

# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

ISSN 1344-8592 Vol. 45, No. 193  
2006. 10

*HSTJ*

◆第13回国際伝熱会議◆  
◆生産技術と熱◆

日本伝熱シンポジウムの歴史

回	年	開催地	回	年	開催地	回	年	開催地
1	1964	京都	10	1973	仙台	18	1981	仙台
2	1965	東京	11	1974	名古屋	19	1982	名古屋
3	1966	仙台	12	1975	福岡	20	1983	福岡
4	1967	名古屋	13	1976	神戸	21	1984	京都
5	1968	福岡	14	1977	東京	22	1985	東京
6	1969	札幌	15	1978	札幌	23	1986	札幌
7	1970	東京	16	1979	広島	24	1987	松山
8	1971	大阪	17	1980	金沢	25	1988	金沢
9	1972	広島						

回	年	開催地	回	年	開催地	回	年	開催地
26	1989	仙台	34	1997	仙台	42	2005	仙台
27	1990	名古屋	35	1998	名古屋	43	2006	名古屋
28	1991	福岡	36	1999	熊本	44	2007	長崎
29	1992	大阪	37	2000	神戸	45	2008	京都
30	1993	横浜	38	2001	さいたま			
31	1994	札幌	39	2002	札幌			
32	1995	山口	40	2003	広島			
33	1996	新潟	41	2004	富山			

(第10回以後は8地区・支部で定期的に巡回するようになった)

International Heat Transfer Conference の歴史

回	年	開催地	国
1	1951	London	United Kingdom
		Atlantic City	United States
2	1961	Boulder	United States
		London	United Kingdom
3	1966	Chicago	United States
4	1970	Paris Versailles	France
5	1974	Tokyo	Japan
6	1978	Toronto	Canada
7	1982	München	Germany
8	1986	San Francisco	United States
9	1990	Jerusalem	Israel
10	1994	Brighton	United Kingdom
11	1998	Kyongju	Korea
12	2002	Grenoble	France
13	2006	Sydney	Australia
14	2010	Washington	United States
15	2014	Kyoto	Japan

# 伝 熱

## 目 次

### 〈第 13 回国際伝熱会議〉

#### 論文委員会報告

日本地域論文委員会報告…………… 笠木 伸英 (東京大学), 宇高 義郎 (横浜国立大学) ……………1

#### レビュー

Heat Conduction……………ウッドフィールド ピーター (佐賀大学) ……………3  
 Forced Convection and Heat Transfer Enhancement……………川口 靖夫 (東京理科大学) ……………4  
 Turbulence……………田川 正人 (名古屋工業大学) ……………7  
 Jets……………廣田 真史 (名古屋大学) ……………9  
 Mass Transfer……………長田 孝二 (名古屋大学) ……………11  
 Natural Convection and Mixed Convection……………辻 俊博 (名古屋工業大学) ……………13  
 Boiling and Evaporation……………奥山 邦人, 森 昌司 (横浜国立大学) ……………15  
 Condensation……………宇高 義郎 (横浜国立大学) ……………17  
 Multiphase Flow……………小泉 安郎 (工学院大学) ……………18  
 Radiation……………上宇都 幸一 (大分大学) ……………20  
 Thermophysics……………小原 拓 (東北大学) ……………22  
 Heat Transfer in Nano and Microscale……………鶴田 隆治 (九州工業大学) ……………23  
 Particulates and Porous Media……………中山 颯 (静岡大学) ……………25  
 Heat Exchangers……………岩井 裕 (京都大学) ……………27  
 Thermal Management of Electronic Equipment……………伏信 一慶 (東京工業大学) ……………28  
 Equipment……………菱田 誠 (千葉大学) ……………29  
 Energy and Environmental Heat Transfer……………近久 武美 (北海道大学) ……………31  
 Nuclear……………大竹 浩靖 (工学院大学) ……………32  
 Bio Heat Transfer……………萩原 良道 (京都工芸繊維大学) ……………33  
 Manufacturing……………河野 正道 (九州大学) ……………34  
 Combustion and Fire……………鳥居 修一 (熊本大学) ……………35  
 Experimental Methods……………鈴木 洋 (神戸大学) ……………37

#### 国際伝熱会議招致委員会報告

第 15 回国際伝熱会議の京都開催決定……………笠木 伸英 (東京大学) ……………38

### 〈国際活動・会議報告〉

第 17 回輸送現象国際会議 (ISTP-17) 報告……………中川 慎二 (富山県立大学) ……………40

第 13 回国際伝熱会議：日本地域論文委員会報告

Japan Region Papers Committee's Report on the Thirteenth  
International Heat Transfer Conference

笠木 伸英 (東京大学)

宇高 義郎 (横浜国立大学)

Nobuhide KASAGI (The University of Tokyo)

Yoshio UTAKA (Yokohama National Univ.)

e-mail: kasagi@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp

e-mail: utaka@ynu.ac.jp

1. 会議の概要

第 13 回国際伝熱会議が 8 月 13 日(日)から 18 日(金)にわたりオーストラリア・シドニーの Sydney Convention & Exhibition Centre で開催された。組織委員会委員長 Graham de Vahl Davis 教授，同事務担当 Eddie Leonardi 教授，論文委員会委員長 Brian E. Milton 教授 (いずれも The University of New South Wales) らが中心となり組織，運営された。本会議の日本地域論文委員会委員長 (笠木)，幹事 (宇高) として，以下に今回の会議の概要と委員会の活動をご報告する。

2. 発表論文と講演

国際論文委員会は 18 の地域を担当する 27 名で構成され，それぞれの地域毎に基調講演者候補の推薦，論文の採否等の業務を行った。アセンブリー委員会の統計データおよび登録者数リストに基づくと，会議で発表された論文数は表 1 および表 2 に見られるように，ポスター発表 657 編，基調講演 33 件，そしてパネルセッション 7 件がポスターセッションと並行して実施された。我が国からの基調講演は 3 件であった。会議の登録者数は 821 名，我が国からは 118 名で，米国の 98 名を上回り第 1 位であった。また，我が国のポスター登録数

表 1 地域別 基調講演数・論文数・論文割当数

地域(ISC 委員)	基調講演	論文	当初割当
Australia (Milton, Rosengarten)	0	50	25
Brazil (Nieckele)	1	21	10
Canada (Oosthuizen, Charette)	0	23	25
China (Guo, Tao)	2	53	30
France (Taine, Raynaud)	1	49	45
Germany (Hahne, Spidler)	2	34	35
India (Murthy)	1	18	10
Israel (Hetsroni)	1	9	15
Italy (Cumo, Celata)	1	24	15
Japan (Kasagi, Utaka)	3	107	90
Korea (Kim)	1	43	20
Netherlands (Steenhoven)	1	24	10
Portugal (Coelho)	1	5	2
Russia (Leontiev)	2	16	35
South Africa (Meyer)	1	9	10
Switzerland (Thome)	2	5	10
UK (Hewitt, Briggs)	3	63	50
USA (Jaluria, El-Genk)	6	104	110
Special	4		
合計	33	657	547

は 95 件と，米国の 102 件に迫る数であった。アセンブリー委員庄司正弘先生による前回の IHTC-12 に関する本誌報告にもあるように，国際伝熱会議における我が国の寄与は世界一と言っても過言でない。

今回の国際伝熱会議も「伝熱オリンピック」と称されるに相応しく盛大であったが，4 年前と比べ全般的に「伝熱」のスコープが拡がり，内容的にも新しい動きが目立った会議であった。また，オペラ鑑賞やディナークルーズなど種々のソーシャルプログラムも企画されて，楽しい会議であった。



図 1 開会式の様子

表2 国別 基調講演数・論文数

国名	基調講演	論文	国名	基調講演	論文
Australia	0	37	Lithuania	0	6
Azerbaijan	0	1	Malaysia	0	5
Belarus	0	1	Mexico	0	2
Belgium	0	7	Netherlands	1	5
Brazil	1	21	New Zealand	0	2
Bulgaria	0	2	Norway	0	1
Canada	0	23	Poland	0	4
China	2	48	Portugal	1	5
Czech Republic	0	9	Russia	2	12
Finland	0	3	Saudi Arabia	0	4
France	1	49	Singapore	0	5
Georgia	0	1	Slovenia	0	2
Germany	2	34	South Africa	1	9
Hong Kong	0	5	Spain	0	6
India	1	18	Sweden	0	8
Iran	0	5	Switzerland	2	5
Ireland	0	1	Taiwan	0	12
Israel	1	9	Thailand	0	1
Italy	1	18	Turkey	0	3
Japan	3	95	U.K.	3	23
Korea	1	43	Ukraine	0	1
Lebanon	0	2	U.A.E.	0	1
Libya	0	1	U.S.A.	6	102
			Special	4	
合計				33	657

### 3. 日本地域論文委員会の活動報告

我が国は、「Japan, Pakistan, other East Asian countries not specified elsewhere」の地域代表となっている。37名(日本35名、台湾2名)からなる日本地域論文委員会を構成し、大略下記のスケジュールで業務を遂行した。

- 1) 日本地域論文委員会設置(2005年1月)
- 2) 基調講演候補者7名の推薦(2005.2-4)、その後現地組織委員会による基調講演者決定、うち日本人3名(2005.7)
- 3) アブストラクト査読・採否決定(2005.8-11)
- 4) 本論文査読・採否決定(2006.3-4)
- 5) 会議開催(2006.8.13-18)

日程、論文の受付などの共通な基本事項は国際論文委員会(開催者側)にて設定され、そのルー

ルの下で基調講演候補者の推薦、論文採否業務等が地域論文委員会に委ねられた。なお、前回まで採用されてきた、地域毎に論文採択上限数を割り振る方式が今回は改められ、良質の論文であれば数を厭わないとの方針が示された。このような従来の変更への対応に関しては、当初従来方針が継続されるものとして進めていた日本地域論文委員会として少々の検討を要した。結果として、妥当な論文数を維持しつつ、できるだけ多くの方々に参加いただけるように、原則として1研究室からの論文を2編までとし、研究内容と論文の質に基準をおいて採否を決定した。なお、アブストラクトの投稿数は167件(日本137、台湾30)、本論文投稿数は128件(105,23)であった。

### 謝辞

ここに日本地域論文委員会が大過なく任務を終えることができたのは、本委員会前委員長の庄司正弘先生のご指導をいただき、また下記にお名前を挙げる日本地域論文委員会委員の皆様により論文査読などにご尽力いただいたお陰である。

委員：青木和夫(長岡技大)、有富正憲(東工大)、石塚勝(富山県大)、稲葉英男(岡山大)、大田治彦(九大)、岡崎健(東工大)小澤守(関西大)、片岡勲(阪大)、勝田正文(早大)、神永文人(茨城大)、工藤一彦(北大)、功刀資彰(京大)、小森悟(京大)、清水昭比古(九大)、瀧本昭(金大)、武石賢一郎(阪大)、竹中信幸(神戸大)、谷下一夫(慶大)、近久武美(北大)、辻俊博(名工大)、長坂雄次(慶大)、中山頭(静大)、西尾茂文(東大)、飛原英治(東大)、菱田公一(慶大)、平澤茂樹(日立)、牧野俊郎(京大)、円山重直(東北大)、宮内敏雄(東工大)、門出政則(佐賀大)、矢部彰(産総研)、C. Pan(台湾精華大)、D. J. Lee(国立台湾大)

アセンブリー委員：荻野文丸(舞鶴高専)、庄司正弘(産総研) (以上敬称略、所属は着任時)

また、勝田正文先生には、会議へのグループ旅行のお世話をいただいた。さらに、論文をご投稿いただいた皆様にも、短期間での原稿準備など、ご協力いただいた。各位に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

## Heat Conduction

ウッドフィールド ピーター (佐賀大学)  
*Peter WOODFIELD (Saga University)*  
*e-mail: peter@me.saga-u.ac.jp*

---

### 1. Introduction

Twelve papers were classified as dealing primarily with heat conduction. These ranged from rather ordinary numerical solutions to the heat conduction equation (e.g. CND-03) to a discussion of thermal wave propagation in superfluid helium II (CND-01). The majority of the papers for heat conduction were focused directly on engineering applications (CND-02, 03, 04, 07, 09, 10, 12). Three papers dealt with inverse heat conduction problems relating to experimental techniques (CND-05, 06, 08) and only one paper was purely theoretical (CND-13).

### 2. Limitations of Fourier's law

At very low cryogenic temperatures, extremely rapid heating, or on very small scales, Fourier's law of heat conduction can cease to be an adequate model. Zang et al. (CND-01) performed a two-dimensional numerical simulation on thermal wave propagation in superfluid He II. Guo et al. (CND-13) attempted to give a theoretical discussion and a brief historical background on treating Fourier's law as a limiting case of a phonon gas concept. Some of the keynote addresses and papers relating to nano-technology also discussed this kind of theme.

### 3. Applications

Three papers considered thermal insulation problems. Mensha and Uppu (CND-02) compared the resulting thermal and mechanical properties of a multi-layered insulation coating on the surface of a gas turbine blade applied by three different methods. Wang et al. (CND-07) performed numerical simulation of the performance of an insulation

material for applications such as space vehicle re-entry. They reported that pyrolysis expansion and thermal expansion must also be taken into account in addition to the ablation process as the insulation material vaporizes and burns. Bonacina et al. (CND-12) investigated experimentally the influence of surface emissivity on the effective thermal resistance of some plastic insulating materials.

Herranz and Tigeras (CND-04) analyzed the predictions of four nuclear safety computer codes regarding over-all thermal resistance between the nuclear fuel surface and the coolant. They identified a cause of discrepancy among codes related to the model for contact resistance between the fuel rod and the cladding.

Wang et al. (CND-09) numerically considered the performance of an array of micro-size thermo-electric coolers on the back surface of a silicon chip. They indicated that the technology is promising regarding optimized cooling of 'hot spots' within the chip. Dirker and Meyer (CND-03) considered steady-state heat conduction to simulate cooling of a multi-layered stack of micro-chips. Park et al. (CND-10) performed a thermal analysis of a light emitting diode in anticipation that LEDs will be used more and more as sources of illumination in the future.

### 4. Inverse heat conduction problems

Woodfield et. al (CND-05) considered time and space resolution issues for an inverse problem. Wu and Chu (CND-06) solved a composite inverse problem with interface resistance. Fieberg et al. (CND-08) proposed a technique to measure contact resistance at high pressures.

## Forced Convection and Heat Transfer Enhancement

川口 靖夫 (東京理科大学)

Yasuo KAWAGUCHI (Tokyo University of Science)

e-mail: yasuo@rs.noda.tus.ac.jp

### 1. はじめに

強制対流および伝熱促進のセッションでは約 50 件のポスター発表がなされた。分野が広いため筆者の理解力が及ばず不正確な部分があればご容赦いただきたい。強制対流は基本的な伝熱様式であるが、要素となるケースについてはすでに検討が十分行われ、研究者の関心は複雑な個別の課題に向かいつつある。伝熱促進もまた多様な分野であり、両分野の研究は継ぎ目なく展開している。

### 2. 発表の概要

#### 2.1 強制対流一般

FCV-05 は Convex-Concave 壁面上で層流に縦渦を生じさせて伝熱促進を行った研究。FCV-07 は環状垂直ダクトにおいて共存対流の解析解を求めたもの、FCV-08 は 1.5mm 程度の幅の角形微小チャンネル内の伝熱実験、FCV-02, FCV-19, FCV-19 は非定常または周期的流れにおける対流を扱った研究である。

#### 2.2 流れの様々な形態

##### 2.2.1 分岐管

FCV-17 は混合ティーにおける熱流体特性に関する実験。詳細な PIV 計測を行って渦の挙動を調べ、熱的疲労の機構を明らかにした。HTE-08 では分配ヘッダから比較的短い流路へ流出する系で、短い流路における伝熱と分岐の形状との関係を実験的に検討。FCV-14 はフィルム冷却における混合過程のアセトン LIF 法による実験と数値解析。プレナム・通路・交差流領域における挙動がよくとらえられており、実験・解析のレベルの高さが伺える。

##### 2.2.2 挿入物体

HTE-01 は数値解析を用い、ねじれテープによる伝熱促進方法について、テープの形状最適化の考察を行っている。伝熱促進体をおく場合、伝熱促進と流体抵抗の増大はトレードオフの関係にな

るがここではエントロピー増大最小化 (EGM) の原理により判定を行っている。HTE-02 はチャンネル内流れと固体壁内の伝導との連成問題に対し、最適解を求める問題をあつかっている。強制対流と伝導との連成問題では他に FCV-13, FCV-15 があった。HTE-18 はワイヤ・コイルを円管内に挿入する方法についてワイヤの太さ、ピッチを変え、伝熱促進効果を実験的に調べたもの。HTE-12 は平板上においたウイング型渦発生体を縦あるいは横に並べた場合の伝熱促進効果について、RANS モデルを用いた数値解析を行っている。

##### 2.2.3 多孔質体

FCV-12 は管内に金属フォームを詰めた系に対する非定常熱伝達の解析、FCV-21 は金属フォームに埋め込まれた円管外の伝熱に関する実験。HTE-11 は金属フォームをチャンネル内に挿入した系について流れと伝熱の数値解析。大きな空隙率では金属フォームは針金からなる籠状をなしているものとみなせるので、針金周りのマイクロな流れを解いて解析している。

##### 2.2.4 各種フィン

HTE-06 は乱流伝熱を促進するためのピンフィン列の最適化。RANS モデルによる解析。HTE-25 は角型フィンと円柱状フィンの各々について最適化の考察。同じく RANS モデルを用いた解析。HTE-13 は管外の円形フィンについてピッチの最適化、また半径方向に切ったスリットの影響を数値解析 (商用コード) によって調べた。HTE-16 は強制対流場におけるフィン列の周りの流れと伝熱について数値解析。このような種々のケースに対する数値予測には設計資料を集積する意味があり、工業的価値はあると思われる。一方数値解析はかなり信頼できるツールとして確立したかに見えるので先端的研究としての面白みは薄くなってきたようにも感じられる。HTE-14 は縦フィンおよび円形フィン、ピンフィンの最適形状をコーテ

ィング（堆積物）のある場合に対して検討。簡略化した系について解析解を導いている。

HTE-22 は平行フィンの一部を切り取り、突き出した部分の寸法を変化させたり、ねじれを加えた場合の熱伝達率を実験的に検討。HTE-15 は3次元数値解析と詳細なPIV計測によって同様の系を扱った研究。平行フィンを流れに直角におくと流体がフィンの底部まで流通しないので、十分伝熱促進が行われない。そこでフィンの流れに対して斜めに置き、さらにカット部を設けるとフィンに沿った流れができ、伝熱促進と摩擦損失の低下につながるというアイデアであり、注目に値する。

### 2.2.5 伝熱表面の凹凸

一般の伝熱促進体は伝熱を促進するが流体抵抗を増大させ、また汚れの付着を増やす欠点がある。そこでHTE-21では伝熱面に球面状の窪み（ディンプル）を加工し、そこに生じる竜巻状の渦により伝熱促進する方法を実機スケールで検証した。ディンプルは大きな抵抗にならず、また汚れの付着も少ないとする。FCV-22は管内面にディンプルをつけた場合の数値計算。HTE-24は矩形流路内の壁面にディンプルとその逆の球面状突起を設け、圧力損失と伝熱促進効果について実験的に確かめている。

## 2.3 相変化と非ニュートン流体

### 2.3.1 相変化による伝熱促進

HTE-07では部分的に有機コーティングを施した伝熱面において、滴状凝縮と膜状凝縮が平行して起こる条件をつくり、性能比較。HTE-10では混合溶液において相分離を起こす温度領域で、管内強制対流と円柱の自然対流伝熱に及ぼす液・液相分離の影響を実験的に検討。著者は前者で400%、後者で100%の伝熱促進効果があると述べている。HTE-20は細管内を流れる相変化物質（PCM）スラリーの流れの伝熱を、数値解析と実験によって調べたもの。

### 2.3.2 非ニュートン流体流れにおける伝熱

FCV-09は正弦波状ダクト内、FCV-11は同軸円管内の非ニュートン流体流れの伝熱解析。特定の界面活性剤水溶液はToms効果として知られる乱流摩擦低減効果を持ち、その流れでは特有の輸送現象があることが報告されている。FCV-06はパイプおよび継ぎ手における抵抗低減と伝熱に関する

