

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07027

研究課題名(和文)独立型ソーラーケミカルヒートポンプによる冷凍・冷暖房・給湯システムの構築

研究課題名(英文) System Construction of Refrigeration, Air-conditioning, Hot-water-supply by Stand-alone Solar Chemical Heat Pump

研究代表者

小倉 裕直 (OGURA, HIRONAO)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40253554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：資源・エネルギーの有効利用について、太陽熱を密閉型ケミカルヒートポンプシステムに、集熱・熱交換、化学蓄・放熱、蒸発・凝縮を行うことにより、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凍・冷暖房・給湯システムの構築を目指した。

本研究では、ソーラーケミカルヒートポンプによる本システムの基本装置運転評価および実用化可能な段階まで評価技術を高めたシステムシミュレーション評価を行った。その結果、ヒートポンプ機器として重要となる各種システム性能について、既存の太陽熱利用システムを上回る評価が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、電気やガス等の他のエネルギーを一切利用しない、年中通して利用可能な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凍・冷暖房・給湯システムの構築を目指したものであり、きわめて独創的であり、学術的にもエネルギー工学等の複合的な学問知識経験が必要であり、基幹学問だけでは不可能な研究である。

社会的意義としては、本研究結果によるヒートポンプが実用化されれば、ビルや家庭の冷暖房や給湯、さらにはあらゆる工場等での冷凍・空調における膨大なエネルギー消費がゼロに近づけられることから、限りある化石燃料使用量の大幅削減ならびに二酸化炭素排出等の環境問題への悪影響が世界的に激減され得る。

研究成果の概要(英文)：For the effective use of energy and resources, we aimed to construct a completely independent high-efficiency solar energy driven refrigeration, air-conditioning, and hot-water-supply system by chemical heat pump that does not utilize other energy such as electricity and gas, which can be used throughout the year by performing heat collection, heat exchange, chemical heat storage/release, evaporation/condensation in a sealed chemical heat pump system. In this study, we performed the basic equipment operation evaluation of this system by solar chemical heat pump and the system simulation evaluation that enhanced the evaluation technology to the practical use stage. We could obtain the evaluation which exceeded the other existing solar heat utilization systems on various system performance as a heat pump device.

研究分野：環境エネルギーシステム

キーワード：太陽エネルギー ケミカルヒートポンプ 独立型 冷凍 蒸発 低炭素 化学蓄熱

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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中で意欲的に研究開発が進められている。しかしながら、太陽光発電研究が多く、太陽熱利用はまだ不十分である。民生向けでは低中温熱利用、工業用途では集熱による高温利用等が開発されているが、太陽熱エネルギーのみで冷凍や冷房も行えるシステムはほとんど実用化していない。吸収式や吸着式ヒートポンプにより一部冷房が可能となっているが、完全に太陽エネルギー駆動とは言えず効率も向上が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、密閉型ケミカルヒートポンプシステムに集熱し、熱交換、化学蓄・放熱を行うことにより、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凍・冷暖房・給湯システムの構築を目指す。

本申請者は、これまで各種熱駆動ケミカルヒートポンプの実用化開発を行い単体機器性能はほぼ実用化レベルに達しているが、低温低密度かつ変動の大きい太陽熱駆動のケミカルヒートポンプに関しては、冷暖房域ではかなり性能が向上したものの、マイナス温度域の冷凍まで可能なシステムとしては未だ高効率に年中駆動可能な段階に至っていない。本研究では、研究期間中にほぼ実用化可能な段階まで要素技術および評価技術を高めた指針を示す。

3. 研究の方法

冷凍まで可能なソーラーケミカルヒートポンプ装置における太陽化学蓄熱および冷凍冷熱・温熱生成に最適な集熱方式、熱交換方式および制御方法、サブエネルギー発電・蓄電方法、蒸発・凝縮水溶液および調製方法等の検討を、実験的および理論的に初年度および次年度に行った。最終年度は、それらの研究成果を踏まえて、Fig.1 に示すような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最終型のソーラー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凍・冷暖房・給湯基本装置の運転評価およびビルシステムシミュレーション評価を行った。

