

ISSN 0910-7851

伝熱研究

Journal of The Heat Transfer Society of Japan

1995 January
Vol. 34 No. 132

〈小特集：伝熱現象と熱物性値〉

ISSN 0918-9963

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

Vol. 3

No. 1

社団法人 日 本 伝 熱 学 会
The Heat Transfer Society of Japan

日本伝熱学会第33期（平成6年度）役員

<p>会 長 副 会 長 理 事 (編集出版) 東 北 中国四国 (企 画) 北陸信越 (総 務) 北 海 道 監 事 評 議 員</p>	<p>中 山 恒 (東 工 大) 福 迫 尚一郎 (北 大) 坂 本 雄二郎 (神戸製鋼) 土 方 邦 夫 (東 工 大)</p> <p>部 会 長 芹 沢 昭 示 (京 大) 東 海 加 藤 征 三 (三 重 大) 九 州 増 岡 隆 士 (九 工 大)</p> <p>部 会 長 庄 司 正 弘 (東 大) 伝熱シンポジウム準備委員長 宮 本 政 英 (山 口 大) 関 西 木 本 日 出 夫 (阪 大) 柳 謙 一 (三 菱 重 工) 水 野 彰 (豊橋技術大) 部 会 長 河 村 洋 (東 理 大)</p> <p>前 田 昌 信 (慶 大) 関 根 郁 平 (苫小牧高専) 小 川 清 (日 大) 泉 正 明 (岩 手 大) 長 崎 孝 大 (東 工 大) 勝 田 正 文 (早 大) 前 川 透 (東 洋 大) 石 塚 勝 (東 芝) 海 野 紘 治 (豊田工大) 辻 俊 博 (名 工 大) 小 林 睦 夫 (新 潟 大) 姫 野 修 廣 (信 州 大) 唐 土 宏 (松 下 電 器) 小 澤 守 (関 西 大) 増 田 雅 昭 (シャープ) 秋 山 巖 (バブ日立) 奥 山 喜 久 夫 (広 島 大) 小 森 悟 (九 州 大) 松 尾 篤 二 (三 菱 重 工) 平 井 秀 一 郎 (東 工 大) 新 井 紀 男 (名 大) 谷 下 一 夫 (慶 大) 赤 井 誠 (工 技 院) 五 十 嵐 喜 良 (東 北 電 力) David Copeland (東 工 大)</p>
<p>山 田 悦 郎 (秋 田 大) 稲 葉 英 男 (岡 山 大) 伊 藤 正 昭 (日立製作所)</p> <p>平 田 哲 夫 (信 州 大) 青 木 博 史 (豊 田 中 研) 中 島 利 誠 (お 茶 大)</p> <p>杉 山 憲 一 郎 (北 大) 岡 田 孝 夫 (高 砂 熱 学) 金 山 公 夫 (北 見 工 大) 戸 倉 郁 夫 (室 蘭 工 大) 高 橋 一 郎 (山 形 大) 橋 爪 秀 利 (東 北 大) 一 宮 浩 市 (山 梨 大) 神 永 文 人 (茨 大) 長 坂 雄 次 (慶 大) 西 尾 茂 文 (東 大) 北 村 健 三 (豊 橋 技 科 大) 松 田 仁 樹 (名 大) 平 澤 良 男 (富 山 大) 神 吉 達 夫 (姫 路 工 大) 稲 室 隆 二 (京 大) 竹 中 信 幸 (神 戸 大) 森 岡 齋 (徳 島 大) 村 上 幸 一 (愛 媛 大) 金 丸 邦 康 (長 崎 大) 笹 口 健 吾 (熊 本 大) 縄 田 豊 (八 代 高 専) 田 辺 新 一 (お 茶 大) 中 谷 元 (三 菱 電 機) 師 岡 慎 一 (東 芝) 小 泉 安 郎 (工 学 院 大) 山 中 晤 郎 (三 菱 電 機)</p>	

「Thermal Science and Engineering」

チーフエディター

小 竹 進 (東 大)

伝熱研究 目次

〈日本伝熱学会社団法人化記念特別講演会〉

A Note on Professor Tien's Special Lecture (Tien 教授の特別講演概要)

..... Taiqing Qiu (東大)	1
地球温暖化について.....近藤次郎 (財地球環境研究機構)	2

〈日本伝熱学会社団法人化記念放談会〉

次世代の伝熱を探る.....	5
----------------	---

〈小特集：伝熱現象と熱物性値〉

小特集にあたって.....	第33期編集委員会	19
伝熱現象と熱物性値.....	長島 昭 (慶応大)	20
熱物性値測定技術のこれから.....	長坂雄次 (慶応大)	22
熱物性値に関するデータベースの現状.....	新井照男 (計量研)	28
ふく射物性と伝熱工学.....	山田 純 (東工大)	32
複合材料の熱物性評価.....	荒木信幸 (静岡大)	38
化学工業と熱物性値.....	三宅陸進・林 裕之 (新潟工事)	42
冷凍サイクルの設計と熱物性値.....	松嶋弘章 (日立製作所)	47
エレクトロニクス産業における熱物性値.....	柳田武彦 (日立製作所)	51
衣料の使用における熱物性値.....	薩本弥生 (文化女子大)	55
食品の加工・利用と熱物性値.....	亀岡孝治 (三重大)	61
建築材料の熱物性値と省エネルギー.....	上園正義 (建材試験セ)	69

〈研究トピックス〉

小型筐体熱解析手法のノートパソコンへの応用.....	久野勝美 (東芝)	75
----------------------------	-----------------	----

〈支部・地方研究グループ活動報告〉

東北研究グループ活動報告.....	77
北陸信越研究グループ活動報告.....	78
九州研究グループ活動報告.....	79

〈お知らせ〉

第32回日本伝熱シンポジウム.....	80
高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム.....	85
第29回空気調和・冷凍連合講演会講演募集.....	85

第27回国際会議のための準備セミナー.....	86
Call for papers / ISROMAC-6	86
トピックス記事情報ご提供のお願い.....	87
「伝熱研究」原稿の書き方.....	88
編集委員会だより.....	89
事務局からの連絡.....	91
日本伝熱学会 入会申込み、変更届用紙	

Journal of The Heat Transfer Society of Japan

Vol.34, No.132, January, 1995

CONTENTS

〈Special Lectures in Celebration of the Establishment of new HTSJ〉

A Note on Professor Tien's Special Lecture

Taiqing Qiu (University of Tokyo) 1

On the Global Warming

Jiro Kondo (Research Institute of Inovative Technology of the Earth) 2

〈Informal Discussion in Celebration of the Establishment of new HTSJ〉

Heat Transfer Researches in Next Generation 5

〈Special Issue : Heat Transfer and Thermophysical Properties〉

Preface to Special Issue

Editorial Board19

Heat Transfer and Thermophysical Properties

Akira Nagashima (Keio University)20

A Trend of Thermophysical Property Measurement

Yuji Nagasaka (Keio University)22

Databases for Thermophysical Properties

Teruo Arai (National Research Laboratory of Metrology)28

Radiative Properties in Thermal Engineering

Jun Yamada (Tokyo Institute of Technology)32

Evaluation of Thermophysical Properties of Composite Materials

Nobuyuki Araki (Shizuoka University)38

Thermophysical Properties in Chemical Industry

Michinobu Miyake and Hiroyuki Hayashi (Niigata Construction Co., Ltd.)42

Thermophysical Properties in the Design of Refrigerating Cycle

Hiroaki Matsushima (Hitachi, Ltd.)47

Thermophysical Properties in Electronic Industry

Takehiko Yanagida (Hitachi, Ltd.)51

Thermophysical Properties in Clothing Systems

Yayoi Satsumoto (Bunka Women's University)55

Food Processing and Thermophysical Properties	
Takaharu Kameoka (Mie University)	61
Thermophysical Properties of Building Materials and Their Application to Energy Saving	
Masayoshi Uezono (Japan Testing Center for Construction Materials)	69

〈Research Topics〉

Thermal Analysis for Compact Electronic Equipments	
Katsumi Hisano (Toshiba Corporation)	69

〈Reports on the Local Branch/Group Activities〉

76

〈Announcements〉

80

A Note on Professor Tien's Special Lecture*

Taiqing Qiu[†]

KEYWORDS: *Heat Transfer, Future Research*

1 Introduction

Chancellor and Professor Chang-Lin Tien of University of California at Berkeley, the distinguished thermal scientist and educator, was invited to deliver a special lecture on October 11 to celebrate the establishment of the Japanese Heat Transfer Society. Rather than focusing on particular scientific achievements, Professor Tien presented his profound thoughts to a packed audience on the growing feature of heat transfer. His enlightened approach and his enthusiasm made the lecture remarkably fascinating and inspiring.

Professor Tien developed a figure of heat transfer universe to show his research philosophy (Fig. 1). Temperature and heat flux are the two most important parameters in thermal engineering. The objective of heat transfer research is to expand our understanding and controllability of these two parameters and their related phenomena in all different directions, such as low temperature, high temperature, low heat-flux, high heat-flux, short time-scale and small length-scale regimes. Research along these directions has resulted in the development of heat transfer in cryogenics systems, thermal radiation, thermal insulation, compact heat-exchangers, heat pipes, and microscale and molecular-scale heat transfer. This philosophy shows that there is no limit in heat transfer research. New heat transfer areas will continue to emerge as technology advances and presents new extreme conditions of temperature and heat flux.

Professor Tien then chose six particular perspectives of heat transfer research to reveal its future trends, including historical, geographical, sociological, industrial, methodological and topical perspectives. Heat transfer has a long history. Natural energy transfer processes started ten to twenty billion years ago during the formation of the universe. Human beings began to utilize and control heat transfer processed since human activities came to the earth. In the last three hundred years, the development of heat transfer has been greatly accelerated and has played a critical role in heat engine, power, consumer thermal control (e.g., air-conditioning), aerospace and electronics industries. In the near future, heat transfer research will have a strong impact on many other areas, such as environment and biotechnology. Heat transfer issues have been expanded from central system oriented issues to distributed system, to component and to environment oriented issues. Consequently, relevancy and compatibility of heat transfer research to human society and natural environment have also become important research criteria.

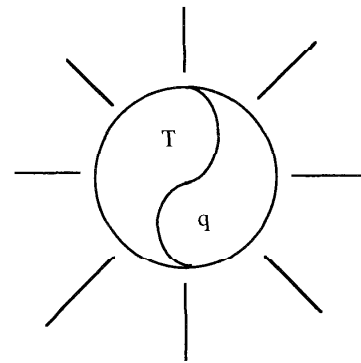


Figure 1. Heat transfer Universe

Heat transfer research started from empirical approaches. Now analytical, experimental and computational approaches have been established. It is necessary to further expand these research bases. Heat transfer activities have long been focused on relatively large systems and macroscopic phenomena. It is now necessary to look at micro systems and even quantum systems. Microscopic and molecular approaches will become the indispensable complements to macroscopic approaches for a better understanding and control of thermal phenomena.

Heat conduction, convection, radiation and phase change have been the major areas in heat transfer. Professor Tien viewed, however, active research in interdisciplinary areas as the key to success in contemporary thermal sciences. Recent development in physics, chemistry, materials sciences and instrumentation should be incorporated in heat transfer research. He encouraged researchers to think about unthinkable challenges and to be more inventive. Instead of analyzing given systems and processes passively, thermal engineers should explore new methods to actively control energy transfer. At the end of his lecture, Professor Tien discussed new and exciting research topics developed in his group. One is high-power and short-pulse laser interactions with single-atomic-layer films, and another is heat transfer in micro devices and factual medium. He demonstrates that there are many new research frontiers and heat transfer is going to continue and have a very bright future.

[†]Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo.

地球温暖化について*

近藤 次郎†

KEYWORDS: *Global warming, Green house effect*

1 講演概要

- I. 地球は温暖化している。
気候と天気、統計的処理
- II. では何故温暖化するのか。
温室効果 C. Keeling.
- III. Mathematical Modelingと不確実性
基礎方程式と数値解析
- IV. カオスか、未知か。
地球科学
- V. 温暖化は止められるか。
Entropyの法則
- VI. トリレンマと3P
人口が問題
- VII. 結論
人類共通の問題
IGBP(International Geosphere
-Biosphere Programme)
MDP(Human Dimensions of Global Prog.)

2 気候予測

コンピュータによって基礎方程式を解くことによって、天気予報が出来るようになった。これを数値予報という。これは大気中の気象現象をひとつの物理現象と考えて、基礎方程式を精密に解いてその結果を気象現象と解釈することである。これによってある地点の水蒸気や気圧などが、短い時間が経過するとどのように変わるかを動的現象(ダイナミック)として数式で表現できれば、数値計算を行なうことによって解を求め、天気予報を行うことができるようになる。

それは例えば図のように地球全体を球形の格子で覆ってその中では流れが一樣と考えられる。この図に表しただけでも格子の数は全部で1,075,200個ある。そのひとつひとつについて、実際の観測値から将来の水蒸

気、数量、大気の動く速さなどを計算する。ところがこの図のような格子モデルでも、一つの格子の大きさが110キロで、東京-熱海間より大きい。これでは、都道府県別の天気予報をすることが出来ない。そこでもっと細かい目にしなければならないが、実際にはそれほど細かくすると、数値計算の手間が人変になるので実行できない。そこで地球全体の他にアジア地域に限ったモデルと、日本付近のモデル、それに台風が接近したときのモデルをそれぞれ使って毎日テレビやラジオで放送しているような天気予報を行っている。ところがひとつのモデルの計算でざっと3,200億個の方程式を解かなければならない。また観測地点がこの格子の上うまく並んでいるわけではないから、コンピュータに初期値を入力する時には位置の修正をしなければならぬ。

気象庁に最初に電子計算機が入ったのは1959年で、その当時のコンピュータの能力は今のノート型パソコン程度であって、数値予報の理屈と、方法は変わらないとしても、それを天気予報として実用するまでには到らなかった。数値予報が現在実際に使えるようになったのは1970年代でコンピュータの性能が進歩したので、1988年から週2回だった1週間先の天気予報が、毎日計算できるようになった。また日本付近の計算がもっと細かい格子で計算できるようになって、格子間隔が40キロから30キロの程度に進歩した。このようにするから東京、埼玉、千葉というように各県ごとの天気予報が1週間先まで行えるようになった。

しかしこのような数値予報を聞いていて、まず明日の天気についてはほぼ当たるが、1週間先の天気となると、それほどよくは当たらない。24時間先では当たる率が100点満点の95点ぐらいであるが、8日先となると70点にも達しない程度になってしまう。現在のようにスーパーコンピュータを用いる天気予報もまだそれほどは信頼できない。この場合、空気の流れを取り扱うのであるから、ナビエ・ストークスの方

* 平成6年10月11日受理

† (財)地球環境産業技術研究機構(〒105 東京都港区西新橋2-23-1第3 東洋海事ビル, Tel (03)3437-2822

程式を差分法で解けばよいことになるが、実際は二酸化炭素と酸素、窒素の混合物の他に多くの他の不純物質や大気汚染物質も混じっているので、その間の相互作用を考えると物性値がひとつではないという難しさがある。特に流体力学に熱力学も考慮に入れないと、水蒸気の発生や地球全体の温暖化なども考慮することもできない。ところが熱を方程式に入れるということになると、太陽の輻射や地表面の輻射率の他、水蒸気や氷雪の影響など極めて複雑な気象現象を数式化して、運動方程式と同時にそれを解く必要がある。そこでこのような問題は熱空気力学 (Thermo-aero dynamics)として極めて難しいものとなる。

単に方程式が複雑になるというだけでなく、いったい本当に安定した単一の解が存在するのかということすら疑問である。コンピュータは数値計算の結果を数値として打ち出すのであるから一見すると1週間後の解、あるいは数年後の解が全く同様に得られるので、それを将来そのようになると解釈する立場もあるが、問題が非線形であるために、しかしよく考えてみると、数値計算の結果は不安定な解の一つの瞬間の値を表しているのに過ぎないのかもしれない。

そこでこのような問題を取り扱うために、空間的な3次元の他に時間的な変化も考慮に入れて、いわゆる4次元の解を吟味することも必要である。これを4次元データ同化システムと呼んでいる。現在では図に表したようにこの種の複雑な問題にチャレンジをしているが、そこに得られたコンピュータの解が真実であるかどうかについては、残念ながら理論的に検討することができない。さらにそれを実験で確かめることすらもできない。例えば数値予報の結果が実際の天気と一致しなかった場合に、それが基礎方程式が不十分であるのか、数値計算のメッシュの数が粗すぎるためであるのか、あるいは海の上には気象台がないなどの理由によって初期の観測値が、不完全であるためであるのか、根本的に数学的に正しい解が得られない種類の問題であるのかすらも判っていない。そこでこのような問題の判定は極めて難しいので、過去の観測データを利用して例えば1980年1月1日の地球表面の状況が全て正確に分かっているとして、それから24時間後、2日後、一月後、一年後の予測を同じ方法で行い、その結果理論値を過去の気象データによってチェックして、どの程度に正確に予測できるかを吟味する方法がひとつのやり方である。もし1月1日の数値から、その年の夏、あるいは冬まで正確に計算できたとすれば、これは我々の計算方法が確かであるという根拠になるであろう。

理論的な計算の結果は実験式によって確かめるというのが、通常の物理学のやり方である。もし理論的な計算結果が実験とよく一致すれば、我々は物理的な基礎の現象の理解が、数学的に完全に得られたものであると考えられる。しかしながら気象学にこのやり方を応用するとすると、観測データも十分でないし、基礎方程式についても十分自信がない。特に熱力学に関する部分が正確であるかどうかよく判らない。運動方程式については、ナビア・ストークスの方程式がある程度実際の観測値とよく一致する。またある条件以上になるとそこに乱れが発生するなどということがよく知られており、運動に関する限り理論と実験がよく一致して我々は自信を持っているのであるが、熱力学的現象となると、まだ基礎方程式そのものについても自信がないし、また観測値も十分でない。

そこでもっと単純なモデルについて、実験と理論的な計算を同時に行い、その両者の比較をすることである。もちろんこの際に雲が出来たり、雨が降ったりというような気象現象までも基礎方程式に組み入れることはまだ十分ではないが、それでも例えば温度変化までを考慮することが出来れば、ある程度自信をつけることができるであろう。このような研究も同時に今後は行わなければならないであろう。現在はコンピュータが非常に発達しているために方程式さえできていれば解を求めることができるが、その解が果して正しいかどうかを確かめることは非常に難しい。

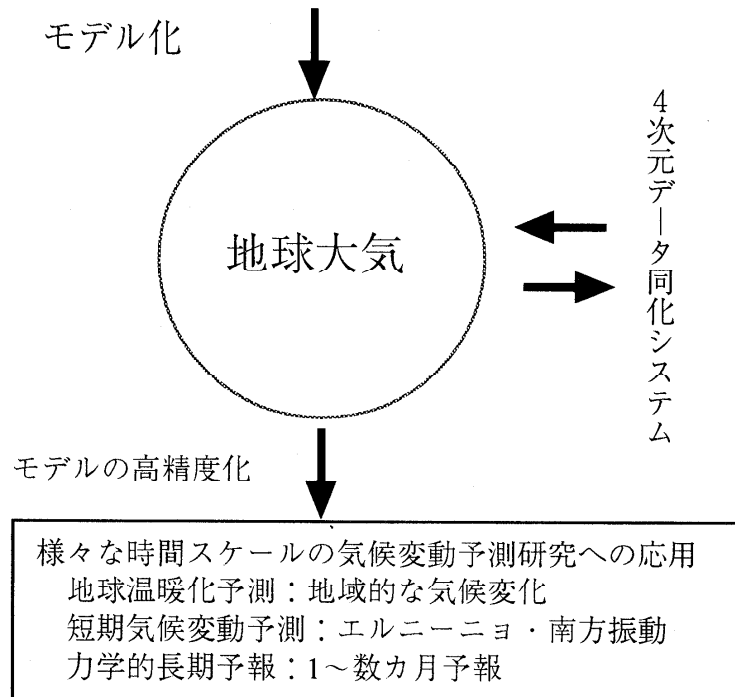
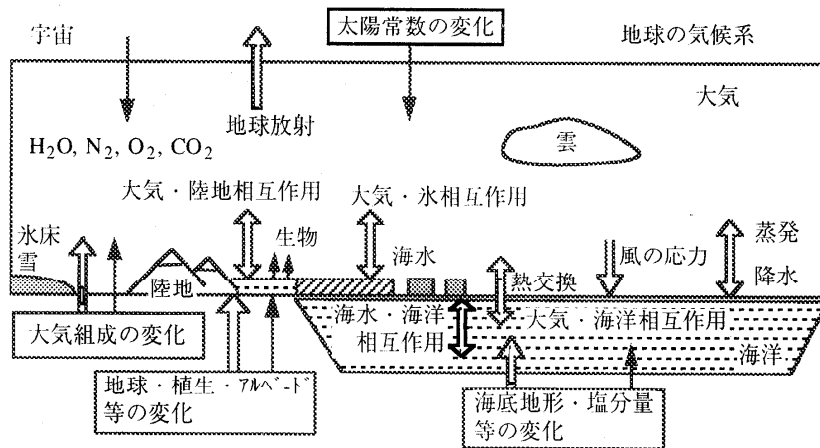
日本学術会議の第15期においては、熱工学研究連絡委員会の対外報告として”環境保全の熱工学課題の現状と将来への対応”と称する報告書を公表した。この中では、まだ物性が十分に知られていないことの他に、雲のように水蒸気、水滴、空気の混合物と考えられるものが、非平衡物質の熱物性と考えると、非常に難しいと指摘している。またその他の工業的に合成された物質などについての、例えば燃焼の際の熱力学的な物性等を研究することがあることも指摘しているが、その点は全く同感であるが、これまで考慮して、気候変動の予測計算を実行することは甚だ難しいことである。

参考文献

- [1] 日本学術会議 熱工学研究連絡委員会, "熱工学の研究動向と熱技術の進展", 日学双書、日本学術協力財団 S63.11.28
- [2] 近藤次郎, "気候変動の予測—特に不確実性とカオス", 第42回応用力学連合講演会H5.1.26

三次元気候モデルの高精度化

地球の気候系：気候サブシステムと相互作用



「次世代の伝熱を探る」

出席者（所属）（敬称略、発言順）	司会	福迫尚一郎（北海道大学工学部）
杉山憲一郎（北海道大学工学部）	牧野 俊郎（京都大学工学部）	
佐藤 勲（東京工業大学工学部）	円山 重直（東北大学流体科学研究所）	
青木 和夫（長岡技術科学大学工学部）	井上 剛良（九州大学機能物質科学研究所）	
長坂 雄次（慶應大学理工学部）	片岡 勲（京都大学工学部）	
平澤 茂樹（日立製作所機械研究所）	稲葉 英男（岡山大学工学部）	
田中 直樹（三菱電機中央研究所）	西尾 茂文（東京大学生産技術研究所）	

司会（福迫（編集・出版担当副会長）） きょうはお忙しいところ、先生方に集まっていたきまして、本当にありがとうございます。

日本伝熱研究会が日本伝熱学会になり、しかも、また日本伝熱学会が法人化されました。その記念行事の一つとして放談会が企画されたわけにありますけれども、その中で次世代の伝熱を探るということで、今から十数年あるいは20年の伝熱研究を担っていく先生方にお集まりいただきました。

きょうのこの放談会は、伝熱学の未来はあるのか、あるいは、それがあれば先生方お一人一人はどのような展望を持ち、どのようなポイントで伝熱学に今から十数年なりあるいは20年なり取り組まれるのか。そんなようなことにお話をもって行ければと思います。

まず初めに、各先生方は、この伝熱研究会をつくられた先生方の考え方というのを踏まえて今まで来たのではないかと思います。ですから、そういうものに対するご批判も含めて、短くお話をしていただければと思います。

それでは、杉山先生の方から一言ずつお話をいただけますでしょうか。

杉山（北大） やってきたことをちょっとお話しして、導入部にできればと思います。私は、機械のマスターを出た後に、北大でいいますと原子工学科、一般的に言えば原子力のフィールドに入ったんです。そも

そも熱をやったのは、伝熱に興味を持っていたというよりは、エネルギー資源的に日本は非常に厳しいので、そういうところで何かコントリビューションができないかなということで始めたということです。

原子工学科に職を見つけたのも偶然ですが、そのときに何をやるかということで、一つはプラズマという話と、液体金属、つまり高速増殖炉という話がありまして、いずれも未来型のエネルギーということです。ただ、どうも機械のセンスからしますと、核融合は未来型だといっても、まずエネルギー源にはなり得ないんじゃないかなということで、その時点でやめました。やはり役立つ成果が上がるということが非常に大事になる。それで高速増殖炉ということで液体金属の研究を始めたんです。

そのときの思いとしては二つありまして、一つは、原子力というのは放射能とか放射線が絡みますので、それが将来どのような展開になるかということです。これはプリディクションできないシナリオとして非常に興味がありました。

もう一つは、実際に液体金属を使った原子炉がものになるかならないかということです。この2点が非常に興味がありました。

その後4分の1世紀近くたつんですけれども、結果としてはネガティブな雰囲気にはあるという気はします。ただ、新しい伝熱のフィールドに入ったということでいいますと、非常におもしろい話が色々あったという意味で選択としては間違っていなかったんじゃない

ないかなということです。

もう一つ、エネルギーとして、一番大事なことは、やはり熱エネルギーをどううまく使うかということです。物理志向で行ったとしても伝熱というのは非常に興味があるフィールドです。従って未来はあるかといいますと、私の答えは、未来は十分ある。なぜならば、エネルギーの最終形態は必ず熱になってしまいますから、そこをうまく使うということが地球環境を守るという意味でも非常に大事であり、未来はあるということだと思えます。

司会 どうもありがとうございました。

次に、牧野先生、お願いいたします。

牧野（京大） 私が初めて伝熱シンポジウムに参加したのは、第10回の仙台のときで、それからでも随分たちます。私は、伝熱学の本流にいたわけではなくて、今は物性工学講座というわけのわからん名前の講座の熱流体物性学という分野を担当しております。

ずっと伝熱学の中でやってきたつもりではいるんですが、固体の熱ふく射性質の關係の、本流からは少し距離のあるところで仕事をしてきました。

司会 どうもありがとうございました。

それでは、佐藤先生が一番若いんですかね。いや、井上先生の方が一番……。ごめんなさい。（笑）

佐藤（東工大） 私は56年に東工大の機械を出まして、その後、生産機械という学科に移りました。今、機械知能システムという変な学科の名前になっていますが、生産機械というところで何をやってたかという、伝導と対流とふく射の共存場のような伝熱学の教科書みたいなことをやっていたんです。最近はずすチックの成形時の伝熱みたいなこともやっています。ただ、この分野というのは非常に現場の人が強くて、学問がまだ発達していないのに物はできちゃうわけですね。例えばCDなんてのは、0.1ミクロンオーダーの成形ができちゃうんですが、学問的に言うともまだ未発達の領域なんです。

そういうところにコントリビュートしていますと、学問というのは何て無力なのかというのを思い知らされていまして、そういうところで精神的なバランスを

とる意味で、それ以外の細かい、いわゆる伝熱学的な細かい話もまだ研究をしております。きょうは、実際に学問がどう役に立つのかとか、どのぐらい役に立たないのかというようなお話ができればと思っております。

司会 ありがとうございます。

それでは、円山先生、よろしくをお願いいたします。

円山（東北大流体研） 私は、学生のときは流体工学を専攻し、職員になってから伝熱研究に携わったのですが、流体と伝熱は学問体系としてはほとんど同じなのに、取り組み方が全く違うということで、非常に勉強になりました。

私の所属する流体科学研究所50周年記念史の編纂で、先輩がどういうことをやってきたかというのを見ますと、何とか理論の整理式を作って、みんなが使えるようにしたとか、統一的な整理式を作ったとかというのが多いんですね。それはなぜかという、流体工学も同じなんです、それを使ってプラントなど何かを作ることに当時は重点が置かれていたと思うんですね。

だんだん時代が変わってきて、みんな科学がおもしろいからといって科学の方に行こうとする。私自身もガスのふく射を調べていますと、私が生まれたころの理学の人がやったふく射の研究を見ると、やはり理学の人がやるやり方と工学の人がやるやり方というのはアプローチがもう根本的に違っています。ですから、余り安易に科学、科学と言って熱科学の研究を進めているうちに、100年ぐらい前に理学の方で研究が終わったことについての再確認を、喜々として行う可能性もあるのではないのでしょうか。

そういう意味で、将来的に考えたときには、伝熱研究だけでなく、エンジニアリング自体も今曲がり角だと思います。つまり、研究の方向をきちんと定めていかないと、自分たちの存在自体がなくなってしまうような危惧を最近では覚えています。かといって、私自身は何をしたらいいかという、皆目見当もつかない状態です。

司会 どうもありがとうございました。

それでは、青木先生、よろしくをお願いいたします。

青木（長岡技科大） 私は、最初は熱交換器の霜の研究をやっていたんですが、ちょうどその頃ヒートポンプが普及しはじめまして、時代の要請と研究が期的にうまくいきました。何となく伝熱としては機能的に物を対象とした研究を少しやれたかなと思っています。その後、根が基礎的な方が好きだったもので、何となく基礎的な研究をしているうちに、物というものから大分離した気が最近しました。特に伝熱学会自体がそういう気がちょっとしないでもないんですね。要するに、数式を使って整理するという形が非常に多いものですから、物に人が興味を持つという状況がもう少しできればいいんじゃないかなと思います。

先ほどの佐藤先生の話と重なりますけれども、変なことからマイクロ波のことを少しやったときに、何かおもしろいことがあるなという気がしてアメリカの学会の本をいろいろ見ましたら、セラミックの焼結にもマイクロ波の加熱がどんどん使われている。そういう意味では、物を対象とした研究をもっと早目にやっていって、理論はもう少し後でもいい。そういうことを伝熱学会としては進めた方がいいんじゃないかなという気が最近しています。

司会 どうもありがとうございました。

それでは、井上先生、さっき「何で僕が選ばれたんだろうな」とおっしゃっていましたが、多分ある先生が「先生が一番パツと好きなことをおっしゃる。ですから、先生はぜひお呼びしてほしい」と…。

井上（九大機能物質研） どうしてそんなふうになったのかよくわからないんですが……。 (笑)

私が現在、興味を持ってやっているのは分子レベルで見た場合の伝熱なんですが、特に今まで連続体として見ていたときに、エネルギーとか熱量というものとらえていたものが、分子で見たときに並進エネルギーとか、回転エネルギーとか、振動、電子レベルのエネルギー、そういういろんな形態をとり得るエネルギーが、そのエネルギーの形によって物理現象にどのように効き方が違ってくるのか、そういうところに今一番興味を持ってやっております。研究所の名前（機能物質科学研究所）からも、極力材料絡みのところとあるので薄膜を作るようなところをやったりしていま

す。

私自身は、学生のときに伝熱を選んだという意識は全然なかったんですけども、もともと航空学科で4年のときにセラミックスの破壊の方をやっていたので、その後先生が定年退官になる。ドクターへ行くなら、定年退官になるから、おまえ、どこかへ出るということで、おもしろそうなところを紹介してもらったら、それがたまたま某先生のところであったということです。何の縁か、それから伝熱という話になっていったということなんです。

司会 どうもありがとうございました。

次に、長坂先生にお話ししていただきたいんですが、長坂先生は、本年度の伝熱学会賞を受賞されました。そういうことも含めて、先生、お話をお願いいたします。

長坂（慶應大） 私は伝熱学会には大分前から参加させていただいているんですが、専門で言えば、やはり熱物性とか熱力学とかいう分野です。クラシカルに言えば、熱力学は平衡論、伝熱は移動論みたいな考え方があり、また、伝熱はプロセスで、熱物性はプロパティーというような、昔流に言えばきちっと分かれたようなところがありましたので、私は、どちらかといえば伝熱学会を斜に構えて見ていた方であります。

それで、きょう、お話ししたいと思うのは、やはり工学の中の一つの要素技術としての伝熱工学、あるいは熱科学というんでしょうか、そういうものが将来どうなっていくかという、もうちょっと大きい視点で見るときではないかなと最近思っています。といいますのは、我々の大学でも、やはり国立大学とはまた全然違うやり方で改組みたいなことを今進めておりまして、その中で、理工系の中だけの先生の集まりであっても、いや、工学がどうなるんだろうか、それから文科系の先生なんかの視点も入ってくると、工学そのものが一体どうなっていくのかという議論になってくるわけです。

個々の要素技術というのはとても深くやらなければいけないんですけども、例えばこれまで30年間伝熱学会の発展を見てきても、なぜそうなったかということ、やはり社会的な要請があったからですね。つまり、高度成長の背景にはエネルギー問題もあったし、

原子力政策もあったし、最近はもちろん環境問題もあるわけですが、そういう視点から見ると、やはり次は、アジアの中の日本みたいな感じになる。物を作ることが、ある意味で空洞化していくのはやむを得ないわけですね。研究も、かなり色々ないい研究をアジアの国々でやっているわけですね。

そうすると、我々が今までやってきたような要素技術を今までどおりやっていくことは本当にいいのかという視点がどうしてもあらわれてきます。空洞化をしない日本の技術を支える、その中の一つの伝熱というのはどうあるべきかみたいなことを考えないといけない。今回賞をいただいたのも極めてミクロなスケールの話で、それはそれで大変重要なんです。おもしろいと思ってやっているんですけども、非常に細かいところへ走って、じゃ、役に立つのかとか。今まで引張ってきたドライビングフォースみたいなものが、だんだん一本で引張ってきたんじゃなくて、非常にマルチというんでしょうか、例えば産業で言えば自動車と電機産業が引張っていたというものがなくなってきて、伝熱もエネルギー問題だけじゃ引張れなくなってきた。いろんな材料製造もあるし、本当に合わせ技みたいなことをして行く必要があると非常に感じております。ですから、研究でいえば、大部分はアジアへどンドンシフトして行って、その中で日本の研究が何をしていたらいいのかということ、ぜひご議論したいなと思っております。

もう一つ、学問的なことと言えば、伝熱が生き残れるかなんて話をすると、私自身も「うーん」と考えたり、色々な企画をさせて頂いた訳ですけども、そう思うのはどちらかというと大学の先生でありまして、もうちょっと幅広く工学の一つとして考えると、問題は無数にあるわけです。今までみたいに、例えば私は沸騰専門だとか何々専門だというんじゃなくて、やっぱり熱科学とか〇〇科学（サイエンス）と言っただけじゃないんでしょうか、そういう工学の一つだと考えれば、むしろプロセスもプロパティーも、移動論も平衡論も一つになる。それを一緒に考えるような学問体系というのを作っていかないとつくづく思っております。

司会 ありがとうございます。

それでは、片岡先生、よろしく願いいたします。

片岡（京大） 私は、大学に入った時点から原子力の分野にずっといて、原子力に関係する伝熱と流動現象を研究してきました。原子力では特に安全性という問題があって、伝熱の問題は非常に重要になってきます。そういう意味で、ネタはもう尽きないわけで、いろんな伝熱の問題、それも非常に複合的な問題というのが常に提出されるわけですね。そのほんの一部を大学の方で研究して、私はその中のまた一部のことをずっとやっているわけです。これからも原子力に限らず、色々な大型のプラントや複合的な体系についての安全性に関して、伝熱、流動の問題というのは、ずっと尽きないだろうと思っています。

伝熱、流動といえば原子力の分野では非常にポピュラーな分野です。そういう意味で、原子力の分野の中で「私は原子炉の伝熱をやっています」と言えば、それでわかるんですが、問題は、一步社会に出ると、伝熱と言ってもなかなかわかってもらえない。例えば私が高校生にエネルギーの話とか原子力の話をするとき「私は伝熱工学をやっています」と言っても、なかなかわかってもらえない。初代の先生方によって伝熱工学は専門家の間では確立した学問体系として位置付けられてきたんですが、伝熱学会が社団法人化して、社会の中の一つの法人となったこれからは、社会的にも「伝熱工学」と一言言えばわかるような形で、社会的なポピュラリティーを持つようなものにしていくことが重要なことだと思います。

司会 どうもありがとうございました。

きょうは企業からは平沢先生と田中先生をお迎えしているんですが、いずれも大企業の研究所でご活躍です。また企業の立場ということも含めて、忌憚らないお話を、まず平沢先生の方から……。

平沢（日立） 私は、大学を卒業してからすぐ日立に入って、熱交換器、空調関係の沸騰凝縮伝熱促進をやりまして、その後、コンピューターの冷却と半導体製造プロセスの関連をやり、まさに伝熱を使う立場にあるわけです。これまでの伝熱がどう役に立っているかということを考えてみますと、一番役に立っているのは伝熱工学資料だと思います。あれさえあれば大体済んでしまう。すごく伝熱工学資料は貢献していると思うんですね。あれにないものについては、伝熱シンポジ

ウムの論文集を普通見るんですね。そうすると、先ほど整理式の話がありましたけれども、整理式があったり、生データが書いてあったり、そういうことで、今までの伝熱屋さんというのは熱設計に随分貢献してきていると私は思っております。

伝熱学会にかわって一つの象徴がT S E (Thermal Science and Engineering)の論文集だと思うんですけども、その名前がちょっとまだ浸透していない。企業側というか、ユーザー側から言うと、実際に役に立ち、良く引用される論文の出るような伝熱学会であってほしいなと思うわけです。

最近、仕事を見てもみますと、だんだん最先端の仕事が多くなってきました。企業の研究所で、基礎研究から応用研究まで幅広い研究が最近結構ふえていると思います。これから、技術ターゲットをはっきり決めて企業と大学とが本当に協力する共同研究ができるというなと思います。

あと、先ほどありましたけれども、空洞化が随分進んでいまして、会社にいると、人が減ったりふえたりするのがすごく身近にわかるわけです。伝熱学会に期待するのは、雇用を、労働者を本当に沢山必要とするような伝熱の技術ができないかな、そういうことを推進するような伝熱学会にならないかなと期待しております。

司会 貴重なご意見、ありがとうございます。また後で幾つかの件について皆さんでお話しできればと思います。

次は、稲葉先生。ご承知のように、一番日本で寒いところにある大学から、今は一番気候のいい大学に移られているんですが、どうぞ。

稲葉 (岡山大) 北海道にいるところは自然相手の研究を行っていました。雪を早く消す方法とか、水道が凍って困るから、凍らないようにするにはどうするかとか、そういう研究依頼が多かったです。地方の大学ですから、地方から出てくる研究依頼というのは結構多いんです。そのころは私どもは、我々は工学だという意識がありまして、理学で行った成果を何とか実用化に結びつけるような研究こそが我々が行うべきとのニュアンスで、地方からそういう依頼があれば、飛んで行ってそれに色々対応していました。

地方は地方で独自の研究を行っているんですけども、今度中央になれば中央で、また別な研究を行っているんですね。都市型の研究です。そうすると、地方と中央の研究がうまく咬み合わなくなってくるんです。やはり地方の大学はどう生きるべきか、どう考えていったらいいのかというのが常に頭の中にあります。それで、寒いところであれば寒いほど暖かいことに対する要求、即ち、暖かいものに対する研究の要求が強いです。平成元年に岡山に来て何をやるかと思っていたら、氷蓄熱とか、冷たいものに対する要求が多いんです。(笑)これはやはり地方の特色で、岡山は備前焼というのがありますので、僕がこっちに来たときに焼き物の研究か何かやろうかなと思ったんです。そうしたら、研究依頼は氷蓄熱ばかりです。やはり地方は地方で動いているなという気がします。それから、実際に入ってみないと、どういう要求が来ているのかわからない。

今やっているのは、熱エネルギーの貯蔵と輸送ということなんですけれども、これはまた理学系のものを工学、工学から商品化、企業化というふうなニュアンスで、その間に入って何かを体系化するという意味合いがあります。最近の研究材料は新しい材料が多いです。こういうことをやってみたいからこういうものを作ってくれないかと会社に依頼する訳です。そうすると、まず物性など基本的なものからわからないんです。また、それが実際にできたときにどういうシステム化したらいいかかわからないんです。それでは、自分は何をやったらいいかとなれば、全部理学でやるべきなマイクロな研究のところから始まって商品になるまでの間の流れに入って、自分はどこを攻めたらいいのかわからなくなってくるんです。そんなにパワーはないですから。それでもなお且つ何かその道で体系化したいというような意識はありますので、自分の置かれている立場をどこへ絞っていったらいいのか。大学のやるべきことはどうなのか、会社はこういうことをやるべきなのかの境界がわからなくなる。結局両者が分担をうまく持っていけないと、うまくいかないと思います。

以前は伝導、対流、放射とか、色々分野別に専門家が結構いましたね。あの先生に聞けば大体そういうことはわかる。先ほど色々な話が出てきたように、もうそういう分類の時代じゃないと思います。何かあれば

オールマイティーに色々なものを広げていかなければならない。それで今、将来どうあるべきかということ、何か体系化したいんだけど、何をまた何のどの部分を体系化するのか、その辺の苦しみがあるような状況です。

司会 ありがとうございます。

それでは、田中先生、お願いします。

田中（三菱電機） 先ほど平沢さんがおっしゃったように、企業は比較的ドライで、必要がある研究はやるし、やらなければ人が減っていくという感じ。私は、「伝熱が生き残れるか」というお話を聞いて、実はびっくりしているんです。といいますのは、最近、環境の関係から、フロン問題とか熱搬送とか、色々と新たな課題が生じてきて、それに企業としてどう対応するか。例えば代替フロンに関しては、混合冷媒の伝熱というのが重要になってきて、しかも混合比は、運転している間に色々変わるのです。そのときに伝熱をどうやって計算するか、私どものところでは、新たに人を投入するという状況になってきているので、皆さんが力を抜かれて、新しいシーズが出てこないとしたら、大変困るのです。

先ほど佐藤先生がおっしゃったように、企業の方は物で先行する場合があります。ただし、小さな機器は物で先行できるんですけど、大きくなると、実験自体にすごいパワーがかかります。ここでは、理論にぜひ先行していただきたい。それから、生産の繰り返しが少ない装置は、ぜひ理論先行で良いものを作りたい。是非もっと力を入れていただきたいと思います。

もう一つ、混合冷媒の研究をしていて、どうやって整理式をつくるかに悩んでいます。伝熱試験装置を作りデータをとって、それをまとめるというのは企業でもできるけれど、そのベースになるモデリングに関しては、レベルが低いかなという感じがしています。ぜひ皆さんの力で良いものを作っていただきたいと思います。

それ以外に興味があるというのは、不安定な現象と非定常です。例えば、越後先生が極細管の熱交換器をやっておられるんですね。極細管の熱交換器で、空気が入ってきて出るまでは3ミリ秒位の短い時間

です。その瞬間に何が起こるかに興味があります。

それと、これは稲葉先生のご専門ですけれども、過冷却の問題です。我々のところでも過冷却水から氷をつくろうとしています。大成功したとは言い難いんですけど、そのときに、色々な現象が付随して起こってきて、不安定と非定常という問題について、まだまだ研究することがあるような感じがしています。

