

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01766

研究課題名(和文) 複合吸着材ナノ細孔内の金属塩の結晶性制御と次世代ケミカル冷凍機の実現

研究課題名(英文) Development of next-generation chemical refrigerator based on the crystallinity control of metal salt in nanosized pores of composite sorbent

研究代表者

汲田 幹夫 (KUMITA, Mikio)

金沢大学・フロンティア工学系・教授

研究者番号：60262557

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：吸着式冷凍機の新規高伝熱性蓄熱材として考案した金属塩/アルミニウム複合材に関して、その水蒸気吸着能を最大化するための金属塩の結晶性制御とナノ細孔を有する酸化皮膜への添着等について検討を行った。その結果、金属塩の結晶性は複合材調製時の焼成温度と添着量に依存すること、酸化皮膜の細孔構造は調製条件により制御できることなどが明らかとなった。また、複合材の水蒸気吸着特性の評価と熱・物質移動解析から本複合材が高冷熱出力のケミカル冷凍機の蓄熱材になり得る可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CaCl<sub>2</sub>/アルミニウム複合材の調製において結晶性CaCl<sub>2</sub>のナノ細孔壁への析出には焼成温度の管理が重要である。また、細孔壁界面のCaCl<sub>2</sub>は非晶化すること、細孔内添着CaCl<sub>2</sub>は単体物とは異なる水蒸気脱着挙動を示すことなど、本研究で得られた成果は、ナノ空間における金属塩の物理化学的特性の理解に重要な知見を与えられ、考えられる。そして、金属塩/アルミニウム複合材を組み込む高出力ケミカル冷凍機の社会実装が達成されれば、現在大量に存在する100℃以下の未利用熱の活用が可能となり、新規エネルギー投入量やCO<sub>2</sub>排出量の削減に繋がるなど、その社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：A metal salt/aluminum composite had been proposed as a novel material for sorption chillers. This study dealt with the control of the crystallinity of metal salt and its impregnation into pores of an aluminum oxide film to maximize the water vapor sorption performance of the composite. As a result, The crystallinity of metal salt deposited on pore walls depended a great deal on the calcination temperature in the preparation process and the amount of metal salt in pores. Porous aluminum films with various structures could be created by adjusting the preparation conditions. In addition, The evaluation of the water vapor sorption characteristics of the composites and the numerical analysis of heat and mass transfer indicated that the metal salt/aluminum composite would be a promising sorbent for a high-performance chemical refrigerator.

研究分野：エネルギー変換工学

キーワード：金属塩複合材料 吸着冷凍 結晶性金属塩 熱・物質移動

### 1. 研究開始当初の背景

広義の熱駆動型ケミカル冷凍機に分類される吸着式冷凍機は、固体吸着材への冷媒蒸気の吸着と同時に起こる冷媒の蒸発に伴う吸熱作用によって冷熱を生成する熱源機器である。現在、シリカゲル - 水系やゼオライト - 水系を用いる吸着式冷凍機が実用化されているが、更なる利用用途の拡大のためには、その冷熱出力密度の大幅な増大、すなわち、冷媒水蒸気吸着能に優れた高性能な吸着材の開発と、それを適用する吸着材熱交換器の高度な伝熱促進が必要である。本研究では、一般的な吸着材熱交換器に利用されているアルミニウム製伝熱フィンに着目し、これ自身に水蒸気に対する吸着能を付与できれば、迅速な吸着熱の除去と加熱再生熱の供給が可能となり、吸着材熱交換器の大幅な伝熱促進と小型化の同時達成ができると考えた。

吸着材熱交換器の伝熱促進法の主流は、微細吸着材粒子をエポキシ等のバインダを用いて金属伝熱面上に塗布する方法であるが、バインダ添加による細孔閉塞、つまり、冷媒水蒸気吸着量の低下を回避することはできない。これに対して本研究では、良熱伝導性のアルミニウムの表面を電気化学的に多孔質酸化層に改質し、この内部に吸湿性の金属塩を担持することで水蒸気の収着と熱交換がほぼ同じ場所で起こる新規の高伝熱性水蒸気収着材料を創製し、これを適用する高出力収着冷凍システムの実現を目指すことにした。

