

伝 熱

目 次

〈国際会議特集号〉

第 12 回国際伝熱会議 8/18 ~23 (フランス: グルノーブル)

論文委員会報告	庄司 正弘 (東京大学)	1
平田賢先生の 2002 年フランス熱学会国際賞を祝して	笠木 伸英 (東京大学)	4
Heat Transfer in Two-Phase Flow :		
Fundamentals-Interfacial Phenomena セッション	古谷 正裕 (電力中央研究所)	6
Flow Boiling セッション	大田 治彦 (九州大学)	8
Experimental Techniques セッション	稲田 茂昭 (群馬大学)	10
Convective Condensation セッション	宇高 義郎 (横浜国立大学)	12
Single Phase Heat Transfer :		
Instabilities セッション	前川 透 (東洋大学)	14
Convection with Obstacles セッション	中部 主敬 (大阪府立大学)	15
Forced, Free or Mixed Convection in Nonconventional Fluids セッション	宗像 鉄雄 (産業技術総合研究所)	16
Free Jets セッション	松原 幸治 (新潟大学)	18
Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium :		
Non-LTE Heat Transport in Fluids セッション	芝原 正彦 (大阪大学)	19
Nanosystems セッション	中別府 修 (東京工業大学)	20
Radiation セッション	板谷 義紀 (名古屋大学)	21
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media :		
Drying セッション	青木 和夫 (長岡技術科学大学)	23
Freezing and Solidification セッション	多田 幸生 (金沢大学)	24
Melting and Solidification セッション	石黒 博 (九州工業大学)	26
Porous Media セッション	中山 顕 (静岡大学)	28
Heat Transfer in Engineering Systems:		
Two-Phase Heat Exchangers セッション	刑部 真弘 (東京商船大学)	29
Turbomachinery & Gas Turbines. High Temperature Processes セッション	平澤 茂樹 (日立製作所)	30
Heat Pipe and Capillary Pumped Loops セッション	白樫 了 (東京大学)	31
Nuclear Engineering セッション	横堀 誠一 (東芝)	32
Manufacturing Processes セッション	佐藤 公俊 (産業技術総合研究所)	33
Electrical and Electronic Devices セッション	富村 寿夫 (九州大学)	34

第 4 回国際ガスハイドレート会議: 概要報告 森 康彦 (慶応義塾大学) 36

日米セミナー: ナノテクノロジーにおける熱問題 岡崎 健 (東京工業大学) 46

第 10 回国際可視化シンポジウム報告 西村 龍夫 (山口大学) 49

〈支部活動報告〉

関西支部活動報告	森 幸治 (大阪電気通信大学)	51
----------------	-----------------------	----

〈行事カレンダー〉	53
-----------------	----

〈お知らせ〉

「伝熱」会告の書き方	62
事務局からの連絡	63
日本伝熱学会入会申し込み・変更届用紙	66
日本伝熱学会賛助会員入会申し込み・変更届用紙	67

インターネット情報サービス

- <http://www.htsj.or.jp/>
最新の会告・行事の予定等を提供
- htsj@asahi-net.email.ne.jp
事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.41, No.170, September, 2002

CONTENTS

< International Conferences >

THE 12TH INTERNATIONAL HEAT TRANSFER CONFERENCE

Report of International Scientific Committee for the Twelfth International Heat Transfer Conference

Masahiro SHOJI (The University of Tokyo) ······	1
In Celebration of Professor Masaru Hirata's Receipt of 2002 International SFT Award	
Nobuhide KASAGI (The University of Tokyo) ······	4
Heat Transfer in Two-Phase Flow/ Fundamentals - Interfacial Phenomena Session	
Masahiro FURUYA (CRIEPI) ······	6
Heat Transfer in Two-Phase Flow/ Flow Boiling Session	
Haruhiko OHTA (Kyushu University) ······	8
Heat Transfer in Two-Phase Flow/ Experimental Techniques Session	
Shigeaki INADA (Gunma University) ······	10
Heat Transfer in Two-Phase Flow/ Convective Condensation Session	
Yoshio UTAKA (Yokohama National University) ······	12
Single Phase Heat Transfer / Instabilities Session	
Toru MAEKAWA (Toyo University) ······	14
Single Phase Heat Transfer / Convection with Obstacles Session	
Kazuyoshi NAKABE (Osaka Prefecture University) ······	15
Single Phase Heat Transfer / Forced, Free or Mixed Convection in Nonconventional Fluids Session	
Tetsuo MUNAKATA (AIST) ······	16
Single Phase Heat Transfer/ Free Jets Session	
Koji MATSUBARA (Niigata University) ······	18
Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium / Non-LTE Heat Transport in Fluids Session	
Masahiko SHIBAHARA (Osaka University) ······	19
Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium / Nanosystems Session	
Osamu NAKABEPPU (Tokyo Institute of Technology) ······	20
Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium / Radiation Session	
Yoshinori ITAYA (Nagoya University) ······	21
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media / Drying session	
Kazuo AOKI (Nagaoka University of Technology) ······	23
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media / Freezing and Solidification Session	
Yukio TADA (Kanazawa University) ······	24
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media / Melting and Solidification Session	
Hiroshi ISHIGURO (Kyushu Institute of Technology) ······	26
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media/ Porous Media Session	
Akira NAKAYAMA (Shizuoka University) ······	28
Heat Transfer in Engineering Systems/ Two-Phase Heat Exchangers Session	
Masahiro OSAKABE (Tokyo University of Mercantile Marine) ······	29

Heat Transfer in Engineering Systems/ Turbomachinery and Gas Turbines. High Temperature Processes Sessions Shigeki HIRASAWA (Hitachi, Ltd.)	30
Heat Transfer in Engineering Systems/ Heat Pipe and Capillary Pumped Loops Sessions Ryo SHIRAKASHI (The University of Tokyo)	31
Heat Transfer in Engineering Systems/ Nuclear Engineering Sessions Seiichi YOKOBORI (Toshiba Corporation)	32
Heat Transfer in Engineering Systems/ Manufacturing Processes Sessions Kimitoshi SATO (AIST)	33
Heat Transfer in Engineering Systems/ Electrical and Electronic Devices Sessions Toshio TOMIMURA (Kyushu University)	34
The Fourth International Conference on Gas Hydrates: an Overview Yasuhiko H. MORI (Keio University)	36
US-Japan NanoTherm Seminar : Nanoscale Thermal Science and Engineering Ken OKAZAKI (Tokyo Institute of Technology)	46
Report on the 10th Int. Symp. on Flow Visualization Tatsuo NISHIMURA (Yamaguchi University)	49
<Report of Branch>	
Report of Kansai Branch Koji MORI (Osaka Electro-Communication University)	51
<Calendar>	53
<Announcements>	62

第 1 2 回国際伝熱会議：論文委員会報告

Report of International Scientific Committee for the
Twelfth International Heat Transfer Conference

庄司 正弘 (東京大学)

Masahiro SHOJI (The University of Tokyo)

1. はじめに (会議の概要)

第 1 2 回国際伝熱会議が 8 月 1 8 日(月)から 2 3 日(金)の 6 日間、フランス、グルノーブルの Espace Congrès World Trade Centre (図 1) で開催された。会議は、組織委員会委員長の J.M.Delhaye 教授、事務局長の B.Saulnier 教授、論文委員会委員長の J.Taine 教授、支援学術団体のフランス熱学会 (The Société Française de Thermique) M.Lebouche 会長が中心となり、Package 社が協力する形で運営された。我が国からは、平田賢先生、荻野文丸先生がアセンブリ委員として運営に参加し、庄司が論文委員会委員を勤めた。会議の組織や全体の概要については、次号でアセンブリー委員の平田先生、荻野先生から報告がなされる予定なので、ここでは論文委員会の業務に関わる事項のみについて報告する。

2. 発表された論文と講演

国際論文委員会は国と地域を代表する 1 6 名で構成され、基調講演者の推薦、論文の採否等の業務を行なった。会議で発表された論文数は表 1、表 2 に見るごとく、最終的には 5 1 2 編、基調講演 3 0 件であり、当初の予定数よりやや少なめであった。地域別、国別にみても、我が国からの論文数は米国と並び最多であり、リスト最上位にランクされているまた、最終統計はまだ届いていな



図 1 Grenoble World Trade Center 会議場

表 1 地域別 基調講演数・論文数・論文割当数

地域 (ISC 委員)	基調講演数	論文数	割当数(当初)
Japan (Shoji)	5 ^b	89(1)	90 (85)
USA (Bar-Cohen)	5	89(1+1 ^c)	120 (120)
France (Taine)	3	60	50 (50)
UK (Hewitt)	4(1 ^a)	48	60 (60)
Germany (Hahne)	2	34(1)	40 (40)
China (Guo)	2	29	30 (30)
Russia (Leontiev)	2(1)	33	35 (35)
Canada (Oosthuizen)	2(1 ^a)	29	35 (35)
Korea (Choi)	1	24(1)	20 (20)
Italy (Cumo)	1	25	20 (20)
Netherlands (Delil)	1	12	15 (15)
Australia (De Vahl Davis)	1	11	15 (15)
Israel (Hetsroni)	1	10	15 (15)
Brazil (M.S. Carvalho)	1	10	10 (10)
India (Balalrishnan)	1	7	10 (10)
Portugal (M.G. Carvalho)	1	2	10 (10)
合計	30(2+1)	512	575 (570)

() 辞退数, a キャンセル, b 台湾 1 含む, c オープンフォーラムへ

表 2 国別 基調講演数・論文数

国名	基調講演数	論文数	国名	基調講演数	論文数
Japan	4	85	Taiwan	1	4
USA	5+1 ^a	89	India	1	7
France	3	59	South-Africa	0	3
Germany	2	33	Sweden	0	3
China	2	29	Belarus	0	3
Canada	1	29	Portugal	1	2
UK	3	26	Turkey	0	2
Russia	1	30	Austria	0	1
Korea	1+1 ^a	24	Belgium	0	1
Italy	1	20	Czechia	0	1
Brazil	1	10	Ireland	0	1
Israel	1	10	Lebanon	0	1
Lithuania	0	8	Malaysia	0	1
Netherlands	1	8	Slovenia	0	1
Australia	1	7	Bulgaria	0	1
Poland	0	7	Iran	0	1
Spain	0	5	合計	30+2 ^a	512

a : 特別講演

い。が、参加者数も他国・地域を凌駕しているものと予想され、国際伝熱における我が国の寄与は世界一といっても過言でない。これに関連し、組織委員会、論文委員会から我が国の貢献に対し特別の謝辞を賜った。

3. 日本論文委員会の活動報告

我が国は、日本、台湾、パキスタン、その他の東アジア諸国の代表となっている。そこで28名（日本27、台湾1）からなる地域論文委員会（日本論文委員会）を構成し、下記のスケジュールで委ねられた業務を遂行した。

- 1) 委員会設置 (H12.12)
- 2) 基調講演候補者推薦 (H13.3)
- 3) 論文募集要項の配布 (H13.3)
- 4) 第1回会議案内と Call for Paper の配布 (H13.3)
- 5) 特別委員会に関する内規の制定 (H13.5)
- 6) 日本論文委員会委員の委嘱 (H13.6)
- 7) アブストラクト締切 (H13.6.18)
- 8) アブストラクトの査読 (H13.6-7)
- 9) アブストラクト採否決定と通知 (H13.8)
- 10) 本論文原稿締切 (H13.12.20)
- 11) 本論文原稿の査読 (H14.1-2)
- 12) 本論文原稿採否決定と通知 (H14.3)
- 13) 最終原稿提出締切 (H14.4.1)
- 14) 顕彰名誉教授推薦 (H14.3)
- 15) 旅行業者の選定 (H14.4)
- 16) 第2回会議案内の送付 (H14.4)
- 17) オープンフォーラム論文の募集 (H14.4)
- 18) 会議開催 (H14.8.17-23)
- 19) 委員会解散 (H14.8.24)

まず、委員会に関してであるが、これまで、本会における委員会の位置付けが不明確であった。そこでアセンブリ委員のご了解を得て、理事会にお願いし、内規を制定していただき、特別委員会として活動、支援をいただいた。

次に、基調講演候補者の推薦に関してであるが、今回は割当て数が従来より2名増の5名となったため、内1名を台湾に振り分けることとし、委員各位より2度に分けて推薦を受け、10名の候補者（日本9名、台湾1名）に順位を付して私の組織委員会に推薦した。最終的には、その内から5

名の先生方（鈴木健二郎、藤田恭伸、T.F.Lin、長野靖尚、牧野俊郎の各先生）が選ばれた。

アブストラクトは、日本から150編、台湾から27編、香港から3編の都合180編という多くの申し込みがあり、1論文3名の委員に査読をお願いし、項目評価、総合評価順位が上位の103編（日本96、台湾7、香港0；割り当て論文数85編の120%強）を採択した。また、申し込み数の多さに鑑み、私の国際論文委員会に割り当て数の増加を願い出たところ、5編程度の補欠論文を順位を付して推薦して欲しい旨の回答を得た。本論文原稿は辞退もあって96編が提出され、こちらについても、1論文3名の委員に査読をお願いし、評価の高い85編（日本82、台湾3）を採択、これに続く6編（日本5、台湾1）を補欠論文として届け出た。最終的には、補欠論文の内の5編が受け入れられ、都合90編の論文が採択となった。

第2回の会議案内パンフレットにオープンフォーラムの論文募集が記されていた。オープンフォーラムは論文委員会とは関係のない企画と位置付けられていたため、本委員会は特に関与しなかったが、我が国では直ちに関係者に通知・案内を行なった。会議では我が国からの6編を含み、22編の講演発表があった。

特記すべき事項として今回、会議に於いて顕彰するにふさわしい方（名誉教授1名）を推薦して欲しいとの要請がSFTよりあり、委員会として平田賢先生（芝浦工大）を推薦していた。その結果、本号の笠木伸英先生のご紹介にあるように、会議期間中のディナー会場において平田先生が顕彰されたことは大変喜ばしいことであった。また当会場では、ICHMTより鈴木健二郎先生が長年の功績により表彰された。ここに付記すると共に、心よりお慶び申しあげたい。

4. あとがき

今回の任務を終えるに当たり、反省すべきことも多い。まず、限られた論文数のため多く方の優れた論文を全て採択しえなかったことを心からお詫びしたい。また、今回は、アブストラクトから原稿の提出、論文の査読まで、ほとんどの業務が電子媒体で行なわれた。査読をより適切に行なうことを目的として我が国ではアブストラクトに図

面の添付を認めたが、これがトラブルの原因となり、一部の先生方には多大のご迷惑をかけることになった。フランスの組織委員会、あるいは Package 社の対応のまずさも少なからず耳にしている。しかし、大過なく任務を終えることができたのは、平田賢、荻野文丸両アセンブリ委員先生、前任の国際論文委員会委員であられた鈴木健二郎、藤田恭伸両先生のご教示と励ましのお陰である。また、ご多忙のなか日本論文委員会委員としてご助力を賜った下記先生方（敬称略）に、この場を借りて厚く御礼申しあげる。

幹事：宮内敏雄（東工大）、委員：工藤一彦（北大）、太田照和（東北大）、新岡崇（東北大）、戸田三朗（東北大）、飯田嘉宏（横国大）、斎藤彬夫（東工大）、望月貞成（東京農工大）、河村洋（東京理科大）、森康彦（慶応大）、笠木伸英（東大）、西尾茂文（東大）、藤田秀臣（名大）、長野靖尚（名工大）、林勇二郎（金沢大）、熊田雅弥（岐阜大）、荻野文丸（京大）、鈴木健二郎（京大）、芹澤昭示（京大）、高城敏美（大阪大）、藤井照重（神戸大）、宮本政英（山口大）、藤田恭伸（九大）、本田博司（九大）、尾添紘之（九大）、柘植綾夫（三菱重工）、C.Pan（台湾清華大）

第 12 回 国際伝熱会議：IHTC12
平田賢先生の 2002 年フランス熱学会国際賞を祝して
*In Celebration of Professor Masaru Hirata's Receipt of
2002 International SFT Award*

笠木 伸英 (東京大学)
Nobuhide KASAGI (The University of Tokyo)

