

ISSN 0910-7851 Vol.38 No.148

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

紙面上端より 30mm

「伝熱」原稿の書き方

伝熱 太郎 (伝熱大学)

42 mm

(1行)
(2行)
(3行)
(4行)
(5行)
(6行)
(7行)
(8行)

1. 「伝熱」用原稿の標準形式

用紙サイズ: A4 縦長 (210mm × 297mm), 横書き

余白サイズ: 上余白 30 mm, 下余白 30 mm

左余白 20 mm, 右余白 20 mm

コ ラ ム: 2段組とします。

1 コラム 80 mm, コラム間隔 10 mm

活字サイズ: 10ポイント(10×0.3514=3.514mm)の全角文字を標準とします。英文字・数字には半角文字が好ましい。

1行の字数: 1段あたり 23文字程度

行 送 り: 15ポイント(15×0.3514=5.271 mm)

1頁あたり 45行となります。

15 ポイント行間

15 ポイント行間

題目の部分は、編集委員会で作成いたしますので、8行の空白(=42 mm)を用意しておいてください。また、表題・氏名・所属の和文および英文は別紙にご用意下さい。なお、2頁以降は、最初の行から2段組で本文をお書きください。

2. 「伝熱」用原稿作成上の注意

(1)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下さい。

(2)原稿枚数は原則として最大10枚(図表込み)を越えないで下さい。

(3)原稿は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下さい。

(4)図表は、原稿内に直接張り込んで下さい。

(5)原稿の頁数は各頁の上すみに青鉛筆で薄く1/8, 2/8のように記入して下さい。

(6)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、原稿をお作りくださいますようお願い申し上げます。

(7)本文の体裁・項目の分け方などは、自由にお書き下さい。

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

その他の事項

・可能ならば、字体に関しては、本文には明朝体を使用し、見出しにはゴシック体を使用して下さい。

紙面左端より 20 mm

紙面右端より 20 mm

紙面下端より 30mm

伝 熱

目 次

〈随想〉

- 21世紀における大学の周辺 福迫尚一郎（北海道大学）1
 美しい魔園、熱伝導論 服部賢（長岡技術科学大学）3

〈伝熱セミナーからの話題－東海－〉

- 蓄熱槽内でのスラリー状氷からの蓄氷過程とシャーベット状氷の解氷過程に対して
 谷野 正幸（高砂熱学工業（株））4
 ガスタービンにおける活用例 武石賢一郎（三菱重工（株））10

〈報告〉

- TSE Editor の会合から 小竹進（TSE Editor-in-Chief）20

〈第11回国際伝熱会議〉

- 第11回国際伝熱会議セッションレビューに対するコメント
 杉本純、Park Hyun-sun*、丸山結（日本原子力研究所、*RIT）22
 杉本氏らからの“コメント”への回答 森康彦（慶応大学）24

〈会議報告〉

- EUROTHERM 57 “Microscale Heat Transfer” 小竹進（東洋大学）26

〈追悼〉

- 岡崎卓郎先生に学ぶ 小竹進（東洋大学）28
 岡崎卓郎先生を思う 甲藤好郎（日本大学・理工学研究所）30

〈伝熱懇話会〉

- 分子伝熱研究における討論 岩城敏博（富山大学）32

〈ワンポイント伝熱〉

- －伝熱の常識と非常識－ ビールの発泡は沸騰か？ 水上紘一（愛媛大学）34

〈世界のホットユース〉

- ペンシルバニア州立大学における心血管の熱流体力学研究
 多田茂（東京工業大学工学部機械科学科）40

〈行事カレンダー〉

-43

〈お知らせ〉

| | |
|--|----|
| 第 36 回日本伝熱シンポジウムのご案内 | 44 |
| 第 36 回日本伝熱シンポジウム (熊本) 宿泊のご案内 | 48 |
| 第 36 回日本伝熱シンポジウム 全口空宿泊パックのご案内 | 50 |
| 第 36 回日本伝熱シンポジウム・会場ホテル案内図 | 52 |
| 名誉会員規程の改定について | 54 |
| International Journal of Heat & Mass Transfer Editor 交替のお知らせ | 56 |
| 平成 11 年度国際共同研究助成事業の募集について | 56 |
| 「伝熱」会告の書き方 | 57 |
| 事務局からの連絡 | 58 |
| 日本伝熱学会、入会申込み、変更届用紙 | 59 |
| 日本伝熱学会、賛助会員入会申込み、変更届用紙 | 60 |
| 広告 | 61 |

インターネット情報サービス

- <http://htsj.mes.titech.ac.jp/htsj.html>
最新の会告・行事の子定等を提供
- htsj-info@mes.titech.ac.jp
最新の情報を電子メールで受け取りたい方のための電子メールアドレスの登録受付
- htsj@mes.titech.ac.jp
事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.38, No.148, January, 1999

CONTENTS

<Essay>

| | |
|--|---|
| The University in the 21st Century Shoichiro Fukusako (Hokkaido University) | 1 |
| The enchanted Garden, Heat Conduction Masaru Hattori (Nagaoka University of Technology) | 3 |

<Topics in Heat Transfer Seminar -Tokai Branch->

| | |
|---|----|
| Practical Use of Thermohydraulic Numerical Analyses for Such Processes as Piling-up of Ice-rich Layer from Slurry-state Ice and Melting-away of Sherbet- state Ice in Thermal Storage Tanks Masayuki Tanino (Takasago Thermal Engineering Co.,Ltd.)..... | 4 |
| Application of Heat Transfer Simulation to Gas Turbine Engines Ken ichiro Takeishi (Mitsubishi Heavy Industries Ltd.) | 10 |

<Report>

| | |
|--|----|
| From a TSE editor's meeting Susumu Kotake (TSE Editor-in Chief) | 20 |
|--|----|

<Reports on The Eleventh International Heat Transfer Conference>

| | |
|--|----|
| Comments on Session Review of 11-th International Heat Transfer Conference Jun Sugimoto, Park Hyun-sun*, Yu Maruyama (Japan Atomic Energy Research Institute, *RIT) | 22 |
| Reply to the Comments from J.Sugimoto et al. Yasuhiko H. Mori (Keio University) | 24 |

<Report on International Conference>

| | |
|---|----|
| Eurotherm 57 "Microscale Heat Transfer" Susumu Kotake (Toyo University)..... | 26 |
|---|----|

<Memorial Tribute>

| | |
|--|----|
| A tribute to the memory of the late Prof. Takuro Okazaki Susumu Kotake (Toyo University)..... | 28 |
| In memory of Professor Takuro Okazaki. Yoshiro Katto (Nihon Univ., Research Institute of Science & Technology)..... | 30 |

<Report>

Discussion on Molecular Heat Transfer

Toshihiro Iwaki (Toyama University).....32

<One Point of Heat Transfer>

Is the Bubbling of Beer the Boiling?

Koichi Mizukami (Ehime University).....34

<World Hot Youth>

Cardiovascular Mass and Heat Transfer in Penn. State

Shigeru Tada (Tokyo Institute of Technology)..... 40

<Calendar> 43

<Announcements> 44

21 世紀における大学の周辺

The University in the 21st Century

福迫 尚一郎 (北海道大学)

Shoichiro FUKUSAKO (Hokkaido University)

はじめに

昨年暮れ、本誌編集部会長の熊田先生から、『最近、伝熱学会から遠ざかっている様子だから、みんなに忘れられないように何か書いて下さい。随想だから、正月休みの間にちょこちょここと書けるやろう』というご指示を頂きました。熊田先生のおっしゃる通り、昨年は韓国での国際会議を始め、すべての伝熱に関わる国内・外の会議を欠席し、伝熱の仲間の皆様に失礼してしまった次第でした。

正月休みに、2日間にわたり若者達が汗と涙で織りなした箱根駅伝のドラマに誘われながら、乱文をしたためさせて頂いた次第です。纏まらない内容の文章で本誌を汚しますことをご容赦下さい。

工学の将来

大学において、工学の教育・研究に携わるようになって30年余が過ぎました。工学は、人が生活する上での手段に関するあらゆる欲求を満たすということが、その出発点にあります。自動車、コンピューター、空調、人の寿命の延長など、20世紀において、工学はその役割をはたしてきました。しかし、資源の枯渇、地球環境の悪化、そして近くでは環境ホルモンなど、大きな問題を引き起こしています。21世紀において、工学はこのような問題をブレイクスルーして行かなければなりません。

手本無き技術社会

銀行・証券業界をはじめ、すべての業界において、20世紀に取られたいわゆる護送船団方式は許されなくなりました。このことは、すべての業界が、世界の熾烈な競争原理の中で、おのれ自身

の力で、生き延びる道を探らねばならないことを意味しています。先進工業国との競争に耐え続け、かつ新興工業国に対する技術の優位性を維持し続け、さらに独自の基盤技術および応用技術を創造し、手本無き技術社会を生き抜く必要があることとなります。

独立行政法人の影

昨年8月、小淵総理大臣は所信表明演説の中で、今後10年間で国家公務員の定員を20%、予算を30%削減することを表明しました。11月には、中央省庁等改革推進本部(本部長：小淵総理大臣)が、国立学校も独立行政法人の対象になることを発表致しました。12月に入り先送りされる可能性が取りざたされてはいました。行政改革の要点は、行政組織をスリム化し、効率を高めることにあります。13万5千人以上の人員を擁する国立大学は、量的な観点からそのターゲットになっているように考えられます。

科学技術創造立国

我が国が世界において現在の地位を保持するには、科学技術創造立国しかないことを、政府が宣言したのは、つい先般のことです。そのための第一の条件は、国の知的資産である研究者・高級技術者の確保であり、質の高いそれらを育てる場の確保です。もしもその場の一つである国立大学を独立行政法人化するという発想が、経済状況に基づき企業に於いてなされている、設備投資削減やリストラと同様のものであるならば、それははなはだ近視眼的ではないでしょうか。重要なことは、そのような政策が日本の科学技術のレベルを上げるのに、本当に寄与するものであるか否かです。

大学審議会の答申

昨年10月、大学審議会の答申「21世紀の大学像と今後の改革方策について」が発表されました。その副題にありますように、「競争的環境の中で個性が輝く大学」へ向けての大学自身の取り組みが必須であることが強調されています。まず教育の質の向上、大学の自立性の確保、組織運営体制の整備、高等教育改革を進めるための基盤の確立、等が挙げられております。

しかしこの答申では、まず、大学における研究の在り方についての記述がありません。また、大学受験燃え尽き症候群の、やる気のない学生達の問題に、全く触れていません。出口を厳しくすることだけが強調されています。また、評価については、第三者の評価機関の設置のみが正当な評価を可能にするものであるような記述になっております。

産学連携の不幸な歴史

産学連携の重要性が叫ばれております。産学連携の最大の目的は、大学の資産および知的財産を利用して、企業を支援しながら、研究成果を社会へ還元することです。しかし、それを成功させるためには、今一度産学関係の不幸な時代を思い起こす必要があります。

明治の始めに創立された日本の大学は、以来、大学のアイデンティティーを確立することなく、全体主義・国家主義の波に飲み込まれ敗戦を迎えました。その反省から、大学の自由・独立が強調される中で、学問の矮小化が進行していきました。理工系学部においてさえ、「産学共同研究」という言葉は長年タブーでありました。

一方産業界は、大学を均質な人材供給機関としは見なさず、保持している膨大な情報を大学に流すことを怠りました。そして、バブル崩壊後の戦後最大の不況と称されるこの時、「大学は、世の役に立つ成果を発信していない」の大合唱です。企業が有している膨大な情報を基盤にしてこそ、大学が有している人材や情報ネットなどの知的資産の活用が、国際競争に耐えうる技術革新そして新商品開発を生み出すに違いありません。

偏狭なプラグマティズム

産学連携と言う言葉が、新聞に掲載されない日が、少ないほどです。「大学人が象牙の塔に閉じこもっている時代は終わった」という内容に類似した記事が、氾濫しています。まるで技術と株の読みを同じ類と考えているようにさえ思われるものもあります。そして、大学も企業と同様、社会の多種多様な要求と厳しい評価に耐え、社会の中で存在価値のある大学のみが生き残れると言います。

おわりに

大学とは、「社会の要請に応える」だけの存在でしかないのでしょうか。大学は、社会が進むべき未来図を示すことに寄与できるはずですが。たとえば、これからの技術開発では、どのようなものでも、環境、安全、そして省資源がキーワードになるに違いありません。従って、大学より発信される諸成果が、少なくとも、この点において社会より進んでいる必要があります。つまり大学は、これからの未来の社会を予測し、そこで必要な科学・技術の進展および人材の養成に寄与することが、21世紀においては求められるのではないのでしょうか。

美しい魔園、熱伝導論

The enchanted Garden, Heat Conduction

服部 賢 (長岡技術科学大学)

Masaru HATTORI (Nagaoka University of Technology)

平成10年11月7日川下研介先生が他界されました。93歳でした。この日奇しくも川下先生に始まった東京工業大学の熱工学第1研究室(現熱科学研究室、齋藤彬夫教授)のOB会が蔵前工業会館で開かれ、多くの川下門下生が集まっておりました。“熱伝導論は数学で整然と秩序づけられた美しい魔園かもしれぬ。学生の頃よりその園で数学の神の織りなす楽の音に誘われ、Fourier級数・積分、Legendre関数、Bessel関数、複素関数による交響楽に陶酔した”、の序文で始まる熱伝導論(昭和16年、河出書房)は単に熱学の書にとどまらず、応用数学の名著として工学を志す多くの学徒がこの書をもって勉強したことは良く知られたことであります。「理化学研究所時代に駆逐艦の艦載ボイラーの過熱管が破裂する原因の究明と対策の研究を行っていた。その過程で対象物の熱伝導率を常数として扱うことに限界を感じて、高温度の熱伝導、すなわち熱伝導率が温度で変化する場合の非定常熱伝導の解析を行うようになった」と、川下先生が東京工業大学での最終講義に話されていたことを覚えています。その頃までに培われた熱伝導解析をまとめ、集大成したのが上述の熱伝導論であります。その後、片山功蔵助手とエントロピー最小原理に基づく熱伝導解析を始めますが、この時は進展せず、後に青山学院大学に移って再開するまで一時お蔵入りしています。

東京工大の本館の南側にあった工場地帯、この中ほどの通称蒸気実験室、川下研究室の実験室の横の空き地に石炭、それもボタが大量に積まれていました。石炭は昭和20年代、第2次世界大戦の復興期におけるエネルギー供給の中心でありました。エネルギーの確保と外貨節約のため、国産エネルギーである石炭の増産が図られた時代であり、また、石炭・石油が恒常的に不足する時代でありました。「工学は人を幸せにするためにある、」が持論の先生は我が国のエネルギー事情に対する強い思いから、石炭の効率的利用として石炭ガス化燃焼の研究を始め、これを主テーマとして精力的に研究を推進された。

基礎実験、実験室規模のガス発生炉試験を経て34年頃から中間規模に拡大、37年には新技術開発事業団の資金を得て実用化試験を開始するまでに至っています。

昭和30年代の後半に入って、石油の供給比率が石炭の供給を上回るようになり、しかも石油の供給が安価かつ安定的になると石炭燃焼の意義が急速に薄れて行きます。技術的には発熱量1500 kcal/kg程度の低品位炭までもガス化を可能にした研究も、社会情勢の変化で終息を余儀なくされました。ただ面白いことに、石炭利用を熱心に進めた先生が、昭和30年代の前半に卒業した我々には、就職先として当時始まったばかりの石油化学を奨めています。あるいは既に石炭の命運を見通していたのかも知れない、と最近になって思っています。

先生の教授室はそのドアに青い絵の具で川下と大書してあり、チャイム代わりに木魚がおいてありました。教授室はアトリエとしても使われていて、画架があり大抵絵が架かっていた。その絵の多くは筆者には絵の具の塊としか理解でない抽象画ですが、大作の一つが科学技術庁の事務次官室の壁を飾ったこともありました。

昭和41年に東京工大を定年退官され、新設の青山学院大学理工学部に移られて以後、プラスチックのガス化を試みますが、同時にエントロピー最小原理による熱伝導の解析を再開するようになります。その後の芝浦工業大学時代を含めて機械学会論文集に数編の論文を掲載しています。「(エントロピー最小原理は) Biotの研究と本質的に異にしている。・・・ハミルトン原理と似ているが、熱現象の第2法則の非可逆性を考えているので根本的に異なる。」その復活1号の論文(機論、昭和47年6月)には基本的な考えが記されています。

熱伝導論は本質、石炭ガス化は工学そしてエントロピー最小原理はロマン。天衣無縫、自由闊達な研学生を送り、88歳で倒れるまで数学と絵を楽しみとしたロマンチストの恩師のご冥福を祈ります。

蓄熱槽内でのスラリー状氷からの蓄氷過程とシャーベット状氷の解氷過程に対して

Practical Use of Thermohydraulic Numerical Analyses for Such Processes as Piling-up of Ice-rich Layer from Slurry-state Ice and Melting-away of Sherbet-state Ice in Thermal Storage Tanks

谷野 正幸 (高砂熱学工業 (株))

Masayuki TANINO (Takasago Thermal Engineering Co.,Ltd.)

1. はじめに

電力需要の平準化を指向した氷蓄熱システムは、製氷・蓄氷 (蓄冷熱)・解氷 (放冷熱) の三つの過程に分けて考えることができる。製氷に関しては、製氷方式の提案を含めて多くの研究・開発がなされている。しかしながら空調システム、すなわち蓄冷熱利用の観点から、蓄熱槽内での解氷や蓄氷の過程が最も重要であるにもかかわらず、その研究・開発の報告は、製氷に比べて極めて少ないのが現状である。

とくに近年、熱負荷応答性が良いとして多くの開発報告がなされてきたダイナミック型氷蓄熱システムでは、蓄熱槽外での製氷過程と蓄熱槽内での蓄氷・解氷過程に分けて考えることができる。ここで対象とした過冷却方式の氷蓄熱システム¹⁻⁸⁾は、ダイナミック型の一つであり、水の過冷却状態の解除で作られた氷粒が多量の水と共にスラリー状の氷として供給されて、幾何学的な形状を定めにくいシャーベット状の氷 (氷層) として堆積することで、蓄氷過程が進行する。また、空調負荷からの還り水等で堆積氷層を融解することになる解氷過程では、その良好な解氷特性を十分に発揮させ、空調用電力需要の平準化を越えて、いわゆる電力のピークカットが目的となる。したがって氷蓄熱システムにおいては、ポテンシャルとしての氷充填率 *IPF* の向上とともに、蓄熱槽の入出力 (蓄氷・解氷) のプロセスを高効率に行うこと^{7,9)}が、重要な研究・開発の目的となる。

一般に、蓄熱技術は要素技術を組み合わせた統合技術である⁹⁾

といえる。とくに現地で築造させるダイナミック型氷蓄熱システムでは、建築設計によって形状・容積が異なり、梁や壁

による槽分割が有り得る大規模なコンクリート・スラブ槽の利用が指向されたため、実設計には蓄氷・解氷過程の予測技術が必要になる。さらにここで重要な設備コスト⁴⁾の観点からは、冷凍機をはじめとする製氷に係わる設備費用が、氷蓄熱システムに投資できる費用の大半を占め、蓄氷・解氷に関しては、その技術要件が多いにもかかわらず、多くの費用は投資できない。そこで蓄氷・解氷過程の予測技術を得るためには、実験実証を補完できる数値解析が有効な手法になる。

以上のように、大規模で種々の形状を持ち得る蓄熱槽において、蓄氷過程から解氷過程までの熱流動数値解析は、氷蓄熱システムの研究・開発さらには実設計のために、不可欠であるといえる。

2. 蓄氷・解氷過程の熱流動数値解析モデル

2-1. 蓄氷モデル

図1に蓄氷過程を模式的に示す。蓄熱槽内の水の温度が約0°Cになると、(1)のようにスラリー状氷として供給された微細な氷粒が、槽内に浮遊する。この氷粒は、水との密度差により、槽内で(2)のように浮遊するシャーベット状の氷層 (図のグレー部) を形成する。氷層の上面においては、水のみが氷層に浸透しながら、氷層は槽の中央の供給口から側壁の方向へ流れて、氷層は水平方向に広がる。また同時に、水が氷層へ浸透することで、氷層上面に氷が堆積し、逐次氷層の厚さが増して、氷層は槽の下方向

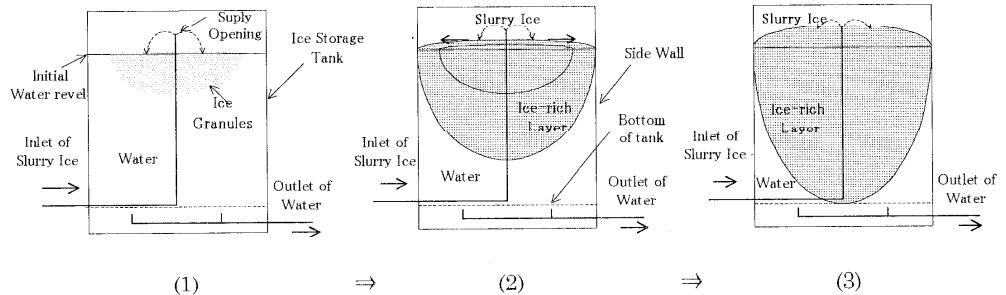


図1 蓄氷過程の模式図 (側面から見た図)

へ成長する。(3)のように氷層が槽底部までに達した後は、氷層は浮遊せずに、初期水面よりも上方向に氷が徐々に堆積して、氷層厚さが増すことになる。

このような蓄氷過程においては、水中での氷の凝集や相分離、さらに氷層のレオロジー的な振る舞いを考える必要があるが、蓄氷過程の全体的な特性(氷層形状)を求めて実設計に利用する観点から、図2のようなモデル化⁹⁾を行った。ここでは、(a)熱移動はない、(b)槽内の水の水のみの領域での流動は考慮しない、(c)二次元円筒座標系を採用することを仮定した。表1のように、①氷層上部での質量保存の下、②氷層内の水の浸透流の速度分布を計算して氷層に堆積する氷の量を見積もり、さらに③氷層の変形(氷層は内部のせん断応力によって分断され、浮力と自重がバランスするように上下に移動するというモデル)や④氷層の圧密を考慮して、氷層形状の経時変化が計算できる。

氷水の流量 G が 0.33kg/s ~ 0.92kg/s で、浮遊する氷層形状の経時変化を調べ、計算結果と比較した。 G が 0.33kg/s と少ない場合は、図1や図2のように氷層は槽壁面まで達せずに水の水のみの領域が形成された。しかし G が 0.92kg/s と多い場合には、図3のように水深方向に一次元性が保たれた氷層形状となった。このように、実験結果として得た G の違いによる氷層形状の相違が、本計算モデルで表現できた。

浮遊している氷層が蓄熱槽下部の壁面に達した後の氷層(堆積氷層)形状の経時変化を、実験結果と比較して図4に示す。外郭部の形状には実験と計算とに差異が見られるものの、80minでの槽中央部の氷層厚さは実験結果と大差ない計算結果となった。

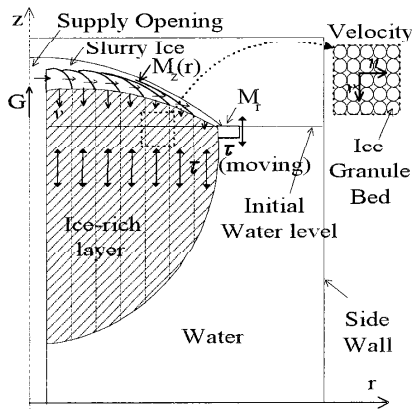


図2 蓄氷モデルの概要

表1 蓄氷モデルの基礎・構成方程式

①氷層上部での質量保存

$$\alpha_{ice} G \Delta t = \sum_{r=0}^r M_2(r) + M_1 \quad (1) \quad G \Delta t = \sum_{r=0}^r [M_2(r) + m_t(r)] \quad (2)$$

G : 供給される氷水の質量流量, $M_2(r)$: 氷の質量,
 M_1 : 氷層の外周 r 方向へ成長する氷の質量,
 $m_t(r)$: 浸透する水の量, Δt : 時間間隔, α_{ice} : 氷の含有率,

②氷層内の水の浸透流(ダルシー則)

$$u = -\frac{\kappa}{\mu_i} \frac{\partial P}{\partial r} \quad (3) \quad v = -\frac{\kappa}{\mu_i} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\kappa}{\mu_i} \rho_i g \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

境界条件 $P=P_0$ (浮遊氷層と大気との界面)
 $P=P_0 - \rho_i g h$ (浮遊氷層と水との界面)
 $dP/dr=0$ (中心対象軸)

h : 水深, P : 圧力, P_0 : 大気圧, κ : 透過係数

③氷層の変形(氷層内部のせん断応力 τ)

$$\tau_i = F_i / 2\pi r_i l_i \quad (6)$$

$$F_i = \int_{r_i}^{r_i'} 2\pi r l_a (1-\varepsilon) \rho_i g dr - \int_{r_i}^{r_i'} 2\pi r l_b (1-\varepsilon) (\rho_i - \rho_w) g dr$$

氷層の分断条件: $\tau > \tau_{max}$ ($=4.9\text{Pa}$)

l : 氷層厚さ, ε : 空隙率,

添え字 a : 水面上の値, 添え字 b : 水面下の値

④氷層の圧密(空隙率と透過係数の変化)

$$\varepsilon = 0.85 - 5 \times 10^{-5} \cdot P_{press} \quad (P_{press} < 10\text{Pa}) \quad (7a)$$

$$\varepsilon = 0.35 \quad (P_{press} > 10\text{Pa}) \quad (7b)$$

$$\kappa = \kappa_f \cdot \left\{ \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_f} \right)^3 \left(\frac{1-\varepsilon_f}{1-\varepsilon} \right)^2 \right\}^2 \quad \varepsilon_f = 0.85, \kappa_f = 1.4 \cdot 10^{-9} \text{m}^2 \quad (8)$$

指数 a : 0.1, 添え字 f : 浮遊する氷層の値

2-2. 解氷モデル

空調負荷に低温の冷水を供給するために、蓄えた氷を融解(解氷)する方式の一つとして、蓄熱槽上部にスプレー・ノズルを配置した散水方式がある。

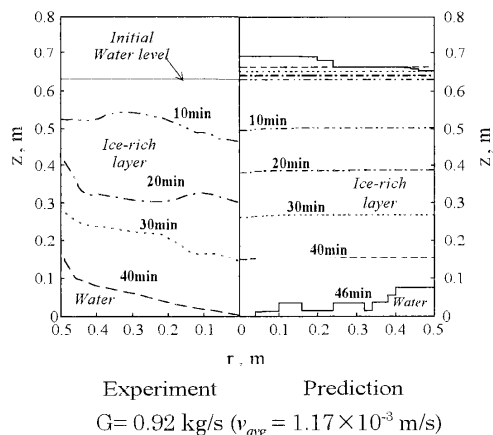
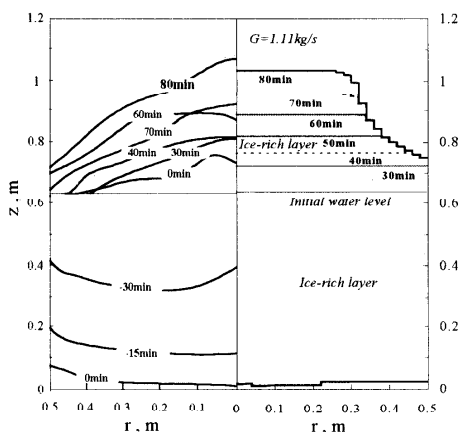


