

Vol. 22

No. 87

1983

October

伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 87 号

日 本 伝 熱 研 究 会
Heat Transfer Society of Japan

日本伝熱研究会第22期（昭和58年度）役員

会 長		植 田 辰 洋（東 大）	
副 会 長	（無任所）	松 本 隆 一（神戸大）	
	（事務担当）	斎 藤 孝 基（東 大）	
地方連絡幹事	北 海 道	斎 藤 凵（室蘭工大）	
	東 北	幾世橋 広（東北大）	
	関 東	波 江 貞 弘（船 研）	
	東 海	長 野 靖 尙（名工大）	
	北陸・信越	竹 内 正 紀（福井大）	
	関 西	鈴 木 健二郎（京 大）	
	中国・四国	千 葉 徳 男（広島大）	
	九 州	伊 藤 猛 宏（九 大）	
幹事（23名）	石 黒 亮 二（北 大）	稲 葉 英 男（北見工大）	
	山 田 悦 郎（秋田大）	大 内 雅 樹（岩手大）	
	佐 藤 恭 三（東北学院大）	宮 内 敏 雄（東工大）	
	伊 藤 正 昭（日 立）	庄 司 正 弘（東 大）	
	森 康 彦（慶応大）	藤 田 秀 臣（名 大）	
	藤 本 哲 夫（三重大）	前 川 博（新潟大）	
	棚 谷 吉 郎（金沢工大）	萩 野 文 丸（京 大）	
	加 茂 信 行（大阪府大）	古 川 哲 郎（日立造船）	
	木 本 日出夫（阪 大）	中 鳥 健（神戸大）	
	宮 本 政 英（山口大）	水 上 紘 一（愛媛大）	
	深 野 徹（九 大）	三 塚 正 志（新日鉄）	
	吉 岡 啓 介（大分大）		
監事（2名）	越 後 亮 三（東工大）	小 関 守 史（三井造船）	
第21回日本伝熱シンポジウム準備委員長		岐 美 格（京 大）	
第22期「伝熱研究」編集委員長		架 谷 昌 信（名 大）	
第17回伝熱セミナー準備委員長		勝 田 勝太郎（関西大）	

伝 熱 研 究 目 次

< 抜山四郎先生の御逝去を悼んで >

抜山四郎先生のこと	西川 兼 康 (九大・工)	1
抜山先生の思い出	千葉 徳 男 (広島大・工)	3
抜山四郎先生との思い出		
— 学生の心をとらえた先生 —	吉 沢 幸 男 (東北大名誉教授)	4
抜山四郎先生の思い出	佐 藤 恭 三 (東北大・工)	6
謝礼について	熊 谷 哲 (東北大・工)	8
抜山語録— 研究篇抄 —	武 山 斌 郎 (東北大・工)	9

< 森康大先生 ASME 1982 年度 Heat Transfer

Memorial Award 受賞のお知らせ >	才 22 期会長 植田辰洋 (東大・工)	12
--------------------------	----------------------	----

< 第 17 回伝熱セミナー特集 >

第 17 回伝熱セミナー 仕末記	準備委員長 勝 田 勝 太 郎 (関西大・工)	15
------------------	----------------------------	----

[各セッションの紹介と感想]

(これまでとこれからの伝熱)

これまでとこれからの伝熱	勝 田 勝 太 郎 (関西大・工)	18
私の伝熱工学との関わり合い	青 木 成 文 (東京工業大学名誉教授)	20

(流動伝熱問題のモデリング)	鈴 木 健 二 郎 (京大・工)	22
“ 乱流のモデリング ” 余談	河 村 洋 (原研)	23
乱流伝熱促進法と乱流のモデリング	土 方 邦 夫 (東工大)	25
伝熱セミナー所感	香 月 正 司 (大阪大・工)	26

(流動伝熱問題の数値解析手法)

流動伝熱問題の数値解析手法	大 中 逸 雄 (大阪大・工)	29
伝熱セミナーに参加して	尾 添 紘 之 (岡山大・工)	30
「熱・拡散・流体関連問題の 有限要素法による解析」の紹介	松田安弘 (日本アイ・ビー・エム(株))	32
拡散問題に対する境界要素法の基礎	田 中 正 隆 (信州大・工)	34

(フィルムセッション)

フィルムセッション	高 城 敏 美 (大阪大・工)	37
伝熱セミナー雑感	木 本 日出夫 (大阪大・基礎工)	38
乱流せん断流の可視化と数値シミュレーション (セミナーフィルムセッションから)	筈 木 伸 英 (東大・工)	39

(伝熱トピックス)

セッション「伝熱トピックス」	吉 信 宏 夫 (大阪府大・工)	42
「液体解析と私」	八 百 升 (川崎製鉄(株))	44
第17回伝熱セミナー雑感	田 辺 伸 夫 (三井造船(株)玉野研究所)	46
伝熱トピックス	藤 井 雅 雄 (三菱電機)	47

(参加所感)

「乱流」についてひと言ふた言 第17回伝熱セミナーに参加して	千 葉 徳 男 (広島大・工)	49
伝熱セミナーと伝熱スクール	長 野 靖 尚 (名工大)	52
「高野山での伝熱セミナーに参加して」	藤 田 尚 毅 (岩手大・工)	54
第17回伝熱セミナーに参加して	竹 中 信 幸 (京大・工)	56
高野山雑感	康 倫 明 (ダイキン工業)	57
伝熱セミナー雑感	飯 田 嘉 宏 (横浜国大・工)	60

地区研究グループ活動報告	62
東北研究グループ	62

<お知らせ>

(1) 第21回日本伝熱シンポジウム講演募集	65
(2) 第17回伝熱セミナー講演要旨集頒布	66
(3) 講演会通知：東海研究グループ講演会	66
(4) 混相流シンポジウム	66

最終頁に第21回伝熱シンポジウム研究発表申込書をおく

< 拔山四郎先生の御逝去を悼んで >

拔山四郎先生のこと

西川 兼 康 (九州大学)

昭和58年7月3日拔山先生の突然の訃報に接した時はあまり急なことなので信ぜられない思いであった。今年6月福岡での伝熱シンポジウムには早々と御出席の申込みがあり、久しぶりで先生に御会いできると楽しみにしていましたが、おいでになりませんので、武山教授に御聞きしたところ、奥様が一寸身体の具合が悪いとのことで、それではまた近く御会いできるものと思っておりましたのに、幽冥境を異にしてもう先生の御讐咳に接することができないと思うと、誠に哀惜の情に堪えません。しかし先生はやるだけのことはおやりになったのですから、どうか安らかに御眠り下さい。

私が拔山先生のことを知ったのは、戦後九大の山縣先生のところに軍隊から帰ってきて、沸騰の研究をはじめることになり、山縣先生からこの方面の研究では、日本では東北大の拔山先生の研究とドイツのヤコブの研究が主なもので、熱交換器の設計にあたって現状で熱伝達係数の推定の最も困難なのが沸騰伝熱であると教えられた時である。機械学会誌の先生の論文を読み、先生の目のつけどころのすばらしさと実に頭のいい実験方法に感心したものである。この実験の方法は沸騰の基本的性格を知るための実験ではその後数多くの人が模倣して数々の成果をあげている。圧力の影響を最初に系統的に示したと思われる Farber - Scoriah や Addoms の実験がまさに拔山の方法によったものである。私が沸騰の研究を始めてから、大分後のことであるが、拔山先生にどうゆう目的で沸騰の研究をされたのか御聞きしたところ、どうも現在のボイラは大きすぎる、どこまでボイラで伝熱面積を小さくできるだろうかということが研究の端緒であったようである。なおその時次のようなことも話して頂いた。実験結果をみて、温度差の増大による熱流束の増大に限界があるのは他の伝熱形式では考えられないことで、これは実験の誤ではないかということで、何度も実験を繰り返えされたようである。しかしやはり同じ結果がでるので、その理由について真剣に考えられたとのことである。そこで実験を1年間休止されて、改めて同じ装置で実験を行い、現在いわれている沸騰特性曲線の形に確信をもたれて発表に踏みきられたということであった。先生の論文の発表は1934年になっており、Takob の研究発表年1933年に1年遅れているが、実際に研究を開始され成果をえられたのは、沸騰の機構に関する研究としては世界で最初のものである。

先生は学会では仲々きびしい質問をされる反面、コアコアなところもあり、しかも見掛けによらず非常に謙虚な御性格であったように思う。私が昭和32年膜沸騰の研究結果を最初に発表した時、前刷に「古くは沸騰特性曲線を明らかにした抜山教授の研究があり」と書いておいたところ、講演後すぐ抜山先生が立ち上がられ、「フロックは抜山の研究があり」といったのではないかと発言され、どぎまぎしたことが思い出される。今にして思うと、先生の沸騰の研究があまりにも世界的に有名になり、戦後GHQに呼び出されたり、ヤコブ賞を授賞されたりしたことに対し、先生は自己の研究に対する評価がきびしく、大騒ぎすることのほどではないよ、ただ思いつきをやったまでだ、という御気持ちであったように思われる。

私の恩師故山縣先生は抜山先生より数年後の大学卒業であるが、非常に抜山先生の学問的才能を高く評価されており、抜山先生が初期にやられた、沸騰の研究、熱伝導率の測定、電解槽による熱伝導の研究などこの方面の基礎的研究を何故続けられず、最近は熱管理の研究に進まれたか、日本の学問界のためにも惜しいように思う、といわれたことがある。恐らく抜山先生は学者であると同時に技術者であったのではあるまいか。先生は学問の成果を日本の工業に役立たせることこそ、工学部の教授の役目であると考えられ、現役の後半はボイラの性能試験や現場の熱管理の問題などに情熱を注がれたのであろう。学会の発表でも工業に役立つ研究に対して先生は高い評価と激励を与えられたように思われる。

昭和31年私は「事故を発生した水冷炉壁における水循環の検討」という題目で機械学会で研究発表を行った。これはたまたま福岡県のゴム工場でボイラの水管の破裂が続発し、たまたまアツシュピットに入っていた火夫が大火傷した事故である。これは材料節約のために以前に用いられていた再循環管の作用不良と火格子燃焼に微粉炭助燃を加えたため並列蒸発管の不均一な熱負荷分布に起因したもので、熱負荷分布の実測結果を基にして上昇管、下降管の改造など水循環系統の設計変更により解決したものである。この時講演後抜山先生がすぐ立ち上がられて、非常に御褒めの言葉を頂いたことは、私にとって今だに忘れえない感激である。これも先生の工業につくすという御考えの一端を表わしているものと思う。

いま先生を失うことは日本の伝熱界の大きな損失であり、もっと長生きされて私どもを導いて頂きたかった。ここに先生が伝熱界に残された顕著な業績を銘記し、深い哀悼の意を表する。

抜山先生の思い出

千葉 徳 男

抜山先生は7月2日なくなられた。平均年令をはるかに超えた87才の大往生であったから、まずはめでたいとすべきであろう。

私は東北大の武山教授や大谷教授などと同様、抜山先生の戦後の弟子である。戦前の弟子の代表は棚沢先生である。

先生の思い出を話すためには、私の世代の時代背景をいっておきたい。昭和16年に太平洋戦争が始ったが、私はその翌年旧制二高に入学した。このことでは、私は先生の後輩にあたる。私は大学22年9月卒業であるが、旧制高校昭和17年度卒業生からわれわれまでは在校が半年短縮されており、さらに最後の半年は工場に動員されて、実質2年の教育しか受けていない。われわれの1年後輩は高校の年限が2年で、敗戦のため、その次から旧に復している。私は昭和19年10月に東北大に入学したが、その翌年は敗戦である。したがって、われわれの大学生活は敗戦直前直後の困乱のため、実質的教育レベルは非常に低下したものになっている。そのため、私は先生から“お前のような戦時標準型は”とよくいわれたものである。戦時標準型とは戦時標準型船舶のことで、設計も製作が雑で、よく沈んだ船である。というよりは、はじめから撃沈されることが予定されていて、念入りには作られなかった船というべきであろう。

私は昭和22年10月から30年6月まで抜研に在籍し、抜山先生のお世話で電力中研に移った。先生の52才から59才までの間のことである。先生の研究史からいうと、戦後は熱管理時代であって、私はそのお手伝いをさせていただいたことになる。

私が先生から習ったことは澤山あるが、そのうちのいくつかを書いてみよう。

まず、“うそをつくな”である。これを翻訳すると次のようになる。“具合のわるい実験点が出てきたとき、これを消ゴムで消してはいけぬ。その実験点が無視できる程度に多く正しい実験点を作り、これを図表の上に併記しろ”というのである。先生はこうもいわれた。“もし、消ゴムで消した実験点があとで正しいとわかったとき、お前はあれは以前自分が消しゴムで消した実験点だったというつもりか、”だから私は、原則として自分の知らない人の実験結果を信用しない。したがって、知っているから信用しないということもありうる。

抜山先生の特徴に実験室と工場とを区別しないというのがある。つまり、工場だから、あるいは工業用計器だから精度が下がっても仕方がないという考え方を排除するということである。昭和20年代にはボイラ試験をよくやらされたが、ボイラ室のグレーチングの上でポテンショメータ

とガルバノメータで各部の温度を測定したものである。この一連の試験から学会受賞論文“ボイラの特性曲面が生れている。

先生はわれわれに“研究はもう一分にやったから、今後は世のなかに役に立つことをやる”といわれて、熱管理に精を出されたが、学問を棄てられたわけではない。その一つに粘度からの脱水がある。これは棚沢先生の受賞論文“湿れる物質の熱常数測定”に用いられた技術の逆利用である。“粒子中の水分が水蒸気分圧で移動するというのは熱屋の常識だよ。君。”抜山先生の逆モーションというのは学会で有名であったが、これもその一つである。この仕事は大谷教授の乾燥理論に発展した。

抜山先生の言葉に“品質管理の向上があって、熱管理に意味がある”というのがある。逆にいうと、“品質低下を伴う燃料節減には意味がない”である。実際には品質管理の向上があって、はじめて安定な操業が可能となり、燃料節減につながるわけである。オイルショック後、省エネルギー運動が全国的にさかんになったが、事例集をみると、工程の飛躍的改善があったときだけ、大巾な燃料節減が実現されている。

はじめに書いたように、私はほとんど無教育といってもいいような状態で機械科を卒業したので、機械屋としての常識は抜研時代に養われたものである。生来の無知と反抗心とその他もろもろの理由のため、先生の小言は私が一番聞いており、先生がなくなるまで続いた。この間、そのことを伝熱研究会のだれかに話したら、もう小言をいう人がなくなって淋しいだろうといわれた。それもそうである。

合 掌

抜山四郎先生との思い出 — 学生の心とらえた先生 —

東北大学名誉教授 吉 沢 幸 雄

去る7月2日(昭和58年)に、抜山四郎先生が逝くなられた。各界の多くの人々から惜しまれながら他界された。秋は、先生の教えを受け、仙台工業専門学校、東北大学及び東北学院大学に奉職しましたが、その間始終先生のお世話になった不肖の門下生でした。編集幹事の求めに応じて、思いつくまゝ、先生との思い出を述べてみたい。

私たちが学生の頃は、教授もほとんどが30代で、助教授・講師は私たちと同じ20代で、年の差がなかった。当時の先生方はみな野球とかテニスをたしなまれ、抜山先生は野球ではピッチ

ャーをされました。

私は子供のころからテニスをやってあって中学・高校時代は選手もしていました。当時抜山先生は前川道治郎先生と組んでテニスをやっておられた。入学してくる学生相手にテニスをやっては、学生を負かして喜んでおられた。ところが私たちがはじめて先生方を負かしたものだから、すごく悔しがっておられたようでした。それからずっと今日までテニスの方で一緒にさせていただきました。

仙台では、「100才軟式テニストーナメント」というのがあって、ちょうど私が45才になったときに大会が始まって、先生と組んで参加し10回連続出場しました。その間2回優勝しました。その後は私は硬式をやってあって、国体にも何回か出場しました。先生も選手になってグラウンドを進行したいと言っておられたけれども、先生と組んではどうもダブルスはもう一つだったので、神奈川県で国体があったときに、先生に監督になっていただいてグラウンドをまわったことがありました。また、先生は東北庭球協会の会長と、宮城県テニス協会の顧問もやっておられました。

それから、大学で聞いた先生の講義は非常におもしろかった。私は授業中はノートをとらないでただ聞いていて、終ってから友達にノートを借りたり、参考書を見てまとめたりして自分のノートを作っていました。試験のとき、私がノートを教壇のところに置いて試験を受けていたら、先生は何やら私のノートを一生懸命見ておられた。後で見たら、間違えていたところを全部直して下さっていたのでした。そういうことがあって、卒業論文は抜山先生のところで書こうと一年生のとき腹を決めました。

先生のあるご友人は、「抜山は、いつ勉強するのかさっぱりわからんね。何も勉強していないようだけれども、しかしちゃんと重要なことは覚えておる。」と言っておられた。よくはわかりませんが、基礎的なことをしっかり身につけておられたので、普通の人よりは少ない苦勞で勉強が出来るんじゃないかと思います。

私たちは先生からよくこう言われたものでした。「専門家というのは、素人が後で“なんだそんなことか”と言うことをすぐ気づく人で、後からわかる人が素人だ。だから何でも基礎的なことは頭の中に入っていて、すぐに、これはあれの応用なんだということに気づくことが出来る—これが専門家なんだ。」と。

「また、講演会するとき、よく講演者の中には、『5分でしゃべろ』というのに10分もかかっている人がいるが、あれは駄目だ」と。私らが講演発表の練習をさせられるときは、予定のプラスマイナス30秒以内でおさめろ、出来れば5秒前に終えるのが良いとまで言われたものでした。

「埋字と上字との違いは、埋字はただ基礎的なことをやればいいんだが、上字はそりはいかな

いで、その技術によって経済的利益があがらないといけない — こんなこともよく言っておられました。

そのころは、学校(大学)の先生というのは、会社の仕事をしてもうけるなんてことはすべきでないというような考えが主流で、たいていの人はあまり会社と関係なかった。それだから、会社から教わりに来た場合には、金なんか取らないで教えてやるべきだという考えの時代でした。しかし抜山先生は、それはいけないとおっしゃっていました。

我々は、普通の人には比べると相当知識があって、普通の人には出来ないことも我々は出来るのだから、それに相当する報酬はもらわなきゃいかん。初めからこれに対してはいくらくれというのはいくれないが、一応は頼まれたらやってあげて、そのことへの謝礼はもらっておく。もしその謝礼が我々を侮辱するような謝礼であるなら次に頼みに来られたら断わりなさい。我々は相当優秀な研究者で立派な人なんだと会社の人から考えてくれ、相応の待遇をしてくれるのなら、喜んでやってあげなさい。そういう考えで高くとまっておれ — こんなこともよく言っておられたものでした。

なお、抜山先生は学術論文の他に、3冊の科学随筆集「心象歩道」「切れない包丁」「冷えた湯たんぽ」(開発社刊)をお残しになられたので、これから伝熱をやるうという若い方々には一読をおすすめします。

