

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01159

研究課題名(和文) 地域環境に適した保持温度を持つバイオマス由来潜熱蓄熱材の設計法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a design method for biomass-derived latent heat storage material having a holding temperature suitable for local environment

研究代表者

北川 尚美 (Naomi, Shibasaki-Kitakawa)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：00261503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円

研究成果の概要(和文)：省エネ技術として潜熱蓄熱材をマイクロカプセル化して分散させた建材用蓄熱シートがある。化石資源由来のオレフィンが主であったが、持続性や安全性の高いバイオマス由来品への切替が望まれている。油とアルコールのエステル(FE)は、脂肪酸組成によって広範な融点を持つため保持温度を自由に設定できる可能性があるが、合成が難しく熱特性も明らかでない。本研究では、種々の炭素鎖長のFEを合成して熱特性を測定、建材用蓄熱材に適切なものを見出した。より細かな融点調整のため、二成分系での融点の推算法を確立した。また、結晶構造が未知のFEの融点と潜熱を精度よく推算する手法を確立、所望温度域に融点を持つFEの設計を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物油とアルコールのエステルは、バイオマス由来建材用蓄熱材として期待されているが、脂溶性と水溶性の物質を結合させるため合成が困難で、実用化のボトルネックであった。代表者は油水エステルの高効率な合成技術を有しており、これを活用し48種のFEを合成、その熱特性を世界に先駆け明らかにした。また、建材用蓄熱材は地域の気候に応じた融点調整が必要で、試行錯誤的に探索されていたが、目的の融点を達成するにはどのFEをどのような組成で混ぜるとよいかを簡単に予測可能な方法を確立した。最近英国の油脂会社でFEの販売が開始したが、種類も少なく高価である。本研究成果によって多種多様なFEをより安価に提供可能となる。

研究成果の概要(英文)：One energy-saving technology is a heat storage sheet for building materials in which latent heat storage materials are microencapsulated and dispersed. Olefins derived from fossil resources are mainly used, but there is a desire to switch to biomass-derived products. Ester of oil and alcohol (FE) has a wide range of melting points depending on the fatty acid composition, which may allow the holding temperature to be set freely, but it is difficult to synthesize and its thermal properties are not clear.

In this study, FEs with various carbon chain lengths were synthesized and their thermal properties were measured, and those suitable for heat storage materials were clarified. In addition, we established a method for estimating the melting point in a two-component system. We also established a method for accurately estimating the melting point and latent heat of FEs with unknown crystal structures, and realized the design of FEs with melting points in the desired temperature range.

研究分野：反応プロセス工学、生物プロセス工学

キーワード：潜熱蓄熱材 脂肪酸エステル 融点推算法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

空調による消費エネルギーの削減法として、室内の温熱環境を一定に保つ潜熱蓄熱技術がある。これは、液体と固体の相転移エネルギーを利用して室内温度を一定に保つ潜熱蓄熱材 (Phase Change Materials, PCM) を用いるもので、これまで化石資源由来のオレフィンなどの有機物系蓄熱材が主であった。近年、持続性や安全性が高いバイオマス由来の脂肪酸エステルが注目されている。既に NEDO のプロジェクトで、これをマイクロカプセル化して分散させた建材用シート (図 1) が開発されており、省エネルギー効果が 21-57% と大きいこと、設定室温 (保持温度) と蓄熱材の融点に近いほど省エネルギー効果が高いことが報告されている¹⁾。

現在、市販されている脂肪酸エステルは、食用パーム油とメタノールを原料として合成されたものを、パルミチン酸メチル (融点 34)、ステアリン酸メチル (融点 39)、オレイン酸メチル (融点 20) のように脂肪酸基の種類毎に蒸留分離された高純度品である。脂肪酸種で融点が大きく異なるため、適切に混合することで融点を制御できる可能性がある。実際に単成分、あるいは融点の近い数種を上手く混合した場合、図 2 (a) のように、示差走査熱量 (DSC) 測定でシャープな融解ピークを示す。しかし、少し融点が離れたエステルの混合物の場合、図 2 (b) のようにピークが小さくならなくなり、融点制御どころか潜熱蓄熱能力自体が低下してしまう。これは、融点が高いエステルが相変化をしたもう一方のエステルに溶解し、潜熱ではなく溶解熱が支配的になるためと考えられる。従って、現状では混合による融点制御が難しい、市販品の種類が限定されており高価、などが本蓄熱技術の普及のボトルネックとなっている。

