

Vol. 8  
No. 32

1969  
December

# 伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 32 号

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

# 目 次

## 論 説

§ 1 セミナーの思い出 .....	植田 辰洋 .....	1
ニュース (地方グループ活動) .....		4
§ 1 東海研究グループ .....		4
§ 2 関西研究グループ .....		9
第3回夏期伝熱セミナー要旨 .....		14
寄 書 .....		39
§ 1 日本の伝熱研究はアメリカを追い越せるか .....		39
	棚沢 一郎	
§ 2 カナダ便り .....	鳥居 薫 .....	43
日本伝熱研究会ニュース .....		53
§ 1 抜山四郎先生 Max Jacob 賞を受賞 .....		53
§ 2 第4回国際伝熱会議 (1970) 参加申込 .....		54
§ 3 液体金属の伝熱・流動に関するシンポジウム論文募集 .....		55
§ 4 "Goals of Heat Transfer Research" .....		58
	ASME, Aiche National Heat Transfer Conferenceより	
会 告 第7回日本伝熱シンポジウム講演募集 .....		77
文献リスト .....		78
定期刊行雑誌 .....		78

## §1 セミナーの思い出

東大工 植田 辰洋

先日の泉先生からのお手紙に引続いて、本日は次回の第4回夏期伝熱セミナーの計画についてのお手紙を高浜先生から頂いた。この機会にと思い「伝熱研究」前号の第3回伝熱セミナーの記事を興味深くよみ返してみた。セミナーの目的とは、性格は何か、ということにはそれぞれの受取り方があつても、参加者がそれぞれに大きい意義を見出しておられると感じ、小茂島準備委員長の御苦心と講師の方々の御努力に感激した。第4回は東海地区の杉山、高浜、泉諸先生の御企画で、来る7月末、浜名湖畔で行われる。新たな特色を加えられる由、御盛會を期待している。

さて、かねがね「伝熱研究」編集委員長の石黒先生から、何か書くようにとの御指示もあり、思いつくままに楽しかったMITでのセミナー——Summer Special Programs——のことを書かせて頂くことにする。1967年の春すぎ、カリフォルニア大学デイブリスにいた時、MITのRohsenow教授とGriffith教授から、7月下旬「気液二相流と伝熱（沸騰、凝縮）」のプログラムがあるから出席しないかというお誘いを頂いた。早速申込み、予定を1ヶ月早めてボストンに行つた。御存知の方も少なくないと思いますが、MITでは毎年夏、特別プログラムと称して40ぐらいのセミナーを開いている。主目的は急激に発展する科学・技術に対応するよう科学・技術者の再教育ということである。多人数のもあり小人数のもあるが、私の出席したのは定員40名、大学の教官、研究所・会社の研究者を対象としたものであつた。

Coordinator はGriffith教授とGouse教授、

これに講師として Rohsenow, Bergles, Hill など MIT の教授とアルゴンヌ研究所の Dr. Fauske などが加わっていた。期間は 2 週間にわたる 10 日間、毎日のスケジュールは、

Periods (2 weeks, Mon. to Fri.)	
1 st	9 : 0 0 - 1 0 : 0 0
Discussion	1 0 : 0 0 - 1 0 : 2 0
Coffee	1 0 : 2 0 - 1 0 : 4 0
2 nd	1 0 : 4 0 - 1 1 : 4 0
Discussion	1 1 : 4 0 - 1 2 : 0 0
3 rd	1 : 3 0 - 2 : 3 0
Discussion	2 : 3 0 - 2 : 5 0
Coffee	2 : 5 0 - 3 : 1 0
4 th	3 : 1 0 - 4 : 1 0
Discussion	4 : 1 0 - 4 : 3 0

1 ~ 3 時限は講義で、10 日間の配布プリントは約 1,300 ページの大部のもの。大部分はこのプログラムのために用意したもので、話の内容以上に詳細なものであつた。講義の進め方は基礎的なこと考え方を丁寧に説明してから、最近の研究結果の説明や評価におよぶというよう十分時間をかけたやり方が多かつた。10 日間を通じて Griffith, Gouse 両教授は常時同席、また前半ドイツに出張していた Rohsenow 教授も後半は常時同席して討論の中心になつていた。1 時間講義のあと 20 分の討論、そのあと教室の外で、コーヒーとドーナツを手にとさらに個人的な討論という順序である。出席者はアメリカ東海岸各地とカナダからが多く、大部分が初対面。いくら陽気なアメリカといつても始めからそう討論が活発なわけではないが、二日、三日と一語にコーヒーを飲んでいるうちに親密になり、それにともなつて討論も活発になり、講義中にも質問が飛出すようになる。一部の講義では簡単な実験装置——二相流の流動様式、プール沸騰など——も持込んでやつてみせる。プリントの個所が

おかしいという早速検討して訂正プリントをくばる。講師の研究論文がほしいというかなり用意してしてくれる。講師の熱心さと馬力には驚ろかされた。勿論講義は英語であるから、そうスムーズについていけない。Rohsenow 教授に話し方が早すぎるといつたら、次の時間から早速気をつけてくれた。講義のうまさと馬力に定評のある Griffith 教授はともかく、Gouse 教授は終りの頃は声がかすれていた。あとで Gouse 教授と話をしていたら、このプログラムは教材の準備など大変で、とても毎年はできない、疲れるといっていました。

4時限は10回のうち、第1回は参加者の自己紹介、第2・3回は研究室 Tour で、MIT における関連の実験装置をみてまわつた。行く先々に、それぞれの研究の担当者が待つていて、説明し討論に応ずる。アメリカでは珍しいほど行届いたサービスである。あと2回は講義、残りの5回は演習で、主に設計的な問題をとり上げ、講義と関連させながら解答を出していく。取上げる問題は1回1~2題であつた。第1週の火曜の夕方はカクテルパーティ、第2週水曜の夕方は夕食会で、夕食会には講師は奥様づれで、また参加者も1/3ぐらいは同伴でボストンに来ているが、そのうちの半数ぐらいは奥様づれで、雑談に賑やかな会合であつた。

参加者はセミナー期間中の図書館、食堂などの利用は MIT の faculty member なみの扱い（参加者には書類選考がある）であるから、ほしいと思つた文献は図書館でコピーをすぐとつてくることもできる。参加費は2週間コースで400\$。アメリカでも随分高いらしい。思えばいろいろの意味で豪華なセミナーであつた。日本でもこのようなセミナーができれば、と空想する次第である。

ニュース（地方グループ活動）

§ 1 東海研究グループ

昭和44年10月4日，於名古屋大学工学部

a) 吹き出しを伴う回転円板よりの熱および物質移動

豊田工業高専 井口 明  
同 上 小森 勝夫  
静岡大学 工学部 泉 亮太郎

われわれは，その中心に6φ（開孔面積0.045%）の空気吹き出し孔をもつ直径90φのナフタリン回転円板を用いて熱および物質移動を求めた。この場合，(I)回転円板が開放空気中にあるとき，(II)直径90φの静止円板を間隔C隔てて置いた場合について実験を行い，吹き出し空気量，回転数，静止円板と回転円板との間隔の影響について求めた。

しかし本実験においては，吹き出し空気が1孔から出ていること， $\frac{\rho_w v_w}{\rho_\infty u_\infty} \sqrt{Re_x}$ なる吹き出しパラメーターが大きいことから従来の吹き出し問題と意を異にしていると思われる。

〔結論〕

(I)開放空気中における場合

(1)吹き出し空気流速が増すとShは増し各回転数共同様な傾向をもつ。

(2)局所値は吹き出し空気流による誘気流れのため吹き出し孔近傍で $K_c$ が大きい。

(II)静止円板をおいたとき

(1)間隔の影響は前論文…吹き出しのないときの静止円板の影響の場

合と異り，間隙を小さくすると  $Sh$  は増大する。

(2)局所値は吹き出し空気流の反射により吹き出し孔近傍で大きく

$K_c \approx 200 \text{ m/h}$  にも達することがある。

b) 垂直密閉層内の熱移動

名大・工 杉山 幸男 渡辺 藤雄  
東農工大・工 清水 賢

垂直密閉層内での自然対流熱伝達に関しては，密閉層の縦  $r$  と横  $d$  の比  $\alpha$  をパラメータとして理論的あるいは実験的に解明されている。しかしながら， $\alpha$  が 1 より大きい近傍で熱の伝達率が極大になるであろうという実験的な指摘に対する理論解はまだ与えられていない。また外冷，内熱式の二重円筒型をした熱拡散分離塔などで二重垂直平板間の問題として取扱つてもよい場合には  $\alpha$  が 1 より大きい近傍についても充分な理論的考察が必要である。そうした見地から本研究では，垂直密閉層内の諸現象を示す微分方程式を Poots が行つた数値解法を導入して解き， $\alpha$  が 1 から 100 で且つ  $Pr$  数が 0.1 から 10， $Ra$  ( $Pr$  数と  $Gr$  数の積) が 100 から 1000 の領域での伝熱に関する相関式を求め，それが  $Nu-1 = Ra^{2.03} / (8.56 \times 10^{-4} \alpha^{2.1} + 2.55 \times 10^{-7} \alpha^{-2.0})$  で表わすことができることを示しました。またそれまでに到る結果から， $\alpha$  が 2 の近傍で自然対流による伝熱効果が最大になることを理論的に見出しました。

c) 側壁を有する噴流による熱伝達の研究

(第 2 報，オフセットした平板上に再付着する

二次元噴流による乱流物質伝達の実験)

岐大工 梶川 兼男 熊田 雅弥  
平部 秀昭 馬淵 幾夫

第1部でオフセット零に対応した二次元壁噴流の熱伝達特性を、未発達領域をも含めて物質伝達実験からのアナロジーより考察した。本報告では、Cavity 領域を形成する二次元噴流による平板からの物質伝達を知るために噴流がオフセットした平板上で再付着し、形成する逆流領域と再付着点後流領域について、流れの場とナフタリン昇華法を利用して物質伝達の特性を実験的に研究した。

逆流領域での壁面静圧、物質伝達率、再付着点での最大物質伝達率などの結果におよぼす  $h/L$  の影響について解明し、さらに再付着点後流での最大速度の減衰の考察より、仮想噴口モデルを導入し壁噴流と対応させた。ここでは  $h$  は平板から噴口中心までの距離、 $L$  は噴口幅である。ここで得られた主な結果を列挙する。

(1) 再付着点の長さ、逆流領域での平均静圧差（壁面静圧大気圧との差の平均）と平均シャウツド数等は、 $h/L \doteq 7$  を境として異なる傾向を示す。

(2) 最大シャウツド数 ( $Sh_{\max}$ ) は再付着点の位置で得られる。

$$Sh_{\max}/Res^{0.58} = 1.04 (h/L)^{-0.6}$$

ここで  $Res = U_j L / \nu$   $U_j$ : 噴口出口速度

(3)  $h/L \leq 6.5$  と  $h/L \geq 8.5$  では噴流の半値幅が同じ  $x^*/L^*$  に対して異なる。ここで  $x^*$  はみかけの原点からの距離、 $L^*$  は仮想噴口幅である。

(4) 再付着点近傍での再付着効果は、再付着効果関数  $f (= 1.0 + 0.84 (x^*/L^*)^{-8})$  で考慮できる。ここで  $l^*$  はみかけの原点から再付着点までの長さである。

(5) 再付着点後流での物質伝達率の表示は、

$$Sh/Res^{*0.8} = 0.208 (x^*/L^*)^{-0.62} f$$

$Res^* = U_j^* L^* / \nu$ ;  $U_j^*$  は仮想噴口出口速度である。



d) ボルテックスチューブに関する研究 (広がり)

管形および細まり管形うず室)

名大・工・ 高浜平七郎, 加藤 武志, 藤田 秀臣

ボルテックスチューブのうず室を, 細まり管形あるいは広がり管形にすると, 直管形の場合とは異つた速度・温度分布およびエネルギー分離性能を示すことは, すでに著者の一人が報告した。ここでは比較的断面変化の小さい場合につき, その速度・温度分布およびエネルギー分離性能におよぼす影響を実験的に検討した結果を報告する。

実験装置は図1に示す。うず室は表1に示す各種を使用した。

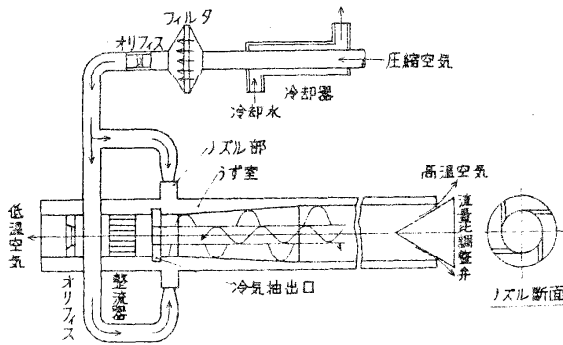


図1 実験装置概略

表1 装置主要諸元

うず室		ノズル					冷氣抽出口	
種類	断面形状	ノズル開口部内径 $D_{in}$ mm	長さ $L/D$	口径 $d_n$ mm	個数 $N$	開口面積比 $N(d_n^2/D)^2$	口径 $d_o$ mm	開口面積比 $(d_o/D)^2$
Type 1	直管	5 2.8	151.52	11.01	4	0.1739	23.5	0.1981
Type 2	広がり管 テーパ3/100	"	50	"	"	"	"	"
Type 3	広がり管 テーパ6/100	"	"	"	"	"	"	"
Type 4	広がり管 テーパ9/100	"	"	"	"	"	"	"
Type 5	直管	7 9.3	100.88	16.00	"	0.1628	35.685	0.2025
Type 6	細まり管 テーパ3/100	"	50	"	"	"	"	"

実験結果 うず室の広がり、速度分布の軸方向における相似性を損い、接線速度の減衰を促進する。細まり管形うず室では上記の傾向は認め難いが、逆流域の軸速度分布が異つた形を示す。

ノズル近傍のうず室断面における全温度分布を比較すると、軸心部における全温度降下は、直管と細まり管ではほぼ等しいが、テーパ 3/100 および 6/100 の広がり管ではそれより大きい。全温度の半径方向の勾配は、管軸方向に減衰するが、うず室の広がり、減衰を促進し、細まり管形では減衰を緩和する。

うず室中心部を逆流する空気量を調べた結果、うず室の広がり、ノズル開口部から冷気端へ直接向う逸流を防止し、細まり管はこれを増大する傾向が認められた。

結論として、3/100、6/100 程度のテーパを与えた広がり管は、直管よりも短い軸方向距離でエネルギー分離作用を完了する長所があり、かつノズルから直接冷気端へ向う逸流が存在しない利点があるため、直管よりもエネルギー分離性能が高い。しかし 9/100 程度のテーパを与えた場合は、環状流と逆流との境界域に停滞または再循環する流れが存在し、環状流と逆流との間のエネルギー交換を妨げるため、エネルギー分離性能が低下する。また細まり管では、エネルギー分離作用を完了するのに必要なうず室長さが、直管の場合よりも大となる短所があり、かつノズルから冷気端へ直接向う逸流が増大するため、直管よりもエネルギー分離性能は低い。

## § 2 関西研究グループ

昭和44年10月24日 於京都工芸繊維大学

### a) 輝炎ふく射の分光学的研究

京大・工 国 友 孟

輝炎の赤外ふく射スペクトルについて、筆者が過去に行なつた実験的研究ならびに理論的研究を総括的にかつ詳細に述べた。輝炎ふく射のうちで、特に注目したスート粒子群のふく射は連続スペクトルでその値は従来の理論値に比べて非常に大きかつた。スート粒子群の粒径分布の相違による単色吸収係数の大小は実験と理論でよく対応していた。また、従来の理論のようにスート粒子とグラフアイト粒子が同じであるとは考えずに、その多結晶性、炭素含有量を考慮して光学定数を求め、Mie理論により単色吸収係数を計算した。その計算結果は従来の理論値に比べてより実測値に近づいた。炭素含有量の大小の影響についても数値的に検討したところ、炭素含有量の大きなるほど吸収係数が小さくなることが見出され、これは他の実験結果や筆者の実験結果と傾向的に一致するものであつた。

### b) ガスタービン燃焼器における化学反応\*

阪大工 水 谷 幸 夫

ガスタービン燃焼器における大気汚染物質の形成過程を調べる目的で

○

\* この研究は筆者がカリフォルニア大学バークレー校において E. S. Starkman, R. F. Sawyer, D. P. Teixeira と共同で行なつたものである。

小形試験用燃焼器各部のガス組成分布を測定した。この燃焼器は罐形で、外筒直径100 mm, 内筒直径76 mm, 内筒長さ356 mm, 内筒は側面に直径6 mmの二次空気孔80個, 上流端に放射線状に一次空気導入スリットを切つた半球形ドームを持つている。ドーム中心には単純形渦巻噴射弁が設けられている。また内筒下流端にはオリフイスが置かれ, これにより燃焼室圧力を一定に保つようになつている。燃焼室後端からプローブを挿入し, 多数の点で燃焼ガスのサンプリングを行なつて, NO, CO, CO<sub>2</sub>, HCを分析した。その方法はバッチ式紫外線吸収分光分析器でNOを, 非分散型赤外線分析器(Beckman IR 315)でCOとCO<sub>2</sub>を, 炎イオン化検出器(Beckman 106E)で未燃炭化水素を分析した。炎イオン化分析器のキャリブレーションにはヘキサンと窒素の混合気を使つたので, 炭化水素濃度は「ヘキサン等価濃度」として与えられる。また, 計測の都合で未燃炭化水素はWet baseで, 他はdry baseで与えられる。

実験に使用した燃料はn-ヘプタン(液)。すべての実験にわたつて燃焼室圧力は1.5 atm abs. 一定, また燃料噴射圧力も一定に保つた。燃空比は現在から近い将来までのガスタービンのアイドルから全負荷までの運転条件をカバーする目的で, 当量比にして, 0.119, 0.205, 0.281の3種類を選んだ。燃料噴射圧力は一定に保つているから, 燃空比の変更は空気量を変えて行なうことになる。なお, 入口空気温度は室温である。