司会 沢山のおもしろい問題をお話しいただきました。ありがとうございます。

それでは、西尾先生、最後になりましたが……。

西尾（東大生研） 最初、私は、沸騰とか伝熱促進とかに、最近は勝手に言葉を作っていますけれども、振動励起熱輸送だとか、そんなようなことに携わってきましたが、そういう現象は、例えば沸騰なんていうのは構造が出てきますし、振動を使うと熱輸送の基本的な、あるいは特異な機能というのが出てきて、非常に現象としてはおもしろいんですね。おもしろいから、自分では一生懸命研究をするわけです。私のような総合研究所、特定の目的を絞っていない総合の工学の研究所にいますと、電気の先生だとか、材料の先生だとか、建築の先生だとか、そういう先生と日常的に会話をする機会が非常に多々ございます。先ほど申し上げましたように、自分が過去扱ってきた研究は、自分なりにかなりおもしろいと思っている訳ですけども、そういう先生方と話すとはたと思い当たるところがあって、自分がやった研究というのが、果たして本当に技術をつくり出すモチベーションになり得るんだろうかというのが、一つ基本的な疑問でした。

もう一つは、自分がやってきた研究は、逆に一般的な知識に、大きさに言えば、人類の遺産になるんだろうか。いろんな方面の研究者の方と話していると、そういう疑問が湧いてきます。そういうときに自分なりに考えてみると、研究というのは基礎研究と要素研究と応用研究があるんじゃないか。真ん中の要素研究というのに僕自身も携わってきたし、伝熱工学の大部分の方が携わってきたんじゃないか。つまり、伝熱の分野ではその要素研究が非常に重要であったがために応用的な研究と基礎研究という面が何となく色彩が薄れてきたんじゃないかなという感じがします。

それで、この学会が「伝熱工学会」じゃなくて「伝

熱学会」であるとすれば、やっぱり基礎研究ということに目を向けなきゃいけないし、それから、佐藤先生がおっしゃったような比較的応用的な色彩の強いものもやっていかなきゃいけない。いろんな面で、これから多分、「将来はあるか」どころじゃなくて、課題は山積しているというふうに思います。

一つだけ申し上げたいのは、伝熱というのは非常に便利な言葉だと思うんですね。熱を伝えるというふうに理解しての研究が、今大半だと思うんですけども、熱が伝わるとどうということが起こるのかという側面が僕は抜けているような気がするんですね。熱が伝わるというのは、最近色々テーマとして出てきているカオスの問題もそうですし、散逸構造の問題もそうです。長坂先生がさっきおっしゃられた一部にそういうことも含んでいらっしゃるんだろうと思いますが、熱が伝わるというのは、つまり、熱が伝わる力がある種の力になって物事を生み出していくという側面の捉え方が必要なんじゃないかと思います。

司会 どうもありがとうございました。

さて、お話しいただいて、非常に色々なことがあるということが分かりましたが、やっぱり絞るということで伝熱研究の将来云々ということなんですが、今までの伝熱研究についてのご批判という面では、何かそれほど強いご意見はなかったように思うんです。

一つの我々の研究の手法というのは、まず問題の現象をよく観察する、そして二つ目には、そのメカニズムを明らかにして、そしてパラメーターサーベイを色々な形でやる。そして次には、それを何とか定量化する。あるいはシミュレーションの基礎にできるようなモデルを何か作る。そのようなものが最終的には、工学的というんでしょうか、工業的というんでしょうか、そういうものにつながっていく。私自身は、いつもそういうものを頭に描いて今まで来たつもりではいるんですけども、やはりお二方の企業の先生からのお話では、伝熱工学資料は非常に役に立っている。将来云々ということ色々先生方からお話があったんですけども、やはりそれは何かそこにちょっとギャップといいましょうか、何かそんなような感じがしないでもありません。

私は、その中で一つ大きいのは、興味ある現象、おもしろい現象というのはいいんですが、それが実際の

現場で問題になって、そこから派生してくる現象、そこに我々が本当に目を向けてきたんだろうかという点かと思うんです。私が一番それを感じましたのは、二、三年前に、ノルウェー工科大学というところに行った時のことです。そこは組織が、つまり大学と、日本でいいますと機械研究所、あるいは電子総合研究所、それが一体なんですね。それで、表面から見ますとノルウェー工科大学と呼んでいるんですけども、一つの大きい国立の研究所（SINTEF）でもあるんです。そこでは常に大学院の学生も先生方も入り組んで仕事をしているんですね。私は、日本でもそういうことができるようになれば非常にいいのになと思って帰ってきました。先に議論を進める上で、そういうようなことから何かご議論いただけないでしょうか。杉山先生、何か……。

杉山 過去の研究成果の総括という点も含めて、皆さん、思いは同じだなという感じが非常にしたんですが、自分に近いフィールドに対してどのように考えているかということだけをちょっと……。

以前から私が興味を持っていたのは、例えば日本の伝熱研究をシンボライズするという意味では、抜山先生が沸騰の曲線の研究をされましたね。あの研究の動機は何だったんだろうか、ということです。

もう一つは、先程円山先生が、流体科学研究所が50周年だと言われました。高速飛翔体の話からあそこは始まったと思いますが、多分ジェット機とか、そういうものに関係したんだろうし、抜山先生はボイラーの研究に……。だから、ある種の産学共同研究的な意味の場があって、そこから出た研究だったんじゃないか。何かそういうとっかかりの話があるような気がするんですけども、西尾先生、その辺、どうなんだろうね。沸騰研究での抜山先生の位置づけといますか……。

西尾 私も若手の部類ですから……。

司会 これは庄司先生の方が詳しい……。

西尾 ただ、一つ言えることは、ある種の学問ですから、やっぱり好奇心というのは非常に重要だと思うんですね。ちょっと言われることと違うかも知れない

いんですけれども、皆さん、多分疑問というか、不満に思っておられるかも知れないんですけれども、電気には超伝導がある。だけれども、超熱伝導はない。電氣的な完全な絶縁体は存在する。だけれども、熱の完全な絶縁体は存在しない。ダイオードもないというようなところ、それから、熱は伝熱という形でものを伝えないとなかなか冷えない。それ以外の冷え方はもちろんあるわけですけれども、そのようなところに興味を抱くというのは、やっぱりあり得ると思うんですね。抜山先生がどういう形で興味を持たれたのか、私、詳細は存じません。

もう一つは、最近、環境だとか生体だとか、機械学会でもそうですし、伝熱学会でもそうだと思うんですけれども、いろんな新しい領域に出ていこうとしている。多分そういうところにテーマは山積していることは事実だと思うんですが、おもしろいテーマを見つけるのは、やっぱり早い時期に出て行くべきで、向こうで熱的なコンセプトができた後に出て行っても、やっぱり面白くないと思うんです。

例えば超伝導マグネットなんかでも、冷却の安定性というのは完全に熱的な条件で決まっています、それは、もう30年ぐらい前に電気屋さんがそのコンセプトを作っているわけですね。それは、沸騰曲線との対応で色々議論されたりしますけれども、やっぱりそのコンセプトができるような頃に出ていくと、抜山先生のようないい仕事もできるだろうし、また、他の方がやったような色々興味のある仕事が出てくると思うんですね。ですから、いかに早くそういう応用分野といえますか、技術的な展開が図られそうな分野に出ていけるかということが一つの重要なポイントのような気がしますね。

片岡 そういうことと関係すると私は思うんですが、今まで伝熱学というのは、何か要請があって研究してきた。ここらあたりで、こんなことを言うと怒られるんですが、役に立たない研究とか無駄な研究とか、関西弁で言うところのけったいな研究とか、そればかりだったら問題なんです、そういうものもこれからある程度伝熱の方でもあってもいいんじゃないか。むしろそういうものの中から、将来非常に先駆的なものも出てくるんじゃないかなという気はするんですね。

司会 長坂先生、何か……。先ほどの先生のお話と非常につながっている。

長坂 今、西尾先生や他の先生が言われている伝熱の要素技術としての側面が、従来、物すごく強調されていた。それは当然だったと思うんです。さっきこれまでの総括と言われましたけれども、その意味で、極めて役に立つ結果が出ていて、大変すばらしい成果を上げていたと思うんですね。その反面、そこでは、こういう言い方で言っているのかわかりませんが、もうやる余りがないと思っている方が随分多いと思うんですね。

今までわかっていることをもう少し細かく見たらどうなるかという再考ですよ。それで何か直ぐに役に立つかと言われると、確かに整理式の精度が少し良くなったとか、そういうレベルの研究がどうしても多くなってしまうのは、これは仕方のないことだと思うんです。

そういう意味のブレークスルーと言っているのかわかりませんが、新たに何かあるかという、やはり基礎現象としては、伝熱に関して言えばきつ余りがないと思うんですね。例えば10年先の伝熱学会を考えてみて、全然違う原理でいろんなことをやっているとはだれも思わない。ツールは変わるかも知れないし、色々なテーマが具体的に変わってくるかもしれない。しかし、基本的なことは変わらない。そうすると、やはり研究としてはどうしても、西尾先生がさっき言ったような原理に立ち戻ったりとか、私がやってきた第二法則の問題とか、そういう問題の方が大学の先生がやるテーマとしては多分ある。

しかし、一方では、応用研究、企業とものと密接につながりを持つ研究というのは、特に伝熱の場合は、希薄なところがある。学会会員の分布を見ても、どうしても大学の先生が多い訳です。それから、さっき抜山先生のお話も出ましたけれども、今基礎と言われているものがどうして生まれたかと考えると、やはり現実の問題があって、それをどう解こうかと思って生まれたものがほとんどだと思います。例えば、よくやり玉に上がるカルノー・サイクルにしても、蒸気機関が一杯できているけれども、その性能の限界は全然わからない。何とかそれを良くしたいという非常に現実的な問題があったわけですよ。ですから、そこを学会

としては、企業の方にももっと多く入っていただいてインタラクションをもっと持つという、むしろ要素研究の部分だけが役に立つというかな、役に立つところはもう終わってしまって、基礎研究および応用研究がどちらかというところが無かったので、それをやっていくことなのではないかと思うんです。

もう一つは、先ほども申し上げましたけれども、単独ではなくて、やっぱり複合技であって、一つわかっているからという時代はやはり終わった訳です。少しの知識で色々なことがわかるために体系化している訳ですから、それを使えば、一人の人が沸騰も何もかも皆、ある程度わかる。そういう一つの熱システムエンジニアリングとか、そういう幅広い考え方でやると、そういう複合したものの中に、現実問題も含めて新しいことが出てくるというか、むしろそういう方を志向しなきゃいけないんじゃないかという気が私はしています。

稲葉 今、長坂先生がおっしゃったように、伝熱の基礎研究を行う段階でテーマを考えると、複雑なものがあります。それを裸にしてみるんです。自分のねらっている本筋はこれじゃないかということで、余計なものを全部除くような装置を作って、それをクローズアップして、そしてこういう主体性があるんだ。律速があるんだというのを見つける研究を行っていました。最近はそのじゃなくて、複合したままでどっちを動かしたらどっちへ行くのか、そういうパラメーターの動かし方がだんだん出てきています。

そうすると、今まで考えもしなかったような因子のパワーをさらに強くしていけばまた違う結果が得られます。例えば、カオスだとか、揺らぎとか、自分自身の中で変わりたいという要素を持っている因子がそれに相当します。それこそ外的要因じゃなくて、自分自身が内的に変化することになります。それを見極めようとして色々分析・解析的な話が出てきますね。複雑だ、複雑だじゃなくて、本筋に何かがあるんですよ。その本筋をどう見つけ出すか、そういう情況に研究の主体が来ていると思います。そうすると、今までやっている伝熱体系で実験式をどうこうという話じゃない、別なスタイルの攻め方というのがどうも出てきているんじゃないかなという気がします。

円山 今稲葉先生がおっしゃったこと、さきほど長坂先生がおっしゃったこと、一応尤もだと思います。それに対応する伝熱の行方と言う図(図1)を考えて見ました。先ほど平沢さんがおっしゃったように、企業には必要な道具としての伝熱があります。昔の方は、ともかく実験式が道具だったわけですが、これからは多分汎用ソフトがそれにとってかわるだろうと思います。そういうものもやっぱり伝熱はある意味では志向していかなければいけないのではないのでしょうか。

それから、既知な基礎原理を複雑に組み合わせた現象や基礎現象解明、新現象の利用と最適化。これは今までメインに、大学の先生が熱工学としてやられてきた要素技術だと思います。

最近「熱科学」という言葉が盛んに使われるようになってきましたが、熱科学と熱工学というのは基本的に多分違うものだと思います。熱に関する基礎現象、基礎原理の発見と、新しい分野のサイエンスのとしての熱も多分非常に重要になってくるだろうと思います。それに近いことをおっしゃっている方もかなり多いと思うんですが、伝熱はこれらをグローバルに全部包括しなければいけないと思います。

先ほどの道具としての伝熱を考えると、例えば会社の方が、大学を卒業したばかりの人でも、マウスを動かすだけで答えがある程度出てくるようなソフトを伝熱に携わる人たちが作って社会に貢献する必要があるのではないのか。ただし、こればかりやっていると、大学の先生は面白くないんですね。大体こんなものでは学生が来ません。

司会 来ませんね。

円山 実際にこんなものを行っている、多分いいかげん自分で嫌になっちゃうと思うんですね。そうする

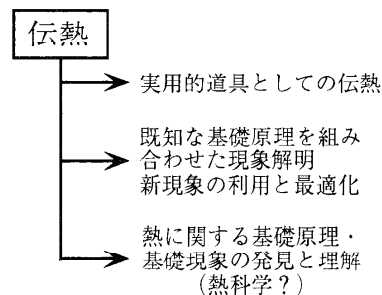


図1. 伝熱の行方

と、例えば大きな環境シミュレーションの問題はこの汎用ツールを使ってやり、プロセスを研究するのではなくて、出てきた結果をどのように活用していくかということ伝熱の専門家が取り組んでいくというののも一つのやり方だと思いますね。

一方、科学として、サイエンスとしてやる場合には、現象が理解できればいいわけですから、別に結果が使えなくてもいいわけです。将来的には伝熱というのは、そういう意味でサイエンスを取り込んだ形で発展することが理想ですが、私個人として、ちょっとネガティブな話もさせていただきます。サイエンスとか基礎原理とかに段々入ってゆくと、今まで自分がやっていた道具としての伝熱や要素技術が、段々つまらなくなっていくんですね。実験式なんかを作ってどうするんだ。原理さえわかれば実験式中の数字なんかどうだっていいじゃないですかと学生が良く言います。理学部の学生なんかは特にそれが顕著ですね。解があるのはわかっているのに、拡散方程式を一々解くんですかと。

それはその通りですが、私は、テクノロジーとかエンジニアリングとして伝熱を見ているから、やはり今言ったようなサイエンスをやるにしても、それをどうやって使うか、どういうふうにするかというのを常に頭に入れた上で、工学系の熱科学の人はやるべきだと思いますね。理学系の熱科学の人は、多分そんなことを考える必要がなくて、現象の理解をどんどんやるべきだし、伝熱学会は、将来そういう人たちも取り込んでいかなければいけないんじゃないかなと思っています。

井上 私なんかは熱科学の方に分類されるんだろうなとは思っているんですけども、私自身は工学をやっているつもりなんです。研究所で化け屋さんと話をしていても、「やってることは似たような手法を使っているけども見る視点がちょっと違うね。」と言われるんですね。やっぱり僕らは伝熱の立場から見ているんですよ。そこら辺、周りから見たらどう見えるかはよくわかりませんが。

一方で、科学と工学をそんなにはっきりと分けられるのかなと言う疑問はあるんですよ。工学は、科学、サイエンスに基づいたものでなければもう成り立っていかない訳です。そういう意味では工学と科学

との境界が混沌として来ているような気がします。そして、伝熱が従来基礎にしてきた科学がもうそれだけでは不十分になってきているんだと思うんですね。

伝熱整理式に関しては、その有効性というか、役に立ってきたことは非常に理解はし得るんですけども、現在でも大学で研究するものとして、それが本当に適当かどうか。研究というのは、もともと非常に感動するとか、楽しめるというようなところがあると思うんですけども、整理式ではそうはならないと思うんですよ。伝熱の方では、わくわくどきどきするところが何か欠けているんじゃないですか？そこが、基本的に問題となっていることかなという気がするんですが……。

牧野 さっき一言、二言しかしゃべらなかったの……。

司会 どうぞ。もう時間がありませんので、どんどん早い者勝ちでしゃべっていただきたいと思います。

牧野 いや、そんなに頑張って言うことじゃないんですけども、さっき片岡先生から役に立たないことをやっている人間がいるというお話があって、ああ、私のことだなんて聞いていたんですけども……。

片岡 とんでもない。(笑)

牧野 工学部にいるから、生産の現場と何らかの形で関わっていきなさいいけないんだと思うんですけども、余り直接的じゃない方がいいと私は思っております。生産の現場と直接に関わっているような分野があって、もう一方の極にサイエンスがある。それからもう一つ、第三に、独自の系統性を持っているような真ん中あたりが何かあってほしい。大学なんてところで、お金もないのに研究をしていこうというときには、その辺の系統性をめざしていかないと旨くないんじゃないかなと常々思っております。

私は、熱物性の関係の仕事をしているんですけども、物を扱うんですね。そうしますと、その物というのは工業界にあるような物なんです。ところが、サイエンスの側へ走っていきますと、例えば金属についていうと、ファイブナインとかシックスナインというよ

うな純粋なものを持ってきて、その単結晶を作って、表面を原子オーダーで滑らかにしているんな実験をやる。そこで得られた結果、それこそがその金属の真の姿である。これが物理学の世界なんですね。それに対して、我々は物理工学と言っていますけれども、そんな分野では、決して純粋が真の姿じゃない。我々は、物についての何か系統的なアプローチのすじみちを創り出していかなければいけないのだからと思っております。基礎は基礎なんです、物理に近づいていくのが基礎じゃなくて、何か雑多なものの中に系統性を見出していくのが基礎なのかな。最近、そんなことを思っております。

サイエンスにも物理学があって、それから生物学がある。随分方法が違うんですね。生物学をやっている、動物だとか植物だとかを切り刻んでいる人と、生きた猿のお尻を追っかけ回して喜んでいる人がいる。ややもすると、我々は切り刻む方に行きかねないんですが、サイエンスの後追いじゃない切り口を作っていくと、まだまだ生き延びられそうな気がします。

長坂 どうもサイエンスとエンジニアリングと分けて考えがらなんですよ。私もどっちかという、そういう意味でいうとサイエンスに分類される人間かと思うんですけども、やはり大学で一つの講座なりを持って教えている論理からいくと、どうしても細かいところへ走るんですね。ある物がほぼできている。伝熱の場合にはほぼできていますから、骨はできています。骨を作る作業ではないわけですね。そうすると、どうしても細かい方、切り刻む方に行くわけで、それは、私としては、自分の存続もかけて、最近非常に危ないと思っています。

というのは、やはり工学であり、社会的ニーズがあって初めて必要なわけです。ニーズと言うとちょっとニーズオリエンテッドになり過ぎちゃうわけですけども、やはり社会としての背景があるか、あるいはそれに関するものが必要であるとか、そういうものがバックグラウンドにないと、それはすぐには死にませんけれども、やはり基本的には減衰していく。若い人が来てやろうと思うようなものは当然生まれませんね。

だから、そういう意味で言うと、企業の方からもっと言っていたきたいと思うんです。本当に必要なもの、

それから現実の新しいもので本当にコンプレックスなものとか、もうわからないというものをむしろ我々に突きつけていただきたいわけです。その中から、現実の中から砂金を見つけるような作業というのは、きっと抜山先生の仕事だったかも知れないし、カルノーの仕事だったかも知れないわけですが、そういうようなこととのつながりがないと、やはり減びるんですね。つまり、要らないものはなくなるわけであって、例えば伝熱ハンドブックができて、ソフトウェアが売れば、先ほど円山先生も言っていたけれども、そんなのは研究ではないわけで、もう要らないですよ。なくていいんですよ。そうじゃないものをやはり……。

宝の山はあらゆる所にあると思っているんですが、それを大学の人だけがこうやって見ていると、どうしても細かいところの穴をほじくりまわすから、企業からそういうものをむしろ突きつけていただくか、あるいは我々がそういうものをむしろ前に出て探すようなことをしないと、どうしても行き詰まってしまうと思うんですね。皆さんもそういうことをお感じになっているのではないかなと思うんです。そこで、「アジアの中の日本」みたいなニーズとか、産業がこれからどうなっていくかということは、当然伝熱と無関係ではないわけで、そこら辺のことをむしろ企業の方からどんどん言っていたいただくか、教えていただく方がいいんじゃないかなと思うんです。

司会 そうですね。先ほども平沢先生が大学と企業の共同研究とか、それから、今長坂先生もおっしゃいましたけれども、空洞化。実は言われているのは、今までは生産をする工場とか、そういうものが空洞化と言われていたんですけども、そうではないんですね。今度は研究自体が、日本の中で、下手したらそれが空洞化の方向に向かっているというようなこともお聞きしています。

まだ時間がございますけれども、平沢先生と田中先生にこの辺をお話ししていただきましょうか。

平沢 例えば身近に感じているニーズは、半導体製造プロセスで、どういう化学種を使ったら熱伝導の良い構造材料ができるのかということをよく聞かれるんですね。工場では、性能を上げるために色々な化学種

を使いたがるんですけれども、新しい化学種はやっぱり危ないですから、簡単に実験できないんです。新しい化学種を混ぜて製造すると、どういう物性の構造材料ができるんだという、物性値の予測技術を作ってもらいたいなと思います。それは一例なんですけれども、すごく基礎的なところから、当然応用研究があります。雇用につきましては、とにかくこれはもう何とかしなくちゃいけない問題として、熱の超伝導みたいなものを誰かがほんとに発明してもらえれば、雇用が生まれます。遊びの研究でも構わないですから、一発ばんと当たって雇用が生まれるような熱の研究を是非やってもらえないかなという……。

井上 そうというのが今の伝熱から出てくるかということに問題があるんじゃないですか。出てこれるような余地があるのかというようなところ。

田中 先ほど井上先生がおっしゃった研究でわくわくどきどきすることが企業にはあります。ただしそれには、レベルの高低があるかと思うんです。例えばこういう原理で冷えた、温まった、「できた」というのは嬉しいですね。それから、伝熱が上がった。何か皆が上がらないだろうと見ているものが突然上がった、それは非常に嬉しい。実際に最終的に形として何か出てくるのが非常にうれしいと思うんですね。これが多分、工学の原点じゃなかったかなという感じがします。私自身は理学部出身で、昔は理学部から工学部を見て物足らなさそうに思っていました、実際に工学をやると、逆に理学部は何であんな細かいことやっているのかなと思います。立場の差なんですけれども、工学ではやっぱり物が動くとか、物がよくなるというのは喜びだと思います。そういう意味で、企業ではわくわくどきどきするものが沢山あると感じています。若い人も、そういうものに出会えたときはすごい喜んでですね。

例えば超澁水性の表面処理をすると従来着霜していた熱交換器から水が飛び出してきて、それが落ちて、そこで凍る。今までは頭の中では想像できないわけですね。それがぼんぼん飛び出して、下に落ちたら凍るわけです。これを見たら、「おお、すごいな。これはうまく使えるんじゃないだろうか」という気持ちが湧く。それから、過冷却度にしても、水をうまく冷やし

ていくと、マイナス30度まで凍らないとか言いますが、もし自分で経験できたらすごいと思うに違いありません。それは学生実験的でレベルの問題はありますけれども、そういうのがすごい次の力になるという感じがしています。

井上 それは学生実験レベル的かもしれないけれども、そういうのが大事なんじゃないかなと思うんです。

田中 そうですね。

井上 どうなるかわからないところをやってみるといのは、非常に大事なんじゃないかな。

田中 そういう意味でいったら、自分でトライしてみて、その喜びを味わえるんですよ。本の上では色々書いてありますけれども、それはもう本の上の話ですから、自分で実際に経験してみると違う。

井上 一方で、システムにしていくということも大事ですよ。いろんなものを統合して新しいものにしていくということがおもしろいのではないですか。

田中 企業で言うと、実際に製品化ということですけども確かにおもしろいです。

話は変わりますが宝の山の話で私が思っているのは、我々は必要があるところには研究は投資するけれども、必要がなければ投資しない。これは原則ですけども、そのときに、宝が眠っているか眠っていないか、誰かが掘ったか掘らないかと色々考えて、あとは勘ですね。どこそこへ行って宝を掘れと言います。私自身も幾つかやって、大半は失敗ですね。大半は失敗ですけども、そのうち当たればいい。10個のうち1個ぐらい当たればいいと言われても企業では本当は半分ぐらい当たらなければいけないんです。けれども、宝の山に対してチャレンジするというのは必要です。

今思っているのは、細かい渦があります。空調用の熱交換器というのはフィンの間が1ミリとか1.5ミリです。そこでは渦を作りにくいんですけれども、可能性があればそこにはどんどんチャレンジしていくつも

りです。

もう一つ、先ほど福迫先生がおっしゃった現象観察から定量化まで、これは解析ですね。企業では土壌、土です。そこから花を咲かすというか、最終的には実をつけて収穫しなきゃいけないです。そういうところまで行くために、解析と開発という二つのマインドが要求されます。どちらかだけでは成立しない。解析にすごく向いた人がいても、お前は駄目だ。開発の方だけ向いた人がいても、お前は駄目だ。両方持たなきゃ駄目だということを言います。そうじゃないと先がよく見えないと思うのです。

ところで、先ほどからお話があるように、企業側のニーズが何かということに対して、皆さんが目を向けられると、私どもにとってもすごく世界が広まるなという感じがします。ただし、企業側としては、自分で宝物を探したら、自分で育てたいという気持ちがあって、どうしても隠します。でも、ぼろぼろ言っている筈なんですよ。そこから酌んでいただければ多分読めるんじゃないかな。我々としても、言いたいんだけど、言わないという立場で言っているところがありますね。

佐藤 先ほどの科学とシステムティックな複合化というのが両方必要だというのは非常に賛成なんですけれども、随分前ですね、西尾先生と酒を飲みながら話していたことがあるんです。今の伝熱の分野というのは、非常に先見性の強い学問というか、そういうような体系になっていますので、応用面というんですか、システムティックにどう組み合わせたらどうなるかというようなところも、割と先見的に整理はし易い。そうすると、類推が効くので、同じことをやってもつまらないという形で排除をされる傾向が非常に強いんだろうと思うんですよ。そういう意味で、我々は、つつい穴をほじっていく。

科学をやることは非常に重要だと思うんですが、実際、おられる方の果たして何割が、本当に自分の興味から熱科学的なことをやっているのかというのが、ちょっと疑問なんですね。システム的なことをやりたいんだけど、あの大御所がうるさいからというところがあって、それで仕方なく下向きの穴をほじっていく。他の人の穴にぶつかってつながると、西尾先生とお話の中でできたことですが、慌てて穴

をふさいでということをしている。(笑)そういうことをしている限りにおいては余り発展はしないだろう。むしろ先見性というのをうまく利用して、広くしていった方が得策なんじゃないか。会社、企業との共同研究的なことも含めて、そういう方針を考えていかないと、それこそ今日の放談会のテーマじゃないですけども、将来はあるかという話になったときに、穴をほじっていくだけだと、きっと将来はないんだろうと思うんです。

杉山 今までの話を聞いていますと、やっぱり我々の枠の中からはなかなか出ない話が多いという気がするんです。

一つは、長坂先生がさっき言ったアジアの方にベクトルが向いているという話とか、それから西尾先生が言われた、新しい状況の中に適切な時期に飛び込んでいくという二つの条件は絶対必要だと思うんです。そういう意味で言いますと、我々の総括としては、伝熱として総括するというよりは、例えばもっと大きく、20世紀というのは科学と工学にとってどういう位置付けの世紀になっているか。少なくとも次世代ということになりますと、福迫先生は20年と言いましたから、21世紀にイナーシャをつけて入っていくということになると、21世紀というのはどういう世紀なのか。その世紀のキーワードに対して、自分の今のスタンスが生き延びられる方向にあるのかないのか、別の言い方をしますとロマンがあるのかないのかというようなことを、ちょっと最後にまとめてみる必要があるんじゃないかな。

北海道大学の例でいいますと、中谷宇吉郎先生という方がおられました。福迫先生や稲葉先生からすると、近い分野を研究されていた。ところが、多分、東京から北海道に来たという環境の違いによって、物すごく雪というものが新鮮だった。その雪の結晶をどうやって作るかという、いわゆるテクノロジーの研究をやったわけですね。それが、日本人としては非常に数少ない「ネイチャー」誌に論文が載ったということ、なおかつ寺田寅彦の弟子だったということもあるかもしれません。それから、彼が非常に詩人であったということも影響していると思うんですけども、そういうことで、サイエンスに対してロマンを、彼から見てネクスト・ネクスト・ゼネレーションに対

してもロマンをつくり出せた。我々はそういうことに対して宣伝を何もしていないじゃないか。要するに、専門家として物を考えているだけではないか。そういう視点からいうと、21世紀というのはどういう世紀であって、ネクスト・ネクスト・ゼネレーション、つまり、高校生だとか大学生にとって魅力のあるPRをすべきだと思います。次世代の方は研究に忙しいと思いますので……。

牧野 次々世代……。 (笑)

杉山 現世代の方には、是非そういうところに対して、いかに伝熱学が魅力があるか、そして、21世紀は非常に魅力ある世紀であるということを宣伝する業務の方にいそしんでいただきたいという感じがします。

私のクエッションとしては、21世紀をどういう風に捉えるかということ、二、三意見を聞ければと思います。

司会 さて、時間がいよいよなくなってまいりましたけれども、杉山先生の今のお話に関して、長坂先生。

長坂 そんな21世紀なんて大それたことは言えませんが、アジアについては、生産はもちろん、研究ももちろん、どんどんいい研究をしているわけで、どの大学のドクターコースにもアジアの方が大勢いるというわけで、どう考えても、今まで伝熱学会がやっていた方向のことは、当然アジアのほかの国へも移っていくわけですね。

そうすると、日本で何をやるかということ、やはり私は、先ほど平沢先生も言っていましたけれども、1つは本当の先端をやるということ。もう1つはアジア全体にビジョンが見せられるような、アメリカやヨーロッパがやってきたようなことを日本がアジアに対してやらなきゃいけないということです。ビジョンみたいなものを作っていくということは、やはり非常に重要なんじゃないでしょうか。だから、日本で穴をほじるんだったら、どこかの途上国に行って、その国の伝熱の父になる方が本当は世の中の役に立つんじゃないかと思います。そうすると、非常に基礎的な、我々が今までやってきたことをそのまま使うだけかもしれま

せんが、いわゆる非常にローテクというような部分が実は本当はそこでは役に立つわけで、日本国内ではビジョンを出したり、次の世代はこうだというようなことを見せたり、最先端をやる以外に、もう長期的には生きる道はないなというか、それがやることだと。まあ、それにすぐ変わるわけじゃないですけども、それを非常に感じています。

あと、伝熱学会の将来という意味では、先ほど井上先生が言ったように、本当にどきどきするようなものを、もちろんサイエンスの部分も出れば私もいいと思いますが、やはり現物ですね。本当に伝熱のものが、重要なものが、でかいものが見える。例えば建築で言えば、瀬戸内海にかかっている橋を見て、ウワーツと思うようなものを見せていくことが大切で、本当におもしろいなと思ってみんなが飛びついていくのではないのか。そんな気がしています。

司会 大体今の長坂先生のお話で、私が言うべきことを全部言って下さいまして、本当に先生のおっしゃったとおりのような感じがいたします。

非常に長い間、先生方には本当に貴重なご意見をいただきました。本当は司会として最後に何かきちっとしなければいけないんですけども、沢山の先生が非常にいい意見をおっしゃいましたので、その必要はないように思います。

要は、長坂先生もおっしゃいましたし、それから井上先生もおっしゃいました。私も、やっぱりエキサイティングするというんでしょうか、本当に我々がそれをやっていて楽しい、おもしろい。何を忘れてもそれに取り組みするような研究であり、あるいは仕事だというふうにやっていたら、次の世代、あるいは次々世代の人は大いについてくると思うんですね。何とかそういうふうになりたいと、私自身も思っております。

それでは、先生方、本当に長い間、ありがとうございました。これで財団法人日本伝熱学会法人化記念放談会「次世代の伝熱を探る」を終わらせていただきました。どうもありがとうございました。

小特集にあたって

第33期編集委員会

伝熱研究にとって熱物性値は、研究を作物とするとそれを実らせる土壌に例えられるように思われる。非常に大切でありながら、身近にあり過ぎるために、常にそれが簡単に手に入るような気がするものが共通しているように見えるからである。

しかしながら、伝熱に関する研究、熱設計などをすすめる上で、いざとなると、自分の必要とする熱伝導率や比熱容量（これまでは「比熱」と呼ばれることが殆どであったが、最近はこのように称するように改められている）などが見当たらず、似た物質から類推した経験を読者の多くは持っておられるものと考えられる。例えば、断熱材のように熱物性値が十分得られていると思える物質であっても、その熱物性データ集[1]を見ると、熱伝導率については比較的データが多いが他の物性は疎らにしか値がないことを見ても分かることである。

これまで、「伝熱研究」誌において熱物性値に関して取り上げられた例は比較的少ないが、その重要性については異論のないことである。また、熱物性値に関する横断的な学会、即ち現在の「熱物性学会」、が創立され、当学会と競合しない時期にシンポジウムを開催し15回に達した[2]ことも周知のことである。さらに、近年の先端技術や衣食住に関する生活環境においてこれまでと全く異なる熱に関連する技術、それに伴う熱物性値の必要性、新たな定義・提案などが見られるようになってきた。

この小特集は以上の観点から企画されたものであり、基礎的な面から産業および民生面に至るまで広い分野にわたり原稿の執筆をお願いした。その結果、特に、会員以外の執筆者の方々に意図的に依頼したこともあって、学会会員の学問分野を超える充実した内容のものが掲載されることになったと考えている。前述のよ

うに、熱物性値を伝熱研究の土壌に例えたが、両者の発展は車の両輪のようにも考えられる。即ち、熱設計には熱物性値が必要であるが、最近、特に多く提案されるようになってきている新たな熱物性値の測定法には、逆に、伝熱研究の知識や現象の把握が不可欠なことが多いからである。

また、この新たに開発された測定法は、微小試料を用いるだけで広い温度範囲の短時間測定を可能にしたり、食品などの製造工程中に刻々と変化する物質のインライン測定、凝着またはスパッタリングなどで作られる薄膜などの測定など、これまでほとんど不可能あるいは困難とされてきた場合に対し精度の良いデータをもたらすなどの目覚ましい役割を果たしてきた。しかしながら、その一方で、我々の周囲のあらゆる面で使用されている物質、いわゆる複合材料と言えるものについて、新しい問題を生じさせている。即ち、その熱物性値に対する開発された測定法による測定値の誤った理解である。それとも関連して、このような物質の熱物性値の定義や評価が新たな問題になって来ている[3]ことも提起し、熱物性値のユーザーの立場の読者に注意を呼び掛けたい。

おわりに、ご多忙の中にも拘らず、充実した原稿をお寄せ頂いた著者の各位に、改めて感謝の意を表する次第であります。

文 献

- [1] 日本熱物性研究会編，熱物性資料集—断熱材編—，養賢堂，(1983)。
- [2] 日本熱物性学会，第15回日本熱物性シンポジウム講演論文集，(1994)。
- [3] 複合材料の熱物性値評価研究会，中間報告，熱物性，8-3(1994)，179。

伝熱現象と熱物性値

長島 昭（慶應義塾大学理工学部機械工学科）

伝熱計算と熱物性値は切っても切れない関係にある。向井千秋さんが先日宇宙で取り組んだいろいろな実験でも、直接間接に伝熱現象が重要な目的や手段となっており、これらのパッケージ化された実験装置の制御は、材料や試料の熱物性値の知識無しには行えない。工業化されたプラントでも、あるいは多くの科学実験装置でも、ひとつのセットとして伝熱計算と熱物性値は必要である。

しかし、自分の工場で、自分の研究室で、冷却部分の計算に必要な対流伝熱の計算ソフトを探したい、あわせて冷媒の熱物性データを探したい、といった要求に、しかも今日、応えられるようにするというだけでは、遅かれ早かれ便利な下請けで終わり、行きづまってしまう。伝熱現象と熱物性値をひとつのセットとして将来の方向を見定める上で、もう少し違った観点も念頭において、多くの具体的な新しい研究課題に考えをめぐらすことが必要である。

プロセスとプロパティ

伝熱現象はプロセス、すなわち熱の伝わる過程を意味している。プロセスの記述は無次元化や抽象化が可能で、理論的手法も応用することができる。事実、伝熱学では無次元化表現、およびそれによるシミュレーションが重要な手法となっている。

これに対して、熱物性はプロパティ、すなわち特定の物質の特定の状態を表現し、情報化するもので、その意味では、無次元化や抽象化は使えない。抽象化したのでは意味がなくなってしまう。例えば、空気中で放熱する銅の棒を考えると、伝熱計算式はすべての物質に対して共通な無次元表示の一般式を用いるが、式中の定数は銅と空気という特定の物質を定めないと意味がない。

この点は、一見つまらない議論に見えるが、今後の

手法の発展に意味を持っているように思われる。伝熱計算ではオーダー推定をすることが重要な手法である。自分が計算したい伝熱系で、どのファクターが最も大きく影響しているか、どの現象が律速かを見いだしていく。影響しているいろいろなファクターの間で、それぞれのファクター相互間の比率は何倍になっているか、それを早く、しかもスマートに見いだすのが重要である。これに対して、筆者の乏しい経験から考えると、熱物性研究の面白い点は特殊性の追求にあるように思われる。鉄の平らな板があるとする。これはもちろん元素としての鉄から構成されており、その元素の並び方もすでに知られている。それでは目の前に1枚の鉄板を置いて、この鉄板の熱物性値は、鉄元素とその標準的な並び方から理論計算できるかということそうはいかない。熱物性値の種類によっては、内部の微細なキレツ、微小な格子欠陥、微量の不純物の存在によって決定的な影響を受けるものがある。表面の薄い酸化膜や表面の微視的形狀に左右される熱物性値があり、またそれらによって影響を受ける測定技術がある。

電子材料や生体材料に象徴されるように、多くの現実の物質は含まれる元素も並び方も多様で、その特殊性にこそ面白味があり、応用の価値がある。

状態追求と変化追求

工学や技術の目的は変化にある。つまり、与えられている自然の材料や環境を、ある目標へ向かって、人為的手段で変化させることにある。材料の加工から、空調のようなものまで広く含まれる。伝熱工学はその熱に関する手段を受け持っている。一方、最後に求めるものは、目標とした「状態」である。すなわち物質の状態や、その組み合わせとしての環境である。その意味では手段は何であってもよい。熱物性は変化の過

程と最終目標状態とにかかわる。

変化は、すなわち、伝熱現象は、手段として考えるときは効率的でなくてはならない。そこに、経過する状態の詳しく正確な情報、熱物性値が必要とされる。その意味で両者は切り離すことができない。手段は何であってもよいのであるから、まったく新しい伝熱手段が次々と探求され、それを可能にするように、前もって新しい熱物性値が研究されていなくてはならない。必要になってからでは遅い。車が走っていく以前に、道路を建設し、地図を作っておかねばならない。ドライバーには、よい道路と良い地図がある方向へ走りたがる傾向もあるので、一種の競合関係も成り立っている。

魅力ある相補と競合へ

伝熱現象の研究と熱物性研究には、相い補う面と競合的な面があるが、見渡すとこの両者にかかわる多くの魅力的なキーワードがあふれている。生体や食品の

ような生きているものにかかわる研究、高圧や宇宙のような新しい条件にかかわる研究、電子材料や巨大分子材料のような新材料にかかわる研究、微粒子や傾斜機能材料のような新しい形状や組み合わせにかかわる研究など枚挙にいとまがない。一見従来の引き続きのように見えても新しい建築や衣服にかかわる研究とか、今後の研究の余地の豊かなふく射にかかわる研究などもある。対象としては、環境問題はまだ手法もはっきりしない課題であるし、研究の手法としては、分子動力的なアプローチと、新計測技術の開発などがある。いずれも伝熱・熱物性一体の課題といってよい。伝熱としても物性としても熱力学としても興味尽きない相変化現象は、多くの研究がなされながらも、最近のミクロな手法で観測したり、シミュレートしたりすることで新しい事実が発見されている。これを良い例として、伝熱研究から熱物性値の新しいニーズや新しい研究手段が生まれ、それによる熱物性の成果から新しい伝熱現象の発見に至るといった、サイクルの発展を期待したい。

熱物性値測定技術のこれから

長坂 雄次（慶大理工）

1. はじめに

これまで行われてきた熱物性研究を、大まかにまとめると次のようになるだろう。

- (1) ニーズに応じた熱物性値の測定
- (2) データの蓄積、評価とその公表
- (3) 標準物質および標準データ
- (4) 新しい物質の測定
- (5) 新しい計測技術の開発
- (6) 理論計算および分子シミュレーション

これからの熱物性測定技術といえば、当然(4)や(5)が研究の中心になるはずである。この分野は非常に面白く、全く新しい計測技術によって、これまで不可能だったり適用が非常に困難だった試料や系や条件に用いて、新しい発見ができる可能性も十分にある。しかし、最新の熱物性測定技術に関しては、すでに文献等¹⁻⁶⁾に詳しいので、そちらに譲り、あまり新しい計測技術には触れないことにする。ここではあえて、少し異なる視点から、ただ測定すれば良いという時代を過ぎつつある熱物性計測技術から、新しく模索していくべき方向を伝熱研究との関連から考察してみようと思う。

2. なぜ熱物性値を測るのか？

熱物性値をなぜ測定しなければならないのだろうか？こんなことは愚問かもしれないが、改めて考えてみると大きく分けて以下の2つの理由があるだろう。

- (1) デザインに必要な数値情報（工学的ニーズ）
- (2) 自然のからくりを知るため（理学的興味）

もちろん、両方がオーバーラップする部分はあるが、一見同じように見えても、根本的に指向している方向はかなり異なり、研究の取り組み方も異なってくる。本当に知性を刺激するのは後者よりの研究であろうが、ここでは前者のみを考えることにする。

伝熱研究に関連する熱物性測定のほとんどは、工学的ニーズが研究の原動力である。従って、「必要だから測る」というやや受け身的、下請け的なイメージが少なからずあると思われる。しかし、ここで根本的によく考えてみよう。伝熱屋（エンジニア）として本当に必要なことは、現実に起きている（起きそうな）現象をできるだけ定量的に記述し、未知現象の振る舞いをできるだけ正確に予知することである。工学的な学問体系ができあがる以前であれば、いわゆるカンと試行錯誤である程度満足できる成果が得られたであろう。初期の蒸気機関の効率向上は、まさにこういった方法でなされてきたわけである。このカンの世界では、正確な熱物性値など全く必要としない。しかし、人間にとって複雑な実現象をあるが

