

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420917

研究課題名(和文)ケミカルヒートポンプによる完全太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築

研究課題名(英文)Air-Conditioning System by Chemical Heat Pump Driven only by Solar Energy

研究代表者

小倉 裕直 (OGURA, HIRONAO)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40253554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：電気やガス等の他のエネルギーを一切利用しないケミカルヒートポンプによる太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築を目指した検討を行った。その結果、太陽化学蓄熱に最適な1.集熱方式および制御方法、2.熱交換方式および制御方法、3.反応材料および調整方法を見出し、それらを基に4.最適なケミカルヒートポンプデザインおよび運転方法の検討を実験および理論解析により進め、最終的に5.太陽熱駆動ケミカルヒートポンプに太陽光発電による熱媒駆動を組み込んだケミカルヒートポンプによるシステム実験により、完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築が可能と考えられるヒートポンプシステム性能を実証できた。

研究成果の概要(英文)：In order to construct an independence type high-efficient air-conditioning system by chemical heat pump driven only by solar energy, experimental studies were performed. As a result, most suitable for the solar chemical heat storage 1. The heat collection system and the control method, 2. The heat exchange system and the control method, 3. The reaction material were found, and based on those, 4. The most suitable chemical heat pump design and the operating method were decided by experiments and theoretical analysis. Finally, 5. The complete independence type solar chemical heat pump which included a heating medium driven by photovoltaic generation could show the performance which can construct high-efficient air-conditioning systems.

研究分野：環境エネルギーシステム

キーワード：ソーラーケミカルヒートポンプ ソーラークーリング 太陽化学蓄熱 オフグリッド

1. 研究開始当初の背景

ビル空調や家庭の冷暖房、さらにはあらゆる工場での温調において、膨大なエネルギーが消費されている。その主な手法が機械圧縮式ヒートポンプであるために、エネルギー源は電力、ガス、石油等であり、発電にも石油や石炭等による発電が多く行われているために、結局電力、ガス、石油等いずれによる空調、温調においても、限りある化石燃料が多量に使用され、かつ二酸化炭素排出等の環境問題へ悪影響も甚大である。

これに対して、圧縮機を持たず熱駆動可能な化学系のヒートポンプは、太陽熱や各種排熱を蓄熱して、改質し、冷温熱生成することにより、熱媒循環等のサブエネルギーを除き、冷温熱生成には理論的には他の電力、ガス、石油等のエネルギーを一切使用しないで駆動が可能である。よって、機械圧縮式ヒートポンプで言う高率 COP に相当するものは、機械圧縮式の 5, 6 程度に比べてその数倍から数十倍も可能である。さらに一部必要となる熱媒循環等のサブエネルギーを太陽光発電でまかなえば COP は無限大となり、すなわち電力やガス等を全く用いない完全独立型のヒートポンプが可能となる。

しかしながら、化学系のヒートポンプには、吸収式、圧縮式、化学式があるが、これまでに実用化されているのは吸収式および吸着式のみであるが、それらは蓄熱密度や蓄放熱出力の関係から、完全熱駆動には至っていない。本研究では、化学系ヒートポンプの中で理論的には最も高効率化が可能な未だ実用化されていない真の化学式ヒートポンプすなわちケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築を目指す。本申請者がこれまでに太陽熱やあらゆる排熱による駆動を可能にするケミカルヒートポンプの研究開発を実用化に向けて 20 年以上行ってきた知見を活かす。本システムでは、太陽熱によってのみ冷温熱生成を行い、熱媒循環等のサブエネルギーには太陽電池を用いる。

2. 研究の目的

熱駆動型ケミカルヒートポンプシステムの駆動性能はかなり実用化に近づいているが、これまでの熱源は主に人工的な排熱であり、その熱量はある程度コントロール可能である。しかしながら、太陽熱については自然エネルギーであるために、それ自体のコントロールは困難である。よって、太陽熱を熱源として完全熱駆動型のケミカルヒートポンプを構築するには、太陽熱特性に対応できる集熱、熱交換、化学蓄熱、放熱等のこれまでにない次世代的なデザインおよび制御が必要である。

