

# 伝熱研究

1989  
July  
Vol. 28  
No. 110

Journal of Heat Transfer Society of Japan

## 〈第1回日本伝熱研究会学術賞・技術賞〉

「日本伝熱研究会学術賞・技術賞」の創設にあたって …… 平田 賢

## 〈特集：第26回日本伝熱シンポジウム〉

第26回日本伝熱シンポジウムを終えて …… 永井 伸樹

第26回日本伝熱シンポジウムにおけるレビュー

### ～ イブニング・レクチャ ～

我が国の宇宙環境利用の現状と材料実験 栗林 一彦  
夢見・ゆらぎ・創造 山本 光璋

### ～ 特定テーマセッションのレビュー ～

- (1) 次世代エネルギーシステムにおける伝熱のセッション雑感 秋山 守  
(2) 特定テーマセッション「熱物性測定の新技術」を拝聴して 蒔田 董・幾世橋広  
(3) 「バイオ伝熱」 棚沢 一郎  
(4) 生体組織における伝熱 谷下 一夫  
(5) 特別セッション・「マイクロ伝熱学」のレビュー 小竹 進  
(6) 特定テーマセッション「マイクロ伝熱学」  
～ 各分野のレビュー ～  
(1) 強制対流(I)～(VI) 五十嵐 保

- (2) 強制対流伝熱：セッションVII～IXの感想 片岡 邦夫  
(3) 「熱物性」と「計測・測定」のセッションから 飯田 嘉宏  
(4) ヒートパイプの講演を聞いて感じたこと 田中 修  
(5) 自然対流セッションを振り返って 北村 健三  
(6) 凝縮セッションの感想 本田 博司  
(7) 第26回日本伝熱シンポジウム：沸騰セッション 西尾 茂文  
(8) 放射セッションを担当して 金山 公夫  
(9) 流動層セッションの感想 熊田 雅弥  
(10) 熱交換器のセッションに参加して 大串 哲朗  
(11) 伝熱シンポジウムの燃焼セッションに立ち会って 竹内 正顯  
(12) エネルギー利用の研究動向 梅村 晃由  
(13) 蒸発セッションの発表の概要と討論、感想 水上 絃一  
(14) 熱伝導セッションの概要と感想 平田 哲夫  
(15) 二相流セッションの概要 石塚 隆雄

## 〈解 説〉

Thermal Contact Resistance in Space Environment  
Kahoru Torii, Jurandir Itizo Yanagihara

## 〈研究トピックス〉

実機復水器の伝熱特性の評価と性能向上  
加藤雄平、恩田勝弘、野世溪精、堀田泰志

## 日本伝熱研究会第28期（平成元年度）役員

会 長		藤 井 哲（九 大）
副 会 長	（無任所） （事務担当）	相 原 利 雄（東 北 大） 黒 崎 晏 夫（東 工 大）
地方連絡幹事	北 海 道 東 北 関 東 東 海 北 陸 信 越 関 西 中 国 四 国 九 州	金 山 公 夫（北 見 工 大） 太 田 照 和（東 北 大） 笠 木 伸 英（東 大） 藤 田 秀 臣（名 大） 竹 越 栄 俊（富 山 大） 芹 澤 昭 示（京 大） 菊 地 義 弘（広 大） 深 野 徹（九 大）
幹 事 （23名）	岸 浪 紘 機（室 工 大） 相 場 眞 也（秋 田 高 専） 島 田 了 八（石 巻 専 修 大） 植 田 洋 匡（公 害 研） 矢 野 歳 和（石 播 重 工） 北 村 健 三（豊 橋 技 大） 梅 村 晃 由（長 岡 技 大） 鳥 越 邦 和（グ イ キ ン） 平 井 秀 一 郎（阪 大） 栗 間 諄 二（山 口 大） 大 田 治 彦（九 大） 三 塚 正 志（日 本 文 理 大）	杉 山 憲 一 郎（北 大） 稲 村 隆 夫（東 北 大） 秋 山 光 庸（宇 都 宮 大） 河 村 洋（東 理 大） 吉 澤 善 男（東 工 大） 長 野 靖 尚（名 工 大） 平 田 哲 夫（信 州 大） 浜 口 八 郎（神 戸 大） 矢 田 順 三（京 都 工 織 大） 水 上 紘 一（愛 媛 大） 茂 地 徹（長 崎 大）
監 査（2名）	稲 井 信 彦（東 芝）	庄 司 正 弘（東 大）
「伝熱研究」編集委員長		服 部 賢（長 岡 技 大）
第27回日本伝熱シンポジウム準備委員長		架 谷 昌 信（名 大）

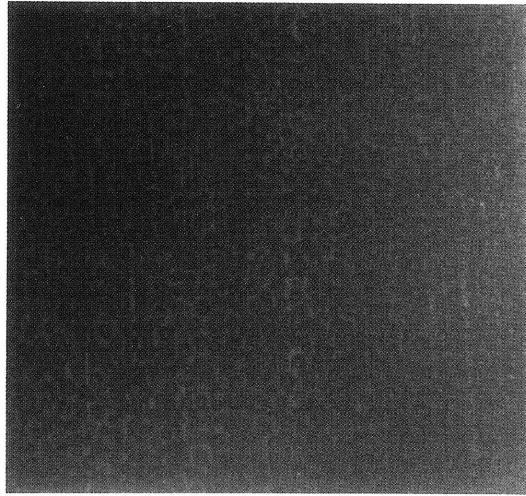


Fig. 1 過冷却水滴の付着 (×64)

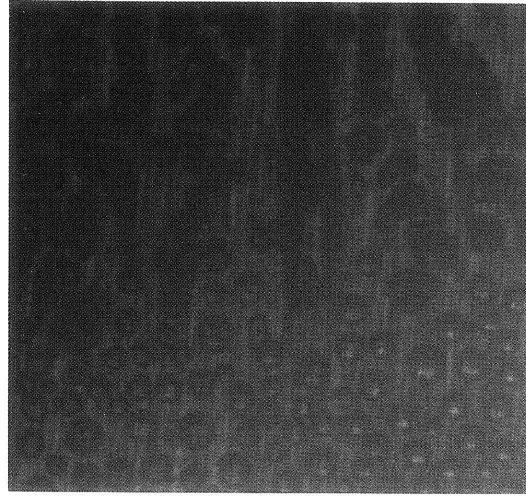


Fig. 2 氷枝への遷移 (×64)

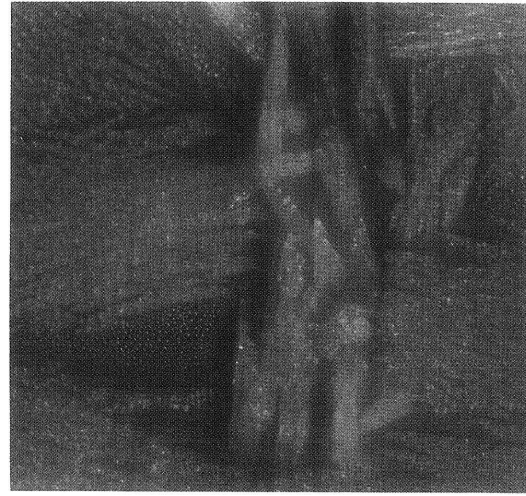


Fig. 3 針状結晶の成長 (×18)

凝水性表面における霜層成長 (空気温度 + 2°C、相対湿度80%、気流速度1.5m/s、伝熱面温度-5.1°C)  
凝水性表面では興味ある着霜が見られる。着霜の最初は過冷却水滴が付着し (Fig.1)、成長または移動して隣接の水滴と合体し始める。それがトリガーとなって凍結し、氷枝から霜へと成長する。Fig.2の右側黒い部分は凍結しており、左側の透明な部分は過冷却状態のまま、霜成長の方向に影響する (Fig.3)。

## 伝 熱 研 究

## 目 次

第28期会長就任にあたって ……………	第28期会長 ……………	藤井 哲(九 大) ……	1
第27期会長を退任するにあたって ……	第27期会長 ……………	平田 賢(東大先端研) ……	2
〈第1回日本伝熱研究会学術賞・技術賞〉			
「日本伝熱研究会学術賞・技術賞」の創設にあたって ……	平田 賢(東大先端研) ……		4
「日本伝熱研究会学術賞・技術賞」選考のいささつ ……	藤掛賢司(豊田中研) ……		5
第1回日本伝熱研究会学術賞を受賞して ……………	熊田雅弥(岐 阜 大) ……		8
日本伝熱研究会技術賞を受賞して ……………	藤井雅雄(三菱電機・中研) ……		10
〈特集：第26回日本伝熱シンポジウム〉			
第26回日本伝熱シンポジウムの特集にあたって			
…………「伝熱研究」第28期編集委員長 ……	服部 賢(長岡技大) ……		12
第26回日本伝熱シンポジウムを終えて ……………	永井伸樹(東北大工) ……		13
伝熱シンポジウム総務担当あれこれ ……………	太田照和(東北大工) ……		15
第26回伝熱シンポジウム開催を手伝って ……………	黒川政秋(東北大工) ……		16
第26回日本伝熱シンポジウム会場係頭末記 ……………	堀 豊(東北大工) ……		17
第26回(仙台)伝熱シンポジウムに参加して ……………	大原敏夫(日本電装) ……		18
第26回日本伝熱シンポジウムに参加して ……………	川端克宏(ダイキン) ……		19
第26回日本伝熱シンポジウムに参加して ……………	池上康之(九 大 院) ……		21
～イブニングレクチャ～			
我が国の宇宙環境利用の現状と材料実験 ……………	栗林一彦(宇 宙 研) ……		22
夢見・ゆらぎ・創造 ……………	山本光璋(東北大工) ……		28
～特定テーマセッションのレビュー～			
(1) 次世代エネルギーシステムにおける伝熱のセッション雑感		………… 秋山 守(東 大 工) ……	32
(2) 特定テーマセッション「熱物性測定の新技術」を拝聴して		………… 蒔田 董(神戸大)・幾世橋広(東北大工) ……	35
(3) 「バイオ伝熱」……………	棚沢一郎(東大生研) ……		38
(4) 生体組織における伝熱 ……………	谷下一夫(慶応理工) ……		41

(5) 特別セッション「マイクロ伝熱学」のレビュー	小竹 進(東大工)	44
(6) 特定テーマセッション「マイクロ伝熱学」	神沢 淳(東工大)	47

～各分野のレビュー～

(1) 強制対流(I)～(VI)	五十嵐保(防衛大)	50
(2) 強制対流伝熱：セッションVII～IXの感想	片岡邦夫(神戸人工)	52
(3) 「熱物性」と「計測・測定」のセッションから	飯田嘉宏(横国大工)	54
(4) ヒートパイプの講演を聞いて感じたこと	田中 修(九工大)	56
(5) 自然対流セッションを振り返って	北村健三(豊橋技科大)	58
(6) 凝縮セッションの感想	本田博司(九大機能研)	60
(7) 第26回日本伝熱シンポジウム：沸騰セッション	西尾茂文(東大生産研)	62
(8) 放射セッションを担当して	金山公夫(北見工大)	64
(9) 流動層セッションの感想	熊田雅弥(岐阜大)	66
(10) 熱交換器のセッションに参加して	大串哲朗(三菱電機中研)	68
(11) 伝熱シンポジウムの燃焼セッションに立ち会って	竹内正顯(桐蔭横浜大)	70
(12) エネルギー利用の研究動向	梅村晃由(長岡技科大)	72
(13) 蒸発セッションの発表の概要と討論、感想	水上紘一(愛媛大)	74
(14) 熱伝導セッションの概要と感想	平田哲夫(信州大)	75
(15) 二相流セッションの概要	石塚隆雄(東芝)	77

<解説>

Thermal Contact Resistance in Space Environment …Kahoru Torii, Jurandir Itizo Yanagihara (Yokohama Nat.Univ.)	79
--	----

<研究トピックス>

実機復水器の伝熱特性の評価と性能向上	加藤雄平、恩田勝弘(中部電力)	
	野世溪精、堀田泰志(住友軽金属)	100

<地方グループ活動報告>

東海研究グループ講演会	新井紀男(名大)	
	北村健三(豊橋技科大)	110
関西研究講演見学会	藤井照重(神戸大)	
	石原 勲(関西大)	
	高城敏美(阪大)	111

<お知らせ>

特別講演会のご案内	113
関東地方研究グループ主催特別講演会のご案内	114
東北グループ伝熱セミナーご案内	115

関西研究グループ企画六甲山上セミナー	
『いま、熱・伝熱ではこれがおもしろい』	116
九州研究グループ主催『第1回九州地区伝熱研究者の集い』	119
第10回日本熱物性シンポジウムプログラム	123
第2回アジア熱物性会議ご案内	125
『原子力におけるスーパーコンピューティング国際会議』案内	126
『伝熱研究』原稿のワープロ化のお願い	131
英文原稿のタイピングインストラクション	133
日本伝熱研究会事務局移転のお知らせ	135

# Journal of Heat Transfer Society of Japan

Vol.28, No.110, July, 1989

## CONTENTS

New President's Address .....	Tetsu Fujii (Kyushu Univ.) .....	1
Many Thanks to All of the Members .....	Masaru Hirata (Univ. of Tokyo) .....	2
<b>&lt;Heat Transfer Society Awards&gt;</b>		
Foundation of Awards from Heat Transfer Society of Japan .....	Masaru Hirata (Univ. of Tokyo) .....	4
The Details of Selection on the 1st Heat Transfer Society Awards .....	Kenji Fujikake (Toyota Central Research Dev. Lab., Inc.) .....	5
Impression of Receiving the Heat Transfer Society Award for Scientific Contributions supported by Yasuo Mori. .....	Masaya Kumada (Gifu Univ.) .....	8
On Receiving the Heat Transfer Society Award for Technical Achievements .....	Masao Fujii (MELCO) .....	10
<b>&lt;Special Issue : The 26th National Heat Transfer Symposium of Japan&gt;</b>		
Introduction of the special issue on 26th National Heat Transfer Symposium of Japan .....	Ken Hattori (NUT) .....	12
The 26th major Heat Transfer Symposium of Japan was Successful and Well-attended/Supported .....	Nobuki Nagai (Tohoku Univ.) .....	13
A Note on Works for Organizing 26th National Heat Transfer Symposium of Japan .....	Terukazu Ota (Tohoku Univ.) .....	15
Impression of the 26th National Heat Transfer Symposium .....	Masaaki Kurokawa (Tohoku Univ.) .....	16
Circumstances of the 26th National Heat Transfer Symposium .....	Yutaka Hori (Tohoku Univ.) .....	17
Impression of the 26th National Heat Transfer Symposium in Sendai .....	Toshio Ohara (Nippondenso Co., Ltd) .....	18

Impressions around the 26th National Heat Transfer Symposium of Japan ..... Katsuhiko Kawabata (Daikin) .....	19
Impressions at the 26th National Heat Transfer Symposium of Japan ..... Yasuyuki Ikegami (Kyushu Univ.) .....	21

**~ Evening Lectures ~**

Current Status of Space Utilization and Materials Processing in Japan ..... Kazuhiko Kuribayashi (ISAS) .....	22
Dreaming, Fluctuations and Creation .....	
..... Mitsuaki Yamamoto (Tohoku Univ.) .....	28

**~ Reviews on the Special Sessions ~**

(1) A review on the session: Heat Transfer in Next Generation Energy Facilities. .... Mamoru Akiyama (Univ.of Tokyo) .....	32
(2) A review on "New Techniques in Thermophysical Properties Measurements" ..... Tadashi Makita (Kobe Univ.), Hiroshi Kiyohashi (Tohoku Univ.) .....	35
(3) Bio-Heat Transfer ..... Ichiro Tanasawa (I.I.S.,Univ. Tokyo) .....	38
(4) Heat Transfer in the Living Tissue ..... Kazuo Tanishita (Keio Univ.) .....	41
(5) On the special session "Micro Processes of Heat Transfer" ..... Susumu Kotake (U.Tokyo) .....	44
(6) Special Thema Session "Micro-Heat Transfer" ..... Atsushi Kanzawa (TIT) .....	47

**~ Reviews on the Technical Sessions ~**

(1) Forced Convection ( I ) ~ (VI) ..... Tamotsu Igarashi (The National Defence Academy) .....	50
(2) An Impression to Forced Convection Papers: Session VII ~ XI ..... Kunio Kataoka (Kobe Univ.) .....	52
(3) Thermophysical Properties and Measuring Techniques ..... Yoshihiro Iida (Yokohama Natl. Univ.) .....	54
(4) My Feeling of Some Papers on Heat Pipe and Thermosyphon ..... Osamu Tanaka (K.I.T) .....	56
(5) Natural or Free Convection ..... Kenzo Kitamura (T.U.T) .....	58
(6) A Review of the Condensation Sessions ..... Hiroshi Honda (Kyushu Univ.) .....	60



(7) The 26th National Heat Transfer Symposium of Japan: Boiling Sessions ..... Shigefumi Nishio (IIS, Univ. of Tokyo) .....	62
(8) Review on the Session of Thermal Radiation ..... Kimio Kanayama (Kitami Inst. of Tech.) .....	64
(9) Impressions of Fluidised Bed Session ..... Masaya Kumada (Gifu Univ.) .....	66
(10) Heat Exchanger .....	Tetsuro Ogushi (Mitsubishi Electric Corp.) ..... 68
(11) A Witness of the Presentation of Combustions in the Symposium '89 ..... Masaaki Takeuchi (Toin Univ.) .....	70
(12) Trends of energy utilization research ..... Teruyoshi Umemura (NUT) .....	72
(13) An Epitome of Discussions and Comments on the Papers Presented in "Vaporization" Session ..... Koichi Mizukami (Ehime Univ.) .....	74
(14) Impression on Heat Conduction Session ..... Tetsuo Hirata (Shinshu Univ.) .....	75
(15) Review of Two Phase Flow Session ..... Takao Ishizuka (Toshiba) .....	77

< **Engineering Contributions** >

Thermal Contact Resistance in Space Environment ..... Kahoru TORII, Jurandir Itizo YANAGIHARA (Yokohama Nat. Univ.) .....	79
---	----

< **Topics** >

Evaluation and Improvement of Heat Transfer Performance of Surface Condenser ..... Yuhei KATO, Katsuhiko ONDAD (Chubu Electric Power Co.) Tadashi NOSETANI, Yasusi HOTTA (Sumitomo Light Metal Co.) .....	100
--	-----

< <b>Report on the Local Group Activities</b> > .....	110
---	-----

< <b>Announcements</b> > .....	113
--------------------------------	-----

藤井 哲 (九大)

第28期会長に推挙されました。本会の一層の発展に貢献すべく努力する覚悟です。過去の本会の実績に立脚し、将来を見通した基本方針「将来問題に関する答申」がすでに着々と実行に移されつつあります。それを更に前進させ、定着することが今期の仕事と考えております。幸いに相原・黒崎両副会長は組織的運営についてもベテランですし、幹事会は広い専門分野で活躍しておられる気鋭の方々で構成されていますので、職責を果たせるものと思います。会員各位のご協力をお願いいたします。

現在多くの人々が予感していることは何らかの新しい時代の到来です。我々伝熱研究者の周囲でも、時代の変化のあらわれの一つとして「産官学の協力」があります。産・官・学がそれぞれ独自性を発揮しつつ、かつ協力する体制は我々にとって未経験のことです。研究内容については一層の創造性が要求されます。極端な言い方かも知れませんが、幼児期から一貫して創造性を矯めるように教育されて専門課程に入学した学生をいかにして第一線の研究者に育てるかも創造性に関わる問題の一つだと思います。そのほか我々の研究環境を外からみても内からみても、新しい時代に対応するには研究者集団としての物の考え方の転換と長期にわたる試行錯誤的な経験の蓄積が要求されます。本会は、研究対象についても職種についても広い分野の研究者の集団であり、かつ伝統的に自由な雰囲気をもっていますので、新しい実践に適しています。これらのことについても会員各位が心のどこかにとどめておいていただきたいと願います。

## 第27期会長を退任するにあたって

平 田 賢（東大）

大谷茂盛前会長の後をお受けして早くも1年が過ぎてしまった。日本伝熱研究会の栄光の歴史に、何かをつけ加えることが出来たかを省みると忸怩たらざるを得ない。

昭和63年2月の研究会の将来問題に対する甲藤委員会答申（伝熱研究Vol. 27、No. 105、p. 1～5参照）の実現のために、一步の前進をすべく、藤掛、越後両副会長をはじめ、幹事の皆様と共に微力を捧げたが、成果を挙げる事ができたかどうか自己評価してみたい。

### 1) 地方活動の活発化とそのための財政措置

在来の伝熱セミナーを今限りで廃止し、地方グループごとの企画にゆだねることが進められ、関東地方グループ主催のサマー・サマー・スクール「夢伝熱元年：新世代の鼓動」（1989年7月24～25日）などが企画された。本会の財政状態に格別の変化が期待されるわけもないので、セミナー開催のための費用は、地方連絡幹事の幹事会旅費等を含めて、一定額を各地方グループの自由使用に任せることとした。

### 2) 小規模国際会議の企画奨励

1989年6月28～30日に札幌で開かれた第2回寒地圏伝熱国際シンポジウムのような中小規模の国際会議の開催を奨励するため、多少の補助金の支出も可能であるので、企画を幹事会に提出願うこととした。

### 3) 会員の増強

平成元年3月現在、個人会員1055名、学生会員98名、維持会員39社（52口）であり、全般的なトレンドとしては少しずつながら増加傾向にある。減少傾向を嘆く学会が世の中に多い中で、このことは喜ぶべきことであり、地道な努力を続けることが大切であろう。

### 4) 幹事会経費の削減、幹事構成の再検討

幹事会出席のための幹事旅費が当会会計のかなりの負担となっていることに鑑み、今期幹事会で、地方連絡幹事による常任幹事制度的な運営を議論した。しかしこのような方式は地方グループ活動の活発化に逆行するおそれもあり、従来通り年4回の幹事会を開催して運営を進めることとした。

#### 5) 学術賞、技術賞の設置

研究会活動活発化のために、別項掲載のような経緯で、今27期から日本伝熱研究会学術賞、同技術賞を設置することとし、総会の席上で贈呈した。基金を拠出して下さった先生方に厚く御礼を申し上げる。今回をきっかけとして斯道奨励のために多くの拠金が寄せられることを願っている。

以上あまりまとまったことも出来なかったが、次期会長、副会長（無任所）には、かねて尊敬申し上げている藤井哲（九大）、相原利雄（東北大）両先生をお迎えすることが出来、また事務局担当副会長は有能な黒崎晏夫（東工大）先生にバトンが渡され、磐石の布陣となった。会員の皆様の一層の御支援、御協力をお願い申し上げ、日本伝熱研究会のますますの発展を祈りつつ、退任の挨拶とさせて頂く。

「日本伝熱研究会学術賞・技術賞」の創設にあたって

第27期会長 平田 賢（東大）

昭和63年6月1日付書簡により、日本伝熱研究会第17期会長森康夫先生から、「日本における伝熱研究のますますの発展を鼓舞する」ため、伝熱に関する優れた学術研究論文の表彰を目的とする「貳百万円」の拠金のお申し出を受けた。かねてより、このような賞の存在を夢に描いていた者として、早速幹事会にお諮りした。当初、森先生からは、i) 寄付者の名前を公表しないこと、ii) 論文は伝熱現象を主体とするものに限定すること、などの御要望も寄せられていたが、越後事務局担当副会長の御努力により、幹事会の意向との調整がはかられ、最終的に平成元年1月の「伝熱研究」誌上に発表された公募要綱（Vol.28、No.108、p.197）のような形にまとまった。本研究会にとっては初めてのことであり、今後細部の変更等は予想されるものの、実行に移すことを急いだけである。同時に、前年度、ある民間の研究所より寄付頂いた「百万円」を基金に、技術賞も併設することとし、極めて望ましい形の日本伝熱研究会賞が創設されたと考えている。

要綱にあるように、学術賞の対象は、「原則として日本伝熱シンポジウムにおいて発表され、国内外の審査のある論文集に掲載された優秀な伝熱研究論文」とし、また技術賞は「原則として、日本伝熱シンポジウムにおいて発表された優秀な伝熱技術」とする。選考は、無任所の副会長を主査とする、副査1名、委員4名の「表彰選考委員会」（任期1年）を構成して行われ、第27期は藤掛副会長が選考委員長となって、多数の応募の中から以下の2件を選び、総会の席上、論文筆頭者に賞状と楯、連名者に賞状が贈られた。

昭和63年度日本伝熱研究会論文賞：

熊田雅弥（岐阜大）、河村隆雄（岐阜工専）、田中誠司（日本車輛）、馬淵幾夫（岐阜大）：「後向きステップ再付着領域の熱伝達の機構に関する研究」

同技術賞：

藤井雅雄（三菱電機）、瀬下裕（三菱電機）、山中晤郎（三菱電機）：「多孔台形フィンを用いた空冷放熱器」

今年度は時間的な制約もあり、学術賞は1件のみであったが、次年度以降は2件程度に贈呈することとされている。

今後、このような趣旨の拠金が増え、賞の件数をどんどん増やすことが出来れば喜ばしい。それらがきっかけとなって、伝熱研究の量と質がますます向上して行くことが期待される。

「日本伝熱研究会学術賞・技術賞」選考のいきさつ

表彰選考委員会 主査 藤掛賢司

この度、学術賞・技術賞の創設に伴い選考委員会主査として、その選考に携わったので、そのいきさつについて簡単に述べさせていただく。

まず、伝熱研究Vol.28, No108 (89年 1月) の誌上に掲載された「日本伝熱研究会学術賞・技術賞に関する覚え書」について少し触れておきたい。88年 9月の幹事会において、平田会長より、森康夫先生および粟野誠一先生のお申し出により、学術賞・技術賞を創設したいむねの提案がなされ、賛成多数でそれが決まった。これを受けて事務局において覚え書案が作製され、各幹事に88年12月の幹事会に先立って配布された。そして、12月の幹事会では地区幹事から覚え書案についての各地区の意見が紹介され、かなり活発な討論がなされた。その主たる討論事項は、

i) 選考対象論文および技術は日本伝熱シンポジウムで発表されたものであることは当然として、審査のある学会の論文集に掲載された論文であることの必要性について …………… 結局、覚え書では「原則として国内外で審査のある論文集に掲載された……………」と必ずしも論文集に掲載されていなくても良いことになった。

ii) 選考対象論文および技術の伝熱シンポジウムでの発表時期について …………… 今回は最初ということでその時期を限定しないことになった。

iii) 選考対象分野を限定することについて …………… 限られた分野に偏らないよう、伝熱シンポジウムの全分野を対象とすることになった。

iv) 賞に特定の個人名の冠を付けることについて …………… 今後のこともあつて付けないことになった。

などであった。選考委員会については原案通り、副会長(無任所)を主査とし、副査1名、委員4名で構成し、審査・選考方法は選考委員会が「審査・選考方法内規」を定めて、これにより行なうことが承認されたが、上記のi)～iv)について必ずしも意見の一致をみたわけではなかった。しかし、89年 1月の伝熱研究誌上に覚え書と学術賞・技術賞公募の会告を掲載しないと、仙台での伝熱シンポジウムには間に合わないという時間的に非常に切羽詰まった状況にあったので、やむなく12月の幹事会后、会長、副会長、選考委員会の主査、副査が幹事会の意見を尊重しながら、協議により覚え書案を修正し、とりあえず伝熱研究に「日本伝熱研究会学術賞・技術賞に関する覚え書」として掲載するとともに、89年 2月の幹事会で事後承認を得ることになった。時間的に切羽詰まっていたとは言え、幹事会で事後承認という手際を行なつ

たことについて、幹事の皆様に誌上を借りて深くお詫び申し上げます。

12月の幹事会后、ただちに副査1名および選考委員4名について、学識経験豊かで、公平な立場で審査でき、かつ研究分野、産・学および地区に偏らないように人選し、平田会長、越後副会長のご諒解を得て、それぞれの方に選考委員をお願いし、快諾を得た。その後、主査、副査が協議して、具体的な審査・選考の方法についての内規を作製し、平田会長、越後副会長の承認を得た。

以上の学術賞・技術賞の公募、審査・選考に関する準備が出来上がったのが2月上旬であった。とにかく、今回は十分検討し、協議するだけの時間的余裕がなく、見切り発車してしまったというのが正直な気持ちである。

一方、3月末日の学術賞・技術賞候補推薦の締切日までにどれだけの論文が集まるかが心配であった。とくに、今回は伝熱研究の誌上に覚え書と公募の会告が掲載された程度で、会員の皆様によく理解していただけないところもあるかもしれないし、会告に気付かない人もおられるだろうということで、もしかして、推薦論文が非常に少なかったときにどうするかと大変気になる時期もあった。

幸い、3月末の締切日までに学術賞候補として13件、技術賞候補3件と多数の推薦をいただいた。この数には、選考委員から推薦いただいた学術賞候補8件、技術賞候補2件が含まれている。学術賞の13件を分野別に見ると強制対流3、自然対流2、凝縮2、沸騰1、ふく射1、熱交換器4と多分野にわたっている。また、技術賞候補は計測技術1、熱交換技術1、しゃ熱技術1であった。

4名の選考委員には上記学術賞、技術賞の一覧表、推薦書、論文一式を4月上旬に送付し、慎重かつ公平な審査をお願いした。その審査結果は「前述の審査・選考方法内規」により、学術賞1位～3位、技術賞1位～2位についてのみ所定の審査結果通知書（1件1様で順位、論文題名、順位の理由等記入）により、主査までご連絡いただいた。学術賞として1位～3位に評価された論文は数件に集中し、また技術賞については4名の委員が一致して高く評価された技術があった。

最終選考は、この各委員の評価の高かったものの順に主査と副査が協議した結果、複雑な伝熱機構の解明という地道な研究を、独創的な計測技術をもとに実験的手法により、興味ある新しい知見を得ている点で学術賞を受けるのに最も相応しいということで、熊田雅弥（岐阜大）、河村隆雄（岐阜工専）、田中誠司（日本車両）、馬淵幾夫（岐阜大）の「後向きステップ再付着領域における熱伝達の機構に関する研究」が決まった。ちなみに、本研究についての各委員の評価を総合すると1位～3位と評価された数件中最上位であった。残りの数件については、何れも立派な論文であったが優劣がつけにくいことから今回は学術賞1件のみとした（覚え書には2件程度となっている）。

つぎに、技術賞については基礎研究の積み重ねによって、伝熱性能の優れた実用性の高い熱

交換器を開発したとして各委員が一致して高く評価した三菱電機の藤井雅雄、瀬ト裕、山中陪郎の「多孔台形フィンを用いた空冷放熱器」と決まった（覚え書には1件程度となっている）。

学術賞・技術賞の決定後、直ちに平出会長、越後副会長に連絡し、表彰状および楯の製作をお願いした。4月末のことであった。楯の製作は東工大の土方先生に大変なお骨折を願った。そのお陰で、仙台の伝熱シンポジウムで会員諸兄がご覧になったように、日本伝熱研究会の学術賞・技術賞に相応しい立派なものが出来上がった。この楯は製作個数が少ないこともあって、かなりの費用がかかった。そのために当初できれば金一封もと考えていたが、元本を取り崩しても無理であることから儚ない夢におわった。

おわりに、據金いただきました森先生、栗野先生および短い期間に16件もの論文を審査していただいた選考委員の方々、最後までなにかと御尽力賜った副査の先生に厚くお礼申し上げるとともに、これらの賞がこれからの伝熱研究を質的にも向上させる刺激剤となり、日本の伝熱研究を増々発展させることを期待したい。



## 第1回日本伝熱研究会学術賞を受賞して

熊田 雅弥（岐大工）

5月の初旬に、前副会長の藤掛さんより表題の日本伝熱研究会森康夫学術賞に選考されたことのご連絡を頂いた。その時は非常に光栄なことで喜び、同時に恐縮した次第です。受賞式である今第26回シンポジウムに出席の車中で、仙台に近づくにしたがい緊張感にとられ始めた。それは、どうして私たちのような地方大学でほそぼそと研究しているものが選考されたのだろうかという疑問でもありました。しかし、その理由は知る由もなく、ただ地方大学の研究者が地味ちに努力をすればという励ましの意味と理解せざるをえなかった。森先生の御意志をお伺いしていませんので、もし誤解であるということであればお許し頂きたい。しかし実際総会で表彰され、諸先生方のお祝いのお言葉を頂き、ますますその感を強くしました。以上が編集委員長より表記題で感想を書くようにご連絡を頂くまでの率直な気持です。

私たちの受賞の対象になった論文・研究は、「後向きステップ再付着領域の熱伝達機構の研究」ですが、この研究を始める直接の動機は、今から思うにこのような結果になるとは夢にも思わなかったのですが、森先生らの「はく離流再付着点近傍伝熱特性の時空間的微小構造解明の研究」（機論，52-481,B(1986),3353.）の論文です。この論文は、後向きステップのはく離・再付着点近傍の伝熱機構について、導流板によって再付着点を固定化することによって得られた再付着点近傍の熱伝達率分布より、“普遍性を有する唯一”の瞬間的な局所熱伝達率分布を仮定し、それと再付着点のランダムな移動とを統計的処理をすることによって時間平均伝熱特性が定められるという、従来より熱伝達率の時間平均特性に終始していたこの分野の研究に画期的な飛躍を与えるという独創的な研究でした。

一方、私たちが以前行なったコアング効果を伴う衝突噴流に関する研究で、再付着点近傍の熱伝達率分布が再付着距離によって変化するという結果を得ていたことを考慮して、上記論文の前提の妥当性に疑問をもち、それを確認するため瞬間的な空間的熱伝達率分布を計るべく応答性の良い薄膜の熱流束計を開発し、それを多数配置することによって時空間的熱伝達率分布を測定し、再付着点の移動との相関において議論した研究が受賞の対象論文の主たるものであります。その得られた結果は、自然のはく離・再付着流の現象は極めて三次元的で、その瞬間的熱伝達率分布は再付着点の移動によって複雑

に変化するが、その同所分布特性ははく離泡の形成・離脱と密接に関連した周期性を有することや従来の時間平均最大熱伝達率の位置が時間平均再付着点の1ステップ高さ上流に位置することの機構などが明らかになったことです。勿論、本論文で全てが解明された訳でもありませんし、まだまだ流動場との相関など残された問題もありますので、現在センサーの小型化と性能改善を計っている状況でありまして、詳細な熱および流れの三次元性の測定を含めて実験を継続していく予定です。

このような結果は、直接的には新しく熱流束計を開発するという私たちの研究室の今までの測定技術のポテンシャルを省みない無謀な試みより得られたものですが、内心では大先生の研究に匹敵する成果をという目標が良い結果を生み出したものであります。したがって、今回の受賞とその研究の動機に因縁めいたものを感じます。今は立派な賞状と楯を前にして、先輩の諸先生をさしおいてこの賞をえた者としてその重責に多少息苦しさを感じています。特に私たちの研究室の主たる課題が单相強制対流熱伝達でしかなく、この分野の研究テーマの枯渇が叫ばれ、また一方より一層の計測技術の開発が要求されている状況を思うと。しかし、このような栄誉を与えられる機会をおつくり頂いた森先生に感謝するとともに、今後一層の努力をしていくつもりであります。

いずれにしても、仙台は私が最初に参加した第3回の伝熱シンポの地でもあり、懇親会での御酒は最高でした。

藤井雅雄（三菱電機・中研）

この度は栄えある第1回日本伝熱研究会技術賞を受賞させて頂き、誠にありがとうございました。受賞者を代表しまして、書中ながら会員各位の皆様方に厚くお礼申し上げます。

さて、受賞の対象となりました「多孔台形フィンを用いた空冷放熱器」に関しまして、若干ご紹介いたします。先ずこの技術の要求されました背景について述べます。

私どもの所属しています部のいくつかの研究課題の中に

- (1) 電子機器やそれに用いられる半導体部品などの高密度実装化に伴う冷却方式（特に、空冷限界）の確立、
- (2) 空調機器における熱交換器の高性能化、

があります。これらを解決する方法として、低レイノルズ数域での強制対流伝熱促進法の開発が要望されていました。

Bergles ら<sup>(1)</sup>の伝熱促進法の分類をながめておりまして、まだ自分達の経験していない伝熱促進技術に「吸い込み・吹き出し」がありました。そこで、これを実用化するにはどうすればよいかをお互いに検討していたところ、ベンチュリー管を思い浮かべたわけです。

「そうだ！隣接する流路間で静圧差を作れば、流路間をまたいで流体が出入りするのでは？」

早速このアイデアを確認するために、図1に示した拡大・縮小流路を多孔面で作り、非定常熱伝達率測定法で確かめたところ、平行平板群に比べて飛躍的に熱伝達率の増大することがわかりました。<sup>(2)・(3)</sup>次に、簡単な解析と実験により形態パラメータの伝熱・流動損失特性への影響を求めました。<sup>(4)・(5)</sup>

さて、応用です。

熱伝達率の増大は流動損失の増大を招きます。とりあえず、その伝熱促進法の有用性を実証する必要があります。そこで、圧縮空気の利用できる電子機器冷却用放熱器へ先ず応用し、多孔台形フィンの有用性を実証しました。<sup>(6)</sup>

次に、空調用熱交換器への応用を考えました。<sup>(7)</sup>その有用性は明らかになりましたが、量産化技術を現在検討中です。

図2はLSI用放熱器への応用例です。従来の平行平板フィンに比して、その大きさを

約半分にてき、高密度実装化の可能性が確認されました。<sup>(4)</sup>

新しい伝熱促進法は原理的には確証されても、その実用化となると、量産性、経済性など様々な問題に直面します。それを克服するには、「どうしても実用化してやる」という執念が要求されます。

現在のところ実用化を先行し、とりあえず設計に使える伝熱・流動損失特性に関する無次元整理式は求まりました。<sup>(5)</sup>しかし、その伝熱促進機構は、吸い込み・吹き出しの効果や流体混合などが考えられますが、正直なところ明確ではありません。

今後とも本伝熱促進法の応用範囲の拡大と機構の解明を続けていくつもりです。会員各位のご指導とご教授の程よろしくお願い致します。

懇親会の席で多くの方々からお祝の言葉を頂戴しました。本当に心から喜んで頂きました。本技術賞の重みが今後益々増大するように、伝熱研究会が益々発展することを心から祈るとともに、私どもも微力ではありますが、尽力していきたいと考えております。

本当にありがとうございました。

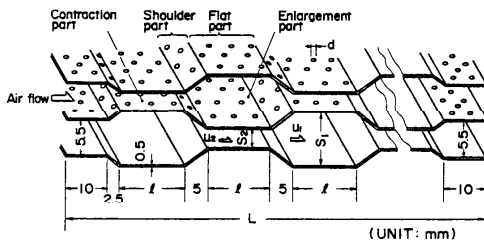


図1 多孔台形フィン<sup>(5)</sup>

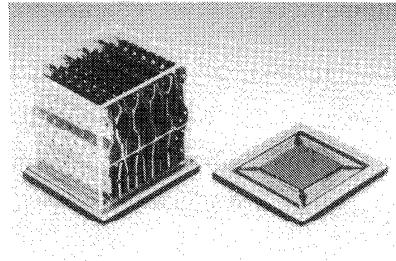


図2 LSI用空冷放熱器 (右: LSI内部)

#### 参考文献

- (1) A.E. Bergles, R. L. Webb, G. H. Junkan, Energy Vol.4, (1979), 193
- (2) 瀬下, 藤井, 山中, 第23回日本伝熱シンポジウム講論, (1986), 346
- (3) 瀬下, 藤井, 山中, 機論, 53-493 (昭62), 2829.
- (4) 藤井, 瀬下, 山中, 第24回日本伝熱シンポジウム講論, (1987), 519
- (5) M. Fujii, Y. Seshimo, G. Yamanaka, Int. J. Heat Mass Transfer, 31-1 (1988), 135
- (6) 藤井, 瀬下, 上野, 山中, 機論, 54-503 (昭63), 1749
- (7) 藤井, 瀬下, 山中, 吉田, 佐久間, 第25回日本伝熱シンポジウム講論, (1988), 169
- (8) 藤井, 池内, 小原, 第26回日本伝熱シンポジウム講論, (1989), 358

## 第26回日本伝熱シンポジウムの特集にあたって

「伝熱研究」第28期編集委員長 服部賢（長岡技科大）

北国の爽やかな気候のもと、第26回伝熱シンポジウムは平成元年5月31日～6月2日の3日間仙台市の宮城第一ホテルで開催され、例年に増す盛会の裡に終了しました。ここにいたる間、準備委員長の東北大学永井伸樹先生をはじめ、準備・運営にあたられた諸先生方の大変な御努力の程が拝察されます。初日の5つの特定テーマセッションやEvening Lectureも好評でありました。

今年の伝熱シンポジウムでは講演論文集が3分冊になりました。論文集の分冊化は昨年、金沢での第25回伝熱シンポジウムから始まったことですが、このことはわが国の伝熱研究の隆盛のほどを如実に物語っています。このシンポジウムは全国の伝熱研究に携わる方々が一同に会し、その研究成果を公表し、討論を尽くす場であります。同時にわが国での伝熱研究の動向を知る重要な意味を持つ場でもあります。しかし、300編におよぶ論文に目を通すことは容易ではなく、会場も5室となって講演の聴講も一部に限られる状況では、シンポジウムの全体を把握するようなレビューを行うことは「伝熱研究」誌にとってますます重要な役割になってきているように思われます。

