

Vol. 25
No. 99

1986
October

伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 99 号

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

日本伝熱研究会第25期(昭和61年度)役員

会 長		長谷川 修(九大)
副 会 長	(無任所) (事務担当)	堀 雅 夫(動燃) 小 竹 進(東大)
地方連絡幹事	北 海 道 東 北 関 東 東 海 北陸・信越 関 西 中国・四国 九 州	福 迫 尚一郎(北大) 斎 藤 武 雄(東北大) 矢 部 彰(機械研) 荒 木 信 幸(静岡大) 日 向 滋(信州大) 片 岡 邦 夫(神戸大) 須 藤 浩 三(広 大) 藤 田 恭 伸(九 大)
幹 事 (23名)	坂 爪 伸 二(釧路高専) 熊 谷 哲(東北大) 山 川 紀 夫(岩手大) 竹 内 正 顕(東海大) 望 月 貞 成(東農工大) 三田地 紘 史(豊橋技大) 森 茂(金沢大) 加 治 増 夫(大阪大) 千 田 衛(同志社大) 尾 添 紘 一(岡山大) 岩 渊 牧 男(三菱重工) 増 岡 隆 士(九工大)	谷 口 博(北大) 新 野 正 之(航技研) 坂 本 守 義(東 芝) 田 中 宏 明(東 大) 新 井 紀 男(名 大) 竹 越 栄 俊(富山大) 大 場 健 吉(関西大) 芦 沢 昭 示(京 大) 藤 井 雅 雄(三菱電機) 水 上 紘 一(愛媛大) 福 田 研 二(九 大)
監 査(2名)	前 田 昌 信(慶応大)	田 中 修(三菱電機)
「伝熱研究」編集委員長		黒 崎 晏 夫(東工大)
第24回日本伝熱シンポジウム準備委員長		二 神 浩 三(愛媛大)
第21回伝熱セミナー準備委員長		大 谷 茂 盛(東北大)

伝 熱 研 究

目 次

<第20回 伝熱セミナー特集号>

第20回 伝熱セミナー開会挨拶 … 準備委員長 久我 修 (信大織) ……………	1
伝熱セミナーを省みて …………… 桜井正幸 (信大織) ……………	3

(セミナー講演要旨)

(1) 伝熱工学雑感「聞くは一時の恥」 …………… 一色尚次 (日大工) ……………	5
(2) 沸騰二相流における伝熱過程について … 植田辰洋 (工院大) ……………	7
(3) 豪雪を利用する …………… 梅村晃由 (長岡技大) ……………	12
(4) 限界熱流束現象の研究の歩み …………… 甲藤好郎 (日大理工) ……………	16

(座談会：境界領域における伝熱研究の進展)

(1) 無重力場における伝熱研究の可能性 …………… 棚沢一郎 (東大生研) ……………	22
(2) 物理と化学の境界での凝縮 …………… 小竹 進 (東大工) ……………	28
(3) 流動層の熱交換器への応用 …………… 渡辺吉典 (三菱重工、名研) ……………	32
(4) 半導体製造と伝熱問題 …………… 福山佳孝 (東芝総研) ……………	34
(5) 原子炉の熱的限界設計 …………… 内藤正則 (日立エネ研) ……………	38

(トピック)

船舶用ディーゼル機関と伝熱 …………… 玉木恕乎 (信大工) ……………	43
--------------------------------------	----

<読者からの意見>

内部温度変化より表面温度変化の推定は可能か … 黒柳利之 ……………	48
------------------------------------	----

<国際会議>

ユーロメク・コロキウム207「自然対流」に出席して

..... 尾添 紘之 (岡山大工) 49

<地方研究グループ活動報告>

(1) 北海道研究グループ講演会 54

(2) 九州研究グループ講演会 55

(3) 東海研究グループ講演会 56

<お知らせ>

(1) 第24回日本伝熱シンポジウム講演募集 57

(2) 第10回人間-熱環境系シンポジウム記念大会プログラム 58

(3) **Int. J. Heat and Mass Transfer (Pergamon) の日本のEditorial Board** メンバーの交替 60

<第20回 伝熱セミナー特集>

第20回 伝熱セミナー開会挨拶

久 我 修(信大織)

私は第20回伝熱セミナー準備委員長をお引受けした信州大学の久我でございます。

本日から足かけ3日間セミナーが行われるわけでございますが、皆様方には暑いところを遠方よりお集まりいただきまして誠に有難うございました。

伝熱セミナーも20回を数え、その間色々の変遷がございました。私の記憶するところでは始めは新進の研究者に先輩の先生方が研究のノウハウを伝えるということであったと思いますが、次第に高度のトピックスが紹介されるようになり、セミナーは難しいという評判が立ったこともあると思います。

今度のセミナーにつきましてはある先生から北陸信越グループの企画なのだからその地方の特色を出したテーマを選んだらどうかというお話があり、私も尤もだと思いましたので長岡技科大の梅村先生に豪雪を利用するお話をして頂くことに致しましたが、それのみに限らず、セミナーの原点に立ち返って、一般の研究者に大家の先生方から研究の解決の裏話、回顧談と将来の展望などをお話して頂こうと考えました。と申しましても大家の先生方の御協力がなければ成り立たない話なので大分心配致しましたが、幸いにしてお願い致しました先生方は皆さん快くお引受け下さいまして、どうやらセミナー成立の見通しが立つようになりましたので安堵した次第でございます。

皆さんあるいは御存知ないかも知れませんが旧海軍の艦艇の設計で令名の高かった平賀譲という造船中尉の方がおられます。戦艦長門、重巡洋艦妙高級などを設計され、また退官、東大総長就任後も海軍省嘱託として戦艦大和の設計にも関与された方です。その方が英国造船協会の1934年7月の大会に“**Experimental Investigations on the Resistance of long Planks and Ships**”と題する論文を呈出されました。その内容は艦船の抵抗には摩擦抵抗、造波抵抗と渦抵抗がありますが、摩擦抵抗について当時はフルード数で有名なWilliam Froudeが1871年に駆逐艦Greyhoundを用いて求めた実験式がもっとも信頼すべきものとされておりました。当時はQueen Victoriaの治世で英国の国力がもっとも充実していた時代であります。残念ながらこの式は速力が12ktまでであり、より高速での抵抗を求める式が待望されていたのですが、実験が大規模になるなどの困難性のためにどの国の海軍も手をつけていなか

ったのであります。平賀中将は駆逐艦夕立により速力26ktまでの式を求め、それが低速の範囲ではFroudeの式とよく一致すること、しかし高速になるとFroudeの式を外挿したものよりも30%以上も抵抗が大きくなることを明らかにしたのであります。この重要な研究に対して英国造船協会は金牌を贈ることを決定致しました。この報らせに平賀さんは喜びましたが、日本の海軍も、また日本の工業界も喜んだのであります。これは昭和11年ごろからわが国の造船に関する技術水準が船舶の設計、建造、学理についても世界一流の水準に達したことを示すものであります。このことはその後の第2次世界大戦においてわが国の海軍がよく健闘したことによって証明されております。

翻って今日、日本の伝熱学関係の水準は如何でしょうか。私は考えますに文句なしに一流の域に達していると思います。伝熱シンポジウムで発表される論文の量と質、日一米、日一中の会議の開催、1986年8月第8回国際伝熱会議への参加等をみても、わが国の水準はきわめて高いといえると思います。皆さん方はその先輩に伍してさらに国際的に発展されることが期待されております。その際このセミナーによって大家の先生方から色々ときくばらんな裏話などを伺って、自分の血とし肉とすることができるならば、大変結構なことだと思っております。その点を考えまして今回のセミナーは意義深いものとするのでないかと思っております。何卒皆様方の御協力をお願いする次第でございます。また今回のセミナーで色々不備な点があるかと存じますが何卒お許し下さいますようお願い申し上げます。簡単ではございますが以上をもちまして御挨拶に代えさせていただきます。

伝熱セミナーを省みて

桜井正幸(信大織)

このセミナーの内容や様子などは、講師の方々や参加された方々のいろいろな視点から報告されると思うので、準備した側としては、手持ちのデータを見ながら、反省をくわえつつ、今回のセミナーのアウトラインを報告したい。その年の準備委員によってそれぞれ特長のあるセミナーが企画、実行され、今回のセミナーが典型とはいえぬが、まだ一度もセミナーに参加したことのない方々に実態を知っていただき、来年は参加してみようと思っていただければ幸いである。

参加者について：豪華な講師陣の顔ぶれの紹介と共に、“信州浅間高原でのセミナーに参加してよい夏を過そう！”をキャッチフレーズに、5月27日から北海道で開かれた日本伝熱シンポジウムでは、申込予約コーナーを設けてまで参加者を募集したが、申込締切時点での申込者は定員75名の半数そこそこであった。“夏の信州”、“温泉”にはもう少し誘引効果があると期待していたが当はずれであった。しかし多方面のご協力により、最終的には定員超過の79名の参加をえた。参加者についてみると、19大学・1工専から64名、11の会社から15名、そのうち、会員44名、非会員9名、学生26名となっている。大学からは研究室などのグループ参加が多く、3名以上のグループが11あった。1つの会社からは1名ないし2名の参加である。開催場所の小諸市は地理的には日本の中心に近い(そこから20kmほど西に日本の中心を標榜する生島足島神社がある)。

しかし交通の便は東海、関西方面に比べ関東方面が良い。それが地区別にみた参加者数に反映しているようである。関東が29名、関西7名、東海および東北各6名、中国・四国、九州各1名であり、開催ブロックの北陸・信越が29名であった。

スケジュールについて：7月16日の午後3時から7月18日の12時まで通算47時間、そのうち講演等が13時間、食事・懇親会・見学会が11時間、睡眠に約13時間、そして残りの10時間程が自由時間である。この自由時間は午後9時過ぎから始まる、懇親会や座談会で余った酒を部屋へ持ち込んだの自由なディスカッションの時間である。各部屋出入り自由で誰とでも親しく話ができる非常に楽しい時間で、睡眠時間が短くなってしまう原因である。

講演等の13時間は、講演、パネルディスカッション、座談会と多彩な内容を含むが、時間的には非常にハードであった。このようなセミナーではエスケープすることはなかなか難しいので、ちょっとその辺を散策できるぐらいの休憩時間を取ったほうがよかったかもしれない。もっとも、期間中の天気はぐずつき気味で、散策などには不向きであったが。

懇親会について：委員長の挨拶、乾杯につづき、グループの紹介が行われた。このグループ紹介は、自己紹介では時間がとても足りないので、司会者に指名された人がグループを代表して、参加した動機、感想、研究課題などの紹介を行うものである。学生が指名された場合は、指導教官のエピソードなども披露され、本などで名前だけは知っている偉い先生とここで一緒に酒を飲んでいるなど夢のようだ、というような感想がきかれた。司会者の指名選択がよかったので、バラエティーにとんだ、ざっくばらんの“本音”がきかれ、なごやかなうちに前半終了。本番ともいえる後半は部屋に帰って行われた。

参加費について：会員で2万3千円の参加費は高かったであろうか。そのうち宿泊費、食費、懇親会費、飲料費の占める割合は68%と多く、この面ではかなり満足してもらえたのではないかと思う。それは、講師や司会の方々や講演料など問題にせず貴重な時間を割いてくださったこと、日本伝熱研究会の補助金に負うところ大であるが、準備側でも、セミナー資料の印刷を2日ばかりで自分達で行うなど、経費節減に努めた結果である。

その他：懇親会の席上で一人の方が、“参加の動機は、酒はふんだんに飲めるからと前に参加した人から奨められたからです。”といわれた。我々も伝熱セミナーのこの伝統を守るため努力した。資料の印刷を自分たちで行ったのもそのためといえる。見学会は迷うことなくマンズワイン小諸ワイナリーに決定（酒蔵もウイスキー工場もあるのでどれにするかは迷ったが）。座談会では、ワイン、ウイスキーにつまみを用意した。しかし見学会でたっぷり試飲した後なので、酒はあまり進まず、余った分は後の自由ディスカッションの場にまわった。酒でのトラブルは全然なく、今回のセミナーでも、酒は重要な役割を果たしてくれたようである。

手持ちのデータはあまりに貧しく、反省といいながら自画自讃めいたものになってしまった。お許しいただきたい。

(セミナー講演要旨)

(1) 伝熱工学雑感 「聞くは一時の恥」

一色尚次 (日大工)

私は最近毎週の後半東北新幹線で郡山市に来て日大工学部で講義をしている。郡山といえば東北地方のほんの入口ではあるが、その東北には歴史的な伝熱工学的故事があるので大へんなつかしく思われる所である。

それは源平時代の源義家についてである。義家が上京した若い時、兵法家で有名な大江匡房(まさふさ)に「豎子(じゅし)惜しむべし兵法を知らず」と馬鹿にされたが、怒らずに「聞くは一時の恥、聞かぬは木代の恥」と言って彼の門下に入り兵法を修学した。

その結果、義家には後年二つの大きな実戦効果があった。

その一つは有名な「水鳥飛び立つあれば伏兵あり」で、いろはかるたの画にある場面の恐らく北上川のほとりで彼は奇襲をまぬがれた。

もう一つは「寒中行方を失えば全員団塊となれ」という意味の教えである。これは吹雪中で遭難したら全員が集合して甲冑を脱いで一つのかたまりとなってぴったり抱き合い鎧、兜、盾、矛の類は一番外からかぶせておけばよいというのであり、義家の軍はある冬に羽前の山中で突さいに遭難したがこの教えを実行して生還したというのである。

しかるに時が移って明治時代に日本陸軍の一個中隊が冬の八甲田山で行軍演習を行なったさい猛吹雪中で遭難したが、その時は逆に「全員解散」を命じてはなればなれとなった、兵の殆ど全員が死んでいる。この情況は新田次郎の「八甲田山死の彷徨」にくわしく書かれている通りである。

さて雪中遭難は伝熱工学的には明らかに相変化のある固気二相流中における高温円柱の熱伝達の問題であって、单相流でもヌセルト数とレイノルズ数の関係から表面熱伝達は代表直径が大きい程小さいのは当然であり、一人一人でいるより大勢がかたまって一つの円柱になったほうが熱伝達率が小さいし、また外側にかぶせた甲冑はよい断熱材となるのでさらに効果がある。

つまり源義家は大江匡房から伝熱工学を積極的に聞いていたから助かっているものであり、ひとりよがりの日本陸軍は伝熱工学を馬鹿にしていたので大量遭難をしている。

さてひるがえってこのような故事をここで述べるのはなにも伝熱工学自体のことだけでなく、現代は情報化時代であって学会、セミナー、シンポジウムのたぐいはいわば「聞くは一時の恥」の連続のようなものであると考えられるからである。

今迄この伝熱研究会の集りは大へんなごやかで質問が飛び交うよいふんい気であった。

しかし聞くは一時の恥としてすこし消極的でいると一番大事な所を知らないでいたり、また取り違えたりすることがあるものであり、またそれが人生の上でどんな状況下に出現するかもしれない。とくに若い方々が一その質問や討論をされてその後の大きな実戦効果をあげられることを祈る。

さて本論に入って、最近の私の大きなプロジェクトであるスターリングエンジンの開発について触れたい。スターリングエンジンは180年前スコットランドの牧師ロバート・スターリングが当時よく爆発時故を起した蒸気機関に優る安全な熱機関を創り出そうとした人道的見地から生れたものであり、高効率、静粛、多種燃料、低公害という多くの特色があると考えられているものである。ところがそれを研究すると、その開発問題点の主要部は全く伝熱技術の上にあることがわかる。それはヒートエクスチェンジャー、空気予熱器、熱再生器等伝熱パーツで成り立っていて、どの一つをとって見ても、小さい容量（死空間）で大きな伝熱性能があり、しかも小さい流動抵抗でなければならぬものばかりで、しかも往復流動でかつ圧力変動のある条件下である。

私は多くの方々とその開発に力を注いでいるが、伝熱研究にたずさわるすべての人々の助力と協力を得てスターリングエンジンの開発を完成したいものと思うものである。

(2) 沸騰二相流における伝熱過程について

植 田 辰 洋 (工学院大)

第20回伝熱セミナーでは、当初、準備委員長の久我教授から、二相流伝熱研究の昨日・今日・明日というような観点から話をするように、との御示唆を頂いた。もとより私はその任ではないので、沸騰二相流の伝熱過程のいくつかについて、筆者が経験してきたことを中心に話をすることにさせて頂いた。

沸騰流熱伝達は近年いよいよ広い分野で問題にされるとともに、いろいろの条件下——流量、壁面過熱度、流路形状、流れ方向など——の知識が必要になっている。したがって依然として多くの研究課題を残している。そして、それぞれの場合に対して、どのような伝熱過程を生じているかを明確にすることが、まず第一に要求される。相変化をとまなう流動状態の複雑さから、適切な無次元表示がなお困難である現状を考えれば、このことが伝熱特性の合理的な整理をする上にも、まず必要であることは云うまでもないであろう。

今回の伝熱セミナーでは、このような観点から、沸騰流伝熱における実際の過程がどのようなになっているか、という点に重きをおきながら、次の項目にもとづいて述べた。

1. 沸騰二相流の伝熱様式
2. 沸騰開始条件
3. 核沸騰域、強制対流域の熱伝達
4. ポスト・ドライアウト域の伝熱過程
5. 限界熱流束状態
 - 5-1 高クオリティ域のDryout
 - 5-2 低クオリティおよびサブクール域のDNB
6. 高温面の沸騰流による冷却
7. あとがき

広い範囲の話題を取上げたことになるので、全般の内容を限られた紙面に要約することはむずかしい。ここでは、その一端として、比較的新しいデータを含んでいる上記の§5-2の内容のみを以下に再録させて頂くことにする。

5.2 低クオリティおよびサブクール域のDNB

DNBを生ずる機構については特に議論が多い。Hewitt⁽¹⁾はよく仮定される機構として次

の三種

- 1) 加熱面近傍に形成される気泡層による加熱面への液供給の阻害、
- 2) 核沸騰気泡下のごく薄い液層の蒸発によって生ずる dry patch 部の局所加熱、
- 3) 気泡塊あるいは蒸気プラグ下の液膜蒸発による壁温上昇(2, 3)。

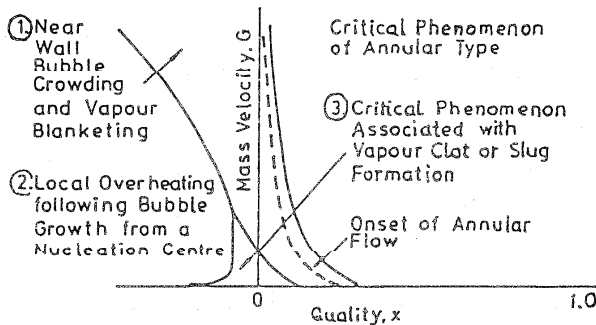


図1 各種CHF機構の発生領域予測

をあげ、これらの機構によるCHF状態が有力と考えられる領域を定性的に図1のように推定している。しかし、DNBに至る機構とか過程は必ずしも明確ではなく、それを明らかにするには、加熱面近傍における気液両相の流動状態を調べる必要がある。