本学会元会長の平田賢先生 (東京大学名誉教授、芝浦工業大学教授) が、去る 8 月 21 日、フランス、グルノーブル市で開催された第 12 回国際伝熱会議のガラディナーの席で、フランス熱学会 (Société Française de Thermique) 国際賞を授与されました。伝熱学会会員の皆様とご一緒に心からお祝いしたいと存じます。同賞は、フランス熱学会が、国際伝熱会議の開催に併せて、ヨーロッパ、北アメリカ、アジア、南半球の各地域から、伝熱分野での学術と国際的活動に特に顕著な貢献のあった方々を選出して贈賞したもので、平田先生と共に、Jean-Pierre Bardon (Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, France), Arthur E. Bergles (USA), Graham de Vahl Davis (University of New South Wales, Australia) のいずれも著名な先生方が受賞されました。

ガラディナーは、グルノーブル郊外の Le Touvet という小さな町の、美しい古城レストラン Chateau du Touvet で開催されました。平田先生のこれまでの伝熱、燃焼、エネルギー関連の幅広いご研究の成果、あるいはコージェネレーション技術を始めとする省エネルギー技術の育成と普及、そして最近のアジアパイプライン構想、水素社会への移行推進など、卓越した先見性に基づく多くのご業績と活動、さらに多くの優れた人材の育成、そして現在も変わらぬ地球環境・エネルギー問題解決への並々ならぬ熱意、それらに対する敬意と祝福が、国際伝熱会議の国際論文委員会委員を務められた庄司正弘先生 (東京大学) から流暢な英語で述べられました。特に、平田先生の持論である、燃料に火をつけたら、必ず高温から動力への変換を行い、低温までしゃぶり尽くすほど



バルコニーでの授賞式 (2002 年 8 月 21 日夕刻 Chateau du Touvet にて)

利用するという基本原理が紹介され、それを一途に希求してきた平田先生の強い信念とたゆまぬ努力に、改めて敬服の念を抱いたのは小生ばかりではなかったかと思えます。

続いて、伝統衣装をまとった吹奏音楽隊のファンファーレと共に、フランス熱学会長の Michel Lebouché 先生から賞状が直接手渡されました。平田先生にはすでに多くの名誉ある顕彰を受けておられますが、親しいご友人の多い国際伝熱コミュニティの見守る中での今回の受賞は、先生ご自身、そしてご臨席の奥様のみならず、陪席した日本の多くの参加者の方々にとっても、誠にうれしく、誇らしいことでありました。

平田賢先生は、昨年古希を迎えられましたが、今なお全く衰えを見せず、夢を追い続ける若者のようにお元気で活動されておられ、先生の直接の指導を受けた者の一人として、日頃驚嘆の思いで拝見しております。先生は、指導を受ける者たちに、「何でも好きなことをとことんやってみなさい、研究は徹底的に凝り性になっておやりなさい」、と言われます。我々後身は、この平田先生の言葉にいつも勇気づけられ、21 世紀に相応しい伝熱研究を展開していきたいと思う次第です。

平田賢先生の受賞をここに改めてお祝いし、変わらぬご健康と益々のご活躍を衷心よりお祈りする次第です。



平田賢先生のご業績を紹介される庄司正弘先生

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12
Heat Transfer in Two-Phase Flow:
Fundamentals - Interfacial Phenomena Session

古谷 正裕 (財団法人 電力中央研究所)
Masahiro FURUYA (CRIEPI)

セッション「二相流における伝熱-界面現象の基礎」は、初日(8月19日)午後開催され、参考文献に示した16件の発表が行われた。本セッションでの発表を国別にまとめると、米国4件、フランス各3件、日本、中国およびカナダ各2件、イギリス、ドイツ、イタリア各1件であった。以下、本セッションの内容を論文コードと共に紹介する。

液滴衝突系における熱伝達を対象とした研究

[02-BiotA-01] 等温平面に衝突する液滴の解析を行い、三相界面近傍での熱流束が高くなることを述べている。気相も解いているが、その影響は小さいことが示された[1]。

[02-BiotA-03] 酸化チタンをコーティングした伝熱面に紫外線を照射し、接触角の変化を示した。伝熱面に水滴を衝突させた実験を行い、接触角の減少に伴い、濡れ限界温度が上昇することを明らかにした[3]。

気泡の離脱と上昇を対象とした研究

[02-BiotA-02] 微重力下において流体 PF5052 中に電場を印可し、容器下部から空気を注入した場合の気泡の離脱過程を対象に実験と解析を行い、良い一致が得られた[2]。

[02-BiotB-04] 温度勾配を有するシリコン油中に空気を注入し、重力加速度や流動条件が熱伝達に及ぼす影響を報告した。気泡周りの対流振動について可視化し、熱伝達に及ぼす影響を考察した[12]。

[02-BiotB-05] 液体中を上昇する気泡の数値解析を行い、気泡界面吸着物質が存在すると、内部循環を抑制するために上昇速度が低下することなどを明らかにした[13]。

液膜の蒸発を対象とした研究

[02-BiotA-04] 傾斜板状を流れる液膜に境界層理論を適用し、線形安定性解析により、沸騰、凝縮や傾斜角度などが安定性に与える影響を明らかにした

[4]。

[02-BiotA-05] 微細な溝を有する伝熱面上で蒸発する液膜を対象に、実験と解析の両面から熱流束などが液膜厚さ分布に与える影響を把握した[5]。

[02-BiotB-01] 溝付き伝熱面を流下する液膜の解析を行い、種々の流動条件に対して熱伝達率を得た。安定解析により、溝が流れに沿った方向の場合には、流れを安定化させる効果があることが判明した[9]。

マランゴニ対流を対象とした研究

[02-BiotA-06] 薄液膜を急加熱して発生するマランゴニ対流を可視化した。熱入力が高い場合に、薄液膜から放出されるミストが観察された。液膜厚さの時間変化が測定され、厚さ方向と横断方向に働く力との関連性が指摘された[6]。

[02-BiotA-07] 毛細管出口からの液体の蒸発を可視化し、対流が抑制される原因についてメニスカスにおける蒸発率が様になり温度変化が小さくなることと推定した[7]。

[02-BiotB-03] アセトンのマランゴニ対流に関する実験を開放系と密閉系で行い、蒸発率が変化しても温度変動周期はほぼ同じになることを示した。開放系では対流が方位角方向に発生するという興味深い可視化結果が得られている[11]。

液膜の前進と後退を対象とした研究

[02-BiotA-08] 伝熱面状でエタノールが濡れの前進と後退を繰り返す原理を利用した高効率熱交換器概念を提案した[8]。

[02-BiotB-02] 一定速度で移動する二次元三相界線近傍の液体を対象にした数値解析を行った結果、接触界線の移動により高い熱流束が得られることが分かった[10]。

[02-BiotB-08] 微小流路内で蒸発と凝縮する蒸気泡について解析を行い、壁面が濡れる条件などについて考察を行った[16]。



図 1 活発な質疑応答の様子(写真右は奥山先生)

プール沸騰を対象とした研究

[02-BiotB-06] プール沸騰気泡周囲流体(水)の速度・温度分布、界面位置が詳細に計測された。これらの実験結果は解析の検証データとしても有用と考えられる[14]。

[02-BiotB-07] FC-72 と R-114 を作動流体に微小ヒーターから発生する沸騰気泡が離脱して終端速度に至るまでの一連の過程を観察し、先行気泡のウェークが後続気泡の上昇速度に与える影響などを求め、既存の相関式と比較した[15]。

参考文献

- [1] M. Francois, W. Shyy, “Numerical Simulation of Droplet Dynamics with Heat Transfer,” 3 (2002), 401-406.
- [2] E. Iacona, C. Herman, S. Chang, “Electric field effects on an injected air bubble at detachment in a low gravity environment,” 3, (2002), 407-412.
- [3] Y. Takata, S. Hidaka, H. Yamamoto, M. Masuda, T. Ito, “Evaporation of Water Drop on Photo-induced Hydrophilic Surface,” 3 (2002), 413-418.
- [4] Y. Weiping, Y. Xuemin, Z. Yue, “Temporal stability of two-dimensional waves on evaporating or condensing liquid films,” 3 (2002), 419-424.
- [5] W. Qu, L. Zhang, T. Ma, X. Ge, “Evaporation heat transfer of thin liquid film and meniscus in narrow and circumferential crevices of micro scale,” 3 (2002), 425-430.
- [6] K. Okuyama, Y. Iida, K. Takahata, “Liquid film flow and deformation of the surface caused by Marangoni effect on a small heat transfer surface heated in a pulsewise manner,” 3 (2002), 431-436.
- [7] K. Sefiane, A. Steinchen, “On the thermocapillary effects in the evaporation of a meniscus from a capillary tube,” 3 (2002), 437-442.
- [8] L. Zheng, Y. Wang, P. Wayner, Jr., J. Plawsky, “Curvature and Contact Angle Measurements in an Unstable Evaporating Extended Meniscus,” 3 (2002), 443-448.
- [9] T. Gambaryan - Roisman, P. Stephan, “Heat Transfer Analysis of Falling Film Evaporation on Structured Surfaces,” 3 (2002), 449-454.
- [10] B. Mathieu, O. Lebaigue, L. Tadrist, “Numerical investigation of a dynamic contact line model for perfectly wetting liquids on a heated wall of finite conductivity,” 3 (2002), 445-460.
- [11] S. Simic, M. Kawaji, S. Yoda, “Effects of surface evaporation on temperature oscillation frequency and surface flow in Marangoni Convection of intermediate Prandtl number fluids,” 3 (2002), 461-466.
- [12] C. Reynard, R. Santini, L. Tadrist, “Experimental study of oscillatory thermocapillary convection around a bubble under variable gravity. Flow and heat transfer using optical and thermal methods,” 3 (2002), 467-472.
- [13] A. Esmaeeli, C. Ching, M. Shoukri, “The Effect of Insoluble Surfactants on the Motion and Deformation of Interacting Bubbles,” 3 (2002), 473-478.
- [14] J. Pakleza, M. Duluc, T. Kowalewski, “Experimental investigation of vapor bubble growth,” 3 (2002), 479-484.
- [15] G. P. Celata, M. Cumo, F. D' Annibale, A. Tomiyama, “On the wake effect in bubble rising velocity for one-component systems,” 3 (2002), 485-490.
- [16] V. Ajaev, G. M. Homsy, “Steady vapor bubbles in rectangular microchannels,” 3 (2002), 491-496.

第 12 回国際伝熱会議 : IHTC12

Heat Transfer in Two-Phase Flow:
Flow Boiling Session

大田 治彦 (九州大学)

Haruhiko OHTA (Kyushu University)

1. 概要

Boyd らは、強制流動沸騰のポスターセッションは発表第 3 日目の午前と最終日 5 日目の午前、午後の Heat Transfer in Two-Phase Flow セッションの中で行われた。該当する発表数は 23 件であり、核沸騰から二相強制対流域にかけての熱伝達係数の測定や予測 8 件、CHF 関連 2 件、膜沸騰 1 件、気泡微細化沸騰 2 件、流れの構造や熱伝達メカニズム 8 件、流下液膜および衝突噴流各 1 件であった。沸騰系の形状による分類では、通常サイズの円管および矩形流路内流れ 13 件、二重管内流れ 2 件、細管や狭隘流路内流れ 5 件、外部バルク流れ 1 件、外部液膜流 2 件である。その他の特徴的な条件を列挙すれば、高圧 1 件、低質量速度 2 件、重力変化 2 件、EHD1 件、スワール流 1 件となる。また実験と解析とで分類すればそれぞれ 16 件、7 件であった。国別にみると、米国・カナダ 6 件、旧ソ連 5 件、英国 4 件、日本 4 件、フランス 2 件、中国 2 件という内訳であった。

内容的には、すでに周知事項となっていることが成果として述べられていたり、実験結果がいちじるしく不足しているものもあるように思われる。細管や狭隘流路などを対象とした研究が比較的多いのも特色の一つである。

2. 内容の紹介

核沸騰から二相強制対流域にかけての熱伝達係数の測定や予測

Leislar-Gabriel は空気-水の環状流に対する加熱実験を行い、上昇流と下降流とではフローパターンの変化を介して熱伝達に差が生じることを示している。

Urso らは垂直管のサブクール域から低乾き度域において、低質量速度で熱伝達係数の測定を行うとともに、スラグ流における沸騰の抑制効果を考慮した熱伝達係数の予測式との比較を行った。

Ohta らは狭隘矩形流路内の垂直上昇流に対して重力レベルを変化させた実験を行い、気液挙動と熱

伝達係数に見られる重力の影響を示している。

Kandlikar-Steinke は各種微細流路で得られたサブクール沸騰時の既存の熱伝達データに対して、通常の管に対して著者らにより提案されている熱伝達予測式の適用が可能であるとしている。

Fujita らは細管を用いた実験結果より、細管では熱伝達係数が核沸騰支配となるために熱流束の影響が大きい一方で、質量速度や乾き度の影響は小さいこと、また二相摩擦係数が二相レイノルズ数によらずほぼ一定となることを示している。

Wu-McAssey は高質量速度におけるサブクール沸騰時の熱伝達データを Chen および Kandlikar の整理式による値と比較し、それぞれの式の予測精度を示した。

プラズマや電子デバイスのヒートシンクなどによる非一様加熱を想定して、問題となる管内沸騰流と管壁基材内熱伝導とがリンクした現象について、実験により温度経過の検証を行っている。

Feng-Seyed-Yagoobi は EHD 効果による強制流動沸騰熱伝達の促進と劣化について解析を行って実験値と比較し、環状流からミスト流への遷移点付近で促進から劣化に転じるとしている。

CHF 関連

Koizumi らは垂直姿勢の環状流路において、液体の下降流と発生蒸気の上昇流による対向流を実現し、流路底部の開閉や間隙幅を変化させてフラグディング条件やドライアウトに基づく壁面温度上昇開始の条件について系統的に明らかにした。

Urso らは管内垂直上昇流の実験から、ドライアウト点直前において、熱伝達が著しく促進されること、また熱伝達係数の管軸方向分布には、定常状態かつ同一熱流束であっても、熱流束を増加させてゆく過程と減少させてゆく過程とで、ヒステリシスが認められることを具体的に示している。

膜沸騰、気泡微細化沸騰

Jouhara-Axcell は、各種形状の高温金属片を垂直上昇流中に配置して過渡冷却を行い、膜沸騰の終了時における蒸気膜の崩壊過程が液体サブクール度により 3 つのパターンに分類されることを示している。

Suzuki らは、円形および矩形流路の内壁に配置された伝熱面に高サブクール度の水を送ることにより MEB を実現し、熱流束 8MW/m^2 を達成するとともに、さらに MEB 時の熱流束と圧力変動との関係を調べた。

Dedov らは、旋回流を与えるためにねじりテープを挿入した管の一部分を局所加熱し、サブクール水を高質量速度で流入させることにより 60MW/m^2 の熱流束に到達できたとしている。

流れの構造や熱伝達メカニズム

Bogoslovskaja-Kirillov はカリウムの環状噴霧流域において、各液体流量の分離による測定値をもとに、液膜表面および壁面でのせん断力の表示式を適用して液膜厚さを求め、既存の予測式との合致を報告している。

Kljenak らは垂直環状流路内のサブクール沸騰を対象として、気泡挙動を規定する各因子について簡単なモデルを適用して解析を行い、ポイド率および気泡直径の半径方向分布について計算値を実験値と比較した。

Mikielewicz は気泡流域を対象として、壁面近傍における温度分布を解析し、ポイド率、気泡直径、無次元境界層厚さが温度分布に及ぼす影響について調べている。

Klimenko-Sudarchikov は高圧下の液体窒素を用いた実験により、流力不安定に基づく管壁温度の変動が熱伝達に及ぼす影響を調べ、CHF よりもかなり低い熱流束で管壁温度の変動が生じること、また圧力の増加により変動が消滅することを報告している。

Brutin らは狭隘矩形流路の強制流動沸騰において、一定質量速度の条件下で乾き度の増大とともに流れが不安定となり、熱伝達が低下することを実験により確認し、不安定が生じる条件を出口乾き度、レイノルズ数、熱流束の関係で整理している。

Wen らは微細矩形流路を用いた水の沸騰実験を行い、低質量速度下では圧力変動に加えて、非沸騰状態、長尺気泡まわりの液膜蒸発、液膜部分での沸騰開始が繰り返されることにより大きな管壁温度変動が生じることを示している。

