

# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

ISSN 1344-8692 **Vol. 57, No. 241**  
2018. 10

*Thermal Science and Engineering*

ISSN 0918-9963 **Vol. 26, No. 4**  
2018. 10

*HSTJ*

◆特集：第16回国際伝熱会議

## Carnot Family

31

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Sadi\\_Carnot\\_\(physicien\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sadi_Carnot_(physicien))



**“the Organizer of Victory”  
in the French Rev. Wars**



Sadi



Lazare



Hippolyte

*“He had such a repugnance to bringing himself forward that, in his intimate conversations with a few friends, he kept them ignorant of the treasures of science which he had accumulated.” [Hippolyte]*

**Despite his reticence, however, he was a quarter of a century ahead of the physicists at that time.**

**Possibly the most astonishing fact about Sadi Carnot's work is that it was received in complete silence by the world of French science. [Mendoza, 1959]**

27

*“A few days after its publication, Carnot's book was formally presented to the Académie des Sciences; It was presented by Girard, a prominent engineer. Among the Academicians present were:*



Arago



Fourier



Laplace



Ampère



Gay-Lussac



Poinsot



Fresnel



**mistakenly  
used  
for nearly  
200 years**

Legendre



Poisson



Cauchy



Dulong



Navier



Prony

*In fact, Carnot's book made hardly a ripple on the surface of the main stream of science.” [Cardwell, 1971]*

Sadi Carnot はフランスで超名門の家系の出身でした。しかし、Sadi の“*Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu*” (1824) は、フランス学士院の錚々たるメンバーの前で発表されたもののほとんど評価されず、のちに Émile Clapeyron を経て William Thomson (Lord Kelvin) によって、はじめてその価値を認められました。(なお、図中の Legendre は200年ほど間違った肖像が使われていたそうです。関連して、Thomas Newcomen は肖像が残されていないので、Google等の検索で出てくる肖像はすべて間違いです。同 Slide 41 ご参照。) (特集記事「第16回国際伝熱会議—京都2014から北京2018へ (吉田 英生)」より)

# 伝 熱

## 目 次

### 〈巻頭グラビア〉

吉田 英生 (京都大学) …………… 表紙裏

### 〈特集：第16回国際伝熱会議〉

第16回国際伝熱会議—京都2014から北京2018へ……………	吉田 英生 (京都大学) ……………	1
日本地区論文委員会 (JSC) 報告		
……………加藤 之貴 (東京工業大学), 高田 保之 (九州大学) ……………		6
「第4回抜山記念国際賞」の経過と授賞報告……………	岡崎 健 (東京工業大学) ……………	8
2016 Hartnett-Irvine Award of ICHMT を受賞して……………	松本 亮介 (関西大学) ……………	10

### レビュー

Boiling and Evaporation……………	矢吹 智英 (九州工業大学) ……………	11
Bio and Medical Applications……………	巽 和也 (京都大学) ……………	13
Combustion and Thermochemistry……………	志村 祐康 (東京工業大学) ……………	15
Computational Methods and Simulation……………	服部 博文 (名古屋工業大学) ……………	17
Cooling and Thermal Management……………	畠山 友行 (富山県立大学) ……………	21
Convection……………	保浦 知也 (名古屋工業大学), 中村 元 (防衛大学校) ……………	23
Electrochemical Systems……………	岩井 裕 (京都大学) ……………	26
New Energy and Efficiency/ Energy Conversion and Storage		
……………	松原 幸治 (新潟大学) ……………	28
Heat Exchanger……………	廣田 真史 (三重大学) ……………	31
Nano and Microscale Transport/ Molecular, Photon, Phonon and Electron Transport		
……………	菊川 豪太 (東北大学) ……………	35
Multiphase Flow……………	小宮 敦樹 (東北大学) ……………	38
Porous Media……………	桑原 不二郎 (静岡大学) ……………	39
Radiation and Thermal Insulation……………	戸谷 剛 (北海道大学) ……………	41
Thermal Properties Measurement……………	中別府 修 (明治大学) ……………	44
若手研究者からみた国際伝熱会議……………	栗山 怜子 (京都大学) ……………	45
若手研究者からみた国際伝熱会議……………	鈴木 崇弘 (大阪大学) ……………	47
若手研究者からみた国際伝熱会議……………	弗田 昭博 (筑波大学) ……………	49
Young Researchers Meeting に参加して……………	出島 一仁 (明治大学) ……………	51

## 〈ヒストリーQ〉

人と熱との関わりの足跡（その3）

—大阪万国博と札幌冬季五輪に駆動された我が国の地域熱・冷熱供給—

……………河村 洋（公立諏訪東京理科大学），白石 貞二（（株）北海道熱供給公社）…………… 54

## 〈会議報告〉

10th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer 開催報告

……………高田 保之（九州大学/I2CNER），上野 一郎（東京理科大学）…………… 60

## 〈国際活動〉

アジア熱科学工学連盟（AUTSE）第4回および第5回 Executive Board Meeting 報告

……………高田 保之（九州大学）…………… 63

## 〈行事カレンダー〉

…………… 65

## 〈お知らせ〉

第56回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集…………… 66

優秀プレゼンテーション賞（第56回日本伝熱シンポジウム）について…………… 69

編集出版部会からお知らせ…………… 70

・事務局からの連絡…………… 71

## 〈編集出版部会ノート〉

…………… 76

CONTENTS

< Opening-page Gravure:heat-page >

Hideo YOSHIDA (Kyoto University) ..... Opening Page

< Special Issue: The 16th International Heat Transfer Conference >

The 16th International Heat Transfer Conference—from Kyoto in 2014 to Beijing in 2018

Hideo YOSHIDA (Kyoto University) ..... 1

Report on Japanese Scientific Committee

Yukitaka KATO (Tokyo Institute of Technology),  
Yasuyuki TAKATA (Kyushu University) ..... 6

Report of the Fourth Nukiyama Memorial Award

Ken OKAZAKI (Tokyo Institute of Technology) ..... 8

2016 Hartnett-Irvine Award

Ryosuke MATSUMOTO (Kansai University) ..... 10

Reviews

Boiling and Evaporation

Tomohide YABUKI (Kyushu Institute of Technology) ..... 11

Bio and Medical Applications

Kazuya TATSUMI (Kyoto University) ..... 13

Combustion and Thermochemistry

Masayasu SHIMURA (Tokyo Institute of Technology) ..... 15

Computational Methods and Simulation

Hirofumi HATTORI (Nagoya Institute of Technology) ..... 17

Cooling and Thermal Management

Tomoyuki HATAKEYAMA (Toyama Prefectural University) ..... 21

Convection

Tomoya HOURA (Nagoya Institute of Technology),  
Hajime NAKAMURA (National Defense Academy) ..... 23

Electrochemical Systems

Hiroshi IWAI (Kyoto University) ..... 26

New Energy and Efficiency/ Energy Conversion and Storage

Koji MATSUBARA (Niigata University) ..... 28

Heat Exchanger

Masafumi HIROTA (Mie University) ..... 31

Nano and Microscale Transport/ Molecular, Photon, Phonon and Electron Transport

Gota KIKUGAWA (Tohoku University) ..... 35

Multiphase Flow

Atsuki KOMIYA (Tohoku University) ..... 38

Porous Media	
Fujio Kuwahara (Shizuoka University) .....	39
Radiation and Thermal Insulation	
Tsuyoshi TOTANI (Hokkaido University) .....	41
Thermal Properties Measurement	
Osamu NAKABEPPU (Meiji University) .....	44
Review from a Young Participant	
Reiko KURIYAMA (Kyoto University) .....	45
Review from a Young Researcher	
Takahiro SUZUKI (Osaka University) .....	47
Review from a Young Participant	
Akihiro FUTSUTA (University of Tsukuba) .....	49
Report on Young Researchers Meeting	
Kazuhito DEJIMA (Meiji University) .....	51
<b>&lt; History Q &gt;</b>	
Footprints of the relationship between humans and heat (Part 3)	
—District Heating and Cooling Promoted by Osaka World Exposition and Sapporo Winter Olympic Game—	
Hiroshi KAWAMURA (Suwa University of Science),	
Teiji SHIRAIISHI (Hoku Netsu Corporation) .....	54
<b>&lt; Conference Report &gt;</b>	
Report on the 10th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer (ICBCHT2018)	
Yasuyuki TAKATA (Kyushu University/I2CNER),	
Ichiro UENO (Tokyo University of Science) .....	60
<b>&lt; International Activity &gt;</b>	
Report on The 4th and 5th Executive Board Meeting of Asian Union of Thermal Science and Engineering (AUTSE)	
Yasuyuki TAKATA (Kyushu University) .....	63
<b>&lt; Calendar &gt;</b> .....	65
<b>&lt; Announcements &gt;</b> .....	66
<b>&lt; Note from the JHTSJ Editorial Board &gt;</b> .....	76

## 第16回国際伝熱会議—京都2014から北京2018へ

*The 16th International Heat Transfer Conference—from Kyoto in 2014 to Beijing in 2018*

吉田 英生 (京都大学)

*Hideo YOSHIDA (Kyoto University)*

*e-mail: sakura@hideoyoshida.com*

### 1. はじめに

第16回国際伝熱会議 (The 16th International Heat Transfer Conference, IHTC-16) が中国の北京で8月10日(金)~15日(水)に開催されました。会場はオリンピック競技場そばの巨大なChina National Convention Center (図1) の南側半分です。会場のいたるところに国際伝熱アセンブリー (The Assembly for International Heat Transfer Conferences, AIHTC) のロゴと天壇祈年殿がシンボルマークとして表示され雰囲気を盛り上げていました (図2)。前回京都でのIHTC-15 [1-3] と比べると、一般セッション「全オーラル」が「全ポスター」に変わった点以外は共通点が多く、とりわけ小宮敦樹氏 (東北大学) により導入されたセッション名を表す3letterや、小田豊氏 (関西大学) が中心になって立ち上げられたYoung Researchers Meeting, YRMが引継がれるなど、アジア地区での連携・発展という面から嬉しいことでもありました。

中国のExecutive Committeeから閉会時に発表された統計によりますと、Plenary Lecture 3件、Keynote Lecture 28件、General Session 40, General Paperは1000編を越え (うち5割弱が中国で最多、日本は1割強で2番目)、参加者は1400名を超えたとのことです。



図1 会場のChina National Convention Center  
<http://www.cnccchina.com/en/>



図2 会場入口 (天壇祈年殿がシンボルマーク)

### 2. AIHTCのPresidentを拝命して

2014年8月16日—京都では五山送り火の日—から2018年8月15日までのちょうど4年間、筆者はAIHTCのPresidentを務めさせていただきました。本来ならIHTC-15のChair of Organizing Committeeだった笠木伸英氏が就任されるべきところ世代交代の意味で分不相応の大役を拝命し、責任の重さを痛感した筆者は、それからの4年間は非力ながらもせめてAIHTCを日々の「究極の関心事、A Matter of Ultimate Concern (Erich Fromm)」とすることとしました。

とはいっても、多様な背景を有する世界18カ国36名のDelegatesを相手にするこのような仕事は、とても筆者一人の力でこなせるものではありません。そこで、2006年のAIHTCにおけるIHTC-15京都招致以来、笠木氏と筆者との間のやりとりを近くで見てきた京都大学の岩井裕氏と巽和也氏にはSpecial Assistants to Presidentをお願いして、知恵と技術と労力を借りることでなんとか乗り切ることができました。

### 3. AIHTCの役割

4年ごとに開催されるIHTC自体は、開催8年前のAIHTC会議で開催地さえ決まれば (今年の場合、8月13日の会議で2026年のIHTC-18がブラジルのリオデジャネイロに決定)、そのあとは基本的には現地のOrganizing/Executive CommitteesとInternational Scientific Committeeにお任せするしかない性格のものです。ただし、AIHTCはIHTC開催の中間年 (=夏季オリンピック開催年) にも会議を行い、2年後にせまったIHTCの大枠のチェックを行っています。

しかし、AIHTCはそれだけの役割では不十分ではないか、また決して大きいとはいえないThermal Science and Engineeringのコミュニティーで、熟物質輸送国際センター (International Centre for Heat and Mass Transfer, ICHMT) と並んで二つの国際機関が独立に活動を展開している (しかもコアメンバーそのものは結構オーバーラップしている) のはおかし

いのではないかというのが、IHTC-15の1年後に亡くなられた笠木氏の問題意識でした。両機関は、Thermal Science and Engineeringのコミュニティのレジビリティを高めるとともに未来に向けてあるべき枠組みをつくっていく牽引役・求心力にならないといけない—そしてその枠組みの中で個々とりわけ若手の研究者が最大のポテンシャルを発揮できるようにする責務がある—というのが氏の強い主張でした。

確かに、AIHTCの主だった活動としては、設立当時はともかくルーチン化後は、4年ごとのIHTCの開催以外には特になく、唯一の例外は2014年に当時のPresidentのAvram Bar-Cohen氏とVice Presidentの笠木氏が尽力され、過去のProceedingsをBegell House社の協力を得てInternational Heat Transfer Conference Digital Library, IDL, <http://ihtcdigitalibrary.com/> にオンライン化したことくらいです。また、ICHMTの方はちょうど50年前の1968年9月にA.V. Luikov, E.A. Brun, E.R.G. Eckert, U. Grigullら（後述の‘Thermal’創刊号参照）により設立されたものの、現在はやはりルーチン化した事業を行っているに過ぎない面も否定できませんでした [4-10]。そこで、笠木氏と筆者は両者を段階的に融合するとともに活動をより活性化させ、将来的にInternational Union of Thermal Science and Engineering, IUTSEとする提案を2014年4月に行いました。しかし、そのときは関係者の十分な理解・賛同を得るにいたりませんでした [11]。

このような経緯から、AIHTC会長を拝命したからには、IUTSEの実現に向けて布石を打とうと考えました。まず着手したのは最小限の情報しかなかったAIHTCのウェブサイト <http://www.aihtc.org/> の充実で、とりわけ現在では埋もれている歴史的資料をアップロードしてAIHTCの存在感を高めるとともに、伝熱に貢献をされた方々のTributeも収集しました（<http://wattandedison.com/IJHMT.html> へのリンク）。また、笠木氏の結果的に最後の仕事となったIHTC-15でのPlenary Panel “The Role of Thermal Science in Meeting Societal Challenges”は、私たちへの不朽の遺産として、同セッションのアシスタントを務めた巽氏に取り纏めを依頼し、2016年5月に公開しました <http://www.ihtc-15.org/IHTC-15-plenary-panel.shtml>。次いで、2016年6月にクラコウで開催されたAIHTC会議に付随して、Bar-Cohen氏らと若干名でIUTSE実現のための意見交換会を行ったものの、これといった実効性のある案は出ませんでした。その後、筆者

は、まずは世界のThermal Science and Engineeringのコミュニティのメンバーがお互いを知ることが出発点だと強く思うに至りました。これが、後述のInternational Newsletter創刊につながります。

#### 4. IHTC-16：台湾からの論文とOne-China Policy

IHTC自体は現地のExecutive Committeeなどにお任せするしかないと先ほど述べましたが、IHTC-16では、そうはいかない問題が2018年2月末になって発生しました。いわゆる「一つの中国、One-China Policy」です。具体的には、中国国内で開催する国際会議で著者が台湾人である場合に‘Taiwan’と表記することは国家の方針として許されないということが、中国のCommitteeから示されました。オリンピックでも台湾は‘Taiwan’でなく‘Chinese Taipei’という表記で妥協策をとっていることはよく知られていますが、まさかその規制が学術論文上の表記にまで適用されるとは、私たちは思ってもいませんでした。

中国のCommitteeメンバーもやむなく国家の規制に従わされていることは私たちも十分理解しつつも、かといって純粋に科学的な会議であるIHTCに政治の力が及ぶのは何としても避けたいという願いがありました。そして、数は少数かもしれませんがこの規制のために、本来ならIHTC-16に参加を希望していた台湾の研究者がそのチャンスを奪われるのはAIHTCとして耐えがたいことでした。

台湾から投稿された論文担当Editorの高田保之氏や加藤之貴氏とも連絡を取り合い、また知り合いの台湾人あるいは台湾に造詣の深い日本人などからも情報を得て、中国のCommitteeメンバーと意見交換、さらにはAIHTCのDelegatesの意見も求め、IHTC-16後に発行のIDLでの掲載などの代替策も検討しました。しかし結局、規制はいかんともしがたく、オリンピック同様に‘Chinese Taipei’を受け入れる台湾の方のみがIHTC-16に参加することになりました。

中国のPing Cheng氏（Chair of Organizing Committee）、Xing Zhang氏（Chair of Executive Committee）、Qiuwang Wang氏（Co-chair of International Scientific Committee）らとは、以前から親しくしていたこともあり、国際舞台でお互いの立場を背負って意見を激しくぶつけざるを得ないのはたいへん辛いことでしたが、一度はその段階を経て何とか着地点をみつけないという困難な国際交渉の一端を学ばせていただきました。なお、中国と台湾がともに重要メンバーで



あるAsian Union of Thermal Science and Engineering, AUTSEでは、本問題を乗り越えてさらなる発展を築いていただきたいと願う次第です。

## 5. Fourier Lecture

AIHTCのPresidentを拝命して、いちばんプレッシャーになったことのひとつが、IHTC-16のOpeningでのFourier Lectureでした。E.R.G. EckertやU. Grigullといった仰ぎ見るような歴代PresidentによりなされてきたFourier Lectureですが、それを一日本人による付け焼刃的な薄っぺらな講演で終わってしまつて会議全体を最初のところで台無しにしてしまわないか、AIHTCの権威を地に落としてしまわないか、そして日本の評判を落としてしまわないかなど、真剣に悩みました。その結果、2017年の正月に一計を案じました。日本が誇るあの山本義隆氏の「熱学思想の史的展開」の内容なら誰もが納得していただけるのではないだろうか？ とりわけカルノーの部分は誰にも興味深いにちがいない—というわけで、2018年5月末まで1年5か月をかけて、まえがきと18~20章の英訳に挑戦することにしました。

山本氏にその決心を伝えますと快諾いただき、直ちに参考文献を段ボール箱で2箱分送っていただきました。ただし、本文中に多量に引用されている原著は本専用のトランクルームに預けてあってすぐには出てこないということで、京都大学内の医学・薬学・農学部を除く全学部の図書館と国会図書館、さらに東京理科大学の図書館にも通つて、英語原文そしてフランス語原文の英訳文を100%収集しました。文庫本で100ページ以上（といっても全体の1/10程度にすぎません）の英訳は、受験勉強で英作文に注ぎ込んだ時間以上のしんどい作業でしたが、山本氏の著作をこの機会に世界に紹介できるかと思うとやりがいがありました。なお、英語だけでなく、ドイツ語、フランス語の文献にも山本氏の几帳面な書き込みや下線の追加がたくさんあるのを目の当たりにし、氏のものすごい勉強量に圧倒されました。

講演後、これまで全く経験したことがないたくさんの方々から“interesting”という言葉をかけていただきました。山本氏の名曲を拙いながらも演奏し、名曲の価値を多少なりともお伝えできたのかなど胸をなでおろしているところです。なお、拙訳と発表スライドは <http://www.aihtc.org/fourier.html> からオープンアクセスしていただけます。



図3 Fourier Lecture

## 6. IHTC-16：数々の場面

### 6.1 Keynote LectureとPanel Session

セッションの詳細報告は他のたくさんの方々によりなされますので、以下、筆者の印象に残った数々の場面につき述べさせていただきます。

筆者が初めてIHTCに出席したのは36年前の1982年ミュンヘンで開催されたIHTC-7でした。筆者はD3の学生で飛行機も海外も初めて、また海外との通信は郵便以外では国際電話かTelexという機械（Faxさえも未普及）、ワープロもなくタイプライター、そんな時代でした。そのような背景のなか、当時Keynote Lectureというと、ほとんどが貴重な情報入手源としてのReview Paper（多くの場合、参考文献が100編以上）でした。しかし、今回のKeynote Lectureを見ると、ご自身の（それも比較的最近の）研究に焦点を当てたものが少なくないように感じました。これは良い悪いの問題ではなく、研究テーマがそれだけ多様化・細分化するとともに日々急速に進展しているということを反映しているのでしょうか。

Panel Sessionは350人が収容できるAuditoriumで4つありました。Panel Sessionについて一つだけ強く希望するのは、IHTCのような重要な場でパネルを企画されるなら、その場で言いつばなしでなく、ぜひとも効果的な形でエッセンスを参加できなかった人や後世の人にも伝えていただきたい、またそれに耐えるような周到に準備された内容であつてほしいということです。

清華大学のZengyuan Guo教授らが提唱されているEntransyは、4年前のIHTC-15でもホットな議論になったテーマです。今回のEntransyに関するPanel Sessionは主催者側がバンケット直前に組み込んだ意図からも、IHTC-16の白眉であつたと思います。その中で、マルセイユ大学のAnnie Steinchen氏

(1956–1989にブリュッセル自由大学在籍で、Ilya Prigogineの高弟)が、「英語は得意でない」と謙遜されながらもSkype経由で一言一言を噛みしめるように発言されたのは、筆者には国連でのPablo Casalsの有名なスピーチも思い起こさせるような感銘深いものでした。正しい知への理解、また美しい情への共感というのは、畳みかけるようなかまびすしいスピーチではなく、Steinchen氏やCasalsのような落ち着いた語り口の中で深みを増すようにも感じました。

## 6.2 各賞の表彰

第4回目となるNukiyama Memorial Awardの詳細は岡崎健委員長による報告をご覧くださいと、8月14日(Closing前日)に行われたバンケットで同賞のほかICHMT各賞(2016 Luikov Medal, William Begell Medal, 2016 Fellowship Award, 2016 Hartnett-Irvin Award<sup>1)</sup>, AUTSEのThe Young Scientist Awardなどの表彰が行われました。図4は2016 Hartnett-Irvin Awardの受賞式でスピーチ中の関西大学の松本亮介氏です。AUTSEのThe Young Scientist Awardは韓国、中国、日本の若手各一人に授与されますが、日本からの受賞者は東北大学のLin Chen氏(北京大学卒業)でした。



図4 2016 Hartnett-Irvin Awardの受賞式

<sup>1</sup> The Hartnett-Irvine Award is given annually to the best paper on heat or mass transfer presented at a conference, symposium or seminar organized or co-sponsored by ICHMT in the previous year. The Award has been established to honor the lives and memory of James P. Hartnett and Thomas F. Irvine, founders of ICHMT and outstanding leaders in the fields of energy resources and heat and mass transfer research.  
(<http://www.ichmt.org/page/41/hia> より抜粋)

## 6.3 中国のみなさまのおもてなしに感謝

「おもてなし」という点からIHTC-16を振り返りますと、ハード面でもソフト面でも、中国の方々には最善を尽くしていただいたと感謝します。まず、会議でいちばん重要なのは、プロジェクター映像の明瞭さとスクリーンの大きさだと思いますが、いずれの部屋も最新の設備で申し分ありませんでした。

IHTC-15で導入したMemorial Slides (前のIHTC以降4年間に残念にも亡くなられた方々のTribute)について、今回も同様にポスター会場入口で10秒間隔で繰り返してスライドショーしていただきました。

ペットボトルの水はどの部屋にもふんだんに置かれ、Keynote Lectureと(午前はポスターのショートオーラル発表もはさんで)セットになった1日2回のコーヒーブレイクは貴重な情報交換の場でした。5日分のランチもボリューム満点。バンケットはオープニングが行われた巨大なホール(幅54m, 奥行60m)で1000人収容ということで、IHTC-15の京都国際会館での800人を上回る規模一本当に大変だったと思います。アトラクションはTsinghua Symphony Orchestraメンバーによる室内楽、水鼓舞、モリンホール(馬頭琴)演奏、川劇(せんげき)の変臉(へんれん:顔全体に施した臉譜(れんぶ)を一瞬で違う役のものに変える技)、中国ごまなど、美味しい中華料理とともに十分に楽しませていただきました。

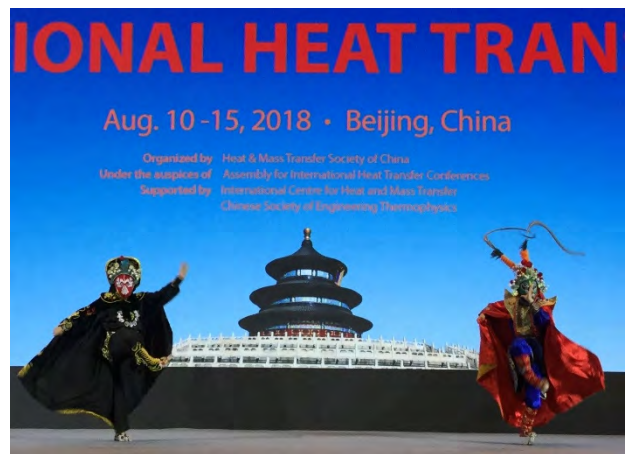


図5 バンケットでのアトラクション：モリンホール演奏と川劇の変臉



図6 Closing直後のIHTC-16スタッフ集合写真

最後に、IHTC-16で心に残る1枚としてご紹介したいのは、Closing直後に筆者もシャッターを押させていただいた写真です(図6)。左端の二人はZhang教授、Christopher教授、右端の三人は中央寄りからWang教授、Guo教授、Chen教授です。赤いシャツを着ているのは清華大学の学生さんです(結果的に、Wang教授だけが西安交通大学で他は清華大学)。中国のみならず、本当にありがとうございました。谢谢!