実験、FCV-20は筆者らによる発表で、新しい両イオン性界面活性剤抵抗低減剤で氷点以下の温度域・不凍液との共存ができるものの開発について。チャンネルにおける抵抗低減と局所熱伝達率、伝熱促進法について報告した。

## 2.4 外力の影響を受ける対流・伝熱促進

FCV-10複数の磁気コイルを用いた管内空気流の駆動。ユニークな着想を数値解析で確かめている。対流伝熱の促進では、HTE-03が極性流体の流れに磁場を印加し、縦渦を発生させることによる方法を、またHTE-05が電極配置と流体の組み合わせによるEHD的方法を試みている。またHTE-23は食品など高い粘度の流体を対象に、円管内の流体を往復運動するスクレーパで動かし、伝熱促進する方法についての実験報告。FCV-23はタービン動翼の内部の流れを模擬した角形チャンネル内の伝熱について、遠心力の影響を実験的に確かめている。FCV-16は円筒容器内の円錐状ロータ廻りの流れパターンと混合の様子を精力的な実験で明らかにした。

## 3. おわりに

強制対流・伝熱促進では要素となる基本的な流れと伝熱についての検討は終わり、個別の問題を扱うようになっていく。辞書の編集は卒業し、事典の編纂にかかったところと言うべきか。実験手法では局所流れの観測にはPIV、伝熱面温度分布の観測には感温液晶を用いる方法が、また乱流の数値解析ではRANSモデルを用いる方法が一般的になってきた。複雑な現象や新しい着想を洗練された実験的・数値解析的ツールを駆使して追う研究が散見され、こうした研究から新現象の発見、応用へとつながる価値ある発明が現れるのではないかと期待される。

国際会議では普段なかなか会う機会のない内外の専門家・知己と最近の情報を交換できる。今回は中国からの先生方が多く参加しておられたことが良かった。筆者は会議の後で北京に滞在する日程をたてていたのだが、会場での交流から発展して北京工業大学の馬重芳（Ma Chong-Fan）教授を訪問し、若手研究者達と意見交換する機会が得られた。こうした新しい出会いもまた国際会議の快樂のひとつである。

## 3. 発表リスト

FCV-02 Unsteady Forced Convection for a Developing Flow in a Non Symmetric Periodic Channel, Serge Blanchet (France)

FCV-05 Higher Heat Transfer Efficiency in Laminar Structured Boundary Layers Than in Turbulent Boundary Layers, Ladan Momayez (France)

FCV-06 Pressure Losses and Heat Transfer for Flow of Drag Reducing Surfactant Solutions in Pipes and Fittings, Jiri Sestak (Czech Republic)

FCV-07 Analytical Solution for Mixed Convection in a Vertical Circular Duct with Partially Insulated Wall, Stefano Lazzari (Italy)

FCV-08 Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop in Rectangular Narrow Channel at Low Pressure, Philippe Clement (France)

FCV-09 Thermally Developing Flow of Power-Law Non-Newtonian Fluids in Double-Sine Ducts, Paulo Couto (Brazil)

FCV-10 Application of Multiple Magnetic Coils to Drive the Air Flow in a Long Pipe, Shu-Shen Lu (P.R. China)

FCV-11 Thermal-Entrance-Region Heat Transfer for a Non-Newtonian Laminar Flow in a Concentric Annulus with an Axially Moving Core, Ganbat Davaa (Japan)

FCV-12 Numerical Study of Heat Transfer in Aluminium Foams Subjected to Oscillating Flow, Liwen Jin (Singapore)

FCV-13 Study on the Forced Convective Cooling of Laser Rod in a Concentric Circular Tube, Xiulan Huai (P.R. China)

FCV-14 Numerical and Experimental Research on a Mixing Process of Film Cooling Air with Mainstream, Takanori Kumagai (Japan)

FCV-15 Approximate Analysis for Conjugate Heat transfer in Solids under Steady Convection, Peter Richardson (U.S.A.)

FCV-16 Convection Pattern Transition in an Annular Gap around a Truncated Conical Rotor in a Circular Cylinder, Mamoru Ozawa (Japan)

FCV-17 Experimental Investigation of Thermal-Hydraulic Characteristics at a Mixing Tee, Seyed Mohammad Hosseini (Japan)

FCV-18 Transient Heat Transfer for Helium Gas Flowing over a Horizontal Plate with Exponentially Increasing Heat Input, Makoto Shibahara (Japan)

FCV-19 Heat Transfer in Steady-Periodic Flows over Heated Micro Wires, Serhat Yesilyurt (Turkey)

FCV-20 Drag-Reduction and Heat Transfer Characteristics of a Novel Zwitterionic Surfactant Solution, Yasuo Kawaguchi (Japan)

FCV-21 Enhanced Forced Convection from a Tube Imbedded in a Metal Foam, Francis A. Kulacki (U.S.A.)

FCV-22 effect of Surface Shape on Flow and Heat Transfer Characteristics in Pipes: A Numerical Study, Khalid Alammar (Saudi Arabia)

FCV-23 Heat Transfer in Rectangular Channels [AR=4:1] with Normal Trips at High Rotation Numbers, Sumanta Acharya (U.S.A.)

HTE-01 A Study of Convective Heat Transfer Entropy Generation in Tube Ducts with Various Spiral Onsets Based on Verified Computer Simulation Results, Tadeusz Ryszard Fodemski (Poland)

HTE-02 Optimal Geometry for Conjugate Heat Transfer in a

Cooling Channel, TUNDE Bello-Ochende (South Africa)

HTE-03 Convection Heat Transfer Active Enhancement by Magnetically Induced Longitudinal Vortices, Lijun Yang (P.R. China)

HTE-04 Experimental Investigation on Heat Transfer Enhancement of Semos Heat Pipe, Haizhen Xian (P.R. China)

HTE-05 Optimal Working Fluid and Electrode Configuration for EHD-Enhanced Single-Phase Heat Transfer, Daniel Testi (Italy)

HTE-06 Shape Optimization of Pin-Fin Arrays to Enhance Turbulent Heat Transfer, Kwang-Yong Kim (South Korea)

HTE-07 Condensation Heat Transfer Enhancement for Steam-Air Mixture Vapour by Interfacial Behavior of Falling Droplets, Xuehu Ma (P.R. China)

HTE-08 Heat Transfer in Short Rectangular Duct with High Angle between Exit Flow Direction and Duct Axis, Mikhail Gotovsky (Russia)

HTE-09 Network Transfer Functions. An Application to Extended Surfaces, Mariano Alarcón (Spain)

HTE-10 Heat Transfer Enhancement Via Liquid-Liquid Phase Separation, Sharon Gat (Israel)

HTE-11 Heat Transfer Enhancement by Metallic Foams, HTEo van der Meer (The Netherlands)

HTE-12 The Effect of Vortex Structures on heat Transfer and Flow Field behind Multielement Arrays of Vortex Generators, Christopher Dietz (Germany)

HTE-13 Prediction of Global Performance of finned Tube Cooler and Effect of radial Slits on its Fin Surface, Vijay Raghavan (Malaysia)

HTE-14 Thermal Efficiency and Optimum Sizes of Finned Surfaces with Coating, Valerij Gorobets (Ukraine)

HTE-15 Heat Transfer and Pressure Loss Characteristics of Obliquely-Arranged Cut-Fins, Kazuya Tatsumi (Japan)

HTE-16 Thermal-Fluid Transport Phenomena over Slot-Perforated Flat Fins in Forced Convection Environment, Shuichi Torii (Japan)

HTE-17 Convective Heat Transfer Enhancement Induced by Spinodal Decomposition, Pietro Presio (Italy)

HTE-18 Evaluation and Analysis of Convective Heat Transfer Enhancement Using Wire-Coil Inserts, Ramesh Chandra Prasad (Canada)

HTE-19 Influence of Hole Imperfection on Adiabatic Film Cooling Effectiveness, Anton A. van Steenhoven (The Netherlands)

HTE-20 Low Reynolds Number Limit of Heat Transfer Enhancement for Phase Change Materials Slurry Flow in Micro/Mini Channels, Yong Tao (U.S.A.)

HTE-21 Heat Transfer Enhancement and Fouling Mitigation Potential due to Dimpling the Convective Surfaces, Yaroslav Chudnovsky (U.S.A.)

HTE-22 Heat Transfer at Force Circulation I Flat-Plating Surfaces with Cut Fins, Georgiy Polupan (Mexico)

HTE-23 Experimental Study of heat Transfer Enhancement in Mechanically-Assisted Heat Exchangers with Active Scrapers, Juan P Solano (Spain)

HTE-24 Heat Transfer Enhancement of Internal Passage Using Dimple/Protrusion, Hyung-Hee Cho (South Korea)

HTE-25 Optimal Designs of heat Sinks for Different Fin Shapes, Kyoungwoo Park (South Korea)

## Turbulence

田川 正人 (名古屋工業大学)

Masato TAGAWA (Nagoya Institute of Technology)

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

トピックス：乱流 (Turbulence) に分類された 27 件の論文はポスターセッション 7 [会議 5 日目, 8 月 17 日(木) 16:35-18:30] で発表された。当日配布されたアブストラクト集 (A4 版 315 ページ) に収録されている論文題目と著者を下記に掲載する。論文数を著者の国別で見ると, 日本 10 件, フランス 6 件, 米国 5 件, リトアニア, ロシア, イスラエル, インド, ポルトガル, 韓国がそれぞれ 1 件である (論文 27 件のうち 7 件は no-show であった)。残念なことに, 会議論文集 (CD-ROM) では, 27 件のうち 1 件が未収録であり, 7 件が画面表示されない不具合があるようで, 本稿で紹介できなかった研究がいくつかある。

「乱流」というキーワードで括られたことによると思われるが, 本セッションには, 強制対流, 自然・共存対流 (文献[2], [12], [13]), 混相流 ([16], [21], [22], [23]), 燃焼 ([7]) などが含まれており, 研究内容は多彩である。そこで, 本稿では, 他の分類項目と重複を避けるという意味で, 強制対流に関連する研究を中心に紹介させていただく。

論文[3]では, 自動車用空調機器をモデル化した流路 (T-Junction) における高温空気と低温空気の混合過程および乱れによる熱輸送機構が実験的に調べられた。測定には, レーザ流速計と冷線 (細線抵抗温度センサ) による速度と温度の同時測定法が用いられた。論文[4]は, 下壁が波状のチャンネル内に形成される安定成層乱流を LES (Large Eddy Simulation) により解析した研究である。乱流統計量と乱流構造の関連, レイノルズ応力等のエネルギー収支が調べられた。論文[5]は, 逆圧力勾配乱流境界層における熱輸送過程を実験的に調べた研究である。X 型熱線と線径 0.6  $\mu\text{m}$  の冷線を組み合わせたプローブ 5 本による速度と温度の同時測定により, 運動量輸送と熱輸送の関連が特定された。論文[6]では, 鈍い物体周り (厚板先端の下流) に形成される剥離再付着流の熱伝達機

構が実験的に調べられた。速度測定に熱線および split-film プローブを, 温度測定には冷線を用いて, 大スケール渦の三次元構造と熱伝達特性の関連が示された。論文[8]は, 平板クエット乱流における熱輸送機構を DNS (Direct Numerical Simulation) により調べた研究である。壁面の熱的境界条件 (等温壁または等熱流束壁) と計算領域の大きさを系統的に変化させることにより, それらが乱流構造および熱輸送に及ぼす影響が明らかにされた。論文[9]では, 小さな缶形燃焼器 (micro can combustor) における乱流熱伝達が LES により解析された。酸化剤と燃料の供給口をもつバツフル板 (保炎板) の形状が高温流体と低温流体の混合過程や壁面熱伝達特性に及ぼす影響が調べられた。論文[10]は, 強い安定密度成層乱流を DNS および RDT (Rapid Distortion Theory) により解析した研究である。得られた結果を比較対照することで, スカラ輸送における乱れのスケールと非線形過程の関連が調べられた。論文[11]は, 矩形リブをもつチャンネル内の圧縮性乱流を LES で解析した研究であり, 流れの構造と伝熱促進の関連が調べられた。ガスタービン翼の冷却が想定されている。論文[14]は, 乱流噴流中に平板を噴流軸と平行に設置することにより, 主流乱れと壁面熱伝達の関連を実験的に調べた研究である。熱線と高速応答熱流束センサを同時に用いて主流乱れと壁面熱流束変動の相互相関係数を測定し, 上記の関連が議論された。論文[25]は, 伝熱促進とポンプ動力に関する研究である。矩形ダクト内の層流と乱流について, ダクト内に設置された振りテープおよびリブの伝熱促進効果が実験的に評価された。論文[27]では, 壁面にディンプル (dimple) があるチャンネル内乱流の速度場と温度場が LES により解析された。ガスタービン翼の冷却効果を高める技術に関連する研究であり, 熱輸送機構と伝熱促進の関連が議論されている。

海外の研究をもう少し多く紹介したかったが、上述のように画面表示できない論文 ([15], [17], [18], [24], [26]) は割愛させていただいた。研究動向を捉えることは難しいものの、LESを適用する研究 ([4], [9], [11], [16], [20], [27]) や市販の流体解析コード (ここでは FLUENT) を利用する研究 ([19], [20], [21]) が増えてきていることを実感した。

筆者もこのセッションで発表させていただいた。自分の展示場所を起点にして各ブースをマイクロマウスのごとく見て回ったが、そこではポスターを前にして熱心な質疑応答が展開されていて、時間があれば首を突っ込みたいとの思いに駆られることが度々であった。議論の内容を含めて紹介するのが本来のレビューだと思うが、なかなか難しいことである。

"Turbulence" 「乱流」に分類された論文題目と著者  
(会議で使用された論文 ID: TRB-〇〇を行末に示す.)

#### 【日本】 (10 件)

- [1] "Wavelet analysis of passive temperature scalar field in a turbulent cylinder wake," by A. Rinoshika, J. Mi and Y. Zhou (*TRB-04*)
- [2] "Turbulence characteristics and heat transfer enhancement of a natural convection boundary layer in water along a vertical flat plate," by T. Tsuji and T. Kajitani (*TRB-08*)
- [3] "Turbulent thermal mixing of hot and cold airflows in T-junction," by M. Hirota, H. Asano, H. Nakayama, T. Asano, H. Goto and S. Hirayama (*TRB-11*)
- [4] "Large eddy simulation of stably stratified turbulent flow over a wavy surface," by H. Suto and Y. Hattori (*TRB-12*)
- [5] "Effects of non-equilibrium adverse pressure gradient on spatio-temporal structures of convective heat transfer," by T. Houra and Y. Nagano (*TRB-13*)
- [6] "Turbulent heat transfer in a separated and reattached flow over a blunt flat plate," by H. Yoshikawa, K. Togawa and T. Ota (*TRB-14*)
- [7] "Velocity- and thermal-field characteristics of a non-premixed turbulent flame formed in a backward-facing step flow," by M. Tagawa (*TRB-18*)
- [8] "DNS of turbulent heat transfer in plane Couette flow," by S. Hane, T. Tsukahara, K. Iwamoto and H. Kawamura (*TRB-21*)
- [9] "Large eddy simulation of turbulent convective heat transfer in a micro can combustor with multiple jets," by K. Suzuki, H. S. Choi and T. S. Park (*TRB-22*)
- [10] "Linear and nonlinear processes in small-scale scalar transfer in strongly stable density stratified flows," by K. Nagata, S. Komori and Y. Sakai (*TRB-27*)

#### 【フランス】 (6 件)

- [11] "Large-eddy simulation of turbulent flow and heat transfer in a ribbed square channel flow," by O. Labbé (*TRB-02*)
- [12] "Turbulent Rayleigh-Benard convection of a supercritical fluid in a closed cavity," by G. Accary, P. Bontoux, I. Raspo and B. Zappoli (*TRB-03*)
- [13] "Bifurcations and multiple solutions in an air-filled differentially heated cubic cavity," by O. Daube, G. De Gassowski, S. Xin and Y. Fraigneau (*TRB-05*)
- [14] "Dynamics of convective heat transfer in a boundary layer submitted to freestream turbulence," by F. Plaza, E. Sanz, C. Nicot and R. Point (*TRB-07*)
- [15] "Impinging jet: Experimental analysis of flow field and heat transfer for assessment of turbulence models," by A. Giovannini and N. S. Kim (*TRB-15*)
- [16] "Effects of turbulence on interfacial heat transfer: A priori test and filters evaluation," by O. Lebaigue, A. Toutant, E. Labourasse, S. Vincent, P. Lubin and D. Lacanette (*TRB-16*)

#### 【米国】 (5 件)

- [17] "Reduced-order modeling of turbulent flows in multiscale domains," by Y. Joshi and J. Rambo (*TRB-10*)
- [18] "Convection heat transfer in pulsating turbulent pipe flow," by N. Zhang and X. Wang (*TRB-25*)
- [19] "Supercritical heat transfer and development of a criterion for mixed convection in a heated tube," by M. Corradini, K. W. Seo, M. H. Kim and M. Anderson (*TRB-26*)
- [20] "Turbulent scalar mixing in single and double elbow configurations," by Y. Hassan, V. K. Vijayaraghavan and A. R. McFarland (*TRB-28*)
- [21] "Computational study of aerosol particle deposition in turbulent flows," by S. S. Hu, A. R. McFarland and Y. Hassan (*TRB-29*)

#### 【その他の国】 (6 件)

- [22] "Study of momentum and heat transfer in a falling liquid film," by S. Sinkunas, J. Gylys, A. Kiela and I. Gimbutyte [Lithuania] (*TRB-01*)
- [23] "Flow structure and turbulence modification in a downward bubbly flow," by M. A. Pakhomov and V. I. Terekhov [Russia] (*TRB-06*)
- [24] "Self similar thermal turbulent boundary layer," by M. Wolfshtein [Israel] (*TRB-09*)
- [25] "Heat transfer and pressure drop characteristics of flow through rectangular and square ribbed ducts with twisted tape inserts," by S. K. Saha, D. Pramanik and A. K. Mazumder [India] (*TRB-19*)
- [26] "Prediction of Richardson number effects on stably-stratified turbulence with second-moment closures," by J. C. F. Pereira and J. M. P. Rocha [Portugal] (*TRB-20*)
- [27] "Large eddy simulation of turbulent heat transfer in a dimpled channel," by J. S. Lee, Y. O. Lee, J. Ahn and J. C. Song [Korea] (*TRB-24*)

## Jets

廣田 真史 (名古屋大学)

Masafumi HIROTA (Nagoya University)

e-mail: hirota@mech.nagoya-u.ac.jp

### 1. セッションの概要

“Jets”のポスターセッション (Poster Session 6 : JET) は会議 4 日目の 8 月 17 日 (木) 午前に行われた。27 件の発表が予定されていたが、そのうち 6 件が欠席であった。論文題目と代表著者 (ポスター発表者) は最後に記す通りであるが、発表者の所属は 18 カ国にわたり国際色の強いセッションとなった。全発表論文のうち、約 8 割が衝突噴流に関する研究であり、また 7 割が実験的研究であった。数値シミュレーションでは乱流モデルを用いた解析結果が多く発表されていたが、全て市販ソフトによる計算であった。

セッションに先立って 4 件の Keynote Lecture が行われた。このうち、菱田公一教授 (慶応大学) による講演 “Optical Measurements of Transport Processes in Single and Multiphase Flows” は噴流の研究にも関連が深いと思われるが、本セッションで発表された研究は伝熱面上の熱伝達率に注目したものが多いためか、計測法も比較的オーソドックスな手法に留まっているように感じられた。

### 2. 発表内容の概要

以下にポスター展示のあった研究について概要を紹介する。なお JET-01 は欠番であった。

JET-03 : 移動する高温面を 2 次元衝突噴流で冷却する場合について  $k-\epsilon$  モデルを用いた解析を行った。熱伝達率は噴流速度と面の移動速度の増加に伴い増大することが明らかになった。

JET-04 : 低レイノルズ数の噴流が低密度流体中に上向きに噴出し壁面に衝突する場合について数値解析を行っている。噴流が壁面上を広がる速度はフーリエ数に依存することが示された。

JET-05 : 衝突噴流により円柱を冷却する場合について、円柱内の熱伝導と対流伝熱との連成問題を  $v^2-f$  モデルにより解析し、円柱内の温度分布の標準偏差を表す無次元式を導出している。