### 2. 研究の目的

吸着、吸収、化学反応等を利用するケミカル冷凍機の冷熱出力密度の増大には、反応材を封入する熱交換器の伝熱促進が不可欠である。この課題に取り組むために、本研究では、金属アルミニウムの表面を陽極酸化法により多孔質の酸化アルミニウム層に改質し、その細孔内部に塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ) 等の金属塩を担持して得られる高伝熱性水蒸気収着複合材に着目し、これを組み込む吸着材熱交換器の開発にあたる。金属塩 / アルミニウム複合材の水蒸気収着能を最大限に引き出すためには、多孔質酸化皮膜内に結晶性金属塩を析出・担持させる必要があり、これを達成するために、金属塩の結晶化に及ぼす影響因子を明らかにし、冷凍機の蓄熱材として機能する複合材の調製法を確立する。そして、金属塩 / アルミニウム複合材の水蒸気収着特性を評価するとともに、複合材内の熱・物質移動機構を実験と理論の両面から解明することで、本複合材を適用する収着冷凍システムの実現に繋げることを目的とする。なお、本研究では入手が容易で安価な  $\text{CaCl}_2$  を金属塩に採用して検討を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) $\text{CaCl}_2$ / アルミニウム複合材の調製と諸特性の評価

本研究では、純度 99.6%、寸法  $30 \times 80 \times 0.3$  mm (供試部  $30 \times 30 \times 0.3$  mm) のアルミニウム薄板を用い、酸・アルカリによる脱脂、エッチングおよびディスマットの前処理を行った。そして、図 1 に示すように、アルミニウム基材の陽極酸化、皮膜細孔径の拡大処理、金属塩溶液含浸および試料焼成を経て金属塩 / アルミニウム複合材を調製した。

アルミニウムを二塩基酸等の浴中で電気分解すると、その表面に多孔質の酸化アルミニウム層が形成される。本研究では、シュウ酸浴およびリン酸浴を用い、アルミニウム基材を陽極に設置して所定条件下で直流電流を印加することで陽極酸化処理を施した。なお、シュウ酸浴では 80 V の定電圧電解を、リン酸浴では  $100 \text{ A/m}^2$  定電流電解を基本条件とした。また、1 回の電気分解で生成した酸化皮膜を、リン酸 / クロム酸混合液により溶解除去した後、再度、電気分解を行う二段階陽極酸化処理や、シュウ酸とリン酸の混酸浴による陽極酸化処理についても検討を行った。

アルミニウムの陽極酸化により生成する多孔質酸化アルミニウム皮膜の構造は、電解浴種や電解条件によって変化し、一般に硫酸浴では直径 10 ~ 30 nm、シュウ酸浴では 30 ~ 80 nm、そして、リン酸浴では 80 nm 以上の円筒状のナノ細孔が形成される。本研究では、細孔サイズを適宜調整するために、陽極酸化後に試料を 0.5 M 塩化カリウム水溶液中で陰極に設置して一定電圧下で電気分解するカソード分極 (CP: Cathodic Polarization) 操作による細孔径拡大処理 (PWT: Pore Widening Treatment) を施した。なお、陽極酸化および PWT 後に得られる酸化皮膜の厚みは高周波膜厚計を用いて計測し、そして、細孔径は走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真の画像解析 (ImageJ) により決定した。

多孔質酸化アルミニウム皮膜への塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ) 添着には溶液含浸法を採用した。表面改質後のアルミニウム試料を所定濃度の  $\text{CaCl}_2$  水溶液中に、室温下で浸漬させ、減圧脱気を併用することで皮膜細孔内に  $\text{CaCl}_2$  水溶液を浸透させた。試料を取り出した後に遠心分離によりその表面に残留する水溶液を除去した。最後に、所定温度で試料を焼成することで  $\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材を得た。なお、 $\text{CaCl}_2$  添着量は添着操作前後の試料重量の変化から算出した。

