

# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

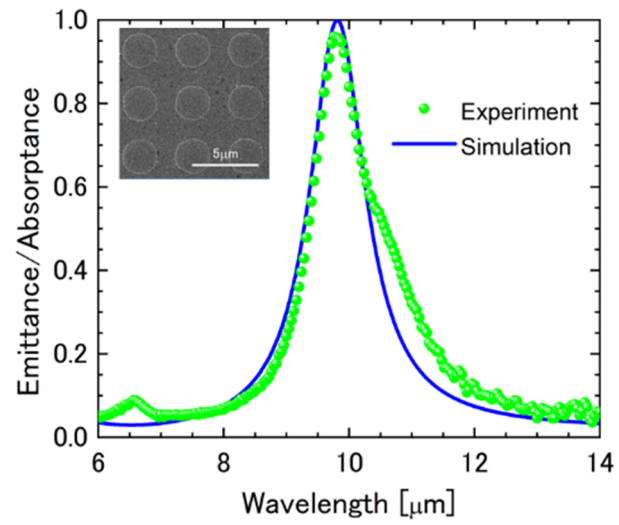
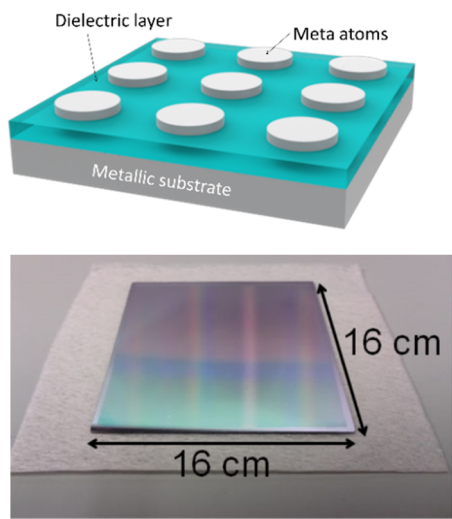
ISSN 1344-8692 Vol. 62, No. 259  
2023. 4

*Thermal Science and Engineering*

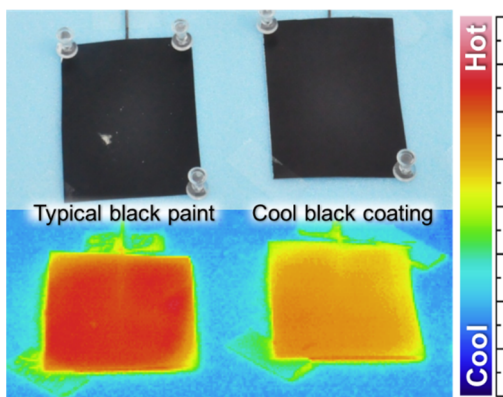
ISSN 0918-9963 Vol. 31, No. 2  
2023. 4

The logo for the Heat Transfer Society of Japan (HTSJ) is located in the bottom right corner. It consists of the letters 'HTSJ' in a bold, sans-serif font. The letters are white with a blue outline and are set against a background of horizontal blue and white stripes.

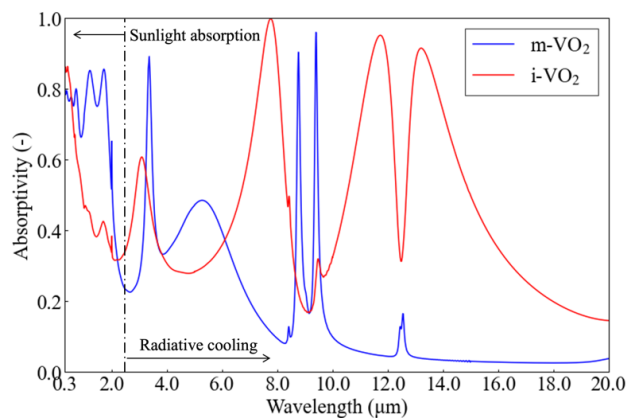
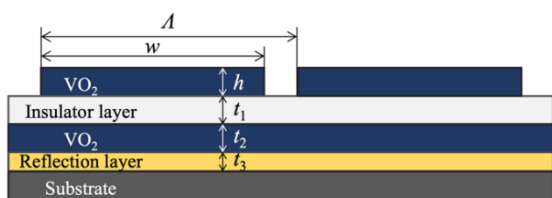
◆特集：ふく射伝熱（その1）



メタサーフェスの波長選択的ふく射特性. 【左上図】メタサーフェスの模式図. 金属 - 誘電体 - 金属 (MIM) 構造が一つのメタ原子となり, 特定の周波数の光と共鳴する. 【左下図】半導体クリーンルーム加工技術で作製したメタサーフェス. 【右図】マクスウェル方程式の数値解析で得られた吸収スペクトルと測定結果. 共鳴波長はメタ原子サイズで制御できる. 空間中を伝播する光と MIM 構造が共鳴してエネルギーのやりとりをする物理現象は Magnetic Polariton (MP) と呼ばれている. (特集記事「サーマルフォトニクス(櫻井篤)」より)



【左図】冷たい黒とその赤外画像. Mie 散乱理論から粒子単体のふく射特性を得て, そのデータを導入してふく射輸送計算してコーティングの分光半球反射率を導出して設計した. 低い可視光反射率を維持しながら, 高い近赤外反射率を持つ, いわゆる「冷たい黒」を得た. 太陽光下で温度測定実験を行うと, 一般的な黒色塗料と比べて 10°C 以上表面温度が下がる. (特集記事「散乱性媒体によるふく射伝熱制御(江目宏樹)」より)



【左図】二酸化バナジウム (VO<sub>2</sub>) を用いた周期的多層膜の模式図. 【右図】多層膜の吸収率スペクトル. 高温環境下では VO<sub>2</sub> は金属 (m-VO<sub>2</sub>) として振る舞い, 放射冷却が支配的な波長 8 ~ 14 μm にふく射の共鳴を生じさせる. 低温環境下では VO<sub>2</sub> は絶縁体 (i-VO<sub>2</sub>) として振る舞い, 可視光の光干渉が太陽光の吸収を促進する. (特集記事「大域的な熱制御へ向けた放射率の動的制御(磯部和真)」より)

# 伝 熱

## 目 次

### 〈巻頭グラビア〉

櫻井 篤（新潟大学, JST さきがけ）, 江目 宏樹（山形大学）, 磯部 和真（岡山大学） …… 表紙裏

### 〈特集：ふく射伝熱（その1）〉

特集「ふく射伝熱」にあたって …… 宮崎 康次（九州大学）, 田中 三郎（日本大学） …… 1  
 大域的な熱制御へ向けた放射率の動的制御 …… 磯部 和真（岡山大学） …… 2  
 散乱性媒体によるふく射伝熱制御 …… 江目 宏樹（山形大学） …… 8  
 サーマルフォトニクス …… 櫻井 篤（新潟大学, JST さきがけ） …… 14

### 〈報告〉

International Symposium on Thermal Energy Storage Science and Engineering 2022 - 開催報告  
 …… 能村 貴宏, 植村 豪（北海道大学） …… 20

〈行事カレンダー〉 …… 27

### 〈お知らせ〉

第60回日本伝熱シンポジウムのご案内 …… 28  
 第60回日本伝熱シンポジウム タイムテーブル（暫定版） …… 30  
 第60回日本伝熱シンポジウム プログラム（暫定版） …… 32  
 編集出版部会からのお知らせ …… 46

〈編集出版部会ノート〉 …… 49

# Vol.62, No.259, April 2023

## CONTENTS

### < Opening-page Gravure: heat-page >

Atsushi SAKURAI (Niigata University, JST PRESTO), Hiroki GONOME (Yamagata University), Kazuma ISOBE (Okayama University) .....	Opening Page
--	--------------

### < Special Issue: Radiative Heat Transfer: Part 1 >

Preface to “Radiative Heat Transfer”

Koji MIYAZAKI (Kyushu University), Saburo TANAKA (Nihon University) .....	1
---	---

Dynamic Control of Emissivity for Global Thermal Control

Kazuma ISOBE (Okayama University) .....	2
---	---

Control of Radiative Heat Transfer by Scattering Media

Hiroki GONOME (Yamagata University) .....	8
---	---

Thermal Photonics

Atsushi SAKURAI (Niigata University, JST PRESTO) .....	14
--	----

### < Report >

Report on TESSE2022

Takahiro NOMURA, Suguru UEMURA (Hokkaido University) .....	20
--	----

< Calendar > .....	27
--------------------	----

< Announcements > .....	28
-------------------------	----

< Note from the JHTSJ Editorial Board > .....	49
---	----

特集「ふく射伝熱」にあたって  
Preface to “Radiative Heat Transfer”

宮崎 康次（九州大学），田中 三郎（日本大学）  
Koji MIYAZAKI (Kyushu University), Saburo TANAKA (Nihon University)  
e-mail: miyazaki.koji.962@m.kyushu-u.ac.jp

今回、編集出版部会とのご相談で今号と次号で「ふく射伝熱」の特集を組む機会を頂き大変感謝しております。現在、特定推進研究課題として「太陽光エネルギー利用における伝熱工学の新展開」を運営させて頂いており、その課題を支える骨組みの半分が「ふく射伝熱」となっています。この特定推進研究の活動紹介として、課題に参加する先生方に研究紹介をお願いしました。お忙しい中、快く執筆頂き大変感謝しております。

これまでも本誌では、特集として「ふく射伝熱」に関わる企画が立てられており、花村克悟先生（東京工大）の「ふく射を放射する」特集は記憶に新しいものと期待します。現在、日本伝熱学会では最新号を含め1999年7月号以降の学会誌「伝熱」は非会員含めすべての方が閲覧でき、本稿執筆にあたり急ぎ復習しました。例えば2004年には山田純先生（芝浦工大）がナノ構造を利用してふく射伝熱を制御する研究をいち早く紹介されています。ちなみに記憶に新しかった「ふく射を放射する」は2011年1月号の特集で既に10年以上も経過していることに愕然とするとともに、どの程度「ふく射伝熱」の研究分野が進展したのか記録する良い機会になりました。1999年以降、ふく射伝熱に特化した特集に限定しなければ、宇宙機における熱制御（2018年1月号）や熱測定（2015年7月号）の枠組みでふく射が取り上げられ、高度な研究が進められていることを知ることができます。2009年10月の表紙裏は牧野俊郎先生（京都大学）の高速分光装置でしか計測しえないグラフが掲載され、特集では日常生活で如何にふく射伝熱が大切であるか丁寧に解説されています。東日本大震災の避難所で上記知見が大いに活用されました。他、2016年1月号特集「新しいエネルギー変換」において、化学反応や熱伝導と並列で「ふく射伝熱」の研究が紹介され、2013年10月号「太陽熱発電」の特集で松原幸治先生（新潟大）がわ

かりすく太陽光の熱利用を解説されています。伝熱3形態「伝導・対流・ふく射」の通り、伝熱研究において「ふく射伝熱」が大切な分野であることを再確認できます。

さて私自身が「ふく射伝熱」に最初に触れることになったのは、燃焼における温度計測を大学院授業で聞いたもので、Mie 散乱の枠組みで球ベッセル関数が表れる難解なものでした。Mie 散乱の話を持ち出さずとも温度の4乗が表れ、形態係数に面倒な数値計算が必要であるなど、研究者になってからも正直敬遠していた分野でした。「伝熱」1999年7月号では花村先生がふく射伝熱に手厳しい評価をされていますし、2012年4月号の越後亮三先生が「ふく射伝熱」について、次のように記載されています。『～法，～現象，～の関係，～の式などが多く、ふく射伝熱では物理学からの「借り物」を基礎として研究活動が行われ、成果がふく射の学術体系に組み込まれるレベルのものはほとんどなかった。いまなお継続して続けられているふく射研究の最新の成果が伝熱におけるふく射研究に反映されていない現実を見て慨嘆せざるを得ない。』ふく射伝熱研究を進めるものとして、分野を敬遠していたことに反省するとともに、統計熱力学、量子力学、固体力学、電磁気学など幅広く勉強して知識を伝熱工学に取り組む努力を継続すべきと感じた一文です。

今回の特集（4月号，7月号）でお願いした先生方は、伝熱分野と分野外に広くわたり、手厳しい指摘に対する現役研究者からの回答になりうるかもしれません。近年のエネルギー問題解決は乾いた雑巾を絞る活動でもあり、太陽光エネルギーの熱利用など新しい熱源に挑戦する必要があります。国内外問わず、ナノテクを利用した放射冷却技術によるスタートアップ企業が生まれるなど、「ふく射伝熱」特集が特定推進課題の中間報告以上の価値を先生方に提供できればと思います。

## 大域的な熱制御へ向けた放射率の動的制御

Dynamic Control of Emissivity for Global Thermal Control

磯部 和真（岡山大学）

Kazuma ISOBE (Okayama University)

e-mail: isobe.k.ad@okayama-u.ac.jp

## 1. はじめに

我々が生活する地球上には、毎日太陽からの光が降り注ぐ。これは太陽から地球へのふく射伝熱に相当しており、日中に我々の住環境の温度が上昇する主要因となっている。また、太陽光と比べると地味ではあるが、地表面も宇宙空間に対して熱ふく射を放射している（放射冷却）。この放射冷却現象は、太陽光強度が弱い冬場において、ふく射を遮る雲が見られない夜の翌朝に、強く体感することができる。このような背景から、地球温暖化への対策が迫られて久しいが、空気中の二酸化炭素やメタン分子によって吸収される熱ふく射の懸念とは別に、地表面で受けるあるいは地表面から放射する熱ふく射のマネジメントが重要であると筆者は考えている。本稿では、この大域的な問題の解決に資することを目指した筆者の研究内容をいくつか紹介する。取り上げるトピックには着手してまだ日が浅い取り組みも多く、本誌の読者からすれば些か拙いものであることは承知しているが、温かい目でご覧頂ければ幸いである。

## 2. 二酸化バナジウムによる放射率の動的制御

## 2.1 研究背景

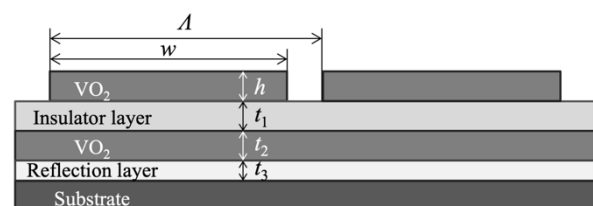
近年では可視光に対して極めて高い反射率を持ちながらも、赤外光に対して高い放射率をもたせることで放射冷却の促進を試みる白色塗料の提案が行われている[1]。しかし、放射冷却を促進するのみの材料を建物に塗布する場合、冬場の暖房負荷が増大する。そこで筆者は、高い温度では金属ライクな反射性を、低い温度ではガラスライクな透明性を持つサーモクロミック材料である二酸化バナジウム ( $\text{VO}_2$ ) に着目している。 $\text{VO}_2$  は機能性窓材等への応用も提案されており、様々な分野への応用が期待されている[2]。

## 2.2 数値シミュレーションによる微細構造設計

$\text{VO}_2$  の反射率（屈折率）が温度によって大きく変化する特徴を活かすため、サブミクロンスケールの微細構造に組み込みふく射の共鳴現象や干渉効果を引き起こすことで、幅広い波長帯に渡る放射率の制御を試みている[3]。図1は提案している周期的な多層膜構造の一例であり、任意の基板の上に反射膜、 $\text{VO}_2$ 、絶縁体、 $\text{VO}_2$  が順に積層されている。また、最上層の  $\text{VO}_2$  は幅  $w$  のストリップあるいは矩形構造であり、周期  $A$  で配置されている。高温環境下では、 $\text{VO}_2$  は金属 ( $m\text{-VO}_2$ ) として振る舞う。このとき、多層膜はいわゆる金属-絶縁体-金属 (metal-insulator-metal: MIM) 構造となる。MIM 構造は放射制御の観点からはよく知られた構造であり、その共鳴波長は表面プラズモンポラリトンや磁場との共鳴など、ふく射（光子）が物質内部の電子や格子の振動と結合する現象と関連付けて説明される[4-8]。一般に幅  $w$  を長くするほど共鳴波長が長くなる傾向があり、放射冷却が支配的な波長  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  の放射率制御に適している。

一方で低温環境下において  $\text{VO}_2$  は絶縁体 ( $i\text{-VO}_2$ ) として振る舞う。このとき、多層膜は反射層の上に屈折率の異なる絶縁体が3層積層した構造となる。透明な絶縁体多層膜の内部では、可視光の光干渉が生じる。そのため、反射層より上層の膜厚  $h, t_1, t_2$  を適切に決定することで、可視波長の吸収率を高め、太陽光の吸収を促進することができる。

図2に多層膜構造の周期  $A = 2000 \text{ nm}$ 、幅  $w = 1800 \text{ nm}$ 、厚さ  $h = 200 \text{ nm}$ 、 $t_1 = 200 \text{ nm}$ 、 $t_2 = 100 \text{ nm}$ 、

図1  $\text{VO}_2$  を用いた周期的多層膜の模式図

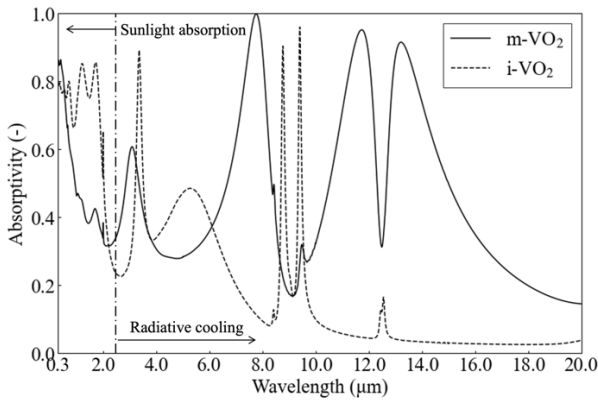


図2 多層膜の吸収率スペクトル ([3]より一部改変, Springer Nature より許諾を得て掲載)

$t_3 = 200 \text{ nm}$  としたときの多層膜の吸収率を、時間領域差分 (finite difference time domain: FDTD) シミュレーションから求めた結果を示す。なお、絶縁体にはシリカ ( $\text{SiO}_2$ )、反射層には金を用いた。 $\text{VO}_2$  が金属となる高温時には、波長  $0.3 \sim 2.5 \mu\text{m}$  の太陽光の吸収が 5 割程度に抑えられている。また波長  $8 \sim 14 \mu\text{m}$  には、吸収率が 1 に近づく 3 つのピークが共鳴により発現している。これらの放射率は  $\text{VO}_2$  が絶縁体となる低温時には逆転している。太陽光の波長においては、光学干渉により吸収率が約 0.8 まで上昇している。放射冷却については、 $9 \mu\text{m}$  近傍の半値幅の小さい共鳴ピークを除いて吸収率は 0.1 以下に抑えられている。今後は、高温時の放射ピークのさらなる広帯域化を中心とした構造の最適化により、ふく射熱の収支を改善することが課題となる。

### 2.3 ゼルゲル法による酸化バナジウム膜の成膜

$\text{VO}_2$  を用いた多層膜構造の放射率スペクトルを

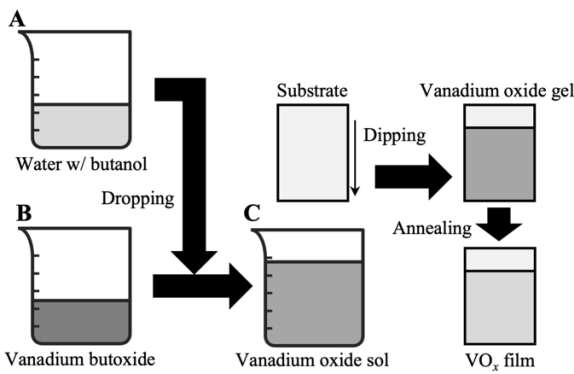
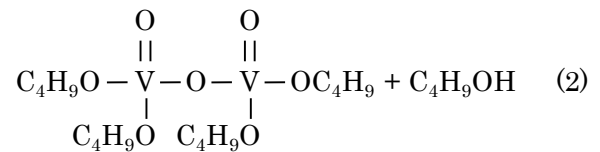
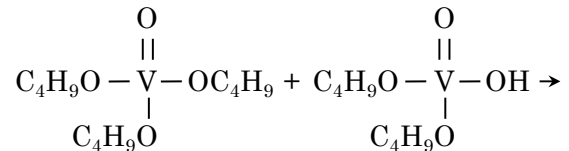
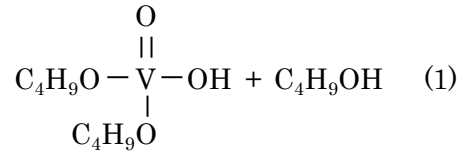
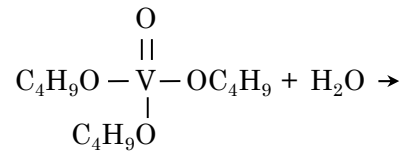


図3 酸化バナジウム薄膜の成膜手順

実験的に評価し、多層膜を屋外に設置した際に周囲温度に与える影響を実測することを長期的な目標として、任意の基板上へ  $\text{VO}_2$  を成膜するノウハウの蓄積に取り組んでいる。質の高い  $\text{VO}_2$  膜はこれまで、パルスレーザー堆積法[9]やスパッタリング[10]他様々な方法[11]で合成されている。一方筆者は、成膜可能な面積をできる限り広げる必要があることから、ゾルゲル法に着目している[12,13]。

図3は成膜手順の概略を示している。まず前駆体となるゾル液を調製する。Aは極少量の水とブタノールの混合液、Bはバナジウムアルコキシド(ここでは炭素数4のブトキシドを採用した)とブタノールの混合液である。Bに対してAをゆっくりと滴下することで、以下の加水分解と縮合重合反応を進行させる。



Aをゆっくり滴下した場合には、既に部分的に縮合が進行している分子に対しても(2)式の反応が生じるため、時間とともに透明かつ重合度の高いゾルであるCへと変化する。一方で、Aを急速あるいは過剰に滴下した場合、十分な縮合が生じないまま(1)式の加水分解が促進されるため、褐色あるいは緑色の沈殿が生じる。Aを滴下して数日程度時間をおいた後、ディップコーティングにより基板上に酸化バナジウムのゲル膜を成膜する。

最後に、数百度でアニール処理を行うことにより酸化バナジウムの結晶を得る。ここで、酸化バナジウム  $\text{VO}_x$  には V 原子に対する O 原子の比が 1.5 から 2.5 まで様々な同素体が存在するため、酸化あるいは還元雰囲気にてアニール処理を行うことで原子比を 1:2 に整える必要がある。また、基板の格子定数や不純物のドーピングが  $\text{VO}_2$  の結晶性や金属-絶縁体相転移温度に影響を与えることも知られており、シミュレーションから導かれる理想的多層膜を実現するにはまだまだ課題が多い段階である。

### 3. 光線追跡を用いた反射シミュレーション

#### 3.1 研究構想の概要

放射率が動的に変化する多層膜構造をパネル状に加工するなどして実際に屋外に設置した際に、周囲の構造物の材質、配置やパネルを設置する向きによって、周囲の温度がどのように影響されるかは工学応用上重要である。人間の目で直接認識できる程度のサイズスケールでは、ふく射のエネルギーバランスはふく射輸送方程式によって記述される。ふく射輸送方程式を解く手法の一つが、ふく射を光線と捉えてふく射が進行する軌跡を追いかける光線追跡 (Ray tracing) 法である[14]。これにより、物体表面あるいは内部での反射や散乱により光源から放射されたふく射がどこにどの程度到達するかを評価することができる。

ところで近年では、光線追跡の技術は学術領域よりも商業、文化の領域における応用が盛んである。例えば、コンピュータグラフィック (CG) を活用した映画あるいはビデオゲームにおいて、物体が光源から光を受けて生じさせる影の表現を豊かにするために光線追跡が用いられており、高速で演算するためのハードウェアの開発が続いている。また、オープンソースソフトウェアを用いるのみでも、十分に3次元の任意形状の物体あるいは雲のような散乱性媒質が光源からの光の伝播に与える影響を計算することが可能となっている。一般個人が現実的に用意できる機材やソフトによる CG 製作が可能であるという現状は、いわゆるメタバースと呼ばれる仮想空間を利用した新しい経済活動が注目されるに至った要因の一つであると筆者は考える。

さて、3DCG 製作ソフトウェアの本来の用途は、

可視光が反射、散乱を経て観測者の視点に到達する際の光の色や強度を、その製作者が意図する表現に近づけるといえるものである。ここで筆者は、光学の理論に沿った反射や散乱の演算を指定すれば、汎用性と学術性を併せ持つ光線追跡として応用が可能であると考え、オープンソースの 3DCG ソフトウェアの一つである blender[15]を用いて、複素屈折率が予めわかっている物質からなる構造の指向性反射率や透過率などを簡易に評価するための方法論を提案した[16]。本手法の詳細については、2022 年 4 月に本誌、*Thermal Science & Engineering* に掲載された筆者の論文にて説明しており、ソースコードの公開へ向けた準備も進めている。一般に広がるカジュアルな技術と科学的な議論とを結びつける本構想を通じて、次代を担う若手の方に（ふく射）伝熱への興味を持ってもらう一助となれば、筆者冥利に尽きるものである。

#### 3.2 金属板上に成長した霜柱の反射率評価

次に、光線追跡の応用として現在進めている取り組みを紹介する。冬季の屋外、特に熱交換器の室外機の表面への着霜は、熱抵抗や空気圧力損失を上昇させて機器の効率を低下させる。この霜層の除去を効果的に行うため、霜が吸収する赤外線照射により融解を促進させる試みが以前に行われている[17]。これを参考に、霜の形状や室外機表面の反射率、外部から放射されるふく射の入射角度がふく射吸収率に与える影響を光線追跡によって評価する。図4はアルミ板上に生じた霜柱の写真であり、細長い霜柱がランダムな方向に成長している。霜柱は基板の性状や周囲の温度、湿度