### 7. International Newsletter 'Thermal'

結びとして、IHTC-16からは少し外れますが、本会メールでもご案内していただきましたInternational Newsletter 'Thermal'につき付記します。3章で述べたThermal Science and Engineeringに関わる世界のコミュニティの相互理解促進を目的として、IHTC-16開催直前に国際5機関(ICHMT, AIHTC, ASTFE, AUTSE, EURO THERM)合同でBegell House社のご協力のもと発行することができました(図7)。これは、ちょうどICHMT創立50周年記念号ともなりました。

'Thermal'は、Temperature-, Heat-, Energy-, Reaction-, Mass-related Alliance to communicate within, and publicize beyond, the international thermal science and engineering communityというちょっと苦しい? acronymですが、LisbonからLondon, Heathrowに向かうポルトガル航空(Star Alliance系!)機内で思いついたものです。米英のメンバーからも特に異議は出なかったのが英語として許容範囲のようです(to以下の文章部分はTerrence Simon氏の提案によります)。

なお、No. 2は、新たにAIHTCのPresidentに就任されたXing Zhang氏がEditor-in-Chiefとなり、2019年初頭の発行を目指して準備中です。



図7 Thermal, No.1

<http://www.aihtc.org/documents.html>

### 参考文献

- [1] 笠木伸英, 第15回国際伝熱会議の報告, 伝熱, **53-225** (2014) 10.
- [2] 吉田英生, 日本と京都によろこそ: 実行部隊の3400日, 伝熱, **53-225** (2014) 12.
- [3] 円山重直, 第15回国際伝熱会議・国際科学委員会報告, 伝熱, **53-225** (2014) 14.
- [4] 平田賢, 国際伝熱センターについて, 伝熱研究, **10-36** (1971) 1.
- [5] 森康夫, 国際熱・物質伝達センター (International Centre for Heat and Mass Transfer) について, **24-95**, (1985) 23.
- [6] 森康夫, International Centre for Heat and Mass Transferについてのニュース, **26-100**, (1987) 81.
- [7] 越後亮三, International Centre for Heat and Mass Transferについてのニュース, **29-115**, (1990) 4.
- [8] 鈴木健二郎, International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT) - その最近の活動報告と会員各位へのお願い -, 伝熱, **43-182** (2004) 3.
- [9] 笠木伸英, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の最近の活動と今後の課題, 伝熱, **50-210** (2011) 48.
- [10] 吉田英生, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の2011年以降の活動, 伝熱, **51-217** (2012) 52.
- [11] 吉田英生, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の現状と今後の課題, 伝熱, **55-230** (2016) 54.

## 日本地区論文委員会 (JSC) 報告

*Report on Japanese Scientific Committee*

加藤 之貴 (東京工業大学), 高田 保之 (九州大学)

*Yukitaka KATO (Tokyo Institute of Technology), Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)*

*e-mail: yukitaka@lane.iir.titech.ac.jp*

### 1. はじめに

IHTC では世界の地域 (Region) 毎に論文委員会が置かれ当該地域から投稿された論文の審査を行う。日本地区論文委員会 (Japanese Science Committee, JSC) は日本地区を担当した。主催国の実行委員会および国際論文委員会 (ISC) と連携して、本会議論文を Digital Library として保有する Begell House から提供された WEB 論文投稿システムにてアブストラクトの受付、査読から論文受付、査読までの審査を行った。

以下、準備状況を含め、当委員会の活動を報告する。

### 2. JSC の活動の概要

#### 2.1 JSC メンバー

JSC においては AIHTC Delegate, Japan である高田が編集 (Editor) 代表, 加藤が副代表を担当した。JSC 委員コアメンバーには若手で優れたご活躍をされている以下の方にお願ひし, WEB システムによる査読プロセスを中心とした論文のハンドリングをして頂いた。

委員 (コアメンバー, 敬称略, 順不同)

宮崎 康次 (九工大)・・・ マイクロ熱物性

浅野 等 (神戸大)・・・ 相変化

松原 幸治 (新潟大)・・・

対流, 太陽エネルギー

芝原 正彦 (阪大)・・・ MD, 熱物性

松本 亮介 (関西大)・・・ 熱流体

巽 和也 (京大)・・・ 対流

津島 将司 (阪大)・・・ 電池, 燃料電池

鈴木 洋 (神戸大)・・・ エネルギー貯蔵

主な担当分野を記してはいるが, 専門外の分野もご対応頂いた。

事前に査読プロセスの大まかな方針を決定し,

メンバー同士の連絡は基本的に電子メールで行った。コアメンバーは IHTC-16 の論文投稿システムにログインして, 各自が担当する論文に対して原則 2 名の査読者を選定し, 査読を依頼し, 査読結果に対する修正依頼, 判定までをお願いした。最終判定は編集正副代表がメンバーの意見を尊重し, かつ ISC と連携し行った。

#### 2.2 論文の査読プロセス

日本地区論文委員会の担当地域は, 日本, パキスタンおよび地域に特に設定されていないアジア諸国を含む (Japan, Pakistan, other East Asian countries not specified elsewhere) であり, これらの論文の査読を担当した。今回, 著者が明らかに日本語を理解できると認められる場合は, 日本語で査読コメントを記載できることとした。

日本地区には, 2017 年 9 月のアブストラクト締め切りの段階で, 169 件の申込みがあった。同年 12 月を締め切りとしたフルペーパーには 144 件が投稿され, 査読の結果 123 件が採択となった。会議で発表された論文は 120 件であった。日本地域の投稿は全受理論文 1042 件の中の 12% で, 中国地域に次ぐ第 2 位であった。地域内の国の分別が明確ではないが, 大半は日本からの投稿であり, 日本は前回主催国としての任を果たすことができた判断された。これは偏に日本の多数の研究者の投稿協力に寄り, JSC として大変幸いであった。査読者のコメントは的確に査読されている様子が伺え, JSC が取り扱った論文のクオリティは適切に維持されたものと考えられる。

#### 2.3 活動経過

論文を受け付け前に既に ISC の合意の下に JSC の対象地域は上記の日本, 台湾を含む各国とし, その方針に従い論文が投稿された。しかし, 2018 年 2 月になり実行委員会から One of China の方針

に基づく、台湾の表記に対する強い要望がありさらに台湾からの投稿論文の査読を主催国が行いたいとの連絡があった。AIHTC 委員長 吉田 英生氏らと相談を行い、論文の査読は既に JSC で行っているの、引き続き査読は JSC にて遂行し、その査読結果を主催国に伝え、課題については主催国と台湾の間での相談に委ねるとした。結果として台湾の受理された論文 8 件のうち、3 件が会議において発表された。

AIHTC にて本件審議を継続し 2018 年 8 月 13 日の IHTC-16 での AIHTC 会議において、台湾は Olympic Game で採用されている Chinese Taipei の表記とすることに一致した。論文投稿地域区分については台湾研究者の意向を尊重することとした。IHTC は学術人のコミュニティーとして中立、機会均等であることが基本であり引き続きこの精神が守られることが望まれる。

また、論文投稿システムで発生したトラブルについて触れる。2018 年 4 月になり、ある投稿者から査読結果が届いていないという連絡が入った。調べてみると、その投稿者は原稿をアップロードした後、送信（確認）ボタンを押さないうまま終了してしまっていたことが分かった。この状態ではアップロードされたことがシステムからエディターには通知されず、未提出の状態となっていた。その様な状態の投稿が他にもあった。システムの操作に分かりづらい点があったとの意見も聞かれた。IHTC-15 でも同じ経験があり、この情報の著者と共有が不足していたことが反省された。ただし AIHTC 会議において Begell House から査読システムを次回 IHTC-17 (Cape Town, South Africa, 2022) からは新査読システムに移行する予定との報告があり、次回は Web 査読システムの利用方法について事前の十分な情報共有がさらに必

要であると考えられる。

なお、2018 年 5 月末の最終締め切りまでにすべての論文の判定を整えることができ JSC としての役目は全うできた。

AIHTC 会議において Begell House から HTC-15 の掲載論文のダウンロード (DL) 数の統計報告があった。第 1 位の中国では 2016, 2017, 2018 各年の DL 数はそれぞれ 47,029 → 16,121 → 3,859 件、第 4 位の日本は同 1,659 → 358 → 66 件であった。第 2 位は米国、第 3 位はドイツであった。過去論文の参照が非常に少なく Digital Library としての活用が各国ごとに事情があるものの共通した課題であった。

### 3. おわりに

IHTC-15 の投稿論文 190 件に対して減少したとはいえ、140 件近くの投稿論文を数ヶ月で処理し、論文内容の質を維持するのは易しい仕事ではなかった。維持を実現するためコアメンバーの全員がかなりの時間を割き、日本地区の論文の質を高めていただいた。コアメンバーを含め、査読をしていただいた方々にお礼を申し上げたい。

IHTC-16 では中国の受理論文件数が 47% (487 件) と 1 位であり、日本の 12% は 2 位ながら相対的に少なく見えた。しかし参加国からの日本の研究活動に対する評価は高く日本の国際的な研究プレゼンスは維持されたと思われる。研究開発の国際競争がいよいよ厳しくなる中、引き続き伝熱学における日本の先駆的な立場を維持する努力が期待され、次回 IHTC-17 にそれらの成果が報告されることが望まれる。IHTC-17 では査読システムが変更予定であるが、引き続き日本伝熱学会コミュニティーが一丸となって協力し優れた論文が多数発表されることを期待したい。

## 「第4回抜山記念国際賞」の経過と授賞報告

*Report of the Fourth Nukiyama Memorial Award*

岡崎 健 (東京工業大学)

Ken OKAZAKI (Tokyo Institute of Technology)

e-mail: okazaki.k.aa@m.titech.ac.jp

### 1. はじめに

本会創立50周年を機に創設された抜山記念国際賞 (Nukiyama Memorial Award, 以下NMA) は2018年8月, 北京にて開催された第16回国際伝熱会議において第4回目の表彰を行いました. 筆者は, 当時会長だった2014年より3回にわたり選考に関わり, 今回は委員長を務めました. ここに, 本賞の選考経過の概要を, 事務的な引き継ぎ事項も含めて報告させていただきます.

### 2. NMA委員会の構成と選考日程

NMA委員会のメンバー構成を表1に示します. 3名の日本人委員は, 委員 → 副委員長 → 委員長という3期を担当します. 一方, 4名の外国人委員は毎回2名ずつ改選し, 2期を担当します. 賞の運営を実質的に主導する日本人委員の継続性を3名で担保しつつも, 委員会全体の過半数以下に抑えられた構成になっています. 委員の交代は内規(付録参照)に基づき, 贈賞年度の前年の4月または5月の理事会で承認されます.

NMAの授賞式は, 表2に示すように, 原則として秋の本会主催 (共催) の国際会議で行われる場合と夏の国際伝熱会議 (IHTC) で行われる場合がありますので, 受賞者への早めの通知 (授賞式出席や受賞講演依頼など) の点から理事会承認のタイミングが異なります. なお, 公式発表はどちらの場合も, 総会開催日 (日本伝熱シンポジウム中日) です.

### 抜山四郎先生



1896(明治29)年3月15日  
 ~1983(昭和58)年7月2日  
 有名な沸騰曲線は  
 1934(昭和9)年—38歳の仕事  
 1963(昭和38)年本会第2代会長  
 (伝熱2002年5月号参照)

NMAの公募や選考は, これらのタイミングに間に合うように行います. NMA2018は表3のようにNMA 2014にほぼ準じましたが, 次回NMA 2020の授賞式はACTS 2020 (宮崎) ですので, Call for Nominationsは2019年10月までに行う必要があります[3].

表2 授賞式と理事会承認のタイミング

授賞式	理事会承認
2012/11/14 (IFHT 2012 長崎)	2012/ 4
2014/ 8/14 (IHTC-15 京都)	2013/12
2016/11/ 3 (IFHT 2016 仙台)	2016/ 4
2018/ 8/14 (IHTC-16 北京)	2017/12
2020/11/?? (ACTS 2020 宮崎)	2020/ 4

表3 NMA 2018の選考日程

2017/ 6/30	Call for Nominations
2017/ 9/20	Deadline for Accepting Nominations
2017/11/20	Final Decision by NMA Committee
2017/12/ 9	Approval by HTSJ Board of Directors
2018/ 5/30	Press Release at 54th NHTS in Sapporo
2018/ 8/14	Award Ceremony at IHTC-16 in Beijing

表1 抜山記念国際賞委員会のメンバー構成

年	委員長	副委員長	日本人委員	外国人委員			
2012	笠木 伸英	門出 政則	吉田 英生	A. Bar-Cohen	P. Cheng	G.P. Celata	S. Kandlikar
2014	門出 政則	吉田 英生	岡崎 健	G.P. Celata	S. Kandlikar	J.S. Lee	T.W. Simon
2016	吉田 英生	岡崎 健	円山 重直	J.S. Lee	T.W. Simon	P. Stephan	X. Zhang
2018	岡崎 健	円山 重直	高田 保之	P. Stephan	X. Zhang	J. R. Thome	J. H. Lienhard V
2020	円山 重直	高田 保之	?	J. R. Thome	J. H. Lienhard V	?	?

(PDFのカラー版でご覧いただくと, 交代時期が同一の3名が同色で表されています.)



図1 授賞式にて (IHTC-16, 2018 8/14)  
右から Wang教授, 近久会長・筆者  
賞状・盾・賞金(目録)が授与された

### 3. NMA 2018

NMAも国際的に高く認知されてきており、推薦数は多くはなかったものの、今回も重みのあるそうそうたる候補者が推薦されてきました。7名の委員による厳正な審査の結果、Ruzhu Wang 中国・上海交通大学教授が、空調・冷凍、エネルギーシステムなどに関する熱工学、伝熱工学の分野での顕著な業績および国際活動、論文数、引用件数(h-Index:53)が抜群であることが高く評価され、第4回目の受賞者に決定しました。

授賞式は受賞者の母国中国の北京市にて開催されたIHTC-16のBanquetにおいて2018年8月14日、近久武美会長から賞状と盾、および賞金目録が授与されました。BanquetにおけるAwards Ceremonyでは、NMAのほか、Luikov Medal, William Begel Medal, Fellowship Awardなど、数多くの授賞式が行われましたが、NMAが最初でかつ最も重きがおかれており、主催者側の配慮が感じられました。

### 4. むすび

伝熱分野の数ある国際賞の中でも、NMAは確実に最も権威のある賞の一つとしての存在感を示すに至ったことをつくづくと感じました。R-Z Wang教授からも、受賞を大変光栄に思う、中国にとっても大きな誇りである、とのメッセージが届きました。

開会式直後のPlenary Sessionで行われたNMA Award Lectureも非常に格調の高いもので、聴衆に感銘を与えました。

ただ、今後、NMAが継続的に高い地位と権威を保ち続けていくためには、以下の3点について、次期のNMA委員会で十分な検討を行っていただくことを希望します。

1. 世界からの推薦件数の増加とその方法
2. NMAの位置付けと性格の再確認
  - ・若手としての年齢制限の許容範囲 (Charterで推奨される50歳以内の超過をどこまで許すか)
  - ・拔山先生の基礎研究にちなんで受賞対象を基礎に重点を置くか、応用をも広く含むか
3. 業務推進体制の改革

現在の体制では、推薦・審査プロセス・WEB掲載原稿などのあらゆる事務手続き、最終候補者とのやり取りとパンフレット作成、賞状、盾などの発注・校正・受け取り、重い現物の現地への運搬、賞金手配依頼、国際会議実行委員会との交渉、報告書作成まで、すべてを委員長が1人で行うようになっていきます。ルーチンで組織的な対応ができるシステムにしていけないと、制度そのものの継続性にも影響を及ぼしかねないことを危惧します。

### 付録

#### 拔山記念国際賞委員会の委員交代に関する内規

- ①総務担当副会長は日本伝熱学会役員(理事および監事)に役員一人あたり日本人3名以内、外国人3名以内の候補者(氏名, 所属, e-mail address)の推薦を依頼する。
- ②総務担当副会長は退任予定の選考委員(3名)に委員一人あたり日本人3名以内、外国人3名以内の候補者(氏名, 所属, e-mail address)の推薦を依頼する。
- ③国際賞委員会において、候補者の内から3名の最終候補者を選考する。
- ④国際賞委員会は会長、副会長と協議して3名の最終候補者の順位付けを行う。
- ⑤国際賞委員会において、上位3名の最終候補者を任期2期のMember(3名)候補者とし、理事会に報告する。(2012年4月21日)

### 参考文献

- [1] 門出政則, 「拔山記念国際賞」の経緯と授賞報告, 伝熱, 52-219 (2013) 1.
- [2] 門出政則, 「第2回拔山記念国際賞」の経緯と授賞報告, 伝熱, 53-225 (2014) 97.
- [3] 吉田英生, 「第3回拔山記念国際賞」の経過と授賞報告, 伝熱, 56-235 (2017) 1.

2016 Hartnett-Irvine Award を受賞して  
2016 Hartnett-Irvine Award



松本 亮介 (関西大学)  
Ryosuke MATSUMOTO (Kansai University)  
e-mail: matumoto@kansai-u.ac.jp

このたび International Center for Heat and Mass Transfer (ICHMT) より、2016 Hartnett-Irvine Award を賜りました。北京で開催されました IHTC-16 にて表彰いただきました。大変栄誉ある賞をいただき、誠に光栄でございます。大変うれしく思っております。本紙面をお借りしまして、皆様への報告と関係各位への感謝を述べさせていただきます。

はじめに、受賞対象となりました国際会議論文を発表させていただきました The Fourth International Forum on Heat Transfer (IFHT2016) の開催にご尽力されました 小原拓様、麓耕二様、小宮敦樹様をはじめ、実行委員の皆様にご心より感謝申し上げます。また、ICHMT の運営にご尽力されている吉田英生様に厚く御礼申し上げます。

Hartnett-Irvine Award は、ICHMT の創始者である James P. Hartnett 先生ならびに Thomas F. Irvine 先生の生涯とご功績をたたえて 2007 年に設立された賞で、ICHMT が主催、共催する国際会議の発表論文より選出されます。

受賞対象の論文は「Measurement of three-dimensional microstructure of frost layer by using X-ray computed tomography, Takuma Uechi, Ryosuke Matsumoto and Kazuma Kagebayashi」です。この研究は、冷却面に成長する霜結晶を SPring-8 の X 線マイクロ CT を用いて可視化し、その 3 次元微細構造と霜密度の関係を定量評価したものです。

霜は氷の結晶と空気の多孔質層です。その低い等価熱伝導率から、熱交換器に生じた霜層は熱抵抗の増加を招き、伝熱性能を大幅に低下させます。近年、霜の成長抑制を目的とした伝熱面の表面処理や微細加工の研究が活発化しており、霜の結晶構造の理解が必須となってきています。本論文は、着霜現象の基礎研究として、直径 6mm の冷却面上の霜層を、高輝度の放射光の X 線マイクロ CT 計測により、非破壊で 3 次元微細構造を計測し、



図 1 Hartnett-Irvine Award

霜発生の際となる氷滴構造の存在確認や、霜成長に伴う結晶構造の変化、そして霜成長モデルの構築において重要となる局所霜密度分布を求めることができました。今後、この知見をもとに、霜層内でのマイクロスケールの熱・物質輸送現象の解明を進め、着霜問題の解決に貢献したく存じます。

SPring-8 での実験実施に関しまして、公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) の関係各位にご心より感謝申し上げます。ビームライン BL20B2 での実験におきましては、上杉健太郎様、星野真人様の多大なるサポートを頂きました。深く感謝いたします。また、研究を進めていく上で、貴重なご助言を玉川大学の久保英敏様からいただきました。また、会員の皆様から貴重なご意見をいただいて研究を進めてまいりました。ここに御礼を申し上げます。

最後になりますが、本研究は共著者の上地拓摩君、影林和磨君、当時学部生であった長澤佳輝君、塩川貴大君の努力の成果です。冷凍機と実験装置を車に積み込んで SPring-8 に向かい、24 時間のマシントイムの緊張感ある実験に共に挑戦できたことは、小生の宝となりました。ありがとうございました



## Boiling and Evaporation

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.tomohide556@mail.kyutech.jp

### 1. はじめに

2018 年 8 月 10 日～15 日の会期中, 4 日間にわたる 4 セッションに分かれて, “Boiling and Evaporation” に関連する研究のポスター発表が行われた. 今回の IHTC では最も大きなセッショントピックで, ポスター発表会場は多くの聴講者でにぎわいを見せていた. ポスターセッションの前には, それぞれ, 液滴の濡れと蒸発 (K. Sephiane 先生), 微細流路内沸騰 (T. G. Karayiannis 先生), 気泡・液滴のナノスケール観察 (高橋厚史先生), 蒸発伝熱における動的濡れの影響 (P. Stephan 先生) に関する計 4 件のキーノート講演が実施された.

発表論文件数は 113 件と多く, 小さな国際会議が開催できる規模であった. 国別の発表件数は, 中国が 34 件, アメリカが 16 件, 日本が 15 件, ロシアが 12 件, 韓国が 7 件, ドイツが 5 件, その他の国 (件数が多い順にインド, シンガポール, イギリス, イタリア, フランス, 台湾, アルジェリア, スウェーデン, ブラジル, ポルトガル) が 24 件であった. 発表件数が非常に多く, すべての発表に触れることは難しいので, 会議に参加して個人的に印象に残った研究について触れさせていた.

### 2. セッションの概要

研究対象としては, 7 割程度が沸騰, 3 割程度が蒸発に関する発表であった.

プール沸騰の発表では, マイクロ・ナノ構造を表面に付与して濡れ性を変化させたり, 表面に濡れ性分布を作るなどして沸騰を促進させる研究が多く発表された. Wickability (超親水性構造の拡張濡れの程度) のみでは限界熱流束 (CHF) を整理することができないとする研究 (23315) が興味深く, どのようなパラメータあるいはモデルで超親水面上の CHF が表現されるのかを明らかにし

ていく今後の展開が期待される. 興味深い研究がいくつか見られた一方で, 多くの研究が, 準備した特殊な表面を沸騰試験して結果を沸騰曲線に示すのに終始してしまっている点が残念であった. 超親水化すると限界熱流束が向上するといったような, 表面性状の変化と結果として得られる沸騰特性の変化の対応関係についてはよく研究されているため, なぜそのような変化が生じるのかというメカニズムに踏み込んだ研究にシフトしていく必要があるだろう. また, 特殊な濡れを長く維持するための, 耐久性の高い構造や沸騰環境についての研究も, 応用を考えると必須と感じている.

沸騰曲線はマクロな沸騰伝熱特性を示すが, その沸騰伝熱特性を作っているのは沸騰現象を構成している伝熱素過程である. 沸騰伝熱素過程に迫る特徴的な研究としては, レーザー干渉法によってマイクロ液膜厚さを詳細に計測する研究 (23120) や, 微細熱電対を用いた液相局所温度計測によって壁面上の過熱液の挙動を追う研究 (23750), 二成分系の沸騰において局所成分濃度を計測してマランゴニ効果による壁面への液体供給効果を調べる研究 (22954) があった. 高速度 IR カメラで, 局所壁面伝熱を直接計測して, 各種伝熱素過程が受け持つ伝熱量を定量化するような研究発表は見られなかった. 機器が高額なことが導入の障壁になっているのかもしれない.