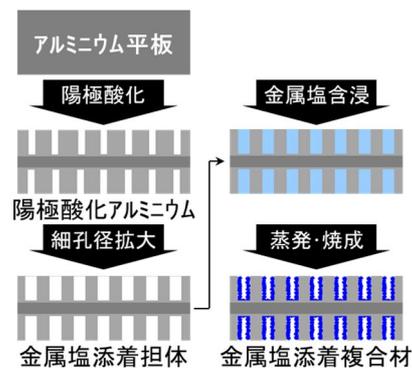


図 1 金属塩添着アルミニウム複合材の調製工程

得られた CaCl<sub>2</sub> / アルミニウム複合材の水蒸気収着平衡および収着速度は容量式蒸気吸着量測定装置を用いて評価した。本装置は複合材に対する水蒸気収着量（水蒸気圧変化）と試料表面温度を同時に測定可能である。また、酸化皮膜に添着した CaCl<sub>2</sub> の結晶性の評価には X 線回折 (XRD) 装置を用いた。

## (2) CaCl<sub>2</sub> / アルミニウム複合材の熱・物質移動解析

CaCl<sub>2</sub> 添着複合材の過渡的水蒸気収着挙動を理論的に把握するために、2 次元熱・物質移動モデルを構築し、以下の基礎方程式に基づく数値解析を行った。詳細は、発表論文 (S. Chumnanwat *et al.*, *Energy*, 208, 2020, 118370) を参照されたい。

$$\text{物質収支 (CaCl}_2 \text{ 添着層): } \frac{\partial C}{\partial t} = \gamma D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \beta \frac{\partial q}{\partial t} \quad (\text{i})$$

エネルギー収支 (CaCl<sub>2</sub> 添着層):

$$(\alpha \rho_{\text{CaCl}_2} C_{p,\text{CaCl}_2} + \rho_f C_{p,f} + \varepsilon \rho_w C_{p,w}) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_e \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \alpha \rho_{\text{CaCl}_2} \Delta H_{\text{sorp}} \frac{\partial q}{\partial t} \quad (\text{ii})$$

$$\text{エネルギー収支 (アルミニウム層): } \rho_{\text{Al}} C_{p,\text{Al}} \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{\text{Al}} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{iii})$$

$$\text{水蒸気収着速度: } \frac{\partial q}{\partial t} = K(q^* - q) \quad (\text{iv})$$

$$\text{水蒸気収着等温式: } q^* = n_1 + n_2 \phi + n_3 \phi^2 \quad (\text{v})$$

本モデルでは、CaCl<sub>2</sub> を添着する円筒状細孔が試料表面から鉛直方向に形成されること、また、細孔サイズが水蒸気の平均自由行程より十分に小さいことから、式(i)のように CaCl<sub>2</sub> 添着層内の水蒸気移動は層厚み  $x$  方向のみのクヌッセン拡散とした。また、式(ii)中の水和反応熱  $\Delta H_{\text{sorp}}$  は添着 CaCl<sub>2</sub> の水和量と関連付けてその依存性を考慮した。そして、CaCl<sub>2</sub> の水蒸気収着速度(式(iv))には収着量とその平衡値の差に基づく線形推進力モデルを採用し、平衡水蒸気収着量は相対水蒸気圧  $\phi$  のべき関数(式(v))で与えた。

