

# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

ISSN 1344-8692 Vol. 62, No. 261  
2023. 10

*Thermal Science and Engineering*

ISSN 0918-9963 Vol. 31, No. 4  
2023. 10



◆特集：第17回国際伝熱会議



会場風景（ケープタウン国際会議場）



セレモニーでの学生コーラス



PD-3 の登壇者



会場付近のケープタウン市街地

（特集記事「第 17 回国際伝熱会議 IHTC-17, 加藤 之貴, 村上 陽一」より）



学会プログラムから



塩見教授による受賞講演



抜山賞受賞講演会場の様子

（特集記事「第 6 回抜山記念国際賞」の選考経過と受賞講演の報告, 高田 保之」より）



AUTSE の Zhang 会長と筆者@授賞式



筆者による Plenary Lecture

（特集記事「AUTSE Young Scientist Award を受賞して, 喜多 由拓」より）

# 伝 熱

## 目 次

### 〈巻頭グラビア〉

第 17 回国際伝熱会議

加藤 之貴, 村上 陽一 (東京工業大学), 高田 保之 (九州大学),  
喜多 由拓 (King's College London) …………… 表紙裏

### 〈特集 : 第 17 回国際伝熱会議〉

第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) 開催報告 ……………加藤 之貴, 村上 陽一 (東京工業大) ……………	1
第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) での日本論文委員会について ……………鈴木 雄二 (東京大学) ……………	4
「第 6 回抜山記念国際賞」の選考経過と受賞講演の報告 ……………高田 保之 (九州大学) ……………	7
抜山記念国際賞 ……………塩見 淳一郎 (東京大学) ……………	9
AUTSE Young Scientist Award を受賞して ……………喜多 由拓 (キングス・カレッジ・ロンドン) ……………	10

### レビュー

Boiling and Evaporation ……………森 昌司 (九州大学) ……………	11
Cooling and Thermal Management ……………福江 高志 (金沢工業大学) ……………	13
Convection ……………中村 元 (防衛大学校) ……………	15
Two-phase Flow ……………永井 二郎 (福井大学) ……………	18
Air Conditioning and Refrigeration ……………宮良 明男 (佐賀大学) ……………	20
Energy Storage and Conversion/ Thermal Storage ……………森本 崇志 (青山学院大学) ……………	22
Heat Exchanger ……………鹿園 直毅 (東京大学) ……………	24
Radiation and Solar energy ……………宮崎 康次 (九州大学) ……………	26
Nano/Micro Scale Transport ……………栗山 怜子, 巽 和也 (京都大学) ……………	28
Porous Media and Fuel Cells ……………岩井 裕 (京都大学) ……………	31
Turbulent transport ……………桑田 祐丞 (大阪公立大学) ……………	33
Thermophysical Properties ……………吉田 篤正 (大阪公立大学/早稲田大学) ……………	35

## 第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) 開催報告

Participation Report for The 17<sup>th</sup> International Heat Transfer Conference

加藤 之貴, 村上 陽一 (東工大)

Yukitaka KATO, Yoichi MURAKAMI (Tokyo Tech)

e-mail: kato.y.ae@m.titech.ac.jp

### 1. はじめに

第 17 回国際伝熱会議 (The 17<sup>th</sup> International Heat Transfer Conference, IHTC-17) が 2023 年 8 月 14～18 日, 南アフリカのケープタウンにて開催された。

IHTC は国際伝熱会議連盟 (AIHTC) が主催し, 1966 年以来 4 年ごとに開催され, 伝熱オリンピックと呼ばれている。2014 年に IHTC-15 が京都で, 2018 年に IHTC-16 が北京で開催され, 当会は 2022 年に開催を計画されたが COVID の影響で 1 年延期し, 2023 年開催となった。準備の間, 開催方法について AIHTC 国際委員会にて検討を重ねた結果, Prof. Josua Meyer (Conference Chair, Stellenbosch University) のリーダーシップのもと, 従来の対面開催形式で無事開催された。



写真 1 会場風景 (ケープタウン国際会議場)

### 2. 会議概要

#### 2.1 発表構成

発表論文数は 514 件であった。これまでの会議に比べ数割少ないが 1 年の延期, 南半球での開催などを乗り越えての開催を評価したい。発表は 8 月 14～18 日の期間, 現地対面のみで行われた。4 会場を使い Fourier Award Lectures 6 件, Panel Discussion (PD) が 7 件, Keynote 講演 26 件, 一般発表は全て Poster Session (PS) として 27 グループ, 全ポスター発表数 475 件であった。PD はそれぞれモデレータと 4～5 名のパネリストがグループとなり, 個々のトピックスに関して活発な討論が行われた。PS は 3 室パラレルで行われた,

ポスター掲示した部屋にて発表者が 3 分のショートプレゼンテーションを行った後に, ポスターブースで個々に質疑応答に対応した。多くの参加者がポスターブースで発表者と活発な意見交換がなされた。さらに, 3 室で行われた Keynote 講演では最新の伝熱関連技術の研究成果が報告された。

#### 2.2 受賞講演

Fourier Lecture は “Nanoscale Thermal Measurements—New Challenges and New Opportunities”のタイトルで Prof. Xing Zhang (清華大, China, IHTC-16 開催実行委員長) により行われた。2022 LUIKOV MEDAL AWARD は Prof. Renato Machado Cotta (Federal University of Rio de Janeiro, Brazil) に贈られ “Hybrid Numerical- Analytical Approach in Transport Phenomena: Bridging The Best of Both Worlds” と題して受賞講演がなされた。

日本伝熱学会が 2014 年に創設した Nukiyama Memorial Award 受賞講演は “Exploring Thermal Functional Materials through Massive Parameter-Space Search” というタイトルで塩見淳一郎教授 (東大) が行った。

#### 2.3 Panel Discussion

以下, 幾つかの PD の概要を報告する。各 PD は基本的にまず各パネリストが一通り議題に関する発表を行い, 続いてモデレータの司会で討論を行うというスタイルであった。どのセッションも時間一杯までフロアからの質問やコメントが途切れることはなく, 各トピックスに対する参加者の関心の高さが伺えた。

PD-1 では, “Multiphase Flow for Energy Systems” と題し, 混相流, 沸騰・凝縮現象の予測に向けた高精度な実験と解析の必要性, 再生可能エネルギー利用システムに向けた相変化伝熱の利用促進の重要性, データセンタ等における廃熱利用の重要性, 時空間にわたるマルチスケール物理の重要性, 沸騰・凝集の基礎研究における先端の実験手法の

必要性などが議論，提案された。

PD-2 では，“Towards the Next-Level Thermal Engineering Optimisation”と題し，潜熱蓄熱における相変化材料内の熱伝導向上及び形状安定性向上の必要性との方策，蓄熱密度と熱輸送レートとの間のトレードオフに対する最適化指針の重要性，エネルギー効率-運用コスト-環境インパクト間のトレードオフへの最適化の必要性，熱経済性 (thermo-economics) や sustainability の観点からのシステム評価の試み，建物における経済性-二酸化炭素排出-快適さの間の最適化の課題，需要と供給がともに変動する再生可能エネルギー-熱システム間の統合の最適化方法の構築，などについて指摘と意見交換がなされた。

PD-3 では，“Green Transformation (GX) for Carbon Neutrality”と題し，カーボンニュートラルに向けた技術と社会システムの転換という大目的の下，再生可能エネルギーの変動性と太陽光発電抑制に対する低コストな蓄エネルギー技術開発の必要性，CO<sub>2</sub> 循環利用の重要性，国と地域の状況に合った形でのエネルギーベストミックス及び電化追求の重要性，従来の技術を熱工学の上で組み合わせることで未開拓な GX 技術を創出できる可能性，ヒートポンプや燃料電池を中心要素としたシステム化とセクターカップリング手法の活用，太陽光の吸収材開発による再生可能熱の利用促進などについて，問題提起と意見交換がなされた。



写真 2 PD-3 の登壇者（右から宮崎康次教授，Prof. Min Soo Kim, Prof. Jaap Hoffmann, 村上, Prof. Sylvie Lorente, 加藤）

PD-4 では，“AI Applications to Heat Transfer”と題し，AI の伝熱工学への適用が議論された。AI の具体的な熱問題や熱システムへの適用先の例示（流れの画像データからの特徴的現象の抽出等），マイクロフィンチューブの凝縮熱伝達率予測への

適用例，データ処理への適用，熱交換器の形状最適化への適用例，などが紹介され，伝熱工学分野への AI/機械学習の展開可能性が議論された。

このほか，PD-5，“Battery Thermal Management—Recent Trends And Future Challenges”，PD-6，“Thermal Management”，PD-7，“Heat and Mass Transfer Needs in Next Generation Solar Energy”も開催された。

## 2.4 会議関連イベント

8 月 16 日に AIHTC 委員会を対面で行い，日本委員として鈴木雄二教授（東大）と加藤が出席した。AIHTC 委員長 Prof. Xing Zhang の議事進行で今後の活動方針が話し合われた。8 月 16 日に人数限定ではあったが主催者の所属する Stellenbosch 大学の見学ツアーが行われた。8 月 17 日の夕刻に会場のケープタウン国際会議場にて Banquet が行われた。南アフリカの伝統を表現した音楽・ダンス等のパフォーマンスの後に表彰セレモニーが行われ，供された食事とともに各テーブルで参加者が交流を深めた。



写真 3 セレモニーでの学生コーラス

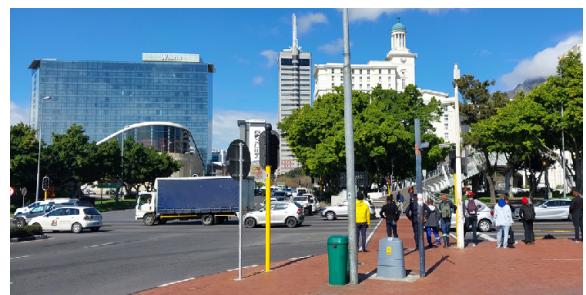


写真 4 会場付近の Cape Town 市街地

## 3. 今後の計画

投稿された Proceedings 論文は IHTC Digital Library (Begell House) に収録された。参加者には Proceedings 集の pdf 版がオンラインで配布された。

AIHTC 委員会において次回会議 IHTC-2026 (Rio de Janeiro, Brazil, 2-7 Aug., 2026) について, Chair の Helcio R.B. Orlande から説明があり, 計画が承認された. 次々回についてコンペティションが行われ, 2 か国の応募があり, 各国の企画説明が行われたのちに無記名投票を行い, IHTC-2030 が Imperial College London (London, United Kingdom) は主催で2030年8月の開催予定で行われることが承認された. 当委員会をもって, 委員長は Prof. Meyer に交替した (任期4年).

#### 4. 総括

AIHTC 委員会においていくつかの課題が指摘された. Begell House Digital Library は有料制のため引用が年数百件, 論文購入は百件以下と活用が進んでいないことが課題であり, オープンアクセス化の検討が論点の一つとなった.

また, 今回, 投稿論文 749 報中, 受理が 714 報であり査読のリジェクト率が 5%と低く, 査読の意義を再度検討する必要も指摘された.

Proceedings 論文は執筆労力が重く, かつ著作権が出版社に移譲されるとすると, 一般学術雑誌への投稿を優先せざるを得ず, 国際会議の新規研究の発表と意見交換の場としての機能が失われ, 会議の意義が問われていることが懸念された.

さらに今回, 特に中国からの参加者に対しての Visa 発給が間に合わず数十人が出席できない事態となった. 一方, 一般のポスタープレビュー発表と Keynote 講演が3室平行で行われたため, 全ての発表に触れることが出来ず, 新規情報を得ることが困難であることも課題であった. これらを根拠としてオンライン併用のハイブリッド会議の必要性も指摘された.

一方で人為的な二酸化炭素排出による気候変動は良く認識され, 地球環境変動抑制, エネルギー分野での伝熱工学の貢献性, 重要性が発表において多く見られた. 国際会議で一堂に集まり伝熱工学に基づく将来を議論することは大変有用であったことは参加者皆が共感しており, 引き続きこの会議が進化発展することが期待された.

第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) での日本論文委員会について  
*On the Japanese Paper Selection Committee for The 17<sup>th</sup> International Heat Transfer  
 Conference*

鈴木 雄二 (東大)

Yuji SUZUKI (Univ. Tokyo)

e-mail: ysuzuki@mesl.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

前稿に記載の通り、第 17 回国際伝熱会議 (The 17<sup>th</sup> International Heat Transfer Conference, IHTC-17) が 2023 年 8 月 14~18 日、南アフリカのケープタウンにて開催された。IHTC では、地域ごとに論文委員会を構成し、投稿されたアブストラクトおよびドラフト原稿の査読、査読結果に基づく採否決定を行うことになっている。

本稿では、日本論文委員会での作業と、IHTC-17 での発表論文の構成について報告し、筆者の私見についても簡単に述べたい。

2. IHTC-17 の論文審査状況

2.1 委員会構成

IHTC での論文審査は、各国の国際伝熱会議アセンブリー委員 (Assembly of International Heat Transfer Conference, AIHTC) が中心となって運営をすることになっている。日本論文委員会は、日本のほか、台湾、パキスタン、およびその他の東アジア諸国 (中国、韓国を除く) が担当であり、ケープタウン開催となった IHTC-17 については、日本の AIHTC メンバーである加藤之貴教授 (東工大) と筆者が担当した。委員会メンバーを表 1 に示す。

表 1 IHTC-17 の日本論文委員会メンバー (順不同)

	氏名	所属	分野
委員長	鈴木 雄二	東大	伝熱学会
幹事	矢吹 智英	九工大	伝熱学会
委員	加藤 之貴	東工大	化学工学会
委員	長野 方星	名大	伝熱学会
委員	高橋 厚史	九大	伝熱学会
委員	岩井 裕	京大	伝熱学会
委員	永井 二郎	福井大	伝熱学会
委員	小宮 敦樹	東北大	伝熱学会
委員	小林 信介	岐阜大	化学工学会
委員	鈴木 洋	神戸大	化学工学会

2.2 論文審査のプロセスと国別投稿数

IHTC での論文審査は 2 段階であり、アブストラクトのスクリーニングとドラフト原稿のピアレビューからなる。200-500 words のアブストラクトのメ切が 2022 年 10 月 15 日、7-10 ページのフルペーパーのメ切が 2022 年 12 月 31 日であったが、延長後、最終的にはそれぞれのメ切は 2022 年 10 月 31 日、2023 年 1 月 31 日となった。

表 2 は実行委員会から AIHTC に提供されたアブストラクト投稿状況である。アブストラクトの総数は 982 件であり、北京で開催された IHTC-16 の 1,839 件から半減したが、南半球での開催であり、また新型コロナウイルスの影響で 1 年遅れて準備も万全とは言えない状況だったので、まずまずの投稿数であった (公式発表での投稿数は表 3 の 954 件)。日本地区は IHTC-15 (京都) の 229 件、IHTC-16 (北京) の 170 件に対して、73 件まで減少した。日本論文委員会は日本 68 件、台湾 1 件以外に、タイ 1 件、スリランカ 3 件の合計 73 件のアブストラクトを扱うこととなった。なお、表 2 ではスリランカ、タイがインド委員会に入るなど、混乱が見られる。

今回はアブストラクト数も少なかったため、従前のように地域ごとの採択予定数の割り振りがなく、アブストラクトの審査は、「科学技術的な内容として問題ないか」という形式的なチェックのみとなった。そのため、日本論文委員会では簡単な審査のうち、69 件全てを一次採択とした。この段階で日本論文委員会では、論文委員会メンバーに 5-8 件の論文を割り振り、重なりが多くならないように査読者候補 2 名を決めた。

その後、2023 年 1 月 31 日にフルペーパーのメ切があり、63 件の提出があった。これらの投稿論文について、実行委員会が用意した Web ベースの査読システムで査読プロセスを進めたが、このシステムが非常に使いづらく、幹事の矢吹智英先生には大変に手間の掛かる作業をして頂くことになった。