このような状況から、本研究ではこれまでに行ってきた各種熱駆動型ケミカルヒートポンプ研究開発の知見を下に、3. 研究の方法に示す手法に基づき研究開発を進め、一部

必要となる熱媒循環等のサブエネルギーを太陽光発電でまかなうことにより、最終的に図 1 に示すような COP は無限大となる世界初の年中通して利用可能な電気やガス等の他のエネルギーを一切利用しないケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築を目指した性能評価を行う。

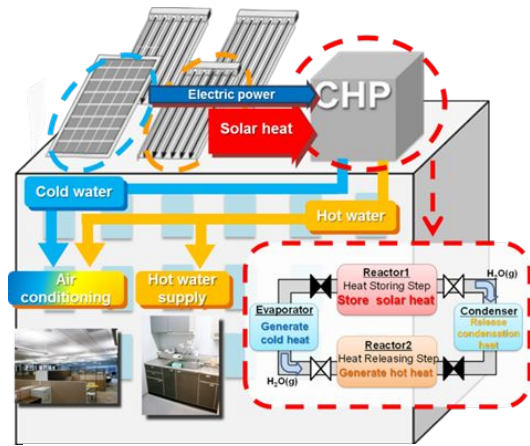


図 1 太陽熱駆動ケミカルヒートポンプ
冷暖房給湯システム例

3. 研究の方法

本研究では、これまでに行ってきた各種熱駆動型ケミカルヒートポンプ研究開発の知見を基に、以下のような研究計画・方法を進める。平成 25 年度は、(1)太陽化学蓄熱に最適な集熱方式および制御方法、(2)太陽化学蓄熱に最適な熱交換方式および制御方法、を実験および理論解析により検討する。平成 26 年度は、(3)太陽化学蓄熱に最適な反応材料および調整方法、を(1)、(2)を受けて実験および理論解析により検討する。さらに(1) - (3)を必要に応じてフィードバックをかけながら進めた後に、(4)太陽化学蓄熱駆動に最適なケミカルヒートポンプデザインおよび運転方法の検討を実験および理論解析により進める。平成 27 年度は、(1) - (4)を受けて、太陽熱駆動ケミカルヒートポンプに太陽光発電による熱媒駆動を組み込んだ(5)ケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築を目指した運転評価を行う。

4. 研究成果

(1)太陽化学蓄熱に最適な集熱方式および制御方法

太陽熱を一旦オイル等で集熱、高温熱交換により化学蓄熱材へ蓄熱し、密閉系ケミカルヒートポンプとしての作動が可能になる。この場合、太陽熱特性に対応した化学蓄熱可能な集熱方式および制御方法を実験および理論解析により行った。具体的には、まずは本学所有ビルの屋上等において日射量の実測を行った。次に、申請者らがこれまでケミカルヒートポンプに用いたことのある反応材料を中心に、その稼働温度、入出力特性等を

考慮して、化学蓄熱に必要な集熱器のデザインを行った。実際に集熱可能な熱エネルギー特性のデータベースを作成しながら、適宜図2に示すようにCPC真空管型集熱器をベースに反射板等の組み込んだ集熱器デザイン変更を行い、集熱制御法の検討も行うことにより、集熱効率の向上を図ることができた

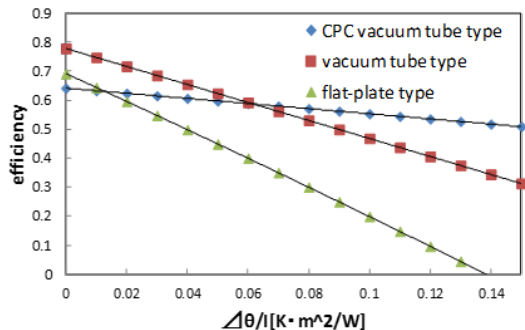


図2 集熱器性能比較

(2) 太陽化学蓄熱に最適な熱交換方式および制御方法

(1)に連動して熱交換媒体、熱交換方法を検討した。(1)における集熱方法に基づき化学蓄熱反応材料にはオイル等による蓄熱熱交換を行った。各種検討を行った結果、強制対流方式を採用し、日本における夏季や亜熱帯諸国では化学蓄熱に十分な温度域と熱量が得られることがわかった。しかしながら低日射量時や低気温時には十分な性能が得られない可能性があるために、次年度に行うケミカルヒートポンプデザイン案についても検討した。

