

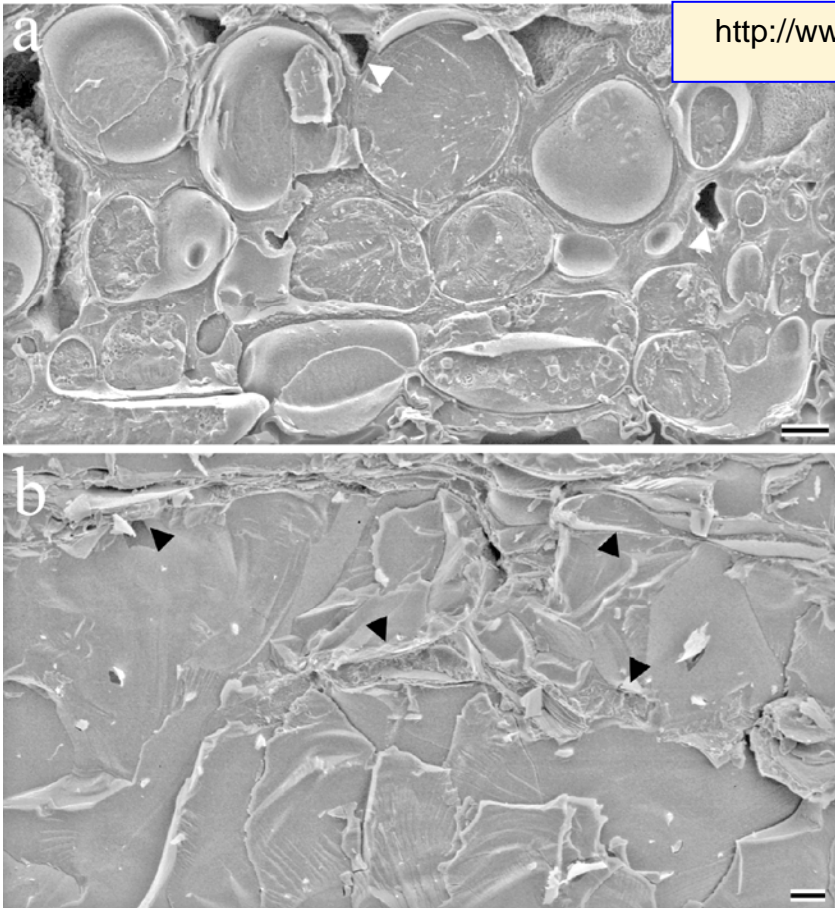
# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

ISSN 1344-8692 Vol. 48, No. 204  
2009. 7

*HTSJ*

◆特集：生活の伝熱◆



(a) カラマツの師部柔細胞.

bar=10 $\mu$ m

(b) -30°Cまで緩速凍結した師部柔細胞.

bar=10 $\mu$ m

**カラマツ師部柔細胞の Cryo-SEM 像**  
*Cryo-SEM photographs of phloem cells in larch*

遠藤 圭太, 藤川 清三\* (北海道大学)

*Keita Endoh, Seizo Fujikawa\* (Hokkaido University)*

\* e-mail: [sfuji@for.agr.hokudai.ac.jp](mailto:sfuji@for.agr.hokudai.ac.jp)

低温走査型顕微鏡 (Cryo-SEM) 法は、生物組織内の水及び氷の分布をマイクロレベルで可視化する優れた方法である。写真 (a) はカラマツの師部組織を示す。新鮮組織小片は採取後直ちに、急速凍結により凍結固定し、電子顕微鏡内で凍結状態を保ったまま切断して観察した。急速凍結固定により細胞内の水は、この倍率ではほとんど識別できない小氷晶となって、その場に保持される。細胞外に存在する小面積の細胞間隙 (白矢頭) は空の隙間であり水はほとんど存在しない。

一方、カラマツの師部組織を自然界で起こる温度低下に似せて、ゆっくりと-30°Cまで凍結した後、凍結固定をして観察したものが写真 (b) である。緩速凍結により、まず細胞外に氷ができるが、細胞内水分は凍らず一時的な過冷却状態を保つ。このため細胞内外に化学ポテンシャル差ができるので、細胞内水分は脱水され、細胞外で氷となり平衡化が起こる。-30°Cまでの緩速凍結により、細胞外のほとんどの空隙は脱水された水分からなる細胞外氷晶で占められているとともに、細胞 (黒矢頭) は脱水・収縮して原型をとどめず、凍結固定しても細胞内に小氷晶は形成されない。

ここでは細胞外凍結という植物細胞が示す一般的な凍結適応機構を持つカラマツの師部組織について、水と氷の分布の一例を示した。Cryo-SEM 法により、様々なメカニズムで氷点下温度に適応する、多様な組織の水と氷の分布の解析が可能である。

# 伝 熱

## 目 次

### 〈新旧会長挨拶〉

会長就任にあたって	第 48 期会長 長野靖尚 (名古屋工業大学)	1
47 期を振り返って	第 47 期会長 河村 洋 (諏訪東京理科大学)	2

### 〈第 21 回日本伝熱学会賞〉

平成 20 年度日本伝熱学会賞選考の報告	表彰選考委員会委員長 瀧本 昭 (金沢大学)	4
日本伝熱学会学術賞を受賞して	吉田英生, 齋藤元浩, 岩井 裕 (京都大学)	5
日本伝熱学会学術賞を受賞して	小澤 守 (関西大学), 庄司正弘 (神奈川大学), 網 健行, 梅川尚嗣 (関西大学)	6
日本伝熱学会技術賞を受賞して	松本亮介, 小澤 守 (関西大学), 竹森利和, 久角喜徳, 毛笠明志 (大阪ガス), 飯尾剛範 (関西大学)	7
日本伝熱学会技術賞を受賞して	岩崎 徹, 高橋正浩, 守屋英教, 新井 敬, 村山哲郎, 堀口清司, 渡邊 茂 (三井造船 (株)), 村田真史, 國木雅晴 (中国電力 (株))	8
日本伝熱学会奨励賞を受賞して	長谷川洋介 (東京大学)	9
優秀プレゼンテーション賞受賞者紹介		10

### 〈第 46 回日本伝熱シンポジウム〉

第 46 回日本伝熱シンポジウムの報告	稲岡恭二 <sup>1</sup> , 岩井 裕 <sup>2</sup> , 桑原不二朗 <sup>3</sup> , 後藤田 浩 <sup>4</sup> , 齋藤元浩 <sup>2</sup> , 塩見洋一 <sup>5</sup> , 巽 和也 <sup>2</sup> , 中部主敬 <sup>2</sup> , 萩原良道 <sup>6</sup> , 牧野俊郎 <sup>2</sup> , 松本充弘 <sup>2</sup> , 南川久人 <sup>7</sup>	
	(1 同志社大学, 2 京都大学, 3 静岡大学, 4 立命館大学, 5 龍谷大学, 6 京都工芸繊維大学, 7 滋賀県立大学)	11

### 〈特集:生活の伝熱〉

入浴の科学	興梶真紀 (東京ガス)	22
生活の中の伝熱	原 利次 (日本工業大学)	27
超高級炊飯器	西本芳夫 (三菱電機株式会社)	33
炭火焼きがおいしい理由	杉山久仁子 (横浜国立大学)	37

## 〈特別寄稿〉

磁場装置は配管系のスケール抑制に効く？ …………… 東谷 公（京都大学） …………… 41

## 〈エデュケーション Q〉

ナノ材料のフォノン熱伝導 …………… 塩見淳一郎（東京大学） …………… 43

## 〈プロジェクト Q〉

家庭用冷蔵庫 断熱材技術の変遷 …………… 上門一登（パナソニック株） …………… 49

## 〈解説〉

ふく射と化粧 …………… 山田 純（芝浦工業大学） …………… 53

## 〈巻頭グラビア:heat-page〉

カラムツ師部柔細胞の Cryo-SEM 像 …………… 遠藤圭太, 藤川清三（北海道大学） …………… 表紙裏

## 〈行事カレンダー〉

…………… 59

## 〈お知らせ〉

社団法人日本伝熱学会第 47 期（平成 20 年度）総会議事録 …………… 61

Sixth International Conference on Flow Dynamics 開催のお知らせ …………… 64

編集出版部からのお知らせ …………… 65

編集部会ノート …………… 70

## Vol. 48, No. 204, July 2009

### CONTENTS

#### < New and Former President's Address >

Address as the New President

Yasutaka NAGANO (Nagoya Institute of Technology) ..... 1

Address as the ex-President

Hiroshi KAWAMURA (Tokyo University of Science, Suwa) ..... 2

#### < The 21st Heat Transfer Society Awards >

On Selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2008

Akira TAKIMOTO (Kanazawa University) ..... 4

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Hideo YOSHIDA, Motohiro SAITO, Hiroshi IWAI (Kyoto University) ..... 5

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Mamoru OZAWA (Kansai University),  
Masahiro SHOJI (Kanagawa University),  
Takeyuki AMI, Hisashi UMEKAWA (Kansai University) ..... 6

Technical Achievement Award of the Heat Transfer Society of Japan

Ryosuke MATSUMOTO, Mamoru OZAWA (Kansai University), Toshikazu TAKEMORI,  
Yoshinori HISAZUMI, Akeshi KEGASA (Osaka Gas), Takenori IIO (Kansai University) ..... 7

On Receiving Heat Transfer Society Award for Technical Achievement

Toru Iwasaki<sup>1</sup>, Masahiro Takahashi<sup>1</sup>, Hidenori Moriya<sup>1</sup>, Takashi Arai<sup>1</sup>, Tetsuro Murayama<sup>1</sup>,  
Kiyoshi Horiguchi<sup>1</sup>, Shigeru Watanabe<sup>1</sup>, Shinji Murata<sup>2</sup>, Masaharu Kuniki<sup>2</sup>  
(1 Mitsui Engineering&Shipbuilding Co.,Ltd., 2 The Chugoku Electric Power Co.,Inc) ..... 8

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

Yosuke HASEGAWA (The University of Tokyo) ..... 9

Best Presentation Awards ..... 10

#### < The 46<sup>th</sup> National Heat Transfer Symposium of Japan >

Report on the 46<sup>th</sup> National Heat Transfer Symposium of Japan

Kyoji INAOKA<sup>1</sup>, Hiroshi IWAI<sup>2</sup>, Fujio KUWAHARA<sup>3</sup>, Hiroshi GOTODA<sup>4</sup>,  
Motohiro SAITO<sup>2</sup>, Yoichi SHIOMI<sup>5</sup>, Kazuya TATSUMI<sup>2</sup>, Kazuyoshi NAKABE<sup>2</sup>,  
Yoshimichi HAGIWARA<sup>6</sup>, Toshiro MAKINO<sup>2</sup>, Mitsuhiro MATSUMOTO<sup>2</sup>,  
Hisato MINAGAWA<sup>7</sup>,  
(1 Doshisha University, 2 Kyoto University, 3 Shizuoka University, 4 Ritsumeikan University,  
5 Ryukoku University, 6 Kyoto Institute of Technology, 7 The University of Shiga Prefecture) ..... 11

## <Special Issue>

Science of Bathing

Maki KOROKI (Tokyo Gas CO.,LTD)..... 22

Heat Transfer Phenomena Around Us

Toshitsugu HARA (Nippon Institute of Technology) ..... 27

High quality Rice-cooker

Yoshio NISHIMOTO (Mitsubishi Electric,co.Ltd.) ..... 33

Why Foods Broiled over Charcoal is delicious?

Kuniko SUGIYAMA (Yokohama National University) ..... 37

## <Contribution>

Is Magnetic Field Effective to Anti-Scaling in Tubing System?

Ko HIGASHITANI (Kyoto University)..... 41

## <Education Q>

Phonon heat conduction in nanomaterials

Junichiro SHIOMI (The University of Tokyo)..... 43

## <Project Q>

Transition of domestic refrigerator thermal insulation technology

Kazutaka UEKADO (Panasonic Corporation) ..... 49

## <Review>

Radiation transfer for cosmetics

Jun YAMADA (Shibaura Institute of Technology) ..... 53

## <Opening-page Gravure:heat-page>

Cryo-SEM photographs of phloem cells in larch

Keita Endoh, Seizo Fujikawa (Hokkaido University) ..... Opening Page

<Calendar> ..... 59

<Announcements> ..... 61

会長就任にあたって  
*Address as the New President*



長野 靖尚 (名古屋工業大学)

*Yasutaka NAGANO (Nagoya Institute of Technology)*

*E-mail: nagano@heat.mech.nitech.ac.jp*

第 47 期会長河村洋先生の後を受けまして会長に就任しました。就任のご挨拶を述べる前に、想定外の新型インフルエンザの発生で、第 46 回日本伝熱シンポジウム開催に対してあらゆる可能性を河村前会長と共に検討され、実行の英断を下されました牧野俊郎実行委員長を始めとする実行委員会の方々に敬意を表します。シンポジウムでは例年同様に活発な討論が行われ、第 47 期総会、第 48 期の第 1 回理事会および評議員会を無事に終えることが出来ました。

公益社団法人の日本伝熱学会は、今大きな変革を迎えています。当学会は法令により、昨年 (2008 年) 12 月 1 日から従来の主務官庁が監督する「特例民法法人」としての社団法人となっています。そして、5 年間の移行期間の間に公益社団法人にするか一般社団法人にするかを決め申請をしなければなりません。2013 年 11 月 30 日までに移行申請をしなければ、従来の公益法人は解散となります。新制度の公益法人等につきましては、先の日本伝熱シンポジウムでの総会で河村前会長から詳しい説明がなされました。新制度の公益法人では、適正な運営を確保するため毎年行政庁の厳しい監督 (チェック) が入ります。公益目的事業では、利益を出さない収支相償が求められています。このような諸々の制約を勘案すると、公益性のある一般社団法人への移行が日本伝熱学会には相応しいように思われます。一般社団法人へ移行するとしても、法人の内部統治 (ガバナンス) に関する様々な事項が法律で定められています。例えば、総会、理事会、評議員・理事の選出等についても法律で定められ、公益性を保つには理事会・評議員会も委任状による代理出席は認められていません。当然、定款の変更など様々な作業が待ち受けています。今期に大筋を纏めたいと考えています。

一方、日本伝熱学会はその前身の伝熱研究会発足から数えて 2 年後には 50 周年を迎えます。歴史

ある学会ですから、相応しい 50 周年行事を執り行う予定です。その準備も今期から始めなければなりません。加えて、第 46 期の柘植会長提言に基づく「学会の社会的使命と体制に関する検討委員会」(詳細は会誌「伝熱」2008 年 7 月号参照)からの日本伝熱学会の改革に関する諸案件を、適切に今期は実行に移すことも求められています。

しかし、改革は緒についたばかりです。外を見ると、大学はこれまでにない過酷な改革が求められ、企業ではリストラが進み、世界規模での大型の再編成が進んでいます。100 近くあった国立大学は、現在は 86 の国立大学法人になっています。

柘植元会長の「イノベーター日本に貢献する日本伝熱学会の進化への期待」を具現化するには、関連学会が連合し、協調しなければ不可能と私は考えています。類似学会が多すぎます。伝熱学に関するものでも、伝熱学会のみならず機械学会、建築学会、土木学会、化学工学会、航空宇宙学会、流体力学会、冷凍空調学会、空気調和・衛生工学会、熱物性学会、燃焼学会、混相流学会、など多くの学会が関与しています。しかし、狭い日本で人材を求めるのですから、当然、同一人物が複数の学会で類似の仕事をする事になります。重複する学会の仕事に追われ、本来の創造的な研究活動すら制約されているのが現状です。島国の日本では、「個性」を協調し過ぎると、セクショナリズムとなることが危惧されてなりません。学会は、もっと融合または強い連携を目指すべきと思われる。企業同様、国際的競争力を高めるにはマスの大きさとポテンシャルの高さが求められます。

幸い、日本伝熱学会は既に 48 年の歴史の積み上げがあります。三副会長および理事には強力な方に就いていただいています。役員、事務局と共に会員の皆様のご協力を頂ければ、必ずや上述の難題もクリアできると信じています。宜しく申し上げます。



47 期を振り返って  
Address as the ex-President



河村 洋 (諏訪東京理科大学)  
Hiroshi Kawamura (Suwa Tokyo University of Science)  
e-mail: kawa@rs.noda.tus.ac.jp

退任に当たり、47期の主な会務について、以下にご報告させていただきます。

(1)公益法人制度に関する検討：今期の最大の課題は、就任時にも申し上げましたように、新しい公益法人制度にどう対処するかと言うことでありました。そのため、昨年度設置された“学会の使命と体制検討委員会”に今年度も引き続き活動をお願いし、この問題の検討を続けて参りました。この会誌でもすでにご報告しましたように、今回の制度改革によって、本学会を含む全ての公益法人は、今後5年間の間に、「公益社団法人」となるか、「一般社団法人」となるかを選択して、申請しないといけません。内閣府の説明によれば、

「公益社団法人」：行政庁の監督の下、税制上の優遇措置を多く受けつつ、主に公益目的事業を実施していきたい法人

「一般社団法人」：比較的自由的な立場で、可能な範囲で公益目的事業を含む様々な事業を実施していきたい法人

であります。この説明は、一見するとわかりにくいのですが、下記のように考えると、次第に意味がわかってきます。すなわち、現在の当学会は、“学術の普及と発展”という公益事業を行っていて、各年度に所得（＝収入－必要経費支出）があっても、公益事業に関わる限り、納税をしなくてもよいという優遇措置を受けており、その代わりにそれが適切に行われているかどうかの監督を、文部科学省によって受けています。このように見ると、現状の当学会は、上記の「公益社団法人」にほぼ該当すると見なすことが出来ます。

これに対して、今回新たに導入された「一般社団法人」は、所得に対しては納税をする限り、監督は受けずより自由にやってよい、という仕組みが導入されたという風に解釈できます。

以上のようなことから、本学会が、今後「公益社団法人」に移行したいと思って準備をすれば、

十分移行できると思われまます。しかし、当学会は現状でも、毎年の監督に耐えうる書類を準備しそれを長年に亘って整備し続けることは、当然の義務とはいえ、大きな負担となっております。また、新しい「公益社団法人」では、“経理的基礎を有すること”が条件とされており、さらに公益事業の割合（具体的には、公益事業への支出割合）の増加がより厳密に要求される、との見方も強くなっております。現状では、我々の規模の学会は、どこも選択について苦慮しているようであります。

今年度検討をしてきた中で、新たに注目した点があります。それは、「一般社団法人」のなかに、「非営利性を徹底した、あるいは共益的活動を目的とする法人」（以下「非営利型」と言う）が定義されていることです。この場合には、収益事業にのみ課税ですみます。（それ以外の「一般社団法人」は、全ての所得に課税されます。）本学会は、非営利型法人の要件を間違いなく満たしますし、収益事業もほとんど行っておらず、寄付も小さいですから、非営利型の「一般社団法人」に移行すると、課税状況は、現在とほとんど変化しないと思われまます。他方、運営はより自由に行えますので、その点の負担が軽減します。（これ以外に、現在保有している公益資金の使用計画のことがあるのですが、これはここでは触れません。）

本学会は、創立以来、研究上の交流を重んじ、出来る限り小規模な運営体制で活動をしてきました。社団法人になってからも、この伝統は生き続けています。これらを総合的に勘案して、先日の総会後の報告では、「非営利型の一般社団法人」に移行することを主軸として検討を進めることを、提案させて頂きました。ただし、これは今期の理事会で決定したことでなく、48期に継続してご検討頂くスタート点としてのご提案であります。

周囲の状況は、一年前よりははっきりして来ま



したが、学会の評価が法人の種別と連動する風潮が生まれないかという点については、まだまだ見定める必要があると思われます。学会の価値は、その学術活動で決まるものと思いますが、そうはいつでも、法人の種別によって、本学会での研究発表や会員業績が正当に評価されないとする、やはり多少の負担を払っても、「公益社団法人」に移行することも視野に入れておく必要があると考えます。なお、いったん「一般社団法人」を選択しても、その後「公益社団法人」に移行することは可能ですので、このあたりの状況をよく踏まえて、次期において、本学会として最も適した方向へと、梶を切って頂きたいと思えます。

(2)企画・行事：今期は、4年ごとに本学会が主催して開催している国際伝熱フォーラム(IFHT2008)の開催年に当たっており、2008年9月に、東京大学生産技術研究所において、東大生産技術研究所、東京工業大学炭素循環エネルギー研究センターとの共催のもとに、大変成功裏に開催されました。また、初めての試みとして、産学交流委員会によって産学連携フォーラムが開催され、多くの学生・若手の参加を得ました。さらに、本会の重要な対外的事業であるキッズエネルギーシンポジウムも、京都において活発に開催して頂きました。これらを実施して頂きました関係各位と共催機関に、心から御礼申し上げます。

(3)事務局関連：今期は、文部科学省の实地監査を受ける年度となっております。これについては、総務・財務担当の両副会長および事務局各位の事前の準備と当日の適切な対応によって、十分よい評価を得て終了することが出来ましたことをご報告出来ることは、大変よろこばしいことです。その他、移転した新しい事務局の運営を、軌道に乗せることが出来ました。

(4)新企画“熱 Pedia”のスタート：今回の公益法人制度の改革もあり、本学会が会員以外にも直接にできる社会貢献(公益事業)の一つとして、ウェブ上に熱関係の用語やできれば計算方法を解説するサイトを開設することを提案し、企画部会にお願いして、スタートして頂きました。現在の学生達は、わからないことがあると、まずインター

ネットで検索します。いま、熱関係の用語を検索すると、まず Wikipedia に行き当たります。ところがいくつか試みしてみると、その内容は、必ずしも正しくないことが多いことがわかりました。そこで、ウェブを通して系統的に熱関係の正確な情報を提供することは、本学会の社会貢献として非常に重要であり、現状に鑑みると、むしろ緊急に必要であると判断しました。内容は、“伝熱”に限らず、本学会の現状を反映して“熱科学・技術”全般を扱うこととして、“熱 pedia”と名付けました。ただし、Wikipedia のように誰でも書き込める形ではなく、本学会が責任を持ってコンテンツを提供する形にする方がよいと思っています。これによって、本学会が、アクセス数の大きなサイトをもつことが出来れば、その価値も非常に大きいと予測しています。今後の実行委員会のご尽力をお願いすると共に、会員各位からのご支援もよろしくお願い申し上げます。

(5)伝熱シンポジウムの開催：47期の会長を仰せつかったとき、47という素数のもつあやしげな響きに、多少のもの騒ぎを覚えたのですが、それがあながち杞憂ではなかったことは、ほとんど任期末になって認識させられました。それは、新型インフルエンザの感染者拡大による日本伝熱シンポジウム開催への影響です。ちょうど開催時期の直前に、開催地に隣接する府県から感染者が拡大し始めたため、準備過程については、慎重かつ迅速な対応が必要とされました。これについては、牧野先生をヘッドとする実行委員会が慎重かつ適切に対処して頂き、また会員各位の伝熱シンポジウムに参加しようと云う強いご熱意に支えられて、無事かつ成功裏に開催できましたことは、誠にうれしいことでありました。

以上、今期を振り返りましたが、今後については、幸い長野新会長をはじめとする強固な執行部が引き継いで下さるので、心強く安心しております。最後に、これまで支えて頂きました森、横堀、滝本副会長各位、理事会、各委員会、各支部の役員各位、さらには力強いご支援を頂きました会員各位に、心からの御礼を申し上げます。

平成 20 年度日本伝熱学会賞選考の報告  
On Selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2008

表彰選考委員会委員長  
瀧本 昭 (金沢大学)

Akira TAKIMOTO (Kanazawa University)

平成 20 年度日本伝熱学会賞 学術賞, 技術賞及び奨励賞について公募を行い, 所定の手続きにより慎重に審査した結果, 各賞の授賞者を下記のように決定した。(授賞研究の記載は順不同).  
表彰式は, 平成 21 年 6 月 3 日京都市 (京都国際会館) で開催された学会総会において執り行われた.

### 1. 学術賞

#### Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

##### 1) 代表研究者

吉田英生 (京都大学)

##### 共同研究者

齋藤元浩 (京都大学)

岩井 裕 (京都大学)

「水蒸気による静圧効果が付加された超微細多孔質体ハイブリッド気体軸受」  
日本機械学会論文集 B 編, 第 72 巻, 第 722 号, 2562-2569 頁, 2006 年  
第 43 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 第 I 巻, 249-250 頁, 2006 年

##### 2) 代表研究者

小澤 守 (関西大学)

##### 共同研究者

庄司正弘 (神奈川大学)

網 健行 (関西大学・学)

梅川尚嗣 (関西大学・学)

「離散気泡モデルによる二相流ダイナミクスの解明」  
Thermal Science & Engineering, vol.15, No. 4, pp.197-209, 2007.  
Proc. 2nd International Forum on Heat Transfer, Paper No,147,2008.

### 2. 技術賞

#### Technical Achievement Award of the Heat Transfer Society of Japan

##### 1) 代表研究者

松本亮介 (関西大学)

##### 共同研究者

小澤 守 (関西大学)

竹森利和 (大阪ガス (株))

久角喜徳 (大阪ガス (株))

毛笠明志 (大阪ガス (株))

飯尾剛範 (関西大学・学)

「家庭用ガス焚き超小型過熱蒸気発生器の開発」

##### 2) 代表研究者

岩崎 徹 (三井造船 (株))

##### 共同研究者

村田真史 (中国電力 (株))

國木雅晴 (中国電力 (株))

高橋正浩 (三井造船 (株))

守屋英教 (三井造船 (株))

新井 敬 (三井造船 (株))

村山哲郎 (三井造船 (株))

堀口清司 (三井造船 (株))

渡邊 茂 (三井造船 (株))

「LNG の冷熱を利用する天然ガスハイドレートペレット製造技術の開発」

### 3. 奨励賞

#### Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

##### 1) 研究者

長谷川洋介 (東京大学大学院)

「壁面近傍における高シュミット数乱流物質輸送に関する研究」

日本伝熱学会学術賞を受賞して  
*Scientific Contribution Award  
of the Heat Transfer Society of Japan*



吉田 英生, 齋藤 元浩, 岩井 裕 (京都大学)

*Hideo YOSHIDA, Motohiro SAITO, Hiroshi IWAI (Kyoto University)*

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

このたび本会の学術賞の栄にあずかりました。業績名は「水蒸発による静圧効果が付加された超微細多孔質体ハイブリッド気体軸受」です。最先端の素晴らしい研究が数多くなされている中で、私どものような地味な研究を評価いただきましたことに厚く感謝する次第です。専門外の軸受という領域に伝熱のセンスで斬り込んだと申せば少しはかっこいいですが、実のところ木刀あるいは竹刀を振り回しながら無我夢中で突っ込んだというところではないかと思っております。

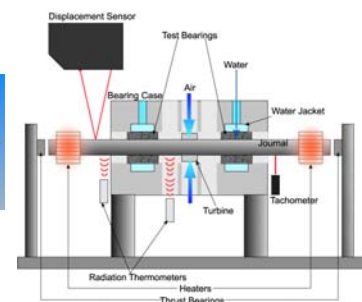
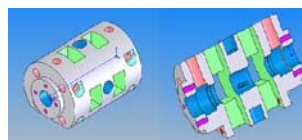
マイクロガスタービンの軸受への応用を目的として 2001 年から着手した本研究は、伝熱シンポジウムで途中経過について発表を繰り返し 2006 年名古屋での発表をひとまずの仕上げとして、同年の日本機械学会論文集 B 編 10 月号に掲載されました。失敗続きだった正味 5 年間の研究成果は、実験も解析も合わせてたった一つの論文にのみ結晶した結果、著者は総勢 10 名、長さは日本機械学会論文集の上限 9 ページになんとか納めました。連名者 10 名の内訳は、私ども 3 名に加えて本会会員ではない 2 名のスタッフ、そしてあと 5 名は(元)京都大学の大学院・学部学生でした。またこの間、設計試作を繰り返した実験装置は、抜本の変更を施したものだけでも 3 台を数えます。

もとはといえば、分散電源としてマイクロガスタービンが注目された 20 世紀末、伝熱の手法で何かできないかと考えたのが発端でした。ちょうどその頃、一見したところ光沢がありむくの金属と思われる超微細な金属製多孔質体に水が浸み込んだり逆に多孔質体から浸み出たりするのを見て、ならばタービン翼からの熱伝導で数百℃以上になるともいわれる軸受面に应用することで、水(蒸気)を潤滑と冷却の双方に使えるか考えたのです。負荷が比較的小さなマイクロガスタービンでは気体軸受が注目された時でもありましたので、

作動媒体を空気から水蒸気に変えることはそれほど無理なことでもないと思えました。

「ハイブリッド」と申しますのは、普通の軸受けでは楔流れにより生じる「動圧」の分布によって軸を支えますが、さらに軸受のすき間に潤滑流体を吹き込むことに伴って発生する「静圧」も利用するというので、私どもの軸受では高温の軸からの熱で軸受面から水蒸気が(理想的には)一様に噴出するのが特徴です。

本軸受は、原理的には十分に可能性があるとは思いましたが、いざ実験を始めると幾多の困難に出会いました。まず、回転する軸を高温かつ所望の温度に制御すること自体が難しい問題でした。初代では軸端をバーナーであぶるといった野蛮な手段にも訴えましたが、2 代目では電気ヒーターによるふく射加熱でなんとか克服できました。しかし、そもそも(真円)軸受というのは、軸受内径が軸外径よりわずかなクリアランス分だけ大きいのですが、高温の軸からの熱で水を蒸発させることが本質である本軸受では軸の熱膨張が無視できません。ために、このクリアランス制御がうまくいかないと、軸はたちまち軸受と接して焼き付いてしまうのです。また、わずかなクリアランスしかない軸受なのに、それらを左右 2 カ所で支持する実験装置の設計製作は困難を極めました。そのような度重なるトラブルを経てようやく回った装置を以下に掲載し、本研究に懸命に打ち込んでくれた学生達の姿とともに忘れないようにしたいと思います。



## 日本伝熱学会学術賞を受賞して

*Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan*

小澤 守 (関西大学), 庄司正弘 (神奈川大学),  
網 健行, 梅川尚嗣 (関西大学)

*Mamoru OZAWA (Kansai University), Masahiro SHOJI (Kanagawa University), Takeyuki AMI, Hisashi UMEKAWA (Kansai University)*



このたび 2008 年度日本伝熱学会学術賞を受賞いたしました。伝熱学会の関係各位ならびにこれまで本一連の研究に協力いただいた当時の東大、関大の学生諸氏に心よりお礼申し上げます。

さて、今回受賞いたしましたのは「離散気泡モデルによる二相流ダイナミクスの解明」を目指して行なってきた研究で、TSE 15-4(2007)に掲載されました論文を中心とする一連の成果に対してであります。本一連の研究の発端は 2000 年頃に遡ります。当時伝熱学会の理事会のついでに、東大・庄司研にたびたびお邪魔しておりました。その当時、庄司研には中国からの留学生であった Wang Shuangfeng さんと海上保安大の教官でもあった伊藤浩二君が気液二相流、とくに二相流のダイナミクスに関する研究を行っていました。庄司先生からの要望もあり、頻りに彼らと二相流の議論をするようになりました。特に伊藤君とは二相流のモデリングに関する議論を頻りにやりました。その議論を通じて、流動様式の予測において従来の準定常的な関係から導きたいわば決定論的な方法では限界があること、二相流は大きく変形する気液界面の存在により時空間で変動があり、その変動を踏まえて流れ場を理解することが必要であること、そのためにはボイド波の変動挙動をシミュレーションし、その確率密度関数などのパターンから流動様式を判定すればよいこと、しかも単なるパターンダイナミクスではなく、ある程度物理的に意味のあるモデルであることなどの基本的な概念が出来上がりました。その第 1 段階のモデルによる数値予測が驚くほどうまく行き、結果的に伊藤君の 2002 年 12 月提出の学位論文「気液二相流の流動様式と遷移モデル」に結実しました。学位取得後、伊藤君は呉の海上保安大に戻り、教官として後進の指導に当たる傍ら、関大において共同研究を開始しておりました。