本号はシンポジウムの特集としてここ数年の例に近い形で編集されました。セッションとして分けられた分野毎のレビューをそれぞれその専門の方々にお願ひしました。特に強制対流は講演数が著しく多かったのでお二方にレビューをお願いすることにしました。特定セッションはレビュー講演の内容が論文集に掲載されていないこともあって、各セッションのレビューアーの方々に内容を普通セッションより幾分詳しく書いていただくようにしました。Evening Lectureは講師の先生に伝熱研究会の会員と同じようにボランティアの執筆をお願いしたものです。これらの記事を通じて伝熱研究の趨勢、あるいはシンポジウムの雰囲気を感じていただければ幸いです。

今期の編集委員会はシンポジウムの最終日6月2日に発足しました。編集委員長は非才の身には余る大役ですが、幸い地方連絡幹事8名の有能な方々に実務を担当いただけます。新旧編集委員の交代時期とシンポジウムの開催日そして7月発行の関係で、極めて短時日の間に企画、執筆依頼からシンポジウム、そして原稿の締切ときびしい日程でありましたが、執筆者その他関係の方々に快くご協力戴き本号の発行に至りました。記してお礼申し上げます。

## 第26回日本伝熱シンポジウムを終えて

### 第26回シンポジウム準備委員長

永井伸樹（東北大学）

第26回シンポジウムは、5月31日～6月2日の3日間にわたり、仙台市宮城第一ホテルの5会場を使って開催された。会期中参加者は739名を数え、280編の論文発表があつて終始活発な討論と親密な交流が行われた。

年一回のお祭りに半数以上の会員が参加したことは日本の伝熱研究の隆盛を示すものであり、会長はじめ幹事の方々、本部事務局並びに参加者各位のご厚意とご協力によって大過なく終了できたことに対し、紙上心から御礼申し上げる次第である。

東北研究グループが準備委員会を組織し、太田連絡幹事を中心とした若手ワーキンググループがそれぞれの役割を分担して準備に着手したのは、昨年の第25回シンポジウムが終了した直後であった。仙台開催は今回で4回目となるので、過去3回の経験を生かし、また最近の伝熱研究の趨勢もふまえて、シンポジウムにどんな特徴を盛り込むかが重要な検討課題となった。ワーキンググループは頻りに会合をもって検討を重ね、綿密な計画を立ててそれを実行に移していった。

26回の歴史を持つようになったシンポジウムではあるが、論文数の増加に伴う会期と会場数との兼ね合い、おもに参加費によって賄われる予算運用など、準備委員会が苦勞して解決しなければならない多くの問題点が指摘されていた。

当初考えていた大学の教室はウィークデーのため使用不可能となり、市内の公共施設はいずれも必要規模の会場を確保することが困難なため、結局ホテルを利用することに決した。会場となった宮城第一ホテルは、交通、食事等の便がよく、必要なサービスが得られるので、準備委員会がこれらに多大のエネルギーを費やされることなく講演会業務に専念できる利点があつたし、ホテル側もサービスや諸費用について全面的な協力を惜しまなかつたので、何とか公共施設利用とほぼ同じ予算で済ませることができた。

シンポジウムプログラムの作成と論文集の編集も主要事項であつた。過去のシンポジウムで取り上げられたいろいろな試みを比較検討した結果、今回は従来のセッション構成による学術講演のほかに、最近の話題に関する萌芽的な伝熱研究を取り上げて、5件の特定テーマセッションを設け、さらに特別講演の代わりに、伝熱と関連する分野の話題提供として2件のイブニングレクチュアを盛り込んだ。

論文集については、参加者の利便を配慮して一日ごとに使い分ける3分冊とし、表紙には仙

台の藪の色を採用してデザインも変えることにした。担当者一同は新機軸を打ち出したと考えているが、各位の評判はどうだったのだろうか。

講演会場の設営と運営は仙台方式として自他ともに認める方法に拠った。アルバイト学生は各会場に3名を配し、教官1名を責任者にあてて、講演がスムーズに行われるよう配慮し、スペースに余裕のある1会場を除く他の会場では、出席者の増減を察知しつつ適宜机と椅子を入れ換えながら、それぞれ100名以上を収容できるようにした。

懇親会はお祭りに欠かせないメインイベントである。準備委員会はむしろ楽しみながらこの計画を進めていった。十分にゆとりのある会場でしかも良い雰囲気を出すことを心がけ、少ない(?)会費で採算も採れるように努力した。当夜は280名以上の出席者があって盛会となったのは嬉しい限りである。

ともあれ何とか責任を果たし終えた東北グループの関係者一同は、ほっとする間もなくまた日常の研究生活に戻っていった。広い東北地方に分散していても常々交流を欠かさないので、グループ親密さは他に誇れるところであり、それがシンポジウム開催にあたって、多土済々のメンバーが一致団結できる強みになっている。また東北研究グループには「年寄り若者の企画、運営には口を出さない」という貴重な伝統がある。これは先達、先輩諸兄が培ってきたものであり、今回若手メンバーが自由に構想して行動することができた背景には、先輩の先生方のご好意と併せてこの伝統が生かされていたことを言及したい。

第27回シンポジウムは来年名古屋で開催されることになった。年々盛んになっているシンポジウムではあるが、反面、会期、会場、予算面などに関する難しい問題を抱えるようになっていることも事実である。東海グループ準備委員会の諸兄はこれらの困難を克服して立派なシンポジウムを企画、実行されるものと信じている。東北研究グループから熱いエールを送ります。

## 伝熱シンポジウム総務担当あれこれ

太田照和（東北大学）

金沢での第25回日本伝熱シンポジウム最終日に開催された幹事会で一応説明した次回仙台でのシンポジウム開催計画は745名という大変な数の参加者で吹き飛んでしまった。仙台に戻り大慌てで仙台中のホテルその他の施設に当たり、その一方で予算面から大学内での開催やむなしとも考え、実行可能かどうか詳細に検討して頂いた。100名は入れる部屋を5つ、3日間借り切りはホテルというホテルでとても無理と判明した。公共施設も小さな部屋をたくさん有しているものは見つかったがだめ。最後に打診し、こちらの条件を我慢していただいたのが、今回の会場となった宮城第一ホテルである。その前提は懇親会も同じホテルで行うこと。

次の問題は例年大盛況の懇親会における料理である。若くて食欲旺盛な参加者が最後まで食べて頂けるだけの料理(質と量の両面で)の用意である。それにしては参加者の総数は当日にならないとわからない。料理の当日追加は絶対無理というホテルの言い分もある。事前申し込み締切日はとっくに過ぎているのにぼつぼつと申し込みが届く。予算は不明のままである程度走らざるを得ず、松山・金沢の参加者数からあまり当てにならない予測と赤字を覚悟でホテルをお願いすることにする。料理の中身と量についてホテルの担当者とうたびに相談。これにほとんどの時間を費やしたといってもいいかもしれない(少しいすぎ)。

4階と5階の2フロアを使用するために、どちらにもコーヒールウンジを開店し、参加者がゆったりと談笑して頂くように依頼するが、採算はとれそうにもないこともあり難航する。その上安くしてもらおうよう頼むのだから始末に負えない。

会場の設営・運営は若い準備委員の先生方が大変精力的に立派にして頂いた。プログラム・論文集印刷はプログラム・企画担当の先生方が大変な時間をかけて準備をされた。総務・会計は少ない人数でやりくりして頂いた。心から感謝申し上げます。

3日間なんとか滞ることなく、無事終わることができ、種々助言を頂いた金沢の先生方、伝熱研究会事務局の皆さんに御礼申し上げます。



## 第26回伝熱シンポジウム開催を手伝って

黒川 政秋（東北大工）

今回の第26回日本伝熱シンポジウムでは、講演論文集作成を主に担当させて頂きました。雑用及び補助要員or兵隊程度の働きで良いと思っていたところ結構厄介な大役を分担することになってしまいました。講演論文集の出来（内容ではなく）は、いかがだったでしょうか？ 昨年の金沢での論文集と同じ形式、デザインにしてしまえば比較的簡単にいくであろうと目論んでいましたが、予想と願望とは裏腹に、準備委員会での活発な議論の結果大幅に変更することになってしまいました。その方針は、1) シンポジウムの日程が3日間であることと参加者携帯の便を考慮して3分冊とすること、2) 表紙デザインは、文字を小さく、かつすっきりとすること等となりました。1) は、目次、索引等の作成量が増加する程度（実質的には、これもかなり面倒であった）ですみましたが、2) の表紙デザインに関しては、無い知恵と美術センスを絞りかつ主に戸田先生の好みにより、大きく変更することとなりました。従来、仙台での伝熱シンポジウムでは論文集の色として緑色が基本（伝統？）でしたが、金沢の論文集に緑色が使用されたため新たに萩色（仙台萩からの連想）とすることにしました。

さて、論文集の表紙右下の図形は、何を意味しているか分かるでしょうか。この図形は、Sendaiのイニシャル、Sを表現しているつもりです。Sに見えないことはないと思いますが、尚、これは、水の水平円管内自然対流の数値解析結果で、 $Ra \sim 10^4$  の場合の等温線です。計算には、BFC系及びsimple法を用いています。境界条件は、下面加熱、上面冷却、側面断熱となっています。この境界条件下では、右回り、左回り、及び中心の上昇流と左右の下降流の3種類の対流モードが存在するため、左回りの対流が生じるように計算の初期に左回りの流速条件を与えています。

最後になりましたが、論文集の会場案内図で4階、5階が逆になっている等の間違いによりご迷惑をおかけしたことを紙上を借りてお詫び申し上げます。

## 第26回日本伝熱シンポジウム会場係頼末記

堀 豊（東北大工）

5月某日 ー ー 会場である宮城第一ホテルを下見に出かける。仙台では、収容人員の大きな施設が少ないため、総務系の先生方は会場選択には毎回苦勞するらしいが、今回の会場は駅の近辺ということで、近年のシンポジウム会場の中でも立地条件は最高のうちの一つではないかと思われた。

5月30日 ー ー 必要物品の会場搬入を実施した。会場到着後、講演者の方々に返却する論文原稿及び抜刷の封筒入れを行ったが、印刷所では抜刷論文を講演論文集の背表紙を切断したままの状態でごこしたため、各講演毎に振り分け作業をしなくてはならなくなってしまった。職員、学生総掛かりで作業を行ったが、2時間近くかかってしまい、設営を完了したのが午後11時近くになってしまった。特に、手伝いの学生諸君は深夜近くまで拘束してしまい、気の毒なことをしてしまったと思う。

5月31日 ー ー シンポジウム初日。午前中は、E室の会場係責任者として受付に座っていたが、前回の金沢に続いて今回もOHP主体の講演がほとんどであり、スライドの準備の必要がないため、受付係の仕事は非常に楽であった。ただ、E室ではスクリーンが他の部屋に比べ小さく、また部屋が縦長であるため、会場の後ろ側の聴講者には、スクリーンが見にくいものとなってしまったことが残念であった。第一日目の最後の特定テーマセッションは、部屋の後方に立見の人々が数十人いるほどの盛況であった。

6月1日 ー ー ー タイマーの電池がなくなり、あわててホテル下のスーパーに買いに行くなどハプニングはあったが、概して各セッションは平穩に終了していった。アルバイト学生は、指示する前に自らの判断で会場内の雑務をよくこなしてくれるため、会場係責任者の職務はほとんどなく、ゆっくりと講演を聞くことができた。

6月2日 ー ー ー 最終セッション終了後、搬出作業を行う。午後6時半より、シンポジウム開催に係わった人々の慰勞会が実施された。アルバイト学生を含め共に苦勞を分かち合った人々と飲む酒は、ことさらおいしいものであった。

以上、開催期間中にあった出来事を日記風を書いてみました。今回のシンポジウムが成功裏に終了できたのは、座長の先生方をはじめ講演者、参加者の皆様の御協力によるものであり、最後に深い謝意を表して筆を置きたいと思います。

## 第26回（仙台）伝熱シンポジウムに参加して

大原敏夫（日本電装）

名古屋から東海道新幹線と東北新幹線を乗り継ぎ、上野で休憩をはさんで約5時間、午後3時に仙台へ到着した。長旅と思われたが、それほどにも感じなかった。これも初めて乗る東北新幹線への興味のためか。大深度地下の上野駅にまず驚き、車室内のスペースや速度、騒音、乗り心地などあれこれ東海道新幹線と比べるうちに時間は過ぎた。

仙台は思い出深い。私が初めて伝熱シンポジウムに参加したのが、8年前のこの地である。当時はまだ会社に入社して間もない頃で、上司から「伝熱研究の第一線」を見てくるようにと言われ、一人で参加した。その時は聴講だけであったが、伝熱の第一線で活躍される有名な先生方を目の当たりにして感激するとともに、活発な質疑のやりとりに驚きを感じたものである。そして今回は、私にとってシンポジウムでの初めての発表の場となったことで、さらに印象は強くなった。SAEや機械学会など他の発表は経験していても、やはりこのシンポジウムの熱気あふれる雰囲気は独特であり、発表までは緊張した。

二日月夜の懇親会も盛大であった。「産官学の交流はめざましいが、大学と企業はそれぞれの立場と役割を明確にすべきだ」と述べられた次期会長のお言葉には考えさせられた。また、ある先生には「大学の研究は必ず産業界の役に立つはずである。大学へ派遣され、研究手法をマスターした企業研究者が、今後大学と企業の接点としての役割を果たさねばならない。」と言われた。共感とともに責任感を感じる。より深い専門知識と研究能力が要求される現在、こうした姿勢は企業にとって大変重要であると思う。

さて、今回の伝熱シンポジウム期間中は素晴らしい天気恵まれ、私も時間の合間をみては市内を散策した。緑あふれる並木通り、近代的な仙台駅、駅前の大立体歩道、しゃれた街路灯、広くカラフルな歩道、最新の地下鉄など自然と調和した近代的な都市ができつつある感を抱かせた。また、広瀬川のほとりから山の手にかけて、伊達正宗公の廟所である瑞鳳殿や見晴らしのよい仙台北城跡、政宗、春日局、松尾芭蕉の直筆など歴史的資料が多数保存される仙台市博物館など歴史的にも見ごたえのある場所が多かった。

最後に、今回の伝熱シンポジウムの準備と運営にあられた準備委員会の諸先生、ならびに関係者の方々に心から感謝申し上げます。

## 第26回日本伝熱シンポジウムに参加して

川端 克宏 (ダイキン機技研)

今回実に感慨深い思いを抱いて仙台でのシンポジウムに出席しました。と申しますのは、初めて学会たるものに参加して無我夢中の内に発表を終え、それまででない緊張と同時に開放感を体験したのが昭和56年この仙台の地で開催された第18回日本伝熱シンポジウムであったからです。そして第26回目を同じ地で迎えて盛会裡に終えた今、この間のシンポジウムの進展、企業の一研究者としての自分、政令指定都市となった仙台・・・様々な変化に思いをめぐらせながら筆をとっております。

さて、産官学共同研究のあり方について実に多くの場面で様々な立場の諸先生方の意見が目につれるようになりましたが、シンポジウムへの参加もその一環であるという認識にたてば、企業の若手研究者としての参加のあり方、あるいは今後に対する要望などについて少しは考えざるを得ません。おそらく編集委員長よりの執筆依頼もこのあたりを意図されてのことと勝手ながら解釈しています。このような観点から今回のシンポジウムに参加して感じたことを思い出すままに以下に述べたいと思います。

周知のように企業の研究は多くの場合、製品開発と密接に関連しているため、参加、特に発表の際には時期、内容その他企業の方針によってある程度の制約を受けます。私自身もここ3年続けて熱交換器のセッションで発表させていただく機会を得ましたが、発表するからにはできるだけ企業らしい発表をしようと自分なりに心掛けてきたつもりです。ここで企業らしい発表とはどんなものか明確にはわかりませんが、私は製品化されたもの、その途中段階あるいはされなかったものにかかわらず、少なくとも研究の背景、狙い、対象そして可能であれば関連技術(対象物)トレンドなどについては明確に言及すべきであると考えています。つまり、学術的な完成度よりもむしろ産業界の技術開発の方向性を示唆することが私達の参加における責任の一つではないかと感じています。最近の企業からの発表内容を概観するとこうしたことが首肯されるものと思います。ただシンポジウムにおける企業側の発表、参加が増加傾向にあるとはいえ、まだまだ少ない現状にあることは事実です。企業の発表が増えれば当然企業からの参加者も増え、シンポジウムも今以上に活性化されるでしょう。確かに伝熱シンポジウムのイメージは学術的で基礎研究的要素が強いため、一般の企業研究者にとっては参加しにくい面があると思います。しかしながら一方では全国の伝熱研究者が一堂に会する迫力、アカデミックな雰囲気、緊張感そしてすばらしい会場は参加者

にとって大きな魅力であることはまちがいありません。私はこのような伝統を生かした上で企業からの参加が増え、たがいに有益な情報交換の場となれば、伝熱シンポジウムは本当にすばらしいものになると思います。

その一つ的手段として一般セッションの他に企業側からの問題提起の場あるいは逆に学界側からの研究PRの場となるようなセッションの設置が考えられます。できるならばポスターセッションのように当事者同士がフランクに議論できるものが良いと思います。こうした考えの根底には、通常の発表では十分な討論ができない現状があるからです。

また前刷集についてですが、私たちは緒言の内容に非常に関心をもって拝見しています。といいますのは自分のテーマの推進に役立つ研究、あるいは新しいテーマ提案につながるような研究の情報を把握したい気持ちがあるからです。そういう意味でたとえ基礎的な研究であっても、緒言の中に目的の他にできれば考えうる産業上の利用分野について一、二行付け加えて頂ければ研究内容の理解ももっと深まると思います。

それから懇親会に出席して感じるのですが、出来るだけ多くの同年代層の研究者と知り合って様々な話をしたいと思っても、なかなかそのきっかけがつかめず、結局顔見知りの方々との歓談に終わり何かもの足りなさを感じる場合があります。そこで誠に勝手な提案で申し訳ございませんが、部屋の片隅にでも若手研究者向けのテーブルを一つ設けて頂くことはできないでしょうか。そうすれば何となく産官学の枠をこえた交流がおのずと生まれてくるような気がするのですが。

以上勝手なことを思いつくままに申し述べてきました。浅学非才ゆえとお許し下さい。最後になりましたが今回のシンポジウムの準備と運営に御尽力くださいました関係者の方々に感謝いたしますと共に来年度の成功を心よりお祈り申し上げます。

## 第26回日本伝熱シンポジウムに参加して

池上 康之 (九州大院総合理工)

私が伝熱シンポに参加するのは、金沢に続いて二度目であるが、一段とパワフルでインパクトの強いシンポジウムとなった。特に、新しい分野でのR&Dに対する期待と責務が、大きい熱伝達係数を伴って若手の研究者へ伝わってくる感があった。今回の伝熱シンポでは、私が注目していたセッションが3つあった。まず、私の講演論文が含まれている『エネルギー利用』、専門としての『凝縮』と『沸騰』、それと特定テーマセッションの『マイクロ伝熱学』である。そこで、私にとって印象に残ったことを少し綴ってみたい。

第一日目、8つの特定テーマセッションの中のひとつ『マイクロ伝熱学』は、聴講者で入りきれない程の盛況であり、多くの研究者がこのテーマに寄せる関心が熱気として伝わってきた。分子熱工学研究会の先生方をはじめ、これまで凝縮・沸騰・自然対流など伝熱学を第一線でリードしてこられた著名な先生方が数多く出席され"これからの伝熱"についての活発な討論を見ていると、新しい伝熱学の足音を感じずにはいられなかった。ひとつビックリしたことは、この研究のリーダーシップをとられている小竹先生が私の席の隣に座られたことである。特別客員教授として九大に見えられているときに少しお話をしたことがあったが、このテーマに関する感想を先生に話すと"たくさん質問して下さい!"と言われ、慌てて講演論文集に目をやった。しかし、こうした講演会の合間や懇親会などで著名な先生方とお会いできるのもこの伝熱シンポの魅力である。このセッションの冒頭で小竹先生が、この研究の展望とともに、"これからこのような伝熱の問題に対してソフトな若い研究者達にどんどん解決してもらいたい。"と言われた言葉が印象的だった。

『凝縮』と『沸騰』のセッションでは、伝熱シンポにふさわしい活発な討論があり、先生方の"プロ意識"と、独特の緊張感を強く感じた。そして、各講演内容は私の期待を裏切らなかった。

私の講演論文のセッションである『エネルギー利用』は第三日目であり、しかも、最終日の最後のプログラムであった。一年間の成果を発表する絶好の機会であるが、この時間では聴講者が少ないのではないかと若干の不安があった。しかし、D室に入ると予想以上に多く、最後のセッションとあってたくさん質疑応答があり感激した。こうして、自分の研究に対する多くの人の関心を直に肌で感じると、来年度へのパワーが沸いてきた。

最後に、本シンポジウムにご尽力下さった準備委員会の諸先生方に心からお礼申し上げます。また、今年度は藤井先生が会長に就任され、本研究会のいっそうの輝かしい発展を希望してペンを置きたいと思います。

## 1. はじめに

微小重力環境を材料プロセスに利用する試みが行なわれたの一体何時ごろからであろうか。スペースシャトル以前では、NASAのMSFC(Marshall Space Flight Center)とLewis Research Centerにある落下搭や航空機(KC-135)の弾道飛行を利用してタンク中の液体燃料の挙動の解析が精力的に行なわれていた。材料実験としては偏晶合金(Ga-50%Bi)の均一分散がMSFCの落下搭で試みられていた。いずれも微小重力の持続時間は短く、ことに落下搭では数秒であるため十分な成果が得られていないことは言うまでもない。周知のように今世紀末には、アメリカ、ヨーロッパ、カナダ、日本の共同開発による宇宙基地が運用されようとしている。しかしながら微小重力環境を有効に利用するための浮遊、位置制御等の技術の基本は落下搭で得られたものであり、安価な装置で繰り返し行なえるという特色は宇宙環境利用の体制がどんなに整備されようとも捨て難いものといえる。我が国においても持続時間が10秒という世界最大の落下搭の建設が現在進められており、宇宙基地利用のための予備実験としてはもとより、極めて良質な微小重力環境を利用した実験に近い将来可能になる。これらの微小重力環境の利用手段の整備は、一方で我が国の宇宙環境利用の研究体制を早急に充実させる必要を生じさせるが、その点になるといささか心許なく多くの問題点を抱えている。微小重力環境が材料プロセスにおよぼす影響については詳しい解説(栗木恭一著、「宇宙環境の利用」、昭和63年、丸善)を参照して頂くとして、本稿では我が国の宇宙環境利用の現状と材料実験に関しての問題点について触れる。

## 2. 我が国の宇宙環境利用の現状

表1は我が国の宇宙環境利用推進プロジェクトの里程を示している。宇宙基地(JEM)は今世紀末から運用が開始される。問題は研究者の側にある。現在提案されている実験課題は宇宙基地の恒久的(~30年)な運用を考えると質、量ともいささか頼りない。理由は二つ考えられる。一つは過去に経験がないこと。もう一つは10年後のテーマを明確に描くことが出来ないことである。これは大学関係者にとっては深刻である。何故なら大学の研究のアクティビティーは大学院学生に負うところが多く、したがって一つの研究は2~5年を単位とするからである。また宇宙基地開発に投じられる膨大な予算を考えると研究者が躊躇するという側面も見逃すことができない。宇宙基地計画が提案されて以来今日まで若干盛り上がりや欠きらいがあるのはこのへんに原因があるものと思われる。

表1 宇宙環境利用推進プロジェクト マイルストーン

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
JEM開発		開発基礎試験			EM		PFM		
実験系	概念設計	予備設計	基本設計	詳細設計					
共通実験技術		概念設計		地上実験					
地上実験						運用			
航空機実験						運用			
ロケット実験						運用			

JEMと併せて搭載実験装置および共通実験技術の検討も進められている。具体的な実験課題が未定な状況での装置の検討は本末転倒ではあるが、JEMの設計には搭載装置の概念が必要である点に自己矛盾がある。また共通実験技術とは宇宙基地を利用した実験に共通的に求められる技術であり、例えば温度の精密な制御、現象の観察手法等である。当然ながら実験装置の開発を前提としており、それらの装置の要素試験、機能試験は具体的な実験を遂行をもって判断される。要約すれば、宇宙基地計画の推進には利用者である研究者の意見が反映されなければならないし、またそのためには研究者側の研究体制、利用体制を早急に確立する必要があることになる。

幸いなことにこれらの利用手段の整備と共に、文部省の宇宙基地基礎実験費、科学技術庁の科学振興調整費をベースとした計画研究が既に開始されている。さらに将来の宇宙環境の商業利用を目指した財団の設立等、我が国の宇宙環境利用体制もようやく緒についたといえる。図1は我が国の宇宙環境利用体制を示している。大学関係でいうならば宇宙科学研究所に設けられた宇宙基地利用研究センターが上記の宇宙基地基礎実験費をもとに実験提案の取りまとめと宇宙利用の総合シンポジウム(宇宙利用シンポジウム)を主催している。民間からの提案は宇宙環境利用推進センター(JSUP)がその役を果すことになる。また無人宇宙実験システム開発機構(USEF)は1993年に打ち上げが予定されている無人宇宙実験室(フリーフライヤー)の開発、運用、整備に当たることになる。研究者側の受け皿としては日本マイクログラビティ応用学会の充実が図られ、既存の学会にはなかなか整合しにくい情報、例えば地上ベースの予備実験、装置開発、さらには実験の大失敗例も積極的に取上げる体制になっている。あとはどのような実験を計画するかである。



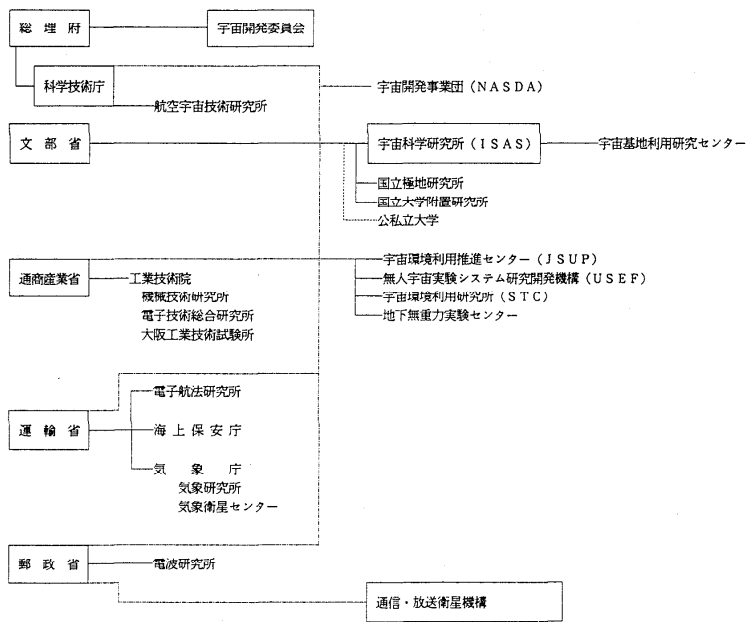


図1 我が国の宇宙環境利用体制

### 3. 我が国が積極的に推進すべき実験分野

これまでに提案されている宇宙材料実験は大別すれば図2のように分類される。流体の挙動から高品位結晶の育成、さらには浮遊、位置制御等の微小重力環境を有効に利用するための要素技術に至るまで、考えられるすべてが提案されていると言っても言過ぎではない。諸外国の動向を見ると、材料実験に熱心なヨーロッパでも多数の実験が行なわれ計画されている半面、流体の挙動の実験、解析を中核とした課題に固まりつつあるように見受けられる。宇宙開発途上国である我が国では一体どんな分野を狙ったらよいのだろうか。

宇宙環境を利用した材料実験は、幾つかのステージに分けられる。第一は微小重力環境とはどのようなものであるかを知るための理科学的な実験であり、以前に朝日新聞社により行なわれた水滴に鋼球を打ち込む実験はこれに該当する。第二は微小重力環境により引き起こされる諸現象の解明であり、マランゴニ対流、固液界面の安定性の変化等、工学的応用というよりは科学的な色彩が濃い実験といえる。第三は新しい材料、新しい製造プロセスの開発に関するものであり、もとより第二の科学的実験がその基礎となることは言うまでもない。我が国の現状は、既に述べたように種々の利用手段の整備が進行している段階であり、利用体制も整いつつある段階といえる。ただし、個々の研究者が直ちに宇宙にアクセスできるとは言い難く、当分は主として第二の科学的な実験を通して微小重力環境を経験する必要があるだろう。このような観点からこれまでの実験を眺めた場合、ほとんどは「何かいいものを作る」ということに主眼を

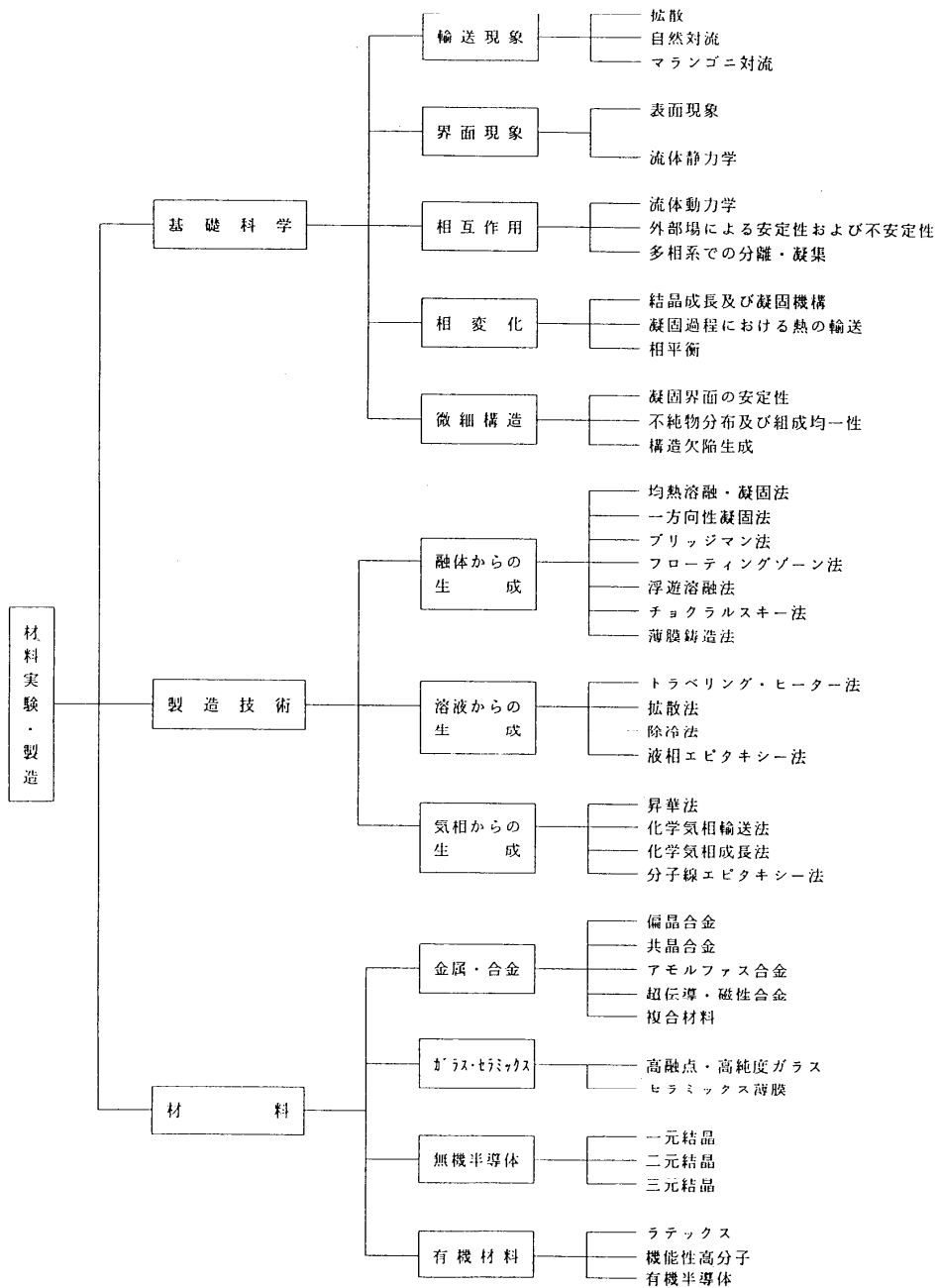


図 2. 宇宙材料実験の体系化

置いていた。しかしながらその期待は多くの点で裏切られてきたといえる。これは発想が直感的に過ぎたというよりは、宇宙実験は非常にコストが掛かるという経済性に原因の多くがあったように思われる。また微小重力環境を利用する要素技術が未熟であったことも見逃すことはできない。「無容器溶融による結晶成長」や「微細分散合金の製造」といった研究は、界面張力の影響、相分離メカニズム等の基礎科学の重要性をクローズした。見方を変えるならば、幾つかの先駆的な実験を行なうことによって、はじめて問題点の掘り起こしができたといえよう。

「何かいいものを作る」という発想を変えることは、宇宙実験の仕方を変えることとなる。実験試料は「実用的」材料から「模擬的」材料へと変わり、また実験装置も単純な電気炉から起きている現象を同時に捉える「その場観察」的手法を組込んだものへと変わってくる。軌道上の「その場観察」は宇宙で作った結晶を地上に持帰って解析するのに比べて対象に限られる等の制約が多いが、界面での分散相の挙動、液相中の流れの影響がin situで調べられる、また擾乱の影響も捉えることができる等々で実験機会が極端に少ない現状では、前者を優先するのは当を得ているといえよう。宇宙開発途上国である我が国の材料実験は実験課題に特徴を求める必要はない。むしろ種々の実験から多くの情報が得られるような独創的な実験技術に特徴を求めるべきであるというのが著者の私見である。

#### 4. SFU(フリーフライヤー)を利用したその場観察実験

SFUは、宇宙科学研究所(ISAS)において、宇宙環境利用、天文観測等のための新しい手段として、以前より基礎開発研究が行なわれてきた。システム概念や開発のための技術要素が明らかになるに伴い、1987年度からISAS、MITI、NASAの三機関の合同プロジェクトとして正式に開発する運びとなったものである。

SFUの開発計画では、本体システムの開発に加えてミッション機器の開発も並行して進められている。材料実験もその一つであり、凝固、結晶成長のその場観察用の搭載機器の開発を行なっている。図3はそのための干渉顕微鏡装置(BBM)である。本装置は、振幅変調型光学顕微鏡とシュリーレン光学装置に加えて多色干渉顕微鏡を備えており、結晶表面の観察の他に結晶成長時の液相側の濃度と温度の定量的な測定が行なえるような構成になっている。通常のご二光束(マッハツェンダー型)干渉計に比較して軽量かつ振動に強く、レーザーホログラフィーよりも解像度の高い干渉縞が得られる点に特徴がある。搭載する実験としては、我が国の地上実験のポテンシャルが高い透明なモデル物質の凝固を検討している。本干渉顕微鏡装置は宇宙基地における共通実験技術の開発計画にも採用され、流体の挙動、凝固、結晶成長のその場観察の有力な実験技術になるものと期待されている。

宇宙基地を利用したこの種のその場観察実験としては、レーザードップラーによる流れの観察、ラマン分光による水溶液の構造解析等が俎上にある。また、メーザーロケットを利用した凝固過程の直接観察実験も着々と進行しており、我が国の宇宙材料実験はその場観察を中核と

した新しい展開が始まりつつあるというのが現状といえよう。

#### 5. おわりに

宇宙材料実験について、著者の独断と偏見を述べた。御叱正、御批判を頂ければ幸いである。

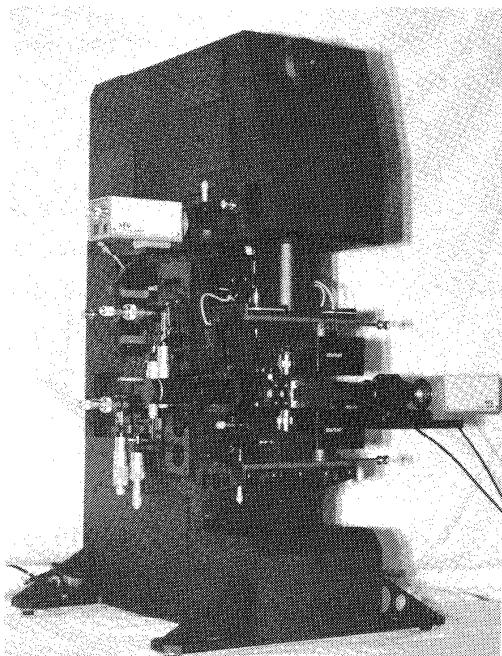


図3 その場観察用干渉顕微鏡装置

## 1. はじめに

すべての物理系はゆらぎを有する。抵抗体や半導体、それに真空管の中を流れる電流、これらはいずれも雑音すなわちゆらぎを有している。特にその中でも、パワースペクトル密度がフーリエ周波数の逆数に比例するような $1/f$ ゆらぎと呼ばれるゆらぎ現象は、上記のような物理現象だけでなく、大気温や宇宙線などのような天然現象にも見出されている。

ここで、地球上のあらゆる生物の最終目標は、常にゆらいでいる自然環境のもとで生存しつづけることであると思われる。私たちは生存のためには少くとも環境への適応という意味において何らかの創造的行為を常にしつづねばならない。それができなかった生物の種は滅び去ってしまっていると言えよう。

夢見とは、温血動物以上のレム睡眠中に見られる脳活動の一種であるが、生存のためにはきわめて重要なプロセスではなかろうかと私は考えている。本講演では、これら標題にかかげた3つのキーワードがどのようにかかっているかについて私見を含めながら述べてみたい。

## 2. 夢見と意識

意識の定義はむつかしいが、私たち神経生理学者は眠っている時にも、脳はそれなりの意識状態にあると考えている。それだけでなく、夢を見ている時の大脳皮質の状態は覚醒時にまさる興奮状態を示し睡眠中とはとても信じられない。明晰な意識を有した状態と言っても過言ではない。

そこで最初に動物の意識状態はどのように測ることができるかについて説明しよう。結論的に、動物の大脳皮質の脳波、首などの筋肉から出ている筋電図、それに眼球運動電位図、この3つの指標を測定すれば、人間を含めた温血動物の意識状態を推測することができる。

まず覚醒時、動物の大脳皮質の脳波は“低振巾速波”と呼ばれ相対的に高周波成分（高々数10Hzまで）を含んでいる。これは大脳皮質が興奮活動状態にある証拠であると考えられている。覚醒しているから当然筋電図も眼球運動も活発である。

ところが、睡眠に入ると状況は一変する。まず、脳波は“高振巾徐波”と呼ばれ、振巾は覚醒時をはるかに越えるが周波数は数Hz以下の低周波成分を主体とするようになる。これは大脳皮質が不活性化された証拠と考えられている。この時、筋肉のはたらきは多少残るものの眼球は極めて安定で速い動きはほとんど見られない。脳は、休んでいるとの感が深い。このような睡眠の状態をノンレム睡眠と一般に呼んでいる。または徐波睡眠とも呼ぶ。このノンレム睡眠がしばらく続くと、突如として筋肉の活動は完全に停止（すなわち弛緩）し、大脳皮質の脳波はあたかも覚醒しているか

のような低振幅速波の状態となる。しかも、このとき急速眼球運動 (rapid eye movements; REM) と呼ばれる激しい眼球運動が不規則な時間間隔で生じたり休んだりする。ゆえにこの睡眠相のことをレム睡眠と呼んでいる。眠っているにもかかわらず覚醒を思わせるかような現象が見られるので逆説睡眠とも名づけられている。実はこのレム睡眠相において荒唐無稽な夢見現象の起こることが人間について詳しく研究されており、床についた後、ノンレム-レム睡眠が4~5回繰り返され朝を迎えることもわかっている。動物においても、上記の3つの指標で見る限り人間と極めて類似しており、したがって彼らも夢を見るのであろうと推測される。かような理由でレム睡眠は別名夢見睡眠とも呼ばれている。

### 3. 夢見の神経機構

レム睡眠中の脳の深部構造における現象を追跡することにより、夢見現象のメカニズムについてある程度ことが推測されている。まず、関連する構造について述べておこう。網膜(R)から大脳皮質視覚野(O)に至る中継点に、外側膝状体(G)と呼ばれる特殊な構造が存在する。当然外界からの視覚情報はR→G→Oと流れていく。一方、レム睡眠中に起こる極めて特徴的な現象にPGO波と呼ばれるものがある。これは中脳のすぐ下位にある橋(P)から生じG→Oへと流れていくパルス状の信号である。PからはまたこのPGO波信号と連動し前述の急速眼球運動の指令が出されると考えられている。したがって、GにおけるPGO波は網膜よりやってくる視覚情報の予期信号と理解される。しかしながら、睡眠中であるが故に網膜から送られてくる情報は実世界のそれではなく、信号の搬送波のみである。これがGにおいてある種の変換を受け大脳皮質に伝えられることになる。かくして大脳皮質では、到来した“空”の入力信号をあたかも実世界からの視覚情報であるかのように誤判断し、過去の記憶痕跡との照合作業が開始されるであろう。その結果として実世界には存在しない時間と空間を超越したイメージが大脳皮質に再現されることになる。これがハーバード大学のJ. A. Hobson博士による夢見の神経生理学的説明である。こうしてみると夢見とはレム睡眠中にあらわれる急速眼球運動やPGO波活動に関連した神経生理学的現象の一つにすぎない。しかし、レム睡眠時の脳内は、大変にぎやかであり、いろいろな情報があちこち飛交っているように思われる。また、自律神経活動の指標である心拍リズムや呼吸リズムも不規則化し、脳の各部分が統一を欠いたようなふるまいをしている。