図3 浮遊氷層形状の実験結果と計算結果の比較



Experiment Prediction

図4 堆積氷層形状の実験結果と計算結果の比較

この解氷過程を図5に模式的に示す。なお図中の η は蓄熱の利用率を示す。(1)ように空調負荷により昇温された水が、スプレー・ノズルから槽内に層状に堆積した氷層の上部に均一に散布されることにより、主に散水面近傍の氷層内の氷が融解されて、その部分の氷層のみかけの空隙率が高くなる。この氷の融解によって生成した水は、氷層内を浸透して、さらに氷層内の氷を融解する。その結果、(2)のように氷層の厚さは時間の経過とともに減少する。さらに(3)のように氷層の厚さが0.1 m程度に薄くなると、氷層はいくつかの氷塊に分断されて、氷層のみかけの空隙率は一層高くなり、氷は急速に融解する。このように本方式の解氷過程は、概ね高さ方向に一次元性が保たれて進行することになる。

このような解氷過程は、氷層内の氷粒子の融解や分離・再凝集による氷層の再構築、さらにそれらに伴う氷層内での不均質な熱流動の連成で進行することになるが、実設計に最も重要な冷水温度の経時変化を求めるためには、図6に示す水深方向の一次元モデル⁸⁾を採用した。ここで、(a)氷層内の氷粒子の形状は球形とする、(b)各計算要素内では氷粒子径は時間とともに変化するが空間的

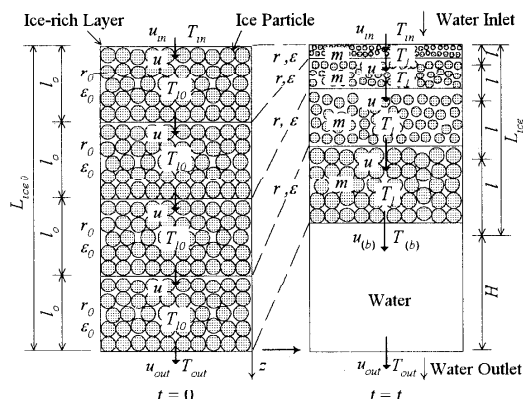


図6 解氷モデルの概要

には一様とする、(c)各計算要素内での氷粒子の数は時間的に一定とする、(d)氷層下部の水域では水は完全混合することを仮定した。表2のように、①計算要素内の氷粒子の質量 M_s に係わる計算領域の長さ l 、空隙率 ϵ および氷粒子の半径 r との関係の下、②氷層内での質量および熱量のバランスに従って氷層内の浸透水の温度 T 、 l 、 ϵ 、 r などの空間分布の時間変化を計算し、③氷層下方の水域での熱量バランスに従って蓄熱槽から取り出される冷水温度 T_{out} の時間変化が計算できる。ここで、氷層内は微視的には全域で均質ではなく、槽側壁面や氷層内での「水みち」の存在により、氷層内の浸透水の流動は時間的・空間的に変化する。そのため、④氷層内での水の生成量 m に係わる有効伝熱面積には、氷層内の空隙率、氷層内の浸透水の流速 u 、蓄熱槽の側壁面の影響を考慮した。

平型槽における冷水温度の実験結果との比較を図7に示す。 $T_{out}(exp)$ は実験値、 $T_{out}(cal)$ は本モデルによる計算値、 L_{ice} は氷層厚さの計算値、 W は散水の流量、 IPF は満蓄時の水充填率である。なお、 $T_{out}(emp-rel)$ は、簡便な実験整理式(氷層内は全て凝固点温度と

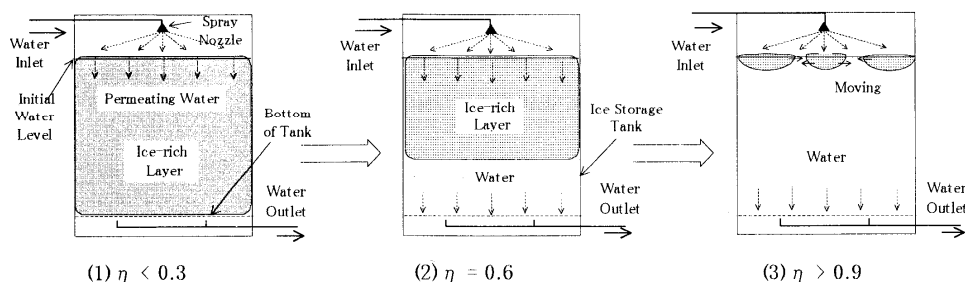


図5 散水方式での解氷過程の模式図(側面から見た図)

表 2 解氷モデルの基礎・構成方程式

①計算要素内での氷粒子の質量 M_s

$$M_s = \rho_s \cdot l \cdot A \cdot (1 - \varepsilon) = \frac{3}{4} \pi r^3 n \rho_s \quad (9) \quad \varepsilon = 1 - \frac{l - \varepsilon_0}{l_0} \quad (10)$$

A : 氷層の水平方向の断面積, l : 計算要素の長さ,
 n : 計算要素内の氷粒子の数, r : 氷粒子の半径,
 ρ_s : 氷の密度, ε : 氷層の空隙率

②氷層内での質量および熱量のバランス

$$\varepsilon_c \rho_l \frac{\partial T_l}{\partial t} + \varepsilon_c \rho_l u \frac{\partial T_l}{\partial z} = \frac{m}{\varepsilon A l} (c_l T + h_L) \quad (11)$$

$$\varepsilon \rho_l \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{m}{A l} + \frac{\varepsilon \rho_l}{l} \frac{dz}{dt} \quad (12)$$

c_l : 水の比熱, h_L : 氷の潜熱,
 m : 氷層内の氷の融解による水の生成量,
 T_l : 氷層内の浸透水の温度,
 u : 氷層内の水の水の速度(氷粒子と共に移動する座標での速度)
 ρ_l : 水の比重

③氷層下方の水域での熱量バランス

$$\frac{\partial H}{\partial t} (T_{out} - T_\infty) + H \frac{\partial T_{out}}{\partial t} = u_{(b)} T_{(b)} - u_{out} T_{out} \quad (13)$$

H : 氷層下方の水域高さ,
 T_{out} : 蓄水槽から取り出される冷水温度

④氷層内での水の生成量 m

$$m = -\frac{dM_s}{dt} = \frac{\alpha_f A_p (T_i - T_s)}{h_L} \quad (14a)$$

$$\alpha_f = \frac{\lambda_i}{2r} \cdot Nu \quad (14b) \quad A_p = C \cdot 4\pi r^2 n \quad (14c)$$

α_f : 氷粒子と水との熱伝達率, A_p : 氷粒子の表面積
 C : 有効伝熱面積割合

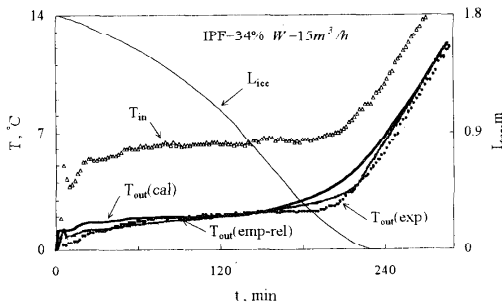


図 7 平型水槽 (2.5m×2m×2.4mH) における冷水温度の実験結果と計算結果との比較

して実験データの整理で得た氷層冷却能力³⁾での計算値である。図のように蓄熱槽から得られる冷水温度の数値解析の結果は、実験結果を表現できている。

3. 熱流動数値解析の設計への活用

3-1. 蓄氷のための設計条件

2-1項のモデルに基づいて氷層形状を計算する

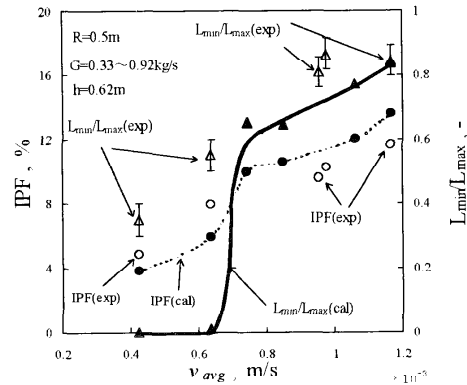


図 8 蓄熱槽の容積の利用率

ことで、所定の量の氷(冷熱)を蓄えるための蓄熱槽の設計条件を求めることができる。

まず、前述の図3のような浮遊する氷層の水平方向の分布から、蓄熱槽容積の有効利用のための氷水の流量(槽内での下方への水の平均空塔速度 v_{avg}) や氷水供給口の個数と配置が求まる。図8には、 v_{avg} と IPF および浮遊している氷層の厚さの比(槽中心軸での氷層厚さ L_{max} に対する槽壁面での氷層厚さ L_{min}) の関係の計算結果を実験結果とともに示す。図のように半径 $R=0.5m$ 、水深 $h=0.62m$ の蓄熱槽では、氷層が槽壁面まで広がり、水のみ領域が少なく槽容積が有効利用できる条件として、 $v_{avg} > 0.8 m/s$ を決めることができる。

さらに、前述の図4のような堆積氷層の高さ方向の分布から、所定の蓄氷量を確保するために必要な槽上部の空間高さが求まる。ここでは、 $8.8 \times 8.5 \times 4mH \times 6$ 槽の大規模な蓄熱槽において、氷層形状の予測計算に基づく設計検討結果を表3に示す。また、この予測計算結果を図9に示す。ここでの R は槽断面積の相当半径である。図のように氷層は槽壁面まで達し、480minの蓄氷運転で、初期水位から槽の高さ方向に約0.4mの氷が堆積する計算結果を得た。ここでは当初、一槽当たり4ヶ所の氷水供給口の設置を計画していたが、図9のように所定の氷量が1ヶ所の氷水供給口で蓄えられる(480minの蓄氷運転が可能)という予測計算結果から、氷水供給口および槽内配管を簡略化できた。また、この氷層形状の予測計算結果とともに、槽内構造(梁や他槽への連通口)から、槽上部の空間高さ=1.2m(水深=2.8m)を決めることができた。

3-2. 解氷のための設計条件

2-2項のモデルに基づいて冷水温度を予測する

表3 大規模蓄熱槽の設計検討結果

| | |
|-------------|--------------------------|
| 蓄水槽 | 8.8m × 8.5m × 4.0mH × 6槽 |
| 全蓄水量 | 260 × 10 ³ kg |
| 全氷水流量 | 360kg/s (氷混合率=2.5%) |
| 各槽の氷水供給口の個数 | 1ヶ所 |
| 水深 | 2.8m |
| IPF | 25% |

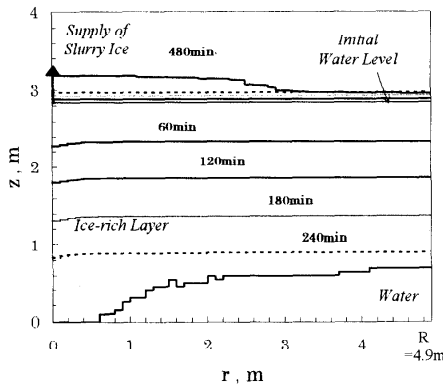


図9 大規模槽での氷層形状の予測計算結果

ことで、空調負荷を処理する熱交換器などの設計に係わる流量・温度条件を決めることができる。

また、この解氷過程の解析結果から、蓄氷条件を定めることができる。図10には、三つに分割された蓄熱槽から成るシステムで、各槽の満蓄時のIPFに平均値の最大10%と30%のバラツキがあったとした場合について、冷水温度 T_{out} の時間変化の予測計算結果を示す。図のように解氷過程の後半では空調負荷への供給水の温度(合流後の冷水温度 $T_{out}(total)$)は上昇するものの、蓄熱槽全体で規定のIPF(ここでは40%)が確保されていれば、解氷過程全体では $T_{out}(total)$ に対する各槽の満蓄時のIPFのバラツキの影響は極めて少ない。このように複数の蓄熱槽での蓄氷量のバラツキと解氷運転時の冷水温度の関係から、蓄氷のための最も重要な設計条件は蓄熱槽全体でのIPFであり、各槽における30%程度のIPFのバラツキは一般空調の冷水温度(約7°C)に対して大きな影響を与えないことが確認できた。

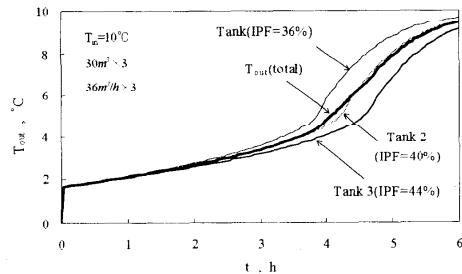
解氷特性は、得られる冷水の温度レベルとその維持時間で評価できる。また氷の融点(0°C)は、一般空調で利用する温度レベル(室温=25°C,空調機吹き出し空気温度=15°C,空調機への供給冷水温度=7°C)に比べて低温である。したがって、低温の蓄冷熱(氷)

を短時間に利用すること、換言すれば電力のピークカットに寄与できて、電力のピーク時間調整契約が受けられるような空調設備設計が求められることになり、数値解析に基づいた冷水温度の予測方法が重要な設計技術となる。

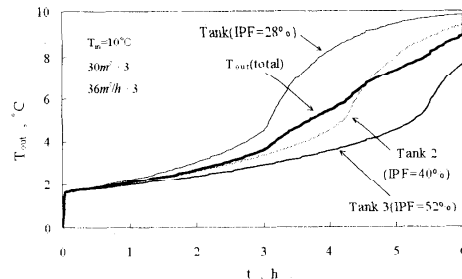
一方、空調設備に比べて低温の冷水を必要とする食品工場などの設備設計にも、冷水温度の予測技術を活用できる。図11には、水深5mと10mの堅型の蓄熱槽から得られる冷水温度の実測値 $T_{out}(exp)$ 、本モデルでの計算値 $T_{out}(cal)$ 、簡便な実験整理式³⁾での値 $T_{out}(emp-rel)$ の時間変化を示す。なお、 $T_{out}(cal-p)$ は本モデルで氷層下部の水域をピストンフローと仮定した計算結果である。図のように、水深の深い蓄熱槽を用いて設計することで、冷水の低温化が図れ、その冷水温度の経時変化は本数値解析で予測できる。

4. 熱流動数値解析の実設備での活用

実設備⁹⁾の一例として、図12に示すコンクリート・スラブを利用した5.9×2×2mH×6槽(全容積=89m³)の複数槽から成る実設備では、図13のような氷層形状の数値解析結果に基づき、槽上部の空間高さを決定し、各槽での均一な蓄氷のために梁の影響を考慮して、三カ所の氷水の供給口を各槽内に配



1) 各槽の満蓄時のIPFのバラツキが10%の場合



2) 各槽の満蓄時のIPFのバラツキが30%の場合

図10 解氷特性に対する満蓄時のIPFの感度

置した。運転実績から各蓄熱槽内にはほぼ均一に氷が蓄えられて、全体では設計計算通りの $IPF=40\%$ が達成でき、図 14 のように 4°C 以下の低温の冷水が得られることを確認できた。ここでの各槽への氷水の供給流量が時間的に変化したことで、槽毎には最大で 26% の蓄氷量のバラツキがあったが、全体で設計値の $IPF=40\%$ が達成できたことで、予測計算通りの低温の冷水が得られた。

このように予測技術を活用して設計・施工された実設備の運転実績から、本数値解析が蓄熱槽の実設計に有用であることを確認できた。

5. おわりに

以上のように、大規模で種々の形状の蓄熱槽に幾何学的に形状が定まらない氷粒・氷層を蓄え、空調用途に冷熱を利用するダイナミック型氷蓄熱システムにおいて、蓄氷・解氷過程の数値解析モデルを開

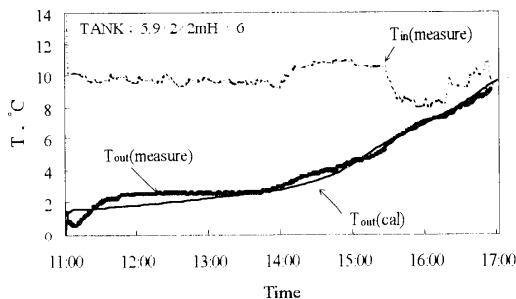


図 14 複数槽を用いた実設備の解氷運転実績

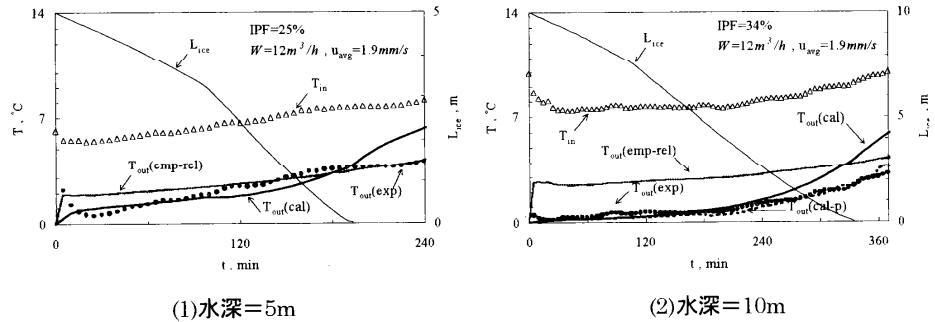


図 11 冷水温度の低温化のための蓄熱槽形状

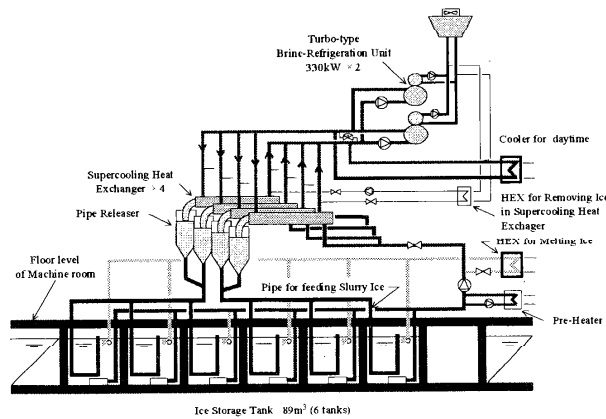


図 12 複数槽を用いた実設備の概要

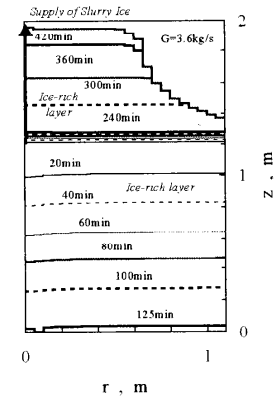


図 13 氷層形状計算結果

発できた意義は大きい。この数値解析結果を活用することで、以下に関する設計条件が得られる。

- ①蓄熱槽容積を有効利用して所定の蓄氷量を確保するための空塔速度、氷水供給口の個数と配置および槽上部の空間高さ。
- ②空調負荷を処理するために必要な蓄熱槽から得られる冷水の流量や温度。
- ③複数の槽から成るシステムでの各槽の蓄氷量のバラツキの許容範囲。

参考文献

- 1) 谷野正幸, 白石裕紀, 林利雄, 小此木時雄, 岡田孝夫: 空衛誌, 64(7), 51(1990).
- 2) 守屋充, 谷野正幸, 菊地栄, 林利雄, 小此木時雄, 小澤由行: 冷論, 12(3), 29(1995).
- 3) 谷野正幸, 守屋充, 菊地栄, 白石裕紀, 小此木時雄, 小澤由行: 冷論, 12(3), 39(1995).
- 4) 谷野正幸, 入部真武, 小此木時雄, 小澤由行: 冷論, 12(3), 51(1995).
- 5) 谷野正幸, 小澤由行, 土方邦夫, 中別府修: 冷論, 14(1), 275(1997).
- 6) 谷野正幸, 守屋充, 岡本明彦, 山崎喜久夫, 小此木時雄, 関根輝, 小澤由行, 吉田洋一, 太田守彦: 空衛学会誌, 71(11), 73(1997).
- 7) 谷野正幸, 小澤由行: 冷凍学会誌, 73(8-44), 24(1998).
- 8) 谷野正幸, 小澤由行, 井上剛良, 高木周: 冷論, 15(3), 237(1998).
- 9) 渡辺裕: 伝熱学会誌, 37(1-46), 103(1998).

図1より産業用ガスタービンのタービン入口温度が、25℃/年の割合で上昇していることがわかる。最新の501G型ガスタービンのタービン入口温度は1500℃に達している。その断面を図2に示す。^[3]

ガスタービンの高温化は、タービン、燃焼器を始めとする高温部品の冷却技術と材料開発およびコーティング技術に負う所が大きい。中でも圧縮空気を用いた冷却技術は、高温ガスタービンの信頼性と性能にかかわり合う重要な技術である。冷却技術にはタービン翼の冷却技術、ロータ・ディスク系の熱伝達とシール技術、燃焼器の内部流動と壁面冷却などが含まれる。高温ガスタービンの冷却技術は、従来は実験を中心に進められて来たが、最近では流動伝熱の数値解析法の進歩を応用する形で伝熱現象の解明、熱的境界条件の推定、形状の最適化に適用する事例が増加して来ている。

3. 燃 焼 器

産業用ガスタービンのタービン入口温度は、年々上昇する傾向にある。一方ガスタービンに対するNOx排出基準が1988年公布され、高温化、高圧力化する中で低NOxの燃焼器の開発が急務となっている。

産業用ガスタービンで用いられる低NOx燃焼の方式としては、現在希薄予混合型燃焼方式が中心である。この方式は燃料と燃焼用空気を混合させて希薄な状態で燃焼させるもので、火炎の温度が拡散燃焼に比べ低く押えられることにより低NOx化を達成している。この燃焼方式として重要な技術は、燃料と空気を混ぜる予混合器の設計と希薄な燃焼状態で安定に保炎する技術である。

流動シミュレーションはこのような分野で活用されていて、実験との対比で精度検証されたコードを用いて、高性能化、構造変更の効果の推定などに供されている。

図3に501F型ガスタービンに採用されている希薄予混合型燃焼器を示す。この燃焼器は周囲に8個の予混合燃焼をさせるメインバーナを配し、中央に1個の拡散燃焼させるパイロットバーナから構成されている。

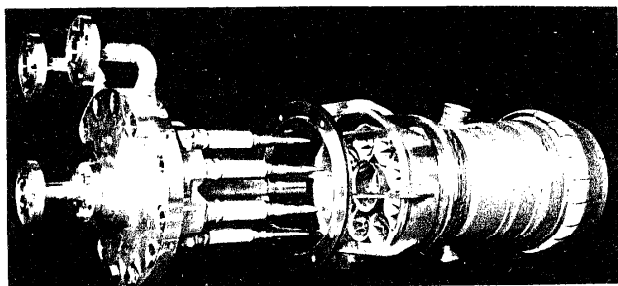


図3 予混合型燃焼器

燃焼器の流動状況および混合状況を検討するために数値解析を実施した。数値計算には汎用計算コードFLUENTを用い、乱流モデルとしてはk-εモデルを採用した。燃焼器のメインバーナ1個を含む周方向1/8領域を解析対象とした。^[4] 要素数は85,000で周方向には周期境界条件を用いた。燃焼器の要素分割図を図4に示す。

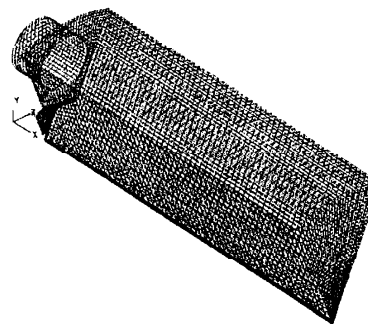


図4 燃焼器要素分割図

解析結果の代表例を図5に示す。

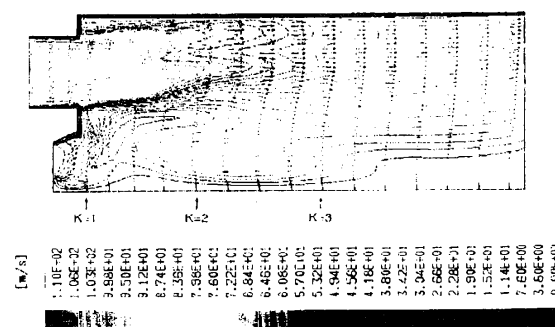


図5 燃焼器内の速度ベクトル（軸断面）

図5よりメインバーナの軸方向流れが強く、循環流領域の発達が抑制されていることがわかる。またパイロットバーナからの流れが急激に拡大し、循環流領域がパイロットバーナ出口近傍に形成されていることがわかる。

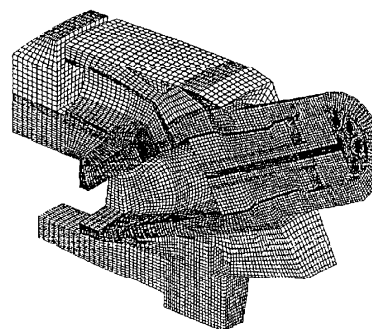


図6 ケーシング要素分割図

圧縮機出口のディフューザからケーシング内に流入する空気を燃焼器に均一に流入させる技術は、均一な予混合気形成のために重要である。ケーシング内の流動状況を調べるためにケーシングと燃焼器を連結した状態で解析をおこなっている。解析は、燃焼器1本を含む周方向1/16領域である。要素分割図を図6に示す。要素数は150,000周方向に周期境界条件を採用している。

圧縮機を出た高速の気流は尾筒のロータ側の壁に衝突し、その一部は尾筒および燃焼器のロータ側に沿う流れとなっている。また、燃焼器に流入する燃焼用空気の配分が推定される。

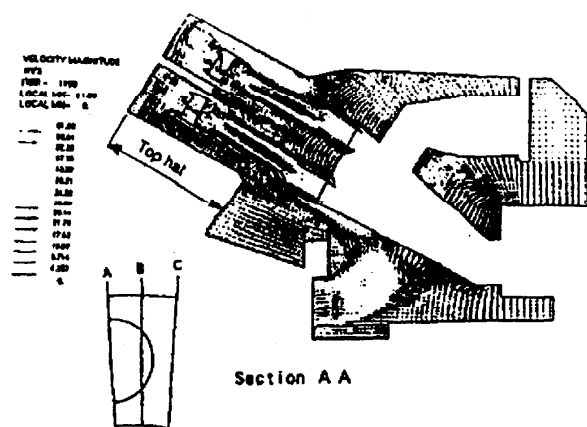


図7 ケーシング内の速度ベクトル

4. タービン

産業用ガスタービンのタービン動静翼には、タービン入口温度に対処した最適な冷却手法が適用されている。最新の1500℃級のガスタービンでは、タービン第1段静翼に流入するガス温度の最高値は、燃焼器の出口不均一を考慮すると約1700℃になると考えられる。タービン第1段静翼はこのような過酷な高温ガスに晒るわけであるが、材料が許容するメタル温度まで圧縮空気の一部を用いて冷却し、タービン翼の信頼性を確保している。