2004 年 12 月に滋賀県長浜で「気液二相流のダ

イナミクスに関する日米セミナー」開催中に伊藤君の訃報が入りました。酒の上での事故だったようで、今、思い出しても残念でなりません。伊藤君亡き後、庄司先生と相談の上、本研究は関西大学で引き継ぐこととし、新しく網、梅川の二人の協力のもと、受賞の対象となった程度にまで発展させることができました。いまでは、当時、伊藤君と議論をしていたように水平管への適用も可能になり、更には沸騰系のシミュレーションも可能になっています。授賞の際に、もはや叶わぬこととはいえ、伊藤君を筆頭にして受賞したかったと、庄司先生と話し合ったものです。

私たちの開発した離散気泡モデルによって二相流のダイナミクスがすべて解明できるなどといったあつかましいことを申し上げるわけではありませんが、二相流の捉え方の一つとして、二相流という複雑系に取り組む一つの方法として、離散気泡モデルもしくは同様な考え方のパターンダイナミクスのアプローチが成立しうることを実証できたように思っております。何事にもそれこそパターン化された取組みではなく、自由な発想にこそ研究の醍醐味と面白さがあることを体験できたとも思っております。

最後に、今思い出しても楽しかったかつての庄司研における議論を通じて、ともに二相流についての新しい取り組みの発端を切り開いた伊藤君の冥福を祈るのは勿論のこと、いつの日にか伊藤君の子供たちに「君たちのお父さんは二相流研究においてすばらしい一歩切り開いたんだよ」と伝えたいと思っています。さらに、当時の伊藤君のように、伝統にとらわれない若い人たちによる伝熱研究の新しい発展を期待して、学術賞受賞のお礼に代えさせていただきます。(小澤記)

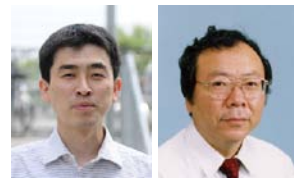


日本伝熱学会技術賞を受賞して

Technical Achievement Award of the Heat Transfer Society of Japan

松本亮介, 小澤 守 (関西大学), 竹森利和, 久角喜徳,  
毛笠明志 (大阪ガス), 飯尾剛範 (関西大学)

Ryosuke MATSUMOTO, Mamoru OZAWA (Kansai University),  
Toshikazu TAKEMORI, Yoshinori HISAZUMI, Akeshi KEGASA  
(Osaka Gas), Takenori IIO (Kansai University)



このたび京都で開催されました日本伝熱学会総会におきまして日本伝熱学会技術賞をいただきました。伝熱学会の関係各位ならびにこれまで本一連の研究に協力いただいた当時の関大の学生諸氏に心よりお礼申し上げます。

さて、今回受賞いたしましたのは「家庭用ガス焼き超小型過熱蒸気発生器の開発」のタイトルの元、2005 年以来、関大と大阪ガスが共同して行なってまいりました開発研究の成果に対してであります。技術賞という名称からして企業の方々を中心になるのが通例で、大学の研究室が中心となるのは実は珍しいのかも知れません。1-2 ヶ月ごとに継続的に開催しましたミーティングでは、さまざまな観点から問題点の抽出、改善策などを検討し、その場で可能な限りすぐの実験、検証を繰り返して、漸く 2008 年末に目標とする超小型過熱蒸気発生器をほぼ完成することができました。

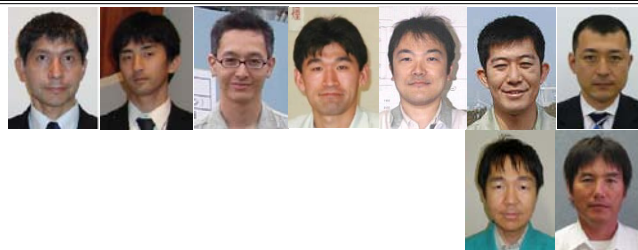
そもそもボイラの開発にはトラック一杯のバーナの山を作ることが通例になっていると聞いています。その当否は別としてそれほどバーナ開発が難しく、一般性のある方法論はいまだ確立していないとも言えます。我々の開発においても同様で、バーナの山だけでなく、伝熱管の山も築きました。開発の要目は、燃焼量 5kW でしかも家庭用ガスレンジに装着できる大きさであること、発生蒸気量は 90cc/min で過熱蒸気温度は 350°C、ボイラ効率 80%以上となっていました。燃焼には一定の滞留時間が必要です。燃焼室の寸法が小さいと必然的に滞留時間が短くなり不完全な燃焼になりますが、これをバーナ噴流が燃焼室内において外側から内側に向けて旋回するように工夫することによって

内部再循環を実現し、解決しました。よく燃えるようになると、今度は釜鳴りが発生し、容易には止まらなくなりました。これに対しては、燃料ガスと空気の良い混合と安定な保炎の確保によって解決しました。香月正司阪大名誉教授が大阪ガスの顧問であった関係から、我々の議論に加わっていただき、内部再循環や釜鳴りについても多くの有益なご指導をいただきました。今回、開発しました超小型蒸気発生器が技術賞受賞に至ったのも、香月先生のおかげと一同深く感謝しております。

小澤、松本はずいぶん前から蒸発量 1-2ton/h の小型水管ボイラや DME 焼きボイラの開発に関与してきましたが、たとえそれが蒸発量 90cc/min の超小型でもほとんど同じ問題が発生すること、小型には水管ボイラよりも丸ボイラが適していること、最終的に出来上がった蒸気発生器は、燃焼室熱負荷 kW/m<sup>3</sup> と蒸発量 kg/h の関係で見るとき、産業用ボイラや小型水管ボイラの延長線上にあることもなど、非常に興味深い成果も得られました。

この研究開発を通じて多くの院生、学部生に協力してもらいました。工学・技術に係わるものとして現象の分析・解析だけでなく、実際の商品の開発に携わることは非常に面白く、またその研究開発過程において学生とともに多くのことを学ぶことが出来ました。その意味でも技術に直接触れることができた本研究開発は本当によい経験であったと思っています。最後になりましたが、改めて伝熱学会の諸兄と香月先生に感謝しつつ、受賞に際しての一文を閉じたいと思います。(小澤・松本記)

日本伝熱学会技術賞を受賞して  
On Receiving Heat Transfer Society Award for  
Technical Achievement



岩崎 徹, 高橋正浩, 守屋英教, 新井 敬, 村山哲郎, 堀口清司, 渡邊 茂 (三井造船(株)),  
村田真史, 國木雅晴 (中国電力(株))

*Toru Iwasaki<sup>1</sup>, Masahiro Takahashi<sup>1</sup>, Hidenori Moriya<sup>1</sup>, Takashi Arai<sup>1</sup>, Tetsuro Murayama<sup>1</sup>,  
Kiyoshi Horiguchi<sup>1</sup>, Shigeru Watanabe<sup>1</sup>, Shinji Murata<sup>2</sup>, Masaharu Kuniki<sup>2</sup>*  
(*1 Mitsui Engineering&Shipbuilding Co.,Ltd., 2 The Chugoku Electric Power Co.,Inc*)

このたび第 47 期総会において、三井造船と中国電力が共同で実施している「LNG の冷熱を利用する天然ガスハイドレートペレット製造技術の開発」が、伝熱に関する優秀な技術と評価され、「日本伝熱学会技術賞」を頂きました。関係者一同、大変光栄に存じております。ご推薦、ご選考下さいました諸先生方、ならびに日本伝熱学会員の皆様方に心よりお礼を申し上げます。

天然ガスハイドレート (NGH) は、天然ガスが水分子の中に取り込まれたパウダー状の固体物質で、自然界にメタンハイドレートとして海底下や永久凍土層などに存在することが知られています。

NGH は、体積で 170 倍程度のガスを包蔵できること、自己保存効果により、氷点に近い $-20^{\circ}\text{C}$ 近傍で安定すること、さらにペレット状の塊に加工することで安定した貯蔵・輸送ができること等の特徴を有しております。LNG に比べエネルギー輸送密度は低いものの、常温に近い温度で取り扱うことができることから、天然ガスの新たな輸送・貯蔵媒体として開発が期待されています。

「LNG の冷熱を利用する天然ガスハイドレートペレット製造技術の開発」は、NEDO のご支援により三井造船と中国電力が共同研究により 2006 年度から取り組んでいます。

本プロジェクトは、NGH 陸上輸送の実証を目的としたもので、日産 5Ton の NGH 製造プラントを中国電力柳井発電所構内に設置し、LNG を原料とした NGH ペレットを製造します。製造した NGH は、専用輸送用トレーラであるペレットコンテナで、約 100km 離れたガスコージェネレーション自家発電設備および小規模な集合住宅に輸送・再ガス化して、得られたガスを供給するものです。

NGH 製造設備は、今までの技術開発を結集し次のような特徴を有しています。

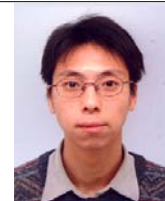
- (1) メタン、エタン、プロパンなどを含む多成分の原料ガスと同様のガス組成を有する NGH の連続生成プロセスである。
- (2) LNG 気化時の冷熱を回収し NGH 生成熱除去、製造プラントおよびペレットコンテナの冷却・保冷等に利用することで、NGH ペレット製造エネルギーの大幅低減を可能にした。
- (3) スラリー状の NGH を連続的に脱水・成型する装置を有している。

国内の都市ガス網は、大都市およびその周辺地域を除き、LNG 輸入基地周辺の狭い範囲に限られており、全国的なネットワークの整備が課題となっています。NGH 陸上輸送は、ネットワークの範囲外にある需要家への都市ガス普及を図る手段として有用と考えられることから、今後これらの用途の可能性を立証して行きたいと考えています。

今回、荣誉ある賞をいただきましたことを励みに、本年秋の実証試験に取り組むとともに、開発をご支援いただいている NEDO 省エネルギー技術開発部、本プロジェクトにご協力いただいている中国電力柳井発電所の皆様、本開発に携わる中国電力電源事業本部 (火力)、三井造船 (NGH プロジェクト室、千葉技術開発センター、三井造船昭島研究所および実証設備を設計・建設頂いた各事業本部) に感謝申し上げます。また、日頃ご指導いただいている産業技術総合研究所メタンハイドレート研究センター、慶應義塾大学、北海道大学、大阪大学の諸先生方には、感謝申し上げますとともに今後ともご指導を宜しく申し上げます。



日本伝熱学会奨励賞を受賞して  
*Young Researcher Award of the Heat Transfer Society  
 of Japan*



長谷川 洋介 (東京大学)

*Yosuke HASEGAWA (The University of Tokyo)*

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

この度は、名誉ある「日本伝熱学会奨励賞」を受賞させて頂き、大変光栄に存じます。この場を借りまして、これまでご指導賜った先生方、今回の受賞にあたりご推薦頂いた先生、選考委員の先生方に心より御礼申し上げます。また、伝熱シンポジウムでは、関連の研究成果を発表させて頂き、その都度、他大学の先生方から大変貴重なご助言を頂きました。このような素晴らしい機会を与えて頂いた伝熱学会への感謝の気持ちを込めまして、駄文ながら、ご挨拶させて頂きます。

今回の受賞対象となりました「壁面近傍における高シュミット数乱流物質輸送に関する研究」は、小生が博士課程を修了後、東京大学大学院工学系研究科 21 世紀 COE プログラム「機械システム・イノベーション」の特任助教に着任した間に行った研究成果を纏めたものです。

固体壁面における高シュミット数物質輸送は、乱流研究において古典課題の一つであり、古くから多くの理論的、実験的研究がなされております。その中でも、壁面近傍における運動量輸送と物質輸送の相似性を仮定するモデルは、現在広く用いられており、これによると物質伝達率はシュミット数の $-2/3$ 乗に比例することが導かれます。実際、相関式を構築する際は、上述の関係式を仮定した上で、比例定数を実験データに合うように決めるというアプローチが良く取られます。

しかし、高シュミット数における物質伝達率の計測はそもそも困難であり、測定値のばらつきが大きいため、シュミット数依存性の十分な検証は困難でした。1980年代に入り、電気化学的手法による高精度計測がイリノイ大学の Hanratty 教授らのグループを中心に行われました。彼らの結果によると、物質伝達率のシュミット数の指数は $-0.704$ であり、従って、上述の古典的モデルの予測値 $-2/3$ とは異なると結論付けました。

ここで、上記の値の差を大きいとするか小さい

とするかは、意見の分かれる所でしょう。一般に、水中における溶質物質のシュミット数は 1,000 程度であることを考慮すると、両者の差は物質伝達率にして 30%程度となります。しかし、それ以上に注目すべき点として、彼らは局所の物質伝達率の周波数スペクトルを取得し、シュミット数の増加に伴って、低周波数成分の濃度変動が支配的となることを示した点が挙げられます。この事実は、高シュミット数における物質伝達機構は、低シュミット数のそれとは本質的に異なることを示唆しており、局所の熱・物質伝達を予測・制御する際、特に重要な知見であると思われま。

上記の研究結果を受けて、壁面近傍の濃度場に対する高シュミット数効果を自分で確認したいと思ったことが本研究の動機となりました。それまで、気液界面における物質輸送の解析を目的として、ハイブリッド DNS/LES 法を開発しておりましたので、比較的容易に固体壁面の物質輸送の計算を行うことができました。実験では得ることが難しい、瞬時の壁面近傍の濃度分布が得られ、シュミット数の増加に従って、流れ方向に引き延ばされたストリーク構造がより顕著になること、更には低周波数成分の濃度変動が支配的になることを確認しました。その結果、粘性底層内部では、運動量と物質輸送の相似性を仮定することはできず、乱流シュミット数が大きく上昇することを示しました。同様の結果は、他の研究者によっても近年報告されるようになりました。

以上のように本研究は、これまで長年に渡り蓄積された伝熱研究の成果の上に成り立っており、本研究を通して、微力ながらもその進展に貢献できたのであれば大変光栄に思います。今後は、伝熱研究で得られた知見、原理原則に基づき、人の生活を支える熱流体技術の開発を目指し、日々精進する所存です。伝熱学会員の皆様方には、引き続きご指導の程、よろしくお願い申し上げます。

## 優秀プレゼンテーション賞受賞者

今年の総会において、昨年度の優秀プレゼンテーション賞受賞者の表彰式がありました。また、今年度の受賞者は下記のとおりとなりましたので、ご紹介いたします。

### 2008 年度

1. 松村康弘 (大阪府立大学)  
「透過性壁面乱流境界層の PIV 計測」
2. 鈴木博貴 (名古屋大学)  
「空間発展フラクタル格子乱流による乱流熱輸送」
3. 丹下 学 (産業技術総合研究所)  
「MEMS 伝熱面上の沸騰気泡生成 (非定常加熱と核生成制御の実現)」
4. 藤田尚利 (岡山大学)  
「収着剤流動層の収脱着連続切り替え運転時の除湿特性」
5. 押部 洋 (東北大学)  
「温度制御されたマイクロフローリアクター内における DME の着火・燃焼特性」
6. 岡 巧 (慶應義塾大学)  
「位相分解蛍光寿命測定法と近接場顕微技術を用いたナノスケール温度測定法の開発」



### 2009 年度

1. 鈴木博貴 (名古屋大学)  
「フラクタル格子乱流による高 Sc 数スカラー混合」
2. 鈴木芳行 (東北大学)  
「W/O 型エマルジョン液滴の加熱過程における昇温速度が油中水滴の凝集に及ぼす影響」
3. 西村 悠 (日立製作所)  
「リプロン表面光散乱法を用いたマイクロミキシング混合液体の表面物性センシングに関する研究 (観測波長可変装置の開発とエタノール水溶液への応用)」
4. 松元佑樹 (筑波大学)  
「生成・分解モデルに基づく CO<sub>2</sub> ハイドレート膜厚変化挙動の予測」
5. 笹部 崇 (東京工業大学)  
「X線による PEFC 内液水分布の可視化」

## 第46回日本伝熱シンポジウムの報告

Report on the 46th National Heat Transfer Symposium of Japan

稲岡恭二<sup>1</sup>, 岩井 裕<sup>2</sup>, 桑原不二朗<sup>3</sup>, 後藤田 浩<sup>4</sup>, 齋藤元浩<sup>2</sup>, 塩見洋一<sup>5</sup>,  
巽 和也<sup>2</sup>, 中部主敬<sup>2</sup>, 萩原良道<sup>6</sup>, 牧野俊郎<sup>2</sup>, 松本充弘<sup>2</sup>, 南川久人<sup>7</sup>

(1 同志社大学, 2 京都大学, 3 静岡大学, 4 立命館大学,  
5 龍谷大学, 6 京都工芸繊維大学, 7 滋賀県立大学)

Kyoji INAOKA<sup>1</sup>, Hiroshi IWA<sup>2</sup>, Fujio KUWAHARA<sup>3</sup>, Hiroshi GOTODA<sup>4</sup>, Motohiro SAITO<sup>2</sup>,  
Yoichi SHIOMI<sup>5</sup>, Kazuya TATSUMI<sup>6</sup>, Kazuyoshi NAKABE<sup>2</sup>, Yoshimichi HAGIWARA<sup>6</sup>,  
Toshiro MAKINO<sup>2</sup>, Mitsuhiro MATSUMOTO<sup>2</sup>, Hisato MINAGAWA<sup>7</sup>

(1 Doshisha University, 2 Kyoto University, 3 Shizuoka University, 4 Ritsumeikan University,  
5 Ryukoku University, 6 Kyoto Institute of Technology, 7 The University of Shiga Prefecture)

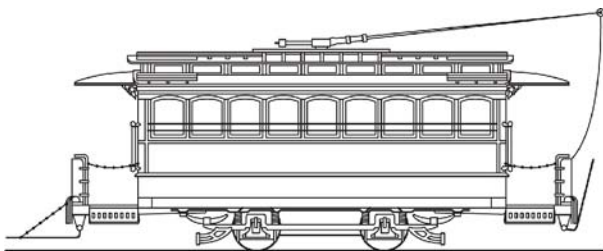
Organizing Committee: info@nhts2009.me.kyoto-u.ac.jp

### 1. 京都シンポジウム

本年の日本伝熱シンポジウムは、6月2日(火)～4日(木)に国立京都国際会館で開催された。

京都は千年の都、文化の都である。794年、鳴くよ鶯 平安京。第50代桓武天皇はこの地に都を遷された。以来千年、京都は文化の華を咲かせた。京都には17の世界遺産があるが、それらはこの地の文化を目に見える形に表したものである。1869年、第122代の帝は、なぜか江戸に下向され、以来いまだにお帰りがない。

京都の市民はたいへんに落胆したが、しかし、京都は、こんどは文明の都であろうとした。大土木工事を展開して琵琶湖から運河を引き、その水でわが国初の水力発電を成し遂げ、そして、その電気をもって京都にわが国初の路面電車を走らせた。東京と呼ばれるようになっていた江戸では鉄道馬車が走っていたその時代に、京都は最新の土木・電気・機械工学をもって、この究極のエコをやったのけた。文明の先駆けである。このたびの



講演論文集の表紙の挿し絵：京都市電狭軌I型  
(正しくは、京都電気鉄道の狭軌I型車両)

シンポジウム講演論文集の表紙には、そのちんちん電車の挿し絵を入れた。

京都は、文化の都、文明の都であるとともに、伝熱の都でもある。1964年、第1回日本伝熱シンポジウムがこの地で開かれた。京都に住まいするわれわれは、このことをもって、京都こそが日本の伝熱学の発生の地であると信じて疑わない。京都での2回目のシンポジウムは、1984年に本年と同じ京都国際会館で開かれた。1997年には、地球温暖化防止京都会議がその会館で開かれ、京都議定書が採択された。2004年には、本学会主催の第1回国際伝熱フォーラムが京都で開かれた。2009年のこのたびのシンポジウムは京都で3回目のものである。5年後の2014年には、第15回国際伝熱会議がやはり京都のその会館で開催される。

京都は、文化の都、文明の都、そして伝熱の都である。その京都にシンポジウムが戻って来たのは、うれしいことであった。379件の論文発表があり、700名のご参加があった。以下には、シンポジウムのために汗を流して下さった実行委員会の皆さんの生の声を、学会の事業の記録として残す。実行委員会の皆さんは、ほんとうによくやって下さった。御礼申し上げます。(委員長 牧野俊郎)

### 2. ホームページ・参加登録・J-Stage

Google で「伝熱シンポジウム」と検索すると、「第45回日本伝熱シンポジウム」がいちばん上に出てきて、第46回が最上位になったのはシンポジウムが終わったごく最近のことでした。同時に、

「他のキーワード：伝熱シンポジウム 46 回」と表示されるように、第2検索ワードとしてお手数ながら「46回」と打ち込んで下さった方が少なからずいらっしゃったようです。本年にはしなかった Google のサイト登録を、来年の担当の方は試してみてください。効果のほどは不明ですが。

さて、伝熱シンポジウムにおけるホームページの役割は主に2つあり、『伝熱』における会告を補うべく会員・参加者に情報をリアルタイムで提供すること、そして、「論文投稿」と「参加登録」で参加者と直接やりとりすることです。「論文投稿」と「参加登録」に関わるシステムは、いずれも、昨年のシンポジウムの実行委員会の岡本孝司教授（東京大学）を中心とするグループが構築したものを、ほぼそのまま引き継ぎさせていただきました。この場で改めて御礼申し上げます。

「参加登録」は、第45回で使っていた外部のレンタルサーバーの契約を延長する形でそのまま運用しました。今後も伝熱シンポジウムの公式ホームページが開催地域の大学のサーバーに置かれることになるにしても、少なくとも「参加登録」システムに関しては、同じレンタルサーバーを継続利用すると実行委員会の負担が軽くなりそうです。

「論文投稿」に関する変更点は、昨年度は「印刷版」と「電子版」の2編を提出することになっていましたが、本年度は J-Stage を利用した「電子版」をそのまま印刷して講演論文集の原稿とすることを基本としました。ただし、「電子版」は TSE にそのまま投稿できることも考慮して最大8ページ、カラー可としているため、例外として、「電子版」が2ページを超える場合やカラー原稿をそのまま白黒で印刷すると不都合が生じる場合は、「印刷版」の原稿を委員会にメールで送っていただきました。このような別途「印刷版」として受理した原稿は22件と、事前に想定していた範囲に収まり、大きな負担にはなりませんでした。

J-Stage を介しての論文の受付や公開は、昨年度にしっかりとしたテンプレートを作っていたこともあり、マニュアルどおりに順番を追っていくだけでよかったのですが、実際に運用していく上で悩ましい問題に直面しました。それは、申込時において登録された情報（後に論文集の目次として利用される）と、実際に提出された pdf 原稿の題目・著者等が食い違っているケースが全体

の4割程度もあったことです。著者の責任であるとして放置することも検討しましたが、J-Stage や講演論文集で目次と原稿の乖離が目立つのはみっともないため、原稿に記載の方が正しいものであるとして委員会でデータを修正しました。

申込みから原稿の提出まで2ヶ月あるため、その間によりふさわしい題目の表現が見つかったり、あるいは、著者の間の貢献度が変わったり、ということがあったのかもしれませんが、ただ、どうも「とりあえず申し込んでみた」という安易さを感じさせるものや、題目の誤字脱字、さらには著者名の単純な間違い等、真剣にとり組んでいるのだろうかと疑いたくなる例も少なからず見られました。伝熱シンポジウムは今や比較的気軽に発表できることや、あるいは、学生や若手研究者が原稿執筆や発表の中心的な役割を担っていることが多く論文作成に不慣れであること、これらがミスの要因であるかもしれません。だからこそ、たとえいくら著者の順では後の方であるにしても、指導的な立場にいる著者が目を通し、しっかりと責任をもつべきではないでしょうか。いずれにせよ、J-Stage では原稿のアップロードを受け付ける段階に入ると、初期の登録情報を各著者が自ら修正することが不可能になるため、次年度以降は慎重に練ってから申し込んでいただきたいと思います。

J-Stage は発表の申込みから原稿の投稿までを一手に引き受けてくれる便利なツールであり、そのこと自体で十分な利用価値があります。次年度以降にも継続して利用することをお勧めします。一方、現状では J-Stage での原稿の公開は CD-ROM の代替という扱いであり、pdf ファイルの閲覧が ID/パスワードを知ることができる本学会員のみ限定されているのは、もったいないとも感じます。各研究者の成果の結晶である、これら数多くの原稿がいつか広く世間に公開されるような道筋を作っていただきたい、というのが論文のとりまとめを担当した者としての率直な意見です。

（齋藤元浩・巽 和也）

### 3. プログラム

予定されていた発表の総数は379件であった。内訳は、一般セッション282件、3つのオーガナイズドセッションで合計44件、優秀プレゼンテーション賞セッション52件、特別講演1件である。

インフルエンザ報道の影響もあり、7件の発表がキャンセルされた。ただし、講演論文集はJ-Stageを通じて2009年5月26日付けで公開されたので、シンポジウム当日の発表の有無に関わらず講演論文集に掲載された論文はすべて公開されており、引用可能である。

編成において初めに決めたことは講演室数をなるべく少なくすることであった。その分、第3日の午後までを使ってしっかり議論するプログラムをめざした。当然ではあるが、講演室数が少ないほどセッションあたりの聴講者数は増えるはずで、また一人がシンポジウム期間中に聴講できる講演数も増加する。

オーガナイズドセッションと優秀プレゼンテーション賞セッションのプログラムはオーガナイザーと学生会委員会にそれぞれお任せした。一般講演のセッション分けは困難な作業であった。基本的には登録時に著者が選択した大分類・小分類をよりどころとし、一部については討論の活性化が期待されるように調整した。その一方で、発表数が多い優秀プレゼンテーション賞セッションを除いて、講演者および共著者が同じ時間帯の他セッションに重ならないようにも配慮した。そのためセッションによっては多少の違和感をもたれた参加者もあったかもしれないが、ご容赦いただきたい。今回は共著者に対しても上記の配慮を行ったが、再考の余地はある。多数の講演の共著者となっているアクティブな参加者がけっこうな数おられるが、すべてに対して重複を避ける配慮をすると、違和感のあるセッションが増えるばかりでなく、プログラム編成の解が存在しないこともいつか起こるのではないかと感じた。

第1日にオーラルセッションとポスターセッションをパラレルに行ったことは、今回のプログラムの特徴のひとつであろう。本来ならば避けたいことではあるが、優秀プレゼンテーション賞セッションをポスター発表で行いたいという学生会委員会の希望と、会場の制約とのバランスから決めたことである。結果的には参加者の極端な偏りはなく、各セッションに、ほどよく分散していたようで胸をなでおろした。

プログラム編成は1月の講演登録データをもとに進めたが、3月に実際に投稿された原稿との不一致は予想外に多かった。英語表記も含め、タイ

トルの変更、発表者変更、著者の増減、著者順の変更などなど、細かいものも合わせると全体の4割程度で何らかの修正が必要であった。修正はすべて手作業でやるため、その過程で新たな誤りを導入してしまうこともあった。入力ミス等は誰にでもあるので、ある程度はやむをえない。しかし、1月の講演登録を仮登録と勘違いしているのではないかと思われるケースも少なからずあった。実行委員会泣かせのこの状況は、登録時に各グループで十分に相談・検討するという基本的なことさえ守られれば、大幅に改善されるべきものである。

(岩井 裕)

#### 4. 講演論文集・CD-ROM・プログラム冊子

講演論文集の冊子を開いて、まずお気づきになられたのは、原稿が見開きになったことかと思う。今では別刷のことを考慮する必要もなく、印刷する場合もCD-ROMを利用すれば良いため、閲覧性を優先して見開きを採用した。会場にお越しの何人かにお尋ねした範囲では、気に入っていただけだと思う。ぜひ、来年の札幌でも採用をご検討いただきたい。その他に、プログラム冊子の裏表紙に会場地図を載せて利便性を上げるとともに、講演論文集と色合いを統一した。また、講演論文集中の仕切りの全面色紙を灰色帯に置き換えて印刷費を軽減する一方、プログラム冊子には吉田英生委員を中心に募集した広告を掲載した。また、文字については、見やすさに重きをおいてフォントを選び、できる限り大きくなるようにした。

J-Stageに投稿する電子版原稿もあるため、講演論文集用の印刷版原稿と合わせてその管理が問題となるが、これについては、J-Stageに投稿する原稿を基本的に講演論文集に掲載し、その原稿が2ページを越える場合など印刷版原稿を別途希望される方には、電子メールで個別に投稿していただくことにした。これにより、実行委員会と投稿者双方の負荷を大幅に軽減することができた(電子メールによる印刷版原稿の別途投稿は22件)。一方で、最終原稿とJ-Stageに登録された論文・著者情報が異なる件数があまりにも多く、投稿者の皆さまには次回からは更なる注意をお願いしたい。それとともに、電子投稿システムがせつかくあるので、このような不具合が発生しないようなシステム構成の改善も必要であると考える。この詳細



については、本稿の第2節をご覧ください。

講演論文集・プログラム冊子・CD-ROMはそれぞれ950・950・1,000部ずつ印刷・製作した。全印刷費におけるそれぞれの割合は、およそ7:0.5:1.5である。昨年度から導入されたJ-Stageでの講演原稿の電子データ掲載もあることから、実行委員会にてモノクロ印刷をまとめた講演論文集の要・不要についても検討した。昨年度からの引き継ぎ事項でもあった印刷費などの問題点も議論されたが、実行委員会では冊子を希望する意見が勝り、講演論文集の印刷が決定された。その中で、原稿を1ページとする案も出たが、それでは中身が希薄となり、まさしく冊子の存続意味がなくなるため、原稿はこれまで通りの2ページとした。

学会の中では、講演論文集の必要性の検討を希望する方もおられると考えられる。上記の通り、印刷費などの問題があり、CD-ROMやJ-Stageと重複するところがあることも事実である。一方、論文を講演論文集でご覧になる方が多いのも確かであると思う。また、講演論文集は、本学会の第一の行事であり社会的貢献度も高い日本伝熱シンポジウムを象徴するものであることから、実用性だけでは量れない価値もあることを考えると、一度冊子体をやめると取り返しがつかない。また、この内容は学会員の特典、すなわち会員の年会費とも関係することでもあるので、実行委員会の一存で決定すべきものではないと思われる。学会理事会で会員の意見をまとめた上で慎重に議論されるべきであろう。

シンポジウムのシンボルマークのちんちん電車は、牧野委員長が外注して図案化したものである。きっちりと描かれた絵と鉄紺色の背景により、落ち着いた仕上がりになったと思う。なお、京都市に買収される前の京都電気鉄道は、日本初の路面電車を七条停車場前と伏見町油掛の間で開業した。特別講演で門内輝行先生が述べられたように、京都は古の都として、歴史や文化の保存に努力する一方、この市電開業のように新しい試みに挑む姿勢をもつ。第1回日本伝熱シンポジウムの開催地が京都であることから、これらを象徴する絵として京都市電狭軌I型が講演論文集の表紙やCD-ROMのラベルを飾り、また名札の挿画にも採用された。(巽 和也・稲岡恭二)

## 5. 国立京都国際会館

今回のシンポジウム会場として我々が選んだのは、第21回(1984)と同じ京都国際会館である。会館のホームページによれば、主となる会議場の建物ができたのが1966年5月だそうで、開館43周年ということになる。設計者は丹下健三門下の<sup>おおたにさちお</sup>大谷幸夫氏だそうである。建設当初は山と竹藪の中に突然現れたコンクリート打ちっばなしの「モダン建築」として相当な違和感があったかもしれないが、向かいにあるグランドプリンスホテル京都(旧称:宝ヶ池プリンスホテル)とともに、今はすっかり周囲の風景になじんでいる。1997年のCOP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議、京都会議)の会場になったことでも有名であり、それに合わせて京都市営地下鉄が延伸されて「国際会館」駅というターミナルができたため、JR京都駅からのアクセスがきわめて便利になった。今回のシンポジウム参加者にも、地下鉄沿線に宿泊された方が多かったのではないかと思われる。

この京都国際会館では、毎年さまざまな国際会議やシンポジウムが開催されており、その意味では、今回のシンポジウムの会場として、これ以上は望めない最高の選択肢であったが、難問は高額な会場費である。大きな講演室では、天井にシャンデリア、通訳ブース完備といった分不相応なもので、とても例年どおりの参加費収入では賄いきれない。優秀プレゼンテーション賞のポスターセッション・特別講演・総会などが行われたD室の豪華さを憶えておられるだろうか?参加者数を正確に見積もってなるべく小さな講演室を借りる、講演室を使わない時間帯が出ればこまめにキャンセルする、プロジェクターは機器展示に出展いただいた企業から借りてもち込む等々、参加者に大きな迷惑をかけない程度にさまざまな節約をして何とか収支のバランスをとろうとしたが、それでも昨年よりは参加費を値上げせざるを得なかった。また、こうした節約により参加者にはいろいろとご不便をおかけしたかと思う。一方で、会館側の手際のよさはさすがであり、会場設営に際してこちらのさまざまな要求にすばやく柔軟に対応していただいたことを深く感謝したい。