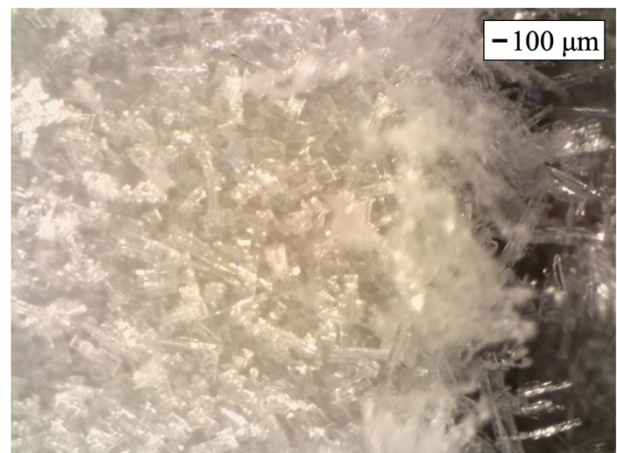


図4 アルミ板上に成長した霜柱



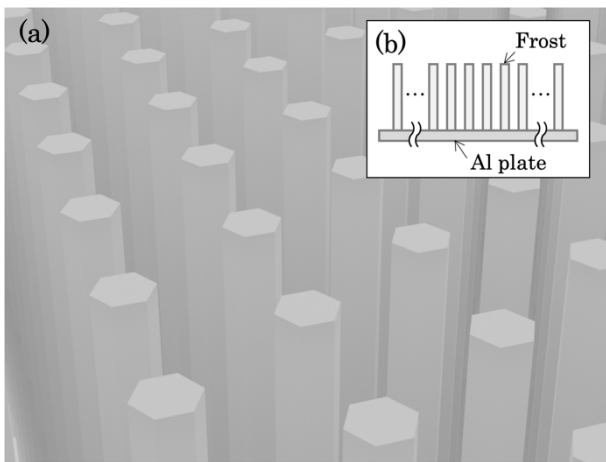


図5 (a)霜柱の3Dモデルと(b)側面図

により結晶の形状が変わることが古くより知られている[18,19]。観察された形状に加えて着霜時の温度条件や発生からの経過時間等を基に、3Dモデルを作成する。図5は霜形状を単純化した一例であり、六角柱形状の霜がアルミ板上に垂直かつ周期的に配列した3Dモデルとなっている。

図6は、波長  $1.0\ \mu\text{m}$  のふく射に対する、モデル全体、アルミ板を除いた霜柱、アルミ板単体の平均指向性反射率をそれぞれ示している。霜柱はこの波長のふく射をほとんど反射も吸収もしないため、アルミ板の反射率が全体の反射率に大きく影響を与えている。今後は、波長ごとの解析やモデルの高度化によって、融解の促進に繋がる表面の材質や構造などの検討に繋がりたいと考えている。

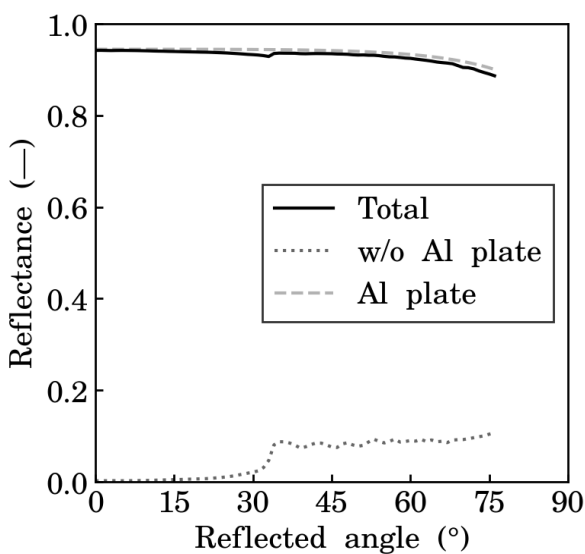


図6 平均指向性反射率

#### 4. 波長選択的なふく射と液体の相互作用

##### 4.1 研究背景

最後に、地球温暖化対策には直接関連しないが、ふく射伝熱が関連する研究をもう一つ紹介させて頂きたい。物体を加熱、乾燥する手法の中には熱ふく射を利用するものもある。Totaniらは、薬品の製造工程において、溶媒成分を低温かつ短時間で乾燥させることを目指し、波長選択的なふく射が乾燥速度に与える影響を明らかにしている[20]。一方で筆者は、波長選択的な赤外ふく射が食品の加熱速度や、加熱後の化学成分に与える影響に関心を抱いている。かねてより遠赤外線の効果を謳った加熱調理器具は広く市販されているが、放射波長の選択性を高めることでこれらの省エネルギー化を図ったり、付加価値を高めたりができないかという素朴な思いつきが本研究の骨子である。

##### 4.2 脂肪酸の加熱実験

食品に含まれる化学種のうち、比較的沸点の高い脂肪酸の一種であるオレイン酸を対象とした加熱実験を行っている。図7は加熱装置の模式図であり、ステンレス製の皿上に薄く充填されたオレイン酸が上部の放射体により加熱される構造となっている[21]。また、オレイン酸とステンレス皿の温度  $T_1$ ,  $T_2$  をそれぞれ TC1, TC2 にて測定している。放射体として、従来研究では2.2項で述べたものと類似のMIM構造を有する波長選択放射体を用いられている。本研究では、MIM構造や周期的なキャビティ構造[22]を有する波長選択放射体の製作にも並行して取り組んでいるが、製作が完了するまでの代替として、現在は赤外透過ガラスの片面に金薄膜をスパッタリングした放射体を用いている。図8はオレイン酸の吸光度[23]及び2種類のガラス放射体の放射率スペクトルである。なお、ガラス放射体の放射率は、屈折率スペクトルの文献値から計算される値を用いた[24,25]。

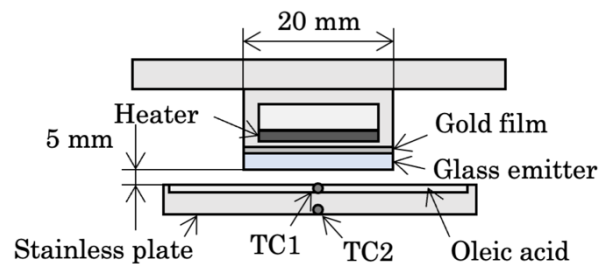


図7 加熱装置の概略図

図9は、2種類の放射体をそれぞれ用いたときの、TC1とTC2の温度差 $T_1 - T_2$ の経時変化を示している。オレイン酸とステンレス皿の温度差自体はわずかではあるが、オレイン酸の吸収ピークを含む波長4~9 $\mu\text{m}$ のふく射を放射する $\text{SiO}_2$ 放射体を用いた場合の方が、放射しない $\text{CaF}_2$ 放射体を用いた場合よりもオレイン酸の加熱が促進されている。しかし、時間経過と共にオレイン酸に吸収された熱エネルギーがステンレス皿に伝導していくため、現在の加熱形態ではふく射波長を制御することによる効果は徐々に薄まっていく。今後は、より放射波長を絞った放射体による加熱実験が必要な他、ふく射以外の要因による伝熱の制御も含めた、総合的な熱マネジメントが必要であることが示唆された。

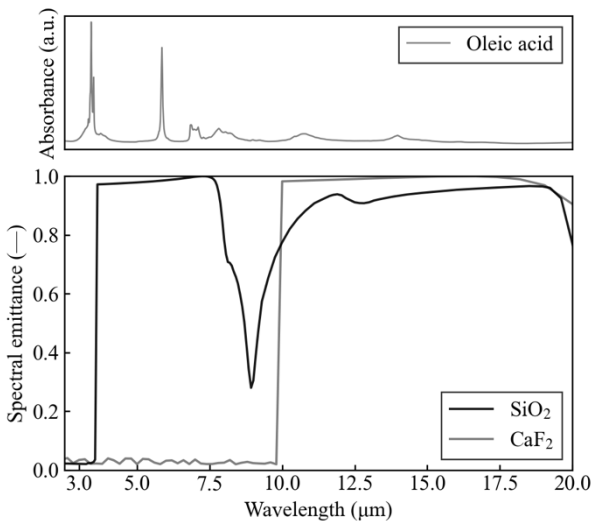


図8 オレイン酸の吸光度[23]とガラス放射体の放射率スペクトル[24,25]

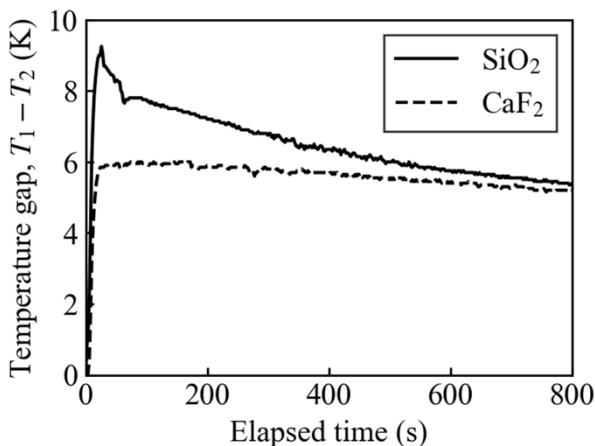


図9 温度差の経時変化

## 5. おわりに

本稿では、筆者が現職に着任して以降に取り組み始めた研究の概要を紹介させて頂いた。この十年ほどで取り入れられた光学や固体物理学の知見により、ふく射の波長制御の理論的な支柱が成熟してきた。その中で筆者に課された使命は、この制御技術を実社会に応用するための現実的なアプローチを検討していくことであると考えている。しかし、数値シミュレーションについては学生の時分より得意としていた一方で、その実験的な評価には中々苦戦しており、材料や精緻な分析装置製作の奥深さ、それらを成し遂げてきた先達の偉大さを噛み締める毎日である。赤外の光であり文字通り「不可視」のふく射が活躍する場面を「可視化」するため、視野を広く持って自然科学と向き合っていきたいものである。

## 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費助成事業より研究活動スタート支援(20K22394)および若手研究(22K14192)の助成を受けて実施しました。また、図4の霜柱の写真については筆者が所属する岡山大学工学部伝熱工学研究室の堀部教授より快くご提供頂きました。同研究室の山田講師及び研究に携わった学生達と併せ、この場をお借りして御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Li, X. et al., Ultrawhite  $\text{BaSO}_4$  Paints and Films for Remarkable Daytime Subambient Radiative Cooling, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **13-18** (2021) 21733.
- [2] Parkin, L. and Manning, T., Intelligent thermochromic windows, *J. Chem. Educ.*, **83-3** (2006) 393.
- [3] Isobe, K. et al., Absorptivity Control Over the Visible to Mid-Infrared Range Using a Multilayered Film Consisting of Thermochromic Vanadium Dioxide, *Int. J. Thermophys.*, **43-3** (2022) 44.
- [4] Bozhevolnyi, S. and Søndergaard, T., General Properties of Slow-Plasmon Resonant Nanostructures: Nano-Antennas and Resonators, *Opt. Express*, **15-17** (2007) 10869.

- [5] Liu, T. and Takahara, J, Ultrabroadband Absorber Based on Single-Sized Embedded Metal-Dielectric-Metal Structures and Application of Radiative Cooling, *Opt. Express*, **25-12** (2017) A612.
- [6] Lee, B., Wang, L. and Zhang, Z., Coherent Thermal Emission by Excitation of Magnetic Polaritons between Periodic Strips and a Metallic Film, *Opt. Express*, **16-15** (2008) 11328.
- [7] Bozhevolnyi, S., *Plasmonic Nanoguides and Circuits*, Pan Stanford Publishing Pte. (2009).
- [8] 梶川浩太郎, 岡本隆之, 高原淳一, 岡本晃一, アクティブ・プラズモニクス, コロナ社 (2013).
- [9] Muraoka, Y., Ueda, Y. and Hiroi, Z., Large Modification of the Metal-Insulator Transition Temperature in Strained VO<sub>2</sub> Films Grown on TiO<sub>2</sub> Substrates, *J. Phys. Chem. Solids*, **63** (2002) 965.
- [10] Hoshino, H. et al., Infrared-Light Switching in Highly Oriented VO<sub>2</sub> Films on ZnO-Buffered Glasses with Controlled Phase Transition Temperatures, *Sol. Energy Mater. Sol Cells*, **191** (2019) 9.
- [11] Warwick, M., Binions, R., Advances in Thermochromic Vanadium Dioxide Films, *J. Mater. Chem. A*, **2-10** (2014) 3275.
- [12] 日置さゆり, 大石知司, 高橋研, 中澤哲夫, 金属アルコキシドからの非晶質酸化バナジウムの合成, 日本セラミックス協会学術論文誌, **97-1126** (1989) 628.
- [13] Shi, Q. et al., Giant Phase Transition Properties at Terahertz Range in VO<sub>2</sub> Films Deposited by Sol-Gel Method, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **3-9** (2011) 3523.
- [14] Howell, J.R. et al., *Thermal Radiation Heat Transfer Seventh Edition*, CRC Press (2021).
- [15] blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software, (2021), <https://www.blender.org/>. Accessed 1 Dec. 2021.
- [16] 磯部和真, 山田寛, 堀部明彦, コンピュータグラフィックソフトを応用したふく射の指向性の汎用的評価手法, *Therm. Sci. Eng.*, **30-2** (2022) 23.
- [17] 稲葉英男, 大竹秀雄, 野津滋, 水平霜層の熱放射による上部融解に関する基礎研究, 日本機械学会論文集 B 編, **58-555** (1992) 3373.
- [18] 林勇二郎, 青木和夫, 着霜現象に関する研究：霜層成長の構造による分類, 日本機械学会論文集, **43-368** (1977) 1384.
- [19] Wu, X. et al., Mesoscale Investigation of Frost Formation on a Cold Surface, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, **31-8** (2007) 1043.
- [20] Totani, T. et al., Application of the Wavelength Selective Emitter with the Metamaterial of a Metal-Insulator-Metal to an Infrared Ray Drying Furnace, *Proceedings of the 16th International Heat Transfer Conference*, **IHTC16-24220** (2018) 5901.
- [21] 内山雄介, 堀部明彦, 山田寛, 磯部和真, 脂肪酸の選択波長赤外線加熱, 第43回日本熱物性シンポジウム, B143 (2022).
- [22] Kusunoki, F. et al., Narrow-Band Thermal Radiation with Low Directivity by Resonant Modes inside Tungsten Microcavities, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43** (2004) 5253.
- [23] NIST Chemistry WebBook, U.S. Department of Commerce, (2021), <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C112811>. Accessed 10 Jan. 2023.
- [24] Palik, E., *Handbook of Optical Constants of Solids: Volume 1.*, Academic Press (1985).
- [25] Palik, E., *Handbook of Optical Constants of Solids: Volume 2.*, Academic Press (1991).

## 散乱性媒体によるふく射伝熱制御 Control of Radiative Heat Transfer by Scattering Media

江目 宏樹 (山形大学)  
Hiroki GONOME (Yamagata University)  
e-mail: gonome@yz.yamagata-u.ac.jp

### 1. はじめに

伝熱の三形態の一つである「ふく射伝熱」とは内部エネルギーを電磁波（光）の形で放出し、その電磁波を吸収した物体が再び内部エネルギーに変換する形で行われる熱移動である。製鉄所や火力発電所における工業用燃焼炉に代表される高温場及び宇宙空間などにおいては、ふく射伝熱による熱移動の影響が顕著である。この光や熱の形で顕れる「ふく射」を制御することは工業的に非常に重要である[1]。例えば、近年においては、環境問題への配慮を背景に、太陽光発電や温度 3K の宇宙空間へのふく射冷却[2]、赤外線を利用した太陽電池とも言える熱光発電など、光エネルギーと熱エネルギーとの変換を利用した機器[3]が次々と提案されている。

ふく射の制御手法の一つに粒子で構成された「散乱性媒体」を用いるものがある[4]。例えば、雨が降ったあと、空気中に残った水粒子により、太陽光が七色に分光された虹に代表されるように、粒子と電磁波（光）は密接な関係を持つ。図1は微細粒子に電磁波が入射した時の相互作用を示したものである。このように媒質中の微細な粒子によって電磁波が様々な方向に分散される現象を散乱と呼ぶ。この現象をナノマイクロスケールから

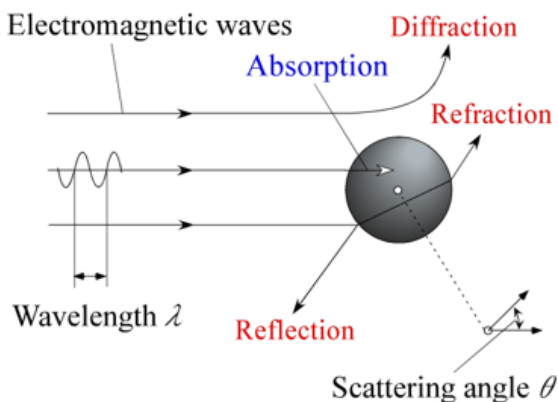


図1 粒子と光の相互作用

コントロールすることでマクロスケールの光や熱の現象を操ることが可能となる。著者はこれまで、この現象を用い、太陽光遮蔽ファンデーション[5]、紫外線遮蔽膜[6]、ミスト冷却手法[7]、遮熱塗料[8]-[14]などを研究してきた。本稿ではその一部を紹介する。

### 2. 基礎理論

#### 2.1 Mie 散乱理論

入射電磁波に対する単一球状粒子のふく射特性は、Maxwell 方程式から導かれる波動方程式を球座標系で解くことで厳密解を得ることができる。

$$Q_{sca} = \frac{2}{x^2} \sum_{k=1}^{\infty} (2n+1) (|a_n|^2 + |b_n|^2) \quad (1)$$

$$Q_{ext} = \frac{2}{x^2} \sum_{k=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}[a_n + b_n] \quad (2)$$

ここで  $x$  は粒径パラメータ、 $a_n$  及び  $b_n$  は Mie 散乱係数、 $Q_{sca}$ 、 $Q_{ext}$  は散乱効率、減衰効率を表す。減衰効率は散乱効率と吸収効率の和として定義されている。

#### 2.2 ふく射輸送方程式

本研究では散乱性媒体を模擬した一次元平行平板モデル（図2）内でふく射輸送方程式を光線放射モデルによるふく射要素法（REM<sup>2</sup>）[15]により解き、ふく射伝播を計算した。

### 3. 冷たい黒

#### 3.1 緒言

本稿では、まず、本技術を可視・近赤外領域に応用した、遮熱塗料の中でも熱くなりにくい黒色塗料（冷たい黒）の開発[11]について紹介する。自動車や住宅などの建築物外壁は普段、太陽光に曝されている。これらには美的観点から、黒など

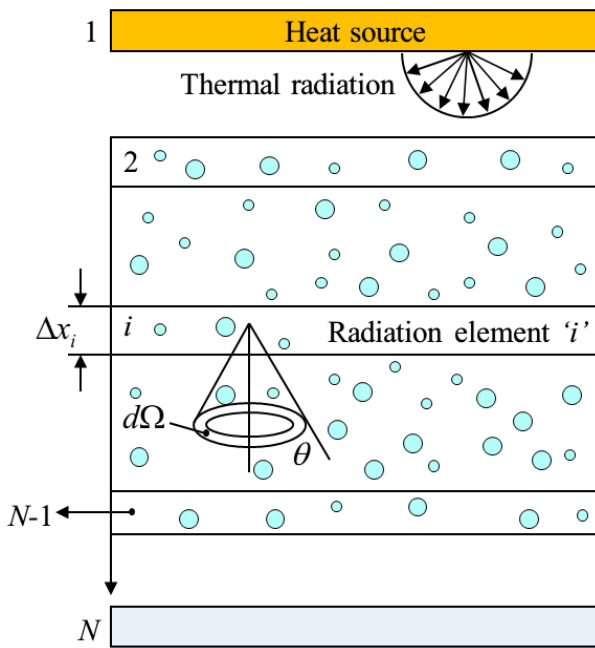


図2 ふく射輸送解析モデル

の暗い色調が多用されてきた。しかしながら、これらの色を有する表面は太陽光の可視領域（VIS）および近赤外領域（NIR）の吸収率が大きいいため、夏期の室内温度が上昇しやすく、冷房負荷を増大させる原因となっている。一方で、省エネルギー的な観点から、太陽光を良好に反射する白色塗料を表面に塗布すると、太陽光のエネルギー吸収を低減し、室内の加熱を防ぐことが可能である。しかし、これらの塗料はVISの反射が大きく、照り返しの眩しさや、汚れが目立つ等の欠陥を有している。このため、VISの反射を小さくして、太陽光エネルギーの約52%を持つNIRの反射を大きくするという波長選択性を有する遮熱塗料の実現が望まれていた。

### 3.2 研究内容

著者は、まずMie散乱理論から、粒子単体のふく射特性を理論的に計算した。そして、そのデータを導入し、ナノマイクロ粒子を用いたコーティング内のふく射輸送を計算し、コーティングの分光半球反射率を導出した。この解析により、粒子材料、粒子径、体積分率や膜厚を最適化し、使用する粒子を選定した。その粒子を使用してコーティングを作製し、分光半球反射率を測定した。解析結果が示唆したとおり、低い可視光反射率を維

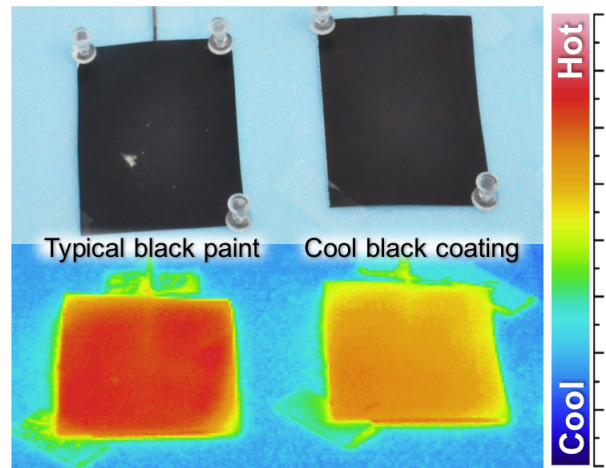


図3 冷たい黒の赤外線画像

持しながら、高い近赤外反射率を持つコーティング、いわゆる「冷たい黒」が実現できた。このコーティングの実用性を評価するため、実際に太陽光下で温度測定実験を行うと、一般的な黒色塗料と比べて10℃以上も表面温度が下がっていることが確認された（図3）[12]。

## 4. ふく射遮蔽防災装置

### 4.1 緒言

大規模火災において、ふく射熱は物体の延焼や避難者と消防職員の火傷を引き起こすなど、その影響は深刻である。

ミスト噴霧は、スプリンクラー[16]、パイプ、携帯用送風機、送風車、消防車両用自衛スプレー、火災の延焼を防止するためのウォータースクリーンホース（図4）、ドレンチャー、海洋施設や輸送船上での防火[17]など、消火設備として使用することができる。従来の消火設備ではウォーターミストを用いて炎の消火を狙っている。この設備を改良し、従来の設備にふく射熱の遮蔽性能を付与することが望まれる。

ふく射熱遮蔽に最適な消火設備の設計指針として、水粒子のふく射特性やウォーターミストのふく射遮蔽性能を定量的に評価することが重要であり、本稿ではその手法[18]を紹介する。本研究では、ふく射熱伝達解析を実施し、火災からのふく射熱伝達を最小化するため、最適な水滴サイズを導出した。



図4 消化ホースからのミスト噴霧

#### 4.2 水滴のふく射特性

広範囲の水滴径と波長に対して、単一水滴のふく射特性を計算した。Mie 散乱理論から計算した単一の水滴の吸収効率（Absorption efficiency）を図5に示す。グラフは横軸に波長、縦軸に水滴直径を示し、効率の大小をカラーバーで示している。波長  $3.0\ \mu\text{m}$ 、 $6.0\ \mu\text{m}$  の赤外領域で吸収効率が低い。この波長は水の固有の吸収バンドである。それ以外の波長領域では、粒子径が  $10\ \mu\text{m}$  を超えると吸収効率が上昇した。これは、その粒径の水滴がふく射熱を吸収して蒸発し、火元まで到達できず消火用の冷却源としての役割を果たせない可能性を示唆している。

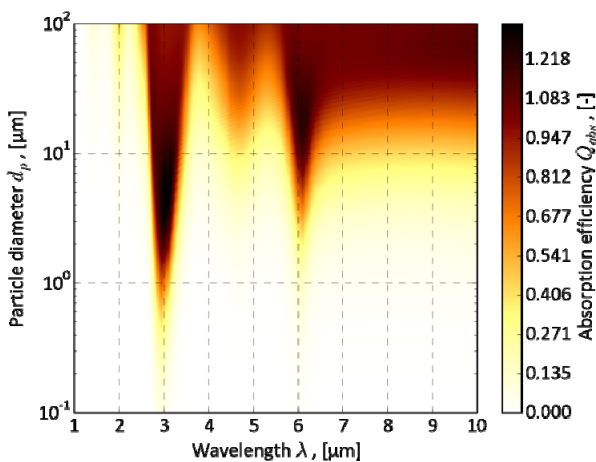


図5 水滴の吸収効率

#### 4.3 ミスト層の分光反射率

ミスト層を一次元平行平板系でモデル化し、ミスト層内のふく射伝達を解析した。計算の簡易化

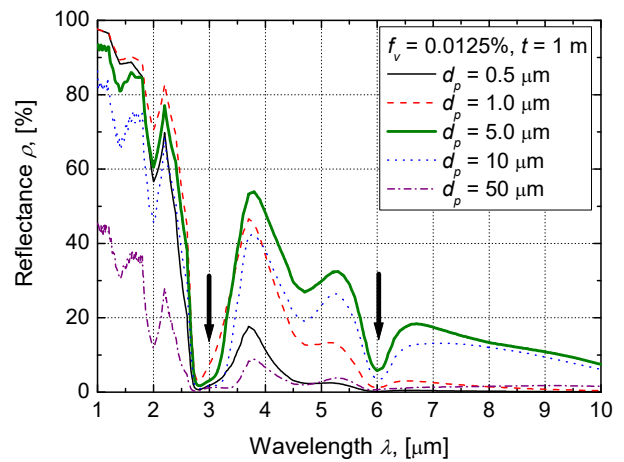


図6 ミスト層の分光反射率

のために、水滴の分散状態は単分散であると仮定している。実際は、液滴同士は衝突し、粒度分布が変化する。これは、粒子群のふく射特性に影響を与える。さらに、水滴の蒸発と周囲環境からの対流熱伝達も、本稿では考慮していない。水滴の最適粒径を特定するため、粒子径は一定であると仮定した。また、実際の炎のふく射スペクトル分布は非常に複雑であり、燃焼物によっても異なることから、黒体を熱源と仮定した。

