

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

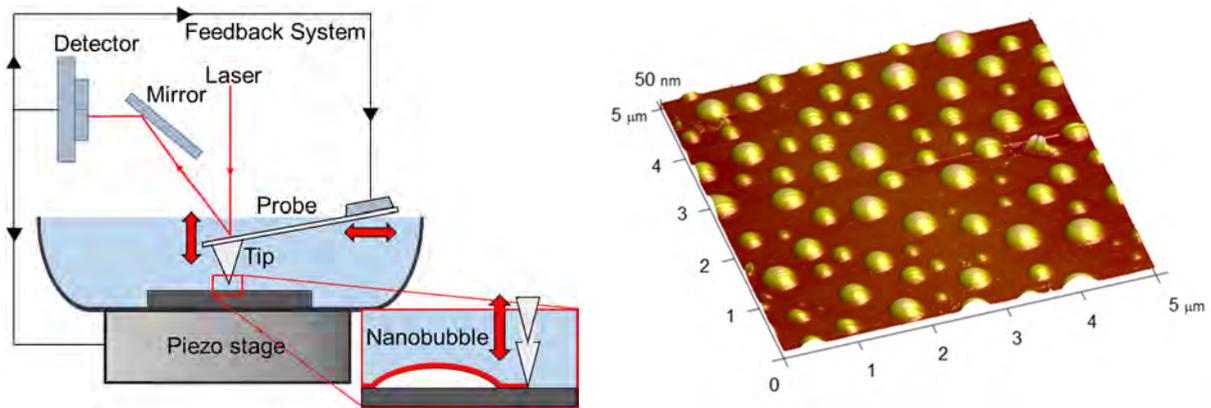
ISSN 1344-8692 Vol. 57, No. 239
2018. 4

Thermal Science and Engineering

ISSN 0918-9963 Vol. 26, No. 2
2018. 4

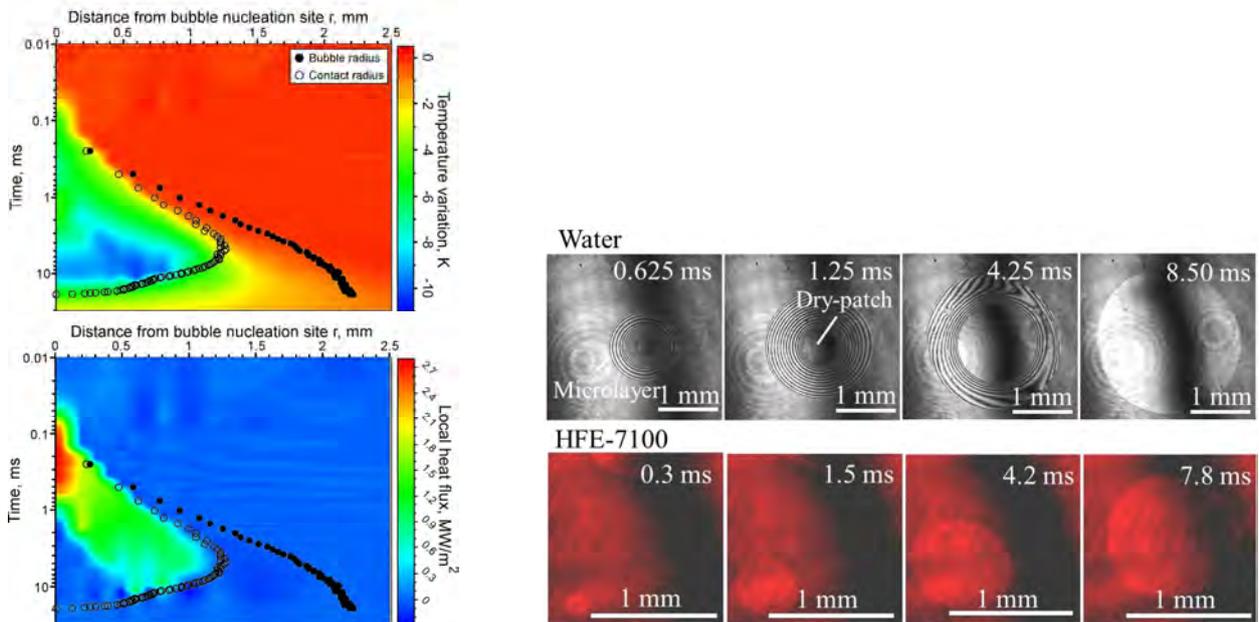
HSTJ

◆特集：沸騰・相変化・界面現象



上図（左）は、原子間力顕微鏡（AFM）による固液界面ナノバブルの計測イメージ図である。固液界面ナノバブルの計測には AFM が最もよく用いられているが、その理由は液中での走査が可能であることと、ナノメートル以下の空間分解能での三次元計測が可能であるからである。上図（右）は、固液界面ナノバブル三次元形状計測の一例である。

（特集記事「固液界面ナノバブルの実験について（高橋 厚史，手嶋 秀彰）」より）



上図（左）は、水のプール沸騰時に MEMS センサにより計測された孤立気泡底部局所温度と非定常熱伝導計算により算出された局所熱流束の時空間分布である。マイクロ液膜領域内の一部では限界熱流束値 1 MW/m^2 を超える局所熱流束が見られる。上図（右）は、レーザー干渉法で観察された飽和プール沸騰時の気泡底部気液構造である。

（特集記事「沸騰熱伝達を支配する伝熱素過程（矢吹 智英）」より）

伝 熱

目 次

〈巻頭グラビア〉

高橋 厚史, 手嶋 秀彰 (九州大学)・ 矢吹 智英 (九州工業大学, JST さきがけ) ……………	表紙裏
--	-----

〈特集：沸騰・相変化・界面現象〉

特集「沸騰・相変化・界面現象」にあたって ……………	永井 二郎 (福井大学) ……………	1
相変化研究会活動紹介と「Boiling」出版 ……………	小泉 安郎 (JAEA), 大竹 浩靖 (工学院大学), 永井 二郎 (福井大学) ……………	2
相変化界面研究会活動紹介 ……………	高田 保之 (九州大学), 森 昌司 (横浜国立大学), 劉 維 (九州大学), 永井 二郎 (福井大学) ……………	9
固液界面ナノバブルの実験について ……………	高橋 厚史, 手嶋 秀彰 (九州大学) ……………	11
沸騰熱伝達を支配する伝熱素過程 ……………	矢吹 智英 (九州工業大学, JST さきがけ) ……………	20
霜層被覆面を用いた自然対流飽和沸騰熱伝達の促進 ……………	大久保 英敏 (玉川大学) ……………	26
微小界面流動の制御と液滴操作 ……………	元祐 昌廣, 武藤 真和 (東京理科大学) ……………	30

〈ヒストリーQ〉

人と熱との関わりの足跡 (その1) — 「蚕当計」と『蚕当計秘訣』— ……………	星 朗 (東北学院大学), 河村 洋 (公立諏訪東京理科大学) ……………	34
---	---------------------------------------	----

〈行事カレンダー〉 …………… 41

〈お知らせ〉

第55回日本伝熱シンポジウムのご案内 ……………	42
・事務局からの連絡 ……………	61
・新入会員一覧 ……………	62

〈編集出版部会ノート〉 …………… 65

CONTENTS

< Opening-page Gravure:heat-page >

Koji TAKAHASHI, Hideaki TESHIMA (Kyushu University)
Tomohide YABUKI (Kyushu Institute of Technology, JST PRESTO) Opening Page

< Special Issue: Boiling, Phase Change and Interfacial Phenomena >

Preface for the Special Issue on “Boiling, Phase Change and Interfacial Phenomena”
Niro NAGAI (University of Fukui) 1

Introduction of Phase Change Research Committee and Publication of “Boiling”
Yasuo KOIZUMI (JAEA), Hiroyasu OHTAKE (Kogakuin University),
Niro NAGAI (University of Fukui) 2

Introduction of Research Committee on Phase Change and Interface
Yasuyuki TAKATA (Kyushu Univ.), Shoji MORI (Yokohama National Univ.),
Wei LIU (Kyushu University), Niro NAGAI (University of Fukui) 9

Experimental Studies on Interfacial Nanobubbles
Koji TAKAHASHI, Hideaki TESHIMA (Kyushu University) 11

Fundamental Heat Transfer phenomena Dominating Boiling Heat Transfer
Tomohide YABUKI (Kyushu Institute of Technology, JST PRESTO) 20

Enhancement of Natural-Convection Boiling Heat Transfer by Frost Layer
Hidetoshi OHKUBO (Tamagawa University) 26

Control of Micro-Interfacial-Flow and Droplet Manipulation
Masahiro MOTOSUKE, Masakazu MUTO (Tokyo University of Science) 30

< History Q >

Footprints Of The Relationship Between Humans And Heat (Part 1)
--- “Santoukei” And “Santoukeihiketsu” ---
Akira HOSHI (Tohoku Gakuin University),
Hiroshi KAWAMURA (Suwa University of Science) 34

< Calendar > 41

< Announcements > 42

< Note from the JHTSJ Editorial Board > 65

特集「沸騰・相変化・界面現象」にあたって

Preface for the Special Issue on "Boiling, Phase Change and Interfacial Phenomena"

永井 二郎 (福井大学)

Niro NAGAI (University of Fukui)

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

2017 年度より本学会編集出版部会の一員となり、2018 年 4 月号の特集号を担当することとなった。特集テーマを何にすべきかしばらく悩んだが、最終的には私自身の研究分野に関連した「沸騰・相変化・界面現象」と設定した。その理由は、2017 年から 2018 年にかけて「沸騰・相変化・界面現象」に関連した下記の大きな動き・出来事があり、ちょうどよいタイミングと判断したからである。

- ・2017 年 3 月をもって、約 10 年間活動した相変化研究会が終了。1 つの成果として、英語による沸騰専門書“Boiling”が 2017 年 6 月に発行。
- ・2017 年 4 月より、後継研究会として相変化界面研究会が活動を開始し、2017 年 10 月の第 2 回研究会で興味深い講演発表が 4 件なされたこと。
- ・2018 年 3 月に長崎において、本学会主催の国際

会議“The 10th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer (ICBCHT2018)”が開催。日本での初開催。 <http://www.icbcht2018.org/>

そして、特集号記事の執筆は、上記の相変化研究会および相変化界面研究会に関連する研究者の皆様をお願いした。これら 2 つの研究会活動については、詳細を執筆いただいたので、ぜひそれらを参照頂きたい。また、第 2 回相変化界面研究会で話題提供頂いた 4 名の方には、その講演内容を記事にとりまとめて頂いた。皆様大変お忙しい中で記事をご執筆頂き、心より御礼申し上げます。また、本特集号の内容が多く日本の伝熱学会会員皆様にとって有意義で価値あるものであることを心より願っております。

相変化研究会活動紹介と「Boiling」出版

Introduction of Phase Change Research Committee and Publication of "Boiling"

小泉 安郎 (JAEA), 大竹 浩靖 (工学院大学), 永井 二郎 (福井大学)

Yasuo KOIZUMI (JAEA), Hiroyasu OHTAKE (Kogakuin University), Niro NAGAI (University of Fukui)

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

1. はじめに

今回の特集テーマ「沸騰・相変化・界面現象」に関連して、相変化研究会の活動を紹介します。この研究会は他学会（日本機械学会）の組織であるが、後述の通り、1999年に日本伝熱学会に設置された研究会に端を発しており、また研究会メンバーのほとんど全員が日本伝熱学会会員でもあることから、本誌に紹介記事が載ることに違和感はないと思う。

なお、小泉が本研究会の主査、大竹と永井が幹事を務めていた関係で、この3名が本稿を執筆することとなった。研究会メンバーおよび関連の皆様には断りも無く本稿を執筆したことをあらかじめお詫びしたい。

2. 相変化研究会設立に至るまで

2.1 日本の相変化（特に沸騰）研究と出版物

本学会の抜山記念国際賞を例に挙げるまでもなく、1934年に発表された東北大学・抜山四郎教授による先駆的な沸騰研究論文は世界的によく知られており、以降日本の沸騰研究は世界の一翼を担ってきたと言ってもよいだろう。

その日本の沸騰研究のアクティビティは、伝熱シンポジウムでの多くの発表と討論に表れているが、下記2冊の出版物にもよく表されている。

- ①「沸騰熱伝達」, 日本機械学会 熱・熱力学部門委員会 沸騰熱伝達に関する調査研究分科会編, 日本機械学会 (1965)
- ②「沸騰熱伝達と冷却」, 日本機械学会 高温伝熱面の沸騰冷却出版分科会編, 日本工業出版 (1989)

①は、分科会主査：一色尚次（船舶技研）、幹事：福井資夫（東京芝浦）により構成された分科会での活発な討論結果も含めて、当時の沸騰熱伝達現象に関する世界中の成果を整理した良本である。

②は、分科会主査：鳥飼欣一（東京理科大）、幹事：藤城敏夫（日本原研）により構成された分科会メンバーにより、①の改訂版として沸騰現象・沸騰熱伝達特性に関する世界中の研究成果を基礎編としてレビュー・整理し、さらに応用編として鉄鋼・原子力・電子デバイス・極低温など各種産業界での沸騰応用知見を取りまとめている。

このように、日本の沸騰研究コミュニティでは、20数年ごとに研究成果を出版物として取りまとめる不文律があり、②から20数年が経過した2010年代には改訂版を出版しなければいけない、との議論が以前からなされてきた。

2.2 相変化研究会の前後

1999年、日本伝熱学会に主査：西尾茂文（東大）、幹事：長崎孝夫（東工大）の体制のもと、「相変化現象の素過程と解析手法に関する研究会」が設置された。相変化に関わる諸現象について2年間活発な議論が行われた。

2005年、同じく日本伝熱学会に主査：門出政則（佐賀大）、副主査：小澤守（関西大）の体制のもと、「相変化研究会」が設置された。沸騰現象解明に関して到達点と未解決点の整理を行うため数年間集中的に議論が行われた。

これら2つの研究会活動は、②の改訂版出版を意識しつつも、研究者（主に大学教員）同士の情報交換と討論により、沸騰現象解明のために今後必要な研究は何かについて議論が深められた。それらもふまえて、次章で紹介する日本機械学会「相変化研究会」が立ち上げられることとなった。

なお、この「相変化研究会」の後継・並行の研究会としては、2017年に日本機械学会に設置された「相変化界面研究会」と、2007年日本鉄鋼協会圧延理論部会にて設置された「熱延 ROT 冷却モデル構築研究会」がある。「相変化界面研究会」については、今回の特集記事の1つに紹介されている。

ので、詳細はそちらを参照されたい。また、「熱延 ROT 冷却モデル構築研究会」は、そこでの成果をもとに 2014 年の日本伝熱学会特定推進研究課題「次世代鉄鋼材料創製技術の研究」立ち上げにつながったことを付記する。

3. 相変化研究会の活動紹介

3.1 目的と設立時メンバー

2007 年 11 月に日本機械学会熱工学部門に「相変化研究会」が設置された。その目的は、

“主に沸騰現象に関連した相変化に主眼を置き、この領域の研究に関わりを持つ研究者が一堂に会し、これまでの研究成果の整理と未解明で理解不十分な領域の抽出に関し議論し、今後の研究の方向性を見出す。”

と定められた。具体的には、次の 2 点となる。

- (1) 沸騰現象・沸騰熱伝達に関する未解明点の整理と議論
- (2) 沸騰熱伝達に関する書籍改訂版の出版

(1)に関しては、伝熱シンポジウム、日本機械学会年次大会、熱工学コンファレンスに合わせて、3.2 で述べる「沸騰伝熱について徹底討論」を開催した。さらに、熱工学コンファレンスでの OS「沸騰・凝縮伝熱および混相流の最近の進展」を継続して毎年実施してきた。(2)は、前述の②の改訂版出版のことであり、明確な達成目標として掲げて研究会がスタートした。

立ち上げ時のメンバーは下記の 31 名である(所属組織名は 2007 年当時のもの)。その後メンバーは増え、研究会が終了した 2017 年 3 月時点では約 50 名となった。

主査：小泉安郎 (工学院大学)

幹事：大竹浩靖 (工学院大学)、永井二郎 (福井大学)

委員：浅野等 (神戸大学)、阿部豊 (筑波大学)、稲田茂昭 (群馬大学)、宇高義郎 (横浜国立大学)、梅川尚嗣 (関西大学)、大川富雄 (大坂大学)、大田治彦 (九州大学)、奥山邦人 (横浜国立大学)、小澤守 (関西大学)、小野直樹 (芝浦工業大学)、神永文人 (茨城大学)、鴨志田隼司 (芝浦工業大学)、越塚誠一 (東京大学)、小山繁 (九州大学)、坂下弘人 (北海道大学)、庄司正弘 (神奈川大学)、鈴木康一 (東京理科大学)、高田保之 (九州大学)、鶴田隆治 (九州工業大学)、西尾茂文 (東京大学)、

原村嘉彦 (神奈川大学)、古谷正裕 (電力中央研究所)、松村邦仁 (茨城大学)、三島嘉一郎 (京都大学)、光武雄一 (佐賀大学)、桃木悟 (長崎大学)、門出政則 (佐賀大学)、山口朝彦 (長崎大学)

3.2 沸騰伝熱について徹底討論

研究会の目的(1)に関して、計 17 回、「沸騰伝熱について徹底討論」を開催した。その開催日・場所と、話題提供者名と講演題目の一覧を表 1 に示す。話題提供者には、研究会メンバーを中心として、時には海外からの研究者を招待し、時には合宿形式にて開催した。

通常の学会講演会では、質疑討論も含めて 1 件あたりの発表時間は 15~20 分 (国際会議でも 20~25 分程度)であり、十分な討論をするには足りない。そこでこの徹底討論では、質疑討論を含めて 1 件あたり 1 時間程度の時間をとり、話題提供者と参加者の間で文字通り“徹底”的に討論を行うことができたと思う。沸騰現象の解釈あるいは未解決点が何かについては、研究者により意見の分かれることが多く、もちろん徹底討論により全員がコンセンサスを得るところまでは行かないにしても、討論すべき点は尽くされたのではないか。

3.3 ②改訂版出版に向けた委員会

研究会の目的(2)に関して、②の改訂版出版をメインテーマとした委員会を開催した。3.2 で述べた「沸騰伝熱について徹底討論」に合わせての開催に加えて別途開催し、計 26 回の開催となった (最終回は、2016.10.21 (松山))。委員会の参加者数は主査・幹事を含めて 10 名程度である。

②改訂版出版について、委員会で検討した項目は以下の通りある。

- ・出版物①と②の内容確認
- ・他の沸騰に関する国内外の類似書籍の確認
- ・「沸騰伝熱徹底討論」をふまえた沸騰研究到達点と未解決点の確認
- ・改訂版出版のねらいや意義の検討
- ・研究会メンバー+ α と執筆内容のすり合わせ
- ・内容構成の検討
- ・原稿の相互チェックや標準フォーマット作成
- ・JSME 熱工学部門や出版センターとの相談
- ・出版社 (Elsevier 社) との交渉・契約
- ・著作権・図表掲載許可手続き

表1 沸騰伝熱について徹底討論 開催概要

開催日と場所	話題提供者名と講演題目
第1回 2008.5.23 (つくば)	越塚(東大): 粒子法による沸騰のシミュレーション 鶴田(九工大): 趙のマイクロ・マクロ液膜モデルの問題点は何か? 光武(佐賀大): スプレー冷却中の高温面上のぬれ開始温度について 浅野(神戸大): 溶射被膜を施した伝熱面の沸騰熱伝達特性に関する研究 太田(九大): 混合媒体の核沸騰における伝熱劣化と伝熱促進効果について
第2回 2008.8.5 (横浜)	奥山(東大): 非沸騰状態から膜沸騰への遷移の機構について 小澤(関西大): 二相流のボイド率変動 - 淀みに浮かぶ泡沫はかつ消えかつ結びて 桃木(長崎大): 水平管内を流れる冷媒の沸騰伝熱について 大竹(工学院大): 高温面の濡れの機構とその定量化
第3回 2008.10.13 (札幌)	高田(九大): 相変化現象に及ぼすぬれ性の効果 坂下(北大): プール沸騰の限界熱流束機構-伝熱面近傍の気液挙動測定の結果より- 鈴木(東理大): 気泡微細化沸騰について考える(メカニズムと応用について) 山口(長崎大): 気液平衡物性の推算
第4回 2009.6.1 (京都)	小泉(信州大): マイクロ加工技術を用いた沸騰素過程解明実験及び微細構造付き伝熱面の沸騰性能評価 三島(INSS): 気泡微細化沸騰 大川(阪大): 沸騰蒸気泡の伝熱面離脱機構 古谷(電中研): 蒸気爆発-蒸気膜崩壊と液液接触からの自発核生成, 微細混合過程-
第5回 2009.9.5-6 (上田)	小泉(信州大): 今回の趣旨説明&話題提供 門出(佐賀大): 固液接触と自発核生成について 永井(福井大): 遷移沸騰 (CHF 付近~MHF 付近), モデル化, 表面濡れ性 原村(神奈川大): 遷移沸騰にまつわる不安定問題 参加者全員: これまでの発表のレビュー, 問題点, 追求すべき点の洗い出し
第6回 2009.11.8 (山口)	小野(芝浦工大): 非線形溶液の微細管内流動沸騰への適用と課題 鴨志田(芝浦工大): 不揮発性二成分水溶液の沸騰挙動と伝熱特性について 吉田(JAEA): 詳細二相流解析手法による沸騰現象の直接的予測のための検討 宇高(横浜国大): 沸騰過程におけるマイクロ液膜の構造と熱伝達への寄与 (ミニギャップ系と核沸騰系)
第7回 2010.5.25 (札幌)	テーマ ~沸騰伝熱研究の過去, 現在を整理し, 未来を語る礎に. ~ 功刀(京都大): 沸騰の数値計算 核沸騰~限界熱流束 CHF のプール沸騰モデルの相互評価と議論 Rohsenow 核沸騰モデル&Zuber の CHF モデル (大川), 原村・甲藤の核沸騰~CHF モデル (永井), 熊田・坂下の核沸騰~CHF モデル (原村), 鶴田・趙の核沸騰~CHF モデル (坂下), 西尾・田中の核沸騰~CHF モデル (鶴田) →討論の詳細は, 「伝熱」2010年10月号の特集記事として掲載
第8回 2010.9.5-6 (名古屋)	国際シンポジウム ~プール沸騰モデルのレビューと今後の展望~ Symposium on Fundamentals and Future Scope of Boiling Heat Transfer Prof. Jungho Kim(Maryland Univ.): Modeling of Nucleate Boiling and CHF in Pool Boiling 日本側の沸騰モデル話題提供(in English) 大川(大阪大): 古典的 Rohsenow & Zuber モデル 原村(神奈川大): 原村・甲藤マクロ液膜モデル 坂下(北大): 熊田・坂下マクロ液膜モデル 永井(福井大): 西尾・田中三相界線蒸発モデル 鶴田(九工大): 鶴田・趙薄液膜蒸発モデル <年次大会 WS> 庄司(神奈川大): 沸騰研究に残された最大の問題-加熱面性状の評価法- 師岡(早大): 原子力メカでの沸騰伝熱研究を振り返って 安達(富士電機システムズ): パワエレ機器に関する相変化冷却事例と課題について 門出(佐賀大): 均一自発核生成モデルに関して

表1 沸騰伝熱について徹底討論 開催概要（つづき）

開催日と場所	話題提供者名と講演題目
第9回 2010.10.30 (長岡)	齊藤(京大炉)：二酸化炭素-潤滑油混合物の水平平滑管内における沸騰熱伝達 上野(東理大)：サブクールプール中に射出した蒸気泡の凝縮・崩壊過程 結城(山口東理大)：金属多孔質体を用いた 10MW/m ² クラス高熱流束除去デバイスの開発
第10回 2011.5.31 (岡山)	梅川(関西大)：中性子ラジオグラフィによる強制流動沸騰場の定量評価 劉(JAEA)：強制流動沸騰の限界熱流束 小泉(信州大)：総括と研究会の今後の予定
第11回 2011.9.13 (日吉)	川路(ニューヨーク・シティ大学)：サブクール沸騰, self-rewetting fluid のプール沸騰, 相変化物質の熱伝達, 等に関連した話題 Sefiane(Edinburgh Univ.): Thermal Waves in Evaporating Drops
第12回 2012.5.29 (富山)	阿部(筑波大)：均質核生成に起因する過渡沸騰現象の2～3の例 矢吹(明治大)：沸騰熱伝達の新しい計測法の試み 丹下(芝浦工大)：模擬的発泡核を持つMEMS 伝熱面上の沸騰
第13回 2012.9.11 (金沢)	大久保(玉川大)：沸騰熱伝達の冷却制御技術への応用 大竹(工学院大)・永井(福井大)：熱工学部門相変化研究会－活動報告と今後の予定 小泉(信州大)：沸騰熱伝達第3版に向けて
第14回 2013.3.18 (東京)	国際シンポジウム ～Stephan 教授を迎えて沸騰・相変化伝熱講演会～ P. Stephan (Univ. Darmstadt): Local Heat Transfer near Moving 3-Phase Contact Lines and Its Influence on Nucleate Boiling and Drop Evaporation 上野(東理大): Instability Arisen on Condensing Vapor Bubble Exposed to Subcooled Pool 阿部(筑波大): Study on Operating Limit of the Supersonic Steam Injector 大川(電通大): Experiments on Boiling Heat Transfer in Nanofluids 劉(JAEA): Measurement of Surface Heat Flux and Surface Temperature Distribution under a Nucleate Pool Boiling Bubble 小泉(信州大): Study on Nucleate Boiling Heat Transfer by Measuring Spatially Instantaneous Local Surface Temperature Distribution 大竹(工学院大): Study on Mechanism of Rewetting Initiation of Hot Dry Surface
第15回 2013.6.16 (札幌)	国際シンポジウム ～S.Kandlikar 教授と J.Kim 教授を迎えて沸騰・相変化伝熱講演会～ 永井(福井大): Visualization of Liquid-Solid Contact Situations while Boiling 庄司(神奈川大): CHF on a Horizontal Heated Wire S. Kandlikar (Rochester Institute of Technology): Bridging the Disconnect between Heat Transfer and Flow Patterns during Flow Boiling in Micro Channels J. Kim (University of Maryland): Pool Boiling CHF Mechanisms Using IR Thermography
第16回 2014.10.25 (東京)	テーマ ～沸騰研究の来し方60年を振り返る～ S. Kandlikar(RIT): Professor Shoji's Outstanding Contributions and Our Current Understanding of Boiling Phenomena K. Sefiane(Edinburgh Univ.): Bubbles interaction from artificial cavities in pool boiling J. H. Kim(Maryland Univ.): IR Techniques to Measure Boiling Heat Transfer Coefficients 庄司(東大)：私が出会った沸騰研究の先達 鈴木(山口理科大)：鳥飼先生の思い出；気泡微細化沸騰研究のこれまでとこれから 門出(九大)：甲藤・庄司研究室で教わった沸騰研究と心構え 小泉(JAEA)：植田先生，田中先生を偲んで；駆け出しの頃 宇高(横浜国大)：棚澤一郎先生：滴状凝縮研究の頃から 高田(九大)：Heat transfer family of Kyushu University founded by Prof. Yamagata and Prof. Nishikawa 丸山(東大)：沸騰からナノ・マイクロスケール現象への展開 原村(神奈川大)・小野(芝浦工大)：甲藤・庄司研究室時代の思い出

表1 沸騰伝熱について徹底討論 開催概要 (つづき)

開催日と場所	話題提供者名と講演題目
第17回 2015.6.2 (福岡)	~International Workshop on Phase Change and Wetting Phenomena~ Organized by ICNER, Kyushu University, under the auspices of Phase Change Research Committee, Thermal Engineering Division, JSME G.Nagayama(Kyushu Institute of Technology): A microscopic view on solid-liquid-vapor three-phase contact area D.Orejon(Kyushu Univ.): Chemically treated micropollars for enhanced condensation heat transfer B.Shen(Kyushu Univ.): Pure subcooled boiling of water observed on a surface with mixed wettability M.E.Shanahan(Univ. Bordeaux): Liquids on Flexible Solids: When the Solid Meets Its Match! S.J.Kim(KAIST): Micro Pulsating Heat Pipes: State-of-the-art Developments H.Asano(Kobe Univ.): Pressure and void fraction fluctuations during DNB in subcooled flow boiling Y.Abe(Univ. Tsukuba): Criteria of flushing phenomena under microwave heating S.Mori(Yokohama National Univ.): CHF enhancement using honeycomb porous plate in a saturated pool boiling G.McHale(Northumbria Univ.) : The Leidenfrost Effect: From Drag Reduction to Sublimation (Heat) Engines I.Ueno(Tokyo Univ. of Science): On condensing vapor bubble in subcool pool N.Nagai(Univ. Fukui): Wetting Initiation near MHF point during Spray Cooling M.Shoji(Univ. Tokyo): Dependence of Critical Heat Flux on Heater Size

4. 「Boiling」出版

4.1 出版物のねらい・方向性

当初は②の改訂版を出版する方向性のもと、3.3で述べた委員会で種々検討を重ねた結果、②の改訂版ではなく、新たな出版物「Boiling」を執筆・出版する方向性となった。主なねらい・方向性は以下の通りである。

- ・1990年以降の日本の沸騰研究成果を英語でとりまとめ、全世界で販売する。
- ・対象とする読者は、沸騰を利用する中堅技術者・研究者として、特に日本を含めた東アジア地域を意識する。
- ・著作権は日本機械学会が、著作権は出版社(Elsevier社)が保有する形とする。

言語を日本語とするのか英語にするのか、また内容を①や②のように沸騰素過程や熱伝達特性の研究レビューとするのか、ここ20数年の研究の進展をとりまとめるのか、が委員会議論の大きなテーマとなったが、上記の方向性となった。

これから沸騰研究に従事しようとする読者(例えば大学院生)向けに、沸騰現象の素過程や熱伝達特性の基礎を学ぶための出版物は、様々な伝熱工学のテキストに加えて下記③や④等を想定し、

本出版物「Boiling」では沸騰現象の基礎についての解説は最小限度にとどめることとした。

- ③英語では、V. P. Carey 著, “Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena”, Taylor & Francis, 初版は1992年, 2007年に改訂版
- ④日本語では、西尾茂文著, 「沸騰熱伝達の基本構造と冷却制御工学への応用」, 東大生研セミナーテキスト, 1990年

特に④については、本稿末尾の付録に、2018年に出版される書籍の情報を記したので参照されたい。

4.2 「Boiling」概要と目次構成

2017.6.21に出版された「Boiling」の概要は以下の通りである。本の外観を図1に、Elsevier社が作成した宣伝チラシ(一部追記)を図2に示す。

- タイトル: Boiling -Research and Advances-
- 出版社: Elsevier社, 著作権: 日本機械学会
- 著者: 45人
- エディター: 小泉, 庄司, 門出, 高田, 永井
- 総ページ: 848ページ
- 価格: Hardcover \$180, eBook (pdf) \$180
Hardcover & eBook \$216
- 販売: Elsevier, Amazon, 書店経由, 等

また、目次構成を次に示す。

Preface

Authors List

1. Outline of Boiling Phenomena and Heat Transfer Characteristics

1.1 Pool Boiling

1.2 Flow Boiling

1.3 Other Aspects (Surface Chemistry, Numerical Simulation, etc.)

2. Nucleate Boiling

2.1 MEMS Sensor Technology and Mechanism of Isolated Bubble Nucleate Boiling

2.2 Measurement of Microlayer during Nucleate Boiling and Its Heat Transfer Mechanism

2.3 Configuration of Microlayer and Characteristics of Heat Transfer in a Narrow Gap Mini/Micro-Channel Boiling System

2.4 Surface Tension of High-Carbon Alcohol Aqueous Solutions: Its Dependence on Temperature and Concentration and Application to Flow Boiling in Minichannels

2.5 Nucleate Boiling of Mixtures

2.6 Bubble Dynamics in Subcooled Flow Boiling

3. CHF and Transition Boiling

3.1 CHF and Near-Wall Boiling Behaviors in Pool Boiling

3.2 Microlayer Modeling for CHF in Saturated Pool Boiling

3.3 Heat Transfer Modeling based on Visual Observation of Liquid-Solid Contact Situations and Contact Line Length

3.4 Critical Heat Flux Enhancement in Saturated Pool Boiling

3.5 Dependence of Critical Heat Flux on Heater Size

3.6 Stability of Transition Boiling

3.7 Derivations of Correlation and Liquid-Solid Contact Model of Transition Boiling Heat Transfer

3.8 Critical Heat Flux in Subcooled Flow Boiling

3.9 Convective Boiling under Unstable Flow Condition

3.10 Film Flow on a Wall and Critical Heat Flux

3.11 Boiling Transition and CHF for Fuel Rod of Light Water Reactor

4. MHF and Film Boiling

4.1 The Behavior of Wetted Area and Contact Angle Right After Liquid-Wall Contact in Saturated and Subcooled Pool Boiling

4.2 Study on Forced-Convection Film-Boiling Heat Transfer (Heat Transfer Characteristics in High Reynolds Number Region and Critical Condition)

