

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04302

研究課題名(和文) 未利用熱駆動ケミカルヒートポンプ実用化のための溶液開発に着目した高効率化の検討

研究課題名(英文) Development of Operating Fluids for Chemical Heat Pump Driven by Unused Heat

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ケミカルヒートポンプ(CHP)の実用化に向け、-20 以下の冷熱生成時の蒸発/凝縮溶液開発および100 以上で熱回収促進が可能な熱交換媒体の開発を行った。

蒸発/凝縮溶液の開発では、ポリエチレングリコールをエチレングリコール水溶液に入れることで水蒸気圧を維持しつつ、凝固点を降下できた。さらに蒸発速度を検討し、228 Kにおいても蒸発律速とならない可能性を示した。熱交換媒体の開発では、融解潜熱が大きく、融点も高いエリスリトールをオレイルアルコールとともにオイルに混合した試料により、圧力損失や放熱ロスを増大を小さくしつつ、輸送可能エネルギー量やCHP装置における熱回収量を大幅に増やすことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ケミカルヒートポンプは、再生可能エネルギーである太陽エネルギーや各種工場廃熱等の未利用エネルギーを熱回収、熱交換、化学蓄・放熱さらに必要に応じて熱輸送を行うことにより、化石燃料や電力やガス等の他のエネルギーをもほとんど用いない熱リサイクル利用可能な独立型高効率未利用熱駆動冷凍・冷暖房・給湯システムの構築が可能である。各種ケミカルヒートポンプの反応材性能はほぼ実用化レベルに達していると考えているが、未だ高効率に駆動可能な普及実用化段階に至っていない要因の一つである作動溶液の課題を本研究で解決に近づける大きな学術的社会的意義があったと考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, we performed evaporation/condensation solution development for cold-heat generation less than -20 degrees Celsius and the development of the heat exchange medium (HEM) that heat promotion of recovery was possible in 100 degrees Celsius or more toward practical use of chemical heat pump (CHP).

By the development of evaporation/condensation solution, the freezing point was lowered while maintaining the steam pressure by putting polyethylene glycol in the ethylene glycol water solution.

Furthermore, the evaporation rate was studied and showed to be few possibility with evaporation determining-rate in 228 K. In the development of HEM, erythritol which has a high latent heat amount and high temperature melting point was mixed to oil with oleyl alcohol. The new HEM made it possible to increase the transportable thermal energy amount and the recovery heat of CHP unit with the lowered increase of a pressure energy loss and the heat loss.

研究分野：Thermal Energy Engineering

キーワード：ケミカルヒートポンプ 冷熱生成 蒸発平衡 蒸発速度 熱交換媒体 潜熱蓄熱媒体 太陽集熱

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、未利用エネルギーの最大活用が求められている。ケミカルヒートポンプは、再生可能エネルギーである太陽エネルギーや各種工場廃熱等を熱回収、熱交換、化学蓄・放熱(図1)さらに必要に応じて熱輸送を行うことにより、化石燃料や電力やガス等の他のエネルギーをもほとんど用いない熱リサイクル利用可能な独立型高効率未利用熱駆動冷凍・冷暖房・給湯システムの構築が可能である。

研究代表者は、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と考えているが、未だ高効率に年中駆動可能な普及実用化段階に至っていない。その大きな要因の一つとして、化学蓄・放熱自体は研究開発が進められ高効率になっていても、多く組み合わせられる蒸発/凝縮溶液(反応溶液)の性能不足や熱回収、熱交換、熱輸送等を行う熱交換媒体溶液におけるエネルギー損失が大きいことが挙げられる。これらは、1. 反応溶液の蒸発/凝縮速度や蒸発/凝縮平衡圧力特性が化学蓄・放熱速度にうまく適合していないことや、2. 装置内外での熱交換媒体循環時の放熱や搬送動力によるエネルギーロス、等の反応材側ではない作動溶液側の課題が原因と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では上記の背景に対応するため、1. の課題に対しては、反応・蒸発/凝縮挙動に応じたさらに低温低圧で作動する気液相変化媒体を得る新規反応溶液の開発・最適化を特に低圧となる冷凍モードで検討する。2. の課題に対しては、広い温度・流速範囲で伝熱コントロール可能な新規分散系熱交換媒を開発し、ケミカルヒートポンプ装置に適用する。これらの組み合わせからケミカルヒートポンプシステム自体の性能向上を狙う。

3. 研究の方法

(1) 蒸発/凝縮溶液の課題に対しては、反応・蒸発/凝縮挙動に応じたさらに低温低圧で作動する気液相変化媒体を得る新規反応溶液の開発・最適化を特に低圧となる-20 ℃レベル以下までの冷凍モードで検討する。(図1 蒸発器内部)

冷凍まで可能なソーラーケミカルヒートポンプにおける太陽化学蓄熱および冷凍冷熱生成に最適な水溶液および調製方法についても、低温低圧で作動する気液相変化媒体として研究代表者は先の研究成果においてエチレングリコール(EG)水溶液の検討を行って-20 ℃レベルまでの冷熱生成を実証した。本研究では、さらに低温低圧で作動する気液相変化媒体を得るために、高分子であるポリエチレングリコール(PEG)等をEG水溶液に入れて溶液の飽和蒸気圧および蒸発速度を、ケミカルヒートポンプ用蒸発/凝縮器装置にて測定する。