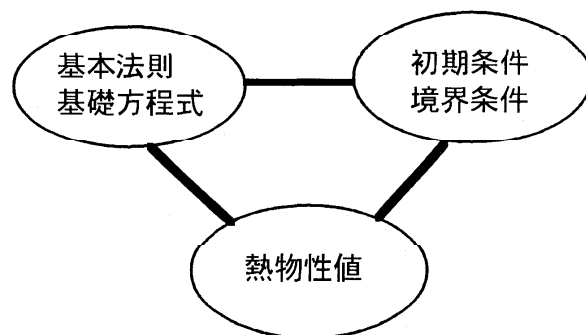


図1 伝熱現象の定量的理解のしかた

まま全体として理解するのは難しいことである。

現在の科学・工学では、実現現象の多様性は初期条件や境界条件といういわば偶然に支配される部分によるもので、現象の本質は不変な自然法則（基礎方程式）によって支配されていると考えている。そして、これまでこの自然の理解の仕方は成功をおさめてきている。伝熱現象の理解方法もこの例外ではないが、そこにさらに熱物性値が必要になってくる（図1）。物質の性質を数値として必要なのは、他のどの分野でも同じである。ただ、伝熱の分野では、あえて「熱」物性値と出てきてしまう。その理由は、例えば、電気抵抗では、通す物と通さない物の比は通常でも 10^{28} 程度に達するのに対し、熱伝導ではダイヤモンドと断熱材でもその比は 10^6 程度にしかならず、集中定数系と考えるべく、その測定が難しいためである。抵抗ならその場でテスターで測って、その値を方程式に入れば十分である。しかし熱伝導の場合は、テスターはないので、物質が何かを知った上でデータブックで探るか、測定装置を作るかしなければ、現象の定量的な把握はできないのである。現在ほとんどの場合の基礎方程式はわかっているわけだから、残るのは熱物性なのであ

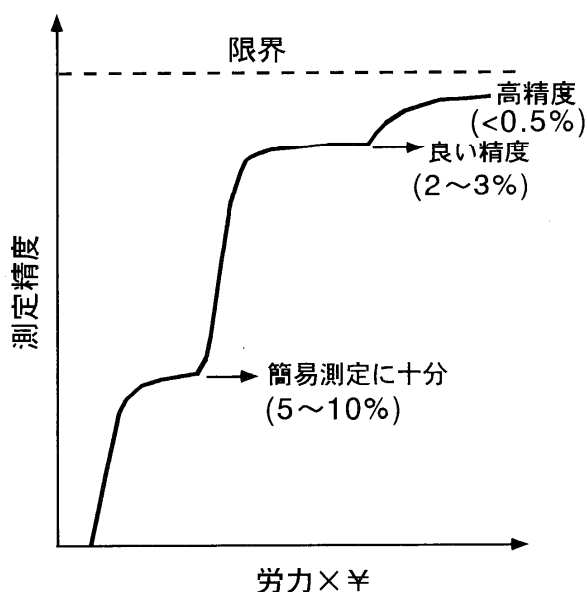


図2 非定常細線法の精度のステップ

る。当然のことをあえて書けばこうなる。

熱物性値なしでは伝熱研究は役に立たない

3. 高精度測定の意義は？

さて、ニーズに応じてあるいはニーズを先取りして熱物性値を測定する場合、まず最初にどの程度の精度が必要なのかを決めることは、測定方法を選択するためにも重要なことである。単純に熱物性値ユーザーにどちらがいいかと聞けば、精度は高い方が良いと答えるのが普通であろう。これはもちろん、データ供給側の労力と費用を無視しての話であるが。しかし、本当に高精度（ある物性値について達成限界に近い精度）に意味があるのは：

- (1)標準物質の標準値の決定
- (2)理論計算やシミュレーションとの比較

ぐらいであろう。逆に、実験室レベルで非常にピュアな物質を高精度で測定しても、現実の使用条件などを考慮すると、工学的には（労力の割に）意義が希薄になってしまう場合も多い。そして実際、高精度な測定装置を開発するためには非常な労力とお金を要する。図2は筆者が非定常細線法の装置を開発した際に、経験的に感じた測定精度 vs. 労力×¥ 曲線である。また高精度を追求した装置では、系内での現象ができる限り理想に近づくように実験装置上の多くの工夫を行うため、一般的には大がかりになり、あとで述べるようなその場測定には適さない。

熱物性測定 ≠ 高精度

ここで強調したいことは、高精度測定を目指した熱物性測定は重要ではあるが、伝熱研究ではむしろその必要性は小さく、精度は多少落ちてても、簡易測定による使いやすい値があったほうが役に立

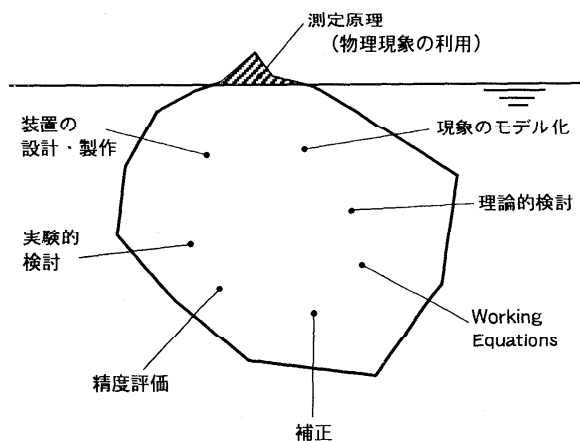


図3 測定原理は氷山の一角

つ場合が多いということである。

一方、ある測定法について極限まで精度追求を一度行くと、計測系内で起きているすべての物理現象が限界まで定量的に把握できていることになる。つまり図3に概念的に示したように、測定原理だけでなくその背後にある多くの実験的、理論的検討がなされていて測定方法として完成されていることになる。これは大変重要なことで、こういった完成された方法を正しく利用すれば、それをより簡便で役に立つ方向へ単純化できるからである。完成されていない方法を簡便測定に用いると、何が起きているかよくわからない状態で、とにかく出た数値を議論する危険がある。

4. 成熟測定技術の新しい応用範囲

完成されて成熟している測定方法として、非定常細線法があげられる。非定常細線法の原理の本質は、測定したい物質の中に挿入した線状の発熱体を発熱させ、発熱体自身あるいはそのごく近傍の非定常温度応答を観測することによって、物質の熱的性質を測定するところにある。最も理想的な場合は、無限に長く、線径 = 0 の線熱源のステップ加熱による非定常応答を利用するものである。この方法は、流体の熱伝導率測定では、対流の発生を検知でき最も高精度な測定が可能であ

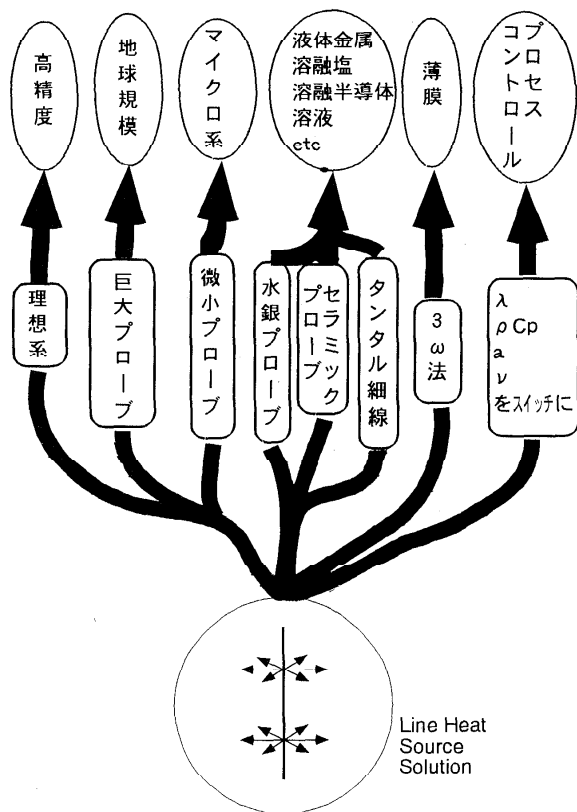


図4 非定常細線法の樹（多様性と進化）

る。しかし、非定常細線法が高精度測定だけ、と思われているが決してそうではない。測定方法として完成しているため、逆に理想的な装置をスタート地点にして、非常に幅広いバラエティーを生んでいる⁷⁾。図4にその進化を模式的に表した。例えば細線の形状では、直径 $3\mu\text{m}$ 、長さ 25cm の高精度測定用から、直径7インチで長さ 880m で岩石の現位置の熱伝導率測定を行ったもの、また最小では、直径 $0.6\mu\text{m}$ 、長さ $500\mu\text{m}$ の薄膜用微小プローブも開発されている。また電気伝導性液体へ適用するための各種絶縁プローブも開発されているし、周期加熱モードを利用することで薄膜の測定も可能になっている。このような多様性は、オリジナルな計測方法が十分成熟しているからこそ可能なわけで、今後まだ未開拓の応用範囲はあるだろう。

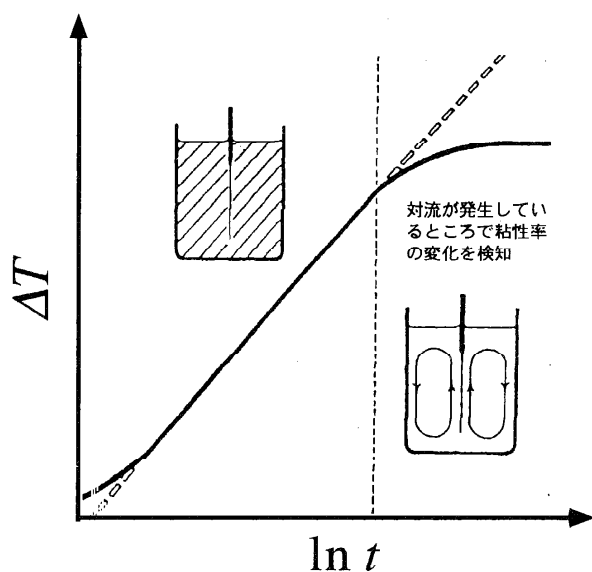


図5 非定常細線法による粘性変化検知⁸⁾

成熟技術は多様性を生む

5. アクティブな熱物性へ

国内の伝熱の分野では、これまでは Process屋と Property屋の住み分けが行われてきており、熱物性値を供給する側と使用する側は別々になっていた。従って、データ供給サイドは、(ニーズを先回りして新しい対象物質をあらかじめ測定するとしても)依然として受け身的な姿勢であったことは否めないと思う。これは別に悪いわけではない。しかし、より積極的に熱物性を利用する研究があってもおかしくはない。熱物性測定という角度から伝熱現象を捉えている者の強みは、定量的に非常に厳しいところで現象の詳細を理解し利用していることであると思う。前章で述べたような成熟した計測技術を持っていれば、あるプロセスにおける熱物性値の変化を利用して、プロセス制御に使うことも可能である。つまり、温度や圧力の変化だけでなく、熱伝導率や粘性率の変化をスイッチとして利用するのである(図4参照)。

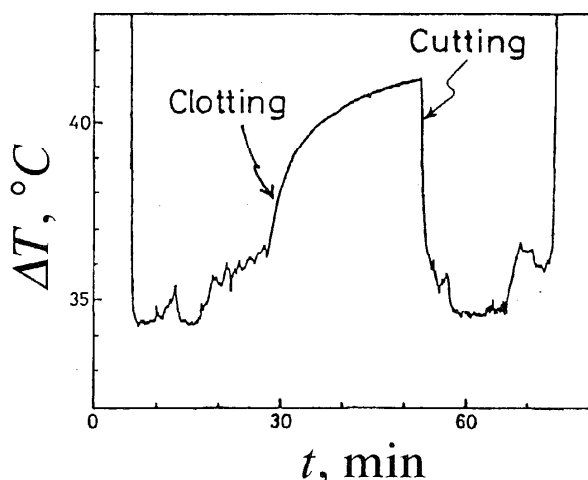


図6 乳凝固過程のインライン計測例⁹⁾

このような熱物性利用の一例として、チーズ製造のプロセス制御に非定常細線法の原理を用いたものがある⁹⁾。この着眼点は非常にユニークである。普通、流体の熱伝導率測定では対流の発生はあってはならないが、逆に非定常細線法では加熱中の対流の発生が検知できる点を積極的に考えて、自然対流熱伝達の式から間接的に粘性率を求めようというのが基本的なアイデアである(図5)。チーズの製造プロセスでは、原料乳に凝乳酵素を添加してから「ちょうど良い」凝固状態で凝固乳を小さく切り分ける必要がある。従来は職人のカンにたよっていたこの工程をインラインで粘性率の変化として検知し、プロセスコントロールを行っているのである。乳凝固プロセスのインライン計測例を図6に示す。こういった実用化例や研究例はまだ少ないが、現在我々は十分に成熟した熱物性計測技術を数多く持っているわけだから、さらに応用の可能性は拓けるはずである。

熱物性値変化をスイッチに

6. その場測定的重要性

熱物性値の最終利用形態としては、以下の2つが考えられる。

- (1) データブック、表示式、データベース等の一般性のある数値情報の形をとる、対象となる物質の素性が明確である必要がある
- (2) 現場のある特定の物質について、その場で測定を行い得たデータ、一般性はないが、その物質の素性は明確でなくてよい

現在、ほとんどの利用形態は(1)であり、各種の設計計算においてもこちらの方が一般性があり使いやすいのは当然である。標準化、一般化、系統的研究、学問というような意味ではこの形式の重要性は疑いようもない。しかし一方、現場では、中身はよくわからないが、今、目の前にあるまさにこの物質の熱物性値のオーダーだけでも知りたい、というニーズは大きいのではないだろうか。例えば、錆び付いた金属壁のそのままの状態でのふく射率とか、あるいはその場での汚水や汚泥の熱伝導率が知りたいというような必要性である。こんな時には、精度の高いきれいなデータの並んだデータブックは役に立たない。必要なのは、精度は20%でも30%でもいいから測定できる簡易測定装置である。いわば熱物性値マルチメータが出来ればよいのである。

欲しいのは熱物性値マルチメータ

現場で最終的に必要なのは、熱物性値そのものではなく、ある現象を定量的に記述し現実と一致すればよいのである。このことを忘れて、やみくもに測定することのみに捕らわれていると熱物性の本当の意味を喪失しかねない。

データブック ← その場測定 ← 熱物性不要

言い換えれば、その場計測技術というものは、純粹で精度の高いデータブックの熱物性値と、熱物性値を考えない経験的な現場実験の中間的なものとも理解できる。また、その場測定といって

も、いくつかの段階があると考えられる。

- (1) まさに現場での測定で、携帯の簡便装置の開発が必要
- (2) 対象物質を測定用に加工せずにそのままの状態での測定

後者は例えば、基板上的薄膜である。基板上に形成された薄膜の温度伝導率は膜内の構造欠陥のために、同一物質のバルクの値よりかなり小さいことが知られている。この基板上薄膜の温度伝導率をそのままの状態で（自立薄膜に加工せずに、基板の性質が未知のまま）測定可能なのは、現在のところ光音響法以外にない^{9,10)}。Zrスパッタ膜の測定結果の一例を図7に示した。

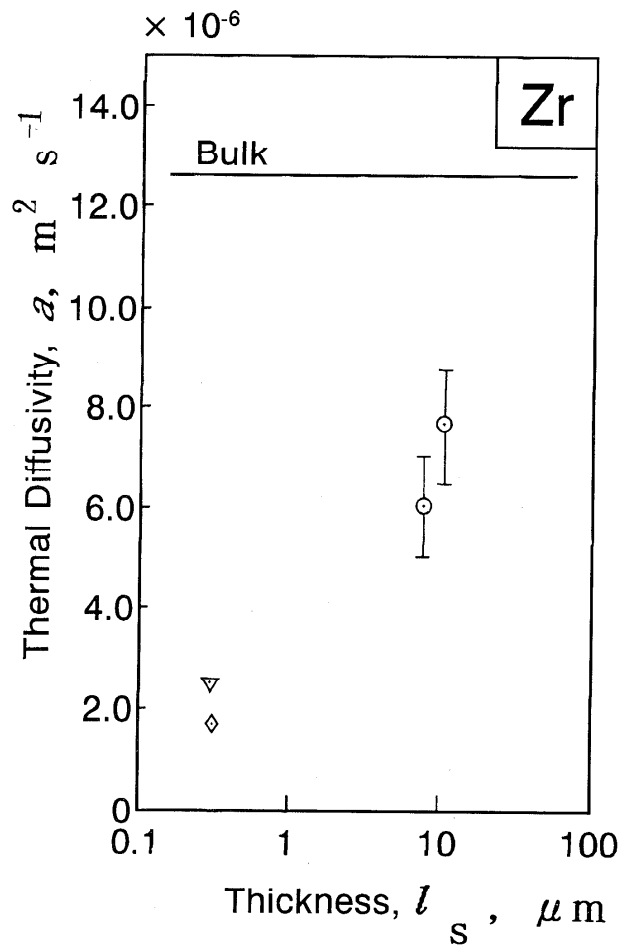


図7 基板上Zr薄膜の温度伝導率の膜厚依存性

残念ながら市場性の問題もあって、このような測定装置の開発は企業でもほとんど行われていないのが現状であるが、今後の熱物性研究の重要な部分になりうると思われる。

7. おわりに

少し異なる視点で書いたつもりであったが、読み返してみると、伝熱がそうであるように熱物性研究でもますます複合的な技術や問題が対象となりつつあるということである。そして、

伝熱と熱物性はボーダーレス

になりつつあるのではないだろうか。

本稿の内容が、読者の研究のなんらかの参考になれば幸いである。

文献

- [1] 日本熱物性学会編, 熱物性ハンドブック, 養賢堂, (1990).
- [2] 日本機械学会編, 熱物性値測定法 - その進歩と工学的応用 -, 養賢堂, (1991).
- [3] Experimental Thermodynamics Vol.III: *Measurement of Transport Properties of Fluids*, Ed. by Wakeham, W. A., Nagashima, A. and Sengers, J. V., Blackwell Scientific Publications, (1991).
- [4] 長坂, 伝熱研究, Vol.30, No.117, 2 - 11 (1991).
- [5] レーザー計測ハンドブック, 丸善, 113 - 119 (1993).
- [6] 長坂, 日本機械学会誌, Vol.97, No.907, 487 - 480 (1994).
- [7] 長坂, 第15回日本熱物性シンポジウム講演論文集, 183-184 (1994).
- [8] 堀, 熱物性, Vol.5, No.4, 297 - 302 (1991).
- [9] Akabori, M., Sawajiri, O. and Nagasaka, Y., *High Temperatures - High Pressures*, Vol. 25, 411 - 415 (1993).
- [10] Akabori, M., Nagasaka, Y. and Nagashima, A., *Int. J. Thermophys.*, Vol. 13, No.3, 499 - 514 (1992).

熱物性値に関するデータベースの現状

新井照男 (計量研究所)

はじめに

伝熱現象解明に必要な熱物性値が、固体、液体、気体を含め全て収録されているデータベースは残念ながら存在しない。応用分野や材料の種類を限ったデータベースが数多く存在し、その中に熱物性データが散在している [1],[2]。物性値をデータベースに求める場合は、いろいろなデータベースを試してみても目的にあったものを見つけることが、現状では必要である。

1. ファクトデータベースの現状と将来

誰でもが利用できるデータベースとして、STN International のデータベースを挙げることができる。STN(the Scientific & Technical Information Network)は米国、ドイツ、日本の計算センターを結んだネットワークで、そこにあるデータベースを公開する形態がSTN Internationalである。日本では、科学技術情報センター(JICST)と化学情報協会が利用の窓口となっている。現在185のデータベースがあり、文献検索、数値検索に利用されている。また、JICSTでは、STN International のデータベース以外に独自でファクトデータベースのサービス JOIS-F を行っている。

STN International のデータベースの中には MPD Network のデータベースがいくつかある。MPD (Materials Property Data) Network は、米国の政府機関、大学、学会が協力して行った材料データベース共同利用に関する研究の成果としてできたネットワークで、今は非営利団体の the National MPD Network, Inc. によって運営されている。MPD では、メニュー形式の簡単な操作で所定のデータを検索できるプログラムを提供している。データベースを指定しなくてもデータが検索でき、STN からこの機能は利用できる。

日本では、大学、国立研究機関で様々なファクトデータベースの構築を行っている。データベース作成のための予算も年々増え、内容は徐々に充実しつつある。

このうちのいくつかはいづれ一般に公開されるようになるであろう。また、本年度から各省庁の研究機関を結ぶための省際ネットワークプロジェクトが開始され、その中ではデータベースの整備が計画されている。規模の大きなプロジェクトであるので、今後の成果が期待される。

今話題のインターネットによる情報公開は、今後どう展開するか解らないところが多くあるが、科学技術分野での数値データ流通について新しい形態がその中で作られていく可能性がある。もしかしたら近い将来、必要なデータを簡単に入手できる環境が誰にでも提供されるようになるかもしれない。インターネットはそのような大きな可能性を秘めたメディアである。

2. STN International のデータベース

STN で公開されているデータベースの中から熱物性データが含まれているデータベースを抽出し、以下にその概略を紹介する。

【AAASD】 The Aluminum Standards and Data from the Aluminum Association

市販アルミニウム合金の組成、仕様、物性、用途、製造に関するデータが収録されている。Aluminum Association が発行している Aluminum Standards and Data Handbook 1990 をデータベース化したもので、データの更新も行われている。熱膨張率、熱伝導率が含まれる。

【ASMDATA】

複合材料、プラスチック、金属材料の組成、物性、規格が含まれている。ASM International が、製造業者から提供されたデータを基にハンドブックなどから求めたデータを追加して作ったもので、約 66,000 件 ('92.12) のデータが蓄積されており、毎年更新されている。線膨張係数、比熱、熱伝導率及び、各種臨界温度が含まれる。

【 BEILSTEIN 】

有機化学分野の代表的なファクトデータベースで、Beilstein Handbook of Organic Chemistry に掲載されている文献から抜粋したデータが含まれている。考えられる殆どの物性が検索コードとして登録されており、広範なデータ検索に対応できる。約 5,300,000 物質レコード ('93.7) が収録されており、不定期であるが更新作業が継続されている。

【 COPPERDATA 】

US 銅及び銅合金についての組成、製品仕様、供給業者、材料規格、物性についてのデータが収録されている。Copper Development Association が構築したもので、毎年 260 以上のレコードが追加されている。線膨張係数、融点、比熱、熱伝導率が含まれる。

【 DETHERM 】

化学物質の熱物性データが網羅されている。BDBT (Berliner Databank Thermodynamik), COALDATA (COAL Physical Property Database), DDB (Dortmunder Data bank), DECHEMA (DECHEMA Thermophysical Property Database), ELDAR (Elektrolyt Datenbank Regensburg) から構成される。ドイツ化学工学協会 (DECHEMA) がデータ評価とデータ入力を行っている。約 120,000 件のデータ表と 22,000 件 ('92.12) の書誌情報があり年 2 回更新されている。文献データベースとしても利用できる。熱容量、熱伝導率、粘度がある。

【 DIPPR 】

化学物質の物性値についての評価済みデータと推算式が収録されている。米国化学工学協会にある組織 DIPPR (Design Institute for Physical Property Data) によって評価されたデータとペンシルバニア大学で推算したデータ及び回帰式から構成される。信頼性の高いデータと会話型物性値推算プログラムが特徴である。1,200 以上 ('92.6) の物質が収録され、年 1 回更新されている。各種物性定数と、温度の関数としての蒸発エンタルピー、比熱容量、表面張力、熱伝導率、蒸気圧、粘度がある。

【 GMELIN 】

無機、有機の化合物についての広範なデータが含まれている。GMELINE Handbook of Inorganic and Organic Chemistry から選ばれたデータと、1988 年か

ら収集しているデータから構成される。数値の検索と構造式による検索ができる。930,331 レコードがあり、定期的に更新されている。熱伝導率、熱膨張率、粘度、表面張力があり、熱力学的物性や相転移に関する物性が数多く含まれている。

【 IPS 】

市販プラスチックの物性や加工性、可燃性などのデータが含まれている。製造業者から提供されたデータを集めた出版物 IPS (International Plastic Selector) を基としている。12,000 以上の製品データがあり、4 半期毎に約 400 の新材料の追加と既存データの更新を行っている。熱伝導率、線膨張係数および融点などの温度特性がある。

【 MDF 】 The Metals Data File

金属材料についての広範なデータが収録されている。ASM と The Institute of Metals が協力してデータを集めている。熱物性としては、線膨張率、融点、比熱、熱伝導率が入っている。37,000 以上のレコードが収録 ('90.12) されており、毎月 100 件のデータが追加されている。

【 NISTCERAM 】 The NIST Structural Ceramics Database

高温で使われるセラミックスの微細構造の詳細と、熱的、機械的データが含まれている。Gas Research Institute, National Institute of Standards and Technology (NIST) が構築したもので、127 の材料のデータがあり、更新は行っていない。線膨張率、比熱容量、熱伝導率、熱拡散率がある。

【 NISTFLUID 】

アルゴン、ヘリウム、窒素、ブタン、パラ水素、三フッ化窒素、エタン、イソブタン、酸素、エチレン、メタン、プロパンの状態方程式が入っている。密度、圧力、温度のうちの 1 または 2 の値を入力すると、比熱、熱伝導率、音速、粘度などの物性値が計算され、表として示される。NIST が構築したもので、更新は行っていない。

【 PLASPEC 】

ゴム製品を含む市販のプラスチック製品の物性や製造条件などが収録されている。米国の D&S Data Resources, Inc. が構築しており、約 12,000 レコード

(92.6)のデータがあり、毎月更新している。比熱容量、熱伝導率がある。

【POLYMAT】 Polymer Material Database

市販のプラスチック製品についての225種類の物性値が収録されている。ドイツのDKI (Deutsches Kunststoffinstitut) と Fachinformationszentrum Chemie が構築しており、約12,000(92.12)レコードのデータがあり3カ月毎に更新、追加作業を行っている。線膨張係数、熱伝導率、比熱容量がある。

上記以外に熱力学物性が収録されているデータベースとして、NISTTHERMO (NIST), TRCTHERMO (Thermodynamic Research Center, Texas A&M University) が利用できる。

3. その他のデータベース

ここでは、2. で示したもの以外のデータベースについて、未公開のものも含め、概略を記す。

【TPPF】 Database System on Thermophysical Properties of Fluids

元素、無機化合物、有機化合物についての信頼性の高い熱物性データが含まれている。神戸大学で開発されたデータベースで、数値の他に相関式が利用できる。また、データは一つ一つ評価され、不確かさの範囲を示すグレードがデータに付けられている。

【JICST 熱物性データベース】

元素、無機化合物、有機化合物の純物質及び2, 3成分系の物質についての熱物性データがある。検索のためのファイルが別にあり、検索のし易さが特徴である。TPPFのデータも一部入力されている。データの輸入は、生産開発科学研究所、化学工学会の協力を得て行っている。

【PROPATH】 Program Package for Thermophysical Properties

FORTRAN の function 文として記述されたプログラムパッケージで、ヘリウム4, アルゴン, 塩素, 窒素, 空気, 二酸化炭素, 水, メタン, エチレン, プロピレン, 及び各種フロン熱物性値が計算できる。九州大学工学部が中心となって作られたもので、外国も含め、大学や国立研など多くの計算センターにインストールされ、多くの研究者が利用している。

【TPDS】 Thermophysical Properties Database of Solid Materials

金属材料、炭素系材料、セラミックス、ガラスおよび半導体材料の熱伝導率、熱各拡散率、比熱容量、線膨張係数、放射率、電気抵抗率のデータがある。工業技術院の計量研究所で構築を行っており、まだ公開はされていない。工業技術院内での公開を行った後、一般公開をする予定である。

【CMS】 Cambridge Materials Selector

金属、高分子、セラミック、複合材料の物性値がある。但し、値の範囲が示されるだけで、温度を関数とした正確な値ではない。ケンブリッジ大学工学部が作った、windows 版の材料選択のためのデータベースで、Granta Design Ltd. が販売している。

【THERSYST】

固体材料についての熱物性データが収録されている。シュツットガルト大学のIKE (Institut für Kernenergetik und Energiesysteme) が原子炉の解析を行うためのプログラムモジュール RSYST をベースにして構築したデータベースで、データ変換、統計解析、グラフ表示など豊富な機能を持っている日本からの利用は今のところできない。軽水炉・重水炉用材料の熱物性データベースがヨーロッパの各原子力研究機関が共同で構築しており、ここでは THERSYST のシステムが使用されている。

【CINDAS のデータベース】

パデュー大学のCINDAS (Center for Information and Numerical Data Analysis and Synthesis) は、TPRC (Thermophysical Properties Research Center) の時代から収集された膨大な文献をデータベース化し、そこから抽出した物性データを解析、評価、加工して大規模な物性データベース Materials Properties Numerical data System を構築している [3]。このシステムには、特定の分野のデータ集 (出版物) を作るためのもの、外部の機関から委託されて作ったものなど多くの種類のデータベースが含まれている。殆どが内部利用であるが、利用者を限定して公開しているものもある。主なデータベースに、High Temperature Materials Properties Database, Engineering Materials Properties Database, EPRI Database on Dielectric Materials, Thermophysical

Properties Database on Fluids, Thermophysical and Mechanical Properties Database on Rocks and Minerals がある。

【原子力用材料データフリーウェイ】

金属材料技術研究所, 日本原子力研究所, 動力炉・核燃料開発事業団が共同で開発中のネットワーク分散型のデータベースで, 現在は上記3機関の他に計量研究所, 船舶技術研究所, J I C S T が協力機関として参加している。各種原子炉に使われる材料のデータベースで, 熱物性データは計量研のTPDSのデータが導入される予定である。今は協力機関だけの利用であるが, インターネットによる公開を考慮中である。

4. インターネットの利用

インターネットは, これまで電子メールやファイル交換に使われていたが, 最近になって組織の紹介や情報公開に利用されるようになった。公開情報は, インターネットに繋がっているサーバー計算機に gopher, WAIS, WWW(World Wide Web) などという形式のファイルとして置かれている。閲覧は Mosaic, MacWeb などのソフトを使って行い, 世界中の情報が簡単に入手できる。情報公開の手段としての有効性が理解されるに従い, 大学や研究機関のサーバーが驚くべき勢いで増え, それを利用する研究者もそれにも増す勢いで増えている。

今は組織や研究内容の紹介が殆どであるが, 徐々に数値データの提供も行われるようになってきている。単に数値データの提供でなくデータベースの公開も, 未だ数は少ないが, 行われている。情報ファイルにはメニューやキーワードでの検索機能が付加でき図や写真の添付もできることから, 材料物性データベースの公開形態として適しており今後多くの機関が採用することになると思われる。

情報ファイルには, より詳しい情報や他の機関の情報の在処を示すコードが埋め込まれており, 次々と知りたい情報を探しにいくことができる。十分な調査を行っていないので, ここでは以下の2つのサーバーを示すのみにとどめる。

【<http://www.material.tohoku.ac.jp/index-e.html>】

東北大学の材料・物性系の WWW サーバーのホー

ムページで, 日本及び世界の材料科学関係の WWW サーバーのリストが載っている。材料情報検索の出発点として適している。科技庁の金属材料研究所も同じ様なサービスを計画中である。

【<http://tantalum.mit.edu/root/data/index.html>】

物理定数と周期律表のデータがあり, 周期律表では元素材料の基礎物性が示される。(同じ様なものは日本のいくつかのサーバーで見ることができる。) また, 材料のデータと標準参照物質のデータを現在準備中である。

おわりに

データベースを使おうとするとき一番困るのが, どのデータベースを使ったらよいか解らないことである。特に伝熱研究のように実用材料の正確な物性データが欲しい場合は, 最適なデータベースを見つけるのが難しい。データベースが見つかりデータが検索されたとしても, そのデータが現状で一番良いデータなのかと考えると不安が残る。また, 材料関係のデータベースは化学や薬学, 医学のデータベースに較べ, 公開や構築を中止したり, サービス形態を変更したり, 作成機関を他に移したりと動きが激しい。この点でも不安が残る。

物性データを入手するためには, データベースを利用するのも一つの方法であるが, 研究者の間のネットワークを作りデータ交換, データ紹介を行うのも有効ではないかと考える。こんなデータが欲しいと言うと, 誰かがそのデータを送ってくれたりデータの在処を教えてくださいと, あるいは, 自分で測ったデータをみんなに知らせ使ってもらおう, そういうネットワークが作れないかと考えている。インターネットを道具として使った熱物性研究者ネットワークを作ることを提案し, この稿の終りとたい。

参考文献

- [1] 新井: 固体材料の熱物性データベース, 新熱物性の進歩, VOL.1, 113/124(1990).
- [2] 新井: 固体材料に関するデータベースの紹介, 熱物性, VOL.7, NO.3, 191/192(1993).
- [3] C.Y.Ho, H.H.Li: Inter.J.Thermophys., 7, 949(1986)

ふく射物性と伝熱工学

山田 純 (東京工業大学)

1. はじめに

近頃あまり話題に上らなくなったが、遠赤外線の効果をうたった商品がテレビを賑わしていたことがある。例えば「体を芯まで暖める遠赤外線ヒーター」や「遠赤外線を反射し、熱損失を抑える防寒着」などである。前者については、「赤外線は体の中まで浸透し、表面からだけでなく内部から体を加熱する」と説明されていたように思われる。同種のものに、石焼き芋を例に「石から放射される遠赤外線は、芋を内部から加熱し、美味しく焼きあげる」と遠赤外線の効果を解説していた何かの商品を見たこともある。遠赤外線加熱による石焼き芋が美味しいかどうかはともかく、「遠赤外線が芋の内部まで浸透する」と聞くと「ん、本当?」と感じてしまう。防寒着に関しても、赤外線を反射するとはいつても、その効果の程は?である。

このような疑問に答えることは、ふく射伝熱に日頃携わっている人間にとっても易しくない。それには次の理由があげられる。まず、遠赤外線の浸透については、人体や芋の遠赤外線領域におけるふく射物性データがほとんど存在しないこと、また、その計測も難しいことである。防寒着の問題については、そのふく射物性データが無いことに加えて、伝導や対流との共存伝熱を考えなければならないことがその理由である。後者は系自体の複雑さも絡んでいるが、両者の共通点は、ふく射物性のデータが無い、あるいは不足していることである。本稿では、代表的なふく射伝熱問題において「どのようなふく射物性が必要か」、また、「何故、物性データが存在しないのか」を整理するとともに、ふく射物性の測定・推定手法の現状について述べたいと思う。

2. 伝熱工学で利用されるふく射物性

ふく射伝熱の評価に必要なふく射物性は対象に

よって様々である。ふく射伝熱を議論することの多い対象に関しては、伝熱学の教科書に取り上げられているものも多い。反面、扱いが複雑でほとんど取り上げられないものもある。ここでは、教科書で必ず取り上げられる固体面間のふく射伝熱と、ほとんどみかけることはないが、工業上極めて重要な散乱・吸収性媒体のふく射伝熱に関して、よく用いられるふく射物性とその計測・推定手法を紹介する。

2-1-1 固体面間のふく射伝熱とその物性

図1に示すような間にふく射を遮るもの無い、固体面同士のふく射伝熱は、伝熱学のほとんどの教科書で扱われており、その伝熱量の見積もり方も詳しく説明されている。そこで扱われる固体は金属に代表されるふく射が内部に浸透しない、ふく射を表面現象として扱える固体である。このような固体面間のふく射伝熱を見積るために必要なふく射物性は、その表面の放射率である^{*)}。

固体面間のふく射伝熱が問題となるケースは非常

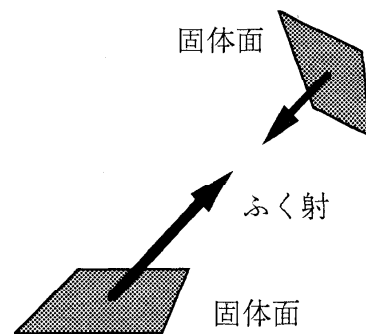


図1 固体面間のふく射伝熱

^{*)}固体表面には吸収率や反射率と呼ばれるふく射物性も存在するが、キルヒホッフの法則が適用できる場合には、それらは放射率から導ける。

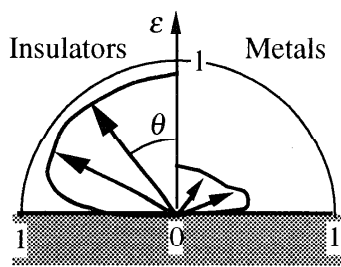


図2 指向性放射率 $\epsilon(\theta)$

に多く、必要なふく射物性も放射率だけであることを考えれば、多くのデータが存在しているように思われる。しかし、実際には利用できるデータはほとんど存在していない。これには幾つかの理由が挙げられる。そのひとつは、表面放射率はその表面性状に強く依存することにある。例えば、表面の粗さが異なれば、同じ材料からなる固体面であっても放射率は異なってしまう。また、金属表面では酸化皮膜を形成することが多く、放射率が母材と異なることも普通である。このようにある材料に限ってもその放射率は様々な値をとるため、利用者の要求に合致した放射率データほとんど得られないことになる。

放射率は表面性状に依存するほか、図2に示すように、方向によって異なる値をとるのが普通である。この方向別の放射率を指向性放射率と呼ぶ。また、これとは別に、各方向への放射強度は考えず、固体面から全半球方向に放射される総ふく射エネルギーから導かれる半球放射率が、その利用しやすさから伝熱工学で用いられることが多い。

放射率の測定データを文献でみかけることがあるが、そのデータが指向性放射率なのか、半球放射率なのか明記されていることは少なく、この点でも利用できるデータは制限されているように思われる。広く利用できる放射率データを揃えておくには、これらの情報も合わせて示しておくことが必要である。

2-1-2 固体面の放射率の計測

放射率の計測には、加熱した固体表面からのふく射を計測し、同温度の黒体ふく射と比較するという手法が利用できるが、計測にあたって幾つかの注意

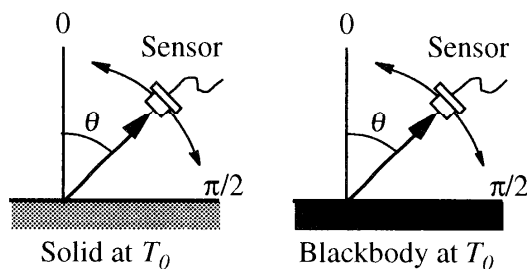


図3 指向性放射率の計測例

が必要である。図3は指向性放射率の計測法の概略を示したものであるが、まず、このような何らかのふく射センサーを用いる場合には、センサー自身から放射されるふく射を考慮する必要がある。これは、センサーが入射ふく射エネルギーと放射ふく射エネルギーの差を検出するからである。また、ふく射エネルギーの計測感度を上げるためにセンサーを冷却する場合には、図4に示すように背景ふく射の影響を考慮しなければならない。この固体面で反射する背景ふく射を含め、センサーはその視野内にある総ての物体からの放射ふく射を計測することを常に頭に入れておく必要がある。

固体面におけるふく射の反射を計測し放射率を導く方法も存在するが、この場合キルヒホッフ法則の成立条件に十分な注意を払わないと、正しい放射率は得られない。

このように放射率の計測にはいくつもの注意が必要で、それらを十分考慮して初めて正しい放射率が得られる。もし、実際に計測を行う場合には信頼できる文献[1],[2]などを参照されたい。

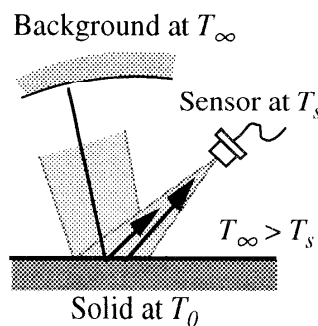


図4 背景ふく射が計測に与える影響

2-2-1 散乱・吸収性媒体のふく射伝熱とその物性

固体面のふく射伝熱とは異なり，散乱・吸収性媒体のふく射伝熱では，その内部にふく射が浸透するために扱いが複雑で伝熱学の教科書ではほとんど見られない。しかし，このふく射伝熱は，流動層ボイラーなどの粒子分散媒体や繊維断熱材，あるいは，燃焼ガスのエンタルピーをふく射エネルギーに変換する対流ふく射変換体などで極めて重要な役割を担っており，伝熱工学においてその評価は必須の課題である。ここでは，散乱・吸収性媒体におけるふく射伝播の概要を述べることにする。

散乱・吸収性媒体では，媒体が放射するふく射を知るにも，媒体内部のふく射伝播を知る必要がある。図5は，ふく射が媒体内で「散乱」と「吸収」によって「減衰」する様子を示している。散乱・吸収性媒体におけるふく射伝播は，かぎ括弧で示した用語を用いてよくこのように説明される。しかし，それらはこの分野で特定の意味をもっており，これらの用語の持つ概念が不明確であると，この媒体におけるふく射伝播は理解しにくい。ここではまず，この三つの用語が示す概念を簡単に整理しておく。

まず「吸収」とは，ふく射が媒体を構成する分散粒子や繊維の内部に浸透し，そのふく射エネルギーが熱エネルギーに換わって減少することをいう。これに対して「散乱」とはふく射が分散粒子や繊維の表面で反射されたり回折されたりして，その進行方向が変わることをいう。「散乱」では，「吸収」とは異なりふく射エネルギーそのものは保存されるが，もとのふく射の進行方向に限ってみれば，そのエネルギーは減少する（失われる）ことになる。最後の「減衰」とは，ある方向に進行するふく射のエネルギーが「散乱」と「吸収」によって減少することを示している。これらの用語を用いると，散乱性の強い媒体は，「ふく射の減衰が主に散乱によって起こる媒体」と説明される。

媒体が吸収性で散乱性がない場合には，媒体をある方向に進むふく射は直進しながらそのエネルギーを減衰させていく。この場合，媒体がふく射エネルギーを吸収した位置およびその量を把握することはたやすい。しかし，媒体が散乱性をも示す場合には，媒体内に入射したふく射は四方八方に散乱され

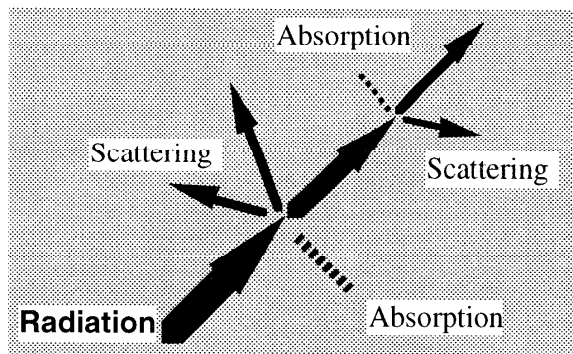


図5 散乱・吸収性媒体におけるふく射伝播

るため，媒体のどこでどれだけのエネルギーを吸収したかを知ることは難しい。この点が伝熱学の教科書などで散乱・吸収性媒体のふく射伝熱が取り上げられない理由であると思われる。

さて，このように複雑な振る舞いをみせるふく射伝播は，次のふく射の輸送方程式[3],[4]によって取り扱われることが多い。

$$\frac{\partial i(s, \Omega)}{\partial s} = -\beta i(s, \Omega) + (1 - \omega) i_b(s) + \frac{\omega}{4\pi} \oint_{\Omega=4\pi} p(\Omega', \Omega) i(s, \Omega') d\Omega' \quad (1)$$

ここで， $i(s, \Omega)$ はふく射強さ（単位立体角あたりのふく射エネルギー流束）， s は座標， Ω は方向を表している。この輸送方程式の導出方法をおよび解法についてはここでは触れないが，右辺各項の意味を簡単に述べておく。

まず，第1項は散乱・吸収による損失を，第2項は媒体自身の放射による利得を，そして，第3項は他方向 Ω' から来て Ω に散乱するふく射の利得を表している。

この方程式により対象とする場のふく射強さを導けば，それらからふく射による伝熱量を導くことはたやすい。

この方程式中に現れるふく射物性は，減衰係数 β ，アルベド ω ，および，位相関数 $p(\Omega', \Omega)$ の三つで，それぞれ次のような意味をもつ。まず，減衰係数 β は媒体におけるふく射の減衰の度合を定める物性で，これによりある方向に進行するふく射の減衰が次のように表される。