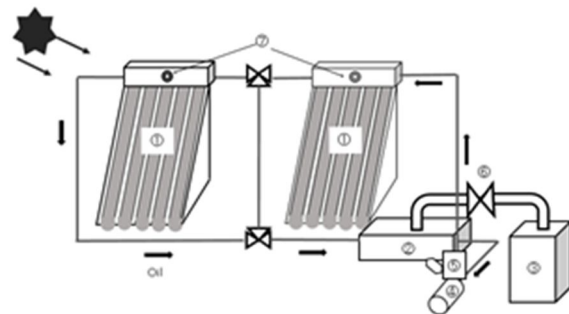


Fig.1 ソーラーケミカルヒートポンプ試験装置例

Table 1 実験条件例

	集熱器 台数	集熱器角度・ 季節	CHPユニット 接続方法	熱媒 配管長(m)
Type A	1	30°・秋季	水平	2.7
Type B	2	30°・秋季	水平	4.6
Type C	1	45°・秋季	垂直	1.9
Type D	2	60°・冬季	垂直	3.6

4. 研究成果

(1) 集熱方式、熱交換方式および制御方法

集熱器設置方式やケミカルヒートポンプユニット配置方法などを変えた4種類の装置を用いた実験例をTable 1に示す。集熱器角度は実験を行う季節における最適傾斜角に合わせて設置した。これらの実験は千葉大学西千葉キャンパス(千葉県千葉市稲毛区 東経 140.10°, 北緯 35.62°)において、装置を真南に向けた状態で行った例である。

Fig.2 は反応率および蓄熱量の経時変化例である。集熱器が2台であるType Bは、集熱器が1台であるType Aより熱媒温度が20 K以上高いことから試料温度の上昇時間が短く、開始後150分で脱水反応率は81%に達し、473 kJの熱を蓄熱した。反応器と凝縮器を垂直に配置したType C, Dにおいては実験開始直後の反応率がType A, Bと比べて高くなっている。よって、反応器の真下に凝縮器を設置することはソーラーケミカルヒートポンプの初期反応速度を上げるために有効であることが示された。

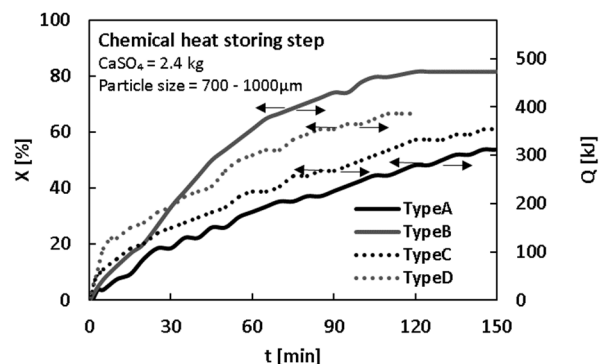


Fig.2 集熱方式、熱交換方式等の蓄熱性能への影響例

(2) 蒸発・凝縮水溶液および蒸発推進方法

ソーラーケミカルヒートポンプにおける冷凍運転時の蒸発器性能向上を目標とし、新規多成分溶液や蒸発促進に関する実験的および理論的検討を行った。

まず、エチレングリコール水溶液に新たに無機塩を加えた多成分溶液で装置実験を行い、溶液成分の違いによる反応挙動および冷熱生成特性の比較検討を行った。

Fig.3にEG 40 wt%水溶液およびEG 30 wt%-NaCl 10 wt%水溶液を用いたときの放熱水和過程における反応器内粒子層代表点温度ならびに蒸発器内水面付近温度の経時変化の比較例を示す。初期蒸発器温度を低くするにつれて温度降下幅が小さくなり、反応器内粒子層温度の到達温度の上昇幅も同様に小さくなっていることがわかる。次に、溶液成分を比較すると、反応器温度はややばらつきがあるものの挙動はおおむね一致しており、塩化ナトリウムを添加した水溶液でも塩化ナトリウムを含まないものと同様に 258 K 以下の冷熱生成能力がある可能性が示された。特にEG30 wt%-NaCl 10 wt%水溶液は、EG40 wt%水溶液より凝固点の低いため、より低温での使用に有効であると考えられる。