2. 研究の目的

脂肪酸エステル (FE) は、植物由来で安全性が高い潜熱蓄熱材であり、それをマイクロカプセル化して分散させた建材用シートは大きな省エネルギー効果を持つ。また、脂肪酸とアルコールの組み合わせによって異なる融点を持つため、それらの混合による所望の融点設計が可能となれば、地域環境に応じた効率的な省エネルギー効果を期待できる。しかし、現状では、難水性の脂肪酸エステルの合成自体が難しく、その熱化学特性に関する知見は僅少で、融解と並行して相互溶解が生じるため融点制御も困難な状況である。

本研究では、代表者らが開発した難水溶性エステルの効率的な合成法「イオン交換樹脂触媒法」を用いて、種々の脂肪酸とアルコールを原料として脂肪酸エステルを合成し、脂肪酸基とアルコール基の構造が熱化学特性に及ぼす影響を詳細に評価する。そして、その影響を定量的に表現できるモデルを構築し、所望の融点を有する蓄熱材の設計法を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、FE の熱特性を把握し、その推算手法を確立することで、所望の温度域に融点を持つ FE の効率的な設計を目的とする。まず、脂肪酸炭素鎖長とアルコール炭素鎖長の異なる種々の FE を合成し、熱特性の評価を行った。次に、二成分混合系を調整し、その熱特性評価と固液平衡計算を用いて熱特性を推算した。最後に、分子シミュレーションの一つである分子動力学法を用いた熱特性の推算法について検討した。

4. 研究成果

(1) 種々の植物油からの脂肪酸エステル合成と得られたエステル混合物の熱化学特性の評価とデータベース化

脂肪酸組成が大きく異なる 4 種の廃棄植物油を用い、メタノールとエタノールを反応物として脂肪酸エステル合成を行った。生成物は複数の脂肪酸エステルを含む混合物となる。この混合物の熱化学特性を示差走査熱量計で測定した。その結果、各エステル混合物では、含有量の多い脂肪酸由来のピーク (パルミチン酸 PA、ステアリン酸 SA、オレイン酸 OA、リノール酸 LA、リノレン酸 XA) が複数観察された。しかし、成分数とピーク数は一致しておらず、PA と SA のエステル体は生活温度域付近 (16-25) で 1 つのピークを形成している様子が観察された。そこで、PA と SA のエチルエステルとメチルエステルを取り上げ、さらに詳細に検討を行うこと

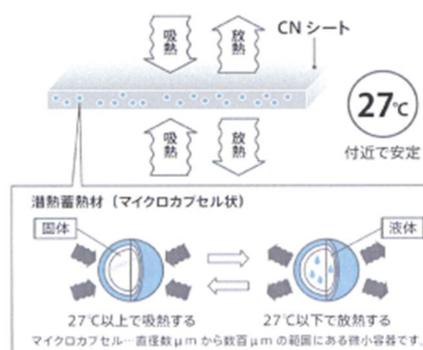


図1 建材用 CN シート (D 社提供)