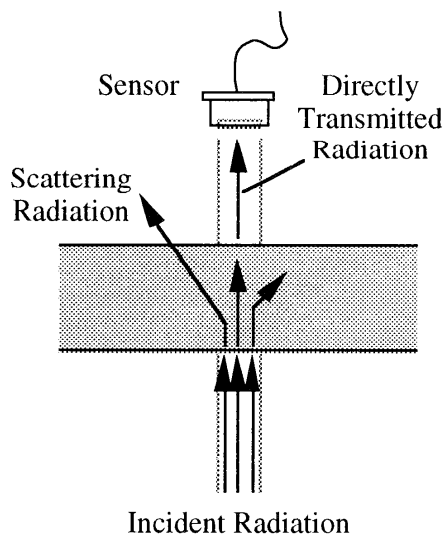


図 6 -(a) 減衰係数の測定法

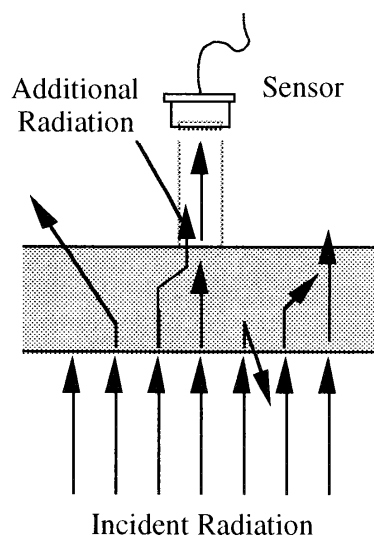


図 6 -(b) 減衰係数の測定法 (悪い例)

$$i = i_0 \exp(-\beta s) \quad (2)$$

ここで、 i_0 は $s=0$ におけるふく射強さである。これはよく知られた Beer の法則である。

アルベド ω は、減衰されるふく射の内、散乱による減衰の割合を定める物性であり、0 から 1 の間の値をとりうる。アルベドが 1 の場合はすべて散乱で、また、零の場合はすべて吸収によって減衰されることを表している。最後の位相関数 $p(\Omega', \Omega)$ は、散乱されるふく射がどの方向にどの割合だけ散乱されるかを定める物性である。

2-2-2 散乱・吸収性媒体のふく射物性の計測

散乱・吸収性媒体におけるこれらのふく射物性のデータは全くといっていいほど存在していない。その理由はふく射物性の測定法が確立していないことにある。しかし、たとえそれが確立していても、固体面の放射率の場合と同様、材料の種類が多さと多様な構造（表面の性状に相当する）のため、要求を満たすふく射物性データはまず得られないであろう。必要な場合には計測する以外にないのは固体面の放

射率と同じである。そこで、ここでは散乱・吸収性媒体のふく射物性計測法の一例を示すことにする。

先に述べた三つのふく射物性の内、減衰係数だけが直接的な手法で計測できる。アルベドと位相関数については逆問題解析による以外方法はない。それぞれのふく射物性について代表的な計測・推定手法の概念を以下に示す。

まず、減衰係数は、図 6 -(a) に示すように、適当な太さのふく射束について透過前後のふく射エネルギーを計測すれば(2)式から導くことができる。しかし、図 6 -(b) のように一様なふく射を入射させたのでは(2)式から減衰係数は導けない。それは、同図に示すように、散乱されて減衰されつつも媒体を透過してきたふく射がセンサーに検出されてしまうためである。この結果、減衰は過小に評価される。厳密には、図 6 -(a) の場合でも、若干の散乱ふく射成分は検出されるので、推定される減衰係数に僅かではあるが誤差が含まれることになる。この傾向は、媒体の散乱性が強い場合や媒体の光学厚さ（減衰係数に幾何学的厚さを乗じたもの）が厚い場合に顕著である。

アルベドと位相関数は、計測されたふく射伝播に関する何らかの量から、逆問題解析を通じて導かれる。簡単な例を用いて、その推定法の概念を示すことにする。

*2 (2)式は、ある方向に進行するふく射に関して、そのふく射強さの減衰を表しており、(1)式のふく射輸送方程式はある座標、ある方向においてふく射強さが満たさなければならない関係を表している。

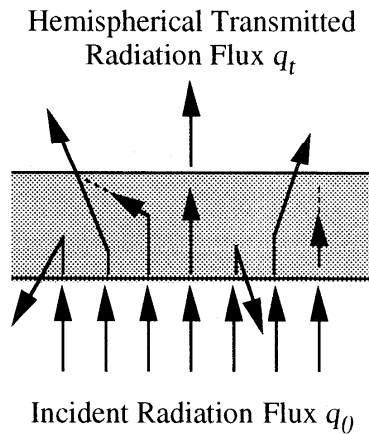


図7 半球透過率の計測

ここでは説明を簡単にするために、減衰係数は既に計測されており、散乱は等方性 ($p(\Omega, \Omega')=1$) と仮定する。すなわち、推定すべきふく射物性はアルベドだけである。何らかの系（一般的にはふく射伝播に関して1次元性が満たされる単純な系）において、アルベドに依存する量を計測してやれば原理的には計測値からアルベドを決定できる。ここでは、図7に示す平板状媒体に等強度のふく射が垂直に入射する系を対象に、半球透過率（透過する全ふく射エネルギー流束 q_t /入射ふく射エネルギー流束 q_0 ）を計測し、この計測値をもとにアルベドを推定する方法を示す。

本例の逆問題解析においては、アルベドをパラメータとして導いた半球透過率が、その計測値と一

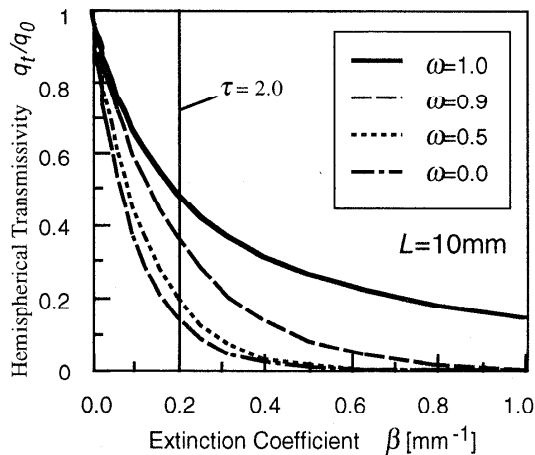


図8 半球透過率に与えるアルベドの影響

致するように未知数のアルベドを決定する。図8にはアルベド ω をパラメータとして計算した半球透過率が光学厚さ τ に対して示されている。いま、減衰係数 β が 200mm^{-1} で、厚さが L が $1.0 \times 10^{-2}\text{m}$ とすると、 $\tau=2.0$ であるから、アルベドと透過率の関係は、図8から図9のように書き換えられる。半球透過率の計測データとして、例えば0.36が得られれば、図中の矢印のように、アルベドの値として0.9が得られる。

位相関数がアルベドと共に未知の場合には、位相関数を幾つかのパラメータで表される関数で近似し、そのパラメータを決定することになる。複数の未知パラメータを決定するには、その個数以上の独立の条件下で計測されたデータが必要である。それには媒体厚さを変えて透過率を計測するなどの方法が考えられる。ただし、未知パラメータの個数は多くも三つ程度にすべきで、それ以上では逆問題解析が行えないことが多い。

減衰係数に関しても、先に述べたような直接的な手法ではなく、逆問題解析により求めることはできるが、未知パラメータの個数はできる限り少ないほうが現実的である。理想的には個々の物性を直接的な手法で導くことが望ましい。

なお、ここでは半球透過率の計測データに逆問題解析を適用する例を示したが、反射率や放射率のデータからふく射物性を求めることも可能である。どのようなデータを元に物性を推定するかは、計測データの誤差が推定すべき物性値にどの程度影響す

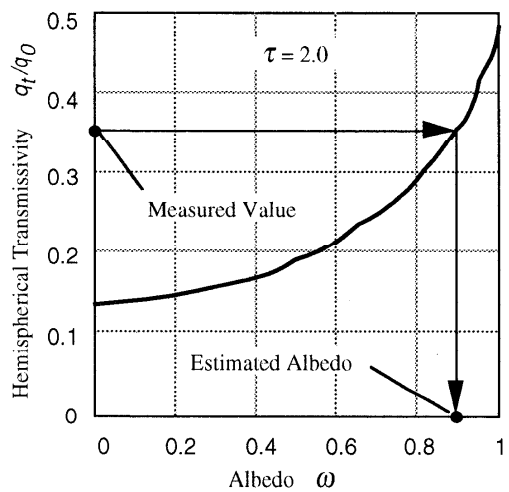


図9 アルベドの推定手順

るかに依る。推定されるふく射物性値が計測誤差に過敏すぎると得られた値の信頼性は低くなる。先のアルベドの推定例を用いれば、アルベドが小さい時、図9から推定誤差が大きくなると予測される。

3. ふく射物性の理論的導出

前章で述べてきた固体面の放射率や、散乱・吸収性媒体の減衰係数やアルベドなどふく射物性は、熱伝導率や比熱などの他の熱物性とは少し異なる。固体面の放射率は、その表面粗さや酸化皮膜などの表面性状に強く依存し、物質そのものの特性を表さない。繊維集合体などの散乱・吸収性媒体のふく射物性もやはり繊維の充填率や配向などに依存する。物質そのものの特性を表すという意味でのふく射物性には、固体の複素屈折率がある。例えば、酸化皮膜がなく完全に平滑な表面における固体面の放射率は、この複素屈折率から理論的に導ける。しかし、粗さなどの表面性状が定かでない実在表面の放射率は複素屈折率だけでは導けない。このため、伝熱工学で複素屈折率が利用されることは多くない。固体面の放射率を、複素屈折率と何等かの表面性状を表すパラメータによって表現できることを目標に研究が進められてはいるが[5],[6]、現状では実在表面の放射率を導くには至っていない。

散乱・吸収性媒体に関してもそれを構成する物質の複素屈折率と、媒体の構造に関する情報を与えることによって、そのふく射物性を決定する方法が提案されている。例えば、粒子分散媒体では、粒子形状を球と仮定して、その直径や粒子充填率を粒子複素屈折率と共に与えることによってふく射物性を導いている[7],[8]。繊維集合体についても、繊維断面が円形などの極限られた媒体ではふく射物性が導かれているが[9],[10]、実在する多様な繊維集合体に関してふく射物性を導くことは不可能である。今後の研究が期待される。

なお、このような理論的手法でふく射物性を決定する場合には、当然、材料の複素屈折率を計測する方法が必要になる。どのような場合にも適用できるわけではないが、現在のところ偏光楕円解析など確立された手法が存在する。

4. まとめ

本稿では、代表的なふく射伝熱問題において、その評価に必要なふく射物性とその測定・推定法について述べてきた。ここで取り上げたふく射物性は、先に述べたように物質固有の特性を表すものでなく、その表面性状や構造に強く依存するものである。したがって、二桁の精度を有する文献データを信ずるよりは、対象を直接計測した、一桁の精度のデータがふく射伝熱の評価には適しているように思われる。多種多様な対象に対して、理論的にふく射物性を導くにはまだまだ時間が必要であることを考えると、伝熱工学の果たすべき役割は、簡便なふく射物性の計測・推定手法の開発ではなからうか。

なお、本稿ではふく射物性の波長依存性については触れなかったが、実際の場合ではそれを考えなければならぬ場合もある。文献[11]が波長依存性を考慮したふく射物性の簡易測定に関して、有益な示唆を与えている。そちらを参照されたい。

参考文献

- [1] Shafey, H. M., 他4名, 1983, *AIAA Journal*, Vol. 20, No. 12, pp. 1747-1753
- [2] Postlethwait, M. A., 他4名, 1994, *J. Thermophysics and Heat Transfer*, Vol. 8, No. 3, pp. 412-418
- [3] Siegel, R. and Howell, R. H., 1981, *Thermal Radiation Heat Transfer 2nd Edition*, Hemisphere, New York
- [4] Ozisil, M. N., 1973, *Radiative Transfer*, Werbel & Peck, New York
- [5] Ohlidal, I., 1980, *Appl. Opt.*, Vol. 19, No. 11, p. 1804
- [6] 牧野俊郎, 加賀邦彦, 1992, 日本機械学会論文集 (B編) Vol. 58, No. 553, pp. 2827-2833
- [7] van de Hulst, 1957, *Light scattering by Small Particles*, Dover, New York
- [8] Kerker, M., 1969, *The Scattering of Light*, Academic Press, New York
- [9] Lee, S. C., 1986, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, Vol. 36, No. 3, pp. 253-263
- [10] 山田 純, 黒崎晏夫, 1992, 日本機械学会論文集 (B編) Vol. 58, No. 555, pp. 3393-3400
- [11] 牧野俊郎, 1990, *伝熱研究* Vol. 29, No. 112 pp. 46-55

複合材料の熱物性評価

荒木 信幸 (静岡大学工学部)

1. ここで扱う複合材料

複合材料 (composite material) とは、異なった特性をもつ材料を複合させ単一材料にない各種の特性を実現させるものであり、粒子を分散させた分散系混合物 (dispersed material)、繊維状のものを一方向に配向したりランダムに混合したりする繊維系複合材 (fibrous composite)、層状に異なったものを積み重ねる積層形複合材料 (layered composite) 等に分類される。これらの複合材は宇宙開発、エネルギー開発などの先端技術分野で期待され、開発の努力が続けられている。

さらに、工業材料を始めとして日常的に用いられている材料には不均質なものが多く、まさしく複合材料として扱うべき範ちゅうにある。しかもそれらの材料が組み合わされた器具や部材全体としての特性を必要とする場合が多い。従ってこれらを広い意味の複合材と称すれば、伝熱工学との関わりは今に始まったことではなく、非常に大きな広がりを持つことになる。

この稿では、前者の意味の複合材料のうち積層形複合材料に分類される傾斜機能材料 (Functionally Gradient Materials; FGM) を代表例として話を進める。傾斜機能材料のうち熱応力緩和型超耐熱材料は、表面をセラミックスとして他面を金属とし、その両成分を連続的に変化させて機械的強度と耐熱性を持たせ、さらにマイクロポアを配置することにより熱応力緩和機能を積極的に果たそうとするものである。

このFGMの概念およびネーミングは科学技術庁航空宇宙技術研究所の新野ら^(1, 2)によって発案されたものであり、スペースプレーンの先端部やエンジン部に使用できるよう国家プロジェクト (科学技術振興調整費など) として開発が進められている。FGMは、異なった分散系複合材が積層されたもの

で、機械物性、熱物性、電子物性等は内部で分布し、場所 (一般に厚さ方向) によって異なった値を示す。つまり、微視的のみならず巨視的にも不均質材料である。したがって、材料全体としての物性値または特性値をどう考えるかが問われることになる。

このような問題への取り組みは、積層された半導体モジュール等の電子部品のような組合せによる複合物体の伝熱問題にも適用できるものであり、いわば傾斜機能材料は複合材料における一連託生的な例題であると言ってよい。

2. どんなどころが問題となっているか

複合材料における伝熱工学上の問題は、各構成素材の熱物性値や形状が材料全体としての熱移動特性にどのように影響しているかを整理して、有効熱伝導率に代表される全体としての熱物性値を評価し求めることであると言える。これには材料全体としての温度応答などの外側の情報から内部の物性値の状態を推定するような逆問題も含まれる。最近では、分散物質のミクロな部分をさらに微細化して考察するようになってきているし、傾斜機能材料のように巨視的に見ても明らかに不均質な材料に対する取り扱いも増えてきている。また、定常特性のみならず非定常特性がクローズアップされてきている。これら問題となっている事例の一部を独断的に紹介する。

2.1 有効熱伝導率の推算式における問題点

分散系混合物や繊維系複合材の有効熱伝導率を推定する推算式の導出は、Maxwell⁽³⁾ やRayleigh⁽⁴⁾ 以来数多くの研究があり、古典的問題と言える。今でも時折、新しい推算式の提案が行われているが、ほとんどが従来式の修正であって、分散物質のミクロ組織まで言及したものはきわめて少ない。今後の課題といえる。

分散系混合物の有効熱伝導率を導く場合に考慮さ

れた主な因子は、母材 (matrix) と分散物質 (dispersed material) のそれぞれの熱物性値 (主には熱伝導率比) と混合割合、分散物質の大きさ、形状及び配列分布などである。分散物質の形状は解析を容易にするため、球⁽³⁾ 円柱⁽⁴⁾ 回転楕円体⁽⁵⁾、直方体⁽⁶⁾ などとし、配列はポテンシャル理論を適用できるように規則正しいか、統計処理がができるようにランダムに分散しているとした場合が多い。これら推算式の特徴や適用範囲などについての詳しい解説は、熊田⁽⁷⁾、山田⁽⁸⁾、金成⁽⁹⁾ らなど数多くの先達者により記述されているので参照されたい。

これらの推算式と測定値とが合うとか合わないとかを論じる論文をよく見かけるが、推算式を導入したときの基本的な考え方 (モデル) と合致しない場合が多いし、実験方法として不適切な方法を採用している場合が多い。特に、実際の分散物質の形状をどのようなモデルで表現するかが重要である。回転楕円体で近似できることが多いが、マイカ片などのようにフレーク状で、しかも異方性を持つ分散物質に対する推算式には適切なものがなく^(9, 10)、今後の進展が望まれる。

いずれにしてもこれまで導入され、権威あるものとして使用されている推算式は、いずれも分散物質が相対的に小さく、試料全体に様に分布し、巨視的に均一とみなせる試料に対して適用するのが原則であり、しかも定常熱流であることを大前提としているのである。

2. 2 巨視的に不均質な複合材料の非定常問題

最近、上に述べた2つの大前提が崩れる問題に直面せざるをえない状況にある。つまり、傾斜機能材料のように明らかに不均質な材料の熱伝導率をレーザーフラッシュ法に代表される非定常法で測定するという事態が起こっている。また実際の使用においても、スペースシャトルの大気圏再突入時のようにそこに使用されている複合材料の非定常特性がきわめて重要な意味を持つようになってきている。

レーザーフラッシュ法は、試料の表面をレーザー光によりパルス状に加熱し、裏面の温度応答から試料の熱拡散率 (温度伝導率) a を求める方法である。従って、正確には熱伝導率を測定する方法ではない。

試料の比熱 c と密度 ρ がわかていれば熱伝導率 λ が次式により算出される。

$$\lambda = ac\rho \quad (1)$$

比熱と密度は熱伝導率と比較して測定するが容易であり、精度もある程度の水準を保つことができる。熱伝導率の方は注意を怠ると桁数の異なる値が測定されてしまうこともめずらしくない。特に傾斜機能材料の開発目標の1500°C以上の高温領域では、現在のところ測定する装置も手に入らない。このような状況にあって、レーザーフラッシュ法は1000°C程度の領域まで比較的良好な再現性を持って測定できるので、少し高価であるが新材料開発に熱心な企業を中心にもっとも普及している方法の一つになっている。

レーザーフラッシュ法の再現性が良い理由は、初期条件として比較的大きな熱的信号をレーザーによって与えるので周囲の熱かく乱の影響を小さくでき、理論上の境界条件の実現が比較的容易にできるためである⁽¹¹⁾。ここで良好な「確度」と書かず再現性とした理由は、実際の測定装置が測定理論をどれだけ忠実に実現しているかを知り、装置固有の系統誤差を把握する努力なしには良好な確度を持つデータは得られないからである⁽¹²⁾。

このように普及しているレーザーフラッシュ法が、「熱伝導率」測定法として位置づけられていることが誤解を招くもとになっている⁽¹³⁾。つまり、巨視的に見て明らかに不均質な試料に対し安易にレーザーフラッシュ法を適用して誤りをおかす例があまりにも多く見かける。

たとえば、傾斜機能材料を試料としてその表面をレーザーで加熱すると裏面では均質な試料と同じような温度応答が測定され、試料全体としての熱拡散率 a_g が求められるが、これに平均比熱 c_m と平均密度 ρ_m のデータから (1) 式により平均 (?) 熱伝導率 λ_a が求められたとしてしまうのは誤りである⁽¹³⁾。この λ_a の値は熱伝導率としての意味を持たないものである。これは、傾斜機能材料のように熱の移動方向に物性値が変わる場合には熱伝導方程式を

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (2)$$

として最後まで取り扱わなければならないものを

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a_e \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{\lambda_a}{\rho_m c_m} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (3)$$

としてしまったことによる誤りである。

その誤りがどの程度であるかを簡単な例で示す。半導体モジュールのように基盤物質の上にコーティング層があるような2層試料を考える。簡単のためまず第一層と第二層の熱拡散率が等しく、比熱が異なる試料について考える。この試料表面をパルス状に加熱したときの裏面の温度応答から全体を単層のように考えて(3)式の扱いにより熱拡散率 a_e を求めると図1のようになる。試料全体の厚さ($l_1 + l_2$)を一定として2つの層の厚さ比を横軸にとり、比熱の比をパラメータとしてある。縦軸の a は2つの層に共通の熱拡散率である。この熱拡散率が同じ値であるので試料全体としての熱拡散率もその値を物性値として採用して良いことになりそうであるが、比熱の違いにより大きくも小さくもなりうる事がわかる。ここで、厚さ比が0.5のとき比熱に関係なく一定となる点があることとその点を中心として左右対称となっていることは注目し値する。

次に、少し極端に異なった物性値を持つ2つの層の組合せを考える。この試料の表面をパルス状に加熱したときの裏面の温度応答から求めた全体としての熱拡散率 a_e と両層の平均比熱および平均密度から算出した熱伝導率 λ_a を図2に点線

で示す。横軸は試料全体の厚さ3mmで一定とし、第一層の厚さを変化させた。実線の λ_e は次式に示す熱抵抗の和から求めたもので有効熱伝導率として意味を持つものである。

$\lambda_e = l / (l_1 / \lambda_1 + l_2 / \lambda_2)$ (4)
 λ_a と λ_e との相違はきわめて大きいことがわかる。

ここでは、説明を簡単にするため、2層試料を考えたが、傾斜機能材料や分散系混合物の場合も同様な意味における相違が発生する。この相違の程度を整理して体系化することが必要である。

3. 非定常問題への取り組み

複合材料の非定常問題に対しては種々の切口からの取り組みが行われている。例えば、山田らは、分散系混合物の有効熱拡散率について周期的加熱法によって得られる値を数値計算および実験により求め検討を加えている⁽¹⁴⁾。荒木らは分散物質がどんな条件のとき均質とみなせるかを計算で求めている⁽¹⁵⁾。ここでは、これらの論文のレビューは別の機会にゆずり、この問題に関連した傾斜機能材料の熱物性値評価の話に集中して述べる。

筆者ら⁽¹⁶⁾は、まず層状試料の非定常温度応答問題に取り組んだ。これまではTaylorら⁽¹⁷⁾によって求められた3層までの解しかなかったのを数学的帰納法によりn層まで拡張してステップ状およびパルス状加熱時の解析解を求めた。また、傾斜機能材料は、多層試料の層数が無限大となるとともに隣接する層の熱物性値が互いに近い値を持った場合に相当するとして非定常温度応答の近似解を求めた。この近似解において、試料裏面の温度応答は熱拡散率を次式で表された値を持つ単層試料と同一となる。

$$a_e = \left\{ L / \int_0^L \frac{dz}{\sqrt{a(z)}} \right\}^2 \quad (5)$$

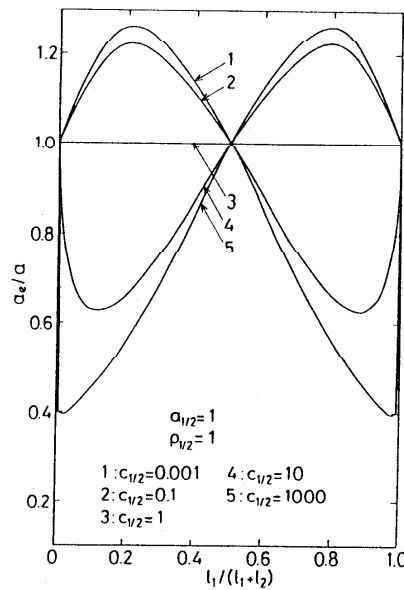


図1. 2層試料の有効熱拡散率

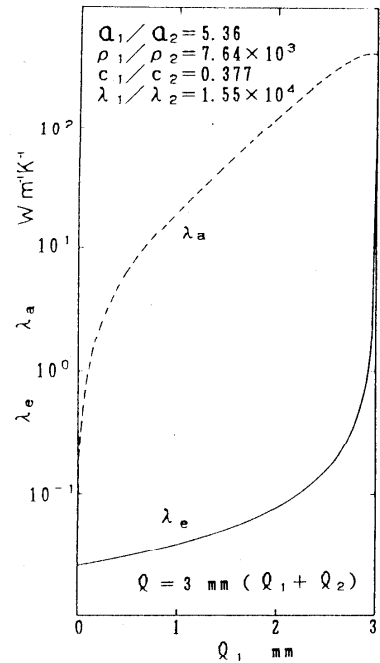


図2. 有効熱伝導率と計算上の熱伝導率((3)式)との比較

つまり、フーリエ数を $Fo_0 = a_0 t / L^2$ としてパルス状加熱時の無次元温度上昇曲線を描くと単層試料と一致する。ここで、 $a(z)$ は熱拡散率の z 方向（熱流方向）の分布関数であり、 L は試料厚さである。この a_0 は 2.2 節で述べた有効熱拡散率と言えるものであるが、熱抵抗から得られる熱拡散率 a_m と明確に区別する必要があるのは当然である。

$$a_m = \frac{1}{c_m \rho_m} \left\{ \frac{1}{L} \int_0^L \frac{dz}{a(z) \rho(z) c(z)} \right\} \quad (6)$$

$$\rho_m = \frac{1}{L} \int_0^L \rho(z) dz, \quad C_m = \frac{1}{\rho_m L} \int_0^L \rho(z) c(z) dz$$

また傾斜機能材料において、熱浸透率 Λ が (7) 式のような対数分布を持つ場合には非定常温度応答に対する厳密解が存在することがわかり、近似解との比較検討も行われた⁽¹⁸⁾。

$$\ell n \Lambda = 2\alpha \zeta + \beta \quad (7)$$

$$\Lambda = \lambda / \sqrt{a}, \quad \zeta = \frac{1}{\eta_L} \int_0^L \frac{dz}{\sqrt{a(z)}}, \quad \eta_L = \int_0^L \frac{dz}{\sqrt{a(z)}}$$

ここで、 η_L は熱拡散時間の平方根であり、 ζ は無次元座標をあらわしている。 $\alpha = 0$ は試料内に熱物性値の分布がない単層試料であり、 $\alpha = \pm 1$ のときは試料前面と裏面の熱浸透率比が 7.39 となる。通常の固体物質の組合せではほとんど $-1 < \alpha < 1$ と考えてよい。 $\alpha = \pm 1$ のとき試料裏面での近似解と厳密解との差は 6% 程度であり、許容範囲にある。

この傾斜機能材料の温度応答の厳密解を利用して、内部の熱拡散率分布を推定する逆問題の解法も提案された⁽¹⁹⁾。つまり、レーザフラッシュ法によって測定された $t_{1/2}$ （試料裏面の温度上昇が最高値の半分になるまでの時間）と試料裏面の熱拡散率の値とから内部の分布係数を決定する方法が求められたものである。

以上の成果により傾斜機能材料の熱物性値を次のような手順で評価することができる。

レーザフラッシュ法による測定値 $t_{1/2}$ から有効熱拡散率 a_0 が求められる。逆問題の解法により分布係数 α が求められ、熱拡散率分布関数 $a(z)$ が推定される。この推定された分布は測定された a_0 と (5) 式を介して比較検討できる。熱容量の分布関数がわかってい

る場合には (6) 式により有効熱伝導率が算出される。

エピソード

「複合材料の熱物性の評価」と題する原稿を編集委員会から依頼されて大いにとまどった。

非才をかえりみず執筆を引受けたが、やはり恐れた通り我田引水の視野狭さく症を煩った文章になった。複合材料の熱物性値をどう評価するかの問題は、非定常熱伝導、非線型熱伝導さらには他の伝熱機構との複合問題として考えると非常に広い分野になる。それらの片隅を掘りくり、複合材料の熱物性における問題点を少し指摘できたかなと思っている。

文献

- 1) 新野ほか, 複合材料学会誌, **13**-6(1987), 257.
- 2) 新野ほか, 月刊ニューセラミックス, **2**-5 (1989), 1.
- 3) Maxwell, J. C., A Treatise on Electricity & Magnetism, (1873), 365, Oxford Univ. Press.
- 4) Rayleigh, L. Phil. Mag., **34**(1892), 481.
- 5) Fricke, H., Phys. Rev., **24**(1924), 575.
- 6) Yamada, E., Ota, T., Wärme und Stoffübertrag., **13**(1980), 27.
- 7) 熊田, 機械学会論文集, **41**-344(1975), 1209.
- 8) 山田, 熱物性, **3**-2(1989), 78.
- 9) 金成, 小沢, 熱物性, **3**-2(1989), 106.
- 10) 浜田ら, 15回熱物性シンポ, (1994)65.
- 11) 荒木, 機械学会誌, **90**-822(1987), 597.
- 12) 荒木, 15回熱物性シンポ, (1994), 185.
- 13) 荒木, 14回熱物性シンポ, (1993), 229.
- 14) 山田ら, 熱物性シンポジウム論文集, **2**(1981), 67, **3**(1982), 165, **4**(1983), 141, **7**(1986), 25, **11**(1990), 303, **15**(1994)73.
- 15) 多田ら, 15回熱物性シンポ, (1994), 57.
- 16) 荒木ら, 機論, **27**-544B(1991), 245.
- 17) Lee, H., Ph D Thesis, Purdue Univ. (1975)
- 18) 石黒ら, 機論, **58**-556B(1992), 176.
- 19) 牧野, 荒木, 機論, **60**-576B(1994), 228.

化学工業と熱物性値

三宅 陸進、林 裕之 (新潟工事)

1 まえがき

伝熱は輻射、対流および伝導に分類される。輻射伝熱は化学工業において加熱炉等に応用されているが、熱物性値との関連が薄いのでここでは割愛する。化学工業においては流体を扱うことが多く、対流伝熱がほとんどである。本稿では対流伝熱を主体にし、対流、伝導伝熱の両方にかかわる熱交換器を例にとり設計者の立場から熱物性値との相関を述べる。

2 対流伝熱

化学プロセスでは、熱交換器などの装置の壁面を通して流体の温度を調整することが多い。この場合は、固体壁面の熱移動だけでなく、流体の内部でおこる熱移動、すなわち対流伝熱を考慮しなくてはならない。対流には大きく分けて、流体内部の温度差による密度の違いによって発生する自然対流と、ポンプなどによって強制的に流体を攪拌する強制対流とに分類できる。自然対流を実感する例として風呂釜の例をあげよう。火を付ける前の風呂釜はほとんど均一な温度（室温）の水として存在している。この状態から火を付けると、暖められた水は密度が軽くなり上層部へと移動する。それに伴い、上層部の冷たい水は下のほうへと移動していく。その結果、上のほうは熱いのに下のほうは冷たいという現象がおきる。これが自然対流である。一方、工業的によく用いられているのが強制対流である。ここでは、強制対流を主体にして話を進める。

2.1 境膜伝熱係数と総括伝熱係数

流体が固体壁面を移動しているとき、流体と壁面との間には境膜と呼ばれる速度の小さい薄い層が存在する。乱流（強制対流はほとんどが乱流になる）では、壁面から遠いところでは流体同士の混合はよ

く行われるが、境膜の部分では混合は生じない。よって、伝熱の際にこの境膜部分が大きな抵抗となる。パイプを通してパイプの外側と内側の流体間の熱の動きをあらわすと図1のようになり、 $(1/h_o), (1/h_i)$ が境膜部分の抵抗であり h_o, h_i を境膜伝熱係数と呼

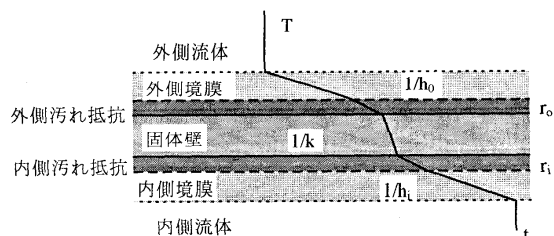


図1 流体間の温度分布

ぶ。

この境膜伝熱係数を用いると全伝熱抵抗 $(1/U)$ は式(2.1)であらわされ、このように定義される U を総括伝熱係数と呼んでいる。

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + r_i + r_o + \frac{t}{k} \quad (2.1)$$

ここに、 k は熱伝導度であり、 r_o, r_i は汚れ抵抗と呼ばれ、次の節で説明する。

次に境膜伝熱係数 h_o, h_i の求めかたについて簡単に説明する。境膜伝熱係数に影響を及ぼす因子としては、境膜の厚さを支配し流体機構と密接な関係にあるレイノルズ数(Re)、流体の熱的性質を示すプラントル数(Pr)および無次元化した熱伝達係数であるヌッセルト数(Nu)がある。一般にこれらの因子の間には式(2.2)のような関係がある。

$$\frac{hD}{k} = K \left(\frac{Du\rho}{\mu} \right)^a \left(\frac{C_p\mu}{k} \right)^b \left(\frac{L}{D} \right)^c \quad (2.2)$$

ここに、左辺(hD/k)がヌッセルト数、右辺第一項($Du \rho/\mu$)はレイノルズ数、第二項($C_p \mu/k$)がプラントル数である。また、 h は熱伝達係数、 D は管内径、 μ は流体の粘度、 C_p は流体の低圧比熱、 ρ は流体の密度、 u は流体の平均流速、 L は管の長さであり、 K 、 a 、 b 、 c はそれぞれ定数である。式中の定数は流体の流れの状態によって定められている。ここでは円管内および円管外の乱流に対する数値を式(2.3)および式(2.4)に示す。

$$\frac{h_i D}{k} = 0.023 \left(\frac{DG}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \quad (2.3)$$

$$\frac{h_o D_e}{k} = 0.36 \left(\frac{D_e G}{\mu} \right)^{0.55} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (2.4)$$

ここに、 G は質量速度、 D_e は相当直径と呼ばれる数値であり次章で述べる。

これら境膜伝熱係数や総括伝熱係数の計算を行う際には流体の密度や粘度などの物性値が必須となってくる。組成のはっきりしている物質であれば、'化学便覧'¹、'Perry's chemical engineer's handbook'²などが利用できるだろう。もし、目的の物性値がこれらの成書に記載されていないければ、'物性定数推算法'³などにより物性を推算して用いることも有用である。また、石油類の物性値は'データブック'などを参照すると良いだろう。現在はコンピューターによるシミュレーションソフトもかなり使われているが、これらのシミュレーションソフトに内蔵されている物性を利用することもできる。

2.2 汚れ係数

熱交換器を長い間連続して使用していると、管の内壁および外壁にスケール(汚れ)が付着し伝熱抵抗が増し、徐々に熱交換量が減っていく。そのため、このままではスケールが付着するたびに熱交換器の掃除を行わなければならない。そこで、式(2.1)にある汚れ抵抗が重要になってくる。汚れ抵抗はスケールの厚みに比例し、熱伝導度に逆比例する。汚れ係数は熱交換器を1年間あるいは2年間連続運転する場合に、その期間、装置が実際に授受した熱量が、そ

の装置に必要とされる熱交換量以下にならないようにするための数値であり、通常経験的に0.0001~0.001 $m^2 H^{\circ}C/kcal$ をとる。

3 伝熱係数と物性値

3.1 総括伝熱係数の重要性

熱交換器は伝熱面を通して高温流体から低温流体へ熱を移動させて流体の温度を調整する伝熱装置である。総括伝熱係数は熱交換器を設計する上で大変重要なファクターである。熱交換器の大きさの決定に際し必要な交換熱量を式(3.1)で求める。

$$Q = W \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

また、式(3.2)を用いると Q 、 U および ΔT_{lm} が解れば伝熱面積 A を求めることができる。

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (3.2)$$

ここに、 Q は熱交換に必要な熱量、 W は質量流量、 C_p は比熱、 A は伝熱面積であり、 ΔT_{lm} は対数平均温度差(L.M.T.D.)と呼ばれ、式(3.3)で求める。

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (3.3)$$

$$\text{向流の場合； } \Delta t_1 = T_2 - t_1 \quad \Delta t_2 = T_1 - t_2$$

$$\text{並流の場合； } \Delta t_1 = T_2 - t_2 \quad \Delta t_2 = T_1 - t_1$$

ここで、 T は高温流体、 t は低温流体の温度であり、添え字の1は入口を、2は出口を表す。

総括伝熱係数は最初、経験的に仮定し、前述の実験式を基本にして試行錯誤によって決定する。

3.2 物性値の重要性

このように、熱交換器の伝熱面積は総括伝熱係数の値によって大きく左右される。総括伝熱係数を正確に求めることは最適な熱交換器を設計する上でも重要となってくる。総括伝熱係数は式(2.1)~(2.4)を用いて計算することができるが、この値はまた、境膜伝熱係数および汚れ係数によって違う値をとる。すなわち、境膜伝熱係数の計算に必要な物性値が重要となってくる。計算に必要な物性は2.1で述べたよ

うなものがあるが、ここでは物性値の境膜伝熱係数に及ぼす影響について簡単に説明する。式(2.2)をみると左辺の管内径(D)および熱伝導度(k)は、境膜伝熱係数(h)に大きな影響を与えることが予想できる。例えば、水の熱伝導度は約 0.5 kcal/m²H°C、原油の熱伝導度は約 0.1 kcal/m²H°Cであり、もし、熱伝導度を間違えて用いた場合、境膜伝熱係数は約 5 倍の開きが見られることになる。また、管内径は流体の速度に影響し、その流速は境膜伝熱係数を大きく左右する。一般に流速が速くなれば境膜伝熱係数は大きくなる。(実際には、流速が速くなると圧力損失も大きくなるため、いくらでも流速を速くすることはしない。)層流や自然対流では境膜伝熱係数は小さい。

このように、物性値の総括伝熱係数および境膜伝熱係数に与える影響は無視できない。よって、熱交換器などの機器を設計する場合、正確な物性値を用いて計算することが必要である。もし、物性値にいくらかの不正確さを含むのであれば、計算した伝熱係数をそのまま用いず、ある程度(1~2割)の余裕を取って設計すべきである。

3.3 熱交換器の設計例

熱交換器の設計例を図2に示す。この出力例は熱交換器の設計に用いられる'HTRI(Heat Transfer Research, Inc.)というプログラムであり、物性値なども内蔵データとして保有している。図2に示したスペックシートからは様々な情報を読み取ることができる。

まず、最初のセクションには客先名、熱交換器の大きさや形式などが書かれている。この例では客先名などのデータは省略されているが、伝熱面積は 510m²、形式は AFU であることが解る。第2セクションではシェル側、チューブ側それぞれの流体のプロセス条件や物性値が書かれている。熱交換器はシェル側に軽油(PROCESS FLUID)を約 105ton/H、チューブ側に原油(CRUDE FEED)を約 680ton/H 通しており、軽油は 315.6°Cから 81.0°Cに冷却し、一方、原油は 54.4°Cから 98.8°Cに加熱される。物性は密度、粘度、比熱、熱伝達係数および蒸発潜熱について書

かれている。また、熱交換器を設計する上で重要な境膜伝熱係数および総括伝熱係数もこのセクションに記されている。この例では、シェル側の境膜伝熱係数は 1192kcal/Hm²°C、チューブ側の境膜伝熱係数は 1272 kcal/Hm²°C、また総括伝熱係数は 530.74 kcal/Hm²°Cである。その他に流体の流速、圧力損失、汚れ係数もこのセクションに書かれている。第3セクションは、設計圧力、設計温度、入口と出口のノズルサイズ、チューブのデータ、シェルのデータなど熱交換器の構造に関するデータが書かれている。

このように、現在では物性などのデータは与えなくとも、シミュレーションプログラムを用いて伝熱係数を計算し、熱交換器の設計を行うことができる。しかし、コンピューターによる設計はあくまでも入力した条件(機器の大きさ、流体のプロセス条件など)に基づいて行われるので、入力したデータが正しいかどうか(入力ミスがないかどうか)を確かめる意味でも、計算結果をもう一度チェックする必要がある。(チューブの流速が音速を超えていたり、現実ではありえないほどの大きなシェル径を結果として出力することがある。これらは、全て入力ミスである。)

4 実施例

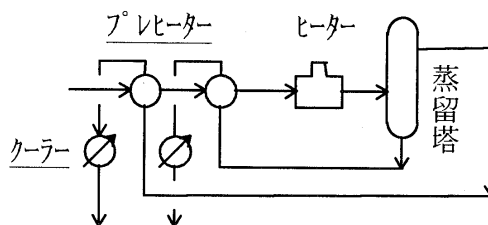


図3 原油蒸留装置

図3に示すフローは、原油蒸留装置における加熱システムである。プレヒーター(原油予熱器)は多管式熱交換器で、ヒーターは加熱炉(ボックスタイプが一般的)、クーラーは水または空気による冷却器である。これらの機器の中でプレヒーターは長期運転すると徐々に汚れがチューブ内外面に付着し、能力が落ちてくる。従って、加熱システムを設計する場合、熱交換器の汚れ状態を考慮し、ヒーターおよびクー

Problem-HTRI*CRUDE OIL HEATER ****1

Case -CASE 1A

Design-Horizontal Countercurrent Flow TEMA AFU Shell with Segmental Baffles

Specification Sheet MKH Units

This copy of the program released to the following HTRI Member Company:

NIIGATA CONSTRUCTION CO., LTD.