水滴の体積分率  $f_v$  を  $0.0125\%$ 、ミスト層の厚さ  $t$  を  $1.0\ \text{m}$  とした場合のミスト層の分光反射率の計算結果を図6に示す。水滴による吸収が大きいため、波長  $3.0\ \mu\text{m}$ 、 $6.0\ \mu\text{m}$  の赤外領域で分光反射率は粒子径に関係なく低い。また、粒子径が  $1.0\ \mu\text{m}$  以上  $10\ \mu\text{m}$  以下の場合には、赤外領域での分光反射率が高くなっている。この結果は、ミスト層の分光反射率を水滴径によって制御できることを示している。具体的に言えば、例えば、ウィーンの法則から  $600\text{K}$  の熱源（火炎）からの熱ふく射の主波長は  $5\ \mu\text{m}$  であることが予想されるが、水滴径を  $1.0\ \mu\text{m}$  以上  $10\ \mu\text{m}$  以下の範囲に制御すると効果的にふく射を遮蔽できることが示唆されている。

#### 4.4 ミストのふく射遮蔽性能の評価実験

実際のミスト層の遮蔽性能を調べるために、実験装置を用いてミスト層によるふく射減衰量を測定した。実験装置の模式図を図7に示す。熱源には、 $1,000^\circ\text{C}$  に設定した黒体炉（IR-R2、チノー株式会社）を用いた。検出器にはレーザーパワーメータ（PM10、シグマ光機株式会社）を用いた。公

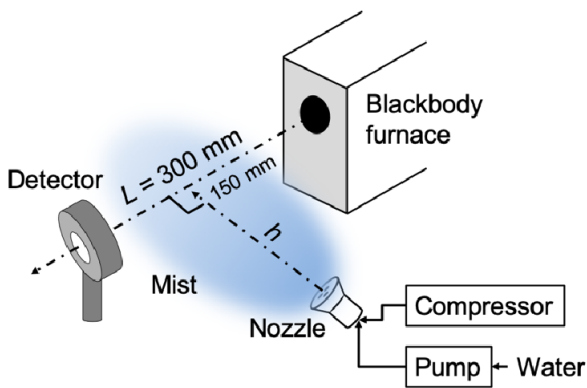


図7 ふく射遮蔽評価実験装置の概念図

称噴霧粒径  $d_p = 5 \mu\text{m}$  のノズル A と、公称噴霧粒径  $d_p = 11 \mu\text{m}$  のノズル B の二種類の異なる二流体ノズルを使用した。ノズルにはポンプ (NP-FX-100, 日本精密科学株式会社) と圧縮機を接続した。空気圧  $0.3\text{MPa}$  で、水の流量は、ポンプを用い、 $30, 40, 50 \text{ ml/min}$  と制御した。黒体炉とレーザーパワーメータとの距離  $L$  を  $300 \text{ mm}$  に設定する。その midpoint の垂直方向に距離  $h$  を  $50, 100, 150 \text{ mm}$  を取り、ノズルから水平方向にミストが噴霧するように実験装置を構築した。まず、黒体炉からレーザーパワーメータへの初期熱伝達量  $E_0$  を測定した。そして、ミスト噴霧を開始し、ミスト噴霧が安定してから  $10$  秒間、ミストを介した熱伝達量  $E_m$  を測定した。最後に、次式によりミスト層のふく射遮蔽率  $\eta$  を算出した。

$$\eta = \frac{E_0 - E_m}{E_0} \times 100 \quad (3)$$

ミストの流量およびノズル位置を変化させたときのふく射遮蔽率の測定結果を図8に示す。エラーバーは  $10$  秒間の測定で記録された最大値と最小値を示している。実験には噴霧粒径の異なる二種類の異なる二流体ノズルを使用した。両ノズルからの結果から、遮蔽率は流量の増加に伴って増加することが明らかになった。これは、光路内の水滴の体積分率が流量の増加に伴って増加するためである。また、両ノズルともノズル位置  $h$  が  $100 \text{ mm}$  のときに遮蔽率が最も高くなった。この結果から、噴霧位置から  $100 \text{ mm}$  の位置で公称噴霧粒径に近い噴霧が実現されていることが示唆された。噴霧されたミストは放射状に広がるため、ノズル

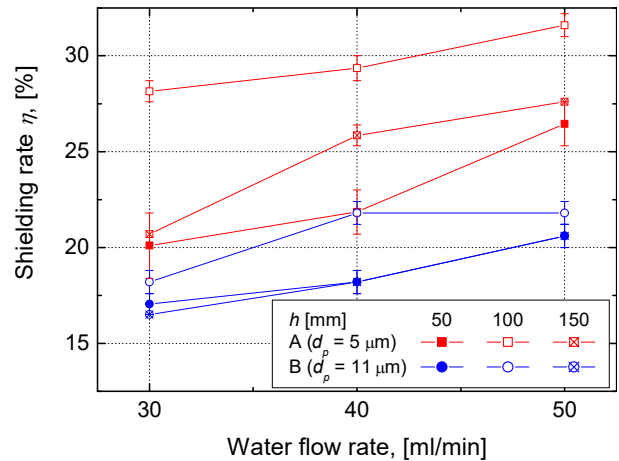


図8 ふく射遮蔽率に及ぼす水滴径、水流量とノズル位置の影響

位置が遠くなるとミスト濃度は低下する。ノズル位置が近い場合、ミストが均一に分散せず、噴霧粒径が異なった可能性が考えられる。ノズル位置が遠くなるとミストが空気中を滞留する時間が長くなるため、ミストの粒径が徐々に変化し、 $100 \text{ mm}$  の位置で最適な液滴径になった可能性が示唆された。また、どのノズル位置でも、どの流量でも、ノズル A の遮蔽値はノズル B の遮蔽値よりも高く、計算で予測された通りであった。この結果から、ミスト層の分光反射率は水滴径によって制御できることが確認された。

## 5. 遮熱化粧品

### 5.1 緒言

地球温暖化やヒートアイランド現象の影響からか、近年、熱中症の患者数・死亡者数は増加傾向にある。熱中症は、代謝熱と外熱の和が人の許容熱量を超えたときに起こる。熱中症の原因となる最も大きな外部熱源は太陽光であり、特にスポーツなど屋外での運動時に発生しやすい。熱中症対策として、本研究では遮熱化粧品[5]を提案する。

化粧品は、光のスペクトルと密接な関係がある。例えば、日焼け止めは、紫外線から人間の皮膚を保護するために開発された[19]。さらに、VIS では、肌の美観をコントロールするために化粧品が使用されている[20]。近赤外線は太陽光のエネルギーの  $52\%$  を占めるが、近赤外線を制御する化粧品は存在しない。

## 5.2 研究内容

本研究では、2種類の遮熱化粧品を理論的に設計した。1つは、すべての太陽熱を遮断することを目的とした遮熱化粧品である。このため、すべての太陽光の波長域を反射する。もう一つのタイプは分光選択性化粧品であり、自然な肌の外観を維持しながら、同時に太陽熱を遮断することを目的としている。そのため、化粧品層のVISの反射率は人間の肌の反射率に近く、NIRの反射率は高くなければならない。

提案する遮熱化粧品の理論設計では、化粧品粒子のふく射特性を計算した。化粧品粒子の材料として、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Au}$  (図9)、 $\text{Ag}$  を選択し、従属散乱におけるふく射特性を考慮し、化粧品層におけるふく射伝達を計算し、粒子径と材料が化粧品層のスペクトル特性に及ぼす影響を検討した。

$\text{Au}$  化粧品では、粒子径が  $0.1 \mu\text{m}$  の場合、分光反射率は素肌のものよりも低い。粒子径が  $0.18 \mu\text{m}$  の場合、NIR で素肌より高い分光反射率を示した。同時に、VIS では素肌と同程度の分光反射率になる。波長  $1.5 \mu\text{m}$  以上では、 $d_p = 10 \mu\text{m}$  の化粧品の分光反射率は、 $d_p = 0.18 \mu\text{m}$  の化粧品の分光反射率より高くなっている。しかし、そのスペクトル領域での日射量はそこまで多くないため、遮熱性能は高くない可能性がある。これらの分光反射率から、 $\text{Au}$  は分光選択性化粧品に適している。

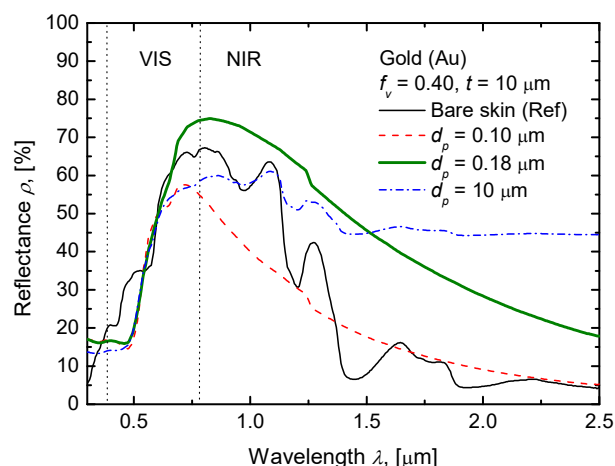


図9 人間の皮膚上の  $\text{Au}$  化粧品の分光反射率に関する計算結果

## 6. おわりに

本研究は散乱性媒体によるふく射制御を特に波長選択性の制御に応用した。しかし、散乱性媒体の制御はまだまだ多くの対象に応用することができると考えている。この技術をより精緻に汎用性高く確立させ、ナノスケール現象をマクロ現象に展開させるような技術確立を今後も進めていきたいと考えている。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K14609, 21K14087, 能村膜構造技術振興財団, 双葉電子記念財団, 旭硝子財団, 日揮・実吉奨学会, 御器谷科学技術振興財団, 総務省消防庁「消防防災科学技術研究推進制度」, NEDO「官民による若手研究者発掘支援事業/マッチングサポートフェーズ」の助成を受けて行われた。また、本研究は、東北大学流体科学研究所の共同研究事業の一環として行われた。ここに記して謝意を示す。

また、本稿の執筆の機会をいただいた宮崎康次先生 (九州大), 遮熱塗料研究でご指導いただいた圓山重直先生, ふく射遮蔽防災装置の開発にお力添えいただいた古川琢磨先生 (八戸高専), 守谷修一様, 岡島淳之介先生 (東北大流体研), 遮熱化粧品研究でお力添えいただいた山田純先生 (芝浦工大) に深謝いたします。

### 参考文献

- [1] 円山重直, 光エネルギー工学, 養賢堂 (2004).
- [2] Chen, Y. et al., Colored and paintable bilayer coatings with high solar-infrared reflectance for efficient cooling, *Sci. Adv.*, **6-17** (2020) eaaz5413.
- [3] Lipiński, W. et al., Progress in heat transfer research for high-temperature solar thermal applications, *Appl. Therm. Eng.*, **184** (2021), 116137.
- [4] Modest, M. F., *Radiative heat transfer*, Academic press (2003).
- [5] Gonome, H. and Yamada, J., Optimization Method for Developing Spectral Controlling Cosmetics: Application for Thermal Barrier Cosmetic, *Coatings*, **8-8** (2018), 286.



- [6] Gonome, H. et al., Experimental evaluation of optimization method for developing ultraviolet barrier coatings, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **133** (2014), 454-463.
- [7] Gonome, H. et al., Solar barrier performance of water mist cooling: Applications using nano- and microsized droplets and bubbles, *Appl. Therm. Eng.*, **171** (2020), 115083.
- [8] Baneshi, M. et al., The effect of particles size distribution on aesthetic and thermal performances of polydisperse TiO<sub>2</sub> pigmented coatings: Comparison between numerical and experimental results, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **113** (2012), 594.
- [9] Gonome, H. et al., The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles, *J. Therm. Sci. Technol.*, **7** (2012), 364.
- [10] Gonome, H. et al., Radiative properties of spectral selective coatings pigmented with TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Heat Trans. Asian Res.*, **42** (2013) 352.
- [11] Gonome, H. et al., Controlling the radiative properties of cool black-color coatings pigmented with CuO submicron particles, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **132** (2014) 90.
- [12] Gonome, H. et al., Control of thermal barrier performance by optimized nanoparticle size and experimental evaluation using a solar simulator, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, **149** (2014) 81.
- [13] Baneshi, M. et al., Cool black roof impacts into the cooling and heating load demand of a residential building in various climates, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **152** (2016) 21.
- [14] Gonome, H. et al., Artificial chameleon skin that controls spectral radiation: Development of Chameleon Cool Coating (C<sup>3</sup>), *Sci. Rep.*, **8** (2018) 1196.
- [15] Maruyama, S. and Aihara, T., Radiation Heat Transfer of Arbitrary Three-Dimensional Absorbing, Emitting and Scattering Media and Specular and Diffuse Surfaces, *J. Heat Transfer*, **119** (1997), 129.
- [16] Marshall, A. W. and di Marzo, M., Modelling Aspects of Sprinkler Spray Dynamics in Fires, *Process Saf. Environ. Prot.*, **82** (2004), 97.
- [17] Dombrovsky, L. A. et al., A comparative analysis of shielding of thermal radiation of fires using mist curtains containing droplets of pure water or sea water, *Int. J. Therm. Sci.*, **152** (2020), 106299.
- [18] Gonome, H. et al., Protection from thermal radiation of hazardous fires: Optimizing microscale droplet size in mist barriers using radiative transfer analysis, *Process Saf. Environ. Prot.*, **143** (2020), 114.
- [19] Diffey, B. and Robson, J. A new substrate to measure sunscreen protection factors throughout the ultraviolet spectrum, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **40**, (1989), 127.
- [20] Luke, S. M. and Vukusic, P., An introduction to biomimetic photonic design, *Europhys. News*, **42**, (2011), 20.

## サーマルフォトンクス Thermal Photonics

櫻井 篤（新潟大学, JST さきがけ）  
Atsushi SAKURAI (Niigata University, JST PRESTO)  
e-mail: sakurai@eng.niigata-u.ac.jp

### 1. はじめに

最近，“熱ふく射とは何か？”と悩んでいる。何を今さらと思われるかもしれない。私が学生時代に熱ふく射という学問に出会ってから、わかった気になった時代もあり、そしてまた、わからなくなる時期を繰り返して現在に至っている。

今、この記事のタイトルは“サーマルフォトンクス”と名付けている。熱ふく射が良いではないか。なぜそうタイトルを付けなかったのかは後述する私の悩みと関連している。

熱ふく射の研究分野では、10年ほど前から、メタマテリアルと呼ばれる人工超物質を用いて熱ふく射制御を行う研究が盛んになった[1]。それこそ、世界的な大ブームになって、研究分野を超えて様々な優れた成果が出現した。

そして現在、ホットな話題は、熱ふく射の非平衡性やトポロジカル物質を用いた非相反性を用いることによって、従来では考えられなかったエネルギー輸送や熱ふく射制御方法が提案されている[2]。これらを理解するには、従来の伝熱工学の教科書に書かれた「ふく射伝熱」の考え方は通用せず、フォトンクスという光の根源を理解する研究に一步踏み込まなければならない。

本稿では、これまでに著者らが行ってきたメタマテリアルによる熱ふく射制御の研究を紹介すると共に、現在行っている非平衡ふく射を用いたサーマルフォトンクス発電について紹介したい。

### 2. メタマテリアルによる熱ふく射制御

メタマテリアルの研究では、ナノ・マイクロ構造体を一つの原子と捉え、そのメタ原子を集積することによって光を操作する新物質を産み出そうとしてきた[3]。ただ、メタ原子を三次元的に配列するのは、現代でも技術的に困難である。一方、メタ原子を表面だけに集積化させるのは比較的簡単で、メタマテリアルの2次元版、それはメタサーフェスと呼

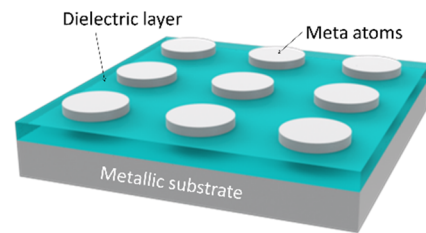


図1 メタサーフェスのイメージ図。個々の金属パターン周辺部がメタ原子として作用する。

ばれている（図1）[4, 5]。

そこで我々は、メタサーフェスによる熱ふく射制御に関する理論計算の研究を行ってきた[6]。従来、機械工学系における熱ふく射の学問では、熱ふく射を波動として扱うことは稀であったように思われる。すなわち、熱ふく射の起源は気にせず、熱ふく射のフォトンが、壁面あるいは空間中から放出される、そしてそれがどのように他の場所へ輸送されるのかといった熱エネルギー輸送の観点に重きが置かれていた。この場合は、考えている系が熱ふく射波長よりも十分大きいために、支配方程式はふく射輸送方程式となり、波動を細かく考える必要はなかったのである（注：散乱位相関数に波動の効果を入れることはできる）。しかし、メタサーフェスのように考えている系が熱ふく射波長と同程度の場合は、当然、波動として扱わなくてはならず、支配方程式は電磁気学のマクスウェル方程式となる。ここから熱工学とフォトンクスが融合した境界領域の研究に踏み入れることとなった。

我々の理論計算に興味を持ってくれた実験研究者の方々にご協力を頂いて、見事に理論計算と実験結果が一致する研究成果を得ることができた[7]。それが図2に示される大面積メタサーフェスとその分光測定結果である。

ここで、なぜメタサーフェスを使うと特定の波長

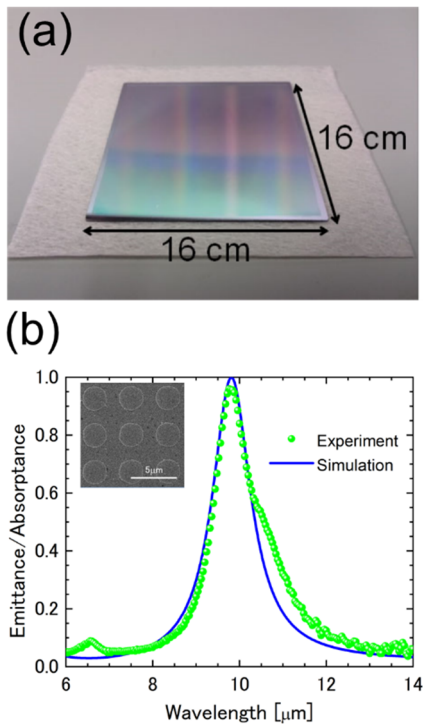


図2 (a) Al/CeO<sub>2</sub>/Al 大面積メタサーフェスの写真，(b) 放射率/吸収率の分光測定および計算結果（挿入図はメタ原子のSEM画像）

でのみ選択的に熱ふく射を取り出せるのかを説明する。このメタサーフェスは金属部分がアルミニウム，誘電体部分が CeO<sub>2</sub> である。アルミニウムだけなら，赤外領域での光反射率はほぼ 100% 近いので，キルヒホッフの法則から放射率は 0 のはずである。しかし実験結果は逆に放射率 1 に近い。これは金属 - 誘電体 - 金属(MIM)構造が一つのメタ原子となり，特定の周波数の光と共鳴するような構造になっているからである。この時，メタ原子の中では，アンペールの法則に基づいて，磁場の増強と共に金属中の電流も増強されるため，言わば一つの光アンテナとして動作することがわかっている。このように空間中を伝播する光と MIM 構造が共鳴してエネルギーのやりとりをする物理現象は **Magnetic Polariton (MP)** と呼ばれている[1, 6-8]。

この MIM 構造を用いた熱ふく射制御の研究は，金属パターンの大きさで自由に波長帯を変えられるため，極端に長い波長帯でも応用可能である。JAXA 宇宙科学研究所の太刀川純孝先生は，この MIM メタサーフェスに興味を持ってくださり，現在は赤外天文衛星や次世代小惑星探査機のラジエータとして応用できないかを共同研究している。

### 3. 機械学習を用いた超狭帯域熱ふく射エミッターの設計

今でこそ，機械学習はどこでも誰でも使えるようなツールになりつつあるが，数年前に Google のデミス・ハサビス博士が AlphaGo を世に出したあたりは，まだ材料設計に機械学習を使う研究は黎明期にあった。メタサーフェスの研究でも，材料の組み合わせや構造パラメータだけでも候補数は無限に近い。そこで，機械学習を用いることで熱ふく射エミッターの設計が行えるのではと着想した[9]。

ちょうどその頃，東京大学の塩見淳一郎先生が，同じく東京大学で AI 研究のトップランナーである津田宏治先生と組んで，フォノン輸送計算に機械学習を組み込んだ面白い研究を行っており，共同研究が開始された。我々はフォノン輸送計算のところを電磁波解析による熱ふく射計算に置き換えるだけなので，計算のプラットフォーム自体はすぐに完成した。

機械学習を用いた設計の流れを図3に示す。

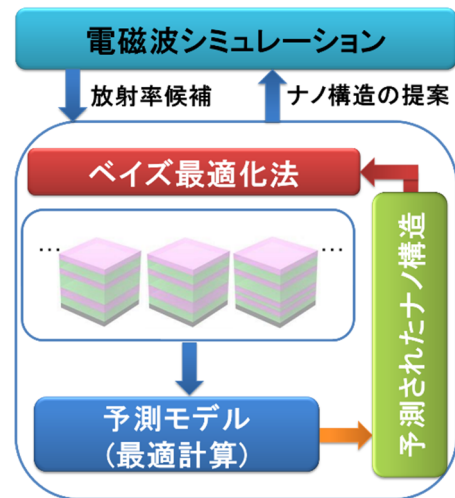


図3 機械学習を用いた超狭帯域熱ふく射エミッターの設計フロー

この研究では，多層膜構造における材料の組み合わせや膜厚を最適設計する目的で行った。このような研究は過去にも遺伝的アルゴリズムなど他の最適設計手法もあるため，一見簡単そうに見える研究であったが，実際にやってみるとそうではないことに気付いた。例えば，三種類の材料を  $N$  層に並べようと考えたとき，単純に候補数は  $3^N$  通りとなる。5層程度なら問題なくとも，10層，20層あたりから組み合わせ候補数が莫大な大きさとなり，すぐに組

み合わせ爆発と呼んでも良いくらいの計算規模になってしまう。この規模になると、やはり機械学習のように計算アルゴリズム自身が、最適経路を学習して最短でゴールに到達するような手法が効果を発揮する。

本研究では、波長帯 5, 6, 7  $\mu\text{m}$  帯に狭帯域熱ふく射を発現させるため、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}$  の三種類の材料をどのように並べるかを設計した。この場合は、約 80 億通りの候補数があるが、機械学習を使うと全体候補数の 0.5% 程の計算量で最適計算を行うことができた。その結果を図 4(a) に示す。今で考えれば一つ一つ網羅的に計算できてしまう範囲ではあるが、研究当時は膨大な計算量であった。現在では、機械学習アルゴリズムも随分と進化しているので、億どころか兆単位の候補数の最適計算も可能である。

この研究で目新しかったことは、機械学習による最適設計だけでなく、その設計に基づいて実際に熱ふく射エミッターを作製したことである。多層膜構造はスパッタリングによって作製できるので、完

成したサンプルを NIMS に持ち込み、長尾忠昭先生に FTIR による実験にご協力頂いて、図 4(b) に示すように狭帯域熱放射スペクトルの観測に成功した。波長帯は計算上の誘電関数の違いから少しずつ長波長側にシフトしているが、実験的にも Q 値が 200 に迫るほどの狭帯域性を持つ熱ふく射エミッターの開発に成功し、機械学習の有効性を実験的にも実証したことになった。

#### 4. サーマルフोटニクス発電

機械学習の研究が一段落着いた頃、幸運なことに JST さきがけに採択して頂いた。さきがけ研究では、遠方場でも黒体放射限界を超えられるか？ という学術的な問いに挑戦してきた。

熱ふく射を理解する上では、“フォトン”として扱う場合から、“波動”として扱うように考えてきたがここでまた“フォトン”に戻るようになった。

熱ふく射の起源は、次のように説明されている。例えば二酸化炭素は、炭素原子 1 つと酸素原子 2 つが結びついているが、その振動モードによっては分子中に電荷の偏りが生じる。分子振動と共に、その偏った電荷も一緒に振動するので、あたかもそこに電流源があるような状況になる[10]。これは MIM メタサーフェスの研究にもあった光アンテナが、二酸化炭素分子にも存在している、それが熱ふく射の放射源となっているということである。これは熱ふく射を電磁気学的に見た理解の仕方であって、説明として正しいことは間違いないのであるが、一方でその説明では理解できない物理現象がある。それは、半導体材料における非平衡ふく射である。

半導体中では電子が存在できないエネルギー状態、すなわちバンドギャップがあるために、フォトンの吸収・放出が生じる。このような半導体工学の観点から見ると、まず熱平衡系における熱ふく射の別の見方ができるようになった。どんな物質でも電子状態は色々存在していて、その中で電子は、熱エネルギーをもらって、モグラ叩きのようにポコポコと上のエネルギー状態に上がることもあれば、熱ふく射フォトンを放射して、下のエネルギー状態に下がることもある。熱平衡系は、この絶妙なバランスの上に成り立っていると言える。

半導体中では、前述の通りバンドギャップが存在するので、そのバンドエッジに落ちてきた電子は、電子・ホール再結合により、フォトンとなって放出

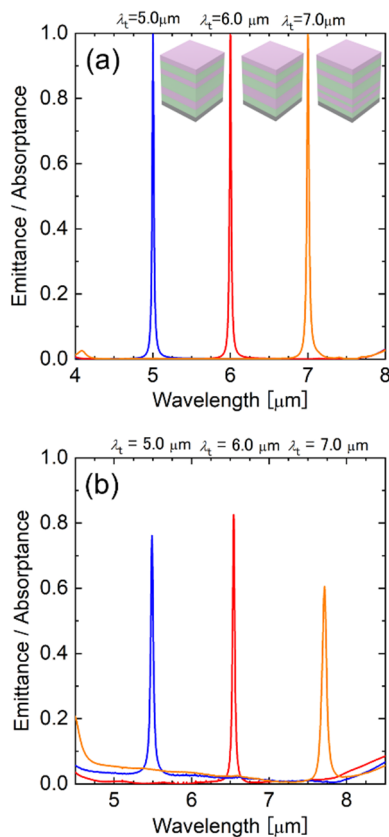


図 4 (a)機械学習による最適構造と予測された放射率スペクトル、(b)多層膜構造の分光測定

される。バンドエッジに落ちてくるまでの電子は、周囲の格子と衝突したり熱ふく射光子としてエネルギーを失ったりして熱化する。電流注入して非平衡状態にすると、その放出確率が格段に大きくなるので、こういった一連の光放出過程を私は非平衡ふく射と呼んでいる。そうすると、熱ふく射とはそもそも一体何だろうか悩んでしまう。非平衡系においては、熱エネルギーによってアシストされたルミネッセンスによる光子放出という理解であり、半導体フォトニクスのお考え方に近いのだと自分を納得させている。