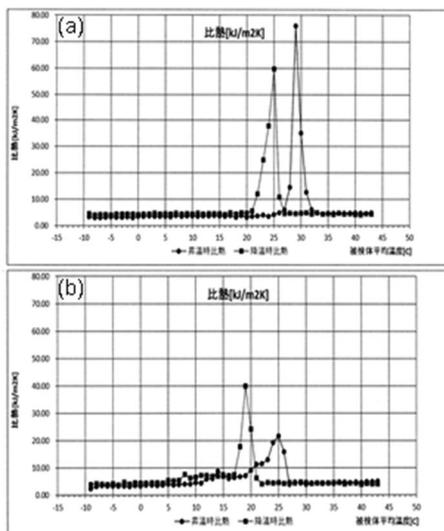


図2 脂肪酸エステル混合組成が異なる建材用 CN シートの DSC 測定結果 (D 社提供)

とした。

(2) 試薬ベースの単成分系での脂肪酸エステル熱化学特性の評価とデータベース化

前述の2種の脂肪酸のメチル体 (PM、SM) とエチル体 (PE、SE) の4種を取り上げ、それらの高純度試薬を購入し、単成分系と二成分混合系で熱化学特性を測定した。混合系では、融点の近い2種を組み合わせる4通りとし、モル分率を変化させた。その結果、いずれも単成分では融点が生活温度域よりも高いものの、PM+PE 混合系では、どの組成比でも生活温度域に融点と凝固点を持つことが分かった。中でも、PM モル分率 81% の時に、潜熱量が最も高く、石油由来のオレフィン類に匹敵することが示された。

データベースの充実を目指し、炭素鎖長 $X=8-18$ で偶数の飽和脂肪酸 (FX) と炭素鎖長 $X=3-8$ の n -アルコール (AX) を反応物とし、触媒に強酸性樹脂 Diaion PK208LH²⁾ を用いて 50 でエステル化合成実験を行った。各実験は、滴定分析で FX が検出されなくなった時点で終了し、樹脂を除去後、AX を留去することで純度 98% 以上の FE を得た。そして、市販の A1、A2 の FE を加え、計 48 種のサンプルに対し、融点 T_m 及び潜熱 H を示差走査熱量計 (DSC) で測定した。

FE の融点は、AX の偶奇別で増減する傾向が観察された。そこで、FE の融点に及ぼす炭素鎖長の影響を AX の偶奇別で、図 3 に示す。AX を横軸で、FX をプロットの種類で示した。FE の融点は、FX の伸長に伴い高くなる傾向を示した。一方、AX に対しては、極小値を持つ傾向を示した。

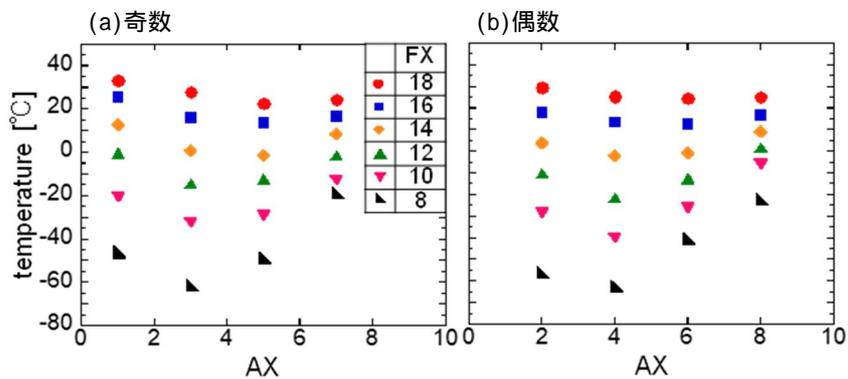


図3 融点に及ぼす脂肪酸FXとアルコールAXの炭素鎖長の影響

また、合成した FE の中から建材用 PCM に適切な FE を探索した。建材用 PCM は、融点が 16-25 °C、潜熱が 170 J/g 以上、融解ピークが単一、という三つの要件が必要となる^{3,4)}。これらを青、赤、緑の三色で表し、三分割した円に満たす要件の色を示した (表 1)。すべての要件を満たす FE は 48 種のうち 3 種であり、表 2 にそれらと従来の化石資源由来品 (n-cetane) の融点及び潜熱⁵⁾を示す。これらの FE は、従来品と同等の潜熱を持ち、建材用 PCM として利用可能と考えられる。しかし、単成分では 48 種のうちたった 3 種しか建材用蓄熱材として利用できないため、地域の気候に合わせた細かな融点調節のためには、融点の異なる 2 種の FE の混合が必須となる。