JET-06 : 流路内に置かれた直方体を管内流れとそれに直交する衝突噴流で冷却する場合について、

レイノルズ応力モデルによる数値解析を行い、実験結果との良い一致を得ている。

JET-08 : 噴射ノズル内のキャビテーションがスプレーの break-up に及ぼす影響についてレビューし、モデルを導出している。

JET-10 : 水平に噴き出した加熱噴流の混合特性について実験を行った。とくに、ノズル形状を変化させることで、噴流の発達に及ぼす運動量厚さの影響について検討を加えた。

JET-11 : 回転する加熱円筒とサブクール状態の衝突水噴流間の沸騰伝熱について実験的に調査し、様々な条件下で局所的な沸騰曲線を得ている。

JET-13 : 伝熱面と円形ノズル板との間に金属製多孔体を充填することにより、衝突噴流の伝熱促進を試みている。実験結果から、ヒートシンクとして最適な多孔体の仕様が決定された。

JET-14 : 脈動衝突噴流の伝熱促進効果を  $k-\omega$  モデルにより解析し、伝熱特性に影響を及ぼすパラメータを明らかにした。

JET-15 : “non-zero-net-mass-flux hybrid synthetic jet” の伝熱特性を実験的に検討し、従来の zero-net-mass-flux synthetic jet に比べて高い伝熱促進効果が得られることを明らかにしている。

JET-16 :  $\text{TiO}_2$  による親水処理を施した伝熱面において、衝突噴流の沸騰熱伝達特性を実験的に検討した。親水処理した結果、限界熱流束は銅表面における値を 30% も上回ることを見出した。

JET-17 : 正方形あるいは六角形配列された衝突噴流群の伝熱特性を  $v^2-f$  モデルにより解析し、最適な噴流配置と噴流間隔を決定している。

JET-18 : 円形ノズルの周囲に設けられた三角形タブの伝熱促進効果を実験的に明らかにするとともに、流れ場の構造を SPIV で測定し伝熱促進のメカニズムについて検討している。

JET-19 : 正方形配列された層流衝突噴流群の伝熱特性と流動特性に関して、とくに噴流と伝熱面間の距離が熱伝達率分布に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

JET-20：単一衝突噴流において瞬時の局所熱伝達率と速度分布の同時計測により、熱伝達に及ぼす渦の影響について検討した。

JET-21：周囲に“film flow”をもつ噴流の拡散特性を可視化により調べた。film flow と噴流との速度差と film flow に対する音響励起の有無が、噴流の拡散に及ぼす影響について明らかにした。

JET-22：ノズルと伝熱面との間隔が従来よりも長い場合における衝突噴流の伝熱特性を、実験により明らかにしている。

JET-23：高温金属面の水スプレー冷却を取り上

げ、表面温度及び熱伝達率分布の時空間変化を、赤外線サーモグラフィを用いて明らかにした。

JET-24：旋回衝突噴流の伝熱特性と速度分布を測定した。旋回に伴う循環領域の形成が熱伝達に大きな影響を与えることを見出している。

JET-25：噴流による高温回転円筒の冷却について実験を行い、回転面に対する噴流の角度が伝熱特性に影響を及ぼすことを明らかにした。

JET-26：格子による擾乱を与えた円形噴流について速度場と温度場の計測を行い、擾乱により渦構造の形成が抑制されることを見出した。

### 3. 全発表論文の著者とタイトル

No.	代表著者	論文題目
JET-02	L. Al-Hadhrami	Heat Transfer of Single Array of Impinging Jets in a Rectangular Channel with an Inclined Target Surface
JET-03	M. A. R. Sharif	Computational Study of Heat Transfer from a Confined Turbulent Slot Jet Impinging on a Moving Plate
JET-04	N. Srinarayana	Direct Simulation of Impinging Plane Fountains in a Homogeneous Fluid
JET-05	N. Zuckerman	Heat Transfer and Temperature Distributions in the Fluid and Cooled Cylindrical Solid during Radial Slot Jet Impingement Cooling
JET-06	D. Rundstroem	RSM Predictions of an Impinging Jet in a Cross-Flow on a Heated Wall-Mounted Cube
JET-07	H. Herwig	Heat Transfer under Unsteadily Impinging Jets: A Systematic Investigation
JET-08	S. Martynov	Modelling of Cavitation Flow in a Nozzle and its Effect on Spray Development
JET-09	A. N. Krylov	Heat Transfer Processes in Melting Furnace Elements while Using Transpiration Insulation, Fuel Reforming and Raw Material Preheating
JET-10	S. K. Das	The Transition and Mixing Behaviors of Slightly Heated Plane Jets Issued from Nozzles of Different Inlet Geometries
JET-11	M. Gradeck	Cooling of a Hot Cylinder with an Impinging Planar Water Jet
JET-12	H. Farahani Manesh	Visualization Numerical Simulation of an Impinging Square Jet Using Virtual Reality Technology
JET-13	K. Kamiuto	Impinging Jet Heat Transfer of a Porous Surface by a Circular Nozzle with a Flange
JET-14	W.Liewkongsataporn	A Numerical Study of Axisymmetric Pulsating Jet Impingement Heat Transfer
JET-15	Z. Travnicek	Hybrid Synthetic Jet Intended for Enhanced Jet Impingement Heat/Mass Transfer
JET-16	Z. Liu	Steady Boiling for Water Jet Impingement on the Flat Stagnation Zone from a Superhydrophilic Surface
JET-17	T. Chandratilleke	Thermal Performance and Optimization of an Impinging Fluid Jet Array at a Heated Surface
JET-18	S. J. Lee	Heat Transfer and Flow Characteristics of Impinging Jet with Triangular Multi-tabs
JET-19	A. Giovannini	Thermal Evaluation of Jet-to-Plate Spacing Effects in Laminar Confined Multijets
JET-20	T. S. O'Donovan	Effect of Vortices on Jet Impingement Heat Transfer
JET-21	N. Miyagi	Jet Diffusion Control by Acoustically Driven Secondary Film Flow Visualization of Controlled Jet Structure
JET-22	R. Karvinen	Heat Transfer under an Impinging Jet at Long Nozzle-to-Surface Distances
JET-23	W. J. Vorster	Visualization of the Temperature Field and Spatio-Temporal Heat Transfer Coefficient on a Flat Vertical Surface during a Water Spray-Quenching
JET-24	L.F. A. Azevedo	Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of a Swirl Jet Impinging on a Flat Plate
JET-25	M. Raudensky	Spray Cooling of Rotating Rolling
JET-26	L. Djenidi	Effect of a Passive Disturbance on the Heat Transport in the near Field of a Round Jet
JET-27	M. I. Khan	Nozzle Side Wall Geometry Effect on the near Flow Field Mixing
JET-28	R. N. Sharma	Jet Impingement Heat Transfer from a Circular Cylinder in a Confined Space

## Mass Transfer

長田 孝二 (名古屋大学)  
*Kouji NAGATA (Nagoya University)*  
*e-mail: nagata@nagoya-u.jp*

### 1. 研究発表の概要

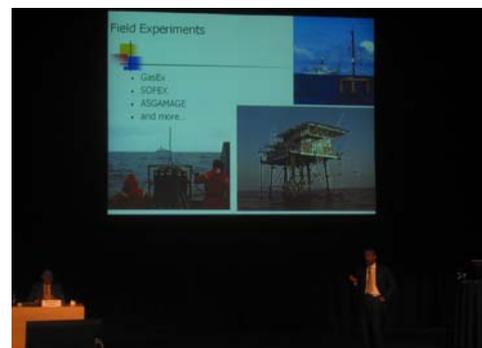
国際伝熱会議ということで熱伝達・熱輸送に関する研究が数多く発表されたが、ここでは、物質輸送、特に、著者の興味対象である乱流物質輸送や物質の対流混合に関する研究発表を中心にその概要を報告したい。なお、本国際会議には「Mass Transfer」のセッションがあり、そのセッション (Poster Session 7 : MST) における発表件数は11件であった。MSTセッションでの発表内容は多種多様に渡り、様々な流動場における物質伝達・物質移動に関する実験および数値研究が発表された (表1)。乱流のセッションでは、複数の曲がり部を持つ管内流での乱流物質拡散に関する研究が発表された[1]。自然対流・共存対流の分野では、物質拡散に及ぼす浮力の影響[2]や、熱煙の二重対流拡散に関する興味深い現象[3]が報告された。一方、ここ数年注目されている、ナノサイズ粒子の懸濁による熱物質移動促進に関する研究発表も行われた[4,5]。Nanofluids の特性に関しては不明な点も多く、また、幅広い工学的応用が期待されることから、これから益々発展する研究分野であろう。エネルギー分野では、燃料電池内の物質移動に関する研究が報告された[6,7]。その他、火災事故に関連した煙の拡散や排気、熱交換器やガスタービン等の実用機器に関連した流れ場の中での物質移動に関する研究等が多数発表されたが、紙面の都合上紹介を省略させていただきたい。

基調講演では、せん断力が作用する風波気液界面を通しての物質交換機構を明らかにするための基礎研究に対して AIChE The 2005 Donald Q. Kern Award を受賞した、Sanjoy Banerjee 教授(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)による受賞記念講演[8]が行われた。従来、表面更新渦と呼ばれる、気液界面近傍の液側に現れる乱流渦が気液界面を通しての物質交換を支配することが知られていた。

しかし、海洋での表面更新渦は観測が難しく、大気・海洋間での物質交換に適用することが難しいという欠点があった。これに対して、「surface divergence」に基づく物質交換モデルが提案され、実測値をよく説明できることが示された。

### 2. 雑記

著者は学生時代から乱流熱物質輸送に関連した研究を行っているが、IHTCには初参加であった。基調講演以外は全てポスターセッションであるが、それ故に、フロアでじっくりと議論を交わす時間がとれたのはいいことであった。発表件数も多く、情報収集および情報交換の場としては最適ではなかろうか。実際、著者はフロアでのディスカッションによって数多くの情報を得ることができ、非常に有意義な会議であったと感じた。不満は高い参加登録費(10万円程度)であろうか。シドニーは冬季にも関わらず日中は汗ばむほどの陽気で、持参したジャンパーを使う機会が全くなかった(会場横のハーバーでは上半身裸で日光浴をしているおじさんもいた)。学会会場はダーリングハーバーというシティ近くのハーバー内にあり、そびえ立つ高層ビル郡とハーバー、そして飛び交う白い鳥たちが印象的であった。



Sanjoy Banerjee 教授(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)の受賞記念講演の様子

表1 「Mass Transfer」のセッション概要

著者	国(第一著者)	論文タイトル	内容の概略, キーワード等
Olsson, C.O.	Sweden	Diffusion in Polymers with Temperature Dependent Properties	ポリマー薄層中の物質拡散に及ぼす温度の影響(実験, 数値計算)
Ershova, T.V. <i>et al.</i>	Russia	Modeling of Thermo-Erosion Destruction of Materials in Supersonic Heterogeneous Flows	大気 dust cloud 中を運行する超音速機の腐食モデル(数値計算)
Georgieva-Angelova, K. & Schmidt, J.	Germany	Simulation of Mass Transfer in a Catalytic Membrane Reactor	触媒中の物質拡散(FLUENT による計算)
Ngonda, T.N. & Sheer, T.J.	South Africa	A Generated Model of Frost Formation on a Flat Plate in Forced Convection	強制対流下の平板上での霜の発達モデル(数値計算)
Tong, T.W., Abou-Ellail, M.M.M. & Li, Y.	USA	Mathematical Modeling of Heat and Mass Transfer in Methane-Air Mixtures Flowing Over Catalytic surfaces	白金触媒平板上を流れるメタン-空気混合気の化学反応(数値計算)
Zheng, G., Gschwind, P. & Kottke, V.	Germany	Determination of Flow Phenomena and Mass Transfer Coefficients in Non-Newtonian Flow	非ニュートン流体の流れ(層流)中での物質伝達(実験), shear-thinning 効果
Volpe, L. & Mewes, D.	Germany	Investigation of Mass Transfer on Macro- and Microscale between an Injected Dyes Mixture and a Bulk Fluid	二種の染料(無反応および反応性染料)を含む噴流の物質拡散(実験), 対流の効果, tomography
Elperin, T. & Fominykh, A.	Israel	Influence of an Alternating Electric Field on Mass Transfer During Solute Extraction From a Fluid Sphere with Internal Circulation	固体, 連続相流体, 静止流体球系における物質移動抽出)に及ぼす電場の効果(数値計算)
Ortolan, M.A. & Barbosa Jr, J.R.	Brazil	Absorption of Refrigerant in Lubricant Oil: A Visualization Study	潤滑油中への冷却ガスの吸収(実験, 数値計算)
Komiya, A., Maruyama, S & Morita, S.	Japan	Measurement of Mass Diffusion Coefficient of Micro Quantity Proteins Using Phase Shifting Interferometer	位相シフト干渉計によるタンパク質物質移動係数の微量短時間精密計測法の開発(実験)
Wolczyński, W. <i>et al.</i>	Poland	Mass Transport during Diffusion Soldering or Brazing at Constant Temperature	拡散ろう接過程における物質移動(モデリングおよび数値計算)

## 論文題目

- [1] Vijayaraghavan, V.K., Hassan, Y. & McFarland, A.R., Turbulent Scalar Mixing in Single and Double Elbow Configurations.
- [2] Evans, G., Winters, W. & Greif, R., Effects of Buoyancy on Contaminant Transport in Room Air Flows.
- [3] Kamakura, K., Hirano, H. & Ozoe, H., Three-Dimensional Numerical Analysis of Smoke in Shear flow.
- [4] Phelan, P.E. *et al.*, Enhanced Heat and Mass Transfer in Nanofluids.
- [5] Kang, Y.T. *et al.*, Mass Transfer Enhancement of a Binary Nanofluid for Absorption Application.
- [6] Massarotti, N. *et al.*, Numerical Simulation of Mass Transfer in a Solid Oxide Fuel Cell.
- [7] Kolar, A.K. & Rajani, B.P.M., Heat and Mass Transfer Characteristics in a Free Breathing Fuel Cell with a Ducted Cathode.
- [8] Banerjee, S., From Surface Renewal to Surface Divergence: The Evolution of Models for Turbulent Transport Processes. The 2005 Donald Q. Kern Award Lecture.

## Natural Convection and Mixed Convection

辻 俊博 (名古屋工業大学)

Toshihiro TSUJI (Nagoya Institute of Technology)

e-mail: tsuji.toshihiro@nitech.ac.jp

標記の分野に関する発表は、主に 8 月 14 日(月) 午前の Poster Session 1 および午後の Poster Session 2 の中で行われたが、別日の Poster Session の中で発表されたものもいくつかあった。

自然対流についての発表は 50 件で、国別に見るとフランス 9 件、アメリカ 6 件、日本 5 件、オーストラリア 4 件、イギリス 3 件、台湾 3 件、カナダ 3 件、韓国その他は 2 件以下であった。また、共存対流に関する発表は 17 件あり、日本 3 件、アメリカ 2 件、その他の国は 1 件ずつであった。残念ながら、これらの発表についてはポスター未掲示のものも数件あった。発表のあった研究テーマについて以下に列挙するが、実験的研究は解析に比べてかなり少なかった。

## 自然対流の研究

住環境に関連して、ブラインドを挟み込んだ二重ガラス内部の干渉計による温度場の可視化(NCV-03)、室内空間の熱対流と汚染物質の拡散の解析に利用される Zonal モデルを、天井の高い空間や開放ドアで連結された空間に適用する手法の提案(NCV-25)、換気口から有害ガスが室内に進入した場合のガス濃度分布を解析により検討(NCV-27)、居室の窓から入射する太陽エネルギーにより発生する自然対流について、その入射位置が床面を時間的に移動することを考慮に入れた熱伝達実験(NCV-35)、屋根裏部屋を想定した周期加熱される三角形断面の空間に生じる熱対流の解析(NCV-43)、建物に取付ける二重構造光発電外壁を局所的な加熱を受けるチャンネルで模し、その熱伝達特性を市販ソフトで解析(NCV-44)など多くの発表があった。

内部に熱源や物体を有する閉空間の自然対流については、矩形キャビティ内に置かれた角柱周りの対流に対する低マッハ数近似による解析(NCV-06)、底面加熱の水平流体層内に角柱を周期的に並べた場合の解析領域の検討(NCV-09)、遠心

加速される容器内に置かれた加熱平板周りの自然対流の熱伝達実験と市販ソフトによる解析(NCV-17)、正方形容器の鉛直側面に取付けた 3 つの加熱源の最適配置に関する解析(NCV-19)、閉空間内に鉛直仕切面を有する自然対流の有限要素法による解析(NCV-22)、温度差が与えられた矩形容器内に正方形物体を多数配置したときの熱放射・熱伝導・熱対流の連成解析(NCV-42)、矩形容器の高温側面に肉厚の薄いフィンを取付けたときの過渡伝熱特性の解析(NCV-45)などが発表された。

自然対流の外部流については、長軸を水平にして置かれた等温加熱の水平楕円柱周りに生じる層流境界層の解析(NCV-29)、水平に置かれた 4 種類の矩形断面のピンフィンと 2 種類の長方形プレートフィンからの自然対流熱伝達に関する実験(NCV-31)、水平面に置かれた正方形断面のピンフィンについて、ピッチを変えた場合の自然対流の市販ソフトによる解析(NCV-37)、水平平板から離れて置かれた水平加熱円柱の熱伝達特性の解析(NCV-46)などがあった。

磁場下の自然対流については、浮力と Kelvin 力により同軸円筒間に生じる空気の磁化力対流の解析(NCV-07)、強磁場中に置かれた正方形容器内の磁性流体に関する温度場の液晶による可視化(NCV-16)、浮力と磁化力が作用する空気流中における浮遊微小粒子の挙動解析(NCV-18)、超電導磁石の開口部に置かれた正方形容器内の自然対流の解析と液晶による温度場の可視化(NCV-21)などが発表された。

多孔質体内の自然対流については、側面加熱・冷却の多孔質体内自然対流について Brinkman 修正、Forchheimer 修正の効果を検討する解析(NCV-10)、多孔質体内の 2 成分混合ガスの二重拡散対流の過渡的振動に関する解析(NCV-34)、多孔質体内の流体層の底面温度を時間に比例して上昇させたときの対流発生に関する解析(NCV-40)な

どがあった。

伝熱促進を目的としたナノ流体の自然対流については、正方形閉空間内にアルミナのナノ粒子を分散させた水の自然対流熱伝達特性に関する実験(NCV-33)、水にアルミナあるいは銅のナノ粒子および油にカーボンナノチューブを懸濁させた矩形流体層の熱伝達解析(NCV-41)が発表された。

熱サイフォン、二相流に関連する自然対流として、正方形断面の閉ループ熱サイフォン流路を回転させた場合の DNS(NCV-20)、超臨界と亜臨界 CO<sub>2</sub> の鉛直円筒面上の自然対流について観察と熱伝達率測定を行った研究(NCV-36)、狭い鉛直流路を持つ開放型の二相流熱サイフォンに関する熱伝達実験(NCV-38)などがあった。

自然対流の安定性については、容器の底面に 3 個の平面加熱源がある場合の対流の不安定挙動の解析(NCV-04)、擬スペクトル法を用いた鉛直キャピタリ内放射性ガスの対流不安定挙動の解析(NCV-11)、水平流体層の底面温度を急変したときの温度境界層の線形安定解析(NCV-14)、水と CO<sub>2</sub> の超臨界状態における自然循環流の安定性に関する解析(NCV-24)、サーモキャピラリー対流の振動を自由表面の周期的な加熱により抑制する制御法の確立(NCV-30)、大きな閉空間ではたとえ温度差が小さくても通常の Boussinesq 近似が成立せず、エネルギー方程式中の圧力仕事の考慮が必要であることを指摘した研究(NCV-32)、溝付内管を有する同心二重円筒内の非線形熱対流挙動の解析(MTH-17)、立方体容器内の空気の熱対流に関する解析から遷移過程の分岐と多重解を検討(TRB-03)などの発表があった。