(2) 熱交換媒体溶液の課題に対しては、広い温度・流速範囲で伝熱コントロール可能な新規分散系熱交換媒を開発し、ケミカルヒートポンプ装置への適用を実験および数値解析により検討する。(図1の反応器から外部への熱の授受)

初年度から2年度では、100 ℃以上で使用できる熱交換媒体として融解潜熱が大きく融点も高い蓄熱材であるエリスリトールを界面活性剤と共にシリコンオイルに加えた分散系熱交換媒体による熱輸送量向上の検討を単管実験および数値解析により行う。最終年度では、実際にソーラーケミカルヒートポンプ装置内の太陽集熱器から反応器迄の熱媒循環システムにおいて開発した熱交換媒体の実験および数値解析による熱輸送、熱ロス、搬送動力等の評価を行う。

4. 研究成果

(1) 蒸発/凝縮溶液の課題に対しては、まず低温低圧で作動する気液相変化媒体を得るために、吸着した水への凝固点降下作用を持つ高分子であるポリエチレングリコール(PEG)等をEG水溶液に入れた溶液の

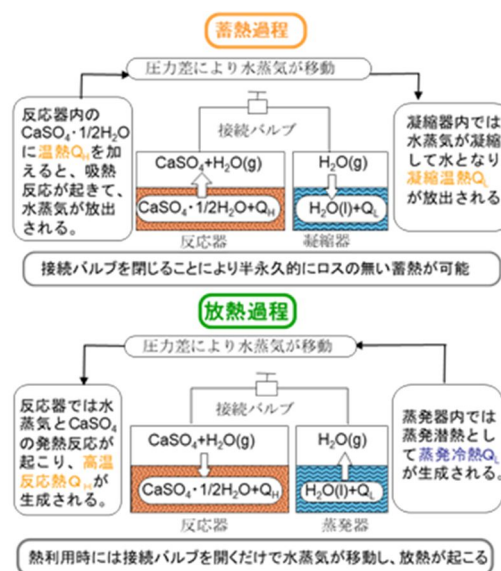


図1 ケミカルヒートポンプの作動原理

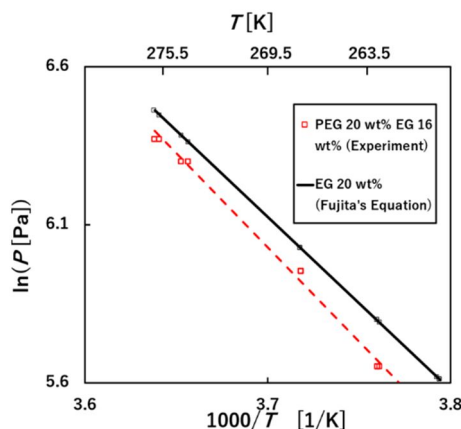


図2 PEG/EG/water=20/16/64 溶液の蒸気圧例

飽和蒸気圧を測定し、より低温における蒸発促進が行えるか検討した。その結果、PEG には低分子物質とは異なる機構で凝固を妨げる作用があり、凝固点の低い EG 水溶液に加えることによってその凝固点は降下した。ポリエチレングリコールのエーテル基と水およびエチレングリコール分子の間には引力相互作用が働くと考えられ、濃度の高いエチレングリコール水溶液ではポリエチレングリコールと引き合い、水分子の相対量が少なくなることで常圧低下が抑制されたと推測される。一方で PEG による水蒸気圧の低下はわずかに留まり、値を維持した。(図 2)

さらに、開発した溶液の極低温域における蒸発速度の検討をケミカルヒートポンプ用蒸発/凝縮器装置にて行い、水溶液温度が 228 K においても反応器条件によっては蒸発律速ではなく 252 K 以上の蒸発速度すなわち冷熱生成出力が得られる可能性が示された。(図 3)

2. 熱交換媒体溶液の課題に対しては、まず 100 以上で使用できる流動・伝熱コントロール可能な新規分散系熱交換媒体として融解潜熱が大きく、融点も高い蓄熱材であるエリスリトールをシリコンオイルに加えたものの単管における熱・流動特性を調べた。その結果、オイルにエリスリトール 10 wt%、オレイルアルコール 5 wt% を加えることで何も添加しなかったオイルと比べて圧力損失をほとんど増やすことなく熱輸送量を約 2 倍に増やすことが可能になることが示唆された。このほか次のことがわかった。・オイルにオレイルアルコールを添加すると圧力損失が低くなる。これは界面活性剤の整流効果により渦の発生を抑制したためと推測される。・エリスリトールの含率を 20 wt% まで上げると圧力損失は大きく増加し配管内で詰まるおそれが大きくなる。・エリスリトール含率 10 wt% までは管路にシリコンオイルにエリスリトールを加えることにより管路に通しても圧力損失や放熱ロスが大きく変化せず、輸送可能エネルギー量を条件により 3 倍程度まで増やすことができ、100 以上で流動する高効率熱媒体としての応用が期待できる。(図 4)