上の実験によつて得られるデータは燃焼室各部におけるNO, CO, CO<sub>2</sub>のモル濃度(dry base)と未燃炭化水素のモル濃度(wet base)である。水素分子などの微量成分と空気中の水蒸気を無視し(実験室圧縮空気を利用しているから水蒸気含有量は非常に少ない), 未燃炭化水素をヘキサンで代表できると仮定すると, これから容易に元の燃焼ガス組成を計算できる。

ところで, この研究の目的はガスタービン燃焼器内での燃焼反応の進行を系統的に追求することであるから, 燃焼器各部のガス組成以外に, 局所燃空比, 温度, 反応完了度の分布を知る必要がある。

燃焼ガス温度 $T_i$ は直接測定せず, 局所燃焼ガス組成からエンタルピ・

バランスを使つて計算した。この場合、エンタルピ・バランスを乱すような熱の伝導、放射や分子拡散などは無視できる程度に小さいと仮定している。さらに局所燃空比も局所ガス組成から計算した。局所燃空比がわかると、その混合気が完全に反応して化学的平衡状態に達したときの温度（断熱燃焼温度） $T_e$  ならびに組成（平衡組成）が平衡計算で求められる。反応完了度  $\eta$  を、

$$\eta = \frac{T_i - T_1}{T_e - T_1} \quad (T_1 = \text{初期温度})$$

と定義すると、先の計算結果 ( $T_i, T_e$ ) を使つて簡単に計算できる。

以上の計算結果を使つて、燃焼器軸上、軸と内筒壁との丁度中間、ならびに内筒壁より 3 mm の位置における温度、局所燃空比、反応完了度、各種成分 (NO, CO, CO<sub>2</sub>, HC) の濃度（実際の濃度ならびに平衡濃度）の軸方向分布線図を作成した。さらにこれら線図から燃焼ガスの等温度線図、等燃空比線図、大気汚染成分 (NO, CO, HC) の等濃度線図を描いた。

上に述べた計算、グラフの作成、等温・等濃度線図等の作成はほとんどすべてデジタル電子計算機とそれに直結したプロッタで行なつた。紙面の関係でそれらの線図は省略し、結論だけを要約する。

1) 燃空比を変えると、局所燃空比の分布はかなり大きく変化する。しかるに、この実験では燃料圧力は常に一定に保ち、空気流量を変えることによつて全体の燃空比を変化させているから、空気流量の増減によるわずかな影響を除いては粒度分布や噴霧広がり角等の噴霧特性はほぼ一定と考えられる。したがつて空燃比分布のこの差異は空気流量が変化したことによる流れ模様や乱れの変化によるものであろう。このことから、比較的小さな空気流量の変化が燃焼器各部の混合気形成に大きな影響を与えることがわかる。混合気濃度の分布は温度分布と反応の進行、ひいては大気汚染物質の形成に大きな影響を及ぼす。

2) 局所燃空比ならびに温度の分布から、還流域が燃焼器上流端まで伸びていることが認められた。そして、上流端に近い内筒側壁付近で混

合気濃度ならびにガス温度が非常に高くなっている。

3) 当量比が0.119と低いときは軸付近の最高温度は1300°K程度にしかならないが、0.205では1800°K以上の高温域が軸上に出現し、0.281ではその領域が燃焼器全体の約1/3にも広がる。高温域の温度と広がりには排気中のCO、NO、HC濃度に大きく影響する。

4) 燃焼器内における一酸化炭素の最高濃度は、当量比が0.119、0.205、0.281と増加するに従って1%、2%、4%と増加するが、出口濃度は逆に0.2%から0.02%へと1桁低下する。これは燃空比が高くなると高温域が下流の方まで続くため、COがCO<sub>2</sub>になる酸化反応の時間が長くなることを示す。なお、CO濃度が最大になるのは最高温度の位置より上流側で、当量比が1.0より大きくなる場所となつてはいるが、これは化学平衡論と一致する。ただ、CO濃度の最大値は最低1桁、場合によつては4桁平衡値より高くなつてはいる。

5) 未燃炭化水素の出口濃度は、当量比が0.281と0.205の場合10ppm以下とかなり低いが、最も薄い0.119では50ppm程度と大きくなる。この理由は、一酸化炭素の場合と同様、当量比が大きくなつて高温域の温度と広さが増すとHCの酸化反応が加速され、しかも反応が下流まで長く続くためであろう。

6) 酸化窒素濃度が最大になる位置は、最高温度領域の中で局所当量比が1.0よりやや低いところに一致する。また、還流域のように、温度は高くても当量比が1.0より高いとNO濃度は低くなる。これは化学平衡論の予想と一致する。ただ、NO濃度の最大値は平衡論から予想される値よりかなり低くなる。

7) 酸化窒素生成の逆反応(分解反応)は温度1600°K以上の高温領域で顕著に現れることが認められた。このことから、排気中の酸化窒素濃度を減少させるためには、ガスの急冷を防ぎ、1600°K以上の高温域を下流までできるだけ長く持続させることが有効であることがわかる。

8) 燃空比が増すほど反応は早く完了に近づく。たとえば、当量比

が0.119のとき、反応完了度は出口でも95%であるが、当量比が増すと反応は燃焼器の最初の1/3ないし1/4で95%完了し、出口付近では反応完了度が99%を越える。

### 第3回夏期伝熱セミナー要旨

#### a) ブール沸騰におけるバーンアウト

##### および遷移沸騰の機構

東大工・横谷定雄

飽和ブール沸騰におけるバーンアウトの機構については、(1)加熱面に付着する蒸気塊の伝熱妨害、(2)蒸気および液体の流動状態に関する限界等に基礎をおいた説が提出されている。これらはおおむね、静的な状態においてバーンアウト現象を説明しようとしている。

しかし沸騰現象を忠実に観察すると、高熱流束核沸騰および遷移沸騰では、その流体挙動は周期的過程を持つ現象である。またバーンアウト点は核沸騰と遷移沸騰との両領域での極限現象である。したがってバーンアウト機構は相互に関連すべきものである。

これらの立場から、主として直径10 mmの銅製加熱面を用い、大気圧の水の各種沸騰形態を取扱う。バーンアウト点付近の核沸騰・遷移沸騰について、加熱面近傍における流体挙動および加熱面へのスケール析出状況を詳細に観察し、現象を追求する。

高熱流束核沸騰では、核沸騰によつて発生した蒸気は、加熱面の上方において蒸気塊を形成する。この蒸気塊と加熱面との間には、核沸騰を続ける核沸騰液層が存在する。この液層は熱量を吸収し核沸騰によつて消耗され、発生した蒸気は蒸気塊を成長させる。蒸気塊は、ある周期（バーンアウト付近における核沸騰・遷移沸騰両領域では多差がない）を持つて加熱面から離脱する。この時期において液体が加熱面へ供給される。また核沸騰液層の初期厚さは、蒸気塊の形成速度に起因し、熱流束の増加と共に減少していく。

したがってここにおいて注目される現象は、加熱面上における核沸騰

---

夏期伝熱セミナー要旨のうち 伝熱未来学 は、すでに前号に掲載させて戴きましたので除いてあります。また、現在著者が海外出張途上にあり原稿を入手できないものが一点ありましたことを付記してお詫び申し上げます。



液層の存在と蒸気塊の停滞である。蒸気塊が加熱面上に停滞中に、核沸騰液層が消耗しない状態が核沸騰領域であり、熱流束が増加して液層がちょうど消耗されつくす限界がバーンアウトである。

さらに加熱面温度が高くなり遷移沸騰領域に入ると、蒸気塊が加熱面上に停滞中に、初期において加熱面上に存在していた核沸騰液層が核沸騰によつて消耗し、乾燥状態が出現する。この状況下では核沸騰と乾燥状態との関連から、遷移沸騰における時間平均の熱流束はバーンアウト熱流束よりも低下する。

多くの場合、加熱面乾燥後において周辺から液体が侵入し沸騰がおこり、蒸気塊は成長し離脱する。この加熱面乾燥後の沸騰によつて伝わる熱量の全伝熱量に対する割合は大きく、遷移沸騰領域における沸騰曲線が、加熱面の汚れなどによつて異なつたものになる原因になつている。

このように、連続的に変化する液体と蒸気の流動状況から、バーンアウト点付近における核沸騰、バーンアウトおよび遷移沸騰の機構が一直線上において把握できることを示した。

#### b) 曲管内での2相伝熱

三井造船 小 関 守 史

曲管内での2相伝熱について筆者らの行なつた研究、内外の研究報告などから特徴的なことがらを取まとめて述べた。その主点は次の通りですが、実験条件等が微妙に影響するものと思われます。

1) 曲管内のクオリティ領域での沸騰熱伝達率は、我々の研究ではクオリティ、圧力、流量および曲管位置の影響をあまり受けないうであつたが、Owhadiらの研究では外廻が一番大きく、内廻が一番小さい。

2) ドライアウトは曲管外廻の方が内廻よりクオリティの低い方で起り、流量大では上下側は更に低い方で起る。これは主流の2次流れの影響が卓越しているため液膜分布が外廻にうすく内廻に厚くなることから

説明できる。

3) 曲管内凝縮熱伝達率は、管の位置で差がありクオリティが大きくなるにつれて外廻が大きな値となり滴状凝縮機構に近い伝熱特性を示す。これも前項と同じ理由によるものであろう。

4) 低クオリティでのバーンアウトは、塚原らによると内廻で起る。液相流量の大きい気泡流域では気泡が内廻に寄つて流れるためであろう。

5) 曲管内の流動様式について、波状流から環状流への遷移が水平管にくらべてガス速度の速い方にづれる。これは2次流れの影響であろう。

6) 触針法による環状流域での液膜厚さの測定では、平均的な液膜厚さは内廻が外廻よりも厚く、液相流量が大きくなるにしたがい、この傾向は逆転する。また水平管のそれは内外廻のものより小さい。

7) 高圧では、気液の比重差も小さくなり、液膜に作用する遠心力が卓越して前記のような現象がみられなくなるようなB & Wにおける実験もある。

## c) 膜 沸 騰

九大工 伊 藤 猛 宏

### 1. 膜沸騰熱伝達の特質

膜沸騰熱伝達の一般的性質を述べ、問題の内容を明らかにした。

### 2. 膜沸騰熱伝達理論の発展

まず沸騰熱伝達全般にわたつて1934年に抜山論文が発表されるまでの歴史的な研究を展望した。以後1966年までは膜沸騰熱伝達のみ話題を限定し、(1)膜沸騰熱伝達における気泡の挙動に関する研究、(2)重直平板からの自由対流膜沸騰熱伝達に関する研究、(3)水平円柱からの自由対流膜沸騰熱伝達に関する研究、(4)上向き水平板からの自由対流膜沸騰熱伝達に関する研究、について批判的に展望した。

### 3. 九州大学における水平円柱からの自由対流膜沸騰熱伝達に関する研

究の総括。

九州大学で行なわれた実験のすべての結果と内外の測定値を統一的に整理する方法についてふれた。

d) 非定常加熱による温度伝導率の測定法

動燃事業団 熊 田 俊 明

高温材料工学や原子力工学の分野では、高温における熱物定数を精度よく迅速に測定する方法の開発は緊急の課題である。このため、小さな固体試料の熱物定数を、高温域まで非定常加熱によつて短時間に測定する方法が数多く提案されている。これらの測定法の中に、薄い板状試料の一面を輻射熱源や電子ビームによつて、ステップ、パルスまたは周期的に加熱し、試料の前面と背面での温度波の位相の差に基づいて温度伝導率を測定する方法がある。高温における測定法として最も応用範囲が広く優れていると思われるので、これらの測定法を紹介し、測定法の問題点を指摘し、さらにより精度を高めるための方策を示した。高温における熱物定数測定法一般に云えることは、測定誤差の原因の多くが理論解を求めるため、単純化した境界条件を十分に満たす装置の開発が難しい点にある。この困難を克服するために、電子計算機を活用する方法がある。実際の装置において満たされる境界条件に基づいて熱物定数を決定すれば、測定誤差をかなり小さくできると思われるので、この方面の研究に努力が払われるよう期待する。

第1表は上記三つの方法について報告した主な点をまとめたものである。

第1表 三つの測定法の比較

加熱方法	輻射熱流束による加熱		電子線による加熱	
	ステープ加熱法	パルス加熱法	同期的加熱法	ステープ加熱法
測定方法	試料の背面温度を測定し、異なる時間における温度の比に基づく	試料の背面温度を測定し、その最高温度の1/2になるまでの時間に基づく	試料前面と背面の温度波の位相差に基づく	試料背面温度の位相の進みに基づく
雰囲気	真空	中		
試料温度保持	電気炉		電子線の定常加熱	
測定温度範囲	熱電対および電気炉の使用限度		700℃～試料融点近くまで	
試料寸法(mm)	≧1×5φ	≧0.5×5φ	≧1×10φ	≧1×6φ
所要測定時間(sec)	0.1～5	0.01～1	10～100	0.1～5
熱源種類	各種あり	フラシユランブ・固体レーザー	電子銃	
熱源の均一性	実用上問題なし	ガウス分布に近い不均一(固体レーザーの多モードで)	ガウス分布に近い不均一	
温度測定法	0.1mmφ程度の熱電対を金属対を金属対で、スポット熔接非金属では金属箔をつけてスポット熔接		光学的な測定法による	
特徴	≦1000°でaが小さい場合に有利。この逆は側面輻射熱損失を考慮する必要あり	不均一加熱の影響が大きいので注意する必要あり	位相差の決定精度が十分でない。試料側面からの輻射熱損失の影響大	周期的加熱法の欠点をある程度解消した。測定例なし

## e) 気体および液体の物性値の測定について

慶大工 長 島 昭

気体および液体の物性値のうち熱力学的性質は比較的測定値がそろっているが、粘性、熱伝導率など輸送的性質は精確な実測値が不足している。またいずれの場合も高温高圧領域や臨界点の近くなどでは不明の点が多い。慶大谷下研究室では高温高圧における水と蒸気の  $P-v-t$  関係を2重容器式の装置により精密測定する研究を幾つかのシリーズにわたって実施し、フロン系冷媒についても  $p-v-t$  関係に関する実験、比熱の測定実験なども並行して進めている。また高温高圧領域での水および蒸気の粘性係数の測定研究を行い、900℃, 1000bar までの領域の測定結果を得ている。この研究に用いた装置は長さ30cmの白金製毛管を組み込んだ閉回路式の外熱式装置で、白金製毛管の検定の問題に特に留意して研究を実施した。その結果約400℃, 220bar附近などでこれまで幾つかの研究例の間に存在した10%以上にものぼるくい違いの原因をほぼ明らかにすることができ、このことはその後最近のソ連の実験結果などからも裏づけられた。水蒸気の粘性係数については亜臨界温度での等温線の圧力勾配などの測定を引続き行っている。

## f) Plasma Heat Transfer

東大工 神 沢 淳

極限状態下での熱伝達の問題の一つとして、流体が電離した場合 (Plasma) における熱伝達についていくつかの例を上げながらその特徴を述べてみたい。この問題は「Plasma Heat Transfer」という名称で現在一つの分野になりつつあるように思われるが、Plasma Heat Transferが一般の熱伝達と異なる点は流体中にイオンや電子などの荷電粒子を含んでいるということであろう。すなわち、電界や磁界の存在に

よつて熱流量がかわつてくるし、電離エネルギーの拡散による運搬によつて熱流量の増加がもたらされる。更に熱伝導率などの物性定数が荷電粒子の存在によつて特徴的な変化をする。ここでは電界や磁界が存在するかしないかによつて Plasma Heat Transfer の問題を3つに分類し記述してみたい。第一は電界および磁界のない場合で、空気中の高速飛翔体の先端でおこる現象やプラズマジェットによる溶断などにその例を見ることができる。この場合の特徴は流体自身が高温であるほかに、物体表面にできる境界層領域での組成が多くの場合凍結状態に近いという点である。第二は電界が存在する場合で、例としてアーク放電の陽極における熱伝達の問題などがある。この場合の特徴は物体に電流が流入することであり、そのときにおこる荷電粒子の物体表面での内部エネルギー（仕事関数など）放出や境界層領域でのジュール加熱などを考える必要がある。ある実験結果によると、物体の電位が Plasma の電位よりわずかに負のときに熱流量が最小になることが示されている。第三は電界も磁界も存在する場合で、磁界が荷電粒子をさえぎる働きをもっていることが大きな特徴である。MHD 発電の場合のように流れと直角方向の磁界がある場合には、磁界による流れの変化という現象を通して熱伝達への影響があらわれてくる。また壁面に平行な磁界がある場合にはそれを横切る荷電粒子の移動が主たる問題となり物性定数に対する磁界の影響が直接的な意味をもつてくる。

以上のように Plasma Heat Transfer の問題は、それぞれの分野で遭遇した問題についておこなわれているのが現状でその総まとめ的な文献もあるが、今後もつと体系的に進めていくべき問題であるように思われる。

g) Cryogenic Heat Transfer, 主として低温漸熱について

日立日研 平 戸 瑞 穂

Cryos とはギリシヤ語で icy-cold の意味であり, Cryogenics とは production of cold または process involving very low temperature のことである。学問体系としては第2次大戦後 MIT の Collins 教授が 100°K 以下の低温分野の工学として Cryogenic Engineering を提唱したのが始まりである。

低温の研究は歴史的にみて三つの時代に大別できる。一つは 19 世紀の後半で主として当時の物理学者により酸素, 窒素等いわゆる遠久ガスが次々に液化された時代である。20 世紀の前半はヘリウムの液化に成功し, これを用いて超電導, 超流動等の現象が討論された。20 世紀後半になると液体酸素, 液体窒素等が大量生産され工業的に利用され始めるとともに, 液体ヘリウムで冷却した工業機器の試作が行なわれるようになった。