4.3 Transient Transition Boiling Heat Transfer in Quenching with Liquid Impinging Jet or Spray

5. Numerical Simulation

5.1 Direct Numerical Simulation Studies on Boiling Phenomena

5.2 Numerical Simulation of Liquid-Gas Two Phase Flow

6. Topics on Boiling: from Fundamental to Application

6.1 Estimation of Phase Equilibrium

6.2 MD Research on Condensation Coefficient

6.3 Information on Boiling Phenomena in Micro-Nano Scale

6.4 Transient Boiling under Rapid Heating Conditions

6.5 Measurement by Neutron Radiography

6.6 Microbubble Emission Boiling Observed in Highly Subcooled Boiling

6.7 MEMS Technology for Fundamental Research of Boiling Phenomena

6.8 Vapor Bubble Behaviors in Condensation

6.9 Heat Transfer Enhancement and Effect of Gravity in Boiling Phenomena

6.10 Boiling on Porous Media

6.11 Effect of Surface Wettability on Boiling and Evaporation

6.12 Self-Rewetting Fluids

6.13 Boiling in Steel Industries, Introduction of Research Committee in ISIJ

6.14 Spray cooling characteristics in steel industry

6.15 Vapor Explosion between high temperature molten liquid droplet and water pool

6.16 Vapor Explosion between water droplet and high temperature molten alloy surface

6.17 Flow Boiling in Pipe of Refrigerant

6.18 Pool Boiling of Low-GWP Refrigerants

6.19 Gravity Feed Re-Flooding -A Fundamental Feature of Cooling Process of High-Temperature Tube Wall and Scaling Parameter

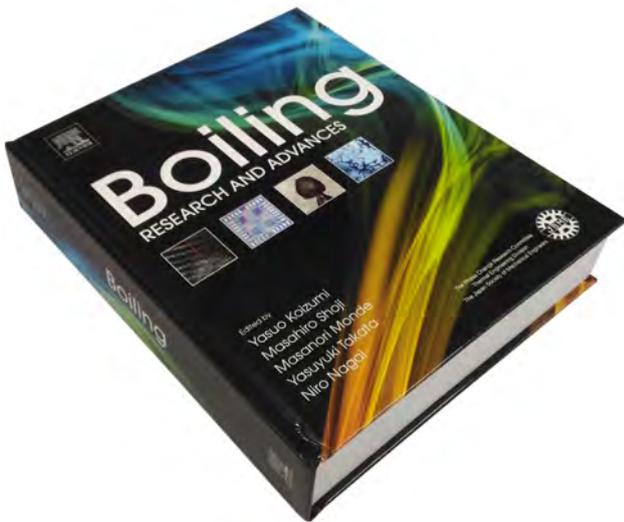


図1 「Boiling」Hardcover版の外観

図2 「Boiling」宣伝チラシ

第1章に、沸騰現象の捉え方や沸騰熱伝達特性の概略を述べた後、第2章以降の各論に続く。大きくは、第2章：核沸騰、第3章：CHF～遷移沸騰、第4章：MHF～膜沸騰、第5章：数値計算、第6章：基礎から応用までの沸騰トピック、の構成となっている。各沸騰領域や項目ごとに、1990年以降に進展した日本の沸騰研究成果を、研究者自身が取りまとめて執筆した。タイトル副題に

-Research and Advances- が付いたのはこのためである。エディターおよび著者により原稿の相互チェックと内容の追記・訂正を行い、当初計画した全原稿が揃った。沸騰を利用する世界中の中堅技術者や研究者の役に立つことを祈るとともに、ここに改めて著者の皆様に謝意を表したい。

付録

本稿 4.1 で紹介した④の書籍についても、本研究学会メンバーの一部が編集作業を行い出版する予定であったが、研究会設置期間中には作業が完了しなかった。その後、『沸騰熱伝達の基本構造』出版刊行委員会(代表:白樫了(東大))が構成され、インプレス R&D [Next Publishing] より2018年3月末に発行予定となった。

本書は、沸騰現象素過程の物理化学的説明に始まり、沸騰現象・熱伝達特性について1990年頃までの豊富な文献レビューにもとづき独自の視点で解説している。沸騰の研究や技術開発にこれから従事しようとする読者を主なターゲットとしているが、沸騰研究最前線に立つ研究者にも参考になると思われる。



図3 「沸騰熱伝達の基本構造」表紙

相変化界面研究会活動紹介

Introduction of Research Committee on Phase Change and Interface

高田 保之 (九州大学), 森 昌司 (横浜国立大学), 劉 維 (九州大学), 永井 二郎 (福井大学)
Yasuyuki TAKATA (Kyushu University), Shoji MORI (Yokohama National University),
Wei LIU (Kyushu University), Niro NAGAI (University of Fukui)
e-mail: nagai@u-fukui.ac.jp

1. はじめに

本特集号「沸騰・相変化・界面現象」に関連して、「相変化研究会」に引き続き「相変化界面研究会」の活動を紹介します。相変化研究会と同様に本研究会は日本機械学会熱工学部門の組織であるが、特集号テーマに関連が深く、2017年にスタートした新しい研究会でもあり、本誌に活動紹介をさせて頂くこととなった。

2. 相変化界面研究会の概要

2.1 設置に至る経緯と目的

先行研究会「相変化研究会」は、2007～2016年度の長きにわたり、主査：小泉安郎先生（現在、JAEA）のリーダーシップの元、沸騰伝熱徹底討論の開催や沸騰専門書“Boiling”の出版作業を行い、国内の相変化（特に沸騰・凝縮・二相流）研究の活性化に寄与した。本研究会「相変化研究会」は、その後継研究会として、主に沸騰に関連した相変化現象（特に、気液・固液・固気界面の科学）に主眼を置き、「相変化研究会」で残された課題を対象として、この領域の研究に関わりを持つ研究者が一堂に会し、議論を深め、今後の研究の方向性を見出すことを目的として、2017年4月に活動を開始した。

ここで、「相変化研究会」で残された主な課題とは、次の(1)～(5)と認識している。

- (1) 未解決の沸騰現象素過程解明（高温面での濡れ現象と固体表面の物理化学的評価、沸騰核生成点の正確な予測、蒸気泡の合体・分離条件、など）
- (2) (1)を可能とするマイクロ／ナノスケールでの計測技術の確立・進展
- (3) (1),(2)を基礎とした、沸騰現象の直接数値シミュレーションの実現
- (4) 沸騰熱伝達特性のデータベース構築（例えば、標準伝熱面での沸騰熱伝達特性）

(5) (1)～(4)について、大型PJ研究費獲得による推進体制構築

2.2 活動状況

これら(1)～(5)について議論・検討することを趣旨として広く声かけをした結果、研究会設立時のメンバーは57名となった（現時点で58名）。

2017年5月23日、伝熱シンポジウムの前日に大宮にて第1回研究会を開催し、27名の参加者を得た。そこで、自己紹介を兼ねて関心を持つ研究テーマを全員が述べた後、本研究会のメインテーマや活動方法と今後のスケジュールについて議論を行った。特に、筑波大学名誉教授・成合英樹先生から、1960年代以降の相変化・沸騰に関する国内外の動向について資料をもとに説明いただき、参加者は過去60年の大きな流れを共有することができた。

次に2017年10月27日、大型台風が直撃する前日（TFEC9の前日）の沖縄・那覇にて、参加者20名のもと第2回研究会を開催し、次の4件の講演が行われた。

- ・元祐昌廣（東京理科大学）：微小界面流の制御とその可能性
- ・矢吹智英（九州工業大学）：局所伝熱計測と気液構造可視化による沸騰熱伝達メカニズムの研究
- ・高橋厚史（九州大学）：固液界面ナノバブルの実験について
- ・大久保英敏（玉川大学）：霜層被覆面を用いた自然対流飽和沸騰熱伝達の促進

マイクロ／ナノスケールの計測・制御の進展や沸騰熱伝達に関する新規データ等について話題提供がなされ、活発な意見交換が行われた。

今回は、2018年伝熱シンポジウム（札幌）の前日に研究会を開催する。その後も、熱工学コンファレンスや伝熱シンポジウム等に合わせて随時研究会を開催する予定である。

3. 研究会の窓口・問い合わせ先

本研究会は今後数年間活動を行う予定であり、参加はいつでも可能である。2017年スタート時に「これまで沸騰の研究は行っていなかったが、相変化・界面に関心があり、参加したい」との意向で参加したメンバーもあり、沸騰・相変化・界面現象に関心のある方はぜひ参加をご検討下さい。

本研究会への問い合わせは、次に記す主査あるいは幹事いずれかにご一報下さい。お待ちしております。

主査：高田保之（九州大学）

takata@mech.kyushu-u.ac.jp

幹事：森昌司（横浜国立大学） morisho@ynu.ac.jp

幹事：劉維（九州大学） liuwei@nucl.kyushu-u.ac.jp

幹事：永井二郎（福井大学） nagai@u-fukui.ac.jp

固液界面ナノバブルの実験について

Experimental Studies on Interfacial Nanobubbles

高橋 厚史, 手嶋 秀彰 (九州大学)
Koji TAKAHASHI, Hideaki TESHIMA (Kyushu University)
e-mail: takahashi@aero.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

固液界面ナノバブルとは固体と液体の界面に存在する厚さが 5-100 nm 程度、直径が約 1 μm 以下の気相のことで、潤滑や洗浄をはじめとして固液界面が存在する多くの研究分野でその存在の有無や影響が議論されてきた。これまでに、目に見えるマクロな気泡とは異なる性質を持っているらしいことはわかってきたが全ての実験結果を説明できる統一的な理論は未だに存在していない。沸騰現象との関連も非常に興味深いのだが、液中を漂うマイクロバブル・ナノバブルに比べると国内における認知度は低く研究例はいまだ少ない。そこで本稿では、伝熱の研究者・技術者に少しでも興味を持ってもらうために、これまでに報告された固液界面ナノバブルの特性・生成方法・計測方法・理論について紹介する。

2. 固液界面ナノバブルの特性

固液界面ナノバブルは 1994 年に初めてその存在が実験によって予見された[1]が、当初は懐疑的に思われていた。なぜなら、ヤング・ラプラスの式で示されているように気泡の内圧(ラプラス圧)はその曲率半径に反比例するため、ナノスケールの気泡は内圧が十数気圧にもなり、ヘンリーの法則から一瞬で溶解してしまっ安定的に存在できないと考えられたからである。しかし技術の進歩に伴い、2000 年には原子間力顕微鏡 (AFM) の液中走査によって固液界面ナノバブルが確かに存在することが報告[2,3]され、しかもその寿命は予想に反して数時間から数日という長時間におよんだ。この従来の理論では説明できない安定性は固液界面ナノバブルを代表する特性の一つである。本当にそれが気相なのかという疑問には例えば 2007 年の赤外分光計測[4]などで確かめられている。

形状がマクロな気泡と大きく異なる点も特徴である。一般に基板上的気泡(あるいは液滴)の接

触角は、固-気-液三相界線における水平方向の表面張力の釣り合い(ヤングの式)によって説明される。この式によると、接触角は固体-気体-液体の組み合わせによって一意的に決定されることになる。しかし固液界面ナノバブルは、マクロな気泡に比べてはるかに大きな接触角を持ち、著しく扁平な形状をしていることが AFM による実験で確認されている。例えば、空気中における高配向性グラファイト(HOPG)基板の純水に対するマクロな接触角は約 90°であるが、同条件のナノバブルの接触角は約 170°であった[5,6]。これまでに報告されたナノバブルの接触角(液相側の角度)は全て、マクロな液滴を用いて計測される接触角よりはるかに大きい[6-9]。この接触角の違いは、従来の理論では説明することができない。図 1 に固液界面ナノバブルの特性の概略を示しておく。

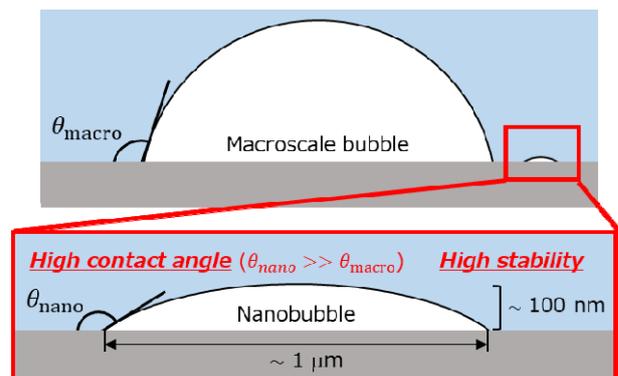


図 1 固液界面ナノバブルの特性

3. 生成方法

3.1 固液界面ナノバブル生成の再現性

そもそも固液界面ナノバブルに関する実験を行うためには、基板表面にナノバブルが存在していなければならない。しかし、報告例[3,10]はあるものの、ただ基板を純水に浸漬するだけではナノバブルはほとんど生成されない。これまでにいくつ

かの生成方法が考案されているが、残念ながら100%の再現性を持つ方法は未だ存在しない。そこで、過去に報告された代表的なナノバブルの生成方法についてまず述べることにする。

3.2 溶媒交換法

溶媒交換法 (Solvent exchange method) は、固液界面ナノバブル生成に最初に用いられた方法であり[2]、また最も頻繁に用いられる方法である。この方法はエタノールと水で気体の溶解度が大きく異なることを利用している。まず、基板をエタノールに浸漬させて数分待つ。その後、注射器等で純水をゆっくり注入することで、エタノールと純水を置換する。エタノールは水に比べて気体の溶解度が高いため、この置換過程で液中に一時的な気体の過飽和状態が生じる。その結果、基板表面付近の余剰な気体分子によって、固液界面ナノバブルの生成が促される。

溶媒交換法の利点は、手順が単純なことである。気体の溶解度の差を利用した方法であり、空気中に暴露されている溶液は一般に空気を飽和状態まで溶解しているため、バブリング等の特別な行程を必要としない。逆に言えば、エタノールと水を十分に脱気すると、界面ナノバブルはほとんど生成されなくなる[11]。またエタノールと水に特定の気体のみを溶解させておけば、その気体で構成されたナノバブルを生成することも可能である[12]。エタノール以外にメタノールやプロパノールといった他の有機溶媒を用いた場合でも溶媒交換法が成功することは確認されている[13]。

溶媒交換法は最も頻繁に用いられている方法であるが、いくつかの問題点も存在する。例えば、必ず二種類の液体を混ぜるため、一つ目の溶液を完全に置換しきれず混合溶液になっている可能性がある。そうすると表面張力の値が変わってしまい、固液界面ナノバブルの形状や性質に変化が生じる。また、置換中の流速や流量、流れの方向、液体の温度など、ナノバブル生成に関わるであろういくつかの重要なパラメータがどれも詳しくは報告されていない。そのため各実験において実験条件がまちまちであり、再現性の低下の要因となっている。

また最近の報告[14]で、医療用の注射器を用いて溶媒交換法を行うと注射針内部に塗布された潤

滑剤由来のナノ液滴が生じることがわかった。このナノ液滴は界面ナノバブルにそっくりの形状をしており、識別が難しい。したがって、信頼性向上のために、溶媒交換法は医療用の潤滑剤などが塗られていない金属製の注射針やピペット等を用いて行うべきである。

3.3 温度差法

溶媒交換法を拡張したものが温度差法である。この方法[15]は気体の溶解度の温度依存性を用いたもので、基板を冷たい水 (4 °C) に浸漬させた後に温かい水 (25-40 °C) で置換することでナノバブルを生成する。置換過程で気体の過飽和状態が生じる点は溶媒交換法と同じであるが、この方法の利点は、純水のみを使うことができるために有機溶媒由来のコンタミネーションの可能性を排除できることである。しかし、依然として置換における流れのパラメータは考慮されておらず、再現性に疑問が残る。

3.4 マイクロ波照射

マイクロ波照射によるナノバブル生成は最近考案された方法である。溶液に浸漬した状態の基板を調理用電子レンジに入れ、任意の出力・照射時間でマイクロ波を照射することでナノバブルを生成する。

Wang ら[16]は、酸素を (過) 飽和状態まで溶解させた純水中に HOPG 基板を浸漬させてマイクロ波を照射した。その結果、初期溶存酸素量、作動出力、照射時間をそれぞれ増加させることで、固液界面ナノバブルの生成個数が増加することがわかった。彼らはこの方法でナノバブルが生成される原理として、マイクロ波加熱による温度上昇によって気体の溶解度が急速に下がるという熱的効果と、電界の正負方向の変化に合わせて水分子が高速で振動するため水分子-酸素分子間の水素結合が切れやすくなるという非熱的効果の二つを挙げている。

この方法では純水のみを用いるため、有機溶媒由来のコンタミネーションのリスクがなくなることに加え、置換に起因する流れを考慮する必要がなくなるため実験の再現性が高い。現状では Wang らによる HOPG 基板と酸素飽和純水を用いた実験しか報告されていないが、異なる基板や、異なる

気体を溶解させた溶液を用いても同様にナノバブルが生成できるならば、溶媒交換法に取って代わる有力な生成方法になりうる。

3.4 電気分解

水の電気分解によって陽極・陰極表面にそれぞれ酸素・水素のナノバブルが生成されることが、実験的に確認されている。このとき、電圧の印加を止めてもナノバブルは安定に存在し続けるため、容易に計測を行うことができる。この方法には、導電性の表面しか試料表面として使えなかったり、ナノバブルを構成する気体の種類が制限されるなどの欠点が存在する。さらには、電圧印加時の固液界面ナノバブルの正確な挙動が現在まで分かっていない。Zhang ら[17]は電圧の印加時間に比例してナノバブルは成長し続けると報告している一方で、Yang ら[18]はナノバブルが成長するのは一定の時間のみでありそれ以降は電圧を印加し続けても成長しないと報告している。この相反する結果は実験条件の差によるものと考えられる。例えば、Zhang らは溶液として脱気した 0.01 M 硫酸を用いているが、Yang らは未脱気の水を用いている。また、両実験とも電極 (HOPG) の表面積が大きすぎるため電極表面の電界分布が不均一になり、ナノバブルの生成に影響を与えた可能性も考えられる。

電気分解法では、電極の表面積を非常に小さくすることで固液界面ナノバブルの生成速度を精密に計測あるいは制御できる可能性がある。White ら[19–21]は直径 50 nm 未満のナノディスク電極を作製し、その表面に単一のナノバブルを生成することに成功している。このような電極は、単一ナノバブルの物理を理解するのに大いに役立つ。例えば、電流電圧の時系列データから電極近傍のガスの濃度分布やナノバブルの表面張力などが推定できるとしている。

4. 計測方法

4.1 原子間力顕微鏡

4.1.1 計測原理

原子間力顕微鏡 (AFM) とは、試料と探針間に働く力を検出することで試料表面形状を画像化する顕微鏡である。具体的には、探針を試料表面に微小な力で接触させることでフィードバック対象値 (探針のたわみ量や振動振幅など) を検出し、

その値が一定になるようにフィードバック制御をかけながら水平方向にスキャンすることで試料表面を画像化する。フィードバック値の検出には一般に光でこの方式が用いられる。図 2 に AFM による固液界面ナノバブルの計測イメージを示す。固液界面ナノバブルの計測にはこの AFM が最もよく用いられており、また欠かせない。その理由として、液中での走査が可能であることはもちろん、図 3 に示すようなナノメートル以下の空間分解能での三次元計測が可能であることが挙げられる。今のところ、固液界面ナノバブルの高さを知る有効な手段は AFM だけである。

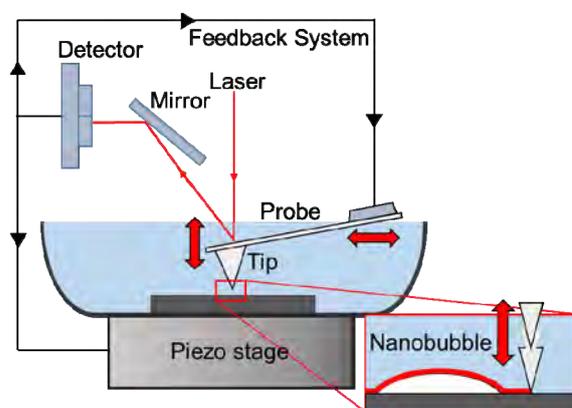


図 2 AFM による固液界面ナノバブル計測

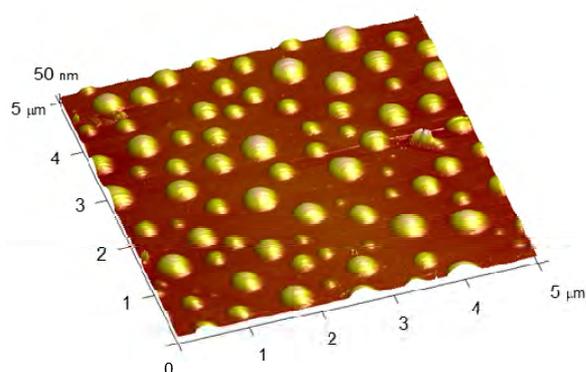


図 3 固液界面ナノバブルの三次元形状像

AFM は高い空間分解能と三次元計測が可能で非常に優れた装置であるが、欠点もある。一つは、侵襲性の計測方法であるためナノバブルを押し込み、形状を小さく見積もる可能性がある点である。Schönherr ら[22]は、探針に印加する力を強くすることでナノバブルの見かけの高さが線形的に低くなると報告した。もう一つは、三次元形

状の画像を一枚取得するのに数分～十数分かかる点である。そのため、ナノバブルの生成や成長といった速い現象を観察することはできない。Liaoら[23]は最近、画像取得速度が $640 \mu\text{m/s}$ という高速 AFM を導入することで、固液界面ナノバブルの初期形成過程の画像化に挑戦している。

固液界面ナノバブルの計測には探針の状態が重要である。例えば、幅が広い先端を持つ探針ではナノバブルのフットプリント半径を過大評価してしまう。そのため、探針先端の形状を仮定してナノバブルの形状を再計算する必要がある[24,25]。また、撥水性の探針は計測時に固液界面ナノバブルを変形させやすいこと[26–28]もわかってきている。これらのことから、探針に由来する計測誤差を小さくするためには、なるべく親水性で先端が尖った探針を用いることが望ましい。

AFM には用途に応じたいくつかの計測モードが存在する。最も単純なのは探針を試料表面に接触させながら計測するコンタクトモードであるが、固液界面ナノバブルのような柔らかい物体は押し潰してしまうため計測できない[29]。ここでは、固液界面ナノバブル計測によく用いられる二つの計測モードについて述べる。

4.1.2 タッピングモード

タッピングモードは、固液界面ナノバブルの形状取得に最もよく用いられるモードである。このモードでは、探針は常に共振周波数付近で振動している。フィードバックには探針の振動振幅が用いられ、探針が試料に接触したときの振幅が常に一定になるよう制御される。ナノバブル計測時には振幅の設定値を自由振幅の 95-98 %程度にすることが望ましい。この値より小さくすると、ナノバブルを押し潰して形状を小さく見積もってしまう危険性がある。

このモードでは断続的に試料表面と接触するため、コンタクトモードに比べて探針先端があまり摩耗せず、鮮明な形状を得続けることができる。しかし、数十 kHz から数百 kHz という高い周波数で探針を振動させているため、ナノバブルと探針のすべての接触点でフィードバックをかけることができない。そのため、振幅の設定値によらず若干ながらナノバブルを押し潰してしまう。

4.1.3 ピークフォースタッピングモード

ピークフォースタッピングモードでは、探針を共振周波数よりもはるかに低い周波数 (1-2 kHz) で振動させることで、すべての接触点でフィードバックをかけることが可能となっている。したがって、タッピングモードよりも正確に固液界面ナノバブルの形状を取得することができる。フィードバックには探針にかかる力 (たわみ量) が用いられ、印加される力の最大値が常に一定になるよう制御されている。ナノバブルの計測時には、設定値を 300 pN 以下に設定することが望ましい。

このモードでは高さ像と同時に、フォースカーブと呼ばれる探針-試料間距離と探針に働く力との関係をプロットした曲線を得ることができる。このフォースカーブからは、弾性率や吸着力といった試料表面の機械的特性を得ることができる。Zhao ら[30]はこの機械的特性の分布図を用いて、固液界面ナノバブルの剛性が 60-120 pN/nm であり、サイズが大きくなるにつれて低くなることを明らかにしている。

4.2 光学顕微鏡

ナノバブルを観察するため、これまでにいくつかの光学的手法が用いられている。光学顕微鏡の利点は、非侵襲性かつ高速な観察 (その場観察) が可能なことである。したがって、ナノバブルのダイナミクスを観察するのに適している。Zhang ら[31]は一般的な光学顕微鏡とハイスピードカメラを組み合わせることで固液界面ナノバブルを観察し、沸点に近い水中 (95 °C) でも安定に存在しうることを報告した。Chan ら[32]は全反射照明蛍光 (TIRF) 顕微鏡を用いて、溶媒交換法におけるナノバブルの核生成過程を可視化し、ほとんどのナノバブルが置換後 10 秒以内に生成されることを明らかにした。

光学顕微鏡による観察の問題は、空間分解能が低い小さいナノバブルは観察できないことと、高さ方向の情報が得られないためナノバブルの体積や接触角がわからないことである。Tan ら[33]は TIRF 顕微鏡と AFM を組み合わせることでこの問題を解決した。この手法は、界面ナノバブルの動的な情報と高さ方向の情報を両方とも得られる有望な手法である。

4.3 透過型電子顕微鏡

透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いたナノバブルの観察も行われている。TEM は非常に高い空間分解能を持つとともに撮影速度も比較的速いため、ナノバブルを精緻にかつ動的に観察可能である。例えば Shin ら[34]はグラフェン液体セルを用いた TEM 観察によってナノバブルのオストワルド成長と合体過程の撮影に成功している。ただし、TEM によるナノバブル観察にもいくつかの問題点がある。まず、水など蒸気圧の高い液体が TEM 試料室の高真空にさらされない工夫が必要となる。同時に電子線が観察試料を透過しなければいけないので、例えば窒化珪素の薄い膜で液体を挟んだ状態の試料(観察部の厚さは 1 μm 程度以下)を準備する。結晶成長分野をはじめとしてそのような液体セル[35]は利用が拡大しており市販もされている。その実験系では電子線照射に起因するナノバブルの生成が観察できるが、それは多くの場合水分子の放射線分解によるものである。

AFM と比較した時の TEM 観察の弱点は高さ方向の情報が得られないことである。この問題に対しては焦点をあえて観察対象の上下にずらすことでフリッジを生じさせ、そのコントラストや厚みから高さ方向の情報を得る手法[36]が開発されている。それを用いると、600 nm 程度の厚さの水中で観察された全てのナノバブルが不均質核生成によるもので、すなわち固液界面ナノバブルであったことが報告されている。

ただし、TEM で見るナノバブルはごく薄い液体セルの内部のものに限定されるため、AFM 等で観察される十分な量の液中におけるナノバブルと同じ挙動を示すかどうかは、考察の余地が残されている。

5. 安定性理論

5.1 コンタミネーション理論

コンタミネーション理論は、Ducker によって提唱された固液界面ナノバブルの安定性を説明する最初の理論である[37]。彼は、ナノバブルの気液界面に形成される不溶性コンタミネーション層が安定化の要因であると説明した。コンタミネーションによって気液界面の表面張力は低下し、接触角と曲率半径が増加する。その結果、液中へのガス拡散の駆動源であるラプラス圧が減少する。ま

た、不溶性のコンタミネーション層はナノバブルから液中へのガス拡散を物理的に妨げる。さらに、気液界面はガス拡散が進行するにしたがって小さくなるため、コンタミネーション層はより厚くなりナノバブルを安定化させる。

この理論は現在ではいくつかの実験結果から否定されることが多い。例えば、Zhang ら[38]は界面ナノバブルの生成後に十分な濃度の界面活性剤を液中に添加し、気液界面の有機物をすべて取り除くことでナノバブルの安定性が変化するか調査した。その結果、界面活性剤の添加前後でナノバブルはほとんど変化しなかった。さらに、コンタミネーションを模擬した不溶性の界面活性剤(オレイン酸)を添加した場合、ナノバブルは生成されなくなった。これらの結果は、コンタミネーション理論と大きく矛盾している。次に、固液界面ナノバブルはナノバブル同士で合体することが知られている。Agrawal ら[39]はタッピングモードの設定値によってはナノバブル同士が合体すると報告した。また、気液界面や三相界線が接触することなく、小さなナノバブルが大きなナノバブルに液相を通じて吸収される現象(オストワルド成長)も報告されている[34,40]。ナノバブルの気液界面が不溶性のコンタミネーションで覆われているとすると、これらの合体は起こりえない。最後に、Zhang ら[12]は固液界面ナノバブルを構成する気体によって、ナノバブルの寿命が変化することを発見した。空気で構成されたナノバブルは 4 日間安定して存在し続けた一方、二酸化炭素で構成されたナノバブルは 1-2 時間で消滅した。コンタミネーションが気液界面を覆うことで気体分子の流出を防いでいるならば、気体の種類による寿命の違いは大きくないはずである。これらの結果より、コンタミネーション理論による固液界面ナノバブルの安定性の説明は不適切であるとされている。

5.2 動的平衡理論

撥水性基板と水の界面には水分子の数密度が低い層が数 nm 存在し、そこに溶存気体が蓄積することでガスエンリッチメント層[41-43]が形成されている。Brenner らは、ラプラス圧によって液中に拡散される気体の外向き流束とガスエンリッチメント層から三相界線近傍を通じて流れ込む気体の内向き流束が釣り合うことでナノバブルが動的

に安定していると提唱した[44]。図4に動的平衡理論の概念図を示す。導出は省くが、拡散方程式を解くことで内向きの体積流量 j_{in} と外向きの体積流量 j_{out} はそれぞれ以下ようになる。

$$j_{in} = \frac{2\pi sRD}{\tan\theta} \quad (1)$$

$$j_{out} = \pi RD \left(1 - \frac{C_{\infty}}{C(R)} \right) \quad (2)$$

ここで、 D はガス拡散係数、 R は気泡のフットプリント半径、 s は固体表面からの引力の強さを表す定数、 θ は気相側の接触角、 C_{∞} はナノバブルから遠方でのガス濃度、 $C(R) = C_0 P_{gas} / P_0$ はナノバブル表面でのガス濃度、 C_0 は大気圧 P_0 下でのガス飽和濃度、 ΔP はラプラス圧である。 R がある値 R^* よりも小さいと j_{in} は j_{out} よりも大きくなって R は大きくなり、 R^* よりも大きい場合は逆に R は小さくなる。最終的に、固液界面ナノバブルは j_{in} と j_{out} が釣り合う平衡フットプリント半径 R^* を維持することになる。

いくつかのナノバブルの挙動や実験結果は、この動的平衡理論によってうまく説明できる。まず、脱気した水中では固液界面ナノバブルが消えてしまう現象が説明できる[11,14]。脱気した水中では C_{∞} が減少するため、式(2)より外向き流束が増加する。また、内向き流束は撥水性基板表面近傍のガス密度に由来している。脱気水中ではその密度が低下し、内向き流束が減少していると予想される。その結果、正味の外向きガス拡散が増大し、ナノバブルは消滅する。液温が上昇するとナノバブルの体積が増加する理由も説明できる[45]。温度が上昇するにつれて C_0 が減少するため、それに従って $C(R)$ も減少する。その結果、式(2)より外向き流束が減少する。さらに、温度上昇に伴って撥水性表面の水密度が低い層の厚みが増すため[42]、内向き流束の増加が予想される。したがって、温度が上昇すると正味の内向きガス拡散が大きくなり、バブルの体積は増加する。

しかし、動的平衡理論では説明できない謎も残されている。たとえばZhangらは、代表的な親水性基板であるマイカ表面にナノバブルが存在することを確認している[11]。この理論では撥水性表面上にあるガスエンリッチメント層の存在がナノバブルの安定性の前提となっているため、親水性

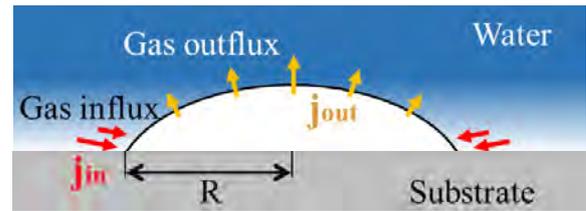


図4 動的平衡理論の概念図

表面のナノバブルの安定性を説明できない。Yasuiらはナノバブル中の気体分子と固体表面間に働くファンデルワールス力を考慮することによって、親水性表面のナノバブルの安定性を説明できるよう動的平衡理論を拡張している[46]。また、動的平衡理論では固液界面ナノバブルのフットプリント半径 R^* は実験条件によって一意的に決定されるが、実際のフットプリント半径は不均一に分布している。これは、この理論が理想的に平滑な基板表面を仮定して構築されているからである。実際の基板表面では、ピニングと呼ばれる表面の構造的・化学的不均一に由来して三相界線を固定する現象が起こるため、フットプリント半径が理論値からずれる。動的平衡理論をさらに発展させるには、三相界線のピニングによる影響を考慮する必要があるだろう。

