

令和元年6月11日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04643

研究課題名(和文)分離型イオン液体を利用した低温駆動型吸収冷凍サイクルの開発

研究課題名(英文) Development of absorption refrigeration cycle with separable ionic liquids utilizing low grade heat sources

研究代表者

秋澤 淳 (Akisawa, Atsushi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10272634

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は60 程度で水と分離する性質を持つイオン液体を用いて、低温熱源を利用して冷熱を発生する吸収冷凍サイクルを構成することを目標とした。蒸発器で蒸発した水は吸収器において塩化カルシウム水溶液に吸収された後、ポンプで加圧されて吸収溶液中の水が逆浸透膜を通過する。通過した水は分離型イオン液体水溶液に取り込まれた後60 程度に加熱され、水とイオン液体が分離する。サイクルシミュレーションによって性能を予測した結果、冷凍能力を最大化する最適なイオン液体水溶液流量があること、COP=0.5程度になることが示された。さらに、高圧の加圧を回避するために、疎水性多孔質膜を用いるサイクルにモデルを拡張した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化問題への対応が求められている一方、空調用の冷熱需要は増加傾向にある。省エネルギー的に冷熱を発生するために比較的低温の排熱を活用できる冷凍機が有効である。本研究は60 程度の環境温度に近い排熱を用いて空調用冷熱を製造する吸収冷凍機を提案した。その特徴は60 程度に加熱されると水と分離するイオン液体を使用することにある。従来の吸収冷凍機はこの温度域では動作しない。一方で、提案したサイクルは高圧に加圧する逆浸透プロセスを含む点に課題がある。そこで、吸収溶液からイオン液体水溶液に水を移行させる際に疎水性多孔質膜を用いるサイクルに拡張し、サイクルとして成立することを示した。

研究成果の概要(英文)：This study investigated a new absorption refrigeration cycle using separable ionic liquid and CaCl₂ solution as the working fluids. The refrigerant of water is absorbed into the solution and compressed up to very high pressure so that the water passes through a reverse osmosis membrane. The water is then mixed with the ionic liquid solution. When it is heated to 60 degC, the water is finally separated from the solution. Cycle simulation was employed to estimate the behavior of the cycle and the required pumping power. It was found that there would be optimal flow rate of the ionic liquid solution to maximize the cooling power, and the COP would be approximately 0.5. The cycle was expanded to use a hollow fiber membrane in stead of reverse osmosis one in order to eliminate the drawback of the high pressure compression process of the cycle.

研究分野：熱駆動ヒートポンプサイクル

キーワード：吸収冷凍機 イオン液体 逆浸透膜 疎水性多孔質膜 排熱利用

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

1. 研究開始当初の背景

空調用の冷熱需要は今後増加していくと予想される一方、地球温暖化抑制の観点から化石燃料消費は抑えることが求められている。その対応策として排熱を利用して冷熱を製造することが有効である。従来から 100 以下の熱源温度を利用できる熱駆動冷凍サイクルとして、吸収冷凍機や吸着冷凍機が知られている。しかしながら、熱源温度が 70 を下回ると従来の吸収冷凍機・吸着冷凍機は動作しない。より環境温度に近い低温排熱を有効活用するためには新しい冷凍サイクルを開発することが重要である。

本研究では 60 程度の熱源温度の利用を目標としている。各種プロセスで使われた熱は、最終的に温度が低下して排出される。この温度域であれば様々なプロセスで発生する。例えばコージェネレーションの排熱や太陽熱を熱源とすることも十分に可能となる。再生可能な熱エネルギーから冷熱が発生できることは、電力システムが弱い発展途上エリアで食料保存用の冷熱需要にも活用でき、産業向けの応用にも役立つと期待される。

2. 研究の目的

本研究は 60 程度の熱源温度で動作する吸収冷凍サイクルを開発することを目標としている。従来の吸収冷凍機は固体の塩の水溶液を吸収液として用いるのに対し、本研究では作動流体の一つとして液体の塩であるイオン液体を使用する。また、当該のイオン液体は 60 に加熱されると水とイオン液体水溶液に分離する性質を持つ。

従来は塩の水溶液を加熱し、冷媒である水を蒸気にして分離するのに対し、このサイクルの特徴は塩の水溶液から水を逆浸透プロセスによってイオン液体水溶液に移行させ、さらに加熱して水を分離する点にある。潜熱的な加熱でなく、顕熱的な加熱で分離が行われる。

本研究の目的は、提案する分離性イオン液体を応用した吸収冷凍サイクルが 60 程度の熱源で動作することを確認するとともに、冷凍能力や COP (成績係数) 等の性能を予測することである。

3. 研究の方法

本研究では逆浸透膜および中空糸膜による膜分離技術を用いた 2 種類の吸収冷凍サイクルを検討した。いずれの膜も固体の塩の水溶液 (吸収液) からイオン液体水溶液に水を移行させる過程に用いる。

(1) 逆浸透膜を用いるサイクル

本サイクルは次の通り動作する。蒸発器で蒸発した水蒸気は CaCl_2 水溶液 (吸収液) に吸収される。吸収液はポンプで加圧され、逆浸透膜を介して水がイオン液体水溶液に移行する。吸収液は大きな圧力差をタービン等で動力回収し、吸収器に戻る。イオン液体は 60 に加熱され、分離器で水を分離した後、逆浸透プロセスに戻る。分離した水は蒸発器に還流する。なお、分離した水にもイオン液体が混入するため、平衡状態を保つために蒸発器の液体を一部抜き出し、イオン液体に戻す過程が必要となる。(図 1 参照)