事前に頭を悩ませたのが、当日の受付体制である。このシンポジウムはまじめな参加者が多いため!、初日の朝30分ほどの間に500人を越す参



加者が受付を通ると予想された。京都国際会館の受付は、他の類似の会館とは異なり、「京都風うなぎの寝床」のように細長い。よく言えば、「京の町家」風で、間口の狭い通り庭を抜けて奥の坪庭に至る。設計者はそんなことを意識したのだろうか。事前に web で参加登録いただいた参加者には、玄関脇でご自分の名札をピックアップしていただき、受付ではプログラム冊子等を渡すだけ、というように手順を単純化できたが、当日参加の方々のように現金のやり取りが発生する場合が増えると大渋滞になる恐れがあった。幸いにも500名以上の方に web 登録していただいたおかげで、予想以上にスムーズにさばけたのではないかと自画自賛している。このためには、手すきの実行委員の多くに受付業務をお手伝いいただいた。なお、web 登録データ・銀行振込み・学会員名簿の照合を手作業で行ったためもあり、一部の参加者には照合ミスによるご迷惑をおかけしてしまった。紙面上でお詫びする次第である。

まとめると、大変恵まれた会場を、いかに儉約しながら使うか、に腐心したシンポジウムであった。次年度以降にむけて、参加者の方々には、なるべく web 登録をする、早めに・確実に事前振込みをする、できれば振込み記録を持参する、など一層のご配慮を提言させていただく。(松本充弘)

## 6. セッション会場

3日間の講演を無事に終えることができたのは、ひとえに、会場係を務めた25名の大学院学生・4年生、副責任者を務めた北川石英・岡本達幸・田中満・西田耕介(以上京工繊大)、功刀資彰、花崎秀史(以上京都大学)の各委員のご尽力によるものであり、深謝します。

昨年12月と本年4月の実行委員会において、プログラム編成、受付・参加登録、機材調達は京大の委員が行い、当日の講演会の進行を京工繊大の委員が行うこと、私が責任者となることが決まった。北川委員を通じて、昨年度の会場副責任者の金子暁子講師(筑波大学)から詳細なマニュアル、分担当、スケジュールの電子ファイルをいただいた。これらは大いに参考になった。プログラム公開後に、委員の指導している大学院学生・4年生の都合と希望する講演室を調べた。就職活動や口頭発表などで都合のつかない者を除き、京大から大学

院学生1名の応援を得て、全員が3日間同一会場を担当できるようにした(管轄外のポスターセッションが行われたD室担当の2名は2日間)。シンポジウムの4日前に説明会を、前日に全員で会場の設営を行った。

シンポジウム終了後に、ほぼ全員からさまざまな意見・感想をもらった。以下にそれらを纏める：

<機材>：PC切替器のポート数は発表者分が必要。/一部の講演室のスクリーンが小さかった。/ベルの錘が動きにくかった。/ワイヤレスマイクの本数が少なかった。/演台があったほうが良い。

<時間割>：準備や説明のために、セッション間の休憩を長くしたほうが良い。/早朝や最終日に聴衆が少なかった。/ショートプレゼンテーションの部屋が狭かった。

<発表者への案内>：早めのチェック(とくにワイド画面PCの外部出力の調整)を徹底させるほうが良い。

<経験>：興味深い内容や熱のこもった質疑応答など、学会発表の雰囲気を知ることができて有意義であった。/座長が紳士的であった。/文献調査を含む事前の準備の必要性を認識した。/質問を理解し的確に答えることの重要性を認識した。/トラブル情報がすぐに伝わったのが良かった。

以上のような経緯や意見・感想が、今後の伝熱シンポジウムの準備と開催に役立てば幸いである。(萩原良道)

## 7. 優秀プレゼンテーション賞セッション

このセッションは、本学会会員である学生や若手研究者をエンカレッジする場として、毎年、シンポジウムを借り、学生会委員会(第47期、堀部明彦委員長)が企画・運営しているものである。ここ数年一般セッションへの参加を妨げない目的で初日の午後に一般講演とは別に開催されてきたが、本年は一般講演と並行する形式で午前・午後に分かれる特別な運営となった。それにもかかわらず、これまでで講演が最も多かった昨年とほぼ同じ52件の講演申込み(うち1件は講演中止)があり、2室に分かれた約40分のショートプレゼンテーションおよび80分のポスターセッションにて、午前27件、午後24件の発表がなされた。学生や若手研究者中心のセッションであるため、新型インフルエンザに対応し、ショートプレゼンテ

ーションおよびポスターセッションともに参加者全員に手指の消毒・マスクの着用などの特別なお願いをしたが、発表者の皆さんは非常に真摯かつ熱心で、各ポスターの前ではかなりの長時間にもかかわらずマスク越しに休みなく質疑討論がなされる大盛況であった。

講演者の交代(2件)および学会員資格未取得(2件)を除く47件について審査員スコアおよびポスター会場における投票数を学生会委員会により慎重かつ厳正に検討した結果、鈴木博貴(名古屋大学)、鈴木芳行(東北大学)、西村 悠(慶應義塾大学)、松元佑樹(筑波大学)、笹部 崇(東京工業大学)、以上敬称略/順不同、の5名が優秀プレゼンテーション賞を受賞することになり、シンポジウム2日めにあった総会の場において、牧野シンポジウム実行委員長より表彰を受けた。惜しくも受賞に至らなかった皆さんも全体的に非常に良い発表をしており、今後もより多くの方々が本セッションに参加されることを期待している。末筆ながら、一般セッションとの並行開催であったため、よりお忙しい中困難な審査をこなしていただいた審査員の皆さまに、この場を借りて厚く御礼申し上げます。(学生会委員会 桑原不二朗)

## 8. 特別講演

シンポジウムの特別講演は、京都大学大学院工学研究科教授の門内輝行先生にお願いし、「歴史都市・京都の景観・環境の創生」というお話をいただいた。先生は、建築・都市計画、設計方法論、記号論を専攻され、京都市・京都府の景観・環境政策の策定に深く関わってこられた方である。

ご講演は、建築・都市計画をいかに考え、それを施策・政策の形でいかに実践していくかについてのものであり、そのポイントは、建築学の思想を、ひとつ一つの建物の設計からひとの住まいする都市空間の設計にいかにか止揚していくか、という人間・環境系デザインの方法論にあるようであった。

先生は、研究室ぐるみで、京に住まいする人びとのコミュニティーと向き合うことを繰り返しながら、その生活の空間的・時間的な営みを分析し、しかし、分析に留まることなく、京都/日本の環境・景観のモデルを、21世紀の京都/日本のために、政策あるいは条例の形で提案していく。お話

には、人間、時の流れ、住まい、町並み、たたずまいなどの、私には忘れかけていた ゆかしい言葉が、なんの気負いもなく現れた。いっぽう、ゆらぎ、フラクタルなどという われわれ熱力学に親しむ者にも共有できるお考えのあたりも見えた。

ご講演を拝聴し、私には、時空を鳥観しながら人間や人々の生活・営みを考え、システムをデザインしていく構想の拡がりを見せていただいた気がした。参加者には、ふだんの たぶん緻密にすぎる熱の研究の日常の中では なかなか垣間見ることのできない世界を見せていただいたのかと思う。先生のご紹介の折に、私は、京都大学工学部建築学科は「学術・技術・芸術」と言っておりますなどと述べたが、先生のお話をうかがって、やはり、分析に基づいて設計しそして施策・政策の実践に至る建築学、これは、やはり工学であると納得した。

お陰で、本学会の皆さんには、京都の智慧・京都の見識を示すことができた。委員長は、この特別講演をお願いしたことについて胸を張っている。先生には、後にいただいたお手紙の中で、「京都は奥の深い都市だというのが、偽らざる実感です。幾重にも積層する京都を少しずつ読み解くとともに、21世紀都市・京都の創生に多少なりとも貢献していきたいと考えています。」と書いておられた。(牧野俊郎)

## 9. 懇親会

新型インフルエンザのため、多くの参加者がマスクもなしに狭いところに集まる懇親会は、シンポジウムが無事開催されたとしても中止される可能性がありました。準備を行った者としては冷や冷やでありましたが、幸い、懇親会も開催すると決断が懇親会開催の8日前にありました。700名のシンポジウム参加者のうちの266名が、懇親会にもご参加いただきました。

毎年のことですが、伝熱シンポジウムの懇親会で料理がなくなるスピードは他の学会の懇親会の比でないことを考慮して料理を準備する予定でありましたが、懇親会開始直前までキャンセルを受け付けるということもあって、さらに参加人数が読めず、料理がなくなりかけたら逐次追加注文することにしました。やはり例年どおり若い参加者が多かったためか、予想を遙かに超えるペースで料理はなくなり、食事開始後20分で追加注文をす

る羽目になりました。それも直ぐになくなってしまいました。 …。

懇親会は、牧野実行委員長の Welcome Address、長野靖尚会長のご挨拶、元会長で25年前の京都での第21回シンポジウム実行委員長でもいらっしやった岐美格先生のお話について、京都は伏見というお酒どころでもありますので、岐美元会長・荻野文丸元会長・河村洋前会長・長野会長・牧野委員長による鏡開きを行いました。その後、用意されていた枡が参加者に配られ、岐美先生のお乾杯のご発声で宴が始まりました。

せっかく京都で行う懇親会の特別企画として「舞妓さんを！」とも思いましたが、予算の関係で実現できませんでした。その代わりに京都と滋賀の美味しいお酒を1升瓶15本用意しました。京都限定300本というような滅多に手に入らないお酒もあったせいか、どんどんお酒もなくなっていきました。参加者の皆さまからは「このお酒企画は良かった」などと大変ありがたいお言葉を頂戴し、企画者として大変嬉しく思いました。また、今回のシンポジウムの焼き印を入れた枡を記念品として持って帰っていただけるようにしました。

その後、日本伝熱学会賞の受賞者代表の方々へのスピーチ、次回の札幌でのシンポジウムの近久武美実行委員長からのご挨拶、最後に千田衛関西支部長から中締めのご挨拶をいただいて、懇親会は盛会のうちにお開きとなりました。懇親会後は夜の祇園の街へお出かけになった方々もいらっしやったようです。

このシンポジウムの懇親会では、若い学生さんからご年配の大先生までが参加されて、気軽に話ができる雰囲気があるように思います。会場ではいたるところで笑い声や研究についての議論もあり、皆さん和やかに会話を楽しんでいらっしやったと感じました。実際、料理やお酒もさることながら、この会話がいちばんの『ご馳走』なのかも知れません。

すべての方々に満足していただけたかどうかは分かりませんが、京都の「おもてなしのこころ」を少しでも感じていただくことができたなら、それは担当者としてとてもありがたいことです。懇親会へのご参加、ありがとうございました。

(塩見洋一・南川久人)

## 10. お金とインフルエンザ

京都のシンポジウムの会場として、京都国際会館を選んだ。これだけの規模の学会を京都で開催するには、その選択は唯一解に近いものであったが、名古屋やつくばの場合に比べて、会場費・附属設備使用料等がはるかに高く見込まれた。また、これは後に発生したことであるが、インフルエンザが参加費・懇親会費などの収入減を生んだ。結果的に、初めから最後まで、計350万円のハンディーを担うことになった。

については、まず、一般の方の参加費をつくばに比べて2,000円アップさせていただいた。これで100万円救われた。次に、京都大学のGCOEの共催を得ることができた。これで100万円。そして、機器展示会(10社)を開きプログラム冊子に広告(12社)を掲載して150万円。運にも助けられ、やっとなんとかこのシンポジウムを乗り切ることができそうである。

5月に神戸で始まったインフルエンザの流行は、実行委員会を翻弄した。京都の風景はなにも変わることがなかったが、新聞の第1面トップには毎朝インフルエンザの7文字が踊った。5月17日に感染は大阪に拡がり、翌18日には、神戸国際会議場で開催が予定されていた高分子学会の年次大会が中止された。われわれはシンポジウムの準備を着実に進めながら、いっばうで身を固くし、最悪の事態をシミュレートした。河村会長(当時)との連絡を密にした。

平安中期に疫病が流行したとき、京の民は神に祈った。それが八坂神社の祇園祭の起源だそうである。平成の御代、実行委員の一人がその神社に詣でて祈り、厄除けのお守りを授かってきた。また、全国の仲間からはマスクの義援をいただいた。計1,700のマスクが実行委員会に集まった。

神のご加護のゆえにか、しばらくして事態は好転し、インフルエンザはシンポジウム開催の障害とならないと判断することができた。5月26日のことである。立ちこめた暗雲が去った。われわれは元気になった。

とは言え、シンポジウムのあるセッションではマスクを付けていただくなど、参加者には少なからぬご不便をおかけした。気づいてみると、シンポジウムへの参加者数は当初見積もりからはるかに減っていた。致し方ない。そして、シンポジ

ウムが終わって1週間たって、やっとほっとした。病いのことは聞こえてこなかった。結果的にはあるが、シンポジウム決行の判断は間違っていない。実は、お金の心配が残っている。しかし、それは小さいことである。(牧野俊郎)

### 11. 京都シンポジウム

シンポジウム準備最終段階において、新型インフルエンザの奇禍に遭った。ウルトラマンのテレビ放映で怪獣ジャミラに襲われんとする京都国際会館の姿が脳裏をよぎった。しかし、シンポジウム初日早朝はその暗雲を振り払う快晴、堂々の佇まいの会館が新緑に映えて、そこにあった。河村会長(当時)と牧野委員長との間の緊密な連携が奏功して1週間前に開催の断が下り、閉会后1週間を経て発病者を聞かず、シンポジウムの成功を実感した。至らぬ点多々あったであろうが、ご参加の方々にはシンポジウムを、そして、京都を満喫いただけたものと思う。

実行委員会の第1回会議は昨年8月16日、五山の送り火の日に開いた。もちろん、それまでも事前準備はあった。とくに、牧野委員長は、2008年にシンポジウムを京都国際会館で開催すべく、2年以上前から会館と交渉しておられたが、主要先進国首脳会議(サミット)の開催地決定の遅れのために会場予約のめどが立たず、2009年に開催予定のつくばに交代していただいたという経緯があった。

京都シンポジウムのために奮闘して下さった26名の実行委員は表に示すとおりである。監査は、石原 勲(関西大学)・安孫子哲男(住友精密工業(株))のご両名にお願いする予定である。

委員会は京滋地区の方々をコアに据えて構成した。表には役割を明示していない。本報告の各節に執筆者として委員のお名前を挙げたが、委員会での役割は記事の節の枠を越えて分担し合った。準備期間中に入院を要する負傷というアクシデントを抱えた委員が順調な快復とスムーズな引継ぎで事なきを得た例もあったが、何かにつけて、委員会は牧野委員長を中心に、メールのみに頼ることなく、電話・面談も多用した阿吽の呼吸で、一種、家内工業的なシステムが作用しその力を発揮した。もちろん、前回のシンポジウムの川口靖夫事務局長はじめ前回の実行委員の方々からのさま

ざまの情報・アドバイスがあつてのことである。財源確保には、とくに小澤守委員・武石賢一郎委員・久角喜徳委員が企業に展示・広告を勧誘して下さいました。

シンポジウム当日の写真をこの記事の末尾に纏める。これらの写真は、後藤田浩委員を中心に、南川久人委員、撮影担当アルバイトの学生さんの作品である。シンポジウムのホームページ

<http://nhts2009.me.kyoto-u.ac.jp/index.html>

には、より多数の写真を掲載している。シンポジウムの雰囲気をご想起いただければ何よりである。

最終日最後のセッションにまでご参加下さった岐美先生を、千田衛委員を中心にして、会館のタクシー乗り場までお見送りし、そこでシンポジウム閉会の時を迎えた。午前中から徐々に始めていた撤収作業はその日の夕方に完了した。実行委員会の皆さんにはここに改めて感謝申し上げます。

### シンポジウム実行委員会

委員長	牧野 俊郎	京都大学
事務局長	中部 主敬	京都大学
委員	岩井 裕	京都大学
	河原 全作	京都大学
	功刀 資彰	京都大学
	齋藤 元浩	京都大学
	巽 和也	京都大学
	花崎 秀史	京都大学
	松本 充弘	京都大学
	吉田 英生	京都大学
	若林 英信	京都大学
	岡本 達幸	京都工芸繊維大学
	北川 石英	京都工芸繊維大学
	田中 満	京都工芸繊維大学
	西田 耕介	京都工芸繊維大学
	萩原 良道	京都工芸繊維大学
	稲岡 恭二	同志社大学
	千田 衛	同志社大学
	南川 久人	滋賀県立大学
	後藤田 浩	立命館大学
	森本 賢一	立命館大学
	塩見 洋一	龍谷大学
	武石 賢一郎	大阪大学
	小澤 守	関西大学
	久角 喜徳	大阪ガス(株)
	康 倫明	ダイキン工業(株)

また、実行委員会を力強く支えて下さった河村会長（当時）はじめ理事会の皆さまに感謝申し上げます。後援・共催・協賛下さった学協会、京都大学 GCOE に感謝申し上げます。この不況の中、展

示・広告のご協力をいただいた企業の方々に感謝申し上げます。シンポジウムに参加されたすべての方々に感謝申し上げます。（事務局長 中部主敬）



神のご加護を：祇園の八坂神社の厄除けのお守り。厄病神は飛んで行け！



シンポジウムの約30mの受付デスク。そこを抜けると広いロビー、ソファータクさん、歓談どころ。



シンポジウム会場：国立京都国際会館。インフルエンザ対応のために、入口に手指のアルコール消毒デスクを設け、大量のマスクを置いた。



第1回・第21回・第46回の京都での日本伝熱シンポジウムの講演論文集。

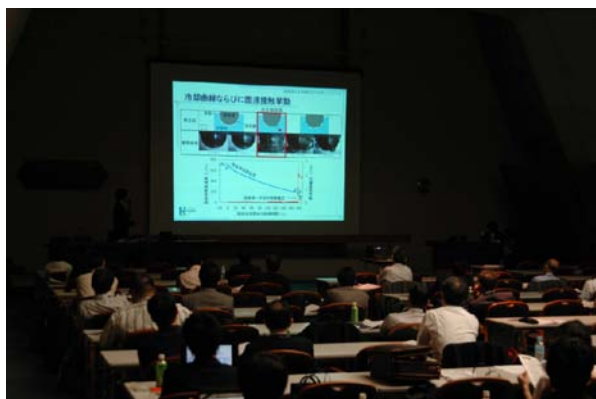


シンポジウム会場：広大な庭がある。池には2羽の白鳥が泳ぐ。鴨もやって来る。



セッションでの研究発表のようす。広い会場、なるべくスクール形式を多くしようとした。





セッションでの研究発表のようす。  
5段階の調光システム、うまく調整できていたか、  
これは ちょっと暗い。



特別講演：京都大学 門内輝行教授  
「歴史都市・京都の景観・環境の創生」



セッションでの研究発表のようす。  
すこし小さめの会場での発表。



特別講演会：立ち見のひとからも拍手。  
京都らしい よいお話を ありがとうございます。



優秀プレゼンテーション賞セッションのポスター  
セッション：若いひとたちが至近距離で討論する場。  
マスクの着用をお願いした。



(社)日本伝熱学会第47期総会：  
河村 洋 第47期会長のご挨拶。





懇親会：第24期会長・京都大学名誉教授  
岐美格先生のご挨拶。



懇親会：京の伏見の「月桂冠」、乾杯いっ！  
6月3日の18時 まだまだ暮れない京の宵



懇親会：鏡開き，よしよ，よしよ，よしよっ！  
左から 長野会長，河村前会長，岐美元会長，  
荻野元会長，牧野委員長。



懇親会：京都・滋賀の地酒コーナー。  
酒，酒，酒，．．． 15升，27 liter，  
群がる酒飲み。

入浴の科学  
Science of Bathing

興梠 真紀 (東京ガス)

Maki KOROKI (Tokyo Gas CO.,LTD)

1. はじめに

私たちは、なぜ、入浴するのだろうか。体を清潔にするためというのが最も大きな目的ではあるが、入浴の目的はそれだけではない。幼稚園年長から小学校低学年の子どもとその保護者を対象にしたワークショップで、入浴の目的を聞いて見たところ、子どもたちから次々と手が上がり、①体をきれいにするためだけでなく、②疲れをとるため、③体を温めるため、④温まると気持ちがいいから・・と答えが上がった。これは大人に聞いた結果(図1)と変わらず、小さな子どもたちでも、入浴に目的を持ち、入浴の効果を実感していることが分かる。

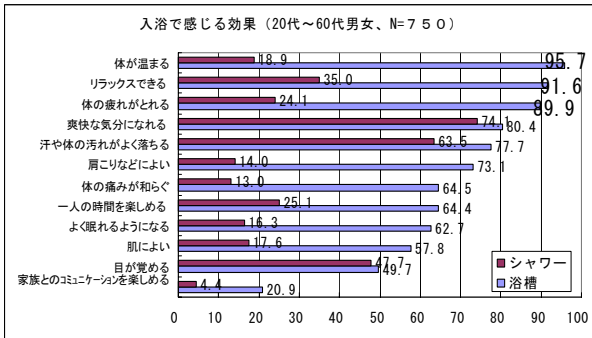


図1 入浴で感じる効果 (2008年東京ガス都市生活研究所調べ 20代~60代男女 N=750)

これらの入浴で感じる効果の根拠について、以下で考えてみたい。

2. 入浴の効果

2.1 入浴実験の概要

入浴の効果について、その根拠を示すために、被験者実験を行い、入浴前後の生理・心理的な影響を検討した結果を紹介する。生理面については「血圧」「脈拍」「血流量」「発汗量」「皮膚温」、心理面については「快適感」「温熱感」「ストレス度」などを評価項目として計測した。入浴の条件は、

これまでの入浴実態調査や半身浴に関する情報を参考に、冬期の入浴の一般的なスタイルとして「全身浴」は肩までに浸かる入浴・42℃・5分、「半身浴」はみぞおちまで入浴・40℃・20分とした。また、半身浴は上半身がお湯に浸からないことから、浴室環境による影響も大きいと予想されるため、浴室温度バリアフリーを考慮して2つの室温(25℃, 10℃)について評価を行った。表1に実験の方法(参考:実験の流れ)を示す。

表1 実験概要

実験期間	平成12年11月20日~12月1日
被験者	40代女性6名
実験条件	前室 控え室 25℃ 浴室・入浴条件 A)浴室温 25℃ 全身浴(42℃, 5分) B)浴室温 25℃ 半身浴(40℃, 20分) C)浴室温 10℃ 全身浴(42℃, 5分) D)浴室温 10℃ 半身浴(40℃, 20分) *浴室温 10℃設定は、実験室の精度により実測値は14℃であった。
計測項目	血圧(収縮期, 拡張期), 脈拍, 血流量, 発汗量, 皮膚温 申告値の計測(快適感, 温冷感, ストレス度, 感情プロフィールテスト)

2.2 入浴中の身体への負担について

はじめに、入浴中の身体への負荷という視点から、循環器系への影響をみるために入浴中の脈拍、血圧の変化について調べた。図2に脈拍変動の変化の様子を示す。いずれの入浴法でも入浴直後、温かい湯の刺激によっていったん脈拍数は上昇するが、半身浴の場合はその後もとの状態に戻っていくことがわかる。それに対し、全身浴は水圧の影響が大きく、入浴をしている間、脈拍が高い状態が続いた。また、血圧の変化についても平均血圧の推移でみると、全身浴のほうが高い状態が続いていることがわかる(図3)。ただし、同じ半身

浴でも浴室の温度が低い場合は、脱衣して入浴する際（入室後から入浴直後）、および湯から上がったとき（出浴時）には全身浴と同様に血圧の上昇は大きくなり、暖かい浴室での半身浴が最も血圧変動が小さいということがわかった。

心臓への負荷を軽減するという視点からみると、半身浴は身体への負担が少ない入浴法といえる。また、心拍や血圧の変動は、高血圧の人は健常者よりもさらに激しくなるので、高齢者や体調不良の場合には半身浴がおすすめといえる。

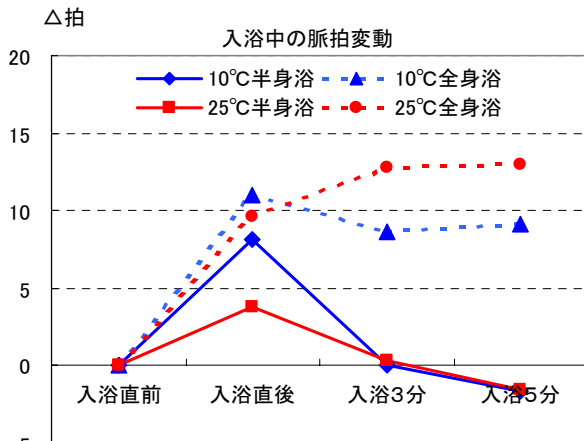


図2 入浴中の脈拍変動

\* 5 分後の脈拍数は半身浴と全身浴間でそれぞれ有意に差がみられた ( $p < 0.05$ )

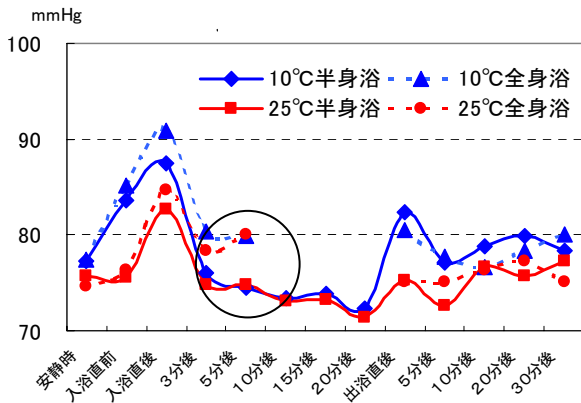


図3 入浴中の血圧変動

### 2.3 温熱効果について

入浴の作用の一つである温熱効果の影響について、血流量の変化、発汗具合を計測した結果を示す。血流量の増加は、血液の循環をよくすること＝血行促進に役立ち、疲労回復につながる。発汗は身体が温まった指標である。

### 2.3.1 血流量

入浴による温熱効果をみるため、まず、入浴中の末梢部位（手甲部）の血流量をみると（図4）、浴室が暖かい場合は、全身浴、半身浴ともに、入浴後血流量が増加していることがわかる。全身浴と半身浴を比較すると、高めの湯温に入浴する全身浴では血流の上昇が早く開始しているのに対し、半身浴では緩やかなカーブで増加していくという特徴がみられた。入浴中の総血流量では、全身浴で5分、半身浴で20分間入浴した場合での総血流量については半身浴のほうが大きくなることがわかった（図5）。つまり全身浴は即効性があり、半身浴の場合は、ゆっくりと時間をかけて入浴することにより、じわじわと身体が温め、身体の隅々まで血液が行き渡るといったことがわかった。一方、浴室温度による違いは顕著であり、浴室温度が低いと、入浴中の血流増加が妨げられてしまう結果となった。

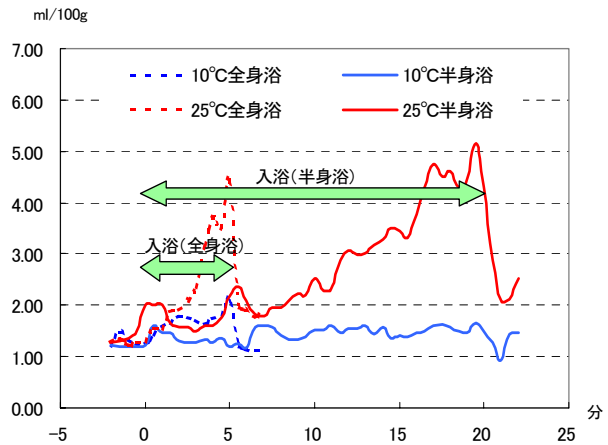


図4 手甲部血流量の変化

\* 血流量は 25°C 半身浴が他に比べ有意差がみられた ( $p < 0.01$ )

\* 全身浴では 10°C と 25°C 間に有意差が見られた ( $p < 0.05$ )

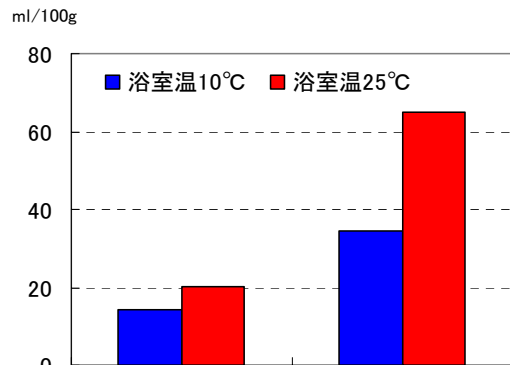


図5 手甲部血流量の比較

次に、前額部の発汗量をみると（図 6）、いずれの入浴法でも浴室温度が低い場合は、ほとんど発汗がみられない。浴室が暖かい場合では、全身浴が入浴後 3 分過ぎから発汗が始まるのに対して、半身浴は入浴後 10 分頃からとゆっくりと発汗が始まり、その後増大していく様子が認められた。血流の変化とあわせて考えると、半身浴では入浴後 10 分過ぎた頃から温熱作用の効果があらわれ始めていることがわかる。

血流量、発汗量ともに半身浴は緩やかな増加カーブで、急な負担がかからないといえるが、ただ、10 分以下の入浴では、血流・発汗ともにまだまだ進んでおらず、効果も得られずに終わってしまう。半身浴で温熱効果を得るためには、最低 15 分以上、少し長めに入浴するとよいと考えられる。目安としては、額にうっすら汗をかき始めた頃が身体が温まって血行がよくなってきたしるしと言われている。全身浴については、早い時期から血流・発汗がみられる。ただし、熱い湯での全身浴は、脈拍（心拍）の増加等により、入浴時間が長くなるにつれ圧迫感を感じたり、また身体に負荷がかかる場合もあるので、注意が必要である。

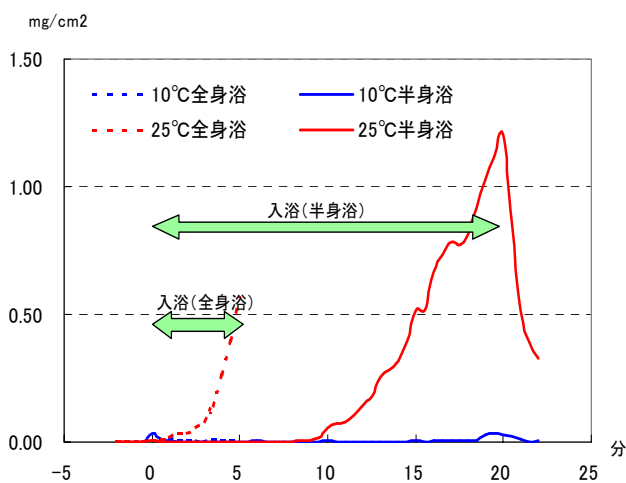


図 6 前額部発汗量の変化

\* 入浴による発汗量において 25°C 半身浴は他に比べ有意に差が見られた ( $p < 0.05$ )

### 2.3.3 皮膚温

浴室温度の影響を皮膚温の変化からみるために、入浴前後の皮膚温度について、胸部、上腕、大腿、下腿度分布を計測した。入浴前、暖かい前室から脱衣室に移動し、脱衣したときの皮膚の温度を示

す（図 7）。身体のすべての部位について、寒い環境と暖かい環境で皮膚の温度に 5°C 近く差があることがわかる。入室してまもなく皮膚の表面温度は環境の影響を受けていることがわかる。皮膚温の低下は血管を収縮させ血流にも反映し、血圧の上昇にも影響がある。その後、40°C 以上の温かい湯に浸かると、今度は急激に温度が上がる。

入浴後、再び脱衣室に戻った時点での皮膚温は、いずれの入浴スタイルでも湯に浸かっていた大腿、下腿は入浴前より高くなっているが、それでも浴室温度の影響を受け、10°C の場合はすぐに 2、3°C 低下してしまっていることがわかった（図 8）。計測の都合上、入浴中も浴槽の外に出ている上腕では、浴室の温度の影響をさらに強く受けていた。入浴スタイルによる違いは胸部の温度にあらわれており、お湯に浸かるか、浸からないかの違いがあらわれ、全身浴のほうが高くなっていた。寒い環境での半身浴は胸部を含め上半身の皮膚温が低くなり、肌寒さを感じる原因になると考えられる。