### 4. レム睡眠中の脳単一ニューロン活動

脳における神経細胞一つ一つを単一ニューロンと呼んでいる。その活動とは細胞興奮の反復現象であり、約1ミリ秒持続のパルス波形の系列として電氣的に観測される。これを神経インパルス系列と呼ぶ。脳の中には無数のニューロンが存在する。睡眠時にその各々がどのような活動のふるまいをしているかを私たちは知りたい。全部のニューロンについて調べることはできないが、代表的な脳の何ヶ所かの単一ニューロン群の神経インパルス系列を調べることはできる。そのために私たちは、直径が20~30ミクロンの金属微小電極をネコの脳に刺入し、前述の脳波をはじめとする三指

標を参照しながら、睡眠時の単一ニューロン活動を記録してみたわけである。最初に試みたのは網様体と呼ばれる脳の部分である。ここは、脳内の多くの場所と互いに情報の受け渡しをしていると考えられている。したがって睡眠現象のように脳全体に及ぶ現象との関連を見るには適した代表的部位である。

レム睡眠中の単一ニューロン活動の時間的ふるまいすなわちダイナミックスを要約して述べよう。結論的に、網様体の単一ニューロン活動は最初に述べた物理系のゆらぎと同様に、 $1/f$ ゆらぎしていることが示された。これに対し、ノンレム睡眠中は白色雑音様のゆらぎと化す。すなわち安定なニューロン活動となる。これらの結果は脳内のごく一部のニューロン群を除いて大部分のニューロン群に共通の性質であるらしいことも最近確かめられた。ごく一部の例外とは、ニューロン活動のゆらぎを制御するために存在していると思われるニューロン群である。要するにレム睡眠中の夢見現象をはじめとする脳内諸活動のゆらぎは、単一ニューロン活動の $1/f$ ゆらぎにもとづくものらしい。

## 5. レム睡眠の個体発生

個体発生とは、動物が受精した後の成長過程のことである。レム睡眠の個体発生すなわち年齢依存性について重要な知見がある。それは、受精後ある一定期間を過ぎると胎児も母体の中で睡眠をとるようになるが、最初は、ほとんどレム睡眠で過ごしているという事実である。脳が成熟し神経回路ができあがってくるとレム睡眠量は減少し、逆にノンレム睡眠量が増加するようになる。つまり脳が成熟する過程にはレム睡眠が必然的に伴っているということである。人間では誕生の時点でレムとノンレム睡眠の割合は約50%であるといわれる。また、生後すぐ歩くことのできるモルモットでは脳はすでに発達しており、はじめからおとなと同等のレム睡眠量であると言われている。人間の場合、おとなになっても約20%はレム睡眠が残っている。この理由については諸説があり謎とされている。

## 6. まとめ

レム睡眠すなわち夢見のねむりについて知識を整理してみよう。まず、①脳活動は全般に不安定なゆらぎを呈すること ②特に単一ニューロン活動レベルでみると $1/f$ ゆらぎが見られること ③レム睡眠とは脳の成熟過程に必須のものであるらしいこと。ここで、脳の成熟過程を、新たな神経回路網が生成されるという意味で創造過程であると見るならば、「創造のためには $1/f$ ゆらぎが必要だ」という作業仮説を唱えることができるように思う。以下、この仮説が正しいものとして推測を試みる。

まず、脳の成熟とか創造というプロセスは神経生理学的には可塑性(plasticity)という言葉で置きかえることができよう。そうすれば、脳の可塑性にとって $1/f$ ゆらぎは必要条件であるということになる。ここでもしそのゆらぎが欠けた場合を想定してみよう。それは、脳の各部において一定の入力あるいは出力が常に続くことを意味し、その結果として慣れ(habituation)と呼ばれる現象が起こるものと想像される。このことから、脳単一ニューロン活動の $1/f$ ゆらぎは脳の中で慣れの現象

を防ぎながらある一定量の刺激を維持するのに好都合であるように思われる。特に成熟過程にある胎児の脳ではそのことがいえそうである。また成人の脳でも、それによって脳が強化されるなどの効用が考えられると思う。

#### 7. おわりに

地球上のあらゆる生物の最終目標が、常にゆらいでいる自然環境のもとでそれに適応すべく生存しつづけることであるとするならば、脳は最適行動を発見するためにつねに創造活動をしつづけるべきである。この際、レム睡眠すなわち夢見のねむりは、胎児の場合には創造過程そのものであるとみられるが、またおとなの場合にも、それは環境の変化やゆらぎに適応するための準備過程ではなかろうかと推測する。すなわち、レム睡眠時、脳は結果的に将来の環境変化を予期し、1/fゆらぎを自ら発生させ、創造能力を培っているかのようである。つまりゆらぎは創造機能にとって不可欠の要素といえるかも知れない。以上により、創造のためには、あるいは生存のためには、自然への回帰が1つの要素として大切ではなかろうかと動物の脳活動をひたすら眺め続けてきた私は推測するものである。



このセッションではMHD発電、核融合炉、および高速増殖炉に関して、計5件の研究発表があった。

A141「ディスク型希ガスMHD発電機内の超音速流における熱伝達：吉川邦夫(東工大総理工)、塩田 進(東工大総理工)」は、エンタルピー抽出効率(電気出力/熱入力)15.6%というMHD発電の世界記録を保有する研究室からの発表であり、今後の効率の一層の向上を目的として、約1900Kという高温の作動流体(シード入りアルゴンガス)から電極・絶縁壁への熱伝達の挙動を把握しようとしたものである。

この研究では、シード注入も磁場印加もしないホットブロー(非発電)時の電極・絶縁壁の熱流束に比べて、発電時にはその値が大幅に増えることを明らかにし、発電時の発電機内静圧分布から見て、熱流束増加の原因は主としてローレンツ力による作動流体の減速と、これに基づく境界層剥離によるものと推論している。

本研究におけるような超音速流において、どのような形態の剥離が起るのかについての質問があったが、今後、そうした流れの状態をさらに突っ込んで詳しく研究されれば、一層正確に熱伝達挙動が理解できると同時に、対策の研究につながっていくだろうと感じられた。剥離を研究しているグループとさらに密接に情報交換されることを期待したい。

A142「プラズマと電極壁面間の放電モード遷移：岡崎 健(豊橋技科大)ほか」は、MHD発電の電極上での微細アークから巨大アークへの放電モード遷移を扱ったもので、シード入り燃焼ガス(2400K、流速50m/s)を流路電極部に導き、印加電圧をコントロールしながら遷移の状況を電氣的に測定している。その結果によれば、印加電圧が増加すると微細アークとともに巨大アークが発生するようになるが、両者の中間のスペクトルは存在せず、したがって発生機構は独立であること、また、巨大アークは微細アークがある限界条件を超えて遷移したものであるとしている。

この研究に関しては、今後、アークの空間的・時間的な統計的性質を調べていくこと、流動条件、ことに乱れの状態を変えたデータをとること、さらには壁面の状態による影響も考慮すること、などが役立つのではないかとのコメントがあり、発表者からも正にその方向で進めているとの回答があった。放電型ガスフローレーザーでも、放電安定性や発振特性に対して、流れの状態が極めて敏感に影響することが問題となっており、本研究の今後の発展に注目したい。

A143「核融合炉機器の高熱負荷除熱に関する研究：稲坂富士夫(船研原技部)、成合英樹(筑

波大構造工)」は、 $10\text{MW/m}^2$  以上の高熱負荷を受けると想定される核融合炉機器を水で冷却する場合の、限界熱流束を実験的に調べるとともに、修正された新しい相関式(予測精度の幅は約15%)が良好に適用できることを示したものである。実験には内径3mm、長さ10cmの発熱円管を用い、広い圧力・流量・温度範囲でデータを得ている。その結果によれば圧力0.7MPa、質量速度 $20\text{Mg/m}^2\text{s}$ 程度とすれば、約 $40\text{MW/m}^2$ という相当に極端な高熱負荷冷却が可能であり、設計にとって非常に心強いことだろうと感じられた。

この研究の今後に望まれることとしては、自己のもつ高熱負荷水冷却の世界記録をさらに伸ばし、またその物理をより明らかにすること、広い条件下でデータを蓄積して評価精度をさらに高めていくこと、などが挙げられる。

A144「液体金属ミスト冷却の熱伝達特性：黒川政秋(東北大工)、戸田三朗(東北大工)ほか」は、この研究室で従来から提案してきている液体金属ミストによる高熱負荷面の冷却という、独自の方式に関する研究の一環であり、今回の発表では伝熱面の面積の影響を含めて考察を深めている。液体金属にはナトリウムを使用し、ミスト流中の液滴の体積率0.1~1%、伝熱面直径18mmの条件で実験を行なっている。その結果、これまでの直径100mmの伝熱面による実験では、滞留液膜が形成され、熱伝達が一部阻害されたが、今回の条件下では滞留液膜が形成されず、液滴による顕熱冷却効率はほぼ100%に達することが明らかにされている。

液体金属ミスト冷却を核融合炉などの高熱負荷面の除熱に応用しようとする研究は、非常にユニークな着想であり、また実際、良好な特性が期待されるだけに、特性が最適となるパラメータ領域をさらに絞り込んで頂きたいと思う。それから、ミストの流動・蒸発のプロセスは、他のハイテク分野にも共通して関心が高いと考えられるので、コンピュータシミュレーションなどの研究などが、今後もっと盛んに行なわれることを期待したい。

A145「水平管群を重力方向によぎる液体Naの共存対流熱伝達：杉山憲一郎(北大工)、石黒亮二(北大工)ほか」は、高速炉の崩壊熱を原子炉から直接に除去するための、ヘリカルコイル型の熱交換器に関する基礎研究であり、題目にあるような条件下での伝熱特性を実験的に調べ、これを非粘性流の仮定の下にBFC系で数値解析を行なった結果と比較し、評価したものである。水平管の円周方向の局所ヌセルト数について、実験と解析の結果が傾向として良く一致しており、このことから、当該形式の直接崩壊熱除去系熱交換器の伝熱特性が、非粘性流の仮定の下で、十分な精度で評価できるという、貴重な結論が導かれている。

これに関しては、温度のゆらぎについて質問があったほか、原子炉全体にわたる冷却材の一巡流路にまで対象を広げて考察しないと、入口条件などが確定しないとのコメントがあった。確かにそういう問題はあるが、計算は膨大になり、なかなか大変なことであろう。なお、熱伝達特性の計算結果が円周方向にスムーズに分布しているのに対して、実験値には多少の凹凸がでていているのは、いわゆる細かい検討事項に属することではあるが、何か有意な因子が関係していないかどうか、確かめて頂きたいと思う。

以上が、各発表の要点と私の印象であるが、今回の伝熱シンポジウムの他のセッションの中にも、次世代エネルギーシステムに関連した研究発表がいくつかあったように思う。全体として、オリジナルな着想に基づいて研究が行なわれ、技術的にも世界のトップクラスの成果が挙げられているように見受けられた。これから先も、高度な測定技術やコンピュータ解析がフルに活用されて、現象の解明と設計・評価の両者の活動がより強く連携し、密着するようになっていくことを望みたい。

次世代エネルギーシステムの定義は、人によって多少幅があると思うが、熱が主要な役割を果たし、伝熱が問題となるような次世代エネルギーシステムとしては、大雑把に言って、次のようなものが挙げられるのではないだろうか。

すなわち、核分裂に関しては次世代軽水炉(高転換・高燃焼原子炉、新中小型軽水炉)、ATR、高温ガス炉、高速増殖炉、特殊原子炉(宇宙用、高中性子源炉など)、ならびに、パッシブ安全システムなどが該当するであろう。核融合に関しては、それぞれの炉心方式に対応した、次期装置から原型炉級にわたる各種の設計概念が対象となろう。それから、火力では粉粒床や高効率ガスタービン、直接エネルギー変換ではMHD、EFD、ガスフローレーザー、太陽エネルギー発電など、宇宙に関してはSPS(宇宙太陽発電)や宇宙動力、その他エネルギーの輸送・貯蔵・利用に係わる新システム等々がある。

一方、主要な研究目的・属性カテゴリとしては高温・低温・高熱負荷、安定性・非定常・非平衡、性能や効率の向上、安全性・環境保全、新環境対応・新概念開発などが考えられる。

シンポジウムの当日は、以上のような対象システムと目的・属性カテゴリのマトリクスに従って、いくつかの主要課題について簡単なレビューを行ない、併せて5件の発表論文の位置づけを試みたつもりであるが、私の力不足のため、結果的には内容も限られ、しかも十分に整理されていない、お話しに終わってしまった。

正確にはエネルギーシステムの範疇ではないけれども、米国では炉心の発熱密度が1リットル空間当たり1万kW(軽水炉のその約100倍以上)という、想像を絶するような超高熱負荷の中性子源炉 ANS(Advanced Neutron Source)の設計研究を進めている。オークリッジ研究所に滞在され、その研究に参加して、最近帰国された清水先生(九大総理工)が会場に居られたので、突然ながら一言お願いし、有益なお話を聞かせて頂くことができた。

そのお話しの中で、旋回流による限界熱流束向上の研究などで有名な Gambilli氏の名前がでてきたが、もう随分昔に、同氏から私共の限界熱負荷の研究に対して、コメントの手紙を貰ったことがあり、昨年オークリッジを訪問したときには、お会いする機会がなく残念であったが、ANSの熱設計の活動の中で彼がまだ第一線で働いていると聞いて、深い感銘を受けたものであった。

最後に、今回の企画を担当され、共同座長を務められた戸田先生(東北大工)をはじめ、準備委員会や事務局の方々に、紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

蒔田 董 (神戸大) ・ 幾世橋 広 (東北大)

## 1. はじめに

熱物性は伝熱操作の設計や解析に不可欠の基礎的情報である。学術的には物質の内部構造を解明する手がかりとして分子論的立場から興味があり、工学的には各種の設計に直接必要であるとともに、工程や品質の評価・計測・管理・制御のための間接的情報としても重要である。したがって、産業技術の高度化に伴って、正確な物性値が要求されるとともに、物質系の種類も多様化し、必要とされる温度や圧力の範囲も広がり、新しい測定法の開発や測定精度の向上がはかられている。

本セッションには7件の報告があった。ここで熱物性を便宜的に次の3種に分類すると

- ① 熱力学性質 (平衡性質) … 流体のPVT関係3件、流体の比熱1件、固体の比熱1件。
- ② 輸送性質 (非平衡性質) … 熔融塩の熱拡散率1件、固体の熱拡散率・熱伝導率1件。
- ③ 放射性質 … 固体の全半球ふく射率1件 (比熱との同時測定)。

のようになっている。ここで「新技術」とは何かとの疑問はあるが、抜本的な新しい原理に基づく測定法 (未発表) は見当たらず、従来の測定法の改良、対象物質系や測定範囲の拡張、精度の向上などをめざして、種々の創意工夫が施されていて興味深い報告であった。

## 2. 熱物性測定の問題点

熱物性の特徴として、各物性に対して多数の測定法が考案されており、必ずしも標準的と言える方法は確立されていない。そのうえ、広い学問・技術分野で測定が行われ、測定目的や精度・精度の感覚が異なるため、文献値に大きな差異が見られることも少なくない。真に正しい値は誰にもわからず、“神のみぞ知る”であるが、それだけに測定の面白さや楽しみも倍加されているものと思う。複数の原理の異なる測定法を用いて同じ値ができれば、その値は“神のみぞ知る”値に限りなく近い値であるはずである。さらに既成品の測定装置では他人と同じ結果しか得られない。本セッションに提出された測定法は、いずれも測定法の選定や精度の検討に十分時間をかけた“手づくり”の装置で、研究者の創意と努力の跡が感じられ、拝聴して楽しいものであった。

熱物性の測定装置に要求される条件を列挙すると、次のような点が重要であろう。

- (1) 測定法の原理、あるいは理論解が測定条件 (温度・圧力) で厳密に成り立つか。
- (2) 測定時の条件 (温度・圧力・組成) の決定法とその適用範囲は明確になっているか。
- (3) 装置定数 (寸法・次元) が使用条件により変化しないか。
- (4) 装置の構造はどの程度複雑であるか。組み立てや分解が容易であるか。

- (5) 装置材料と試料との相互作用（反応や腐食）が測定の全条件で起こらないか。
- (6) 測定操作の簡便さ・迅速性を考慮しているか。測定に習熟、“名人芸”が必要か。
- (7) 絶対測定か相対測定か。後者の場合、信頼できる標準物質があるか。
- (8) 測定の精密さ（分解能）や再現性はどの程度か。絶対的な正確さ（精度）はどうか。
- (9) 考えられる誤差の要因はどのような点にあるか。
- (10) 測定装置の自動化をはかっているか。最近の電子工学・計算機工学の進歩に伴い、周辺機器には新技術を取り入れ、“名人芸”の解消がはかられているか。

思いつくままに並べてみて、理想を追い過ぎるところもあるかと思うが、熱物性研究が新技術の開発の一步先を行き、信頼できる高精度のデータの蓄積を望むからである。また、これらの項目が、本セッションを拝聴する期待と楽しみであったことも否めない。

### 3. 流体の熱力学性質

前述したように4件の報告があり、とくにPVT関係（密度）の測定には3種の方法が並んだことは興味深く、それぞれ工夫がこらされており、立派な測定装置であった。

表1には便宜的に分類したPVT関係の測定法をあげた。今回発表された3件の報告は異なる原理に基づくものである。C141は(2)の変容積法であり、金属ベローズの内容積変化を差動トランスで検出する方法である。精度はベローズの特性と、検定による内容積と変位量の関係に依存するものと考えられる。C142の振動密度計は気体から水銀にいたる密度範囲にわたり少量の試料で簡便・迅速に測定でき、従来の市販品の最高圧力40 MPaを200 MPaまで拡張している。C143の磁気密度計は飽和液密度の測定用に開発され、試料容器の体積に関係なく密度が求まるので、広い範囲の圧縮液にも適用できるものと思われるが、電磁石の発熱が測定精度に影響するのではないか気になるところである。

次に、流体の比熱は熱物性測定のうち最も難しいとされているが、古くから表2に示すような種々の方法が考案されている。C144は高密度流体用にフローカロリメータを採用し厳密に熱損失を無くした点で注目される。

表1 流体のPVT関係の測定法  
(P:圧力, T:温度, V:体積, m:質量,  $\rho$ :密度)

- (1) 定容積法… V既知の容器に試料を入れ  
m, T, Pを測定。
- (2) 変容積法… m既知の試料につき、T, P  
を変えてVを測定。  
(C141 加幡ら)
- (3) Burnett膨張法…一定Tで $V_1 \rightarrow V_2$ の膨張  
前後のPを測定（気体）
- (4) 振動密度計…一定T, Pで試料を含む振動  
系の周期より $\rho$ を算出。  
(C142 松尾)
- (5) 磁気浮力計…試料中に置いた磁石入りの  
浮子を釣合わせる電磁石の  
電流値より $\rho$ を算出。  
(C143 前沢ら)

表2 流体の定圧比熱の測定法

- (1) 静置式熱量計法…熱量計に試料を満たし、  
電流で加熱して温度上昇  
を測定して $C_p$ を算出。  
断熱型・等温型がある。
- (2) 流通式熱量計法…熱量計内に試料を流通さ  
せ、内部で熱を与えて、  
入口と出口の温度差と流  
量より $C_p$ を算出。  
(C144 佐藤ら)
- (3) 示差走査型熱量測定法 (DSC)
- (4) 周期的加熱法 (ACカロリメトリー)
- (5) 混合法・投下法・熱交換法
- (6) 間接法…音速あるいは Joule-Thomson係数  
の測定より計算。

#### 4. 固体および熔融塩の熱物性

本セッションの後半では固体2件と熔融塩1件が報告された。これらの熱物性の測定では測定法および研究者による差異が大きく、信頼できる測定法の確立がとくに望まれる分野であり、今回の報告件数が少ないのが残念である。日本熱物性研究会の過去5回の熱物性シンポジウムでは、固体の熱伝導率および熱拡散率に関する実測が65件にもものぼっており、新しい測定法の考案も少なくない。また、山田悦郎氏（秋田大）のコメントによると、研究対象は、食品5、生体1、建材9、岩石10、高分子7、金属9、セラミックス11、薄膜8件などがあり、測定法もレーザーフラッシュ法を含めて13件が報告されている。

C145 は新しい原理による比熱と全半球ふく射率を同時に測定する方法の改良で、非定常熱量法を用いた非通電方式による精密測定法である。測定操作が簡単で、迅速に測定でき、広い温度範囲に適用できる特徴がある。誤差の原因について詳しい検討が行われているが、今のところ推薦値よりやや低い結果がでており、今後の精度の向上が望まれる。

C146 は熔融塩の熱拡散率を光学的に非接触で測定する強制レイリー散乱法による測定法である。測定が難しく研究者間に大きな相違のある熔融塩の熱拡散率が少量の試料で短時間に行えるようにしたことは素晴らしい。とくに1000~1500 Kの高温で、対流やふく射の影響を小さくするため温度差も0.1 K以下で測定されている。信頼できる文献値がなく、密度と比熱の文献値を用いて熱伝導率が算出され例示されているが、従来の実測値と温度係数が逆になっている点が気になる。

C147 はステップ状加熱による断熱材（けい酸カルシウム板）の熱拡散率の測定を例として、この測定法のデータ処理法や誤差要因の検討を行い、完全自動化のほぼ完成した装置の報告である。接触抵抗、供給熱量による空隙中の空気の挙動、雰囲気圧力の影響など興味深い結果が報告されている。また、本法で定常状態での熱伝導率は非定常状態の値より高くすることも示されている。

#### 5. おわりに

熱物性の重要性から測定は広い学問分野で実施されており、測定法にも各種の考案が行われている。本セッションには限られた分野からのみ提出された感があり、他分野への呼びかけも必要であろう。しかし時間の制限もあり、7件でも討論時間は不十分であったように思う。もちろん座長の責任でもあるのだが、不手際の点をご容赦いただきたい。

表3 固体の熱伝導率・温度伝導率の測定法

熱伝導率	
(1)定常法	
a. 平板直接法…絶対測定法	JIS A1413 ASTM C177
b. 平板比較法…標準試料使用	JIS A1412 熱流計法 ASTM C518
c. 縦方向直接法…絶対測定法	
d. 縦方向比較法…標準試料による相対法	
e. 半径方向熱流法…絶対測定法	
(2)時間積分法…定量示差熱分析法 (DTA) の原理の応用	
(3)直接通電加熱法	
(4)非定常熱線法	
温度伝導率 (熱拡散率)	
(1)フラッシュ法… (パルス状加熱法)	
(2)ステップ状加熱法	
(3)同期加熱法	
(4)定速昇温法	
(5)任意加熱法	
(通商産業省工業技術院計量研究所:「物性計測技術の動向に関する調査研究報告書」115~125頁、(昭和60年3月)による)	

## 「バイオ伝熱」

棚沢一郎（東大生研）

### 1. バイオ伝熱とは何か

バイオ (bio-) は生命 (life) あるいは生物 (living things) を意味する接頭語であり、元来生命を表すギリシャ語 (bios) に由来するという。したがって「バイオ伝熱」は生命現象あるいは生物体にかかわる伝熱学ということになる。米国でも Bio-Heat Transfer なる言葉が使われている。

生命現象あるいは生物体の特長は、外界より物質とエネルギーを体内に取り入れ、変換しつつ、自分自身を増殖させていくところにあるが、「バイオ伝熱」における「バイオ」は、もっと広義のもの、あるいは周縁部分までを対象としている。例えば、調理とか食品加工における伝熱過程はこのような広義の「バイオ伝熱」の中に含まれる。また、衣服や住居に関する熱的諸問題、動物と温熱環境との相互関連なども「バイオ伝熱」の課題である。

### 2. 日本における「バイオ伝熱」の現状

伝熱を中心として考えるとき、日本における「バイオ伝熱」の現状は次のように要約できる。

- (1) 日本伝熱シンポジウムや日本機械学会の熱工学講演会などにおける「バイオ伝熱」の分野の研究発表はきわめて少ない。これまでに、人体表面と外界との間の熱伝達、衣服の断熱性、皮膚の温度感覚、人工肺、生体物質の熱物性値測定などに関する発表が散見されるが、全体に対する比率は恐らく1%よりもかなり低い。
- (2) 日本熱物性シンポジウム（今年で10回目）では、第1回より生体・食品・衣服のセッションが企画され毎回数件の発表がある。しかし、研究の平均的レベルは必ずしも高くない。
- (3) 人間・熱環境系シンポジウム（今年で13回目）では、人体と外部環境との間の伝熱、人間の快適性、衣服・住居における温度環境などのテーマで毎回かなりの数の発表があり、討論も活発である。研究のレベルの平均値は高いとは言えないが、重要な問題を含むテーマも多い。

一方、生体を中心とした研究に伝熱が入り込んでいるようなものもありうる。これらの研究の現状について云々するだけの知識を筆者は持ち合わせていない。

### 3. 米国における現状

米国機械学会 (ASME) の年 2 回の会議 (National Heat Transfer Conference および Winter Annual Meeting) では、Heat Transfer Division が単独 (あるいは Bioengineering Division と共催) で、Bio-Heat Transfer のセッションを企画することが多い。テーマは、体外循環を行う際の血液用の熱交換器、生体関連物質の熱物性値測定、皮膚表面の熱伝導率測定による灌流血液量の推定、超低温メスなど。活動はきわめて盛んであるとはいいにくいだが、いつもほぼ一定の活力を保っているように思われる。

### 4. 今回のシンポジウムについて

シンポジウム準備委員会から「バイオ伝熱」セッションのオーガナイザーを依頼されて筆者がやったことは、慶応大学の谷下一夫先生にレビュー講演をお願いしたことだけで、後は成行きに任せることにした。蓋を開けてみると投稿された研究発表は 4 件だけでいずれも食品に関連するものであった。そこでバランスをとる意味で、筆者自身も短い展望講演を行うことにした。その内容の概略は次のとおりである。

### 5. 「バイオ伝熱」の将来の可能性について

生体に関連した伝熱研究のテーマとしては多種多様なものが考えられるが、現在活発に研究が続けられているテーマおよび将来重要となりそうなテーマをリストアップして別表のようにまとめた。3 種類のマーク (◎, ○, △) が各テーマに付いているが、これらは現在のテーマについては研究の活発さの度合いを示し、重要度については将来の予測を記した。いずれも筆者の個人的判断であり異論もありうると思う。

将来のテーマとして、筆者は生体関連物質の凍結保存の問題を重要と考えている。特に生命体を凍結して長期間保存し、後で生き返らせる技術の開発は、現在は細胞レベルにとどまっているが、もし臓器あるいは個体レベルでの技術まで到達すれば、医学・生理学・畜産などの分野での技術革新に結びつくものとなるであろう。すなわち、例えば医学の分野で現在着々と進歩を遂げつつある臓器移植の分野における一つの大きな問題点は、臓器を必要としている患者と提供者との時間的・空間的なタイミングのずれによって、移植が思うように行えないということである。もし臓器の凍結保存が実現すれば、提供された臓器をバンクに保存しておき、必要に応じて輸送し、解凍して使用することが可能になる。この場合の技術上の問題点は次のとおりである。

- (a) 臓器を凍らせる過程で、臓器を構成している細胞内に氷晶ができるが、これが大きく成長すると細胞膜に損傷を与える。したがって、氷晶が余り大きくならないような凍結方法を見つけなければならない。
- (b) 細胞内に氷晶ができると、細胞内液の電解質の濃度が高くなる。これによって細胞に障害が起こる可能性がある。



(c) 凍結がうまくいったとしても、解凍の過程で氷晶による細胞膜の損傷が起りうる。したがって、適当な解凍方法を見つける必要がある。

(d) いずれの臓器もある程度の容量を持っている。凍結の場合も、解凍の場合も、その過程を通じて全体がほぼ同様な熱的条件に保たれるようにしなければならない。

これらのことからわかるように、生態の凍結保存には伝熱過程の精密なコントロールが必要である。しかもその過程には凍結・融解・成分濃度変化などが組み込まれており、伝熱ばかりでなく、医学・生理学・化学などの知識も不可欠である。しかし、将来のテーマとしてきわめて魅力的なものであることは確かである。

テーマ（順不同）	現在の研究	重要度	備考
人体に関するもの *人工肺（ガス交換） *人工臓器、組織 *局所的温冷感 *全体的温冷感 *人体－外界熱交換 *体温調節 *人体の熱物性 *熱的計測 *衣服・住居 *超低温手術 *加温治療 *やけど *凍結保存（凍結および解凍）	△ △ △ ◎ ○ ◎ △ △ ◎ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ △ ◎ ○ ○ ○ ○ ◎	論理性  簡易測定法 簡易測定法  発展性
人間以外の動物に関するもの *温冷感 *体温調節 *熱物性 *凍結保存	◎ ◎ △ ○	○ ○ △ ◎	人間の代用
食品・農水産物 *熱物性 *凍結保存 *乾燥 *加工プロセス伝熱	△ ○ ○ ○	○ ◎ ○ ○	

## 1. はじめに

生体組織における熱移動は、熱媒体としての血液が主要な役割を演じているので、生体内の熱移動量を求めるためには、血液による影響を明確にする必要がある。この点に関して現在のところ主に二通りのアプローチが試みられている。生体組織構造や血管構築の複雑さを定量的に把握し、生体内の熱移動現象を直接測定することは現在のところ非常に難しいので、まず第一にモデルによる計算から評価を行なう立場の研究が行なわれている。第二に熱移動の評価には、血液や組織の熱伝導率や温度伝導率が必要となるので、信頼性の高い測定方法を開発して、生体物質の熱物性値を得ようとする一連の研究がある。その際得られた組織の有効熱伝導率は当然血液流の影響を含むので、見かけの値として解釈する必要が出てくる。逆に見かけの熱物性値から血流の影響を知ることも可能である。

## 2. 生体組織における熱移動モデル

### 2.1 Pennesの生体内熱移動の式

生体組織内の熱移動の解析、組織内血液灌流量の見積りをする場合、従来Pennes<sup>(1)</sup>により得られた生体内熱移動の式 (Bioheat Equation) と言われるエネルギーバランスの式がよく用いられる。これは熱伝導方程式に、血液灌流によって運ばれた熱が等方的な熱発生をしていることを表わす項と、代謝による熱発生の項を加えたものである。この式は極めて簡便な方程式であるため組織内の熱移動を求める際ひんばんに用いられている。しかしながら、血管網の局所的な幾何学的形状や実際の血液灌流の状態を考慮していないため、微小血管内血流と組織との間の熱移動現象を正しく表現しているものではない。

### 2.2 組織内血管網における熱移動

血液循環系における熱移動は太い血管系よりも細い血管系において顕著であるが、微小血管系の幾何学的構築が複雑であり、取り扱いが難しい。そこでまず簡略化された血管床モデルにおいて熱伝達を見積る試みがある。組織内に真っ直ぐな血管が隣同志の血管と一定の距離を隔てて分布しているとして、Chen and Holmes<sup>(2)</sup>は血液の温度変化が、周囲の組織との熱伝達のみによって決まるという仮定のもとに、循環系の各部位に対して簡単な計算を行なった。その結果、主な熱交換は、内径が0.2~0.5mm程度の細い血管床で生ずるといふ。これは従来熱交換は最も細い毛細血管レベルで行なわれると予想されていた見解と異なり興味深い結果である。

## 2. 3 Weinbaum and Jiji<sup>(3)</sup> による生体内熱移動の式

Weinbaum らは、組織内の熱移動を正確に把握するためには微小血管の大きさや形状を明確にする必要があるとしてウサギの腿の血管構築の測定を行い、その結果、組織は皮膚表面から三層の異なる構造に分かれていることが解り、三層モデルを提唱した。まず最も深い組織部位では内径300 $\mu$ m程度の動脈と静脈が1cmほど離れてお互いに対向流となるように一対をなしている。その一対の動静脈の間で対向流熱交換が行なわれている。中間層では、内径50 $\mu$ m以下の血管網が分布しており多孔質媒体内の流れと見なすことも出来る。中間層の血管網では血液と組織との間でほぼ完全な熱平衡に達していると考えられる。外側の層は表皮直下の血管網である。生体内熱移動の式の血液灌流を表わす項は、毛細血管網では血液と組織がほとんど熱平衡に達しているため極めて小さな値になることを指摘し、生体内熱移動の式の血液灌流を表わす項の妥当性について疑問を投げかけ、Weinbaum and Jijiは対向流による熱交換が局所の組織内の熱移動に影響を与えるとして対流の効果を考慮に入れた新しい生体内熱移動の式を提唱した。しかしながら、彼らが導いた新しい生体内熱移動の式を解くためには、血管網の幾何学的形状が既知であることが必要であるため簡便な方法ではないが、血管網の微視的構造を考慮したものとしては初めての試みで極めて注目に値する。Weinbaum and Jiji の式については、動静脈及び組織温の設定などに関しては論争を呼んでおり、その妥当性についてはさらに検討が続けられている。

## 2. 4 Arkin ら<sup>(4)</sup>による生体内熱移動の式

Arkin らはPennesの式に考慮されていない対流による影響を、Weinbaum and Jijiの厳密であるが複雑な扱いよりも簡便に通常の対流項に準じた形で表わした。

いずれにしても、Pennes の生体内熱移動の式の欠陥を補う新しい式については、実際の組織の血管網の微視的構造と、血流速度とを対応させながらそれぞれの組織について個別に議論して行く必要があるため、さらに具体的な実験データとの比較検討が必要と思われる。

## 3. 生体物質の熱的性質及び測定法

### 3. 1 生体物質の熱物性値の解釈

一般に生体物質は異方性で不均質構造を持っているので、どの位の大きさのスケールで系を眺めるかによって熱物性値の意味が変わって来る<sup>(5)</sup>。さらに細胞レベルでは、細胞自体における熱伝導に加えて微小循環系における血液やリンパ液及び細胞内外での流動による微小対流効果、代謝による熱発生、反応を伴う物質拡散において生ずる反応熱などが生体組織内での熱移動の要因と成っており、生体組織の精密な温度制御において重要な役割を果たしている。従って、生体組織内での熱現象は、微視的なスケールのもとで生じていることを考えると生体物質の場合、均質な物質の場合のような純粋な熱物性値は本来的に存在せず、常に測定系のスケールや測定体積、測定時間によって決まる見かけの (apparent)

または疑似(pseudo)熱物性値として解釈しなければならない。この見かけの熱物性値は、測定体積内の平均値として解釈できるが、測定体積内を一様に平均したものでなく、プローブに近い場所の熱的性質が大きく反映してくる。従って測定体積が小さいと、プローブと組織との界面の様子が大きく影響するので、プローブに対して適当な大きさの測定体積を取るようになる必要がある。

次に生体の器官や組織は生体内で機能を発揮していることを考えると生体内 (in vivo) での測定が望ましい。しかし、生体から摘出直後血液を灌流させて臓器の機能をしばらく維持させた状態で測定する場合(in vitro)もある。さらに生体内で機能を維持させるためには、測定することによってその機能を妨害しないようにする必要がある。生体組織は時間とともに状態が変化してくるので測定は短時間で完了させる必要があるので、通常非定常法が多く採用されている。さらに生体組織は、全く同一のものは存在しない。同じ種の中でも個体差があるので、熱物性の測定対象となる標本としての標準状態は有り得ない。従って測定対象となる生体組織がどのような状態のものか、生体内から摘出されたものであれば、どのような方法で摘出されたか、摘出してからの時間経過などの明確な情報が必要である。

### 3. 2 生体物質の熱物性値の測定法

#### (1) 侵襲的方法

- (i) 非定常加熱法
- (ii) パルス減衰法

#### (2) 非侵襲的方法

- (i) 超音波加温法
- (ii) 表面接触法

#### [参考文献]

- (1) Pennes, H.H., J. Appl. Physiol., 1(2), 1948, 93.
- (2) Chen, M.M. and Holmes, K.R., In Thermal Characteristics of Tumors, Proc. Conf. N.Y. Academy of Science and National Cancer Institute, 1979, 137.
- (3) Weinbaum, S. and Jiji, L. M., J. Biomech. Eng., 107, 1985, 131.
- (4) Arkin, H., Holmes, K.R., and Chen, M.M., J. Biomech. Eng., 109, 1987, 346.
- (5) Tanasawa, I. and Tanishita, K., Int. J. of Thermophysics, 5, 1984, 149.