5.3 ピニングとガス過飽和

前述したピニングは、固液界面ナノバブルの安定性にきわめて重要な因子であると考えられている。固液界面ナノバブルの三相界線がピニングされていると仮定すると、フットプリントは一定に維持される。したがって、ナノバブルが縮小する時は高さのみが減少するため、曲率半径が大きくなる。その結果、拡散の駆動源となるラプラス圧が低下し、外向きガス拡散は抑えられる。逆に、ナノバブルが成長する時は高さのみが増加するため曲率半径は小さくなる。そのためラプラス圧が上昇し、外向きのガス拡散量は増加する。このように、ピニングはナノバブルの体積変化に対してネガティブフィードバックをかけ、常に安定性を高める働きをする。

著者らは、溶媒交換法によって生成されたHOPG-純水界面ナノバブルをAFMのピークフォースタッピングモードによって観察し、実際に三相界線がピニングされていることを確認した[47]。

図5(a)はHOPG-純水界面ナノバブルの高さ像である。各計測の間で、あえて強い力(2-3 nN)で探針を走査させることによって、ナノバブルの形状変化を促している。図5(b)は、図5(a)中に丸で示した縮小するナノバブルの断面図である。高さのみが減少しており、三相界線はピン留めされていることがわかる。また、マクロな気泡では変形・合体した気泡は表面張力によってただちに半球状になるが、ナノバブルにおいてはその形状を維持し続けていることもわかる。これは、ナノバブルでは表面張力よりもピンングの方が支配的に働いていることを意味している。

また、液中の溶存ガス濃度も安定性に重要であることがわかっている。Zhangらは、溶媒交換法でナノバブルを生成した水中で脱気水を加えることで、ガス飽和度が低い純水中でのナノバブルの形状変化を観察した[48]。その結果、いくつかのナノバブルはすぐに消滅し、残ったナノバブルも14時間以内に縮小するか消滅した。さらに、その過程でナノバブルの三相界線がピン留めされていることも報告している。

最近、固液界面ナノバブルの形状は古典論のみ(拡散方程式・ラプラス圧・ヘンリーの法則)で説明でき、ピンングと溶存ガスの過飽和度が安定性の重要な要素であると提唱された[49,50]。詳細な導出は文献を参考されたい。平衡状態における水中の固液界面ナノバブルの気相側の接触角 θ_e および曲率半径 R_e は次式のように与えられる。

$$\sin \theta_e = \zeta \frac{L}{L_c} \quad (3)$$

$$R_e = \frac{L_c}{2\zeta} \quad (4)$$

ここで、 L はナノバブルのフットプリント直径であり、 L_c は定数(2.84 μm)である。上式の通り、界面ナノバブルの形状はガス過飽和度 $\zeta = C_{\infty}/C_s - 1$ の値によって一意的に決定され、ガス過飽和度が高いほど平衡接触角は大きくなる。

この理論は、古典論のみを用いていることと、ピンングとガス過飽和度という経験的に重要だと考えられていた要素を理論に取り込んでいることから、ナノバブルの安定性を今のところ最も上手く説明できているとされている。しかし、この理論にもまだ問題は存在する。まず、基板の濡れ性

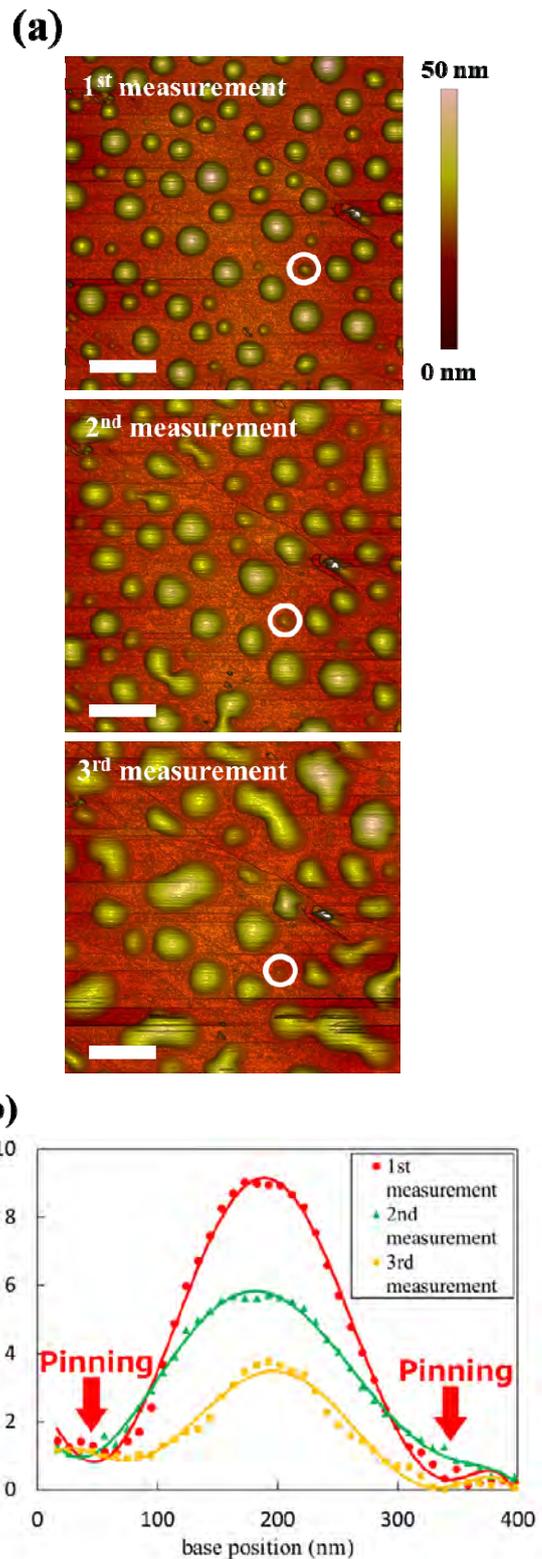


図5(a)固液界面ナノバブルの高さ像。各計測の間でナノバブルを押し潰すことで、変形・合体を誘起している。スケールバーは1 μm 。(b)縮小するナノバブルの断面図。三相界線がピンングされて

いることがわかる。

が全く考慮されていない点である。固液界面ナノバブルの気相側の接触角は、基板表面が撥水性になるにつれて小さくなると実験的に報告[8]されているのに対して、表面の撥水性が強まるとガス過飽和度が高くなると考えられるため、ガス過飽和度が高くなるにつれて気相側の接触角が大きくなるという(3)式は実験結果とは矛盾してしまう。固液界面ナノバブル付近のガス過飽和度 ζ を定量的に測定する手法が存在しないため、この理論の定量的な厳密性を議論することはできない。今後これらの問題が解決されて固液界面ナノバブルの制御に結び付くような物理機構の解明が切望されている。

6. おわりに

これまでに報告された固液界面ナノバブルに関する研究について、筆者らが行った実験を含めて紹介した。固液界面ナノバブルへの関心は、性質や安定性の理解といった基礎的なものが中心であったが[51]、今後はナノバブルの生成位置・個数・サイズの制御といった、将来の工学的応用を見据えた研究が盛んになるだろう。特に最近では、表面構造や濡れ性といった基板の表面性状を変えることでナノバブルをコントロールする実験がトレンドになりつつある[39,52-55]。測定技術と表面加工技術を両輪とし理論解析の後押しによって固液界面ナノバブルの基礎・応用研究がますます進展することを期待したい。

参考文献

- [1] Parker J L, Claesson P M and Attard P, *J. Phys. Chem.*, **98** (1994) 8468
- [2] Lou S-T, Ouyang Z-Q, Zhang Y, Li X-J, Hu J, Li M-Q and Yang F-J, *J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanom. Struct.* **18** (2000) 2573
- [3] Ishida N, Inoue T, Miyahara M and Higashitani K, *Langmuir* **16** (2000) 6377
- [4] Zhang X H, Khan A and Ducker W A, *Phys. Rev. Lett.* **98** (2007) 136101
- [5] Nishiyama T, Yamada Y, Ikuta T, Takahashi K and Takata Y, *Langmuir* **31** (2015) 982
- [6] Zhang X H, Maeda N and Craig V S J, *Langmuir* **22** (2006) 5025
- [7] Song B, Chen K and Schmittl M, *Langmuir* **32** (2016) 11172
- [8] Wang X, Zhao B, Ma W, Wang Y, Gao X, Tai R, Zhou X and Zhang L, *ChemPhysChem* **16** (2015) 1003
- [9] Yang J, Duan J, Fornasiero D and Ralston J, *J. Phys. Chem. B* **107** (2003) 6139
- [10] Tyrrell J W G and Attard P, *Phys. Rev. Lett.* **87** (2001) 176104
- [11] Zhang X H, Zhang X D, Lou S T, Zhang Z X, Sun J L and Hu J, *Langmuir* **20** (2004) 3813
- [12] Zhang X H, Quinn A and Ducker W A, *Langmuir* **24** (2008) 4756
- [13] Hampton M A, Donose B C and Nguyen A V., *J. Colloid Interface Sci.* **325** (2008) 267
- [14] Berkelaar R P, Dietrich E, Kip G a M, Kooij E S, Zandvliet H J W and Lohse D, *Soft Matter* **10** (2014) 4947
- [15] Guan M, Guo W, Gao L, Tang Y, Hu J and Dong Y, *ChemPhysChem* **13** (2012) 2115
- [16] Wang L, Miao X and Pan G, *Langmuir* **32** (2016) 11147
- [17] Zhang L, Zhang Y, Zhang X, Li Z, Shen G, Ye M, Fan C, Fang H and Hu J, *Langmuir* **22** (2006) 8109
- [18] Yang S, Tsai P, Kooij E S, Prosperetti A, Zandvliet H J W and Lohse D, *Langmuir* **25** (2009) 1466
- [19] Luo L and White H S, *Langmuir* **29** (2013) 11169
- [20] Chen Q, Luo L, Faraji H, Feldberg S W and White H S, *J. Phys. Chem. Lett.* **5** (2014) 3539
- [21] Chen Q, Luo L and White H S, *Langmuir* **31** (2015) 4573
- [22] Walczyk W and Sch P M, *J. Phys. Condens. Matter* **25** (2013) 184005
- [23] Liao H, Yang C, Ko H, Hwu E and Hwang I, *Appl. Surf. Sci.* **434** (2018) 913
- [24] Borkent B M, Beer S De, Mugele F and Lohse D *Langmuir* **26** (2010) 260
- [25] Song B, Walczyk W and Schönherr H, *Langmuir* **27** (2011) 8223
- [26] Walczyk W and Schönherr H, *Langmuir* **30** (2014) 7112

- [27] Walczyk W and Schönherr H, *Langmuir* **30** (2014) 11955
- [28] Teshima H, Takahashi K, Takata Y and Nishiyama T, *J. Appl. Phys.* **123** (2018) 054303
- [29] Holmberg M, Kühle A, Garnæs J, Mørch K A and Boisen, *Langmuir* **19** (2003) 10510
- [30] Zhao B, Song Y, Wang S, Dai B, Zhang L, Dong Y, Lü J and Hu J, *Soft Matter* **9** (2013) 8837
- [31] Zhang X, Lhuissier H, Sun C and Lohse D, *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 144503
- [32] Chan C U and Ohl C D, *Phys. Rev. Lett.* **109** (2012) 174501
- [33] Tan B H, An H and Ohl C-D, *Phys. Rev. Lett.* **118** (2017) 54501
- [34] Shin D, Park J B, Kim Y, Kim S J, Kang J H, Lee B, Cho S-P, Hong B H and Novoselov K S, *Nat. Commun.* **6** (2015) 6068
- [35] Ross F M, *Science* **350** (2015) 9886
- [36] Tomo Y, Takahashi K, Nishiyama T, Ikuta T and Takata Y, *Int. J. Heat Mass Transf.* **108** (2017) 1460
- [37] Ducker W A, *Langmuir* **25** (2009) 8907
- [38] Zhang X, Uddin M H, Yang H, Toikka G, Ducker W and Maeda N, *Langmuir* **28** (2012) 10471
- [39] Agrawal A, Park J, Ryu D Y, Hammond P T, Russell T P and McKinley G H, *Nano Lett.* **5** (2005) 1751
- [40] Park J B, Shin D, Kang S, Cho S P and Hong B H, *Langmuir* **32** (2016) 11303
- [41] Dammer S M and Lohse D, *Phys. Rev. Lett.* **96** (2006) 206101
- [42] Maccarini M, Steitz R, Himmelhaus M, Fick J, Tatur S, Wolff M, Grunze M, Janeček J and Netz R R, *Langmuir* **23** (2007) 598
- [43] Doshi D A, Watkins E B, Israelachvili J N and Majewski J, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **102** (2005) 9458
- [44] Brenner M P and Lohse D, *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 214505
- [45] Yang S, Dammer S M, Bremond N, Zandvliet H J W, Kooij E S and Lohse D, *Langmuir* **23** (2007) 7072
- [46] Yasui K, Tuziuti T, Kanematsu W and Kato K, *Phys. Rev. E* **91** (2015) 33008
- [47] Teshima H, Nishiyama T and Takahashi K, *J. Chem. Phys.* **146** (2017) 14708
- [48] Zhang X, Chan D Y C, Wang D and Maeda N, *Langmuir* **29** (2013) 1017
- [49] Lohse D and Zhang X, *Phys. Rev. E* **91** (2015) 31003
- [50] Dollet B and Lohse D, *Langmuir* **32** (2016) 11335
- [51] Lohse D and Zhang X, *Rev. Mod. Phys.* **87** (2015) 981
- [52] Wang L, Wang X, Wang L, Hu J, Wang C L, Zhao B, Zhang X, Tai R, He M, Chen L and Zhang L, *Nanoscale* **9** (2017) 1078
- [53] Wang Y, Li X, Ren S, Tedros Alem H, Yang L and Lohse D, *Soft Matter* **13** (2017) 5381
- [54] Ko H C, Hsu W H, Yang C W, Fang C K, Lu Y H and Hwang I S, *Langmuir* **32** (2016) 11164
- [55] Nishiyama T, Takahashi K, Ikuta T, Yamada Y and Takata Y, *ChemPhysChem* **17** (2016) 1500

沸騰熱伝達を支配する伝熱素過程

Fundamental Heat Transfer phenomena Dominating Boiling Heat Transfer

矢吹 智英 (九州工業大学, JST さきがけ)

Tomohide YABUKI (Kyushu Institute of Technology, JST PRESTO)

e-mail: yabuki@mech.kyutech.ac.jp

1. はじめに

沸騰熱伝達は、気泡底部に形成されるマイクロ液膜の蒸発や気泡運動に誘起される対流などの沸騰現象が内包する各種伝熱素過程 (図 1) が受け持つ伝熱量の総和で表現される。総伝熱量に対する寄与の大きな素過程を特定すること、重要な伝熱素過程の特性を明らかにして正しくモデリングすることが、観測事実、正確な物理に基づいた沸騰伝熱モデルの構築につながると考えられる。

本稿では、どの伝熱素過程が沸騰を支配しているのかということ意識しながら MEMS センサや光学計測技術を用いて沸騰熱伝達メカニズムを調べてきた中で、わかってきたこと、課題と感じていることを紹介する。

2. 沸騰が含む伝熱素過程

図 1 に気泡の生成から離脱、上昇の過程で生じる伝熱素過程のスケッチを示す。まず、気泡の成長過程で気泡底部に厚さ数ミクロン程度のマイクロ液膜と呼ばれる薄液膜が形成される[1]。厚さが非常に薄く熱抵抗の小さなマイクロ液膜の上下 (気液界面と固液界面) に大きな温度差が生じるため、高速に蒸発して気泡を成長させるとともに大きな熱流束で壁面から熱を奪う。液膜量は有限のため、液膜は蒸発を経てドライアウトする。ドライアウトが生じると蒸気の対流伝熱でしか熱が輸送されないため熱伝達率が急激に低下する。ドライパッチ外縁の三相界線領域では、サブミクロン幅の非常に狭い領域で極めて高い熱流束が生じる[2]。しかし、三相界線伝熱は伝熱面積が小さいため全熱輸送への寄与が小さいという結果がフロリナートの沸騰に関する研究で報告されている [3]。

一方、気泡発生前に壁面上に発達した過熱液層の底部で核生成が起こるため、気泡は過熱液層の蒸発によっても成長する。原村・甲藤の限界熱流束モデル[4]で扱われているマクロ液膜の蒸発は

高熱流束で発泡点密度が増加し、伝熱面上で気泡が密に並んだ時の過熱液の蒸発と解釈できる。気泡の休止期間に過熱液層を発達させる段階では壁面上の非定常伝導伝熱で、熱が壁面から液体に輸送され、気泡が生じたときには休止期間で蓄えられた過熱分のエンタルピーが過熱液層の蒸発という形で気泡内に輸送される。

気泡の離脱過程では浮力で気泡が縦長に変形し、その際、気泡周囲の液体によりドライパッチが濡らされるリウエット伝熱が生じる。ドライアウト中に局所的に温度上昇した壁面にそれと比較して冷たい液体が接触する三相界線領域では非定常熱伝導と蒸発が局所的に生じる。気泡離脱後は、気泡運動で誘起された液の流動によって対流熱伝達が生じる[5]。

著者らは、気泡成長に対してマイクロ液膜の蒸発、過熱液層の蒸発それぞれが受け持つ寄与はどの程度か、全壁面熱輸送に対して各種伝熱素過程がどのくらいの寄与を持っているのかに着目して実験を行ってきた[6,7]。

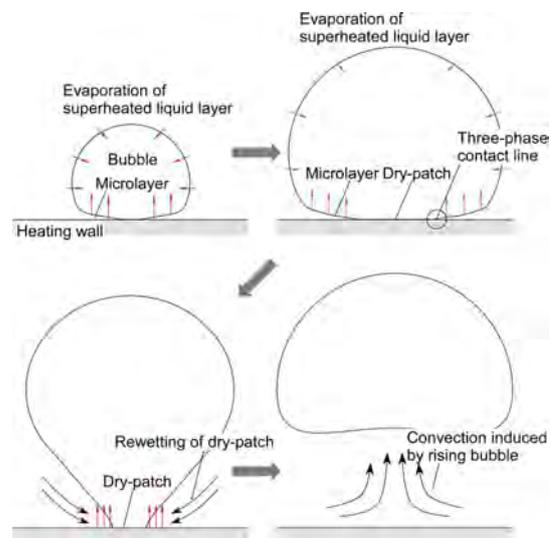


図 1 沸騰が含む伝熱素過程

3. 水の孤立気泡沸騰の伝熱メカニズム

3.1 沸騰熱伝達の MEMS 計測

各種伝熱素過程が高速かつ局所で生じるために、従来技術では精密に伝熱特性を計測することができなかったことが、沸騰メカニズムの解明を難しくしてきた大きな要因である。一方で、2000年代から MEMS センサ[6-10]や高速度 IR カメラ[3, 11, 12]などの高分解能計測技術が登場することにより、沸騰を詳細に観察することが可能となってきた。ここで MEMS センサと高速度 IR カメラの特徴を簡単に比較してみる。

MEMS センサは膜厚を薄くして熱容量を小さくすることで時間分解能を向上させることができ、数百ナノメートルの厚みで数十キロヘルツの高いカットオフ周波数が実現可能である。センササイズが空間分解能に対応し、経験上、 10^0 , 10^1 マイクロメートルオーダの薄膜センサは作製して伝熱実験に用いることに大きな困難はない。MEMS 熱センサは高速度 IR カメラと比較して時空間分解能で優れる利点を持つ一方、センサを配置した位置の温度しか計測できないため、温度データから非定常熱伝導解析を通じて熱輸送量を評価する際に自明な境界条件を与えるためにはセンサ配置の工夫が必要となる。

一方、高速度 IR カメラは温度“分布”を計測できる利点をもつが、計測周波数は 1kHz 程度と MEMS センサよりも一桁低く、伝熱素過程を十分に時間分解できない可能性がある。導入コストが下がり、計測周波数が向上されれば、沸騰計測にパワフルなツールになってくるに違いない。

図 2 は孤立気泡沸騰の伝熱メカニズムを調べるのに使用した MEMS センサの写真である。基板には単結晶シリコンを用い、表面に 13 個の薄膜温度センサと気泡核生成用電解トリガを、裏面に薄膜ヒーターを搭載している。電解トリガは電気分解を利用して微小な水素気泡を気泡核として供給できる。実験では液温を飽和温度に保ちながら投入熱流束を設定して定常状態に至ったのち、電解トリガにパルス状の電圧を印加して気泡核を生成させ、蒸発によって成長する気泡の底部温度を電解トリガ周囲に配置した薄膜温度センサによって 50kHz で計測した。

3.2 孤立気泡底部の局所温度

図 3 に孤立気泡底部局所温度の計測例を示す。

凡例の数値は発泡点から温度センサまでの距離である。気泡発生直後にマイクロ液膜が形成・蒸発するため温度が急激に低下している。液膜は発泡点から外側に向かって広がるため、発泡点近くの温度センサほど早い時刻に温度低下を開始している。その後、マイクロ液膜のドライアウトによって表面熱伝達率が急激に低下するため温度が上昇していき、気泡が立ち上がって離脱に向かう過程では、気泡底部に生じたドライパッチのリウエットングに伴う 1K 程度の小さく素早い温度低下が観察される。リウエットングは外側から発泡点に向かって進行するため、外側の温度センサほど早い時刻に温度低下を示している。

次に、図 4 は計測した温度と、局所熱流束の時空間分布である。局所熱流束は計測温度を表面の境界条件として用いた非定常熱伝導計算により算出している。それぞれのカラーマップ上には気泡半径と気泡と伝熱面の接触半径(マイクロ液膜半径)

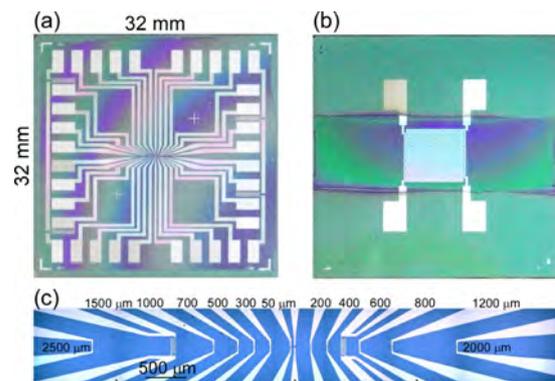


図 2 沸騰研究用 MEMS センサ

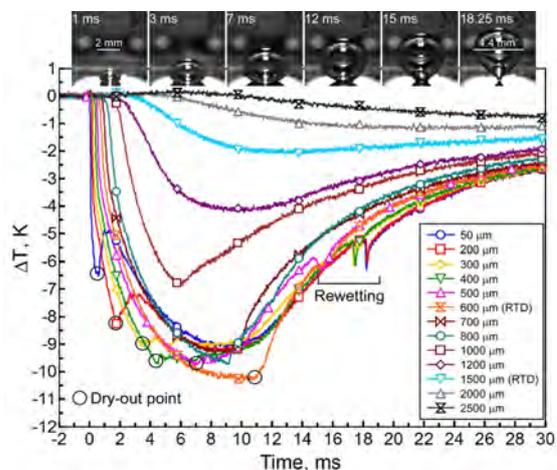


図 3 孤立気泡底部温度の計測例

を示している。気泡発生直後、温度低下領域はマイクロ液膜の形成に伴って外側へ拡大している。接触線の内側のマイクロ液膜領域では、一般的な水の沸騰の限界熱流束の値である 1MW/m^2 を超える高熱流束が観察されている。投入熱流束 30kW/m^2 を大きく超えていることから、マイクロ液膜は休止期間に壁面に蓄えられた過熱分のエンタルピーを消費しながら蒸発していることになる。そのため、熱伝導性の低い材料が基板の場合、基板側の熱抵抗が蒸発速度を律速し、マイクロ液膜の蒸発熱流束は低下すると考えられる。レーザー干渉法を用いて液膜を可視化した別の実験では、熱伝導性の悪いガラス基板の場合に、熱伝導性の良いサファイア基板の場合と比較して液膜の蒸発量が有意に小さくなる結果も得られている。また、壁面過熱度が液膜蒸発の駆動力となっているため、過熱度の増加に伴って蒸発熱流束も増加する。本研究で最も高い 15K の過熱度の場合に、約 4MW/m^2 の高熱流束が観察されている。液膜がドライアウトした領域では、熱流束はゼロに近い値を取っている。

局所熱流束を液膜蒸発時間に渡って積分すると液膜形成時の厚さである液膜初期厚さが算出できる。図5は液膜初期厚さを発泡点からの距離に対してプロットしたグラフであり、本結果は宇高先生の直接計測の結果[13]と比較して良好な一致を示している。細管内のスラグ流における液膜厚さについては、系統的な実験が行われて、物理モデルに基づく良好な相関式が導出されている[14]が、より非定常性が強く界面曲率(気泡サイズの逆数)が時間的に変化するプール沸騰においては、液膜形成過程の流体力学的メカニズムはいまだ明らかとなっていない。

3.3 気泡成長および壁面熱輸送における支配的な伝熱素過程

図6は最大気泡半径の領域内で局所熱流束を空間的に積分して計算した壁面熱流[W]と、壁面熱流を核生成からの経過時間に渡って時間的に積分して計算した壁面伝熱量[J]、さらに気泡体積から計算される気泡内潜熱[J]を示している。壁面熱流はマイクロ液膜蒸発時に最も増加しており、この結果は本研究で試験した全ての過熱度条件で共通していたことから気泡生成から離脱までの期間内ではマイクロ液膜の蒸発がほぼ全ての熱量を輸送していることがわかった。

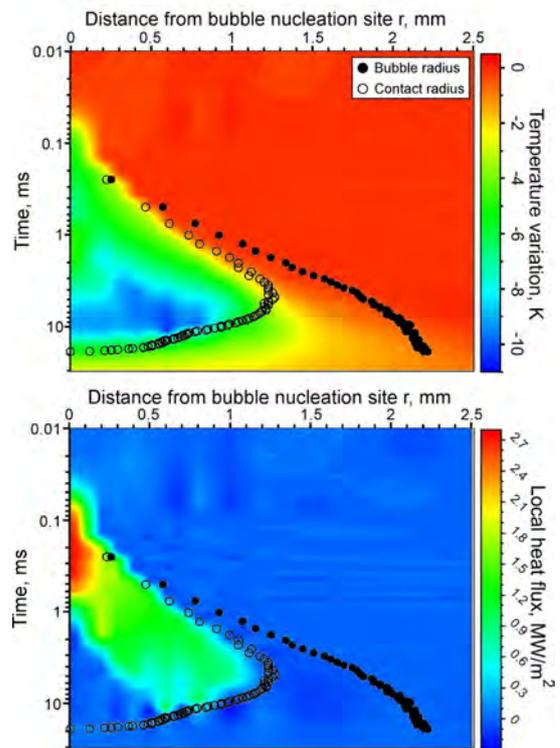


図4 局所温度(上)・熱流束(下)の時空間分布

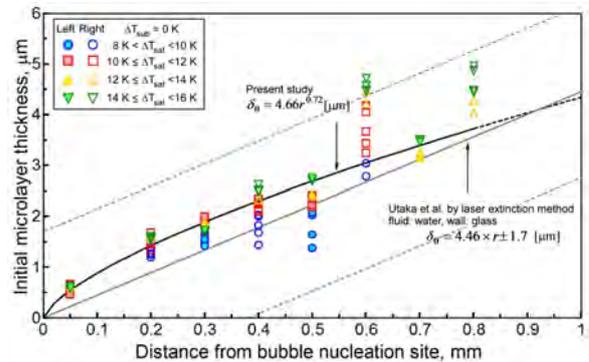


図5 ミクロ液膜初期厚さの空間分布

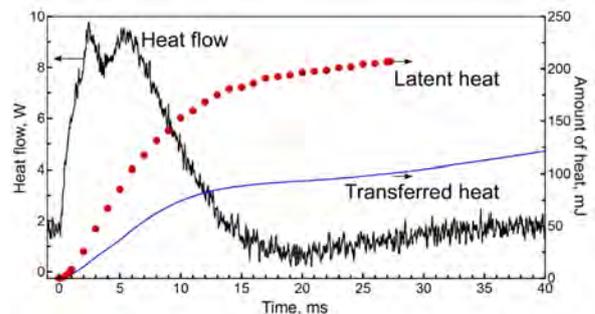


図6 壁面熱輸送と気泡内潜熱

図7はマイクロ液膜蒸発熱 Q_{ml} 、気泡内潜熱 Q_b 、およびマイクロ液膜蒸発の気泡成長に対する寄与に対応するマイクロ液膜蒸発熱と気泡内潜熱の比を過熱度に対して示している。過熱度の増加に伴って蒸発熱、気泡内潜熱ともに増加しているが、両者の比であるマイクロ液膜蒸発の寄与は過熱度によらずにほぼ一定で約50%であり、気泡が成長するに当たりマイクロ液膜の蒸発で半分、過熱液層の蒸発で半分の熱量が供給されているという気泡成長特性が明らかとなった。

過熱液層の蒸発は、気泡離脱から次の気泡が核生成するまでの休止期間に液が蓄えた過熱分のエンタルピーを利用して生じる。そのため、過熱液層の蒸発に伴う熱輸送は、気泡離脱後に過熱液層を発達させる過程で生じる壁面熱輸送と結びついている。それを踏まえると、気泡が壁面上に滞在している期間ではマイクロ液膜の蒸発がほぼ全ての壁面熱輸送を担い、気泡離脱後の休止期間に過熱液層を発達させる過程でマイクロ液膜の蒸発と同等の熱量が壁面から液体に輸送されていると考えることができる。

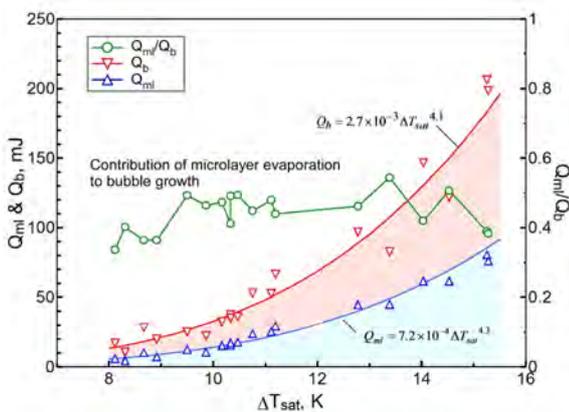


図7 ミクロ液膜蒸発の気泡成長に対する寄与

4. 高熱流束域沸騰における潜熱輸送、顕熱輸送の寄与

水の孤立気泡域の伝熱メカニズムについては詳細が分かってきたため、今後は高熱流束域の伝熱メカニズムを調べるのが目標となる。ここではまず、高熱流束域の沸騰において蒸発伝熱（潜熱輸送）と対流伝熱（顕熱輸送）いずれが重要であるかを調べた。マイクロ液膜の蒸発と過熱液層の蒸発からなる蒸発伝熱を計測するには発生気泡の体積を計測すればよい。過去に横方向から気泡群を

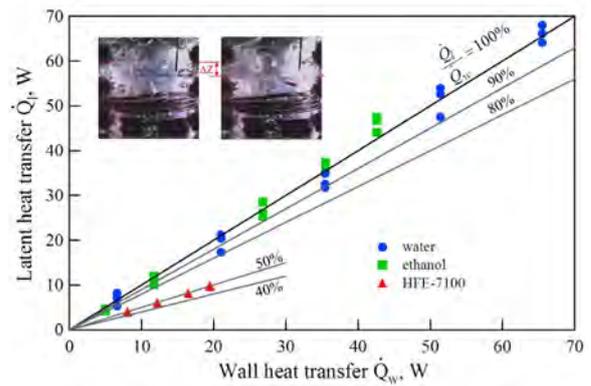


図8 蒸発伝熱の全壁面伝熱への寄与（水，エタノール，HFE-7100）

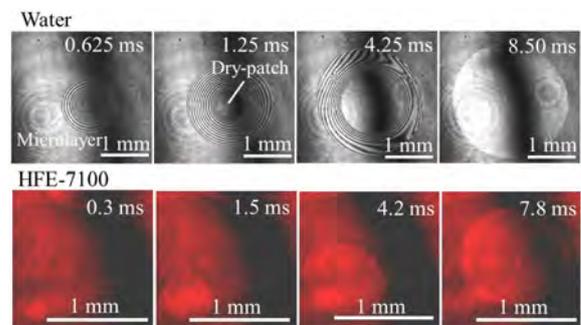


図9 水（上）、HFE-7100（下）の沸騰における気泡底部気液構造の可視化結果（色彩の違いは、使用したカメラが異なるためである）。

ハイスピード撮影して画像から蒸気発生量を抽出して潜熱輸送を評価する手法が用いられてきた[15,16]が、この手法には、気泡が前後に重なり合った場合に気泡体積の計測が困難になるため計測対象が細線周りの沸騰に限定されてしまう欠点がある。そこで、発生気泡群を伝熱面上に設置した透明な容器で捕獲して、捕獲された蒸気の堆積速度から蒸発伝熱を計測する蒸気捕獲法を考案した。