数値計算については, プール沸騰やマイクロチャネル内沸騰などを対象とした研究がいくつかあった. 新しい計算スキームを導入しているのかもしれないが, 解いている伝熱素過程の種類や計算対象の時空間的な規模の点で目新しい研究は無かったように思う. より大規模で詳細な計算をやっている研究者は別の学会で研究発表しているのかもしれない. 筆者は数値計算の素人であるが, 個人的には, 最終的な沸騰の解明は直接数値計算できるようになることと同義ではないかと考えてい

るので、数値計算研究は非常に重要だと考えており、まず、マイクロ液膜の形成プロセスも直接解く沸騰の計算が実現されればと思っている。

液滴の蒸発に関する研究では、IR カメラを用いた液滴表面もしくは液滴下固体表面の温度分布計測が一つの実験手法として確立されている印象を受けた。フランスのグループ (24557) は、水滴を高温面に落とした際の壁面温度分布を、1kHz を超える撮影速度で計測して局所熱流束分布を求めているのに加え、液滴・壁面間の蒸気層厚さの時間発展や蒸気層の不安定現象を観察している。壁面上に静止した液滴を上部から撮影すると、液滴表面の温度が観察でき、そこから内部の流動状態を把握することが可能なようで、例えば九大のグループは、レーザー局所加熱で誘起されるマランゴニ対流の強度と壁面の濡れ性の関係を調べている (23953)。

フィルムを厚さ方向に貫通するように高密度に空けられたナノ細孔からの液体の蒸発に関する研究がアメリカから 4 件発表されていた。アメリカでは沸騰・蒸発伝熱の分野の研究者でも MEMS の加工プロセスを比較的容易に利用できて、マイクロ・ナノデバイスを作製・試験できる環境があるのだろう。話を戻すと、ナノ細孔が空けられた膜自身が薄いため液体供給の駆動力である毛管力に対抗する粘性抵抗が小さく、また、細孔径が小さいため液体内の熱抵抗（個体壁からの距離）が小さいことが、ナノ細孔膜の高い蒸発伝熱特性の要因のようで、高熱流束除熱や海水淡水化などを応用先に見据えて研究が進められている。大気のような湿り空気に向かって膜の加熱で液体を蒸発させていくような系では、気相側の拡散の式で蒸発伝熱特性が十分予測可能という結果になっている (23305)。一方、ナノ細孔膜 (100 ナノメートル前後の径) に染み入った水が真空空間に対して高熱流束で蒸発するような系では、ナノスケール効果により、Hertz-Knudsen の式で予測される理論最大蒸発速度を超える速度での蒸発が観察される興味深い結果が得られている (23387)。

沸騰・蒸発分野における新規計測技術に着目すると、低真空環境で電子顕微鏡観察ができる環境制御型 SEM よりも、さらに高分解能で現象観察が行える TEM を用いた二件の発表があり、沸騰、蒸発現象のより深い理解に資する知見の獲得が期

待される。沸騰気泡の初生に関わっていそうなナノバブルの研究 (23136) では、液中に生じた約 10 ナノメートルサイズの複数の気泡を TEM で観察しており、気泡間には厚さ数ナノメートルの液体が安定して存在することを示している。真にナノメートルスケールの実験であり、分子動力学計算との直接比較は興味深い。グラフェンに挟まれたリング形状液滴を TEM 観察している研究 (20898) では、TEM 像の輝度情報などから液滴の断面形状を抽出し、移動するマイクロ液滴の接触角ヒステリシスを観察している。MIT のグループ (23152) は、熱の分野ではナノ材料の熱物性計測などで利用されているマイクロラマン分光法を用いて、周囲で液体が蒸発しているシリコンマイクロピラーの一本の頂部温度を計測する研究を報告していた。光源の径に依存する空間分解能が 1.5 ミクロン程度ということで、薄膜温度センサが設置できないような箇所の局所温度を計測するツールとして有力に見え、面白い計測対象を探してみたくなった。

温かい液体の表面から生じる蒸気が空気中で凝縮して生じる液滴群（ホットコーヒーの液面上を漂っている白い湯気と同じ）を観察した研究 (24306) も興味をそそった。液面直上に、10 ミクロンオーダーサイズの多数の凝縮液滴が液面上に浮遊して整列している様子が撮影されており、液滴のサイズや浮遊高さがシンプルなモデルで説明可能ということだった。面白い現象に出会うためには、まず、詳しく観察してみることが重要だと感じさせられた。

### 3. おわりに

本稿の内容が雑感の域を出ず、より広い研究対象をカバーできなかったのは著者の実力不足による。ただ今回、執筆するに当たって現地で多くの発表に触れ、すべての論文に目を通すことで大変勉強になった。アメリカはマイクロ・ナノテクで研究トレンドを作り出している印象であった。発表件数が最も多かった中国の沸騰研究への積極性も感じられ、今後、進歩的な研究が多数生み出されていくのだろう。日本の沸騰研究は基礎追求型でオリジナリティが高いことを再確認した。次回の IHTC では、日本代表として金メダル級の研究が発表できるように精進していきたい。

## IHTC-16 session: Bio and Medical Applications

異 和也 (京都大学)

Kazuya TATSUMI (Kyoto University)

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

## 1. はじめに

バイオと医療に関するセッションでは、生物と生体を対象とした熱物質輸送や温度特性に関する研究が発表された。筆者らの発表ではマイクロ流路およびキュベットを用いて血栓形成過程と形成時間を測定し、反応速度定数に対する温度の影響等を報告しているが (IHTC-16), このように生体では特に温度が重要な要素であるため、熱物性、発熱量、温度分布の予測に関する研究発表が多くみられた。

## 2. 講演

## 2.1 キーノート講演

キーノート講演として 2 件の医療における伝熱に関する講演、1 件のバイオテクノロジーに関する講演があった。

Chakraborty (IHTC16-KN10) の講演では伝熱を用いた治療技術の開発を目的として、細胞から臓器に亘る幅広いスケールでの熱物性や血流による熱輸送の温度分布への影響を調べ、温熱治療 (Hyperthermia) による細胞への影響について考察している。治療では加熱にはナノ粒子をがん細胞に標識してレーザーおよび磁場を付加することで加熱する技術がよく知られているが、42~44°C で長時間加熱することで良性の腫瘍を縮小・死滅することができるように、周囲の温度分布を正確に見積り、制御しなければ正常細胞も死滅してしまう。そのため患部を正確に加熱し、高い精度で温度分布を予測・制御できる技術の開発が求められる。

Yanagihara (IHTC16-KN16) の講演では、人体の内部と表面の温度分布を予測するための数値解析モデルを開発し、実験との比較を行っている。人体の温度分布は診断や治療において必須であるだけでなく、人が快適と感じる環境を構築し、エネルギーの利用効率を高めるためにも重要な要素である。今回の講演では主に航空機の機内での快

適性を対象としているが、同様に建物等の屋内に関する評価も多く行われている。

人体の伝熱と温度の解析は Pennus の式に基づいて、熱伝導、血流による対流伝熱、生成熱について解く場合が多い。支配方程式は基本的な項からなるが、モデルとして重要となるのは血管網のパターン、寸法、流量、および体の部位と臓器の形状や熱物性の評価と設定である。これらについて精力的に研究がされているが、in vitro な測定が多く、in vivo での細胞、組織、臓器の熱物性計測が求められる。

バイオテクノロジーに関連するキーノート講演として Zhu (IHTC16-KN11) のバイオリアクターに関する講演があった。これは流路内に設置された平行平板や多孔体にバクテリアを培養し、光を照射することで水素を生成するものである。講演ではバクテリアの運動に関する数値解析から流路内の培養すべき壁面近傍におけるバクテリアの数密度とそれに対する流速と壁面形状の影響が紹介された。また、流体循環と水素回収機能を含む装置の紹介があったが、最終的に何を光源とするのか、効率はどこまで上げられるのか等、今後、検討する内容も多い。

## 2.2 一般講演 (ポスター発表)

ポスター発表は 17 件あり大半は医療に関係する内容であった。特に温熱治療に関する研究が目立った。

IHTC-16 21923 の論文では磁場温熱治療で用いる  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子のクラスター寸法と形状の非等方性による発熱量への影響を実験と数値解析を用いて検討している。IHTC-16 22069 では核磁気共鳴から温度を測定する magnetic resonance thermometry に対してカルマンフィルタを適用することで予測精度の向上を図っている。IHTC-16 22209 ではレーザーを用いた脂肪分解と治療

(laser lipolysis) にて皮膚表面を事前に噴霧冷却して温度を制御する技術について報告している。IHTC-16 22276 では発色団とそれ以外の領域を多孔体モデルとして近似し、長周期パルスと短周期パルスのレーザー照射による温度変化の分布の違いを検討している。IHTC-16 22590 ではラジオ波焼灼療法 (radiofrequency ablation) における凍結がん細胞への照射時のエネルギー吸収率が非凍結時よりも増加することを報告している。IHTC-16 22947 では表面温度から胸内温度分布の予測精度を数値解析から見積もった。IHTC-16 23394 では溶液に懸濁した Mg ナノ粒子の凝集と数密度が近赤外線吸収による発熱と溶液の温度分布に与える影響について報告している。IHTC-16 21406 では皮膚へのパルスレーザー照射に対する散乱と発光の減衰係数から対象の物性を評価する技術を報告している。

これらの中で IHTC-16 22900 では新生児の周生期低酸素症を治療するために低体温療法を適用した場合の表面温度の測定とモデルによる深部体温の予測と治療との関係を臨床の結果をもとに考察している。医工連携が進められつつ臨床試験が少ない状況において貴重な研究であるといえる。

また血管内流れや血流として、内視鏡にレーザードップラー血流計を設置して血行動態を測定する技術に対して、測定対象との焦点距離を制御することで内視鏡の振動の影響を抑え測定精度の向上を図った研究 (IHTC-16 23497), *in vivo* 実験で温度による動脈の流量変化を求め、これを血管壁の粘弾性変形を含めた数値モデルに適用することで求めた壁面せん断応力と物質輸送に流量が与える影響の報告 (IHTC-16 24161), 血管と血管網の寸法が微小であるときの血流による熱輸送が周囲の組織の温度分布に与える影響を数値解析により検討した研究 (IHTC-16 22959) があった。

この他、ポリアクリルアミドのヒドロゲルの熱伝導率について 3 $\omega$ 法を用いて測定し、含水率と温度による影響に関する研究 (IHTC-16 22419) や、誘電泳動および電場と温度分布の共存により生成される誘電熱対流 (electrothermal flow) を用いた粒子の誘導と特定位置への集中に関する数値解析による研究 (IHTC-16 22742), マイクロ流路内に円柱群を設けて混合促進を図った研究 (IHTC-16 21811) があった。

## 参考文献

- KN-10** S. Chakraborty, Microscale Thermal Transport: Some Biomedical Perspectives and Beyond.
- KN-11** X. Zhu et al., Role of Flow and Mass Transfer in Photobioreactor: from Bacteria Locomotion to Hydrogen Production.
- KN-16** J. I. Yanagihara et al., Modeling of Heat and Mass Transfer in Human Thermal and Respiratory Systems and its Application to Engineering and Medical Sciences.
- 21406** J. Freire & P. Coelho, Application of a Short Pulse Laser to the Human Skin.
- 21811** S. Seetharaman et al., Layout Optimization of Passive Micro Mixers with Cylindrical Obstacles.
- 21923** R. Fu et al., The Effect of the Cluster's Size On Hyperthermia Heating Ferrofluids of Superparamagnetic Nanoparticles Clusters.
- 22069** C. C. Pacheco et al., Magnetic Resonance Thermometry During the Localized Heating of Biological Tissues.
- 22209** Y. Zhang et al., Numerical Simulation of Laser Lipolysis Based on Multi-Layer Skin Model.
- 22276** Y. Zhao et al., Mathematical Modeling of Thermal Processes During Ophthalmic Laser Surgeries by a Local Non-Equilibrium Two-Temperature Model.
- 22419** N. Tang et al., Thermal Conductivity of Paam Hydrogels and its Crosslinking Effect.
- 22590** K. Zhang et al., Study of Enhanced Radiofrequency Heating with Pre-Freezing in Tissue.
- 22742** Q. Ren et al., Numerical Simulation of Long-Range Cell Manipulation with AC Electrokinetics by Immersed Boundary-Lattice Boltzmann Method.
- 22842** K. Tatsumi et al., Thermal Characteristics Measurement of Fibrin Reaction and Clot Formation in Venous Thrombus Using Microchannel Flow.
- 22900** D. Bandola et al., Measurement and Computational Experiments Within Newborn's Brain Cooling Process.
- 22947** B. Lamien & H. Orlande, Internal Temperature Field Estimation in Water-filtered Infra-red-a (wIRA) Hyperthermia of Breast Cancer from Skin Surface Temperature Measurements.
- 22959** Y.-L. Tang and Y. He, A Multiscale Modeling Method for Simulation of Fluid and Heat Transfer in Biological Tissue Containing the Exact Structure of Microvascular Network.
- 23277** Q. Deng et al., Effects of Particle Size and Density on Inhaled Aerosol Deposition in Human Lungs: Fate, Mechanism, and Efficiency.
- 23394** Z. Gu et al., Heat Generation in Irradiated Solutions Containing Magnesium Nanoparticle Aggregates.
- 23497** M. Hashimoto & Y. Taguchi, Motion-Robust Blood Perfusion Sensing by LDF with Focus Control.
- 24161** Y. Wang et al., Effect on Autoregulation of the Arterial Blood Flow During Hyperthermia.

## Combustion and Thermochemistry

志村 祐康 (東京工業大学)

Masayasu SHIMURA (Tokyo Institute of Technology)

e-mail: shimura.m.aa@m.titech.ac.jp

### 1. はじめに

Combustion and Thermochemistry は、一セッションのみで最終日の最後の枠で開催された。プログラム上 30 件の発表が予定されていたが、8 件がセッションの変更や no show となり、22 件の発表があった。国別の発表件数は、中国 12 件、日本 4 件、ロシア 2 件、インド、ポルトガル、イスラエル、ニュージーランドから 1 件ずつであった。研究分野としては、燃焼研究が 8 件、熱化学・改質関連研究が 14 件であった。発表件数が必ずしも多いとは言えず、研究分野もばらついていた。本稿では、印象に残った研究について概要を紹介する。

### 2. 燃焼関連研究

燃焼関連研究では、オイルタンク火災[1]、水素・メタン混焼スワール火災[2]、超希薄高圧縮比ガソリンエンジン[3]、Oxy-fuel 噴霧火炎におけるすす生成[4]、燃焼振動制御[5]、輻射輸送を考慮した水滴を含む軸対称火炎[6]などの研究があった。

オイルタンク火災に関する研究では、複数のオイルタンクで同時に火災が発生した場合の熱発生率や輻射熱流束等について、Fire Dynamics Simulator (FDS) 6 により検討されている [1]。水素・メタン混焼スワール火炎に関する研究では、直接数値計算 (DNS) を用いて水素添加率が火炎構造に与える影響について検討している[2]。超希薄高圧縮比ガソリンエンジンを対象とした研究では、ポート噴射により燃料が均一化され、かつ非常に低い当量比の条件において OH ラジカルを対象とした平面レーザ誘起蛍光法 (PLIF) を行い、希薄条件での特徴的な火炎構造および火炎構造と筒内最大圧力との関係を検討している [3]。Oxy-fuel 噴霧火炎におけるすす生成に関する研究では、2D DNS 結果で予測されるすす生成量を Large Eddy Simulation (LES) の 3D 計算でも予測可能となるようにすす生成モデルの開発が進めら

れ、oxy-fuel 噴霧火炎でのすす生成特性や周囲圧力がすす生成に与える影響について検討が行われている[4]。燃焼振動制御に関する研究では、熱音響振動の一次元モデルと既燃ガス流路が分岐する場合の実験により、火炎後流部に設置した電気ヒータにより燃焼振動を抑制する手法の有効性が検討されている[5]。輻射輸送を考慮した水滴を含む軸対称火炎に関する研究では、二段階繰り返し計算により輻射輸送計算により消火のための水滴が含まれるプール火炎の予測精度を向上させている [6]。

### 3. 熱化学・改質関連研究

熱化学・改質関連研究では、冶金スラグを用いた粉碎のエネルギー低減[7]、LiOH・H<sub>2</sub>O を用いて低温熱エネルギー貯蔵[8]、エタノールの蒸気改質[9]、超臨界水フルイダイズドベッドによる石炭のガス化[10]、廃熱回収によるメタノールの蒸気改質[11]などの研究があった。

冶金スラグを用いた粉碎のエネルギー低減に関する研究では、無次元解析によりスラグ生成とその構造を数値的に扱い、粉碎エネルギーの低減手法の検討が行われている[7]。LiOH・H<sub>2</sub>O を用いて低温熱エネルギー貯蔵に関する研究では、LiOH・H<sub>2</sub>O を複数の吸湿性材料に包含させ、それらの構造を透過型電子顕微鏡 (TEM)、X 線回折法 (XRD)、熱重量測定及び示差走査熱量測定 (TGA-DSC) により特性が検討されている[8]。エタノールの蒸気改質に関する研究では、熱輸送解析から改質に用いられるマイクロ流路の最適形状設計が検討されている[9]。超臨界水フルイダイズドベッドによる石炭のガス化に関する研究では、輻射の影響を考慮した超臨界水フルイダイズドベッドの数値計算を Fluent により実行し、輻射の影響の重要性を明らかにしている[10]。廃熱回収によるメタノールの蒸気改質に関する研究では、吸

熱性の触媒反応を用いて冷却モジュールから熱を除去するマイクロリアクターのメタノール水蒸気改質特性が検討された[11].

#### 4. まとめ

本稿で紹介した Combustion and Thermochemistry のセッションについては、発表件数は必ずしも多いとは言えなく、また研究内容も多岐に渡っていたが、セッションを通じて輻射を取り扱った研究が比較的多い傾向があった。また、数値的研究の件数が多かったが、実験的研究も重要な結果を残していたようだ。輻射を考慮した研究やブレイク・スルーを狙った条件の研究等、挑戦的な研究が少なくなかったのではないだろうか。

#### 参考文献

- [1] Koyu Satoh, Domingos Viegas, Naian Liu, Congcong Ji, Ran Tu, CFD Study of Combustion Behavior of Multiple Huge Oil Tanks with Each Diameter of 20m and 40m and Fire Mitigation Method, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23660, 8 pages.
- [2] Joonhwi Park, Kozo Aoki, Yuki Minamoto, Masayasu Shimura, Mamoru Tanahashi, DNS Of Methane/Hydrogen-air Turbulent Swirling Premixed Flame in a Cuboid Combustor, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-24155, 7 pages.
- [3] Masayasu Shimura, Kumar Siddhartha, Tatsuya Moronuki, Yuki Minamoto, Takeshi Yokomori, Mamoru Tanahashi, Investigation on Flame Developments in a SI Engine with Tumble Flow Using OH PLIF, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23975, 6 pages.
- [4] Reo Kai, Akihiro Kishimoto, Kenichiro Takenaka, Masaya Muto, Ryoichi Kurose, DNS and LES of Soot Formation in Oxy-fuel Spray Flame: Application of a Non-adiabatic Flamelet/Progress-Variable Approach, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-22496, 7 pages.
- [5] Dan Zhao, Yuze Sun, Zhengli Lu, Mitigating Combustion Instability in a Bifurcating Thermoacoustic Combustor Using an Electrical Heater, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-20732, 8 pages.
- [6] Leonid A. Dombrovsky, Siaka Dembele, Jennifer X. Wen, Ivan Sikic, Two-step Iterative Method for Radiative Transfer Calculations in Axisymmetric Flames Containing Absorbing and Scattering Particles, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23303, 7 pages.
- [7] Corey A. Myers, Takao Nakagaki, Application of Quenching to Polycrystalline Metallurgical Slags to Reduce Comminution Energy and Increase Mineral Liberation, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-22437, 10 pages.
- [8] Shijie Li, Hongyu Huang, Taoli Huhe, Zhaohong He, Yu Bai, Jun Li, Noriyuki Kobayashi, The Performance Investigation of Hydrophilic Materials Modified LiOH•H<sub>2</sub>O Based Composite Thermochemical Materials for Low Temperature Thermal Energy Storage, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23539, 9 pages.
- [9] Somasree Roychowdhury, T. Sundararajan, Sarit Kumar Das, Modeling of Steam Reforming of Ethanol in Meso- And Micro- Channel Systems, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23931, 6 pages.
- [10] Zhenhua Ren, Liejin Guo, Hui Jin, Kui Luo, Integration of CFD Codes and Radiation Model for Supercritical Water Gasification of Coal in Fluidized Bed Reactor, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23232, 10 pages.
- [11] Long Wang, Feng Wang, Penglai Li, Bohong Chen, Ling Yao, Methanol Steam Reforming for Hydrogen Production with Waste Heat Recovery and Thermoelectric Power Generation, Proceedings of the International Heat Transfer Conference (2018), IHTC16-23405, 9 pages.

## Computational Methods and Simulation

服部 博文 (名古屋工業大学)

Hirofumi HATTORI (Nagoya Institute of Technology)

e-mail: hattori@nitech.ac.jp

2018年8月10日から15日の会期で開催された第16回国際伝熱会議の計算法と計算シミュレーションセッション (Computational Methods and Simulation: CMS) について報告する。CMSセッションは、8月11日と13日の二日にわたり2セッションが設けられ、それぞれ27編と29編で合計56編の発表があった。表1に発表された論文リストを示すが、国別では、ベルギー2、ブラジル1、カナダ1、中国28、フランス4、インド2、日本3、韓国5、ノルウェー1、ロシア2、南アフリカ1、イギリス4、アメリカ2で、開催国である中国からの発表が多くを占めた。このセッションは、他のセッションと違い、現象で分別されたセッションではなく、伝熱に関する計算法と、計算シミュレーションで行われた伝熱研究について発表されているセッションである。表1には、各論文のキーワードも示したが、その内容については多岐にわたっていることが分かる。そのため、よく言えば計算シミュレーションによる伝熱工学の進展がこのセッションで理解することが出来るが、その反面、セッションの専門性が薄くなり、発表に対する質疑も偏ってしまうことになる。現在では、計算シミュレーションの高精度化により、その結果が装置実験結果と同じく扱われる分野もあるので (例えば乱流伝熱分野など)、セッションとしての専門性を出すのであれば、ある特定の問題に対する計算法やモデリング法に限った方が良いと思われた。また、計算シミュレーションによる伝熱研究がこのセッションに集約されているわけではなく、他の現象別セッションにおいても、計算シミュレーションによる伝熱研究の発表は多々見られたため、このセッションの存在意義が、現在の伝熱研究の傾向に合致していないように思われた。

さて、そんなセッションであるが、セッション報告をするには、ある程度の研究傾向を見出さなければならぬと考えてみたが、多くの論文が発表された中国を見渡した限り、計算法そのものの改良に関する論文はCFD (計算流体力学) に関する1本だけであり (これとて、乱流の計算シミュレーションが発達した現在においては、特に目を見張るような研究成果ではないように思われた)、計算シミュレーションでも、独自に計算法を改良した方法を用いている論文はあまり見られなかった (他国の論文を見渡しても、計算法そのものを提案する論文は見られず、日本からの論文については、沸騰二相流問題、ディーゼル微粒子フィルター問題、二酸化炭素貯蔵問題の3編のみで、すべて計算シミュレーションである)。そのため、ほとんどが既存の計算法による計算シミュレーションで伝熱問題を扱った論文であり、その研究傾向はまとまりがなく多岐にわたっていた。そのため、結論的に言えば、ここ数年の計算機環境の劇的な変化 (スパコンのパソコン化、フリーもしくはコマースコードの充実による計算シミュレーション実行の簡便化、計算結果の可視化の簡便化) により、ほとんどの伝熱問題に対して計算シミュレーションが行われているという証左である。ただし、この計算機環境の劇的な変化は、容易な計算結果を生み出し、伝熱現象の理解や、伝熱機器の設計において誤った結果を出しかねない。それを避けるためには、伝熱や計算法に対するより専門的な知識を持った人材が、計算結果を吟味しなければならない。そのためにも、今後は上記のように、計算シミュレーション独自のセッションは避け、ある特定の問題に対する計算法やモデリング法に限った方が良いと思われた。

表 1 Computational Methods and Simulation で発表された論文 (国別)