Jeng-Pan はドリフトフラックスモデルを導入して自然循環型沸騰チャンネルの非線形安定解析を行い、入口流速の大きさによりフローパターンの違いが生じることを示している。

Podowski-Antal は強制流動沸騰のサブクール域について CFD によるシミュレーションを行い、CHF 値および対応する伝熱面過熱度の計算結果を実験と比較し、両者の一致が良好であることを示している。

流下液膜や噴流系での沸騰

Tang らは垂直壁面上の流下液膜を対象として実験を行い、核沸騰を生じる場合について熱流束～伝熱面過熱度、ヌセルト数～膜レイノルズ数の関係を与える実験式を示している。

Robidou らは水のシート状衝突噴流を対象として、液膜の流れ方向に伝熱面温度を連続的に変化させて実験を行い、よどみラインからの距離により沸騰曲線が異なることを示している。

3. 当日の状況

最終日のセッションもさることながら、第 3 日目の本セッションはかなり盛況であった。発表者は 4 時間のセッション中に設定してある休憩時間においてさえ、持ち場を離れるのが困難な状況にあり、発表者相互間で議論する時間はほとんど無かったようである。筆者は寄稿用に会場の写真を撮る予定であったが、すっかり忘れてしまい当日の雰囲気を紹介できないのが心残りである。

全体的な意見として、今後はポスターセッションとキーノートレクチャーとが同時進行にならないようお願いしたい。

論文提出の各過程や会期中にお世話になった方々にあらためて謝意を表します。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Two-Phase Flow:
Experimental Techniques Session*

稲田 茂昭 (群馬大学)

Shigeaki INADA (Gunma University)

このセッションでは、プログラムに登録された論文は 10 編 (内 3 編は欠番) で当日、2 編の追加があった。

ET1 は層流・乱流下での管内気泡流の液速度ベクトル場と気泡の軌跡及び気泡の形状をステレオ shadow 技法と PIV 法とを併用して三次元的な計測を試みたとの報告である。これは直接、ポスターセッションの場から得たレビューではなく、CD-ROM 上での論文による。画期的な三次元計測を期待したくなるが、これによると、二次元計測の域を脱ぎきれていない。

ET2 は管内スラグ流のテイラー気泡周りの液膜速度を独自で開発した 240 Hz の triangular excitation を取付けた電磁流量計で測定したもの。この研究では、流量計自体が発するノイズの除去対策が講じられているが、いかに精度よく、ノイズを除去できるかが、この研究のポイントと思われる。

ET3 は二相流の流動様式を、差圧変動の極値を捉えて図示した return map 上のドット模様から精度よく判別できるとの提案である。このドット模様が流動模様並びに遷移領域での流動特性を評価するに十分なデータが蓄積されつつあるとのことであり、この方法は流動模様を識別する新しい客観的な手法として注目される。

TE4 は水—空気系の水平に配置されたエルボを通過する管内流において、ダブルセンサー抵抗プローブを用いてボイド率、IAC (interfacial area concentration)、平均気泡サイズ、気泡界面速度等を測定したもので、管内垂直方向でのボイド率及び IAC がエルボの前後で大きく異なることを実測データで見事に示している。

ET5 は水—空気系垂直管内流での IAC を 5 本組導電センサーをプローブとして用い測定したもので、特に気泡流とスラグ流について、垂直管長さ 1.0 m の間を 3 箇所測定し、ボイド率も実測している。

ET6 は ET4 と同じ研究グループのもので、CD-ROM 上での論文レビューによると、垂直管内を

流下する水—空気二相流がチーズを介して左右水平に流れる管内のボイド率、IAC を垂直管内断面と水平管内断面で測定し、両断面での違いが液流量よりもガス流量の僅かの変化で現れることを示した。このときのプローブは、ダブルセンサープローブ、2 センサー平行線及び 4 センサープローブが使用された。

ET7 は NEFs 解析 (non-orthogonal empirical functions) を用いて沸騰気泡核を同定する研究であり、この完全にコンピュータ化された解析方法は実験データと数値シミュレーションとを比較する際の統計的道具として発展させることができるとしている。また、今後気泡核の相互干渉といった重要性をも言及できるとのことである。このような手法が沸騰の分野に取り入れられ始めたことは、実験を主にし、スタミナと乏しい研究費が尽き始めた筆者にとって、朗報である。

ET8 は表面をサンドブラストされた水平銅管の表面粗さをキャビティとし、また実際にその面で沸騰を起こさせ、気泡の発生頻度及び熱伝達、更に発生気泡の干渉距離が統計的に評価されているが、粗さをキャビティとしたものとの関連が明確に示されていない。

ET9 は ET8 とは逆に、極力、人工的キャビティを除外した透明な光学的レンズ面を加熱し、そこに水滴を落下させて、過熱液のゆらぎによって発生するマイクロバブルの挙動をレンズ面の裏から捉えたものである。40 倍に拡大し、高速度ビデオカメラで可視化を試みているが、これがまさしく自発核生成気泡であることを明確かつ鮮明に写し出すには、これから、かなりのスタミナと研究費が必要となろう。

ET10 は水の温度が変化した場合の水—空気二相流のボイド率を測定したもので、ボイド率に及ぼす温度の影響は液流量が多く、かつガス流量が少ない時が顕著であり、これらを neural network を用いて実験ボイド率と予測ボイド率の相関を見つけた。

ET11 は核沸騰と限界熱流束に及ぼす熱面の傾き

角とサブクール度の影響を調べたもので、加熱面は水平上向き状態から連続的に傾き角度を変化させ、 90° （垂直面）そして 180° （下向面）に至るまでが包含されている。このような研究はすでに個々の傾き角で実験がなされているように思われるが。

ET12 は交差する空気流によって液体噴流を飛散させる実験研究で、恐らく液体の微粒化を目的としたものかと思われるが、CD-ROM 上にも論文が登録されていないし、ポスター会場では説明を受けたはずだが、筆者の記憶が戻って来ない。

記憶に残っているのは、夕日に映えたモンブランを左手前方に、赤く染まった地中海を右手にリヨンの空港に滑り降りた時だ。それと、帰りの機内で隣の席に座った、モンブラン登頂に成功したという登山靴姿の 20 代の日本の女性の日焼けした充実した顔。彼女はこのモンブランに挑むにあたり、何度も何度も富士山に登って鍛えたという。

ああ、何たることか、毎日雑用(?)に追われ、睡眠不足で、ふらふらしながら、国際会議に臨むとは・・・。

Heat Transfer 2002, Volume 3
Heat Transfer in Two-Phase Flow
Experimental Techniques

ET1 Measurement of Bubbly Pipe Flow Utilizing Particle Image Velocimetry, Yassin A. Hassan, Javier Ortiz-Villafuerte, Donald Todd, Texas A&M University, Dept. of Nuclear Engineering, College Station, Texas.

ET2 Investigation of Slug Flow Measurement Using the Electromagnetic Flowmeter Developed, Yeh-Chan Ahn, Jae-Eun Cha, Moo-Hwan Kim, Dept. of Mechanical Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea.

ET3 Differential Pressure Fluctuation and New Identification Method of Two-Phase Flow Pattern, Koji Ito, Daisuke Miyazaki, Mitsuru Inoue, Masahiro Shoji, Dept. of Mechanical Engineering, The University of Tokyo, Hongo, Japan.

ET4 Internal Phase Distribution Transition Through 90° Bends in Horizontal Configurations, J.H. Park, W.L.Fu, T.W.Guo, G. Kojasoy, Dept. of Mechanical Engineering, University of Wisconsin, Milwaukee.

ET5 Experimental Study on Interfacial Area Concentration Transport in Air-Water Test Loop, D.J.Euh, B.J. Yun, C.H. Song, W.M.Park, M.K.Chung, U.C. Lee, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea.

ET6 Internal Flow Structure Transition and Its Axial Development Through a Tee- Junction, W.L.Fu, J.H.Park, T.W.Guo, G. Kojasoy, Dept. of Mechanical Engineering, University of Wisconsin, Milwaukee.

ET7 Identification of Boiling Nucleation Sites by Non-Orthogonal Empirical Functions (NEF) Analysis of Thermographic Data, J.Von Hardenberg, T. Kono, D.B.R.Kenning, P.E. McSharry, L.A. Smith, Oxford University, United Kingdom.

ET8 Size Distribution of Active and Potential Nucleation Sites in Pool Boiling, Andrea Luke, Elisabeth Danger, Dieter Gorenflo, Wärme-und Kältetechnik, Universität Paderborn, Germany.

ET9 Visualization of Temperature Field and Droplet Boiling on the Heating Transparent Solid Surface, Shigeaki Inada, Wen-Jei Yang, Dept. of Mechanical System Engineering, Gunma University, Kiryu, Japan.

ET10 Prediction of Void Fraction in Air/Water Two-Phase Flows at Elevated Temperatures, M.R. Malayeri, J.M. Smith, H. Muller-Steinhagen, Institute for Technical Thermodynamics, German Aerospace Center, Pfaffenwaldring, Stuttgart, Germany.

ET11 Effects of Inclination Angle and Subcooling on Nucleate Boiling and Critical Heat Flux of HFE-7100, Huseyin Bostanci, Mohamed S. El-Genk, Institute for Space and Nuclear Power Studies and Chemical and nuclear Engineering Dept., University of New Mexico, Albuquerque, USA.

ET12 Experimental Study of Primary Break-Up of Liquid Jets in Cross Airflows, M. Birouk, T. Stähler..

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

Heat Transfer in Two-Phase Flow :
Convective Condensation Session

宇高 義郎 (横浜国立大学)

Yoshio UTAKA (Yokohama National University)

標記セッションは 5 大分類のうちの "Heat Transfer in Two Phase Flow" 中の一つとして、木曜日午前にポスタープレゼンテーションが行われた。本セッション以外で "Condensation" に関わるものは、同一大分類中の "Fundamentals-Interfacial Phenomena 1" および "Convective Boiling and Condensation" に若干含まれているが、多くはここに入っている。

本セッションは 12 件の研究論文から構成され、凝縮伝熱に関わる比較的広い範囲の内容を含んでいる。表 1 にセッション中の全論文についてまとめて示した。大きく 3 つに分けることができる。空間凝縮に 3 件、表面凝縮のうち膜状凝縮に 5 件、滴状および直接接触凝縮に 4 件である。また、過半数の 7 件の論文が不凝縮気体 (空気) を含めると 2 成分系を扱っていることが特徴であろう。

空間凝縮に関しては、いずれも均質核生成による

液滴形成からそれらの成長過程を考慮した気相流れ中の現象を扱ったものである。膜状凝縮については、水蒸気と空気などの混合物質に関する研究が 3 件を占め、気相流れあるいは重力方向とが変化した場合を扱っているものが多い。滴状凝縮および擬似的な滴状凝縮 (濃度差マランゴニ凝縮) に関する 3 件の研究のうち 2 件は非ぬれ面上の滴状凝縮に関するもの、他の 1 件はぬれ面で生じる凝縮液の表面張力不安定現象に基づくものである。

国別に見てみると、ロシア 3 件、ドイツ 2 件、韓国、中国、フランス、日本、カナダ、イギリス、台湾の各 1 件ずつであった。ロシアの論文数が多いが、東アジアの多くを含む世界各地から集まっている。

表 1 "Convective condensation" まとめ

分類	表題	著者 (国名)	特徴・結果など
空間 凝縮	Behaviour of clouds of droplets in thermal diffusion cloud chamber under large temperature differences	Schaeffer, N. Benard, J. Utheza, F. Garnier, F. (フランス)	<ul style="list-style-type: none"> ・大温度差の熱拡散霧箱 ・ガス中の液滴の軌道と成長を計算 ・浮力対流有無の双方の場合について液滴作用力の影響を検討 ・液滴軌道は円弧状に巻きながら中央から遠ざかる
	Condensational Relaxation of Supersaturated Vapor: an Investigation of the Thermodynamic Parameters Pulsations Effect	Kortsenstein, N., Samuilow, E. (ロシア)	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気過飽和空気の凝縮緩和過程のシミュレーション ・凝縮緩和時間、液滴数密度初期状態、過飽和比、脈動振幅・周期の関係を検討 ・脈動の不可により凝縮緩和時間は減少、液滴生成数は増加した
	Modeling of Spontaneously Condensing Steam Flows in Transonic Nozzles	Alipchenkov, V. 他	<ul style="list-style-type: none"> ・ノズル内遷音速自発凝縮蒸気流れ、二相液滴流れ ・核生成、凝縮/蒸発、合体による液滴径分布変化 ・初期湿り状態の自発凝縮への影響

表 1 (続) “Convective condensation” まとめ

分類	表題	著者 (国名)	特徴・キーワード
膜状凝縮	Condensation of binary vapors of partially miscible liquids	Lonshchakov, O. D'yakonov, V. (ロシア)	<ul style="list-style-type: none"> ・エチルアセテート-水混合蒸気鉛直管内凝縮実験 ・部分的混合性液体 ・純水蒸気の場合より低熱伝達 ・相関式の提出 ・論文中の図表は一つだけ (結果のみ)
	Laminar Film Condensation from Vapor-Gas Mixtures in Downward-Inclined Parallel-Plate Channels	Siow, E.C. Ormiston, S.J. Soliman, H.M. (カナダ)	<ul style="list-style-type: none"> ・傾斜平板流路内の蒸気-空気混合気の層流膜状凝縮の数値計算 ・傾斜角、質量分率、入り口 Re 数、温度差の影響を検討
	Heat transfer from a steam/air mixture to a water-cooled condensing plate	Jackson, J.D. An, P. Ahmadinejad, M. (イギリス)	<ul style="list-style-type: none"> ・不凝縮気体混入時の水蒸気の凝縮特性 ・原子炉の熱流体設計コード用データの取得 ・平板形伝熱板両面にて凝縮、板内部を冷却 ・過冷度、オリエンテーションを変化させた
	Effect of Fin Tip Radius for Film Condensation on Micro-fin Surfaces	Chang, F.P. Fan, C.F. Yang, C.Y. (台湾)	<ul style="list-style-type: none"> ・R134a の平滑板およびマイクロフィン付き伝熱面 (4.5&70 μm フィン) における凝縮実験 ・上、下、垂直にオリエンテーション変化 ・マイクロフィン表面については一部伝熱促進結果が得られた
	Effect of countercurrent vapour flow on film condensation heat transfer inside a vertical tube	Gross, U. Philipp, C. Thumm, S. (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直管内対向流凝縮 ・試料; 水、エタノール、イソプロパノール ・Nu 数は液膜流形態に依存 ・Re 増大にともなって、膜流れ、波形成・局所乱れへと変化
滴状・直接接触凝縮	Investigation of Thick Polymer Film Promoting Dropwise Condensation Mode on Dropwise and Film Coexisting Surfaces	Ma, X.H. 他 (中国)	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気の滴・膜混在凝縮 (鉛直鉛管の軸方向に滴・膜交互に分割) ・滴状部に 1 μm のポリマー使用 ・膜状部下端に形成される液リングが強く影響 ・いずれも全面滴状を越える伝熱性能はなし ・不均一温度分布の系における伝熱量の決め方について要検討か?
	Dropwise condensation heat transfer on ion implanted metallic surfaces	Leipertz, A. Choi, K.H. Diezel, L. (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> ・従来に比べて簡易なイオン注入法による長寿命の滴状凝縮の実現 ・半年以上の水蒸気の安定滴状凝縮持続中 ・熱流束は過冷度に対して極大値をもつ ← 過冷度が低い領域で現れるのは疑問
	Unsteady Measurement of Condensate Film Thickness for Solutal Marangoni Condensation	Utaka, Y. Nishikawa, T. (日本)	<ul style="list-style-type: none"> ・Positive mixture (水-エタノール蒸気) における擬似滴状凝縮; 濃度差マランゴニ凝縮 ・凝縮液の表面張力分布によるためぬれ面で生起 ・赤外レーザー吸光法による凝縮液膜厚さ測定 ・1 μ 前後の薄液膜により高熱伝達率
	Dynamic Characteristics of Horizontal Submerged Steam Jet Condensation	Hong, S.J. Lim, B.K. Cho, S. Chum, S.Y. Park, G.G. (韓国)	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気のプール水中への噴射 ・凝縮振動数に対する蒸気流量、プール温度の影響を検討 ・モデル式との比較検討 ・領域マップを提示

