 兼子茉美, 齋藤由貴子, Selvan Bellan, 簀町剛, 児玉竜也, Cho Hyun-seok, “太陽熱発電における潜熱蓄熱システム設計のためのAl-Si合金融解プロセスの数値解析”, 平成30年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会, 松江, (2018), くにびきメッセ.
- 6) 児玉竜也, Hyun Seok Cho, 郷右近展之, Selvan Bellan, 井上紘輔, 齋藤達也, 渡邊彰太, “金属酸化物流動層式ソーラー反応器による二段階水熱分解サイクル試験”, 平成30年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会, 松江, (2018), くにびきメッセ.
- 7) 齋藤達也, 井上紘輔, 簀町剛, 曹賢石, Selvan Bellen, 郷右近展之, 児玉竜也, 金子宏, “石英窓型流動層ソーラー反応器の反応条件検討と照射試験”, 第27回日本エネルギー学会大会, 東京, (2018), 日本大学.
- 8) 渡邊彰太, 簀町剛, 曹賢石, Selvan Bellen, 郷右近展之, 児玉竜也, 横田昌久, “流動層ソーラー反応器による水熱分解サイクルのための球状セリア微粒子の合成”, 第27回日本エネルギー学会大会, 東京, (2018), 日本大学.
- 9) 齋藤由貴子, Selvan Bellan, 郷右近展之, 児玉竜也, 簀町剛, Cho Hyun Seok, “太陽熱発電における潜熱蓄熱システム設計のための溶融塩融解プロセスの数値解析”, 第27回日本エネルギー学会大会, 東京, (2018), 日本大学.
- 10) 井上 紘輔, 瀨沼 和也, 簀町 剛, 曹 賢石, Selvan Bellen, 郷右近展之, 児玉竜也, 金子宏, “30kW サンシミュレータによる石英窓型流動層式ソーラー反応器の水熱分解試験”, 第26回日本エネルギー学会大会, 名古屋, (2017), ウィンクあいち.
- 11) 志田 円造, 内藤 喜子, 簀町 剛, Selvan BELLAN, 曹 賢石, 郷右近展之, 児玉 竜也, “マンガンドーブセリアによる二段階水熱分解サイクルの低温化に関する研究”, 第26回日本エネルギー学会大会, 名古屋, (2017), ウィンクあいち.
- 12) 八幡 岳宏, 簀町 剛, 曹 賢石, Selvan Bellen, 郷右近展之, 児玉 竜也, “化学蓄熱サイクルにおけるペロブスカイト系酸化物の反応性に関する研究”, 第26回日本エネルギー学会大会, 名古屋, (2017), ウィンクあいち.
- 13) 鶴間 一成, 山田 愛美, Cho Hyun-Seok, 郷右近展之, 児玉 竜也, “高温太陽炉によるCeO₂/MPSZ 反応デバイスの二段階水熱分解サイクル”, 平成29年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会, 長岡, (2017), アオーレ長岡.
- 14) 白井 麻斗, 兼子 茉美, セルヴァン ベラン, チョ ヒュンソ, 簀町 剛, 郷右近展之, 児玉 竜也, “太陽熱発電用の新規金属合金蓄熱体の蓄熱/放熱サイクル性能に関する研究”, 平成29年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会, 長岡, (2017), アオーレ長岡.
- 15) 杉山 雄太, 簀町 剛, 郷右近展之, 児玉 竜也, “LaSrAlMnO₃ の二段階水熱分解サイクルにおける反応性に関する研究”, 第25回日本エネルギー学会大会, 東京, (2016), 工学院大学.
- 16) 内藤 喜子, 簀町 剛, 郷右近展之, 児玉 竜也, “他金属ドーブセリアの二段階水熱分解サイクルの高活性化に関する研究”, 第25回日本エネルギー学会大会, 東京, (2016), 工学院大学.
- 17) 瀨沼 和也, 横田 伸乃資, 伊藤 澄江, 曹 賢石, 簀町 剛, 郷右近展之, 児玉竜也, 金子 宏, “宮崎ビームダウン太陽集光システムによる石英窓型粒子流動層式ソーラーレシーバー/反応器の開発”, 第25回日本エネルギー学会大会, 東京, (2016), 工学院大学.
- 18) Enzo Shida, Kiko Naito, Tsuyoshi Hatamachi, Selvan Bellan, Cho Hyun-Seok, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, “Reactivity of Mn-Doped Ceria for a Thermochemical Two-Step Water-splitting cycle at low temperature”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 19) Kosuke Inoue, Kazuya Senuma, Tsuyoshi Hatamachi, Hyun Seok Cho, Selvan Bellen, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, “Thermochemical test of quartz window type fluidized bed solar reactor by 30 kW sun simulator”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.