(3) 太陽化学蓄熱に最適な反応材料および調整方法

反応材料は、申請者らが検討を続けている硫酸カルシウムや酸化カルシウム、塩化カルシウム等に関しては、既にある程度の化学蓄放熱反応活性が確認されているために、各種実用化に向けた研究開発が進められている。

しかしながら、これらの材料もケミカルヒートポンプに向けた条件下での反応平衡や反応速度等の検討は行ってきたものの、実際にソーラーケミカルヒートポンプに組み込んだ際の熱移動や物質移動を考慮した総括の反応速度の向上には、それぞれの反応器に応じた反応材料選択、反応材料形状、充填方法等が個々に必要となる。特に太陽熱減の場合には、熱源特性が時間によって大きく異なるために熱移動はもちろんであるが反応開始後の水蒸気移動特性等も大きく変動するために、あらゆる状況を想定した材料設計が必要である。本研究では、申請者らが行ってきた産地別の硫酸カルシウム粒子の反応性や粒子径や雰囲気条件の違いによる平衡や反応速度式の検討、各種伝熱促進法の検討を基に反応材料設計を行った。この場合、反応材料は前年度から検討を行っている熱交換方

式やケミカルヒートポンプデザインの中の化学蓄熱反応層デザインに大きく影響を受けるので、本年度はこれらと並行して試料調整方法を検討し、実際に作成した反応材料を蓄熱反応層に組み込んで実験的検討および理論的検討を行い、本時点での太陽化学蓄熱に最適な反応材料および調整方法を見出した。

(4) 太陽化学蓄熱駆動に最適なケミカルヒートポンプデザインおよび運転方法の検討
最適と考えられる集熱器、熱交換器および反応器の組合せを決定すべく、(1) - (3)を必要に応じてフィードバックをかけながら進め、図3に示す太陽化学蓄熱駆動に最適なケミカルヒートポンプデザインおよび運転方法の検討を実験および理論解析により進めた。必要に応じて、各部品を再設計、再製作し、各部品の単体性能および組み合わせた際の複合性能を実験および理論解析により検討し、集熱、熱交換、蓄熱、放熱の各特性を各種運転方法別にデータベース化し、そのトータルの性能向上を図ることができた。

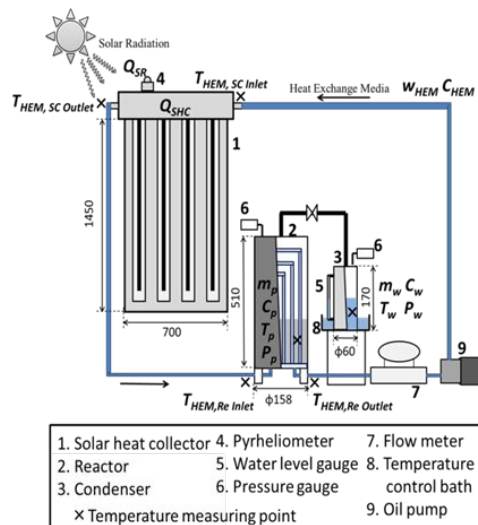


図3 実験および解析用ソーラーケミカルヒートポンプ装置

(5) ケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築および運転評価

(4)までに最適化されたケミカルヒートポンプデザインのものに、蓄熱エネルギーに比べればわずかではあるが熱媒循環等のために必要となる補助電源を太陽電池パネル他を組み込んで、完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システム試験装置を設計、製作した。年中通して各種条件下において運転評価を行った。この場合、ケミカルヒートポンプ性能の基本となる蓄放熱特性すなわち蓄放熱温度(図4、図5)、蓄放熱出力等はもちろんであるが、高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムとしてその駆動可能条件、エネルギー効率、COP等、ヒートポンプ機器として重要となる各種性能を導き出した。そ