では、これを熱工学の観点からどのように応用させていけば良いのか、そのために JST さきがけで研究してきた内容の変遷について述べたい。まず、最初に目指したのは、遠方場においても黒体放射限界を超える Super Planckian 熱ふく射輸送が可能なのかどうかについて調べることであった。黒体放射限界とは、Planck の法則で導かれる黒体放射エネルギーが、全ての物質における熱ふく射エネルギーの最大値であって、それを超えることは不可能ということである。それを無謀にも超えてやろうということで始まった研究であるが、残念ながらこれは無残な結果に終わった。

例えば、図5に示すようにナノ・マイクロスケールの構造体をうまく光共振状態にすれば、個々の構造体で光の吸収断面積が、幾何学的断面積より大きくなるため、“Planck 放射×吸収断面積”分のエネルギー輸送が大きくなると考えられている。（注：これは Planck 放射を超えているわけではなく、見かけ上の断面積が大きくなっているだけである）ならば、これらのナノ・マイクロスケールの構造体を多数並べてアレイ化し、マクロスケールに展開しようとしても個々の共振状態を重ね合わせることは、熱平衡状態においては不可能である。つまり、吸収断面積と幾何学断面積が近い値となってくるため、Super Planckian 熱ふく射輸送とはならないことが明らかとなった。より詳細な説明は、Kats らの研究グループによる解説記事を参照されたい[11]。

そこで研究方針を修正し、前述の非平衡ふく射に着目することになった。電流注入することによって、非平衡状態にすれば非 Planck 放射（Super Planck 放射ではない）になるのは当然として、それを如何にして熱工学的に応用するかという問題に対しては、サーマルフォトニクス発電（Thermal Photonics: TPX）

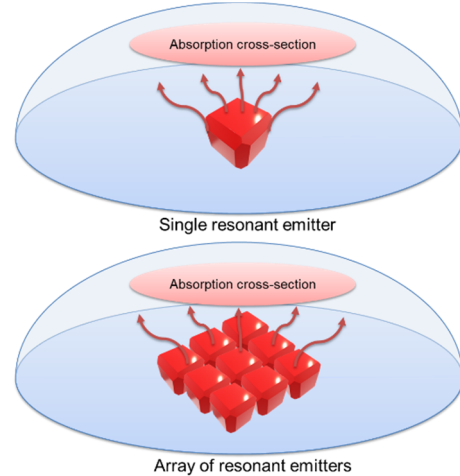


図5 単一の共振状態にあるエミッターと、複数の共振エミッターをアレイ化した場合の吸収断面積

が一つの解答になりそうである[12]。サーマルフォトニクス発電とは、図6に示すように従来の熱光起電力発電と良く似たシステム構成であるが、エミッター部分に非平衡ふく射エミッターを採用していることが異なる。さらに非平衡ふく射エミッターを駆動させるための電流源は、光起電力セルにおける発電量の一部を持ってくるため、あたかもガスタービンエンジンにおいて、タービンの出力の一部を使ってコンプレッサーを駆動させるのと似ている。

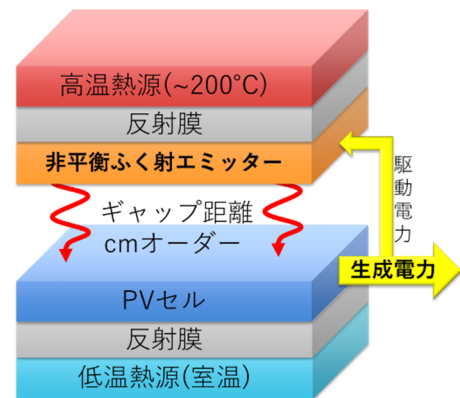


図6 サーマルフォトニクス発電の概要図

本研究では、非平衡ふく射エミッターおよび光起電力セルとして、中赤外領域にバンドギャップを持つ二次元材料である黒リンに着目した[13]。中赤外領域では、AlGaAs や InSb などの化合物半導体もバンドギャップを持つが希少物質であるため、製造コストが高くなる。一方、二次元材料はファンデルワールス力によって積層が可能であるため、低コスト

の次世代の半導体としても注目されている。

非平衡ふく射エネルギースペクトルは、次式で表される一般化プランク則に従う[14].

$$E_\lambda = \frac{\hbar\omega^3}{2\pi c_0} \frac{1}{4\pi^2} \int_0^\infty \xi(\omega, \beta) \beta \frac{1}{\exp\left(\frac{\hbar\omega - \mu}{k_B T}\right) - 1} d\beta \quad (1)$$

ここで、 $\hbar$ は換算プランク定数、 $c_0$ は光速、 $\xi$ はエネルギー伝達係数、 $\beta$ は波数ベクトル、 $\omega$ は角周波数、 $\mu$ は化学ポテンシャル、 $k_B$ はボルツマン定数、 $T$ は温度を表す。一般化プランク則は、フォトンの確率分布を Bose-Einstein 分布で表現することによって、非平衡発光および熱ふく射を同一の式で表すことができる。この方程式を解くために、揺動電磁気学シミュレーションを採用した。この数値解析法では、物質内部におけるフォトンの吸収・放射を直接的に表現することができる[15].

この手法によって、2物体間における光エネルギー輸送を解析した結果を図7に示す。温度条件としては、高温側を450 K、低温側を300 Kと設定した。黒リンを用いた非平衡ふく射エミッターに電流注入することにより、物質内部の化学ポテンシャルが変化するため、バンドギャップ以上の光周波数帯において、黒体放射よりも大きなエネルギー輸送が可能となっていることがわかる。

次に、サーマルフォトニクス発電としての性能を評価する。比較のために、非平衡ふく射エミッター側に電流注入しない場合、すなわち従来の熱光起電力発電をリファレンスとする。その結果を図8に示す。この結果から、サーマルフォトニクス発電は、同温度条件において、熱光起電力発電と比べても10倍ほどの発電密度を持つことがわかる。また、

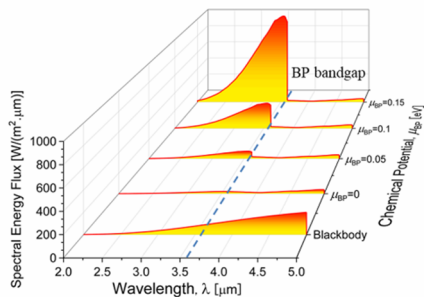


図7 TPXシステムにおけるエネルギーフラックスの化学ポテンシャルによる影響

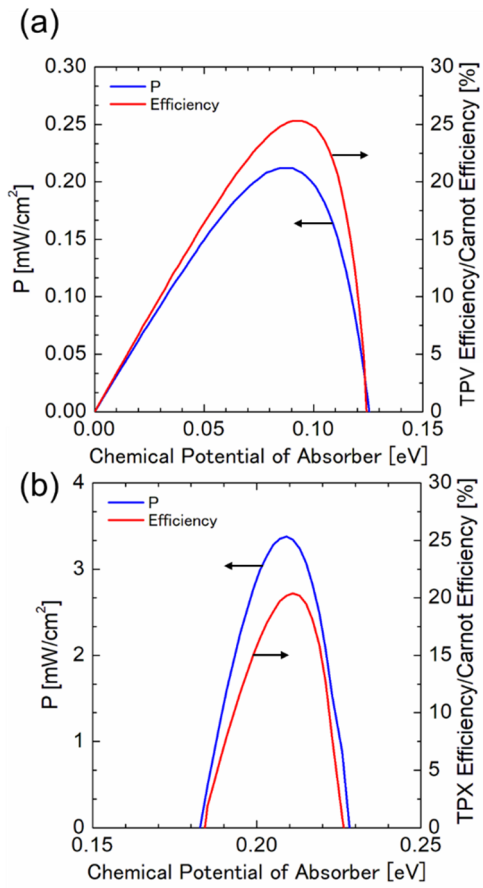


図8 (a)TPV 発電の発電密度およびカルノー比熱効率、(b)同条件における TPX 発電の発電密度およびカルノー比熱効率

カルノー効率比における熱効率は両者とも20～25%程度となった。この結果は理論的な上限であり、実際は非放射再結合の効果が大きいため注意が必要であるが、それでも比較的低温での発電が可能であることは注目に値する。

現在、我が国の排熱エネルギーは年間700 PJと言われている。原発18基分に相当する熱エネルギーを放出している[16]。そのうち約70%は、200℃以下の低温排熱であり、これを回収するのは至難の業である。熱光起電力発電は、本来2000℃近くの高温物質からの熱放射エネルギーによって発電するのに適している。低温排熱には熱電発電を使えば良いとも考えられるが、効率面や熱源との温度差をつけるのが接触式では難しいという課題がある。一方、サーマルフォトニクス発電は、エミッターとレシーバーは原理的にいくら離しても良い。もちろん形態係数に関わるので、将来的に指向性エネルギー輸送の機能を持たせることが必須となるが、非接触方式

では温度差をつけることも容易で、かつ非平衡ふく射を光起電力セルに集光させて高効率化を目指すこともできるだろう。

## 5. さいごに

従来、機械工学分野における「ふく射伝熱」の研究は、物体間あるいは空間内におけるエネルギー輸送に重点が置かれてきた。しかし現在、その熱ふく射の起源をより深く理解し、その熱ふく射物性そのものを制御しようという試みがなされ、熱工学とフォトニクスを融合した境界領域として発展してきている。そう言った意味で、いまだ発展途上の研究分野に戸惑いつつタイトルをサーマルフォトニクスとさせて頂いた。ちなみにこの言葉を使ったのは私が最初ではなく、Shanhui Fan 先生のレビュー記事から引用している[17]。

この記事執筆するにあたって振り返ってみると、私自身の研究内容も熱ふく射で一貫しているとは言え、その中身はこの20年で随分と様変わりしてきたことを実感している。このような機会を与えて頂いた宮崎康次先生に謝意を表す。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、共同研究者の Zhuomin Zhang 先生、Bo Zhao 先生、太刀川純孝先生、山木宏博士、塩見淳一郎先生、津田宏治先生、Shenghong Ju 先生、長尾忠昭先生、柏木誠先生に心より謝意を表します。いつも貴重なアドバイスをくださる JST さきがけのアドバイザー、メンバーの先生方、「ふく射勉強会」メンバーの方々に深く感謝します。最後に、研究に協力してくれた本研究室の学生の皆さんに感謝します。

## 参考文献

- [1] Lee, B.J., et al., Coherent thermal emission by excitation of magnetic polaritons between periodic strips and a metallic film, *Opt. Express*, **16** (2008) 11328-11336.
- [2] Guo, C., et al., Light control with Weyl semimetals, *eLight*, **3** (2023) 2.
- [3] Pendry, J.B., et al., Controlling Electromagnetic Fields, *Science*, **312** (2006) 1780-1782.
- [4] Landy, N.I., et al., Perfect Metamaterial Absorber, *Physical Review Letters*, **100** (2008) 207402.
- [5] Yu, N., Capasso, F., Flat optics with designer metasurfaces, *Nature Materials*, **13** (2014) 139-150.
- [6] Sakurai, A., et al., Resonant frequency and bandwidth of metamaterial emitters and absorbers predicted by an RLC circuit model, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **149** (2014) 33-40.
- [7] Matsuno, Y., Sakurai, A., Perfect infrared absorber and emitter based on a large-area metasurface, *Opt. Mater. Express*, **7** (2017) 618-626.
- [8] Wang, H., Wang, L., Perfect selective metamaterial solar absorbers, *Opt. Express*, **21** (2013) A1078-A1093.
- [9] Sakurai, A., et al., Ultranarrow-Band Wavelength-Selective Thermal Emission with Aperiodic Multilayered Metamaterials Designed by Bayesian Optimization, *ACS Central Science*, **5** (2019) 319-326.
- [10] 日本機械学会, JSME テキストシリーズ 伝熱工学, 丸善出版, 2014.
- [11] Xiao, Y., et al., Super-Planckian emission cannot really be ‘thermal’, *Nature Photonics*, **16** (2022) 397-401.
- [12] Sadi, T., et al., Prospects and requirements for thermophotonic waste heat energy harvesting, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **239** (2022) 111635.
- [13] Matsuno, Y., et al., Non-equilibrium mid-infrared black phosphorus light emitter and absorber for thermophotonic applications, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **288** (2022) 108271.
- [14] Würfel, P., et al., Generalized Planck's radiation law for luminescence via indirect transitions, *Applied Physics A*, **60** (1995) 67-70.
- [15] Chen, K., et al., MESH: A free electromagnetic solver for far-field and near-field radiative heat transfer for layered periodic structures, *Computer Physics Communications*, **231** (2018) 163-172.
- [16] NEDO 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合, 産業分野の排熱実態調査報告書, (2019).
- [17] Fan, S., *Thermal Photonics and Energy Applications*, *Joule*, **1** (2017) 264-273.

International Symposium on Thermal Energy Storage  
Science and Engineering 2022 – 開催報告  
Report on TESSE2022

能村 貴宏, 植村 豪 (北海道大学)

Takahiro NOMURA, Suguru UEMURA (Hokkaido University)

e-mail: nms-tropy@eng.hokudai.ac.jp, uem@eng.hokudai.ac.jp

## 1. はじめに

2022年9月5日に北海道大学において、国際シンポジウム“International Symposium on Thermal Energy Storage Science and Engineering 2022 (TESSE2022)”を開催しました。近年の脱炭素に向けた急速な展開に対して、本シンポジウムでは蓄熱を軸とした最新の研究動向を知る機会を提供することを目指し、企画・開催させていただきました。振り返ってみれば、企画の立ち上げから開催までわずか5ヵ月という、国際シンポジウムとしてはかなり早い展開で、新型コロナウイルスの感染拡大に伴って変化した社会情勢にも対応しつつ、開催方式や準備にも新しい試みを取り入れました。本会議報告ではシンポジウムにおける講演の概要とともに、準備にまつわる舞台裏についても記載したいと思います。

## 2. TESSE2022 開催の経緯

本シンポジウムの開催に至った端緒の一つとして、2021年度に北海道大学の大学院工学研究院が採択されたJST COI-NEXT 共創の場形成支援プログラム（地域エネルギーによるカーボンニュートラルな食糧生産 コミュニティの形成拠点）が挙げられます。本記事を執筆している能村がプロジェクトメンバーに加わっており、プロジェクトの開始直後から蓄熱を軸とした国際シンポジウムの開催を模索していました。その中で、たまたま2022年の5月に同じ北海道大学の戸谷剛先生とお会いする機会がありました。戸谷先生は中止となった第2回地域国際セミナーの準備を担当されていて、自然と双方が携わっている国際シンポジウムの話題になりました。その際、「蓄熱に関する国際シンポジウムを伝熱学会主催、JST 共催という形で実施できるのではないか？」というアイデアが生まれ、そこから一気に話が進み始めました。その結果、戸谷先生と前北海道支部理事の田部豊

先生（北海道大学）、そして能村と現北海道支部理事の植村という体制で準備を進め、オーガナイザーにはJSTプログラムのプロジェクトリーダーである石井一英先生（北海道大学）にも加わっていただくこととなりました。

## 3. TESSE2022 の開催準備

### 3.1 会議名称

今回は蓄熱に関する国際シンポジウムを初めて立ち上げるため、まずは名称の検討から着手しました。日本語名称については“蓄熱の科学と工学に関する国際シンポジウム 2022～蓄エネルギー技術としての蓄熱技術の最前線”と設定しました。そしてこの名称から議論を重ね、最終的には本稿の冒頭でも記述した“International Symposium on Thermal Energy Storage Science and Engineering 2022”という名称に至りました。将来的に幅広く発展していく余地を持たせるため、名称には開催回数や開催地は含めていません。また、略称としてもTESSE2022（テッセ2022）とスマートな呼び方にすることができました。

### 3.2 開催の時期と形態

TESSE2022の開催時期については、一般的な学会シーズンである秋、そしてオーガナイザーと講師の皆様のご都合がつく日ということで2022年9月5日に設定しました。ただ、開催形態については難しい判断でした。準備を本格的に始動した2022年6月の時点では、新型コロナの新規感染者数は低い数値で推移していたものの、開催予定である9月頃の状況はとても予測できませんでした。しかし2020～2021年のように全く見通しの立たない状況に比べれば、現地開催できる可能性は十分にあると判断しました。ただし海外から講師や参加者が来日することは難しいと考え、現地開催とオンライン（Zoom）のハイブリッド方式で準備



を進めることにしました。ハイブリッド方式については、昨年の第59回日本伝熱シンポジウムをはじめとし、日本伝熱学会主催の国内イベントでは既に採用されていますが、国際イベントに採用したのは今回が初めてではないかと思えます。

### 3.3 新しい試みと省力化

蓄熱に関する国際シンポジウムを札幌で開催するにあたり、大学や企業、そして研究機関だけでなく、地域の中小企業などからも幅広くご参加いただきたいと思っていました。そこで国際シンポジウムへ気軽に参加できる方策の一つとして、今回は同時通訳を導入しました。日頃、英語にあまり馴染みのない方でも気負わず参加していただけるのではないかと考えた次第です。もう一つは参加費の価格設定です。一般的な国際シンポジウムの場合は数万円程度と思いますが、今回は思い切って5千円に設定しました。この参加費に設定できた背景としては、著者らが所属する北海道大学大学院工学研究院を共催に加えることで会場使用料が不要になったこと、海外からの講師に対する旅費の支払いがなかったことなど、幸いにも支出を大幅に抑制できる要素が複数あったためです。

一方、同時通訳を導入したハイブリッド方式で開催するにあたり、会議・イベントの運営管理を専門とする会社（株式会社イー・シー）に業務委託し、シンポジウムの準備と運営の省力化を目指しました。その結果、TESSE2022のホームページ、参加登録システム、同時通訳と、様々な業務の一括管理が可能となりました。問い合わせや相談の窓口が一元化された結果、一つの変更が多数の準備項目に影響するような場面でもスムーズに対応していただき、準備を順調に進めることができました。

また、今回は参加登録システムとしてPeatixを採用しました。既に他の学会では使用実績のあるシステムですが、伝熱学会が主催するイベントとしてはおそらく初採用だったと思います。さらに現地会場での当日参加登録は実施せず、事前登録のみとしたため、当日の受付では現金を扱うことが全くありませんでした。ちなみに、物品購入や業者への支払いも全てオンライン決済だったため、TESSE2022全体を通じて現金の受け渡し作業はありませんでした。従来は現金管理がイベント運

営の際に最も気を使う部分でしたが、今後はそのような労力も不要になっていくのかもしれませんが。

ここで、同時通訳については想定外だったことが一つありました。てっきり、シンポジウム当日に講演をそのまま通訳していただくのだと思っていたのですが、事前打ち合わせが必要であることが開催直前に判明しました。もちろん、打ち合わせ無しでも同時通訳は可能なのですが、講演内容を適切なニュアンスで通訳するためには事前打ち合わせが極めて重要とのことでした。このため、講師の皆様へ講演資料の送付を急遽お願いしご迷惑をおかけすることとなった上、運営側も想定外の作業が増えてしまいました。とはいえ、これは事前に認識できていればスムーズに準備できるはずで、今後、同様のイベントを企画される際の参考になれば幸いです。

## 4. TESSE2022の実施概要

### 4.1 プログラム

国際シンポジウムをリアルタイムかつハイブリッド方式で行うため、プログラムの構成に際しては海外との時差を考慮することが必要でした。その結果、下記のように開始時刻は15時、終了は19時過ぎという、日本時間ではやや遅めの時間帯に設定しました。

15:00 - 15:14	Opening Remarks
15:14 - 16:50	Session 1 Invited Lectures
16:50 - 17:00	Break
17:00 - 18:30	Session 2 Keynote Lectures
18:30 - 19:15	Session 3 Q&A and Panel Discussion

大きく三部構成に編成し、Session 1では「日本におけるカルノーバッテリーに関連するプロジェクト事例と蓄熱技術開発の動向」、Session 2では「欧州におけるカルノーバッテリーに関連するプロジェクト事例と蓄熱技術開発の動向」、Session 3では「パネルディスカッション」としました。これは両者（日本と欧州）の蓄熱に関する取り組みの違いを理解することに、急速に進展する再エネ時代における蓄熱技術の早期実装につながるヒントがあるのではと考えたためです。またSession 1では、カルノーバッテリーの総論と経済性についてのご講演を岡崎徹氏（一般財団法人 エネルギー総



図1 現地会場の様子



図3 現地講演の様子



図2 オンライン会場（Zoom）の様子

合工学研究所)に依頼し、代表的な蓄熱技術である顕熱蓄熱、潜熱蓄熱、化学蓄熱のそれぞれについて”学術側”での基礎研究と”産業側”での応用/実証研究の観点の両側面からさらに5名の講師に講演を依頼しました。Session 2では、カルノーバッテリーに関する研究開発で先行している欧州から、カルノーバッテリーの提唱者であるThess先生、蓄熱関連のベンチャーの起点となっているKTHよりChiu先生、先進的蓄熱技術の商用化を現在進行形で進めているSalt X社のBlackman博士、そして蓄熱分野の第一人者の一人であるHauer博士に講演を依頼しました。そしてSession 3ではこれらのご講演に対する質疑応答、さらにご講演もふまえたパネルディスカッションを実施する構成にしました。

#### 4.2 参加者数

当初、80名ほどの参加を見込んで予算組みや会場設定を行いました。初のハイブリッド方式での国際シンポジウムのため、参加者の見込みは難しく、また現地とオンラインの参加者数の比率も全く予想がつきませんでした。しかし大変ありがたいことに、最終的には予想を超える98名のご参加をいただき、さらに現地参加者44名、オンライン参加者54名というバランスの取れた比率になりました。当初、オンライン参加者数が多いと現地会場が閑散としてしまうことも懸念していましたが、結果的におよそ半々という比率になりました。今後、社会状況の変化に応じてこの比率も変遷していくのではないかと思います。

#### 4.3 講演概要

Opening Remarksでは、高松洋会長からご挨拶をいただきました。TESSE2022の開催趣旨として、昨今の蓄熱と伝熱に関わる世界的な関心の高まり、そして再生可能エネルギーの高いポテンシャルを有した北海道で開催する意義に関して、明快にご説明いただきました。その後、能村からはTESSE2022の趣旨、そして各セッションの構成について、簡単な説明をさせていただきました。

Session 1では、まず岡崎徹氏から「経済的脱炭素社会に必要な蓄熱発電」に関してご講演いただきました。岡崎徹氏は蓄熱発電(カルノーバッテリー)に関して包括的な調査を行われており、本講演では蓄熱発電の概要、将来の再エネ時代における蓄熱発電の役割、現在から再エネ時代までを想定した蓄熱発電の経済性評価、蓄熱発電を使った電力市場にて事業性のあるシステムの例、およ

び回転発電機を用いた低コスト電熱変換器についてご紹介いただきました。ここ数年、日本国内では脱炭素社会の経済的実現に蓄熱発電が必要であることが徐々に理解されつつある状況、そして導入の実現に向けた伝熱工学への期待について述べられました。

2 件目のご講演では、加藤之貴先生（東京工業大学）から「蓄熱技術のカーボンニュートラル社会への貢献」と題してご講演いただきました。加藤先生は蓄熱技術、とくに化学蓄熱技術に関する日本の第一人者で、日本伝熱学会における特定推進領域研究「熱エネルギーシステムのための化学蓄熱の高出力密度化」の主査も務められています。本講演では  $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$  系ケミカルヒートポンプの課題である蓄熱材の低熱伝導性、バルク体積の変化、 $\text{cm}$  スケールでの凝集に対し、その解決策としての高熱伝導性  $\text{SiC}$  ハニカム体と  $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$  のコンポジットの開発、およびラボスケールケミカルヒートポンプシステムによる蓄放熱特性試験の結果をご紹介いただきました。また、日本におけるカルノーバッテリーの開発状況に対する危機感についても熱弁いただきました。

3 件目のご講演では神谷啓志氏（愛知製鋼（株））から「高エネルギー密度な化学蓄熱システムの開発」に関してご講演いただきました。愛知製鋼（株）では、 $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$  系化学蓄熱システムの開発に取り組まれ、現時点で世界最大級の実証システムの稼働に成功しています。本講演では、従来からの課題となっていた繰返し耐久性を克服した化学蓄熱材料の開発事例、工場での実証試験結果、実証試験の結果に基づく化学蓄熱システム全体構成の最適化（蓄熱密度： $0.57 \text{ GJ}/\text{m}^3$ 、 $\text{COP}:5.6$  を達成可能との試算）、およびフィージビリティスタディによる化学蓄熱システムのカルノーバッテリーへの適用可能性についてご紹介いただきました。

4 件目は本稿を執筆している能村から、「高温用潜熱蓄熱材 h-MEPCM の開発とカルノーバッテリーへの応用に向けた検討」と題して講演をさせていただきました。北海道大学では、高温用潜熱蓄熱材 h-MEPCM（Hokkaido university-MicroEncapsulated Phase Chang Material）を開発しています。講演では Al-Si 系合金系 h-MEPCM（作動温度：約  $577^\circ\text{C}$ ）を中心として、h-MEPCM の性能、h-MEPCM を原料としたペレットやハニカ

ム等の蓄熱体の開発状況について紹介させていただきました。また、h-MEPCM 蓄熱ペレットを搭載したラボスケールの蓄熱式熱交換器の熱交換特性を示し、カルノーバッテリーへの適用可能性についても紹介させていただきました。

5 件目のご講演では山名崇裕氏（三菱重工業（株））から「再生可能エネルギーの余剰電力を活用する汽力発電所向け大規模潜熱蓄熱システムの概念設計」に関するご講演いただきました。三菱重工業（株）では、今後のフェードアウト対象である石炭火力発電所等の既設アセットを有効活用できる大規模な蓄熱システムとして、カルノーバッテリーを NEDO プロジェクトで検討されています。ご講演では、汽力発電に適した作動温度を持つ金属 PCM（Al-Si 系合金、作動温度：約  $580^\circ\text{C}$ ）を用いた潜熱蓄熱システムを想定し、汽力発電所向け大規模蓄熱システムの概念設計の概要と、蓄熱式熱交換器の構造コンセプト（二重管モジュール構造）、概略敷地面積と熱的成立性、および金属 PCM の構造材に対する侵食防止技術についてご紹介いただきました。