(本文は、東北大学生新聞に掲載された吉沢幸雄先生の談話を吉沢先生と同新聞会の了解を得て、若干加筆・修正したものです。文責東北地方連絡幹事 幾世橋 広)

抜山四郎先生の思い出

東北学院大学工学部機械工学科 佐藤 恭三

先に東北大学生新聞会の鷹嘴記者に話したが、今度は抜山先生の思い出について書いてみる。私は昭和24年新制大学の才1回生として東北大学工学部に入学した。当時は今と違って学科に分かれておらず、工学部の教養部に入学し3年に進学する時に希望をとり、成績順で進学する学科が決められていた。そのための学科紹介講義が「工学概論」であった。機械科の講義を担当されたのが抜山先生で、これが私の抜山先生との出会いである。私は機械工学科では飛行機、自動車、機関車、船舶などが紹介されるのかと思っていた。しかし先生のは微粒化の研究など、まず熱工学的な研究の話、円板の回転数と微粒子粒径との関係、ガラス繊維の作り方、ガラス繊維の

直径とくもの糸の直径との比較など、当時の私では想像もつかないような面白い講義であった。かくて私は何ら迷うことなく機械工学科を選らんだ。機械科3年に進学して初めての先生の熱力学の講義の時、突然助手の人が講義室に入ってきたので、一体これからどうなることかと思っ
ているうちに講義の実験を見せてくれた。先生は軟式テニスのボールを指先で圧縮し、このときの
ボールの中の空気の温度の上昇をスクリーンに大きく映し測定された。当時、空気を断熱圧縮す
ると、その温度は上がることは概念的に知っていたが、実際に見せられビックリした。そして、
つぎは温度測定の話である。当時、温度を測ると言えば水銀温度計位しか知らない私にとっては、
まさに奇想天外のことだった。髪の毛ほどの2本の細線が、ボールの中に入っていて、これが温
度計と先生は説明された。この時「大学というところはとんでもないことをやるんだ」と驚き、
面白くなってすっかり魅了されてしまった。

その頃大学の先生の中には、どちらかと言うと机上の理論のみに終わっているような先生が少な
くなかった。その中で抜山先生は違って見えた。理論も非常に立派だし、その理論をそのまま応
用する理論の実験もすぐれていた。それで大学院に入る時、抜山先生の研究室を志願したのは高
級エンジニアにも、理論をやって教員にもなれると考えたからである。

また、学生時代にこのようなこともあった。大学の運動会の頃、講義の最後の数分で話された
ことは「綱引きというのは腕の力の大きさというよりは、むしろ地面と足との摩擦の大きさが問
題である。いくら手にツバをつけて裸足になって踏ん張ってもだめだ。登山靴でもはいて摩擦を
大きくしないといけないと言うことだった。私達は身体が大きく体重の重い人のいるチームが強
いと考えていた。その頃、実際工学部では身体のがっちりした鉱山工学科とか土木工学科には機
械科は立ち打ちできそうもなかった。そして伝統的に負けていたのだそう。そこで抜山先生の
言われる通りやってみようと言うことでやってみた。すると非力の機械科チームが勝ち、ついに
優勝した。その時、大学の先生は大したものだと心底思った。つぎの年には他のチームが私達の
まねをしたので私達は勝てなかった。そこでつぎの抜山先生のアドバイスはいかに。それは綱引
きでは引くときにワッショイとかけ声をかけるのが、その際一瞬力の弱くなる時があるので、そ
のタイミングをねらって引けばよいと言う。その次は後へ後ずさりして引くのではなく、それぞ
れの足場を固め、その場で綱をたぐりよせるなど、つぎつぎ貴重なアドバイスを頂いた。

抜山先生と接せられた方々が口をそろえて言われることは着想の奇抜さである。熱工学部門の
ノーベル賞とも言われる「マックス・ヤコブ賞」を先生は昭和43年に受賞されている。その研
究は余りにも有名な沸騰熱伝達の研究である。何時かこの動機をお聞きした折、先生はつぎのよ
うな話をされた。昔、日本海軍の軍艦が演習中に台風にあって沈没したことがあった。世界最強
を誇る軍艦がこれでは恥ずかしい。そこでどうすれば台風から脱出できるかを考えた結果、でき

るだけ短時間に蒸気圧を高めることに気づいたと言われた。当時の軍艦の原動機は蒸気タービンで、高圧蒸気を得るには長時間かかったわけである。この時間を如何に短かくするか。つまりボイラの伝熱面の蒸発率をどれ程まで大きくできるかと言うことになる。そこで沸騰水中に白金細線を水平に張り通電加熱し、抜山点のある、いわゆるN字型の沸騰曲線を発見されたとのことである。

先生は万巻の書を読んで勉強するタイプではないように思われる。先生ご自身「もし自分が優れていると言うなら、他の人よりいろいろなものを多く見ていることかな」とおっしゃっておられた。私もよく先生のお供をして数多くの工場を見たが、私が全く気づかない所で先生は気がついて観察されておられたのだ。

謝 礼 に つ い て

東北大工 熊 谷 哲

先頃引退したスウェーデンのプロテニス選手ビヨンボルグがエキジビションで仙台に来たときに抜山先生が相手をされて、「君のボールもたいしたことないね。」と仰しかったことなど、ご自身の体験された数多くの面白いエピソードを研究室で何度か伺うことができたことは、私共武山研究室に籍を置く者として大変仕合せなことだと思います。私が入学に入らずと以前に先生は退官されていましたが、つい最近まで多くの企業の顧問をされていていろいろなアイデアを提供されていました。その基礎事項の確認の仕事を学生の頃何度か下請けで手伝ったことがあります。非力な日本選手が丸太のような腕の外人選手を打ち負かせるようにと、軽くてしかもスピードのある球を打てるラケットを作ろうと苦心されていたことがありました。プロの選手に試験してもらったところ、その選手は、こういうものを使わなくても十分実力でカバーしますと云った。そんなことは世界のトーナメントで勝ってから言ってもいい、と憤慨しておられました。この話に限らず先生の随筆などを読んでみますと、先生の考え方の随処に強い愛国心が感じとれます。

先生の名講義の噂や話題が豊富で面白いということで、機械科の院生会が抜山先生をお招きしてお話を伺う会を開くことになりました。このお願いに参った時、「謝礼はあるのかね」と尋ねられ驚いたことがあります。「申し訳ございませんが用意してません。」と申したところ、当日ご自分でお菓子をおみやげに持って来られ、最初に、「仕事をした時には必ず謝礼を受け取らなければいけない。この謝礼はマイナスの場合も有り得る。ト手な話をする場合には聞いて戴くと

いうこともあるのだから。」というお話をされたのが強く印象に残っています。そういえば私共の研究室では、一回目の発表練習は義務だから聞くが、二回目以降はお菓子を用意するという不文律があります。

謝礼のことは仕事に対する心構えと責任から演繹した結論であったと思います。最近法外な謝礼を受け取り新聞紙上を賑わせた方がいますが、何事も常識を逸脱してはいけないということでしょうか。先生も苦笑いかと思います。その時の先生のお話は出版された三冊の随筆集の内容を基にしたものでした。

先生は亡くなる直前まで嬰鑠とされていましたが、その秘訣は時折研究室に來られて難題を押し付けることと、奥様と一緒にテニスを楽しまれることにあったのではないかと推察しています。因みに、最初に述べた先生の言葉へのボルクの返事は、「5インチはずれましたか？」だったそうです。

謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。

抜 山 語 録

— 研 究 篇 抄 —

武 山 絨 郎

1. 研究費は足りない。あれば研究しなければならないから。

研究費を普通程度にもっておられた先生は、研究が大変だったのかもしれない。あの有名な沸騰の論文は、もしも、隣の研究室からポテンシオメータを借りてくることが出来れば、現在の金で5万円位あれば足りるであろう。

2. 一生に一つ位はいい論文を書き、それだけ発表したい。

“研究発表後、5年位あたたためておき、自信がついたら文字にしなさい。”と昔は云っておられた。あわてて発表したら何十年前の研究者と同じだったり、そのうち同列になり、先達であることを確認できなければならないと云う。

3. 下手な研究者は証文屋となる。

実験をはじめようとすれば物の足りないことに気がつく。証文する。また足りない。証文する。何時まで経ってもスタート出来ない。

4. 実験は毎日するものだ。たとえそれが単に机上のホコリを払うことであっても。

5. 現在の大学は教授選考権あるいは学位論文審査権を放棄している。

論文はいくつあって助教授、あるいはこの学位論文は学会に発表されているか否か、などで選考権審査権が左右されるのを聞くと、大学は自治能力を失っている。いっそのこと学会に頭を下げて、全部お願いすればいい。

6. **Research, Teaching and Education** は三昧一体で、本質は同じである。

7. 学会の討論はあたたかいきびしさをもって。

8. 学会は発表するところであって聴くところではない。懇親会は必ず出席するものだ。

聴くところではないと云うところだけ真似をする抜山研究室出身者が多くて困っている。

9. 懇親会の席上で、若いものが困惑しているならば、その周囲にいる年寄りが必ず悪い。

参 考 文 献

随 筆	心象歩道	抜山四郎著	開発社	昭 44
科学随筆	切れない包丁	抜山四郎著	開発社	昭 47
随 筆	冷えた湯タンポ	抜山四郎著	開発社	昭 50

抜山四郎先生ご略歴

明治29年3月15日	東京に生まれる
大正9年7月	東京帝国大学工科大学機械工学科卒業
同年同月	東北帝国大学講師(工学部)
大正10年10月1日	東北帝国大学助教授
大正11年～13年	イギリス、ドイツ、アメリカ、スイスに留学
大正15年7月23日	東北帝国大学教授
昭和5年7月19日	工学博士(東北帝国大学)
昭和34年3月31日	退職(その間、評議員を2回歴任)
同年4月1日	東北大学名誉教授
”	日本アスベスト工業(株)、高砂熱学工業(株)、 トヨタ自動車工業(株)、日本碍子(株)各顧問
昭和44年	マックス・ヤコブ記念賞受賞 勲二等瑞宝賞を授る
昭和58年7月2日	ご永眠

<森康夫先生 A S M E 1982 年度

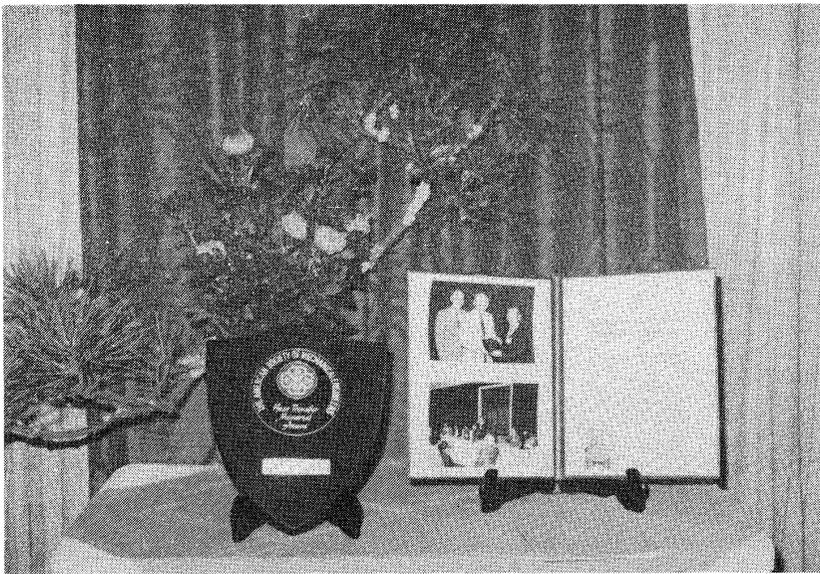
Heat Transfer Memorial Award 受賞のお知らせ>

第22期会長 植田辰洋(東大・工)

日本伝熱研究会会長を務められた森康夫教授(元日本伝熱研究会会長、東京工業大学名誉教授、電気通信大学教授)は昨年11月18日 A S M Eより Heat Transfer Memorial Awardを授与されました。すでに御存じの方も多いと思いますがここに御紹介をしご同慶の至りに存じます。

“二次流れを伴う強制対流伝熱機構の解明、プラズマの熱伝達やガス冷却炉への応用を対象とする高温の熱伝達の基礎研究および伝熱学の教育への永年の寄与、さらに国際伝熱機関への協力”がその受賞理由とされています。

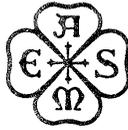
同賞は1959年 A S M Eの伝熱部門において同部門の創設と発展に寄与しました伝熱学の研究、応用および教育に顕著な貢献をした故会員を記念して設立され1974年に A S M Eの学会賞となったもので同賞は教育、研究、設計および出版を通じて伝熱学の分野に貢献した人物に授与され各々伝熱科学、伝熱技術伝熱教育への寄与にもとずいて選ばれます。



過去の受賞者は

- 1961 N. Zuber
- 1962 E. M. Sparrow, A. L. London
- 1963 R. A. Seban, R. S. Silver
- 1964 R. G. Deissler, K. A. Gardner
- 1965 W. M. Kays, A. C. Mueller
- 1966 R. H. Norris, S. Levy
- 1967 W. M. Rohsenow, G. H. Gilmar
- 1968 Myron Tribus, Sigmond Kopp
- 1969 J. P. Hartnett A. D. Kraus
- 1970 D. Q. Kern, R. L. Siegel
- 1971 H. A. Jahnsen, B. T. Chao
- 1972 B. Gebhart F. Kreith
- 1973 D. K. Edwards, L. S. Tong
- 1974 C. L. Tien Y. S. Touloukian
- 1975 P. Griffith S. Ostrach
- 1976 W. H. Giedt R. Viskanta
- 1977 R. D. Cess R. H. Sabersky
- 1978 J. A. Clark R. J. Goldstein
- 1979 A. E. Bergles Y. Y. Hsu
- 1980 J. H. Leinhard
- 1981 Ared Cezairliyan K. T. Yang I. Catton

であります。森先生は日本人としてまたASME会員外の人として初めての受賞でありました、各部門への寄与が評価され、1982年度は森先生おひとりが受賞されておられます。



The American Society of Mechanical Engineers

presents the
1982

Heat Transfer Memorial Award

Established in 1959 by the Heat Transfer Division
to perpetuate the memory of distinguished colleagues

to

Yasuo Mori

For his contributions to the understanding of the mechanisms of forced convective heat transfer with secondary flow, fundamentals of plasma heat transfer and high-temperature heat transfer with applications to gas furnaces and gas-cooled nuclear reactors, his long-time devotion to heat transfer education, and his services to the international heat transfer community, industry and government

Robert B. Gauthier
President

B. R. Mellon
Executive Director and Secretary



AMES & ROLLINSON, NY

< 第 17 回伝熱セミナー特集 >

第 17 回伝熱セミナー仕末記

準備委員長 勝 田 勝太郎 (関西大・工)

〔はじめに〕

伝熱研究会は伝熱シンポジウムとセミナーという大きい二つの行事を毎年行っている。両者は当然性格が違うのであるが、伝熱シンポジウムが盛会で、親睦を深め、実りある討論意見交換の場になっているその裏方として、セミナーが大変貢献しているのではないだろうか。それはセミナーに何回か参加された方は左様感じとっておられると思っている。それだけ毎回段取りを下さる方々のご苦勞を多ししなければならぬと考えているところに、お鉢がこちらに廻って来たので大いに戸迷ったが、我方には強い助っ人が大勢おられて、ここに仕末記を書く次第に相成ったことはよろこびの至りである。次に裏話的感想を若干記録しておきたい。

〔会場と会記のこと〕

伝熱セミナーの開催候補として関西地区をという知らせを地方連絡幹事の中西重康先生(阪大)から受けたのは昨年度の初め頃であった。関西地区は京都・大阪・神戸と内々で細分しているが、神戸・京都では既にセミナー開催済みであるので必然的に大阪ということになってしまう。兎も角準備打合せ会ということで、三地区の諸先生と企業の方集っていただいた。従来より関西地区の伝熱研究グループの一体感はまだ強く、なにかの時はいつも結束して当るといふ美風を先輩が残してくれているので、今回も忌憚のない意見を交すことで高野山を候補地として引受けることに決着したわけである。何分ご存知ないであろうが、大阪・奈良の夏の暑さは耐え難いものであるから、以前伝熱研究会の幹事会で比叡山か高野山でという話が大先輩から雑談的に出たこともあったので、高野山に絞って調べることにした。それが昨年4月であった。

高野山には随分と宿坊があるが、百名以上収容ができ、講演会開催という条件があるのでまことに難しい。それに近頃の生活様式の習癖から座ったまま講演を聴くという姿勢は大勢の場合不向きであり避けなければならない。宿坊組合や高野町教育委員会の助言やご理解で、下見を行った結果講演会場と宿舎は別であるが至近距離ということで決めたが、幸い高野町中央公民館も宿坊赤松院も広さの点で恰好のものであった。

高野山の宿坊は関西地区の簡便な避暑に利用されており、一番の問題は小学校による林間学校利用である。従って夏休みに入る7月20日前に、そして大学は10～15日位に休暇になるとこ

ろが多いようなので、自ら会期は決まって15～17日となった次才である。大学によっては24、5日頃に休暇になるところもあるが、やむえない点を事後ながらご了承願いたい。

〔参加費のこと〕

参加費を決めることは甚だ頭の痛いことである。額は少い方がよいにきまっているが、何分諸費高騰の世の中である。それに大阪からさらに高野山まで来ていただかなければならない。今の宿坊はお布施で間に合わせるわけにはいかない。宿坊組合が協定宿泊料を決めているからそれに従うことになる。57年度筑波のセミナーは公設備を利用されたので参考にならず、56年度北海道のセミナーを参考にせざるをえない。しかし2年前のことであり、国民休暇村を利用されている。まことに迷いに迷った末、清水の舞台から飛び下りる思いで56年の参加費を踏襲する覚悟をきめたわけである。

それには参加者数を100名以上にすることが必須条件である。勧誘には勿論努力するとして、魅力のあるよい企画であれば必ず実現できると已に言い聞かせて進発進行した。そんなわけで幹事会での中間報告のとき、副会長の秋山守先生からひそかに、「会計が足らぬときは言って下さい」というお言葉を頂いたことは、いまでも忘れられないものであった。また若干の寄付金やら現物寄付をいただき、結果として本部へ返納金を出すことができたことは多くの方々のご支援の賜物と感謝に堪えないところで、紙上をお借りしてお礼を申し上げる次才である。

〔企画のこと〕

セミナーも回を重ねるとセミナー内容の組立がまことに難しくなっている。先述のように関西地区の先生方や企業の方も加わってもらい、熱心な討議が数回このために重ねられた。従来の伝熱学的なもの、エネルギー問題、地域的特色のある問題などを織り交ぜ、重点をいろいろ変えて回を重ねてきているから、ここ一番となると大変苦労するところである。

そこで「これまでとこれからの伝熱」という共通演題で、丁度研究生生活の一節を終えられた、われわれの尊敬する学兄に道を説いていただく。それを受けて流動伝熱問題のモデリングと数値解析という最も今日の問題を採り上げ、さらにトピックスを提供してもらい企画を立てた。また現象の正しい認識を促すようフィルムセッションをおいた。結果的に短い時間内に示唆の多い内容が盛り込まれており、良い企画であったと自負している次才であるが、受けて立った各オーガナイザーの先生方のご苦労は大変であったろうと、今なお感謝に堪えないものがある。