Cryogenics における主役は伝熱である。例えばガスの液化機は大部分が熱交換器の集積であり, 液化ガスの貯蔵輸送は断熱, 保冷が支配的因子になる。Cryogenics Heat Transfer の特殊性は先ず第一に常温のすべてのものは大きい熱源になり, ここからの侵入熱に対して熱遮蔽を完全にしなければならぬことである。例えば液体ヘリウムの場合, 蒸発の潜熱は 5.2 kcal/kg と非常に小さく, 1 l の液体ヘリウムは僅か 0.75W・h の侵入熱で蒸発してしまう。一方液体ヘリウム温度における冷却の電力原単位(ヘリウム液化の電力原単位)は 1kW/W-Cold と非常に大きい。従つて外部からの熱遮蔽が不完全であるとヘリウムは液体としてとりだせなくなる。

次に極低温では原子運動も緩慢になるので, 固体材料の熱伝導率は非常に小さくなる。また諸物性値の変化が大きくなり, しばしば不連続の傾向を示すようになる。しかし固体表面における熱伝達は物性値の推定さえ正確であるならば従来使用されている関係式をそのまま延長して使

用することができる。全伝熱量に関してはふく射の占める割合が多くなり、保冷断熱ではこれをいかに小さくするかに努力が払われている。

低温断熱の原理は低温壁と高温壁の間を高真空にしてガスの分子熱伝導を完全に防ぐとともに、ふく射を最小にするよう考慮することである。高真空断熱は1898年 Dewar が液化ガスの保存に使用した魔法びんに始まるが、注目すべきことは彼が現在広く使用されている真空粉末断熱、積層断熱についても言及していることである。

真空粉末断熱はパーライト等の粉末層を真空にし、残存気体の変位圧力を上げ低真空で断熱の効果をだそうとするものであるが、粉末層自体の伝熱がさけられないため平均熱伝導率はあまり小さくならず中にアルミ、銅等の粉末を混入しふく射を防ぐ方法もとられている。

積層断熱は1951年スエーデンの Peterson が Dewar 容器に薄いグラスウールと磨かれたアルミ箔を重ねスパイラル状にまきつけてふく射遮蔽したのが始まりで、その後ロケット関係等の必要に迫られ Linde 社で精力的に研究完成されたものである。この断熱法は平均熱伝導率が非常に小さく Super insulation といわれている。使用するアルミ箔は  $0.1 \sim 0.01 \text{ mm}$  で表面を平滑に磨き、脱脂、脱ガス処理をした上使わなければならない。輝いている面の emissivity は  $0.1 \sim 0.02$  程度であるが、水蒸気の単分子が層を作つて凝縮すると  $0.8$  程度まで増大するといわれている。スペーサのグラスウールは  $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$  で、バインダを使用すると脱ガスできなくなる欠点がある。最近  $0.1 \sim 0.02 \text{ mm}$  程度のマイラにアルミを  $1500 \sim 2000 \text{ \AA}$  の厚さに蒸着（アルミ分子  $3 \sim 4$  層）したシートが市販されており、これを用いると簡単に積層断熱を施すことができる。なおこれらの場合の真空度は大体  $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ Torr}$  に保つ必要がある。

次にこれらの断熱法の平均熱伝導率の大体の値を示すと、パーライトの粉末断熱の場合で  $10 \sim 50 \mu\text{W}/\text{cm}^{\circ}\text{K}$ 、ふく射を防ぐため金属粉を入れた場合  $5 \sim 10 \mu\text{W}/\text{cm}^{\circ}\text{K}$ 、アルミ箔とグラスウールの積層断熱の場合で  $0.4 \sim 5 \mu\text{W}/\text{cm}^{\circ}\text{K}$ 、（いずれも  $300 \sim 77^{\circ}\text{K}$  の間）程度であ



る。これらの値は構造によつてももちろん大幅に変化する。

以上各種の低温断熱法について紹介した。低温容器の侵入熱量，平均熱伝導率はいずれも実測して求めているが，計算法についても断熱材の伝導，残留ガスの分子熱伝導，ふく射に分け，理想化したモデルの下でいろいろ試みられている。しかし例えば積層断熱の場合層を締付ける力の影響，層中に含まれた残留ガス，表面のemissivityのとり方等非常に定量化しにくい問題も多く，実際の場合を精度よく予知する計算法は確立されていないのが現状である。

#### 参考文献

J.A.Clark Cryogenic Heat Transfer (Michigan 大学，講義  
テキスト) (1968)

Advances in Cryogenic Heat Transfer AIChE Symposium  
series 87, Vol.64, (1968)

中川，スーパーインシュレーション，低温工学2，(4)，P1 (1967)

h) 固・気反応における化学反応，物質移動，熱移動  
の相互作用について

東工大 石田 愈

固体燃料の燃焼，金属酸化物の還元，硫化鉍の焙焼等の固体・気体間反応はCore modelにより解析されることが多い。しかし，これまでの研究のほとんどは固体・気体間反応速度におよぼす反応熱の影響を無視できると仮定し，化学反応と物質移動(拡散)のみを考慮して解析されてきたため，律速過程に関する結論までも各研究者ごとに個々まちまちなのが現状である。

そこで，有効係数の概念を導入し，固・気反応速度におよぼす物質移動，熱移動の影響を考察した。その結果，熱移動の影響は予想以上に大

きく、ことに発熱反応においては化学反応，物質移動，熱移動の相互作用によつて三個の定常点が存在しうることがあり，このうちの一個が不安定点であること（熱的不安定性）を明らかにした。さらに，固・気反応では反応界面が時間とともに移動していくために，反応の途中で律速過程が化学反応から拡散へ，または拡散から化学反応へと転移しうること（転移的不安定性）を示した。このような不安定性がどのような条件下で生ずるかは，横軸に温度，縦軸に反応気体成分のモル分率をとつた反応線図によつて判定できる。

以上の解析結果を実際の固・気反応速度の解析に応用する目的で，活性炭粉とセメント粉を混ぜて水で練り球形に成型した試料を加熱空気流中で燃焼させる場合の実験を行つた。各律速過程とそれら相互の関連性を考慮して，試料の重量変化と試料内部に生ずる温度分布の解析を試み，さらに熱的不安定性の実際例を示した。また，炭素とセメントの濃度比，外界温度などを適当に選ぶことによつて，ある場合には球中心部が，またある場合には球外表面近くが燃えつきずに立ち消えてしまう。これらの立ち消え現象は転移的不安定性によつて説明できた。

#### i) 非平衡熱力学と伝熱

東工大 河田 治 男

熱移動，物質移動，電気伝導などの輸送現象は非平衡現象，すなわち不可逆過程であり，これらのいわゆる「flux」は温度こう配，濃度こう配，電位こう配などの「(driving) force」によつておこされ，エントロピの生産をともなう点で共通している。「非平衡熱力学」または「不可逆過程の熱力学」とよばれる比較的若い理論体系はこういう非平衡現象を統一的に扱うための，従来の「平衡熱力学」の拡張の試みであるといえる。非平衡熱力学は flux と force の間の線型関係を前提としている。これは個々の輸送現象について Fourier, Fick, Ohm の法則と

してすでに経験的に確立されていた巨視的關係であり、「輸送係数」を定義する關係である。非平衡熱力学の大きな実質的成果は複数の force があるときの cross effect に関して輸送係数間の關係を与える「相反定理」(およびある種の「禁律」)である。これに加えて、非平衡現象のおこっている系の定常状態を与える criterion としての「エントロピー生産最小の定理」、また磁場や body force の場での輸送現象に関する法則が挙げられよう。非平衡熱力学のアウトラインを別表のようにまとめることができる。伝熱の問題も、技術の拡張、進展にともない、複雑な状況下(例:半導体内の伝熱)で研究されることが多くなつてきているという事情のために、非平衡熱力学は今後不可欠の武器となつてゆくと期待される。

こゝでひとつ指摘しておきたいのはこの非平衡熱力学と現象の微視的取扱いとの關係である。すべてその現象はその場の粒子速度分布関数にたいする Boltzmann の方程式を解くことにより(原理的には)完全に解明され、たとえば輸送係数という未知因子も粒子衝突のメカニズムに還元される。十分よい近似の解が得られれば非平衡熱力学の理論結果はもちろん、その基礎となつている線型關係の妥当範囲の検証も可能となるはずである。稀薄気体力学とよばれる分野でこのような取扱いが盛んに行なわれ、衝撃波、Couette flow といった簡単な状況が解析されている。もちろん Boltzmann 方程式は巨視(たとえば Navier-stokes)方程式より一つオーダーの高い情報を含む故にはるかに複雑で解が困難である。この方程式の解を次の4つの段階にならべることができよう。(1) Chapman-Enskog 展開: 分布関数  $f$  を Maxwell 分布  $f_0$  を初項として展開、次の項までとる。(2) Bhatnager-Gross-Krook のモデル: B 方程式衝突項を  $-(f-f_0)/\tau$  という緩和項で書く。(3) Mott-Smith-Lees モデルまたは two-fluid モデル: 衝撃波などで中間域の分布関数の形を両境界の  $f_{01}, f_{02}$  を用いて表示する。(4) 厳密数値解、またはその代用として Monte-Carlo 法による解。これらは順次に線型化の手續すなわち「平衡からの小さなずれ」の仮定をゆるめて行つたものと

見ることができる。f が求まればこれより種々の flux や force も適当なモーメントとして計算できて、その間の関係も見出されるわけである。一例として(2)の方法で電場と温度こう配の下での金属内電子の速度分布関数に対する B・方程式を解くと電流と熱流の表現が得られ、これは上記の force の線型結合で表示され、cross effect に関する相反定理も証明される。(この場合、平衡分布は Maxwell でなく Fermi 分布である。たとえば Kittel: Solid State Physics 参照)。

なお輸送現象として上記のほか粘性(摩擦)応力、化学反応がある(速度こう配、化学親和力が force)。この2つの間の相加現象のあらわれが bulk viscosity である。また非平衡熱力学の概念は一般のプロセス特性の解析妹尾・梅谷: 最近の化学工学 '67, 複雑な流れ場の解析(Wallis, Int. J. Heat Mass Transfer, March '68)にも有力であることを付記しておく。

非平衡熱力学のアウトライン

ランク	flux J	粘性力 $\pi$	伝熱 $J_q$	拡散 $J_i$	電流 $J_e$	化学反応 $J_c$
	force X					
2階 テンソル	速度こう配 $\nabla v$	Newton	×	×	×	
ベクトル	温度こう配 $\nabla T/T^2$	×	Fourier	Soret	Seebeck	×
	濃度こう配 $\nabla(\mu_i/T)$	×	Dufour	Fick		×
	電位こう配 $\nabla \phi/T$	×	Peltier		Ohm	×
スカラー	化学親和力 $A/T$		×	×	×	Kinetic law

注:  $\mu_i$ : 化学ポテンシャル ×: crosseffect なし

反応  $\sum \nu_k [k] = 0$  に対し  $A = -\sum \mu_k \nu_k$

現象方程式  $J_k = \sum L_{kl} X_l$  (1)

但し force, flux は(2)式が成立するよう撰択。

エントロピ生産  $\dot{A}S = \sum J_k X_k$  (2)

このとき 相反定理  $L_{kl} - L_{lk}$  (3)

定常状態は  $\dot{A}S = \min$  (4) に対応。

## j) 非可逆過程の熱力学と熱電気現象

山形大工 梅 宮 弘 道

## 1. 非可逆過程の熱力学と Onsager の相反定理

非可逆過程の熱力学は、1931年の Onsager の研究(1)が基礎になっている。

Onsager は、統計力学におけるゆらぎの理論を足がかりに、非平衡状態に対してエントロピーの概念を拡張し、一つの系内に2つ以上の非可逆現象が重ね合わさる場合の相互干渉の対称性について、相反定理を誘導した。

非可逆過程の熱力学では、因果関係に Force;  $X$  および Flux;  $J$  という言葉が使用される。一般に系に非可逆過程を引起す原因となるもの、たとえば温度勾配;  $\text{grad } \theta$ , 電位勾配;  $\text{grad } \psi$ , 濃度勾配  $\text{grad } c$  などを Force;  $X$  と名付け、Force によつてひき起される熱流;  $q$ , 電流;  $\pi$ , 物質拡散流;  $f$  などを Flux;  $J$  と名付ける。そして、ネユリーの原理で制限される場合を除き、いかなる Flux も、すべての Force の影響を受け、その間に次の線型関係が成立すると考える。

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j$$

Force と Flux を適当に選定すれば(2), 係数  $L_{ij}$  の間には次式が成立する。

$$L_{ij} = L_{ji}$$

これは、Onsager の相反定理とよばれ、非可逆過程の熱力学における根本定理である。

Onsager は、式  $L_{ij} = L_{ji}$  を誘導する際に、次の前提を基礎とした。

- (1) ゆらぎの理論, (2) ゆらぎの散逸の仮定 (Regression of Fluctuation)
- (3) 微視的可逆性.

これらの前提は、平衡状態から大きくずれない場合は妥当であろうが、平衡状態からどれだけのずれを微小と見なすことができるかその範囲が不明確で、確認実験が必要である。

著者らの行つた半導体を熱流・電流が同時に流れる熱電現象の実験<sup>(1)(8)</sup>を例にしてこのような問題を説明することにしよう。

## 2. Onsager の相反定理と熱電現象

固体内を熱と電流が同時に流れる場合、熱現象と電気現象の間に相互干渉が生じる。ゼーベック効果、ペルチエ効果等がそれであるが、これらは独立な現象ではなく、熱起電力係数 $\alpha_{AB}$ 、ペルチエ係数 $\pi_{AB}$ には次のような関係がある。

$$\pi_{AB} = \alpha_{AB} \theta \quad \theta: \text{絶対温度}$$

上式は Kelvin の関係式と呼ばれ、純粹に熱力学の立場から求めた関係式である。

非可逆過程の熱力学にしたがつて、質量保存則、運動量保存則、エネルギー保存則および Gibbs の式を基礎として現象方程式を導き、Onsager の相反定理と Kelvin の式との関係を調べると、Onsager の相反定理  $L_{S1} = L_{1S}$  が成立すれば  $\pi_{AB} = \alpha_{AB} \theta$  なる関係式が得られ、Kelvin の関係式に一致することがわかる<sup>(2)</sup>

したがつて Kelvin の関係式と Onsager の相反定理は 1 対 1 に対応しており、ペルチエ係数 $\pi_{AB}$ と熱起電力係数 $\alpha_{AB}$ を測定することにより、Onsager の相反定理の確認実験を行なうことができる。

しかしながらペルチエ係数の直接測定は、非常に困難な実験であるため、相反定理を証明する測定例としては数が少ない。金属サーモカップルを用いて  $\pi_{AB}/\theta$  と  $\alpha_{AB}$  を同時測定した例を集め、表に示す。若干の例外はあるが  $L_{1S}/L_{S1}$  は 1 にかなり近い値になつてることがわかる。

表 金属熱電対によるケルビンの関係式の実験例

金 属	温度	$\pi_{AB}/\theta$	$\alpha_{AB}$	$\pi_{AB}/(\alpha_{AB}\theta)=L_{1S}/L_{S1}$	文 献
<i>A</i> <i>B</i>	℃				
Cu- <i>A</i> <sub>g</sub>	180	0.1	0.2	0.5	(3)
Cu- <i>A</i> <sub>l</sub>	15.8	24	3.1	0.77	"
Cu- <i>N</i> <sub>i</sub>	22.0	205	223	0.919	"
Cu- <i>B</i> <sub>i</sub>	20.0	-6.59	-6.72	0.98	(4)
Cu- <i>B</i> <sub>i</sub> (3.75% <i>S</i> <sub>n</sub> )	20.0	3.70	3.54	1.04	"
Cu- <i>B</i> <sub>i</sub> (6.36% <i>S</i> <sub>n</sub> )	20.0	3.98	4.27	0.93	"
Cu- <i>B</i> <sub>i</sub> (9.93% <i>S</i> <sub>n</sub> )	20.0	3.56	3.80	0.94	"
Cu-constantan	20.0	3.77	3.89	1.03	(5)
	30.0	4.05	4.18	1.03	"
	40.0	4.32	4.46	1.03	"
<i>B</i> <sub>i0</sub> - <i>B</i> <sub>i90</sub>	27.0	4.60	4.83	0.95	(6)
<i>B</i> <sub>i45</sub> - <i>B</i> <sub>i90</sub>	27.0	5.30	2.77	1.15	"

### 3. 半導体のペルチエ効果の測定

以上の問題点を明らかにするため、熱電効果の著しい半導体を試料として、ペルチエ効果の温度および電流束に対する依存性を測定した。

装置を図1に示す。

*P*および*N*形  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  をつき合せ接合し、これと良導電性標準試料の *N*<sub>i</sub> とを接合し、全体を銅ブロックではさみ、比較測定法によつて、*N*<sub>i</sub> に対する半導体の熱伝導率を測定できる構造にする。この試料に直流電流を流

