

伝熱研究

1991
July
Vol. 30
No. 118

Journal of Heat Transfer Society of Japan

伝熱「学会」会長就任の挨拶とお願い……………小竹 進
第29期会長を退任するにあたって……………石黒 亮二

〈第3回日本伝熱研究会学術賞・技術賞〉

〈特集：第28回日本伝熱シンポジウム〉

第28回日本伝熱シンポジウムを終えて……………伊藤 猛宏
各分野のレビュー

〈国際会議報告：ASME/JSME熱工学合同会議〉

The 3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint
Conferenceを終了して……………黒崎 晏夫
キーノート・レクチャーの概要

日本伝熱学会第30期（平成3年度）役員

<p>会 長</p> <p>副 会 長 (無任所) (事務担当)</p> <p>地方連絡幹事</p> <p style="margin-left: 2em;">北 海 道 東 北 関 東 東 海 北陸信越 関 西 中国四国 九 州</p> <p>幹 事 (23名)</p> <p style="margin-left: 2em;">早坂洋史(北大) 黒川政秋(東北大) 横山孝男(山形大) 五十嵐保(防衛大) 吉田英生(東工大) 西村誠(岐阜大) 青木和夫(長岡技科大) 萩原良道(京大) 千田衛(同志社大) 森岡斎(徳島大) 池崎英二(新日鐵株) 森英夫(九大)</p> <p>監 査 (2名) 河村洋(東理大)</p> <p>「伝熱研究」編集委員長</p> <p>第29回日本伝熱シンポジウム準備委員長</p>	<p>小竹進(東大)</p> <p>架谷昌信(名大)</p> <p>井上晃(東工大)</p> <p>花岡裕(室蘭工人)</p> <p>三浦隆利(東北大)</p> <p>森康彦(慶応大)</p> <p>長野靖尚(名大)</p> <p>滝本昭(金沢大)</p> <p>坂口忠司(神戸大)</p> <p>菊池義弘(広島大)</p> <p>本田博司(九大)</p> <p>馬場弘(北見工大)</p> <p>円山重直(東北大)</p> <p>西尾茂文(東大)</p> <p>野路伸治(荏原総研)</p> <p>中山顕(静岡大)</p> <p>木村照夫(福井大)</p> <p>坂本雄二郎(神戸製鋼株)</p> <p>平田雄志(阪大)</p> <p>森幸治(阪大)</p> <p>稲葉英男(岡山大)</p> <p>宮良明男(佐賀大)</p> <p>二階勲(鹿島建設株)</p> <p>藤田秀臣(名大)</p> <p>高城敏美(阪大)</p>
---	--

伝 熱 研 究 目 次

伝熱「学会」会長就任の挨拶とお願い ……	第30期会長 ……	小竹 進(東 大) ……	1
第29期会長を退任するにあたって ……	第29期会長 ……	石黒亮二(北 大) ……	3
研究会の学会への名称変更と会費値上げについて ……………	第29期副会長(事務担当) ……	黒崎晏夫(東 工 大) ……	5
〈第3回日本伝熱研究会学術賞・技術賞〉			
第3回日本伝熱研究会学術賞を受賞して ……		西尾茂文(東大生研) ……	7
第3回日本伝熱研究会学術賞を受賞して ……………	芹澤昭示(京 大)・井田俊一(MAP I) 高橋 修(京 大)・岐美 格(松江高専) ……		9
第3回日本伝熱学会技術賞を受賞して ……………	石塚 勝・横野泰之・佐々木富也(東芝・総研) ……		11
〈特集：第28回日本伝熱シンポジウム〉			
第28回日本伝熱シンポジウムを終えて ……	準備委員長 ……	伊藤猛宏(九 大) ……	13
企画を担当して ……	準備委員 ……	藤田恭伸(九 大) ……	15
～ 各分野のレビュー ～			
(1) 強制対流(後半)のレビュー ……		河村 洋(東 理 大) ……	16
(2) 沸騰(I)～(III)、限界熱流束、蒸発 ……		庄司正弘(東 大) ……	18
(3) 沸騰セッション(4)～(8)のレビュー ……		塩津正博(京 大) ……	20
(4) 「ヒートパイプ」・「二相サイフォン」セッションの概要 ……………		神永文人(茨 城 大) ……	23
(5) 自然対流セッション I・II ……		増岡隆士(九 工 大) ……	25
(6) 自然対流セッション III～V ……		竹内正紀(福 井 大) ……	26
(7) 二相流セッション(I～VI)に関する概説 ……		藤井照重(神 戸 大) ……	28
(8) 自然エネルギー・環境伝熱 ……		中西重康(姫路工大) ……	31
(9) 熱交換器セッション(I)および(II) ……		望月貞成(東農工大) ……	33
(10) 「流動層」セッションの概要と感想 ……		石黒 博(筑 波 大) ……	35
(11) 燃焼 ……		高城敏美(阪 人) ……	37
(12) ヒートポンプのセッションの概要と感想 ……………	菊地義弘(広 島 大)・飯田嘉宏(横 国 大) ……		38

(13) 熱物性・測定法 (I)(II)(III)	長坂雄次(慶大)...	40
(14) 融解・凝固セッションの概要および感想	福迫尚一郎(北大)...	42
(15) 「生産加工プロセス」セッションの概要	三田地紘史・鈴木孝司(豊橋技科大)...	45
(16) 「凝縮」セッションのレビュー	宇高義郎(東工大)...	48
(17) 分子動力学	佐野妙子(東海大)...	50

<国際会議報告>

The 3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference を終了して	熱工学合同会議組織委員長	黒崎晏夫(東工大)...	51
---	--------------------	--------------	----

～ キーノート・レクチャーの概要 ～

“A Review of Experimental Understanding of Forced Convection Heat Transfer by Supercritical Helium 4 Flowing in Ducts” の概要	笠尾大作・伊藤猛宏(九大)...	53	
液体燃料噴霧の自発着火 ― 着火機構と着火遅れの支配因子	水谷幸夫(阪大)...	60	
伝熱における分子工学的問題	小竹 進(東大)...	66	
電場による能動的伝熱促進法	矢部 彰(機械技研)...	73	
編集後記	「伝熱研究」第30期編集委員長	藤田秀臣(名大)...	80

<地方研究グループ活動報告>

東海地方研究グループ講演発表会とイブニングレクチャー ...	藤田秀臣(名大)...	81
中国・四国研究グループ講演会	菊地義弘(広大)...	83

<お知らせ>

東海研究グループ企画 長良川畔伝熱セミナー (企業における伝熱の最前線)	85
関西研究グループ企画 芦屋・奥池セミナー「New Phase に挑む伝熱工学」.....	87
中四国研究グループ企画 中四国伝熱セミナー・広島	89
日本機械学会関西支部第185回講習会 機器冷却の基礎から最新技術まで (電気・電子機器の冷却設計法を中心に)	91
第4回混相流インターナショナル・レクチャーコース サテライトセミナー仙台―東京―大阪	92
第2回日韓熱工学会議	94

3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HEAT TRANSFER, BEIJING	95
〈60万人科学者技術者代表集会〉「基礎研究の振興と工学教育」シンポジウム	98
事務局からの連絡 会名称と会費の変更	101
入会手続きについてのご案内	103
会員の方々へ	104

Journal of Heat Transfer Society of Japan

Vol.30, No.118, July, 1991

CONTENTS

New President's Address Susumu Kotake (Univ. of Tokyo)	1
Acknowledgment to All of the Members Ryoji Ishiguro (Hokkaido Univ.)	3
On Renaming the HTSJ (Den-Netsu Kenkyu-kai) into "Den-Netsu Gakkai" and the Background of a Raise in the Membership Fees Yasuo Kurosaki (Tokyo Inst. of Tech.)	5
<Heat Transfer Society Awards>	
On Receiving the Heat Transfer Society Award for Scientific Contributions Shigefumi Nishio (Univ. of Tokyo).....	7
On Receiving the Heat Transfer Society Award for Scientific Contributions Akimi Serizawa (Kyoto Univ.), Toshikazu Ida (MAPI), Osamu Takahashi (Kyoto Univ.) and Itaru Michiyoshi (Matsue College of Tech.)	9
On Receiving the 3rd Heat Transfer Society Award for Technical Achievements Masaru Ishizuka, Yasuyuki Yokono and Tomiya Sasaki (Toshiba Corp.)	11
<Special Issue : The 28th National Heat Transfer Symposium of Japan>	
Chairman's Report of the 28th National Heat Transfer Symposium of Japan, Fukuoka, 1991 Takehiro Ito (Kyushu Univ.)	13
Some Experience in Planning the 28th Heat Transfer Symposium Yasunobu Fujita (Kyushu Univ.)	15
— Review on the Technical Sessions —	
(1) A Review on Forced Convection Heat Transfer Session Hiroshi Kawamura (Sci. Univ. of Tokyo)	16
(2) Boiling (I)—(III), Critical Heat Flux, Evaporation Masahiro Shoji (Univ. of Tokyo).....	18
(3) A Review on Boiling Session (IV)—(VIII) Masahiro Shiotsu (Kyoto Univ.)	20

(4) A Review on Heat Pipe and Two-Phase Syphon Fumito Kaminaga (Ibaraki Univ.)	23
(5) Natural Convection (I)—(II) Takashi Masuoka (Kyushu Inst. of Teoh.)	25
(6) A Review on Natural Convection (III)—(V) Masanori Takeuchi (Fukui Univ.)	26
(7) A Review on Two-Phase Flow (I)—(VI) Terushige Fujii (Kobe Univ.)	28
(8) Natural Energy and Environmental Heat Transfer Shigeyasu Nakanishi (Himeji Inst. of Tech.)	31
(9) Heat Exchanger Session (I)—(II) Sadanari Mochizuki (TUAT)	33
(10) A Review on Heat Transfer in Fluidized Beds Hiroshi Ishiguro (Tsukuba Univ.)	35
(11) Combustion Toshimi Takagi (Osaka Univ.)	37
(12) From the Session of Heat Pump Yoshihiro Kikuchi (Hiroshima Univ.) and Yoshihiro Iida (Yokohama Natl. Univ.)	38
(13) Thermal Properties and Measurement Techniques (I)—(III) Yuji Nagasaka (Keio Univ.)	40
(14) A Review on Melting and Freezing Shoichiro Fukusako (Hokkaido Univ.)	42
(15) A Review on Production and Fabrication Processes Koshi Mitachi and Takashi Suzuki (Toyohashi Univ. Tech.)	45
(16) A Review on Condensation Heat Transfer Yoshio Utaka (Tokyo Inst. of Tech.)	48
(17) Molecular Dynamics Taeko Sano (Tokai Univ.)	50

<Report on the International Conference>

The 3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference Yasuo Kurosaki (Tokyo Inst. of Tech.)	51
---	----

— Outline of Keynote Lectures —

Outline of “A Review of Experimental Understanding of Forced Convection Heat Transfer by Supercritical Helium 4 Flowing in Ducts” Daisaku Kasao and Takehiro Ito (Kyushu Univ.)	53
---	----

Autoignition of Liquid-Fuel Sprays- The Mechanism and Dominant Factors Yukio Mizutani (Osaka Univ.)	60
Molecular Engineering Problems in Heat and Mass Transfer Susumu Kotake (Univ. of Tokyo)	66
Active Heat Transfer Enhancement by Applying Electric Fields Akira Yabe (MITI)	73
Postscript by the Editor Hideomi Fujita (Nagoya Univ.)	80
<Reports on the Local Group Activities>	81
<Announcements>	85

小竹 進（東大）

総会およびシンポジウム懇親会での私の挨拶に対する批評は「暗くて長い挨拶」だった。ここでも暗くて長い挨拶と同時にお願いを述べたい。明るくて長い「学会」の発足のために。

1991年5月30日、30年近い歴史をもった「日本伝熱研究会」もついにその名が消え、「日本伝熱学会」に改名された。30年という年月は一人の研究者のはぼ寿命に近く、ある意味では一つの世代の区切りであり世代交代の時期でもある。伝熱研究に大きな将来を見て若き血を燃やし「研究会」を発足させた先輩達の雰囲気も次第に拡散し、新たな「学会」という凝縮が起ころうとしている。と私は理解している。このような問題は会員数が1000人近くなった頃より検討されはじめている。この問題の検討と研究の成熟にともなう研究分野の梗直に対する活性化の検討はほとんど毎期の幹事会においてとりあげられてきた問題である。

第28期藤井哲会長は「学会化」問題に一つの結論をつけるべく、私を主査とする「学会（法人）移行問題の検討」ワーキンググループをつくりこの問題を検討させた。これに対して私がまとめた答申は要約すると「現状の伝熱研究会の研究分野・研究活動の範囲では学会法人化は不必要であるしまた不可能であろう。しかし、さらに広い新しい研究分野の進展を意図するならばその法人化に本質的な大きな問題はない。」

であった（「伝熱研究」29巻114号,1990-7）。

これに対して、第29期石黒亮二会長は、

「伝熱という研究分野を学際的に拡大し、研究の対象、手法、応用を新鋭かつ多様化する必要があり、伝熱研究会は発展的転換を図るべきである。そこで、『取り敢えず、名称のみを伝熱学会と変更し、その後のある期間（2～3年程度）研究対象や手法を広げてゆく努力をしてみる。』その結果を見てある時期に法人移行の検討をする。」と判断され（「伝熱研究」29巻115号,1990-10）、今回の学会の名称変更になった。

理解しにくい論旨である。研究対象や手法を広げてゆく努力をするというのは、誰がどのように努力をするということなのか？現在の会員個人個人に2～3年このような努力をしるといっても無理な話である。2～3年で学会法人化云々までの成果が上がる位ならもともと伝熱研究の分野の進展だの転換だのという問題は起こらなかつたであろう。それでは、会員集団として、たとえば、シンポジウムやセミナーでこのような努力をすることはどうだろうか？これにしても現在の会員の守備範囲には限度がある。私

には、現在の伝熱研究分野の間口を少し広げたぐらいで新しい学会が発足できるとはとも思えない。そのくらいの分野拡大なら各学会の関係分野（たとえば機会学会の熱工学部門など）で行え得る範疇であり、それぞれ努力しているところであろう。

しかし、「真に、伝熱という研究分野が学際的に必要であり、そのために学会組織が必然である」とするならば、いままでの伝統などという制約を離れて自由な見地から、その学会組織化に向けて誠意努力すべきである。少なくとも、様子を見てそのうちになどという消極的態度で迫力のある新鋭な学会が期待できる状態ではない。このような組織作りには、その組織の必要性を公的に理解認識させる積極的な態度が必要であり、そのためには相当な時間的労力的努力が要求される。このような積極的犠牲（？）なくしては、伝熱研究の発展は期待できず、来る年も来る年も、「伝熱」研究をどうするかという議論を楽しむことになるであろう。しかし、こうした積極的活動の成果はその背後にどのくらいのバックアップがあるかということに大きく支配される。その背景が伝統ある伝熱研究会（学会）であるという意味は大きい。現在の学会はこうした状態におかれていると私は理解する。

幸いというか不幸にというべきか、今年は、事務業務の業者委託、事務および伝熱シンポジウムの会計的見直しなど学会の事務および会計組織の根本的な検討が迫られている。個人会員会費が来年度から60%値上げされるが、学会への魅力と期待がそれに耐えられなければ会員数の急激な減少は必然であろう。60%という値はこうした詳細な検討を経た数値ではないであろう。むしろ、この値を前提にして、それが最大の効果を発揮するように今後の学会の活動・運用を検討しなければならない。

以上のような基礎式と境界条件を考慮して、問題を整理すると

- (1) 学会法人化の検討と対外的交渉
- (2) 学会の内容と組織の検討
- (3) 現行および将来の学会事務および会計の検討
- (4) 伝熱シンポジウムの内容と運営の検討
- (5) 学会誌の内容と編集発行の検討
- (6) 情報通信方法の検討

がある。いずれも関連する問題であるが、衆議公論を楽しむには予算と時間が不足である。そこで、各問題に対してそれぞれのワーキンググループないし委員会を設けて集中的に討論していただくことにしますが、随時随所で会員の積極的献身的な働きかけをお願いします。そして、来年の伝熱シンポジウムにはこれらの問題に対する多大な研究成果の発表があることをお願いしたい。大きな輝かしい成果が上がるようであれば、伝熱学会の将来は明るいであろうし、成果がなければまた暗い長い挨拶を繰り返さなければならなくなるであろう。

重ねて、伝熱研究の将来に対する会員の皆さんの積極的な働きかけをお願い申し上げます。

第29期会長を退任するにあたって

石 黒 亮 二 (北 大)

この度、日本伝熱研究会第29期の満了に伴い会長を退任致しました。この1年間は伝熱研究会にとって検討すべき課題の多い年でありましたが、鈴木健二郎副会長ならびに黒崎晏夫事務局担当副会長を初め幹事会の皆様のご援助と会員各位のご協力により、懸案の諸事項に一応の方向を打ち出すことができましたことを喜んでおります。

懸案事項の最大のものが、本研究会の法人組織への移行とそれに伴う名称変更の問題でありました。この件は、「伝熱研究」Vol. 29, No. 115で幹事会の考え方を会員各位に示し、その後第29期総会において、取り敢えず名称を“日本伝熱学会”と変更することをご決定願ったところであります。今後は研究対象や手法を広げる方向の努力を続け、将来に対する見通しが一層明確となった時点で法人化を行うことで皆様のご同意が得られたものと了解致しております。それに致しましても、研究対象や手法の拡大を実行することは容易ではなく、この学会の将来に、大きな宿題を荷した形となった点が気に掛かるところです。

幸い、第30期の会長には、かつて事務局担当副会長として手腕を発揮され、また一昨年度には法人移行に関する検討委員会の主査として活躍された東京大学の小竹進先生にお引き継ぎ戴くことができました。架谷昌信、井上 晃両副会長も頼りがいのある先生方であります。第30期の幹事会の各位と共に、具体的に一步踏み出して戴けるものと期待しております。

過日の総会で、提案致すのが非常に心苦しかったのが、会費値上げの件でありました。本会の会費は昭和51年に値上げされて以来、10数年間据え置かれておりましたため、この2~3年は財政がかなり逼迫してきており、このままでは、第31期(平成4年度)を越すことができないと、指摘されておりました。その結果が今回の値上げ決定になったものであります。勿論この会費値上げをお願いするにあたっては、幹事会で何度も議論をし、支出の切り詰めを行うことに加えて広告や講習会などによって増収を計ることなども検討されました。しかし、将来ある程度それらの増収法を実行しても、平成4年度より会費を3,000円程度値上げしなければ、会員への実質的なサービスに支障が出て会員各位が失望されることが懸念されたために、この際思い切って

値上げのお願いをすることになったものです。最近、研究者の方々が数多くの学会に所属しなければならない状況であり、学会費のご負担も少なくないことは承知していますが、本会の財政事情につきましても何とぞよろしくご理解戴きますようお願い致します次第です。

従来、伝熱研究会へ入会することのメリットの一つとして、日本伝熱シンポジウムの論文集が無料で入手できることがあげられてきました。しかし、この論文集贈呈の費用が、シンポジウムの会計の中で賄われてきたために、伝熱研究会より支出する共催金を現在支出されている程度にとどめておく限り、シンポジウム参加者が非参加者の論文集代の一部を負担している形となり、不合理であることが指摘されています。最近送料も決して安くはないので、一層このことが大きな問題となって来ました。しかし、前述の3,000円の会費の値上げは、このことに充分に対応できるほどではありません。第30期の幹事会でご検討をお願いしたいと思います。

日本伝熱研究会の事務局は、研究会の発足以来、東京大学あるいは東京工業大学に在籍の先生方の研究室を持ち回り、事務局担当副会長とその関係者のご好意で運営されてきました。しかし、最近は会の規模も拡大し、このような方式が限界にきたように思われます。この打開策としてここ数年間コンピューターを導入したり、次第に外注量を増やすなどの工夫も行われてはきましたが、今後の見通しの中で、学会事務の専門会社にかかりの業務を依頼することで抜本的な改良を計ることが必要であると考えられるようになりました。予算節約のこともあり、初年度にどの程度の依頼となるかはこれからの検討に俟つところでありますが、今年度中にはこの新方式がスタートする予定であり、事務局の態勢は一層充実されるものと思います。

終わりに、第29期の運営にあたり頂戴しました関係各位の絶大なるご援助とご協力に心から御礼申し上げ、また、“日本伝熱学会”の未来が輝かしいものでありますことを祈りつつ退任のご挨拶と致します。

研究会の学会への名称変更と会費値上げについて

日本伝熱研究会

第29・30期副会長（事務局担当）

黒崎晏夫（東工大）

日本伝熱研究会が昭和37年に諸先輩の御努力により結成されてから伝熱分野に果たした役割については、会員の皆様方がよく御存じで今更説明する必要はない。本年5月30日の総会において、長年検討されてきた研究会の学会への名称変更議案が会費値上げ議案と共に承認され、本会も新しい一步を踏み出すことになった。この大きな変革期に事務局担当者として、ここまでに至る経過と今後についての私見を述べさせて頂くこととする。

1. 「日本伝熱学会」への名称変更への経過

日本伝熱研究会の法人化の問題は、昭和52、3年頃より話が持ち上がり、幹事会でも度重なる検討がなされてきた。しかし、伝熱研究会の設立主旨およびその歴史的に定着した活動のために法人化に対する多くの意見があり、なかなか意見の一致を得られなかった。

第27期（昭和63年度、平田 賢会長）には、甲藤好郎委員長とする検討W. G. より「伝熱研究会将来問題検討に関する答申」が提出された。しかし、法人化・会名称変更については十分に検討しなかったと述べられている。第28期（平成1年度、藤井 哲会長）には、学会（法人化）移行問題の検討委員会（委員長、小竹 進）を設置し検討を行っている。その経過・答申は、伝熱研究（第29巻・114号）に掲載されている。この答申には、伝熱研究会を現状維持した場合と学会（法人化）にした場合のとのメリット、デメリットなどが明らかにされている。この答申を受けた藤井会長は、会員の意向をいろいろ聞いて回られた結果、現状のままでは会の発展は望めないのではないかと結論に達し、法人化に向けて何らかの行動を起こさねばならないと判断されて、その旨を引継事項として次期の石黒会長に伝えられた。

第29期石黒亮二会長は、幹事会での意見交換ならびに伝熱研究（第29巻・115号）を通じて会員からの意見を集められ、最終的には幹事会での審議をえて、先ず会名称を「日本伝熱学会」に変更し法人化への体制の一步を踏み出されたわけである。

2. 会名称変更と今後の問題

日本伝熱研究会が日本伝熱学会に名称が変更したことは、会の将来の発展性を考えた場合、個人的には最善の方法であると考えている。しかし、学会となった以上は組織・運営・財政等は、従来の研究会発足当初のままの形態では不十分になる再検討が必要となって来る。

1200名の会員を有する会の事務局を2年間担当してみても、学会として運営するのに先ず検討すべき事項を思い付くままに記してやることにする。これらの問題については、前出の「日本

伝熱研究会の学会（法人）移行問題の検討の答申」（主査、小竹 進）に詳しく報告されているので参照していただきたい。

- 1.方針： ・学会としての方針を明確にする。（一番重要なことである。）
- 2.組織： ・幹事会を理事会とし、庶務・会計・編修などの担当を置く。
（編修担当は既に有るが、その他を事務局担当副会長1人では無理。）
・理事定員については、十分に検討する。
・地方グループとの関係を明確にする。
- 3.運営： ・毎回理事会においては、会員・会計・編修の報告を必ず行う。
（事務委託を行った場合、財務管理・計画は重要。）
・地方グループ活動と本部活動の関連を検討する必要がある。
（財務上からの検討も必要。）
・日本伝熱シンポジウムの運営の検討。
- 4.財政： ・健全会計のための検討が必要である。
（活動活性化するには、ある程度の予算を確保する必要がある。）
・学会と成った以上予算・決算、学会全体の収入を明確にする。
- 5.編修： ・学会誌・論文集についての検討。

3. 会費値上げについて

昭和51年以来16年間会費5000円が維持されて来たが、平成4年度より値上げを余儀なくされたことを事務局担当として大変心苦しく思っております。しかも、この値上げ幅では、以下に述べる2点について十分の検討を行わない限り、数年で会計上の破綻を来す心配がある。

ここで、次年度繰越金の減少理由としては次の2つがある。先ず第一に、第27期の幹事会決定により第28期から従来の伝熱セミナーを各地方グループで独自に行うために総額1,600,000円（従来は約250,000円程度）を配布を実施したこと。次に、諸経費（印刷費、シンポ負担金等）の値上がりにより支出の増大傾向にあること。

確かに、第27期において、幹事旅費の節減を実施してくださったのであるがこの節約分は、諸経費値上がり分で消えてしまったのが現状である。

学会としては、次の2点について今後十分な検討が必要である。

- (1)地方グループの活性化は必要であるが、現状のままの本部会計では、セミナー費の継続は困難である。
- (2)シンポジウム経営についても再検討の時期に来ている。従来は、シンポジウムを行う地方の方々がご苦勞なさって、伝熱研究会の運営資金を稼いで下さっていた形になっていた。

以上、簡単ですが会名称変更・会費値上げに関しての報告と意見とさせていただきます。

第3回日本伝熱研究会学術賞を受賞して

西尾茂文(東大生研)

〔I〕平成3年5月30日に福岡にて開催されました第28回日本伝熱シンポジウム総会にて、現在東芝総合研究所に勤務しておりますGanga Rohana Chandratilleke君、現在東京ガスに勤務しております小津努君の両君とともに行いました研究「自然対流膜沸騰熱伝達に関する研究(第1報、長い蒸気膜を有する飽和膜沸騰)」に対して、第3回日本伝熱研究会森康夫学術賞を戴く栄誉に浴し、たいへん光栄に存じておりますと同時に今後の研究に対する責任を痛感いたしております。私事になり恐縮ですが、20年前に東京大学名誉教授甲藤好郎先生の伝熱工学の学部講義を受講し、九州大学名誉教授西川兼康先生の大学院特別講義を受講して以米、核生成、異相成長、相界面安定性などによりマクロ構造が形成される相変化、特に沸騰現象・沸騰熱伝達に興味を抱いて参りましたので、今回、沸騰に関する研究が受賞の対象となりましたことをたいへん喜んでおります。

〔II〕受賞の対象となりました研究は、ここ5年ほど私どもの研究室の1課題として継続してまいりました「自然対流膜沸騰熱伝達に関する研究」の端緒となった研究であり、博士課程に在学しておりましたChandratilleke君、修士課程に在学しておりました小津君と協力して行いました研究であります。受賞の直接の対象となりました研究の内容につきましては論文(日本機械学会論文集、B編、56巻525号)を参考にさせていただくことにして、ここでは研究の動機や考えについて述べさせていただきます。

自然対流膜沸騰の研究には西川兼康・伊藤猛宏両先生の二相境界層理論に関する先駆的な研究があるにもかかわらず、自然対流膜沸騰に関する研究を開始致しました理由には、以下の3つがありました。第1は、乱流の勉強をしようとしていたことでもあります。乱流と膜沸騰とは関係がないようですが、これには以下の事情がありました。私の所属している東大生研は、独創性を重視した各個研究と創造性を重視したグループ研究とを研究の二本柱にしておりますが、この研究グループの中に数値計算を中心とした乱流のグループがあります。そのグループの先生から、「君も乱流熱伝達の研究をしないか」というお誘いを受けました。私自身お誘いには弱い方ですので、早速研究の種を探しましたが、伝熱研究会の乱流グループはかなりしっかりしており、私が研究を開始できるとすれば相変化を伴う乱流熱伝達以外にはないとの結論に達しました。そこで、以前より軽水炉の再冠水における逆環状流に興味を持っておりましたこともあり、HsuとWestwaterの有名な研究にありますように、蒸気膜長さが長くなりますと二相境界層理論では扱われていない乱流蒸気膜が出現する可能性があるかと判断し、長い蒸気膜を有する膜沸騰の研究を開始することに致しました。

第2は、気液界面不安定に対するサブクールの効果に興味を持っていたことです。例えば、水平上向き平面では、気液界面が不安定であり、蒸気膜が界面不安定波長を代表長さとするユニットに

分割され、熱伝達に対する代表長さがラプラス長さ（毛管長さ）になることが知られています。いわゆるBerensonの解析です。二層境界層理論では、サブクルの効果を含めて解析していますが気液界面は安定であると仮定されており、こうした系にはそのまま適用できません。しかし、サブクルは界面不安定を抑制する効果を有しますから、強サブクル状態では界面不安定による蒸気膜ユニット化が抑制され、二相境界層理論で扱える安定界面に移行する可能性があると思ひ、不安定な気液界面を有する膜沸騰に対するサブクル効果の研究を開始することに致しました。

第3は、自然対流膜沸騰の整理式によく出てくる代表長さであるラプラス長さの意味に疑問を抱いていたことです。例えば、水平円柱系の自然対流飽和膜沸騰熱伝達に関してはこれも有名なBreenとWestwaterの整理式がありますが、彼らの整理式は円柱直径をラプラス長さ（毛管長さ）で無次元化した代表長さにより3領域（小直径領域、中直径領域、大直径領域と我々は呼んでいます）に分けられており、上述の二相境界層理論は中直径領域にのみ妥当性を有するとされています。ラプラス長さは気液界面不安定と関連しますので、気液界面が不安定化する大直径領域では意味を持つことが容易に推測できます。しかし、二相境界層理論の中の境界層近似が破綻する領域として考えられていた小直径領域でラプラス長さが持つ意味が納得できませんでした。そこで、水平円柱系の膜沸騰など工業的応用例は少ないと思いつつ、この系では、膜沸騰で出現し得る基本構造がその直径に応じてすべて考察できるのではないかと思ひ、水平円柱系の膜沸騰の研究を開始することに致しました。

【Ⅲ】 概略、以上のような素朴な動機から自然対流膜沸騰に関する一連の研究を5年ほど前から開始いたしました。丁度そのころ、九州大学教授伊藤猛宏先生のお誘いで、超伝導磁石の安定性に関連して液体ヘリウムの熱伝達の研究を行っており、Chandratilleke君がこれを博士課程の課題として担当しておりました。液体ヘリウムではラプラス長さが極めて短いため、比較的小さい伝熱面でも「長い」蒸気膜が形成可能です。そこで、対象の一つとして液体ヘリウムの膜沸騰を選びました。しかし、液体ヘリウムでは観察が容易でないので、当時修士課程におりました小津君と液体窒素の実験と観察を行うこととしました。ところが結果は、第1の動機の予測に反し、先述の論文に記載しましたとおり、長い蒸気膜を有する自然対流膜沸騰は、気液界面不安定による蒸気膜ユニット化を考慮した層流理論で、様々な液体に対し伝熱面形状・寸法・姿勢の影響を矛盾無く説明できるとの結論に達しました。したがって、未だに乱流熱伝達には手が出ておりません。

第2の動機は大直径領域水平円柱系および高さの高い鉛直面系の研究として、第3の動機は中・小直径領域水平円柱系の研究として別途報告させていただいております。

【Ⅳ】 最後になりましたが、この学術賞の選考過程の詳細は存じませんが、私どもの研究を評価し推薦して下さった方々があったものと思ひます。この場をかりまして、その方々および審査委員会の方々にお礼申し上げます。また、私どもが研究室の1課題として行っております沸騰に関する研究は、多くの方々の優れた研究を基礎としたものであり、こうした研究に敬意を表するとともに、九州大学教授伊藤猛宏・藤田恭伸両先生、東京大学教授庄司正弘先生を始めとする方々との有意義な討論を背景としたものであり、厚くお礼申し上げる次第です。

第3回日本伝熱研究会学術賞を受賞して

芹澤昭示（京大工）・井田俊一（三菱原子力 ㈱）
高橋 修（京大工）・岐美 格（松江高専）

この度、第3回日本伝熱研究会森康夫学術賞を戴き、誠に身に余る光栄と存じます。ご推薦下さいました諸先生方、また、研究上いろいろご指導や助言を賜りました諸先生方に心より厚く御礼を申し上げます。このような名誉ある賞を頂戴することになるとは夢想だにしなかったことであり、誠に嬉しく思いますとともに、自分の学問的未熟さを改めて思い起こす機会となり、恥かしくも思います。今後はもっとしっかりと地に根を生やした研究をするようにとの先輩諸先生方からの叱咤激励のお言葉かと考えております。日本伝熱シンポジウム会期中に開催されました日本伝熱研究会総会で「日本伝熱研究会」から「日本伝熱学会」への名称変更が承認されたことは会員の皆様のご記憶に新しいことと思います。今回の受賞が「日本伝熱研究会」という名称のもとでの最後の賞であることを考えますと、一層感慨深いものを感じます。

受賞の対象になりましたのは「MHD effect on NaK-Nitrogen Two-Phase Flow and Heat Transfer in a Vertical Round Tube」であります。この研究はもともと昭和 57, 58 年度文部省科学研究費補助金一般研究（A）の補助を受けてスタートしたものでありますが、蓋を開けてみますと予想もしなかった様々な困難な問題に直面し、数年間成果が出せない苦痛の期間を味わいました。特に、年度末になりますと、科研費成果報告書の未提出者のリストが工学部より回ってまいりまして、それを見るのが何とも言えない恐怖でありました。この研究は実験研究を中心としたものでありましたが、使用した流体が常温で液体であるナック（NaK-78）でありまして、これは当然消防法による第3類危険物であり、その使用に当たっては消防署の強い規制を受けることになりました。大学構内全体に貯蔵される危険物の総量規制の問題、実験装置を収容する実験室の構造に係わる問題など、一研究室と消防署との関係を越える大きな問題が新たにぞくぞくと顔を出し、その問題解決のため工学部事務局、所轄消防署、建設省土木工営所などを大変煩わす結果となりました。また、建物の構造として3面自由空間を有することが法規上必要とされ、これは事実上既設のコンクリート壁の実験室の使用を不可能にする大きな拘束になりました。お茶で有名な宇治には至る所に製茶屋さんが見られます。そこでは、5月始めの八十八夜やそれ以後に摘んだお茶の新芽を長期保存して年間を通して時折煎っており、辺り一面に大変香ばしい香りを漂わせています。このような製茶屋さんには大きな重油タンク（屋外タンク貯蔵所）があり、必要に応じて工場内のバーナー（仮取扱所）で燃焼されます。消防署が最終的に特例中の特例として妥協してくれたのはこれと類似した取扱方法でした。コンクリート実験室内に畳1枚強のブロック小屋を造り、その中にナック 30Kg を貯蔵したタンクを設置（屋内タンク貯蔵所）し、それに隣接して実験ループ（仮取扱所）を設けることにな

りました。従って、実験を行う度に 3,000 円の申請料を添えて危険物の仮取扱いの申請を行う方法がとられました。この妥協案は専ら、所轄消防署の好意と、研究の意義を熱意をもって訴え、消防署と忍耐強く交渉した協同研究者の高橋さんによるところ誠に大でした。

かくして消防の認可が正式におりるまで 1 年半近くかかってしまいました。実験を開始致しますと今度は測定上の大きな壁に突き当たってしまいました。通常、気液二相流の局所ボイド率の測定に電気抵抗式点電極プローブ法がしばしば用いられます。事実、それまでに水銀-ガス二相流実験で成功裡に用いてきた経験があります。しかし、いざナック系で用いてみますと、最初の数秒~数十秒は見事な ON-OFF 信号が見られるものの、それ以後は全く正常に作動しなくなりました。当初はその理由が解らず四苦八苦いたしましたが、いろいろ調べてみますとナックが殆どすべての構造材料を濡らしてしまい、そのために気泡通過時でさえ、点電極とその周辺との間にナックの薄膜が形成され、その結果、電氣的絶縁性が維持出来ないことが判明しました。これは米国のアルゴンヌ研究所レポートなどでそれまで報告されてきた事実と全く逆の現象でした。そこで、漆を始め実に様々な絶縁用物質とナックとの相性調べを行いました。これには当時大学院修士課程 2 年で、現在三菱原子力に勤務されております覚張和彦君が大いに頑張ってくれました。京都の近くには徒然草にでてくる石清水八幡で名高い男山があります。ここはエディソンが電球のフィラメントの代わりに使用した竹で有名なところで、宇治はそこを流れる淀川の支流である宇治川をほんの少々遡った辺りにあります。男山周辺で作った竹製の割箸を調べると、それがナックによって濡らされないことがわかったのです。そこで竹の油を抽出して絶縁用ニスができるかと試みましたが、完全に失敗してしまいました。