## 4. 研究成果

### (1) 多孔質酸化アルミニウム皮膜の細孔構造

陽極酸化法により調製した代表的な 5 種類の酸化アルミニウム皮膜の表面 SEM 像を図 2 に、それらの細孔物性値を表 1 にそれぞれ示す。ここで、試料 a~d はシュウ酸浴（電圧 80 V、温度 30 °C、電解時間 6 h）、試料 e はリン酸浴（電流密度 100 A/m<sup>2</sup>、温度 20 °C、電解時間 6 h）での陽極酸化により、また、試料 c および d は、シュウ酸による 2 段階陽極酸化（第 1 処理：45 V, 20 °C, 1 h；第 2 処理：45 V, 20 °C, 7 h）により調製した。そして、試料 b および d はカソード分極 CP による PWT を施した。図 2 および表 1 より、シュウ酸浴とリン酸浴を比較すると、前者は相対的に厚い酸化皮膜  $\delta_f$  が得られ、後者は薄い皮膜であるが直径  $d_{\text{pm}} = 200 \text{ nm}$  を超える非常に大きな細孔が形成されることがわかる。シュウ酸浴による二段階陽極酸化を行った試料 c は、a に比べて細孔が整然と配置し、その直径が増大する。また、CP 処理を施すと皮膜厚の減少を起すことなく細孔径を拡大でき、試料 b では 76 nm、試料 d では 88 nm となり、未処理の a および c に比べて 1.5~1.9 倍の細孔が得られる。細孔容積  $V_p$  と空隙率  $\varepsilon$  は、シュウ酸浴二段階陽極酸化と CP 処理を施した試料 d が最も大きな値となり、リン酸浴陽極酸化の試料 e は比較的大きな空隙率を示すものの、相対的に皮膜が薄いために細孔容積は小さくなる。

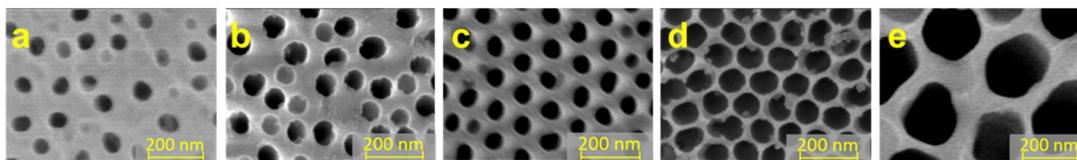


図 2 酸化アルミニウム皮膜の表面 SEM 像

陽極酸化による酸化皮膜の形成過程では、アルミニウムの酸化反応と生成した酸化アルミニウムの化学的溶解反応が同時に進行する。そのため、電解条件を適切に定め、適宜、二段階処理や PWT を施すことで概ね所望の構造を有する酸化アルミニウム皮膜の調製が可能である。

また本研究では、大きな皮膜細孔が得られるリン酸陽極酸化処

表 1 酸化アルミニウム皮膜の細孔物性値

Sample	Electrolyte	Anodization	PWT	$\delta_f$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{\text{pm}}$ [nm]	$V_p$ [ $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ]	$\varepsilon$ [-]
a	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Single	-	95	41	$2.4 \times 10^{-3}$	0.09
b	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Single	CP	92	76	$2.8 \times 10^{-3}$	0.28
c	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2-step	-	59	58	$4.6 \times 10^{-3}$	0.31
d	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2-step	CP	59	88	$8.7 \times 10^{-3}$	0.61
e	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Single	-	37	243	$2.2 \times 10^{-3}$	0.50

PWT: Pore Widening Treatment, CP: Cathodic Polarization

理を一定電圧 150 V で 24 h 施すことで、細孔径は 149 nm に縮小するものの皮膜厚を 73  $\mu\text{m}$  まで上昇させることができた。さらに、リン酸 0.3 M とシュウ酸 0.45 M からなる混酸浴での定電圧 (80 V) 陽極酸化処理により厚み 63 ~ 85  $\mu\text{m}$ 、細孔径 100 ~ 150 nm の酸化皮膜を得た。混酸浴処理での酸化皮膜では、それぞれの単一浴で得られる皮膜の中間的な構造となること、そして、良質な皮膜が形成される電解条件が比較的狭いことが明らかとなった。

