

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05398

研究課題名（和文）太陽熱発電のための潜熱利用型の高密度蓄熱システムの開発

研究課題名（英文）Development of latent-type thermal storage system for solar thermal power

研究代表者

旗町 剛（Hatamachi, Tsuyoshi）

新潟大学・工学部・技術専門職員

研究者番号：40456356

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：海外のサンベルト地域では大型太陽集光システムで得られる高温太陽集熱によるCO<sub>2</sub>フリーの太陽熱発電が実用化している。本研究では固体/液体相変化材料を蓄熱体として採用した太陽熱発電のための融解凝固利用による潜熱利用型の高密度潜熱蓄熱システムの開発を目的とした。硝酸塩系溶融塩蓄熱材を基軸に蓄熱材の調製・セラミックハニカム化する手法を確立し、高温空気を流通する小型蓄熱システムを新たに設計・製作・運転試験を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの導入拡大は低炭素社会の創出に加え、エネルギー関連の新産業創出・雇用拡大の観点からも重要であり、その普及が協力で推進されている。再生可能エネルギー最大の問題点は経時変動に起因する不安定性と中長期にわたるエネルギー貯蔵であり、蓄エネルギーは再生可能エネルギーの利活用を推進するにあたって必須の技術と考えられる。太陽熱発電は海外のサンベルトにおける発電技術であるが、潜熱蓄熱技術は太陽熱発電に限定されず、日本国内における低コストの蓄エネルギー技術として有効活用できると推察される。

研究成果の概要（英文）：Concentrated solar power that solar radiation is concentrated by solar corrector has been implemented in the Sunbelt region overseas. This study aims to develop a high-density latent heat storage system using solid/liquid phase-change materials as heat storage materials for solar thermal power generation alternative to sensible heat storage. The preparation and ceramic honeycombing of heat storage materials based on nitrate-based molten salt heat storage materials were established. A new compact heat storage system with high-temperature air circulation was designed, fabricated, and tested.

研究分野：エネルギー学

キーワード：高温太陽熱 相変化材料 溶融塩 潜熱蓄熱

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 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。高温太陽集熱を熱供給源とし、合成油や熔融塩等で熱回収・熱エネルギー貯蔵することで、24 時間 365 日運転可能な太陽熱発電プラントが欧州や米国等で商用稼働している。しかしながら、現在の太陽熱発電プラントは液体の顕熱蓄熱によるエネルギー貯蔵が採用されており、液体蓄熱材と蓄熱タンクの高温反応性による耐久性や蓄熱タンクの大型化による高コスト化などの問題点を抱えている。

### 2. 研究の目的

固体/液体相変化材料を蓄熱体として採用した太陽熱発電のための融解凝固利用による潜熱利用型の高密度潜熱蓄熱システムの開発を最終目的としている。本研究では、共晶系の硝酸系熔融混合塩を潜熱蓄熱体として利用する可能性に着目し、プラントシステムにスケールアップ可能な小型潜熱蓄熱系の設計・製作・運転試験を行った。また、高密度の蓄熱が有望な材料系の探索・ラボスケールでの蓄熱材料評価試験を行った。

### 3. 研究の方法

- (1) 蓄熱材の調製・セラミックハニカムによる構造体の試作
- (2) 蓄熱材・セラミックハニカムの蓄熱/放熱試験
- (3) 潜熱蓄熱システムの蓄熱試験・高温熱媒体流通試験
- (4) 自作のラボスケール潜熱蓄熱試験装置の試験運転
- (5) 熔融塩と蓄熱容器材料との高温適合性試験

### 4. 研究成果

- (1) 蓄熱材の調製・セラミックハニカムによる構造体の試作

硝酸塩系熔融塩蓄熱材を基軸に共晶組成付近の潜熱蓄熱材の調製を行った。硝酸カリウムと硝酸ナトリウムから混合熔融塩である。潜熱蓄熱体の利用には、流出・分解・酸化を防ぐための格納容器が必要である。本研究では、蓄熱体の充填プロセスの簡素化とコスト削減を図ることを想定して、市販のセラミック製のハニカムを採用することとした。これにより蓄熱体を充填した充填領域と熱媒体を流通させる空隙領域を設けることができる。セラミックハニカムはコージライト(コージェライト)製であり、熱膨張係数が極めて低い・耐熱衝撃性に優れる・強い機械的強度・軽量等の性質をもつことから構造体の基盤材料として採用した。このように蓄熱材を充填したハニカム構造体の試作を行った。