表 2 IHTC-16 および IHTC-17 のアブストラクト投稿数 (IHTC-17 実行委員会まとめ (IHTC-17 については公式発表数ではない))。

Committee	Country/Region	IHTC16 (2018)		IHTC17 (2023)	
		Abstract Submitted	Total Abstracts Submitted	Abstract Submitted	Total Abstracts Submitted
Australia	Australia	17	40	9	14
	Malaysia	0		2	
	Singapore	17		2	
	Indonesia	2		1	
	New Zealand	4		0	
Brazil	Brazil	27	29	37	37
	Chile	2		0	
Canada	Canada	15	15	24	24
China	China	875	892	235	237
	Hong Kong	16		2	
	Macau	1		0	
France	France	47	53	40	54
	Algeria	6		5	
	Senegal	0		1	
	Morocco	0		1	
	Nigeria	0		7	
Germany	Germany	40	42	39	41
	Austria	1		1	
	Finland	1		1	
India	India	92	95	111	115
	Sri Lanka	0		3	
	Thailand	3		1	
Israel	Israel	8	8	12	12
Italy	Italy	22	34	25	29
	Spain	12		4	
Japan	Japan	159	170	68	69
	Taiwan	11		1	
Korea	Korea	66	66	43	43
Portugal	Portugal	6	6	5	5
Russia	Kazakhstan	3	73	0	55
	Russia	68		55	
	Republic of Belarus	2		0	
South Africa	Namibia	0	37	1	36
	South Africa	37		35	
Switzerland	Switzerland	2	2	2	2
Netherlands	Netherlands	2	26	4	30
	Belgium	16		18	
	Sweden	5		4	
	Norway	1		2	
	Denmark	2		2	
UK	UK	58	82	40	71
	Czech Republic	0		2	
	Turkey	6		4	
	Poland	6		2	
	Egypt	2		1	
	Ireland	2		5	
	United Arab Emirates	6		6	
	Saudi Arabia	0		7	
	Estonia	1		0	
	Iraq	0		1	
	Palestine	0		1	
Uzbekistan	0	1			
USA	USA	169	169	71	73
	Mexico	0		2	
<b>Total</b>		<b>1839</b>		<b>982</b>	

査読において修正のコメントがついた論文もあったが、結果的に 63 件全てを採択とした。採択後、辞退をする著者もいて、最終的にプログラムに組み込まれたのは日本からの 51 件のみであった。

表 3 は、IHTC-17 の参加者に公表された国・地域別投稿数・発表論文数である。中国は 194 件が採択されたが、学生を中心として南アフリカビザが発行されず、発表件数は半減となった。またインドも同様に採択論文数から半減している。最終プログラムには、日本論文委員会で審査をしなければならなかった筈のタイからの別の 2 編の論文が入っているが、それを考慮しても日本論文委員会のデータとは合わない。キーノートなど査読を経ないものも含んでいるのかもしれないが、他にもいろいろデータに不整合があり、南アフリカならでの「ご愛敬」といったところかもしれない。

表 3 IHTC-17 での発表数。一部筆者改 (国・地域は最終プログラムに組み込まれた論文があるもの)。

Committee	Country/Region	Abstract	Full-paper	Accepted	Presented
Australia	Australia, Indonesia, Singapore	13	12	12	8
Brazil	Brazil, Colombia	36	28	28	19
Canada	Canada	17	16	16	12
China	China, Hong Kong	267	197	194	100
France	France, Namibia	54	42	36	29
Germany	Germany, Austria	36	35	33	34
India	India, Iran	103	65	61	32
Israel	Israel	12	9	9	8
Italy	Italy, Spain	29	25	25	22
Japan	Japan, Thailand	74	65	62	57
Netherlands	Netherlands, Belgium, Denmark, Finland, Norway, Sweden	33	31	30	30
Portugal	Portugal	6	6	5	4
Russia	Russia	57	45	43	29
South Africa	South Africa, Kenya	35	32	29	29
South Korea	South Korea	38	35	35	31
Switzerland	Switzerland	2	2	2	0
United Kingdom	United Kingdom, Lithuania, Turkey, United Arab Emirates, Iraq, Saudi Arabia	68	52	46	35
United States	United States, Mexico	73	52	48	35
<b>Total</b>		<b>953</b>	<b>749</b>	<b>714</b>	<b>514</b>

### 3. トピックス別の分布

IHTC-17 では、50 以上のキーワードが設定され、アブストラクト投稿時にいずれかを選択することになっていた。一般論文はこのキーワードを基にグルーピングされ、27 個のポスターセッションのいずれかに割り当てられ、2 時間枠の中でショートプレゼンとポスタープレゼンテーション (1 セッショ



ンは14から20のポスター)が行われた。今回、3セッションが割り当てられたのは、熱交換器/ヒートパイプ、2相流、沸騰、蓄エネルギー/エネルギー変換の3つの領域で、日本からも多くの発表が行われた。一方、電子機器冷却、ナノスケール伝熱など、伝熱シンポジウムで論文が多く集まるセッションには他国からの論文が多いとは言えず、それぞれ1セッションに留まった。

これらの先端科学・技術にも関わる分野はアメリカも強い領域であり、多くのグループが活発に研究しているが、現在のIHTCではそれらのグループを引き寄せることができていない。AIHTCでの議論をしっかりと深めて、IHTCのあり方を再検討していく必要があると考えられる。

表4 IHTC-17のポスターセッション

Session	CODES	Keywords (最初のCODEのもの)
Poster 1	HTE	Heat Transfer Enhancement
Poster 2	NSM/CPM	Numerical Simulations
Poster 3	ECS/TST	Energy Storage & Conversion
Poster 4	HTE	Heat Transfer Enhancement
Poster 5	TMG	Thermal Management
Poster 6	NSM/CPM	Numerical Simulation
Poster 7	CNV/MCV	Convection
Poster 8	ECS/TST	Energy Storage & Conversion
Poster 9	SOLRNE	Solar Energy
Poster 10	CND/NCV/RAD/FCV	Conduction
Poster 11	TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS	Two-Phase, Bubble Flow & Water Film
Poster 12	HEX/HPP/EEF	Heat Exchanger
Poster 13	TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS	Two-Phase, Bubble Flow & Water Film
Poster 14	CND/NCV/RAD/FCV	Conduction
Poster 15	FBL/TPB/EVP/PBL	Flow Boiling
Poster 16	HEX/HPP/EEF	Heat Exchanger
Poster 17	FBL/TPB/EVP/PBL	Flow Boiling
Poster 18	EEC/TEL/NMS	Electronic Equipment Cooling
Poster 19	TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS	Two-Phase, Bubble Flow & Water Film
Poster 20	HEX/HPP/EEF	Heat Exchanger
Poster 21	FBL/TPB/EVP/PBL	Flow Boiling
Poster 22	TDY/TPP/PPE/MLT	Thermodynamics
Poster 23	NMM/MIN	Nano/Micro Scale Measurement & Simulation
Poster 24	ACR/ADS/MTR/FLM	Air Conditioning & Refrigeration
Poster 25	PMD/FCL/NMT	Porous Media
Poster 26	CMB/GTB/MNF/IP/TTR	Combustion
Poster 27	INV/BMA/SAT/PLS	Inverse Problems

#### 4. まとめ

新型コロナウイルスの影響もあって「急ごしらえ」の国際会議としては一定の成功を収めたと言える。コロナ後の国際会議として、多くの友人・知り合いと様々議論ができたことも大きな収穫であった。

しかし、南アフリカのビザの問題があったにせよ、採択後の辞退数が全体の28%と極めて高かった。筆者のように南アフリカを訪問したことがない人間にとっては、エキゾチックな場所での開催というプラスの印象と同時に、2023年8月現在で32%の非常に高い失業率、直前のタクシー運転手のストライキ(暴動)など安全面での不安があった。実行委員

会側が開催都市についてのアナウンスを頻繁にしておけば、辞退者を減らせたかもしれない。

また、「伝熱工学のオリンピック」として、サイエンティフィックな議論が十分深められたか、今後の伝熱工学の方向性を参加者間で共有できたのか、大いに疑問が残る。特に京都開催のIHTC-15の運営に携わった先生方からすると、「目が行き届いていない会議運営」は例を挙げれば数えきれず、忸怩たる思いをされたのではないかと拝察する。

以下ではIHTCについての私見を述べさせて頂く。前稿にも記載のあったように、IHTC-17では投稿論文749件中、査読でのリジェクト率は5%と極めて低く、各国委員会で相当の労力を使ってフルペーパー査読する必要があるのかどうかについて再考が必要である。また、国・地域ごとの査読という方法も伝統ではあるものの、他分野ではあまり見られず、現代的に変える必要があるのかもしれない。

極端な2つの方向性の例として、米国物理学会の流体力学部門年会(APS DFD)とCombustion Instituteの国際燃焼シンポジウムが挙げられる。APS DFDでは、300 words程度のアブストラクトのみを提出して一切査読をしない。そのため玉石混交とはなるが、最新かつレベルの高い情報が得られるため3500名が参加する。一方、国際燃焼シンポジウムでは、フルペーパー査読が開催の6,7ヶ月前にあり、採択率は3割から4割と低い。採択された発表は口頭発表となるほか、サイテーションの高いProceedings of Combustion Institute(IF付)に掲載される。不採択の著者の多くは、Work-in-progressポスターで発表するため、毎回1500名が参加する。どちらも、極めてアクティビティの高い会議である。

現在の国際伝熱会議は、良く言えばこれらの中庸であり、最新の情報に触れたい研究者も、自分の成果をその分野のトップジャーナル論文に残したい研究者も取り込めていない。筆者自身、AIHTCの一人として、IHTCを望ましい方向に向かうように努力したいと考えているが、なにぶんAIHTC委員会メンバーの慣性力が大きい。参加者皆様の一人一人の声をAIHTCに届けることも重要だと考えており、是非忌憚のないご意見をお寄せ頂きたい。

最後に、日本論文委員会の作業を進めるにあたり、委員の皆様、特に九州工業大学の矢吹智英先生に献身的なご尽力を頂いた。記して感謝の意を表す。

## 「第 6 回抜山記念国際賞」の選考経過と受賞講演の報告

Report on the Sixth Nukiyama Memorial Award(NMA)

第 6 回抜山記念国際賞選考委員長 高田 保之 (九州大学)  
 The 6<sup>th</sup> NMA Committee Chair Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)  
 e-mail: takata@mech.kyushu-u.ac.jp

### 1. はじめに

日本伝熱学会が創立 50 周年を記念して創設した抜山記念国際賞 (Nukiyama Memorial Award, 以下 NMA) は, 2022 年の本会総会において, 東京大学の塩見淳一郎教授に授与されました. 本来であれば, 授賞式直後に本報告を行うべきであったのですが, 受賞講演が 8 月に Cape Town で開催された第 17 回国際伝熱会議において挙行されたので, 本稿にて併せてご報告申し上げます.

### 2. NMA 委員会の構成と選考日程

選考委員会は, 3 名の日本人委員と 4 名の外国人委員から構成されます<sup>[1]</sup>. 日本人の委員は 3 回の選考に従事し, 2 回目は副委員長, 3 回目は委員長を担当します. 外国人の委員は, 2 回の選考に従事します. 毎回, 日本人委員を 1 名, 外国人委員を 2 名新規に加えて委員会を構成します. 第 1 回から第 6 回の選考委員会の構成を表 1 に示します. 第 6 回の選考委員は, 日本からは小生の他, 須賀一彦先生 (副委員長, 大阪公立大), 小原拓先生 (東北大), 国外からは Zhuomin Zhang (Georgia Tech., 米国), Sung Jin Kim (KAIST, 韓国), Catherine Colin (Toulouse Inst. Fluid Mech., フランス), Janusz Szmyd (AGH Univ. Krakow, ポーランド) の 4 名でした. 次回 (第 7 回) では, 小生と米国, 韓国の 3 名の委員が退任し, 須賀先生が選考委員長, 小原先生が副委員長となり, 日本人 1 名と外国人 2 名の委員を補充することになります.

選考および贈賞の日程は概ね以下の通りです.  
 2020 年 10 月 選考委員会構成  
 2020 年 12 月 理事会による選考委員会の承認  
 2021 年 6 月 1 日 公募開始  
 2021 年 9 月 30 日 応募締切  
 2021 年 10 月 選考委員会による評価および候補者の決定  
 2021 年 12 月 理事会への報告および承認  
 2022 年 5 月 19 日 第 59 回日本伝熱シンポジウム (岐阜) において授賞式  
 2023 年 8 月 16 日 第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17, Cape Town) において受賞講演

### 3. 選考経過

今回の選考では, 世界各国から 10 名の応募がありました. いずれも優劣つけがたい優秀な候補者でありました. 選考方法は次の通りです.

選考委員が 100 点満点で, それぞれの候補者を評価します. その際, 選考委員長は評価に加わらず, 6 名の選考委員の合計点で順位付けをします. また, 選考委員ごとの偏りをなくすために, 素点での集計表とは別に各委員の平均点が 75 点となるように正規化した集計表も併せて作成しました. 幸いなことに集計結果は, 素点も正規化の場合も順位の入れ替わりはありませんでした. 特に上位 3 名の評価は非常に僅差で, どなたが受賞してもおかしくない状況でした. 選考委員会で最終候補

表 1 抜山記念国際賞選考委員会

Year	Japan			International Board Member									Award Lecture	
	Chair	Vice-Chair	Member											Cinferebce
2012	K. Kasagi	M. Monde	H. Yoshida	A. Bar-Cohen	US	P. Cheng	CN	G.P. Celata	IT	S. Kandlikar	US	IFHT2012	Nagasaki	
2014	M. Monde	H. Yoshida	K. Okazaki	G.P. Celata	IT	S. Kandlikar	US	J.S. Lee	KR	T.W.Simon	US	IHTC2014	Kyoto	
2016	H. Yoshida	K. Okazaki	S. Maruyama	J.S. Lee	KR	T.W.Simon	US	P. Stephan	DE	X. Zhang	CN	IFHT2016	Sendai	
2018	K. Okazaki	S. Maruyama	Y. Takata	P. Stephan	DE	X. Zhang	CN	J.R. Thome	CH	J.H. Lienhard	US	IHTC2018	Beijing	
2020	S. Maruyama	Y. Takata	K. Suga	J.R. Thome	CH	J.H. Lienhard	US	Z.M. Zhang	US	S.J. Kim	KR	ACTS2021	Fukuoka	
2022	Y. Takata	K. Suga	T. Ohara	Z.M. Zhang	US	S.J. Kim	KR	C. Colin	FR	J. Szmyd	PL	IHTC2022	Cape Town	

者を選定した後、高松副会長(当時)経由で本会理事事に推薦し、理事会において塩見先生を正式に受賞者として決定いたしました。

#### 4. 授賞式と受賞記念講演

当初は授賞式も2022年にCape Townで開催予定の国際伝熱会議(IHTC-17)で行う予定だったのですが、コロナウィルスの影響で同会議が1年延期されてしまいました。授賞式を延期するのは間延びしていやだなと思いましたが、苦肉の策として授賞式は日本伝熱シンポジウムの総会(図1)で行うことにしました。



図1 総会(岐阜)での授賞式の様子  
(写真右) 宗像会長から塩見教授に盾を贈呈



図2 IHTC-17のプログラムから



図3 受賞講演をする塩見教授

一方、受賞記念講演は国際学術賞に相応しい雰囲気で行いたいと考え、議長のJ. P. Meyer教授に頼んで1年後のIHTC-17の会場で開催することにいたしました。2014年のIHTC-15では、パレルセッションでの講演でしたが、今回は前回のIHTC-16と同様にプレナリーとして行うことになりました。次回のIHTCでもプレナリーでの受賞講演が継続できるようにしたいと考えています。

塩見先生の受賞講演は8月16日に行われました

(図2)。司会は選考副委員長の須賀先生が担当されました。塩見先生の講演と会場の様子を図3と4に示します。写真を提供してくれた九大の森昌司先生によりますと、非常に素晴らしい感銘深い講演だったそうです。また、講演の後も多数の質問を受けていたとのことでした。



図4 会場の様子(壇上中央は司会の須賀先生、右下は、平井会長、塩見先生、須賀先生)

#### 5. おわりに

学術賞の価値は、その受賞者によって決まるといえます。NMAの受賞者も今回で6人目となりました。この賞は伝熱分野の学術賞としては後発ですが、歴代の受賞者<sup>[2]</sup>が全員世界トップクラスの優れた研究者であること、また、Nukiyamaという名の知名度にも助けられて、今や世界の伝熱コミュニティに広く認知された学術賞となりました。今回の選考でも、すべての応募者の優秀さを目の当たりにして、NMAの価値を改めて認識した次第です。

受賞者の塩見先生には、Review Paperの執筆という非常に重たい宿題が課されております。そう遠くない時期に、その優れた論文を拝読できるものと期待しております。

最後に、難しい選考にご尽力いただいた選考委員の皆様、特に小生に代わって受賞講演の司会をしてくださった須賀先生に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 岡崎健, 「第4回抜山記念国際賞」の経過と授賞報告, 57-241 (2018) 8-9.
- [2] 日本伝熱学会, “日本伝熱学会抜山記念国際賞”, <https://www.htsj.or.jp/nukiyama>, (参照日 2023-09-13).