### (2) 添着 $\text{CaCl}_2$ の結晶性

$\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材の水蒸気収着能は、酸化皮膜内に添着した  $\text{CaCl}_2$  の結晶性に著しく左右される。図 3 に、担体試料 b に  $\text{CaCl}_2$  溶液を含浸し、異なる温度で焼成して得た複合材の X 線回折結果を単体  $\text{CaCl}_2$  (水溶液からの晶析物) の結果と併せて示す。焼成温度が 300 の場合の  $\text{CaCl}_2$  はほぼ非晶質で、150 および 200 の場合には結晶性が認められ、特に、200 焼成時に  $\text{CaCl}_2$  の結晶化が良好に進行することが窺える。また、 $\text{CaCl}_2$  濃度が異なる含浸溶液を用いることで  $\text{CaCl}_2$  添着量を変化させた 4 種類の複合材の XRD 結果 (図 4) より、添着量の減少に伴い徐々に  $\text{CaCl}_2$  の結晶性が低下し、添着量 4.6 wt% の複合材では、ほぼ非晶質の  $\text{CaCl}_2$  が担体皮膜内に析出することがわかる。陽極酸化により生成する酸化アルミニウムは一般に非晶質であり、その表面に析出する  $\text{CaCl}_2$  の結晶状態に影響を及ぼす可能性がある。 $\text{CaCl}_2$  添着量、つまり、細孔壁面上への析出量が少ない場合には界面相互作用による  $\text{CaCl}_2$  の非晶化が起こると考えられる。以上より、本複合材調製法において結晶性  $\text{CaCl}_2$  を析出させるためには、溶液含浸試料の焼成温度を 200 とし、一定量以上の  $\text{CaCl}_2$  添着量が必要であることが明らかとなった。

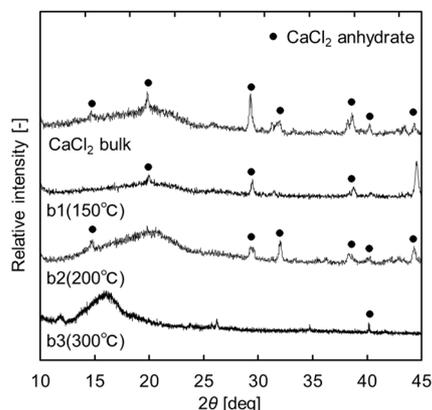


図 3 添着  $\text{CaCl}_2$  の XRD (焼成温度の影響)

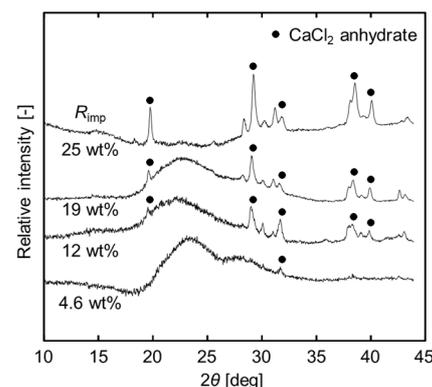


図 4 添着  $\text{CaCl}_2$  の XRD (添着量の影響)

### (3) $\text{CaCl}_2$ / アルミニウム複合材の水蒸気収着特性

#### 水蒸気収脱着平衡

表 1 に示した陽極酸化アルミニウム試料 a、b および d に  $\text{CaCl}_2$  を添着し (表 2)、それぞれの水蒸気収脱着平衡を評価した。図 5 に、各複合材と単体  $\text{CaCl}_2$  の 30 における水蒸気収脱着等温線を示す。なお、表 2 中の  $R_{\text{imp}}$  は  $\text{CaCl}_2$  添着密度を、 $\delta_{\text{CaCl}_2}$  は円筒細孔壁上に一様に  $\text{CaCl}_2$  が析出したと仮定した場合の添着層厚みをそれぞれ表す。図 5 の収着等温線より、複合材 aL、bH および dH は、 $\text{CaCl}_2$  の水和反応の特徴である相対圧 0.15 付近での急激な収着量の増大が観察され、bH と dH は、単体  $\text{CaCl}_2$  に近い水蒸気収着能を有することがわかる。これに対して、複合材 bL では、水蒸気収着量が相対圧の上昇に伴い単調に増大する。これは、bL の  $\text{CaCl}_2$  が非晶質であることに起因しており、この時の添着層厚みが 3.4 nm と見積もれることから細孔壁近傍における界面相互作用による非晶化が生じたと推察される。一方の脱着等温線より、いずれの複合材も相対圧の低下に伴い水蒸気収着量が減少し、添着  $\text{CaCl}_2$  あたりの水和モル比が約 2 まで低下することがわかる。これに対して単体  $\text{CaCl}_2$  は相対圧を低下させても水和モル比は 3.6 程度までしか低下しない。これらの結果より、狭隘なナノ細孔内に存