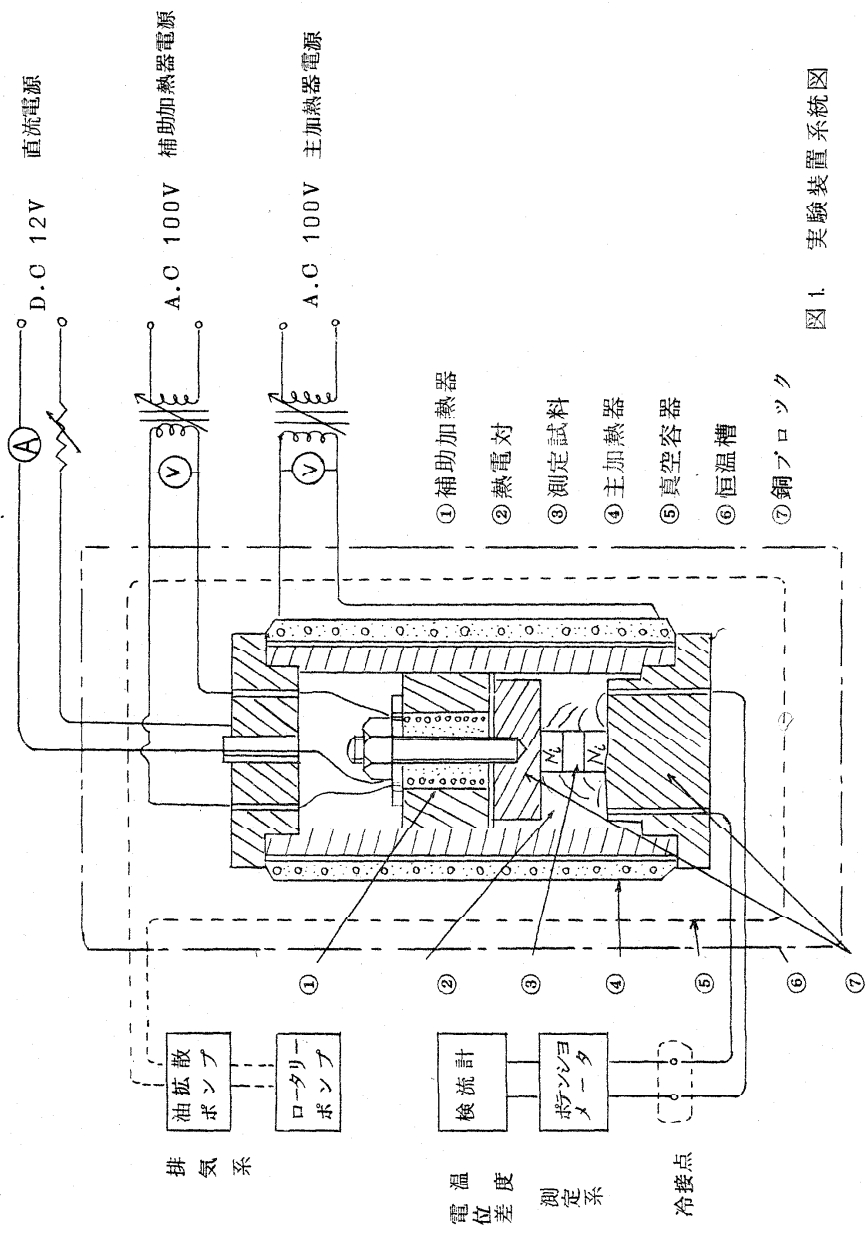


図1. 実験装置系統図



し、ペルチエ効果発熱方向に流す場合の境界面定常温度  $\theta_{oh}$  と吸熱方向に流す場合の  $\theta_{oh}$  を測定し、前もつて求めておいた熱起電力係数  $\alpha_{AB}$  および比較測定法で得た半導体の熱伝導率  $\lambda$  をもとにペルチエ熱量を求めた。試料雰囲気温度を段階的に変化させてこれらの測定を行ない、ペルチエ係数の温度依存性  $\pi_{AB} = \alpha_{AB} \theta$  の検討を行ない、相反定理の信頼性を調べた。

測定結果の1例を図2に示す。これによると200~300°Kの温度範囲で、ペルチエ係数の温度関数  $f(\theta) = \pi_{NP} / \alpha_{NP} \doteq \theta$  の関係が成立し、相反定理が成立することが判かる。

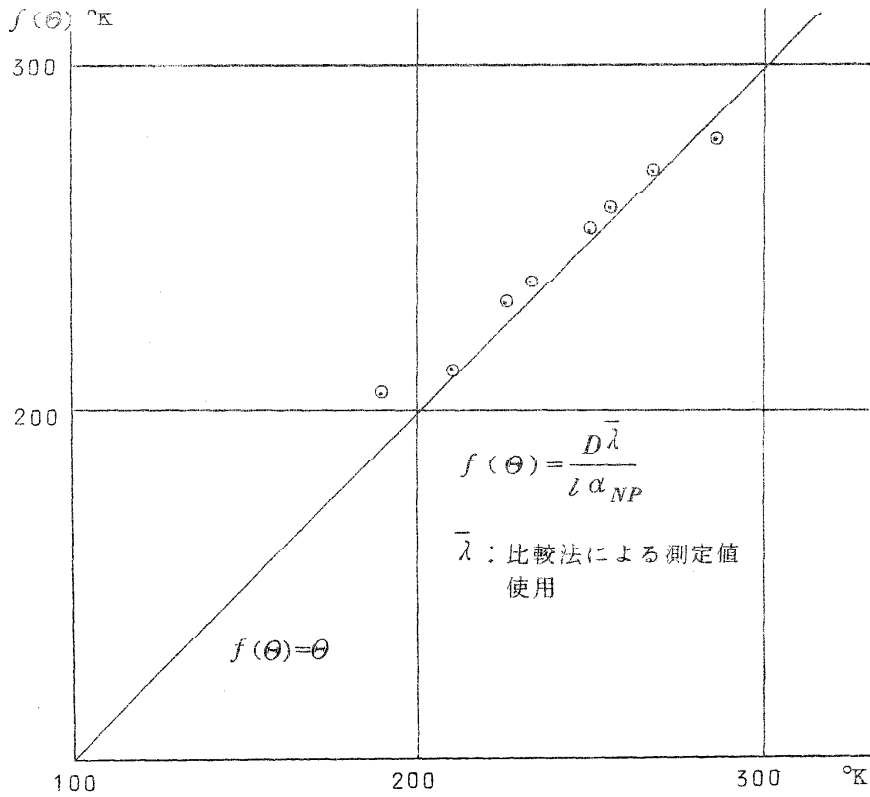


図2.  $f(\theta)$  の測定例 ( $P-N Bi_2Te_3$ )

また試料に流れる電流束を変えた場合の境界面での発熱量  $q_l$ ,  $q-l$  を温度分布より求めた測定結果を図3に示す。電流束  $90 \text{ A/cm}^2$  以内の領域で線型関係が成立することが判る。

実験の詳細は文献(8)を参照されたいが、非可逆過程の熱力学を応用する場合、線型関係の確認が必要であること、および相反定理の成立を調べる実験例として御参考になれば幸である。

$$(q_l - q_{-l}) / \lambda_m \quad [^{\circ}\text{K/cm}]$$

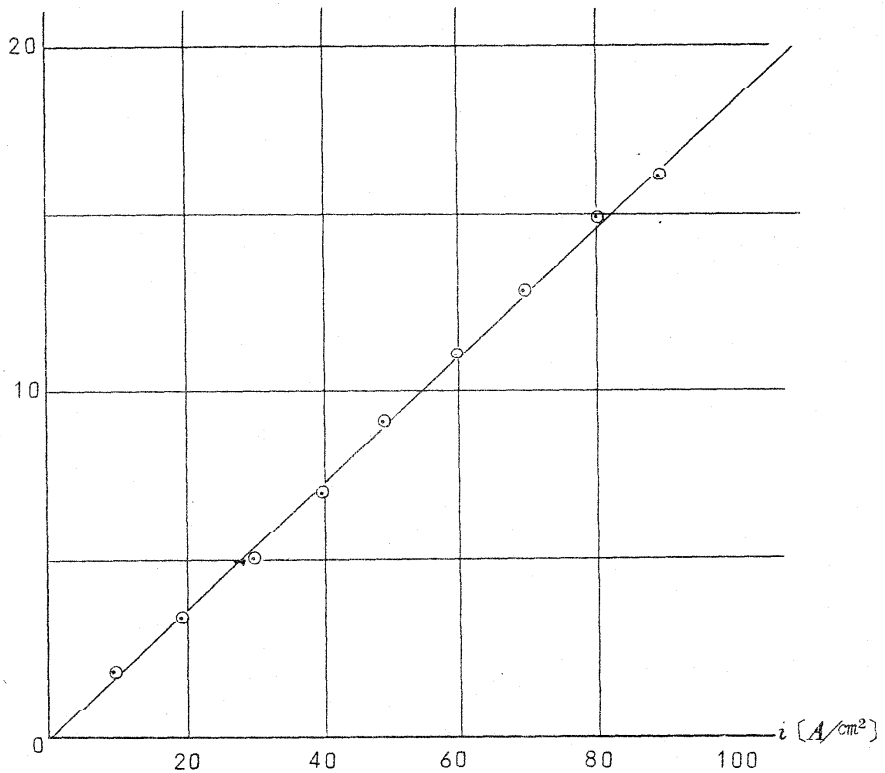


図3. ペルチエ効果の電流依存性 ( $P-N, B_i \approx T_{e3}$ )

文 献

- (1) Lars Onsager, Phys. Rev., 37(1931), 405 および 38(1931), 2265
- (2) S.R.De.Groot, Thermodynamics of Irreversible Process, (1963) North Holland Pub, Comp
- (3) Jahn.H, Ann Physik 34(1888), 755
- (4) Caswell.A.E, Phys. Rev. 7(1916), 269
- (5) Woodall.A.J, Proc. Phys. Soci(London)47,(1935), 615
- (6) Fagen.H.D & Collins.T.R, Phys. Rev.35(1930)421
- (7) 片山, 梅宮, 機械学会論文集 263号(昭43年7月)
- (8) 片山, 梅宮, 機械学会論文集 281号(昭45年1月)

k) 液体金属の沸騰伝熱

東大工 秋 山 守

液体金属の中で最近ではアルカリ金属, わけてもナトリウムが関心をひいており, この意味でナトリウムに焦点を合わせつつ, 沸騰伝熱の概要説明を行なった。まず, 微視的観点から発泡に関する問題, ことにナトリウムにおいてしばしば経験する高い発泡過熱度ならびに大きなばらつきが何に起因するかという問題について論じ, 今後早急に解明すべき諸点を指摘した。次いで同じく微視的観点から気泡成長の問題にふれ, 通常液体の場合の挙動とどのように異なるかについて詳しく説明した。沸騰伝熱といえば, いわゆる沸騰伝熱曲線の整理式がすぐ頭に浮ぶが, これについて従来得られた整理式の形が通常液体に対する式と同じ形であることを述べ, 圧力を含めて表示したものが多いいことを指摘した。また, ソ連においてナトリウムの沸騰伝熱の機構についてモデル解析が行われていることもつけ加えた。プール沸騰におけるバーンアウト熱流束の整理式も圧力をそのまま導入してあるものが多いい。通常液体に対してよくあ

てはまる従来の水力学的不安定説に基く整理式はナトリウムに対しては不  
適当で、実際はもつと大きな値が得られるが、その真の原因についても  
不明な点が残されていることを強調した。以上のような一般論に続き、  
さらにナトリウム冷却高速炉の安全性に関連して沸騰の研究がいかに必要  
であるかについて説明を試みた。たとえば、発泡開始条件、気泡成長と  
チャンネルボイディング、ボイド消滅やボイド振動、生成圧力波とその  
伝播、燃料破損開始条件ならびに燃料破損や炉心溶融の伝播、1次系破  
断と臨界流、ポンプ停止に伴う問題、燃料-ナトリウム反応、圧力・流  
量・温度・ボイド等の計測、原子炉爆発に関する諸問題、などについて  
沸騰、あるいは伝熱というもの、さらには熱工学の広い知識がいかに結  
びついているか、どのように寄与し得るのか、といったことについて概  
要を説明した。また、広く原子炉開発に関するナトリウムの伝熱流動、  
ナトリウム技術開発などにつき、Advanced Conceptも含めた近い将  
来の展望を述べたつもりであるが、何分にも時間の制約のため、ごく一  
端にしかふれることができなかつた。

たとえば原子炉のような大がかりな施設では、設計や安全評価に際し  
て今後ますますソフトウェアの方面が発展すると予測されるが、現在そ  
のインプットの確度が低いために困難な局面が多々あり、熱工学関係者  
が早急に、たとえば沸騰なり2相流なりを通してその打開に努めるこ  
とは非常に意義があると思う。

以上のような学術的な話と併せて、会場には若い方が多数見えておら  
れたので、研究開発を行なう際の立場の明確化や事前評価などの必要性  
についても一、二、例をあげて強調しておいた。たとえばナトリウムの  
発泡過熱度が大きくばらつく事実、あるいはボイド伝播の際のパターン  
の問題など、学術的には非常に興味深く、また原子炉設計の側からも詳  
細を知りたいことは論をまたないが、そういった不明確な現状を明確に  
していく努力を払った代価として究極的に原子炉設計や安全評価がどれ  
だけ進むのか、その辺を考えることも時には必要であるというたぐいの

勝手な話をつけ加えたわけであるが、これは目的研究をはじめから念頭においた話なので、決して現象や原理本位の研究や、いわゆる発見的研究に水をさす意図はないという点を、ここで改めて強調しておきたい。

なお、こまかい議論については次の文献を参考にした。

J.G. Collier, P.G. Kosky :

Natural Convective Boiling of the Alkali Metals — A Critical Review, AERE-R5436, 1967.

H.K. Fauske :

Liquid Metal Boiling in Relation to LMFBR Safety Design, 10th National Heat Transfer Conf. Philadelphia, 1968.

#### 1) 液体金属の非沸騰熱伝達

原研 佐野川 好 母

以前はばらばらであつたデータのまとまりも、実験方法の進歩で最近  
は実験者による差も少なくなつた。円管での熱伝達を例にとると、こ  
うした意味では、ばらばらなデータの最低値に沿つて直線を引いたに過  
ぎない Lubarsky & Kaufman の式はもう過去のものになつたといつてよ  
い。1962年に Cy  $\delta\delta\delta\delta\delta$  らが Na の実験で  $Nu = 5 + 0.025 Pe^{0.8}$  を  
提案して以来、Skupinski ら (1965) は NaK の実験で  $Nu = 4.82 +$   
 $0.0185 Pe^{0.827}$ , Brachet ら (1967) は Na の実験で  $Nu = 5.29 +$   
 $0.0068 Pe^{0.93}$  を求め、ТАЈАНОВ ら (1967) は Hg-Ni, s.s.,

Na K-Cuの組合せで  $Nu=43+0.025Pe^{0.8}$  を得ており、Pe 数の低いところでも層流熱伝達の理論値  $Nu=4.36$  に大体一致した結果が得られている。

特に ТАЛАНОВ らは、 $0.02 < Pr < 0.03$  の液体金属は  $Cy\delta\delta_0TIN$  らの式より少し低い値を示すので、上記の式の適用をすすめているが、その是非の議論はともかく、そのような微妙な差が実測の上で表われることなど、以前は考えられなかつたことである。

二重管とか管群などその他の流路での熱伝達についても、大体山場は越えた感じではあるが細かい点で未解決の問題や、理解に苦しむデータもないわけではない。しかしここでは、液体金属の熱伝達の問題に取り組んでいる多くの方々が、高速炉の設計や開発に従事しておられる方と考えられるので原子炉への応用という観点から、管群における平行流の熱伝達に焦点をしばり、昨年暮 ASME の会議で発表された Hlavac, Dwyer & Helfant の管群中の一本の棒の移動による影響についての論文が未だ雑誌に印刷されていないようなので(8月現在)紹介しておきたい。

実験は図1に示すように、直径0.5 in, ピッチ1.75, 厚さ0.05 in の s.s. 被覆の棒13本に平行に Hg を流して行なつている。ここで B の棒を  $p \rightarrow q$  の方向に移動したときは、A, D, E 棒の平均熱伝達率の変化は殆んどなく、また B 棒を  $p \rightarrow r$  の方向に移動したときも D, E 棒の平均熱伝達率の変化は殆んどなかつた。しかし、いずれの場合も近づき合う棒同志の平均熱伝達率はかなり減少し、特に  $p \rightarrow r$  の方向に移動するときの B 棒の変化が著しかつた。これらの結果は、移動する前の平均熱伝達率  $h$  との比  $\bar{h}_d/h$  として図2に示されている。ここで  $\delta$  は(変位)/(許され得る最大変位)を表わしている。このような問題は過去においても議論の対象になつていたが定量的な測定が少なかつたので、

特に原子炉の燃料棒のホット・スポットの取扱いや理解に役立つであろう。

液体金属の熱伝達の理論的な取扱いでは、依然として問題になるのは熱の渦拡散の機構であるが、この辺に何か新しい考え方を期待できないものであろうか。

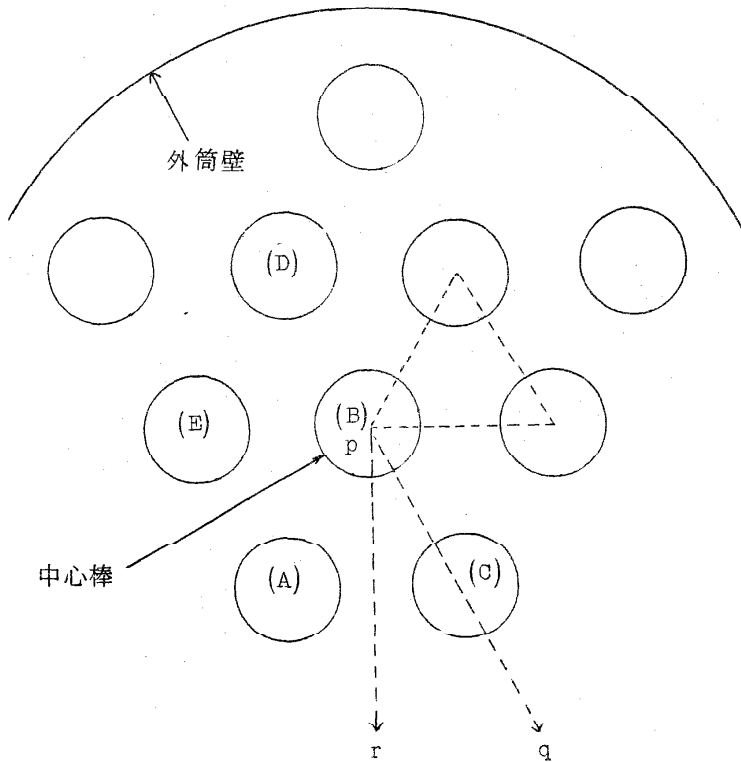
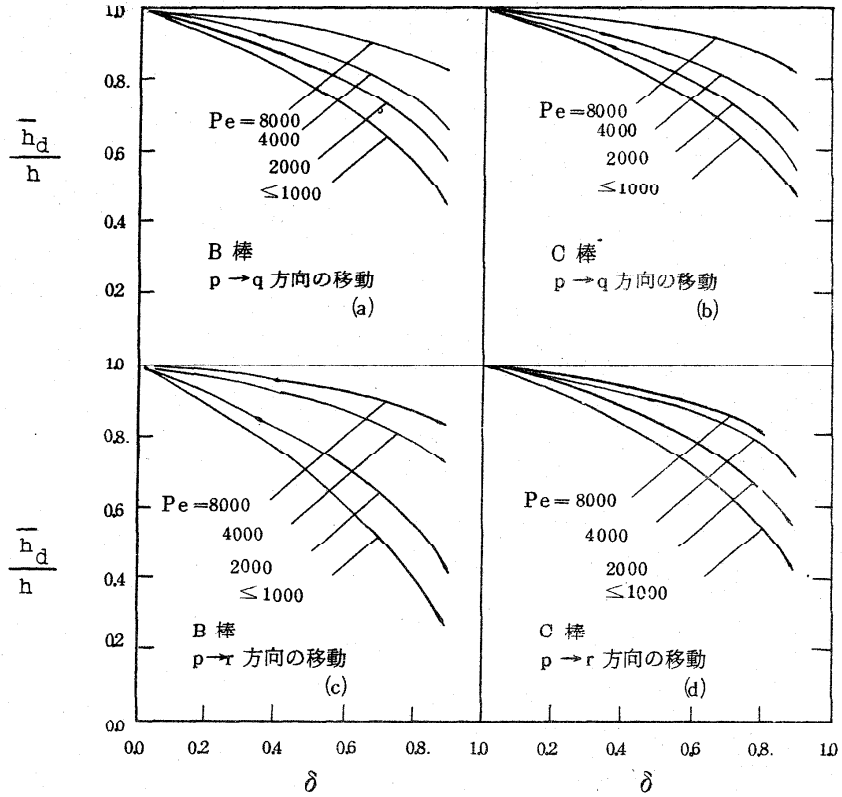


図 1.