図8、図9に501G型ガスタービンの第1段動静翼の冷却構造を示す。^[5] 第1段静翼は、三つのインサートによる内面インピンジメント冷却と翼前縁のシャワーヘッド、翼背腹面の全面フィルム冷却および後縁のピンフィン冷却の組み合わせから成り立っている。一方、第1段動翼では3通路からなるサーベントイン流路の内面にタービュレンスプロモータを付けて内面冷却を促進するとともに、翼前縁にシャワーヘッド、翼背腹面にはフィルム冷却、そして後縁にはピンフィンを採用している。

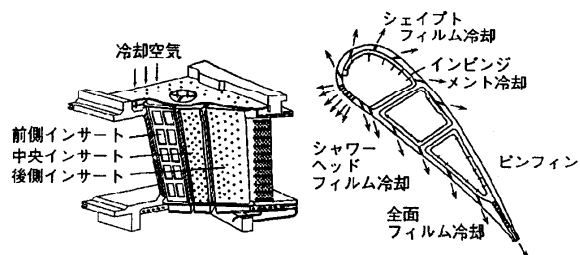


図8 501G型ガスタービン1段静翼冷却構造

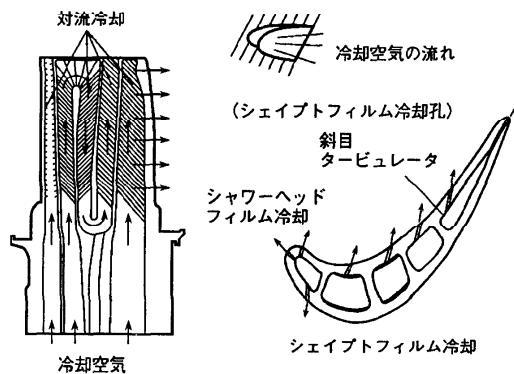


図9 501G型ガスタービン1段動翼冷却構造

冷却空気は圧縮空気の一部を用いているために、その量の増加はガスタービン出力および効率を低下させるので必要最少量における冷却設計が必要となる。このためには、ガス側の流入熱量を算定し、さらにはフィルム冷却あるいは内部冷却の最適化が重要である。

従来はこのような冷却設計を行なうに必要となる伝熱データは、実験的に求められて来た。しかし最近数値解析の発展とともに、三次元的な翼面の熱伝達率の予測あるいは、実験的に詳細な熱伝達率の把握が困難な回転動翼のタービュレンスプロモータ付き流路の熱伝達解析等が実施出来る状況にある。しかし流動解析に比べ伝熱解析は、詳細な壁近傍の解析が必要であり、精度上現段階では実用が困難な状態にある。

4.1 翼外面熱伝達率

高温ガスタービンに用いる冷却翼を設計するには、寿命評価に必要なメタル温度の推定が必要である。このメタル温度の推定精度は、タービン翼外面の熱伝達率の推定精度に強く依存している。

タービンの翼回りの流れは、三次元で非定常性の強い、乱流である。端壁面の影響を受けにくいタービン翼の中

中央高さにおける翼面上の熱伝達率分布の解析に対しては古くは積分法で代表されるMcNally^[6]のコード等が使用された。現在ではレイノルズ平均NS方程式に乱流モデルを用いて熱伝達率を求める方法が一般的である。乱流モデルも種々の物があり、それぞれ特徴を有す。渡辺等^[7]はタービン翼の解析に用いられている解析モデルの適用の可能性をまとめている。

これらの解析手法の中で低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルが現在、タービン翼面の二次元熱伝達率分布推定の手法として実用に供されている。タービン翼は前縁から境界層が発達するが、前縁部分では層流である。翼面に沿って流れる間に境界層は発達し、乱流に遷移するが、この遷移には主流の乱れ強さ、圧力勾配、曲率等が影響する。タービン翼の腹側では代表Re数が比較的低いため層流と乱流の中間的な流れが全面に渡って生じている。このような特徴を持つタービン翼の伝熱解析に対して種々の低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルが提案されている。図10にBiswas等が提案した改良低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルと実験結果との比較を示す。^[8]タービン翼背側の遷移点の熱伝達率、腹側の層流と乱流の中間の値を示し実験値と良く一致していることがわかる。

端壁面上の流れのモデルを図11に示す。端壁面上の流れは三次元性を有し非常に複雑である。翼前縁基部で発生した馬蹄渦のうち翼腹側の渦が端壁面上で通過渦に成長し、翼の背側に達する。馬蹄渦のもう一方の脚は翼背側でコーナ渦となる。翼間では、翼列の幾何学的形状と空力負荷によって決まる翼腹側と翼背側の圧力差に

よって二次流れが生じる。筆者等は、環状翼列風洞を用いて二次流れの影響を受け易い低アスペクト翼の翼面および端壁面の流れの可視化を行なった。代表的な結果を図12に示す。^[9]

タービン翼面、端壁面上の熱伝達率分布は図11、図12に示すごとく強い三次元の流れの影響を受けることが予想される。このような複雑な流れと熱伝達を解析する試みがなされて来たが、流動場の解析はほぼ実用の域に達しつつあるが、伝熱の精度はまだ実用の域に達していない。

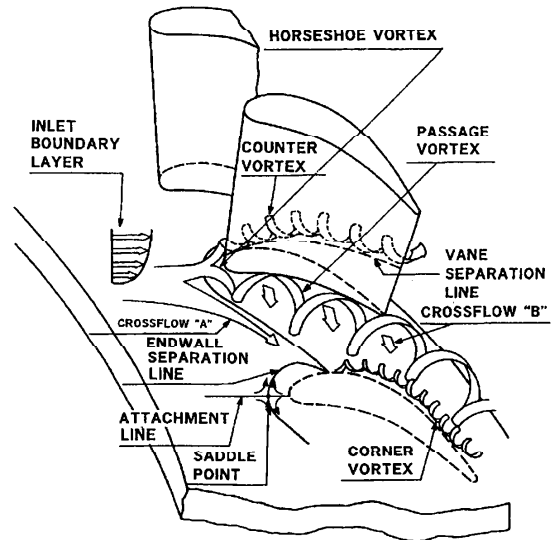
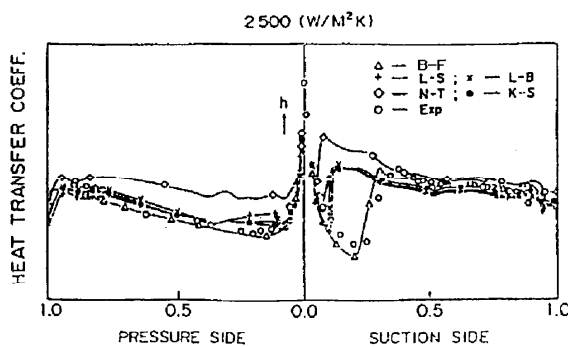


図11 端壁面上の流れ概念図



Launder Shama (L-S) (Launder,1979), Lam-Bremhorst (L-B)(Lam,1981)
Nagano-Tagawa (N-T) (Nagano,1990), and Kasagi-Sikasono (K-S)
(Kasagi,1992)
Biswas-Fukuyama (1993)

図10 翼面の熱伝達率分布の改良低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルを用いた解析結果と実験結果

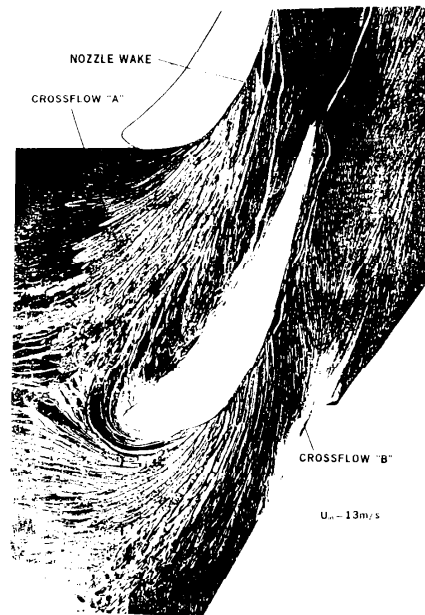
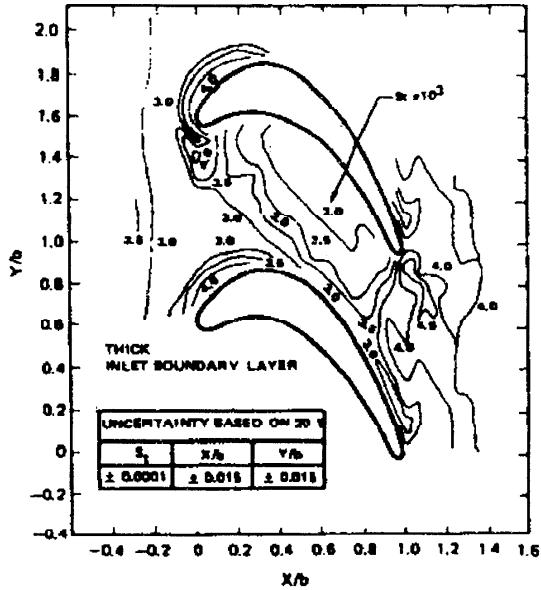
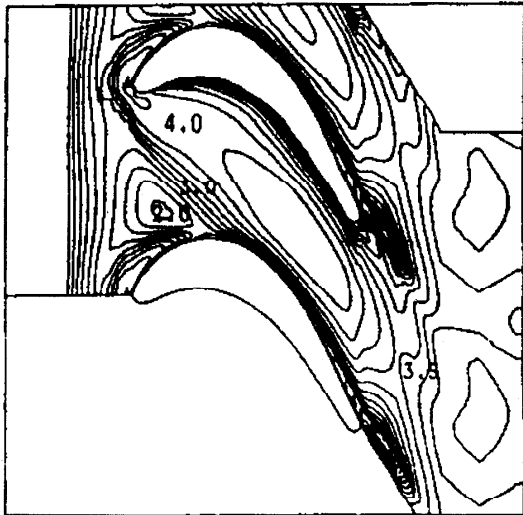


図12 外側シュラウド面上の流れの可視化

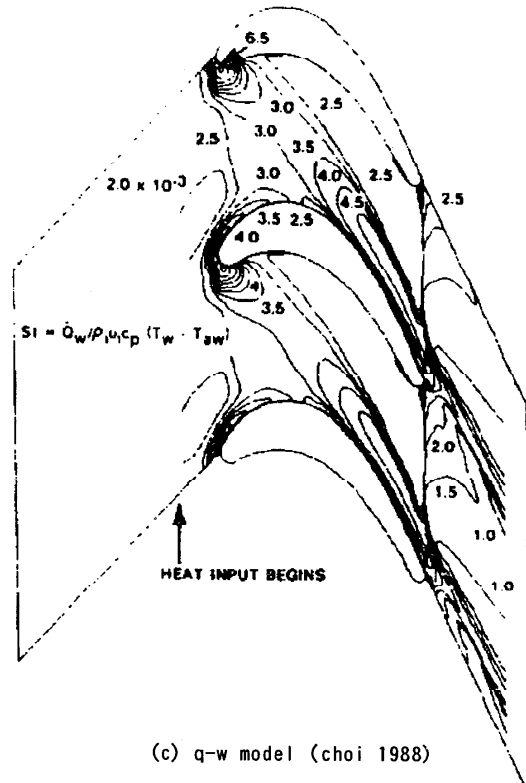
タービン動翼の端壁面の詳細熱伝達率分布を計測したGrazianiの実験結果を乱流モデルとして $k-\varepsilon$ モデル (Hah 1989)、 $q-\omega$ モデル (Choi 1988)、Baldwin-Lomaxモデル (Ameri 1991) による数値解析と比較して図13に示す。^[10] それぞれ端壁面の熱伝達率分布の特徴を表しているが、詳しい所で実験結果を模擬出来ていない。



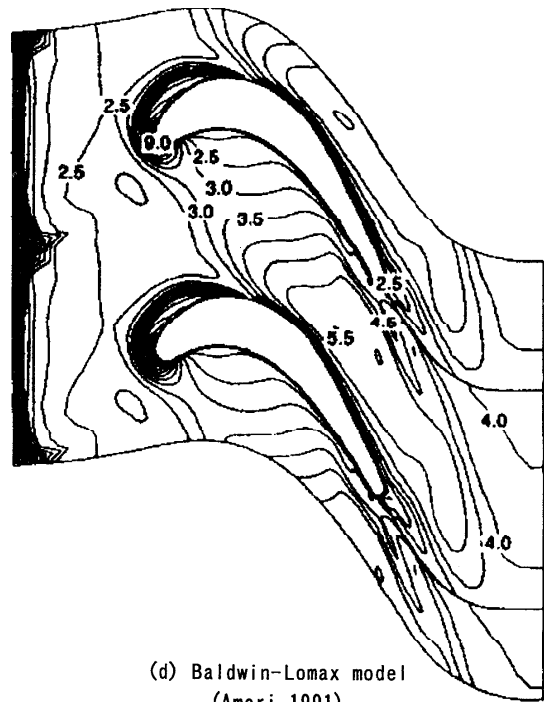
(a) Experiment (Graziani 1980)



(b) $k-q$ model (Hah 1989)



(c) $q-w$ model (choi 1988)



(d) Baldwin-Lomax model (Ameri 1991)

図13 タービン動翼翼列における端壁面上の熱伝達率分布の解析値と実験値の比較

タービン動翼ではタービン静翼のウェークが間欠的に流れる非定常流の効果が翼面熱伝達率に影響する。衝撃風洞あるいはブローダウン風洞を用いた回転する動翼面上の非定常熱伝達率の測定結果が報告されているが、これらによると前縁と前縁近傍の背側で大きな熱伝達率の増加が生じ、背面では後縁に向かって増加量は減少する。一方腹面では前縁ほどの熱伝達率の増加ではないが一様に増加する。この非定常熱伝達に関して最近二次元のNS方程式を解いた例がTran^[11]、Rao^[12]等から報告されている。図14はRao等の解析と実験の比較であるが、NS方程式を解いて熱伝達率を求めるにはメッシュの細さが重要である。Rao等はメッシュの細さと計算で求めた境界層の y^+ ～スタントン数 S_t の関係を求め、メッシュの大きさの影響が無くなるまでメッシュ数を増やす手法で解析を行ない、図14に示すように比較的良好一致を得た。

4. 2 フィルム冷却

図8、図9に示したごとく、最新のガスタービンに用いられるタービン動静翼には、フィルム冷却が採用されている。フィルム冷却はその目的から考えて冷却空気と主流が出来るだけ混合せず、翼面上の長い距離その効果が得られる形状・配置が求められて来たが、従来は実験的に現象の把握と最適化がなされてきた。しかし、フィルム冷却の性能に影響するパラメータとしてフィルム冷却孔の幾何学的形状、フィルム空気の物性、吹き出し

量、翼面上の位置、主流の状態、等々と非常に多くあるため、実験的に全てを把握する手法で設計を行なうことは非常にコストがかかり困難である。

このような理由でフィルム冷却は、パラメータ的に解くことが出来る数値解析の対象として注目され古くからフィルム冷却ジェットと主流の混合問題を解く試みがなされてきた。Bergles^{[13]~[16]}等は、非圧縮性楕円型解法に非等方の乱流粘性($k-\epsilon$)モデルを適用して円孔列から吹き出すフィルム冷却空気の解析を実施した。それ以降実に多くのフィルム冷却と主流の混合についての解析が報告されている。最近では、主流方向に吹き出す翼前縁のシャワーヘッド冷却の解析^{[17]、[18]}、フィルム冷却孔の側壁を吹き出し方向にディフューズさせる形状としより高性能化をはかったシェイプトフィルム冷却孔など^[19]の解析結果が多く報告されている。

特に主流に吹き出したフィルムジェットの現象を忠実に解くためには非等方性の流れ場が解けるLES (Large Eddy Simulation) が秀れている。筆者等はフィルム冷却空気と主流の混合問題を解く手法にLESを適用し、タービン動翼面上のフィルム冷却効率を推定した。^[20]

LESコードの検証とチューニングの為に多くの実験データのある平板上で吹き出し角度 35° 、吹き出し孔スパン方向ピッチ $3d$ (d : 孔径)の噴流の解析を実施した。図15に解析の対象領域を示す。フィルム冷却孔1箇を含む1ピッチで境界は周期境界を適用した。

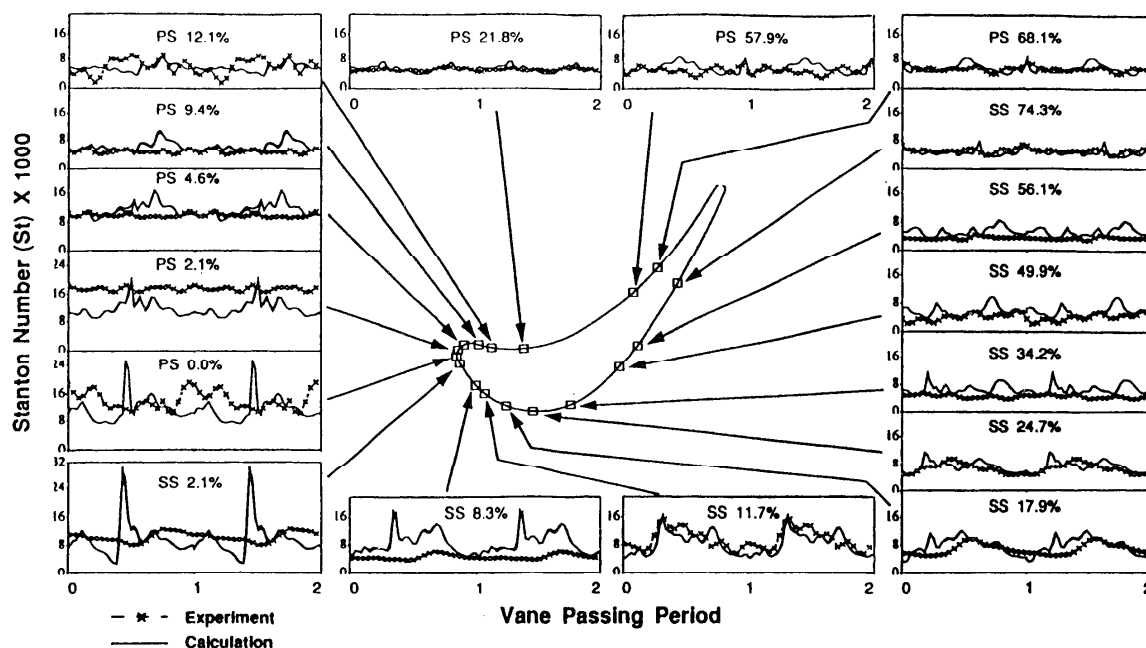


図14 動翼における1周期間のスタントン数の変化

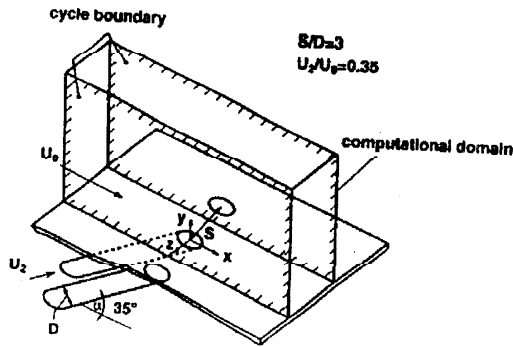
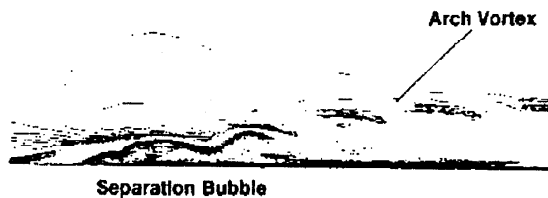


図15 フィルム冷却の解析の領域

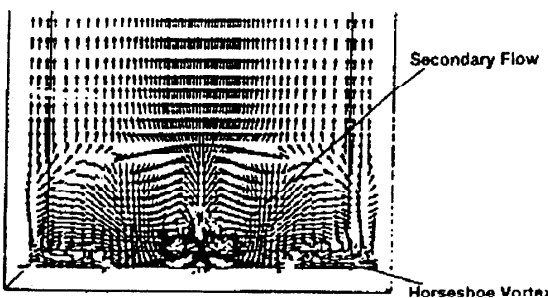
図16に解析結果を示す。吹き出し孔の後縁位置に剥離バブルが現れている。また、吹き出し流と主流の境界は、吹き出し部では安定した流れであるが下流に流れるに従って吹き出し流の波打ちが見られ、やがて主流との干渉でアーチ状の渦が生じる様子が見られる。

流速分布に関するLES解析結果と実験結果^[21]の比較を図17に示す。流速分布においては、スパン方向の各位置における計算結果は、実験結果とかなり良い一致を示している。

次にLESをタービン動翼のフィルム冷却の解析に適用した。フィルム冷却の吹き出し孔近傍については非



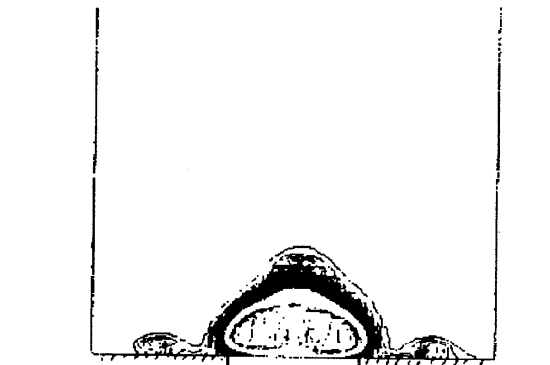
(a) Velocity Distribution, u ($z/d=0$ section)



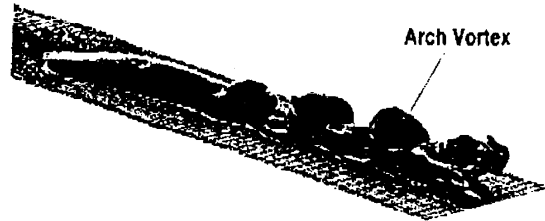
(b) Velocity Vector Distribution ($z/d=2.5$ section)



(c) Temperature Distribution ($z/d=0$ section)



(d) Temperature Distribution ($x/d=2.5$ section)



(e) Birds Eye View of ISO-Thermal Surface

図16 速度および温度分布 (LESの解析結果)

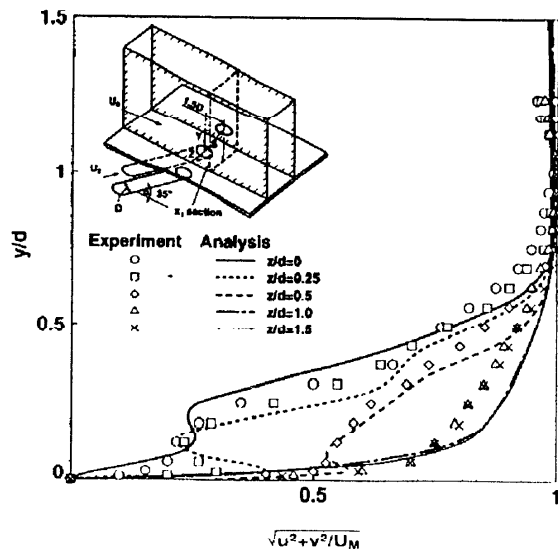


図17 X_1 断面における速度分布の比較

等方性流れが強いとしてLESを適用し、それ以外の翼間流れを解くために $k-\epsilon$ モデルを適用した。タービン翼の背側、腹側の翼面よりフィルム冷却を行なった場合のLESによる解析結果と翼列による実験結果と比較して、図18に示す。フィルム冷却空気は翼背側で翼面にはりつき、反対に腹側では壁面から浮き上がる流れを生じフィルム冷却効率に影響している。翼背側・腹側のフィルム冷却効率の傾向は良く一致していると言え、

LESの解析は速度場、温度場を高精度に解析出来る手法と考えられる。

最近では、図11に示した二次流れの影響を受ける領域でのフィルム冷却の解析も報告されている。^[22]

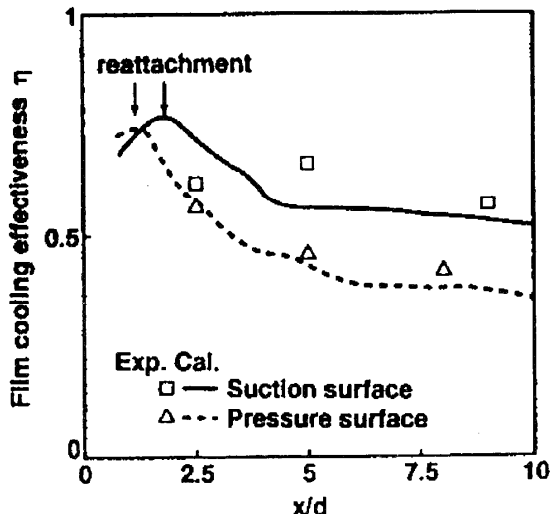


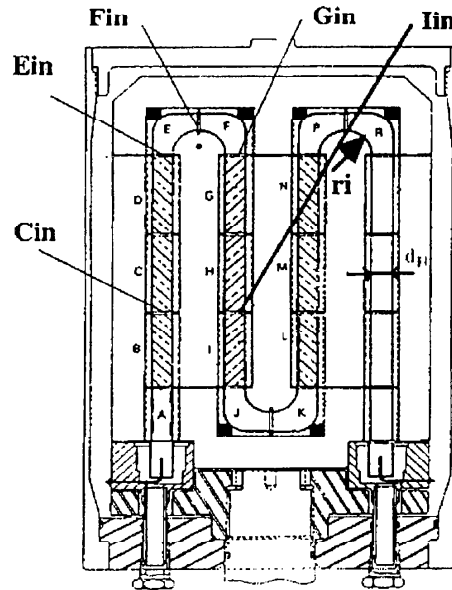
図18 翼面上のフィルム冷却効率の比較

4. 3 内部冷却

タービン動翼の内部の冷却構造としては図9に示したタービュレンスプロモータ付きのサーペンタイン流路が用いられている。回転する動翼における、サーペンタイン流路面には遠心力とコリオリス力が働き複雑な二次流れを生じる。

今まで、熱伝達率の推定には、実験的に得られたデータか回転する円柱等の解析解からの推定が行なわれてきた。近年このような複雑な系についても解析が行なわれるようになった。その例として図19に実験を行なった伝熱モデルの寸法を示す解析が報告されている^[23]。Bonhoff等はレイノズル応力モデル (RSM) と $k-\epsilon$ モデルを適用してリブ付き回転流路の解析を実施した。