- (2) 蓄熱材・セラミックハニカムの蓄熱/放熱試験

蓄熱/放熱試験には自作の試験装置を使用した。縦型電気炉で構成される試験装置であり、試験の概略を下記に示す。加熱空気(熱媒体)をハニカムの空洞に流すことによって実際の蓄熱システム空間に近い環境を作り、蓄熱・放熱試験を実施した。エアコンプレッサとマスフローを用いて流量制御空気雰囲気下で、2 /min~10 /min の昇温速度で加熱する蓄熱モード、同速度で冷却した放熱モードでの蓄熱放熱挙動を評価した。再現性のある蓄熱放熱放熱が観察され、蓄熱構造体は蓄熱ユニットとして利用できることを明らかにした。

- (3) 潜熱蓄熱システムの蓄熱試験・高温熱媒体流通試験

- (4) 自作のラボスケール潜熱蓄熱試験装置の試験運転

潜熱蓄熱ユニットを用いた縦型の潜熱蓄熱システムを設計・製作し、蓄熱試験・高温熱媒体流通試験を行った。熱媒体としては高温空気を採用し、システム上部で空気を電気炉加熱し、システム下部に流通させ、システム下部では潜熱蓄熱ユニットを配置し蓄熱・放熱試験を行った。自作のラボスケール潜熱蓄熱試験装置は、高温熱媒体流通試験はマスフローコントローラーで流量制御した空気雰囲気下で、5 /min の昇温速度で 700 、1 時間保持の温度プログラムで評価した。潜熱蓄熱ユニットは 400 ~600 まで加熱でき、共晶組成の硝酸系熔融塩を充填した潜熱蓄熱ユニットが高温熱媒体流通下で蓄熱・放熱することを実験的に実証した。

- (5) 熔融塩と蓄熱容器材料との高温適合性試験

潜熱蓄熱系を蓄熱システム化するにあたって、蓄熱容器との高温適合性が問題となる。潜熱蓄熱材と蓄熱容器材料との高温適合性は下記のように実施した。容器材料候補を数点選定し、熔融塩を充填しマッフル炉を用いて空气中 800 で 168 時間(1 週間)加熱した。表面に付着した熔融塩を研磨で落とし、その後 XRD、EPMA で容器表面を観察することで高温腐食性や容器材料の熱耐久性を実験的に評価した。容器材料との親和性には熔融塩の含まれる水分が大きな影響を与えることを明らかにし、水分除去プロセスを新たに提案した。

これらの相変化型潜熱蓄熱系は変動する熱供給下において優れた熱応答性・蓄熱容量を有することから、以上の研究結果を基に、共晶系の熔融塩潜熱蓄熱ユニットによる蓄熱システムをラボスケールで設計、製作、実験的な評価を行った。この結果は、プラントシステムにスケールア