さて、肝心の賞を頂くことになりました仕事の内容を放つたらかしにして、取り留めのないことばかり書き連ねてしまいました。さきに書きました表題の論文は直交磁場の下を流れるナック-窒素ガス二相流の流動・伝熱機構に及ぼす磁場の影響をできるだけ詳細に研究し、併せて、強磁場下で液体金属-ガス二相流が流動するエネルギー変換機器（たとえば、核融合炉や液体金属 MHD 発電機など）の特性評価に必要な基礎データを得ることを目標に置いたものであります。特に、液体金属のように熱伝導性の良好な流体では温度境界層厚さと壁面近傍に存在する気泡の大きさ、あるいは、高クオリティ-環状流の場合には液膜流の厚さと同じオーダーであるため、通常流体二相流に比べ、その伝熱特性は流れの局所構造やその変動に応じて大変敏感に変化することになります。この研究では気泡流から環状流にいたる幅広い条件をカバーしよう心懸けました。誠に幸いにもスタート時の躓きをカバーする以上の新しい現象の発見がいくつかありました。その中の 1 つである二相流伝熱特性の磁場方向への依存性、特に高クオリティ-領域における伝熱現象の angular-dependence は二相流の流れ構造の angular-dependence と深い相関を有することが予想されました。この現象の中には磁場の polarity 依存性を示すものもあり、その詳細な機構を明らかにすることは残念ながら出来ませんでした。今後の 1 つの方向性を示すことができたのではないかと考えています。この受賞を今後の研究の大きな励みとし、今後とも精進して参りたいと考えます。

(芹澤昭示記)

第3回日本伝熱学会技術賞を受賞して

石塚 勝、横野 泰之、佐々木 富也（東芝・総研）

1. はじめに

5月の初旬に、京都大学の鈴木健二郎先生よりお電話をいただき、私どもの研究が第3回日本伝熱学会（当時研究会）森康夫技術賞に選ばれたことを知らされました。まったく、思いもかけない事でありました。先日の日本伝熱シンポジウムの懇親会の席上で、司会の尾添紘之先生から、すすめられるまま、簡単な受賞の喜びと御礼を申し上げました。聞いていない方が多いように感じられましたが、「たいへんな名誉と思っておりますが、同時に私どものようなものが載いてよいものだろうかとも案じております」と述べさせて戴きました。現在でもまさにその気持ちですが、同時に私どもの仕事を評価して下さいた選考委員の先生方には心から感謝申し上げる次第です。

2. 研究内容

今回の受賞対象になりました仕事は、「LSIパッケージ用小型フィン付放熱器の特性」第23回日本伝熱シンポジウム講演論文集(1986)、日本機械学会論文集(B編)53巻495号、であります。裸のLSIをピン付きの小さな容器に樹脂封止したものをパッケージと呼んでいますが、LSIの高速化により、このパッケージからの放熱量は年々増えています。LSIの温度上昇を押さえるために、パッケージにフィンを取り付けるのは珍しいことではないのですが、いざどのフィンを使うかと考えると、詳細なデータがなかったということが研究の動機です。しかし、フィン放熱器の研究は歴史が古く、自然対流では東北大学の相原利雄先生の研究は有名です。また強制対流では東工大の中山恒先生をはじめフィン付きパッケージに関しての研究がされています。ところでこのフィン放熱器ですが、従来は、自然対流用と強制対流用のフィン放熱器の形は違い、自然対流用はフィン間隔が大きめで、強制対流用はエアコン用の放熱器のように、薄いフィンが隙間無くつまっているものです。ところが、電子機器の小型化が促進され、小さな箱の中の小さな隙間の中でLSIからの熱を放熱する必要に迫られております。また、筐体内部の流れは自然対流と強制対流とが入り交じった複雑な様相を呈しており、フィン放熱器に関し、自然対流用とか強制対流用とかいってられなくなったのであります。ところが、フィン放熱器が小型になりますと、放熱器の端まわりの流れの効果が大きくなり、フィン放熱器内の流れは3次元的な様相が強くなり、2次元近似や、平板性能の重ね合わせができず、数値解析もままならない状況でした。そこで、できるだけ実験データを集めようとしたわけです。

対象とした小型フィン放熱器はLSIパッケージの大きさに合わせ、幅2 cm以下、長さ5 cm以下、高さ2 cm以下のものでした。まず、フィン間隔、フィン高さをパラメータにしたアルミフィン放熱器を20種類作成し、放熱器の裏側に板状ヒータを張り付け、同じフィンに対して、自然対流性能と強制対流性能を調べました。自然対流性能はまわりの空気の流れの影響が出ないように、大きめのアクリルの箱の中で、温度上昇を測定しました。強制対流性能は小型風洞を作成し、その出口のまえにフィン放熱器をおいて、風速をパラメータに温度上昇を測定しました。その結果、どうやら自然対流性能と強制対流性能とが別々に無次元数で表すことが出来ました。

この結果について、メーカーのエンジニアの方から「使っているよ」と言われると多少役にたったかなと思う反面、「どうやって使うの」と聞かれたこともあり、工業的に役立たせるには、もうひとつ親切？に整理しないとまずいかとも反省しています。ただし、この整理の仕方については、突っ込みの足りなさを強く反省しているのが現状です。第23回伝熱シンポジウムで発表した後、日本機械学会論文誌に掲載するため、北海道の日本機械学会全国大会で発表しました。たしか室蘭工大の花岡裕先生が座長をして下さったのですか、佐賀大学の上原春男先生から、「自然対流の線と強制対流の線とは一本にできるよ」と指摘され、講演の後も、御指導を受けたのですが、データ不足と私自身の理解不足が重なってまだになされていません。まことに残念至極に思っている次第です。研究対象とすべきフィン放熱器の形状もLSIパッケージの形状の変化と共に変遷し、企業内での研究環境の限界もあり、本研究は実質的に休業宣言となっておりますが、御指導いただいた研究精神はいつまでも大切にしていきたいと考えています。

3. おわりに

今回の受賞対象は、必ずしも上に述べた研究だけとは考えておりません。一連の「電子機器の冷却」に関する研究に評価をしてくださったと考えております。その際、森康夫先生、東工大の中山恒先生をはじめ多くの先生方から親切な御指導を賜りました。今日あるのもその御陰と感謝しております。「はじめに」にも書きましたが、私どもの仕事を評価して下さった選考委員の先生方には感謝申し上げるとともに、責任の重さも痛感しております。せっかくこのような立派な賞を作って下さった森康夫先生の意思に応えるためにも、今後一層の精進に励むつもりであります。

第28回日本伝熱シンポジウムを終えて

準備委員長 伊藤 猛宏（九大工）

平成3年(1991)5月29/30/31日福岡市福岡リーセントホテルにおいて第28回日本伝熱シンポジウムを開催し、発表論文303件、参加者802名で無事終了しました（つもりです）。準備委員会では顧問、総務、会計、企画、会場、懇親会および会計監査の7つに役割を分け、それぞれたいへん豪華な顔ぶれの委員をお願いすることができました。委員長としては生なかの事を考えたり・したりしないことが委員会に対する最大の貢献であると合点して、一切お任せしてきました。したがって細部やデリケートな話は承知しておりませんが、この文章を書くことが数少ない任務の一つ考えて、一生懸命書いてみることとなりました。

（会場）現在の会計状況を大幅に変革しない限りにおいては、大学の講義室使用が至当な解答と判断しました。しかしながら、これは研究会と会員の年間行事・行動計画に大変更をお願いすることになり、突然の変更は不都合かと考えて断念しました。他を当たって福岡リーセントホテルが唯一の答えということになり、前回名古屋の350というような論文数はとても収容できないことになりました。

後にご存知の方もおありかと思いますが、論文投稿数の適正化をお願いすることになりました。また流動的ながら参加費はシンポジウム収入の重要な部分を占めておりますので、参加の方は一人でも多くと、相矛盾する・虫のいいお願いをいたしましたわけでありませぬ。

結果は論文発表申込303件で、多少多めながら何とか収容できることになり、参加者802名も予算書上の予想を上回り、収支決算もどうやら格好つきそうな趨勢であります。結果的には、“やってみなければわからない”がよい方に倒れたわけではありますが、あまり心安らかな経験ではありませんでした。

（会員への論文集の配布）計画の当初から会計がたいへん苦しいと感じ、これの原因の一つが不参加の会員への論文集配布が、シンポジウム会計で処理されていることによると分析しました。会員への論文集の無料配布は、研究会の運営覚え書きに唱ってあることなので、このこと自身について準備委員会がとやかくいう筋合いではありません。しかしその覚え書きに基づいて運営するのであれば、研究会からの共催費は、不参加の会員への論文集配布にかかわる経費を十分に上回るべきかと考えますが、如何でしょうか。

これに要する経費が問題にすべきオーダのものであるや否やを検討するために、24回以降の準備委員会から資料のご提出をいただき、下表を作ってみました。今回もそうですが、参加登録者が研究会会員と非会員に区別されておりませんので、正確な判断はできませんが、F欄の研究会共催金に基づき、不参加の会員への論文集配布のために、シンポジウム会計は少なくみてもE欄の支出をしてきたわけであり、G欄の比率とともに、これを何と理解すべきでしょうか。

従来の準備委員会は、賢明にも”会計が苦しい”ことの分析よりも、その打開の方に意を用いられたに相違ありません。改めて感謝し、敬意を表す次第であります。

ともあれ伝熱研究会やこのシンポジウムが、会員諸氏の熱い奉仕精神に支えられて、30年近くにおよぶ進展を觀ようとしていることを改めて認識する機会ではありました。投稿論文数の適正化にご配慮いただいた方々、ご参加の方、準備委員の諸兄にあつくお礼申し上げ、次回大阪シンポジウムのご成功を祈ります。

年	回	都市	会員数*1	参加者数	不参加会員数*2	論文集単価*3	シンホ'会計の負担*4	伝研の共催費	シンホ'相対負担*5
			A	B	C=A-B	¥	¥	¥	G=E/F
1987	24	松山	1,102	615	487	1,650	803,550	474,661	1.69
1988	25	金沢	1,148	746	402	2,410	968,820	131,331	7.38
1989	26	仙台	1,192	739	453	2,470	1,118,910	611,820	1.83
1990	27	名古屋	1,148	676	472	2,620	1,236,640	746,000	1.66
1991	28	福岡	1,236	802	434	2,813	1,220,842	未定*6	未定*6

*1 正員数、学正員数、維持会員数の和。

*2 すべての参加者が研究会会員とは限らないから、この数は過小。

*3 印刷原価、梱包費、郵送費の和。

*4 *2によりCが過小だから、この数も過小。

*5 *4によりEが過小だから、この数も過小。

*6 収支決算未確定につき計算不能。後日幹事会に報告予定。

企画を担当して

藤田恭伸（九大）

講演会場を仮予約した当初から5室以上の講演室は不可と知らされていたので、3日間の会期で消化可能な講演件数をはじめてみた。従来通りの1講演15分で午前9時開始、午後5時終了とすると275件、多少終了時刻を延長しても310件が最大と出た。一方、準備委員会より企画を命じられた担当者の間では、シンポジウムの構成、オーガナイズドセッションの適数、テーマ及びオーガナイザー、フィルムセッションや展望講演の是非、その他シンポジウムの目玉づくりに検討を重ねていた。しかし”魅力的”なものを企画すれば金沢や名古屋の前例が証明したように講演件数の増加が予想され、今回に限っては収容能力という制約条件下では”喜ばしからざる”事態に至ることが危惧された。準備委員会でも衆知を集めて講演件数を押え込む手だてを考えてみたが、得られた結論は単純明解なもので、準備委員長の機会あるごとのPR（事前説明）、オーガナイズドセッション等は止めて普通セッションのみとすること、更に準備委員会関係者の申込に対する自発的な配慮、であった。幸いにも講演申込は適正数の275件を越えたものの、307件で何とか上限内に収まった（申込取り下げが4件あったので講演論文件数は303件）。しかしプログラム編成作業は窮屈さを強いられ、講演申し込み書に大分類と小分類のキーワードを選択して頂いたにも拘らず、各セッションへの振り分けや遠来の講演者や座長を第1日目の最初のセッションや第3日目の最終セッションに割り振らざるを得なくなり、必ずしも講演者や座長の意に沿えなかったことは否なかった。

講演論文集では従来各巻末あるいは別冊になっていた英文抄録を廃止し、本文中に移したが、幹事会の要望により英文目次を付けた。準備委員会では紙数の削減による印刷費節減を意図したが、英文目次作成作業が以外と手間を要し、これを経費に換算したとすれば大した節減にはなっていないと思われる。以下に論文集の編集作業に直接携わった企画担当者が気付いた点を列挙する。一部の会員の方々の参考になれば幸いです。（1）講演申込締切／締切期日後の申込件数は71。（2）講演申込整理費の未払い／申込時には10件に1件の割合。（3）原稿提出期限／大部分は4～5日遅れ。組織内で内諾を要する場合には充分なリードタイムが必要。（4）執筆要領の厳守／特に標題の左には講演番号を入れるスペースが必要。（5）図表及び字句の訂正／講演会当日に紙片等で周知徹底。（6）座長の選定／5室並列では他のセッションの講演者や共同研究者と重複することもあり得る。セッション内より座長を選定すれば解決。

なお、論文集の配布状況は会員へ郵送が1083（内海外15）、販売が205、会場手渡し（新規入会）が37、共催団体へ郵送が25の、合計1350セットであった。

本稿の担当範囲は、強制対流（A室）の後半の諸セッションであるが、論文数は35編もあり、そのすべてをカバーすることは量的にも筆者の能力からもむづかしいので、ここでは筆者の理解し得た範囲内で、概略を記すことしたい。また、筆者の直接関与したセッションにウエイトが大きくなることをご容赦頂きたい。

A 221～A 225（以下A 22等と略記する）は伝熱促進・制御のセッションで、液体振動、電場を利用した固気二相流、縦渦列の利用、組合せベンド、極細線群からの熱伝達が報告された。極細線群からの熱伝達では、単一円柱よりも極めて低い熱伝達率が報告され、その原因について議論が行われた。

A 23は回転体関係のセッションで、回転翼の挿入、タービンシュラウド、共軸円板と円筒間の回転流、回転多角柱、回転流路における伝熱の問題が扱われた。回転正多角柱の実験では、正3角柱～正8角柱の回転実験が行われ、静止気体中では角数が小さいほど熱伝達率が高いが、2次元噴流を衝突させると傾向は逆になるという結果が報告された。

A 24は、しみ出し冷却及び多孔質関連のセッションで、空気によるしみ出し冷却、多孔質管壁との連成問題、水平球状粒子充填層の熱伝達、透過のある多孔質角柱後方流れ、噴流衝突を伴うしみ出し冷却が報告された。透過のある多孔質角柱後方流れでは、多孔質を透過する流れと周囲を迂回する流れとの間の興味ある相互作用が可視化された。

A 31では、基盤目楯円管群や、平行平板間の複合対流における層流熱伝達、体積力が作用する管内層流の相似性、共存対流下における水平円柱の熱伝達、燃焼ガスプラズマにおける大電流アークの発生が扱われた。水平円柱の共存対流では、強制対流が下降流の場合に大きな温度変動が観測されたが、これは円柱下面で暖められた流体がときおり剝離点を押し上げるように上昇する際に生じるものであると説明された。

A 32は、乱流のセッションで、乱流の不規則性、応力方程式モデルの一樣乱流や正三角形流路への適用、非等方 $k-\epsilon$ モデルによる平行平板間乱流の解析、密度変化を考慮した乱流モデルに関する報告が行われた。これらに対して、高次の乱流モデルにおける高次項の収束性、圧力・歪相関項の壁面補正項における壁からの距離の境界適合座標系における取扱、複数のモデル定数の決定とその一般

性、等の議論が行われた。筆者には、今後コンピュータが進歩すると乱流モデルを必要しない時代が来るのではないかとのご質問があったので、これについて若干の紙面を割かせていただきたい。

たしかにすでに現在でも、一部の乱流については直接計算(DNS)が可能となっている。もし将来あらゆる乱流がモデルを必要とせずに計算できるようになれば、それはむしろすばらしいことである。しかし、現在のコンピュータの進歩を楽観的に外挿しても、そのような時代が予測し得る未来に到来するとは思えない。他方、乱流モデルがあらゆる乱流を十分な精度で予測し得るようにまで成長し得るか否かも、決して楽観を許さない。現在、平行平板間乱流の直接計算は可能になっているが、かといって通常の精度でその熱伝達率を求めるために、スーパーコンピュータを動かす必要はない。パソコン上の簡単な乱流モデル計算でも可能である。他方、スーパーコンピュータを用いた直接計算は、これまで望んでもどうしても手に入れることのできなかつた詳細な情報を与えてくれる。このように両者は目的に応じて用いられるべき手段であって、両者の”棲み分け”状態は、今後とも続くと思われる。また、乱流モデルには、実用的な側面とは別に、複雑な現象の中から本質的な部分を取り出して現象を再現するというフィジックスとしての大きな魅力がある。なお、比較的小規模な計算量と比較的単純な乱流モデルで構成し得るLESにも、実用的な可能性を大いに期待したい。

A 33 は引続き乱流のセッションで、低レイノルズ数2次元チャンネル乱流、高次精度風上差分による開水路乱流の解析、トンネル内火災のモデリングについて報告された。これに対しDNSの精度の確認、高次風上差分法による計算結果の評価、自由表面近傍でのエネルギー再配分、 $k-\epsilon$ モデルにおける浮力項の取扱等について議論がなされた。

A 34 は半導体素子の冷却に関するセッションで、マイクロチャンネルによる高熱負荷除熱、フィンつきパッケージ、マルチチップモジュールの噴流冷却および層流冷却特性、素子と基盤熱伝導との連成問題、強制空冷放熱器について報告された。とくに、マイクロチャンネルやフィンの利用によってきわめて高い熱負荷の除熱が試みられているのが興味深かった。これらに対し企業の研究者を中心に活発な議論が行われた。

この伝熱シンポジウムにおける対流伝熱のセッションは、例年A室に割り当てられ、いつも活発で国際的にもレベルの高い貴重な討論が行われている。ここで筆者も毎年多くのものを得て帰るのであるが、とくに今年は、新しい若い世代がこの討論に加わって来られたことが、印象的であった。この伝熱シンポジウムのA室が、我国のみならず海外を含めたこの方面の伝熱研究者の交流の場として、今後ますます活発になることを期待したい。

沸騰 (I) ~ (III), 限界熱流束, 蒸発

庄司正弘 (東大工)

今回のシンポジウムでは沸騰 (二相流関連を除く) に関して45編, 蒸発に関して5編の発表がなされている. セッションでは沸騰 (I) ~ (VIII), 限界熱流束, 蒸発としてまとめられた. ここでは, 第1日目に発表された沸騰 (I) ~ (III), および限界熱流束と蒸発についてレビューするが, 沸騰のセッションが上記のごとくナンバーセッションとなっているためにセッション名からのみでは内容を判断しがたいであろう. 内容と所属セッションが必ずしも適切でないもの (これは座長や共同研究者とのかかわりなど次第編成上やむを得ない面がある) もあるが, 全体を見渡す意味で沸騰セッションの内容を記すとおよそ次のようなものであった.

沸騰 (I) : 沸騰開始, 気泡成長, 沸騰にかかわる基礎事項 (接触角など)

沸騰 (II) : 核沸騰の伝熱促進, 円管群における核沸騰, 沸騰熱伝達の整理式とモデル

沸騰 (III) : 特殊条件下 (微小重力場) や特殊流体 (磁性流体) の沸騰現象, 外部付加因子 (超音波) の影響

沸騰 (IV) : 遷移沸騰, 膜沸騰の伝熱機構

沸騰 (V) : 冷媒, 混合冷媒, 超流動ヘリウムの沸騰

沸騰 (VI) : パルス加熱, 蒸気爆発, 原子炉, 超伝導体における沸騰

沸騰 (VII) : 過渡沸騰, 衝突噴流の沸騰熱伝達

沸騰 (VIII) : ミスト冷却, スプレー冷却などによる沸騰冷却

沸騰 (III) と沸騰 (IV) の間に「限界熱流束」のセッションが位置する. したがって, ここでレビューするセッションは限界熱流束を含む核沸騰に関するものと言ってよい (ただし, 遷移沸騰のみを扱ったものも数件含まれている). それと「蒸発」 (液滴が対象) に関するものである.

沸騰 (I) ~ (III) と「限界熱流束」のセッションに含まれる都合20件の研究内容を見ると, 基礎研究的なものが10件, 応用研究あるいは応用的研究とみなせるものが10件とほぼ相半ばしている.

基礎的研究としては, 沸騰開始条件を明らかにしたもの (B111), 高過熱度領域における気泡成長のメカニズムが前縁の薄液膜の蒸発に基づくことを示したもの (B121) があり, また気泡密度を考慮した核沸騰熱伝達の相関式と沸騰曲線の推算法が提案され (B124), プール沸騰の限界熱流束について, 従来の理論の検討と新しい提案 (B143), 垂直加熱面の場合の検討と整理式の提案があり (B141), 極細線のバーンアウトにおけるサブクール依存性が

実験的に調べられた (B142)。さらに、低圧を含む広い圧力範囲における強制流動サブクール沸騰の限界熱流束を精度よく予測できる相関式の検討結果も発表された (B144)。遷移沸騰に関連し、幾つかの可能なメカニズムに基づく理論モデルの検討 (B125)、サブクール条件下で出現する微細沸騰時の発聲音特性に関する研究 (B113) があった。また、核沸騰あるいは遷移沸騰など液体のぬれに関連して接触角のヒステリシス現象が調べられた (B115)。

一方、応用上の問題とも関連して、円管群の核沸騰熱伝達 (B114)、二成分混合液の核沸騰熱伝達 (B123) が詳細に調査、考察された。ピンフィン、放熱フィンを用いた核沸騰の伝熱促進に関する研究 (B121, B122) があり、超音波を照射したときの核沸騰あるいは膜沸騰への影響についての成果が発表された (B132, B133)。磁性流体のプール核沸騰特性と伝熱促進に関する詳細な実験的研究 (B134)、宇宙開発に不可欠な微小重力場における沸騰現象の観察 (B131) などの報告もあった。また、核融合炉開発で要求される高熱負荷除熱法に関連してねじりテープ挿入管におけるサブクール沸騰の限界熱流束に関する研究があった (B145)。

「蒸発」に関連した研究には、非共沸混合媒体用蒸発器における伝熱促進のために EHD 効果を利用するアイデアが出され (B135) る一方、EHD による液滴の蒸発促進が電場による気液界面の不安定に基づくことが明らかにされた (B152)。スプレーやミストによる高い冷却能をタービンブレードの冷却に使うアイデアが出され (B153)、あるいは宇宙往復機の排廃方法と関連し研究した結果が報告された (B154)。また、蒸発液滴の抵抗力係数についての理論解析結果が示された (B151)。

以上、シンポジウムの初日に発表された沸騰関連の研究内容についてごく簡単に紹介した。個々の研究について個人的な意見も多少は持ち合わせてはいるが、ここでは立ち入った評価は避けた。このため、意味のあるレビューとなっていないことをお詫びする。沸騰研究は以前に比べるとその数は少なくなったとは言え、なお活発であり、セッションへの参加者も立見ができるほどであったことは喜ばしいことである。しかし研究にあっては、基礎的研究であるか応用的研究であるかを問わず、明確な目的意識をもつこと、そして今後とも着実な努力をねばり強く続けていくことが必要であろう。最後に、海外からの投稿が 1 件あったこと (残念ながら当日は不参加で口頭発表はなし)、西脇仁一先生のご発表があり、研究に年齢関係なしとの感を受けたことを付記しておきたい。

塩津 正博(京大原研)

沸騰セッション(4)～(8)では、26件の発表が行なわれた。今回は、3頁の割当があるのでまず各講演論文を概観してみたい。

沸騰セッション(4)では、遷移沸騰1件及び膜沸騰4件の論文が発表された。B211は、従来の一色玉木の考案による実験装置を用いた大気圧下純水中の水平加熱面における定常遷移沸騰の研究で、熱伝達特性並びに探針により測定された気液挙動のデータが報告された。B212は、伝熱面が比較的大きく長い蒸気膜となる場合の自然対流膜沸騰熱伝達に関する研究で、R113中に高温鉛直円柱及び水平円柱を浸漬した場合の膜沸騰局所熱伝達係数実験結果が報告され、ある長さ以上で寸法の影響が消失することが示された。B213では、従来の二相境界層膜沸騰モデルが適用できない円柱直径が小さい場合の水平円柱からの膜沸騰熱伝達を対象として、境界層近似を施さない厳密な基礎方程式の数値解が求められ、細線発熱体の膜沸騰熱伝達実験結果が二相境界層膜沸騰モデルによる理論値より大きくなる主な理由は、このモデルによる理論値が境界層近似が適用できなくなる領域で厳密な基礎方程式の数値解より小さくなるためであることが明らかにされた。B214では、水平円柱発熱体に直交して水あるいはR113が流れる場合の膜沸騰熱伝達に対する流れの影響について発熱体直径、系圧力、サブクール度、流速を変えて実験データが集積され、これらの影響を記述する表示式が提示された。B215は、化学反応を伴う伝熱の基礎研究として、水平円柱触媒伝熱面を用いたメタノールの分解反応を伴う膜沸騰熱伝達の研究で、反応によって高温ほど熱伝達が著しく向上するが、ある温度以上では触媒の活性が損なわれ非反応に近くなることが示された。

沸騰セッション(5)では、主として冷媒の沸騰熱伝達に関する5件の論文が発表された。B221は、フロン系冷媒の水平蒸発管内における局所熱伝達係数に関して、これまでに提示された多くの整理式と報告された実験結果を比較検討し、整理式の評価を行った。B222は、R22を共通に含む3種類の非共沸混合冷媒について水平平滑及び溝付管内の沸騰伝熱実験を行い、沸点差の大きい混合冷媒では単一冷媒より伝熱性能低下が起こるが、内面溝付管の伝熱促進効果は混合冷媒でも顕著であり性能低下をある程度補うことが示された。B223は、3種類のフロン系非共沸混合媒体の鉛直管内蒸発熱伝達に関する数値解析で、気液平衡線図に飽和液線と飽和蒸気線の開きが大きい混合媒体ほどローレンツサイクルへの応用には有利であるが拡散係数の影響が顕著になり伝熱性能の低下が大きくなることが示された。B224では、プレートフィン型蒸発器の性能向上を目的とし、クロスリブ付流路のリブ傾斜角 θ の平均熱伝

達率及び圧力損失特性に与える影響が検討され、 $\theta = 45^\circ$ の場合に総合特性が最も良いことが明らかにされた。B 2 2 5 では、上下両端が加圧He II 槽に解放されている狭い鉛直チャンネルの高さ方向中心部にある発熱体を加熱して沸騰を生じさせた場合、熱は主として上部に輸送され、熱輸送特性に対する下端開閉の影響は小さいことが実験的に示された。

沸騰セッション(6)では、過渡沸騰現象等に関する5件の論文が発表された。B 3 1 1 では、エタノール及びトルエン中の微小平面発熱体に大きな波高値を持つパルス状熱入力を与えた場合の高速過渡沸騰現象について、発泡開始温度や発生気泡数と昇温速度の関係が求められ、ある昇温速度以上でこうした実験値が揺らぎ核生成理論の値と符合することが報告された。B 3 1 2 では、単一錫液滴・水系の自発的な蒸気爆発過程の液滴径時間変化が高速度カメラで観察され、この液滴径時間変化に基づきモデル計算によって求められた圧力変動が実験結果と比較的良く一致することが示された。B 3 1 3 では、加圧水型原子炉の過渡過出力事故における冷却条件の燃料破損挙動に与える影響が原子炉(NSRR)炉心に装荷された照射カプセルの燃料体で実験され、最高被覆管温度と燃料エンタルピーの関係、燃料破損エンタルピーしきい値と冷却条件の関係等が報告された。B 3 1 4 では、高温酸化物超伝導体を液体窒素に浸漬した場合常伝導体とは異なる過渡冷却特性を示すことが報告された。発表者は、これが超伝導相転移によるものであるとしているが、試料表面の機械的あるいは物性的不均一性に基づく局所的クエンチによるものでないか現象の観察を必要とするように思われる。B 3 1 5 では、液体窒素冷却複合高温超伝導体のクエンチ特性について二次元非定常熱伝導方程式による解析結果が報告された。この解析では、液体窒素の定常熱伝達特性が用いられているが、液体窒素の場合過渡加熱時に大きな発泡加熱度を持つことや非沸騰から直接膜沸騰に移行する場合があることが報告されており、過渡冷却特性がはっきりしないこうした精密解析は単に解析方法の相違の影響を見る意味しか持たないのではないだろうか。

沸騰セッション(7)は5件の発表論文の内4件が過渡沸騰現象に関するものである。B 3 2 1 では、高性能化をはかった2種類の伝熱面についてR 1 1 3 中でのステップ加熱時の過熱度が銅平滑管と対比して報告された。B 3 2 2 では、極細ノズル飽和液体窒素衝突噴流の沸騰熱伝達特性が求められ、質量流量増加による顕著な限界熱流束や膜沸騰熱伝達係数の増加が報告された。B 3 2 3 では、水噴流を高温物体に衝突させた場合の過渡沸騰冷却実験に依って、噴流中心だけでなく噴流衝突面全面の局所熱伝達係数変化、及び、それに基づいて算出された高温物体内部温度分布の時間変化が報告された。B 3 2 4 では、加圧下静水中で発熱体が一定発熱率で非沸騰状態あるいは部分沸騰状態にある場合に、系圧力を急減すると、定常極大熱流束よりはるかに低い過渡極大熱流束を経過して膜沸騰に移行することが明らかにされ、減圧速度を種々変えた場合の過渡極大熱流束や急激な沸騰開始過熱度の実験結果が報告された。B 3 2 5 では、急速減圧時のR 1 1 3 のフラッシング現象について、初期液温や減圧緩和時間を変えた実験結果が報告された。

沸騰セッション(8)では、高温面のスプレー冷却あるいはミスト冷却に関する6件の論文が発表された。B331では、製鉄所における熱延後冷却過程における均一水冷却をめざして開発されたパンチングメタルを用いた上部ラミナー分散法という冷却方法について冷却特性が報告された。B332では、白金細線発熱体を純水及び塩化カルシウム水溶液で急速浸漬冷却した場合の過渡熱伝達特性が報告された。B333では、高温下向き面を空気と一緒に水を吹き出させるスプレーで冷却した場合の過渡熱伝達特性が水流量及び空気流量をパラメータとして報告された。B334では、上向き伝熱面の水スプレー冷却定常熱伝達実験データが種々の水質量速度、液滴径、液滴衝突速度、液サブクール度に対して求められ、質量速度の影響は大きい、他の影響は小さいことが明らかにされた。また、膜沸騰相当領域の熱伝達表示式が提示された。B335では、種々の直径の上向き円板状伝熱面のミスト冷却熱伝達係数が求められ、伝熱面寸法の影響を考慮した表示式が提示された。B336では、ミスト冷却における冷却特性制御に関連して、伝熱面金属材料熱伝導率の影響、伝熱面に表面熱抵抗層を設けた場合の被覆層厚さの影響が報告された。

以上出来るだけコメントをはさまずに、各発表論文を紹介しました。これを書きながら考えたことですが、これが論文の発表の前だったらもっといろいろなコメントが出来るし、それによって誤りに気付いたり分かりやすいまとめかたが出来たりと、論文の完成度が高くなる場合が多いのではないかと推測します。伝熱研究会も伝熱学会となったことすし、このシンポジウムに査読制度を設けてはどうかと思います。

このセッションでは10編の発表があった。この内、5編はサーモサイフォン型ヒートパイプの伝熱特性、2編は2成分の作動流体を用いたヒートパイプの特性解析に関する研究であり、さらに、ケミカルヒートパイプ、高発熱電子素子の熱制御、ループ形ヒートパイプに関する研究が各1編であった。

サーモサイフォン型ヒートパイプに関するもの：B231は銅-水ヒートパイプの水平から垂直までの設置傾き角の影響を調べた。傾き角が15度以上の場合には沸騰及び凝縮の熱伝達率に対する傾き角の影響は小さいこと、熱輸送は45度で最大となり、それは飛散限界によるものであることを明かにした。また、沸騰及び凝縮の熱伝達率の相関式も提示したが、一般性のある形にはなっていない。B232は全長が110mにも及ぶ長尺の水平設置のヒートパイプで、作動流体としてフロンR-22を用い、定常特性と一様温度条件から冷却が開始されたときの非定常特性を調べた。非定常時凝縮液が還流するにつれて凝縮部側から順次壁温が低下するが、その還流液の速度は徐々に減速する。水平設置の場合の最大熱輸送量は飛散限界かあるいは還流液の圧損によると指摘した。B242は作動流体として水、フロンR-113とエタノールを用いた垂直設置ステンレスヒートパイプの温度分布と蒸発部の熱伝達特性を調べた。加熱部の温度は低熱流束域を除きほぼ均一となるが、封入率が大きいと液が凝縮部にトラップされ、膜状凝縮時の壁面温度分布と異なることと凝縮部流体温度が飽和温度よりかなり低い値となることを示唆した。また、断熱部の壁温は封入率が小さい場合過冷した凝縮液膜のため飽和温度より低い温度を示し、代表温度としては蒸発部流体温度の方が適切であることを示した。蒸発部の熱伝達の評価を行い、ボイド率を用いた相関式を提示した。B243は熱輸送特性に及ぼす加熱面粗さの効果を調べた研究で、平滑面、粗面と溝付面を比較した。熱輸送量は伝熱面積が増加するため溝付面が大きくなるが、作動限界附近では、還流液が特定の溝に偏るように流れ乾き面ができやすくなるため、粗面より限界熱輸送量が小さくなることが明らかにされた。B244は水-ガラスヒートパイプを用いて-10度から90度までの範囲での傾き角の影響を調べた。熱輸送量が少ない蒸発モードでは熱伝達率(論文内では面積として管の断面積、温度差として加熱部と冷却部の壁面温度差を用いており一般の定義と異なっている)が0度附近と90度附近に2つの極大値を持ち、前者は気液界面積の効果のためであり、熱輸送量が増加し沸騰モードになると5度附近が穏やかなピークとなるように変化することを示した。ただ、従来は15度附近が極大となることが知られており、この実験では沸騰モードと言っても、沸騰が十分でなく気液界面積がなお支配的である現象であったのではないかと思われる。私見であるが、サーモサイフォン型ヒートパイプに関

しては、定性的評価やある程度の定量的評価はこれまでの熱伝達や二相流の研究成果を踏まえれば可能な段階であると思われる。二相流の研究は比較的強制流動状態の場合が多く、必ずしもヒートパイプ内の流動に適用することが困難な場合もあるが、今後は精度が高く、一般性がある評価手法の開発研究を行って貰いたい。