図20に速度場の解析結果例と図21に解析解と実験値の比較を示す。図21よりRSMによる第1通路の上、内、下面の熱伝達率予測は非常に良いが、 180° ターン部を過ぎてからの予測が非常に悪い。 $k-\epsilon$ モデルによる解析は全体的に低めの熱伝達率の推定値になっている。Bonhoff等は、乱流モデルの改良が必要であると述べるとともに、このような複雑な系の解析が可能になれば、ガスタービン技術者は非常に有効で低コストの検証手法を手に入れることになるだろうと述べている。



o : リブ高さ, P : リブピッチ
 $d_H = 12.7\text{mm}$, $e/d_H = 0.1$, $P/e = 10$, $ri/d_H = 1.25$

図19 リブ付き流路の伝熱試験モデル

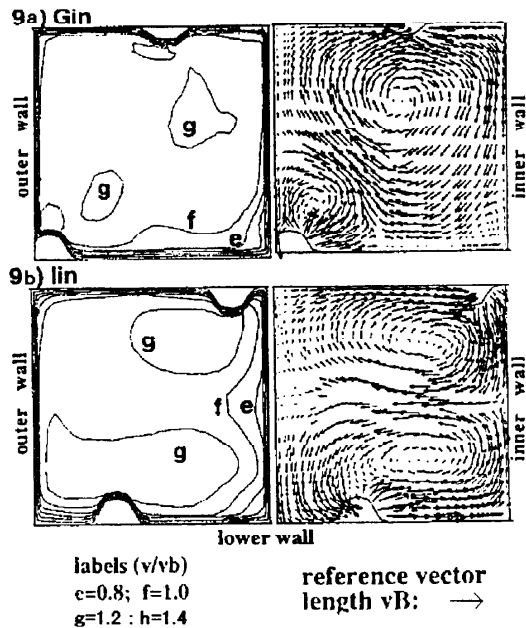


図20 リブ付き流路の速度分布と二次流れ

ピンフィン群を含むような複雑な伝熱解析の解析例も報告されている。^[24] 今後こういった内部冷却の伝熱促進のメカニズムの解明さらには高性能化に伝熱数値解析が応用されていくと考える。

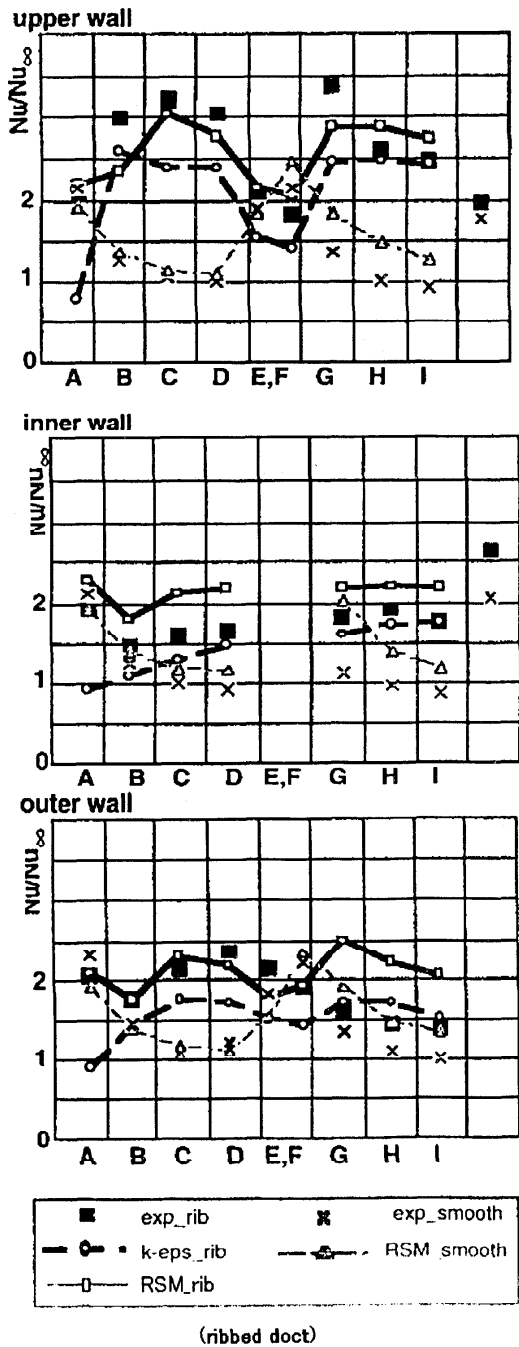


図21 リブ付き流路のヌセルト数比較

5. ロータ、シール系

高温ガスタービンでは高温の主流がタービンディスクの空洞部に侵入することを防止する目的で、種々のシールが行なわれている。

ロータ～ステータ系における主流高温ガスの巻き込みを防止するには、空洞部にシール空気を注入し行なう

が必要最少限のシール空気量の設定あるいはシール構造を決める場合に流動解析技術が有効である。図22はOwen^[25]等が実験および解析を実施した系であるが、筆者等は $k-\epsilon$ モデルで解析を実施しOwen等の試験結果、解析結果と比較した。

図23、図24に半径方向および周方向の試験結果と解析結果の速度分布の比較を示す。筆者等の解析はOwenの実験値と非常に良く一致することがわかる。

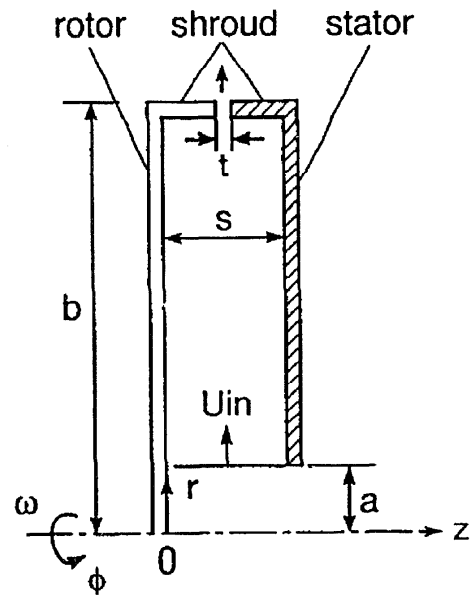


図22 ロータ～ステータの解析系

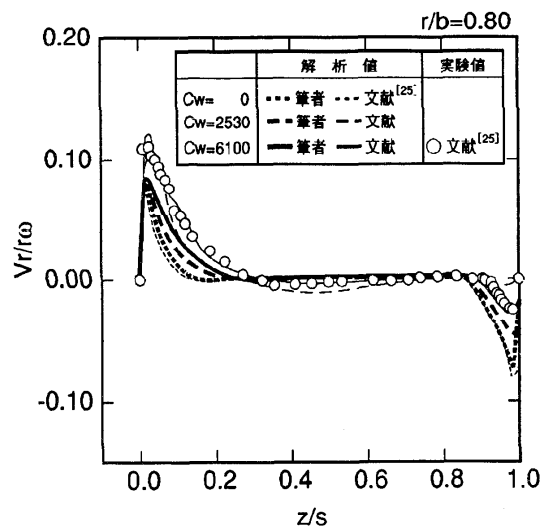


図23 半径方向の流速成分比較

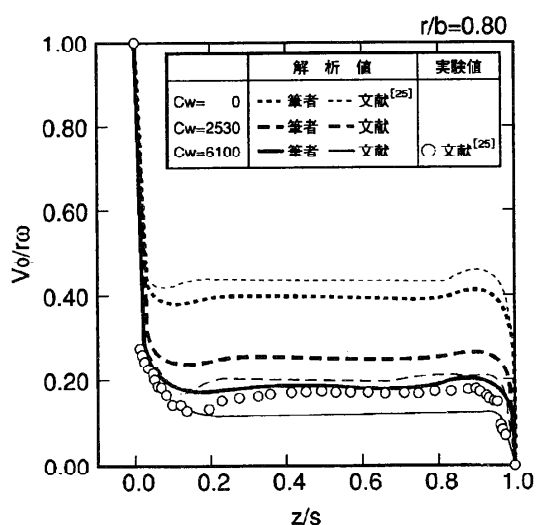


図24 周方向の流速成分比較

ロータ系への流動解析の応用例として重要なのは、静止系から回転系に冷却空気を送り込む部分の流量特性の予測に使用されている事である。^[26] またラビリンスシールの種々の形状に対する流量特性と熱伝達率分布の解析がWitting等によってなされている。

タービン部は全圧分布が周方向に分布するために軸対称の解析では実際のシール現象を完全にシミュレートすることにはならないが、負荷が変動する航空用ガスタービンにおいては、ロータ～ステータの非定常のシール特性、ディスクの熱伝達率分布は非常に重要であり、システム全体の解析が実施されている。^[27]

6. あとがき

伝熱数値解析の原動機分野、中でも最新の高温産業用ガスタービン、航空用ガスタービンの分野で活用されつつある技術を中心に紹介した。伝熱解析は固体壁のごく近傍まで正確に解く必要があるため、流動解析に比べ現時点での予測精度は悪い。しかし流れ場に応じた乱流モデルの改良と計算機ハードの発達によって、伝熱設計者がまず構造物の寿命を評価するためにメタル温度を解析する熱的境界条件としての熱伝達率を求めることは容易に出来る時代になるであろう。

さらに伝熱現象の把握と伝熱性能の向上のための最適化等に数値解析が使われ、従来実験では確認が困難であったり、非常に費用がかかった事が低コストで可能になるであろう。

ここで注意しておきたい事は、伝熱数値解析が進歩しても、その解析法の精度の検証は何らかの形で実施されねばならない。また数値解析の解の正否も解析者は判断してゆかねばならないことから、やはり伝熱という物理現象をいかに深く理解し、それを数値解析という手段に反映するかに解析手法の進歩は依存していると考える。

参考文献

- [1] 日本ガスタービン学会調査研究委員会成果報告書「ガスタービンの高温化と冷却技術」 1997
- [2] S. Amagasa et al. J. Eng. for Gas Turbine and Power, Vol. 116, pp. 597-604, 1994
- [3] 青木, JSME第74期講演会(V), pp. 584-585, 1997
- [4] 萬代, 他, 三菱重工技報, 31-4, pp. 243-246, 1994
- [5] 岩崎, JSME第73期講演会(V), pp. 452-454, 1996
- [6] W. D. McNally, NASA TND 5681, 1970
- [7] 渡辺, 他, 電力中央研究所報告 W95024, 1996
- [8] D. Biswas et al. ASME Paper 93-GT-73, 1993
- [9] K. Takeishi, et al. J. Turbomachinary. 112, pp. 488-496, 1990
- [10] R. J. Simonean et al. Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 14, No. 2, pp. 106-128, 1993
- [11] L. T. Tran et al. ASME Paper 91-GT-267, 1991
- [12] K. V. Rao, et al. J. of Propulsion and Power, Vol. 10, No. 3, pp. 312-317, 1994
- [13] G. Bergles, et al. J of Heat Transfer, Vol. 98, No. 3, pp. 379-386, 1976
- [14] G. Bergles, et al. Numerical. Heat Transfer, Vol. 1, pp. 217-242, 1978
- [15] G. Bergles, et al. J. of Eng. for Power Vol. 102, PP. 498-503, 1980
- [16] G. Bergles, et al. J. of Heat Transfer, Vol. 103, PP. 141-145, 1981
- [17] D. T. Vogel, Int. Council of the Aeronautical. Sciences, pp. 1572-1586, 1994
- [18] V. K. Garg et al. Numerical. Heat Transfer, Part A, pp. 347-371, 1997
- [19] A. Kohli et al. ASME HTD-Vol. 350, pp. 223-232, 1997
- [20] K. Takeishi et al. To be presented at 1999 ASME-JSME Thermal. Eng. joint Conference.
- [21] K. Kadotani et al. J. of Eng. for Power Vol. 111, pp. 459-465, 1979
- [22] C. Langowsky et al. AIAA Journal., Vol. 35, No. 1, pp. 111-118, 1997
- [23] B. Bonhoff, et al. ASME paper 96-TA-7, 1996
- [24] E. Steinthorsson, et al., AIAA paper, AIAA 97-0506, 1997
- [25] J. M. Owen, et al. ASME paper 94-GT-55, 1994
- [26] O. Popp, et al. ASME Paper 96-GT-357, 1996
- [27] G. P. Virr, et al. ASME Paper 93-GT-89, 1993

TSE Editor の会合から

From a TSE Editor's Meeting

小竹 進 (TSE Editor-in-Chief)
Susumu KOTAKE (TSE Editor-in-Chief)

TSE(Thermal Science and Engineering)の編集はEditor制をとっているため、Editorが集まって合議で論文の掲載評価をするということではなく、査読者の意見は参考にすが最終的にはEditor個人の判断で論文掲載可否を決めることになっている。したがって、Editorによって論文の評価が分かれることは前提であり、同じ論文がEditorによって掲載可になったり否になったりすることはあり得る。極端な場合を避けるためにさらにEditor-in-Chiefの裁量の余地を残してはいるが基本的には一人のEditorの見識に頼っている。Editor制ではできるだけこうしたEditorの見識を尊重し、個性的に論文掲載の評価をしていただき、幅広い論文をできるだけ短期間で掲載することに特長をもたせている。したがって、合議によりEditorの見識を揃えたり、制限したりすることなどは差し控えるべきである。

ということで、Editorが集って会議をもち、編集方針について討議することは当初から必要とは考えていなかったが、bimonthly化にともなうEditorの負担などを話し合うためにも一度会合をという希望が多かったため、TSEの新旧Editorに集まっていたいただき、いろいろご意見を交換した。TSEは次号から受け皿が年間50~60編と大きくなり、論文投稿がしやすくなるが、その投稿についてもEditorの意見は参考になると思われるので、この集まりでのEditorの意見を要約してみたい。

TSEのcirculationと言語について

多くのEditorの最も大きな関心はTSEそのものの論文集としての評価である。論文集の評価が良ければ質の高い論文が殺到し、低ければどこかで掲載否になったようなものしか集まらない。

「論文集の評価をきめるのはそのcirculationである。論文集のcirculationの最低必要条件は言語とその形態である」

「論文形態として学会誌から分離してしかも隔月刊となったことはこの意味で非常によかった」、

「が、言語については大きな問題がある。現在こうした言語の最大公約数的なものはEnglishである。したがって、TSEのcirculationのためには英文誌にすべきである」

というのが私を除いたEditorの意見であった。いますぐには無理であるなら少なくともその方向に向かうべきである。このごろはほとんどの人が英文で書くことにそれほど負担を感じていないし、国外のcirculation, citation, contributionを考えるのなら日本語が混合したようなものでは駄目で、全論文を英文にして積極的に国際性を打ち出すべきであるという姿勢である。いま直ぐにということが難しければ、過渡期として、少なくとも英文と日本語を分離し、英文を最初に掲載すべきである、あるいは、日本語のものは「伝熱」に付随させたらなどの意見もあった。

題名がThermal Science and Engineeringと英文であることからしてその発展方向を考えるとともな意見であり、あるべき方向であろうとも思われる。ただし、技術論文の言語は論理記号に近いからといっても、behaviorsやworksなどは論外としても、The behavior is different.とBehavior is different.あるいはto solve a problem, problems, the problem, the problemsなどの区別ぐらいは確実にしておいてもらわないと英語圏の読者でなくとも大きな誤解が生じる。したがって、正式な英文誌とするにはそれ相当の言語査読が必要であり、経費の問題が絡んでくる。しかし、多くの日本伝熱学会の研究者が英文論文集を希望し、学会会員の賛同が得られるのならその方向にもっていくべきであり、将来の埋事会の検討事項であろう。

このような意見をふまえて、次巻からの日本語論文では、英文のabstractだけで内容が十分に理解できるようにabstractを長くしていただくことにした。個人的には質の高い研究の発表は言語によらないと思っているので、国粋主義者ではないが質の高い論文は日本語で他は英文でというのも一つの方向

かもしれない。

Editor's Comment について

つぎの問題は Editor's Comment である。さきに述べたように、TSE の編集は Editor 制をとっているために、論文の掲載評価は基本的に Editor 個人の見解に頼っている。したがって、極端な場合は、Editor によって同一論文が掲載可になったり掲載否になったりする。ある程度は Editor-in-Chief が緩衝役を果たすとしても本質においてはあまり変わらない。そこで、TSE ではこれらの弊害を少なくするために、どうしてこの論文を掲載可としたか、どこを評価したかということをはっきりさせようとして導入したのが Editor's Comment である。

掲載否になった場合は Editor's Comment はできないから再投稿してもらった場合には前回とは異なる Editor をお願いすることになっている。Editor's Comment である掲載可の評価でも、そんな評価はできないあるいは間違っているという意見もあるであろうが、その場合はその論文の内容もふくめて紙上討論の余地を残している。(いままで、これを利用した人はいないが)。

とにかく、論文の掲載には Editor は何らかの形でその論文を褒めちぎるまではいかなくても、褒めなければならぬ。すくなくとも貶すことは許されない。Editor は論文を批判する前にその論文の特長をはっきり把握しなければならない。他の点でマイナスがあってもその特長でプラスにすることができれば掲載論文として十分な対象になる。

こうした Editor's Comment に対していろいろな意見がある。Editor's Comment とは違った意見をもつというのは当然であるが、意見は違って Editor が論文のどこをどう評価したのかということがはっきりして良い、参考になるという見方は多い。しかし、どういうわけか、いままでの Editor's Comment に対する Reader's Comment は必ずしもこのように見方がかりでない。「Editor は自分を何様だと思っている

のだ」、「あんな評価しかできないのか」とか「こんなことしか分からないのか」などいろいろな評論を耳にする(どれも紙上で討論するという陽な形でなく陰気な形ではあるが)。

多分褒め言葉が十分でないことからくるものもあるが、自分のことを棚に上げて他人の作品を評価するということの宿命であるのかもしれない。しかし、時間を裂いて、褒めるところ取り上げるところは何処かと気かけながら懸命に論文を読んで、できあがった Editor's Comment の評価が、上述の意味での本来の Editor's Comment として働きをなさないのなら、誰が Editor などというボランティアを引き受けてくれるかということになる。

このように Editor の熱意を萎縮させる要素が多いのならば、Editor's Comment は廃止したらという意見もでた。誰がこの論文の Editor であるかということをも明記して置くかぎり、Editor としての責任ははっきりしているだからそれで十分であるとも言える。多くの Editor の意見としてはそこまで踏み切るにはためらいがあるようではあったが。

それで、いままでも Editor's Comment がなかったこともあり、とくに特集号はすべて Editor's Comment は付していないこともあって、今後は Editor's Comment は Editor の裁量に委ねることにした。Editor がとくに Comment したい(質の良い論文もあろうし、悪い論文もあろうが)と思うものには Comment をつける。特に Comment が必要のないものには Editor's Comment をつけない。読者がその論文に質問や疑問があれば、Editor's Comment を要求すればよいし、あるいは Editor もふくめて著者と紙上討論を行えばよい。

以上が、TSE Editor 会合での意見とそれをもとにした TSE の編集の今後の修正点であるが、ご意見があれば私あるいは Editor まで直接投書いただきたい。

第11回国際伝熱会議セッションレビュー に対するコメント

Comments on Session Review of 11-th International Heat Transfer Conference

杉本 純、Park Hyun-sun*、丸山 結 (日本原子力研究所、*RIT)
Jun SUGIMOTO, Park HYUN-SUN*, Yu MARUYAMA (Japan Atomic Energy Research Institute)
(*Present Address: Royal Institute of Technology, Sweden)

本誌10月号に本年8月に韓国で開催された第11回国際伝熱会議に関する"Heat Transfer in Nuclear Conventional Heat and Power Generation System セッション"と題する記事が慶応大学の森康彦氏により紹介されていた。紹介されている論文は同氏自身が発表された1編を含む3編であるが、1編は筆者の属する研究グループによる論文である。我々の論文に対する同氏の記事中に必ずしも正確ではない表現が見られたので、誤解を避けるため事実関係を中心に簡単に補足説明したい。

我々の研究に対して「この純流体力学的実験+シミュレーションの意義は筆者にはよく理解できない。...Argonne Nat. Lab. の Anderson & Armstrong の論文(AIChE Symp. Ser. 70-138, 31(1974))を引っ張り出してみると、今回の会議のProceedingsに比べはるかに劣る印刷品質にもかかわらず、Parkらの等温場のビデオ画像よりはよほど鮮明なジェット浸透→爆発的沸騰の高速撮影写真が示されていて、過去25年間の研究の進展(?)に疑問も感じないではない。」と記述している。

水蒸気爆発に馴染みのない読者の方のためにも、以下の諸点を指摘したい。

- (1) そもそも日本原子力研究所(原研)で実施している実験は、軽水型原子炉のシビアアクシデント(設計基準を越えて炉心が大幅に損傷を受ける事象、「過酷事故」とも呼ぶ)時に想定される溶融した炉心と冷却材の接触による水蒸気爆発に関するものである。水蒸気爆発は、マグマ水蒸気爆発など自然界でも発生しているが、原子力では1961年の米国SL-1の事故が有名である。爾来35年以上も各国で精力的な研究が続けられているが、水蒸気爆発メカニズムの詳細については未だに解明されていない現象である。¹⁾²⁾
- (2) 我々の実験(ALPHA計画)³⁾では、水蒸気爆発現象を物理的に明らかにするとともに、原子炉における水蒸気爆発の影響を評価するための解析コードJASMINEの開発・検証⁴⁾⁵⁾も並行して進めてい

る。Parkは、溶融物と水の接触モードをいろいろに変化させ(水中に溶融物注入、溶融物に水注入など)、水蒸気爆発で発生する機械的エネルギーを精密に計測するとともに、そのメカニズムを同定するための一連の実験を実施している。この規模での精密エネルギー測定を種々の接触モードで実施している例はほとんどない。

- (3) ご指摘のAndersonらの実験は高速炉を対象としたものであり、Parkらによるレビュー報告書⁴⁾で詳しく論じているように、水ジェットとして注射器を使い1cc以下の水を塩化ナトリウムに注入する極く小規模な実験である。この実験は当時としては画期的なものであったが、得られた成果は基本的には現象論的なものである。その後同様の実験はあまりなされていない⁶⁾が、これに対して、我々の実験は数10kgオーダーのテルミット溶融物に口径数cmのノズルから水を注入する比較的規模が大きいものである。規模の違いは実炉における現象の模擬性の観点から重要な相違ではあるが、そもそも我々の実験の目的は、水や溶融物の浸入(混合)現象を物理的かつ定量的に明らかにしようとするものである。そのため、原研では別の可視化実験により、最初は等温場の条件で現象をより明瞭に観察することとした。その結果に基づき、本会議のParkらの論文にも記述されているように、例えば水の浸入深さに対する相関式を開発している。25年前のAndersonらの実験では不明だったことを明らかにしようとしているのである。
- (4) 我々の実験は等温場ばかりでなく、より現実的な場合に近い沸騰条件でも実施している(論文には明記していないが口頭では説明)。沸騰条件では蒸気の発生により観察がさらに困難になるのは当然であるが、この難点を克服するため、原研のJRR-3炉の中性子ラジオグラフィを用いた観察も実施し鮮明な画像を得ている。中性子ラジオグラフィを用いた水蒸気爆発現象の解明は京大と

共同研究を実施しているユニークな試みである。⁷⁾

(5) 我々のCIP法による観察実験の直接シミュレーションは、実験で得られた水ジェットの浸入挙動について、従来の経験式ベースの手法から基礎物理ベースの手法に基づいて再現し、現象をより基礎的な観点から把握し、JASMINEコードに反映させることにより、実炉の高精度解析手法の確立を目指すことにある。同誌次ページの河村氏の紹介記事に「数値シミュレーションは、ますます基礎的な方程式（いわゆる第一原理）のみに基づき仮定を排除する方向へ進みつつあり」とあるが、我々のCIP法も比較的良い再現性が得られている。

もとより研究のオリジナリティーは言うは易く行うは難いものではあるが「本研究のオリジナリティーは何か」と問われても、上記したようなシステマティックなアプローチから、少しは胸を張って答えられる実質があると自負している。

記事の最後に「ただ、上記はParkらの論文や関連論文を子細に検討した上での意見ではない」と書いて下さったのは誠に有り難いことである。当方の説明にも多少は反省すべき点があったかも知れないが、本来は子細に検討してからこのような文にするのが専門家の責務であると考えた。（了）

参考文献

- 1) 杉本 純, 軽水炉シビアアクシデント時の伝熱流動、伝熱研究、Vol.34, No.133, pp.52-59 (1995).
- 2) Akiyama, M., et al.(Ed), Proc. OECD/CSNI Specialist meeting on Fuel-Coolant Interactions, JAERI, Tokai, JAERI-Conf 97-011, NEA/CSNI/R(97)26(1998).
- 3) Yamano, N., et al., Phenomenological Studies on Melt-Coolant Interactions in the ALPHA Program, J. Nucl. Eng. Des. , Vol.155, Nos.1-2, pp.369-389(1995).
- 4) Moriyama, K. et al., Study of Premixing Phase of Steam Explosion with JASMINE Code in ALPHA Program, Proc. ICONE-4, New Orins, USA (1996).
- 5) Yang, Y., et al., Effect of the Rapid Evaporation on the Motion of Melt Drops during the Coarse Mixing Process of Vapor Explosions, NURETH-8, Kyoto (1997).
- 6) Park, H., et al., Reviews of Experimental Studies on Various Geometrical Contact Modes in Vapor Explosions, JAERI-Review 96-018(1996).
- 7) Mishima, K., et al., Visualizaton Study of Molten Metal-Water Interaction by Using Neutron Radiography, J. Nucl. Eng. Des. (1998) (in print).

杉木氏らからの“コメント”への回答

Reply to the Comments from J.Sugimoto et al.