抜山記念国際賞を受賞して  
*Receiving the Nukiyama Memorial Award*

塩見 淳一郎 (東京大学)  
*Junichiro SHIOMI (The University of Tokyo)*  
*e-mail: shiomi@photon.t.u-tokyo.ac.jp*

この度は、抜山記念国際賞という素晴らしい賞を頂戴し誠に光栄に存じます。選考委員の先生方、推薦して下さった先生方、伝熱学会員の皆様に心より感謝いたします。受賞の対象は、マテリアルズ・インフォマティクスなどを活用したフォノンエンジニアリング（ナノ構造や界面構造による熱伝導の制御）ということですが、これは私個人が受賞したというよりは、この研究を一緒に開拓して進めてきて下さった研究室のメンバー（過去&現在）や共同研究者の皆様と共同で受賞したものだと思っています。

本研究の重要な要素は「フォノンエンジニアリング」と「マテリアルズ・インフォマティクス」ですが、前者に取り組みはじめたのは 2004 年頃に遡ります。固体内のフォノンの熱輸送が平均自由行程や位相緩和長よりも小さいスケールにおいてフォノンが準弾道的あるいは波動的に振る舞うことを利用して熱伝導を大きく制御する、というのがフォノンエンジニアリングのコンセプトです。2004 年頃に丸山茂夫先生の研究室でポストドク/助教として、準弾道熱伝導をフォノン粒子の運動論に関連付けて解析したのが切っ掛けです。それより前に、非フーリエ熱伝導に関して、荒木信幸先生が熱伝搬の実験やモデリングを、松本充弘先生が分子動力学シミュレーションをされており、先輩方の先進的な研究に大いにインスパイアされました。

当初はカーボンナノチューブを主な対象としていたのですが、2010 年に MIT の Gang Chen 先生の研究室をサバティカル訪問して熱電材料に取り組んだことで、対象が様々な化合物結晶に広がり、Chen 研の Keivan Esfarjani 先生（現・バージニア大学教授）に第一原理計算、格子動力学計算、グリーン関数計算を教えて頂いたことで、手法や対象に捉われない研究ができるようになりました。

また、同時期に UIUC の David Cahill 先生と知り合い、ナノスケール熱伝導測定手法についてご指南頂いたことも、その後の研究に大きく影響しました。

以上の方々のおかげで、2010 年から研究室を主宰するようになった際に、計算科学、材料合成、物性測定を三位一体に連成したフォノンエンジニアリングを実践することができました。もちろん、これは当時の研究室メンバーによる成果です（現・産総研の志賀拓磨先生、現・農工大の堀琢磨先生、現・九工大の三浦飛鳥先生ら多くの方々）。

その後、2015 年に NIMS の徐一斌先生からお誘い頂き、JST の情報統合型物質・材料開発イニシアティブ (MI<sup>2</sup>I) というプロジェクトに参画したのがマテリアルズ・インフォマティクスの研究を始めた切っ掛けです。ここで、東大の津田宏治先生や統数研の吉田亮先生ら情報科学者に出会い、熱科学と機械学習を融合した共同研究を先駆けて行えたことが大きかったと思います。ここでのキーパーソンは当時ポストドクだった Shenghong Ju 先生（現・上海交通大学准教授）です。フォノン計算とベイズ最適化を組み合わせた研究を始めたときは、「津田先生の言っていることが良く分からないけど、まあ、やってみようか？」という感じだったのですが、そのような濃い霧の中でも猪突猛進する Ju 先生に救われました。最初の論文の査読ではレフリーに「あまり意味がない」と手厳しいコメントをもらいましたが、今では世界の多くの方々が普通に行う手法になっているのは面白いです。その後、設計手法の発展、実験での実証、他の現象への展開、産学連携、起業など、研究が大きく育っており、そこでも多くの皆様のご協力を頂いています。

というような経緯で頂いた賞ですので、関わって下さった皆様全員に心より御礼申し上げます。

AUTSE Young Scientist Award を受賞して  
*AUTSE Young Scientist Award*



喜多 由拓 (キングス・カレッジ・ロンドン)  
*Yutaku KITA (King's College London)*  
e-mail: [yutaku.kita@kcl.ac.uk](mailto:yutaku.kita@kcl.ac.uk)

Asian Union of Thermal Science and Engineering (AUTSE) より荣誉ある Young Scientist Award を賜りました。ご推薦、ご選考下さいました日本国内および AUTSE の選考委員会の先生方、これまで学会を通してお世話になりました皆様にこの場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

本賞は AUTSE 構成国で博士号を取得した受賞時 35 歳未満の者を対象に、現在の研究成果と博士論文を評価し、表彰されるものです。2017 年の受賞者を第 1 期とすると私は第 4 期の受賞者となりますが、世界的にも伝熱研究が特に活発なアジア地域の諸先輩方と名を連ねられることは大変光栄な事であります。また、それ以上に身の引き締まる思いを強く感じます。

2023 年 8 月 17 日に南アフリカのケープタウンで開催された第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) の晩餐会で授賞式が執り行われました。AUTSE の Xing Zhang 会長から本賞の趣旨ならびに私の経歴をご紹介いただいた後、表彰盾を賜りました (図 1)。また、翌日には受賞記念講演として、最近進めているスプレー冷却の研究を中心に紹介させていただきました (図 2)。南アフリカのエネルギッシュな音楽とワインを存分に (私は 2 杯に抑えました) 堪能した翌日の早朝にも関わらず、多くの方にご出席いただき、大変活発な議論を展開させていただきました。歴史と権威ある本会議の Plenary Lecture は私には身に余る光栄であり、大役でございましたが大変良い経験になりました。アレンジして下さった Josua Meyer 議長をはじめ IHTC-17 の運営委員会の皆様に感謝申し上げます。

この荣誉はひとえに関係の先生・先輩方のご指導ならびに共に研究を行った学生・卒業生の方々の努力のおかげでございます。特に、博士論文をご指導下さった九州大学高田保之名誉教授に厚く感謝申し上げます。また、博士論文調査委員会の九州大学高橋厚史教授、河野正道教授およびエデ

インバラ大学 Khellil Sefiane 教授に感謝いたします。2018 年に北京で開催された前回の IHTC-16 の最中に会場の一部屋で論文予備審査会が行われたのは良い思い出です。

今年の伝熱シンポジウム@福岡でお会いした先生方にはご報告しましたが、2023 年の 1 月より英国の King's College London に着任し、現在は研究室の立ち上げを行っております。このタイミングで本賞を戴いたことは、より強い奨励の意味を感じさせられます。新天地でまだ慣れない事もありますが、賞の名に恥じぬよう、そして伝熱研究において日英 (そして世界) の架け橋となれるよう一層の精進を重ねて参りますので、皆様には引き続きご指導、ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。



図 1 AUTSE の Zhang 会長と筆者@授賞式

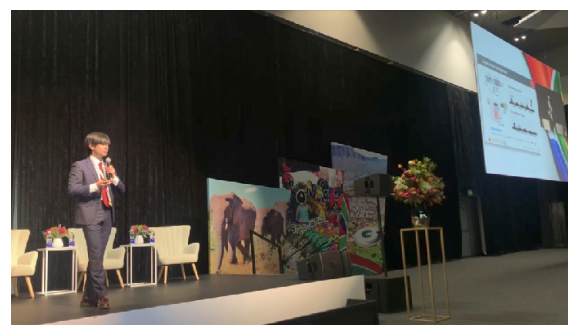


図 2 筆者による Plenary Lecture

## Boiling and Evaporation

森 昌司 (九州大学)

*Shoji MORI (Kyushu University)*

*e-mail: morisho@mech.kyushu-u.ac.jp*

### 1. はじめに

依頼を受けたカテゴリーは Boiling であるが、“相界面現象”に関わる研究発表について、まず調べてみると、キーノート講演 26 件の内、12 件、ポスターセッション 27 セッションうち 11 セッションもあり、相界面現象が世界的にも興味を持たれていることがわかる。その中でも Boiling と Evaporation に関する発表件数は、それぞれ 42 件 (71%) と 17 件 (29%) あり、Boiling:42 件の内、Pool boiling: 19 件、Flow boiling: 23 件とおよそ半々であった。なお、IHTC16 に比べると発表件数は半減しているようである。

Boiling に関する国別の発表件数は、Japan(8), China(6), United Kingdom(4), Germany(4), South Africa(4), Russia(4), South Korea(2), Italy(2), India(2), Brazil(1), Iraq(1), Canada(1), Denmark(1), United States(1), Belgium(1)

Evaporation に関する国別の発表件数は、China(4), United Kingdom(3), Japan(2), Australia(1), France(1), Germany(1), Israel(1), Russia(1), South Africa(1), South Korea(1), Thailand(1)

以上、日本は Boiling の研究発表が多かったのが特徴である。本節では Flow boiling は、Two-phase flow のレビューに譲ることにして、Pool boiling, Evaporation に関するレビューを行いたい。

### 2. キーノート講演

Pool boiling と Evaporation に関する 4 件のキーノートについて紹介する。

Role of bubble pumping on heat transfer enhancement of boiling-driven heat spreader (Prof. Jungho Lee, Ajou University, Gyeonggi-do, Korea)

一般のヒートスプレッダは蒸発を用いたものが多いが、本研究では流路構造を工夫した沸騰駆動型ヒートスプレッダを新しく提案していた。流路厚さは 0.8mm と非常に狭いものの、沸騰であっても 200W/cm<sup>2</sup> の高熱流束の除熱に成功していた。

一般に沸騰の場合、発生した気泡の排除と液体供給が狭い空間では課題であるが、その課題を流路構造により気泡が抜けやすく、液体が供給されやすい構造に工夫されていた。

The unsolved role of surfaces on droplet and spray impact dynamics and heat transfer (Prof. Gary Rosengarten, RMIT University, Melbourne, Australia)

単一液滴衝突から複数の液滴、噴霧衝突に至るまで、液滴ダイナミクスにおける伝熱表面の役割に焦点を当てて講演が行われた。結果として、どのように何を制御すれば最も冷却性能が高くなるのか理論的にあまりわかっていないということは意外だった。冷却性能と表面性状を含んだ液滴制御法の確立は、意義あるのではと感じた。

Development of loop heat pipe based on visualisation and modelling in a microscale porous structure (Prof. Hosei Nagano, Nagoya University, Nagoya, Japan)

ループヒートパイプ (LHP) の多孔質体近傍の熱流動現象の詳細観察から理論モデルを構築して LHP の性能向上に関する興味深い研究が紹介された。特に、これらの知見を基に、高熱流束型 LHP、超薄型 LHP、大容量 LHP などスケールアップさせたものを多く開発していることには驚いた。

Novel enhancement protocols for vapour to liquid phase change heat transfer on super-wetting structures (Prof. Xuehu Ma, Dalian University of Technology, Dalian, China)

凝縮と沸騰・蒸発のために、マクロ/マイクロ/ナノの超親水/超疎水性の階層ナノワイヤーを用いた新しい熱伝達促進技術とその基礎となるメカニズムに焦点を当てて講演が行われた。講演は非常にインパクトがあり、興味深い内容であった。Proceeding の Conclusion で、今後の展開について非常に示唆に富んだ内容が記載されており、相界面現象に興味のある方に一読をお勧めしたい。

### 3. ポスターセッション

Pool boiling の 19 件の講演の内、多くが実験的検討であり、3 件のみが数値計算に関するものであった。以下に概説する。伝熱面表面構造をマイクロ・ナノ構造やフィン構造、さらにはぬれ性なども変化させて沸騰伝熱を促進させる研究は、割合多かったが、その向上メカニズムにまで踏み込んだ研究はあまりなかった。(21, 60, 733, 328, 617, 447)。MEB に関する研究 (528) では沸騰音に着目し、液のサブクール度と表面の濡れ性を変化させ検討を行ったが優位な差は得られず、微小なスケールの沸騰気泡解析が今後必要と述べられていた。一次元孔を持つロータス金属を用いた高熱流束除去の研究では、最大  $534 \text{ W/cm}^2$  (過熱度 110 K) の除熱に成功し、フラッディング現象を考慮することで限界熱流束を良く予測できていたのは興味深かった。Novoc7100 を用いて減圧し飽和温度を  $-15^\circ\text{C}$  から  $20^\circ\text{C}$  の範囲で実験を行い (639)、従来式から得られる熱伝達率や限界熱流束よりも実験結果が高く、その理由は圧力レベルが低いので、水位ヘッドにより飽和実験のつもりがサブクール状態になっていることに起因している可能性について述べられていた。Novoc7100 は濡れ性が高いため沸騰開始が遅れ、過熱気味になるが、ハニカム多孔質体と発泡細線を組み合わせ、その問題を克服していた (87)。その他、プール沸騰熱伝達に与える壁材質の影響に関する研究 (433)、狭い半径方向ギャップを持つ二重円形表面上の沸騰熱伝達を測定した研究 (318)、伝熱面に粒子を配置して熱伝達向上を狙う研究 (716)、無重力でヒータから気泡に伝わる局所的な熱伝達率に着目した研究 (68)、などがあった。

Evaporation に関する発表では、17 件の発表のうち 3 件が数値計算であった。

周期的立方柱状ナノ構造 Si 表面の液滴蒸発ダイナミクスを実験的に検討し、ナノ構造表面は、蒸発する液滴の寿命を効果的に減少させ CCR モードと CCA モードの間の蒸発モードである遷移モードがあることが示された (634)。その他の類似の研究の表面構造はマイクロ構造で、ナノ構造に着目した研究は本研究のみであり、興味深く拝見した。マイクロピラー間隔を変化させた表面上での混合液滴とその純液の蒸発について検討した研究 (619) やマイクロピラーを有する超撥水表面

における液滴蒸発を調べた研究もあった(711)。これらは、基礎的な研究であるが、構造化された表面上に滞留・蒸発するさまざまな流体においてピン止め効果を理解するために役立つだろう。ナノ流体液滴蒸発については実験的に検討し、蒸発中の堆積プロセス、蒸発速度などが、その表面粗さに大きく影響されることを明らかにしていた (1115)。対流が蒸発に及ぼす影響が小さく、ゆっくりと蒸発する液滴に対して基板と液体中の過渡的な熱伝達、周囲の空気中への過渡的な蒸気拡散を組み込んだ理論モデルを提案し、実験結果と良く合うことを示していた (536)。平衡液滴クラスターの形成に対する水に溶解した塩の影響を実験的に検討し、わずかな塩濃度でも液滴の凝縮成長とその平衡サイズに大きな影響を与えることを初めて示していた (120)。蒸発するコロイド液滴中の粒子析出に対する局所加熱の効果を数値的に調べた結果、粒子析出は液滴内部の液体運動によって制御されることがわかった (253)。プール温度、液滴温度、環境因子が、ライデンフロスト点以下とライデンフロスト点を超える液体ガリウムの加熱プール上の液滴のダイナミクスと挙動に及ぼす影響を調べ、表面の酸化膜が大きな影響を与えることがわかった (731)。その他、流動フラッシュ蒸発の数値計算モデルの構築に関する研究 (134)、自然対流条件における無次元液滴のシャーウッド数 (Sh) とレイリー数 (Ra) の基本的な相関関係の導出 (380)、ジメチルカーボネートの連続液滴の蒸発時の残渣量に関する研究 (15) などがあった。

### 4. おわりに

Evaporation に関する研究は理論的な検討が割合多く興味深かった。一方で Boiling に関する研究は理論的な検討まで行っていないというのが率直な感想である。現象の複雑さからすれば、当然の結果と言えるかもしれないが、それ故 Boiling の研究も、高性能化のため理論的な検討は重要であると再認識した。

最後に今回の国際伝熱会議では、発表件数が前回の約半分になっていたこと、さらにアメリカからの発表がほとんど無く、世界の最新研究動向が掴めると期待していた著者にとって少々残念であった。次回、ブラジルで開催される国際伝熱会議に期待したい。

## Cooling and Thermal Management

福江 高志 (金沢工業大学)

Takashi FUKUE (Kanazawa Institute of Technology)

e-mail: fukue@neptune.kanazawa-it.ac.jp

### 1. はじめに

Cooling and Thermal Managementに関連した2つのセッションが IHTC-17 では準備された。そのうち、Thermal management (TMG) は 8/14 (Mon.) 午後、Electronics Equipment Cooling (EEC) / Thermoelectric Devices (TEL) / NEMS/MEMS (NMS) (図 1) は 8/17 (Thu.) の午後にそれぞれ開催された。発表された講演は表 1 の通りで、2 セッションで 24 件 (No show 除く) であった。参加者が各々に、興味を持ったポスターの前で、セッションの終了時間が過ぎても議論を重ねる光景が両方のセッションで見られた。引き続き当該分野への研究者の高い興味関心があると伺えた。

表 1 には両セッションで発表した講演者の所属国を示す。最も多かったのは日本で 6 件、次いでインドが 3 件、韓国、中国、南アフリカ、ベルギーが 2 件ずつであった。昨今の電子機器業界を支えるアジア圏からの発表件数が多い傾向がみられた一方、EV の導入を進める欧州圏からも発表が散見された。