For use by: PROCESS

Customer	HTRI*CRUDE OIL HEATER	****1	Job No.	CASE 1A
Address			Reference No.	
Plant Location			Proposal No.	
Service of Unit			Date	Rev.
Size 1016x9476(mm)	TEMA Shell Type-AFU		Item No.	
Surf/Unit(Gross)	510 (m2)	Shells/Unit 1	Connected Ser. 1	Par. 1
			Surf/Shell (EFF)	503 (m2)

Performance of one Unit

Fluid Allocation		+.....Shell Side.....	+.....Tube Side.....	
Fluid name		+ PROCESS FLUD	+ CRUDE FEED	
Fluid Quantity, total (1000 kg/hr)+		105.235	680.849	
Vapor (In/Out)		+	+	
Liquid		105.235+	105.235+	680.849+ 680.849
Steam		+	+	
Water		+	+	
Noncondensable		+	+	
Temperature (In/Out) (deg C)+		315.6+	81.0+	54.4+ 98.9
Density (kg/m3)+		658.7+	996.3+	823.3+ 795.8
Viscosity, Mixture (cP)+		0.3200+	4.0899+	3.2642+ 1.6695
Molecular Weight, Vapor		+	+	
Molecular Weight, Noncondensable		+	+	
Specific Heat Capacity (kcal/kg C)+		0.7100+	0.4820+	0.4625+ 0.5092
Thermal Conductivity (kcal/hr m2 C)+		0.0848+	0.1150+	0.1066+ 0.1010
Latent Heat (kcal/kg) at (deg C)+			198.28+	
Inlet Pressure (kg/cm2 A)+		0		0
Velocity (m/s)+		0.58		2.11
Pressure Drop, Allow/Calc (kg/cm2)+		0.70/	0.70+	0.70/ 0.63
Film Coefficient (kcal/hr m2 C)+		1192.52		1272.23
Fouling Resistance (hr m2/kcal)+		0.000205		0.000410
Heat Exchanged	14.702 (1.0E6 kcal/hr)	MTD(Corrected)	75.11 (deg C)	
Transfer Rate (kcal/hr m2 C) Service	385.65	Clean	530.74	

Construction of One Shell

Sketch Nozzle Orientation

Design/Test Press(kg/cm2)+	21/	+	42/	+
Design Temperature(deg C)+	0	+	0	+
No. Passes per shell	2	+	2	+
Corrosion Allowance (mm)+		+		+
Connections+In (mm)+	205.00	+	336.55	+
Size and +Out (mm)+	205.00	+	336.55	+
Rating +Intermediate		+		+
Tube No. 674 OD 25.40 (mm)	THK(AVG)2.413 (mm)	Length9476. (mm)	Pitch 31.750 (mm)	
Tube Type PLAIN	Material CARBON STEEL	Layout Angle 90 deg		
Shell 1016.000 ID	OD (mm)	+Shell Cover		
Channel or Bonnet		+Channel Cover		
Tubesheet-Stationary		+Tubesheet-Floating		
Floating Head Cover		+Impingement Protection NO		
Baffles-Cross PARALLEL	SEG Cut 17.05	Spacing-c/c 530.55	Inlet 530.55 (mm)	
Baffles-Long YES	Seal Type			
Supports-Tube	U-Bend	Type		
Bypass Seal-Peripheral NO	Passlane NO	Tube-Tubesheet Joint		
Expansion Joint NO	Type			
Rho-V SQ-Inlet Nozzle	1190.7	Shell Entrance 5208.7	Shell Exit 5208.7	
Gaskets-Shell Side		Tube Side		
-Floating Head				
Code-ASME		Stamp	TEMA Class	
Weight/Shell 20470	Filled With Water 28448	Bundle 9387	(kg)	

第1セクション

第2セクション

第3セクション

図2 熱交換器の計算結果(HTRI プログラムによる)

ラーに十分な余裕をとっておかなければならない。国内の製油所での実績をみると、加熱炉入口温度は初期状態で 240℃であったものが、1～2年後には 220℃以下になることはよくある。2年に一度、プラントは定期点検及びクリーニングを行わなければならないので、2年間の温度効果に相当する負荷を余裕とすれば良い。ただし、熱回収の面から、この汚れによる伝熱効率低下は出来るだけ少なくする対策は必要である。

汚れが非常に大きく、フル稼働出来なかった例を紹介してみよう。海外にある 200,000 バレル/日 を処理する製油所の加熱システムで図4に示すように運転初期は 230℃程度であったものが、6ヶ月後には 180℃程度まで下がった例がある。

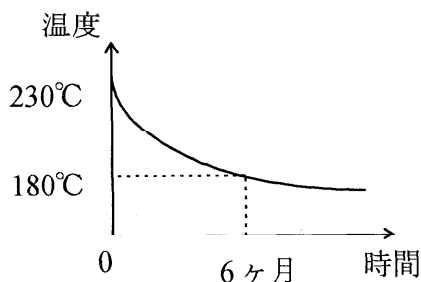


図4 加熱炉入口温度

スタートして半年後に 50℃も加熱炉入口温度が下がると加熱炉負荷は約 50%増になる。通常、加熱炉の設計負荷は初期条件の 20%増程度に決めてあるため、このケースでは加熱炉がボトルネックとなり、加熱炉出口温度が下がり、軽質油の得率が落ちる結果となった。これは、式(2.1)に示す r_i 、すなわちチューブ内面の汚れが大きく $r_i = t/k$ で表されるスケールの厚み(t)が増大したことを意味する。汚れのメカニズムは定かではないが、原油の種類、塩分濃度及び操作温度等に影響されるようである。上記の例は、東南アジア産でナフテン酸を含んでいる原油を処理しているためと考えられている。この原油は 150℃以上になると急激にスケール付着が増大するようである。

この対策として、図5に示すようなスパイラル状

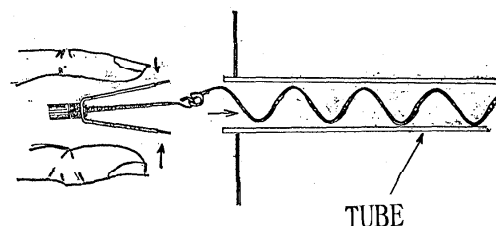


図5 ターボタール

のコイルをチューブ内に挿入する方法を取った。

挿入されたスパイラル状のコイルは、管を流れる流体の流動エネルギーで回転し外部からの駆動エネルギーを必要としない特徴を持っている。これはターボタールといってフランスのペトロバル社が実施権を持っており、上記東南アジア系の原油を処理しているケースには非常に有効であった。ターボタール挿入により1年後の加熱炉入口温度は 210～220℃で前記 180℃に比べ大幅に改善された。

日本国内では汚れ対策として、ケミカルを使用し汚れの原因となる物質を分散させる方法が一般的である。しかし、ケミカルに加え、このターボタールを採用されている製油所もある。処理する原油によって大きく左右されるので、採用に際してはテスト運転が必要である。

5 あとがき

化学工業分野において、特に原油蒸留装置は物量的にみて非常に大きく、他に例を見ないほど熱回収及び熱伝達は注目すべき重要なファクターである。本来、熱物性値を中心に述べるべきであるが、メーカーの立場から書いて欲しいとの原稿依頼があったため、上記のような内容になった。

¹ 日本化学会編、「化学便覧」(丸善)1984.

² Perry,R.H.;Green,D.;Maloney,J.O. 'Perry's Chemical Engineer's Handbook, Sixth Edition', McGraw-Hill, 1984.

³ 大江修造、「設計者のための物性定数推算法」(日刊工業新聞社)1985.

冷凍サイクルの設計と熱物性値

松嶋 弘章 (日立製作所 機械研究所)

1. はじめに

冷凍、空調機に使用されている冷凍サイクルの開発、設計にとって、作動媒体である冷媒の熱物性値の果たす役割は大きい。近年、数値計算の発達により、冷凍サイクルあるいは主要構成要素の性能把握には実験とともに計算機によるシミュレーションが多用されており、冷媒物性が基本となっている。また、地球環境問題の一つであるオゾン層保護のために、オゾン破壊物質を含まない代替冷媒の検討が冷媒物性値を中心に進められている。

本稿では、蒸気圧縮式冷凍サイクルの性能面からみた開発、設計の現状、さらに、オゾン層保護のための代替冷媒の開発状況及び問題点について述べる。

2. 冷凍サイクルと熱物性値

2.1 冷凍サイクルの種類と冷媒

冷凍、空調機器に広く使用されている冷媒としては、安全性及び効率面から表1に示すフロン系冷媒が使用されている。これらの冷媒の熱物性値はASHRAE⁽¹⁾、日本冷凍協会等⁽²⁾から詳細なデータ

表1 冷凍サイクルと冷媒の種類

機器	冷 媒	
	既存冷媒	代替冷媒, 代替候補
遠心式冷凍機	CFC-11	HCFC-123 HFC-134a
家庭用冷蔵庫 業務用冷凍機	CFC-12 R-502	HFC-134a HFC-125/143a HFC-125/143a/134a
車輻用空調機	CFC-12	HFC-134a
空調機	HCFC-22	HFC-32/125 HFC-32/125/134a

CFC : Chlorofluorocarbon
 HCFC : Hydrochlorofluorocarbon
 HFC : Hydrofluorocarbon

集が発行されており、利用方法も確立している。しかし、これらの冷媒は塩素原子を含むことから成層圏のオゾン破壊の原因になっており、塩素原子を含まない環境面で許容される冷媒の検討が進められている。代替冷媒の現状及び問題点については後述する。

2.2 冷凍サイクル設計の現状

冷凍サイクルは圧縮機、凝縮器、減圧器、蒸発器の基本部品を配管で接続することにより構成される。冷凍サイクルの性能を視覚的に表示する線図として図1に示すモリエル線図が広く使用されている。本図を用いて冷凍サイクルの概略を説明する。冷媒は圧縮機で理想的には断熱圧縮され高温、高圧の過熱蒸気となる。そして凝縮器において等圧凝縮により過冷却の液状態になる。さらに、減圧器において等エンタルピで減圧され、低圧の湿り蒸気となった冷媒は、蒸発器で等圧蒸発により過熱蒸気となり、圧縮機に戻るサイクルを構成する。モリエル線図上に冷凍サイクル各部の入口、出口の状態を表わすことで冷凍能力、圧縮仕事、効率等の冷凍サイクルの性能を把握することができる。

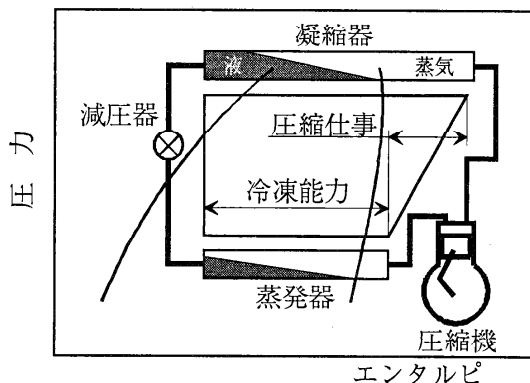


図1 冷凍サイクルとモリエル線図

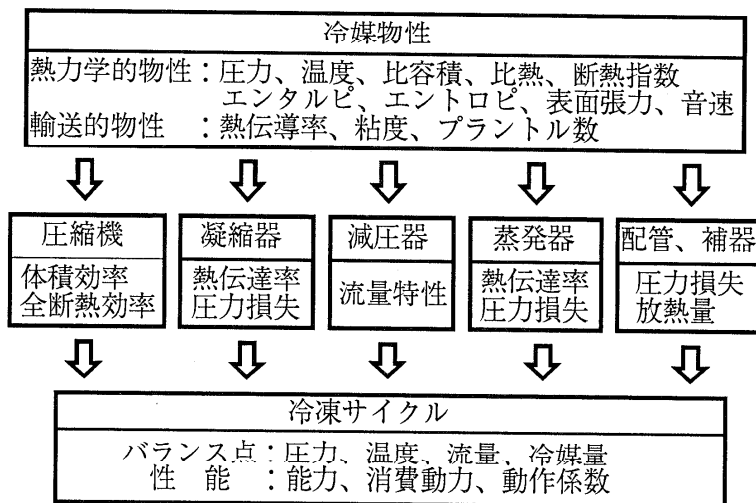


図2 冷凍サイクルシミュレーション

このようなモリエル線図での性能把握は、冷媒の理論性能あるいは開発機器の性能解析等に使用される。

しかし、一般的に行われる設計では、凝縮、蒸発の圧力あるいは温度が与えられることは希であり、通常、蒸発器、凝縮器のおかれる雰囲気温度、能力及び消費動力が要求され、これらの要求仕様を満足するように各構成要素が決定される。この際、冷凍サイクルでは各要素機器が閉回路で構成されるために各要素機器の特性が適合して平衡状態になるように、図2に示すようなシミュレーション計算が用いられる(3)。また、近年、平衡時の性能予測だけでなく、起動時等の過渡時の性能予測を行う動的シミュレーションの検討も進められている(4)。

一方、冷凍サイクル主要機器のうち性能に大きく影響する熱交換器及び圧縮機については実験値のデータベース化とともに理論解析が進められている。熱交換器については、従来から伝熱特性、流動様式から図3に示すような性能予測が行われている。特に、単一冷媒の凝縮、沸騰熱伝達率は、平滑管について、藤井の式(5)、吉田の式(6)等の半理論式として確立されており、冷媒物性から推算可能になっている。しかし、空調機等に使用されている内面螺旋溝付管のような伝熱促進を図った伝熱管の熱伝達率は実験式あるいは平滑管の熱伝達率に係数を掛けた形で用いられており(7)、溝形状を考慮した推算式が望まれる。

また、圧縮機の性能予測についても、従来、圧縮機単体試験での実験結果を数式化したものが用

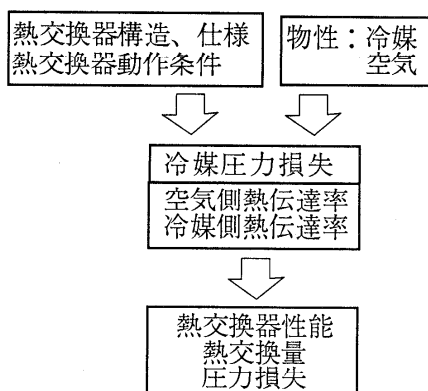


図3 熱交換器性能シミュレーション

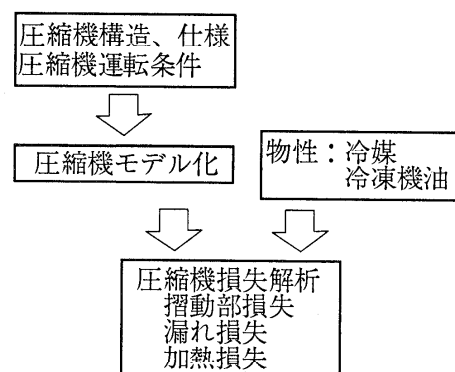


図4 圧縮機性能シミュレーション

いられていたが、圧縮過程をモデル化することにより図4に示すようなシミュレーションで性能解析することが試みられている(8)。圧縮機の性能シミュレーションでは冷媒の熱物性値だけでなく冷媒が溶解した冷凍機油の高精度な物性値が必要になる。

3. オゾン層保護と冷凍サイクル

3.1 オゾン層保護と代替冷媒

冷凍サイクルに広く使用されている冷媒CFC-12あるいはHCFC-22といったフロン系冷媒は毒性、安定性、不燃性といった冷媒に必要な特性をほぼ理想的に満足しており、急激に使用量が増加した。しかし、これらの冷媒は塩素原子を含むために成層圏中のオゾン破壊能力の大きいCFCは1995年全廃、比較的オゾン破壊能力の小さいHCFCは2020年実質全廃が国際的な合意で決定されている。これらの冷媒に替わるものとしては、安全性から塩素を含まないHFC系の冷媒が有力視されている。既に、全廃時期の早いCFC系冷媒ではCFC-11がHCFC-123あるいはHFC-134a、CFC-12がHFC-134aへの代替化が進められ、一部製

品化されている。また、冷媒物性も日米を中心とした国際的な共同研究あるいは日本冷凍協会を中心として精度の高いものが発表されており、冷媒の熱物性については確立している(9)。

一方、空調機に広く使用されているHCFC-22の代替冷媒については、熱力学的物性の近い単一の代替冷媒が無いため、代替冷媒が確定されておらず、物性面および機器の性能面から代替冷媒の評価が進められている。HFC系冷媒の物性値を推算して求めた理論COPと圧縮開始時の冷媒の単位体積当りの理論能力をHCFC-22と比較した結果を図5に示す。有力な候補冷媒としては非共沸であるが物性値がHCFC-22に近いHFC-32/125/134a(23/25/52wt%)あるいは共沸に近いが動作圧力が高くなるHFC-32/125(50/50wt%)が有力視されている。

3.2 冷凍サイクル設計上の問題点

HFC系冷媒では、塩素原子が含まれないことから従来から使用されていた鉱油系の冷凍機油との相溶性が無く、相溶性を確保できるPAG(Polyalkylene Glycol)あるいはエステル系の冷凍機油を使用する必要がある。このため、信頼性の検討は必要であるが、HFC-134aのような単一冷媒では性能面では物性値が明らかにされたことにより従来方法で性能予測が可能になっている。

一方、HCFC-22の代替候補として考えられている非共沸の混合冷媒では、冷媒の変更により物性値

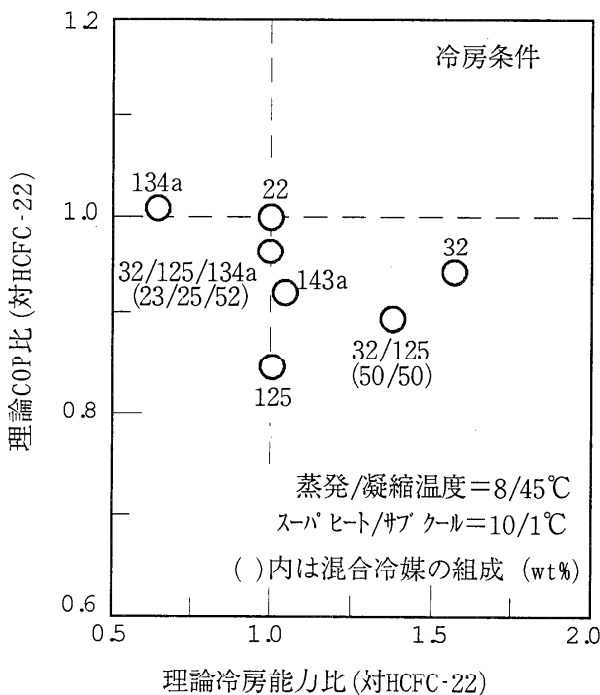


図5 代替冷媒の理論性能

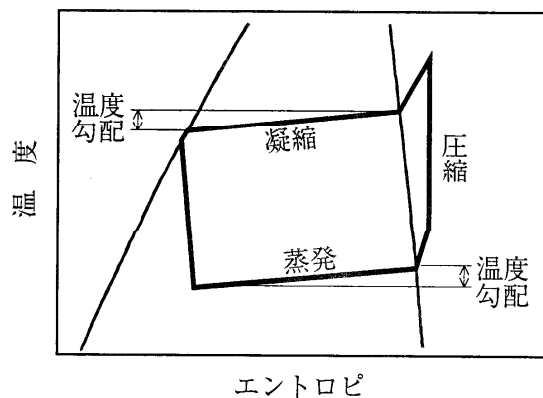


図6 T-s線図上の非共沸混合冷媒サイクル

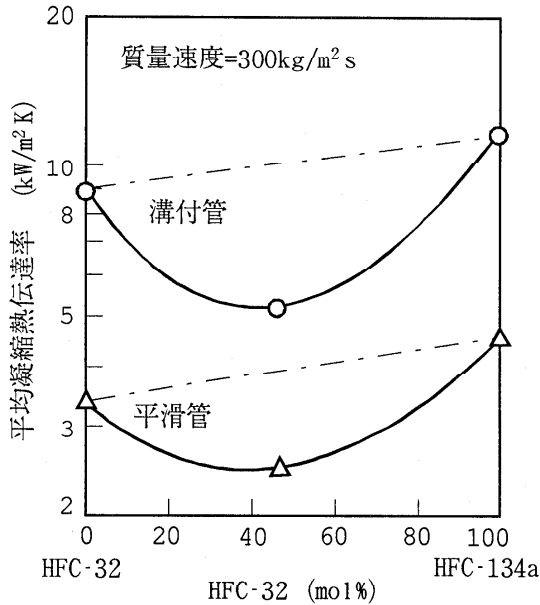


図7 非共沸混合冷媒の凝縮熱伝達率

が異なるだけでなく、凝縮、蒸発時に温度勾配を持つ特徴がある。図6に温度勾配を表示できるT-s線図上での冷凍サイクルを示す。凝縮、蒸発器の性能を高精度に推算するためには、物性値の高精度化とともに温度勾配を考慮した、熱交換器の設計技術が必要になる。また、非共沸混合冷媒では凝縮、沸騰熱伝達率が低下する問題がある。図7にHFC-32/134a系混合冷媒の凝縮時の管内熱伝達率を示す⁽¹⁰⁾。図から明らかなように混合冷媒の熱伝達率は単一冷媒より低下し、最小値を持つ特性になる。このような熱伝達率特性は2成分系混合冷媒で物性値からの整理式が検討されているが確立されておらず⁽¹¹⁾、性能把握上の問題点になっている。

一方、非共沸混合冷媒を用いた冷凍サイクルでは、各成分と冷凍機油との相溶性の差、気液2相時の濃度差により封入組成と循環組成が異なる現象がある。このために、性能把握には従来から使用されている線図あるいは熱物性表では対応できなく、コンピュータプログラム等による組成を考慮した数値計算にする必要がある。

4. おわりに

石油危機以来、省エネルギー対策を中心とした冷凍サイクル、要素機器の開発、設計技術は著しく向上してしている。しかし、ここにきてオゾン層保護という新たな課題が発生し早急に対応する必要がある。幸い国内の大学を中心とした熱物性研究者によりCFCの代替冷媒の物性値はいち早く発表され、HFC-134a等の代替冷媒を使用した機器の製品化も進んでいる。また、HCFCの代替冷媒も近年中には明らかにされるものと期待される。しかし、代替冷媒は総じて冷媒自体の効率は低く、地球温暖化を考えると冷凍サイクルの省エネルギー化を更に推進する必要がある。このためには、冷凍技術だけでなく、伝熱、材料、化学等の広い範囲にわたる技術の向上が望まれる。

参考文献

- (1)ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS (1985)
- (2)たとえば、日本冷凍協会:冷媒熱物性表(R22蒸気表)(1975)
- (3)たとえば、福島,ほか:冷凍,52,593,19-32(1977)
- (4)たとえば、柳沢,ほか:平成5年度冷凍協会学術講演会講演論文集(1995.11),69-72
- (5)藤井,ほか:冷凍,55,627,3-20(1980)
- (6)吉田,ほか:冷凍,58,666,331-337(1983)
- (7)たとえば、佐藤,ほか:第28回日本伝熱シンポジウム講演論文集,532-534(1991)
- (8)たとえば、末藤,ほか:冷凍協会論文集,10,2,319-326(1993)
- (9)代替フロン類の熱物性,日本冷凍協会,日本ガス協会(1991)
- (10)内田,ほか:第30回日本伝熱シンポジウム講演論文集,337-339(1993)
- (11)藤井:冷凍協会論文集,11,1,1-9(1994)

エレクトロニクス産業における熱物性値

柳田武彦(日立 機械研究所)

1. まえがき

電子機器の冷却問題などを扱ってはいるが、この表題を与えられた時、熱物性値についてふだんあまり重視していないことに気付いた。伝熱の問題では当然いろいろな物性値を日常使用しており、計算をするときは「伝熱工学資料」¹⁾などを見ている。しかし本当に調べたい物質の物性値は必ずしも載っていない。広く使用されている鋼材やアルミニウムでも代表的な材質が載っているだけであり、成分の異なる材質はそれらをもとに推定することになる。

それでもエレクトロニクスの分野では特殊な材質が使用されることがあり、従来の経験で推定できない場合も多く、「熱物性ハンドブック」²⁾を参照することがある。しかしそれ以上詳しく調べることはめったにない。

電子機器の冷却などを考える場合、特に問題になるのは冷却空気の流れであり、またその熱伝達率である場合が多く、熱伝導率などの精度が問題になることは比較的少ないためである。

エレクトロニクス産業は目覚ましい発展を遂げている。半導体製造については高温の処理、微細加工、真空中での処理などで熱問題³⁾が多い。半導体素子では温度上昇による熱応力が問題となり、信頼性の確保が大きな課題⁴⁾である。また電子機器などの製品は小形化、高性能化で発熱密度が増し、冷却上の問題が多い^{5) 6)}。

そこで日頃見過ごしている、こうした問題と熱物性値の関わりについて、あらためて見直してみた。ただし、材料開発や熱物性の分野について直接携わっているわけではなく、また電子機器の冷却などについては工場から問題を持ち込まれて対策を考えたりする必要があるが、狭い範囲での知見であり、その点を御了解いただきたい。

2. ICパッケージの信頼性に関わる熱膨張係数

ICパッケージは外形の小形化、素子の大型化、ピン数の増加、発熱密度の増加の傾向にあり、しかも低コスト化が強く求められている。放熱の面からは熱伝導率の大きなセラミックパッケージが有利であるが、コストの点からプラスチックパッケージが主流となっている。

プラスチックパッケージの耐熱衝撃性に関わるほとんどの問題は封止材(プラスチック、レジン)とチップ、リードフレームとの熱膨張係数の差によって発生する。ICパッケージの主要損傷モードの例を図1に示す⁴⁾。レジンのクラック、はく離、ワイヤ断線などは熱膨張の違いによるものである。

ICパッケージの製造工程でのシリコンチップとパッドの接合、レジンによるモールド、検査時の温度サイクル試験、基板実装時の半田付け、実使用時の発熱、冷却の熱履歴など、常に熱膨張、熱応力との戦いである。

パッケージの信頼性向上のためには、低応力化を図る必要があり、レジンの熱膨張係数をチップ、リードフレームに近づけ、曲げ弾性率を低くすることが有効である。レジンの熱膨張係数、熱伝導率、機械強度などを調整するために、エポキシ樹脂にシリカ、アルミナなどのフィラーが加えられる。モールド

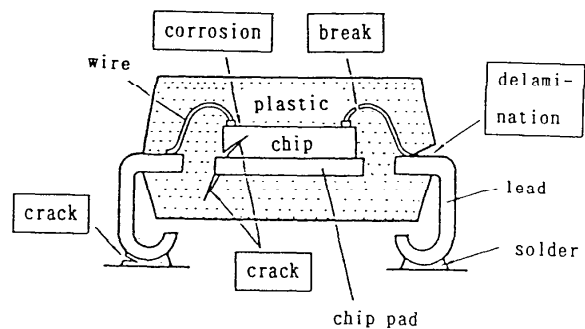


図1 ICパッケージの主な損傷モード⁴⁾

ド時のレジンの流動性の確保などの問題を解決し、多量のフィラーを加えて熱膨張率を低くする技術が開発されている。

DRAMについて見ると1MビットDRAM用封止材の熱膨張係数は $1.8 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ であったが、16Mビット用の場合は $1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ となり、他の材料との差は小さくなっている⁷⁾。

フィラーの混入によって熱膨張率だけでなく他の物性値も変化する。レジンの熱伝導率の向上はプラスチックパッケージの放熱の点から重要な問題である。

3. フィラー混入によるプラスチックパッケージの熱伝導率

微粒子を分散させた複合材料の熱伝導率はMaxwellの式など各種の理論式が求められている。(図3)

熱伝導率に影響する主な要因は、樹脂およびフィ

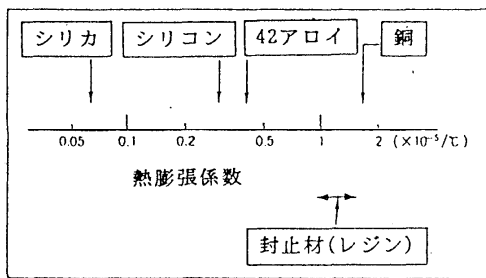


図2 パッケージ部材の熱膨張係数⁷⁾

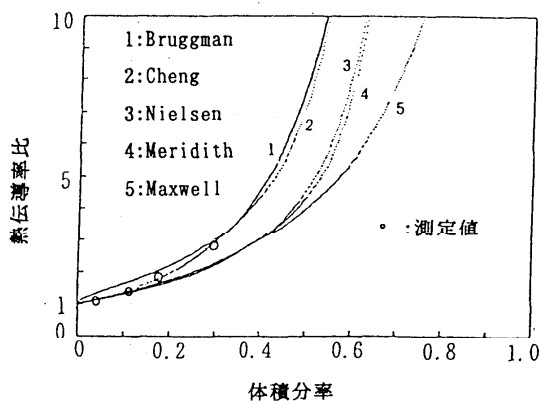


図3 微粒子分散型複合材料の熱伝導率²⁾
(アルミニウム球/エポキシ樹脂)

ラーの熱伝導率、フィラーの体積割合、フィラー粒子の形状などである²⁾。

分散粒子が20%以下であればMaxwellの式などで比較的精度良く求められる。しかしプラスチックパッケージの場合、フィラーの割合は60-85%と多い。フィラーを型に入れ、隙間に樹脂を流し込んだような状況でありフィラー形状、粒径分布などの影響が大きいため計算精度は良くない。

フィラーを多量に加えることで、すでにレジンの熱伝導率はエポキシ樹脂より一桁ほど大きくなっている⁸⁾。さらにフィラーを調整しても熱伝導率の大幅な変化はあまり期待できない。フィラーの効果としてはまず熱応力を低減するために熱膨張率を小さくすることが大切であり、熱伝導率を向上させるために熱膨張率が大きくなることは避けるべきである。放熱性の向上を図るにはパッケージ内にヒートスプレッダを設けるなど構造面で改良する方が良いと思われる⁴⁾。

パッケージの信頼性向上のために、レジンには他にも、低吸湿率、高接着力、高ガラス転移温度などの特性が要求される。こうした多様な要求に応えられる優れた材料の開発が望まれる。

4. 微細構造の場合の物性値

エレクトロニクス分野では極めて微細な構造を扱う。こうした微細な構造では物性値としてバルク材料の値を使用できるかが問題になる。CVDなどにより成長した薄膜がバルクと同じ組成を持ち、同じ物性値と考えてよいかなど疑問がある⁹⁾。

電気的には、例えば伝熱面表面の温度測定に用いられる薄膜温度センサでは膜厚によって熱電対の起電力が変化する^{10) 11)}。合金の場合は蒸着やスパッタリングで得られる薄膜の成分が変化するので、熱電対としては純金属を用いるが、純金属の熱電対の起電力も膜厚の影響を受ける。図4は銅・コンスタンタン薄膜熱電対の膜厚による熱起電力の変化を示す。膜厚が薄いと起電力は低下し、厚くなると母材の値

に漸近する。同様に金属の比抵抗も膜厚の影響を受ける。

薄膜の熱伝導率、熱拡散率の測定法⁹⁾が報告されているが今後微細な領域の熱制御が必要になり、こうした問題がますます重要になると思われる。

5. 複合構造体の熱伝導率

熱伝導解析を行なおうとする場合、単純な構造であれば簡単にメッシュ分割ができるが、例えば基板の上に多数のICパッケージを配列した場合などはどの程度まで分割するか常に迷うところである。

部分的に詳細な解析を行なう場合は細かい構造まで考慮して分割すればよい。一方、設計などで形状を変えて概略の温度分布を求めたい場合には粗いメッシュ、例えば一つの部品を一つの均質な要素と仮定して分割することを考える。しかし実際にはその部品はさらに細かな構造を有し、各種の材質から成っているとき、均質と仮定した要素の物性値として

どのような値を与えるかが問題になる。

フィラーを含むプラスチックのように一様に混合して一つの材質と考えられる場合は良いが、そうでない場合についても特定の構造、形状を有する物については等価の物性値を求めておけば厳密な扱いではないが実用上便利である。

例えば基板の熱伝導率を考えると、絶縁材としての樹脂の中に電源層、アース層などの薄い銅箔が敷かれている¹²⁾。(図5) 基板の面方向の等価熱伝導率はこの箔によって樹脂の熱伝導率に比べて10倍以上に大きくなる。しかし基板にピン(リード)を挿入するタイプの場合は、箔にはリードと接触しないようにピン挿入用のスルーホールより大きな孔がけられており、この孔の径と孔のピッチにより等価熱伝導率の値は大きく影響される。基板上のパッケージの温度分布を求める場合には等価熱伝導率が求められていれば基板については均質な板と考えて解析が行なえる。

基板の等価熱伝導率はこの他に基板表面の配線パターンによっても変わるが、配線のパターンまで定型化することは困難である。(これを無視した場合、温度の計算結果は高めに出るがこの誤差は安全側であり、設計上の余裕と考える。) 図5(b)のように金属心入りの基板では面方向の等価熱伝導率は33-74W/mK¹²⁾と大きな値が得られる。

中山^{13) 14)}は「マイクロエレクトロニクスにおける熱問題」として「計算機の冷却の伝熱問題が抱える特徴的なことは、膨大な数の微小部品からなる複合構造体を扱わねばならないこと」を挙げている。

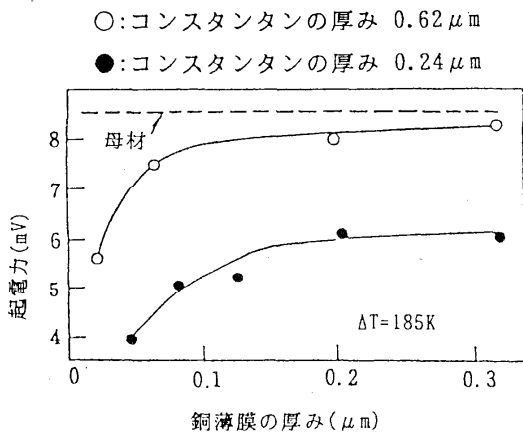
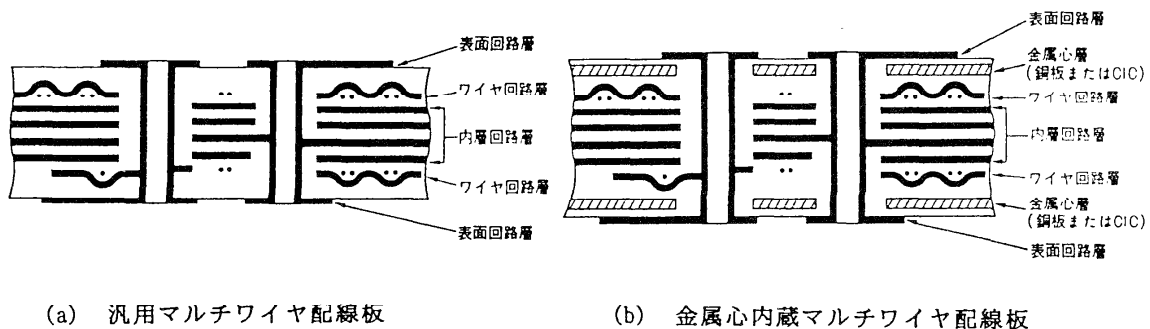


図4 薄膜熱電対における膜厚の影響¹⁰⁾



(a) 汎用マルチワイヤ配線板

(b) 金属心内蔵マルチワイヤ配線板

図5 マルチワイヤ配線板の構造¹²⁾

シリコンチップ上に形成される微細回路構造の熱解析を行なう場合、回路構造の寸法は μm オーダーまたはそれ以下である。一方概略の温度分布を決める境界条件の代表寸法はチップのサイズで mm のオーダーであり、チップ全体を微細構造に合わせて分割することはほとんど不可能である。しかし半導体では基本的にほぼ同じ構造の回路が多数集積されていると考えられる。そこでこうした基本的な微細構造を持つマイクロなエレメントを考え、このエレメントの熱伝導特性(シェイプファクタと呼ぶ)をあらかじめ求め、マイクロエレメントで構成されるマクロシステムの熱解析を行なう方法が提案されている¹⁵⁾。複雑な構造体の熱解析を行なうためにこうした新しい解析法が確率されることを期待したい。

なお、複合構造体の問題はエレクトロニクス分野に限らず、例えば、コイルやベアリングなどの等価熱伝導率のデータがあれば広い製品分野で概略の温度計算をしたい場合に大変便利である。

5. むすび

特に目新しくはないがエレクトロニクスの分野で熱物性値について問題と思われる点について述べた。半導体素子の信頼性に関する熱問題は多く、冷却構造の開発とともに安価で優れた特性を持つ新材料の開発が望まれる。

またある程度まとまった複合構造体の等価熱伝導率などのデータの集積や計算法が確率されると、冷却構造を考えながら簡単なモデルで手軽に熱解析を行なうことができるようになるものと考えられる。

参考文献

- 1) 日本機械学会編, 伝熱工学資料, 第4版(1986).
- 2) 日本熱物性学会編, 熱物性値ハンドブック, 養賢堂(1990).
- 3) 平沢, 伝熱研究, 28-109(1989-4), 94.
- 4) 香山ほか, ASICパッケージング技術ハンドブック, サイエンスフォーラム(1992).
- 5) 伊藤ほか, 電子機器の熱対策設計, 日刊工業新聞社(1981).
- 6) 日本機械学会編, 電子機器の冷却技術, 技報堂出版(1987).
- 7) 市村, 日立化成テクニカルレポート, 18(1992-1), 7.
- 8) 金成, 小沢, 熱物性, 3(1989), 106.
- 9) 小野, 次世代技術における熱工学, 日本機械学会「次世代技術における熱工学問題に関する調査研究分科会」報告書(1989-12), 308.
- 10) 棚澤ほか, 温度測定法, 養賢堂(1985), 86.
- 11) K.L.Chopra, et al., J. Appl. Phys., 39(1968), 1525.
- 12) 河添ほか, 日立化成テクニカルレポート, 22(1994-1), 25.
- 13) 中山, 次世代技術における熱工学, 日本機械学会「次世代技術における熱工学問題に関する調査研究分科会」報告書(1989-12), 191.
- 14) 斉藤, 中山, 第31回日本伝熱シンポジウム講演論文集(1994-5), 265.
- 15) 中山, 藤岡, 第26回日本伝熱シンポジウム講演論文集(1989), 247.

衣料の使用における熱物性値

薩本弥生 (文化女子大学 被服環境学研究室)

1 はじめに

「衣料の使用における熱物性値」という題名を頂いて早速、「物性」の定義を大辞林という辞書で調べた。すると、「密度、電気伝導率など、その物質に固有な巨視的な力学的、熱的、電氣的、磁氣的、光学的などの性質」と載っていた。「熱物性値」については伝熱工学資料(改訂第4版)[1]に「それぞれの物質系に固有な諸性質を物性と呼び特に個々の物性に関する数値情報に力点を置いて物性値と呼ぶ・・・熱エネルギーと関連の強い学問分野や周辺分野では熱物性値と総称される」と書かれてあった。つまり、(熱)物性値は物質が定まれば決まる値で、大きさ、形には影響されない値と言える。

私の所属しているのは家政学の被服学という分野であるが、一見して伝熱工学との関連を思いつかない方が多いかと思う。そこで、伝熱工学と関連して何を研究しているかについて次に説明しておく。

快適で健康的な被服は被服設計の目的の一つである。温熱的快適性に限れば快適性は着衣を通しての熱移動と水分移動特性にかなり影響を受けると一般に考えられている。よって、被服内の熱や水分移動現象を明らかにする事が、より快適な被服設計につながり重要となる。そこで、これまで伝熱工学の知見を援用して、物理的側面から着衣の熱および水分移動について検討してきた。

2 繊維集合体や布の熱伝導率について

ここで私の研究している「着衣の伝熱」に関連した熱物性値を挙げると、まず浮かぶのは最も直接に着衣の伝熱に影響を与える繊維集合体や布の熱伝導率である。伝熱工学資料に「流体の場合とは異なり、固体は必ずしも均質・等方性ではない点に充分留意する必要がある。」[2]と記載されているが繊維材料も一般に異

方性であり、繊維の軸方向とそれに垂直方向では熱伝導率に差がある。仲ら[3]が繊維の熱伝導率の異方性について研究している。また、川端[4]は、繊維一本の熱伝導率をその異方性に注目してそれぞれの方向について実測する方法を提案している。それらの成果により、異方性に注目すれば繊維自体の熱伝導率は方向毎に定まり得る。しかし、布の熱伝導率になるともっと厄介になる。布は金属のような均質な素材と異なり、繊維と空気層からなる不均一な構造である。よって、布の熱伝導率は一定になり難しく、繊維の配向、温度、湿度、水分率、繊維の充填率、繊維の種類などの多くの要因によって変化する。それ故、これらの要因の効果を検討する多くの研究がみられる。竹中[5]や仲[6]・[7]は繊維の配向性をなどを考慮して布や繊維集合体をモデル化しそれらの熱伝導率を検討した。その結果、繊維の充填率が比較的大きい場合は繊維間の接触抵抗を考慮していた。また、繊維の配列に平行方向の熱伝導率がそれに垂直の熱伝導率よりもはるかに大きいことが判明した。繊維の充填率が小さく繊維間の空隙が多い場合は熱伝導の他、放射による伝熱が繊維集合体内で起きていることが考えられる。仲ら[8]、野飼ら[9]・[10]、藤本ら[11]が放射の影響について検討している。

以上のような研究から以下のことが言える。繊維集合体や布に関する熱伝導率は本来の熱物性値の定義から逸脱した、大きさ、形により変化する量で、厳密には物性というよりある種の状態変数である。図1に伝熱工学資料のデータ[12]および高橋ら[13]、妹尾ら[14]、著者[15]の測定したデータを元に布の密度のみ記載のものは充填率に換算して充填率と布の熱伝導率の関係を示した。図より布の熱伝導率のばらつきは繊維や充填率が変わっても空気の熱伝導率 $0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ と同じ桁で一定範囲内に収まる。

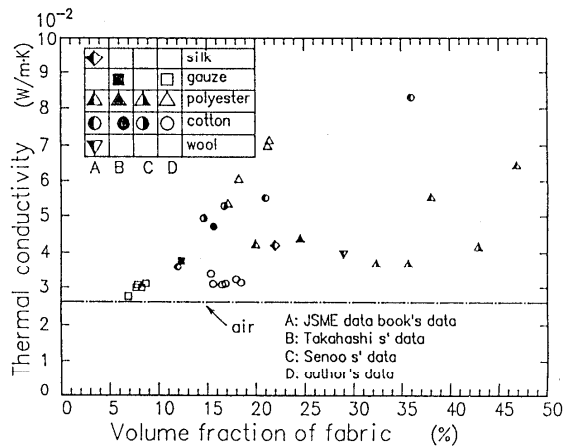


Fig. 1 Thermal conductivity of fabrics

3 着衣の保温性評価について

布はそのまま用いられるのではなく縫製され被服として着装されて使用される。着装された状態の被服は「着衣」と通常呼ばれる。着衣の保温性の評価は、熱抵抗値によってなされる。熱抵抗は熱通過によって物体に生じた温度差を物体を通過する熱流量で除した値である。布そのものの熱抵抗の場合、布の厚さ方向に熱伝導で熱移動があるとするとフーリエの法則より布の厚さを布の熱伝導率で除した値となる。従って、熱抵抗は厚さ（大きさ）により変化する値なので熱物性値とはいえない。よって、「衣料の使用における熱物性値」の題名から逸れるが着衣の保温性を評価する尺度として私の研究する分野で定着しており、熱伝導率から導かれる物理量であり、着衣の保温性評価法に関して熱抵抗の用い方についていくつかの問題点を感じているので熱伝導率に関しての上記の記述で題名から逸れることに関してはお見逃し頂いて、以下熱抵抗についてこの場を借りて述べたいと思う。

3. 1 基礎着衣熱抵抗値を局所の保温性評価へ援用することの可否

着衣は衣服間隙と衣服地、外界の空気を部分とし、構成される複合系である。図2に示すような電気回路で近似的に表せると仮定して着衣全体としての保温性評価はクロ単位（付録参照）を用いて評価されることが多い。全着衣熱抵抗値(I_t)、裸体時の皮膚表面熱抵抗(I_a)、基礎着衣熱抵抗値(I_{cl})は、式1から式4により表される。

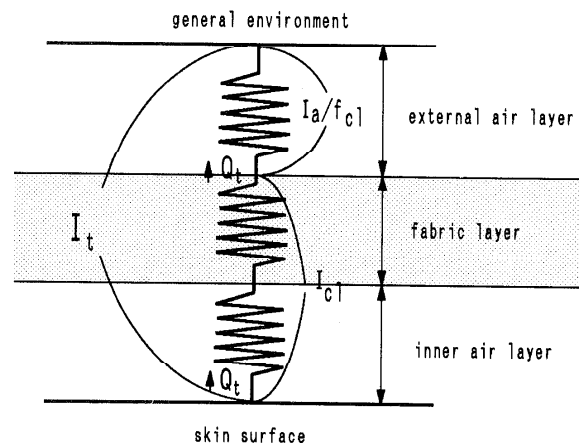


Fig. 2 Analogical electric circuit to show thermal insulation of clothing system (customary model)

$$I_t = (T_s - T_e) / 0.155Q_t \dots \text{式1}$$

$$I_a = (T_s - T_e) / 0.155Q_a \dots \text{式2}$$

$$I_{cl} = I_t - I_a / f_{cl} \dots \text{式3}$$

$$f_{cl} = 1 + 0.3I_{cl} \dots \text{式4}$$

I_t : 全着衣熱抵抗 (clo)