森 康彦 (慶応大学)

Yasuhiko H. MORI (Keio University)

本誌10月号に掲載された第11回国際伝熱会議のセッションレビューの中で私が執筆した記事“Heat Transfer in Nuclear and Conventional Heat and Power Generation Systems セッション”に対し、杉木氏ら(原研)から反論をいただいている。問題とされているのは、同氏らの論文NR12について私が上記記事中に書いた論評である。杉木氏らからの“コメント”を読ませていただき、これに対して簡単にお応えしておきたい。

まず、“コメント”から察するところ、私の上記記事中の最終パラグラフは杉木氏らに著しい不快感を与えたようである。いささか慎重さを欠く表現が含まれていたと感ずるので、その点についてはお詫びしておきたい。原子力関係の研究、あるいは原研の研究を揶揄する意図は全くなかったことはご理解いただきたい。また、どのような経緯で上記記事を執筆することになったにせよ、最終的に執筆をお引き受けした以上、書いた内容についての責任はすべて筆者の私にあると考えていることは言うまでもない。

「本来は子細に検討してからこのような文にするのが専門家の責務」とのご指摘はもっともであり、専門家ならぬ私が関連研究まで含めて子細に検討する猶予もないままにあのような記事を書いたことへの批判は甘んじて受けるつもりである。その一方、国際伝熱会議は原子力関係の specialist meeting ではなく、そこに発表される論文は原子力関係の研究の推移に詳細な知識を持たない者でもその論文のみを通して当該研究の特徴や面白さが把握できるように作成されているべきものとも考えている。

杉木氏らの“コメント”には4つの specific comments が書かれている。(1)と(2)はそれぞれ水蒸気爆発研究に関する一般的経緯と、同氏らに関わる ALPHA 計画なるものの概要説明であり、私を含めて水蒸気爆発研究に専門的知識を持たない読者には参考になるであろう。

(3)では先の記事中で私が言及した Anderson &

Armstrong の実験と杉木氏らの実験との対比がなされている。両者の実験に対する評価は、どのような観点で物を見るかによって分かれると思われる。

Anderson & Armstrong の実験は小規模過ぎて軽水炉の事故時の状況を把握するには適さないとの杉木氏らのご見解は理解できるし、杉木氏らのはるかに大がかりな実験を実施された努力は評価されるべきものとする。その点において私の論評がバランスを欠いていたことは否定できない。(では、どれだけ大規模な実験が必要なのか、どのようなスケールリング則が成り立つのかという議論が必要と思うが。)

一方、Anderson & Armstrong の実験は 800 °C の NaCl プール中への水ジェット注入に伴う蒸気塊の成長→爆発過程を明瞭にとらえており、伝熱研究者から見れば興味深い。そして、彼らが得た映像からは、液体ジェットの侵入挙動や vapor pocket の生成を等温場での実験(数値実験を含む)でシミュレートできるとは私には考え難いし、杉木氏らの論文を拝読しても、その点は理解困難であった。それが私が指摘したかった第一の疑問である。

第二は、Fluorinert 中への水注入に関する等温場実験の結果を示す画像が(少なくとも Proceedings の上では)なぜあのように不鮮明なのかということである。CIP 法によるシミュレーション結果との比較が可能な画像を拝見させていただきたくった。

(4)の記述は当該論文にないことなので、私としては何も申し上げることはない。興味深い結果が見られることを期待したい。

(5)についても特に申し上げることはない。私が問題としたのはシミュレーションの手法やコード化に関するのではなく、シミュレーションの対象とする物理モデルに関するところがらである。

「オリジナリティーは言うは易く行うは難しい」とのご指摘、その通りと思う。また「批判は易く、実行は難し」とも自戒している(つもりである)。これまた易しいことではないが、そのような認識に

立って、多少とも見方の異なる研究者間の相互批判が成されることが望ましいのであろう。

今回の件については、杉本氏らに不快を与えただけでなく、（おそらく）本誌編集に携わっておられる方々を多少なりとも困惑させたのではないかと推測する。合わせてお詫び申し上げたい。

およそレビューとか論評のたぐいは、書きたい人が、書きたい時に、十分な準備をした上で、十分なページを使って書いた場合にのみ、何がしかの価値を持つもののように思う。（今回私の書いた記事は完全にその対極にある。）今後、強く自戒していきたい。

EUROTHERM 57 "Microscale Heat Transfer"

Eurotherm 57 "Microscale Heat Transfer"

小竹 進 (東洋大学)

Susumu KOTAKE (Toyo University)

このセミナーは、ヨーロッパで最初の Microscale Heat Transfer に関するセミナーであり、Prof. Saulnier(ENSMA)が1996年横浜で開催された ICHMT(International Center for Heat and Mass Transfer) Symposium on "Molecular and Micro-scale Heat transfer on Materials Processing and Other Applications"(Prof.I.Tanasawa)に刺激されて EUROTHERM として企画したものである。

月日：1998年7月8,9,10日

場所：ENSMA, Poitiers, France

Chairman: Professor Jean-Bernard Saulnier

発表論文数：41件(内5 Keynotes, 日本9件(内 Keynote 1))

参加者：約70名(内日本12名)

で開催された。セッションは8つに分類され、一室で行われた。つぎに、その内容と個人的な印象を記す(()内の数字は発表件数、敬称略)。

Convective transfer at microscale with and without phase change(8)

microchannelやcapillary tubeなど狭い空間での沸騰(4)、蒸発(2)と、分子レベルの沸騰と凝縮の研究で、前者は現象の空間次元が相変化現象をどう支配していくかということであるが、アプローチの仕方はほとんどがマクロな連続体としての延長であり、界面の分子レベルの話ではなかった。後者の凝縮の話(S.Fujikawa)は熱的非平衡時の凝縮係数の研究であり、沸騰(S.Maruyama)は界面沸騰の分子動力学的研究である。この最後の研究は、まだいろいろ細かいところには問題があるが、とにかく3次元界面での核生成から気泡生成にいたる過程を分子動力学に解明できた最初の研究として高く評価され、多くの討論議論があった。とくに、界面での分子運動から核ができて、気泡が生成されていく過程のもっともらしいビデオ描写は説得力があり、いろいろな角度からの質問が沸騰していた。

Limit of some classical approaches (5)

薄膜で熱伝導率がどうなるか、温度をどう測ればよいか、熱伝導の式およびその境界条件をどうしたらよいかという、本来基本的かつ重要な問題であるが、ここではいままでの単なるマクロ的アプローチの延長での議論であり、その議論のlimitの議論もなく、いまひとつ突っ込みが甘い発表ばかりであった。今後この問題は大いに議論されなければならない問題である。

Radiative transfer(3)

物体のスケールが波長と同じオーダーになったら物体の反射率や放射率は物体の寸法の影響をうけ、その関数になるという当然の現象の発表のみであったが、より本質的なところはマイクロとマクロの非線形結合現象としてこれから興味をひく問題であろう。

Molecular dynamics and other simulation tools(8)

分子動力学(MD)はまだ日本の一人舞台である。欧州でも多くの人に関心を持ち研究が始まってはいるが、まだ、それをどう利用できるか、どう利用したら良いかというところで模索している段階である。日本からは、凝固時の格子欠陥生成(T.Iwaki)、水分子のエネルギー伝達(T.Ohara)、物質の光吸収(M.Shibahara)、分子の固体界面エネルギー伝達(TNZ, Kotake)のMDおよびQMDの実のある発表があった。その後で、フランスから固体摩擦に関するMDの発表があったがまだMDに対する基本的な理解ができていなかった。日本からの発表に対してはさすがに多くの関心がよせられ討論があったが、基本的なレベルがそろっていないために本質的な議論にまでは噛み合わなかったようである。

Microscopy and imaging(5)

いずれもSTM,AFM,SNOM,SEAMにおけるprobe tipとsample間の熱的な干渉効果をtipの温度や熱流

束を変化させて調べ、その効果は無視できないことをしめしている。この問題は、こうした計測の計測値が何を意味するかを理解する上で基本的に重要な問題であり、今後はより分子レベルでの考察が必要である。

Thermal engineering(3)

ポリマー薄膜の赤外乾燥, Si/pSi 温度薄膜センサー, 太陽電池パネル熱問題 (M.Furukawa) など応用技術の発表であったが, "Future scope" (後述) の勉強にいったので出席できなかった。

Photothermal measurements(5)

"Photothermal" には、物質の熱的状态によって光場が変化することと、光場によって熱的状态が変化することが含まれるが、計測関係では前者を意味する場合が多い。物体の表面(近く)の原子・分子の熱的状态によってその電子・振動・回転状態が変化し、対応する光の放射・反射率が変化する。時間空間的に小スケールの物質の一部をレーザーなどで加熱してその光場の変化を見れば、逆に熱的状态(温度や温度拡散率)を知ることができる。いまのところの研究は、その分子レベルの物理的な解釈よりも、どのように小さなスポット($\text{nm} \sim \mu\text{m}$)で瞬間($\text{fs} \sim \text{ps}$)加熱するかに関心がある。

Heat transfer characterization by reflectivity and transmittivity measurements(4)

これはほとんど前のセッションに関連するが、この方法で薄膜および薄膜間の温度分布、温度拡散率

の測定 (T.Baba) や半導体チップなどの温度や熱源分布の測定の報告であった。

Keynotes は相変化のMD (Y.Bayazitoglu), 微小空間での相変化(Z.Y.Guo), 量子 (phonon) 空間での熱伝導(G.Chen), 微小重力での沸騰(J.Straub)と, 多孔質内の熱物質移動のMRI計測 (井上剛良) があった。とくに、最後のはヨーロッパでは新しいこともあり、多くの人の関心をよび評判が良かった。

ENSMAはEcole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique の略で1948年にPoitiersに設立された、機械と航空関係の大学院大学であり、ParisとBordeauxの中間でParisからTGVで1.5時間のPoitiersの郊外、バスで約半時間のところFuturoscopeにある。Futuroscopeには恒久的な科学博のようなかなり大規模なfuture scopes (?) があり、学生や団体客で賑わっている。

このセミナーは、ヨーロッパで最初に企画したmicroscale heat transferのセミナーであったので、chairmanのProfessor Saulnierはどうなることかと最初心配していたそうだが、一応microscale heat transferの問題点を指摘しこの方面の研究を刺激することができたのではないかと満足していた。とくにこの方面で先駆的な研究をしている日本の多数の研究者に協力していただいたことに感謝していた。そのお礼として最後の晩はPoitiersの3つ星レストランでフルコースのフランス料理を全員にご馳走していただいた (これはParisでの3つ星よりはるかに美味であった)。

岡崎卓郎先生に学ぶ

A tribute to the memory of the late Prof. Takuro Okazaki

小竹 進 (東洋大学)

Susumu KOTAKE (Toyo University)

「長崎で山県先生が熱工学の講演会を開くので何か申し込むように」

「京都で伝熱シンポジウムがあるから申し込むように」

熱工学が何であり伝熱シンポジウムがどういうものかこれ以上の説明もなく簡単に言われたので、気楽に即席の論文をつくって持っていくと、会場は2,30名の一種の和やかな雰囲気だったので質問にも怖じ気もなく講演発表した。

後でみると、この時、日本伝熱研究の草創たる大先生方が一堂に会していたのであり、それが伝熱研究会の始まりであったのであるが、先生は何も説明してくれなかった。しかし、その後も説明したかどうかに関係なく山県先生がどうの橋先生がどうのと何かポツンポツンと口にされていた。これが伝熱研究会の創設にかかわることだったとは、だいぶ後になって研究会の運営にたずさわられるようになってから知った。

常識では考えられないほど非常に大きな記憶容量をもった先生で、講義の最初の時間に教室をみまわして

「～君はまだかね」(進学時の写真で記憶)

「～君は先週は眠そうだったね」(講義中に記憶)

などは、まだ良い方で、助教授や教授になってまで「君は～の問題を解けなかったからね」(試験の答案で記憶)

と言われるとDEL(削除)機能なしの欠陥メモリーではないかと思われた。さらに、こちらの都合の悪いことばかり記憶されているので書き込みにも問題があった。

同期で最初に結婚した友人が先生を結婚式に来賓でお願いして失敗して以来、誰も先生にはスピーチをいただかないような作戦をたてた。しかし、この書き込みと消去に問題があるメモリーも誰がどのような研究をしてどこにどのような発表されているかを検索するには、コンピューターと違いフィルターつきなので大いに利用させていただき、研究のいろは

と共にそのフィルターの作り方を学んだ。

ただ、口からの出力はポツンポツンと非常に少なくかつ回転が早いので、ポツンとポツンの間をその回転に合わせて適当につないでつぎの出力に待機する必要があった。これは反面、会話も最初の2, 3語で話を通じたので、先生との会話は面倒臭くなく非常に楽しかった。一つの問いにつぎの、時によってはつぎのつぎの問いの返事をしてくださるので、時間は節約できたが、第三者には会話の内容がわからなかったのではないかと思う。

論文を書いてもっていくと、

「駄目だね、よくわからないね」

の一言。どこがどう駄目なのか、こちらもよくわからないままあれこれ考えて書き直してもっていくと、

「うん、少しはよくなったね」

何回か繰り返して、結局、最後は

「中身は良くならないのだから」

で終わる。

いつかこうしたことで抗議めいたことを言ったら、意外な顔をなされて

「君、黙って待っているのは辛いものだよ」

と言われた。真似をしようとしても、いつしか学生の論文を真っ赤に直してしまっているようでは、この辛抱を真似することはできなかつた。

「他から助けても結局は持っているもの以上のものは出てこないよ」

といわれ、

「大学では教えてくれないということを学ぶべきだ」とよくいわれた。

これは実行し易かったので大いに活用させていたでいる。とくに、前者は「努力してもたかが知れている」と解釈し、後者は「大学は教えないということ教える」と解釈すると非常に有意義であり利用価値が高い。

先生の論文はお言葉のように簡潔でスマートであった。熱関係で最も参照されているものの一つ

は、液滴の蒸発燃焼であり、蒸発火炎面モデルで平衡火炎面の存在と液滴燃焼速度に簡潔なしかも厳密な解析解を与えている。これは終戦後間もない機械学会の日本語の僅か4頁の論文であるが、より複雑な数値計算が主流になった今日でも国内外で多くの人達から参照されている。

反対に、最も参照されていないものは、回転式再生熱交換器の論文で、加熱・冷却側の境界条件の相互依存性を、時間空間の変数分離級数を用いて、きれいな形での数式解を導いてその特性を論じた論文である。この論文は、機械学会に投稿したら機械学会論文としてはあまりにも数学的すぎ工学的に貢献が少ないということで掲載否になったしまった。このようなスマートな論文をめざしていろいろ試みたが、機械学会で掲載否になるような先生の論文の真似はできなかった。やはり、いつも先生が言われていた

「研究は遊びでなければならない」

というところまでには至らなかったからであろう。この言葉は裏には、楽しかるべき若き日に一つの目的に向かって強制的に研究を強いられた錯誤に対する強い悔恨があったのかもしれない。

岡崎卓郎先生は、昭和15年に東京帝国大学工学部航空学科の第1期生として卒業されてから、戦時は航空技術研究所、戦後は東京大学の内燃機関学科

を経て、昭和30年に新しく設立された航空学科（現在の航空宇宙学科）で退官まで、退官後は日本大学の機械工学科で、ジェットエンジン、ガスタービン、内燃機関の流体力学、伝熱燃焼、材料など幅広い分野で研究と教育をされ、多くの著名な後継者を残している。とくに、非定常空気力学においては、戦後の日本のガスタービンの開発研究に大きな貢献をされた。先生の周りの学位論文は必ず機械学会賞が付随しなければならず、しかもその指導は上述のようなことであったので、学位論文を書く身には大きな圧力であり励みになったことと思われる。

書き込みと消去に問題があるメモリーも、あのポツンポツンとした出力も、平成10年10月23日をもって再度復活することはなくなってしまったが、今度はこちらのメモリーが消去されない。こうしたメモリーとフィルターは、良くも悪くも、多くの後継者に永遠に影を残すであろう。

「研究は遊びでなければならない」

遊びは常に遊びであり余裕がなければならない。一つの目的に向かった余裕のない研究は、結果として素晴らしいものにはならないし、危険でもある。いつか、ポツンと独り言のように言われたことが耳に残って消えない。（もっとも、私にとってはこの遊びも終わりに近いが）

岡崎卓郎先生を思う

In memory of Professor Takuro Okazaki.

甲藤 好郎 (日本大学・理工学研究所)

Yoshiro KATTO (Nihon Univ., Research Institute of Science & Technology)

1998年10月23日、東京大学名誉教授・岡崎卓郎先生が永眠され、同月28日、先生のご葬儀が行われた。

さて先生は、長く東大・航空学科に勤められ、ご自身の書かれた文章によれば「ジェットエンジンの理論とくに騒音および羽根のフラッター」を中心に研究を展開された。だが先生は、日本伝熱学会の特別名誉会員でもあられ、本会との関係も深い。

本稿には特に、本学会の前身である日本伝熱研究会、その創立の1年半ほど前になる1960年の頃を目標としつつ、今から思えば気が遠くなるほど昔のことながら、先生への私の思い出を記し、当時を偲ばせて頂こうと思う。

私にとって先生は高校（旧制一高）の6年先輩になるが、当時はその事を特に意識することも無かった。そして私が本当に先生が存在を知るようになったのは1946年に東大（機械工学科）卒業後、更に東大・理工学研究所で9年に亙る研究生活を経て、当時新設の科学技術庁・航空宇宙技術研究所（航技研）に転勤（1956年）してからのことである。

敗戦後、約10年。ジェット機や超音速機、また少し遅れて宇宙ロケットの出現など異質な新航空手段への急展開を見た特異時代を完全な空白期間として過した日本にとり、航技研の建設は所員全員にとってまるで未知の世界への挑戦だったし、また東大の航空学科に負う所も実に

大きかった。そして私は、こうした時代の流れの中で自然に航空学科の岡崎先生を知るようになった。

以来、先生に対して私が抱いて来た印象の一つに、先生の額の広さがある。もちろん正確には、ここで先生の頭の良さと言うべきなのだが、学問、技術、企業情報いずれを取っても、実に驚くほど多くの事を知り、把握しておられた先生のことを思うと、いつも先生の頭の大きさがまです思ひ浮かんでしまう。恐らく、先生への知的畏敬の念がそうさせているのかも知れない。

所で先生は1958年1月2日～3月1日の2ヶ月間、英国に来られたことがある。当時、たまたま私はガスタービンの勉強や研究のため1957年から London に留学し Imperial College of Science & Technology の大学院に通っていたのだが、先生の方も英国内の各所に仕事で行かれる所があり、だから London でお会い出来る機会は随分限られていた。ただその数少ない機会の中に先生と一緒に Soho の街（最近ではここも随分変っている）を歩いたり、Heaven and Hell という妙な名前の喫茶店の Hell（地階の方に配置）でいろいろ話し合ったり、楽しいことが多々残っていることは先生との得難い思い出である。

なお丁度、この年の2月頃から私は上記の大学院で回転式圧縮機のサージングの実験を偶然始めていた。その研究成果

は、その後、日本に帰国後、私の学位論文になるのだが、当時の私は、そんな先の見通しも無しに全く自己流の仕事をしていた。だから岡崎先生にサージングの話をしたこともなければ、教えを乞うたこともなかったが、折角の大家に現地であ会いながら、これは残念無念なことに違いなかった。ともあれ前述の東大・理工学研究所時代の私は、トライボロジーの研究を本業とする一方、機械学会を中心に伝熱の研究にも傾注していた^(1,2)。そんな訳で、サージングの研究の急な開始と言っても、殊更、脇道にそれた気持は無かったのである。

さてここで話を本筋に戻そう。英国から帰国(1958年末)の翌年、私は航技研で原動機部・熱伝達研究室長となり、また更にその翌年(1960年)春、機械学会の熱及び熱力学部門委員会委員長になる機会に恵まれた。そしてその頃の私は未だ若く、多少の覇気にも富んでいたせいも、機械学会で上記のような熱関係の全国的責務を負わされてみると、日本の伝熱研究の発展のため、伝熱研究者を全国的に糾合するような組織(関東を主体に伝熱工学研究会と言う小集団が1953年頃から存在したが、当時は開店休業の状態になっていた)を設立できたと言う気持ちにならざるを得なかった。

所で1960年5月18日の午後、航空学会の原動機部門委員会(岡崎先生が委員長)が開催された。そしてその帰途、岡崎先生と私は国電(現JR)の中央線に乗り合わせていたが、二人の話題は何時しか、日本の伝熱研究の今後の発展の方策のことに及んだ。岡崎先生の言われるには、まず橘藤雄先生(東大・生産技術研究所教授で、前述の伝熱工学研究会の世話をしておられた)の所へ行って意見を聞くべきであるとのことであった。

それから約10日後、私は岡崎先生のご助言に従って生産研(その頃は未だ西千葉にあった)まで橘先生を訪ねたのだが、橘先生は大いに賛成の意を表明された。そして、それからいろいろ必要な活動を開始されたのであるが、いくつかの曲折を経て、最終的に日本伝熱研究会の設立総会(1962年秋開催)へと収斂して行ったのである。

この研究会は以来ずっと32年の長きに渡って重要な役割を継承し、さらに最近、周知のように社団法人・日本伝熱学会にまで大きく発展整備(1995年春)された。そして私は、この歴史を振り返る時、いつも前述の1960年5月18日のこと、また岡崎先生への深い感謝の気持ちを忘れることが出来ない。なぜならこの日こそ、先生から貴重なご指示を頂き、それが端緒で研究会が誕生した大切な記念日だからである。

人によっては偶然と言うかも知れない。しかし私は、これまで長い人生を生きて来て、外見は偶然と見えながら、実は必然と考えるべき歴史的事実を多く目のあたりにして来た。そして岡崎先生が幽明境を異にされたこの機会にあたり、我が国の伝熱分野に関係する人々が一人でも多く先生のご功績を思い出して下さること、その願いを込めて岡崎先生のご霊前に本稿を捧げる次第である。

文 献

- (1)栗野誠一、葛岡常雄編著：伝熱工学、昭和29年(1954年)、丸善。
- (2)甲藤好郎：熱伝導論(応用力学講座)、昭和31年(1956年)、共立出版。

分子伝熱研究における討論

Discussion on Molecular Heat Transfer

岩城 敏博 (富山大学)

Toshihiro IWAKI (Toyama University)

機械工学の分野で、原子・分子の立場から、力学現象の理解の必要性が指摘されて以来、年々、研究数が増加し、昨年の伝熱シンポジウムでは、1会場で2日間にわたって行われるまでになった。それは、新たな発見・視点への期待、着想の新鮮さなどが研究者を魅了しているからと思われる。特に、計算機実験といわれる量子分子動力学、分子動力学の領域では、計算機の著しい性能向上が研究の拡大に拍車をかけている。

しかしながら、計算機にたよる手法にも、先達が実験的、理論的手法において経験したように、多くの困難がある。分子伝熱では、工学的な立場を強調すれば、ミクロとマクロのつながりが極めて大切な課題であるとともに、大きな困難でもある。連続体力学がそうであったように、機械分子工学がこれからの機械工学の基礎となるには、越えるべき課題は多く、そのために多数の英知が必要である。

伝熱シンポジウムを含めて、学会の講演会で発表される研究は、発表時間などのため、成果が中心となる。機械分子工学の着実な発展のためには、公式な場では省略されがちな計算技術、考察の不十分なデータ、意味不明な結果などを、時間にとらわれず、多数の研究者で検討しておかねばならない。このような目的のために、分子伝熱懇話会が開かれた。ここでは、討論会において議論された課題のうち、その一部を会話形式で紹介したい。

1. モデルについて

数原子層でできた薄膜モデルを示しながら、

A「このようなモデルで、薄膜の光熱変換機構を研究している。」

B「実際の薄膜は必ず基板の上にある。光の波長にもよるが、基板を考えないそのようなモデルで何がわかるのか。」

C「数原子層で行われる光と熱のエネルギー変換の

基礎的な理解が得られるのでは。」

D「数原子層とすると、可視光以上の波長では、基板の影響が必ずあるはずであり、その影響が大きい。」

E「その場合でも、まず、基板の影響のない薄膜の本質的なところがわからなければ、基板の影響も明らかにならないと思う。」

F「でも、基板の存在を考えると、原子層を厚くして、バルクの方を考えるのが基本的ではないか。」

G「どのくらいの光熱変換の時間的プロセスを対象にするかによるが、ここでは、まず、光と電子波動関数との干渉を考えるので、薄膜モデルで十分であると思っている。」

H「ところで、光側からみた光の吸収・放射とは何か。その基礎式で十分なのか。」

I「このシュレーディンガー方程式では、光の減衰・生成は表現できていない。」

J「光を電場として捉える条件のもとでは、その問題は境界条件として、implicitに与えられていると思う。」

K「この問題は重要な基礎的な問題なので、さらに、深く考え、討論すべきだ。」

2. 計算結果の理解について

二つの固体壁の間に液体を満たし、固体壁間に温度差をつけて、固液境界の温度こう配(温度ギャップ)を示しながら、

A「マクロでは、固液境界面の固体と液体の温度は同じであるとしているが、分子動力学の結果では、このように温度ギャップがある。」

B「熱のどのような教科書にも、そのような温度ギャップのことは書いてない。いままでの教科書は間違っているのか。教科書を書き改めるべきということか。」

C「両者のポテンシャルの値は異なるが、固体、液体ともにレナード・ジョーンズ・ポテンシャルであり、単純なレナード・ジョーンズ・ポテンシャルだけで計

算すると、そのような結果になるのは至極当然でないか。」

D「いやいや、そうではない。レナード・ジョンズ・ポテンシャルだけでも、このような結果になるからおもしろいのだ。」

E「エネルギー流束が極めて大きいことが、現実離れといえるかもしれない。」

F「気液境界、つまり、液体も二つに分けて、その間に気体を入れた場合でも、こうした温度ギャップ（こう配）ができると思う。」

G「こうした結果は、熱に関わる既存の法則が成り立つには、条件があることを意味している。分子動力学は、このような基本的なことに、どんどん新しい知識を生み出してくれそうだ。」

H「新しい知識は、研究のブレークスルーや技術の開発につながる可能性がきわめて高い。」

I「温度とは、圧力とは、流速とは、また拡散とはというように、今まで疑問に思ったこともない物理量を原子・分子レベルでみるとどうなっているのか、マクロで使っている言葉が、原子・分子の運動とどのように結びつくのか、大事なことだ。」

3. 実験結果の理解について

空気中にレーザーを放つと、浮遊している微粒子が奇妙な運動をするビデオを示しながら、

A「ほとんどの微粒子はただ浮遊しているだけだが、ごく一部の微粒子は、レーザー進行方向や逆方向に直線的に高速で運動したり、レーザー方向に垂直に振動したり、水平に振動したり、間欠的な不規則な運動をする。」

B「それは本当に微粒子か。生物でないという証拠はあるのか。」

C「そんな生物はいないと思う。」

D「何とか、それを確かめてほしい。ビデオをもう一度、見せてほしい。」

E「何度見ても、不可思議で、おもしろい。」

F「この運動の原因として、光圧、散乱力、・・・などが考えられる。」

G「さらに、光とエネルギーの関連の話になるが、

微粒子と光の干渉による微粒子のエネルギー吸収と、その運動自由度への分配が考えられる。」

H「微粒子のサイズが数 $10\mu\text{m}$ なら、考えられそうだ。」

I「運動する微粒子と、運動しない微粒子のメカニズムの相違はどのように説明するのか。」

J「微粒子の形状・構造によるエネルギー分配の相違が原因と考えてはどうか。形状・構造の相違が微粒子内の原子・分子の運動の相違となり、それが微粒子の運動の相違となるのではないか。」

K「微粒子の形状・構造は観察し難いが、測定が必要なのではないか。」

L「本当に、一般的な現象かどうか、早起きして、朝日の中の微粒子の運動も観察する必要がある。」

このほか、分子と表面との間のエネルギー移動、水分子間のエネルギー伝搬、フラーレンの生成、核生成、自己拡散、物質・運動量・熱拡散の議論を行った。いずれの研究も、その研究対象をミクロな物体とした研究か、マクロな現象を分子運動から理解しようとする研究であり、研究の立場は機械分子工学にある。他の分野から求められ、その補助となるような研究では決してなく、機械分子工学の確立を指向する研究である。

計算機は短時間に大量のデータを生み出すが、これらから、意義ある知識を見つけるには、また、実験装置は研究対象物体の寸法に逆比例して高額になるが、このような装置を使って貴重なデータを得るには、柔軟な思考と、豊富な経験が必要であり、こうした種々な角度からの討論が要求される。ひとつの課題につき、90 から 120 分間の討論をした。2 枚の OPH に 120 分も使ったときもあった。何をどれだけ理解（考え）しているかという裸の姿での白熱した討論は、ある意味では、大学の研究室で行われるゼミに似ているが、第一線の研究者による討論だけに、その内容は非常にエキサイティングであり、ドラマチックであった。次回は、熊本での伝熱シンポジウムの翌日と決めた。

－伝熱の常識と非常識－

ビールの発泡は沸騰か？

Is the Bubbling of Beer the Boiling?