さらに、実際にソーラーケミカルヒートポンプ装置内の太陽集熱器から反応器迄の熱媒循環システムによる実験および数値解析による評価を行った。混合熱媒体の温度を集熱器で融点以下から上昇させることでエリスリトールの融解量が大きくなりオイル単体の 1.3 倍程度の熱回収量が実験により得られた。(図 5) さらにその機構を熱流体解析により説明できた。(図 6,7)

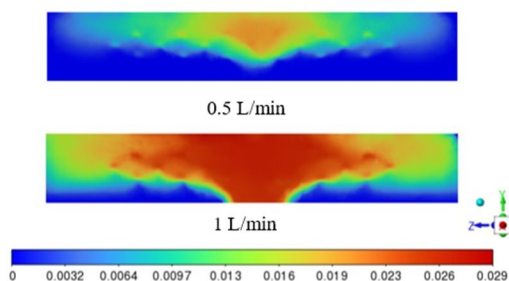


図 6 シリコンオイル/エリスリトール混合系熱交換媒体を用いるソーラーケミカルヒートポンプにおける反応器入口のエリスリトール融解分布シミュレーション例

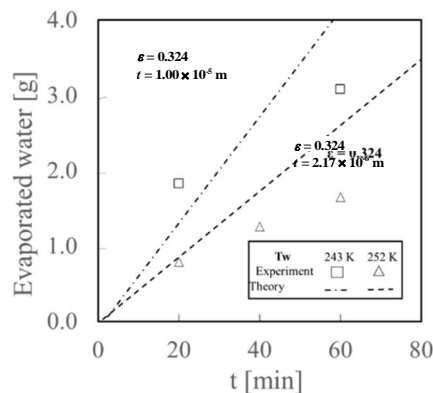


図 3 EG/water = 50/50 溶液の蒸発速度例

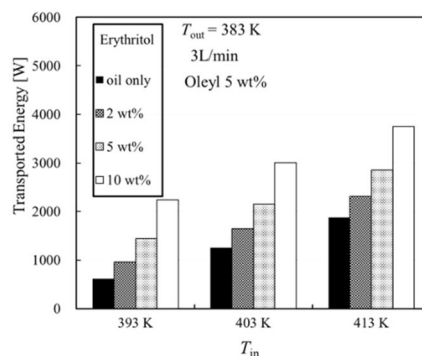


図 4 シリコンオイル/オレイルアルコール/エリスリトール混合系の輸送可能エネルギー例

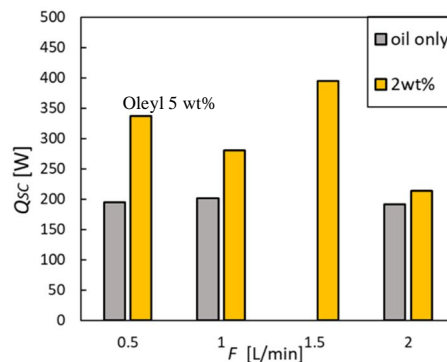


図 5 シリコンオイル/オレイルアルコール/エリスリトール/混合系熱交換媒体を用いるソーラーケミカルヒートポンプにおける太陽集熱量実験例

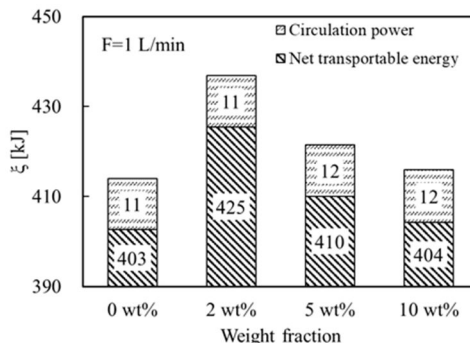


図 7 シリコンオイル/エリスリトール混合系熱交換媒体を用いるソーラーケミカルヒートポンプにおける太陽集熱量シミュレーション例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ren Yawen, Ogura Hironao	4. 巻 16
2. 論文標題 Dynamic Simulations on Enhanced Heat Recovery Using Heat Exchange PCM Fluid for Solar Collector	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 3075
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/en16073075	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 渡邊くるみ, 平野優香, 廣瀬裕二, 小倉裕直
2. 発表標題 エリスリトール/シリコンオイル混合系熱交換媒体の熱輸送量増大と圧力損失低減
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李浩澄, 廣瀬裕二, 小倉裕直
2. 発表標題 100-150 域太陽集熱における潜熱輸送媒体の検討
3. 学会等名 日本混相流学会 混相流シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yawen Ren, Hironao Ogura
2. 発表標題 Numerical Studies on Heat/Mass Transfer Enhancement of PCM Fluid for Solar Chemical Heat Pump
3. 学会等名 the Grand Renewable Energy 2022 International Conference (GRE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小倉研究室Website
<https://oguralab2.wixsite.com/website>

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)	

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
---------	---------