なお会員でセミナーへの初参加の方、非会員の方、また学生諸君を気楽に導入する目的で、高野山という場所柄に囚われて、「弘法大師」に関するお話を関西大学社会学部の前田卓教授に依頼したが、最初同氏は伝熱なんて難しい学問をしている堅い人達？を前にどうも話しづらいと承諾を渋っておられた。しかし矢張り強要してよかったと思っている。私は故人・先輩・先達の歩ん

だ道を偲びつゝ学問は学び、進めて行くものと信じているので、大きな意味でその心に通じるものと考えたからである。

〔おわりに〕

丁度新暦のお盆に当るので、雨止みを利用して奥の院に参詣していただいた。若い学生達諸君も加わって全員が二組に分かれ、案内者の説明をききながら行を共にした。殆んどの方が「水かけ地藏」のところで、故人・先祖の方に供養の掌を合せられたことは私にとってまことに印象の深いことであった。と同時にセミナーを成功裡に無事終了させて下さった多くの方のご厚情や人の和が学問のためとはいいながら如何に大切かということを感じとったのである。

〔各セッションの紹介と感想〕

（これまでとこれからの伝熱）

「これまでとこれからの伝熱」

勝 田 勝太郎（関西大・工）

〔はじめに〕

セミナー仕末記に書いたように、長いこと教育と研究に過された大学を本年3月にご退官された、われわれの尊敬すべき学兄で、私の存じ上げている方は東京工業大学の青木成文・森康雄・一色尚次の三先生と、京都大学の佐藤俊・水科篤郎の二先生である。企画を立てる当初の情報で、水科・森両先生はご退官後しばらく外遊なさるということであつたので、ご迷惑になつてはと考へ、一色・佐藤・青木先生にご講演をご依頼申した。道徳ながら一色先生はご健康をそなわれ、ご快復未だということでご講演がえられない結果になり、参加者の方々のご期待にそえなかつたことをお詫びする次才である。

佐藤・青木両先生は淡々としてご自分の歩まれた道を話され、その中に鋭い指摘、蘊蓄あるお言葉を含めて、熱のこもつたご講演を予定時間を超過して行なつて下さつて、一色先生の分を十分補つていただいたことは感銘深いものであつた。次に両先生のご講演内容を簡単にご紹介してみたい。間違いや聞落しが多々あることと思ひが、予めお詫び申し、ご了承願ひたい。

〔佐藤俊先生のご講演〕

順序にしたがつて佐藤先生のご講演要旨を略記する。現在独立体系をとつている伝熱工学も約40年前（先生の大学卒業1943年）では応用熱工学に含まれており、熱伝導論はしっかりしたものであつたが、他の部分はかならずしも同程度ではなかつた。その当時、北大大賀、九大山縣、東北大拔山、京大菅原の諸先生が活躍されておられ、栗野・橘先生は内燃機関を研究されていた。学問の形態の核は蒸気工学・装置工学・化学工学・流れ関係さらに総合的なものに含まれており、先生ご自身は蒸気タービン翼列の効率問題や充填管の伝熱効率の研究をされていた。しかし終戦後研究方向の転換をされ、簡単な流れ関係より対流伝熱へ志向されて行つた。当時は大賀先生の対流伝熱、ホン・ボッシュの伝熱の本などが参考書籍であつた。そして熱工学関係者を主体として学際的に発展していく段階で、京大藤本先生を中心として、化学工学・建築などを含めて討論サークルをつくり、関西地区グループ結成へとつた。それは全国的呼びかけにより全国的組織の伝熱研究会の成立を昭和36年10月にみるに至つたが、昭和29年栗野・葛岡先生の「伝熱工

学」、31年藤本先生の「伝熱概論」、34年伝熱工学資料などが出版され、筋の立った学問形態がとられるに至った。さらに1951年伝熱の国際会議が英米主体で開催され、1961年（昭和36年）の会議には日本より3名の参加がみられた。さらに1982年ミュンヘン会議では81名の日本よりの参加者となり、国際的横への拡がりが見られるに至った。このような伝熱工学の発展が最近の電子計算機や計測方法の発展によるものであると考えられるが、一方細分化しすぎているきらいがある。専門別細分化されたものを総合的に皆んなで見直していく機会が望ましい。伝熱工学自体としても特に不安定現象と不確定性現象、反応を伴う現象、1950年頃より盛んになってきたふく射伝熱などこれからの問題として大いに採り上げられるべきであり、応用面へのアプローチができるようにすべきと考える。

〔青木先生ご講演〕

昭和20年9月の卒業であるが、京大藤本先生の「流体力学」などで勉強していた。海軍依託学生（海軍の技術関係を将来担当する者への一種の奨学制度であった）であったので、エンジンの冷却問題の研究に従事し、高速偵察機の排気管のふく射、対流伝熱に関する研究をし、研究論文の一部も書かされたものである。終戦後は原子炉の研究へと志向変更した。これは高価で、大形装置による実験研究が要求されるが、原子力研究所では大学でやるような研究をすべきではなく、大形研究と大学での研究とのつながりをよく考える必要があり、大形研究の基礎になるものを大学が分担すべきであると思っている。さらに原子力関係における開発研究試験と安全試験において、事故は未然防止または可及的極小化すべきで、百年で起るか起らないかの確率論的議論も大事な一面であることを述べられた。

ここでスライドとフィルムによる原子炉の管系破壊時の流れ解析を説明され、スリーマイル島原子炉について言及された。

そして原子炉関係では保守的な面があって、古い文献の式を使用している。しかもその文献は米国のものが多い。しかし新しい開発研究の高速増殖炉の設計には日本のものが多く用いられているので、大形研究の基礎になるものは大学で分担すべきであることを再度強調された。さらに安全機能を考え、過渡的な事象がもっと明らかにされるよう要望された。例えば増殖炉のナトリウム使用、核融合における冷却・パルス状加熱の問題、ヘリウムなどによるガス冷却の問題、また高熱負荷の非正常問題等々、基礎的研究をみもらせて利用されるべきであると力説された。

〔おわりに〕

ご研究生活の一節を終られた両先生であられるが、今後いよいよご健康でわれわれ後進をご指導下さって、斯界の発展にお盡し下さるよう祈願致してやまない次才である。

私の伝熱工学との関わり合い

青木 成文（東京工業大学名誉教授）

本年4月1日で東京工業大学を停年退官致しました直後に、「これまでとこれからの伝熱」の話を見せて頂く機会が与えられましたことは、私の人生の一つの区切りに自分自身を振り返ってみることができ、私自身が最も喜んでいました。あんなことを、こんなことをといろいろ思いあぐねながら雨の高野山に登ったのでありましたが、会場に入って100名を越す参加者の若い熱気に迎えられたときには、さて何をお話しすべきかを忘れてしまいました。幸いまず佐藤俊先生の巧みなお話に、私の緊張もほぐれて、大戦末期に私が伝熱の研究に参加したお話から始めることになりました。

それは昭和19年の夏以後、横須賀の追浜にあった海軍航空技術廠において、海軍技術委託学生として動員され、科学部（風洞水槽実験関係）に配属され、原朝茂大尉の下で、Durand の Aerodynamics, Chap. 6 Cooling の翻訳をしたことから始まりました。かねてから熱流体力学に興味を持っていた私は、自分の念願通りの仕事をさせて頂くことができ、物凄く張り切って仕事をしたものでした。終戦までの間に、ここで航空機の排気管の過熱防止、細かいフィン間隙内の空気流動、推進式飛行機の胴体形状の空気抵抗測定などから地下工場の換気用空気流動分布実験学を約1年余でやりまして、これが私のその後の研究生活をきめてしまったことになり、またこのとき原朝茂先生の御指導を得たことが私の貴重な財産になりました。

終戦後は大学に帰って、川下研介先生の下で研究生活に入り、戦災の跡から鉄管や器材、小物類を拾い集めて実験をしたものでした。空技廠で受けた手ほどきは実験研究の基本的知識として、その後の私の研究が純粋な学問的な研究よりは、例えば最近手掛けていた原子炉の安全研究というような応用工学的、即物的研究に向うことになったといえましょう。

私の伝熱工学との出逢いはこのようなものでしたが、考えてみますと、その当時私達を取り捲いていた環境条件は全く今とは違っていました。材料もなく、精巧な計測器もなく、とりわけデータの解析を手廻しのタイガー計算機や長尺の計算尺で長時間かけてやっていた私達の話が、果して今の研究者の方にとって役に立つのかなあと、今になってみると疑問になってきました。役に立つとすれば、研究の進める上での“精神的頑張りズム”しかないかなあとと思います。しかし会場の皆様は熱心に年寄りの“たわごと”を聞いて下さいまして、誠に有難く思いました。

降りしきる雨足の音を聞きながら、寺の大広間で開かれた懇親会は、都会の宴会場とは一味違った雰囲気の中に、なごやかな談笑に夜も更けてきました。若い方々が積極的に多数参加され

たことは、将来の伝熱工学の研究を更に向上させようとする意欲をひしひしと感じさせるものがあり、この分野の研究がますます活発になり、より大きな成果が挙げられるであろうと確信して、高野山を下るケーブルカーに足を踏み込んだのでありました。

(流動伝熱問題のモデリング)

鈴木 健一郎 (京大・工)

関西に住んでいながら恥ずかしいことだが、高野山はるか南海電鉄高野山線に乗るのも始めて、まわりに何一つない極楽橋駅におり立って、まだケーブルカーで山に昇ると知ったときは、どんなところでセミナーが始まるのかと正直言って不安に思った。

佐藤俊先生、青木成文先生のお話しに始まった第1日目も、ユーモアあふれる前田卓先生の“科学者としての弘法大師”と題するお話で、参加者の気分もずっとはぐれたようで、正規の懇親会のあとも、あちこちの部屋で、5人、7人、10人と輪になっての懇親風景が続いたようである。“ようである”と書いたのは、最後っぺではなかったため、2日目の最初のセッションの司会を仰せ付かって気になっていたものの、実はかく言う私もかなりの夜更しをしてしまった方である。

懇親の実をあげるだけでは、委員長の勝田先生にお叱りを受けそうだったので、次の朝は6時から起き出して、まずは勤行の木席に連なって気を引締めて会場に出かけた。前夜の調子では空席も出るかと少し心配もしたが定刻の9時には全員揃って私の方が感心してしまった。

最初のセッションは“流動伝熱問題のモデリング”なるタイトルのもとで、原研の河村洋氏、東工大の土方邦夫先生、大阪大学の香月正司先生の御三人に“原子炉における伝熱問題と乱流のモデリング”、“乱流伝熱促進法と乱流のモデリング”、“燃焼器における乱流燃焼とそのモデリング”と言うそれぞれのテーマで話題の提供を戴いた。

各テーマとも、モデリングの背景となっている乱流特性とモデリングの手法や、乱れモデルの有効性とその応用範囲、などの複雑な話しのうえに、その応用分野の概要をも折込んだものになっていて、1時間足らずでは紹介戴くのは大変難しいものであったが、ベテランかつエキスパートである各講師の先生ともお願いしておいた意図を十分汲んで下さって、大変上手にお話し下さったお蔭で、計画時に期待したとおりのセミナーらしい雰囲気横溢して大変良かったと思っている。

少し逆上って話しをすると、このセッションのお膳立てをして下さったのは、大阪大学の高城先生、中西先生、大中先生である。昨年、私が少し留守をしていて帰って来た頃に、提供戴く話題のテーマをどうするかについて御相談があった。途中から加わった気楽さから、乱流のモデリングの話とそれを応用する分野の実際的な話しの両方を纏めてお話し願ったら、等と無理なことを言い出したのは私である。このため、講師の先生はもちろん、先生方にお引き受け願うのに

骨折って下さった高城先生に大変な御苦勞をかけてしまったらしい。この紙面を拝借して遅ればせながら各先生方にお詫びすると同時に深く感謝する次第です。

少し討論が長引いたが、大体定刻にセッションを終りにすることができ、私も大役を果たしてほっとした。昼食後は、大挙して奥の院の参拝に出かけて、人並に家内の安全を祈ったし、また数え切れない歴史上の人物のお墓に詣でて、人の世のはかなさや歴史のロマンについて考えたものである。

あえて今回のセミナーを振り返って見ると、2日目のテーマを総花的にしないで、互いに関連のあるトピックスに絞ったので、相互に勉強し合う感じが出て大変良かったと思っている。準備委員の一人だったので我田引水のようにはあるが、さしたる働きもしなかった私なので、それもお許し戴けるかと思う。今回の成功はひとえに委員長の勝田先生の慧眼と、それに応えているいろいろのアイデアを出された委員会の諸先生の御力の賜物だからである。実を言うと、司会を仰せ付かっただけでこの感想を書かして載っているのは大変気が引けている。

シンポジウムと同様にセミナーについても、そのあり方についての議論が聞かれるが、国外で見られる short course 的な今回の形式もひとつのあり方のような気がした。2日目の夜も、あちこちで懇親風景は続いた。アルコール抜きと言う訳にはいかなかったが、私が経験し、また聞いたところではその日のセッションの延長版があったり、次の日の話題提供者への質問を済ませてしまう議論も出たりして、にぎやかないっほうで真剣な懇親が繰ひろげられたらしい。これならば、来年もセミナーに参加しようと言っていた人達も何人かいたから、成果は有ったと言うべきではなかるうか。

“乱流のモデリング”余談

河村 洋(原研)

先ごろ高野山で行われたセミナーの話題提供者の一人として何か寄稿するようにとのことでしたが、講演要旨をここで繰返すべきかどうかともわからないまゝ、“余談”という中途半端なことで責をはたささせていただきたいと思います。

なぜ“乱流のモデリング”か

乱流はきわめて複雑な現象ではありますが、それを記述する方程式はよく知られております。連続の方程式とナビエ・ストークスの方程式がそれではありますが、それならば計算機の進歩した

昨今、それを直接解けばよいではないか、なぜモデル化などをしなければならないのか、という疑問が起るのは当然です。

ところがナビエ・ストークスの方程式を解くということが極めて大変なことなのです。その理由は、乱流は元来、大きな渦から小さな渦までが入り混った構造になっており、しかもそれらのすべてが乱れのエネルギーの収支に関与しているためです。この点については、石垣博氏が“伝熱研究”の81号に大変興味ある解説を書いておられますので、詳細はそちらにゆずることとします。要するにそのような乱流の独特な構造のために、ナビエ・ストークスの方程式を直接解くことは、最近の計算機によってもむずかしいのが現状です。通常の管内乱流を計算するのに、数十日のオーダの計算時間を必要とするという試算もできます。最近、極く特殊な乱流については、ナビエ・ストークスの方程式を直接解いたという人もいますが、実用的な計算のためには、まだ、何らかの“モデリング”が必要となっています。

高度なモデルとは

乱流をモデル化して解く手法を挙げますと、

- A : 乱流粘性係数経験式
- B : 混合長モデル
- C : 乱流エネルギーモデル(二方程式モデル)
- D : レイノズル応力方程式モデル
- E : Large Eddy シミュレーション
- F : 直接解法

ということができると思います。(積分法は除きました。)この表では、下へ行くほど計算は複雑で、得られる情報も多くなります。そこで下へ行くほど高度なモデルと通常はいわれているのですが、見方を変えると疑問もあります。たとえば、Fではナビエ・ストークスの方程式を直接解くのですから、モデル化の度合は、むしろゼロです。(脚注)逆に数学的には簡単な手法ほど、現象に対するより高度の洞察に基づいており、その意味ではBの混合長モデルあたりか、最も“高度”のモデル化であるといえる気がします。

夕方のフィルムセッションでは、Eの Large Eddy シミュレーションによる大変おもしろいフィルムが、笠木先生から紹介されました。フィルムには、実験で見るような流速の変動がそのまま再現されているようで、その情報量の多さには驚かされました。その点やはり、このような進んだ手法が“高度”であることはまちがいはなく、ここでは“高度の技法”とも呼ぶことにしたいと思います。

実用的なモデルとは

簡単な流れは簡単な計算法でも解けます。したがって、少くとも実用的には、より高度の技法はより複雑な流れが解けるべきだ、と思います。ところが実際には数学的なむつかしさのために、最も高度の技法では最も簡単な流れしか解けない、というのが現状です。

このような事情を図1に現わしてみました。この図でいたいことは、より高度の技法ほどより広い範囲に適用できるポテンシャルは持っているものの、現実には計算式術上の制約から狭い範囲にしか適用できていないという点です。その結果、現状での実用的な適用範囲のピークは、Cの乱流エネルギーモデルとDのレイノルズ応力モデルの間あたりにあるというのが、個人的な感想です。

とはいっても、高度の技法EFの価値を否定するつもりはなく、これらの現状での適用範囲はたとえ狭くとも、そこから得られる情報は膨大で、より低位のモデリングの進歩のみならず実験的な研究に対しても極めて大きな寄与があるものと思います。また今後、図1にも示したように、モデルの進歩と計算技術の進歩の双方によって、適用範囲のピークは右上へと上り、より複雑な流れの解析により高度の技法が活かされることが期待されます。

(脚注) ナビエ・ストークスの方程式もやはり現象のモデル化であるという見解も成立つとは思いますが、ここでは一応それは置くとします。

乱流伝熱促進法と乱流のモデリング

東京工業大学 土方邦夫

上記題目で第17回伝熱セミナーの講演を行なったがその主たる内容は突起を有する管内流および後方ステップのはく離の流れ場および温度場の乱流モデリングによる計算結果のレビューである。内容の詳細についてはセミナー準備委員会の先生方の御苦勞により作られた要旨集を御覧いただくことにして、ここでは乱流モデリングと計算法に対する私見を述べてみたい。

乱流のモデリングはあくまで数学的に厳密解がえられないことに由来する数学上のモデリングであり、そのためモデル化により得られた結果と比較しうる厳密な解が存在しない点に特徴がある。したがって、種々の論文中で実験結果と数値計算結果の比較によりそのモデル化の妥当性が検討されているが、両者の差異には次の3つの要因が含まれていることになる。

(1) 乱流のモデル化の妥当性

(2) 実験結果の信頼性

(3) 数値計算上生じる誤差の程度

実験結果と数値計算結果の比較からモデル化の妥当性をうんぬんするためには(2)、(3)の点に問題がないことが示されている必要がある。

はく離を伴う流れ場では近年レーザドブロー法の普及から反転流領域を含む正確な乱流測定がなされるようになってきており(2)の問題の信頼性は向上しつつあるが、まだ十分とは思われない。これに対し(3)に関して詳細に検討を行なっている論文も数多くあり、また論文中に明記してなくとも正確な検討を行なっている論文も多いとは思いますが、3つの問題点の中では比較的目の向けられていない点である。例えばはく離を伴う流れに対し、速度・圧力を変数にして解く方がよいか、流れ関数・うず度を変数にする方が良いかなどについても十分説得力のある研究成果があればどれだけ便利かと思う。