2成分の作動流体を用いたヒートパイプに関するもの：2成分の作動流体を用いたヒートパイプでは蒸気圧が低い成分が冷却部で非凝縮気体として作用し、加熱部と冷却部の温度差が熱輸送量によらずほぼ一定となる特徴がある。B233は水とエタノールの混合作動流体を用いて作動限界と圧力と壁温の変動現象を調べた。変動には圧力と加熱部壁温が同位相である場合と、逆位相となる場合の2つのパターンがあり、それは液溜め部での沸騰とそこでの液の残留量に依存し、加熱量が多くなるに従い逆位相となる変動パターンが現われる。作動限界は最初ヒートパイプ下端部での温度上昇で現われ、1成分系のフラッシング発生に基づく限界と異なっていることを示した。B234はR 119とR 11の混合作動液に関して数値解析を行ったものである。その結果伝熱量の変化と共に非凝縮領域の長さが変化することが解析できるとともに、定量的にも良好な結果を得ている。以上2つの研究から、2成分流体を用いる場合、等温度特性が現れるのは冷却部の熱流束として $1\text{W}/\text{cm}^2$ 以下の比較的低い場合であり、広い熱量の範囲で温度制御を行うには成分の選択等の研究や、また伝熱量を大きくすると1成分の場合に比べ変動が現われやすいなど、実用化には今後いっそうの研究が必要である。

B235は SO_2/SO_3 可逆化学反応を利用するケミカルヒートパイプの性能向上のために、従来用いられている充填層型反応器でなく、熱媒体が流れる管の壁に触媒をコーティングする管壁反応器を採用するための基礎研究である。そのため管壁材質を考慮し、SUS316-Pt触媒の酸化反応特性の検討を行い十分な性能を示すことを明らかにした。さらに触媒酸化反応を数値解析し、良好な熱交換特性を示すことを明らかにしている。B241は宇宙用高発熱電子素子の冷却において、ヒートパイプの蒸発部を発熱面に接触させる間接冷却法と発熱面を蒸発部に含む直接冷却法の比較試験を行った。直接冷却法は接触抵抗やウイックの熱抵抗が無く、径方向の熱抵抗が小さくなるので冷却性能が飛躍的に向上し、現在開発中の電子素子の発熱密度（熱流束は約 $22\text{W}/\text{cm}^2$ ）では直接冷却法を採用する必要がある。ただし、直接冷却法でも、今回の実験に用いたウイックでは熱流束 $20\text{W}/\text{cm}^2$ 以上ではドライアウトし、今後改良が必要であることが示された。B245は加熱部が3本の並列管となっているループ形サーモサイフォンにおいて、各管の伝熱量の違いによる循環流量と加熱部の熱伝達特性の変化を調べた。作動流体がエタノールとベンゼンでは循環流量と熱伝達特性の変化は無いが、水の場合循環流量に相違が生じる。また伝熱量が同じでも中央の管の熱伝達率が大きくなる現象が生じることを示した。

自然対流の初日の2つのセッションには、数値解析および乱流モデル、カルマン渦列、共存対流等が含まれる。熱の形でエネルギーの投入が、対流パターン、運動の空間的、時間的スケールにどう関連するか、計10件の講演が行われた。

C111は、時間軸を空間座標とみなし、初期条件および定常の条件 $\partial/\partial t=0$ を境界条件とする繰り返し法によって計算を行い、時間ステップに対する大きさの制限を除去しようという提案である。熱流束等は現時点で評価されているので物理的にはあまり大きな時間ステップを取り得ないと思われるが、定常状態になるまでの時間 τ を適切に見積ることができれば、この境界条件がフィードバックされ、時間ステップを τ に比べてあまり小さくしなくてもマーチング法に比べてかなりの精度となる可能性が示されている。C112は、プラントル数がゼロの極限では温度分布が直線になるとして、したがって浮力を全く変化させなくても振動自然対流が生じ得ること、対流空間アスペクト比の影響を数値計算で示している。C113は、側壁を加熱・冷却された鉛直層の内部発熱が強くなれば、高温壁が冷却壁として作用し始めることを解析している。C114においては、密閉層の鉛直方向直線濃度勾配のため相対的に浮力を失って局所化される部分対流が、層内一様に同時に発生するのではなく、上下端から成長する過程が数値解析された。C115は、放射と対流による伝熱が互いに干渉する系においては、それぞれの伝熱量が個々には加熱面と冷却面でバランスしなくなることを示しているが、このことは逆に熱放射の伝熱量自体が通常のように計算できないことを示すものと考えられ、放射伝熱特性の変化も合わせて考察しなければならぬことにならうか。C116においては、有限要素法を用いて、鉛直平板熱伝達の促進に影響し得る二連突起の空間的スケールが検討された。C121は乱流熱伝達が流体塊の周期的離脱によると単純化した解釈に基づくが、支配的な流体塊の時間的、空間的スケールがどう決定され、またこのような大きな流体塊の非定常運動が時間平均の局所の諸量への分配とどう関連するかがやはり難しい。C122は、自然対流乱流境界層に対し、壁近傍での乱れ運動の生成が壁からの熱エネルギーの投入と密接に関連し、したがって壁近傍におけるエネルギー授受に強制対流乱流境界層には起こり得ない平均流へのエネルギー転換過程が生じると指摘している。C123は、鉛直上向き流れの中に置かれた円柱を冷却すると、等温流で発生するカルマン渦列と比較して渦列は巨大化し、より低周波で渦が放出されることを数値解析と可視化実験で示している。C124は、一様熱流束で加熱される水平円柱まわりの自然対流とこれに逆向きに対向して共存する強制対流は、それぞれの背面の熱伝達の改善効果が大きく、純自然対流および純強制対流の場合に比べていずれの場合より常に平均の熱伝達率を高くする実験結果を報告している。

自然対流セッションⅢ～Ⅴ

竹内 正紀 (福井大学)

自然対流の二日目の3つのセッションには、電場・磁場の付与あるいはダクト・熱スクリーン・熱伝導性の物体の設置による対流伝熱の抑制と促進効果、実用熱交換器・発熱平板群・発熱円柱群の伝熱特性、多孔質における対流、ロールオーバー現象、熱サイホン等、企業からの研究報告5件を含めて計16件の講演が行われた。

C211では、中・小容量の変圧器の冷却に用いられる実際のラジエータパネルの伝熱特性を実験により明かにした。パネルは5個の菱形のダクトを連結した構造をしており、中央のダクトと外側のダクトの違い、無次元(相対)熱伝達率のパネル内空気流量への依存性などを示した。C212では、等間隔に配置された5枚の一樣発熱鉛直平行平板群から空気への対流伝熱特性と平板間の圧力分布が計測された。平板の伝熱特性はふく射伝熱量を考慮することにより従来の単独平板および平行平板に関する整理式にほぼ一致するが、圧力分布は入口および出口のごく近傍でも有限の負圧が測定され、それは従来の解析で用いられる仮定を再検討する必要があることを示した。C213は超流動流体ヘリウムII中の水平細線発熱体に定常臨界熱流束相当値を越えた波高値をもつステップ発熱率を与えた場合の過渡熱伝達と膜沸騰に遷移するまでの準定常状態の持続時間について実験的に検討したもので、本セッションよりも限界熱流束のセッションで発表されるほうが適切であった。C214では、5行5列の加熱水平円柱群から空気への熱伝達率が測定された。上流円柱に生じる浮力流と下流円柱の関係により円柱群の縦ピッチの大きさによって各円柱の熱伝達特性が大きく異なることが示された。C215では、街路灯用の球型照明器具の熱設計に関して、外球(グローブ)及び外球と電球の間の自然対流伝熱特性と温度分布を知るための実験が行われた。そして、外球及び二重球殻の熱伝達率、外球および電球の最高温度に関する実験関係式が導かれた。

C221では、自由表面をもつ自然対流場あるいはマランゴニ対流場が直流電場の中に置かれた場合の電気力の影響を数値解析し電場の影響が出始める電場の強さを明らかにした。さらに、可視化実験から境界にもクーロン力を考慮する必要があることを示した。C222では、水平円柱にかぶせた垂直ダクトによる円柱からの空気への熱伝達の促進効果について実験された。垂直ダクトの間隔が一定(円柱直径の2倍)の実験であるが、熱伝達が一番促進されるダクトの位置に最適値があり、それはダクトの長さが長いほど低くなることが示された。C223では、水平流体層における浮力流れでは熱スクリーン(熱抽出ないし熱放出の作用をもつスクリーン)の設置が流れを抑制し、その効果は熱スクリーンの温度が加熱・冷却壁の平均温度付近で最大

なることを可視化実験により示した。また、マランゴニ対流では、熱スクリーン部の温度を変えることにより対流の促進・抑制が可能であることを可視化実験と数値計算により示した。C224では、対向した加熱・冷却壁をもつ傾斜密閉容器の中央に熱伝導性の物体が挿入された場合の自然対流を数値解析し、実験と比較した。そして、熱伝導率の大きな物体があると物体が無い場合に比較して平均熱伝達は容器の傾きが大きい場合には促進され、傾きが小さい場合には抑制されることを示した。C225では密度成層した二液層のロールオーバー現象について実験的に調べ、壁面境界層が密度差界面を突き抜けることがロールオーバーの発端になることを可視化と温度分布の測定から示した。さらに、ロールオーバー開始に至る時間は熱流束によって異なる3つの発生過程によって差が生じることを明らかにした。

C231では、多孔質体内に水平におかれた加熱円柱からの純自然対流および自然・強制複合対流の実験を行い、実験値が著者らの統一相変換にもとづく解析解におおむね一致し、その解析解が妥当なことを示した。C232では、多孔質が充填された対向壁の温度が異なるハニカム構造の密閉空間内に生じる自然対流を3次元で数値解析した。ハニカムコア（側壁）の熱的境界条件として、ハニカムコアが非常に薄い場合を取り扱い、温度場、流れ場、及び熱伝達率に及ぼすアスペクト比の影響を明かにした。C233では、気体を用いた開放形熱サイフォンに関する実験を行い、入口断面の温度分布の測定から入口断面中央の温度を熱伝達の整理のための冷却側代表温度として用いるのは適切でないことを示した。さらに、冷却コイル温度を冷却側代表温度として熱伝達率の整理を行い、熱伝達特性が定常流の得られる領域、上昇流が回転運動を行う領域、乱流へ遷移する領域および乱流領域の4つの領域に分類することができることを示した。C234では、マランゴニ・自然共存対流場において、自由表面からの蒸発を伴うときの流動状態と温度分布が蒸発が抑制された場合より大きく変化することを可視化実験で示した。C235では、自然対流下の鉛直平面への着霜現象に対する電場の効果が実験され、電場の印加により着霜重量は増大するが、それ以上に除霜効果があるため除霜した分を含まない見かけの着霜重量は減少すること、除霜効果は直流電場の方が交流電場より顕著であり、またその絶対値が大きいほど顕著になることなどを明かにした。C236では、対向する鉛直二平面が加熱・冷却される立方体容器内の液体ガリウムの自然対流場に鉛直、左右、前後の3軸方向にそれぞれ磁場がかけられた場合の熱伝達率を著者らの既報による実験結果も含めて統一的に表す相関式を導き、それが著者らの実験データをよく表すことを示した。

自然対流の研究対象とする系はますます複雑化しているように思える。これに対し「まず、これまでに得られている単純な系の解の組合せから得られる値と実験を比較することによって実際の系の問題点を明らかにすべきである」との九大・藤井教授からの有益な指摘があった。

二相流セッション (I~VI) に関する概説

藤井照重 (神戸大学)

今回二相流セッションに分類された発表論文は28件であり、昨年18、一昨年の24件に比べ増加した。これらの内容の殆どは最終的には原子力、火力、船用、化学、宇宙などに関連した伝熱がらみのものであるが、実験等で用いられた作動流体を分類すると、表1のようで気液が件数23件と人半を占める。その内、二成分気液が14件(約6割)で、その中でも空気-水が12件と多く、一成分気液は9件で、気液以外は5件であった。

表1 作動流体の比較

区分	作 動 流 体 (件数)	合計件数
二成分気液	空気-水 (12), CO ₂ -水 (1), N ₂ -R113 (1)	14
一成分気液	水 (5), R113 (3), R22 (1)	9
固気	空気-磁性体粒子 (1), 空気-ガラスビーズ (1)	2
固気液	空気-水-セラミック粒子 (2)	2
液-液	シリコンオイル-水 (1)	1

(但し、二種類用いている場合が1件あり、フォーミュレーション1件は除く)

次に、論文の内容を表2の様に分類し、以下その内容について概説する。

表2 分類

No.	分 類	件数	備 考
(1)	特殊形状、ノズルなどの流路内での二相流	6	ら旋管、ら旋細線、細管、極狭間流路、ノズル
(2)	Flooding	3	トップフラッディング、対向流フラッディング
(3)	落下液膜	4	波の挙動、カオス、炭酸ガス吸収
(4)	蒸発・凝縮を伴う二相流	4	伝熱と流動機構のアナログ、逆環状流、溝付銅管、非凝縮ガス
(5)	不安定、動特性、加速度変動	3	SBWR、自己蒸発、船用PWR
(6)	固気および固気液混相流	4	伝熱促進、数値解析、実用式の提案
(7)	その他の二相流	4	数値解析、フォーミュレーション、流量分配、等密度液-液

以上のように、Floodingや落下液膜の研究、またら旋管や溝付管、細管、狭間流路、ノズルなど、また異なったフローパターンでの流動、伝熱特性、更に粒子の存在による固気二相流の伝熱促進に関連したもの、逆に液膜流のエントレインメントをおさえる研究、遠心力の働いたものや相間の重力の影響の小さい場合、非凝縮ガスの伝熱特性への影響、伝熱と流動機構のアナログ、固気液三相流の流動特性、流量分配、数値解析、フォーミュレーション、更に実機モデルを対象とした不安定、加速度変動、自己蒸発の研究が含まれる。

(1) 特殊形状、ノズルなどの流路内での二相流 C145, C146, C151, C152, C311, C312

* これについては件数を或る程度まとめる意味で、強引に分類していることをお断りさせて頂く。

ら旋管内環状二相流（空気-水）の液膜波形、厚さの周方向分布を詳細に測定し、遠心力が働いた場合の影響について報告している（C145）。また、ドライアウトを遅らせる目的で管内にリブや細線をらせん状に入れ、ピッチ、径などを変え、その遠心力の影響を明かにするために円柱外面上を流れる液膜流としてそのエントレインメント抑制効果を実験によって調べている。その結果、液膜平坦化の主な原因は遠心力の効果よりらせん構造の直接的な干渉であるとしている（C146）。また、垂直上向き細管内二相流（1.0, 2.4, 4.9 mm、空気-水）における圧力損失、気泡速度、フローパターンを実験により明らかにしている（C311）。非常に狭い（50~100 μ m）流路での二相流の圧力損失（ N_2-R113 ）、沸騰熱伝達（ $R113$ ）について実験を行うと共に、モデル解析を示している（C312）。ノズルからの高压高温水の二相噴流について、非平衡パラメータとの関連で整理している（C151）。同様に高压高温水によるノズルのエネルギー変換効率に対して、のど部入口に平板を挿入したり、先細部形状を変え、圧力アンダーシュート減少による効率の改善について実験、報告している（C152）。

(2) Flooding C133, C321, C322

クオリティ x が同一でも、低速上向き円管内二相流でのボイド率が通常の質量速度で流れる二相流に比べて低く、特別な場合 $\alpha < 1$ のまま $x = 1$ が実現することのメカニズムを実験および環状流のモデル解析により論じている（C133）。一方、矩形狭流路のトップフラッディングについて各流量に及ぼすスパン長さ、ギャップ巾の影響が報告され、気相流量が小さい時はラプラス長さを代表長さとした無次元みかけ流速による整理が有効であるとしている（C321）。円管内対向流フラッディングに対して解析と実験を行い、開始時の気相みかけ速度に対して良い一致を得ている（C322）。

(3) 落下液膜 C141, C142, C143, C144

鉛直壁面を落下する液膜の表面波の挙動を、鮮明なシャドウグラフ像の連続写真により検討し、波の運動特性、合体過程について報告している（C141）。同じ落下液膜の波の高さ、流下速度および波前後の基底膜厚さを測定、検討すると共に、大きな波の内部流れを解析している（C142）。落下液膜における膜厚の不規則挙動を時空間変化の測定によってフラクタル次元から、その変動がカオスである事を検証している（C143）。落下液膜への CO_2 吸収について層流流下水膜にスピーカーによる外部じょう乱を加えることにより表面波の発生を制御し、物質伝達に及ぼす表面波の効果について調べている（C144）。

(4) 蒸発・凝縮を伴う二相流 C241, C242, C243, C244

熱伝達と流体摩擦との間のアナロジを空気-水の鉛直上昇管内強制対流沸騰領域に対して試み、団塊波流および環状流に対してほぼ満足されたが、更に広範囲の異なった条件下での実験が必要であるとしている（C241）。逆環状流領域の熱伝達特性について水平、垂直管について実験を行い、噴霧流への流動様式遷移を明らかにすると共に、二流体モデルに対する熱伝達解析によって、実験結果と良い一致を得ている（C242）。格子溝、らせん溝付管内面

の蒸発・凝縮伝熱特性について実験 (R22) を行い、その有利性を示している (C243)。凝縮を伴う管内二相流 (水) に非凝縮ガス (N_2) が混入した場合の影響を実験によって調べ、 N_2 ガスの流量が増すと共に、蒸気凝縮率の小さくなることを示している (C244)。

(5) 不安定、自己蒸発、加速度変動 C134, C323, C324

タンク、降水管から成るループにおいて蒸気弁急開時の自己蒸発を伴う減圧変化応答を実験で調べると共に解析によって裏付けている (C134)。自然循環 BWR を対象に起動時に発生したガイセリングが系圧力の増加によって抑えられることを検証すると共に、自然循環流量振動の発生機構を実験によって明かにしている (C323)。船用 DWR を対象に上下動加速度変動が SG 二次側を含む原子炉熱水力挙動に及ぼす影響を把握するためにモデル実験を行い、循環流量やダウンカマー水位に対する応答特性を調べている (C324)。

(6) 固気及び固気液混相流 C153, C154, C315, C316

気体の局所熱伝達率改善の方法として、流れに添加した軟磁性体粒子の挙動を磁場を用いて制御し、伝熱面近傍の粒子濃度を高めて伝熱特性向上の可能性を確かめている (C153)。曲円管内での固気二相流では小さな粒子を混入した場合には高い伝熱促進効果のある事を、ラグランジュ的手法による粒子軌跡の数値解析の結果、明らかにしている (C154)。固気液三相流の体積率に及ぼす各流量、管径、粒子径の違いによる影響を調べ、実験式を提案している (C315)。固気液三相スラグ流の各大気泡の形状、周囲の液膜厚さ、液膜内の液相速度等を調べ、その定性、定量的特性、更に固体粒子存在の影響について調べている (C316)。

(7) その他の二相流 C131, C132, C313, C314

核沸騰気泡の挙動解析を目的として層流域の単一空気泡の挙動を数値解析し、気泡形状、上昇速度を求めて実験値と比較すると共に、相変化のない場合の気泡の成長、離脱、上昇の現象とこれに伴う熱伝達率を求めている (C131)。気液二相乱流のフォーミュレーションとして乱流の界面輸送項を小さい界面スケールによるものと大きな界面スケールの2つで評価する式を導出している (C132)。水平円管に垂直下降管群が接続する小口径分岐管内気液二相流 (空気-水、R113) において、水平、垂直各管内のフローパターンに与える形状効果及び物性効果について調べている。流量分配、定量的データ、解析モデルを今後の課題としている (C313)。微小重力場を対象に等密度液-液二相流中のフローパターン、ボイド率、圧力損失について調べている (C314)。

以上、簡単に紹介させて頂いたが、全体を通じて実機モデル実験や他の流体などの模擬ではその相似性の問題、伝熱改善のための管内面に工夫をこらしたものでは圧力損失の増加、磁場をかける場合には入力エネルギーの増加、ノズル効率の改善ではのど部入口に付加する装置による圧力損失の増加による流量の減少など実用化への問題が生じる。更に、実験では精度を含めて一般性が問題となってくるので、例えば助走距離、管内面粗さなどの装置上の問題と共に従来の研究との比較、検討、更に解析による現象の裏付けが必要となってくる。また数値解析、フォーミュレーションではモデル、仮定の適用性に対して実験の裏付けが必要となる。

ここでは10編の報告がなされたが、太陽エネルギー関係が3編、地下帯水層を利用した蓄熱が3編、都市環境に関するものが3編、室内環境に関するものが1編という内訳になっている。

太陽エネルギーに対する世間一般の関心は地球環境問題の深刻化から非常に高くなっているものの、伝熱問題プロパーで緊急なテーマは現時点では見あたらないように思われる。しかし、太陽エネルギー利用の見地からみた日射データの蓄積・整理の現状はまだまだ満足すべきものとは考えられない。それに対応して、C331では寒冷地での天空放射の測定結果が、C332では直達日射の直接測定の結果が報告されているが、前者はデータの提示のみ、後者は多変量解析の試みの段階でとどまっており、今後の研究の積み重ねに期待したい。C333ではフレネルレンズを用いた集光式集熱器のシミュレーションによる性能評価が行われており、かなり良好な結果を期待できることが示されている。しかし、これが実際のエネルギーシステムにどのように貢献し得るかという問題になると、今やこのようなコンポーネント単体の性能の一般的議論では済まない段階になっており、具体的にどのような日射条件下でいかなるシステムを構築しその経済性がどうなるかにまで踏み込んで議論を進めないとエネルギー関係者の興味をひけなくなっているように思われる。

C343からC345までは山形大学で永年追求されている地下帯水層による蓄熱の研究成果の報告であるが、前回のシンポジウムに引き続き帯水層に発生する鉄コロイドがテーマとなっている。これは一方では伝熱面の汚れ、帯水層の目詰まりの原因であるが、他方では帯水層内にダムに相当するものを形成し、蓄熱効率の向上をもたらす積極的意義も併せ持っているため、帯水層の大規模な利用実現としてはこのトレードオフ関係をいかに扱うかがポイントとなっているようである。C343では鉄コロイドによる伝熱面汚れの評価が、C344、C345では鉄コロイドの生成機構、流動に対する効果の究明、モデル化がなされている。発表と討論を聞いて、ダム効果のコントロールがどの程度の範囲で可能であるか、またその理論予測の手法の確立が実用化へ向けての課題であるとの印象を受けた。

室内環境に関しては最近是非常に精緻なシミュレーションによる室内の温度、湿度、風速、換気等の予測とその実地への適用、何らかの快適条件を用いたその評価が盛んとなっているようである。熱輻射の評価はその中でもかなりホットな話題であるが、C334ではそのための基礎的な資料である輻射場のモンテカルロ法と熱回路網法を用いての予測が報告されている。このような計算は手法としては在来のものの適用ないし変形の部分が多いので、方法の開発にもま

して、その計算結果を快適度の評価につなぎ、各種の評価条件自体の検証をするところに面白味があると思う。この発表では輻射と快適性の関係が面輻射温度、水平指向温度という概念で対応づけられているが、いずれも温度の要因のみである。快適性に対する温度の寄与はもちろん大きい、そのみではほぼ決定されるとは言い切れないであろう。今後のテーマとして総合的な指標であるPMV値との関連付けが予定されているとのことであるのでそれに期待したい。室内環境の快適性そのものの評価はC343の後半部分がそれに当てられており、地下帯水層に蓄積された熱を用いた空気調和の効果の評価を多数の被験者を使って行った結果の報告で、なかなか興味深いものであった。ただその結果が現在空気調和の関係者で一般に用いられている快適性指標、たとえば上述のPMV値と対照されていないのはせつかくのデータが十分に活用されておらず、惜しい感じがする。

都市環境に関しては、仙台圏をその対象としてC335ではヒートアイランドの観測とその考察が、C336では大気汚染のシミュレーションとその対策評価が報告されている。前者はエネルギー多消費状況の進展についてさらにわれわれに強い警告を与えているが、その成果が発表者のグループでなされているヒートアイランドの解析研究にどのような形で生かされるか楽しみである。後者の研究では汚染源分布を与えて汚染物質の拡散状況を3次元シミュレーションしたものである。計算の手数の問題などからメッシュの切り方、境界条件の与え方がやや大まかになっているようであるが、大局観を得るには十分と思われる。細かくいえば道路等の発生源が密集した個所に対する汚染物質の濃縮係数のようなものも必要であろう。汚染物質発生強度の影響のシミュレーション結果もなかなか示唆的であるが、現実適用し得る施策につながるようなもの資料を提供するには都市自体の経済構造、その発展のモデルを組み込むというやっかいな作業（SIMCITYなどのゲームソフトには含まれているけれども）が必要であろう。C342は都市の熱環境解析の際の一つの重要な因子である都市表面層の輻射特性の簡略化した表現を得ようとする試みで、数値計算による結果がモデル実験と比較されている。ハンディな形がまだ得られていないがこれは問題のむずかしさの反映であろう。

本セッションは内容的にはかなり雑多で、話題としてのまとまりにかけていたことは否めないが、それはここでのテーマが公衆のレベルでは昨今のエネルギー問題の緊迫化にともない高い関心を集めているにも関わらず、研究成果のタイムラグの関係などで発表が少なかったことによると考えたい。次回以降本セッションが隆盛となることを願う次第である。

なお、C344の発表者は中国人女子留学生であったが、中国語特有のきれいな発声法でしゃべられた日本語はまことに美しく、日本語について新しい発見をした。本筋から外れるがここで感謝の意を表したい。

熱交換器セッション（I）および（II）

望月貞成（東農工大・工）

今回の伝熱シンポジウムにおいて、熱交換器、流動層およびヒートパイプの3セッションのみが機器・装置名を付したセッションで、他はすべて伝熱の原理・現象の観点から分類されている。熱交換器も内部で生じている原理・現象に基づけば、そこで発表されるほとんどの発表論文は他のいずれかのセッションに振り分けることができるであろうと考えられるにもかかわらず、このような熱交換器セッションが存在する理由は、熱交換器が単に原理的な面のみならず、種々の角度からの検討を踏まえた総合的な取り扱いを必要とする現実の機器である点に特徴があるからであろう。これは、熱交換器セッションでの発表論文に期待されるひとつの特徴かも知れない。

あらためて述べるまでもなく、熱交換器と一口に言っても用途、構造・形式などは実にさまざまなものがあり、伝熱形態もいろいろである。本セッションにおいてもそれを反映して、いわゆるコンパクト型熱交換器から宇宙空間でのヒートシンク、EHDの沸騰への応用、充填層、直接接触に至るまで、各講演内容は幅広く分散し、必ずしも互いに関連しない。それゆえ、全体を概括しての議論は困難である。そこで、以下に講演発表順に、著者の感じたことなどを交えて簡単にレビューさせて頂く。ただし、多分に独断と偏見によっていることをお許し願いたい。なお、二つの熱交換器セッションにおける合計10編の論文のうち、5編が大学から、3編が企業から、残りの1編が企業と大学の共同研究として発表されている。

フィン付き熱交換器の性能向上の原理的な方策のひとつとして伝熱面構造の微細化が挙げられる。D111およびD112は共に、ピンフィン熱交換器に関する発表で、多数の極細線（たとえば0.2mm程度）により伝熱面を構成することにより、伝熱面積を低下させることなくまた圧力損失の著しい増大無しに、現用の高性能ルーバーフィン伝熱面に比べても大幅な伝熱性能の向上を図ることが可能であることを示している。次世代のいわゆるコンパクト型熱交換器が目指すべきひとつの方向と言えよう。ただし、実用機器として成立し得るためには伝熱性能のみならず、例えば製作コストその他を含む総合的観点からの評価がなされなければならないのは言うまでもない。

D113は、オフセットストリップフィンを有する熱交換器において、温度スケール係数なる概念を導入して総放熱量を概算する手法を提案している。ただし、フィンの基本特性は市販の流体解析プログラムにより別途求めるものとしている。熱交換器設計手法の簡便化を目指す実用的な研究として今後の発展を期待したい。

D114は層流並行流二重管型熱交換器の流れと熱伝達について、運動量、エネルギーおよび連続の式を数値的に解き、調べたものである。実験等との比較をしてみるとなお良かったと思われる。

D121は、管路を渦巻き状（スワール型）に配置し遠心力により蒸発二相流の気液分離を図り、微小重力下でも有効に作動する宇宙空間での吸熱器（コールドプレート）の開発を目指したもので、航空機の放物飛行により得られる微小重力下での二相流動状況の可視化観察結果を報告している。今後、伝熱特性についての報告が望まれる。

D122は、R11液あるいはR11とエタノール混合液中に浸された管群からの核沸騰に及ぼすEHD効果を検証した実験的研究である。単管の場合と同様に電場付与により高い伝熱促進が得られることを示すと共に、EHD効果による伝熱促進（メリット）と設備コスト（デメリット）を考慮に入れたコスト評価を試みている。熱交換器として実用に供されるためにはコスト面からの評価を避けて通ることはできないゆえ、このような観点からの検討結果の発表もこのセッションにおいては大いに歓迎すべきである。一般に、機器や装置が実用に供されるためには、技術的要素のみならず、経済性、時には社会性まで検討しなければならない場合もあろう。熱交換器セッションで発表される論文には様々な角度からの検討がなされて然るべきである。

D123は、塩化リチウム水溶液の自由対流熱伝達と題し、斜め影写真法を用いて球回りの温度場の様子を調べることで水溶液の濃度と熱伝達の関係について考察を加えている。本研究は、熱交換器に関する研究と言うよりはどちらかと言うと計測手法の開発と自由対流熱伝達に主眼をおいた研究とでも言うべきものである。

D124は、高温破碎岩帯中に水を注入し地熱エネルギーを取り出す際の水流と破碎岩帯間の熱伝達を調べることを目的として、ガラス球を充填した流路に電解液を流し、電気化学的手法を用い、熱伝達率の代わりに物質移動係数を求めたものである。研究目的は大変にスケールが大きく、また伝熱工学の新しい応用分野として興味あるところであるが、例えば、実験に用いたガラス粒子層モデルと現実の破碎岩帯内流路との対応の度合い等、今後の更なる研究に待つべき点は多い。

D125とD126は、いずれも直接接触熱交換に関する基礎研究である。D125は、気相中に鉛直に懸垂した糸に沿って液を数珠状に降下させることにより気液間の接触時間を確保し、熱伝達の温度効率および物質伝達の抽出効率を高めようとする試みに関する研究であり、液滴の流下挙動の観察と簡単な物理モデルのもとでの伝熱計算が行われている。将来、液の流下挙動について一般性のある様式分類がなされるとともに、それに応じた伝熱性能計算が可能になることを期待したい。D126は、スプレー塔型熱・物質交換器への応用を目指して、平板電極間を通過する2液滴がクーロン力を受けて運動する際の挙動と伝熱特性の予測を試みたものである。伝熱の電気的制御は将来性のあるテーマと思われるが、より現実的な多数液滴の場合への研究の進展が望まれる。

「流動層」セッションの概要と感想

石 黒 博 (筑波大学)

流動層に関する報告は、2セッション、計8件（昨年と同件数）で、流動層の流動、伝熱特性の基礎的研究5件と応用研究3

件であった。その内訳は表1のようで、固液流動層関連が1件の他はすべて固気流動層関連であり、以下に、概要と感想を順に述べる。

表1. 報告の内訳（ただし、“統”は継続研究）

計	基礎 5件	固気流動層の伝熱管まわりの伝熱機構	3件・統 (D131, 132, 133)
		固液流動層の流動・伝熱特性	1件 (D143)
8	応用 3件	固気流動層の粒子・気相間熱伝達	1件 (D144)
		固気流動層熱交換器の伝熱の増進と制御	1件 (D134)
件	3件	高温微細粒子の急速冷却	1件 (D141)
		蒸発器の除霜と伝熱特性	1件・統 (D142)

D131: フリーボード域を含めた流動層内の水平円管群まわりの局所熱伝達率におよぼす流動粒子の挙動の影響が調べられた。①透過光型光プローブによる粒子の希薄度の測定と②壁面熱流束一定条件での非定常壁温測定による非定常熱伝達率の測定が同時に行われ、時系列変化の関連性、時間平均量の関連性が調べられると共に、粒子挙動と熱伝達の局所的特性の層高および気相流速に対する依存性が明らかにされた。透過光型光プローブの出力を粒子の希薄度と見なしているが、粒子挙動の把握には、粒子希薄度（または粒子濃度）に加え、粒子運動の強さの検討が望まれよう。

D132: 気泡系流動層中の水平加熱円管まわりの非定常・局所的な流動構造と伝熱特性に及ぼす粒子径の影響が定量的に調べられた。3種類の直径の異なる流動化粒子について、層内の水平加熱円管まわりの非定常・局所的な①熱伝達率、②壁面圧力、③伝熱面上での粒子群と気泡の判別が同時計測され、非定常波形の対応、気泡の伝熱面への到達頻度、粒子群および気泡の伝熱面接触時間、粒子群の接触熱伝達率、管壁の熱伝達に対する粒子群および気泡の寄与度などに対して、粒子径の影響が定量的に解明された。さらに、粒子群の滑りを考慮した新しい熱伝達モデルが展開された。

D133: 流動層内の水平円管まわりの局所物質伝達率が測定された。流動層内の気相による物質伝達と熱伝達の相似性の仮定の基に、円管まわりの気相による熱輸送分を物質伝達率から評価し、さらに、粒子の伝熱面接触時の非定常熱伝導による熱輸送分を熱伝導モデルから推定し、全熱伝達率との比較より、両者以外の伝熱機構の寄与があるとの結論を導いている。物質伝達率の測定精度に関する、物質流束の一様性、吹出および吸引速度、測定物質の比重などの影響の議論と共に、流動層内の気相による物質伝達と熱伝達の相似性に関する、原理的な正否、または、近似的な正否とその近似度の評価などが明確であると大変有難い。

D134: 固気二相流動層形熱交換器において流動化気体の脈動を用いた流動粒子の安定化と局所循環の増進により熱伝達の促進と制御を日指している。低圧損の低密度粒子の浅層形流動層内の水平一列管群について、層内圧力損失は気相の脈動により変化しないこと、熱伝達促進は流動化開始速度から2倍の空塔速度の範囲で著しく、空塔速度の増加と共に脈動の効果は減少すること、脈動の

振幅と周期の寄与は空塔速度に依存するが、一般的に振幅と共に熱伝達率は増加し、周波数は5Hz近傍で最適条件を示すこと、さらに、局所的伝熱促進は円管の後方領域で大きいことが解明された。

D141：都市ゴミの燃焼ガスの脱塩化水素に用いられる消石灰の回収、再利用のための消石灰の急速冷却の方法に流動層を応用している。水平冷却管群を有する流動層内に高温微細粒子を吹き込んだ場合、①層と冷却管間の熱伝達率は微細粒子の供給量と共に増加するが、実験範囲内では流動化空気の空塔速度、微細粒子径の影響は見られないこと、②高温微細粒子の冷却量を層と冷却管間の伝熱として評価した場合の熱伝達率は微細粒子の供給量と共に増加することなどを解明している。会場での質問にもあったが、高温微細粒子自体の冷却特性の評価が、今後、興味深いところである。

D142：着霜が問題となる、寒冷地で使用される空気熱源式ヒートポンプ用熱交換器への応用である。低圧損で、固気衝突噴流効果が顕著な極浅層流動層内の大径管について、低温条件での除霜能力と局所伝熱特性を実験的に明らかにしている。供試円管表面に生じる霜層により局所熱伝達率が低下すること、着霜位置は円管側面であること、着霜様相の全般的傾向として供試管外表面温度が低く、層入口空気温度が高い程、着霜率が高いこと、管表面温度が -10°C でも無着霜が達成できることを示している。実際の応用の場合、伝熱面の性状の考慮も必要であろう。

