

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560235

研究課題名(和文) 細孔径制御型吸着剤 / 水系吸着式冷凍機の高性能化に関する研究

研究課題名(英文) Study on improvement of adsorption cooling system using silica-gel/water pair

研究代表者

S・B Bidyut (Saha, Bidyut)

九州大学・グリーンアジア国際リーダー教育センター・教授

研究者番号：20293011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：近年環境問題が深刻化しており、新しいエネルギー資源の開発および未利用エネルギーの有効利用に関する技術革新が求められている。今回我々が提案する吸着式冷凍機は排熱、太陽熱等の低温度(50 から70)レベルの未利用エネルギーを有効利用することが可能であり、環境問題の緩和策として大きな役割を果たすことが期待できる。この技術を実用化、特に民生レベルで使用するには性能向上、小型化が必要不可欠である。そこで、本研究では、細孔径制御型シリカゲルに注目し、さらに、高出力密度のために、フィンアンドチューブ型熱交換器を使用した場合の吸着冷凍システム性能を求めることを目的とし、研究を実施した。

研究成果の概要(英文)：The severity of the ozone layer destruction problem has been calling for rapid developments in environment friendly adsorption cooling systems. However, the widespread dissemination of adsorption system is hindered due to its poor performance, which mainly results from the inadequate design of adsorber/desorber heat exchanger. The present study deals with optimization of adsorber/desorber heat exchanger in order to improve the system performance.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：吸着冷凍機 熱物質移動 熱交換器

1. 研究開始当初の背景

近年環境問題が深刻化しており、新しいエネルギー資源の開発および未利用エネルギーの有効利用に関する技術革新が求められている。今回我々が提案する吸着式冷凍機は排熱、太陽熱等の低温度 (50°Cから 70°C) レベルの未利用エネルギーを有効利用することが可能であり、環境問題の緩和策として大きな役割を果たすことが期待できる。この技術を実用化、特に民生レベルで使用するには性能向上、小型化が必要不可欠である。

2. 研究の目的

上記のような背景から、吸着式冷凍機の小型化、高性能化に資するため、本研究では、細孔径制御型シリカゲルに注目し、さらに、高出力密度のために、フィンアンドチューブ型熱交換器を使用した場合の吸着冷凍システム性能を実験的に求めることを目的とし、吸着量測定を実施するとともに、今後の民生普及が期待される燃料電池システムに、吸着式冷凍システムを組み込む、すなわち、燃料電池から排出される 70°C程度の低温排熱により吸着冷凍機を駆動させた場合の冷凍システム性能評価をシミュレーションにより実施した。以下に研究成果の一部として、燃料電池排熱駆動吸着冷凍システムのシミュレーションに関する成果を報告する。

3. 研究の方法

(1) 解析モデル

用いた解析モデルを Fig.1 に示す。図のように、本システムは、PEFC から排出される熱を吸着冷凍機の駆動源とするものである。吸着冷凍機は、主として吸・脱着器 (SE1, SE2), 蒸発器および凝縮器から構成される。PEFC からの排熱は、吸着剤の脱着のための熱源として利用される。このモデルに基づき、冷凍システム内の物質およびエネルギー収支を検討することにより、冷凍サイクルの解析を行う。吸着剤/冷媒の組み合わせは、一般に広く利用されているシリカゲル/水および活性炭素繊維(ACF)/エタノールを想定した。

吸・脱着器、凝縮器および蒸発器のエネルギーバランスは、以下の式で表される。

(吸・脱着器)

$$(MC_p)_{eff}^{bed} \frac{dT_i^{bed}}{dt} + (mC_p)_{adsorbate} \frac{dT_i^{bed}}{dt} = \phi M_{adsorbent} \left(\frac{dw_i^{bed}}{dt} \right) \Delta H_{st} - (\dot{m}C_p)_j (T_{j,o} - T_{j,in})$$

(凝縮器)

$$(MC_p)_{eff}^{cond} \frac{dT_i^{cond}}{dt} = -\phi h_{fg} \left(M_{adsorbent} \frac{dw_{des}^{bed}}{dt} \right) - (\dot{m}C_p)_w (T_{w,o} - T_{w,in})$$