平板上の飽和プール沸騰が対象の実験であり、媒体に水，エタノール，フロン系冷媒 HFE-7100 を使用した。図8が計測結果であり、横軸が全壁面熱輸送量，縦軸が蒸気捕獲法で計測した蒸発熱輸送量である。1cm角の正方形伝熱面を用いているため、10Wが0.1MW/m²に対応している。水，エタノールの場合，ほぼ100%の熱が蒸発（マイクロ液膜の蒸発および過熱液層の蒸発）によって輸送されていることがわかる。一方，HFE-7100では

蒸発伝熱の寄与が50%と小さい値であった。過去の本雑誌で大川先生が解説された[17]、対流熱伝達によりすべての熱が輸送されていると考えている Rohsenow の熱伝達モデル[5]が全熱輸送内の顕熱輸送成分を与えると考えて式を組み替えていくと(詳細はスキップする)、顕熱輸送の寄与が直感とあって顕熱(分子)と潜熱(分母)の比であるヤコブ数に正の依存性を示すことがわかり、実験で得られた、ヤコブ数の大きな HFE-7100 で顕熱輸送の寄与が大きい傾向とあっている。輸送特性に関係するレイノルズ数、プラントル数への依存性は Rohsenow が考えた物理モデルのみからは、導き出すことが現在できておらず今後の課題である。

一方、ガラスあるいはサファイア基板に ITO 製ヒーターを蒸着して製作した伝熱面を用いて伝熱面下方からレーザー干渉法でマイクロ液膜を観察して興味深い結果が得られた。図9上の水の沸騰では気泡底部に同心円状の干渉縞が形成されており、発泡点から外側に向かって厚くなるマイクロ液膜の形成が明瞭に観察される。一方、潜熱輸送寄与が小さかった HFE-7100 では気泡底部に干渉縞がなく、液膜の形成が確認されなかった(図9下)。広い熱流束範囲で生じた多数の気泡において結果は同様であった。液膜が観察されなかった要因として、(1)液膜は形成されているが潜熱が小さいために蒸発速度が速くすぐさま消失してしまうこと、(2)液膜がそもそも形成されていないことの二つが考えられる。蒸発を遅くする目的で熱抵抗層として熱伝導率が約 $0.1\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ のSU-8を15ミクロンの厚さでガラス基板上に成膜してもやはり液膜は観察されなかったため、(2)の仮説が正しいのではと考えているが、まだ真相は分かっていない。HFE-7100 の沸騰では、ヤコブ数が大きいことに加えて、マイクロ液膜の蒸発を熱輸送に利用できないことが、潜熱輸送の寄与が小さかった要因と考えている。

5. おわりに

沸騰熱伝達メカニズムに関するこれまでの著者らの取り組みを紹介した。水の孤立気泡沸騰においては、気泡成長および壁面熱輸送に対して、マイクロ液膜の蒸発と過熱液層(マクロ液膜)の蒸発(伝熱面上の伝熱としては過熱液層が発達していく際の非定常熱伝導)がそれぞれ半分ずつの寄与

を持ち、純粋な顕熱輸送としての対流伝熱の寄与は小さい。高熱流束域においても、水の沸騰では蒸発熱輸送がほぼ全ての熱量を輸送していることが蒸気捕獲法を用いた実験で明らかとなった。

潜熱輸送の寄与が50%程度と低かったフロン系冷媒 HFE-7100 の沸騰では、気泡底部にマイクロ液膜が観察されない結果が得られた。マイクロ液膜の形成・蒸発が生じないため HFE-7100 で蒸発熱輸送の寄与が小さかった一つの要因と考えている。水ではマイクロ液膜の蒸発が生じ、HFE-7100 では液膜が形成されないため三相界線伝熱が生じているというように、冷媒によって気泡底部の伝熱を支配する素過程に違いがあることは興味深く、過去に本雑誌で永井先生が紹介された西尾・田中の三相界線伝熱モデル[18]と鶴田先生が紹介された趙のマイクロ液膜伝熱モデル[19]のいずれが正しいかという議論につながっているような気がしている。

高熱流束域の沸騰伝熱の中でマイクロ液膜の蒸発と過熱液層の蒸発が受け持つ寄与を明らかとすること、マイクロ液膜の形成機構を明らかとすること、限界熱流束現象につながる壁面上の乾きの拡大メカニズムを明らかとすることなどが今後の課題であり、現在、MEMS 熱計測にレーザー可視化技術を組み合わせた高熱流束域沸騰の実験に取り組んでいる。

参考文献

- [1] Cooper, M. G. and Lloyd, A. J. P., *The microlayer in nucleate pool boiling*, Int. J. Heat Mass Transfer, **12** (1969) 895-913.
- [2] Stephan, P. and Hammer, J., *A new model for nucleate boiling heat transfer*, Heat Mass Transfer, **30** (1994) 119-125.
- [3] Wagner, E. and Stephan, P., *High-Resolution Measurements at Nucleate Boiling of Pure FC-84 and FC-3284 and Its Binary Mixtures*, J. Heat Transfer, **131** (2009) 121008.1-121008.12.
- [4] 原村嘉彦, 原村・甲藤の限界熱流束モデルの概要とその特長, J. HTSJ, **49-209** (2010) 49-52.
- [5] Rohsenow, W. M., *A Method of Correlating Heat-Transfer Data for Surface Boiling of Liquids*, Transactions of ASME, **74** (1951) 969-976.
- [6] Yabuki, T. and Nakabeppu, O., *Heat transfer mechanisms in isolated bubble boiling of water*

- observed with MEMS sensor, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **76** (2014) 286-297.
- [7] Yabuki, T. and Nakabeppu, O., *Microscale wall heat transfer and bubble growth in single bubble subcooled boiling of water*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **100** (2016) 851-860.
- [8] Demiray, F. and Kim, J., *Microscale heat transfer measurements during pool boiling of FC-72: effect of subcooling*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **47** (2004) 3257-3268.
- [9] Myers, J. G. et al., *Time and space resolved wall temperature and heat flux measurements during nucleate boiling with constant heat flux boundary conditions*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **48** (2005) 2429-2442.
- [10] Moghaddam, S. and Kiger, K., *Physical mechanisms of heat transfer during single bubble nucleate boiling of FC-72 under saturation conditions-I. Experimental investigation*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **52** (2009) 1284-1294.
- [11] Gerardi, C. et al., *Study of bubble growth in water pool boiling through synchronized, infrared thermometry and high-speed video*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **53** (2010) 4185-4192.
- [12] Golobic, I. et al., *Bubble growth and horizontal coalescence in saturated pool boiling on a titanium foil, investigated by high-speed IR thermography*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **55** (2012) 1385-1402.
- [13] Utaka, Y. et al., *Microlayer structure in nucleate boiling of water and ethanol at atmospheric pressure*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **57** (2013) 222-230.
- [14] Han, Y., Shikazono, N., *Measurement of the liquid film thickness in micro tube slug flow*, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **30** (2009) 842-853.
- [15] Rallis, C. J., and Jawurek, H. H., *Latent heat transport in saturated nucleate boiling*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **7** (1964) 1051-1054.
- [16] Paul, D. D. and Abdel-Khalik, S. I., *A statistical analysis of saturated nucleate boiling along a heated wire*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **26** (1983) 509-519.
- [17] 大川富雄, プール沸騰における Rohsenow の HTC モデルと Zuber の CHF モデル, *J. HTSJ*, **49-209** (2010) 39-44.
- [18] 永井二郎, 「西尾・田中の高熱流束プール沸騰モデル」の成り立ちとその評価, *J. HTSJ*, **49-209** (2010) 45-48.
- [19] 鶴田隆治, CHF に関する趙のマイクロ液膜モデル, *J. HTSJ*, **49-209** (2010) 63-69.

霜層被覆面を用いた自然対流飽和沸騰熱伝達の促進
 Enhancement of Natural-Convection Boiling Heat Transfer by Frost Layer

大久保 英敏 (玉川大学)
 Hidetoshi OHKUBO (Tamagawa University)
 e-mail: ohkubo@eng.tamagawa.ac.jp

1. はじめに

高熱伝導性材料である金属の表面に低熱伝導性材料を薄く被覆し、沸騰冷却を用いて冷却した場合、沸騰熱伝達が促進され、冷却速度が増大する。この現象は、西尾[1]によって「断熱層のパラドクス」と呼ばれるようになり、以下のような知見が得られている。

- (1) 核沸騰熱伝達率は被覆層厚さの増大とともに減少する。
- (2) 膜沸騰熱伝達率には被覆層厚さの影響は見られない。
- (3) 極小熱流束点過熱度は被覆層厚さの増大とともに増大するが、被覆層厚さがある値まで増大すると、被覆層材料固有の値に漸近する。

「断熱層のパラドクス」現象は、鋼材の冷却、超電導体の冷却等への利用が検討されてきたが、近年、G. Mazor et al.[2]は、直径 $d=30\text{mm}$ の銅球表面に強制対流下で霜層を形成し、これを液体窒素の液槽中に浸漬し、沸騰冷却によって急速冷却を実現する実験的検討を行った。低熱伝導性材料として霜層に着目し、結果的に急速冷却の実現に成功した興味ある研究であり、極低温液体を用いた沸騰冷却への応用が期待できる。

本稿では、G. Mazor et al.[2]が明らかにしていない霜層の生成・成長に関する検討を行うとともに、低熱伝導性材料として氷層を用いた場合との比較検討を行った結果について紹介する。

2. 霜層の生成・成長

霜層は湿り空気と氷の混合層であり、空隙率の高い多孔質層である。図1に霜層のみかけの密度と冷却面表面過冷度の関係を示した。冷却面表面過冷度は、氷の融点温度と冷却面表面温度 t_w との差である。本研究では、図1中に領域Iとして示されている温度領域 ($0^\circ\text{C} < t_w < 40.1^\circ\text{C}$) において冷却面表面上に形成される霜層を被覆層として用い

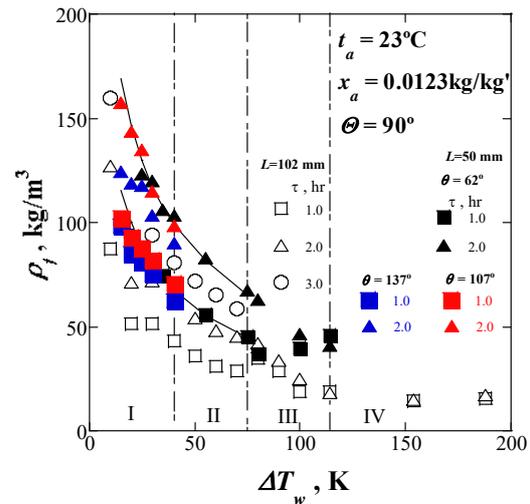


図1 霜層のみかけの密度と冷却面表面過冷度の関係

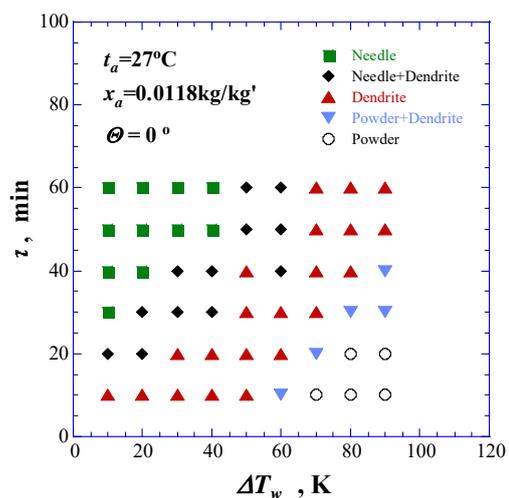


図2 霜結晶形状と冷却面表面過冷度の関係

た。この温度領域では、まず、冷却面表面上に過冷却液滴が生成・成長し、過冷却が解消した後、丘状の氷から複数の霜結晶が成長する。図2に霜結



図3 樹枝状霜結晶

晶形状に及ぼす冷却面表面過冷却度の影響を示したが、本研究では、図3に示したような樹枝状の霜結晶を用いた。

3. 氷層被覆面

前述したように、霜層は湿り空気と氷の混合層である。そこで、まず、氷層を低熱伝導性材料として用いた場合の検討を行った。図4に示した銅球を液体窒素液槽中に浸漬して所定の温度まで冷却した後、氷水の入った槽に浸漬して所定の厚さになるまで氷層を成長させた。図5に氷層厚さをパラメータとして、液体窒素中で浸漬実験を行って得られた冷却曲線を示した。縦軸の温度は、銅球の中心位置に設置した素線径100 μ mのK型熱電対で測定した値である。膜沸騰域の冷却速度に顕著な差がみられないが、冷却面表面熱抵抗層である氷層の膜厚さの増大とともに極小熱流束点温度が高温化する傾向が確認できた。一方、核沸騰域の冷却速度は氷層の膜厚さの増大とともに低下した。S. Nishio[3]は、熱抵抗層としてPTFE(テフロン)を用いて液体窒素中で浸漬実験を行った。本研究で得られた結果は、S. Nishio [3]が得た結果と



(a) 銅球 $d=25\text{mm}$



(b) 氷層厚さ $l_f = 1.2\text{mm}$

図4 氷層被覆面

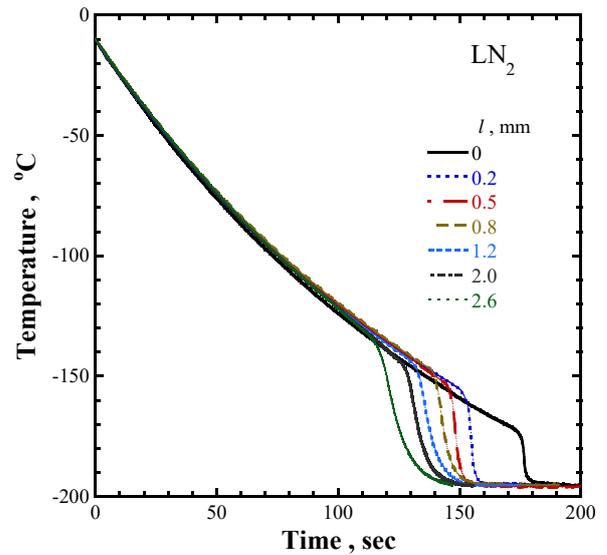


図5 冷却曲線に及ぼす氷層被覆面の影響

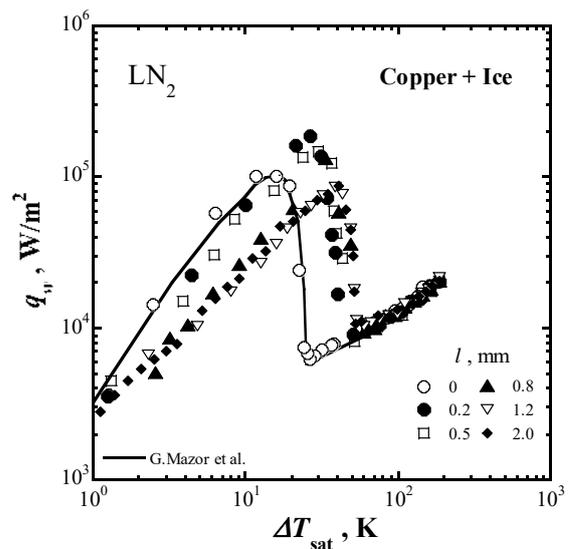


図6 沸騰曲線に及ぼす氷層被覆面の影響

定性的に一致しており、「断熱層のパラドクス」効果が確認できた。同様の結果は、液体ヘリウムのプール沸騰熱伝達に関する研究[4]でも得られている。次に、図5に示した冷却曲線から求めた沸騰曲線を図6に示した。なお、図6に示した熱流束は集中熱定数系近似が成り立つと仮定して求めたものであり、横軸の過熱度は銅球の表面温度に基づく値である。膜沸騰熱伝達特性は氷層厚さの影響を受けないが、核沸騰域では、氷層厚さの

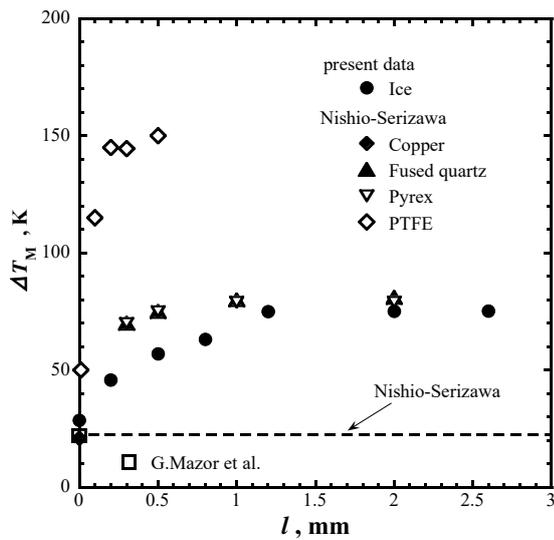


図7 極小熱流束点過熱度に及ぼす氷層厚さの影響

増大とともに熱流束が減少した。極小熱流束点過熱度は、図7に示したように、被覆層厚さの増大とともに増大するが、被覆層が氷の場合、熱伝導性が同程度の石英ガラスおよび耐熱ガラスの測定値[5]に近い値となり、氷層の厚さが1.2 mm以上の場合、ほぼ一定になった。

4. 霜層被覆面

霜層の被覆は、自然対流下で銅球表面に霜層を生成・成長させることによって実現した。図8に

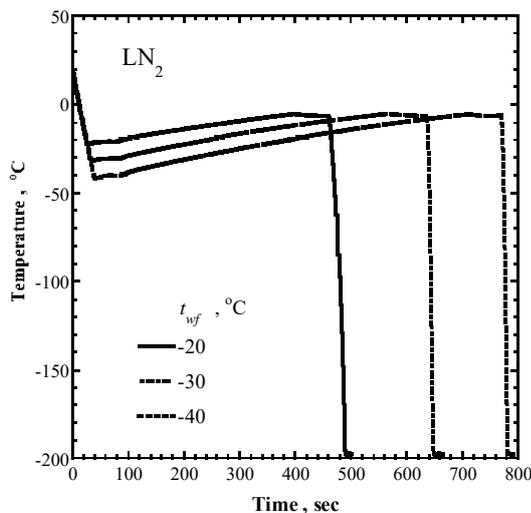
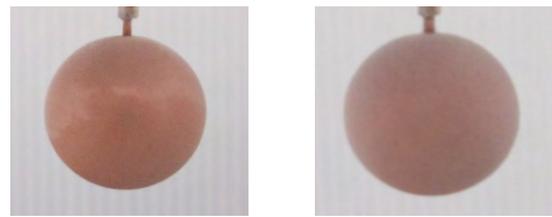


図8 温度履歴



(a) 霜層厚さ $l_f = 0.4\text{mm}$ (b) 霜層厚さ $l_f = 0.8\text{mm}$

図9 霜層被覆面

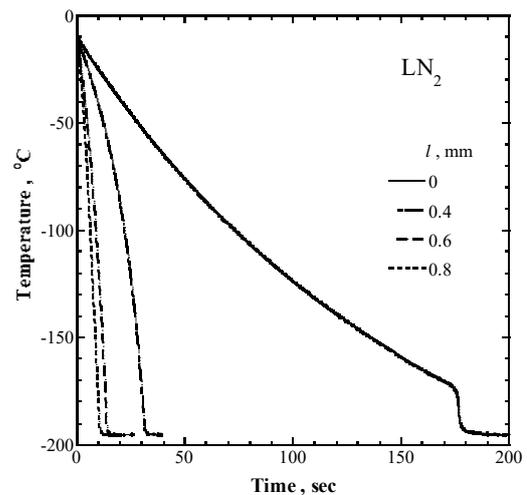


図10 冷却曲線に及ぼす霜層被覆面の影響

着霜および沸騰冷却実験を行った時に得られた温度履歴の代表例を着霜実験の初期温度 t_{wf} をパラメータとして示した。まず、銅球を液体窒素液槽中に浸漬して所定の温度まで冷却した後、液面近傍の窒素ガス雰囲気中で一定時間保持した。次に、銅球を温度および湿度を一定にした実験小室内に設置し、銅球表面に霜層を生成・成長させた。したがって、銅球表面温度は時間とともに上昇するため、銅球温度が約-5°Cに到達した時点で、液体窒素液槽に移動し、再び、液面近傍の窒素ガス雰囲気中で一定時間保持した後、液体窒素中で浸漬実験を行った。霜層厚さは、着霜実験の初期温度 t_{wf} の低下とともに増大する傾向にある。図9に霜層被覆面の代表例を示したが、PTFEやガラスと異なり、空隙率が非常に大きい多孔層である。

図10に霜層厚さをパラメータとして冷却曲線を示した。縦軸の温度は、銅球の中心位置に設置したK型熱電対で測定した値である。図中には、

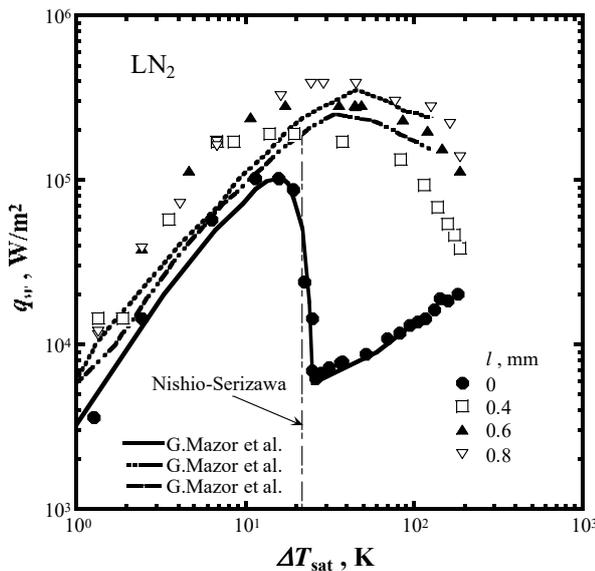


図 11 沸騰曲線に及ぼす霜層被覆面の影響

裸面で得られた冷却曲線を併記した。熱抵抗層として霜層を用いた場合、図から明らかなように、本研究の実験条件内では、膜沸騰が実現しなかった。氷の融点温度以上に初期温度を上げることができないことが原因であるが、裸面と比較して、冷却速度は顕著に増大し、霜層厚さの増大とともに冷却速度も増大した。「断熱層のパラドクス」現象では、核沸騰熱伝達率は被覆層厚さの増大とともに減少する傾向を示すが、霜層被覆面の場合、この傾向は見受けられなかった。

図 10 に示した冷却曲線から求めた沸騰曲線を図 11 に示した。G. Mazor et al.[2]は、 $d=30\text{mm}$ の銅球に、ファンによる強制対流で霜層を付けた実験を行っており、裸面銅球に比べ、極小熱流束および限界熱流束が増加したことを報告している。また、C. Li・G. P. Peterson [6]は、銅板上に金網を設置することによって熱伝達特性が変化することを報告している。図から明らかなように、霜層を付着させた場合、遷移沸騰域の熱流束が顕著に増大した。また、核沸騰域の熱流束も増大した。さらに、限界熱流束 q_{max} も霜層厚さの増大とともに増大した。これらの原因として、霜層の熱伝導性および霜層の構造が考えられる。また、「保温層のパ

ラドクス」現象と異なり、核沸騰熱伝達率も向上した原因として、霜層表面の粗さが考えられる。さらに、空隙率が大きいことから、霜層表面ではなく、霜層内にある霜結晶表面で沸騰が発生していると考えられる。

大久保・西尾[7]は、冷却速度の促進および制御技術として、冷却面上に付着する熱抵抗層の膜厚および分布を任意にコントロールすることによってクエンチ点を制御し、冷却速度の促進および制御を行う方法を提案しているが、熱抵抗層として霜層を利用する場合は、霜層の厚さおよび結晶構造をコントロールすることによって、冷却速度をさらに向上できる可能性がある。

5. おわりに

低温科学・低温工学の進展によって、極低温液体の利用分野が拡大している。低温機器では、配管系を含めたシステムの予冷時間の短縮化が宇宙工学、医療工学等の分野で求められており、膜沸騰から核沸騰まで全沸騰領域で熱伝達率が向上する冷却方法が必要となる。本稿で紹介した霜層被覆面は融点温度が低いことが欠点であるが、この要求に応えることができる沸騰冷却方法である。実用化に向けて、今後の進展を期待したい。

参考文献

- [1] 西尾茂文, 沸騰熱伝達の基本構造と冷却制御工学への応用, 生研セミナーテキスト(1990).
- [2] G. Mazor et al., Applied Thermal Engineering, **52**(2013), pp.345-352.
- [3] S. Nishio, Proc. 1983 ASME-JSME Thermal Eng. Joint Conf., **1**(1983), p.103.
- [4] 西尾茂文, G.R.Chandratilleke, 日本機械学会論文集 B 編, **54**(1988), pp.1104-1109.
- [5] 西尾茂文, 芹澤良洋, 日本機械学会論文集 B 編, **53-487**(1987), pp.1061-1064.
- [6] C. Li, G. P. Peterson, Journal of Heat Transfer, **129**(2007), pp.1465-1475.
- [7] 大久保英敏, 西尾茂文, 生産研究, **45-6**(1993), pp.108-111.

微小界面流動の制御と液滴操作 Control of Micro-Interfacial-Flow and Droplet Manipulation

元祐 昌廣, 武藤 真和 (東京理科大学)

Masahiro MOTOSUKE, Masakazu MUTO (Tokyo University of Science)

e-mail: mot@rs.tus.ac.jp

1. はじめに

微小液滴は、その高い比界面積や内部流動の存在、小さな容積などの特徴があり、連続流と比べて多くの利点を有するため、マイクロ流路内に多数の液滴を流してその内部を反応・分析場とするような用途などで広く研究されている[1-3]。一方、微小液滴にまつわる輸送現象に着目すると、比界面積が高くなるにつれて、界面現象の影響が顕在化する。著者らは、界面流れの制御の可能性を探求すべく、光照射によって界面張力をリモートで変化させて勾配を発生させ、液滴・気泡の操作に関する研究を行なっている。本項では、この研究について、原理と事例について簡単に紹介する。

2. 光熱効果による界面張力対流の制御

2.1 マランゴニ対流

表面張力あるいは界面張力（以下、界面張力で統一させて記し、記号は γ とする）は温度や濃度に依存性があり、温度や濃度勾配の存在下において、界面張力に勾配が生じ、結果として張力差が界面流動

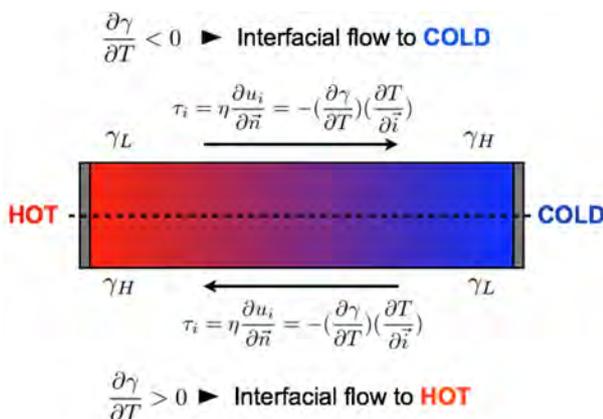


Fig. 1 Marangoni convection due to interfacial tension gradient by temperature difference. Flow direction depends on the temperature coefficient of interfacial tension.

を引き起こす。この現象をマランゴニ対流と呼び(図1)、慣性力に比べて表面力が卓越する微小重力や微小スケールでの現象においては重要となる。高張力部分に流体が引っ張られるので、界面の流体は、正の温度係数をもつ場合には高温部へ、負の温度係数をもつ場合には低温部へと流れることになる。

2.2 光熱効果による界面流の発生と液滴操作

本研究では、液体に光を吸収させる光熱効果を用いて、界面に温度勾配を発生させる。光によって温度上昇を発生させるため、非接触で瞬間的に界面流れを制御することが可能となる。任意の空間パターン光を照射することで、図2に示すような軌道制御や捕捉のみならず、合体や分離などの多彩な操作が全て光照射によって実現される可能性を有している。他の研究例では、液滴に光を吸収させて加熱する方式[4]や、自由表面を浮かぶ液滴まわりの連続相にヒータを近接させて加熱する方式[5]など、似ているが少し異なる系となっている。液滴加熱の場合には多数の操作性に課題があり、ヒータ近接は動作パターンの柔軟性に欠け、本手法は上記手法のメリットを併せ持つ方式を採用している。

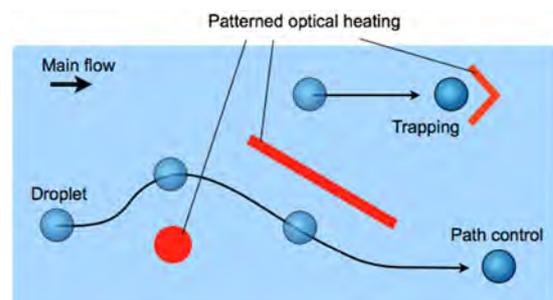


Fig. 2 Concept of photothermal droplet manipulation. Flexible control of path and location of droplets in microfluidic platform is achieved by modulation of interfacial tension gradient.

2.3 液滴に作用する駆動力

液滴を操作するデバイスを設計する際には、液滴に作用する力を求めることが必要となる。本研究では、できるだけ簡潔にこの駆動力を表現できるように、YGB 理論と呼ばれる Young らの式[6]と Hadamard-Rybczynski の式[7]を基として駆動力の定量化を行った[8]。このとき、界面周りの温度差に依る接線力を周囲で積分する代わりに、直感的に理解しやすいように、液滴両端の温度差 (ΔT) を液滴直径で除した値を式(1)に示すように、温度勾配の代表値として採用した。

$$\frac{1}{S} \int_S \frac{\partial T}{\partial \vec{i}} dS = \frac{\Delta T}{d} \quad (1)$$

最終的に求められた、温度差 ΔT 下の単一液滴にはたらく駆動力は次式のように表される。

$$F = \frac{\pi \eta_c \lambda_c}{(\eta_c + \eta_d)(2\lambda_c + \lambda_d)} \cdot \left(\frac{\partial \gamma}{\partial T}\right) \cdot \Delta T \cdot \kappa d \quad (2)$$

ここで、 η , λ はそれぞれ粘性率、熱伝導率で、添字 c は連続相、 d は分散相である。また、 κ は液滴周辺の流路壁面による抵抗を表す係数で、大きな液滴ほど大きくなる値である[9]。式(2)を見ると、駆動力は液滴に与える温度差と液滴直径に比例しているように見えるが、抵抗係数 κ も液滴サイズの増大にあわせて大きくなるため比例とはならず、温度差のみに比例する。

実際に、後述する実験で用いられた試料の物性値などを代入して、駆動力を液滴直径と温度差の変化と対応づけたものが図3である。この結果から、数十 μm サイズの液滴に作用する力は nN オーダーであることがわかる。これは、光ピンセットなどと比較して非常に強く、界面流制御の有効性を確認することができる。

3. マイクロ流路内での液滴操作

3.1 実験系

以下では、著者らが実験的に行った、マイクロ流体デバイス内部での液滴操作の例を紹介する。なお、本研究では、水を連続相、オレイン酸を分散相とした O/W 型の液滴流を対象としており、連続相には、温度計測用のフルオレセインと加熱光吸収用のブリリアントブルーFCF (青色1号)、ならびに界面活性

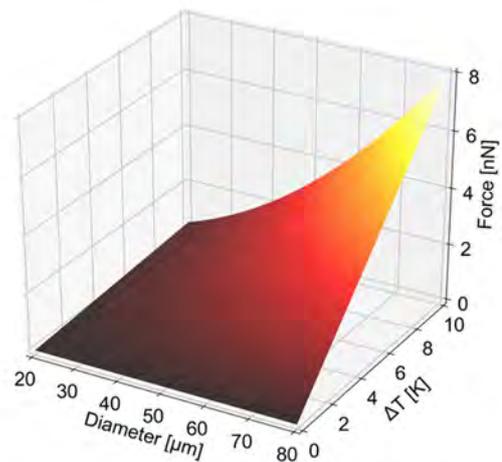


Fig. 3 Driving force acting on a controlled droplet by the photothermal Marangoni effect. The force is $O(\text{nN})$ in typical experiments as mentioned later and is proportional to the temperature difference of the droplet.

剤の Tween 20 を微量添加した。このときの界面張力の温度依存性をペンダントドロップ法で計測した結果、図4のように正の温度係数 ($\partial \gamma / \partial T \sim 0.072 \text{ mN/m/K}$) を示した。これは、一般的な気液・液液界面張力は負の温度依存性を示すことが知られているが、ここでは反転している結果が得られた。この正の温度係数は、一部のアルコール水溶液や、界面活性剤の種類と濃度によって類似の結果が報告される系も存在している。この場合、低温部に比べて高温部の張力が高くなるため、低温側から高温側に向かうような界面流れが発生し、液滴は低温部へ向かう力を受けることになる。すなわち、光照射領域から斥力を受けるような動きを示す。

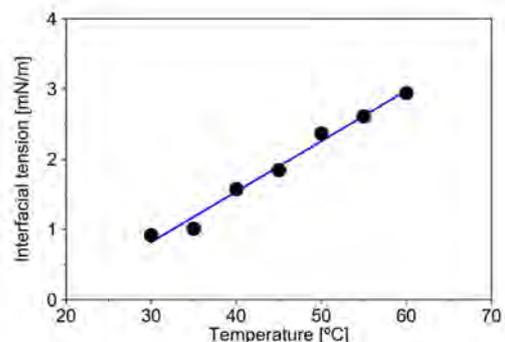


Fig. 4 Temperature dependent interfacial tension between oleic acid and water with surfactant Tween 20. The tension has positive temperature coefficient approximately 0.072 mN/m/K .