D143：foulingの可能性のある水熱源を利用する熱交換器への固液流動層の応用を目指して、固液流動層内の単一水平円管まわりの流動伝熱特性の定量的把握を行っている。層内の圧力損失、空隙率、熱伝達率に対する液相空塔速度、静止粒子層高さ、粒子径、粒子物性の影響を明らかにすると共に、実験式を提案している。今後、実験式の一般性の確立のためにも、実験式導出時の仮定の妥当性の検討および管径や液相物性などの影響の解明が望まれよう。さらに、固気流動層とは異なる傾向の伝熱特性も示され、伝熱機構の解明も含めて興味深いであろう。また、実際のfoulingの検討なども楽しみである。

D144： Li_2O 粒子（増殖材）とHeガスを用いた流動層ブランケットにおける流動する核反応発熱粒子・ガス間の熱伝達の基礎的研究として、加熱ガラス粒子と空気を用いた非定常熱伝達実験を行っている。粒子径、静止層高さ、気相速度を変化させ、熱電対および吸引式温度計により層内温度を計測すると共に、Plug flow モデル（押出流を仮定）、Back mixing flow モデル（完全混合流を仮定）を用い粒子・空気間の熱伝達率を算出し、さらには、Plug flow モデルを改良した2領域モデルを提唱し、それから算出される熱伝達率が従来の相関式の結果と同様であると結論づけている。

固気流動層は、基本的に粒子濃度の極めて高い、固気二相流の一形態であり、層内の物体まわりの伝熱機構や粒子・気相間の熱伝達の解明は、固気二相流における伝熱機構の体系化の観点からも重要であり、前者については、系の詳細や方法の違いはあるものの、継続研究として内容の進展がうかがえる。また、流動層内の高熱伝達率や粒子の摩擦効果を利用した新しい応用の開発や応用範囲の拡大、さらには、流動層自体の伝熱性能の向上と極限への挑戦など、今後、益々、研究の広がりや深まりが期待されよう。

以上、概要と若干の感想を述べさせていただいたが、誤解や不適当な点などがあれば、浅学非才のためとお許し願いたい。

燃焼のセッションでは7件の研究発表があった。それぞれの要点を以下に記す。

D151 シャトル型非定常燃焼バーナーの火炎伝播特性 (小林, 他2名) : CO_2 ガスダイナミックレーザ用高温高压ガス発生のための燃焼器の開発を目指し, シャトル型非定常伝播燃焼装置を試作し, 燃焼範囲および火炎伝播特性を実験的にしらべた。

D152 アセチレン-空気予混合火炎内でのPAHの生成 (佐野) : アセチレンの燃焼生成物として46成分を, 素反応は162式を考慮し, 反応動力学と多成分拡散を考慮した数値計算を1次元予混合層流火炎で行った。これによって, すすの前駆物質と考えられる多環芳香族化合物 (PAH) の生成の基礎になるベンゼン環, ナフタレン環の生成過程と特性を当量比, 火炎温度, 火炎の内部構造との関連で調べた。

D153 触媒燃焼の研究—ハニカム触媒の温度場の解析— (近野, 竹内) : ハニカム触媒によるプロパンの触媒燃焼 (触媒表面での総括反応, 拡散律速を仮定) について2次元軸対称場で数値計算した。触媒表面からの輻射を考慮した。ながれ方向への触媒表面温度とプロパン濃度について, 実験と比較し, 壁温分布の形状や当量比の影響等についてかなり実験をよく予測した。

D154 ガスタービン用燃焼器内流動解析 (古畑, 他6名) : ガスタービン用缶型燃焼器 (一次空気および二次空気の噴流を伴う) 内の非燃焼時の流動について $k-\epsilon$ 二方程式モデルを適用し, 円筒3次元の数値シミュレーションをおこない, 実験と比較した。円筒2次元の計算に比べ, 予測精度が著しく向上した。

D155 高压下における燃料液滴の燃焼に対するふく射の効果 (山崎, 斉藤) : 単一液滴の燃焼におよぼす輻射の効果が数値解析によって調べられた。液滴寿命, 温度分布等について輻射を考慮しない場合の結果と比較した。圧力1 MPaの高压では圧力0.1 MPaの場合に比べ輻射の影響は少ないことが示された。

D156 水面上の液体燃料プール燃焼におけるボイルオーバ (燃焼初期の燃料層内温度分布) (後藤, 他3名) : 液面燃焼開始からボイルオーバ (水面の沸騰) が生じるまでの時間と過程を予測する解析がなされた。燃焼初期における燃料層内での In-depth radiation absorption とこれに起因したレーレ対流の発生過程を考慮する必要があることを示した。

D157 液面燃焼により生じる拡散火炎からの放射熱 (火炎流れ方向の放射熱分布) (早坂, 他2名) : 灯油の液面燃焼により生じる拡散火炎からの放射熱の分布やその変動特性をサーマルカメラによって計測した。また, 熱放射特性から火炎の状況を検討した。

ヒートポンプのセッションの概要と感想

菊地 義弘 (広島大)

飯田 嘉宏 (横浜国大)

ヒートポンプ (I) のセッションでは、4編の論文が発表されたが、いずれも空調用の吸収冷凍機や加熱源としての吸収ヒートポンプに関するものであって、臭化リチウム (LiBr) 水溶液への水蒸気の吸収にともなう熱伝達を取り扱っている。

D211は、外径28mm、有効長さ1400mmの垂直黄銅管を用いて、その外壁を流下するLiBr水溶液への水蒸気の吸収実験を行ない、吸収量に及ぼす膜レイノルズ数 Re の影響を調べた。LiBr水溶液の入口条件 (濃度59wt%、温度38℃) を一定とし、冷却水温度を26、30、34℃、圧力を5、7 Torr、 Re を40~400の範囲で実験を行なったところ、 Re が大のとき、吸収量が層流モデルによる計算値の約1.5倍に達した。これは、液膜の観察で見られた波立ち現象によると考えられるため、今後、それを考慮した理論モデルを開発する必要がある。

D212は、水平銅板 (幅128mm、奥行20mm、厚さ2mm) 上に静止しているLiBr水溶液膜への水蒸気の吸収実験を行ない、吸収量に及ぼす液膜厚さの影響を調べた。冷却水温度と初期濃度をそれぞれ、40℃、60wt%とし、初期液膜厚さを0.2~4.9mmの範囲で実験を行ない、吸収熱伝達量を連続的に測定した。熱伝達量は時間の経過と共に始め急激に増加するが、ある時点で極大値をとった後減少していく。この傾向は初期液膜が薄いほど顕著である。これは、液膜が薄い場合、熱抵抗は小さいが、水蒸気の吸収により溶液の濃度が急に低下するため、短時間で吸収が終了することによる。したがって、二成分溶液では水蒸気の吸収による溶液の濃度低下を考慮する必要があるとしているが、今後は静止状態でなく、実機のように流動条件下での研究が行われることが望まれる。

D213とD214は、一様な膜厚分布をもったLiBr水溶液膜が形成できるように考案された二次元曲率を有する伝熱面 (CCS) についての研究報告であって、実用的なCCS管として、鞍形、ねじ形、平行溝形、スパイラル形等が考えられている。まず、インクを伝熱面上に滴下したところ、いずれの面上にも、極めてきれいな均一液膜が急速に形成された。また、水平スパイラルCCS管 (基底径16.75mm、有効長さ250mm) を四段に並べた試験部を用いて、面上に滴下するLiBr水溶液への水蒸気の吸収実験を行なった。その結果、液膜の質量流量が0.06kg/msの場合、平滑管にくらべてそれぞれ熱通過率が38%、熱伝達率が46%、物質伝達率が60%向上することがわかった。今後、CCS管が実際の吸収式ヒートポンプ等に応用され、性能向上に役立つことが期待される。

ヒートポンプ（Ⅱ）のセッションでは 吸着系のケミカルヒートポンプに関するもの1件、液膜式吸収器の吸収促進に関する基礎的な研究2件、給湯ヒートポンプの特性に関するもの1件の計4件の研究発表があった。

D221では、吸着系ヒートポンプの内、シリカゲル・水蒸気系について100℃前後の吸着特性を相対圧・温度に対して測定すると共に、吸着充填層内の吸着量と温度応答を測定し、その結果を表面拡散係数と吸着等温線の温度依存性をそれぞれ配慮した計算結果と比較して、この系では吸着特性が吸着量と温度応答に与える影響は小さいとしている。この結果は是としても、直感的に考えれば吸着特性は大いに影響するようにも考えられる。本系のすべての予想操作条件に対して同結果は成り立つのであろうか。

D222は、流下液膜式吸収器の吸収促進法として知られる界面活性剤添加の影響を詳細に実験した基礎研究である。実験は主に臭化リチウムを用いた傾斜平板式で行ない、溶解度以下の2-エチル-1-ヘキサノールを加えて熱伝達率と物質伝達率を測定し、液膜挙動を観察した。その結果、吸収熱量が無添加時の5倍に増加すること、非常に細かで活発な乱れが界面に生じていることを確認して、溶解度以下でもかなりの効果があることを示した。本結果は実用的にも重要なものと考えられるが、界面の乱れが促進の機構であるとすれば、その効果を定量的に解明する研究を今後著者等に望みたい。

D223は、上記と同じく液膜式吸収器の吸収を促進するため方法としてフィン付き管を取り上げ、3種の同管と裸管との吸収性能を測定しつつ、吸収促進機構について種々の考察を行なっている。結果としては、液膜内流れの攪拌効果があるR管が最も優れたとしている。また、液膜吸収では温度場に比べて濃度場の発達が遅れることから、冷却管の下に断熱管を設置して吸収実験し吸収量が増加することを示した。興味ある実験であり、今後吸収率がより大きく、さらに熱伝達もまた大となるようなフィン付き管の開発が著者等によってなされる事が期待される。

D224は、著者等が開発している給湯用2段圧縮式ヒートポンプの特性解析法構築の予備として、単段の場合について、特に凝縮器の伝熱特性の影響を検討したものである。凝縮器は二重管式伝熱管を2本並列にしたものである。解析は、平滑管および伝熱促進管に対して行ない、ワンスルー加熱凝縮器の場合圧力損失が増加しても凝縮管長はほとんど増加しないので、伝熱促進手法の利用が可能である、としている。貴重な試算であるが、2段・単段の場合とも成績係数をも少し大きくすることが要求されるのではないだろうか。また、圧力損失を増やしても良いとあるが、動力や成績係数に与える影響はどのようなのであろうか。

温度場, 速度場, 圧力などの物理量や熱物性値を計測する新しい手法の開発には大きくわけて次のような研究ステップが必要であろう。

1. 基礎となる物理現象の発見, 解明
2. 十分な感度・精度で必要な物理量が検知できる計測系の開発 (解析手法も含む)
3. 他の信頼できる方法で既に良くわかっている系を対象に, 新しい手法の正しさを確認
4. 理想条件からのズレや誤差要因の検討を行い, 必要ならば補正
5. 新しい計測技術として完成
6. 全く未知の系 (従来の方法では計測不能) の測定

実際には, 上の項目間が相互に関連しながら研究が発展し, また, 基礎の物理現象が興味を中心とする研究者もいれば, 実用的な計測装置の開発に重点をおく研究者もいる。今回のシンポジウムの熱物性・計測法 (I)(II) (III) のセッションの講演はこれらのどれかに分類されることになるだろう。

表1, 2, 3は筆者の独断でそれぞれの講演の内容を一覧にまとめたものである。表1の研究はいずれも光や音などを使った非接触計測技術であるが, これはレーザやコンピュータ等の計測手段の進歩とこれらが十分使用できる価格になったこともあるが, 同時に, 2次元, 3次元の大量の情報を短時間で得られる手法でなければ研究の対象にならないということの意味するのだろう。具体的に前述の研究段階にあてはめてみると, D311, D313はそれぞれ温度勾配と温度境界層内の光偏向による理想条件下のズレの検討をおこなっている。新しい手法の妥当性の確認としては, D315はLDVとの比較, D314はサクシオンパイロメータを挿入して比較, D313は温度境界層が計算できる等温加熱平板で検証, D311は熱電対で測定している。D316は基礎となる物理現象の研究に興味の中心があるように思われる。

表2, 3については, 未知な系の熱物性測定の研究としては, D321, D322が代替フロンを含む系の相互拡散係数と定圧比熱, D324が流動状態の高分子融体の温度伝導率の異方性, D333がスパッタ Ti 薄膜の温度伝導率, D334が液体窒素の熱伝導率, である。新しい測定系の開発としては, D334が炭酸ガスレーザを使った強制レイリ 散乱法, D336が強制レイリ 散乱法を使った微小系での測定, D337は熱的ゆらぎによる微細表面波を利用した熱物性計測法である。また D323は分散系混合物の温度伝導率が測定法によって見かけ上異なる問題を扱い, D331は実用的で簡便な熱物性測定装置の開発, D332は放射射を利用した熱伝導率測定法の妥当性の検討である。

新しい計測技術を研究する者として、常に頭に入れておかなければならないことは、測定法がいくら新奇であっても従来からの方法で十分測定できる範囲にとどまっていたのでは価値がなく、従来の方法とは異なる持ち場で、これまでは不可能だったり適用が非常に困難だった系に用いて、新しい発見ができてこそ新しい測定法の真価が発揮される、ということである。これは当然のことではあるが、つい新しきや面白きに夢中になり、忘れてしまいがちなのも事実である。

表1 熱物性・測定法 (I) のまとめ

講演番号	計測技術・手法	測定量	次元
D311	感温液晶	温度 (常温付近)	2D
D312	感温液晶 (液晶懸濁法)	温度	3D
D313	レーザー・ホログラフィー干渉法	温度	3D
D314	音波 CT 法	温度 (1000 °C以上)	3D
D315	画像処理 (相関法)	流速	3D
D316	レーザー誘起蛍光	圧力	3D

表2 熱物性・測定法 (II) のまとめ

講演番号	計測技術・手法	測定量	測定系
D321	Taylor 法	拡散係数	フロン空気 (気相)
D322	フローカロリメーター	定圧比熱	代替フロン (液相)
D323	パルス加熱法 周期加熱法 (数値計算)	温度伝導率	分散系混合物 (不均質固体)
D324	強制レイリー散乱法	温度伝導率	高分子融体 (異方性液体)

表3 熱物性・測定法 (III) のまとめ

講演番号	計測技術・手法	測定量	測定系
D331	ステップ加熱法	温度伝導率, 比熱	石炭灰, 砂利 (蓄熱材)
D332	放射交換法	熱伝導率	シリコンゴム, ガラス
D333	光音響法	温度伝導率	スパッタ薄膜 (金属)
D334	強制レイリー散乱法	温度伝導率	液体
D335	非定常細線法	熱伝導率	液体窒素
D336	強制レイリー散乱法	温度伝導率	微小系固体
D337	表面光散乱法	表面張力, 動粘性率	液体

今年の伝熱シンポジウムにおける融解・凝固のセッションでは総計27件の論文が発表されたが、その中で12件が潜熱蓄熱システムに関するものであった。また、二成分系の融解・凝固、生体の凍結に関する論文が各2件、そのほかは、過冷却や多孔質層内の凍結に関する論文などがあった。いずれのセッションにおいても、質疑討論の時間が足りないという印象を受けるほど活発な討論がなされた。以下に各論文をそれぞれ、(1)潜熱蓄熱、(2)生体凍結、(3)二成分系融解凝固、(4)管路内・多孔質層内融解凝固、および(5)その他の問題に分け、各論文に関して内容を紹介し、簡単な感想を述べる。

(1)潜熱蓄熱関連

今回のセッションで最も関連する論文が多かったのがこの分野である。E111は潜熱蓄熱カプセル内相変化物質の接触融解に関して固相の移動を考慮にいれて数値的に検討した結果の報告である。E123も同様に円筒形カプセル内の接触・自然対流の複合融解に関して数値計算を行ったものである。E124は楕円カプセル内の融解に関する実験的報告である。球形のカプセルと異なり、カプセルの姿勢が結果に大きく影響を及ぼすことが予想され、蓄熱槽に充填された状態での実験的検討が必要と思われる。E122は形状安定型PCMを用いて潜熱蓄熱システムの実験を行い半経験式を導出している。今回の発表の中では、唯一、実システムに関して実験を行ったものである。また、対象としたPCMも融解により形状が変わらないという特性を持っており非常に興味深い。今後もこのように新しい素材を取り入れることにより研究が多様化することが期待される。

E215はクラスレート式蓄熱システムに関して蓄熱槽内の流れ場の数値計算や可視化により、熱交換器の配置に関する検討を行ったものである。クラスレート方式は、水蓄冷式に比べて多くの利点があるにもかかわらず、有機媒体の選択や腐食の問題など解決しなければならない問題が多い。E135は水蓄熱装置の伝熱管配列数および本数の影響に関して実験的に検討したものである。このように、基礎的なデータの積み重ねは重要であるが、検討している条件範囲が幾分せまいという感想を持った。E136は内部にフィンを持つ傾斜矩型潜熱蓄熱槽の研究を行っている。E214は冷熱の輸送動力の低減を図るため、潜熱蓄熱材カプセルを管内空気輸送する際の冷熱損失特性に関する研究である。カプセル内に取り付けた発信器を用いて、カプセル温度の測定値を取り込むという巧妙な実験方法で輸送時の熱伝達特性などを測定している。

今回は伝熱の促進に着目した論文が3件あったが、いずれも何等かの形で潜熱蓄熱に関連するものであった。E113は円盤型伝熱面に放射状の溝を加工し、接触融解の促進を図る研究である。E125は潜熱蓄熱装置の出力特性を一定するために二重管内に環状伝熱促進板を挿入し、その影響について実験および解析を行ったものである。E146は銅線を格子状に組んだ伝熱促進体を用いて融解実験を行っている。今後は更に、この様な伝熱促進に伴う負の面、例えば材料の腐食や加工の困難など、についても量的に検討する必要があるように考えられる。

(2) 生体凍結関連

今回は2件の発表であったが、最近特に注目されている分野であることから討論は非常に活発であった。E141は細胞外の優先的凍結によって引き起こされる細胞の脱水・変形などをシミュレートしたものである。潜熱蓄熱のカプセルの場合と同様に、生体もまた細胞の集合体としての取扱いに発展してゆくことが期待される。また、E142は半透膜で仕切られた水溶液の凍結に関して実験を行い、温度および濃度場の測定を行ったものである。セルスケールはやや大きく細胞の凍結というよりも、半透膜を介しての融解・凝固といった現象そのものが非常に興味深い。

(3) 多成分系融解凝固

多成分系溶液の凝固は、アモルファスなどの新素材の製造過程や、先の生体の凍結に密接な関わりを有する基本的問題である。E143は塩化ナトリウム水溶液の過冷却凝固過程を詳細に検討したものである。多成分系溶液の凝固では、凍結界面における溶質の挙動が重大な影響を及ぼすと考えられ、シミュレーションにおいてもこの影響を考慮することが要求される。E144は炭酸ナトリウム水溶液の凝固に関する実験を行い、界面近傍における温度および濃度場に関する検討を行っている。界面形状との関連をより詳細に示してほしかったと思う。

E145は不溶性二成分カプセル内の融解・凝固特性に及ぼす成分比の影響を解析したものである。先に述べたように、これもカプセル 個に着目した場合であるが、多数個のカプセルを用いる場合、単一成分カプセルを複数種類の蓄熱材に対して用いる場合との特性の比較などにさらに興味を持たれる。

(4) 管内・多孔質層内

E133は管内の凍結閉塞に密接に関連する水層ステップ発生のメカニズムを、凍結氷層面の乱れ強さを測定することで、従来定性的議論のみであったものを定量的に説明した。E134はオリフィスなどの円管内突起物が凍結閉塞に及ぼす影響に関して検討している。E114では多孔質層内の融解・凝固におよぼすフィンの影響に関して解析を行っている。E115は密閉容器内多孔質層内の水溶液の凍結に関する解析と実験を行ったものである。

(5) その他

E131は過冷却水を利用した連続製氷に関する研究。また、E132は過冷却流水の円管内凍結

開始条件に関して検討を行っている。従来、過冷却の解消に関しては冷却面性状や結晶生成核など原因となる因子が多いと考えられているが、ここでは、冷却面近傍の過冷度が主たる因子であるとしている。この場合、結果が実験装置に依存することが考えられ、今後この点に関する検討が望まれる。E211は塩水中における水平氷円柱の融解に関する実験を行っている。融解現象が非常に複雑で興味深い、より詳細な解析的検討が今後の課題であると思われる。E212では強制対流中の氷円柱の融解を扱っている。またE213は温水散布による雪の融解過程を詳細に検討を行っている。E112は連続鋳造における凝固問題を境界固定法を用い液層の自然対流を考慮し数値解析を行っている。実験により解析の妥当性の確認がなされていないのが残念であった。E121は複写機のトナー粒子である高分子ポリマーのレーザー加熱による高速融解過程を扱っており、非常に興味深い。今回のセッションを通じて、新たな素材や現象を対象にするために、さらに広範な知識や多方面からのアプローチが必要であることを感じた。

「生産加工プロセス」セッションの概要

三田地紘史，鈴木孝司（豊橋技科大）

生産加工プロセス(I)～(III)のセッションでは，合計14件の講演があった．このうち大学を主体とした研究は半数であり，他のセッションに較べて企業主体の研究が多かったように思われる．以下，各講演の内容を簡単にまとめてみる．

生産加工プロセス(I)

E221：平本ほか「噴流加熱式ガスエッジヒーターにおける伝熱現象」では，連続鑄造機と熱間圧延機間の鑄片直送圧延プロセスにおいて輸送中の鑄片端部の温度降下を補うために使用されている噴流加熱式ガスエッジヒーターでの伝熱現象をパイロットプラントにより実験的に吟味するとともに，実験結果を考慮して炉内の熱バランスモデルをたてて鑄片表面への伝熱因子の構成割合を定量的に評価している．その結果，炉内では噴流火炎による対流伝熱が大きな割合を占めることなどが示された．

E222：中島ほか「コークス炉内の伝熱に及ぼすガス流れの影響」では，小型1次元炉を用いてコークス乾留過程で発生する熱分解ガス流量の時間変化を実測するとともに，各熱分解ガス成分の流動や水蒸気の発生による熱移動を加味した1次元モデルを開発して，熱分解ガスの発生率や炉内温度分布の時間変化をコントロールボリューム法により具体的に数値解析している．その結果，炭中の水分の蒸発潜熱により著しい乾留遅れが生ずることなどが示された．

E223：佐藤ほか「コークス塊内熱応力解析」では，コークス乾留過程におけるコークス塊の変形や内部応力分布の時間変化を，現実に即した適当な主亀裂の間隔ならびに進展条件の仮定の下で，亀裂内での輻射伝熱をも考慮してガラーキン有限要素法により二次元数値解析している．その結果，コークス塊内の熱応力分布の時間変化の特徴が明かとなり，品質を左右する塊内微小亀裂の発生機構がより明確にされた．

E224：室家ほか「3次元成形セラミックスの乾燥収縮および応力割れに関する研究」では，セラミックス材料として球および平板状に成形した粘土を選び，これらに対流熱風加熱によって乾燥させた場合の体積収縮や応力割れについて実験的に吟味している．その結果，体積収縮率は乾燥速度が大きくなるほど大きくなることや応力割れは収縮の大きな乾燥初期段階で発生しやすいことなどが明らかにされた．

生産加工プロセス(II)

E231: 藤野「熱流体解析で現れる非対称連立一次方程式の新解法」では、対角優位性が崩れた連立一次方程式の有効な解法として最近開発されたBi-CG STAB法を紹介している。さらに、熱流体問題にみられる種々の難解な連立一次方程式を前処理としてILU分解あるいはMIU分解を施して同手法により実際に解いて、同手法が残差の単調減少性、収束性、高速性などの点で従来の方法に較べて優れていることを具体的に示している。

E233: 木枝ほか「確率有限要素法を用いた熱伝導問題の数値解析(コンピュータ冷却熱解析への応用)」では、数値解析においてパラメータ感度を簡単に解析する方法として、またパラメータのばらつき確率分布を取扱う方法として有効な確率有限要素法を紹介するとともに、マイクロフィンを用いた大型計算機の冷却構造の3次元定常熱伝導問題に実際に適用して同手法が熱解析の信頼化を図る上で有効であることを示している。

E234: 平澤ほか「LSI アルミ配線への周期的ON/OFF通電時の熱・寿命解析」では、LSIパッケージ内部のアルミ配線に周期的なON/OFF通電をした際のアルミ配線の過度温度変化や寿命について、現実の3次元問題を物性値などの換算により2次元問題におきかえて陰的差分法により数値解析し、エレクトロマイグレーションによるアルミ配線の寿命は通電周期が長いほど段階的に短くなることなどを明らかにしている。

E235: 三田地ほか「熔融塩炉の炉心減速材の温度分布」では、トリウム資源を有効に利用でき、安全性が高く、経済性の優れた高転換炉として期待される小型熔融塩炉の設計研究の一環として、著者らの設計した炉における炉心部減速材要素内の温度分布をガラーキン有限要素法により3次元数値解析して特徴を明らかにするとともに、この炉の工学的実現性が高いことを示している。

生産加工プロセス(III)

E241: 金子ほか「交流磁界中の熔融金属の電磁流体解析」では、垂直方向交流磁場下での円筒容器内の熔融金属の対流に及ぼす導電性磁気シールド設置の影響について、 $k \cdot \varepsilon$ モデルによりSIMPLER法で2次元数値解析している。解析結果を水銀を用いたシミュレーション実験の結果と対比して数値解析の妥当性を示すとともに、磁気シールドの設置によって対流の制御が可能であることを裏付けている。

E242: 藤ほか「水平横方向の一樣な外部磁場下におけるチョクラルスキー対流の三次元数値解析」では、従来解析が難しかった水平方向一樣磁場下でのチョクラルスキー炉内のシリコン融液の対流をHS-Mac法で三次元数値解析している。途中解の提示ではあったが、水平方向磁場下では対流が非軸対称となり、固液界面での局所Nu数が周方向位置により大きく異なることなどが示された。

E243：尾添ほか「チヨクラスキー法による溶融すずの固化実験」では、金属材料（すず）を原料として比較的簡単な小型チヨクラスキー法装置によって実際に固体棒の引き上げを試みた結果を報告している。引き上げには必ずしも成功したわけではないが、従来ほとんど公表されていなかった単結晶製造過程における装置操作上の問題点が示された。

E244：本田ほか「Si Cz 炉内挿入物の炉特性への影響」では、チヨクラスキー炉内に不活性ガスの整流を目的として挿入されるロート状の構造物が炉内の伝熱および結晶成長特性に及ぼす影響について、ガラーキン有限要素法により数値解析している。その結果、ロート状の挿入物は輻射遮蔽体としてもきわめて有効であり、結晶の高速引き上げが可能となることなどが示された。

E245：渡辺ほか「Si 融液対流の三次元速度解析」では、従来その定量的計測が困難であったチヨクラスキー炉内のシリコン融液の対流をタングステン粒子をトレーサとしてダブルビームX線透視法によって三次元可視化している。その結果、自然対流と回転力による強制対流が混在した複雑な流れ場の特徴が明らかにされた。

E246：柿本ほか「総合対流伝熱モデルによるシリコン炉内の温度場と速度場の解析」では、炉全体のジオメトリーを考慮した総合伝熱モデルにもとづいてチヨクラスキー炉内の流れ場と温度場を有限要素法によって数値解析している。解析結果と上記 E245 の可視化結果との比較によってシリコン融液の体積膨張率を推定するとともに、炉内の対流には炉の回転運動にもとづくコリオリ力が大きく作用していることなどを示している。

セッション全体の傾向としては、セッションの性格上当然のことながら、特定のプロセスを対象とした目的ならびに結果が明確なわかりやすい講演が多かった。その反面、他のセッションでみられるようなセッションに共通した基本的な論点はほとんどなく、前半のふたつのセッションでは討論時間を持て余す傾向にあった。工業的に非常に重要と思われる問題を含んだ講演が多かったにもかかわらず活発な討論に至らなかったことは残念である。しかし、セッション後半の半導体単結晶製造に関する講演については講演者相互や満席の会場を交えて活発な討論が行われ、この種の問題についての関心の高さがうかがわれた。半導体単結晶製造に関しては独立したセッションで扱ってみてはどうだろうか。

1. 凝縮セッションの概要

今年のシンポジウムにおける凝縮関連の研究は3つのセッションにまとめられ、合計10件の講演発表が行われた。1986年に全分野にわたる本レビューが毎夏の「伝熱研究」に掲載されるようになって今年で5年目になる。その5年間で比較してみると、凝縮関連の講演数は今年が最も少なかった。昨年までの4年間では凝縮伝熱を主内容とする全講演数が14件から19件あり、そのうち10件前後を占めていた膜状凝縮を中心とした研究が今年は3件だけであったこと、および核凝縮等の研究が分子動力学のセッションとして独立したことが講演数減少の理由である。他の凝縮形態に関する研究発表の件数は例年と比べて大きな変化はない。

下の表に今年の凝縮関連の講演内容をまとめて示した。これらの講演は、凝縮の基本形態（膜状凝縮、滴状凝縮、滴・膜混合凝縮、EHD擬似滴状凝縮、直接接触凝縮）、使用蒸気の種類・組み合わせ（水蒸気、有機蒸気、金属蒸気、溶解性・非溶解性の2成分蒸気）など、凝縮伝熱の分野を広くカバーしている。また内容的には、アクティブあるいはパッシブな伝熱促進法、分子運動論による凝縮特性の検討、直接接触凝縮のひきおこす振動・騒音あるいは1成分からなる二相流中の水撃におよぼす相変化の問題と多岐にわたっている。しかし、発表件数と研究範囲の広さの関係から明らかなように、同一セッションの中でさえもお互いに直接接点をもっているような研究は少なく、討論内容も個別的になるのはやむを得なかったと思う。

各講演の概要

凝縮形態	内容	物質	講演番号
擬似滴状	EHD伝熱促進機構	シリコン油	E311
滴状	滴状・膜状遷移特性	プロピレングリコール	E312
滴状	多原子分子の凝縮係数の算出	エチレングリコール	E313
膜状	蒸気側凝縮特性の解析	カリウム	E314
膜状	波状、乱流域の経験式の改良	水	E321
膜状	2成分蒸気の管内凝縮特性	HCFC22 + CFC114	E323
滴・膜	不溶2成分蒸気の伝熱促進	四塩化炭素、水	E324
直接接触	チャギング・管出口の影響	水	E331
直接接触	水中凝縮騒音の抑制	水 (+ 空気)	E332
直接接触	1成分二相流中の水撃	エタノール、水	E333

2. 各講演の討論内容

次に、各講演に対する討論事項の概略を紹介する。これらは筆者のメモをもとにしたもので、メモからのもれ、あるいは筆者の知識不足による誤解があったらお許し願いたい。

E 3 1 1 : 電極 (DC・AC、+・-) による違い、粒状化の発生のメカニズムに関連した液膜の不安定性、実際に粒状化の起こる限界液膜厚さ、実用化に際しての問題。

E 3 1 2 : 滴状から膜状への遷移域で形成される筋状液流の様子、凝縮曲線に関する実験と計算結果の比較について。

E 3 1 3 : 実験における凝縮係数の関与する気液界面抵抗が全抵抗に占める割合、凝縮係数を求める式が非平衡状態あるいは多原子分子に適用されない点についての指摘。

E 3 1 4 : 直接シミュレーションにおいて原子の衝突過程を剛体モデルとしている点に関する影響について。

E 3 2 1 : 波状流の開始域付近において特異な温度分布の生じる理由、各分類領域の流体力学的な定義について。

E 3 2 3 : 純冷媒に関して用いた経験式と他の従米の経験式との関係、気液界面の条件 (飽和状態か否か) について。

E 3 2 4 : 2成分液の流動様式に関する一般的整理法、伝熱面材質・表面処理の影響、純冷媒における各フィンタイプの伝熱促進効果について。

E 3 3 1 : 管出口形状の決め方、出口形状を変化させることにより凝縮関連振動のマップが異なってくる理由、実際の液面移動の様子。

E 3 3 2 : 空気の水中あるいは蒸気中への加え方による凝縮騒音特性の変化の有無、凝縮騒音の発生メカニズムについて。

E 3 3 3 : 流れ方向だけでなく管の半径方向の2次元的な影響、圧力の応答波形に対して使用液体中のどの物性値が主な影響を及ぼすか、液中の溶存空気の影響について。

3. おわりに

1986年の東大・棚澤先生のレビュー (伝熱研究、Vol.23, No.98) に書かれている通り、「凝縮関係の研究で新分野を開拓することは困難」なことは約5年を経ても依然変わっていない。しかし、その頃までに出現していた新しい課題あるいは継続されていた課題において、それぞれにおける進展がみられるだけでなく、各凝縮の基本形態について物質の種類・組み合わせ、伝熱促進法など従来から行われてきた研究がさらに縦横に組み合わせられてきており、複合的な意味での研究の展開が感じられた。

分子動力学

佐野 妙子 (東海大学工学部)

標記のテーマで1つのセッションが設けられ、3件の発表がなされた。発表分類に分子動力学がなかったためか、分子動力学に関する研究は輻射、凝縮の分野でも発表されていた。せっかく標記のテーマで1つのセッションを設けたのならば同じセッションにまとめて頂きたかった。プログラム作成が発表者の希望分類で作られる以上、来年以降分子動力学という分類を設けるなど、新しい研究分野だけにより活発な討論がなされるよう工夫してほしい。この分野の研究が発表され始めた初期においては「クラスター」という意味すら全く異なって解釈されていただけに、今回の発表・活発な討論を伺い感慨深いものがあった。

レーザー加熱によるクラスター生成の研究 (E 3 4 1) は真空チャンバー内におかれた種々な金属 (Ti, Mn, Fe, Co, Cu 等)、非金属 (C, Si 等) に Nd:YAG レーザ単発光を照射し、四重極質量分析計で固体表面から蒸発し、生成したモノマー、クラスター濃度、および濃度分布への光エネルギー、出力の影響を実験的に調べたものである。蒸発過程の機構解明、工学的見地からもこのような基礎的研究は重要であるが、この研究からは蒸発機構、クラスター生成機構についての知見は得られておらず、今後を期待したい。薄膜熱伝導の分子動力学的研究 (E 3 4 2) は従来の熱伝導の概念が極薄膜条件でどこまで成り立つかを分子、原子レベルでの熱エネルギー輸送を考慮し数値実験したものである。固体を構成する粒子粒子間に Van der Waals ポテンシャルを仮定して、Newton の運動方程式を解くことによって、粒子の運動を計算し、定熱流量下での温度分布を計算している。熱流束と温度勾配に関しては8層位まではほぼ比例関係がみられる。計算は主に二次元的に行われているが、三次元計算でも同様な結果が得られたとの事、格子欠陥のある場合についても計算がなされている。この計算ではポテンシャルパラメータとしてアルゴンを用い、計算温度も低い、ポテンシャルパラメータが異なり、また温度が高くなるにつれて、どの様に変化するかに興味がある。電子ビーム加熱による点状蒸発源からの自由膨張流れ (E 3 4 3) は電子ビーム照射による物質表面加熱によって生成する飽和蒸気の膨張過程の理論的検討を行ったものである。飽和蒸気層は高エネルギー電子によって加熱されるために等エントロピー膨張と異なった挙動を示す。蒸気原子と衝突する高エネルギー電子の挙動をモンテカルロ法により計算し、求めた電子の減損エネルギーは蒸気原子に伝達されるとして、蒸気のポリトロプ指数を計算している。このポリトロプ指数を用い蒸発蒸気の膨張流の流速は等エントロピー流速に比べて大きくなると結論している。エネルギー受け手側の蒸気原子の挙動を考慮しての検討が欲しかった。

The 3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference を終了して

ASME/JSME 熱工学合同会議

JSME委員長 黒崎晏夫

第3回日米熱工学合同会議は、本年3月17日-22日に米国ネバダ州リノで開催されました。当初、湾岸戦争の影響で参加者が少なくなるのではないかと委員長としては心配しておりましたが、幸いにも戦争は会議直前に一応終了したので、参加総数552名という予想以上の参加者があり盛況の中に無事終了することができました。これも一重に皆様方のご支援のお蔭であると、JSME側の委員長として心から感謝いたしております。