海外から発表された実際のトピックについて俯瞰してみる。表 2 には TMG の、表 3 には EEC/TEL/

NMS の発表のキーワードをそれぞれ示した。TMG においては、データセンタ (ID: 65) や計算機の冷却 (ID: 322) を対象としたものもさることながら、EV 向けのモータの熱設計および温度場評価手法の構築 (ID: 474, 551, 共に欧州から)、接触熱抵抗の物理モデルの検討 (ID: 414)、地域の住居に関する熱的快適性の分析 (ID: 394) など、社会における技術ニーズや、生活の質を高める衣食住に着眼した広い視点での熱設計や熱マネジメントに関する研究が報告された。特に興味深かったのは、化学的機械研磨のための温度上昇に関する研究 (ID: 642) であり、パッドや研磨対象のウェハの加工時温度を、研磨剤の流量をパラメータとして実験を行い、加工後のパッドの状態や除去速度との関係、パッドとウェハの接触モデルの構築などを通じ詳細に検討している。衣食住や加工プロセスの伝熱設計は、冷却や冷凍空調、エネルギー輸送・変換などとはまた異なり、次世代の付加価値を見いだすための高度なものづくりや価値創造に向けた新たな伝熱研究のシーズが顕在化したと考える。熱マネジメント研究の対象範囲の広さを感じた。EEC/TEL/NMS は、システム視点の熱設計手法に関する研究は TMG に集約され、また TEL は、様々なセッションに発表が振り分けられたようで、主に冷却デバイス設計や冷却能力の評価、最適化など、冷却そのものに着眼した研究で主に構成された。



図 1 会場の様子 (EEC)

表 1 両セッションの発表者の所属国と件数

Japan	6
India	3
China	2
South Korea	2
South Africa	2
Belgium	2
Other (Germany, Portugal, Israel, UK, Brazil, Spain, Australia)	7
Total	24



NMS もセッションテーマに含まれていたからか、小型化・高集積化した半導体からの除熱に向けたミニチャンネルやマイクロ冷却デバイスの性能向上や最適化に関する研究報告が多くみられた。また、取り扱われている内容の中には、ピンフィン形状の最適化や PCM の冷却応用など、従来から電子機器冷却の分野においては盛んに取り扱われていた要素を、昨今の熱問題の深刻化に伴い更にアレンジし深化させた研究発表もみられた。

興味深い発表として、トポロジー最適化を用いて冷却ユニット内部の伝熱促進体の配置や構造を自由に最適化し、その効果を評価したもの (ID: 587) があった。金属 3D プリンタによるアディティブ・マニファクチャリングが現実になった昨今において、より自由な発想に基づき冷却デバイスを創成するひとつの手法として興味深かった。設計された伝熱促進体配列の有効性は CFD の結果で評価されていた。これがアディティブ・マニファクチャリングも含めた一連の設計・製作プロセスまで踏み込み議論されることを今後は期待したい。また、同等の冷却デバイス内において衝突噴流、スプレー冷却、マイクロチャンネル水冷の冷却優位性を実験で評価した論文 (ID: 361) は、包絡体積が限定されていく今後の冷却デバイスの実寸法に即した設計において、必要とされる熱流束に対する冷媒の流れ設計を同一のテーブルで評価できる興味深いものであった。

今回の IHTC でも CFD で解析的検証やパラメタスタディを行った発表が多かった。商用 CFD コードの機能拡充や計算機の性能向上により、自在な

表 2 TMG 発表キーワード

ID	Country	Keywords
65	India	Data Center, Two-phase immersion cooling, Temperature prediction
116	Japan	Molten slag, Thermophysical properties, Estimation by Neural network
322	India	Computer cooling, PCM, Transient temperature response
394	South Africa	Housing design, thermal comfort, Modeling
414	Germany	Model-based prediction, Contact resistance, Experiment
474	Belgium	EV cooling, Rotor, Modeling
551	Portugal	Electric motor, Calibrated thermal model, Experiment
642	South Korea	Chemical mechanical polishing, Amorphous silicon dioxide
974	South Africa	Duct flow, Heat exchange performance, Entropy generation

3D モデルを作成し計算モデルに落とし込めるようになり、計算対象の形状や構造の自由度が高くなった結果であると考えられる。さらに集中定数系 (1D-CAE, 熱回路網法や流体抵抗網法) を用いて研究を進めた例が多くあったのは印象的であった。その一方で、境界条件の設定や適切な物理モデルの選択など、前提条件となる基本的な説明が行われていない発表が多いことは気がかりであった。この点は村田 [1] も IHTC-15 の報告で触れており、同じ思いである。しかし、前回の 2018 年と比較して、ツールを使って出来ることがさらに増え、それをうまく使うことによって世界の伝熱研究が高速化していることも感じた。研究や検証の本質を見失わない中で、どう世界の高速研究に対応していくかは課題になると感じた。

EV 戦略や AI・IoT に向け熱設計技術の更なる研究推進が強く期待される現状を確認することが出来た。世界に「次世代の冷却研究のあり方」を発信できる熱流体設計研究に向き合っていきたい。

参考文献

[1] 村田章, Heat Transfer Enhancement (IHTC-15 報告), 伝熱, 53-225 (2014), 63-64.

表 3 EEC/TEL/NMS 発表キーワード

ID	Country	Keywords
131	South Korea	3-D manifold microchannel, Forced convection, Micro fins
235	China	Compact thermal model, Laptop computer, thermal design
307	Israel	Heat sink with PCM, Radial fin array
317	UK	Liquid metal cooling, CFD analysis
337	India	PCM, Minichannel, CFD analysis
347	Japan	Flow and thermal resistance network, Cooling jacket, Optimization
361	Brazil	Microchannel evaporator, Jet impingement, Spray cooling
386	Japan	Pulsating flow, Forced convection, CFD analysis
452	Australia	Microchannel heat sink, Pin fin optimization, CFD analysis
587	Belgium	Microelectronics cooling, Pin fin structure, Topology optimization,
715	Japan	Boiling immersion cooling, Lotus-type porous copper, Breathing phenomenon
716	Japan	Saturated pool boiling, Free particle bed, Critical heat flux
891	Japan	Thermocell, Forced convection, inter-electrode channel geometry
1051	China	Heat sink, Micro pin fin structure
1103	Spain	Electric motor insulation, Heavy-duty electric vehicles

## Convection

中村 元 (防衛大学校)

Hajime NAKAMURA (National Defense Academy)

e-mail: nhajime@nda.ac.jp

### 1. はじめに

今回の国際伝熱会議 (IHTC17) では、ポスターセッションの区分けが従来とは異なり、複数の分野が混在したセッションが多かった (表 2 参照)。そのため、確認漏れも多いと思うが、Convection に分類される発表は、表 1 に示すキーノート講演 4 件、表 2 に示すポスター発表 71 件であった。前回の IHTC16 では Convection のポスター発表が 104 件[1]であったが、今回はトータルの発表件数が減少したこともあり、Convection 関連の発表比率は前回とほぼ同程度であったと思う。

ポスター発表の 71 件を国別にみると、中国とロシア各 9 件、インド 8 件、日本、ドイツ、南アフリカ各 6 件、米国とベルギー各 4 件、英国、カナダ、フランス、ブラジル各 3 件、韓国 2 件、イタリア、スペイン、オーストラリア、イスラエル、タイ各 1 件であった。基礎研究と応用研究の比率は半々程度であり、「最適化」をキーワードとした発表が比較的多く見られた。

ポスター発表は計 2 時間であり、前半に各 2 分の口頭発表が行われ、その後、各ポスターでのディスカッションが行われた。図 1 にポスター発表の様子を示す。多くの人が集まるポスターや、1 対 1 でじっくりと話をしているポスターなどさまざまであったが、全体的に時間内は熱心にディスカッションが行われているように見受けられた。

表 1 Convection に分類される発表 (Keynote)

Session	Presenter	Title
Keynote 04	Josua P Meyer, South Africa	Fundamental Errors in Historical Studies on Laminar Internal Convection in Circular Tubes with a Uniform Heat Flux: New Perspectives
Keynote 13	Benjamin Dietrich, Germany	Hydrodynamics And Heat Transport in Highly Porous Open-Celled Structures
Keynote 14	Shuisheng He, UK	New Insight into Heat Transfer Deterioration
Keynote 15	W. Rohlf, Netherlands	Exploring Heat Transfer Mechanisms in Laminar Flows: From Jet Impingement to Micro-scale Phenomena

表 2 Convection に分類される論文 ID (Poster)

Session	Keywords	Convection に分類される論文 ID
Poster 1	Heat Transfer Enhancement	34, 42, 67, 69, 114, 129, 195, 265, 288, 343, 353
Poster 2	Numerical Simulation, Computational Methods	372, 391, 451, 476, 605, 146, 174, 332
Poster 4	Heat Transfer Enhancement	367, 498, 511, 596, 628, 693, 917, 1127, 997
Poster 6	Numerical Simulation, Computational Methods	700, 792, 981, 993
Poster 7	Convection, Mixed Convection	27, 39, 71, 84, 85, 181, 327, 390, 622, 626, 858, 859, 900, 958, 971, 1055, 170, 277, 744, 419
Poster 10	Conduction, Natural Convection, Radiation, Forced Convection	18, 90, 122, 40, 333, 336, 479, 548
Poster 11	Two-phase Flows, Condensation	200
Poster 14	Conduction, Natural Convection, Radiation, Forced Convection	316, 411, 553, 975, 198, 601, 667, 912, 943, 1131



図 1 ポスターセッション (Poster 1) の様子

### 2. 興味を持った発表

表 1, 2 に挙げた Convection 関連の発表の中で、興味を持った発表をいくつか紹介する。すべての発表を確認したわけではなく、あくまでも筆者が目にした中で個人的に興味を持ったもののみ取り

上げたので、その点ご容赦いただきたい。

1 つは、英国シェフィールド大学 Prof. He のキーノート講演“New Insight into Heat Transfer Deterioration” (Keynote 14) である。浮力を伴う流れや、超臨界圧での流動のように流体の熱物性値が大きく変化する流れでは、しばしば予想に反して熱伝達が低下することが知られている。この現象を、流れの加速に伴う層流化に着目して統一的に説明しようとする研究である。熱物性の変化や加熱に伴う流れの加速を疑似体積力により表現し、それをを用いて定義した見かけのレイノルズ数 (Apparent Reynolds number, ARN) を導入することで、乱れの低下に伴う熱伝達の低下を説明できるとしている。同グループのポスター発表 (ID: 744, Zou, J. He, Marensi, S. He, “New Understanding of Heat Transfer Deterioration Due to Buoyancy”) では、管内上向き流れの共存対流に ARN の考えを導入することで、流れの加速に伴う熱伝達の低下を適切に予測できることを DNS との比較により検証している。なお、ARN の算出には疑似体積力が必要になるが、この論文では疑似体積力の評価に DNS を使用している。疑似体積力を簡易に予測する方法が確立されれば、これまで予測困難であった熱伝達低下現象を予測する有用な手段になるのではと感じられた。

次に、伝熱促進のポスターセッションで多くの人が集まっていたカールスルーエ工科大学 (KIT) の 2 件の発表を紹介する。1 件目 (ID: 511, Mueller, Kametani, Hasegawa, Stroh, “Adjoint Sensitivity Analysis for Heat Transfer Enhancement in Structured Channels”) は、レイノルズアナロジー係数 ( $RA = 2St/C_f$ ,  $St$  はスタントン数,  $C_f$  は壁面摩擦係数) を向上させるための感度解析を、固体壁との熱連成を含めて行ったものである。層流平行平板の上下壁に矩形突起を周期的に付与した流れ場を対象としており、アドジョイント法による感度解析で得られた結果を物理的に解釈し、感度解析の基礎的なメカニズムを理解することに焦点を当てたものである。解析の結果、温度勾配が高い領域で感度が増加することを示すと共に、 $RA$  を向上するには熱流束が高い領域で表面積を増やす必要があること、流れの剥離が起こらない形状にする必要があることを示している。

2 件目 (ID: 628, Kaithakkal, Koide, Schniewind,

Friederich, Stroh, “Heat Transfer Enhancement in Laminar Channel Flow by Machine Learning Guided Shape Optimization of Wall Geometry”) は、数値シミュレーションに機械学習および進化的アルゴリズムを組み合わせて熱伝達を向上させる研究である。目的関数として  $C_f$  の最小化,  $St$  の最大化, および  $RA$  の最大化を設定し、2 次元流路の層流においてそれぞれの目的関数を最適化する形状を生成している。その結果、 $C_f$  が最小になるのはフラットなチャンネル形状であり、 $St$  が最大になるのは大きな蛇行により流れが剥離して渦放出が起こる形状、 $RA$  が最大になるのは層流を維持しながら緩やかに蛇行する形状となることが示されている。

伝熱促進の発表では、サンパウロ大学の研究 (ID: 498, Rogenski, Souza, “Influence of Curvature Variations in the Heat Transfer of an Unsteady Goertler Flow”) にも興味を持った。凹面に沿って流体が流れる時、遠心力不安定性により流れ方向に軸を持ったゲルトラー渦が形成されるが、層流において非定常なゲルトラー渦を数値的に生成した時の伝熱促進を調査したものである。ゲルトラー渦の存在によって熱伝達が上昇するが、熱伝達が最大となる変動の周波数が存在すること、また、プラントル数が高いほど伝熱促進の効果が大きく、 $Pr \approx 7$  では層流であっても乱流に近い熱伝達となることが示されている。

KIT のグループからは、粗面のモデル化についての発表もあった (ID: 479, J. Yang, Velandia, Bansmer, Stroh, Forooghi, “DNS-Based Thermohydraulic Assessment of Artificial Roughness Surrogates”)。粗さの幾何パラメータにより温度粗さ関数をモデル化するのは容易ではないが、本研究では、粗さ高さ確率密度関数 (PDF) とパワースペクトル (PS) を用いて粗面のモデル化が試みられている。現実的な粗面 (航空エンジンの着氷, サンドペーパー, 燃焼室堆積物粗さ) を PDF と PS によりモデル化した直接数値解析が行われ、このモデル化が有望であることが示されている。ただし、表面異方性が強い粗面には適用できないことも同時に示されている。

粗面のモデル化については、大阪公立大学のグループの発表も行われた (ID: 40, Kuwata, Yagasaki, Suga, “Scaling of Turbulent Heat Transfer Over Sinusoidal Rough Surfaces”)。粗面上の熱伝達のス

ケーリングを議論するために、三次元正弦波粗面上の乱流熱伝達の直接数値解析が行われた。粗さの波長は速度と温度の粗さ関数に大きく影響することを示した上で、温度粗さ関数を増加させる主要なメカニズムは表面の起伏の傾斜と直接関係する壁面熱伝達であることが示されている。また、表面の起伏の傾斜を組み込んだ予測式が提案され、有効傾斜が温度粗さ関数の予測の改善に有望であることが示されている。なお、本発表は、ポスターセッション 10 においてベストポスター賞を受賞した。

最後に、筆者らの発表についても紹介したい (ID: 333, Nakamura, Sugawara, Yamada, Funami, “Consideration of Factors That Cause Heat Transfer Enhancement by Swirling the In-Pipe Flow in the Transition Regime”). 旋回流を利用した伝熱促進が行われることが多いが、そもそも旋回により伝熱促進されるのは何故かを明らかにするための研究

である。円管内の旋回流について熱伝達と圧力損失の関係を調べたところ、特に遷移域近傍において、熱伝達が圧力損失に対して大きく向上することが示された。これは、運動量輸送と熱輸送の非相似性によるものであり、層流 (バルクレイノルズ数 1000~2000 程度) においては、旋回による不安定性により流れが乱流化し、これが非相似性の要因になっていることが示された。一方、乱流 (レイノルズ数 5000 程度) では、遠心力不安定性により壁面近傍の流速が上昇することが非相似性の要因であると考えられるが、現時点では明確ではなく、今後は乱流渦構造の変化や乱流せん断応力と乱流熱流束の関係も含めて、実験を通して明らかにしていきたい。

#### 参考文献

- [1] 保浦知也, 中村元, 第 16 回国際伝熱会議: レビュー Convection, 伝熱, **57-241** (2018) 23.