3.2 流路内での軌道制御

前述した試料系を用いて、マイクロ流路内に液滴を流し、照射による温度分布を連続相に形成し、液滴の挙動を観察した。装置としては、倒立顕微鏡内に縮小露光光学系を組み込むことで、加熱光の出射口近くにフォトマスクを設置し、その開口パターンが対物レンズで縮小されて流路内に照射されるような機構を開発し、実験に用いた(図5上)。流路は、ソフトリソグラフィ法で作製したPDMS製の流路をガラス基板に貼り付けたものを使用した。このときの液滴の軌跡を図5下に示す(図中黒塗り部は照射の設計領域)[8]。液滴は、照射領域、すなわち加熱領域を避けるような軌跡を取りながら流れていく様子が観察された。これは前節での界面張力の温度係数の計測結果から予測される挙動と一致してお

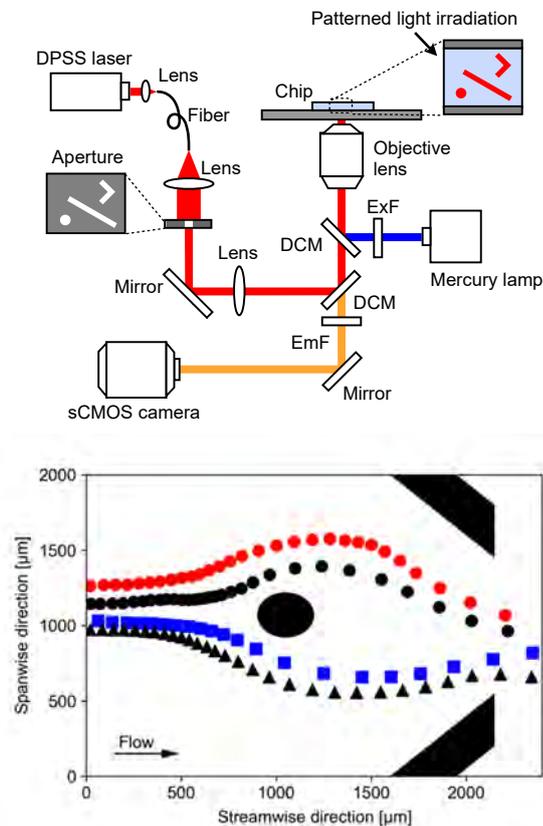


Fig. 5 (top) Experimental system in this study. A reduced-projection exposure optics is employed in the heating optical system to achieve patterned light irradiation toward droplets in a microchannel. (bottom) Trajectories of controlled droplets under patterned light irradiation. Droplet flows to avoid the irradiated area (black area is the designed irradiation pattern).

り、光熱効果による液滴操作の有効性が確認できたと考えられる。なお、本手法は、液滴の界面が加熱領域に近づいてきたときのみ液滴に力を作用させるため、固体粒子などが流れて来たときには抵抗とはならず、固体粒子と液滴との分離などへの応用が可能である。

3.3 分岐制御

本節では、分岐部を有するマイクロ流路を用いて、液滴の分岐制御を行った事例を紹介する。この実験では、2分岐の流路の一方の入口付近に加熱光を照射して温度分布を形成し、光を照射した流路に液滴が侵入しにくいようにしている。なお、光を照射しない状態では、全ての液滴が一方の流路に流れるようにしている。分岐前後の流路幅はそれぞれ 200, 100 μm で、液滴は約 1 mm/s の速度で流れるように設定した。照射有無の液滴軌道の連続写真を図6に示す(左が非照射時、右が照射時)。光を照射することで、加熱部からの斥力を液滴が受け、結果として照射部を避けるように、もう一方の流路へと液滴の軌道を制御できていることが確認できる。

このときの分岐流路における分別率 (sorting ratio) を、光出力を 0 から 30 mW まで変化させて取得した結果を図7に示す。光強度が強くなるにつれて分別

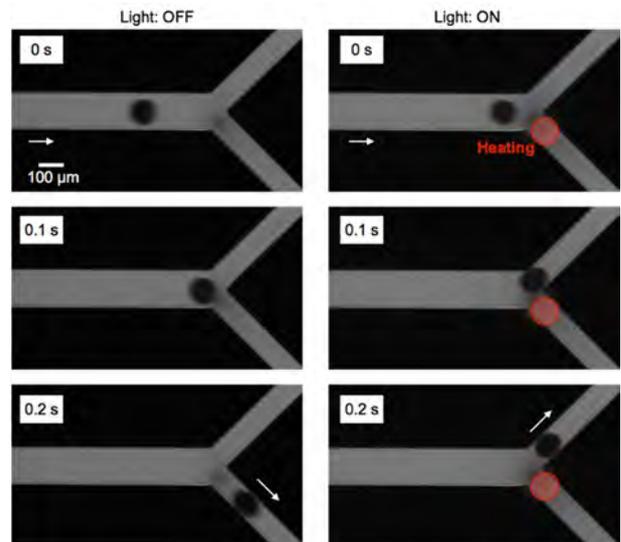


Fig. 6 Successive images of droplet flow with (right) and without (left) the optical heating that induces the photothermal Marangoni effect for droplet sorting. Direction of drops can be controlled by light irradiation.

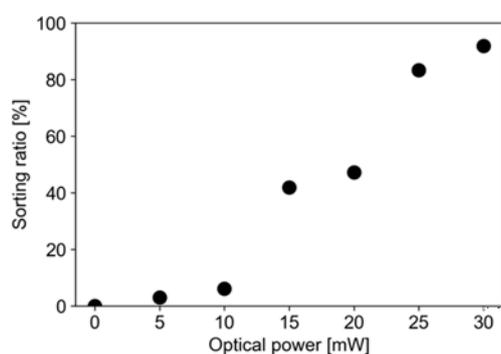


Fig. 7 Sorting ratio of the controlled droplet in a branched microchannel as a function of the irradiation optical power.

率は上昇し、30 mW 時では最大である 91 %を示した。本実験で使用した流路は、図 6 に示した分岐部の下流にも流路は続いており、液滴が多く存在する場合には圧力が上昇する[10]ため、分別された液滴が多く下流に存在するようになると、圧力分布が変化してしまう構造となっている。このため、長時間の稼働で分別率が変動してしまう。これを回避するためには、分岐後の流路幅を液滴サイズに比べて大きくする、分岐後をチャンバーにするなどで、流路内の液滴による圧力変動の影響を低減させることで、より安定した分別率を得ることができる。本実験ではこれ以上の評価は実施していないが、光熱効果による液滴の分岐制御に対する本手法の適用可能性を確認することができた。

4. おわりに

本稿では、微小領域で顕在化するスケール効果を利用した、光熱効果を用いた界面流制御による液滴の操作に関する事例を紹介した。界面張力勾配を用いた界面流動の適切な制御により、多彩な操作が可能である。本研究では界面張力対流の誘起に光による局所加熱を使用した。界面張力は界面活性剤濃度やその他溶質濃度にも依存するため、これらを制御することで同等の液滴の操作が可能である。光異性化する界面活性剤を用いることで、加熱を伴わない光操作も可能である[11]。

また、今回は流路内の液滴の事例のみを紹介したが、液中気泡[12]や、液滴中の微細粒子の分布制御

などを行うことも可能であり、界面流動制御の可能性はより多くの分野や技術について見出されていくものと期待している。

参考文献

- [1] Günther, A., and Jensen, K. F., Multiphase microfluidics: from flow characteristics to chemical and material synthesis, *Lab Chip*, **6** (2006) 1487.
- [2] Teh, S-Y., et al., Droplet microfluidics, *Lab Chip*, **8** (2008) 198.
- [3] Chou, W.-L., et al., Recent advances in applications of droplet microfluidics, *Micromachines*, **6** (2015) 1249.
- [4] Cordero, M. L., et al., Thermocapillary manipulation of droplet using holographic beam shaping: Microfluidic pin ball, *Appl., Phys., Lett.*, **93** (2008) 034107.
- [5] Basu., A. S., and Gianchandani., Y. B., Virtual microfluidic traps, filters, channels and pumps using Marangoni flows, *J. Micromech. Microeng.*, **18** (2008) 115031.
- [6] Young, N. O., et al., The motion of bubbles in a vertical temperature gradient, *J. Fluid Mech.*, **6** (1959) 350.
- [7] Clift, R., et al., *Bubbles, drops, and particles*, Dover Pubs., (2005).
- [8] Muto, M., et al., A noncontact picoliter droplet handling by photothermal control of interfacial flow, *Anal. Sci.*, **32-1** (2016) 49.
- [9] Chen, J., et al., The axisymmetric thermocapillary motion of a fluid particle in a tube, *J. Fluid Mech.*, **233** (1991) 405.
- [10] Fuerstman, M. J., et al., The pressure drop along rectangular microchannel containing bubbles, *Lab Chip*, **7** (2007) 1479.
- [11] Muto, M., et al., Photochemical migration of liquid column in a glass tube, *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, **226** (2017) 1199.
- [12] Takeuchi, H., et al., Noncontact bubble manipulation in microchannel by using photothermal Marangoni effect, *Heat Transfer Eng.*, **33-3** (2012) 234.

人と熱との関わりの足跡（その1）－「蚕当計」と『蚕当計秘訣』－
Footprints of the relationship between humans and heat (Part 1) -“Santoukei”and “Santoukeihiketsu”-

星 朗（東北学院大学），河村 洋（公立諏訪東京理科大学）
Akira HOSHI (Tohoku Gakuin University) and
Hirosshi KAWAMURA (Suwa University of Science)
e-mail: ahoshi@mail.tohoku-gakuin.ac.jp, kawa@rs.sus.ac.jp

1. はじめに

人類は火を扱うようになってから急速に進化したと言われてるように、日本伝熱学会が対象とする「熱」は、古来より人々の生活や伝統を支え、また近代日本の科学・技術の発展にも大きく寄与してきた。

我々人類は、誕生以来その成長・発展の過程において、科学と技術を生み出し、これらから多くの恩恵を受けると共に制御しきれない葛藤も少なくなかった。したがって科学や技術の歴史をたどること、また我々の現在と将来について課題を俯瞰しその行く手を探ることは、つねに興味深くかつ重要であり、「人と熱との関わり」についても例外ではない。

日本伝熱学会は1961年の創立以来、50年以上に亘って「熱」に関わる先端的な科学・技術の進展と知識の普及に貢献してきた。1994年には社団法人として認可され、さらに2012年からは公益社団法人として認可されて、公益事業の重要性が増している。そこで、人と熱との関わりの歴史を専門家のみならず、それを伝える団体や地域の方々とともに構築することにより、「熱」と我々の生活、文化、社会との深い関わりについて社会への認知を高めていくことは、本学会の公益的な社会貢献の一つとして位置付けることができると考えている。

表1は、「人と熱との関わり」の体系を示そうとする試みである。この関わりが如何に幅広い広がりや奥行きを持つかを見ることができる。この体系表の制作は、現在未だ進行中で、項目の選択にも任意性があり、その広さから完成形に到達できるとは思えないが、できる限りその幅と奥行きを持たせるために、内容に関して読者からのご意見をいただければ幸いである。また、このような体系表を基として、「熱」と我々の生活、文化、社会との深い関わりについて社会への認知度を高め、さらにはそれをひろく社会に広報してゆくことは、本学会の社会貢献の一つとなるばかりでなく、そのような「足跡」を保有する団体や地域の振興にも資することになると

確信している。

2. 「蚕当計」と『蚕当計秘訣』

福島県伊達地方の養蚕業の歴史は平安時代にさかのぼり、この地方は布を特産とする戸を意味する「静戸郷」と呼ばれていた[1]。室町時代には、この地域を支配した伊達氏が上洛する際、黄金や馬などとともに絹織物を献上品とした。江戸時代になると多くの生糸が「登せ糸」として京都へ運ばれ、西陣織などで使用された。江戸幕府から「奥州蚕種本場」の称号を得て、近世から近代にかけては日本一の品質を誇り、良質な生糸を生産する養蚕・製糸業の先進地として全国をリードしてきた。その中で、炭火で蚕室内の温度を調整する画期的な温暖飼育法の完成に大きな役割を果たした「蚕当計」と呼ばれる日本初の蚕用温度計の開発と、「蚕当計」を用いた養蚕マニュアルである『蚕当計秘訣』の編纂の意義はとても大きい。

本報では、福島県伊達市梁川の蚕種改良家であった中村善右衛門が考案した「蚕当計」と、その使用方法を記した『蚕当計秘訣』に焦点を当て、明治期における伊達地方の養蚕業の特色について考えてみる。図1に、福島県伊達市の位置を示した。伊達市は福島県の北部に位置し、梁川は福島県中通りの東北端に位置して宮城県丸森町に隣接している。平安時代末期には、源頼朝の奥州攻めに従った常陸国の伊達氏初代朝宗がこの地方を賜り、本拠地を米沢城に移すまでの360年間、伊達郡を治めている。



図1 福島県伊達市

表1 人と熱の関わりの体系（制作進行中）

大分類	中分類	小分類	細目	項目（代表例）	場所	時代	各種認定	
1. 伝統技術・文化								
伝統技術・文化	伝統技術	低温保存		加賀藩の水室・水運搬	石川	江戸		
				稲核(いねこき)風穴	長野・松本	江戸末		
				荒船風穴(富岡製糸)	群馬・下仁田	明治	文, 世	
		温泉熱利用		宇奈月温泉の引湯	富山・黒部	大正		
				温泉治療等の温泉熱利用				
		温室		野菜促成栽培(バイオマス発熱)	東京・江東区	江戸		
				室(むろ)(観賞植物栽培用温室)	東京	江戸		
		塩田		能登の揚げ浜式製塩	石川・能登	古墳	文, 世(農業)	
				入り浜式製塩	瀬戸内海			
		玉鋼		菅谷たたら山内	島根・雲南	江戸	文(有民)	
			たたら製鉄用具	島根・安来	江戸	文(有民)		
	鉄製品		田儀櫻井家たたら製鉄遺跡	島根・出雲		文(近代化)		
			鋳物技術	南部, 川口		文(無民)		
	陶磁		日本刀製造技術					
			長谷園登り窯	三重・伊賀	江戸末	文(近代化)		
木炭		陽和工房登り窯	高知・安芸	江戸末	文(近代化)			
		赤膚山元窯大型窯	奈良	江戸末	文(近代化)			
食		木炭製造技術			文(伝統技)			
		備長炭	和歌山・みなべ	江戸				
温度測定 温度管理		料理用窯						
		和食調理における熱技術						
文化	自然記録		平賀源内の温度計	香川・さぬき	江戸末			
			蚕当計(養蚕の温度管理)	福島・伊達	江戸末			
2. 生活・社会								
生活・社会	生活	温度	温度測定	柏木水銀体温計	山口・防府	明治		
				気温観測用温度計				
				放射温度計				
				熱電対温度計				
		加熱・調理・冷却保存	点火		まいぎり			
					マッチ	兵庫・姫路	明治	
					ライター			
			加熱		電気釜	横浜		
					電子レンジ	新幹線	昭和39	
					電気トースター	横浜		
	加工	低温保存		IHヒーター				
				氷冷蔵庫				
				国産最初の電気冷蔵庫	川崎	昭和5	経, 機	
				冷凍庫				
	医療	飲料製造・保存		冷蔵冷凍庫(2ドア)			昭和44	
				食品冷凍保存技術				
				カップ麺				
		暖房・空調	低温		レトルト食品			
					天然氷(五稜郭)	北海道・函館	江戸末	
					かき氷			
社会	地域冷暖房		アイスクリーム					
			小岩井農場天然冷蔵庫	岩手・雫石	明治38	文(近代化)		
			萱島酒造冷蔵庫	大分・国東	昭和初	文(近代化)		
			ウイスキー醸造(蒸留窯)	北海道・余市	昭和初	経		
医療	暖房		電気火鉢	横浜		文(近代化)		
			電気ストーブ	横浜		文(近代化)		
社会	地域冷暖房		白金懐炉					
			鉄粉酸化式カイロ					
医療	冷房		冷房機					
			ヒートポンプ式エアコン(柳町)	兵庫・御影町	昭和7			
医療	冷暖		お灸					
			電気メス					
社会	地域冷暖房		細胞・組織凍結保存					
			凍結治療					
社会	地域冷暖房		大阪万博	大阪・吹田	昭和45			
			新宿副都心	新宿				
社会	地域冷暖房		札幌市地域暖房	北海道・札幌	昭和46			

表1 人と熱の関わりの体系（制作進行中）（つづき）

大分類	中分類	小分類	細目	項目（代表例）	場所	時代	各種認定		
3. (近代)科学技術									
近代科学技術	材料製造	窯業		日本煉瓦製造ホフマン輪窯六号	埼玉・深谷	明治22	文(重文)		
				旧下野煉瓦煉瓦窯ホフマン式輪窯	栃木・野木	明治22	文(重文)		
				倒焰式角窯(含煙突)	愛知・常滑	大正10	文(登文)		
				旧小野田セメント堅窯	山口・小野田	明治16	文(重文)		
				工部省品川硝子製造所	愛知・明治村	明治10	文(有文)		
		ガラス		築地反射炉跡(最初の反射炉建設)	佐賀	江戸末	文(史跡)		
			製鉄		徴古館所蔵古文書(鉄砲全書)	佐賀	江戸末	文	
					萩反射炉	山口・萩	江戸末	文(史跡), 世	
					釜山反射炉	静岡・伊豆の国	江戸末	文(史跡), 世	
					旧集古館	鹿児島	江戸末	文(史跡), 世	
		橋野高炉跡		岩手・釜石	江戸末	文(史跡), 世			
	熱機関	外燃機関	蒸気機関		富岡製糸ブルーナエンジン	愛知・明治村	明治	経	
					クリンカ粉碎	山口・小野田	明治	経	
			蒸気機関車		機関車大勝号				
					雨宮21				
					国産陸用 国産船用	長崎	明治	経, 機	
		内燃機関	オート		ダットエンジン			経	
					ホンダCVCC			機	
					10Aロータリー			機	
					カブF型			機	
			自動車		アロー号			経, 機	
					スバル			機	
				ディーゼル		ヤンマー横小型HB	滋賀・長浜		経, 機
						MAN社製 新潟M4Z型	兵庫・尼崎 東京	大正8	経
						新潟M4Z型L2P	群馬・太田		科
				石油発動機		ヤンマー石油	滋賀・長浜		経
			クボタ農工		大阪・堺		経		
		ガスタービン		トバタ農工	福岡・苅田		経		
				商用1号 高砂 発電用1号 東芝			科		
		伝熱機器	ボイラー		小型貫流式「ZP型」	愛媛		機	
				ヤーロー式ボイラー	広島・呉市	明治末	科		
熱交換器			伝熱促進管(フィン付き等)						
			ラジエーター(自動車)						
			ラジエーター(室内暖房)	日光					
自然エネルギー	太陽熱利用	温室	東山動植物園温室	名古屋	昭和12	文(重文)			
		温水加熱	太陽熱温水器						
	地熱利用	発電		松川地熱発電所	宮城・八幡平	昭和41			
				別府温泉(杉乃井ホテル)	大分・別府	昭和55			
				ヘリウム液化機(輸入, 国内一号)	宮城・仙台	昭和27			
	極低温	極低温		東京五輪聖火台	川口, 石巻	昭和39			
	鑄物技術	鑄物技術		沸騰曲線(抜山四郎教授)	宮城・東北大	昭和4~9			
学術	論文	沸騰							

文:文化庁(重要文化財, 登録文化財, 史跡等), 近:文化庁(近代化遺産, 文化財), 経:経産省(近代化産業遺産)
科:国立科学博物館(重要科学技術史資料), 機:日本機械学会機械遺産, 世:ユネスコ世界遺産(文化遺産)

3. 伊達地方の養蚕業における「蚕当計」

人と温度測定との関わりには長い歴史があるが、日本では、1652(承応元)年に長崎オランダ商館長ブルフが、暑さ寒さで天気を知る装置「からくりびいどろ」として献上した物が、我国に初めて渡来した温度計(気圧計)とされる[2].

国内産では、1768(明和5)年に平賀源内が著書『日本創生寒熱昇降記』の中でタルモメイトルの創

製を主張しており、大槻玄澤が1788(天明8)年に著した『蘭説弁惑』では平賀が我国で初めて寒熱升降を製作したとしているが、その後の目撃者が一人も居らず疑念が持たれるとの見方もある[2]. 一方、三浦梅園の『帰山録』(1778(安永7)年)には、長崎の大通詞である吉雄幸左衛門亭において自製したタルモメイトル(寒熱升降器)を見たとの記述があり、これを国産初の温度計と考える説もある[2].

その後、オランダからの輸入品普及と並行して、司馬江漢の各種温度計（1808年）、高野長英の験温管（1832年）、山路諧考の寒暖儀（1837年）などの多くの国産温度計が製作されることとなるが、天保の改革（1841～1843）で輸入がストップすると、国産化に更なる拍車がかかることになった。

福島県伊達地方梁川の蚕種改良家であった中村善右衛門は、1842（天保13）年頃、蘭法医が使用していた「体温計」（後述するが「寒暖計」の可能性が高い）からヒントを得て、「蚕当計」と呼ばれる日本初の蚕用温度計を考案した[3]。図2の写真は、善右衛門67歳、妻いそ64歳が1876（明治9）年に東京神田淡路町の江本写真館で撮影したものとされる。蚕当計の製造販売は、同じく梁川の田口半三郎が事業化した[4]。

現在、図3に示す中村善右衛門が製品化した1849（嘉永2）年頃の「蚕当計」2点、ならびに図4に示す「蚕当計原器」が、泉原養蚕用具整理室（福島県伊達市）に保存状態も良好で残されている。「蚕当計原器」は江戸から取り寄せたガラスと水銀を用いた水銀注入式であるが、広く販売された「蚕当計」はアルコール注入式で、コストを下げ普及を目指したものと考えられる。



図2 中村善右衛門 夫妻（明治9年撮影）
（泉原養蚕用具整理室）



図3 蚕当計（1849年頃）
（泉原養蚕用具整理室）



図4 蚕当計原器（泉原養蚕用具整理室）

「蚕当計」の枠材質は桐製で壁掛けタイプとなっている。大きさは、一方は W54mm×L300mm×t18mm、他方は W52mm×L318mm×t20mmである。目盛りは華氏の1°F刻みで、液溜まりの丸みには製品ごとにばらつきが確認される。現存のもの的一方は取り外し可能なガラスで表面が覆われているが、他方はガラスで覆われてはいない。「蚕当計」の左下には『中村善右衛門製』の印、左上にも社判らしき印が押印されている。一方の「蚕当計」には旧暦の正月から12月まで、他方の「蚕当計」には24節季が、それぞれガラス管の左側に気温の高低順に表現されている。また、一方の「蚕当計」の板面が若干明るいことから、他方の蚕当計の標記に改良を加

えたものと思われる。このように「蚕当計」は、江戸時代末まで経験や勘を頼りにおこなわれていた養蚕業に、科学的視点から蚕室内の温度を調整する画期的な温暖飼育法を取り入れて生産性向上に大きく貢献したもので、まさに人と熱との関わりの足跡（遺産）と言える。

伊達地方の「カイコさま（大切な現金収入源であるため、このように呼ばれている）」は、藁で編んだ円座の「ワラダ」の上で成長する。奥州伊達地方は寒いことから、蚕を冷気から守るために藁製のワラダが用いられていたようで、伊達地方特有のものである[4]。江戸時代には火気は蚕に悪影響があると考えられていた。一般に室温が上がると、上簇（成熟した蚕を繭を作らせる小さな枠（蔀）に移すこと）までの期間は短縮されるものの繭（糸）質は悪くなると言われていたが、「蚕当計」の普及によって温度管理ができるようになって温暖飼育が広まったものと考えられる。温暖飼育が一般化すると、伊達地方の藁製のワラダも明治期には竹製へと変化している[4]。

4. 『蚕当計秘訣』と養蚕業の盛衰

「蚕当計」を考案した中村善右衛門は、さらに1849（嘉永2）年には、その使用方法を記した『蚕当計秘訣』を発表している。それまで、経験や勘に頼ってきた養蚕に、科学の視点を取り入れた新しい方法は、養蚕農家に広く普及し、明治期の養蚕業発展に大きく貢献した。

『蚕当計秘訣』の真筆（あるいは、ごく初期の写し）ならびに版本も、図5に示すように良好な保存状態で現存している。中村善右衛門は、実際に「蚕当計」を使って蚕を飼い、養蚕に最も適した温度を選定して、『蚕当計秘訣』に詳述している。例えば、経過が速く飼育日数が短い急蚕飼育法では華氏79度の気温を標準、経過日数の長い緩蚕飼育法では1・2齡期は華氏73度、3齡期は72度、4齡期は71度、5齡期は69度などである[3]。すなわち、完成した「蚕当計」を用いることで、炭火で蚕室内の温度を調整する画期的な温暖飼育法の完成に大きな役割を果たしている。

図6の真筆には、「嘉永2年8月 中村善右衛門著」の記述の他に、出版社である「積玉堂」の文字が裏表紙に記載されている。

また、図7の版本には、「嘉永2年 原刻 文久

4年 改正再刻」の文字が確認できる。この1864（文久4）年に積玉堂より発行された再刻改正版が、世の中に広まったものと考えられる。



図5 『蚕当計秘訣』真筆ならびに版本

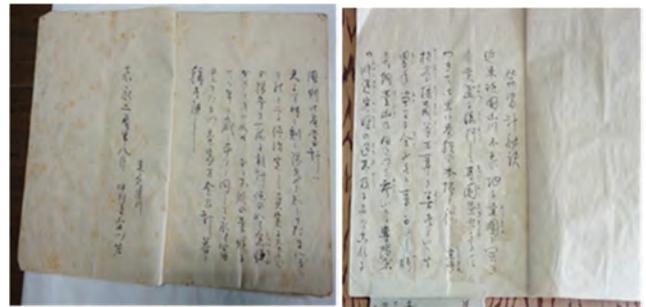


図6 『蚕当計秘訣』真筆（伝）



図7 『蚕当計秘訣』版本

『蚕当計秘訣』の写本は、1858（安政5）年には丹後国にもたらされて養蚕に多大な効果をあげ[2]、全国各地に伝承されていくことになる。同じ頃に梁川の養蚕業者の中井閑民は『養蚕精義』、同じ梁川の養蚕業者の大竹惣兵衛は『養蚕頭秘録』（1859（安政6）年）、金沢の黒石千尋は『養蚕規範』（1862（文

久2)年)を著して[2], 養蚕における温度管理の重要性, さらには奥州本場で製作される「蚕当計」に触れている。「蚕当計」の評判が高まり需要が拡大するにつれて製作に参入するものが増え, 梁川で製造される「蚕当計」は, 福島はもとより山形, 宮城, 栃木はじめ全国に年間 20 万本ほど出荷され, 明治 4 年にはフランス市場調査にも出掛けたとの記録も残っている[2].

伊達地方に残っている古い二階建ての家は, 一階の天井が低く, 明かり窓が屋根裏に造られており, 「両あづま」「片あづま」と呼ばれている[4]. この養蚕兼用住宅では, 一階で蚕を飼い, 熟蚕になると, 順次階上に設置した「まぶし(繭床)」棚へ移す仕組みとなっている。現在では伊達市内の養蚕農家は 10 軒程度であるが, 町内で養蚕兼用住宅の名残を見かけることがある。

図 8 の写真は, 国指定重要文化財に指定されている「旧亀岡家住宅—明治の木造擬洋風建築—」である。この建物は 1904 (明治 37) 年頃に伊達郡で蚕種製造業を営んでいた亀岡正元によって建てられた建造物で, この時代の農家住宅としては稀な擬洋風の建築である。総二階建の座敷棟に立つ二つの尖塔と飾り煙突, 八角形の塔屋に洋風の特徴を有している。一方, 内部の大部分は純和風の座敷で, 廊下との間仕切りには当時としては珍しいガラス戸が用いられており, 東日本大震災でも破損は全く見られなかったそうである。この旧亀岡家住宅からも, 「奥州蚕種本場」, すなわち蚕種(蚕の卵)を全国に供給する産地として栄えた当時の栄華を窺い知ることができる。



図 8 国指定重要文化財 旧亀岡住宅

さらに泉原養蚕用具整理室には, 「蚕当計」, 「蚕当計原器」, 『蚕当計秘訣』等の関係資料の他にも,

蚕種製造関連では産卵枠および蚕種紙(蚕卵台紙), 種繭雌雄鑑別器, 顕微鏡(蚕病理検査用)など, 稚蚕飼育関連では掃きたて紙, 桑刻み包丁など, 養蚕関連ではわらだ, 練炭火鉢(図 9), 桑摘み爪, 給桑台など, 上簇関連では伊達まぶし, 回転まぶし, まぶし折り機など, 生糸・真綿製造関連では繭煮鍋, 座繰り器, ぼうず(真綿引き伸ばし用陶形)など, 機織関連では機織り機, 杼, 糸車などが収蔵されており, 一部は整理されて展示・公開されている。これらの伊達市所有の幕末期から昭和期に使用された養蚕関係用具 2530 点は「伊達地方の養蚕関係用具」として平成 20 年 3 月 13 日付けで国登録有形民俗文化財に登録されている。その登録の数量からも伊達の養蚕業がいかに日本の養蚕業をリードして発展を遂げてきたか, 多くの新たな知見を得ることとなった。



図 9 温暖飼育に用いた練炭火鉢

5. 全国に広がった蚕当計と

養蚕における温度管理

製糸業は, 江戸末期から明治時代にかけて我が国の外貨獲得の重要な産業であり, 全国の複数の箇所盛んになった。これに伴って養蚕における温度管理の重要性が広く認識されるようになり, 農家の造りも, 窓の少ない構造から, 養蚕室を仕切って窓を設けて温度管理を容易にする構造に変わっていった[5]。また, 蚕当計も全国に広がっている。その証左として長野県岡谷市にある岡谷蚕糸博物館にも当時の蚕当計が保存されている(図 10)。岡谷市は, 片倉家を中心として製糸業が栄えた土地で, 世界遺産となった富岡製糸場も, 昭和 14 年からは片倉製糸紡績株式会社(現・片倉工業株式会社)の傘下に入り, 操業停止後も保存されてきた[6]。写真は同博物館の許可を得て撮影したものであるが, 伊達市に保存されている一般に普及した蚕当計よりはかな

り大きく、木枠の長さは約 50cm である。製作年代は、明治初期と記録されている[7].