1.日米熱工学合同会議の経緯：皆様ご存じの様に、第1回日米合同会議は、森 康夫名誉教授（東京工業大学）とProf.W.J.Yang（Michigan大学）の両委員長の企画で1983年にホノルルで開催されました。両先生のご尽力により、この会議には357名の参加があり大変好評であったので、4年毎に開催することになったと聞いております。第2回会議は、棚沢一郎教授（東京大学）とProf.P.J.Marto（Naval Postgraduate School）の両委員長として、1987年にやはりホノルルで開催され前回は大幅に上回る参加者572名が、やはり大成功裡に終わっております。これも両委員長の大変な努力の成果であります。

2.第3回会議の開催場所選定：第3回日米熱工学合同会議は、日本で開催という案も有りました。しかし、いろいろと検討した結果、やはり日米両国からほぼ当距離にあるハワイが参加者にとっては便利であるという結論になり、すぐにホノルルの多くのホテルに打診してみました。しかし、開催の3年前の1988年にすでに会議開催に適したホテルが全部契約済みで見つからない事態には驚いてしまいました。そこで思い切って、米国本土で開催に踏み切った次第です。日本からの参加者が少なくなるのではないかと不安でしたが、幸いにも多くの方々に参加して下さい感謝しております。国別参加者としては、米国342、日本184、カナダ9、台湾5、韓国3、ソ連3、オーストラリア2、ベルギー、フランス、イスラエル、イラン各1で多くの国からの参加がありました。

開催されたりノ・バリーズホテルは、カジノを有する大変大きなホテルで学術的な会議を開催するにはふさわしくなかったかも知れませんが、ホテル代が安いために米国航空宇宙学会（AIAA）総会が毎年このホテルで開催されている程なので案外良かったと思っております。

3.発表論文とセッション： Keynote lecture 10, lead-off paper 15, general paper 307 (ASME 140, JSME 167) の論文が80のセッションで発表されました。

前2回の会議とこの度の会議の相違は、オーガナイズド・セッションの内容にあります。これまでの会議では、両国からそれぞれ同数のセッション・タイトルを持ち寄り論文募集をしておりましたために、日本側の企画したセッションには日本からの論文投稿がほとんどであり、また米国側の企画したセッションには米国からの論文が多く、合同会議とはいえ十分な意見交換が成されていたとは言えない状態にありました。そこで、米国側委員長の Prof.Lloyd に、1つのセッションにJSME と ASME とから各1名のオーガナイザを立てて協力して論文を集めて、責任を持ってセッションを構成・運営をすることを提案したところ、賛成してくれて実施してみることにいたしました。ただし、査読は投稿されてきた各々の学会が責任を持つことにいたしました。この方法は大方は成功で、各セッションでは両国からほぼ同数の論文が発表され、議論も活発に行なわれていたようです。ただ、オーガナイザになっていただいた方々は、ASME側のオーガナイザーと何度も連絡をとらなければならず、その労力は大変になったことと思います。しかし、多くの方々に参加していただく点では良かったのではないかと考えております。

さらに、今回の会議に合同会議にふさわしい催しとして、土方教授（東工大）と Prof. Peterson (UC, Berkeley) との企画によるパネル・セッション (The U.S./Japan Cooperative Research and Postdoctoral Program)が有りました。日本からは、学術振興会理事、堀 幸夫先生、NSFからは A.P.De Angelis 氏がわざわざ出席して議論に参加して下さったことは、大変有意義であり感謝しております。

4.反省点： 委員長として反省することもいくつかあるので、今後の会議のために思い付いたことをいくつか記しておくことにいたします。

- (1) 米国側での会議の宣伝が広く行きわたっていなかったようである。
- (2) 事前にプログラム制作が出来なかったことは非常に困った。予算がゆるせば予定プログラムの作成が望ましい。
- (3) 1セッション・テーマに対して両国に責任者をおく。
- (4) 合同会議にふさわしい何か企画をする

5.第4回日米熱工学会議：次回の会議は、JSME委員長・相原利雄教授（東北大）、ASME側委員長・Prof.Fletcher (Texas A&M) により1995年3月にハワイ、マウイ島で開催されますが、より盛大な会議になることを期待しております。

最後に、小生のような者が委員長として、曲がりなりにも無事に会議を終了できましたのは、組織委員会委員の方々、各オーガナイザーの方々ならびにその他多くの方々のご援助のお蔭によるものであります。ここに、心から感謝の意を表します。

"A Review of Experimental Understanding of Forced Convection Heat Transfer by Supercritical Helium 4 Flowing in Ducts" の概要

笠尾大作・伊藤猛宏（九大）

超伝導機器は主に液体ヘリウムのプール沸騰または超臨界圧ヘリウムの強制対流により冷却されている。近年、特に大型の機器では後者が多く用いられるようになってきた。電気絶縁性が高く、機械的構造が強く、かつコンパクトである等の利点を持つからである。

この講演では、超臨界圧ヘリウムの定常強制対流熱伝達に関する実験研究の実験条件および測定方法を示し、伝熱劣化、浮力の影響および伝熱整理式について検討をした。なお測定値の整理および種々の整理式との比較に用いる流体の物性値は、PROPATH コンピュータコード (PROPATH Group, 1990) によった。

1) 従来の研究 これまでに報告された代表的な超臨界圧ヘリウムの強制対流熱伝達に関する研究の実験条件の範囲および測定方式を、それぞれ表1および表2に示す。詳細は原文 Kasaoら (1991) を参照。

2) 伝熱劣化 一般に伝熱劣化は擬沸点近傍で、高熱流束、低質量流量、臨界圧力に近い圧力、大きい管径ほど、さらに、流動方向が垂直上昇流、水平流、垂直下降流の順で生じ易い。これらの因子の影響を調べるため、熱流束、質量流量、圧力、管径および流動方向の多くの組み合わせについて、擬沸点近傍の広い温度範囲で流体の入口温度を変化させた系統的な実験が、Ogataら (1972)、Pron'koら (1976)、および Itoら (1986) により報告されている。これらの因子のいくつかの影響は、Itoらの測定値によりよく理解できる。図10に圧力が0.3および0.5 [MPa] で、

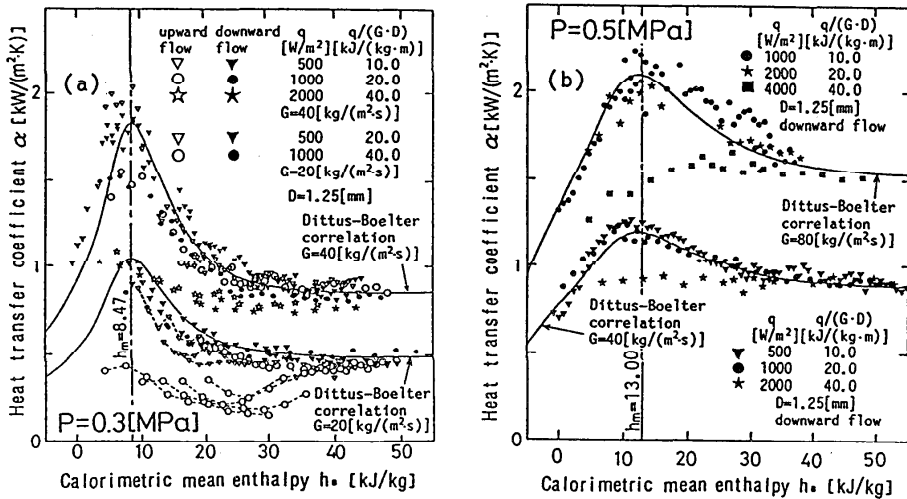


図10 熱流束、質量速度および圧力の影響。(a) $P=0.3$ [MPa]; (b) $P=0.5$ [MPa]

表1 実験条件の比較

investigator	test section I. D. \times O. D. [mm]	heated length [mm]	flow direction	system pressure MPa	cup-mixed temperature [K]	heat flux $[W/m^2]$	mass velocity $[kg/(m^2 \cdot s)]$	flow rate $(\times 10^{-6}) [kg/s]$	Re	Gr	$Gr/Re^{2.7}$
Giarratano et al. (1971)	2.13×2.44	100	downward flow	0.304-2.02	4.40-47.8	1.66-21.6	10.7-762	38-2710	4800-447000	0.0389-69.2	0.0015-484
Johannes (1972)	3.0×3.5	450	upward flow	0.3-3.6	4.2-5.8	—	62-197	438-1390	4000-46000	—	—
Ogata and Sato (1972)	1.08×1.60	85	upward flow	0.304-1.52	4.45-10.7	1.70-8.75	178-187	166-174	37500-47600	0.0276-15.4	0.00172-2.0
Giarratano and Jones (1975)	2.13×2.44	100	downward flow	0.253	4.07-8.35	0.280-7.13	70.0-220	249-782	41000-154000	1.53-122	0.0247-37.3
Pront'io et al. (1976)	1.04×1.14	114	upward flow	0.30-1.0	4.68-8.19	3.0-5.2	93-120	79-1020	25400-49500	0.277-1.1	0.0708-8.38
Pront'io and Malyshev (1977)	1.04×1.14	81	upward flow	0.4-0.8	5.0-8.8	3.0	65.4-180	36.1-103	28500-37900	0.128-4.75	0.114-2.81
Bressington and Cairns (1977)	17.8×21.0	987	downward flow	0.227-1.41	4.44-16.6	0.116-2.99	6.8-204	17-50700	8000-867000	391-59300	0.103-168
Dolgy et al. (1983)	1.60×2.00	300	horizontal flow	0.35	4.77-6.36	1.3-13.1	413	830	194000-313000	6.40-48.2	0.0197-0.213
Bogachev et al. (1983)	1.8×2.0	400	upward flow	0.23-0.30	4.27-5.36	0.187-1.85	74.7-102	190-250	50000-60000	1.71-58.0	0.345-9.97
Ito et al. (1984)	1.25×1.62	200	downward flow	0.3-0.8	4.91-11.9	0.5-4.0	20-80	24.5-88.2	12000-41900	0.0660-18.9	0.128-330

investigator	sensor for outlet and inlet temperature	sensor for outer wall temperature and the number of measuring points of it	driving force for circulation	configuration of test cop	flow rate	heating method
Giarratano et al. (1971)	GE	2 points	centrifugal pump in test loop	closed	calorimetric method and orifice	DC
Johannes (1972)	TC	5 points	supercritical helium generated outside of main cryostat	open	venturimeter at room temperature	DC
Ogata and Sato (1972)	GE	2 points	compressor at room temperature	closed	orifice and rotameter	DC
Giarratano and Jones (1975)	C	10 points	centrifugal pump in test loop	closed	calorimetric method and orifice	DC
Pront'io et al. (1976)	GE	5 points	helium gas cylinder at room temperature	open	gas meter	DC
Pront'io and Malyshev (1977)	GE	5 points	helium gas cylinder at room temperature	open	gas meter	DC
Bressington and Cairns (1977)	C	18 points* 9 points**	centrifugal pump in test loop	closed	calorimetric method and turbine flowmeter	DC
Dolgy et al. (1983)	SE	7 points	helium gas cylinder at room temperature	open	gas meter	DC
Bogachev et al. (1983)	GE	15 points	helium gas cylinder at room temperature	open	orifice at room temperature	DC
Ito et al. (1984)	TC	9 points	centrifugal pump in test loop	closed	calorimetric method	DC

GE:germanium resistance thermometer SE:semiconductor resistance thermometer C:carbon resistance thermometer TC:tremocouple *:upward flow **:downward flow

表2 実験装置の特徴および計測方法

測定された熱伝達係数とDittus-Boelterの整理式から求まる値との比較を示す。熱流束を増加させると擬沸点近傍で熱伝達係数が減少する。さらに、圧力が臨界圧力に近づくにつれ、流体の比エンタルピが擬沸点比エンタルピに近づくにつれ、さらに質量速度が小さくなるにつれ、測定値と整理式との差は大きくなる。

3) 浮力の効果 Brassingtonら(1977)は管に沿う管内壁温度分布を垂直上昇流および垂直下降流について測定し、垂直上昇流においてのみ壁温のピークを観察した。この原因としてHall(1971)により提唱された浮力の影響を考えた。Hallは伝熱劣化が発生する基準として次式を提唱している。

$$Gr/Re_b^{2.7} < 2.4 \times 10^{-5} \quad (15)$$

伝熱劣化発生に関してHall型の基準を調べるため、Itoら(1986)は圧力が0.3[MPa]のNu/Nu_{DB}のデータをGr/Re_b^{2.7}についてプロットした(図13)。Hall(1971), Jacksonら(1975), およびBrassingtonら(1977)により提唱された伝熱劣化発生のGr/Re_b^{2.7}の基準値、すなわち1.2×10⁻⁴, 10⁻⁵および2.4×10⁻⁵を図の横

軸に示す。質量速度が40[kg/(m²·s)]の場合、流動方向による影響はみられない。しかし、質量速度が20[kg/(m²·s)]では影響が現れ、上昇流における熱伝達係数は下降流における値よりもかなり小さく、Nu/Nu_{DB}の値は約1/3まで減少する(図13(a))。

4) 伝熱整理式 定物性で発達した流れに対するDittus-Boelterの整理式は擬沸点領域をのぞく低熱流束で、超臨界圧流体においてもかなりよく実験データを整理する。しかし、物性値の温度依存性が強いとき、擬沸騰現象が現れるといわれるとき、およびヒン断応力分布への浮力による影響が予測されるといわれるとき、実験データをよく整理しない。従来超臨界圧流体に対する多くの熱伝達整理式が提唱されている(表3)。これ

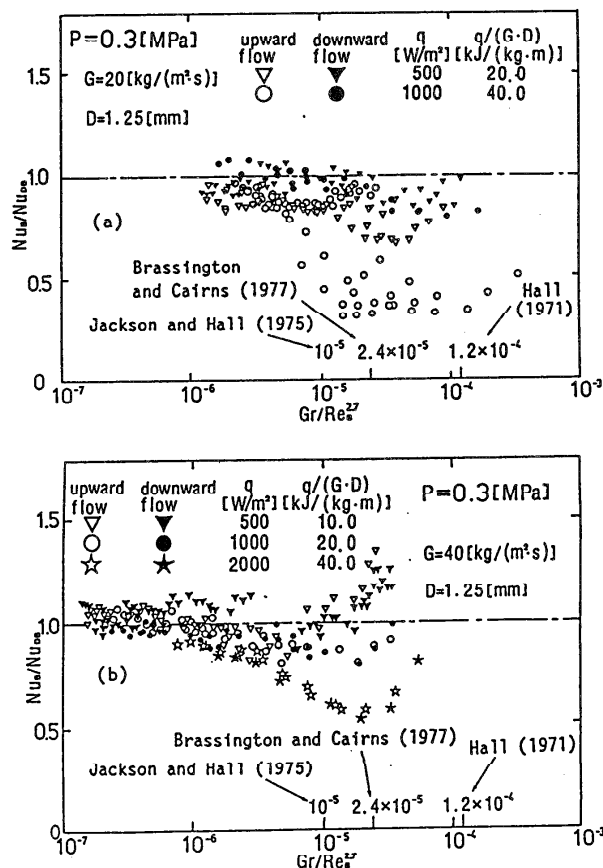


図13 流動方向の影響,

(a) $G=20$ [kg/(m²·s)]; (b) $G=40$ [kg/(m²·s)]

Investigator	correlation
Dittus-Boelter	$Nu_{DB} = 0.023 Re_B^{0.8} Pr_B^{0.4}$ (1)*
Petukhov et al. (1963)	$Nu_0 = \frac{Re_B Pr_B \xi / 8}{1.07 + 12.7 (\xi / 8)^{0.25} (Pr_B^{2/3} - 1)}$ (2)* where $\xi = (1.82 \log_{10} Re_B - 1.64)^{-2}$
Giarratano et al. (1971)	$Nu = 0.0259 Re_B^{0.8} Pr_B^{0.4} (T_w/T_B)^{-0.716}$ (3)
Pron'ko and Malyshev (1972)	$Nu = 0.036 Re_B^{0.8} Pr_B^{1.2}$ (4)
Pron'ko et al. (1976)	$Nu = 0.033 Re_B^{0.8} Pr_B (T_B/T_m)^{-0.5} F$ (5) where $1.33 \leq P/P_{c,c} \leq 3.54$; $H \leq 1$: $F = 1$ $H > 1$: $F = H^{-1.4}$ $3.54 \leq P/P_{c,c} \leq 8.84$; $0.75 \leq T_B/T_m \leq 1.45$: $F = 1$ $H = 667q / \{G(h_B - h_{1,n})\} (P/P_{c,c})^{0.3} (T_B/T_m)^n$ $0.75 \leq T_B/T_m \leq 1.0$: $n = 3.5$ $1.0 \leq T_B/T_m \leq 1.35$: $n = 0.9$
Brassington and Cairns (1977)	$Nu = 0.0602 Re_B^{0.716} \bar{Pr}^{0.50} (T_w/T_B)^{-0.46}$ (for upward flow) (6) $Nu = 0.0931 Re_B^{0.687} \bar{Pr}^{0.53}$ (for downward flow) (7) where $1/\bar{Pr} = (1/Pr_w + 1/Pr_m)/2$ for $T_w < T_m$ or $T_m > T_m$ $1/\bar{Pr} = \{(1/Pr_B + 1/Pr_m)(T_m - T_B) + (1/Pr_m + 1/Pr_w)(T_w - T_m)\} / 2(T_w - T_B)$ for $T_B < T_m < T_w$
Yaskin et al. (1977)	$\frac{Nu}{Nu_0} = \{1 - 0.2 (Nu/Nu_0) \beta (T_w - T_B)\}^2$ (8)
Bogachev et al. (1983)	$Nu = Nu_0 (\bar{c}_p/c_{p,m})^{0.26}$ (9) where $\bar{c}_p = (h_w - h_B) / (T_w - T_B)$
Bogachev et al. (1985)	upward flow $\frac{Nu}{Nu_{c,s}} = \begin{cases} (1 + 3.2 \times 10^6 K^{1.0})^{-1} & \text{at } K \leq 3 \times 10^{-5} \\ 6.85 K^{0.23} (1 + 4.84 \times 10^{-4} K^{-0.54})^{-1} & \text{at } K > 3 \times 10^{-5} \end{cases}$ (10) downward flow $\frac{Nu}{Nu_{c,s}} = \begin{cases} 1 & \text{at } K \leq K_0 = 10^{-5} \\ 0.45 (K/K_0)^{-0.33} + 0.55 (K/K_0)^{0.25} & \text{at } 10^{-5} \leq K \leq 10^{-2} \end{cases}$ (11) where $Nu_{c,s} = Nu_0 f_{c,s} f_\psi$ $K = Gr / (4 Re_m^3 Pr_B)$ $f_{c,s} = (c_{p,m} / c_{p,B})^{0.35}$ $f_\psi = \begin{cases} 4 / (\psi^{0.5} + 1)^2 & \text{at } \psi \leq 1.7 \\ (1.2 \psi^{0.41} - 1) / (\psi - 1) & \text{at } 1.7 \leq \psi \leq 3.40 \end{cases}$ $\psi = 1 + \beta (T_w - T_B)$
Valyuzhin et al. (1985)	$\frac{Nu}{Nu_0} = \epsilon_1 \frac{(T_w/T_B)^{-n}}{m + (1-m) \frac{c_{p,B} (T_w - T_B)}{h_w - h} + 0.4 \exp(1 - T_w/T^*) \beta (T_w - T_B) Pr_B^{-0.0} (T_w/T_B)^{-n}}$ (12) where $m = 0.6$ $n = 0.5 - \{1 - 0.8 (D/x)^{0.05}\} / \exp(0.04x/D)$ $\epsilon_1 = 0.86 + 0.54 (D/x)^{0.4}$ $T^* = T_B$ when $T_B < T_m$; $T^* = T_m$ when $T_B > T_m$

* These are not correlations for supercritical helium, and are shown here for reference only.

表3 超臨界圧ヘリウムの強制対流熱伝達に関する整理式

らの多くはDittus-Boelter型の整理式を修正した式で、一般に物性値の比の項やある種の方法で評価した物性値をDittus-Boelterの式に乗じた式である。図14に圧力が0.3[MPa]の場合のGiarratanoら(1971), Ogataら(1972), およびItoら(1986)の実験データとこれらの整理式との比較を示す。Pron'koら(1972), Pron'koら(1976), およびBrassingtonら(1977)の整理式

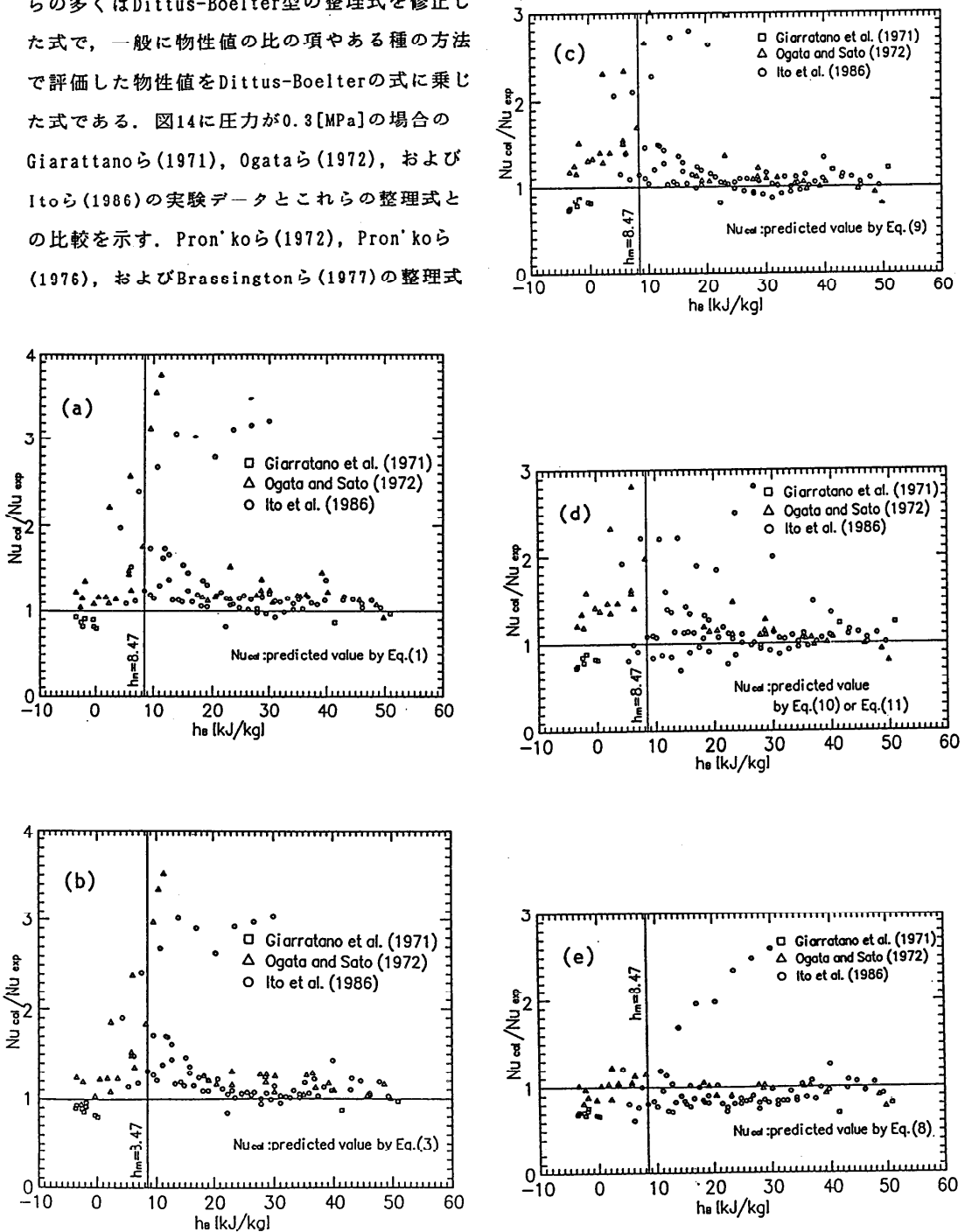


図14 ヌセルト数の整理式による予測値と測定値の比較, (a)Dittus-Boelterの式;

(b)Giarratanoらの式;(c)Bogachevらの式;(d)Bogachevらの式;(e)Yaskinらの式

は測定値をよく整理できなかつた。式(1)(図14(a))および式(3)(図14(b))は擬沸点から離れた領域の測定値をかなりよく整理するが、擬沸点近傍では破綻する。Bogachevら(1983)、Bogachevら(1985)(図14(c)および図14(d))の整理式も同様であるが、式(1)および式(3)より幾分よい一致を示す。Yaskinら(1977)による整理式は、Itoら(1986)によるいくつかの測定値を除いて擬沸点領域においても実験データとかなりよい一致を示す(図14(e))。

参考文献

Bogachev, V. A., Yeroshenko, V. M., and Yaskin, L. A., 1983, "Relative Increase in Heat Transfer in Viscous-Internal Regimes of Flow of Helium at Supercritical Pressure in a Heated Pipe," J. Eng. Phys., Vol. 44, pp. 363-366.

Bogachev, V. A., Yeroshenko, V. M., Snyitina, O. F., and Yaskin, L. A., 1985, "Measurements of Heat Transfer to Supercritical Helium in Vertical Tubes under Forced and Mixed Convection Conditions," Cryogenics, Vol. 25, pp. 198-201.

Brassington, D. J., and Cairns, D. N. H., 1977, "Measurements of Forced Convective Heat Transfer to Supercritical Helium," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 20, pp. 207-213.

Dolgoy, M. L., Kirichenko, Y. A., Sklovsky, Y. B., Troyanov, A. M., and Chernyakov, P. S., 1983, "Heat Transfer to Near-Critical Helium in Horizontal Channels," Cryogenics, Vol. 23, pp. 125-126.

Giarratano, P. J., Arp, V. D., and Smith, R. V., 1971, "Forced Convection Heat Transfer to Supercritical Helium," Cryogenics, Vol. 11, pp. 385-393.

Giarratano, P. J., and Jones, M. C., 1975, "Deterioration of Heat Transfer to Supercritical Helium at 2.5 Atmospheres," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 18, pp. 649-653.

Hall, W. B., 1971, "Heat Transfer Near the Critical Point," Advances in Heat Transfer, Vol. 7, pp. 1-86.

Ito, T., Nishikawa, K., Kasao, D., and Yamaguchi, M., 1984, "An Experimental Study on the Forced-Convective Heat Transfer to Supercritical Helium 4 Flowing Downward in a Circular Tube," Proc. 10th Int. Cryo. Eng. Conf., pp. 470-473.

Ito, T., Takata, Y., Kasao, D., Yamaguchi, M., and Hara, T., 1986, "Forced-Convection Heat Transfer to Supercritical Helium Flowing in a Vertical Straight Circular Tube," AIChE Symposium Series, Vol. 82, pp. 86-91.

Jackson, J. D., and Hall, W. B., 1975, "Influences of Buoyancy on Heat Transfer to Fluids Flowing in Vertical Tubes under Turbulent Conditions," S. Kokac, and D. 伝熱研究 Vol.30, No.118

B. Spalding, ed., Turbulent Forced Convection in Channel and Bundles, Hemisphere, Washington DC, pp.563-611.

Johannes, C., 1972, "Studies of Forced Convection Heat Transfer to Helium I," Advances in Cryo. Eng., Vol. 17, pp. 352-360.

Kasao, D., and Ito, T., 1991, "A Review of Experimental Understanding of Forced Convection Heat Transfer by Supercritical Helium 4 Flowing in Ducts," ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference 1991, Vol. 5, pp. xxxv-xliv.

Ogata, H., and Sato, S., 1972, "Forced Convection Heat Transfer to Supercritical Helium," Cryo. Eng. (Japanese), Vol. 7, pp. 20-28.

Petukhov, B. S., Krasnoschekov, E. A., and Protopopov, V. S., 1963, "An Investigation of Heat Transfer to Fluids Flowing in Pipes under Supercritical Conditions," Int. Develop. Heat Transfer, Paper 67, pp. 569-578.

Pron'ko, V. G., and Malyshev, G. P., 1972, "Heat Transfer in Turbulent Helium Flow at Supercritical Pressure in Small-Bore Tube," High Temperature, Vol. 10, pp. 932-935.

Pron'ko, V. G., Malyshev, G. P., and Migalinskaya, L.N., 1976, "Modes of 'Normal' and 'Deteriorated' Heat Exchange in the Single Phase Near-Critical Region in the Turbulent Flow of Helium Tube," J. Eng. Phys., Vol. 30, pp. 389-394.

PROPATH Group, "PROPATH: Program Package for Thermophysical Properties of Fluids, Version 7.1," (manual for a computer software), Corona Publishing, Tokyo, 1990.

Valyuzhin, M. A., Eroshenko, V. M., and Kuznetsov, Y.V., 1985, "Heat Transfer in the Flow of Supercritical-Pressure Helium with High Thermal Loads," J. Eng. Phys. Vol. 49, pp. 1158-1162.

Yaskin, L. A., Jones, M. C., Yeroshenko, V. M., Giarratano, P. J., and Arp, V. D., 1977, "A Correlation for Heat Transfer to Supercritical Helium in Turbulent Flow in Small Channels," Cryogenics, Vol. 17, pp.549-552.

液体燃料噴霧の自発着火—着火機構と着火遅れの支配因子

水谷 幸夫 (大阪大学工学部)

1. 緒言

ジェットエンジンの再点火に関連して液体燃料噴霧の火花点火が、また、ディーゼルエンジンの性能に関連して液体燃料噴霧の自発着火に興味を持たれ、1940年代から研究が続けられてきた。この内、噴霧の自発着火に関しては、いまだ不明の点が多く、着火遅れデータは研究者や測定装置によって、大きく異なっている。また、着火の定義が統一されておらず、可視発光、紫外発光、イオン電流、高速度写真、圧力上昇、熱流束のいずれかで着火を検出し、圧力上昇についても、圧力上昇開始点をとるか、噴霧の吸熱による圧力降下から元の圧力への回復時期をとるか、圧力の急上昇開始時期をとるかは、研究者や研究目的によってまちまちである。また、着火と判定する信号のレベルが異なれば、当然、結果も異なってくる。

このように、一見、何の統一もないように見える噴霧の着火遅れデータも、その温度依存性、すなわち見掛けの活性化エネルギーによって、二つのグループに大別できることが分かってきた。一つは静止高温雰囲気中に燃料を噴射した場合で、20~70kJ/molの活性化エネルギーを示し、他は高温空気流中に燃料を噴射した場合で、140~250kJ/molの活性化エネルギーを示す。

そこで、噴霧の着火機構や着火遅れの支配因子を明らかにすべく、噴霧の着火遅れデータのみならず、気体燃料や燃料液滴の着火遅れデータを展望し、考察を加えた。

2. 噴霧着火の実験的研究

2. 1 静止高温雰囲気中に噴射された燃料噴霧の着火

ディーゼルエンジンを用いた噴霧着火の研究は古くから数多く行われてきたが、最も新しい権(Kwon)らの研究⁽¹⁾を取り上げる。かれらは直接噴射式ディーゼルエンジンをモータリングしておき、燃料を1回だけ噴射して着火遅れを測定した。電気炉法も多くの研究者によって用いられてきたが、ここでは広い温度と圧力の範囲で実験が行われた居倉らの研究⁽²⁾と、藤本らの研究⁽³⁾を取り上げる。前者は圧力容器に納められた電気炉内に燃料を噴射し、後者は直噴式ディーゼル燃焼室の形をした高圧電気炉にA重油を噴射したものである。

急速圧縮燃焼試験装置で噴霧の着火遅れを測定した例には池上らの研究⁽⁴⁾がある。かれらはジュラルミン製のピストンを高圧ガスで駆動して圧縮する方法を採用した。ピストンは燃焼室端のテーパ部に食い込んで停止する。衝撃波管を用い、反射衝撃波の背後に液体燃料を噴射するMullaneyの方法⁽⁵⁾は池上らの急速圧縮燃焼試験装置のジュラルミン製ピストンを高圧駆動ガスと低圧ガスの接触面に置換えたもので、急速圧縮燃焼装置の一種と見なしてよい。

以上の着火遅れデータを
取りまとめると、表1のよ
うになる。

2. 2 高温空気流中に噴 射された燃料噴霧の着火

Mullins⁽⁶⁾は高温空気流
中に各種の燃料を噴射して
着火遅れを測定した。原理
は火炎の伝ば速度が無視で
きる条件で流れ方向に燃料
を噴射して、ノズルから火
炎前縁までの距離を測定し、
着火遅れを決定するもので、
小泉と北岡⁽⁷⁾も類似の方
法で噴霧の着火遅れの測定
を行った。高温・高圧雰囲
気中でガスタービン燃料、
その他各種燃料噴霧の着火
遅れを測定したものに、

表1 静止高温雰囲気液体燃料を噴射した場合の着火遅れデータ

Researchers	Fuel	Temperature range K	Pressure MPa	Activation energy kJ/mol
Kwon et al. ⁽¹⁾	Gas oil	650~715	2.5~3.0	55.8
"	"	715~1050	"	23.1
Ikura et al. ⁽²⁾	Gas oil	670~950	0.6~3.0	60.5
"	n-heptane	670~900	1.1~3.0	43.8
"	Cetane	640~900	1.1~3.0	33.7
Fujimoto et al. ⁽³⁾	Heavy oil	710~806	1.0~6.3	34.7
Ikegami et al. ⁽⁴⁾	Gas oil	700~800	1.9~5.5	69
"	"	800~1000	"	42
Mullaney ⁽⁵⁾	n-heptane	700~1000	1.8	30

表2 高温空気流に液体燃料を噴射した場合の着火遅れデータ

Researchers	Fuel	Temperature range K	Pressure MPa	Activation energy kJ/mol
Mullins ⁽⁶⁾	Kerosene	1073~1273	0.1	190
"	n-heptane	"	"	253
"	i-octane	"	"	136
"	Benzene	"	"	197
Koizumi-Kitaoka ⁽⁷⁾	Gas oil	923~1173	0.1	148
Spadaccini ⁽⁸⁾	No.2 fuel oil	673~866	0.69~1.65	191
Spadaccini-TeVelde ⁽⁹⁾	Jet A	650~850	1.0~3.0	158
"	JP-4	"	"	180
"	No.2 gas oil	"	"	174
"	FRBS	"	"	180
"	Cetane	"	"	211
Onuma et al. ⁽¹⁰⁻¹²⁾	i-octane	1050~1220	0.1	147
"	n-heptane	"	"	160
"	No.2 gas oil	"	"	167

Spadacciniの研究⁽⁸⁾、ならびにSpadacciniとTeVelde⁽⁹⁾の実験がある。

小沼らは電気炉から上向きに吹き出す高温空気流中に、直角もしくは平行に、間欠的に燃料を噴射し、噴射開始からフォトランジスタが着火の発光を捕らえるまでの時間を着火遅れとして測定した⁽¹⁰⁻¹²⁾。さらに質量割合にして20~90%の水をディーゼル軽油に混合・乳化したり、噴霧中に丸棒を挿入して噴霧分割を行ったり、燃料の噴射圧を変えることによって燃料噴射率と平均粒径を変化させたり、壁に噴霧を衝突させたりしてみたが、いずれの場合も着火遅れは変化しても、見掛けの活性化エネルギーは変化しなかった。ただ、軽油に亜硝酸アミルを添加して着火を促進させると、活性化エネルギーは増加した。