6 件目のご講演では、岩城智香子氏（東芝エネルギーシステムズ（株））から「岩石蓄熱システム実証」と題して顕熱蓄熱に関するご講演いただきました。東芝エネルギーシステムズ（株）では、環境省のプロジェクトを通じて中部電力と岩石蓄熱発電の実証プログラムを実施されています。2021～2023 年まではフィージビリティスタディを、そして 2024 年からは実プラントを使った実証を計画されています。ご講演では、要素技術検証のためのモックアップ試験（ $500\text{kWh}$  級）の概要についてご紹介いただきました。具体的には蓄熱・放熱時の蓄熱槽内の温度分布挙動、伝熱特性の 1 次元解析モデルの有用性、径や形状にばらつきのある岩石の流力等価直径を圧力損失データから逆算し、熱伝達率を評価する手法の有効性についてご紹介いただきました。

続いての Session 2 では、「欧州におけるカルノーバッテリーに関連するプロジェクト事例と蓄熱技術開発の動向」として、Zoom を通じて海外の研究者から最新の動向についてご紹介いただきました。1 件目は André Thess 先生（German Aerospace Center (DLR), Stuttgart University）から、「Carnot-Batteries and the Decarbonization of Coal

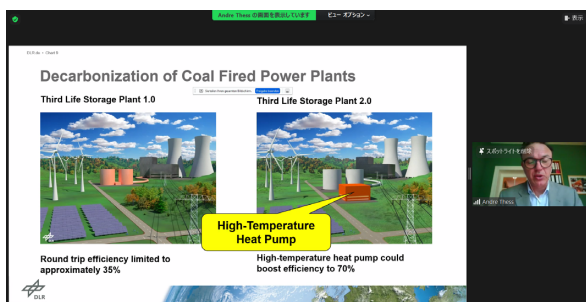


図4 オンライン講演の様子

Fired Power Plants”と題してご講演いただきました。Thess 先生はカルノーバッテリー提唱者の一人で、本講演ではカルノーバッテリーの技術概要と、DLRにおける三つのカルノーバッテリーに関するプロジェクト (CHESTER, RWE, Global Coal Atlas) について紹介いただきました。CHESTERでは200°C程度の出力が可能な高温ヒートポンプと潜熱/顕熱蓄熱槽からなるランキンバッテリーを検討されており、10 kWe, 100 kWth スケールのパイロット装置での試験が始まったことが紹介されました。また RWE では石炭火力発電への高温ヒートポンプ (500°C 級)、高温蓄熱のレトロフィットが検討されていること、そして Global Coal Atlas ではデータベースと衛星データを駆使し、石炭火力発電を適切なカルノーバッテリーに置き換えたときの世界のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを見積もることを目的としていることについて、ご紹介いただきました。

2 件目のご講演では、Corey Blackman 博士 (SaltX Technology) より “Development and Demonstration of Large-scale Thermochemical Energy Storage Systems” と題して講演いただきました。SaltX 社は、ナノコーティングされた CaO/Ca(OH)<sub>2</sub> を用いた化学蓄熱システムの商用化を目指されています。講演では、SaltX 社のシステムコンセプト、設備、プロジェクトについてご紹介いただきました。既に SaltX 社では 0.5 MW/10 MWh クラスの実証プラントや 0.2 MW/8 MWh のパイロットプラントが稼働しており、高熱出力化を目指して流動層を用いたシステムも検討しているとのことでした。応用先としては Power to Heat to Power を見据えているが、併せて産業でのプロセスヒートとしての利用も検討されていることをご紹介いただきました。

3 件目のご講演では、Justin NW Chiu 先生 (KTH Royal Institute of Technology) から “Circular



図5 ハイブリッド方式によるパネルディスカッションの様子

Techno-Economic Aspects of Thermal Energy Storage”と題してご講演いただきました。Chiu 先生は 2008 年以来、IEA のエネルギー貯蔵関連のプログラムの様々な Task に関わられてきました。ご講演では、KTH における蓄熱関連研究の概要と、蓄熱システムの経済性について紹介いただきました。

4 件目のご講演は Andreas Hauer 博士 (ZAE Bayern) から “The Role of Thermal Energy Storage in Future Energy Systems” に関するご講演をいただきました。Hauer 博士はバイエルン州応用エネルギー研究センター ZAE Bayern の理事長を務められており、IEA のエネルギー貯蔵関連のプログラムの執行委員であるとともに、様々な Task の主査を歴任されています。ご講演では、未来のエネルギーシステムにおける蓄熱システムの役割について幅広い観点から紹介いただきました。再エネ社会における蓄熱技術は発電部門と熱利用を繋げる役割があり、カルノーバッテリーにおいても電力の供給だけでなく、熱の供給も可能なハイブリッドシステムとすることの重要性についても言及されていました。

最後の Session3 では、Session1 日本の取り組みと Session2 欧州の取り組みに関するご講演に対する質疑応答、そしてパネルディスカッションを行いました。質疑応答では現地会場だけでなくオンライン参加者からも多数の質問をいただき、活発な議論が交わされました。その中では日本で蓄熱技術の早期実装につながるヒントとして、システムの蓄放熱速度、コスト等についての質疑がありました。またパネルディスカッションにおいても、

熱のこもった討論と意見交換が行われました。これはパネリスト（ご講演いただいた講師 10 名）の皆さんはもちろんのこと、モデレーターをお引き受けいただいた加藤先生の手腕によるところも非常に大きかったと思います。

最後の Closing Remarks では、藤岡一博先生（北海道大学）にご挨拶をお願いして、TESSE2022 を総括していただきました。

### 5. TESSE2022 を振り返って

TESSE2022 を開催した 2022 年 9 月頃は、対面方式を採用する学会がまだそこまで多くありませんでした。そのような中で、現地参加された皆様が久しぶりに顔を合わせて歓談されている様子が見受けられ、対面でのコミュニケーションの重要性を改めて強く感じました。その一方で、今回のようなオンラインも取り入れた開催形態にすると、海外研究者も容易に参加していただくことも可能で、オンラインの恩恵と利点も実感することができました。今後、それぞれの方式の利点を活かして、学会の開催形態も変化していくのだろうか、と思いました。

ただ、オンライン特有の予期せぬトラブルに順応することは、まだまだ容易ではないと感じました。Session 2 において海外からオンラインでご講演いただいた際、会場の音声は講師の先生へ正常に伝わらない場面がありました。その場で原因究明を試みたものの解決できず、結果的に音声が一方通行のままご講演とパネルディスカッションを行うこととなり、講師の先生と会場の皆様には大変ご迷惑をおかけしてしまいました。この数年で Zoom などのオンラインシステムが多用されるよ

うになってきたものの、やはり本番前の十分な確認作業は不可欠かつ基本であると痛感し、運営側にとっては大きな反省点となりました。

### 6. おわりに

今回の TESSE2022 の開催にあたり、急な依頼に対してご快諾いただいた講師の皆様、そして TESSE2022 にご参加いただいた皆様に御礼申し上げます。また TESSE2022 の実行にあたり、迅速かつ寛容なご決断をいただいた高松洋会長、開催に向けた様々な手続き短期間のうちに主導して進めていただいた企画部会の津島将司先生、そして経理に関して丁寧にご教示とご支援をいただいた財務部会の服部博文先生には大変お世話になりました。

また TESSE2022 の準備を支えて下さった JST COI-NEXT 共創の場形成支援プログラム（地域エネルギーによるカーボンニュートラルな食糧生産コミュニティの形成拠点）の皆様、研究室の仲間にも御礼申し上げます。

色々とお伝えしたいことを盛り込んだ結果、非常に長文の報告記事となってしまいました。最後までお読みいただき、ありがとうございました。もし今後、同様のシンポジウムが開催される際に、本会議報告が微力ながらもお役に立てれば幸いです。

### 参考文献

- [1] 永井二郎, International Seminar in Fukui - Japan-China Heat Transfer Symposium 2020 - 開催報告, 伝熱, 59-247(2020)33.

## 行事カレンダー

### 本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2023年					
5月 25(木) ～ 27(土)	第60回 日本伝熱シンポジウム			第60回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局 九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門内 E-mail: symp2023@htsj-conf.org FAX: 092-802-3017	

### 本会共催、協賛、後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2023年					
4月 2(日) ～ 7(金)	日本混相流学会混相流国際会議 2023			日本混相流学会 office@jsmf.gr.jp	
5月 12(土)	日本学術会議 公開シンポジウム カーボンニュートラル時代の熱エネルギー -革新技術と社会実装-			公益社団法人化学工学会 事務局長 重光 英之 TEL : 03-3943-3527 E-mail : soumu@scej.org	
5月 31(水) ～ 6月 2(金)	第28回計算工学講演会			(一社) 日本計算工学会 office@jcses.org	
9月 24(日) ～ 27(水)	33rd International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-33)			ISTP-33 実行委員会幹事 渡邊則彦 nwatanabe@mec.sojo-u.ac.jp	
11月 26(日) ～ 12月 1(金)	International Gas Turbine Congress 2023 Kyoto (IGTC2023 Kyoto)			(公社) 日本ガスタービン学会 E-mail: gtsj-office@gtsj.org	

## 第 60 回日本伝熱シンポジウムのご案内

第 60 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

委員長 高橋 厚史

副委員長 森 昌司

開催日：令和 5 年 5 月 25 日（木）～5 月 27 日（土）

会場：福岡国際会議場 (<https://www.marinemesse.or.jp/congress/>)

※状況によっては Web 開催の可能性があります。

所在地〒812-0032 福岡県福岡市博多区石城町 2-1 電話番号 092-262-4111

アクセス

福岡空港より呉服町駅まで福岡市営地下鉄で約 10 分，呉服町駅より徒歩約 12 分。

JR 博多駅より西鉄バスで約 12 分，サンパレス前下車すぐ。

福岡国際会議場 交通アクセス (<https://www.marinemesse.or.jp/congress/access/>)

特別講演：5 月 26 日（金）（詳細はシンポジウムウェブサイトに掲載します。）

九州大学病院別府病院 内科 准教授 前田 豊樹 氏

「温泉医学の展開 – 温熱の医学的応用 –」

総 会：5 月 26 日（金）（詳細はシンポジウムウェブサイトに掲載します。）

ホームページ <https://htsj-conf.org/symp2023/>

【シンポジウムの形式】※状況によっては Web 開催の可能性があります。

- ・ 講演発表形式として
  - a) 通常の一般セッション（口頭発表）
  - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
  - c) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- ・ 1 講演あたりの割当時間は、一般セッションでは 15 分（発表 10 分，個別討論 5 分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5 分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては、オーガナイザーの指示に従って下さい。（個別討論，総合討論の時間は変更になる場合があります。）
- ・ 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、前号（2023 年 1 月号）掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 60 回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照下さい。

【参加費等】※Web 開催の場合でも参加費は同じです。

- ・ 参加申込の時期
  - 早期申込：4 月 14 日（金）まで
  - 通常申込：4 月 15 日（土）以降（4 月中旬までに参加登録を完了された方には、事前に参加者キットをお送りします）
- ・ シンポジウム参加費

学会員一般	早期申込：12,000 円（不課税）	通常申込：15,000 円（不課税）
共催・協賛学会員一般	早期申込：13,200 円（税込み）	通常申込：16,500 円（税込み）
非学会員一般	早期申込：16,500 円（税込み）	通常申込：19,800 円（税込み）
学会員学生	早期申込：6,000 円（不課税）	通常申込：7,000 円（不課税）
共催・協賛学会員学生	早期申込：6,600 円（税込み）	通常申込：7,700 円（税込み）
非学会員学生	早期申込：7,700 円（税込み）	通常申込：8,800 円（税込み）

- ※特別賛助会員は1口につき3名、賛助会員は1口につき1名、参加費が無料になります。
- ※名誉会員は参加費が無料になります。
- ※学会員とは、日本伝熱学会会員のことを指します。
- ※講演論文集電子版は参加者全員に配布されます。

- ・ 講演論文集：  
電子版のみの販売：5,000 円（シンポジウム後の販売になります。）

#### 【意見交換会】

- ・ 開催日：令和5年5月26日（金）
- ・ 会場：ホテル日航福岡（〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-18-25）
- ・ 参加費：一般 早期申込：10,000 円（税込み） 通常申込：13,000 円（税込み）  
学生 早期申込：6,000 円（税込み） 通常申込：8,000 円（税込み）  
※早期申込は4月14日（金）までです。

#### 【参加登録と参加費等の支払い方法】

- ・ 参加登録は本シンポジウムのウェブページから行ってください。
- ・ 参加費等の支払いをもって「参加登録の完了」とします。
- ・ 4月下旬までに参加登録を完了された方には、事前に参加者キット（講演プログラム、参加票など）をお送りします。
- ・ 参加登録および参加費等の支払方法および期限を設定します。（詳細はシンポジウムホームページに掲載します。）

#### 【講演論文集電子版】

- ・ 講演論文集は電子版として参加者にウェブサイトからのダウンロードを通じて配布します。
- ・ 講演論文集（電子版）は、日本伝熱学会会員（2023年度会員）の皆様に対し、シンポジウムウェブサイトへリンクされたページで公開します。
- ・ 電子版のダウンロードは、以下の閲覧IDとパスワードを用いてログイン後、閲覧・ダウンロードすることができます。

講演論文集電子版閲覧ID：

パスワード：

- ・ シンポジウムで座長をご担当される方は、この電子版を当日のセッションの参考資料としてください。
- ・ 講演論文集（電子版）の公開日は、2023年5月11日（木）を予定しています。この日が特許に係る公知日となります。シンポジウム開催日より早くなりますのでご注意ください。

#### 【ご注意】

- ・ 参加費等は参加取消しの場合でも返金いたしません。
- ・ 本シンポジウムに関する最新情報については、随時更新するウェブサイトでご確認ください。

#### 【お問い合わせ先】

第60回 日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局  
九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門内  
E-mail : symp2023@htsj-conf.org, Fax : 092-802-3017



第 60 回日本伝熱シンポジウム タイムテーブル（暫定版）

このタイムテーブルは、2月17日現在の暫定版です。

2023/05/25（第1日目）

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A11 OS 9:00～ 10:20 液滴・濡れ現象の制御と理解1 基調講演 1,2	B11 GS 9:00～ 10:20 多孔体内の伝熱1	C11 OS 9:00～ 10:40 乱流を伴う伝熱研究の進展1 基調講演	D11 GS 9:00～ 10:20 ナノ・マイクロ伝熱1	E11 OS 9:00～ 10:20 水素・燃料電池・二次電池1 基調講演 1,2	F11 OS 9:00～ 10:20 燃焼伝熱研究の最前線1 基調講演	G11 GS 9:00～ 10:00 自然エネルギー	H11 GS 9:00～ 10:00 電子機器の冷却1	I11 GS 9:00～ 10:20 融解・凝固1	J11 GS 9:00～ 10:20 空調・熱機器1
A12 OS 10:40～ 12:00 液滴・濡れ現象の制御と理解2	B12 GS 10:40～ 12:00 多孔体内の伝熱2	C12 OS 11:00～ 12:00 乱流を伴う伝熱研究の進展2	D12 GS 10:40～ 12:20 ナノ・マイクロ伝熱2	E12 OS 10:40～ 12:20 水素・燃料電池・二次電池2	F12 OS 10:40～ 12:00 燃焼伝熱研究の最前線2	G12 GS 10:40～ 12:00 バイオ伝熱	H12 GS 10:20～ 11:40 電子機器の冷却2	I12 GS 10:40～ 11:40 融解・凝固2	J12 GS 10:40～ 12:20 空調・熱機器2
A13 OS 13:30～ 14:50 液滴・濡れ現象の制御と理解3	B13 GS 13:30～ 14:50 沸騰・凝縮1	C13 OS 13:30～ 14:50 乱流を伴う伝熱研究の進展3	D13 GS 13:30～ 14:50 ナノ・マイクロ伝熱3	E13 OS 13:30～ 14:50 水素・燃料電池・二次電池3	F13 OS 13:30～ 14:50 燃焼伝熱研究の最前線3	G13 GS 13:30～ 14:50 電子機器の冷却3	/	I13 GS 13:30～ 14:50 融解・凝固3	J13 GS 13:10～ 14:50 混相流1
15:10～17:10 優秀プレゼンテーション賞セッション（H室） 15:10～17:10 産学連携イベント（H室） 15:10～17:10 日本伝熱学会特定推進研究特別ワークショップ（A室）									

お知らせ

2023/05/26 (第2日目)

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A21 OS 9:00~ 10:20  液滴・濡れ現象の制御と理解 4	B21 GS 9:00~ 10:20  沸騰・凝縮 2	C21 OS 9:00~ 10:20  熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 1 趣旨説明	D21 GS 9:00~ 10:20  ナノ・マイクロ伝熱 4	E21 OS 9:00~ 10:20  水素・燃料電池・二次電池 4	F21 OS 9:00~ 10:20  燃焼伝熱研究の最前線 4	G21 GS 9:00~ 10:20  ヒートパイプ 1	H21 SS 9:00~ 10:20  企業特別セッション 1	I21 GS 9:00~ 10:20  計測技術 1	J21 OS 9:00~ 10:20  ふく射輸送とふく射性質 1 基調講演
A22 OS 10:40~ 12:00  液滴・濡れ現象の制御と理解 5	B22 GS 10:40~ 12:00  沸騰・凝縮 3	C22 OS 10:40~ 12:20  熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 2 基調講演	D22 GS 10:40~ 12:00  ナノ・マイクロ伝熱 5	E22 OS 10:40~ 12:00  水素・燃料電池・二次電池 5	F22 GS 10:40~ 12:00  燃焼伝熱研究の最前線 5	G22 OS 10:40~ 12:00  ヒートパイプ 2	H22 SS 10:40~ 12:00  企業特別セッション 2	I22 GS 10:40~ 12:00  計測技術 2	J22 OS 10:40~ 12:00  ふく射輸送とふく射性質 2
A23 OS 13:30~ 14:50  液滴・濡れ現象の制御と理解 6	B23 GS 13:10~ 14:50  沸騰・凝縮 4	C23 OS 13:10~ 14:50  熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 3	D23 GS 13:10~ 14:50  ナノ・マイクロ伝熱 6	E23 OS 13:30~ 14:50  水素・燃料電池・二次電池 6	F23 GS 13:30~ 14:50  分子動力学 1	G23 GS 13:30~ 14:50  ヒートパイプ 3	H23 OS 13:00~ 15:00  人と熱との関わり の足跡 (その 6)	I23 GS 13:30~ 14:50  電子機器の冷却 4	J23 GS 13:30~ 14:50  強制対流 1
15:10~15:55 特別講演「温泉医学の展開 – 温熱の医学的応用 –」 前田豊樹 准教授 (九州大学病院別府病院 内科) (メインホール) 16:00~17:30 総会 (メインホール) 18:30~20:30 意見交換会 (日航ホテル福岡)									

2023/05/27 (第3日目)

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室
A31 GS 9:00~10:20  沸騰・凝縮 5	B31 OS 9:20~10:20  液滴・濡れ現象の制御と理解 7	C31 OS 9:00~10:20  化学プロセスにおける熱工学 1 趣旨説明 基調講演	D31 GS 9:00~10:20  分子動力学 2	E31 OS 9:00~10:20  水素・燃料電池・二次電池 7	F31 GS 9:00~ 10:20  強制対流 2	G31 GS 9:00~ 10:20  計測技術 3
A32 GS 10:40~ 12:00  沸騰・凝縮 6	B32 GS 10:40~12:00  自然対流 1	C32 OS 10:40~12:20  化学プロセスにおける熱工学 2	D32 OS 10:40~12:20  分子動力学 3	E32 OS 10:40~12:00  水素・燃料電池・二次電池 8	F32 GS 10:40~ 12:00  熱物性	G32 GS 10:40~ 11:40  物質移動
A33 GS 13:30~ 15:10  沸騰・凝縮 7			D33 OS 13:30~14:50  分子動力学 4	E33 OS 13:10~14:50  水素・燃料電池・二次電池 9		
				E34 OS 15:10~16:30 水素・燃料電池・二次電池 10		

## 第 60 回日本伝熱シンポジウムプログラム（暫定版）

このプログラムは、2月17日現在の暫定版です。前頁のタイムテーブルとともに、修正・変更する場合があります。必ず、最新版を本シンポジウムウェブサイトでご確認ください。なお、登壇者以外の共著者の方が同一時間帯のセッションで重複している場合がありますが、ご容赦ください。また、個別のご要望には応じかねますので、ご了承ください。

## 第 1 日 5 月 2 5 日（木）

&lt;A 室&gt;

## A11 9:00-10:20 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 1

- A111: 【OS 基調講演】分子からのボトムアップで構築したフッ素ナノチャネルによる高速水透過と脱塩  
○ 伊藤 喜光 (東京大)
- A112: 【OS 基調講演】和周波分光の現状と機能性界面研究への展望  
○ 二本柳 聡史 (理研)

## A12 10:40-12:00 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 2

- A121: 気体噴射液体排除法によるバイオ界面の濡れ評価  
○ 田中 信行 (理研)
- A122: オングストロームスケールの表面不均一によるナノ液滴の三相界線ピンギング  
○ 平間 裕大, 手嶋 秀彰, 高橋 厚史 (九州大)
- A123: カーボンナノチューブ内部における多相流体の 3 次元構造解明  
○ 斉藤 良太, 李 秦宜, 金 哲宇, 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)
- A124: 濡れ性複合単分子層における滑水性の評価  
○ 李 遠哲, 李 禮林, 沈 佳杏, 塩見 淳一郎 (東京大学)

## A13 13:30-14:50 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 3

- A131: 加熱基板へ衝突する高速マイクロ液滴の飛散現象  
○ 横山 裕杜, 小野 里佳, 田川 義之 (東京農工大)
- A132: 撥水ガラス壁面に静置した液滴の減圧沸騰  
○ 大嶋 元啓, 和佐田 有希 (富山県大)
- A133: Propulsion of drops impacting on a hot ratchet  
Lee Kunhak, Chikaarashi Mari, Sakurai Haruyuki, Konishi Kuniaki, ○ Mouterde Timothee (Univ. Tokyo)
- A134: 温度勾配で駆動されるライドンフロスト液滴の自己推進  
○ 長谷川 浩司, 柴崎 貴之 (工学院大)

## A14 15:10-17:10 特定推進研究ワークショップ

&lt;B 室&gt;

## B11 9:00-10:20 多孔体内の伝熱 1

- B111: 多孔質体を含む閉鎖空間内の自然対流による冷却数値シミュレーション  
○ 伊藤 光生, 佐野 吉彦, 桑原 不二郎 (静岡大), 上澤 伸一郎, 吉田 啓之 (原子力機構)

B112: 傾斜円柱で構成された多孔質構造体における伝熱数値シミュレーション

- 清水 優太, 佐野 吉彦, 桑原 不二郎 (静岡大)

B113: 多孔体構造における流動・伝熱・光学特性の総括的研究

- 中倉 満帆 (新潟大), 向中野 涼, 甲斐 拓弥 (新潟大院), Yi Kuan, 松原 幸治 (新潟大)

B114: 非化学量論的化合物を利用した炭酸ガス熱化学分解

- 松原 幸治, 伊藤 謙人, 太田 祥斗, 渋谷 爽風, 中倉 満帆, 小山 桂子 (新潟大)

## B12 10:40-12:00 多孔体内の伝熱 2

B121: 伝熱促進を目的とした周期構造多孔質体の形状改善

- 笠原 水城, 佐野 吉彦, 桑原 不二郎 (静岡大)

B122: 随伴法に基づく放射伝達のための多孔質構造体の形状最適化

- 刘 明, 長谷川 洋介 (東京大)

B123: 一傾斜気孔径分布を有する爆発圧着ポーラス銅管の冷却性能

- 久保田 凌平, 結城 和久, 海野 徳幸, 結城 光平 (山口東理大), 木伏 理沙子 (富山県立大), 外本 和幸, 田中 茂 (熊本大)

B124: ロータス型ポーラス銅を用いた沸騰浸漬冷却における限界熱流束発生メカニズムに関する検討

- 結城 光平, 結城 和久, 海野 徳幸 (山口東理大), 木伏 理沙子 (富山県立大), 大串 哲朗, 村上 政明, 沼田 富行, 井手 拓哉 (ロータス・サーマル・ソリューション)

## B13 13:30-14:50 凝縮・沸騰 1

B131: 水蒸気および不凝縮性ガスの順次供給中における密閉容器内壁の熱伝達特性

- 田中 誠一 (明石高専), 西山 翔太 (北海道大), 佐藤 大峻 (明石高専)

B132: 高電圧を印加した水平平板電極間の気液界面に向かって油中を運動する帯電滴の挙動

- 地黄 純人 (金沢工業大学 大学院), 藤本 雅則 (金沢工業大学)

B133: 冷媒の沸騰および凝縮熱伝達のデータベース構築とデータ解析の検討

- 宮良 明男 (佐賀大), 東 之弘 (九大), 赤坂 亮 (九産大), 亀井 亜佐夫 (ワークスポット・ジーピー)

B134: 膜沸騰熱伝達データベース構築と予測手法の検討

- 高品 駿介, ○ 永井 二郎 (福井大)

&lt;C 室&gt;

## C11 9:00-10:40 OS:乱流を伴う伝熱研究の進展 1

C111: 【OS 基調講演】亜臨界遷移の局在乱流を伴う伝熱

- 塚原 隆裕 (東理大)
- C112: 多孔質壁面を有する円管内乱流における究極熱伝達
  - 本木 慎吾, 酒井 智弘, 西尾 脩志, 河原 源太 (阪大)
- C113: 透過壁乱流の平均速度スケールリングに関する直接数値解析
  - 桑田 祐丞 (阪公大)
- C114: 乱流場における伝熱促進と圧力損失低減のためのピンフィン列のトポロジー最適化
  - Kumar Prashant, Chen Di, Han Xu, Hasegawa Yosuke (University of Tokyo)