最後に(1)の問題に関して言えば、流れ場中の問題には関心がはらわれているが、境界条件(大部分の論文では高 Re 数近似にもとづく対数法測が仮定されているが)、特にその数値計算上の取扱いが明確でないものが多く、またはく離流の反転流領域や特に再付着点領域ではどのように考えるべきかという議論も十分になされているとは言い難い。

このような点から私自身は現在種々の乱流のモデリングのよしあしを正確に議論する段階に至っているとは考えていないが、乱流場の正確な測定、厳密な計算そして理論に裏付けされた大胆なモデル化がこの分野のより一層の発展をもたらすことを確信している。

最後に高野山のような深山霊峰にて勉強の機会を与えてくれたセミナー準備委員会の先生方に深く感謝する次第である。

伝熱セミナー所感

大阪大学工学部 香月正司

伝熱シンポジウム前刷集に目を通すくらいで、伝熱研究会の行事にはこれまで一度も参加したことがなかった外部の者として、感想を述べさせていただくことにする。

伝熱関係のかなり多数の人々が一か所に合宿し日頃の問題や裏話を自由に話し合える機会として、非常に有意義であったというのが参加した印象である。その意味ではテーマに関連して準備された昼間の話題提供も価値あるものではあったが、合宿所における二次会の話題もまた捨て難

いものであった。一口に伝熱研究会とはいっても、各人の専門分野がかなり細分化され、高度なものとなっている現状では、すべての会員が討論に参加できるような一つの問題を設定することは極めて難しいと思われる。したがって、テーマに縛られることなく、自由な話の中に分野を同じくする方々との情報交換の行える機会は今後も大切にすべきであろう。もちろんこのような大世帯の合宿を準備するのは多大な労力を要することで、今回もそうであったように、準備委員会の献身的な努力に甘えることになるのであるが。

流動伝熱問題のモデリングのセッションにおいて、乱流燃焼を扱う際の問題として大きな密度変動の影響を取上げて話題提供をしたが、我々乱流燃焼に興味を持った者にとってもう一つの大きな問題は、乱流中での燃焼反応を如何にモデル化するかという点にある。この問題に関しては話の中心が燃焼に偏り、伝熱セミナーの話題としては不適當であろうと判断したのであるが、考え直してみると乱流燃焼のモデリングも、乱流構造の解明に基礎を置いており、大構造りずによる混合・輸送過程と微細構造りずにおける反応過程を如何に結びつけ、それを数式化するかということに要約されるといえる。その意味では、化学工学の分野における乱流問題とも共通するものがあり、今回の話の中にも含めてもよかったような気がする。燃焼のシミュレーションでは、燃焼器全体の流速・温度・濃度等の分布から燃焼効率や大気汚染物質排出量を求めたりするのであるが、その場合壁近傍のシミュレーションの精度が結果を左右するほどの影響を持つことは少く、バルク流のシミュレーションの精度が結果を支配することが多い。したがって、燃焼の分野では種々の難問を含む壁境界層の取扱いを比較的簡略化し、もっぱら噴流、伴流、自由せん断流における混合・輸送過程に議論が集中してきたように思われる。これに対し強制対流熱伝達を中心とする伝熱の問題では、壁近傍の取扱いが特に重視され、流れのはく離や再付着、壁からの突起等による熱伝達率の変化等が詳しく議論されることが多く、両者の間にはやや着目点の相違が感じられる。しかし燃焼の問題にあっても、保炎器により安定化された火炎の状況をシミュレートしようとする、保炎器からはく離や後流に形成される循環流の扱いが重要になり、その付近での乱流モデルの吟味が必要となってくる。その意味では、伝熱の分野で進歩しているこれらの議論が、今後燃焼のシミュレーションにもおおいに役立つと考えられ、今回のセミナーでも参考になる点がいくつかあったといえる。

話題提供の中で述べた密度変動のある場合には、時間平均値の密度勾配が存在することも多いが、問題となるのは密度勾配ではなく、時々刻々変化する密度の乱流輸送過程への影響である。大きく密度の異なるうず塊同志の混合が行われる場合には、密度加重した量の保存則を考えねばならないのは当然であるが、密度の異なるうず塊への圧力勾配の選択的影響などは現象論的に十分に明らかにされていないし、燃焼反応によって生じる極めて大きな密度変化も、いっそう現象

を複雑にしている。したがって、基礎式のモデル化の際にはまず現象論的裏付けが不可欠であろう。このような理由から、密度変動を伴う乱流場の現象の解明を急ぐべきであり、それに必要な条件付きデータ取込みや、非接触計測法の開発の必要性を痛感している。

今回のセミナーで印象に残ったものの一つにフィルム・セッションがある。何台ものスーパーコンピュータを駆使して膨大な計算量を強引に処理した壁面乱流の計算結果は、そのグラフィック・ディスプレイと共に全く舌を巻く思いであったが、今後の乱流シミュレーションの一つの方向を示すものであろう。

また、曲がり噴流の高速度撮影は噴流境界面の大規模うず構造とその動きを鮮明に捕えており、日頃コヒーレント構造について頭に描いていたイメージとつながって、強い印象を受けた。このような企画はセミナーならではのもので、非常に有意義であったと感じており、深く感謝している。

(流動伝熱問題の数値解析手法)

流動伝熱問題の数値解析手法

大阪大学工学部 大 中 逸 雄

本セッションは流動、伝熱問題の数値解析手法として代表的な有限差分法 (F D M)、有限要素法 (F E M)、今後の発展が期待されている境界要素法 (B E M) の手法や応用例について、ベテランの方々に講演していただき、各解析手法の特徴、問題点を討議する目的で企画された。

まず、長年自然対流の数値解析に関する勝れた研究を行っておられる岡山大学の尾添紘之氏に F D M による種々の三次元自然対流の数値解析手法とソーラーシステムにおける自然対流の解析例について講演していただいた。

次に F E M の流動問題への適用に詳しい日本 I B M の松田安弘氏にガラーキン法、変形ガラーキン法、人工拡散を考慮した変形ガラーキン法などの手法と潮汐運動解析、2、3次元粘性流動 (層流) 解析、水質汚濁、温排水解析などへの応用例を紹介していただいた。また数値解析結果をアニメーションにした興味深いフィルムが紹介された。

最後に我国における B E M の伝熱問題への適用のバイオニアの一人である信州大学田中正隆氏に、熱伝導解析における B E M の原理、粘性流体解析への応用などについて紹介していただいた。

数値解析手法を理解するには各々の手法で 1 日かけても必ずしも十分ではない。まして、討論も入れて 3 時間という本セッションでは上記の講演内容が十分理解されたとは考えられない。しかし、ベテランの方々の講演で、各手法が大体どんなものかというムードはつかめていただけたのではないかと思う。

一方、各手法の特徴、問題点、限界などの明確化という目的からは、司会である小生の不手際と準備不足、時間不足で十分討議できず、残念であった。この種の討議をするには、事前に討論者を決めるなど準備を十分にしておくべきであったと反省している。

今後、上記の解析手法は実用的な 3 次元問題にますます適用されるようになるであろう。この場合、プログラムはますます複雑になり多くの人はブラックボックスとして利用することになる。伝熱関係の研究者、技術者がこのような状況にいかに対処して行くかは重要なことだと思う。

最後にお忙い所、心良く講師をお引受けいただいた講師の方々に心からお礼申し上げる。

伝熱セミナーに参加して

尾 添 絃 之

今回伝熱セミナーに参加して「ソーラーシステムにおける自然対流の数値解析」という題で講演させていただく機会を得ましたが、伝熱セミナー初参加ということもあり、話の内容も、主催者の方の御企画に必ずしも合致しなかったのではないかと反省しているところでありまして、再び講演内容をここに御報告することはあまり気が進みませんが、セミナーの概要を報告せよとの架谷委員長のお手紙ですので、梗概を述べさせていただきます。

(1) はじめに

ソーラコレクターの集熱板とカバーガラスとの間の薄い空気層においては、高温集熱板と低温カバーガラスとの温度差に基づき、自然対流が発生し、これが集熱板からの再放熱となり、効率低下をもたらしますので、これをできるだけ抑制する必要がある、例えば四角形格子が入れられますが、ここでは主としてその格子内の自然対流の三次元数値解析について述べます。

(2) 基礎方程式

流れの駆動力となる浮力項を含む三次元運動量収支式に加えて、物質、エネルギーの収支式、状態方程式が基礎方程式を形成します。本セミナーの御企画では、数値解析手法が私のテーマだったようですが、ソーラーシステムというタイトルが与えられ、これにひきづられた形で内容も私共が最近行っているソーラコレクター関係の解析例の話となってしまいました。また差分計算手法そのものは最近それ程新しいものがみられません。

(3) 三次元自然対流の計算例

3.1 二重傾斜直方体空間内^{6),7)}

$2 \times 1 \times 1$ の寸法の直方体(アスペクト比は $2/1$ 、 $1/1$)の 2×1 の下面を加熱、上方面を冷却した時の自然対流の熱伝達率は、長さ1の短辺を水平に保ち、長さ2の長辺を傾むけた場合が、長さ2の長辺を水平に保ち短辺を傾むけた場合より小さいことが、計算の結果出ました。つまり対流抑制格子を入れる時は、長辺を傾斜した形に入れた方が効果的ということです。

3.2 加熱板上にのこぎり歯状に温度分布がある場合⁸⁾

集熱板裏面には低温の集熱パイプが並んでおり、その影響をみるため、加熱板にW字型の温度分布を与えて計算したところ、温度ピーク位置から上昇流が生じ、傾斜状態でも、熱伝達率は等温の場合よりも大きくなった。従って集熱板はできるだけ等温の方がよい。

3.3 底面の半分が加熱面で、半分が断熱面の場合⁹⁾

これは一種の極限の場合になります。半面加熱と傾斜という二つの条件がかみ合って流れの方向とロールの個数が決ってくるので問題はかなり複雑になりますが、解析解による粒子軌跡は写真とよく一致しています。

3.4 邪魔板をさらに直方体空間内に挿入した場合^{10)、11)}

$2 \times 1 \times 1$ 空間内にさらに対流抑制のための邪魔板を短辺に平行に入れると、邪魔板の摩擦が熱伝達率を低下させる効果に加えて、傾斜角度と邪魔板の存在が組み合わさって斜めのロールができ、小さい邪魔板でも熱伝達率を低下させる効果があることが実験的に認められ、一方、解析解に基づく流動図から熱伝達率への影響が理解でき易くなります。

3.5 大きな浅い水平流体層内の自然対流¹²⁾

下方加熱の水平流体層は容器の側壁の摩擦により熱伝達率が低下しますが、容器アスペクト比の逆数に比例することが見い出せたので、Ra 数 2 万以下で任意アスペクト比 (1 以上) のヌセルト数が推定づき、格子サイズの決定に利用できます。

3.6 大きな浅い傾斜流体層内の自然対流¹³⁾

対流抑制格子の無い大きな傾斜流体層内の自然対流の一例として $7 \times 1 \times 1$ の空間内の解を求め、大きな空間内の対流特性を粒子軌跡で表わすことができます。この手法によりどのような傾斜角度で、どのようなアスペクト比のものでも一応計算でき、流れも粒子軌跡で可視化できます。

以上の他に、差分計算の打ち切り誤差をゼロに外挿した結果を得る方法、¹⁵⁾ 三次元粒子軌跡の計算と表示法¹⁴⁾ 等について少し述べました。以上が講演概要です。

以下紙数の余りを借りてセミナー初参加の感想を述べさせていただきます。

まず勝田先生以下の主催者の方のこれ以上は考えられない程の至れり尽せりの御準備に目を見張りました。交通機関の案内書はあらゆる可能性を想定されたようでした。高野山という避暑地での開催は参加者にとっては結構この上もないものでしたが、お世話される先生方は並み大抵の御苦勞ではないでしょうし、もう少し手抜きされたらと思いました。開催地もどこかの大学でもとも思えます。

セミナー参加者が、伝熱シンポ出席者とほぼ重複していることも始めてわかりましたが今回のセミナーのように、研究内容は近いにも拘らず、伝熱シンポではほとんど発表されていない方々が講師として招かれてあってそのお話を聞くことができたのは有益でした。勿論、伝熱シンポでもセッションが重なり、普段聞くことのできなかつた乱流の話なども私にとって大変興味深く、これを機会に今後セミナーに出席しようと思っています。

References

1. Bird et al. Transport Phenomena, Wiley, 1960.
2. Gray & Giorgine, Int. J. Heat Mass, 19, 545, 1976.
3. Ozoe et al., J. Heat Transf., 98C, 202, 1976.
4. Hirasaki & Hellums, Quart. Appl. Math., 26, 331, 1968.
5. Douglas & Peaceman, AIChE J., 1, 505, 1955.
6. Ozoe et al., Second PACHEC'77, 1, 24, 1977.
7. Ozoe et al., 6th Int. Heat Trans. Conf., Toronto, NC-19, 2, 293, 1978.
8. Chao et al., Chem. Eng. Comm., 245, 1981.
9. Ozoe et al., ASME paper, 82-HT-72, 1982.
10. Chao et al., Chem. Eng. Fund., in press 1983.
11. Chao et al., Chem. Eng. Fund., in review.
12. Ozoe et al., 7th Heat Trans. Conf., München, NC-23, 3, 1982.
13. Ozoe, et al. Int. J. Heat Mass Transf., in press 1983.
14. Yamamoto et al., Comp. & Chem. Eng., 6, No. 2, 161, 1982.
15. Churchill et al., Num. Heat Trans., 4, 39, 1981.
16. Chao et al., Convective Transport and Instability Phenomena, Braun Karlsruhe, 1982, p. 55.

「熱・拡散・流体関連問題の 有限要素法による解析」の紹介

日本アイ・ピー・エム㈱ 松田安弘

電子計算機の性能の向上に伴い、流体力学の基礎方程式を数值的に解く試みがますます増加し、今後、熱流体系問題の解決において、電子計算機の利用による数値解が重要な役割りを占めてくるであろう。本文では、これらの状況をふまえ、熱流体系分野における有限要素法(FEM)を基本とした、より実用的な数値解法の開発と、実際問題への応用について述べる。

FEMは構造物の強度計算などでは、すでに一般化していると言えるが、熱流体系への適用は、1970年代になって始まった。たとえば熱伝導問題や、拡散問題、又、差分法との関連や、2次元流体解析への適用など、数多く試みられている。しかし、どの項も省略しない形での3次元ナビエ・ストークス方程式を対象とした解析例は、筆者の知る限りではみあたらないようである。FEMは、差分法に比べ、複雑な境界形状への適合性や、任意のメッシュ分割による経済性、また、境界条件の扱いや、汎用プログラム開発の容易さなどの利点をもつため、今後、非構造分野においても、急速に、その適用が広がっていくであろう。この意味で、FEMは、実用的な数値解法としての基本的な特質を有しているということができ、今後、解決すべき問題点としては、電子計算機に要求される記憶容量および所要計算時間の削減の二点があげられよう。

本文では、これら、FEMに特有の欠点を克服する方法として提案された、変形ガレルキン法および前進計算型解法について述べている。前者は、拡散問題と二次元粘性流動問題に、後者は、波動方程式を用いた潮汐流動問題に応用されている。

一次元の拡散問題には、フーリエ級数法による誤差解析手法が適用でき、数値解の位相誤差、安定性を検討することができる。したがって、これらの誤差を少なくする手法として、変形ガレルキン法を提案しているが、これは対称マトリクスを用いているため、計算時間も少なくすむ。また、二次元粘性流体への応用では、その数値解と要素数（又は、節点数）との関係から、従来の差分法（4次、2次、1次近似など）や、他のいくつかのFEMと比較し、その手法の有効性を示している。最後に、三次元粘性流体の、キャピティ流れの解析例や、瀬戸内海などをはじめとする、十数例の海域や、港湾などでの水質汚濁シミュレーション、また、温排水拡散シミュレーションなどへの応用についても、簡単にふれている。

FEMの技術的改良の一つの方向としては、従来から種々の検討がなされてきた差分法での成果を取り入れることが考えられる。

また、タイム・ステップや、メッシュ・サイズの選定などについても、十分なデータを積み重ね、シミュレーションとしての運用方法について、今後、系統的に検討する必要がある。一方、従来の解析では二次元解析が主であったが、これは、一つには、計算時間の制約が、その大きな理由であったと思われる。今後のシミュレーションにおいては、コンピュータの発展に伴い、実際の現象に最も近い、三次元解析が、一つの焦点となるであろう。

なお、変形ガレルキン法や、前進計算型解法などの詳細については、参考文献を参照されたい。

「フィルム・セッション」の紹介

差分法による、二次元非圧縮性粘性流体の流動解析の結果が、16mmのフィルムに納められている。その内容は、次の6例である。

- (1) 円柱を過ぎる流れ ($Re = 500$)
- (2) 室内における、空気流の非等温流れ ($Gr = 1000$, $Re = 1000$, $Pr = 0.73$)
- (3) 地球内部のマントル対流
- (4) 強制振動下のタンク内の自由表面流れ (圧力と速度を変数とするSUMMAC法による。)
- (5) 非ニュートン流体のキャピティ流れ (動粘性係数は指数法則に従うとする。)
- (6) 平行チャンネル内の、速度の異なる二流体の混合状況

である。

なお、これらの結果は、J.E.Fromm (IBMサン・ノゼ研究所)、鷹尾、宇野、霜田、松

田(日本アイ・ピー・エム)によるものである。

(参考文献)

- (1) 松田、堀川、日本機械学会論文集、45 - 395 (1979), 915.
- (2) 同上、機論、45 - 395 (1979), 924.
- (3) 同上、機論、47 - 416 (1981), 569.
- (4) Y. Matusda, Advances in Water Resources, 2 - March (1979), 27.
- (5) 松田、情報処理、20 - 7 (1979), 590.