I_a : 裸体時の皮膚表面熱抵抗 (clo)

I_{cl} : 基礎着衣熱抵抗 (clo)

f_{cl} : 着衣面積比 (着衣時の全表面積 / 体表面積)

Q_t : 着衣時の全身熱損失 (W/m²)

Q_a : 裸体時の全身熱損失 (W/m²)

T_s : 平均皮膚温 (K)

T_e : 環境温 (K)

着衣の保温性の評価をする場合、式3のように全着衣熱抵抗(I_t)から着衣外の熱抵抗(I_a / f_{cl})を差し引いた基礎着衣熱抵抗(I_{cl})を用いることが一般的である。着衣時の着衣外の熱抵抗は単位面積あたりは、裸体時の皮膚表面熱抵抗(I_a)と等しいと仮定し、着衣により表面積が増加した分を f_{cl} で補正することにより求めてある。この評価法は風速や温度レベルの影響を受ける着衣外の熱抵抗値(I_a / f_{cl})を減じることにより着衣の固有熱抵抗値が得られるとの意図があると考えられる。しかし、基礎着衣熱抵抗値は環境条件、着衣条件により変化するという実験報告が多数あり、着衣の固有値と言うより状態量といった性質が強いようである。

近年、サーマルマネキンの普及により人体を数部位に分割し制御することが可能になったため部位毎の着衣の伝熱性能の評価をおこなう試みがいくなされ

ている。その際、保温性尺度として基礎着衣熱抵抗値を援用して外界の空気の抵抗を除いた間隙と被服地部分のみの熱抵抗(I_{cl})で保温性評価をしているものが多くみられる。部位毎の評価を考えると熱の移動方向に目を向けなければならない。一般に熱移動の方向は人体表面に垂直方向のみと仮定している。しかし、垂直発熱平板によるモデル実験および理論的検討を行った結果、図3に模式図で示すように着衣下空気層の間隙が大きい場合、着衣内に下端開口部を通して空気の浸透があり空隙内で人体からの放熱による浮力が原動力となり人体に沿った対流が生じるため1次元のみの熱移動ではないことが明らかになった[16]。図4に示すように高さや間隙により熱通過率(熱抵抗値の逆数)は異なる。この場合基礎着衣熱抵抗値を体の局所の評価に用いることが妥当か疑問である。そこで、その点について検討する。

最近、Lotensら[17]により基礎着衣熱抵抗値を評価する新しい方法が提案された。図5のように人体を円柱の集合体として各部位の熱抵抗は温度や物性値を用いて計算される。Lotensらの考え方を分かりやすく説明するため私なりに解釈して図6に電気回路で近似的に表した。被覆部の各部位は並列なので着衣全体の熱抵抗は各部位のコンダクタンスを面積で重み付けして積算した逆数として求められる。そして、被覆部の抵抗と衣服外の抵抗は直列であるので足すことができる。露出部と被覆部とは並列の回路とみなされる。この考え方で算出した熱抵抗は通常的基础着衣熱抵抗値の算出法よりも厳密な値となると考えられるが基本的な考え方で私のモデルと異なる点がある。違いをはっきり示すため被覆された1部位を取り出して同様に図7に私の研究結果より得られたモデルを電気回路で近似的に示す。違いは着衣内部の対流を考慮するか否かである。Lotensらのモデルでは基本的に図2が成り立つと考えている。しかし、単純に $I_{cl} = I_t - I_a$ が成り立つには人体から放熱した熱流が枝分かれやエネルギー変換無しにすべて着衣を通過しなくてはならない。私の対流を考慮したモデルでは皮膚からの放熱量の一部が布素材の内壁に達するまでに連続的に流れによるエネルギーとして失われる。図7では3本だが布内壁に達するまでに実際は無限に枝分かれする経路がある。

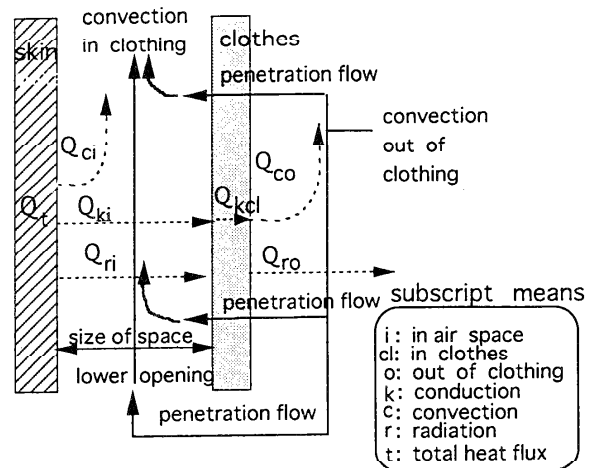


Fig.3 Schematic model of clothing system

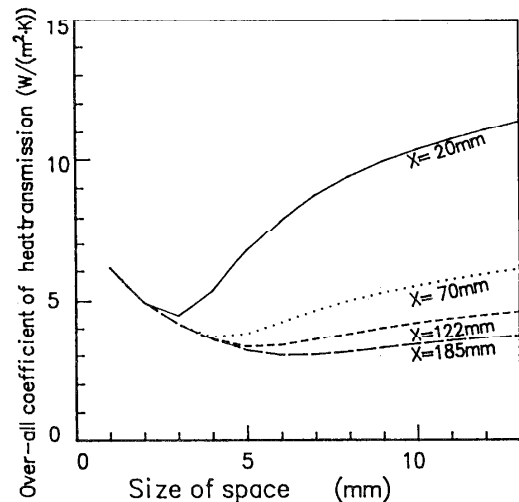


Fig.4 Effect of size of air space and height(x) on heat transfer of clothing system (theoretical values, material:aluminum)

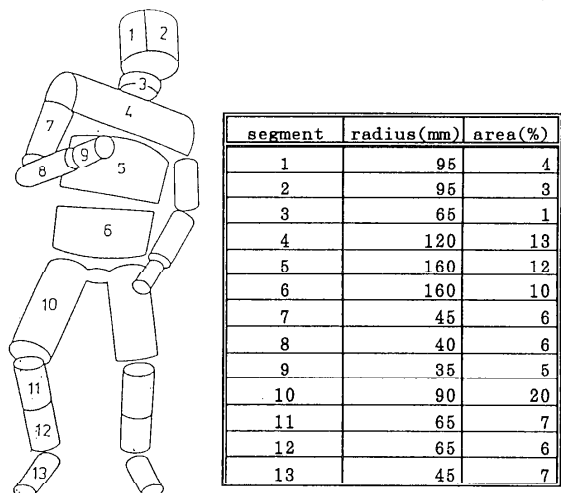


Fig.5 Articulation of cylinder model (quoted from Lotens' paper[17])

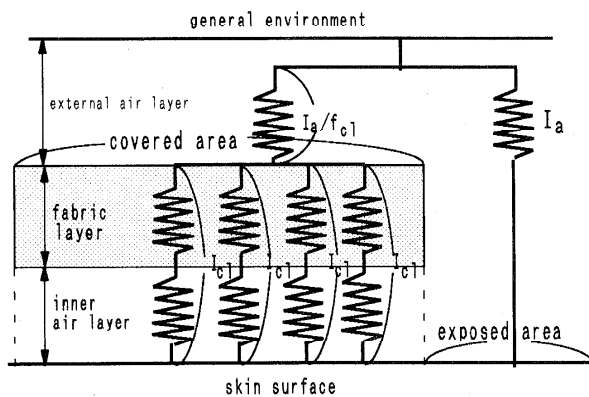


Fig. 6 Analogical electric circuit to express Lotens' idea

Lotensらはその論文の中でモデルが有効なのは間隙内の温度差が 5°C の時、間隙 1.3mm 以内であると述べているが実際に基礎着衣熱抵抗値を評価する場合もつと間隙が大きい場合もあるだろう。その場合流れを無視できないので単に全着衣熱抵抗から衣服外の熱抵抗を減じることで着衣の熱抵抗値を算出する事は適当でなくなる。また、着衣外の空気層の熱抵抗と同様、着衣内の空気層の熱抵抗も着衣の仕方、環境の気流、温度条件などにより変わり易い。また、両者を区別して実測評価する事も困難である。したがって、環境の条件まで含めた総熱抵抗値または熱通過率で評価した方がよいと考える。

それでも実用上、たとえば「ブラウスとスカートを着装し、カーディガンを重ね着したらその場合の着衣の保温性は？」というときデータベース化してある個々の被服の基礎着衣熱抵抗値を足してそれに重ねによる減衰係数を掛けるなどして便宜的な着衣の固有熱抵抗値が算出できると便利であることは確かである。また、ヒトの存在する室内環境の温熱環境指標計算が目的で種々の要因の1つとして着衣量（着衣の熱抵抗値）を規定する必要がある場合がある。その場合、環境条件と切り離して着衣量を規定できると計算上都合がよいようである[18]。以上のような場合はある程度誤差を承知で使うほか、やむを得ないと思う。しかし、着衣の保温性を評価するにあたり着衣内空気層の間隙や開口部の開口条件などの着衣状態を考慮し起きている現象を捉えることが研究の目的の場合、別途求めた裸体時の熱抵抗値(I_a)（着衣時の総熱抵抗値を求める時とは同時刻でない）ので厳密には環境条件に変化

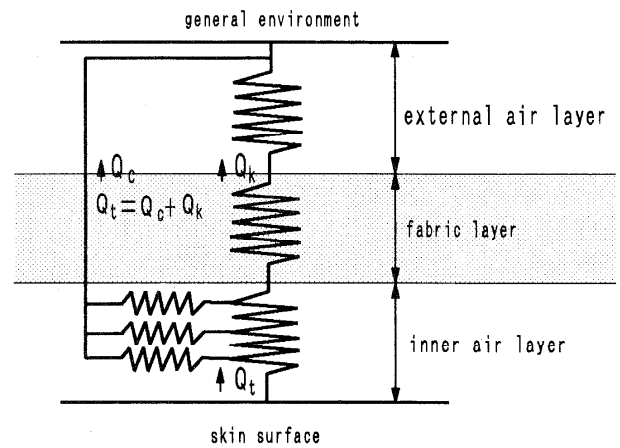


Fig. 7 Analogical electric circuit to show thermal insulation of clothing system (author's model)

がある可能性がある) から計算した着衣外の熱抵抗値(I_a/f_{c1})を減ずることにより誤差の加わった評価値を用いて検討することは避けるべきと思う。

4 発汗時の着衣系の熱及び水分移動

ヒトが運動などをして高い活動レベルにあるかまたは熱ストレス下におかれて発汗した時、人体からの熱と水分移動が迅速に行われないと不快感につながる。この場合、着衣の伝熱能力と共に水分移動能力も重要である。そこで、ここでは布の水分移動能力に関連した特性に関して述べる。

4. 1 布の吸水性

布が液体の水や汗を吸う性質のことを吸水性という。布を構成する繊維の接触繊維間の間隙に毛管作用が発生することにより、吸水性を発揮する。吸水性と異なり繊維の種類によらず繊維の断面の構造やよりマクロな布構造に影響を受ける。

吸水性には吸水速度と吸水量の2つの意味がある。一般には吸水速度を意味することが多い。一時期、ヒットした朝シャンタオルは繊維断面構造、繊維太さなどを改善し、吸水速度の向上を図ったものである。

4. 2 布の乾燥性

汗や水により濡れた布が乾燥する速度を乾燥性という。冬山登山では寒い気候にも関わらず運動により大量に汗をかく。気温が低いため皮膚が汗で濡れた状態

が続くと体温を奪われるため不快であるだけでなく危険でもある。登山中は容易に着替えができないため汗を吸水した布が速やかに乾燥することが必要である。

綿や毛などの親水性繊維でできた布地よりもポリエステルなどの疎水性繊維からなる布のほうが速く乾く。毛は乾燥速度は遅いが繊維物性、表面のスケールにより内部に水を含んでも皮膚が直接濡れにくいので登山用肌着には疎水性繊維とともに利用されている。

4.3 布の透湿性

衣服着衣時に人体から放散される水蒸気を衣服外に拡散により透過させる布の性質を透湿性という。布の両側の水蒸気圧の差が原動力となる。透湿の経路には図8のようにI繊維内部、II繊維間、III糸間の隙間、の3つがある。透湿性が低いと蒸れ感を生じるので着心地と関連して重要な性質である。

Iの経路は親水性繊維だけに当てはまるので繊維が疎水性か親水性かで透湿性が異なることが考えられる。しかし、一般の布では疎水性でも親水性でも透湿性は余り変わらない。このことは繊維内部よりも繊維間や糸間の経路が透湿において支配的であることを示している。IIIの経路が大きいと防水、防風性が小さくなるのでレインコートなどの特殊服ではポリエステルやナイロンで作った極細繊維の糸で高密度に織った透湿防水・防風布が用いられている。この布ではIIの経路が主になる。透湿防水防風布は初期のものは透湿性が一般の布より小さかったが最近の布は一般の布とさほど差がない。透湿防水防風布は山登り用の雨具、レインコートや雨靴などに用いられ装着感が従来よりも改善されている。

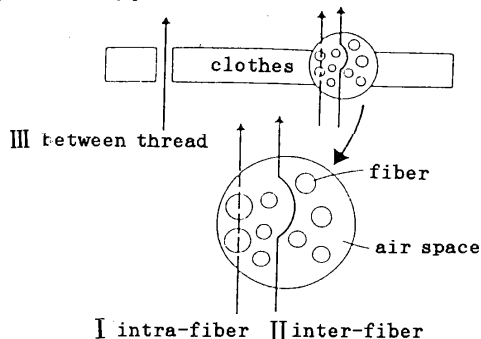


Fig. 8 Three routes of moisture transfer through clothes

4.4 布の吸湿性

布を構成している繊維が水蒸気を吸収する性質を吸湿性という。人体の皮膚から不感蒸泄として出る水蒸気を吸収させるために下着や肌着に特に求められる性質である。また、親水性の繊維は水蒸気を吸湿すると発熱する。吸湿熱は人を急激な温度変化から保護する。冬の寒い日にウールのコートを着て屋外に出るとウールの吸湿熱が外気が急激に身体を冷やすのを防ぐ。また、陽に干した綿ワタ布団に入ると普段よりも暖かく感じるが、身体から放湿された水蒸気をワタが吸って吸湿熱を出すことが影響している。

これらの例のように繊維の吸湿熱は人体が急激な環境の温度変化に直接さらされないように保護する緩衝（バッファ）効果がある。

親水繊維から成る布は、良いことばかりのようだが吸湿するとそれに伴って繊維の膨潤が起き、マクロにみると形態変化がおり、布のへたりや歪みにつながる。その関係は図9に示す等温吸(吸)着曲線によって表される。水分の吸着について詳しくはMoisture in Textiles[19]に説明されている。

4.5 繊維の水分率

親水性繊維が吸湿する事は前項で述べたが平衡状態に達したときに繊維が保持できる水分量は繊維の種類、温度、繊維のおかれた相対湿度によって決定される。その関係は図9に示す等温吸(吸)着曲線によって表される。水分の吸着について詳しくはMoisture in Textiles[19]に説明されている。

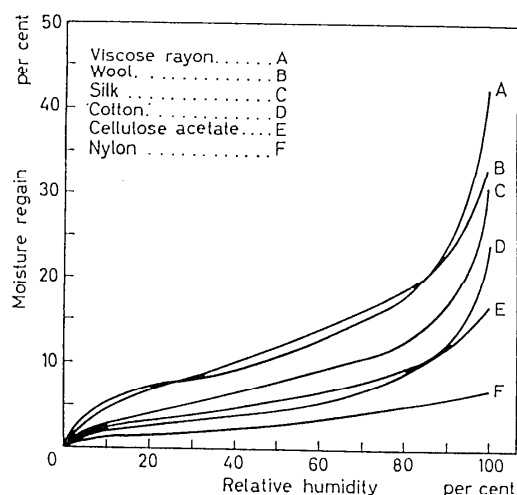


Fig. 9 Sorption isotherms for textile fibers (quoted from "Moisture in Textiles [19])

5 おわりに

着衣を通しての熱・水分移動は人体からの顕熱放熱（伝導、対流、放射）に加え発汗した汗（液相水）の蒸発（それに伴い蒸発潜熱を人体から奪う）、水蒸気の拡散、凝縮（凝縮発熱がある）、液相水の繊維集合体への毛管作用、水蒸気の繊維への吸・脱着（吸着で発熱、脱着で吸熱が起こる）が組み合わさった複雑な現象であるが個々の要因は単純な物理現象の組み合わせや変形であると考えられる。そこで、これまでかなり固定され、限定した状態のモデル化を行いシミュレーションを行い、現象を明確にしていこうと努力してきた。その際、モデルはなるべく単純化するが決して布そのものではなく着衣状態を考慮してシミュレーションしてきた。その結果、限定された条件下ではかなり現象が理解されてきた。しかし、まだ未解決の部分も多い。また、应用到たって実際の着衣状態では、布や着衣がたとえばマイクロには構成繊維の吸湿による膨潤があり、マクロには間隙量一つをとっても空間的、時間的に一定ではなく絶えずサイズが変化する物理量であることが厄介な問題である。しかし、上記の布の性質を上手く利用してより快適な被服設計につなげるために熱・水分移動現象の理解を深めることが重要であることはまちがいない。

また、ヒトが（温熱的）快適性を感じるのだからその生理現象の解明も必要である。最近、非侵襲の測定器が増えつつあるがヒトに関してはわからないことだらけのようである。

ヒトの生理現象の解明と着衣系の環境を含めた物理現象の把握と両者の進展が不可欠であるが研究のどの時点で両者を包括していくべきかも問題である。

参考文献

- [1]日本機械学会,「伝熱工学資料 改訂第4版」, p.307(1986)
- [2]日本機械学会,「伝熱工学資料 改訂第4版」, p.309(1986)
- [3]仲三郎,鎌田佳伸, 織学誌, 26,T34(1973)
- [4]川端季雄, 織機誌, 39,T184(1986)

- [5]竹中はる子,家政学会誌,14,77(1963)
- [6]仲三郎,鎌田佳伸, 織機誌, 26,T43(1974)
- [7]仲三郎,鎌田佳伸, 織学誌, 30,T-96(1974)
- [8]仲三郎,鎌田佳伸, 織学誌, 30,T-43(1974)
- [9]野飼享, 織学誌, 36,T-389(1980)
- [10]野飼享, 織学誌, 38,T-413(1982)
- [11]藤本尊子,丹羽雅子, 織機誌, 42,T27(1989)
- [12]日本機械学会,「伝熱工学資料 改訂第4版」, p.322(1986)
- [13]高橋カネ子,山田悦郎,藤枝アイ, 秋田大学鉱山学部研究報告, 4,63(1983)
- [14]妹尾順子,米田守弘,丹羽雅子, 家政誌, 36,241 (1985)
- [15]Y.Satsumoto, Doctral thesis, Bunka Women's University (1992)
- [16]Y.Satsumoto, M.Takeuchi and K.Ishikawa, Seni's Gakkaishi,47,263(1991)
- [17]W.A. Lotens and G. Havenith, Ergonomics, 34,233(1991)
- [18]田辺新一,長谷部ヤエ,西村美和, 織学誌, 50,180(1994)
- [19]J.W.S. Hearle, R.H. Peters, "Moisture in Textiles",Textile Book Pub., New York (1960)
- [20]田村照子,「基礎被服衛生学」,p.110(1985)

付録

クロ単位:

物理単位ではあるが、実用単位でもある。SI単位による熱抵抗の単位($m^2 \cdot K$)/Wに換算係数0.155を掛けることにより求められる。

なぜ、クロ単位が実用単位であるかということ1クロを決めるに当たり、ヒト一人あたりを単位に着衣の保温力に対して用いる前提で単位を定めたからである。

1クロの保温力とは、気温21.2°C、気湿50%RH以下、気流0.1m/sの室内で、椅座位安静の成人男子（エネルギー代謝量58W/ m^2 ）が快適で、平均皮膚温を33°Cに維持できるような着衣の保温力をいう（田村の著書[20]より引用）。

食品の加工・利用と熱物性値

亀岡 孝治（三重大学生物資源学部）

1. はじめに

食品の特徴は、その種類の多さ、多様な形状、不均質な混合系の構造に加え、温度変化や時間の経過により物性が変化することである。このような特性を持つ食品は、穀物・青果物・畜産物・水産物などの生物由来の原料食品と、これらの原料を加工して作られる加工食品に大きく分類される。原料食品はさらに植物由来のものと動物由来のものに大別でき、関係する熱的プロセスもそれぞれの間で少し異なっている。穀物・青果物などの植物由来の原料食品は収穫後も正常な生命活動が続いているため、植物細胞を破壊する凍結操作はほとんど行われず、生命活動を長く保持させるための前処理としての乾燥・予冷・予措乾燥などが行われ、冷蔵で流通される。一方多くの畜産物・水産物の動物由来の原料食品では生命活動がすでに停止しているため、腐敗を防ぐために凍結操作が一般に行われ、凍結状態で流通が行われることが多い。

加工食品では、加熱や冷却を伴う種々の熱的単位操作、すなわち抽出・蒸留・濃縮・焼成・乾燥・殺菌・冷凍・調理などが加えられる。さらに、近年では従来の熱伝導・熱伝達が中心の加熱操作に加えて、遠赤外線やマイクロ波を用いた放射加熱が乾燥、殺菌方法として採用されるケースが増えてきている。

このように、食品の種類を問わず様々な形で伝熱操作に直接関係する操作が常時行われており、それらの操作に用いられる機械の設計・制御には熱物性は不可欠である。しかし現状では、食品の熱物性データの数は多いものの実際に使える形に整理されたデータは非常に少なく、工業材料と比較して、測定法、データの蓄積と評価、推算法、利用法などの体系的な整理がほとんどなされていないために、熱物性を使用したくても使えない状況であると言っても過言ではない。また、一方でリアルタイムで食品の有効熱伝導率のラフな推定が要求される食品加工工程も存在するため、精度を

要求する食品個別の熱物性データベースは必要なく、食品の加工工程中でリアルタイムに食品の熱物性が測定できる、あるいは推算できる方法の確立の方が重要であるとの見方も存在している。

食品の熱物性研究では、上記の2つの立場を理解しつつ、熱物性の推算方法、あるいは実際の加工過程との関連性などもっと体系的な研究姿勢が求められていると思われる。本稿では、熱物性の蓄積が重要との考え方に立脚する研究動向として、まず食品の成分と構造から有効熱伝導率を推定する考え方の現状を考える。食品の熱物性測定法に関しては、熱物性の蓄積に関する側からの研究例と、インラインあるいはオンラインセンシングを行って加工工程中でリアルタイムで熱物性を計測する立場からの研究例を紹介する。さらに、食品の伝熱問題として、すべての食品の熱物性把握が困難な中での解決法としての、食品の伝熱操作での逆問題解決法についても紹介する。

2. 食品の熱物性の推算法

熱物性の中でも熱伝導率は非常に重要である。しかし、食品の熱伝導率は非生物素材と異なり、多様で変動するという特徴を有している。すでに、さまざまな食品の熱伝導率が報告され、まとめられている¹⁾が、その種類の多さを考えると、もっと体系的な整理方法の必要性が痛感させられる。まず、この体系的把握に関する研究について紹介する。

熱伝導が原子の熱運動エネルギーの空間的伝播であることを考えると、有効熱伝導率は食品成分の固有熱伝導率と体積分率の関数で表される。λを熱伝導率、Xを体積分率とし、添字w, p, c, Fをそれぞれ水、蛋白質、炭水化物、脂質とすると、有効熱伝導率 λ_oは

$$\lambda_o = f(\lambda_w, \lambda_p, \lambda_c, \lambda_F, X_w, X_p, X_c, X_F) \quad (1)$$

であり²⁾、上記4種類の固有熱伝導率の決定と構造を与える関数 f が決定されると有効熱伝導率は定まる。

水、脂質の固有熱伝導率は直接測定できるため、矢野、Kongらは粉体状のタンパク質と高分子多糖類の固有熱伝導率を推定し、含水率 0.7以上の蛋白質-水と高分子-水の 2 成分系に対して、凍結状態、未凍結状態によらず直列モデルが成立することを示した²⁾。

崎山らは、粉体状の固有熱伝導率をもう 1 つの方法で推定した³⁾。図 1 にその 1 例を示す。図の横軸に熱伝導率値を、また各種濃度 2-プロパノール水溶液にゼラチン粉体を分散させた系の有効熱伝導率を縦軸にとり、この系の有効熱伝導率と水溶液熱伝導率が等しくなる点を実測点から直線回帰で内挿し、この値を並列モデルからの固有熱伝導率として決定し、熱伝導率の逆数プロットから直列モデルでの固有熱伝導率も同時に得ている。また、同様の方法で馬鈴薯澱粉についても固有熱伝導率の推定を行っている⁴⁾。

一般に、固有熱伝導率と体積分率が固定されているときに、直列モデルと並列モデルを用いて推定する有効熱伝導率値はそれぞれ理論上の最小値と最大値を与える⁵⁾。筆者の計算では多成分系で両モデルの関係は

$$\frac{\lambda_{ep}}{\lambda_{es}} = \sum_{i \neq j} \left[\frac{X_i X_j}{\lambda_i \lambda_j} (\lambda_i - \lambda_j)^2 \right] + 1 \quad (2)$$

となる。ここに、 λ_{ep} 、 λ_{es} はそれぞれ並列モデル、直列モデルで計算される有効熱伝導率、 λ_i 、 λ_j は n 成分のうちから取りだした異なる 2 成分 i、j の固有熱伝導率、 X_i 、 X_j は i、j 成分の体積分率である。

(2) 式は、固有熱伝導率値に大きな差がない 2 成分系では直列モデルと並列モデル間に大きな差が現れな

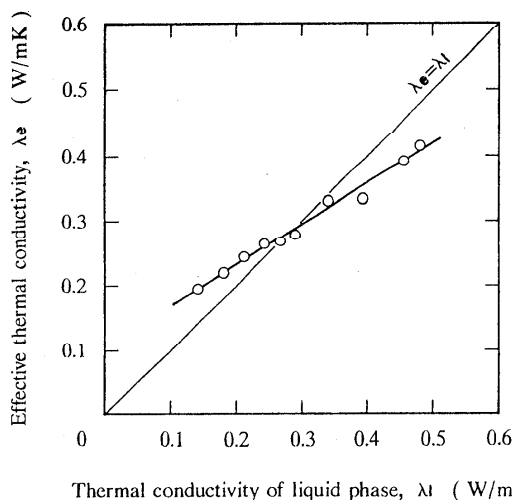


図 1 固有熱伝導率の推定 (並列モデル, 20°C)³⁾

表 1 食品成分の固有熱伝導率推定値²⁾

成分	未凍結 [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	凍結 [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
水	0.568 ¹	2.30 ²
ゼラチン	0.28 0.30 ³ 0.28 ⁴ 0.340 ⁵ 0.237 ⁶ 0.280 ⁷	0.61
魚・畜肉蛋白質 大豆蛋白質 卵アルブミン	0.34 0.30 0.24 0.377 ⁵ 0.299 ⁶ 0.331 ⁷	0.58 0.49 0.40
小麦グルテン ミルクカゼイン	0.22 0.20	0.32 0.27
馬鈴薯澱粉	0.25 0.40 ³ 0.38 ⁴	0.38
寒天 グルコース	0.26 0.351 ⁵ 0.257 ⁶ 0.295 ⁷	0.39
しよ糖	0.345 ⁵ 0.257 ⁶ 0.293 ⁷	
脂質	0.14 - 0.19	

- 注 ¹ 2°Cでの値,
² -10°Cでの値
³ 図 1 の方法での推定値 (直列モデル)
⁴ 図 1 の方法での推定値 (並列モデル)
⁵ 文献(9) (直列モデル)
⁶ 文献(9) (並列モデル)
⁷ 文献(9) (Maxwell-Eucken)

い事を表現している。当然、これらのモデルの間に位置する他のどんなモデルとの間にも差は認められなくなる。表 1 のデータと(2) 式から、通常の商品ではモデルの重要性はそれほど大きくないことが分かる。

複合材料や分散系混合物の有効熱伝導率の推定モデルに関する研究が数多く行われてきているのは、固有熱伝導率値が大きく異なる物質を想定しているためである。そこで、崎山らは食品を構成する成分のうち熱伝導率が最大値を示す成分の水 (2.25W/m·K, 0°C) と最小値を示す成分の空気 (0.024W/m·K, 0°C) を考え、 λ_a/λ_w がおよそ 0.01 ~ 100 の範囲で分散系食品に適用できるモデルを検討した⁶⁾。モデル検討には、均一径を有する球から構成される(A)単純立方格子、

(B)体心立方格子, (C)面心立方格子, と2種類の粒径の異なる球から構成される(A)と(B)に準拠したモデル(D), (E)の5種類を用い, 有限要素法を用いて得られた有効熱伝導率を複数の希薄分散系理論で計算した結果と比較した. この結果, Maxwell-Eucken式

$$\frac{\lambda_c}{\lambda_a} = \frac{\lambda_a + 2\lambda_c - 2\phi_d(\lambda_c - \lambda_a)}{\lambda_a + 2\lambda_c + \phi_d(\lambda_c - \lambda_a)} \quad (3)$$

が幅広い適用性を持つことを示し, 固体球分散系, 液滴分散系を用いた実験で, この式の有効性を実験的にも証明した⁶⁾. しかし, 気泡分散系の気泡分散寒ーゼラチン混合ゲルでは, 有効熱伝導率は(3)式で計算される値よりも大きくなり並列伝熱モデルの

$$\lambda_s = \phi_d \lambda_a + (1 - \phi_d) \lambda_c \quad (4)$$

で良好に近似される事を示すとともに, 温度が高くなると, この理論上の最大値を与える並列モデルで計算される値よりも大きな有効熱伝導率値が現れることを示した⁷⁾. これは, 気泡分散系で水蒸気移動などの他の伝熱機構が同時に存在しているためと予想される.

水蒸気移動だけを伴う場合は, 等価熱伝導率 λ_v

$$\lambda_v = \frac{D}{RT} \frac{P}{P - a_w P_s} L a_w \frac{dP_s}{dT} \quad (5)$$

を用いて簡単に計算できる. D は水蒸気の拡散係数, L は水の蒸発潜熱, P は全圧, a_w はゲル相の水分活性, P_s は飽和水蒸気圧である. 気泡を注入した試料の有効熱伝導率は, (3)式でそのまま計算するより, (3)式の λ_a を $\lambda_a + \lambda_v$ で置き換えて計算する方が良く推定された⁸⁾. この例を図2に示した.

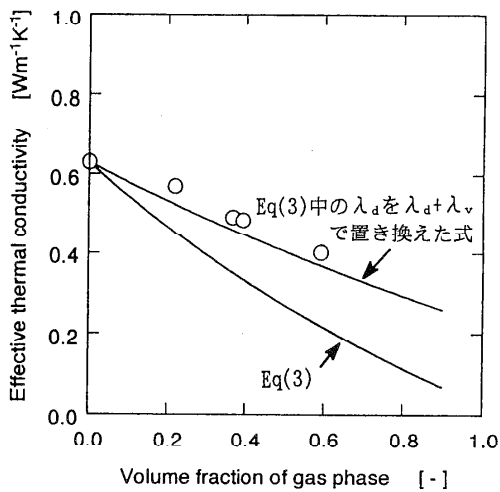


図2 40°Cでの気泡分散アルギン酸ゲルの有効熱伝導率の推定⁸⁾

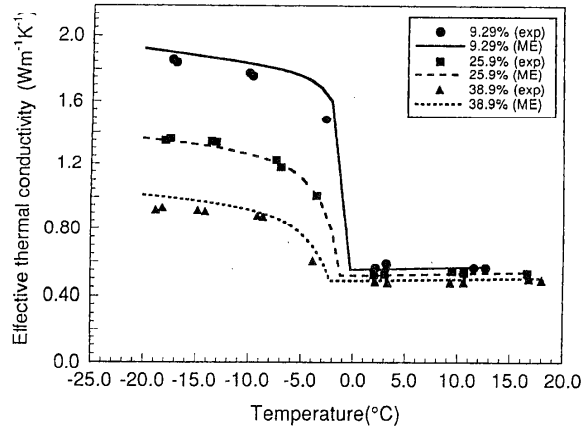


図3 卵アルブミンゲルでのMaxwell-Euckenモデル¹⁰⁾
図中のMEはMaxwell-Euckenモデルの意味

Pongsawatmanitと宮脇は, 凍結状態と未凍結状態で固有熱伝導率が大きく異なる事は, 固有熱伝導率が0°C以上ではほぼ一定値を示す事と矛盾すると考え, 直列モデル, 並列モデル, およびMaxwell-Euckenモデルでそれぞれのモデルに対応する未凍結時の固有熱伝導率を求めた⁹⁾. 次に, 凍結状態での計算に, この未凍結時の固有熱伝導率と氷結率を導入して再度モデル計算を行い, 計算された有効熱伝導率レベルでモデルの優劣を評価し, 水を λ_a とする Maxwell-Euckenモデルが最適である事を示した¹⁰⁾. 卵アルブミンゲルでのMaxwell-Euckenモデルのフィット具合を図3に示す. 結氷率は, 卵アルブミンの場合は,

$$x_i = (x_w - x_b)(1 - t_f/t) \quad (6)$$

$$t_f = -0.0238x_s - 8.93 \times 10^{-4} x_s^2 \quad (7)$$

$$x_b = 0.00217x_s - 4.19 \times 10^{-6} x_s^2 \quad (8)$$

となる¹¹⁾. ここで, x_i は結氷率(重量%), x_w は凍結前の水分(重量%), x_b は結合水水分(重量%), t_f は水の凝固点温度(K), t は溶液の凝固点(K), x_s は固形分(重量%)である.

表1にKongら, 崎山ら, 宮脇らによって推定された固有熱伝導率を示す. 凍結時(-10°C)の固有熱伝導率は, 水分がすべて水となったとして直列モデルから計算されたものである. なお, 崎山らの値は値の上限値と下限値で, 宮脇らの値は直列モデル, 並列モデル, Maxwell-Euckenモデルでのそれぞれの推定値を示した. この表から凍結状態, 未凍結状態で固有熱伝導率が大きく異なる事が解るが, これは直列モデルを両

方に適用したためであると考えられる。

このように、固有熱伝導率と食品伝熱モデルが提示された現在、実際の食品を用いてKong, 崎山, 宮脇らが与えたデータと考え方を検証する必要がある。多くの検証実験が行われるにつれて、固有熱伝導率に対して温度依存性の整備などの改善が施され、食品伝熱モデルも更新されて行くものとする。

穀物乾燥・貯蔵では通常は穀物充填層の有効熱伝導率が用いられるが、高温の乾燥や精度の高い乾燥モデルの構築にあたっては、1粒子の熱伝導率が必要になる。1粒子の熱伝導率は、基本的には崎山らの研究で紹介した図1と同様の考え方で求めることができる。筆者らも充填層のガスを替えて粉粒子の熱伝導率を求めた¹²⁾が非常に手間のかかる仕事である。

一方、有効熱伝導率は非定常プローブ法などを用いれば簡単に計測できるため、有効熱伝導率から1粒子熱伝導率を推定の方が賢明である。この考え方で使用可能なモデルには国井-Smithの式などが思い当たる。これらの式は球充填層ではどれもほぼ等しい精度で有効で、有効熱伝導率から1粒子の熱伝導率の逆算も可能であるが、粉などのような形状を有するものでは、筆者の経験では非常に高い値が計算される。粉、小麦などの形状が球でない食品充填層の有効熱伝導率からの単粒子熱伝導率の推定には、国井-Smith式などに球形度のパラメータを組み込んだ修正式の導出が必要と思われる¹³⁾。

3. 食品の熱物性の測定法とその応用

食品の熱伝導率はさまざまな方法で測定されるが、非定常法が用いられることが多い。食品の場合よく用いられるのは、非定常細線加熱法と非定常プローブ法である。ここでは、食品ではあまり用いられなかったフラッシュ法の適用例をまず示す。続いて、食品で非常によく用いられる細線加熱法の少し変わった応用例を説明する。

近年、工業物質の熱伝導率測定にはレーザーフラッシュ法が用いられる¹⁴⁾。この方法は、測定試料が小さくてすむこと、比較的精度よく迅速に測定できること、熱拡散係数 α と熱容量 C_p が同時測定できることなどを特徴として有するが、食品ではその不均一性や熱

伝導率値が小さいためにレーザーフラッシュで用いられる直径8~10mm, 厚さ1~3mm程度の試料では信頼できるデータが得られないという現状がある。

大下らは、原理的には同じフラッシュ法を用いて、光源を照射ビーム径が大きいキセノン光源とし、測定試料サイズを直径30mm, 厚さ6mmまで大きくして、デンプンゲル試料の熱拡散係数 α を測定し、示差走査熱量測定(DSC)で別途測定した C_p を用いて熱伝導率を計算した¹⁵⁾。得られた有効熱伝導率値をもとに、直列モデルで澱粉の固有熱伝導率値を推定し、その値が前節でも触れた他の文献値とはほぼ等しいことから、得られた結果が妥当なことを示し、フラッシュ法が食品に対しても有効であることを示した。大下らの澱粉の固有熱伝導率値は15°Cの時0.247(W/m·K)である。しかし、大下らの装置では試料に吸収される光エネルギー測定機構がないため、 C_p が同時測定できない。この改良が待たれる。

次に食品では熱伝導率測定によく用いられる細線加熱法の応用例について説明する。掘らは、非定常細線加熱法を用いて未凝固乳と凝固乳の熱伝導率測定¹⁶⁾を行っている測定実験中に偶然見いだされたアイデアから、定常細線加熱法で対流熱伝達現象を利用する粘度測定法を実現した¹⁷⁾。この研究に関する解説記事^{18, 19)}は多いため、ここでは簡単に要約して紹介する。

静止流体内に発熱体があり、流体と発熱前の発熱体が熱平衡にあるとする。ここで、発熱体で発熱を開始すると、発熱開始直後は発生した熱が伝導のみで流体に伝達され、発熱体表面温度は経過時間の対数値に対して直線的に上昇する。続いて、周囲流体と発熱体表面の温度差がある限界値を越えると周囲流体中に密度差が生じ対流が発生するが、発熱体表面近傍では流体は静止状態のままその伝熱形態は伝導のみである。さらに、ある程度時間が経過すると発熱体表面の温度上昇速度は小さくなり、発熱体表面と周囲流体の温度差が一定値となり安定する。この安定状態は、ニュートン流体内における自然対流伝達現象と考えられ、

$$\tau = \mu D \quad (9)$$

$$f(\text{Nu}, \text{Gr}, \text{Pr}) = 0 \quad (10)$$

で近似的に表現される。ここに、

$$\text{Nu} = hL/\lambda \quad (11)$$

$$Gr=L^3g\beta(\theta_s-\theta_o)/\nu^2 \quad (12)$$

$$Pr=\nu/\alpha \quad (13)$$

である。μは粘性率、τはずり応力、Dはずり速度、hは熱伝達率、Lは代表長さ、λは熱伝導率、gは重力加速度、βは体積膨張率、νは動粘性率、αは温度伝導率、θは温度、添字のs, oはそれぞれ発熱体表面と周囲流体を示す。Lとgが一定とすると、

$$f(\nu, \lambda, \alpha, \beta, h, \theta_s, \theta_o)=0 \quad (14)$$

が導かれる。掘はチーズ製造過程では乳凝固変化が乳温一定の条件下でゆっくり進行することを考慮して、この関係式を考察した。このような過程ではθ_sは一定と仮定でき、発熱体一定の条件下ではhはθ_sのみの関数で表現できる。また、線状発熱源を有する棒状発熱体では、発熱量が大きくないときには実験式

$$\theta_s = C_0(\theta_w - \theta_o)C_1 + \theta_o \quad (15)$$

などの関係式が実用上使用可能である。ここで、θ_wは内蔵発熱体温度、C₀とC₁は発熱体固有の定数である。

また、凝固に伴うλ、α、βの変化幅がνの変化幅と比較して小さいことが見積もられている。このことを含めて(14)式を整理すると、乳凝固系においては、粘性率μは内蔵発熱体温度θ_wの関数として

$$\mu = \mu(\theta_w) \quad (16)$$

が成立する。図4に牛乳の酸凝固過程の発熱体(発熱量5W/m、直径2mm、長さ2cm)温度の変化を示す。

宮脇らは、この粘性計測法の理論的な解析を行い、

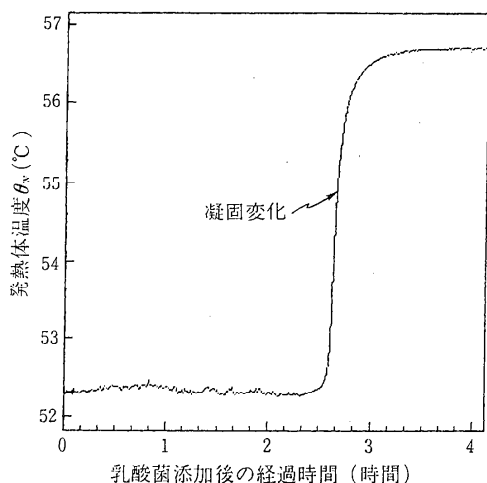


図4 牛乳(乳温44.3°C, 市販ロングライフミルク)の酸凝固過程(添加乳酸菌数約 8×10^6 個/1cc乳)¹⁹⁾

理論的に以下の関係式で記述される事を導いた²⁰⁾。

$$Nu_o = \frac{L/r_o}{\ln \left[1 + \frac{L/r_o}{Nu_p Pr} \right]} \quad (17)$$

$$Nu_p = 0.638 Gr^{1/4} Pr^{1/4} \left[\frac{Nu_p Pr}{0.861 + Pr} \right]^{1/4} \quad (18)$$

ここに、Nu_oとNu_pはそれぞれ垂直円筒と垂直平板のヌッセルト数、Grはグラスホフ数、Prはプラントル数、Lは細線長さ、r_oは細線半径である。流れのない系では、細線粘度センサーの応答はテスト流体側の粘度、密度、熱容量、熱伝導率と体積膨張率の関数となるが、経験的に粘度のみの関数とみなしても良いことが分かった。しかし、流れのある系では細線温度が自然対流と強制対流の影響を受けるため、粘度の計測は不可能になる。

宮脇らは、上記の解析結果を考慮し、この粘度センサーを流れのある系にも適用するために、シールドをセンサーに施すことによって、流れの影響からセンサーを保護することを考え、まず熱伝導率が小さいシールド材(アクリル樹脂)で検討を行った²¹⁾。この場合、センサーのシールドが断熱材として働くため、センサーの応答は完全にシールド外の流体の影響を受けないことは示されたが、センサーとシールド間に熱の蓄積が生じ熱的な定常状態が達成されなかった。そこで、次に大きな熱伝導率のシールド材(ステンレス)で検討を行い²²⁾、この場合には定常状態でのセンサーの応答が得られるため、小さな熱伝導率のシールド材を有するセンサーよりも粘度とセンサーの応答の関係の解析が容易なことを示した。図5はニュートン流体であるCMC溶液での粘度とセンサーの応答を示したものである。○印と実線は21mm径のステンレスシールド付きのセンサーで流れのある系を測定した結果、また破線は流れのない系でのシールドなしの細線での測定結果である。高熱伝導率のシールド材を用いることで、流れのない系と同様の解析が可能になっていることが示されている。図6は、α-アミラーゼによる澱粉の加水分解過程のモニタリングの結果である²²⁾。