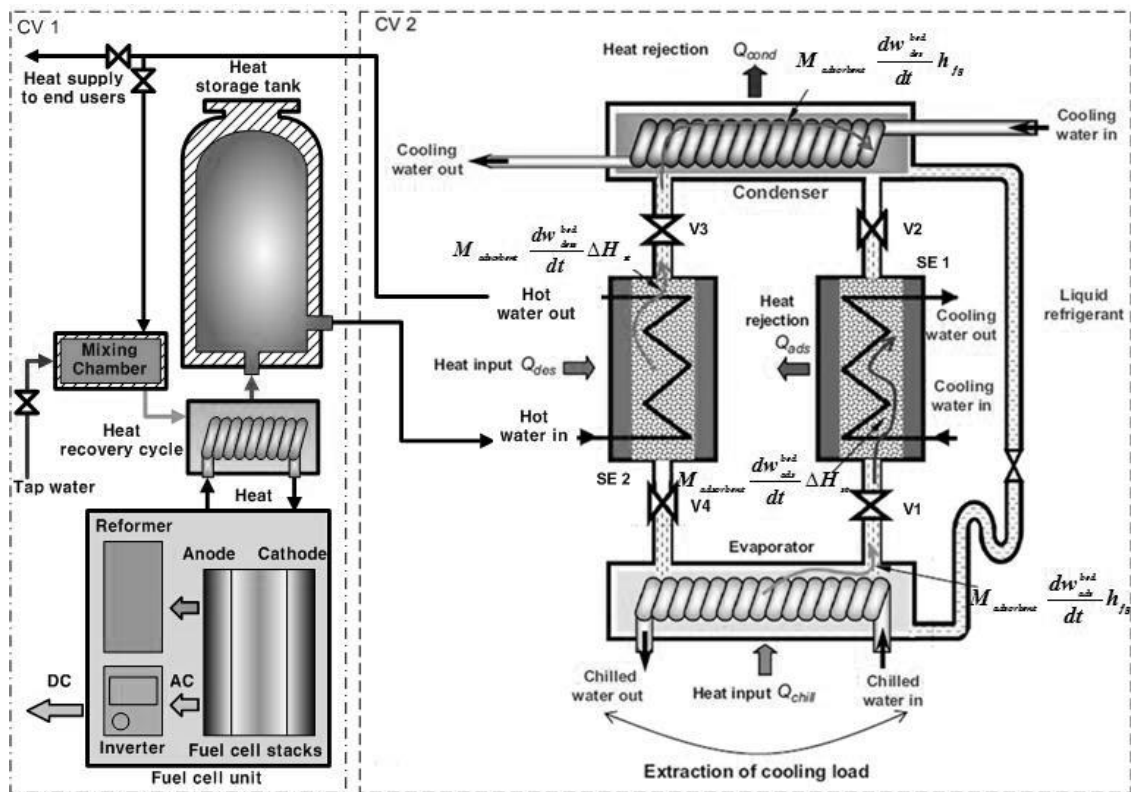


Fig. 1 Schematic diagram of the two-bed adsorption cooling system powered by fuel cell waste heat

(蒸発器)

$$(MC_p)_{eff}^{eva} \frac{dT_i^{eva}}{dt} = -\phi h_{fg} \left(M_{adsorbent} \frac{dw_{ads}^{bed}}{dt} \right) - (\dot{m}C_p)_{chill} (T_{chill,o} - T_{chill,in})$$

また、吸着冷凍機から得られる冷熱および冷凍成績係数 (COP) を、以下のように定義した。

$$Q_{Chill}^{cycle} = \frac{\int_0^{t_{cycle}} (\dot{m}C_p)_{Chill} (T_{chill,in} - T_{chill,out}) dt}{t_{cycle}}$$

$$COP = \frac{Q_{chill}^{cycle}}{Q_{des}^{cycle}}$$

$$Q_{des}^{cycle} = \frac{\int_0^{t_{cycle}} (\dot{m}C_p)_{des} (T_{hw,in} - T_{hw,out}) dt}{t_{cycle}}$$