小竹 進（東大）

「マイクロ伝熱」という言葉はあまり感心しないので使わないことにしているが、特別セッションの名前と依頼された題名がこのようになっているので、シンポジウムの特別セッション「マイクロ伝熱」と「マイクロ伝熱」についての私見を述べさせていただくことにする。

今回の伝熱シンポジウムの特別セッションは、前回の金沢に比して well organized でなかったというのが全体としての評価であろう。特別セッションの「特別」にどのような意味をもたそうとしたのか分らないが、集まった論文を見てオーガナイズするのではなく、積極的なオガナイザに任して積極的にオーガナイズした方が「特別」の意味が深くなるのは当然である。しかし、「マイクロ伝熱学」に関しては、「マイクロ」の解釈がいろいろあるので、その種々な解釈を見るためにも当分は消極的なオーガナイズ方式でも良いのかもしれないが。

しかし、今回の「マイクロ伝熱」特別セッションで最も驚いたのは、内容ははともかくとして、参加者の数の多さであった。100人以上入る部屋に立ってまでいる人数は、2、3年前のこの分野に対する関心の度合いからはとても外挿できる数字ではなかった。「マイクロ伝熱」といっても巾が広いので参加者の関心のスペクトル分布がどのようなか分らないが、「マイクロ伝熱」というものがどんなものかという関心と「マイクロ伝熱」そのものに対する関心とに分れるものと思われる。もともと伝熱などという現象はマイクロな現象であるのに、熱伝導率などというマクロな便利な概念を導入してしまったことから「マイクロ」とか「マクロ」とかを議論しなければならなくなってしまったのである。分子熱工学などという言葉をつくってみたが、熱工学そのものはもともと分子レベルでの現象とその理解が含まれているのであって、いまさら言い出すようなことでもないかも知れない。

「君は「機械分子工学」や「分子熱工学」などということを出しているが、いまの熱伝導率という概念はどのくらいの原子層の厚さまで成立つのかね？ 先日、こんな質問をされて困ったよ。」

「.....?!?!?!」

「いまの伝熱学ではこんなことも即答できないだろう。情けないね」

さる伝熱の大先生の最近の言葉である。さすがに、大先生だけに伝熱の原点を抑えられてはいるが、それでもこのような本質的な問題が問題となってくるところに問題がある。

本来、世の現象が原子分子の物質による現象であれば、その物質を構成する原子分子

の運動に支配される。しかし、その運動は個々の原子分子の強い個性があると同時にその動きの速さに限界がある。したがって、対象とする現象の空間と時間の大きさの次元を独立にきめることができないばかりでなく、それぞれの現象に特有のこれらのスケールの大きさを決めなければならない。現象に適した小さいスケールの空間を考えると、時間スケールもそれに応じて個性に合った固有な値を選ばなければならない。すなわち、マクロな現象で非常に役にたっている無次元化の概念がここでは意味をなさない。このところが「マイクロ伝熱」と「マクロ伝熱」との根本的に相違するところで、後者では類似な現象に無次元数という概念が導入でき、その無次元数の大きさをいろいろ変化させて生じる類似な現象を理解することができる。これに対して、前者ではその無次元数の値が決ってしまい変化できないために、無次元数の概念が意味がなく個々の場合を一つ一つ理解しなければならない。

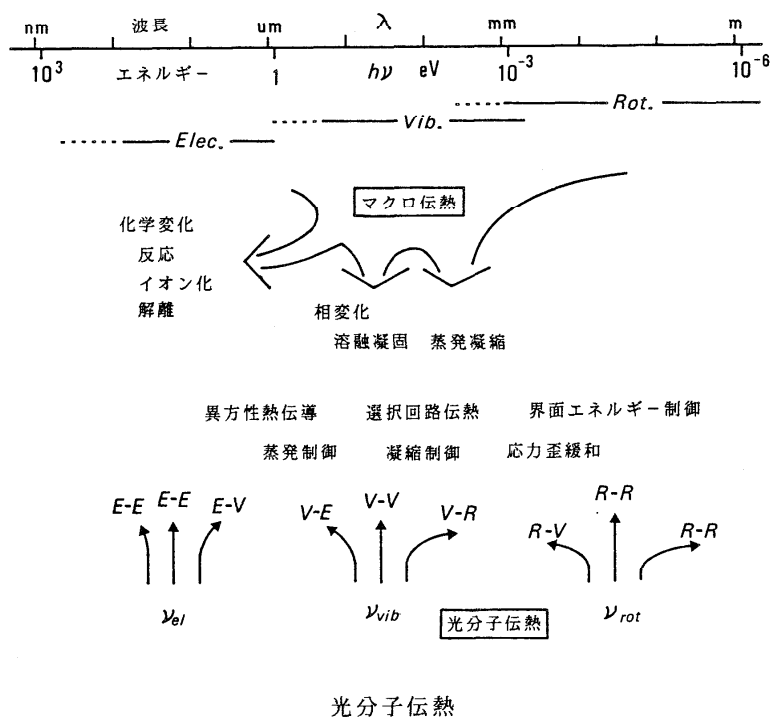
前述の「熱伝導率」の問題にしても、問題にする原子分子の種類とその層の大きさが決められるとそれらに応じた時間軸での原子分子の運動を問題にしなければならない。これはその分子層を取り巻く境界付近の分子の運動についても同様である。層内の分子の運動はこれら境界の分子の運動と密接な関係において決められから、問題にしている層内の分子の運動とその外側の分子の運動とを関連づけて、このような時間・空間スケール内での全体の分子の運動を問題にしなければならない。このように考えると、これらの問題に対して一般的な解答を引き出すことは恐らく期待できない。

しかし、現象が無次元化されないということは、逆に、一つの現象から他の現象が類推できないような個性をもった独立な現象が無数にあるということである。見同じ様な現象でも何が飛び出るかわからないという楽しみがあることである。物事を類型化しパターン化分類しなければ気がすまない「学者先生」には面白くないかもしれないが、規則や法則が苦手な研究者には面白い問題がゴロゴロしているあるいは山積みされている研究分野であると言える。

座長の神沢先生から特別セッションの最初にレビューをして欲しいと依頼されたので、「光分子伝熱」について思っていることを述べようと用意した。が、神沢先生が10分しか時間を下さらなかったの、言おうとしたことが12分に伝わらなかったのではないかと思われる。最後にこのことについて触れたい。

レーザー技術の急速な進歩により、レーザー光は非常に身近なものになり種類を問わなければ研究室といわず家庭にも転がっている存在になっている。しかし、このエネルギーレベルと位相が揃った光をエネルギーの伝達媒体として、積極的に利用する技術に関しては非常に後進的である。久しぶりに「輻射」のセッションを覗いたがこの見地からの研究はなく、相変らず形態係数、輻射率、アルベドなどという言葉ばかりであった。折角こうした質の良いエネルギーが自由にできるようになってきているのであるから、これらを積極的に利用する新しい伝熱工学分野が広がっても良いのではないかと、いや、広げるべきであるというのが私の意見である。

日常的には、「体の芯まで暖まる遠赤外線コタツ」とか「プリン形の崩れない電子レンジ」などという言葉を目にするが、伝熱シンポジウムでこうした現象を理解できるような研究を拝見したことはない。このような mm から nm の波長のエネルギー輸送を含めて、nm のオーダの空間で加熱冷却したりあるいは凝縮蒸発などの相変化をさせたりすることは、これから多くの工業分野で要求されることである。従来のマクロな伝熱においてもこうしたことは、凝縮や沸騰の核生成段階で生じている現象であるが、これらを積極的に制御したり利用したりすることはしなかったか、あるいはできなかった。これからは、こうしたことを積極的に制御あるいは利用する方向に向かうことであろうが、その第一の可能性は広い意味での「光」であろう。この「光」はその波長（エネルギー）によって電子原子分子の中広い運動に対応づけることができるとともに、その特定の運動状態とのみ交信することができる。そこでは、ある特定の運動状態にある特定の原子分子集団のみを加熱したり冷却したりすることは容易であり、方向性をもった熱伝導あるいは熱絶縁、局所的な特定の化学種の蒸発凝縮あるいは化学励起など、興味ある無限の研究テーマが含まれている。この魅力ある 21 世紀の伝熱研究では、我が「伝熱研究会」が世界をリードする立場になることを期待しているのだが、.....。



初日(5月31日)の15時から17時20分までE室において、「マイクロ伝熱学」と称する特定テーマセッションをおこなった。以下に、セッション内容、セッション状況、マイクロ伝熱学概観などについて簡単に述べる。

## ☞ セッション内容

### 1 プロローグ

東京大学の小竹進先生に、先生がご関心を持たれているマイクロ伝熱、特に固体蒸発からクラスター生成におけるメカニズムなどについてお話しいただいた。そのとき、レーザー使用の伝熱過程については、光伝熱学と呼ぶ分野があってもいいという提案をいただいた。

### 2 研究発表

#### (1) 集積回路内微小発熱素子の熱伝達に関する研究……………土方、長崎、倉爪(東工大)

集積回路における発熱素子の冷却を空気の衝突噴流による強制対流でおこない、実験と計算から検討した。その結果、微小発熱体での衝突噴流伝熱速度は、通常の連続加熱面におけるそれより著しく大きいことが示された。また、発熱素子が複数個ある場合についても検討し、チップの平均温度上昇は発熱素子の総発熱量によることを示した。

#### (2) 気体分子からの蛍光を用いた圧力の非接触光測定……………上野、平井、高城、岡田(阪大)

UV光を  $I_2$  分子に照射して蛍光を発光させると、その波長スペクトルが圧力に依存する。このことを利用して、流体の局所圧力を非接触法で測定する方法を提案した。ここでは、波長が 342.5 nm または 505 nm の強度と波長が 431 nm の強度との比が圧力によってどう変化するかを図で示し、これを利用して圧力を求めることを示した。

#### (3) 希薄気体中におかれたフィンからの熱伝達(直接シミュレーションモンテカルロ法による解析)……………宇佐美、加藤(三重大)、藤本(名大)

希薄気体中におかれたフィン内の温度分布を直接シミュレーションモンテカルロ法で求め、実験と比較検討した。おこなった対象範囲は、クヌーセン数の逆数にして 0.057から 3225 である。計算においては、気体分子運動の時間スケールに重みをかけ固体温度変化の時間スケールと同程度にして計算をし易くするなどの工夫をした。

#### (4) アルカリ金属の蒸発・凝縮を伴う場のシミュレーション……………杉山、石黒、内海(北大)

平行平板系での蒸発・凝縮を分子の放出と吸収にしてモデル化し、シミュレーション計算を



おこなった。とくに相変化を伴う系では、用いる乱数の精度の違いによって結果に影響がでることが指摘された。

(5) レーザ加熱による金属・非金属原子クラスターの生成……………青木、小竹（東大）

真空室内に固体試料をおき、それにレーザ光を照射して蒸発させ、クラスターを生成させる実験をおこなった。その結果概していえば、凝集エネルギーの小さい物質ではクラスター生成が効率よくおこなわれることがわかった。しかし本質的には、光の吸収→溶融→蒸発→凝集の総合過程に依存するとの考えが示された。

(6) レーザ加熱による固体溶融・蒸発と相変化……………黒木、小竹（東大）

レーザ光によって固体を溶融・蒸発させる現象について計算で調べた。具体的には、固体格子粒子間の振動エネルギーや回転エネルギーの励起を分子動力学的に数値計算し、レーザ光エネルギーと固体格子粒子の相変化過程を調べた。

### 3 エピローグ

マイクロ伝熱学についてのイメージとプラズマ伝熱について神沢が話をした。プラズマ伝熱については、電磁場のない場合、電場のある場合、電磁場のある場合に分け、それぞれの特徴を示した。

### 4 パネルディスカッション

すべてのプレゼンテーションが終わったあと、発表者にパネラーとなっていただき、発表順に質疑応答をおこなった。また、最後に全体的な総合討論をおこなった。

## ☐ セッション状況

セッションは当初予定したプログラム通り、上に示したセッション内容の順序で進んだ。会場には多くの方が参加され、立っている方もおられた。この分野での関心の高さを示すものと思われる。

質問は活発に数多くだされ、発表者も熱のこもった応答をされた。討論の時間として 40 ～ 50 分設けたが、質問が一方通行でなく何回かの往復の質疑応答となって討論が尽きなく、時間制限で打ちきる状態であった。この意味では実りあるセッションだったと考えている。

ただ、それぞれの研究発表が相互に共通性が少なく、そのため研究発表相互の討論比較的が少なかったと思われる。これも、このマイクロ伝熱が新しい分野でありまた幅広い領域にまたがっていることによるためで已むを得ないことと思われるが、それぞれの研究が個々別々の討論になってしまったような印象は残っている。

## ☐ マイクロ伝熱学概観

マイクロ伝熱とは何かということに関して、私なりにその言葉から受けるイメージをここで少し述べてみたい。マイクロということは“極めて小さい”ことであるが、どのくらい小さい伝熱研究 Vol.28, No.110

かといえば、これまでの伝熱の式や概念の延長にない小さい領域であるということであろう。このような小ささの定義を踏まえた上で、マイクロ伝熱を次のように分類して考えてみることにする。

#### 1 伝熱対象物がマイクロ

伝熱の対象物が物理的に極めて小さいケースである。単に無次元数の代表長さを小さくするだけでは伝熱現象を把握できないことが考えられる。現在実際問題としてクローズアップされている集積回路の冷却（研究発表の 2-1 がこれに該当）や、生体細胞の温度コントロールなどもこの分類に入れていいであろう。

#### 2 伝熱対象時間がマイクロ

伝熱の時間スケールが極めて小さく、伝熱の応答性を熱容量的発想からでは推し測れない場合があると考えられる。例えば、超急速な熱エネルギーの出入や超熱伝導現象などは、分子の構造的変化も考慮する必要があるであろう。

#### 3 温度差がマイクロ

マクロ的概念の温度ではその差がない場合でも、マイクロ的概念のエネルギー差によって熱エネルギーの移動が考えられる。これは温度の定義にも及ぶ話になるが、超一様温度場や伝熱速度無限小の状態が求められることはあり得よう。

#### 4 伝熱機構がマイクロ

多くの伝熱現象が連続場で考えられているが、分子・原子、クラスター、イオン・電子というオーダーで伝熱現象を解明することも必要になってきている。研究発表の 2-2 から 2-6 がこれに該当する。

#### 5 伝熱制御がマイクロ

極めて微小な温度調整や伝熱速度の極めて僅かな制御も、要望されつつある。これには新たな研究・開発が必要であろう。

以上、「マイクロ伝熱学」のセッション状況と、マイクロ伝熱学についてのイメージ的私見を述べてきた。とくに最後の私見において、マイクロ伝熱学を思いつくままに分類して記してみたが、確とした定義に対しては私自身まだあいまいな感触を持っている。しかし、新しい分野はいつも、ひらめきの感覚から或は特殊な目的から始まるのであって、この分野においても大上段に振りかぶった定義などは必要なく、それぞれの研究者がそれぞれの立場で感覚的に考えていただければいいように思う。むしろこのような集まりが重なることによって、その内にマイクロ伝熱学のジャンルが決まってくるであろう。

いずれにしても、マイクロ伝熱が今後進んでいく中で、熱とは何か、熱とエネルギーの関係は何かということが、大きな命題として問われてくるように思われてならない。

## 強制対流（Ⅰ）～（Ⅵ）セッション

五十嵐 保（防衛大）

強制対流は11セッションに分かれ、合計55件の講演発表がA室において3日間にわたり行われた。筆者は出発日の前日にセッション（Ⅰ）～（Ⅵ）のレビューまたは感想を執筆するようとの編集委員長からの連絡を受け、断れないとのことで引き受けた次第である。

強制対流と一口に言っても論文の内容は多岐にわたり、プログラムのセッションとは無関係に再分類しようとしたが、切口が見当たらず、プログラムに沿って感想を述べたい。

（Ⅰ）種々の系の中におかれた円柱まわりの流動と熱伝達に関する実験的研究である。A111は多孔質層中に置かれた傾斜円柱の平均熱伝達を $Re \leq 200$ の範囲で扱っているが、局所熱伝達と流れ場の測定が望まれる。A112は水溶液中に置かれた水平円管まわりの凍結挙動に及ぼす諸条件の影響を実験的観察から明らかにしたもので、工学的にも貴重な知見を得ている。A113は水平円柱まわりの強制-自然並行流共存対流領域を無次元パラメータ $Grd^*/Nud Red^2$ で与えている。この無次元パラメータの物理的意味を明らかにすることを望みたい。A114は自然対流と一様流が共存する場に置かれた回転円柱まわりの熱伝達と流れ場をM Z 干渉計により明らかにしている。A115は臨界問題の直列2円柱において上流側円柱が層流および乱流はく離する場合の下流側円柱の熱伝達特性を論じている。

（Ⅱ）は平板境界層上の角柱の熱伝達と管まわりの熱伝達に関するものである。A124は電子機器の放熱設計に関する基礎データを得る目的で平板層流境界層に置かれた二次元角柱の局所熱伝達特性を明らかにしている。A121は前者の続報で、同一条件下でトリッピングワイヤによる乱流遷移で2～3倍の伝熱促進を得ている。無次元整理式で結果をまとめるのが実用的であるとの指摘があった。A122は乱流境界層に境界層厚さと同程度の正方形柱を単一三次元突起として置き、突起および平板上の熱伝達と流動特性が調べられたが、今後の進展が期待される。A123はフィンを有する流線型管の熱伝達で、数年に渡る継続研究でその完成を望みたい。A125は熱流束センサおよび静電容量センサを用いて浮遊粒子中に置かれた管群まわりの流動特性と局所熱伝達特性を調べ温度境界層更新モデルを提唱している。今後の進展が楽しみである。

（Ⅲ）ははく離・再付着を伴う流れを対称としたもので、3件は後向きステップ流れの実験および数値解析である。A131は波形流路の流動特性を低レイノルズ数で調べているが、昨年のシンポジウムで圧力損失の少ない正弦波状流路の報告があり、研究の意義を明確にする必要がある。A132は後方ステップ再付着壁面の瞬間圧力分布をホログラフィ干渉法により可視化し、乱流構造を明らかにし、後向きステップ流れの解明に新たな知見を与えたもので評価できる。

A133とA134は拡大流路の流れと熱伝達の数値計算である。前者は昨年の二次元的扱いの続報で非定常三次元計算である。レイノルズ数の増加による対称流れから非対称流れへの変化および三次元の局所熱伝達率など実験的検証が望まれる。後者は熱伝達特性に及ぼすステップ角度の影響を明らかにしている。

(IV), (V)は種々の管内流れの流動と熱伝達に関する数値解析および実験的研究である。A211は直交回転円管内, A215とA221は曲がり円管内層流流れと熱伝達に関する数値解析である。いずれも完全発達流れにおいて, 2渦から4渦への二次流れの遷移を報告している。しかし4渦は実験的には観察されていず, また未発達状態で過渡的に現れるという報告もあり, 実験的検証が必要である。数値解析上は興味ある問題と思うが, 工学的に重要な問題なのだろうか。平均ヌセルト数, 流量係数, 管摩擦係数などに2渦と4渦の差異は認められない。A224は曲がり矩形管内の完全発達層流の従来の計算結果をレビューしている。A214, A216では曲がり円管内乱流および層流複合対流場の熱および流動が三次元楕円型N-S方程式を用いて解析された。A223はCVD炉をシミュレートした下面加熱の水平長方形管内乱流複合対流における縦渦の生成を側壁加熱により制御しようとする実験的研究である。これは水平方向に一様温度分布を得ることを目的としており, 工業的用途からも重要なテーマであり, 今後の発展を期待する。A212は一次元管路における温度フロントの移動問題をオイラー陽解法と陰解法を使い分ける方法を提唱している。しかし壁面の温度変化は連成させているが, 熱伝導を考慮していないのは問題と思う。A213は偏心環状流路の十分発達した層流熱伝達を扱っているが, 局所ヌセルト数が負になるという興味深い結果を得ている。A222は環状流路の内外管が高熱流束加熱を受けた場合の層流化開始条件を実験と改良k- $\epsilon$ モデルから検討している。A225ではスラリーの固体粒子が固液反応を行う管内層流熱伝達の実験的解析が行われた。今後の発展が期待される。

(VI)は実機内の流動と放熱器に関するもので, 企業からの発表が4件あったことは大変喜ばしいことである。本シンポジウム初めての参加A234もあり, 今後の発展に期待したい。特にA232の半導体製造工程における処理槽内の塵挙動解析は企業ならではのテーマであるが, 大学等での研究テーマの設定にとっても示唆に富んだものと思う。またA231の原子炉ロッド内流れの再循環流発生条件やA233の空冷放熱器の流動損失特性などが無次元整理式で与えられているが, データのバラツキを考えるともっと物理的, 現象的に分かり易い簡潔な形にまとめる工夫が必要であると思う。A235は衝突噴流の熱伝達を液晶膜を用いて測定しているが, 噴流と加熱面とのなす角度の影響についての議論が欲しい。

なお各セッションとも活発な討論が行われた。これらの一部を紹介し, 筆者の全般的感想を述べる予定であったが, 紙面が尽きたので省略させていただく。

その他, 下記の点について是非検討していただきたく, 準備委員会に要望します。

- ① 英文アブストラクトを講演論文集と分けて別冊とする。
- ② シンポジウムのプログラムおよび研究発表者氏名索引の別冊を会場で配布する。

## 強制対流伝熱：セッション VII ~ XI の感想

片岡 邦夫（神戸大工）

この五つのセッションの講演件数は合計25件で、乱流輸送モデル等による流動伝熱の数値解析の研究が12件、実験による研究が16件、その中の3件が数値解析と実験を対比し、検討している。

セッションVIIの4件の講演は吹き出し、タービン翼、流体振動、超伝導体で、互いに共通性があまりなく、本質的な総合討論がしにくいようであった。吹き出しを伴う管内流の数値解析の研究は将来は乱流へと発展させるために、境界層近似をせずに層流の方程式を吹き出し開始点付近に注目して解析したものであった。タービン翼の研究は翼内の曲管を含む往復冷却管の局所伝熱係数を細かく測定した実験的研究であるが、翼を回転した実験が待たれる。流体振動管の伝熱の研究はヒートパイプと対比してなされているが、もう少し熱の混合拡散に関与する振動流の解析に立ち入ってほしかった。超伝導体冷却の数値解析の研究は時間微分項の入った冷媒のヘリウムの流動伝熱の方程式と導体の熱伝導方程式を用いて熱のじょう乱に対する安定性について解析している。企業からの参加者から運転条件など実際問題との接点について質問があった。

セッションVIIIの6件の講演はすべて噴流に関するもので、くさび面への衝突噴流、密度差気体自由噴流、円柱列による衝突噴流伝熱促進、複数衝突噴流伝熱、自由噴流の渦輪発生周波数、乱流衝突噴流伝熱の数値解析であった。噴流の構造の複雑さのために、実験的研究と乱流モデル等の数値解析の研究のギャップがあり、今後どのようなモデルへと展開すべきかについて討論が集中した。淀み点は揺れ動き、大きな渦が非定常的に発生するため、伝熱に興味のあるノズル-伝熱面間距離が短い領域での噴流の非等方性と非定常性が実験、理論（モデル）ともに困難にしている。実験的研究において新しい熱輸送モデル構築への道がまだはっきりと見えていないだけでなく、現段階で既存のモデルにより数値解析するにも無理があり、実験による情報の解釈が難しいと思う。

セッションIXの5件の講演は対象とする流れは異なるが、すべてモデルの検討に関するものであった。モデルとしては $k-\epsilon$ モデル、応力方程式モデル、Large Eddy Simulationなどが検討されているが、その仕方は様々で、せん断層の渦混合、低レイノルズ数流れや非定常管内流、旋回流、一様乱流などでなされている。やはり二次元性、準秩序運動や大規模組織構造、非定常性など乱流構造と関連づけてモデルの改良がなされねばならない。従来 $k-\epsilon$ モデルなどは充分発達した乱流で検討されているが、弱い乱流や非定常流での適用性の検討は意義がある。また $\nu_t$ と同様に、熱の渦拡散係数 $\alpha_t$ も乱流プラントル数を仮定するのではなく、乱流モ

デル自身から求めるための温度場2方程式モデルについても検討されており、 $k - \varepsilon$ モデルでの温度場の解析の信頼性の向上を期待したい。

セッション X の4件の講演は主として乱流輸送現象を支配する乱流構造の実験的研究である。壁乱流、成層流、ベンド内乱流、開水路乱流が取り上げられた。壁乱流の熱輸送をバースティンクの準秩序運動の4象限の運動と関連づけて解析する方法が考案され、乱流熱輸送機構を詳細に調べている。円管内で形成された安定な成層流の研究は混合開始点付近は壁の影響が少ないが、内部の流れの構造を見たい下流では管壁側の境界層が上下で異なる発達をするので面白いが複雑になる。ベンド乱流は $\pi$ ベンドとS字流路の2種について乱流測定をしているが、熱線による流れ計測の方向性が難しい。開水路の自由表面でのガス吸収は液側境界層の抵抗が支配的な場合が多く、気・液界面の液側の乱流構造を大スケール渦による界面更新の観点から解明する試みは重要である。

セッション XI の6件の講演は伝熱促進に関するものである。促進体としては半デルタ翼、ねじりテープ、角柱、リング、三次元リブが用いられ、電場を付与してコロナ放電を利用する研究も1件あった。層流伝熱の促進を目的として平板境界層流(実験的研究)に対して半デルタ翼が、平行平板間流(数値解析研究)に対して角柱が挿入された。ねじりテープは管内高温乱流を2次流とふく射により促進しようとするためのもので応用性の点で興味深い。リングは円管内に共軸で壁に触れずに挿入され、三次元(半球)リブは矩形ダクトの壁面に多数個突起として配置され、伝熱に関する基本的な局所測定がなされている。リブの場合は得意の昇華法による局所  $Sh$  数の精密な測定がなされ、油膜法により可視化された流れと対比している。最後の平行平板間層流伝熱のコロナ放電による促進はイオン風の2次流が効く層流に限られる。

今回に限らず強制対流の分野は層流乱流とも数値解析の発表が年々増加している。特に、強制対流における興味は乱流輸送モデルの確立のための検討に集中しており、コンピュータによる数値解析に偏っている。この境界条件等に利用される乱流情報とか、計算結果と比較される実験結果は、必ずしも現在の実験的研究の方向と一致していない。最近の強制対流セッションは単純化された典型的な流れに対する基礎研究ばかりである。実社会の、特に高度技術に関連する分野の研究が日本を代表する伝熱シンポの強制対流セッションにおいて影を潜めているのは残念である。例えば、極限条件での伝熱としては極低温の講演が1件あっただけである。超電導に関連した極低温超流動での伝熱、飛行物体に関連した希薄気体高速流での伝熱・物質移動、高速圧縮流の伝熱、超微粉体の流動伝熱物質移動、高温プラズマ電磁流動などまだ解決していないと思われるが、また、最近、流動伝熱を促進したり制御するために渦流や2次流に注目した研究が増えてきたが、渦発生に関しては、局所性、3次元性、非定常性の問題が数値解析を複雑にしている。乱流でないが、非定常の方程式を直接計算する場合、差分などによる離散化による計算自身の不安定性と乱れ解の問題と非線形現象そのものによる分岐現象、履歴現象が将来、自然対流、強制対流分野でも議論されるようになるのではないかと。

## 「熱物性」と「計測・測定」のセッションから

飯田 嘉宏 (横浜国大・工)

第1日目の午前中に行なわれた、「熱物性」と「計測・測定」のセッションではそれぞれ4件と5件の研究発表があった。第1日目の午前中というと、生硬で緊張した雰囲気が溢れているものだが、この日もその通りであった。発表内容は各講演によってかなり異ったため、討論は個々の発表毎に扱うことが多かったと同様に、本記事でも統一的な感想等を記すことは困難である。そこで一部を除いて各講演毎に取り上げてレビューすると共に、討論内容を中心として会場の雰囲気等を伝え、また報告者の独断・偏見を述べたい。

B111は非均質物質の温度伝導率に関するものである。「有効熱伝導率と熱容量から算出した温度伝導率と、測定した同値との間には大差のある場合がある」ため、有効温度伝導率についてセルモデルを用いて検討した、としている。色々の場合について測定値と計算値の比較を行なっているが、結論らしいものは示されず、「さらに深く検討する必要がある」と閉めているのは残念である。しかし、フーリエの法則で定義される熱伝導率はセルモデルで考えられるが、温度伝導率を同モデルで考えることは本来出来ないことではないか、と思われるがどうであろうか。

B112は、フロンの代替物質として有力なR123の熱伝導率を非定常細線法で測定した結果の発表である。温度273~353K, 圧力1~40MPa で測定している。これらの物質の熱物性値を早期に整備するうえで必要な研究である。興味深かったのは、本研究の測定精度は±0.5%とされる一方、精度±1%とされる他研究者のデータと3~4%の相違があったことである。これについては著者が考察されると共に、両研究者間で意見交換があった。熱物性値だけでなく、今後は代替物質の伝熱性能の研究も必要であろう。しかしフロンは実験上でも大変便利な物質であった。代替物はどうであろうか。

発表セッションは異なるが、B113とB122は感温液晶を用いて温度場を定量的に一挙に測定しようとする意欲的な研究である。B113では、液晶懸濁法における定量化を検討し、色相値と温度の間に強い関数関係があり他の影響を受けにくいので、色相値で評価することとした。B122では液晶温度場可視化装置を特別に作成し、色・温度の定式化に色相角を含む4種の方法を詳細に検討した。各場合に温度の正確度を数値的に示していることが有り難い。色を定量化することは容易なことではないと考えられるが、0.1~0.2Kの精度で一挙に面測定できる意義は大きいと考えられる。

B114は、薄い多孔質材料の透湿度として見かけの拡散係数を測定しようとする一方法で

ある。非定常一方拡散および向流拡散で行なっている。境界条件の実験的実現、濃度の測定など、この種の測定法確立には困難な問題が多くあると考えられるが、結論にはもう少し定量的な表現が有ればと思える。

B121は、計算器用プリンターに使うインクジェット記録方式に関するものである。このような問題が何故伝熱研究に入るかと思われるだろうが、伝熱工学は全産業の基盤技術であり、どんな分野においてもある技術の基本的問題になる場合があることを示す好例といえよう。すなわち、微量のインクを微小ヒーターで極微小時間強烈に加熱し、多分自発核生成による微小気泡によって吹き飛ばすのである。発表内容は現実的データの色合いが濃い、今後大学の研究者らがよりアカデミックなアプローチをするべく提出された問題とも言えよう。

B123は、熱設計にCAEを導入してはどうかという提案である。電子機器の熱流解析を例にして簡単な考察を行なっている。はじめは温度分布の平均化のために利用するのが妥当、と著者は述べているが、大雑把なことが判れば良いというような場合には有効になるかもしれない。

B124とB125は「超音波」なるキーワードは同じだが、前者は超音波による伝熱促進、後者は超音波による温度分布測定である。最近は「超音波工学」なる言葉が現われるほど超音波が多面に使われ始めているが、これらはその一環であろう。B124は自然および強制対流の伝熱促進に超音波を付与し、いずれの場合も付与による促進を認めている。特に自然対流の場合に大きい。本研究のデータ自体はある程度貴重なものである。しかし、相変化のない対流伝熱への効果については、油川らによっても既にかなり系統的に調べられており、これらの研究と同様なので是非参照してほしい。

B125は、超音波パルス波にComputed Tomography法を適用し、噴流の温度分布測定に使用したものである。そして種々の補間法を用いた結果と熱電対による測定結果を比較し、スプライン関数補間法を採用している。

さて、「計測・測定」とか「熱物性」と言うと、発表内容には比較的境界領域的なものが多いが、今回もその傾向はあった。「熱物性」にはB111, B112が、「計測・測定」にはB113, B114, B122, B125が適合し、一方、B121は「沸騰」、B124は「自然対流」に移行したほうが適当だし、B123は「設計法または計算法」の類のものであろう、と考えられた。

興味ある議論が集中したのは、液晶による定量的温度測定に関する2件であった。伝熱研究上では全てに先じて重要なのは温度測定である。我々は余り疑念もなく温度測定をしているが、実は色々問題があるのではないだろうか。研究会で徹底したサーベイと議論をしても良いように思える。

(以上)



## ヒートパイプの講演を聞いて感じたこと

田中 修 (九工大・工)

最近は大熱シンポジウムに出席する機会に恵まれませんでした。久しぶりに仙台でのこのシンポジウムに参加でき以前からある独特の雰囲気にふれてシンポジウム特有の伝統が残っていることを感じるうれしい気がしました。また、なつかしいお元氣な諸先輩方にもお会いでき心強い気もしましたが、反面若い知らない方が多くなり淋しい気もいたしました。

さて私の関係した熱サイホン及びヒートパイプ関連の研究について気のついたことと印象を述べさせていただきます。まず気のつくことは、ヒートパイプの研究が多くなっていること。この中には昔からの熱サイホンも含まれていますが、この関連の研究が多くなっていることでした。

2成分系の作動流体を用いたヒートパイプの研究はずっと昔(約20年前)行なわれているが、その研究目的は2つの純粋の流体が分離現象を起こすものかどうか、単一の作動流体では得られない熱特性を期待して行なわれたようです。それに対し今回の研究はより高性能な定温度制御の実現を目的にしたものであるが、たしかに熱輸送量の変化に対し $\Delta T$ があまり変わらない特性はあるものの、従来の非凝縮性ヒートパイプに比べて今回のものの熱抵抗値がかなり大きいことから実用として使えるものとなるのかどうか疑問に思います。

ヒートパイプや熱サイホンは全くの受動素子であるが、蒸発部の温度や熱輸送量を能動的に制御する手法として内部に磁性材料を封入し外部から永久磁石により移動可能にしたものが研究されている。これは蒸発部の液量を制御し、蒸発部の温度とヒートパイプの性能である熱抵抗を人為的に制御できるものである。たしかに従来のヒートパイプの受動素子である考えを一部能動素子に切り換えた点は評価するが、これを何に使う必要があるかというニーズ、信頼性、経済性に問題をかかえていると思われる。

ウイックの基礎研究はヒートパイプ研究開発の初期からかなりやられている。熊本大学発表の金網ウイックの浸透係数の基礎研究はかなり系統的に行なわれており実験とモデルによる計算を紹介しており興味をひいた。ただ全くの基礎データなので実際のヒートパイプに組み込んだ場合押し付け圧力が不明なのと一様な押し付け圧を維持することが難しいと思われる。こうした基礎研究成果と実際のヒートパイプへの浸透係数の評価の比較検討をどうするかが問題として残っている。

ケミカルヒートパイプ(名大)の研究発表でおもしろい質問があった。普通に呼ばれているヒートパイプは流体の潜熱利用で熱を輸送する素子のことであるが、熱の貯蔵はできない。また1 Kmや2 Km位なら可能と思われるがそれ以上の長距離の熱輸送は無理と考えられている。と

ころがケミカルヒートパイプは可逆熱化学反応を用いたものなので熱の貯蔵あるいは輸送ができるのではないかとということで最近注目されている。上記の質問というのは、熱輸送の原理が従来の熱サイホンとかいわゆるヒートパイプと異なるのでケミカルヒートパイプがヒートパイプという名で呼ばれているものかということでした。講演者が答えられなかったのかどうか忘れましたが、座長からのご指名で私に意見を求められました。私は次のように答えました。ヒートパイプという名をつけたのは1963年アメリカのG.M.Groverさんでいまから26年も前です。ですがなんの本であったか記憶はありませんが、温水を通すパイプのことをヒートパイプと書いているのを見たことがあります。日本ではHeat Pipeのことをヒートパイプとっていますが、中国では熱管と表現しています。したがって広義の意味では熱サイホンもそうですが熱を輸送するパイプでしたらヒートパイプと呼んでいいのではないのでしょうか。私の話のあとすぐに岡木教授（茨城大学）が立ち上がりケミカルヒートパイプはずっと昔（40～50年前？）から名があるといわれ私自身も驚いたと思います。

熱サイホンとくに密閉型二相熱サイホンの研究は昔から連綿と続いている感をますます強くしました。というのは私も現在研究している者ですが、約20年前民間の企業で伝熱を始めたとき上司から電気機器などの冷却としてはこの冷却方式は理想的なもので冷却の最終形態といわれたのが記憶に残っています。私の知っている限りでは熱サイホンののはしりは1831年に特許登録になっているPerkins' systemです。これは单相の一種のボイラですが水の膨張を考慮した空間を設け、ボイラの破裂を防止したものです。そのあと数年後に二相の熱サイホンであるPerkins tubeなるものが発明されています。いまからなんと150年以上も前のことです。現在でもこの種の最大熱輸送量に限界を与える原因はなにか、現象としてはわかっているでもそのメカニズムはわかっていません。そして熱コンダクタンスをどのようにしたらもっと大きくなるかの研究も行なわれています。そういうことを目標に多くの方々が日夜研究されていることを今回のシンポジウムで感じることができました。

自然対流のセッションは6つ、計32件の研究発表があった。ほぼ例年通りの数であり、強制対流、沸騰のセッションに次ぐ時間とスペースが割かれている。そのわりに白熱した討論が、少なくとも強制対流に較べて、展開されることが少なかった点が印象に残る。これは、ひとつには相互に殆ど関連のないテーマが同じセッション内に組み込まれた事も原因しているものと考えられる。例えば、自然対流(I)では下方加熱、(II)では容器、(III)では円柱、円管、(IV)では平行平板、(VI)では環、という言葉が KEY WORD になっているらしい(?)が、このような対象物に依る分類の仕方に戸惑いを感じたのは筆者だけではないだろう。難しいことではあるが、物ではなく、現象の本質、ないしはその応用に基づいた割り振りをお願いする次第である。

さて、今回の自然対流セッションで発表された研究を振り返ってみると、今回が最初ではないにしても、いくつかの新しい動きを指摘することができる。そのひとつがマランゴニ対流に関する研究 (B-231,232,323)である。この分野に筆者は不案内なので、各々の研究成果の詳細については論文集に譲るが、マランゴニ対流といういままであまり注目されることの無かった対流現象に伝熱研究者の関心が集まる事は必然の成行きと考えられる。ただ、今後この分野にさらに多くの研究者が関心を寄せるためには、何か工学的に非常に面白い現象が見つかるか、工業的に今まで以上に重要性が認められる事が必要のように思える。ともあれ、更なる研究の進展を期待したい分野のひとつである。また単結晶製造時の伝熱問題に関連して B-324 の講演は、液体ガリウムの自然対流に及ぼす磁場の影響を論じている。垂直な加熱面に対し磁束が貫通する向きに磁場を加えた方が、直交磁場の場合よりも、自然対流が抑制され易いことを示した興味ある研究成果を得ている。この結果は、結晶製造のみならず製鉄業における電磁溶鋼流制御にも貴重な情報を提供するものと思われる。

垂直加熱平板に沿う乱流自然対流についても2つの報告(B-313,321)があった。前者は層流、遷移域での乱れの発達過程を LDV, 熱電対による速度と温度変動の測定結果を基に明かにし、後者は乱流境界層内の組織構造の有無について、可視化結果を基に論じている。乱流自然対流に関しては、両研究グループが現在世界の実験研究を一步リードしており、レベルの高い議論が展開されている。今後はプラントル数の異なる流体を用いた研究へ進展していくことが期待される。また水平二重円筒内乱流自然対流について DNSによる数値計算結果が披露された(B-333)。結果を見る限り、かなり数値予測の精度が高いことが伺える。計算機の進歩や利用技術の開発に伴って、今後このような解析がさらに容易になるであろう。近い将来には、実験的解明が比較的進んでいる垂直平板上乱流自然対流との比較も可能になるものと大いに期待される。

強制対流と自然対流が共存した、いわゆる複合対流についても4件の発表(B-243, 244, 312, 315)があった。このうち244では円管内加熱下降流の乱流熱伝達を実験・解析の両面から取り扱っている。乱流強制対流で用いられている乱流モデルをそのまま自然対流に適用して良いか、という問題は残るものの、伝熱現象そのものの面白さと相まって、今後の進展が期待される研究でもある。243は水平加熱円柱周りに発生する自然対流と逆向きに強制対流を流した、いわゆる対向共存対流の熱伝達について実験を行っている。実験の中心は強制対流剥離が生じないような低い $Re$ 数域にあると思われるので、さらに $Re$ 数を広げた場合の結果がどうなるか興味を持たれる点である。312, 315は原子炉、電子機器の冷却と応用目的は異なるが、いずれも垂直平行平板間の層流共存対流を取り扱ったものである。特に後者はIC基板を模擬して、熱源が分散された場合について、壁面熱伝導の影響を解析的に調べている。実際への応用を考えたとき、どこまで2次元流の仮定が有効か、吟味されると本解析の有用性が更に増すように思える。

また、上述のほかに今回の自然対流セッションの特徴として、原子炉事故時の自然循環特性について合計4件の講演(B-325, 331, 335, 336)があったことが挙げられる。いずれの研究も実験に近いスケールでの実験・解析を行っており、研究の重要性が感じられる内容の発表であった。しかし、聴講者の多くは必ずしも原子炉工学を専門としておらず、議論がかみ合わない場面もみられた。今回のように、自然対流のセッションに組み入れられるより、むしろ原子炉の伝熱として独立したセッションを設ける方が、発表者、聴講者双方に益するようになると思われる。

数は少ないものの、多孔質内の自然対流についての研究(B-223, 224)も米国での研究の活発さを考え併せると、もっと注目されてしかるべきである。米国の多孔質研究がともすれば机上の空論(?)に陥りがちなのに対し、少々泥臭くともインパクトを与えるような実験結果を日本から出す時期に来ているようにも思える。

自然対流の流動・伝熱を3次元解析によって明らかにしようとする試みも今回のシンポジウムの目だった動きといえる。B-222では六角形ハニカムコアをもつ傾斜空気層の自然対流を境界固定座標変換法により解いている。また、B334では下方加熱、上方冷却の鉛直環状空間内3次元自然対流を有限体積法で解いている。この他にも前述したB-224, 324, 333で3次元解析を行っており、この数は今回の自然対流セッションで発表された全解析的研究17件の実に1/3近くを占めている。層流で比較的単純な体系の自然対流であれば、ためらいなく3次元計算を実行する時代へ今さしかかりつつあるとあって過言ではない。このような時代に解析屋にとって必要なのは、計算技術の進展、改良への努力を続けることの他に、如何にして新鮮な解析対象を見つけ出すかにかかっているといえるだろう。一方実験屋にとっては、現在の計算技術の進歩をもってしても到底解けないような、乱流をも含む高 $Re$ 数の自然対流や、新しい課題例えば前述のマランゴニ対流、電・磁場下の自然対流あるいは二重拡散対流(B-314)などに積極的にチャレンジしていくことが必要になるように思われる。

凝縮に関する論文数は、他のセッションで発表されたものも含めて計16編であった。このうち4編が企業からの発表で、他は大学からのものである。研究の傾向としては、伝熱促進、実器の特性等を取り扱った応用研究が多く、基礎研究は少ない。凝縮セッションの論文を分類すると次のようになる。

- |     |  |          |
|-----|--|----------|
| (1) | 膜状凝縮   | 10編      |
|     | 管外(C111-C113)、管内・二重管(C121-C123, C132-C134)、鉛直面(C131) |          |
| (2) | 膜・滴共存凝縮  | 1編(C114) |
| (3) | 滴状凝縮   | 1編(C115) |
| (4) | 直接接触凝縮   | 1編(C125) |
| (5) | 蒸気吸収   | 1編(C124) |

#### (1) 膜状凝縮

C111とC112は水平フィン付管の管群伝熱特性におよぼすフィン形状、寸法の影響を調べている。環状フィン付管は実器における凝縮液イナnderションの範囲内では熱伝達係数の低下がほとんどないことが示されており、このことは実用上重要である。これらの研究の最終目的はフィン寸法の最適化であるが、フィンの形状パラメータは多いので、実験的にこの目的を達成することは容易ではない。この問題に関しては理論的研究が進展しているので、近い将来には数値計算によってフィン寸法を最適化することが可能になると考えられる。C113は極細管群に細線を編み込み、代表寸法の微小化とフィン効果によって管外強制対流凝縮の促進をはかっている。そして、期待通りの非常に高い伝熱性能が得られているが、流動抵抗も大幅に増大するとのことである。本方式を実器に応用する場合の資料として、今後流動抵抗のデータも示されることを望みたい。C121～C123は湿分分離加熱器における凝縮液の過冷却現象について、実器条件での実験およびフロン系冷媒を用いた模擬実験を行い、層状流モデルに基づく過冷度の予測法を提案している。今後導入された諸式の妥当性を検証して、より一般性のある理論にされることを望みたい。C132は水平管内の凝縮熱伝達を理論的かつ統一的に説明することを目的としている。液膜内の半径方向圧力分布を正確に評価することによって、管底部に厚い液膜が形成される様子がはじめて解析的に求められており、興味深い。実際の管内凝縮では蒸気流によるせん断力が流れ方向に変化するので、蒸気流と連立させた解析を展開されることを期待したい。C133は二成分蒸気の水平二重管環状部における凝縮について、圧力降下、熱及び物質伝達におよぼす環状部寸法の影響をしらべている。凝縮部における局所蒸気温度の測定値は、気液の相平衡を仮定して求められた計算値よりもかなり低い。この原因を明らかにすることが現象