さらに、自然対流乱流については、二次元キャピタリ内対流を通常の  $k-\varepsilon$  および RNG  $k-\varepsilon$  モデルといくつかの壁関数を組合せて解析したときの精度評価(NCV-08)、高レイリー数における閉空間内の乱流空気流の速度計測と LES および DNS による解析結果との比較(NCV-23)、正方形容器内熱対流の乱流域について低レイノルズ数  $k-\varepsilon$  モデルと  $k-\varepsilon-\overline{\nu^2}$  モデルを用いた解析の比較評価(NCV-28)、熱電対と PIV を用いた水の自然対流乱流境界層の熱流体計測と伝熱促進に関する実験(TRB-08)などの研究があった。

その他、鉛直二重円管の肉厚と偏心率の変化を考慮した自然対流の連成解析(NCV-15)、容器内の

溶融金属の対流と腐食に関連する酸素濃度の格子ボルツマン法による解析(NCV-26)、下面と側面の 75%を加熱した矩形容器内の 2 成分流体の二重拡散対流に関する熱物質伝達の解析(NCV-39)、側面加熱・冷却の矩形容器についてアスペクト比、姿勢および温度差を変えたときの熱対流挙動の解析と実験(NCV-47)などがあった。

#### 共存対流の研究

円管内の共存対流については、鉛直円管流路壁の半円周部分のみを等熱流束加熱した場合の完全発達共存対流の解析解(FCV-07)、鉛直管内の過熱蒸気の共存対流について実験を行い、熱伝達の整理式を提案(MCV-11)、内管回転の同心および偏心二重管内流について、ニュートン流体と非ニュートン流体の流動特性を実験と解析で調べた研究(MCV-12)、超臨界状態の加熱円管内共存対流に市販ソフトを用いるときの適用範囲と壁関数の修正に関する提案(TRB-26)などの研究が発表された。

円管以外の流路については、水平流路において下面壁が加熱され移動する場合の共存対流の低レイノルズ数  $k-\omega$  モデルによる解析(MCV-01)、等温加熱半円断面流路の入口助走域における層流共存対流の解析(MCV-02)、加熱水平円柱の後流において離脱する熱ブルームに関する可視化とスペクトル要素法による解析(MCV-04)、非定常下における熱流動の解析について実用的な流体と固体壁の連成法を提案し、それを LDV, PIV を用いた実験で検証(MCV-05)、水平層流剪断流中で流れ方向に煙を発生させたときの二重拡散現象の解析(MCV-06)、急拡大する鉛直流路における共存対流における流れの分岐と熱伝達を調べた解析(MCV-07)、浮力と流れ方向が対向する鉛直平行流路内共存対流の遷移域に関する実験と市販ソフトによる解析(MCV-09)などがあった。

その他、市販ソフトによる軽合金鋳造施設における建物内環境の予測(MCV-03)、電導性流体中に置かれた等温加熱水平円柱周りに半径方向に磁場をかけたときの熱流動特性を解析(MCV-08)、チョクラスキー法におけるシリコン融液の振動現象に及ぼす結晶とるつぼの回転の影響に関する解析(MCV-10)、成層した非混和油におけるマランゴニ対流と自然対流の相互作用に関する PIV 計測(MCV-13)、軸対称噴水流の過渡的熱流動挙動の DNS(NCV-05)など様々な研究が発表された。

## Boiling and Evaporation

奥山 邦人, 森 昌司 (横浜国立大学)

*Kunito OKUYAMA, Shoji MORI (Yokohama National University)**e-mail: okuyama@ynu.ac.jp, morisho@ynu.ac.jp*

沸騰・蒸発に関しては、キーンノート3件、ポスターは第2日目(8月15日)午後のSession4のBOI(Boiling)の59件(内、管内流動沸騰(FB)33件)の他に、同セッション内のNAN(Nanoscale)に4件、他セッションではMPH(Multiphase)に15件(FB6件),PRT(Particulate & Porous)に4件,MIC(Microscale)3件(FB3件),NCL(Nuclear)3件(FB3件),JET(Jets)3件,HEX(Heat exchangers)2件(FB2件),そしてEXP(Exp. Techniques),MTH(Math &Comp),OFM(Open forum)に各1件の計96件(会議全ポスターの約13%)の発表があった。(なお、ヒートパイプ、スプレー蒸発、マイクログループ蒸発熱交換器はここに含んでいない。)

内容は、プール沸騰および蒸発関連では、核沸騰熱促進(11件)、固液接触・クエンチ(9件)、液膜蒸発(8件)、気泡成長・合体(7件)、限界熱流束・高熱流束除去(5件)、表面粗さと核沸騰熱伝達(3件)、直接接触(3件)、熱伝達機構・モデル(3件)、核生成(2件)、微小重力下(2件)、混合物(2件)など、また管内流動沸騰では、熱伝達率、圧力損失、およびボイド率の測定とそれらの予測(17件)、流れの構造・熱伝達メカニズム(7件)、CHFおよび高熱流束除去(5件)、サブクール流動沸騰(4件)であった。流路形状で分類すると、細管および狭隘流路流れ(18件)、通常サイズの円管および矩形流路流れ(13件)、二重管流れ(4件)、外部バルク流れ3件、さらにアプリケーション別に見ると、原子力(10件)、電子素子冷却(9件)、核融合炉(4件)、冷凍機(3件)であった。数値解析による研究には、気泡成長(3件)、核生成(1件)、サブクール流動沸騰(4件)があった。国別では、日本22件(内FB12件)、米12(4)、独9(3)、仏8(4)、韓国7(6)、英6(3)、伊5(1)、中国5(1)、カナダ3(2)、スウェーデン3(2)、台湾2(2)、スペイン2(1)、インド2(0)、その他4ヶ国各1で、日本の割合(22/96)は本会議全登録者数に占める

日本からの登録者数の割合(約16%)よりやや高い。

キーンノートKN-02:Phase Change Heat Transfer in MicrosystemsはMax Jakob Awardを受賞されたP. Cheng教授によるmicro-, mini-, macro-channel内の流動沸騰の流動様式、熱伝達率、圧力損失などに関する系統的研究のレビューとパルス加熱沸騰研究の紹介、またKN-12:Flow Boiling Heat Transfer in MicrogravityはG.P. Celata博士による微小重力下の流動沸騰伝熱研究レビューとESA(European Space Agency)のプロジェクトとして2004~06年に行われた航空機実験結果の紹介で、沸騰熱伝達に与える重力加速度効果に対する流速と蒸気クオリティの影響が気泡挙動との対応に基づいて論じられた。KN-14:Fundamentals of Boiling in MicrochannelsではJ.R. Thome教授によりmicrochannel内流動沸騰のCHF、流動様式、パターンマップ、複数流路系の流動不安定性、熱伝達率・圧力損失予測法等に関する2000年以降の最新研究結果のレビューと考慮されるべき特徴的現象全般にわたる詳細な解説がなされた。

ポスター発表のうち、核沸騰伝熱促進関連では、微細構造面(マイクロフィン(BOI-04)、多孔質黒鉛(BOI-36)、溶射(BOI-50)、フォームメタル(BOI-54)、樹状組織化(NAN-07)、カーボンナノチューブ(NAN-13)など)の主に冷媒への有効性のほか、水に50nm以下の超微粒子を含んだ「ナノ流体」の沸騰における核沸騰熱伝達の促進(または悪化)効果(BOI-06, NAN-02)、細線でのCHF増大効果(NAN-22)などが報告された。

固液接触・クエンチ関連では、衝突噴流または噴霧流による冷却時の沸騰曲線、熱伝達率、CHF相関式など(BOI-09, 15, 25, MPH-02, JET-11, 16, 23)、液滴微粒化沸騰のメカニズム(BOI-46)、膜沸騰蒸気膜崩壊時の動的固液接触角(BOI-39)などが報告された。

液膜蒸発関連では、高 Pr 数液体の流下液膜蒸発熱伝達率相関式 (BOI-13)、蒸発液膜の対流不安定機構 (MPH-18)、固体面引き上げ時の蒸発液膜のマランゴニ流動 (MPH-33) のほか、微細構造面における蒸発伝熱促進や多孔質層からの蒸発による高熱流束除去に関する研究が複数 (BOI-58, MPH-17, PRT-11, 17, 18, 22) 報告された。多孔質を利用した高熱流束除去の概念が提案されて以来 30 年以上になるが、金属微粒子焼結体で  $33.9 \text{ MW/m}^2$  の熱流束除去に成功した BOI-58 や二種類の多孔質構造により伝熱面温度を飽和温度付近に保ちつつ  $10 \text{ MW/m}^2$  近い熱流束が除去できることを示した PRT-17, 18 の研究は、多孔質の潜在能力と可能性を改めて示すものとして注目される。

沸騰気泡の成長・合体に関しては、気泡成長離脱過程の数値計算 (BOI-14, 26)、高速 IR サーモグラフィによる気泡合体過程の壁温分布測定 (BOI-40)、微小薄膜温度センサーによる気泡下伝熱過程の測定 (BOI-43)、パルス加熱沸騰気泡の予熱による極大化 (BOI-55)、非凝縮ガスの沸騰気泡成長への影響 (MPH-09)、閉じたキャビティ内の過熱液から気泡への蒸発過程の数値解析 (MPH-12) などが報告された。BOI-26 では移動する三相界面付近のマイクロ液膜からの蒸発過程を組み込んだ計算から、液膜蒸発の気泡成長への寄与が二成分混合液の場合でも約 30% を占めることを示している。

管内流動沸騰関連の発表 (33 件) に関しては、以下の通りである。なお、紙面の都合上、数例紹介するに留める。

熱伝達率、圧力損失、およびボイド率の測定とそれらの予測 17 件 (BOI-1, 2, 8, 11, 17, 23, 24, 29, 34, 35, 38, 44, 48, 49, 51, NCL-09, EXP-20)

BOI-08 は、矩形ミニチャンネルにおいて見かけの流速  $j (=j_g + j_l)$  が、熱伝達率およびドライアウト発生点を予測するための重要なパラメータであることを実験的に示している。

流れの構造・熱伝達メカニズム 7 件 (BOI-3, 10, 16, 30, 41, 52, 57)

BOI-3 は、高粘性流体の流動沸騰 ( $Re \approx 0.01$ ) において単相流、層流の熱伝達率の厳密解に沸騰の影響を加えた簡単なモデルにより熱伝達率を予測し、実験結果との良い一致を報告している。

BOI-10 は、狭隘矩形流路内の熱伝達率を規定す

る沸騰気泡の初期マイクロ液膜厚さをレーザ吸収法により測定し、その膜厚が気泡先端移動速度で決まることを示している。

BOI-16 は、マイクロチャンネル内部の流動様相を液スラグ、液膜、ドライアウト領域に分けた 3 ゾーン蒸発モデルにより局所熱伝達率を精度良く予測している。

BOI-41 は、熱的非平衡スラグ流モデルにより、局所熱伝達率、圧力損失を精度よく予測できるとしている。

BOI-52 は、数値シミュレーションによりマイクロチャンネル内部の蒸気泡の移動、ドライパッチ形成に接触角の影響が大きいことを示した。

CHF 及び高熱流束除去 5 件 (BOI-5, 7, 28, 32, 45)

BOI-05 は円管、環状流路、ロッドバンドルで熱流束分布が一様、または非一様の場合について CHF およびドライアウトクオリティを沸騰長さによって統一的に整理できることを示した。

BOI-28 は、主流路にサブクール液を供給し、副流路に設置した複数のノズルから伝熱面にサブクールジェット水を供給することで、 $6 \text{ MW/m}^2$  の熱流束を除去できること、さらにこのジェットにより圧力変動が、非常に小さくなることを示した。サブクール流動沸騰 4 件 (BOI-19, 20, 21, 22)

BOI-21 は、気泡の Lift-off 径をヤコブ数、プラントル数の関数として定式化し、実験結果とよく合うことを示した。

なお、Session 4 (沸騰及びナノスケール計 89 件) の中から、宇高義郎教授 (横国大) の発表 BOI-10: Configuration of Micro-layer in Thin-Gaps in Boiling Heat Transfer が Best Poster 賞に選ばれた (写真は会議中の授賞の掲示)。



## Condensation

宇高 義郎 (横浜国立大学)

*Yoshio UTAKA (Yokohama National University)*

*e-mail: utaka@ynu.ac.jp*

### 1. 凝縮セッションの概要

ほぼ半日毎に設定された 8 つのポスターセッションのうち PS7 の 80 件のポスター論文の中の 16 件が凝縮に分類された。そのうち凝縮現象を含んでいない CSN-12 を除外すると、凝縮関連の発表は 15 件であった。前回のグルノーブルでは 12 件であったので、特に発表数に大きな変化はなく、全体的には種々の内容を含んでいるが、近年のミクロ・ナノの傾向を除けば、従来の研究の連続的なものが多数を占めていた。

### 2. 分類と内容

表 1 に「凝縮」に分類された全ポスター発表論文についてまとめた。左側の欄に代表著者とその所属国を、右欄に論文番号、論文題目および内容を表す分類を示した。最後の分類については、凝縮現象の大分類だけを記しており、膜状凝縮（管群、促進管、マイクロチャネル）、滴状凝縮、直接接触凝縮、液滴（核）生成、排気ガス中の湿分凝縮などの内容の研究発表がなされた。

これらのうち、特に表面張力の支配的な場での細管内での凝縮液の挙動が熱伝達特性を決める上で重要となるマイクロチャネル内の凝縮特性（CSN-01, CSN-05）、および環境問題などとも関連が深い不凝縮気体（排気ガスなど）の中の凝縮成分の取り出し（CSN-15）、に関する内容の研究がみられ、近年の傾向を反映している。

膜状凝縮については、従来から継続して研究されてきている管群あるいは促進管（CSN-02, 14, 16）、平板上に関しては波状領域の研究（CSN-09, 13）が主要であった。滴状凝縮に関しては、実際上重要な長寿命の表面処理技術（CSN-03）、初生液滴（CSN-06）および表面エネルギー分布面における液滴移動（CSN-08,）の研究が発表された。凝縮滴（核）生成機構あるいはそのミスト利用に関して 3 件（CSN-04, 06, 07）発表された。

表 1 凝縮セッションのポスター発表リスト

代表著者 (国)	論文番号: 論文題目 (分類)
Yongping Chen (中国)	CSN-01: Influence of Hydraulic Diameter on Flow Condensation in Silicon Microchannels (マイクロチャネル)
David A McNeil (英国)	CSN-02: Heat Transfer Measurements in a Low Pressure Steam Condenser with a Horizontal Bundle of Staggered Tubes (管群)
Alfred Leipertz (ドイツ)	CSN-03: Dropwise Condensation on Plasma-Ion-Implanted Small Horizontal Tube Bundles (滴状凝縮)
Toshihiko Nakano (日本)	CSN-04: The Effect of Non-Equilibrium Condensation of Moist Air on Supersonic Cavity Flows (生成凝縮滴の可視化利用)
John Rose (英国)	CSN-05: Film Condensation in Microchannels: Preliminary Comparisons between a Theoretical Model and Experiment (マイクロチャネル)
Tianqing Liu (中国)	CSN-06: A mechanism study of Initial Condensation State (滴状凝縮, 液滴初生)
Naum Kortsenshteyn (ロシア)	CSN-07: Condensation-Relaxation of Supersaturated Vapor and the Possibility of the Experimental Determination of the Nucleation Rate (凝縮核生成)
Qiang Liao (中国)	CSN-08: Experimental Investigation of Dropwise Condensation Heat Transfer on the Surface with Gradient Surface Energy (滴状凝縮, 液滴移動)
Ulrich Gross (ドイツ)	CSN-09: Wave Characteristics of Liquid Films – Correlation of Heat Transfer Data with Visual Observations (波状膜状凝縮)
In-Cheol Chu (韓国)	CSN-10: Direct Contact Condensation in Steam-Water Stratified Flow (直接接触凝縮)
Alberto Cavallini (イタリア)	CSN-11: Flow Patterns during Condensation of Refrigerants inside Enhanced Tubes (促進管内凝縮)
Georg Dietze (ドイツ)	CSN-13: Modeling of Heat Transfer in Stable Wavy Film Flow Based on Effective Thermal Diffusivity (波状膜状凝縮)
Bhushan Bhatt (米国)	CSN-14: An Investigation into the Transient Response Characteristics of Condensing Flow inside a Tube in Downflow (管内凝縮)
Suil-In Wang (中国)	CSN-15: Force Convective Heat Transfer of Flue Gas on Anticorrosion Plane Surface with Condensation (排気ガス)
Adrian Briggs (英国)	CSN-16: Condensation of Steam on Integral-Fin Tubes - Effect of Fin Height and Vapour Velocity (促進管凝縮)

## Multiphase Flow

小泉 安郎 (工学院大学)

Yasuo KOIZUMI (Kogakuin University)

e-mail: koizumi@cc.kogakuin.ac.jp

### 1. 会場

会場は港に面した大変美しいところであった。東京の江東区隅田川沿いのいわゆるウォーターフロント再開発地区のモデルにしたところとことで、確かによく似た雰囲気が感じられた。港にはマリン博物館が有り、退役した駆逐艦や潜水艦等が係留されていた。(図 1)



図 1 会場周辺

### 2. セッション

今回の会議では、一般投稿論文は混相流を含めて 30 の分野に区分けされていた。一般論文の発表は全てポスターセッションであり、混相流のセッションは 8 月 14 日月曜日 11:30~13:30 であった。図 2 はポスターセッション会場の様子である。混相流のポスターセッションブースをざっと見回して、残念なことではあるが、ポスターが貼られていないブースがちらほら見かけられた。全てのポスターを見ることができたわけではないが、見ることができたもの、また見ることのできなかつたものは CD にあるものを基にして、独善的にまとめた統計的な面から幾つかの報告を試みたい。

各分野の投稿論文数を論文数の多い順にまとめて表 1 に示した。混相流は投稿論文数 58 件であ



図 2 ポスターセッション会場状況

表 1 分野別投稿論文割合

分野	件数	全 657 件中割合 %
Boiling	59	9.0
<b>Multiphase Flow</b>	<b>58</b>	<b>8.8</b>
Natural Convection	47	7.2
Equipment	46	7.0
Heat Exchanger	38	5.8
Nanoscale	30	4.6
Particle & Porous	30	4.6
以下略		

り、伝熱と混相流の強いつながりが理解できる。

日本から今回の会議への投稿論文は全 95 件であった。内、混相流へは 13 件の投稿が成されている。国別に、混相流への投稿件数の多い順位に挙げると、日本 13 件、米国 10 件、イタリア 4 件、イギリス、フランス、カナダ、ブラジル各 3 件、ドイツ他 6 国各 2 件、イスラエル他 7 国各 1 件であった。

混相流セッションへの投稿論文全 58 件について、

- A: 混相流投稿全 58 件中の割合  
 B: 会議全投稿論文数中の各国の投稿論文数割合  
 C: 各国全投稿数中の混相流への投稿件数割合  
 として、表 2 にまとめてみた。

表 2 混相流投稿割合

国名	A %	B %	C %
Japan	22.4	14.5	13.7
US	17.2	15.5	9.8
Italy	6.9	2.7	22.2
UK	5.2	3.5	13.0
France	5.2	7.5	6.1
Canada	5.2	3.5	13.0
Brazil	5.2	3.2	14.3
2 件の国	20.1	22.5	8.1
1 件の国	12.1	12.5	8.5

日本は B が 15.5% に対し、A は 22.4%、また、表 1 の混相流論文の値が 8.8% に対し C は 13.7% で、日本からは混相流への投稿割合が多いことが分かる。US はかなり平均的である。

次に、おおざっぱな見方で論文種別を見ると、実験 38 件 (65.5%)、数値計算 19 件 (32.8%)、レビュー 1 件 (1.7%) であった。大きさを分けると、従来サイズ 41 件 (71%)、ミニ・マイクロ・ナノサイズ 17 件 (29%) であった。

混相流への投稿論文を対象分野別に区分けしてみた数値を表 3 に示す。

表 3 研究対象整理

研究テーマ領域	件数	内ミミコ
流路内気液二相流動・伝熱	24	7
液滴 (クエンチング, 伝熱, 蒸発, 分裂, スプレー)	8	0
凝固・融解・霜	7	2
液膜流	6	3
固気液混相流動・伝熱	3	0
沸騰, 核生成, 気泡挙動	3	2
固気・流動層	2	0
湿分形成	2	1
固液・流動層	1	0
気泡界面超音波振動	1	1
接触角	1	1