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

Single Phase Heat Transfer :
Instabilities Session

前川 透 (東洋大学)

Toru MAEKAWA (Toyo University)

1. Grenoble

The 12th International Heat Transfer Conference が、Fourier のふるさとである Grenoble で開かれた。Grenoble はフランスアルプスの中心都市で、国際学会の開催都市としては大きすぎず小さすぎず、ちょうどよい規模の都市であった。山並みは非常に美しく印象的で、幸いにも Mont Blanc を見ることもできた。学会のオプションツアーの一つに Annecy 見学もあり、美しい町並み、歴史、山と湖を満喫することができた。ただし、物価の高さ、ホテル・レストラン・タクシー等での (私に対する) サービスの悪さ、スキあらば (私を) だまそうとする姿勢等々、場所が変わっても相変わらずであった。

2. Single Phase Transfer: Instabilities Session

会議の進行は、フランスのお国柄を考えればスムーズに行われたとあってよい。ポスターセッション開始前に 1 分間の口頭発表が与えられた。長すぎる発表あるいはポイントを外した発表もあったが、発表機会が与えられるのは良いことである。

Single Phase Heat Transfer セッションでは、以下の 12 のサブセッションに分かれて発表が行われた :

Convection with obstacles

Instabilities

Free or mixed convection in ducts

Forced convection in external flows

Free or Marangoni convection in closed cavities

Forced or free convection in nonconventional fluids

Mixed convection in nonconventional fluids

Forced or mixed convection in ducts

Advanced conduction modeling

Film cooling and impinging jets

Free jets

Free or mixed convection in external flows

上記題目から想像がつくように、一般に古典的な研究が多かったように感じる。

私が参加・発表した Instabilities セッションでは 12 の研究発表があった。参加国は、Hong Kong (1 件)、USA (1 件)、Canada (2 件)、Korea (2 件)、Israel (1 件)、UK (1 件)、France (1 件)、Japan (1 件)、Portugal (1 件)、Russia (1 件) であった。すべての研究で、科学的な解析・考察が行われ、単に境界条件を変えただけの演習的研究がなかったのは幸いであった。古典的な線形安定理論による単なる対流発生問題の解析とは異なった、様々な対流の線形・非線形不安定解析が独自に行われ、研究レベルは比較的高かったと思う。私が発表した臨界流体物理はまだ広く研究されていないが、さすがに France での開催ということもあり、多くの France の臨界流体研究者から学会開催前に E-mail での問い合わせがあり、また、私の発表に来てくれたことは幸せであった (France では、Dr. Zappoli のグループを中心として、臨界流体物理の研究が精力的に行われている)。

私事であるが、学会終了後、私の友人である Dr. Cartellier を Laboratoire des Ecoulements, Géophysiques et Industriels (LEGI) に訪ね、研究室を見学した。大規模装置による熱流体実験が主流であるが、LEGI においてもメソスコピック流体の研究テーマが増えてきており、熱流体科学研究の変革が始まりつつあるそうである。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Single Phase Heat Transfer :
Convection with Obstacles Session*

中部 主敬 (大阪府立大学)

Kazuyoshi NAKABE (Osaka Prefecture University)

本セッションは单相流について、物体周りの対流熱伝達をテーマとした研究が集められており、その内の 10 件が強制対流、2 件が自然対流、2 件が複合対流、それに加えて、理由は定かでないが本来なら最終日の「Heat Transfer in Two-Phase Flow – Convective Boiling and Condensation」のセッションで発表される予定の液膜破断に関する研究の飛び入りで、合計 15 件が発表された。もっとも、その中にはポスターをトランクに積み込んだ車ごと盗まれてしまい、ポスターを掲示することができないという痛ましい研究も含まれていた。

さて、各ポスターの内容であるが、本セッションで個人的に最も興味を引いたのは「Unsteady Heat Transfer in Separated Flow behind a Circular Cylinder (H. Nakamura and T. Igarashi; 02-Fourier-06)」である。流れに直交して挿入した円柱周りの壁面熱伝達率の時間履歴を熱流束センサーによって局所的にモニターするのみならず、毎秒 120 コマの赤外線サーモグラフィを使って画像として捉えることに成功している。これによって円柱軸方向の瞬間的なヌッセルト数分布が前縁部では一様であるものの、はく離による流れの三次元性の影響を受ける後縁部では複雑な分布形状を取ることが実験的に明らかになった。また、後縁部ではヌッセルト数の変動成分 (rms 値) が非常に大きく、局所時間平均ヌッセルト数の約半分に及ぶことや、その卓越周波数成分が渦放出の周波数とよく対応することも示しており、実験対象の流路系は古くから数多く取り上げられる基礎的なものではあるものの、測定されたデータはこれまでにない貴重なものであると思われた。

円柱を挿入した流れ系を取り上げた研究としてその他に、市販の計算コードを利用して広いレイノルズ数範囲にわたる円柱の blockage ratio の影響を調べた研究、円柱表面に円形フィンを取り付ける場合と取り付けない場合について DNS による流動パターンと壁面熱伝達率分布を比較する研究が報告された。また、小さな熱源を置いた円柱後流について、LDA と冷線でその速度場および温度場を同時測定した「Heat transport in the intermediate laminar periodic wake of a circular cylinder (G. Godard, K. Gosse, M. Gonzalez and P. Paranthoen;

02-Fourier-02)」も興味深く、カルマン渦放出の位相に応じた速度および温度の瞬時値、速度と温度の変動成分の相関係数などの詳細なデータが提供され、熱輸送に関する勾配モデルの適、不適を論じている。

基礎的流れのもう一つの代表である後向きステップ流れについても発表があり、乱流を扱った「Effects of Aspect Ratio on Turbulent Heat Transfer Around a Downward Facing Step (T. Ota, K.-K. Fu and H. Yoshikawa; 02-Fourier-05)」, 層流を扱った「Three-Dimensional Separated Flow Adjacent to Backward-Facing Step (B. Armaly, J. Nie and A. Li; 02-Fourier-09)」が報告された。いずれもとくにアスペクト比の影響に注目した研究を行っており、前者は実験的に速度、温度の変動成分の分布を求め、熱輸送のメカニズムにまで言及した興味深い内容になっている。いっぽう、後者は速度測定のみで伝熱実験を行わず、代わりに数値解析を実施してステップ後流の複雑な三次元的流動がヌッセルト数分布に及ぼす影響に言及している。ただ、その数値計算結果は私たちが以前国際誌に掲載した内容の追認で、新規性には欠けており、研究に取り組む際のレビューの重要性を改めて認識した。

その他にも、チャンネル内への傾斜矩形平板の挿入、伝熱面へのリブや円柱の付設、あるいはディンプル形状をした伝熱面に対する熱流動を扱った研究が報告された。また、私を含む研究グループも「Time- and Space-Averaged Convective Heat Transfer from the Surface of a Circular Cylinder in an Oscillating Flow (H. Iwai, T. Mambo, K. Nakabe and K. Suzuki; 02-Fourier-14)」を発表したので、宣伝になって恐縮だが、この場をお借りて報告したい。この研究は時間平均速度ゼロの往復流中の挿入円柱周りの伝熱実験と流れの可視化である。ヌッセルト数はレイノルズ数とグラスホフ数を使ってうまく整理され、得られたデータはこれまで行われなかった流動条件に対する新規なもので、スターリングエンジン用再生器等の要素研究などへの応用も考えているが、評価は読者の判断に委ねたい。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Single Phase Heat Transfer :**Forced, Free or Mixed Convection in Nonconventional Fluids Session*

宗像 鉄雄 (産業技術総合研究所)

Tetsuo MUNAKATA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

本セッションは、8月29日(木)の午後に2室に分かれてポスターセッションが行われたが、最初に行われた One-shot poster presentation は、2室合同で行われた。本セッションでは、Forced Convection in Nonconventional Fluids に分類されているものが2件、Free Convection in Non-conventional Fluids に分類されているものが5件、Mixed Convection in Nonconventional Fluids に分類されているものが7件、合計14件の発表が予定されていた。これらの発表では、発表者が来なかったもの、ポスターだけ掲示して説明者がいなかったもの等もあったが、これら14件は全て論文集に掲載されているため、論文集に掲載されている全てを対象に報告する。なお、筆者の論文も含め、Forced or Mixed Convection in Nonconventional Fluids に分類された発表は、プログラム上では Forced or Mixed Convection Convection in Ducts のセッションと表示されているが、プログラム表示の誤りである。

さて、論文集に掲載されている本セッションの論文題目と著者および第1著者の国名は最後に示した通りであるが、内容的に分類すると次のようになる。なお、プログラムでは木曜日の午後の Biot 室で行うということで 08-BiotX-XX と記載されているが、08-Biot は共通のため省略する。

臨界点近傍での伝熱 : A-01, A-02, A-06

空気の磁化力対流 : A-03, B-01, B-02

液体金属への磁場の影響 : A-04, A-07, B-03, B-04

誘電液体への電場の効果 : B-05, B-07

マイクロポーラ流体 : A-05

熱音響波 : B-06

これらの中でセッション名通り、Non conventional な流体を扱ったものは A-05 のみで、その他は、空気、CO₂、液体金属等、Conventional な流体ではあるが、液体の状態や外力場が通常と異なっている場合を扱ったものである。

臨界点近傍での伝熱では、細管内に CO₂ を流した場合の加熱実験を行い、流れが下降流の場合に

は浮力の効果が大きく熱伝達率が著しく低下することを実験的に明らかにしたもの(A-01)、臨界点近傍における熱伝達係数や熱物性値をニューラルネットワークを使って予測する手法を開発したものの(A-02)、ピストン効果を考慮したレイリー・ベナール問題の安定性解析を行ったもの(A-06)が発表された。

空気の磁化力対流は、空気の磁化率が温度の関数であることを利用し、空気の自然対流場に磁場勾配を印加することで対流を発生・抑制させる方法であり、最近では、産総研の若山氏、九州大学の尾添先生らのグループが行っている研究である。本セッションでは、尾添先生らのグループから田川先生が発表されていた(B-02)。他の研究(A-03, B-01)も現象的には尾添先生らの取り扱っている場と同様であり、印加する磁場の与え方や温度勾配の与え方が異なっているのみである。

液体金属への磁場の影響では、浮力 MHD 流れにおけるハルトマン層内の速度分布を正確に求める手法の開発(A-04)、自然対流場の温度勾配に対し印加する磁場方向を変化させた場合のハルトマン層近似の影響およびヌッセルト数への影響(B-03)、水平円管内の液体金属の強制対流に対する印加磁場方向の影響(B-04)、および著者が発表した FZ 融液内自然対流に対する高周波磁場の影響(A-07)が発表された。なお、B-03 については、筆頭者はフランスであるが、発表は前述の九州大学の田川先生が行っていた。筆者の発表以外は直流磁場の影響に関するものである。

誘電液体への電場の効果では、同一のグループによる発表ではあるが、自然対流、強制対流、沸騰、凝縮といった種々の伝熱形態に対し、直流・交流・高周波電場を印加した場合の熱伝達を見積もる式を誘導したもの(B-05)、熱伝導率、粘性係数に及ぼす直流・交流電場の影響を実験的に計測したもの(B-07)が発表された。

その他、マイクロポーラ流体中の水平円筒周り

の自然対流に関するもの(A-05), パルス状あるいは次第に壁を加熱した場合の圧縮性気体に発生する自然対流に対する熱音響波の影響に関するもの(B-06)が発表された。

これら全体から, 今後の技術動向をまとめるのは困難であるが, 全 14 件の内, 実験的な結果を論じているのは 4 件で, 残りは数値計算によるものである。特に, 本セッションで取り扱っているものは特殊な環境下での伝熱に関するものであり, 伝熱特性の計算では種々の熱物性値の正確さが重要であるため, 計算モデルの開発のみならず, 熱物性値の計測技術(B-07)や熱物性値の予測技術(A-02)も計算精度を上げる上で重要になってくるものと思われる。

Forced Convection in Nonconventional Fluids

- A-01 Heat Transfer of Supercritical Carbon Dioxide Flowing in Heated Horizontal and Vertical Mini/Micro Tubes, Tim S. Zhao, S. M. Liao, China
- A-02 Forced convective heat transfer to supercritical carbon dioxide inside tubes. Analysis through neural networks, Giancarlo Scalabrin, Lorenzo Piazza, Italy

Free Convection in Nonconventional Fluids

- A-03 Numerical study on field coordination of natural convection in the square cavity under non-uniform magnetic field, Lijun Yang, Jianxun Ren, Yaozu Song, Zengyuan Guo, China
- A-04 Computation of MHD buoyant flows at low Pr in a cubic enclosure with full resolution of the Hartmann layers, Michele Ciofalo, Fabrizio Cricchio, Italy
- A-05 Free convection boundary layer on an isothermal horizontal circular cylinder in a micropolar fluid, Roslinda Nazar, Norsarahaida

Amin, Ioan Pop, Malaysia

- A-06 Thermoacoustic and buoyancy-driven convection in supercritical fluids, Laurence El Khouri, Pierre Carlès, France
- A-07 Effect of High Frequency Magnetic Field on FZ Silicon Melt Convection, Tetsuo Munakata, Satoshi Someya, Ichiro Tanasawa, Japan

Mixed Convection in Nonconventional Fluids

- B-01 Experimental and numerical investigation of thermomagnetic convection in a non electroconducting fluids, Fouad Khaldi, Pascale Gillon, France
- B-02 Magnetizing convection of air in a cubical enclosure with one magnetic coil either over the top wall or over the bottom wall, Riki Noda, Masayuki Kaneda, Toshio Tagawa, Hiroyuki Ozoe, Japan
- B-03 Natural convection in a vertical enclosure under a strong and uniform magnetic field, Guillaume Authié, Toshio Tagawa, René Moreau, France
- B-04 Liquid metal MHD heat transfer investigations in strong magnetic fields, Valentin Sviridov, L.G. Genin, Olga Ivanova, Vyatcheslav Zhilin, Yuri Ivochkin, Nikita Razuvanov, Russia
- B-05 Heat transfer of dielectric liquids in electric fields, Boris Savinykh, Ilgizar Sagbiev, Anvar Mukhamadiev, Farid Gumerov, Bernard Le Niendre, Russia
- B-06 Interaction of thermoacoustic waves and buoyancy induced flows in an enclosure, Murat Aktas, Bakhtier Farouk, USA
- B-07 Thermal conductivity and dynamic viscosity of dielectric liquids in electric fields, Boris Savinykh, Ilgizar Sagbiev, Anvar Mukhamadiev, Farid Gumerov, Bernard Le Niendre, Russia

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Single Phase Heat Transfer:
Free Jets Session*

松原 幸治 (新潟大学)

Koji MATSUBARA (Niigata University)

1. はじめに

単相流伝熱—自由噴流—のポスターセッションは 8 月 23 日午後に行われた。8 編の論文が発表される予定であったが、そのうち 1 編は欠席であった。最終日のため発表時間が 1 時間短縮され 3 時間となり (通常 4 時間)、Closing Session と重なったことから訪れる人数が少なめであったが、活発な討論が行われた。国別論文数は、日本、フランス、スウェーデン、ポーランド、カナダ、インドの 6 ヶ国からそれぞれ 1 編、イタリアから 2 編であった。内容を分類すると、自由噴流とその熱輸送に関する基礎的研究が 4 編であり、衝突冷却等の応用的なものが 4 編であった。

2. 発表内容の紹介

筆者の独断によって基礎的研究に分類されたものを中心に紹介する。セッションに含まれる全ての講演論文が議事録の第 2 巻に収められているので、以下の引用では著者と先頭頁数のみを示す。

燃焼炉をモデル化した管内噴流に対して、4 本の細線によって速度 3 成分と温度の同時計測が行われた (Fornalik, E. and Szmyd, J.S., P.321)。管内噴流は自由噴流と比較してやや一般性の低い流れ系であるが、乱流モデルの構築に欠かせない乱流熱流束の分布や収支について報告があった。これまでに自由噴流の乱流エネルギー収支やレイノルズ応力収支に関して論文が発表されているが、筆者の知る限り乱流熱流束収支の測定例として今回の論文が最初のものである。論文には掲載されていないが、ポスターにはプローブの詳細が描かれている。発表者の Szmyd 教授からプローブ開発の経緯や測定のご苦労をうかがった。