次に、攪拌機設置および蒸発器位置変更の影響による 120 min ごとの平均冷熱生成量の比較を Fig.4 に示す。最初の 120 min 間は、攪拌機使用や蒸発器位置変更により、冷熱出力が攪拌機使用では 1.4 倍、蒸発器位置変更では 1.2 倍に増加した。

これらのことから、初期反応においては攪拌機使用や蒸発器位置変更によって蒸発促進が可能となることが明らかとなった。特に、攪拌機使用と蒸発器位置変更を組み合わせることで相乗効果によって初期反応における出力が 1.9 倍にまで増加した。攪拌機使用時は動力を考慮する必要があるが、本装置においては 5 W 程度と出力増加分より十分小さい。さらに攪拌速度の最適化や動力を太陽光発電等により賄うことでさらなる効果が期待できる。

(3) システムシミュレーション

Fig.5 に本シミュレーションに用いるシステムのモデル図を、Fig.6 に対象建物の平面図を示す。ここではシステム機器（太陽熱集熱器、蓄熱槽、冷温水ポンプ、冷却塔、冷却水ポンプ）も含めた長期間のシミュレーションによる検討を行った。LCEM ツール Ver3.10(国土交通省)を用いて、Fig.5 における ガス&太陽熱駆動吸収式ヒートポンプを基準に、その部分を 太陽熱駆動吸収式ヒートポンプ、太陽熱駆動ケミカルヒートポンプと変えることにより 3 種類のヒートポンプシステムの比較を行った。また、これらの主要熱源で熱負荷を処理しきれない場合は、補助熱源としてガス吸収式ヒートポンプを二台稼働させて足りない冷暖房出力を賄った。

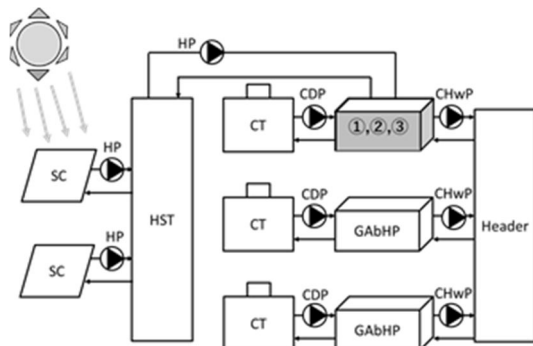


Fig.5 解析対象システムモデル

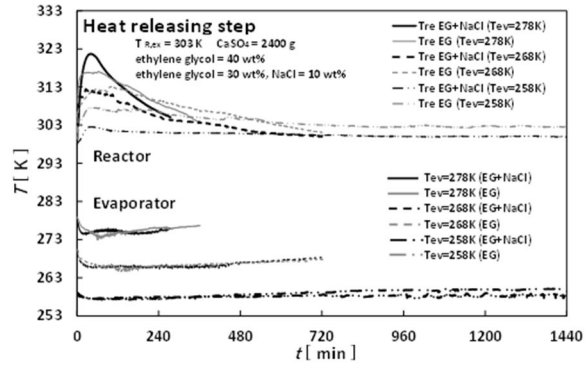


Fig.3 放熱水和過程における反応粒子温度および蒸発器内水面付近温度の経時変化例

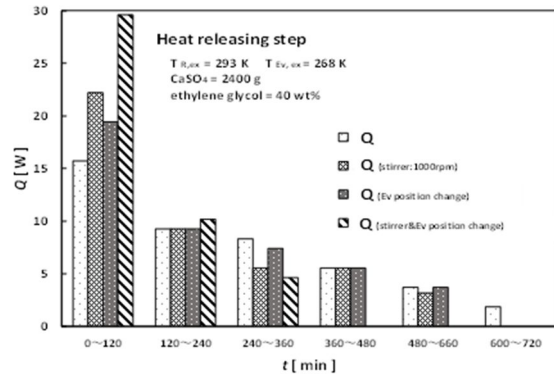


Fig.4 攪拌機設置および蒸発器位置変更の冷熱生成量への影響



Fig.6 解析対象フロアモデル

Fig.7 に冷房ピーク負荷日の電力消費量比較グラフを示す。太陽熱駆動吸収式ヒートポンプではガスを消費しない分、本体や周辺機器も含めて消費電力量が増加した。また、太陽熱駆動ケミカルヒートポンプ自体はガスも電力も消費しないが、ポンプなどの周辺機器の消費電力はやや増加した。