表 1 各脂肪酸エステルの建材用 PCM 要件の適合度

	F8	F10	F12	F14	F16	F18
A1						
A2						
A3						
A4						
A5						
A6						
A7						
A8						

<建材用PCMの要件^{3,4)}>

- ① $T_m = 16-25^{\circ}\text{C}$ ■
- ② $\Delta H \geq 170 \text{ J/g}$ ■
- ③ 単一ピーク ■

表 2 全要件を満たす脂肪酸エステル

materials	T_m [°C]	ΔH [J/g]
F14A1	16.8	170
F16A7	20.9	182
F16A8	19.3	183
n-cetane	22.0	185

(3)単成分系でのデータに基づく混合物系の熱化学特性の推算式の構築

効果的な融点調節を可能とするため、単成分の熱特性データベースに基づき、任意の二成分系の融点を推算する手法を検討した。二成分系の融点は、単成分の融点及び潜熱を用いて、以下の固液平衡線

$$\ln \gamma_i x_i = \frac{\Delta H_{m,i}}{R} \left(\frac{1}{T_{m,i}} - \frac{1}{T_i} \right)$$

から推算できる。ただし、活量係数が必要であるため、理想溶液モデル($\gamma_i=1$)、あるいは3つのグループ溶液モデル(UNIFAC⁶⁾、 Dortmund⁷⁾、 Lyngby⁸⁾)を用いて推算した。グループ溶液モデルとは、分子を構成する原子団の種類と数の寄与から推算する手法である。また、比較のため、実際に種々の二成分系において、モル分率 X_i を変化させたサンプルを調整し、前述と同様に T_m 及び H を測定した。

図4に、例としてF18A1+F18A18系での融点の実験値をプロットで推算値をラインで示す。融点は、ある組成で極小となる共晶点を持ち、その組成では、融解ピークが単一で大きな潜熱を持つことが分かった。また、図4中に示した実験値との標準偏差(SD)から、二成分系の融点は、シンプルな理想溶液モデルでも十分推算可能と考えられる。これは、線状分子に及ぼす炭素鎖長の影響が小さいためと考えられる。

また、表3に理想溶液モデルを用いて、種々の系の共晶点を推算した結果を示す。このように、本手法を用いることで、目的温度域に共晶点を持つFEの組合せと組成を推算可能と考えられる。

次に、脂肪酸エステル構造式から測定なしに熱特性を予測するための手法の検討を行った。前述のデータベースで特徴的な傾向がみられなかったことから、経験式や寄与法といった統計学的な手法での推算が困難と考えた。そこで、分子動力学計算(MD)を用いて結晶の融解をシミュレートすることで熱特性を推算する手法を検討した。ここでは、F8A1を対象とし、図5に示す手順で、単成分の融点及び潜熱を推算した。step1の融点の推算では、液体構造を340~100 Kまで20 K間隔で粒子数、温度、圧力(1 atm)一定の計算(NPT計算)を行い、密度変化から融点を推算した。全ての計算は、OPLS力場⁹⁾とAM1-BCC法¹⁰⁾で算出された原子電荷を使用し、MDプログラム：Gromacsによって行った。

step2の結晶構造を予測では、様々な分子配向の非対称単位をランダム生成し、空間群に基づき配置し、3000個程度の結晶構造を生成させた。全ての計算は、分子科学ソフト:CONFLEXによって行った。step2の潜熱の推算では、まず、予測した構造のうち、エネルギーが最小の構造の系と、液相の系で、それぞれ、推算された融点におけるNPT計算を行う。そして、各ポテンシャルエネルギーを算出し、その差から潜熱を推算した。また、比較のために、実験的に得られた実構造¹¹⁾でも同様の計算を行った。全ての計算は、前述と同様の力場及び原子電荷を使用し、MDプログラム：Gromacsによって行った。