表 2  $\text{CaCl}_2$  添着複合材の担体物性値と  $\text{CaCl}_2$  添着量

Sample	Host matrix	$\delta_f$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{\text{pm}}$ [nm]	$R_{\text{imp}}$ [ $\text{mg}/\text{cm}^2$ ]	$\delta_{\text{CaCl}_2}$ [nm]
aL	a	95	41	0.93	5.1
bL	b	92	76	0.99	3.4
bH	b	92	76	2.49	8.6
dH	d	59	88	2.47	7.0

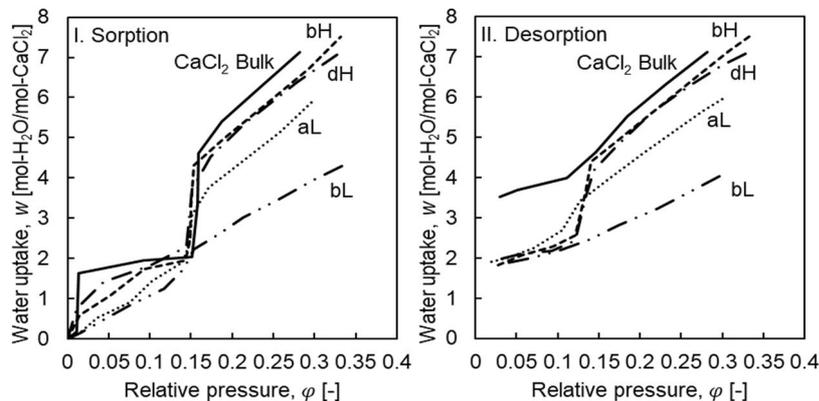


図 5  $\text{CaCl}_2$  添着複合材と単体  $\text{CaCl}_2$  の水蒸気収脱着等温線

在する  $\text{CaCl}_2$  では水和水が容易に脱離する、単体物とは異なる特性が発現することを示している。なお、本研究で調製した  $\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材を用いて水蒸気の収着・脱着の繰り返し操作を 15 回行った場合でも、その収脱着平衡は変化しないことを確認している。

#### 過渡的水蒸気収着特性

吸着式冷凍機の冷熱出力評価のためには、使用する吸着材の冷媒蒸気吸着速度を正確に把握する必要があり、吸着実験の実施のみならず理論的検討が重要である。本研究では、まず実験データの蓄積が進む高密度活性炭素繊維成形体 (HDACF: High-Density Activated Carbon Fiber) - メタノール蒸気系について、その熱・物質移動に関する理論解析モデルを構築し、実験と解析結果の比較を行った (図 6)。本図より、数値解析結果は見掛け密度が異なる 3 種類の HDACF のメタノール蒸気吸着量の経時変化を概ね良好に再現しており、構築したモデルの妥当性が確認できる。

ここで得た知見に基づいて、 $\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材 - 水蒸気収着系の 2 次元熱・物質移動に関するモデルを構築し、3(2)に列記した支配方程式を用いた数値解析を実施すると共に、実験結果との比較を行った。図 7 に、複合材 aL と bH の水蒸気収着過程における収着量と試料表面温度の経時変化を示す。上図より、いずれの複合材においても実験開始直後から水蒸気収着量が増加し、その増加速度が徐々に緩やかとなり平衡に向かうことがわかる。また、本研究の複合材の水蒸気収着速度は、関連研究で報告されているゼオライト NaX や  $\text{NaX}/\text{MgCl}_2$  複合材より明らかに速く、本材料の冷凍機蓄熱材としての優位性を裏付けている。一方の試料表面温度 (下図) は実験開始直後に急激に上昇し、最大値に到達した後に徐々に伝熱面温度に向かう様子が観察される。試料温度の上昇は添着  $\text{CaCl}_2$  の水和に伴う発熱によるものであり、初期の水蒸気収着量変化が大きい複合材 bH の方が aL に比べて最高到達温度は高くなる。そして、数値解析結果は、複合材の水蒸気収着量と試料表面温度の経時変化を概ね再現しており、本解析法が、 $\text{CaCl}_2$  添着複合材の水蒸気収着挙動の把握に有用な手段になり得ると考えられる。