表 3 で、最も多い流路内気液二相流動・伝熱 24 件の詳細をみると、伝熱の関与した現象を扱ったもの 16 件、また実験 18 件、数値解析 6 件。微小重力もしくは重力の効果を扱ったもの 3 件であった。水-空気系を対象とした発表はわずか 1 件であった。

印象として、ミニ、マイクロ、ナノを対象とした発表がかなりの割合を占めていたように感じられた。事実、混相流の Key Note Lecture は、Max Jacob 賞受賞記念 Lecture でもあったが、Phase Change Heat Transfer in Micro Systems by Professors Ping Cheng and Hui-Ying Wu であった。

4 年前のグルノーブルで開催された IHTC12 から比べて、ミニ・マイクロ・ナノ領域が大きく増えていることは間違いない。前回と今回で論文種別分類が異なるため、なかなか比較は難しいが、数値計算に比べて実験系が多くなっている点、日本からの混相流領域への投稿が増えた点も、印象に残った。

### 3. 印象

今回の会議では、一般投稿者はポスター発表だけが発表の場であった。ポスター発表では、来訪者とじっくり議論できる利点はあるが、多くの方へ向かって語りかけることができず、その点では不満の残る状態であったと言える。また、上記したが、前回の会議からの 4 年間、どのように伝熱研究領域が進展してきたか、何が成されて今後の展開はどうなるか、そのような視点の Key Note Lecture が少なかったことは残念であった。また、せっかく投稿されている論文について、その傾向がどうであるとか、大きな成果は何と言えるか等の言及が有り、まとめる講演が有ってしかるべきではなかったかと残念に思える。参加している人たちへのサービスでもあろうかと思う次第である。Key Note 講演で引用される文献に今回の発表者のものが含まれていなければ、参加者にとっては何をしに来たのか、10 万円の参加料の価値があったか、と考えさせられるところでもあった。



## Radiation

上宇都 幸一 (大分大学)

*Kouichi KAMIUTO (Oita University)*

### 1. 基調講演

今回の会議では、基調講演として、計18件の講演が行われたが、ふく射に直接、関係するものは、2件であった。まず、KN-4, How to design and control radiant heaters and furnaces (J. Howell-USA-)は、ふく射加熱炉の熱設計に関するふく射伝熱逆問題を扱ったもので、被加熱物に所定の熱負荷、温度分布を与えるための加熱用ヒーターの出力と最適配置の決定法について、これまでに、提案されている正則化法、最適化法、発見的アプローチ等の逆解析手法を説明した後、ある形状固定逆問題を、これらの方法で解いた場合の精度、演算時間、解の特性を概観している。とりあげた5つの代表的な手法いずれも、ほぼ同程度の精度で所定の非加熱面平均温度を予測するが、しかし、ヒーター出力分布、演算時間は、手法によりかなり異なる事などが報告された。また、形状決定問題などへの応用を考えた場合、最適化法、発見的アプローチが有用な手法となることが、示唆されている。本講演は、今後、この分野に入っていく技術者・研究者にとって恰好の手引となるものであり、一読をお勧めする。ただ、会場からも指摘があったが、入力データの観測誤差、解析手法の離散化誤差、計算機の丸め誤差に関する議論が行われていないので、引用されている原著論文に立ち返って検討する必要がある。蛇足ながら、今後の逆問題ソルバーの開発にあたっては、我国で研究が行われている任意多倍長浮動小数点計算を利用した解析が、非常に有効であろうと思われる。(例えば、藤原 他, 日本応用数理学会論文集, Vol. 15, No. 3, 2005, P.419-434)

次に KN-06, Experimental and numerical studies on interaction of radiation with other modes of heat transfer (S. P. Venkateshan and C. Balaji-India-)は、非ふく射性ガスの介在する各種キャビティ内、およびチャンネル内でのふく射と対流(主として自然

対流)の複合伝熱問題に関するものであり、著者のグループで得られた理論解析結果にもとづいて、多くの熱伝達整理式を提示している。実験結果との対比が、必ずしも十分でない点もあるが有用な設計資料となりうるものと思われる。また、著者が、漸近数値流体力学的手法(ACFD)と呼んでいる手法は、複合伝熱問題に関する整理式を作成する際に、参考になる。なお、本講演では、対流-ふく射フィンの最適化についての議論もなされた。

### 2. ポスター発表

ふく射に関するポスターセッション-RAD-で発表された論文は、20編であり、それらの概要をふく射物性、ふく射輸送・伝熱に大別して表1にまとめている(他のセッションで発表された論文の中にも、ふく射に関連した研究が散見されるが、ここでは割愛する)。全般的な傾向としては、多様な分散媒体のふく射物体に関する研究が比較的多いこと、赤外ふく射ガスのふく射物性に関する報告が見当たらないこと、輸送方程式の解析手法に関する研究の焦点が非定常問題に移行していること、複合伝熱問題に関する研究が、基本的な体系についてのパラメータ計算から、具体的な実在系についての詳細計算に移行していることなどが挙げられる。しかし、これら全般的な動向とは別に、今後、発展が予期される研究課題として、筆者は、「TPV」「近接場ふく射伝熱」「逆問題」の3つのテーマに着目し以下簡単にコメントしたい。「TPV(熱光起電変換)」は、熱を光に変え、さらに電力に変換しようとするシステムであり、高効率なシステムの開発に当たっては、Makino-Wakabayashi (RAD-11)の研究にあるような安価で高性能のエミッターの開発、カットオフ波長が可能な限り長波長域まで伸びた半導体受光セルの開発、希薄燃焼加熱器の開発などが不可欠であり、最初と最後

の課題については、熱工学分野の研究者が本質的な貢献をなしうると期待される。次に、「近接場ふく射伝熱」とは、理論的には、固体面間間隔がサブミクロンの範囲では、2面間の距離が小さくなるとともに、ふく射伝熱量が、黒体面間での伝熱量を、はるかに凌駕していくことが予測されるという非常に興味深い現象であり、このテーマに関する研究は、近年、増々、活性化していく様相を呈している（但し、そこで使用されている fluctuational electrodynamics なる理論用具はかなり高級である。例えば、K. Joulain et al., *Surface Science Reports*, Vol. 57, (2005), P.59-112）。しかし、未だ、決定的な実験的確認は得られていないよう

であり（例えば、RAD-05）、現在、国内・国外で、実験的研究が進行中である。近い将来、実験結果が報告されるであろうが、もし確認されれば、ふく射伝熱の分野に大きな衝撃を与えることになる。最後に、「逆問題」に関しては、Howell 教授の基調講演が委細を尽くしているため、コメントすべきことは、多くないが、ただこの問題は、具体的な熱設計の現場からの要求に端を発しているため、種々の実務上の要求に対応して、理論的研究が拡大していくことが予想され、今後、ふく射伝熱分野で主要な研究課題の一つとなっていくことは疑問の余地がない。若い皆さんの活躍を期待する。

表 1 ふく射セッションにおけるポスター発表論文の概要

分野	論文番号、著者、論文題目	概要	
ふく射物性	固体面 RAD-11, T. Makino and H. Wakabayashi, A spectroscopic approach for controlling a spectrally functional thermal radiation.	TPV 用エミッターの性能評価法の提案および酸化ニッケル膜の評価.	
	RAD-21, M. Xie, The contrast research of theory and experiment of random surface BRDF.	ランダム粗面の二方向反射率分布関数についての理論モデルと実験.	
	分散媒体 RAD-03, D. Baillis et al., Infrared radiative properties of polymer coating containing hollow microspheres.	中空微小ガラス球を含むポリマーの赤外指向半球反射率および透過率の測定と理論解析.	
	RAD-06, M. Loretz et al., Metallic foams radiative properties /comparison between different models.	オープンセル状アルミニウム多孔体のふく射物性モデルの提案、および実験結果との比較.	
	RAD-16, S. Kumar and A. Rahman, An asymptotic approach for radiation resonance in dielectric microspheres.	微小誘電球の共鳴散乱の漸近解析の妥当性の実験的検証.	
	RAD-18, S. K. Chu et al., Correlation of radiant transfer coefficient with packed bed microstructure in the absorbing system.	黒体球よりなる充てん層のふく射輸送係数 (RTC) の表示式の提示.	
	計測法 RAD-09, P. Lemaitre et al., Global rainbow refractometry development to characterize heat and mass transfers in a two phase flow.	大域レインボウ屈折率計を用いた噴霧液滴群の平均温度推定法の提案と実験的検証.	
	RAD-10, L. Robin et al., Experimental and theoretical determination of spectral heat flux emitted by a ceramic under axial temperature gradient.	温度勾配下にあるセラミックスの射出スペクトルと表面温度分布測定システムの開発とデータ解析法.	
	ふく射輸送・ふく射伝熱	ふく射輸送 RAD-07, P. J. Coelho, Assessment of the accuracy of the hybrid finite element /finite volume method for the solution of the radiative transfer equation.	FEM / FVM ハイブリッド法によるふく射輸送方程式の解析.
		RAD-12, C-Y. Wu, Discrete ordinates solution of transient radiative transfer in refractive planar media with pulse irradiation.	屈折率の変化する非等方散乱性媒体内非定常ふく射輸送の離散座標法による解析.
RAD-15, T. Okutucu and Y. Yener, Transient radiative transfer in participating media with short-pulse irradiation -an approximate Laguerre-Galerkin solution-.		等方散乱性媒体における非定常ふく射輸送の LG 法による解析の検証.	
固体面間 ふく射 RAD-05, P. O. Chapius et al., Near field radiative heat transfer between a sphere and a surface.		固体面-誘電球間近接場ふく射伝熱の解析.	
RAD-17, Y. Shuai et al., Directional characteristic and uniformity of energy in the focal region of solar collector system.		放物面集光器の焦点面内ふく射熱流束分布の解析.	
複合伝熱 RAD-02, L. A. Dombrovsky and Lipinski, Temperature and thermal stress profiles in semi-transparent particles heated by concentrated solar radiation.		ふく射加熱を受ける半透明球状粒子内温度、熱応力分布の計算.	
RAD-04, T. Soubrie et al., Coupled radiation effects for earth entry flows.		大気再突入時における宇宙航行機表面の再突入流れ内熱流動解析および実験との比較.	
RAD-08, L. Pekker and J-L. Cambier, A model of ablative capillary discharge.		定常管状放電プラズマの理論モデルの提示.	
RAD-13, L. Tesse et al., Coupled modeling of aerothermochemistry, soot formation and radiation in a turbulent diffusion flame.		乱流拡散火炎中のふく射を考慮した熱・物質移動モデル.	
RAD-14, A. Habibi et al., Comparative study of the radiation models in thermal cracking furnaces.		熱分解炉内温度分布計算に及ぼす各種ふく射モデルの影響.	
ふく射 (逆解析) RAD-01, S. M. H. Sarvai, Optimum placement of heaters in a radiant furnace using the genetic algorithm.		遺伝的アルゴリズムを用いたふく射加熱炉内ヒータ配置の最適化.	
RAD-20, O. Wellele et al., Identification of the thermophysical properties of semi-transparent materials.		伝導-ふく射伝熱逆解析による半透明材料の熱物性推定.	

## Thermophysics

小原 拓 (東北大学)

Taku OHARA (Tohoku University)

e-mail: ohara@ifs.tohoku.ac.jp

最終日に発表されたトピック「Thermophysics」は、以下に述べるように必ずしも統一されたテーマの研究が並んでいたわけではなかったが、それでも個々のポスターは見物客が絶え間ないものも多く、活況を呈していた。

10 件の発表をおおまかに分類すると、

- 基礎現象：8 件，応用・開発：2 件
- 熱伝導率／熱輸送特性／熱抵抗：4 件，温度場／流れ場／圧力波：5 件，温度場・電磁場：1 件
- 固体：4 件，液体：1 件，気体：3 件，超臨界：1 件，吸着ガス：1 件
- 薄膜／界面：3 件，バルク：7 件
- 計算シミュレーション：8 件，実験／試作：2 件
- 計算シミュレーションのうち連続体方程式：6 件，分子動力学：1 件，フォノン伝導：1 件

となる。以下に各研究の概要を述べる。

Heat transfer and flow characteristics in an acoustically driven resonator with internal thin parallel plates, Y. Lin and B. Farouk

2 次元圧縮性 NS 方程式を用いた数値計算により、冷凍機等に応用可能な熱音響現象を解析している。

Numerical simulation of heat transfer in supercritical carbon dioxide, Z. Lei, Y. Lin, B. Farouk and E. S. Oran

超臨界 CO<sub>2</sub> 中に加熱により発生した圧力波の数値解析。Full-NS 方程式を用いて渦の発生などを捉えている。

Thermal resistance due to sub-mean free path constrictions, S. Volz and P.-O. Chapuis

シリコン上のディスクからシリコンへの熱伝導をフォノン輸送の Boltzmann 方程式により解析。ディスク半径がフォノンの平均自由行程の半分程度に小さくなると、熱通過が 1 ケタ小さくなる。

Measurement of thermal conductivity of silicon nitride thin films, S. W. Shin, H. N. Cho and H. H. Cho

3 $\omega$ 法による Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 薄膜 (厚さ 30~100nm) の熱伝導

率の計測 (50~150°C)，従来の知見と矛盾しない膜厚依存性を得ている。

Self-organized carbon nanotube pellet and its thermal transport properties, H. Xie, M. Choi, and X. Zhang

懸濁水から作成し、再溶解可能な MWCNT ペレット。ポーラス構造により低い熱伝導率・電気伝導度。

Computation of thermomagnetic phenomena in ferromagnetics using a Jiles/Atherton model, G. M. Lloyd and K. J. Kim

磁気特性の温度・応力依存性を考慮 (Jiles-Atherton-Sablik モデル) した強磁性体の熱磁気現象の数値解析

Solid-liquid boundary resistance: a molecular dynamics study on intermolecular energy transfer at solid-liquid interfaces, D. Torii, T. Ohara and K. Ishida

固液界面における熱伝導に寄与する分子運動自由度が固体表面の結晶格子スケール構造によって異なることを示した本稿筆者らの分子動力学シミュレーション

Numerical study of oscillatory flow and heat transfer in an isolated gas spring, Z. Zhang and M. Ibrahim

圧縮性 NS 方程式+移動境界 (ピストン) によりガススプリングの温度・速度・圧力場を解析している。

Thermal control of adsorbed natural gas reservoirs under discharge dynamic condition, P. Couto, L. G. Lara, D. M. A. Sophya and R. M. Cotta

中心にヒートパイプを装着した天然ガスのリザーバー (多孔質体にガスを吸着) からのガス排出時の数値計算により、ヒートパイプによる熱管理の有効性を示している。

Prediction of sonoluminescence phenomena in sulfuric acid solutions by a set of solutions of Navier-Stokes equations, K. Byun, K. Y. Kim, H. Oh and H. Kwak

硫酸水溶液中の球形 (1 次元) 気泡における音響ルミネッセンスの数値解析。気泡崩壊時に 0.75GW/m<sup>2</sup> の熱流束発生。

## Heat Transfer in Nano and Microscale

鶴田 隆治 (九州工業大学)

Takaharu TSURUTA (Kyushu Institute of Technology)

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

## 1. はじめに

ポスタートピックスとして 30 項目に分類された論文のうち、ナノスケール伝熱 (NAN) とマイクロスケール伝熱 (MIC) について報告させていただく。また、関連する基調講演を大まかに挙げるとすれば、表 1 の 8 件になると思われる。これは、全 33 件の基調講演の約 1/4 にあたり、この分野のポスター発表論文が 54 件であったことも考慮すると、国際伝熱会議においてもナノ・マイクロスケール伝熱の重要性とその進展とが高く評価されていると思う。そのなかで、1994 年に始まった日米セミナー以来、主として現象解明に力点を置き、アプリケーション重視の米国をリードしてきた背景を考えれば、伝熱オリンピックという意味合いからして、基調講演に日本からの登壇者があって欲しかったような気がしている。

表 1 ナノ・マイクロ伝熱に関する基調講演

KN-02	Phase-Change Heat Transfer in Microsystems P. Chen (China)
KN-11	Heat Transfer Mechanisms in Nanofluids -Experiments and Theory- S. Kabelac (Germany)
KN-13	Special Control of Heat Conduction in Nanostructured Materials A. Majundar (USA)
KN-14	Fundamentals of Boiling and Two-Phase Flows in Microchannels JR. Thome (Switzerland)
KN-18	Multiscale and Multiphase Physics in Thermal Manufacturing Processes involving Nanoparticle Inc D. Paulikakos (Switzerland)
KN-22	Energy Technologies Enabled by Nanoscale Heat Transfer Effects G. Chen (USA)
KN-29	Multiphysics Modelling with SPH: From Macro to Nanoscale Heat Transfer ACM. Sousa (Canada)
KN-31	Studies on Thermophysical Properties of Nanostructured Materials X. Zhang (China / Japan)

さて、ここでの報告は、すべての基調講演を聞いた訳ではなく、また自身のポスター発表もあったこと、そして報告者の能力を超える内容もあることから、雰囲気伝えるに留まってしまうことをご了承願いたい。

## 2. ナノスケール伝熱

ナノスケールに分類されたポスター発表論文は、30 件であった。その内容を分類して表 2 に示す。

一目してわかるように、ナノ流体に関する発表が半数近くを占めている。多くは伝熱性能が向上することに注目しており、熱伝導率に関する理論 (NAN-01) や、ナノ粒子の濃度とともに熱伝導率が增大し、特に高温では顕著であるとし (NAN-15, 18)、これをブラウン運動のようなナノ・マイクロスケールの対流によるものと説明している (NAN-05, 24)。また、ナノ流体を対流伝熱の促進に応用した研究として、強制対流に浮力と遠心力が加わる複合対流において、2 次流れが影響を受けるとした研究 (NAN-08)、同じく 2 次流れを増長して伝熱促進はあるが、壁面摩擦は抑えるとする研究 (NAN-12)、流路入口部にて伝熱促進が著しいとする研究 (NAN-11) があった。なお、基調講演 KN-11 でもナノ流体の伝熱機構について講演がなされたが、“ナノ流体にミラクルは無い”との締めくくりに対して、会場からミラクルのある話題も多くあるなどのシリアスなコメントもあった。

ナノ流体の応用についても、対流伝熱促進を活用する冷却システム (NAN03)、マイクロ鑄造への利用 (NAN-04)、アンモニアの水への吸収促進 (NAN-17)、および沸騰伝熱の促進 (NAN-02, 22) があった。特に CHF の増大については、ナノ流体自身が促進効果を持つのではなく、核沸騰期間中にナノ粒子によって伝熱面に形成されるナノ構造によるものとする研究があり (NAN-22)、最初から伝熱面にナノ粒子 (NAN-07)、カーボンナノチューブ

表 2 ナノセッションのポスター論文

Topics	Paper No. NAN-##
Nanofluid	
-Fundamental thermal conductivity	-01(USA), -05(USA), -15(Canada), -18 (Singapore), -24(India)
convection	-08 (Iran), -12 (Canada), -11(India)
- Application boiling else	-02 (Canada), -22 (Korea) -03 (Canada), -04 (USA), -17(Korea/Japan)
Thermal Property	
nano-wire in-plane conductivity measurement	-06 (France) -09 (China/Japan), -10 (China) -14 (Korea), -19 (USA), -20(Switzerland)
Carbon Nanotube	-25 (Japan), -26 (Japan), -29(USA)
Droplet, Bubble and Interface Phenomena	-16 (Japan), -23 (Japan), -28(Japan), -30 (France/Japan)
Nanostructured Surface Effect on Boiling	-07 (Sweden), -13 (USA)
Microfluidic Channel	-21(Singapore), -27 (Australia)

ブ(NAN-13)によるナノ構造を形成して伝熱促進を確認した研究と関連するものであった。

ナノスケールの熱物性研究では、ナノワイヤーを対象にフォノン輸送のボルツマン方程式をモンテカルロ法によって解析した研究 (NAN-06), in-plane の熱伝導についての MD 解析(NAN-09, 10), そして  $2\omega$  (NAN-14),  $3\omega$  (NAN-19, 20)を用いた計測があった。さらに、カーボンナノチューブの CVD 作製法と成長機構ならびに構造分析(NAN-25), 有限長カーボンナノチューブの熱伝導の MD 解析(NAN-26), および MD 解析法の影響を調べた研究(NAN-29)があった。