水上 紘一 (愛媛大学)

Koichi MIZUKAMI (Ehime University)

1. ビールの発泡は拡散現象であるが……

ビールをグラスに注ぐと、グラスの底や壁のいくつかの箇所から小さな気泡が次々に生まれて上昇する。ビンの壁からも同様に気泡が生成離脱していることがある。筆者の経験では、この現象は生ビールを入れたジョッキの方が観察しやすいし、スパークリングワインを入れたワイングラスでは気泡が大きいののでさらに観察しやすい。

この発泡現象は沸騰に似ているが、もちろん違う。物理的には、沸騰は蒸発現象であり、発泡はビールやスパークリングワインに溶け込んでいる炭酸ガスの拡散現象である。

最近はこの相違を説明できない学生が多い。とはいえ、私たちも偉そうなことは言えない。実を言うと、約20年前まで、沸騰開始モデルは発泡を沸騰と数学的に区別することができず、その結果としてサブクール液中でも沸騰が始まることがあるという予測をしていたのだから…… [1]。それでは、その区別をどのようにするか。それを説明するのが、本稿の趣旨である。

上の例では沸騰と発泡の物理的相違は明白であるが、ヤカンでお湯を沸かす場合には単純ではない。水には空気が溶け込んでいるために、気泡が成長して離脱したとしても、それが沸騰なのか発泡なのか判然としない。

なお、本稿は中四国伝熱セミナー・岡山における同題の講演録 [2] に大幅な加除修正を行ったものである。

2. 沸騰は通常微小孔内の気相を核として始まる

通常、沸騰は固体面上にある微小孔（キャビティ）に保持されている気相を核として始まると考えられている。とくに、水はぬれ性が低いので、これに該当する。気相の核は気泡核と呼ばれる。気相

は蒸気と非凝縮性気体から成る。非凝縮性気体とは、問題としている温度範囲で凝縮せず、したがって常に気体として存在する気体である。非凝縮性気体が存在しない場合には、気泡核は蒸気核となる。

3. 力学的平衡の式

気液界面には液体の圧力 p_l および気相の圧力、表面張力が働く。気液界面が平衡しているとき、働く力は釣り合っている。気液界面が球面の一部であると仮定すると、その釣り合いを表す式

$$p_v + p_g - p_l = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

は力学的平衡の式と呼ばれる。ただし、 p_v は蒸気圧、 p_g は非凝縮性気体の分圧、 σ は表面張力、 r は界面の半径である。界面半径は符号をもち、界面が液体側に凸のとき正にとっている。

非凝縮性気体が存在しなければ $p_g = 0$ であるから、上式は

$$p_v - p_l = \frac{2\sigma}{r} \quad (2)$$

となる。この式は Laplace の式と呼ばれることがある。

沸騰が始まるときには力の釣り合いは失われるが、その条件から沸騰開始条件を予測するモデルを力学モデルという。一方、熱収支が失われる条件から沸騰開始条件を予測するモデルを熱モデルという。ただし、本稿では熱モデルについては触れない。

4. 臨界半径

ここでは、非凝縮性気体は存在しないとしよう。蒸気核が成長して沸騰が起こる過程で、気液界面は位置と形状を変える。Fig. 1 は Griffith & Wallis [3] が作った図で、円錐形キャビティ内外での気液界面の位置の移動と形状の変化を表している。(a)図にはキャビティ内外の3箇所での4つの界面が描かれている。もちろん、界面は球面の一部と考えている。ま

た、接触角は 90° と仮定している。(b)図は半径の逆数すなわち曲率（あるいは主曲率）を蒸気核体積に対してプロットしたものである。曲率も蒸気体積も幾何学的量であるから、この図に描かれた曲線自体は単に幾何学的関係を表しているにすぎない。

しかし、式(2)を参照すれば、縦軸に曲率 $1/r$ をとる物理的意味は理解できる。すなわち、蒸気核が力学的平衡状態にあれば、この曲率は蒸気の超過圧力 $p_v - p_l$ 、したがって液体の過熱度に対応するからである。蒸気核が成長してキャビティから出ていく過程で、(b)図から分かるように、曲率は口元に位置する半球状の界面(*)に対して最大になり、このとき超過圧力と過熱度も最大になる。このことから、沸騰が始まるためには界面(*)に対応する過熱度以上の過熱度が必要となる。したがって、界面(*)の半径は沸騰開始条件を決める重要な量であり、臨界半径と呼ばれる。

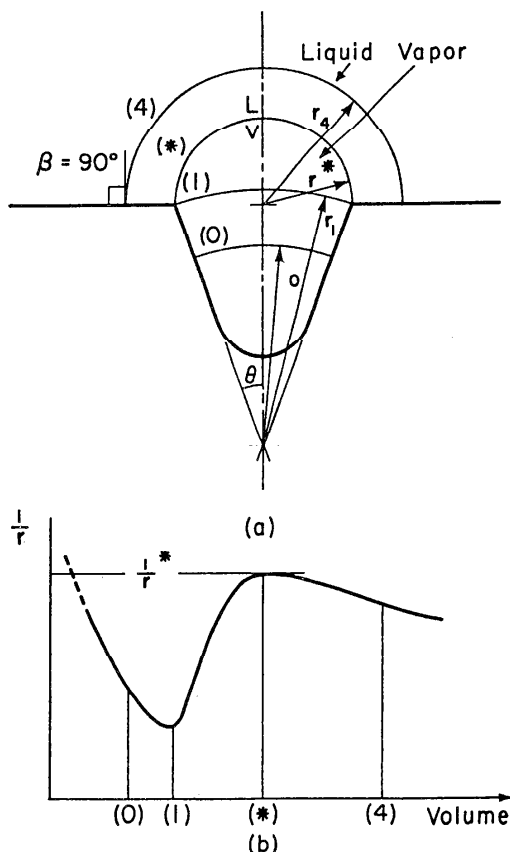


Fig. 1. 円錐形キャビティ内の蒸気核が成長する過程における、(a) 気液界面の移動と形状の変化、(b) 曲率対蒸気体積曲線。

なお、(b)図の曲線は滑らかに描かれているが、キャビティの口元で気液界面の形状変化の傾向が変わるために、正しくは極大点と極小点で尖る。

5. Griffith & Wallis も釈然としなかった

臨界半径に関する以上の説明はほぼ原論文の通りであるし、解説書の説明も同様である。しかし、この説明には奇妙なところがあるのである。

Fig. 1 は沸騰熱伝達の解説書や一部の伝熱学の教科書に紹介されているから、見た記憶のある人は少なくあるまい。しかし、それらの紹介は必ずしも原論文に忠実ではない。(b)図の曲率対蒸気体積曲線を注意深く見ると、最左部が破線で引かれていることに気がつく。ところが、大抵の解説書や教科書ではそれを無視し、曲線全体を実線で描いている。それでは、Griffith & Wallis はなぜその部分を破線で引いたのだろうか。その理由の推察はむずかしくない。なぜなら、キャビティの口元に位置する半球状の界面が最大の曲率を与えると彼らは説明したけれども、破線の部分すなわちキャビティの深部で曲率はもっと大きな値をとるからである。つまり、彼らは自らが与えた説明に対して釈然としなかったことを、破線は示唆している。

6. 安定性という概念の導入

(b)図の曲率対蒸気体積曲線の破線部分には他にも不可解なことがある。超過圧力は蒸気圧と液体圧力の差であるから、超過圧力が増加すると気液界面は外に向かって押され、その結果蒸気体積は増加するはずである。ところが、破線に沿って平衡状態が変わると考えると、奇妙なことに、超過圧力が増加すると蒸気体積は逆に減少しなくならなくなる。もっと平明に言えば、液体の温度が上がって蒸気圧が増加しているのに、蒸気核は収縮しなければならないという矛盾が生じるのである。

前にも述べたように、曲率対蒸気体積曲線は幾何学的な意味をもつものであるから、それ自体を否定することはできない。とすれば、上記の矛盾は曲線の物理的解釈がまだ不十分であることによるのであろう。そこで、前の段落での推論を整理してみると、

- (1) 曲率対蒸気体積曲線の破線の部分では蒸気核は平衡状態にあると仮定する。

(2) そうすると、矛盾が生じる。

となっている。そして、この推論は背理法の最後の段階が欠如した形になっていることに気がつく。背理法では最後の段階で最初に置いた仮定を否定して結論を得るから、それに従って結論を追加すると、次のようになる。

(3) したがって、曲率対蒸気体積曲線の破線の部分では蒸気核は平衡状態にない。

蒸気核が平衡状態にないとは、気液界面が安定に存在しない、つまり不安定であることを意味する。

不安定な界面は運動状態にある。

さらに検討すれば、曲率対蒸気体積曲線の破線の部分だけでなく、傾きが負の部分で蒸気核は不安定になることが分かる [4]。傾きが正の部分では蒸気核は安定である。これは次章で数学的に導く。

7. 蒸気核の安定条件

超過圧力を p_{ex} と書くと、定義により

$$p_{ex} = p_v - p_l \quad (3)$$

である。 p_{ex} を用いて蒸気核に対する力学的平衡の式すなわち式(2)を書き直すと

$$p_{ex} = \frac{2\sigma}{r} \quad (4)$$

となる。

今、蒸気核が安定で、超過圧力が p_{ex} であったとすると、式(4)がなりたつ。自然界の量には変動がつきものであるから、超過圧力にも変動がある。そこで、その微小な変動を dp_{ex} と書く。このとき、蒸気核が安定であるということは、超過圧力に微小な変動があっても依然として力学的平衡がなりたつことを意味する。そのためには、 dp_{ex} とそれによってもたらされる曲率の変動 $d(1/r)$ とが同符号であればよい。

この安定条件を数式で表すと

$$\frac{d}{dp_{ex}} \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{dV}{dp_{ex}} \frac{d}{dV} \left(\frac{1}{r} \right) > 0 \quad (5)$$

となる。 V は蒸気体積であり、超過圧力が増加すれば増加するから、

$$\frac{dV}{dp_{ex}} > 0 \quad (6)$$

がなりたつ。したがって、式(5)は

$$\frac{d}{dV} \left(\frac{1}{r} \right) > 0 \quad (7)$$

となる。これが蒸気核の安定条件であり、前章で述

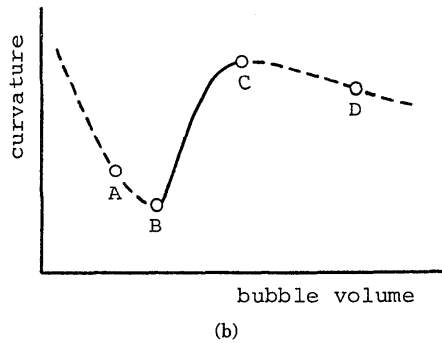
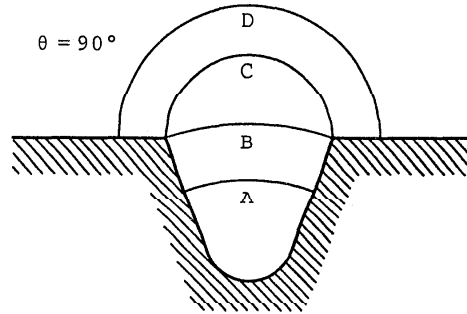


Fig. 2. 安定性を考慮に入れた Fig. 1 の再描。実線は安定、破線は不安定であることを示す。

べたように曲率対蒸気体積曲線の傾きが正のとき蒸気核は安定であることを示している [5]。

Fig. 2 は Fig. 1 を描き直したものである。ただし、曲率対蒸気体積曲線の安定な部分を実線で、不安定な部分を破線で描き、安定不安定の判別をしやすくしている。 θ は接触角である。この図から、次のことを読みとることができる。

(1) この例では、界面がキャピティの口元にあるときだけ蒸気核は安定である。

(2) 蒸気核は界面Cで不安定になり、沸騰が始まる。界面Cの半径は臨界半径に等しいから、沸騰における臨界半径の重要性は不変である。

(3) 個々の気泡に注目するとき、核沸騰とは安定だった蒸気核が不安定になる現象である。

(4) 蒸気核は界面Bで不安定になり、消滅する。

(5) 界面Bの曲率は正であるから、そのとき液体は過熱されている。

(6) 液体がサブクールされると、このキャピティは蒸気核を保持できない。

(7) したがって、接触角の値にもよるが、一般に円錐形キャピティの蒸気保持能力は乏しい。

8. 非凝縮性気体を含む気泡核の安定条件

非凝縮性気体が存在する場合の力学的平衡の式は式(1)であるが、この式を変形して

$$p_{ex} = \frac{2\sigma}{r} - p_g \tag{8}$$

と書く。この式に基づいて、前章と同様に気泡核の安定条件を導くと

$$\frac{df}{dV} > 0 \tag{9}$$

を得る [6]。ただし、 f は

$$f = \frac{1}{r} - \frac{1}{2\sigma} p_g \tag{10}$$

と定義され、変形曲率と呼ばれる。

非凝縮性気体を理想気体と考えると、変形曲率は

$$f = \frac{1}{r} - \frac{nRT}{2\sigma V} \tag{11}$$

と表せ、気泡核体積の関数とみなすことができる。ただし、 n は非凝縮性気体の量、 R は気体定数、 T は液体の絶対温度である。

上述のように、非凝縮性気体が存在する場合の気泡核の安定条件は、変形曲率対気泡核体積曲線の傾き（以後、変形曲率の変化率という）が正であることである。

なお、変形曲率の変化率が正であっても、曲率の変化率が負の時には気泡核は永久に安定ではない。それは気泡中と液体中の非凝縮性気体が非平衡のためである。このような場合は準安定と呼ぶ方が適切であるが [4]、これ以上立ち入らない。

9. 沸騰と発泡の区別

気泡核の安定条件が導かれたので、次に沸騰開始条件をはっきりさせよう。すでに説明したように、個々の気泡に注目すれば、核沸騰とは安定だった気泡核が不安定になる現象である。この観点に立てば、非凝縮性気体が存在しない場合には曲率が最大となるとき沸騰が始まり、非凝縮性気体が存在する場合には変形曲率が最大となるとき沸騰が始まる。

気泡核が成長の途中で気泡となって離脱したとしても、そのとき気泡核が安定であれば沸騰とはみなせない。このような気泡の離脱を発泡と定義すれば、発泡と沸騰は区別できる。つまり、この区別は安定か不安定かに懸かっている。

従来の力学モデルでは、非凝縮性気体の存否にか

かわらず、気液界面が特定の位置でたとえば臨界半径のような特定の半径をとるとき沸騰が始まるとしていた。そのため、沸騰と発泡を区別するすべがなかった。

10. サブクール液中で沸騰は起こらない

上で発泡と沸騰を区別したが、沸騰と判定された場合に果たして液体は過熱しているであろうか。再び円錐形キャビティを対象として検討してみよう。

キャビティの頂角を α とし、その口半径を r_m 、キャビティの体積を V_c 、接触角を θ とする。ここで、 $F = r_m f$ で定義される無次元変形曲率を導入すると、式(11)より

$$F = r_m f = \frac{1}{r^*} - \frac{N}{V^*} \tag{12}$$

を得る。ただし、 $r^* = r \cdot r_m$ 、 $N = nRT r_m / 2\sigma V_c$ 、 $V^* = V/V_c$ である。

Fig. 3 には、 $\alpha = 20^\circ$ 、 $\theta = 40^\circ$ とし、無次元気体量 N をパラメータとして無次元変形曲率 F を無次元気泡核体積 V^* の関数として示している [6]。 $N=0$ のときは非凝縮性気体が存在しないので、無次元変形曲率は無次元曲率に等しい。この図では、非凝縮性気体の量 N が増加するにつれて不安定な破線の部分が減って安定な実線の部分が増しており、非凝縮性気体による気泡核の安定化効果をはっきりと確認できる。沸騰が始まる無次元変形曲率が最大の点では

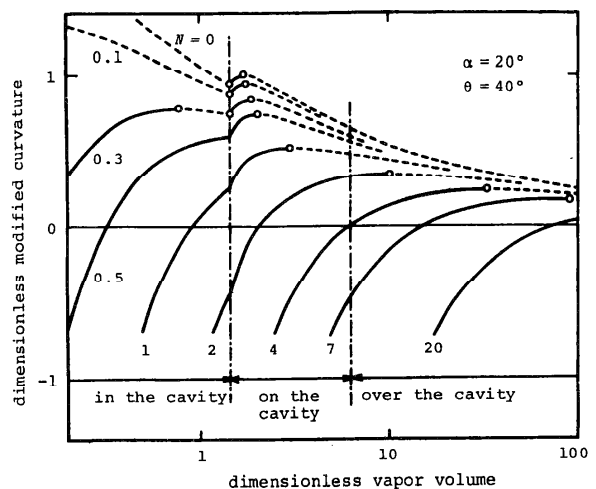


Fig. 3. 非凝縮性気体による円錐形キャビティにおける気泡核の安定化。

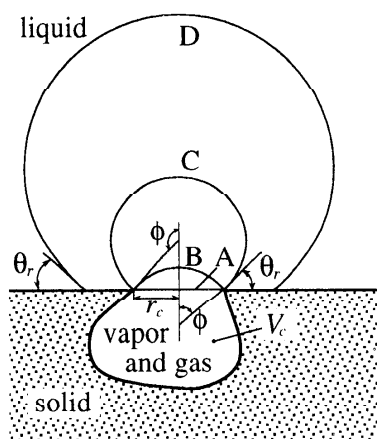


Fig. 4. 気泡核の成長過程 (初期気液界面は平面).

すべての N に対して無次元変形曲率は正であり、したがって液体は過熱している。換言すれば、サブクール液中では沸騰は起こらない。

上の結論は計算結果から導かれたが、今では解析的に証明がなされている [7]。その証明には円錐形のキャビティを仮定する必要はない。そこで、Fig. 4 に示すようなキャビティを考えよう。このキャビティは気相を保持しており、初期の気液界面Aは平面である。この気泡核が成長するときの安定限界の一例を示したのが Fig. 5 である。パラメータの θ_r は後退接触角、 a はキャビティの口元に坐った半球状の気泡冠とキャビティ体積との比である。安定限界線は、左右の2部分およびそれらを結ぶ垂直な直線部分の3部分から成る。左の部分は気泡冠がキャビティ口元にある場合であり、右の部分は気泡冠がキャビティを覆う場合である。垂直な部分は気泡核体積が

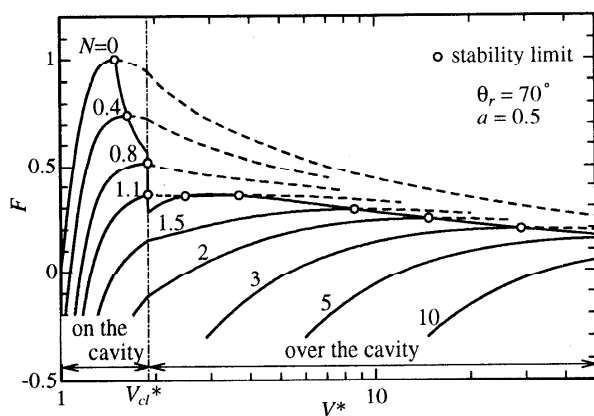


Fig. 5. 成長する気泡に対する安定限界

V_{cl}^* のところにある。 V_{cl}^* は Fig. 4 の気泡核Cに対する無次元体積である (このとき、気泡冠はキャビティの口元にあつて、接触角が後退接触角を取る)。

安定限界線の垂直な部分は後退接触角が大きくなるほど長くなる。場合によっては、変形曲率が負の領域まで伸びる。そのとき、右の部分の一部は当然負の領域にある。さらに、3つの部分のどれかが部分的に負の領域に存在することもある。このような場合には、液体がサブクールされているうちに気泡核は不安定になることもあるが、体積の増加につれて再び安定化する。また、気泡核の挙動はきわめて複雑になることがある、沸騰開始の前に2回の再安定化を経験することさえある。Fig. 5 は比較的複雑でない例であるが、それでも、 $N = 1.1$ の場合には沸騰が始まる前に1回再安定化が生じている。

安定限界線の右の部分は

$$F = \frac{1}{3} b^{1/3} (V^* - 1)^{1/3} (2V^* - 3) \quad (13)$$

と表せる。ただし、 b は a と θ_r に依存するパラメータである。上式の右辺は $V^* > 3/2$ の範囲では正であり、 $V^* = 3$ で最大となる。したがって、変形曲率が負すなわち液体がまだサブクールされているうちに気泡核が不安定になったとしても、体積が増加すると再安定化し、最終的に沸騰が始まる時は必ず液体は過熱している。

11. キャビティの気相保持メカニズム

気泡核の力学的安定性理論を理解すれば、キャビティの中に気相が保持されるメカニズムは自明のことである。キャビティの中に気液界面を考え、それ

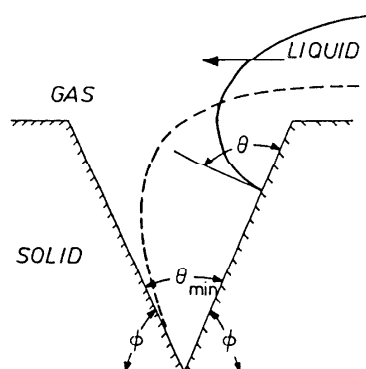


Fig. 6. キャビティの気相保持メカニズムに関する Bankoff のモデル。

が安定であれば気相は保持されるのだから [8, 9].

従来支持されてきた考え方は Bankoff [10] によって提唱されたもので、液体がキャビティへ流入するときの気液界面の形状とキャビティ形状の相対的關係だけで気相が保持されるかどうかが決まる。Bankoff の気相保持モデルは三角形断面の溝に対して作られたが (Fig. 6 参照), その後円錐形キャビティにも用いられるようになった。

円錐形キャビティは蒸気保持能力に乏しく口元でしか安定に界面を支持できないという結論が力学的安定性理論から導かれることはすでに説明した。Yang & Kim [11] は、これを「口元で支持できる」と読み変えて発泡点密度の検討に用い、Bankoff の気相保持モデルの方がよいと結論している。しかし、安定性理論の適用が不適切であると筆者は思う。

12. まとめ

ビールの発泡は拡散現象であり、蒸発現象である沸騰と異なることは物理的に明白である。しかし、数学的に両者を区別するには安定性という物理概念の導入が必要である。気泡核の安定条件は変形曲率の変化率が正であることである。

曲率対蒸気体積曲線の不可解さは安定性の概念を受容すれば解消される。安定性という観点から個々の気泡を見れば、沸騰とは安定だった気泡核が不安定になる現象である。この沸騰の定義に従えば、サブクール液中で沸騰が始まることがあるという奇妙な予測からも解放される。

気泡核の安定性理論から直ちにキャビティの気相保持メカニズムのモデルが導かれる。

13. 付言

液体温度が上昇すると気泡核体積は増加するから、安定条件は

$$\frac{df}{dT} > 0 \quad (14)$$

の形で用いられることがある [12]。Wang & Dhir [13] は発泡点密度の解析に式(9)の安定条件を用いたが、最終的には非凝縮性気体の影響を無視した。

上で紹介したのは力学的安定性理論であるが、他に界面自由エネルギーに基づく熱力学的安定性理論

が提案されている [14-16, 12]。しかし、結果が異なるという報告はないはずである。力学的安定性理論の長所は簡単にそれゆえに利用しやすいことである。

[参考文献]

1. R. M. Singer and R. E. Holtz, "On the Role of Inert Gas in Incipient Boiling Liquid Metal Experiments," *Int. J. Heat Mass Transfer* **12**, 1045-1060 (1969).
2. 水上, "ビールの発泡は沸騰か?," 中四国伝熱セミナー・岡山講演概要集, 81-86 (1995).
3. P. Griffith and G. D. Wallis, "The Role of Surface Conditions in Nucleate Boiling," *Chem. Eng. Prog. Symp. Ser.* **56**, 49-63 (1960).
4. K. Mizukami, "Stability of Bubble Nuclei and Nucleation in Isothermal Liquid," 神戸商船大学紀要第二類, No. 27, 99-108 (1979).
5. K. Mizukami, "Entrapment of Vapor in Reentrant Cavities," *Letters Heat Mass Transfer* **2**, 279-284 (1975).
6. K. Mizukami, "The Effect of Gases on the Stability and Nucleation of Vapor Bubble Nuclei," *Letters Heat Mass Transfer* **4**, 17-24 (1977).
7. K. Mizukami and M. Takeda, "Stability Limit of a Gaseous Bubble Nucleus at a Surface Cavity," *Proceedings of the 3rd KSME-JSME Thermal Engineering Conference*, Vol. 1, 383-388 (1996).
8. K. Cornwell, "On Boiling Incipience Due to Contact Angle Hysteresis," *Int. J. Heat Mass Transfer* **25**, 205-211 (1982).
9. K. Mizukami, F. Abe and K. Futagami, "A Mechanical Model for Prediction of Boiling Inception Condition," *Proceedings of the 9th International Heat Transfer Conference*, Vol. 2, 117-122 (1990).
10. S. G. Bankoff, "Entrapment of Gas in the Spreading of a Liquid over a Rough Surface," *AIChE J.* **4**, 24-26 (1958).
11. S. R. Yang and R. H. Kim, "A Mathematical Model of the Pool Boiling Nucleation Site Density in Terms of the Surface Characteristics," *Int. J. Heat Mass Transfer* **31**, 1127-1135 (1988).
12. D. B. R. Kenning, "Wall Temperature Variations and the Modelling of Bubble Nucleation Sites," *Proceedings of Engineering Foundation Conference on Pool and External Flow Boiling*, 105-110 (1992).
13. C. H. Wang and V. K. Dhir, "On the Gas Entrapment and Nucleation Site Density during Pool Boiling of Saturated Water," *ASME J. Heat Transfer* **115**, 670-679 (1993).
14. 西尾, "沸騰核生成(初気泡発生)に関する一考察," 生産研究 **33**, 409-412 (1981).
15. T. W. Forest, "The Stability of Gaseous Nuclei at Liquid-Solid Interfaces," *J. Appl. Phys.* **53**, 6191-6201 (1982).
16. 西尾, "均一温度場における既存気泡核の安定性," 日本機械学会論文集(B編) **54**-503, 1802-1807 (1988).