サブクール沸騰流について、Micro-thermo coupleを用いて気液の流動状態を調べた結果⁽⁴⁾を図2、3に示す。環状流路(内管加熱)内のR 113 上昇流について求めたものである。図2は加熱面からの各距離における毎秒の気泡通過個数を示したもので、CHFに近づくとき壁面近傍の気泡通過個数が急減している。このことはCHFに近づくとき、壁面近傍で気泡の合体を生ずるためと考えられる。

図3は気泡および液相の通過時間の分布が加熱面からの距離と加熱熱流束によってどのように変化するかを示している。○印は液相の通過時間 τ_l 、●印は気泡の通過時間 τ_v である。熱流束がCHFに近づくとき、加熱面近傍の τ_v の長時間成分が著しく増大している。

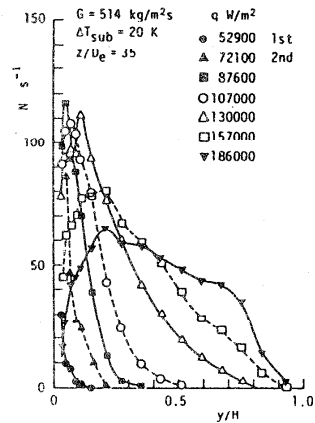


図2 気泡通過頻度分布
(y は加熱面からの距離)
 H は流路幅

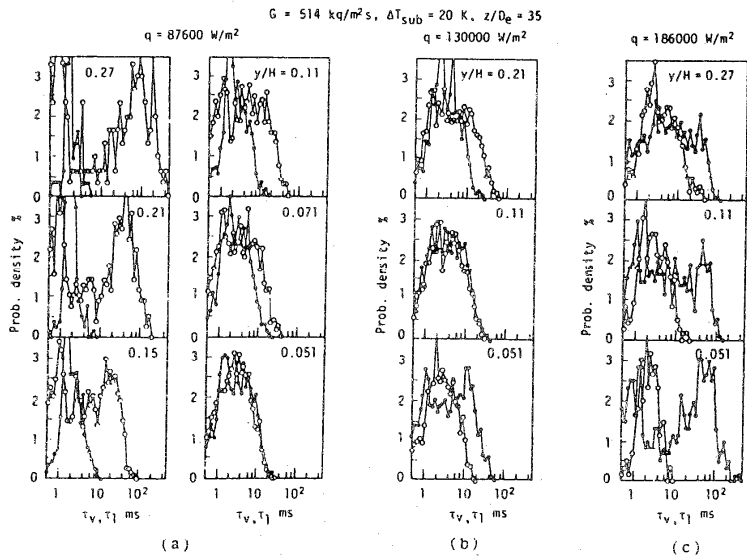


図3 気液通過時間の頻度分布

図4は壁面近傍位置における気泡通過時間の最大値 $(\tau_v)_{max}$ と熱流束の関係で、CHFに近づくにつれて $(\tau_v)_{max}$ の値が急増することを示している。

加熱面近傍の大きい合体気泡の下部には核沸騰をともなうすい液膜が存在するが、気泡通過時間が長くなると、気泡下の核沸騰液膜の一部が蒸発消失し、その部分の壁温が上昇をはじめであろう。しかし、上述の気泡最大通過時間内に生じる壁温上昇はそれほど大きくない。

したがって、CHF状態では合体気泡通過による壁面の部分的なDNBによる温度上昇と、つづく液温が上昇し、rewet 温度以上に達すると、膜沸騰状態となって、急激な壁温上昇が現れるものと考えられる。

図5(5)は、上記と同じ装置を用いて求めた加熱部出口近傍の加熱管内面温度の測定例である。三つの熱流束時および熱流束がCHF q_{crit} に達した場合を示している。予測されたように、CHF状態では大きい壁温変動を経た後、単調な急上昇を示している。図の例では、管周

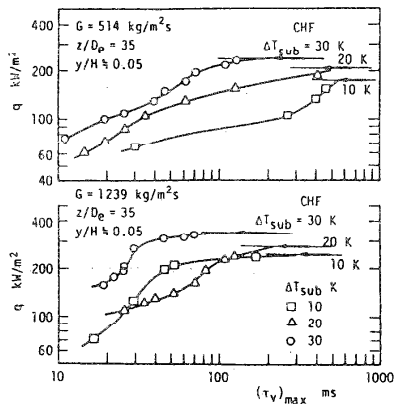


図4 気泡の最大通過時間

上の熱電対No.2 およびNo.3 が数回の過熱・冷却を繰り返した後、急激な温度上昇に至り、つづいて壁面の高温化が熱電対No.1, No.4 の位置に及び全周に至っている。CHF状態で壁温が変動している過程の伝熱特性を調べるため、加熱管の外周（流体側）温度と、壁面の過熱および冷却期間それぞれの表面熱流束を、内面温度の測定値を用い一次元熱導逆問題の数値解析によって求めた。図6(5) は最初に壁温急上昇を示した熱電対の測定値を用いて計算した結果である。 T_w は外面温度、○印は過熱期間中の熱流束、△印は冷却期間中の熱流束を示している。過熱期間中の熱流束は広い散らばりを見せているが、平均的にはCHFよりかなり低く、壁温の増大とともに低下する遷移沸騰的な特性を示す。ただし、壁温がある値を超すと、冷却期間は消滅し、壁温

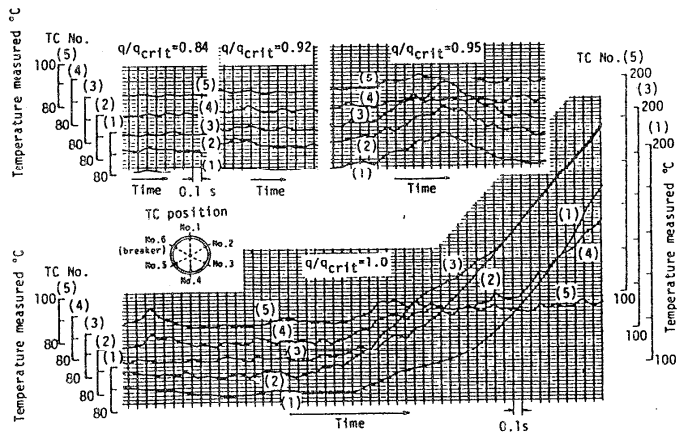


図5. 壁温変動の測定例〔 $G = 514 \text{ kg}(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $\Delta T_{\text{sub}} = 10 \text{ K}$ 、 $q_{\text{crit}} = 172 \text{ kW}/\text{m}^2$ 〕

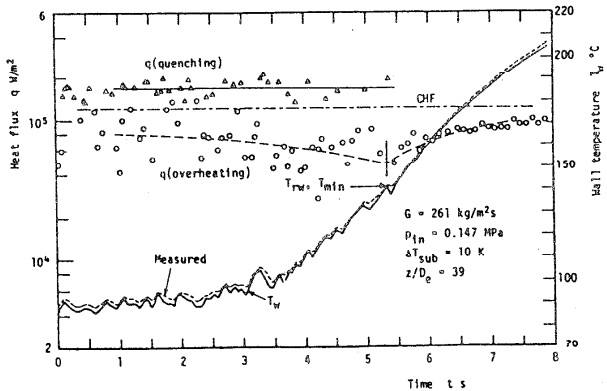


図6. 限界熱流束状態における外壁面温度と熱流束

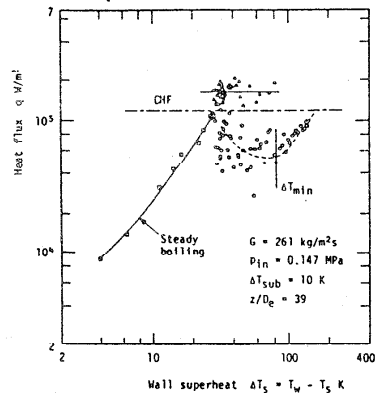


図7. 沸騰曲線

が単調に急上昇している。図 7 は図 6 の熱流束を壁面過熱度に対してプロットしたものである。以上のことから、この実験範囲、すなわちサブクール域で液流速がそれほど高くない範囲の CHF 状態は、壁面近傍に通過時間の長い合体気泡を生じ、その下部液膜の部分的破断にともなう壁面過熱が、つづく液相部による温低下より大きくなることによって生ずるものと考えられる。

参考文献

- (1) Hewitt, G.F.; Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf., Toronto(1978), 6, 143-171.
- (2) Fiori, M.P. & Bergles, A.E.; Proc. 4th Int. Heat Transfer Conf., Paris(1970), 6, B6.3.
- (3) van der Molen & Galjee, F.W.B.M.; Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf., Toronto(1978), 1, 381-385.
- (4) 日野、植田；機械学会論文集、50-460B(1984), 2985-2992.
- (5) 金、犬丸、植田；機械学会論文集、51-472B(1985), 4313-4321.

(3) 豪雪を利用する

梅 村 晃 由 (長岡技科大)

1. はじめに

本稿では、豪雪の状況とその利用の歴史に触れた後、利用のアイデアを漠然としたままで紹介することとした。そして不釣り合いを承知で、自信のある冷熱利用に関する部分を少し詳しく、私自身が手がけている集雪冷房システムに関する部分を最も詳しく述べるということにした。

2. 豪雪都市の積雪と気象

最初に我が国の豪雪都市の一例として、長岡市の積雪をみる。1925年からの58年間のデータをもとに、年最大積雪深の確率期待値を計算してみると、平年度で128.7cm、10年に1度の大雪の年で、232.8cm、そして10年に1度の小雪の年で、68.3cmとなった。

つぎに我が国と世界の主要都市のデータを比較してみると、我が国の都市が最大積雪深も積雪日数も一段と大きいことが分かる。もちろん外国にも山岳部などで、積雪の大きい地域はあるが、5万人を超えるような都市は、こうした地域には殆ど存在しない。

3. 積雪利用の歴史

豪雪の効用の第一には、(1)安全保障に役立つ；ということが挙げられるように思う。平安時代から、都の政変に破れた人がたどった足跡が越後の山村には多い。

第二に、(2)夏期冷熱の供給；ということが挙げられる。昭和の時代に入ると、長岡市内に2000トンを超す大規模な保存用堆雪が作られ、夏に、鮮魚の保存用などに売られた。

第三に、(3)清浄な大気の利用；がある。その一つとして、鈴木牧之(1770~1842年)のころから、縮布あるいは糸を、雪の上に晒して、白くすることが行われている。

第四に、(4)雪原の広さの利用；が挙げられる。積雪は時間がたつと締まって硬くなり、広い地域の徒歩やそりの交通が確保され、山の材木の切り出し等にも役立った。

第五に、(5)雪中環境の利用；がある。昭和30年代には、雪中貯蔵キャベツの糖度が向上することが知られ、現在では他の野菜にも積極的に適用する研究が進んでいる。

第六として、(6)融雪水の利用；が挙げられる。春の大量の融雪水が田畑を潤おし、安定した農地を形成した。また、昭和になって、水力発電への利用が始まった。

つぎに、雪に関する意識の変化の歴史を簡単に紹介する。

まず、「万葉集」や「古今和歌集」では、花鳥風月と同じ、重要な和歌の題材であった。

「北越雪譜」(1837年)に至って、美しさよりも、害はその何ぞう倍にもなるということが

公にされた、この考えは、昭和に入って、政治意識にまで高められ、豪雪地域に対する種々の行政施策の支えとなった。しかし、丁度同じ頃、土居利位（としつら）は、雪の功德14ヶ条を挙げている。この14ヶ条を今の常識でみたとき、上に挙げた6項目の中の5項目を取り上げているし、その他の各条についても考えさせられるところがある。

一方、雪の政治をみると、大正15年12月に、帝国議会内に「帝国雪害調査会」を創設されて以後活発な国会活動が続いて、始めて、雪害を世に知らしむるところとなった。しかし、昭和10年代に入ると戦時色が強まり、多くの企画が立ち消えとなってしまった。

戦後になると、政治的活動は再び活発となって、昭和23年には、東北、北信越11県を基盤として、日本積雪連合が結成された。その趣意書では、「雪害の防除」と「雪利の増進」をうたった。なお、「豪雪」という言葉は、日本積雪連合の活動の一環として、昭和35～36年の大雪をきっかけに生まれた言葉であり、昭和37年「豪雪対策特別措置法」となった。

っかけに生まれた言葉であり、昭和37年「豪雪対策特別措置法」となった。

4. 豪雪利用のアイデア

現在ある豪雪利用のアイデアは、前節の項目に従って、つぎのように列挙される。

- (1) 安全保障； 現在では、ほとんどない。
- (2) 夏期冷熱の供給； 1) 雪で貯蔵、雪で利用・「氷室」、「雪にお」、2) 雪で貯蔵、冷水で利用・集雪冷房システム、3) 水で貯蔵、冷水で利用・地下滞水層冷暖房、4) 氷で貯蔵、冷媒で利用・潜熱交換融雪冷房
- (3) 清浄な大気の利用； 1) 織物の生産・「雪ざらし」、2) 工業品の生産・IC 3) 健康の増進・観光、保養
- (4) 雪原の広さの利用； 1) 交通運搬・材木切り出し、2) スポーツ・スキー、気球
- (5) 雪中環境の利用； 1) 貯蔵・野菜、穀物、2) 成育時期調整・蚕種、野菜、花
- (6) 融雪水の利用； 1) 直接利用・灌がい、水力発電、養魚、2) 貯蔵利用・雪ダム、人工氷河、3) 融解を遅らすもの・氷河
- (7) 発電； 1) 積雪を冷熱源、地熱等を高熱源としてタービンを回す・温度差発電 2) 積雪を冷熱源、フロンの蒸発凝縮と落差を利用する・熱サイフォン発電
- (8) その他（寒気や氷の利用を含む）； 1) 地盤の形成・氷の道路、氷の作業台、2) 建築・気球を用いる氷のドーム、3) 場所の創成・氷山都市、4) 海水ウラン回収プラント・崇流沈山プラント

5. 冷熱利用

5.1 地下滞水層暖冷房

融雪した冷熱を、井戸 A から、地下の滞水層に入れ、夏に汲み上げて冷房に用いる。一方、昇温した水は、井戸 B から、別の滞水層に注入し、冬に汲み上げて融雪と暖房に用いる。この研究は山形大学の梅宮らによって、1977 年頃から続けられていて、温熱について熱回収率 50 % を達成する見通しが得られている。冷熱についても、今後の確認が待たれるところである。

5.2 潜熱交換融雪冷房

地下水槽や断熱タンクの中に氷を作り、夏に冷房に用いるため、服部らは、ヒートポンプを組み合わせ、低温部で作られた氷の潜熱を、高温部にもって行って雪を解かすシステムを考案した。このシステムは技術的に十分可能であるが、実用化には、今のところ、コストがかかり過ぎるといわれている。

5.3 発電

積雪を冷熱源とし、地熱や工場排熱などを高熱源として、タービンをまわして発電する。能登らは、出力 220 W、熱効率 10 % を、また高橋らは、出力 890 W、熱効率 7 ~ 8 % を得た。

対馬は、高温側の加熱槽を下におき、冷熱源の凝縮槽を高所に置いて、槽内に溜まった凝縮液体を重力で降下し、下部の水車をまわして発電後、加熱槽にもどすシステムを提案し、熱サイホン発電とよんでいる。加熱槽と凝縮槽の落差が大きい程、発電能力が上がると思われるが、疑問が残されており、位置エネルギーを含めた、フロンエネルギーサイクルを検討することが望まれる。尚、この点について、会場で、甲藤教授からコメントを戴いた。

6. 集雪冷房システム

6.1 開発の経緯とシステムの概要

集雪冷房システムは、冬に豪雪都市内で除雪した雪を郊外に送って貯蔵しておき、夏に冷水にして逆送し、建物の冷房に用いようとするものである。昭和 53 年から検討がはじめられ、57 年から長岡技術科学大学で開発が行われている。

6.2 フィージビリティスタディ

このシステムの設置場所は、新潟県長岡市の信濃川東岸の 1.6 km² の市街地域とした。ここには、28700 世帯が住み、人口は約 10 万人である。ここに 5500 台の雪押込機をおき、総延長が 21.6 km の復配管をする。市街地から 6.5 km 離れた谷に、有効貯水量 300 万 m³ で、年間 150 万 t の雪を貯蔵するダムを建設する。その表面は 14.8 ha で、断熱のため、折版の屋根を葺くものとする。

このシステムの建設費の総額は1217億円と積算された。また、運転管理費は、総額12.5億円/年と見積もられた。これらの金額は、同種の施設である長岡市の下水施設と較べても、かなり高価であり、今後、大幅なコストダウンが必要である。

本システムの冷房能力は、長岡市の気象条件からみて、十分な量とみられ、夏期の冷房用電力は40%に減少する。さらに、このシステムの有する除排雪能力についても、満足すべきものであることが分かった。

6.3 雪押込機と雪水二相流の挙動

雪水の混合と管への押し込み方法、その機械構造、雪水二相流の管における、流動特性、圧力損失など、パイプによる雪の水力輸送にかんする、多くの基礎データがえられ、雪水が比較的取り扱いやすい二相流であることが分かった。

6.4 雪水貯蔵技術

ダムの中にある雪塊の取り扱い方法、表面の低コスト断熱法など、今後に残された大きな問題がある。

7. おわりに

「利雪」は、掛け声ばかり大きくて実体に乏しいと、眉をひそめる方もあろう。これには、本文でも触れたごとく、歴史的な流れもあることをご理解戴きたいと思う、今後は地道な努力を大切に、「豪雪の利用」を本当に姿あるものにしたいたいものである。

(4) 限界熱流束現象の研究の歩み

甲 藤 好 郎 (日大理工)

1. 序

第20回伝熱セミナーにお招き頂き、こうして皆さんの前で表記の題目についてお話ができるのは誠に光栄なことに存じます。なにぶんにも20年余にわたる仕事の話になりますが、今日は学生や非専門の方も聞いておられますので、基本的な考えの経緯だけについて、ごく分りやすくお話しをいたしたく思います。

2. 限界熱流束 (CHF) と流体力学的不安定

さてCHFは原子炉、超伝導、ロケットなどの設計や安全性に重要な現象ですが、私が研究を始める前の状況について、まず、次のスライドにみられるように、Kutateladzeがプール沸騰CHFに対して、気液二相の流れに基づく次元解析から無次元整理式を導いていた。これは偉大な研究だったと思います。

また次のスライドは、Zuberの解析で、ここでは無限に広い水平加熱面上のプール沸騰CHFにおいて、加熱面から上方に向かう蒸気と、逆に加熱面に向かう液体の定常対向流が次々に並ぶ形のモデルが仮定されています。そしてまず、このように上に液体、下に気体のある水平界面が、そのTaylor不安定波長で壊れるものとして上記の対向流のピッチが定められ、次にこの対向流の気液界面にHelmholtz不安定の生じる時が流れの限界、つまりCHFの発生になると考えるのですが、この解析から前述のKutateladzeの整理式とほぼ同じ結果が出てくるのです。

なお、これは私の研究時期と重なっていますが、ついでお話しておきますと、次のスライドはLienhardらの研究です。つまり彼等は、Zuberモデルの蒸気流の幅その他の寸法を少し調整することによって、有限の大きさの各種加熱面上のプール沸騰CHFへ拡張しました。そしてこうしてCHFの流体力学的不安定モデルは、世界的に随分有力なものになって行ったのです。