その他、固体面上の液滴の移動機構(NAN-16), ナノバブル(NAN-23), 気液界面の逆温度こう配現象(NAN-28)などについての MD 研究, 融体液滴の固体面上での濡れ性と凝固面のマイクロ形状 (NAN-30), 電気浸透流れに及ぼす細線ジュール加熱の影響(NAN-21), ペルチェ素子を組み込んだマイクロ冷却熱交換のモデル解析(NAN-27)があった。

### 3. マイクロスケール伝熱

表 3 にマイクロスケールのポスター論文を示す。そのほとんどがマイクロチャンネルに関わるもので、矩形流路の角の丸み(MIC-05)や壁面粗さ(MIC-08)の熱伝達と流れへの影響を調べ、(MIC-12)では粗さが乱流への遷移を促し、熱伝達も向上することを示した。また、(MIC-14)では、感温液晶による壁面温度測定から乱流遷移には十分な流路長が

表 3 マイクロセッションのポスター論文

Topics	Paper No. MIC-##
Micro-Channel	
heat transfer/pressure loss	-05 (Canada), -08 (France), -12 (China), -13 (China), -14 (Taiwan), -19 (China), -21 (Australia)
with heat sink boiling/evaporation	-17 (Belgium), -20 (Korea) -07 (Switzerland), -18 (Korea)
MEMS/Control System	-03 (China), -04 (USA), -06 (Switzerland) -09 (China), -10 (China), -15 (USA)
Heat Pipe/Device	-01 (Bulgaria), -16 (Korea), -22 (Japan)
Fundamental	-02 (Finland), -11 (Japan)

必要としている。その他、急拡大と縮小による圧力損失(MIC-19), ジェット対流付加による伝熱促進の数値解析(MIC-21), 高クヌッセン数気体の DSMC 流動解析(MIC-13), 及びヒートシンク型マイクロチャンネルの最適形状(MIC-17)と複数流路への流量配分(MIC-20), 流動沸騰系のフローパターンマップ(MIC-07), 蒸発管内における潤滑油の影響(MIC-18)が調べられている。

また、マイクロチャンネル内の電磁流体流れに対し、磁界方向を変えることによって熱伝達制御を行うための格子ボルツマン解析(MIC-03)やマイクロ反応流路のジュール加熱による反応制御(MIC-04), マイクロ燃料電池システムのためのディスク型反応器の開発(MIC-06), 平板間流路内に回転円柱を設置して粘性による流体駆動と伝熱促進を同時に行うマイクロポンプ(MIC-09), 氷の形成と融解を利用したスイッチング方法(MIC-10)など、MEMS 技術として興味深い報告があった。

さらに、電子デバイス冷却用として、マイクロヒートパイプの活用法(MIC-01), 熱電素子冷却(MIC-16), そして銅の 25 倍の有効熱伝導率を達成するマイクロ COSMOS ヒートパイプ(MIC-22)が報告された。

その他、非平衡 MD によるホットスポットの熱伝導解析(MIC-02)や、不凍タンパク質のように氷核形成の抑制作用を持つアラニンペプチドと水との分子動力学解析(MIC-11)が行われている。

マイクロチャンネルについては、Max Jakob 賞を受賞した P. Cheng や JR. Thome による基調講演も行われているほどであるが、先のナノ流体と同様、日本での研究はさほど行われておらず、多少の温度差があるようである。

## Particulates and Porous Media

中山 颯 (静岡大学)

Akira NAKAYAMA (Shizuoka University)

e-mail: tmanaka@ipc.shizuoka.ac.jp

Particulates & Porous Media のポスターセッションは、会議の最終日、18日の午前(10:35-13:30)に組まれた。会場は10時前から昼過ぎまで大勢の人で賑わい大盛況であった。私自身もプレゼンターとしてポスターの前に待機したが、入れ替わり立ち代りの鋭い質問攻めに会い、大変に良い刺激になり、勉強になった。国際伝熱会議の多孔質関連のセッションで、これほどの活気を見たのは初めてである。当初は、この原稿の件もあり、多くのプレゼンターから直接に話を聞き、情報収集するつもりでいたが、そんな機会も持てずに、あっという間に終わってしまった。そんなわけで、この報告も、私の一方的な解釈に依らざるを得ないことを、お断りしておきたい。

発表は、PRT-01 から PRT-30 のトータル 25 件 (PRT-12, 25, 26, 27, 29 はキャンセル) でファースト・オーサーの国の内訳は、アメリカから 6 件、フランスから 5 件、日本から 2 件、あとは、中国、韓国、イギリス、カナダ、ドイツ、トルコ、レバノン、ポルトガル、オーストラリア、ベラルーシ、ブラジルから各 1 件と、国際色豊かな顔ぶれであった。

多孔質体・粒子充填層関連が大部分であったが、蒸着 (PRT-02, 30)、粒子を含む混相流 (PRT-13, 24)、流動層 (PRT-16) に関するものも含まれていた。実験を主体とするもの、またはそれを含むものが約半数と、実験的研究が、いつもより多めであった。熱分散 (PRT-05, 19) などの古典的なテーマからマイクロヒートパイプ (PRT-22) やナノポーラス・シリカ・コーティング面の蒸発 (PRT-11) などの最新のテーマに至るまで、多岐にわたっている。

今回も、多孔質体の対流問題の定番である下面加熱の不安定性に関する Horton-Rogers-Lapwood 問題を発展させたものが 4 件あった。突然、下面温度が上昇する際の温度浸透面の不安定性について理論的に検討したもの (PRT-03)、高レイリー

数域に及ぶ下面加熱実験を実施し、長時間の温度計測データより乱流挙動を捕らえたもの (PRT-06)、さらには、Horton-Rogers-Lapwood 問題に機械的微小振動を印加して、加速度の微小変動の影響を明らかにしようとしたもの (PRT-20, 23) である。特に、機械的微小振動においては、その周波数を上げることで対流の安定化が図れることから、2 元合金の凝固過程の制御など、様々な工業的応用が考えられている。

圧力損失が小さく、かつ充填層に比べ高い熱伝達特性が期待できることから、高気孔率を有する発泡セラミック、発泡金属、焼結多孔質体が注目されている。このような背景があっただけでなく、発泡多孔質体の熱伝導率や界面熱伝達率に関するレビュー (PRT-08) や測定法 (PRT-09)、焼結多孔質体の応用に関する実験や解析 (PRT-04, 10, 15, 19) が目立った。まだまだ、高気孔率の開放性多孔質構造については基礎的データが不足しており、系統的な研究が望まれる。

個人的に、気になった論文をいくつか上げてみたい。まずは開会式で受賞した Bejan 氏らの論文 (PRT-01) だが、自然界に見られる枝状の多重スケール多孔質構造体を自らの Maximum flow access の原理で説明している。なかなか面白いので少し詳しい話をもっと聞いていたが、(やはり?) 会場には現れなかった。多重スケール多孔質構造体の一つとして Catton 氏らが Biporous media の応用 (PRT-17, 18) に注目している。この二重多孔質構造体を最適化することで、蒸発しやすく、かつ蒸気が逃げやすいウィックの製作が可能となるものと期待されている。

レバノンから参加した Ghaddar 氏らの地中に潜む地雷の撤去に関する研究 (PRT-07) は、地域柄、極めて切実であり、考えさせられる。通常、地雷の検出には金属探知器が使われる。しかし、木製やプラスチック製の地雷も多く、これらを見逃す

ことで、不幸な事故も起こっている。彼らは、1 日の地表の温度分布をサーモグラフィーで計測し、その下に潜む地雷を検出することを考えている。地雷周辺と、それから離れた場所では、地雷の熱容量の影響を受けて、地表の温度に変化 (Thermal signature) が現れる。これを検知し、地雷の位置を予測するのである。その準備段階として、水分を含む砂地に地雷を埋めた場合の地表温度分布の数値予測法を提案している。砂の質、水分量、地雷の種類と地表からの深さなど、様々な影響について検討している。なかなか難しい問題ではあるが、正に人の命がかかっている。この種のテーマには、微力なれども、自分も参画したい気持ちになる。

最近、コンポストを専門とする大学の同僚と、多孔質体の局所空間平均の手続きをコンポストの発酵プロセスのシミュレーションに適用する研究を進めている。局所分布にこだわるのは、発酵槽内で水分、微生物、基質および温度を均一化させることが好気性コンポストに求められており、発酵槽内でのそれぞれの分布の予測が重要な鍵を握

ると考えるからである。コンポストの発酵プロセスを分布定数系で扱った先例はないと思いついていたが、Prud'homme 氏ら(PRT-14)は、以前より、コンポスト発酵槽を内部発熱がある多孔質体として取り扱っていることを知った。特にこの研究で興味を引くのは、微生物の増殖速度に関する Monod モデルに注目し、その最大比増殖速度を、実験データと数値解析結果の相関より(逆解法で)決定しているところである。かなり、先を越されている感がある。

今回のポスターセッションでは、多孔質体理論の適用範囲がますます学際域に広がってきていることが、実感できた。空間的に分解が難しい場合は、まずは多孔質体で考えてみるという手続きが定着しつつあるように思う。事実、多孔質体近似をモジュール化している市販の熱流体解析ソフトも多く見受ける。ただし、多孔質体の单相流に限っても、異方性、機械的分散、乱流、非熱平衡、固体壁、純流体との界面など、まだまだ未解決の部分が多いことも忘れてはならない。今後も、地道な努力が必要であろう。

Poster Session 1 (Mixed Convection, Multiphase, Solidification 発表数 85 件) の中から、古城達則君 (東京理科大学大学院) の発表：  
Excitation of High-Order-Mode Shape Oscillation of Bubble under Ultrasonic Vibration (MPH-40)  
が学生ポスター賞に選ばれました。  
宇高義郎教授 (横浜国立大学) の発表：  
Configuration of Micro-layer in Thin-Gaps in Boiling Heat Transfer (BOI-10)  
のベストポスター賞 (p. 16 参照) とともに、報告させていただきます。  
(編修出版部会)

## Heat Exchangers

岩井 裕 (京都大学)

Hiroshi IWAI (Kyoto University)

e-mail: iwai@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

本稿は、第13回国際伝熱会議において15日(火)に実施された「Poster Session 3 (10:35~13:30)」中の熱交換器 (HEX) の分類についての報告である。

会議で配布されたCD-ROMにはHEXの分類で38件の論文が収録されている。フィン付き管、フィン・チューブ型、シェル・チューブ型、プレートフィン型、プライマリサーフェス型などの各種熱交換器のほか、ヒートパイプに関する研究もこの分類に含まれている。その内容は、理論・実験・数値解析を駆使して従来型の熱交換器の延長としてその性能向上や問題解決を目指す検討や、新しい熱交換器形状を提案するものなど、多岐に渡った。昼時にかかる時間帯であったためか終盤には室内の人数もやや減った感もあったが、全体的にはたいへん盛況であり、発表者との活発な議論が展開されていた。

会議登録者に配布された日程表 (Programme book) には、論文タイトル、第一著者名とともに第一著者所属先の国名が記されている。それに基づいて発表を分類すれば、発表件数が多い順に、韓国 (8件)、米国 (7件)、中国 (6件)、ドイツ (5件) と続き、この4カ国だけで過半数を占めた。それ以外は各国1~2件であった。特に今回の会議で韓国から発表された一般論文の数が43件であったことを考えると、その中に占める熱交換器関連の論文割合はぜひぶん高いという印象を持った。なお、韓国の2件 (HEX-15, 16) と米国の1件 (HEX-38) については実際のポスター発表は行われなかった。発表論文数が多く、ここでそれら全てにふれることはできないが、以下、いくつかを紹介する。

まず日本からは2件の発表があった。ひとつは東京大学のプライマリサーフェス型熱交換器 (レキュペレータ) に関するもので (HEX-24, Y. Suzue, K. Morimoto, N. Shikazono, Y. Suzuki, N.

Kasagi), プレートが斜め波型形状をもつ場合の熱流動現象の詳細と、それによって達成される熱交換器性能について数値解析により検討している。特に、平行平板にW字の波型を施した場合の有用性を示している。対象とする形状はもちろん異なるが、HEX-10 (J. Mitrovic, B. Maletic, ドイツ) もプライマリサーフェス型熱交換器の伝熱性能を数値解析により検討した研究であった。

日本からのもうひとつの発表は、熊本大学と(株)フジクラの共同研究で、フラット型ヒートパイプを小寸法の発熱部とヒートシンクの間に設置し、ヒートスプレッダーとして使用する提案であり (HEX-31, Y. Koito, H. Imura, M. Mochizuki, S. Torii, F. Kiyooka), 起動時および定常状態での特性を実験と数値解析により検討し、時間応答性がよいことや従来の金属製ヒートスプレッダーに比して約30%の軽量化が達成できることなど、その有効性を示している。HEX-19 (S. Tzanova, G. Angelov, L. Kamenova, Ch. Schaeffer, ブルガリア) の発表も、フラット型ヒートパイプをヒートスプレッダーとして利用する点で類似の研究であり、その数値解析モデルを提案している。

個人的にはHEX-37 (Freund, S. and Kabelac, S., ドイツ) で採用された赤外線サーモグラフィーを利用した非定常法による局所熱伝達率分布測定のポスターが印象に残っている。伝熱面を加熱するハロゲンランプの出力を時間的に変化させた際の赤外線画像の時間応答から、高い空間解像度で局所熱伝達率の分布を求める試みである。光のあて方など尋ねてみたいことは多かったのですが、セッション中に何度か足を運んだ。しかしポスターは貼られていたものの著者の姿が見えず、残念ながら詳しい説明を聞くことができなかった。もっとも、説明を受けられなかった故にポスターをじっくり見たことが、この研究が筆者の印象に残ったひとつの理由であることも事実である。

## Thermal Management of Electronic Equipment

伏信 一慶 (東京工業大学)

Kazuyoshi FUSHINOBU (Tokyo Institute of Technology)

「電子機器のサーマルマネジメント」に係るセッション分類がもはや当たり前のように設定されることが多くなった日米の伝熱関連会議と異なり今回の国際伝熱には当該セッション分類が存在せず、またこの原稿を書くという個人的な事情もあって、会議参加期間(8/13-15)中のポスターセッション開催日である8/14, 15両日の4つのセッション全てに参加することとなり、会期を終えた今となって考えれば、結果として非常に充実した会議参加となったといえる。一方、私の非才は申すまでもなく、独立のセッションがなかったこともあり、著者の意図、あるいは参加者の視点を完全にカバーする形での報告原稿と至らない点については、どうかご容赦いただきたい。14, 15日両日のセッションのうち、タイトルやポスターの内容が陽に電子機器のサーマルマネジメントに関連すると思われた発表について、以下、報告する。

14日の午前のセッション(POSTER SESSION 1)では、MPH (Multiphase)のセッションにおいて、幅 200  $\mu\text{m}$  のシリコンマイクロチャンネルの底面に 20  $\mu\text{m}$  オーダーのピラミッド状のピットを作成し、沸騰伝熱時の安定性を向上させることを狙った報告(MPH-37)があり、また同じセッションでは、100  $\text{W}/\text{cm}^2$  を超える冷却能力で期待される Spray cooling に関して、複数ノズルを用いる場合の伝熱特性を単一ノズルの結果からいかに予測するかという工業上の応用を強く意識した報告(MPH-45)があった。なお、著者によれば、200  $\text{W}/\text{cm}^2$  程度の冷却能力が期待できるとのことである。

14日午後のセッション(POSTER SESSION 2)では、NCV (Natural convection)で47件の発表があり、筐体内における自然対流問題など、関連の発表が少なくない。中でもピンフィンやプレートフィンヒートシンクのオリエンテーションに関する発表(NCV-31)や、ピンフィンヒートシンクからの伝熱予測式に関する発表(NCV-47)などがあげられる。

15日午前のセッション(POSTER SESSION 3)では、チップスケールからデータセンタまでの長さスケールの広がり意識して、情報処理のレートエクセルギーロスで除した形で定義した fom (figure of merit)を基にサーマルマネジメントを議論する発表(ENR-13)があった。著者によれば、長さスケールの増加とともに fom は下がり、改善の余地が大きくなり、伝熱への期待が大きいとのことである。また同じ時間帯の HEX (Heat exchangers)のセッションでは、外形寸法に制約を持たせて作製した capillary pumped loop の発表(HEX-06)があり、また高い冷却性能が期待される vapor chamber に関する発表(HEX-31)があった。

15日午後のセッション(POSTER SESSION 4)では、微小沸騰気泡を放出する flow boiling に関する発表(BOI-28)や、微細構造により沸騰伝熱促進をはかる発表(NAN-07)などがあった。また、同じ時間帯に開催されたパネル(Discussion Panel Session 4)では、sustainability を意識したサーマルマネジメントにかかる議論が行われている。

このほか、私自身は出張期間により帰国となったため残念ながら発表を見ることはできなかったものの、16日午前のセッションでは、日本機械学会の研究会で検討されているモデル筐体を対象として、伝熱と流動の計測を行った発表(EQP-39)があり、17日午前のセッションでは、非定常の伝熱特性の計測法に関する発表(EXP-11)、また最終日18日のオープンフォーラムでは、チムニー効果に関する発表(OFM-04)がなされている。

全体の印象として、パネルを除いては個別課題を論じるというよりは各国でのわりに最近の研究成果の発表という国際伝熱の傾向そのものと言える。わが国の研究者の基礎的な取り組みの強みが強く意識できた。

## Equipment

菱田 誠 (千葉大学)

Makoto HISHIDA (Chiba University)

e-mail: hishida@faculty.chiba-u.jp

機器関係のポスターセッションに登録された論文は 44 件であった。ポスターセッションで発表された論文のテーマは極めて広範囲に及んでいたが、その中で最も発表論文数が多かったのは、ガスタービン翼の冷却に関する論文であり、次に多かったのが熱輸送デバイスに関する論文であった。基調講演もポスターセッションでの発表論文数を反映するかのようになり、ガスタービン翼の冷却に関する基調講演とループ型ヒートパイプに関する基調講演があった。ポスターセッションで発表された論文数を国別に見てみると米国 (10 編)、日本 (7 編)、カナダ、中国 (各 4 編)、オーストラリア、フランス、イタリア (各 3 編)、英国、インド、イラン、韓国 (各 2 編)、アフリカ、アゼルバイジャン、ドイツ、マレーシア、メキシコ、スイス、台湾、タイ (各 1 編) であった。また、2カ国以上の研究者による共著論文が 5 件あった。

ガスタービン翼の冷却に関しては、Manchester 大学の Iacovides 教授と Launder 教授による「INTERNAL BLADE COOLING : THE CINDERELLA OF C&EFD RESEARCH IN GAS TURBINES」と題するガスタービン回転翼の内部冷却に関する基調講演があった。翼前縁近傍の内部冷却流路における衝突噴流による冷却、翼中央部の内部冷却流路におけるリブ付き折れ曲がり流路による冷却、及び、翼後縁近傍の内部冷却流路におけるピンフィン流路による冷却に関する実験及び数値解析研究が紹介された。最後のまとめでは以下の点が特筆すべきこととしてあげられた。

(1) 前縁近傍の衝突噴流による冷却と後縁近傍のピンフィンによる冷却についての CFD による研究が少なく、この分野における詳細な数値解析が望まれる。(2) ピンフィン冷却に及ぼす回転場の影響についての研究が無く、早急に行われることが望まれる。(3) 最近の実験結果及び数値解析によると、回転翼内部の冷却流路における局所熱伝達率

は一様でなく、この局所的な値の差は回転によって更に大きくなる傾向があるので、回転翼の熱応力解析に当っては、局所熱伝達率分布を考慮する必要がある。ポスターセッションではタービン翼の冷却に関して以下の論文が発表された。タービン翼の内部冷却流路間の流量配分に及ぼす冷却孔の影響[EQP-5]、回転円盤表面の噴出し冷却孔からの噴出流と回転円盤間の流れによるフィルム冷却効果[EQP-10]、翼の付け根形状の改善による馬蹄形渦の発生抑制と低熱伝達率の達成[EQP-11]、噴き出し孔の配置、高温流体の速度及び冷却材の噴出流量が冷却効果に及ぼす影響に関する基礎実験[EQP-20]、噴き出し孔近辺とその下流における局所熱伝達率に関する基礎実験 [EQP-21]、回転翼の先端形状(楔角)と噴き出し冷却孔群の位置、及び動翼の高温流体に対する迎角が冷却効果に及ぼす影響[EQP-36]、実測した局所熱伝達率を用いて行った回転翼の温度分布と熱応力分布の解析[EQP-42]、トポロジー最適化法による回転ディスクの設計[EQP-15]についての研究発表があった。