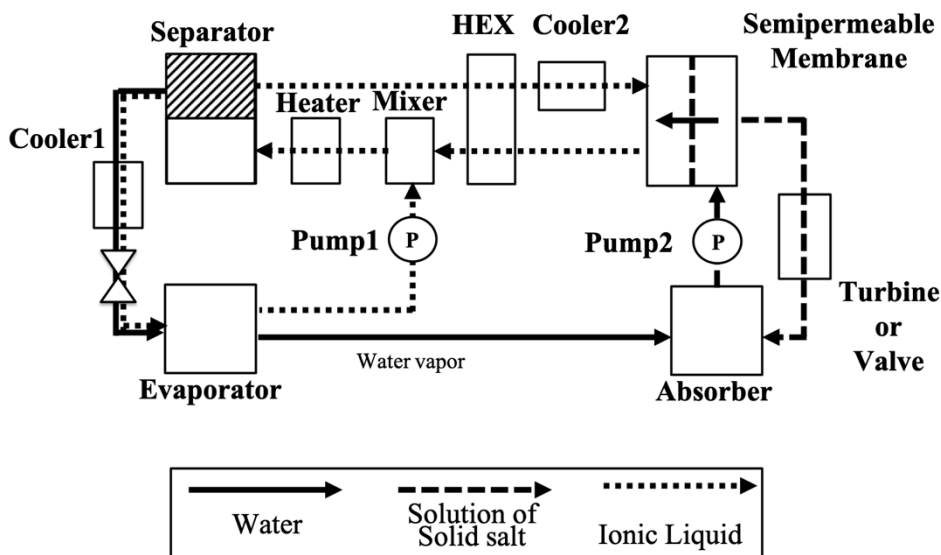


図 1 逆浸透プロセスを組み込んだ吸収冷凍サイクル

(2) 中空糸膜を用いるサイクル

本サイクルでは従来と同様に吸収液として LiBr 水溶液を用いる。この場合 CaCl_2 水溶液よりも吸収能力が改善される。吸収液中の水は水蒸気として中空糸膜を通過し、イオン液体水溶液に移行する。逆浸透プロセスと異なり、吸収溶液を高圧に加圧する必要がない。イオン液体水

溶液を加熱して水を分離する。

上記の2種類のサイクルをモデル化し、サイクルシミュレーションによって各点の状態量を求めるとともに、冷凍能力、COPを算出した。なお、蒸発器温度を12℃、冷却水温度を30℃、熱源温度を60℃または65℃を想定した。

4. 研究成果

まず、分離性イオン液体の蒸気圧、密度、比熱等の物性を測定し、シミュレーションの入力に用いた。所定の温度でイオン液体が分離すること、分離後の水およびイオン液体水溶液のそれぞれの含水率を実測した。

浸透圧の計算にはファントホッフの式を使用した。この式は濃度が薄い(含水率が高い)溶液に対応し、本研究で想定する濃度が濃い塩水の浸透圧を正しく表現できていない。その点に今後の課題が残った。

逆浸透膜を用いるサイクルでは、吸収液とイオン液体水溶液の浸透圧差の1.5倍として33MPaの加圧を仮定したが、サイクルとして成立することが示された。本サイクルには吸収液流量とイオン液体水溶液流量の2つの自由度がある。吸収液流量を固定した時に、冷凍能力を最大にする最適なイオン液体水溶液流量があることが見出された。ポンプ動力・タービンの動力回収を入力として考慮したCOPを評価した結果、COP=0.49~0.63が予測された。これは高圧に加圧するためポンプの効率を20%と想定したことが影響している。なお、加圧した動力の約2割が動力回収されると見込まれた。60℃の熱源を利用可能ではあるが、圧力が高く動力消費が大きい点に課題がある。蒸発温度を上げて吸収溶液の含水率を高め、浸透圧差を小さくする等の対策が考えられる。

中空糸膜を用いるサイクルでは、吸収液を65℃に加熱し、蒸気圧差を駆動源として水を移行させると想定した。温度の異なる水を用いて中空糸膜を通過する水の量を実験的に測定した。その結果、理論的に予測される物質移動係数に比べ、9割程度となることが得られた。それらの条件を踏まえてシミュレーションを行い、サイクルが成立することが示された。COPは0.4程度と予測された。なお、中空糸膜の表裏で温度が異なるが、今回は熱移動がないことを仮定した。今後膜における熱移動も含めたシミュレーションに改良し、性能予測の精度を上げることが課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

- 1) 唐津, 中山, 秋澤, 大野, サイクルシミュレーションによる分離性イオン液体を用いた吸収冷凍サイクルのCOPの評価, 2018年度日本冷凍空調学会年次大会, 2018.
- 2) Karatsu, T., Nakayama, M., Akisawa, A., Ohno, H., Performance analysis of an absorption refrigeration cycle using a separable ionic liquid, 9th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning, 2018.
- 3) 唐津, 中山, 秋澤, 大野, 分離性イオン液体を用いた吸収冷凍サイクルの性能解析, 第52回回気調和・冷凍連合講演会, 2018.
- 4) Akisawa, A., Takabe, R., Nakayama, M., Ohno, H., Performance of absorption refrigeration cycle using a separable ionic liquid combined with Reverse Osmosis Process, International Sorption Heat Pump Conference, 2017.
- 5) 秋澤, 高部, 中山, 大野, イオン液体の吸収冷凍サイクルへの応用可能性, 2016年度日本冷凍空調学会年次大会, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等 特になし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：中山 政行

ローマ字氏名： Nakayama Masayuki

所属研究機関名：東京農工大学

部局名： 大学院生物システム応用科学府

職名： 特任助教

研究者番号(8桁): 30772868

研究分担者氏名：大野 弘幸

ローマ字氏名： Ohno Hiroyuki

所属研究機関名：東京農工大学

部局名： 大学院工学研究院

職名： 学長

研究者番号(8桁): 00176968

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。