噴流の組織構造に注目したものとして、二次元噴流の渦度を PIV によって計測し、浮力によって渦が小さくなるとともに回転運動が強まることが報告された (Thomas, L. and Penot, F., P.309)。気体

噴流の場合には火炎のように極端に温度が高い場合を除いて浮力 (重力) の影響よりもむしろ対流項に含まれる密度変化の影響が重要と考えていたが、講演者との議論は平行線に終わった。同様の課題に対して筆者は DNS によって検討中であり、いずれ決着を付けたいと思った。筆者による論文 (Suto, H., et al., P.297) は、DNS によってスカラー拡散を伴う噴流の発達域における組織構造を検討し、ヘアピン状の概念モデルを考えることで瞬時のスカラー輸送や渦度 PDF の異方性が説明できるとしたものである。壁乱流とその伝熱については既の実験と数値解析の両面から詳細な検討がなされ、壁面近傍においてストリーク構造や縦渦構造が存在することが報告されているが、発達した噴流の 3 次元的な組織構造についてはほとんど分かっておらず研究課題として取り上げた。噴口部および下流側境界での境界条件の設定方法についての質問の他に、実験による検証の可能性についての質問があった。乱流の組織構造のような問題に数値解析によって先行して取り組むことの是非について意見が分かれるところである。著者の論文は他の研究者が行っている実験と抜きつ抜かれつにあるようなちょうど良い位置にあると勝手に思っているが、そのように一般的に受け入れてもらうことの難しさを改めて感じた。

その他に、シャドウグラフによる噴口部流動特性の測定 (Gori, F. et al., P.303)、平行平板間流路内の二次元衝突噴流の非対称性 (El-Shaboury, A.M.F., P.291)、斜噴流の衝突熱伝達に対する排気方法の影響 (Gao, X. and Sunden, B., P.327)、エアカーテンの流動特性 (Cumò, F. and Santoli, L., P.285)、壁噴流の測定 (Das, M.K. and Badjatiya, S., P.315) について報告がなされた。自由噴流や乱流における輸送現象に興味を持っている筆者にとってやや期待はずれであったが、噴流冷却やエアカーテンについて最近の情報を得る機会となった。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium :
Non-LTE Heat Transport in Fluids Session*

芝原 正彦 (大阪大学)

Masahiko SHIBAHARA (Osaka University)

このセッションは 2 日目の午前中に "Veron" という部屋で行われた。それぞれ 1 分の口頭説明の後、ポスターセッションとして 4 時間にわたって行われた。セッション全体として、熱心な方から素通りの方も含めて、4 時間、ひっきりなしに誰かに説明を行うという状態であった。その間、筆者は自らの発表、説明をしていたため、本セッションの他発表の方の説明を十分に聞くことができなかった。よって本稿はレビューではなく、セッション概要の報告とさせていただきます。

全部で 12 件の研究発表が予定されていたが、2 件は欠席、1 件は勘違いにより終了直前にポスターを添付するというハプニングがあった。実際にポスター発表された研究発表題目を文末に示す。セッション名のとおり、いずれも "Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium" に関連しているが、研究対象とする現象に関しては "Local" と "Non-Equilibrium" という一般的な概念以外に共通項はほとんどない。強いていえば、"Local" という意味では、分子スケール、ナノスケールの現象解析を対象とする研究が、"Non-Equilibrium" という意味では、化学反応過程を含む現象に関する研究が若干多いといえる。

本セッションは、対象とする現象では分類できないので、アプローチおよび手法で分類すると、分子動力学解析 (4 件)、格子ボルツマン法による解析 (1 件)、その他の数値解析 (2 件)、実験 (2 件)、その他 (1 件) となる。その中で日本からの発表は 4 件であった。

このセッション全体としては、"NanoPorous", "Nanoparticle", "Molecular Dynamics", "Lattice Boltzmann Simulation", "Discontinuous wall temperature", "Quantum Nucleation" などのキーワードで想像可能なように、アプローチおよび現象に関して、本会議の他セッションと比較しても新規的なものが多いと考えられる。その中でも、01 のフランスからの非平衡分子動力学解析の研究、

03 の第一原理分子動力学解析を用いた燃料電池触媒の研究、08 の化学反応をとまなうポーラス構造体中の格子ボルツマン法による解析、11 の白金表面上水滴挙動のシミュレーションは、想像力を働かせて今後の応用的発展と解析適用範囲の拡大を考えた場合に、特に興味深いと考えられる。

Table 1 Titles of papers

- 01 "On the Soret effect of a simple binary mixture in bulk fluid and in nanoporous medium, a NonEquilibrium Molecular Dynamics approach".
- 02 "Convective heat transfer performances of fluids with nanoparticles".
- 03 "Molecular Simulation Study of Microscale Transport Phenomena in Polymer Electrolyte Fuel Cell".
- 04 "Molecular dynamics study on energy transfer and reaction probability in collision processes of oxygen molecules onto Ag surface: Effects of internal molecular motion and adhered molecules".
- 06 "Thermal momentum in thermodynamics and interfacial electrification".
- 07 "Discontinuous wall temperature distribution induced gas flow in an enclosure at high Knudsen numbers".
- 08 "Lattice Boltzmann Simulation of Flow and Heat- and Mass- Transfer with a Chemical Reaction in a Porous Structure".
- 09 "Numerical Analysis of Unsteady Evaporation of Moderately Large ($0.01 < Kn < 0.3$) Droplets in Non-Isothermal Multicomponent Gaseous Mixtures".
- 10 "Quantum Nucleation of Bubbles in Liquid Helium near Absolute Zero Temperature"
- 11 "Molecular Dynamics Simulation of Water Droplet in contact with a Platinum Surface"

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium :
Nanosystems Session*

中別府 修 (東京工業大学)

Osamu NAKABEPPU (Tokyo Institute of Technology)

1. セッションの概要

ナノシステムと名付けられたこのセッションでは、微細加工技術、ナノ構造デバイス、センサ・計測技術に関連した 8 件の発表が行われた。マイクロ・ナノテクノロジーにより新機能や大幅な性能向上を示す材料、デバイス、センサが開発可能となったことを背景に、いずれも明確な対象を設定した現実的な研究であり、多数の来場者との熱い議論が行われていた。また、この分野では 3 件の基調講演と 1 件のパネル討論会があり、研究動向の紹介と共に、言葉の定義から教育まで問題が多数あることも話題となっていた。

2. 研究概要

“Interferometric Imaging System for Measuring Out-of-Plane Deflections in MEMS Devices” (J. Rogers & L. Phinney) は、MEMS で多用されるカンチレバー (片持ち梁) 構造のスティクション (付着) を短パルスレーザー照射によるカンチレバーの熱変形により回復する操作に関し、シリコンカンチレバーの変形、スティクションの状態を HeNe レーザーの干渉で観察する手法を提案している。

“Phase Transformations in Ultra-Fast Laser-Induced Processing of Materials” (T. Choi, et al.) ではフェムト秒レーザーと金属、半導体、誘電体との相互作用に関し、レーザー照射後の試料を 80fs の時間分解能で光学的に観察し、初期のプラズマ発生やその後の熱的現象を実験的に捕らえている。

“Heat Transfer in Femtosecond Laser Ablation of Metal” (I. H. Chowdhury & X. Xu) では、フェムト秒レーザーによる金属のアブレーションを電子と格子の 2 温度モデルにより数値解析し、加工痕深さが実験とよく一致することを示している。

“Impact of the Material Properties on the Coupling Thermal and Electrical Analysis of Semiconductor Devices” (H. Maruyama, et al.) では、サブミクロンゲート幅の MESFET の動作特性を電気と熱の練

成問題を数値的に解くことで説明し、誘電体層や電極の形状、物性がデバイス特性に与える影響の重要性を指摘している。

“Design of coherent thermal source of radiation” (J. J. Greffet, et al.) では、ナノ構造を持つ物質表面の熱放射の波長選択性、コヒーレント性を利用し、赤外線源の開発を理論的および実験的に行い、SiC のグレーティングから特定の方向にコヒーレントな熱放射が確認されたことを報告している。

“Nanowire Arrays in Energy Conversion Devices” (A.R. Abramson, et al.) は、低次元効果による熱電効果の向上を理論的背景とし、シリコンナノワイヤによる高性能な熱電素子を実現する研究である。VLS プロセスで基盤と垂直に成長させた直径 50~150nm のシリコンワイヤ群をパレリン樹脂で封止し両端に金属層を設置した素子が試作され、ナノワイヤと平行な方向の熱伝導率がバルク材の 1/7 まで低下したことが確認されている。

“Development of the Scanning Thermal Microscopy for Nanoscale Real Temperature Measurement” (O. Nakabeppu & T. Suzuki) では、定量的な温度計測を行う走査型顕微鏡の開発に関し、MEMS 技術による多機能カンチレバーと熱フィードバック法により、物性や表面形状に影響されず、サブミクロン空間分解能での表面温度計測を示している。

“A Microfluidic Device for Studying Mass Transfer Effects in Biomolecular Analysis” (M. Yue, et al.) は、プローブ分子で修飾したマイクロカンチレバーの機械的変形を利用した DNA やタンパク質の検出システムに関する研究である。プローブ分子とターゲット分子の結合による応力発生をカンチレバーの撓みとして光学的に検出することを計測原理とし、最適なカンチレバー形状や多種類のターゲット分子を同時に検出するための集積化、試料の供給、排出に適したチップ設計が試みられている。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium :
Radiation Session*

板谷 義紀 (名古屋大学)

Yoshinori ITAYA (Nagoya University)

今回の国際会議では, "Radiation" は "Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium" という大分類の中のひとつのセッションとしてまとめられており, 3 日目の 8 月 21 日水曜日午前のセッションで 16 件 (うち 1 件はキャンセル) の発表が行われた. 一般の研究発表は前回と同様にすべてポスター形式であったが, セッションの最初に全員が 1 分間の概要説明を口頭で行うことになったことは今回の新たな試みであろう. しかし, ポスターセッションが 4 時間も設けてあるので, 例えばもう少し口頭発表に時間を割くなり, 発表者が他の発表に対して質疑討論できる時間を区分してもらえれば, 同一セッション内の発表者間での討論も一層充実したのではないかと個人的には感じた.

一般研究発表とは別に, 会議初日に輻射関連の Keynote lectures が 3 件と "Inverse problems in radiation" をテーマとする Panel discussion が行われた. どちらかという伝熱の中で輻射に関するトピックスは少ないことが多いにもかかわらず, 今回はこれだけの輻射に関する企画に大きなウェイトが置かれたことは, 輻射に関する重要性の認識が広く浸透しつつあるためか, フランスにおける航空・宇宙や重工業分野の高温技術に対する科学技術戦略の一環で, 大きな興味の対象になっているのかもしれないという思いに至った. いずれにしても, 若干なりとも輻射に携わっている筆者にとってうれしい限りである.

前置きがやや長くなってしまったが, 以下にもう少し研究の具体的な内容の動向について紹介する. Keynote lectures は, フランスから A. Soufiani による "Radiative transfer in some aeronautic and aerospace devices", 米国から C. Amon による "Advances in computation modeling of nano-scale heat transfer", および日本から牧野先生 (T. Makino) による "Thermal radiation spectroscopy for heat transfer science and for engineering surface

diagnosis" と題した講演が行われた. Soufiani は, 航空機エンジン, 宇宙ロケットエンジン, 惑星探査車両エンジンなどの特殊エンジン内の輻射問題として, ガス輻射, 壁面輻射, 固体粒子群輻射やこれら共存系の輻射伝熱について報告した. このような系では高温はもちろんのこと, 高圧または逆に減圧下の雰囲気やロケット燃料の特殊性から二酸化炭素, 一酸化炭素, 水蒸気に加えて塩化水素が共存するガス輻射, さらに固体燃料燃焼過程で生成する種々の他成分が混入したアルミナの光学物性, 非平衡状態の赤外輻射, 燃焼場での電子軌道の励起に伴う紫外線輻射などに関する研究動向が紹介された. Amon は, 材料プロセスのナノテクノロジーに関連する伝熱問題を対象として, 数十から 100 nm レベルの薄膜かつエネルギー緩和時間オーダーの短時間ではフーリエの熱伝導法則が成立せず, 微少時間・微少距離の非平衡輻射を考慮するために, フォノンの移動をボルツマンの移動方程式から解くためのモデルについて紹介した. Makino は, 講演者がこれまでに行ってきたセラミックス等の輻射物性計測に関する一連の研究紹介と, 独自に開発された酸化反応過程の固体金属表面の反射率および射出率の光学物性変化を短時間で同時に分光計測する方法を紹介した. さらにこのように計測された物性データから被膜厚さや粗さなどの表面状態を診断するための手法の展望について解説された. いずれの Keynote lectures も輻射伝熱に関する研究対象が, これまでの熱力学的平衡かつ定常状態の伝熱問題から非平衡・非定常問題へと移行しつつあることを示唆するような講演内容であった.

初日の夕方行われた Panel discussion では, Prof. J. Howell の司会で輻射伝熱の逆問題について 3 件の話題提供があり, 総合討論が行われた. 2 件は輻射熱輸送方程式の逆問題として, 例えば輻射強度から温度分布等を決定するためのアルゴリズム, 適用例および誤差論等について提案があった. ま

た、残りの 1 件はこれも牧野先生より固体表面の反射率スペクトルデータから複素屈折率さらには分散理論に基づく電磁物性等を決定する逆問題について解説があった。会場からの質疑討論は輻射熱輸送方程式の逆問題に集中しており、具体的なアルゴリズムについての質問が中心であった。

ポスターによる一般研究発表については、原稿の制約もありすべての研究について逐一紹介することは省略させていただき、ここでは、内容を大別してそれぞれの概要を簡単にまとめ、表 1 に示した。輻射物性計測から輻射輸送問題に至るまで、ほぼ全般にわたる輻射トピックスについて報告されている。また、コンピューターの高性能化を反映して、不均一媒体系や非線形問題等の実在系に近づけた輻射現象を対象としたり、解析の高精度化を目指したモデリングが数多く見受けられるが、それらのほとんどは、輻射単独の問題を扱っている。近年、工業炉、ボイラー、反応器などの伝熱挙動について市販解析コードの発達に伴い伝導、対流、反応速度論に関する解析はかなり詳細なモデルを用いた計算が行われているにもかかわらず、輻射伝熱については極めて簡易的なモデルでしかも物性値は経験的に適当に与えられ、解析精度に大きなアンバランスが生じていることが多いのが現状である。全体の伝熱解析精度を上げるためには、既往の伝熱解析と同程度の精度で輻射伝熱の同時解析を実現する必要がある。このためには、これまでの輻射に関する詳細な知見や輻射輸送解析だけでなく、既往の伝熱解析とのインターフェースとなりうる輻射伝熱モデルまたは輻射パラメーターの考え方に寄与しうる研究が、工業的には重要な課題になると考えられ、今後の発展が期待される。

表 1 “Radiation”のポスターセッションにおける研究発表の分類

固体表面物性	2 方向反射率	Makino and Wakabayashi (Japan) : 2 方向反射率分布の簡易計測 Shen and Zhang (USA) : シリコンウエーファー表面の反射率計測法
面間輻射		Daun et al. (USA) : 非線形解析による閉空間理論解
均相系	ガス輻射	Liu et al. (Canada) : SNBCK (statistical narrow-band correlated k) モデルに基づく unified band model の提案 Park and Kim (Korea) : SNB モデルおよび ray-tracing モデルによる 3 次元円筒系の非灰色ガス輻射伝熱解析 Okamoto et al. (Japan) : 狭域バンドモデルによる不均一分布を有する H ₂ O と CO ₂ 共存ガス輻射伝熱解析
	輻射輸送問題	Xia et al. (China) : 吸収係数の空間分布を有する場の温度分布解析 Iacona et al. (France) : ray-tracing 法による 3 次元吸収・射出媒体内の輻射伝熱解析 Kudo et al. (Japan) : モンテカルロ法による非灰色面-非灰色ガス系の輻射伝熱解析
不均相系	光学物性	Wiseman and Khan (USA) : 粒子分散系の輻射物性とその評価 Itaya et al. (Japan) : 石炭チャーおよび灰粒子群の輻射物性計測
	輻射輸送問題	Tancrez and Taine (France) : 球形気泡を内在する多孔体の輻射輸送問題と吸収・散乱モデルのアナロジ Ayranci and Selçuk (Turkey) : 非等方散乱媒体内の DOM 解析 Pilon and Viskanta (USA) : 気泡を含む半透過性媒体内の輻射伝熱 Dombrovsky (Russia) : ディーゼルエンジン内燃料液滴分散系の輻射伝熱解析