図6に系の温度に対する比容積変化を示す。赤の点線は実験値(236 K)である。200 K付近で傾きが変化し、二相性を示した。融点は、傾きが変化する前後の近似直線(黒線)の交点から、210 Kと算出され、実験値と近い値となった。

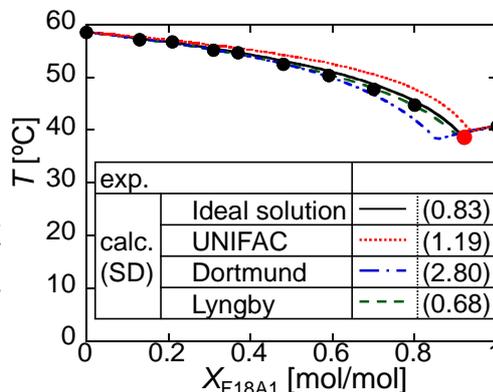


図4 実験と推算によるFE二成分系の相図

表3 各混合系での共晶点の組成と融点

mixtures		calc.		exp.	
A	B	X_{F18A1}	T_m [°C]	X_{F18A1}	T_m [°C]
F12A1	F12A4	0.07	6.9	0.07	6.1
F12A1	F12A6	0.02	-4.1	-	-
F18A1	F18A2	0.03	-2.5	-	-
F18A1	F18A6	0.42	28.6	-	-
F18A1	F18A18	0.29	23.7	-	-
F18A1	F18A18	0.90	39.2	0.92	38.5

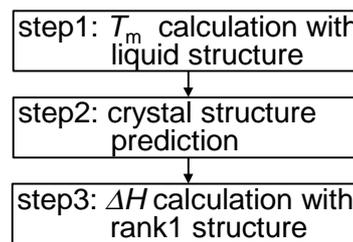


図5 単成分FEの融点と潜熱の推算手順

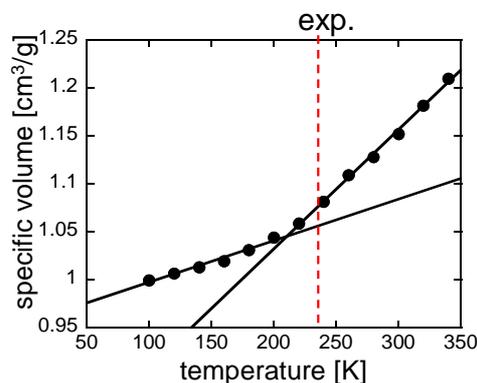


図6 温度に対する比容積のプロット

図7(a)に、エネルギーが rank1 の構造を、図7(b)に実構造を示す。また、表4に、これらの構造から推算した潜熱を、融点の推算値及びそれらの実験値と共に示す。どちらの構造でも、潜熱の実験値と近い値となっている。これは、rank1 の構造が実構造と一致しないものの、ポテンシャルエネルギーが大差ないためと考えられる。したがって、単成分では、融点は液体構造、潜熱は rank1 の構造から推算可能と考えられる。

以上より、単成分の熱特性推算では、1) 液体構造から昇温させ密度変化を追跡することで融点を推算、2) 数千個の結晶構造を予測しエネルギーが小さい順にランク付け、3) 最も小さいエネルギーの構造から潜熱を推算、という手順が有効であることを明らかにした。

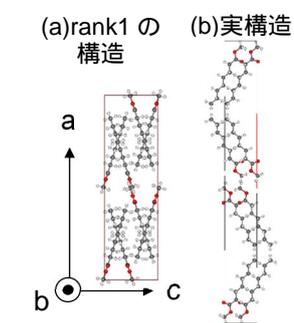


図7 FEの結晶構造の比較

(4)まとめ

種々の炭素鎖長のFEを合成して熱特性を測定、データベースを構築すると共に、建材用PCMに適切なものを見出した。より細かな融点調整のため、二成分系での融点の推算法を確立した。また、結晶構造が未知のFEの融点及び潜熱を精度よく推算する手法を確立、所望温度域に融点を持つFEの設計を可能とした。