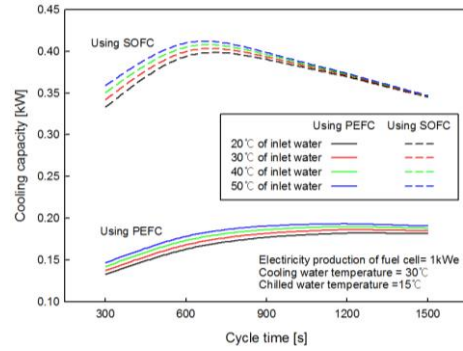
さらに、排熱源の燃料電池システムの仕様は、以下の通りとした^{1,2}。

Table 1 Specifications of fuel cells^{1,2}

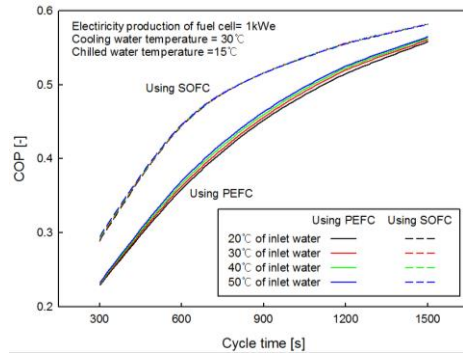
Parameter	Unit	Value	
		PEFC	SOFC
Electricity production	[kW]	1	1
Recovered heat	[kW]	1.7	2.09
Inlet water temperature to heat recovery cycle	[°C]	22	40
Outlet water temperature from heat recovery cycle of fuel cell	[°C]	61.2	90

4. 研究成果

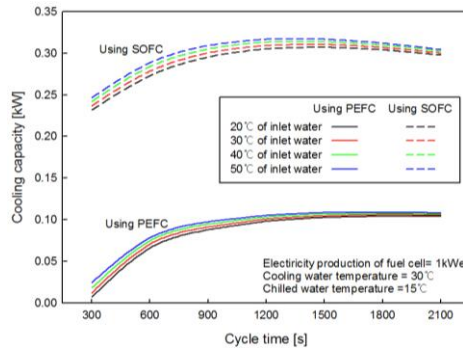
解析結果の一例を図2に示す。図(a),(b)は、シリカゲル/水系の冷凍出力 kW および COP と冷凍サイクルタイムとの関係を、SOFC および PEFC の排熱供給温度ごとに示したものである。同図(c),(d) は、ACF/エタノール系の冷凍出力および COP の変化である。図より、全ての吸着剤/冷媒の組み合わせにおいて、排熱供給温度が高いほど冷凍機性能が高いことおよび SOFC 排熱を利用した場合の冷凍機性能が高いことがわかる。これは、SOFC の排熱供給温度が高いことによる。また、図(a)より、SOFC 排熱を用いた場合には、サイクルタイムにより、最適な冷凍機性能が存在することがわかる。一般的には、サイクルタイムが長いほど、熱交換量が多くなり、したがって冷凍機性能は上昇するが、過剰に長くすると、脱着時の平均交換熱量が小さくなるため、最適値が存在する。吸着剤ごとの比較を行うと、シリカゲル/水系の冷凍システムのほうが性能が高いことがわかる。これは、吸着量そのものは ACF のほうが多いが、吸着により得られる蒸発潜熱は、水のほうが高く、また、両者の吸着速度には大きな差異がないためであると考えられる。



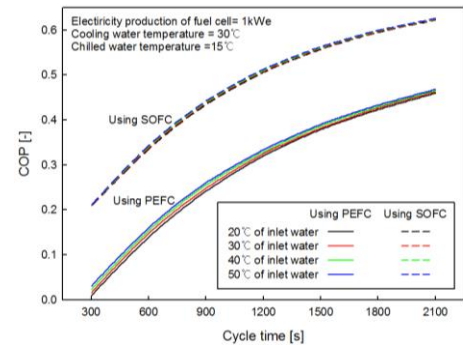
(a) Cooling capacity versus cycle time for silica gel/water cycle