解明のために重要であろう。C134はUベンドを有する二重管型凝縮器の局所流動・伝熱特性を調べている。Uベンド部の流動抵抗は直管部の2倍に達するが、熱伝達係数の増加は最大30%程度にすぎないことが示されている。C131は高い鉛直伝熱面を用いて広範囲の膜レイノルズに対する局所熱伝達係数を測定し、さきに提案した著者らの経験式の検証をおこなっている。乱流液膜の流動・伝熱機構はまだよくわかっていないと考えられるので、従来の実験データや整理法との比較検討も必要であろう。

#### (2) 膜・滴共存凝縮

C114は四塩化炭素と水の共沸混合物の傾斜平板上における凝縮を取り扱っている。四塩化炭素の液膜中に分散した水滴の挙動の観察に基づく凝縮モデルによって、伝熱特性がよく表されている。今後水滴の挙動に関する力学的考察を加えられることを望みたい。

#### (3) 滴状凝縮

C115は高分子薄膜被覆面状の滴状凝縮を取り扱っている。狭さく熱抵抗を考慮した著者らの理論はこの系についても膜厚の影響を正しく評価できることが示されている。本方式は滴状凝縮の高い伝熱性能を実器に応用する方法として有望であるが、復水器の蒸気条件下での滴状凝縮の持続性については否定的な意見もある。今後の研究に期待したい。

#### (4) 直接接触凝縮

C125は水ジェットへの蒸気の凝縮を取り扱っており、ジェット流表面の不安定性による表面形状の乱れの発達と熱伝達特性の間に密接な関係があることが見出されている。本研究は液体リチウムジェット流への凝縮現象を解明するための基礎研究として行われているが、物性値の違いを考えると、本研究の結果がどの程度適用できるか疑問が残る。この点についての見解を述べてはしかったと思う。

#### (5) 蒸気吸収

C124は気泡分散相による攪乱効果を利用して吸収器の性能向上をはかっている。気泡分散相では拡散抵抗が減少し、物質移動は熱伝達支配型になることが示されている。なお、水平向き吸収面での熱伝達は膜状凝縮の特性を示すとのことであるが、両者は全く異なった現象であるから、区別する必要があるであろう。

西尾茂文（東京大学生産技術研究所）

3年ほど前にも日本伝熱シンポジウムの沸騰セッションに関する感想を書かせていただいたが、今回は、3年前に比べて第26回シンポジウムで「沸騰現象および沸騰熱伝達」に関する理解がどの程度深まったかを中心に私見をまとめてみたい。紙面の都合と私の不勉強により、触れることができなかった課題があったことを予めお詫びしておきたい。

まず、沸騰研究全体について感想を述べておきたい。私は、科学技術研究の問題を考えると、**「基礎研究」**、**「基盤研究」**および**「応用研究」**の3つに大別して考える。私の意味するところでは、基礎研究は「自然認識の深化を目指す原理・概念的研究」、基盤研究および応用研究は「社会生活の機能性向上を目指す研究」であり、前者は「要素的研究」、後者は「要素技術の有機的結合を図る研究」である。例えば、最近話題の酸化物超電導体の導体応用を例に取れば、基礎研究は超電導物質発見や超電導機構解明、基盤研究は超電導物質の導体材料化、応用研究は超電導磁石へのシステム化にかかわっている。近年の科学技術研究ではこうした3つの研究間の距離が接近してきていることを考えると、我々にはこの3つの研究を各自が同時進行的に遂行することが要求されていると思われる。こうした観点から考えると、沸騰研究の中心は要素研究としての基盤研究であろうが、非平衡熱力学の進展などを沸騰研究の立場から目指す基礎研究、あるいは超電導・半導体・高度熱処理・新材料・宇宙機器など沸騰現象の新たな応用を目指す応用研究に関する発表・討論が少ないように感じてならない。

さて、次に個別の感想を述べよう。今回の伝熱シンポジウムでは7つの沸騰関連セッションが設けられ、37件の研究が発表された（沸騰セッション以外のセッションでも関連する発表が行われているので、全論文数の1/6程度が沸騰関連であると思われる）。各論文の詳細については論文集を直接参考にするのが適当と思われるので、ここでは印象に残っている議論についてのみ触れさせていただきたい。まず、限界熱流束の発生機構については、合体気泡底部に形成される液膜の消耗に起因することではおおよそ認識が一致してきたものの、液膜厚さを支配する概念である液膜形成機構に関する認識についてはC313・C321とC324で大きな相違が見られた。後者では一次気泡の離脱方向の合体により形成される蒸気茎に関する界面不安定を基本概念としているのに対し、後者では一次気泡の伝熱面表面方向の合体による（一次気泡底部近傍の）残存液膜を基本概念としているように思われる。個人的には前者の立場に近い認識を持っているが、いずれにしても合体気泡底部の液膜形成機構・液膜構造に関する研究の進展が望まれよう。膜沸騰熱伝達についてはC331、C332、C334、C335などを見ると体系化の時期に至っており、放射伝熱の効果の技術的評価法についてもC331などで進展がみられたが、今後サブクール膜沸騰を含めて、界面不

安定の役割。液相境界層を含む境界層構造の理解の深化が望まれる。自発核生成と沸騰核生成とにより概念的に構成される気泡核生成については、特に新しい概念は提出されなかったが、C211, C311, C316に関して行われた討論を聞く限り自発核生成に関する理解がかなり高まったように思う一方、今後、高過熱度面での固液接触限界との関連に関する理解が深まることを期待したい。この固液接触については、C314では発生音・圧力、またC333では表面温度変動による計測結果が発表された。固液接触発生割合・寿命時間などの統計量に関する研究が最近盛んになっているが、C333で行われているように、測定結果の相互比較を含めて温度変動法・探針プローブ法・導通法・インピーダンス法などで測定される信号が現実の固液接触発生と対応しているのかどうかを検討することが当面重要と思う。沸騰現象で重要な接触角については、C315, E134など測定方法の点で進展が見られたが、固液接触挙動との関連から言えば高過熱度面での濡れ性との対応に関する検討が必要と思われる。一方、拡散抵抗と代表温度差の問題が介在することが単成分液体の沸騰熱伝達と比べて特徴と思われる混合冷媒の沸騰熱伝達(C213~C216)では、沸騰機構・モデルの詳細化が図られたが、設置ターゲットの相違によりアプローチ方法が大きく異なるように思われ、研究者間でターゲットに関する議論が活発に行われることを期待したい。この点から言えば、酸化物超電導体の冷却に関するC211, C213については、こうした観点からの討論が少なかったのは残念である。C224, C225, C243, C245など狭い空間・流路における沸騰熱伝達については、「狭い」の意味の明確化を図るためのスケーリングを是非期待したい(この意味でC324の発表は示唆に富んでいると思う)。沸騰熱伝達・沸騰冷却の促進・制御については、EHDによるC221, C222, 気泡分散水によるC233, 超音波によるC234などが報告され、核沸騰中心であった沸騰熱伝達促進が全沸騰領域に広がり、促進法としてはかなりのものが出揃ったと思うが、今後は促進・制御機構の解明に力点が置かれることとなろう。核沸騰促進率に関するチャンピオンデータが報告されたC221については、会場で促進機構に関する理解について誤解があったと思われるので念のため私見を述べておきたい。私の理解では、EHDは沸騰核生成を抑制する効果を持つが、C221の研究については、(伝熱面表面でなく)沸騰液体中に予め存在する気泡をEHDにより伝熱面表面に拘束し、これをトリガーとして核沸騰熱伝達促進を図ったものと理解すべきであると思う。

最後に、討論について感じたことを一つだけ述べて、本稿を終えたい。研究発表に関する討論には、研究の背景にある問題に関するもの、研究の方向性に関するものあるいは発表自体に関するものなどがあり、伝熱シンポジウムでは発表も大切であるが、解決すべき問題の所在や我々の認識の到達段階を討論により明らかにすることが重要と思う。一方、現実には討論時間が制限されている。したがって、討論を十分に行うためには、(私自身のことを考えれば無論勉強不足を補うという本質の問題がまずあるが)討論者、回答者ともに冗長になることを避け1分程度で話をまとめるよう努力することがまず必要であると思う。また、関連セッション(例えば今回の沸騰なら7セッション)終了後、座長が相談してその回のシンポジウムで出た議論・問題点の中からいくつかを選び、公開討論会を行うセッションを企画するのも一案であると思う。



## 放射セッションを担当して

金山 公夫 (北見工大)

本年は発表件数が13件と昨年より若干減少した。内容別に分類すると、理論および計算3、物性2、放射変換2、熱処理3、計測1および太陽2である。

放射のセッションは特に放射伝熱の計算について先生方同志の活発な意見交換があるのだが、今回はあくまで講演者が主役で経過し、出席者も常に40~50程度であり、一定の方向に収束しつつある感じを受けた。しかし、穏やかな中にも、質疑の内容は厳しいものがあつた。会社からの発表が3件と増えたのは喜ばしいが、大学、研究所からの新規の参加が期待されるところである。以下発表順に寸評させて頂くことにする。

D111: 放射温度計を用いた温度測定で問題となるのは相手表面の放射率が未知なことおよびバックグラウンドからの影響である。ここでは後者の問題には対策を講じてあるが、前者は如何ともしがたく、したがって材料表面の欠陥や損傷の検出といった相対的温度分布の測定に重点が置かれているが、解像力と安定性の向上により実用になるものと思われる。

D112: 繊維単位の光学的性質および散乱光分布から、それらが集合した場合の配向を考慮し、シート状繊維のふく射物性を算出し、レーザー光(632.8nm)を入射させた実測値と比較したもので、繊維質材料のふく射物性の推定法として価値がある。用途の温度域とレーザー光の波長が差があり過ぎるので高温域での利用も対象とし、またアルベドの小さい繊維への適用を加えてほしい。

D113: 熔融塩をふく射媒体に用いることを前提とし、巧妙な測定法により $\lambda = 4 \mu\text{m}$ 以上のR領域、 $\lambda = 3 \mu\text{m}$ のK領域およびより短波長のn領域における熔融塩のふく射物性が定量的に明らかにされ、今後の熔融塩ふく射伝熱研究に貴重な情報を提供した。

D114: 日射は雲の影響を強く受ける。雲の種類、粒子径、厚さ、高さおよび雲量を因子とする雲の日射透過特性を明かにし、太陽エネルギー利用のための日射量解析における雲の影響を含めた簡便法を提示した。

D115: これまでの研究でソーラーポンドの性能を支配する要因は日射量と塩水透過率であることが明かにされ、今回はポンドよう壁の断熱性の影響が検討された。その結果、蓄熱層温度、蓄熱量などから判断して土壌の熱伝達率が大きくなければ、断熱されていない素堀り構造のポンドでもよいことが明かになった。

D121: 散乱媒体の粒径が大きく体積密度が高い場合のふく射輸送問題を、今回は相関散乱として扱っており、前回より実験結果により近似することを示している。層の厚さと粒径が接近したときの粒子形状の影響および光学厚さの決め方などは連続媒体と考えて処理しているものと思われるが明かでない。

D122: 粒径が大きく充填率の大きい充填層の透過率をセルモデルを用いて等価減衰係数

を求め、連続減衰モデルの場合より直接シミュレーションの結果に合うことを示している。これも当然のことながら干渉散乱にすると適用範囲が広がるとしているが、粒子間の影響は充填率で代表される簡単な入射分布で与えている。コンピュータで数値実験を行って検証している点が注目される。

D123：ボルトを充填した容器の熱処理工程において、伝導とふく射による加熱を有効熱伝導度を用いてシミュレーションしているが、内容チェックのできない市販パッケージソフトを使用して得られた計算結果と実験のつき合わせを行っており研究手段として疑問が残る。

D124：積層状に配列された多数のシリコンウエハを高温炉（1000℃）に挿入して加熱拡散処理する行程を、ウエハ基板への入射ふく射の多重反射、透過、再ふく射を幾何光学で解析し、炉挿入開始からの経過時間に対する基板温度分布およびウエハ位置による加熱速度の計算を行い、測定値と合うことを述べている。全体に測定点が少なく計算値の確認が十分でない。黒体炉の加熱において対流の影響で炉内温度はなかなか一様にならないが、この場合はどうだろう。

D125：半導体素子のシリコン単結晶の成長過程で結晶部および融液部の温度分布とそれによる自然対流が結晶成長に及ぼす影響を指摘し、シリコン固液両部分の透過性を仮定してふく射が伝導と対流に与える効果を光学厚さに対して計算している。

D211：放射の反射、吸収、散乱を含む火炉内の複雑な伝熱問題に対する簡便な計算法の提案で、計算技術に重点を置くため、数学モデルの設定にあたり種々の簡略化が行われているが、従来法より短い時間で精度よく計算できる点はメリットがあると思われる。「放射熱線法」と呼ぶには物理的根拠が弱いのではないかと？

D212：多孔質材料をふく射変換体に用いた伝熱促進技術で、実験により大きな熱伝達率が得られ顕著な効果があるとしている。解析では作動流体による効果は無視し、ふく射のみに依存させているが、ふく射伝熱への隔壁の作用がはっきりしない。

D213：一見熱・光子変換による新技術をイメージさせるタイトルであるが、内容は乱射粗面からの無指向性の熱ふく射にV型反射板を用いて幾何光学的に指向性を与えるもので、十数年前の古典技術の焼き直しの感がある。それにしても光エネルギーの定義がほしい。

最後に、全体を通じての感想を述べさせて戴くならば、前回の金沢、今回の仙台の両シンポジウムで特徴的な傾向であるが、従来の放射研究の対象と領域が、視界的、空間的にどんどん拡大されつつあることである。すなわち、都市熱汚染（ヒートアイランド、都市キャニオン）に対する天空放射（スカイラジエータ）に見られる地域的熱不平衡、炭酸ガス濃度上昇にともなう地球温暖化現象、（フロンガスによるオゾン層破壊に伴う紫外線障害）、さらには宇宙への飛行と基地建設の際の宇宙放射等、人間活動と自然、宇宙との係わりからもたらされる環境問題で、しかも放射が関与しあるいは支配的なこれらの事象への取り組みが本格化する中で、本放射セッションとしてどう対処すべきなのか、中央の諸先生方の御判断を仰ぎたい。

このセッションでは流動層3件および充填層1件、計4件の研究が報告された。前者の中で2件が流動層中の伝熱管まわりの伝熱機構に関する基礎的研究で、他の1件が流動層の空気熱源式ヒートポンプへの応用の際に不可避免的に生ずる蒸発器での着霜時の伝熱特性に関する応用研究である。また後者は直接流動層とは関係ないが、水分浸透をともなう粒子充填層内の伝熱特性に関する基礎的研究である。これら4件全て同一著者らによる継続研究で、内容的には着実に進展しているように見受けられる。

まずD131の研究は、伝熱機構解明に際し重要な非定常伝熱特性を明確にするため、熱流束センサーを開発し、局所非定常熱伝達率を測定している。流動層中に1本の伝熱管を埋設させ、種々の流動状態においてセンサー出力より時間平均熱伝達率およびその変動強度を求め、さらに熱伝達率の確率密度関数などの統計処理により伝熱機構を議論している。現象を支配する周波数から判断して、センサーの応答周波数など動特性についての測定上での精度には問題はないようである。また流動状況は、ガラス製の伝熱管内にミラーを置いて目視で管接触の粒子流動を観察しパターンを分類している。

一方D132の研究は、浅層形流動層に2列の千鳥配列の管群を配置し、静止層高と空塔速度を変化させ、局所熱伝達率と管壁近傍の粒子挙動を測定している。特に伝熱機構を議論する上で重要な粒子流動の測定には、送受光径2mm、光軸間4mmの透過光型粒子濃度検出プローブを使用している。熱伝達率はほとんど時間平均値での測定で光プローブの出力波形との対応を議論するには問題がある。また光プローブの出力と粒子流動との対応にも問題が残されている。測定結果に対する統計処理はされていない。

以上の2論文は、流動層伝熱のメカニズムを議論する上で、非定常測定の重要性を示唆しているが、前者は粒子流動の、後者は熱伝達率の測定がそれぞれ時系列データとはいえない平均量のため、厳密な意味でその対応を議論することはできない。したがって、前者においては、熱伝達率の変動強度という物理量として問題のある量を導入し、しかもそれによって粒子流動熱伝達への寄与の詳細を推測してしまっている。今後粒子挙動の定量的測定が望まれる。一方、後者には、熱伝達率の時系列データの測定が望まれるが、光プローブについてもその定量的精度について検討を有するものと思われる。

流動層伝熱の研究は、複雑な諸因子の影響についての定性的検討と平均特性の経験式の導出の時代から、メカニズムの解明への過程にあると思われるが、従来の気泡形流動層と最近の低圧損の浅層形流動層との接点を明確にする意味で、管近傍の粒子流動に加えて塔全体を支配する流動パターンとその周波数についての検討が重要と思われる。

上記2論文に対して、D133は同じ流動層の研究ではあるが、その実現が期待されている流動層熱交換器の空気熱源式ヒートポンプへの応用研究である。この種の研究のターゲットは流動層の高熱伝達率を利用するだけでなく、ヒートポンプの寒冷地での使用の際、性能低下に密接につながる蒸発器における着霜を粒子流動によって防除あるいは成長阻止をも期待するものであり、最終的にはノンフロストの実現をめざした極めて興味ある研究である。この研究では、着霜冷却面として3列千鳥配列の管群および垂直平板が用いられており、表面にはテフロン加工が施してある。粒子の流動状況に対応した着霜の様子とそれに対する粒子径、粒子の種類の影響および熱伝達特性が明らかにされている。粒子流動の着霜への影響と同時に層内に蓄積された水分が粒子の流動に影響することが問題として指摘されている。

最後にD134の研究は、水分浸透をとまなう充填層内部での伝熱特性に関する研究で、水分浸透の基礎となるマトリックポテンシャルや透水係数の含水率に対する依存関係を実験的に求めるとともに、粒子層内の水分および熱の移動現象を粒子と流体の温度が空間的に均一であるとしたモデルのもとで解析し、ガラス粒子を用い、粒径を変化させた実験と比較している。粒子層内への水分浸透は、供給水分量が重力によるフラックスの値より大きい小さいかにより大きく2つのパターンに分けられること、また供給水分量および粒径による水分・温度分布の相違を明らかにし、実験結果と解析の良好な一致を確認している。さらに水分供給を停止したのちの水分の再分布についても検討している。近似解析と実験値との一致も重要であるが、最終的には個々の粒子周りの状態の検討の上での考察が今後必要と思われる。

数年ぶりに伝熱シンポジウムに参加し、その盛況ぶり、特に討論の活発さに驚いてしまった。久しぶりにお会いする諸先生方との会話を楽しみ、また最近の伝熱工学の研究状況を概観でき有意義で楽しい3日間であった。熱交換器（I～IV）のセッションについて、全て聴講したわけではないが、一部座長を務めさせて頂いた関係でその中で感じたことを記してみたい。

熱交換器のセッションは最も実用に近い研究分野であることから、メーカーからの参加が最も多いセッションではないかと思われる。今回も熱交換器の全講演件数13件のうち、メーカーからの発表は7件であった。熱交換器は全ての伝熱現象を含む一つの伝熱体であり、メーカーの研究者はとかく浅く広くなりがちであるが、特に大学側からの参加者による発言を含めて討論も深く活発に行われ、より本質に近い議論がされていたのではないかとと思われる。

本セッションの講演内容を私なりに分類し概説するとつぎの通りである。

#### (1) 伝熱特性測定法

空気熱交換器伝熱特性の非定常迅速測定法であるシングルブロー法において、伝熱面内流路方向の熱伝導の効果が無視できないことが数値解析により示され(D221)、またパソコンを用いた測定システムの精度の検証が平行平板群を用いて行なわれた(D222)。

#### (2) フィンまわりの流れと熱伝達

オフセットフィンについて、千鳥配列矩形平板まわりの流れの可視化によりフローパターンが分類され、平板厚み、長さおよびレイノルズ数に対する圧力損失と流動状況との関連が実験的に考察された(D223)。また、その厚みを考慮した数値解析がなされ、流動、熱伝達に対する厚みの影響が明らかにされた(D224)。つぎに細線、細管からなるメッシュフィンについて4種の管配列についての実験から管配列がメッシュフィンの伝熱性能におよぼす影響が実験的に評価され、コンパクト化への指針が見出された(D225)。この中では、空気温度の可視化にレーザホログラフィーが駆使されている。

#### (3) 機器冷却、加熱用熱交換器の伝達解析

スターリングエンジンのガス加熱器用熱交換器においては、作動ガスが周期的に流れ方向を変えることが特徴であるが、この効果による管内強制対流熱伝達率の変化は、シュミットサイクルモデルによるレイノルズ数を導入して整理すると予測可能であることが示され(D231)、実験機関用熱交換器での測定結果からもこの点が検証された(D232)。またエア・ターボ・ラムジェットにおいて燃料の水素をエンジン排ガスで加熱する水素加熱器の熱交換特性が、強制対流および放射熱伝達を考慮した数値解析により評価され、水素出口温度に対する放射熱伝達の影響が明らかにされた(D233)。

#### (4) ファウリング

熱交換器のファウリングの主要因であるスケーリングは、熱交換器にとって熱・流動特性と同様重要な問題である。この現象の基本的機構の解明のために、炭酸カルシウムを用いた実験的研究が継続的に行われている。今回は炭酸カルシウムの結晶形態や、壁面への結晶核生成速度に対する伝熱面材料の影響や、結晶核生成速度および結晶成長速度に対する溶液過飽和度の影響が調べられた。壁面過飽和度が10以下ではスケーリングが生じないという興味深い結果が得られている(D241)。

#### (5) 電気流体 (EHD) 効果による伝熱促進

EHD効果を熱交換器に応用することにより熱交換器の高性能化を図ろうとする研究の中で、今回は蒸発器への応用として、R11の代替フロンであるR123の沸騰熱伝達に対するEHDの効果が調べられ、EHDの効果に対する飽和温度の影響やエチルアルコール添加の影響が明らかにされた(D242)。また、スプレー塔型液-液直接触熱・物質交換器への応用の第一段階として、一對の平行平板電極間のシリコン油中を通過する単一の水滴の運動が実験および解析により調べられ、液滴の運動が単純な物理モデルによりかなり予測し得ることが示された(D245)。

#### (6) プレートフィン型蒸発器の熱・流動特性

単相用熱交換器として従来用いられてきたプレートフィン熱交換器を蒸発器として使用した時の熱・流動特性として、平滑流路およびクロスリブ付き流路の上昇流と下降流の圧力損失と熱伝達率が調べられ、リブ付き流路による伝熱促進効果および上昇流が下降流よりも熱伝達率が30~70%高いことが示された(D243)。また、プレートフィン熱交換器を自然循環型蒸発器として応用することの可能性が示され、自然循環速度の近似解析法と実測との比較が行われた(D244)。

#### (7) 吸着ヒートポンプ

これまで活性炭(構造炭素質多孔体SCP)/水蒸気系およびシリカゲル/水蒸気系の吸着ヒートポンプへの適用性の検討が報告されてきたが、今回は粒状活性炭/水蒸気系の適用性の検討がなされ、また充填層内に設けられた金網による伝熱促進効果が実験的に調べられた。その結果粒状活性炭/水蒸気系はヒートポンプへの適用がやや困難であること、また銅網により大幅に伝熱が改善されることが示された(D251)。

#### (8) 蓄熱

円筒蓄熱水槽の蓄熱効率を予測する無次元半経験式が、温水をステップ入力したときの液温度の過渡応答特性から導出された(D252)。また、縦フィン付き円管形潜熱蓄熱器の放熱特性が移動境界問題の数値解析により得られたφ-D線図により考察され(D253)、蓄熱器内部のフィン構造を変えた場合についても調べられた(D254)。また樹脂円柱群蓄熱体を用いた潜熱蓄熱装置の放熱実験から熱媒体の槽流出温度の経時変化を予測する式が提出された(D255)。

本伝熱シンポジウムはメーカーの研究者にとって、特に大学の諸先生方との多くの意見交換の中で、異なった角度からの見方あるいは研究の方法についての示唆を得られるなど、魅力的なものとなっている。熱交換器のセッションはとかくメーカー間の議論となりがちであるが、大学の先生方の積極的な発言を今後も期待したい。

竹内正顯（桐蔭横浜大）

小生、雑多な伝熱を扱って来たつもりですが、燃焼は紙の着火とPMMAの延焼に関する他人の研究を傍から眺めた経験があるだけで、全くの素人です。そのために座長の実質は架谷教授にご負担願いました。その償いの意味を込めてこの報告を書かせて戴きます。ただし素人談義であって、公正なレビューや意見にはなり得ない記事であることを、かさねてお断りしておきます。

全部で7研究エントリーされており、燃焼はこの一つのセッションに収まりました。ただ佐野教授が体調をくずし発表を中止されたので、6研究の発表となりました。発表順に、研究発表と討論から印象に残っていることを記します。

新岡（以下敬称略）は、無重力場の燃料液滴の燃焼を、よどみ点近傍の現象で推察出来るようにしようと、両者のアナロジーを検討した。実験困難な場面の情景が卑近な例から類推出来るというのは魅力的な事で、それを旨とした本研究は一般的にはchallengingなテーマと思える。が、無重力場の燃焼ということが現実の技術的課題なのか、それとも燃焼を研究するための手段なのか、小生には後者だという印象があるので異なる感じがする。それと燃焼という現象は境界条件によって著しく異なって来るように思う、このことを考えると近傍というある種の部分系を抽出する仕方がどのように有効なのかは、即座には分からない。これ以降の展開が興味深い。

新井らは、水に浮いた液体燃料の燃焼実験を行い、タンカーや海底油田の火災に関する理解を深めようとしている。高沸点の燃料では下の水が沸騰し、燃料などが飛び散った。これが重質油の火災のボイルオーバーに相当するそうである。このような説明を聞くと、現象の定性的なチェーンリンクはすぐにでも明らかになるような錯覚にとらわれるし、逆に、もし計算機シミュレーションを目前にしたとするとなんとなく疑わしい気分になるだろう。ということは、実物大のスケールの現象の理解に向けての研究室の努力をもっと積極的に評価すべきで、小生己の意識をちょっと変える必要があるようだ。

石野らは、末広がり管路内におかれた円柱の伴流部に保持される火炎と、一様管路内のそれを比較した。前者の方が頼りない火炎だそうである。カルマン渦の離脱による壁面の流体の更新がこんな効果をもたらす（と言ったら言い過ぎなのだろうか）。とまれ、火炎の振る舞いとして伴流内の物質移動の効果が目に見えるのはおもしろい。

玉野らは、燃料液滴の径をその静電容量から計測する方法を発表した。原理的にはなる

ほどと納得しやすいのだが、燃焼生成物の電離だとか燃焼速度や流れの変動だとかの雑音源が多い。アナログ的な電気回路でその点を補償する方法が骨子となっている。昔は誰でもこのような Do It Yourself な努力をしたと思う、近ごろは忘れてしまった精神かもしれない。教育（とくに人材に欠けて学生が多の場合）と絡めてK氏から耳打ちされたひとつの方法でもあり、印象に残る。

平田らは、白金線を触媒とした水素の燃焼を実験し、熱収支と熱伝達・物質伝達のアナロジーからの簡潔な解析と比較している。空気過剰率と白金温度の関係が、実験と解析で良くあっている。燃料電池のリフォーマーを意識しているということで技術目的があり（それが隠し味になっており）、しかも実験と解析が一致した結果を示していると言われると、たじたじとならざるを得ない。

吉澤は、燃焼熱によって次の燃料を予熱するエネルギー再循環燃焼システム（過剰エンタルピー燃焼と言われたものなのだろうか）の到達する温度の上限について考察した。高温になると燃焼ガスは解離しエンタルピー値も上昇する、さらに高温になるとその値は燃料のエンタルピー値に等しくなる。こうなると、これ以上の温度上昇はあり得ない、というのが発表の要旨だと思う。当日の討論で、燃焼ガスの解離を考えるなら燃料の解離も考えなければ片手落ちではないかと言うような議論があったと理解している。

つぎに一般的な印象に移る。ながいシンポジウムの流れで見ると、技術上の目標とか社会的意義という主張が強くなって来たように感じる。十数年前には中核の偉大な先生方もアカデミズム（純然たる？）を楽しんでおられたが、いまでは先端技術研究という時代の地位を確保するために戦っておられるようだ。それだけ我が国の技術水準があがったのだと思う。

いっぽうこのアカデミズムと、伝熱学の本質的な性格があいまって、発表される研究の論理的な方法は極めて明確だというこのシンポジウムの特徴を育てたのだろう。例えば、物質と運動量、エネルギーの3方程式を考えればあらかたの話は通じるようになっている。ひょっとして物理学者の集まりよりもこういう点は徹底しているのではないだろうか。

それでも玄人と素人がある。特に内気な素人は質問をするのに気後れしてしまう。質問をしなくても玄人の討論を拝聴して、「やはりそれが問題になるのか」という時がままある。このセッションでも何回かそういうことがあった。そして救われた気分になる。たぶん小生以外にもそう感じている参加者は多いと思う。「これもシンポジウムの意義」といったら、「余りに日本的」とお叱りを受けるだろうか。だが正直言って素人として拝聴出来る話題の方がおもしろい、その点で今回の実行委の方々の割り付けに感謝したい。



エネルギー利用のセッションには、7編の論文が提出された。この内、4編は融雪に関するものであり、3編はヒートポンプサイクルあるいは冷熱輸送に関するものである。

### 1. 融雪に関するもの

融雪に関する4編の論文は、いずれも、伝熱管に熱媒体を通して、道路や屋根面の融雪を行うことを対象としているのであるが、それぞれの研究の観点は相当異なっている。

D321梅宮外「無雪道路の見掛け熱通過率」は、夏期に熱を吸収して地下の井戸に保存した温水を、冬期に建物の暖房や道路の融雪に用いるという、エネルギーの季節的利用システムに関するものであり、伝熱管の材質寸法、その埋設深さや路盤材質の異なる融雪道路について、入り口の温度を正弦波状に変化させたときの出口温度の振幅を測定することにより、融雪道路全体の見掛けの熱通過率を評価する方法を示している。そして、道路表面に向う熱流束が道路上の風速に比例すること、表面方向と地下方向の熱流束の比が無雪道路で3:7、PIC道路で7:3となることなどを結論としている。

D322梅宮外「地下水と土壤蓄熱効果を利用した無雪道路の研究(その5)」は、上のD321と同じ著者が同じ対象を別の観点から検討したもので、伝熱管の埋設深さや路盤厚さの異なる場合の地中温度の非定常変化を数値計算した。計算条件としては、伝熱管通水温度 $18^{\circ}\text{C}$ 、外気温度 $0^{\circ}\text{C}$ 、そして、蓄熱行程では道路表面熱伝達率を $8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ とし、融雪行程では表面温度を $0^{\circ}\text{C}$ として、準定常状態になるまで前進差分計算を行った。結論として、蓄熱の観点より、伝熱管の下の路盤厚さは $300\text{mm}$ が最適と推定した。また、融雪行程において $50\text{W}/\text{m}^2$ 以上の熱流束となる場所が路面上に占める割合を無雪率と定義して、伝熱管の埋設深さやピッチの適切な値が、無雪率から推定できると結論している。

D323青木外「降雪時における融雪をともなう熱交換器の特性について」は、降雪時に地上または屋根上に置かれた伝熱管を採りあげ、入り口からどこまでの範囲で降雪を完全に融解できるか(完全融雪条件)、また各位置で吸収する熱の中で何割が融雪に使われるか(融雪効率)を知る方法を提案している。そこでは、降雪強度を勘案した見掛けの外気温度、この外気温度と通常の外気温度との比を表す無次元数、融雪に要する熱量と全熱交換量との比を表す無次元数が新しく導入し、これらの量と熱交換器の伝熱ユニット数を用いて完全融雪の範囲や融雪効率の挙動を示し、実験によって検証している。

D331斎藤外「放射冷却と太陽熱を利用した大規模エネルギー利用システムの研究」は、春から秋にソーラーコレクターで集めた熱を地中タンクに貯蔵し、冬の道路の融雪または

凍結防止に利用しようとするもので、仙台市内の青葉城址道路を対象としたシミュレーションである。アスファルト中に埋設された伝熱管回りの温度分布を計算することにより、管の最適配置を知るとともに、その融雪に要する熱量の4倍の熱量を供給するシステムが必要なことを示した。その結果、21600m<sup>2</sup>の対象道路について、1500m<sup>2</sup>のソーラーコレクタと7000m<sup>3</sup>のタンクが必要なことが分かった。

## 2. ヒートポンプサイクルおよび冷熱輸送に関するもの

特殊な条件下におけるヒートポンプサイクルの特性を検討したものが2編、冷熱の新しい輸送方法を検討したものが1編あり、それぞれ次のようである。

D324青木外「着霜にともなうヒートポンプのサイクル特性」は、ヒートポンプを冬期の暖房に用いる目的で、大気から熱をとる蒸発器側の熱交換器に着霜が生じたとき、サイクル特性がどのように変化するかを知ろうとしたものであり、このときの釣合い点の移動、蒸発器での採熱量の減少、凝縮器への熱供給量の減少を実験的に明らかにした。

D333高松外「混合冷媒R22+R114を用いたヒートポンプシステムの実験」は、二重管向流式の熱交換器を蒸発側と凝縮側の両熱源に置いて水との間で熱交換を行うヒートポンプシステムを作り、R22/R114の混合冷媒の組成と熱源の条件が、システム野成績係数に及ぼす影響を明らかにした。そして、混合冷媒では、単成分冷媒よりも、平滑伝熱管での熱伝達係数がかなり小さくなるため、成績係数が低下するが、伝熱促進を行えば混合冷媒での成績係数は逆に増大すると推定している。

D332黒崎外「微小カプセル内の潜熱蓄熱媒体による冷熱の空気輸送」は、大規模な冷熱輸送を行う場合のポンプ動力および冷熱損失量の減少狙った新しい方法の研究であり、氷を詰めた5mmと10mmの直径のカプセルを空気輸送する実験の結果を、冷水輸送の場合と比較した。その結果、輸送の規模が大きくなるほど、潜熱媒体の空気輸送が有利となることを明らかにした。また、垂直より水平輸送のほうが、10mmより5mmのほうが所要動力の少ないことが分かった。

蒸発セッションは、セッション数1, 論文数4から成る。そのうち1論文は接触角の測定法に関するもので、蒸発とは無縁である。今回のシンポジウムの発表件数は280を超えたとのことであるから、数だけで判断すれば、極めてささやかなセッションである。

E131は、高温加熱面上に落下した単一の液滴の蒸発速度に関する研究である。低熱伝導性のセラミックスで被覆した加熱面では、高温域でライデンフロスト温度が上昇し、液滴の寿命が短くなる。この研究では被覆厚さの影響を調べることを目的としているが、実験結果にはその影響は現れていない。討論を聴くと、この原因はどうやら被覆が厚すぎることにあるらしい。なお、最大蒸発率近くでは被覆表面の粗さの影響が強く現れていると発表者は主張するが、筆者には、影響はわずかとしか見えない。

E132も単一液滴の蒸発促進に関する研究である。ただし、その方法は電場の付与である。一方の電極である金属細線に沿わせて、他方の電極である金属面上に液滴を落とす。電圧無印加ならば液滴が浮揚するような高い金属表面温度に対しても、液滴の下部に液柱ができて金属表面と接触するために、蒸発率が増加するという。蒸発が促進される温度域は電圧に依存する。直流電圧の印加では、極性を変えても効果は変わらないが、交流だと効果は低下する。液柱発生機構は、明らかにされていない。それはともあれ、電場による伝熱促進と聞けば、15年ほど前、半ば変人奇人扱いされながら説いていた浅川先生の姿が目に見えよう。

E133では、液滴の集団の蒸気相中での蒸発を扱い、スプレーフラッシュ蒸発装置の性能の限界を探っている。まず、蒸発過程の数学モデルをつくり、蒸発効率の表示式を導いている。次いで、スプレーされる水に電解電流を流して気泡核を供給しながら実験を行なって、表示式中に含まれるパラメータの最大値を推定し、最大蒸発効率を得ている。装置の高性能化の決め手は、液中への気泡核の供給であるが、実際には電解電流は必要としない。

測角器を用いて接触角を直接に測定する方法は、人為的誤差のために、一般に精度が落ちる。そこで、長さを測り、計算によって接触角を決める方法が開発されている。E134で提案されている新しい方法も同類である。固体円錐を液に浸してから引き上げると、液体が固体に付着して、液柱を形成する。円錐と液面との距離がある値まで増加すると、液柱は剝がれて落ちる。発表者は、この距離と接触角（今の場合は後退接触角）の間になりたつ関係（較正曲線）を、エネルギー最小原理を応用して求めている。較正曲線があるから、上述の距離を測って、接触角を決定できる。しかし、前進接触角を決定するのに用いる較正曲線は、実測の関係ともっと一致しているべきではないだろうか。

## 熱伝導セッションの概要と感想

平田 哲夫 (信州大)

今年の伝熱シンポジウムにおける「熱伝導」のセッションでは、15編の論文が発表された。普通セッションが16のテーマに分類されていたので、1テーマ当りの平均論文数を計算すると15.8編となり、熱伝導セッションは数の上ではまさに平均的であった。しかし、今年のシンポジウムでは著者が発表希望テーマを選定できる仕組みであったため、論文内容はいずれも熱伝導にふさわしいものばかりであり、それ故、突っ込んだ討論もなされ昨年に比べて充実した印象を持った。ここでは熱伝導セッションの15編の論文を独断により、(1) 純熱伝導問題、(2) 容器内の融解、(3) 多孔質層内の凍結、(4) 潜熱蓄熱、(5) その他の複合問題、に分けて各論文の内容を紹介し、若干の感想を述べることにする。

### (1) 純熱伝導問題

近年は、相変化や物質移動と複合した熱伝導問題を取り扱った論文が多くなっており、純粋な熱伝導に該当する論文はめずらしい。E121は多層円筒殻の三次元熱伝導問題を、連成した二つの二次元偏微分方程式に変換する近似解法を示している。薄肉殻の仮定を設け、温度分布を厚肉方向に線形近似しているが、この方法を応用すると、単層厚肉円筒を同じ物質から構成されている多層円筒と見なすことによりその三次元問題を解けることになり興味深い。E122は電子部品内の熱伝導解析手法を提案したものである。プリント基板を例にあげ、そのミクロな幾何学形状の種類により領域を分類し、それらの領域に対してShape Factorの概念を新しく導入して基板全体の温度分布を求めており、今後の発展が期待される。E123は熱伝導領域の境界が時間的に変動する場合について、座標変換を用いて静止座標系に置き換え数値計算している。実際の事例との対比が欲しいところである。

### (2) 容器内の融解

今回のシンポジウムでは、容器内または閉じ込められた領域における融解問題を取り扱った論文が比較的多く、実験と数値計算あわせて5編の発表があった。E211は氷蓄熱を対象とした円筒カプセル内の接触融解における密度反転自然対流の影響を数値計算で検討したものである。自然対流による融解量が全体の20%程度になるとの結果に対し、少し大きすぎるのではとの議論があった。また、E212はカプセル内の接触融解において、円管、だ円、球などカプセル形状の影響について数値計算を行っている。アスペクト比が大きくなると自然対流の渦が多数発生するが、この様な場合には二次元解析はもはや適用できないと思われる。数値計算においては、少なくとも必要所はデータとの比較が必要と感じた。E214は矩形容器内の凝固融解挙動を調べたものであ

り、固相支持の場合の自然対流による融解挙動が縦横比により、容器底部のペナルセルに支配される場合や側壁間の自然対流に支配される場合などに分けられることを示した。E215は縦に配列された水平円管周りの融解実験を熱流束一定条件で調べ、氷の融解界面が合体すると熱伝達率は減少する結果を得ている。実際には等温壁条件で使用されることが多いので、加熱条件による定量的変化の議論が欲しい。E224は近年提案された新しい計算手法である。要素分割のかわりに領域内に多数のランダムな点を設定して温度場等を計算する方法であり、融解問題への応用について示している。精度を上げるための検討が必要であるが完成を期待される。

### (3) 多孔質層内の凍結

E221は含水多孔質層凍結実験の非定常熱伝達を調べたものであり、ダルシー数の影響について調べている。直径が16mmのガラス粒子層の流れを二次元で取り扱っているが、どの程度の粒径までを多孔質層と称するのか疑問が残った。E222はフィン付伝熱面周りの多孔質層内の凝固・融解を実験的に調べている。ガラス粒子を充填した場合には、凝固・融解の割合が促進されることが示されているが、多孔質層では空隙率が減少するため蓄・放熱量は粒子を充填しない場合に比べ減少する。この点を合わせた検討が必要と思われる。

### (4) 潜熱蓄熱

上述の凝固・融解問題は多少なりとも潜熱蓄熱に関連しているが、E213、E214は潜熱蓄熱の本質的な研究といえる。E213は蓄熱が15～28℃の温度範囲で行われる様な蓄熱物質を加工し、放熱遅れを考慮に入れて蓄・放熱特性を調べている。従来の潜熱集中型とは異なった新しい発想であり、発展が期待される。E225はコジェネシステムの潜熱蓄熱を解析したものである。極めて当然のことではあるが、このような実際の蓄・放熱特性を調べる研究が今後増えることを期待したい。座長の林勇二郎先生の発言にもあったが、単一カプセルの蓄熱も重要ではあるが最終的にはカプセル群または蓄熱器全体としての特性を予測する必要がある。単一カプセルにおいては比較的重要なパラメータであるものが、カプセル群を構成した場合にはマイナーなファクターとなることもあると考えられるからである。