ID	国	第 1 著者	Key words	論文題目
23925	Belgium	Jasper Nonneman	Numerical simulation, Electronic equipment cooling, Lumped parameter model, Switched reluctance motor, 2D thermal finite element, High performance motor cooling	Advanced lumped parameter model for switched reluctance motors with high performance cooling
24074	Belgium	Maarten Blommaert	Network optimization, adjoint optimization, district heating, thermal networks, topology optimization	An adjoint approach to thermal network topology optimization
24583	Brazil	Anderson P. Almeida	Heat conduction, Integral transforms, GITT, Heterogeneous media, Eigenvalue problem, Multidimensional problems	Integral transforms for transient three-dimensional heat conduction in heterogeneous media with multiple geometries and materials
23294	Canada	Luyang Ren	Conduction, Numerical simulation, Energy and environmental system, Polynomial extrapolation	Numerical assessment of interfacial heat transfer coefficients in a Mg squeeze casting with various section thicknesses by polynomial extrapolation
21262	China	Yan Su	Convection, Computational methods, CSGS, NDLBM, Diffusion	A parallel non-dimensional lattice Boltzmann simulation on double diffusion and convection from porous structure walls
21773	China	Jinghu Hu	Hydrogen safety, simplified CFD model, underexpanded jet	Concentration profiles of high pressure nozzle under expanded jet flows impinging a vertical plate
21898	China	Qiliang Wang	Numerical simulation and super-computing, Thermophysical properties, Convection, Friction pairs, Thermo-mechanical coupling, Thermal load characteristics, Von Mises stress	Numerical simulation of the thermal load characteristics of friction pairs in hydro-viscous drive
22226	China	Zhongyi Liu	radiation, smoothed particle hydrodynamics (SPH), large deformation, Rossetland model	Investigation of heat transfer coupled large deformation using SPH
22244	China	Dong Li	Computational methods, Convection, Solid-liquid phase change, Lattice Boltzmann method, Internal memory cost	A fractional-step lattice Boltzmann method for solid-liquid phase change
22348	China	Hong Wang	Heat transfer, dead corner, 3D/1D model, 3D Patch, coupling	Further development of 3D/1D patched transient heat transfer model
22630	China	Ye Wang	POD (Proper Orthogonal Decomposition), POD reduced-order model, Flat tube bank fin heat exchanger, Projection method, Reconstructed temperature field.	Numerical study of flat tube bank fin heat exchanger by POD projection method
22962	China	Hui Xiao	Computational methods, Convection, SIMPLE, Velocity-correction formula, Improvements	Improvements of velocity-correction formulas for simple algorithm
22971	China	Shouhang Li	Tin Selenide, Electron-phonon interactions, Thermal conductivity, first-principles calculation, doping concentration	Effects of electron-phonon interactions on lattice thermal conductivity of doped SnSe
23068	China	Zhiyun Wang	double-diffusive, natural convection, open cavity, Soret and Dufour effects	Numerical simulation of double-diffusive natural convection in a square open cavity with Soret and Dufour effects
23079	China	Lu Yuanshu	Computational Fluid Dynamics, Condensation, Numerical simulation, Temperature fluctuation	A numerical simulation of steam direct contact condensation
23111	China	Xinghui Wu	computational fluid dynamics, multiphase, nano/micro, meniscus, binary mixture	Simulation of heat transfer in the contact line region of pure fluid and binary fluid mixture in a closed micro-cavity
23142	China	Yanxia Du	aircraft icing, crystal growth, Ginzburg-Landau theory, phase-field model	Study on microstructure evolution characteristics of aircraft icing based on phase-field method
23170	China	Shang-Qing Liu	Heat transfer enhancement, Convection, Turbulence, Single-phase, Wilson, Three-dimensional enhanced tubes	An experimental study on single-phase wilson heat transfer of three-dimensional enhanced tubes
23231	China	Niya Ma	lattice Boltzmann equation method; slip flow; entrance region; rectangular microchannels; apparent friction factor and Reynolds number product	Lattice Boltzmann simulation of hydrodynamic entrance region of rectangular microchannel in slip regime
23269	China	Shikun Zhang	Heat transfer enhancement; Cryogenics; Geothermal energy; HDR drilling; High-pressure liquid nitrogen jet; local thermal equilibrium model	Numerical analysis of transient conjugate heat transfer in HDR drilling with high-pressure liquid nitrogen jet
23324	China	Junjie Yan	Direct numerical simulation, Supercritical fluids, Turbulence, Laminarisation	Direct numerical simulation of convective heat transfer in a vertical pipe for supercritical pressure CO2
23341	China	Zunhua Zhang	Mass transfer, Porous media, Numerical simulation, Fixed bed reactor, Exhaust reforming, Hydrogen production	CFD simulations of exhaust reforming characteristics in catalytic packed bed reactors for a natural-gas engine
23373	China	Wei Wu	Multiple-relaxation-time, lattice Boltzmann method, Natural Convection, local thermal non-equilibrium, anisotropic porous medium	A multiple-relaxation-time lattice Boltzmann model for natural convection in a hydrodynamically and thermally anisotropic porous medium under local thermal non-equilibrium con



ID	国	第 1 著者	Key words	論文題目
23389	China	Jing Li	Numerical simulation and super-computing, Optimal control, Bio and medical applications, Large tumor, Microwave hyperthermia, Effective damage radius	Numerical analysis of effective damage radius for large tumor microwave hyperthermia
23452	China	Zhenqun Wu	Supercritical water, Spherical-particle, Conjugated heat transfer, Numerical simulation	Numerical investigation on conjugated heat transfer of supercritical water flow past a spherical particle
23501	China	Qian Zhang	Numerical simulation, Two-phase flow, Mass transfer; Carbon emission mitigation; Carbon capture and storage; Thermodynamic model	Heat transfer modeling of CO <sub>2</sub> in the wellbore and aquifer during geological sequestration
23866	China	Chaofan Zhao	supercritical, hydrocarbon fuel, pyrolysis, coking	Coupling process analysis on the flow and heat transfer of hydrocarbon fuel with pyrolysis and pyrolytic coking under supercritical pressures
23919	China	Qi Chen	Numerical simulation, Radiation, Conduction, Computational methods, Spectral method, Coupled heat transfer	Numerical computation of coupled radiation-conduction heat transfer using spectral method
23958	China	Fangfang Zhang	Heat transfer coefficient, Numerical study, Falling film flow, Absorber	Numerical study of the flow and heat transfer characteristics of the falling film in the absorber
24115	China	Jiu Luo		Investigation of the local mass transfer in a reverse osmosis desalination process with high-performance computing solutions
24170	China	Zhihang Song	Computational Fluid Dynamics, Thermal management and control, Electronic cooling, Data center, Reversible fan, Energy consumption	Numerical cooling performance evaluation of reversible fan system in a raised-floor data center
24219	China	Jiaqiang Zuo	Computational methods, Supercritical carbon dioxide, Phase prediction, Heat transfer	Phase prediction and control method of supercritical carbon dioxide fluid in fracturing oil wellbore
22515	France	Sébastien Grosjean	Reduced Order Model, Modal Method, Electronic device	Reduction of an electronic card thermal problem by the modal sub structuring method
23515	France	Sergey Semenov	Hydrothermal waves, Benard-Marangoni instabilities, Infrared thermography	Flow pattern and instabilities in volatile sessile droplets under evaporation
23896	France	Nicolas Le Touz	Computational methods, Energy efficiency, Multi-physics heat transfer, Solar hybrid road, Energy harvesting, Finite element model, Porous media	Multi-physics FEM model of solar hybrid roads for energy harvesting performance evaluation in presence of semi-transparent or opaque pavement surface layer
23912	France	Yongliang Feng	Air pollution, Large eddy simulation, Lattice Boltzmann method, Thermal stratification, Street canyon	Study of urban air pollution in street canyons using lattice Boltzmann method with atmospheric boundary layer models
23016	India	Chandrasekhara Pratap G. C	Natural Convection, Square Geometry, Collimated beam radiation, Temperature, Wall Fluxes	Interaction of collimated beam radiation with natural convection in 2D-geometry
23036	India	Atinder Singh	Numerical simulation, Evaporation, Radiation, Rotary dryer, Food drying, Drying media	A numerical study of drying and preheating of food in a rotary dryer with superheated steam and air as the drying media
22464	Japan	Shimpei Saito	Cascaded lattice Boltzmann method, Pseudopotential model, Finite difference method, Boiling twophase flow, High density ratio	A coupled lattice Boltzmann-finite difference approach for boiling two-phase flow with high density ratios
23381	Japan	Satoru Sakama	Porous media, Numerical simulation, Energy and environmental system, Hexagonal-channel diesel particulate filter, Bypass flow, PM deposition	Parametric study of bypass flows through inlet/outlet walls on PM deposition in hexagonal channel diesel particulate filters
23784	Japan	Tao Yu	Two-phase/Multiphase flow, Porous media, CO <sub>2</sub> capture and storage, Sub-seabed CO <sub>2</sub> storage, CO <sub>2</sub> hydrate formation	Large-scale simulations of sub-seabed CO <sub>2</sub> storage in the form of gas hydrate
23155	Korea	Jun-Yub Park	Thermophysical property, Measurement and instrumentation, Two phase flow, Flow visualization, Fiber alignment	Analysis of additive alignment in a PDMS and carbon fiber mixture flow
23705	Korea	Jaehye Kim	Nano / Micro, Heat transfer enhancement, Numerical simulation, Magnetophoretic force, Ferrofluid, Magnetic material	Thermal-flow characteristics of ferrofluid in the microchannel under external magnetic force
23782	Korea	Zaher Ramadan	Numerical simulation, Planetary reactor, Chemical vapor deposition, Silicon epitaxy, Growth rate, Uniformity.	Modeling of epitaxial silicon growth in a planetary CVD reactor
23858	Korea	D. K. Lee	Urea-water solution, Electric heating module, Conduction, Convection, Melting, Phase change, Heat transfer, Natural convection	A numerical study on the melting and heat transfer characteristics of the urea-water solution with electric heating module
24148	Korea	Kyung Mo Kim	Spent fuel, Dry storage cask, Heat pipe, Passive safety, MARS code	Safety assessment of hybrid heat pipe-integrated spent fuel dry storage cask
24036	Norway	Karl Lindqvist	Numerical modeling, vortex shedding, CFD, fin tube, Strouhal number, lift coefficient	Numerical modeling of vortex shedding in finned tube bundles in cross flow
22881	Russia	Ivan Vladimirovich Egorov	Numerical simulation, Navier-Stokes equations, Heat transfer, Gas injection	Influence of gas injection on heat transfer in the vicinity of hemispherical model

ID	国	第1 著者	Key words	論文題目
22883	Russia	Ivan Egorov	Numerical simulation, quasi-steady wake, Mach wave, Tollmien-Schlichting wave, Supersonic flow, Boundary layer	Laminar-turbulent transition in supersonic flow over a flat plate
23262	South Africa	Ken Craig	Convection, Computational methods, Solar energy, Jet impingement heat transfer, Large Eddy Simulation, Cavity receivers	CFD simulation of solar receiver jet impingement heat transfer: RANS vs LES
21763	UK	Sheng Chen	Two-phase/Multiphase flow, Convection, Numerical simulation and super-computing, Heat transfer, Sedimentation, Non-isothermal spheres	Sedimentation behaviors of two thermal spheres
23314	UK	Kenneth Chinembiri	Numerical simulation and super-computing, Nuclear energy, heat transfer, Rod bundle	Numerical study of heat transfer in a distorted rod bundle
23612	UK	Viacheslav Stetsyuk	Presumed filtered functions; Reacting flows; LES; Measurements, LIF	Some aspects of presumed filtered density functions formulation in the context of large eddy simulation of turbulent reacting flows
24443	UK	Jin Zhao	Molecular Dynamics Simulation, Interfacial Tension, Interface, Enhanced Oil Recovery	Molecular dynamics simulation of the salinity effect on the water/oil interface for enhanced oil recovery
21386	USA	Wen-xiao Chu	Printed circuit heat exchanger, supercritical CO <sub>2</sub> , data reduction error, asymmetrical airfoil fin, thermal-hydraulic performance	Numerical study on supercritical CO <sub>2</sub> in a printed circuit heat exchanger with asymmetrical fins
23630	USA	Hongtao Qiao	Heat transfer, Dynamic modeling, Momentum balance, Vapor compression system, Modeli	Comparison of approximated momentum equations in dynamic models of vapor compression systems

## Cooling and Thermal Management

畠山 友行 (富山県立大学)

Tomoyuki HATAKEYAMA (Toyama Prefectural University)

e-mail: hatake@pu-toyama.ac.jp

### 1. はじめに

本稿では、IHTC16 において開催された、電子機器もしくはその他の機器の冷却や熱設計に関するセッションである Cooling and Thermal Management セッションで発表された研究の傾向を紹介し、著者の所感を述べたいと思う。

Cooling and Thermal Management セッションは、8月12日(日)の午後、8月15日(水)の午前の二つの時間帯で開催され、計 54 件 (USB 中のプログラムに記載はあるが原稿ファイルがない発表取り消しと、原稿ファイルはあるが当日のポスター展示がなかった当日キャンセルを除いた数) の発表があった。国別の件数を見ると、中国 26 件、日本 5 件、韓国 5 件、インド 3 件、シンガポール 2 件、オーストラリア 1 件、カナダ 1 件、アメリカ 3 件、UK 3 件、ベルギー 4 件、スウェーデン 1 件となっていた。(プログラム上は、ベルギーが 2 件となっており、代わりにオランダから 2 件の発表があることになっているが、原稿を見る限りプログラム上オランダと表記されている発表は、ベルギーからの発表であったようである。)

### 2. 研究内容の傾向

全 54 件の発表のうち、四分之三の発表では、何らかの形で CFD (Computational Fluid Dynamics : 数値流体力学) 解析などの熱・流体现象をコンピュータによって解析した結果が示されていた。コンピュータによる解析結果のみを議論しているものもあれば、実験結果の解釈のために CFD 解析などの結果を利用しているものもあり、解析結果の議論のされ方は様々であった。解析のみの結果で議論している研究のうち、半数以上はソフトウェアベンダーのソフトを利用して、既存の手法で機器の伝熱特性を議論していた。現在、解析技術を確立されているものも多くあり、ソフトウェアベンダーが信頼性の高いソフトを出していることか

ら、ソフトを利用することは有用であると考えられる。そのような中でも、近年注目されているオープンソースソフトを用いて、そのカスタマイズ性を活用し、これまであまり例を見ない電磁場と熱の連成現象を解析する試みなどは興味深かった。[1] また、CFD 解析のような詳細な解析ではなく、流体抵抗網を利用した機器の性能評価に関する研究[2]や、1次元簡易温度予測モデルの作成に関する研究[3]も興味深かった。近年、熱設計の現場では、熱回路網法の注目が高まるなど、簡易設計に関する需要が高くなっている。簡易設計手法は、短時間で解を得ることができるため、多くのパラメータを振って、最適条件を求めるときに大きな力を発揮する。これら二つの研究は、設計の高速化に寄与する興味深いものと感じた。

CFD 解析などのコンピュータを用いた詳細解析においては、精度の高いソフトが実現している。CFD 解析の結果を活用して、設計のための簡易モデルが多く提案されるようになると、伝熱研究と産業界が結びつくチャンスが広がるように思う。

数値解析のためには精度の高い実験データが必要となるが、実験のみで機器の伝熱特性を評価している研究は約 10 件であった。解析ソフトの導入が容易になったことから、IHTC16 での発表を見る限り、機器の伝熱特性評価にはコンピュータシミュレーションを利用した研究が増えているようである。

### 3. 所感

Cooling and Thermal Management セッションでは、先にも述べたように、既存のソフトを利用した数値解析によって機器の伝熱性能評価が行われている例が多かった。これらの研究との差別化を図るためには、どのような方法があるだろうかと考えられるセッションであった。

Cooling and Thermal Management セッションに

限った話ではないが、2 分のショートプレゼンを 30 人分連続で行い（計 60 分）、その後長時間のポスター発表という形式は、講演者、聴講者双方にとって体力を消耗するスタイルであったように感じた。

また、Cooling and Thermal Management セッションのレビューをまとめるにあたり、プロシーディングスの USB メモリの内容を確認して、少なからず驚きがあった。著者がもらった USB メモリだけの可能性はあるが、プログラムの pdf ファイルから各原稿へのリンクが貼られておらず、原稿を探すのに少なからず時間を要した。また、Cooling and Thermal Management セッションの原稿だけでも、青字や赤字やハイライト表示が残っているもの（おそらく、著者が、修正原稿の修正箇所を査読者にわかりやすくするために、色を変えるか付けたものがそのまま残ってしまったものと思われる）、ダブルスペースになっているもの（査読者が行間にコメントを書きやすくするためと思われる）、行番号が表示されているもの（査読者が指摘部分を行番号で示しやすくするためと思われる）、ダブルカラムになっているものなどフォーマットが決められたものと異なるもの、フォーマットが異なるせいかページ数が規定より超過しているものが確認された。非常に大きな国際会議であるため、全てをチェックするのは難しいと思われるが、これらの原稿がウェブで公開されるのであれば、修正したほうが良いように思われる。大規模な国際会議を開催することがいかに大変であるか、改めて痛感した。

#### 4. おわりに

IHTC16 の Cooling and Thermal Management セッションに参加し、機器の冷却や熱設計に関する研究の現状を把握することができるとともに、次の

一手を考えるきっかけをもらった。Cooling and Thermal Management セッションでの 54 件の発表内容は、ターゲットとしているアプリケーションが多岐に渡っていたことから、様々な話を聞くきっかけを作ってくれるセッションであったように思う。一方で、近年の伝熱シンポジウムの電子機器冷却セッションに見られるような、企業からの発表がなかったのは残念であった。

昨今は、国際会議で発表するために書いた原稿は既発表とみなされ、同様な内容でのジャーナル投稿は二重投稿とみなされる。また、文書として残ると、企業に所属する研究者の発表が難しい場合も多い。そのため、アメリカの電子機器の関係の国際会議では、プレゼンテーションオンリーというオプションを設けており、原稿を書かずに発表のみを認めている。機器の冷却や熱設計の分野は、企業からの発表も期待できる分野である。原稿に残さない形を認めることで、最新の情報を出しやすい環境、企業の研究者が発表しやすい環境になると思われる。IHTC が今後どのような方向性を示すかはわからないが、より活発な情報交換が行われる国際会議になると面白いと思う。

#### 参考文献

- [1] Zheng, M. et al., Multi-physics analysis of the thermal behavior of inductor by using open-source software, Proc. of IHTC16, (2018) 24367
- [2] Chen, K. et al., Cell spacing optimization of battery pack in parallel air-cooled battery thermal management system with U-type flow, Proc. of IHTC16, (2018) 22966
- [3] T'Jollyn, I., 1D simulations of thermally buffered prismatic batteries through the application of PCMs, Proc. of IHTC16, (2018) 24132

## Convection

保浦 知也 (名古屋工業大学), 中村 元 (防衛大学校)

Tomoya HOURA (Nagoya Institute of Technology), Hajime NAKAMURA (National Defense Academy)

e-mail: [houra@nitech.ac.jp](mailto:houra@nitech.ac.jp), [nhajime@nda.ac.jp](mailto:nhajime@nda.ac.jp)

## 1. セッションの概要

対流 (Convection) に分類された研究発表は, COV1 から COV4 の 4 セッションに分かれて計 109 件がプログラムされていた. 各 2 分のショートプレゼンテーションの後, ポスター発表が続いたが, 実際に発表されたのは 92 件であった.

発表者の国別でみると, 中国 30 件, 日本 15 件, 南アフリカ 8 件, ロシア 7 件, アメリカ 6 件, フランスとドイツが各 5 件, オーストラリア, インド, 韓国が各 3 件, ベルギーとカナダが各 2 件, アイルランド, スウェーデンとイギリスが各 1 件であった.

4 つのセッションは, 流動を伴う熱物質伝達を対象としているが, 流動様式 (強制対流, 自然対流, 共存対流) や流動状態 (層流, 遷移流れ, 乱流) といった視点からのセッション分類はされおらず, 対流に関わる様々な研究が全セッションで混在して発表されていた. 表 1 に, 主なキーワード別の発表件数をまとめた.

表 1 Convection 1~4 (全 92 件)

キーワード	発表件数
自然対流 (熱対流)	27
強制対流	6
共存対流	4
熱交換器	12
低プラントル数流体	7
伝熱促進	7
多孔質体内流れ	5
超臨界流れ	5
非ニュートン流体	5
ナノ流体	3
高速流	3
非定常熱伝達	3
電磁流体	2
新理論の構築	1
密度成層流	1
熱音響	1

自然対流に関する研究が最も多く (27 件), 熱交換器に分類される内容 (12 件) が次に多かった. また, 液体金属をはじめとする低プラントル数流体や伝熱促進 (いずれも 7 件), 多孔質体内流れ, 超臨界流れや非ニュートン流体 (いずれも 5 件) に関わる研究も多く発表された.

件数も多く, 全てをレビューすることは難しいため, 以下では前半と後半のセッションに分けて, 筆者らが個人的に興味を持った研究について, 海外の研究を中心にいくつか紹介したい.

## 2. 前半の 2 つのセッション (COV1, COV2)

IHTC16-21349 (Foroughani et al., Canada) [1] では, 熱的境界条件として複数の等温壁を有する対流熱伝達問題の定式化と解に対する新しいアプローチが紹介された. ニュートンの冷却法則を複数の温度差に対して拡張し, そこで現れる新たな熱伝達係数を得るために  $dQdT$  と呼ばれる手法 (境界温度の変化に対する伝熱量の変化により係数を求める手法) を提案している. 非対称 Graetz 問題などで検証し, 種々の境界条件に対してより普遍的な解が得られることを示している.

IHTC16-22834 (Buschmann et al., Germany) [2] では, 水にナノサイズ粒子を混入したナノ流体による対流熱伝達現象の解釈について, 支配方程式と無次元数による考察とともに, 5 つの異なる研究チームによる実験結果が報告された. 円管内流れや各種の熱交換器内の流れについて, ナノ流体によるヌセルト数とレイノルズ数, プラントル数の相関関係が実験的に調べられた. これによれば, ナノ流体による対流熱の促進効果は, 無次元数による整理で水の結果と同様にまとまることから, 熱物性値の変化として説明できることが示された.

IHTC16-21556 (Liu et al, Japan) [3] では, 発電所の高圧反応器における冷却機能損失を想定して, 非定常な強制対流熱伝達特性に関する実験と数値

計算結果が発表された。流れに平行に置かれ一様に発熱している円柱（直径 1 mm の白金線）に対して、周囲のヘリウムガス流量が、時間とともに指数関数的に低下しゼロとなる条件で、流れの減速の速さ（時定数）や初期のガス速度を変化させて、表面温度差と熱流束が測定され、熱伝達率の時間変化が見積もられている。流れの減速により表面温度差は増加し、その時間変化は流速変化が速いほど大きいこと、流れが減速する時間に比べて表面温度差の変化に要する時間が長いことなど、円柱の表面を発達する温度境界層の影響を示唆する結果が得られている。

IHTC16-23383 (Thebault et al., Australia) [4]では、片壁が一様に加熱された鉛直チャンネル内の自然対流について、チャンネル外部における周囲温度の安定成層の強さが、速度場と温度場に与える影響を実験と LES による数値計算により調べている。外部の温度成層が強くなると質量流量は減少し、最大壁温の位置として推測される遷移点がより低い位置となっていた。その理由として、加熱壁近くの境界層はあまり変化しないが、成層が強くなるとバルク流れと最大速度との差が大きくなること、逆流が間欠的に強く発生することが示された。

前半の最後に、本稿の筆者の研究 IHTC16-22864 (Houra et al., Japan) [5]についても触れておきたい。常温空気中の濃度変動を計測できる高速 FID（水素炎イオン化検出器）を用いて、乱流境界層内で点源放出された受動スカラー（エチレン）の移流拡散過程を実験的に調べたものである。壁面上には障害物として角柱が置かれ、その下流では流れのはく離や渦放出が生じている。角柱下流のはく離領域では、上流から移流してきた物質が取り込まれ濃度が平均的に高くなるが、瞬間的な高濃度は、はく離領域と主流領域の間にあるせん断層で生じていることなどが示された。

### 3. 後半の 2 つのセッション (COV3, COV4)

IHTC16-23021 (Everts and Meyer, South Africa) [6]では、円管内流れの遷移域における熱伝達に関して詳細な実験結果が報告された。円管内の熱伝達については従来から数多くの研究が行われており、既に平均熱伝達や圧力損失について信頼性の高い経験式がいくつも提示されているが、遷移域においては研究者により実験データのばらつきが

大きく、熱伝達や圧力損失の予測が難しいのが現状である。Meyer らのグループでは、層流域から低レイノルズ数乱流域にかけて円管内の熱伝達を厳密に測定できる実験装置が製作され、これまでに共存対流や助走区間における熱伝達など、いくつかの実験式が提案されてきた。遷移域では、低圧力損失の割に熱伝達の低下が小さいことも示唆されており、この領域での伝熱特性を明らかにすることは有益なことであると思う。

IHTC16-22376 (Planquart et al., Belgium) [7]では、低プラントル数流体の乱流熱伝達を測定するための新たな風洞が製作された。重い希ガスと軽い希ガスを混合すると、混合比によってプラントル数が増えるようであり、この研究では、ヘリウム 80%とキセノン 20%を混合して、プラントル数 0.2 の気体を生成している。現状では流体に空気を用いた予備実験が行われている段階であるが、今後は、低プラントル数流体を用いて、はく離・再付着流れ、噴流、自然対流などの速度変動や温度変動が取得される予定である。希ガスの混合気体であれば、液体金属とは違い流体の速度変動や温度変動の測定が比較的容易であるため、本装置を用いた実験により、低プラントル数における乱流モデルの開発が進展することが期待される。

希ガスを混合した低プラントル数流体に関する研究は、IHTC16-22710 (Naumkin et al., Russia) [8]でも行われた。この研究では、実際にヘリウムとキセノンを混合したプラントル数 0.2~0.3 の作動流体を用いて、チャンネル流れの熱伝達測定された。Re-Nu の関係を従来の経験式 (Dittus-Bolter の式、および液体金属の実験式) と比較し、その適用の可否について議論している。