(b) COP versus cycle time for silica gel/water cycle



(c) Cooling capacity versus cycle time for ACF/ethanol cycle



(d) COP versus cycle time for ACF/ethanol cycle
Fig.2 Effect of inlet water temperature to the heat recovery cycle on silica gel/water cycle

(文献)

1. Y. Hamada, M. Nakamura, H. Kubota, K. Ochifuji, M. Murase and R. Goto, Field performance of a polymer electrolyte fuel cell for a residential energy system, *Renewable and Sustainable Energy reviews* 9 (2004) 345-362.
2. Siamak Farhad, Feridun Hamdullahpur and Yeong Yoo, Performance evaluation of different configurations of biogas-filled SOFC micro-CHP systems for residential applications, *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (2010) 3758 – 3768.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件) 全て査読有

1. A.A. Askalany, B.B. Saha, K. Uddin, T. Miyazaki, S. Koyama, K. Srinivasan, and I. M. Ismail, “Adsorption Isotherms and Heat of Adsorption of Difluoromethane on Activated Carbons”, *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 58, No. 10, pp. 2828–2834, 2013.
2. S.T. Oh, B.B. Saha, K. Kariya, Y. Hamamoto and H. Mori, “Fuel cell waste heat powered adsorption cooling systems”, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 21, No. 2, 1350010-1 to 1350010-10, 2013.
3. K. Habib, B.B. Saha, A. Chakraborty, S.T. Oh and S. Koyama, “Study on solar driven combined adsorption refrigeration cycles in tropical climate”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, pp. No. 2, 1582-1589, 2013.
4. K. Habib, B.B. Saha, A. Chakraborty, S. Koyama and K. Srinivasan, “Performance evaluation of combined adsorption refrigeration cycles”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 34, No. 1, pp. 129-137, 2011.

[学会発表] (計7件)

1. B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, T. Miyazaki and S. Koyama, “Challenges and opportunities of thermally powered adsorption cycles for cooling and desalination applications”, Keynote Lecture at the 22nd National and 11th International ISHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference, IIT Kharagpur, India, December 28-31, 2013.
2. B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, T. Miyazaki, S. Koyama and K.C. Ng, “Thermally powered adsorption cooling: Fundamentals and applications”, Keynote Lecture at The 6th International Meeting on Advanced

Thermofluids (IMAT2013), Singapore, November 18-19, 2013.

3. A.A. Askalany, B.B. Saha, T. Miyazaki, S. Koyama and I.M. Ismail, “Modified linear driving force model for accurate approximation of adsorption kinetics experimental data”, *Innovative Materials for Processes in Energy Systems 2013*, Paper No. IMPRES2013-025, pp. 351-355, Fukuoka, Japan, September 4-6, 2013.
4. S.T. Oh, K. Kariya, Y. Hamamoto, B.B. Saha, H. Mori, T. Miyazaki and S. Koyama, “Adsorption of water vapor onto silica gel using innovative compact fin and tube heat exchanger”, *Innovative Materials for Processes in Energy Systems 2013*, Paper No. IMPRES2013-089, pp. 362-367, Fukuoka, Japan, September 4-6, 2013.
5. S.T. Oh and B.B. Saha, “Study on adsorption cooling systems powered by fuel cell waste heat”, *The 6th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning Towards the Sustainable Developments*, Paper No. 2927, Xi'an, China, August 26-28, 2012 (CD-ROM).
6. B.B. Saha and I.I. El-Sharkawy, “Next generation thermally powered adsorption refrigeration cycles”, *VIII Minsk International Seminar Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources*, Vol. 1, Keynote Paper, pp. 52-63, Minsk, Belarus, September 12-15, 2011.
7. B.B. Saha and K.C. Ng, “Possibility and constraints of working pairs for adsorption cooling and desalination systems”, Keynote Paper, *4th Workshop on Solar Desalination Water Treatment and Utilization*, pp. 85-112, Jeju, South Korea, June 2-3, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

S. B. Bidyut (SAHA, Bidyut)

九州大学・グリーンアジア国際リーダー教育センター・教授

研究者番号：20293011

(2) 研究分担者

仮屋 圭史 (KARIYA, Keishi)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：80551895