☒ 2.



寄 書

§ 1 日本の伝熱研究はアメリカを追い越せるか

東京大学生産技術研究所

棚沢 一郎

日本の国民総生産が自由世界内の第二位になつて以来、お上の一部には日本を「大国」として国際社会の檯舞台に売り出そうというような野望を抱くむきが多くなつて来たように見受けられる。この秋、外相が国連で行なつた演説などはその典型であろう。

私などは、少年時代に植えつけられた敗戦四等国民という意識が消えないせいか、日本が大国であるとかないとかいう議論には一種気恥かしさを覚えるが、まあどちらかといえばあまり外見に気を配らずに世界の隅つこの方で、独自の道をまつとうに歩んでくれた方がいいと思つている。少なくとも国民総生産が二位になつた位で大国意識をもとうなどという手合いは、戦後の闇市で儲けたブローカと同程度に低劣な頭の持主に違いない。

アメリカに1年暮して痛く感ずるのは、日本の後進性である。後進性といえはわれわれは東南アジアやアフリカの諸国を思い浮べる。確かにこれらの国々に比較すれば日本は先進国であろう。しかしわれわれとしては下に目を向ける必要はないのであつて、より高い文化を持つたアメリカ、ヨーロッパの国々に較べて自分達がどれ程遅れているかを深く認識しなければならぬと思う。

ここで後進性の尺度としてゐるものは広い意味での「民度」であるが、この民度の高さというものは一種そこはかかない雰囲気として感じられるものであつて、そこに住んだことのない人に説明するのは一寸難かしい、端的な例としては、アメリカに田舎がない、あるいは都会人と田舎人とのインテリジェンスの差異がない（ある場合には田舎人の方により

インテリジェンスが感じられる)ことが挙げられるのではないかと思う。ミシガン大学のあるこのアナーパー市は人口約8万の田舎町であるが、住民の平均知的水準の高さには東京を遙かにしのぐものを感じず。一夜その高いレベルが河に起因するものであるかを知人らと議論したことがあつたが、歴史的・経済的理由の他に高等教育の普及がその大きい因子となつているということで意見が一致した。その実例としては、ミシガンの大学院にいかにか女子学生が多いかを挙げればよい。日本では女子大生亡国論といった愚論が未だにやつかみ半分横行しているらしいが、一つの社会の文化がそこに住む人間の知的能力に大いに依存するものであるからには、卒業後どういう道をとるかには無関係に女性の(特に美人の)大学院進出が歓迎されるべきことは明白である。ある学科では教授夫人の半数がPh. D.をもつているという実話もあり、これは美しいと同時に恐ろしいことでもある。

話が本題とは一見無関係な方にそれてしまつたが、日米の差は伝熱研究においては予想外に小さいように思える節もある。例えば、私がミシガン大学の伝熱研究室に来て初めの頃驚いたことが三つあつた。第一は広い実験室にいつも人影が殆ど見えないこと(これはこの大学の教授や学生が手を汚してする実験を非常に嫌つてゐることを意味する)、第二は大学院の熱の講義などで学生(それも博士課程)がこれはこれはといふような初歩的な問題で立往生すること、第三は単に数をふやすためだけに、全く無価値と思われるような研究論文をでつち上げて恥としないような教授がゐること、である。

もつとも、上のような些細な事例だけからミシガン大学あるいは広くアメリカの伝熱は駄目だときめつけるのは早計で、時々愚かな学生がゐるのは単に入試でこれらを振り落とすという機構がないからであり(これは層の厚さとも関係する)、恥かしげもなく幼稚な質問をしている学生も、アメリカ式詰め込み教育のお蔭でやがては基礎力のでき上つた一人前の研究戦力に育つていくのであるし、また下手な鉄砲式の論文生産教授も数多く撃つ中には標的をかすめること無きにしもあらずなのであ

る。むしろミシガン程度のアメリカの大学には、学会の事務・政府の御用・会社御接待など都会的な雑用が少ないことで、講義や研究に専念できる時間的余裕がかなりあるというようない点もあり、長期戦を必要とする大研究ではこれは馬鹿にならない。

もちろん、総合的に判断すれば、アメリカと日本とでは研究の量においてまたそのトップレベルの質において依然としてかなりの開きがあることは否めない。日本では何よりもいけないことは、多くの優秀な論文が日本語で発表されつ放しで終つていることで、これらは国際的見地からすればアメリカの劣悪な論文よりも無価値のまま埋れてしまうことになりかねないのである。

しかし最も重要なことは日本の伝熱研究がアメリカのそれに追いつけるかどうかという点ではない。先に述べたように、アメリカはその文化の総体において、また基盤の深さにおいて日本の約100年先を歩んでいるのであり、伝熱研究で日本が優位に立てたとしてもそれは日本のバレーボールチームがたまたまアメリカに勝てたというようないわば全体における1点の得点に過ぎない。とりわけアメリカにおける伝熱研究はすでに工学分野の花形の座から滑り落ちて久しく（依然として発表論文の数は膨大であつても）第一級の研究者や優秀な学生は殆ど別の分野に進んでいるのが偽らざる実状なのである。この斜陽族的立場のアメリカの伝熱研究を、いま日の出の勢い(?)を誇つている日本のそれと較べてどうこう言うのは視野の狭い議論としかいいようがない。いろいろな点で学ぶべきものは学ぶにしても、この辺で日本独自の新しい形態を備えた伝熱研究（私個人としてはそれを生物工学とか環境工学などの分野の中に見つけ出そうとしているが）への真剣な討議が必要なのではないかと考える。

私たちにとって重要なのは、旧来の伝熱工学をどう維持して行くかではなくて、人間文化に密着した意味での工学の一環として、どう私たちの研究を発展させていくかを考えることであり、たとえそれが本来の意味での伝熱研究からの離脱をもたらすものであつても止むをえないと思つ。

最後に——。

短期間の滞在で、一つの国の文化にどれ程深い理解を持つことができるかは大いに疑わしい。アメリカのように地理的・人種的に大きな広がり多様性を有する国については特にそうであるに違いない。見る人個人個人の立場や性格の相違によつても受ける印象が変つてくるのは当然である。

ただ私たちが日本人という立場で外国を見る場合、その欠点を知ること重要ではあるが、まずその学ぶべきところに注目するという態度が大切なのではないかと思う。よく議員・会社重役・大学（助）教授など、いわゆるおけら方の海外旅行帰朝報告会なるものの中で、「何といつても日本は世界の一流国なんだという自信を持つことができたのが最大の収穫でした。」などという演説を耳にするが、こういう見方がある意味で馬鹿げたことである。外国の悪い点を逆用することによつてやつと手に入れられるような自信しかないからこそ、自分がホツテントツトやピグミーに較べられたことで腹を立てるのに違いない。私たちが外国に求めるのは、未だ日本では到達されていない理想が（たとえそれがひとかけらであつても）どのように具現されているかを見ることであろう。私たちが私たちの文化、社会あるいは学問といったものを進めて行くのはその理想に向つてであつて、ある外国と競争することではないのだから――。

だから、本文の標題に対しては変な結論ではあるが、伝熱研究で日本がアメリカを追い越すことは可能ではあるけれども、真の敵は本能寺にはいないということになるのであろうか。

(11.27.1969 於アナーバー)

## § 2 カ ナ ダ 便 り

クイーンズ大学 鳥居 薫

(1)

今年の3月末より、CanadaのOntario湖北岸Kingston市にあるQueen's大学にResearch Associateとして来ております。

KingstonはOntario湖がSt. Lawrence河となる所に、17世紀、フランス人によつて毛皮取引所として建てられた町です。大西洋にそそぐSt. Lawrence河沿いは、早くから開けた所ですが、その中でもKingstonはQuebecと共に最も古い町の一つです。18世紀以後スコットランド人が活躍し、現在でもスコットランド色の極めて強い所です。石灰岩造りのスコットランド風の建物が多く、Lime stone cityと呼ばれ、夕暮れ時、公園の美しい木立の間から、bagpipeのあののどかな音色が流れて来たりします。大学も1841年に教会から独立して、Edinburgh大学の援助のもとに作られました。ここはカナダの奥深くロッキー山脈にまで達する水路網の始点であり、何千にも及ぶ美しい島々づたいにアメリカ側と往き来できる所から軍事的最重要地として古くから開け、アメリカとの戦争前までは首都があつた所です。現在は大学(Queen's Univ.、Royal Military college, St. Lawrence College)と観光の町です。美しい木々に埋れた静かな街並み、無数に散在する湖、Thousand islandsの舟遊びの根拠地として有名です。

クイーンズ大学の学生数は学部大学院合せて8千名、教職員700名で大学の規模としてはカナダの標準的な大きさですが、ほとんど総ての分野が揃つており、広い視野の上に立つた人間の形成という良い意味でスコットランドの大学の伝統を受けついでいる大学です。9月の新学期には、新入生歓迎の催しが色々企画され、また新入生は自由に教授のガイダンスを受けに教室を訪れ、構内には腕章をつけた新入生よろず相談係が歩き回り、新入生は男も女もスコットランド兵がかぶるようなべ

レー帽を被り、本当に嬉しそうに構内を闊歩し、大学全体が新入生を暖かく迎える雰囲気包れます。教養課程と専門課程が同一 Campus にあり、楔形に専門教育が初年度から行われている良さでしょう。

日本の教養課程の問題点は教養課程と専門課程とが別々の Campus で行われていることに象徴されているように、両課程が独立してしまっていることであり、両者の有機的結合が望まれます。

教養課程のみならず、大学そのものが、その社会に対する意義と責任を問われているのが世界の実状でしょう。しかし少くとも大学が質の高い優れた能力の持主の密度が高い集団であることには疑いの余地がない以上、少くとも大学は社会に向つて開かれた、前向きの姿勢であるべきで、内に向つて閉された後むきの姿勢であつてはならないと思います。こちらの大学は日本の大学よりはるかに社会に向つて開れているようです。講演会、映画会、音楽会、展覧会、詩の朗読といったことが大学によつて積極的に企画され、一般公開され、新聞に広告まで出るほどで、夜の教養大学、大学放送局活動と市民生活に密接に繋がっています。

こちらの教授が在室している時には、扉を大きく廊下に向つて開いているのに、日本の教授は扉を閉して内に籠つているのが如何にも暗示的です。

大学の社会に対する大きな役割は、急速に膨脹していくこの機械文明の今日、人間性の回復にあるのではないのでしょうか。とりわけ、現代社会が工学に基いている以上、工学の分野に従事するものの責任は大きいと言わねばなりません。しかるに現実の教育制度はといえば高校まではこれといった高度な学問は紹介されず、大学に入った途端に専門的学問を詰め込まれ、しかもその学問の進歩は著しく、いきおい非常に限られた分野に学ぶことになり卒業したときには、いずれの方向に進むべきかを知らない人間となつている。このことは大学院に於てさらに著しく、ある分野の極く限られた所で努力している者には、社会に於て今、何が欠けていて、どのような研究が必要とされているか知る由もないわけです。この傾向は英国の教育制度にも同様で、英国の Edinburgh 大学長

の話では、英国で Ph.D. を取つて企業に職を見出し得たものは、わずかに 10% に過ぎないという事で真剣に教育制度が再検討されているようです。実際、Pure Science にそれほど多くの人間が必要とは思われず、またそれだけの能力を持つたものは数少ないと思われまゝです。今日の社会がより多く必要としているのは、group making, team work に秀でた人であり、中でも Engineer は工学に於てのみならず、経済、法律、医学等を総合した team の leader として、現代社会の人間性の回復へ努力することが望まれていると思います。

そういった意味で大学院の研究制度に於ても一人一テーマといったものに限らず、数人でしかも異なつた学科の者が team を作り、共通の問題を夫々の立場から attack すると、いつた事が行われても良いのではないかと思います。しかし、社会の要求に応じた大学ということで安易に企業と大学を組合せて、1 年なり半年交代で大学に学び企業で働くといった制度は Massachusetts で試みられている様ですが、両者の体質の極端な違いからあまりうまく行つていないのは注意すべきです。

(カナダでも Waterloo 大学で試みられています。) 私の考えでは徐徐にでも交流できる分野から、例えば Computer 技術の修得に企業が大学院へ人を派遣すると共に、そこでのテーマは Navier Stokes の式を解くといったものに代つて、技術、設計計算、経営管理のプログラミングといった事を試みてはと思います。

社会の要求に大学が dynamic に対応するためには、組織に適應性、柔軟性が必要です。そのためには講座制云々と議論をわずかしくする前に実現容易な事がいくらかもあるように思います。勤続 10 年ごとに 1 年の有給休暇を与える sabbatical leave 制度は、そのあいた Post を利用しての人事交流等も可能にし、又少くとも夏休み期間の交換教授の制度は容易に行えて且有意義だと思ひます。会社の人を非常勤講師に招くばかりでなく、一定期間の visiting Professor として招いたり、教授が夏休み期間中、会社の研究所、開発部等で働くという事も有効に思ひます。カナダの大学は日本と同じく夏休みも給与は全額支給されま

すが、夏休み期間中会社の consultant になることが出来ます。これを可能にしているのは教授に対する信頼感であり、うらやましく思います。

(2)

Toronto, Montrealから夫々160 mile離れた人口5万の都市(数マイルの近郊に住む人を含めて7~8万)に住んで居ると言えば、日本では、いささか辺鄙な田舎に属してしましますが、ここではそのような感じはありません。質こそ異なれ便利さは大都市なみで、おまけに自然と人間の調和のとれた如何にも人間らしい都市(機械とコンクリートの塊ではなく)に住むのどかさを味わうことが出来ます。この違いは何処から来るのでしょうか?それは情報意見の交換の活発さに負うところが多いようです。

Teaching staffs 12人, 学生数1学年50名, 大学院生25名の機械科において, 科での講演会, Seminarですら, この4月から今までに15回以上となり, 講師, 話題提供者は, カナダ東部海岸(MIT等)のみならず, Imperial College, オランダのVon Karman Institute, 中, 西部アメリカと多彩です。その際にはOttawaやMontrealの大学や会社からの参加もあります。又この夏は7月8月の2ヶ月Glasgow大学の教授がvisiting professorとして滞在しカナダの鉄道研究状況を視察し各地を回ると共に, Queen'sで鉄道研究セミナーを開き, カナダ, U.S.の鉄道研究者が一堂に会するといった事もありました。

日本に於ても学会の開催の前後或は最中の夜を利用して, Seminar, 講演会といったものが学会ベース, 学科ベース或は会社ベースでもつと貧欲に試みられてしかるべきだと思います。講義, 講演会等に於て活発な討論が行われるのにはつくづく感心致します。教授と学生との間の関係も極めてfrankで生き生きとしたもので, 日本のように何か肩肘張



つたような所はありません。そこには「それでも地球は回る」と死を深しとした Galilei に通ずるもの、真理の前には教授も学生も対等に裸になつて対する“厳しさ”が根底となつている様に思われます。

大学の情報網も完備し、毎週発行される4～5頁のニュースでどの様な委員会が、講演会がといつたことから、委員会の報告書、提案書等まで掲載され、さらに2ヶ月に1回発行される執行部方針、人事移動、大学協議会の動勢といつたものを中心とするパンフレットによつて学生、教官ともども良く学内事情が知らされた状態にあります。主任教授による New Staff の評議会での紹介、学長、事務長、学部長等と New Staff の Cocktail party, Woman Faculty Club による夫人達のための歓迎会、tea party といつたものも行われます。

その外感心した事は、当機械科の事務室には女性が4人いるだけという事です。彼女らは実験装置の発注、郵便の発送受信等日本における通常の事務の他、電話交換手を兼ね図書係を兼ね、主任のみならず全 teaching staff 時には大学院生の秘書(タイプ、複写等)でもあり年に数回、8時過ぎまで type を打っていることがあるとはいえ、朝の8時半出勤、午前12時～1時半の昼休み、午前と午後夫々30分の coffee break をきつかりとつて、ちやんと5時に仕事を終えて帰ります。