一般の製造現場で取り扱う流体の大部分が非ニュートン流体であること、成分組成・温度・流速の不均一分布、経時変化の問題等を考えると、この考え方の拡

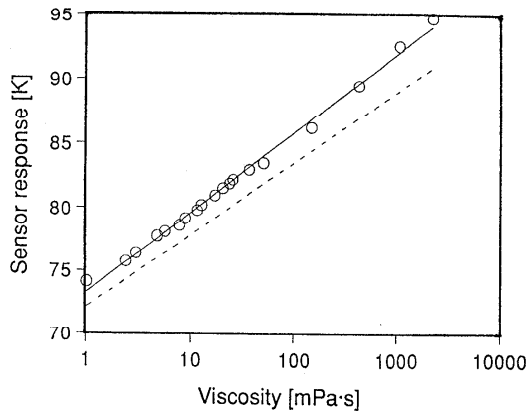


図5 流れがある CMC溶液 (実線と○) でのシールドつきセンサーの定常応答²²⁾
破線は流れがない状態でのシールドなしセンサーの定常応答

張に関する更なる研究が必要であると考えられる。

同じ発熱体の応用として、椎木らは定常細線加熱法を用いてオンラインセンサーとして利用できる流体の熱伝導率簡易測定装置も開発している²³⁾。また、ゼラチン水溶液のゲル化点の同定にも同方法が有効なことが示されている²⁴⁾。

4. 食品加工プロセスでの伝熱解析

原料食品が生物由来であり構成成分が複雑で、同じ食品でも多くの品種があるという事実はすでに述べた。さらに、原料食品は品種が同じでも産地、収穫時期、部位などによっても熱物性は異なることが予想される。実際の食品加工プロセスでは、産地、収穫時期、部位などが同一の原料食品でも個体差があるという現状に

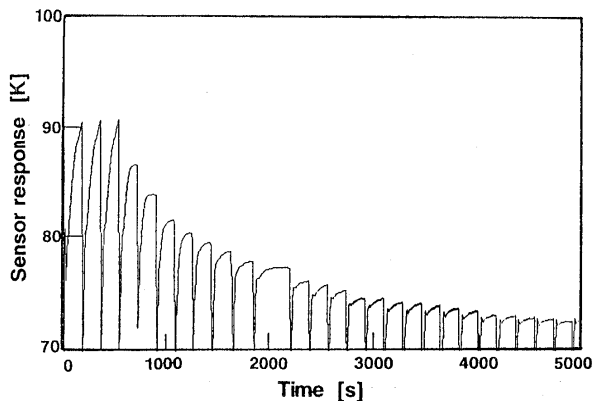


図6 シールドつきセンサーによるモニタリング例²²⁾

直面することになり、たとえ推算式がある場合でも毎回伝熱計算に必要な精度の物性値を推算する事は困難である。

三掘らは、操作の初期に非破壊的にオンライン採取した時系列データを、いわゆる逆問題として解析し、必要なパラメータを算出し、過不足のない殺菌を実現するための適正冷却開始時刻を予報して、後続のシーケンスを制御する方法が実験段階で成功している²⁵⁾。平板状のレトルト食品あるいは平板状の大型缶詰を想定して三掘らの考え方を簡単に以下に紹介する。

まず、殺菌操作について説明する²⁶⁾。最初の殺菌数を $N_0(-)$ として、時間 $t(\text{min})$ が経過したときの生菌数 N は、

$$\log(N/N_0) = -t/D \quad (19)$$

ここで、 $D(\text{min})$ は D 値と呼ばれる。基準温度 $T_R(^{\circ}\text{C})$ での値を D_R とする。温度 T での D 値は

$$\log(D/D_R) = (T_R - T)/Z \quad (20)$$

が成立するとみなす。定数 $Z(^{\circ}\text{C})$ は Z 値と呼ばれる。通常、基準温度には 121.15°C が採用される。これらを用いて、殺菌価としての F 値を以下のように定義する。

$$F = \int \exp \left\{ \frac{T - T_R}{Z} \ln 10 \right\} dt \quad (21)$$

つまり、殺菌操作は(21)式の値を過不足なく到達させるという拘束条件で行われる。

伝熱における逆問題は通常、二種類の方法で行われる。その一つは、表面熱伝達係数のような境界条件に影響されない状態での計測から求められた温度変化曲線から推定した熱物性値を用いる方法である。また、もう一つの方法では、既知の熱物性値と対象物内部のある場所での既知の温度変化曲線を用いて、境界条件を推定する。これに対して、三掘らは加熱工程の初期の温度変化曲線を用いて、センサーの位置と境界条件に関連する熱物性の組み合わせを推定するものである。ここでは、ページ数の関係で解析手順は省略する。詳細は文献(25,26)を参照されたい。

この逆問題解析システムの温度と殺菌価の予測例を図7に示す。この実験は数値実験で、予測値が点線、真値が実線である。非常によく推定されることが示されているが、試料としてこんにやくを用いた実験でも同様の結果が得られている²⁵⁾。

5. おわりに

本稿では、食品の加工・利用に深く関わる熱物性値として主として熱伝導率に関する特徴的な研究を紹介してきた。近年の標準的な熱物性研究の例としては発酵過程でのパン生地やパンクラムの有効熱伝導率に関する山田らの研究²⁷⁾があげられる。加工工程と直結する形で熱物性が求められている中でのオーソドックスな研究であり、製パン業界での今後の新しい生産技術開発にとって必要不可欠のデータであり、この種の研究の蓄積が望まれる。

また、本稿ではページの関係で触れられなかったが水の凍結状態の制御に関する問題も重要である。すべての食品には、水が含まれているおり、この事が食品を難しいと同時に非常に興味深い対象としている。特に、その水の凍結操作は多くの食品の直接の貯蔵操作として、あるいは凍結乾燥、凍結濃縮、凍結粉碎などの重要操作に関わっている。食品中の水の凍結状態の制御とその応用については文献(28)を参照されたい。

最後に、近年行われ今後期待される現在進行形の研究について触れる。まず、食品加工での遠赤外線やマイクロ波などの利用に関する基礎的な研究²⁹⁾である。食品の放射物性の充実と多量の水分を含む複雑な構造を有する伝熱機構の解明に関する体系的な研究が必要であると思われる。

さらに、葉菜類、海苔やフィルム食品の熱伝導率データの蓄積の問題である。現状では、これらの精度の高いデータはあまり存在せず、これらの食品が関係する伝熱操作の解析は困難である。すでに、光音響法で

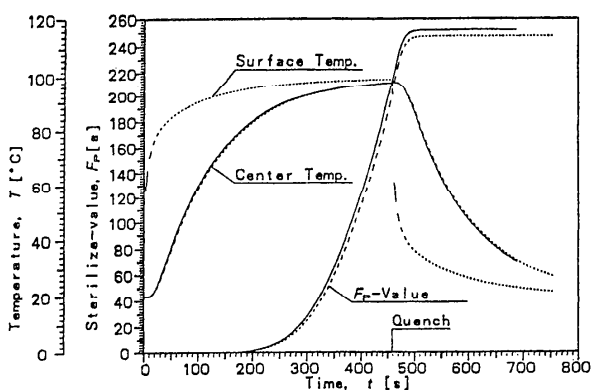


図7 逆問題による数値計算データを用いたプロセス制御例²⁶⁾

の薄膜などの熱物性が報告されている³⁰⁾が、この測定法の食品への応用が期待される。

また、食品加工での油揚げ工程での解析に、音響を用いる研究が報告されている³¹⁾。熱・物質の複雑な同時移動問題であるこの工程のセンサー開発に可能性を開く研究として興味を持たれる。

参考文献

- 1) 日本熱物性学会編：熱物性ハンドブック, C.12, pp.439-454, 養賢堂, 1990
- 2) 矢野俊正：第6章食品の物性, 食品工学の基礎, 食品工学基礎講座第1巻, 光琳, pp.195-211, 1992
- 3) Sakiyama, T. and et al.: Intrinsic Thermal Conductivity of Gelatin Estimated Independently of Heat Conduction Models, *Agric. Biol. Chem.*, 55(2), pp.487-492, 1991
- 4) Sakiyama, T. and et al.: Intrinsic Thermal Conductivity of Starch, A Model-independent Determination, *J. Food Sci.*, 58(2), pp.413-415, 1993
- 5) 矢野俊正：第3章分散系食品の物性, 乳化と分散, 食品工学基礎講座第9巻, 光琳, pp.114-121, 1988
- 6) Sakiyama, T. and et al.: Finite element Analysis on the Effective Thermal Conductivity of Dispersed Systems of Spheres of Various Sizes, *J. Food Engineering*, 11, pp.317-331, 1990
- 7) Sakiyama, T., Yano, T.: Effects of Air and Water Contents on the Effective Thermal Conductivity of Air-impregnated Gels, *Agric. Biol. Chem.*, 54(6), pp.1375-1380, 1990
- 8) Sakiyama, T., Yano, T.: Temperature Dependence on the Effective Thermal Conductivity of Food Gels Impregnated with Air Bubbles, *J. Chemical Engng.*, 27(3), pp.291-295, 1994
- 9) Pongsawatmanit, R., Miyawaki, O., Yano, T.: Measurement of the Thermal Conductivity of Unfrozen and Frozen Food Materials by a Steady

- State Method with Coaxial Dual-cylinder Apparatus, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57(7), pp. 1072-1076, 1993
- 10) Miyawaki, O., Pongsawatmanit, R.: Mathematical Analysis of the Effective Thermal Conductivity of Food Materials in the Frozen State, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 58(7), pp. 1222-1225, 1994
 - 11) Pongsawatmanit, R., Miyawaki, O.: Measurement of Temperature-dependent Ice Fraction in Frozen Foods, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57(10), pp. 1650-1654, 1993
 - 12) Kameoka, T., Odaka, S.: Thermal Conductivity of Rice, *Proc. of the 1st Asian Thermophysical Properties Conference*, pp. 646-651, 1986
 - 13) 亀岡孝治: 粉の乾燥に関する基礎的研究, 東京大学博士論文, 1984
 - 14) 高橋洋一: レーザーフラッシュ法による熱物性測定, *熱物性*, 1(1), pp. 3-12, 1987
 - 15) 大下誠一, 清水浩: 食品モデルの熱物性測定及び澱粉の固有熱伝導率, *農機誌*, 53(4), pp. 77-83, 1991
 - 16) Hori, T.: Effect of Rennet Treatment and Water Content on Thermal Conductivity of Skim Milk, *J. Food Sci.*, 48(5), pp. 1492-1496, 1983
 - 17) Hori, T.: Objective Measurements of the Process of Curd Formation during Rennet Treatment of Milks by the Hot Wire Method, *J. Food Sci.*, 50(4), pp. 911-917, 1985
 - 18) 堀友繁: 細線加熱法による流体の粘度計測技術の開発, *日本食品工業学会*, 35(1), pp. 52-56, 1988
 - 19) 堀友繁: 細線加熱法による流体の粘度計測および食品工業への応用, 36(10), pp. 73-79, 1994
 - 20) Miyawaki, O. and et al.: Fundamental Aspects of Viscosity Monitoring by the Hot Wire Technique, *J. Food Sci.*, 55(3), pp. 854-857, 1990
 - 21) Miyawaki, O., Akaike, S., Yano, T.: Adaptation of the Hot-Wire Viscosity Sensor to a Flowing System Using a Shield of Low Thermal Conductivity, *J. Food Engng.*, 19, pp. 353-363, 1993
 - 22) Miyawaki, O. and et al.: Shielded Hot-wire Viscosity Sensor On-line for a Flowing System Using a Shield of High Thermal Conductivity, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57(11), pp. 1816-1819, 1993
 - 23) Shiinoki, Y., Hori, T., Itoh, K.: Measurement of Fluid Thermal Conductivity with a Steady State Hot Wire Method, *Proc. of the 6th International Congress on Engineering and Food*, pp. 933-935, 1994
 - 24) Hori, T., Itoh, K.: Measurement of the Thermal Conductivity and Gel-Point Temperature of an Aqueous Gelatin Solution, *The 15th Japan Symposium on Thermophysical Properties*, 1994
 - 25) Mihori, T., Watanabe, H., Kaneko, S.: A Control System for Achieving Correct Heat Sterilization Process, A One-dimensional Approach to Packaged Conduction Heating of Food, *J. Food Processing & Preservation*, 15, pp. 135-155, 1991
 - 26) 三掘友雄: 食品加熱殺菌プロセスの最適制御, *ケミカルエンジニアリング*, 7, pp. 17-22, 1994
 - 27) Yamada, S., Kobayashi, K.: Effective Thermal Conductivity Measurement of Bread under Processing and Storage, *The Thirteen Japan Symposium on Thermophysical Properties*, pp. 181-184, 1992
 - 28) 宮脇長人: 食品における水の凍結状態の制御とその応用, *食品と開発*, 27(7), pp. 26-29, 1994
 - 29) Hashimoto, A. and et al.: Drying Characteristics of Gelatinous Materials Irradiated by Infrared Radiation, *Drying Technology*, 12(5), pp. 1029-1052, 1994
 - 30) Akabori, M. and et al.: Measurement of the Thermal Diffusivity of Thin Film on Substrate by Photoacoustic Method, *The 11th Japan Symposium on Thermophysical Properties*, 1990
 - 31) 佐野仁, 板川宗統, 石川雅紀: Deep Fat Fryingにおける音響解析, *化学工学会第27回秋期大会講演要旨集第2分冊*, pp. 233, 1994

建築材料の熱物性値と省エネルギー

上 園 正 義 (財団法人 建材試験センター)

1 はじめに

平成4年2月に「省エネルギーの使用の合理化に関する法律」(いわゆる省エネルギー法)に基づく「住宅に係わるエネルギー使用の合理化に関する建築主の判断基準」が、昭和55年に制定されて以来はじめて改正された。これは、我国のエネルギー消費量が昭和48年及び54年の2度にわたる石油危機を契機として先ず策定され、その結果エネルギー消費量はほぼ横ばいに推移していたものの、昭和62年以降近年にない伸びを示してきたことと、近年新たに地球規模での環境問題が、国際的重要課題になってきたことによる。特に地球温暖化の主たる原因とされる二酸化炭素排出の抑制及びその原因となる化石燃料の使用の削減が、国際世論として高まってきたことによる。

このような状況を踏まえ、省エネルギーの中心的対策として実施されてきた建物の断熱構造化を、更に強化することになった。その骨子は次のとおりである。

①全国を対象に断熱性能の基準である熱損失係数を強化する。

②北日本を対象に気密住宅に関する規定を導入する。

③南日本を対象に夏期の冷房負荷低減に関する規定として日射取得係数を導入する。
となっている。

この省エネルギー法を基に建築材料の熱物性値と省エネルギーについて述べることとする。

2 住宅の省エネルギー基準

2.1 省エネルギー法の体系と地域の区分

省エネルギー法の体系を図示すると図1のようになる。同法第13条の規定により、住宅の建築主は住宅の外壁、窓等を通しての熱の損失の防止等エネルギーの使用の合理化に努めなければならないとしている。そして、住宅の建築主がそのための措置を講ずるために、全国を表1に示す6つの区分に分け、その区分に応じて、同法第14条第1項の規定に基づき定められてい

るのが、判断基準であり、第15条第2項の規定に準拠して定められているのが、設計施工指針である。

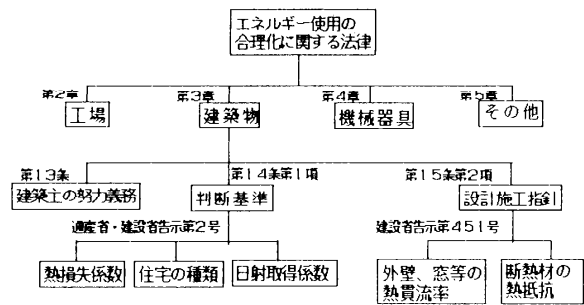


図1 省エネルギー法の体系

表1 地域の区分

地域の区分	都道府県名
I	北海道
II	青森 岩手 秋田
III	宮城 山形 福島 茨城 栃木 群馬 新潟 富山 石川 福井 山梨 長野 岐阜 滋賀
IV	埼玉 千葉 東京 神奈川 静岡 愛知 三重 京都 大阪 兵庫 奈良 和歌山 鳥取 鳥根 岡山 広島 山口 徳島 香川 愛媛 高知 福岡 佐賀 長崎 熊本 大分
V	宮崎 鹿児島
VI	沖縄

2.2 判断基準

判断基準で規定されている事項は、住宅全体の省エネルギー性能に関する基準値で、大きく分けて三つある。

第1は、住宅の断熱性能を示す熱損失係数の基準値とその計算方法である。

それによると、住宅の建築主は、住宅の熱損失係数

を、住宅の戸建て形式及び地域の区分に応じて表2に示す数値以下になるようにしなければならない。

表2 住宅の熱損失係数の基準値

戸建て形式	熱損失係数 kcal/m ² h ² C					
	地域の区分					
	I	II	III	IV	V	VI
一戸建住宅、重ね住宅及び連続住宅	1.5	2.3	2.7	3.4	3.7	5.5
共同住宅	1.3	1.9	2.3	2.7	3.2	4.8

このとき、熱損失係数は次式によって算出する。
外気又は外気に通じる床裏、小屋裏もしくは天井裏（以下「外気等」という）に接する部位からの損失熱量 q_1 は、

$$q_1 = \sum A_i \cdot K_i \cdot H_i$$

地盤面をコンクリートその他これに類する材料で覆った床又は床裏が外気に通じない床（以下土間床等という）の第 i 部位からの損失熱量 Q_2 は、

$$Q_2 = \sum (L_i \cdot K_{Li} \cdot H_i + A_{Fi} \cdot K_{Fi})$$

換気による損失熱量 Q_3 は、

$$q_3 = 0.3 \cdot n \cdot B$$

熱損失係数 Q は、建物全体の熱損失を床面積で除したもので次式で表される。

$$Q = (q_1 + q_2 + q_3) / S$$

ここに、

q : 損失熱量 kcal/h²C

Q : 熱損失係数 kcal/m²h²C

A : 部位 i の面積 m²

K : 部位 i の熱貫流率 kcal/m²h²C

H : 外気に接する部位、又は外気に通じる床裏によって定めた係数

L : 外周の長さ m

n : 1時間当たりの自然換気回数

B : 建物の気積 m³

S : 床面積 m²

添字

L : 土間床の外周に接する1m以内の部分

F : 土間床の外周から1m以上離れた中央部

第2は、気密住宅に関する規定である。気密化は断熱構造化とともに、住宅の省エネルギー性能の向上に大いに資するもので、気密性能の優れた気密住宅の基準を定義し、地域区分に応じて気密住宅の建設が求められている。これによるとI地域の北海道は気密住宅にしなければならないとし、II地域の青森、岩手、秋田の各県は気密住宅にするよう努めるものとして定められている。

ここで、気密住宅とは住宅の内外の圧力差が1mmHgの時に住宅の隙間を通過する風量から、住宅に存在する隙間に換算し、これを相当隙間面積とし、住宅の大きさを区別するために、床面積当たりで表して、この数値が、5cm²/m²以下のものをいう。鉄筋コンクリート造住宅は、当然この基準を満たすものとして扱われている。

第3は、夏期の日射遮蔽の性能を示す日射取得係数の基準値とその計算方法である。夏期の冷房負荷低減のために規定されたもので、窓などの開口部からの日射を遮るために、庇の長さの計算方法や、遮蔽物などの設置について規定している。

また、日射遮蔽において屋根又は天井の遮熱は重要な要素であり、沖縄県については、日射遮蔽の点から屋根又は天井の断熱性能の基準が取り入れられている。

2.3 設計施工指針

設計施工指針は、判断基準に則った省エネルギー住宅を具体的に建設するための各部の性能・仕様を定めたものである。従来の居室ごとの暖冷房という考え方から住宅全体の暖冷房を考慮することに変更されており、土間床や玄関の建具なども断熱化の対象となっている。

断熱性能の基準については、表3に示す熱貫流率による基準と、表4に示す断熱材の熱抵抗値の基準が規定されている。なお、これらの基準値は**抜粋**である。

3 断熱材料の種類と特徴

代表的な断熱材について、その特徴を以下に述べる。又、断熱材及び一般的な建材の物性値を表5に示す。

1) グラスウール

グラスウールは、珪砂、石灰石、長石、ソーダ灰などのガラス原料を溶かして、繊維化すると同時に熱硬

表3 熱貫流率による基準

[kcal/m² h °C]

部 位	住宅の種類	地域の区分					
		I	II	III	IV	V	VI
屋根又は天井	A	0.21	0.44	0.57	0.56	0.57	0.57
	B		0.36	0.51	0.51	0.51	0.51
	C		0.28	0.41	0.41	0.41	0.41
壁	A	0.36	0.66	0.66	0.75	0.96	0.76
	B		0.57	0.57	0.67	0.88	
	C		0.43	0.43	0.54	0.54	
床	A	0.22	0.39	0.39	0.60	0.74	
	B		0.34	0.34	0.53	0.68	
	C		0.26	0.26	0.43	0.58	
開口部	A	2.0	3.0	4.0	5.6	5.6	5.6
	B,C		3.0	4.0	5.6	5.6	5.6

A : 鉄筋コンクリート造住宅又は気密住宅
 B : A以外の工業化住宅等
 C : A及びB以外の住宅
 S I 単位への換算は1.16倍する。

表4 熱抵抗による基準

[m² h °C/kcal]

部 位	住宅の種類	地域の区分					
		I	II	III	IV	V	VI
屋根又は天井	A	3.4	1.9	1.3	1.3	1.3	1.3
	B	5.1	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	C	3.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
壁	A	2.0	1.1	1.1	0.9	0.6	
	B	2.9	1.1	1.1	1.0	0.6	
	C		2.2	2.2	1.5	0.9	
畳敷きの床	A	2.9	1.6	1.6	0.7	0.3	
	B	3.9	1.7	1.7	0.7	0.4	
	C		3.3	3.3	1.4	0.8	
板敷きの床	A	3.4	2.1	2.1	1.2	0.8	
	B	4.4	2.2	2.2	1.2	0.9	
	C		3.8	3.8	1.9	1.3	

A : 鉄筋コンクリート造住宅
 B : 木造の気密住宅
 C : 在来木造の非気密住宅
 S I 単位への換算は1/1.16倍する。

化性のバインダーを吹き付け、加熱炉で加圧しながら硬化させボード状、ロール状、バット状、円筒状にしたものである。繊維間の空気のために熱を伝えにくく、音のエネルギーも吸収しやすいという特質がある。燃えにくいので建築基準法による不燃材料に指定されている。

ボード状、ロール状、バット状の製品は、屋根、天井、壁、床等の断熱に使用され、円筒状の製品は、冷温水管の保温に用いられる。密度は10、16、24、32kg/m³のもの、厚さは50mmと100mmのものが、主として住宅用の断熱用として用いられている。又、固めないで繊維状のものを、そのまま天井に吹き込んで使用するブ

ローイング工法もある。

2) ロックウール

ロックウールは、石灰、珪酸を主成分とする耐熱性の高い鉱物を1500から1600°Cの高温で溶融して、遠心力などで吹き飛ばして繊維化したものを、用途に応じて、繊維状のままブローイング工法に用いるものと、バインダーを用いて一定の密度や厚さに成形してマット状やフェルト状にし住宅用の断熱材として用いるものがある。

3) セルローズファイバー

パルプ、新聞故紙などの木質繊維を主原料として、これにほう素化合物などの薬品を添加し、綿状に解繊したもので、専用の吹込み機を用いて、さらにほぐしながら天井、壁、床などに吹き込むブローイング工法と、吹き付け機でファイバーと接着剤を吹き出し、壁面やデッキプレート等に吹き付けて施工する吹き出し工法がある。製品は、薬品処理によって防黴、防菌、防燃、撥水等の処理を施されている。

4) インシュレーションボード

未利用木材資源を主原料とし、チップ化した木材を高温・高圧下で蒸煮してパルプ状に解繊し、撥水性や強度を高めるために薬品処理して、抄造機で一定厚さに成形し乾燥して板状にしたもの。木材繊維を絡み合わせて造った多孔質の板状製品で、繊維間に空気を含むために高い断熱性を有する。吸放湿性にも優れ結露防止効果もある。用途によって表6に示すような種類がある。

表6 インシュレーションボードの種類

種類	主たる用途	密度 kg/m ³	熱伝導率 W/(m·K)
A級 インシュレーションボード	断熱下地材 通気工法防風材	240~ 300	0.041~ 0.043
シーツウグボード	断熱下地材 通気工法防風材 耐力壁	300~ 400	0.044~ 0.046
化粧A級 インシュレーションボード	断熱仕上材	250~ 300	0.042~ 0.044
T級 インシュレーションボード	畳床	220~ 250	0.038~ 0.040

表5 建築材料の熱伝導率

材 料 名		熱伝導率 W/(m·K)	密度 kg/m ³	備考	
コンクリート		1.6	2100		
軽量骨材コンクリート 1種		0.8	1900		
軽量骨材コンクリート 2種		0.6	1600		
セメントモルタル		1.5			
ALCパネル		0.17	500~700	JIS A 5416	
普通れんが		0.62	1700以下		
耐火れんが		0.99	1700~2000		
天然木材 1類		0.11		檜、杉、えぞ松、とど松等 松、ラワン等 なら、さくら、ぶな等	
天然木材 2類		0.15			
天然木材 3類		0.19			
金 属 類	銅	370	8300		
	アルミニウム合金	205	2700		
	鋼材	53	7800		
	鉛	35	11000		
	ステンレス鋼	15	7400		
無 機 質 繊 維 系 断 熱 材	住宅用 グラスウール断熱材	10K 16K 24K 32K	0.052 0.045 0.040 0.037	10 16 24 32	JIS A 9521
	吹込み用 グラスウール断熱材	1種 13K 2種 18K 2種 35K 2種 45K	0.052 0.052 0.040 0.040	約 13 約 20 約 35 約 45	JIS A 9523
	住宅用ロックウール断熱材		0.040	30~50	JIS A 9521
	ロックウールフェルト		0.040	30~70	JIS A 9504
	ロックウール保温板 1号		0.036	70~100	
	2号		0.036	100~160	
	吹込み用ロックウール断熱材	25K 35K	0.047 0.051	25以上 約 35	JIS A 9523
	吹付けロックウール		0.047	180~220	

表5 建築材料の熱伝導率 (つづき)

材 料 名			熱伝導率 W/(m・K)	密度 kg/m ³	備考		
発泡プラスチック系断熱材	ポリスチレン フォーム	保温板A類	特号	0.034	27以上	JIS A 9511	
			1号	0.036	30以上		
			2号	0.037	25以上		
			3号	0.040	20以上		
		4号	0.043	15以上			
		保温板B類	1種	0.040	20以上		JIS A 9511
			2種	0.034	20以上		
			3種	0.028	20以上		
	硬質ウレタン フォーム	保温板1種	1号	0.024	45以上	JIS A 9514	
			2号	0.024	35以上		
3号			0.026	25以上			
保温板2種		1号	0.023	45以上	JIS A 9514		
	2号	0.023	35以上				
3号	0.024	25以上					
	現場発泡品		0.026	30~50	JIS A 9526		
	高発泡ポリエチレン		0.038 0.044 0.052	40未満 40~65 65~110			
	フェノールフォーム断熱材		0.028	40	参考		
木質繊維系	A級インシュレーションボード		0.049	300未満	JIS A 5905		
	B級インシュレーションボード		0.070	400未満			
T級インシュレーションボード		0.045	250未満				
シージングインシュレーションボード		0.052	400未満				
	吹込み用セルローズファイバー断熱材		0.044 0.040	約 30 45~55	JIS A 9523		
	合板		0.16	420~660			
	せっこうボード		0.22	700~800	JIS A 6901		
	せっこうプラスター		0.60		JIS A 6904		
	断熱木毛セメント板		0.10	400~600	JIS A 5404		
	木片セメント板		0.17	1000以下	JIS A 5417		
	硬質繊維板		0.17	950以下	JIS A 5907		
	パーティクルボード		0.15	400~700	JIS A 5908		
	豊床		0.11		JIS A 5901		

5) ポリスチレンフォーム

発泡性ポリスチレン原料をビーズ状に一次発泡させ、適当な時間養生乾燥させた後、板状又は筒状の金型に詰め、最加熱して二次発泡によってビーズ間を詰め、融着させて成形させた保温板A類と、主原料のポリスチレンを、発泡剤、難燃剤等とともに連続的に押し出し機で熔融・混合しノズルから押し出して発泡させ、板状製品に加工する保温板B類の2種類がある。

前者をビーズ法ポリスチレンフォーム、後者を押し出し発泡ポリスチレンフォームと呼んでいる。

前者は、板状品のほかパイプカバー用としての筒状品、床用品、瓦下地材等の用途がある。

一方後者は、板状品として、屋根、天井、外壁、床用や畳の芯材用として用いられている。

6) 硬質ウレタンフォーム

ポリオール、ポリイソシアネート及び発泡剤などの液体原料を混合して、極めて短時間で高分子化と発泡を行って製品化する。

製品には、表面材をつけない切り出しボード（保温材1種）と、ポリエチレンコート紙、アルミ箔、合板等と一体発泡させる複合成形品（保温材2種）及び現場発泡品がある。

現場発泡品は、対象物が平面でも局面でも断熱層を形成できる。

4 断熱工法

断熱工事を行う場合に、どこまでを室内（暖冷房空間）とみなし、どこからを外部（非暖冷房空間）とみなすかが必要である。そして両者の境界に断熱材を施工し、外部環境から室内環境を隔離し保温する役目が断熱材であり、建物の暖冷房空間の周囲に不連続にならないように配置することが重要である。

断熱工法には、大きく分けて断熱材を構造躯体の内側に配する内断熱工法と、外側に配する外断熱工法がある。木造の場合には前者を充填工法、後者を外張り工法と呼ぶこともある。

1) 内断熱工法と外断熱工法

構造躯体がコンクリート造とかブロック造のように熱容量が大きいと内断熱と外断熱とで次のような得失がある。内断熱工法は暖房開始時の室温の立ち上がりは早い、施工時に柱や梁がじゃまになって断熱が不

連続になり易い。外断熱工法は、断熱施工が比較的容易であり、躯体の熱容量をうまく利用できること、躯体の保護になること等の利点があるが、暖房開始時の室温の立ち上がりが遅いなどの得失がある。

2) 充填工法

主として木造住宅における工法で、無機繊維系断熱材であるグラスウールやロックウールを柱と間柱間、床根太と大引間、天井裏に充填する工法で最も普及している。充填工法の一つに注入工法がある。ウレタンフォームや尿素樹脂等を壁に開けた穴から注入して、その場で発泡させる工法で既存住宅の断熱改修に有効である。

3) 外張り工法

木造住宅において、発泡プラスチック系の断熱材や軟質繊維板などボード状の断熱材を構造体の外側から張り上げる工法である。特に基礎回りや屋根を外側から断熱する事により小屋裏や床下も含めて家全体をすっぽり覆うことになる。

4) 吹き込み工法（ブローイング工法）

繊維系断熱材の繊維をほぐして吹き込み機で天井裏などに吹き込む工法で、グラスウール、ロックウール、セルロースファイバーが使用されている。造作材が複雑に入り込んでいたり、手の届かない天井裏などへの施工に有効である。

5 おわりに

住宅の省エネルギー性能を評価するためには、以上に取り上げた材料のほかに、窓の性能値や日射取得係数、住宅の気密性能なども必要となるが、ここでは省エネルギー基準の考え方と、それに必要な建築材料の熱物性値（主として熱伝導率）について取り上げた。

建築分野における熱物性値の関わり方について、ご理解を頂ければ幸いである。

参考文献

住宅の新省エネルギー基準と指針（財）住宅・建築省エネルギー機構

ゆとりと豊かさの快適住宅のために一断熱化の必要性と断熱建材 通産省生活産業局窯業建材課

小型筐体熱解析手法のノートパソコンへの応用

久野勝美 (東芝 研究開発センター)

1.はじめに

電子機器の小型・高速化に伴う発熱密度の増加により、機器開発時の放熱検討は避けられなくなっている。マイクロプロセッサに代表される半導体素子の技術革新ははやく、セットメーカーが市場での競争力を維持するためには常に最新の技術、最新のプロセッサを搭載した機器の供給が必要である。このような状況において開発期間の短縮は重要であり、機器全域を対象とする数値的な熱解析手法を開発している。

2.モデル化の手法

電子機器では細かな部品を多数使用するため、数値モデルのメッシュが細かくなりがちで、一括したモデル化では非常に大きな計算能力が要求される。計算量を減らす工夫として、伝熱モードの限定と解析の分割を行っている。

2.1 伝熱モードの限定

ノートパソコンでは小型化のため、内部に無駄な空間ができないような設計を行う。部品間の隙間が小さいため筐体内部において自然対流が発生しにくいことを利用すると、機器の熱解析を比較的計算機的能力を要求しない熱伝導計算により扱うことができる。部分的に対流が発生する場合には対流を加味した等価な熱伝導率を使用することにより対応する。

2.2 解析の分割

また、解析を分割することにより一回の計算に必要な計算機容量を小さくできる。例えば図1のような部品レベルのモデルと図2のような筐体全域のモデルを、部品をマクロに見たときの熱伝導率と部品の境界温度を使用して接続する。

3.おわりに

このような解析手法により注意深くモデル化を行えば、LSIの温度上昇を実機と10%程度の誤差で予測できる。計算量がそれほど大きくないため、EWSを使用して機器全体を対象とした実用的なシミュレーションが可能である。

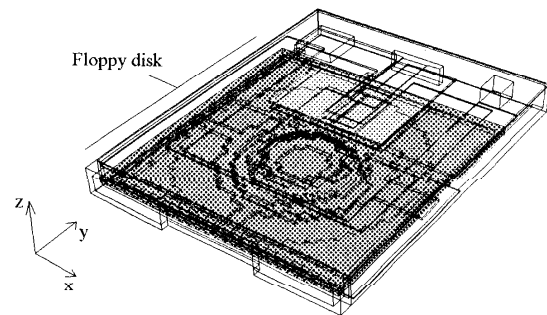


図1 部品レベルの数値モデル(FDD)

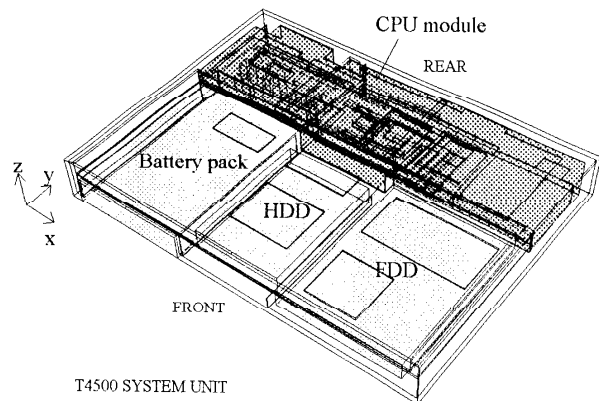


図2 筐体レベルの数値モデル

参考文献

- (1) 久野, 岩崎, 石塚, 電子機器筐体の熱解析, 第31回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pp247-249, 1994.

<支部・地方研究グループ活動報告>

東北研究グループ

「1994 秋季伝熱セミナー(郡山)報告」

日 時：平成6年10月29日(土)
～30日(日)

会 場：日本大学工学部磐梯セミナーハウス

主 催：日本大学工学部機械工学科

実行委員長 小川 清 教授

参加者：正員 22名、学生 26名、計 48名

内 容：

10月29日

・講演会

(1)混合冷媒の熱物性とその問題点

東 之弘氏(いわき明星大学)

(2)風力発電について

一竜飛ウインドパークの運転状況一

土屋 敬一氏(東北電力)

(3)熱機関の有害排出物対策事例

一電子油圧制御燃料噴射装置の研究一

斎藤 篤氏(日本大学)

(4)化学工業における伝熱

一マクロ的アプローチ・ミクロ的アプローチ一

中村 和仁氏(日 揮)

・夕食会(懇親会)

10月30日

・朝食会、近房散策、解散

東北地区の秋季伝熱セミナーが上記のように、日本大学工学部(郡山)小川 清教授、その他、大勢の先生や学生諸君のご尽力で、自然環境の素晴らしい磐梯山の山麓で開催された。この実行において、非常に驚き、また、喜ばしかったことは、東京工業大学名誉教授・本学会の第14～15期の副会長・元日本機械学会会長・現日本大学教授の一色尚次先生が色々お骨折り下さり、また、お元気に参加されたことで、始めの予定を上回る参加者があったことは、一色先生のご尽力にも負うところが多かったと思われる。

参加者の内容は、学生(大学院生および学部生の両者を含む)の数が、教官・社会人等の正員を上回った。これは、筆者の記憶が確かならば、東北地区では多分始めてのことで、画期的な現象である。当地区は面積が広く、また、交流の機会が少ないために、学生同志の情報交換の場が少ないハンデキャップがあると考えていたが、今回は、これを少しでも解消する一助になったものと予想される。

講演要旨：

講演(1)では、フロンガスの種類、地球環境とフロンガスの規制などの説明に始まり、なぜ現在混合冷媒を使用しなければならないのか、また、それによってどのような現象や問題点が生ずるのか、など、非常に明解な講演であり、学生諸君も十分な理解が得られたと思われる。

講演(2)はこれからの自然エネルギーの代表的なものと言える風力発電の運転実施例を技術および経済の両面から、詳細なデータを上げながら述べた。全国の約20%の地域で風車の設置は可能であり、687万kWの発電が出来ると明らかにした。一方、その評価、コストがまだ他の方法に比べ大幅に割高(約46～37円/kWh)であること等の問題点を指摘した。

講演(3)はこれまでの豊富な実験的研究を基にして制御装置のメカニズムを図で説明し、さらに多くの実験結果をグラフを示しながら講演されたもので、話題提供者の研究の蓄積が感じられた。いわゆる伝熱とは直接関係のない話題とはいえ、熱工学の分野について若い人に勉強になったと思われる。

講演(4)は化学工業のみならず、多くの分野で広く使用されている熱交換器を例にとり、特に、設計手法の最近の考え方をメーカーの立場で述べたものである。ミクロ・マクロ両面からのアプローチの手法が説明され、後者のピンチテクノロジーによって熱交換器の最大向上限界がわかるという内容も興味深かった。

その他：

毎年秋に永く継続して行われてきたセミナーも、今回の日本大学で地区内の殆どの大学が1～3回実行の経験を済ませた。今後益々地区間の交流が深まることが予想される。実行委員会に改めて感謝申し上げたい。

(東北地区グループ理事 山田悦郎)

北陸信越研究グループ活動報告

平成6年度秋季講演会

標記講演会が2日間にわたって開催され、特別講演と研究紹介およびトピックスについての講演が行なわれた。参加者数は、企業1名、大学・高専27名、学生15名の計43名であった。

日時 平成6年10月28日(金)～29日(土)

会場 山代簡易保険保養センター

特別講演

演題 「伝熱研究の新分野とその視点」

講師 金沢大学工学部 林 勇二郎 教授

研究紹介

演題 「電場利用による伝熱促進技術」

講師 金沢大学工学部 多田 幸生 助手

グループ講演

- (1) プール沸騰熱伝達における固液接触に関する研究
(固液接触にかかわる諸量の測定法)
永井二郎* (福井大), 西尾茂文 (東大生研),
竹内正紀 (福井大), 木村照夫
- (2) 薄い水平円板よりの自然対流熱伝達
竹内正紀 (福井大), 木村照夫, 永井二郎,
小島久邦* (福井大院)
- (3) 再突入体への熱伝達問題における熱・化学的非平衡性の効果
鈴木立之 (富山県立大), 坂村芳孝*
- (4) 流水中に置かれたフィン付冷却平板上の凍結促進
平田哲夫 (信州大), 石川正昭,
北川一栄* (信州大院)
- (5) 乱流熱流束モデルの提案
中尾 亨* (新潟大院), 小林睦夫 (新潟大),
前川 博
- (6) 水の凍結・融解の分子動力的研究
河原 治* (富山高専), 林勇二郎 (金沢大),
滝本 昭
- (7) クラスターの熱膨張に関する分子動力的研究
市村 悟* (富山大院), 岩城敏博 (富山大)
- (8) Al_2O_3 -SiC-ZrO₂-TiC系複合材料の熱定数
竹越栄俊 (富山大), 平澤良男, 小坂睦夫,
陳 東 (富山大院), 保要庄伸*
- (9) 微細光ファイバ屈折センサによる血管を模擬した
弾性管内の流量測定精度についての考察
日向 滋 (信大織), 飯田秀徳* (信大織院)
姫野修廣 (信大織), 桜井正幸

特別講演:

伝熱研究においてこれから取り組むべきテーマとして、(1)エネルギーと環境、(2)材料、(3)生体と情報の3分野について解説された。(1)では伝熱促進の重要性や微小重力下など様々な環境のもとでの伝熱、(2)では技術のマイクロ化に伴う伝熱、(3)では伝熱の機能化・知能化の視点、など21世紀に向けての伝熱研究の新しい分野と課題について解説された。

研究紹介:

電場を利用した伝熱促進について、(1)境界層あるいは熱抵抗層の薄膜化、(2)局所的な流体の入れ換えによる界面の更新、(3)混相流の粒子効果、などの方法について研究の紹介と詳細な説明がされた。

グループ講演:

講演(1)では、プール沸騰の機構解明を目的として固液接触状況の観察と接触面積の測定結果について報告され、サファイヤ伝熱面の表面粗さ、マイクロレイヤーの存在などについて質疑応答があった。講演(2)では、加熱炉から出されたウエハをモデルとした自然対流熱伝達の実験結果について報告され、上下面の伝熱現象の相違などについて質疑応答があった。講演(3)では、重粒子並進一回転、振動、電子並進エネルギーモード間の非平衡性を考慮したVSL法による数値解析と熱化学モデルについて報告され、振動緩和時間などについて質疑応答があった。講演(4)では、冷却平板とフィンとが一体となっている場合とそうでない場合の凍結促進について報告された。講演(5)では、乱流熱流束の輸送方程式のモデル化に関して圧力温度勾配相関項の新しいモデル式について報告され、DNS法との比較結果などについて質疑応答があった。講演(6)では、水分子で構成されている系の運動エネルギーをスケールリングによって増加または減少させた場合の融解・凝固のシミュレーション結果について報告され、融解潜熱などについて質疑応答があった。講演(7)では、熱膨張率に及ぼす粒子数と形状の影響、クラスター表面と内部における熱膨張率の相違、熱膨張率とポテンシャルエネルギーの関係について報告され、温度条件などについて質疑応答があった。講演(8)では、熱拡散率と比熱の測定結果について報告され、原料粉粒子分布などについて質疑応答があった。講演(9)では、微細光ファイバ屈折センサを使用した濃度計によるトレーサ法の実験結果が報告され、濃度拡散の影響などについて質疑応答があった。

(北陸信越研究グループ担当理事 平田哲夫)

九州研究グループ特別講演会報告

- 日時：平成6年7月1日（金）
場所：九州工業大学工学部資料館
1. 門谷 皖一（小松製作所 研究本部）
「温調機器開発における熱問題」
 2. Michel Lourier (Moscow Oil and Gas Academy)
"Hydrodynamic Aspects of Hydrothermal Theory on the Origin of Ore Deposit"
 3. Graham de Vahl Davis (University of New South Wales)
"Convection and Solidification with Application to the Bridgman Process of Crystal Growth"