## Two-phase Flow

永井 二郎 (福井大学)  
*Niro NAGAI (University of Fukui)*  
*e-mail: nagai@u-fukui.ac.jp*

### 1. はじめに

2023 年 8 月 13 日 (日) ~ 18 日 (金) にかけて、ケープタウン国際会議場 (南アフリカ) にて開催された第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) に参加し、ポスター発表を行った。編集出版部会より、two-phase flow セッションのレビュー記事執筆の依頼を事前に受けていたため、可能な限り関連セッションに参加した。全てを網羅することは出来なかったが、筆者の視点から整理・報告する。

### 2. Two-phase Flow 関連セッション

本会議の一般発表は、ポスター発表 (ただし、2 分間のショートプレゼン付き) で行われた。セッション名は、京都での本会議 (IHTC-15) から採用された 3 レター表記方式が用いられており、二相流に関するセッションは、下記の 6 種類と思われる。

TBF: Two-Phase, Bubble Flow & Water Film  
 TPA: Two-Phase, Application  
 TPB: Two-Phase, Boiling/Condensation  
 TPM: Two-Phase/Multiphase Flow  
 TPN: Two-Phase, Numerical Simulation  
 TPS: Two-Phase, Spray/Droplet

二相流に強い関連性を有するセッションとして、下記 5 つがある。

CDS: Condensation  
 EVP: Evaporation, Droplet/Spray/Liquid Film  
 FBL: Flow Boiling  
 IPJ: Impinging Jet  
 PBL: Pool Boiling

実際に、筆者が参加した日時・セッションは下記 4 つであった。

Poster 11: 8/15 (火) 午後  
 TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS

Poster 13: 8/16 (水) 午前  
 TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS  
 Poster 17: 8/17 (木) 午前  
 FBL/TPB/EVP/PBL  
 Poster 19: 8/17 (木) 午後  
 TBF/TPA/TPS/TPM/TPN/CDS

上記以外に 2 つのセッションが二相流に関連していたが、同時時間帯開催であったため、参加できなかった。以降、上記 4 つのセッションについて整理するとともに、二相流に関する研究動向を報告する。

### 3. 関連 4 セッションのレビュー

上記 4 セッションの発表者の国別数を表 1 にまとめた。予想通り、中国からの発表数 (研究アクティビティー) が本分野においても最も多く、次いで日本が 2 番目であったことは、誇るべきことと感じた。昨今の国際情勢をふまえると、ロシアが 3 番目だったことは、筆者にとっては少々意外であったが、開催国が南アフリカであることも関係しているかもしれない。アメリカからの発表数が相対的に少ないことも意外に感じた。

表 1 二相流関連 国別発表者数  
 (( ) 内の数は、no show の件数)

中国	13 (8)	フランス	2
日本	11	サウジアラビア	2
ロシア	7	ノルウェー	1
イギリス	5	ベルギー	1
ドイツ	5	アラブ首長国連邦	1
イタリア	5	南アフリカ	1
韓国	4	オランダ	1
アメリカ	3 (1)	イラク	1
インド	3	オーストラリア	1
ブラジル	3	イスラエル	1

なお、中国の no show 件数が非常に多い点については、おそらく別の方が本会議報告記事に記載しているので、詳細は割愛するが、事前に申請していたにもかかわらず学生の発表者が VISA を取得できなかったためであり、本人の責任ではない部分が多いことを中国の名誉のため付記する。

発表内容や研究動向について、極めて個人的な感想を記す。沸騰・凝縮現象を含む気液二相流だけでなく、固液二相流や固気二相流の発表も含まれていた。近年あたり前のように活用されている深層学習を利用した研究や、ナノ・マイクロスケールの表面構造を施した相変化研究、数値計算・解析による詳細情報を提示する研究など、伝熱シンポと同じような傾向が世界的にも見られた。ただ、この分野の歴史の長さから考えて致し方ない面もあるのかもしれないが、二相流現象の根本に関わる発表は相対的に少なく、どちらかといえばケーススタディや応用例の研究が多いように感じた。筆者は過去4回国際伝熱会議に参加・発表したが、世界から専門家が4年に1度集まり議論する場という意味で、緊張感を持って発表・議論をした記憶がある。今回の国際伝熱会議では、各セッションに含まれる発表内容が幅広く分散している傾向が見られ、「このセッションでは、\*\*について集中的に議論してもらおう」という実行委員会の意図は感じられなかったのが残念である。

#### 4. 終わりに

図1は、8/16(水)ポスター13セッションでの会場の様子である。ポスター発表の前に、各発表者は2分間のショートプレゼンを行い、その後、部屋の両サイドに並べられたポスターにて質疑応

答を行った。どのセッションにおいても全般的に、盛況とは言い難い状況であったが、逆に、ショートプレゼンを聞いて関心を持ってくれた来訪者とは長時間議論や情報交換をすることができた。ただ、ポスター周辺のスペースが狭い場所もあり、実行委員会にはもう少し、ポスター発表時の人の流れや配置について配慮をしてほしいと感じた。

また、本会議の論文集 (proceedings) は、学会当日に現地でもダウンロード情報が提供されたのみ(しかも、全部で5千ページを超える1つのpdfファイルのみで、セッションと論文の対応付けが非常に困難)であり、事前に発表内容をチェックすることが出来なかった。学会での議論を実質的かつ活発なものとするためには、日本国内の学会(伝熱シンポを含む)でよく行われるように、事前に講演論文を見ることが有効と思う。もちろん、全ての論文を事前に読むことはできないが、タイトルから見て関心が高い論文を事前にチェックできるようにすることは、国際伝熱会議の存立意義にも関わると考える。



図1 ポスター発表会場の様子

*Air Conditioning and Refrigeration*

宮良 明男 (佐賀大学)  
Akio MIYARA (Saga University)  
e-mail: miyara@me.saga-u.ac.jp

## 1. はじめに

Air Conditioning and Refrigeration (ACR) のポスターセッション (一般講演) は、国際伝熱会議の最終日である 8 月 18 日 10 時 20 分～12 時 20 分に開催された。セッションは、Adsorption & Desorption (ADS) および Mass Transfer & Drying (MTR), Film (FLM) との合同で、合計 11 件の発表がプログラムされた。この発表件数だけから判断すると、本会議において空調・冷凍に関する研究発表は少ないように見えるが、実際には地球温暖化影響の小さい新規冷媒の伝熱に関する研究発表、また暖房に関わるヒートポンプを空調の分野に加えれば多くの研究発表が行われていると考えられる。なお、ここでは ACR セッションに限定して報告する。また、空調・冷凍に関連する 3 件のキーノート講演についても報告する。

## 2. キーノート講演

空調・冷凍に係るキーノート講演として、次世代冷媒の管内流動沸騰および凝縮流に関する講演、可燃性冷媒の充填量削減技術に関する講演、磁気冷凍技術に関する講演が行われた。

Ribatski[1]は、管内の流動沸騰および凝縮流における液膜流が熱伝達に及ぼす影響について、液膜厚さの測定結果から、液膜表面に発生する波の速度や周波数など特性を詳細に検討し、熱伝達特性に及ぼす影響や液膜のドライアウト、リウエット現象を詳細に考察した。これらの結果は熱交換器の設計や高性能化につながる有用な結果であるが、実験に使用した試験流体は、自然冷媒と呼ばれる次世代候補冷媒の一つである炭化水素系の冷媒である。具体的には、日本国内の冷蔵庫で使用されている R600a (イソブタン) の他、R290 (プロパン)、R1270 (プロピレン)、またそれらの混合冷媒 R600a/R290 および R600a/R1270 である。これらの液膜流の基本特性はフロン系冷媒と定性

的には同様であるが、気液の密度、粘度、表面張力などが異なるため、定量的な結果は異なり、本結果は炭化水素系冷媒を用いた冷凍空調機器の熱交換器を設計・開発する際に有用である。可燃性を有する炭化水素系冷媒を実機で使用するための研究が広がる傾向にあると判断できる。

Schnabel[2]は、炭化水素系冷媒、特に R290 (プロパン) が家庭用ヒートポンプ用冷媒として最も有望な次世代冷媒であるが、可燃性の課題から充填量を削減する必要がある、との考えに基づいた研究開発を報告した。この成果は冷媒充填量を 150 g 以下にする LC150 プロジェクトの下で実施されたものであり、30 以上の冷凍サイクルを解析することで、冷媒充填量削減に関する科学的知見をまとめている。主要機器である圧縮機、蒸発器、凝縮器の冷媒充填量への影響を実験および数値シミュレーションにより、温度条件、圧縮機回転数などを種々の条件で運転した結果を評価している。その結果、冷凍機油の量や種類、熱交換器の形状や運転条件に冷媒充填量が影響することを明らかにするとともに、冷媒充填量 150 g 以下で所定の暖房性能が得られることを確認している。また、蒸発器にプレート式熱交換器を用いた場合の冷媒の各流路への不均等分配について、IR カメラで熱画像を撮影した結果から考察している。

Barbosa Jr[3]は、冷媒を使わない冷凍技術として注目されている磁気冷凍技術に関する最近の研究を報告している。磁気冷凍は磁場を変化させることで磁性体の温度が可逆的に変化する磁気熱量効果を利用する技術であり、理論的に高い効率が達成できることが期待されている。ここでは、人工知能を利用した能動的蓄冷式磁気サイクル回路の設計や最適化の開発、熱交換器や断熱キャビネット、磁場と流れの同期などのサブシステム設計と最適化、熱力学第一および第二法則に基づく性能評価基準や試験手順の提案、などが報告された。

### 3. ポスター発表（一般講演）

前述したように空調・冷凍（ACR）のポスターセッションは、吸着・脱着（ADS）、物質伝達・乾燥（MTR）、膜（FLM）との合同で11件の発表が行われた[4]-[14].

その内の4件[4]-[7]は、吸着現象を利用した除湿に関するものであり、発表件数の割合は高い。空調用途に使用されている電気エネルギーは全体の30~50%程度の高い割合を占めているためエネルギー効率の向上が求められており、吸着除湿の需要が高まっていることと表れであると考えられる。発表は、吸湿材に関するものや吸着除湿システムのモデル化、デシカントローターの熱物質伝達の数値解析に関するものなどがあつた。

自動車内空調[8]は渦粘性の乱流モデルの開発に関する研究1件だけであつたが、電気自動車の普及に伴い車内空調の効率化が要求されている。

熱音響冷凍に関する1件の研究発表[9]では、低コスト化システムの性能評価が行われた。

熱交換器に関しては、地球温暖化影響が小さい低GWP混合冷媒の要素物質の候補として考えられているCF<sub>3</sub>I（R131I）のプレート式熱交換器内局所熱伝達率の測定結果が報告された[10].

アフリカの気候に適合するエアハンドリングシステム（大空間空調）の設計に関する発表[11]は開催地域ならではの特徴であり、興味深い。

炭化水素冷媒の利用では、R290（プロパン）を使った冷凍機におけるキャピラリー管からの熱回収サイクルの研究[14]も発表された。

#### 参考文献

- [1] Gherhardt Ribatski, The Role of the Liquid Film Characteristics on the Heat Transfer Process during Flow Boiling and Convective Condensation, KN-06.
- [2] Lena Schnabel, Refrigerant Charge Reduction in Heat Pumps with Propane and the Influence on Heat Transfer and Heat Exchanger Design, KN-19.
- [3] Jader R. Barbosa Jr, Cooling with Magnets: Developing Near Room-Temperature Magnetic Refrigerators, KN-08.
- [4] Carlos Díaz-Marín, Kezia Hector, Zhengmao Lu, Gustav Graeber, Xinyue Liu, Leon Gaugler, Lenan Zhang, Bachir El Fil, Jeffrey Grossman, Effect of Polymer Network on Sorption Mass Transfer in Hygroscopic Hydrogels, ID-147.
- [5] Thomas Meyer, NTU-Model for Describing the Coupled Heat and Mass Transfer in Open Absorption Dehumidification Systems, ID-255.
- [6] Leandro Alcoforado Sphaier, Mauricio de Souza Maciel, Carlos Eduardo Leme Nóbrega, Heat and Mass Transfer in Desiccant Wheels with Multiple Airstreams, ID-499.
- [7] Adela Chenyang Li, Lenan Zhang, Yang Zhong, Carlos Díaz-Marín, Bachir El Fil, Evelyn Wang, Thermodynamic Limits of Sorption-Based Atmospheric Water Harvesting Using Hygroscopic Hydrogels, ID-1022.
- [8] Mirza Popovac, Advanced Eddy-Viscosity Turbulence Modelling for the Car Cabin Thermal Comfort Analysis, ID-205.
- [9] Michael Owen, Tamara Allen, Performance Evaluation of a Low-Cost Standing Wave Thermoacoustic Refrigerator, ID-393.
- [10] Djiby Bal, Md. Mahbubur Rahman, Keishi Kariya, Akio Miyara, Experimental Study of Evaporation Local Heat Transfer Characteristics of CF<sub>3</sub>I in Plate Heat Exchanger, ID-409.
- [11] Hugo Monteyne, Michel De Paepe, Tunde Bello-Ochende, Novel Design of an Air Handling System for Sub-Saharan Africa Using Controlled Latent Load, ID-427.
- [12] Solomzi Marco Ngalonkulu, Zhongjie Huan, The Influence of Ambient Temperature and Fan Speed on the Operating Conditions of an Open-Loop Heat Pump Drying System, ID-506.
- [13] Majed Alrefae, Influence of Heat Dissipation on the Performance of a Thermoelectric Module, ID-575.
- [14] Bruno Marangolo, Leonardo Bernardini, Alekos Ioannis Garivalis, Paolo Di Marco, Experimental Analysis of a Heat Recovery System between Capillary Tube and Compressor Suction Line in an R290 Refrigeration Cycle, ID-1504.



## Energy Storage and Conversion/ Thermal Storage

森本 崇志 (青山学院大学)

Takashi MORIMOTO (Aoyama Gakuin University)

e-mail: morimoto@me.aoyama.ac.jp

### 1. はじめに

本稿では、第 17 回国際伝熱会議 (IHTC-17) にて実施された、“Energy Storage & Conversion & Thermal Storage” のセッションの内容について紹介する。

本セッションは、2 セッション組まれており、プログラム上の講演件数は合わせて 39 件であった。図 1 は、No show となった発表を含めて、各講演内容を分類し、その講演件数を纏めたものである。蓄熱に関するセッションであることから、潜熱蓄熱、顕熱蓄熱に関する発表が多かった一方で、化学蓄熱に関する発表が少なかった点が、少し気になった。

図 2 は、各講演の講演論文に記載されていたキーワードをカウントし、3 つ以上存在したものについて纏めた結果である。なお、“Thermal storage” と “Thermal energy storage” 等、意味していることが同じと判断できるものについては、同じキーワードとしてカウントしている。キーワードについては、“Thermal energy storage” が最も多く、次いで “Phase change material (PCM)” であった。PCM については、PCM の固液相変化潜熱を利用した潜熱蓄熱に関する発表と、熱管理に関する発表が多くあったため、それがキーワードのカウント数に反映されている。PCM を用いた潜熱蓄熱に関する研究では、二重管や、矩形容器等、様々な形状の物体内、境界条件における PCM の融解・凝固過程についての実験および数値計算が多かった印象である。PCM を用いた熱管理についての研究では、小型の宇宙機に搭載する電子機器や熱電発電デバイスが熱制御の対象となっていた。“High temperature” のキーワードも比較的多くみられ、高温に関する研究として、熱光起電力発電、鋳物廃砂と熔融塩を混合した蓄熱材を利用した廃熱の有効利用、固体粒子充填層による蓄熱に関する研究があった。

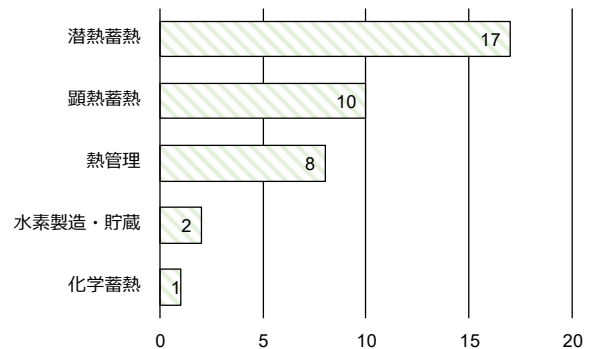


図 1 研究内容の分類

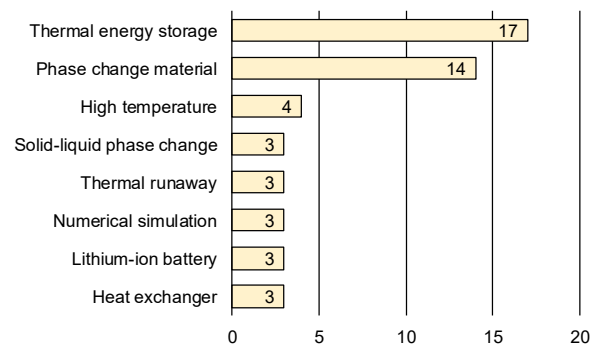


図 2 頻出キーワード

### 2. 発表の概要

全ての研究について網羅的にレビューすることは困難であったため、ここでは内容を絞って、研究の概要について紹介する。

#### 2.1 潜熱蓄熱

**ID: 512** 3D プリンターによる光造形で使用する光硬化性樹脂の中に、PCM をマイクロカプセル化した MEPCM (Micro Encapsulated PCM) を分散させることで、軽量かつ複雑な形状を有しながらも、PCM の固液相変化潜熱を活用できる材料の作成についての研究である。本報告では、MEPCM を分散させた光硬化性樹脂を用いて、3D プリンターによる蓄熱材の作成に成功していた。MEPCM の

含有量に比例して固液相変化潜熱が大きくなることが確認されており、質量割合にして、最大 37% の MEPCM の分散に成功していた。更なる MEPCM 含有量の増加のためには、MEPCM を分散させた混合液の粘度を減少させる必要があることが示されていた。