他にも、IHTC16-23942 (Oleg et al, Russia) [9]で低プラントル数流体を用いた研究発表が行われた。流体には液体金属（ビスマス 50%、鉛 25%、錫 25%からなる合金、融点 96°C）が用いられた。温度の異なる流体を T 字管で混合させ、配管の温度変動が高速度赤外線カメラで測定された。T 字合流管では流体の温度変動による高サイクル熱疲労が起りやすいこと、特に液体金属を用いるとその影響が顕著になることがこれまでも指摘されてきたが、実際に液体金属を混合させる大がかりな装置が製作され、実測が行われた。配管（ステンレス鋼）の肉厚が 1 mm であり、配管の熱容量

や管壁内での熱拡散の影響が大きいと、乱流渦構造の挙動に伴う詳細な温度分布や変動を測定するのは難しいと思われるが、配管の高サイクル熱疲労にとって大変貴重なデータが得られていると思う。

日本の発表の中では、個人的には IHTC16-23774 (Yamazaki et al., Japan) [10]の研究に興味を持った。この研究では、チャンネル乱流に脈動を与えた直接数値シミュレーション (DNS) が行われた。脈動の周波数が高くなると熱伝達には大きな位相遅れが発生し、周波数が高くなるとバルクレイノルズ数との位相が逆転する (すなわち、速度の大きい時に熱伝達が低下し、速度の小さい時に熱伝達が増加する) ことが示されている。また、スタント数と壁面摩擦係数の比  $S_f/(C_f/2)$  は、運動量と熱伝達の相似則が成り立てば一定値になるはずであるが、加速時にはこの値が低下して減速時に上昇すること、周波数が高くなるほどこの傾向が顕著になることが示されている。つまり、脈動流の各位相では運動量と熱伝達の相似則が成り立っておらず、相似則を仮定した大半の CFD 解析ソフトウェアでは、脈動流の熱伝達を正しく解析できないことを示している。脈動流の熱伝達についてはこれまで多く研究がなされてきたが、脈動の条件と伝熱促進/伝熱抑制の関係については矛盾した報告も多く、統一的な見解が得られていないのが現状である。この研究では直接数値シミュレーションが行われているので、これまでの曖昧な理解に対して一石が投げられるのではないかと期待している。

ちなみに、上記の研究は本稿の筆者の研究 IHTC16-22949 (Nakamura and Yamada, Japan) [11]とも密接に関連しているので、少し紹介させていただきたい。脈動流による伝熱促進 (あるいは伝熱抑制) の可能性や、伝熱促進にとって最適な脈動条件を明らかにすることを目的とした研究である。ここでは、円管内流れを急加速・急減速した時の熱伝達変動を、高速度赤外線カメラを用いた手法で測定した。その結果、流れ場の変動に対して熱伝達の変動が遅れることが示された。また、その遅れは、摩擦速度を用いた一般的な形で定式化可能であることが示唆された。まだ研究の途上であるが、今後は流れ場の変動や熱伝達変動の測定を通してこの遅れのメカニズムを明らかにする

と共に、脈動流の伝熱促進を汎用的にかつ簡易に予測できる経験式を作成したいと考えている。

#### 参考文献

- [1] Foroushani, S. et al., A New Approach to the Formulation and Solution of Multi-Temperature Convection Problems, IHTC16-21349, (2018).
- [2] Buschmann, M. H. et al., On the Proper Interpretation of Nanofluid Convective Heat Transfer, IHTC16-22834, (2018).
- [3] Liu, Q. et al., Transient Convection Heat Transfer for Helium Gas under Experimentally Decreasing Flow Conditions, IHTC16-21556, (2018).
- [4] Thebault, M. et al., Impact of External Temperature Distribution on the Turbulent and Thermal Fields in a Vertical Uniformly Heated Channel, IHTC16-23383, (2018).
- [5] Houra, T. et al., Effects of Turbulent Wake Flow Formed behind a Square Cylinder on Mass Diffusion Process in a Turbulent Boundary Layer, IHTC16-22864, (2018).
- [6] Everts, M. and Meyer, J. P., Transitional Flow Regime Nomenclature for Smooth Horizontal Tubes Heated at a Constant Heat Flux, IHTC16-23021, (2018).
- [7] Planquart, P. et al., Description of a New Wind Tunnel to Study Heat Transfer Phenomena in a Gas Mixture at Low Prandtl Number, IHTC16-22376, (2018).
- [8] Naumkin, V. S. et al., Heat Transfer in a Flat Channel with High Aspect Ratio at a Heat Carrier Flow with Low-Prandtl Number, IHTC16-22710, (2018).
- [9] Oleg, K. et al., Experimental Investigation of Thermal Mixing of Liquid-Metal Coolant Flow in T-Junction, IHTC16-23942, (2018).
- [10] Yamazaki, T. et al., Direct Numerical Simulation of Turbulent Heat Transfer in Pulsating Plane Channel Flows with Different Frequency, IHTC16-23774, (2018).
- [11] Nakamura, H. and Yamada, S., Time-Response of Turbulent Heat Transfer in a Pipe Flow at Sudden Acceleration and Deceleration, IHTC16-22949, (2018).

## Electrochemical Systems

岩井 裕 (京都大学)

Hiroshi IWAI (Kyoto University)

iwai.hiroshi.4x@kyoto-u.ac.jp

## 1. 概要

会議3日めである13日の午前に“Electrochemical Systems”に分類された一般研究の発表があった。会議プロシーディングスには、このカテゴリで16件の研究論文が掲載されている。プログラムの記載情報に沿えばその内訳は中国11件、日本4件、米国1件であり、多くの国からの参加者が集まる国際伝熱会議のセッションとしては、かなり偏りのある構成という印象ではある。この傾向は今回だけの特徴というわけではない。国際伝熱会議のセッションで Electrochemical Systems という表現が使われたのは今回が初めてだが、これに関連深いものとして IHTC-14 (2010年, 米国) と IHTC-15 (2014年, 日本) では Fuel Cells のセッションがあった。開催国の発表件数は多くなるものだが、偶然にも上記3か国は直近3回の開催国でもあるので単純に和を取ると、合計41件のうち中国・日本・米国以外からの発表は5件に留まる。ただ関連の研究をしている欧州や韓国の知人を会場で何人も見かけたので、次回以降に広がることを期待したい。なお関連研究であっても他セッションに振り分けられている場合もあることを付言しておく。

内容としては燃料電池、電解、二次電池、キャパシタなど電気化学反応を伴う装置に関連する研究である。伝熱シンポジウムでいえば「水素・燃料電池・二次電池」の OS が対応するだろう。燃料電池、特に PEMFC の研究が牽引してきた分野であるが、研究対象が広がっており近年では本会議同様 Electrochemical Systems のようなセッション名が使われることは増えてきた。Trans. ASME の Journal of Fuel Cell Science and Technology も2016年から Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage へと誌名が変更されている。

本セッションで予定されていた発表件数は16件と比較的少なく、ポスターボードはひとつおき

の使用であったため、各ポスター周辺に十分なスペースがあると同時に隣のポスターからは適度に離れていて、議論はしやすかった。なおポスターセッション前のショートプレゼンテーションが行われたのは、掲載論文数より2件少ない14件であった。

## 2. 報告

発表された論文について簡単に紹介する。論文番号の前半[IHTC16-]は全論文共通なので省略し、後半5桁の数字のみ表記する。

新しい素材や製造プロセスに注目した研究がいくつかあった。[22731]はグラフェンを使用したスーパーキャパシタの作動時のジュール発熱量が活性炭使用時に比して小さいことを実験で示したうえで、DFT および MD によるシミュレーションでグラフェンにおける電子とイオンの内部輸送抵抗をミクロな視点で議論している。[23510]は PEMFC の触媒層において従来の炭素素材 (Ketjen black) に替えてグラフェンナノプレートレットを使用することを試みた。特段の調整はしていない初期段階であるが、ひとまず従来素材と同程度といえる性能が得られることを発電実験で明らかにしている。[24376]はエレクトロスピンニング法で作製したポリマーのカーボンナノファイバー網を炭化させ、レドックスフロー電池の電極とした時の性能向上を実験で示している。このような繊維状炭素のレドックスフロー電池電極としての応用について、数値解析的なアプローチをしたのは [24274]である。繊維直径等をパラメータとして系統的な数値解析を行い電極性能の伸びしろと性能向上の方向を示している。[24145]はリチウムイオン電池製造時の電解液の注入プロセスに注目した数値解析である。電極を模して数値的に生成した多孔体流路に電解液を流入させる際に、マイクロチャンネルを付設することの影響を LBM による解



析で予測している。実際の現象をどの程度捉えられているかについては検証が必要と感じた。

視点は変わるが、ここまでで紹介したいくつかも含めて数値解析による検討は 16 件中 10 件と多かった。[23786]は燃料極下流端を閉じて作動させる PEMFC を想定し、空気極側からのクロスオーバーによる窒素をパージする場合の作動条件の影響を、CFD をベースとした非定常解析により検討している。[22385]も PEMFC の非定常挙動に注目した数値解析であり、氷点下起動時の検討において、過冷却水を影響することの重要性を指摘している。同様に[24274]も PEMFC の氷点下起動の数値解析であるが、焦点は GDL の微構造の影響にあてられている。セルの締め付け圧力に応じて GDL の圧縮の程度が変わるが、この時の微構造(空隙率や屈曲度ファクター)をモデル化して解析に取り込んでいる。電極微構造がセル性能に与える影響に注目したものとして[23190]がある。こちらは SOFC を対象としており多孔質電極の微構造が電極厚さ方向に非一様に分布する場合の影響について検討している。多孔質微構造としては球体のランダムパックモデルを採用しているとのことであった。[22283]は PEMFC の空気極側の単一流路を想定し、流路内に形成された液滴が空気流により下流へと排出される過程を追うものである。PEMFC 内での現象そのものというよりは、解析手法の開発に重きが置かれている。[23229]は亜鉛-ニッケル系の単一フロー電池の定常スタックシミュレーションであり、入口での流速や濃度の影響を報告している。

実験に目を移す。[24273]は電池モジュールの冷却システムに関する研究である。対象、形状および条件も大きく異なるが、「伝熱」の本年 7 月号掲載の和田怜氏による特集記事「高出力用途向け水冷リチウムイオン電池モジュールの開発」と通じる内容である。円筒型電池を模擬した発熱体 106 本を有するモジュールを下面から水冷しつつ、固体部熱伝導や PCM を駆使して温度分布の均一化を図っている。模擬電池の発熱量を制御して、モジュール内各所の温度を時系列で測定するというある意味素朴な実験であるが、セッションを通じて人だかりが絶える様子がなかったのが印象的であった。[23823]はダイレクトカーボン燃料電池

のアノード表面における発電時の CO<sub>2</sub> のバブルの生成を In-situ で観察することに成功し、これが反応物のアノードへの接触を阻害することで発電反応を抑制することを示している。筆者らの[23640]は SOFC 燃料極を模した Ni-YSZ 触媒にメタンとアンモニアの混合燃料を加湿供給した場合の改質・分解反応実験である。メタン直接内部改質 SOFC では燃料流路入口付近での改質反応に伴う吸熱による急激な温度低下が問題となる。アンモニアを混合供給するとアンモニア分解反応が先に進行し、メタン水蒸気改質反応の開始を下流へ移動できることを示した。

ショートプレゼンテーションが行われなかった 2 件については、筆者が一通りポスターを回った時点でもポスター掲示がなかったので No show と判断した。しかしセッション終盤にはポスターが掲示されていたらしい。直接に話を聞くことができなかったので、論文集を見て簡単に記述する。[24118]はメタンの直接内部改質を伴う平板型 SOFC において、メタンの一部を事前改質する場合の影響を調べた CFD ベースの単セル数値解析である。[22462]は円筒型 SOEC において H<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の共電解とそれに続くメタネーションまでを行おうというアイデアで、これも CFD ベースの単セル数値解析である。

### 3. 雑感

材料や製造プロセスへと踏み込んだ研究や、非定常現象を扱う研究は前回 IHTC-15 ではあまり見られなかった内容で、分野の広がりや進展を示すものと感じた。セルやスタックレベルのマクロ数値解析については商用パッケージも整備されつつあり、本セッションのいくつかの論文も商用パッケージでの計算結果に基づくものであった。ただポスターを前にして議論をする中で、基礎的なこと(例えば格子の空間解像度)を詰めきれていないと感じられる場面に何度か遭遇した。プロシーディングスに収められた論文を読むだけでは分かりにくいところである。作動中のセル内現象の観察や局所測定が困難であることが数値解析への期待の理由のひとつではあるが、そこを押しして一歩進める実験は貴重である。

## New Energy and Efficiency/ Energy Conversion and Storage

松原 幸治 (新潟大学)

Koji MATSUBARA (Niigata University)

e-mail: matsu@eng.niigata-u.ac.jp

## 1. はじめに

本稿では、IHTC16のNew Energy and EfficiencyとEnergy Conversion and Storageでの講演をレビューする。これらは全部で四つのセッションを構成し、115件の講演がプログラムに記載されている。ここでは特に太陽エネルギーと潜熱蓄熱の分野からの講演を取り上げて解説する。

## 2. New Energy and Efficiency (NEE)

## 2.1 各分野からの講演件数

8月12日午後、14日午前、15日午後にわたり、New Energy and Efficiencyの三つのセッションが行なわれた。図1は、最終日に行なわれた三つ目のセッション(NEE3)でのショートプレゼンテーションの風景である。プログラムには86件のポスタープレゼンテーションが含まれている。内容としては、太陽エネルギー、資源、地熱、気候変動、バイオマス、原子力、製造システム、燃焼、燃料、炉、空調、人体、熱交換、ヒートパイプ、ヒートシンク、電子機器冷却、蓄熱、対流、レオロジー、冷却、ふく射である。このように本セッションは、非常に多岐にわたる内容を含むことを特徴とする。表1に各分野の講演件数を示す。太陽エネルギーに関する講演は41件であり、半分近くに達している。その中でも太陽熱に関する講演が目立っていた。空調と熱交換も比較的多かった。



図1 NEE3でのショートプレゼンテーション

表1 New Energy and Efficiency (全86件)

分野	講演件数
太陽エネルギー	41
資源	2
地熱	3
気候変動	1
バイオマス	2
原子力	2
製造システム	1
燃焼	2
燃料	2
炉	1
空調	6
人体	1
熱交換	5
ヒートパイプ	1
ヒートシンク	1
電子機器冷却	2
蓄熱	4
対流	4
レオロジー	1
冷却	2
ふく射	2

## 2.2 太陽エネルギーに関する講演

New Energy and Efficiencyにおいて講演件数が多かった太陽エネルギー分野において目だった講演について記載する。

講演番号21869 [1]は、東京大学(日本)からの講演である。カーボンナノチューブを応用したペロブスカイト太陽パネルに関する実験的研究である。カーボンナノチューブを用いることで、従来のシリコン結晶による太陽電池に比べて、格段に製造コストを下げることができる。

講演番号23307 [2]は、マサチューセッツ工科大学(米国)からの講演である。高温型太陽光パネルのためのキャビティー式集熱器/エミッターに

関する研究報告である。太陽光パネルが光を電気に変換できる波長帯は限られるため、太陽放射を吸収し、最適な波長に変換する。これによって太陽光パネルの効率は上げられるが、波長の変換において再放射のため熱損失が生じる。このような熱損失を低減し、正味の効率を上げるため、キャビティー形状の集熱器／エミッターによって再放射を抑える試みである。

講演番号 24318 [3]は、東京工業大学（日本）からの講演である。クロスリニア式集光器による集熱系の数値解析が行なわれた。インド・ボパールにおいて行なっている実験を再現する数値解析である。クロスリニア集光器とは、複数のヘリオスタットにより上部のキャビティー内に集光する装置である。この研究では、6本の円管を平行に並べた集熱器によって空気に集熱を行なっている。集光解析にはモンテカルロ法を用いている。再放射の解析には形態係数を用いることで計算負荷を低減している。このような解析によって、500°Cまで空気温度を上昇できたこと、最大効率が75パーセントに達することを確認した。

講演番号 23436 [4]は、新潟大学（日本）からの講演である。集光照射を受けるハニカムレーバに関する研究である。ソーラーレーバは、集光太陽光の照射を受け、これを顕熱に変換し、伝熱流体に伝達する。このため、ふく射、対流、熱伝導の三つの伝熱様式が同時に起こり、しかもそれぞれが互いに影響を及ぼしあう。この研究では、これら三つの伝熱を完全に連成させて数値解析を行った。集光照射量 POA と空気流量 AMF の比を固定した時、レーバ効率が最大になる空気流量が存在することなどが明らかになった。

講演番号 22293 [5]は、ハルビン工科大学（中国）からの講演である。太陽熱燃料化に関する研究である。酸化鉄の酸化還元反応を利用して、水を酸素と水素に分解することができる。また、酸化鉄の酸化還元反応によって、水と二酸化炭素から合成ガスを作ることができる。これらの反応熱として集光型太陽熱を利用することで、太陽熱を水素に変換する。研究ではそのための太陽集熱器（ソーラーレーバ）の解析が行なわれた。

22793 [6]は、インド工科大学ロパー校（インド）からの講演である。ソーラーポンドに関する解析的研究である。屋外に大きなポンド（水溜まり）

を作り、塩分が濃い層を下部に、塩分が薄い層を上部に作る。下部と上部はそれぞれの内部で対流による混合が起こるが、下部と上部の混合は非常にゆっくりである。このため、太陽熱をポンド下部の塩分が濃い層に蓄えて、閉じ込めることができる。このようなソーラーポンドに対して、逆問題解析を行って、最適化が試みられている。

以上のように、太陽光パネル、太陽熱発電、太陽熱燃料化等の多岐にわたる講演が行なわれた。

### 3. Energy Conversion and Storage (ECS)

#### 3.1 各分野からの講演件数

8月14日午後に、Energy Conversion and Storage のセッションが行なわれた。29件の講演発表が行なわれた。内容としては、潜熱蓄熱、顕熱蓄熱、化学蓄熱、地下熱貯蔵、熱電変換、空調、バッテリーである。各分野からの講演数は表2の通りである。

表2 Energy Conversion and Storage (全29件)

分野	講演件数
潜熱蓄熱	19
顕熱蓄熱	3
化学蓄熱	2
地下熱貯蔵	1
熱電変換	1
空調	2
バッテリー	1

#### 3.2 潜熱蓄熱に関する講演

Energy Conversion and Storage において講演件数が多かった潜熱蓄熱分野において目だった講演について記載する。

23186 [7]は青山学院大学（日本）からの講演である。相変化エマルジョン（PCE, Phase Change Emulsion）に関する研究である。PCEとは、界面活性剤水溶液とPCM（Phase Change Material）微粒子の混合物である。このPCEによって、流動性を保ちながら潜熱による高い蓄熱性能を達成することができる。PCEの凝固伝熱について実験が行なわれた。潜熱の解放によって伝熱促進が起こることが明らかになった。

#### 参考文献

- [1] Shigeo Maruyama, Carbon Nanotube Based

- Electrodes for Perovskite Solar Cells, Proceedings of IHTC16, 21869 (2018).
- [2] Colin C. Kelsall, David M. Bierman, Amy Leroy, Bikram Bhatia, Evelyn N. Wang, Cavity Absorber-Emitters for High-Temperature Solar Thermophotovoltaics, (MIT), 23307 (2018).
- [3] Rendy S. Renata, Kentaro Kanatani, Hideharu Takahashi, Yutaka Tamaura, Hiroshige Kikura, Optimization of Solar Cavity Receiver for Cross Linear Concentrated Solar Power – A Numerical Study, Proc. of IHTC16, 24318, (2018).
- [4] Mitsuho Nakakura, Selvan Bellan, Hyun-Seok Cho, Koji Matsubara, Nobuyuki Gokon, Tatsuya Kodama, Conjugated Radiation-Convection-Conduction Analysis of Volumetric Receiver with Highly Concentrated Radiation, Proc. of IHTC16, 23436, (2018).
- [5] Bachirou Guene Lougoua, Yong Shuai, Dongmei Hana, Xing Huangb, Heping Tana, High Surface Temperature Gas-Solid ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ ) Interfacial Reaction Characteristics, Proc. of IHTC16, 22293, (2018).
- [6] Abhishek Kumar, Ranjan Das, Predicting Dimensions of a Solar Pond Using Inverse Method, Predicting Dimensions of a Solar Pond Using Inverse Method, Proc. of IHTC16, 22793, (2018).
- [7] Takashi Morimoto, Kai Suzuki, Hiroyuki Kumano, Solidification Heat Transfer Characteristics of Phase Change Emulsion in Turbulent Flow Region, IHTC16, 23186, (2018).
-

## Heat Exchanger

廣田 真史 (三重大学)

Masafumi HIROTA (Mie University)

e-mail: hirota@mach.mie-u.ac.jp

## 1. セッションの概要

「熱交換器 (HER)」のセッションは 8 月 14 日の午後と 8 月 15 日の午前に行われ、会場で配布された論文集にはそれぞれ 28 件と 29 件の論文が収録されていたが、当日は 1 件がキャンセルされていた。論文数を第一著者の国別で見ると、中国 24 件、韓国 9 件、日本 6 件、アメリカ 3 件、南アフリカ 3 件、台湾、ロシア、フランスが 2 件、タイ、インド、ドイツ、イギリス、イタリア、スペインが各 1 件であった。アジアからの発表が 7 割強を占めているが、この割合は全発表論文における割合にほぼ一致している。また所属機関別では大学 52 件、研究所 6 件であり、企業からの発表は 1 件であった。

発表会場ではポスターセッションに先立ち Keynote Lecture と 2 分間の Short oral presentation が行われたが、立ち見する人も居る状態で、ポスターの前でも終了時間まで活発な議論が行われていた。本稿では Keynote Lecture とポスター発表論文の概要を紹介する。

## 2. Keynote Lecture の概要

8 月 14 日午後には、Dalhousie University (Canada) の Prof. Dominic Groulx により“The Rate Problem in Solid-Liquid Phase Change Heat Transfer: Efforts and Questions Toward Heat Exchanger Design Rules”と題した基調講演が行われた。この講演は、PCM (Phase Change Material) を用いた蓄熱システム的设计において問題となる PCM の”rate problem”に関する研究のレビューであり、PCM における相変化伝熱とその促進方法が数値シミュレーションを中心に紹介された。また、PCM を利用した熱交換器について、設計方法やその問題点が説明された。

翌朝の基調講演は Alma Mater Studiorum Università di Bologna (Italy) の Prof. Gian Luca Morini による”The Design of Mini/Micro Heat Exchangers: A

World of Opportunities and Constraints”であった。一般にミニ/マイクロ熱交換器は非常に高い伝熱性能が期待できる。この講演では、内部の流れが单相流の場合にマニホールド形状や内部構造が熱交換器の性能に及ぼす影響について、これまでの研究が紹介された。また、流体-壁面熱伝導の連成について説明があり、低熱伝導率の材料を用いた場合にも高効率化が可能であることが示された。

## 3. ポスターセッションの概要

前述のようにポスターセッションでは 56 件の発表があったが、そのうち約 20 件がヒートパイプとサーモサイフォンに関する研究であった。対象とされた熱交換器は、シェル&チューブ型、マイクロチャンネル型、フィン&チューブ型、プレート型、二重管式、三重管式、樹脂製など多岐にわたっていたが、目新しいものとして 3D プリンターを用いた Printed Circuit Heat Exchanger (PCHE) に関する発表が 5 件行われた。ただし、その殆どは数値シミュレーションにより最適な内部構造を検討した研究であり、実機を製作した報告は 1 件であった。また、実験と理論の割合はほぼ半々であり、後者についてはモデル化や最適化に関する研究が多く報告された。以下に発表された論文の概要を紹介する。英数字は論文番号、括弧内は第一著者とその所属機関がある国を表している。

## Heat Exchangers-1

IHTC16-21165 (M. Amer, 台湾) 3 種類の樹脂製熱交換器 (Plate, Asymmetry bare tube, Round tube) の冷却除湿性能を実験的に比較し、Asymmetry bare tube が優れていることを明らかにした。

IHTC16-21381 (W. Al Hadad, フランス) 熱交換器に流入する流体温度の時間変化とそれに対する流出流体の応答から transmittance を求め、それに基づき温度効率を求める方法を開発した。

IHTC16-22037 (S. H. Hong, 韓国) レーダーアレイ

冷却用のアルミ製ヒートパイプの開発。扁平チューブを用いて接触面積を増やすことにより、高出力のモジュールの冷却が可能となった。

IHTC16-22116 (W. Hu, 中国) Flat-plate closed loop two-phase thermosiphon 内の流動を可視化観察し、熱負荷の変化に伴い 3 種類のモードが現れることを明らかにした。

IHTC16-22167 (Y. Liu, 中国) Wickless two-phase closed thermosiphon を高い封入率で作動させた場合について、流速や圧力と温度の変動を測定した。最適な封入率は 87%であることを明らかにした。

IHTC16-22503 (W. Ge, 中国) 発電プラントに用いられる Natural Draft Dry Cooling Tower の最適化を目的として新しい設計手法を提案した。既存データと比較することで新手法の精度も検証した。