熱輸送デバイスに関しては、Institute of thermal physics (ロシア) の Maydanik 博士による「LOOP HEAT PIPES – THEORY, EXPERIMENTAL DEVELOPMENTS AND APPLICATION」と題するループ型ヒートパイプに関する基調講演があった。1972 年に航空宇宙用の熱輸送デバイスとして登場したループ型ヒートパイプは、ウイックにより水を還流させる伝統的な単管形ヒートパイプに比べて、特に、姿勢による性能変化の少ない特徴である。講演では、ループ型ヒートパイプ(LHP)の作動原理、始動条件、管の材質、作動流体の種類、形式(長尺 LHP、大型 LHP、高熱流束 LHP、自動温度制御型 LHP、分岐型 LHP、可逆作動型 LHP、平板蒸発器型 LHP、マイクロ LHP など)、宇宙船内での使用例や電子機器の冷却への応用例が紹介された。ポスターセッションでは熱輸送デ

バイスに関して以下の発表があった。複合材をヒートスプレッダーとして使用する際の熱伝導部材と強度部材との最適配合の方法[EQP-04]、コピー機のトナー定着ユニット用加熱ローラーに使用する半径方向ヒートパイプの開発とその起動時間や温度分布の均一性[EQP-6]、平板型蒸発器を持つループ型ヒートパイプの加熱量と蒸気温度及び蒸気配管の圧力損失との関係[EQP-18]、フィン付き冷却板をペーパーチャンバーに貼り付けたヒートシンクの空気流速、加熱部面積、加熱量と温度分布の均一性及び熱抵抗との関係[EQP-22]、脈動流によるオリフィス付き 2 重管の熱輸送性能[EQP-23]、電子デバイスの冷却材や燃料電池における燃料・酸化剤の供給流路として使用する T 字分岐流路の圧力損失の最小化とホットスポット温度[EQP-31]、四角形流路及び三角形流路で構成されるループ型自励振動式ヒートパイプと非ループ型自励振動式ヒートパイプの熱輸送性能、特に、作動流体（水及びエタノール）の充填量と最大熱輸送量及び熱抵抗値との関係[EQP-34]、直径 1mm の円管 24 本で構成される閉ループ型自励振動ヒートパイプを上部加熱した場合と、下部加熱した場合における、作動流体（水と R141 b）の充填率、冷却部長さと熱輸送量との関係及び作動流体の振動挙動のシミュレーション[EQP-38]についての研究発表があった。

以上の発表に加え、ポスターセッションでは以下のように多岐の分野にわたる研究発表があった。パワーピストン、冷却器、再生熱交換器、ディスプレイサ、加熱器などで構成されるスターリングエンジンのシミュレーション[EQP-1]、燃料電池-ガスタービン複合サイクルプラントのルーバーフイン付き再生熱交換器の非定常温度分布とコンパクト化の検討[EQP-2]、マイクロ波やレーザーを利用するビーム兵器（熱効率が低い）の排熱処理技術及びシステム（蓄熱・熱輸送・エネルギー変換）に関するサーベイ[EQP-3]、相変化物質を利用した通信機器の冷却[EQP-7]、化学反応塔上鏡の熱応力解析と熱伝達率、弾性係数、ポアソン比、線膨張係数等などのパラメータに対する熱応力の感度解析[EQP-8]、円形・半円形・矩形断面をもった繰り返し曲り流路の熱伝達と圧力損失[EQP-9]、フィン付き冷却面の冷却材の流れ方向、フィンピッチ、フィン高さとの関係

[EQP-12]、 $\text{SiH}_4/\text{CH}_4$  及び  $\text{SiH}_4/\text{C}_2\text{H}_4$  混合気体のレーザー熱分解による SiC ナノ粒子の合成反応プロセスのシミュレーション[EQP-14]、冷却チャンネル付き超音速ノズルの速度場と温度場[EQP-16]、吸収式ヒートポンプに純水製造装置を組み合わせた複合ヒートポンプシステムのニューラルネットワーク法による成績係数の解析[EQP-17]、ポリウレタン発泡断熱材の高温雰囲気中における化学反応による分解過程のシミュレーションと反応定数に対する感度解析[EQP-19]、ナフサ等の熱分解過程で生成されるコークスの生成量を精度良く且つ短い計算時間で予測できる新しいシミュレーションモデル[EQP-24]、スリット型インパクトによるエアロゾル中の微粒子分離性能[EQP-25]、溶鉱炉壁内と溶鉱炉内の融解鉄の速度場と温度場[EQP-26]、形状記憶合金スクリーンを用いた断熱性能の自動最適化システムの提案と記憶形状合金の作動に伴う自然対流パターンの変化と熱伝達[EQP-27]、薄膜熱電変換素子とマイクロ燃焼器を組み合わせた超小型熱電変換システムの提案と速度場、温度場、電場、電力密度、変換効率、ポンプ動力、システム総合熱効率[EQP-28]、横風によるドライクーリングタワー冷却効率の低下抑制対策とその効果[EQP-29]、3次元燃焼解析と1次元流路網解析を組み合わせた石炭炊きボイラーの温度分布、熱流束分布、蒸気量分布[EQP-30]、バス用空調機に使用されるフィンチューブ蒸発器のフィンピッチと蒸発温度の最適化[EQP-32]、自動車のスーパーチャージャー用フィン伝熱面のフィン形状と伝熱面温度分布、熱伝達率、圧力損失係数、局所熱伝達率分布との関係[EQP-33]、 $\text{NO}_x$  発生量を低減できる燃焼ガス再循環方式加熱炉の熱負荷変動に対する動的モデルの改良[EQP-35]、乱流場中での化学反応が解析可能な ESORT コードによる酸素炊き石炭ガス化炉内の速度場、温度場、濃度場等の燃焼解析[EQP-37]、ノートパソコン冷却流路のモデル実験によるベンチマークデータの取得と数値解析[EQP-39]、自動車の空気冷却式ディスクブレーキの局所熱伝達率分布の測定と数値解析[EQP-40]、地熱利用ヒートパイプ用蒸発器近傍と帯水層内の速度場・温度場[EQP-44]、超音速蒸気インジェクタ内の速度分布、温度分布、圧力分布の測定と非凝縮ガス混入量とインジェクタ出口圧力との関係[EQP-46]等の研究発表があった。

## Energy and Environmental Heat Transfer

近久 武美 (北海道大学)

Takemi CHIKAHISA (Hokkaido University)

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

エネルギーに分類されたポスターは 20 件、環境に関するものは 2 件であった。国別ではオーストラリア (4)、日本 (3)、中国 (3)、インド (3)、米国 (2)、ブラジル (2) のほか、ニュージーランド、スイス、チェコ、カナダ、イタリアが各 1 件となっていた。また、内容的には燃料電池に関するもの (5 件)、太陽熱利用技術 (4 件) のほか、高温蓄熱、コンピュータセンターの冷却、水素貯蔵技術、建物外壁の熱損失、原子力プラントの自励振動等に関するものであった。

PEM 形燃料電池に関しては、東京工業大学の伏信先生が MEMS 加工技術によって微細穴加工した GDL を用いた研究発表を行っており、本セッションの中で質の高い研究であった。これは Ti 製の金属板にエッチング技術を利用して直径 25 $\mu\text{m}$  の細孔を多数空け、GDL として用いたものである。一面に穴を空けたものとリブに接する部分の穴加工を行わなかったものの比較を行い、リブ部のガス拡散の寄与についても検討を行っている。この著者はこうした構造を持つ金属 GDL の実用化を期待している様であったが、むしろ GDL 内の物質移動現象を理解する上で興味深い研究と思われた。また、中国上海交通大学からセパレータ流路形状に対する電池性能を実験した結果が報告されていた。並行流型およびサーペンタイン型の流路のそれぞれについて溝幅や深さを変化させ、V-I 特性を論じていた。得られた結果は一般的に理解されている範囲のものであり、あまり新しい知見はなかった。この他、北京工科大学から DMFC 内の CO<sub>2</sub> 気泡を含む二相流を可視化した結果が報告されていた。燃料入り口側ではバブル流となっているのに対して、出口側では主としてスラグ流になっていると報告している。

SOFC に関する発表は 2 件あり、1 つはマイクロ SOFC 内のエクセルギー解析を行ったものである。電池の動作温度、燃料流量、各部の熱伝達率

等をパラメータとして解析を行っており、エクセルギー効率はそれらの運転条件に大きく依存すると述べている。また、平板型 SOFC 電池内の物質移動に関する数値シミュレーションを行ったものなどがあつた。文献による実験結果と比較がなされているが、比較的一般的な数値計算法であつた。

オーストラリアは太陽エネルギーの豊富な地であることから、太陽熱利用の研究がいくつか報告されていた。太陽熱集熱器において伝熱を促進するために流動気体が伝熱面に衝突するような構造としたものや、蓄熱槽内の温度成層化を実験したものなどがあつた。

原子力から直接水素を製造するプラントにおいて、伝熱のための作動流体としてヘリウムと熔融塩との比較を行った研究があつた。解析の結果、液体金属の方がヘリウムよりもポンプ動力が少なくすみ、0.2-0.6%程度、効率が高くなると論じている。MOX 燃料を用いた ABWR 型原子炉の自励振動および中性子の減衰について安定性解析を行った研究がある。これによると十分な安全余裕を持って MOX 燃料を利用可能であるとしている。

発電所の凝縮器内のスポンジボールによるオンラインクリーニングに関し、内部流動挙動を数値解析したものがあつた。これにより、多額の実験費用を節約できると結論している。また、ピーク電力需要の平準化を目的として、電気加熱による 900°C 程度の高温蓄熱に関する研究があつた。レンガ材に NaCl や KCl を PCM として組み込み、蓄熱密度を大幅に向上しえることを解析しているが、実験を行った結果、それらの物質が溶出してレンガ材中に封入できなかつたと報告している。

以上、本セッションでは種々のエネルギーシステム技術の報告があつたが、目だつて新規な取り組みは伏信先生の研究以外、あまり見当たらなかつた。なお、燃料電池については他のセッションにおいて、さらに数件の発表があつた。

## Nuclear

大竹 浩靖 (工学院大学)

Hiroyasu OHTAKE (Kogakuin University)

e-mail: ohtake@cc.kogakuin.ac.jp

## 1. 概要

Nuclear (NCL) のポスターセッションは、第 4 日目 8/16(水)の午前(10:40-13:30)に開催された。発表論文数は、NCL-01～NCL-12 の計 11 件 (NCL-07 は欠番)であった。なお、同時に併催された分野は、Equipment (EQP: 44 件) と Heat Transfer Enhancement (HTE: 25 件) であり、内容が近い PRT-21 (Particulate & Porous No.21) も同時刻に発表された。本報告では、NCL に PRT-21 (Pebble Bed Reactor 関連) を加え、計 12 件について取り上げる。

## 2. ポスターセッション内容

まず、発表論文を国別にまとめると、

『韓国: 4 件, ブラジル: 2 件, インド・豪・チェコ・米国・リトアニア・西: 各 1 件』であった。残念ながら日本からの発表はなかった。また、発表内容であるが、大まかに分類すると、『数値解析的研究: 9 件, 実験的研究: 3 件』であった。韓国からは、全体で 25% (4 件) を占めるとともに、実験的研究 3 件のうち 2 件を占め、他の国際会議でも感ずることではあるが、韓国における原子力工学の研究の近年の活発さを感じる数値である。

なお、一概に炉系にて分類することはできないが、大概すると、

『軽水炉: 6 件, 高速炉・重水炉・超臨界炉・ガス炉: 各 1 件, 燃料: 1 件, 基礎現象: 1 件』と分類できる。前回 (IHCT12) に続き、リトアニアから RBMK-1500 (黒鉛減速沸騰軽水圧力管炉) に関する発表が 1 件あり、定期的に続く本国際会議のよさを物語っている。

前出したように、昨今、原子力工学分野では、数値シミュレーションを利用した研究がその主流

となっているが、数値解析的研究 9 件をその利用コード別に分類した結果、

『CFX(NCL-03,04): 2 件, RELAP5(NCL-08)・PHOENIX(NCL-01)・LES&RANS(PRT-21): 各 1 件, オリジナル(NCL-05,10,11,12): 4 件』

となった。前回に比べ、RELAP5 が少なくなり、CFX や LES (Large Eddy Simulation) & RANS (レイノルズ平均モデル) を利用した詳細解析が進んだ。4 年後の動向がさらに楽しみである。

なお、実験的研究は、『ヘリカルコイル型 SG を持つ SMART 炉(NCL-02), 超臨界流体の伝熱特性 (NCL-06), サブクール沸騰のボイド挙動(NCL-09)』に関するものであった。

## 3. まとめ

前回 IHCT12 の 16 件 (内キャンセル 2 件・ポスターのみ 1 件) に比べ、今回は若干減であったようである。最も、前回の報告同様、今回も“沸騰伝熱や混相流動等他セッションへの応募数が相当数あり”、当セッションのみで研究動向を論ずるのは無理があると言わざるを得ない。しかしながら、今や軽水炉メーカー三大グループを擁し、かつ、高速増殖炉の研究を継続している“原子力工学・産業先進国の”日本からの発表がゼロであったことは、残念でならない。確かに、様々な国際会議が開催され、かつ、当国際会議はアカデミック過ぎて研究所およびメーカー側から参加しづらいとの話も耳にする。しかしながら、我が国に研究レベルを示すよい機会でもあり、是非に、次回 2010 年ワシントン DC (USA) においては、皆様方からの積極的な発表を期待申し上げます。

## 参考文献

- [1] 横堀誠一, 第 12 回国際伝熱会議: IHCT12 Nuclear, 伝熱, 41-170 (2002), 32.

## Bio Heat Transfer

萩原 良道 (京都工芸繊維大学)

Yoshimichi HAGIWARA (Kyoto Institute of Technology)

e-mail: yoshi@kit.ac.jp

### 1. はじめに

世界的な伝熱研究の広がりや結果か、それとも開催国オーストラリアが農業大国のためか、定かではないが、Bio Heat Transfer のセッションが今回初めて設けられた。このセッションのポスター9件 (うち2件は掲示なし)、キーノートレクチャー3件、および関連の論文3件の報告を以下に記す。

### 2. 論文概要

研究内容が多岐にわたるため、件数の多い順に、医療、生体機能、食品、その他に分類する。

#### 2.1 医療

キーノート KN-03 では、人体から、臓器・組織、細胞・分子に至るまで幅広いスケールのバイオ伝熱現象の中から、皮膚の薄い人の火傷と腫瘍のハイパーサーミア治療に関する成果が概説された。後者の治療に関連して、拍動血液流の腫瘍組織内温度分布への影響に関する数値シミュレーション結果 (BHT-10)、あるいはレーザー照射時の生体組織の温度上昇や変化を予測する数値シミュレーション結果 (BHT-03) が、ポスターにより発表された。また、低温手術におけるクライオアブレーションに関する数値シミュレーション結果 (BHT-04) も発表された。さらに、磁気ハイパーサーミアにおける磁性粒子を含む血流の制御の数値シミュレーションも行われた (BHT-10)。

キーノート KN-05 では、生体や血球の冷凍保存の際に生じる、細胞の損傷と細胞活性の劣化を防ぐ方法として、トレハロースなどの糖を添加することの有効性が示された。

#### 2.2 生体機能

キーノート KN-30 の研究では、ネズミの大脳皮質における毛細血管構造と酸素分圧が計測され、計測結果に基づく数値シミュレーションが行われた。その結果より、酸素の脳組織への対流・拡散による輸送が議論された。類似の研究として、有限

要素法を用いた、掌の中の血流とそれに伴う熱伝達の数値シミュレーションがあった (BHT-05)。

キーノート KN-03 では、人体モデルを用いた宇宙服の冷却に関する成果の概説も行われた。関連する成果として、歩行中における着衣の中の手足からの熱と湿気の発散に関する数値シミュレーション (BTH-09) が挙げられる。

キーノート KN-03 では、熱ショック蛋白質も取り上げられた。関連する研究として、著者による以下の2つのポスター発表がある。極海に棲む魚の体内に生成される不凍化蛋白質に関連して、蛍光を付与した蛋白質の運動と氷結晶面の観察から、両者の関連を議論した (混相伝熱セッション MPH-38)。さらに、不凍化蛋白質の一部を模擬するモデル、水、氷の間の相互作用を、分子動力学法を用いて調べ、蛋白質を構成するアミノ酸の氷結晶の成長抑制への寄与を議論した (マイクロ伝熱セッション MIC-11)。

#### 2.3 食品

ビール製造用の大型の発酵・貯蔵タンク内において、温度を同時多点計測した結果 (BHT-07) や、球形の芋や果物を冷凍する際に生じる、水分の凍結による変形や微小クラックを予測するためのモデリングに関する研究 (BHT-08) が示された。

凝固のセッションにおいて、生体材料を模擬する寒天ゲル内の氷の形成を超音波照射により制御する実験結果 (SOL-05) が提示された。

#### 2.4 その他

バイオマスである向日葵の種の殻を加熱して燃料を生成するプロセスに関する数値シミュレーション結果 (BHT-06) が、ポスターにて発表された。

### 3. おわりに

医工連携の歴史は浅い。生物は複雑系であり、未知の現象も多い。これらを考慮すると、バイオ伝熱の研究は、今後さらに進展すると予想される。

## Manufacturing

河野 正道 (九州大学)

Masamichi KOHNO (Kyushu University)

e-mail: kohno@mech.kyushu-u.ac.jp

### 1. セッションの概要

「製造技術」のセッションは8月17日の午後に行われ、9件の論文発表がなされた。内容は鋳造・溶接・レーザー加工・焼成・薄膜生成等の技術に関するもので、金属を研究対象とした発表が約半分を占めた。国別論文数(筆頭著者の国籍をその論文の発表国とした)は日本、ブラジルが各2件、ドイツ、イギリス、ベルギー、韓国、イタリアが各1件であった。

### 2. 発表論文の概要

(MNF-02, S.R. Carvalho et al., Federal univ. of Uberlândia)ではタングステン電極と不活性ガスを用いたアルミニウムのアーク溶接(GTAW)において、試料に供給される熱流束の測定に関する研究成果が報告された。従来の手法では溶接中に発生するノイズの問題によって、熱電対を用いた測定が困難であったが、逆問題解析を用いることによりこの問題を克服している。

(MNF-03, S Hirasawa et al., Kobe Univ.)では摩擦攪拌接合(FSW)プロセスにて溶接される金属の温度分布等をMoving-Particle Semi-implicit法にて解析し、工具形状等が接合強度に及ぼす影響を検討している。このプロセスではツールと呼ばれるロッドを試料に回転させながら押し付けて、その摩擦熱で試料を軟化させ接合を行うが、ツールにピンを付けることによって、金属接合部の温度を上昇させる事ができ、接合部の強度も増すことを報告している。また接合を強めるにはツールの回転を増やすことが重要で、ツール自体が移動する速度はそれほど効かないとしている。実際の加工では、様々なパラメータの最適値を知ることが重要となるが、数値解析によってこれらの値を予め知ることが出来れば、加工を行う際の大きな手助けとなる。しかしながら一方で、(MNF-06, A. Contino et al., Thermal Engng. & Combustion Lab.,

Belgium)で報告されているように、数値解析と実験結果が異なるケースもあり、いかに解析モデルを構築するかが重要と思われる。

(MNF-04, M Wong et al., Univ. of Liverpool)ではレーザー加工によって見事な小型熱交換器を作製していた。実際の発表では作製した熱交換器を展示しており、聴衆に大変好評であった。報告者もレーザー加工に携わっているが、ポスター発表の際に実際の加工品を展示する手法を今後取り入れたいと考えている。この論文発表は本セッションで一番賑やかであった。