第 12 回国際伝熱会議 : IHTC12
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media :
Drying session

青木 和夫 (長岡技術科学大学)
Kazuo AOKI (Nagaoka University of Technology)

乾燥のセッションで発表された論文は 8 編であり、国別に見ると、フランスおよび韓国 2 件、イタリア、日本、カナダ、ブラジルがそれぞれ 1 件の発表があった。乾燥そのものを取り扱った研究として、マイクロ波による乾燥、真空凍結乾燥、薄いガラス状ポリマーの乾燥、スラッジの乾燥、建材の乾燥などがあり、その他、熱物質移動の立場から、吸収を取り扱った研究および数値計算法の提案などの広範囲にわたる研究発表があった。以下に発表された論文の内容を簡単に紹介する。

03-PecletA-01 は、H₂O/LiBr 吸収塔を用いることにより空気中の水蒸気の除去（除湿）を化学的に行うもので、除湿過程および再生過程を実験的に検討している。従来、吸収式冷凍機に関連して、吸収器および再生器の特性は多く議論されているが、吸収塔を用いた除湿システムとしての例は少なく、空調および乾燥への適用を提案している。

03-PecletA-02 は、我々の論文であり、導波管を用いたマイクロ波加熱による乾燥を理論的および実験的に取り扱っている。特に、乾燥の進行にともなう層内の水分変化により誘電特性が変化するため、マイクロ波の透過波と反射波の干渉状態が複雑に変化し、両波が共振する状態でマイクロ波の吸収がピークをもち、乾燥速度も周期性をもつことを明らかにしている。

03-PecletA-03 は、スキムミルク(脱脂乳)の真空凍結乾燥過程に対する実験および解析を行ったものである。特に、側壁からの熱移動により昇華面が二次元的になることを示し、それらを考慮し解析をしているが、側壁からの熱移動量の見積もりおよび基礎式への適用が必ずしも明確ではない。

03-PecletA-04 は、攪拌機を有するバッチ型乾燥機によるスラッジの乾燥を実験的に検討している。特に、平均熱伝達率に及ぼす壁面温度、回転速度、スラッジの影響について検討し、壁面温度およびスラッジの性状の影響が大きいことを実験的に明らかにしている。

03-PecletA-05 は、ラッカー、ペンキ、ワニスなどのガラス状ポリマーの乾燥特性を取り扱った研究で、特に、溶媒の拡散におけるガラス転移の影響に焦点を当てている。一般に、この種の乾燥特性は溶液と周囲との熱物質伝達で支配される第一段階と、乾燥速度が急激に低下し、ポリマーと溶媒の物理化学特性に支配される第二段階に分けられる。特に、第二段階では、ガラス転移温度を通過する時、ポリマー内の溶媒の拡散に粘弾性応力の緩和現象が複合し、Fick 型の拡散からずれることを示し、精密な重量変化の測定および測定精度の検討から拡散係数の変化を詳細に議論しており、興味深い研究である。

03-PecletA-06 は、熱・物質移動のような支配方程式群が互い従属関係にあり、かつ、その方程式が強い非線形性を有する非線形連立偏微分方程式の解析に対し新しいアルゴリズムを提案している。一般の TDMA(Tri-Diagonal Matrix Algorithm)を用いた解析と比較し、本解析がより安定でかつ低い反復回数で収束することを明らかにしている。しかし、一般的な非線形連立代数方程式の解法、例えば、ニュートンラプソン法を適用する方法などと比べて優れているかどうかは不明である。

03-PecletA-07 は、住宅建材における熱および水分移動を統一的に取り扱うために、hygIRC 呼ばれる計算コードの信頼性を確立することを目的とした研究であり、建材の単一特性および複合した場合の特性を系統的に実験を行い、計算結果と比較検討している。

03-PecletA-08 は、LiBr/H₂O の吸収器における管表面のぬれ性に及ぼす表面性状の影響について検討している。管全体のぬれ性に対する新しい測定基準を示すとともに、ぬれ性に及ぼす緒因子の影響を実験式でまとめ、マイクロスケールをもつ粗面のほうがぬれ性は高いことを示している。

第 12 回国際伝熱会議 : IHTC12
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media :
Freezing and Solidification Session

多田 幸生 (金沢大学)
Yukio TADA (Kanazawa University)

1. はじめに

本セッションで発表された論文は 12 編である。この他に「Melting and Solidification」のセッションで 8 編の凝固・融解関係の発表があった。国別に見ると、フランス 3 件、日本およびオーストラリア 2 件、アメリカ、カナダ、イタリア、ロシア、ブラジルからそれぞれ 1 件の発表があり、世界各地から集まっている。以下に発表された論文の内容を紹介する。

2. 発表論文の概要

発表論文を内容的に分類してみると、多成分系凝固、過冷却凝固、強制対流相変化、融解、その他に大別される。

多成分系凝固 04-veron-07 は、せん断流中に置かれた水平平板上の 2 成分水溶液の凝固を対象に、実験と 1 次元熱伝導解析を行った研究である。その結果、界面での溶質排出・再分配が凝固界面での見掛けの平衡凝固点温度および界面移動速度に影響を与えることが示されている。凝固前線に形成される mushy 域の構造や濃度境界層にまで立ち入った検討はなされていないが、本セッションの中では議論が活発であったテーマである。04-veron-09 は、前回に引き続き、microgravity 環境下での凝固問題を扱った研究である。Bi-Sn 合金の一方凝固(Bridgman 法)では微少重力下でも thermal diffusion 効果により凝固界面が不安定化し、偏析が生ずることを数値解析により明らかにしている。次に、04-veron-10 では、Bridgman 法によるガリウム融液の凝固問題の数値計算が行われ、熱伝導率の異方性および固・液界相の熱伝導率が流動・凝固パターンに与える影響が報告されている。発表では、ポスターの他にパソコンを持参し、流動状態をアニメーションで示していた。その他に、単成分系であるが、04-veron-01 では、高分子材料のマクロ凝固の数値解析が示された。

過冷却凝固 04-veron-03 は、冷却面に衝突した過冷却水滴の凍結挙動を過冷却度、壁面材質、衝突速度などの因子と関連づけて実験的に追究したものである。特に、撥水性コーティングを施した壁面は、衝突滴を過冷却状態のままバウンドさせ、氷結防止面として有効であることを示している。液滴—噴流系と高速度ビデオを組み合わせた正確な実験に対して会場での評価が高かったように思われた。次に、過冷却状態の解消を予測するためには核生成速度が必要となるが、04-veron-04 の研究ではエマルジョン中の液滴を対象に、核生成速度を逆問題により解析する手法が報告されている。また、過冷却凝固は生体細胞の凍結過程においても生ずる。04-veron-06 (筆者らのグループ)では、生体細胞の凍結を対象とし、細胞外氷晶が植氷作用が細胞内の過冷却解除のトリガーとなること、およびその作用は凍結過程における細胞膜の収縮により抑制されることを実験的に明らかにするとともに、それらを組み込んだ細胞の凍結モデルが提示されている。

強制対流相変化 04-veron-02 は、ノズル型連続 casting システムにおける流動・凝固解析についての報告であり、ノズル長さ、流入速度、加熱度、等の操作条件と流動・伝熱場および凝固状態との関係が示されている。04-veron-08 では、炉心冷却問題と関連して、高温気液二相流が冷却管内で凝固する問題が数値計算により解析されている。

融解 04-veron-11 は、乱流自然対流を伴う純金属の融解過程の数値計算に関する報告であり、流動パターンおよび温度分布と Ra 数との関係が検討されている。

その他 タービンプレードなどの一方凝固における熱伝導問題の逆問題解析 (04-veron-05)、凝固問題における準定常解析の改良 (04-veron-12) の発表があった。

表 1 Freezing and Solidification のセッションのまとめ

論文番号	成分		過冷却		手法		対象・用途
	単成分	多成分	なし	あり	実験	解析	
04-Veron-01	○		○			○	材料製造
02	○		○			○	連続鋳造システム
03	○			○	○		氷結防止
04	○			○		○	凍結予測
05	○		○			○	材料製造（一方向凝固）
06		○		○	○	○	細胞の凍結保存
07		○	○		○	○	基礎的問題
08		○	○			○	炉心冷却
09		○	○		○	○	材料製造（一方向凝固）
10		○	○			○	材料製造（一方向凝固）
11	○		○			○	材料製造（融解）
12	○		○			○	基礎的問題

3. 全体的な印象

今回の発表論文をまとめたものを表 1 に示す。全体的に数値計算を用いた解析的研究が多く、凍結・凝固に関する研究がマクロスケールでは深化・成熟する段階に入っているとの印象を受けた。Application としては材料製造に関する研究が多く、新しい分野の開拓が望まれる。また、現象のスケールとしては、凝固相の組織・組成・付着・生存状態など目的とする諸量と基礎方程式との間にはまだ隔たりがあり、モデルや実験手法の解像度を一層向上させることが必要であると思われる。

発表論文 (Freezing and Solidification)

- 01 Transient cooling analysis of semi-crystalline polymers, M. Cartesegna and L.A. Tagliafico, (Italy)
- 02 Effects of turbulence from submerged entry nozzle during the solidification process of continuous casting, M.R.Amin and A.Mahajan (USA).
- 03 Freezing of supercooled water droplets impinging upon solid surfaces, K Matsushima and Y.H.Mori (Japan).
- 04 Identification of the nucleation probability in undercooled emulsions, S.Gibout, J.P.Dumas and M.Strub (France).

- 05 Inverse heat conduction problem for analysis of directional solidification experimental data, V.Monastyrskii and Y.A.Zeigarnik (Russia).
- 06 Microbehavior and intracellular ice formation during freezing of biological cell, Y.Tada, Y.Hayashi and A.Takimoto (Japan).
- 07 Solidification of a binary mixture in a shear flow, S.Mergui, B.Feroual, C.Benard and D.Gobin (France).
- 08 Experimental and numerical study of a liquid/gas flow freezing in a pipe: influence of the interfacial resistance, P.Coste, et al. (France).
- 09 The influence of soret effect on transient solidification of alloys in a horizontal Bridgman apparatus, V.Timchenko, R.Bennacer, E.Leonardi, and G.V.Davis (Australia).
- 10 Effects of anisotropy and solid/liquid thermal conductivity ratio during inverted bridgman growth, J.Kaenton et al. (Australia).
- 11 Melting of a pure metal from an isothermal vertical wall in the presence of turbulent natural convection, L.J.C.Rocha and A.O.Nieckele (Brazil).
- 12 An improved quasi-steady analysis for solving freezing problems, S.Lin (Canada).

第 12 回国際伝熱会議 : IHTC12
*Heat Transfer in Nonhomogeneous Media :
 Melting and Solidification Session*

石黒 博 (九州工業大学)

Hiroshi ISHIGURO (Kyushu Institute of Technology)

第 12 回国際伝熱会議の論文は、1) Transfer Modes under Local Thermal Non-Equilibrium, 2) Single Phase Heat Transfer, 3) Heat Transfer in Two-Phase Flow, 4) Heat Transfer in Nonhomogeneous Media, 5) Heat Transfer in Engineering Systems の 5 つに大別され、さらに、各項目に細分化された。5) 以外は、現象による分類である。Heat Transfer in Nonhomogeneous Media に含まれる固液相変化現象としては、Melting, Solidification, Freezing があり、その関連セッションは、Melting and Solidification (ポスター 8 件) と Freezing and Solidification (12 件) があった。ここで報告するセッション (Melting and Solidification) は、8 月 22 日 (木) 午前開催された。論文タイトルなどを表 1 に、論文の要点を表 2 にまとめた。

本セッションの 8 件の国内訳は、日本 (3 件)、中国・アメリカ・ドイツ・フランス・ロシア (各 1 件) で、アジアが半数を占めた。内容的には、蓄熱 (3 件)、結晶成長 (2 件)、生体組織の凍結・融解 (1 件)、鑄造金属材料の熱物性 (1 件)、金属のレーザー加工 (1 件) と様々で、融解・凝固という伝熱現象は実際の多くの課題と関わる基本現象である。

結晶成長に関する論文 No.01 では、2 元合金の凝固に対して、AHP 結晶成長法による結晶成長過程において実験と数値計算が行われた。実験では、付加ヒーターの位置を変化させた場合の非定常温度変化が計測された。それに対応して、数値計算では、溶融層内の流動、溶融層と結晶内の非定常温度・濃度分布、固液界面速度などが計算され、組成的過冷却の発生が調べられた。しかし、単なる組成的過冷却領域の出現と熱力学的不安定の発生が、平坦な固液界面の不安定化とセル状への遷移とは異なる点に関する詳細な検討にまでは到っていない。また、No.2 では、微少重力条件でフローティングゾーン (FZ) におけるマランゴニ対流の効果の数値計算として、液相の自由表面に課

される熱流束分布が、FZ 内の速度分布、結晶と FZ 内の温度分布、固液界面形状などに及ぼす影響を明らかにしている。

蓄熱に関する論文 (No.3, 7, 8) の内、No.3 と 7 は、氷蓄熱を対象にしている。No.3 では、氷蓄熱カプセル充てん層に対して、カプセル内の凍結挙動と充てん層内軸方向流速を磁気共鳴イメージング (MRI) により、非接触・時系列・三次元的に計測した、カプセル表面での局所熱流束分布、冷媒の温度効率など明らかにしている。これは、従来の現象に対して新しい計測手法を用いることにより、新しい詳細な情報が得られる例である。No.7 では、ダイナミック型氷蓄熱と関連して、細かい氷粒 (0.5~20mm) から成る多孔性固体の伝熱面への接触融解に対して、伝熱面温度・熱流束、溶融形態を実験的に調べ、粒径の影響を明らかにした。また、異なる粒径範囲に対して、1) 液相を透過させる多孔質の接触融解モデル、2) 個々の粒子の接触融解モデルを展開した。No.8 では、第 3 境界条件を課した密閉容器内の蓄熱材の融解に対して、溶融層内自然対流を 1) 固液界面近傍の低温境界層、2) 加熱垂直壁面近傍の高温境界層、3) 両境界層間の中心領域の 3 領域に分け、前 2 領域に境界層近似を適用し、壁面温度・中心領域温度、固液界面移動速度などに対するビオ数の影響が解析された。第 1, 2 境界条件から、第 3 境界条件へのステップアップである。

生体組織の凍結・融解を扱った No.4 では、筋組織の凍結・融解過程における氷結晶と細胞の微視的挙動が、共焦点レーザー走査顕微鏡 (CLSM) と蛍光色素を用い、無侵襲・時系列・三次元画像計測された。熱的条件として、緩速加温に対する冷却速度の影響が調べられ、凍結・融解後の組織変化の特性は CLSM の結果により説明された。これも、No.3 の場合同様、従来現象に対して新兵器を適用することにより新しい知見を提供している。鑄造金属材料の熱分析を行った No.5 では、マグ

ネシウム合金 (AZ91, AM60, AS21), 種々の鋼に対して, 融解温度範囲も含め, 密度, 熱膨張係数, 比熱, 融解温度, 融解潜熱などの物性値が測定された。派手さはないが, 常に必要不可欠な研究である。

高エネルギーパルスレーザーによる金属加工に関連した No.6 では, 金属材料の溶融・凝固過程に対して, 溶融層内の熱流動 (表面張力対流, 自然対流) の速度分布, 温度分布, 流動パターンを調べると共に, 溶融層表面での表面張力, 外力, 重力のつり合いから導出される界面形状方程式の連結により, 溶融層の自由表面形状を計算し, スケール (金属加工後の金属表面に形成されるでこぼ

こ) 形状としている。このモデル化によりレーザーパルスパラメーター (ビーム内エネルギー分布, レーザーのスキャン速度, パルス周波数) のスケール形状に対する影響を明らかにしている。

本セッションの中で, 新しい現象を対象にした研究はなかった。個人的には, これまで知らなかった現象や新しい現象に出会った時の新鮮な感動 (「こんな現象があるのか, 何と面白い」というような, 心の底から自然に沸き上がってくる, あの気持ち) が味わえなかったのは少々寂しかった。しかし, いずれの研究も重要であることは間違いない。おそらく, 古くて新しい課題ということであろう。