図 10 蚕当計（岡谷蚕糸博物館蔵）

温度目盛り部分を拡大した図 11(左)には、急蚕、緩蚕などの文字も読める（右から左書き）。温度目盛りは華氏なので指示値の 80°F は約 26°C で、撮影は 9 月であるから現在も温度計として作動していることがわかる。下部を拡大した図 11(右)によると、製作者として田口半三郎の名前が読み取れ、伊達地方から伝来したものであることが確認でき、我が国における養蚕技術の幅広い交流を物語るものと言える。



図 11 蚕当計（岡谷市）の拡大
（左：文字盤と指示値，右：底部の製作者名）

5. おわりに

本報で紹介した中村善右衛門が製品化した初期の「蚕当計」2点ならびに「蚕当計原器」、さらには『蚕当計秘訣』の真筆と版本は、福島県伊達市霊山町にある泉原養蚕用具整理室に良好な保存状態で保管されている。また、岡谷市の蚕糸博物館にも伊達地方製作であることが確認できる蚕当計が保存されており、この技術が我が国の近代化の初期に、すでに全国に伝わっていたことがわかる。このように「蚕当計」と『蚕当計秘訣』は、かつて我が国を支えた養蚕という産業技術において、人々が「熱」と深く関わり、それを自らの営みに如何に巧みに利用してきたかを伝えている足跡であると言える。

本報告は日本伝熱学会熱遺産準備委員会（平成 28 年度）及び同熱遺産委員会（平成 29 年度から）における活動の一環として行った調査活動によるものである。また、調査においては、伊達市教育委員会の山田将之様、岡谷蚕糸博物館の高林千幸館長、林久美子学芸員に多大なるご支援・ご教示を頂いた。ここに深甚な感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 泉原養蚕用具整理室パンフレット，伊達市教育委員会。
- [2] 菱刈功，寒暖計事始，中央公論事業出版（2017）。
- [3] 蚕当計秘訣，日本農書全集 第 35 卷，農山漁村文化協会（1981），梁川町史編纂委員会，梁川町史 第 2 卷 近世 通史編Ⅱ，（1999），pp. 684-691。
- [4] 伊達市保原歴史文化資料館，伊達地方の養蚕業—奥州蚕種本場の盛衰—，（2009）。
- [5] 横山岳，シルクレポート 43，pp. 20-25（2015）。
<http://silk-teikei.jp/pdf/silk43.pdf>
- [6] 富岡市観光サイト。 <http://www.tomioka-silk.jp/tomioka-silk-mill/guide/history.html>
- [7] 岡谷蚕糸博物館資料目録。

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
2018年					
5月 29(火) ～ 31(木)	第55回日本伝熱シンポジウム (開催場所:札幌コンベンションセンター-SORA)	2018.1.19	2018.3.16	第55回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局 北海道大学 大学院工学研究院 機械宇宙工学専攻内 E-mail: symp2018@htsj-conf.org	

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
2018年					
4月 18(水) ～ 20(金)	第52回空気調和・冷凍連合講演会 (開催場所:東京海洋大学工学部 85周年記念会館、江東区)	2018.1.10	2018.2.28	日本冷凍空調学会 第52回空気調和・冷凍連合講演会係 担当 佐藤、宇田 Tel: 03-5623-3223, Fax: 03-5623-3229 E-mail: 3rengo@jsrae.or.jp	
5月 22(火) ～ 23(水)	日本機械学会関西支部 第355回講習会「破壊力学の基礎と最新応用(実験実習・計算演習付き)」 (開催場所:(株)島津製作所 三条工場研修センター、京都市)	2018.5.15		日本機械学会 関西支部 事務局 Tel: 06-6443-2073, Fax: 06-6443-6049 E-mail: info@kansai.jsme.or.jp	
6月 6(水) ～ 8(金)	第23回計算工学講演会 (開催場所:ウイングあいち、名古屋市)	2018.1.24	2018.4.11	第23回計算工学講演会 実行委員会 E-mail: conf.office@jcses.org	
6月 14(木) ～ 15(金)	第23回動力・エネルギー技術シンポジウム (開催場所:国際ホテル宇部市、宇部市、山口県)	2017.2.23	2018.4.27	第23回動力・エネルギー技術シンポジウム 実行委員長 E-mail: pesymp2018@jsme.or.jp	
7月 2(月) ～ 4(水)	The 2nd International Symposium on Fuel and Energy (開催場所:東広島芸術文化ホール)	2018.6.1		井上 修平(広島大学) E-mail: shu18@hiroshima-u.ac.jp	
7月 22(日) ～ 26(木)	第26回原子力工学国際会議(ICONE26) (開催場所:Novotel London West, London, England)	2017.11.30	2018.1.12	ICONE26 技術委員会 幹事 東京工業大学 高橋 秀治 E-mail: htakahashi@lane.iir.titech.ac.jp	
8月 8(水) ～ 10(金)	日本混相流学会混相流シンポジウム2018 (開催場所:東北大学、仙台市)	2018.3.16	2018.6.11	日本混相流学会 混相流シンポジウム2018 実行委員会事務局 石本 淳(東北大学流体科学研究所) E-mail: konsosymp@jsmf.gr.jp	
8月 27(月) ～ 29(水)	日本実験力学会2018年度年次講演会(山梨大学)	2018.5.7	2018.6.29	伊藤 安海(山梨大学 工学部) E-mail: yasumii@yamanashi.ac.jp 鍵山 善之(山梨大学 工学部) E-mail: ykagiyama@yamanashi.ac.jp	
9月 3(月), 5(水), 6(木), 4(火)	日本流体力学会 年会2018(9/3, 5, 6)・日本流体力学会創立50周年記念シンポジウム(9/4) (開催場所:大阪大学豊中キャンパス)	2018.6.1	2018.7.31	年会:日本流体力学会年会2018 実行委員会 E-mail: nenkai2018-ml@me.es.osaka-u.ac.jp 記念シンポジウム:矢野 猛(大阪大学大学院工学研究科) E-mail: yano@mech.eng.osaka-u.ac.jp	
10月 ～ 11月 2(金)	The 29th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP29) (開催場所:Hawaii Convention Center, Honolulu HI, U.S.A.)	2018.5.1	2018.7.1	ISTP29 実行委員長 伏信 一慶(東京工業大学 工学院 機械系) E-mail: fushinobu.k.aa@m.titech.ac.jp	
10月 ～ 11月 2(金)	The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (13th ISEM) (開催場所:85 Sky Tower Hotel, Kaohsiung City, Taiwan)	2018.5.12	2018.7.14	日本実験力学会事務局 担当 小林 Tel: 025-368-9310, Fax: 025-368-9308 E-mail: office-jsem@clg.niiigata-u.ac.jp	
12月 3(月) ～ 4(火)	第8回潜熱工学シンポジウム (開催場所:尾張一宮駅前ビル、愛知県)	2018.9.21	2018.10.19	幹事 窪田 光宏(名古屋大学工学研究科) E-mail: kubota.mitsuhiro@material.nagoya-u.ac.jp	

第 55 回日本伝熱シンポジウムのご案内

第 55 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
委員長 大島伸行
幹事 戸谷 剛

開催日：平成 30 年 5 月 29 日（火）～5 月 31 日（木）

会 場：札幌コンベンションセンター（<http://www.sora-scc.jp/index.html>）

所在地 〒003-0006 札幌市白石区東札幌 6 条 1 丁目 1-1 電話 011-817-1010（代表）

アクセス 新千歳空港から新札幌駅まで JR で約 28 分，新札幌駅から東札幌駅まで札幌市市営地下鉄東西線で約 13 分，東札幌駅から徒歩約 8 分。

札幌駅より大通駅まで札幌市営地下鉄南北線で約 2 分，大通駅から新札幌駅まで札幌市営地下鉄東西線で約 6 分，東札幌駅から徒歩約 8 分。

特別講演：平成 30 年 5 月 30 日（水）15:30-16:30（札幌コンベンションセンター 大ホール A）

講演者：札幌保健医療大学 保健医療学部 教授

北海道フードマイスター認定制度 運営委員会 委員長 荒川 義人 先生

題目： 北の大地・北海道が育む農産物の魅力

総会：平成 30 年 5 月 30 日（水）16:45-18:15（札幌コンベンションセンター 大ホール A）

ホームページ URL：<http://htsj-conf.org/symp2018/index.html>

【シンポジウムの形式】

- 講演発表形式として
 - a) 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。
- 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 55 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】

- 参加費の申込時期
早期申込：4 月 13 日まで
通常申込：4 月 14 日～5 月 11 日，会期中（5 月 12 日から会期前日までは申込を受け付けません）
- シンポジウム参加費

会員一般	早期申込：12,000 円	通常申込：15,000 円
非会員一般	早期申込：15,000 円	通常申込：18,000 円
会員学生	早期申込：6,000 円	通常申込：7,000 円
非会員学生	早期申込：7,000 円	通常申込：8,000 円

※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。

※共催・協賛学協会の会員の参加費は、会員扱いになります。

※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
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となります。）

【懇親会】

- 開催日：平成 29 年 5 月 30 日（水）18:30-20:30
- 会 場：札幌コンベンションセンター 大ホール B
- 参加費：
一般 早期申込：8,000 円，通常申込：10,000 円，同伴配偶者無料
学生 早期申込：4,000 円，通常申込：5,000 円

【参加費等の支払い方法】

- **会場以外での参加費支払いは、シンポジウムのホームページからのクレジットカード決済または、銀行振込になります。5 月 11 日までに参加登録された方には事前に参加者キット（講演論文集電子版、講演プログラム、参加票、領収書など）をお送りします。**

シンポジウムのホームページから参加登録と参加費の支払いを行って下さい。支払いはクレジットカード決済、もしくは銀行振込になります。参加費等の支払いをもって「申込完了」とします。

- 4 月 14 日以降 5 月 11 日までは、通常申込扱いでウェブからの参加登録および支払いを受け付けます。
- 5 月 11 日までに参加登録を行うと、当日受付に寄る必要がありませんので、できるかぎりウェブからの登録および支払いを行って下さい。
- 例年のように、シンポジウム当日の参加申し込みもできます。

【講演論文集電子版】

- 講演論文集電子版は、日本伝熱学会会員（平成 30 年度会員）の皆様に対し、シンポジウムのホームページにリンクされたウェブサイトを通じて公開します。公開日は平成 30 年 5 月 22 日（火）を予定しています。
- 電子版は、シンポジウムのホームページより「講演論文集」のページに入り、以下の閲覧 ID とパスワードを用いてログイン後、閲覧・ダウンロードを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下さい。

【講演論文の公開日】

- 講演論文集（電子版）の公開日は、平成 30 年 5 月 22 日（火）を予定しています。特許に関わる公知日もこの日になります。シンポジウム開催日よりも早くなりますので、ご注意下さい。

【交通】

- 交通につきましては、本シンポジウムのホームページをご参照下さい。

【ご注意】

- 口頭発表用として実行委員会事務局が準備する機器は、原則としてプロジェクタのみとさせていただきます。パーソナルコンピュータは各自ご持参下さい。
- 参加費、懇親会費等は参加取消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、随時更新するホームページでご確認下さい。
- その他、ご不明の点がありましたら、実行委員会事務局まで Email または FAX でお問い合わせ下さい。

【お問い合わせ先】

第 55 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局
北海道大学 大学院工学研究院 機械宇宙工学部門内
Email: symp2018@htsj-conf.org FAX: 011-706-7192
ホームページ URL : <http://htsj-conf.org/symp2018/index.html>

第55回日本伝熱シンポジウム [札幌]

タイムテーブル(仮) [第1日:5月29日(火)]

A室 (108)	B室 (107)	C室 (105)	D室 (104)	E室 (小ホール)	F室 (204)	G室 (206)	H室 (207)	J室 (201)	K室 (202)
	B11 OS 水素・燃料 電池・二次 電池1 9:00～ 10:40	C11 ナノ・マイク ロ伝熱1 9:20～ 10:40	D11 空調・ 熱機器1 9:20～ 10:40	E11 計測技術1 9:20～ 10:40		G11 沸騰・凝縮1 9:00～ 10:40			
A12 OS 燃焼伝熱研 究の最前線 1 10:50～ 12:30	B12 OS 水素・燃料 電池・二次 電池2 10:50～ 12:30	C12 ナノ・マイク ロ伝熱2 10:50～ 12:30	D12 空調・ 熱機器2 10:50～ 12:30	E12 計測技術2 10:50～ 12:10	F12 OS ナノスケール熱動 態の理解と制御 技術による革新 的材料・デバイス 技術の開発1 10:50～ 12:10	G12 沸騰・凝縮2 10:50～ 12:10	H12 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 10:50～ 12:10	J12 OS 乱流を伴う 伝熱研究の 進展1 10:50～ 12:30	K12 混相流1 10:50～ 12:10
A13 OS 燃焼伝熱研 究の最前線 2 13:30～ 15:10	B13 OS 水素・燃料 電池・二次 電池3 13:30～ 15:10	C13 ナノ・マイク ロ伝熱3 13:30～ 15:10	D13 空調・ 熱機器3 13:30～ 15:10	E13 計測技術3 13:30～ 14:50	F13 OS ナノスケール熱動 態の理解と制御 技術による革新 的材料・デバイス 技術の開発2 13:30～ 15:10	G13 沸騰・凝縮3 13:30～ 15:10	H13 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 13:30～ 14:50	J13 OS 乱流を伴う 伝熱研究の 進展2 13:30～ 14:50	K13 混相流2 13:30～ 14:30
優秀プレゼンテーション (P室, 中ホール) 15:30～18:00									
特定推進研究特別ワークショップ (F室, 204) 15:30～17:30									

第55回日本伝熱シンポジウム[札幌]

タイムテーブル(仮)[第2日:5月30日(水)]

A室 (108)	B室 (107)	C室 (105)	D室 (104)	E室 (小ホール)	F室 (204)	G室 (206)	H室 (207)	J室 (201)	K室 (202)
A21 OS 燃焼伝熱研究の最前線 3 9:00~ 10:40	B21 OS 水素・燃料電池・二次電池4 9:00~ 10:40	C21 物質移動 9:00~ 10:40	D21 自然エネルギー 9:00~ 10:40	E21, E22 北海道地区企業における製品開発・技術開発の紹介 (一般公開) 9:00~ 12:30	F21 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発3 9:00~ 10:40	G21 沸騰・凝縮4 9:00~ 10:40	H21 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 9:00~ 10:20	J21 熱音響1 9:20~ 10:40	K21 電子機器の冷却1 9:20~ 10:40
A22 OS 燃焼伝熱研究の最前線 4 10:50~ 12:10	B22 OS 水素・燃料電池・二次電池5 10:50~ 12:30	C22 多孔体の伝熱1 10:50~ 12:30	D22 OS 非線形熱流体现象と伝熱1 10:50~ 12:10		F22 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発4 10:50~ 12:10	G22 沸騰・凝縮5 10:50~ 12:10	H22 OS 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進4 10:30~ 12:30	J22 熱音響2 10:50~ 11:50	K22 電子機器の冷却2 10:50~ 12:10
A23 OS 燃焼伝熱研究の最前線 5 13:30~ 15:10	B23 融解・凝固1 13:30~ 15:10	C23 多孔体の伝熱2 13:30~ 15:10	D23 OS 非線形熱流体现象と伝熱2 13:30~ 14:50	E23 OS 人と熱のかかわりの足跡 (一般公開) 13:30~ 15:10	F23 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発5 13:30~ 15:10	G23 沸騰・凝縮6 13:30~ 15:10	H23 OS 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進5 13:30~ 15:10	J23 OS 宇宙機の熱制御 13:30~ 15:10	K23 電子機器の冷却3 13:30~ 14:50
特別講演 大ホールA 15:30~16:30 講演者: 札幌保健医療大学 保健医療学部 教授 荒川 義人 先生 題目: 北の大地・北海道が育む農産物の魅力									
総会 大ホールA 16:45~18:15									
懇親会 大ホールB 18:30~20:30									

第55回日本伝熱シンポジウム[札幌]

タイムテーブル(仮)[第3日:5月31日(木)]

A室 (108)	B室 (107)	C室 (105)	D室 (104)	E室 (小ホール)	F室 (204)	G室 (206)	H室 (207)	J室 (201)	K室 (202)
A31 ふく射1 9:20~ 10:40	B31 融解・凝固2 9:00~ 10:40	C31 バイオ伝熱1 9:40~ 10:40	D31 OS 非線形熱流体现象と伝熱3 9:20~ 10:40	E31 ヒートパイプ1 9:20~ 10:40	F31 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発6 9:20~ 10:40	G31 分子動力学1 9:00~ 10:40	H31 OS 化学プロセスにおける熱工学1 9:00~ 10:40	J31 強制対流1 9:20~ 10:40	K31 自然対流 9:20~ 10:40
A32 ふく射2 10:50~ 11:50	B32 融解・凝固3 10:50~ 12:10	C32 バイオ伝熱2 10:50~ 11:50	D32 OS 非線形熱流体现象と伝熱4 10:50~ 12:10	E32 ヒートパイプ2 10:50~ 11:50	F32 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発7 10:50~ 12:10	G32 分子動力学2 10:50~ 12:30	H32 OS 化学プロセスにおける熱工学2 10:50~ 12:30	J32 強制対流2 10:50~ 12:30	K32 熱物性 10:50~ 12:30

第 55 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、3月28日現在の暫定版です。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のホームページでご確認ください。著者としてご登録された方が同一時間帯のセッションで重複しないようにしておりますが、それ以外の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 9 日（火）

<A 室>

A12 10:50 - 12:30 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 1

A121 ノナン異性体混合燃料の着火遅れ期間の測定と数値解析

* 山田 眞平, 崎間 俊明, 松原 圭輝, 下栗 大右, 三好 明 (広島大), 八房 智顯 (広島工業大), 乃生 芳尚, 齊藤 史彦 (マツダ)

A122 スワール流場での希薄水素-プロパン混合気の着火特性に関する基礎研究

* 中原 真也 (愛媛大), 植田 啓司, 黒川 恭丞, 工藤 寿悦 (愛媛大院), 阿部 文明 (愛媛大)

A123 壁面で安定化された冷炎における化学的干渉効果に関する研究

* 李 敏赫, 范 勇, 鈴木 雄二 (東京大)

A124 壁面と干渉する予混合火炎の伝播特性

* 生川 功祐, 源 勇気, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)

A125 大気圧プラズマジェットを活用したラジカル表面反応性の調査

* 齋木 悠, 赤尾 拓磨, 由永 あい (名古屋工大)

A13 13:30 - 15:10 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 2

A131 エンジン内の乱流特性抽出へ向けた隣接 3 点熱流束センサの研究

* 樋口 雅晃, 中別府 修, 出島 一仁, 中村 優斗, 土屋 智洋 (明治大学)

A132 Improvement of Unsteady Heat Transfer Modeling at Intake System of Actual IC Engine for Prediction of Outlet Air Temperature

イルマズ エミール, * 一柳 満久, 鈴木 隆 (上智大)

A133 低当量比・高 EGR 率混合気の着火特性に対する乱流の影響

* 小長光 貴裕, 源 勇気, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)

A134 タンブル強化 SI エンジン内希薄火炎の OH PLIF 計測

* 諸貫 達哉, SIDDHARTHA Kumar, 志村 祐康, 源 勇気 (東工大), 横森 剛 (慶應), 店橋 護 (東工大)

A135 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いた n-heptane/air 予混合気の改質特性評価

* 村上 雄紀, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進 (東北大), 朝井 豪 (ヤンマー株式会社), 丸田 薫 (東北大/極東連邦大)

<B 室>

B11 9:00 - 10:40 OS: 水素・燃料電池・二次電池 1

B111 PEFC の低温・高温条件下における触媒層内外の酸素輸送抵抗解析

* 野崎 涼, 田部 豊, 近久 武美 (北大)

B112 固体高分子形燃料電池の触媒層内イオノマーおよびカーボン種類に対する酸素輸送抵抗比較

* 飯利 拓実, 田部 豊, 近久 武美 (北大)

B113 マイクロ流体デバイスを用いた PEFC 触媒層内ガス輸送特性計測

* 中田 泰宏, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)

B114 真空環境下における PEFC スタックからの水素外部リークの解析

岩尾 光 (九大), 嶋田 貴信, 内藤 均, 星野 健 (JAXA), 狩俣 貴大, * 伊藤 衡平 (九大)

B115 ビンホールに起因する混合気形成・触媒燃焼の解析

* 釜井 雄一朗, 竹内 大二郎, 稲田 顕子, 狩俣 貴大, 中島 裕典, 伊藤 衡平 (九大)

B12 10:50 - 12:30 OS: 水素・燃料電池・二次電池 2

B121 粗視化分子動力学法を用いた水・アルコール混合溶液中におけるアイオノマー分散現象の解析

* 馬淵 拓哉, 徳増 崇 (東北大)

B122 燃料電池触媒のインク劣化現象とクラック形成

* 植村 豪, 吉田 利彦, 平井 秀一郎 (東工大院)

B123 電気抵抗と液面変位の計測による PEFC 触媒インク乾燥挙動解析

* 永井 辰昌, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)

B124 カーボン微粒子と高分子電解質を分散したスラリーの誘電緩和挙動

* 鈴木 崇弘 (大阪大院), 横田 晋治 (大阪大), 津島 将司 (大阪大院)

B125 薄膜使用 PEFC 単セルの高温発電条件における熱・物質移動現象

* 西村 顕, 吉村 雅人, 神谷 悟, 廣田 真史 (三重大院)

B13 13:30 - 15:10 OS: 水素・燃料電池・二次電池 3

B131 固体高分子形燃料電池の膜厚方向水分分布と電気特性の同時計測

* 崎原 駿, 大川 智史, 村川 英樹, 杉本 勝美, 浅野 等 (神大院), 伊藤 大介, 齊藤 泰司 (京大)

B132 PEFC 氷点下起動時の過冷却水凍結に伴う凝固熱の測定

* 玉田 裕介, 小槻 耀太, 西村 理志, 井上 翔輝, 荒木 拓人 (横国大)

B133 PEM 形燃料電池の温度上昇過程における氷点下起動特性

* 大西 史人, 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)

- B134 電力変動を伴う固体高分子膜形水電解槽の性能評価
* 平澤 拓磨, 小原 伸哉 (北見工大)
- B135 プロトン伝導型 SOFC の運転条件がホール電流分布に与える影響
河村 駿希, * 荒木 拓人, 下沢 航平, 前田 厚史, 李 坤朋 (横浜国立大), 奥山 勇治 (宮崎大学)

<C室>

- C11 9:20 - 10:40 ナノ・マイクロ伝熱 1
- C111 MEMS ナノカロリメータによる熱重量測定の定量性向上
* 青木 勇太, 中別府 修 (明治大)
- C112 未利用廃熱エネルギー回収用フレキシブル熱電発電素子の開発
* 萩野 春俊 (フジクラ), 望月 正孝 (ザヒートパイプ), 大橋 正和, 川原 洋司 (フジクラ)
- C113 誘導加熱下における強磁性粒子近傍の水温の近赤外測定
* ハン クオン, 荒川 祐輝 (首都大), 近藤 克哉 (鳥取大), 角田 直人 (首都大)
- C114 フロー熱電変換に用いるレドックス対溶液の低粘度化追求とそのイオン輸送および起電力特性への影響
* 池田 寛, 福井 一輝, 村上 陽一 (東工大)
- C12 10:50 - 12:30 ナノ・マイクロ伝熱 2
- C121 単層カーボンナノチューブ(SWNT)をカソードに用いた逆型ペロブスカイト太陽電池の開発
* 大川 脩平, 徐 昇柱, 井ノ上 泰輝, 項 榮, 千足 昇平, 田 日, 松尾 豊, 丸山 茂夫 (東京大)
- C122 架橋単層カーボンナノチューブの熱伝導解析
* 王 海東, 福永 鷹信, 藏田 耕作, 高松 洋 (九大)
- C123 分子動力学シミュレーションによる単層CNT成長への欠陥構造の影響の解析
* 吉川 亮, 鶴飼 浩行, 向井 協, 伊藤 航, 千足 昇平, 丸山 茂夫 (東京大)
- C124 単層カーボンナノチューブ上への窒化ホウ素層の合成と分析
* 井ノ上 泰輝, 鄭 永嘉, 柳 銘, 項 榮, 千足 昇平, 丸山 茂夫 (東京大)
- C125 グラフェンに適用される分子動力学法における過渡分散関係行列からのフォノンモード ω (k) のスプライン近似関数
* ゴロツキヒナ タチアナ, 俵 賢汰 (富山大学)
- C13 13:30 - 15:10 ナノ・マイクロ伝熱 3
- C131 近赤外線カメラを用いたマイクロ流路内凍結実験における水の吸光度の相変化による影響
* 山田 格, 河村 君彦, 川合 亮裕, 森西 洋平, 玉野 真司 (名工大), 角田 直人 (首都大)
- C132 水分子で形成されたスリット状ナノ細孔内における酸素拡散の解析
* 木村 和樹, 堀 琢磨, 木原 玄悟, 吉本 勇太, 高木 周, 杵淵 郁也 (東京大)
- C133 分散低減型モンテカルロ法における気液界面の境

界条件の検討

* 松本 浩史, 堀 琢磨, 吉本 勇太, 杵淵 郁也, 高木 周 (東京大)

- C134 全分子種が塩のみからなる紫外への光子・アップコンバージョン材料の創製とその特性解明
* 元岡 歩 (東工大), 新見 一樹, 海寶 篤志, 清柳 典子 (日本化薬), 村上 陽一 (東工大)
- C135 分子性ナノ多孔質結晶内部のイオン移動特性
* 関本 達基 (東京大), 土肥 千明, 河合 優希 (東京理科大), 大宮司 啓文 (東京大), 田所 誠 (東京理科大)

<D室>

D11 9:20 - 10:40 空調・熱機器 1

- D111 サブミクロン粒子の高効率除去法に関する実験的研究
* 姫野 修廣 (信州大), 譜久山 恒士, 岩田 拓実 (信州大院), 佐野 健太 (信州大学)
- D112 廃熱駆動A/C用超小型高性能吸着器の開発
* 竹内 伸介, 永島 久夫, 岡本 義之 (デンソー), 廣田 靖樹, 山内 崇史 (豊田中研)
- D113 疎水性分離膜を使った小型吸収冷凍機の開発
井上 駿之介, 党 超鋌, * 飛原 英治 (東京大)
- D114 撥水性中空糸膜を用いた小型吸収冷凍機開発
* 党 超鋌, 洪 成周, 飛原 英治 (東京大)

D12 10:50 - 12:30 空調・熱機器 2

- D121 気相混入ヘッダー機構における枝管での流動不安定現象
* 鈴木 雅也, 堀木 幸代, 伊東 次衛, 刑部 真弘 (海洋大)
- D122 水平管外を流下する液膜の蒸発熱伝達
* 地下 大輔 (東京海洋大), 宮田 啓雅 (東京海洋大院), 井上 順広 (東洋海洋大)
- D123 プロパン/潤滑油の微小断面多穴蒸発管内流動沸騰に対する油の影響
* 斎藤 静雄, 党 超鋌, 飛原 英治 (東京大)
- D124 多分岐管内の冷媒気液二相分配に関する研究
岡田 将哉, * 廣田 真史, 丸山 直樹, 西村 顕 (三重大)
- D125 細径溝付管内における沸騰及び凝縮熱伝達の促進
* 中村 圭佑, KHAIRUL BASHAR, 一ノ瀬 裕太, 飯屋 圭史, 宮良 明男 (佐賀大)

D13 13:30 - 15:10 空調・熱機器 3

- D131 CFDに基づいた植物工場に適した配風システムの開発とその検証
* 隅谷 大作, 森内 浩史, 上田 保司 (株式会社精研)
- D132 並列の地中熱交換器を用いた直接膨張方式地中熱ヒートポンプの性能試験
* 石黒 修平 (山梨大院), 武田 哲明 (山梨大学大学院)
- D133 矩形管を用いた循環型温水式融雪装置の融雪及び温度特性
* 佐藤 翼 (山形大院), 安原 薫 (山形大)
- D134 3Dプリンタを活用した模擬実験による熱交換器の

- 着霜時の圧力損失について
* 高地 秀, 孫 涵, 吹場 活佳 (静岡大院)
- D135 ブリッジによる拡張部を有する翼型チューブ熱交換器の熱伝導抵抗改善効果
* 大西 元 (金沢大), 伊藤 翼 (金沢大院), 春木 将司, 多田 幸生 (金沢大)

<E室>

- E11 9:20 - 10:40 計測技術 1
- E111 超高速X線CTによる熱分解過程の固体内部の可視化
* 村井 晃大, 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大)
- E112 CT半導体レーザー吸収法を用いた反応場の2次元・3次元温度・濃度計測
* 出口 祥啓 (徳島大)
- E113 赤外線カメラによるレドックスフロー電池のセル内可視化
* 田中 大 (久留米高専), 宮藤 義孝 (岐阜高専), 福島 淳一, 田山 利行, 杉田 武, 武澤 正枝 (LEシステム), 牟田 智孝 (久留米リサーチパーク)
- E114 可視光による温度測定
上村 龍永 (N 高校), * 上村 光宏 (東京大学), 岩下 義之 (アイデック企画)
- E12 10:50 - 12:10 計測技術 2
- E121 カーボンナノチューブ薄膜のガス分子に対する応答特性
* 富田 圭祐, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- E122 環境制御型光電子収量分光装置の開発
山本 優菜, * 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- E123 熱伝導逆問題解法の安定性に対する差分スキームの影響
* 原村 嘉彦, 石川 裕太郎 (神奈川大)
- E124 熱流センサを用いた定常法による熱伝導率測定
* 梶田 欣 (各市工研), 服部 真和 (富士高分子工業), 立松 昌 (各市工研)
- E13 13:30 - 14:50 計測技術 3
- E131 赤外ソーレー強制レイリー散乱法による高分子電解質膜内の物質拡散係数測定法の開発
徳田 大智 (慶大学), * 松浦 弘明 (慶大院), 長坂 雄次 (慶大理工)
- E132 マイクロ流路内ピラーアレイ周りの3次元流動計測
* 市川 賀康, 山本 憲, 元祐 昌廣 (東理大)
- E133 パリレン樹脂におけるVOC収着特性の温度依存性評価
* 葉 承翰, 橘 亮佑, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東大)
- E134 蛍光偏光法を用いたジェル型温度センサの開発
堀井 悟史, 當麻 凌弥, * 巽 和也, 栗山 怜子, 中部 主敬, 小寺 秀俊 (京大)

<F室>

- F12 10:50 - 12:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 1

- F121 金属/半導体/金属サンドウィッチ構造共振器による選択波長光起電力発電
* 花村 克悟, 加藤 健太, 磯部 和真 (東工大)
- F122 スペーサー分子との共融複合化による有機分子固体の発光スペクトル制御と発光効率増大の実現
* 星 めぐみ, 織茂 和也, 村上 陽一 (東工大)
- F123 ナノ粒子群散乱性媒体付属光ファイバーを用いた採光技術の実験的評価
* 江目 宏樹 (山形大), 渡邊 和也, 河野 貴裕, 山田 純 (芝浦工大)
- F124 フォトクロミック金属酸化物薄膜の合成と構造評価
* 高木 秀隆, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- F13 13:30 - 15:10 ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 2
- F131 相転移材料とナノ構造による熱輻射制御
* 伊藤 晃太, 西川 和孝, 三浦 篤志 (豊田中研), 年吉 洋 (東京大), 飯塚 英男 (豊田中研)
- F132 ナノスリット型グラフェンメタサーフェスによる熱ふく射制御
* 矢田 恭平, 長谷川 寛, 櫻井 篤 (新潟大)
- F133 透明導電酸化物埋込み微細構造を用いた太陽光選択吸収材料
* 清水 信, 阿部 俊郎, 井口 史匡, 湯上 浩雄 (東北大)
- F134 MOD法により作製された二層サーメットの波長選択的ふく射特性
宮崎 康次, 大野 史希, * 井原 康 (九工大), 櫻井 篤 (新大), 矢吹 智英 (九工大)
- F135 パルスレーザーによる透明材料の加工特性
* 中村 勇太, 清川 春矢, 伏信 一慶 (東京工業大)
- F14 15:30 - 17:30 OS: 特定推進研究特別ワークショップ
- F141 次世代鉄鋼材料創製技術の研究
* 門出 政則 (佐賀大), 高田 保之 (九州大), 芹澤 良洋 (新日鐵住金)
- F142 未来型エネルギーシステムのための乱流伝熱/燃焼研究の新展開
* 店橋 護 (東工大)
- F143 マイクロセンサー・デバイスを援用した次世代伝熱研究
* 中別府 修 (明治大学)
- F144 熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御 (仮題)
* 花村 克悟 (東工大)

<G室>

- G11 9:00 - 10:40 沸騰・凝縮 1
- G111 高温微小白金球の液体急冷時の冷却過程
* 島岡 三義 (奈良高専), 吉田 大志, 生田 文昭 (高周波熱錬), 中村 篤人 (奈良高専)
- G112 SiCパワーモジュールの沸騰冷却に関する研究
勝田 正文, 松岡 建人, * 小野 祐輝 (早稲田大)
- G113 純水を用いたサブクールプール沸騰中における銅伝熱面上の性状変化
* 海野 徳幸, 結城 和久, 木伏 理沙子 (山口東

- 京理科大), 佐竹 信一, 鈴木 康一 (東京理科大)
- G114 DNB における伝熱面温度変化の予測
* 劉 維 (九州大)
- G115 二次元温度場計測および直接高速度観察を通じた高温加熱面の濡れ開始条件
* 大竹 浩靖, 竹内 啓, 亀本 成美 (工学院大学)
- G12 10:50 - 12:10 沸騰・凝縮 2
- G121 不連続な三相界線移動を伴う超撥水面上での懸濁液滴の蒸発
* 山田 寛, 堀部 明彦 (岡山大)
- G122 減圧沸騰における単一撥水点上の気泡接触線挙動に関する研究
* Shen Biao, 山田 将之, 峯 知佑, 日高 澄具, 河野 正道, 高橋 厚史, 高田 保之 (九州大)
- G123 高温固体面に衝突するインクジェット液滴の固液接触状態の観察
* 奥山 邦人, 小林 優介 (横浜国大)
- G124 液体と酸化金属表面との接触時の固液接触界面温度と熱流束変動の特性
* 柳 楊, ショアイブ モハマド, 光武 雄一, 椿 耕太郎, 門出 政則 (佐賀大学)
- G13 13:30 - 15:10 沸騰・凝縮 3
- G131 光干渉法を用いたプール核沸騰におけるマイクロ液膜蒸発特性の実験解析
* 陳 志豪, 胡 康, 宇高 義郎 (天津大)
- G132 水平加熱面上の単一プール沸騰気泡周囲の温度変動
* 竹山 真央, 功刀 資彰, 横峯 健彦, 河原 全作 (京都大)
- G133 Critical heat flux and boiling behaviors on a horizontal surface in saturated pool boiling at high pressures
* LI Shihan (Hokkaido Univ.), 坂下 弘人 (北海道大)
- G134 プール沸騰熱伝達における蒸発輸送量の寄与
* 田中 孝典, 中野 雅子, 矢吹 智英, 宮崎 康次 (九州工大)
- G135 プール核沸騰における銅伝熱面上の乾き面挙動観察と伝熱面温度分布計測
* 上澤 伸一郎, 小野 綾子, 小泉 安郎, 柴田 光彦, 吉田 啓之 (原子力機構)