3. プール沸騰CHFに関する研究開始

ところで私の研究の最初の動機は、高熱流束下の核沸騰 (fully-developed nucleate boiling) 機構に視点がおり、この沸騰の加熱面近傍状態に関するWestwaterらの実験観

察から考えて、加熱面の近くに邪魔板を置く特殊な系の実験に一つの意味があると考えました。そしてその実験の中で、加熱面と邪魔板の距離、その他の条件によってCHFがいろいろに変化する状況が観測されたのです。

その為もあってか、私は初めからZuberのCHFモデルに何か不審をもちました。20年程前、私が著書“伝熱概論”を書いた時も、気液界面の波動について少し詳しく解説をする一方で、何かためらいを感じながらZuberの解析を第14章の終わりに入れた記憶があります（第15章に入れなかった理由でもある）。

ともあれ私は、以下の何枚かのスライドにもありますように、Zuberモデルにいう気液対向流の界面条件によってCHFが必ずしも支配されない状況を実験的にいろいろ観察いたしました。

4. 加熱面上の液膜の概念とその挫折

そして私たちは高速カメラで、各種プール沸騰系の高熱流束下の気液挙動について写真を取り分析を続けました。また透明な邪魔板を通して、CHF近傍の加熱面上の気液の状況を観察しました。そしてそれらを総合しつつ、いろいろの面から考えたあげく、加熱面とそのすぐ上方の蓄積蒸気塊の間に液膜があり、この液膜の消耗こそ飽和プール沸騰CHFの主な発生原因であるとの概念に至ったのです。

しかしこの概念に基づいてCHFモデルを確定する為には、液膜の厚さを決める物理的機構はなにかの問題に答えなければなりません。そこで今から10数年も前の事になりますが、私たちは水に接した多孔質板から空気を吹きだす形の模擬沸騰の状況下に、液膜厚さの変化の研究をしました。しかし統一的な状況把握には成功せず、つまり新しいCHFモデルの理論構成は挫折したわけです。ただ、これ以降暫くの間の研究において、蒸気塊、すなわち蒸気が加熱面上に蓄積し、やがて加熱面から離れて浮上する力学的状況が明らかになり、これはずっと後になってプール沸騰CHF解析（8節参照）に役立つこととなります。

5. 加熱面上への液体の人為的供給

さて前記のような挫折がありました。しかし、加熱面上の液膜の概念がもし正しいとすると、この液膜に液体を供給してやればCHFが上昇する筈です。その確認の為、普通の高熱流束プール沸騰時の加熱面上へ、細管を通して飽和液体を人工的に供給する実験を行い、CHFが確かに上昇することを観測しました。

そしてここまで来ると次のステップとして、外部から加熱面へ飽和液体を強制的に供給する

だけの系（つまり外部流の強制流動系）への移行は自然な道です。まず私たちは、前述の実験からの延長として、細いノズルや、薄く平なノズルからの液体噴流を受ける加熱面上のCHFの実験に入ったのです。そしてそのうち、何と、それらのデータの無次元整理の形を見出すに至りました。また次いで飽和液の強制流の中に加熱面を置いた時のCHFについても同様なことが確かめられました。

これらの結果は、従来、プール沸騰CHFにしか無次元整理式の無かった状態を打破拡張したことになります。ただ同じ頃Lienhardらは、ある考えに基づいて、飽和液流に直交する円柱加熱面のCHFに対し無次元整理式を提出しました（その考え方は後の8節で述べますが彼等はあくまで従来の不安定理論に沿うものとしています）。

G. チャンネル内の強制流動CHFの研究

さて必然の勢として、ここから私の研究は、さらに流路内の強制流動CHFに向かいます。ところで、沸騰や蒸発をとまなう加熱管内の二相流の状況は、次のスライドにも示すように、管軸方向に変化し、またその変化も各種条件によって変わります。そして従来、いくつかの代表的なflow patternとそこに生じるCHFの機構が議論されて来ましたが、CHF機構がほぼ明確なのは環状流の場合だけで、Hewittらやその他の人々の研究によって、加熱面上の液膜のdryoutがCHFの原因とみてよい状態でした。

ところでこのように複雑な内容を持つ内部流CHFについて、その発生機構を広い視野から見渡す前に必要なことは、多少精度は落ちてもいいから、まずCHF発生条件の一般的な把握（換言すればCHFの無次元整理）が出来ることだと考えました。なぜならCHF発生にかかわる一般的な規則性の確認なしに、CHF発生機構のまともな議論は難しい筈だからです。

もっともこれは、普通のデータ整理とはまるで違って、非常に困難な仕事でした。なぜなら例えば、次のスライドに示すように問題となる気液密度比の範囲が広く、その値の大小によって実験のおこなわれる条件範囲（例えばWeber数の値）がまるで異なって来るので、実験データ全体を貫く規則性が突に見出し難いのです。

しかし次のスライドは私たちの作った無次元整理と実験データとを比較したいくつかの例ですが、ここに用いられている無次元数は、実は前にお話した外部流CHFの無次元数の研究（5節参照）があったればこそ見出すことが出来たと言ってよいものなのです。ともあれ、これによって私は、各種の流体、実験条件下に行われた個々独立の実験を、かなり正当な姿で互に関係づけたり分離区別したりすることが出来るようになりました。また次のスライドに見るような両面不等加熱の二重管に生じるCIIFの特異状況の原因説明も可能になりました。

なお実験データの足りない箇所に対し私たち自身の実験も随分行いました。そのなかには、液体ヘリウムCHFの実験、また戸外で行ざるを得なかった非常に長い垂直円管内CHFの実験などもあります。ともあれ、コンピューターによる解析をも含め、流路内の強制流動CHFの研究に払った労力、時間は非常なものです、今日は時間の関係で省略する事にしましょう。

7. 再び加熱面上の液膜の状態とCHF

さて以上の様な、かなり広範な研究を経た後、改めてプール沸騰から各種強制流動系、その他を含めて代表的な沸騰系全体を総合的に眺めて見る時、CHF発生機構に関し、加熱面上の液膜の重要性がますます大になって来るのを痛感させられる訳です。

そこで私たちは、もう一度、液膜の挙動の詳しい研究にとり組むことにしましたが、その中でプール沸騰CHFのZuberモデルの再検討も行われました。もちろん実験観測からみたZuberモデルの種々の不審点については既に前に述べましたが、今度は解析の論理自体に含まれる問題点の事です。

すなわちZuberモデルでは(2節参照)、Taylor不安定は常に生ずるとされており、その不安定波長から対向流のピッチが決められています(なおこれは実験に合う)。ところが、Helmholtz不安定については、その不安定波長をア prioriに決めてしまい、それによって気液相対速度の限界値(つまりCHF)を求めているのです。流体に作用する力に相違はあるにせよ、もともと同質の不安定問題に、こうした異質の取り扱いが許されない所です。

8. Helmholtz不安定から生ずべきもの

とすると、Taylor、Helmholtzの両不安定を同質に扱う形で新しいプール沸騰CHFモデルを作る必要があります。そしてWestwaterらの実験観察(3節参照)によると、次のスライドに見るように、高熱流束沸騰では加熱面上に多数の微細な蒸気噴流が分布し、噴流上方に蒸気が蓄積されて大きな蒸気塊を成長させています。そこで私たちは、この蒸気噴流の気液界面に対してHelmholtz不安定を考慮(詳細は省略)、その不安定波長から限界液膜厚さ(加熱面上に存在出来る液膜の最大厚さ)を一般的な形で導きました。

この限界液膜厚さの概念は、それから派生するいろいろの物理量がWestwaterらの実験観察結果に矛盾せず、しかも高熱流束プール沸騰が蒸気塊の発生で特徴づけられる、その物理的原因をも明らかにします。

また次に、限界液膜厚さに基づくCHFの解析の事です、例えば以下の何枚かのスライドに見られるように、水平円柱加熱面のプール沸騰はもちろん、それに弱い強制流が加わった

場合、また強い強制流に直交する円柱加熱面に至るまで、CHF理論式が一応得られ、しかも従来のような経験定数や指数（実験データに合わせる為の）など使わずにそれが出来るのです。これらは従来の不安定モデルでは想像も出来ないことで、少なくとも自然に対しそれだけ素直な対応をしているからだと思います。最近アメリカでは、この限界液膜厚さを使って非定常加熱時のCHF解析を行い、実験データとの合致のよい研究もあるようです。

なお、飽和液流に直交する高熱流束円柱加熱面の沸騰では、その後流に平らなシート状の蒸気流が付着する状態になります。そして実は、LienhardらはZuberのCHFモデルをこの沸騰系に拡張しようとしたのですが、蒸気流がシート状のため出来ず、止む終えず蒸気流の運動エネルギーと気液界面の表面エネルギーとの単純な釣り合いによってHelmholtz不安定を置き換え、CHFを分析しているのです（4節参照）。ところで次のスライドは、上記のCHFが、円柱後流のシート状蒸気流ではなく、円柱上流側の液体流によって全面的に支配されている事を示す実験ですが、前述の限界液膜厚さに基づく新しいCHFモデルはこの実験事実にも合致するのです。

9. 限界熱流束現象の本質的な機構

さて皆さんには既におわかりのように、プール沸騰CHFに関する従来の古典的不安定モデルは、流路内の環状流の液膜ドライアウトCHFとまるで異質な機構であります。そしてHewittは、3,4年前の著書にそのことを肯定せざるを得ないような文章を記しています。古典的モデルが、CHFの原因を流力不安定に単純に直結してしまったために、こんな事になったのですが、前述の限界液膜厚さに基づく新しいCHFモデルは、その金縛りから我々を開放してくれます。

例えば次のスライドを見て下さい。これは、加熱円管内の環状流の液膜流について、そこに生じている蒸発、また中心蒸気流との間の液滴相互交換をコンピューターで精密に処理しながら、管端でのCHFを計算する方式ですが、管長が短くCHFが高くなると実験データと傾向がまったく合わなくなります。しかし、円管内に環状流が生じる点の初期液膜厚さに対して、前述の限界液膜厚さの制限を考慮に入れると、このように実験と傾向が合うようになります。

換言すれば、外部流CHF機構と内部流CHF機構は水と油の様に異質なのではなく、それらの間には、少なくとも限界液膜厚さを通して結合リンクが存在していることになります。またこれ以外にも、こうしたことを支持する例がいくつかあります。従って要するに、加熱面への液体の供給、および加熱面からの液体の削除、これらが流れ学、流体力学、熱力学などの諸法則に従って生じながら、加熱面上に液体が欠乏状態になる時CHFに至ると考えてよいも

のように思われます。ただ気液二相のからむ流れの状態は、条件によって多種多様であり、かつ一般に極めて複雑であり、また限界液膜厚さのように普通の流れ学では考えられないような現象も含まれている事を忘れてはならない訳です。

10. むすび

以上、今日はCHF研究のごく大筋をお話して来ました。なおそれ以外に最近のCHF研究の展開、その他の問題もありますが、これらについては近くサンフランシスコで開かれる第8回国際伝熱会議の私のkeynote lectureのペーパーを御覧頂ければと思います。

それにしても、この広路かつ複雑な現象の研究にとりかかって以来20年余、実に多くの人々の援助を頂きました。またZuberを初めとして偉大な先人の研究がありました。それらに対し心から感謝しつつ私の話を終わりにしようと思うのですが、この最後のスライドは皆さんご承知の孫悟空です。

これは孫悟空が、おしゃか様に自分の力を誇示すべく、さん斗雲に乗って世界の果てまで飛んで来て、そこの柱とおぼしきものに自分の名前を証拠として書いているところです。しかし実はおしゃか様の手のひらから一歩も外へ出ていなかったという訳です。

研究でも似た事情があります。最初、頭に浮かべるモデルが間違っただけであると、以後それに基づく解析、推理、実験、その他をどんなにしても本当に正しい結果には到達しない。つまり出発点となるモデルの正否は、おしゃか様の手のひらのように一見小さいが実は全体を包む重要なものなのです。そして私は、CHFの基本モデル、また広い条件下に首尾一貫した（coherentな）CHF発生原理を求めて人生の相当部分を消費し、今日はその探求の話をしたことになるのかもしれない。

（後記：もともと講演だけのつもりでありましたが、セミナー後、思いがけず編集委員長の黒崎先生からご依頼を受け、敢えて書いた原稿です。かなり長い話を短い紙数にまとめる努力をしました。しかし要点は入っているつもりです。なお、文中に出て来るスライド〔実際はOHP〕は本原稿に付けてありませんが、十分話はわかる筈と思います。）

(座談会：境界領域における伝熱研究の進展)

(1) 無重力場における伝熱研究の可能性

棚 沢 一 郎(東大生研)

1. 宇宙実験室の環境

当然のことながら、無重力場(あるいは微小重力場)における伝熱研究に対するニーズは、宇宙開発利用との関連から生じてくるものである。ただし、ここで言う「宇宙」とは、大銀河系全体にわたる広大な空間ではなく、その中のごく一部、すなわちスペースシャトルの軌道(地球表面から約300Km)、宇宙基地(同じく約450Km)、観測用人工衛星(約1000 Km)から高々人工衛星の静止軌道(約36000 Km)までの、いわば地球隣接空間を指す。

では、このような空間における環境条件はどのようにになっているであろうか。

*真空度：10 μ Pa (10^{-7} Torr) \sim 0.01 μ Pa (10^{-10} Torr)

*太陽放射：1350 W/m² (直進) + 地球表面よりの反射(アルベド)

*温度：発熱・放射の熱平衡からきまる。深部宇宙空間の温度は3 K \sim 4 Kと言われている。

*重力加速度：地球隣接空間における慣性系での重力速度 g は、近似的に

$$g = \left(\frac{\text{地球半径}}{\text{地球半径} + \text{地表からの距離}} \right)^2 g_n$$

ただし、 g_n は地球表面での重力加速度

したがって、300 Kmでは 0.91 g_n

1000 Kmでは 0.75 g_n

36000 Kmでは 0.02 g_n

衛星あるいは宇宙基地上では、これに遠心力の効果が加わって $10^{-5} \sim 10^{-6} g_n$ が期待される。しかし、実際には各種の原因による加速度擾乱があってマイクロ重力 $1 \mu g_n$ の達成は難しい。

2. 重力加速度のレベル

図1は、いろいろな手段によってどの程度の微小重力状態が得られるか、その持続時間はどの程度かを示したものである。

もっとも簡単に微小重力が得られるのは、高い建物（塔）から物体を落下させる場合である。落下の通路を真空にすることができればなおよく、 $10^{-6}g$ 以下の加速度も実現可能であるが、持続時間は数秒に過ぎない。航空機やロケットによる方法は、落下塔の高さをずっと高くすることに相当するが、それでも持続時間は数分どまりである。これらに較べて、スペースシャトル内の実験室（スペースラブ）や宇宙基地の条件は格段に良いものとなっている。

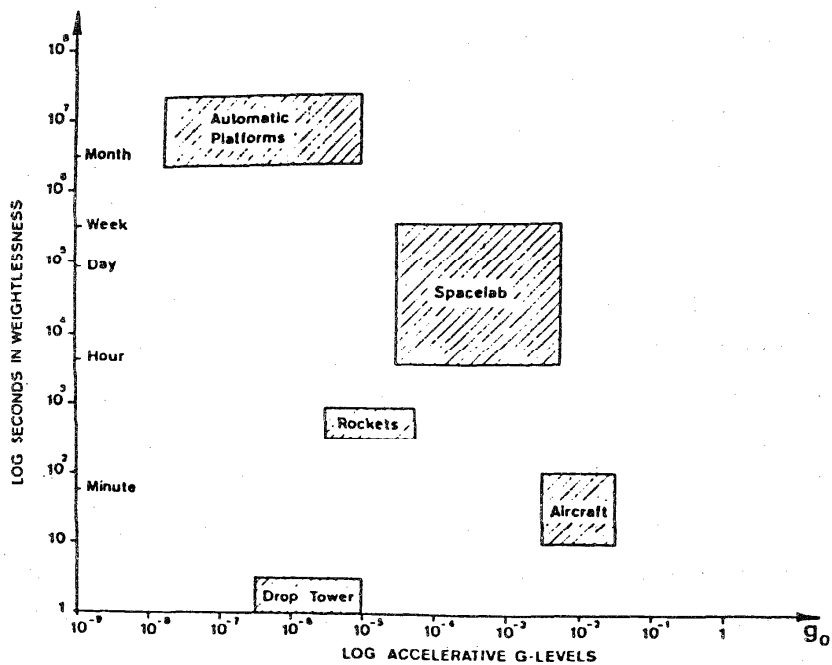


図1 諸方法によって得られる重力加速度の大きさと持続時間⁽¹⁾

3. 無重力場での現象

微小重力場でどのような現象が起こるかは、まさしくこれらの研究の対象であるが、誰でもがまず考えるのは、まず物が浮遊するということ、また流れについては浮力が働かなくなるため地

上のような密度差対流が生じなくなるということであろう。そして後者に関連しては、表面張力効果の相対的な増大が起こる。

ちなみに、伝熱現象を支配する無次元パラメータのうち重力加速度を含むものを列挙してみる。

$$\begin{aligned} \text{グラスホフ数} \quad \text{Gr} &= \ell^3 g \beta \Delta \theta / \nu^2 \\ \text{レイリー数} \quad \text{Ra} &= \text{Gr} \cdot \text{Pr} \\ \text{凝縮数} \quad \text{Nc} &= h (\nu^2 / g)^{1/3} / \lambda \\ \text{ボンド数} \quad \text{Bo} &= \ell^2 g (\rho_l - \rho_v) / \sigma \\ \text{フルード数} \quad \text{Fr} &= u^2 / (g \ell) (= \text{Re}^2 / \text{Gr}) \end{aligned}$$

*その他重要な無次元パラメータ

$$\begin{aligned} \text{ウェーブ数} \quad \text{Wo} &= u^2 \ell / \sigma \\ \text{マランゴニ数} \quad \text{Ma} &= \Delta \sigma \ell / (\mu \kappa) \end{aligned}$$

4. これまでの無重力実験の例

今から20年近く前アポロ打上げにいたる数年間、いわば宇宙開発の第一次ブームとでも呼びうる時期があり、かなりの量の実験報告が出された。いずれも落下塔や航空機によるものである。表1は、そのような例の1つとして、プール沸騰実験のリストを示したものである。

米国におけるスペースシャトル実験計画が開始されたこと数年来の世界の情勢は、第二次宇宙研究ブームとも呼べるものである。国外・国内において宇宙実験を主テーマとする学会が頻繁に開催されている。このような学会での発表テーマの中には、微小重力下における伝熱・流動を扱ったものも多く見られる。(その例として、伝熱セミナーのテキストには 5th European Symposium on Material Sciences under Microgravity のプログラムの一部を転載したが、ここでは割愛する。)しかし、日本におけるこの分野の研究は著しく立遅れの状態にある。