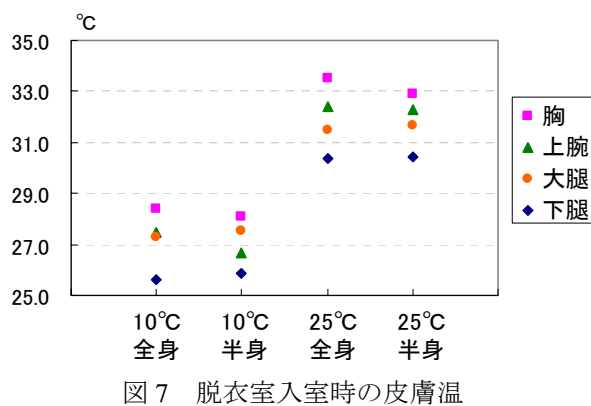


図 7 脱衣室入室時の皮膚温

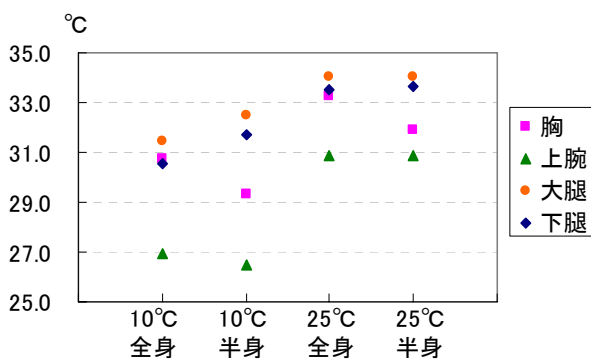


図 8 出浴後脱衣室での皮膚温



## 2.4 入浴感について

ここでは、被験者の入浴感を調べるために、温熱作用に関連した「温冷感」、「快適感」の評価、また入浴の心理作用を検討するために、ストレス度や感情の変化についてたずねた結果を記す。

### 2.4.1 温冷感・快不快感

被験者に、入浴時の体感に関して「温冷感」「快適感」を回答してもらった。

お湯に浸かった直後(入浴直後)、お湯からあがる直前(出浴直前)、その後脱衣室に移動した時点、暖かい部屋に戻って安静の状態それぞれにおいて「温冷感」「快適感」をたずねた。

「温冷感」と「快適感」の変化の様子はほぼ同様の傾向を示し(図9, 10)、入浴において「温かいこと」が「快適感」を生み出すといえることがわかった。ただし、室温 25℃での全身浴の場合は、暖かさの評価は入浴直後と同様出浴直前では大きいにもかかわらず、快適感について1ポイント弱減少、つまり5分程度お湯に浸かっている時点で快適感が下がり始めてしまうことがわかった。先に延べた心拍(脈拍)の増加に由来する負担感が影響していると考えられる。

全般の傾向では浴室の温度の違いによる影響が顕著で、25℃の暖かい浴室においては入浴中から入浴後にわたり、常に温かくて快適であると感じられていた。入浴後10分後には、半身浴のほうがやや温かさ、快適さともに上回っている結果となった。一方、寒い環境では入浴スタイルによる差異がみられ、入浴中、入浴後ともに半身浴は全身浴に比べて「温冷感」「快適感」とともに低く、特にお湯からあがった直後の申告値はマイナス評価となり好ましい入浴感を得られていなかったことがわかった。前述した胸部や上腕の皮膚温が下がっていることなど関係すると思われる、浴室の環境が入浴感に大きく作用することが明らかになった。

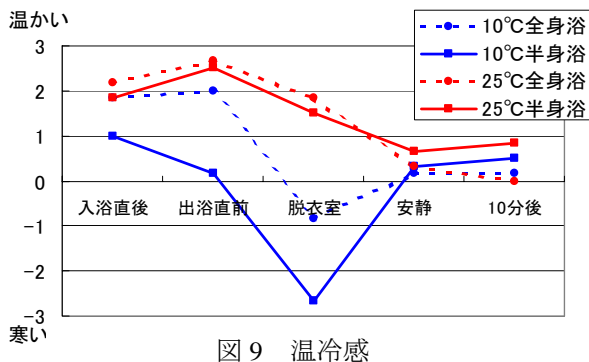


図9 温冷感

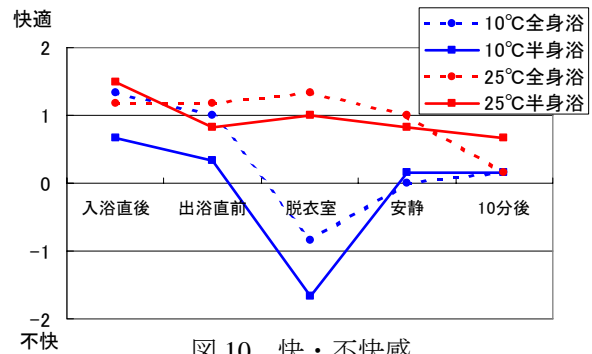


図10 快・不快感

### 2.4.2 ストレス度

次にストレス緩和に関する効果を調べた結果をあげる。入浴前後のストレス度を回答してもらい変化量を比較したものである(図11)。寒い浴室での全身浴はかえってストレス感を増大させる結果であった。一方暖かい部屋での半身浴は、最もストレス緩和に効果があることがわかった。

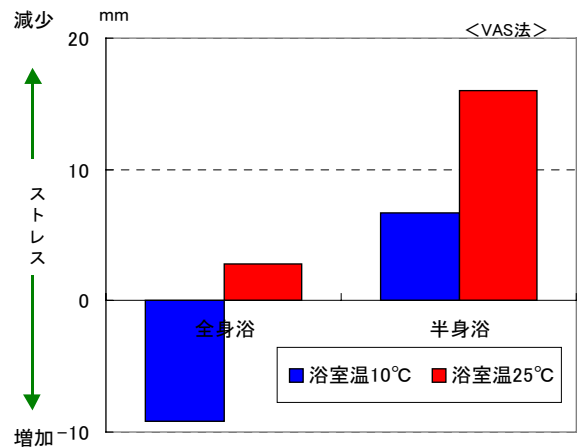


図11 ストレス得点の変化

## 2.5 まとめ

入浴方法によって得られる効果が異なり、以下のような特徴があると言える。

- ・半身浴は全身浴に比べ、入浴中の心拍数(脈拍)の増加が少なく、半身浴は全身浴に比べ、入浴中の心拍数(脈拍)の増加が少なく、また入浴時の血圧上昇が少ないなど心臓に負担の少ない入浴スタイルであると言える。
- ・入浴による温熱効果を調べてみると、42℃5分の全身浴と、40℃20分の半身浴を比較すると、効果が早くあらわれ始めるのは全身浴であるが、入浴全体を通してみると、半身浴のほう末梢部分の血流増加が大きく、より血行促進効果が得

られて、いた。特に、室温 25℃での半身浴は発汗量も多く、十分身体が暖まっていた。ただ、冬を想定した寒い浴室ではほとんど効果がみられなかった。浴室の温度設定が入浴の効果を高めるために重要であると言える。

また半身浴の場合、効果のあらわれ方が緩やかなことから、入浴時間を長くするなど、ゆったりとお湯に浸かる必要があると良いであろう。

- ・入浴時の温冷感、快・不快感といった入浴感は、入浴スタイルより、浴室温度の影響を受けやすく、暖かい浴室環境が体感アップに貢献していることがわかる。逆に寒い環境は不快感に強く影響し、特に半身浴の場合は浴室環境が重要であると言える。暖かい環境下での半身浴は最もストレスを緩和していることもわかった。

### 3. おわりに

これまで述べたように、入浴方法の中で半身浴が温まりや血行促進、リラックスに効果的であり、また体への負担が少ないことから、年代を問わず多くの人におすすめの入浴法であると言える。

---

現在では半身浴の認知率は高く、20代から80代男女 1,050名への調査によると、半身浴の認知率は97%に上る。半身浴をすることがあると答えた人は、特に女性では46%、浴槽に浸かる時間の日平均が20代・30代女性では夏期で17分、冬期では20分という調査結果が出ており、本報告で述べている入浴方法が浸透しつつあると考えられる。今後も、こうした生活者の入浴実態やその動向について継続して観察するとともに、より入浴を豊かにする提案を実施していきたい。

### 参考文献

- [1] 村上恵子, 浴室環境と入浴スタイルに関する研究, (2001).
- [2] 興梠真紀・中塚千恵, 現代人の入浴事情 2009, (2009).
- [3] 早川美穂・興梠真紀, しあわせバスタイムレシピ, 2008.



生活の中の伝熱

Heat Transfer Phenomena Around Us

原 利次 (日本工業大学)

Toshitsugu HARA (Nippon Institute of Technology)

伝熱研究の対象は、必ずしも技術の最先端の、いわゆる超への挑戦だけでなく、日頃の生活の中の身のまわりの現象にも数多くある。そしてたとえその技術レベルがそれ程高くないとしても、それが実現したときの適応範囲と市民の生活に影響する広さから考えれば、その波及効果は大きいと言えるかも知れない。そうした意味で、伝熱学会が今回のような企画を考えたことは大変喜ばしいことである。

近年テレビなどで、日常生活の中の不思議な現象について研究者が解説したり、実際に研究者が実験で確認し、解説する機会が増えているが、それでもまだ専門の研究者の発言が少ないように感じられる。専門家が発言しないのをいいことに、相変わらずいかかわしい似非技術がまかり通っているように思われ、もっと専門家は発言するべきではないかと感じている。

最近筆者も時にテレビ出演の機会があるが、意外と我々伝熱を専門とする側から見ると、常識で言わずもがなと思っていることも、一般には必ずしも当然とはなっていないことを感じている。もっと必要なときには積極的に発言するのも我々の仕事のうちではないかと思っている。そして、(これが重要なことだが、)一般の人達が理解できるような平易な言葉で、専門語を使わずに説明する必要がある。

ここでは日頃市井を賑わせている熱的現象に、伝熱を専門に研究するものとして、一応の説明を試みてみたい。これを読んだ方々が、より詳しい、より正しい解説を一般社会に発言する機会をしようと考えて頂ければ、望外の喜びである。

なお、4年前にも本学会で同様な企画があり、すでに紹介したもの[1]については、ここでは触れないことにする。

1. 冷たい金属はなぜ指にひっつくの？

これは技術を専門としない一般の方々(多くは文系の方々)からよく聞かれる質問の一つである[2]。そういう人は一応の説明を受けても、いまひとつ感覚的にピンと来ないようだ。

この問題は伝熱的には、図1に示すように、お互いに物質と温度を異にする二つの半無限固体が( $x=0$ で)接触するときの、一次元非定常熱伝導の問題であり、接触点の温度がどうなるかの問題にあたる。この問題は、既に昨年の本誌でも取り上げられて、判りやすく解説されている[3]。

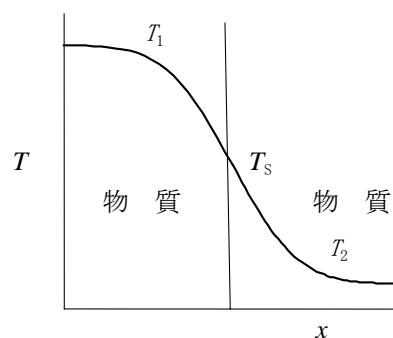


図1 2つの半無限体が接したときの温度分布

最初の温度  $T_{10}$  の物質1が、温度  $T_{20}$  の物質2と接触したとき、熱伝導率、熱拡散率を各々  $\lambda, a$ 、また添字は物質を表すとすると、1次元の非定常熱伝導は次のようになる[4]。

$$T_1 - T_{20} = \frac{T_{10} - T_{20}}{1 + \sigma} \left( 1 + \sigma \cdot \operatorname{erf} \frac{|x|}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \quad (1a)$$

$$T_2 - T_{20} = \frac{T_{10} - T_{20}}{1 + \sigma} \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} \right) \quad (1b)$$

ここで  $\sigma = 1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}$  である。

結果の一例を図2に示す。時間  $t$  の増加とともに

に温度分布が緩やかになるが、接触面の温度は常に一定で、変わらない。このことは重要で、現象としては指で鉄に触れ続けていても、指表面の温度は下がったままで（半無限体の条件の範囲でだ）変化しない。

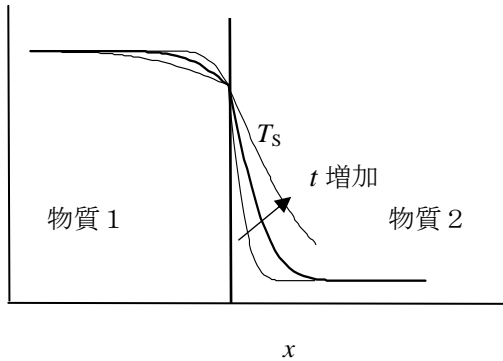


図2 接触した物質内の温度分布

特に接触面(境界面)では、式(1a)、(2b)で、 $x=0$ として接触面温度  $T_s$  を求めると、

$$T_s = \frac{T_{10} \frac{\lambda_1}{\sqrt{a_1}} + T_{20} \frac{\lambda_2}{\sqrt{a_2}}}{\frac{\lambda_1}{\sqrt{a_1}} + \frac{\lambda_2}{\sqrt{a_2}}} \quad (2)$$

となる。時間項がなく、接触面温度は時間に関係なく、常に一定であり、前述の図2の説明と同じことを意味している。また、接触面温度は熱伝導率だけでなく、熱拡散率にも関係していることがわかる。長時間経つと2つの物質の熱伝導率の比で決まると、つい考えがちだが、半無限体を考える限りそうではない。

実際に指が-10℃の鉄に触れた時はどうなるか。例えば、スキー場で気温が-10℃の寒い朝、スキーのエッジに触れたときもことを想像して下さい。式(2)に表1に示すような物性値[5]を代入すると、接触面温度は-8.4℃となり、零度以下であり、当然指表面の水分は凍結し氷となる。このため指は鉄と氷を介してひつつくことになる。スキーのエッジを素手で触るとひつついてしまうことを経験した人もあるだろう。一方、材質がたとえばプラスチック(スキーの中央部分)ならば、計算結果を表1に示すように、プラスチックがたとえ同じ温度(-10℃)に冷えていても接触面は14.0℃となり、指の温度に近く、0℃以上であり凍結せず、

全く問題が起こらない。素手でスキーの板に触ってもなにも起こらない。

ではこの現象を判り易く表現するにはどうするか。「指よりも鉄のほうが熱を早くよく伝えるので、触れた部分の温度は、指よりも鉄に強く引き寄せられ、鉄に近い温度にされてしまう。木は指よりも温度を伝えにくいので指の温度に引き寄せられる、」と言うのであろうか。読者の方々はこの式の意味をどのように表現しますか。

表1 熱物性値と接触面温度

	$\lambda$ (W/(mK))	$a$ (m <sup>2</sup> /s)	初期 温度	$T_s$ (°C)
皮膚	0.32	$0.111 \times 10^{-6}$	36	—
鉄	74	$2.0 \times 10^{-6}$	-10	-8.4
プラスチック	0.20	$0.13 \times 10^{-6}$	-10	14.0
鉄	74	$2.0 \times 10^{-6}$	30	30.2
大理石	2.8	$1.30 \times 10^{-6}$	30	31.2
花崗岩	4.3	$1.50 \times 10^{-6}$	40	39.4
水	0.637	$0.154 \times 10^{-6}$	41	39.6
空気	0.03	$30.0 \times 10^{-6}$	110	36.7

## 2. 鉄やステンレスはなぜ冷たいの？

これも日常よく聞かれる質問である[6]。この質問は、「鉄やステンレスは、なぜ暑い夏や、暑い部屋に置いてあっても冷たいのですか？」と続く。

これも伝熱的には先の問題と同じで、非定常1次元熱伝導の接触面温度の問題である。ここでは30℃の鉄に36℃の皮膚(通常は33℃だが、ここでは可能な最大値を使った。)が触れたときの温度を求めた。結果は表1に示すように30.2℃となり、殆ど鉄の初期温度と同じである。30℃といえども皮膚の通常温度33~36℃よりも低く、冷たく感じる。よく「せいぜい3~6℃低温でも冷たく感じるのか？」という質問がくるが、「Yes.」である。詳しくは後の節でも述べるが、我々の実験によれば、人間の皮膚はせいぜい3℃位冷えれば冷たく感じるようである[7]。冷たく感じるもう一つの原因は、皮膚が触れた後もずっと鉄が冷たいことにある。これはその鉄製品の熱容量の大きさによるもので、物体が大きく、質量が大きいくほど(半無限物体の条件を満足する程)、冷たく感じる。これは常に熱が吸い取られている心地よさであり、温度に加え

たもう一つの大事な条件である。

さてこれをどう説明するか。「皮膚が鉄に触れると、鉄の方が熱をよく吸収して、皮膚が室温の30℃まで冷やされるので、本当に冷たく感じ、その上いつまでも、どこまでも熱を吸収してくれるので、冷たく感じる。」と説明するのだろうか。

同様に、「大きな岩に触れると、どうして冷たくて気持ちがいいの?」という問も、同様に岩の場合につき、式(2)の計算により、人間の皮膚(36℃と仮定)が30℃の岩にふれると、皮膚温度(接触面温度)は、表1に示すように30.9℃となり、たいして温度が低くない(むしろ体温に近く暖かい)鉄や岩に触れても、皮膚が温度低下して、人間には冷たく感じられることになる。「大きな岩が体温より少し温度が低いだけだが、熱をいくらかでも吸い取ってくれるので、冷たく感じる。」で、果たしてわかって貰えるだろうか。

### 3. 100℃以上のサウナに入っても、どうしてやけどしないの?

これも伝熱的にはこれまでと同じ問題で、100℃の湿り空気が36℃の皮膚に接触したときの接触面温度は、表1に示すように36.7℃となり、たかだか皮膚温度は0.7℃しか上昇していない(但し対流がないとき)。これは風呂の温度よりも低く、とてもやけどをする温度には至らない。むしろ41℃の風呂に入ったときの方が39.6℃と高い。恐らくサウナは、頭も含めて身体全体を暖めるための効果の方が大きいのではないか。

### 4. 頭は冷やせば冷やす程快適か?

ところで、前述の2節でも一部出てきたことだが、人間の皮膚は冷やせば冷やす程(温度が低いほど)、ひんやりして快適なのだろうか?以前冷却帽子を考えた時に、必要な設計資料として求めた。実験は座位時、歩行時、固定自転車運転時(図2)の3種類につき、試作した電子冷却帽子を装着した時の、電子冷却素子への入力を変化させて、その時の快適さと、ひたい温度を熱電対で測定した[7]。その結果を図3に示す。



図2 電子冷却帽子の実験

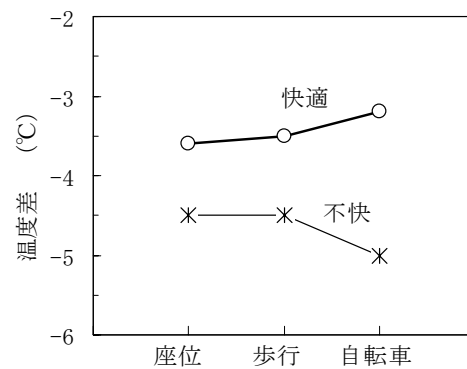


図3 冷却温度差と快適性

図には、ひたい温度として、冷却前のひたい温度との差として示した。また、快、不快は実験中のヒアリング調査によった。図から、座位、歩行、自転車のいずれの場合も快適性を示す温度差に変化がなく、ほぼ温度差が3~3.5℃の時に快感を、4.5℃以上に冷却されると、不快感があらわれることがわかった。当初運動量の多い自転車の方が大きな温度差が好まれるかと予想したが、結果はそうではなく、むしろ温度差は小さめであった。この結果から、皮膚温度はせいぜい4℃程度まで冷やせばよく、むしろ熱量を取ってやる必要があると思われる。

むしろ温度差を多くとらない方で熱量を多くとる方がよいのなら、一般に市販されている冷蔵庫で冷やすタイプの冷却剤よりも、むしろ冷蔵庫で冷やす必要のない、もっとマイルドな冷却の材料が適している。そのためには凝固温度がもっと高い(皮膚温度に近い)冷却剤が必要である。最近この温度帯域で使われる冷却パッドが多く市販されている。筆者らも硫酸ナトリウムを基材とした冷媒で25℃程度の相変化温度を持つものを用

いて、冷却まくら、リストバンド、保冷箱などへの適用を考え、実験している。図4にその特性を示す。人間用に室温放置で準備できるのが省エネ的で具合よく、今度さらに用途がふえるであろう。

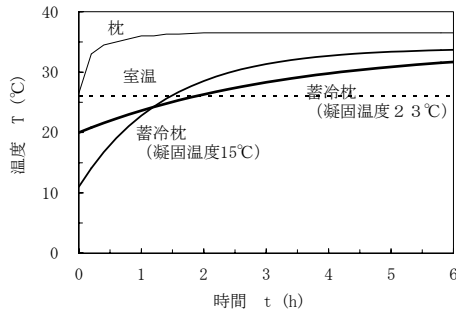


図4 相変化温度の高い冷却剤の特性

5. 岩盤浴は遠赤外線で温めているか？

数年前に岩盤浴の愛好者が急増した。これに伴い、筆者にも「岩盤浴は本当に遠赤外線で温めているのか」、「遠赤外線をよく出す岩石には何がよいか」、などの質問が絶えない。最近、機械学会誌でも話題になっている[8]。筆者も、以前某スーパー銭湯の業者から意見を求められたし、某窯業技術センターに講演で招かれた際も、窯業業者から熱心にその点について質問された。

図5に、岩盤浴をしている様子を示している。浴衣を着て、床の少し暖められた岩石の上に横になって密着する。



図5 岩盤浴の様子

図6には、このときの岩盤との接触状態を模擬的に示す。ここで岩盤と人体の間に浴衣があり、1mm程度ではあるが、隙間ができるところに注意して欲しい。

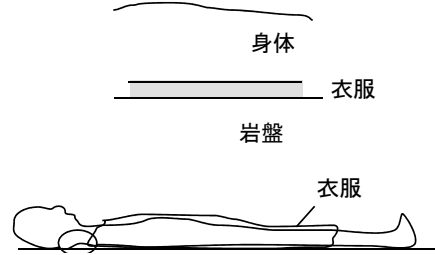


図6 岩盤浴の構造

岩盤の温度は40°C以上なので、それなりの遠赤外線が岩盤から出ているのは確かである。しかし、この遠赤外線がそのまま身体に達しているかを考えれば、浴衣は一見乾いていても繊維に元々水分が多く含まれているので、ここで遠赤外線は吸収されてしまう。比較的吸収が少ないといわれる波長2μmのとき、吸収係数αは17cm<sup>-1</sup>である[9]。このときの減衰量は図7のようになり、通過距離が約1.3mmで遠赤外線の強度は10分の1になる。従って岩盤から発生した遠赤外線は浴衣を通る段階で殆どエネルギーを失ってしまう。

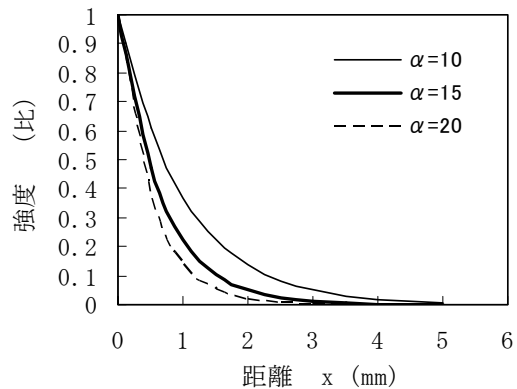


図7 遠赤外線強度の減衰

一方、筆者も愛用しているものに、図8に示すような寝ころび湯と称せられているものがある[10]。写真には残念ながら人間が写っていないが(浴衣を用いずタオル1つの裸体のため撮影禁止)、写真1の仰向け姿勢に相当する。岩盤浴との違いは、浴衣を用いないことに加え、岩盤の上をかすかにお湯が流れている。岩盤の上に横たわると身体と岩盤の間のかすかな隙間にお湯が入り、身体と岩盤との接触がよくなる。さらに岩盤浴は基本的に室内(閉空間)であるが、寝ころび湯は屋外(開空間)であるので、皮膚を通した熱伝導

でなく、直接毛細血管あるいはその周辺を加熱している可能性がある。すなわち岩盤に直接触れるのならば、皮膚表面のある意味断熱性の強い層を通ることなく、1mm程度の皮膚内部を直接加熱している可能性があるということである。

このため冬は周りの雪景色を見ながら、裸で軒先に横たわることになる。不思議なことにこれでも風邪を引かない。岩盤に接していない身体の上半分は空気（外気温）で冷えて乾いているが、背中の中の温度が自動的に胸側に回りこむのか、殆ど寒くない。（実際は筆者は雪の日は遠慮している。）大変気持ちがいい。この気持ちのよさは何に由来しているのか。これが最近の関心事である。とりあえず今回は遠赤外線のことを述べよう。



図8 寝ころび湯

図9に寝ころび湯の構造を示す。図6の岩盤浴にくらべ、浴衣がないのと隙間に温水があるのが相違点である。図9に示したように、浴衣がないと直接皮膚に遠赤外線が入って来る。どの位入るかは前述の図6と同様で、約1.2mmは皮膚から体内に入り得る。ところで皮膚表面直下には毛細血管が無数にあり、エネルギーがここまで到達すれば、皮膚表面の寒いときにはいわば断熱材の役目をしている層を通過して、熱伝導に頼らず、直接血管に到達できる可能性がある。従って、あなたが「遠赤外線が（程度は別にして）直接体内に入る」と言ってもよいかもしれない。

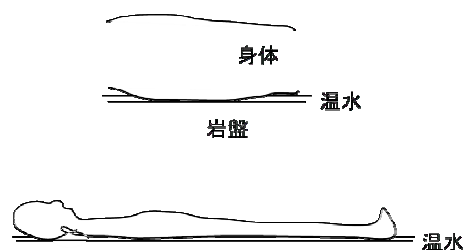


図9 寝ころび湯の構造

ただし、果たして遠赤外線が本当に実効的に健康に作用しているのかはまだ明確ではない。少なくとも通常の岩盤浴程度の温度では、やはり遠赤外線の身体への加熱効果は殆ど小さいと言えよう。

## 6. 熱い水と冷たい水が凍るとき、熱い水が早く凍ることがあるの？それはどうして？

昨年の7月NHKのTV番組[11]で取り上げられたためか、“湯は水より早く凍るか？”の議論が盛んであるようだ。ムペンバ効果と呼ばれるようで、雪氷学会も交えた議論に発展しているらしい[12]。実験がどのように行われたのか、残念ながら筆者はTVを見損なったが、いろいろな要因を考えるのには面白い問題だろう。おそらく正面切って考えればあり得ないが、一部が凍る、表面が凍る、冷気があたる場所なら凍る、などのバリエーションならあり得そうだ。少なくとも紀元前から議論している問題[13]ならば、少しは前向きな成果が出てよいだろう。

通常の間接系では初期温度が低い（エンタルピーが小さい）方が早く凍結終了になるのは間違いなく、この点ではあり得ない、とする考えは理想系、集中乗数系では正しい。考えられるのは、

- ・水より湯の方が、冷却中に蒸発して減る分が多い？
- 容器がオープンの場合でも、簡単な試算に寄れば冷却中に蒸発する分はせいぜい1%程度で、水の質量に影響する程度は小さい。
- ・湯の方が溶解ガスが少なく、比熱が小さい？
- 比熱に影響するほどの溶解ガスはない。むしろ凍結時の過冷却には影響するだろう。
- ・湯の方が冷風との温度差が大きく対流を起こし易いので、熱伝達がよく、湯の冷却が早い？
- もし冷却が早くても、それは水の温度になるまでのことで、それ以後は所詮水と同じ冷却課程





## 超高級炊飯器 High quality Rice-cooker

西本 芳夫 (三菱電機株式会社)  
Yoshio NISHIMOTO (Mitsubishi Electric,co.Ltd.)