### (5) その他の複合問題

以下の3編は熱伝導問題として興味深いものがある。E124は衣類など繊維(わた)の吸湿過程における熱伝導を対象としたもので、乾燥した「わた」が吸湿の際に潜熱放出により温度上昇することを示し、理論解析している。繊維物質の物性値が明らかでない場合が多く苦勞する点であるが面白いテーマである。E125は溶液の凝固過程における熱的過冷と組成的過冷を詳細に検討したもので過冷溶液凝固の状態図を明らかにしている。この問題は、合金や食品など複合成分系の凝固問題の基礎となるものであり今後の発展が期待される。E223はコイル状の伝熱促進体を用いて凝固過程を速めようとするもので、数値計算結果によれば2倍程度の凝固促進が得られている。融解過程に対する取り扱いの検討が待たれる。

## 二相流セッションの概要

石塚隆雄(東芝)

二相流セッションでは24編の発表があり近年の例(昨年23, 昨年21)とほぼ同じである。当セッションの内容は多様であるが、今回の発表をあえて以下の内容に分類してみる。

- |                 |    |                 |    |
|-----------------|----|-----------------|----|
| (1) 二相流動様式と動特性  | 6件 | (2) 管内二相流機構や熱伝達 | 5件 |
| (3) ノズル内や臨界二相流  | 2件 | (4) 二相流計測       | 2件 |
| (5) 衝突噴流等の機構や伝熱 | 5件 | (6) バンドル内伝熱・流動  | 4件 |

以下に上記分類に従って内容を概説してみる。

- (1) 二相流動様式と動特性； 垂直上昇二相流の流体速度に及ぼす圧力の影響やプラグ流の消滅前後の流動条件を調べている(E231, E232)。実験条件・実験結果の物理的解釈や研究の基本的な考え方で含めて議論された。傾斜管二相流動様式を判別する計測法開発に関し(E234)、差圧の統計パラメータ特性によるデータと目視結果とから流動様式を評価している。流動様式判別は中間領域もあり難しい問題の一つである。跳水現象を伴う二相流に関し(E325)、上昇管に接続された水平管での射流、常流の流動様式と上昇管内の流動様式、特性を評価しているが実際への応用面からは管径の影響についての評価も望まれる。混相流モデリングに関し(E233)、分散性混相流を対象にし局所相対速度と連続相の体積率、速度の分布に着目し良い結果を得ている。自然循環ボイラの水位動特性に関し(E235)、他への転用については、沸騰形態により水位特性が変わる可能性もあり、相似性を検討する必要もあろう。
- (2) 管内二相流機構や熱伝達； 凝縮を伴う管内二相流(E243)は熱的非平衡二相流中での気相凝縮率を導入した解析で、チャンネル方向ボイド率分布を良く計算している。気液界面積評価が課題と思う。ら旋り付細線挿入管内の環状噴覆流(E244)では液膜からのエントレインメントをいかに少なくするかが課題で、細線により液膜を安定させている。挿入物による圧損増加の検討も必要かとも思われる。ら旋管内沸騰二相流の熱伝達(E245)では管の設置角度を変え流量範囲により熱伝達特性を評価し、温度分布とドライアウト発生位置はら旋設置角に依存するとしている。ら旋管の肉厚チェックも必要と思われる。気泡流の膨脹波による減圧沸騰特性に関し(E323)、気泡の成長挙動をビデオ撮影とレーザー光により測定し、沸騰遅れ時間を評価している。大口径水平管内二相流(E324)は水平波状層状流の圧損と速度分布を評価し、圧損は気液界面に起因する気相側の縮小、拡大の形状損失で説明できることを示している。

- (3) ノズル内や臨界二相流：一成分の二相流ノズル性能（E.321）はノズルのど部上流近傍に細線を設置し、乱れを起こさせ、圧力アンダーシュートを減少させている。細線により推力係数が向上する事を示した。オリフィスからの高温高压水の二次元解析（E.322）では臨界流量については実験と計算を比較している。ボイド率分布や圧力分布については計算結果のみであり、良い実験データが必要である。
- (4) 二相流計測：中性子ラジオグラフィによる二相流可視化とボイド率計測（E.241）は連続画像処理により非定常流の流動様式の判別をし、準定常現象に対して、二相ボイド率分布が推定できる事を示した。又画像処理技術を用いた二相計測法（E.242）ではビデオ信号を画像処理するもので、各種流動様式に対してボイド率を計測している。当方法により、気液界面形状をかなり正確に捉えられる事を示している。両者共ボイド率の校正、精度評価が課題かと思う。
- (5) 衝突噴流等の機構と伝熱：衝突噴流に関する発表が4件あり、ストカステックモデルによる数値解析（E.311）は固体粒子添加により、淀み点近傍の乱れ強度が増加し、熱伝達促進程度を評価した。固気二相衝突流の伝熱機構に関し2件あり、1件は粒子と伝熱面間の直接接熱伝達の寄与を3種類の熱伝導率の異なる金属により評価し（E.312）、他は粒子添加による境界層攪乱の効果を、物質伝達実験により熱伝達とのアナログを利用して評価した（E.313）。又二相流衝突噴流による伝熱促進（E.314）では伝熱面が流体中にある場合、伝熱面に対向して壁境界層を有する系を利用して、その流動、伝熱特性の改善程度を評価している。噴霧状二相流中の平板乱流境界層内の流動と熱伝達（E.315）について液滴挙動をベースに熱伝達量を評価した。
- (6) バンドル内伝熱・流動：BWR燃料形状にて、沸騰遷移発生後の熱伝達（E.331）について、実験値を基に、蒸気冷却と液滴冷却の効果を加える事により伝熱面温度評価が良くできる事を示した。バンドル内での低流量時ボイド率（E.332）について、バンドル内流路に適用するドリフト・フラックス式中にバンドル間のボイド率に依存する係数を導入し、新相関式を提案している。三次元サブチャンネルコード開発に関し（E.333）、サブチャン解析での気液相関運動量モデルを改良し、BWR燃料形状流路でのボイド率実験データを基に良い評価結果を出している。高転換軽水炉での熱水力特性（E.334）について、ワイヤースペースを利用した六角稠密格子配列での熱伝達はサブチャンネル間のミキシング効果により向上し、限界熱流束は通常流路のものとはほぼ一致する事等を明らかにした。

今後二相流の詳細解析を行なう上で、二相流機構を明らかにする詳細な実験データが望まれる。

THERMAL CONTACT RESISTANCE IN SPACE ENVIRONMENT

Kahoru Torii and Jurandir Itizo Yanagihara

Department of Mechanical Engineering  
Yokohama National University  
Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan

1. INTRODUCTION

Steady-state heat transfer across interfaces formed by two contacting solid bodies is usually accompanied by measurable temperature drops across the joint because there is thermal resistance to heat flow within the region of the interface.

The thermal contact resistance is defined as the ratio of the average steady-state temperature drop across the contact to the corresponding mean rate of the heat flow crossing the apparent area of the surface, i.e.

$$R' = \Delta T / Q' \quad (1)$$

where the temperature drop ( $\Delta T$ ) is obtained by linear extrapolations of the steady-state one dimensional temperature distributions in the two contacting specimens.

The thermal contact resistance problem in space environment is one of the crucial issues in spacecraft and space-equipment design. In the electronic and power systems of space vehicles and communication satellites, high power densities are used in order to reduce vehicle sizes and weights. Here, due to the vacuum environment, internal heat transfer occur mainly by conduction through solids. Therefore a knowledge of the thermal contact conductance for the various types of similar and dissimilar material junctions as well as of enhancing filling material junctions is required. On the other hand, the design of the thermal isolation of cryogenic storage compartments or platform mounted heat sources must include contact resistance analysis. One of the major challenges in the design of a heat-management system for future space stations is the requirement of having to transfer up to 100 kW out of the heat transport circuit and into the radiator system through a contact heat exchanger. Figure 1 illustrates a prototype flat contact heat exchanger for this purpose. It incorporates a mechanically loaded dry interface where intimate thermal contact across the joint is a necessity.



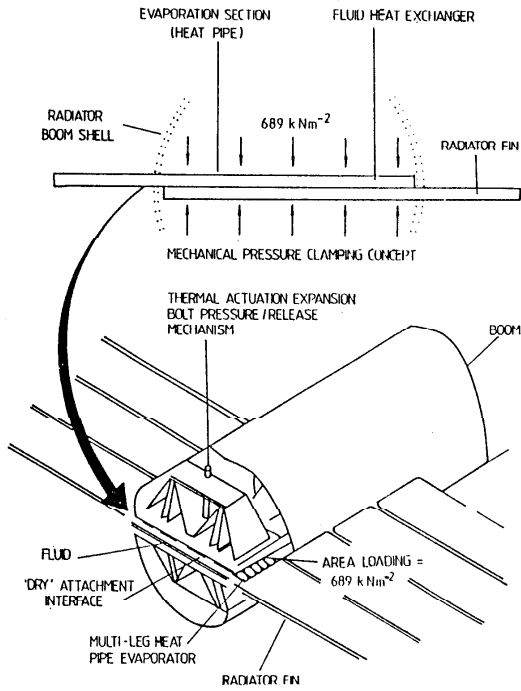


Figure 1 Loaded-contact heat exchanger  
(Snaith et al.(1986))

Many authoritative reviews have been written in the recent years, focusing on the general problem of thermal contact resistance. Snaith et al.(1986) presented a review aiming to assist the designers to understand the problem of thermal resistance of pressed contacts. They discussed topics such as the mechanisms of heat transfer across the interface, analytical predictions and empirical correlations. Madhusudana and Fletcher (1986) reviewed the literature of the decade of '70, covering various subjects which included the advances in the analysis of single contacts, the effects of large-scale surface irregularities and interstitial materials, empirical correlations, and some special topics. Yovanovich (1986) summarized the recent developments in contact resistance models for point and line contacts and conforming rough surfaces. Fletcher (1988) reviewed the recent developments in contact conductance heat transfer with a special emphasis in such a technological areas as advanced or modern materials, microelectronics, and biomedicine; and selected topics as thermal rectification, gas conductance, cylindrical contacts, periodic and

sliding contacts, and conductance measurements. Others reviews in some special topics are worth noting. Yovanovich (1987) presents a review of various aspects of the thermal contact resistance problem associated with microelectronic equipments. Peterson (1987) discussed the significance of the thermal contact resistance to the efficiency of energy recovery systems. Fletcher and Peterson (1986) presented a review of thermal contact resistance in nongaseous interstitial materials related to the energy industry. In the specific case of space environment, Fletcher (1984,1972) discussed the use of interstitial materials as a means of thermal control in spacecraft systems. Snaith et al.(1984) also presented a similar review on the use of interstitial materials, with the emphasis being placed on the factors, other than the thermal performance, which influence the choice of a suitable interstitial material.

The objective of the present review is to discuss the thermal contact resistance as applied to space equipment. Some generalities about the contact problem, the existing analytical models and empirical correlations are presented. Techniques to enhance the thermal contact conductance in vacuum environment are then discussed.

## 2. THE CONTACT PROBLEM AND ASSOCIATED HEAT TRANSFER MODES

Actual surfaces are not perfectly smooth but consists of microscopic peaks and valleys (Fig.2). Whenever two actual surfaces are placed in contact, intimate solid to solid contact occurs only at discrete parts of the interface the real contact area will represent a very small fraction of the apparent contact area.

The modes of heat transfer across the interface are:

- a) solid conduction through the real contact areas;
- b) convection and conduction through the interstitial fluid; and
- c) direct thermal radiation exchanges between the apparently contacting surfaces, which are not in real contact.

The magnitude of the convective heat transfer rate between pressed contacts can usually be considered insignificant because of the narrowness of the interfacial gap. Also the radiation contribution is negligible at near room temperatures. It has been shown that for metallic contacts the radiation contribution seldom exceeds 2% of the overall conductance at temperature less than 900K.

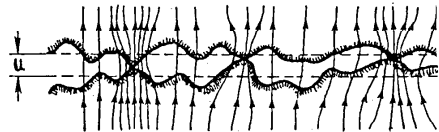


Figure 2 Heat flow through a joint

Fluid conductance may be important if the contact is subjected to only low mechanical loading in an atmospheric environment, i.e. when nearly all the heat is transferred across the air gaps. The proportion of heat transferred through the fluid to that conducted by the solid contact depends on the thermal conductivity of the interfacial fluid. In general, the solid conduction contribution will become more important as the loading increases.

In high vacuum, solid conduction becomes the dominant mode of heat transfer because the gaseous free molecular conduction is then negligible.

As considered above, the process of heat transfer across an interface is complex because the thermal resistance can depend upon many parameters of which the following are very important:

- a) geometry of the contacting solids: surface roughness and waviness.
- b) thickness of the gap (non-contact region).
- c) type of interstitial fluid: gas, liquid, grease, vacuum.
- d) interstitial gas pressure.
- e) thermal conductivities of the contacting solids and the interfacial substance.
- f) hardness of the contacting asperities: plastic deformation of the highest peaks.
- g) modulus of elasticity of the contacting solids: elastic deformation of the wavy parts of the interface.
- h) average temperature of the interface: radiation effect as well as property effects.
- i) direction of heat flow: thermal rectification effect.

### 3. THERMAL CONTACT RESISTANCE IN HIGH VACUUM

#### 3.1 ANALYTICAL PREDICTIONS

Because thermal contact resistance is such a complex problem, it is necessary to develop simple thermophysical models so that they may be analyzed and experimentally verified. To achieve these goals the following assumptions have been made in the development of the several contact resistance models:

- a) contacting solids are isotropic: thermal conductivity and physical parameters are constant.
- b) contacting solids are thick relative to the roughness or the waviness.
- c) surfaces are clean: no oxide effect.
- d) contact is static: no vibration effect.
- e) first loading cycle only: no hysteresis effects.
- f) apparent contact pressure is not too small nor too large.
- g) radiation is negligible.
- h) heat flux is steady and not too large.

i) contact is made in vacuum environment.

Theoretical studies of the steady-state heat flows between solid bodies have been based on considering the flow of heat through actual contact spots. Therefore, the first logical step to determine the contact resistance would be to estimate the resistance associated with a single contact spot. The resistance resulting from a single asperity spot is an indication of the additional temperature drop due to the presence of the constriction. Single contact spots of non-circular form subjected to different boundary conditions have been analyzed. The simplest form, and the one from which most analysis stem, is the circular disc.

The solution of the constriction resistance problem assuming a true contact disk of radius  $a$ , bounded by a semi infinite conductor, was first obtained by Holm by a direct analytical solution of the Laplace equation on the basis of the electric-thermal analogy,  $R_d = 1/(4ak)$ . This was obtained by a direct analytical solution of the Laplace equation on the basis of the electrical-thermal analogy. The total heat-flow constriction, i.e. on both sides of the contact spot, will be twice the value given by the previous expression. This formulation is valid only when the actual area of contact is a very small proportion of the apparent contact area. A more appropriate model is the contact disc feeding into or being fed by a semi-infinite cylinder of radius  $b$  (Fig. 3). The constriction resistance,  $R_c$ , for this model is divided by the disc constriction resistance,  $R_d$ , to obtain the constriction alleviation factor

$$g(x) = R_c/R_d \quad (2)$$

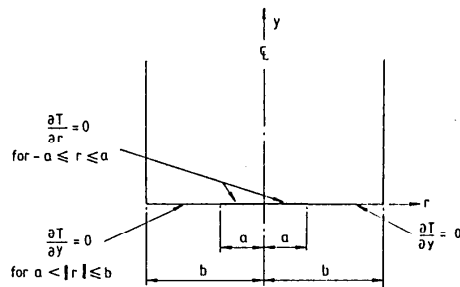


Figure 3 Schematic representation of the constriction of the heat flow to the disk region  $-a \leq r \leq a$ .

An expression for the constriction resistance was first proposed by Roess (Snaith et al. (1985)) as

$$g(x)_i = 1 - 1.40925x + 0.29591x^3 + 0.052542x^5 \quad (3)$$

where  $a/b = x = (A_r/A_a)^{0.5}$ . The mean value of the constriction parameter depends upon  $a$  and  $b$ ; the mean contact spot and associated flux tube radii, respectively, are determined by the total real and apparent area. Cooper et al. (1969) proposed a modified expression which dropped the higher-order terms. More recently, Negus and Yovanovich (1984) and Negus et al. (1985) developed new expressions for the thermal constriction resistance .

Many alternative contact models had been proposed in the literature. Williams (1975) treated, analytically and experimentally, a single point contact, formed between a cylindrical heat channel ended by a cone, and a flat plane. He assumed that, when a tip of the cone is pressed against a hard flat plane, it is deformed to a small cylinder. The volume of this small cylinder (smaller than the basic cylinder) is the same as of the tip. Madhusudana (1980) developed a model for the asperities on contacting surfaces surrounded by a conducting medium or a vacuum. The conical asperity model demonstrated that the constriction resistance is reduced by the presence of the conducting fluid and that the resistance decreases with increasing the cone semi-angle. Shai and Santo (1982) analyzed the thermal contact resistance problem with particular reference to the shape of a single heat channel. This channel was assumed to have a cylindrical contour whose radius near the interface decreases gradually to the contact area forming a truncated cone.

### 3.1.1 Multiple contacts - nominally flat surface

The total contact resistance of  $N$  contact spots thermally connected in parallel can be derived as above

$$R' = g(x)/(2Nk_m a) \quad (4)$$

where  $k_m$  is the harmonic mean thermal conductivity and  $g(x)$  is the thermal constriction (or spreading) alleviation factor which depends upon the relative size of the contact spot.

The uses of eqn (4) or any of other similar expressions requires a knowledge of the total number,  $N$ , of contact spots, the mean radius of these regions,  $a$ , and the mean heat-flow channel,  $b$ , which are produced under a particular applied load. Values of these variables may be estimated from topographical data for the contacting surfaces and the mean plane separation

( $u$ ) which depends upon the applied load and the physical specifications of the material in contact.

First, it is necessary to characterize the type of the contact deformation. Greenwood (1967) showed that for most cases, the deformation of contacting asperities would be plastic even at the lightest loads. His analysis was based on asperities of spherical shape. Mikic suggested the use of an index which takes into account the microhardness, the Young's modulus and the asperity slope. Based on statistical geometry theory, Bush and Gibson (1979) defined a plasticity index which depends on the first three moments of the power spectral density of the surface slope. In fact, the statistical nature of surface profiles controls not only the number and size of contact spots, but the mode of deformation as well.

An analysis by Tsukizoe and Hisakado (1972) assuming on each contacting surface a Gaussian distribution of conical asperities, which deform in an ideal plastic manner (i.e. no interference between neighboring asperities occurs), resulted in a set of expressions giving the number of contact spots, the mean contact spot radius and the mean flow channel radius.

Antonetti and Yovanovich (1985) proposed some simple correlations for these variables. The constriction alleviation factor can be approximated by the following power law correlation

$$g(x) = 0.76(P/H)^{-0.027} \quad (5)$$

where the error is  $\pm 1\%$  in the range  $10^{-4} < P/H < 10^{-2}$ .

The expression for the mean contact spot radius derived by Cooper (1969) was demonstrated to be approximated using the following power law correlation

$$a = 0.77(\sigma/m)(P/H)^{0.097} \quad (6)$$

where error is  $\pm 4.5\%$  in the range  $10^{-4} < P/H < 10^{-2}$ .

A simple force balance at the contacting surface can be used to the total number of micro-contacts per unit area as

$$N/A = 1/(\pi a^2)(P/H) \quad (7)$$

Mikic (1974) undertook an analysis, assuming a Gaussian distribution of profile heights, and that the distribution of profiles slopes is independent of the profile heights, under various deformation modes. Mikic concluded that the contact conductance is proportional to  $P^{0.94}$  for both elastic and plastic deformations. He also developed a theory for the increase in conductance,

including the elastic deformation of the substrate.

The above mentioned work of Bush and Gibson (1979) considered an statistically isotropic rough surface to evaluate the conductance using the moments of its power spectra. Expression for the non-dimensional variables, namely the contact spots radius, the flow channel and the contact conductance were deduced. Like Mikic, they found that the conductance is proportional to  $P^{0.94}$ .

The expressions derived by Yovanovich (1986) are presented here in order to provide a set of useful equations to calculate the contact resistance. A detailed geometric analysis of the interaction of rough surfaces yields the following geometric results :

1) Contact conductance parameter

$$\sum_{i=1}^N a_i/A_a = (4\sqrt{2\pi})^{-1}(m/\sigma)\exp(-w^2) \quad (8)$$

2) Relative real contact area

$$x^2 = A_r/A_a = 0.5(\operatorname{erfc}(w)) \quad (9)$$

3) Contact spot density

$$N/A = (1/16)(m/\sigma)^2(\exp(-2w^2)/\operatorname{erfc}(w)) \quad (10)$$

4) Mean contact spot radius

$$a = (8/\pi)^{0.5}(\sigma/m)\exp(w^2)\operatorname{erfc}(w) \quad (11)$$

where  $w=u/\sqrt{2}\sigma$  and  $u$  is the mean plane separation. The surface parameters  $\sigma$  and  $m$  are the effective rms surface roughness and the effective absolute surface slope, respectively. They are the average value of the two contacting surfaces.

Assuming plastic deformation of the contacting asperities during the first loading cycle leads to a relationship between the relative real contact area and the relative contact pressure. A force balance on the real and apparent contact areas gives

$$P/H = A_r/A_a = x^2 = (1/2)(\operatorname{erfc}(w)) \quad (12)$$

the relationship between  $x$  and  $w$  allows one to compute the other surface parameters. After some manipulations, we obtain the nondimensional contact conductance,

$$(\sigma/m)(C/k_m) = [1/(2\sqrt{2\pi})][\exp(-w^2)/(1-x)^{1.5}] \quad (13)$$

with  $w = \operatorname{erfc}^{-1}(2P/H)$  and  $x = P/H$ . The complex expression of eqn (13) was correlated by the following simple expression (Yovanovich et al (1982)):

$$(\sigma/m)(C/k_m) = 1.25 (P/H)^{0.95} \quad (14)$$

which agrees with the exact expression to within  $\pm 1.5\%$  for  $2 \leq u/\sigma \leq 4.75$ .

The above model was constructed based on the concept of isotropic, or slope invariant, roughness. However, many common machining processes produce surface which, in general, have much higher slopes across the cutting direction than parallel to it. This anisotropy strongly influence the contact characteristics between such surfaces. In order to accurately predict the contact conductance behavior of interfaces composed of surfaces having dramatic variations in slope with direction (i.e., surfaces prepared by grinding), DeVaal et al.(1987) constructed a new contact conductance model which includes such factors.

For nominally flat rough surfaces in a vacuum, it is possible to say that the contact resistance varies nearly linearly with the load, whether the contact is elastic or plastic. This implies that the average contact spot size remains substantially constant with the load.

### 3.1.2 Multiple contacts - wavy surfaces

The large scale flatness deviation of practical surfaces also affects the thermal contact resistance (Fig.4).

Holm considered the specialized problem of  $N$  identical circular metallic contact areas of radius  $a$ , uniformly distributed over a relatively large circular region (i.e. a macro-region) of radius  $b'$ . His result (by applying the electrical thermal analogy) for the total thermal contact resistance can be expressed as

$$R' = (2Nak_m)^{-1} + (2b'k_m)^{-1} \quad (15)$$

where the first term represents the self-resistance of the micro-contacts and the second is a macroscopic interaction term due to the flatness deviation.

Usually, the size and the distribution of contact spots are unknown and have to be calculated as a function of the loading, the surface characteristics and the mechanical properties of the contacting materials.

Clausing and Chao (1965) considered two semi-infinite cylinders with



contacting surfaces, and introduced the appropriate alleviation factors for both the microscopic and macroscopic contacts terms. They concluded from their analytical and experimental analysis that the microscopic constriction is of secondary importance for many surfaces.

Popov and Yanin (1972) presented an unique approach for predicting the rate of heat transfer across the pressed contact between two metallic surfaces with both waviness and micro-roughness. The basic multiple contacts (eqn (3)) was incorporated but with the constriction alleviation factor expressed in terms of the relative area of the actual contact ( $A_a/A_c$ ). The contour areas,  $A_c$ , were determined assuming elastic deformation of the waves. The experiments demonstrated that the resistance increased when waviness or flatness deviation was present.

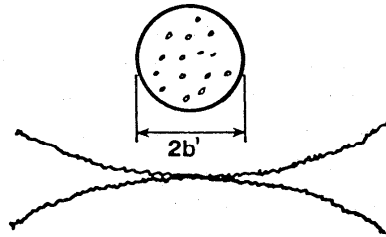


Figure 4 Contact of two convex surfaces.

Yovanovich (1972) performed an analysis for the thermal resistance of a contact formed by a hard, smooth, flat surface with a softer turned-finish surface. The model comprises of a two dimensional heat flow channel, and the contact was based upon the plastic deformation of a ridge formed by the turning process, i.e. a continuous spiral-type finish. At relatively high loads ( $P/H$ )>0.05, the contact would be continuous along the spiral whose resistance alone would be the thermal resistance. Yanagi and Tsukada (1983) proposed a model for predicting the contact resistance between contacting sphere and rough plane surface to account for the waviness influence. Their theory is based on its previous work (1981) and agrees well with their experimental data for grinded SK3 (tool steel) surface. However, as their expression requires some specific topographical informations, its range for application becomes limited.

Attention has been focused to the fact that the macro-constriction resistance is the dominant contribution to the thermal contact resistance in comparison to the micro-constriction resistance. In general, the former is predominant under low loadings whereas the later becomes more important at high loadings, i.e. after elastic flattening has occurred.

### 3.1.3 Limitations of the analytical predictions

The analysis leading to eqn (4) assumed (i) circular contact regions, randomly distributed and separated by large distances; (ii) that the contact

plane was isothermal; and (iii) the heat flow lines were straight and parallel when remote from the contact plane. In reality, circular contact regions are rarely found, even at very low loads. The temperature distribution in the vicinity of a contact bridge is three-dimensional and the distributions of heat flux in the abutting solids depends upon the shapes of the contacting members and upon the magnitudes of the transverse heat flows.

Unfortunately the amount of corroboratory experimental data concerning the mean contact spot size,  $a$ , and the number,  $N$ , of micro-contacts that exists is still limited. Thus the appropriateness of many of the simplifying assumptions made is difficult to be ascertained. Some of the models are limited by the assumption of an ideal plastic deformation, which will not occur in practice as work hardening and material interaction ensue.

The normal technique for surface parameter measurements is to sample profile heights at regular intervals using a stylus-type instrument. The parameter normally incorporated to define the surface are the average roughness and the arithmetic mean absolute profile slope. The latter is strongly dependent upon the sampling interval employed (Whitehouse and Archard (1970) and the former will increase as the square root of the sampling length used (Thomas and Sayles (1978)). Careful consideration must be given to these conclusions when specifying and measuring the surface parameters. For the values used for the micro-hardness of each material in contact, the conventional models employ the bulk hardness. More recent analyses (Popov (1976), e.g.) have indicated that this is inadequate and proposed models based on a surface micro-hardness distribution.

It should be noted that most analytical developments are concerned with plane pressed contacts between surfaces with micro and/or macro roughness. As yet only limited knowledge is available for predicting the thermal contact behaviors of bolted, welded or riveted joints and the more complex cylindrical joints. By considering such joints, with combinations of various surface textures, similar or dissimilar materials, interfacial materials or fluids, one can begin to perceive the vast scale of the problems still to be solved.

### 3.2 EMPIRICAL CORRELATIONS

Because the analytical prediction of the contact conductance still presents a formidable problem, a pragmatic approach which has been adopted widely is to correlate existing experimental data. It would be convenient for the thermal design engineer, in need of contact resistance predictions, if the parameters involved are few and readily available or easily measurable. What are considered to be the more usable correlations for thermal contact conductance, in high vacuum, are presented here.

Popov's (1976) handling of experimental data for nominally flat surfaces (namely 80 data points - for a variety of materials and finishing process) yielded

$$C/k_m = 2.7 \cdot 10^4 (PZ/3S_B)^{0.956} \quad (16)$$

where  $S_B$  is the ultimate compressive strength of the weaker material in contact ( $\text{Nm}^{-2}$ ); and  $Z$  is a factor defined by

$$Z = 12 / (h_{max1} + h_{max2}) \quad \text{for } 5 \mu\text{m} > (h_{max1} + h_{max2}) > 1 \mu\text{m}$$

$$Z = 20 / (h_{max1} + h_{max2}) \quad \text{for } 10 \mu\text{m} > (h_{max1} + h_{max2}) > 5 \mu\text{m}$$

$$Z = 30 / (h_{max1} + h_{max2}) \quad \text{for } 30 \mu\text{m} > (h_{max1} + h_{max2}) > 10 \mu\text{m}$$

where  $h_{max}$  is the maximum peak-to-valley height of the surface profile. A correlation coefficient of 0.947 was found for the equation in the dimensionless loading range

$$3 \cdot 10^{-5} < PZ/3S_B < 10^{-3}$$

There is a length dimension hidden in eqn (16) due to an assumed value for the mean contact spot radius. A semi-empirical correlation for assumed nominally flat surfaces (the condition being that the surface average roughness had to be greater than one-tenth of the flatness deviation for this to hold) of similar materials in contact, by Tien (1968) is

$$C/k = 0.55m(P/H)^{0.85} \quad (17)$$

The exponent of the pressure (namely 0.85) given in the above equation based on experimental data differs from the theoretical exponents, i.e. around 0.95. It could be argued that this is due to the combined effects of non-ideal plastic deformations of the asperities, elastic deformation of the smoother surfaces and the elastic displacement of the sub-layers, i.e. a more practical elasto-plastic effect, thus giving rise to a more realistic exponent for the pressure conductance relationship.

The dimensional analysis of Thomas and Probert (1974) yielded two dimensionless groups,  $C^* = C' / (\sigma k)$  and  $W^* = W / (\sigma k)$ . The empirical correlations deduced from 350 published thermal resistances for contacts with a broad range of surfaces (under high vacuum) are

$$\ln(C^*) = (0.743 \pm 0.067) \ln(W^*) + 2.26 \pm 0.88 \quad (18)$$

for stainless steel-stainless steel contacts and

$$\ln(C^*) = (0.72 \pm 0.044) \ln(W^*) + 0.66 \pm 0.62 \quad (19)$$

where aluminum alloy was used for either one or both of the contacting surfaces (the non-aluminum metal surface used always being the harder). Correlation coefficients were 0.915 for data related to eqn (18) and 0.913 for eqn (19).

The experiments of Edmonds et al. (1980) on the contact of optically flat copper surfaces with stainless-steel surfaces of various degrees of surface finish obeyed the relationship

$$C^* = 0.26 (W^*)^{0.96} \quad (20)$$

The correlations for aluminum alloy-aluminum alloy and stainless steel-stainless-steel type contacts were compared by Snaith et al (1985). Their result for typical material properties and surface parameters demonstrates that a suitable general correlations cannot be achieved.

#### 4. HEAT TRANSFER THROUGH THE INTERSTITIAL MATERIAL

The proportion of heat transferred by conduction across the fluid space, compared with that by solid conduction, depends upon the ratio of the thermal conductivities of the fluid and solid. For a gaseous interfacial fluid with a thermal conductivity considerably lower than that of the metal specimens in contact, the heat flows will tend to converge to the solid contacting spots. However, if the interfacial fluid is a liquid with a thermal conductivity higher than that of the contacting solid specimens, it may be expected that most of the heat flow will be across the fluid region.

Owing to the surface irregularities of the contacting specimens, the thickness of the gap between them which is filled by the fluid vary across the apparent contact area. In order to be able to handle this problem theoretically, an equivalent mean effective gap,  $\bar{\delta}$ , for the fluid is usually deduced. If it can be assumed that the heat transfer through the fluid space is essentially one-dimensional, a value for the effective fluid conductance can be obtained by

$$C_f = k_f / \bar{\delta} \quad (21)$$

If the interstitial fluid is a gas, this equation holds true at pressures above the free molecular region, where the thermal conductivity of a gas is independent of pressure. However, when the gas pressure at the interface is sufficiently low, such that the mean free path of the gaseous molecules,  $L$ , is much larger than  $\bar{\delta}$  (i.e. the Knudsen number,  $L/\bar{\delta} \gg 1$ ), then the heat will be transferred by free molecular conduction. For large Knudsen numbers, the kinetic theory of gases yields the following expression for the steady-state rate of heat transfer in the free molecular regime between two parallel surfaces (Yovanovich et al.(1982)):

$$Q_{fm} = \alpha_{acc} [(\chi+1)/(\chi-1)] (R_g/8\pi)^{0.5} p (M_o T)^{-0.5} A_{g1} (T_2 - T_1) \quad (22)$$

where the accommodation parameter is

$$\alpha_{acc} = [(1/\alpha_{acc1}) + (A_{g1}/A_{g2})(1/\alpha_{acc2} - 1)]^{-1} \quad (23)$$

and the free molecular conductance per unit apparent contact area of the contacting interface is

$$C_{fm} = Q_{fm}/\Delta T \quad (24)$$

Yanagi and Tsukada (1981) proposed a thermomechanical model considering conduction in the metallic contact and interstitial material. In this investigation they proposed a model for the plastic and elastic deformation of contacting asperities in order to obtain the distribution of junction size and void shape of machined surfaces. The thermal analysis domain consisted of the contact region of a regular truncated cone and a flat surface.

## 5. ENHANCEMENT OF THERMAL CONTACT CONDUCTANCE

The success of a thermal design often requires that the heat transfer across an interface be enhanced, that is, improved over the bar joint situation. Techniques commonly employed include the application of thermal grease to the contacting surfaces, insertion of a soft metal foil at the interface, and coating one of both of the contacting surfaces with a relatively soft material.

The existence of an optimal filler thickness for minimum thermal contact resistance is expected to occur when the filler thickness is of the order of the surface roughness. When  $t \ll \sigma$ , the constriction resistance experienced at contacting base-to-base material asperities is alleviated by the additional thermal bridges made across the filler material. For filler thickness much

greater than  $\sigma$ , the additional bulk resistance of the filler discounts the reduction in constriction resistance produced by the filler. O'Callaghan et al. (1983) developed an overall thermomechanical model to predict the thermal resistance for filled contacts. Their theory is found upon the assumption that the ideal plastic deformation behavior occurs at the interface between randomly rough surfaces and requires as input the thermophysical and topographical characteristics of the contacting surfaces. The theory also assumes that all material within the intersections of the surface plays no further part in influencing the behavior as normal loading proceeds. If the filler (or coating material) were fully ductile, it would extrude from the asperity intersections into noncontact regions, and under conditions of plastic deformation, would result in lower values of thermal contact resistance than the prediction suggests. In most cases, however, it is necessary to use filler with a certain degree of mechanical resistance; therefore the above extrusion does not occur completely even for very ductile materials.

The effective thermal conductance of contacting surfaces with interstitial materials is not directly dependent upon the surface finish. In fact, rougher surfaces in some cases, result in a higher value than smooth surfaces.

Metallic coatings are an interesting enhancement alternative because a user can avoid the handling problem often associated with soft foils, and the contamination problem which often makes chemically active thermal greases objectionable. Antonetti and Yovanovich (1985) proposed a model for coated contacting surfaces. Their analysis led to an expression similar to eqn (14), with the necessary corrections in the microhardness, surface thermal conductivity and alleviation factor due to the presence of the soft layer.

Although it is not possible to describe all of the characteristics of interstitial materials that might be used in spacecraft applications, some of the more important characteristics should be mentioned. It is possible to classify the interstitial materials into the following categories: synthetics or processed natural sheets, ceramic sheets and powders, metallic foils and screens, and greases and oils.

Synthetic or processed natural sheets include a wide range of polymeric materials, such as elastomers, teflon, mylar, and natural materials such as rubber and mica. The thermal conductivity of these materials may be modified by including carbon fibers, graphite, metallic flakes or powder, silica, or various oxides. Many of the materials, however, have limited application due to their thermophysical properties. Most of these materials are durable, even after repeated loadings, although some may remain slightly compressed. Some of the more brittle materials disintegrate after repeated use.

Ceramic sheets and powders include numerous oxide compounds and other

ceramic compounds such as magnesia, zirconia, beryllia, and alumina. The ceramics will, in general, produce insulating effects if used as the interstitial material. These materials have similar thermal properties and unique compressive strength and load-bearing qualities. Such compounds are ideal when high thermal cycling is involved, but they are very brittle and cannot support shock and vibration environments.

Metallic foils and screens include a wide range of materials from solid foil to large mesh screen. Hard materials do not deform but form additional metallic junctions, whereas soft materials deform to the contour of the contact surface finish and improve contact.

Greases and oils are used in the assembly of a number of structures and components. In order to modify the conductance characteristics of the material, greases and oils may be impregnated or filled with various materials, such as oxides, metallic flakes or powders. Recent tests on commercial grease-type thermal joint compounds showed that the silicon-based compounds possessed good thermal conductivities and moderate weight losses at operating temperatures up to 200°C. Oils and greases deform to fill the voids between the contacting surfaces; on the other hand they have temperature limits and no real load bearing capability.

Fletcher (1972) proposed the following dimensionless conductance ratio to classify the various interstitial material/base metal combinations

$$\eta = (C \cdot t)_F / (C \cdot \delta_o)_M \quad (25)$$

where  $C$  is the contact conductance,  $t$  the thickness of the filler material,  $\delta_o$  the equivalent gap thickness,  $F$  the junction with filler material and  $M$  the base material junction. It was observed that combinations for which  $0 < \eta < 10$  (e.g., carbon fiber paper) offer excellent thermal isolation qualities and light weight. Thermal control materials, for which  $100 < \eta < 1000$ , enhance contact heat transfer. Indium foil and filled silicon grease appeared to be the most interesting materials in this category, although grease may not provide a good environmental seal. Figure 5, taken from Fletcher (1972), shows the dimensionless conductance ratio of a variety of interstitial materials. Useful tabulated information for the effectiveness of various interstitial materials are presented by Snaith et al. (1984).

Since 1986, the Heat Transfer Laboratory of YNU has conducted a co-sponsored work with IHI Heavy Industries to evaluate the thermal characteristics of cold plates used to carry thermal energy out of experimental apparatus mounted in space stations (Torii et al. (1987), Torii et al. (1988)). One of the objectives of the work is to evaluate the thermal resistance of the

contact junction between the experimental apparatus and the cold plate. The uniqueness of this work is in the fact that the heat transfer area is much larger than that of the previously mentioned works. It means that such factors as surface waviness, thermal stress, lateral heat flow, and non-uniform distribution of the load, considerably affect the contact conductance.

## 6. CONCLUDING REMARKS

The thermal contact conductance problem is a crucial factor in the design of spacecraft systems. Since it is desirable to provide a thermal protection system for spacecraft components which is of minimum weight and maximum strength, the advantages of the thermal contact conductance phenomena should be taken into account. In the space environment, it is necessary to control the heat transfer in joints keeping the contact pressure as small as possible because larger contact pressures require more robust components, which mean an extra load to be carried by the rockets. Careful choice of interstitial materials may improve the thermal control of various spacecraft components. It is necessary to consider not only the thermal performance of the interstitial material but also its strength, density, and durability. Low/high conductance materials may be used to decrease/increase the heat transfer across the junction substantially.

Much work has been done to clarify and predict the thermal conductance of a variety of joint materials and conditions. However, it cannot be said that a general all purpose expression to predict the thermal contact conductance is available, although there are many useful expressions that can be applied to some specific situations. Further research is needed so that the thermal design engineers have the necessary tools to precisely predict the contact conductance as applied to spacecraft systems. Since the ongoing experimental

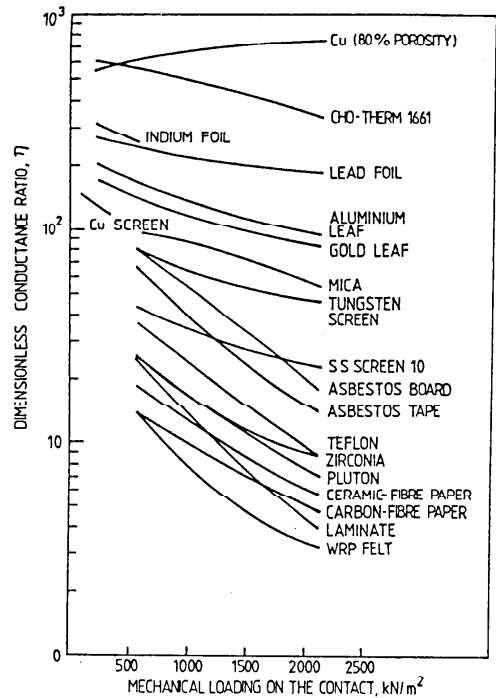


Figure 5 Conductance of Selected Interstitial Materials (Fletcher (1972)).



and theoretical analyses have dealt with idealized contacts, more investigations dealing with real-scale apparatus would be useful. In this case, the various factors which affects the thermal contact conductance can be treated simultaneously. Such subjects as the conductance of rough wavy surfaces, the influence of the thickness and the properties of the filler in wavy contacts, or the accommodation coefficient for practical gas/solid interfaces, are among the research topics that remain to be investigated.