表 1⁽²⁾ 微小動場におけるプール沸騰実験

Authors	Ref.	Reduced gravity facility	Liquid	Liquid condition	Test section geometry	Test section material	Means of heating	Gravity range, %g	Test duration, sec
Siegel and Usiskin	(36)	Drop tower	Distilled water	Saturated	Beaker	Glass	Hot plate underneath	~0	0.7
					Horizontal and vertical ribbons: 0.006 in. thick, 0.125 in. wide, 0.75 in. long	Nichrome	Alternating-current electricity		
Usiskin and Siegel	(37)	Drop tower 9 ft high; counter-weighted	Distilled water	Saturated	Horizontal wire: 0.0453-in. diam, 2.5 in. long	Platinum	Direct-current electricity	~0-1	0.75 for zero gravity
					Horizontal ribbon: 0.010 in. thick, 0.2 in. wide, 2.5 in. long	Nickel			
Sherley	(38)	Drop tower	Liquid hydrogen	Saturated	Horizontal thin film: 2-sq. in. area	Lead	Direct-current electricity	~0	1
		Airplane						0	15
Merte and Clark	(39)	Drop tower 32 ft high; counter-weighted	Liquid nitrogen	Saturated	Sphere: 1- and 1/2-in. diam	Copper	Heat storage of sphere test section	~0.01-1	1.4 for zero gravity
Clodfelter	(40)	Drop tower 55 ft high	Distilled water	Saturated	Horizontal wire: 0.020-in. diam	Platinum	Direct-current electricity	~0.01	1.85
Siegel and Keshock	(5)	Drop tower 12.5 ft high	Distilled water, ethyl alcohol, 60% aqueous-sucrose solution	Saturated	Horizontal and vertical wires: 0.0187-in. diam, 1.5 in. long	Platinum	Direct-current electricity	0.014	0.9
Lewis <i>et al.</i>	(41)	Drop tower 31 ft high; counter-weighted	Liquid nitrogen	Saturated	Sphere: 1/2- and 1-in. diam	Copper	Heat storage of sphere test section	<0.002-1	1.4 for zero gravity
Hedgepeth and Zara	(42)	Airplane	Water	Saturated, becoming subcooled during test	Vertical U-tube immersion heater: 7-7/16 in. long, 5/16-in. diam	Probably stainless steel	Alternating-current electricity	0	9-17
Schwartz and Mannes	(43)	Airplane	Distilled water	Saturated	Horizontal ribbon: 2.75 in. long, 0.25 in. wide, 0.005 in. thick	Nickel-chromium iron alloy	Direct-current electricity	0.03-1	8-10
Rex and Knight	(44)	Ballistic missile	Propane (C ₃ H ₈)	Saturated (pressure gradually increasing)	Spherical tank: 25.4-cm diam	Steel	Direct-current electricity	<4.5 × 10 ⁻³	220
Papell and Faber	(45)	Magnet	Colloid of magnetic iron oxide in normal heptane	Saturated	Horizontal ribbon: 1/16 in. wide, 1 in. long	Chromel	Alternating-current electricity	~0-1	Steady state

5. 第一次材料実験 (FMPT)

日本における最初の大規模な宇宙実験計画は表2に概要を示したような宇宙開発事業団による第一次材料実験 (FMPT; First Material Processing Test)⁽³⁾である。このプロジェクトは当初、1988年2月頃に打上げが予定されていた米国のスペースシャトルの一部を借りて行われる手筈になっていたが、先般のスペースシャトル爆発事故のため、少なくとも2年程度は遅れることになるらしい。

その名の通り、FMPTは宇宙における材料製造技術を開発するための基礎実験であるが、その中にはいくつか伝熱・流動に関する基礎実験も含まれている。例えば、石川島播磨重工と筆者らは共同実験として「マランゴニ対流の実験」を提案しているが、これは液柱表面における表面張力の不均一分布によって生ずる対流を無重力下で観測しようというものである。しかし、あえて言うならば、FMPTにおける伝熱・流動実験はほとんどが冗戯に類するものに近い。来るべき宇宙時代に備えて、われわれはもう少し意味のある高度な研究計画を考えるべきではないだろうか。

6. 将来の方向への提案

将来の研究の方向については、今後衆知を集めた議論が必要であろうが、考えられる方向を二つ挙げておく。

- (1) 材料実験からの脱脚
- (2) 宇宙開発利用技術の将来の発展を見越し、具体的問題点に基づいたテーマ選択。例えば宇宙基地のエネルギー供給システムに関連したテーマ (ソーラーランキンエンジン、ソーラースターリングエンジンなど)

文 献

- (1) Malmejac, Y : Proc. 4th European Symp. on Materials Sciences under Microgravity, esa SP-191 (1983), 13.
- (2) Siegel, R. : Advances in Heat Transfer, Vol. 4 (1967), 144.
- (3) 宇宙開発事業団で作成したパンフレットによる。

表2 第一次材料実験の概要

■計画の概要

実施予定時期 昭和62年度末
 規 模 スペースラブ与圧室1/2~1/3借り切り
 実験内容 材料実験、ライフサイエンス実験、宇宙開発基礎実験
 期 間 7日間
 搭 乗 員 搭乗員のうち1名は日本人ペイロードスペシャリスト

■スケジュール

項目	年	79	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	88
	年度	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
マイルストーン		募集	一次選定	実験テーマ		二次選定	募集 一次	二次選定 二次 三次	四次	実験機 NASA へ輸送	FMPPT
研究 設計 試作/開発 インテグレーション 及び運用 地上設備 ペイロードスペシャ リスト関連											
		研究及び準備				選抜			訓練		

●材料試験	
電 子 材 料	オプトエレクトロニクス(光通信)、高性能コンピュータ用材料として応用が期待される多元系化合物半導体、アモルファス半導体、超電導材料が得られます。
光学・レーザーガラス	光通信用ファイバー、大出力レーザー発振子として応用が期待される超高純度ガラスが得られます。
合金・複合材料	軽量・高強度材料として多方面への応用が期待される特殊合金、複合材料が得られます。
基礎実験	地上では確認できない諸現象についての説明が期待されます。

●ライフサイエンス実験	
バイオテクノロジー	新医薬品等に応用が期待される純粋生体試料の分離・精製培養等が行われます。
生物学・医学実験	生物学・医学に関する基礎実験が行われ地上医療技術等への波及が期待されます。

●宇宙開発基礎実験	
有人サポート技術	宇宙環境に対する日本人の生理的变化を観察し、今後の我が国の宇宙開発を進めるに当たっての有人宇宙活動の基礎資料とします。
そ の 他	今後の宇宙工場等への発展のために必要な基礎技術を確認するための各種工学実験を行います。

(2) 物理と化学の境界における凝縮

小竹 進 (東大工)

凝縮現象としては、一般に、

気体 → 液体、 気体 → 固体、 液体 → 固体

が考えられるが、ここでは話を簡単にするために、気体 → 液体、固体の凝縮について考えることにする。凝縮するということは、気体分子がお互いに相互作用を及ぼしあうほどに寄り集った集団ができ、さらにその集団の集まりができることである。一方において、化学反応は分子がお互いに寄り集まって相互作用を及ぼしあい分子間の結合関係が変化することである。したがって、化学反応の場合も、必ず分子の寄り集まる過程、一種の凝縮過程が存在することになる。弱い化学反応の場合や凝縮反応を詳細に制御しようとする場合は、こうした物理的な凝縮と化学的な凝縮との中間的な凝縮が大きな問題となる。これらは、エアロゾルなどの大気中での化学凝縮現象や分子原子の配列や成分濃度を超精密に制御しようとする新素材材料や機能性薄膜の生成などの先端技術において大きな問題となりつつある。ここでは、こうした物理と化学の境界での凝縮現象についてその基礎的な問題について考えてみることにする。

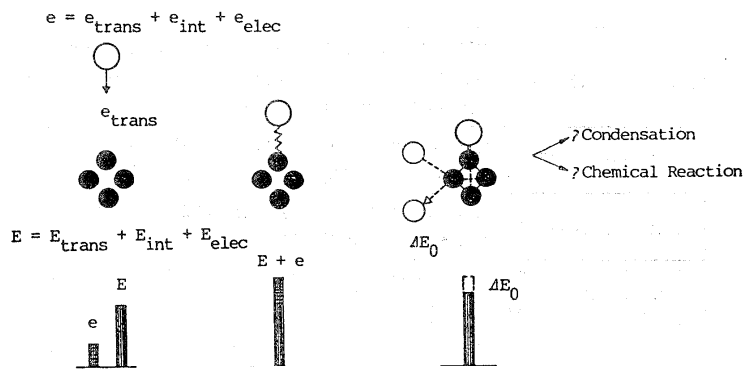


図1 凝縮？，化学反応？

? - 凝縮

多くの場合、気体凝縮は核となる分子集団（臨界凝縮核）が生じて、その周りに気体分子が集まり凝縮体に成長していくものと理解されている。しかし、もう少し基本的に考えると、つぎのような素朴な疑問が生じるであろう。

1) どのような状態のときにこのような現象が起きるのか？

気体を冷却していくとこのような凝縮が起こることは経験的にわかっているが、冷却するということは個々の分子にとってどう言うことなのだろうか。

2) そのとき気体分子はなぜ集団にならなければならないのか？

冷却され運動エネルギーが減少した気体分子はどうしてそのままのバラバラの状態を保たずに集団になるのだろうか。

3) また、そのとき気体分子はどのように集団になるのか？

気体分子が集団になるときに、その運動エネルギーはどのようになり、その集団での分子の結合関係(分子構造)はどうなるのだろうか。

立場を変えて凝縮現象を考えると、凝縮は気体分子系のエントロピーが減少する現象であり、なぜどのようにエントロピーが減少するのだろうかという疑問にもなる。

簡単のために、原子構造を持たない希ガス分子について考えてみる。この場合、分子と分子を結びつける力はファンデルワールス力である。この力は分子を構成する電子の運動(位置)の瞬間的な傾寄り(分極)により生じる電磁力である。しかし、この力はポテンシャル力であるので、分子と分子がこの力により近づいたとしても振り子運動のようにまた遠ざかってしまう。気体の状態での個々の分子のエネルギー(運動エネルギーのみとみて良い)を E_{mol} ($=\sqrt{2mV^2}$)、分子と分子が近づいた状態での分子の運動エネルギーを E_{kin} 、ポテンシャルエネルギーを E_{pot} とすると、

$$E_{kin} + E_{pot} = E_{mol}$$

一般に、分子と分子を近づいた状態に保つためには、接近した状態で何らかの方法でこの E_{kin} 、したがって E_{mol} を減少させ、分子がポテンシャル障壁 E_p^* ($\approx |E_{pot}|_{max}$) を乗り越えて遠ざかるのに必要な運動エネルギーを与えなくしてしまうことである。

$$E_{kin} - \Delta E_{kin} < E_p^*$$

このエネルギー (ΔE_{kin}) を減少させるところが凝縮の最大のキープポイントである。その機構としてはつぎのものが考えられる。

- 1) 第3体の分子の運動エネルギーに変換する
- 2) 相手分子集団の内部エネルギーに変換する
- 3) 相手分子の内部エネルギーに変換する
- 4) 相手分子集団の電子エネルギーに変換する
- 5) 相手分子の電子エネルギーに変換する

このうち、1) - 3)がいわゆる物理的な凝縮であり、4) - 5)が化学的な凝縮ないし化学反応である。この順序に、変換に必要なエネルギーレベルは大きくなり、エネルギー変換は困難になり、現象としては一般に起こりにくくなる。

第3体分子の運動エネルギーに変換する場合は、凝縮する分子のエネルギーレベルは低くなるが、第3体分子の温度は高くなる。したがって、この第3体分子の運動エネルギーを除去して、その温度を低くする必要がある。これが冷却過程である。分子集団（クラスター）の内部エネルギーに変換する場合でも、クラスターの温度は高くなり、クラスターから蒸発する分子の温度は高くなる。この場合もこの分子の温度を低くするために冷却する必要がある。

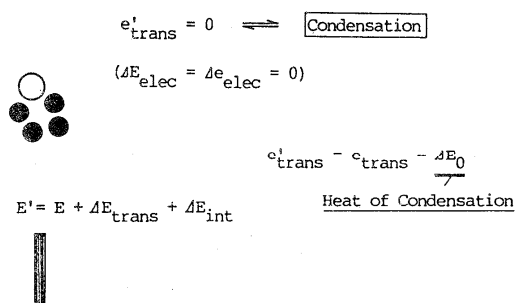


図 2 凝 縮

？ - 反応

一般に、化学反応とは分子と分子がそれぞれの電子軌道を交換しあい構成する原子の結合関係を変化させることである。分子の電子雲が重なるためには、分子と分子が十分に接近しかつ関与する電子のエネルギーレベルが十分に上がる必要がある。すなわち、分子は、接近に必要な十分な運動エネルギーと電子エネルギーレベルを励起するのに十分な内部エネルギーを持っていないなければならない。こうした分子衝突のエネルギーレベルは、電子運動の相互作用がない物理的な凝縮の約 10 - 100 倍のオーダーである。したがって、単なる凝縮において化学反応的な作用が働くことはない。しかし、十分な内部エネルギーを持った分子、あるいは十分に低い励起エネルギーを持つ分子の凝縮においては、電子雲の重なりが生じ、原子の結合関係に影響が現われ、化学反応が起こることになる。

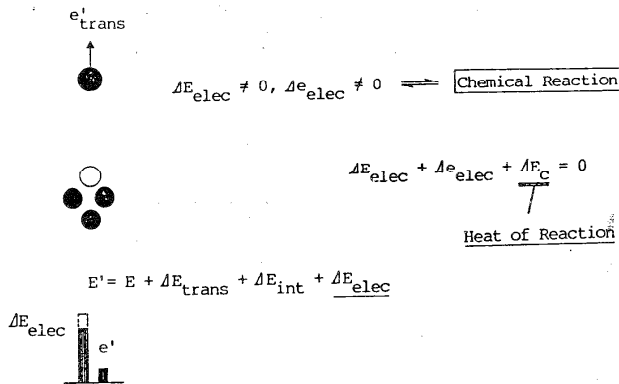


図3 化学反応

？-凝縮へ反応

最近の光学技術を利用すると分子の内部エネルギーを十分に励起することが可能である。例えば、特定の波長の赤外、可視、紫外のレーザー光を用いて分子の回転、振動、電子のエネルギーレベルを適当に励起することができる。したがって、このような内部温度の高い、並進温度の低い分子の系においては、物理的な凝縮と化学的な反応が並列して進行することになる。各々の特性時間を τ_p 、 τ_c とすれば、それらの大小により

- 1) 反応が進んでから凝縮が起こる ($\tau_c < \tau_p$)
- 2) 反応と凝縮が同時に進行する ($\tau_c \approx \tau_p$)
- 3) 凝縮の後に反応が起こる ($\tau_c > \tau_p$)

場合に分けることができる。極端には、1)の場合は反応生成体の凝縮、3)の場合は凝縮体の反応とみることができる。問題は2)の場合である。励起した分子を用いる場合、その励起の特性時間を τ_e とすると

$$\tau_p \approx \tau_c \approx \tau_e$$

であることが必要であり、エネルギー的には励起エネルギーを E_{ext} 、反応エネルギーを E_{rct} とすると

$$E_{kin} > E_{rct} \quad (\text{凝縮の条件})$$

$$E_{ext} > E_{rct} \quad (\text{反応の条件})$$

を満足する必要がある。超薄膜や新素材などの生成には、さらにこれらの凝縮や反応をどの程度

に進めるかあるいは抑えるかという動的な制御が大きな問題となる。こうした静的および動的な条件がはっきりすれば、この分野の技術は大きく進歩するのであろうが、現在のところ基礎的な研究が少なく場当たりの技術のみが先行しているのは残念である。

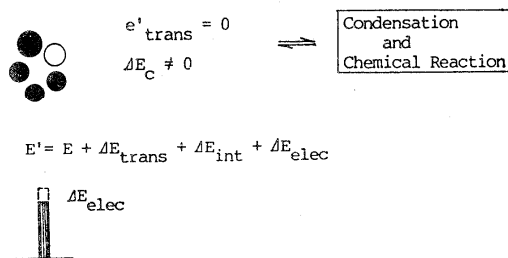


図4 凝縮 + 化学反応

(3) 流動層の熱交換器への応用

渡辺 吉典 (三菱重工・名研)

セミナー2日目の「境界領域における伝熱研究の進展」の中で、「流動層の熱交換器への応用」と題して話す機会を与えて頂き、更に今回、「伝熱研究」に寄稿の依頼を受けました。以下に、当日お話ししました要点とセミナー雑感について述べさせていただきます。

現在、空冷式熱交換器において、高性能化によるコンパクト化を図る為には、フィン側伝熱性能の向上が重要なポイントになる。フィン側の伝熱性能は圧力損失を低く抑えた種々の高性能フィンパターン（主に、前縁効果を利用したルーバー、スリットフィン等）が多用されている。しかし、これらのフィンは空気流れ方向に沿って多くの前縁を加工しているが、加工上のバラツキは避けられず期待した性能が得られない事が多い。又、微細なフィンを加工する上での限界もあり、今後大幅な高性能化は期待できない。

そこで、粒子の激しい混合効果により高性能化が期待できる流動層を、空冷式熱交換器へ応用することが考えられる。流動層を熱交換器に応用する場合、従来から報告されているように高い熱伝達率が得られる反面、高い圧力損失が問題であり、空冷式熱交換器に即応用を図る事は困難である。著者らは流動層型熱交換器を空冷式熱交換器に応用するためには、圧力損失の大幅な軽減と同時に高い熱伝達率を維持することが重要と考え基礎的研究に着手しており、今回のセミナーで研究の一端を紹介させて頂いた次第である。

流動層は、固体粒子と流体を接触させる方法の中でも極めて特色のある操作である。流動層においては、粒子に働く流体の抗力と粒子の自重とがバランスし流動化する。液体流動層は粒子と液体の密度比率がせいぜい数倍であるため均質流動層と呼ばれるが、ガス体流動層はその比率が 10^3 のオーダーでありガスの気泡化、チャネリングを伴うため固体の激しい動揺によって特徴づけられる。このため、流動層が粒了層の乾燥、冷却を始め石油や石油化学の関連等、工業上広く応用されている。特に、流動層内に埋設された熱交換器と固体粒子との伝熱係数は、粒子の良好な混合により極めて高く、最近では省エネルギーの観点から流動層ボイラー、排熱回収等への応用が計られつつある。

最近の20年で、文献の多くが流動層の工業への適用として、化学反応、物質伝達、伝熱、流体力学を取り扱い蓄積されてきた。

従来、多くの研究はその応用面から決まる比較的高密度な粒子（砂、ガラス粒子等）を対象にし、静止層も高いため大部分が気泡系流動層型熱交換器を取り扱っており、気泡による粒子の混合により高い熱伝達特性を示す反面、その大半が高圧損タイプ（ $10^3 \sim 10^2$ paのオーダー）であった。流動層の熱交換器への応用として、良好な熱伝達特性を維持して低圧損化を計ることが出来れば工業上の利用範囲は極めて広がる。

セミナーでは、従来、実施された気泡系流動層型熱交換器の研究の一端として

- ①流動粒子と流体間の熱伝達特性…実験と理論的モデル
 - ②流動粒子と伝熱面間の熱伝達特性…理論的モデルと実験的研究（単一水平管、水平管群、及びフィン付き管群）
- を紹介した。

次に、著者らの実施した圧力損失の軽減が期待できる浮遊系流動層型熱交換器の基礎的研究に付いて述べ、最後に流動層の熱交換器への応用として、現在多用されている拡大伝熱面を用いたコンパクト型熱交換器と対比し、その可能性について総括した。