**ID: 837** 矩形容器の 1 壁面の温度を周期的に変化させた時の、容器内の PCM の融解・凝固過程についての研究である。ステファン数および無次元周波数を用いて容器内の PCM の融解および凝固の進行状態が評価されており、これらの無次元数の組み合わせで、容器内の PCM の融解および凝固の進行状況を整理できることが示されていた。

**ID: 625** シェル&チューブ型熱交換器における PCM の融解挙動について、実験および解析的に検討した研究である。PCM の融解、凝固に伴う体積変化を考慮するため、空気の層も設けた場合が対象である。融解過程においては液相の自然対流の影響が大きくなるが、凝固過程においては、伝熱面に固体層が形成されて温度勾配が小さくなるために、液相の自然対流の影響は小さいことが示されていた。

**ID: 271** 電気自動車における暖房用途に蓄熱を応用することを念頭に置き、金属系の PCM の放熱特性について実験的に検討した研究である。比較的熱伝導率の大きな金属を用いた場合でも、液体から固体になった時に、伝熱量が著しく低下してしまうことが示されていた。

**ID: 1034** PCM を充填した蓄熱槽形状の最適化に関する研究である。高温の空気流内に蓄熱槽が設置され、固相の PCM が融解する過程が対象である。蓄熱槽体積を一定とした場合、空気との熱交換面積を大きくしながらも、融解した PCM の対流を阻害しない蓄熱槽形状とすることで融解速度が最も早くなることが示されていた。

**ID: 469** 産業廃棄物として捨てられている鋳物廃砂を熔融塩 ( $\text{NaNO}_3$ ) と混合することで、蓄熱材として再利用することを目指し、混合物の熱的および機械的特性について検討した研究である。鋳物廃砂と  $\text{NaNO}_3$  のみでは、安定した蓄熱材を作成できないが、ベントナイトを混合することで、熱的および構造的に安定した蓄熱材を得られることが示されていた。

## 2.2 顕熱蓄熱

**ID: 256** 固体粒子充填層による顕熱蓄熱において、空気の流動方向が熱伝達係数に及ぼす影響についての研究である。楕円形の粒子を有する充填層が対象とする。これまで、楕円形粒子の向きと空気の流れの方向との関係は、空気と粒子間の熱伝達係数の相関式において考慮されていなかったが、粒子の向きに対する流れ方向によって、熱伝達係数が変化することが示されており、これを考慮する必要性が示唆されていた。

**ID: 435** 水蓄熱槽内の水に形成される温度躍層についての解析的検討である。比較的溫度差の大きな条件での解析を行うため、2 次精度のブシネスク近似を用いており、これによって、比較的精度良く解析ができることに加えて、密度を温度と共に変化させる計算よりも、計算時間を短縮できることが示されていた。また、初期状態において、水温が一樣である場合には、時間をかけてゆっくりと水を流入させることで、温度躍層の厚さを薄くできることが示されていた。

## 2.3 化学蓄熱

**ID: 554** 水酸化カルシウムを用いた化学蓄熱の課題である熱伝導性を改善するために、セラミックハニカムと水酸化カルシウムを組み合わせた複合材料についての研究である。このハニカム複合体を用いることで、粉末の状態の時よりも反応に要する時間が短縮され、放熱密度が 1.7 倍となっており、熱交換性能が改善したことが示されていた。

## 3. おわりに

本稿では、“Energy Storage & Conversion & Thermal Storage”のセッションで発表された、いくつかの研究について紹介した。蓄熱に関する研究は古くから行われているが、時代とともに変わるニーズに応じて、対象を変えながら、新たな研究が盛んに行われている。会期中の基調講演 (KN18) にて、東京工業大学の加藤之貴先生が“heat storage is old fashion but still is required”と述べられていた。私自身、蓄熱に関する研究に従事する若輩者として、その言葉に勇気もらった次第である。

## Heat Exchanger

鹿園 直毅 (東京大学)

Naoki SHIKAZONO (The University of Tokyo)

e-mail: shika@iis.u-tokyo.ac.jp

### 1. セッションの概要

「熱交換器 (HEX)」のセッションは、「ヒートパイプ (HPP)」と「Energy Efficiency (EEF)」との合同で、8月15日午後および8月17日の午前と午後に、3セッション開催された。本報告では、「熱交換器 (HEX)」の22件について報告する。国別で見ると、アメリカ4件、中国3件、韓国3件、日本2件、南アフリカ2件、インド2件、ブラジル、ポルトガル、ドイツ、イタリア、ナミビア、フィンランドが各1件と、世界中の多くの国に分散している。所属機関別では、全て大学からのものであった。熱交換器に関連する発表は、HEX以外のセッションにも多数含まれていると思われるが、それらについてはプロシーディングスや他のレビューを参照されたい。

### 2. ポスターセッションの概要

以下、発表された論文の概要とその所感について、簡単に紹介する。

IHTC17-132 (P. Kumar & C. Ranganayakulu, BITS Pilani, India) は、3角形コルゲートフィンの  $j$  因子と摩擦係数  $f$  を CFD によって求めた研究である。一般に、3角形断面流路は矩形流路よりも性能が劣ることが知られているが、製造上の制約から実際の熱交換器では3角形状フィンとなることが多く、設計変数の系統的な評価が行われている。

IHTC17-148 (J. Tancabel et al, Univ. of Maryland, United States) は、流線形管群からなるフィンレス熱交換器の除湿性能を CFD で明らかにしている。フィンレス熱交換器の優れた凝縮液排出特性を活かした研究である。

IHTC17-149 (C. Wilson et al., MIT, United States) は、超臨界 CO<sub>2</sub> サイクル用 SiC 熱交換器のマニフォールドを、Slip Casting 法で製造する場合の構造最適化に関する研究である。3D プリンターよりも低価格化を目指しているが、焼結緻密化させるた

めに 2000°C を超える高温で長時間焼成する必要があるとのことであった。

IHTC17-257 (A. Bidgoli, & J. Yanagihara, Univ. of São Paulo, Brazil) は、天然ガス等の液化プロセス用プレートフィン熱交換器の最適化に関する研究である。

IHTC17-291 (R. Haffejee, Univ. of Cape Town, South Africa) は、既存蒸気タービン発電に超臨界 CO<sub>2</sub> ボトミングサイクルを追設するための排熱回収熱交換器に関する研究である。具体的な高压熱交換器の設計については、今後検討することであった。

IHTC17-357 (R. Fernandes et al., Academia Militar, Portugal) は、軍事や災害時の人体温維持のための熱交換器設計に関するものである。日本でもポータブル空調および冷却関連製品が普及し始めており、今後も軽量化とコンパクト化を目指した研究が進むと思われる。

IHTC17-398 (K. Nishimura et al., The Univ. of Tokyo, Japan) は、レプリカ法により冷却面上に発生する霜の3次元構造の雌型を樹脂で作製し、X線 CT で再構築した内容について報告している。大量のサンプルを作製することが可能なため、幅広い実験条件における系統的な評価に適した手法である。

IHTC17-729 (M. Afeltra et al., Stellenbosch Univ., South Africa) は、再生マイクロガスタービン用熱交換器の実験検討に関する内容で、実機における有効度および圧力損失における課題が示されている。

IHTC17-542 (G. Kim et al., Yonsei Univ., South Korea) は、燃料電池の冷却用オフセットフィンを流れ方向にコルゲートさせた伝熱促進フィンを提案し、RANS 定常計算でスクリーニングした研究である。レイノルズ数約 2000 の遷移域における伝熱促進では、乱流化と前縁効果の優位性比較や、

その使い分けの検討が今後も進むものと思われる。

IHTC17-624 (A. Sciazko et al., The Univ. of Tokyo, Japan) は、レプリカ法で再構築した霜3次元データに機械学習 (GAN) を適用し、より大きな体積および高解像度を実現させる研究である。実験や数値シミュレーションを補完する機械学習の利用については、今後益々適用が進むものと考えられる。

IHTC17-651 (C. Han et al., Korea Univ., South Korea) は、カーボンナノチューブをフィンチューブ表面にコーティングすることで、単相流伝熱促進と圧力損失低減が図られるという報告がなされたが、詳しいメカニズムは不明である。

IHTC17-666 (S. Javed & J. Spitler, Oklahoma State Univ., United States) は、地中熱用 U 字管熱交換器内面にらせん状の溝を掘ることで伝熱促進を図ることを目的とした研究である。U 字管内は乱流であり、その条件においても伝熱促進効果が得られたとのことであった。

IHTC17-696 (J. Li et al., Northeast Electric Power Univ., China) は、石炭ボイラー用熱交換器への灰付着の数値シミュレーションに関する研究である。検証は必要なものの、CFD によってファウリングを予測するという実用上重要な研究だと感じた。

IHTC17-780 (A. Dalal & D. Kumar, IIT Guwahati, India) は、非ニュートン流体に vortex generator を配置した場合の伝熱促進に関する研究である。

IHTC17-788 (J. Li et al., Guangdong Univ. of Tech., China) は、蒸発器の途中で気液分離し、上流の低乾き度の領域から液相を高乾き度域へバイパスすることで、蒸発器の性能を向上させる研究である。

IHTC17-884 (M. Grespan et al., The Univ. of Modena and Reggio Emilia, Italy) は、プレートフィン熱交換器を代理モデルを用いて簡易に性能予測する研究である。

IHTC17-965 (M. Fuchs et al., Leibniz Univ., Germany) は、SUS316L を材料として 3D プリンターにより高温再生熱交換器を製作し、実験的に

性能測定した研究である。再生熱交換器の高性能化は、今後益々重要な課題になると感じた。

IHTC17-1049 (H. Zhang & D. Zhang, Harbin Inst. of Tech., China) は、高速炉冷却への適用を目指し、溶融鉛ビスマス (LBE) の二次流れを促進することで伝熱促進を図った数値的な研究である。

IHTC17-1068 (E. Angula et al., Univ. of Namibia, Namibia) は、著者らが Microchannel Delugeable Tube Bundle (MDTB) と称するマイクロチャネル熱交換器の研究である。No-show だったため、詳細は不明である。

IHTC17-1080 (K. Reijo, Tampere Univ., Finland) は、対向流熱交換器の多目的最適化を、CFD ではなくコンベンショナルな解析的な手法で実施するという内容である。

IHTC17-1154 (S. Park, Korea Aerospace Univ., South Korea) は、外面に超親水性メッシュを設けた蒸発式凝縮器の高性能化を図った研究である。散布式に対して優位性を謳えるかがポイントであろう。

IHTC17-1169 (A. Balaraman, et al., Purdue Univ., United States) は、水を透過する薄膜を用いて、その透過する水の蒸発潜熱を利用して、温水を冷却する研究である。冷却塔と同様に作動流体自身の潜熱で冷却する上で、隔壁の薄膜化と有効伝熱面積増加をいかに実現するかが鍵を握ると思われる。

### 3. 終わりに

熱交換器は伝熱のほぼ全ての分野に関わるが、本報告は熱交換器 (HEX) のセッションのみの限られた内容となっている。研究の詳細や他の関連研究については、プロシーディングスや他のレビューを参照されたい。それぞれの発表において、適用先が明確なものが多く、その用途は多岐にわたっているが、トレンドとしては省エネが改めて注目されているように感じた。大量かつ安価な製造を志向するなど、実用化を意識した研究が増えている印象である。

## Radiation and Solar energy

宮崎 康次 (九州大学)

Koji MIYAZAKI (Kyushu Univ.)

e-mail: miyazaki.koji.962@m.kyushu-u.ac.jp

### 1. はじめに

第17回国際伝熱シンポジウム (IHTC-17) における Radiation に関わる発表は、2日目 Poster session 10 と3日目 Poster Session 14 に発表が陽に組み込まれ、他は Poster Session 19, 22, 26 といったセッションに発表を見ることができた。Keynote (KN12) と Poster Session 1 でも Sebastian Volz 先生のグループが表面フォノンポラリトンによる熱輸送促進について発表しているが、Heat Transfer Enhancement に組み込まれていた。一般セッション以外では、Chang-Ying ZHAO 先生の William Begell Medal Award Lecture, 塩見淳一郎先生の Nukiyama Memorial Award Lecture にもふく射の話題が含まれ、ナノテクと応用物理を駆使した最先端研究を知ることができた。他 Kyle Daun 先生の Keynote Lecture (KN09) にも火炎計測に関するふく射の話題が含まれた。石油掘削現場の煙突から副産物を燃やす Flaring と称される火炎が立ち上っているが、この火炎の中赤外線の詳細に調べることで Flaring に含まれる CO<sub>2</sub> を始めとするガス成分を非接触測定する内容で、地球温暖化対策に寄与する興味深い研究だった。

### 2. Poster Session 10

ショートプレゼンテーション順に述べる。ID:383ではシリカエアロゲルの断熱材が少し関連するが室温付近ではふく射の効果が無視できるとして、ヤング率と熱伝導率の関係を議論していた。ID:61ではポーラスシリカのロッド (直径数 $\mu\text{m}$ 程度) を塗布することで、可視光では高い反射率、赤外域で高い放射率を実現する実験結果が報告されていた。波長 $3\mu\text{m}$ 程度までは高い反射率を示しているが、 $6\mu\text{m}$ を超えた大気窓 (8~ $13\mu\text{m}$ ) あたりで高い放射率を示し、白い商用ペンキよりも高い放射冷却効果がある結果だった。表面温度から数値計算すると60~ $100\text{W}/\text{m}^2$ 程度の冷却性能が得られると述べていた。

ID:137は太陽光の熱利用に向けた太陽光吸収膜の生成においてモンテカルロ計算によるRay Tracingの高速化に関する発表だった。ID:292は双曲型マテリアルと呼ばれる材料を用いることで、近接場光によるふく射伝熱が大きく促進されるという解析とメカニズム解明に関わる研究だった。

### 3. Poster Session 14

ID:341も近接場光に関する発表であった。個人的には導電性高分子にプラズモニクスを適用して良いのか情報収集を進めたい。ID:545はCZ法においてふく射を利用した温度測定に関わる研究だった。ID:547は強い記憶が残っている発表で、放射冷却面の生成において可視光において白い表面ではなく、透明とすることで色のついた放射冷却面を実現しようとする研究で $100\text{W}/\text{m}^2$ を超える冷却性能を数値計算では示していた。今後の参考にしたい研究発表だった。

### 4. まとめ

前回 IHTC-16 (北京) では Radiation and Thermal Insulation (ITR) という枠組みでふく射伝熱の研究が Session わけされ、23件の発表があった。現状、Radiative Heat Transfer や Radiative Properties といった研究が応用に移っている段階にあるためか、本 IHTC-17 (ケープタウン) ではふく射伝熱の研究が複数の Poster Session に分けてプログラムされていた。さらに発表の主キーワードをふく射伝熱としない発表を当日会場で見つけることは困難だったため、Radiation の発表について見落としがあると思われるお詫し頂きたい。それでも表1にまとめたように前回に近い15件のふく射伝熱研究を知ることができた。特に受賞講演やキーノート講演においてふく射研究が紹介されていることから、活発に研究が進められていることも把握できた。

表 1 Radiation 関連の題目，著者，所属

ID	Title, Author, Affiliation
Plenary	Micro/Nanoscale Thermal Radiation: Fundamentals and Applications Chang-Ying Zhao Shanghai Jiao Tong University, China
Plenary	Exploring Thermal Functional Materials Through Massive Parameter-space Search Junichiro Shiomi The University of Tokyo, Japan
KN09	Measuring Gas-Phase and Particulate Emissions from Oil and Gas Flares using Thermal Radiation Kyle Daun University of Waterloo, Canada
KN12	Thermal Polaritonics, A Fourth Heat Transfer Mode? Sebastian Volz The University of Tokyo, Japan
63	Resonant Thermal Transport Enabled by Hybridized Guided Modes in a Cylindrical Cavity Jose Ordonez-Miranda, Masahiro Nomura, Sebastian Volz LIMMS-CNRS/ISS-University of Tokyo, Japan
383	Temperature-Dependent Elastic Modulus Prediction based on Thermal Conductivity of Silica Aerogels Chenbo He, Cheng Bi, Guihua Tnag Xi'an Jiaotong University, China
61	Broadband Efficient Radiative Cooling Film based on Rod-like Dielectric Particles Zhen Yan, Muxing Zhang, Qiang Li, Desong Fang Nanjing University of Science and Technology, China
137	Efficient Monte Carlo Ray Tracing for Apparent Cavity Behavior Ernest Lee, Ehsan Mofidipour, Matthew Jones, Brian Iverson Brigham Young University, U.S.A.
292	Greatly Enhanced Radiative Heat Transfer in Hyperbolic Materials Xianfan Xu Purdue University, U.S.A.
341	Near-field Radiative Heat Transfer Between Conductive Polymers for Organic Plasmonics Wenbin Zhang, Changying Zhao Shanghai Jiao Tong University, China
545	In-situ Measurement of Emissivity in Crystal Growth Furnaces Sepehr Foroushani, Arved Wintzer, Kaspars Dadzis Leibniz Institute for Crystal Growth, Germany
547	Angle-tolerant Colored Sub-ambient Radiative Cooling Coating Designed by Mixed-integer Memetic Algorithm Qiangshun Guan, Aikifa Raza, Samuel Mao, Lourdes Vega, Tiejun Zhang Khalifa University, United Arab Emirates
580	Theoretical Analysis of Cloud and Mist Droplets with Radiation Marcus Brewster University of Illinois, U.S.A.
168	Quantum Convection from Deterministic Quantum Mechanics Leading to Radiation Heat Transfer Peter Vadasz Northern Arizona University, U.S.A.
368	Effects of Gas Radiation and Thermal Barrier Coating on the Film Cooling Performance of an Annular Combustor Ananda Prasanna Revulagadda, C. Balaji, Arvind Pattamatta Indian Institute of Technology Madras, India