表2に高温空気流中に噴射された燃料噴霧の着火遅れデータをまとめておく。

2. 3 衝撃波管による浮遊油滴塊の圧縮着火

宮阪と水谷は下向きに取り付けた超音波噴霧器によって自由落下する円柱状の油滴塊を作り、これを入射衝撃波で点火することを試みた⁽¹³⁾。入射衝撃波で油滴塊を点火すると、入射衝撃波背後の超音速流による激しいシャタリングによって、油滴は1μm前後のマイクロミストに粉碎され、空気流中に飛散・蒸発した後、着火した。つぎにシャタリングの影響を除くために、油滴塊を低圧室端板近傍に移してみたが、油滴塊が何らかの原因で粉碎され、火炎が断面一ぱいに広がるのが見られた⁽¹⁴⁾。水谷ら⁽¹⁵⁾は入射衝撃波が噴霧器取付け管や油滴受止め管に入

って二次流れを作り、これが油滴塊を粉碎すると考えて防止策を講じたところ、着火過程が完全に変化してしまった。すなわち1360Kという高温でさえも火炎は全体に広がることなく消失し、1060K以下では着火が生じなくなった。また、見掛けの活性化エネルギーは

$T \geq 1180\text{K}$ で 170kJ/mol 、 $T < 1180\text{K}$ で 32kJ/mol で、1180Kを境に着火機構に変化があったことが推測された。

ところで、Wierzbaら⁽¹⁶⁾は直径1mm前後の落下液滴列に入射衝撃波で部分的なシャタリングを起こさせ、生成したマイクロミストと酸素の混合気中で、0.06~0.5msという短い遅れ時間で着火を観測している。見掛けの活性化エネルギーは、平均して26kJ/mol程度であった。このWierzbaらの研究と、後述するように、炭化水素蒸気と空気の予混合気の着火遅れの見掛けの活性化エネルギーが170kJ/mol程度であることを考え合わせると、水谷ら⁽¹⁵⁾の高温部の着火は初期に発生したマイクロミストの化学反応に支配されたものと考えられる。低温になると、マイクロミストの発生量が減り、着火遅れが油滴の蒸発速度に支配されるようになって、見掛けの活性化エネルギーが減少し、ついには膨張波の到着までに着火が生じなくなるのであろう。

水谷ら⁽¹⁷⁾は、宮阪と水谷⁽¹⁴⁾の実験で800Kという低温でも着火が生じ、火炎が断面全体に広がったのが二次流れによる油滴塊の粉碎によるのであれば、他の方法によって油滴塊にじょう乱を与えても同様のことが生じないかと考えて、衝撃波管内に2本の円柱を挿入してみた。円柱から発生した斜め衝撃波が反射衝撃波と干渉して、反射衝撃波背後にじょう乱を発生させることを期待したわけであるが、予想どおり840Kまで着火が起こるようになり、見掛けの活性化エネルギーは30kJ/molと、低い値になった。これは、じょう乱によって高温空気と油滴との混合がよくなり、油滴の蒸発が活発化したためと考えられる。

以上の衝撃波管データを取りまとめると表3のようになる。

表3 衝撃波管による噴霧の着火遅れデータ

Researchers	Fuel	Temperature range K	Pressure MPa	Activation energy kJ/mol
Miyasaka-Mizutani ⁽¹³⁾	(Incident shock ignition)			
	Tetralin	800~1160	0.15	47.2
"	Cetane	710~1200	"	21.1
Miyasaka-Mizutani ⁽¹⁴⁾	(Reflected shock ignition)			
	Tetralin	840~1200	1.6~2.0	68.7
"	n-dodecane	"	"	21.9
"	Cetane	"	0.25~0.29	17.9
Mizutani et al. ⁽¹⁵⁾	(Without disturbance rods)			
	Cetane	1180~1430	0.85	170
"	"	1060~1180	"	32
Mizutani et al. ⁽¹⁷⁾	(With disturbance rods)			
	Cetane	840~1110	0.96~1.18	30

3. 炭化水素蒸気の自発着火

3.1 衝撃波管による予混合気の圧縮着火

Burcatら⁽¹⁸⁾は反射衝撃波で、CookとWilliams⁽¹⁹⁾は入射衝撃波で、KrishnanとRavikumar⁽²⁰⁾は反射衝撃波で可燃予混合気を点火し、着火遅れを測定した。吉沢ら⁽²¹⁾も900~1700Kで同様の実験を行ったが、1100~1200Kを境に活性化エネルギーが急変することを見出した。浅羽ら⁽²²⁾も同様の現象を観察しているが、衝撃波管特有の現象である可能性もある。

以上の着火遅れデータを
取りまとめると、表4のよ
うになる。

3. 2 高温気流中に噴射 された炭化水素蒸気の着火

2. 2 節のMullins⁽⁶⁾の
データには燈油蒸気やエタ
ンの着火遅れデータが含ま
れている。ZimontとTrushin⁽²³⁾や、FreemanとLefebvre⁽²⁴⁾も同様の実験を行った。
上島と小沼⁽²⁵⁾は高温空気
流中に直角もしくは平行に、
間欠的にエチレン噴流を噴
射して着火遅れを測定した。
これらの実験データを取
りまとめると、表5のよう
になる。

表4 衝撃波管による気体燃料予混合気の着火遅れデータ

Researchers	Mixture	Temperature range K	Pressure MPa	Activation energy kJ/mol
Burcat et al. ⁽¹⁸⁾	C ₃ H ₈ -O ₂ -Ar	1250~1600	0.2~1.0	177
Cook-Williams ⁽¹⁹⁾	C ₂ H ₆ -O ₂ -Ar	1400~1800	0.027~0.04	188
"	CH ₄ -O ₂ -Ar	1700~2400	"	146
Krishnan-Ravikumar ⁽²⁰⁾	CH ₄ -O ₂ -Ar	1600~2100	0.1~0.6	188
Yoshizawa et al. ⁽²¹⁾	n-butane-O ₂ -Ar	900~1700	0.025~0.5	166/ 33.9*
"	n-heptane-O ₂ -Ar	"	"	129/ 64.9*
"	n-octane-O ₂ -Ar	"	"	161/102.2*
Asaba et al. ⁽²²⁾	CH ₄ -O ₂	800~1200	0.7	86.2
"	CH ₄ -O ₂ /CH ₄ -air/CH ₄ -O ₂ -Ar	1200~2200	1.0	221

* (High temperature datum)/(Low temperature datum)

表5 高温空気流に噴射された気体燃料の着火遅れデータ

Researchers	Fuel	Temperature range K	Pressure MPa	Activation energy kJ/mol
Mullins ⁽⁶⁾	Kerosene vapor	1073~1273	0.1	190
"	Ethane	"	"	205
Zimont-Trushin ⁽²³⁾	Kerosene vapor	900~1100	0.1	168
Freeman-Lefebvre ⁽²⁴⁾	Jet-A vapor	930~1050	0.1	167
"	n-heptane	"	"	167
"	Propane	"	"	167
Uejima-Onuma ⁽²⁵⁾	Ethylene	1000~1220	0.1	130

4. 液滴および液滴列の自発着火

角田ら⁽²⁶⁾は高压容器の中に置かれた石英糸に燃料滴をつるしておき、かぶせるように電気炉を落下させることによって、高温・高压下での液滴の着火遅れを測定した。そして、n-ヘプタンに対し30.8kJ/mol、セタンに対し37.4kJ/molなる見掛けの活性化エネルギーを得た。

5. 噴霧の着火機構と支配因子

静止高温雰囲気中に液体燃料を噴射した場合の見掛けの活性化エネルギーは23.1~69kJ/molの範囲に収まっており、実験温度範囲は権(Kwon)ら⁽¹⁾の高温データを除いて1000K以下となっている(表1)。また、衝撃波管データの見掛けの活性化エネルギーも、大部分が17.9~34.3kJ/mol、実験温度範囲は1200K以下で(表3)、静止高温雰囲気データと同程度の値となっている。このような低い見掛けの活性化エネルギーを示すデータは、吉沢ら⁽²¹⁾の低温データを除いては、炭化水素蒸気の着火遅れデータ(表4と表5)には見あたらず、角田ら⁽²⁶⁾の単滴の着火遅れデータだけが、これに近い見掛けの活性化エネルギーを示している。したがって、噴霧の静止高温雰囲気着火と比較的低温での反射衝撃波点火は、単滴の着火と同様に、液相の加熱や蒸発に支配されている可能性が高い。液相の加熱・蒸発領域を高温に維持するためには、液滴と高温空気との活発な混合が不可欠で、混合活発化のために燃料噴射、空洞からの二次流

斜め衝撃波と反射衝撃波の干渉などによるじょう乱が必要となる。

水谷ら⁽¹⁵⁾の1180K以上の高温領域における油滴塊の反射衝撃波点火においては、着火はミクロリスト中で起こり、着火遅れは反応速度に支配されると考えられる。事実、見掛けの活性化エネルギーも着火遅れの大きさもBurcatら⁽¹⁸⁾が $C_3H_8-O_2-Ar$ 混合気を反射衝撃波で点火して得た値とほぼ一致している。これ以下の低温領域では、入射衝撃波が弱くなってミクロリストの発生量が減り、現象が油滴の蒸発支配に移ることと、燃料蒸気の活性化エネルギーが変化すること^(21,22)の両方の理由によって、見掛けの活性化エネルギーが低下するのであろう。

噴霧の高温気流点火のデータ(表2)を気体燃料の高温気流点火のデータ(表5)や衝撃波管点火のデータ(表4)と比較すると、見掛けの活性化エネルギーは大体一致している。また、着火遅れの絶対値の差も数十%に過ぎない。これから、高温空気流中に噴射された液体燃料噴霧の着火過程は化学反応に支配されていると推定される。しかも、噴霧の平均粒径を変えても見掛けの活性化エネルギーが変化しないことや⁽²⁾、軽油/水エマルジョン中の水の割合を変えても見掛けの活性化エネルギーが変化しないこと、また、これら以外の物理的因子も着火遅れを増減させるだけで、見掛けの活性化エネルギーを変化させないことから⁽¹¹⁾、物理的因子は反応速度には影響しても、反応の開始時刻や温度依存性には影響しないことが推測される。

6. 噴霧の自発着火理論

AggarwalとSirignano⁽²⁷⁾は均一粒径油滴群の一次元流れが、ある断面で瞬間的に加熱され、それ以後、油滴の蒸発と、燃料蒸気の化学反応が始まるとして、着火過程の数値解析を行った。その際、温度の不連続面の下流側で温度こう配が零になる時刻を着火時刻とした。Aggarwalはこのモデルを用いて、のデカン油滴群に対して見掛けの活性化エネルギー $E = 74\text{kJ/mol}$ を得た⁽²⁸⁾。MawidとAggarwal⁽²⁹⁾は油滴群の着火を単滴着火と集合着火に分け、平均粒径 $30\mu\text{m}$ を境として、大きい側で単滴着火、小さい側で集合着火が起こることを見出した。しかし、これらの解析結果は実験的事実と一致しない面も多く、いまだ不完全な状態にある。

高城ら⁽³⁰⁾は静止高温雰囲気中に噴霧を噴射した場合について、蒸発/着火過程の数値解析を行い、急速圧縮燃焼装置を用いて、これと同じ条件で横田ら⁽³¹⁾が撮影した高速度シュリーレン写真とよく合う結果を得た。この噴霧燃焼モデルは有望であるが、残念ながら着火現象の予測に重点を置いておらず、計算はこの1条件でしか行われていない。

7. 結 び

噴霧の着火を、(1) 静止高温雰囲気中に燃料を噴射する場合、(2) 高温空気流中に燃料を噴射する場合、(3) 衝撃波管を用いて浮遊油滴塊を圧縮点火する場合、に分けて、過去の実験データを展望した。そして炭化水素蒸気の自発着火の実験データや単滴の自発着火の実験データと対比しながら考察を行った結果、(1)は油滴の蒸発に支配される着火過程であり、(2)は燃料蒸気の化学反応に支配される着火過程であることが分かった。また、(3)は実験条件によ

伝熱研究 Vol.30, No.118

て(1)に属するデータと(2)に属するデータ、ならびに入射衝撃波によるシャタリングに支配される着火過程が存在することが分かった。さらに、暗霧の自発着火理論を展望し、未だ着火遅れを十分予測するには至っていないことを指摘した。

なお、これは合衆国ネヴァダ州リノで開催された第3回ASME-JSME熱工学合同会議セッションTHM-70で3月22日キーノート・レクチャーとして行った講演の概要である。

文 献

1. 権ほか, 日本船用機関学会誌 24-1 (1989), 26.
2. 居倉ほか, 日本機械学会論文集 41-345 (1981), 1559.
3. 藤本ほか, 日本機械学会論文集 45-392 (1979), 599.
4. 池上ほか, 日本機械学会論文集 53-485 B (1987), 274.
5. Mullaney, G. J., Ind. Eng. Chem. 51 (1956), 779.
6. Mullins, B. P., Fuel 32 (1953), 211, 327 and 451.
7. 小泉ほか, 日本機械学会論文集 28-186 (1962), 286.
8. Spadaccini, L. J., J. Eng. Power (Trans. ASME, Ser. A) 99-1 (1977), 83.
9. Spadaccini, L. J. et al., Combust. Flame 46-3 (1982), 283.
10. 小沼ほか, 日本機械学会論文集 51-472 B (1985), 4327.
11. 小沼ほか, 日本機械学会論文集 52-481 B (1986), 3380.
12. 小沼ほか, 日本機械学会論文集 52-482 B (1986), 3577.
13. Miyasaka, K. et al., Combust. Flame 25-2 (1975), 177.
14. Miyasaka, K. et al., Sixteenth Symposium (International) on Combustion, (1977), p. 639.
15. Mizutani, Y. et al., Dynamics of Reactive Systems, Part I: Flames [Progress in Astronautics and Aeronautics Series, Vol. 113] (Ed. A. L. Kuhl et al.), AIAA, (1988), p. 37.
16. Wierzbna, A. S. et al., Combust. Sci. and Tech. 9-5/6 (1974), 233.
17. Mizutani, Y. et al., to appear in 23rd Symposium (International) on Combustion, (1991).
18. Burcat, A. et al., Thirteenth Symposium (International) on Combustion, (1971), p. 745.
19. Cooke, D. F. et al., Thirteenth Symposium (International) on Combustion, (1971), p. 757.
20. Krishnan, K. S. et al., Combust. Sci. and Tech. 24-5/6 (1981), 239.
21. 吉澤ほか, 日本機械学会論文集 43-371 (1977), 2704.
22. Asaba, T. et al., Ninth Symposium (International) on Combustion, (1963), p. 193.
23. Zimont, V. L. et al., Combust. Expl. Shock Waves 3-1 (1967), 51.
24. Freeman, G. et al., Combust. Flame 58-2 (1984), 153.
25. 上島ほか, 第27回燃焼シンポジウム前刷集, (1989), p. 298.
26. 角田ほか, 日本機械学会論文集 41-348 (1975), 2475.
27. Aggarwal, S. K. et al., Twentieth Symposium (International) on Combustion, (1985), p. 1773.
28. Aggarwal, S. K., Combust. Flame 69-3 (1987), 291.
29. Mawid, M. et al., Combust. Flame 81-1 (1990), 59.
30. 高城ほか, 日本機械学会論文集 56-531 B (1990), 3535.
31. 横田ほか, 日本機械学会論文集 54-499 B (1988), 741.

伝熱における分子工学的問題
(Molecular engineering problems in heat and mass transfer)
3rd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference

小竹 進 (東大)

1. まえがき

図1は材料やエネルギーの製造・利用などの問題で取り扱う分子エネルギーレベルとそのスケールの大きさを例示したものである(1,2)。エネルギーレベルは燃焼などの化学反応(約1eV)を基準にしている。熱機関や流体機器などはスケールは大きいエネルギーレベルは小さい。半導体技術、薄膜・微粒子技術、プラズマ技術、レーザ技術などの新しい分野ではスケールはmmからnmと小さいがエネルギーレベルはkeVからMeVと大きくなる。取り扱う現象のスケールが大きくエネルギーが小さいときは、物質を連続体として扱って現象の性質・特徴を考えることができた。しかし、取り扱う現象のスケールが小さくなりエネルギーが大きくなると、こうした従来の連続体としての取り扱い是不十分になり、場合によっては不可能となる。

このような新しい技術の進歩とともに、そこで問題になる伝熱やエネルギー移動現象は連続体としての考えでは取り扱うことができず分子レベルでの考察が必要となってきた。ここではこのような伝熱問題における分子工学的な現象をとりあげ、その研究手法や将来について展望する。

2. 分子のエネルギー伝達

分子は一般に並進(trans., T)、回転(rot., R)、振動(vib., V)の運動エネルギーのほかに電子状態(elec., E)とポテンシャル(pot., P)のエネルギーをもつが、熱エネルギーのレベルでは前3者が大きな役割を果す。したがって、分子レベルでのエネルギーの移動現象となると、これらエネルギー形態のエネルギー移動があり、熱レベルでは合計6個の組合せが考えられ、これに光エネルギー(輻射)を加えると9個のエネルギー移動形態がある。これらのエネルギーはそのエネルギー形態からいって励起される必要時間が異なるからエネルギー移動に要する時間も異なる。図2にエネルギー移動の特性時間(時定数)の一般的な傾向をしめす。振動運動、したがって振動温度の変化はもっとも時間を要し、回転運動、並進運動の順に変化が速くなる(2)。

こうしたエネルギー移動の時間(時定数、s)が現象の観測時間(S)に比して小さいときは、そのエネルギー移動はほとんど瞬時に起こり、移動過程そのものが問題になることはない。たとえば、物体を加熱する場合、まずどのような形態のエネルギーが入り、それがどのように変化していくかということは問題にならず、最初のエネルギー状態と最後のエネルギー状態のみが問題となる。しかし、エネルギー移動の時定数が大きくなるかある

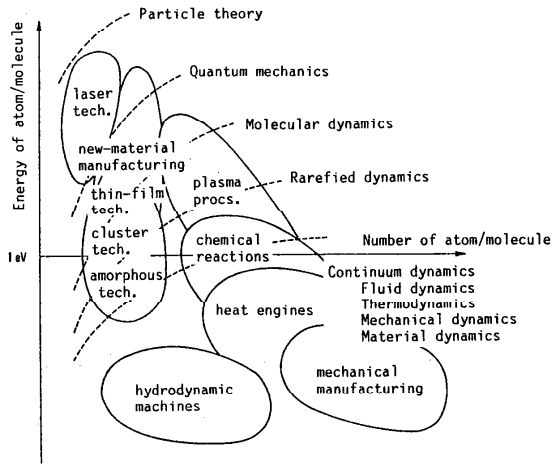


図1 熱工学における分子工学問題

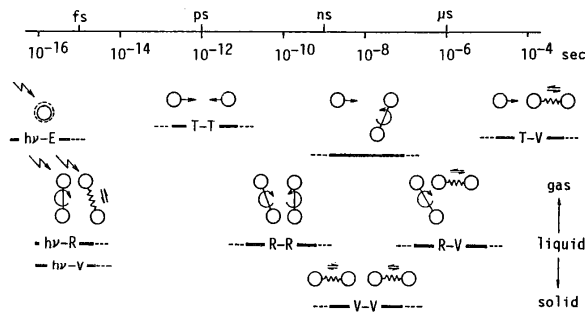


図2 分子エネルギー移動の速さ

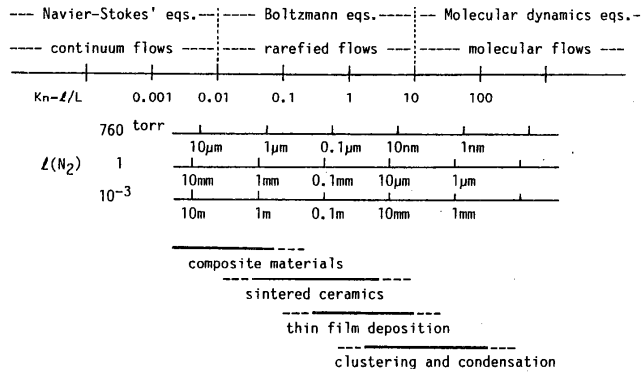


図3 分子運動とKnudsen数

いは現象の観測時間が小さくなると、エネルギー移動の動的過程が問題になり、エネルギーがどのように変化していくかということが問題になる。

エネルギー移動過程を支配する要素としては、この時定数のほかに現象の特性スケールあるいは対象の寸法(L)がある。この大きさが分子の大きさ(この場合、動的な大きさ、 l)に比して大きい場合は、L内での分子のエネルギー移動は数多く起こり、一つ一つの分子のエネルギー移動過程は問題にならない。しかし、分子の動的な大きさが大きくなるか観測寸法が小さくなると、エネルギー形態とその変化が問題になる。このような分子の動的な大きさは一般に平均自由行程として表わされ、対象寸法(L)との比を Knudsen数($Kn=l/L$)と呼んでいる。気体や液体の現象では、 $Kn < 0.01$ で連続流体、 $Kn > 10$ で自由分子流となる(図3)。

エネルギー移動では、さらに、運動する物体の質量が問題になる。すなわち、その物質が分子の運動からエネルギーをもらう場合、物体の質量(M)が分子の質量(m)のオーダーになると分子がどんな運動をしているかが問題になるからである。分子が回転運動をしているときと、振動運動をしているときでは、物体に伝達されるエネルギーは異なってくる。

したがって、エネルギー移動伝達の動的過程を表わす特性パラメーターは

$$K = msl / (MSL)$$

となる(図4)。このKの値が大きいときは分子レベルでの動的なエネルギー移動を考えなければならない。このような問題の例としてはつぎのようなものがある。

(1) $l \gg L$: 希薄流体、薄膜熱伝導、材料内部欠陥、表面現象、マイクロスケール加熱・冷却、微粒子、光吸収・放射

(2) $s \gg S$: 急冷却・急加熱、低速反応、低温熱伝導、固体拡散、固体反応、クラスター生成、凝縮核生成、レーザ加工

(3) $m \gg M$: 材料欠陥、同位体拡散、高分子反応

以下では、これらの問題のなかで、伝熱現象としてもっとも重要な相変化、熱伝導、光現象についての分子工学的問題を考えることにする。

3. 核生成と凝縮

図5は半導体チップ製造の化学蒸着(CVD)過程の典型的なモデル図である。この現象の特性長さは図にしめすように蒸着層の厚さで10-100 nm、長さで100-1000 nmである。環境気体の平均自由行程は図3にしめすように60 nm(1 atm)-60 μ m(1 torr)である。したがって、Knudsen数は $Kn > 10$ となり、蒸着層近傍では自由分子流となることがわかる。一方、蒸着蒸気は連続流に近い状態で導入されるから、CVD過程全体としては連続流体から自由分子流までの状態が存在することになる。いずれか一方に片寄った取り扱いではこの過程全体の解析・理解はできない。

このような化学反応をともなう凝縮はその反応が気相反応なのか表面反応なのかあるいはその中間なのかで問題は複雑であるが、化学反応を伴わない物理凝縮においてもその動的過程が問題になるときは簡単な現象でない。むしろ、化学反応が律速な場合よりもエネ

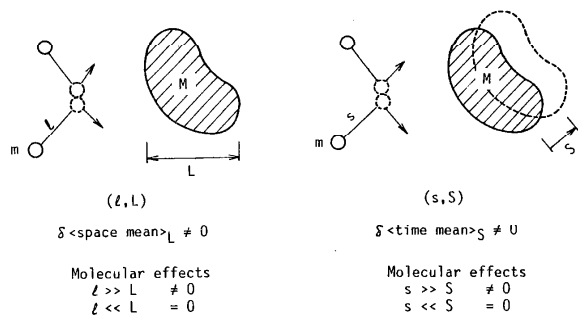


図4 分子運動のスケール

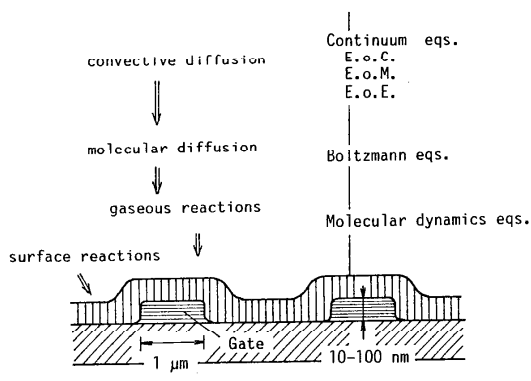


図5 CVD凝縮過程

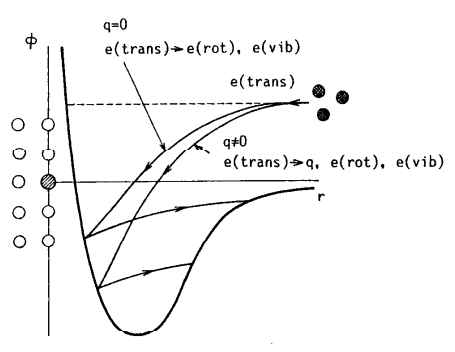


図6 クラスタの凝縮

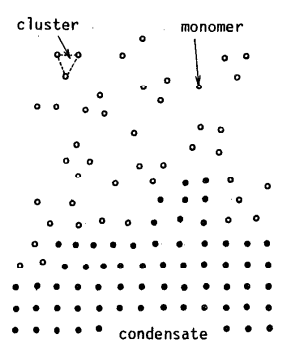


図7 相変化過程

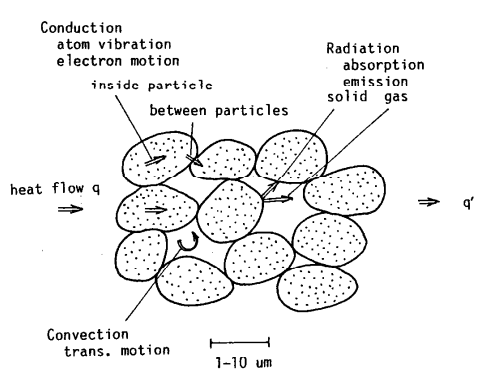


図8 凝集材料の伝熱

ルギーが小さいだけに複雑である。図6にしめすように分子クラスターはその運動の内部自由度のために固体液体などの凝縮層への凝縮が容易であり、したがって、このような凝縮の動的過程はクラスターの生成過程によって大きく支配される。すなわち、凝縮過程は分子クラスター生成過程そのものとも言える(3,4)。

このような凝縮は気相からの凝縮ばかりでなく、液体や溶液での結晶生成においても同様である(図7)。この場合は、液相分子(原子)のクラスター生成とともに、局所的な固相分子(原子)間のエネルギー移動も大きな支配要素となりさらに複雑である。

4. 熱伝導

図8は焼結材や微粒子凝集複合材などの熱伝導過程を描いたものであるが、構成粒子の大きさは1-10 μm であるから図3によると連続体としての扱いが問題となり始める状態である。粒子内の熱伝導、粒子間の対流伝熱、輻射伝熱などは連続体の延長で処理できるが粒子粒子間の熱伝導は分子レベルでの考察が必要である。

同様な問題として、陶磁器やセラミックス製造過程での熱伝導、熱エネルギー移動がある(図9)。そこでは微粒子を加熱溶解して一つの連続体組織を作るが、一様均質な組織を作るのは困難である。むしろ、粒子の表面層近傍の組織変化が問題であり、そこでのエネルギー移動と原子分子の拡散結合が大きな支配要素となる。この粒子境界層の原子分子の結合状態は微粒子凝集材料の熱伝導特性を大きく支配する(図10)。これはダイヤモンドなどの熱伝導特性が結晶粒界の大きさで決る現象と類似している。

こうした固体結晶組織の不連続や不純物、粒子欠陥などが熱伝導過程にどのような影響を及ぼすのか、あるいは、そのエネルギー移動過程はどのようなものかということとは重要な問題であるが実験的に解析することは困難である(5)。しかし、最近の計算機の発達はこのような問題の解析をある程度まで可能にしている。熱エネルギーの移動過程においてはその量子効果の影響が小さいために原子分子の運動は質点の運動として取り扱うことができる。したがって、原子分子間に働く力(ポテンシャル)関係が記述されれば原子分子の運動は計算できることになる。数多くの原子分子間に働く力の計算に長時間の計算が必要であるが、簡単な原子分子系においてはこのような計算が可能であり、上述の固体内の熱伝導過程の解析を可能にしている。図11はその例であり(6)、粒子欠陥があった場合の熱伝導の様子をしめしている。粒子欠陥で大きな温度分部変化があり、全体としての熱伝導率を悪くしていることがわかる。

5. 光伝熱とレーザー利用

熱エネルギーレベルでの光は電磁場波動現象として取り扱うことが可能であるが、分子レベルでのエネルギー移動を考えるとその分子運動との相互作用を考えなければならない(図12)。光のエネルギー(電磁波の振動数、波長)と分子運動の関係は分子の種類、運動状態によって異なるから非常に多くのエネルギー移動形態が考えられる。とくに、レーザー光により容易に異なった光エネルギーが得られるようになると、こうしたエネルギー移動形態を選択かつ制御することが可能となる。図3にしめすように光エネルギーの移動

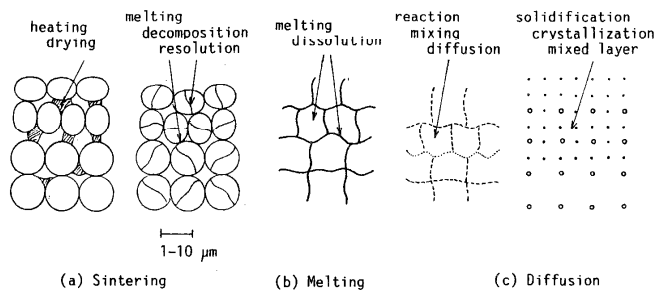


図9 焼結結合

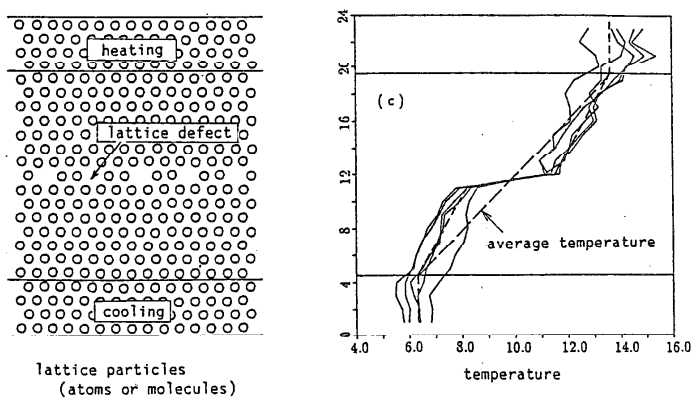


図11 格子欠陥の熱伝導

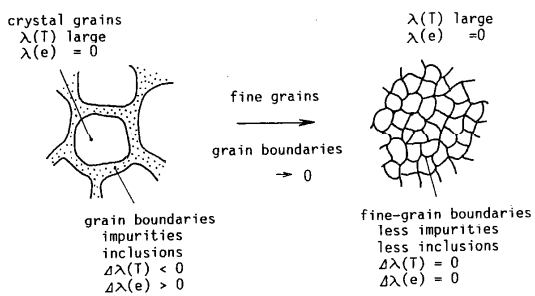


図10 ファインセラミックスの熱伝導

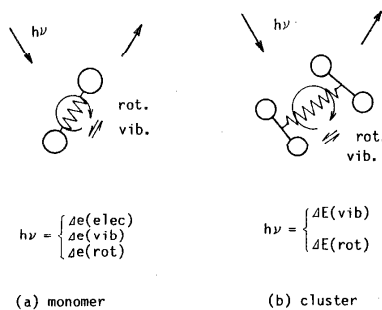


図12 光の吸収と放射

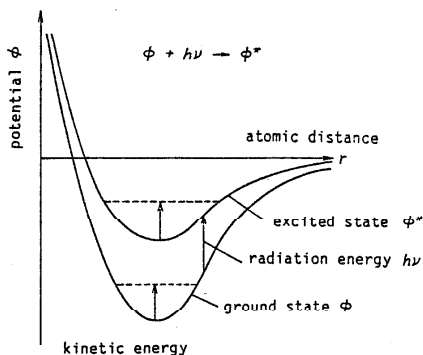


図13 光照射による固体粒子励起

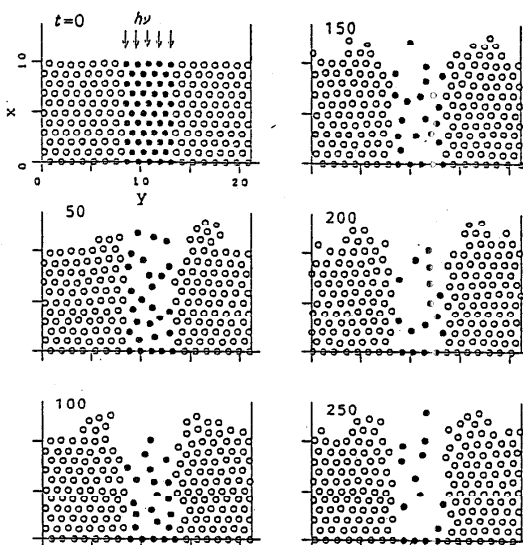


図14 レーザ光による固体溶解蒸発

時定数は小さいからこのエネルギー伝達制御は他の分子運動の場合に比して大きな魅力である。しかし、光エネルギーと分子運動の関係の把握はこれからの大きな問題である。これも計算機の発達によって数値解析的にその理解が進むであろう(図13)。

図14は、レーザ照射による固体粒子の溶解蒸発過程について、光エネルギーによる固体粒子の励起過程を仮定して数値計算した例である(7)。このような計算によりレーザ加工などのレーザ利用技術の分子レベルでの理解が可能となる。

6. 分子動力学による伝熱制御

分子レベルでのエネルギー伝達の動的過程を実験的に把握することは進歩した計測技術をもってしても困難であるが、計算機を利用した上述の分子動力学解析は大きな魅力である。分子動力学が成立する条件をつねに考えていなければならないが、その範囲において分子運動とエネルギー移動を理解できる最良な手法の一つである。さらに、この手法はこうした分子運動を予測することによって逆にそのエネルギー伝達を制御することが可能であり、今後の研究の大きな進展が期待される。

参考文献

1. 小竹, 日本機械学会誌, 93-862, 745-748(1990)
2. 小竹, 分子熱流体, 丸善(1990)
3. Sano, T. and Kotake, S., Progress in Astro. and Aeronautics, 117, 439-446(1988)
4. Kotake, S., Heat Transfer in High Technology and Power Eng. (edited by Yang and Mori), Hemisphere Pub. Co., 84-93(1987)
5. Kotake, S., 3rd ASME/JSME Thermal Eng. Conf., IV, 147-152(1991)
6. Wakuri, S. and Kotake, S., 3rd ASME/JSME Thermal Conf., IV, 111-116(1991)
7. Kotake, S. and Kuroki, M., 9th Int. Heat Transfer Conf., IV 277-282(1990)

1. はじめに

省エネルギーの推進などを目的に、電場をかけて伝熱促進する研究開発が近年活発化しつつある。これは、代替フロンも含めて一般に有機物熱媒体の電気伝導度が小さく、高電圧をかけても消費電力が極めて小さいという特徴を利用したものである。また、高電圧下での流動現象・輸送現象を扱う電気流体力学（Electro-Hydrodynamics, 略して EHD）は、比較的歴史の浅い静電気学と流体力学との境界領域の学問分野であり、まだ、体系化されているとは言い難い状況である。本解説では、EHD現象を省エネルギーの推進に活用すること、さらには、EHDの学問的体系化を目的に研究を進めている電場による能動的伝熱促進法について、電場中の流体に働く力と電気流体力学（EHD）の基礎方程式、EHD現象の種類とそのメカニズム、気体中・液体中、および気液界面のある場での代表的EHD現象、さらには、これらのEHD現象による伝熱促進効果とその応用について概説する。具体的現象としては、気体中でのコロナ放電イオン風、液体中でのEHD液体ジェット現象、凝縮熱伝達の促進に有効なEHD的引き出し現象とEHD擬似滴状凝縮現象、さらにはEHD的な核沸騰促進現象を主に取り上げる。なお、本稿は、平成3年3月米国リノ市で開かれた第3回ASME-JSME熱工学合同会議におけるキーノートレクチャーの概要であるので、詳しくは論文集をご参照願いたい。⁽¹⁾