気泡系流動層型熱交換器の研究については、高い熱伝達機構を解明しようとする理論的、及び実験的研究も多く、その多くが、伝熱面周りの気泡により激しく流動化する粒子に着目した理論的モデル化、及びその検証実験からなる。理論的モデルとしては、伝熱面に瞬間的に粒子集合体が接触し非定常熱伝導により熱伝達を行うとする、いわゆる粒子集合体更新モデルが発展されて来ている。しかし、これらモデルは、熱伝達率を決定するための関係因子（伝熱面での気泡接触時間割合、及び粒子残留時間等）の規定法が難しく、実験により決定せざるをえなく、結果的には先に述べた熱交換器の基本形については、流動化開始以降の広い流速範囲に渡る平均、及び局所熱伝達率を統一して予測できるまでには至っていない。又、粒子集合体更新モデルで取り扱う

熱伝導率は熱伝達率に直接的に影響するが、このことを実験的に証明したデータも少ない。以上述べたことから、気泡系流動層型熱交換器の伝熱機構として、新たな伝熱機構モデルの必要性を示唆していると思える。

従来、気泡系流動層型熱交換器においては、流動開始速度以降に、層内温度が一様になることが実験的に判っており、熱交換器の上部にある流動粒子の伝熱促進効果は疑問である。また、既述した圧力損失の軽減からも、分散板を起点にした粒子充填高さ（静止層高と呼ぶ）を、熱交換器高さのレベル以下にした浮遊系流動層の適用を提唱した。従来多く用いられてきたガラスビーズの $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{8}$ の低密度を有する中空ポリスチレン球を使用した一列管群の基礎的研究を中心に紹介し、伝熱促進効果を単相対流熱伝達率に対する増加率で示し、6倍弱（円管ピッチ30mm）の増加率が得られたことを報告した。

気泡系流動層では伝熱面周りの粒子を気泡が激しく混合することで特徴付けられているが、浮遊系流動層では、流動層表面が沸騰もどきの波打ち現象を呈し、個々の粒子が伝熱面周りを浮遊しながら流動することから、現象的ではあるが両者の形態は大きく異なる。

浮遊系熱交換器を、現用のコンパクト型空冷式熱交換器の性能に匹敵させるためには、浮遊系の伝熱機構を明らかにすると共に、特に、最適伝熱面形状の究明と低圧損失分散板形状の研究が必要である。

ここで、セミナーに参加した感想について述べさせていただきます。

セミナー通して、諸先生方、企業の方と伝熱の諸問題について活発な意見が交換され、諸先生から企業の方とは違う意見が出され非常に参考になりました。このような意見の交換の場を通じて、お互いに知り合いになり、相互の伝熱研究がさらに発展することを心から念じます。まだまだ企業の方の参加人数が少なく、今後、企業内の若い人達の積極参加を推進して行きたいと思います。

最後に、久我先生をはじめセミナーの準備、運営に大変御苦労された諸先生方、又、良い機会を与えてくださった平田先生に深く感謝致します。

(4) 半導体製造と伝熱

福 山 佳 孝（東芝総研）

今回の伝熱セミナーでは、境界領域における伝熱研究の進展と言うことで時間をいただき掲記の題目で話をさせていただいた。最近では半導体の製造に関連して種々の伝熱の問題が議論され

ている。その多くは最適な製造条件がどの様にしたら実現できるかを問題としており、解決手段としては実験よりも、任意の境界条件を設定できる数値解析に期待が寄せられている。

以下、単結晶製造を例に取り概説させていただく。

半導体デバイスは1948年にShockleyらによりGe(ゲルマニウム)トランジスタが発明されたのを初めに、以降40年足らずの間に、Si(シリコン)結晶デバイス技術によりIC、LSIからVLSIへと開花してきた。特に、DRAMに代表されるシリコン半導体メモリは、デザインルールの微細化とともに3~4年毎に集積度が4倍となる急進歩と低価格化によりICの利用幅と使用量の増大に貢献し、生産高が全世界で年間100億ドルに達する産業となった。半導体デバイスの製造は数多くのプロセスとそれを支える先端技術より成るが、伝熱と流れが重要な役割をはたすキー技術の一つに単結晶基板材料の製造がある。

半導体デバイスはSiを材料として発達し、無転位の大口径結晶(6~8インチ)が引上げ法(CZ法=Czochralski Method)や浮遊帯法(FZ法 Floating Zone Method)で生産されている。将来的にも半導体材料の主流はSiであり続けると思われるが、Siデバイスには無い特性を利用するため、GaAs(ガリウムヒ素)を化表とする化合物半導体の生産も工業的レベルに引上げられようとしている。

周期律表のIV族の元素Ge、Si等はそれ自体半導体的性質を示し真性半導体と呼ばれる。IV族を挟んだIII族とV族やII族とVI族の化合物も半導体的性質を示し、これらは化合物半導体と呼ばれる。化合物半導体の一つGaAsはSi半導体に比べて次のような特徴を持つ。①動作速度が速い。②高温でも動作する。③光-電気の相互変換作用を持つ。④耐放射線性が高い。⑤磁場に敏感。中でも、①と②の特徴はコンピュータの高速化に必要な素子の条件であり、③は光通信、光コンピュータや高性能太陽電池につながる有用な点である。

GaAsは上記のように多くの利点を持つが、Siに比べて格段に細かい製造技術を必要とするために工業化が遅れている。GaAsは反応性が高く不純物を取込み易いGaと蒸気圧が高く融液や結晶から逃げ易いAsの化合物であるためにストイキオメトリ(化学量論的組成)の結晶が作り難く結晶欠陥が生じる。又、純粋なGaAsの臨界せん断応力は融点、1511Kの近くではSiの数100分の1と極めて低く、800K程度の温度でも転位が充分運動するため、結晶製造中や熱処理中に熱応力に起因する転位が発生しやすく、結晶の無転位化が非常に困難と言われている。

GaAs単結晶製造方法としては、雰囲気のAs圧力を高くしてAsの逃げを押えたポート法か、GaAs融液の表面を液体ガラス(B₂O₃)で覆ってAsの逃げを防ぐCZ法、LEC法(Liquid Encapsulated Czochralski Method)が主に用いられるが、現在では大口

径の半絶縁性結晶の製造方法としてはLEC法が有力であるとされている。

LEC法は原料のGaとAsを石英やPBN（窒化ボロン）製のつぼに入れ、つぼ周囲からカーボン製ヒータで加熱し、融液表面を B_2O_3 で封止して、上方から回転及び引上げ可能に支持された単結晶を種としてエピタキシャル成長させる方法である。GaAsの結晶成長は数〜数10気圧、融点1511Kを含む温度圧力域で行なわれ、①雰囲気ガスへの対流伝熱 ②融液の対流と伝熱 ③ B_2O_3 の対流と伝熱 ④雰囲気ガスに露出する部分の放射伝熱の釣合い ⑤ヒータの温度（発熱量）分布及び配置等が熱の流れを決める重要な因子となる。

結晶が成長し（軸方向温度勾配の発生）、結晶外径が一定に保たれる（半径方向温度勾配の発生）条件内で熱応力の大きさとその分布を減少する事が結晶欠陥の減少につながる。よって、ヒータで発生した熱が、GaAs融液や結晶の内部をどのように流れてヒートシンクに至るかを定量的に知る必要があり、上記した①〜⑤の要因を考慮して熱源や熱抵抗の配置を最適化するシミュレーション技術が必要とされている。最近では有限要素法等を使用したソフトウェアによる解析が行なわれ始めているが、現実には成立たない軸対称性を仮定しても結晶成長の初めから終わりまで結晶形状や融液深さ等の幾何学的形状の変化まで含めて詳細な解析をする事は不可能に近い。よって現状では理想化した境界条件の下で数値解析を行ない、単結晶特性との比較から転位発生メカニズム等の検討を行なうに止まっているが、これからは間違いなく発展する分野であると思われる。

LEC法ではつぼ容量を変化し比較的容易に大口径の半絶縁性の単結晶を得られる。但し、転位の絶対量の減少と分布の改善を問題とするとき、ヒータの熱入力だけで大形の炉の結晶温度や温度勾配を精密に制御するのは非常に困難で、熱的境界条件の最適化だけでなく、システムとしての制御性の向上も含めた評価方法が必要とされている。

引上げ装置の大形化に伴い融液（低プラントル数流体）に発生する自然対流が急速に激しくなり、流れ構造や速度変動に起因する融液組成や温度の変動が無視できなくなる。これらは、結晶内部に組成の変動を生む原因となり、組成の分布は例えばチップ毎の特性のばらつき、歩留りの低トを生む。よって、製造装置では、流れのパターンを制御する方法として（環境条件を均すためもあるが）結晶やるつぼを数〜数10rpmで回転させる方法が経験的に採用されている

計算機の能力の向上に伴い半導体融液中の流れ解析も精力的に行なわれるようになってきたが、現状では複合対流等の解析はブリディクションには使用できずデバイス特性の分布等を説明するための付加的情報を与える物といって良いだろう。但し、数値解析は実験的に取扱い難い条件をも計算機上で実現できるからツールとしては非常に重要な物であり、実験結果との比較を進めながら、将来的には数値実験的にブリディクションを行なえる物に発展していくと考えられる。と

ところで、数値解析を行なうためには物性値が必要であるが、G a A s等の化合物半導体材料では信頼度の高いデータが得られておらず、この点もネックとなっている。

流れ自体を抑制するために数 1000 ガウスの磁場を印加する M L E C 法 (Magnetic field Applied L E C Method) はるつぽの大形化に対応する方法として導入された。確かに温度変動が抑制され、結晶組成変動を示す縞模様も生じず、不純物濃度分布も改善される。これは融液の流れの影響が確かに強く存在する事を示す一例である。

半導体製造技術は急速な進歩を遂げた最先端技術の一つとして、また最近では貿易摩擦の元凶としても知られている。しかし、ハイテク産業といわれる反面、“半導体製造は農業である”、“半導体製造は芸術である”とも言われる部分があり、これらは職人の経験と勘に依存する現在の半導体製造の状況を言当てているのではないだろうか。

流れと伝熱はデバイスや材料の性能という面では、これまで、あまり重要視されなかった部分であったが、デバイスや材料への要求の高度化に伴い製造上のパラメータが増加し適正な製造条件がより狭い範囲となってきたために重要性が認識され始めている。例えば新しい材料を対象とする場合に、重要なパラメータの抽出とその影響程度の予測が不可欠となり、数値解析にその役割が期待されている。対象となるのが複雑な流れと熱的環境であるため、容易には精度の高い解析は行なえないのが現状であるが、半導体製造を工学とするためにも実際的な系を対象とした熱流体の数値解析の進歩が望まれている。

データや解析例などを紹介することはできなかったが興味をお持ちの方は Journal of Crystal Growth 等の文献を参照していただきたい。

最後になったが今回講演の機会と美味しいワインを用意していただいた伝熱セミナー準備委員会の諸先生方、不慣れな講演を御静聴いただいた参加者諸兄に感謝の意を表す。

(5) 原子炉の熱的限界評価法

内 藤 止 則(日立エネ研)

原子炉の熱的限界を考える場合、原子炉のタイプによって考慮すべき現象が異なる。例えば、液体金属を冷却材として使う場速炉においては、燃料表面の熱伝達率が非常に大きく、熱的限界は冷却材の沸騰を防止するという条件によって決まる。また、気体を冷却材にするときは表面の熱伝達率が重要な制限条件になる。沸騰する水によって燃料を冷却する沸騰水型原子炉(BWR)では、核沸騰熱伝達率が非常に高く、熱的限界は熱伝達率が急減する現象、いわゆる限界熱流束(沸騰遷移)によって決まる。ここでの主題は、BWR条件下の沸騰遷移現象に限ることとする。

1. BWRの運転条件と沸騰遷移現象

BWRの燃料集合体は図1に示すように多数の燃料棒を正方格子状に束ねた形をしている。現在広く使われているのは8×8型のものであるが、集合体中央部に中性子の減速を良くするために单相の水を流す管を置いているため、燃料棒数は62本である。集合体内では、燃料棒の間隔を維持するために、図2に示すようなスペーサが設置されている。スペーサは炉心の圧力損失特性だけでなく、限界熱流束にも影響することが知られている。

表1に現在使われている代表的な集合体の仕様を示す。但し、寸法は設計の改善により少しずつ異なっており、表の値は概略値である。集合体1体当りの平

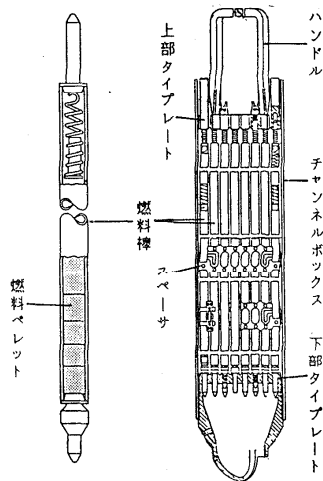


図1 BWRの燃料集合体

表1 BWR燃料集合体の仕様

チャンネルボックス内幅	1 3 4 mm
燃料棒外径	1 2 mm
燃料棒数	6 2 mm
燃料棒間隔	4 mm
水ロッド外径	1 5 mm
水ロッド数	2 mm
燃料棒全長	4, 1 7 0 mm
有効発熱長	3, 7 0 0 mm

均熱出力は4 MW強である。定格状態における熱水力条件は概略、圧力7 MPa、入口サブクール10℃、冷却材質量速度 $1.400 \text{ kg/m}^2 \text{ S}$ である。

BWR燃料の熱流束は平均で約 $4.7 \times 10^5 \text{ w/m}^2$ 、最大で約 $1.2 \times 10^6 \text{ w/m}^2$ 程度であるが、燃料棒の表面温度は水の飽和温度より高々10℃程度高いだけである。しかし、熱流束を上げていって限界熱流束に達すると、伝熱面の状態は膜沸騰に移り、熱伝率は急減する。このような現象はプール沸騰におけるバーンアウトでもみられるが、BWR燃料のような強制対流の沸騰熱伝達では、限界熱流束以上での熱伝達率も比較的大きいため、

必ずしも燃料の破損にはつながらない。これまでの設計では、安全余裕をとって、このような沸騰遷移が発生しないような構造および運転条件を設定している。

BWRのような強制対流、高圧力、高クォリティの条件での沸騰遷移は、伝熱面上の液膜が蒸発および蒸気流によるまきあげで薄くなり、とぎれるドライアウト現象であるとされている。したがって、プール沸騰や加圧水型原子炉のような低クォリティ領域で発生する、伝熱面を蒸気膜が覆って膜の外を水が流れる現象を対象とした研究とは異なったアプローチが必要である。

2. これまでの研究

BWRの限界熱流束を求める関係式の初期のものとしてHench-Levyの式がある¹⁾。この式は、内管加熱の二重管、および 2×2 、 3×3 配列の集合体形状の実験データに基づき、ドライアウト点における局所的なクォリティと限界熱流束の関係を整理したものであり、局所関係式と呼ばれる。また図3に示すように、関係式で与える熱流束は実験データの下限線をと

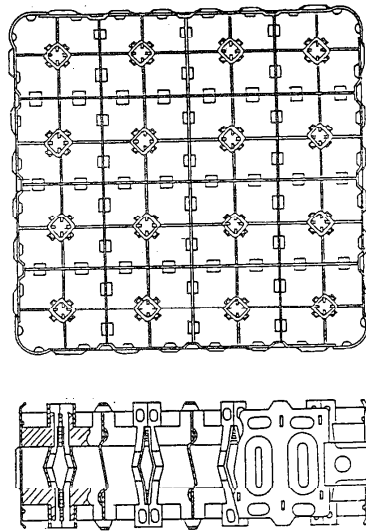


図2 燃料スペーサ

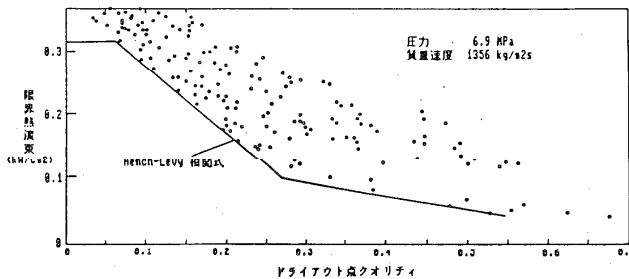


図3 Hench-Levyの式と実験データとの比較

たものであることからLimit Line Approach と呼ばれる。局所関係式の問題点は上流の効果が入らないことである。BWR条件下のドライアウトは前述のように液膜の消失によって発生する現象であり、上流の熱流束分布や流路形状の影響を受ける。これが図3のデータのばらつきの一因である。この手法をBWRの設計に用いると必要以上に大きなマージンを取ることになり、その後、実験はより高精度を求めて次第に大規模になり、実規模の模擬燃料集合体を使うようになってきた。

3. 現在の設計手法

1967年から米国のコロンビア大学では4×4の模擬燃料集合体を使った限界熱流束実験を行なった。また、GE社では1969年に実規模の試験ループATLASを作り、7×7型や8×8型などの実規模試験を含む数10種類の試験が実施された。これらのデータをもとに、GE社は1973年に新しい熱限界評価法GETAB (General Electric Thermal Analysis Basis) を発表した。³⁾GETAB は限界熱流束評価式GEXL (General Electric Critical Quality X-Boiling Length L) と、それを設計に使う場合の統計的手法を含んだもので、現在のBWQの設計に使われている。

(1) ATLAS試験とGEXL関係式

ATLAS では実機と同一形状のスペーサを用い、出力分布も実機で想定される代表的なものを数種類選んで試験した。その試験結果は、図4に示すように沸騰開始点からドライ

アウト点までの長さ(沸騰長)対ドライアウト点の限界クオリティの関係に整理された。この方式は1965年にイタリアのCISE研究所が提案したもので、出力分布の異なったドライアウトデータを良く整理できる。⁵⁾

GEXL式は、この沸騰長対限界クオリティの関係に基づいて次のように表わされる。

$$X_c = X_c(LB, D, G, L, P, R)$$

ここに、 X_c : 集合体断面平均の限界クオリティ LB: 沸騰長、

D: 発熱体の濡れぶち長さだけによる等価直径、G: 集合体平均質量速度、L: 発熱部全長、

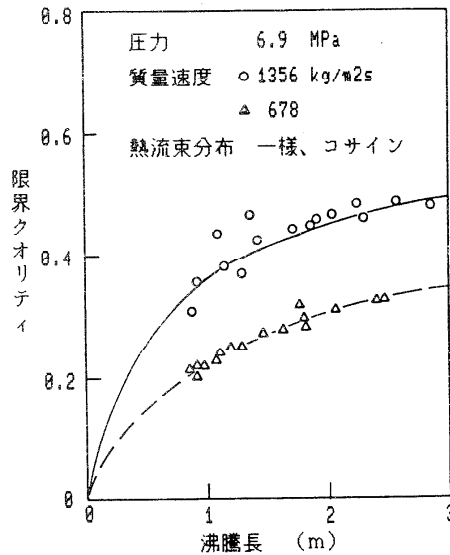


図4 沸騰長対クオリティの整理

P=圧力、R=実規模実験によって決めるパラメータ（各燃料棒の相対出力とスペーサ構造に依存）。

この関係方式を使ってドライアウトを予測する場合は、図5に示すように限界クォリテイの曲線と熱バランスから求まるクォリテイ曲線が接するような条件を求める。このときの集合体出力がドライアウトに対する限界出力である。図6にGEXLによる予測値と実測値との比較を示す。