**C12 11:00-12:00 OS:乱流を伴う伝熱研究の進展 2**

- C121: 乱流渦構造と温度ストリークとの相関の輸送方程式
  - 原 峻平 (同志社), 福留 功二 (東理大), 稲岡 恭二 (同志社)
- C122: 壁面突起で乱流遷移する円管内熱伝達現象の DNS 研究
  - 服部 博文 (名工大), 馬場 裕暉 (名工大), 保浦 知也, 田川 正人 (名工大)
- C123: 粘弾性流体のチャンネル乱流に現れる粘弾性的振動の PTV 計測
  - 南 匠, 原 峻平 (同志社大)

**C13 13:30-14:50 OS:乱流を伴う伝熱研究の進展 3**

- C131: SI エンジンにおける壁面近傍流動と壁面熱流束
  - 雨宮 壮一, 店橋 護, 志村 祐康 (東工大), 鎌田 慎 (明治大)
- C132: 一様発熱面の熱容量を考慮したチャンネル乱流伝熱場の直接数値計算
  - 小田 豊, 古川 泰成, 松本 亮介 (関西大)
- C133: 隣接 4 点熱流束センサによる強制対流熱流束計測
  - 鋤柄 文也, 長洞 舜樹, 中別府 修, 鎌田 慎 (明治大)
- C134: 高空間分解能熱線プローブによる乱流境界層壁近傍における 2 方向速度変動計測
  - 保浦 知也, 稲穂 達也, 服部 博文, 田川 正人 (名工大)

&lt;D 室&gt;

**D11 9:00-10:20 ナノ・マイクロ伝熱 1**

- D111: Thermal conductivity of strained singled walled carbon nanotube by boron nitride nanotube anchoring
  - Ya Feng (Univ. Tokyo), Yuta Sato (AIST), Taiki Inoue (Univ. Osaka), Rong Xiang (Zhejiang Univ.), Kazu Suenaga (Univ. Osaka), Shigeo Maruyama (Univ. Tokyo)
- D112: 顕微ポンプ-プローブ法によるフォトン・アップコンバージョン有機結晶における三重項励起子の拡散挙動計測
  - 羅 楠, 坂口 智也, 榎本 陸, 村上 陽一 (東工大)
- D113: 多層カーボンナノチューブを用いたガスセンサーの極性分子と非極性分子に対する吸着挙動および吸着エネルギーの比較
  - 張 孟莉 (広島大), 井上 修平 (近畿大), 松村 幸彦

(広島大)

- D114: ナノ粒子含有インクの微細構造浸透 X 線 CT 計測
  - 佐藤 圭将, 兒玉 学 (東工大), 倉本 信一, 加藤 弘一, 門永 雅史 (東工大/リコー), 伏信 一慶, 平井 秀一郎 (東工大)

**D12 10:40-12:20 ナノ・マイクロ伝熱 2**

- D121: 無触媒 CVD によるグラフェン・h-BN 構造制御合成
  - 西村 帆貴, 日下部 健太, 金田 遼太郎, 大塚 慶吾 (東京大), 井ノ上 泰輝 (大阪大), 丸山 茂夫, 千足昇平 (東京大)
- D122: インターカレーションによるグラファイトの熱伝導抑制の解析
  - 呉 益佳, 大西 正人, 孫 杰, Chandra Harsh, 塩見 淳一郎 (東京大)
- D123: 逆非平衡分子動力学法による異種高分子材料界面近傍の熱抵抗分布解析
  - 川島 拓真, 川口 達也, ○ 齊藤 卓志 (東工大)
- D124: 分子動力学による Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-CsSnI<sub>3</sub> 界面の熱伝導計算
  - 小林 風之介 (九州工大), 王 青 (九州大), 三浦 飛鳥, 矢吹 智英 (九州工大), 飯久保 智, 宮崎 康次 (九州大)
- D125: 超低熱伝導ファンデルワールスヘテロ構造における斜め入射フォノンの抑制
  - Ding Wenyang (Univ. Tokyo), Ong Zhun-Yong (Institute of High Performance Computing), Davier Brice (Univ. Tokyo), Hu Shiqian (Univ. Yunnan), Masato Ohnishi, Shiomio Junichiro (Univ. Tokyo)

**D13 13:30-14:50 ナノ・マイクロ伝熱 3**

- D131: エレクトロマイグレーションによるマイクロ AI 線でのボイド生成・成長の熱的特性
  - 巽 和也, 荒木 謙吾, 田中 康寛, 玉井 莞爾, 栗山 怜子, 中部 主敬 (京大)
- D132: 非晶質構造マグネシウムスズ酸化物における原子拡散エネルギーの見積もり
  - 鈴木 巧 (広島大), 井上 修平 (近畿大), 松村 幸彦 (広島大)
- D133: 高圧ひずみ加工を施した Si(1-X)Ge(X)の熱伝導特性
  - 高井良 真里奈, 生駒 嘉史 (九州大), MENG Han, 塩見 淳一郎 (東京大), 荒井 康智 (JAXA), 河野 正道 (九州大)
- D134: HPT 加工によるシリコン多結晶体の極低熱伝導化
  - 許 斌, LI Yifei (東京大), 生駒 嘉史, 河野 正道 (九州大), 塩見 淳一郎 (東京大)

&lt;E 室&gt;

**E11 9:00-10:20 OS:水素・燃料電池・二次電池 1**

- E111: 【OS 基調講演】Computing effective thermal conductivity of porous materials from very large tomograms: a divide and conquer approach
  - Jeff Gostick (Univ. of Waterloo)

E112: 【OS 基調講演】印刷技術を用いたバイオ電気化学デバイスの開発とウェアラブルデバイスへの応用  
○ 四反田 功 (東京理大)

着火特性

○ 森山 夏輝, 田島 伸悟, 勝身 俊之, 門脇 敏 (長岡技科大)

### E12 10:40-12:00 OS:水素・燃料電池・二次電池 2

E121: 分級と X 線可視化・熱重量分析による電極スラリー中の凝集粒子解析

○ 遠藤 滉太, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)

E122: エタノール分解生成物が PEFC 触媒インク分散に及ぼす影響

○ 笹部 崇 (東工大), 小椋 俊彦 (産総研), 岡田 康樹, 酒井 勝則, 平井 秀一郎 (東工大)

E123: PEFC 触媒インクのスロットダイ塗工の塗工安定性

○ 兒玉 学, 木曾 絢太, 酒井 勝則, 笹部 崇, 平井 秀一郎 (東工大)

E124: 燃料電池触媒層の乾燥過程におけるアイオノマー薄膜の形成現象に関する分子論的解析

○ 郭 玉婷, 馬淵 拓哉, 李 高阳, 徳増 崇 (東北大)

### E13 13:30-14:50 OS:水素・燃料電池・二次電池 3

E131: 燃料電池触媒インクの高湿乾燥が触媒層性能に及ぼす影響

○ 植野 岳春, 河村 雄行, 笹部 崇, 酒井 勝則, 平井 秀一郎 (東京工業大学)

E132: PEFC 電極スラリー乾燥過程のマイクロ四端子インピーダンス解析

○ 桐ヶ谷 遼, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)

E133: 分子動力学シミュレーションを用いた固体高分子形燃料電池触媒層中のセリウムイオン輸送現象の解析

○ 鈴木 寛人, 馬淵 拓哉, 徳増 崇 (東北大)

E134: 固体高分子形燃料電池カソード触媒層粒子内の水凝縮解析

○ Otic Clint John (東京大), 荒尾 正純, 松本 匡史, 今井 英人 (FC-Cubic), 杵淵 郁也 (東京大)

<F 室>

### F11 9:00-10:20 OS:燃焼伝熱研究の最前線 1

F111: 【OS 基調講演】燃焼におけるシステム安全の考え方

○ 門脇 敏 (長岡技科大)

F112: キャンセル

F113: 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いた燃料/N<sub>2</sub>O 燃焼に関する研究

原田 拓実, 村上 雄紀, 玉置 健太, 金山 佳督, 手塚 卓也, ○ 中村 寿 (東北大)

### F12 10:40-12:00 OS:燃焼伝熱研究の最前線 2

F121: ステンレス表面におけるサバティエ触媒反応の可能性

○ 岡本 こころ, 齋木 悠 (名古屋工大)

F122: アンモニア火災によるステンレス鋼の窒化過程における壁面温度の影響

○ 王道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二 (東京大)

F123: 水素-二酸化炭素噴流拡散火災に及ぼすメッシュ被覆の効果

○ 菱田 翼, 佐藤 大輔, 勝身 俊之, 門脇 敏 (長岡技科大)

F124: CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub>O 混合気の触媒反応器を用いた 2 段燃焼スラストの

### F13 13:30-14:50 OS:燃焼伝熱研究の最前線 3

F131: 異なる酸化雰囲気におけるアルミニウムワイヤの燃焼過程に関する研究

○ 李 敏赫, 上園 開人, 鈴木 雄二 (東京大)

F132: 大気圧メタン-空気混合気におけるピン-半球形高周波数誘電体バリア放電の放電周波数が点火特性に及ぼす影響

○ 李 政勳, 任 方思, 中谷 辰爾, 津江 光洋 (東京大学)

F133: 双極性電界による壁面近傍火炎内イオンの検出距離に関する研究

○ 小山 慶一郎, 中別府 修, 谷川 郁馬, 鎌田 慎 (明治大)

F134: アンモニア拡散火災中の NH<sub>3</sub>/NH<sub>2</sub>/NH/NO 濃度分布計測

○ 許 星長, 王道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二 (東京大)

<G 室>

### G11 9:00-10:20 自然エネルギー

G111: 超音波・マイクロ波照射に基づく BDF 合成と応用

○ 朱 寧, 久米山 光希 (静岡理工科大)

G112: 地中熱熱源計画に際した負荷変動の影響 (2)

○ 山口 正敏, 堀野 義人, 鈴木 和則 (日本地下水開発株式会社)

G113: 天然ゴムの弾性熱量効果を利用した冷却機構実現性の実験的評価

○ LOMBARDI Giulia (Univ. Tohoku), SEBALD Gael, COATIVY Gildas, JAY Jacques (INSA Lyon), 小宮 敦樹 (Univ. Tohoku)

G114: 2 段型蓄熱器を用いた進行波型熱音響エンジンの発振性能の向上

○ 山田 宝 (金沢大院), 多田 幸生 (金沢大), 経田 僚昭 (富山高専)

### G12 10:40-12:00 バイオ伝熱

G121: 近赤外線レーザー照射による生体組織変化が光学物性に及ぼす影響の評価

○ 小保内 秋芳 (東北大), 古川 琢磨 (八戸高専), 神田 雄貴 (東北大), オルワフェミ オルワトビ (ヨハネスブルグ大), 小玉 哲也, 小宮 敦樹 (東北大)

G122: 誘電分光による細胞内水分子ダイナミクスの測定

○ 松浦 弘明, ZHANG Junkai, 白樫 了 (東京大)

G123: 金ナノ粒子数を変化させた SERS センサーモデルの MD シミュレーションにおけるヌクレオチドの平均化振動スペクトル。

○ ヴロツキヒナ タチアナ, 丸山 航汰 (富山大学)

G124: ナノワットバイオカロリメータの開発

○ 下澤 由梨乃, 岡田 直也, 中別府 修 (明治大学)

**G13 13:30-14:50 電子機器の冷却 3**

- G131: 3次元熱解析を用いた構造関数の物理的解釈  
○ 武井 春樹 (シーメンス株式会社)
- G132: 自然空冷下におけるパワー半導体パッケージの熱インピーダンス分布とジャンクション温度への影響  
○ 西 剛伺 (足利大)
- G133: 過渡伝熱シミュレーションによるリフロー温度プロファイルの最適化  
○ 安井 龍太 (東工大), 篠田 卓也 ((株)デンソー)
- G134: 高密度実装状態で運用する小型軸流ファンの送風量予測に関する物理モデルの考察  
○ 福江 高志, 福田 哲士 (金沢工大), 増田 幸男 (長野県工業技術総合センター), 畠山 友行, 石塚 勝 (富山県大), 小泉 雄大 (ナブテスコ)

&lt;H室&gt;

**H11 9:00-10:00 電子機器の冷却 1**

- H111: 微細構造面上のサブクール流動沸騰熱伝達に及ぼす電界の影響  
○ 柴田 裕也 (山形大), 長尾 英幸, 伊豫田 真 (パナソニック コネクト (株)), 鹿野 一郎 (山形大)
- H112: 格子状グループ伝熱面に接合したロータス型ポーラス銅による沸騰浸漬冷却性能の向上  
○ 田中 大貴, 結城 和久, 海野 徳幸, 結城 光平 (山口東理大), 井出 拓哉, 大串 哲朗, 村上 政明 (ロータスサーマルソリューション)
- H113: 人工衛星用電気基板における半導体素子の温度分布の準準化に関する研究  
○ 山内 隆典, 竹本 裕太, 辻 秀伸 (三菱電機)

**H12 10:20-11:40 電子機器の冷却 2**

- H121: マイクロピラー駆動型 MEMS フレキシブル熱輸送デバイスの研究  
○ 野村 稜武, 上野 藍 (名古屋大学), 橋本 将明 (慶応義塾大学), Alasli Abdulkareem, 長野 方星 (名古屋大学)
- H122: 界面せん断力を受ける液膜流蒸発の伝熱特性  
○ 中野 拓哉, 廣川 智己, 河南 治 (兵庫県立大学)
- H123: レーザーアブレーションで形成した表面微細加工を有する伝熱面の沸騰熱伝達率および限界熱流束  
○ 平原 宥伸, 濱崎 翔太, 古賀 大基, 近藤 智恵子 (長崎大), 鈴木 大地 (産総研)
- H124: ECUにおける放熱材を応用した伝熱設計に関する研究  
○ 川上 遼 (東京工業大学), 橋本 一成 (株式会社デンソー), 安井 龍太, 伏信 一慶 (東京工業大学), 篠田 卓也 (株式会社デンソー)

**H14 15:10-17:10 産学連携イベント****15:10-17:10 優秀プレゼンテーション賞セッション**

- H1401: トランスデューサ層パターンングによる周波数領域サーモグラフィ計測手法の高感度化  
○ 安倉 祐樹, BANERJEE Amit, 土屋 智由, 廣谷 潤 (京都大)

- H1402: パルン基板を用いたフレキシブル 3 $\omega$ センサの作製と評価  
○ 山崎 瑠斗 (京都大), 松永 優希 (名古屋大), BANERJEE Amit, 土屋 智由, 廣谷 潤 (京都大)
- H1403: 温度計測によるナノワイヤネットワークの接点抵抗の全点推定と電流経路評価  
○ 杉原 悠太 (京大院), 上村 凌平 (京都大), 玉井 莞爾 (京大院), 巽 和也, 栗山 怜子, 中部 主敬 (京都大)
- H1404: ITX 法によるクモ糸の熱伝導率測定  
○ 澤田 大智, 塘 陽子, 福永 鷹信, 蔵田 耕作 (九州大), 高松 洋 (熊本高専)
- H1405: 蓄熱触媒による CO<sub>2</sub> メタネーションの熱制御  
○ 三村 憲吾, アデ クルニアワン, 清水 友斗, ジェーム メルバート (北海道大), 小碓 創司, 酒井 奨, 橋崎 克雄 (エネルギー総合工学研究所), 能村 貴宏 (北海道大)
- H1406: 架橋高分子材料の DPD シミュレーションにおける粗視化レベルの構造および熱物性への影響  
○ 李 楷文 (東北大院), 菊川 豪太 (東北大)
- H1407: 遠赤外吸収のない高純度単層カーボンナノチューブ薄膜の作製と光学特性  
○ 劉 知鋭, 西原 大志, 高倉 章, 宮内 雄平 (京大エネ研)
- H1408: 相転移材料 VO<sub>2</sub> を用いた長ストローク熱駆動切り紙 MEMS アクチュエータの開発  
○ 筒井 友哉, 田口 良広, 橋本 将明 (慶應大)
- H1409: 3 $\omega$ 法を用いた界面熱抵抗の評価  
○ 新井 隆也, 阿部 遥斗, 宮岡 大, 田中 三郎, 佐々木直栄 (日本大)
- H1410: 光ファイバーを用いた核融合炉内冷却水漏洩検知法の開発  
○ 小寺 毅, 森 大騎, 古谷 正裕 (早稲田大学)
- H1411: 可視透明ヒータを壁面とした矩形ミニチャネル内流動沸騰熱伝達の高空間分解能測定  
○ 吉田 雅輝, 山田 俊輔, 船見 祐揮, 中村 元 (防衛大)
- H1412: 熱流束と火炎-壁面間距離の同時測定が可能な MEMS センサの開発  
○ 横山 友輝, 脇坂 頼明, 出島 一仁, 河崎 澄, 山根 浩二 (滋賀県大)
- H1413: パラフィン高温融体内に注入された液滴の沸騰および熱的諸現象の把握  
○ 小林 優一, 東 巧 (明治大), 石岡 将史 (株式会社 MORESCO), 川南 剛 (明治大), 小寺 賢 (株式会社 MORESCO)
- H1414: HFC134a ガス・エタノール系の鉛直環状流におけるじょう乱波特性  
○ Zhang Huacheng, 梅原 裕太郎 (九州大), 吉田 啓之 (JAEA), 森 昌司 (九州大)
- H1415: 蛍光異方性を用いた流体温度分布と液体層厚さの同時測定  
○ 栗原 慧, 山口 玲輔, 市川 賀康, 元祐 昌廣 (東京理科大学)
- H1416: 振動式密度計を用いた HFO 系冷媒の液相密度測定  
○ 山内 陽斗, 打越 流河, 西山 貴史, 高 雷 (福岡大)
- H1417: ニューラルネットワークに基づく沸騰現象のサーモグラフィ可視化の高速解析システムの開発  
○ 塚原 健, 黒田 容保, シェン ビャオ, 金子 暁子 (筑波

- 大), 畑中 健太, 矢吹 智英 (九工大)
- H1418: 着泡リボン加熱線によるAE-3000の沸騰開始過熱度の低減  
○ 呉 菲菲, 久野 努, 梅原 裕太郎, 高田 保之, 森 昌司 (九州大)
- H1419: 柔軟薄膜を設置したチャネル乱流における乱流速度と膜変形速度との関係  
○ 名木野 伸矢 (同志社大学), 守 裕也 (電気通信大学), 原 峻平 (同志社大学)
- H1420: 第一原理計算による切削工具サーメットの電子構造及び光学特性解析  
○ 長野 利春, 早川 翔大, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 矢吹 智英, 河野 翔也, 中村 和磨 (九州工大), 宮崎 康次 (九州大)
- H1421: 熱と流れの同時可視化によるコーヒーリング効果抑制の評価  
○ 田口 和真, 宮川 泰明, 城田 農, 岡部 孝裕 (弘前大)
- H1422: 原子スケール表面構造が Si-H<sub>2</sub>O 界面熱輸送機構に与える影響に関する分子動学的研究  
○ 本川 祐輝, 藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)
- H1423: 加熱時の衣服内気候における高分子収着剤繊維不織布の水分移動と発熱特性  
○ 加藤 巧真 (岡山県立大院), 春木 直人 (岡山県立大)
- H1424: ナノチャネルにおける電気浸透流に及ぼす表面親水性の影響  
○ 歐 哲璋, 王 浩宇, パル ソウマディープ, 大宮司 啓文, 徐 偉倫 (東京大)
- H1425: 有孔隔膜の細孔径の違いが拡散現象に及ぼす影響に関する実験的評価  
○ ZHU Ruiyao (東北大), TORRES Juan (Univ. Australian National), 守谷 修一, 神田 雄貴, 小宮 敦樹 (東北大)
- H1426: ポリビニルアミン/ポリビニルアルコール複合膜内の気体拡散現象の分子動力学シミュレーション  
○ 福満 大輔, 佐藤 康平, 吉本 勇太, 杵淵 郁也 (東京大)
- H1427: 固液境界における流体力学的境界条件の周波数依存性  
山本 紘生, ○大森 健史 (大阪公立大)
- H1428: ケミカルループ燃焼における Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 酸素キャリアの多孔質構造が反応特性におよぼす影響  
○ 池 幸太, 岸本 将史, 岩井 裕 (京成大)
- H1429: 結合剤濃度を考慮した球状粒子結合層の圧力損失予測  
○ 小田 遥香, 濱本 芳徳 (九州大)
- H1430: 外部刺激に対するヒメポタルの発光同期について  
○ 山崎 晃太郎, 小林 士郎, 二宮 尚, 飯郷 雅之 (宇都宮大学)
- H1431: サウナ繰り返し入浴のような急峻な温度変化に適用可能な生体温熱モデルの検討  
○ 西館 来夢, 石橋 輝, 下村 友貴 (八戸高専), 島崎 康弘 (豊橋技科大), 岡島 淳之介 (東北大), 古川 琢磨 (八戸高専)
- H1432: 顕微赤外分光による水分子の水素結合状態と回転緩和時間の二次元分布測定  
○ 川合 晃生, 白樫 了 (東京大)
- H1433: 磁気ハイパーサーミアによる癌の低侵襲治療に関する検討  
○ 久保田 竜平 (青学大院), 石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)
- 大)
- H1434: SOECのCO<sub>2</sub>電気分解における電極酸化耐性の発現  
○ 東谷 翔, 伴 一京, 多和 碧葉, 渡部 弘達 (立命館大)
- H1435: Physics-Informed Neural Network を用いた SOFC 燃料極の1次元数値解析  
○ 前田 伸一, 岸本 将史, 岩井 裕 (京成大)
- H1436: フレキシブルフィンを用いた熱電デバイスの性能評価  
○ 阿部 遥斗, 新井 隆也, 宮岡 大, 佐々木 直栄, 田中 三郎 (日本大)
- H1437: 自立マイクロチャネル構造をもつnW分解能バイオカロリメータの開発  
○ 梅野 錬, 焦 一航, 矢吹 智英 (九州工業大学)
- H1438: 無水高温型 PEFC 性能と生成水管理能力に及ぼす流路構造の影響  
○ 榊原 諒, 市川 亮輔, 植村 豪, 田部 豊 (北海道大学)
- H1439: 火炎式噴霧熱分解による白金/セリアナノ粒子の合成と排ガス浄化触媒への適用  
○ 峯岸 直也, 李 佩周, 長澤 剛, 小酒 英範 (東京工業大学)
- H1440: 自由界面を有する水平円筒容器内自然対流の輸送現象  
○ 望月 陽仁, 稲垣 照美, 李 艶栄 (茨城大)
- H1441: 車載パワーデバイス用水冷ピンフィンヒートシンク内の流れ可視化実験と熱流体解析  
○ 萩原 蒼一郎, 永田 雄基, 井上 浩一 (北九大)
- H1442: 湿り空気的环境条件を予測子とした機械学習によるミストの発生予測及び主成分分析  
○ 佐藤 文哉 (山形大)
- H1443: 溝付き回転二重円筒内の乱流伝熱解析  
○ 武田 滉平, 桑田 祐丞, 金田 昌之, 須賀 一彦 (大阪公立大)
- H1444: 低レイノルズ数浮力衝突噴流が自然対流温度境界層に与える影響評価  
○ 小泉 匠摩 (東北大), 古川 琢磨 (八戸高専), TORRES Juan (ANU), 神田 雄貴, 小宮 敦樹 (東北大)
- H1445: 矩形型自由液膜内温度差マランゴニ対流における基本定常流のプラントル数依存性  
○ 垣内 習作 (東理大院), 塚原 隆裕, 上野 一郎 (東理大)
- H1446: 水循環を用いた農業用空調システムの夜間時における暖房時間の延長に関する研究  
○ 藏貫 市瑛, 鳥山 孝司 (山梨大)
- H1447: PCM 固液共存状態下における非定常な凝固・融解現象の解明  
○ 加瀬 雄琉, 稲垣 照美, 李 艶栄 (茨城大)
- H1448: 完全制御型植物工場の熱収支モデルの構築に向けた栽培環境実測  
○ 鈴木 優希也, 木下 進一 (大阪公立大学), 吉田 篤正 (早稲田大学), 瀬戸口 悠 (大阪公立大学)
- H1449: 旋回燃焼器内に形成される燃焼振動と逆火のダイナミクス  
○ 天野 竣介, 河田 剛志, 後藤田 浩 (東理大)

## &lt;I室&gt;

**I11 9:00-10:20 融解・凝固 1**

- I111: 垂直円管内を流動するスラリー熱媒体の密度差が流速分布に及ぼす影響  
○ 海老原 光, 小熊 寿弥, 阿部 駿佑, 浅岡 龍徳 (信州大)
- I112: 水平円管内におけるキシリトールスラリーの流動特性  
○ 森本 崇志, 柴田 悠貴生, 熊野 寛之 (青学大)
- I113: 熱を考慮した埋め込み境界—格子ボルツマン法による自然対流を伴う円管内における氷スラリー流の熱流動解析  
○ 塩見 凌大, 吉野 正人, 鈴木 康祐 (信州大)
- I114: 調和濃度 TBAB 水溶液の相変化過程における濃度場の観察  
○ 白井 魁人, 鶴田 俊, 大徳 忠史 (秋田県立大学)

**I12 10:40-11:40 融解・凝固 2**

- I121: 濃度勾配のある水溶液内の凝固挙動と膨張圧の発生に関する研究  
○ 小菅 紫立, 中村 太一, 川南 剛 (明治大), 市場 元康, 堀井 克則 (パナソニック株式会社)
- I122: 噴流による融解潜熱蓄熱に関する実験的研究  
○ 玉田 凌也 (北見工大院), 森田 慎一, 羽二生 稔大, 高井 和紀 (北見工大), 早水 庸隆 (米子高専)
- I123: 保存型 Allen - Cahn 方程式を導入した自由表面格子ボルツマン法の融解・凝固問題への適用  
○ 黒田 裕也, 鈴木 康祐, 吉野 正人 (信州大), 間間 直彦, 福井 智哉 (三菱電機株式会社)