まず、電場を利用した伝熱促進法・伝熱制御法の特徴としては、(1). 針、線、金網などの電極と変圧器があれば簡単に実現できること。(2). 電界強さを変えることにより、高速で伝熱量を増減できること。(3). 送風機やポンプでは実現しにくい複雑な流路の伝熱促進や局所的な伝熱促進も可能であること。(4). 無重力などの特殊環境でも使用できること、などが挙げられよう。また、具体的に適用する作動媒体としては、HCFC123などの代替フロンや油、電気伝導度の比較的小さい液体、および、気体などが、現在可能である。

2. 電場中の流体に働く力と電気流体力学（EHD）の基礎方程式

電場により流体に働く体積力 f_e は、電場によって流体に蓄えられるエネルギー $\{ (1/2) \varepsilon E^2 \}$ [ε : 流体の誘電率、 E : 電界強さ] を考えて、流体に仮想仕事をしたときのヘルムホルツの自由エネルギーの変化から、次式のように導出することができる。

$$f_e = \rho_e E - (1/2) E^2 \nabla \varepsilon + (1/2) \nabla (E^2 \rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho}) \quad (1)$$

この体積力 f_e の第1項の物理的意味は、電荷密度 ρ_e の真電荷に働くクーロン力であり、電荷密

度 ρ_e は単位体積中の正、負の電荷量の和となる。第2項は、誘電率 ϵ の空間的变化により働く力、第3項は電界強さの空間的变化により働く力で、電歪力と呼ばれる。物理的には、第2項、第3項を合わせて誘電体の分極に働く力を表す。つまり、分極によって生じる電荷量は、正負合わせると零であるが、各電荷に働く力を積分した場合、電界の強いところに生じている分極電荷の方により強い力が働くことから流体粒子は電界の強い方に引かれることを意味する。また、電歪力は、圧力と同様に勾配に比例する力であるので、流体に渦度を発生させることはない。しかし、圧力と同様に、液体表面などのように異なる流体間の界面での力のバランスを考えるときには必要である。

前節で述べた体積力 f_e が、流体力学の基礎方程式であるナビエ・ストークス (N. S.) 方程式の外力項として付加されるのが電場の効果であり、以下に現象を記述する方程式を示す。なお、EHD では予め強い磁場が与えられる場合は考えてなく、また電流の作る磁場の磁気圧力は、大気圧力及び電場により生じる圧力に比べて充分小さいので、ここでは磁場の効果は省略して考える。また、流体は非圧縮性を仮定し、粘性係数 μ 、熱伝導率 λ は一定とし、粘性散逸項は省略する。

[連続体の輸送方程式]

$$\text{連続の式} \quad \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

$$\text{N. S. 方程式} \quad \rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} + \underline{\underline{f_e}} \quad (3)$$

$$\text{エネルギー式} \quad \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p (\mathbf{u} \cdot \nabla) T = \lambda \nabla^2 T \quad (4)$$

$$\text{状態方程式} \quad P = \rho R T / M \quad [R: \text{気体定数}, M: \text{分子量}] \quad (5)$$

[マックスウェル方程式]

$$\text{ポアソンの方程式} \quad \nabla \cdot \epsilon \mathbf{E} = \rho_e \quad (6)$$

$$\text{電流の保存式} \quad \frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{i} = 0 \quad (7)$$

$$\text{電流の式} \quad \mathbf{i} = \rho_e \underline{\underline{\mathbf{u}}} + \sigma_e \mathbf{E} \quad [\sigma_e: \text{電気伝導度}] \quad (8)$$

$$\text{電位の定義式} \quad \mathbf{E} = -\nabla \phi \quad (9)$$

未知数には、 ρ 、 \mathbf{u} 、 P 、 T のほかに、 \mathbf{E} 、 \mathbf{i} 、 ρ_e 、 ϕ が加わる。また、(8) 式の第1項は対流電流と呼ばれ、第2項は伝導電流と呼ばれる。基礎方程式から分かるように、N. S. 方程式の外力項に電氣的な力が入り、一方で、(8) 式にあるように、電流の成分に流れにのった対流電流分があるために、電場と流れ場がカップリングし、現象を複雑化している。なお、流れのない定常場では、(6) ~ (8) 式により $\rho_e = -(\epsilon / \sigma_e) \mathbf{E} \cdot \nabla \sigma_e$ が導かれ、電気伝導度の勾配が電荷を生じさせるという関係になる。一般に液体の σ_e は温度の関数であるので、上式は、温度勾配のあるところに電荷が生じ、この電荷にクーロン力が働くことを意味する。

次に、電場をかけた影響が定常になるまでの時間の目安は上式を変形することにより、電荷密度が $\{1 - \exp(-\sigma_e \cdot t / \epsilon)\}$ の形で変化することから求まり、 ϵ / σ_e ($\equiv t_c$) は、電荷の緩和時間と呼ばれる。 t_c の値は、純水で約 $1 \mu s$ 、フロン123で約 $1 ms$ である。この電荷の緩和時間の概念を使うと、現象の時間スケールに比べて電荷の緩和時間が十分に長ければ、流体を誘伝熱研究 Vol.30, No.118

導体として扱うことができ、誘電率 ϵ を使って $\nabla \cdot \epsilon E = \rho_e$ を解けば電場は求まり、また、現象の特性時間に比べて t_e が十分に短ければ、流体を電気伝導性液体として扱うことができ、電気伝導度 σ を使って $\nabla \cdot i = \nabla \cdot (\rho_e u + \sigma E) = 0$ を解けば電場が求まることになる。

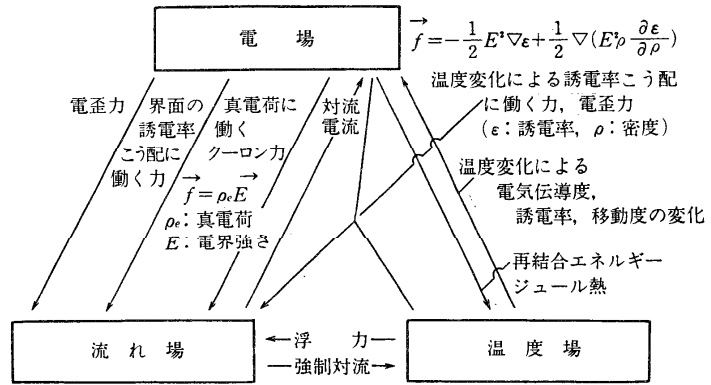


図1. 電場・流れ場・温度場の相互作用

3. EHD現象の種類とそのメカニズム

一般に、熱伝達の生じている場に電場をかけると現象はさらに複雑化し、現象を電場・流れ場・温度場という観点に分けて考えてみれば、三つの場は相互に作用し合っており、図1にその概要を示す。多くの場合、三つの場を同時に解析する必要があるが、自然対流の無視できる場合には、温度場は流れ場が決まると解かれる。このため、電

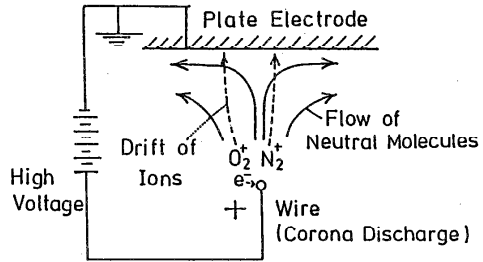


図2. コロナ放電イオン風

場を利用する方法は、電気流体力学 (EHD) 現象を利用する伝熱促進法と呼ばれることが多い。また、流体の種類が気体か液体かにより現象は大きく異なり、誘電率が1に極く近い気体中ではクーロン力が主要となり、気体の静電気現象としては、コロナ放電イオン風が代表的である。この現象は、図2に示すように、尖った電極の近傍で放電により生じたイオンが、クーロン力を受けながら電極間を移動する間に、中性粒子と衝突し運動量を与え、毎秒数m/sの風を生じる現象である。また、液体中では、発生する空間電荷によりイオン風と同様な対流現象も生じるが、それ以外に誘電体の分極に働く力も重要になり、各種対流現象を生じさせる。さらに、気体・液体界面では、気体と液体の誘電率および電気伝導度の差により、マックスウェル応力が重要となり、電場による気液界面の不安定現象や安定化現象も生じさせるので、沸騰熱伝達や凝縮熱伝達のような相変化を伴う熱伝達では、気液界面のEHD現象も主要な役割を果たすようになる。

4. EHD液体ジェット現象と対流熱伝達の促進

EHD液体ジェット現象とは、フロン系の有機物液体内にドーナツのようなリング状の電極を設け、リング電極と対向する平板電極間に高電圧を印加すると、平板電極からリング電極の方向に液体のジェット対流が生じる現象である。このジェット対流は、著者らにより初めて観察されたものであるが、図3に示すように逆スタグネーション流れのようなフローパターンを持ち、流速は1m/s以上にも達する。この対流の生じる原因は、液体が電界の強い方に引かれるためドーナツの

真下のところが一番電界が強いために静止状態では一番圧力が高くなる。ドーナツのリングの中は電圧は高いものの電圧の勾配である電界はドーナツ電極の真下ほど大きくないため、ドーナツのリングに沿って大きな圧力差が生じ、この圧力差でジェット対流が発生すると解釈できる。

このEHD液体ジェットを利用すると、液体中での対流熱伝達が促進でき、例えば、平板電極伝熱面からの対流熱伝達特性は、図4に示す

ように、最大で自然対流熱伝達率の100倍以上にも達している。熱伝達率は $10^4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ に達しているが、これは強制対流の効果と流れに生じている乱れの影響であり、乱流熱伝達を実現している。

5. 気液界面に生じるEHD現象と相変化熱伝達の促進

5.1 電場による液体の引出し現象、薄液膜のEHD的粒状化現象と凝縮熱伝達の促進

電場中の気液界面の不安定化現象を検討するため、液面が攪乱によりわずかに上昇した場合の力のつりあいを考えてみよう。液面の微小な上昇により液面上部電極と液面間の距離が短くなるので、電界強さが増大し、それとともないマックスウェル応力も増加し、上方に働く力も増大する。一方、液面が局所的に上昇すると下方へ重力で引き戻され、さらに、表面張力により、上昇した液面は下方に押し戻されるので、この3つの力のバランスを検討すればよい。電界が大きくなると、電場の上向きの作用で気液界面が不安定化され表面に波立ちが発生するが、針や細い線等を利用した不平等電界中においては、単に波が発生するだけでなく、不安定の発生にともない液体が液面から電界強さのより大きい針や線などの尖った電極方向に引き出され、電極間に液体の柱が発生する現象が見出されており、液体のEHD的な引出し現象と呼ばれるている。

凝縮熱伝達を律速する最大の要因は、凝縮して出来た液体が伝熱面に沿って流れ落ちる凝縮液膜内の熱抵抗が大きい点にあり、凝縮熱伝達を向上させるためには、金属に比べて熱伝導率の小さい液体の凝縮液膜を薄くすることがポイントとなる。ここでは、上記の液体のEHD的な引出し現象を活用して電場により凝縮液体を表面から剥ぎ取って凝縮液膜を薄くする方法を説明する。図5に

伝熱研究 Vol.30, No.118

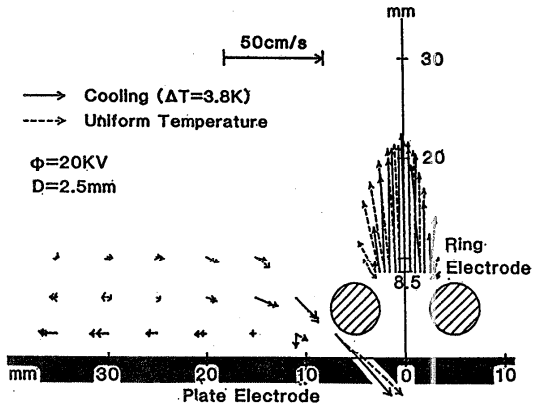


図3. EHD液体ジェット現象

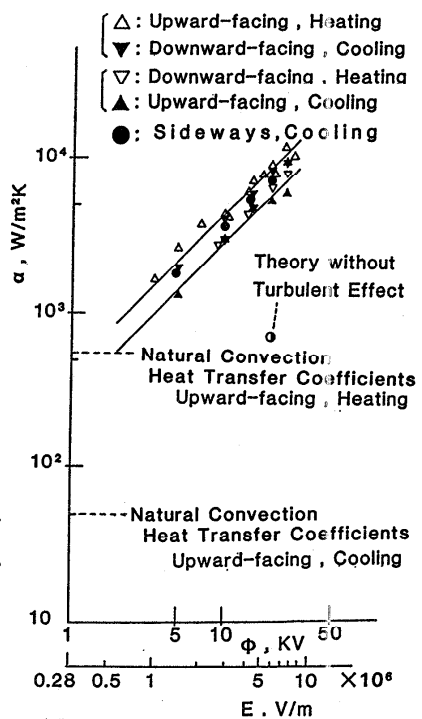


図4. EHD液体ジェットによる対流熱伝達の促進

示すように伝熱管のまわりにらせん状の電極を巻き、この電極と伝熱管の間に直流の高電圧をかけると、液体のEHD的な引出し現象が生じ凝縮液体はらせん電極に引き出され、らせん電極に沿って円周上を約2周流れた後、伝熱管から少し速ぎけられたらせん電極の切れ目から、遠心力の作用で排除され、伝熱面から取り除かれる。この場合、らせん電極の形状について、らせん電極の電極線の断面構造、引出し部分および排出部分のらせんの角度について最適値が存在することが示され、図のようならせん電極構造が実験的に求められ、凝縮液体の95%以上を伝熱管から引出し、取り除くことができている。さらに、この時の凝縮液体の排除量と凝縮熱伝達の促進割合の関係は、流下液膜の厚さを考えることにより説明することができ、凝縮液体を95%取り除いた状態では、液膜厚さも約3分の1まで減少し、熱伝達率は2.8倍以上に増大することが、明らかにされている。なお、この方法は、消費電力が伝熱量や冷却水供給動力と比べて無視しうるほど小さく、EHD的な伝熱促進方法の一つの特徴となっている。

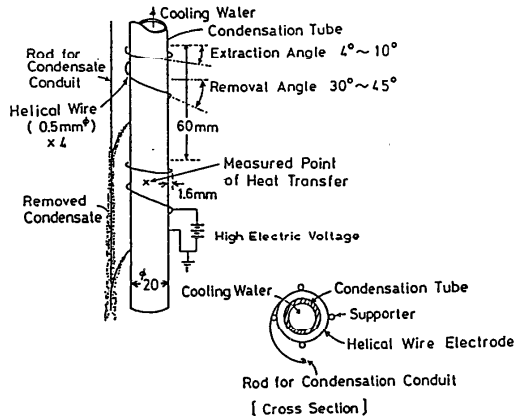


図5. EHD的な凝縮熱伝達の促進方法

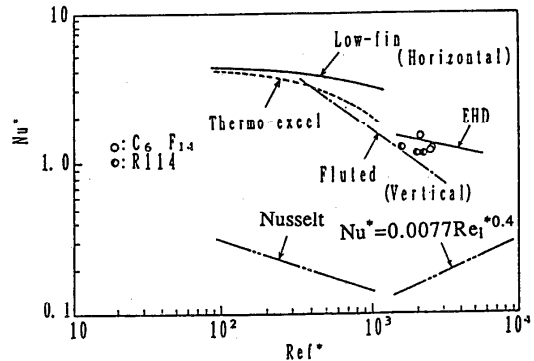


図6. EHD凝縮器の伝熱性能

また、薄液膜のEHD的な粒状化現象とは、 $100\mu\text{m}$ 程度の薄い液膜に高電圧をかけると液膜が変形し、数mm程度の直径の粒が多数個発生し、液膜は粒の部分と粒でない薄い液膜部分に分かれる現象を言う。この現象は、EHD的な液膜表面の不安定現象と考えられ、平均粒径は、初期液膜厚さと共に増加するが、電界強さが増すと小さくなる。また、粒に覆われていない薄い液膜部分は、実験範囲内では、ほとんど50%以上を占めており、表面張力の小さい有機物熱媒体では実現は難しいと考えられていた滴状凝縮熱伝達を、EHD的に実現することが可能となる。但し、EHD的な不安定で粒状化するので、液膜は粒でない部分にも存在するなど従来の滴状凝縮とは異なる性質を持ち、EHD擬似滴状凝縮現象と呼ばれている。

前述の液体のEHD的な引出し現象を活用する凝縮熱伝達の促進方法と、この薄液膜のEHD的な粒状化現象を組み合わせることによりより一層の伝熱促進が可能となる。つまり、らせん電極により凝縮液体を引き出し取り去った後の薄い凝縮液膜に曲板状電極で平等電界をかけることにより、薄くなった凝縮液膜にEHD的な粒状化現象を生じさせて伝熱促進する方法であり、この2つの効

果により、熱伝達率は、電圧をかけないときの約5倍に増大している。また、このような伝熱促進をさせた凝縮器は、EHD凝縮熱交換器と呼ばれており、省エネルギーを目指したムーンライト計画の「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムの研究開発」において、150℃の高温出力ヒートポンプ用凝縮器を目指した実用化研究が実施されている。パーフルオロヘキサンなどを熱媒体とした50kW熱出力の縦型管群凝縮器において、図6に示すように長い鉛直管などの大きな膜レイノルズ数に対して高い促進性能を発揮している。

5.2 気泡に生じるEHD現象と沸騰熱伝達の促進

液体中の気泡に生じるEHD現象は、液体中の種々の対流現象はもとより、気液界面に働く力など数多く、どの現象を顕在化させ、どのように利用するかを考えることが、大事なポイントとなる。ここでは、平等電界中の気泡に及ぼす効果に的を絞り、気泡の変形と挙動、また、それに及ぼす温度場の影響、さらには、核沸騰熱伝達促進効果について説明する。EHD効果は通常の発泡サイクルの種々の過程で現れ、現象をドラスチックに変化させ、ほとんど沸騰していなかった伝熱面が気泡に覆われて沸騰が盛んに生じる状況まで変化する。この時の沸騰曲線を図7に示すが、静止した容器内の沸騰現象であるプール核沸騰熱伝達においては、機械加工などで表面を加工した伝熱面も含めて現在までに測定された沸騰曲線の中で最高の伝熱促進率を示しており、伝熱面に必要な過熱度は電場をかけないときの1/50以下まで減少している。この時の伝熱促進の効果は、液体の電気伝導度が大きいほど増大し、前述した電荷の緩和時間が、数十msの発泡気泡の離脱周期よりも短くなるとその効果は最大になり飽和する。この事は、気泡の変形に伴ない、電場も追隨して変化できるかどうかでEHD効果の大きさが決まることを示している。

実際の気泡の発生から離脱にいたる挙動は、高速度ビデオによる観察、及び、数値計算による解析などにより、以下のように予測されている。発生した気泡の界面にはマックスウェル応力が働くが、気泡は伝熱面上にあり、金属伝熱面に電気力線が垂直に入らなければならないという制約のために気泡下部の電界が気泡上部の電界よりも弱くなり、マックスウェル応力により気泡は伝熱面に押し付けられる。一方、気泡には伝熱面に沿う方向に大きな力が働いているので、気泡の微小な変形により力のバランスが崩れ伝熱面に沿い気泡の動き回る現象が生じる。

また、伝熱面近傍に温度境界層が存在すると、温度が高い部分の電気伝導度は大きいので、気泡下部の電界はさらに弱くなり、気泡は下部がつぶれたように変形し伝熱面に接する面積が増加する。これにより、気泡と伝熱面の境界に存在する薄い液膜部分の面積が大きく増加し、薄液膜からの蒸

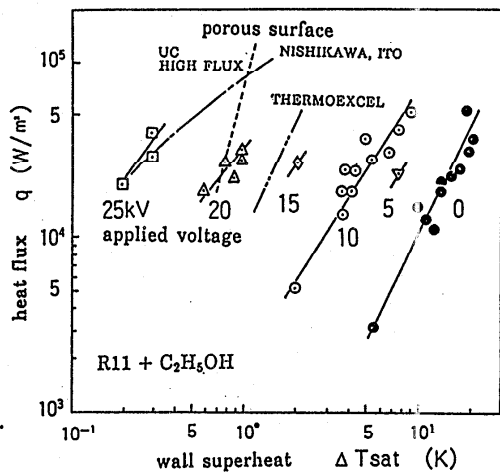


図7. 電場による沸騰熱伝達の促進性能

発量が増えて、気泡の成長速度が大幅に増大する。さらに、電場により気液界面不安定が発生しやすくなっているため、気泡の体積がある程度大きくなると分裂し、分裂して出来た小気泡がまた成長を始め、大きくなって分裂するというサイクルを繰り返すようになる。このようにして、EHD効果により、伝熱面に於ける気泡核生成の有無には無関係に気泡は発生、成長、分裂を繰り返し、大幅な熱伝達の促進が実現されている。この効果を、省エネルギーのための蒸発熱交換器や宇宙用の熱除去装置へ活用する事を旨とした研究開発も進められている。

6. EHD促進技術の将来の応用分野

除霜の問題はヒートポンプの寒冷地への普及にとって重要な課題であるが、霜生成現象に電場をかけることにより、伝熱面上に生じた樹木状のデンドリティック結晶が、伝熱面からはぎとられる現象が見出されている。伝熱面上に生成する霜の50%近くを除去する事が可能であり、メカニズムの解明と応用研究が進められている。

非共沸混合媒体の使用は、熱サイクルのロレンツ化による性能向上にとって重要であるが、相変化しにくい方の媒体の伝熱面近傍への蓄積により、伝熱促進の実現が大きな課題となっている。これに対して、EHD効果を活用すると、気液界面不安定や気液界面に働く力により伝熱面近傍での混合が良くなり、伝熱促進に有効であることが実証されており、非共沸混合媒体用のEHD蒸発器・凝縮器の研究開発が行われている。

また、電場により顕著な伝熱促進効果を実現している伝熱形態では、電界の大きさを変化させることにより、機器の温度を一定に保持する熱制御ができ、さらに、高速な熱流束制御や局所的な微細部分の冷却などの能動的な伝熱制御に応用することも可能であり、今後の発展が期待される。

7. おわりに

電場を活用する能動的伝熱促進法に関して、電気流体力学(EHD)的観点から、伝熱促進に有効ないくつかのEHD現象とそのメカニズムについて、概要を説明した。内容的には、著者自身の研究している分野を中心にしたため、幅広い分野をカバーしきれていない点申し訳ないが、本稿の扱った範囲内でも、EHD的な液体ジェット現象や液体のEHD的な引出し現象などのように、現象のメカニズムは解明され、実用化を目指して研究が進められているものもある。また、本稿で取り上げた以外の熱伝達形態に対しても、伝熱促進効果の大きい新たなEHD現象が見出される可能性もあり、今後の研究の進展が期待される。

[引用文献]

- (1) A. Yabo "Active Heat Transfer Enhancement by Applying Electric Fields" Proc. 3rd ASME-JSME Thermal Engng. Joint Conf. 1991, Vol. 3, pp. xv-xxiii.

編集後記

第30期編集委員長 藤田 秀臣（名 大）

本誌「伝熱研究」の巻数が、本年の1月号（No. 116）より Vol. 30 となっておりますように、日本伝熱研究会は設立以来約30年の歴史を刻んでまいりました。その日本伝熱研究会も、去る5月30日の総会において、会の名称を「日本伝熱学会」と改めました。したがって、本号は日本伝熱学会に改称後の第1号という記念すべき号であります。しかし、前会長の石黒先生が本号の冒頭に記しておられますように、今回は会の名称（和文）変更のみにとどまっておりますので、本誌においても、表紙の下段と背の部分に記されている会の名称を日本伝熱学会と改めるにとどめ、当面は誌名「伝熱研究」は変更せず、巻号の数もそのまま継続致します。

このような重要な時期に、はからずも編集委員長の大役をおおせつかり戸惑っておりますが、今期担当の4号（No. 118 ～ No. 121）につきましては、ここ数年来の慣例にならって、8名の地方連絡幹事お二人ずつに各号の企画編集をご担当いただく方針でお願い致しております。

本号は、例年どおり、伝熱シンポジウム特集としました。参加者が多く、昨年の名古屋を凌ぐ勢いであると、懇親会の席で嬉しい悲鳴をあげておられた準備委員長の伊藤先生をはじめ、素晴らしいシンポジウムをお世話頂いた準備委員の皆様へ改めて御礼申し上げます。準備委員会の報告のほかに、今回も多くの方々に分野別のレビューをお願い致しました。講演件数の増加に伴い、執筆者のご負担は大きくなって申し訳ありませんが、本会随一（唯一）のビッグイベントであるシンポジウムの記録として、また二次資料として、その価値は高いと思います。

さらに、本号では、最近開催された国際会議に関する報告にも多少ページを割かせていただきました。出席されなかった方はもとより、多くの会員の皆様に有益な情報としてお喜び頂けるものと存じます。

ご多忙のところ、締切まで短時日にもかかわらず貴重な原稿をお寄せ頂きました執筆者各位に、厚く御礼申し上げます。

<地方研究グループ活動報告>

東海地方研究グループ 講演発表会とイブニングレクチャー

日 時： 平成3年5月18日（土） 14:00 ~ 19:45

場 所： 名城大学理工学部（名古屋市天白区塩釜口）

◎ 講演発表会： 14:00 ~ 16:45（11号館 第1会議室）

(1) 「 SO_2/SO_3 系高温ケミカルヒートパイプに関する研究 （伝熱促進型反応装置の反応および伝熱特性）」

* 曾 維平（名大） 松田 仁樹（名大） 架谷 昌信（名大）

管壁反応器の SO_2/SO_3 系可逆化学反応を用いる熱交換、熱輸送システムへの導入の第1ステップとして、ステンレス球表面に白金をコーティングした触媒を用い、これの充填層実験により、ステンレス表面にコーティングした白金薄膜の触媒としての反応活性について検討した。その結果、本触媒は良好な SO_2 酸化能力を有していることが認められた。さらに、管壁反応器を想定し、その反応ならびに熱交換特性の理論解析を行った結果、管壁反応器の本システムへの応用が可能であることが認められた。

(2) 「カーエアコン用蒸発器内の冷媒の流動と熱伝達の促進」

* 大原 敏夫（日本電装） 山本 敏博（日本電装） 藤田 秀臣（名大）

カーエアコン用の蒸発器として、リブをプレス成形したプレートを重ねて、冷媒通路を形成するプレート型熱交換器が多く使用されている。講演者らは、この扁平冷媒通路内に傾斜リブをクロス状に配置した場合、リブに沿う傾斜流の存在によって液の分散、均一化が図れることを明らかにしてきた。本報告では、この傾斜リブの傾斜角が、蒸発熱伝達率や圧力損失に及ぼす影響を調べた結果、傾斜角45度が総合的に最も優れていることを明らかにした。

(3) 「遠心力作用下の固気二相噴流に関する研究（微粉粒子の拡散）」

* 社河内 敏彦（三重大） 今井 篤（新日本製鐵）

円柱壁面に沿って二次元噴流を噴出させると、噴流はコアンダ効果により壁面に付着し、遠心力作用下に流れる。本研究は、円柱壁面に沿って流れる固気二相噴流中における微粉粒子（粒径分布：1~20 μm 、平均粒径：10 μm 、密度：1000 kg/m^3 ）の拡散の様子を、その飛行軌跡の計算機シミュレーション結果から示すとともに、流れ場を通過した透過光の強さを画像処理装置を使って処理することから明らかにした。

(4) 「壁乱流熱輸送の秩序性とそのモデル」

* 田川 正人（名工大） 長野 靖尚（名工大）

本研究は、壁乱流の秩序運動と熱輸送の関連を調べたものである。その結果、VITA法は変動成分間の位相が保持できず、熱輸送の詳細は解析できないことが明らかになった。一方、その欠点のないトラジェクトリ解析法により、運動量輸送にとっては重要でないインターアクション運動が、熱輸送の形態を強く支配する要素であることが示された。この結果は自己回帰モデルによる温度変動のシミュレーションにより検証された。

(5) 「ガスタービンシュラウド面上の流動と伝熱特性」

熊田 雅弥 (岐阜大) 小幡 正一 (IHI)

*岩田 哲 (岐阜大院) 渡辺 修 (岐阜大院)

シュラウド面上の熱伝達・流動特性に及ぼす翼端隙間、回転数および入射角の影響を明らかにするため、軸流過給機を用いて、シュラウド面上の局所熱伝達率を測定し、流速を回転可能な治具に装着されたI型プローブを用いて測定した。加速流れに起因して熱伝達率は動翼対向部で上昇し最大値を示す。さらに動翼を跨ぐ漏れ流れ (leakage flow) の存在とその向きは入射角が正に向うほど翼の法線方向を向くことなどを明らかにした。

(6) 「一様流中に置かれた多孔質体まわりの流れ」

*桑原不二朗 (静岡大) 入間 晴之 (静岡大)

中山 顕 (静岡大) 児山 仁 (静岡大)

一様流中に置かれた多孔質体まわりの流れについて、透過率の及ぼす影響を、可視化を含む実験と数値解析の両面より検討を行った。固体角柱の場合に比べ透過流が存在するため、非定常挙動を示す循環流の発生位置は後方へ移動する。透過率の増加は強い透過流を形成し循環流はより下流へと移動するが、そのストローハル数は透過率に依存しない。

◎ イブニングレクチャー： 18:00 ~ 19:45 (校友会館 第1会議室)

「エネルギーの有効利用に関連した伝熱技術」

架谷 昌信 氏 (名古屋大学工学部 分子化学工学科)

エネルギー問題の本質は何か。われわれ伝熱研究に携わる者の使命は何か。など、極めて重要かつ基本的な問題について、講師の考えを披露されるとともに、問題提起がなされた。参加者の関心の高い時宜を得た話題であったため、予定時間をかなりオーバーするほど活発な意見交換がなされた。この種の企画は初めてであったが、成功裡に終わることが出来た。

イブニングレクチャーに先立って夕食を兼ねた懇親会をもったが、大学院生も多数参加し、活気のある会であった。素晴らしい会場をお世話頂いた名城大学理工学部 前田 隼 先生に厚く御礼申し上げます。参加者：55名 (講演会)、27名 (懇親会・イブニングレクチャー)。

(東海地方連絡幹事 藤田 秀臣)

日時：平成3年5月10日（金）13:40～17:00

場所：愛媛大学学生会館（松山市）

講演：1）過冷却水の凍結による管閉塞限界

稲葉 英男, 武谷 健吾, 野津 滋（岡山大）

2）壁面に衝突する気体噴流（斜めに衝突する場合）

須藤 浩三, 檜原 秀樹（広島大）

3）垂直に流下する臭化リチウム水溶液膜への水蒸気の吸収

森岡 斎, 清田 正徳, 中尾 竜二（徳島大）

4）流動層内水平管群まわりの伝熱特性（比較的径の大きな伝熱管の場合）

加藤 泰生, 宮本 政央（山口大）

5）水スプレーによる高温金属の非定常冷却

吉岡 詠進, 鈴木 誠, 阿部 文明, 青山 善行

水上 紘一, 二神 浩三（愛媛大）

6）組み合わせたベンドにおける流れと熱伝達

西谷 理, 青山 善行, 二神 浩三（愛媛大）

土方 邦夫（東京工大）

〈講演概要〉

- 1）内径4.5、10.5、15.6 mmの三種類のステンレス鋼管を用いて、流動する過冷却水の凍結実験を行った。入口温度を0.2℃に保ち、レイノルズ数を $5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$ の範囲として、凍結挙動、閉塞領域について調べた。凍結初期に見られる樹枝状水の生成量により、その後の管内閉塞が大きく影響されるが、管内壁の平均温度と凍結領域はほぼ既存の熱伝達式によって予想できることが報告された。
- 2）空気を用いて、壁面に斜めに衝突する軸対称噴流実験を行い、時間平均速度、乱れの強さ、変動速度の相互相関に及ぼす衝突角度の影響を調べた。レイノルズ数を一定（ 6×10^4 ）に保ち、衝突角度を90°、60°、30°と変えたところ、衝突前のノズル軸上の衝突面に垂直な速度成分が自由噴流の減衰曲線からずれる位置はノズルから遠ざかった。また、衝突後の最大速度の減衰や半値幅の広がり放射状壁面噴流から三次元壁面噴流のそれに近づいた。
- 3）外径28 mm、有効長さ1400 mmの垂直黄銅管を用いて、その外壁を流下する臭化リチウム水溶液への水蒸気の吸収実験を行い、吸収量に及ぼす膜レイノルズ数 Re の影響を調べた。水溶液の入口条件（濃度59 w%、温度38℃）を一定とし、冷却水温度を

26、30、34°C、圧力を5、7 Torr、Reを40~400の範囲とした。Reが大の時、吸収量が層流モデルによる計算値の約1.5倍に達したのは、液膜の観察で見られた波立ち現象によるためであり、今後、それを考慮した理論モデルの開発が必要がある。

- 4) 流動層内に4列に千鳥配置（ピッチ125 mm）した直径90 mmの水平円管群を用いて強制対流熱伝達実験を行った。流動粒子として平均粒径0.4 mmの珪砂を用い、空気を流動層試験部に圧送した。平均熱伝達は管径の小さい場合に比べて幾分小さくなった。管が埋没している場合、どの管列でもほぼ同じ熱伝達率を示したが、埋没していない場合、流速の依存度は幾分緩やかであった。また、管径が大きくなるほど、局所熱伝達率のピーク値と底辺値との差が大きくなった。
- 5) 高温に加熱された直径25 mm、長さ100 mmのニッケル棒を用いて、水・空気ミストによる過渡冷却実験を行った。冷却表面における条件は、水流量を $7 \times 10^{-4} \sim 3.9 \times 10^{-3}$ kg/s、空気流量を $1.2 \times 10^{-2} \sim 3.6 \times 10^{-2}$ kg/s、平均液滴直径を17~43 μ mの範囲とした。水流量の増加による熱伝達の向上は、とくに膜沸騰領域において顕著であった。また、極小熱流束温度は、空気流量が増加すると低下するが、水流量が増加するに従って上昇することが分かった。
- 6) 三種類の組み合わせバンド管を用いて、S字形流路やねじりS流路における流動・熱伝達実験を行った。レイノルズ数は $1 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4$ の範囲とした。ねじりS流路の第一バンド出口における対称な一対の二次流れ渦は、第二バンド出口では、ほとんど一方向への旋回渦と見なせるものに遷移し、第二バンドにおける曲がりの内側の壁近傍で乱れ強さが最大となった。S字形流路やねじりS流路における局所ヌセルト数は、円形返しバンドの場合と異なり、下流方向に増加した。

（中国・四国地方連絡幹事 菊地 義弘）

<お知らせ>

東海研究グループ企画

長良川畔伝熱セミナー (企業における伝熱の最前線)

伝熱学会東海グループでは、標記のセミナーを下記の通り開催致します。奮って御参加下さいますようお願い申し上げます。

日 時：平成3年11月1日(金)～2日(土)、 1泊2日

場 所：ぎふ長良川ハイツ(岐阜勤労総合福祉センター)

〒502 岐阜市長良山先692番地の3

☎:0582-94-2511 FAX:0582-94-2515

参加費：一般 12,000円 (宿泊、食事、懇親会費を含む)

学生 6,000円 同上

定 員：50名 (申込先着順により満員になり次第締め切ります。)