ペンシルバニア州立大学における 心血管の熱流体力学研究

Cardiovascular Mass and Heat Transfer in Penn. State

多田 茂 (東京工業大学工学部機械科学科)
Shigeru TADA (Tokyo Institute of Technology)

伝熱学会 会員 皆様 新年おめでとうございます。

私は平成 10 年度の文部省在外研究員 (若手教官の別枠推薦) に採択され、平成 10 年 9 月 1 日から平成 11 年 8 月 31 日までの一年間の滞在予定で、当地米国の Pennsylvania State University の Chemical Engineering Department で研究活動をさせて頂いております。私の現在の研究テーマは伝熱とは少し離れますが、生体流体力学に関連した内容のものです。その詳細についてはまた後ほど紹介させて頂くことにして、まずは、Pennsylvania State University (以下 PennState) の簡単な紹介をさせて頂きたいと思っております。

PennState の創立は 1855 年で、現在 Pennsylvania 州 (New York 州の西隣の州です) に 24 のキャンパスを持ち、その中でも最大のキャンパスは今私が滞在中の University Park キャンパスです。この University Park キャンパスは地理的には Pennsylvania 州の丁度中心に位置しており、職員・学生含め全学 8 万人のうちほぼ半数がこのキャンパスにいます。University Park キャンパスへのアクセスは北に 4 マイルほど行ったところに小さな University Park 飛行場がある他は、Pittsburgh や Harrisburg という都市の空港からは車で 3 時間程度の距離です。私がこちらに来た当初は University Park 飛行場は工事中だったため国内便の乗り入れが出来ず、Chicago O'Hare 国際空港を経由して、Harrisburg 空港に到着後、レンタカーを借りて University Park に入りました。University Park 飛行場は昨年 9 月上旬に改装が終った様子で、モダンな建物の造りの上、とてもきれいになっています。

一方、この原稿を書きながらなのですが、「PennState の大学としての質の評価がアメリカ国内では一体どの程度のものであるのか」という内容についても関心が出てきましたので、少しですがそれについて調べた内容を紹介したいと思います。異論をお持ちの方もおられるかとは思いますが、アメリカでは「どの大学が良い大学か」ということももちろんそうなのですが、それよりもむしろ、「どの分野ではどの大

学が良いか」ということの方がより重視される傾向にあるようです。大学に進学する意志のある高校生に対しては「自分に適した大学」を選ぶ際のサポートとなる様々な情報がインターネット、あるいは書籍で紹介されています。私は今回はそれらの情報源の一つである U.S. News and World Report College Rankings (<http://www.usnews.com/>) を調べてみました。これによると PennState は「Best College Ranking」という項目の「National University」の中では総合点で 44 位、一方「Best Graduate School」という項目の「Engineering」の部門では 18 位、さらにその中の「Research activity」という評価項目だけを見ても University of Pennsylvania (54 位) や University of California, Berkeley (14 位)、California Institute of Technology (26 位) といった強豪を押えて堂々の 12 位にランク付けされています。以上の資料から判断して、PennState はアメリカ国内ではかなり良い評価を得ていると考えられるのですが、「Student selectivity Rank」では 64 位となっており、学生からの評価は他の項目の順位に比べてかなり低いランキングです。このように何を評価基準にするかということで大学間でかなりランキングの順位が変動する事もわかります。

以上は PennState のホームページ (<http://www.ps.u.edu>) 等を参考に紹介させて頂いた内容ですが、次に、私を客員研究員として受け入れて頂いた John, M. Tarbell 教授が所属されている Chemical Engineering Department をはじめとする PennState の工学部での、私が今まで見て来た範囲での教育・研究活動の様子を紹介しようと思います。まず、教育設備についてですが、こちらに来て強く感じたことの一つとして、インターネット (E-Mail, WWW) 環境が非常に充実しているということが挙げられます。University Park キャンパスには、日本の大学では恐らく一般的であろうと思われる総合情報処理センターのような、端末が沢山並べられた計算機室を幾つか備えた「一つの独立した建物」はありません。その代わりに、

50 近くの Computer Lab と呼んでいる LAN に接続されたパソコンが沢山並べられた部屋が、キャンパス内のあちこちの建物の中に点在しています。学生も職員もそれらの端末をどの部屋からも全く同じ環境で自由に使う事が出来、好きな時間に好きな場所でインターネットにアクセスが可能です。また、インターネットは自宅からでも Dormitory からでもアクセスが可能になっており、大学のサーバを使って E-Mail や WWW 環境を無償で利用することが出来ます。Chemical Engineering Department の建物にも学科の Computer Room が一つあって、Department の学生は Photo ID でドアロックを解除して入室し、室内の設備が利用出来る仕組みになっています。Photo ID の話が出て来ましたので、もう少しこれについて詳しく紹介しますと、この Photo ID は Computer Room だけではなく学内の様々な設備（トレーニングマシン等）を利用したり、建物に入る際のドアキーとしても使われます。また、大学近くの銀行に行けば簡単な手続きでキャッシュカードとして ATM を利用することが可能にもなるというとても便利な ID です。ですが、逆にこれを紛失したらそれこそ大変そうです。私もこちらに来てしばらくしてから Faculty の Photo ID を作ってもらいました。これがないと E-Mail のアドレスはおろか、計算機のアカウントももらえないので、ID を実際に手にするまではほとんど何も出来ないという状況でした。

ちょっと話が脇道に逸れてしまいましたが、話を元に戻すと、このようにコンピュータのネットワークサービスが充実しているのは、単にアメリカのネットワーク環境が進んでいるためであるという理由だけではなく、それらの設備を大学の教育活動を強力にサポートする道具として、むしろ積極的に利用しているのではないであろうかという印象も受けます。私が見た限りでは、学生達は WWW でただ単に学外の色々なページを閲覧するという用途よりも、むしろ授業のカリキュラム案内（休講等の連絡事項も含む）やレポートの課題の確認、論文の検索等の目的で盛んに利用しているようです。試験期間中になるとこの Computer Lab も満室状態で、端末が空くのをひたすら待つ学生の行列も時々出来ます。学生は皆それぞれ端末に張りついて授業のレポートの課題を WWW で確認しながら文書作成をしています。あるいは汎用計算プログラムを使ってレポートの課題の計算に没頭している大学院生の姿もちらほら見受けられました。また、Computer Lab で端末を使って工学部の授業が行

われることもしばしばあります。私が目にした例では恐らく機械系の授業だと思うのですが、構造解析ソフトウェアの ABAQUS を実際に操作して、かなり複雑な材料変形の問題を学生に解かせるということもなっていました。教官が部屋に備え付けの大きなスクリーンに自分の端末の画面を表示させ、講義を行うと同時に学生にソフトウェアの操作法を説明し、一台一台の端末の前に座っている学生に実際にプログラムを操作させるという手順で授業が進められて行きます。学ぶ側の学生も非常に真剣に授業に取り組んでおり、同じ部屋で私がワークステーションの端末を使っていた時にも、教官が学生から質問責めにあっている光景を何度か目にしました。

PennState の紹介が随分長くなってしまいました。最後に私が現在所属している研究室、ならびに研究内容の紹介をさせて頂いて「世界のホットニュース」の結びとさせて頂きたいと思います。

私の受け入れ先の研究室は先にも紹介しましたが、Chemical Engineering Department の J.M. Tabell 教授の率いる研究室です。J. M. Tarbell 教授は生体流体力学、特に動脈硬化の発症因と考えられている、血流が血管壁に及ぼす様々な流体力学的な効果についての研究で多大な成果をあげられている、世界的にも著名な研究者の一人です。

研究室の構成員は Tarbell 教授以下、客員研究員 1 名、Post Doc 2 名、博士課程学生 3 名、修士課程学生 5 名、計 12 名の当学科では比較的大所帯の研究室です。研究室のメンバーはそれぞれ Cardiovascular Fluid Dynamics, Artificial Heart, Cardiovascular Transport の 3 つの研究グループのいずれかに属し、個々に与えられたテーマに沿って研究を行っています。各研究グループは毎週 1 回、Tarbell 教授とグループ別に時間を取って Meeting を行い、現在の研究の進捗状況等の報告をだいたい一人につき 30 分程度の時間を取って行われます。研究室の運営形態で特徴的なのは、3 つの研究グループが互いに連携しながら研究室全体で幾つかの大きな研究テーマを同時に進めているということです。例えば、私が入っている Cardiovascular Fluid Dynamics のグループは人体内の血流の数値解析、実験、理論解析等を行っていますが、研究対象がとても幅広く、心臓内部や血管の分岐部の流れといったマクロな血液の流れ場から、血管壁内部を透過する血漿の流れ場のシミュレーションというミクロな研究も行っており、これらの計算ではしばしば生理学的に厳密な実験に基づいたデータがパラメー

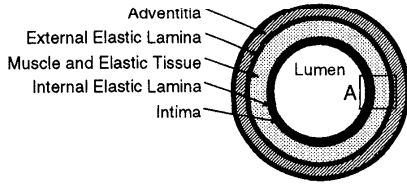


図 1. 血管の横断面

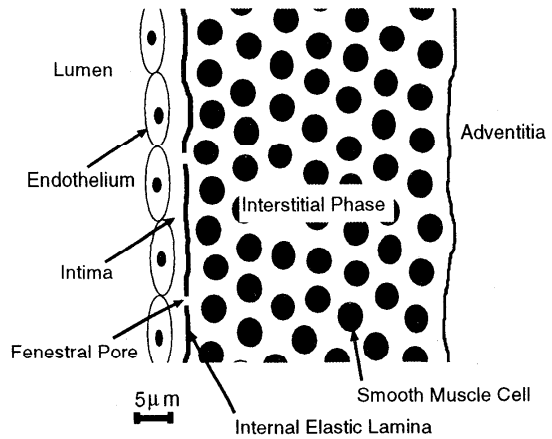


図 2. 図 1 の A 部拡大図

タとして必要になります. そのような場合は, 実際に血管の表皮細胞等を培養して様々な実験を行っている **Cardiovascular Transport** のグループと情報交換を行ったり, あるいは彼らのサポートで実際に自分達の実験に必要な表皮細胞を培養したりもします. 一方, **Cardiovascular Transport** のグループが実験を行うときは, 実験条件を **Cardiovascular Fluid Dynamics** グループが計算で用いる条件に近づけて行ったりもします. 興味深いのは, **Cardiovascular Fluid Dynamics** のグループには私を含め 3 人いますが, いずれも専攻が機械工学であり, 一方 **Cardiovascular Transport** グループの 5 名はいずれも専攻が生命化学であるということです. 異なる専門知識のバックグラウンドを持つ複数のグループが互いに連携しながら研究室の大きな研究テーマを進め, さらに互いの成果を持ち寄り, 最終的に一つの論文にまとめて発表します.

私が現在行っている研究は図 1, 2 に示すような血管壁内部を透過する血漿の流れ場の数値解析です. 血漿が **Endothelial** (内皮細胞) のすき間, あるいは何

らかのダメージを受けて **Endothelial** が剥離した血管内表面から血管壁内部を透過して行く時に, **Smooth Muscle Cell** (平滑筋細胞) 表面に生じる表面せん断力を求めます. 詳しい説明は長くなるので割愛させて頂きませんが, この表面せん断力の大きさ, 及び分布は **Smooth Muscle Cell** への血漿中の酵素等の物質輸送に大きく影響します. 血管の収縮・拡張は血漿中に溶け込んでいるそれらの物質濃度を **Smooth Muscle Cell** が感知して, 自分自身が収縮・伸展することにより行われますが, **Smooth Muscle Cell** が何らかの原因で異常な行動を起こし, 血管内皮をつき破って血管内部に露出してくる時があります. これがいわゆる動脈硬化の引金となるようですが, そのメカニズムの詳細は現在でもあまり良く分かっておらず, 表面せん断力の分布がそのメカニズムを解明する上での一つの大きな鍵を握っていると考えられています.

行事カレンダー

本会主催・共催行事

| 開催日 | 行事名 (開催地、開催国) | 申込締切 | 原稿締切 | 問合せ先 | 掲載号 |
|-------|--|----------|----------|---|--------------------------|
| 1999年 | | | | | |
| 1月 | 22(金) 生体・食品加工における熱的課題に関する ジョイントシンポジウム (東京、早稲田大学) | '99.1.8 | | 東京大学生産技術研究所第二部 白 櫻 了 Tel.: 03-3401-6575, Fax.: 03-3402-6231 | Vol. 37 No. 147 参照 |
| 5月 | 26(水) ~28(金) 第36回日本伝熱シンポジウム (熊本、KKRホテル熊本・熊本厚生年金会館) | '99.1.22 | '99.3.12 | 第36回日本伝熱シンポジウム準備委員会 広報担当 笹 口 健 吾 Tel.: 096-342-3756, Fax.: 096-342-3729 E-mail: sasa@gpo.kumamoto-u.ac.jp http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/sympo | Vol. 37 No. 147 参照 |
| | 26(水) ~28(金) The Frontiers Forum準備セッション (第36回日本伝熱シンポジウム会場) | '99.1.31 | | 東京大学生産技術研究所 西 尾 茂 文 Tel.: 03-3402-6231, Fax.: 03-5411-0694 E-mail: nishios@cc.iis.u-tokyo.ac.jp | Vol. 37 No. 147 参照 |

その他の関連行事

| 開催日 | 行事名 (開催地、開催国) | 申込締切 | 原稿締切 | 問合せ先 | 備考 |
|-------|---|-----------------------|---------------------------------|---|--------------------------|
| 1999年 | | | | | |
| 3月 | 15(月) ~19(金) 第5回ASME-JSME熱工学合同会議 (米国、サンディエゴ) | Abstract '98.3.2 | '98.6.15 | 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 庄 司 正 弘 Tel.: 03-3812-2111 Ext.6406, Fax.: 03-5800-6987 E-mail: shoji@photon.t.u-tokyo.ac.jp, a-j99@photon.t.u-tokyo.ac.jp (投稿用) | Vol. 36 No. 143 参照 |
| 5月 | 17(月) ~19(水) The 2nd Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-2) (米国、ホノルル) | Abstract '98.8.1 | '98.11.10 | 東京農工大学工学部機械システム工学科 望 月 貞 成 Tel./Fax.: 0423 88-7088 E-mail: psfvip-2@mmlab.mech.tuat.ac.jp http://www.cc.tuat.ac.jp/~psfvip-2 | Vol. 37 No. 145 参照 |
| | 23(日) ~25(火) 2nd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation (イタリア、ピサ) | Abstract '98.5.15 | Mat '99.2.18 | Dr. Paolo Di Marco Energy Department, University of Pisa http://docenti.ing.uniipi.it/~d6600/pisa99/ | Vol. 37 No. 144 参照 |
| 7月 | 18(日) ~23(金) Engineering Foundation Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries (カナダ、バンフ) | Abstract '98.9.18 | Mat '99.2.22 | 九州大学機能物質科学研究所 本 田 博 司 Tel.: 092-583-7787, Fax.: 092-583-7882 E-mail: hhonda@cm.kyushu-u.ac.jp http://www.engfnd.org/ | Vol. 37 No. 146 参照 |
| 8月 | 1(日) ~5(木) 34th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC'99) (カナダ、バンクーバー) | Abstract '98.11.20 | Mat '99.6.1 | 東北大学大学院工学研究科 斎 藤 武 雄 Tel.: 022-217-6974, Fax.: 022-217-6975 E-mail: saitoh@cc.mech.tohoku.ac.jp http://www.sac.org/ | |
| 2000年 | | | | | |
| 1月 | 5(水) ~7(金) 15th National Heat and Mass Transfer Conference and 4th ISHMT/ASME Heat and Mass Transfer Conference (インド、Pune) | Abstract '98.12.15 | Mat '99.9.15 | 京都大学大学院工学研究科 鈴 木 健 二 郎 Tel.: 075-753-5250, Fax.: 075-753-5851 E-mail: ksuzuki@htrans.mech.kyoto-u.ac.jp http://www.pune.tcs.co.in/ISHMT | |
| | 9(日) ~12(水) Symposium on Energy Engineering in the 21 Century (中国、香港) | Abstract '99.2.1 | Mat '99.5.15 | Prof. Ping Cheng Dept. of Mechanical Engineering, Hong Kong University of Science and Technology Tel.: +852-2358-7182, Fax.: +852-2358-1543 E-mail: mepcheng@usthk.ust.hk http://www-mech.ust.hk/see2000 | Vol. 37 No. 147 参照 |
| 8月 | 22(火) ~25(金) 9th International Symposium on Flow Visualization (連合王国、エジンバラ) | Abstract '99.12.12 | Mat (electronic) '00.5.15 | Prof. Ian Grant Heriot-Watt University Tel.: +44-131-447-8800, Fax.: +44-131-447-8660 E-mail: 9misfv@ode-web.demon.co.uk http://www.ode-web.demon.co.uk/9misfv | |

第 36 回日本伝熱シンポジウムのご案内

- ・ 開催日 平成 11 年 5 月 26 日(水)～28 日(金)
- ・ 講演会場 KKR ホテル熊本(熊本市千葉城町 3-31, TEL(096)355-0121)
熊本厚生年金会館(熊本市千葉城町 4-25, TEL(096)355-3295)
- ・ 交通手段 KKR ホテル熊本: 熊本空港から空港バス(40 分)で通り町筋(とおりちょうすじ)・鶴屋
デパート前下車徒歩 10 分
JR 熊本駅から市電(20 分)で市役所前下車徒歩 10 分
熊本厚生年金会館: KKR ホテル熊本から徒歩 5 分
- ・ シンポジウム
参加費 一般 事前申込: 8,000 円 当日申込: 9,000 円
学生 事前申込: 4,000 円 当日申込: 4,500 円
(いずれも講演論文集代は含みません)
- ・ 講演論文集
 - 1) シンポジウム参加者(会場受付にてお受け取り下さい)
日本伝熱学会会員: 無料(1 セット)
非会員: 8,000 円(1 セット)
 - 2) シンポジウム不参加者
日本伝熱学会会員: 無料(1 セット)で後日郵送
非会員: 9,000 円(1 セット・送料込み)で後日郵送
 - 3) 追加注文
会場受け取り: 8,000 円(1 セット)
後日郵送: 9,000 円(1 セット・送料込み)
- ・ 懇親会 日時 5 月 27 日(木) 18 時 00 分～20 時 00 分
会場 KKR ホテル熊本
会費 事前申込: 一般 7,000 円(同伴者 1 名は無料) 学生 4,000 円
当日申込: 一般 8,000 円(同伴者 1 名は無料) 学生 5,000 円
- ・ 参加申込方法 本号に挟み込みの郵便振替払込取扱票を各人 1 名につき 1 枚づつご使用になり、通信欄に「氏名(ふりがな)、伝熱学会会員・非会員の別、勤務先または学校名、参加費、懇親会費、懇親会同伴者の有無、講演論文集(有料分・送料除く: 1 セット 8,000 円)、論文集送料(1 セット 1,000 円)、払込合計金額」をご記入の上、その合計金額をご送金下さい。参加証等は当日受付にてお渡し致します。なお原則として領収書の発行は省略し、郵便振替払込票兼受領証をもって代えさせていただきます。
(郵便振替口座番号: 01750-5-58008, 口座名称: 第 36 回日本伝熱シンポジウム準備委員会)
- ・ 事前申込締切 平成 11 年 4 月 16 日(金)(消印有効)
- ・ お問い合わせ先 第 36 回日本伝熱シンポジウム準備委員会広報担当 笹口 健吾
TEL(096)342-3756, FAX(096)342-3729
E-mail: sasa@gpo.kumamoto-u.ac.jp
ホームページ: <http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/sympo>
- ・ 受付 平成 11 年 5 月 26 日(水)8:30 から KKR ホテル熊本 1 階ロビーにて行います。
- ・ 宿泊・航空券
弁当 宿泊・航空券・弁当の予約に関しては旅行者「恵和会」が一括してお世話します。
本号綴込の「ご案内」をご覧の上お申込下さい。なお、本講演会場内のレストランの席数は少なく、また会場近くにも飲食店はほとんど有りません。弁当の予約をご利用ください。弁当の当日受付は致しません。また、弁当の予約をされた方は熊本厚生年金会館で、代金引き換えでお受け取り下さい。予約されて受け取られない場合でも、後日代金を頂きますのでご了承下さい。
- ・ 駐車場 両会場ともある程度の駐車は可能ですが、準備委員会で特に確保はしておりません。個人的にお問い合わせ頂くようお願いいたします。

第36回日本伝熱シンポジウム研究発表申込者の方へ：提出書類及びお願いなど

研究発表を申し込まれた方は、下記の要領に従って書類を郵送でご提出下さい。

1. 講演論文原稿 (A4, 2 ページ) 1 部

次ページの原稿見本と書き方をご参照下さい。FAX や E-mail による原稿送付は受け付けません。

2. 講演論文原稿のコピー 2 部

1. の正原稿に加えてそのコピーを2部お送り下さい。

3. JICST データベース用抄録 1 部

本シンポジウムの発表論文の和文アブストラクトは、全て JICST データベースに収録されます。原稿提出時に、2 ページ後の論文抄録用紙にお書きの上、上の書類と一緒に郵送下さい。

論文原稿締切 平成 11 年 3 月 12 日 (金) 必着 (締切厳守：間に合わない場合、論文集に掲載できないことがあります)

書類送付先 〒860 8555 熊本市黒髪 2-39-1
熊本大学 工学部 知能生産システム工学科内
第36回日本伝熱シンポジウム準備委員会論文集担当
佐田富 道雄
TEL : (096)342-3757 FAX : (096)342-3757
E-mail : nhtjs-ap@mech.kumamoto-u.ac.jp

お願い

学会誌「伝熱」が平成 11 年から奇数月に発行されることになったため、学会誌における本シンポジウムのプログラムの案内は、3月号(昨年までより1ヶ月早い)において、発表申込時点のデータに基づく暫定プログラムとして掲載せざるをえない状況となりました(最終版はホームページに掲載予定)。従いまして、申込以降の「講演取り止め」や「講演題目の変更」等がないようご協力下さい。そのようなことが多発しますと、プログラムに大幅な変更を要するようになり、プログラム編集の遅延や座長予定者など多くの方々にご迷惑をかけることとなります。

また、昨年のシンポジウムでは、提出期限をかなり過ぎて到着した原稿があったと聞いております。今回は論文原稿締切「平成 11 年 3 月 12 日 (金)」の厳守をお願い致します。

第36回日本伝熱シンポジウム準備委員会委員長
井村英昭

講演番号 **伝熱シンポジウム講演論文の書き方 (表題・14ポイント)** ↑

↑横25mm×縦10mm開け (副題・12ポイント, 無い場合は1行あける)

事務局で記入 **Instruction for preparing a paper (英文の表題・12ポイント)** 上側 20mm 余白

(英文の副題・12ポイント, 無い場合はつめる)

(1行あける)

伝正 熊本 一郎 (肥後大) 化正 阿蘇 二郎 (九州工業)

機学 *天草 三郎 (水前寺大院) (12ポイント, 発表者には*をつける)

(1行あける)

Ichiro KUMAMOTO¹, Jiro ASO² and Saburo AMAKUSA³ (10ポイント)

¹Dept. of Mech. Eng., Higo Univ., Kurokami, Kumamoto 860-8555 (10ポイント)

²Kyushu Industry Co., Ltd., 1-5-9 Kinposan, Kumamoto 862-0084

³Dept. of Mech. Eng., Suizenji Univ., 1-5-4 Suizenji, Kumamoto 862-8756

(複数の所属の時は上付きの数字で区別する)

(1行あける)

(5文字あける) This paper describes (英文アブストラクト・10ポイント, 100語程度)

.....

(1行あける)

Key Words: Forced Convection, (10ポイント, 3~5個程度)

(1行あける)

1. 緒言 (ボールド) 論文原稿は以下に示す執筆要項に従って作成下さい。

2. 原稿用紙 A4判2枚に, ワープロ等を用いて作成して下さい。上下のマージン各20mm, 左右のマージン各15mmを必ずとって下さい。

3. 表題 日本語の主題は14ポイント, 副題は12ポイント程度の文字, 英語の主題・副題は12ポイント程度の文字をご使用下さい。左上隅には講演番号を記入するための空欄(25mm×10mm)を設けて下さい。講演番号は準備委員会で記入致します。

4. 会員資格・著者名・所属 会員資格・氏名・所属(略記)を申込書と同一順序で日本語(12ポイント)でお書き下さい。連名者がある場合には, 講演者の前に*印をつけて下さい。次いで, 1行あけて英文(10ポイント)でもお書き下さい。所属機関の所在地も例に倣ってご記入下さい。所属機関が複数の場合には上付き数字で区別して下さい。

5. 英文アブストラクト・キーワード 100語程度の英文アブストラクト, および3~5個程度の英文キーワードをお書き下さい(10ポイント)。

6. 本文 本文は1ページ目をこのスタイルで, 2段組み, 片側1行26文字程度, 9ポイントで作成下さい。2ページ目も, 2段組み, 片側1行26文字程度, 9ポイント, 片側60行程度を目安として作成下さい。以上の数字は一応の日安ですが, 上下・左右のマージン(上下各20mm, 左右各15mm)は必ず設けて下さい。

7. 図表 図表中の記号及びキャプションは英語でお書き下さい。写真や図表を貼り付ける場合には, 裏に薄く図番と著者名をご記入の上, しっかりと貼って下さい。印刷は全て白黒です。

8. 文献 文献を引用する場合には, 本文中の引用箇所の右上に小括弧を付けた番号⁽¹⁾で表し, 本文の末尾に下記のようにまとめて文献を列記して下さい。

9. その他 右上隅の余白部分に, 講演者名とページ(天草・1/2), 及び研究発表申込時にメールなどでご連絡した申込番号を, 薄く鉛筆でご記入下さい。

論文原稿の送付先は下記の通りです。締め切りを厳守して郵送下さい(平成11年3月12日(金)必着)。

原稿送付先:

〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1
 熊本大学 工学部 知能生産システム工学科内
 第36回日本伝熱シンポジウム準備委員会
 論文集担当 佐田富 道雄
 TEL:(096)342-3757 FAX:(096)342-3757
 E-mail: nhtjs-ap@mech.kumamoto-u.ac.jp

正原稿に加えて, 論文原稿のコピー2部とJICSTデータベース用抄録を郵送でご提出下さい。FAX及びE-mailによる原稿提出は受け付けません。

文献の記載例

(1) 熊本・他2名, 機論(B), 64-630(1998), 123.