アップ可能な小型潜熱蓄熱系の設計・製作・運転試験に関わるものであり、大型の蓄熱システムの構築が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 N Gokon, K Hayashi, H Sawaguri, F Ohashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Long-Term Thermal Cycling Test and Heat-Charging Kinetics of Fe-Substituted Mn2O3 for Next-Generation Concentrated Solar Power Using Thermochemical Energy Storage at High Temperatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 4812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fenrg.2021.696213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 H Sawaguri, N Gokon, K Hayashi, Y Iwamura, D Yasuhara	4. 巻 10
2. 論文標題 Two-Step Thermochemical CO2 Splitting Using Partially-Substituted Perovskite Oxides of La0.7Sr0.3Mn0.9X0.1O3 for Solar Fuel Production	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Energy Research	6. 最初と最後の頁 872959
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fenrg.2022.872959	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nobuyuki Gokon, Chew Shun Jie, Yuya Nakano, Shogo Okazaki, Tatsuya Kodama, Tsuyoshi Hatamachi, Selvan Bellan	4. 巻 9
2. 論文標題 Phase change material of copper-germanium alloy as solar latent heat storage at high temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Energy Research, section Solar Energy	6. 最初と最後の頁 696213-1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fenrg.2021.696213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Gokon Nobuyuki, Jie Chew Shun, Nakano Yuya, Kodama Tatsuya, Bellan Selvan, Cho Hyunseok	4. 巻 30
2. 論文標題 Thermal charge/discharge performance of iron-germanium alloys as phase change materials for solar latent heat storage at high temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Energy Storage	6. 最初と最後の頁 101420 ~ 101420
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.est.2020.101420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sawaguri Hiroki, Gokon Nobuyuki, Ito Naoki, Bellan Selvan, Kodama Tatsuya, Cho Hyun-seok	4. 巻 2303
2. 論文標題 Thermochemical two-step CO2 splitting using La0.7Sr0.3Mn0.9Cr0.103 of perovskite oxide for solar fuel production	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aip Proceedings	6. 最初と最後の頁 170013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028681	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gokon Nobuyuki, Hara Kazuki, Ito Naoki, Sawaguri Hiroki, Bellan Selvan, Kodama Tatsuya, Cho Hyun-Seok	4. 巻 2303
2. 論文標題 Thermochemical H2O splitting using LaSrMnCrO3 of perovskite oxides for solar hydrogen production	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aip Proceedings	6. 最初と最後の頁 170007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gokon Nobuyuki, Jie Chew Shun, Bellan Selvan, Kodama Tatsuya, Hatamachi Tsuyoshi, Cho Hyunseok	4. 巻 2303
2. 論文標題 Chemical compatibility of Cu-Ge alloy with container materials for latent heat storage system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aip Proceedings	6. 最初と最後の頁 190014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028722	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 澤栗大樹, 安原大智, 林広佑, 岩村禎一, 郷右近展之
2. 発表標題 La0.7Sr0.3Mn0.9Cr0.103 ペロブスカイト酸化物を用いた二段階熱化学サイクルによる CO2 分解
3. 学会等名 日本エネルギー学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安原大智, 澤栗大樹, 岩村禎一, 郷右近展之
2. 発表標題 LaSrCrMn 系ペロブスカイト酸化物の A, B サイトイオン置換による二段階水熱分解反応の反応性向上に関する研究
3. 学会等名 日本エネルギー学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大橋 史弥, 郷右近 展之
2. 発表標題 次世代太陽熱発電のためのナノ粒子混合によるマンガン酸化物系化学蓄熱材料のサイクル性に関する研究
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshikazu Iwamura, Nobuyuki Gokon, Hiroki Sawaguri, Hyun-seok Cho, Tatsuya Kodama, Selvan Bellan
2. 発表標題 Thermochemical Two-step H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> Splitting Using La <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.3</sub> XO <sub>3-d</sub> of Perovskite Oxides for Solar Fuel Production
3. 学会等名 SolarPACES2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sawaguri, Nobuyuki Gokon, Hyun-seok Cho, Tatsuya Kodama, Selvan Bellan
2. 発表標題 Temperature Impacts on Reactivity of La <sub>0.7</sub> A <sub>0.3</sub> Mn <sub>0.9</sub> Cr <sub>0.1</sub> O <sub>3-d</sub> of Perovskite Oxides in a Thermochemical Two-step H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> Splitting
3. 学会等名 SolarPACES2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Sasada, Nobuyuki Gokon, Hiroshi Seto, Tatsuya Kodama, Selvan Bellan
2. 発表標題 Effect of Heating Rate on Thermochemical Pyrolysis of Spent Coffee Ground in a Windowed Internally-Circulating Fluidized Bed Reactor
3. 学会等名 SolarPACES2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎匠吾, 中野裕也, CHEW SHUN JIE, 郷右近展之, 旗町剛, 児玉竜也, Selvan Bellan
2. 発表標題 太陽熱発電の蓄熱システム高度化のための金属系潜熱蓄熱体に関する研究
3. 学会等名 日本エネルギー学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 広佑, 旗町 剛, Selvan Bellan, 郷右近 展之
2. 発表標題 次世代太陽熱発電のためのCaMnO <sub>3</sub> 系ペロブスカイト酸化物による化学蓄熱に関する研究
3. 学会等名 日本太陽エネルギー学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤栗大樹、原和紀、伊藤直樹、児玉竜也、旗町剛、郷右近展之
2. 発表標題 LaSrCrMn系ペロブスカイト酸化物を用いた二段階熱化学サイクルによるH <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> 分解
3. 学会等名 日本エネルギー学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	郷右近 展之  (Gokon Nobuyuki)  (20361793)	新潟大学・自然科学系・准教授    (13101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------