(2) GETABの設計への適用

局所関係式を使っていた時は、熱的余裕度の指標として局所的な限界熱流束と実際の熱流束の比CHFR(Critical Heat Flux Ratio)を用いていたが、GETABでは限界出力と実際の集合体力との比で定義される。

CPR(Gritical Power Ratio)を用いる。CPRが小さいほどドライアウトしやすいわけで、全炉心で最小のCPRをMCPR(Minimum CPR)と呼び、炉心の熱的余裕度の指標としている。

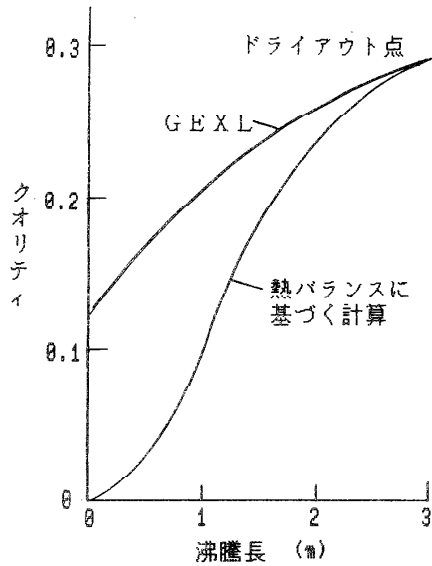


図5 ドライアウトの予測法

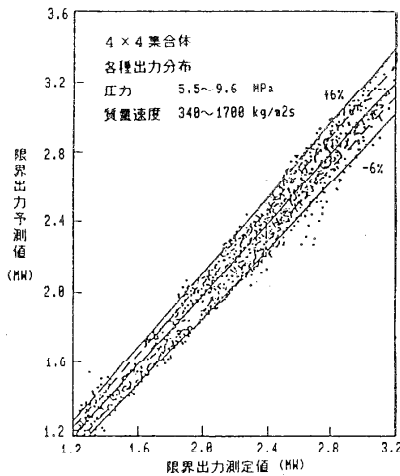


図6 GEXL予測値と測定値との比較

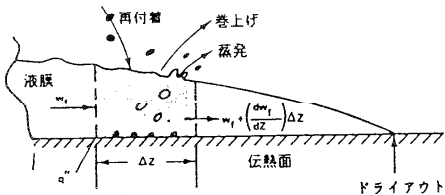


図7 液膜モデル

現在の設計基準は確率論的な基準となっている。すなわち、通常の運転状態のほか、例えば負荷遮断、給水加熱喪失、再循環ポンプ停止のような過渡現象も考慮し、さらに計装系やGEXL式の予測の誤差も考慮した上で、ドライアウトの発生する燃料棒の数の期待値が全燃料棒数の0.1%以下であるように設計することになっている。現在のBWRにおけるM CPRは約1.4程度である。

4. 理論的手法によるアプローチ

前記したGEXL関係式は実規模試験に基づいたものであり信頼性は高い。しかし、燃料の設計が変わるたびに大規模の試験が必要であり、また、伝熱性能の改善は試行錯誤によらなくてはならないという問題点がある。この問題の解決策の1つが理論的アプローチである。

Walley⁶⁾は、図7に示すように液膜の挙動を直接模擬するモデルを提案した。

すなわち、流体を伝熱表面の液膜と、飛散した液滴を含む蒸気の2流体に分け、それぞれの質量、エネルギーのバランスを解いた。またSaito⁷⁾らは、さらに蒸気と液滴も分けた3流体モデルを使って限界出力を予測している。これらの試みでは、まだスパーサ等の障害物の効果が考慮されていないため、現状では適用対象は単純な体系に限られる。しかし、現象を直接模擬したモデルであるため、様々の効果を取りこんでいける可能性があり、サブチャンネル解折と組み合わせて、今後有望な手法として期待できる。

5. 終りに

以上、現在のBWR設計技術と近い将来の見通しを述べた。軽水炉設計は現在の型式の炉に対しては確立された技術である。しかし、新しい型の軽水炉を設計しようとするとき、あるいは集合体形状を変更しようとするときには従来技術を外挿できない場合もでてくる。これに対する近道は実規模試験であるが、膨大な投資が必要である。やはり、実験による詳細現象の解明とモデルの開発といった正攻法が望まれるところである。

参考文献

- (1) Healzar, J. M., et al., APED-5286(1966)
- (2) Janssen, E. and Levy, S., APED-3892(1962)
- (3) General Electric Company, NEDO-10958(1973)
- (4) Bertoletti, S., et al., Heat Transfer Crisis with Steam-Water Mixtures, Energ. Nucl., 12, 3(1965)
- (5) Shiralkar, B. S., NEDM-13279(1972)
- (6) Whalley, P. B., 5th Int. Heat Transfer Conf, Tokyo, (1974), IV-290
- (7) Saito, T., et al., Nucl. Eng. Des., 50(1978), p. 225

<トピック>

船舶用ディーゼル機関と伝熱

玉 木 恕 (信大工)

1 はしがき

現在、実用に供され、一般に使用されている熱機関としては、ガソリン機関（火花点火機関）ディーゼル機関（圧縮点火機関）、ガスタービン機関（ジェットエンジンを含む）それに蒸気タービン機関がある。わが国の昭和60年度のエネルギー総消費の中で、この4種の熱機関が約60%を使用しており、熱機関の重要さがわかる。

これらの機関にはそれぞれ好適の出力範囲があり、各分野で重要な役割を担っている。これら機関1基の出力範囲と熱効率とを示したのが図1である。図に見られるように、ディーゼル機関は他の機関と比べると熱効率が全域にわたって高く、そのことによって競合する他機関の領域を侵してシェアを拡げつつある。ディーゼル機関の用途は、船舶用、自動車用、一般用と多岐にわたっており、中でも船舶用ディーゼル機関はディーゼル機関出力範囲の上限付近に位置し、単体での熱効率が52%を越すまでに達している。この値は、他の機関が今後かなりの技術開発を行っても到達が難しく、追従を許さない高い水準である上、ディーゼル機関の熱効率はこの値よりもさらに高くできる可能性を秘めている。この理由は、伝熱と深い係わりがある。そこで船舶用ディーゼル機関の現状を紹介するとともに、そのエネルギー分析について述べる。

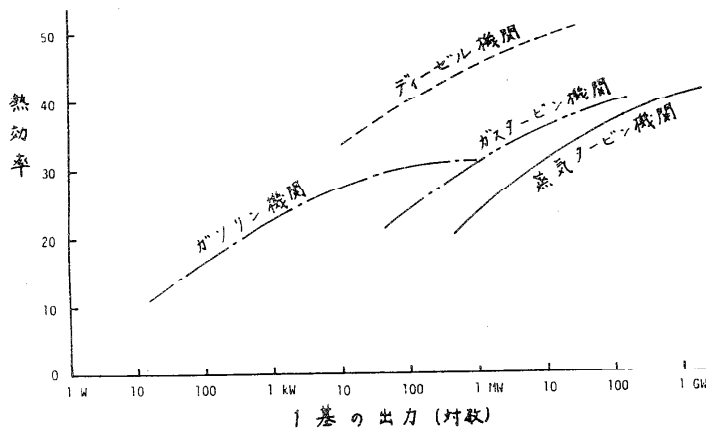
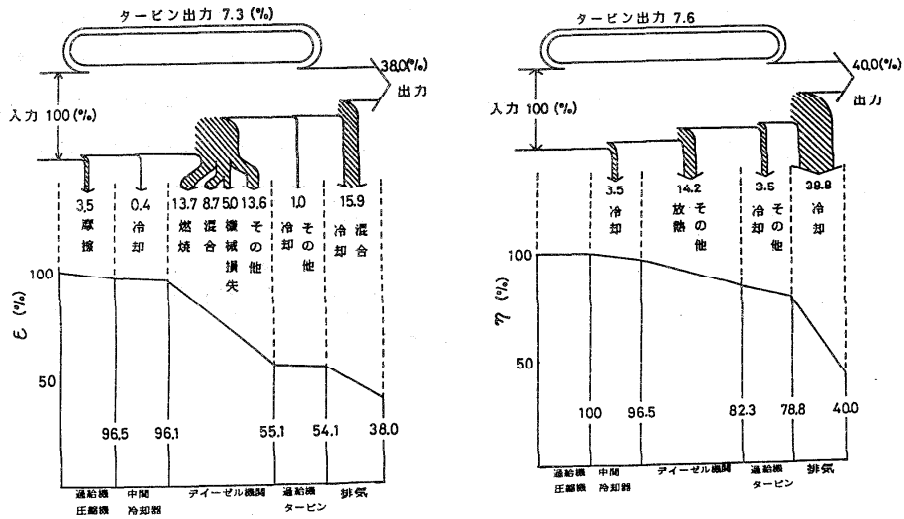


図1 各種熱機関の出力範囲と熱効率

2 船舶用ディーゼル機関の現状と発達

艦艇を含め船舶を推進するのに必要な動力の大きさは、小はプレジャーボートの数kWから大は航空母艦の250MWまでの範囲にわたっている。この要求出力からすると、図1に見られたように、大出力艦艇への用途にはディーゼル機関では不足し、その上機関の負荷追従性や軽量への要求もあり、艦艇ではガスタービン機関と蒸気タービン機関が主流である。商船用でも速さと快適さを重視する客船は、主機関にガスタービン機関や蒸気タービン機関を採用している例もあるが、燃料経済を重んじる一般商船では主機関と補助機関にディーゼル機関を使用している。1985年6月30日時点のロイド統計によれば、100総トン以上の商船を搭載された主機関の種類別で分担すると、全世界の総隻数73,632隻中、96.3%が、わが国の総隻数10,204隻中99.2%がディーゼル機関を主機関としており、その優位性を顕示している。

このように船舶用主機関としての地位を確保したディーゼル機関であるが、それまでには険しい道程があり、技術開発によって他機関との競争を勝ち抜き、現在も進展中である。製造された船舶用ディーゼル機関単基の最大出力の推移を見ると、図2に示すように、1950年ごろに最大約6MWであったものが現在では35MWに達しており、出力の増加割合は、この30年間平均すると、毎年1MWとなっている。まだ実用には供されていないが、現技術でも製造できる最大出力は42MWに達する。



(a) 有効エネルギー評価

(b) 熱量評価

図2 ディーゼル機関の有効エネルギー評価と熱量評価

出力の増大は、また熱効率の向上への努力とも結びついている。船舶用ディーゼル機関の熱効率の最高は、現在、単体で52.4%に達している。過去における熱効率の推移とその時期に行われた主要な技術開発を図3に示す。1950年代の過給方式採用と近年のロングストローク化（超ロングストロークを含む）による効率の急上昇が著しい。ロングストローク化は膨張行程における仕事の取り出しが大きいことによる効果である。高出力化と高効率化が相まって行われたところに船舶用ディーゼル機関の発達の特徴がある。

3. 船舶用ディーゼル機関のエネルギー分析

以上のように著しい技術発展を遂げてきた船舶用ディーゼル機関であるが、社会の情勢変化と出合い、いくつかの問題点をかかえている。それらは、経済性の向上と信頼性・耐久性の確保に対するものであり、集約するとつぎの3点になる。

- (1) 燃料費の高騰からくる高効率化への要求
- (2) 需要構造の推移を受けた石油精製の変化による船舶用燃料油の粗悪化への反応
- (3) 運航費節減を目的とした主機関操作の省人化と機関の信頼性向上

ここでは熱効率向上に重点を置き、ディーゼル機関のエネルギー分析を行う。

熱機関のエネルギー分析はこれまでもっぱら熱力学第一法則に基づく熱量評価が行われてきた。しかし、熱効率の限界など熱機関を巨視的に判断するにはこれでは不十分であり、第二法則を加えた有効エネルギーで評価を行うと問題点が明確になる。熱機関の有効エネルギー評価はつぎのように行う。

i) 非流動過程の有効エネルギー(E)

$$E = U - U_0 - T_0 (S - S_0) + P_0 (V - V_0) \\ = C_v (T - T_0) - T_0 (C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0})$$

ii) 流動過程の有効エネルギー (E*)

$$E^* = H - H_0 - T_0 (S - S_0) \\ = C_p (T - T_0) - T_0 (C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0})$$

iii) 燃料の有効エネルギー (E_f)

$$E_f = 0.975 \Delta H_h \quad (\text{Rantによる})$$

iv) 状態 i から j への変化における有効エネルギー

$$\sum E_i - \sum E_j = \sum W + \sum I_r$$

$$\text{ここで } I_r = T_0 \sum \Delta S$$

記号は、U：内部エネルギー、T：温度、S：エントロピー、C_v：定容比熱、C_p：定圧比熱、

P：圧力、R：ガス常数、H：エンタルピ、 ΔH_h ：高発熱量、W：仕事、 I_r ：不可逆損失、
 なお、添字“0”は周囲環境状態を表わす。

表1に示す船舶用ディーゼル機関を対象にしてエネルギー分析した結果を図2に示す。

図2(b)は従来のやり方による熱量評価であり、(a)は有効エネルギーによる評価である。これま
 での分析では排気の損失が40%近くあ

ってここからの回収が可能のように見え
 るが、仕事への変換を基とする有効エネル
 ギでの評価では、化学量論燃焼による不
 可逆損失が13.7%と過剰空気による混合
 拡散の不可逆損失8.7%を合わせると、
 燃焼による損失が22%に達することを
 示している。排気は15.9%となっている。

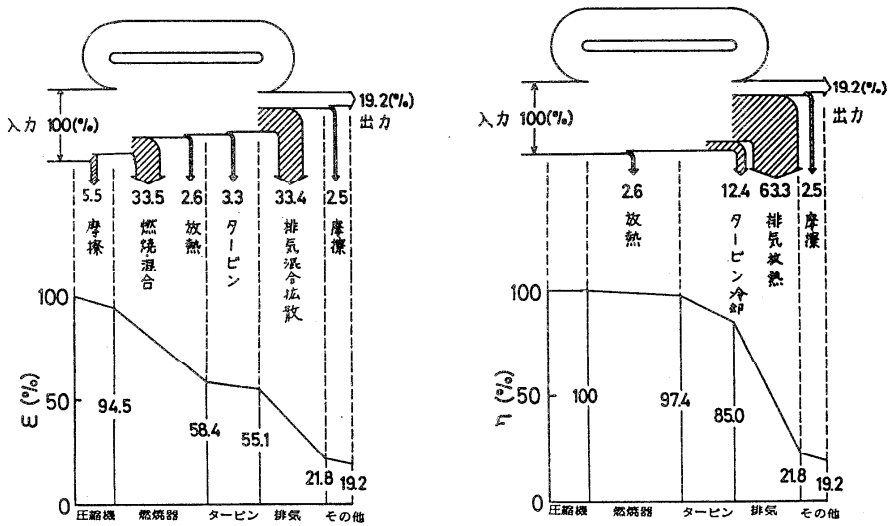
ディーゼル機関内での摩擦による機関損
 失や給排気系統での抵抗を減らすことが排熱回収プラントを設けるよりも熱効率向上に有効で
 あることがわかる。

同様な分析を表2に示すガスタービン機関に対して行ったのが図3である。

船舶用ディーゼル機関

形 式	排気ターボ過給式4サイク ルディーゼル機関
シリンダ 数	3
シリンダ 径	230 mm
ストローク	380 mm
回 転 速 度	7 Hz
連続最大出力	257 kw
圧 縮 比	13.7

表1 分析の対象としたディーゼル機関



(a) 有効エネルギー評価

(b) 熱量評価

図3 ガスタービン機関の有効エネルギー評価と熱量評価

図2と図3を比べて見ると、ガスタービン機関では燃焼ガスに希釈空気を加える混合拡散での不可逆損失と、排気が大気との混合拡散による損失が大きく、排熱による複合サイクルが効果があることを示している。なお、蒸気タービンプラントではボイラでの燃焼と伝熱による不可逆損失の大きいことが熱効率向上を阻んでいることがわかる。

ガスタービンプラント	
形式	単純開放サイクル1軸式
出力	202 kw
構造	遠心2段圧縮機 単筒缶型燃焼器 軸流2段タービン
回転数	883 Hz

表2 分析の対象としたガスタービン機関

4. 船舶用ディーゼル機関と伝熱

上述した分析に見られたように、ディーゼル機関の熱効率が他の熱機関と比べて格段に高いことは、サイクルの作動媒体の温度が高いことに起因する。現技術で作動媒体である燃焼ガスの最高温度は2000℃を超えている。これに対しガスタービン機関での作動媒体の最高温度は約1400℃、蒸気タービン機関では650℃である。ガスタービン機関では燃焼器とタービン翼がこの温度に耐えるよう、耐熱材料の開発と冷却法が急務となっている。

ディーゼル機関では、非定常伝熱であることも一つの理由であるが、燃焼室内での作動媒体の温度が2000℃を超えていても構造材であるピストンやシリンダの表面温度は、冷却を行って最高でも400℃以下に止まっている。これはピストン速度が大きくても20 m/s であって媒体の速度もその程度となり、作動媒体と壁面との熱伝達率が小さく、壁面のごく近傍での媒体の温度を低くしている。これがディーゼル機関の熱効率を高め、しかも構造材は低級材料の使用を可能としている理由である。

5. むすび

船舶用ディーゼル機関の熱効率は他の熱機関の追随を許さない高い水準にあり、その理由の一つに伝熱の低さが寄与していることを述べた。また、エネルギー分析から、ディーゼル機関の熱効率はさらに高くできる可能性を秘めている。本文が会員各位の関心を高め、ディーゼル機関に興味を持っていただければ幸である。

〈読者からの意見〉

内部温度変化より表面温度変化の推定は可能か

黒 柳 利 之

伝熱研究 Vol. 25, No. 98 (1986) に掲載された〈伝熱シンポジウムの各分野での発表論文の動向〉(I)で、斉藤先生より、「『内部温度の経時変化から表面温度の経時変化を推測しようとするのは無理ではないか』という逆問題の本質にかかわる指摘について読者の意見はどうであろうか」との問いかけがありました。逆問題に極めて関心のあるものとして、以下、述べさせていただきます。

一次元への逆問題の取扱いでは、内部点の温度と熱流束の経時変化より(したがって、2ケの内部点の温度の経時変化より)、同物体の表面温度および表面熱流束の経時変化を求めることは、原理的に、可能であります。⁽¹⁾

したがって、実際問題では、表面で生起している現象および表面を含む材質を考慮して、内部点の位置(温度変化の減衰を考慮)、計測器(温度変化と計測器等によるノイズとを考慮)を選定し、かつ、測定データの処理(現象および材質に対応して必要な知見⁽²⁾)に注意すれば、これらに相応した精度で表面条件は求め得られましょう。このことは、通常の非定常温度変化(たとえば、乱流内の温度変動)の測定で、熱電対等温度センサーの時定数の選定等々に注意を払うことに対応するものといえましょう。

(1) 黒柳;機論, 52-473, B(昭61), 126

(2) 黒柳;第21回日本伝熱シンポジウム講演論文集(昭59)K316

<国際会議>

ユーロメク・コロキウム207「自然対流」に出席して

尾 添 秘 之 (岡山人工)