表 1 論文タイトルと著者名 (No. は, 表 2 のポスター番号に対応)

No.	論文タイトル	第一著者名
01	Study of morphological instability during crystal growth using AHP method	M. Marchenko
02	Computational analysis of Marangoni effects during floating zone growth under microgravity condition	R. Bennacer
03	Local heat flux measurement in an ice thermal storage capsule pack using magnetic resonance imaging	K. Ogawa
04	Three-dimensional behavior of ice crystals and cells during freezing and thawing of biological tissues	H. Ishiguro
05	Thermal analytical investigations of metals including the melting range	A. Lindermann
06	Characteristics of scale shape on metal surface during pulse laser processing	L.X. Yang
07	Study on direct contact melting of porous material	H. Kumano
08	Analysis of melting in an enclosure under boundary conditions of the third kind	Y. Zang

表 2 論文の要点

ポスター番号 No.	応用	現象	方法	特色	国
07-PecletB-01	結晶成長 (Zn合金)	組成的過冷却による固液界面の形態不安定	数値計算・実験	アンチモンを添加したゲルマニウムの凝固, AHP (Axial Heater flux close to the Phase interface) 結晶成長法	露
07-PecletB-02	結晶成長 (FZ 精製法)	FZ のマランゴニ対流	数値計算	エンタルピー法, 有限体積法	仏
07-PecletB-03	氷蓄熱	氷蓄熱カプセル充てん層内の氷の成長と蓄冷挙動	実験	磁気共鳴イメージング (MRI) による凍結部の可視化と冷媒の流速計測	日
07-PecletB-04	生体組織の凍結利用 (凍結保存, 凍結手術)	筋組織の凍結 融解挙動	実験	共焦点レーザー走査顕微鏡による蛍光画像計測	日
07-PecletB-05	鑄造金属材料 (軽量 耐熱) の熱物性	熱分析 (密度, 熱膨張係数, 比熱, 融解温度, 融解熱)	実験	熱分析 (示差走査熱分析計, 膨張計) 溶融領域も含む)	独
07-PecletB-06	高エネルギーパルスレーザーによる金属加工	金属加工後の金属表面に形成されるスケールの形態特性	数値計算	流動パターンと界面形状方程式の連結	中
07-PecletB-07	多孔性材料による蓄熱 (ダイナミック型氷蓄熱)	細かい氷粒から成る多孔性固体の直接接融融解	実験・数値解析	準定常状態での 2つの解析モデル	日
07-PecletB-08	蓄熱 (太陽熱など)	密閉容器内の相変化材料の融解	数値解析	第 3種境界条件, 3領域, 境界層近似	米

第 12 回国際伝熱会議 : IHTC12
Heat Transfer in Nonhomogeneous Media :
Porous Media Session

中山 顕 (静岡大学)

Akira NAKAYAMA (Shizuoka University)

本ポスターセッションでは 16 件の発表が予定されていたが、実際に発表されたのは 13 件であった (内 1 件は多孔質体と関連なし)。多孔質体関連の発表 12 件の内、10 件が、多孔質体と流体間の熱移動、すなわち“非”局所熱平衡を考慮に入れた内容であった。

今回の発表の多くが、固体と流体の二つのエネルギー式を考える際に重要となる、多孔質固体面と流体間の界面熱伝達率 (あるいは体積熱伝達率) や速度場のゆがみに起因する見かけの熱伝導率の増分 (熱分散係数) の見積もりに、力点が置かれていたように思う。

Jiang ら(07-Fourier-04)は焼結多孔質体を、Kamiuto ら(07-Fourier-06)は Open-cellular 多孔質体を取り上げ、その熱流動特性 (とりわけ界面熱伝達率) が、粒子群からなる多孔質体のそれと異なることを実験的に示すと共に、膨大な実験データに基づく有益な相関式(Kamiuto ら)を提示している。

一方、熱分散項については、de Lemos-Rocomora (07-Fourier-02)が規則配列された円柱群からなる数値モデルによる数値実験を通して、また Fomin ら (07-Fourier-05) が Fractal geometry からなる Geothermal reservoir モデルを用いて、その重要性を検討している。

熱流体機器への多孔質体概念の導入の試みとしては、Shim ら(07-Fourier-01)による、フィン付き円管の最適化問題への適用、Camassel ら(07-Fourier-09)による Capillary pumped loop への応用、Vaszi ら (07-Fourier-08)による垂直フィンの伝導・対流連成問題への適用などが挙げられる。

局所体積平均操作により巨視的支配方程式を導く試みもいくつか (Duval ら(07-Fourier-13), Nakayama ら(07-Fourier-12)) 提案されている。Duval らは、多孔質体内の蒸発および凝縮を取り扱うべく、固相、液相、気相に対し個別のエネルギー式を考慮する 3 エネルギー式モデルを提案している。モデル定数の決定におい

ては、ポアレベルでの直接数値シミュレーションを活用している。

多孔質体内乱流熱流動の巨視的モデリングにおけるアンサンブル平均と空間平均に関連して、激しいベイデートが繰広げられたのは記憶に新しい (Nield, J. Fluids Engng., vol. 123, pp. 928-934, 2001)。Takatu-Masuoka (OFS 06)の一連の報告は、この件に関する種々の議論に決着をつける意味で極めて明快であり有意義な成果と考えられる。

以上、非熱平衡に関連する発表に限り取り上げたが、確かに、局所熱平衡の仮定の下に、一つのエネルギー式を扱う議論には、いまやネタ切れの感がある。近年、多くの 2 エネルギー式モデルおよび 3 エネルギー式モデルが提案され、これらのモデルを“閉じる”べく、精力的に研究が進められている。これは、触媒、熱交換器 (Shim ら(07-Fourier-01)), 燃焼器 (Huang ら(07-Fourier-15))などへの応用の可能性から、非熱平衡場への多孔質体概念の導入が盛んに行われつつある近年の傾向と連動しているように思われる。また一方では、多くの議論を経た現在でも、局所熱平衡の成立条件設定に未だ曖昧さが残るといった、1 エネルギー式を用いる際の線引き上の不具合と関連しているという、うがった見方もできる。実際には、固体相で内部発熱がある場合であっても、両相の局所空間平均温度がほぼ等しく、1 エネルギー式モデルで処理可能な場合 (例えば、Nakayama ら, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 44, pp. 4375-4379, 2001)も多く、この点も含めて、さらなる議論が必要と思われる。

文献

Heat Transfer in Nonhomogeneous Media, Porous Media, Proc. of the 12th International Heat Transfer Conference, ed. by J. Taine, Vol. 2, pp. 785-880, 2002

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems:
Two-Phase Heat Exchangers Session*

刑部 真弘 (東京商船大学)

Masahiro OSAKABE (Tokyo University of Mercantile Marine)

約 20 年ぶりに訪れたグルノーブルは、本国際伝熱会議の会場となったような新しいビルが多少増えてはいるが、昔と変わらないローヌアルプスの典型的なたたずまいの街であった。駅前の中華料理店の味も、かつて若気の至りで「これはベトナム料理だろ」と店主に言ってしまった味付けが少し残っていた。

二相熱交換器のポスターセッションは、8 月 20 日 (火) の午後 14:30-18:30 にかけて BiotA および BiotB 会場において行われた。発表された論文のタイトルを列記すると以下のようになる。

- [1] Prediction modeling of steam condensation onto finned tubes in the presence of aerosol deposition and non-condensable gases under cross-flow condition.
- [2] Condensation of superheated R134a vapor inside horizontal smooth and three-dimensional (3-D) microfin tubes.
- [3] Optimal design and performance evaluation of a finned regenerative evaporative cooler.
- [4] Separate effects on film-boiling heat transfer.
- [5] Heat transfer characteristic of falling film evaporation on a horizontal tube bundle.
- [6] Flow boiling of R-134a in a minichannel plate evaporator with augmented surface.
- [7] An innovative model for the simulation of a fin coiled evaporator.
- [8] Analysis of experimental results of n-pentane and propane boiling across an horizontal tube bundle.
- [9] The wetted area fraction of dropwise condensation with inert gases and drop drainage.
- [10] Experimental investigation and prediction of flooding during reflux condensation in a small diameter inclined tube.
- [11] A comprehensive assessment of round tube CHF prediction models for square-latticed rod bundles.
- [12] Latent heat recovery from actual flue gas.

[13] Simulation of wet cooling towers performance.

[14] Experimental study of separation in reflux condensers.

[15] Separation of reflux condensers.

空調機器、原子炉およびエコノマイザー等における二相熱交換器において発生する蒸発、凝縮、それらを伴う流動に関する研究が主に示された。産業界において実際に問題となっている現象に関する発表が多かったため、特に欧州を中心とするメーカーの技術者が多く訪れ、各ポスターの前で熱心な議論がセッション最終の 6 時半まで精力的に行われた。報告者は項目 12 の「実排ガスからの潜熱回収」の発表を行ったが、約 4 時間の間、喋りっぱなしの状態が続いた。特に、燃料電池からの排ガス潜熱回収に関連した質問が多く、あるフランスのメーカーからは計算プログラムをもらえないだろうかかと相談を受けた。今、真剣にいくらで売りさばろうか(?) 悩んでいる。



BiotB 会場でのポスターセッションの様子

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems :
Turbomachinery and Gas Turbines, and High Temperature Processes Sessions*

平澤 茂樹 (日立製作所 機械研究所)

Shigeki HIRASAWA (Hitachi, Ltd.)

このセッションでは Turbomachinery and Gas Turbines にて 5 件, High Temperature Processes にて 3 件のポスター発表があった。

論文[1] は, ガスタービン翼の先端部について, ナフタリン昇華法により局所熱伝達率測定を行ない, オイルドット法により流れ可視化実験を行い, 流れの剥離による局所熱伝達率増加を示した。

論文[2] は, ガスタービンノズルと翼の温度分布解析について, 外部流れ, 内部熱伝導, 表面熱伝達の複合解析方法を開発し, 各計算を別々に行う従来法より計算精度を向上させた。

論文[3] は, パルス加熱に対する温度変化応答の位相遅れ角測定を利用し, 放射率を与えなくても, 赤外カメラにより, タービン翼表面の局所熱伝達率を測定する手法を開発し, 測定結果と解析結果が一致することを示した。

論文[4] は, 高い伝熱が可能な内部サイクロン冷却方式によるガスタービン翼冷却について, 局所熱伝達率の測定と解析を行い, 一般伝熱関係式を作成した。

論文[5] は, 非定常液晶法により, 航空機ガスタービンエンジンの翼列端面における熱伝達率分布と圧力分布を測定し, 最大速度位置, 渦や乱流による局所熱伝達率の増加割合などを示した。

論文[6] は, 板のアーク溶接時の温度, 形状変化について数値計算を行い, 溶接条件と不良ビード形状との関係を計算し, 適正溶接条件を示した。

論文[7] は, 蒸気爆発を利用した急速冷却

(10^8 K/s)・微粒化手法を開発し, 微粒化プロセスを写真測定すると共に, 超高粘性スラグの $30 \mu\text{m}$ 微粒子製造を行った。

論文[8] は, プラズマ急速加熱と急速冷却により, ナノサイズの Al と Ti 粒が固まった $30 \mu\text{m}$ 多孔質微粒子の製造プロセスについて, 粒子の温度変化計算を行った。

各種の熱伝達率測定手法, 温度測定手法, 急速冷却プロセス技術など, 他の分野にも適用できるすぐ

れた技術発表である。4 時間ものポスター発表であるため各々ゆっくり詳しく質問することができ, 今後の研究交流の話にも発展したり, ありがたい国際会議と思った(発表者にとっては長時間で大変だが)。一方, エンジニアリングのセッションであるのに, 企業からの技術発表数が少ないことは残念と思った。

Turbomachinery and Gas Turbines

- [1] Heat/Mass Transfer and Leakage Flow on the Tip of a Simulated Gas Turbine Blade, M. Papa, R. J. Goldstein, and F. Gori, University of Rome, Italy.
- [2] Conjugate Flow and Heat Transfer Investigations of Turbine Nozzle Guide Vanes, D. Bohn, T. Heuer, and K. Kusterer, Aachen University of Technology, Germany.
- [3] A new infrared based periodic experimental technique for measuring local heat transfer coefficients, W. Turnbull, W. Carscallen, and T. Currie, Millenium Biologix Inc., Canada.
- [4] Enhanced cyclone cooling technique for high performance gas turbine blades, K. N. Syred, P. Bowen, and R. Al-Ajmi, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine.
- [5] Heat Transfer and Pressure Distributions on A Gas Turbine Vane End-Wall, J. S. Kwak, J. H. Lee, and J. C. Han, Texas A & M University, USA.

High Temperature Processes

- [6] Geometry Analysis in Arc Welding of Plates, S. Hirasawa, and M. Haneda, Hitachi, Ltd., Japan.
- [7] Development of Novel Rapid Cooling and Atomization Process Making the Best Use of Vapor Explosion Phenomenon, M. Furuya, CRIEPI, Japan.
- [8] Predicted Response of Multi-Ceramic Particles to Rapid Heating and Cooling, S. Roychoudhary, and T. Bergman, University of Connecticut, Germany.

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems :
Heat Pipe and Capillary Pumped Loops Sessions*

白 檜 了 (東京大学 生産技術研究所)
Ryo SHIRAKASHI (The University of Tokyo, IIS)

本稿は、去る 8 月 18 日～23 日の日程で、フランス Grenoble で開催された第 12 回国際伝熱会議において、21 日水曜日の午後に開かれたポスターセッション Heat and Transfer in Engineering Systems (Heat Pipe and Capillary Pumped Loops) の報告である。このセッションでは、ヒートパイプ(HP)の性能や、作動する上で重要な現象である表面張力効果についての 8 件の研究発表がなされた。研究は、日本 4 件、ドイツ 2 件、カナダ 1 件、フランス 1 件で、日本の研究の多さが目についた。同じ主旨の研究発表は、同時刻に隣室で開かれたセッション Heat Pipes and Refrigeration でも 2 件(06-BiotB-01,-02)予定されていたが、両方共にキャンセルされていた。セッションは、定刻どおり 1 人 1 分の OHP による研究概要の紹介から始まった。短時間で研究をアピールする面白い形式ではあるが、1 分は少々短すぎる様に思われた。OHP 発表の後には、それぞれのポスターの前で説明にあたった。午後のポスターセッションは、14:30 から 18:30 まであり、見学者は多少の増減はあったが、18:00 近くまでいた。以下、順に研究内容の概略と、見聞した範囲の学会参加者とのやり取りの様子などを紹介することにする。

日本からの発表は、2 件が早稲田大学と NEC の共同研究のグループで、国産の人工衛星 USERS に使用する Capillary Pumped Loop (CPL)に関する研究であった。具体的には、同システムの熱輸送予測モデルの構築と実験、並びに CPL 用のラジエータの性能実験の結果を発表していた。日本からの他の 2 件は福井工大と東大で、共に赤地氏が特許をもつ蛇行細管型ヒートパイプ(Oscillating HP, Pulsating HP, SEMOS HP 等、呼びかたは人により様々)の研究であった。前者は、片側 9 ターンのチェックバルブ付の同 HP を水平方向で使用する場合、作動に必要な最低温度差が存在することと、ドライアウトに起因すると思われる限界熱輸送量があることを実験的にしめした。後者は熱輸送量に対する管径、真空度、姿勢の影響と輸送熱量にしめる顕熱・潜熱の割合の実

験結果を発表した。蛇行細管型ヒートパイプについては、ドイツの Stuttgart 大学の発表もあった。彼らは、同 HP の熱輸送は大部分が顕熱によるという結果を発表しており、東大の発表した結果と定量的にもほぼ一致していた。ドイツの他の 1 件は、HP 内の蒸発部の Groove 形状に関する実験・解析で、優秀ポスター賞を受賞した Darmstadt 工科大学の発表であった。彼らは、高い毛細管力と低い圧力損失を実現する特殊なリエントラント型の Groove 形状を蒸発部に使用することを提案しており、その熱輸送能力の解析と実験を発表していた。その他、カナダは、回転型 HP(HP を回転させることで凝縮部の液膜を薄くして熱伝達率を上げる。回転体の冷却に使用)の熱輸送予測モデルに関する研究を、フランスは、蒸発部の三相界線の構造を考慮した三角形の流路断面をもつマイクロ HP の熱輸送予測モデルに関する研究を、それぞれ発表していた。8 件中 3 件が蛇行細管型ヒートパイプに関する研究であった点が印象的であった。また、米国の Thermacore という機器の熱制御・管理デバイスを製造販売する会社が、同 HP の検討を開始したそうで、盛んに実験方法やデータの細かい点まで質問していた。日本発のこの HP の技術に他国が関心をもつ事は喜ばしいが、実用・産業化の競争は激しくなりそうである。(終)