↑ ↑ ↑

雑誌などの略称

著者が3名以上の場合は
他何名として下さい

巻一(発行年), 先頭ページ

左側 15mm 余白, 右側も 15mm 余白

下側 20mm 余白

段間隔 10mm

図表のキャプションの例
 Fig. 1 Schematic diagram of

JICST データベース用講演論文抄録提出のお願い

本シンポジウムで発表される論文は、速やかにかつ広く引用されることを目的として、その抄録を日本科学技術情報センター(JICST)のデータベースに収録されます。つきましては下欄に貴論文の概要を必ずご記入の上、原稿に添付してご提出願います。

なお、下記フォーマットに従って各位ワープロで作成されたものをお送りいただいても構いません。

- (記入の注意)
1. 著者名：講演者を筆頭に書き、連名者も含め全てふりがな（カタカナ）を付す。
 2. 抄録：200～250字以内でご記入下さい。

右欄は JICST で記入

準備委員会で記入

↓

| | | | |
|--------|----------------|-------|--|
| 講演会名称 | 第36回日本伝熱シンポジウム | 貴講演番号 | |
| 著者名 | フリガナ | | |
| 講演者勤務先 | フリガナ | | |
| 表題 | 主 | 副 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

第36回日本伝熱シンポジウム（熊本） 宿泊のご案内

期日：1999年5月26日（水）～28日（金）

会場：KKRホテル熊本・熊本厚生年金会館（熊本市）

ご挨拶

皆様方にはご健勝の段、お喜び申し上げます。熊本で開催されます本学会につきましては、学会サポートセンターが、宿泊手配を申し受けます。通信費・送金手数料等の、学会参加者各位の負担をなくし、スマートな宿泊手配を致します。学会協賛ホテルの誠意を込めたおもてなしをご満喫下さい。

東京・名古屋・関西からは別紙案内・インターネット申し込み可能なお得な学会パックを御利用下さい。

尚、学会サポートページにて詳しい熊本の情報・交通案内・学会パックをご案内をいたしています。

<http://higo.co.jp/sympo/>

【学会協賛ホテル案内】

4月5日予約受付開始

●シングルルームを基本に十分な数の低料金のお部屋を準備いたしております。

●料金はホテル平常料金以下にて予約を承っております。

●前送金は不要です。お支払いは宿泊引き受け書条件にて、当日現金、カード等でお支払いを承ります。

| 学会サポートホテル料金表（サービス料込税別） | | | |
|---|----------------|--------|--------------|
| ホテル名 | シングル | 朝食 | 会場への交通 |
| ホテルリンクス熊本 | 6,000円（学会割引価格） | 800円 | （市電+徒歩）20分 |
| 熊本法華クラブ | 5,500円（学会割引価格） | 800円 | （市電+徒歩）20分 |
| リバーサイドホテル | 6,500円（学会割引価格） | 900円 | （市電+徒歩）20分 |
| 熊本ワシントンプラザ | 7,150円 | 1,200円 | （市電+徒歩）20分 |
| 三井ガーデンホテル熊本 | 7,500円 | 1,200円 | （市電+徒歩）18分 |
| ツインルームも手配できます | | | |
| 公的宿泊施設（下記施設は直接電話にて御予約下さい） 公務員料金サービス料込税別 | | | |
| KKRホテル熊本 | 6,600円 | 1,200円 | 096-355-0121 |
| 熊本厚生年金会館 | 6,930円 | 800円 | 096-355-3295 |

学会ホームページに各ホテル案内を掲載しています。

【宿泊予約の方法】＜公的宿泊施設は除きます。施設へ直接御相談下さい＞

◇通信費・諸費用の別途ご請求・面倒な送金は必要ございません。

◇宿泊予約は学会ホームページ内のインターネット利用の宿泊予約フォーム、または綴じ込みの用紙にてお申し込みください。（データベース構築の為、できましたら予約フォームご利用をお願いいたします）

◇ご指定ホテルを優先して予約いたしますが、希望ホテル満室の場合は他ホテルをご案内いたします。

◇申し込み後3日以内に予約引受書をFAX送信致します。

◇予約手続き後3日間までに当方より予約引き受け書のFAX解答がない場合は至急ご連絡を下さい。

◇宿泊当日、送付しました宿泊引受書をホテルフロントにご提示ください。

◇宿泊取消につきましては、取消料を下記要領にてホテルにお支払い願います。ご了承ください。

【取消料について】 宿泊日基準

| 取消日 | 10日以前 | 9日～3日前 | 2日前 | 前日 | 当日 |
|-----|-------|--------|-----|-----|----|
| 取消料 | 無料 | 20% | 30% | 50% | 全額 |

【弁当申し込みのご案内】（会場近くにレストランがほとんどありません）

熊本厚生年金会館にて当日昼食用の弁当の販売をいたします、1食¥1,000になっております。

申し込み用紙・インターネット予約フォームをご利用下さい。（予約分のみ用意）

| 第36回日本伝熱シンポジウム (FAX専用) 096-363-0865 | | | | | |
|--|----------|--------------|-------|-------|-------|
| 所属 (詳しく) | | FAX番号 | | 電話番号 | |
| 郵便番号: 住所: | | | 代表者: | | |
| 宿泊者氏名 (カタカナ) | 希望ホテル名 | 05/25 | 05/26 | 05/27 | 05/28 |
| | | 下段は弁当申し込み欄です | | | |
| 記入例 クマモト タロウ | ホテル クマモト | 1 | 1 | 1 | |
| | | 弁当 | 弁当 1 | 弁当 1 | 弁当 1 |
| 1 | | | | | |
| | | 弁当 | 弁当 | 弁当 | 弁当 |
| 2 | | | | | |
| | | 弁当 | 弁当 | 弁当 | 弁当 |
| 3 | | | | | |
| | | 弁当 | 弁当 | 弁当 | 弁当 |
| 4 | | | | | |
| | | 弁当 | 弁当 | 弁当 | 弁当 |
| 5 | | | | | |
| | | 弁当 | 弁当 | 弁当 | 弁当 |
| (必要部屋数を数字でお書き込み下さい) (ツイン希望は連絡欄にお書き込み下さい) | | | | | |
| 連絡欄 | | | | | |

宿泊受け付けFAX 096-373-0722 (学会サポートセンター宿泊係)

※予約受付開始は4月5日です。

申し込み締め切りは、4月25日です。

郵便番号860-0811

熊本市本荘1丁目1番1号熊本大学病院 財団法人恵和会内

宿泊手配担当 赤司 信一 TEL& FAX096-363-0865

E-MAIL gakkai@higo.co.jp

第36回日本伝熱シンポジウム 羽田・伊丹・関西・名古屋発 全日空宿泊パックのご案内

熊本での学会に尽きましては、航空会社に協力をお願いし、お得な宿泊パックを提供させていただきます。

参加会員の皆様には、よろしくご利用頂きますようご案内申し上げます。

ご案内

- ◆ 3月25日より受付開始いたします。
- ◆ 基本料金は往復航空券+ホテル1泊2日（朝食付、税・サービス料込）です。
- ◆ 2泊目以上の宿泊は追加手配といたします。（追加料金はサ込税別・部屋代のみ）
- ◆ 4月25日にて予約受付を締め切らせていただきます。
- ◆ 予約完了後の搭乗便変更はできかねます。
- ◆ 申し込み用紙をご利用ください。
- ◆ インターネット予約は<http://higo.co.jp/sp/sympo/kumapack.htm>

羽田発・熊本学会パック羽田ー熊本往復（朝食付、税・サービス料込）

| | 三井ガーデンホテル熊本 | 熊本ワシントンプラザ | ホテルリンクス リバーサイドホテル |
|-------|-------------|------------|----------------------|
| 1泊パック | 45,000 | 45,000 | 44,000 |
| ※追加泊 | 7,500 | 7,150 | 6,500 |

※追加泊料金はルームチャージ、サービス料込税別の金額です。

大阪発・熊本学会パック大阪ー熊本往復（朝食付、税・サービス料込）

| | 三井ガーデンホテル熊本 | 熊本ワシントンプラザ | ホテルリンクス リバーサイドホテル |
|-------|-------------|------------|----------------------|
| 1泊パック | 30,000 | 30,000 | 29,000 |
| ※追加泊 | 7,500 | 7,150 | 6,500 |

※追加泊料金はルームチャージ、サービス料込税別の金額です。

名古屋・熊本学会パック名古屋ー熊本往復（朝食付、税・サービス料込）

| | 三井ガーデンホテル熊本 | 熊本ワシントンプラザ | ホテルリンクス リバーサイドホテル |
|-------|-------------|------------|----------------------|
| 1泊パック | 40,000 | 40,000 | 39,000 |
| ※追加泊 | 7,500 | 7,150 | 6,500 |

※追加泊料金はルームチャージ、サービス料込税別の金額です。

**3月25日より受付開始いたします
4月25日申し込み締め切りです。**

| 熊本宿泊パック申込用紙（伝熱） | | | | | FAX 096-363-0865 | | | | | |
|-----------------|----|------|-----|------------|--|------|------|------|-----|-----|
| 所属（詳しく） | | | | 郵便番号 住所 | | | | | | |
| 代表者名 | | 電話番号 | | | FAX | | | | | |
| パックホテル名 | | | | | | | | | | |
| 申込者名（カタカナ） | 性別 | 年齢 | 往路日 | 便名 | ホテル宿泊日 | | | | 復路日 | 便名 |
| | | | | | 5/25 | 5/26 | 5/27 | 5/28 | | |
| | 男女 | | / | ANA | | | | | / | ANA |
| | 男女 | | / | | | | | | / | |
| | 男女 | | / | | | | | | / | |
| | 男女 | | / | | | | | | / | |
| | 男女 | | / | | | | | | / | |
| 連絡欄 | | | | | (有)学会旅行センター熊本 恵和会サービスセンター営業所 (熊本大学病院内) TEL&FAX 096-363-0865 | | | | | |

航空時刻表は<http://higo.co.jp/air.html>

3月25日受付け開始

4月25日申し込み締め切りです。

講演会場案内（KKRホテル熊本・総合受付け）

熊本空港 ==（空港バス）== 通り町筋・鶴屋デパート前下車 徒歩

熊本駅 ==（市電）== 市役所前下車 徒歩

各地 ==（高速バス）== 通り町筋・鶴屋デパート前下車 徒歩

厚生年金会館会場は、KKRホテル熊本より徒歩5分です。

各宿泊施設からは綴じ込みの地図を参照下さい。





会場周辺拡大図

この小路は、
徒歩のみで
通行できます。

熊本厚生年金会館

KKRホテル熊本

名誉会員規程の改定について

(社) 日本伝熱学会理事会

日本伝熱学会は、社団法人化時の平成7年に制定された名誉会員規程に則り、本学会およびその前身の日本伝熱研究会、ならびに伝熱工学の進展に対して貢献された方々に名誉会員（特別名誉会員を含む）の称号を授与し、功労を讃えて参りました。しかしながら、途中で資格年齢の一部改定が行われたものの、平成10年12月現在の全正会員数に対する名誉会員数の割合はすでに1割近くに達し、さらに今後急増していく傾向にあります。これは、本学会が今日に至るまでの発展にいかにより多くの諸先達が貢献されたかを物語るものではありませんが、今後の本学会の健全な発展を考えると、名誉会員規程の抜本的な改定が必要となって参りました。

そこで、理事会で検討した結果、名誉会員規程改定ワーキンググループを設けて改訂作業を進め、このたび、下掲の改定案が平成10年12月12日の理事会において承認され、平成10年度（第37期）末より実施の運びとなりました。これにより、従来規程の名誉会員に相当するものを新規定では永年正会員（正会員の一種）と呼称し、今後、名誉会員は表彰選考委員会から特に顕著な貢献があったとして推薦された方に限り、また、従来規程の特別名誉会員は廃止されることになりました。ただし、すでに名誉会員および特別名誉会員の方々はそのまま同資格を継承するものとし、今回の改訂によりいささかもその名誉に変更を生じるものではありません。

従来規程および新規程にありますように、「特定の会員または名誉会員が著しく不利益となるような改訂を行ってはならない」ことを十分配慮しつつ慎重に改訂作業を行いましたが、あるいは御不満をお感じの方がおいでかとも存じます。しかし、本学会の今後の健全な発展のためにどうかご容赦くださり、ご理解を賜りますようよろしくお願い申し上げます。

永年正会員・名誉会員規程

平成 7年12月16日制定

平成10年 4月18日改訂

平成10年12月12日改訂

日本伝熱学会の発展と、伝熱工学の進展に永年に渡って貢献した個人の功労を讃えるために永年正会員および名誉会員の制度を設ける。永年正会員・名誉会員規程は以下の項目に則って運用する。

§ 1 永年正会員の資格

X歳以上の正会員で、25年以上本学会または日本伝熱研究会に在籍した者。ただし、Xは§ 6で定める。

§ 2 永年正会員およびその特典

- (1) 永年正会員有資格者は、本人の希望により、下記に定める永年会費を払い込むことにより永年正会員となり、それ以降の会費を支払うことなく正会員の資格を有し正会員が受ける特典と同等の特典を受けることが出来る。

$$(70 - \text{永年会費の支払い時の年齢}) \times \text{支払い時の正会員の年会費} \times 0.8$$

- (2) 同特典を特に望まない永年正会員有資格者は、毎年度の会費を支払うことにより正会員のみの資格を継承するが、70歳以上となった場合は永年正会員となり、以降の会費の支払いを要しない。

§ 3 名誉会員の資格

永年正会員有資格者の内、以下の項目に該当する個人を理事会の承認と本人の承諾を得て名誉会員とする。

- (1) 本学会または日本伝熱研究会の会長経験者。
- (2) 表彰選考委員会が伝熱学会の発展および伝熱学の進展に顕著な寄与をしたと認められた者。
- (3) その他、永年正会員有資格者でなくとも、表彰選考委員会が特に推薦する者。

ただし、平成10年12月の改訂以前に名誉会員となった者は、そのまま名誉会員（特別名誉会員を含む）の資格を継承する。

§ 4 名誉会員の広報

各会計年度の終了日までに§3の規程に該当した個人を、その期の総会において名誉会員として会員に広報し、それ以降、名誉会員とする。

§ 5 名誉会員の資格の取り消し

表彰選考委員会は、名誉会員が著しく社会規範にもとる行為を行った場合、名誉会員の資格を取り消すことができる。

§ 6 本規程の改定

本規程の改定は理事会の議決により行う。ただし、特定の会員または名誉会員が著しく不利益となるような改定を行ってはならない。

なお、本規程§1に定める永年正会員資格付与開始の年齢 X は、本規程改定の平成10年度は62歳とし、以降は下記のように65歳に達するまで改定するものとする。

| | |
|-----------------|-------|
| 平成10年度末 | : 62歳 |
| 平成11年度末、平成12年度末 | : 63歳 |
| 平成13年度末、平成14年度末 | : 64歳 |
| 平成15年度末 | : 65歳 |

International Journal of Heat & Mass Transfer Editor 交替のお知らせ

標記論文誌の editor が 1999 年 4 月より、下記のように変更となります。同誌の editor を永年勤められました棚澤一郎先生に感謝申し上げますとともに、今後の投稿論文などにつきましては下記宛ご投稿下さいますようお願い申し上げます。

論文投稿先： Editor

〒 606-8501

京都市左京区吉田本町
京都大学大学院工学研究科 機械工学専攻
鈴木健二郎

Associate editor

〒 106-8558

東京都港区六本木七丁目 2 2 - 1
東京大学生産技術研究所 第二部
西尾茂文

[西尾茂文記]

平成 11 年度国際共同研究助成事業の募集について

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の国際共同研究助成事業は、優れた研究を行う国際共同研究チームに対して研究費を助成することにより、産業技術の国際的向上を図るとともに国際交流の進展に寄与することを目的とするものです。平成 11 年度は、国際標準化に貢献するために「国際標準創成分野」を新たに創設し、「物質・材料分野 (旧物性分野)」、エネルギー分野 (発電関連・有効利用研究)、「地球環境分野 (基礎・実用化研究)」に加えて研究テーマを募集することを予定しています。

【募集期間】 平成 11 年度 1 月中旬～3 月中旬 (必着)

正式には 1 月中旬発行の「通産省公報」、「Science」、「Nature」に公募広告を掲載

【応募書類の配布】 応募書類 (1 月中旬の公募開始日より配布予定) を必要とする場合は、下記担当者宛に FAX 又は E-mail にてご連絡下さい。

【問合せ先】

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

産業技術研究開発部国際共同研究課 大森、笠倉

〒 170 東京都豊島区東池袋 3-1-1 サンシャイン 60 29F

TEL : 03-3987-9357 / FAX : 03-5952-0082

E-mail : nedogrant@nedo.go.jp

ホームページ : <http://www.nedo.go.jp>

「伝熱」会告の書き方

印刷は原稿からそのままオフセット印刷を行いますので、鮮明な原稿にして下さい。大きさは、この外枠に入るように縦 115 mm 以内、横 170 mm 以内に収まるようにして下さい。この範囲に入らないものは、「伝熱」原稿の書き方に従って下さい。

115 mm

170 mm

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、伝熱に関する学識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。

【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 | 高专、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 | 本会に特に功労のあった者で、総会において推薦された者 | 8,000円 但し、 70才以上は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」[THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING]を郵送します。
(本年度発行予定：5, 7, 9, 11, 1, 3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します。

【会費納入について】

会費は当該年度内に納入してください。請求書はお申し出のない限り特に発行しません。会費納入状況は事務局にお問い合わせ下さい。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、変更届は必ず書面で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は、至急納入をお願いします。特に、平成9年度以降の会費未納の方には「伝熱」[THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING]の送付を停止しており、近く退会処分が理事会で決定されます。

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対応、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」[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 東京都文京区湯島2-16-16
社団法人日本伝熱学会
TEL.FAX:03-5689-3401
(土日、祝祭日を除く、午前10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欄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。

〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
横浜国立大学 大学院 工学研究科
人工環境システム学専攻 飯田 嘉宏
TEL:045-339-4010 FAX:045-339-4010 (又は4012)

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・学生会員入会申込書

2. 変更届(書面による届出のみ受け)

(注意)

・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 | 1 | 9 | 9 | 年 | | | | 月 | | | | 日 |
| 1 | 会員資格 | 正・学 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 氏名 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | ふりがな | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 生年月日 | 1 | 9 | | 年 | | | | 月 | | | | 日 |
| 5 | * 勤務先・ 学校 | 名称 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | 〒 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | — | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 所在地 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | TEL | | | | | | | | | | | |
| 10 | * 自宅 | FAX | | | | | | | | | | | |
| 11 | | 電子メール | | | | | | | | | | | |
| 12 | | 〒 | | | | | | | | | | | |
| 13 | * 自宅 | 住所 | | | | | | | | | | | |
| 14 | | TEL | | | | | | | | | | | |
| 15 | | FAX | | | | | | | | | | | |
| 16 | | 通信先 ** | | | | | | | | | | | |
| 17 | 勤務先・自宅 | | 自宅情報を会員名簿に掲載しない **** | | | | | | | | | | <input type="checkbox"/> |
| 18 | 学位 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 最終出身校 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 卒業年次 | | | | | | | | | | | | |
| 21 | T・S・H | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 専門分野 | 基礎的分野 | | | | | | | | | | | |
| 23 | 専門分野 | 応用分野 | | | | | | | | | | | |
| 24 | 学生会員の場合：指導教官名 *** | | | | | | | | | | | | 印 |

※専門分野

基礎的分野

- 1: 強制対流 2: 自然対流 3: 高速気流 4: 沸騰・蒸発 5: 凝縮 6: 混相流
 7: 融解・凝固 8: 熱伝導 9: 接触熱抵抗 10: 放射 11: 反応・燃焼 12: 物質移動
 13: 多孔質伝熱 14: 直接接触伝熱 15: 電場・磁場・電荷移動 16: 分子動力学 17: 極低温 18: 熱物性
 19: 計測・可視化 20: 数値シミュレーション 21: その他 ()

応用分野

- 1: 熱交換器 2: 蓄熱 3: 冷凍・空調 4: 電子機器 5: ヒートパイプ・熱パイプ
 6: 航空・宇宙機器 7: 海洋機器 8: 海水淡水化 9: 火力発電プラント 10: ガスタービン
 11: 内・外熱機関 12: 地熱 13: 燃料電池 14: 熱電変換 15: 環境・野蔵
 16: 原子力発電プラント 17: 化学プラント 18: 建築・土木 19: 製鉄 20: 材料・加工
 21: 流動層 22: 廃棄物処理 23: 住環境 24: 都市環境 25: 地球環境
 26: 生体・人間熱科学 27: バイオ・食品 28: その他 ()

*) 学生会員入会申込者は学校名, 学部, 学科, 研究室名, 学年 (M2, D3など) を記す.

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する.

***) 学生会員入会申込者は, 指導教官の署名・捺印を受ける.

****) 会員名簿等作成時に自宅情報の掲載を希望しない場合は, レ印を付ける.

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 | 1 | 9 | 9 | 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 | 代 表 者 | 名称 (所属) | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | 〒 | - | | | | | | | | | |
| 7 | 勤 務 先 | 所在地 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | TEL | | | | | | | | | | |
| 10 | | FAX | | | | | | | | | | |
| 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月末日までです。
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」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」をお申し込み口数1口につき各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部無料でさしあげます。この伝熱とTHERMAL SCIENCE AND ENGINEERINGは通常，年6回(5, 7, 9, 11, 1, 3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完納された会員に限り当該年度のものを無料でさしあげます。尚，年度途中で御入会の方には残部の都合でお送りできない場合もありますので，あらかじめご承知おきください。
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います。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すようお願い申し上げます。

申込書送付先：〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

社団法人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 00160-4-14749 社団法人日本伝熱学会
- (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
社団法人日本伝熱学会
- (3) 現金書留の場合—上記の事務局宛に御送金下さい。

パソコンによる 熱と流れの入門 (9)

会期 1999年2月22日(月)～3月24日(水) 計6回
会場 東京・中野区・東中野・テラハウス [パソコン教室]

パソコンを用いて、熱と流れの数値解析法の基礎、モデリングの方法などの基本的な知識と、熱伝導・層流熱・乱流熱・ふく射伝熱・熱流体の分子動力学などへの適用方法を実際にも実機で演しながら習得する。

講義中ご使用のFloppy Disk はそのままお持ち帰りいただき、実際の実務にご利用いただくことができます。

| | |
|---|--|
| Session 1 1999年2月22日(月) 差分法による熱伝導解析 功刀 資影 東海大学 1. 熱伝導方程式の考え方 2. 差分法の基礎 3. 熱伝導方程式の数値解放 4. 複雑な形状への適用 | Session 2 1999年2月23日(火) 層流熱伝達の解析 功刀 資影 東海大学・佐竹 信一 富山大学 1. 層流対流の基礎式 2. 数値解法と問題点 3. 境界条件と解の精度 4. 層流対流の実際 |
| Session 3 1999年3月8日(月) 乱流熱伝達の解析 吉田 英生 東京工業大学 1. まえがき 2. レイノルス方程式と完結問題 3. 乱流モデル 4. 計算例 | Session 4 1999年3月9日(火) ふく射伝熱の基礎と応用 圓山 重直 東北大学 1. 熱ふく射の基礎 2. 電磁波の伝播と物体間のエネルギー交換 3. ふく射要素法による任意計算 形状・任意加熱条件下のふく射伝熱 4. ふく射伝熱解析の実際 |
| Session 5 1999年3月23日(火) 相変化および移動境界問題の非定常シミュレーション 長崎 孝夫 東京工業大学 1. 相変化を伴う場の解析 2. 自由表面における波動を伴う流れの解析 | Session 6 1999年3月24日(水) 熱流体の分子動力学 小竹 進 東京大学名誉教授・東洋大学 1. 分子動力学の基礎 2. 数値解法と境界条件 3. 物理量と平均操作 4. 応用と実例 |

■後援：(社)日本伝熱学会

燃焼反応と流れの数値計算

CHEMKINによる計算を実機で演習
[1999年2月17日(水)～19日(金)] 3日間

| | |
|--|---|
| Session 1 1998年2月17日(水) 10:00-13:00 層流燃焼の数値計算 佐野 妙子 東海大学 1. はじめに 2. 基礎方程式 3. 燃焼反応 4. 熱化学定数 5. 輸送係数 6. 層流予混合平面火炎 | Session 2 1998年2月17日(水) 14:-17:00 乱流燃焼の直接数値計算 宮内 敏雄 東京工業大学 1. はじめに 2. 基礎方程式 3. 数値計算法 4. 乱流予混合火炎の直接数値計算 5. 乱流拡散火炎の直接数値計算 6. まとめ |
| Session 3 1999年2月18日(木)・19日(金) 10:00-17:00 CHEMKINを用いた燃焼反応と流れの数値計算の実習 宮内 敏雄・店橋 護 東京工業大学 | |

■後援：日本燃焼学会

欧州におけるダイオキシン対策並びに次世代廃棄物熱処理技術調査団

訪問国：ドイツ・オランダ 1999年5月6日(木)～5月16日(日) 11日間
団長：宮内 敏雄 東京工業大学 教授 工学部

■後援：日本燃焼学会・(社)日本伝熱学会

■これから開催される講習会

| | |
|---|---------------------|
| 演習 量子力学-演習問題を解く効果的講義- | [2月16日(火)] 1日間 |
| 講師：岡崎 誠 筑波大学名誉教授 | |
| ふく射・対流共存伝熱解析を汎用CFDコードで行う際の問題点とその解決法 | [2月26日(金)] 1日間 |
| 講師：工藤 一彦 北海道大学 教授 工学部 | |
| ワークステーションによるモノキュラーシミュレーション講習会 | [3月1日(月)～2日(火)] 2日間 |
| 講師：片岡 洋右 法政大学 教授 工学部・古賀 伸明 名古屋大学 助教授 情報文化学部 | |
| 密度汎関数法講習会 | [3月6日(土)] 1日間 |
| 講師：小林 久芳 倉敷芸術科学大学 教授 産業科学技術学部 | |

資料請求先 先端科学技術・情報教育センター

〒164-0012東京都中野区本町4-31-5 新中野ダイヤモンドMS 3階 303号室
TEL: 03-3380-3495 / FAX: 03-3380-3490

◇編集後記◇

昨年の学会誌「伝熱研究」上での議論や編集出版会での討議を踏まえ、理事会での承認を経て、本号より、学会誌「伝熱研究」は「伝熱」と名称変更し、論文集「TSE」と分冊で、然も隔月の発行となりました。出版は奇数月ですが、5月の伝熱シンポのプログラムを掲載するために、発行は出版月の翌月初旬になりますので、ご了承下さい。特にTSEはサーキュレーションを改善するため、当面50部程度国外に寄贈し、同時に定価1500円で国内外で販売することになりました。会員には、引き続き無料配布しますが、大学・研究所・会社等での購読をお願い申し上げます。それに伴って、エディターを国内外24名体制で、スピーディに論文掲載処理をし、国際誌としての位置付けをすることになりました。年間60編以上の論文収録を目処にしていますので、会員諸氏の投稿をお願いする次第です。また、会誌「伝熱」は、隔月発行によってvividな情報を提供できるようになりました。編集出版部会では、より一層の内容の充実を計るべく編集企画を検討しております。素より会員諸氏よりの企画提案および投稿を歓迎しますので、宜しく願い申し上げます。更に、隔月発行に伴う財政負担増を少しでも解消するために、今月号より広告を掲載することになりました。会員諸氏と賛助会員のご協力をお願いする次第です。

種々お願いの編集後記となりましたが、編集出版全般についてのご意見をお持ちの方は、下記にお寄せ下さい。

第37期編集出版部会

編集出版事務局：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1
岐阜大学工学部機械システム工学科
熊田雅弥
TEL: 058-293-2530 FAX: 058-230-1892

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
学協会著作権協議会 (TEL/FAX: 03-3475-5618)

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.(CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

伝 熱

ISSN 0910-7851

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol. 38, No.148

1999年1月発行

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会

〒113 東京都文京区湯島2-16-16

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan

16-16, Yushima 2-chome, Bunkyo-ku,

Tokyo-113, Japan

Phone, Fax: +81-3-5689-3401