#### 積層型収着材熱交換による冷凍能力の評価

$\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材を図 8 に示すように積層した収着材熱交換を想定し、水蒸気収着冷凍サイクルにおける熱交換器単位体積あたりの冷凍能力 SCP (Specific Coolin Power) を算出した。図 8 に、 $\text{CaCl}_2$  の収着率  $\theta$  毎の SCP と積層間隔  $L$  の関係を示す。なお、比較として、現在、吸着式冷凍機の蓄熱材として最も水蒸気吸着能に優れると評価されているゼオライト系吸着材をアルミニウムに塗布した熱交換器の SCP を併示する。本図より、収着率が低く、積層間隔が狭い程、SCP 値は上昇する傾向が窺える。これは、収着率が上昇すると複合材への水蒸気収着速度が徐々に低下することに起因している。また、ゼオライト塗布型熱交換に比べても高い SCP 値を示すことから、本複合材は高冷熱出力の収着式冷凍機の蓄熱材に十分なり得ると考えられる。

#### (4) まとめ

$\text{CaCl}_2$  / アルミニウム複合材は、水蒸気の収着と熱交換がほぼ同じ場所で起こるこれまでにない高伝熱性蓄熱材である。この水蒸気収着能を最大化するために、多孔質酸化アルミニウム皮膜の構造と添着  $\text{CaCl}_2$  の結晶性の制御について検討を行い、皮膜構造は調製条件により制御可能であること、結晶性  $\text{CaCl}_2$  の細孔内析出には複合材調製時の焼成温度と添着量に依存することなどを明らかにした。また、複合材の水蒸気収着特性の評価と熱・物質移動解析から本複合材が次世代ケミカル冷凍機の蓄熱材の有力な候補材料であることを示した。