以上

拡散問題に対する境界要素法の基礎

信州大学工学部機械工学科 田中正隆

第17回伝熱セミナーの話題提供者としてお招きを受け、目下急速に発展をとげつつある境界要素法(Boundary Element Method, 以下ではBEMと略記する)の伝熱流動問題への応用について最近のトピックスを話す機会を得た。これまで固体力学を中心に研究活動をしてきた筆者にとって、伝熱関係の専門家達とこれほど長時間おつき合いするのは初めての経験であった。高野山の赤松院の宿坊に泊りながらのセミナー「夜の部」での話し合いから、伝熱問題はやはり実験をしてみなくてはわからないという考えをお持ちの方が多いという印象を受けた。実際、モデリングもままならない乱流や燃焼に関する講演を聞くうちに、このような考えを持つのもわかるような気がした。しかし一方において、このような考えをお持ちの方が多い専門分野こそ、実験的知識の豊富な研究者による適切なモデリングとコンピュータ指向の計算技術とを結合させて、複雑な現象のより適確なシミュレーションを可能にする努力を本気で行なう必要があるとも考えた次第である。

セミナーでは、非線形流動伝熱問題へのBEMの応用を中心に述べ、対応する線形問題の解析法については割愛した。そこで本稿では、上記の非線形解析の基礎である線形拡散問題のBEM解析法の概要を示し、セミナー講演要旨の説明不足分を補うことをお許し願いたい。

非正常熱伝導問題などの支配方程式として知られている、いわゆる拡散方程式は次のように表わすことができる。

$$\nabla^2 u(x, t) - \frac{1}{k} \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = 0 \quad ; \text{領域 } \Omega \text{ 内} \quad (1)$$

ただし、 ∇^2 はラプラシアン、 t は時間、 x は Ω 内の任意点を表わす。 k は拡散係数と呼ぶべき物理定数であり、ここでは k は時間および空間にわたって一定であると仮定する。

式(1)を適当な境界条件および初期条件のもとでBEMにより解くには、時間積分をどのようにするかによって次の3つの解析法が考えられる。

- (1) Laplace 変換を用いる解法 (Laplace 変換解法)
- (2) 時間微分を差分近似する解法 (時間差分法)
- (3) 時間依存性の基本解を用いる解法 (直接解法)

このうち、広い時間範囲にわたって安定した精度のよい数値解を与えるBEM解析法は、(3)の直接解法である(1)(2)。そのため、ここでは直接解法の概要を示すことにしよう。

BEMの定式化は、式(1)の基本解と呼ばれる関数 $u^*(x, t; y, \tau)$ を用いて進められる。この関数は物理的には、点 x で時刻 t に生じた単位ポテンシャルの変化により、点 y で時刻 τ に生じるポテンシャル変化を表わす影響関数であると解釈できる。

u^* を重み関数としたとき、式(1)の重みつき残差表示は

$$\int_0^T \int_{\Omega} \left(\Delta^2 u - \frac{1}{k} \frac{\partial u}{\partial t} \right) u^* d\Omega = 0 \quad (2)$$

となる。上式に Gauss の発散定理を用い、また時間について部分積分を行えば、次の積分方程式が得られる。

$$c u + \int_0^T \int_{\Gamma} k q^* u d\Gamma d\tau - \int_0^T \int_{\Gamma} k u^* q d\Gamma d\tau = \int_{\Omega} u^* u_0 d\Omega \quad (3)$$

ここで、 u_0 は初期条件により規定される関数であり、 c は境界 Γ の幾何学的性質から計算できる定数である。また、 T は考察する最終時間を表わすものとする。

式(3)は、時間的に変化する境界上の u (ポテンシャル) と q (流速) に関する境界積分方程式である。BEMでは、これを次のようにして離散化して数値解を求める。すなわち、考えている物体の表面 Γ を境界要素と呼ぶ有限要素と類似の要素に分割する。さらに時間区間 $[0, T]$ もいくつかの時間要素に分ける。このうちで最も簡単な離散化は、各境界要素内および各時間要素内で u と q が一定値をとると仮定する、いわゆる一定要素によるものである。このとき、式(3)の離散化方程式は次のように表わすことができる。

$$\sum_{\lambda=1}^K \Pi_{\kappa\lambda} \{u\}_{\lambda} - \sum_{\lambda=1}^K G_{\kappa\lambda} \{q\}_{\lambda} - B_{\kappa} \{u_0\} ; \kappa = 1, 2, \dots, E \quad (4)$$

ここで、 $[H_{\kappa\lambda}]$ 、 $[G_{\kappa\lambda}]$ 、 $[B_{\kappa}]$ は基本解が与えられると計算できる係数マトリックスである。また、 $\{u\}_{\lambda}$ と $\{q\}_{\lambda}$ はそれぞれ、 λ 番目の時間要素における u と q の境界節点値である。

離散方程式(4)の解法は次のようにして行なう。まず、 $\kappa = 1$ において、初期時刻から時間ステップを1つだけ進めた状態における $\{u\}_1$ と $\{q\}_1$ の未知数を、境界条件を考慮して求める。次に、 $\kappa + 1 \rightarrow \kappa$ において時間ステップをさらに1つ進め、同じ手続きを繰返して最終時間ステップ $\kappa = E$ まで進めてゆく。

上述のBEM解析法の有用性は、すでに多数の例題計算により確められている⁽²⁾。そして、2次元問題ばかりでなく、3次元問題にも応用される有益な知見が得られている⁽³⁾。

最後に、Laplace 変換解法と時間差分法について若干のコメントをしておく。この2つの解法では、定式化の基礎である基本解は同じものである。Laplace 変換解法では、変換面で問題を解き、これをもとに数値 Laplace 逆変換を行なって物理面での時間依存の変数を定める。この数値 Laplace 逆変換を、経験的知識を要せずに精度よく行なうことに問題点があるために、現在ではあまり利用されていない。また、時間差分法では上述のトラブルは生じないが、この解法の計算精度は時間ステップ幅の選び方にきわめて敏感であって、数値計算には十分注意を払う必要がある。これに反し、直接解法では時間依存性の基本解を定式化に用いているので、解の精度は時間ステップ幅の選び方によって数値計算が不安定になることはない。

参考文献

- (1) 田中正隆・田中喜久昭(鷺津久一郎監修)：境界要素法 — 基礎と応用，丸善，(1982)。
- (2) 田中正隆(監訳)；C.A. プレビア(編著)：境界要素の応用・1，企画センター，(1983)。
- (3) 田中正隆：機械の研究，**35**(1983)，P.750， P.866， P.960。

(フィルムセッション)

フィルムセッション

高城敏美(大阪大)

フィルムセッションは伝熱セミナー第2日目の夕食後にあり、小生は司会をおおせつかった。フィルムとその提供者は次のとおりである。

- 1) ① Eddies in Captivity (自由乱流中の渦運動の可視化 - Perry and Limによる)
② 2-Dチャンネル内流れの可視化
③ Large Eddy Simulationによる可視化 (Moin and Kimによる)
①~③提供者 笠木伸英(東京大)
- 2) Turbuience (管内乱流, 乱流噴流, 成層乱流等の可視化 - Ebeによる)
提供者 木本日出夫(大阪大)

この他、各種流れの数値シミュレーションによる可視化のフィルムも松田安弘氏(日本IBM)から紹介される予定であったが、昼の部での松田氏の話題提供のときに映写された。このため、本セッションは種々な乱流の可視化が主題となった。

フィルムセッションは次の2つの意図で計画された。①当日の午前と午後のセッションは乱流場でのモデリングや数値解析法が主題であるのに対して、実験の内容を含むことも望ましく、実際の流れを可視化したフィルム等を題材にして、乱流場での詳細な実験を行っている研究者とモデリングや解析を行っている研究者の間でかなり意見の応酬が期待できること。②夜の部でもあるので、むずかしい議論はさておいて、比較的気楽にフィルムを観賞していただくこと。①、②には矛盾があるが、参加される方にどちらかを取捨していただければよいだろうということであった。

いずれのフィルムも自然のおりなす芸術的とさえいえる造形を見事にとらえたものであり、また、LESの数値計算による乱流の可視化はそれをかなり忠実に再現したものであり圧巻であった。

笠木先生(東京大)にはフィルム映写とともに実験や計算についての説明をいただいた。また、吉信(大阪府大)、河村(原研)、鈴木(京都大)、土方(東工大)の各先生方には乱流の基礎的事項、構造、モデリング等に関する説明や貴重なコメントをいただいた。

人間の視覚によるパターン認識は非常にすぐれていると思う。乱流の複雑な流動パターンを一

見して百聞にまさる認識を得ることができたとすれば、フィルムセッションの意義もあったことになる。

伝熱セミナー雑感

木 本 日出夫(阪大・基礎工)

伝熱セミナーの準備委員会で、今回の企画として乱流に関するフィルムセッションが行われることになり、私の研究室の乱流に関するフィルム「Britanica製作、R.W. Stewart 解説、Title “Turbulence”」が候補の一つに上りました。当初私には、乱流に関する研究現場の新しいフィルムの方が良いのではないかという懸念がありましたが、高城敏美・中西重康両先生に御覧頂いたところ、乱流に関する解説フィルムとして良いだろうとのことで採用されることになりました。

このフィルムは、私が数年前カリフォルニア工科大学(C・I・T.)に滞在中に初めて見、帰国後学生の教育用に購入したものです。C・I・T.では流体力学に関する教育映画のシリーズとして毎週一巻ずつ見せていました。時間表に記載された“Film Lecture”の時間に、講義室にセットされた映写機を事務員が動かし、参加者は解説者なしで映画を楽しむという、通常のLectureとは異なった形式でした。映画は全て講義形式になっており、流体-波動に関する種々のフィルムを毎週見て、これらの視覚に訴える教育方法に感心していました。

今回のフィルム“Turbulence”については伝熱研究 vol. 21, № 81, pp. 8~15 で航技研の石垣博先生が“乱流とレイノルズ数”という題名でフィルム内容を引用して執筆されておりますので、本会員の方々はその内容の概略は御存知と思いますが、通常の講義で説明するのが難しい乱流構造についてもフィルム中で分り易く解説しております。このような視覚に訴える講義形式のフィルムは見る人の知識レベルに応じた見方ができるという点で種々の教育効果があると考えられますので同様のフィルムを機会ある毎に本学部の学部生・大学院生に見せております。

私は伝熱セミナーに参加するのは初めてで、100名以上を集めて行われるセミナーの準備委員の皆様準備・運営面での御苦勞を多少とも体験させて頂きたいと思い、セミナー実行委員会にも参加させて頂きました。結果は、あまりお役にたてず心苦しい限りでしたが、セミナー実行委員の側から見て今回のセミナーは運営方法・参加人数等の点で大成功だったと思います。これはセミナー準備委員長の勝田勝太郎先生をはじめ関係委員の方々の献身的な協力体制によるものだ

と思います。またセミナー会場にテニス懇親会用の賞品等が寄贈されたことや、懇親会での人々の会話のなごやかさに、いわゆる学会的でない本会の良き一面を知りました。

今回のセミナーを通じて委員長勝田勝太郎先生の立派な御人格に接し得ましたことは私個人としてセミナーでの何よりの収穫でした。今回のセミナー参加者数がセミナー史上1～2番目の多数であったことも同委員長の御人徳によるものと思います。

乱流せん断流の可視化と数値シミュレーション (セミナーフィルムセッションから)

東大工 笠木伸英

今夏高野山の伝熱セミナーでフィルムセッションでの話題提供の御依頼を受け、手持ちの中から三本のフィルムを御紹介させて頂いた。それらはすべて乱流せん断流に関係したものであったが、ここに改めてその内容を簡単に御紹介したい。

(A) Flow - Visualization of a Two - Dimensional Turbulent Channel Flow

(Hirata/Kasagi Laboratory, University of Tokyo) これは筆者らの研究室で最近製作した二次元チャネル水槽(テスト部 $80\text{ mm} \times 800\text{ mm} \times 6500\text{ mm}$)で、水素気泡法による流れの可視化と感温液晶による壁面上の温度変動の可視化を行なった記録である。⁽¹⁾この研究は比較的低いレイノルズ数域での乱流諸量についての基礎データを得ること。流れの可視化と条件付抽出法を用いて流れの中の準秩序だった乱流構造の詳細を検討して運動量・熱の輸送機構に関して理解を深めることを目的としている。この種の可視化は既にKline⁽²⁾が行なっているが、筆者らは壁面と平行な角度からの観察や壁温変動の可視化を加えて乱流構造を調べている。このフィルムの中には、壁面近傍で流れ方向に長く伸びた乱流構造(ストリーク構造、図1参照)の挙動、緩和層での激しい流体混合、チャネル中央部での間欠的な低速流体の出現などが記録されており、別に測定された乱れのPDFや条件付抽出法により得られた速度波形⁽³⁾の理解を容易にする。又液晶による可視化からは、粘性底層の流体運動によって、温度場も速度場と同様に高温低温の流れ方向に著しく長く伸びた縞状の構造を有することが理解できる。

(B) Flow - Visualization of Turbulent Channel Flow (Moin and Kim, NASA

Ames Research Center)⁽⁴⁾ これは所謂LES(Large Eddy Simulation)の数値計算結果の流れの可視化としての表示である。LESは流れの巨視的境界条件によってその性質が

大きく変らない小さなスケールの渦に対してのみ適切なモデル化 (Subgrid modeling) を行ない、大きなスケールの渦運動については乱流本体の性質に基づいて三次元のナビエ・ストークス方程式を時間的に解いてゆこうとする一種の数値実験と見なせるものである。従来LESを用いて等方性乱流を初めとして種々の流れが扱われているが、MoinとKimの仕事は壁面上までも含めて忠実に壁乱流の計算を行なったことに意義があると言える。

右記のフィルムは、彼らがNASA AmesのILLIAC IVを用いて

$$Re = HU_c / \nu = 27600 \text{ の発達した二次}$$

元チャンネル乱流を解いた結果である。

Subgrid modelとしては渦粘性モデルを用い、計算は約50万点の格子点に分割された有限の大きさの直方体の流れ場について行なわれている。再現された流れの可視化は水素気泡法を模擬したものであるが、そこに見られる流れの様子は

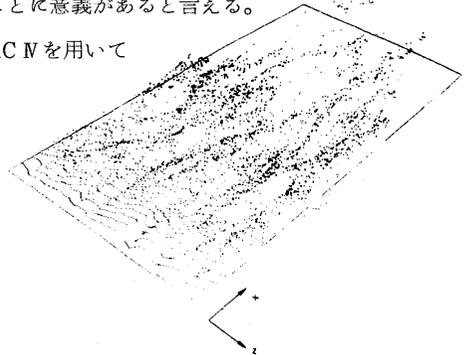


図2. LESによる二次元チャンネル乱流の可視化 ($HU_c / \nu = 27600, y^+ = 12$)

は実験で得られたものとまず視覚的にはほとんど変わりはない。むしろLESによる結果は驚く程よく実験結果を再現していると言った方がよいかも知れない。このLESによる計算結果は定量的にも貴重なデータを提供している。例えば乱れのエネルギー的に現われる圧力・歪相関項は実験的に測定困難な量で、他の種々の乱流モデルの構成に直接役立つ期待もある。非等方性の強い壁面近くの圧力・歪相関の挙動は特異で、壁面に垂直の乱れ (v') から横方向の乱れ (w') へのエネルギー輸送が示されている。

(C) Eddies in Captivity (Perry and Lim, University of Melbourne)⁽⁵⁾ これは主流に平行に置かれた円管から流出する噴流や伴流を例に自由乱流中の渦構造を可視化したもので映画としては三本の中で最も良くでき“美しき青きドラウ”の名曲とともに映画が進行する。

可視化を容易にするために円管に横方向の小さな振動を与え、位相同期させたストロボ撮影を行なっている。又円管から流出する気体の密度を変化させて浮力の効果も観察している。彼らがよく制御された実験装置で比較的低いレイノルズ数で可視化した渦構造と類似のものが、レイノルズ数のより大きい自然の流れの中にも見い出せる点は興味深い。最近はこのような可視化

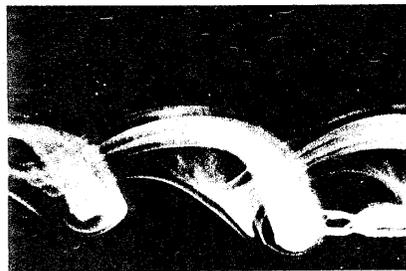


図3. 負の浮力を伴うウェイク

結果を基に、二次元混合層をはじめとして乱流せん断流をコヒーレントな渦系の三次元的運動

としてとらえる試みが多く成されている。

これら三本のフィルムはいずれも乱流せん断流が予想外に秩序だった乱流構造によって成り立っていることを示唆しているが、伝熱現象も含めて今後とも基礎的検討を続ける必要があると考えられる。

<文献> (1)入谷他, 第20回伝熱シンポ, 昭58, p. 22, (2)Klime, S. J. et al, J. F. M., 30, 1967, p. 741, (3)笠木他, 第15回乱流シンポ, 昭58, (4)Moin, P. and Lim, J., J. F. M., 118, 1982, p. 341, (5)Perry, A. E. and Lim, T. T., J. F. M., 88, 1978, p. 451

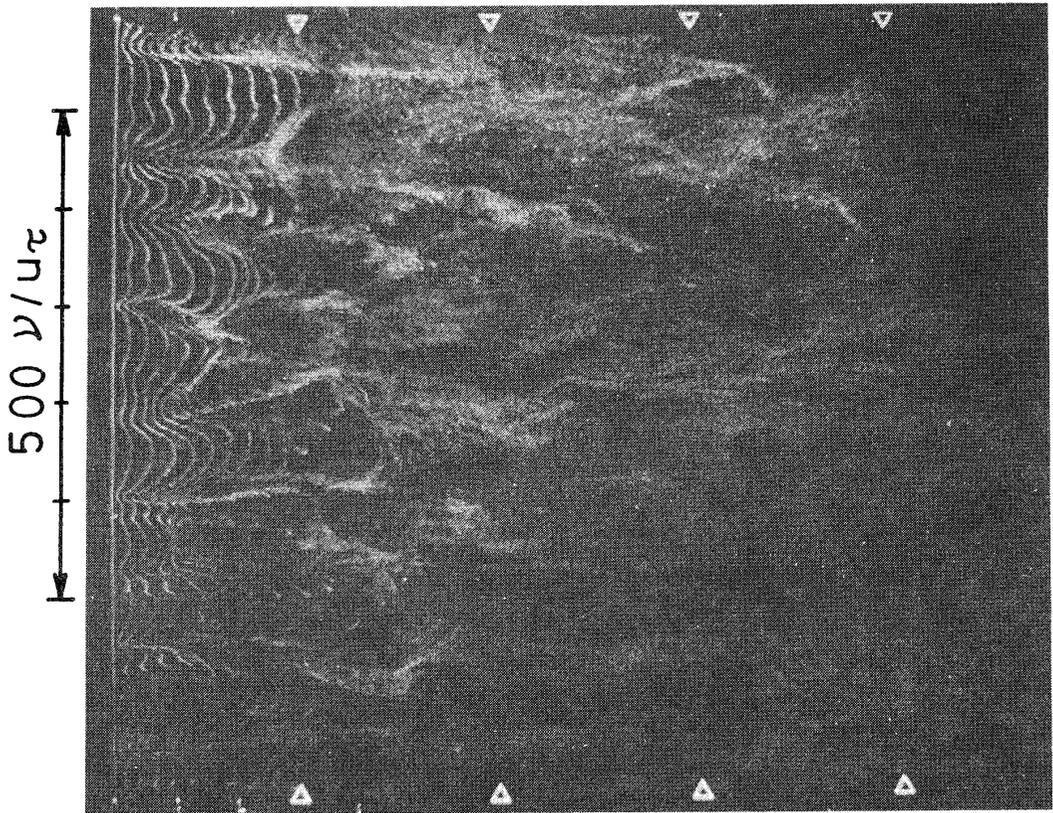


図1. 二次元チャネル乱流の壁面近傍での流れの可視化
($HU_c/\nu = 6750$, $y^+ = 11.7$)

(伝熱トピックス)

セッション「伝熱トピックス」

吉 信 宏 夫

前日の「流動伝熱問題のモデリング」および「流動伝熱問題の数値解析手法」のセッションでは、主として大学サイドから基礎的かつ一般のお話があったのですが、この日のセッションでは、もっぱら、産業界の現場での伝熱の問題を、企業の第一線におられるお三方にお話し頂きました。ともに、それぞれの企業における研究の成果をも快くお示し下さいまして、大変有益な御講演を賜りましたことに、司会者として、また本セミナーの準備委員の一人として厚く御礼申し上げます。