## Nano/Micro Scale Transport

栗山 怜子, 巽 和也 (京都大学)

Reiko KURIYAMA, Kazuya TATSUMI (Kyoto University)

e-mail: tatsumi@me.kyoto-u.ac.jp

### 1. 概要

セッションは研究分野をあらわす 52 種類のキーワードに基づいて分類された。ただし、発表件数がここ数回の国際伝熱会議 (IHTC) と比較して少なかったこともあり、総セッション数は 27 とキーワードの数よりも少ない。そのためセッションが複数のキーワード・分野から構成されたものが大半を占めた。その中で、ナノ・マイクロスケールの伝熱・輸送に対応するキーワードは、NMM: Nano/Micro Scale Measurement & Simulation, NMS: NEMS/MEMS, PPE: Photon, Phonon & Electron Transport, MLT: Molecular Transport となる。これらのキーワードを含むセッションは 3 つあり、両セッションにてナノ・マイクロスケールの伝熱・物質輸送と、その現象を捉えるための計測技術に関する発表が 23 件あった。これまでの国際伝熱会議 (IHTC) と比較しても、本分野として発表件数は少ないといえる。

一方、ナノ・マイクロスケールの空間・構造体と伝熱・物質輸送を伴う現象・技術について会議全体を見ると、これらに関する発表は他のセッションでも多くあった。表 1 はナノ・マイクロスケールの現象や構造体に関する内容が含まれる発表件数を、それらが属する主分野で分類したものである。近年、ナノ・マイクロスケールでの物理量と特性の計測、そして現象を制御するための構造設計や動的制御を可能とする技術、これらが発展してきたことで、多くの分野でナノ・マイクロスケールでの計測と開発に焦点があたるようになった。

これに対して、ナノ・マイクロスケールの熱物性や現象を高い精度で計測し、理解の深化を目指すことは計測技術・実験装置と設備の関係から敷居が高い点もある。このため、ナノ・マイクロ伝熱・物質輸送に関する研究発表は一部の地域に限られるところもある。また、伝熱の基礎現象を扱

う研究よりも、それを様々な分野に展開した応用技術、およびその基礎現象が観測される機器の開発・向上が増えていることもナノ・マイクロ伝熱・物質輸送の基礎に関する発表件数がやや減少し、広く応用されている理由の一つであるといえる。とくに後者は伝熱研究全体でも確認できる傾向であり、そのために IHTC-17 における伝熱研究に関する発表内容が多岐にわたるといえる。

表 1 発表内容の分類

分類・キーワード	発表件数
沸騰	20
相変化 (蒸発・凝縮・融解・凝固)	24
混相流	6
ナノ伝熱・熱物性	13
マイクロ流路・伝熱促進	9
多孔質体	5
計測技術	4
バイオ	2
熱ふく射	1

### 2. 講演の概要

#### 2.1 基調講演とキーノート講演

基調講演の 1 つである Fourier lecture では、AIHTC 会長の Xing Zhang 氏 (Tsinghua 大学) により「Nanoscale thermal measurements – new challenges and opportunities」の題目で講演があった。ナノスケールの材料の熱伝導率等の熱物性計測の歴史が紹介され、その計測技術に関する今後の展望について話があった。さらに、ナノスケールの熱物性計測で得られる知見がもたらす産業の波及効果を、複数分野を例に交えながら紹介され、当

分野の研究開発の重要性を示した。また、William Begell medal award の記念講演では、Chang-Ying Zhao 氏（Shanghai Jiao Tong 大学）が「Micro/nanoscale thermal radiation: fundamentals and applications abstract」の題目で熱ふく射に関する講演を行った。物体表面の構造をナノスケールで設計・製作することで位相と波動ベクトル等の熱ふく射の特性を制御できることを示し、それを利用した様々なアプリケーションと技術開発が紹介された。Nukiyama memorial award の記念講演では、「Exploring thermal functional materials through massive parameter-space search」の題目で塩見淳一郎氏（東京大学）による講演があり、ナノスケールの伝熱に関するこれまでの取り組みの紹介があった。とくに機械学習を用いた熱伝導・熱ふく射材料の設計と開発に関する詳細な話があり、今後の AI を活用した展開とそのために必要なビッグデータの構築に向けた自動化等の新たな実験手法の指針に関する見解が示された。

会議では 26 件のキーノート講演があり、その中で S. Volz 氏（東京大学）により「Thermal Polaritonics, a fourth heat transfer mode?」の題目で、極性を持つ誘電体膜の表面に沿って伝播する二次元表面フォノンポラリトンの熱伝導制御に関する講演があった。その平均自由行程は音響フォノンのそれと比較して桁違いに大きく、薄膜ではフォノンよりも高い熱輸送・伝熱特性を有することの紹介があった。M. Fasano 氏（Politecnico di Torino）は「Modelling heat and mass transfer phenomena in nanostructured materials for energy applications」の題目で講演を行い、数値解析に基づいて、単相構造の高分子材料の熱物性、およびナノ多孔質体とコロイドの熱物性と液体との熱伝達に関する研究の話があった。

この他にヒートパイプ（2 件）やマイクロ流路（1 件）を用いた伝熱促進、相変化を伴う蓄熱材料の開発（1 件）、沸騰・蒸発（1 件）に関するキーノート講演の中で、ナノ・マイクロスケールの現象の解明と制御技術に関連する話があった。

## 2.2 一般講演

一般講演に関しては、前述の通りナノ・マイクロ構造体を用いた研究を含めると発表件数が多かったため、ここではナノスケールの伝熱特性・計

測技術に関する発表についてのみ紹介する。

IHTC-17-53 の発表では<sup>[1]</sup>、走査型電子顕微鏡（SEM）観測における電子ビーム（EB）加熱とカーボンナノチューブ（CNT）やナノワイヤ等の 1 次元試料の両端に設けた熱流束センサにより、2 本の試料間の接触熱抵抗の測定、もしくはその影響を排除した試料の熱伝導計測を可能としている。さらに SEM 観測と熱抵抗・熱伝導率計測と合わせて、走査型透過電子顕微鏡（STEM）により試料の構造を計測できる複合計測装置の開発に関する発表があった。

IHTC-17-227 では<sup>[2]</sup>、熱伝導率計測技術である Dual-wavelength flash Raman 法を用いて 1 次元材料である CNT と 2 次元材料である単層二硫化タングステンの熱伝導率計測の結果が発表され、両材料とも Si 平面と接触している状態では熱伝導率が顕著に低下することが報告された。

IHTC-17-236 では<sup>[3]</sup>、Au 電極のジュール発熱により昇温した基板上的窒化ガリウムの配線の温度分布を Thermoreflectance thermal imaging (TTI) により測定し、そこから熱伝導率を求めている。そして異なる線幅での熱伝導率を比較し、線幅が 1  $\mu\text{m}$  では温度分布がフーリエの法則から外れることを報告している。

IHTC-17-119 では<sup>[4]</sup>、Al 線におけるエレクトロマイグレーション (EM) によるボイド生成の可視化と Thermoreflectance imaging (TRI) による温度分布の測定を同時に行うことで、ボイド成長と温度分布の時間発展特性の関係を明らかにし、電流密度分布に加えてボイド生成による Al 線の熱伝導特性の低下と温度勾配の増大により EM が加速することを考察している。

IHTC-17-158 では<sup>[5]</sup>、エバネッセント場による壁面～100 nm の領域にある液体中の蛍光分子の蛍光強度と蛍光偏光度の測定を行い、それらの分布から壁面の極近傍の 2 次元液体温度を求める計測技術を紹介し、その有効性を実証している。

IHTC-17-936 では<sup>[6]</sup>、液体中の蛍光分子の蛍光異方性に基づく液体温度計測技術を用いて、マイクロ流路でのレーザー加熱したスポット状の領域の温度分布を測定し、マイクロメーターの分解能での温度計測が可能であることを報告している。

IHTC-17-582 の発表では<sup>[7]</sup>、分子動力学 (MD) 計算による異なる表面性状を持つ壁面への水の凝



固に関する解析が行われた。とくに氷から壁面への力学的影響が検討され、アモルファス状の壁面では水と氷とで壁面に作用する力分布の差が大きいかを報告している。

この他に MD 計算に基づいた研究発表として、IHTC-17-660 では<sup>[8]</sup>、CNT と BN (窒化ホウ素) ナノチューブとのヘテロ接合での熱伝導率の計算が報告され、IHTC-17-783 では<sup>[9]</sup>、高エントロピー合金である CoCrFeNiCu の熱伝導率を計算している。IHTC-17-1125 では<sup>[10]</sup>、アルゴンの液体・気体の界面における蒸発と凝集に関するモデルとして分子の塊として液相を模擬したものを提案し、それに基づいた計算の報告があった。

### 3. 所感

冒頭で述べたとおり、会議全体の講演申込件数と発表件数が少ないこともあるが、IHTC-17 ではナノ・マイクロスケールの伝熱・物質輸送に関する発表件数は少なく感じた。また、会議への著作権譲渡の規定が厳しかったためか、必ずしも最新の結果が全て論文に掲載されていないと思われる。そしてポスター発表ではスペース的に十分な情報が掲載できず、著者と参加者との間の質疑応答も情報共有されないため、最先端の研究の動向を学ぶことが難しいところもあった。講演論文の価値を高めるための著作権譲渡であるが、それを実現するためには対となる発表形式とプログラム編成に関して熟考されるべきである。少なくとも IHTC-17 では部屋割り、プログラムの内容、ポスターの掲示方法では課題も多く見られた。ポスター発表は、多くの発表を見回り、発表者と直接議論と情報交換できる利点があるのは事実であるが、国際伝熱 (IHTC) の現状では口頭発表の方が深く学べる場になると考えた。また4年に一度と開催間隔が長く、せっかく研究を新たに進展させる時間が設けられているからこそ、最新の研究成果を詳しく学べる会議となることを強く願う。

### 参考文献

- [1] Dawei Li et al., In-Situ Thermal Transport Measurements of One-Dimensional Materials in the Scanning Electron Microscope, Proc. IHTC-17 (2023), 53.
- [2] Y. Zhang et al., Study of Solid-Solid Interface Heat Transport Mechanism of Nanomaterials, Proc. IHTC-17 (2023), 227.
- [3] Z.-K. Liu et al., Thermoreflectance Thermal Imaging Investigation on Non-Fourier Heat Conduction in GaN Transistors, Proc. IHTC-17 (2023), 236.
- [4] K. Tatsumi et al., Measurement of Temperature Effects on Void Generation in Electromigration Using Thermo-Reflectance Imaging, Proc. IHTC-17 (2023), 119.
- [5] R. Kuriyama, et al., Measurement of Near-Wall Liquid Temperature Based on Total Internal Reflection Fluorescence Microscopy, Proc. IHTC-17 (2023), 158.
- [6] M. Motosuke, et al., Fluorescence Anisotropy for Advanced Microfluidic Temperature Measurement, Proc. IHTC-17 (2023), 936.
- [7] S. Uchida et al., Molecular Dynamics Studies on Microscopic Properties of Forces From Ice Solidification Interface Acting on Silica Surfaces, Proc. IHTC-17 (2023), 582.
- [8] R. Hua et al., Observation of Superdiffusive Heat Transfer across a Onedimensional Heterojunction: A Molecular Dynamics Study, Proc. IHTC-17 (2023), 660.
- [9] F. Liu et al., Preliminary Study on Thermal Conductivity of Cocrfenicu Hightentropy Alloy, Proc. IHTC-17 (2023), 783.
- [10] G. Skarbalius et al., Novel Approach for Identifying Evaporating and Condensing Atoms at the Argon Liquid Surface in Molecular Dynamics Simulations, Proc. IHTC-17 (2023), 1125.

## Porous Media and Fuel Cells

岩井 裕 (京都大学)

Hiroshi IWAI (Kyoto University)

e-mail: iwai.hiroshi.4x@kyoto-u.ac.jp

## 1. はじめに

会議5日めの18日午後の会議最終セッションで“Poster Session 25: Porous Media, Fuel Cell & New Materials”に分類された一般研究の発表がショートプレゼン+ポスターセッションの形であった。プログラムの記載情報によればその内訳は中国 6 件, 日本 3 件, 英国 2 件, ドイツ, 米国, イタリアがそれぞれ 1 件であった。多孔質体と燃料電池がひとつのセッションにまとめられたことは, 国際伝熱会議では初めてのことである。以下, それぞれについて報告する。

## 2. 多孔質体

多孔質体をキーワードに会議プロシーディングスを検索すると多数の論文がヒットする。対流伝熱における伝熱促進, 沸騰, 蒸発, ヒートパイプ, ふく射伝熱, PCM 等との組み合わせなど, その活用の仕方は多岐にわたる。会議中には多孔質体に関連する研究が様々なセッションで報告されたことは, 前回会議での報告 [1]と同様であった。多孔質体の活用の広がりや重要性を示すものであるが, いっぽうで多孔質体というキーワードでまとめた情報を得ることは容易ではないセッション分類ではあった。

ここではセッション 25 内の発表を中心に紹介したい。まず今回の国際伝熱会議では, 各ポスターセッションにおける Best paper award がバンケットにおいて発表されたが, 同セッションでの受賞はカールスルーエ工科大学 (ドイツ) のグループによる POCS (Periodic Open Cellular Structures) における伝熱促進に関する研究 (0064) であった。同論文の著者のひとりである Dietrich によるキーノート講演 (KN-13) も, POCS に関する内容であった。支柱の組み合わせによるユニット構造 (トラス構造やラーメン構造のようなイメージ) を繰り返して形成される多孔質体における伝熱に関す

る研究である。3D プリンタによる製造を前提としているものと理解した。形成される多孔質体の熱伝達あるいは圧力損失を, ユニット構造を構成する最小ユニットの支柱配置に対してあらかじめ求め, それを線形に重ね合わせることで多孔質体全体の伝熱特性を推定する手法を紹介している。筆者の直感はそのような方法でよい推定を得ることは難しいのではないかというものであったが, 紹介された構造 (立方体など) については実用上十分な精度で推定できたとのことであり, 今後はさらに他のタイプの構造についても検証を行っていくとしている。

Additive Manufacturing がもつ高い製造自由度を考えれば, 将来的には何らかの最適化シミュレーションに基づく多孔質構造を 3D プリンタで実現するという方向の展開は自然であろうし, 既に始まっている。0801 は PCM とアルミ合金製の多孔質骨組み構造を組み合わせるものである。熱伝導率の高い骨組みを利用することで PCM の融解・凝固を理想化する試みである。骨組み構造はラーメン構造状であるが, 3D プリントを利用して, 構造を構成する支柱太さを伝熱面 (冷却面) に垂直な方向に変化させることで, PCM とアルミ合金部のローカルな体積分率が熱移動方向に傾斜する構造を実現している。アルミの骨組み構造と PCM の組み合わせは 1047 も共通しているが, こちらは骨組みとしては発泡金属を採用し, 制御された熱的境界条件のもと固液界面の経時変化を IR カメラにより実験的に調べている。発泡金属の利用は他のセッションでも散見され, 例えば 0096 においては発泡金属が設置されたミニギャップ流路における沸騰特性に関する実験的研究が報告されている。

英国からの 2 件は同一グループの研究で, 道路 (多孔質体) 面についた汚れの洗浄プロセスを対象とした実験 (0274) と数値解析 (0656) の報告で

あった。0243 は流路内に規則的に多数配置した角柱の表面に微細凹凸を施すことで、乱流伝熱において非相似性の発現を期待するものであったが、検討の範囲内では期待した結果は得られなかったことが報告されていた。