写真：ポスターセッションの様子 (左はドイツStuttgart大学、右はカナダMcMaster大学のポスター)

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems :
Nuclear Engineering Sessions*

横堀 誠一 (東芝)

Seiichi YOKOBORI (Toshiba Corporation)

1. 原子力セッションの概要

原子力のパネルセッションは、全 16 件のうち、キャンセル 2 件・ポスターのみ 1 件と欠落もあったが、バンケット直前という時間帯にも恵まれ、多くの参加者で活発な議論となった。冒頭の 1 分間スピーチもうまい司会で理解しやすいものであった。いつものことだが、原子力の熱流動研究でも混相流や CHF など技術別の他セッションへの応募が相当数あり、本セッションのみを括って研究動向を論ずるには無理がある。例えば、蒸気爆発に関する知見の蓄積は原子力安全の面から関心が高いものの一つであるが、他のセッションに分散してしまったのが残念であった。本セッションから新たに発信する情報は少なかったようである。

2. トピックス

(1) 不凝縮ガスを伴う凝縮

安全性を一層強化するために、自然力のみで作動する次世代軽水炉向けコンデンサ (PCCS) の凝縮伝熱は依然関心が高く、報告 2 件ともに複数の不凝縮ガスやエアロゾルを含む場合の性能に関する報告であった。東芝から大規模試験によって多様な条件での除熱傾向が示されたが、米パードュー大(不参加)からの基礎体系での凝縮評価結果と比較されれば有益な議論となったであろう。

(2) 液液接触の伝熱

蒸気爆発では韓国 KAERI から酸化ジルコニウムの溶融ジェットの水プール落下時の爆発挙動の紹介がされた (パネルのみ)。他方、液体金属炉からの熱の取出し技術に関して、鉛または鉛ビスマスから水への直接熱接触の基礎試験結果が米ウィスコンシン大学から報告された。米アルゴンヌ研など他機関とも共同で研究が進行中である。

(3) T 字状分岐流

上向き直管から水平管に分岐する T 字分岐流の研究が偶然 2 件見られた。いずれも LOCA 時を対象とした二相流の分離に注目したもので、CANDU 炉の

配管試験ではクオリティ 3 % 程度の水空気試験による層化流動試験結果が報告された。古くから関心ある体系でいまだに研究されている点は興味深いものの、もはや体系化されて然るべきとの感想を持った。

(4) 再処理など除熱対象の拡大

目新しい応用先として再処理施設とそれを構成する使用済燃料を封じ込めたキャニスタ周りの伝熱研究が米アイダホ研から報告された。可視化試験、LDV による流速計測から建屋内の気流解析までステップ毎の結果が要領よく報告されていた。

(5) シミュレーション

実験中心の IHTC12 の中でもシミュレーションの研究が多いセッションであったが、今回はコード改良のためのモデル開発は低圧サブクール沸騰のボイド率に関するもののみで、単なる解析結果の発表が多かった。とくにチェルノブイリ事故を起した黒煙減速沸騰軽水圧力管炉 (RBMK1500) の事故解析に関しては、リトアニアから事象毎の過渡変化解析が 4 件も報告された。本セッションの報告で用いられた解析コードとして、バージョンに差はあるものの RELAP が最も目立った。安全評価の TRAC と構造解析 ABAQUS が、これ以外で 1 例ずつ使用されていた。

3. まとめ

16 件中数件を除いてレビューした。筆者なりに特徴を挙げると (1) 着実なシビアアクシデント研究の進展 (2) より複雑な現象の出現 (3) シミュレーションの定着によるシステム挙動理解度の向上 (4) 大規模試験の減少 (5) 再処理など対象の拡大 を挙げる事ができるが、傾向自体に目立った変化はない。4 年毎の開催で最新技術が掲載されにくい IHTC ではあるが、次回原子力セッションでは魅力的なプログラム編成にも留意して停滞感の一掃を望みたい。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems :
Manufacturing Processes Sessions*

佐藤 公俊 (産業技術総合研究所)

Kimitoshi SATO (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

筆者の担当の研究分野では、Manufacturing Processes1, 2 および Manufacturing Processes-Nonintrusive Processes の 3 つのセッションで合計 21 件の発表があった。全体的な印象としては、やはり設備上の問題から実験的に取り組むのは難しいためか、プロセスの数値予測中心の研究が多く、熱的アプローチによる新技術開発について研究を行なっているという印象はなかった。その中から、材料加工に関する研究に付いていくつか取り上げさせて頂いた。

05-Biot-B-01 はスターチベースの生分解性材料製品の加熱プレス成形に対して、成形時間短縮や成形品品位の制御のための情報となる成形品内の温度及び圧力変化について、実験と解析により検討している。成形品を簡単な 3 層モデルと仮定して有限要素法により上記の経時変化を計算し、実験結果とのある程度の一致が得られ、提案したモデル化の妥当性を述べている。実現象の正確な予測に対して、現実起こる、加熱過程で生じる外殻による物性変化(蒸気の通気率) やこの層を突出する蒸気による急な温度低下の考慮を入れなければならないことを課題としている。

05-Biot-B-02 は、LIGA プロセスにおける、電気めっき時の構造物成形性におよぼす電解液内の現象の解析を扱ったものである。LIGA プロセスとは、非常に微細でなおかつ高アスペクト比(数十)の構造物の作成が可能な成形手法で、母材金属型の創世を、X 線リソグラフィによってパターンが形成された電極基板への電解液からの金属イオンの堆積により行ない、それを基に樹脂やセラミックスなどの材料へ附形して成形品を得るものである。この報告は、上部解放の矩形溝をモデルとする自然対流下 2 次元セル内(セル上部外側は強制対流)の物質・運動輸送、電解反応を解析し、底面電極への金属イオ

ンの堆積分布を検証している。プロセス時間短縮のためには、堆積速度の促進が望まれるが、強い対流と印可電圧がこれを支援する。しかし、流れのパターンや金属イオン濃度の変化(これも結果的に自然対流に影響する)が堆積分布に影響を与えるため(堆積ムラの発生)これらの制御が必要であることを報告している。

05-Biot-B-06 は、押出成形における流動樹脂内に発生する気泡について、その除去を目的とした実験的研究を報告している。気泡の元となる揮発成分の物質拡散および押出機の中の混練バレル内の熱伝達が影響する「ガス抜き」に対しその効率がよくなる条件について言及している。熱的には、含有揮発成分の蒸発による冷却とスクリュ搅拌による粘性発熱の共存などがあり、これと濃度勾配との兼合いの中でプロセスの要素設計をしなければならない、複雑であるが興味深い現象である。

最後に、筆者も同セッションにおいて研究発表を行なった(07-Biot-B-06)ので、その内容について付記しておく。これは、透明樹脂材料の重合わせレーザー接合方法の開発と加工時の熱伝達に関する研究で、この場合、赤外線に対しての光学特性を問題としており、肉眼に対しての「色」は加工の現象とは基本的に無縁である。従って、半導体レーザーのような近赤外線を透過する一般透明樹脂の接合も、そのままではこのレーザーには無反応だが、可視光には透明であるがレーザー波長では吸収特性を示す層(そのような性質を示す顔料による)を存在させることで、接着剤を使わずに透明なまま透明材を重ねて接合でき、その接合部材内部の熱移動に及ぼす赤外線吸収層の特性について報告した。

第 12 回 国際伝熱会議 : IHTC12

*Heat Transfer in Engineering Systems :
Electrical and Electronic Devices Sessions*

富村 寿夫 (九州大学)

Toshio TOMIMURA (Kyushu University)

本ポスターセッションは、表 1 に示す構成で、会議 4 日目の 8 月 22 日(木) 14:30-18:30 に開催された。発表論文数は 12 編で、内訳は日本から 7 編、米国から 3 編、開催国であるフランスから 2 編であった。内容は、電子機器の冷却から MEMS, 熱電運動素子, 非平衡プラズマアークジェットまで多岐にわたっており、本分野における日本の研究者層の厚さを改めて実感することができた。

今回発表されたいずれの論文も興味ある内容を含んでおり、以下ではそれらをグループ化し簡単に報告させていただくこととする。

Véron-01, 05, 07, 10 および 11 は、半導体パッケージの冷却に関連した研究である。Véron-01 では、ベアチップの冷却に使用される平板型のヒートスプレ

ッダーに関する数値解析が行われている。一連の主要パラメータに対する解析結果から、ヒートスプレッダーが機能するための条件が明らかにされている。また、チップ最高温度に及ぼすヒートスプレッダーと熱的介在物質の厚さおよび熱伝導率の影響やチップと発熱源のサイズなどの影響が検討されている。Véron-05 では、熱伝導と対流伝熱が共存するマイクロプロセッサの熱設計手法を確立するために、典型的なモデルパッケージを用いた空冷実験および数値解析が行われている。系統的な数値計算から、等価伝熱面積の概念に基づいた Nu 数と Re 数の関係式が提案され、この式を用いることによりパッケージ表面の最高温度を予測できることが示されている。熱設計手法の確立に向けた今後の展開が期待される研

表 1 ポスターセッション「電気および電子デバイス」

Paper No.	Title and Authors
Véron-01	Thermal Analysis of Plate Type Heat Spreader for Bare Chip Cooling T. Tomimura
Véron-02	Performance Analysis on Micropump System Driven by Marangoni Effect H. Yoshida, M. Saito, H. Toda and R. Haraguchi
Véron-03	Quadrupole Thermal Modeling of a Pyramidal Multilayer Multiblock G. Maranzana, I. Perry and D. Maillot
Véron-04	Reduction and Optimization of Thermal Models Using Kirchhoff Network Theory, Implementation of the Thermal Model of an Induction Machine M. Broussely, Y. Betrin and P. Lagonotte
Véron-05	Conjugate Heat Transfer from an Electronic Module Package Cooled by Air in a Rectangular Duct H. Yoshino, M. Fujii, X. Zhang, T. Takeuchi and S. Toyomasu
Véron-06	Studies on Natural Convection Induced Flow and Thermal Behavior inside Electronic Equipment Cabinet Model M. Ishizuka, G. Peng, Y. Kitamura and D. Biswas
Véron-07	Effect of the Size of Micro-Pin-Fin on Boiling Heat Transfer from Silicon Chips Immersed in FC-72 H. Honda, H. Takamatsu and J. J. Wei
Véron-08	Development of Thermoelectric Actuators Applied to Artificial Heart Muscle S. Maruyama, R. Ibuki, S. Sakai, T. Yambe, T. Takagi, Y. Luo and M. Bhenia
Véron-09	Passive Cooling Limits for Ventilated Notebook Computers G. Solbrekken, W. K. Coxe, K. Yazawa and A. Bar-Cohen
Véron-10	Experimental Investigation of a Micro Jets-Based Cooling Package for Electronic Applications M. Fabbri, S. Jiang and V. K. Dhir
Véron-11	Heat Transfer of Water Sprays on Enhanced Silicon Surfaces C. C. Hsieh and S. C. Yao
Véron-12	A Visualization Experiment on the Thermal Structure of Non-Equilibrium Plasma Arcjet as a High Heat Flux Source K. Yuki, K. Agesawa and S. Toda

究である。Véron-07 は、ドライエッチングにより形成したマイクロピンフィン(縦横 10, 20, 30, 50 μm , 高さ 60 μm)を有するシリコンチップの FC- 72 による浸漬沸騰冷却を取り扱っている。ピンフィンのサイズを変えた一連の実験結果から、核沸騰領域における伝熱促進および限界熱流束の増大などにマイクロピンフィンが極めて効果的であることが示されている。早急な開発が望まれている高負荷冷却技術の有効候補の一つとして期待される。Véron-10 および Véron-11 では、高発熱密度を有する半導体パッケージの冷却技術として、水を作動媒体とするマイクロジェット冷却およびスプレー冷却に関する実験的研究が行われている。前者は、直径 140 μm の微細孔を 24 個配置したオリフィス板、ポンプおよび空冷コンデンサで構成される閉ループ型冷却モジュールの開発を目的としており、パッケージ表面温度が 80 $^{\circ}\text{C}$ の条件下で 300 W/cm² の冷却が可能であることが示されている。一方、後者は、シリコン表面に縦横 160 あるいは 480 μm , 高さ 500 μm のスタッドと幅 120 あるいは 360 μm , 深さ 500 μm の溝をエッチングにより形成し、その面に水スプレーを衝突させた場合のぬれ性を実験的に明らかにすることを目的としている。溝による水膜拡がり効果に基づく伝熱促進や溝幅増大に伴うドライアウト発生に起因する伝熱抑制など興味ある結果が報告されている。

Véron-03 および Véron-04 は、電子あるいは電気機器の温度場を予測するためのモデリングと解析手法に関する研究であり、行列、ラプラス変換、フーリエ変換を駆使した数学的展開がなされている。Véron-03 では 2 次元および 3 次元の積層基板に関するモデル化と解析結果が示され、Véron-04 では誘導モーターを例とした解析結果が示されている。いずれの論文も数学的に華麗な展開がなされていると思うが、この類の研究では、ともすれば現場レベルでの使い易さを忘れられがちである。今後、この点を考慮した取り扱い易い解析手法が提案されるのを望むのは小生だけであろうか。

Véron-06 および Véron-09 は、電子機器の筐体を対象とした研究である。Véron-06 では、縦 220 mm, 横 230mm, 高さ 310mm のモデルキャビネット内に誘起される自然対流場に関する数値解析が行われている。3 次元の解析結果に基づくキャビネット内の温度場と速度場が理解し易くカラー表示され、フロ

ーパターンに及ぼす熱源位置の影響が明らかにされている。また、キャビネット内の空気の平均温度上昇に関する予測結果と対応する系での実験結果との間に良好な一致が得られている。研究の進展に伴い、筐体レベルでの熱設計に有用な予測手法が提供されるものと期待される。一方、Véron-09 では、ノートブック型コンピュータのパッシブ空冷の限界に関する解析が行われている。本体、ディスプレイ共にケーシング表面からの自然対流 (Surface natural convection) とふく射による冷却に加え、ケーシング内では自然対流による通気 (Channel natural convection) が行われるとし、サイズ 24.8cm \times 30.5cm のノートブック型コンピュータのパッシブ空冷による発熱量の上限として 48 W という数値が示されている。このような限界値を提示する研究も、電子機器の熱設計に有用な指針を提供する研究の一例として評価される。

Véron-02, 08 および 12 は、それぞれ、MEMS, 熱電運動素子および非平衡プラズマアークジェットに関連した研究である。Véron-02 では、マランゴニ効果による表面張力を駆動力としたマイクロポンプシステムが提案されている。液体を満たしたチャンネル内の上壁に薄い熱電素子とガス層を等間隔で交互に配置した 2 次元モデルに基づく数値解析結果が示されている。構造が極めてシンプルでありまた可動部分が無いなど数多くの優れた特徴を有しており、応用面の観点からも今後の研究展開が楽しみである。Véron-08 では、形状記憶合金とペルチェ素子で構成されるアクチュエータ、すなわち熱電運動素子に関する実験と数値解析が行われている。本研究の目的は熱電運動素子の人工心筋への応用であるが、医療分野との連携による共同研究の好例の一つであり、今後、実用化に向けた開発が急速に展開されるものと期待される。Véron-12 では、非平衡プラズマアークジェットの簡易診断法の開発を目的とし、熱電対と赤外線放射温度計を用いた温度場の計測が行われている。赤外線放射温度計で観測された半径方向温度場をアーベル変換することにより、熱電対で測定された温度分布とほぼ一致する結果が得られている。放射温度計を利用した新しい簡易診断法の可能性を提示する研究であり、実用化に向けた今後の進展が期待される。