それぞれの講演の内容につきましては、このあとに御講演頂きましたお三方からくわしく書いて頂くことと思いますので、私としましては、御紹介を兼ねて感想を記すだけにとどめたいと存じます。

第1の講演は、川崎製鉄の八百升さんの「鉄鋼業における流動解析について」でありました。我国の鉄鋼の生産性と品質は定評のあるところと心得ていたつもりでしたが、生産工程における流動現象の解析とその結果による制御が、品質と製品の歩留りの確保に不可欠になってきたと伺って、何とも厳しいところで頑張っておられるのに感心いたしました。お話は丁度前日のセッションのモデリングと計算手法の、生産現場での具体的問題への適用ということにもなっていて、まことに適当な応用例をお示し下さいました。

第2の講演は、三井造船玉野研究所の田辺伸夫さんの「冷凍法海水淡水化」でありました。これはそれまでのお話とはうって違って、LNGなどの冷熱を利用した海水の淡水化装置の開発研究のお話でした。海水の淡水化方法の分類と各方法の利害得失から始まる広範な survey を展開されました。冷凍法に限っても、実に多くの方法・方式の可能性と利点・欠点の比較、更にまた、自社での実験研究の成果もお示し下さいました。開発研究での systematic な可能性の追求の跡を思わせるお話でした。

最後の講演は三菱電機の藤井雅雄さんの「電子機器の冷却」でありました。種々のエネルギーの移動・変換の最終段階に、消散発熱がやってくるのは当然ですが、今を時めく電子機器についても例外ではなく、機器の小型化・高速化が著しくなるにつれて伝熱工学の御厄介にならなければならないことを知らされて、何となくほっとしました。同時に、短小軽薄ともてはやされる電子

機器の中に非常に多くの伝熱技術者の努力の結晶のあることを知らされました。

伝熱セミナーは、伝熱シンポジウムが論文発表の場となってしまった現在、いわゆる勉強会としての意義を担うものではありませんが、その中で企業の第一線での研究開発のお話を伺うことは、初心を思い起し、研究を活性化するために是非とも必要であると思われます。今回のお三方の講演もこの点で参加者に多くのものを与えて頂いたと確信いたします。

「流体解析と私」

川崎製鉄㈱ 八百 升

関西出身でありながら私は高野山に来たことが無かった。そして山また山のと真中にこんな町があろうとは夢想だにしなかったが、一見ごく普通に見える街角の風景の中に密教独特の雰囲気に至るところに感ぜられ、異次元の世界にはまり込んだような気がした。三日間とも雨だったのには参った。確か去年蔵王で行なわれた鉄鋼工学セミナーも一週間雨であった。今年の秋の鉄鋼協会（於：秋田大学）が今から思いやられる。

私は化学工学出身で、現在は鉄屋の世界、それも凝固の分野で仕事をしている。「製鋼・鑄鍛分野における熟技術業務」というのが私の仕事の名目で、普通は省ユネの仕事をするのだが、私の場合は入社以来一貫して品質がらみの仕事をしている。そんな人間が何故流体数値解析なんかに手を添めたのかその動機について触れたい。鉄鋼の冶金操作現象の解析において、例えば凝固・精錬などの熱、物質、運動の同時移動を伴う現象は定量化の非常に困難なテーマである。スポット的な温度測定や成分分析あるいは鑄塊の切断面を観察するだけでは余りに情報不足であり、相手が1,600℃の溶鋼では今後共効果的な測定手段は期待出来ないだろう。そんな時、計算機シミュレーションというのは有効な手段となり得ると私は考えている。現場サイトの要求からすれば、「例えウソでも良いから」溶鋼内の流動分布を知りたいというのが実状なのである。ホットなところでは、上底吹き転炉や連鑄の電磁攪拌、あるいは取鍋精錬がそんなテーマだが、これらは即メリットに結びつくテーマでもある。転炉で例えば0.1%出鋼歩止りを上げれば、水島製鉄所だけで35,000円/t × 700万t/年 × 0.1/100 = 2.45億円/年のメリットがある事を読者諸兄は御存知だろうか。そしてこれは不可能な数字では無いのである。こんな金城湯池が何故今まで放っておかれたのか私は今だに不思議である。何も飛行機や原子刀ばかりが流体解析の適用ではないと思う。

どの分野でも同じ事だろうと思うが、設備の操業や建設・改造を考える際、非常に多くの場合二者択一をせまられるのが普通である。付けるか否か、進むか退くかである。純粹に一つの影響因子だけを変更して実行する事が可能な計算機シミュレーションは、そんな時我々技術屋の絶大な武器となり得る。絶対値では余り信頼されない計算結果も、相対比較となればモデルさえ妥当ならばある程度信用されるのである。特に現場データ絶対重視の鉄屋の中で実績を挙げていかねばならない我々シミュレーション屋は大変である。

検討の予算や期間が限られたものだけに、少くとも間違いの無い方向を見い出していく事が肝

要であり、我々の存在理由もそこにある。

さて、今回のセミナーを通じて色々と考えさせられる事があった。先ず、伝熱セミナーの参加者の大半を占める機械系出身の研究者の方々と実際に言葉を交わし、ディスカッションをして、機械屋さんの非常に精密かつ実直な研究態度には敬服するところ大であった。しかし次のような議論を見てふと疑問を感じる事もあった。例えばIBMの松田さんや私がカルマン渦の計算を提示した時、あるいは笠木先生がMoin & KimのLESのフィルムを提供して上映した時、決まってこう質問する人があった。「あれは別の要因のせいなのに、そのような現象が起っているように見えているだけではないのか。」と。そう言えば東工大の高橋亮一先生が伝熱シンポジウムでかにソリトン（孤立波）の数値解析を発表した時に極めて反応は冷ややかだったとニガ笑いされておられたのを想い出す。私は学生時代から溶融塩の molecular dynamics などやってきた関係上、計算機実験というものをかなり評価しているが、それが比較的コンピュータに慣れ親しんだ機械屋さん達にとっては必ずしもそうでないのを知った。

私は今「改良外節点法」という手法で、三次元流体コードを開発しているが、これは異形メッシュの差分法でMAC法的にナビエ・ストークス式をTime - Marching で解いている。改良外節点法は要素の外心を頂点とするコントロールボリュームで差分メッシュを定義する点で、変形FLIC法やICM法とは異なり、計算精度の点でこれら方法よりも良いと考えている。この手法については講演で触れたので皆様の御批判を仰ぎたい。ただ企業サイドの研究者から見れば、この手法は有限要素法と全く同じ入力データで計算領域を定義出来るので、有限要素法用に開発されたプリポストプロセッサの恩恵に預かれるし、使い方さえ覚えれば中身は知らなくても使う事が出来る。企業の業務効率を考えた時、これは大きな利点なのである。改良外節点法を用いた2次元伝熱コードを私は凝固解析に愛用している。冶金屋さん達に吾して私がこの世界で仕事をしていられるのは一にこのコードのおかげである。しかし今開発している三次元流体コードになると、水島製鉄所のファコムM380Sで4000メッシュの問題を解くのに約2時間、この辺が現在の汎用機の限界だろうか。そろそろスーパーコンピュータが欲しいところである。鉄鋼大手5社が共同出資して利用すれば、充分ペイすると思うがどんなものであろうか。

色々と思いつくままを書いてしまったが、最後に本セミナーでの講演の機会を与えて下さいました大阪大学の大中逸雄先生並びにセミナーの準備・運営に当たられました諸先生方に深く感謝して、この拙文の終わりとしたい。

第17回伝熱セミナー雑感

田 辺 伸 夫 (三井造船(株)玉野研究所)

参加までの経緯：ゴールデンウィーク目前の4月末日の事であった。

上司が来られ、「今度の連休は特に予定もないだろう。報告書を書く練習になるから、今の仕事を紹介する様ちょっとこれを書いてみる。」と、一通の封筒を置いていかれた。これが後で伝熱セミナーの席で講師として発表するきっかけになろうとは、思ってもみなかった。

目次を見ると流動伝熱などの難しい問題は他の先生方が担当して下さり、我々は伝熱トピックスという事で、企業の立場から現場でやっている内容を発表する事であった。そこで関連資料を集め、覚えたばかりの日本語ワードプロセッサを用いて図表を仕上げ、前刷集用の原稿を完成させ、業務を完了させたつもりであった。その後、他の業務に追われたせいもあり、伝熱セミナーの件は忘れかけていた。

7月上旬、再び上司が来られ、「君はまだ高野山に行った事がないだろう。高野山に三食付きで涼みに行く出張があるが、信長や四十七士の墓の見学がてらどうかね」と高野山のパンフレットを示された。入社以来、観光旅行のできる出張は初めてとあり、用件の確認もせず、即OKの返事。その後、パンフレットの下から出てきた講演要旨集を示され、「前に投稿した文章が採用されているから行って講演して来い」との命により、今回の伝熱セミナー出席の運びとなった次第である。

講演内容：海水淡水化全般の概要説明及び冷凍法海水淡水化の種類と特徴についてプロセスフローを中心に説明した。そして生産淡水のコストダウンを図る為、LNGの気化熱をこのシステムに組み入れる方法について示し、現在最もコスト低減効果が大きいと考えられているLNG-海水直接接合式について、通省産業省／(財)造水促進センターにて実施中の装置の紹介を行なった。LN₂/LNGと海水という大きな温度差のもとで晶析した氷結晶粒子は大きいとは言えず、付着脱塩の除去に困難を伴うが、10 m³/日パイロットプラントの運転結果から500 ppm程度の飲用水の取得が可能である事。ベンチスケール装置において冷媒をLNGに変えた場合でもLN₂の場合と同様な晶析特性が得られる事、が実験的に明らかになっている事を紹介した。

終りに：伝熱セミナーに講演者という立場で出席し、貴重な経験をさせて頂いた。関係諸氏に厚く御礼申し上げます。

冷凍法海水淡水化法の研究が始まって長年日が過ぎているが、未だ実用化プラントの稼動を聞かない。しかし近い将来、クリーンエネルギー、LNGを気化する際の副産物として淡水が得ら

れる日も近いと確信している。

伝熱トピックス

藤井 雅雄 (三菱電機)

このセッションは、最終日に行なわれたもので、前日までの主に大学の先生方による流動伝熱問題のモデリング、数値解析手法が中心の講演に対して、企業で伝熱にたずさわる側からの応用を中心とした講演であった。

最初の川崎製鉄の八百氏による「鉄鋼業における流動解析について」は、前日までの内容と関連していたが、三井造船の田辺氏による「冷凍法海水淡水化」と、私の「電子機器の冷却」は、流動伝熱問題とは直接関係のない話題であった。

以下に各話題の内容の要約と私の感想を述べる。

○鉄鋼業における流動解析について：近年の冶金プロセスの革新に伴い、流動現象の解明が重要となってきた。従来、その解明には水や水銀を用いた流れの可視化実験が用いられているが、実験と実操業の一致は解析の負荷を考えると不満足のものであった。また、流動現象の定量化に必要な計測技術についても、1,500℃で精密な流速の測定できるセンサーがない状態である。そして唯一残された方法が流体数値解析である。この流体数値解析の主な適用分野は、溶銑、溶鋼を扱う製銑・製鋼プロセスである。その代表的な流動解析事例として

- (1) 高炉炉底部の溶銑自然対流の数学モデル化と炉底レンガの侵食予測
- (2) 高炉出銑滓二相流の境界要素法による解析
- (3) RH真空脱ガス装置における取鍋内容鋼流動の解析

が紹介された。そして最後に、差分法と有限要素法の長所を取り入れた三次元汎用コードの開発も含めた改良外節点法（直接差分法の一つ）の紹介と、それによる流動解析事例が示された。

炉内の流動解析による炉の寿命の延長、あるいは高純度鋼の製造など流動解析による経済的なメリットの大きいことが示唆され興味深かった。企業においては、現在ある手法をできる限り駆使して流動解析を行ない、何がしらの結果を出しながら日常業務を遂行する必要があり、高精度、高速、低価格な解析手法の早期確立が望まれる。

○冷凍法海水淡水化：今後、わが国において使用量が飛躍的に増大すると考えられるLNGの冷熱を利用した冷凍法海水淡水化について、主に二次冷媒直接接触式冷凍法海水淡水化を中心に紹

介された。冷凍法の原理は、海水の温度を低下させて氷点以下のいわゆる過飽和状態に保つと結晶(氷)の核の発生ならびに成長がおこり、適当な粒径となった結晶を取り出してブラインを分離し、水を融解すれば淡水を得ることができるというものである。

冷凍法は蒸発法に比べて取得淡水の純度は悪く、液一固スラリーの取り扱いという厄介な単位操作を有しているが、LNGの冷熱を利用するため、圧縮機が不要で、同量の淡水を得るのに消費電力が約1/4ですむというメリットがある。冷凍法によって得られた淡水は500ppm程度の塩分を含んでいるが、LNG基地内の飲料水や周辺地域の飲料水の補助等として有用となる。基礎的な実験は、可燃性で物性値の不明なLNGの代りに、LN₂で主に行なわれている。

○電子機器の冷却：半導体集積回路技術と実装技術の進歩によって、電子機器の小形化・高速化が近年著しく進んできており、機器内の発熱密度は急上昇しつつある。そして、それに伴う機器の温度上昇を押さえるために、種々の冷却方式が検討されている。ここでは、私自身が関係した電子機器の冷却について、実装構成順に、回路部品単位として「パワートランジスタの沸騰冷却」、カード単位として「密閉形カードユニット」、キャビネット単位として「2相流自然循環ループ」を各々その研究の目的と解決方法、今後の研究課題を中心に紹介した。残された研究課題としては、沸騰における2つのヒステリシス現象の機構の解明およびその解消法、接触熱抵抗の改善のための軟質材料の開発、キャビネット内の空気流れのシミュレーション技術の改善、伝熱促進など山積されていることを示し、また、論文等で報告されている各種データ、整理式などが常にレビューされて整理報告されるようなシステムが欲しいことを述べた。

今回のセミナーは、曇天が幸いしてか、参加者全員が外出する機会もなく、熱心に討論が行なわれたように思います。私は初めての参加でしたが、特に部屋に帰っての夜の部の質の高い討論はなごやかで印象深く、次回からも機会があれば是非参加させて頂きたいと思っています。

おわりに、勝田先生をはじめとして、本セミナーでお世話になりました諸先生方に厚くお礼申し上げます。

(参加所感)

「乱流」についてひと言ふた言

第17回伝熱セミナーに参加して

千葉 徳 男

編集委員長から手紙が来て、お前も参加者として何か書けといわれる。ところが最近老化度がはげしくて、セミナーについては、委員長の勝田さんが一生懸命に気をつけておられたことと、セミナーが終って山を下りたらえらく暑かったことしか覚えていない。そこで、いつも考えていることを書いて責めをはたすことにする。

最近の伝熱セミナーでは、乱流をテーマにとりあげることが多くなったように思う。今年もその例というよりは「乱流」を正面に押し出したセミナーである。そこでは乱流の計算法とか組織的構造とかいう話は聞かされるが、そもそも乱流とは基本的にはこのような流れだから、伝熱屋としてはこのような考えで望むべきであるという話がない。今年もそれを聞きたいと思って出かけたが、聞くことはできなかった。

「乱流」というのはれっきとした物理用語である。したがってその定義というものがあるべきである。ところが流体力学の教科書を開いてみると、乱流についての定義はどこにもない。不思議といえば、まったく不思議な話である。

ここで流体屋さんにはどんな考えを持っているのか少し調べてみよう。

流体力学会の「ながれ」創刊号に東大の佐藤浩氏の次のような文章がのっている。『昔は流体力学会の会を混乱させるには乱流は何かと質問すればよかったが、今では乱流の中の秩序運動はどんなものかと怒鳴るだけで十分だ』と悪態をつく始末です。』

もうひとつの例を挙げよう。同じ佐藤氏が共立出版から「乱流」という本を出している。この本の終りの方に次のような文章がある。『乱流は間違いなく自然科学の対象であるが、何となく芸術寄りの感じもある。それは乱流の研究者に乱流の定義を聞いてみるとよくわかる。この問いに対してまず10人のうち5人は顔をしかめて手を横に振る。画家に絵の定義をいえと迫ってみても、馬鹿なことを、と一蹴されるのと似ている。しかし自然科学をやっている人で自分のやっていることの定義がいえないとほまことに情けない限りである。残りの5人は苦しげに答える。

乱流とは不規則で、偶然的な変動である。

乱流とは大小さまざまな渦のあつまりである。

乱流とはレイノルズ数が高いときのナビエ・ストークス式の解である。

乱流とは混沌 (chaos) の一つの表現である。

これらの答はたしかに乱流の一面をあらわしてはいるが、どれひとつとして完璧なものはない。何かもっとうまい言い方はないかと首をひねっているうちに、定義しにくいというのが乱流の大きな特徴だということに気がつく。これが、乱流が何となく芸術寄りという一つのあらわれである。』(下線筆者)

以上の文章から、いまのところ流体屋自身がさじを投げているということがわかる。

岩波の理化学辞典には「乱流」という項目があって、なかに次のような文章がある。“一般にレイノルズ数の大きい流れは空間的・時間的にきわめて不規則な変動、すなわち乱れ(turbulence)を示し、定常流といっても平均値としての意味しかもたない。”一般的には誰もが乱流のイメージとしてこのようなものを考えているだろうと想像できる。しかし、この定義らしいものには二つの問題がある。ひとつは“時間的・空間的”という言葉であり、他のひとつは“不規則”という言葉である。

これから上のふたつの言葉を問題にするが、その前にもうひとつ言っておかなければならないことがある。「乱流」とは自然現象である。したがって、その定義は観測(observation)に基づいて行われ、その現象のもっとも基本的な性質を表現していなければならない。さらに、流体力学上の用語であるため、ナビエ・ストークス式の表現と直接的な関係をもつことが望ましい。なお、以下の議論では数学的な取り扱いをする必要上、話を定常乱流に限ることにする。この「定常」という意味は巨視的な境界条件が時間的に一定に保たれている場合をいうことにする。

まず「不規則」から始めよう。「不規則」とは、一連の事象があった場合、事象相互間に明白な関係が認められないときに使われる言葉としてよいであろう。しかし、明白な関係は認められないにしても、ゆるい関係は認められる場合がある。このようなとき、関係の程度をいいあらわす言葉に「相関」あるいは「相関係数」がある。

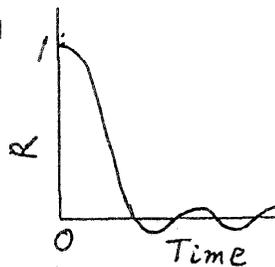


図 1.

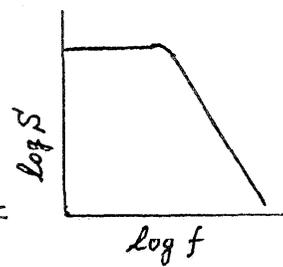


図 2.