Fig.8 は冷房ピーク負荷日の COP を比較したグラフである。どの時間帯においても太陽熱駆動ケミカルヒートポンプの COP が最も高くなり、冷房使用においてケミカルヒートポンプを用いたシステムの効率の高さが示された。

これらのシステムミュレーションより、ほぼ太陽熱のみで駆動するケミカルヒートポンプシステムが同様の駆動を仮定した吸収式ヒートポンプシステムを上回る有効性を持つことを確認出来たといえる。

まとめ

ケミカルヒートポンプ性能の基本となる蓄放熱装置特性すなわち蓄放熱温度、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凍・冷暖房・給湯システムとして、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システム性能について、既存の太陽熱利用システムを上回る評価を本研究では示すことができた。

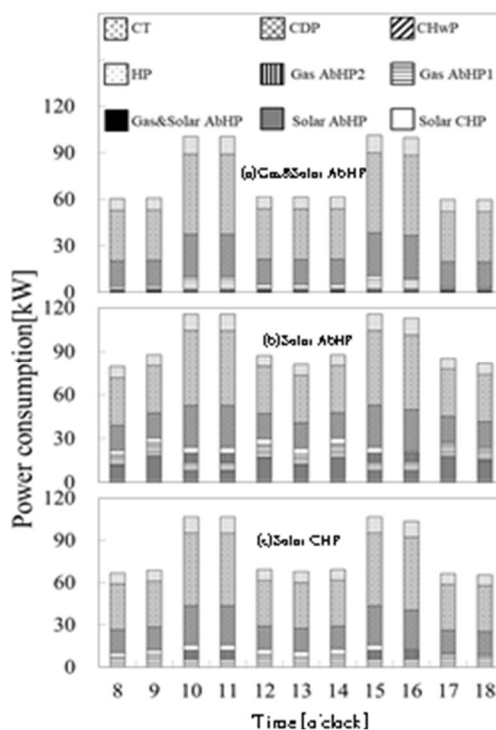


Fig.7 冷房ピーク負荷日の電力消費量比較

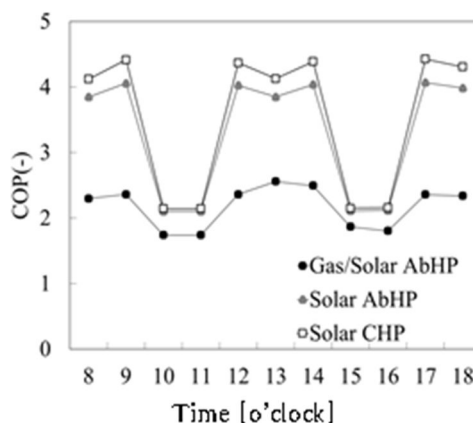


Fig.8 冷房ピーク負荷日の COP 比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小林英資, 羽場結輝, 廣瀬裕二, 小倉裕直
2. 発表標題 ケミカルヒートポンプ冷凍機における冷媒としての多成分溶液の検討
3. 学会等名 第53 回空気調和・冷凍連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮脇公平, 小倉裕直
2. 発表標題 未利用熱有効利用に向けたExcelおよびLCEMによるケミカルヒートポンプシステムシミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽場結輝, 廣瀬裕二, 小倉裕直
2. 発表標題 太陽熱駆動型ケミカルヒートポンプの集熱および蓄熱性能向上の検討
3. 学会等名 成30度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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hironao Ogura, Yuki Haba, Eishi Kobayashi, Yawen Ren, Reiko Aoki, Yuji Hirose
2. 発表標題 IMPROVEMENT OF SOLAR CHEMICAL HEAT PUMP PERFORMANCE FOR REFRIGERATION/COOLING/HEATING
3. 学会等名 GRAND RENEWABLE ENERGY 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小倉研究室Webサイト
<http://ogura-lab.tu.chiba-u.jp/>

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	廣瀬 裕二 (Hirose Yuji) (60400991)	千葉大学・大学院工学研究院・助教 (12501)	