IHTC16-22600 (X. Sun, 中国) マイクロチャンネル型熱交換器とフィン&チューブ型熱交換器に吸着剤を塗布して吸着性能を比較し、前者が圧損は高いが優れた性能を示すことを明らかにした。

IHTC16-22766 (E. Z. Gwebu, 南アフリカ) 石炭火力発電所における過熱器の運転条件と伝熱面温度との相関を求めるモデルを構築するとともに、その妥当性の検証方法を考案した。

IHTC16-22968 (J. Guo, 中国) 超臨界 CO<sub>2</sub> サイクル用の熱交換器について、流体の物性値が急激に変化する場合にも適用できる新たな最適設計手法を考案した。

IHTC16-23088 (S. Uemura, 日本) 東工大・平井先生のグループの発表。ヒートパイプの小型化と高性能化を目的として、 $\mu\text{m}$  スケールの溝を流れる気液二相流について格子ボルツマン法による数値シミュレーションを行うとともに、その妥当性を X 線 CT で検証した。

IHTC16-23110 (Z. Xu, 中国) 流路内に設置された Vortex generator について、粒子状物質による汚損が伝熱に及ぼす影響を検討した。穴付きの VG は粒子の影響を受けにくいことを明らかにした。

IHTC16-23199 (Y. H. Kim, 韓国) Two-phase closed thermosiphon において、不凝縮性気体の混入が伝熱性能に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

IHTC16-23213 (S. M. Abolarin, 南アフリカ) ねじりテープが挿入された円管内の伝熱と圧力損失を層流～遷移域で測定し、テープの挿入により乱流遷移が低  $Re$  で起こることを明らかにした。

IHTC16-23300 (N. Preußer, ドイツ) 毛管力の利用により無重力下で使用可能な蒸留器を考案した。開発した装置がエタノールとメタノールの分離に有効であることを実験により証明した。

IHTC16-23388 (J. H. Hao, 中国) 複雑な構造をもつ熱交換器の熱抵抗を表すために、Entransy dissipation-based thermal resistance に基づき対数平均温度差の修正項と新たな NTU の導入を提案した。

IHTC16-23393 (W. Zhong, アメリカ) 天然ガス炊きコンバインドサイクルの排気ガスから水を分離することを目的として、高熱伝導率樹脂製の熱交換器を用いたサーモサイフォンを考案し、ラボスケールのモデルで実証試験を行った。

IHTC16-23529 (F. Pagnoni, フランス) Flat-Plate Pulsating Heat Pipe において、重力に対する設置方向が内部の流動に及ぼす影響を実験により観察した。

IHTC16-23552 (S. H. Liu, 中国) Printed Circuit Heat Exchanger においてジグザグ流路を用いることを考案し、折れ曲がり角度が内部の熱流動に及ぼす影響を数値シミュレーションにより検討した。

IHTC16-23616 (K. Wang, 中国) シェル&チューブ型熱交換器において、らせん状バッフルと分割型のブレード状バッフルを用いた場合の熱流動を数値シミュレーションにより比較し、後者の性能が優れていることを明らかにした。

IHTC16-23638 (N. G. Ivanov, ロシア) 千鳥配列された水平管群の列数が熱伝達に及ぼす影響を数値シミュレーションにより検討し、平均ヌセルト数は管数にあまり依存しないことを明らかにした。

IHTC16-23685 (X. Zhang, アメリカ) 金属 3D プリンターを用いて高温空気用マイクロチャンネル熱交換器を製作し、非常に高い熱通過率が得られることを実証するとともに、数値シミュレーションの結果とも一致することを示した。

IHTC16-23835 (H. Y. Noh, 韓国) 1 次元スラグ流モデルを用いて Pulsating heat pipe 内の熱流動を解析し、垂直設置の場合は液体スラグと気体プラグが循環する流れが発生することを明らかにした。

IHTC16-23845 (X. Y. Li, 中国) 格子ボルツマン法により自然対流による固体溶解におよぼす重力の影響について検討した。重力加速度が増加するに伴い溶解速度が大きくなることを明らかにした。

IHTC16-23852 (W. Baik, 韓国) 発電所からの排熱回収に用いるプレート熱交換器において、海水に

よるファウリングを伴った状態での伝熱性能と圧力損失をフィールド試験により明らかにした。

IHTC16-23885 (L. Chu, 中国) Oscillating heat pipe において理論的最大水力直径 (MHD) を超えた内径をもつ場合の動作状態を実験的に調べた。その結果、MHD を超えた条件でも OHP は正常に動作し伝熱性能も良好であることを明らかにした。

IHTC16-24116 (F. Amemiya, 日本) 山梨大・鳥山先生のグループの発表。ポリスチレン製チューブ製の熱交換器を用いた地下水利用の空調システムにおいて、空気噴射によるチューブの変形防止方法を開発し、最適なチューブ幅を明らかにした。

IHTC16-24353 (P. H. Huynh, 日本) 佐賀大・宮良先生のグループの発表。作動流体が過剰に充填されたループヒートパイプの性能を実験的に調べた。LHP の伝熱性能は作動流体の充填量に強く依存し、充填量が多いほど高い温度で作動が始まり振動も激しくなることを明らかにした。

#### Heat Exchanger-2

IHTC16-21878 (A. I. Leontiev, ロシア) 透過性壁面をもつ円管を用いた圧縮空気のエネルギ分離方法を考案し、分離性能を実験的に検討した。冷却効果はジュール＝トムソン効果の 5 倍に達した。

IHTC16-21890 (Y. Wan, 中国) 向流型の間接蒸発式冷却器について、平均ヌセルト数と平均シャウド数を数値シミュレーションによって求め、その結果に基づき両者の予測式を構築した。

IHTC16-22025 (T. Du, 中国) Overlapped helical baffle をもつシェル&チューブ型熱交換器内の熱流動特性を数値シミュレーションにより明らかにし、バッフルの最適な仕様を提案した。

IHTC16-22182 (G. L. An, 中国) 固体吸着剤を用いたヒートパイプへの応用を目的として、様々な圧力下における  $\text{CaCl}_2\text{-NH}_3$  システムの吸着・脱着特性を実験により明らかにした。

IHTC16-22363 (T. Wu, 中国) 3D プリンターによる製造を念頭に置いて Crescent dune fin を考案した。数値シミュレーションにより従来のフィンに対する優位性を明らかにした。

IHTC16-22520 (H. Jang, 韓国) ヒートパイプに使用される Micro-pillar wick の透過性を数値シミュレーションにより評価した。その結果に基づき、Dual-height micro-pillar wick を新たに考案した。

IHTC16-22573 (Y. Cui, 中国) ガリウム系液体金属

による銅やアルミの腐食を防ぐ方法としてモリブデンコーティングを考案し、その有効性を実験とシミュレーションで確認した。

IHTC16-22884 (T. He, アメリカ) 天然ガス炊きコンバインドサイクルの排気ガスから水を分離することを目的として、蒸発器に樹脂製チューブを用いたサーモサイフォンを考案し  $\epsilon$ -NTU によるモデル化を行った (IHTC16-23393 と同じグループ)。

IHTC16-22935 (S. Okada, 日本) 筆者らの報告。パラレルフロー型熱交換器における気液分配の均一化を目的として、多孔内管を用いた冷媒供給方法の有効性を実験的に検証した。

IHTC16-22988 (J. Y. Du, 台湾) ループ型サーモサイフォンの凝縮性能に及ぼす壁面濡れ性と設置角度の影響を実験的に検討した。撥水面の場合、親水面に比べて凝縮熱抵抗は最大 50% 改善された。

IHTC16-23100 (W. Cho, 韓国) 不均一加熱条件下における Pulsating heat pipe の性能を測定した。不均等加熱により循環流が強まり熱抵抗は減少するが、ドライアウトし易くなることを明らかにした。

IHTC16-23215 (H. Song, 中国) 円盤状の蒸発器をもつループ型ヒートパイプを開発し、伝熱性能を実験的に明らかにした。

IHTC16-23386 (J. Lao, 中国) 超臨界  $\text{CO}_2$  と熔融塩の間で作動する Printed circuit heat exchanger 内の熱流動特性を、数値シミュレーションにより明らかにした。

IHTC16-23587 (K. E. Dellar, 南アフリカ) 小型の太陽熱利用ブレイトンサイクルに用いる回収熱交換器を考案し、性能試験を行った。

IHTC16-23628 (A. Pramuanjaroenkij, タイ) 二重管式液ガス熱交換器を追加したエアコンのエネルギ消費量を実測し、熱交換器が無い場合に比べて省エネ化が可能であることを確認した。

IHTC16-23693 (Y. Komuro, 日本) 三菱重工と関西電力の発表。シェル&チューブ型熱交換器内の気液二相流を Eulerian two-fluid model を組み込んだコードで解析し、ボイド率と速度分布を求めた。また、計算結果を実験結果と比較し予測精度を明らかにした。

IHTC16-23694 (D. Liu, 中国) Entransy-based power flow method を用いた熱交換器ネットワークの最適化方法を提案した。

IHTC16-23714 (X. Cui, 中国) サーペンタイン流

路における超臨界 CO<sub>2</sub> の対流伝熱を応力方程式モデルにより解析した。流量、熱流束、管径、曲率の影響を明らかにし、遠心力と浮力の割合を表すパラメータを提案した。

IHTC16-23807 (Q. Xiao, 中国) 直接接触沸騰伝熱において気泡群のパターンを解析する新たな方法を開発し、実験により妥当性を確認した。

IHTC16-23818 (J. Lee, 韓国) 多孔体モデルを用いてマイクロチャネル熱交換器の特性を解析し、実験結果に基づき信頼性を評価した。

IHTC16-23891 (L. Pietrasanta, イギリス) Single loop pulsating heat pipe の性能を重力加速度のレベル等を変化させながら測定するとともに、VOF 法による数値シミュレーションを行った。

IHTC16-23990 (B. Buonomo, イタリア) 発泡金属とチューブから構成される熱交換器について、数値シミュレーションにより伝熱性能を評価した。

IHTC16-24002 (J. D. Moya, スペイン) ニューラルネットワークを用いて 3 重管式熱交換器の性能を予測する手法を開発した。

IHTC16-24013 (J. Lim, 韓国) 局所的に加熱された Pulsating heat pipe について、流路の配置が熱抵抗に及ぼす影響を実験により明らかにした。

IHTC16-24072 (A. Yoon, 韓国) シリコン基板上に作成した Micro pulsating heat pipe における伝熱と流動 (プラグ/スラグ流) の関係について、流れの可視化と温度計測および数値シミュレーションにより明らかにした。

IHTC16-24078 (V. Pandey, インド) 超臨界 CO<sub>2</sub> 発電サイクルに使用する排熱回収用 Printed circuit

heat exchanger について、流体物性値の変化を考慮した新しい熱抵抗ネットワークモデルを構築した。IHTC16-24446 (X. Chang, 日本) 名大・長野先生のグループの発表。2 台の蒸発器と 1 台の凝縮器をもつループヒートパイプにおいて、凝縮過程と蒸発過程の可視化観察を行った。

IHTC16-24630 (Q. Xiao, 中国) 洋上 LNG プラントへの応用を目的として、横揺れ状態における Printed circuit heat exchanger 内の熱流動特性を数値シミュレーションにより明らかにした。

#### 4. おわりに

以上のように、このセッションでは様々なタイプの熱交換器について発表が行われたが、トレンドとしてはマイクロ化に向かっているように感じた。とくに、3D プリンターの普及により、これまでは製作不可能であった複雑で微細な内部構造を持つ熱交換器が比較的容易に製作できるようになったことは、この傾向に拍車を掛けるように思われる。前述のように、今回は実際に作成した Printed circuit heat exchanger で実験を行った報告は 1 件のみであったが、今後は実機を用いた実験結果も多く報告されるようになると思う。その場合、例えば壁面の仕上がり状態が熱交換器の性能にどのような影響を及ぼすか、大変興味深く感じる。一方、高性能な熱交換器が開発された場合、熱交換器単体の性能のみではなく、それを組み込んだシステム全体の性能を評価することもさらに重要になると考えられる。



## Nano and Microscale Transport/ Molecular, Photon, Phonon and Electron Transport

菊川 豪太 (東北大学)

Gota KIKUGAWA (Tohoku University)

e-mail: kikugawa@tohoku.ac.jp

### 1. はじめに

本稿では、第 16 回国際伝熱会議 (IHTC-16) において行われた 2 つのセッション、“ナノ/マイクロスケール輸送 (Nano and Microscale Transport, 以下 NMT と省略)” および “分子, フォトン, フォノン, 電子輸送 (Molecular, Photon, Phonon and Electron Transport, 以下 MPE)” について紹介する。これら 2 つはセッション区分としては分かれているが、マイクロスケールにおける輸送現象に関する研究ということで内容的に共通する (スコープとしてオーバーラップする) 部分が多くあったため、ここではまとめて報告したい。

本分野における大まかな研究動向として、ここ 10 年程度の間、輸送の担い手となるキャリアが従来の気体・液体系における原子・分子のみならず、主に固体材料における量子的キャリア、すなわちフォノン、エレクトロン、マグノン、スピノンなど多岐に渡るようになってきた。特に昨今アジア圏においても、先行するアメリカの研究状況をキャッチアップする形で、材料工学あるいは応用物理学において従来扱われていた固体物理学分野に近い研究領域が一大トピックになっており、伝熱工学における固体電子デバイス関連技術の注目の高さをうかがわせる。

ここで、2 つのセッションに関する統計情報をまとめておくと、NMT セッションは 2 日に渡り計 59 件、MPE セッションは最終日に開催され、計 29 件の発表があった。このうち (NMT, MPE まとめて)、国別では中国から 55 件、日本から 16 件、アメリカ・カナダから 8 件、欧州から 7 件、韓国・ロシアがそれぞれ 1 件であった (当然、国際共同研究によるものもあるが、それらは勘案していない)。会議のプロシーディングス巻末に掲載されている全体の国別発表件数[1]を参照すると、中国および日本からの本セッションの発表者割合 (中国 62.5%, 日本 18.2%) は会議全体の発表者割

合 (中国 46.1%, 日本 12.0%) に比して大きく上回っており、本分野におけるアジア圏 (特に中国) の盛り上がりが見える。これに呼応するように、セッション中の雰囲気も、最終日に開催された MPE を含めて極めて盛況であった。ただ一つ残念なのは、NMT の初日のセッションの開催時間と Panel Session “Nanoscale Heat Transfer” の開催時間が重なっており、本分野における世界的なキープレイヤーのパネルディスカッションということもあり、多くの参加者がそちらに参加していたことである。今後の本会議におけるセッションオーガナイズの改善に期待したい。

### 2. 発表の概要

全ての発表を網羅的に解説することは不可能であるため、以下ではあくまで筆者が興味を持った数件に絞って発表内容を紹介したい。なお、国内からの研究については伝熱シンポジウム等でも触れる機会があると考えられるため、ここでは日本国外からの発表のみを対象とした。

#### IHTC16-22090: Hua Bao, Han Wei, Shuaishuai Zhao, Comparison of different machine learning methods for the prediction of thermal conductivities of composite materials [2]

昨今、材料科学分野において機械学習による物性予測手法や材料探索手法 (材料インフォマティクス) が注目を集めており、伝熱工学や熱物性分野においても少しずつ研究が広がりつつある。本研究は、モデル的に構成されたコンポジット材料の熱伝導率を、機械学習に基づく回帰分析、すなわちサポートベクター回帰、ガウス過程回帰、畳み込みニューラルネット (CNN) を用いて予測し、有効媒質理論 (EMT) による予測より精度の高い結果を得ている。特に CNN はネットワークの構成を最適化することで、他の機械学習手法よりも

高精度の結果が得られることを示した。

**IHTC16-23960: Xiaoliang Zhang, Ronghui He, Liang Han, Zixiong Rao, Cun Zhang, Kunpeng Yuan, Chengzhi Hu, Dawei Tang, Ming Hu, Molecular dynamics study of thermal rectification based on domino effect [3]**

熱整流作用は、熱マネージメントの高度化や熱論理回路といった応用に関連して盛んに研究が行われている。これまで幾何学的な構造の非対称性や質量の非対称性を利用した熱整流素子の提案があったが、整流効果が必ずしも高いものではなかった。この研究では、直径の大きな単層カーボンナノチューブ (SWCNT) が連続的に歪む構造 (この歪み方が温度に依存する) によって、ドミノ波 (domino wave) を軸方向に生成し、熱整流効果が生まれるという新しい機構に着目している。その効果を分子動力学 (MD) シミュレーションによって検証した。

**IHTC16-23785: Young Gwan Choi, Chan June Zhung, Chang Jae Roh, Hwi In Ju, Tae Yun Kim, Sang-Woo Kim, Jong Seok Lee, Interlayer thermal boundary resistance of WSe<sub>2</sub> investigated by using time-domain thermoreflectance measurement [4]**

現在、電子デバイスへの応用を想定した 2 次元材料が注目を集めているが、本論文ではその 1 つである WSe<sub>2</sub> の面外方向の熱伝導に着目し、TDTR (時間領域サーモリフレクタンス) 法を用いて熱伝導率を測定した。サファイア基板上に単層および 2 層の WSe<sub>2</sub> を成膜し、さらにアルミを堆積することでサンプルを作成し、TDTR 法を適用している。結果として、2 層の WSe<sub>2</sub> は単層より低い熱伝導率を示すことを明らかにしている。これは、層間が弱いファン・デル・ワールス相互作用で接続されていることを考えると妥当な結果である。

**IHTC16-22699: Yuan Dong, Chenghao Diao, Yingru Song, Haojia Chi, Jian Lin, Enhanced interfacial thermal conductance between carbon nanotube and gold by molecule junctions: A molecular dynamics study [5]**

高発熱密度化する電子デバイスの冷却技術への要求は高まる一方であり、現在極めて多様な要素

研究が精力的に進められている。その 1 つとしてデバイス表面に分子接合を付与して表面からの熱を除去するパスを増加する方法が考えられる。本論文では、軸方向に高い熱伝導率を示すカーボンナノチューブの末端を有機分子のリンカーで修飾し、基板表面に直接分子接合する構造を対象として、MD シミュレーションを行った。結果として、カーボンナノチューブと基板間の界面熱コンダクタンスがリンカーの数に比例することを明らかにした。

**IHTC16-22484: Tingyu Lu, Kyunghoon Kim, Xiaobo Li, Jun Zhou, Gang Chen, Jun Liu, Topology dependence of thermal conductivity in semicrystalline polyethylene by molecular dynamics simulation [6]**

一般にポリマー材料の熱伝導率は低い値を示すが、例えば一方向に伸張され、ポリマー鎖の方向がそろった状態ではその方向に高い熱伝導率を示すことがわかっている。一方で、部分的に結晶状態のドメインを有し、その間をアモルファス構造のポリマーが埋める半結晶状態 (semicrystalline) のポリマー材料の熱伝導率についてはあまり知見が得られていない。ここでは、結晶状態のポリエチレンでアモルファス構造のポリエチレンを挟む分子モデルを作成し、非平衡 MD シミュレーションによって、系の実効的な熱伝導率を解析した。系の結晶性を上げると、結晶間を直接繋ぐポリマー鎖 (ブリッジ構造) の割合が大きくなり、これが実効的な熱伝導率に決定的な影響を与えることを明らかにした。

**IHTC16-24664: S. Antoun, M. Z. Saghir, S. Srinivasan, An improved molecular dynamics algorithm to study thermodiffusion in binary hydrocarbon mixtures [7]**

多成分液体における熱拡散現象、例えば温度勾配下で、相互拡散流が駆動される Ludwig-Soret 効果があるが、ここに関与する輸送係数の測定は、実験的にも分子シミュレーション (特に MD での物性予測) によっても未だ挑戦的な領域である。本論文では、MD シミュレーションにおいて定常的な熱流を与えるための heat exchange (HEX) アルゴリズムを発展させ、より積分精度の高い時間

積分法とした eHEX 法を適用し、混合アルカン液体の熱拡散係数を測定した。いくらかの条件で実験結果とも比較し、良い一致を示している。

### 3. おわりに

本稿では“ナノ／マイクロスケール輸送”および“分子，フォトン，フォノン，電子輸送”の両セッションについて概要を述べた。本セッションでは特に中国からの発表者が多かったが、自国開催の会議であること以外の多角的な要因も考えられる。また、全体として研究のクオリティが高く、活気のあるセッションという印象を受けた。

### 参考文献

- [1] *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) p. 208 (in flash memory).
- [2] Bao, H., et al., Comparison of different machine learning methods for the prediction of thermal conductivities of composite materials, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-22090 (in flash memory).
- [3] Zhang, X. et al., Molecular dynamics study of thermal rectification based on domino effect, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-23960 (in flash memory).
- [4] Choi, Y.G. et al., Interlayer thermal boundary resistance of WSe<sub>2</sub> investigated by using time-domain thermoreflectance measurement, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-23785 (in flash memory).
- [5] Dong, Y. et al., Enhanced interfacial thermal conductance between carbon nanotube and gold by molecule junctions: A molecular dynamics study, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-22699 (in flash memory).
- [6] Lu, T. et al., Topology dependence of thermal conductivity in semicrystalline polyethylene by molecular dynamics simulation, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-22484 (in flash memory).
- [7] Antoun, S. et al., An improved molecular dynamics algorithm to study thermodiffusion in binary hydrocarbon mixtures, *Proceedings of 16th International Heat Transfer Conference*, (2018) IHTC16-24664 (in flash memory).