このようなことを可能にしているのは、共通に出来るものはすべて共通にする精神で、給与関係はすべて人事課にまかせ銀行振込み、すべての事務は電子計算機による管理で、中央事務より毎月の研究予算の支出明細書が各人へ報告され、部品管理もすべて磁気テープに記録されているので、何処の学科にどのような装置があるかすぐに解り、また品物を受取つて3日とたたない内に業者に支払を済せる事が出来ます。又図書も中央図書から週2回程度司書が巡回して来て大方の処理をしています。総ての図書室は開架式、事実上は全くの監視なしで朝の8時から夜の11時～1時まで開いており、科によつてはアルバイトの学生がカウンターに座っているだけ、しかもこれは監視のためというよりサービスに応じ

る為です。このような事を可能にしているのは、まず人間を信用してかかる精神と例え本を私物化してしまう不心得ものが数人いたところでこの為に監視人を雇うより、紛失した本を買いなおす方が安上りという合理精神によるものと思われまゝ。日本ではまず他人を疑つてかかり規則を作り、それに自分自身が縛られ身動きが出来なくなる傾向があるようです。例えば日本では各科の図書室或は各研究室で雑誌をとらねば不便なほどですが、逆に各科で雑誌を重複しないよう、又それが可能なようにみんなが使い易い図書室にする、その為の多少の不便、Int. J. Heat & Mass Trans. を読む為に化学工学の図書室まで10分ほど歩く、或はNASA TEN を読む為にはOttawaのNRC図書館からinterlorn systemによつて借りなければならないといった不便は潔しとする心構えが必要です。

また日本において仕事のスピードを鈍らせている大きな癌は、英文タイプライターに匹敵するものがない事で、彼らは原稿を書かずにテープに直接吹き込み、それをタイピストが打てば出来あがりというわけで、極めて短期間にあまり労力を必要とせず書類、本、論文といったものを作成することが出来ます。日本では博士論文を文字通り書くだけで1月や2月かかってしましますが、彼らは一週間もかからずに作り上げてしまいます。これは何んとか技術的に解決しないと将来とも大変なhandicap になるように思われます。

(3)

Canadaにおける研究はNational Research Council が総元締でNRCの研究所を中心に、academicな研究は大学でという形で行われています。大学教授(助教授...)はNRCに研究を申請し、1~3年の期間で年4000ドル~20,000ドル 平均6000ドル前後の研究費をもらい、同時に大学はそれとほぼ同額の金をNRCから受取り、大学の自由になる金としてNRCから研究費をもらえなかつた研究に使われます。

大学の規模はトロント大学が飛び抜けて大きく研究も盛んに行われ、ナイヤガラ付近にある Waterloo 大学が次いで大きく、研究の上でもトロントにせまりつつあります。Queen's はその後といった所です。全般的にカナダの大学はアメリカで修業して来た人々が leader となつて優れた研究をしながら再編成中といった段階です。

原子力発電に力を入れているのは御承知の通りで、その他厳しい寒さに関連した研究（昨年はなばなくスタートしたガスタービン機関車も寒さの為故障続出で現在運休中です。）の他は特に他の国と異なるところはあります。カナダにおける大企業は、ほとんどアメリカに親会社があり、どちらかというと出張所的で、研究、設計といったものはアメリカで行われるという悩みがあります。研究を含め如何にアメリカの支配から独立し、独自の技術と産業を持つかがカナダの最大の課題です。今のところはアメリカの大会社で経験を積んだ人達が裸一貫1960年頃から会社をおこしそれが実を結び出しているところです。月1回ぐらゐの割で mechanics of business の講義の時間にその様な人達の講演がありますが、flight recorder を中心とする電子機器メーカーの話では、アメリカの社会が、既にはつきりと技術が経済発展の基礎になっていることを認識していて、技術を優遇し、新しい技術に対し進んで銀行家も投資するところにアメリカの発展の秘密がある。カナダには未だそれだけ技術に対して理解のある銀行家、投資家が居ないと嘆いていました。

Queen's では機械科で私が Jet の熱伝達（その他、ejecter, diffuser)に関する流体力学の研究) 南アフリカから来た Prof. Oosthuizen が自然対流と強制対流の combined convection, Prof. Gilbert が二相流伝熱 (mist flow, 曲り管, 乱線リボン付管 (swirled flow)) を研究しています。化学工学では Prof. Becker が中心になつて乱流構造, Jet mixing, 燃焼 (燃焼流の乱れ, 山火事対策), non newtonian flow, 充てん層等の研究が行われています。

Waterloo で5月に開かれたカナダ応用力学講演会ならびに Chicago の北の郊外の高級住宅地 Evanstonの Northwestern 大学で開かれた流体力学-応用力学連合講演会に出席して感じました事は、日本の流体関係ではキャビテーションの研究が最も盛んですが、こちらではキャビテーションの他に流体素子に関する研究が極めて盛んな事です。

Evanstonの会議は参加者200名たらずの小じんまりした会議で参加者の大部分は学内寮に泊り三度の食事は学内のカフェテリアということで、お互の親睦も深まり、講演の後の個人的な討論も十分に行われて大変良い会議でした。費用も泊4日食事付で\$300(相部屋だとさらに安い)と極めて手軽でした。粗末なソファベッドと机があるだけの部屋でシャワーと洗面所は共同便所の中にあるという、日本のレベルでも決して良いといえない所に大先生方も気楽に泊つておられたのには感心しました。私の隣はトレフセン教授でした。Open Forum というものがあり、会議初日に登録した人達が自由に講演する session を設けているのは大変良い事だと思いました。また、いわゆる Panel Discussion といったものの他に、fundamental knowledge on cavitation という session がありその道の権威5~6人が初学者並びに他の分野の人々を対象に、基礎知識並びにその展望を講演する企画は有意義だと思いました。また朝9時~10時の時間には、ジェット騒音、ホログラフ、人体内の流体力学といった一般講演が行われ3日目の夜の懇親会では食事、優秀論文の表賞(Queen'sの機械科主任 Hill 教授が Jet mixing の論文で表賞されました。)後、Northwestern Univ. の文学部教授 Schaffer (Shakespeareの研究で有名。)が "The limit of our commitment to science and technology" という題で、指数関数的にふくれていく研究予算と現実の社会、研究効率の低下、そのアンバランスの不安といったことに熱弁をふるい大いに考えさせられました。翌日はトレフセン教授や Hartnett 教授等と大の男5人で小さなフォルクスワーゲンにギョウ詰めになつて、汗をかきか

きシカゴへ戻つて来ました。

8月3日から6日まで Prof. Eckert の65才の誕生祝いを兼ねて第11回 National Heat Transfer Conference が Minneapolis で開かれました。Topics は同封のプログラムに見られる通り、Heat pipes, Two phase flow, Two phase flow Instrumentation, Transient Heat Transfer in Nuclear Reactors and Process Heat Transfer ということので膨大な数の論文が発表されました。ソ連勢は姿を見せませんでした。英国、ドイツ、フランスからは参加者があり、ユーゴの Zarić 教授も来ておりました。いささか参加者が多すぎたこともあつて、良く組織された会議とはいえ、お祭りの的になつてしまった感があります。Heat Pipe の研究は会社での研究 として手ごろなせいかな今が盛りで朝から夜の10時すぎまで、Heat pipe, Heat pipe とまさに熱い講演でした。

この会議で何んといつても印象深かつたのは、弟子達に囲まれてにこやかな、元気な Eckert 教授と Max Jakob Memorial Award を受賞された抜山先生です。第1回の Eckert, Boelter, McAdams, Schmidt, Hottel, Saunders, Drew に続き8人目の受賞で『Boiling Curve』をその教科書で初めて世の多くの人々に紹介してくれた、その Jacob 先生を記念した Award を受ける喜び、因縁」といつた格調高い講演に一同胸をうたれました。ぜひ一度、伝熱研究にも抜山先生の御講演を掲載していただきたいと思います。

それにつけても残念なのは、来年の国際伝熱会議への日本の提出論文がわずかに17編 とカナダよりさえ少いということで、伝熱関係の研究者の数、企業の躍進、国民経済の伸びという事を考えに入れば、英国と同格またはそれ以上50編はあつてしかるべきだと思ひました。日本での国際伝熱会議を真に実り多いものにする為にもなぜこのように少いかを語学の問題ばかりでなく真剣に検討してみる必要があるように思ひます。

多くの人々との会話を通じて漠然とした印象ですが、相変化を伴う伝

熱が依然として大きな問題として残されているものの、伝熱研究者の多くが、研究費の関係もあつて Bio Engineering に精力を向け出して来ているようでした。

最後に日本の皆様の御活躍をお祈り致しますと共に、Niagara, Montreal 等へお越の節はぜひ少し足を伸し、命の洗躍をしに Kingston へ御立寄り下さい。 大歓迎致します。

日本伝熱研究会 ニュース

§ 1 抜山四郎先生 Max Jakob賞を受賞

昭和44年8月東北大学名誉教授 抜山四郎先生が1968年の Max Jakob 賞を受けられました。Max Jakob 賞は伝熱部門のノーベル賞とも称すべきもので、今回の抜山先生の受賞対賞は数ある研究成果のうちの“金属面と沸騰水との間の伝達率の極大値並に極小値決定の実験”(機械学会誌第37巻第206号)である。皆様とともに喜び申し上げます。

Max Jakob 賞は抜山先生著研究者のノートより引用させて頂きますと次のとおりであります。

1961年アメリカ機械学会の熱伝達部門では、John Wiley and Sons の好意により熱伝達に関する科学の優れた研究者、教育者並びに著者としてのMax Jakob をたたえるための記念賞を制定した。翌年化学学会がこれに加わつた。

授賞は毎年行われ、受賞者はこれら学会の会員であるなし、その属する国籍を問わない。

賞は賞牌・賞金及びそれらの証明書とからなる。

これまでの受賞者は

- |      |                      |
|------|----------------------|
| 1961 | E. R. G. Eckert      |
| 1962 | L. M. K. Boelter     |
| 1963 | W. H. McAdams        |
| 1964 | E. Schmidt           |
| 1965 | Hoyt C. Hottel       |
| 1966 | Sir Owen A. Saunders |
| 1967 | Drew                 |

## § 2 第4回国際伝熱会議 (1970) 参加申込

日時：1970年8月31日(月)～9月5日(土)

場所：パリ市 Versailles

第4回伝熱会議はフランス—ドイツ委員会の主催，日本国際伝熱会議連絡委員会（協力学協会：機械学会，化学工学協会，空調・衛生工学会，原子力学会，航空宇宙学会，建築学会，冷凍協会）と各国の学協会との共催で上記のように開かれます。700編以上の応募論文のうち，約半数が7ヶ国（カナダ，ドイツ，フランス，日本，イギリス，アメリカ，ソ連）の論文委員会で選ばれ提出されている。会議では英語，フランス語およびドイツ語の同時通訳が行われます。

論文分野

Thermal radiation,

Conduction,

Forced convection,

Natural convection,

Boiling and condensation,

Combined Heat transfer (also evaporation, granular beds, fluidized beds),

Heat transfer in rheological systems,

Heat exchangers (also vibrations, extended surfaces, etc.),

Measuring techniques,

会議のプログラムと参加申込用紙御希望の方は予め御氏名・御連絡先（英文）を下記へ御連絡下さい。

日本伝熱研究会（郵便番号113

東京都文京区本郷7-3-1 東京大学機械工学科内）

なお論文提出者と既に the Société Française des Thermiciens 又は the Organizing Committee of the Conference

(c/o V.E.I. P. O. B. 1139, Düsseldorf 1, Germany) に登録された方にはプログラムと参加申込用紙が直接送られますので，御連絡には及びません。



### § 3 液体金属の伝熱・流動に関するシンポジウム 論 文 募 集

標記のことについて、動燃事業団高速炉開発本部の堀 雅夫氏より、  
下記の御連絡を頂きましたので、お知らせ致します。

別記募集要綱のように ASME の Nucleonics Heat Transfer  
Committee の主催で「液体金属の伝熱・流動に関するシンポジウム」  
が ASME の 1970 年冬期の年会 (11月29日~12月3日)の一環として  
ニューヨーク市で開かれる予定です。

このシンポジウムの co-chirman である Dr. J. C. Chen (BNL) より、  
このシンポジウムへ日本からの参加を歓迎する旨通知がありました。

米国以外からの参加に対しては、(a)講演および論文提出、(b)講演なし、  
論文提出のみ の選択が多分許されるであろうと付記してあります。

A Symposium on

LIQUID-METAL HEAT TRANSFER AND FLUID DYNAMICS

Call for Papers

The Nucleonics Heat Transfer Committee(K-13)of the ASME Heat Transfer Division is sponsoring a symposium on the stated subject at the 1970 Winter Annual Meeting of the ASME (November 29-December 3,1970,in New York City). The symposium will be in two parts,with the following suggested topics:

Part I-Single-Phase

Problems

1. Liquid heat transfer in single channels
2. Multi-channel flow and heat transfer
3. Transient flow and heat transfer
4. Turbulent diffusivities
5. Temperature fluctuations in turbulent heat transfer
6. Specific conditions (eccentric rod bundles, effect of spacers, etc.

Part II-Boiling and

Two-Phase Problems

1. Incipient nucleation
2. Pool boiling
3. Convective boiling
4. Two-phase flow void distributions
5. Two-phase flow pressure drop
6. Two-phase critical flow
7. Transient boiling
8. Transient two-phase flow
9. Void dynamics

Papers describing new work with liquid metals in these and related areas are being solicited. Reports of either analytical or experimental investigations will be considered. Authors intending to submit papers should mail preliminary abstracts to either of the co-chairmen listed below by February 15, and submit three copies of the complete manuscript before April 15, 1970. All papers accepted after review will be presented at the symposium session and published in a single symposium volume.

In view of the great, and increasing, interest in the liquid metals as coolants and working fluids, we anticipate that this symposium will be of significant value to both authors and audience.

Symposium Co-Chairmen

John C. Chen  
Department of Applied Science  
Brookhaven National Laboratory  
Upton, New York 11973

A.A. Bishop  
Westinghouse Electric Corporation  
Waltz Mill Site, P.O. Box 158  
Madison, Pennsylvania 15663

#### § 4 Goals of Heat Transfer Research

現在，米国ミシガン大学に留学中の東大生産研棚沢一郎助教授より，8月にミネアポリスで行なわれたASME-AICHE National Heat Transfer Conferenceの折に，将来の伝熱研究の方向を討論するために配布された下記の資料の提供をうけましたので集録いたします。

##### OUTLINE

for the report on

##### "GOALS OF HEAT TRANSFER RESEARCH"

##### FIRST DRAFT

(For the discussion on Monday, August 4th,  
Leamington Hotel, Minneapolis, Minnesota.)

#### A. Introduction

In the present study an attempt was made to collect the opinions and ideas of workers in the field of heat transfer as the the future course of research in this area and its relation to applied problems. Interviews were conducted and memoranda were obtained from those actively engaged in research as well as from persons concerned with the design and operation of equipment and processes. The present report reflects the information obtained in this way. It is hoped that this survey will serve as a reference to those engaged in research in planning their own programs; that it will help prospective students in orienting themselves when selecting an area of specialization; and that it will give a more complete overview of possible future endeavors to those who may be in a position to sponsor research work.

A survey of this sort can, of course, never be complete, nor entirely up to date, and it cannot be expected that the opinions expressed will be shared by all of those who participated in the survey, let alone by all of the heat transfer community. It is

hoped, however, that the report will expose a large number of research workers to a great variety of thoughts and points of view. This exposure may stimulate further thoughts and ideas and may be a positive factor in orienting their future work. A special effort will be made to solicit additional comments as to further research areas and pertinent problems as well as to obtain differing points of view and criticisms. Such new information will then be incorporated into the report on a periodic basis, and hopefully a more and more representative and useful document will gradually develop.

In the following, heat transfer applications and corresponding areas of investigation will be presented in brief. In the first part the classification will be according to the general type of heat transfer (forced convection, boiling, etc.), and in a later portion some of the areas of investigation will be regrouped corresponding to some special field of application.

The topics discussed in the report are governed by the responses of the contributors. Among the major fields which have not been represented so far are geology, oceanography, meteorology, and such applications as climate modification and the movement of pollutants and air and water. (Possibly these topics are not within the scope of this report.) As mentioned earlier, suggestions for additions will be welcome. As to the suggestions for future work, it will not always be clear whether the investigation should be classed as research, development, or engineering design. Each investigator and each organization will make their own decision in this respect, and again the purpose of the report is viewed to give a broader view of possible future projects.

B. Possible Areas for Future Heat Transfer Investigations (by Type of Heat Transfer)

1. Forced Convection - Single Phase

(a) Typical Applications Mentioned

Among the many applications in forced convection, the ones that have been singled out are those involving heat transfer in biological systems, heat transfer from special surfaces such as fields and mountains, and - possibly surprising to many - heat transfer in the conventional process and power plant heat exchanger. Such heat exchangers are, of course, being manufactured and used on a large scale. In the last decades, however, the development has benefitted little from the bulk of heat transfer research and the

literature contains little which would allow optimal designs or accurate predictions.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Further reliable data on laminar flow heat transfer - (again possibly surprising). The information should be presented in a form helpful for the designer. The problem is complicated by changes in viscosity and the often important effect of free convection.
- (2) Rough surfaces, effect on friction and heat transfer, optional roughness shapes.
- (3) Annular heat transfer, division of shear and heat transfer between the walls.
- (4) Heat transfer in the transition range (Re 2000-5000). For lack of information this range is now generally avoided by designers.
- (5) Swirl flow in pipes - data for a wide range of parameters.
- (6) Heat transfer to slurries, gells, solutions of long chain polymers.
- (7) Laminar and turbulent flow with realistically varying properties.
- (8) Flow over tube banks, staggered tubes, tube bundles - study of arrays and the heat transfer from successive tubes.
- (9) Effect of contaminants (e.g. small amounts of oil in water).
- (10) Fouling of surfaces - the mechanism, extent, effects on heat transfer. This is one of the major limitations in heat exchanger design, yet sufficient knowledge to allow accurate quantitative predictions are lacking.
- (11) Cooling of surfaces by jets, heat transfer to tubes in the wake of others.
- (12) Basic investigations on turbulent exchange coefficients in heat and mass transfer.