表4 FEの融点と潜熱の推算値と実験値

	structure	T_m [K]	ΔH [kJ/mol]
step1	liquid	210	-
step3	rank1	-	20.2
	exp.	-	18.1
exp.		236	22.6

(5)記号

i : 活量係数[-], x_i : モル組成[mol/mol], $H_{m,i}$: 単成分の潜熱[J/mol], $T_{m,i}$: 単成分の融点[K], R: 気体定数[J/(mol·K)], T_i : 二成分系の融点[K]

(6)文献

- 1) 草間ら, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 5, 221(2016)
- 2) N. Shibasaki-Kitakawa et al., *Fuel*, 139, 11(2015)
- 3) M. Amar et al., *Energy Convers. Manage.*, 45, 263(2004)
- 4) N. Sarler et al., *Thermochim. Acta*, 540, 7(2012)
- 5) N. Sarier et al., *Thermochim. Acta*, 452, 149(2007)
- 6) T. Thomas et al., *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 20, 331(1981)
- 7) J. Gemling et al., *Ind. Eng. Chem. Res.*, 32, 178(1993)
- 8) L. Larsen et al., *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 2274(1987)
- 9) W. Jorgensen et al., *J. Phys. Chem. B*, 105, 6474(2001)
- 10) A. Jakalian et al., *J. Comput. Chem.*, 23, 1623(2003)
- 11) S. Prathapa et al., *CrysEngComm*, 21, 41(2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 0件）