<H室>

- H12 10:50 - 12:10 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
- H121 熱化学エネルギー貯蔵のための高熱伝導度水酸化カルシウム複合材料の開発
* 船山 成彦, 加藤 之貴 (東工大)
- H122 数値解析を用いた化学蓄熱装置の性能にかかわる種々の因子の検討
* 西田 圭佑, 関本 敦 (阪大院), ZAMENGO Massimiliano (東工大), 加藤 之貴 (東工大), 岡野 泰則 (阪大院)
- H123 化学蓄熱・ヒートポンプシステムの熱出力挙動
* 窪田 光宏, 大橋 知史, 山下 誠司, 北 英紀 (名古屋大)

- H124 混合熱を利用した冷熱生成システムの検討
* 中曾 浩一, 筒井 優衣, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大)
- H13 13:30 - 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 2
- H131 塩化カルシウムシリカカプセルコンポジットの動特性に対するナノ孔の影響
* 神崎 伊織, 渡辺 一平, 鈴木 洋 (神戸大), 藤岡 恵子 (株式会社ファンクショナル・フルイッド), 日出間 るり, 菰田 悦之, 鈴木 航祐 (神戸大)
- H132 多孔質アルミナ担体への CaCl₂ 添着とその水蒸気収着特性
* 渡部 悠人, 東 秀憲, 瀬戸 章文, 大谷 吉生, 児玉 昭雄, 汲田 幹夫 (金沢大)
- H133 SiC セラミックスハニカムを用いる塩化カルシウム化学ヒートバッテリーの放熱
* 市瀬 篤博, 小林 敬幸, 李 軍 (名古屋大学), 黄 宏宇 (中国科学院広州能源研究所)
- H134 ポリビニルアルコールハイドロゲル製熱交換器の作成と冷却性能評価
* ザメンゴ マッシミリアーノ, 森川 淳子 (東工大)

<J室>

- J12 10:50 - 12:30 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 1
- J121 変動濃度測定用高速 FID プローブの応答特性の数値解析と応答補償
* 保浦 知也, 桂川 みなみ, 芦田 七海, 服部 博文, 田川 正人 (名工大)
- J122 成層流体における格子乱流の速度場及び密度場
* 今西 雄暉, 高橋 充, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京都大)
- J123 矩形波状の脈動に伴う管内乱流熱伝達変動のモデル化の試み
* 中村 元, 山田 俊輔 (防衛大)
- J124 表面構造に粗さを有する多孔体界面乱流の乱流特性に関する実験的研究
* 岡崎 友紀, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (阪府大)
- J125 拡大管用気流デフレクタについての実験的研究
* 吉田 隼樹, 尾崎 智洋, 平田 勝哉 (同志社大学)
- J13 13:30 - 14:50 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 2
- J131 非等方性多孔体界面を持つチャネル流れにおける乱流熱流動の直接数値解析
* 西山 悠大, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (阪府大)
- J132 傾斜平板上の共存対流乱流境界層の熱伝達特性に関する DNS 研究
* 服部 博文 (名工大), 大浦 一樹 (名工大), 保浦 知也, 田川 正人 (名工大)
- J133 リニアフォーシングと PID 制御を用いて生成される強い乱流強度を有する境界層の空間構造
* 須藤 仁, 服部 康男, 中尾 圭佑 (電中研)
- J134 LES 統計量と高次 GGDH 熱流束モデルに基づく熱連成解析手法の開発と応用
* 小田 豊, 藤原 司, 廣橋 賢一 (関西大), 武石

賢一郎 (徳文大)

<K室>

K12 10:50 - 12:10 混相流 1

- K121 ナノサスペンション型潜熱蓄熱材の熱輸送特性
森田 慎一 (米子高专), * 伊藤 大輝 (米子高专
専攻科), 早水 庸隆 (米子高专), 山田 貴延 (北
見工大), 堀部 明彦 (岡山大), 木上 洋一 (佐賀
大)
- K122 エタノール液滴への周囲水蒸気の吸収・凝縮
オレホン ダニエル, 喜多 由拓 (I2CNER, 九大),
岡内 雄哉 (九大), 深谷 侑輝 (現東芝), 河野 正
道 (九大), * 高田 保之 (I2CNER, 九大), ケリ
ル セフィアン (エジンバラ大)
- K123 ハイブリッドロケット用酸化剤タンクの自己加圧
排出特性に関する研究
* 安田 一貴, 中田 大将, 内海 政春, 今井 良二
(室蘭工大)
- K124 Numerical analysis of depressurization-induced gas
production from oceanic methane hydrate reservoirs in
the Eastern Nankai Trough
* Feng Yongchang, Chen Lin, Okajima Junnosuke,
Komiya Atsuki, Maruyama Shigenao (Tohoku
University)
- K13 13:30 - 14:30 混相流 2
- K131 カリウムによる PM 燃焼促進と粒子間付着力を利用
した連続再生式 PM 除去装置の低温下
* 山本 剛, 横尾 健人, 楠 昂高, 松根 英樹, 岸
田 昌浩 (九州大), 館林 恂 (先端技研)
- K132 新冷媒 HFO-1234yf を用いたエジェクタ内に発生す
る二相流衝撃波の形態に関する研究
* 森山 謙, 川村 洋介 (豊橋技科大), 定村 和佳
(豊橋技科大)
- K133 非ニュートン流体の流下液膜厚さ予測
* 戸高 心平, 山本 潤一郎, 串岡 清則, 森本 幸
宏, 秦 哲平, 近藤 喜之 (三菱重工業株式会社),
日引 俊 (Purdue Univ.)

<P室>

P14 15:30 - 18:00 優秀プレゼンテーション賞セッション

- P141 OpenFOAM による翼型熱交換器の数値解析
* 辻 孝伸, 黒田 明慈 (北海道大学)
- P142 環状ポアズイユ流における大規模間欠構造を伴う
遷移域の乱流熱伝達
* 福田 雄大 (東理大院), 塚原 隆裕 (東理大)
- P143 主流の脈動を伴う平行平板間乱流熱伝達に関する
DNS
* 山崎 龍朗, 小田 豊, 松本 亮介 (関西大), 香
月 正司 (阪大名誉)
- P144 界面活性剤添加溶液における管路内流れの熱・流動
特性
* 門田 怜士, 池田 雅弘 (広島工業大学)
- P145 逆圧力勾配共存対流乱流境界層における壁面熱的
境界条件変化の影響に関する研究
* 稲川 陽介 (名工大), 服部 博文, 保浦 知也,
田川 正人 (名工大)

- P146 エンジン壁面熱伝達へのタンブル流動強化の影響
* 出島 一仁, 中別府 修, 中村 優斗, 土屋 智洋,
樋口 雅晃 (明治大)
- P147 流動型パーティクルレシーバーの実験的研究
松原 幸治, * 鈴木 雄大 (新潟大)
- P148 片面が加熱された鉛直矩形流路内に多孔性材料を
挿入した場合の自然対流熱伝達特性
* 藤上 健太, 武田 哲明 (山梨大)
- P149 多重円筒構造を有する酸素センサ内の流動解析
* ジョン ユナ, 川口 達也, 齊藤 卓志, 佐藤 勲
(東京工業大学)
- P1410 DPSH による顕微鏡下での微粒子の三次元速度計
測に関する研究
* 吉田 亮太, 宮内 郁海, 西村 政彦, 二宮 尚
(宇都宮大)
- P1411 蛍光異方性による温度測定の高空間分解能化へ向
けた検討
* 武田 咲希恵, 執行 悠太 (東理大院), 山本 憲,
元祐 昌廣 (東理大)
- P1412 基本周波数の異なる水晶振動子を用いたミストの
質量測定の実験
* 塚本 大晴, 安原 薫 (山形大)
- P1413 水面から蒸発する非平衡気体分子の速度分布計測
系の構築
* 渡辺 力, 佐藤 匠, 堀 琢磨, 吉本 勇太, 杵淵
郁也, 高木 周 (東京大)
- P1414 拡散と泳動が重畳するイオン輸送現象の X 線計測
と解析
* 藤本 翔悟, 吉村 昇三, 植村 豪, 平井 秀一郎
(東京工業大)
- P1415 旋回振動によりマイクロ構造物周りに誘起される
3次元非定常流れ場の数値解析および PIV 計測
* 金子 完治 (中央大), 大澤 崇行 (東京大), 鈴
木 宏明 (中央大), 長谷川 洋介 (東京大)
- P1416 ソーレー強制レイリー散乱法によるコロイド分散
系の拡散係数測定に関する研究
* 村井 太治 (慶大), 松浦 弘明 (慶大院), 長
坂 雄次 (慶大理工)
- P1417 両端に温度差のある水平円管内振動流場の可視化
計測
* 松本 昂大 (明大院), 小林 健一 (明大)
- P1418 カーボンナノチューブ内の純水液膜の安定性に関
する実験的研究
* 塘 陽子, Askounis Alexandros, 生田 竜也, 高
田 保之 (九州大), Sefiane Khellil (Univ.
Edinburgh), 高橋 厚史 (九州大)
- P1419 ナノスケールの固体円柱に働くキャピラリー力に
与える濡れ性と曲率の影響に関する分子動力学解
析
* 今泉 優太, 今立 呼南, 山口 康隆, 平原 佳織
(大阪大)
- P1420 ナノ粒子による液体の熱伝導率変化に関する分子
動力学的研究
* 大茂 昌史, 藤原 邦夫, 植木 祥高, 芝原 正彦
(大阪大), 小原 拓 (東北大)
- P1421 OH 終端された SiO₂ と水の間の固液界面エネルギ
ーの抽出
* 小田 浩太郎, Surblys Donatas, 山口 康隆 (大
阪大学), 川上 雅之, 矢野 大作 (オルガノ株式会
社)

- P1422 固液摩擦係数に対する Green-Kubo 関係式
* 小川 皓俊, 井上 直樹, 山口 康隆, 大森 健史 (大阪大)
- P1423 分子動力学シミュレーションを用いた CO₂ ハイドレート膜を透過する分子の輸送挙動
* 藤川 凜太郎, 馬 駿 (筑波大), 山本 典史 (千葉工大), 金子 暁子, 阿部 豊 (筑波大)
- P1424 準平衡状態を利用する有機分子固体膜の創製とその発光特性・微視的構造の解明
* 榎本 陸, 織茂 和也, 星 めぐみ, 村上 陽一 (東工大)
- P1425 光熱効果を用いた非接触液滴ソーティング
* 武藤 真和 (東理大院), 山本 憲, 山本 誠, 元祐 昌廣 (東理大)
- P1426 Fundamental study on micro-extrusion printing for enlarging anode/electrolyte interface in anode-supported solid oxide fuel cells
* SEO Haewon, IWAI Hiroshi, KISHIMOTO Masashi, SAITO Motohiro, YOSHIDA Hideo (Univ. Kyoto)
- P1427 屋外環境評価における伝導伝熱量の人体熱負荷量への影響
* 相坂 和利 (岡山県立大学大学院), 島崎 康弘, 春木 直人 (岡山県立大学)
- P1428 短期間生長評価法における環境切替時間の短縮化
* 平井 実, 西村 徳斗 (芝浦工業大学), 江目 宏樹 (山形大学), 新井 雄太, 河野 貴裕, 山田 純 (芝浦工業大学)
- P1429 プレート式熱交換器の性能に及ぼす内部構造の影響
* 太田 智, 三沼 卓也, 光山 聖賢 (日大工院), 片岡 則之, 田中 三郎, 佐々木 直栄 (日大工)
- P1430 エアコンディショナーの暖房特性に及ぼす環境の影響
* 真鍋 優 (日大工院), 田中 三郎, 佐々木 直栄 (日大工)
- P1431 流下液膜式蒸発器の性能に及ぼす散布方法の影響
* 渡辺 侑樹 (日大工院), 田中 三郎, 佐々木 直栄 (日大工)
- P1432 小型スプレー塔気液接触装置を用いたケミカル調湿
* 関 将理 (広島大院), 北原 博幸 (トータルシステム研究所), 松村 幸彦 (広島大)
- P1433 積層型自励振動式ヒートパイプに関する基礎実験
* 秀山 文彦, 前田 篤志, 小糸 康志, 富村 寿夫 (熊本大), 川路 正裕 (ニューヨーク・シティ大学)
- P1434 光照射条件に応じた粘弾性を示す機能性流体の熱流動特性
* 石井 孝典, 磯野 翔二郎 (京都大院), 栗山 怜子, 巽 和也, 中部 主敬 (京都大)
- P1435 閉ループ流路における感温磁性流体の熱輸送特性に関する研究
* 相沢 亮汰, 石井 慶子, 麓 耕二 (青山学院大)
- P1436 定在波熱音響システムにおけるスタック内部温度操作
* 杉本 菜菜 (同志社大), 坂本 眞一 (滋賀県立大), 倉田 侑弥, 渡辺 好章 (同志社大)
- P1437 スタック材質組み合わせによる熱音響システムの高効率化に向けた基礎検討
* 片岡 慎太郎, 坂本 眞一, 和田 貴裕, 江川 航平, 犬井 賢志郎, 川合 広留 (滋賀県立大)
- P1438 濡れ性勾配をもつ超撥水面上の液滴可動性
* 喜多 由拓 (九大院), MacKenzie-Dover Coinneach (エディンバラ大), Askounis Alexandros, 高田 保之 (九大), Sefiane Khellil (エディンバラ大)
- P1439 霜層被覆面を用いた飽和沸騰熱伝達の促進
* 安喰 春華, 大久保 英敏 (玉川大), 諸隈 崇幸 (横浜国立大), 中山 健太郎, 齋藤 秀樹 (玉川大)
- P1440 酢酸ナトリウム 3 水和物を内包した硬殻マイクロカプセルの生成
* 渡辺 一平, 黒田 直樹, 古川 菜実, 日出間 るり, 菺田 悦之, 堀江 孝史, 浅野 等, 大村 直人, 鈴木 洋 (神戸大)
- P1441 Al-Si 合金系潜熱蓄熱マイクロカプセルのシェル膜厚制御
* 芳賀 美紀, 坂井 浩紀, 長谷川 裕大, 盛 楠, 能村 貴宏, 秋山 友宏 (北海道大)
- P1442 複雑ネットワーク理論を用いた水素/酸素同軸噴流の動的特性
* 小林 航 (東理大), 橋本 達也 (東理大院), 後藤田 浩 (東理大), 大道 勇哉, 松山 新吾 (宇宙航空機構)
- P1443 PEFC カソード触媒層におけるカーボン担体構造が酸素輸送に及ぼす影響解析
* 佐竹 孝保, 田部 豊, 近久 武美 (北大)
- P1444 液中プラズマ分解促進に及ぼす触媒板導入の効果
* 中野 竜也, 野村 信福, 白石 僚也, 向笠 忍 (愛媛大)
- P1445 ハイドレートを反応場とした誘電体バリア放電による化学合成
* 徳田 準平, 向笠 忍, 野村 信福 (愛媛大)
- P1446 異なる Flamelet approach を用いた層流火炎の燃焼特性に関する数値解析的検討
* 小澤 龍磨, 赤尾津 翔大, 横井 智記, 齋藤 泰洋, 松下 洋介, 青木 秀之 (東北大), Malalasekera Weeratunge (Univ. Loughborough)

第2日 5月30日(水)

<A室>

- A21 9:00 - 10:40 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 3
- A211 温度分布制御型マイクロフローリアクタによるペンタン異性体の Weak flame に関する研究
* 中田 涼太, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進, 丸田 薫 (東北大)
- A212 混合冷媒 R410A(CH₂F₂/C₂H₂F₅)/air の着火燃焼特性に関する研究
* 高橋 伸太郎, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進 (東北大学流体科学研究所), 丸田 薫 (東北大学流体科学研究所 / 極東連邦大学)
- A213 Investigation of the pressure effect on the reactivity of ultra-lean PRF/air weak flames in a micro flow reactor with a controlled temperature profile
* Grajetzki Philipp, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進, 丸田 薫 (東北大学)
- A214 予熱と強制冷却による燃焼改善の可能性
* 三好 明 (広島大学)
- A215 気相・表面化学種の分析に基づく三元触媒用の詳細

- 表面反応機構
* 下栗 大右, 森山 大輔, 香西 祐輔, 三好 明 (広島大学), 日隈 聡士 (熊本大学), 村上 浩, 松本 有平, 本郷 均, 横畑 英明, 竹林 広行 (マツダ)
- A22 10:50 - 12:10 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 4
- A221 数値解析によるポリエチレン被覆電線上燃え拡がり火炎の限界酸素濃度における熱バランス評価
* 会田 裕樹, 橋本 望, 藤田 修 (北海道大)
- A222 微小重力環境下における並行空気流中の電線被覆上燃え拡がり火炎の観察
* 永地 大志, 三井 郁矢 (北海道大学), Citerne Jean-Marie (Université Pierre-et-Marie Curie-Paris 6), Dutilleul Hugo, Guibaud Augustin (Université Pierre-et-Marie Curie), Jomaas Grunde (School of Engineering, University of Edinburgh), Legros Guillaume (Université Pierre-et-Marie Curie), 橋本 望, 藤田 修 (北海道大学)
- A223 微小重力下における予混合対向流火炎挙動に与えるルイス数の影響
* 秋葉 貴輝, 奥野 友哉, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進 (東北大), 菊池 政雄 (宇宙航空研究開発機構), 丸田 薫 (東北大, 極東連邦大)
- A224 正方形ノズルを用いた同軸流拡散火炎からのすす排出抑制に関する研究
* 菊池 護, 末永 陽介, 柳岡 英樹, 笠谷 直史 (岩手大学)
- A23 13:30 - 15:10 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 5
- A231 Achievement of Low NOx Emission from Ammonia Micro Gas Turbine Combustor
* Okafor Ekenechukwu, Hayakawa Akihiro, Kudo Taku (Tohoku Univ.), Kurata Osamu, Iki Norihiko (AIST), Kobayashi Hideaki (Tohoku Univ.)
- A232 CH₄/NH₃/air 乱流予混合火炎の火炎構造に与える圧力およびアンモニア濃度の影響
* 市川 昌紀, 内藤 佑次, 早川 晃弘, 工藤 琢, 小林 秀昭 (東北大)
- A233 メタン/水素/空気旋回流予混合火炎構造に対する燃料組成の影響
* PARK Joonhwi, 源 勇氣, 志村 祐康, 店橋 護 (東工大)
- A234 水素-空気予混合火炎のダイナミクスに及ぼす熱損失効果
大木 涼資, トエトエ アウン, 勝身 俊之, * 門脇 敏 (長岡技術科学大学), 小林 秀昭 (東北大)
- A235 計測融合に向けた温度分布制御型マイクロフローリアクタにおける振動燃焼に関する研究
* 秋田 佳祐, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進 (東北大), 丸田 薫 (東北大, 極東連邦大学)
- <B室>
- B21 9:00 - 10:40 OS: 水素・燃料電池・二次電池 4
- B211 SOFC 多孔質燃料極内の輸送・反応現象に基づくインピーダンス解析モデルの構築
* 岸本 将史, 大仲 浩徳, 岩井 裕, 吉田 英生 (京大)
- B212 同位体クエンチラベリングによる SOFC 空気極/電解質界面の酸化物イオンフラックス解析
* 長澤 剛, 花村 克悟 (東工大)
- B213 Fe-CeO₂ コンポジット電極触媒を用いた SOFC の発電性能の評価
* 奥平 賢嗣, 井上 裕太, 廣田 智久, 伊藤 響, 二宮 善彦, 波岡 知昭 (中部大学)
- B214 電極-電解質界面形状制御による燃料極支持型 SOFC の高電流密度化
佐々木 雅也, * 岩井 裕, 岸本 将史, 齋藤 元浩, 吉田 英生 (京都大)
- B215 SOFC 燃料極における炭素析出の限界 S/C 比
* 沖野 亮太, 渡部 弘達, 花村 克悟 (東京工業大学)
- B22 10:50 - 12:30 OS: 水素・燃料電池・二次電池 5
- B221 Li-ion 電池の熱暴走防止用 PTC 薄膜の開発
* 萩野 春俊 (フジクラ), 望月 正孝 (ザヒートパイプス), 齋藤 祐士, 川原 洋司, 大橋 正和, レイ レイトーマス (フジクラ)
- B222 リチウムイオン電池の動作中にイオン濃度勾配が電池性能に及ぼす影響
* 須賀 創平, 酒井 政信, 青木 敦, 青木 哲也, 高市 哲, 田淵 雄一郎 (日産自動車株式会社)
- B223 全固体電池電極の構造と圧力変形の X 線 CT 計測
* 山路 亮典, 植村 豪, 吉野 和宙, 鈴木 耕太, 菅野 了次, 平井 秀一郎 (東京工業大)
- B224 マイクロアレイバーナーの水素・空気拡散火炎を用いた加熱炉燃焼特性に関する研究
* 李 軍, 小林 敬幸, 有村 基 (名大), 伊藤 猛志郎, 棚橋 浩一郎, 松田 洋幸 (伊藤レーシングサービス株式会社), 伊藤 賢次, 吉元 昭二, 山口 敏弘, 榊原 一彦 (あいち産業科学技術総合センター 常滑窯業技術センター), 宮地 光彦, 八神 征義 (有限会社アルファシステム)
- B225 高圧水素充填中の容器内伝熱に及ぼす充填速度の影響
* 河野 裕毅, 黒木 太一, 迫田 直也, 新里 寛英 (九州大), 門出 政則 (佐賀大), 高田 保之 (九州大)
- B23 13:30 - 15:10 融解・凝固 1
- B231 中低温用熱媒体エリスリトールスラリーの閉塞条件と流動様相の関係
* 坂川 航平, 水本 裕士, 阿部 駿佑, 浅岡 龍徳 (信州大)
- B232 TBAB 包接水和物の選択的生成と濃度場観察
* 田口 法道, 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大)
- B233 不凍ポリペプチドと電場による氷成長抑制の増強
* 加藤 雅, 磯 大斉, 萩原 良道 (京工繊大)
- B234 TBAB 水和物に対する金属粒子の核生成促進効果の検討
* 森本 崇志 (青学大), 竹谷 敏, 稲田 孝明 (産総研), 熊野 寛之 (青学大)
- B235 金属箔ベルト凍結濃縮システムの効率に与える結晶状態と濃度の影響
* 堀内 俊貴, 岡 東洋, 寺岡 喜和 (金沢大)

<C室>

C21 9:00 - 10:40 物質移動 1

- C211 高分子収着剤の水蒸気収着機構
* 永井 哲 (日本エクスラン工業), 堀部 明彦, 山田 寛 (岡山大)
- C212 熱交換器における電解水のスケール抑制効果の検討
* 佐野 吉彦, 桑原 不二朗, 本山 英明 (静岡大)
- C213 粒子添加により減衰するチャンネル乱流におけるラグランジアン自己相関の計測
* 三戸 陽一 (北見工大)
- C214 近赤外吸収イメージング法を用いたマイクロ流路内における中和反応の分析
* 大畑 俊哉 (首都大), 川嶋 大介 (千葉大), 角田 直人 (首都大)
- C215 位相変調干渉を用いた光誘起誘電泳動によるナノ粒子ソーティング技術の研究
* 三浦 大介 (慶應学), 山本 健太郎 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)

C22 10:50 - 12:30 多孔体の伝熱 1

- C221 傾斜機能発泡金属における伝熱特性
* バイ シャオホイ, 桑原 不二朗, モベディ モグタダ, 本山 英明, 中山 颯 (静大)
- C222 ゼオライト粒子とボイラ管壁間の熱伝達における吸着熱の影響
* 堀江 直之, 藤井 祥万, 中垣 隆雄 (早稲田大)
- C223 中央に高密度層を有する水平多孔質層の自然対流抑止効果
山口 義幸, * 土居 怜史 (兵庫県大)
- C224 集光照射を受けるハニカムレシーバの熱伝導-対流-ふく射連成数値解析
* 中倉 満帆 (新潟大院), 松原 幸治 (新潟大)
- C225 爆発圧縮ポーラス銅管内ガス流れの伝熱相関式の構築
佐藤 義晃, * 安部 祐希, 結城 和久, 木伏 理沙子, 海野 徳幸 (山口理大), 外本 和幸, 田中 茂, 富村 寿夫 (熊大)

C23 13:30 - 15:10 多孔体の伝熱 2

- C231 多孔性調湿リブを有する固体高分子形燃料電池の生成水挙動と出力の関係
* 谷川 洋文 (九工大), 藤田 隼也 (九工大院), 鶴田 隆治 (九工大)
- C232 メタンハイドレート堆積物のガス生産挙動における初期温度の影響評価
* 山田 光 (東北大院), Yongchang Feng (東北大・流体研), Chen Lin (東北大), 岡島 淳之介, 小宮 敦樹 (東北大・流体研), 円山 重直 (八戸高専)
- C233 熱伝導シミュレーションによる粒子ポーラス体の有効熱伝導率の直接的評価
* 高井 貴生, 結城 和久, 木伏 理沙子, 海野 徳幸 (山口東京理科大)
- C234 屈折率調整したTiO₂担持ビーズを用いた光触媒水処理リアクターにおける温度依存性の検討
明賀 新, 醍醐 一貴 (東理大), 海野 徳幸, 結城 和久 (山口東理大), 関 洋治 (量研機構), 谷口

淳, * 佐竹 信一 (東理大)

- C235 キャピティ内PCMの固液相転移を促進する多孔質の気孔率と局所体積平均近似法の妥当性
* WANG Chunyang, MOBEDI Moghtada, KUWAHARA Fujio, Nakayama Akira (静岡大学)

<D室>

D21 9:00 - 10:40 自然エネルギー 1

- D211 小型バイナリー発電システムにおける低沸点流体の沸騰伝熱特性
* 松下 涼, 伊吹 勇樹, 范 勇, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東京大)
- D212 土留壁内に設置した同軸型地中熱交換器の採熱性能
* 赤田 拓丈, 田子 真 (秋田大), 石上 孝, 谷口 聡子 (三菱マテリアルテクノ), 大田 陸夫 (日本ピーマック), 三浦 祥範 (秋田大院)
- D213 CO₂ ハイドレートの生成速度及び解離膨張特性の調査
* 川崎 利敬, 小原 伸哉, 植村 勇太 (北見工大)
- D214 透水層内に水平設置した地中熱交換器の伝熱性能
* 椿 耕太郎, 樋口 裕樹, 嘉村 和樹, 木村 友士 (佐賀大), 原田 烈, 甲斐 夕加里 (株)バイオテックス, 光武 雄一 (佐賀大)
- D215 地熱発電用直触式復水器の流動・凝縮連成解析による性能予測
* 永山 加奈子, 福田 憲弘, 香月 紀人, 串岡 清則, 城島 孝洋, 渡辺 悠太 (三菱重工業株式会社), 齊藤 象二郎, 田之口 利恭 (三菱日立パワーシステムズ株式会社)

D22 10:50 - 12:10 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 1

- D221 フルゾーン液柱内温度差マランゴニ対流のカオス化過程
* 工藤 正樹 (都立産技高専)
- D222 メニスカス蒸発における毛管長干渉効果と理論的スケールリング則
* 相馬 秀, 功刀 資彰, 横峯 健彦, 河原 全作 (京都大学)
- D223 微小重力環境においてふく射伝熱が高プラントル数液柱マランゴニ対流の流動場に与える影響
* 蓐 信寛, 矢野 大志, 西野 耕一 (横浜国立大)
- D224 界面活性剤溶液表面の粘弾性的性質による薄膜の安定化機構
* 脇本 辰郎, 橋口 佳実, 田中 望, 加藤 健司 (大阪市立大学)

D23 13:30 - 14:50 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 2

- D231 温度差マランゴニ効果による低ストークス数トレーサ粒子の液柱内対流場への追従性と集合現象
* 石村 美紗 (東京理科大学大学院), MELNIKOV Denis, SHEVTSOVA Valentina (ブリュッセル自由大学), 金子 敏宏, 上野 一郎 (東京理科大学)
- D232 水平基板上を濡れ広がる液膜と単一粒子との相互作用による接触界線近傍流体加速現象に関する数値解析

- * 中村 颯, 井上 幹允, MU Lizhong, 近藤 大地, 小川 哲也, 塚原 隆裕 (東京理科大学), DIETZE Georg (Univ. Paris-Sud), 吉川 治周 (University of Côte d'Azur), ZOUESHITIAGH Farzam (Univ. Lille), 金子 敏宏, 上野 一郎 (東京理科大学)
- D233 相転移する流体の熱対流とレオロジー物性
* 益子 岳史, 井上 陽司, 櫻井 雄基 (静岡大), 熊谷 一郎 (明星大), 栗田 敬 (東京大)
- D234 層流熱組成ブルーム形成時の対流不安定に関する現象論的モデルについて
* 熊谷 一郎 (明星大), Davaille Anne (CNRS, パリ南大), 栗田 敬 (東京大)

<E室>

E21 E22 9:00 - 12:30 北海道地区企業による部品開発・技術開発の紹介

内容主旨:モノづくりを支える企業の開発者の立場から,製品開発,技術開発の現状を紹介頂く.現場で何が課題となり,その課題を解決するために何があるか,多面から説明いただき,伝熱技術として何が必要となるかを聴講者に問題提起する.今回は札幌開催のため,北海道地区企業にフォーカスする.なお,一般の方にも聴講いただける公開セッションである.講演予定:北海道中小企業家同友会産学官連携研究会[(株)白石ゴム製作所,(株)Will-E,(株)よねざわ工業],北海道ガス(株),北海道電力(株),JFEエンジニアリング(株)

E23 13:30 - 15:10 OS: 人と熱との関わりの足跡

- E231 人と熱との関わりの足跡
* 河村 洋 (諏訪理科大)
- E232 ボイラ技術の展開 - 高効率化への挑戦と破裂との戦い
* 小澤 守 (関西大学)
- E233 冷たさを届ける - 函館五稜郭氷
* 野村 祐一 (函館市教育委員会文化財)
- E234 札幌オリンピックの雪を白く - 札幌の都市熱供給
* 白石 貞二 (北海道熱供給公社)

<F室>

F21 9:00 - 10:40 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 3

- F211 2次元材料とヘテロ構造の熱物性を計測する周波数領域ラマン分光法の開発
* 李 秦宜, 高橋 厚史 (九州大), 張 興 (清華大)
- F212 界面熱抵抗制御を目指した分子接合性炭素系超薄膜の調製
* 佐藤 正秀, 木村 正人, 古澤 毅, 鈴木 昇 (宇都宮大)
- F213 有機分子修飾膜界面における固液親和性の分子動力学的研究
* 菊川 豪太 (東北大), 菅原 大樹 (東北大工), 小原 拓 (東北大)
- F214 3オメガ法を用いた有機-無機界面の熱抵抗測定

- F215 * 栗山 洸, 宮崎 康次, 矢吹 智英 (九州工大)
分子動力学シミュレーションによる会合性液体中熱伝導の分子メカニズムの解析
* 松原 裕樹, 菊川 豪太 (東北大), 石切山 守, 山下 征士 (トヨタ自動車), 小原 拓 (東北大)

F22 10:50 - 12:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 4

- F221 平衡統計力学とパルス光加熱サーモリフレクタンズ法
* 馬場 哲也 (産総研), 馬場 貴弘 (ピコサーム)
- F222 パルス光加熱サーモリフレクタンズ法による薄膜熱拡散率および界面熱抵抗の評価
* 馬場 貴弘 (ピコサーム), 馬場 哲也 (産総研), 石川 佳寿子 (ピコサーム)
- F223 近接場フォトサーマル効果を用いたナノ加熱とバイオテンプレート応用
* 田口 良広 (慶大理工), 長島 岳紘 (慶大院)
- F224 Measurement of bundle size dependent thermal conductivity of suspended single-walled carbon nanotubes
* Wang Pengyingkai, Feng Ya, Inoue Taiki, An Hua, Xiang Rong, Watanabe Makoto, Chiashi Shohei, Maruyama Shigeo (Univ. Tokyo)

F23 13:30 - 15:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 5

- F231 金属有機構造体 MIL-101 の水の吸着特性
柳田 浩佑, *大宮司 啓文, 黄 峻浩, SHAMIM Jubair, 徐 偉倫 (東京大学), 松田 亮太郎 (名古屋大学), 遠藤 明 (産総研)
- F232 親水性の分布をもつメソ細孔における水の吸着輸送現象の分子シミュレーション
* 柏木 健太郎, 大宮司 啓文, 徐 東郁, 黄 峻浩, 徐 偉倫 (東京大)
- F233 固液界面近傍における液体成分の識別および液体温度計測
* 元祐 昌廣 (東理大), 執行 悠太 (東理大院), 武田 咲希恵 (東理大学), 山本 憲 (東理大)
- F234 細孔径分布が多孔体内の気体分子拡散へ及ぼす影響
* 堀 琢磨, 吉本 勇太, 高木 周, 杵淵 郁也 (東京大)
- F235 親水-撥水複合面が固液界面ナノバブルの生成に与える影響
* 手嶋 秀彰 (九州大), 西山 貴史 (福岡大), 高田 保之, 高橋 厚史 (九州大)

<G室>

G21 9:00 - 10:40 沸騰・凝縮 4

- G211 急速発熱 5×5 バンドル内における過渡沸騰と横断流動
* 滝口 広樹, 古谷 正裕, 新井 崇洋, 白川 健悦 (電中研)
- G212 大気圧から7MPaまでの5×5発熱管群内プール沸騰における二相水位変動
* 新井 崇洋, 古谷 正裕, 滝口 広樹, 西 義久,