## 7. NOMENCLATURE

$A, A_a$	Apparent area of the pressed contact ( $m^2$ )
$A_c$	Contour area of contact ( $m^2$ )
$A_g$	Projected gap area of the contact ( $=A_a - A_r$ ) ( $m^2$ )
$A_r$	Real area of the pressed contact ( $m^2$ )
$a$	Micro-contact spot radius (m)
$a'$	Macroscopic-contact spot radius (m)
$b$	Microscopic heat-flow channel radius (m)
$b'$	Macroscopic heat-flow channel radius (m)
$C$	Thermal conductance of unit nominal area of contact ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
$C'$	Thermal conductance of pressed contact ( $WK^{-1}$ )
$C^*$	Dimensionless total thermal conductance ( $=C/\sigma k$ )
$E$	Young's modulus of elasticity ( $Nm^{-2}$ )
$g(x)$	Constriction alleviation factor.
$H$	Micro-indentation hardness (Vickers) ( $Nm^{-2}$ )
$k$	Thermal conductivity ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
$k_m$	Harmonic mean thermal conductivity ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )
$l$	Mean free path of gaseous molecule (m)
$M_o$	Molecular weight of the interstitial fluid
$m$	Combined average absolute asperity slope (rad)
$N$	Number of asperity bridges between the contacting surfaces.
$P$	Mechanical loading, per unit area ( $=W/A_a$ ) ( $Nm^{-2}$ )
$p$	Pressure of the ambient environment (Pa)
$Q$	Rate of heat flux passing through unit area of nominal contact ( $Wm^{-2}$ )
$Q'$	Rate of heat flux crossing the contacting interface (W)
$R$	Thermal resistance of unit nominal area of contact ( $Km^2W^{-1}$ )
$R'$	Thermal resistance of the pressed contact ( $KW^{-1}$ )
$R_g$	Universal gas constant ( $=8.3143 \cdot 10^{-3} Nmkg^{-1}K^{-1}$ )
$S_B$	Ultimate compressive Strength ( $Nm^{-2}$ )
$T$	Temperature (K)
$t$	Thickness of filler (m)

$u$	Mean plane separation between the surfaces in contact(m)
$w$	Dimensionless parameter, $u/\sqrt{2}\sigma$
$W$	Normal mechanical load (N)
$W^*$	Dimensionless normal mechanical load ( $=W/\sigma k$ )
$x$	Constriction ratio ( $=a/b$ )

#### Greek symbols

$\alpha_{acc}$	Accommodation parameter (see eqn (23))
$\gamma$	Ratio of the principal specific heats of surroundings gas
$\delta$	Mean effective interfacial gap (m)
$\delta_0$	Equivalent gap thickness (m)
$\eta$	Dimensionless conductance (see eqn (25))
$\sigma$	Root-mean-square surface roughness parameter (m)

#### Superscripts

\* Non-dimensional version of the parameters stated

#### Subscripts

$F$	Filler
$f$	Fluid
$fm$	Free molecular
$M$	Metal

## 8. REFERENCES

- Al-Astrabadi, F.R., P.W.O'Callaghan and S.D.Probert (1979), "Thermal Contact Resistance Dependence Upon Surface Topography," AIAA Pap 79-1065, AIAA 14th Thermophysics Conf.
- Antonetti, V.W. and M.M.Yovanovich (1985), "Enhancement of Thermal Contact Conductance by Metallic Coatings: Theory and Experiments," *ASME J. Heat Transfer*, Vol.107-C, pp.513-519.
- Bush, A.W. and R.D.Gibson (1979), "A Theoretical Investigation of Thermal Contact Conductance," *Applied Energy*, Vol.5, pp.11-22.
- Clausing, A.M. and B.T.Chao (1965), "Thermal Contact Resistance in a Vacuum Environment," *ASME J. Heat Transfer*, Vol.87-C, pp.243-251.
- Cooper, M.G., B.B.Mikic and M.M.Yovanovich (1969), "Thermal Contact Conductance," *Int. J. Heat Mass Transf.*, Vol.12, pp.279-300.
- DeVaal, J.W., M.M.Yovanovich and K.J.Negus (1987), "The Effects of Surface Slope Anisotropy on the Contact Conductance of Conforming Rough Surfaces," ASME Paper No.87-HT-69, pp.123-134.
- Edmonds, M.J., A.M.Jones and S.D.Probert (1980), "Thermal Contact Resistance of Hard Machined Surfaces Pressed Against Relatively Soft Optical Flats," *Applied Energy*, Vol.6, pp.405-427.
- Fletcher, L.S. (1972), "A Review of Thermal Control Materials for Metallic Junctions," *J. Spacecraft and Rockets*, Vol.9, pp.849-850.

Fletcher, L.S. (1984), "The Influence of Interstitial Media on Spacecraft Thermal Control," Proc. 14th Int. Symp. on Space Technology and Science, Tokyo, pp.1-8.

Fletcher, L.S. (1988), "Recent Developments in Contact Conductance Heat Transfer," ASME J. Heat Transf., Vol.110-C, pp.1059-1070.

Fletcher, L.S. and G.P. Peterson (1986), "The Effect of Interstitial Materials on the Thermal Contact Conductance of Metallic Junctions," Proc. Heat Transfer in Thermal Systems-Part II, Tainan, Taiwan, pp.1-8.

Greenwood, J.A. (1967), "The Area of Contact between Rough Surfaces and Flats," ASME J. Lubrication Technology, Vol.89-F, pp.81-91.

Madhusudana, C.V. (1980), "Heat Flow Through Conical Constrictions," AIAA J., Vol.18, pp.1261-1262.

Madhusudana, C.V. and L.S. Fletcher (1986), "Contact Heat Transfer - The Last Decade," AIAA J., Vol.24, pp.510-523.

Mikic, B.B. (1974), "Thermal Contact Conductance : Theoretical Considerations," Int. J. Heat Mass Transf., Vol.17, pp.205-214.

Mikic, B.B. and W.M. Rohsenow (1966), "Thermal Contact Resistance," Report 4542-41, Dept. Mech. Eng., MIT.

Negus, J.K. and M.M. Yovanovich (1984), "Constriction Resistance of Circular Flux Tubes with Mixed Boundary Conditions by Linear Superposition of Neumann Solutions," ASME Paper No. 84-HT-84.

Negus, J.K., M.M. Yovanovich and J.W. DeVaal (1985), "Development of Thermal Constriction Rough Surfaces by the Method of Infinite Images," ASME Paper No. 85-HT-17.

O'Callaghan, P.W., B. Snaith, S.D. Probert and F.R. Al-Astrabadi (1983), "Prediction of Interfacial Filler Thickness for Minimum Thermal Contact Resistance," AIAA J., Vol.21, pp.1325-1330.

Peterson, G.P. (1987), "Thermal Contact Resistance in Waste Heat Recovery Systems," ASME Paper No. 87-MGT-2, pp.45-50.

Popov, V.M. (1976), "Concerning the Problem of Investigating Thermal Contact Resistance," Power Eng., Vol.14, pp.158-163.

Popov, V.M. and L.F. Yanin (1972), "Heat Transfer During Contact of Machined Metal Surfaces with Waviness and Microroughness," Heat Transf.-Sov. Res., Vol.4, pp.162-167.

Shai, I. and M. Santo (1982), "Heat Transfer with Contact Resistance," Int. J. Heat Mass Transf., Vol.25, pp.465-470.

Snaith, B., P.W. O'Callaghan and S.D. Probert (1984), "Interstitial Materials for Controlling Thermal Conductances Across Pressed Metallic Contacts," Applied Energy, Vol.16, pp.175-191.

Snaith, B., S.D. Probert and P.W. O'Callaghan (1986), "Thermal Resistances of Pressed Contacts," Applied Energy, Vol.22, pp.31-84.

Thomas, T.R. and S.D. Probert (1974), "Thermal Resistance and Directional Index of Pressed Contacts Between Smooth, Non-Wavy Surfaces," J. Mech. Eng. Sci., Vol. 16, pp.41-55.

Thomas, T.R. and R.S. Sayles (1978), "Some Problems in the Tribology of Rough Surfaces," Tribology Int., Vol.11, pp.163-168.

Tien, C.L. (1968), "A Correlation for Thermal Contact Conductance of Nominally-Flat Surface in a Vacuum," Proc. 7th Conf. on Thermal Conductivity, NBS Special Publication No.132, pp.755-759.

Torii, K., Y. Murase, S. Uchida and M. Morioka (1987), "Heat Transfer and Fluid Flow in a Cold-Plate," Proc. 23th Nat. Heat Transf. Symp. Japan, Matsuyama, pp.471-473.

Torii, K., J. Furukawa, S. Uchida and M. Tsuruoka (1988), "Heat Transfer Contact Conductance in a Cold-Plate," Proc. 24th Nat. Heat Transf. Symp. Japan, Kanazawa, Vol.1, pp.124-126.

Tsukizoe, T. and T. Hisakado (1972), "On the Mechanism of Heat Transfer Between Metal Surfaces in Contact," 1st and 2nd report, Heat Transf.-Jap. Res., Vol.1, pp.104-112 and 1(2), pp.23-31.

Whitehouse, D.J. and J.F. Archard (1970), "The Properties of Random Surfaces of Significance in Their Contact," Proc. Royal Soc. London, A316, pp.97-121.

Williams, A. (1975), "Heat Flows Through Single Points of Metallic Contacts of Simple Shapes," AIAA Prog. Astro. Aero., Vol.39, pp.129-142.

Yanagi, K. and T. Tsukada (1981), "Thermal Resistance by Machined Surface Asperities in Contact (1st report)," Seimitsu Kikai, Vol.47, pp.170-185 (in Japanese).

Yanagi, K. and T. Tsukada (1983), "Contact Heat Transfer between Spherical and Plane Surfaces with Microirregularities," Junkatsu, Vol.28, pp.41-46. (in Japanese)

Yovanovich, M.M. (1972), "Thermal Contact Conductance of Turned Surfaces," AIAA Prog. Astro. Aero., Vol.29, pp.289-305.

Yovanovich, M.M. (1986), "Recent Developments in Thermal Contact, Gap and Joint Conductance Theories and Experiment," Proc. of the 8th Int. Heat Transf. Conf., San Francisco, USA, Vol.1, pp.35-45.

Yovanovich, M.M. (1987), "Theory and Applications of Constriction and Spreading Resistance Concepts for Microelectronic Thermal Management," Keynote Address, Proc. Int. Symp. Cooling Tech. for Electronic Equipment, Honolulu, USA.

Yovanovich, M.M., J.W. DeVaal and A.H. Hegazy (1982), "A Statistical Model to Predict Thermal Gap Conductance Between Conforming Rough Surfaces," AIAA Paper 82-0888.

## < 研究トピックス >

### 実機復水器の伝熱特性の評価と性能向上

加藤雄平, 恩田勝弘 (中部電力)

野世溪精, 堀田泰志 (住友軽金属)

#### 1. まえがき

今日の火力発電プラントにおける復水器は、大型でかつ極めて高度な熱交換器である。復水器の真空を向上することは、復水器の熱効率を増大し、省エネルギーに直結する。例えば、出力500 MWのユニットにおける復水器は、総延長約300 km、総数約20000本の復水器管があり、およそ900 m<sup>3</sup>の容積を占める。復水器の性能に関連して、蒸気圧力分布あるいは温度分布、復水器管の冷却水流量および温度上昇、管内面汚れなどを実機測定した例がCEGB (イギリス電力庁)、BBC (ブラウン・ボリベイ社)、TVA および東芝等々から報告されている<sup>1-3)</sup>。CEGBは、これら実機測定によって検出された空気溜りあるいは過度の蒸気圧力損失に対して、復水器空気抽出部の拡大あるいは復水器管の抜管という対症療法を施し、2.5mbar (1.8 mmHg)の真空回復を実現した (500MW クラス)<sup>2, 7)</sup>。CEGBの試算によれば、500MW クラスのユニットにおける復水器真空の1 mbar (0.75 mmHg) 向上は、同一出力条件下においては年間およそ4000万円の燃料費低減となる。<sup>1)</sup>

今回、中部電力渥美火力発電所1号機復水器について実機測定を行ない、復水器管束における蒸気温度分布、熱通過率分布および管内汚れなど構造上の問題点ならびに性能管理方法の改良点について検討した。

#### 2. 記号

C	: 定数	S	: 伝熱面積 m <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	: 定圧比熱 KJ / (kg · K)	T <sub>i</sub> T <sub>o</sub>	: 入口および出口冷却水温度 °C
d <sub>o</sub> d <sub>i</sub>	: 外径および内径 m	T <sub>s</sub>	: 蒸気温度 °C
F <sub>v</sub>	: 内面付着物量 cc / cm <sup>2</sup>	ΔT	: 対数平均温度差 °C
ΔH	: ビト-管差圧 Pa	V <sub>w</sub>	: 冷却水流速 m / S
K	: 熱通過率 W / (m <sup>2</sup> · K)	ρ	: 密度 kg / m <sup>3</sup>
ℓ	: 管長 m	W	: 冷却水量 m <sup>3</sup> / S
P	: 復水器蒸気圧 kPa		添字
ΔP	: 設計復水器蒸気圧との差圧 kPa	*	: スポンジボール洗浄後
r	: 汚れ係数 m <sup>2</sup> · K / W	—	: 平均値

### 3. 渥美火力発電所1号機復水器

出力500MWの1号機は、1971年6月運転開始された。本機の復水器は“A”，“B”，“C”および“D”復水器と4つの水室より構成されている。復水器管は5916本/水室，計23664本，その大部分がアルミニウム黄銅管であり，チタン管は空気冷却部にのみ使用されている。(449本/水室，計1796本)復水器管寸法は， $\phi 25.4\text{mm} \times t1.245$ (チタン; 0.5)  $\text{mm} \times \ell 3000\text{mm}$ である。復水器管はタービン軸に対して直角に配置され，冷却水には三河湾の生海水を使用している。冷却水は一過性でその流れ方向は4水室とも同一である。運転開始以後，復水器管内面は2～3カ月に1度の定期的なナイロンブラシ洗浄を受けていた。1984年6月スポンジボール(SB)洗浄装置が設置され，それ以降管内面は，夏期高水温時(7～9月)につき2回/週，それ以外の時期につき1回/週の定期的なSB洗浄を受けていた。

### 4. 復水器伝熱性能評価実機測定

冷却水に用いている海水温度の高水温時及び設計水温時をねらって，1986年9月22,24日および1987年11月4,6日の2回，復水器伝熱性能評価のため実機測定をA復水器において実施した。測定は，SB洗浄前および洗浄後について実施した。

#### 4.1 測定

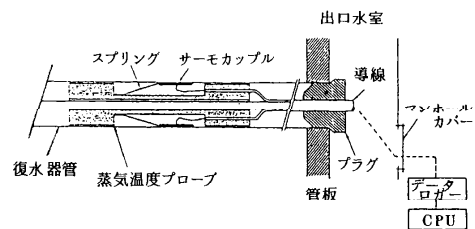
測定項目は次のとおりである<sup>2,3)</sup>。

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| (1)復水器真空(水銀真空計および圧力変換器出力) | (6)冷却水入口温度           |
| (2)低圧タービン排気温度             | (7)冷却水出口温度(各試験管について) |
| (3)ホットウェル温度               | (8)冷却水量(各試験管について)    |
| (4)空気漏洩量                  | (9)内面付着物量            |
| (5)蒸気温度                   |                      |

測定(1)～(4)については既設の計装を利用した。(5)～(9)の測定方法については以下に示した。

蒸気温度：蒸気温度測定方法を第1図に示した。測定位置の復水器管内面をエアブローおよびフェルト打ち等により十分乾燥させた後，蒸気温度プローブを管長手方向に5箇所に挿入し，管両端に密栓を施した。定常状態において，管内温度は周囲の蒸気温度に十分近くなるので，プローブの板バネに取付けた熱電対の温度を蒸気温度とした。熱電対用リード線は，出口水室のマンホール蓋に設けた水密継手を経由してデータロガーに接続した。

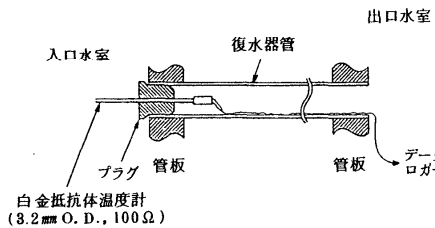
冷却水入口，出口温度および冷却水量，冷却水入口温度測定方法を第2図に，冷却水出口温度および冷却水量測定方法を第3図に示した。冷却水入口および出口温度は白金抵抗体温度計(互換誤差： $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内)により，冷却水量



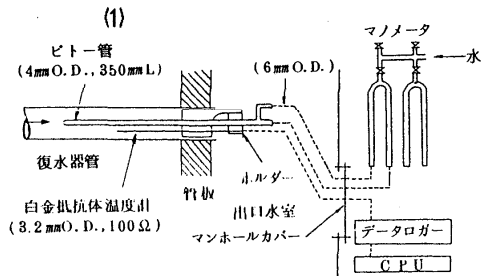
第1図 蒸気温度の測定方法

はピトー管により測定した。温度計用リード線およびピトー管用細径ナイロン管は蒸気温度の場合と同じ要領で、前者はデータロガーに、後者はマンメータに接続した。予備実験によりピトー管差圧と冷却水平均流速に関して式(1)を得た。

$$V_w = 0.0321 (\Delta H)^{0.507} \quad (1)$$



第2図 冷却水入口温度測定方法



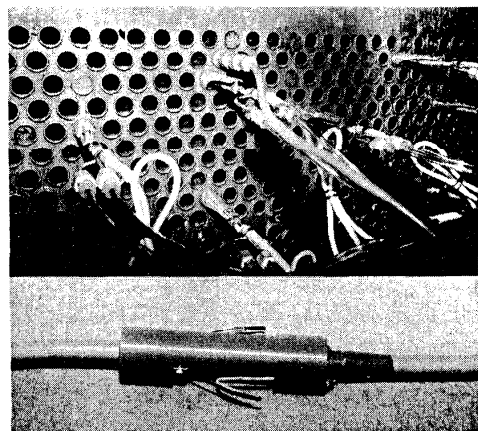
第3図 冷却水量と冷却水出口温度の測定方法

各種の温度および冷却水量測定のためのピトー管を含む測定プローブの取付状況を第4図に示す。

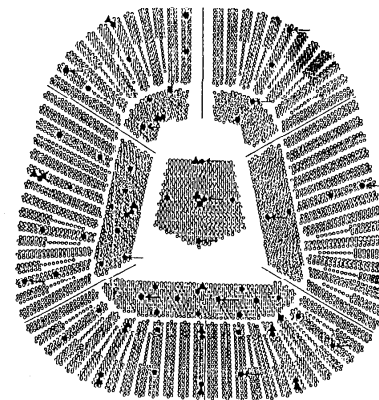
内面付着物量：ナイロンブラシを管の一端から高圧水を用いて圧送し、他端においてナイロンブラシによって除去された内面付着物を圧送水と共にポリエチレン袋に補集した。内面付着物はビーカ内で4時間沈降させ、その体積を湿体積と定義した。

A 復水器の管束において、蒸気の流れは左右対象であろうという観点から、B 水室寄りに重点を置いて、蒸気温度につき13点、伝熱性能測定管につき67点の測定位置を蒸気流れ方向に沿って慎重に選択した。内面付着物量は伝熱性能測定管および隣接管の一对を一測定点とし15対の測定点を選択した。冷却水出口側からみたこれら測定点の位置を第5図に示した。伝熱性能測定管67点のうち蒸気水平流放射部、密集部および空気冷却部中央部に各1点の基準管を設け、それらの内面はナイロンブラシおよびカーボランダムボール洗浄により極力除去した。

伝熱性能測定管の熱通過率は次式によって定義した。



第4図 温度および冷却水量測定プローブの取付状況 (下段蒸気温度プローブ詳細)



第5図 測定管の位置

- ：測定対象管
- ×：基準管
- ▲：蒸気温度
- ：冷却水入口温度
- ←：内面付着物量

$$K = \frac{W \rho C_p (T_0 - T_i)}{S \Delta T} \times 10^3 \quad (2)$$

ここで、

$$\Delta T = \frac{T_0 - T_i}{\ln(T_s - T_i / T_s - T_0)}, \quad S = \pi \ell d_o \quad (3), (4)$$

$$W = \frac{\pi}{4} (d_i)^2 V_w \quad (5)$$

但し、 $T_s$  (蒸気温度) には管束上部外周部の蒸気温度測定点の管長手方向の5箇所の平均値を用いた。

また、各測定点における熱通過率を、設計流速  $1.98 \text{ m/s}$  における値に換算するにあたっては標準的な次式を用いた<sup>9)</sup>。

$$K = C V_w^{0.5} \quad (6)$$

本報告の以下の記述においては、これらの正規化した熱通過率を用いた。

測定に際して、出力は500MWに自動制御され、2台の冷却水ポンプの弁開度は設計吐出量に設定された。蒸気温度が安定した後、測定を行なった。

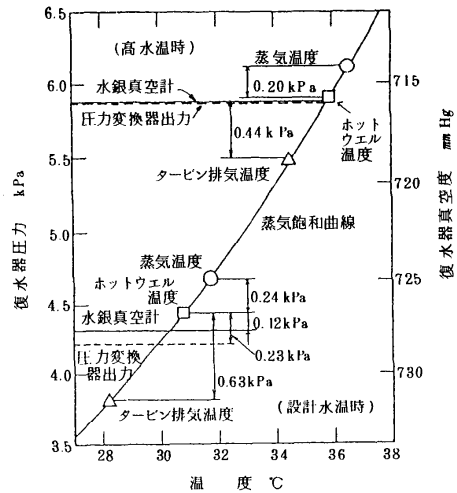
#### 4.2 測定結果

(1) 復水器真空、ホットウェル温度、低压タービン排気温度および蒸気温度

高水温時および設計水温時とともにSB洗浄後における上記の各測定値を第6図に示した。第6図には、水銀真空計真空値および圧力変換器出力値の2種類の復水器真空を記した。また、蒸気温度は、管束上部外周部の測定点における管長手方向5箇所の平均値である。第6図において各温度データは蒸気飽和曲線上にプロットし、その曲線に従って圧力に換算した。

高水温時測定：蒸気温度換算圧力は、ホットウェル温度換算圧力より  $0.20 \text{ kPa}$  ( $1.5 \text{ mmHg}$ ) 高かった。水銀真空計真空値および圧力変換器出力値は、ホットウェル温度換算圧力とよく一致した。

設計水温時測定：蒸気温度換算圧力は、高水温時と同様ホットウェル温度換算圧力より  $0.24 \text{ kPa}$  ( $1.5 \text{ mmHg}$ ) 高かった。水銀真空計真空値および圧力変換器出力値は、ホットウェル温度換算圧力より前者につき  $0.12 \text{ kPa}$  ( $0.9 \text{ mmHg}$ )、後者につき  $0.23 \text{ kPa}$  ( $1.7 \text{ mmHg}$ ) 低かった。高水温時および設計水温時のSB洗浄前の測定結果は、温度レベルが異なる点を除き、それぞれのSB洗浄後の測定結果と同じ傾向であった。



第6図 各部の復水器圧力と温度の測定値 (スポンジボール洗浄後、温度は蒸気飽和曲線上にプロット)



2 回の本実機測定において、蒸気温度換算圧力はホットウェル温度換算圧力より、高水温時につき0.20kPa(1.5 mmHg) 高く、設計水温時につき0.20kPa(1.5 mmHg) とほぼ同様に高かった。一方、水銀真空計真空値および圧力変換器出力値のホットウェル温度換算圧力に対する差は異なっていた。また、同様な傾向が、低圧タービン排気温度とホットウェル温度の間にもみられた。このような状況から、復水器計装機器について、定期的な検査を行う必要があるとみられた。

本報告の以下の記述において、復水器真空は、管東上部外周の蒸気温度測定値から蒸気飽和曲線に従って求めた圧力とした。

## (2) 蒸気温度

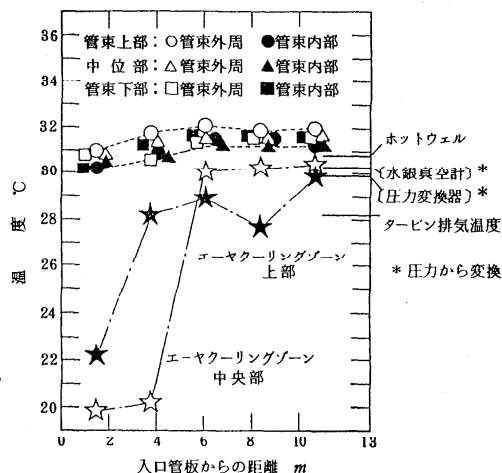
設計水温時のSB洗浄後の蒸気温度を第7 図に示した。空気冷却部を除いて、蒸気温度は冷却水入口側で低く、冷却水流れ方向に沿って徐々に上昇し、管軸中央より出口寄りにおいてはほぼ一定となった。管東上部（蒸気下降領域）および中位部（水平流領域）では、管東内部の蒸気温度は管東外周のそれより低かった。このことは蒸気は管東外周より内部（中央）に向かって良好に流れていることを示唆していた。また、空気冷却部においては、冷却水入口側から約4 mにわたって測定された蒸気温度は低く、空気溜りあるいは空気濃度の高い領域が形成さ

れているものと推定された。このことは、冷却水入口側に向かう混合気（蒸気及び空気）中の蒸気が、管軸方向の中央部付近で凝縮し終えていることを示唆していた。従って、空気冷却部は設計通り機能していると判断された。

管東下部（蒸気上昇流領域）外周の蒸気温度は、内部のそれに等しい、もしくは低かった（冷却水入口側を除く）。この傾向はSB洗浄前および高水温時においてもみられた。管東下部放射部においては、イナシエーション、すなわち上方よりの凝縮液の滴下および蒸気上昇流の影響により、管外の液膜は他の領域のそれよりも厚くなり、従って管内と周囲の蒸気との熱抵抗も大きくなり、測定温度との周囲の蒸気温度との間に差異が生じたものと推定された。設計水温時のSB洗浄前および高水温時のSB洗浄前後の蒸気温度は、温度レベルが異なることを除き、設計水温時のSB洗浄後と同じ傾向にあった。

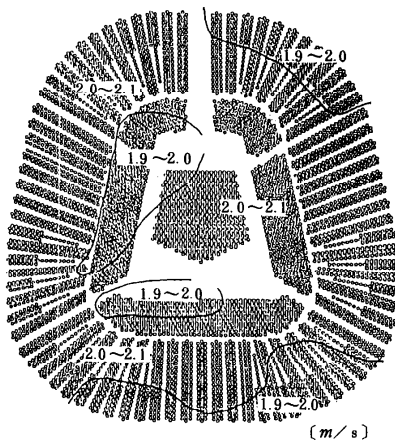
## (3) 冷却水流速

設計水温時のSB洗浄後の冷却水流速分布を第8 図に示した。流速分布に有意な偏りはみられず、平均流速値 $\pm 0.1\text{m/s}$  の範囲内でほぼ均一となっていた。



第7 図 蒸気温度の管長手方向測定結果  
(設計水温時、スポンジボール洗浄後)

高水温時、設計水温時および各SB洗浄前および洗浄後における冷却水平均流速を第1表に示した。高水温時の平均流速はおよそ1.8m/sと設計流速より約10%低かったのに対して、設計水温時のそれはおよそ2.0m/sと設計流速に等しかった。これは、1987年3月～7月に実施された定期点検により循環ポンプ、循環水配管の流動抵抗等の運転条件が改善されたことによるものと推定された。



第8図 冷却水流速分布（設計水温時、スポンジボール洗浄後）

第1表 冷却水流速 ( $\bar{V}_w$ ) および熱通過率 ( $\bar{K}$ ) (平均値\*)

冷却水温度条件		高温時		設計温度時	
S B 洗浄		洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
T i		℃		℃	
		23.9	23.2	20.0	19.0
$\bar{V}$ m/s	アルミニウム黄銅管	1.83	1.78	1.99	2.03
	チタン管	1.83	1.81	2.03	2.06
	全体	1.83	1.78	2.00	2.04
$\bar{K}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	アルミニウム黄銅管	2830	2990	2600	2630
	チタン管	1830	1880	1720	1620
	全体	2760	2910	2470	2510

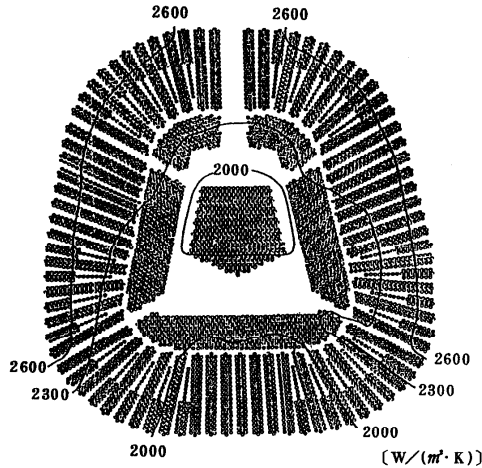
\*アルミニウム黄銅管：59本  
チタン管：5本  
— 全数64本

#### (4) 熱通過率

設計水温時のSB洗浄後の熱通過率分布を第9図に示した。熱通過率は、管束下部を除き、外周で最も高く、空気冷却部で最も低かった。このことは、前述したように蒸気は管外周から内部に向かって流れており、空気冷却部において凝縮が完了していたこととよく一致した。管束下部放射部の熱通過率は、上部密集部のそれより低かった。これは管束下部放射部においては典型的なインアンデーション（凝縮液の流下による伝熱障害）に加えて、蒸気の上昇流と凝縮液の滴下が対向するため、復水器管外面の凝縮液膜の保持角度がより大きくなり、凝縮伝熱が障害されているためである。

各試験管の測定位置における管束に占める割合を考慮して、平均熱通過率は加重平均計算により求め、測定時期毎に第1表に併記した。内面付着物の多かった高水温時の熱通過率は、SB洗浄後において向上した。内面付着物量の少なかった設計水温時の熱通過率は、SB洗浄前後でほとんど差はみられなかった。

設計水温時のSB洗浄後における基準管および隣接管の熱通過率と隣接管の汚れ係数を第2表に示した。設計水温時における基準管に対する隣接管の汚れ係数は、SB洗浄によりアルミニウム黄銅管につき $1.0 \sim 1.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ 、チタン管につき $3.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ 低下した。これらの数値は後述する式(9)によって平均内面付着物量から求めた汚れ係数回復量（アルミニウム黄銅管： $1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ 、チタン管： $2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ）とほぼ一致した。



第9図 熱通過率の分布 (設計水温時、スポンジボール洗浄後)

(5) 内面付着物量

ナイロンブラシ洗浄によって除去された内面付着物量の色は、アルミニウム黄銅管につき赤褐色～茶色、チタン管につき黒褐色であった。内面付着物は糸状菌を主体としていた。内面付着物の湿体積について第3表に示した。内面付着物量は高水温時で多く、設計水温時で少なかった。高水温時の平均内面付着物量は、SB洗浄前のアルミニウム黄銅管につき  $7.3 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、チタン管につき  $18.7 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、SB洗浄後のアルミニウム黄銅管につき  $4.1 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、チタン管につき  $5.6 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$  であった。設計水温時の平均内面付着物量は、SB洗浄前のアルミニウム黄銅管につき  $3.7 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、チタン管につき  $7.9 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、SB洗浄後のアルミニウム黄銅管につき  $1.7 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$ 、チタン管につき  $4.2 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$  であった。

SB洗浄後の内面付着物量の分布は、次のようであった：内面付着物量の多かった高水温時において冷却水導水管出口拡大部噴流の周囲（管束下部の両端）の2本の測定管の内面付着物量は、 $5.3 \sim 5.8 \times 10^{-3} \text{cc/ccf}$  と他の測定管より多かった。内面付着物量の少なかった設計水温時において、内面付着物量は管束全体でほぼ均一であった。このことから、高水温時においては、1回のSB洗浄では内面付着物が十分には除去され得ない領域があると推定された。

(6) SB洗浄と復水器真空

SB洗浄により復水器真空が回復することについて、復水器熱負荷は不変であり、かつ管内流速も一定に保持されるという仮定の下に、SB洗浄後の復水器真空を、SB洗浄による内面付着物除去量から計算した。なお、本復水器においてはアルミニウム黄銅管が92%強を占めており、

第2表 基準管とその隣接管の熱通過率および汚れ係数

位置	管 No.	スポンジボール洗浄前		スポンジボール洗浄後	
		K W/(m²·K)	r <sup>*2</sup> m²·K/W	K W/(m²·K)	r <sup>*2</sup> m²·K/W
外周部	基準管 65	3240		3310	
	隣接管 19	2970	$2.8 \times 10^{-5}$	3160	$1.4 \times 10^{-5}$
クローズバックドゾーン	基準管 66	2930		2720	
	隣接管 22	2690	$3.0 \times 10^{-5}$	2580	$2.0 \times 10^{-5}$
*1 エーヤターリングゾーン	基準管 67	1730		1630	
	隣接管 32	1590	$5.1 \times 10^{-5}$	1580	$1.9 \times 10^{-5}$

\*1 チタン管  
\*2 基準管のKをベースに算出

第3表 ナイロンブラシ洗浄により除去された内面付着物(平均値\*)

冷却水温度条件	スポンジボール洗浄	高水温時		設計水温時	
		洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
平均内面付着物量 cc/mm²	アルミニウム黄銅管	0.0073	0.0041	0.0037	0.0017
	チタン管	0.0187	0.0056	0.0079	0.0042
スポンジボール洗浄により除去された内面付着物量 cc/mm²	アルミニウム黄銅管	—	0.0032	—	0.0020
	チタン管	—	0.0131	—	0.0037

\*アルミニウム黄銅管：12本  
チタン管：3本

計算はアルミニウム黄銅管のデータに基づいて実施した。

冷却水出口温度は、式(2)~(4)より

$$T_o = T_i + (T_s - T_i) \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{K \times 10^{-3} S}{W \rho C_p} \right) \right\} \quad (7)$$

設計水温時のSB洗浄前につき、 $T_i = 20.0^\circ\text{C}$ 、 $T_s = 32.9^\circ\text{C}$ （管束上部外周実測蒸気温度）、 $K = 2600\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。また、 $W = 81.6 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ 、 $S = 1.03 \text{m}^2$ 、 $\rho = 1025 \text{kg}/\text{m}^3$ 、 $C_p = 3.93 \text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ 。これから、 $T_o = 27.2^\circ\text{C}$ 。SB洗浄後の熱通過率は次式で与えられる。

$$\frac{1}{K^*} = \frac{1}{K} - r \quad (8)$$

糸状菌を主体とした生物汚損について次式が報告されている<sup>10)</sup>。

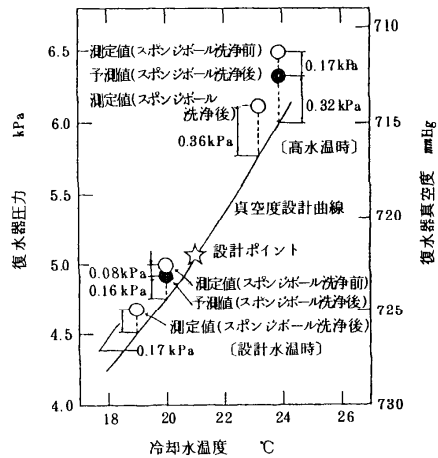
$$r = 645 F_v \times 10^{-5} \quad (9)$$

設計水温時のSB洗浄による内面付着物除去量は $F_v = 2.0 \times 10^{-3} \text{cc}/\text{cm}^2$ 。これより $K^* = 2700\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。従って、スポンジボール洗浄後の蒸気温度は、

$$T^* = T_i + (T_o - T_i) / \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{K^* \times 10^{-3} S}{W \rho C_p} \right) \right\} = 32.6^\circ\text{C}$$

SB洗浄前における蒸気温度実測値および洗浄後における予測値の蒸気飽和曲線に従って、求めた換算圧力（復水器真空）ならびに復水器真空設計曲線<sup>9)</sup>からの偏差を、冷却水温度の関数として第10図に示した。第10図には、高水温時における計算結果ならびに高水温時および設計水温時それぞれのSB洗浄後の実測値も示した。第10図によれば、SB洗浄による内面付着物除去量から計算によって推定した洗浄後の復水器真空予測値および洗浄後の実測値の設計曲線に対するそれぞれの偏差はよく一致した。すなわち、

真空の回復量は高水温時につき予測値 $\Delta P = 0.32 \text{kPa}$ （2.4 mmHg）に対して、実測値 $\Delta P = 0.36 \text{kPa}$ （2.7 mmHg）、設計水温時につき予測値 $\Delta P = 0.16 \text{kPa}$ （1.2 mmHg）に対して実測値 $\Delta P = 0.17 \text{kPa}$ （1.3 mmHg）であった。



第10図 スポンジボール洗浄による復水器圧力の回復

## 5. 復水器性能向上に関する一考察

第10図に示したように、SB洗浄後の本復水器真空の設計曲線からの低下量は、高水温時につき0.36kPa (2.7 mmHg)、設計水温時につき0.17kPa (1.3 mmHg)であった。すなわち、本復水器の真空は、高水温時では設計に対してやや低下していたが、設計水温時ではほぼ設計通りであった。本復水器の真空を現状よりさらに設計曲線に近づける、あるいはそれ以上に向上させようとした場合、今回の実機測定から以下のことが考えられた。

### (1) 内面付着物

第1表から、アルミニウム黄銅管のSB洗浄後の平均熱通過率は、高水温時につき2990W / (m<sup>2</sup> · k)、設計水温時につき2630W / (m<sup>2</sup> · k)であった。また、基準管2本(アルミニウム黄銅管)の平均熱通過率は、高水温時につき3480W / (m<sup>2</sup> · k)設計水温時につき3020W / (m<sup>2</sup> · k) (第2表)であった。これらからアルミニウム黄銅管のSB洗浄後の清浄度は、高水温時につき86%、設計水温時につき87%と計算された。これらの清浄度は設計清浄度85%よりやや高い値が得られた。しかし、SB洗浄によって内面付着物は完全に除去されるわけではなく、第3表より少なくとも高水温時につき4.1 × 10<sup>-5</sup>cc/cm<sup>2</sup>、設計水温時につき1.7 × 10<sup>-3</sup>cc/cm<sup>2</sup>の内面付着物が残存していた。内面付着物の多かった高水温時について、SB洗浄の頻度を増す、あるいは1回当りのSB洗浄の時間を増すことにより、SB洗浄後の内面付着物量を設計水温時のレベルに減少させることができれば、式(7)~(10)により試算すると、復水器真空は現状より約0.12kPa (0.9 mmHg)向上すると期待される。なお、上記検討は、設計清浄度85%を前提としているが、特殊な洗浄を行えば基準管並の熱通過率が得られることを示している。これについて、洗浄度をさらにあげるには、耐食性を保ちながら効果が得られる洗浄技術の開発が課題と思われる。

### (2) 熱通過率分布

前節で述べたように、本復水器の熱通過率は、管束下部放射部の領域においてイナシエーションおよび蒸気上昇流の影響により、その周囲の熱通過率より低下していた。これは伝熱機構上、現状の平滑復水器管では避け得ない現象である。この熱通過率低下領域が、上述した復水器性能低下にどの程度関与しているかは、詳細な解析を行う必要があり、本報では明言できない。しかし、例えば、管外の凝縮液の水切り効果を付与した伝熱促進管を開発し、この領域の管を差し替えることによって熱通過率低下領域を解消できれば、復水器性能すなわち真空はある程度向上するであろうと期待される。

## 6. まとめ

渥美火力発電所1号機復水器において、伝熱特性評価のため復水器1室の管総数の1%強にあたる64本の復水器について、伝熱性能実機測定を行った。

(1) SB洗浄後の本復水器真空の真空設計曲線に対する低下量は、高水温時につき0.36kPa (2.7 mmHg)、設計水温時につき0.17kPa (1.3 mmHg)であった。

- (2) 高水温時のSB洗浄後の内面付着物量を，設計水温時のそのレベルまで減少させれば，高水温時の復水器真空は現状より0.12kPa（0.9 mmHg）向上すると期待された。
- (3) 熱通過率は管東上部外周で最も高く，空気冷却部で最も低かった。また，管東下部放射部においては典型的なイナデーションの発生および蒸気上昇流の影響により伝熱が阻害され，熱通過率は周囲のそれよりも低下していた。
- (4) 管東下部のイナデーション発生領域に，管外の凝縮液の水切り効果を付与した伝熱促進管を装着し，熱通過率低下領域を解消できれば，真空はやや向上するであろうと期待された。
- (5) 蒸気温度分布からみた蒸気流れは，管東外周から内部に向かって良好に流れているとみられた。また，空気も空気冷却部の冷却水入口側より設計通り排出されていると判断された。
- (6) SB洗浄による内面付着物除去量とそれによる復水器真空回復量の関係を実験式を用いてほぼ満足に推定し得た。
- (7) 本復水器計装器出力値の中には，他の測定データに対して偏差を示すものがあった。従って定期的な検定が必要とみられた。なお，計器偏差は計器誤差の他に検出点の位置，検出端構造等の問題があると思われるので，別途専門的な検討が望まれる。その際今回採用した蒸気温度測定法は参考になると思われる。

## 謝 辞

本実機測定にあたっては，九州大学機能物質科学研究所藤井哲教授のご指導をいただきましたことを記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) Rowe, M., Davidson, B. J., Andrews, E. F. C., Ferrison, J. A. and Taylor, B. J., Paper C180/79, I. Mech. E (1979), 153.
- (2) Rowe, M., Davidson, B. and Moore, M., Proc., Symp. on State of the Art Condenser, Tech : EPRI (1983-6), Session III, 5-1.
- (3) Ferrison J. A., Rowe, M. and Beckett, G., 同上, Session VI, 1-1.
- (4) Lang, H. V., 同上, Session III, 2-1.
- (5) Arnold, G., 同上, Session VI, 1-1.
- (6) Beckett, G., Davidson, B. J. and Ferrison J. A., I. Chem. E. Symp No. 75 (1983), 97.
- (7) Rowe, M., 同上, 113.
- (8) Ozeki, T., Miura, Y. and Miyoshi, M., 同上, 135. 7th Edition (1978).
- (9) HEI, Standards for Steam Surface Condensers
- (10) Nosetani, T., ほか4名, 住友軽金属技報, 22- (1・2) (1981), 30.