(MNF-08, M F Naccache et al., PUC/Rio)では天然ガスを燃料としたトンネル焼成炉における、燃焼ガス温度と炉内部温度分布の関係を数値解析によって検討している。ブラジルでは主に木材の粉体等を燃焼させて焼成炉を稼働させているが、近年の原料費の高騰や環境汚染の問題から天然ガスが代替燃料として注目されており、天然ガスが代替燃料となりうる事を報告している。

これらの発表論文の他に、鋳型における金属の流動状態の把握を目的として、水を鋳型に流した際の流動状態をレーザードップラー法にて解析した研究(MNF-01, PR Scheller et al., Freiberg Univ. of Mining and Tech.), ナノ秒パルスベッセルレーザービームを用いた金属へのマイクロ穴あけ加工の研究(MNF-5, M. Kohno et al., Kyushu univ.), 製鉄過程で用いられるSIIP(Self-induced Ion Plating Process)における伝熱シミュレーションの研究(MNF-06, A. Contino et al., Thermal Engng. & Combustion Lab., Belgium), レーザー溶接の際に生じる溶融部やキーホール生成の挙動を数値解析にて検討した研究(MNF-07, E-J Ha et al., Hyundai motors), 大型ソーラーセル製造装置における各所の温度履歴の研究(MNF-09, C.P. Malhotra et al., Int. centre for science and high tech., Italy)等の論文発表がなされた。

## Combustion and Fire

鳥居 修一 (熊本大学)

Shuichi TORII (Kumamoto University)

e-mail: torii@mech.kumamoto-u.ac.jp

燃焼・火炎のポスターセッションは2日目の午前に行われた。全部で24件の研究発表が予定されていたが、3件が欠席であった。発表論文のファースト・オーサーの国別の内訳は、サウジアラビア1, 米国3, 韓国1, フランス1, 日本3, イタリア1, オーストラリア3, 中国4, ベルギー2, チェコ1, ポルトガル1, ロシア1, 南アフリカ1, インド1であった。各論文の概要と論文番号を以下に纏める。

COM-02 は、異なった圧力環境で約 500 $\mu\text{m}$  のアルミニウム塊を  $\text{CO}_2$  パルスレーザーで着火し、その燃焼現象と周囲圧力との関係を高速カメラとふく射温度計を用いて検討している。燃焼量は圧力が増加するにつれて減少し、この傾向は低圧環境でかなり顕著であると指摘している。

COM-03 は、対流伝熱に及ぼす化学反応の効果を考慮した式が提案され、一様壁温加熱と反応による部分的温度上昇との組み合わせによるヌセルト数の変化を明らかにしている。

COM-04 は、ふく射伝熱に対するモデルを提案し、そのモデルの有効性を明らかにするために、4種類の対向流火炎の火炎温度やガス成分について他のモデルと比較検討している。

COM-05 は、赤外線計測法を用いて低レイノルズ領域での垂直上向きのプロパン予混合火炎を水平に固定したチタニウム板に衝突させ、ふく射と対流の熱流束再分化を実験と数値手法を用いて検討している。衝突部中心付近から半径方向の熱流束分布はふく射熱流束と対流熱流束で異なり、特に中心部分での熱流束は双方とも同じ割合で寄与することを明らかにしている。

COM-06 は、トルエン・酸素予混合火炎内の多環芳香族炭化水素からのフラレーン形成機構について、トルエンと酸素の流量の影響を実験によって検討している。

COM-07 は、直噴ディゼルエンジン燃焼容器内

部の燃料噴射における液滴の壁衝撃を検討するために、異なった2種類の高圧噴射圧力条件下で壁衝突噴流時の燃料液膜厚さと半径方向分布に及ぼす壁温の影響をパルスレーザーによる可視化手法で検討している。壁温は液滴と壁との熱交換に重要な液膜厚さとその半径方向分布に影響する。液滴の壁衝突後の分散した粒子形状に容器内部のガス圧が大きく影響することを明らかにしている。

COM-08 は、自動車用燃料ステーションや貯蔵装置の安全設計上のガイドラインを構築する目的で、超高压水素容器より水素噴流火炎が形成された場合のふく射熱流束と非着火水素噴流の周囲濃度を実験と数値解析で比較検討している。水素火炎の長さの時間変化、ふく射熱流束の軸方向分布及び半径方向分布、非着火水素噴流の軸方向濃度分布の変化を明らかにしている。

COM-09 は、多孔質バーナーを用いたメタン予混合火炎について、流れ、熱伝達及び化学反応を考慮した数値解析を行い、ふく射熱流束、ガス及び多孔質の温度、各種ガス濃度について検討している。ガス速度は火炎領域でかなり増加する一方、等温流に比べて圧力損失の増加を引き起こす。多孔質バーナーは熱ふく射を増加させ、酸化窒素を通常バーナーに比べて 1/3 に軽減させる特徴を持つと報告している。

COM-10 は、ふく射熱源にさらされる膨張性のある被覆内の温度分布を記述できる数学モデルを提案し既存の実験結果と比較検討している。

COM-11 は、乱れ、燃焼、すす、化学反応及びふく射を考慮した LES を用いて、浮力プルームの puffing 効果を伴った浮力炎が検討されている。ノズル先端より3直径下流位置での温度変動と速度変動をスペクトル解析した結果、puffing 現象はほぼ 2 Hz で発生して、この値は既存の実験結果とほぼ一致することを報告している。

COM-13 は、50 気圧まで加圧されたメタン・空

気混合媒体の自己着火について 1 次元モデルと 2 次元 CFD モデルを用いて実験結果と比較検討している。自然対流を考量した 2 次元モデルは自己着火プロセスを再現でき、レーリー数が  $10^4$  以上で浮力流が発生することを報告している。

COM-14 は、3 種類の異なる乱流非予混合火炎について乱流モデルを用いた数値解析を行い、既存の実験結果と比較することによって、流れ場や混合領域に及ぼすふく射の効果を検討している。

COM-16 は、亜音速領域での水素噴流拡散火炎の火炎挙動と再着火の現象について、シュリーレン法による画像計測、熱電対による温度計測、燃焼ガス分析を行っている。再着火時に生じるノズル先端に形成される数ミリの球体は水素が燃焼している領域であり、この高温の球体（火種）の発生の有無が再着火に影響することを明らかにしている。

COM-17 は、汎用 CFD コードを用い、二次燃焼容器設計に関して全操作条件における滞留時間及び混合と流れの均質化について検討している。

COM-18 は、自動車用トンネル火炎における熱・流動を定常と非定常数値解析によって、煙流動に及ぼす火炎熱発生率の影響を検討している。

COM-19 は、反応境界層内での質量伝達と摩擦に及ぼす流れの乱れと加速の影響を、媒体としてエタノールを用い非燃焼場と燃焼場について検討している。燃焼を伴った加速流の摩擦は層流の値よりも約 10 倍増加することを明らかにしている。

COM-20 は、ダイオードレーザー吸収分光センサーを用いて、旋回安定型乱流燃焼容器内部の燃焼ノイズと燃焼状態、特に温度変動や  $H_2O$  モル分率について検討している。間欠的な二次燃料噴射はピーク及び高周波数領域でのエネルギーを軽減し、温度変動強度は間欠的な二次噴射の周期によって最小値を示すことを明らかにしている。更に、燃焼ノイズに関係した燃焼振動や燃焼状態は温度と  $H_2O$  モル分率のパワースペクトルによって検知できることを報告している。

COM-21 は、主流に垂直に非反応噴流を加えた時の混合効率を数値解析によって検討し、主流と噴流の運動量束の比の効果について考察している。

COM-22 は、金属燃焼に及ぼす重力の影響を検討するために、通常重力場と微小重力場における

固体金属内部の熱伝達率を求めるための熱解析を行っている。

COM-25 は、長いトンネル内で火災が発生した際の煙層干渉高さを決定するために、加熱した煙をトンネル内に流し、可視化と温度計測を併用して行っている。

COM-26 は、2 階建てバス内部で火災が発生した際の煙制御を行うために、バス内部に高温の煙を発生させた実験によって、垂直排気口の設計について報告している。

COM-27 は、火災発生時における水噴霧を加え際の消火時間と火炎熱発生率との相互関係について検討している。火災が発生し水噴霧を加えない場合、室内温度は徐々に上昇しある温度に漸近するが、火炎に水噴霧を加えると室内温度は急激に下がる。また、水噴霧開始から室温が減少し一定温度に達するまでの消化時間は換気を行うことによって抑えられ、火炎熱発生率によって左右されることを明らかにしている。

COM-28 は、エチレンオキシド生成プロセス用の固定ベッド型触媒炉の安全性と性能に影響を及ぼす hot-spot を避けるために、1 次元数学モデルを用いて検討している。

COM-29 は、水平平板に垂直上向きにメタン・空気予混合火炎を衝突させた場合の伝熱特性に及ぼすバーナーアスペクト比の効果を平板に取り付けた熱電対と熱流束マイクロセンサーを用いて検討している。また、レイノルズ数やノズル先端と平板との距離の影響についても考察している。

今回の発表論文では、かなりの研究成果が数値計算によるものであり、その殆どが汎用計算コードを使用して行われていた。計算で求めた結果と既存の実験値とを比較して、計算結果の信頼性を確認しながら、計算結果を考察している論文がある一方、計算を行い得られた結果で現象を考察している論文もあった。更に、解の不確かさ判定や計算精度については一切触れずに、汎用コードを用いて計算を行っただけの論文も報告されていた。従って、数値解析は今後益々盛んになる一方で、計算精度だけでなく結果の信頼性についても十分吟味された研究が求められるようになると思われる。

## Experimental Methods

鈴木 洋 (神戸大学)

*Hiroshi SUZUKI (Kobe University)*

*e-mail: hero@kobe-u.ac.jp*

### 1. はじめに

第13回の国際伝熱が行われた。本学会で計測法のセッションについてレビューを行う。計測法のセッションには25件の論文が提出された。ただし、うち2件の発表がキャンセルされている。そのうち、アメリカから6件、日本とオーストラリアから4件ずつ、ドイツおよびカナダから3件、フランス2件、スウェーデン、ベルギーおよびブラジルから各1件ずつの論文の提出があった。そのうち数件をとりあげたい。

### 2. 興味を引いた論文

計測のセッションは、計測技術に特に主体をおいた内容であったため、検討対象については、対流、燃焼、沸騰、物質移動といった多岐にわたる。そのため、学際的な議論は十分になされない。個人的な意見を述べさせていただければ、このようなセッションは、不要ではないかと思う。特に問題なのは、発表者の意志にかかわらず、このセッションに組み込まれてしまったことである。筆者らの発表も本来充填層の微粒子分散特性に関する研究であったのだが、ここに含められてしまい、非常に残念であった。セッションのあり方について再考する必要があるのではないと思われる。

中でも特に目を引いた発表について報告させていただくと、筆者のもっとも興味を惹いたのは、燃料電池膜内のエタノールの濃度分布を詳細に測定したものである (Scharferら, EXP-12)。膜の片側に対流物質移動がある場で、その逆側からラマン分光を用いて膜内のエタノール分布を測定し、燃料電池膜内物質移動特性を明らかにしている。この発表は筆者らが同様にラマン分光計を用いた測定を行っているため、特に興味を引いたのであるが、本手法によれば、非定常な特性を把握はできないが、高精度に薄膜内の平均場の物質移動を定量化できる。本来このような膜内の物質移動特

性に関する研究は燃料電池のセッションで議論されるべきかと思われる。計測法のセッションではこのように重要な内容を十分に議論できない。また、燃料電池の研究に従事している研究者の気を引くことができない。セッションのあり方として非常に疑問が残る。

今ひとつ興味を引いた発表はX線トモグラフィを用いた計測である (Mahrら, EXP-06)。すでにパッケージ化されている複雑形状の内部の流れを計測することは、一般に難しい。近年中性子ラジオグラフィを用いた計測が盛んに行われているが、大がかりな装置が必要であり、簡易にできることではない。しかしながらX線装置については近年非常に小型化および安価となっており、複雑形状内の流れがこの手法を用いれば、つぎつぎと明らかとなる可能性があり、興味深い。

我が国の伝熱シンポでも発表があったが、中村氏の高速サーモグラフィを用いた非定常伝熱特性の測定は、これからの伝熱測定法として非常に有用であると思われる (EXP-11)。

その他、PIVやLIFを用いた計測法が多く発表されていた。しかしながら、これらの計測法については、計測のキーノートをされた菱田氏の講演 (KN-20)の方がむしろ参考になったことと思われる。特にPIVについては計測技術として目新しいものはなく、現象の議論を主とした発表が多かったと思われる。その意味でも本セッションの位置づけに微妙なものを感じてならない。

### 3. 最後に

かなりセッションに対する批判的な意見を述べていただいたが、発表された新しい計測技術は非常に興味深く、これらの応用によって、将来伝熱に関する多くの発見がなされることは間違いないと思われる。今後のさらなる計測技術の発展を願いたい。

## 第 15 回国際伝熱会議の京都開催決定

*Kyoto Approved as the Venue for the 15th  
International Heat Transfer Conference*

笠木 伸英 (東京大学)

*Nobuhide KASAGI (The University of Tokyo)*

*e-mail: kasagi@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp*

### 1. 京都開催が決定

去る 8 月 13 日, シドニーで開催された国際伝熱会議アセンブリー会議において, 2014 年の第 15 回国際伝熱会議の京都開催が票決された. ここに, 日本の伝熱研究コミュニティの皆様にお伝えし, 共にこの喜びを分かち合い, 同会議招致委員会の報告としたい.

### 2. これまでの経緯

2004 年夏, 国際伝熱会議アセンブリー委員の荻野文丸先生から, 2014 年開催の第 15 回同会議を日本へ招致する可能性を検討してはどうかと, 当時の伝熱学会理事会へ打診があった. そこで早速, 荒木信幸会長を中心に検討を進めたが, 1964 年の東京開催以来相当の年月を経ていること, 日本の伝熱研究がさらに隆盛の向きにあること, 会議組織開催に財政的な見通しがあることなどから, 再度の日本開催を申し出る方針を同年 9 月の理事会で決定した. 2006 年のシドニー, 2010 年のワシントン DC, そしてその先の話ではあったが, 決断の時期を逸してはいけなと, 理事会の総意はまとまった. 11 月アナハイムで開催されたアセンブリー会議で, 荻野先生, 同委員の庄司正弘先生から日本の熱意を伝えていただいた.

アセンブリー会議後, 日本と中国が立候補したこと, イタリア, カナダも立候補するかもしれないこと, 2014 年の国際伝熱会議招致には, 2006 年 4 月までに正式に申請書を提出し, 2006 年 8 月シドニーにてプレゼンテーションを経て, 投票で開催地が決定されること等が伝えられた. これを受けて, 伝熱学会に, 第 15 回国際伝熱会議招致委員会を設置すること, 同委員長を笠木 (当時副会長) に委嘱することが 12 月の理事会で決定された. その後, 同委員が委嘱され, 以下のように委員会が構成された. (所属・役職は当時, 順不同)

荻野文丸 (舞鶴高専, アセンブリー委員)  
庄司正弘 (産総研, アセンブリー委員)  
工藤一彦 (北海道大学)  
太田照和 (東北大学)  
西尾茂文 (東京大学, TSE エディター)  
長野靖尚 (名古屋工業大学)  
牧野俊郎 (京都大学, 日本機械学会熱工学部門長)  
武石賢一郎 (大阪大学, 伝熱学会副会長)  
門出政則 (佐賀大学, 伝熱学会企画部会長)  
笠木伸英 (委員長, 東京大学, 伝熱学会副会長)

上記委員会では, 様々な角度から国内の開催候補地などの検討を慎重に進めた結果, 平成 17 年 4 月の伝熱学会理事会に, 京都を開催地, 開催の実務を担う実行委員会委員長を吉田英生教授 (京都大学) に依頼して招致活動を行うことを提案し, ご承認いただいた.

その後, 吉田先生を中心に, 岩井裕先生そして地元京都市に縁の深い方々によって, 京都開催提案書作りが 1 年掛かりで始まった. 提案書には, 京都市長・京都府知事の歓迎書簡, 京都の歴史と



京都開催提案書の表紙

文化、京都生まれの先端技術、会場となる京都国際会議場などの情報がカラフルな写真等と共に盛り込まれ、本年春には誠に魅力的な提案書ができあがり、期限までに予定通り提出することができた。最終的に、提案書を提出したのは、中国と日本だけとなり、アジア地区の中での招致競争となった。

去る5月の伝熱シンポジウム期間中での招致委員会では、本番までにどういった招致活動が可能かを再検討し、各国のアセンブリー委員に京都開催の優れた事項を十分理解していただくことが重要であるとの認識から、委員長から各アセンブリー委員あての書状を提案書と共に郵送すること、併行して招致委員会委員が手分けしてアセンブリー委員個人へ電話、メールあるいは面談を通じて、日本支持を依頼することとした。

8月に入り、吉田先生とパワーポイントの内容の詰めの準備をしたり、各国アセンブリー委員の反応などを集計したりしたが、事前の読みでは我が方がやや有利という予想でシドニー入りすることができた。

本番の8月13日正午、アセンブリー会議は軽食ランチから和気藹々とスタートした。我が日本チームは、アセンブリー委員の庄司先生、吉田先生、そしてオブザーバーの岩井先生、筆者の4名であった。予定議題の後半で、次回のワシントンの開催準備が報告された後、次々回の開催提案のプレゼンテーションと質疑が始まった。コイントスで日本が先となり、筆者が口火を切って提案に至った経緯を概説し、その後吉田先生がビデオも使ったプレゼンテーションを行った。二人で直前まで煮詰めたPPTには、日本開催の際にどんな新しい企画を取り入れるかについても、工夫と意気込みを盛り込んだ。例えば、Fahrenheitの水銀温度計から300年という年にも当たる2014年に、温度計測の学生コンテストを計画するというアイデアなどである。

日本のプレゼンテーションについては、ウェブ上の査読システム、会議場の交通の便、ホテル、登録料、新しい企画行事などについて質問があったが、出席者には日本の提案が十分信頼性のあるものとして理解をして頂けたと感じた。その後中国は、北京工業大学の馬重芳教授がプレゼンをされ、中国の隆盛と各国の協力を求めるなど、中国

らしい話しをされた。その後、日中の関係者すべてが退室を求められ、残りのアセンブリーメンバーで討議を経て投票後、我々は再入室して、日本開催決定を伝えられた。ここで、日本の関係者一同、ほっと安堵した次第である。

## 2. 2014年開催に向けて

国際伝熱会議の東京開催の時、筆者は博士課程学生でマイクを持って会場を走るアシスタントであった。以来、30年以上経つが、国際伝熱会議は“伝熱オリンピック”とよばれるに相応しく、脈々として世界の伝熱研究のマイルストーンを築いてきたと言える。そのような会議の8年後の京都開催が決まったことは、我が国の伝熱コミュニティにとって素晴らしい目標ができたとも言える。“オリンピック”開催は地元の負担は大変で、今後オールジャパンで本格的に開催のための準備が必要であるが、もうひとつはそれをバネに我々が力を付けることでもある。伝熱研究は、シドニーの国際伝熱会議にみられるように、今確かに一回り大きなスコープと新しい進展の兆しを見せ始めていると言える。新たなチャレンジとして、2014年に日本の伝熱コミュニティが次世代の伝熱研究の方向性を示すことができるかどうか、それはこれからの8年間の我々自身の厳しい鍛錬によってこそ可能と思える。それを担うべき世代の方々の自覚と健闘を大いに期待したい。

## 謝 辞

国際伝熱会議の招致の話が始まってから2年近くに亘ったが、お陰様で良い結果を勝ち取れた。招致委員会委員の方々には、常に適切なお意見を頂き、間際まで各国アセンブリー委員への依頼などにもご尽力頂いた。吉田英生先生には開催提案書作りからプレゼンテーションまで、この一年共にご苦労いただいた。伝熱学会の3期にわたる荒木信幸、庄司正弘、望月貞成各会長、理事の皆様のご支援とご協力を賜った。荻野文丸、鈴木健二郎両先生には終始貴重なアドバイスを頂き、日本支持要請には、Eitaro Yamane、宇高義郎、菱田公一、川路正裕、高田保之ら各先生をはじめとして、各国アセンブリー委員や伝熱研究者に友人を持つ複数の方々にお力添え頂いた。ここに記して、多くの皆様に謹んで謝意を表したい。