上記会合が1986年4月7日から9日 デルフト工科大学(オランダ)において開催され出席した。主催者側のHoogendorn 教授より、招待講演をするようにとの手紙を受け取ったが先立つものがなく、国際研究集会に応募したところ幸いこれが認められ、出席できた。しかし帰ったら報告書の用紙が待っており、会議の様子を何らかの形でおなじ分野の研究者に報告するようにとのことで、ここに報告文を記させていただいた。

さて、ユーロメク・コロキウムという会合は毎年十数回、限定されたテーマの下に50名内外の出席者を得て欧州で開催されており、クローズドの会合であることなどを今回出席してはじめて知った。このような会合があることさえも実は知らなかった。

今回のコロキウムの趣旨としては、自然対流における数値計算や実験法を中心とした浮力流れ全般に関する討論を行なうということであり、熱だけでなく、濃度勾配や二重拡散対流も対象となった。主催者側としては、高レイリー数、乱流遷移、安定性、三次元流れ等の問題を中心テーマとし数値モデルの計算とその実験的検証に重きをおきたい、というパンフレットにつられて出かけていった。提出された論文は、境界層流れ、閉空間内、多孔質、サーモサイホン等多彩であった。発表件数は35件で、出席者は60人であった。最終プログラムの写しを添付したので、大要はこれで御理解いただけると思う。フルペーパーを用意しなくてよかったので、参加者の負担は少なかった。

会議はまる3日間あり、朝、招待講演者がはじめ討論を含めて40分程話し、以後、同様25分ずつ各発表を行なうという形式で、進められた。

第1日はUCLAのCatton の話より始まった。数学的な取り扱いによる、ベナール問題のロール巾の決まり方に関する講演であった。

次の発表は、対向壁加熱、冷却の非定常自然対流をチェビチェフ級数に展開して解き、乱れを入れてなくなるのか持続振動するのかといったことを検討したものであり、フランスからはこのチェビチェフ多項式を使ったペーパーがいくつかあった。

つぎの三つは渦度一流れ函数を用いた過渡的特性の検討を取り扱ったものである。一つにおいて次の二つは、サーモサイホン。次のCheeswright のものは乱流自然対流のモデル化で、九大

藤井先生の実験値や山大・宮本氏の実験データを使ったものであった。

Brummelは二重の成層に対するMoore and Weiss(1973)の論文がプラントル数では適用できないことを示した。Wynneのものは、波型空間内の対流を取り扱ったものである。

二日目は、二次元、三次元の乱流自然対流の数値計算と、換気問題への応用について、まず私が講演した。風上差分について、疑問が提出された。人工粘性は大きくなるが、hybrid法を使うとそれに乗じられる平均流速の勾配がその地点ではゼロに近く、その影響を避けられるので、実験値と比較してもかなり正しい解が出ていると説明した。

次はde Vahl Davisによるレイノズル応力モデルを使った計算を現在実行中であるという話で、何も具体的には示されなかった。

次の三つは空間内の乱流域近くの計算であった。次の二つは室内の温度分布を映画で示したもので、フランスでは計算や実験を分担して進めていることがわかる。次のLankhorst & Hoog Hoogendornのものは、 $k-\epsilon$ モデルを使った窓冷却とその下のヒーターをモデル化した計算であった。

Allardのものはチェビシェフ多項式を使ったもの、Benardのものは相変化、次のKooiはCHAMPIONというコードを使った乱流域の計算、Heissは外空間に開いた室の対流。最後はLaunderによる自然対流のモデルに関する説明で、現在進行中という結果なしのものであった。

三日目はVelardeによる、二重拡散の物理に関する講演に始まり、三番目のTurnerによる火山爆発の室内模擬実験の映画が興味深いものであった。次の三つは宇宙実験室における気液系のマランゴニ対流の映画とその計算であった。

次のKochは霧の生成を考慮した自然対流の解析、次は水の自然対流の実験、Gunterは、小さな容器内の対流の計算を多孔質に近似した取り扱いを示した。最後は大気乱流の過渡特性を計算したものであった。

会議の最後は、Co-chairmanのCombarrous教授によって総括がなされ、実験による計算の検証の重要性と、それが同一人によるものでなくとも、一つのグループ内でもそれを分担して行なうことが必要であると強調され、三日間の会議の幕がおりた。本会議は自然対流という限定されたテーマの下でのものであり、現時点における研究の段階を理解する上で有効であったように思える。最後にこのような機会を与えて戴いた文部省国際研究集會に改めて感謝する。

08.45 - 09.30	REGISTRATION AND COFFEE	14.00	G.F. Jackson UKAEA, Windscale Nuclear Power Development Laboratories, Seascale, United Kingdom. Natural convection data for a rough/smooth annulus.
09.30	WELCOME AND OPENING - Prof. J.J.J. Kokkedee Dean of the Department of Applied Physics - Prof. C.J. Hogendoorn Chairman	14.25	H. Völkl, H. Sandner and F. Mayinger Lehrstuhl A für Thermodynamik, Technische Universität München, Federal Republic of Germany. Coupled thermosyphon loops for a passive cooling system.
09.40	I. Catton and J.C. Buell Department of Mechanical, Aerospace and Nuclear Engineering, University of California, Los Angeles, USA. Wavenumber selection in large amplitude Rayleigh-Benard convection.	14.50	R. Cheesewright Department of Mechanical Engineering, Queen Mary College, London, United Kingdom. The scaling of turbulent natural convection boundary layers in the asymptotic limit of infinite Grashof number.
10.20	P. Le Quééré* and I. Alziary de Roquefort** * LESIE UA CNRS 1098, ** LEA UA CNRS 191 Université de Poitiers, France. Transition to unsteady natural convection of air in vertical differentially heated cavities.	15.15	G. Wickern and K. Gersten Institut für Thermo- und Fluidodynamik, Ruhr- Universität, Bochum, Federal Republic of Germany. Separated flow due to free convection from a slightly inclined semi-infinite flat plate.
10.45	B. Staehle* and E. Hahne** * Kraftwerk Union, Erlangen, ** Universität Stuttgart, Federal Republic of Germany. Transient natural convection in cavities.	15.40	TEA BREAK
11.10	COFFEE BREAK	15.55	N.H. Brummell Department of Mathematics, Imperial College, London, United Kingdom. Non-linear, low Prandtl number, penetrative convection in two dimensions.
11.30	J.C. Patterson Department of Civil Engineering The University of Western Australia, Nedlands, Australia. Transient high Rayleigh number convection in a cavity.	16.20	M.C. Wymne University of Bristol, Department of Mathematics, Bristol, United Kingdom. Thermal convection with spatially periodic boundary conditions.
11.55	W.P. Horn, M.S. Sheldon* and P.C.T. de Boer** * Sibley School of Mechanical Aerospace Engineering, ** Cornell University, Ithaca, New York, USA. Flow and temperature fields of the sample gas in laser powered homogeneous pyrolysis.	16.45	GENERAL DISCUSSION
12.20	G. Desrayaud and G. Lauriat Laboratoire de Thermique, CNAM, Paris, France. Stability of natural convection flows of radiating fluids enclosed in vertical slots.	17.15 - 18.30	APERITIF Welcome by Prof. L. van Wijngaerden, Dutch member EUROMECH Committee.
12.45-14.00	LUNCH BREAK		

- 09.00 H. Ozoe
Okayama University, Okayama, Japan.
Numerical calculation of three-dimensional
turbulent natural convection in a cubic
enclosure with and without ventilation.
- 09.40 R. Cooper*, M. Wolfshagen**, M. Behmls,
G. de Vahl Davis and J.A. Reizes**
* Queen's University, Belfast, United Kingdom.
** The Technion, Haifa, Israel.
*** University of New South Wales, Australia.
Turbulent natural convection in a rectangular
cavity.
- 10.05 P.M. Birchough* and E.P.R. Smith**
* Thermal Hydraulics Division, Atomic Energy
Research Establishment, United Kingdom.
** Department of Chemical Engineering
The University of Birmingham, United Kingdom.
Natural convection heat transfer in a
rectangular cavity.
- 10.30 P.L. Betts and A.A. Dafa' Alla
Department of Mechanical Engineering, UMIST,
Manchester, United Kingdom.
Turbulent natural convection of air in a tall
rectangular cavity.
- 10.55 COFFEE BREAK
- 11.15 K.M. Winters
Theoretical Physics Division
Harwell Laboratory, Didcot, United Kingdom.
Laminar natural convection in a partially
divided rectangular cavity at high Rayleigh
number.
- 11.40 F. Yguei, J.-J. Vullierme
L.E.S.T.E., U.A. C.N.R.S. 1098, C.E.A.T. 43
Poitiers, France.
Experimental study of high Rayleigh number
three-dimensional natural convection in air.
- 12.05 J.L. Breton, C. Durou, J.Y. Grandpeix,
G. Isanchou and T. Lafon
Laboratoire de Physique Electronique et
Energie Solaire, Université Paul Sabatier,
Toulouse, France.
An experimental study of natural convection in
an enclosure at high Rayleigh numbers.
- 12.30 A.M. Lenkhorst and C.J. Hoogendoorn
Delft University of Technology,
Applied Physics Department, The Netherlands.
Numerical computation of turbulent natural
and forced convection in a room.
- 12.55 - 14.00 LUNCH BREAK
- 14.00 F. Allard* and P. Haldenwang**
* Laboratoire Equipement de l'Habitat,
Villeurbanne, ** Laboratoire de Recherche en
Combustion UA CNRS Marseille, France.
Natural convection in a habitable cell,
experimental approach and numerical study of
the heat transfer process.
- 14.25 C. Benard and D. Gobin
CNRS - UA 871 Orsay, France.
High Rayleigh number natural convection in
irregular enclosures.
- 14.50 J. van der Kool and Chen Qingyan
Delft University of Technology,
Section of Indoor Climate Technology, Delft,
The Netherlands.
Numerical simulation of air movement and
temperature field in a room with cold and hot
window surface.
- 15.15 TEA BREAK
- 15.30 T. Heiss and J. Straub
Lehrstuhl A für Thermodynamik, Technische
Universität München,
Federal Republic of Germany.
A numerical and experimental study of natural
convection in open cavities.
- 15.55 V. Haroutunian and S.E. Launder
University Manchester, United Kingdom.
Numerical modelling of buoyant, turbulent,
elliptic flows with a second moment closure.
- 16.20 GENERAL DISCUSSION
- 17.00 CLOSURE OF SECOND DAY SESSIONS

09.00	M.G. Veiarde Universidad Nacional De Educacion A Distancia Madrid, Spain. Physics of double diffusive natural convection.	12.35	M.A. Engberget and E.R.F. Winter Lehrstuhl C für Thermodynamik, Technische Universität München, Federal Republic of Germany. Onset of natural convection and heat transfer in a layer of water below melting ice.
09.40	H.E. Huppert, R.C. Kerr and M.G. Worster Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, Cambridge, United Kingdom. Fluid mechanics of cooling and crystallizing melts.	13.00 - 13.50	LUNCH BREAK .
10.05	J.S. Turner, Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, Australia. Convection and mixing in replenished magma chambers.	13.50	C. Günther and U. Müller Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Reaktorbauelemente, Karlsruhe, Federal Republic of Germany. Rayleigh-Bénard convection in Hele-Shaw cells, a numerical study.
10.30	J.H. Lichtenbelt Micro-gravity Research, University of Groningen, The Netherlands. Flow development due to Rayleigh-Marangoni instability. Results of the DI-Spacelab experiments.	14.15	F.T.M. Nieuwstadt Laboratory Aero- and Hydrodynamics Delft University of Technology, The Netherlands. The numerical simulation of atmospheric convection.
11.00	COFFEE BREAK	15.05	GENERAL DISCUSSION
11.20	M.A. Dijkstra and A.I. van de Vooren Department of Mathematics, University of Groningen, The Netherlands. Flow development due to Rayleigh-Marangoni instability. Results of numerical simulations.	15.45	Closure by Prof. M.A. Combarrous, Co-chairman
11.45	R. Occeili, J. Pantaloni and P. Cerisier Laboratoire des Systèmes Energétiques et Transferts Thermiques, S.E.T.T., Université de Provence, Marseille, France. Structural analysis of the Bénard-Marangoni convection.		
12.10	P. Koch and J. Straub Lehrstuhl A für Thermodynamik, Technische Universität München, Federal Republic of Germany. Natural convective heat and mass transfer from humid air to a vertical plate.		

＜地方研究グループ活動報告＞

(1) 北海道研究グループ講演会

日 時：昭和61年8月2日（土） 13:00～17:00

場 所：北海道大学工学部 機械・機械第二会議室

講 演： 1) 太陽エネルギー利用のための日射特性について

＊ 馬場 弘、金山公夫（北見工大）

2) 蒸発を伴う直方体タンク内流体の重力と表面張力による対流パターン

＊ 工藤一彦（北大工）、W.-J. Yang（ミシガン大）

3) 諸熱物性値の同時・迅速測定とその自動化

＊ 河合洋明、岡垣 理（道工大）

4) 放電混合型CO₂超音速流レーザーに関する研究

＊ 広瀬 学、前野一夫、花岡 裕（室工大）

＜講演概要＞

講演1) 太陽エネルギーを利用するための日射特性として、各地の日射量と降水量などの気象条件による太陽熱利用の適地の区分、水平面全天日射量と法線面直達日射量との関係および太陽熱利用の観点に立つ晴天日と曇天日の区別とその割合について日射量および日照時間のデータをもとに述べた。太陽熱利用の適地として道内を3段階に分けることが出来ることを示し、水平面全天日射量と法線面直達日射量の関係はそれぞれ1日当りの日射量について求めたものが太陽熱利用のためには実用的であり、相関関係も高いことを示した。

講演2) 実時間レーザーホログラフィ干渉法を用いて題記の対流を観察し、3つのパターンに分類した。流体はエチルアルコールを用い、タンクは上面開放、側面と底面断熱の2次元タンクを用い、自由液面の中央に電熱線を接触させ、線加熱源とした。パラメータは、液面蒸発冷却熱流束で定義されたレイリ数(Ra)とヒータ表面熱流束で定義されたマランゴニ数(Ma)、及びタンクのアスペクト比を用いた。この結果、定常状態では(1)Ra大Ma小で水平乱流自然対流層のパタン、(2)Ra小Ma大で自由液面に沿った平たい2ケの逆回転ロールパタン、(3)中間のRa、Maで層全体にわたる2ケの逆回転ロールパタンに分類されることが明らかにされた。

講演3) 断熱材などの固体材料の性能評価を目的として、その熱物性値を知ろうとする場合、多くの方法は、測定に要する時間、装置の価格などに関して、若干の問題点を有すると思われる。本報告では、測定精度の厳密性をさほど要求しない工業的用途を対象との、熱浸透率 $b [(W \cdot S^{\frac{1}{2}}) / (m^2 \cdot K)]$ 、熱拡散率 $a [m^2 / S]$ を求め、さらに熱伝導率 $\lambda [W / cm \cdot K]$ 、比熱 $C [J / Kg \cdot K]$ を間接的に算定する同時・迅速測定法を基礎としてマイクロコンピュータを用いた測定装置を試作し、装置の評価および前記の問題点にたいする可能性についての検討を行った。

講演4) レーザーは現在最も注目されている研究分野の一つであり、応用分野は非常に広い。本報告は超音速流中でのグロー放電振動励起を用いた混合型CO₂超音速レーザーの基礎実験に関するものである。実験はゲインならびに発振出力の測定に関して行われた。ゲインの測定は自作の小型CO₂プローブレーザー光を媒質中に入射してその強度変動を測定することによって行う。結果として最大4.5程度の高いゲインを得ることができ、本形式のレーザー装置によって高効率でレーザー光を得る可能性が見いだされた。出力に関しても高い値が期待される。

(北海道地方連絡幹事 福追尚一郎)

(2) 九州研究グループ講演会

日 時：昭和61年8月6日(火) 15:30～17:00

場 所：九州大学工学部 応用原子核工学科

講 師：Patricia J. Giarratano

National Bureau of Standards

Chemical Engineering Science Division

題 目：Transient Heat Transfer Measurements and Dynamic

Thermophysical Properties Measurements in Near-Zero

Gravity

〔講演概要〕

伝熱面近傍の高圧縮性流体の温度プロファイルを予測するためにNBSで開発されたモデルの妥当性を重力流れが生じない低重力場で検討する実験について述べた。また低重力場における金属の熱物性値の測定法、この方法の利点、二三の測定結果について述べられた。

(九州地方連絡幹事 藤田 恭 伸)

(3) 東海研究グループ講演会

日時：昭和61年5月10日(土) 13:00~16:30

場所：静岡大学工学部図書館視聴覚室

講演

- (1) 加熱突起列からの自然対流
児山 仁、※大沢 宏、中山 顕(静大工)
- (2) V形熱線による乱流測定
長野 靖尚、※辻 俊博(名工大)
- (3) 壁面障害物を流下する液膜流の挙動
※藤田 秀臣、加藤 健司(名人工)
- (4) 円柱はく離域の流動および熱伝達特性
熊田 雅弥(岐大工)、※伊藤 真樹(岐大工院)
藤田 禎雄(アイシン精機)
三矢 輝章(日立)、馬淵 幾夫(岐大工)
- (5) 加熱面との衝突による液粒の蒸発について
※高野 孝義、小林 清志(豊田工大)

<講演概要>

講演 1) 自然対流による電子機器の効果的な冷却を考える基礎研究として加熱突起列からの自然対流を取上げ実験及び理論の両面から考察した。各突起の上面に接着したステンレス箔に通電する事で発熱させ、周囲温度場をマッハツェンダ干涉計により測定すると共に圧力補正法に基づく数値解析もあわせて行い計算と実験との比較検討を試みた。その結果、突起間隔を突起幅の5倍程度に設けた場合、熱伝達率の低下が極力抑えられる事など有益な情報を得た。

講演 2) 低流速の乱流諸量を測定する目的で、V形熱線の低流速における方向特性を調べ、変動速度の測定的基础となる有効速度式を求めた。そして、熱線を流れの中で振動させて作り出した擬似乱流場の測定を行い、この有効速度式が瞬時の変動速度についても十分成立することを確かめた。また、垂直平板上の自然対流乱流境界層の測定例を示し、従来測定が困難であった壁面近傍の低流速の乱流計測がV形熱線によって可能であることを実証した。

講演 3) 落下液膜流は熱伝達や物質伝達を扱う工業装置内に多く見られる素朴で複雑な現象である。本講演では、熱伝達や物質伝達の増進ならびに液膜破断に関連の深い、壁面に障害物が存在する場合に着目し、基本的な流動系として正方形断面の環状突起あるいは下向きの段差をもつ鉛直円管の外壁を流下する水膜流を取りあげ、障害物近傍の流れの挙動に関する観測結果と若干の解析結果について述べた。液膜流に固有の実験上の困難点も披露した。

講演 4) Flow Direction Probeを用いて、瞬間的な流れ方向と速度の測定を行い、円柱はく離域の壁面近傍の流れ場が、カルマンうずの放出周期に連動した交番境界層流れに特徴づけられるまうず領域とはく離せん断層流れに支配された二次うず領域に大別される事を明らかにすると同時に、白金はく膜センサーによる局所非定常熱伝達率の測定を行い、流動場と熱伝達との相関関係を明らかにした。