## Multiphase Flow

小宮 敦樹 (東北大学)

Atsuki KOMIYA (Tohoku University)

e-mail: komiya@tohoku.ac.jp

2018年8月10日から15日までの6日間に中国の北京で第16回国際伝熱会議 (IHTC-16) が開催された。本稿では8月13日から8月15日の3日間にわたって開催された Multiphase Flow (MPF) セッションについて紹介する。

IHTC-16 は主としてポスターセッションによる発表であり、多くのポスターが一堂に並べられて活発な議論がなされることが想定されたが、本セッションにおいても他のセッション同様、No show が目立ったのが印象に残った。しかしながらプログラム上は88件の発表があり、比較的大きなセッションであったと言える。国別の発表数を表1にまとめた。他のセッションも同傾向であると思うが、やはり中国からの発表数は群を抜いており、本セッションでは50%が中国からの発表であった。この傾向については、単に開催国だからということで終わらせてはならない要素が含まれていると筆者は考えている。NSFによる科学技術論文数の推移にも見られるように、伝熱の研究分野においても中国の勢いは増加傾向にあると言える。

表1 MPFセッションにおける国別論文数

国名	論文数	国名	論文数
China	44	Belgium	1
UK	11	Brazil	1
Japan	6	Canada	1
Russia	6	India	1
USA	4	Italy	1
France	3	Kazakhstan	1
Australia	2	Portugal	1
Germany	2	Singapore	1
South Africa	2		

次に88件の発表の研究動向について、筆者の主観で述べていくことにする。まず、発表総数の約3分の2にあたる49件が数値シミュレーションによるものであった。これは近年の熱流体解析ソフトの高精度化が背景にあるものと推測されるが、

汎用ソフトを用いた計算のみの発表というものが目立った。多相流れは複雑な熱流動現象であるため、やはり実験等による結果の妥当性評価も含まれた議論がなされる必要があると感じた。

次にキーワード別に発表論文を整理してみると、当たり前ではあるが気液二相流の強制対流沸騰および凝縮を扱った論文が最も多く、35件ほどの発表となった。次いで目についたキーワードとしては「液滴 (droplet)」に関する論文が15件ほどあり、これに関連したキーワードである「濡れ性 (Wettability)」「液膜 (Film)」も17件ほどの発表があった。どちらにおいても流れを伴わない研究が一部含まれており、Multiphase Flow セッションにはこれまで分類されてこなかったトピックが見受けられた。しかしながら広い解釈としては、固気液界面での静的な現象を理解することが動的な現象の理解の一助となり、今回のようなポスターセッションという議論中心の発表スタイルにおいては、背景が異なる研究者間同士が「界面現象」というキーワードの下に十分に議論しあえる場になったのではないかと考えられる。

一方、二相流に関するユニークな研究も散見された。IHTC16-23947では、ダム形状の違いによる洪水の予測を数値計算で行っている。世界規模で頻発している自然災害への対策が背景としてあるのかもしれない。また、IHTC16-23108 および IHTC16-23460では、ガスハイドレートの解離現象について数値計算を行い、次世代代替エネルギー源の利用について評価を行っている。

以上、Multiphase Flow セッションについて筆者の主観で簡単に紹介させていただいた。今回はポスターセッションであったことから、セッション内の研究発表全体を俯瞰できる点が大きかった。4年後の南アフリカ開催時には、さらに広範囲における Multiphase Flow に関する研究が発表されるものと期待される。

## Porous Media

桑原 不二朗 (静岡大学)

*Fujio Kuwahara (Shizuoka University)*

*e-mail: kuwahara.fujio@shizuoka.ac.jp*

### 1. はじめに

今回の国際伝熱会議では、5 日目の午後、PMA (Porous media) [1] の General session があった。3 件のキャンセルがあり 27 件の報告が、2 分のショートプレゼン+ポスターセッションの形で報告された。多孔質体以外の HTE (Heat Transfer Enhancement) や、HER (Heat Exchangers) などのセッション内にも多孔質体を利用した発表が多く見られた。多孔質体セッションでの発表を希望したが、プログラムの編成上、残念ながら本セッションでの発表とならなかった研究も多かったようである。ここでは本セッション内の発表を中心に、多孔質体研究の動向を探っていく。

まずは、研究者の分布について見ることにする。開催国、中国からの発表が半数を占め、残りは欧米、日本からの発表が 2-3 件ずつであった。研究者も、内容も多岐にわたり、本分野の注目は、幅広い応用へと広がりを見せている。多孔質伝熱の分野では、種々の特性を持った発泡多孔質体の設計製作が可能になったことから、新たな展開を見せつつある。これらタイラーメイド可能な高気孔率多孔質体に注目が集まる傾向が鮮明になり、さらに微細なマイクロ・ナノ多孔質体などへと展開を見せている。以下に、今回、多孔質体のセッションで発表された論文を大きなテーマで分類し、詳細に見ることにする。

### 2. 相変化を伴う現象関連

今回、相変化を伴う多孔質体内熱および物質移動に関する研究 [2] が多く発表された。熱交換器等の冷却強化を目的とし沸騰現象に注目した研究 (23683, 22819)、表面などでの蒸発に関する研究 (22163, 22414)、蓄熱などを目的とした凝固・融解に関する研究 (22312, 21435, 24160) ヒートパイプ内の流動に関する研究 (22925, 22309) など様々な観点での研究が行われている。中でも微視

的な構造に注目し、詳細な数値解析や可視化実験を行ったものなどが目立った。対象とする多孔質体は粒子充填層から発泡多孔質体まで、その適用範囲は広く、これまで単相流場において発展してきた多孔質体研究が、熱や物質移動の高密度化の要求により、相変化を伴う分野も進展していく傾向がみられる。

### 3. ふく射を伴う現象関連

太陽熱集熱器は、体積全体 (多孔質構造体) で熱吸収を行うことよりボリュームメトリック・レシーバと呼ばれている。前回より、SiC セラミック発泡多孔質体が注目されていた[3]。今回もその傾向は強く多孔質体内のふく射伝熱に関する研究が多く見られた。太陽熱利用に関する研究 (23662, 24102, 24216)、有効熱伝導率へのふく射の効果に関する研究 (23001, 24135) など数値解析に基づく研究が目立った。太陽熱利用において用いられるボリュームメトリック・レシーバ内に周囲から吸引される空気は膨張を伴う多孔質体内乱流であり、伝導、ふく射、乱流混合、熱分散などの熱流動現象が複雑に絡んでいることを考慮する必要がある。本テーマにおいては、さらに丁寧な取扱いを期待したい。

### 4. マイクロ・ナノスケールの熱現象関連

多孔質体の微細構造に注目した数値解析に関する研究においては[4]、その構造がより微細化する傾向がある。球体の連結によって構成された 3 次元格子構造に注目した研究 (22563) では、新たな製造プロセスである 3D プリンタに注目している。多孔質構造に対し、その機能性をより最適化する自在な構造設計が期待されており、これに対する基礎的な研究が見られた。本セッション以外でも熱交換器内の微細構造に関し、規則的多孔質体構造の最適化に関する研究を散見した。この他、毛

細管現象に注目した研究 (22309), 微細表面構造に注目した研究 (23538), 希薄ガス拡散に関する研究 (23592), ふく射モデルに関する研究 (24216) 繊維配向に注目した研究 (22694) など, 多岐にわたる。

構造の微細化は圧力損失を大きくする傾向にあるが, これを適度に抑え熱伝導性に優れた発泡多孔質体への期待が膨らむ。一方, 3D プリンタにより金属製品の製造が可能となり, より戦略的設計が可能となりつつある。まだまだコスト面で大きな問題はあつたものの, より規則的な微細構造の形成が可能であり, 用途・目的に特化した多孔質構造に関する知見が求められるであろう。

### 5. 異方性多孔質について

多孔質体概念では, 体積平均化で現れる巨視的特性に関し注目する。自然界に存在する多孔質体は, 配列がランダムで巨視的には等方性を示す傾向が強い。しかし, 多孔質体分散効果などは, ランダム多孔質体でも異方性を有することで知られている。この異方性を構造的に制御し得る人工的多孔質構造に対し, 機能性最適化を目指す研究 (24153, 23916, 22694) [5]が, いくつかみられた。吹き出し冷却や, 多孔質体内流動場の流れ方向に制約を有するものなど, 高熱流束場の冷却に対応可能な高性能熱交換器への応用が期待できる。より過酷な運転条件下での危機駆動を実現する上で欠かせない技術として, 今後大きく期待される。

### 6. 資源回収への応用関連

本セッションでは, 地下資源回収に関する研究 (23174) や凍土あるいはアスファルト内の凍結・融解 (21435, 23158), 海水の電気透析に関する研究 (21758) などに関する発表があつた。資源の有効活用に関し多孔質体の利用が期待されている。

ここでは, 電気透析に用いられる半透膜間の微細流路に置かれるスペーサ構造多孔質体に注目した研究 (21758) を少し詳しく紹介する[6]。電気透析の際, 半透膜表面でのイオン濃度が低下するため, 運転限界が存在する。この限界電流密度の問題を解決し, より有効な濃縮過程実現に向け, 機械的分散現象を有効に引き起こす機能をスペーサ構造に付加するため, 機能性多孔質構造を提案している。熱移動現象ではないが, 濃度境界層の

破壊という面では, 高性能熱交換器への応用が期待できる。この研究では, 物質移動に注目しているため多孔質体素材が従来の 3D プリンタでも使用可能な ABS 樹脂が用いられているが, 様々な精密化加工技術の発展により, 熱伝導率の高い金属素材での微細構造体での成型が可能となりつつある。微細な熱流動場に注目した詳細な研究が進められており, 伝熱面へ向かう流れの誘起と機械的流体混合の組み合わせなど, これまでの伝熱性能を飛躍的に向上させる, より高性能な熱交換器設計を期待させる。

### 7. おわりに

今回の国際伝熱会議でも明らかなように, 多孔質体的取り扱いが, 多岐の分野にわたり広範囲に展開されつつある。マイクロ・ナノスケールの微細組織から地下資源回収に至るまで, 様々な形で多孔質体の概念が使われている。

多孔質体への境界層理論の導入[7]以来, 現在に至るまで, 多孔質体の概念は, 様々な応用分野へその広がりをみせている。多孔質体伝熱の体系化が大きく進み, その裾野が大きく広がった点においても, 日本伝熱学会の諸先輩の寄与は大きい。これから, 様々な分野との融合が進むことで, 多孔質体分野の研究がさらに進展していくことを期待したい。

### 参考文献

- [1] PDM, Proc. IHTC-16 Beijing, pp.115-117, Aug. 10-15 (2016).
- [2] Mancin, S., Diani et al, Int. J Heat Mass Transf., 74, pp. 77-87, (2014).
- [3] Y. Sano et al, J. Solar Energy, Vol 134, 85:2374-2385, (2011)
- [4] J.-H. Joo et al., Int. J Heat Mass Transf., 74, pp. 5658-5662, (2011).
- [5] 安部祐希ら, 第 55 回伝熱シンポジウム講集, paper 2520, (2018).
- [6] Bai Xiaohui et al., 第 54 回伝熱シンポジウム講集, paper 1919, (2017).
- [7] 増岡隆, 多孔媒質と垂直固体壁面間の自然対流熱伝達の研究, 機論 64-259, 491-500, (1968).

## Radiation and Thermal Insulation

戸谷 剛 (北海道大学)

Tsuyoshi TOTANI (Hokkaido University)

e-mail: tota@eng.hokudai.ac.jp

## 1. はじめに

本項では、第 16 回国際伝熱シンポジウム (IHTC-16) における一般セッションのうち、Radiation and Thermal Insulation (RTI) セッションについて報告する。RTI セッションは、大会最終日の午前 (2018 年 8 月 15 日 9:20-12:20) に行われた。発表形式は、2 分間のショートプレゼンテーションと 1 時間 40 分のポスタープレゼンテーションだった。発表は 23 件、発表中止は 6 件だった。発表を第一著者の国別で分類すると、中国 10 件、USA 5 件、ロシア 2 件、イスラエル 1 件、台湾 1 件、インド 1 件、フランス 1 件、韓国 1 件、UAE 1 件であった。

## 2. セッション概要

表 1 に RTI セッションの論文 ID、講演題目、著者、所属の一覧を示す。

放射冷却 (Radiative cooling) に関する研究は 23655, 22525, 23770, 23041, 23117 の 5 件だった。23655 は、広帯域エミッタに太陽光が入射することを防ぐために、広帯域エミッタの上に設置する波長選択的に透過するカバーの研究を行っている。22525 は、放射冷却用の銀フィルムの裏面に六方晶窒化ホウ素をコーティングすることを提案し、冷却特性を数値的に計算している。23770 は、ポリマーベース RadiCold surface を使用して、放射冷却モジュールの水を最高  $707 \text{ W/m}^2$  の太陽光照射下で周囲温度より  $9.2 \text{ }^\circ\text{C}$  まで冷却できることを示した。23041 は、天空 (雲のない) 条件下での大気長波放射 ( $0\sim 2500\text{cm}^{-1}$ ) のスペクトル分布と鉛直分布を定量的に評価するための解析手法を提案し、各大気層から宇宙への放射を定量的に評価している。23117 は、金属層とポリマー層を持つコーティングを開発し、光学特性と冷却能力を評価している。

近接場放射 (Near-field radiation) に関する研究

は、23295, 23143, 22393 の 3 件だった。23295 は、シリコン格子と石英板との間の近接場熱放射を用いた非接触熱整流器を提案している。23143 は、SiC のナノ粒子鎖における熱伝導率を、双極子法と伝搬する表面モードの分散に基づく解析法で計算している。22393 は、コア-シェルナノ粒子間の近接場放射熱伝達を理論的に研究している。

吸収に関する研究は、23507, 22658, 23420 の 3 件だった。23507 は、可撓性ポリエチレンテレフタレート基材上にナノスケール金属スリットアレイを持つ変形可能な太陽光吸収体を提案し、金属スリットアレイの形状を変えることによって、太陽光吸収率を 0.1 から 0.6 に調整できることを示している。22658 は、ドーピングされたシリコンナノコーン構造 (D-SiNC) におけるドーピング濃度、体積充填率、厚さおよび入射波の偏光を制御することによって、赤外線領域の吸収特性を調整することができることを数値解析で明らかにしている。23420 は、照射された金属ナノ粒子の局所加熱に関して、多面体の形態を有する金属ナノ粒子がより高い吸収効率を有すること明らかにしている。

宇宙関連は、21534, 23600, 23491 の 3 件だった。21534 は、薄膜空間構造の表面の形状や光学的性質の非対称性が、熱的状态に加えて、光の圧力の力とトルクに及ぼす影響を研究している。23600 は、モンテカルロ法を用いて 3 つの折り紙構造 (有限 V 溝、ヒンジ付き V 溝、三浦折り) とそれらの構造の見かけの放射特性を空洞形状の関数として明らかにしている。23491 は、衝撃波の前面の背後にある純アルゴン、窒素中の酸素、大気からの放射に関する実験データを幅広いスペクトル範囲で示している。

その他 23162 は、Statistical Narrow Band モデルは、高い精度と比較的短い計算時間で、等温および均質ガス媒体の指向性放射強度を計算できることを明らかにしている。20528 は、広帯域表面プ

ラズモンを励起し、鏡面反射を効率的に抑制することができ、さらに大面積でも容易かつ迅速に生成できる表面を目指して、Au 上にわずかに周期的なナノテクスチャ表面を 2 種類生成し、光学特性を測定している。23551 はライトフィールド撮像理論に基づいて、媒質の 3 次元温度分布の再構成に関する数値解析を行っている。23868 は、放射熱伝達解析に基づく Lattice Boltzmann model の修正法を提案している。24195 は、高密度に充填された球状粒子系の放射熱伝達をシミュレートするモンテカルロ法を提示している。23267 は、放射熱伝達の影響下での容器内の垂直ロッドの浮力誘

導冷却を非 Boussinesq モデルを用いて調べている。22943 は、プラズマが材料と相互作用している間にプラズマによって誘発される放射フラックスを決定し、壁のエネルギーバランスにおけるその重要性を議論している。23513 は、粗い表面での散乱を扱う際に、FDTD 法の数値精度を改善するために Boundary Condition Equation 法を導入することを提案している。23557 は、媒質中の伝導・放射結合熱伝達逆問題を解くカルマンフィルタベースの手法を、表面の強制熱流束を明らかにするために提案している。

表 1 Radiation and Thermal Insulation (RTI)セッションの題目、著者、所属

ID	Title, Author, Affiliation
21534	Mathematical model of light radiation pressure upon a thin film space structure with wrinkles Nikolay Nerovny*, Irina Lapina, Anton Grigorjev Bauman Moscow State Technical University, Russia
23162	Calculations of directional radiative intensity in one-dimensional gaseous media using LBL and SNB models Hongxu Li, Kui Peng, Zhifeng Huang* Wuhan University, China
20528	Synchronous scattering and diffraction from gold nanotextured surfaces with slight periodicity Yu-Bin Chen* Tsing Hua University, Chinese Taipei
23551	The split bregman algorithm for temperature reconstruction based on the light-field imaging technique Xing Huang, Hong Qi*, Wenwen Zhang, Li-Ming Ruan Harbin Institute of Technology, China
23600	Adaptive net radiative heat transfer and thermal management with origami-structured surfaces Brian Iverson*, Rydge B. Mulford, Ernest Lee Brigham Young University, USA
23295	Thermal rectifier based on near-field thermal radiation of nanostructures Jiadong Shen, Xianglei Liu* Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China
23655	Wavelength selective cover for sub-ambient passive radiative cooling Hannah Kim*, Andrej Lenert University of Michigan, USA
23491	Experimental studies to determine the time characteristics of radiation of shock-heated gases in different spectral ranges Natalia G. Bykova, Igor E. Zabelinsky, Pavel V. Kozlov, Vladimir Yu. Levashov* , Oleg P. Shatalov Moscow State University, Russia
23868	A modified approach to the lattice Boltzmann model (LBM) based analysis of radiative heat transport Shir Hadida, Oleg Weinstein, Simon Brandon* Technion-Israel Institute of Technology, Israel
23143	Near-field radiative thermal conductivity of nanoparticle chains Eric Tervo, Baratunde A. Cola, Zhuomin M. Zhang* Georgia Institute of Technology, USA
24195	Radiative heat transfer in densely packed spherical particle system by Monte Carlo method B.K. Liu, J. M. Zhao*, L. H. Liu** Harbin Institute of Technology, China



23267	<p>Three dimensional analysis of non-boussinesq natural convection with radiative heat transfer in a vertical seven rod bundle  Mukul Parmananda, Amaresh Dalal*, Ganesh Natarajan  Indian Institute of Technology Guwahati, India</p>
22943	<p>Radiative transfer during a pulsed lightning arc on a metallic plate  R. Sousa Martins, Ph. Rivi`ere, L. Chemartin, C. Zaepffel, A. Soufiani*  Universit e Paris Saclay, France</p>
23507	<p>Tuning absorption in the solar spectrum through a metallic slit array on a flexible substrate  Mingeon Kim, Jongin Choi, Bong Jae Lee*  Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea</p>
22525	<p>Radiative cooling by using a slab of hexagonal boron nitride  Xiaohu Wu, Ceji Fu*  Peking University, China</p>
23770	<p>Radiative cooling of water to sub-ambient temperature under direct sunlight  Dongliang Zhao, Yao Zhai, Gang Tan, Xiaobo Yin, Ronggui Yang*  University of Colorado, USA</p>
22658	<p>Wideband absorption enhancement analysis of doped silicon nanocone arrays based on anisotropic effective medium approximation  Han Wang*, Dong Qi  Nanjing Tech University, China</p>
23513	<p>Grazing-angle scattering peak phenomenon in the scattering of rough surface  Jia Lu, Huaichun Zhou*  Tsinghua University, China</p>
23420	<p>Influence of metal nanoparticle (MNP) morphology on its radiant absorption and thermal response  Jiayu Li*, Yang Tao  Nanjing University of Science &amp; Technology, China</p>
23041	<p>Efficient model for evaluation of spectral and vertical distributions of clear sky atmospheric longwave radiation  Mengying Li, Zhouyi Liao, Carlos Coimbra*  University of California, San Diego, USA</p>
22393	<p>Near-field thermal radiation in many-body systems composed of core-shell nanoparticles  Jie Chen, Tiancheng Huang, Changying Zhao*  Shanghai Jiao Tong University, China</p>
23117	<p>Daytime radiative cooling with polymer-composite coating  Tawadud AlKatheeri, Aikifa Raza, Jin-You Lu, TieJun Zhang*  Khalifa University, The United Arab Emirates</p>
23557	<p>Application of KF-RLSE method for real-time reconstructing the time-varying heat flux in Rosseland approximation model  Shuang Wen, Hong Qi*, Xiangyang An, Li-Ming Ruan  Harbin Institute of Technology, China</p>

## Thermal Properties Measurement

中別府 修 (明治大学)

Osamu NAKABEPPU (Meiji University)

e-mail: onakabep@meiji.ac.jp

北京の国家会議中心で行われた第 16 回国際伝熱会議では、熱物性・計測法に関して、2 つのセッション (Thermal properties measurement-1,2) とキーノート講演 1 件が行われた。

キーノートは “Thermal properties measurements of phase-change alloys within the configuration of nanostructures and devices” と題して, J. - L. Battaglia (University of Bordeaux, France) により, 相変化型記憶素子 (GeSbTe) に関する講演が行われた。

セッションは、2 分 (スライド 2 枚) のショートプレゼンに続き、ポスター発表がある形式で行われた。写真 1, 2 に、それぞれの様子を示す。ポスターは会場の両側の壁に掲示され、会場にはスクリーニング配置で正面のスクリーンに向かって椅子が並べられており、ポスター発表時にはポスター前のスペースが狭い印象であった。セッションの参加者数は、ショートプレゼンで若干の立ち見が出る程度に盛況で、ポスター発表時間は約 2 時間と十分に取ってあったため、発表者は疲れたが、参加者は興味のある発表を十分に楽しめたようである。

熱物性計測とセッションタイトルがつけられているが、よく言えば、報告はバラエティに富んでおり、悪く言えば、整理されていない印象であった。ナノワイヤ、グラフェン、ダイヤモンド膜等のナノ材料、ナノ流体や混合液体、熱伝導率や拡散係数等の物性計測、局所熱特性計測技術、相変化特性、蓄熱物質、複合材料、界面熱抵抗、温度計測法、熱流束等の計測法、・・・なんでもありの感が漂い、参加者は、興味を惹かれるテーマを見つけ、後で論文を見ようという作法で見学しているようであった。

蛇足ながら、中国のプレゼンスがここでも際立っており、2 セッションで全 53 件中 31 件 (58.5%) が中国からの発表であった。



Photo1 キーノート、ショートプレゼンテーションの様子

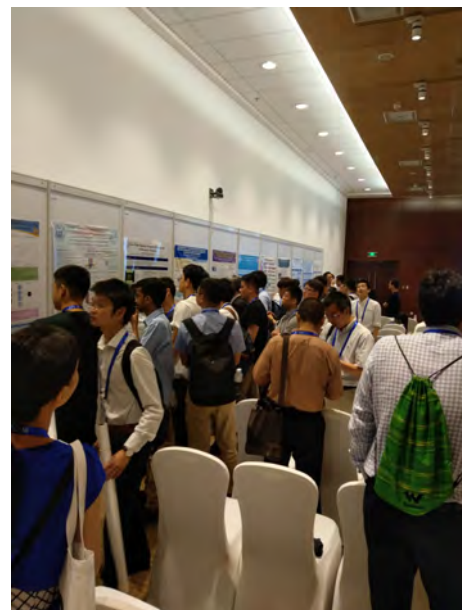


Photo2 ポスタープレゼンテーションの様子

## 若手研究者からみた国際伝熱会議

*Review from a Young Participant*

栗山 怜子 (京都大学)

Reiko KURIYAMA (Kyoto University)

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

### 1. はじめに

伝熱分野で最も大規模かつ権威ある学会と言われる国際伝熱会議に、今回初めて参加しました。本稿では、第 16 回国際伝熱会議 (以下、IHTC-16) への参加を通じて、若手研究者の一人として私が感じたことを記します。個人的な興味による内容の偏りや、勉強不足による稚拙な表現等があるかと思いますが、お赦し頂ければ幸いです。

### 2. Opening

IHTC-16 の会場である China National Convention Center は 2008 年の北京オリンピックで使用されたスタジアムや水泳競技場が立ち並ぶ公園内に位置します。幾つものイベントを同時に開催できる巨大な建物で、IHTC-16 の会期中にも同施設内で結婚式やアニメ関連のイベントなどが行われていました。Opening で使用された部屋は 54m×60m もの広さで、その規模には圧倒されるばかりでした。

セレモニー後の Plenary Lecture では、Qiang Yao 教授が、過去 40 年にわたる中国の社会的・経済的発展を詳細な数値データと共に振り返りながら、同国におけるエネルギー関連技術の発展と 2030 年に向けた開発計画についてご講演されました。

続く Fourier Lecture では、前 IHTC 議長である吉田英生教授が、山本義隆氏の著作「熱学思想の史的展開 -熱とエントロピー-」の一部を翻訳して紹介されました。ワットによる蒸気機関の改良からカルノーの論文に至るまでの歴史的経緯と原理に焦点を絞った内容で、「熱力学」の成り立ちについて理解を深めることが出来ました。

また、第 4 回抜山記念国際賞を受賞された Ruzhu Wang 教授による受賞講演も行われました。吸着式・吸収式冷凍機をはじめとする様々な sorption based system による低質熱源の有効活用について、基本原理から課題や改善方法、具体的な応用先までを網羅した内容で、大変興味深く拝聴しました。

### 3. Keynotes

全部で 28 件の Keynote にはいずれも魅力的なテーマが揃い、並行して開催される 4 件のうちどれを選択すべきか、毎回とても頭を悩ませました。聴講できた中で特に印象に残ったものを挙げると、Jurandir Itizo Yanagihara 教授と Peter Stephan 教授の Keynote です。前者のご講演 (KN16) では、快適性の評価に向けた人体の熱システムや呼吸器系のモデル化について紹介されました。飛行機が減圧状態に陥った場合の血管内の酸素濃度の計算結果など、実際的な問題を扱った内容に聞き入ってしまいました。また、後者のご講演 (KN25) では、Wetting / Dewetting process に関する実験計測・数値計算結果の紹介に加え、現象の理解と応用展開の両方の観点から今後の研究課題が示されました。内容の面白さはもちろんのこと、視覚に訴えかける明解で魅力的な講演に惹きこまれ、発表技術の点からもとても勉強になりました。

### 4. Poster Sessions

IHTC-16 の発表形式は、発表者全員が 2 分間のショートプレゼンテーションを行った後、ポスター発表を 2 時間行うというものでした。ショートプレゼンテーションについては、事前の資料提出の際には多少混乱があったものの、当日は学生アシスタントの働きもありスムーズに進行しました。2 分間の発表は、発表者・聴き手の双方にとって短いようで案外長く、発表時間に応じた効果的なアピール方法について考えさせられました。

ポスター発表では、同じ熱分野でも非常に多岐にわたる専門領域があることに改めて驚かされました。若手の発表者も多く、ポスター形式であったことから、これまであまり知識や接点のない分野の研究も比較的気軽に聞くことができ、知見を広げる良い機会となりました。一方で発表者の立場からは、専門の異なる聴き手に対していかに明

解に研究のコンセプトや基本原理を説明できるかがポイントとなりました。自分自身の発表を振り返ると、研究内容自体のレベルアップだけでなく、より有意義な議論をするための語学力の向上も必須であると痛感しました。

ポスターセッション全体を見渡すと、**Boiling and Evaporation, Convection**（自然対流を扱う内容が比較的多い印象）、**Multiphase Flow** に関する発表が特に多く、それらの会場では常に人足が絶えず活発な議論が行われていました。一方、**Bio and Medical Applications** は意外にも件数は多くありませんでしたが、その内容は、微小血管網を有する生体組織内伝熱現象のモデル化、血流センシング技術の開発、新生児脳の低温療法に関する研究など幅広く、面白いものばかりでした。IHTC-16 の全発表件数の半分弱（1000 件中 461 件）が中国からであったため同国の研究動向が強く現れたものと思いますが、伝熱シンポジウムのプログラム構成と見比べると日本国内とのトレンドの違いを見ることができました。