の結果、季節に合わせて太陽パネルの角度等を変更することによりケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築のための試験において太陽熱・光ハイブリッドにてスタンドアロンすなわちオフグリッドで稼働させることが可能であることが示された。

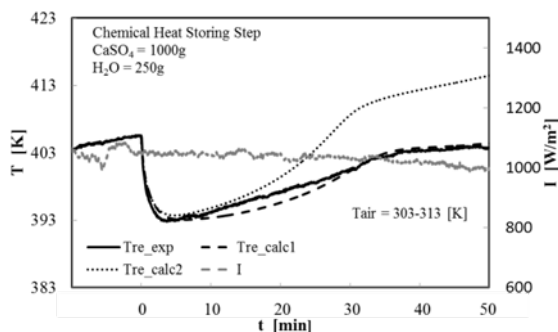


図4 ソーラー化学蓄熱時温度変化例

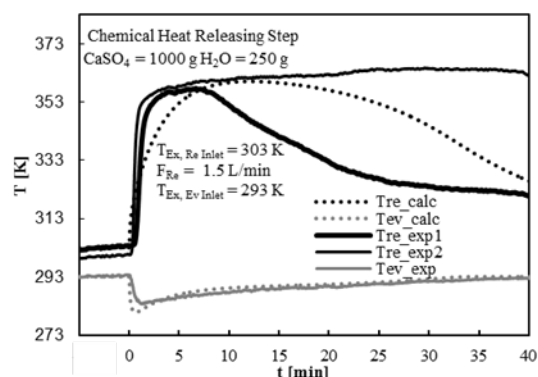


図5 化学放熱時温度変化例

以上より、資源・エネルギー問題ならびに環境問題の観点から、再生可能エネルギーである太陽エネルギー有効利用について、世界初の年中通して利用可能な電気やガス等の他のエネルギーを一切利用しないケミカルヒートポンプによる完全独立型高効率太陽エネルギー駆動冷暖房システムの構築の実現可能性が示されたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Jun-Hee Lee, Hironao Ogura and Satoshi Sato, "Reaction control of CaSO_4 during hydration/dehydration repetition for chemical heat pump system", Applied Thermal Engineering, Vol.63, pp.192-199 (February 2014) ISSN: 1359-4311 (査読有)

〔学会発表〕(計 6 件)

小倉裕直, "各種熱駆動ケミカルヒートポンプによる未利用・再生可能エネルギーマネジメントシステム", 第63回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 3月19-22日, 東

工大(東京都・目黒区), 19p-W641-6 (2016)

秋谷直紀, 小倉裕直, "ソーラーケミカルヒートポンプの環境対応デザイン", 化学工学会第46回秋季大会講演要旨集, 9月17-19日, 九大(福岡県・福岡市), N222 (2014)

Takayuki Shimazu and Hironao Ogura, "Experimental and theoretical studies on solar chemical heat pump for air conditioning", July 27 - August 1, Tokyo Big Site (Tokyo, Japan) O-Th-9-2 (2014)

小倉裕直, "化学蓄熱・ケミカルヒートポンプによる地産地消エネルギーリサイクルシステム", 第61回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 3月17-20日, 青学大(神奈川県・相模原市), 19p-E4-7 (2014)

小倉裕直, 三枝篤志, 島津隆行, "硫酸カルシウム系ケミカルヒートポンプによる完全独立型太陽エネルギー駆動冷暖房システム実現のための基礎実験", 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会講演論文集, 11月28-29日, 沖縄県市町村自治会館(沖縄県・那覇市), 122 (2013)

Hironao Ogura, Atsushi Saigusa, Takayuki Shimazu, "Air Conditioning and Hot Water Supply System using Solar Chemical Heat Pump", Proceedings of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 16-18, Pattaya (Thailand), ETM-1002 (2013)

〔図書〕(計 1 件)

小倉裕直, "太陽熱駆動冷温熱生成ソーラーケミカルヒートポンプ", 日本太陽エネルギー学会, 太陽エネルギー, Vol.41, No.3, pp.83-86, 109 (2015)

〔その他〕

ホームページ等

<http://ogura-lab.tu.chiba-u.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小倉 裕直 (OGURA, Hironao)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 40253554