2. Two-Phase Flow - Liquid/Gas

(a) Typical Applications Mentioned

The application in which detailed knowledge is perhaps most essential is that involving nuclear power reactors. In this case both the heat transfer conditions as well as the physical distribution of the two phases all must be predicted accurately for

reasons of safety as well as economy. In addition two-phase flow plays an important role in a variety of power plant as well as chemical process operations. With the need for more efficient equipment, information on the flow and heat transfer characteristics of these mixtures is required. The need certainly has been recognized and a great number of persons are active on problems involving two-phase flow. Although our understanding of the processes has increased significantly, continued work of a field in which it would be most fruitful to devote a major effort to the task of evaluating and reviewing existing data with the purpose of making the best design information available as early as possible.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Flow characteristics - conditions governing the various types of flow, stability of film (thickness, wave formation, break off and deposit of droplets, shear stress at interface in annular flow).
- (2) Prediction of void fractions under various flow conditions, including subcooled boiling. Droplet and bubble distribution.
- (3) Condensation and evaporation in two-phase flow.
- (4) Critical heat flux ("burn out point") under the various types of flow.
- (5) Transient conditions - Flow, heat transfer, void fractions. This could be a most important aspect of reactor safety analysis. At the same time it is a most perplexing problem which will require an ingenious insight if it is to be solved in a form suitable for the prediction of reactor operations.
- (6) Behavior in complex geometries - annular channels, multichannel paths, mixing of flow from several subchannels, stability and distribution.

3. Unsteady Flow and Oscillations

(a) Typical Applications Mentioned

Several areas of application involve starting and shutdown - a part of normal operation - and flow oscillations (e.g. in heat exchangers, combustion chambers, etc.) which usually occur unexpectedly. Start and shutdown transients require particular emphasis in the case of nuclear reactors where the temperature distribution is related to the safety problem. This aspect was also mentioned in connection with "two phase flow". Another application of recent interest involves the startup of an automobile steam engine, in which heat transfer is the limiting factor.

As an example of oscillating flows, the problem of high heat transfer in unstable combustion is still unclear, and the possible beneficial effect of oscillations in improving heat transfer to containers or similar objects may be of interest. A special problem in periodic heating occurs in connection with grinding operations in which individual grains are subjected to extreme temperatures for times as short as  $10^{-6}$  seconds, and where the effect of this unusual cycle on the surface remains to be studied.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Flow conditions in heat exchangers and nuclear reactors, wake formation, Strouhal numbers of various configurations, boiling loops - interaction of vapor formation and heat transfer.
- (2) Periodic heating of grains at grinding wheel involving high temperatures and short times.
- (3) Effect of flow oscillation (e.g. unstable combustion) on heat transfer.
- (4) Transfer in flows which are chemically or thermodynamically unstable.

4. Evaporation and Condensation

(a) Typical Applications Mentioned

Although evaporators and condensers are now and have been a part of all kinds of power and processing equipment, the details of the conditions in these units are not understood in sufficient detail to allow the prediction of the required surface area within say 30%. In view of modern economic requirements such margins may no longer be considered acceptable.

Among the many other occurrences of evaporation and condensation, attention was called to the problems in drying paper, certain agricultural crops and grains, distillation, film cooling and the temperature control of the human body by perspiration.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Two phase flow over tube bundles which are heated or cooled. Tube orientation and the arrangement of the tube will be an important factor.
- (2) Phase change with multicomponent fluids, including the presence of non-condensable gases.



- (3) Mechanism of evaporation and condensation of liquid metals.
- (4) Factors affecting dropwise and film condensation. Although much knowledge has been obtained on this subject, designers generally feel that the process cannot yet be sufficiently controlled to count on dropwise condensation. In addition further understanding of "wetting" under equilibrium and non-equilibrium conditions may also be of value.
- (5) The study and development of special surfaces such as fluted tubes - which lead to higher condensation coefficients.
- (6) Drying and evaporation by direct radiation - matching of radiation wavelength to absorbtivity band of liquid.

## 5. Boiling

### (a) Typical Applications Mentioned

There is, of course, some overlap between this section entitled "Boiling" and the "Two Phase Flow" and "Evaporation and Condensation" sections. The problems under discussion center around nuclear and film boiling and the role of this type of heat transfer in power plants, thermosystems, and again chemical process applications.

### (b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Maximum heat flux (critical heat flux), various free convection and forced convection conditions.
- (2) Effect of surface on nucleate boiling and critical heat flux. The role of nucleation sites.
- (3) Temperature distribution in boiling flows.
- (4) Boiling in complex geometries (here again the effect of geometry enters in an important way and the problem cannot be ignored by workers in the heat transfer field).
- (5) Fouling of surfaces on which boiling takes place (a difficult heat-mass transfer-chemical equilibrium problem of major practical significance).

## 6. Free Convection

### (a) Typical Applications Mentioned

Problems involving the free convection in closed containers have been emphasized and among those are a variety of different applications such as the heating of a reactor vessel in a case of coolant failure, the heating of food containers, and heating of propellant tanks in rocket vehicles. In the case of food processing the fluids involved may also show non-Newtonian characteristics. In addition free convection plays a major role in meteorology, oceanography, and geology. Although some problems in micro-meteorology (atmospheric motion as influenced by local terrain) have been included, the role of heat transfer in the aforementioned fields was considered to be outside of the scope of this report (at present).

(b) Suggested Subjects for Investigation

- (1) Motion and heat transfer in closed containers; containers of different shape, different orientation, filled as well as partially filled.
- (2) Effect of transient conditions on the development of flow patterns.
- (3) The role of property variations on flow patterns and heat transfer coefficients.
- (4) The development of turbulence in various free convection flows - including surfaces of various inclination, different geometric containers, heat rate variation with time and position.
- (5) Free convection in the presence of centrifugal or magnetic fields.

It may be appropriate to mention that experimental evidence obtained so far shows that free convection is greatly influenced by seemingly minor factors, such as exact geometry, uniformity of heating, initial conditions, etc. Experimentors in this field have to be particularly mindful of controlling as well as reporting all of these factors.

7. Radiation

(a) Typical Applications Mentioned

Radiation plays a major role in heat transfer in space vehicles or space structures; examples include the temperature control of the vehicle and its components, the design of condenser radiators, and the temperature control of space platforms, or structures and instruments positioned on the moon. On earth, there remain challenging problems involving the efficient collection of sun radiation,

the interaction of sun radiation with plants, the distribution of radiation throughout the crop on a planted field, the role of radiation in influencing the micrometeorology (fogs, stability of ground layers, etc.) etc. Similarly the role of radiation in controlling human and animal comfort, although qualitatively well understood, does not seem to have been developed to the point at which quantitative information is available for engineering applications. Interestingly enough also, data for analyzing the atmospheric heat balance are incomplete; this includes data on the reflectivity of clouds, smog, aerosols, etc.

The solution of these problems also includes further analysis of radiation exchange in real "non-gray" media; this problem is also pertinent to various other applications, for example to the radiation transfer in high temperature boundary layers.

(b) Suggested Areas for Investigation

- (1) Spectral data on emissivities for various surfaces (including rough surfaces, skins, animal fur, etc.); emissivity and scattering data on clouds, dispersed aerosols, smog, city areas, etc.
- (2) Radiation characteristics of surfaces and the change of these characteristics with time and contamination.
- (3) Radiation exchange through absorbing-emitting-scattering media.
- (4) Combined convection and radiation with the two mechanisms strongly coupled.
- (5) Radiation characteristics of two phase media.

8. Liquid Metals

(a) Typical Applications Mentioned

The interest in liquid metals stems largely from the fact that such liquids are particularly suited as coolants for certain nuclear reactors. In addition certain other applications, such as liquid metal quenching baths, and liquid metal heat pipes may become of interest. The technical problems are much the same as those which are encountered with other fluids, and some of these have been discussed in the sections on free and forced convection, boiling and two phase flow. Liquid metals are listed under a separate heading, as the properties of these metals are so different from other fluids, that the investigations into their behavior often require quite a separate approach and very special experimental techniques.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Basic free and forced convection data - with presently available information even turbulent forced convection results can generally not be predicted within 50%.
- (2) Nucleate boiling, critical heat flux in nucleate boiling for free and forced convection.
- (3) Film boiling - effect of surface on wetting and the promotion of film boiling vs. nuclear boiling.
- (4) Nucleation, bubble formation and growth.
- (5) Effect of impurities, fouling and surface interaction.

9. Cryogenic Fluids

(a) Typical Applications Mentioned

There is a certain similarity in the state of knowledge in regard to cryogenic fluids and that in regard to liquid metals. Again the important heat transfer processes involve free and forced convection, boiling, etc., just as in the case of the more common fluids. Again, however, the physical characteristics of the cryogenics and the experimental requirements are such that they may be treated as a separate study.

Several applications of cryogenics have become of importance and most of them do involve heat transfer as a crucial aspect. The use of cryogenic rocket propellants (oxygen, hydrogen, fluorine) has continued. The storability of these propellants depends on proper insulation and this in turn requires a detailed understanding of the heat transfer processes. In addition these propellants are sometimes used as coolants for the rocket chamber. In another field liquifaction of natural gas, and the storage and transportation of the liquid has become of commercial interest. The transmission of electricity through cooled cable (liquid nitrogen temperature, if not at temperatures needed for superconductivity) and the cooling needs are a key factor in the profitability balance. Attempts at operating equipment under conditions of superconductivity increase and hold the key for certain power conversion equipment. Liquid helium is the natural coolant for these cases, and its unique properties present a special challenge to the heat transfer engineer. Among other applications are the cooling of certain electronic equipment (e.g. infrared sensors) as well as the design of medical instruments for diagnostic or surgical purposes.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Reliable data on convection with and without change of phase. Maximum heat transfer in nucleate boiling, film boiling heat transfer near the thermodynamic critical point. Data on helium will be of particular interest.
- (2) Radiation interaction at cryogenic temperatures - special procedures reducing radiation exchange; role of radiation in superinsulation.

10. Non-Newtonian Fluids

(a) Typical Applications Mentioned

The description "non-Newtonian" is not only a negative one but also a very imprecise one. There are many ways in which a fluid can be "non-Newtonian", and one generally includes under this heading such diverse substances as gells, slurries, heavy oils, polymer solutions, tomato puree, and even powders and sands. The reason for the present way of classification is, of course, the fact that air and water are "Newtonian" and for very valid reasons most of the past experimental and analytical work has been for those liquids. More and more frequently, however, fluids of the kind mentioned above are being transported, heated and cooled on a commercial scale and accurate design information is becoming necessary. A few examples will be mentioned.

Propellant gells (solid particles distributed throughout a liquid base with the aid of a gelling agent) are being considered for rockets and other engines, and may also be used as coolants in these applications. Heavy petroleum products are pumped through pipe line - their behavior is generally non-Newtonian as well as very sensitive to temperature. Gas-solid mixtures are being considered for gas turbines as well as certain nuclear reactor concepts and solids in fluidized beds are to be heated or cooled in many chemical processes. In the food industry many fluids with mysterious properties are heated and boiled under conditions of free or forced convection. The flow and temperature conditioning of blood has become of engineering interest and water solutions of long chain polymers have been shown to affect friction and heat transfer of turbulent flows (some of these effects occur even though the fluid still follows the Newtonian law of friction). Applications for drag reduction are being pursued and investigations of the heat transfer to such fluids may add to the understanding of the fundamental transport mechanism. Finally there is

the flow of and heat transfer to granular media, powders, fluidized beds, etc., mostly in connection with chemical processing. The economic incentives in these cases again encourage a much deeper understanding of the mechanism so that better predictions can be made.

(b) Suggested Areas of Investigation

- (1) Characterization of various fluids - some may not even lend themselves to conventional description in terms of viscosity and similar parameters.
- (2) Basic experiments to reveal the behavior and special characteristics of the fluid.
- (3) Develop analytical formulations which describe the behavior of the fluid and which can predict performance.

11. Combined Heat Transfer

(a) Typical Applications Mentioned

It seems hardly necessary to stress the fact that combinations of the basic heat transfer mechanisms occur or that heat transfer takes place frequently in conjunction with mass transfer, ionization, chemical reactions, etc. The applications are plentiful and include: combined free and forced convection in heat exchangers, heat transfer to chemically reacting mixtures in combustion chambers, and chemical manufacturing processes; radiation-convection interactions; heat transfer from a plasma surrounding a reentry vehicle, and diffusion and heat transfer in a plasma in applications aimed at the separation of species. (The heat transfer problems connected with controlled thermonuclear reactions are in a sense also a part of this group of applications. At present, however, this area has been considered to be outside of the scope of this study.)

(b) Suggested Areas of Investigation

Careful analysis and experiment designed to clarify the combined effect and to provide information suitable for design predictions. The combinations most frequently mentioned were:

- (1) Heat and mass convection such as occurs in condensation and evaporation.
- (2) Radiation-convection.
- (3) Free and forced convection.
- (4) Convection-chemical reactions, including the effect

of velocities on chemical equilibrium.

C. Possible Areas for Future Heat Transfer Investigations (by Applications)

In the previous pages the informations received from the respondents was reported by grouping according to various general heat transfer mechanisms. In the following an attempt will be made to report the information according to applications. There will, of course, be an overlap in these two sections of the report, but it was felt that a presentation from this second point of view may be of interest to some.

1. Heat Exchangers

The designation heat exchanger is a very broad one and covers a very large number of devices. It includes single phase exchangers, condensers, evaporators, desalination units, heat exchanger for blood, oil coolers, etc. Most of the applications have probably been in the power generation field and in connection with chemical processing. The point to be made here is that despite this extensive use, the design of most of these devices is still largely based on art and there is a lack of understanding of many of the "details" of the flow which have to be known if design predictions are to be better than 50%. For modern economic design such wide margins of error are a luxury which can no longer be afforded, and for applications like a steam or gas turbine car an efficient heat exchanger design may even hold the key to feasibility.

The types of questions to be answered involve the flow of one or two phase fluids over various arrangements of tubes; the flow in headers, conditions which lead to unstable flow or mechanical vibrations, the development of "effective" surfaces for convection (including fins, swirl tapes, turbulators, corrugation), as well as for condensation (the recent popularity of flutes shows that significant improvements are still possible) or evaporation; the full appreciation of manufacturing tolerances and the effect of geometric perturbations on performance; and, perhaps, the factor most difficult to predict, fouling - an ugly word, by the way, and possibly more workers could be attracted to this problem if it were described as the challenging problem of heat and mass transfer with electrochemical interactions, which it really is.

## 2. Manufacturing Processes

### (a) Paper Drying

A typical drying operation is that involved in finishing paper. Rather effective methods have been developed to obtain uniform drying of a wide sheet and even radiation selectively absorbed by the moisture is sometimes used. Nevertheless there are several processes which are only qualitatively understood, such as the moisture transport within the paper, the transport of heat from the heating surface to the paper, the contact resistance of this surface, and the factors governing the tendency of sticking and adhesion.

### (b) Machining, Grinding, Etc.

One of the important requirements in machining is to keep the tool and the work cool. In order to do this effectively an understanding of the heat generation process, the distribution of energy, and the cooling mechanism is required. Further diagnostic work is indicated and to give an idea of the magnitude of the problem it is mentioned that an individual grain on a grinding wheel is exposed to a high rate of energy release for perhaps  $10^{-6}$  seconds. It is probable that friction-like spalling, ablation, and chemical reaction will play a role in the analysis and that a study of the cooling effects of gases, mists, liquids is worth investigating in detail.

(Insufficient information has so far been obtained from some key industries such as automobiles, glass, steel, air conditioning and refrigeration - appropriate sections to be added.)

## 3. Clothing and Comfort

Although styles change frequently technological advances have not to any major degree influenced the comfort design of clothing. (It has of course had a great impact on the development and production of fabrics.) People still seem to be too often too hot or too cold and there is nothing like a thermostatically controlled garment available, except perhaps for astronauts. One could imagine that perhaps by applying only available information and techniques such a commercially feasible garment could be produced. It seems, however, more likely that an intensive investigation of the inter-relationship of physiology and heat transfer may lead to a superior solution. The investigation might include a study of the insulation and radiation characteristics of textiles and a method of con-



trolling it, a study of the heat exchange system of the body with a view toward identifying relatively small body areas (maybe the forearms) which can serve as effective heat exchangers for the body as a whole, a study of auxiliary cooling or heating sources (either heat pumps, resistors, liquified gas, etc.). In any case engineered clothing may well be an area in which further work could be quite rewarding.

4. Air Conditioning

(Additional information to be obtained.)

5. Biotechnology

This very large field of heat transfer in biotechnology received greatly increased attention rather suddenly when engineers dropped their blinders and began to cooperate with the professionals in the field of biology and medicine. Surprisingly enough their offer of cooperation was accepted in a good number of instances. Each problem involves several areas of engineering and physiology, but heat transfer is frequently involved in a significant way as will be illustrated by the following list of problems.

- (a) Determination of basic thermodynamic and transport properties of skin and tissue.
- (b) Heat transfer from body to surroundings - effect of radiation, convection, evaporation, interaction with typical surrounding features in and out of doors.
- (c) Internal heat exchange mechanisms and rates, heat and mass transfer in kidneys, lungs, flow through heart valves, threshold of cavitation and bubble generation.
- (d) Temperature distribution as a diagnostic tool, modification of temperature distribution in the brain to produce anesthesia, temperature distribution in cryosurgery, time-temperature prediction to obtain desired result without causing damage, revival from hypothermic state, control and treatment of frostbite, burns, inflamed joints by determining a beneficial time-temperature cycle for restoring cells and then producing the heat transfer condition which will bring about this cycle.
- (e) Device design for such purposes as temperature survey tools, cryosurgery tools, time-temperature-depth

control devices (including diathermic methods), special heat exchangers for blood and extracorporeal circulation systems.

- (f) Determination of allowable freezing and thawing rates for cells which are to be stored or reactivated, as well as the design of devices to accomplish these transitions.
- (g) Plant studies, the role of heat and mass transfer as well as radiation on the ecological cycle, revival of dried out plants, the interrelationship of water needs to heat transfer.