申し込み：綴じ込みの申し込み用紙に必要事項をご記入の上、下記までご郵送下さい。

参加費は当日受付にて集めさせていただきます。参加申し込み後の取消はご遠慮下さい。

- 申し込み先：〒501-11 岐阜市柳戸1-1
岐阜大学工学部応用化学科
西村 誠 (☎:0582-30-1111 Ext.4450 or 4452:曾田)
(FAX:0582-30-1893)

- 申し込み締切：平成3年10月18日(金)

日程

- 11月1日(金)

時 間		内 容
12.00 ~13.00	受 付	
13.10 ~15.10	話 題 提 供	• 潜熱蓄熱技術の現状と応用 淘 昇氏 (三菱油化エンジニアリング新規事業部) • 電気温水器用の潜熱蓄熱材とその熱特性 平松 正義氏 (中部電力、電力技術研究所)
	休 憩	

15.30 ~17.30	話題提供	<ul style="list-style-type: none"> 空調器及び吸収冷凍機の熱交換器用材料における 伝熱促進技術 野世溪 精氏 (住友軽金属工業、技術研究所) 次世代空調用空冷熱交換器に求められるもの 川端 克宏氏・鳥越 邦和氏 (ダイキン工業、機械技術研究所)
	休憩	
18.30 ~20.30	夕食および懇親会	(講師の方々を囲んで放談会を予定しております。)

・ 11月2日 (土)

8.00 ~8.50	朝食	
9.00 ~10.00	特別講演	<ul style="list-style-type: none"> 光による気体状態量の測定 志水 昭史先生 (岐阜大学工学部)
10.00 ~ 12.00	話題提供	<ul style="list-style-type: none"> 産業用分野における都市ガス燃焼を利用した伝熱技術 中村 泰久氏 (東邦ガス、総合技術研究所) 工業炉における伝熱問題の現状と将来 谷口 聡氏 (日本ガイシ、燃焼装置事業部)
12.00	閉会	

..... 切り取り線

長良川畔伝熱セミナー：参加申込用紙

ふりがな

氏名： _____

所属： _____

役職： _____

連絡先：〒 _____

☎： _____

FAX： _____

ご要望等： _____

芦屋・奥池セミナー 「New Phase に挑む伝熱工学」

関西研究グループでは第2回関西伝熱セミナーを下記のように計画致しました。奮ってご参加下さいますようお願い申し上げます。

関西伝熱セミナー実行委員会
委員長 平田雄志

日時：平成3年8月3日（土）－4日（日） 1泊2日
場所：大阪ガス・奥池ロッジ
〒659 芦屋市奥池南町47番16号 Tel 0797-38-0771
交通 阪神芦屋駅・JR芦屋駅・阪急芦屋川駅より芦屋ハイランド行バスでゴロゴロ橋下車、徒歩10分、または上記の駅よりタクシーで15-20分（約2,000円）

参加費：一般 12,000円、学生 6,000円（1泊2食及び懇親会費を含みます）

定員：70名（申込先着順 定員になり次第締め切ります）

申込み：申し込み用紙に必要事項をご記入のうえ、下記まで郵送して下さい。また、参加費を郵便振替にて関西伝熱セミナー実行委員会宛に振り込んで下さい。尚、締め切り後の返金をご容赦願います。

申込先 〒560 豊中市待兼山町1-1 大阪大学基礎工学部化学工学科
平田雄志 Tel 06-844-1151 Ex 4726 Fax 06-857-3952

振込先 関西伝熱セミナー実行委員会
郵便振替 口座番号 大阪 4-303688

申込み締切：平成3年7月8日（月）

プログラム

8月3日（土） 受付開始 12時

セッションA「環境・エネルギーと伝熱工学」（13時－14時30分）	
A1「未来型実験住宅「NEXT21」の概要」	岩崎保孝氏（大阪ガス㈱）
A2「スーパーヒートポンプ 化学蓄熱反応器のシミュレーション」	安田俊彦氏（日立造船㈱）
A3「地域大気環境の数値予測」	山口克人氏（大阪大学・工学部）
セッションB「音と光とビームの技術」（14時40分－17時30分）	
B1「波動冷凍の基礎と研究の現状」	小澤 守氏（関西大学・工学部）
B2「電磁超音波を用いた鉄鋼スラブ内温度の測定」	平本祐二氏（新日本製鐵㈱）
B3「赤外線計測技術とその応用」	青山 聡氏（ミノルタカメラ㈱）
休憩（10分）	
B4「レーザー蛍光法による液体の温度測定」	池田裕二氏（神戸大学・工学部）
B5「希薄気体流のLIFによる可視化と計測」	新見智秀氏（名古屋大学・工学部）

夕食 (18時-19時)

セッションC「無重力の世界」(19時30分-21時)

C1「低重力場の二相流と等密度液・液二相流」 太田淳一氏 (神戸大学・工学部)

C2「無重力実験体験記(談)」(編集ビデオ放映も含む)
村上政明氏 (三菱電機㈱)

懇親会 (21時-23時)

8月4日(日)

朝食 (7時-8時)

セッションD「極限状態の伝熱現象」(8時30分-10時)

D1「多層薄膜構造のレーザー加工における

熱伝導解析及びその応用」

木山精一氏 (三洋電機㈱)

D2「超伝導コイルのクエンチ現象と伝熱」

藤原 誠氏 (三菱重工業㈱)

D3「急冷凝固法による新材料の創製と伝熱」

大中逸雄氏 (大阪大学・工学部)

セッションE「汎用小型熱交換器のInnovation」(10時10分-11時40分)

E1「ルームエアコン用熱交換器の高性能化」

茂木 仁氏 (松下電器産業㈱)

E2「自動車用熱交換器の高性能化技術」

青木博史氏 (トヨタ中央研究所)

E3「フィン伝熱の限界とBreakthrough」

鈴木健二郎氏 (京都大学・工学部)

芦屋・奥池セミナー「New Phaseに挑む伝熱工学」 参加申し込み

フリガナ

氏名

資格 一般・学生(学年)

所属・役職

連絡先:〒

Tel: ()

Fax: ()

参加費 円を 月 日に郵便振込致しました。(〇印 領収書必要 不必要)

連絡事項

中四国研究グループ企画

中四国伝熱セミナー・広島

中四国研究グループでは標記のセミナー（1泊2日）を企画しました。特に若手や大学院生に自由に発言，討論していただける雰囲気のあるセミナーにするため，運営に工夫をこらしたいと考えております。奮ってご参加くださいますよう，ご案内申し上げます。

1. 日時 平成3年8月30日（金）～31日（土）
2. 場所 広島工業大学沼田校舎
〒731-31 広島市安佐南区沼田町伴 4104-2
(TEL) 082-848-0145
交通 JR広島駅または広島バスセンター（広島市紙屋町）より
広電バス（戸山行，くすの木台行，久地経由飯室行）で60分，
下大下バス停下車 徒歩10分
山陽自動車道，五日市インターチェンジより車で20分
3. 参加費 会員および一般：10,000円 学生：5,000円
(宿泊，食事，懇親会費を含みます。)
4. 定員 約70名
5. 申し込み 本号綴じ込みの申し込み用紙に必要事項をご記入の上，下記宛先まで郵便またはFAXでお送りください。複数で申し込まれる場合，申し込み用紙は一人一枚ずつ使用してください（申し込み用紙をコピーしてお使いください）。なお参加費は当日，会場受付で集めさせていただきます。
締め切り：平成3年8月20日（火）
郵送先：〒724 東広島市鏡山1丁目4-1
広島大学工学部第一類原動機工学講座内
中四国伝熱セミナー・広島 準備委員会 西田恵哉
(TEL) 0824-22-7111 ext.3237 (FAX) 0824-22-7193
6. 中四国伝熱セミナー準備委員会
委員長：西田恵哉（広島大学）
委員：嶽間沢秀孝（近畿大学），高見敏弘（広島大学），玉野和保（広島工業大学）
中川賢剛（中国電力），星要之介（三菱重工），吉廻秀久（パブコック日立）

7. 日程 8月30日 (金)

時 間	内 容
12:30- 13:00-	受付開始 開会 準備委員長挨拶
13:10- 17:00	Seminar (1) 液体微粒化とその応用 司会 吉廻秀久 (パプコック日立), 西田恵哉 (広島大学) 液体微粒化の基礎と応用 倉林俊男 (広島工業大学) 噴霧器と微粒化特性 大西憲男 (いけうち) 医薬における液体の微粒化技術の応用 武井成通 (フロント産業) アトマイズ法による金属粉の製造技術 関 義和 (神戸製鋼所)
18:00- 21:00	夕食および懇親会 司会 玉野和保 (広島工業大学)

8月31日 (土)

7:30-	朝 食
9:00- 12:00	Seminar (2) 伝熱問題における「壁」のブレイクスルー 司会 高見敏弘 (広島大学), 星要之介 (三菱重工業) 乱流はく離流れにおける時間平均的熱伝達機構 福地 健 (パプコック日立) 還元パーナによる直火加熱法に関する技術開発 新屋謙治 (三菱重工業) セラミック渦流室によるディーゼル機関の微粒子低減 松岡 孟 (マツダ) 新発電方式の開発状況と問題点 生田耕治 (中国電力)
12:00-	閉会, 昼食, 記念撮影, その後解散

----- 切り取り線 -----

広島大学 工学部 第一類
西田 恵哉 行

中四国伝熱セミナー・広島 参加申し込み用紙

ふりがな

氏名 _____

所属 (大学研究室) _____

役職 (学年) _____

所属住所 〒 _____

(TEL) _____

(FAX) _____

日本機械学会関西支部 第185回講習会
機器冷却の基礎から最新技術まで
 (電気・電子機器の冷却設計法を中心に)

協賛予定: 電気学会関西支部、電子情報通信学会関西支部、計測自動制御学会関西支部、自動車技術会関西支部、冷凍協会、空気調和衛生工学会近畿支部、日本ヒートパイプ協会、日本伝熱学会、日本液相流学会、精密工学会関西支部、ガスタービン学会

日 時: 平成3年10月7日(月)、8日(火) 9:30~16:50

会 場: 建設交流館 6階 603会議室

大阪府大阪市西区立売堀2-1-2 電話(06)543-2551代
 新大阪駅より地下鉄御堂筋線に乗車、「梅田」下車、「西梅田」より地下鉄四ツ橋線に乗り換え「本町」下車、南側出口より中央大通を西へ300m、なにお筋交差点を南へ50m、西側黒い8階建ビル

趣 旨: 発電機、モータ、トランスなどの電気機器、大型計算機やパソコンなどの電子機器、さらにエンジンや燃焼器など、発熱をともなう機器においては機能アップにより発熱量が増大する一方で、小型化が要求されています。このため、いかに効率よく冷却するかが製品開発の鍵となっており、これらの機器の冷却設計においては流体力学、伝熱工学の基礎技術を駆使するとともに、伝熱促進デバイスの適用なども必要となります。そこで本講習会では、研究開発の第一線で活躍しておられる方々に理論、現象、具体的事例、トピックスを合わせて、冷却設計の基礎から最新技術まで幅広く解説していただきます。関係者のご参加をお待ちしております。

題目・内容・講師

日 時	題 目	内 容	講 師
9.30~10.40	機器冷却のための基礎	熱伝導、対流熱伝達、ふく射熱伝達についての基本的事項と、その機器の冷却設計に対する簡単な応用について解説する。	京都大学 工学部 鈴木 健二郎
10月 10.50~12.00	ふく射の数値シミュレーション	熱ふく射は高温場だけでなく常温でも重要となることがある。主にふく射と対流が共存する伝熱現象解析の基礎と数値計算例を示す。	工業技術院 機械技術研究所 山 出 幸 生
7日 13.00~14.10	熱伝達の数値シミュレーション	対流伝熱シミュレーションの最近の進展を解説する。層流では複合対流と剝離・再付着流伝熱、乱流ではモデリングを重点に解説する。	名古屋工業大学 工学部 長 野 靖 尚
14.20~15.30	熱と流れの測定技術	熱と流れに関わる基礎的物理量の測定原理と代表的な手法、そして画像情報を利用した最近の測定技術の進展について解説する。	東京大学 工学部 笠 木 伸 英
15.40~16.50	熱回路網法による冷却設計	電子機器の熱設計に熱回路網法を用いる方法を、電球型蛍光灯ランプやマルチチップパッケージ基板の熱解析を例に解説する。	御東芝 総合研究所 石 塚 勝
9.30~10.40	空冷における伝熱促進	機器の大きさを左右する空冷放熱器の小型・軽量・高性能化に関連する伝熱促進技術について実例を示しながら紹介する。	三菱電機㈱ 技術管理部 藤 井 雅 雄
10月 10.50~12.00	液冷における伝熱促進	LSIの発熱密度は最近数10W/cm ² にも達し、液冷却が多用されてきた。そこで、本液冷技術について実例等を用いて紹介する。	㈱日立製作所 機械研究所 大 黒 崇 弘
8日 13.00~14.10	能動的伝熱促進法	高性能電子機器からの除熱性能を向上させるために、電場、磁場を付与する能動的促進法の原理、応用例について概説する。	東京工業大学 工学部 土 方 邦 夫
14.20~15.30	機器冷却のポイントと展望	電子デバイスとコンピュータシステムの最近の動向、冷却技術とシステム性能の関係を述べ、情報工学と伝熱工学の融合を展望する。	東京工業大学 工学部 中 山 恒
15.40~16.50	パネルディスカッション	2日目の講師の方をパネリストに、これからの冷却技術や最新のトピックスについて聴講の皆様とともにディスカッションします。	(司会) 松下電器産業㈱ ティクス工法開発研究所 田 中 博 由

聴 講 10月3日(内)
 申込み締切
 定 員 120名

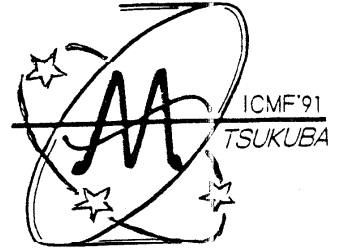
関西支部 第185回講習会 聴講教材申込書

平成 年 月 日

金 額		所属学協会名・資格	氏 名
聴 講 料 (教材代金含む)	正・准員 25,000円 大学・官公庁 12,500円 院生・学生員 6,000円 会 員 外 40,000円		
教 材 の み	会 員 4,000円 会 員 外 6,000円	勤 務 先 (所属部 課名)	
送 金 方 法	現 金 書 留 込 銀 行 振 込	通 信 先 (自 宅) (勤務先)	〒 (電話)
※ 振 込 予 定 日	年 月 日		

申込先 〒550 大阪市西区鞠本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 日本機械学会関西支部 電話 (06) 443-2073
 銀行振込口座 住友銀行中之島支店 普通預金口座 No.110415 できるだけ現金書留をご利用ください。

第4回混相流国際会議
サテライトセミナー-仙台-東京-大阪
1991年9月30日



混相流国際会議が筑波で盛大に行なわれ、各分野で実力のある著名な研究者が来日する機会にサテライトセミナーを企画しました。テーマが絞られ、現在問題になっている話題に触れて戴くように講演者にお願ひし、快諾を得ています。十分御期待にそえる講習会になると確信しています。

1) 仙台 [スラリー輸送技術の変遷と将来]

会場 東北大学青葉記念会館大会議室

オルガナイザ: 申込、問合せ先

益山 忠、東北大学工学部資源工学科

Tel. 022-222-1800. Fax. 022-222-2114

講演

1. 川島俊夫 (八戸工業大学)

[日本におけるスラリー輸送技術の変遷]

2. I. Zandi (US., University of Pennsylvania)

[米国におけるパイプライン輸送の変遷と将来]

3. M. C. Rocco (US., National Science Foundation)

[固液二相流のモデリング]

4. 都田昌之 (山形大学)

[三相反応塔における流動特性]

2) 東京 [噴霧、気泡流の計測、最新の話題]

会場 東京大学山上会館

オルガナイザ: 申込、問合せ先

前田昌信、慶応義塾大学理工学部機械工学科 Tel. 045-563-1141, Fax. 045-562-6725

* 松本洋一郎、東京大学機械工学科

Tel. 03-3812-2111, Fax. 03-3818-0835

講演

1. G. Gouesbet (France, University Rouen)

[ガウス強度分布を考慮した散乱理論、粒径測定への適用について]

2. C. Tropea (Germany, Erlangen-Nuremberg University)

[フーゴットワラ-式粒径、流速測定法、最近の進展とその応用]

3. A. Taylor (UK., Imperial College)

[フーゴットワラ-式粒径、流速測定法、複雑な流動場への適用]

4. 高川真一 (海洋科学技術研究所)

[超音波による水中微小気泡の測定]

3) 大阪 [混相流中の波と乱流、その応用]

会場 関西大学100周年会館ホール

オルガナイザ：申込、問合せ先

* 大場謙吉、関西大学工学部機械システム工学科 Tel.06-388-1121, Fax.06-330-3770

講師

1. G.F.Hewitt (UK., Imperial College)

[気液二相流の測定とモデリング]

2. G.Hetsroni (Israel, Inst. Technology)

[粒子と乱流の相互作用]

3. R.T.Lahey (US., Rensselaer Polytechnique Inst.)

[乱流二相流内の相分布]

4. 森岡茂樹 (京都大学)

[気液二相系に於ける波]

5. 深野 徹 (九州大学)

[気流に伴われる液膜の流動機構]

参加費 会員20,000円, 学生5,000円 会員外25,000円 (資料代含む)

(会員：国際混相流会議／筑波1991 協賛学協会)

です。問い合わせは各オルガナイザ*印までお願いします。各会場席に限りがありますので、お早くお申込ください。

混相流国際会議サテライトセミナー委員長

前 田 昌 信

第2回 日韓熱工学会議
Second JSME-KSME Thermal Engineering Conference

共催 日本機械学会 熱工学部門
大韓機械学会 熱流体工学部門

開催日 1992年(平成4年)10月19日(月)～21日(水)
[10月21日(水)～23日(金)見学会]

会場 北九州国際会議場
北九州市小倉北区浅野3-9-30
JR小倉駅から徒歩7分

開催趣旨 日韓両国の熱工学に関する専門家間の親睦をはかり、この分野における研究と技術のアクティビティを高めることを目的として、1988年にソウルで開催した第1回会議に引続いて、第2回会議を開催します。多数の方のご参加をお願いいたします。特に、学界の研究者と産業界の技術者との関係を深めたいと思いますので、企業の方もふるって参加されることを切望します。

なお、日本機械学会工学部門で毎年秋に開催しております熱工学講演会は平成4年度はとりやめて、本会議がその代りを兼ねることになります。

講演募集分野 熱工学に関する全分野および熱工学に関連する流体工学

使用言語 英語

締切日	論文要旨	1992年(平成4年)	3月31日(火)
	採用通知	同 年	5月11日(月)
	論文原稿	同 年	6月20日(土)
	最終採否通知	同 年	8月20日(木)
	最終論文	同 年	9月10日(木)

問合せ先 九州大学工学部動力機械工学科 吉田 駿
TEL (092) 641-1101 内線5533
FAX (092) 641-9744

または
九州大学工学部機械工学科 藤田 恭伸
TEL (092) 641-1101 内線5455
FAX (092) 641-9744

追記 詳細については、本学会誌平成3年10月号会告および平成3年8月頃配布予定のFirst Announcement and Call for Papersをご参照下さい。

First Announcement and Call For Papers

3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HEAT TRANSFER, BEIJING

October 6—10 (Tuesday —Saturday), 1992

Beijing, CHINA

ABOUT THE SYMPOSIUM

The 1st and 2nd International Symposium on Heat Transfer, Beijing (ISHT, Beijing) were sponsored and organized by the (Research)Institute for Thermal Science & Engineering, Tsinghua university, and supported by the China State Education Commission with great success in 1985 and 1988 respectively. The 2nd ISHT Beijing was co-sponsored further by the National Natural Science Foundation (NNSF) of China, the Chinese Society of Engg. Thermophysics (CSETP) and the American Society of Mechanical Engineers (ASME). The papers presented have been edited by B. X. Wang and published as the Hemisphere' s series 《HEAT TRANSFER SCIENCE & TECHNOLOGY》, in 1987 and 1989. It had been decided by the Intn. Committee and announced at the closing ceremony of the 2nd ISHT, Beijing that the Symposium will be regularly taken place one time for every four years, to supply the chance for international exchange of new informations on new ideas and new achievements in the concurrent and expanding fields of heat transfer.

ANNOUNCEMENT

The 3rd ISHT, Beijing will still be sponsored and organized by the Inst. for Thermal Science & Engineering, Tsinghua University and held at October 6-10, 1992 in Beijing.

Symposium Chairman: Professor Bu-Xuan Wang, Director of Institute -the organizer.

Topics for the 3rd ISHT, Beijing

Papers submitted for the 3rd ISHT, Beijing are solicited on all aspects of heat transfer, including:

1. Fundamental researches on conduction, convection and radiation;
2. Heat transfer with phase change ;
3. Two - and multi -phase flow visualization and heat transfer ;

4. Flow boiling and flow condensation;
5. Heat transfer in nuclear reactors;
6. Heat and mass transfer in porous media;
7. Radiative and combined heat transfer;
8. Biological and cryogenical heat transfer;
9. Heat exchangers and industrial heat transfer;
10. Measuring techniques for heat and mass transfer researches;
11. Mathematical simulation and modeling on heat and mass transfer;
12. Other related topics.

The papers dealing only with mass transfer or/and hydrodynamics, not associated with heat transfer, will not be accepted .

Working Language English

CALL FOR PAPERS

Prospective authors are requested to follow the schedule given below;
Abstracts 200-300 words and three copies should be submitted before Dec. 15, 1991,
two of which are to be sent to ;

Prof. LIN, Zhao -Zhuang
Secretary General, 3rd ISHT, Beijing
Thermal Engineering Department
Tsinghua University
Beijing 100084, China
[Telex: 22617 QHTSC CN; Fax: (861)256-2768.]

Another one copy can be send to ;

- (1) Professor I. Tanasawa (Institute of Industrial Science, Tokyo University) or Professor F. Ogino (Department of Chemical Engg. ,kyoto University)
for Japanese authors;
- (2) Professor W. J. Yang (Department of Mechanical Engg. & Applied Mechanics, University of Michigan) for USA authors;
- (3) Professor F. Mayinger (Technische University of Munich)
for German authors;
- (4) Professor A. Dolinsky (Institute of Engineering Thermophysics, Kiev)
for USSR authors;
- (5) Professor LIN, Zhao -Zhuang also.

The content of the abstract will be the basis for acceptance of the paper for presentation at the symposium.

Notification for Acceptance of paper; before February 20, 1992.

Deadline for Accepting Complete Manuscripts; April 30, 1992.

Further Information for Session arrangements, organizations concerned, social events, fees and hotel reservations etc. will be mailed by March 30, 1992 to those who return the attached reply form to: Prof. LIN, Zhao-Zhuang, Thermal Engineering Dept. Tsinghua University, Beijing 100084, CHINA

REPLY
FORM

3rd International Symposium on Heat Transfer , Beijing
Beijing, CHINA October 6-10 , 1992

Name; Prof. /Dr. /Mr. /Mrs. /Miss _____

Affiliation (Position/Organization); _____

Mailing Address; _____

- () I plan to attend the Symposium
- () I intend to submit a paper
- () I wish to obtain the Symposium informations

Tentative Title of the Paper; _____

Name(s) of Author(s); _____

Accompanying Persons; _____

<60万人科学者技術者代表集会>

「基礎研究の振興と工学教育」シンポジウム

——大学の改革と学術法人活性化を目指して——

1. 日 時：平成3年11月27日(水) 13:00~17:45
2. 場 所：KIビル地下大会議室
東京都港区赤坂6-5-30 (☎03-5561-2111)
3. 主 催：日本工学会
4. 共催予定：日本工学アカデミー/材料連合フォーラム/日本工業教育協会
5. 協賛予定：賛同150学協会
6. 後援予定：科学技術庁/文部省/通商産業省/経済団体連合会/日本商工会議所
7. 幹事学会：応用物理学会/高分子学会/テレビジョン学会/電子情報通信学会/土木学会/日本化学会/日本機械学会/日本建築学会/日本鉄鋼協会
8. 参加費：1,000円(会場整理費) 一当日持参—
9. 定 員：300名(定員超過の場合は抽選といたします)

———— プログラム(敬称略) ————

- | | | | |
|-------------|---------------------------|----------------|-------|
| 13:00~13:15 | 開会の辞 | 日本工学会会長 | 石川 六郎 |
| | 基調講演<座長> | 材料連合フォーラム会長 | 斎藤 進六 |
| 13:15~14:15 | (I) 「我が国の工学教育の諸問題」 | | |
| | 日本工学アカデミー会長・日本工業教育協会会長 | 向坊 隆 | |
| | <座長> 研究大学院大学学長 | 長倉 三郎 | |
| 14:15~15:00 | (II) 「日本学術会議の勧告・報告」 | | |
| | 日本学術会議会長 | 近藤 次郎 | |
| | ———— 休 憩 ———— | | |
| | <座長> 名古屋大学工学部長 | 松尾 稔 | |
| 15:15~15:45 | 講演「大学の活性化への提言」 | | |
| | 東京工業大学学長 | 末松 安晴 | |
| | <座長> 日本工学会副会長 | 今泉 常正 | |
| 15:45~16:15 | ” 「大学の活性化への提言」 | | |
| | 未定 | 未定 | |
| | <座長> 日本学術会議会員 | 佐伯 修 | |
| 16:15~16:45 | ” 「21世紀をリードする大学へ望む」 | | |
| | 経済団体連合会評議員会副議長 | | |
| | 経済構造調整委員長(富士通会長) | 山本 卓真 | |
| 16:45~17:30 | <問題提起> | | |
| | 「大学の改革と学術法人活性化」 | | |
| | ———— 国民の論議を期待して ———— | | |
| | | 日本工学会 政策委員会委員長 | 内田 盛也 |
| 17:30~17:40 | 閉会の辞 | 日本工学会副会長 | 堀 幸夫 |
| 18:00~20:00 | 懇親会(会費：5,000円) | | |
| | (懇親会については後日参加者にご案内いたします。) | | |

————— 参加申込みについて —————

参加費 : 1,000円(会場整理費) ー当日持参ー

参加申込: 往復はがきに氏名・年齢・勤務先・同住所・同電話番号・所属学協会名を明記
した上, 返信用表に通信先住所・氏名を必ずご記入下さい。

〔FAXでのお申込みは受付ません〕

申込期日: 平成3年11月11日(月) 必着

申込み先: ㉞107 東京都港区赤坂9-6-41

社団法人日本工学会「11月シンポジウム」係宛

参加証 : 参加証を11月20日前後に送りますので, 当日ご持参下さい。

社団法人 日本工学会

㉞107 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階

電話 03-3475-4621 FAX 03-3403-1738

事務局からの連絡

会名称の変更

去る5月30日に福岡で行なわれました、第29期(平成2年度)総会におきまして、会の名称が『日本伝熱研究会』から『日本伝熱学会』に変更されました。それに伴い、会則中の名称はもとより、事務局名、郵便振替用紙の加入者名、銀行口座名、及び通信物全ての宛名が『日本伝熱学会』となります。

「伝熱研究」7月号より、新しい名称の郵便振替用紙を添付しますので、今後は『日本伝熱学会』名のもので御使用いただき、旧名称の『日本伝熱研究会』名のもので御使用にならないようお願い致します。また、銀行振込をされる場合にも、同様ですので御注意下さい。但し、郵便口座、及び銀行口座の口座番号は従来通りです。

『日本伝熱研究会』 → 『日本伝熱学会』

会費の変更

上記の総会におきまして、「平成4年度」から下記のように会費が値上げされることになりました。

	平成3年度まで		平成4年度から
個人会員	5000円/年	→	8000円/年
学生会員	3500円/年	→	4000円/年
維持会員	30000円/年・口	→	30000円/年・口(変更なし)

平成4年度(’92年度)以降の会費を、すでに前払いで納入されている会員の方々は、来年度からその差額分が未払いになります。このような会員の方々に対して、事務局から特にその差額分を連絡することは致しませんので、来年度「伝熱研究4月号」からの「宛名ラベル」(会費請求)の金額に御注意下さるようお願い申し上げます。

会の名称が『伝熱研究会』から『伝熱学会』に変更になり、また、事務局も新しく引き継がれましたので、今後のお問い合わせ等は下記の新しい事務局へお願い致します。

本学会の事業年度は、『毎年4月1日より、翌年3月末日まで』であり、会計年度もこれに準じております。尚、事務局は毎週土曜日には不在となる事がありますので予め御承知おき下さい。

1. 入会手続きについてのご案内（手続き後の事は2.を参照）

会員には「伝熱研究」および「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお送りしています。尚、「日本伝熱シンポジウム講演論文集」については、前年度の会費を納入された方に限り、当該年度のものを1冊お送りしております。

申込書送付先： 〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1
 (事務局) 東京工業大学 原子炉工学研究所内
 日本伝熱学会
 TEL 03-3726-1111 ext.3077、3059
 FAX 03-3729-1875

郵便振替口座： 東京6-14749 日本伝熱学会

※ 会員資格と要項は以下の通りで、定期購読のみの会員制度はありません。

・ 個人会員（個人資格の内容は他人への引継は不可）

正 会員：学生・維持会員に該当しない社会人で個人資格。

学生会員：高専・大学学部・大学院（修士，博士）に在学する学生で個人資格。

（但し、指導教官による証明（記名・捺印）を必要とします。）

・ 維持会員（代表者の名義変更は可）

会社・事業所単位で代表者による会員。

※ 巻末の入会申し込み届用紙に必要事項をご記入の上、事務局宛ご送付下さい。記載された全項目は、貴方の個人データとしてデータベースに構築されます。尚、氏名は特に明瞭に記入し、難読字にはJISコードの御指示を願います。送付後、郵便振替にて当該年度分の会費をお支払い下さい。また、入金作業は、フリガナ検索で行っていますので会社名のみですと未納扱いになります。照会行為は一切行っておりませんので御注意ください。

※ 平成3年度内『伝熱研究』発刊予定（会計年度内での表紙の色替わりに注意）。

4月号 1991 Vol.30 No.117 (表紙色：コーヒープラウン)
 7月号 1991 Vol.30 No.118 (")"
 10月号 1991 Vol.30 No.119 (")"
 1月号 1992 Vol.31 No.120 (表紙色：未 定)"

(1) 個人会員および学生会員の会費

	(平成3年度まで)	(平成4年度から)
個人会員は	¥5,000円/年	¥8,000円/年
学生会員は	¥3,500円/年	¥4,000円/年

(2) 維持会員

維持会員に入会申し込みの場合は、上記事務局に直接書面または電話（FAXも可）でご連絡いただくか、あるいはお近くの個人会員に御連絡下さい。事務局から当学会の内容、会則、入会手続き等について御説明致します。

維持会員の会費は（平成4年度以降も）1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。会員には「伝熱研究」および「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を申し込み1口につき1部づつお送り致します。

2. 会員の方々へ

当事務局へのお問い合わせには、郵便振替用紙の通信覧やFAX等の『書面』にて、御連絡下さい。電話での直接の対応は致しかねますので御了承下さい。

(1) 会費請求について

会員各位の会費請求には一括して、伝熱研究の送付封筒の宛名ラベルの表示で行っています。この請求金額は、会員の入会時からのデータを基にデータベース上で処理された”最新のデータ”で表示しています。特に、入会時期が1～3月の方々に会計年度の思い違いが多い様ですので、御確認をお願い致します。尚、会の名称が『日本伝熱学会』となりましたので、会費納入時の郵便振替用紙は、新しい名称のものを御使用下さるようお願い致します。

また、事務処理量低減の為に、以下の様に致しますので御注意下さい。

注意：入金作業は、個人名をフリガナ検索で行っていますので、会社名のみで個人名が特定できない場合、照会行為等はせず未納扱いとなりますので御注意ください。トラブルを防ぐ上からも、会員自身での御送金の手続きをお願い致します。

(2) 変更事項について

事務局では、会員もしくは会員の代理と認めうる方の『書面』をもってデータベースの変更を受け付けています。変更事由が発生した時点で、速やかに”巻末の変更届用紙”にて御連絡下さい。連絡が頂けませんと一括処理で発送を続ける恐れが有り、会員宛の書籍や通信物は、回収されるまでは再度お送りはできませんし、再発送する場合には、その費用につきましては、別途御請求を申し上げますので御承知おき下さい。尚、変更事由等の『予告通知』は受け付けておりません。

(3) 会員資格変更について

学生会員で社会人になられた方々は（学生会員→正会員）への変更届を至急お届け下さい。特に、指導教官の方々には適切な御指導をお願いします。

(4) 長期会費滞納者に対する一括連絡

前年度（平成2年度）までの会費が納入されていない会員の方々に御連絡を致します。下記の期日までに会費が納入されない場合には、『伝熱研究7月号』以後の送付を停止しますと共に、退会の意志があるものとして退会処置を致します。事務局では滞納者の扱いに苦慮しておりますので、出来る限りの御協力をお願い致します。

尚、滞納会員個々には別途会費請求の御案内は致しませんので、本7月号の『宛名ラベル』にご注意下さるようお願い致します。また、入金に際しては、今月号（7月号）から添付しております新名称（日本伝熱学会）の郵便振替用紙を御使用下さい。

※ 納入期限：平成3年8月23日（金）

(5) 退会予定者の方々に

当事務局では、通常の場合は書面通知（郵便振替用紙に記載可）を持って退会手続きを行います。但し、会費未納分がある方は納入いただくようお願いを申し上げます。また、扱いに苦慮致しますので、退会日を『○月○日付けで退会を致します。』と具体的な内容で御指示を願います。尚、退会手続きが完了しますと会員のデータベースを削除するとともに『退会案内』を送付してお知らせします。従って、以後の問い合わせには会員外の扱いとなります。

日本伝熱学会 新規入会申し込み・変更届用紙

(該当に○を記入の事。)

1. 新規入会個人会員(正・学)申込書

2. 変更届書(書面での届出に限りて手続きをします。)

0	申込年月日	H	年	月	日	※入会の方は同時に郵替にて 会費の納入をお願いします。 氏名にはふりがなを記入 ※余白に通信文記載可		
1	会員資格	正・学						
2	氏名					※難読乱書は再届が有ります。		
3	ふりがな							
4	生年月日	M・T・S	年	月	日			
5	* 勤	名称						
6		〒	—					
7	務	所在地						
8		TEL						
9		FAX					共通・専用	
10	先	〒	—					
11		住所						
12		TEL						
13		TEL						
14	通信先***	勤務先		自宅				
15	学位							
16	最終出身校							
17	卒業年次	T・S・H	年					
18	専門分野					← (下記専門分野の番号)		
19	学生会員の場合：指導教官名**					印		

専門分野

- | | | | | | |
|---------|-----------|-------------|-----------|----------|---------|
| 1: 自然対流 | 2: 強制対流 | 3: 熱伝導 | 4: 凝縮 | 5: 沸騰・蒸発 | 6: 混相流 |
| 7: 物質移動 | 8: 反応・燃焼 | 9: 放射 | 10: 熱物性 | 11: 熱交換器 | 12: 流動層 |
| 13: 蓄熱 | 14: 冷凍・空調 | 15: 内燃機関 | 16: ガス・液体 | 17: 蒸気機関 | 18: 原子力 |
| 19: 太陽熱 | 20: 環境 | 21: その他 () | | | |

*) 学生の場合はここに在学学校名、学部、学科、学年(M2、D3など)を記す。

**) 指導教官の署名及び捺印の事。

***) 送付先限定の為、必ず記入の事。

伝熱研究
Vol.30, No.118

1991年7月発行

発行所 日本伝熱学会

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1
東京工業大学原子炉工学研究所内

日本伝熱学会

電話 03(3726)1111(代) 内線3077, 3059

Fax 03(3729)1875

振替 東京 6-14749

(非売品)