## 東海研究グループ講演会

日時：平成元年5月13日(土) 13:30-19:00

場所：名古屋工業大学 機械工学科 会議室

講演：(特別講演)熱流体計測における不確かさ解析とその応用  
長野靖尚(名工大)

(講演)

- (1)くさび面への衝突噴流における流動および熱伝達  
山下博史(名大・工)、志満津幸(名大院)
- (2)多孔質体内の流動伝熱解析について  
中山顕(静岡大)
- (3)異方性乱流場の実験的解析  
岩崎隆夫(豊橋技科大院)、蒔田秀治(豊橋技科大)
- (4)自然対流乱流境界層の構造特性  
殷耀晨(名工大院)、辻俊博(名工大)、長野靖尚(名工大)
- (5)浮遊粒子中に置かれた管群まわりの熱輸送機構  
渡辺吉典(三菱重工) 糸杉男(岐阜大院)、熊田雅弥  
馬淵幾夫(岐阜大)、平田賢(東大)
- (6)希薄気体中に置かれたフィンからの熱伝達  
宇佐美勝(三重大)、藤本哲夫(名大)、加藤征三(三重大)

〈講演概要〉(特別講演)最近ASME性能試験規約の発効を端緒に、不確かさ解析の重要性が、各国で認識されつつある。日本機械学会においても分科会、研究会の設置や、ASME規約の翻訳出版、あるいは論文集での不確かさ解析の奨励などを通じて、啓蒙活動が積極的に展開されている。この事から本講演会では長野先生に、熱流体計測を中心に不確かさ解析の実際について講演いただいた。講演では、偶然誤差の評価の仕方について数式をも交えた丁寧な説明のあと、かたより誤差の評価法、さらにはピトー管による速度の実測値から不良データを排除する方法などについて素人にも分かりやすい説明があった。日頃実験データの誤差評価は必要と認識していても、いざ実際に定量評価するとなると面倒さを感じてしまうが、そのような認識の甘さを痛感させられる講演であった。

(一般講演)一般講演としては、上記6件の研究報告がなされた。このうち(1),(4)(5),(6)の講演は、仙台での伝熱シンポジウムで発表を予定しており、その内容の詳細については紙面の都合上、シンポジウム講演論文集に譲るが、いずれも聴講者の関心を引き付ける内容であり活発な質疑応答があった。また(2)については、最近アメリカを中心に多孔質体の伝熱流動解析に関心が集まっているが、その解析手法を発展させ、自動車のエアフィルタの流動解析に用いたところ、実験値と良い一致をみたことが報告された。(3)の講演については、乱流の参考書に載っている異方性乱流場についての仮定が、実験結果と異なっていることを実証した研究報告で、我々伝熱を専門とする人間にもその研究の重要性がよく理解できる講演であった。

以上の講演会は土曜日の午後という制約にもかかわらず、40名以上の参加者を得、予定した時間を大幅に超過して活発な討論が繰り広げられた。講演会終了後、引き続き懇親会が行われ、席上来年名古屋で開催される予定の伝熱シンポジウムの話題、更に地方研究グループの活性化をめざしたセミナーの開催などが話合われた。

東海地方連絡幹事 新井紀男  
(記)同上幹事 北村健三

関西研究グループ講演見学会

日時：平成元年5月23日（火）

場所：川崎重工業（株）技術研究所

講演 1) 「FBR (SNR-2) の崩壊熱除去の実験モデルと流動・伝熱について」

関西大学 工学部 機械工学科 石原 勲

2) 「加速度変動時の限界熱流束に関する実験（加速度変動がサブクール沸騰域の気泡の挙動に及ぼす影響）」

神船大 大辻 友雄, \*井川 博雅, 黒沢 昭

原研 楠 剛, 伊藤 泰義, 横村 武宣

3) 「ボイラ火炉内の放射解析」

川崎重工業（株） 技術研究所 井上 健司

見学 川崎重工業（株）技術研究所

<講演概要>

講演 1) ドイツの次期ナトリウム冷却高速増殖炉(SNR-2)の崩壊熱除去に関して、モデルを用いた実験がカールスルーエ原子力研究センタで行われている。

炉心で発生する崩壊熱は自然対流または共存対流によって上部プレナム内に設けられたImmersion cooler (IC) に運ばれる。炉内の流動は炉心→上部プレナム→中間熱交換器→下部プレナム→炉心の循環流に、炉心を離れる高温プルームの一部がICへ流入しそこで冷却されて再び炉心と上部構造の空間へと戻る循環流が重なった流動状態となる。

モデルはSNR-2と幾何学的に相似でかつRichardson数と炉心およびIC内の流動圧力降下を合わせている。作動流体として水を用いた2および3次元モデル内の各部の温度と速度が測定され、コンピュータコードによる計算結果と比較され、両者は良好な一致を得ている。

(石原 勲)

講演 2) 強制対流サブクール沸騰域において、重力加速度が変化した場合に限界熱流束が低下する主な原因として、低重力加速度時の気泡の巨大化が考えられる。従って、限界熱流束低下の機構を解明するためには加熱面上で発生した気泡の挙動に及ぼす加速度の影響を調べる事が重要である。そこで、実験ループを動揺させた場合の気泡寸法及び気泡離脱位置を測定し、低重力加速度時には、気泡寸法が僅かに大きくなり、気泡がより上流側で離脱することが明らかになった。また、加速度以外の影響を知るために実験ループ静止時の熱伝達特性、ボイド率、気泡速度、気泡寸法も測定し、その結果についても併せて示した。

(井川博雅)



講演 3) ボイラ炉内の熱的諸問題(火炉での熱収支、低公害燃焼、蒸発管の損傷、流動の安定性、熱応力および腐食等に関する管の健全性の問題、等)を検討するための炉内の放射伝熱解析技術を確立する目的から、放射熱線法を用いた三次元放射解析コードを開発した。開発したコードは、伝熱流動解析コードと接続することにより、ボイラ炉内のガス温度および伝熱壁の熱負荷などの熱的状态を解析しうるものである。

まず、本コードを用いて、基礎的なモデルである無限二平板間のガスの放射伝熱についての予備解析を行い、放射熱線法において計算精度を決定する要因である、ガスメッシュの光学的長さや放射ビームの射出数についての検討を行った。つぎに、ボイラを対象とした解析を実施し、ガスの吸収係数や伝熱壁面の放射係数、伝熱壁への石炭灰付着を想定した壁の熱抵抗やボイラ出力の変化が、ボイラ炉内の熱的状态に及ぼす影響を明らかにした。

(井上健司)

担当幹事 藤井照重, 石原 勲  
前関西連絡幹事 高城敏美

## 特別講演会のご案内

共催 日本混相流学会  
日本伝熱研究会関西地方研究グループ  
日本機械学会熱工学部門 気液二相流のフォーミュレーション研究会

日時 平成元年9月6日(水) 14:00~17:00

場所 大阪市立大学文化交流センター  
(大阪市北区梅田1丁目1番3-1700, 大阪駅前第3ビル17階,  
電話 06-344-5425(代))

講演:

(1) Steam generatorにおける熱流動問題(仮題)

G. Hetsroni教授

(Technion-Israel Institute of Technology教授,  
カリフォルニア大学サンタバーバラ校客員教授)

(2) 混相乱流における基礎方程式(仮題)

D. C. Besnard博士

(Centre d'Etudes de Limeil-Valenton,  
Departement MA/MCN, France)

なお、講演会の後、懇親会を予定しています。

連絡先

芹澤昭示 または 片岡 勲  
芹澤: 京都市左京区吉田本町  
京都大学工学部原子核工学教室  
Tel. 075-753-5020 または 0774-31-8760  
片岡: Tel. 0774-32-3111 Ext. 2323

関東地方研究グループ主催

## 特別講演会のご案内

International Journal of Multiphase Flow 記念特集号の発行に関連して来日される G. Hetsroni 教授、および甲藤好郎 東京大学名誉教授をお招きし、下記のように特別講演会を開催致しますので、多数ご参加下さいますようご案内申し上げます。

### 記

日時： 平成元年 9 月 18 日 (月) 14:00 - 17:00

場所： 東京大学 山上会館  
(東京都文京区本郷 7-3-1, 東京大学本郷キャンパス内)

講演：

(1) "Particles-Turbulence Interaction"

G. Hetsroni (Technion-Israel Institute of Technology,  
Visiting Professor at University of California, Santa Barbara)

(2) 「限界熱流束について」

甲藤 好郎 (日本大学教授, 東京大学名誉教授)

連絡先： 笠木伸英, または 庄司正弘  
東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部船用機械工学科  
Tel. 03-812-2111 ext. 6417 (笠木) または 6406 (庄司)

## 東北グループ伝熱セミナーご案内

下記の通りセミナーを開催いたします。多数ご参加下さるようご案内申し上げます。

日 時 平成元年10月28日(土) 13:00 ~ 29日(日)

場 所 赤湯保養所 むつみ荘

〒999-22 山形県南陽市赤湯字森先233-1 (Tel. 0238-43-3035)

### 1. 演題及び講師

(1) 低温水循環式輻射蓄熱暖房及び融雪システム

増村 力 氏(東亜熱研工業株式会社)

(2) コンパクト熱交換器と冷却機器

藤井 雅雄氏

瀬下 裕 氏(三菱電気株式会社生活システム研究所)

(3) カスケード型ヒートパイプ

穴戸 郁郎氏(宮城県工業技術センター)

(4) 21世紀の地球環境-地球と都市の温暖化、オゾン層破壊、砂漠化など-

齋藤 武雄氏(東北大学工学部)

### 2. 参加費(1泊2食、懇親会費を含む)

学生(学部、大学院) 5,000円、一般会員及び会員外 8,000円

当日徴収します。

### 3. 申込先 〒992 米沢市城南4-3-16

山形大学工学部化学工学科 今野研究室宛て Tel.0238-22-5181(内線280)

### 4. 申込締切 平成元年10月10日(火) 但し先着60名まで

関西研究グループ企画

六甲山上セミナー

「いま、熱・伝熱ではこれがおもしろい」

伝熱研究会関西研究グループでは、標記セミナーを下記のように計画いたしました。  
ふるってご参加下さいますようご案内申し上げます。

- 日時 : 平成元年9月8日(金) - 9日(土), 1泊2日  
 場所 : YMCA六甲研修センター  
 神戸市灘区六甲山町北六甲875 (TEL) 078-891-0050  
 交通: 阪急六甲よりバス約25分  
 参加費 : 一般: 25,000円, 大学, 官公庁: 12,000円, 学生: 8,000円  
 (宿泊, 食事, 懇親会費を含む)  
 定員 : 60名(申し込み先着順により満員になりしだい締め切ります)  
 申し込み : 綴じ込みの申し込み用紙に必要事項を記入の上, 下記まで郵送ください。  
 参加費を郵便振替にて第1回関西伝熱セミナー実行委員会まで振り込んでください。  
 締切後の取り消しには参加費を返却できません。  
 郵送先: 〒565 吹田市山田丘2-1 大阪大学工学部産業機械工学科 平井秀一郎  
 (TEL) 06-877-5111 ext. 5109, (FAX) 06-876-4975  
 振替先: 第1回関西伝熱セミナー実行委員会  
 郵便振替 口座番号 大阪 6-85801  
 申し込み締切: 8月23日(水)

第1回関西伝熱セミナー実行委員会

- 委員長 : 高城敏美(阪大)  
 幹事 : 池田裕二(神大), 加治増夫(阪大), 河原全作(京大), 平井秀一郎(阪大)  
 実行委員: 井上義朗(阪大), 大岡五三実(大阪ガス), 太田淳一(神大), 片岡勲(京大)  
 鎌田正裕(京大), 川端克宏(ダイキン), 木本日出夫(阪大), 古藤悟(三菱電機)  
 鈴木洋(京大), 田中博由(松下電産), 柘植綾夫(三菱重工), 中島健(神大)  
 西村伸也(大阪市大), 広川雅俊(川崎重工), 古川哲朗(日立造船), 南川久人(神大)  
 唐土宏(松下電産), 山村利和(神戸製鋼), 吉川正治(シャープ), 吉田篤正(京大)

日程

=9月8日(金) =

時間	表題	内容	講演者	司会者
12:30 13:00	受付開始 開会			
13:10~ 14:30	いま、企業では これがおもしろい (I)	相変化型光ディスクの熱伝導解析による結晶条件の定量化 溶鋼の熱流動解析 流動層による除霜効果	武川博三 (松下電産) 三宅俊也 (神戸製鋼) 鳥越邦和 (ダイキン)	荻野文丸 (京大工) 大串哲朗 (三菱電機)
14:45~ 16:05	いま、企業では これがおもしろい (II)	ガスタービン冷却翼における伝熱について 宇宙エネルギーシステムのトピックス 再突入宇宙機の回りの希薄気体流れの数値シミュレーション	浜辺謙二 (川崎重工) 阿部義人 (三菱重工) 嶋田 徹 (日産自動車)	芹沢昭示 (京大工) 柘植綾夫 (三菱重工)

16:20～ 17:40	乱流と乱流伝熱の 直接シミュレーシ ョンとモデリング はどこまで可能か	乱流のLESとDNSについて 乱流輸送現象の構造論的モデリング	梶島岳夫 (阪大工) 田川正人 (名工大)	平井秀一郎 (阪大工) 古藤 悟 (三菱電機)
18:00～ 20:00	夕 食 休 憩			
20:00～ 21:00	熱・流動の直接シ ミュレーションと コンピューター グラフィックス	各種熱，流動のコンピューターグラフ ィックスをビデオで映写し，解説する	桑原邦郎 (東大宇宙研)	高城敏美 (阪大工) 広川雅俊 (川崎重工)
21:00～	懇 親 会			

= 9月9日 (土) =

8:00～	朝 食			
9:00～ 10:20	計測の最前線	L I Fを用いた乱流流束とラジカルの 計測 赤外線画像法による温度分布計測法  赤外スペクトル法による表面温度・ 性状の非接触計測	小宮山正治 (阪大工) 大串哲朗 (三菱電機) 牧野俊郎 (京大工)	坂口忠司 (神大工) 平田雄志 (阪大 基礎工)
10:40～ 12:00	熱と流れの visualization	中性子ラジオグラフィーによる二相流 の可視化 水素気泡法による円管内乱流混合過程 の可視化 感温液晶による自然対流の可視化	三島嘉一郎 (京大原了炉) 平田雄志 (阪大基礎工) 河原全作 (京大工)	片岡邦夫 (神大工) 鳥越邦和 (ダイキン)
12:00	閉 会			

----- 切り取り線 -----

=六甲山上セミナー「いま、熱・伝熱ではこれがおもしろい」参加申し込み=

ふりがな

氏名: \_\_\_\_\_ 印

生年月日: M T S 年 月 日  
\_\_\_\_\_

住所・所属: 〒 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

役職

TEL: ( ) FAX: ( )  
\_\_\_\_\_



九州研究グループ主催  
**「第1回九州地区伝熱研究者の集い」**

日本伝熱研究会 九州研究グループ  
 地方連絡幹事 深野 徹 (九大)  
 幹 事 三塚 正志 (日本文理大)  
 同 茂地 徹 (長崎大)  
 同 大田 治彦 (九大)

夏期伝熱セミナーは、今まで全国規模で行われてきましたが、本年より各地方研究グループの主催で、それに相当する研究集会を行うことになりました。九州研究グループではこれを機に原点に立ち返り、大学院生をはじめとする若手研究者の研修を目的の一つとして、各分野において第一線で御活躍の方々との自由な語らいができるような場を今後多く持ちたいと考えております。その第一歩として、夏期の研究集会を企画いたしました。最先端の研究や技術に関する見学会も行いますので、若い方のみならず、広く一般会員の方も多数御参加いただきますようお願いいたします。集会における遠慮のない活発な討論によってコミュニケーションの輪が広がらんことを願っています。

1. 会期 平成元年8月22日(火)～8月23日(水)、1泊2日

2. 日程

8月22日(火)

13:00	集合	長崎ビューホテル、ロビー集合
13:30		(バスで移動)
14:00	講演・ 討論会	講師：三菱重工業株式会社長崎研究所 流体伝熱研究室 曾田 正 浩 氏 「エネルギー変換機器に関する開発の現状」 ・火力発電プラントの開発状況 ・新発電プラントの開発状況 ・エネルギー変換機器の伝熱問題
15:30	見学会	三菱重工業株式会社長崎造船所香焼工場 ・ボイラ工場 ・100万トンドック、風力発電 三菱重工業株式会社長崎研究所深掘香焼支所 ・熱エネルギー関連試験設備 ・耐航性能水槽、氷海水槽
17:30		(バスで移動)



18:30	懇談会	長崎ビューホテル (宿泊)
20:00	語らいの場	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「物質ガス化の伝熱問題」 話題提供者：金丸 邦康 氏 (長崎大)</li> <li>・「固-液相変化を含む系の伝熱問題」 話題提供者：笹口 健吾 氏 (熊本大)</li> <li>・「凝縮と沸騰における伝熱材料の影響」 話題提供者：鶴田 隆治 氏 (九州工大)</li> <li>・「実験装置の製作で感じたこと」 話題提供者：鳥居 修一 氏 (九州大)</li> </ul>
23:00		

8月23日 (水)

	朝食	
8:00	(バスで移動)	
9:00	講演・ 討論会	<p>講師：三菱電機株式会社 中央研究所 機械技術研究部 大 串 哲 朗 氏</p> <p>「電子機器冷却における伝熱問題」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能空冷ヒートシンク</li> <li>・分散熱負荷ヒートパイプ</li> <li>・浸冷時の温度フロント移動問題</li> <li>・湿度変化シミュレーション</li> </ul>
10:30		<p>三菱電機株式会社 時津工場</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・車輛冷房装置組立工場</li> <li>・圧縮機機械加工および組立工場</li> <li>・冷凍ユニット組立工場</li> <li>・板金製造工場</li> <li>・モーター製造工場</li> <li>・コンピュータ端末でニター製造工場</li> </ul>
12:30	解散	

3. 参加費 (宿泊、食事、懇談会費含む、交通費別)

一般 8,000円

学生 4,000円

4. 定員 約50名

(同業者の方は御遠慮下さい。)

5. 本号綴じ込みの申込用紙に必要事項を御記入の上、郵送下さい(FAXでも可)。参加費は当日受付にて集めさせていただきます。

申込用紙郵送先

〒812 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学工学部機械工学科内

日本伝熱研究会九州研究グループ

大 出 治 彦

TEL 092-641-1101 内線5446

FAX 092-641-9744

締切 8月7日(月) 必着

(但し、先着順定員になり次第締め切らせていただきます。)

◎ 申込の方には詳しい御案内をお送りいたします。

---

キリトリセン

九州研究グループ主催

「第1回九州地区伝熱研究者の集い」

参加申込用紙

ふりがな

御名前

---

所属・職名

(研究室・学年)

---

連絡先

TEL ( ) , FAX ( )

---

御要望等



## 第10回日本熱物性シンポジウム プログラム

〔 共催： 日本熱物性研究会、日本機械学会 〕  
〔 協賛： 日本伝熱研究会ほか 〕

開催日： 平成元年9月20日（水）～22日（金）

会場： 北海道大学学術交流会館

〔 〒060 札幌市北区北8条西5丁目 〕  
〔 Tel.(011)758-5426（JR札幌駅北口より徒歩4分） 〕

参加費： （シンポジウム） 日本熱物性研究会会員および共催学協会会員（予約）4,000円（当日）5,000円、学生（予約）2,500円（当日）3,500円、非会員（予約）5,000円（当日）6,000円。また、日本熱物性研究会会員には、講演論文集を無料で配布します。その他の方には、講演論文集は、5,000円で会場にて頒布します。

（懇親会） 9月21日（木）夕、札幌グランドホテル（札幌市北区北1条西4丁目）で行います。参加費は（予約）5,000円（当日）6,000円の予定です。

詳細問合せ先：

〒060 札幌市北区北13西8 北海道大学工学部  
機械工学第二学科 伝熱工学講座気付け  
第10回日本熱物性シンポジウム実行委員会  
Tel.(011)716-2111 内線 6424 or 6427  
FAX (011)717-4745

# 第10回日本熱物性シンポジウム日程表

	9月20日(水)	9月21日(木)	9月22日(金)
9:00			
10:00	<div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">                     9:20                      【開会特別講演】                      Cezairli n                      X.Wang                      10:20                      10:30                 </div>		
11:00	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     【膨張率・粘性率】                       101~105                       11:50                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     10:10                      【フロン】                       201~206                       11:50                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     10:10                      【測定法Ⅱ】                       301~305                       11:30                 </div>
12:00	(昼食)	(昼食)	(昼食)
13:00	<div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">                     12:45                      【総会】                      13:15                      13:20                 </div>	<div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">                     12:50                      【特別講演】                      G.K.White                       13:30                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     12:40                      【断熱材】                       306~310                 </div>
14:00	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     【放射】                       106~110                      14:40                      14:50                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     13:40                      【測定法Ⅰ】                       207~210                      15:00                      15:10                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     14:00                      14:10                      【食品など】                      311~314                      15:20                      15:30                 </div>
15:00	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     【溶液など】                       111~114                       16:10                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     【固体・金属】                       211~215                       16:30                 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     【流体など一般】                       315~317                       16:50                 </div>
16:00			
17:00			
18:00			
19:00		<div style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">                     18:30                      【懇親会】                       20:00                 </div>	
20:00			

## 第2回アジア熱物性会議 ご案内

〔 開催：アジア熱物性会議組織委員会 〕  
協賛：日本伝熱研究会ほか

本会議は3年周期にて開催される世界三大熱物性会議（アジア熱物性会議、ヨーロッパ熱物性会議、米国熱物性会議）の一つであります。そのことを反映し、すでに11カ国より100編を超える論文が寄せられております。

一般研究発表の他多くの招待講演を予定しており、特に諸外国の熱物性研究の現状に関する情報が得られるように配慮しております。また、本会議に登録された方は、同時期、同場所にて行われます第10回日本熱物性シンポジウムに自由に参加することができます。

開催日：平成元年9月20日（水）～22日（金）

会場：北海道大学学術交流会館

〔 〒060 札幌市北区北8条西5丁目 〕  
Tel.(011)758-5426（JR札幌駅北口より徒歩4分）

参加登録日： 予約（8月15日以前） 20,000円（学生 7,000円）  
当日（8月15日以降） 25,000円（学生 10,000円）

懇親会費： 予約（8月15日以前） 5,000円 当日 6,000円

申込方法： 下記に問い合わせて下さい。

払込み先： 郵便口座 小樽7-42739  
「第2回アジア熱物性会議実行委員会」

問い合わせ先：

〒060 札幌市北区13条西8丁目  
北海道大学工学部機械工学第二学科  
伝熱工学講座気付け  
第2回アジア熱物性会議事務局  
TEL(011)716-2111 内6424 or 6427  
FAX(011)717-4745

「原子力におけるスーパーコンピューティング国際会議」案内

平成2年3月12～16日、 於 水戸プラザホテル（茨城県水戸市）

標記の国際会議(International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications)が日本原子力研究所の主催で上記の日程のとおり開催される予定です。この会議では以下のテーマに沿った論文を募集しています。

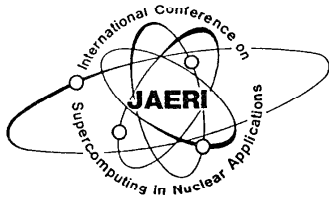
- (1) 原子力におけるシミュレーション
- (2) 原子力におけるコンピュータ
- (3) 原子力における設計支援技術
- (4) 原子力におけるロボティクス
- (5) 原子力における人工知能技術

また、国内の大規模スーパーコンピュータ・センターなどへのサイト・ツアーや国内外メーカー及び研究機関等のビデオ、ワークステーションなどによるプレゼンテーションも計画中です。

なお、採用論文は、平成元年10月末締切りのアブストラクト(指定原稿用紙2枚、図表を含む)の審査によって決定された後、本論文(平成2年2月15日締切り)を提出して頂く予定です。また、発表は英語で行う予定です。会議の参加登録費は無料の予定です。参加する場合は事前に登録が必要です。詳しい案内が必要な方は、下記宛先までお問い合わせ下さい。

<問い合わせ先>

〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方2-4  
日本原子力研究所 計算センター内  
国際会議事務局  
電話 (0292) 82-5931  
Fax (0292) 82-6070



**International Conference  
on  
Supercomputing  
in  
Nuclear Applications  
( SNA '90 )**

**CALL FOR PAPERS**

---

**March 12-16, 1990**

---

**Mito Plaza Hotel**

---

**Mito City, Ibaraki, Japan**

**Chairman of International Program Committee**  
**Chairman of Local Organizing Committee**  
Takumi Asaoka  
Japan Atomic Energy Research Institute  
2-4, Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11  
JAPAN

**Chairman of Planning and Management Subcommittee**  
Konomo Sanokawa  
Japan Atomic Energy Research Institute  
O-arai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki 311-13  
JAPAN

**Chairman of Local Program Subcommittee**  
Shunsuke Kondo  
Department of Nuclear Engineering  
University of Tokyo  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113  
JAPAN

**Sponsor** : Japan Atomic Energy Research Institute  
**Cooperation** : Science and Technology Agency  
OECD / Nuclear Energy Agency  
Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation  
Institute of Physical and Chemical Research  
National Institute of Radiological Sciences  
Central Research Institute of Electric Power Industry  
Nuclear Energy Data Center  
Atomic Energy Society of Japan  
The Japan Society of Plasma and Nuclear Fusion Research  
Physical Society of Japan  
The Japan Society of Mechanical Engineers  
Society of Instrument and Control Engineers  
Robotics Society of Japan  
Japanese Society for Artificial Intelligence  
Information Processing Society of Japan  
Japan Atomic Industrial Forum  
American Electronics Association Japan Office



## CALL FOR PAPERS

It is becoming more and more important to introduce the state-of-the-art technologies in various nuclear applications. The supercomputing is one of the key technologies for the innovation of research and development in the nuclear field. The conference will bring together not only scientists and engineers engaging in high speed computations but also in advanced information processing such as artificial intelligence and robotics in the nuclear applications to report results and experiences, suggest future directions, and exchange information. It includes a technical program of invited and contributed papers; research organization & vendor exhibits, and technical tours.

---

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Topics of Interest</b> | <b>I . Simulation in Nuclear Field</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Reactor Physics</li><li>2. Plasma Physics</li><li>3. Reactor Safety</li><li>4. Fluid Dynamics</li><li>5. Material Design</li><li>6. Environmental Safety</li><li>7. Structural Analysis</li><li>8. Others</li></ol> |
|                           | <b>II . Innovative Computer Use in Nuclear Field</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Man-machine Interface</li><li>2. Parallel Processing</li><li>3. Supercomputers</li><li>4. New Computational Methods</li><li>5. Graphics</li><li>6. Others</li></ol>                                   |
|                           | <b>III . Design Automation in Nuclear Field</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Computer-aided Plant Design</li><li>2. Operator Assistance</li><li>3. Plant Control</li><li>4. Plant Maintenance</li><li>5. Others</li></ol>   |
|                           | <b>IV . Artificial Intelligence in Nuclear Field</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Expert Systems</li><li>2. Neural Networks</li><li>3. Fuzzy Systems</li><li>4. Intelligent Databases</li><li>5. Object Oriented Systems</li><li>6. Others</li></ol>                                    |
|                           | <b>V . Robotics in Nuclear Field</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Robots in Hazardous Environments</li><li>2. Intelligent Robots</li><li>3. Sensor Fusion</li><li>4. Others</li></ol>   |
-

## CALL FOR PAPERS

---

### Submission of Papers

Abstracts should reach the Conference Secretariat by **October 31, 1989**. Acceptance will be notified to the authors by **December 20, 1989**. Full papers will be due by **February 15, 1990**.

Abstracts and full papers should be written on special proceedings manuscript sheets. These will be available on request together with instructions for the preparation of the manuscript. Authors who intend to submit abstracts should complete the attached postcard and send it to the Conference Secretariat as soon as possible.

- Abstracts should be written in English.
  - Abstracts should not exceed 2 pages including Tables and Figures in camera-ready form.
  - Abstracts should be allocated to one of the subject groups given in the Topics of Interest.
  - Authors of accepted abstracts should prepare full papers not exceeding 6 pages including Tables and Figures in English in camera-ready form.
- 

### Technical Sessions

The Conference language will be English.

Each presentation room will have the following equipments ; a 35mm slide projector, an overhead projector, a screen, microphones and an electric pointer.

---

### Proceedings

The proceedings of the Conference will be published shortly afterwards ; they will include the full text of all papers presented.

---

### Research & Vendor Exhibits

An opportunity exists for research organizations and vendors to exhibit or to demonstrate their supercomputing technologies during the Conference using video tape devices, online terminals, or small scale work stations. The exhibits must be innovative applications which represent some of the important technical directions in the future and not be commercial-oriented ones. Interested parties should contact the Conference Secretariat by **September 30, 1989** to arrange for floor space.

Participants who intend to make an exhibition of video will be able to use video tape devices in the exhibition room.

---

## CALL FOR PAPERS

---

**Technical Tours**      Two days technical visits to various supercomputer centers and laboratories are planned. Further information will be given in the next announcement.

---

**Reception & Banquet**      Reception and Banquet will be planned. Further information will be given in the next announcement.

---

**Participation Registration**      This Conference is open to scientists and engineers from OECD member countries. Registration in advance is an essential requirement for participation in the Conference. The registration fee is free. Intending participants should complete the registration form ( Form A) and send it by January 31, 1990.

---

**Accommodations**      This information will be given in the next announcement.

---

For further information, please contact :

Kiyoshi Asai  
Conference Secretariat  
Computing Center, JAERI  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, JAPAN

j1666@jpnjaeri.bitnet

( from outside of Japan )

Phone    : (81) 292 82 5611  
Fax      : (81) 292 82 6070

( from inside of Japan )

Phone    : 0292 (82) 5611  
Fax      : 0292 (82) 6070

「伝熱研究」の原稿のワープロ化のお願い

「伝熱研究」編集委員会（伝熱研究会）

## 1. はじめに

日本伝熱研究会の会誌「伝熱研究」の原稿をワープロで打って提出して下さる方が、近年増加しており、現在では、かなりの割合に達しております。もし、ワープロ原稿をそのまま会誌にのせることができれば、「伝熱研究」の印刷費用は安くなりますし（活字組みから写真製版への移行による費用の減少）、活字組みの時に生じる文章中の誤字、脱字を減らすこともでき、また、ゲラ刷りの校正作業もずっと楽になるなど種々の利点が生じるものと思われまます。そこで、原稿をワープロで打っていただける方には、なるべくワープロの出力原稿を提出していただき、それをそのまま会誌にのせることにいたしました。印刷用原稿としては、各著者のプリンタ出力をそのまま使用しますので、印刷の仕上りは機種による字型の違いなどのために多少不揃いになると思われまます、以下の標準書式に従ってプリンタ出力をし、原稿を御提出いただきますよう、ご協力のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

## 2. 「伝熱研究」用原稿の標準書式

### 2. 1 標準出力フォーマット

★この用紙の書式を参考にして、A4の用紙に打出す。（切り貼りは自由。印刷時にB5に縮小します。なお、縮小された大きさでB5に打出しても構いません。）

★縦長、横書き。（プリンターは、24×24ドット以上の文字構成とする。）

★全角文字を標準とする。（英語、数字は半角が望ましい。）

★一行に印字する文字数：42文字程度（40～44文字の間なら構いません。）

横 幅：160mm 程度（150mm～170mmの間なら構いません。）

（この場合、文字間隔は1/8文字程度に対応します。）

★一頁の行数：34行程度（33～35行の間なら構いません。）

縦の長さ：255mm 程度（245mm～265mmの間なら構いません。）

（この場合、行間隔は1文字分程度に対応します。）

★図面・表は、シンポジウム講演論文集と同様に貼り込む。

（以上よろしく願いいたします。）

1 (一行目は表紙の頁のみ空白とする。二頁目以降は文章を書く。) 40 42 44  
10 20 30

「伝熱研究」の原稿のワープロ化のお願い  
(表題は三行目の中央に文章と同じ大きさの文字で書く。)

5 「伝熱研究」編集委員会・(伝熱研究会)  
(表紙の頁は一行空白) (氏名、所属[略称]を右に詰めて書く。)

1. はじめに (本文スタート↓)

・日本伝熱研究会の会誌「伝熱研究」の原稿をワープロで打って提出して下さる方が、近年増加しており、現在では、かなりの割合に達しております。もし、ワープロ原稿をそのまま会誌にのせることができれば、

↑  
↑

16.0mm

15 |

25.5mm | ←→

↓ 10mm

なお、  
↓  
……………、事務局で対応できますので、お気軽にお申し付け下さい。

20 (一行空白)

2. 「伝熱研究」用原稿の標準書式

2.1 標準出力フォーマット

★この用紙の書式を参考にして、A4の用紙に打出す。(切り貼りは自由。印刷時にB5に縮小します。なお、縮小された大きさでB5に打出しても構いません。)

25★縦長、横書き。(プリンターは、24×24ドット以上の文字構成とする。)

★全角文字を標準とする。(英語、数字は半角が望ましい。)

★一行に印字する文字数：42文字程度(40～44文字の間なら構いません。)

横 幅：160mm程度(150mm～170mmの間なら構いません。)

(この場合、文字間隔は1/8文字程度に対応します。)

30★一頁の行数：34行程度(33～35行の間なら構いません。)

縦の長さ：255mm程度(245mm～265mmの間なら構いません。)

(この場合、行間隔は1文字分程度に対応します。)

★図面・表は、シンポジウム講演論文集と同様に貼り込む。

(以上よろしくお願いたします。)

35

Typing Instructions for Contributors to  
Journal of Heat Transfer Society of Japan

Editorial Board for J. Heat Transfer Soc. Japan

c/o Dept. Mechanical Engineering for Production  
Tokyo Institute of Technology  
Meguro-ku, Tokyo 152, Japan

Manuscripts should be typed single-half-spaced within a space of 170 x 255 mm, on one side of the page, using A4 (210 x 296 mm) or letter-size (8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> by 11 inch) white paper and 12-pitch typing letters. The manuscripts must be typewritten clearly using a black carbon or film ribbon on an IBM or equivalent typewriter. A word processor may be used with a letter-quality printer. The printing plates will be prepared by photographing the original manuscripts submitted. Therefore, it is important for typists to avoid erasers and keep the manuscripts as clean as possible. The pages will be reduced approximately 14% by the printer so that the data must be large enough to be readable at that reduction.

On the first page of each chapter, the chapter title should be typed centered, leaving two lines of space above it. The author's name and affiliation should also be typed centered. Put them on a line separate from the title and the text, leaving one line of space above and two lines of space below. On the second and subsequent pages, start typing at the top of the page. Each text page holds 40 lines of type. Using a light-blue pencil, lightly write the page number at the upper right corner of the page.

Equations should be typed if possible. If handwritten, they must be carefully lettered using black ink, using symbols approximately the same size as the typewritten characters. Type the equation and its number enclosed in parentheses as follows:

$$St = 0.0287 Pr^{-2/5} Re_X^{-1/5} \quad (1)$$

All symbols should be defined in the text. If a nomenclature section is included to define unique symbols, place it at the end of the text just ahead of the reference section. All data should be reported in SI units.

Place the table/figure preferably at the top or bottom of a page as close as possible to its first mention in the text. Type captions for tables/figures right above/under them. Leave one line of space between the table/figure and

following or preceding text. High quality reproduction of illustrations depends on the condition of the original artwork. It should be prepared as carefully as the text. In planning sizes of line figures and labels, keep in mind that the final page will be reduced 14% by the printer. Be certain that labels and data points will be legible at this reduction. Glossy prints, photostats, or reprints of drawings may be used if they are of high quality with sharp, even lines and lettering. Photographs must be sharp black-and-white glossy prints.

References should be listed immediately following the text. They may be listed either in alphabetical order or in numerical order by text citation. In the text, reference citations should be either by the last name of the author(s) and the year of publication or by the reference number enclosed in square brackets, respectively. Some sample lists of symbols and references follow:

#### NOMENCLATURE

$c_p$	specific heat at constant pressure, J/kg K
$h_x$	local heat transfer coefficient, W/m <sup>2</sup> K
Pr	Prandtl number
$Re_x$	Reynolds number, $u_\infty x/\nu$
St	Stanton number, $h_x/\rho c_p u_\infty$
$u_\infty$	free stream velocity, m/s
x	distance from the leading edge, m
$\nu$	kinematic viscosity, m <sup>2</sup> /s
$\rho$	density, kg/m <sup>3</sup>

#### REFERENCES

- [1] Clark, J. A., 1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Arbor.
- [2] Lee, Y., Korpela, S. A., and Horne, R. N., 1982, "Structure of Multi-Cellular Natural Convection in a Tall Vertical Annulus," Proc. 7th Int. Heat Transfer Conf., U. Grigull et al., ed., Hemisphere, Washington, DC, vol. 2, pp. 221-226.
- [3] Sparrow, E. M., 1980, "Forced-Convection Heat Transfer in a Duct Having Spanwise-Periodic Rectangular Protuberances," Num. Heat Transfer, vol. 3, pp. 149-167.
- [4] Tung, C. Y., 1982, "Evaporative Heat Transfer in the Contact Line of a Mixture," Ph.D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy.

Note that a long list of references may be typed single-spaced.

# 日本伝熱研究会 事務局移転のお知らせ

平成元年6月より、下記の通り事務局を移転しましたのでお知らせ致します。

記

〒152  
東京都目黒区大岡山2-12-1  
東京工業大学工学部生産機械工学科気付  
日本伝熱研究会

Tel. 03-726-1111 ext.3090、2450

Fax. 03-729-0587

郵便振替口座 東京6-14749  
(従来通り)

銀行口座 第一勧業銀行 大岡山支店  
普通 145-1517941



## 日本伝熱研究会への入会手続きについて

### (1) 個人会員および学生会員

下記の入会申し込み用紙に必要事項をご記入の上、事務局宛ご送付下さい。同時に郵便振替にて当該年度分の会費（個人会員は5,000円/年、学生会員は3,500円/年）をお支払い下さい。

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。

なお、「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。

本会の事業年度は毎年4月1日に始まり、翌3月末日に終わります。

申込書送付先： 〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学工学部生産機械工学科気付

日本伝熱研究会

Tel. 03-726-1111 ext.3090、2540

郵便振替口座： 東京6-14749 日本伝熱研究会

### (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。事務局から研究会の内容、会則、入会手続きなどについて御説明致します。

維持会員の会費は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」等を申し込み1口につき1部ずつお送り致します。

日本伝熱研究会個人会員申込書・変更届書

0	申込年月日	H	年	月	日
---	-------	---	---	---	---

1	会員資格	正・学			
2	氏名				
3	ふりがな				
4	生年月日	M・T・S	年	月	日

5	* 勤	名称	
6			
7		〒	—
8	務	所在地	
9			
10	先	TEL	
11		FAX	共通・専用

12	自 宅	〒	—
13		住所	
14			
15		TEL	

16	通信先	勤務先	・	自宅
17	学位			
18	最終出身校			
19	卒業年次			
20	専門分野		・	・

← (下記専門分野の番号)

21	学生会員の場合：指導教官名			
----	---------------	--	--	--

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: ガスタービン | 17: 蒸気機関 | 18: 原子力  | 19: 太陽熱   | 20: 環境   |
| 21: その他 (  |          |          |           | )        |

\*) 学生の場合は在学学校名、学年 (M2、D3など) を記す。

伝熱研究

Vol. 28, No. 110

1989年7月発行

発行所 日本伝熱研究会

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1  
東京工業大学工学部生産機械工学科気付

日本伝熱研究会

電話 03(726)1111(代) 内線3090, 2540

Fax 03(729)0587

振替 東京 6-14749

(非売品)