九州研究グループ講演会報告

- 日時：平成6年9月9日
場所：九州大学工学部化学機械工学科
1. CaO-Ca(OH)₂系ケミカルヒートポンプによる高効率熱利用
小倉裕直（九工大工）
 2. 異方性物質の熱伝導率と熱拡散率の非接触同時測定
藤井丕夫（九大機能研），朴 寿泉*（九大院），富村寿夫（九大機能研），張 興（九大機能研）
 3. 冷媒の管内沸騰・蒸発熱伝達
桃木 悟（長崎大工）
 4. シアーの働く気液界面を通しての物質の移動機構について
小森 悟（九工大工）
 5. カリナ・サイクルの基本特性
伊藤猛宏（九工大工），山口朝彦*（九大院），河北憲治*（九大院）

講演1：酸化カルシウムの水和／水酸化カルシウムの脱水反応と水の蒸発／凝縮を組み合わせたケミカルヒートポンプによる蓄熱および温・冷熱生成について報告された。特に、反応層内における熱・物質移動特性の反応性ならびに蓄・放熱特性に及ぼす影響について実験および数値解析により検討された。講演2：熱的異方性物質の熱物性値測定のために、レーザ加熱と赤外線スポット温度計による表面温度測定を組み合わせた非接触測定法が提案された。この赤外線温度計による二次元温度分布の測定結果から熱伝導率および熱拡散率を同時に算出する手法が示されるとともに、従来の非定常比較熱線法による結果と比較・検討された。講演3：管全周が液膜で覆われた環状流の場合のフロン系冷媒の管内沸騰・蒸発熱伝達を比較的高い精度で予測する整理式が提案された。この整理式においては、全熱流束に対する核沸騰熱流束の比と強制対流による有効加熱度の減少の影響を区別して考慮するとともに、混合冷媒や粗い伝熱面の場合に対してのさらなる適用も提案された。講演4：シアーの働く気液界面の物質移動機構の実験的な検討を行い、従来の海洋化学分野において常識とされていた炭酸ガスの液側物質移動係数と風速との間の比例関係が全くの誤りであること

が明らかにされた。さらに、液側物質移動係数と表面更新渦との関連性ならびに海水の物質移動係数に及ぼす効果を評価し、従来の温暖化予測モデルでは大気・海洋間での炭酸ガスの交換量かなり過小評価している危険性があることが明らかにされた。講演5：ガスタービン・サイクルのボトミング・サイクル、もしくは廃熱回収サイクルとしてのカリナ・サイクルの熱力学的基本特性とサイクル計算例が述べられ、圧力0.2～110bar、温度230～600Kの範囲でアムモニア-水混合物の熱力学的性質の計算プログラム・パッケージ開発の概要が報告された。

九州研究グループ伝熱セミナー報告

第5回グループ伝熱セミナーが、鹿児島大学玉利賢一、鳥居修一両先生のお世話で鹿児島県揖宿市近郊池田湖畔にて開催され、薩摩の伝統工芸、幕末の先進事業、内管の軸方向移動を伴う環状流路の流動伝熱、熱電変換技術、人工衛星データをを用いた都市表面ふく射などの特別講演と、現在進行中の研究について話題提供・討論が行われた。参加者は、企業および公的機関から4名、大学・高専から20名、大学院等学生27名の計51名であった。

1. 会場 平成6年10月7日（金）～8日（土）
 2. 会場 鹿児島県揖宿郡池田湖畔「森と湖の里」
 3. 特別講演・討論
- (1) 新村和憲（（株）薩摩ガラス工芸）
「薩摩切子復元への道のり」
 - (2) 田村省三（尚古集成館）
「島津斉彬と集成館事業」
 - (3) 茂地 徹（長崎大学工学部）
「内管が軸方向に動く環状流路内の流動と伝熱」
 - (4) 山田 明（（株）三菱重工業長崎研究所）
「熱電変換技術の研究開発」
 - (5) 矢野利明（鹿児島大学工学部）
「人工衛星データを利用した都市表面の温度およびふく射率の推定」
4. トピックス講演・討論
- (1) 野中 功*（九大院）
「生体組織の凍結機構に関する研究」
 - (2) 一法師茂俊，井村英昭（熊本大学工），山村博隆*（熊本大院）
「浸透ヒートパイプの熱輸送特性」
 - (3) 野崎 勉（鹿児島大），田畑隆英*（鹿児島大院）
「拘束噴流内の大規模構造に関する研究」
 - (4) 井上浩一，山田善照*（九州大院）
「航空機による微小重力場の管内強制対流沸騰実験について」
 - (5) 茂地 徹（長崎大），小柳良文*（長崎大院）
「有限物体まわりの膜沸騰熱伝達」
 - (6) 伊藤昭彦（大分大），内藤雅記*，加甲慎一（大分大院）
「液体燃料表面上の振動火炎伝ば（ホログラフィー干渉法による燃料蒸気濃度分布測定）」

（九州研究グループ担当理事 増岡隆十）

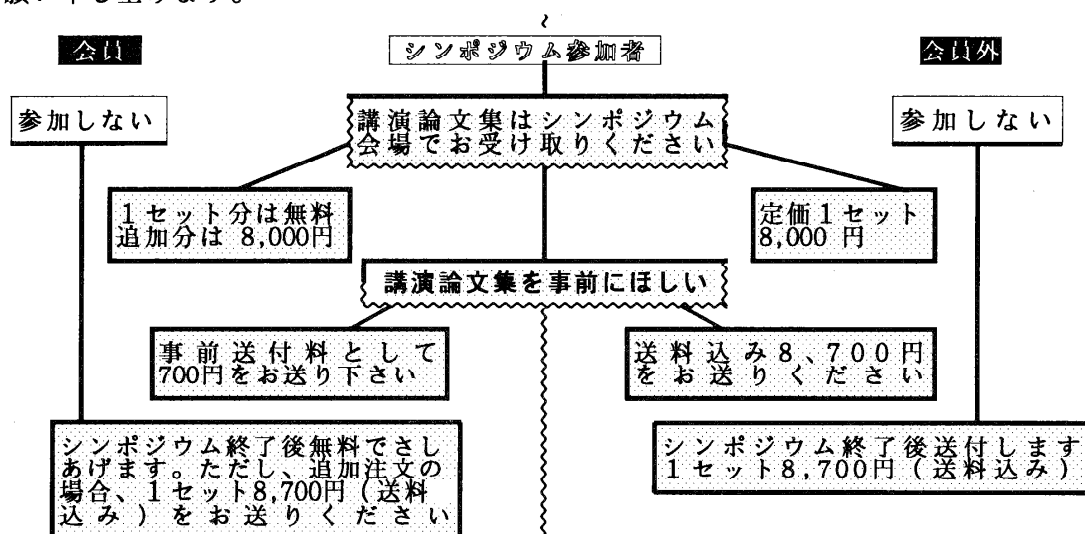
第32回日本伝熱シンポジウム

- ・開 催 日 平成7年5月24日(水)～5月26日(金)
- ・講 演 会 場 山口県教育会館(〒753 山口市大手町2番18号)
山口県社会福祉会館(〒753 山口市大手町9番6号)
JR山口駅から徒歩約10分
- ・シンポジウム
参 加 費 一般(1名) 事前申込:7000円 当日申込:8000円
学生(1名) 事前申込:3000円 当日申込:4000円
(いずれも講演論文集は含みません)
- ・講 演 論 文 集 1セット 8000円(消費税込)
ただし郵送の場合には送料700円を加算
(日本伝熱学会員には1セット無料進呈いたします。昨年度より論文送付要領が次ページのお知らせのように変更になっております)
- ・懇 親 会 日時 5月25日(木) 18:30～20:30
会場 ホテルニュータナカ(山口市湯田温泉)
会費 事前申込:7000円 当日申込:8000円
(同伴夫人は無料)
- ・カルチャー
プログラム 日時 5月25日(木) 10:00(湯田)～18:00(懇親会場)
コース 湯田 → 秋芳洞及び秋吉台 →
萩市内(松陰神社、東光寺、照元) → 湯田(懇親会場)
定員 35名程度(応募者少数の場合は取りやめになります)
会費 7000円(昼食代、交通費、入館・入場料等を含む)
- ・参加申込方法 本号に同封の郵便振替払込用紙を一人につき一枚ご使用になり、
通信欄に「氏名(ふりがな)、会員・会員外の別、勤務先または
学校名、参加費、懇親会費(夫人同伴の方はその旨を明記)、講
演論文集代金(進呈分以外)、事前送料、カルチャー・プログラム
参加費(本人・同伴者の別及び合計参加者数)、払込合計金額」
をご記入のうえ、当該金額をご送金下さい。参加証は当日受け付
けにてお渡しいたします。また、原則として領収証の発行を省略
し、郵便振替払込票兼受領証をもってかえさせていただきます。
- ・事前申込締切
申 込 先 平成7年5月8日(月)(消印有効)
郵便振替口座 01560-4-4749
第32回日本伝熱シンポジウム準備委員会
- ・参加・講演の
問 合 せ 先 〒755 宇部市常盤台2557
山口大学工学部 機械工学科
第32回日本伝熱シンポジウム準備委員会
加 藤 泰 生
TEL 0836-31-5100(内線)3012、 FAX 0836-35-9926
- ・当日受付 5月24日(水) 午前8:30よりシンポジウム会場にて行います。

お知らせ

伝熱シンポジウム講演論文集の事前送付 要領が昨年から変更になっています！！

平成5年（1昨年）9月18日開催の伝熱学会理事会において経費節減および事務簡素化のため、第31回日本伝熱シンポジウム（札幌大会）よりシンポジウム参加者への講演論文集の事前送付を取りやめることが承認されました。これまで、日本伝熱学会会員の皆様には、講演論文集をシンポジウム開催前にお届けしておりましたが、シンポジウムに参加される会員の方には、講演会場でお受け取りいただくこととなります。シンポジウムに不参加の会員の方及び追加注文分はシンポジウム終了後お送りいたします。なお、今回も先の札幌（北海道）にならい、特にご希望の方にはシンポジウム開催以前にお送りいたしますがその際の郵送料として700円を申し受けます。なにとぞご理解とご協力賜りますようお願い申し上げます。



カルチャープログラム (維新のふるさと探訪)

東洋一の規模を誇る大鍾乳洞として有名な秋芳洞、日本最大のカルスト台地秋吉台と、山口県を代表する城下町の萩をまわるコースです。

秋芳洞の、千変万化の鐘乳石、石筍、石灰華はあたかも地下の大殿堂を思わせます。秋吉台は、カルスト台地特有の奇岩、奇形に富む日本離れした景観を感じます。いずれも特別天然記念物として保護されています。

萩と言えば、明治維新発祥の地としても知られ、毛利藩36万石の城下町として栄えたところです。吉田松陰が祀られた松陰神社・松下村塾、毛利家代々の墓所がある東光寺、そして萩焼窯元を見学いたします。

*参加希望者には詳細な案内を事前に送付いたします。

第32回日本伝熱シンポジウム・宿泊のご案内

『第32回日本伝熱シンポジウム』にご参加の皆様には便宜をはかるため、下記の通り宿泊のご案内をさせていただきます。別紙申し込み用紙に必要事項をご記入のうえお申し込みください。

■ 宿泊

◆お一人様 1泊朝食付き（税・サービス料含む）

	ホテル名	部屋タイプ	料金	記号
山口市内	◎ホテルニュータナカ 山口市高田公園前 (JR湯田温泉駅より徒歩8分)	シングル	9,500円	あ
		ツイン	9,000円	い
	◎サンルート国際ホテル 山口市中河原1番1号 (JR山口駅より徒歩10分)	シングル	8,300円	う
	◎プラザホテル寿 山口市湯田温泉3丁目3番13号 (JR湯田温泉駅より徒歩10分)	シングル	8,300円	え
	◎キラク 山口市湯田温泉4丁目4番3号 (JR湯田温泉駅より徒歩9分)	シングル	8,200円	お
	◎富士の家 山口市湯田温泉4丁目8番2号 (JR湯田温泉駅より徒歩9分)	シングル	8,200円	か
	◎ホテルニューかめ福 山口市湯田温泉 (JR湯田温泉駅より徒歩9分)	ツインルームのシングル細	6,500円	き
		シングル	6,000円	く
小郡町	◎山口グランドホテル 吉敷郡小郡町黄金町1番1号 (JR小郡駅新幹線口より徒歩1分)	シングル	8,400円	け
	◎ホテルアルファ・ワン 吉敷郡小郡町大子下郷1235番12 (JR小郡駅在来線口より徒歩3分)	シングル	7,600円	こ

……申込書の宿泊希望日に記号をご記入ください……

※ 地方都市のため、ホテル数があまりありません。皆様のご希望に添いたいと思いますので、早めの申込をお願い致します。
尚、ご希望宿泊先が満室の場合は、こちらで調整させていただきますのでご了解ください。
(延泊希望の方は、ご相談を受けますので、別紙申込書の備考欄にお書き添えください。)

- ・ お申込方法 別紙申込書に必要事項をご記入のうえ、下記宛て郵送ください。また、お申込はファックスでもお受けしております。
- ・ お申込締切 平成7年4月10日
- ・ お支払方法 お申込受付後、ご予約ができた時点でご案内さしあげます。
ご案内後、4月21日(金)までに下記口座へお振込みください。

山口銀行 県庁内支店 普通口座 №313269 サンデン交通(株) サンデントラベル山口(営) 河内 秀夫
--

※振込み手数料はお客様にてご負担願います

- ★振込み確認後、ホテル予約券をお送り致します。
- ★お申し込み後、お客様のご都合による予約の取消には5月13日より全額取消料を頂きます。

お申込お問い合わせ先

サンデントラベル山口営業所 〒753 山口市大手町3-6 担当 桜井裕二 TEL 0839-23-2501 FAX 0839-23-8030

サンデントラベル山口営業所
 担当 桜井 行き

FAX 0839-23-8030

『第32回日本伝熱シンポジウム』
 宿泊申込書

申込代表者名		所 属				
電話		取消にともなう返金先口座				
FAX		銀行			支店	
書類送付先住所 (〒)		口座番号				
		口座名義				
(フリガナ) お名前		年 令	宿 泊			
			23日	24日	25日	
例)	ヤマギ 山口	大分 大学	30	あ	あ	あ
備 考：						

キ
リ
ト
リ
線

- ※ ツインをお申し込みの場合、同室希望者をお知らせください。
- ※ お申込締切は、平成7年4月10日です。
- ※ この申込書をファックス、又は郵送で下記宛てお送りください。

送り先： サンデントラベル山口営業所
 〒753 山口市大手町3-6
 桜井 裕二
 FAX 0839-23-8030

高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム
International Symposium on Advanced Energy Conversion System
and Related Technologies (RAN 95)

主催 化学工学会 **共催** 日本伝熱学会、日本燃焼学会
協賛 日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本航空宇宙学会中部支部、日本工業炉協会、日本分光学会、マッギル大学、オハイオ州立大学、超高温材料研究センター、AIChE、ASME など (交渉中のものも含む)
会期 1995年12月4日(月)、5日(火)、6日(水)
会場 名古屋大学豊田講堂 愛知県名古屋市千種区不老町

会議内容 高温ガスタービンなど、高温を利用するエネルギー変換システムを構築するための先端的研究について、多角的に討論します。キーワードは以下の通りです。
 ○高温燃焼・高温発生技術 ○高温耐熱材料技術 ○高温・高負荷伝熱技術 ○高温蓄熱・熱輸送技術 ○高温を伴う計測技術 ○環境保全技術 ○高温エネルギー変換システム
 基調講演と招待講演約17件 (8割が海外からの講演)、研究発表およびポスターセッションをそれぞれ最大約20件と約50件を予定。また、製品展示も10件程予定。使用言語は英語。また、学生による優れた講演論文を選んで表彰しますので、学生の方も奮って参加下さい。

講演申込〆切 1995年6月30日 **事前参加登録〆切** 1995年10月31日
 (講演・参加希望の方は、下記事務局まで資料をご請求下さい)
申込み先 〒464-01名古屋千種区不老町 名古屋大学高温エネルギー変換研究センター
 電話 052-789-3913 (新井紀男)、052-789-3915 (北川邦行) FAX 052-789-3910

第29回 空気調和・冷凍連合講演会講演募集

共催 空気調和・衛生工学会、日本冷凍協会、日本機械学会 (幹事学会)
協賛 エネルギー・資源学会、化学工学会、高圧ガス保安協会、低温工学協会、日本空気清浄協会、日本建築学会、
 (予定) 日本原子力学会、日本混相流学会、日本太陽エネルギー学会、日本鉄鋼協会、日本伝熱学会、日本熱物性学会、日本燃焼学会、日本ボイラ協会、日本流体力学学会

開催日	平成7年4月18日(火)～20日(木)	原稿締切日	平成7年2月24日(金) 必着
会場	総評会館・大会議室 (東京都千代田区神田駿河台3-2-11) ☎(03)3253-1771(代)	参加登録費	一般2000円 学生は無料 (当日会場受付にて徴収いたします)
応募資格	講演発表者(登壇者)は、いずれかの共催学会の会員であることが必要です。 未加入の方は、お早めに加入手続き(入会)を取ってください。	講演時間	1題あたり講演15分、討論5分(予定)
申込方法	(1)講演希望者は、はがきまたはFAXにて「第29回 空気調和・冷凍連合講演会申込書請求」と標記し、①氏名、②送付先(郵便学科名番号付記、勤務先の場合は所属部課・学部・まで詳細に記入)、③申込書請求件数④所属学会・会員資格、以上を明記の上お早めにご請求下さい。請求があり次第、講演申込書をお送りいたします。 (2)講演申し込みは、講演申込書に必要事項(講演題目、概要等および次第書原稿)をご記入のうえ、日本機械学会(下記)までお申し込み下さい。 なお、上記はがきによる申込書の請求だけでは、講演申し込みの受け付けとはなりませんからご注意ください。	原稿枚数	A4判(白紙に20字×50行×2段=2000字詰め)4枚(図、表、写真を含む)
申込締切日	平成7年1月13日(金) 必着	使用機器	OHPのみ使用可
		講演論文集	オフセット印刷とし、全発表論文を掲載した論文集とする。別刷希望の場合は50部単位で実費により注文をお受けします。論文集および別刷の寄贈はございません。
		講演発表の採否	講演発表の採否は、本運営委員会に一任願います。
		申込先	〒151 東京都渋谷区代々木2-4-9 新宿三信ビル5階 社団法人 日本機械学会 第29回空気調和・冷凍連合講演会係 〔担当 磯野紳一〕 電話 (03) 3379-6781 (代表) FAX (03) 3379-0934

社団法人日本工学会主催

第27回 国際会議のための準備セミナー

—— 英語によるプレゼンテーションの実際 ——

国際会議で発表する予定のある方、英語によるプレゼンテーション能力の向上を図りたい方に最適なセミナー

1. 日時：1995年2月25日(土)・26日(日)

2. 会場：O V T A - 幕張
海外職業訓練センター
千葉市美浜区ひび野1-1

3. 参加費：80,000円

4. 宿泊費：18,000円

5. 定員：18名

6. 参加申込みおよび詳細問い合わせ先

〒107 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル

社団法人 日本工学会

電話：03-3475-4621 FAX：03-3403-1738

Announcement and Call for Papers

*ISROMAC-6: The 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery
Honolulu, Hawaii, USA, February 25-29, 1996
Sponsored by the Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering*

Papers are solicited that deal with any aspect of (1) thermo-fluid transport phenomena(mass, momentum, and heat transfer), (2) dynamics including seal and rotor dynamics, vibration, and whirl, and (3) other related topics such as design and control of rotating machinery. All types of rotating machines are considered, including turbines(gas, steam, hydraulic, and wind), pumps, compressors, fans, propellers, engines, and others. Modeling, theory, experiments, computational methods and numerical simulation are all appropriate.

The official language is English. The abstract should contain (1) title of the paper,(2) five keywords in the descending order of importance, (3) name, affiliation and full address of all authors, and (4) telephone and fax numbers of the author to whom subsequent correspondence should be directed. The objective, results, and conclusion should be clearly stated in the abstract. Final acceptance will be based on review of the complete manuscript. All accepted papers will appear in a preprint volume to be distributed at the conference. Papers of archival value will be further reviewed for publication in the International Journal of Rotating Machinery.

June 1,1995 : Three copies of abstract due

June 15,1995 : Notification of abstract acceptance

August 1,1995 : Four copies of full length manuscript due

September 15,1995 : Notification of final paper acceptance

November 1,1995 : Final manuscript due

Abstracts should be sent to the Conference Chairman : Professor Dr.-Ing. D. C. Han
Department of Mechanical Design and Production Engineering, Seoul National University
Shinrim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742, KOREA
Phone: 82(Korea)2(Seoul)880-7139 Fax: 82(Korea)2(Seoul)883-1513

For further information, contact Professor Wen-Jei Yang, Dept. of Mechanical Engineering & Applied Mechanics,
2150 G. G. Brown Building, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, USA.
Phone:(313)764-9910, Fax:(313)747-3170

トピックス記事情報ご提供のお願い

「伝熱研究」編集委員会

「伝熱研究」編集委員会では、今期より本誌紙上に「トピックス欄」を設け、伝熱研究者あるいは技術者として見逃すことのできない伝熱各分野の新技术や周辺技術に関する情報、あるいは大学や企業の研究室における研究内容等を紹介することを計画致しております。会員各位におかれましては下記要項をご一読の上、ふるって記事をお寄せ下さいますようお願い申し上げます。また、お近くにトピックス記事としてふさわしい話題等がございましたら、是非編集委員会宛てお知らせ下さい。

I. 「トピックス欄」記事要領

1. 記事の内容

(1) 伝熱研究者、技術者として見逃す事のできない新技术や周辺技術に関する国内外の情報、

例えば、

- a. 企業などにおいて開発・設計した新技术・新製品の紹介（とくに技術面での独創性や有効性についての紹介を中心とし、単なる製品の宣伝でないこと。）
- b. 内外の伝熱関連雑誌の紹介、新刊専門書（特色のあるもの）の紹介、論評。
- c. 伝熱に関連した各種プロジェクトの紹介など。
- (2) 大学や企業の研究室紹介、例えば、
- d. 研究テーマや研究内容の紹介など。

2. 記事の体裁

本誌添付「伝熱研究原稿の書き方」に基づき、1ページ以内。（執筆にあたっては、読者の理解を深めるために極力、図、写真、または表を入れて下さい。）

3. 記事の責任

記事はすべて署名記事とし、内容に関する責任は著者にあるものとする。

II. 記事提供にあたって

1. トピックス記事の直接投稿：上記の執筆要項に従って作成された原稿は、掲載を希望される号（1月、4月、7月、10月）の担当編集委員または編集委員長へ直接送付下さい。（各号担当編集委員および編集担当委員長名は、「伝熱研究」'94年7月号p.101をご参照下さい。なお、掲載を希望される号（月）の2ヶ月前を投稿の目安として下さい。）

2. トピックス記事の推薦：トピックス記事として適当と思われるものがありましたら、i) テーマ名 ii) 執筆者名、iii) 勤務先、住所および iv) 原稿の概要をB5用紙に明記の上、掲載を希望される号の担当編集委員または編集委員長まで手紙またはファックスでお寄せ下さい。（この場合、記事のご推薦から掲載まで少なくとも3ヶ月をお見積もり下さい。）

3. 原稿の採否は編集委員会にご一任下さい。なお推薦記事につきましては、編集委員会で検討の上委員会より直接執筆依頼をいたします。

以上

(1頁目は最初の2行空白、2頁目は最初の行から2段組みで本文を書く)		(35mm程度)
「伝熱研究」原稿の書き方 (表題は3行目の中央に横倍角文字で)		
(氏名、所属を5行目に右に詰めて)		伝熱 太郎 (伝熱大学)
(1頁目は7行目から本文がスタート) . . . . .	. . . . .	. . . . .
・印刷は原稿からそのままオフセット印刷で行いますので、この点を考慮の上、写真、図表等には特に注意して鮮明なものをご使用ください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
・原稿枚数は原則として最大10枚(図表込み)を越えないでください。	・本手引きの各種寸法及び文字数等は、お手持ちのワープロの機能によっては、必ずしもこれらを満足できないかもしれません。このような場合には適宜これにできるだけ近くなるように、原稿をおつくりくださいますようお願い申し上げます。 . . . . .	. . . . .
・原稿は下記の出力フォーマットに従って作成の上、編集委員会までご送付ください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
. 「伝熱研究」用原稿の標準形式 . . . . .	. . . . .	. . . . .
用紙サイズ：A4縦長、横書き、2段組 . . . . .	. . . . .	. . . . .
活字サイズ：全角文字を標準とする。(英文字、数字は半角文字が好ましい) . . . . .	. . . . .	. . . . .
1行の字数：1段あたり24文字程度(22~24文字の間ならかまわない)	. . . . .	(242mm)
図 表：原稿内に直接張り込んでください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
頁 数：原稿の頁数は各頁の上すみに青鉛筆で薄く1/8、2/8のように記入。 . . . . .	. . . . .	(右余白 14mm程度)
← (1コラム長 84mm) →	← (1コラム長 84mm) →	↑ ↓
(段間すきま 8mm) → ←		
(左余白 20mm以上) . . . . .	. . . . .	. . . . .
.
.	(1行 24字) . . . . .	. . . . .
.	(1頁 40行) . . . . .	. . . . .

編集委員会だより

新年明けましておめでとうございます。日本伝熱学会の益々の発展と会員の皆様のご活躍とご健勝をお祈り申し上げます。本年も引き続きご支援賜りますよう編集委員一同心からお願い申し上げます。

編集委員会では日本伝熱学会が昨年社団法人化されたのを記念して、第一線でご活躍中の方々にお集まり頂いて色々ご意見をお聞きしようと言う事で、総務部会、企画部会のご協力を得て、放談会「次世代の伝熱を探る」を企画し、本号に掲載致しました。事の発端は、法人化に際してご尽力頂いた藤江第31期会長に平成6年10月号への寄稿をお願いした折、我国の伝熱の基礎をお作りになった先生方による座談会、あるいは若手の方々が社団法人「日本伝熱学会」に何を期待するか、を話して頂く座談会をもってはどうでしょうか、とのご示唆を頂いたことにあります。編集委員会および関係の方々と相談の結果、上記「放談会」を法人化記念講演会及び祝賀会の日程に合わせて開くことにあいました。企画から放談会開催まで僅か1ヶ月弱という大変慌ただしいスケジュールの中、パネリストの先生方には予めお考え頂く時間も無く、放談会にご出席願う事になりました。編集委員会からは福迫副会長、芹澤編集委員長、増岡理事、山田理事、そして土方総務担当副会長、庄司企画部会長がその準備に当たりました。特に、庄司先生には当日速記と録音取りおよび原稿の掘り起こし作業を行う業者をアレンジして頂きました。また、ビデオ収録やその他の雑務を横谷先生（東大）にして頂きました。掘り起こし原稿から最終稿にする編集作業は増岡、山田両編集委員の献心的なご努力により極めて短期間になされました。放談会の司会をされた福迫副会長のリードとパネリストの先生方のご協力と上述の裏方の先生方のお陰で、成功裡に終了することが出来ました。最初にご教唆頂きました藤江先生を始め、関係者の方々に改めて御礼申し上げます。

さて、第33期編集委員会では「伝熱研究」が会員の皆様に興味を以ってお読み頂けるようにするにはどのような企画が望ましいか、また、編集・出版部会

としてどのような活動をすべきか、等々についてワーキンググループをつくり検討を進めて来ました。ここにワーキンググループ報告書の一部をご紹介します、併せて会員の方々からの積極的なご意見やご提案等を頂ければ、と考えます。

「伝熱研究」の企画・編集の基本的な考え方として、一貫した統一テーマに従って各号を企画するか、あるいは伝熱研究の現状、最新情報や伝熱研究・技術の将来の方向性に関する示唆、学際分野や他分野における伝熱に関する考え方等々、興味あるテーマによる小特集を企画するのか、と言う議論があります。前者は理想的ではあるが、現状では種々の制約があり直ちに実行するのは困難、但し、将来的には十分検討する必要がある、との意見が多数ありました。一方、後者については、現状でも十分新鮮で興味あるテーマが期待でき、特徴ある企画が可能である、最新のトピックスにも対応できるなどの小回りが効く、など比較的肯定的な考え方がある反面、企画から執筆依頼までの時間が短い等の欠点も有しています。また、小特集とは別に、「肩の凝らない、役に立つ」シリーズものとして、例えば、「わかるノウハウ・シリーズ」（または「こうすればできるシリーズ」）、「ここが聞きたいシリーズ」（または「ワンポイント・アドバイス・シリーズ」）、「伝熱教育シリーズ」などの企画が挙げられます。今期編集委員会としては小特集企画の方針を採用いたしました。皆様のご要望を次期編集委員会に申し送りたいと思いますので、どしどしご意見をお寄せ下さい。

現在、Thermal Science and Engineering では原稿のフロッピーディスクによる提出を原則に、統一フォーマットでの原稿打ち出しを行っています。「伝熱研究」でも出来るだけ早い時期に統一フォーマットに移行する必要があります。平成7年4月号では担当編集委員の自主的努力による試みが予定されています。企画部会からは、将来書店で「伝熱研究」を販売してもらう為には是非ともフォーマットの統一化が必要であり、その努力をして欲しい、との要望がなされています。統一フォーマットによる出版を可能にするためには現在の編集委員会のみでは困難ですが、文部省科学研究費補助金「研究成果公開促進費」（学術定

期刊行物)の交付により、一部作業の外注が財政的には可能となります。事務組織問題と共に検討する必要があります。

編集・出版部会の業務には「伝熱研究」の企画・出版以外の出版活動があり、今期は本編集委員会がその任にあたることになっています。現在、学会として「環境調和型熱エネルギー技術ハンドブック」(仮称)と法人化記念出版事業としての「伝熱学大系」の出版計画がそれぞれの作業委員会ないしは特別委員会が進められていることは会員の皆様もご承知のことと思います。これらは何れの場合も編集委員会が窓口となって理事会に出版計画の提案と承認を求める形式を取っていますが、企画自体は編集委員会の発案ではありません。現状では「伝熱研究」の企画と発行に時間を取られ、独自の構想を具体化する余裕がないのが実状です。しかし、学会の成熟化に伴って学会の方針に沿った出版計画を長期的に進める必要があります。上述の「伝熱学大系」出版計画はその方向に沿った1つの例と言えます。こうした学会としての事業に編集・出版部会としてどのように対応すべきか、また、どのような組織、運営方法にすべきかと言った問題を考える必要があります。この検討は行っていますが、結論を出すに至っておりません。次期以降の編集委員会に申し送ることになりそうです。

上に述べた組織問題とは別に、学会として、また、編集委員会としてどのような出版活動や企画を考えるべきかと言う点も大変重要な事柄です。編集委員会ワーキンググループではこの問題も検討いたしました。その幾つかを以下に紹介させていただきます。

(1) 伝熱工学年鑑またはその特集号

データベース化を行う。

(2) インターネット「伝熱ニュース・情報」

最近のインターネットの普及に伴い、大学・研究所および企業のネットワークの多くがインターネットに接続され、お互いの情報交換を行える環境が整備されてきています。そこで "fj" などのインターネットに伝熱学会関連のニュースグループを開設してはどうでしょうか。

(3) データ資料シリーズ

以上、最近の編集委員会における検討の一端を紹介させて頂きましたが、「伝熱研究」がいつまでも会員の皆様に親しまれる会誌であり続けるためには、編集委員会での議論だけでなく、会員の皆様のご要望を汲み上げる努力も必要であるとの想いを編集委員一同抱いております。是非、皆様のご意見等を編集委員会までお寄せ下さいますようお願い申し上げます。

平成7年4月号 (Vol.34, No.133) 予定

小特集：原子力はいま

－ 原子力関連伝熱研究の現状と展望

・ 軽水炉における伝熱研究の現状と展望

・・・・秋山 守

・ PWRにおける伝熱流動・・・・柘植 綾夫

・ 次世代炉機器における伝熱流動・・・・奈良林 直

・ BWRにおける伝熱流動・・・・村瀬 道雄

・ 高速炉における伝熱流動・・・・二ノ方 寿

・ 原子炉燃料における伝熱流動の諸問題

・・・・高安 正治

・ 軽水炉の安全性と熱流動解析・・・・村尾 良夫

・ 軽水炉シビアアクシデント時の伝熱流動

・・・・杉本 純

同号担当の編集委員は小沢、石塚両委員です。会告等を同号に掲載希望される場合には、原稿(できればフロッピーディスク添付)を上記委員または芹澤までお送り下さい。

(文責 芹澤昭示)

会誌「伝熱研究」の価格について

会員外への頒布価格は、各号とも送料を含み 1,680 円です。

事務局へお申し込み下さい。

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

本会は、伝熱に関する学理技術の進展と知識の普及、会員相互及び国際的な交流を図ることを目的としています。

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。（但し、「伝熱研究」の巻と表紙の色は1月号から10月号までの一年間同じです）

【会員の種別と会費】

会員種別	資格	会費（年額）
正会員	伝熱に関する学識経験を有する者で、本会の目的に賛同して入会した個人	8,000円
賛助会員	本会の目的に賛同し、本会の事業を援助する法人またはその事業所、あるいは個人	1口 30,000円
学生会員	高専、短大、大学の学部および大学院に在学中の学生で、本会の目的に賛同して入会した個人	4,000円
名誉会員	本会に特に功勞のあった者で、総会において推薦された者	0円
推薦会員	本会の発展に寄与することが期待できる者で、当該年度の総会において推薦された者	0円

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

- 「伝熱研究、THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。
（本年度発行予定：4月号、7月号、10月号、1月号）
 - ・正会員、学生会員、名誉会員、推薦会員に1冊送付
 - ・賛助会員に口数分の冊数送付
- 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。
 - ・正・学生・名誉・推薦の各会員に1部、賛助会員に口数分の部数（但し、伝熱シンポジウム開催の前年度の3月25日までに前年度分までの会費を納入した会員に限る）

【入会手続き】

正会員または学生会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局（本郷）宛にファックスまたは郵送で送り、郵便振替にて当該年度会費をお支払い下さい。賛助会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局（本郷）宛にファックスまたは郵送でお送り下さい。必要があれば本会の内容、会則、入会手続き等についてご説明します。賛助会員への申込みは何口でも可能です。

（注 意）

- ・申込用紙には氏名を明瞭に記入し、難読文字にはJISコードのご指示をお願いします。
- ・会費納入時の郵便振替用紙には、会員名（必要に応じてフリガナを付す）を必ず記入して下さい。会社名のみ記載の場合、入金の取扱いができず、会費未納のままとなります。
- ・学生会員への入会申込においては、指導教官による在学証明（署名・捺印）が必要です。

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

個人会員と賛助会員の増加が検討されています。会員の皆様におかれましても、できる限り周囲の関連の方々や団体に入会をお誘い下さるようお願いいたします。また、賛助会員への入会申込み受付におきまして、A（3口）、B（2口）、C（1口）と分けております。現賛助会員におかれましても、できる限り口数の増加をお願いいたします。

【会費納入について】

会費納入状況は「伝熱研究」郵送ラベルの累積請求額でご確認下さい。会費納入には折込みの郵便振替用紙をご利用下さい。その他の送金方法で手数料が必要な場合には、送金額から減額します。フリガナ名の検索によって入金事務処理を行っておりますので会社名のみで会員名の記載がない場合には未納扱いになります。

【変更届について】

（勤務先、住所、通信先等の変更）

勤務先、住所、通信先等に変更が生じた場合には、巻末の「変更届用紙」にて速やかに事務局へお知らせ下さい。通信先の変更届がない場合には、郵送物が会員に確実に届かず、あるいは宛名不明により以降の郵送が継続できなくなります。また、再発送が可能な場合にもその費用をご負担頂くことになります。

（賛助会員の代表者変更）

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

（学生会員から正会員への変更）

学生会員が社会人になられた場合には、会費が変わりますので正会員（正会員）への変更届を速やかにご提出下さい。このことにつきましては、指導教官の方々からもご指導をお願いします。

（変更届提出上の注意）

会員データを変更する際の誤りを防ぐため、変更届は必ず書面にて会員自身もしくは代理と認められる方がご提出下さるようお願いいたします。

【退会届について】

退会を希望される方は、退会日付けを記した書面にて退会届（郵便振替用紙に記載可）を提出し、未納会費を納入して下さい。会員登録を抹消し、「退会処理通知」を送付します。

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々には、本号宛ラベルの会費請求額をご確認の上、至急納入をお願いします。特に、平成5年度以降の会費未納の方には「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処置が理事会で協議されます。

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局

（業務内容）

- 入会届、変更届、退会届の受付
- 会費納入の受付、会費徴収等
- 会員、非会員からの問い合わせに対する応対、連絡等
- 伝熱シンポジウム終了後の「講演論文集」の注文受付、新入会員への「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」発送、その他刊行物の発送
- その他必要な業務

（所在地）

〒113 東京都文京区本郷5-25-18

日本伝熱学会

TEL/FAX : 03-5689-3401

（土日、祝祭日を除く、午前9時～午後5時）

（注 意）

- 事務局への連絡、お問い合わせには、電話によらずできるだけ郵便振替用紙の通信覧やファックス等の書面にてお願いします。
- 学会事務の統括と上記以外の事務は、下記にて行なっております。

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学 工学部

機械宇宙学科 土方 邦夫

TEL:03-5734-3172, 3336 FAX:03-3729-0628

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届用紙

(右の該当に○を記入) 1. 正会員・学生会員入会申込み書
2. 変更届 (書面による届出のみ受付)
・楷書体で明瞭に記入
・氏名にふりがなを付す
・通信文は余白に記入
・申込み時に郵便振替にて会費納入

0	申込年月日	H	年	月	日
1	会員資格	正・学			
2	氏名				
3	ふりがな				
4	生年月日	M	T	S	年 月 日
5	名称				
6	〒				
7	勤務先				
8	所在地				
9	TEL				
10	FAX				
11	〒				
12	住所				
13	TEL				
14	TEL				
15	TEL				
16	通信先	勤務先・自宅			
17	学位				
18	最終出身校				
19	卒業年次	T	S	H	
20	専門分野				← (下記の専門分野の番号)
21	学生会員の場合: 指導教官名	***			印

専門分野

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

例: 電子機器の冷却、生体伝熱、分子動力学等

*) 学生会員入会申込み者は学校名、学部、学科、研究室名、学年 (MG, DSなど) を記す。

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する。

***) 学生会員入会申込み者は、指導教官の署名・捺印を受ける。

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届用紙

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

※ご記入に際しての注意

日本伝熱学会からの郵送物は代表者にお送りしておりますので、代表者の所属に変更がありましたら、書面にて事務局宛ご連絡下さるようお願いいたします。

1	会員資格	賛助会員
2	代表者氏名	
3	ふりがな	
4	名称 (所属)	
5	代 表 者	
6	〒	
7	所在地	
8	TEL	
9	FAX	
10	〒	
11	口数	口

日本伝熱学会入会のご案内

1. 本学会の会計年度は毎年4月1日から翌年3月31日までです。
2. 賛助会員の会費は1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。申し込み口数により、次のように分けております。
A (3口)、B (2口)、C (1口)
3. 会員になりますと「伝熱研究」をお申し込み口数1口につき1部お送りします。「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお申し込み口数1口につき1部無料で差しあげます。
この伝熱研究は通常、年4回(4、7、10、1月号)発行しております。
但し、日本伝熱シンポジウム講演論文集につきましては、前年度の会費を年度末までに納入された会員に限り当該年度のもを無料で差しあげます。
尚、年度途中でご入会の方には残部の都合でも送りできない場合もありますので、あらかじめご承知は下さいます。
4. 本学会では、事務作業簡素化のために会費の領収書の発行は郵便振替や銀行振込の控えをあてております。簡単な書式の領収書をご用意できますが、それ以外の場合には貴社ご指定の書式をご送付下さいませようお願いいたします。
且だ書送付先: 〒113 東京都文京区本郷 5-25-18
日本伝熱学会事務局 TEL, FAX: 03-5689-3401

会費の払込先:

- (1) 郵便振替の場合 - 郵便振替口座 東京 6-14749 日本伝熱学会
- (2) 銀行振込の場合 - 第一勧業銀行 大岡山支店 普通預金口座 145-1517941 日本伝熱学会 代表 土方邦夫
- (3) 現金書留の場合 - 上記の事務局宛に御送金下さい。

複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会内日本複写権センター支部
〒107 東京都港区赤坂 9-6-42-704
Phone 03-3475-4621/5618
Fax 03-3403-1738

Notice about photocopying

In the U.S.A., authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by [copyright owner's name], provided that designated fees are paid directly to Copyright Clearance Center. For those organizations that have been granted a photocopy license by CCC a separate system of payment has been arranged.

Copyright Clearance Center 27 Congress St.
Salem, MA 01970
Phone (508)744-3350
Fax (508)741-2318

平成6年度の「伝熱研究」の出版には、平成6年度科学研究費補助金「研究成果公開促進費」の補助を受けています。

伝 熱 研 究

ISSN 0910-7851

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol.34, No.132

1995年1月発行

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

ISSN 0918-9963

Vol.3, No.1

January, 1995

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会

〒113 東京都文京区本郷5-25-18

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan
25-18, Hongo 5-chome, Bunkyo-ku,
Tokyo-113, Japan
Phone, Fax: +81-3-5689-3401

伝熱研究 Vol. 34, No. 132

〈日本伝熱学会社団法人化記念特別講演会〉

A Note on Professor Tien's Special Lecture (Tien 教授の特別講演概要)

..... Taiqing Qiu (東大)	1
地球温暖化について..... 近藤次郎 (財地球環境研究機構)	2

〈日本伝熱学会社団法人化記念放談会〉

次世代の伝熱を探る.....	5
----------------	---

〈小特集：伝熱現象と熱物性値〉

小特集にあたって..... 第33期編集委員会	19
伝熱現象と熱物性値..... 長島 昭 (慶応大)	20
熱物性値測定技術のこれから..... 長坂雄次 (慶応大)	22
熱物性値に関するデータベースの現状..... 新井照男 (計量研)	28
ふく射物性と伝熱工学..... 山田 純 (東工大)	32
複合材料の熱物性評価..... 荒木信幸 (静岡大)	38
化学工業と熱物性値..... 三宅陸進・林 裕之 (新潟工事)	42
冷凍サイクルの設計と熱物性値..... 松嶋弘章 (日立製作所)	47
エレクトロニクス産業における熱物性値..... 柳田武彦 (日立製作所)	51
衣料の使用における熱物性値..... 薩本弥生 (文化女子大)	55
食品の加工・利用と熱物性値..... 亀岡孝治 (三重大)	61
建築材料の熱物性値と省エネルギー..... 上園正義 (建材試験セ)	69

〈研究トピックス〉

小型筐体熱解析手法のノートパソコンへの応用..... 久野勝美 (東芝)	75
--	----

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING Vol. 3, No. 1

1. Spatially Upper Burning Limit of Lifted Flame Transferred from Premixed Flame 1
(in Japanese)
Maki H.
2. Manifold Microchannel Heat Sink: Analysis and Optimization 7
Copeland D.
3. Reacting Molecule Model for Inelastic Collisions in DSMC Analysis (in Japanese)..... 13
Obata S. and Nagashima T.