### 5. 研究者同士の交流

IHTC-16 の会期中、世界中からの研究者が活発に交流する様子が会場の至る所で見られました。伝熱分野の研究者同士が国の垣根を越えて結びつきを深める上で、国際伝熱会議が大きな役割を担っていることが窺えました。個人的には、昨年のアジア数値熱流体シンポジウム（ASCHT2017）でお世話になったインド工科大学マドラス校の先生方や学生達に再会することができ、とても嬉しく思いました。今回配布された学会バッグに記されている論語の一節、「有朋自遠方來，不亦樂乎」を肌で感じた瞬間でした。

会期 4 日目にあたる 13 日午後には、IHTC-15 から続く若手研究者の交流イベントである **Young Researchers Meeting (YRM)** が開催されました。参加希望者が当初の定員（50 名）を大きく超える盛会ぶりだったようで、最終的には 80 名程の参加者が頤和園や清華大学の見学、夕食会を通じて交流を深めたようです。残念ながら私は申し込みで出遅れてしまい参加が叶いませんでしたが、学会 HP に掲載された写真からは、様々な地域からの

参加者が会を楽しんだ様子が窺えます。是非 4 年後も同様の若手交流イベントが開催されることを期待したいと思います。

### 6. Lunch

余談ですが、学会で提供されたランチボックスを通じて知ったことをご紹介します。ランチボックスは、主にご飯と包子（餡まん）、中華風おかず 2 種類（内容は日替わり）の組み合わせで、それ自体は驚くような内容ではないのですが、問題はその温度です。日本では「冷めても美味しいお弁当」を追求するのに対し、どうやら中国では「温かい状態で食べる」ことに全力を注ぐようです。これだけ大勢の参加者のランチボックスを絶妙な温度で管理・提供する主催者の情熱に、両国の食文化の違いを垣間見ることができました。

### 7. Banquet

会期 5 日目 14 日夜の **Banquet** では、円卓テーブルを囲んで中華料理（鳩のスープ、江南風海老のソテーや蒸し魚、宮廷風の伝統的なデザートなど）を楽しみながら、和やかな懇談の時間を過ごしました。各種 **Awards** の授賞式に加え、太鼓や馬頭琴の演奏、皿回しや独楽回しなどの中国雑技の披露など趣向を凝らした内容で、時が過ぎるのを非常に短く感じました。**Banquet** の最後には IHTC-17 の組織委員会から次回開催地である **Cape Town** が紹介され、想像以上に近代的な街並みや大自然の写真に多くの参加者が見入っていました。

### 8. おわりに

今回の IHTC-16 を通じて、世界の伝熱コミュニティの規模の大きさや研究内容の多彩さを目の当たりにし、国際伝熱会議が「伝熱のオリンピック」と形容される所以を知りました。それと同時に、同じ伝熱分野に志を持つ研究者が一堂に会して交流を深め、学び合う機会を持つことの有難さと、世界の並みいる研究者の中でも日本の伝熱研究者としての存在をアピールできるように力をつけていく必要性を感じました。IHTC-16 での経験を糧に、そして 4 年後の IHTC-17 をまた一つの目標にして、励んでいきたいです。

## 若手研究者からみた国際伝熱会議

*Review from a Young Researcher*

鈴木 崇弘 (大阪大学)

*Takahiro SUZUKI (Osaka University)*

*e-mail: suzuki@mech.eng.osaka-u.ac.jp*

### 1. はじめに

筆者は今回が初めての国際伝熱会議への参加であった。前回の京都 (IHTC-15) は諸般の事情により参加を見送った経緯があったが、盛況な会議であったと評判を聞いており、非常に期待をもって参加を申し込んだ。

中国 (北京) 訪問も今回が初めてであり、高層の建物が建ち並び、真新しい電動バイクがヘルメットもなしに高速で駆け抜ける一方、古びたバイクなどを使った露店が点在するなど、急成長と発展途上が入り混じった街という印象を受けた。鉄道などは十分に整備されており、空港からの移動などに不便を感じることは特になかった。

会場は China National Convention Center であり、オリンピック関係の施設が建ち並ぶ一角に位置していた。会場各部屋の入口に警備スタッフが配備され、人員に余剰感がある様子には驚かされた。会議の進行においては特に不便を感じるようなことはなかったが、会議の中身についてはいくつか気になる点があった。これらについては、本稿の最後に少しだけ言及させていただきたい。

国際伝熱会議の発表形式について、前回は口頭発表形式で好評だったと聞いていたが、今回は従来形式のポスター発表形式に戻されていた。ポスター形式ではデータをじっくり見ながら議論が出来ることやセッション間のはしごがしやすいことが利点である一方、狭いスペースに人が集中してなかなか目当てのポスターにアクセスできなかったり、他の研究者らがそのセッションにおいてどういった議論をしているのかが把握できなかったりということが難点として挙げられる。特に筆者のような若手研究者にとっては、発表者とのディスカッションも大変勉強になるものであり、そういった機会がなかったことは残念であった。翻って伝熱シンポジウムを見ると、総合討論というシステムから多くの刺激を受けている

ことを改めて感じた。

本会議では会期中に Young Researchers Meeting (YRM) が開催された。本来であれば、このような原稿を仰せつかった身としては積極的に参加し感想を報告すべきところであるが、非常に人気があったようで、参加を思案しているうちに募集が締め切られてしまったため、ご容赦いただきたい。同時に、次回会議において参加を検討される方々においては、早めのご対応をお勧めする。

以降では講演に関する簡単なレビューをさせていただく。筆者の興味関心によるもので、非常に偏りがあるものと認識しているが、あらかじめご容赦いただきたい。筆者は固体高分子形燃料電池をはじめ化学反応と輸送が連成する場に関する研究に従事しており、特に最近では、MEMS 技術を応用し、懸濁液 (スラリー) を塗布・乾燥して多孔質電極を形成する過程における熱・物質輸送やそこで形成された多孔質電極の構造とその内部での反応・物質輸送の關係に着目して研究を行っている [1,2]。会議では、Electrochemical Systems や Porous Media, Multiphase Flow, Mass Transfer などのセッションに参加した。

### 2. 講演レビュー

Electrochemical Systems のセッションでは固体高分子形燃料電池、固体酸化物形燃料電池やフロー電池などのデバイスを対象とした研究が多く、日本伝熱シンポジウムの水素・燃料電池・二次電池セッションと同様の傾向であった。Fu, P. et al.[3]は傾斜構造電極を有する固体酸化物形燃料電池の発電特性について数値解析によって評価した。このような傾斜構造の発想自体は、様々なタイプの燃料電池で試みられているものであるが、数値解析のみに頼ったものが多く、電極内部での反応や輸送現象の本質的理解や電極構造をどのように作るかということまでを含め、実験的検証と

並行した研究の発展が必要だと考える。Kumer A. et al.[4]は固体高分子形燃料電池の電極（触媒層）のプロトン伝導物質にグラフェンを用いることを試みた。従来のプロトン伝導物質である電解質高分子の添加量を削減し、電極内の酸素輸送性を向上させるという考えに基づき、材料から触媒の担持、電気化学的評価及び電池性能試験までの一貫した研究が丁寧に進められており、今後の発展が期待される。Mohammadian S.K. et al.[5]はLiイオン電池の電極にマイクロ溝を形成し電解液の含浸特性を向上させるという発想で、格子ボルツマン法により電解液の含浸挙動解析を行った。着眼点は興味深かったが、電池性能向上にどれほど寄与するポテンシャルがあるのかは不明であった。

Porous Mediaのセッションでも燃料電池などの電気化学デバイスを意識した研究がいくつか見られた。Wu, L. et al.[6]は濡れの異なる固相が分散した多孔質における蒸発挙動をポアネットワークモデルを用いて解析した。Xu, A. et al.[7]は多孔質層を構成するファイバーの配向が実効拡散係数に及ぼす影響を格子ボルツマン法により解析した。Wang, S. et al.[8]は固体高分子形燃料電池の供給ガス加湿のための多孔質層における熱・水分輸送の実験的研究を行った。

その他のセッションでは、気液界面の非平衡現象を扱ったPolikarpov, A. et al.[9]や相変化を含む多孔質内二相流輸送のLBMモデルの開発についてのLei, S. et al.[10]の発表があった。後者では、二相や多孔質の取り扱いについて不明な点があったが、こうした方法論の発展は、電極作製における乾燥プロセスや固体高分子形燃料電池電極内の輸送現象を取り扱う上でも重要なものと考えている。

### 3. おわりに

IHTC-16は北京開催ということもあり、講演のほぼ半数が中国のグループからのものであった。数の力を感じる一方で、他の国際学会ではあまり見られないような、聴講者が講演のスライドを全てカメラで撮影するなどといった、筆者の感覚とは合わない点も見受けられた。また、No showの多さも気になった。筆者がたまたまそういう場面に遭遇しただけかもしれないが、Short presentation

を行わず、ポスターを貼るだけで講演者は立っておらず、更にポスターセッションの終了を待たず早々にポスターを撤去してしまう、などといったポスター発表形式の負の側面が目立つ場面があった。IHTCはお盆付近に開催され、時期的に日本人としてはなかなか参加しづらい。伝熱分野を代表する会議としては、積極的に参加の意義を見出せる会議であって欲しいと思う。運営側の事情は存じ上げないが、個人的な感想としては、講演件数をもう少し絞ってでも口頭発表形式で行った方が良かったのではないかと思う。次回は4年後に南アフリカでの開催ということである。この先の動向は注視したい。

### 参考文献

- [1] Suzuki, T., Tsushima S. and Hirai S., *Int. J. Hydrogen Energy*, **36** (2011), 12361.
- [2] Suzuki, T. et al., *J. Therm. Sci. Tech.*, **11-3** (2016) 16-00370.
- [3] Fu, P. and Wang, Q., Effects of Gradient Porosity and Gradient Particles on Performances of Planar SOFCs, IHTC16-23190.
- [4] Kumar, A. et al., Trial of Applying Graphene Nano Platelet to Catalyst Layers of a PEFC, IHTC16-23510.
- [5] Mohammadian S.K. and Zhang Y., Improving Electrolyte Transport Inside the Li-Ion Porous Electrodes Using Microchannels, IHTC16-24145.
- [6] Wu, L. and Zhao C.Y., Evaporation From Thin Porous Media with Mixed Wettability, IHTC16-22414.
- [7] Xu, A. and Zhao T.S., Effect of Fiber Orientation on the Effective Mass Diffusivity of Fibrous Porous Media, IHTC16-22694.
- [8] Wang, S. et al., Heat and Mass Transfer on Porous Medium Surface with Vapor-Liquid Phase Change, IHTC16-22925.
- [9] Polikarpov, A. et al., Non-Equilibrium Phenomena on the Liquid-Vapor Interface, IHTC16-24466.
- [10] Lei S. et al., Lattice Boltzmann Mixture Model for Liquid-Vapor Flow with Phase Change in Porous Media, IHTC16-22331.

## 若手研究者からみた国際伝熱会議

*Review from a Young Participant*

弗田 昭博 (筑波大学)

Akihiro FUTSUTA (University of Tsukuba)

e-mail: s1830185@s.tsukuba.ac.jp

平成 30 年 8 月 10 日から 15 日の間、中国の北京にて開催された第 16 回国際伝熱会議 (IHTC-16) に参加させて頂いた。筆者は、今回初めて国際伝熱会議に参加したが、会議は約 1300 名の参加者、28 件の Keynote 講演、40 のセッションに分けられた 1000 件のポスター発表によって構成されており、その規模の大きさに非常に驚くとともに、緊張を感じた。セッションは、対流、相変化、混相流、分子動力学、バイオや医学応用、数値解析手法、ナノ・マイクロスケール等の合計 22 の分類がなされており、幅広い分野の研究について見聞きすることが可能であり自身にとって貴重な経験となった。特に、ポスター発表ということもあり時間を気にせず質問できたため、接点の少ない分野に対しても話を聞きやすい環境であり良かったと感じた。

研究のレビューとして、筆者の参加セッションであった Condensation の中で、特に興味深く感じたものについて概要を述べる。なお、筆者の理解力不足のため正確さに欠ける記述もあるかと思うが、どうかご容赦いただきたい。

まずセッション全体の傾向として、全 47 件の発表のうち、実験を中心とした研究は 35 件、数値解析を中心とした研究は 12 件であった。凝縮現象を取り扱う数値解析はやはり少ない印象であったものの、実験結果との比較においては良い一致を示すものが多く、これからの発展に期待を膨らませることができた。また、実験の内容としては、滴状凝縮や濡れ性の影響を取り扱うものの他に、R410A や R134a といった冷媒を対象とする研究が 12 件と多く見られた。熱交換器内の流路形状を対象とするものも散見され、実用上の要求に応じた研究の傾向が見られたように感じた。

IHTC16-22228: New experimental results on dynamics of droplet clusters levitating over the locally

heated water surface (A. Fedorets et al., Tyumen State University, Russia) は、局所的に加熱された水面上に形成される、規則的に配置された小さな浮遊液滴のクラスターの安定化を目指す実験的研究である。液滴クラスターは、蒸気の凝縮に伴う液滴の成長と液滴同士の合体によって崩壊してしまうが、その成長を妨げるために、加熱レーザービームの位置や出力の周期的変化が液滴クラスターの挙動に及ぼす影響を調べている。その結果、レーザーを移動させることによって液滴クラスターが楕円形となることを確認するとともに、レーザー出力を約 1 秒で周期的に振動させることによって液滴の凝縮による成長を約 30% 低減させることを確認した。安定的な浮遊液滴の実現は、単一液滴における生化学プロセスの研究にとって重要であり、これを実験室環境の条件で実現できることを実証した大変興味深い研究であった。また、発表者であった Dombrovsky 教授は、前日の Keynote 講演をご担当されており、その反響も相まって極めて多数の方々がポスターまで足を運び、大変活発な議論がなされていた。

IHTC16-23802: Surface design for dropwise condensation: a theoretical approach (M. Ahlers and H.-J. Bart, Chair of Separation Science and Technology, Germany) は、未だ実験結果と相違がみられる疎水性構造化表面上の液滴濡れ特性の理論モデルを新たに提案する研究である。安定した滴状凝縮のための表面構造設計を単純化された確率計算によって行うことを趣旨としている。このモデルでは、単純化のために臨界核形成半径、核生成密度および接触角は互いに独立であると仮定し、固有接触角、表面形状および核生成密度によって液滴が成長する可能性が高いかどうかを予測する手法を提案している。その結果、ピラーの底面を濡らさないための最小固有接触角が存在することと、高い核生成密度条件においても、より小

さいスケールでは液滴を保持する可能性が高いことが確認された。このような起こりうる現象を確率として計算する理論モデルの構築手法は珍しく感じ、とても興味深く感じた。

IHTC16-24208: Experiments of dropwise condensation on wettability controlled surfaces (R. Parin et al., University of Padova, Italy) は、垂直面上に流れる水蒸気の膜状および滴状凝縮挙動と凝縮熱伝達率を調べる研究である。テスト部にはアルミニウム基材を用いて、異なる濡れ性を有する表面の影響を調査している。表面性状として、(i) 未処理で親水性を示すもの、(ii) 化学的エッチングを施し、官能基を配置して疎水性を示し、接触角ヒステリシスが大きいもの、(iii) 鏡面研磨を施し、官能基を配置して疎水性を示し、接触角ヒステリシスが小さいもの、の三種類を用いている。その結果、未処理の基材では膜状凝縮が観測され、測定された熱伝達率は Nusselt の理論式に一致することを確認した。また、(ii) の基材では高い接触角を有するにも関わらず膜状凝縮となることを確認した。これは大きい接触角ヒステリシスに起因すると考えられている。最後に、(iii) の基材では完全な滴状凝縮が観測され、(i) における膜状凝縮熱伝達率の約 4 倍もの高い熱伝達率を測定した。垂直面における凝縮で、かつ、疎水性表面においても膜状凝縮に遷移してしまうという知見が大変興味深く、その要因として考えられている接触角のヒステリシスが凝縮挙動に及ぼす影響を今後明らかにされたいとのことだったので、これからの研究に注目していきたいと感じた。

最後に、筆者らの研究を簡単にご紹介させて頂くと、IHTC16-23163: Heat transfer and flow characteristics of ultra-micro steam injector and its operating condition (A. Futsuta et al., University of

Tsukuba, Japan) は、水と蒸気の直接接触凝縮を利用して駆動する蒸気インジェクター (SI) の小型化の実現と、作動条件の特定を目指す研究である。SI は縮小拡大管の形状をとっており、喉部直径が 600  $\mu\text{m}$  または 1.0 mm の超小型 SI を開発している。ポリカーボネート樹脂を用いた透明流路の作製によって内部流動の可視化を行い、水噴流が崩壊する様子と形成・維持する様子を観測した。この際、供給する水のサブクール度が大きい条件では噴流が崩壊し、小さい条件において噴流が維持されることを明らかにした。さらに、喉部直径や出口直径の異なるテスト部を用いた圧力計測結果より、入口蒸気圧力に対する吐出圧力の比である圧力比が最大で 1.1 となることを確認し、喉部直径が小さいほど圧力比は大きくなることを示した。以上の結果より、水噴流の維持と昇圧という SI 作動時の特徴を同時に観測し、超小型 SI の定常作動に成功した。ポスター発表においては、多くの方からご質問やご指摘を頂き、今後の研究に資する議論を交わすことができた。特に、類似したインジェクターを研究されている方と知り合う機会を得ることができ、非常に貴重な経験となった。

この第 16 回国際伝熱会議では多数の国々からの多くの参加者で構成された様々な発表があり、本当に充実した会議であったと感じた。伝熱を取り扱う内容は、学術的のみならず実用的にも非常に重要で、その進展が実社会において大いに期待されていることを実感することのできた機会であった。

国際伝熱会議は 4 年に一度ということで、今回は 2022 年、開催地は南アフリカのケープタウンである。今回の会議に参加することによって得られた知見や経験は素晴らしいものであったので、後輩等にも積極的に参加をお勧めしたい。



## Young Researchers Meetingに参加して Report on Young Researchers Meeting

出島 一仁 (明治大学)  
Kazuhito DEJIMA (Meiji University)  
e-mail: kdejima@meiji.ac.jp

### 1. はじめに

第16回国際伝熱会議 (IHTC-16) において、40歳以下の若手研究者を対象とした Young Researchers Meeting (YRM) が開催されました。本ミーティングは参加人数上限 50 名として企画されましたが、参加希望者が殺到したため、申込開始から数日で定員に達してしまっただけです。そのため、日本からの参加者は数えるほど（恐らく 4-5 人程度？）しかおらず、本誌編集委員の先生方も参加者を探すのにご苦労されたようで、まわりまわって一学生に過ぎない筆者に報告記事の執筆依頼が来たという次第です。

以上のような背景から、YRM の様子に参加した感想について、拙文ですが以下にご報告させていただきます。

### 2. Young Researchers Meeting の概要

YRM 全体のタイムスケジュールを表 1 に示します。YRM は 8/13 の午後から行われ、Pre-meeting にて開会の挨拶やスタッフ紹介を行った後、貸切バスで頤和園 (Summer Palace) へと移動しました。頤和園は広大な敷地内に巨大な湖と伝統的な建造物を有する庭園公園で、非常に多くの観光客が訪れており、その人気の高さが窺えました。園内を回りながらガイドの方が英語で見どころや歴史を解説してくださり、日本の庭園とはまた違った趣を感じられました。一方で、中国の夏は日本と同じく非常に高温多湿で、園内を歩いていると汗でシャツが背中に張り付くようでした。あるカナダ人学生の「Unforgettable だ！（いろいろな意味で）」という言葉が、本ツアーの様子をよく表していると思います。

頤和園に続き、清華大学のキャンパスツアーが行われました。ここでは大礼堂前で集合写真 (図 1) を撮影したり、清華大学のシンボルである旧校門などを見学しました。研究室や実験室を見られ

るのではないかと期待していたのですが、今回は一般人でも入れるところのみの見学で、その点はやや残念でした。

その後、清華大学内のホールで交流会が行われました (図 2)。交流会では参加者のうち 10 名が各 5 分のプレゼンテーションを行い、自身の研究などを紹介しました。発表者は博士課程の学生が多く、同世代の若手研究者の取り組みを知ることができる有意義な時間となりました。なお、日本からは 2 件の発表がありましたが、共に外国人で、日本人からの発表はありませんでした。

表 1 タイムスケジュール

8/13	13:30-13:45	Pre-meeting
	移動	
	15:00-16:30	頤和園見学
	移動	
	17:00-18:00	清華大学キャンパス見学
	18:00-19:00	研究交流会
	19:00-20:30	夕食会
	移動	
	21:00	解散
8/14	12:30-14:00	Post-meeting



図 1 集合写真 (清華大学にて) [1]

交流会の後は夕食会が開かれました（図3）。夕食会はバイキング形式で、各テーブルで会話を交わしながら食事を楽しみました。青島ビールやワインもふるまわれ、あるテーブルではまさに大学生の飲み会といった雰囲気で盛り上がり、国が違って共通するものはあるのだなと感じました。

翌日の YRM には、筆者は参加できませんでしたが Post-meeting が開かれ、次回の YRM へ向けて参加者からのフィードバックが行われたようです。関西大学の小田豊先生らのご尽力により IHTC-15@Kyoto で初開催された YRM ですが、それが IHTC-16@Beijing へと引き継がれ、さらに IHTC-17@Cape Town へと続いていくのだろうと期待されます。



図2 研究交流会 (taken by YRM committee)



図3 夕食会 (taken by YRM committee)

### 3. Young Researchers Meetingに参加して

様々な国・地域から多くの若手研究者が YRM に参加し、筆者にとっては同世代の研究者と交流する良い機会となりました。今回、筆者は1人での参加だったため、外国人の研究者達と上手くコミュニケーションを取れるだろうかと少々心配していましたが、振り返ってみれば、中国人を始め、ドイツ人やロシア人、その他（後半はどの国から来たのかあまり気にしなくなりました）多くの人達と、研究の話や雑談をして楽しいひと時を過ごすことができました。

正直なところ、参加前は日本人の友人ができればよいかな、程度に考えていました。というのも、当初はある博士課程の友人と一緒に参加する予定でした。しかし、冒頭に記した通り YRM が盛況だったため、友人は登録から漏れてしまい、筆者が単独で参加する恰好となってしまったわけです（なお、YRM に参加しようと誘ってきたのは友人の方でした）。

そんな次第で1人 pre-meeting の会場へ赴き周りを見渡しましたが日本人が見つからず、いよいよ1人きりかと覚悟し始めたとき、ある中国人学生が声をかけてくれました。聞くと彼も1人だそうで、幸運にも一緒に行動する友人を見つけることができました。筆者が中国に初めて来たことを知ると、頤和園見学中には「あの橋が有名なんだ」とか「この壁に描かれているのは西遊記だよ」などと、さながらツアーガイドのごとく見どころを解説してくれました。また、日本にも興味があるようで、「〇〇の映画に出てくる××公園を知っているか？（筆者は全く知りませんでした）」とか「日本語の挨拶は“こんにちは”だよな？」などと他愛のない話をしました。筆者も学部生時代に第二外国語として偶然にも中国語を選択していたため、かすかな記憶を頼りに知っている中国語を披露したりもしました。お互いにわずかでも自分の母国語を知っていると、とたんに親近感が湧くのだなと感じました。

彼は修士課程の学生でしたが、博士課程の筆者よりずっと流暢に英語を話しておりました。この英語の上手さはどこから来るのかと思いついて、どうやら英語で外国人と話すことに対する心的ハードルがほとんどないようで、この点が筆者との大きな違いでした。日本人の特性なのか単に

筆者の性格なのかはわかりませんが、少々下手くそでも積極的にコミュニケーションを取ろうという姿勢が欠けていたのだと反省しました。夕食会では勇気を出して（お酒の力も借りて）自分から話しかけるよう意識した結果、前述のように様々な国の学生と交流することができました。わずかな意識の違いが案外大切なのだというのが今回得られた教訓です。

半日共に過ごした彼には最後に感謝の意を伝え、握手をして別れました。彼は修士課程修了後は就職するというので、今後学会等で会うこともないかと思います。しかしながら、彼との出会いは筆者にとって忘れられないものであり、それだけでも YRM に参加してよかったと思えるほど貴重な経験となりました。

#### 4. おわりに

以上、YRM に参加して感じたことについて報

---

告させていただきました。YRM は若手研究者が対象ということで、皆自身の専門分野から外れたところの知識は十分とは言えず、互いの研究について深く議論を交わすということはほとんどなかったように思われます。しかし、それはいずれ研究者として経験を積んでいけばよい話で、その前に、まずは議論を交わせるような友人を作ることが大切なかもしれない、というのが本稿執筆中に頭に浮かんだ感想です。そして、それこそが YRM の目的なのだと思います。筆者がこの目的をどの程度達成できたのかはわかりませんが、今回の経験を無駄にしないよう、今後も精進していきたいと思っています。

#### 参考文献

[1] <https://www.ihtc16.org/files/ym-group-photo.jpg>