### 1. はじめに

食糧管理上の自給率危機が叫ばれている状況にあっても、食味に対する欲望は際限なく市場要求として存在し続けている。炊飯米も例外ではなく、米の産地や収穫時期の拘りに行き詰まりを感じた消費者は、炊飯器の性能に食味・食感を求めた。

お米の食味向上には、お米成分のアミロースとアミロペクチンがミセルを形成して酵素の働きを阻害した消化に悪い構造を備えた $\beta$ -デンプンを $\alpha$ -デンプンに変化する糊化( $\alpha$ 化)を徹底して促進させることが、粘りある食感と甘みの維持する食味を確保するうえで極めて重要である。[1]

このため、最近のIH制御炊飯器は、炊飯工程の吸水と炊飯の最適温度を決定する加熱パターンの制御を行うシステムとともに、内蔵する炊飯釜にも加熱効率と熱伝導率に優れた素材の適用が求められている。

### 2. 炊飯米の食味追求

美味しい炊飯米を得るには、水とお米の正確な「計量」は当然とし、「洗米」の手法にも気を配る必要がある。日本では炊飯米にぬかの臭いが残るのを好まない。また、乾燥保存した脆い米は洗米時に割れる砕米を防止することが、適正な糊化に不可欠である。従って、常温の清浄な水に浸して吸水させたのちにかき混ぜずに水を捨て、次いで砕米を来さないように多少の濁りを水に残す程度に「研ぎ」を軽く行うことが好ましい。このお米を炊飯釜に移して規定量の水を追加した後、静置して十分に時間をかけた「吸水」を行うことで、炊飯時の砕米を防いで炊飯時にデンプンの $\alpha$ 化を促すことができる。[2]

以上が炊飯を担う当事者の技量に委ねる工程であるが、最近の炊飯器では「炊く・蒸らす」の前に行う上述した「吸水」の工程を含めて、炊飯器

には機能として備わっている。

次の「炊く・蒸らす」工程では、炊飯時の加熱に伴う温度上昇によってお米が膨張するとともに、 $\alpha$ 化したデンプンが水に溶けて煮くずれを起こしやすいので、急速加熱を行うことが必要となる。さらに沸騰段階になると、お米の糊化( $\alpha$ 化)が最も進行して粘りが増すので、継続した沸騰を行うなどしてお米の高い温度を維持することが肝要である。つまり、「炊く」段階では高い火力で炊飯釜全体を加熱して細かな対流を起こすことにより、むらを無くし、ふっくらとした炊きあがりを得ることができる。これは、鉄の羽釜や土鍋を使って強い火力のガスで炊きあげた炊飯米に電気炊飯器がかなわないと思われていた理由となっていた。

「炊く」段階が終了して水分が少なくなれば、お米の周囲にある余分な水分を排除する「蒸らし」によって仕上がりをふっくらとすることができる。この工程はデンプンの $\alpha$ 化が一層進行するため、過度なおこげを生まない温度に低下させ、均一な加熱状態を確保することが重要になる。

IH制御炊飯器がガス炊飯に劣らずに美味しく炊きあげるうえで重要なことは、お米のデンプンが、吸収した水分と加熱による $\alpha$ 化の進行に必要な「吸水」から「蒸らし」までの各工程の温度制御を盛り込んだ自動炊飯機能に加え、加熱の強化と保温の均一化を確保することである。そのためには、炊飯釜の素材に言及した取り組みが不可欠であった。

### 3. 炭釜の優位性

美味しい炊飯米を得るための重要な因子である炊飯釜の急速加熱と均一温度の確保を可能とする素材として、99.9%以上の純度を有するカーボンを用いた炭釜を採用した。炭釜を用いた炊飯器について、「炊く・蒸らす」の動作における加熱状態の有効性を以下に示す。

### 3.1 炊飯時の昇温

図1は、従来の炊飯釜である SUS-Al-Cu を積層したクラッド材との炊飯時の温度上昇の比較結果であり、炭釜が予熱時および沸騰までの温度上昇速度が大きいことを示した。予熱はお米に吸水を促すために約 60℃で炊飯釜の温度を上昇させる工程であり、炭釜は 60℃以上を約 6 分間に渡って維持できるが、SUS釜は約2分であった。これは、炭釜の温度が高くなることにより、予熱完了時点での釜内任意位置の温度測定に基づく温度分布の釜内半断面部分の概念を示した(図3, 図4も同じ) 図2の結果から、炭釜の方が全体的に温度の高い状態となり、釜壁面側の温度上昇が特に早いことが分かる。

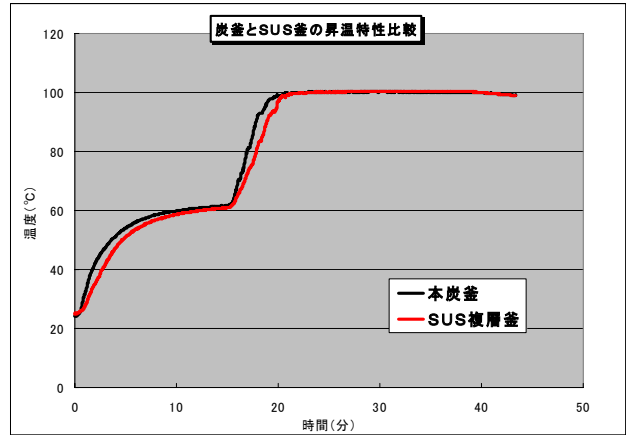


図1 炭釜と SUS 釜の温度上昇の違い

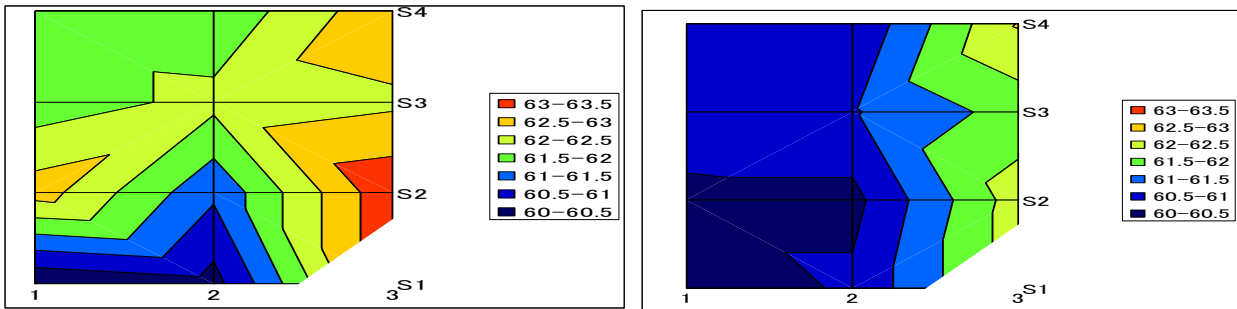


図2 吸水段階の釜内における温度分布の違い(左;炭釜 右;SUS釜)

### 3.2 炊飯温度の均一性

次に、急速な温度上昇によって、お米の膨張に伴ってデンプンが溶け出すことに伴う煮くずれを防止するうえで、釜内部が 100℃に到達した炊飯の初期段階で、炭釜内の温度が全体的に高い状態を確保することが肝要である。

お米の一部が 100℃に到達した時点における温度分布の概念図を図3に示した。

炭釜の適用は炊飯釜の側面部と上面部の温度を高い状態を確保した。特に、側面温度が高いのは炭材の発熱効率に優れ、熱伝導率が高いため、上面部温度が高いのは釜面部からの伝熱による対流が活発に行われているためと思われる。

この結果は、炭釜使用が炊飯米の食味向上に好適であることを示唆している。

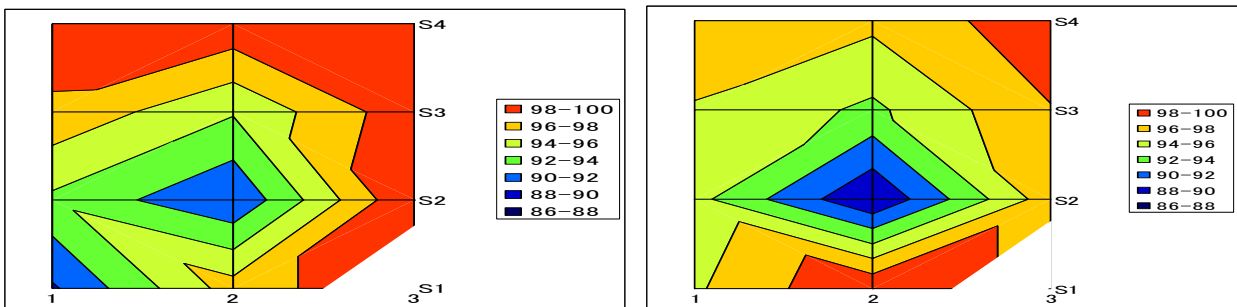


図3 炊飯初期段階の釜内における温度分布の違い(左;炭釜 右;SUS釜)

次に、図 4-1 の沸騰開始時点ではいずれの釜内の温度も 99℃以上を呈しているが、炭釜は底面から上面まで垂直方向の温度分布が少ないのに対し、SUS釜は上下方向に温度分布がある。さらに、図 4-2 の沸騰終了時点では、炭釜は中間部底面の温度が高く、中間部を円対称軸とする温度分布を成している。つまり、釜内が速やかな沸騰状態を得て激しい対流状態を確保し、お米の  $\alpha$  化が進行し易い状態を得ている。

以上の「炊く」工程から、次の「蒸らす」工程に移行すると、炊飯米の無用な劣化や水分の脱離を抑制するために速やかに温度を低下させて保温状態に移行させる必要がある。図 4-3 の蒸らしの状態では炭釜の方が全体的に温度を低く維持した状態が確保できた。

以上のことから、炭釜の適用は炊飯の温度制御を容易に行うことができ、炊飯米のおいしさ向上に大きく寄与した。

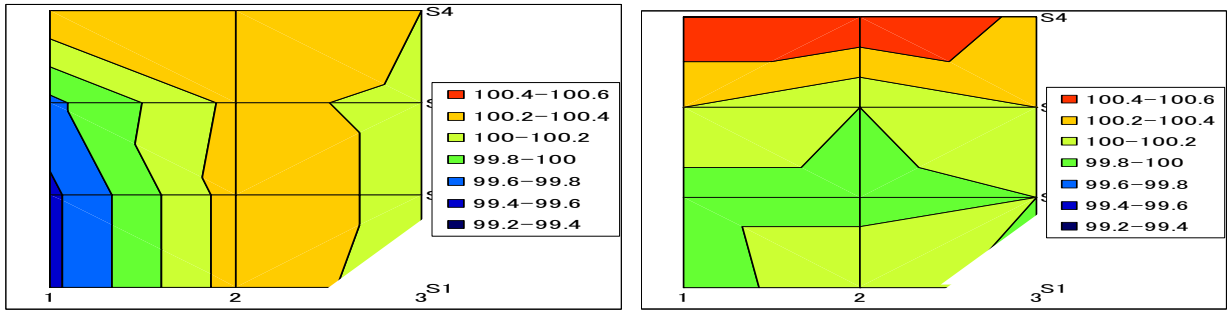


図 4-1 沸騰初期段階の釜内における温度分布の違い (左；炭釜 右；SUS釜)

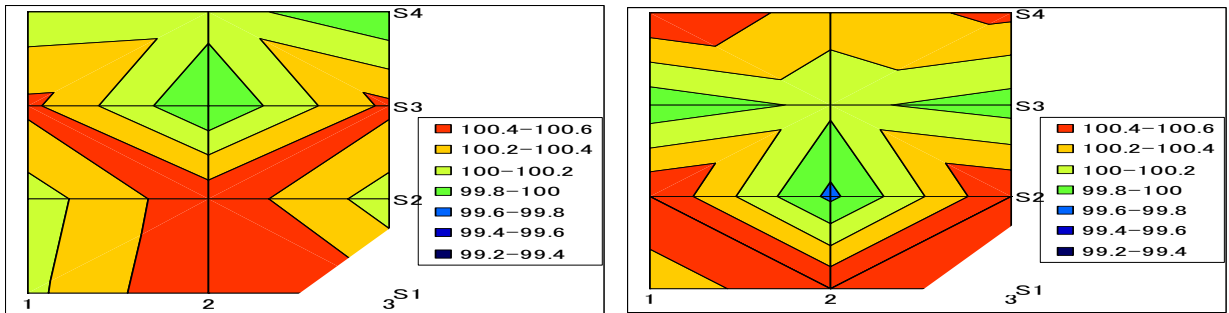


図 4-2 沸騰後期段階の釜内における温度分布の違い (左；炭釜 右；SUS釜)

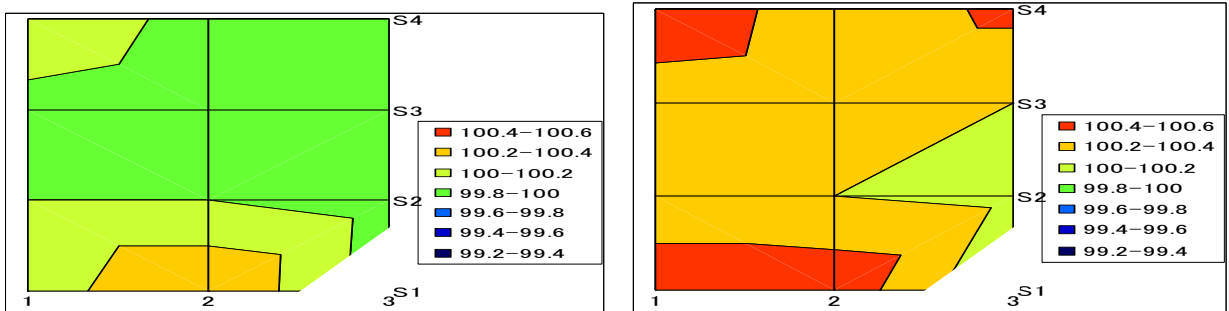


図 4-3 蒸らし段階の釜内における温度分布の違い (左；炭釜 右；SUS釜)

#### 4. 炭釜の特徴

炭釜の好適な炊飯に対する優れた加熱性能は、一般的な金属釜が磁性SUS材を発熱体としてアルミや銅を熱伝導体とした3~8層の異種金属を積層したクラッド材の厚さ方向の熱伝導率として40~80W/mKであるのに対し、炭釜のそれは120W/mKの高い熱伝導率を備えていることに加え、図5(a)のSUS釜は誘電加熱が表面層の厚さ0.1~0.5mmの磁性SUS材に依存した発熱の形態であるのに対し、図5(b)の炭釜は壁面全体が発熱体として作用して強い火力を得やすいことに起因する。

この結果、デンプンの $\alpha$ 化の理想的な進行を生み出す急速加熱や蒸らしや保温段階でデンプンの劣化を抑止する冷却や保温などの温度制御システムの反映し易い、という特徴を有することになる。

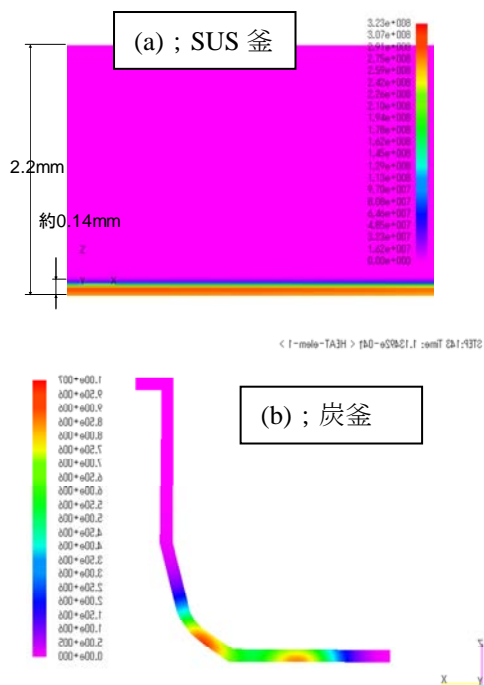


図5 発熱密度のシミュレーション結果

#### 5. 炭釜の製造方法

コークスの粉末に、融点が高く脆いピッチと、逆に融点が低く柔軟性に富むタールと、を適度

な割合で混合して熔融状態で高圧で圧縮して成形した後、冷却して得たブロックを1000~1200℃で焼成する。焼成に伴って有機物が分解、気散して形成した気孔部分に低粘度のタールを真空で含浸させて再度の焼成を施すことによって所定の密度に達した後、得られたブロックに無酸素の雰囲気下で通電発熱させ、2800~3500℃で黒鉛化させたものを用いる。このときに用いるコークスの種類や粒度の最適な調合割合が炭釜の機械強度や電気特性に大きく影響を及ぼす。

炭釜は炊飯釜の形状に切削加工したのち、内面に炊飯米の密着を防止するためのフッ素樹脂を、外面には使用中の摩耗を抑制する特殊耐熱樹脂を塗装して仕上げている。

#### 6. 一層の食味向上と利便性追求

日経BP社の高級炊飯器の食味調査において、本炭釜による炊飯米は専用炊飯土鍋によるガスの炊飯米に最も肉薄した食感と食味を得て、加熱と伝熱の迅速性に優れた黒鉛凝結体の特徴を反映した評価を得た。[3]

食味向上に関し、一層の炊飯加熱の効率向上が容易な200Vへの移行を含めて、炭釜は黒鉛の種類や焼成温度を調整することにより、導電体としての比電気抵抗を最適化することが可能である。今後、電圧や電気量に対応した適正な発熱体組成を備える炊飯釜を提供することによって、一層の食味向上に貢献していく。

#### 参考文献

- [1] 大阪市立大学 インターネット講座  
第2回課題小論文 青木正繁  
「デンプンと水 ~炊飯とは何か~」  
[www.sci.osaka-cu.ac.jp/~yoshino/water/essay/02/a01.pdf](http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/~yoshino/water/essay/02/a01.pdf)
- [2] 久利良品研究所ホームページ, (1999-4/15)
- [3] 日経BPネット「細川茂樹が選んだ炊飯器ベストバイ」2009年06月04日  
<http://trendy.nikkeibp.co.jp/article/column/20090526/1026555/?ml>



## 炭火焼きがおいしい理由

*Why Foods Broiled over Charcoal is Delicious?*

杉山 久仁子 (横浜国立大学)

Kuniko SUGIYAMA (Yokohama National University)

e-mail: sugiyama@ynu.ac.jp

### 1. はじめに

食品の焼き加熱には、熱源に直接食品をかざして加熱する直火焼きと、熱源によって加熱されたフライパンなどの上に食品をのせて加熱する間接焼き、オーブンを使用して焼くオーブン焼きがある。日本料理では、魚の塩焼きや、照り焼き、蒲焼きなど、直火焼きの調理が比較的多い。

直火焼きでは、主として熱源から放射される赤外線が食品の表面で吸収されて熱に変わる。様々な調理加熱機器が開発されている現在においても、食品の直火焼きでは、「炭火の強火の遠火」がよいと言われている。

炭を使用することは、着火の手間や灰の後始末等を考えると不便である。あおいで空気を送ることによって火の強さを変えることができるが、食品の状態に合わせて火力を調節するためには熟練の技術が必要とされる。

炭火を熱源として用いることの特徴を明らかにすることができれば、炭火以外の熱源で同様な効果を持つ加熱方法を工夫することができ、簡便に炭火と同様の好成績の調理品を得ることができるのではないかと考えられる。このような観点で行われた炭火や赤外線に関する研究の内容について紹介する。

## 2. 炭火および赤外線の加熱特性に関する研究

### 2.1 炭火の特性

木炭には、白炭と黒炭の2種類がある。炭をガスコンロで着火させた後、七輪に移してからの温度を測定した結果を図1に示す。白炭(ウバメガシ)は、黒炭よりも温度が高く、700~800°Cの高い温度での安定時間が長く、火持ちがよい<sup>1)</sup>。

炭の赤外線の放射特性については、炭の放射強度は黒体に近く、赤外線波長領域全般において放射率が高いことが報告されている<sup>2)</sup>(図2)。

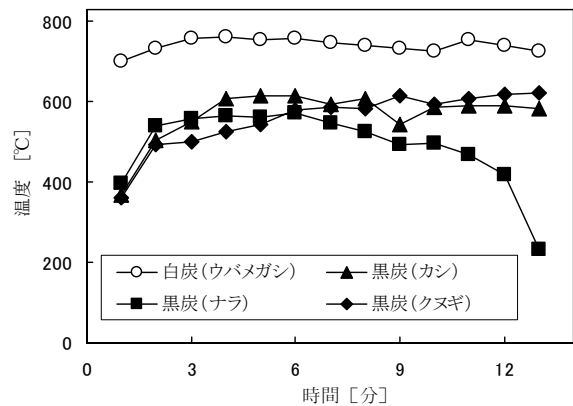


図1 炭火の表面温度

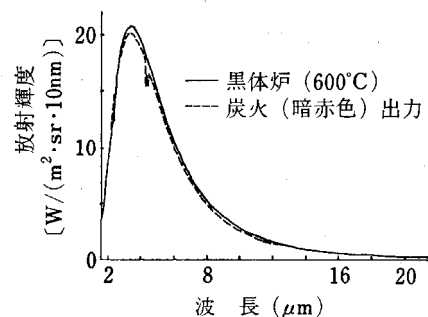


図2 炭火からの赤外線分光放射強度

### 2.2 赤外線波長の食品表面への影響<sup>3,4)</sup>

炭火は赤外線の全波長領域で放射率が高いが、食品の加熱に使用されるヒーターなどの放射体は波長によって放射率が異なる。そこで、放射特性の異なるヒーターを用い、赤外線の単色放射率の違いが食品の調理成績に与える影響について調べた。

筆者らの実験や、その他の研究者の実験結果などから、ヒーターの違いによって、特に食品表面の色づきに差が見られ、長波長領域の赤外線の放射率が高い遠赤外線ヒーターでは、短波長領域の放射率が高く、遠赤外線の放射率が低いハロゲンヒーターに比べて、食品表面の焼き色が濃くなる

ことが明らかにされていた。これは、食品表面での赤外線吸収の浸透性の違いによるものと考えられたため、モデル食品を加熱し、試料表面近傍の温度変化から、赤外線の吸収エネルギーを算出し比較検討した。

実験に使用したヒーターの単色放射率を図3に示す。N1とNKは一般に遠赤外線ヒーターと呼ばれる物である。なお、食品加熱分野では、波長が3μm以上の赤外線を遠赤外線としている。

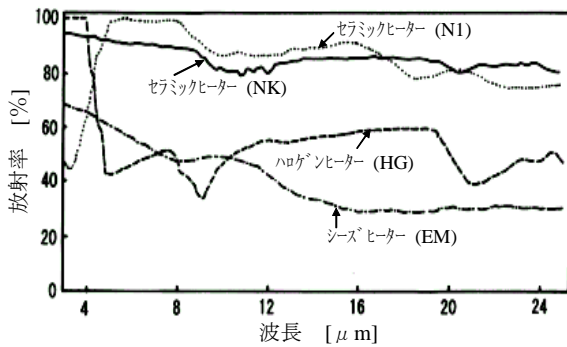


図3 ヒーターの単色放射率

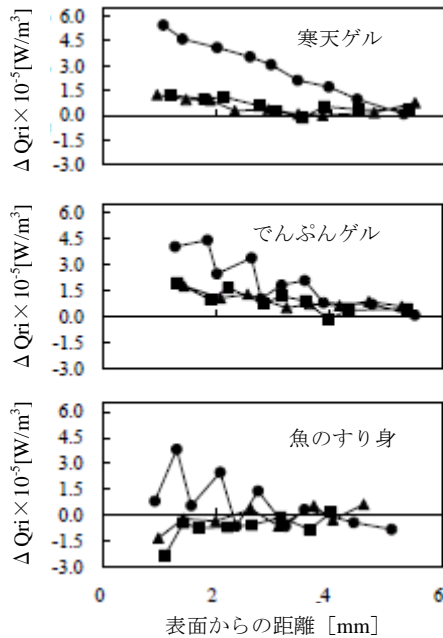


図4 加熱60秒後の赤外線吸収による内部発熱量  
●HG, ▲N1, ■NK.

ヒーターによる加熱は開放系で行った。食品モデルとして、1.2%の寒天で水を凝固させた寒天ゲル、寒天ゲルに5%のコーンスターチを加えたでんぷんゲル、魚のすり身の3種を使用した。試料

の表面近傍10mm以内の温度変化を熱電対で測定し、赤外線吸収による内部発熱量 $\Delta Q_{ri}$ を推算した。その結果を図4に示す。

この結果から、ハロゲンヒーターによる加熱においては、表面からの深さ3mm程度まで赤外線吸収による内部発熱が存在すること、遠赤外線ヒーターでは、深さ1mmにおいても赤外線吸収による内部発熱はほとんど認められないことが確認された。つまり、遠赤外線は、短波長領域の赤外線に比べ、浸透性が小さく、食品表面により近いところで熱に変わり、食品表面の温度上昇を促進し、焼き色が濃くなるという効果をもたらしていると考えられた。

### 2.3 熱流束一定下での炭火と他の熱源における食品の調理成績の比較<sup>1,5)</sup>

赤外線の全波長領域において放射率が比較的高い放射体を利用して、炭火と同等の調理成績を得られるかどうかを調べるための実験を行った。

炭は、火持ちのよい備長炭を使用した。比較熱源として、①ガス直火、②ガス火で金属製の魚焼網を加熱し、焼網からのふく射伝熱を利用する方法、③電気ヒーターからのふく射伝熱を利用する方法の3種を用いた。ガスの炎は、1500℃近くになり、非常に高温であるが放射率が低く、対流伝熱を主とする加熱方法である。②、③については、遠赤外線の放射率が高い焼網とヒーターを使用した。

熱源からの熱流束を測定するために、水冷ヒートシンク付き熱流束複合センサを使用した(図5)。

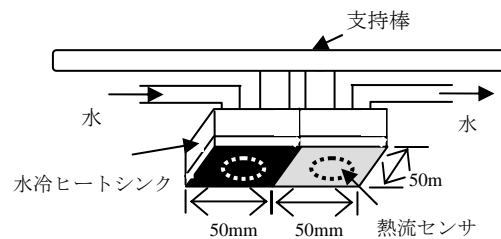


図5 熱流計

熱流計の表面は、放射率が異なる2つの面(黒色面および銀色面)からなり、それぞれの面に熱流センサが取り付けられており、2つの熱流束のデータから、ふく射伝熱による熱流束を推算した。

炭の表面から100mmの位置における熱流束は、 $1.1 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ (黒色熱流センサによる測定値)であった。他の熱源についてもガスの流量や熱源か

らの距離などを調整して熱流束が炭火と等しくなるよう加熱条件を設定した。その時の全伝熱量に対するふく射伝熱量の割合を図6に示す。この結果から、ガスの直火はふく射伝熱の割合が顕著に低いが、ガス火で焼網を加熱したり、ヒーターを使用したりすることによって、ふく射伝熱の割合は炭火と同程度まで高めることができることが確認された。

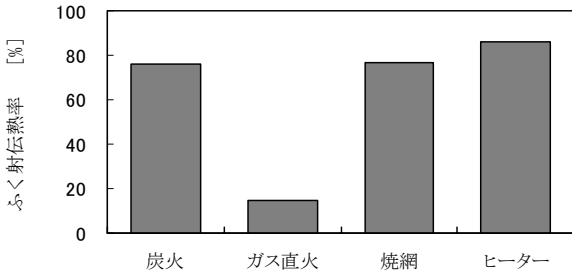


図6 ふく射伝熱量の割合

この条件で、はんぺんと鶏肉、鮭の切り身をそれぞれ2分間、10分間、13分間片面のみを加熱した。加熱終了後、試料の表面温度分布、焼き色、硬さ、水分蒸発率、表面部(1mm厚さ)の水分含有率を測定した。

表面の焼き色の測定結果を図7に示す。焼き色は、画像処理装置を使って測定したG値の分布から算出した平均値で示した。G値は値が低いほど色が濃いことを示しており、ガス直火の試料のG値が他の熱源に比べ有意に高く、焼き色が薄くなっていることがわかる。炭火、焼網、ヒーター間では有意な差は認められなかった。他の調理成績についても、ふく射伝熱の割合の高い3つの加熱方法の間では有意な差は認められず、食品の物理的な性質は同程度に仕上げるができることが確認された。

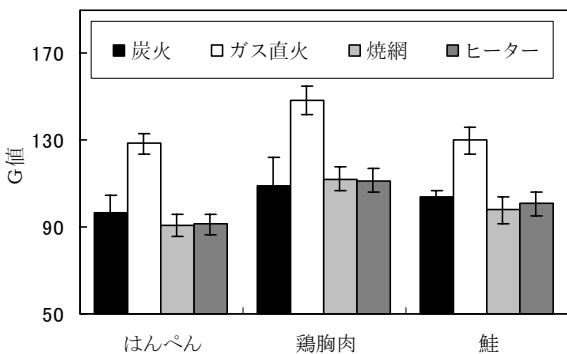


図7 食品表面の焼き色

しかし、一般には、炭火加熱したものはおいしいと評価される傾向がある。そこで、鶏肉を用いて焙焼後のおいしさを官能検査によって調べられた。なお、試食を行うために、この実験では、片面を10分加熱した後、裏返して3分間加熱した。

炭火焼きとガス火で熱した焼網で焙焼した鶏肉の官能検査の結果を図8に示す。すべての項目において有意差は認められなかったが、炭火の方が焼網加熱よりもおいと総合評価において好まれるという傾向がみられた。そこで、試料を外部から見えないように容器に封入し、においだけを3点識別試験法で比較した。その結果、においは有意に異なる判断された。このことから、ガス火で熱した焼網からのふく射伝熱で加熱する方法と炭火加熱では、食品の焼き色や水分量などに差は認められないが、異なる焙焼香を持つことが明らかになった。

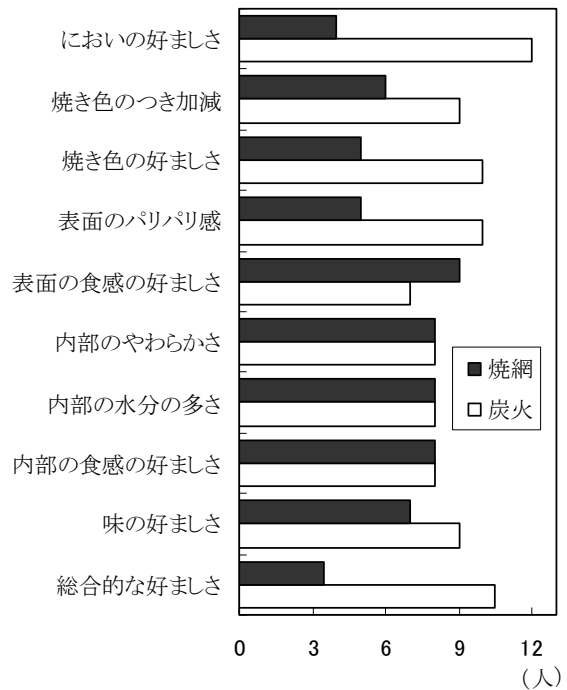


図8 鶏肉の官能検査結果

次に、ガスクロマトグラフィー質量分析によって焙焼香の分析が行われた。その結果を表1に示す。においの閾値を考慮すると、アルデヒド類およびピラジン類の割合の違いが全体のおいへ大きく影響していると考えられた。炭火では、アルデヒド類が焼網のものよりも少なく、特に豆乳の青くさいにおいの要因物質であるヘキサナールの割合

が焼き網に比べて少なく、香ばしい香りを有するピラジン類やピロール類の割合が多いということが明らかになった。

表 1 焙焼食品から発散する揮発性成分の分析(%)

成分	炭火加熱	焼網加熱
炭化水素類	5.06	3.63
アルコール類	4.64	5.59
アルデヒド類 (ヘキサナール)	31.23 (10.17)	58.81 (44.50)
ケトン類	17.51	10.19
有機酸類	5.88	2.90
エステル類	7.27	5.15
フラン類・フラン類	3.58	2.41
ピラジン類	10.66	5.36
ピリジン類	1.18	0.21
ピロール類	2.38	0.76
イオウ化合物	1.81	1.05
その他	8.09	3.84

この焙焼香の違いの原因として、燃焼ガスの違いを考え、燃焼ガス中に含まれる水素、酸素、二酸化炭素、一酸化炭素の濃度を測定した。その結果、4種のガス濃度において、いずれも炭火と焼網の間で有意差が認められ、炭火は焼網加熱に比べ一酸化炭素、二酸化炭素、水素が多く、酸素が少ないことが明らかになった。特に炭火の燃焼ガスには、還元性のガスである一酸化炭素が焼網の約4倍、水素が約3倍含まれており、これが焙焼香の生成に関与している可能性があるとしている。

### 3. おわりに

肉や魚などの焼き加熱においては、加熱初期に食品の表面を素早く加熱してたんぱく質を熱凝固させ、肉汁などのうま味成分が食品表面から流出

するのを防ぐことが重要であると考えられている。特に日本料理では、体積が大きく、厚みのある食品を加熱する事は少ないために、食品の加熱時間は比較的短く、食品表面に効率よく熱を伝え、表面に適度な焼き色を付ける加熱方法がよしとされている。

今回紹介した研究結果により、遠赤外線放射率が高い放射体で炭火と同程度の熱流束を再現することができれば、調理品の物性は炭火焼きのものと同程度に仕上げることができることが確認できた。しかし、炭火で焼いた食品の焙焼香が、炭火特有の燃焼ガスの組成に起因するものである可能性が示されたことから、完全に炭火の代替となる加熱方法を用意することは困難であると考えられる。

伝統的な加熱方法が時代を経て受け継がれている理由が明らかになり、炭火を自由自在に扱う職人の技をこれからも伝承していくことが食文化の点でも重要であると思われる。

### 参考文献

- [1] 辰口直子, 阿部可奈子, 杉山久仁子, 渋川祥子, 炭焼き加熱特性の解析 (第1報) 熱流束一定条件下での伝熱特性の比較, 日本家政学会誌, 55(2004)707.
- [2] 東京都立工業技術センター, 赤外線の利用技術, (1991)34.
- [3] 杉山久仁子, 宮崎靖子, 渋川祥子, 食品の放射加熱における波長分布の影響, 日本家政学会誌, 44(1993)923.
- [4] 杉山久仁子, 渋川祥子, 放射加熱における赤外線波長の食品表面への浸透性, 日本家政学会誌, 53(2002)323.
- [5] 石黒初紀, 阿部可奈子, 辰口直子, 蔣麗華, 久保田紀久枝, 渋川祥子, 炭焼き加熱特性の解析 (第2報) 炭焼き食品のにおいの検討, 日本家政学会誌, 56(2005)95.