**I13 13:30-14:50 融解・凝固 3**

- I131: カーボンナノチューブ分散潜熱蓄熱材の矩形蓄熱槽内自然対流融解に関する実験的研究  
○ 齊藤 智也 (北見工大院), 森田 慎一, 羽二生 稔大, 高井 和紀 (北見工大), 早水 庸隆 (米子高専)
- I132: 分子径の異なる 2 種類の界面活性剤混合液の滴下が過冷度に及ぼす影響の検討  
○ 難波 竜三郎, 伊藤 恒輝, 千綿 允尊 (中央大学大学院), 松本 浩二 (中央大学)
- I133: 電圧印加されたステンレス板とカチオン性界面活性剤添加氷のナノスケールにおける付着力に関する研究  
○ 岡田 龍史, 木塚 颯真, 安藤 賢太 (中央大学大学院), 松本 浩二 (中央大学)
- I134: フリーズドライにおける糖度分布抑制のための凍結モデルに関する検討  
○ 田中 裕太郎, 小島 諒也, 浅岡 龍徳 (信州大), 早川 菜保美, 杉浦 良賢, 山田 朋美, 唐澤 陸央 (アズグックフーズ)

## &lt;J室&gt;

**J11 9:00-10:20 空調・熱機器 1**

- J111: 多列磁気再生器を有する磁気冷凍装置の運転特性  
○ 川南 剛, 鈴木 遼太郎 (明治大)
- J112: スターリング冷凍機の再生器最適化に関する実験的研究  
○ 今井 佑 (北見工大院), 森田 慎一, 羽二生 稔大, 高

井 和紀 (北見工大), 早水 庸隆 (米子高専)

- J113: 水循環式農業用空調システムの赤外線吸収量の低減による冷却能力向上に関する研究  
○ 大島 拓 (山梨大院), 鳥山 孝司 (山梨大)
- J114: パルス型斜め波状壁フィンを用いた熱交換流路における着霜・熱流動特性  
○ 佐藤 優樹, 片岡 大, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東京大)

**J12 10:40-12:20 空調・熱機器 2**

- J121: 金属 Additive Manufacturing 技術を活用した周辺機器を含めたコンパクト熱交換器の開発  
○ 高橋 雄太, 中拂 博之, 佐藤 恵一, 永原 駿一, 谷本 浩一 (三菱重工)
- J122: トポロジー最適化を用いたロケットエンジン用熱交換器の設計  
○ 福井 聡 (株式会社 中央エンジニアリング), 矢地 謙太郎 (阪大), 衣斐 俊彦, 小河原 彰 (株式会社 NTT データザムテクノロジーズ)
- J123: 排熱回収型熱電発電システムのモデルベース開発に関する検討  
○ 岡田 友輝 ((株)白山), 寺本 ゆう莉 (金沢工大), 内田 健太郎 ((株)白山), 福江 高志 (金沢工大)
- J124: 工場の空調に及ぼす熱負荷とその低減  
○ 小林 敬幸, 鈴木 省吾 (名大), 大倉 重信 (ハイデック)
- J125: 圧縮-吸着ハイブリッドヒートポンプの開発  
○ 木村 響, 胡 銘軒, アウチ グンジャン, ウオカマツオ ファビオ, シヤミン ジョバイル, 徐 偉倫, 大宮司 啓文 (東京大)

**J13 13:10-14:50 混相流**

- J131: 液滴間隔が蒸発挙動に与える影響の数値解析的検討  
○ 山田 寛, 磯部 和真, 堀部 明彦 (岡山山大)
- J132: 流動層式 PM 除去装置における流動媒体粒径の影響  
○ 山本 剛, 山崎 智行, 横尾 健人, 岸田 昌浩 (九州大)
- J133: 管群流路における丸セル型スパーサのランオフ効果による液滴挙動の可視観察  
○ 大川 理一郎, 古谷 正裕, 新井 崇洋, 飯山 継正 (電中研)
- J134: 二相流ノズル内での HC 冷媒の速度測定に関する研究  
○ 川村 洋介 (名城大)
- J135: 傾斜面上単一気泡の LBM 数値シミュレーションに関する研究  
○ 山口 朝彦 (長崎大), 桐谷 誠徳, 藤村 純也 (長崎大院), 桃木 悟 (長崎大)

**第 2 日 5 月 26 日 (金)**

## &lt;A室&gt;

**A21 9:00-10:20 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 4**

- A211: Reciprocal relations between capillary flow and surface charge in graphene nanochannels  
○ 李 秦宜, 陳 冠廷, 程 坤, 高橋 厚史 (九州大)
- A212: 接触線近傍ナノ液膜の観測に基づくナノフルイド液滴の超拡張濡れのメカニズム検討



- 庄司 衛太, 星野 瑛, 齋藤 大河, 琵琶 哲志, 久保 正樹, 塚田 隆夫, 笠居 高明, 阿尻 雅文 (東北大)  
A213: 原子間力顕微鏡を用いた固液界面のすべり長さ表面電荷密度の同時計測手法の開発

○ 石田 遥也, 手嶋 秀彰, 高橋 厚史 (九州大)

- A214: グラフェン表面の疎水的な欠陥におけるピンギ力の解析

○ ビスタファ カロス, 楠戸 宏城, 山口 康隆 (大阪大)

#### A22 10:40-12:00 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 5

- A221: 水を含む二成分混合液滴の濡れ拡がりにおよぼす影響因子の検討

Thomson Katie, Boyle Tom, Orejon Daniel, Sefiane Khellil, Valluri Prashant (エディンバラ大), ○ 喜多 由拓 (キングスカレッジロンドン)

- A222: 固液界面張力およびその空間分布と固液相互作用の関係に関する分子動力学解析

○ 藤野 大成, 宮本 大悟, ビスタファ カロス, 楠戸 宏城, 大賀 春輝, 山口 康隆 (大阪大)

- A223: Droplet Spreading Revisited: A Generalization to Tanner's Law

○ 王 振英, 井上 智博 (九州大学), Karapetsas George (Aristotle Univ. Thessaloniki), Valluri Prashant (Univ. Edinburgh)

- A224: 液滴の周期運動を通じた修飾表面上の接触線移動度の評価

○ 沈 佳杏, 李 禮林, 李 远哲 (東京大), Zaleski Stéphane (Sorbonne Université), Amberg Gustav (Södertörn University), 塩見 淳一郎 (東京大)

#### A23 13:30-14:30 OS:液滴・濡れ現象の制御と理解 6

- A231: 防曇表面における凝縮の制御

○ 谷内田 大貴, MUQUET Noémie (東京大), LANEY Sophia, MICHALSKA Martyna, PAPAKONSTANTINOI Ioannis (UCL), ムテルドウ テイモテ (東京大)

- A232: 加熱履歴による表面性状変化が液滴蒸発時間に及ぼす影響

○ 尾上 樹, 木田 健介, 有吉 隆晃, 河原 朋美, 日高 澄具 (九州大), 喜多 由拓 (キングス・カレッジ・ロンドン), 高田 保之, 河野 正道 (九州大)

- A233: 液滴のバフィンによる燃料蒸気の拡散挙動に関する数値解析

○ 貴傳名 史椰, 北田 絢也, PILLAI Abhishek, 黒瀬 良一 (京都大)

<B室>

#### B21 9:00-10:20 沸騰・凝縮 2

- B211: 高温面の液冷却中の急速冷却開始決定機構に関する新提案

○ 門出 政則, 光武 雄一 (佐賀大)

- B212: OpenFOAMによるウィック構造内部の熱および物質移動に関する数値解析

○ 張 展鵬, SHEN Biao (筑波大), 渡邊 健斗, 松原 幸世, 常 新雨, 永井 大樹 (東北大)

- B213: The effect of circular heater on pool boiling heat

transfer simulated by lattice Boltzmann method

○ LUO Chao, TAGAWA Thoshio (東京都立大)

- B214: 数値計算による水のプール沸騰熱伝達メカニズムの研究

○ 庄野 竜生, 畑中 健太 (九州工大), SATO Yohei (Paul Scherrer Institute), 矢吹 智英 (九州工大)

#### B22 10:40-12:00 沸騰・凝縮 3

- B221: 減圧下における界面活性剤水溶液の沸騰熱伝達機構に関する研究

○ 田中 孝典, 中村 淳, 田中 泰仁, 岩崎 正道 (富士電機), 井生 奈那子, 矢吹 智英 (九州工大)

- B222: 金属細線の液保持構造によるプール沸騰限界熱流束の向上

○ 加納 達也, 古谷 正裕, 中尾 健人 (早稲田大)

- B223: 浮体揺動模擬体系における大気圧強制対流沸騰の気泡挙動

○ 池田 寛, 植田 翔多, 新井 崇洋, 大川 理一郎, 白川 健悦, 宇井 淳 (電中研)

- B224: 電界印加時のサブクール流動沸騰熱伝達の実験的研究

○ 佐久間 蓮 (山形大学), 長尾 英幸, 伊豫田 真 (パナソニック コネクト (株)), 鹿野 一郎 (山形大学)

#### B23 13:10-14:50 沸騰・凝縮 4

- B231: 相関解析による沸騰熱伝面近傍の流動推定

○ 出島 一仁 (滋賀県大), 矢吹 智英 (九工大)

- B232: 銅合金伝熱面上のサブクールプール沸騰熱伝特性

○ 海野 徳幸 (山理大), 小野 淳一郎, 青木 佑太 (東京理大), 結城 和久 (山理大), 関 洋治 (量研), 佐竹 信一 (東京理大)

- B233: インホイールモーター冷却ループサーモサイフォン用 Novec7100の低温域における沸騰熱伝特性

金 旭豪, 喻 佳彤, ○ 陳 志豪, 宇高 義郎 (天津大), 望月 正孝 (ザヒートパイプス), 河村 廣道 (株) e-Gle)

- B234: プレート式熱交換器におけるアンモニア強制対流沸騰現象の可視化

○ 有馬 博史, 林 賢大 (佐賀大)

- B235: 水平管周りの流下液膜蒸発熱伝達

澤渡 一哉, 乳原 励, 杉本 勝美, ○ 浅野 等 (神戸大)

<C室>

#### C21 9:00-10:20 OS:熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 1

- C211: OS 趣旨説明

○ 加藤 之貴 (東工大)

- C212: LTJ 法による CaCl<sub>2</sub>/アルミニウム複合材の水蒸気収着挙動評価

○ 汲田 幹夫, 駒田 光太郎, 児玉 昭雄 (金沢大)

- C213: 硫酸イットリウム水和物化学蓄熱材の脱水・水収着挙動

○ 泉谷 啓斗, 春木 将司 (金沢大)

- C214: 酸化カルシウム/水系化学蓄熱と熔融塩サーモクライン顕熱蓄熱を用いたハイブリッドシステムの性能評価

○ 伊崎 剛義, 船山 成彦, 望月 恭輔, 杉山 司, 玉野 聡一郎, 加藤 敬, 高須 大輝, 加藤 之貴 (東工大)

**C22 10:40-12:20 OS:熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 2**

- C221: 【OS 基調講演】合金系相変化マイクロカプセルの開発とサーマルマネジメントへの応用  
○ 能村 貴宏 (北大)
- C222: 糖アルコールを共有結合性有機骨格 (COF) に含浸させた蓄熱材の開発と相変化特性  
○ 村上 陽一, 三井 翔磨, 中川 栞, 藤澤 弘樹, 王 曉晗 (東工大), 劉 芽久哉 (産総研), 森川 淳子 (東工大)
- C223: 硬殻マイクロカプセル化 THF/H<sub>2</sub>O ハイドレートの低圧生成特性  
○ 加藤 幹太, 廣瀬 晋之介, 日出間 り, 鈴木 洋 (神戸大)
- C224: ウルトラファインバブルを用いた多孔質膜の物性制御  
○ 弘中 秀至, 木村 洸輔, 朴 洙彬, 井上 元, 深井 潤 (九大)

**C23 13:10-14:50 OS:熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 3**

- C231: CNT を用いた熱電デバイスにおける接触部の形状が発電性能に及ぼす影響  
○ 神成 勇希, 市川 賀康, 橋爪 洋一郎, 森 健士郎, 伊藤 拓実, 中嶋 宇史 (東理大), 内田 秀樹 (日本ゼオン), 山本 貴博, 元祐 昌廣 (東理大)
- C232: 硫酸ランタンを用いる化学蓄熱材における微細組織制御と伝熱促進効果  
○ 鎮目 邦彦, 畑田 直行 (京大)
- C233: 水酸化カルシウム及びケイ素含浸炭化ケイ素ハニカムを用いた複合化学蓄熱材料の開発  
○ 船山 成彦, 古谷 高浩, 玉野 聡一郎, 望月 恭輔, 杉山 司, 伊崎 剛義, 加藤 敬, 高須 大輝, 加藤 之貴 (東工大)
- C234: 酸化カルシウム/水系化学蓄熱に用いる高耐久・高熱伝導度複合材料の開発  
○ 杉山 司, 望月 恭輔, 船山 成彦, 伊崎 剛義, 玉野 聡一郎, 加藤 敬, Zamengo Massimiliano, 高須 大輝, 加藤 之貴 (東工大)
- C235: 気固系化学蓄熱の熱出力向上のための粒子間架橋形成法の検討  
○ 中曾 浩一, 嶋田 健二, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大)

&lt;D 室&gt;

**D21 9:00-10:20 ナノ・マイクロ伝熱 4**

- D211: 準安定 ST12 ゲルマニウム同素体の熱電特性の第一原理計算  
○ 孟 涵, 安 盟, 大西 正人, 塩見 淳一郎 (東京大)
- D212: 高熱伝導性セルロースナノファイバー糸の創製  
○ 工藤 正樹 (産技高専), 王 冠瞳, 大長 一帆, Sivasankaran Harish, 許 斌, 邵 成, 李 禮林, Liao Yuxuan, 松嶋 直人, 児玉 高志 (東京大学), Lundell

Fredrik, Söderberg Daniel (スウェーデン王立工科大学), 齋藤 継之, 塩見 淳一郎 (東京大学)

- D213: 低強度可視光を紫外光に変換する革新的なフォトン・アップコンバージョン固体膜の創出  
○ 榎本 陸, 村上 陽一 (東工大)
- D214: 酸塩基反応の近赤外イメージングのための変数選択と回帰  
○ カランダン ジャズネル, 坂下 拓海, 齋藤 慶大, 角田 直人 (東京都立大学)

**D22 10:40-12:00 ナノ・マイクロ伝熱 5**

- D221: ナノ多結晶薄膜のフォノン輸送シミュレーション  
○ 堀 琢磨, 苫米地 陸, 谷口 竜聖 (東京農工大)
- D222: グラフェン液体セルの形状および圧力の同時計測  
○ 廣川 颯汰, 手嶋 秀彰, FERNÁNDEZ Pablo, 吾郷 浩樹, 李 秦宜, 高橋 厚史 (九州大)
- D223: In-situ measurements of thermal and electrical contact resistance between one-dimensional materials in the scanning electron microscope  
○ LI Dawei, 李 秦宜, 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)
- D224: 光黒化反応に伴う薄膜界面相の特性評価  
○ 鈴木 理久人, 井上 修平 (近畿大)

**D23 13:10-14:50 ナノ・マイクロ伝熱 6**

- D231: Engineering two-dimensional patterned graphene/h-BN heterostructures for extreme thermal conductivity by machine learning  
○ Meng An, Shiomi Junichiro (Univ. Tokyo)
- D232: 強い超音波分散処理や界面活性剤を用いない CNT の分散と薄膜の作製  
○ 西田 征矢, 寺内 一記, 嶋田 優作, 大塚 慶吾, 千足 昇平, 丸山 茂夫 (東京大)
- D233: 共有結合有機骨格 (COF) の水蒸気吸着特性の結晶サイズ依存性  
○ 王 曉晗, 村上 陽一 (東工大)
- D234: 第二高調波分光法を用いた気液界面の溶質分子が蒸発流束に与える影響の評価  
○ 今井 宏樹, 遠藤 匠, 杵淵 郁也 (東京大)
- D235: CO<sub>2</sub>分離回収を志向した共有結合性有機骨格 (COF) の創製とその特性  
○ 北野 智己, 王 曉晗, 後藤 駿斗, 村上 陽一 (東工大)

&lt;E 室&gt;

**E21 9:20-10:20 OS:水素・燃料電池・二次電池 4**

- E211: 加湿条件下におけるナフィオン膨潤に関する分子シミュレーション  
○ 幸田 尚樹, 佐藤 康平, OTIC Clint John, 杵淵 郁也 (東京大)
- E212: 液体基面上で作製した電解質膜の性質と構造の評価  
○ 三木 歩未, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)
- E213: PEFC 高性能化を目指した極薄ナノファイバー-GDL の創成  
○ 酒井 勝則, 石川 雄大, 張 紹玲, 笹部 崇, 河村 雄

行, 内藤 弘士, 松本 英俊 (東工大), 谷岡 明彦, 高橋 光弘 ((株) Zetta), 平井 秀一郎 (東工大)

**E22 10:40-12:00 OS:水素・燃料電池・二次電池 5**

- E221: ラボベース CT による PEFC 発電時の触媒層内液水可視化  
 ○ 笹部 崇, 菅原 孝弥, 内藤 弘士, 兒玉 学, 平井 秀一郎 (東工大)
- E222: 可視化実験で得られた GDL 内液水凝縮量を再現するマクロ凝縮モデル  
 ○ 稲垣 昌英, 加藤 晃彦, 加藤 悟, 鈴木 孝尚, 山口 聡 (豊田中研)
- E223: 流路付き GDL を用いた PEFC の X 線可視化・性能解析  
 ○ 鈴木 崇弘, 黄瀬 郁奈恵 (大阪大院), 那須 三紀, 平山 尚樹 (エノモト), 渡辺 政廣, 内田 誠 (山梨大), 津島 将司 (大阪大院)
- E224: 濡れ性パターン電極の採用による PEFC カソード内の液水輸送制御  
 ○ 金子 礼弥, 西田 耕介 (京工繊大)

**E23 13:30-14:50 OS:水素・燃料電池・二次電池 6**

- E231: 1 次元熱勘定モデルと 3 次元 CFD モデルを用いた HT-PEFC 単セル内伝熱解析  
 ○ 西村 顕, 豊田 恭平, 三島 大季, 伊藤 将吾 (三重大院)
- E232: FC システムシミュレーターによる無水高温型 PEFC の性能解析  
 ○ 市川 亮輔, 榎原 諒, 植村 豪, 田部 豊 (北海道大学)
- E233: GDL 濡れ性を変えた PEFC 内液水滞留の数値シミュレーション  
 ○ 内藤 弘士, 平井 秀一郎 (東工大)
- E234: PEFC カソード拡散層内における酸素輸送の局所エントロピー生成解析  
 ○ 西田 耕介 (京工繊大)

<F 室>

**F21 9:00-10:20 OS:燃焼研究の最前線 4**

- F211: 水素酸素デュアル・スワール部分予混合燃焼の DNS  
 ○ 住友 啓允, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)
- F212: クロスフロー型液体燃料噴流の微粒化・蒸発現象に関する数値解析  
 ○ 北田 絢也, 黒瀬 良一 (京都大)
- F213: 畳み込みニューラルネットワークを用いた旋回乱流燃焼器で形成される燃焼振動の予兆検知  
 ○ 田村 拓也, 森 洋輔, 岸谷 宣成, 後藤田 浩 (東京理科大学)
- F214: バックステップ型燃焼器における噴霧燃焼振動の形成メカニズムの解明  
 ○ 加藤 健太, 榛葉 広之, 難波江 佑介, 後藤田 浩 (東理大), 長尾 順, 黒瀬 良一 (京大)

**F22 10:40-12:00 OS:燃焼研究の最前線 5**

- F221: 各種ガソリンサロゲート燃料のリーン着火限界特性に関する数値

的研究

橋本 彩夏, 秋田 佳祐, 森井 雄飛, 中村 寿, ○ 丸田 薫 (東北大)

- F222: 旋回-絞り構造バーナーによるバイオシingasの高負荷燃焼機構  
 楠 直也, 竹原 裕貴, ○ 奥村 幸彦 (香川大)
- F223: イソオクタン過濃不安定伝播火炎の温度分布に及ぼす火炎伸長率の影響  
 ○ 池田 孝, 渡邊 裕章 (九州大), 黒瀬 良一 (京都大), OKAFOR EKENECHUKWU, 北川 敏明 (九州大)
- F224: Modelling of coal and ammonia co-firing using a three-mixture fraction flamelet/ Progress Variable (3Z-FPV) approach  
 ○ ヤドウ スエート, ユウ パンロン, 渡邊 裕章 (九州大学大学院総合理工学研究院 環境理工学部)

**F23 13:10-14:50 分子動力学 1**

- F231: Lennard-Jones 系における単原子スケール固液界面熱輸送機構: 温度の効果  
 ○ 藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)
- F232: 親水性末端ポリエチレングリコール SAM 界面における固液界面熱輸送特性の解明  
 ○ 菊川 豪太, SAHA Leton (東北大), 八木 貴志, 山下 雄一郎 (産総研), 佐藤 正秀 (宇都宮大), 小原 拓 (東北大)
- F233: 分子シミュレーションを用いたクレンジング剤の機能性と材料物性の比較  
 ○ 横山 貴光 (慶應大), 三譯 秀樹, 中武 良一 (株) FANCL, 荒井 規允 (慶應大)
- F234: 線形応答理論に基づく平衡分子動力学系を用いた固体・液体間の滑り現象の再現とその応用  
 ○ 大賀 春輝 (大阪大), 大森 健史 (大阪公大), 山口 康隆 (大阪大)
- F235: 分子動力学解析を用いた二つの異なる液体間の界面張力の力学的・熱力学的抽出法とその解釈  
 ○ 小川 滯, 楠戸 宏城, 大賀 春輝, 山口 康隆 (大阪大)

<G 室>

**G21 9:00-10:20 ヒートパイプ 1**

- G211: SiC インバータ沸騰冷却とループ熱サイホンによるインホイールモータの複合冷却効果  
 ○ 望月 正孝 (ザ ヒートパイプ), 清水 浩, 加藤 有紀子, 河村 廣道, 川口 正樹, 田本 貞治, 石川 徹, 森野 貴子 ((株) e-Gle), 宇高 義郎, 陳 志豪 (天津大)
- G212: 金属積層造形を用いた蒸発器を有するループヒートパイプの熱性能評価  
 ○ 秋月 祐樹, 小田切 公秀, 澤田 健一郎, 小川 博之 (宇宙航空研究開発機構)
- G213: 固体表面間に設置されたヒートパイプウィックに関する熱輸送実験  
 高山 貴光, 橋本 健太, ○ 小糸 康志 (熊本大)
- G214: 中性子ラジオグラフィによる流れの可視化に基づく自励振動ヒートパイプの熱輸送特性の評価

- 杉本 勝美, 谷口 智哉, 村川 英樹, 浅野 等 (神戸大院), 栗田 圭輔, 飯倉 寛 (原子力機構)

### G22 10:40-12:00 ヒートパイプ 2

- G221: ナノ粒子層をウィックとするヒートパイプの伝熱性能に及ぼす充填率の影響
- 王 萌蕾, 劉 依凡, 大川 富雄 (電通大)
- G222: 低充填率域における自励振動型ヒートパイプの熱輸送性能評価
- 塩川 篤史 (青学大院), 石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)
- G223: 薄型電子デバイスへの適用を目指した超薄型ループヒートパイプの研究
- 佐々木 純, 渡邊 紀志 (名古屋大), 麻生 忍, 貞方 和紀, 田邊 重之 (ポークライト株式会社), 長野 方星 (名古屋大)
- G224: 逆止弁付き自励振動型ヒートパイプの動作特性における逆止弁流動抵抗比の影響
- 安藤 麻紀子 (宇宙航空研究開発機構), 永井 大樹 (東北大)

### G23 13:30-14:50 ヒートパイプ 3

- G231: サーマサイフォン内流動現象の可視化による観察
- 山田 透 (三菱電機), 平田 大 (東京大), 木本 崇 (三菱電機)
- G232: 炭素繊維の配向性が CFRP 埋込自励振動ヒートパイプの熱輸送性能に与える影響
- 松原 幸世 (東北大), 安藤 麻紀子 (宇宙航空研究開発機構), ○ 永井 大樹 (東北大)
- G233: ポンプ駆動相変化熱輸送デバイスの熱流動解析
- 大西 元 (金沢大)
- G234: 抗重力条件下における 2m 級窒素ループヒートパイプの熱輸送特性
- 小田切 公秀 (宇宙航空研究開発機構), 常 新雨, 永井 大樹 (東北大), 小川 博之 (宇宙航空研究開発機構)

<H 室>

### H21 9:00-10:20 企業特別セッション 1

### H22 10:40-12:00 企業特別セッション 2

### H23 13:30-15:00 公開セッション「人と熱の関わりのお跡 (その6)」

- H231: 火山地帯・九州と地熱発電
- 丹山 智之 (九州電力)
- H232: 「持続可能な社会」を実現する TOTO 焼成技術の革新—すべてはお客様の笑顔のために—
- 山崎 政男 (TOTO)
- H233: 三菱重工長崎の伝熱研究と社会実装
- 山田 明 (三菱重工)

<I 室>

### I21 9:00-10:20 計測技術 1

- I211: 電子部品の発熱量測定
- 沼本 竜彦, 伊豫田 真, 菊池 文孝, 江村 鉄兵 (パナソニック コネクト株式会社)
- I212: 極低温・強磁場下における高温超伝導体 REBCO 薄膜の熱伝導率異方性測定に関する研究
- 博多屋 梨紗, 田邊 拓 (慶大院), 田口 良広 (慶大理工)
- I213: ナノ位置決め制御を用いた TRI 温度測定の高精度化
- 玉井 莞爾, 杉原 悠太, 児玉 将規, 巽 和也, 栗山 怜子, 中部 主敬 (京大)
- I214: 熱音響原動機の共鳴管内における流れの計測
- 小林 健一 (明治大), 平田 樹生 (明治大院)

### I22 10:40-12:20 計測技術 2

- I221: エンジン内壁面における燃料液膜検出用 MEMS 静電容量センサの開発
- 平岡 郁恵, 安田 龍平, ○ 中別府 修, 鎌田 慎 (明治大), 窪山 達也 (千葉大), 高山 敏 (スズキ (株))
- I222: 抵抗線 CT を用いた温度測定における応答補償法の検討
- 吉田 史彦, 出島 一仁, 河崎 澄, 山根 浩二 (滋賀県立大学)
- I223: 非定常法における熱伝達率測定に与える温度計測法の影響
- 韓 旭, 大澤 崇行, 陳 迪, Prashant KUMAR, 関 鳳渤, 長谷川 洋介 (東京大)
- I224: Development of a MEMS sensor for liquid-film thickness measurements for annular flows in microchannel
- BAPTISTELLA Victor, 郭 兆瑞, 李 敏赫 (東京大), RIBATSKI Gherhardt (サンパウロ大), 鈴木 雄二 (東京大)
- I225: 形状計測を伴う超音波 CT による非侵襲的溫度測定
- 山下 徹 (熊本高専)