- 白川 健悦 (電中研)
- G213 TRACE コードを用いた大気圧ブール沸騰解析の適用性に関する検討
* 大川 理一郎, 古谷 正裕 (電力中央研究所)
- G214 気泡微細化沸騰発生時の熱流動場と熱輸送メカニズムに対する一考察
* 結城 和久, 古性 恭, 海野 徳幸, 木伏 理沙子, 鈴木 康一 (山口東京理科大学)
- G215 Boiling heat transfer and dryout characteristics of low boiling point fluids for binary-cycle system
* Zhao An, Peng Junjie, Fan Yong, Morimoto Kenichi, Suzuki Yuji (Univ. Tokyo)
- G22 10:50 - 12:10 沸騰・凝縮 5
- G221 超親水性伝熱面を用いたミニチャンネル内流動沸騰の熱伝達促進
* 藤井 翔大, 矢吹 智英, 宮崎 康次 (九州工大)
- G222 微細突起面を活用したミニチャンネル内の流動沸騰熱伝達
* 諏訪 聖太郎 (芝浦工大), 小林 大祐, 山田 崇, 相澤 龍彦, 小野 直樹 (芝浦工大)
- G223 鉛直二重管の強制対流サブクール沸騰の計測と気泡挙動の再構成
* 宇井 淳, 古谷 正裕, 滝口 広樹, 白川 健悦, 新井 崇洋 (電中研)
- G224 マイクロチャンネル内気泡膨張における液膜形成過程の数値解析
* 岡島 淳之介 (東北大), Stephan Peter (TU Darmstadt)
- G23 13:30 - 15:10 沸騰・凝縮 6
- G231 レーザー消光・干渉法同時計測による気泡の合体過程における気泡間液膜厚さへのバルク液物性の影響
* 諸隈 崇幸, 大原 崇史, 松本 裕昭 (横浜国大), 宇高 義郎 (天津大/ 玉川大)
- G232 蒸気爆発抑制材の高温溶融物に対する抑制効果
* 古谷 正裕, 新井 崇洋 (電中研)
- G233 Vapor absorption phenomena into sessile liquid desiccant droplets
* 王 振英, OREJON Daniel, SEFIANE Khellil, 高田 保之 (九州大学)
- G234 高速度 IR カメラを用いた飽和ブール沸騰中に設置したハニカム多孔質体直下の温度分布の測定
* 森 昌司, 柳沢 隆太, 横松 史久 (横浜国立大学), Matteo Bucchi (MIT), 奥山 邦人 (横浜国立大学)
- G235 有限垂直円柱から大気圧下の水への過渡膜沸騰の下限界に関する研究
* 桃木 悟, Pa Pa Myo Win, 山口 朝彦 (長崎大)
- <H室>
- H21 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 3
- H211 アンモニウムミョウバンスラリーの相転移挙動の評価
* 中村 洗平 (東邦ガス), 日出間 るり, 鈴木 洋, 菰田 悦之 (神戸大)
- H212 伝熱面の機械的制御による潜熱蓄熱の高速熱交換
* 丸岡 伸洋, 伊藤 明久, 早坂 美穂, 埜上 洋 (東北大)
- H213 マイクロカプセル PCM を利用した高温域の熱制御技術の検討
* 能村 貴宏, 坂井 浩紀, 長谷川 裕大, 芳賀 美紀, 盛 楠, 秋山 友宏 (北大)
- H214 LiBr 微細結晶スラリーを蓄熱材に用いる平衡論・速度論的特性評価
板谷 義紀, * 楠本 峻也, 松下 智一, 小林 信介 (岐阜大学)
- H22 10:30 - 12:30 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 4
- H221 乱流場における伝熱面形状最適化アルゴリズムの構築と実証 1
* 亀谷 幸憲 (東大生研), 長谷川 洋介 (東京大学)
- H222 乱流場における伝熱面形状最適化アルゴリズムの構築と実証 2
福田 豊, * 大澤 崇行, 亀谷 幸憲, 長谷川 洋介 (東京大学)
- H223 正方形ダクトにおける複合熱対流
* 関本 敦, 岡野 泰則, 河原 源太 (阪大院・基)
- H224 バイオガスをを用いた場合管状火炎バーナの加熱性能に関する実験的研究
* 胡 杰, 山田 貴延, 林田 和宏 (北見工大), 下栗 大右 (広大)
- H225 IGBT インバーターの熱制御に関する研究
* ORR Bradley, SINGH Randeep, THANHLONG Phan (フジクラ)
- H226 ループ型サーモサイフォン式熱交換器を用いた熱電発電システムの発電量に関する考察
* 畑迫 芳佳, 福留 二郎, 中川 修一 (ヤンマー株式会社)
- H23 13:30 - 15:10 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 5
- H231 シリカゲル充填層内吸脱着現象の X 線可視化解析
* 伊藤 行秀 (東工大), 植村 豪 (東工大), 伊藤 睦弘 (富士シリシア化学(株)), 平井 秀一郎 (東工大)
- H232 有機系収着剤を用いた密閉式蓄熱ユニットにおける放熱挙動
堀部 明彦, 山田 寛, * 富山 椋介, 長 絵里菜 (岡山大), 丸山 智弘, 前多 信之介 (カルソニックカンセイ)
- H233 活性炭を利用した吸着蓄熱システムの性能実証
竹浦 弘一, 竹田 那美, * 宮崎 隆彦 (九州大), 丸山 智弘, 前多 信之介, 川俣 達 (カルソニックカンセイ)
- H234 球状活性炭を用いた吸着冷凍システムの実験的解析
竹田 那美, * 宮崎 隆彦, Kyaw Thu, 宮脇 仁, Kil Hyun-sig (九州大), 丸山 智弘, 前多 信之介, 川俣 達 (カルソニックカンセイ)
- H235 車両用高効率吸着式ヒートポンプの開発
* 前多 信之介, 丸山 智弘, 川俣 達, 柴田 達也 (カルソニックカンセイ株式会社)

<J室>

- J21 9:20 - 10:40 熱音響 1
- J211 平行平板フィン熱交換器を用いた熱音響システムの検討
* 川合 広留, 坂本 眞一 (滋賀県立大), 折野 裕一郎 (東工大), 勝木 秀和 (滋賀県立大)
- J212 局所的内径拡大をもつループ管型熱音響システムのエネルギー変換に関する検討
* 犬井 賢志郎, 坂本 眞一 (滋賀県立大), 折野 裕一郎 (東工大), 片岡 慎太郎 (滋賀県立大)
- J213 熱音響原動機のスタック内における無次元境界層厚さとエネルギー生成との関係
* 小林 健一 (明大), 北尾 忠良 (明大院), 勝田 未矩 (明大)
- J214 気液相変化型熱音響エンジンの発振特性に及ぼすスタック流路構造の影響
* 多田 幸生 (金沢大), 高見 昌早 (金沢大院), 大西 元, 春木 将司 (金沢大), 経田 僚昭 (富山高専)
- J22 10:50 - 11:50 熱音響 2
- J221 小型熱音響デバイスに関する数値シミュレーション
* 小清水 孝夫 (北九州高専), 坂本 眞一 (滋賀県立大)
- J222 二段ループ型熱音響エンジンの数値シミュレーション
* 藤原 誠之, 増田 智也, 田中 誠一 (明石高専), ウツラ スプハン, 横山 博史, 飯田 明由 (豊橋技科大)
- J223 直管型熱音響プライムムーバーにおける熱入力に関する基礎検討
* 勝木 秀和, 坂本 眞一 (滋賀県立大), 折野 裕一郎 (東工大), 和田 貴裕 (滋賀県立大)
- J23 13:30 - 15:10 OS: 宇宙機の熱制御 1
- J231 BepiColombo の熱制御
* 小川 博之 (宇宙研)
- J232 超小型衛星の熱設計と熱制御
* 戸谷 剛 (北海道大)
- J233 宇宙機の伝導熱制御の最前線
* 長野 方星 (名古屋大)
- J234 宇宙機用熱制御材料の開発
* 太刀川 純孝 (宇宙航空研究開発機構)
- J235 宇宙機の熱・流体制御の最前線
* 永井 大樹 (東北大), 大丸 拓郎 (NASA/JPL), 安達 拓矢 (東北大)

<K室>

- K21 9:20 - 10:40 OS: 電子機器の冷却 1
- K211 電気自動車用 In wheel Motor の熱解析と冷却設計
* 望月 正孝 (ザヒートパイプス), 清水 浩, 加藤 隆昌, 川口 正樹 (榊イーグル), ニュエン タン, ニュエン ティエン, レイ トーマス (榊フジクラ), 新井 英雄 (榊イーグル)
- K212 電動化航空機用空冷ヒートシンクでのミスト注入

と多段化による冷却性能向上の3次元流体・固体熱連成解析

- * 神山 彩夏, 村田 章, 山本 昌平, 岩本 薫 (農工大), 大北 洋治 (IHI技術開発本部)
- K213 密集実装部品の温度上昇モデルの実験による検証
* 有賀 善紀, 平沢 浩一, 山辺 孝之, 青木 洋稔 (KOA 株式会社), 島山 友行, 中川 慎二, 石塚 勝 (富山県立大学)
- K214 SiC パワー-MOSFET におけるホットスポット温度とデバイス特性の検証
* 木伏 理沙子 (山口東京理大), 島山 友行 (富山県立大), 海野 徳幸, 結城 和久 (山口東京理大), 石塚 勝 (富山県立大)
- K22 10:50 - 12:10 OS: 電子機器の冷却 2
- K221 透明材料の短パルスレーザ加工の加工穴径予測
ドアン ホンドク (VNU-UET), 加藤 弘一 ((株)リコー), * 伏信 一慶 (東工大)
- K222 電子機器への搭載を目指した高熱流束ループヒートパイプの研究
* 秋月 祐樹, 小田切 公秀, 長野 方星, 上野 藍 (名古屋大)
- K223 グループ併用型ロータス銅を用いた高発熱密度電子機器の沸騰浸漬冷却
* 結城 和久, 狩又 亮太, 辻 利佳子, 高井 貴生, 木伏 理沙子, 海野 徳幸 (山口東京理科大学), 大串 哲朗, 村上 政明, 井手 拓哉 (ロータスマテリアル研究所)
- K224 相変化マイクロカプセル懸濁液を利用した振動流による熱輸送向上
* 山田 翔太, 大原 佑一, 田中 学 (千葉大)
- K23 13:30 - 14:50 OS: 電子機器の冷却 3
- K231 パワー半導体デバイスのパッケージ熱抵抗に関する研究
* 西 剛伺 (足利工大)
- K232 熱抵抗測定によるはんだ接触不良の in-situ 検査
羽毛田 洸之, * 李 紫帝, 伏信 一慶 (東工大), 安井 竜太 (株式会社メイテック), 篠田 卓也 (株式会社デンソー)
- K233 積層型ベーパーチャンバーの開発と熱伝導率推定手法の確立
* 水田 敬 (鹿大), 福永 倫康 (モナテック), 福田 賢司 (四国計測工業), 二井 晋 (鹿大), 浅野 種正 (九大)
- K234 工業用材料の接触熱抵抗評価
* 兵藤 文紀, 島山 友行, 石塚 勝 (富山県大)

第3日 5月31日(木)

<A室>

- A31 9:20 - 10:40 ふく射 1
- A311 波長制御放射技術を用いた溶剤乾燥
* 戸谷 剛 (北海道大), 櫻井 篤 (新潟大), Dao Thang, 長尾 忠昭 (物材研), 近藤 良夫 (日本ガイシ)

- A312 積層 AR コート石英ガラスの最適化による波長選
 択ふく射輸送
 * 熊野 智之 (神戸高専), 花村 克悟 (東工大)
- A313 サーマット型太陽光吸収材料の直接電磁波シミュ
 レーション
 * 櫻井 篤 (新潟大), 牛木 開陸, 横山 達也 (新
 潟大院), 宮崎 康次 (九工大)
- A314 回転放物面鏡を用いた金属ナノ繊維の散乱位相関
 数に関する実験的評価
 * 新井 雄太, 藤原 和樹, 河野 貴裕, 中村 嘉恵,
 山田 純 (芝浦工業大学), 江目 宏樹 (山形大学)
- A32 10:50 - 11:50 ふく射 2
- A321 透明導電性ナノ構造電極による近接場光発電デバ
 イス
 * 磯部 和真, 花村 克悟 (東工大)
- A322 金属・絶縁体ナノ構造放射体からの近接場光制御に
 関する研究
 * 谷口 祐司, 磯部 和真, 加藤 健太, 花村 克悟
 (東京工業大学)
- A323 Radiative Control Through Greenhouse Covering
 Materials Using Pigmented Coatings
 * Alkitabi Aldaftari Hani, Okajima Juunosuke,
 Komiya Atsuki (Tohoku University), Maruyama
 Shigenao (Hachinohe Institute of Technology)

<B室>

- B31 9:00 - 10:40 融解・凝固 2
- B311 糖アルコール混合物を用いた直接接触熱交換槽に
 おける熱交換方法の検討
 * 藤澤 拓己 (道総研), 堀部 明彦, 山田 寛, 篠
 田 雅一 (岡山大院)
- B312 金属表面の水核不活性処理による着霜遅延効果
 小山 寿恵, * 稲田 孝明 (産総研)
- B313 微細加工ガラス面へ衝突する水滴の凍結
 石川 将次, 米澤 翔, * 萩原 良道 (京工繊大)
- B314 超撥水面上の水滴の凍結過程に関する研究
 * 呉 倩, 鈴木 寧彦, 岡垣 淳, 徐 偉倫, 大宮司
 啓文 (東京大)
- B315 パワー半導体故障時の発熱による材料気化モデル
 の検討
 * 市倉 優太, 伊東 弘晃, 坂上 英一, 古屋 修,
 川野 昌平, 高橋 優也 (東芝), 柴田 直文 (東芝
 インフォメーションシステムズ)
- B32 10:50 - 12:10 融解・凝固 3
- B321 イオン性界面活性剤添加が過冷却に及ぼす影響の
 検討
 * 佐藤 翔, 上田 純, 梅原 友理 (中大院学), 松
 本 浩二 (中大理工)
- B322 円管内を流動するアイスラリーの閉塞現象の可
 視化実験
 * 保科 大樹, 堀江 泰規, 浅岡 龍徳 (信州大)
- B323 熱を考慮した埋め込み境界-格子ボルツマン法と
 氷スラリー熱流動問題への応用
 * 川崎 剛史, 吉野 正人, 鈴木 康祐 (信州大)
- B324 熱・物質移動をとまなう氷層の融解挙動に及ぼす傾
 斜角度の影響

* 三浦 祥範 (秋田大院), 田子 真, 小松 喜美,
 赤田 拓丈, 菅原 征洋 (秋田大)

<C室>

- C31 9:40 - 10:40 バイオ伝熱 1
- C311 メダカ胚の心臓内血流のPIV計測に関する研究
 * 荒木 夏生, 名古 達, 二宮 尚, 松田 勝 (宇都
 宮大)
- C312 顕微赤外分光による高濃度生体保護物質水溶液の
 水分拡散係数の測定
 * 魏 霖, 白樫 了 (東京大)
- C313 過冷却状態における高濃度トレハロース水溶液の
 ソーレー強制レイリー散乱法を用いた相互拡散係
 数測定に関する研究
 * 藤川 真基 (慶大), 藤田 雅之 (慶大院), 長
 坂 雄次 (慶大理工)
- C32 10:50 - 11:50 バイオ伝熱 2
- C321 熱物性計測による皮膚がん診断の有用性検証に関
 する臨床実験及び数値解析
 * 岡部 孝裕 (弘前大), 藤村 卓, 岡島 淳之介,
 相場 節也 (東北大), 円山 重直 (八戸高専)
- C322 レーザー治療に向けたレーザー光と皮膚内組織の
 相互作用に関する伝熱解析
 * 河野 貴裕, 伊藤 勇輝 (芝浦工大), 江目 宏樹
 (山形大), 山田 純 (芝浦工大)
- C323 MD法およびDFT法の計算で得られた水素特有の
 領域におけるシトシンの異なるメチル化形態の振
 動スペクトルマップの比較
 * 新田 敏士, ゴロツキヒナ タチアナ (富山学
 大)

<D室>

- D31 9:20 - 10:40 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 3
- D311 回転熱対流中に形成される渦の運動とその時間ス
 ケール
 * 能登 大輔, 田坂 裕司 (北海道大), 柳澤 孝寿
 (海洋研究開発機構), 朴 炫珍, 村井 祐一 (北海
 道大)
- D312 液体金属の対流に見られるロール構造とその不安
 定化
 * 柳澤 孝寿 (海洋機構), 田坂 裕司 (北大), フ
 オグト トビアス (ヘルムホルツセンター), 石見
 亘 (北大), 櫻庭 中 (東大), エッカート スヴェ
 ン (ヘルムホルツセンター)
- D313 液体金属層内熱乱流における弱磁場の影響
 明石 恵実, * 田坂 裕司 (北大), 柳澤 孝寿 (海
 洋機構), フォグト トビアス (ヘルムホルツセン
 ター), 村井 祐一 (北大), エッカート スヴェン
 (ヘルムホルツセンター)
- D314 立方体内熱対流の加振による伝熱促進
 * 児玉 理人, 延原 正起 (同志社大), 谷川 博哉
 (舞鶴高専), 野口 尚史 (京都大), 平田 勝哉 (同
 志社大)
- D32 10:50 - 12:10 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 4

- D321 密度成層下の熱対流に発生するロールオーバーとダウンバースト
* 村井 祐一, 田坂 裕司, 朴 炫珍, 佐藤 収 (北大)
- D322 成層流体中を鉛直移動する球周りの流れ
* 安田 達哉, 松本 光平, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京都大)
- D323 ロケット燃焼器を模擬した常圧燃焼器における圧力変動と発熱率変動の相互干渉
* 澁谷 朔, 橋本 達也, 後藤田 浩 (東京理科大学), 大道 勇哉, 松山 新吾 (宇宙航空研究開発機構)
- D324 同軸インジェクタを偏心配置した円筒燃焼器で発生する燃焼不安定のダイナミクス
* 青木 知奈美 (東理大), 粕谷 遥希 (東理大院), 後藤田 浩 (東理大), 斎藤 寛泰, 細矢 直基 (芝浦工大), 吉田 征二, 立花 繁 (宇宙航空機構)
- <E 室>
- E31 9:20 - 10:40 ヒートパイプ 1
- E311 自励振動式ヒートパイプ内部温度場の可視化計測
* 石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)
- E312 自励振動ヒートパイプの熱輸送性能評価に関する考察
* 鈴木 祐二, 井上 剛良 (東工大)
- E313 数kW級高熱輸送ループヒートパイプの研究
* 青野 慶忠, 長野 方星, 上野 藍 (名古屋大)
- E314 ヒートパイプBACHの熱輸送モデル改善
* 永井 二郎, 笈田 真吾 (福井大)
- E32 10:50 - 11:50 ヒートパイプ 2
- E321 モデルヒートパイプを用いた内部蒸気流動の可視化
* 亀山 将太郎 (芝浦工大), 中村 祐樹, 山田 崇, 小野 直樹 (芝浦工大)
- E322 鉛直に配置した長尺ヒートパイプに関する動作特性の評価
* 坂田 雄基, 石川 博章, 吉瀬 幸司 (三菱電機)
- E323 水平円管内を往復振動する液柱が形成する液膜に関する研究
* 三浦 正義, 小椋 隆晶, 伊東 弘行 (神奈川大)
- <F 室>
- F31 9:20 - 10:40 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 6
- F311 マイクロスケール 3 次元熱拡散率および内部界面熱抵抗測定
辻 輝, 上野 藍, * 長野 方星 (名古屋大)
- F312 ナノ構造制御による熱伝導率の温度依存性変調
* 志賀 拓磨, 塩見 淳一郎 (東京大)
- F313 フラーレン分子の内包によるカーボンナノチューブの熱伝導性変調効果
* 児玉 高志 (スタンフォード大), 大西 正人 (東京大), Park Woosung (スタンフォード大), 志賀 拓磨 (東京大), Park Joonsuk (スタンフォード大), 嶋田 行志 (東京大), 篠原 久典 (名古屋大), 塩見 淳一郎 (東京大), Goodson Kenneth (スタンフォード大)
- F314 表面フォノンポラリトンによる熱輸送の促進
* 濱村 聡希, Tranchant Laurent, 矢吹 智英, 宮崎 康次 (九工大)
- F32 10:50 - 12:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 7
- F321 グラフェン同位体ランダム超格子の熱伝導シミュレーション
* 藤崎 小太郎, 山本 貴博 (東京理科大学)
- F322 共有結合性有機構造体をベースとした熱電材料の熱性能評価
* 山口 信義, 児玉 高志, 塩見 淳一郎 (東京大)
- F323 自己組織化手法による低熱伝導率バルクスケールナノ構造シリコンの実現
* 柏木 誠, 小西 翔太, 志賀 拓磨, 児玉 高志, 塩見 淳一郎 (東京大学)
- F324 高圧ひずみを付与された半導体材料の熱・電気輸送特性
SIVASANKARAN Harish (九大), 川脇 秀一 (九大), 三浦 飛鳥 (東京大院), 生駒 嘉史, 高田 保之, 堀田 善治 (九大), 塩見 淳一郎 (東京大), * 河野 正道 (九大)
- <G 室>
- G31 9:00 - 10:40 分子動力学 1
- G311 固気液三相の接触線のピンギングに関する分子動力学解析
* 楠戸 宏城, 菊地 智洋, 山口 康隆 (大阪大), 香川 勝, 藤村 秀夫 (大日本印刷株式会社)
- G312 散逸粒子動力学法を用いたナノ流体における熱流動特性に関する研究
* 小林 祐生, 荒井 規允 (近畿大)
- G313 異なる流れ領域における平行 Si 板間のナノ領域に閉じ込められた Ar 流体の密度と粘度との関係
* 柳澤 良多, ヴロツキヒナ タチアナ (富山大学)
- G314 古典分子動力学法で算出される局所熱流束に基づく固液界面の描像
* 藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)
- G315 固液摩擦係数に対する Green-Kubo 関係式
* 井上 直樹, 小川 皓俊 (阪大院), 大森 健史, 山口 康隆, 梶島 岳夫 (阪大工)
- G32 10:50 - 12:30 分子動力学 2
- G321 耐凍結性を有する表面微細構造に関する分子動力学的研究
* 植木 祥高, 松尾 聡志, 芝原 正彦 (大阪大)
- G322 カーボンナノチューブの濡れと力学的バランスに関する分子動力学解析
* 今立 呼南, 今泉 優太, 平原 佳織, 山口 康隆 (大阪大)
- G323 固体壁面近傍における水の凝固界面と微粒子の相互作用に関する分子動力学解析
* 内田 翔太 (櫛SCREENホールディングス), 藤

- 原 邦夫 (大阪大), 吉田 順一 (㈱SCREEN ホールディングス), 芝原 正彦 (大阪大)
- G324 ナノスケール気泡の崩壊時における局所圧力分布の計算
* 津田 伸一 (九大), 高木 弘輝 (九大院), 渡邊 聡 (九大)
- G325 気液平衡状態における 1-ブタノール/水混合系の分子動力学シミュレーション
* 金子 敏宏, 坂口 裕宜, 土屋 翼, 上野 一郎 (東理大)

<H室>

- H31 9:00 - 10:40 OS: 化学プロセスにおける熱工学 1
- H311 アンモニウムミョウバンスラリーの相変化特性に関する研究
* 大坪 拓夢 (神戸大), 中村 洗平 (東邦ガス), 日出間 りり, 菰田 悦之, 鈴木 洋 (神戸大)
- H312 溶媒蒸発に伴う表面修飾ナノ粒子の構造形成機構の数値解析
* 薄根 真, 高橋 太郎, 久保 正樹, 庄司 衛太, 塚田 隆夫 (東北大院工), 小池 修 (プロダクト・イノベーション協会), 辰巳 怜 (東大環安セ), 藤田 昌大 (城西大理), 阿尻 雅文 (東北大 WPI)
- H313 スラリー膜から成形する多孔質体構造の予測モデル
* 弘中 秀至, 深井 潤 (九大)
- H314 湿り空気を供給した吸着式酸素濃縮器用ゼオライト充てん層内の温度分布の解析
* 小川 邦康, 稲垣 洋介 (慶大)
- H315 竹粉燃焼中に生成するボトムアッシュ付着のメカニズムに関する研究
大久保 翔平, 野口 芽生, * 田之上 健一郎, 西村 龍夫 (山口大)
- H32 10:50 - 12:30 OS: 化学プロセスにおける熱工学 2
- H321 大気圧マイクロ放電の安定化と物質との相互作用に関する研究
* 渡辺 幹季也, 宮川 力, 角田 直人 (首都大学東京)
- H322 マイクロ波プラズマによる水素・二酸化炭素からの無触媒メタン合成
* 坂根 有亮, 小林 信介, 板谷 義紀 (岐阜大)
- H323 大気圧マイクロプラズマジェットを応用したシリコンフィルム形成の基礎特性
* 石丸 和博, 佐藤 大輝, 寺田 知弘 (岐阜高専)
- H324 RF-TSSG 法による SiC 結晶成長時のマランゴニ対流の 3 次元解析
* Wang Lei, 堀内 鷹之, 関本 敦, 岡野 泰則 (阪大), 宇治原 徹 (名大)
- H325 温度差と濃度差共存によるマランゴニ対流の不安定性とその制御に関する数値解析
* JIN Chihao, 関本 敦, 岡野 泰則 (大阪大), 水口 尚 (琉球大)

<J室>

- J31 9:20 - 10:40 強制対流 1

- J311 熱を考慮した埋め込み境界-格子ボルツマン法による二次元攪拌問題の熱流動解析
* 黒岩 拓矢, 吉野 正人, 鈴木 康祐 (信州大)
- J312 波状流路における層流伝熱解析
* 奈良 駿希, 黒田 明慈 (北海道大)
- J313 平行平板間の層流振動流場における対流熱伝達の非定常特性
* 長坂 祥吾 (明大院), 小林 健一 (明治大)
- J314 High-Performance Double-Pipe Turbulent Heat Exchangers with Oblique Wavy Walls
* 金 書群, 赤尾 武俊, 鈴木 雄二, 森本 賢一 (東京大学)

- J32 10:50 - 12:30 強制対流 2

- J321 応力方程式モデルによる巨視的粗面乱流モデル
* 桑田 祐丞 (阪府大), 川口 靖夫 (東京理科大)
- J322 壁面モデル LES による超臨界圧下の乱流熱伝達の数値解析
* 武藤 大貴, 大門 優, 清水 太郎, 根岸 秀世 (JAXA)
- J323 カーボンナノチューブを添加した粘弾性流体の流動抵抗と伝熱特性
* 本澤 政明, 稲葉 充紀, 福田 充宏 (静岡大学), 川口 靖夫 (東京理科大学)
- J324 焦電素子を利用した新しい熱発電システムの開発
* 佐藤 航 (日立)
- J325 ガスタービン翼後縁部平滑カットバック面上の脈動フィルム冷却流の 3 成分 PTV 計測
* 山本 昌平, 村田 章, 早川 隼平, 岩本 薫 (農工大)

<K室>

- K31 9:20 - 10:40 自然対流 1

- K311 誘導加熱された微小磁性球周りの液体の自然対流の分析
* 荒川 祐輝, 西島 圭祐, ハン バンクオン (首都大), 近藤 克哉 (鳥取大学), 角田 直人 (首都大)
- K312 対向壁が存在する下向き傾斜加熱平板まわりの自然対流熱伝達
* 木村 文義, 井上 航貴, 平野 隼人 (兵庫県大), 北村 健三 (豊橋技科大)
- K313 格子ボルツマン法による曲面境界を有する熱流動解析
* 瀬田 剛 (富大)
- K314 北方林での活発な森林火災期間中の気象条件
* 早坂 洋史 (北大)
- K32 10:50 - 12:30 熱物性 1
- K321 簡易計算モデルによる多層断熱材中の伝熱機構の考察
* 平澤 良男, ムハマド アジ, 真田 基生 (富山大)
- K322 褐炭中の水分の凍結・蒸発・誘電緩和特性
* 白樫 了, 渡辺 直登 (東京大学)
- K323 分子動力学法による酸水素混合系の拡散係数評価

* 永島 浩樹 (琉球大), 津田 伸一 (九州大), 徳
増 崇 (東北大)

K324 20K-300K における疑似等方 GFRP の熱伝導率計測
高橋 佳佑, * 徳田 大樹, 井上 剛良 (東工大)

K325 真空断熱材の熱輸送特性に及ぼす内部構造の影響
* 木下 進一, 中 拓真, 吉田 篤正 (大阪府立大)



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 http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：大竹浩靖（工学院大学）：ohtake@cc.kogakuin.ac.jp
- ・編集出版部会長：田川正人（名古屋工業大学）：tagawa.masato@nitech.ac.jp
- ・広報委員会委員長：元祐昌廣（東京理科大学）：mot@rs.tus.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐協議員：志村祐康（東京工業大学）：general-affairs@htsj.or.jp
- ・事務局：大澤毅士・村松佳子：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了承願います。
- ・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。

事務局からの連絡

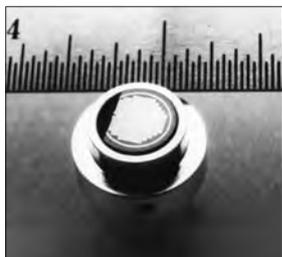
56期入会（2017.12.13～2018.3.31）正4名 学生4名

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	秋永 剛	秋田大学 理工学部	学生	船山 成彦	東京工業大学 環境・社会理工学院
学生	奥平 賢嗣	中部大学 大学院 工学研究科	正	須賀 創平	日産自動車株式会社 総合研究所
学生	安喰 春華	玉川大学 工学部 機械情報システム学科	学生	門田 怜士	広島大学 大学院 光学系研究科
正	Alexandros Askounis	九州大学	正	梶田 欣	名古屋市工業研究所

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



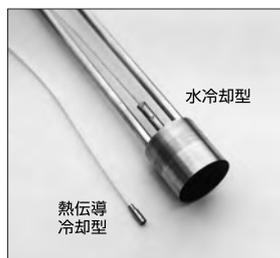
特徴

- 最高速の応答 (約 6μ 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

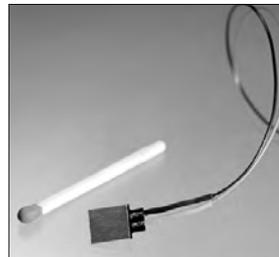


センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタントで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

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

〒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



■ 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)

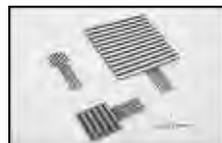
CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

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/ft²sec(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/cm²

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

今月号の特集は、永井二郎先生（福井大学、編集出版部会委員）のお世話により、「沸騰・相変化・界面現象」をテーマとして6件の記事をご寄稿いただきました。いずれも最前線でご活躍の研究者による大変な力作です。ご多忙のなかご寄稿くださいました執筆者の皆様に厚くお礼申し上げます。

本誌には特集記事のほか以下のジャンルの記事があります。話題を提供くださる場合には下記連絡先までぜひご一報ください。会員皆様からのご寄稿をお待ちしています。

- ・特別寄稿：興味深い研究の紹介や提言，ミニレクチャーなど
- ・会議報告：「熱」に関する国内外の講演会，シンポジウム，セミナーなどの報告記事
- ・海外レター：海外の研究機関に滞在，赴任している会員からの現地レポート，体験記など
- ・その他：
 - (a) プロジェクト Q：「熱」に関する苦労話や秘話などの記事
 - (b) ネイチャー Q：科学や自然に関する話題
 - (c) エデュケーション Q：理論・実験・教育・技術開発に関する逸話など
 - (d) ヒストリー Q：過去の偉人や物事の歴史に関する話題
 - (e) Hea 'r' t Transfer：コーヒーブレイクのようなほっとするコラム記事
 - (f) 博物館めぐり：国内外の様々な博物館や施設への訪問記事

田川 正人（名古屋工業大学）

Masato Tagawa (Nagoya Institute of Technology)

e-mail: tagawa.masato@nitech.ac.jp

企画・編集出版担当副会長 中部 主敬（京都大学）

編集出版部会長 田川 正人（名古屋工業大学）

委員

（理事） 梅川 尚嗣（関西大学），永井 二郎（福井大学），星 朗（東北学院大学）

（協議員） 青木 修一（東邦ガス），岩井 裕（京都大学），巽 和也（京都大学）

長野 方星（名古屋大学），西村 伸也（大阪市立大学），服部 康男（電力中央研究所）

保浦 知也（名古屋工業大学），村上 陽一（東京工業大学）

TSE チーフエディター 花村 克悟（東京工業大学）

TSE 編集幹事 伏信 一慶（東京工業大学）

編集出版部会 連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学大学院電気・機械工学専攻（しくみ領域）

田川 正人

Phone & Fax: 052-735-5343 / E-mail: tagawa.masato@nitech.ac.jp