## 磁場装置は配管系のスケール抑制に効く？

*Is Magnetic Field Effective to Anti-Scaling in Tubing System?*

東谷 公 (京都大学)

Ko HIGASHITANI (Kyoto University)

k\_higa@cheme.kyoto-u.ac.jp

伝熱には殆ど縁のない筆者に執筆依頼があり、断るつもりが、伝熱と直接関係なくとも良いとのことで、引き受ける羽目になった。とはいえ、全く関係のないことも書けないので、小生の研究の中で一つだけ、伝熱と少しは関係のある研究テーマである「磁場効果」について述べたい。

ボイラーの循環型配管では炭酸カルシウムが配管壁面に付着して、伝熱効率を著しく低下させることはよく知られている。その配管系の“何処かに”，いわゆる「磁場装置」なるものを取り付けると、配管系全体への炭酸カルシウムの壁面への付着量が低減するという触込みで、多くの装置が市販されている。特にヨーロッパでは水処理における脱化学薬品という概念があり、現状は知らないが、少なくとも1990年代には可成りの数の会社が磁場装置を販売していた。この現象は、もともと旧ソ連の研究者たちが言い出したものであるが、その頃の西側の研究者は磁場効果なるものを殆ど信用していなかった。筆者は、日本の大手水処理会社からの依頼で、1980年代末頃から10年間程度、半信半疑で本研究を行なった。

磁場効果は、その不思議さ故に多くの人の興味を引くのであるが、研究結果を説明するときに、「これはピップエレキバンの世界です」と言うことにしている。それは、聞く人に過大な期待を持たせても、また全く根も葉もないものと思われても困るからである。しかし結論から言うと、水溶液やコロイド溶液に対する磁場効果自体は、「存在する」と考えている。

筆者は、基礎実験として、ビーカー中での炭酸カルシウム析出実験を行った。CaCO<sub>3</sub>結晶は、CaCl<sub>2</sub>とNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の水溶液を混ぜると簡単に析出する。ただし本実験では、薬品と水は純度の高いものを用いている。両水溶液に前もって磁場を照射してから、両液を混合し、結晶を析出させた。その析出速度と、底に貯まった結晶の構造をX線回

折法により解析した。磁場強度は永久磁石でも得られる程度の強度で、最大でも0.55 T、照射時間はせいぜい60分である。

その結果、次のような結果が得られた。[1]

- 1) 磁場照射の効果は、磁場強度0.3 T以上、照射時間約10分以上でほぼ一定になり、磁場を照射しない場合と比べて、8-15%程度の変化が見られる。
- 2) 磁場照射により、CaCO<sub>3</sub>結晶の析出個数が抑制され、析出結晶のサイズが大きくなる。結果の一例を図1に示す。
- 3) 照射強度を上げると、最も安定なカルサイト結晶に混ざって、不安定なアラゴナイト針状結晶の現れる確率が高くなる。
- 4) 磁場照射してから、数日後に両液を混ぜてCaCO<sub>3</sub>結晶を析出させても、同様の磁場効果が得られる。これは、一旦、磁場を照射すると外乱が加わらない限り、照射による影響は保持されることを意味している。これは最も興味深い実験結果で「メモリー効果」と呼んでいる。

これらの実験結果は、炭酸カルシウムの析出過程に磁場効果が存在することを意味している。特にメモリー効果に関しては、上記の磁場装置を配管系の“何処かに”設置すれば効果があるということと整合性があることになる。

この他、我々は、コロイド粒子のζ電位、凝集速度、多孔質粒子へのイオン吸着等の測定、原子間力顕微鏡による荷電表面への水和イオン吸着層厚さ測定、蛍光プローブ水溶液の蛍光強度測定等の実験を行ない、全ての実験において磁場効果を確認している。ここで重要なことは、全ての実験結果間の相互関係に整合性のあることを見出していることである。[2]これらの結果が、半信半疑の筆者をして「磁場効果は存在する」と言わしめる根拠になっている。

ただ、だからと言って、市販の磁場装置が配管



系への炭酸カルシウム付着抑制に有効であることを保証しない。理由は三つある。その一つは、磁場効果はコンタミに強く影響されるため、上記の実験は極めて厳密にコントロールされた実験条件下で行った実験結果で、多くのコンタミを含むと思われるボイラーの循環水と同様には扱えないこと、第二には  $\text{CaCO}_3$  結晶の付着に関する実験は行っていないこと、第三に、上記の結果は、数多くの実験の平均値の結果であり、磁場効果が全く見られない場合もあること、があるからである。しかし、市販の装置を用いて実際に効果があったということも聞いているので、たまたま、上記の条件を乗り越えて、磁場効果が現れることのある

こともあるようである。従って、磁場装置のスケール抑制に関しては、扱う循環水が磁場効果の現れるような水質である場合には効果があるが、いずれの循環水に対しても効果が有るわけではないという結論になる。

#### 参考文献

- [1] K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, and S. Hatade: "Effects of a Magnetic Field on the Formation of  $\text{CaCO}_3$  Particles", *J. Colloid Interface Sci.*, 156, 90-95 (1993)
- [2] 東谷 公, 押谷 潤; "水溶液界面への磁場効果", *表面科学*, 20, 764-769 (1999)

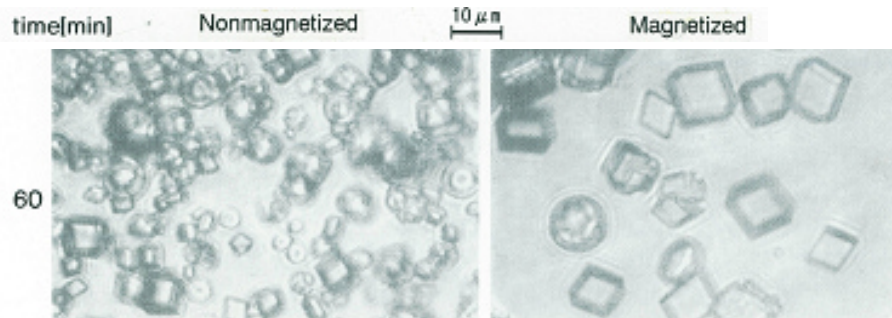


図1 両液混合 60 分後の磁場照射の有無による  $\text{CaCO}_3$  結晶の比較

## ナノ材料のフォノン熱伝導

*Phonon heat conduction in nanomaterials*

塩見 淳一郎 (東京大学)

*Junichiro SHIOMI (The University of Tokyo)*

*e-mail: shiomi@photon.t.u-tokyo.ac.jp*

### 1. はじめに

近年のナノテクノロジーの発展により、様々な新しい物質が開発されると同時に、ナノスケールでの構造や組成を制御して機能発現を促す研究が盛んに行われている。ナノ材料によって高機能化及び小型化されたデバイスを設計する際、その熱マネジメントはマクロスケールのそれにも増して重要となる。ナノテクノロジーにおける伝熱の研究は、電子や光物性に比べると数が少ないが、実機搭載を念頭においた研究が増えるに連れて、その重要さから増加傾向にある。特に、合成技術、MEMS 技術、計測技術の進歩・融合により、微小な熱流束や非平衡温度分布を計測することが可能になって来ており、マクロスケールとは異なるナノスケール特有の伝熱現象が数多く報告されている[1]。ナノスケール特有の伝熱は、様々な伝熱形態に関して幅広く議論されているが、本稿では、その中でもフォノンによる固体の熱伝導に注目する。

ナノスケール材料においては、室温でもその代表長さがフォノンの平均自由行程と同程度またはそれより短くなり得る。これは、フォノン粒子の輸送を気体分子運動論的に取り扱ったフォノンガスの描像で考えると、粒子のクヌッセン数が大きいことに相当する。従って、固体内部のフォノンは弾道的に輸送され、非拡散的な熱伝導が生じる。同時に、界面での粒子の散乱・反射が全体の輸送物性に強く影響する。このような特性を知ること、デバイスの熱マネジメント上重要なだけでなく、界面を用いて熱流を制御することにも繋がり、新しい伝熱デバイスの開発への発展が期待できる。本稿では、これらのナノスケール材料の熱伝導に関して、カーボンナノチューブ(CNT)を例に挙げながら紹介する。

### 2. 準弾道的フォノン熱伝導

#### 2.1 フォノンの平均自由行程

通常マクロスケールでは、室温のフォノンは拡散的に輸送されると考えられ、熱伝導はフーリエの法則によって記述される。ここで、フォノンは格子振動を量子化したものであり、ボーズ・アインシュタイン統計に従って分布し、それぞれの群速度で輸送される。フォノンの平均自由行程( $l_m$ )やその温度依存性は、フォノンの群速度、非調和相互作用、系の次元等に依存し、材料によって大きく異なる。例えば、CNTは炭素の強固なsp<sup>2</sup>結合と擬一次元構造によって、室温で数マイクロメートルにも及ぶ広い範囲でのサイズ効果が予測されている。

系の代表長さ( $L$ )がフォノンの(潜在的な)平均自由行程よりも十分に短い(クヌッセン数  $Kn=l_m/L$  が大きい)場合は、フォノンは弾道的に輸送される。この領域では、熱コンダクタンス ( $\kappa=q/\Delta T$ ) は長さに依存せず一定であり、フーリエの法則は適応できない。一方、クヌッセン数が小さいときは、熱伝導はフーリエの法則に従い、熱コンダクタンスはサイズに反比例して減少する。

これらの「弾道」と「拡散」極限の間では、弾道的に伝播するフォノンと拡散的に伝播するフォノンが混在した「準弾道フォノン熱伝導」が生じる。この場合、熱コンダクタンスと熱伝導率のいずれもサイズに対して一定とはならない。CNTを始めとする多くのナノ材料が、実用上この領域に位置し、そのサイズ効果を知ることが応用上重要である。次節以降ではCNTを例に準弾道的フォノン熱伝導を解説する。

#### 2.2 カーボンナノチューブの熱伝導

炭素は異なる次元の結晶構造を取り得るが、その中でもCNTは擬一次元構造を有することで、理想的な輸送媒体として注目されている(図1)。特

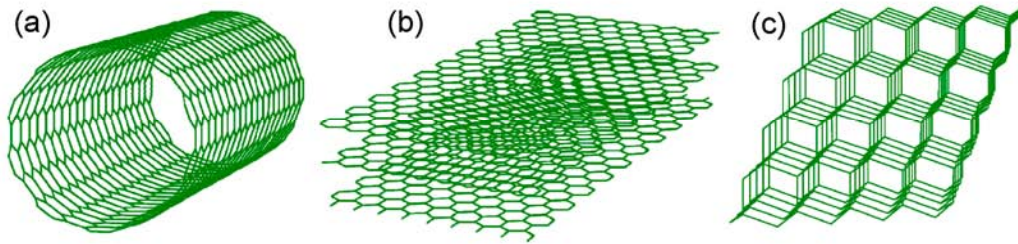


図1 異なる次元の炭素結晶構造. (a)カーボンナノチューブ, (b)グラファイト, (c)ダイヤモンド.

に単層 CNT[2]は, その構造によって金属や半導体になるなどの電気的特性, 極めて強靱な機械的特性, 優れた熱伝導特性より, ナノテクノロジーの中心的素材として期待されている[3]. 最近の CNT に関する研究の発展により, 様々な基礎的性質が明らかにされると同時に, 多方面での実用化への期待が高まっている. CNT の伝熱特性の研究は, 電子デバイス等において許容電力を決定する上で重要であり, ナノテクノロジーの発展に欠かせない. また, 実験によって CNT の高い熱伝導率が計測されており[4-7], ナノスケール熱デバイスや, 膜や複合材にすることで高性能バルク熱デバイスとしての応用も可能となる. 特に, 超高アスペクト比材料として, 強い異方性を有する熱デバイスの設計が期待できる.

CNT の熱伝導は, 金属性の CNT においてもフェルミ準位近傍での電子の状態密度が小さいために熱伝導への伝導電子の寄与は小さく, フォノンの寄与が支配的である[8]. Maruyama[9,10]が非平衡分子動力学 (MD) シミュレーションによって単層 CNT 熱伝導の長さ依存性を示して以来, フォノン輸送方程式[11]やエネルギー透過モデル[12]等を用いて, 熱伝導の長さ依存性が議論されている.

### 2.3 準弾道的熱伝導の分子動力学解析

実験による定量的な検証が困難である準弾道的熱伝導特性[13,14]に関しては, 理論又はシミュレーション的手法が有用であり, MD 法, ボルツマン輸送方程式, 非平衡グリーン関数法などの様々な手法が適応されている. しかし, いずれの手法も一長一短であり, 多粒子 (フォノン) 系の量子効果, 分散関係, 非調和相互作用の全てを網羅する手法は未だなく, 目的に応じて使い分けられている. より第一原理的なアプローチも考えられる

が, 現実的な時空間スケールでのシミュレーションは未だに困難であるのが現状である.

ここでは, 古典近似ではあるが多粒子系の非線形衝突の取り扱いが容易である MD 法による解析結果を紹介する. 計算機の進歩により, ボンドオーダーポテンシャル[15]によって記述した炭素共有結合物質に対して数十万原子, 数十ナノ秒の MD 計算が比較的容易に実行できるようになっている. これにより, 1 マイクロメートルを超える長さの CNT の熱伝導率の非平衡 MD シミュレーション結果と実験結果を直接比較することが可能である.

MD 計算によって, 弾道的フォノン熱伝導から拡散的フォノン熱伝導への連続的な遷移を計算した結果を図2に示す[16]. CNT 長さ  $L$  の小さい領域では, 熱コンダクタンスの勾配は緩く, CNT は凡そ弾道的フォノン熱伝導を示していることが分か

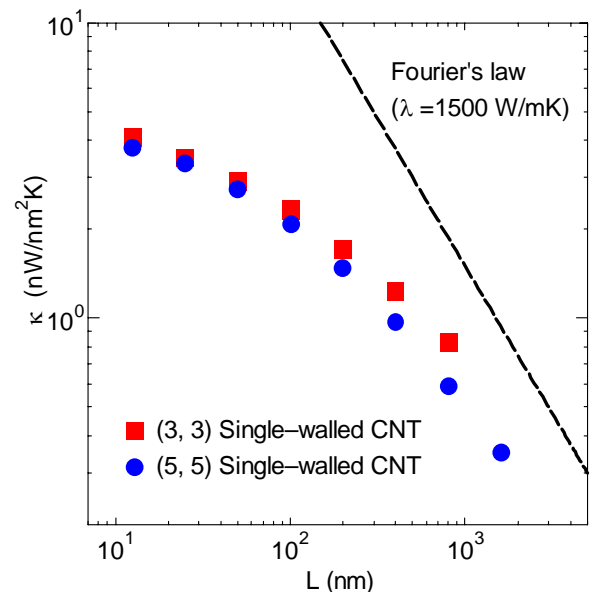


図2 カーボンナノチューブの熱コンダクタンスの長さ依存性. 点線は熱伝導率を 1500 W/mK とした際のフーリエの法則.

る。一方、 $L$  の増加に伴い熱伝導の拡散性が増すため、熱コンダクタンスの  $L$  に対する勾配が増大し、フーリエの法則に近づく。本シミュレーションの結果からは、マイクロメートルを超えてもフーリエの法則に従う拡散限界には漸近せず、幅広い長さ領域での準弾道フォノン熱輸送が観察されている。

低次元系においては、熱流束の自己相関関数が長時間テールを有することが知られており、それによって  $L \rightarrow \infty$  においても完全な拡散輸送（フーリエの法則）にならないというような、特異な熱伝導現象が議論されている[17,18]。現実系との関連が示されれば面白い研究対象であり、この点においても、CNT は理想意的な擬一次元系として注目を集めている。

### 3. 非定常熱伝導

#### 3.1 ナノスケール非定常熱伝導

2 節で述べた準弾道的フォノン熱伝導は、非定常熱伝導特性にも大きく影響する。このような非フーリエ熱伝導は、近年のナノテクノロジーへの関心が高まるにつれて、ナノスケールで重要な熱伝導現象として見直されている。例えば、フェム

ト秒レーザーで局所的にパルス加熱を行うような実験では、非フーリエ熱伝導の緩和時間が無視できなく、系全体の伝熱特性に影響を与え得る。

#### 3.2 非フーリエ熱伝導

非フーリエ熱伝導の研究の歴史は古く、これまでに多くの研究がなされている[19]。非フーリエ熱伝導の詳細については、荒木信幸先生の解説[20]を参照されたい。以下に簡単な概略を述べる。非平衡熱伝導問題にフーリエの法則を適用した場合、その解は伝播速度が無限大に発散する非現実的な熱伝導を示唆する。この改善策として Cattaneo[21]と Vernotte[22]は熱伝導を次の波動方程式で表記することを提唱した。

$$\tau \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (1)$$

ここで、熱は波動的に伝播し、その振幅は緩和時間  $1/\tau$  に従って指数関数的に減衰する。 $\alpha$  は温度拡散係数である。

また、複数の緩和時間スケールに対応させるため、熱流束と温度を異なる緩和時間  $\tau_q$  と  $\tau_\theta$  で展開することによって、さらに自由度を高めたモデルも提案されている[23,24]。

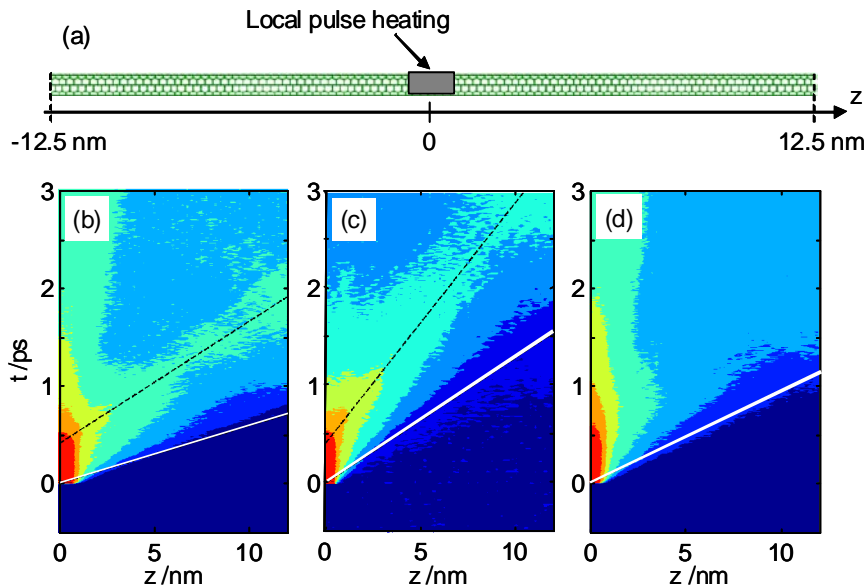


図 3 分子動力学シミュレーションにおいてカーボンナノチューブを局所パルス加熱した際の時空間等エネルギー線。格子振動エネルギーを軸方向、半径方向、周方向に分解して表示している。実線と破線はそれぞれの方向への音響フォノンと熱波の伝播の軌跡。



$$\tau_q \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \nabla^2 T + \tau_\theta \frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 T \right) \quad (2)$$

上式は、巨視的な視点より現象論的に導出されたものであるが、フォノンガスの第二音速に関する議論に通じるところが面白い[25]。つまり、フォノンの線形化ボルツマン方程式からも上式を導くことが可能であり、その場合上述の緩和時間はそれぞれ、Normal と Umklapp フォノン散乱の緩和時間に対応する[26]。

### 3.3 カーボンナノチューブの非フーリエ熱伝導

非定常 MD 計算によって、フェムトからピコ秒程度のパルス熱を単層 CNT に局所的に加えた系を再現し、その格子振動の時空間系列から波のように伝導する熱を観察した結果を図3に示す[27]。この場合、熱波の伝播は双曲型方程式型の波動方程式では記述できず、局所的な拡散効果を取り入れた(2)式の2スケールモデルによってはじめて記述される。また、CNT の非フーリエ熱伝導特性には強い方向依存性があることが分かる。さらに、MD シミュレーションから得られた計算結果を、ウェーブレット変換を用いて解析し、モードごとの過渡的な緩和を観察することにより、音響フォノンだけではなく、光学フォノンの熱波への寄与が確認されている[27]。

## 4. 熱伝導への界面の影響

### 4.1 界面の内部熱伝導への影響

高クヌッセン数フォノン伝導体は、フォノン輸送の弾道性によって優れた内部熱伝導を有すると同時に、界面において境界散乱の影響を強く受ける。従って、デバイス応用を念頭においた場合、2

節で述べた理想的な熱伝導特性がデバイス環境においても持続するかを知ることが重要となる。特に、単層 CNT のような擬 1 次元材料は、原子スケールで滑らかな理想的な界面を有することで、熱抵抗の要因となる界面でのフォノン散乱が少なく済むとされるが、同時に単層 CNT 中の全ての原子が界面に晒されていることより、散乱過程あたりの熱伝導へのインパクトが大きいとも考えられる。最近の CNT と周囲物質の界面に着目した MD シミュレーションでは、熱伝導の阻害効果が確認されている。

また、実際に合成される CNT を考えた場合、欠陥や不純物の影響が無視できなく、これらの影響も考える必要がある。質量欠陥を観察した MD シミュレーションでは、不純物のスケールによって熱伝導の阻害効果が大きく異なることが明らかになっており、ナノチューブ特有の物理が見え隠れする[28,29]。

### 4.2 界面熱コンダクタンス

ナノ材料を樹脂や液体の添加物として用いてナノ複合材料を合成し、伝熱促進を目指す応用研究が盛んに行われている。この場合、全体の伝熱特性は、内部の熱伝導よりもナノ材料と母材との界面における界面熱コンダクタンス (Thermal Boundary Conductance, TBC) によって決定される。

TBC に関する代表的な理論モデルとしては、長波長フォノンの界面での鏡面反射及び周波数が保存した弾性透過のみを取り扱った “Acoustic Mismatch Model” と、フォノンの方向性を完全に無視して拡散的な界面を経験的に取り扱った “Diffusive Mismatch Model” があるが[1]、いずれも極端かつ限定的なモデルであるため、代表的な

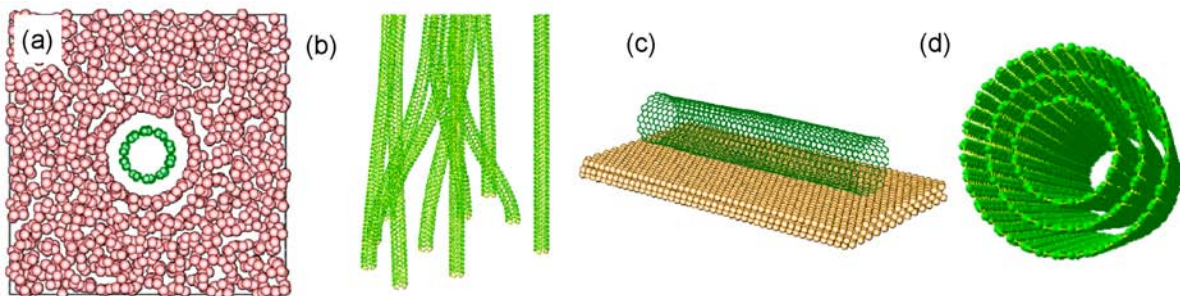


図4 カーボンナノチューブ (CNT) の実用上想定される様々な界面。(a)CNT 複合材, (b)CNT の束, (c)基板上的 CNT, (d)多層 CNT.

界面における TBC のメカニズムの検証が大きな研究課題の一つである。

CNT 複合材を対象にした研究では Rensselaer Polytechnic Institute の研究グループの研究成果が著しい[30,31]。Shenogin らはオクタンに添加した単層 CNT に関して TBC の長さ依存性を議論し、周囲材料が液体であるにも関わらず、吸着層の形成により、CNT と周囲材料の間に周波数を保存した弾性的な界面エネルギー輸送経路が存在することを明らかにした。一方、図 4(a)に示すような周囲材料を Lennard-Jones ポテンシャルによって簡単に表現することによって、周囲物質の相や CNT 長の影響を幅広く検証した結果、弾性的な界面エネルギー輸送経路によって効率的にエネルギーが伝導されるものの、CNT 内部の格子振動スペクトルの緩和が遅いことがボトルネックとなり、TBC が制限され得ることが報告されている[32]。

上述の複合材を意識した研究以外にも、図 4(b-d)に示すような CNT が束を形成する際の CNT 間の相互作用、CNT とデバイス基板との相互作用、又は層構造の影響など、デバイス環境において出現する様々な界面を取り上げて幅広く研究が行われている。

## 5. フォノンエンジニアリング

前節で述べたように、フォノンのクヌッセン数が高い材料は、優れた内部伝導を有すると同時に、界面での境界散乱の影響を強く受ける。これは、熱伝導を促進するためには障害と成り得る一方、逆に界面を利用してフォノン輸送を制御することも可能となる。

ナノ材料の合成技術が発展するにつれて、ナノスケール構造や組成を制御することで伝導物性を制御する試みが、盛んに研究されている。例えば、フォノン伝導と長さスケールが同等の界面や欠陥構造を形成することによって、フォノン散乱を促して効率良く熱伝導率を低減させることができる。さらに、周波数や波数に依存したフォノン散乱の制御が実現されれば、いわゆる「フォノンニックデバイス」への展開も考えられる。

このようなコンセプトが最も活かされているのが熱電変換素子の開発であろう。従来分子量の大きい半導体合金にドーピングすることによって様々な熱電材料が開発されてきたが、近年、ナノスケールの低次元構造体の合成が可能になるに伴って、2

次元量子井戸や量子ドットの超格子構造[33,34]による著しい性能指数の向上が報告されている。特に、従来、電気伝導率と熱伝導率はその密接な連動性によって別々に制御することが困難であったが、ナノスケールでの電子及び熱輸送の長さスケールの違いを利用して、熱伝導と電気伝導を独立して制御できる可能性が指摘されている[35]。

さらに、最近では超格子構造を形成しなくても、界面をランダムに配置することで、熱伝導率が効率よく低減されることが明らかになっている[36,37]。これは、合成プロセスのスケールアップが困難であるとされていた超格子構造に対して、バルク合成が可能になることを意味しており、工業的に有用な知見である。

また、同様のコンセプトで、無電解エッチングによって合成したシリコンナノワイヤーの表面粗さによって、フォノン境界散乱を増強して熱伝導を（電気伝導と独立に）低減することに成功している[38]。その他にも、かご状の分子に内包させた原子の局所振動（ラットリングフォノン）によって、フォノン散乱を促して熱伝導を低減する研究など、幅広い物質やアプローチを対象に研究が進んでいる。

## 6. おわりに

ナノテクノロジー分野の発展に伴って、ナノ構造や次元性を利用した新しい熱伝導機能性の発現に期待が高まっている。ただし、これらの材料の応用に向けては、現実系における界面や欠陥の影響を詳しく調べるのが重要な課題となる。一方、フォノン輸送への界面の強い影響を利用した様々なフォノンエンジニアリング応用への展開も考えられる。特に、特定の周波数や波数のフォノンを選択的に制御する技術が発達すれば、フォノンニックデバイスの開発も視野に入る。このように、ナノスケールでの合成、加工、計測技術が一体となった分子熱工学の今後の発展が期待される。

## 謝辞

本稿にて紹介したカーボンナノチューブ熱伝導の分子動力学シミュレーションに関する研究は、丸山茂夫教授（東京大学）のご助言のもとに行ったものである。また、準弾道フォノン熱伝導に関する内容は山本貴博助教（東京大学）、渡辺一之教授（東京理科大学）とのご議論を基にしている。



ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- [1] Cheng, G., *Nanoscale Energy Transport and Conversion*, Oxford Press (2005).
- [2] Iijima, S. and Ichihashi, T., *Nature*, **363**, 603 (1993).
- [3] Saito, R., et al., *Physical Properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London, (1998).
- [4] Kim, P., et al., *Phys. Rev. Lett.*, **87** (2001) 215502.
- [5] Fujii, M., et al., *Phys. Rev. Lett.*, **95** (2005) 065502.
- [6] Yu, C., et al., *Nano Lett.*, **5** (2005) 1842.
- [7] Pop, E., et al., *Nano Lett.*, **6** (2006) 96.
- [8] Yamamoto, T., et al., *Phys. Rev. Lett.*, **92** (2004) 075502.
- [9] Maruyama, S., *Physica B*, **323** (2002) 193.
- [10] Maruyama, S., *Nanoscale Microscale Thermophys. Eng.*, **7** (2003) 41.
- [11] Mingo, N. and Broido, D. A., *Nano Lett.*, **5** (2005) 1221.
- [12] Wang, J. and Wang, J.-S., *Appl. Phys. Lett.*, **88** (2006) 111909.
- [13] Wang, Z. F., et al., *Appl. Phys. Lett.*, **91** (2007) 053109.
- [14] Chang, C. W., et al., *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 075903.
- [15] Brenner, D. W., *Phys. Rev. B*, **42** (1990) 9458.
- [16] Shiomi, J. and Maruyama, S., *Jpn. J. Appl. Phys.* **47** (2008) 2005.
- [17] Livi, R. and Lepri, S., *Nature* **421** (2003) 327.
- [18] Lepri, S., et al., *Phys. Rep.*, **377** (2003) 1.
- [19] Joseph, D. D. and Preziosi, L., *Rev. Mod. Phys.* **62** (1990) 375.
- [20] 荒木信幸, 伝熱, **43-178** (2004) 2.
- [21] Cattaneo, C., *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, **247** (1958) 431.
- [22] Vernotte, P., *C. R. Hebd. Seances Acad. Sci.*, **246** (1958) 3154.
- [23] Tzou, D. Y., *J. Heat Transfer*, **117** (1995) 8.
- [24] Tang, D. W. and Araki, N., *Int. J. Heat Mass Transfer* **42** (1999) 855.
- [25] Prohofsky, E. W. and Krumhansl, J. A., *Phys. Rev.* **133** (1964) A1403.
- [26] Guyer, R. A. and Krumhansl, J. A., *Phys. Rev.* **148** (1966) 766.
- [27] Shiomi, J. and Maruyama, S., *Phys. Rev. B* **73** (2006) 205420.
- [28] Maruyama, S., et al., *J. Therm. Sci. Tech.* **1** (2006) 138.
- [29] Shiomi, J. and Maruyama, S., *Phys. Rev. B* **74** (2006) 155401.
- [30] Huxtable, S. T., et al., *Nature Mater.* **2** (2003) 731.
- [31] Shenogin, S., et al., *J. Appl. Phys.* **95** (2004) 8136.
- [32] Carlborg, C. F., et al., *Phys. Rev. B* **78** (2008) 205406.
- [33] Venkatasubramanian, R., et al., *Nature* **413** (2001) 597.
- [34] Harman, T. C., et al., *Science* **297** (2002) 2229.
- [35] Dresselhaus, M. S., et al., *Adv. Mater.* **19** (2007) 1043.
- [36] Yang, R. G. and Chen, G., *Phys. Rev. B* **69** (2004) 195316.
- [37] Poudel, B., et al., *Science* **320** (2008) 634.
- [38] Hochbaum, A. I., et al., *Nature* **451** (2008) 163.