- 20) Asato Shirai, Mami Kaneko, Selvan Bellan, Hyun Seok Cho, Tsuyoshi Hatamachi, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, “Research on thermal charge / discharge cyclic performance of new thermal storage materials for solar thermal power generation”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 21) Shimpei Takagi, T. Hatamachi, S.Vellan, C. Hyunseok, N. Gokon, T. Kodama, “Solar gasification of coals by a windowed fluidized bed reactor with beam-down optics”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 22) Issei Tsuruma, Manami Ymada, Hun-Seok Cho, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, “Thermochemical two-step water-splitting cycle of the CeO₂/MPSZ reactive foam device by the high temperature solar furnace”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 23) Takehiro Yawata, Tsuyoshi Hatamachi, Vellan Selvan, Hunseok Cho, Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, “Study on the reactivity of perovskite oxides in thermochemical storage cycle”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 24) Hyun-Seok Cho, Issei Tsuruma, Manami Yamada, Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, “Development of Thermochemical Two-Step Water Splitting Cycle of the CeO₂/M-CeO₂ Foam Device by the 3 kW Sun-simulator”, The 6th International Symposium on Fusion Technology, Niigata University, Niigata, Japan, January 26-28, 2018.
- 25) Nobuyuki Gokon, Aoi Nishizawa, Takehiro Yawata, Selvan Bellan, Tatsuya Kodama, Hyun-seok Cho, “Fe-doped Manganese Oxide Redox Material for Thermochemical Energy Storage at High-Temperatures”, SolarPACES 2018, Casablanca, Morocco, October 02 - 05, 2018.
- 26) Selvan Bellan, Tatsuya Kodama, Koji Matsubara, Nobuyuki Gokon, Hyun Seok Cho, “Heat transfer and fluid flow analysis of a fluidized bed reactor for beam-down optics”, SolarPACES 2018, Casablanca, Morocco, October 02 - 05, 2018.
- 27) Tatsuya Kodama, Hyun Seok Cho, Nobuyuki Gokon, Selvan Bellan, “Particles Fluidized Bed Receiver/Reactor with a Beam-Down Solar Concentrating Optics: First Performance Test on Two-Step Water Splitting with Ceria Using a Miyazaki Solar Concentrating System”, SOLARPACES 2018, Casablanca, Morocco, October 02 - 05, 2018.
- 28) Nobuyuki Gokon, Yukiko Saito, Selvan Bellan, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama and Hyun-seok Cho, “EXPERIMENTAL AND NUMERICAL SIMULATION OF MELTING PROCESS OF PHASE CHANGE MATERIAL FOR LATENT HEAT STORAGE SYSTEM DESIGN IN CONCENTRATED SOLAR POWER”, 3rd Japanese-German Workshop on Renewable Energies (JGWQ 2018), October 17-19, 2018, Tokyo, Japan.
- 29) Tatsuya Kodama, Selvan Bellan, Koji Matsubara, Nobuyuki Gokon and Hyun-Seok, “DEVELOPMENT AND PROTOTYPE TESTING OF THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM AND THERMOCHEMICAL FLUIDIZED BED RECEIVER/REACTOR FOR UTILIZATION OF CONCENTRATED SOLAR RADIATION: RESEARCH ACTIVITIES IN NIIGATA UNIVERSITY”, 3rd Japanese-German Workshop on Renewable Energies (JGWQ 2018), October 17-19, 2018, Tokyo, Japan.
- 30) Yuta Sugiyama, Nobuyuki Gokon, Hyun-Seok Cho, Selvan Bellan, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama, “THERMOCHEMICAL TWO-STEP WATER-SPLITTING USING PEROVSKITE OXIDE FOR SOLAR HYDROGEN PRODUCTION”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.
- 31) Kiko Naito, Nobuyuki Gokon, Hyun-Seok Cho, Selvan Bellan, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama, “HYDROGEN PRODUCTIVITY AND REPEATABILITY FOR THERMOCHEMICAL TWO-STEP WATER-SPLITTING CYCLE USING MN-DOPED CERIUM OXIDES”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.
- 32) Kazuya Senuma, Nobuyuki Gokon, Hyun-Seok Cho, Selvan Bellan, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama, “SOLAR RECEIVER/REACTOR OF FLUIDIZED BED WITH MIYAZAKI BEAM-DOWN SOLAR CONCENTRATING SYSTEM”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.
- 33) Manami Yamada, Issei Tsuruma, Hyun-Seok Cho, Nobuyuki Gokon, Selvan Bellan, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama, “Investigation of reaction temperature of cerium oxide in two-step carbon dioxide splitting cycles”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.
- 34) Selvan Bellan, Shunichi Tazawa, Tomohiro Nakamata, Cho Hyun Cheok, Nobuyuki Gokon, Koji Matsubara and Tatsuya Kodama, “HEAT TRANSFER ANALYSIS OF AN OVAL CERAMIC CONTAINER ENCAPSULATED BY PHASE CHANGE MATERIAL FOR THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.
- 35) M. Nakakura, K. Matsubara, S. Kawagoe, S. Bellan, H. S. Cho, N. Gokon, T. Kodama, “NUMERICAL SIMULATION OF VOLUMETRIC AIR RECEIVER FOR BEAM DOWN

REFLECTOR”, Asian Conference on thermal sciences 2017, ICC JEJU, JEJU ISLAND, KOREA, March 26-30, 2017.