講演 5) 加熱された固体面に衝突し蒸発する液粒の寿命曲線上、主に極小値を示す温度領域について検討した。まず実験装置として、種々の液粒に対し余滴を生じないで単一の液粒を得る方法について述べた。次に、金属類とは大きく異なる熱物性値をもつセラミックス加熱面上における液粒の特徴ある蒸発様相を高速度写真により示した。そして金属面に比べ、より高温域にかつ蒸発時間が非常に短い広範な温度領域が存在することを明らかにした。

<東海地方連絡幹事 荒木信幸>

< お 知 ら せ >

(1) 第24回日本伝熱シンポジウム講演募集

開 催 日 昭和62年5月27日(水)～5月29日(金)
会 場 愛媛県民文化会館(〒790 松山市道後町2丁目)
講演申込締切 昭和62年1月31日(土) 必着
原 稿 締 切 昭和62年3月14日(土) 必着
講演申込先 〒790 松山市文京町3

愛媛大学工学部生産機械工学科内
第24回日本伝熱シンポジウム準備委員会
郵便振替 徳島6-7100

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、(1)題目、(2)所属学協会ならびに会員資格・日本伝熱研究会会員非会員の別・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)セッション振り分けのため、下記に示す分野1個と若干のキーワードおよび、(5)連絡先を記入し、整理費1,000円を上記準備委員会宛郵便振替にて送金とともに申込んで下さい。

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

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(41行×47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、ご遠慮下さい。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日や講演者に不 致が生じないように申込書の控えをお残し下さい。
 3. 講演者は質疑に対し十分応答のできる人をお願いします。
 4. 機械学会会員は従来機械学会に申込んでありましたが、今回からは機械学会会員も上記準備委員会に直接申し込んで下さい。ただし、将来機械学会の論文集等に投稿希望の方は、本申込用紙の写し2部を機械学会事業課宛送付して下さい。

(2) 第10回人間-熱環境系シンポジウム記念大会プログラム

大会長：国立公衆衛生院院長 長田 泰公

期日：1986年12月9日(火), 10日(水), 11日(木) (3日間)

第1日 12月9日(火)

10:00	開会の辞	実行委員会代表 後藤 滋
		司会 梶井宏宣, 佐藤 忠
10:10	研究発表 人間-熱環境系研究の課題と問題点	横浜国大 大川 島 美 勝
10:20	" 温熱環境測定器の開発	ダイキン工業 小林正博, 小林昇, 上村茂弘, 鳥越邦和, 藤原正典
10:30	" 微小センサの移動による室内の温度分布測定	横浜国大 稲 葉 茂 夫
10:40	" マイクロサーモグラフィシステムの基礎検討	豊岡技科大 三宅仁, 城野典隆, 井村博徳, 池辺正樹, 松田其一
10:50	" 人体皮膚の表面温度及び放射率の測定	東京工大 森田次太郎, 崔建中, 奥誠一郎
11:00	" 実験水槽内の金魚の三次元的位置の分布について	横浜国大 佐藤忠, 寺尾邦夫
	休 憩 (15分)	
11:25	講 演 The scope for low-cost improvements in hot workplaces in a tropical climate	司会 肝付 邦 恵 International Labour Organization Kogi, K. (Thailand)
	昼 休 (80分)	司会 吉田 敬一
13:20	大会長講演 本シンポジウム10年間の展望	大会長 長田 泰 公
	休 憩 (15分)	司会 南野 脩, 磯田憲生
14:45	研究発表 人体周辺で代謝熱により生ずる自然対流とその対流熱伝達に対する影響	豊橋技科大 本間宏 大林組 塚山誠
14:55	" 自然通風室内における人体の気流知覚	大分大 榑原典子 九州芸工大 石井昭夫 九大 片山忠久 九産大 西田勝 九大 堤純一郎
15:05	" 夏季の日本人の熱帯気候適感に関する研究	早大 田辺新一, 木村建一, 原俊広
15:15	" 冷・温気流の人体影響について	奈良女子大 久保博子, 早川和代, 磯田憲生, 梁瀬度子, 磯田啓一郎
15:25	" 温熱環境が運動時の人体に及ぼす影響について	奈良女子大 早川和代, 磯田憲生, 久保博子, 梁瀬度子
	休 憩 (15分)	司会 横山真太郎, 勝浦哲夫
15:50	" 冷蔵倉庫フォークリフト作業者の労働負担に関する調査研究	国立公衆衛生院 梶原裕, 大久保千代次, 浅野牧茂 内山蔵雄, 小峯裕己, 本田靖, 青木範子, 石橋佳子, 大野柳子, 下園尚子, 中嶋寿絵
16:00	" 低温環境におけるラットの自発行動	国立公衆衛生院 市川勇, 横山栄二
16:10	" 人体表面の熱伝達率について	文化女子大 田村照子, 笠原さつき
16:20	" 皮膚温分布の年齢的差異	横浜国大 川島美勝, 後藤滋, 内野欽司, 新垣学, 小菅田, 今多靖子 日体大 松岡脩吉 重松製作所 小林聖晃
16:30	" 入浴における血行促進の評価	松下電工 橋本良子, 島田裕子
16:40	" 熱適応ハンディキャップを配慮した熱環境指標の構成に関する一考察	日大 吉田燦, 杉山知之

第2日 12月10日(水)

		司会 西 安信, 堀越哲美
9:00	招待発表 The thermal environment of Singaporean offices	National University of Singapore Foo, S. C. (Singapore)
9:20	" The state-of-arts of thermal comfort in Korea and thermal comfort in the Ondol heating system	Han Yang University Sohn, J. Y. (Korea)
9:40	" Using the directional mean radiation meter to measure the mean radiation temperature	Chinese Academy of Preventive Medicine Zhang, X. and Su, X. (China)
10:00	" Incorporating human variability in the prediction of shivering thermogenesis	Simon Fraser University Mekjavic, I. B. et al. (Canada)
	休 憩 (10分)	
10:30	講 演 New international standards and measuring methods for evaluation of the thermal environment	司会 中 島 利 誠 Technical University of Denmark Olesen, B. W. (Denmark)
	休 憩 (10分)	司会 田 中 正 敏
11:15	" Physiological strains of fighting summer bushfires in Australia -The University of Sydney	Budd, G. M. (Australia)
	昼 休 (80分)	
13:10	特別講演 Women and men under heat stress -with a special case of ice packs-	司会 長田 泰 公 The Pennsylvania State University Kamon, E. (USA)
14:20	研究発表 床温の人体影響について	奈良女子大 磯田憲生, 久保博子, 早川和代, 賀来由美, 金鳳愛, 梁瀬度子
"	" (ポスターセッション)	
"	" 人間-熱環境実験装置の性能	奈良女子大 磯田憲生, タバイエスベック, 稲幸生
"	" 環境温度とエネルギー消費の関係	近大 梶井宏修, 山本一郎, 坂本貴司, 森谷恭
"	" サーモグラフィによる Work Load の評価に関する研究	東京理科大 梅村守 油研工業 田中千元 東大 羽賀敬
"	" 有風下運動時の生体反応について	日体大 井川 正 治

共 催：空気調和・衛生工学会(幹事学会), 人類動態学会, 日本伝熱研究会, 日本生気象学会, 計測自動制御学会, 生理人類学研究会
 協 賛：日本産業衛生学会, 日本生理学会, 日本M.E.学会, 日本サーモグラフィ学会, 日本人間工学会, 日本家政学会, 繊維学会, 日本機械学会, 日本建築学会, 日本労働衛生工学会, 電気学会, 日本冷凍協会, 日本生物物理学会, 日本栄養・食糧学会, 日本医科器械学会, 日本繊維製
 品消費科学会, 日本保安用品協会, 日本火災学会, 日本住宅設備システム協会, 日本繊維機械学会, 日本病院設備協会, 日本熱物性研究会,
 全国ビルメンテナンス協会
 後 援：日本学術会議

場所：日本大学会館大講堂（東京都千代田区九段南4丁目8番24号）

TEL 03 (262) 2271 (国電市ヶ谷駅下車 徒歩2分)

- 14:20 研究発表 室内における温度、騒音、照度の複合環境に対する非特異的評価と性格
(ポスターセッション)三重大 松原尚樹 関西大 堀江悟郎, 桜井美政, 野口太郎
- 14:55 講演 Maximal work performance in the cold in relationship
to age and physical fitnessUniversity of California Wagner, J. A. (USA)
休憩 (10分)
- 15:40 招待発表 Study on the thermal insulation of the Korean clothes (2)司会 森田久次郎, 田村照子
.....Hyosung Women's University Sung, S. et al. (Korea)
- 16:00 " Thermal and aerodynamic characteristics
of a body-contoured racing garmentSimon Fraser University Banister, E. W. et al. (Canada)
- 16:20 " Thermal insulation of garmentsThe Research Institute of Chemical Defence Zhu, X. S. (China)
- 16:40 研究発表 Study on man and thermal environmental system
—assessment of summer clothing comfort—Garment Research and Design Center of China Cao, J. et al. (China)
- 17:30 懇親会

第3日 12月11日(休)

- 9:00 研究発表 カラーシェーレン法による放熱現象の可視化.....日本女子大 福田明子, 大野静江, 瓶笠宇宙夜姁 西武徳, 大貝武
9:10 " 衣服表面温度と衣服間隙.....お茶の水女子大 長谷部 ヤエ
9:20 " 穴開きプラスチック板に関する透湿水蒸気の拡散.....蓋米試験場 坪内 祐三
9:30 " 着用中の衣服表面の濡れ面積率.....お茶の水女子大 中島利誠, 菅井清美
9:40 " 被服の熱・水分移動特性に関する研究.....お茶の水女子大 菅井清美, 中島利誠
9:50 " 運動中の衣服下気候と着心地に及ぼす繊維の影響.....昭和女子大 三井紀子 都立立川短大 酒井豊子
お茶の水女子大 中島利誠
休憩 (10分) 司会 鶴岡 恒, 橋原 裕
- 10:10 " 消防用防護服の防熱性能について.....清研 渡部 勇市
—円柱模型による火炎曝露実験—
- 10:20 " 熱環境下の消防個人装備の研究.....横浜市総務局災害対策室 平田欣也 横浜市消防訓練センター 高橋博, 津田裕孝
横浜国大 川島美勝, 増田順子
- 10:30 " 消防用呼吸器の性能評価に関する研究.....横浜市消防訓練センター 津田裕孝, 斎藤預昭, 近藤馨
横浜国大 川島美勝, 新垣学, 小菅円, 内野欽司
横浜市消防局 坂田雄二, 伊勢川勉 芳研 渡辺明彦
- 10:40 " 寝床内気候が睡眠へ及ぼす影響.....松下住設機器 荻野 弘之
10:50 " ふとんの性能評価の現状.....横浜国大 大平通泰, 川島美勝
11:00 " 睡眠環境に関する研究 (2)ふとんの着用実験.....横浜国大 小菅円, 川島美勝, 大平通泰, 増田順子, 後藤滋
休憩 (15分) 司会 川島 美勝
- 11:25 講演 伝熱工学の立場からみた人間—熱環境系研究.....東大 棚沢 一郎
休憩 (80分) 司会 後藤 滋
- 13:20 特別講演 温冷感指標と測定器具概説.....豊橋技科大 小林 陽太郎
司会 菊池安行, 磯田憲生
- 14:45 研究発表 部位別特性を考慮した体温調節モデル.....北大 横山 真太郎
14:55 " 体感実験による温熱環境指標と温冷感の評価.....ダイキン工業 小林昇, 小林正博, 土村茂弘, 藤原正典
- 15:05 " 映像・音響が温熱感覚に与える影響の実験的研究.....三菱電機 菅原作雄, 原正規, 新井功, 鈴木たかね, 関根文男
- 15:15 " 山形県都部の住宅における4年後の熱環境の変化.....東北大 吉野博, 牧田一志, 宮崎美子 山形大 新井宏明, 岩崎清
- 15:25 " 室内温熱環境の調査分析に関する検討.....鹿島建設技研 寒河江昭夫, 小原俊平, 戸河里敏
休憩 (15分) 司会 吉田 燦, 棚沢一郎
- 15:50 " 空調職場における労働者の温熱環境.....昭和太 田中正敏, 大中忠勝, 赤羽正子, 入来正躬
16:00 " アクティブイレベルが温冷感に与える影響.....近大 梶井宏修, 西野春彦, 西野勝彦, 土畑光功
16:10 " 乗用車乗員の温熱感覚と平均皮膚温.....豊田中研 谷口洋介, 藤掛賢司
16:20 " 温熱感覚に関する基礎的研究.....東大 三ツ峰吉樹, 鎌田元康, 千田善孝, 高砂熱学 清水昭浩
—輻射環境並びに不均一環境の評価— 建研 坊垣和明 新日鉄 金山祐介
- 16:30 " 熱放射を中心とした温熱環境条件の人体影響について.....大阪市大 堀越哲美 岐阜高専 土川忠浩
旭化成工業 平山慶太郎 東洋ソーダ工業 藤澄仁 豊橋技科大 小林陽太郎
建研 坊垣和明
- 16:40 " 床暖房の快適性と許容条件.....建研 坊垣和明
16:50 閉会の辞実行委員会事務局長 川島 美勝

参加費：10,000円 (11月15日まで、それ以降は割増) 懇親会：昭和61年12月10日(休) 17:30～19:30 会費7,000円
参加申込：往復ハガキに 1)氏名(ふりがな) 2)勤務先 3)連絡先 4)所属学協会 5)懇親会出席の有無 を記入して下記あてに御申込下さい。
定員300名で締切らせていただきます。

連絡先：〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156 横浜国立大学工学部生産工学科内
TEL 045 335 1451 内線2666 (川島)

第10回 人間-熱環境系シンポジウム実行委員会

(3) Int. J. Heat Mass Transferの日本のEditorial Boardメンバーの交替

***** お知らせ *****

*
* International Journal of Heat and Mass Transfer *
* (Pergamon)の日本のEditorial Boardのメンバーが下 *
* 記のように交替になりましたのでお知らせします。日本 *
* で行われた研究は新しいBoard of Editorsへ投稿して *
* 下さい。 *
*
* Board of Editors *
*
* (新任) 棚沢 一郎(Editor) *
* 〒106 東京都港区六本木7-22-1 *
* 東京大学生産技術研究所 *
* TEL 03(402)6231 *
*
* (留任) 越後 亮三(Associate Editor) *
* 〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1 *
* 東京工業大学工学部機械工学科 *
* TEL 03(726)1111 Ext. 2169 *
*
* Honorary Editorial Advisory Board *
*
* (転任) 森 康夫 (電気通信大学機械工学科) *
* (留任) 甲藤 好郎 (日本大学理工学部機械工学科) *
* (新任) 鈴木 健二郎 (京都大学工学部機械工学科) *
* (") 荻野 文丸 (" " 化学工学科) *
* (") 藤田 恭伸 (九州大学工学部機械工学科) *
*

第24回 日本伝熱シンポジウム 研究発表申込書

- 本申込書はプログラム作成・用紙送付等に使用しますので楷書でご記入下さい。
 - 整理費の送金には本号同封の郵便振替払込書を利用されると便利です。
- *印の欄はいずれかを○で囲んで下さい。**印欄は記入不要です。

キ
リ
ト
リ
線

題目:									
副題(必要な場合):									
*伝熱研究会会員 非会員の別	所属学協会 および資格	氏名(ひらがな) 外国人はアルファベット	氏名(漢字) 発表者の頭に※印	所属					
会員 非会員									
会員 非会員									
会員 非会員									
会員 非会員									
会員 非会員									
会員 非会員									
講演概要									
分野:					キーワード:				
連絡先: 〒 Tel.() - (内線)									
住所・氏名									
**準備委員会記入欄:									

原稿用紙送付先	〒
住所・氏名	様

伝熱研究

Vol. 25 No. 99

1986年10月発行

発行所 日本伝熱研究会

〒153 東京都目黒区駒場4-6-1

東京大学工学部境界領域研究施設気付

日本伝熱研究会

電話 03(485)3111 (代) 内線288,285

振替 東京 6-14749

(非売品)

昭和61年7月19日

会員各位

〒153東京都目黒区駒場4-6-1
東京大学工学部境界領域研究施設気付
日本伝熱研究会

「先端伝熱ショートコースIN筑波」開催案内
-----エネルギー・エレクトロニクス・バイオ・宇宙-----

主催：日本伝熱研究会 関東地方グループ
筑波研究コンソーシアム

先端技術にかかわりながら、熱的問題に苦勞されている方や、最新の研究成果を熱関連機器に
応用したいと考えている方を対象としたショートコースを企画いたしました。

エネルギー・エレクトロニクス・バイオ・宇宙などの先端領域において、伝熱工学的手法が
どのように使われているかを、主に筑波研究学園都市で行われている先端領域における伝熱研究
の中から選んで、講演でまず解説していただき、次に、実際の現象や実験装置を見ながらの討論
をしながらご紹介します。

さらに、種々の熱の問題にお答えする相談コーナーももうけてありますので、会員外の方も
お誘い合せの上、奮って御参加下さい。

日時： 昭和61年10月3日（金）、4日（土）

場所： 工業技術院筑波研究センター共用講堂大会議室

宿泊、イブニングセッション： ホテルグランド東雲（しののめ） [Tel.02975-5-2211]

参加費：伝熱研究会会員 15,000円、 一般 20,000円、 学生 9,000円

（宿泊代、夕食代、朝食代、バス代、テキスト代を含む）

内容：

-----10月3日（金）-----

10時00分-10時50分：(1)「半導体製造装置の温度制御例---拡散装置---

（実験装置等の実物説明を含む） 鳥居卓爾（日立機研）

10時50分-12時20分：(2)「エレクトロニクスデバイスの温度コントロールはいかに行うか」

（実験装置等の実物説明を含む） 中山 恒（日立機研）

- 1時20分ー2時05分：(3)「宇宙における熱の問題」 小林康徳（筑波大）
2時05分ー2時50分：(4)「核融合炉のプラズマダメージを防ぐ膜技術」
稲川幸之助（日本真空超材料研）
- 3時 ー5時 : 宇宙開発事業団で(3),日本真空で(4)の装置等を見学する。
6時 ー9時 : イブニングセッション（参加者自己紹介と相談コーナーを含む）
「筑波研究学園都市における熱工学研究者の専門分野一覧ー産学官の
連携をめざしてー」
成合英樹（筑波大）&河本哲三（筑波研究コンソーシアム）

----- 10月4日（土） -----

- 9時 ー9時45分：(5)「『伝熱のオリンピック』第8回国際伝熱会議からの話題」
黒崎晏夫（東工大）
9時45分ー10時30分：(6)「生体内の物質や熱の移動はどのようにして行われているか」
大島宣雄（筑波大）
10時40分ー11時25分：(7)「医療現場で出会う熱の問題」 山下 衛（筑波大）
11時25分ー12時10分：(8)「電場を活用するEHD熱交換技術」 矢部 彰（機械研）
1時 ー3時30分：筑波大で(6),(7),機械研で(8)の実験等を見学する。

申込先：〒305 茨城県新治郡桜村並木1-2 通商産業省工業技術院 機械技術研究所
エネルギー機械部熱工学課 矢部 彰 （Tel.0298-54-2561）

申込期限：昭和61年9月13日（土）

なお、人数は最大で50人を予定していますので、早目にお申込み下さい。また、申込は葉書
をお願いします。前日からの宿泊も可能ですので、ご相談下さい。