相関係数のひとつに自己相関係数 $r(\tau)$ がある。乱流場における乱れの自己相関係数は図 1 に示されるような形をしている。筆者の実験室での測定によると、図中の τ^* の値は円管の場合で 15 ms 程度である。したがって、それ以上の間隔で測定した乱れ速度は、無相関としてもよいであろう。ただし、ここに一つ問題が残る。パワースペクトルは自己相関のフーリエ変換である。した

がって、図1から図2が得られることになる。このパワースペクトルを作るときに最低周波数をどの程度にするかというのが一つの問題である。筆者は0.1Hzが適当だろうと思っている。図2の右さがりの部分はコロモゴロフの $-5/3$ 則に従う部分である。水平部分は観測時間を延ばせば延ばすほど左へ進むらしい。もしそうだとすれば図1の振動部分は一定振巾で横に伸びることになり、変動測定の間隔をいくら長くしても、完全無相関ということは起らなくなり、これが乱流の基本的性質の一つになりそうである。

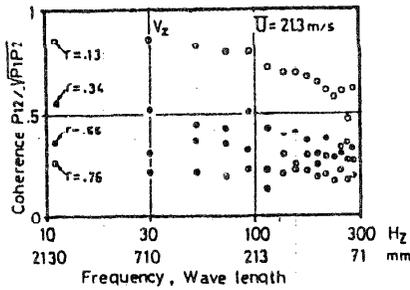


図 3. (a)

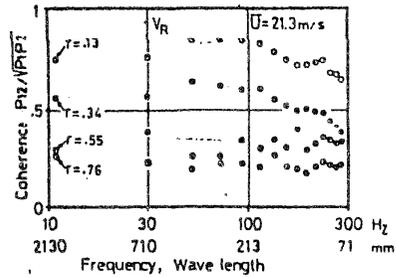


図 3. (b)

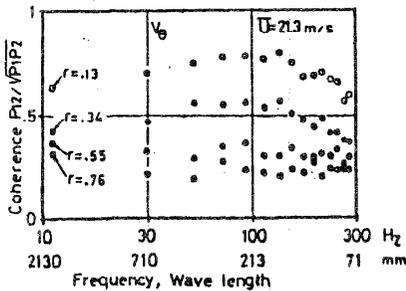


図 3. (c)

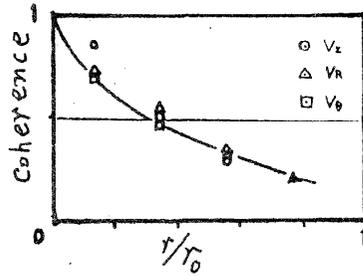


図 4.

次に、乱流場のなかの二点で乱れの同時相関をとることを考えてみよう。図3も筆者の実験室での測定結果である。これは中心部と半径上の任意の点との同時相関で、図4に30Hzの半径方向分布を示す。図からわかるように、一方が中心を離れるにつれて、相関は急激に下がるが、管壁の近くまでいっても零にはならないことを示している。これは管中心部でも乱れ運動が相当強い連関をもって行われていることを示している。いいかえれば、管中心部にも組織的構造が存在する、つまり空間的に不規則とはいえないということである。ここでまた問題になることがある。同時相関係数は推計学でいう回帰直線の傾きである。したがって、その信頼度が不規則の程度を

示すことになるので、その計算が必要であるが、それをやった例はなさそうである。

最後に筆者の提案をあげておこう。定常流に関しては次の定義で十分であろう。“流れ場のなかの任意の二点間の同時相関係数が1の場合を層流といい、その他の場合を乱流という。”したがって、この場合遷移流は乱流に入る。非定常乱流の定量的取扱いはいほとんど不可能であろう。その最大の理由は平均流の決定ができず、したがって乱れを分離できない点にある。非定常層流の場合“N-S方程式の解が一義的にきまれば“層流””としたいが、自信はない。数値実験を行えば、ある程度の見当がつくかもしれない。

伝熱セミナーと伝熱スクール

長野 靖尚(名工大)

久方振りに伝熱セミナーに参加しましたら、セミナー準備委員会の先生から今回のセミナーについて感想を求められました。セミナーの目的はやはり日頃伝熱に縁の深い人達が起居を共にして、自由な雰囲気の中で伝熱を語り、研修に没頭することでしょう。それには、今回の高野山のような深山で煩惱を絶って行うことが非常に効果的であることは予想されますが、実際にそうであることが今回のセミナーで実証されたと思います。俗界を離れていますから、勉強することと同学の士と語ること以外にすることは無しという今回のセミナーは、セミナー会場の選定に当って今後の参考になるのではないのでしょうか。

会場の選定と並んでセミナーの話題を何にするかは、準備委員会の皆様方は大変知恵を絞られた事だと拝察します。トピックスを限定するのか、あるいは総花式にするのか二者択一を迫られると思いますが、どちらかと言うと前者の方針で構成された今回のようなセミナーの方が個人的には良いように思われます。欧米では特定のテーマに限定して、かなり自由な立場で討論する所謂workshopがよく開かれています。これはセミナーより専門的には密度が濃く、しかもシンポジウムのような建前論だけでなく、赤裸々な本音を吐く人も結構いて楽しいものです。セミナーはシンポジウムとworkshopの中間に位置すると思いますが、セミナーの内容の向上と充実を考えると、今回のセミナーのようにworkshopに幾分近づいた方が好ましいと思います。

セミナーあるいはworkshopの内容が高度になれば、当然その内容を理解する為の予備知識を得る為の講習会を開くことが必要となります。これは何も若手研究者向けに限らず、中堅の人にとっても、自分の専門分野と他の関連分野との境界領域の伝熱問題が屢々問題となる昨今では、

十分役立つと思われます。森康夫先生は、以前から（伝熱研究 69 号，84 号）ASME が行っているような 2，3 人の講師による詳細な講習会的伝熱スクール（Short Course）を開催する事を提案されていますが，その実現を望んでいる人々は伝熱研究会の会員の中に相当数いるのではないのでしょうか。

従来よりも高度な内容を持った workshop に近いセミナーをこれ迄通りに夏季に開き，セミナー内容の理解を助ける伝熱スクールを，セミナー前に開催される恒例の伝熱シンポジウムの折に開講したらどうでしょうか。

ASME で以前から開いているこのようなスクール（Short Course）は，最近頃に好評を得ていると聞いています。例えば日本伝熱シンポジウムに相当する AIChE と ASME 共催による本年度の伝熱会議（21 st National Heat Transfer Conference）がワシントン州のシアトルで 7 月 24 日から 27 日まで開かれましたが，研究発表に引き続き，同会場で 7 月 28，29 日の終日に亘って次の Short Course が開講されたようです——

(i) Fouling of Heat Transfer Equipment (by W. J. Marner and Jerry W. Sui-tor), (ii) Heat Exchanger Equipment for the Power and Process Industries (by Frank L. Rubin and Hal R. Lawrence), (iii) Measurement Techniques in Two - Phase Flow and Heat Transfer (by Owen C. Jones, Jr.), (iv) Numerical Solution of Heat Transfer and Fluid Flow (by Suhas V. Patankar), (v) Transient Thermo - Hydraulics of Light Water Reactors (by Pradip Saha)。題から講義内容は，最近の伝熱問題を解明するに当って重要かつ基本的な最新の知見を解説しているものである事は容易に想像できます。

今回の伝熱セミナーが一本，筋を持たせた特色のあるものでしたので，参加した感想から此の頃感じていることを書いてしまいました。それにしても今回のセミナーは参加者が 130 名近くもあり大盛会でした。来年は東海グループで企画することになっていますが，次回セミナーの準備委員の一人としても今回の参加は色々と勉強になりました。最後になりましたが，このような有意義なセミナーの企画・実行の御世話下さいました勝田先生初め準備委員の諸先生方および講師の先生方に厚くお礼申し上げます。

「高野山での伝熱セミナーに参加して」

藤 田 尚 毅 (岩手大学)

7月15日午後からの和歌山県高野町にて行なわれる第17回伝熱セミナー受付に間に合うべく、晴れの盛岡を出発したのは14日10:30発のやまびこ12号にてでした。途中の小田原で一息ついて、次の日ひかり501号で新大阪に着いたのは9:43定刻。ここからは、あらかじめ実行委員から送付されていた「高野山への足」という手製のパンフレットに従い、地下鉄→南海電鉄高野線→ケーブルカー→バスと乗り継いで泊坊赤松院にたどり着いたのは1:30を過ぎていました。外は強い雨なので周辺の散策もできず、割当てられた部屋で休息。部屋割りは参加者名簿の50音順で、同室に同姓の人が3人もいたのには最初とまどいました。

セミナーは泊坊から少し離れた中央公民館で行なわれ、杉小立ちの中を午前・午後と3日間通いました。

最初のプログラムに予定されていた一色先生は残念ながら見えられませんでした。佐藤俊先生と青木成文先生が「これまでとこれからの伝熱」という演題で、それぞれの研究を続けてこられた立場からの話をなされました。

佐藤先生は、蒸気や内燃を専門とする人達が伝熱工学を始めたということから紹介し、伝熱は総合的分野であり、縦割りで独立させることのできないことを事例を上げて説明し、また、ご自分の昭和20年頃の研究を例に上げて、一般性を重視した表わし方が大事であることなどを話されました。そして、これからの問題に対しては、専門分野が細分化して来てしまっており、伝熱シンポなどでも初期の目的から離れて来てしまっているのではないだろうか。それを連絡し合う方法はないだろうか。そしてそれを生かすためにも学際的な繋がりが必要である、など今後の問題点を指摘していました。

青木先生は、最初に接するものがしっかりしていなくてはならないと思う、ということから話され、ご自身では最初カルマンやプラントルの訳をやらされたこと、また実際に分野では飛行機の火災や洞窟の換気の問題から学問に入って行った過程などを話されました。興味があったのは小実験と大規模な実験をどう結びつけていくかという問題について話され、一つの例として使用済核燃料輸送の研究に関するフィルムを上映されたことでした。(もっとも、ナレーションの方は話半分も分かりませんでした。)

次の特別講演は、「科学者としての弘法大師」という題で、高野山で教鞭を執ったことのある関西大学の前田卓先生のお話でした。セミナーの行なわれている高野山の紹介を混じえながら、

弘法大師のどこが科学者だったのだろうか(?)というような親しみ易い話で、皆笑いながら聞いていたように思います。

第1日目の夜は恒例の懇親会であります。この会はかなり皆の期待を集めていたようで、懇親会のためだけ参加(?)すると言っていた先生もおりました。宿坊というものは生臭物やアルコール類は不可とと思っていましたが、全く反対で、お酌までついていたのには驚きました。またカラオケまで飛び出して除々に興に乗って来て、最後には北方からでは最も遠くから参加したという理由で、私の方にまでマイクが回って来ました。これで悪酔いした人がいなければよいがと思っております。

懇親会お開き後の恒例二次会は適当に各部屋に散らばって、夜のふけるまで有意義に行なわれたようであります。私が最初に飛び込んだ部屋では、前泊のテニス親睦組の部屋でうわさの般若湯がズラリと並んで、華々しく表彰式が行なわれておりました。どなたかの先生がエントリーだけはしておくとお入賞のチャンスがあると言っておられましたので、これから少しはまともなラケットでも買っておこうかなどと考えております。

2日目は流動伝熱問題のモデリング、数値解析法およびそれらに関連した可視化シミュレーションのフィルムセッションでした。参加者の多くはこの問題に興味を持って来ているようで、会場の席は前方中心から埋って行き、スライドなどがよく見えるようにと前の方に席を見つけるのもなかなか大変でした。今回のセミナー参加者は約130人と、私の知る限りでは今までにないくらい盛況でしたし、企業関係者も25%以上あったというのは、それだけこの問題に対する興味の深さ、重要性を物語るものだと思います。内容的には私にとってはどれも皆難しく話半分くらいしかついて行けなかったように思いますが、世の中こんなに進んでいるのかとあらためて感心した次第です。フィルムセッションでの流れの可視化も私にとっては初めてであり、金さえあればという注がついていましたが、実験で難しいことも、全てコンピューターが解決してくれるような気がした程です。

今回の伝熱セミナーは、雨や曇りが多く、天候にはあまり恵まれたとは言えませんでした。言われていた程に涼しくはなく、夜などはむしろ暑いくらいでした。セミナー演題の難しい内容をも考えずに、今まで行ったことのない高野山で行なうというので参加した私にとっては、昼食時間後を利用しての奥の院拝観だけでは時間的にも少々物足りなく思いましたし、予定上他日に時間を取れないことも残念でした。

セミナーを行なうに当っては、開催当日の運営もさることながら、計画・準備でも準備委員の方の苦勞は大変だったと思います。どうも御苦勞様でした。参加者の一人として感謝いたします。

第17回伝熱セミナーに参加して

竹 中 信 幸 (京大工)

伝熱セミナーに参加させて頂くのは、徳島での第14回セミナー以来2度目になります。これは伝熱シンポジウムに参加したおりに感じる事ですが、会の運営に事細かな配慮がなされており、快適で充実した時間を過ごす事ができ、伝熱研究会に参加している事を誇りに思うとともに、主催者・講演者の皆様の御尽力に感謝する次第です。

徳島での経験から、セミナーにはフォーマルなセッションと夜のインフォーマルセッションがある事を心得ていましたので、主に後者を楽しみに参加しました。初日の懇親会で、千葉先生の「自分の大学での宴会を持込むな」との御言葉に意を強くし、他校の先生方の席に加わらせて頂きました。

会場が高野山という事で避暑を期待していたのですが、余り涼しくなく、がっかりでした。もっとも酒の量は充分でしたので寝苦しいのは避けられました。

今回の講演は主に乱流関係の御話で、乱流について全く知識のない者には、よく解らない事が多かったのですが、笠木先生御提供の乱流シミュレーションのフィルムは圧巻でした。格子点が50万個、計算時間がM-380相当で数千時間という計算量の龐大さに圧倒されます。「数理解析」に、この計算についての記事が掲載されており、このシミュレーションは実験による計測を超えているという風に書かれていました。初期の大型計算機が円周率を何万桁まで計算したとか、何番目かの完全数を見つけたといったデモンストレーションとは全く異質の現代版ラプラスの魔といった気がします。ラプラスの魔そのものは、三体問題であえなくその魔力を失ったわけですが、最近の計算機の性能向上を考えると、現代版の魔力はすぐには失なわれないのかも知れません。ただシミュレーションが実験を超えてしまうという事はよく実感できません。乱流に秩序構造があるという事が、実験からもシミュレーションからも示されているわけですが、これに磁場を印加してみるとどうなるのかという事を考えてみました。フィルムでは、流れに平行な方向性を持った構造があるようですが、素人考えで、この縞々に直交して磁場をかけてやるとそれが乱れ、平行にかけてやるとより秩序的になるような気がするのですが。私事ですが、最近磁場下の液体金属の自然対流熱伝達の実験を行っており、磁場を印加する事によって自然対流が不安定化する事があるという結果を得ています。測定できるのは温度だけですが、渦が生じているのは確実と思われ、流れを見たい(タンク型FBRの実験を行なわれている方もそう思われていると思います)、流れをシミュレーションしてみたい(層流ですからたぶんできるのでしようが、今の私

には手に余る)と鬱々としている次第です。磁場の影響という事になりますと流体は導電性でないという意味はないわけですが、透明な非圧縮性の導電性流体となると熔融塩がもっとも電気伝導度が大きいようですが、磁場の効果をハルトマン数で見ますと、アルカリ金属に比べて4桁ほど小さくなってしまいます。液体金属の中を見るという試みは、沸騰気泡をX線撮影したものがあり、水銀ではかなりよく撮れるようですが、アルカリ金属では難しいようです。定常な液体金属中の流れを何んとか見る方法はないかと考える事はありますが、乱流となると素面では考える気にもなりません。

閑話休題。3年前の徳島のセミナーでは、太陽エネルギーと省エネがテーマでしたが、今回の尾添先生の御話では太陽エネルギー利用についてはネガティブな印象を受けましたし、徳島では印象の強かった製鉄所の省エネも一段落したとの事で、時代の変化を感じます。核融合炉の伝熱は非常に魅刀ある将来の分野ですが、少し先の話のようです。藤井先生の御話で、トランジスターの冷却に沸騰開始過熱度の非再現性が問題になるという事を興味深く聴かせて頂きました。沸騰開始過熱度というとすぐにFBRの安全性を連想してしまうのですが、身近な所に伝熱問題があるという事を再認識した次第です。

高野山雑感

康 倫 明 (ダイキン工業)

難波より13:20発特急「こうや号」に乗る。一時間足らずで橋本を過ぎると列車は山中を走る単線になっていた。あたりの杉小立は雨に煙っている。終点極楽橋に着いたのは14:45であった。

高野線沿線の堺に居を移して2年足らず。日々の仕事や暮しに追われ、世の中の情勢に目をくばることも怠り、思索する余裕も失いがちな自分に怖え、連休をいいことに「セミナー」にかこつけて高野山に登ることとした。

極楽橋より急勾配のケーブルに乗り継いで高野山駅に至る。車中賑やかだった女性達は駅前に迎えにきていた宿坊よりのマイクロバスですぐに消え去り、奥の院行きのバスにはほんの数人が乗り込む。バス専用道から女人堂を過ぎ、高野の町並みに入る。総本山金剛峯寺とは反対側に左折し、少し行くと町外れに宿坊赤松院があった。

受付で手続きを済ませセミナー会場の公民館に入ると、すでに恩師佐藤俊先生の講演が始まっ

ていた。師にお会いするのは5月の退官記念式以来であるが、10年近くも師のもとで勉強していたにもかかわらず、師の研究レビューを伺ったのはその時が初めてであった。在学中自由に勉強させて頂いたことに感謝している身ではあるが、今頃紹介された教科書に目を通してもしなかった自分に愕然とする。セミナーの期間中、熱心に講演を聴かれている師の姿を見、改めて敬服するとともに今後の御活躍を願う。

セミナーは予想以上に盛況であり、期待していた静かな思索の場ではなく、活発な交流の場であった。同室に荻野、尾添、笠木、片岡先生という壮年の一線の方々がいらっしまったため、懇親会のあとも千客万来で、研究上の話からこれからの伝熱研究会のあり方まで、話は尽きない様子であった。若輩には少々重すぎる話題でもあり、縁側に出て、京大の竹中君や菊地先生らと飲みなおすことにした。話題が核融合におよび、浅学の身には理解の足りない部分も多かったが、久し振りに情熱のこもった議論に接し、研究の思想性について改めて考えさせられた。竹中君の酒の調達力も手伝って就寝は3時をまわってしまった。睡眠を妨げられた方々には改めてお詫びさせて頂く次第。

セミナー2日目は乱流のモデリングと数値解析に関する講演が続いた。Navier - Stokes方程式に平均操作を施して得られるReynolds方程式のモデリングについてはPrandtlの混合距離仮説、 $k - \epsilon$ モデル、Reynolds応力モデル等により流動・伝熱・燃焼に至るまで、かなりの領域で実用的な計算が可能になりつつある。土方先生が強調されていたように壁境界条件については未だ検討の余地が多いようであるが、これも近い将来実用化の方向で整理されるものと期待する。三次元の計算・検証例がまだ少ないようだが、数年のうちかなり出てくるものと思われる。