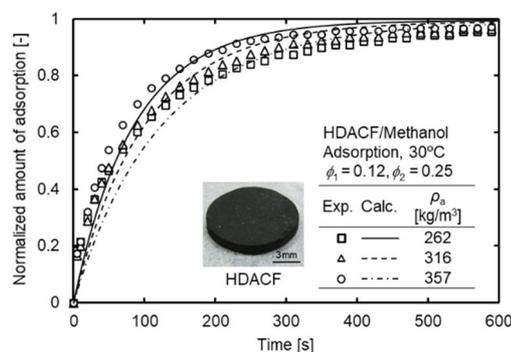


図 6 高密度 ACF 成形体に対するメタノール蒸気吸着速度

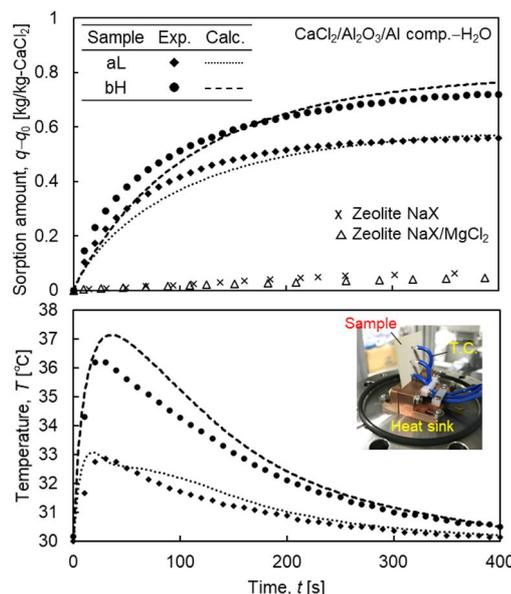


図 7  $\text{CaCl}_2$  添着複合材に対する水蒸気収着速度と試料表面温度変化

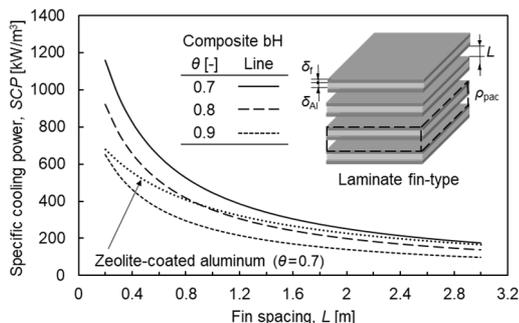


図 8  $\text{CaCl}_2$  添着複合材を積層した収着材熱交換器を適用した場合の比冷凍能力

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Suppanat Chumnawat, Yuto Watanabe, Naoko Taniguchi, Hidenori Higashi, Akio Kodama, Takafumi Seto, Yoshio Otani, Mikio Kumita	4. 巻 208
2. 論文標題 Pore structure control of anodized alumina film and sorption properties of water vapor on CaCl <sub>2</sub> -aluminum composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 118370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2020.118370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mikio Kumita, Naohiro Yamawaki, Kie Shinohara, Hidenori Higashi, Akio Kodama, Noriyuki Kobayashi, Takafumi Seto, Yoshio Otani	4. 巻 94
2. 論文標題 Methanol adsorption behaviors of compression-molded activated carbon fiber with PTFE	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 127-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrefrig.2018.07.036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 櫻井颯、谷口奈緒子、渡部悠人、東秀憲、瀬戸章文、大谷吉生、児玉昭雄、汲田幹夫
2. 発表標題 リン酸アルマイトを担体とするCaCl <sub>2</sub> / アルミニウム複合材の調製とその水蒸気収着特性
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoko Taniguchi, Yuto Watanabe, Akio Kodama, Hidenori Higashi, Takafumi Seto, Yoshio Otani, Mikio Kumita
2. 発表標題 Pore structure control of anodized alumina film and sorption properties of water vapor on CaCl <sub>2</sub> -aluminum composites
3. 学会等名 5th International Symposium on Innovative Materials and Processes in Energy Systems (IMPRES2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chieko Shibata, Yutaro Domura, Akio Kodama, Hidenori Higashi, Takafumi Seto, Yoshio Otani, Mikio Kumita
2. 発表標題 Basic adsorption properties for milled activated carbon fiber/methanol pair
3. 学会等名 5th International Symposium on Innovative Materials and Processes in Energy Systems (IMPRES2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chieko Shibata, Mikio Kumita, Akio Kodama, Hidenori Higashi, Takafumi Seto, Yoshio Otani
2. 発表標題 Heat and mass transfer characteristics of a molded activated carbon/methanol pair for adsorption cooling
3. 学会等名 25th IIR International Congress of Refrigeration (ICR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口奈緒子、渡部悠人、児玉昭雄、東秀憲、瀬戸章文、大谷吉生、汲田幹夫
2. 発表標題 水蒸気収着用CaCl <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al複合材の熱・物質移動挙動
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部悠人、東秀憲、瀬戸章文、大谷吉生、児玉昭雄、汲田幹夫
2. 発表標題 金属塩 / アルミニウム複合材の水蒸気収着と伝熱特性
3. 学会等名 第8回潜熱工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田智栄子、汲田幹夫、東秀憲、瀬戸章文、大谷吉生
2. 発表標題 成形活性炭 / メタノール吸着系の熱・物質移動特性
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡部悠人、東秀憲、瀬戸章文、大谷吉生、児玉昭雄、汲田幹夫
2. 発表標題 多孔質アルミナ担体へのCaCl <sub>2</sub> 添着とその水蒸気吸着特性
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	児玉 昭雄  (KODAMA Akio)  (30274690)	金沢大学・機械工学系・教授   (13301)	
研究 分担者	東 秀憲  (HIGASHI Hidenori)  (40294889)	金沢大学・フロンティア工学系・准教授   (13301)	

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