1. 著者名 北川尚美	4. 巻 42
2. 論文標題 未利用バイオマス資源を徹底活用するためのマルチ生産プロセスの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 エネルギー・資源	6. 最初と最後の頁 234-238
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 北川尚美	4. 巻 1
2. 論文標題 エネルギーに一言 国内資源の有効利用によるバイオ燃料製造を	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 エネルギーレビュー	6. 最初と最後の頁 24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Nahian Siddique, Masato Suzue, Makiko Kato, Kousuke Hiromori, Naomi Shibasaki-Kitakawa	4. 巻 289
2. 論文標題 Process optimization for continuous production of sustainable biodiesel from completely nonedible biomass, lignocellulosic hydrous ethanol and waste fatty acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fuel	6. 最初と最後の頁 119884
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.fuel.2020.119884	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24件（うち招待講演 14件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Naomi Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Flow-type reaction-separation system for complete utilization of unused oils and converting to highvalue products
3. 学会等名 4th Green and Sustainable Chemistry Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nahian Siddique, Kousuke Hiromori, Atsushi Takahashi, Yasuhiro Fukushima, Naomi Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Biodiesel production from waste acid oil and hydrous bioethanol derived from woody biomass
3. 学会等名 化学工学会第21回先端研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重原武浩, 廣森浩祐, 高橋厚, 北川尚美
2. 発表標題 バイオマス由来潜熱蓄熱材の安価な合成法の開発
3. 学会等名 第8回 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nahian Siddique, K. Hiromori, A.Takahashi, N.Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Continuous biodiesel production from waste acid oil and hydrous bioethanol derived from woody biomass
3. 学会等名 The 14th Asian Congress on Biotechnology
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重原武浩, 廣森浩祐, 高橋厚, 北川尚美
2. 発表標題 未活用バイオマス由来潜熱蓄熱材の安価な合成法の開発
3. 学会等名 化学工学会横浜大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川尚美, 廣森浩祐
2. 発表標題 地域連携に基づく技術開発と社会実装
3. 学会等名 第67回年次大会・工学教育研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hiromori, M. Kato, Y. Fukushima, N. S.-Kitakawa
2. 発表標題 A novel system for biodiesel production from waste cooking oil using ionexchange resin catalyst: Case of introduction to a remote island in Japan
3. 学会等名 IMPRES2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 バイオ液体燃料の現状と今後の役割
3. 学会等名 公開シンポジウム「再生可能エネルギー導入の次段階に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 難水溶性エステル合成を対象とした反応プロセス工学研究
3. 学会等名 化学工学会第85年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大久保一輝, 廣森浩祐, 高橋厚, 北川尚美
2. 発表標題 バイオマス由来潜熱蓄熱材としての脂肪酸エステルの特熱特性
3. 学会等名 第9回 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保一輝, 廣森浩祐, 高橋厚, 北川尚美
2. 発表標題 環境温度に適した保持温度を持つバイオマス由来潜熱蓄熱材の合成
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kousuke Hiromori, Kazuki Murakami, Atsushi Takahashi, Naomi Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Design of selective ester synthesis process by controlling reaction field in porous resin catalyst
3. 学会等名 Virtual 2020 AOCS Annual Meeting & Expo (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shibasaki-Kitakawa N, Hiromori K and Kato M
2. 発表標題 Multiple Production Process of Foods and Cosmetics Raw Materials from Waste Oil in Rice Bran Oil Refinery
3. 学会等名 2020 TwIChE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 未利用資源から無限大の価値を創造する！～農業を含む持続可能な経済循環の創出～
3. 学会等名 福島イノベ倶楽部 研修会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 化学工学を駆使して無限大の価値を創造する
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 女性の視点を活かした製造プロセス開発
3. 学会等名 化学工学会第86年会, 受賞講演(オンライン)（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 知財を活かした新たなイノベーション創出を目指して
3. 学会等名 東北大学知財財産シンポジウム2021（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 未利用資源から無限大の価値を創造する反応分離プロセス
3. 学会等名 ファインケミカルジャパン2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kousuke Hiromori, Kazuki Murakami, Atsushi Takahashi, Naomi Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Green Process for Selective Ester Production Using Heterogeneous Resin Catalyst with Different Reaction Field
3. 学会等名 AOCS Annual Meeting & Expo 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 未利用資源から無限大の価値を生み出すスーパー・エコ技術
3. 学会等名 第2回東北大学グリーン・シーズ・ラウンジ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保一輝、廣森浩祐、高橋厚、北川尚美
2. 発表標題 バイオマス由来潜熱蓄熱材としての脂肪酸エステル熱特性予測手法の確立
3. 学会等名 日本油化学会第60回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 脂肪酸の活用法：バイオ燃料と蓄熱材
3. 学会等名 油脂実践講座2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kousuke Hiromori, Kazuki Okubo, Takehiro Shigehara, Atsushi Takahashi, Naomi Shibasaki-Kitakawa
2. 発表標題 Synthesis of biobased latent heat storage material with a melting point suitable for the environmental temperature
3. 学会等名 Pacifichem 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川尚美
2. 発表標題 無限大の価値を創造!! ~未利用資源を食品・化粧品・燃料にかえる~
3. 学会等名 第13回MFD (マテリアル・ファブリケーション・デザイン) 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 北川尚美	4. 発行年 2020年
2. 出版社 公益財団法人 日本学術協力財団, 学術会議叢書 27	5. 総ページ数 199-211
3. 書名 持続可能な社会への道ー環境科学から目指すゴールー 第6章環境課題解決のための生産技術と社会実装 新技術導入による環境課題解決のための方法論	

1. 著者名 北川尚美	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 9-16
3. 書名 地球環境シリーズ バイオエネルギー再燃 第2章液体バイオ燃料の開発動向 1 液体バイオ燃料の現状	

1. 著者名 北川尚美	4. 発行年 2020年
2. 出版社 公益財団法人日本学術協力財団	5. 総ページ数 42-47
3. 書名 学術の動向25(1)	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 潜熱蓄熱材組成物、及び潜熱蓄熱特性制御方法	発明者 廣森、北川、重原	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-145175	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	廣森 浩祐 (Hiromori Kousuke) (80828062)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

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