今回のセミナーではFEM(有限要素法)やBEM(境界要素法)の講師を招き、伝熱研究者との交流をはかっていたが、このような動きは大いに歓迎される。工業的な問題を数値計算で処理しようと考えたと熱流動解析コードの遅れが目につく。振動・構造解析にはブリ・ポストをもったFEMプロセッサでかなりのことができるが、熱流動解析は汎用プロセッサのレベルがその域には達していない。3日めに川崎製鉄の八百氏が紹介された直接差分法による三次元汎用コードの開発は、このギャップを埋める動きとして高く評価したい。近年FEMの開発者達がかなり流れ解析に移って来ているが、従来からの熱流動解析の研究者達との交流が少ないように思う。田中先生も現象を良く理解した研究者にBEMを活かして欲しいと言われていたが、汎用プロセッサの開発という観点から今後このような展開がますます広がるものと期待したい。

2日め晩のフィルムセッションではStanfordのMoinとKimによるLarge Eddy Simulation(LES)の結果を見せて頂いた。計算規模の大きさもさることながら、三次元グラフィックスの見事さに感動した。測定が固難な圧力ひずみ相関量等も計算されており、Reynolds

方程式のモデリングにも有用な知見を与える。鈴木健二郎師は翌日の議論の中でLESよりDirect Navier - Stokes Solverの方が期待できるとコメントされていたが、いずれにせよ、時間軸を含む三次元乱流構造がシミュレーション可能になってきたことは、数値計算の歴史にとって重要である。土方先生は費用の問題を指摘されていたが、日本でも第5世代計画や、超高速計算機の計画があり、伝熱の方面からも参加すべく検討してもよいのでは。

セミナーの期間中は雨続きであったが、2日めの午後の奥の院拝観の折には雨も止んで、ガイドの軽快な説明もあり楽しく参拝することができた。この山奥にどうしてこれだけの俗世間が登って来たのが驚嘆させられる墓石の群れが連なっていた。一体、弘法大師のカリスマ性のなせるわざか、諸国行脚の高野聖の宣伝のためか、あるいは幕府の外様疲弊政策のためであるのか、良くもまあ集まったものだというのが実感である。日本仏教のルーツと言われる比叡山とはまったく趣きが異なる。

セミナー終了後、国友先生、土屋先生らと金剛峯寺、壇上伽藍を拝観して、高野山一真言密教一弘法大師が一層不思議と思えてきた。根本大塔の威圧的な姿、栓皮葺きの御影堂のやさしい美しさ、山内を闊歩する僧兵を思わせるような修業僧達の姿。京都の東寺を見慣れた目には異様に映る光景も、高野山に住む人々にとっては日常である。

下山が日曜の夕方であったためケーブルは混雑していたが、極楽橋からの列車はそれ程でもなく、遠方へお帰りになる土屋先生と堺東で別れ、俗界に戻れば暑さに耐えかねて即ビアガーデンに直行するとは……………。 合掌

伝熱セミナー雑感

飯田嘉宏(横国大)

今セミナーのプログラムには自分の専門テーマに直接関供する話題はあまり見当りませんでした。別分野の話を伺うのもセミナーのひとつの意義です。充電もしようとして参加しました。高野山という場所柄や友人の参加も魅力でした。

ところが大阪は難波駅で飛び乗った南海電車は和歌山に行ってしまうし、3日目の昼までに帰宅不可欠の用事ができたりで、充電できるどころか、一番の短時間で不真面目な参加者になった気がします。そんなわけで依頼されたようなまともな所感を書けませんので、伝熱セミナーへの期待と、こんな話も聞きたいという雑感でお茶をにごすことにします。

他組織等と比較して、伝熱研究会が襟を正させる何かを持つと同時に、ファミリーで自由な奮闘気を持つと覚えるのは私だけでしょうか。これは発足以来の精神、学門の性質や構成する方々の個性、会の規模等によると考えられますが、伝熱セミナーが果してきた役割りも大きいと思います。月日が経ち、組織が大きくなると次第に形式化するの世の常です。当会にも多少そのきざし無きにしてもですが、自由さと親しさを保つべく今後ともセミナーの役割りに期待するものです。

さて以下雑感ですが、まず参加者は司会者・話題提供者を問わずネクタイをしない、Yシャツも不可とするとぐっとくださると思います。お互いにポロシャツ姿程度で、たとえば迫力あるあの先生らのピリッとした話を聞きたいと思えます。また、プログラムを見たときに、これは勉強になりそうだと加えて、これは楽しそうと思える内容のセミナーはどうでしょう。勉強調のハード的講義や専門的トピックスの他に、ソフト的な座談・放談をなるべく沢山とってもらいたいと思えます。そのような話題としては、たとえば以下はどうでしょうか。大先生によるその先生の思い出話、とくにその研究信条や生活信条、研究方法の特色や弟子のきたえ方など。『わが師を語る』とゆうような題目になりましょうか。仲にむつかしいこともあるでしょうが、こうした話を是非伺いたい先生が沢山おられます。また大先生の研究史、それも研究の内容の話の他に、研究を始められた理由や必然性、研究内容の変遷、後日談のような『筋書き』に比重を置いての話を伺いたいと思えます。研究失敗の話の特集などもありますと、私共も一安心できます。

研究内容は言わずもがなですが、諸先生方の研究手法を拝見していると、矢張りそれぞれの方に傾向があるように思えます。出身された研究室やその方の御性格等によるのでしょうが、ど

なたか『伝熱研究方法論』のような話をまとめて下さる方は居られないでしょうか。また、研究費や設備が不足のときにはどうしたら良いかなど、諸賢の工夫の経験を伺いたいものです。

以上，“雑感まで”ですが、伝熱セミナーはできるだけ和気あいあいとし、一方、シンポジウムは背広・ネクタイで決めた上で遠慮会釈なく、といきたいと思います。

<地区研究グループ活動報告>

東北研究グループ活動報告

日 時 昭和 58 年 8 月 29 日 (月) 13 : 30 ~ 22 : 00

場 所 秋田県仙北郡田沢湖町生保内字下高野 73 - 1

「田沢湖青少年スポーツセンター」

講演(I) 13 : 30 ~ 17 : 00

研究および苦心談

- | | |
|-------------|-----------------|
| (1) 沸騰熱伝達 | 熊 谷 哲 (東北大・工) |
| (2) 帯水層と蓄熱 | 横 山 孝 男 (山形大・工) |
| (3) 熱物性値の測定 | 三 浦 隆 利 (東北大・工) |
| (4) 自然対流熱伝達 | 藤 田 尚 毅 (岩手大・工) |

講演(II) 17 : 10 ~ 17 : 40

企業における伝熱研究 宇佐美 久 雄 (富士重工)

懇親会 19 : 00 ~ 22 : 00

講演(I)は、新進気鋭の研究者にお願いし、各専門分野における研究の苦心談あるいは失敗談—いわば研究・実験のうらばなし—を気楽に語っていただくことにした。

講演 I - 1) 沸騰熱伝達の研究の草分であられる故抜山四郎先生の研究から説き起し、沸騰熱伝達におけるバーンアウト制御および高熱流束の実現を目的として、講演者らが行ってきた狭い空間の沸騰熱伝達研究の概要が語られた。最大の苦心は、新事実が出現したときに、大先生を如何に納得させるかにあると語った講演者の言葉には真実味があった。

講演 I - 2) 子供心に、冬に沢山降った雪を夏まで保存し冷房に役立て、反対に冬に夏の高温を温熱源として使えないだろうかと考えていた“夢”を現実のものにして行く過程における、種々の試みと迷い、問題が解けたときの喜び並びに残されている問題点などが、水文学及び伝熱工学の両面から感動的に語られた。

講演 I - 3) 石炭のコークス化過程におけるように、吸発熱、軟化、熔融並びに熱分解などを生じるような粉状物体系の有効熱伝導率および有効熱拡散率を、一定の昇温速度で加熱(定速昇温法)あるいは任意の昇温速度で加熱(連続昇温法)しながら、能率よく測定できる方法を従来の線熱源法を発展させて開発した結果について述べたものである。

講演 I - 4) よい論文を作るための心得から説き起し、主として講演者が東北学院大学在職中

に行った、種々の形状物体と周囲気体との間の自然対流熱伝達研究の概要が沢山のエピソードを混じえて語られた。

講演Ⅱ) 企業の新製品に対する要求と大学の研究とのギャップをどのようにして埋めるか。大学からみれば、企業の考えていることは次元が低く、企業の側からは、大学は雲の上の存在という見方がある一方で、企業側は大学に新製品のアイデアを期待し、大学側では先端製品の中に研究テーマを見い出そうとしていることも事実である。このような「すれちがい」が生じる原因を航空機と自動車の伝熱の問題を例にとり、わかり易く話された。企業の研究者である講演者の「研究には夢がほしい」という言葉が印象に残った。

東北研究グループでは、一昨年度より秋の研究会は、東北地区各大学が持ち回りで世話を引き受け、かつ泊りがけで開催することとしたが、本年度は秋田大学の太田照和先生および山田悦郎先生のお世話で、上記の「田沢湖青少年スポーツセンター」で開催した。参加者は、昨年度（岩手県雫石町）と同数の48名で盛会であった。上記講演会のあと、夜6時から7時まで、他のグループと一緒にアルコール抜きで夕食をすまし、7時から10時過ぎまで各部屋（4部屋）ごとに懇親会を行った。場所が場所だけに、酒抜きの懇親会しかできないのではないかと心配された向きもあったようであるが、幹事の先生方の気くばりで、寝酒にしては多過ぎる量のアルコールとつまみが消費されたようであった。今回の会場は、食堂およびベット作りはセルフサービスとなっているが、3食付きの1泊でも3,000円以内で泊れる宿泊代の安さは特記事項として記録にとどめたい。

写真は、講演会会場玄関前における参加者一同の記念写真である。

(東北地方連絡幹事 幾世橋 広)



田沢湖青少年スポーツセンター玄関前にて

<お 知 ら せ>

(1) 第 21 回日本伝熱シンポジウム講演募集

開 催 日 昭和 59 年 5 月 30 日 (水)～6 月 1 日 (金)
会 場 国立京都国際会館 (〒606 京都市左京区宝池)
講演申込締切 昭和 59 年 1 月 31 日 (火) 必着
原 稿 締 切 昭和 59 年 3 月 15 日 (木) 必着
講演申込先 〒606 京都市左京区吉田本町

京都大学工学部原子核工学教室内

第 21 回日本伝熱シンポジウム準備委員会

ただし、日本機械学会会員は、下記宛申込んで下さい。

〒151 東京都渋谷区代々木 2-4-9 三信北星ビル内

日本機械学会企画室

講演申込方法

1. 伝熱研究本号の最終ページに添付されている申込用紙(またはそのコピー)に、または、はがき人の用紙に「第 21 回日本伝熱シンポジウム研究発表申込み」と標記し、(1)題日、(2)所属学協会ならびに会員資格・氏名(ふりがな、連名の場合は、講演者の頭に※印)・勤務先、(3)概要(100 字程度)、(4)セッション振分けのため、下記に示す分野 1 個と若干のキーワード
分野：強制対流、自然対流、沸騰、凝縮、蒸発、二相流伝熱、流動層伝熱、放射、熱伝導、
熱物性、熱交換器、燃焼、その他
および、(5)連絡先を記入し、整理費 1,000 円を添えて現金書留にて申込んで下さい(できるだけ本号添付の申込用紙をご利用下さい)。
 2. 講演は 1 名 1 題に限り、講演時間、討論時間は、それぞれ 10 分の予定です。ポスターセッションは行いません。
 3. 講演の採否は準備委員会にご一任願います。
 4. 前刷原稿：前刷集はオフセット印刷、原稿執筆枚数は 1,927 字詰原稿用紙 3 枚以内、原稿用紙は準備委員会より講演申込者(講演者)宛送付します。
- ご注意
1. 講演申込後の取消しは、準備と運営に支障をきたしますので、ご速慮下さい。
十分検討した上、お申込み下さい。
 2. 申込書と前刷原稿の題目や講演者に不一致が生じないように申込書の控えをお残し下さい。

(2) 第17回伝熱セミナー講演要旨集頒布

講演要旨集の配布済み残部が若干ありますので、実費頒布致します。ご希望の方はお申込み下さい。内容は主として「流動伝熱のモデリングと数値解析について」ですが、詳細は既刊「伝熱研究」第85号(1983, 4月)の「お知らせ」をご参照下さい。

○申込先 〒564 吹田市山手町3-3-35
関西大学工学部機械系教室内 勝出 勝太郎

○価額(送料共) 1,000円(現金封筒でお願いします。)

以 上

(3) 講演会通知：東海研究グループ講演会

下記の通り講演会を開催しますので、多数御参加下さい。

日 時 昭和58年11月26日(土) 14:00～17:00

場 所 名古屋工業大学, 機械系M1教室

講 演

1) 熱物性値研究の日米ジョイント・セミナーにおける話題(60分)

小林 清志(静大工)

2) 乱流の伝熱機構について(60分)

菱田 幹雄(名工大)

○講演会終了後、懇親会を行います。

連絡先 〒466 名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学 生産機械工学科

TEL 052 - 732 - 2111 内線428(長野靖尚)

(4) 混相流シンポジウム

共 催 : 日本学術会議水力学水理学研究連絡委員会(混相流小委員会), 化学工学協会, スラリ輸送研究会, 土木学会, 流れの可視化学会, 日本機械学会, 日本原子力学会, 日本鉱業会, 日本造船学会, 日本伝熱研究会, 日本流体力学会, 粉体工学会

1. 開催日：昭和58年12月13日(火)，14日(水)
 2. 会場：日本学術会議講堂
東京都港区六本木7丁目22-34 電話 03-403-6291
 3. 開催趣旨：気液混相流，固気混相流，固液混相流などの諸問題は様々な工業，技術分野の重要な問題である。前回のシンポジウムにおいては原子炉，ボイラ，化学プラント，石炭や土砂等の流体輸送にかかわる広い工業，技術分野にわたる混相流の基礎と応用技術の諸問題を取りあげたが，今回のシンポジウムではこれら広範囲の技術分野における混相流の流動機構，すなわち混相流の乱流構造や界面現象，流動様式遷移などの諸問題を取りあげるとともに，広い分野における混相流にかかわる応用技術の紹介を行う。本シンポジウムは気液，固気，固液等の混相流を共通の場で論議し，混相流研究・開発の総合的な推進をはかろうとするものである。多数の方々の参加を希望します。
 4. 参加諸費：シンポジウム参加費；1名 8,000円 ただし学生，大学院生は1名4,000円を当日受付でお支払い下さい。
講演論文集「混相流の流動機構と応用技術」；1冊 8,000円
(ただし，参加者には当日受付で1冊無料進呈)
 5. 申込要領：参加ご希望の方は葉書大の用紙に「混相流シンポジウム参加申し込み」と題記し，(1)氏名(ふりがな)，(2)通信先，(3)勤務先を明記し，下記の申し込み先にご送付ください。おり返し参加証をお送りいたしますので，当日受付でご提示ください。
なお，講演論文集のみ購入ご希望の方は「混相流シンポジウム講演論文集申し込み」と題記し，(1)氏名(ふりがな)，(2)通信先，(3)勤務先，(4)申し込み冊数，(5)送金額を明記し，代金を添えて下記申し込み先までご送付ください。シンポジウム終了後，講演論文集をお送りいたします。
 6. 申し込み締切：11月30日(水)
 7. 申し込み先：〒657 神戸市難区六甲台町
神戸大学工学部 赤川浩爾気付 混相流シンポジウム実行委員会
電話 078-881-1212 内線5139(もしくは2700)；赤川
2744 ；小澤
- ※ なお会場での当日受付は12月13日，9時より行います。

8. 講演題目：

1. 混相流の流動機構

- | | |
|------------------|----------------|
| ○気ほう流の乱流構造 | 芹 沢 昭 示(京 都 大) |
| ○噴霧流の流動機構 | 波 江 貞 弘(船 研) |
| ○固気二相流の乱流構造 | 辻 裕(大 阪 大) |
| ○波動による底質浮遊流の乱流構造 | 沢 本 正 樹(東 工 大) |
| ○固気液二相流の流動特性 | 坂 口 忠 司(神 戸 大) |
| ○土石流の流動機構 | 高 橋 保(京 都 大) |
| ○密度流の流動と界面現象 | 玉 井 信 行(東 京 大) |
| ○非ニュートン流体の流動 | 川 島 俊 夫(東 北 大) |
| ○河床形状と流動様式 | 岸 力(北 海 道 大) |
| ○気液二相流の流動様式遷移 | 斎 藤 孝 基(東 京 大) |
| ○固気二相流の流動様式の遷移 | 森 川 敬 信(大 阪 大) |

2. 混相流の応用技術

- | | |
|--|------------------|
| ○熱水タービンの開発と運転実績 | 竹 永 久 邦(三 菱 重 工) |
| ○ポンプの二相流特性 | 村 上 光 清(名 古 屋 大) |
| ○固気二相流の分配吹込システムの制御
および質量流量計測方法の開発 | 森 山 峻(デ ン カ) |
| ○低温流体機器における二相流現象 | 佐 藤 禎 司(日 本 酸 素) |
| ○国外炭のスラリ輸送に関するトータルシステムの
フィービリティ・スタディー | 中 林 恭 之(電 源 開 発) |
| ○粉粒体のプラグ輸送 | 益 満 隆 義(新 東 工 業) |
| ○農業水利における相分離技術 | 山 本 光 男(明 治 大) |

以上18件

第 2 1 回伝熱シンポジウム研究発表申込書

- 下の用紙を切取って記入の上、整理費と一緒に申込先へお送り下さい。
- 返信用題目は、原稿提出時の講演題目をご確認いただくものです。
- 住所・氏名は、原稿用紙を送付するためのものですから楷書体でご記入下さい。

第 2 1 回日本伝熱シンポジウム研究発表申込み																											
<p>題目：</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;">所属学協会と資格</td> <td style="width: 33%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <small style="display: block; margin-bottom: 2px;">よりがな</small> 氏 名（講演者の頭に※印） </td> <td style="width: 33%; padding: 5px;">勤務先</td> </tr> </table>																									所属学協会と資格	<small style="display: block; margin-bottom: 2px;">よりがな</small> 氏 名（講演者の頭に※印）	勤務先
所属学協会と資格	<small style="display: block; margin-bottom: 2px;">よりがな</small> 氏 名（講演者の頭に※印）	勤務先																									
概要：																											
分野：																											
キーワード：																											
連絡先 <small style="font-size: 0.8em;">〒</small> TEL() - 住所・氏名																											
受付日：																											

著者への返信用題目（申込者記入）

原稿用紙送付先住所・氏名（申込者記入）

〒

様

伝熱研究

Vol. 22 №87

1983年10月発行

発行所 日本伝熱研究会

〒113 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学工学部機械工学科気付

日本伝熱研究会

電話 03(812)2111 (代) 内線6322

振替 東京 6-14749

(非売品)