### I23 13:30-14:50 電子機器の冷却 4

- I231: 熱抵抗測定による MLCC のはんだクラック検出方法の開発
- Centian XIE, Yungchi LIU, 伏信 一慶, 安井 龍太 (東工大), 篠田 卓也 (デンソー)
- I232: ロックインサーモグラフィ周期加熱法を用いた半導体用放熱基板の界面熱抵抗測定
- 丹伊田 春海, 藤田 涼平, 濱田 真旗 (名古屋大), 前田 徹, 佐々木 啓太 (住友電工), 長野 方星 (名古屋大)
- I233: 電子機器の熱マネジメントに用いる固-固相変化材料の性能評価
- 馬場 将亮, 石原島 弘明, 石坂 洸樹, 武田 雅敏 (長岡技大)
- I234: 紙繊維への水分子の吸着現象による紙伸縮現象の解析
- 潘 楷文, 川野 理基 (東京工業大学), 山崎 公晴 (株式会社リコー), 加藤 弘一 (東京工業大学), 倉本 信一, 伏信 一慶 (東京工業大学工学院機械系)

## &lt;J室&gt;

**J21 9:00-10:20 ふく射輸送とふく射性質 1**

J211: 【OS 基調講演】ナノフォトニクスに基づく熱輻射制御および熱光発電への展開

○ 井上 卓也 (京都大)

J212: 遠方場サーマルフォトニクス発電の可能性

伊藤 駿佑, 杉本 涼, 田中 宏樹, 味崎 航也, ○ 櫻井 篤 (新潟大)

J213: 金属-絶縁体-金属構造波長選択ふく放射射体によるインク保湿剤の加熱

○ 石原 光希, 花村 克悟 (東工大)

**J22 10:40-12:00 ふく射輸送とふく射性質 2**

J221: 密度展開に基づいたコロイド溶液のふく射散乱に及ぼす干涉効果の数値解析

○ 藤井 宏之, 羅 炫禹, 西川 小彌太, 井上 優輝, 小林 一道, 渡部 正夫 (北大)

J222: 脂肪酸のふく射加熱と格子ボルツマン法による温度分布解析

○ 磯部 和真, 内山 雄介, 山田 寛, 堀部 明彦 (岡山大)

J223: PNIPAM ゲルを用いた黒色スペクトルスイッチングコーティングの実験的評価

○ 江目 宏樹, 高橋 匠, 矢野 雅之, 戸森 央貴 (山形大)

J224: 矩形キャビティ内部の壁面放射率特性が自然対流温度境界層に及ぼす影響の評価

○ 高木 松誠, 小泉 匠摩 (東北大), 古川 琢磨 (八戸高専), 小宮 敦樹 (東北大)

**J23 13:30-14:50 強制対流**

J231: 熱交換モジュールモデルを用いた強制空冷デバイスのモデルベース開発の基礎研究

○ 寺本 ゆう莉, 福江 高志 (金沢工大), 瀧澤 登 (フリーコンサルタント), 有本 志峰 (日立 Astemo)

J232: 高性能オフセットフィンの開発

○ 江口 駿作, 上藤 陽一, 中拂 博之, 谷本 浩一 (三菱重工業(株))

J233: 塩分成層流体中を自由落下する球まわりの流れの可視化実験

○ 植田 晃平, 萩原 裕也, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京大)

J234: 摺動を利用した熱輸送現象の評価

○ 大串 鴻稀 (青学大院), 石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)

**第3日 5月27日 (土)**

## &lt;A室&gt;

**A31 9:00-10:20 沸騰・凝縮 5**

A311: 含水多孔質体を用いた高熱流束除去

相川 義賢, 高野 智也, ○ 奥山 邦人 (横国大)

A312: 上面加熱における蒸気排出流路付き多孔質体の沸騰熱伝達

## 特性

○ 岡島 淳之介, 杉本 浩輝 (東北大), 小関 国夫 (産総研)

A313: 固体ナノ細孔内の沸騰構造の熱力学的分岐

○ PAUL Soumyadeep, 伊藤 佑介, 徐 偉倫, 大宮司 啓文 (東京大)

A314: 金属多孔質伝熱面上のプール沸騰における壁面熱伝達機構の研究

○ 田村 亮太, 古清水 友輝, 矢吹 智英 (九州工大)

**A32 10:40-12:00 沸騰・凝縮 6**

A321: 表面微細構造と濡れ性による沸騰伝熱特性への影響

○ 趙 晟惟, 吉田 悠人, 金子 暁子, シェン ビャオ (筑波大)

A322: ミクロ液膜を考慮した大気圧水の核沸騰熱伝達特性

殷 雲飛, 陳 志豪, ○ 宇高 義郎 (天津大)

A323: 周期的濡れ性勾配を有する複合伝熱面による伝熱促進効果

○ 徳永 敦士 (宇部高専)

A324: 底面が共通で半径方向に狭い隙間を持つ銅伝熱面上での沸騰伝熱

○ 原村 嘉彦, 諸隈 崇幸 (神奈川大)

**A33 13:10-14:50 沸騰・凝縮 7**

A331: 自吸過程による下向き表面プール沸騰の強化に関する研究

○ YANG SHAOBO (東京大), UEDA RYUTARO (福井大), HONG SIHUI (中山大), CHEN YU (東京大), DANG CHAOBIN (福井大)

A332: 霜層被覆層厚さが液体窒素中の沸騰冷却速度に及ぼす影響

○ 諸隈 崇幸, 中島 颯太, 新井田 大樹, 原村 嘉彦 (神奈川大)

A333: 感温塗料を用いた三相界線における蒸発熱輸送の計測

○ 畑中 健太, 深町 むく (九州工大), Sato Yohei (PSI), 矢吹 智英 (九州工大)

A334: 衝突噴流冷却中の高温面上のぬれ先端の挙動モデルの検討

○ 光武 雄一 (佐賀大), 柳 楊 (浙江理工大), 門出 政則 (佐賀大)

A335: 固体表面上の微細ピラー構造がスプレー冷却特性に及ぼす影響

○ 松永 泰平, 須藤 路真, 日高 澄具 (九州大), 喜多由拓 (キングス・カレッジ・ロンドン), 高田 保之 (九州大), 福田 啓之 (JFE スチール), 河野 正道 (九州大)

## &lt;B室&gt;

**B31 9:20-10:20 液滴・濡れ現象の制御と理解 7**

B311: 乾燥表面に衝突する液滴に関する三次元数値解析

○ 魏 天一, 北田 絢也 (京大院), Pillai Abhishek, 黒瀬 良一 (京大)

B312: 周方向の濡れ性勾配を有する円柱への液滴衝突挙動

○ 石川 拓, 磯部 和真, 堀部 明彦, 山田 寛 (岡山大)

B313: 熔融金属液滴衝突界面の無欠陥領域

○ 城田 農, 大川 拓巳, 中川 裕亮, 前田 一明, 山谷 拓夢, 岡部 孝裕, 宮川 泰明 (弘前大)

**B32 10:40-12:00 自然対流**

- B321: 隙間を有する円管状フィンを設置した水平加熱面からの放熱挙動  
 ○ 森本 龍介 (岡山大学大学院), 下山 力生 (岡山工業技術センター), 山田 寛, 磯部 和真, 堀部 明彦 (岡山大学大学院)
- B322: 永久磁石を用いた空気自然対流の熱伝達抑制  
 ○ 益田 卓哉 (米子高専), 田川 俊夫 (都立大), アラム アシュラフル (大産大), 早水 庸隆 (米子高専)
- B323: 自然対流境界層の線形不安定性を対象とした粘性と浮力に関する数値実験  
 ○ 吉川 穰 (宮城県産技セ), 古川 琢磨 (八戸高専)
- B324: 数値シミュレーションと感温液晶粒子による立方体内自然対流の構造と熱輸送  
 ○ 衣川 竜世, 平田 勝哉, 山田 貴太 (同志社大)

## &lt;C室&gt;

**C31 9:00-10:20 OS:化学プロセスにおける熱工学 1**

- C311: OS 趣旨説明  
 ○ 中曾 浩一 (岡山大)
- C312: 【OS 基調講演】氷点下冷熱を生成する吸収冷凍機の研究歴史から学ぶカーボンニュートラルへのアプローチ  
 ○ 折田 久幸 (八戸工大)
- C313: Thermal Storage Capacity Estimation of Lithium Bromide-Zeolite Pairs for Waste Heat Recovery  
 ○ Makarim Dio Afinanda, 須網 暁 (岐阜大学), Wijayanta Agung Tri (Sebelas Maret University), 小林 信介, 板谷 義紀 (岐阜大学)
- C314: LiBr 吸収液を用いたラボスケールサーマルトランジスタによる高温低温生成特性  
 ○ 林田 舜平, Wibisono Aditya, Makarim Dio, 須網 暁, 小林 信介 (岐阜大), 川村 公人 (アサヒクオリティアンド イノベーションズ), 丸毛 謙次 (森松工業), 板谷 義紀 (岐阜大)

**C32 10:40-12:20 OS:化学プロセスにおける熱工学 2**

- C321: 硬殻マイクロカプセル化蓄熱材の熱伝導改善に関する研究  
 ○ 鈴木 洋, 中島 彩菜 (神戸大), 中曾 浩一 (岡山大), 谷屋 啓太, 日出間 り (神戸大)
- C322: 新規蓄熱体開発のための粒子状蓄熱材の集積化の検討  
 ○ 妹尾 健斗, 中曾 浩一, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大), 谷屋 啓太, 日出間 り, 鈴木 洋 (神戸大)
- C323: 水面上放電で発生するOHラジカルの生成・消滅過程  
 ○ 久賀 雄太郎, 野村 信福, 本村 秀樹, 村上 太一, 向笠 忍 (愛媛大)
- C324: ハルバツハ配列磁場による常磁性流体の対流誘起に関する三次元数値解析  
 ○ 吉村 駿哉, 金田 昌之, 須賀 一彦 (大阪公立大)
- C325: バイオマス粒子を用いた半炭化中の可視化による体積変化測定およびその現象解明  
 加藤 舞, ○ 田之上 健一郎 (山口大)

## &lt;D室&gt;

**D31 9:00-10:20 分子動力学 2**

- D311: 鉄鋼中の炭素原子のエレクトロマイグレーションに関する分子論的解析  
 ○ 小野塚 隆太, 馬淵 拓哉 (東北大), CHANTRENNE Patrice (INSA Lyon), 徳増 崇 (東北大)
- D312: Statistical Model for adsorption in metal-organic frameworks  
 ○ Auti Gunjan, Hsu Wei-lun, Daiguji Hirofumi (The University of Tokyo)
- D313: 分子動力学を用いたセルロースの誘電特性分析  
 ○ 崔 帆圭, 塩見 淳一郎, 吉本 勇太, 北井 孝紀 (東京大)
- D314: グリーン久保の定義における熱・運動量輸送特性を、壁面相互作用を伴うナノチャンネル内の流れの発達モデルに適用  
 ○ 平野 雅道, ソロツキヒナ タチアナ (富山大学)

**D32 10:40-12:20 分子動力学 3**

- D321: 時間依存密度汎関数法によるパルス波に対する物質の熱的応答に関する数値解析  
 ○ 小野 泉帆 (東北大), 小宮 敦樹 (東北大流体研), 江目 宏樹 (山形大)
- D322: 水を含むポリビニルアミン/ポリビニルアルコール複合膜における気体溶解シミュレーション  
 ○ 佐藤 康平, 福満 大輔, 吉本 勇太, 杵淵 郁也 (東京大)
- D323: ReaxFF 反応力場を用いた担持触媒粒子表面における反応過程の熱移動に関する分子動力学解析  
 藤井 祐作, 藤原 邦夫, 津島 将司, ○ 芝原 正彦 (大阪大)
- D324: 散逸粒子動力学法と機械学習を用いた両親媒性分子の自己集合形態予測  
 ○ 石渡 悠幹 (慶應大), 横山 貴洸 (慶應大院), 伴野 太祐, 荒井 規允 (慶應大)
- D325: 液体分子の量子性の強さが気泡核生成に及ぼす影響の分子動力学解析  
 平田 周論, ○ 津田 伸一, 渡邊 聡 (九州大)

**D33 13:30-14:50 分子動力学 4**

- D331: 不秩序系における不純物に由来する熱輸送抑制  
 ○ ANILKUMAR Chirag, 鎮目 邦彦, 塩見 淳一郎 (Univ. Tokyo)
- D332: 界面活性剤を用いたアクティブエマルションの制御に関する粗視化分子シミュレーション  
 ○ 佐々木 謙, 上野 和輝, 小島 知也 (慶大院), 伴野 太祐, 荒井 規允 (慶大)
- D333: 溶媒の極性による三つ葉型分子の構造変化の解析  
 ○ 福島 啓悟, 中根 幹太 (福井大)
- D334: 有機金属化合物の吸着に関する統計モデル  
 ○ アウチ グンジャン, 徐 偉倫, 大宮司 啓文 (東京大)

## &lt;E室&gt;

**E31 9:00-10:20 OS:水素・燃料電池・二次電池 7**

E311: メタン熱分解法を用いた水素製造装置に関する伝熱工学的見地からの検討

- 富樫 憲一 (岐阜大/道総研), 朝原 誠, 宮坂 武志, 安里 勝雄 (岐阜大), 越 光男 (東京大)

E312: Theoretical prediction for the limiting current density of PEMEC

- Ma Songsong, Ishikawa Yasufumi, Saitou Tomoko, Ito Kohei (Kyushu Univ.)

E313: 水電解への沸騰重畳効果の探求

- Li Linjun, 中島 宏典, 狩俣 孝弘, ○ 伊藤 衡平 (九州大学)

E314: Charge and discharge characteristics of the vanadium redox flow battery with different anode and cathode flow rates

- Sun Pengfei, Matsuo Kaito, Suzuki Takahiro, Tsushima Shohji (大阪大)

**E32 10:40-12:00 OS:水素・燃料電池・二次電池 8**

E321: プロトン伝導性セラミック燃料電池における非定常発電特性解析

- 村上 剛瑠, 永田 陽平, 李 坤朋, 荒木 拓人 (横浜国立大学), 黒羽 智宏, 見神 祐一, 山内 孝祐 (パナソニック HD(株)), 森 昌史, 松田 マリック隆磨, 小林 駿 (電力中央研究所)

E322: SOFCをベースにしたダイレクトカーボン燃料電池の電極構造と発電特性

- 渡部 弘達, Wen Minhao, 堀 直樹 (立命館大)

E323: 機械学習手法を用いた SOFC 電極の屈曲度ファクタの定量化

- 岸本 将史, 松井 耀大, 岩井 裕 (京都大)

E324: EELSを用いたYSZ/LSM界面の電気化学反応動力学に関する考察

- 小杉 達哉, 花村 克悟 (東工大)

**E33 13:30-14:50 OS:水素・燃料電池・二次電池 9**

E331: 応力場・電気化学反応場連成解析による全固体電池電極層の構造設計

- 井上 元, 宗 Magnus, 小森 千有里, 矢野 振一郎 (九州大)

E332: 塗工式作製の全固体電池における電極構造と充電性能

- 森崎 広大, 兒玉 学, 平井 秀一郎 (東工大)

E333: 砥粒吹付加工による硫化物系リチウム金属負極全固体電池の充電性能向上

- 宮本 幹太, 高嶋 快, 兒玉 学, 平井 秀一郎 (東工大)

E334: ゼオライトを用いた全固体二次電池の電解質材料の開発

- 師水 僚太, 野村 信福, 中島 純一 (愛媛大)

**E34 15:10-16:30 OS:水素・燃料電池・二次電池 10**

E341: 水素吸蔵合金への水素の充填・放出過程における速度の検討

- 呉 翼峰, 中島 裕典, 狩俣 貴大 (九州大学), 田中 靖国 (三浦工業株式会社), 伊藤 衡平 (九州大学)

E342: リチウムの電気化学反応を用いた蓄エネルギー・水素供給システムの放電特性

- 植村 豪, 池上 駿太郎, 田部 豊 (北大)

E343: シームレス多孔カーボンを用いたレドックスフロー電池の正極・負極内の物質輸送解析

- 石飛 宏和, 白石 壮志 (群馬大), 塚田 豪彦 (アイオン), 中尾 公人 (東洋エンジ), 井手 智紀, 中川 紳好 (群馬大)

E344: PEMECの電解電圧の低減

- 石川 泰史, 狩俣 貴大, 中島 裕典, 西藤 知子, 伊藤 衡平 (九州大学)

## &lt;F室&gt;

**F31 9:00-10:20 強制対流 2**

F311: 非定常熱流動場の動的モード分解に基づくパルス型斜め波状壁の形状感度解析

- 小野 智裕, 鈴木 雄二, ○ 森本 賢一 (東京大)

F312: 脈動流によるはく離領域の伝熱促進と熱伝達率のモデル化

- 長島 歩夢, 福江 高志 (金沢工業大)

F313: 矩形管内脈動流中に設置された平板上の熱伝達特性

- 加藤 来紀, 齊藤 弘順 (崇城大)

F314: 球形液滴の熱毛管移動の非定常解析

- 村林 遼, 林 右恭, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京大)

**F32 10:40-12:00 熱物性**

F321: 長尺高熱伝導率試験片の熱伝導率測定法

- 岡本 篤 (宇宙航空研究開発機構), 大串 哲朗, 村上 政明 (アドバンスドナレッジ研究所), 川崎 治, 嶋田 貴信 (宇宙航空研究開発機構)

F322: 自動連続フローシステムを用いた混合液の熱伝導率および粘度の最適化

- 彭 佳欣, LEE Yaerim, SIVASANKARAN Harish, 塩見 淳一郎 (東京大)

F323: 水素 + 二酸化炭素 2 成分系混合流体の飽和密度測定

- 迫田 直也, 田頭 大飛, 河野 正道 (九州大)

F324: グラスウール芯材真空断熱材の熱伝導率に及ぼす粒子添加効果

- 木下 進一 (大阪公立大), 坂口 匠 (大阪府立大学), 吉田 篤正 (早稲田大学)

## &lt;G室&gt;

**G31 9:00-10:20 計測技術 3**

G311: 位相シフト干渉計を用いた超臨界二酸化炭素中の非定常熱輸送現象の定量評価

- 神田 雄貴 (東北大), 陳 林 (中国科学院), 小宮 敦樹 (東北大)

G312: 内部発熱を用いた MEMS 薄膜熱流束センサの較正

- 鎌田 慎, 中別府 修, 鋤柄 文也, 長洞 舜樹, 井上 起宏 (明治大)

G313: パーリン多孔膜型 Knudsen ポンプの低消費電力化に関する研

究

- 陳 浩, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東京大)

G314: LightField 画像のリアルタイム深度推定機械学習モデルの構築

- 宮 竜太郎, 川口 達也, 齊藤 卓志 (東京工業大学)

**G32 10:40-11:40 物質移動**

G321: シイタケ発生時の原木内水分分布の MRI 計測

- 小川 邦康 (慶応大), 八島 武志 (石川農林総研)

G322: 二硫化モリブデン/水界面における表面電荷特性に関する研究

- 徐 騫, 高元 昭秀, パル ソウミヤディーブ, 大宮司 啓文, 徐 偉倫 (東京大)

G323: ナノポアを有する単層二硫化モリブデン単結晶を用いた DNA オリゴヌクレオチドの検出

- 李 俊彦, パル ソウミヤディーブ, 大宮司 啓文, 徐 偉倫 (東京大)





## 編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対象	対応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、記事を総務担当副会長補佐協議員（ML担当）、広報委員会委員長（HP担当）あるいは編集出版部会長（会誌担当）へ送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による 国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載 しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関係のある分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載 （バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長または広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては <a href="http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf">http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf</a> をご参照下さい。

### 【連絡先】

- ・総務部会長：白樫 了（東京大学）：[aa21150@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:aa21150@iis.u-tokyo.ac.jp)
- ・編集出版部会長：永井二郎（福井大学）：[nagai@u-fukui.ac.jp](mailto:nagai@u-fukui.ac.jp)
- ・広報委員会委員長：櫻井 篤（新潟大学）：[sakurai@eng.niigata-u.ac.jp](mailto:sakurai@eng.niigata-u.ac.jp)
- ・総務担当副会長補佐協議員：長谷川洋介（東京大学）：[ysk@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:ysk@iis.u-tokyo.ac.jp)
- ・事務局：大澤毅士・村松佳子・山田麻子：[office@htsj.or.jp](mailto:office@htsj.or.jp)

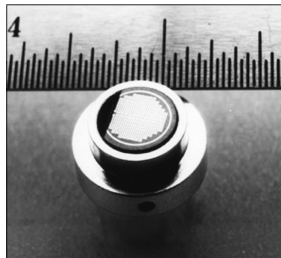
### 【注意】

- ・原稿は Word ファイルまたは Text ファイルでお願いします。
- ・HP はメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご承願います。
- ・ML では、原則としてテキスト文の送信となります。pdf 等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

# 熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 ( $W/cm^2$ ) に比例した直流電圧を出力します。  
弊社の製品は、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。  
特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、  
熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

## 熱流束 マイクロセンサー



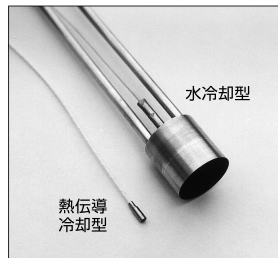
### 特徴

- 最高速の応答 (約  $6\mu$ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

### 使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラバース実験
- タービンレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

## サーモゲージ

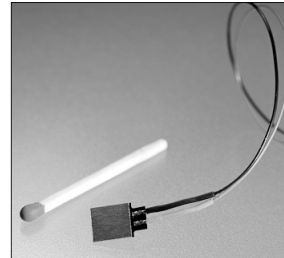


センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

### 使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

## gSKIN® 熱流束センサー



「gSKIN®」熱流束センサーはセンサー自身の表面を通過する熱流束を29対の超高感度な熱電対を用いて測定します。センサーは、 $72m^2$ の広さを持ち、厚さは $0.4mm$ です。レベル-0パッケージの最適化ポリマーと1-レベルパッケージの金属の構造になっています。

### 使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定
- 暖房および換気自動システムの測定
- 熱移動/熱放出の即時応答測定

## 熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。



センサテクノ株式会社

URL

[www.senstech.jp](http://www.senstech.jp)

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F  
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

E-mail

[info@senstech.jp](mailto:info@senstech.jp)



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

### CAPTEC 社(フランス)

CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。

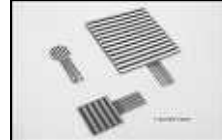
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

#### 熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm  
 厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)  
 温度範囲: -200～200°C  
 応答速度: 約 200ms  
 オプション: 温度計測用熱電対内蔵  
 形状: 正方形・長方形・円形  
 特注品: 高温用・高圧用・防水加工

#### 輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm  
 厚み: 0.25mm  
 温度範囲: -200～250°C  
 応答速度: 約 50ms  
 オプション: 温度計測用熱電対内蔵  
 形状: 正方形・長方形・円形  
 波長領域: 赤外/可視+赤外

### MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

#### 熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft<sup>2</sup>sec(フルスケール)  
 サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)  
 最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)  
 出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)  
 直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下\*  
 再現性: ±0.5%  
 較正精度: ±2%  
 オプション: 輻射窓・視野角指定等

\*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

#### 超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】  
 表面温度及び表面熱流束計測  
 風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等

【最小プローブ径】  
 0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】  
 T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C  
 J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C  
 E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C  
 K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C  
 S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

### ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

#### 高温用熱流板



最高温度: 980°C  
 応答速度: 0.1s  
 直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

#### 水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C  
 応答速度: 0.1s  
 最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm<sup>2</sup>

#### 当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

#### 有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B  
 TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522  
 URL: <http://www.techno-office.com>

## 編集出版部会ノート

### *Note from the JHTSJ Editorial Board*

「伝熱」2021年7月号より部会長を務めて参りましたが、あっという間の2年間でした。実質的に本号の編集担当が最後の務めとなり、次号は次期部会長との共同担当となります。2年前に担当し始めた際には、あれこれ意気込んでいた面もあったのですが、特に大きな改善や変更もなく2年間が過ぎ、私のルーズな性格による発行遅れが常態化してしまい、お恥ずかしい限りです。2年間で感じた点は次期部会長に引き継ぎ、よりよい学会誌実現を目指して頂きたいと思えます。

さて、本号では「ふく射伝熱」の特集を、本学会特定推進研究課題「太陽光エネルギー利用における伝熱工学の新展開」の主査をされている宮崎康次先生（九州大学）と本部会委員の田中三郎先生（日本大学）に組んでいただきました。特集のねらいや経緯は **Preface** に書かれている通りですが、掲載予定の記事は充実した内容と数になり、本号と次号の2回にわたる特集と設定致しました。まず本号にはその1として、ふく射伝熱の制御やそもそも熱ふく射とは何かという根源に関わる内容について、第一線の研究者の皆様から3件のご寄稿をいただきました。ご多用にも関わらずご寄稿くださった皆様に、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

永井 二郎（福井大学）

*Niro NAGAI (University of Fukui)*

*e-mail: nagai@u-fukui.ac.jp*

企画・編集出版担当副会長 小原 拓（東北大学）

編集出版部会長 永井 二郎（福井大学）

委員

（理事） 丸山 直樹（三重大学）、坂村 芳孝（富山県立大学）、田之上 健一郎（山口大学）、矢島 健史（東京電力）

（協議員） 浅岡 龍徳（信州大学）、小針 達也（日立製作所）、小宮 敦樹（東北大学）、塚原 隆裕（東京理科大学）、矢吹 智英（九州工業大学）、田中 三郎（日本大学）、櫻井 篤（新潟大学）、小川 邦康（慶應義塾大学）

TSE チーフエディター 鈴木 雄二（東京大学）

TSE 編集幹事 李 敏赫（東京大学）

編集出版部会 連絡先： 〒910-8507 福井市文京 3-9-1  
福井大学 学術研究院工学系部門  
永井 二郎

Phone: 0776-27-8537

E-mail: nagai@u-fukui.ac.jp