### 3. 燃料電池

IHTC-14 および IHTC-15 で設定された Fuel Cells のセッションは前回 IHTC-16 では Electrochemical Systems に変更され、広がりを見せた。しかし今回どのような判断があったかはわからないが、再び Fuel Cells に戻った。もともと国際伝熱会議における燃料電池をキーワードとする報告は、過去 3 回の開催国でもある米国・日本・中国の 3 か国からが大多数を占めていた [2]。これらの国から離れた今回、燃料電池をキーワードとすると、会議プロシーディングスに含まれる関連論文は少ない。そのいっぽうで、リチウムイオン電池などを含めた電気化学デバイスの枠組みにすれば関連論文は多く、将来的なカテゴリーとしては前回の北京のようなまとめの方がよいように個人的には思える。実際、二次電池の熱管理についてはキーノート講演も、パネルディスカッションも設定され存在感を増していた。

Lorente によるキーノート講演 (KN-21) は、自動車用リチウムイオン電池の熱管理に関する内容であった。冷却システムを使用しない状態での充放電時の特性、特に温度分布計測を実施している。セルレベルの数値モデルを構築し実験との比較による検証を経たうえで、冷却プレート内の流路構造の最適化について検討し、少ない冷却流の流量で温度分布の非一様を効果的に低減するための提案を報告している。

会議 4 日目には “Battery Thermal Management – Recent Trends and Future Challenges” というタイトルのパネルディスカッションが企画された。ここでも主な対象は車両用のリチウムイオン電池である。基本的にはパネリストがそれぞれの成果を紹介し持論を展開する構成だったのでまとまった結論があったわけではないが、急速な充放電を繰り返す可能性のある本質的に非定常なシステムにおいて、温度分布の非一様を許容範囲内に収めるうえでの PCM の利用についての議論が中心という印象を持った。

セッション 25 に戻ると、当日実際に発表された燃料電池の研究は 2 件に留まる。0840 は並行流式あるいは対向流式の平板型 SOFC 単セルの単一流路を対象として数値モデルの構築についての報告である。流れ方向一次元の輸送現象と、セル厚さ方向一次元のセルモデル（電気化学反応モデル）を連成するものである。将来的にシステム解析の一部として組み込むことを想定しており、セル内現象の詳細説明よりも、計算負荷を低減しつつ妥当なセル性能予測を得ることを指向した検討であった。

もう 1 件の 0401 は筆者らのグループからの報告である。燃料極支持型 SOFC では分厚い燃料極内を、燃料である水素と生成物である水蒸気が等モルで対向輸送する必要がある。クヌッセン拡散が無視できない微細空隙においては、水素と水蒸気の分子量の違いにより拡散性に差が生じるため、電気化学反応が活発であり水蒸気が生成される燃料極-電解質界面での圧力が燃料極表面に比して上昇する [3]。今日の実際のセルでは電極作製時に造孔材を使用して分子拡散が支配的な比較的大きな空隙を導入して分厚い燃料極内での物質輸送を促進するが、そのような造孔材を使用した際に得られる空隙径分布が二峰性を示すような燃料極多孔質体における透過率について、実験と数値解析により検討した結果を報告した。

この他、別セッションではあるが 0260 についても言及しておきたい。輸送と反応の連成問題となる電気化学システムを対象に、トポロジー最適化の手法を採用することで、輸送パスの最適化を試みている。そのうえで、得られた形状をもつ系においてエントロピー生成を評価することで、損失発生領域を特定している。基本的に結果のみが得られて現象の議論が容易ではない最適化計算から、物理的に有意な情報を引き出す手法を提案している点で興味深い検討である。

### 参考文献

- [1] 桑原不二朗, Porous Media, 伝熱, **57-241** (2018) 39-40.
- [2] 岩井裕, Electrochemical Systems, 伝熱, **57-241** (2018) 26-27.
- [3] Sengoku, K. et al., J. Power Sources, **542** (2022) 231811.

## Turbulent transport

桑田 祐丞 (大阪公立大学)

*Yusuke KUWATA (Osaka Metropolitan University)*

*e-mail: kuwata@omu.ac.jp*

### 1. はじめに

Turbulent transport セッションは Combustion, Gas turbine, Manufacturing, Jet との合同セッションとして最終日に行われ、合計で 14 件の発表が行われた。また、本セッション以外に、乱流を伴う現象を対象とした研究は全体で 60 件を超え、レイノルズ平均モデルやラージ・エディ・シミュレーションの応用やモデリングに関する研究から、実験研究、直接数値解析を用いた現象解明に関する研究など多岐にわたる。ここでは、Turbulent transport セッションに限らず、乱流に関連する研究発表をいくつか紹介する。

### 2. 伝達促進に関する研究

乱流現象に関する研究発表の中でも、特に伝熱促進に関する研究発表が多く行われた。Kametani ら[1]の研究では、随伴変数法を用いて、摩擦係数や熱伝達率を含む目的関数を最小化する波状フィン形状を探索する方法が報告された。また、摩擦係数を最小化、熱伝達率を最大化するそれぞれの具体的なフィン形状なども報告された。Kametani らの研究は直接数値解析のデータを用いた最適化が紹介されたが、非定常レイノルズ平均モデルのデータを用いて、Efficient Robust Global Optimization (ERGO) 法によって、U ベンド管の圧力損失を最小化し、熱伝達率を最大化する研究[2]や、熱交換機内部の流れを対象として、多変数の目的関数を最小化する研究[3]も報告された。その他、粗さを用いた伝熱促進に関して、熱・運動量輸送の非相似を議論する研究がいくつか報告された。Kuwata ら[4]は波状粗面を対象として、粗さレイノルズ数、粗さ表面積の 2 つのパラメータが熱・運動量輸送の非相似性と関連があることを報告した。Yang ら[5]は粗さ高さの確率密度関数、パワースペクトル関数によって生成される粗面近傍の乱流熱流動を直接数値解析によって調査し、

粗さ高さに関連するこれら関数が熱流動特性を決定づけることを報告した。そのほか粗面乱流に関する研究[6,7]等が報告された。また熱・運動量輸送の非相似性に関連して、Nakamura[8]によって、旋回を加えた円管内流れにおいて、特に層流から乱流に遷移する領域において、旋回による熱伝達率の増加が摩擦応力の増加を上回ることが報告された。

### 3. 乱流中のアクティブスカラーに関する研究

乱流中のスカラー輸送に関する基礎研究では、スカラーが流れに影響を及ぼさないパッシブスカラーとして扱われることが多い。しかし、本会議では、アクティブスカラーとしての熱を対象とした研究報告がいくつか行われたので紹介する。He によって行われたキーノートレクチャー[9]では、温度変化に伴う物性値の変化、浮力、流体の熱膨張などの複合的な影響によって引き起こされる乱流熱伝達の悪化を予測する研究が発表された。本講演では、圧力勾配一定の条件下においては、アクティブスカラーを含む乱流場の乱流特性が大きく変化しないことを利用した Apparent Reynolds number (ARN) モデルによって、加熱円管内の熱伝達の悪化の予測が可能であることが示された。ARN 理論を用いた関連研究は Zou ら[10]によっても報告されており、加熱円管内の空気や超臨界状態の二酸化炭素を対象とした複合対流場のヌセルト数の予測が ARN 理論によって可能であることが示された。また、Zhao ら[11]は、粘性係数、密度、熱伝導率、比熱の温度依存性が平均速度・温度分布に与える影響をモデル化し、物性値の温度依存性を考慮した摩擦係数、ヌセルト数の予測モデルを提案した。Suga ら[12]は、水流を対象として、粘性係数の温度依存性を考慮した解析的壁関数モデルを提案し、壁面加熱（冷却）に伴う乱流の減少（増加）が再現できることを示した。

#### 4. Turbulent transport セッション

Turbulent transport セッションは、Combustion, Gas turbine, Manufacturing, Jet との合同セッションであったため、分野を横断した研究も多く見られた。ここでは、その研究発表をいくつか紹介する。Stephens ら[13]は、船舶から排出される高温ガスの拡散挙動を明らかにするために、直方体の構造物の上部から噴出される高温流体の乱流拡散現象を実験・数値解析によって調査を行い、噴流とそれと直行する周囲流の運動量比が拡散現象を支配していることを明らかにした。Yang ら[14]は、ガスタービンにおける無機質燃焼生成物 (CMAS, CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>) のデポジション挙動を数値解析によって調査した。その結果、CMAS 粒子の運動・熱伝達は主流の高温ガスの特性に影響を受けること、翼表面への CMAS 粒子の堆積挙動は、主流と冷却空気の吹き出し比に依存する双子渦の影響を強く受けることを明らかにした。ガスタービンのフィルム冷却に関連して、Lee ら[15]は、ガスタービンを構成する部品の熱膨張係数の違いによって生じる間隙がフィルム冷却に与える影響を数値解析によって調査し、ノズルの端壁と燃焼器出口との位置ずれは、端壁近傍の流動形態を変化させ、フィルム冷却性能に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

#### 参考文献

- [1] Yukinori kametani, Sho Watanabe, Yosuke Hasegawa, Multi-objective adjoint-based shape optimization of heat transfer surfaces in turbulent flows with DNS-RANS hybrid approach, paper ID: 353.
- [2] Jolan Wauters, Surrogate-assisted multi-objective design optimization under uncertainty of a U-bend subjected to phase change, paper ID: 1096.
- [3] R. Karvinen, Multi-Objective optimization of some heat exchangers, paper ID: 1080.
- [4] Yusuke Kuwata, Wataru Yagasaki, Kazuhiko Suga, Scaling of turbulent heat transfer over sinusoidal rough surfaces, paper ID: 40
- [5] J. Yang, J. Velandia, S. Bansmer, A. Stroh, P. Forooghi, DNS-based thermohydraulic assessment of artificial roughness surrogate, paper ID: 479.
- [6] G. Favero, M. Bonesso, R. Dima, A. Pepato, F. Zanini, S. Carmignato, M. Simone, Surface roughness effects on water pressure drops of channels made via metal additive manufacturing, paper ID: 627.
- [7] Krishan Chand, Mukesh Sharma, Arnab Kr.De, Effect of multi-scale rough surfaces on heat transfer mechanism and flow structures in turbulent Rayleigh-Bénard convection, paper ID: 390.
- [8] Hajime Nakamura, Yoshinori Sugawara, Shunsuke Yamada, Yuki Funami, Consideration of factors that cause heat transfer enhancement by swirling the in-pipe flow in the transition regime, paper ID: 333.
- [9] Shuisheng He, New insight into heat transfer deterioration, paper ID: KN14.
- [10] Zewen Zou, Jundi He, Elena Marensi, and Shuisheng He, New understanding of heat transfer deterioration due to buoyancy, paper ID: 744.
- [11] Houjian Zhao, Xiaowei Li, Zhiyi Peng, Xinxin Wu, New Friction Factor and Nusselt Number Correlations for Turbulent Convection of Gas with Variable Properties, paper ID: 943.
- [12] Kazuhiko Suga, Haruki Sugimoto, Yusuke Kuwata, Wall modelled LES of turbulent flows with temperature-dependent variable viscosity, paper ID: 20.
- [13] Isaac Stephens, Ieuan Owen, Mark White, The dispersion of a high temperature air jet in a bluff body wake, paper ID: 309.
- [14] Chaoran Yang, Yuzhang Wang, Kunyu Zhang, Fan Liu, Effect of conjugate heat transfer characteristics on CMAS deposition on high temperature blade, paper ID: 799.
- [15] Jeongwon Lee, Hee Seung Park, Hee Jae Lee, Ju Hyun Im, Hyung Hee Cho, Effect of upstream misalignment on film cooling effectiveness with purge flow of the nozzle endwall, paper ID: 408.

## Thermophysical Properties

吉田 篤正 (大阪公立大学 / 早稲田大学)

*Atsumasa YOSHIDA (Osaka Metropolitan University / Waseda University)*

*e-mail: a-yoshida@omu.ac.jp*

### 1. はじめに

南アフリカのケープタウンで開催された第 17 回国際伝熱会議の報告をします。日本からのフライトも長時間を必要とし、治安の面でも不安を抱えての参加となったこともあり、参加者数、発表件数はこれまでの同会議より少なかったと聞いています。採択された論文数の国別では、中国が最も多かったが、ビザの関係で欠席が多いのが目立ちました。優秀若手研究で受賞した中国の研究者の講演も代読されました。会議の全体構成は、プレナリー講演、パネルディスカッション、キーノート講演および一般のポスターセッションでした。ポスターセッションの区分けが細かく、多くのセッションで複数のカテゴリを併せて一つのセッションで組まれていました。各講演のカテゴリが明記されていないので、内容から判断して熱物性のカテゴリでの研究発表と思われる登録件数は 7 件程度でした。



### 2. プレナリー講演

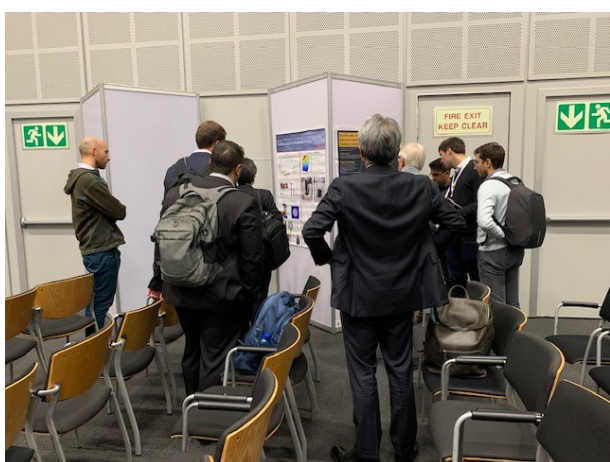
プレナリー講演の中で、熱物性、ふく射物性に関係する内容がありましたので、2 件の講演に関して報告します。

会議のオープニング直後の Fourier Lecture の講演者、Xian Zhang 教授の講演に関して触れておきたいと思います。伝熱研究の第一人者で、日本の研究者とも親交が深く、著者も若いころからの知己です。熱力学の基礎理論、実験に関わる歴史的な経緯から始まり、最近の熱工学的なアプローチまで講演者のこれまでの取り組みも交えてわかりやすい講演で、Fourier Lecture に相応しい講演でした。その中でナノマテリアルの特性を明らかにするためのナノスケールの計測手法の開発が喫緊の課題であることが強調されました。最先端の計測手法も紹介され、非常に興味深い内容でした。予定が遅れ気味の中で、講演終了近くに主催者側と講演者間で講演時間に関して若干のやり取りがありました。時間が押してもゆっくりと拝聴したい講演でした。

もう一件、会議 2 日目の Chang-Ying Zhao 教授のふく射物性に関わるプレナリー講演を報告します。こちらにもふく射物性分野でのマイクロ/ナノスケールのふく射理論の紹介、現象を理解、制御するための計測技術について具体的に講演され、著者の専門にも近く興味を持って拝聴させていただきました。この分野で活発に議論されている近接場熱ふく射に関して、計測技術、デバイスの開発など具体的な課題に関して熱心に講演されました。講演後ふく射の基礎理論についての質疑があり、もう少し議論を聞いていたかったが、十分には議論が深まらず残念でした。

### 3. ポスターセッション

熱物性を含むカテゴリのポスターセッションは会議最終日の午前中に開催されました。2 分程度の短い講演がセッション全体で行われ、その後、各ポスターの前で参加者との議論が約 1 時間程度行われました。



熱物性のカテゴリと判断した研究発表の報告をします。最後の2件に関しては、中国の研究者による研究で、当日の発表がなく、掲載論文の内容になります。

- ✓ Quantum Convection from Deterministic Quantum Mechanics Leading to Radiation Heat transfer ふく射伝達に量子効果を組み込んだ評価を行った。
- ✓ An Application of Modulated Photothermal Radiometry for Numerical Thermal Analysis of Complex Materials 光熱変換法による厚さ方向に分布のある材料の熱的性質を求めるために数値計算により検討を行った。
- ✓ Identification of the Thermophysical Properties of Polymer and Composite Materials during their Transformation 生産工程中の材料の状態を知るために熱的性質を求める際の計測方法に関する検討を行った。

- ✓ High-temperature Thermal Conductivity Measurements of Macro-porous Graphite 多孔質性グラファイトの高温熱伝導率測定に関する検討を行った。
- ✓ Development of Thermophysical Measurement Technique of Ceramic Coating Using Photoacoustic Method セラミックスの溶射被膜を対象に光音響法を用いて熱拡散率および熱浸透率を測定する技術的手法の開発を行った。
- ✓ Preliminary Study on Thermal Conductivity of Cocrfenicu High-entropy Alloy 合金材料の格子熱伝導率の計測方法に関して分子動力学法による検討を行った。
- ✓ Spectral Emissivity and Temperature Measurement Simultaneously of Low Thermal Conductivity Materials 高温下で熱伝導率の低い材料の分光放射率と温度を同時に測定する測定システムを開発した。

✓  
全体の発表件数も従来に比べて少なく、熱物性に関する発表も少ない状況でした。他のセッションで発表された研究論文の中に、その一部に熱物性に関わる内容が含まれる論文も見られましたが、報告では割愛したことをご容赦願います。

最後にケープタウンのシンボルであるテーブルマウンテンからのケープタウン市街の眺望を示して報告を終わりにしたいと思います。