## 家庭用冷蔵庫 断熱材技術の変遷

*Transition of domestic refrigerator thermal insulation technology*

上門 一登 (パナソニック株)

Kazutaka UEKADO (Panasonic Corporation)

e-mail: uekado.kazutaka@jp.panasonic.com

### 1. はじめに



図1 冷蔵庫外観

家庭用冷蔵庫の基本構成は、①コンプレッサーや熱交換器を中心とする冷却システムと、②作り出した低温状態を効率的に保温するための断熱筐体から成り立っている。

冷蔵庫の断熱筐体は、冷蔵庫の冷却・保鮮という本質機能と密接に関係しているだけでなく、昨今の地球温暖化問題対応の省エネニーズに応えるべく、断熱性能を高めるこ

とで、消費電力量が少ない冷蔵庫を提供し続けてきた。

このため、冷蔵庫筐体の断熱性能を支える断熱材料に対して、その高性能化を追求し続けることは永遠の技術テーマであり、熱侵入量を下げた省エネや、外形サイズを変えずに壁厚を薄くしての庫内容量アップに繋がることを目的に研究開発が積み重ねられてきた。

本報では過去からの断熱材料の変遷を述べ、最近の技術動向について紹介したい。

### 2. 断熱材料技術の変遷

過去を振り返ってみると、1960年代の冷蔵庫は、グラスウールが断熱材として主流であった。断熱壁厚が8cm程度もあり、冷蔵温度帯で保冷する小型1ドアの冷蔵庫向け断熱材という位置付けであった。

1970年に入り、マスプロに対応するため、モノづくりで利点の多い硬質ウレタンフォーム(第2世代の断熱材)に替わり、冷凍性能を有する2ドア冷凍冷蔵庫の登場に結びつくことになった。断熱材としての性能は2倍以上、製品の壁厚は1/2という革新は、以降の断熱技術の進化につながる

スタートラインとなった。

そして、その後の石油ショックや冷蔵庫の大型化・大容量化ニーズへの対応から、より高性能な硬質ウレタンフォームが強く求められるようになった。硬質ウレタンフォームの気泡微細化、独立気泡率のアップ、気泡骨格を介しての固体熱伝導を小さくするためのウレタン樹脂の使用量削減、さらには発泡ガス成分の最適化など、年々改善を積み重ね、草創期の硬質ウレタンフォームに比べて、30%以上の高性能化を実現していった。

こうして改良を進めていた硬質ウレタンフォームだが、1990年前後から、フロンガス(CFC)によるオゾン層破壊や地球温暖化など環境問題が表面化し、冷蔵庫は身近な「環境問題の象徴」として注視されるようになった。その当時はコンプレッサーのフロン冷媒に注目が集まっていたが、実はウレタンフォームに使用されていた発泡剤のフロン使用量の方がはるかに多く、重要な問題となっていた。

そこで弊社では、1993年、HCFCなどの代替フロンを飛び越えて、硬質ウレタンフォーム用発泡剤として、いちはやい炭化水素系発泡剤の適用によるノンフロン化を決定した。工場での防爆対応の設備設計や発泡工法の開発などの技術リスクは大きかったが、1994年にはフロンを全く使わないオゾン破壊係数ゼロの硬質ウレタンフォームへの切替に成功した[1]。環境的に問題視されていた冷蔵庫の断熱材が「環境対応材料」として逆に認知され始めることになった。

しかしながら、炭化水素系発泡剤を使用した断熱材は発泡ガスの気体熱伝導率が大きいため10%も断熱性能が劣り、断熱壁を厚くする対策が必要であった。将来に向けて、高断熱化の可能性が低いという致命的な課題を残していた。

そして、これを補完し解決する手段として、スポットを浴び始めたのが真空断熱材(第3世代の

断熱材)である。パーライト粉末などを芯材として適用した真空断熱材の研究は1980年頃から進められていたが、地球環境問題への関心の高まりと共に一気に開発が加速した。

もともと真空断熱技術は、19世紀末に発明された真空魔法瓶が代表的な応用製品である。冷蔵庫の筐体を魔法瓶のような真空容器にするというアイデアは古くからあったが、魔法瓶の大型化や脱円筒(平板)のモノづくり、大気圧縮に耐えるための桁外れの重量アップなどから、真空魔法瓶をイメージする冷蔵庫筐体の実現性は否定され続けられてきた。

1980年頃に挑戦したアイデアは、冷蔵庫筐体全体を真空容器にするのではなく、完成した真空断熱容器部品を冷蔵庫断熱壁に埋め込むという発想のものであった。1号機の試作品は、手元にあった蛍光灯の直管をウレタン壁に埋設して評価するという荒唐無稽なものであった。勿論、性能は全く出なかったが、それならば、ガラス管の代わりに熱の伝わりにくい極薄のプラスチックラミネートフィルムを外殻材に使い、大気圧縮で潰れないように空間に空隙率の高い多孔質材料を充填して真空包装してはどうか、という基本形が生まれた[2]。

それから20年が経過し、部分的な断熱強化に使われていた真空断熱材は、2002年にダントツの省エネでかつ冷媒にもフロンを使わない環境型冷凍冷蔵庫の登場に対応して、標準的な断熱材として使われるに至った。真空断熱材の断熱性能は、後で述べるような技術手段を使って大幅な改善を達成し、硬質ウレタンフォームの約10倍の性能、ウレタンと複合化した筐体としても、約2倍の断熱性能にまで高めることができた[3]。

### 3. 真空断熱材とは

冷蔵庫に使われている図2の真空断熱材の構造は、金属箔ラミネートフィルムから成る外被材と多孔質構造の芯材とから成り、内部を真空にして密閉封止したものである(図3、図4)。

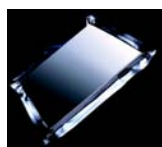


図2 真空断熱材の外観

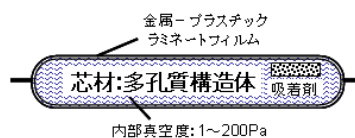


図3 真空断熱材の概略構造(断面図)



図4 真空包装前の芯材と外被材

芯材は大気圧縮からその形状を保持するスペーサとしての機能を有するものであり、図5のような発泡体、粉末、および繊維体などが利用できる。

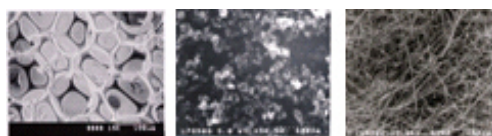


図5 適用芯材(発泡体・粉末・繊維)の顕微鏡写真

大気圧縮を受けた状態でも、いずれも空隙率が90%を超える多孔質体であり、断熱性能はこの芯材の特性によってほぼ決まる。芯材材料の条件としては、①安価な汎用材料であり、②内部ガス圧力が10Pa程度の工業的に取り扱いやすい低圧領域で最も高い断熱性能が得られることを前提に、繊維体であるグラスウールを選定した。

繊維体からなる断熱材は、繊維径が細いほど断熱性能は高まるが、一方で繊維化の製造工程でのエネルギー消費量が増大し、環境面やコスト面にも不利になるため、汎用材料の中で3 $\mu$ m程度の径のグラスウールを適用した。

この結果、開発初期のシリカ系の微粉末や発泡体を使った真空断熱材では、0.007w/mK程度の性能であったものが、グラスウール集合体を芯材とした2000年に商品化した「S-Vacua」では、0.005w/mKの性能まで改善できた。

### 4. 真空断熱材の高性能化の取組み

2002年までに適用していた前記「S-Vacua」の芯材は、ガラス繊維を懸濁液化させ、紙すきの要領で懸濁液を抄紙、脱水、乾燥してボード状に成形していた。このため、図6の模式図に示すように、成形した芯材の繊維方向状態は不規則となり、繊維自身が伝熱経路となるなど、繊維体の特徴である高い接触熱抵抗を十分に活用できていたと言えなかった。そこで、図7のように、伝熱方向

に対して垂直にガラス繊維を配列させ、高度な積層構造を実現するための芯材成形プロセスの開発を行なった。

この芯材成形プロセスは、あらかじめ、繊維を積層配列させたガラス繊維を熱圧縮で固定化するものである。これらの取り組みによって、汎用的な工業材料を適用しながらも、繊維と繊維をより点接触で配設することで、伝熱方向への熱抵抗を増大させ、固体成分の熱伝導低減を実現した。この結果で、断熱性能は約2倍に向上し、0.002w/mK（当社測定器による）レベルにまで向上させることができた。この結果、断熱性能において飛躍的な高度化が達成できた。

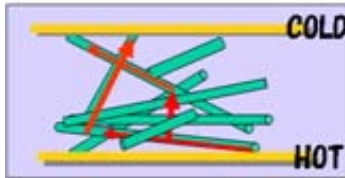
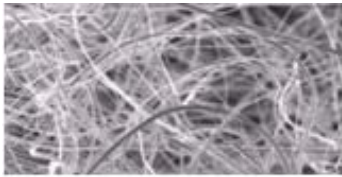


図6 従来芯材(繊維)の性状写真と固体成分の熱伝導模式

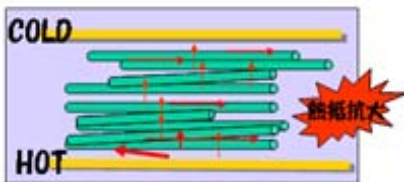
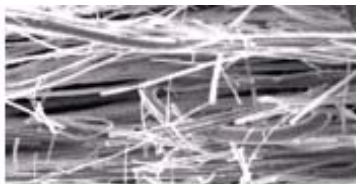


図7 開発芯材(繊維)の性状写真と固体成分の熱伝導模式

一方、冷蔵庫への適用は、真空断熱材が構造体としての剛性がないため、硬質ウレタンフォームとの複合化で実用化した。図8に示すように、外

箱の鉄板裏面に真空断熱材をホットメルトで粘着し、その後、内箱との空間に硬質ウレタンフォームを充填し一体発泡することにより、剛性に問題のない断熱筐体を形成している。

なお、真空断熱材には予め必要に応じて、冷却システムの配管設置用に溝加工を施し、構造的な使いこなしに対応している。

このような構成により、2002年度の商品化冷蔵庫においては、真空断熱材採用や他の要素技術適用により、前年度より約40%の省エネ化が図れた。

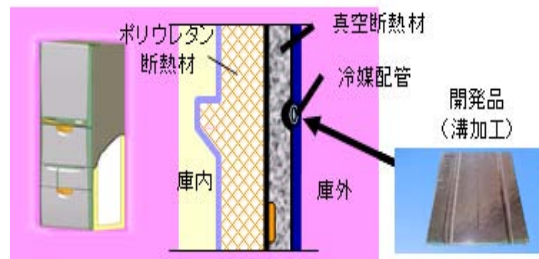


図8 冷蔵庫への適用例

### 5. 今後の応用展開

断熱材技術は、冷蔵庫用途のみならず、裾野の広い基盤技術である。その後、真空断熱材は、自動販売機などの冷凍システム機器、さらには住宅設備機器の浴槽や床暖房パネル、CO<sub>2</sub>ヒートポンプ給湯機に採用されるに至った。

可能性の一つに住宅断熱材そのものへの展開が考えられる。例えば、真空断熱材の薄さを利用することで比較的容易に、新築住宅の高断熱化や既築住宅の断熱改修の実現などが考えられる。

具体的なアプローチとして、①NEDOの「エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー使用合理化技術実証研究/高性能、高機能真空断熱材の実証研究」への参画による真空断熱材の高性能・高機能化や、②IBEC、国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所による自立循環型住宅の研究・開発プロジェクトに参画し、その可能性を評価してきた。

この中で、既築住宅を使つての断熱改修施工について少し述べる。

図9に施工状況を示したが、断熱改修においては、8mmの厚みの真空断熱材で十分な断熱性能が期待できることから、内装側に真空断熱材を貼り詰め、セッコウボードで覆い壁紙を貼ることでネ



短工期で断熱改修が可能となる可能性を見出した。



図9 断熱改修の施工状況

自立循環型住宅プロでは、LDKの一室のみを断熱改修を行なったが、施工したLDKでは、断熱性能は2倍にまで高断熱化できることが実証できた[4][5]。

今後、地球温暖化抑制の観点から、保温や保冷という熱エネルギーの効率的利用に注目が集まり、超保温や超保冷という新技術の登場を予測するが、長年にわたって冷蔵庫で培ってきた断熱材技術が少しでも役立つことを期待している。まだまだ適用分野の狭い一点特化の技術であるが、本質機能である断熱性能の改善・高度化と、広範囲の商品

に応用できる使いこなし技術の進化で、断熱材技術の非連続の進化が継続できるように挑戦していきたい。

#### 参考文献

- [1] 中元英夫他, オゾン層破壊ゼロの冷蔵庫用発泡断熱材, National Technical Report, vol.41 No.3 Jun.p63-68,1995.
- [2] 米野寛他, 粉末真空断熱材とその冷蔵庫への応用, National Technical Report, vol.30 No.5 Oct.p150-160,1984.
- [3] 天良智尚, 高性能真空断熱材の開発, 冷凍 vol.78 No.906 p233-236,2003.
- [4] 山田宗登他, 木造戸建て住宅の省エネルギー改修に関する研究その7, 日本建築学会 2008年度大会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ, No.4111
- [5] 服部哲幸他, 木造戸建て住宅の省エネルギー改修に関する研究その8, 日本建築学会 2008年度大会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ, No.4112

## ふく射と化粧

### Radiation Transfer for Cosmetics

山田 純 (芝浦工業大学)

Jun YAMADA (Shibaura Institute of Technology)

e-mail: jyamada@sic.shibaura-it.ac.jp

#### 1. はじめに

国際会議があってポーランドのクラコフ (Krakow) という町に来ている。いつもの生活から少し離れた、ちょっと非現実的な雰囲気漂う町で「生活」にかかる原稿を書くはめに陥っている。日頃の計画性のなさが招いた罰であろうか。

さて、私の専門は学生のころから「ふく射」である。これまで、すくなくとも生活を意識したテーマを扱ってきた。そのせいで、今回、本特集号で解説執筆の機会を与えていただいたのだと思う。ただ、最近では、「伝熱」とは言いにくい化粧をテーマとした研究をしている。ここでは、そのお話をさせていただきたいと思う。身の周りに関連して

いるので、「生活」というキーワードにはあうが、「伝熱」かどうかは不安である。ただし、研究の手法はまぎれもなく「伝熱」である、・・・と思っている。

図1は、現在進めている「化粧」に関する研究プロジェクトの概略を示している。このプロジェクトの最終目標は、肌の美しさを決める物理量を明らかにし、それを再現できる微粒子を開発することにある。一見、簡単に聞こえるが、この研究の最大の問題は、「美しさ」が何かわからないことにある。物理量として表現できるかどうかさえわからない。そのため、開発すべき微粒子の特性を定められない、というように研究そのものが否定

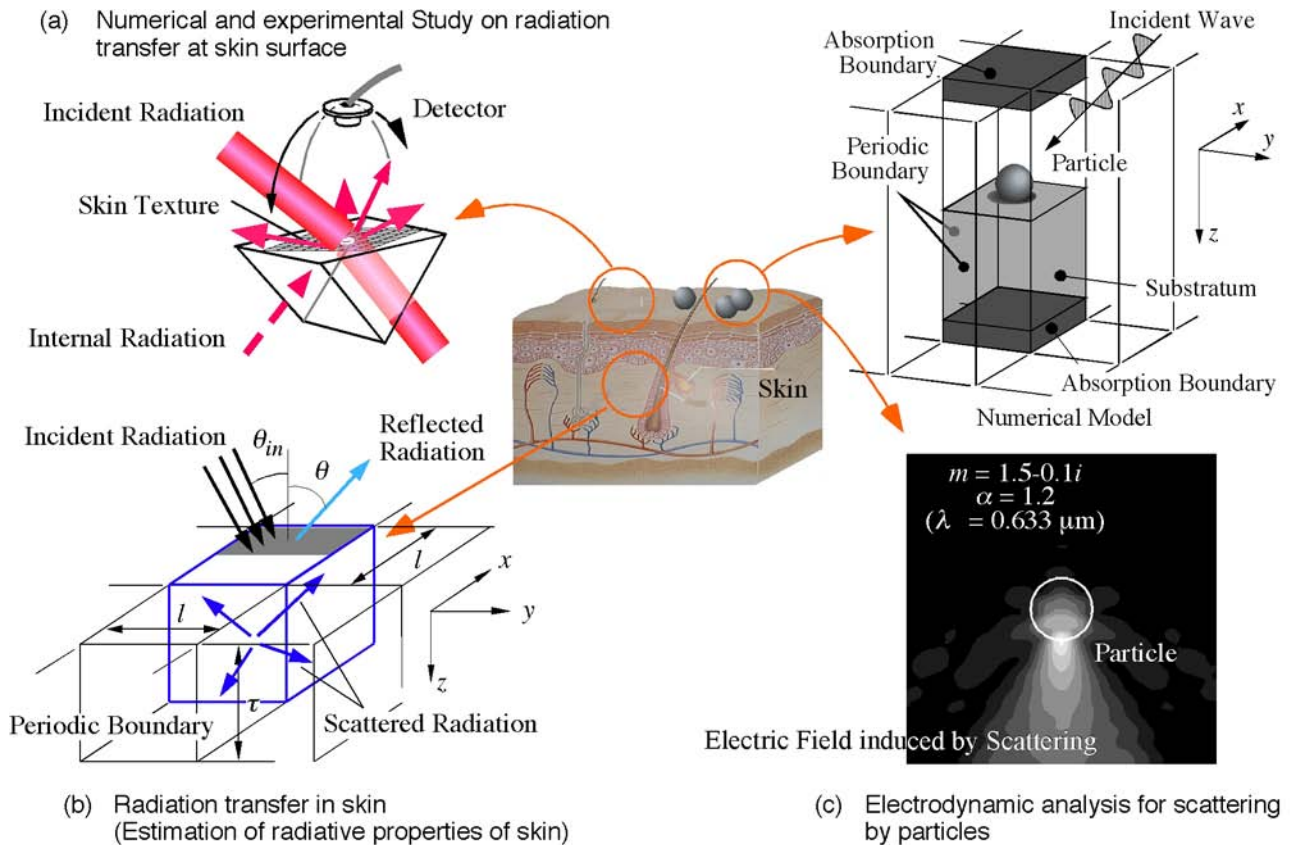


図1 化粧粒子が肌の見え方に与える影響を明らかにするための研究プロジェクト



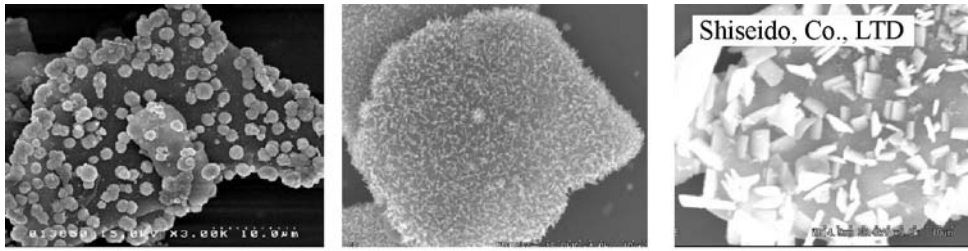


図2 複合粉体 (化粧品粒子)

されそうな問題をもつ。この問題にまともに向き合うと、行き詰まりそうなので、少しすかして、できるところから研究を進めていこうとしている。

図1に示す研究プロジェクトは、「美しさ」が何かは脇に置いておいて、化粧品粒子により肌見え方がどう変わるかを予測しようとするものである。化粧品メーカーでは、様々な形状、特性をもつ化粧品粒子を製作し、実際に化粧した際、どう見える(仕上がる)かを調べている。もちろん、仕上がり具合を予測して化粧品粒子の開発を行ってはいるが、できた粒子が化粧品粒子として優れているかどうかの判断は、実際に化粧を施した後の評価となる。効率的な化粧開発とは言いにくい。このプロジェクトは、粒子デザインの観点から、これまでの化粧開発を効率化しようとするものである・・・と表向きには、そうである。ただし、思いはむしろ別にある。その思いは最後に述べるとして、このプロジェクトに含まれる研究について述べることにする。

## 2. 化粧品粒子の光学的性質

化粧品粒子により肌見え方がどう変わるかを知るには、まず、化粧品粒子の光学(散乱)性質を知ることが必須である。図2に最近開発された化粧品粒子の電子走査顕微鏡による画像を示しておく[1]。複合粉体と呼ばれる粒子で、数十 $\mu\text{m}$ の大きさの微粒子に、さらに小さい粒子を乗せることで、必要と考えられる光学(散乱)特性を得ようとしている。この小さな粒子は、可視光の波長と同程度の大きさなので、その散乱性質の把握には、電磁波動解析を要する。このような取り組みは、火炉内の燃焼場を知るために必要な煤の光学性質を求めるのと同じである。ただし、この複合粉体の場合、大きな粒子に小さな粒子が乗っているという複雑さがある。もし、粒径が波長の何十倍も大きければ、幾何光学的な取り扱いができるし、波長

と同程度であれば電磁波動解析は容易である。しかし、この複合粉体では、大きな粒子の散乱性質を電磁波動解析で解かなければならない。

この電磁波動解析には、Finite Difference Time Domain Method (FDTD法) [2,3]や、著者らの研究室で行っている有限要素法[4]が利用できる。どちらにも長所短所はあるが、取り付きやすさではFDTD法、計算時間では有限要素法が有利な気がする。ただし、両者を比べた訳ではないので、あくまでも著者の感想と受け取って頂きたい。

著者らが開発している有限要素法で計算した散乱電磁場の一例を図3に示す[5]。この結果は、周期的な2次元微細構造によって入射光が散乱される様子を示したもので、電場強さの絶対値が明暗で表されている。対象とした構造は、青に発色すること有名なモルフォ蝶の鱗粉の断面である[6]。複雑な近接電場が、微細構造周辺に形成されていることが分かる。なお、この図に示すような近接電場の詳細が分かっていると、遠方からこの構造をもつ表面を観察する時、どのように見えるか、すなわち、散乱光の強度分布をキルヒホッフ積分により求めることができる。

図2に示した複合粉体の小さい方の粒子が、周

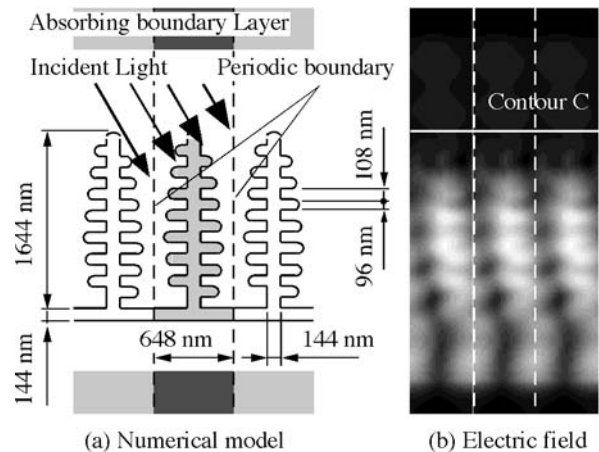


図3 モルフォチョウ鱗粉の散乱電場解析

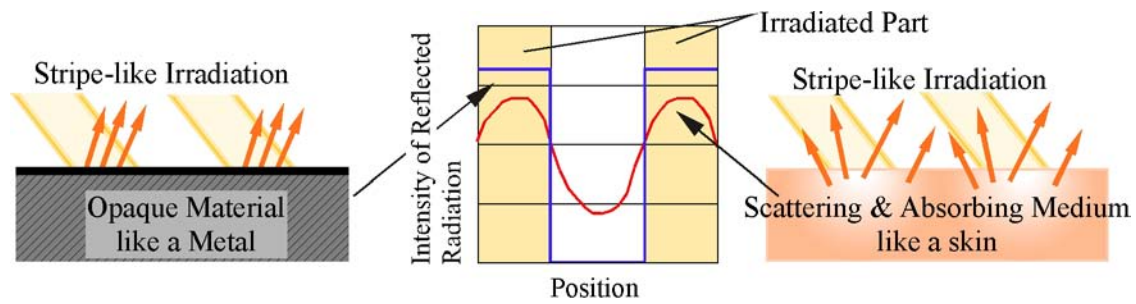


図4 散乱吸収性媒体のふく射物性値計測法の概略

期的に並んでいると仮定できれば、この解析手法が（もちろん、3次元に拡張する必要があるが）利用できる。もし、表面の小さな粒子を含む大きな粒子全体を解析する必要があるとすると、現状では、計算機容量（メモリー容量や計算時間）の問題をクリアしなければならない。

### 3. 皮膚内部の光伝播

さて、化粧粒子単体の散乱性質が分かったからと言って、肌の見え方（以降、反射性質と呼ぶことにする）が分かるわけではない。化粧が施される肌そのものの反射性質を把握しておく必要がある。「肌」、少し堅い言い方に換えると、「皮膚」は散乱性が非常に強い散乱吸収性媒体である。皮膚による反射は、その表面だけで起こる訳ではない。皮膚内部に浸透した光が細胞界面や細胞内組織で散乱され、一部は再び外に出てくる。前者を「表面における反射」、後者を「内部散乱による反射」と呼ぶことにする。

ところで、皮膚表面における反射が皮膚と大気との屈折率差に基づくとする、その反射率は4~5%程度である。一方、皮膚全体の半球反射率は、波長や人により異なるが、25~55%程度ある。皮膚による反射の多くを内部散乱が担っていることが分かる。内部散乱の詳細を知ることが重要である。

内部散乱による反射は、光が皮膚内をどのように伝播するか依存する。皮膚は先にも述べたように散乱吸収性媒体である。この媒体中での光伝播を支配する方程式は、以下のふく射（光）輸送方程式である。

$$\frac{1}{\beta} \frac{dI(s, \Omega)}{ds} = -I(s, \Omega) + \frac{\omega}{4\pi} \int_{4\pi} p(\Omega' \rightarrow \Omega) I(s, \Omega') d\Omega'$$

ここで、 $I$  はふく射強さ（光強度）、 $s$  は位置、 $\Omega$  はふく射の進行方向を表す。 $\beta$ ,  $\omega$ , そして、 $p(\Omega' \rightarrow \Omega)$  が、それぞれ、減衰係数、アルベド、散乱位相関数と呼ばれるふく射（光）物性である[7].

光伝播の詳細はこの方程式を解くことで導かれるが、それには方程式中に現れる光物性の値が必要である。皮膚の光物性計測に関する研究は、20年程前に盛んに行われていた[8]。しかしながら、そのデータは少なく、計測したレーザー波長だけの値であったり[9, 10]、皮膚を生体から切り離して (*in vitro*) 計測したりするもの[11, 12]がほとんどで、*in vivo* で、なおかつ、広い波長範囲で計測された例はない。このプロジェクトにおける研究の一つとして、皮膚の光物性計測手法の提案を行っている[13]。その概要を以下に示す。

この計測法では、皮膚上で照射部と非照射部が縞状に繰り返されるように、スリット列を通過した光を皮膚に照射し、その反射光の空間分布を測定する(図4)。もし、皮膚が金属のように不透明であれば、反射光は、照射部分からのみ観察されることになる。しかし、皮膚のような半透明の散乱吸収性媒体では、図に示すように、皮膚内部に浸透した光が、散乱を繰り返しながら、皮膚内を伝播し。その一部が、入射光の照射部だけでなく、非照射部からも射出されることになる。すなわち、反射光は非照射部からも観察されることになる。もし、皮膚の減衰係数 $\beta$ が小さければ、光は広がりやすく、非照射部から強い反射光が観察される。また、アルベド $\omega$ が大きければ、皮膚内部で吸収される光のエネルギーが小さくなるので、全体的に（照射部、非照射部ともに）強い反射光が観察される。このことは、反射光の空間分布に、皮膚内部の光物性情報が反映されていることを意味している。この計測法では、この反射光強度の

空間分布の計測データをもとに、逆解析を通じて、皮膚の光物性値を推定している。

図5に本推定に利用する実験装置の概略を示す。背面から照らされた、マスク上のスリット列が、対象となる皮膚表面に結像される。そして、縞に垂直な方向の反射光の空間分布を、分光用の回折格子を通した後、冷却 CCD カメラにより記録する。この CCD カメラにより撮影された典型的な画像が図6である。図中の縦方向に反射光の空間分布が、横方向に波長情報が記憶されている。この画像から読み取った反射光の空間分布を基に、逆解析を行えば、非侵襲で、かつ、広い波長範囲の光物性（減衰係数 $\beta$ とアルベド $\omega$ ）を短時間で求めることができる。散乱位相関数  $p(\Omega' \rightarrow \Omega)$  に関しては、まだ、計測できていないが、その計測方法に関する検討も行っている。

なお、この計測手法は、伝熱学でよく取り扱われる多孔体や繊維層など、他の散乱吸収性媒体のふく射物性計測にも利用できる。

#### 4. 皮膚表面における光挙動

皮膚表面での反射は、内部散乱に基づく反射に比較して、そのエネルギー量は小さい。しかし、

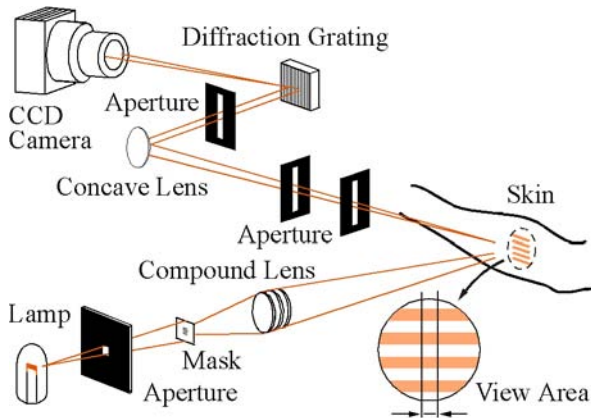


図5 皮膚のふく射物性計測のための計測システム

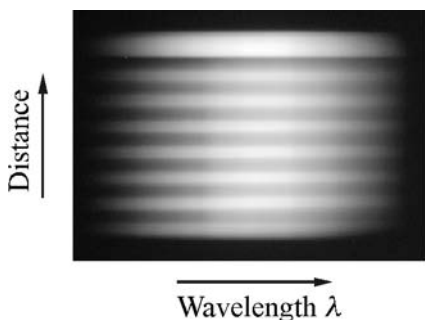


図6 CCDカメラ画像

日本には古くから、美しい肌を形容する「キメ細やかな」という表現がある。この「キメ」は皮膚表面の皮溝と考えられるが、その構造が小さい肌は美しく見えることを表しているようである。それが事実かどうかは分からないが、キメが、皮膚表面の光挙動に何らかの影響を及ぼしているのは間違いのないと思う。この研究では、皮膚表面のキメ構造が、そこでの光挙動に与える影響を実験的、解析的に調べている[14, 15]。

実験では、光挙動に与えるキメのみの影響を調べるために、光学プリズム上にキメ構造を転写し（図7）、それによって反射される光の強度分布を計測した。実際の皮膚を実験対象にせず、プリズムをあえて用いた理由は、皮膚内部の光散乱の影響を排除するためである。

さらに、このキメの研究では、計測された反射光の強度分布が、皮膚のどのような構造に基づくかを調べるために、三つの解析モデルを考案、反射光の強度分布に関して、数値解析結果と実験結果を比較した。考案した解析モデルは、次の通り

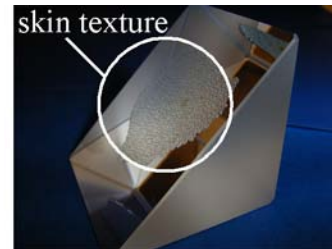


図7 皮膚のキメ構造を転写した光学プリズム

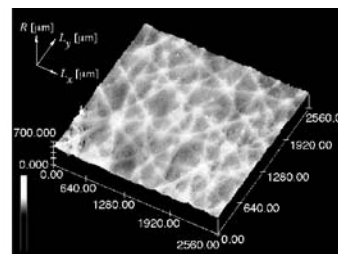


図8 キメ構造の共焦点レーザー顕微鏡画像

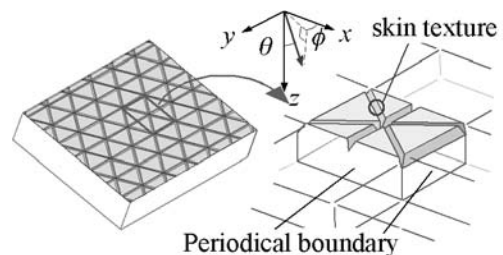


図9 キメの数値解析モデル

である。

解析モデルは、全て、共焦点レーザー顕微鏡 (Confocal Laser-scanning Microscope, CLMS) により観察した構造 (図 8) をもとに考案した。最初のモデル (モデル A) は、比較的大きな (1 mm 弱)、三角形のネットワーク状溝構造 (いわゆる「キメ」) のみを考慮したもので、図 9 に示すような表面構造をもつモデルである。この表面に達した光は、フレネルの関係式にしたがって、散乱 (反射あるいは屈折) するものとした。

次のモデル (モデル B) は、モデル A の溝構造よりも、さらに小さい (数  $\mu\text{m}$ ) 微細構造のみを考慮したものである。このモデル B でも、光が皮膚表面のある点に達したとき、光がどのように散乱されるかは、モデル A と同様、フレネルの関係式にしたがって、その点における表面の傾きで決まると仮定する。ただし、このモデルでは、光が表面のどの位置に当たったかには係わらず、その点での表面の傾きを確率的に与えることにした。具体的には、まず、CLMS 画像に保存された構造データを基に、表面の傾きに関する確率密度関数を算出し、光が出くわす表面の傾きを、その確率密度関数から求めることとした。光を何度も入射させて、その都度反射される光の強度分布を平均すれば、微細構造によって反射される光の強度分布が求められる。この手法は、モデル A のように実際に構造を与える手法に比較して簡便なだけでなく、この研究で採用している数値解析手法、モンテカルロ法になじみ易い。詳細に関しては、文献

[15]を参照されたい。

最後のモデル (モデル C) は、モデル A とモデル B を併せたモデルで、キメ構造とそれより小さな微細構造を同時に考慮したものである。

腕の内側の皮膚を対象に、以上の三つの解析モデルと実験による結果を比較した。2 方向反射率に関する比較結果を図 10 に示す。◆は実験結果を示している。5 カ所で計測した平均値である。図 10 から、キメ (ネットワーク状の溝構造) だけを持つ表面 (モデル A) の反射光強度分布 (■) は、実験結果に全く一致しないことが分かる。これは、実際の皮膚表面に存在する微細構造を無視したため、規則反射が強く生じたことが原因である。キメだけでは、実際の皮膚の光散乱性質を再現できないといえる。一方、微細構造を考慮したモデル B の結果 (●) は、実験結果と比較すると、解離はあるものの、その大きさや天頂角の増加に伴って反射が強くなるなど、一致する点も多い。また、キメと微細構造の両方を考慮したモデル C の結果 (▲) が、モデル B とほとんど変わらないことから、皮膚表面における反射は、主に微細構造に依存し、大きなキメ構造には依存しないようである。解析結果と実験結果に解離があるので、直ぐに結論を下せる状況にはないが、微細構造が皮膚表面の光挙動に重要な役割を担っていると考えられる。

## 5. まとめ

ここまで、現在進行中のプロジェクトに含まれる個々の研究について述べてきた。先にも述べたが、粒子単独の光学 (散乱) 性質だけでは、肌の見え方に与える影響は議論できない。個々の研究を併せることで、当初の目標である「どのような粒子を作れば、どう見えるか」を予測できるようになる・・・かもしれない。しばらくはこの目標にむけて研究を進めて行くことになるが、本当の思いは、この研究を通じて「美しい肌を決めるもの」、それが何かを知りたい、にある。何かヒントになるお話があったら、是非、お知らせ頂きたい。昨日も「メーキャップアーティストが化粧をすると、全く違った (美しい) 仕上がりになる」とのお話を伺った。なんでだろう・・・