36) Selvan Bellan, Shunichi Tazawa, Koji Matsubara, Cho Hyun Seok, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama. “Melting process of PCM in ceramic capsule for solar thermal storage.” SOLARIS Conference 27 - 28 Jul 2017, London, UK.

37) Koji Matsubara, Atsushi Sakurai, Takahiro Suzuki, Selvan Bellan, Nobuyuki Gokon, Cho Hyun-Seok, Tatsuya Kodama. “Heat Transfer Analysis of Fluidized Bed Particle Receiver for High-Temperature Solar Concentration.” SOLARIS Conference 27 - 28 Jul 2017, London, UK.

38) Mitsuho Nakakura, Koji Matsubara, Yuki Aoki, Selvan Bellan, Cho Hyun-Seok, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama. “Discrete ordinates simulation of volumetric solar receiver with beam-down irradiation and its verification using big sun simulator.” SOLARIS Conference 27 - 28 Jul 2017, London, UK.

39) Nobuyuki Gokon, Shinpei Takagi, Hyun-seok Cho, Selvan Bellan, Tatsuya Kodama, “Preliminary Tests of Batch Type Fluidized Bed Reactor for Development of Continuously-Feeding Fluidized Bed Reactor - an Elevated Temperature and Gasification Processes -”, SolarPACES 2017, Santiago, Chili, September 26-29, 2017.

40) Selvan Bellan, Koji Matsubara, Hyun Seok Cho, Nobuyuki Gokon, and Tatsuya Kodama, “CFD-DEM Investigation on Flow and Temperature Distribution of Ceria Particles in a Beam-Down Fluidized Bed Reactor”, SolarPACES 2017, Santiago, Chili, September 26-29, 2017.

41) Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, Hyun Ceok Cho, Selvan Bellan, Koji Matsubara, Kazuya Senuma and Kousuke Inoue, “Particles Fluidized Bed Receiver/Reactor with a Beam-Down Solar Concentrating Optics: 30-kWth Performance Test on Two-Step Water Splitting with Ceria Particles Using a Big Sun-Simulator”, SolarPACES 2017, Santiago, Chili, September 26-29, 2017.

42) Nobuyuki Gokon, Tomoya Yamaguchi, Hyunseok Cho, Tsuyoshi Hatamachi, Tatsuya Kodama, “Thermal storage/discharge performances of Cu-Si alloy for solar thermochemical process”, SolarPACES 2016, Abu Dhabi, UAE, October 11-14, 2016.

43) Selvan Bellan, Cho Hyun Cheok, Nobuyuki Gokon, Koji Matsubara and Tatsuya Kodama, “Numerical analysis of fluid flow and heat transfer during melting inside a cylindrical container for thermal energy storage system”, SolarPACES 2016, Abu Dhabi, UAE, October 11-14, 2016.

44) Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, Hyun Seok Cho, Koji Matsubara, Hiroshi Kaneko, Kazuya Senuma, Sumie Itoh and Shin-nosuke Yokota, “Particles Fluidized Bed Receiver/Reactor with a Beam-Down Solar Concentrating Optics: Quartz Sand Particles Receiver Test Using an 100-kWth Solar Concentrating System at Miyazaki”, SolarPACES 2016, Abu Dhabi, UAE, October 11-14, 2016.

45) Hyun Seok CHO, Tatsuya Kodama, Nobuyuki Gokon, Jong Kyu KIM, Sang Nam LEE, and Yong Heack KANG, “Development and experimental study for hydrogen production from the thermochemical two-step water splitting cycles with a CeO₂ coated new foam device design using solar furnace system”, SolarPACES 2016, Abu Dhabi, UAE, October 11-14, 2016.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：清水 忠明

ローマ字氏名：Shimizu Tadaaki

所属研究機関名：新潟大学

部局名：自然科学系

職名：教授

研究者番号（8桁）：10211286

研究分担者氏名：金子 宏

ローマ字氏名：Kaneko Hiroshi

所属研究機関名：宮崎大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：90323774

(2)研究協力者

研究協力者氏名：旗町 剛

ローマ字氏名：Hatamachi Tsuyoshi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。