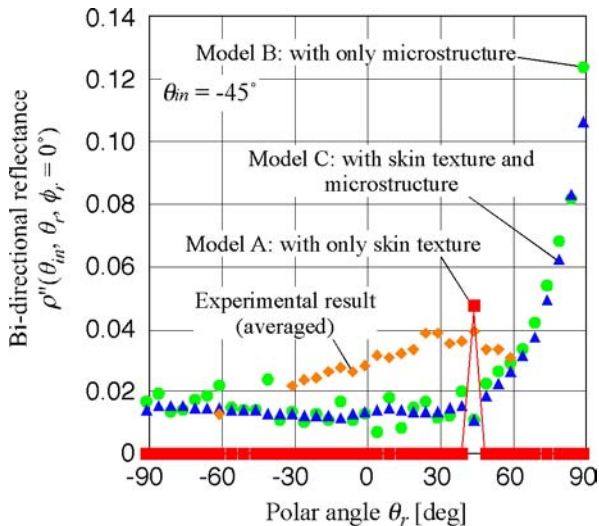


図10 2方向反射率の実験結果と数値解析モデルの比較



## 参考文献

- [1] 高田定樹, 化粧品に活かされるテクノロジー, ファルマシア (日本薬学会), Vol.40 No.11, 1039-1043 (2004)
- [2] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社 (1998)
- [3] Kunz, K. S., The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press (1993)
- [4] Volakis, J. L., Chatterjee, A. and Kempel, L. C., *Finite Element Method for Electromagnetics*, IEEE Press (1998)
- [5] Yamada, J., Nagai, R., Watanabe, M., Aoki, M., Numerical Analysis for Radiative Characteristics of Surface with Periodic Nano-structure, *Proceedings of 5th International symposium on Radiative Transfer at Bodrum, Turkey*, CD-ROM, RAD-V-053-Final (2007) 6.
- [6] 例えば, Siegel, R. and Howell, J. R., Thermal Radiation Heat Transfer, 2nd. Ed., Hemisphere (1981)
- [7] 山田純, 構造色の代表, モルフォ蝶 (レテノール), 伝熱, Vol. 47, No. 201, 表紙の裏ページ (2008)
- [8] Cheong, W.-f., Prah, S. A. and Welch, A. J., A review of the Optical Properties of Biological Tissues, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 26, No.12 (1990)
- [9] Marchesini, R., Bertoni, A., Andreola S., Melloni E. and Sichirollo A. E., Extinction and absorption coefficients and scattering phase function of human tissues in vivo, *APPLIED OPTICS*, Vol. 28, No. 12, pp. 2318-2324 (1989)
- [10] Troy, T. L. and Thennadil, S. N., Optical Properties of human skin in the near infrared Wavelength range of 1000 to 2200 nm, *Journal of Biomedical Optics* Vol. 6, No. 2, pp. 167-176 (2001)
- [11] Patterson, M. S., Chance, B. and Wilson, B. C., Time resolved reflectance and transmittance for the non-invasive measurement of tissue optical properties, *APPLIED OPTICS*, Vol. 28, No. 12, pp. 2331-2336 (1989)
- [12] Graaff, R., Dassel, A. C. M., Koelink, M. H., de Mul, F. F. M., Aarnoudse, J. G. and Zijlstra, W. G., Optical Properties of human dermis in Vitro and in Vivo, *APPLIED OPTICS*, Vol. 32, No.4, 435-447 (1993)
- [13] 山田純, 有田悠一, 安柄弘, 三浦由将, 高田定樹, 空間分解反射光計測に基づく皮膚のふく射物性の推定, 日本機械学会論文集 (B編) Vol. 74, No. 745, pp. 2034-2039 (2008) 9.
- [14] 山田純, 中村嘉恵, 貝塚将樹, 菊池久美子, 高田定樹, 皮膚のふく射性質に影響を及ぼすキメのモデル化, 第29回日本熱物性シンポジウム講演論文集, pp.13-15 (2008) 10
- [15] Yamada, J., Nakamura, K., Kaizuka, M., Kikuchi, K. and Takata, S., Effect of Skin Texture on Radiative Characteristics of Human Skin, *Proc. of 7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics at Krakow, Poland*, CD-ROM, pp. 185-191 (2009) 6

行事カレンダー

本会主催行事

開催日		行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2010年						
5月	26日(水) ～ 28日(金)	第47回日本伝熱シンポジウム				

本会共催、協賛、後援行事

開催日		行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2009年						
7月	21(火) ～22(水)	第37回可視化情報シンポジウム (開催場所：工学院大学新宿校舎)	2009. 3. 31	2009. 5. 15	<a href="http://www.visualization.jp/event/detail/symp2009.html">http://www.visualization.jp/event/detail/symp2009.html</a>	
7月	29(水) ～30(木)	講習会「熱設計を支援する熱流体計測技術」 (開催場所：東京工業大学大岡山キャンパス)	2009. 7. 19		(社)日本機械学会 〒160-0016 新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館5階 <a href="http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm">http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm</a>	
7月	30(木) ～31(金)	第1回「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの開発研究」プロジェクトシンポジウム (開催場所：東京大学生産技術研究所)			<a href="http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/about/index.html">http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/about/index.html</a>	
8月	2(日) ～5(水)	7th Annual International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC2009) (開催地：Denver, CO, USA)	2008. 12. 7	2009. 5. 19	丸山 直樹 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577番地 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 Tel & Fax: 059-231-9386 e-mail: naoki@mach.mie-u.ac.jp <a href="http://www.aiaa.org/content.cfm?pageid=230&amp;lumeetingid=1894&amp;viewcon=overview">http://www.aiaa.org/content.cfm?pageid=230&amp;lumeetingid=1894&amp;viewcon=overview</a>	
8月	5(水) ～7(金)	日本実験力学会2009年度年次講演会 (開催場所：拓殖大学文教キャンパス)			森きよみ 〒193-0985 東京都八王子市館町815-1 拓殖大学工学部機械システム工学科 Tel:042-665-0749 Fax:042-665-1519 E-mail: kmori@ms.takushoku-u.ac.jp	
8月	7(金) ～9(日)	日本混相流学会年次講演会2009 第28回混相流シンポジウム (開催場所：熊本大学)	2009. 3. 30	2009. 6. 5	河原顕磨呂 熊本大学大学院自然科学研究科先端機械システム講座 日本混相流学会年次講演会2009 実行委員会事務局 〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1 TEL/FAX 096-342-3753 E-mail : akimaro@mech.kumamoto-u.ac.jp <a href="http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/jsmf2009/index.php">http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/jsmf2009/index.php</a>	
8月	7(金)	「機械の日・機械週間」記念行事 (開催場所：芝浦工業大学豊洲キャンパス)			(社)日本機械学会「機械の日記念講演会」係 〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館5階 TEL: 03-5360-3505, FAX: 03-5360-3509 e-mail: kikainohi@jsme.or.jp	
9月	2(水) ～4(金)	日本流体力学会2009 (開催場所：東洋大学白山キャンパス)	2009. 5. 17	2009. 7. 17	日本流体力学会年次2009 実行委員会 e-mail: nenkai2009@nagare.or.jp	
9月	17(木) ～18(金)	日本機械学会関西支部 第303回講習会「新エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」- 燃料電池・太陽電池・2次電池の動向と最新技術 (開催地：大阪市)	2009. 9. 11		<a href="http://www.kansai.jsme.or.jp/">http://www.kansai.jsme.or.jp/</a>	
9月	26(金) ～27(土)	2009年度計算力学技術者(固体力学分野の有限要素法解析技術者)ならびに計算力学技術者(熱流体分野の解析技術者)に関する認定事業				
9月 ～ 10月	27日(日)  2日(金)	第13回原子炉熱流動国際会議 (NURETH13) (開催地：金沢市)	2008. 10. 31	2009. 1. 31	NURETH-13 現地組織委員会 委員長 村瀬道雄 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所 TEL: 0770-37-9110 E-mail: murase@inss.co.jp Web: <a href="http://www.nureth13.org/">http://www.nureth13.org/</a>	



行事カレンダー

開催日		行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2009年						
10月	7(水) ～9(金)	15th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (開催地:Leuven, Belgium)	2009.4.30		<a href="http://cmp.imag.fr/conferences/therminic/therminic2009">http://cmp.imag.fr/conferences/therminic/therminic2009</a>	
10月	28(水) ～30(金)	第30回日本熱物性シンポジウム (開催地:米沢市)	2009.6.30	2009.8.25	第30回日本熱物性シンポジウム実行委員会 (委員長 高橋一郎) 〒992-8510 米沢市城南 4-3-18 山形大学工学部 Tel: 0238-26-3236 e-mail: it@yz.yamagata-u.ac.jp	
11月	5(木)	シンポジウム「機械工学の展望:21世紀の役割と貢献」 (開催地:東京都港区)			北村隆行 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学副学長・教授 大学院工学研究科機械理工学専攻 Tel: 075-753-5214 Fax: 075-753-5214 E-mail: kitamura@kues.kyoto-u.ac.jp	
11月	6(金)	第12回スターリングサイクルシンポジウム (開催地:東京都大田区)	2009.6.12	2009.9.25	納富 信(幹事) TEL&FAX: 0495-24-5938 e-mail: nohtomi@waseda.jp	
11月	7(土) ～8(日)	熱工学コンファレンス2009 (開催場所:山口大学常磐キャンパス)	2009.7.14	2009.9.30	2009年熱工学コンファレンス実行委員会事務局 (委員長 加藤泰生) 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科機械工学専攻 応用熱工学研究室 TEL: 0836-85-9107, FAX: 0836-85-9101 <a href="http://www.jsme.or.jp/conference/tedconf09/">http://www.jsme.or.jp/conference/tedconf09/</a>	
11月	16日(月) ～19日(木)	The 7th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-7) (開催地:Kaohsiung, Taiwan, ROC)	'08.10.31	'09.4.15	Dr. Tai, C.H., National Pingtung Univ. of Science and Technology (Taiwan, ROC) E-mail: chtai@mail.npust.edu.tw Web: <a href="http://www.tuat.ac.jp/%7Epcpte/">http://www.tuat.ac.jp/%7Epcpte/</a>	
11月	16(月) ～20(金)	International Conference on Power Engineering-09, Kobe (ICOPE-09) (開催地:神戸市)	2008.12.31	2009.3.31	Ryosuke Matsumoto Kansai University E-mail: matumoto@kansai-u.ac.jp	
11月	28(土) ～29(日)	第33回人間-生活環境系シンポジウム (開催場所:福岡女子大学)	2009.8.31	2009.10.16	大中忠勝(福岡女子大学) FAX:092-683-1924 E-mail: ohnaka@fwu.ac.jp <a href="http://www.jhes-jp.com/jp/">http://www.jhes-jp.com/jp/</a>	
12月	2(水) ～4(金)	第47回燃焼シンポジウム (開催地:札幌市)	2009.7.17	2009.9.18	日本燃焼学会事務局 〒166-8532 東京都杉並区和田 3-30-22 大学生協学会支援センター 内 Tel: 03-5307-1172, Fax: 03-5307-1196 E-mail: office@combustionsociety.jp <a href="http://www.combustionsociety.jp/sympo47/">http://www.combustionsociety.jp/sympo47/</a>	
2010年						
2月	2(火) ～3(水)	16th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics" (開催地:横浜市)	2009.9.4	2009.11.24	(社)溶接学会 Mate 2010 事務局 〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 1-11 <a href="http://www.soc.nii.ac.jp/jws/research/micro/mate/Mate2010.html">http://www.soc.nii.ac.jp/jws/research/micro/mate/Mate2010.html</a>	

社団法人日本伝熱学会第47期（平成20年度）総会議事録

1. 日 時 平成21年6月3日（水）16時20分～17時40分
2. 場 所 京都市左京区宝ヶ池 国立京都国際会館 D室
3. 正会員数 1, 128名
4. 出席者 661名（うち委任状出席538名）.これは定足数（正会員数の過半数）を上回り，総会は成立した.
5. 議事経過  
議長に河村 洋氏を選出し，次の議案について逐次審議した.

第1号議案 第47期事業報告の件

議長より，社団法人日本伝熱学会第47期（平成20年度）総会議案（以下，総会議案と呼ぶ）の第1号議案第47期事業報告について諮り，満場一致でこれを可決した.

第2号議案 第47期会務報告の件

議長より，総会議案の第2号議案第47期会務報告について諮り，満場一致でこれを可決した.

第3号議案 平成20年度収支決算の件

議長より，総会議案の第3号議案平成20年度収支決算について諮り，満場一致でこれを可決した.

第4号議案 平成21年度事業計画の件

議長より，総会議案の第4号議案平成21年度事業計画について諮り，満場一致でこれを可決した.

第5号議案 平成21年度収支予算案の件

議長より，総会議案の第5号議案平成21年度収支予算について諮り，満場一致でこれを可決した.

第6号議案 日本伝熱学会賞の授賞の件

議長より，総会議案の第6号議案日本伝熱学会学術賞・技術賞・奨励賞・優秀プレゼンテーション賞授賞について選考経過についての報告がなされた.本年度の日本伝熱学会賞受賞者は，次のとおりである.

- |           |                    |
|-----------|--------------------|
| 日本伝熱学会学術賞 | ・代表研究者：吉田英生（京都大学）  |
|           | ・共同研究者：齋藤元浩（京都大学）  |
|           | 岩井 裕（京都大学）         |
|           | ・代表研究者：小澤 守（関西大学）  |
|           | ・共同研究者：庄司正弘（神奈川大学） |
|           | 網 健行（関西大学）         |
|           | 梅川尚嗣（関西大学）         |
| 日本伝熱学会技術賞 | ・代表研究者：松本亮介（関西大学）  |
|           | ・共同研究者：小澤 守（関西大学）  |
|           | 竹森利和（大阪ガス㈱）        |
|           | 久角喜徳（大阪ガス㈱）        |
|           | 毛笠明志（大阪ガス㈱）        |
|           | 飯尾剛範（関西大学）         |

- ・代表研究者：岩崎 徹（三井造船㈱）
- ・共同研究者：村田真史（中国電力㈱）
- 國木雅晴（中国電力㈱）
- 高橋正浩（三井造船㈱）
- 守屋英教（三井造船㈱）
- 新井 敬（三井造船㈱）
- 村山哲郎（三井造船㈱）
- 堀口清司（三井造船㈱）
- 渡邊 茂（三井造船㈱）

日本伝熱学会奨励賞 ・長谷川洋介（東京大学・学生）

日本伝熱学会優秀プレゼンテーション賞（所属は第45回日本伝熱シンポジウム当時）

松村康弘（大阪府立大学）	鈴木博貴（名古屋大学）
丹下 学（産業技術総合研究所）	藤田尚利（岡山大学）
押部 洋（東北大学）	岡 巧（慶應義塾大学）

第7号議案 名誉会員の顕彰の件

議長より、総会議案の第7号議案名誉会員の顕彰について報告された。本年度の名誉会員顕彰者は次のとおりである。

芹澤昭示	望月貞成	柘植 綾夫	庄司正弘
------	------	-------	------

第8号議案 第48期役員を選出の件

議長より、総会議案の第8号議案第48期役員を選出について以下のとおり次期役員の提案がなされ、満場一致でこれを可決した。

定款第16条第2項により退任する役員

理事（会長）	河村 洋	理事（副会長）	瀧本 昭
--------	------	---------	------

定款第16条第2項ただし書きにより退任する役員

理事（副会長）	横堀誠一	理事（副会長）	森 康彦
---------	------	---------	------

定款第16条第1項により退任する役員

理事	中部主敬	理事	近久武美
理事	廣田真史	理事	姫野修廣
理事	森 英夫	理事	松野孝充
監事	大原敏夫		

定款第16条第3項により退任する役員

理事	牧野俊郎	理事	千田 衛
----	------	----	------

第47期に新たに選任される役員

定款第16条第2項により選任される役員

理事（会長）	長野靖尚	理事（副会長）	小林信雄
理事（副会長）	山田幸生		

定款第16条第2項ただし書きにより選任される役員

理事（副会長）	宇高義郎
---------	------

定款第16条第1項により選任される役員

理事	花村克悟	理事	圓山重直
理事	高田保之	理事	板谷義紀
理事	石塚 勝	理事	吉田篤正
理事	富村寿夫	理事	深川雅幸
監事	松野孝充		

定款第16条第3項により選任される役員

理事	近久武美
----	------







第9号議案 議事録署名人選任の件

議長より、本日の議事の経過を議事録にまとめるにあたり、議長に加えて議事録署名人2名を選任したい旨の提案があり、協議の結果、瀧本 昭氏、森 康彦氏の2名を選任した。

以上により、本日の議事を終了した。

平成21年6月3日

社団法人日本伝熱学会第47期（平成20年度）総会

議長	河村 洋	<u>河村 洋</u>		
議事録署名人	瀧本 昭	<u>瀧本 昭</u>		
議事録署名人	森 康彦	<u>森 康彦</u>		

Sixth International Conference on Flow Dynamics 開催のお知らせ

多くの方々のご講演・ご参加をお待ちしております。

主催：東北大学グローバル COE プログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開催日時：平成 21 年 11 月 4 日（水）～ 6 日（金）

開催場所：ホテルメトロポリタン仙台（〒980-8477 宮城県仙台市青葉区中央 1-1-1）

参加費：無料

バンケット費：一般 3,000 円 学生 1,000 円

PRESENTATION SUBMISSION:平成 21 年 7 月 31 日（金）

PAPER SUBMISSION:平成 21 年 9 月 11 日（金）

REGISTRATION:平成 21 年 10 月 16 日(金)

連絡先：980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1 東北大学流体科学研究所 GCOE 事務局

電話・FAX:022-217-5301 e-mail: icfd2009@gcoe.ifs.tohoku.ac.jp

詳細は右記 URL をご参照願います。 <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/gcoe/index-e.html>



## 編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対 象	対 応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています。)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載，MLでも配信	申込者は、総務部会長・編集出版部会長・広報委員会委員長・総務担当副会長補佐評議員に記事を同時送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務部会長に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務部会長より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関係のある分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を総務部会長に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務部会長より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を広報委員会委員長（HP担当）・総務担当副会長補佐評議員（ML担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載（バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長または広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては <a href="http://www.htsj.or.jp/banner.pdf">http://www.htsj.or.jp/banner.pdf</a> をご参照下さい。

### 【連絡先】

- ・総務部会長：原村 嘉彦（神奈川大学）：haramy01@kanagawa-u.ac.jp
- ・編集出版部会長：花村克悟（東京工業大学）：hanamura@mech.titech.ac.jp
- ・広報委員会委員長：佐藤洋平（慶應義塾大学）：yohei@sd.keio.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐評議員：小川邦康（慶應義塾大学）：ogawa@mech.keio.ac.jp
- ・事務局：倉水裕子：office@htsj.or.jp

### 【注意】

- ・原稿はWordファイルまたはtextファイルをお願いします。
- ・HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承ください。
- ・MLでは、原則としてテキスト文の送信となります。pdf等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。



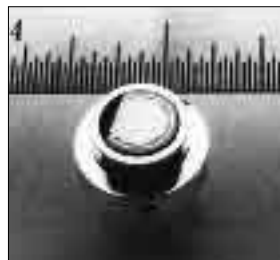
## 第 48 期新入会員 (2009. 4. 15~2009. 7. 3) 正 11 名・学生 37 名

資	氏名	所属	資	氏名	所属
学	岸本 将史	京都大学 大学院工学研究科	学	岩間 聖司	山梨大学 大学院医学工学総合教育部
学	浅野 真臣	福井大学 大学院工学研究科	学	三宅 慶明	京都大学 工学部
学	廣谷 潤	九州大学 工学府航空宇宙工学専攻	学	齋藤 正典	北海道大学 大学院工学研究科
学	荒井 隼人	名古屋大学 大学院工学研究科	学	後藤 泰裕	茨城大学
学	松浦 寛之	名古屋大学 大学院工学研究科	学	ABEDIN	名古屋工業大学
正	八十 格	株式会社神戸製鋼所		MOHAMMAD	
学	小宮 慎太郎	同志社大学		ZOYNAL	
正	小林 信雄	愛三工業株式会社	学	MOHAMMAD	東京農工大学
学	白井 浩一	広島大学 大学院工学研究科		MUSTAFA	
正	一柳 満久	東京大学 大学院工学系研究科		AKBARI	
学	網 健行	関西大学 大学院工学研究科	学	薦田 弦	関西大学 大学院理工学研究科
学	鈴木 崇弘	東京工業大学 大学院理工学研究科	学	柚木 啓太	九州大学 大学院工学部
学	佐々木 一仕	山形大学 大学院理工学研究科	学	石田 堯庸	同志社大学
正	徳増 崇	東北大学	学	巢山 頌文	同志社大学
学	張 莉	東京大学 大学院新領域創成化学研究科	学	安藤 隆治	九州工業大学
学	竹中 奨	大阪府立大学 大学院工学研究科	学	宮越 智也	三重大学 大学院工学研究科
学	鈴木 智裕	宇都宮大学 大学院工学研究科	学	丸山 俊典	長岡技術科学大学 工学研究科
学	瀬口 淳一	大阪大学 大学院工学研究科	正	長野 克則	北海道大学 大学院工学研究科
学	馬場 宗明	九州大学 大学院工学研究科	正	本澤 政明	東京理科大学 理工学部
学	島崎 康弘	大阪府立大学 大学院工学研究科	正	橋本 光生	ソニー株式会社
学	伊藤 恭平	広島大学 大学院工学研究科	正	蔵田 耕作	九州大学 大学院工学研究科
学	森川 和己	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	学	宇都宮 仁	豊田工業大学 大学院工学研究科
学	戸嶋 隆夫	大阪大学 大学院工学研究科	学	古山 慶	豊田工業大学 大学院工学研究科
学	平澤 顕	早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科	正	堀内 敬介	㈱日立製作所
学	東 孝祐	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	正	深萱 正人	株式会社 SOH K I
学	弓立 一哉	山口大学 大学院理工学研究科	正	古井 秀治	ダイキン工業株式会社

# 熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 ( $W/cm^2$ ) に比例した直流電圧を出力します。弊社の製品は米国バージニア工科大学が開発した新しい技術をVatell社で商品化したもので、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

## 熱流束マイクロセンサー



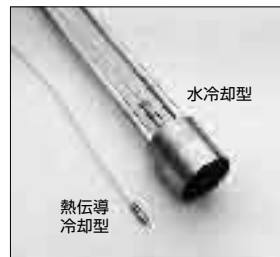
### 特徴

- 最高速の応答 (約  $6\mu$ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

### 使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラバース実験
- タービンブレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

## ガードン型円形フォイルセンサー



センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

### 使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

## シート状熱流束センサー



センサーは銅とニッケルのサーモパイルから構成されており、測定対象物に貼付けて使います。センサーは厚さが0.2mmと薄いため、柔軟性に富んでおり、直径1インチの円筒形に湾曲させる事が出来ますので、パイプなどに貼り付けてお使いになるには最適です。

### 使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定

## 熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。

センサテクノ株式会社

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F  
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

URL

[www.senstech.jp](http://www.senstech.jp)

E-mail

[senstech@td6.so-net.ne.jp](mailto:senstech@td6.so-net.ne.jp)

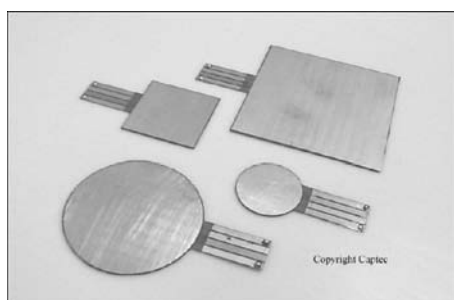
テクノオフィスは、独自の高度技術を持つ海外メーカーの

熱流計／熱流束センサーをご紹介します。

### CAPTEC 社 (フランス)

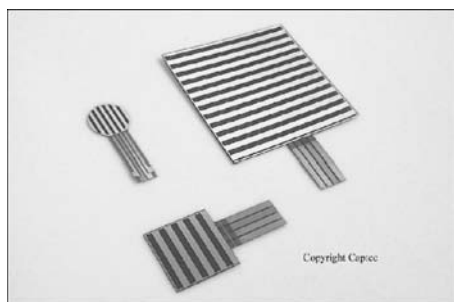
CAPTEC 社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

#### 熱流束センサー



サイズ: 5×5~300×300 [mm] (厚み:0.4 [mm])  
 熱抵抗値: 0.00015 [°C/(W/m<sup>2</sup>)]  
 熱伝導率: 2.7 [W/mK]  
 温度範囲: -200~200 [°C]  
 応答速度: 約 200 [ms]  
 柔軟性: フレキシブルー直径 30 [mm] に彎曲  
 リジッドー平面用  
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵  
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C], 防水加工

#### 輻射センサー



サイズ: 5×5~50×50 [mm]  
 厚み: 0.25 [mm]  
 温度範囲: -200~250 [°C]  
 応答速度: 約 50 [ms]  
 柔軟性: 直径 30 [mm] に彎曲  
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵  
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C]  
 波長領域: 広帯域(可視+赤外)／標準(赤外)

#### 【アプリケーション】

◇伝熱一般 ◇温熱環境 ◇サーマルマネキン ◇食品／調理ー焼成オーブン ◇コンクリート・地中埋設

○当社では、CAPTEC 製品に最適なデータロガーも取扱っております。お気軽にお問い合わせ下さい。

有限会社 テクノオフィス (CAPTEC 社日本総代理店)

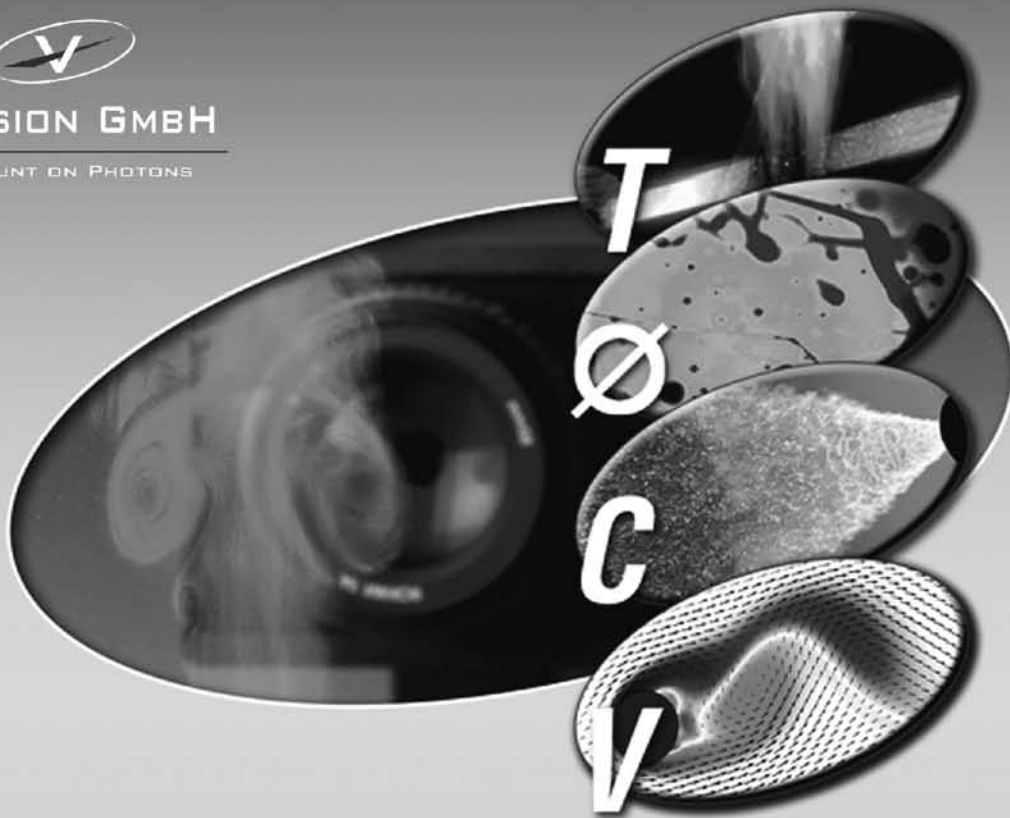
URL: <http://www.techno-office.com/>

本社: 〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B

TEL. 045 (901) 9861 FAX. 045 (901) 9522

# LaVision社レーザーイメージング製品の 日本総代理店になりました

PIV、LIF、Raman、Rayleigh、LII、等の技術を組み合わせた複合計測システムを構築し、種々のアプリケーションでのソリューションを提供します。



## Laser Imaging Solution

アプリケーション	Laser Imaging Techniques						計測システム
	Mie	LIF	PIV	Raman	Rayleigh	LII	
流れ 流体力学	流れ構造 パターネーション	流れの可視化 ミキシング	流れ場	組成 温度	気体濃度 気体温度		FlowMaster FluidMaster
噴霧	液滴 パターネーション	液体(燃料)質量 液体/蒸気	流れ場	液体/蒸気 温度			SprayMaster SizingMaster
	プレーナー液滴サイズ計測		質量流束				
燃焼 エンジン	粒子 液滴	ラジカル、燃料 化学プロセス	流れ場	ガス組成 温度	気体濃度 気体温度	すず	FlameMaster EngineMaster
プラズマ	粒子 生成	種 反応画像	流れ場				PlasmaMaster
材料試験 表面変形	高度画像相関						StrainMaster
	2次元&3次元の変形、歪み場、応力						
上記全ての アプリケーション	(超)高速イメージング						High-Speed Master System
	過渡現象、時-空間相関の時系列過程						

本広告の製品仕様は改善のため予告無く変更する場合があります



**KANOMAX**

日本カノマックス株式会社  
流体計測ディヴィジョン

お問い合わせは、カスタマーサービス窓口へ

Email [fluids@kanomax.co.jp](mailto:fluids@kanomax.co.jp)

TEL. (03)6825-9090 FAX. (03)5371-7680

URL <http://www.kanomax.co.jp/fgroup.html>

## 編集出版部会ノート Note from the Editorial Board

本号より下記の委員構成により第 48 期の編集出版部会を担当させていただきます。どうぞよろしくお願い申し上げます。

本会誌「伝熱」は、2006 年から再び季刊誌として、年 4 回の発刊となりました。同時に発刊日をその月の 1 日にすべきところ、その月内でよい、としたバイマンスリーの習慣が残っていました。さらに前月号（4 月号）においては、編集の遅延も重なり、本学会の最も大事な行事である伝熱シンポジウムに向けての不備が生じ、会員の皆様には多大なるご迷惑をおかけしました。部会長として、ここに深くお詫び申し上げます。次回（10 月号）より、1 日の発刊を目指し、その準備を進めております。

さて、ご存知のように、現在、この会誌には、特集記事のほか、特別寄稿、海外レター、プロジェクト Q、ネイチャーQ、エデュケーション Q、Heart Transfer、グラビアなどの項目を用意しております。編集出版部会としましては、会員の皆様からの自発的なご寄稿もお待ちしております。

引き続きご支援賜りますようお願いいたします。

花村 克悟（東京工業大学）

*Katsunori Hanamura (Tokyo Institute of Technology)*

*e-mail: hanamura@mech.titech.ac.jp*

---

副会長 山田幸生（電気通信大学）

部会長 花村克悟（東京工業大学）

委員

（理事）石塚 勝（富山県立大学）

藤岡恵子（(株)ファンクショナル・フルイット）

板谷義紀（名古屋大学）

橋本律男（広島大学）

深川雅幸（三菱重工）

（評議員）一法師茂俊（三菱電機）

久角喜徳（大阪ガス）

福谷和久（神戸製鋼所）

白樫 了（東京大学）

齊藤卓志（東京工業大学）

宗像鉄雄（NEDO）

大村高弘（ニチアス）

田崎 豊（日産自動車）

（オブザーバー）

黒坂俊雄（神戸製鋼所）

富村寿夫（熊本大学）

TSE チーフエディター 門出政則（佐賀大学）

編集幹事 石田賢治（佐賀大学）

編集出版事務局：

東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター 花村克悟

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 11-24

Tel&Fax: 03-5734-3705, hanamura@mech.titech.ac.jp