## 6. Food Processing

Food processing is one of the areas which may well benefit from increased engineering attention. The scale of these operations are ever increasing and there is an increased need for reducing processing times, and of devising economic processing equipment.

Among the many areas involved is that of flowing, heating, and cooling a variety of ill-behaved liquids euphemistically known as "non-Newtonian". It will be the rewarding task of engineers to discern the key properties of these various fluids and to develop anew the free and forced convection behavior of these fluids. Any successful development along these lines will, of course, have applications outside of food processing, as the transport and treatment of non-Newtonian fluids is becoming more frequent in other industries also.

Other problems in food processing involve the familiar steps of heating (food in containers, continuous belt cooking of chicken, etc.), freezing, drying (e.g. drying potato chips), freeze drying (vegetables, coffee). All of these are being accomplished now and also are being studied and improved continuously. Nevertheless, in the continued of each physical process as well as their interrelationships should be welcome.

An additional process enjoying increased application is that of reverse osmosis for the purpose of concentrating, dehydrating juices, etc. The technical problems which occur in this connection involve mass transfer rather than heat transfer, but are expected to be within the scope of interest of this report.

## 7. Agriculture

In a broad subject such as agriculture one can only hope to highlight a few areas to illustrate the opportunities which may exist to make a useful contribution by studying the heat and mass transfer aspects.

The first general area concerns comfort and temperature control of animals in hot climates. Questions on which work has been done but which require more attention if quantitative answers are required include radiation coefficients of furs and feathers, analysis of thermal interchange between the animal and the various parts of its surroundings, methods of providing desirable temperature-time cycles (there seems to be some information on such cycles for maximum growth of swine or cattle, maximum egg production of chickens, etc.).

Secondly, the prediction of temperature-time-depth relationship in soils and an understanding of the factors influencing this relationship could be valuable not only for the purpose of controlling growth rates, water consumption, fertilizer usage, etc., but also for controlling pests and for determining times for the most effective use of insecticides.

The third item to be mentioned is that of micro-meteorology, the prediction of atmospheric conditions as they are influenced by local conditions. This investigation involves a study of the boundary layer near the ground, i.e. temperature and velocity distribution, stability criteria (if a cold layer remains stable it may cause freezing), methods to destabilize layer, effect of roughness (as represented by various crops, bushes, trees), interaction with radiation, radiation and temperature distribution throughout crops, effect on fog formation, etc.

The micro-meteorological work has to interface somewhere with meteorology. Questions pertaining to this interface area involve the radiation characteristics of clouds, the effects of aerosols on these radiation characteristics, the effect of city-like areas ("heat islands") on the climate of immediately adjacent agriculture, and vice-versa the effect of parks throughout cities on the city climate.

## 8. Fire prevention

Since the starting and spreading of fire is largely determined by the temperature of the combustible mixture heat transfer plays

a key role in the analysis of fires.

For outdoor fire (such as forest fires) more quantitative understanding of the motion of the hot plume and the convective and radiative transfer from this plume to combustible material. The study of the effect of different ground geometries and different terrains is a part of such a study as is the prediction of the radiation characteristics of the plumes.

One of the problems concerning indoor fire is the heat transfer mechanisms inside a typical room; what is the role of convection and radiation; where are the places in which the temperature is likely to reach the ignition limits first, what is the influence of the geometry, the radiation characteristics of the wall, etc. A further area of study concerns the effect of fires on building materials, the mechanism of weakening, and the ways to prevent such damage.

Detail investigations of combustion processes and the role of preheating in this process also remain of importance. A particularly interesting problem concerns the effect of moisture in a porous medium. The moisture ordinarily will be thought of as reducing the tendency of the material to be burned. On the other hand, if the heating rate is sufficiently high so that the vapor instead of coming out of the material toward the heat source is driven into the medium the effect changes. The vapor will then condense far inside the material and heat up the porous structure around it making it more vulnerable to combustion. Similarly to give a better understanding of burning of solids in general further studies are needed of the process of decomposition of the combustible material, the heat transport by the movement of the resulting vapor, and the conduction through the remaining solid. The design of better fire resistant materials might be one of the possible results which might come from such a better understanding.

### Some Observations

In reviewing the wealth of material obtained from the many experts in the field of heat transfer a few general observations seem to appear on which it may be worthwhile to comment.

1. There are two areas - those of aero-space and nuclear power - for which a precise understanding of fluid mechanics and heat transfer are essential for any kind of satisfactory operation. It is quite understandable, therefore, that an extensive amount of research has been conducted in these two areas, in universities, in industry and in government laboratories. The work was aided by the fact that the aero-space and nuclear power development were recognized as national needs and supported to a significant degree by government sources. As can be seen from the comments in the main part of the report, many research problems remain to be solved but one would expect that these problems are well known to many of the research workers and that solutions are continually being sought.

2. The history and the present status is different for such equipment as heat exchangers, condensers, evaporators, etc. as used in the power and chemical industry. For these applications very satisfactory equipment was devised several decades ago. The improvements since then have been gradual but at no time was the need sufficiently urgent to require a massive research effort and the involvement of the academic community. Over the years the manufacturers of this type of equipment and the research workers grew more and more apart, and as so often happens each group became convinced of the other's inferiority. With the continuing demands for more efficient and more economic operations, the time for closer future cooperation may be at hand and it would not be surprising if those charged with the manufacture of equipment would find some of the research work to be useful and if the research minded individuals would be intrigued and challenged some of the fundamental problems in the so-called conventional heat exchange equipment. To make a contribution in this area the research worker may find that he has to take into account more than fluid properties, geometrical boundary conditions, initial conditions, characteristics of approaching flows, surface conditions, etc., will have to be taken into account. In addition it has to be realized the designer of this kind of equipment demands accurate predictions, accurate enough say to predict the size of the equipment within 10%. It will take a great insight into the problems and real ingenuity to accomplish this and at the same time produce information which has some general applicability.

3. There are several areas to which the heat transfer engineer has paid only cursory attention but which may well stimulate some of the most exciting and rewarding research and development. These include the areas of biotechnology, agriculture, food processing, fire prevention, as well as certain manufacturing processes. These problems do offer great opportunities, but a word of caution may also be in order. These disciplines have existed before the arrival of the heat transfer experts, and sobering as the thought may be, significant progress has been made in spite of this. It therefore behooves those who wish to work in these fields to acquaint themselves thoroughly with all aspects of the problem to be solved before formulating their own research plans. Otherwise the work may add to the confusion rather than to the solution.

4. Because of technological trends, interest in the study of a variety of non-Newtonian fluids may develop. To make any progress in this field particularly well planned experiments and well posed problems have to be formulated. Eventually the role of non-Newtonian fluids in fluid mechanics may well be analogous to that of non-linear systems in solid mechanics.

5. An enormous amount of research and development has been conducted over the past years and the work is continuing at a rapid pace. A large portion of it has been conducted with aerospace or nuclear applications in mind but the results could well be relevant to problems in many other fields. The amount of information that has been published is very large; the quality varies; some results are contradictory; some of it is difficult to interpret; experimental conditions are not always clearly pointed out - as a result much potentially useful information is lost and unavailable to the designer. For this reason - and this has been stressed by several contributors - there is a great need for careful and critical evaluation of the results in the several fields and the periodic publication of authoritative surveys presenting the current state of knowledge and art in as clear a form as possible. Forty or fifty years ago textbooks often fulfilled this need - Stodola's work on Steam and Gas Turbines probably being one of the outstanding examples. For several reasons, textbooks only very rarely fulfill this role at present. Some books usually designated by such titles as "Advances in...", come the closest to rendering this service but usually are meant for the information of other research workers rather than for the designer. Just how the proposed evaluation and survey is to be done is not clear - but the need certainly exists and the service of making the best research information available to our technology in an efficient way should be rated highly.

会 告

第7回 日本伝熱 シンポジウム講演募集

共 催 : 日本学術会議熱工学研究連絡委員会, 日本伝熱研究会,  
日本機械学会, 化学工学協会, 空気調和・衛生工学会,  
日本原子力学会, 日本航空宇宙学会, 日本建築学会, 日  
本冷凍協会,

開 催 日 : 昭和45年5月21日(木) 22日(金) 23日(土)

会 場 : 学士会館本館 (東京都千代田区神田錦町3-28)

講演申込締切: 昭和45年2月12日(木)

前刷原稿提出期限: 昭和45年3月23日(月)

申 込 先 : 東京大学工学部機械工学科内 日本伝熱研究会 (東京都  
文京区本郷7-3-1) (ただし, 日本機械学会会員は同会  
熱工学委員会あて)

申込方法 : はがきに「伝熱シンポジウム研究発表申込」と題記  
(1)題目 (2)概要(要点をくわしく) (3)所要時間(20分  
以内) (4)氏名・勤務先・所属研究室名・所属学会会員  
資格(連名の場合は講演者に※印) (5)連絡先, を記入  
して上記申込先あてご送付下さい。

前刷原稿 : 前刷はオフセット印刷, 原稿は646字詰原稿用紙8枚  
以内(日本語を原則としますが, 英文タイプでも可)  
原稿用紙は日本伝熱研究会より後日, 研究発表申込者あ  
て送ります。

文 献 リ ス ト

定 期 刊 行 誌

A I A A JOURNAL

Vol. 7, No. 4

Determination of Thermodynamic Properties with Optical Cross-Correlation Methods

F. R. Krause, W. O. Davies, M. W. P. Cann

Recondensation from a Particle-Vapor Source Flow into Vacuum

L. A. Glenn

Evaporation of High-Velocity Particles in Free-Molecule Flow

J. F. Frichtenicht

A Thick Gas Model near Boundaries

V. S. Arpaci and P. S. Larsen

On the Variational Principles for the Heat Conduction Problem

P. Rafalski and W. Zyszkowski

Nonequilibrium Boundary Layer along an Insulator Wall

A. Sherman and E. Reshotko

Natural Vibration of Isotropic Plates with Temperature-Dependent Properties

S. Tang

Radiative Heat Flux for an Optically Thin Gas

S. T. Wu

Effect of Upstream Mass Injection on the Pressure Field in a Cavity

C. G. Voorhees and J. J. Bertin



Thermocouple Total-Temperature, Probe-Radiation Errors

F. K. Hube and F. Shahrokhi

Near Free-Molecule Heat Transfer and Density Distribution  
between Concentric Spheres

J. C. Havekotte and G. S. Springer

Radiant Heating of a Solid Spherical Satellite

M. Iqbal and B. D. Aggarwala

An Investigation of Radiative Heat Transfer in Participating  
Media

F. Shahrokhi and P. Wolf

A I A A JOURNAL

Vol. 7, No. 5

A Heat-Transfer Correlation for Laminar Separated Flows

J. A. Sills

Numerical Solutions of the Unsteady Heat Equation

C. F. Lo

Electron-Beam Rotational Temperature Measurements Including the  
Effect of Secondary Electrons

D. C. Lillicrap and J. K. Harvey

A I A A JOURNAL

Vol. 7, No. 6

Approximate Calculation of Reynolds Analogy for Turbulent  
Boundary Layer with Pressure Gradient

N. Tetervin

Spectral Emissivity Measurements of Ablating Phenolic Graphite

J. H. Chang and G. W. Sutton

Stagnation-Point Heat Transfer in Arc-Heated Helium and Argon

R. B. Pope

Formulas for the Thermodynamic Properties of Dense Nitrogen

K. R. Enkenhus and S. Culotta

Isotherms in Nonconstant Area Tube Arcs

W. Pasko and S. N. B. Murthy

Vibrational Temperature Measurements Using the Electron Beam

J. W. L. Lewis and W. D. Williams

Temperature Distribution in a Porous Surface

P. A. Libby

A I A A JOURNAL

Vol. 7, No. 7

Radiative Transfer in the Low Reynolds Number, Blunt-Body

Stagnation Region at Hypersonic Speeds

J. T. C. Liu and E. Sogame

Thermal Contact Resistance of Selected Low-Conductance

Interstitial Materials

L. S. Fletcher, P. A. Smuda, D. A. Gyrog

Radiation Transport for Stagnation Flows Including Effects of  
Lines and Ablation Layer

J. H. Chin

Surface Ablation Patterns: A Phenomenology Study

A. L. Laganelli and D. E. Nestler

Application of the Method of Parametric Differentiation to  
Radiative Gasdynamics

M. C. Jischke and J. R. Baron

Energy Transfer Mechanism in Shock-Tube Arc-Heated Drivers

G. J. Mullaney and H. G. Ahlstrom

Heat Transfer to Steps and Cavities in Hypersonic Turbulent  
Flow

D. E. Nestler, A. R. Saydah, W. L. Auxer

AICHE JOURNAL

Vol. 15, No. 4

Mass and Heat Transfer Relations in Evaporation through Porous  
Membranes

M. E. Findley, V. V. Tanna, Y. B. Rao, and C. L. Yeh

Laminar, Nonisothermal Flow of Fluids in Tubes of Circular  
Cross Section

E. B. Christiansen and Gordon E. Jensen

Heat Transfer and Pressure Drop for Nitrogen Flowing in Tubes  
Containing Twisted Tapes

George J. Kidd, Jr.

Thermal and Material Transport in Nonisothermal Packed Beds

William W. Schertz and Kenneth B. Bischoff

Transport of Heat and Mass between Liquids and Spherical  
Particles in an Agitated Tank

P. L. T. Brian, H. B. Hales, and T. K. Sherwood

A Method for Measuring Particle Diffusivity in Two-Phase Flow  
in the Core of a Duct

Richard Briller and Myron Robinson

Temperature Profiles of Molten Flowing Polymers in a Heat  
Exchanger

T. H. Forsyth and N. F. Murphy

Brennstoff — Wärme — Kraft

BWK 21, Nr. 5

Der Wärmeübergang in einem größeren Schwingrohr bei  
pulsierender und nicht pulsierender Verbrennung

G. Leistner, R. Märtelstock und E. Meyer

Mittlere Temperaturdifferenz bei Kreuzstrom in einem  
Rohrbündel-Wärmetauscher

W. Roetzel

Wärmequerleitung in einem Querlauf-Regenerativ-Wärmetauscher

J. Magerfleisch

Wärme- und Stoffübertragung in der Sowjetunion (Eindrücke von  
der Gesamtrussischen Konferenz für Wärme- und Stoffübertragung)

E. Hahne

Ein internationales Zentrum für Wärme- und Stoffübertragung

E. Hahne

Brennstoff — Wärme — Kraft  
BWK 21, Nr. 6

Brennstoff — Wärme — Kraft  
BWK 21, Nr. 7

Die Biot-Zahl, eine dimensionslose Kenngröße bei instationärer  
Wärmeübertragung

G. Cerbe

BRITISH CHEMICAL ENGINEERING  
Vol. 14, No. 6

The Design of a Spray Column Heat Exchanger  
E. Hehat and R. Letan

BRITISH CHEMICAL ENGINEERING  
Vol. 14, No. 7

BRITISH CHEMICAL ENGINEERING  
Vol. 14, No. 8

Design of a Tray Type Barometric Condenser  
I. A. Trab

BRITISH CHEMICAL ENGINEERING

Vol. 14, No. 9

Combined Natural and Forced Laminar Flows

K. Sherwin

Computer Methods for the Heat Conduction Equation

B. Gay and P. T. Cameron

The Canadian Journal of Chemical Engineering

Vol. 47, No. 3

Freezing of Hydraulic Systems

N. DesRuisseaux and R. D. Zerkle

The Canadian Journal of Chemical Engineering

Vol. 47, No. 4

Heat Transfer Between an Axisymmetric Jet and a Plate Held  
Normal to the Flow

S. Sitharamayya and K. Subba Raju

Heat Transfer Rates to Newtonian Fluids in an Anchor-Agitated  
Kettle

M. Moo-Young and J. V. Cross

Intraplate Conduction Effects in Fixed Bed Transient Heat  
Transfer

Peter J. Heggs

The Thermal Conductivity of Liquid Hydrocarbons

Dileep Kanitkar and George Thodos

KÄLTETECHNIK-KLIMATISIERUNG

21. JAHRG., HEFT 5

Über den Wärmetransport in Schaumstoffen

B. Koglin

KÄLTETECHNIK-KLIMATISIERUNG

21. JAHRG., HEFT 6

KÄLTETECHNIK-KLIMATISIERUNG

21. JAHRG., HEFT 7

KÄLTETECHNIK-KLIMATISIERUNG

21. JAHRG., HEFT 8

KÄLTETECHNIK-KLIMATISIERUNG

21. JAHRG., HEFT 9

Über den Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit und der Wärmeleitfähigkeit bei flüssigen Fluor-Chlorderivaten des Methans und Äthans

K. J. Meyer

NUCLEAR SCIENCE and ENGINEERING

Vol. 37, No. 1

Prediction of Tube Wall Temperatures with Axial Variation of  
Heating Rate and Gas Property Variation

C. A. Bankston and D. M. McEligot

NUCLEAR SCIENCE and ENGINEERING

Vol. 37, No. 2

The Effect of Axial Heat Conduction on the Thermal Development  
of a Heat-Generating Fluid

M. E. Nelson, J. H. Rust, and F. A. Iachetta

NUCLEAR SCIENCE and ENGINEERING

Vol. 37, No. 3

Heat Conduction in Reactor Fuel Elements

G. Hetsroni, E. Wacholder, and S. Haber

NUCLEAR SCIENCE and ENGINEERING

Vol. 38, No. 1



「伝熱研究」投稿規定

1. 本誌は伝熱に関する論文の予報，討論，国内内外の研究・技術の紹介，研究者の紹介，情報，資料，ニュースなどを扱います。
2. 本誌には，日本伝熱研究会の会員の誰もが自由に投稿できます。
3. 投稿原稿の採用・不採用は，編集委員会によつて決定されます。
4. 採用の原稿は，場合によつて，加筆もしくは短縮を依頼することがあります。
5. 投稿原稿は，採用・不採用のいずれの場合でも執筆者に返送されます。
6. 採用された原稿についての原稿料は，当分の間ありません。
7. 原稿用紙は，A・4原稿用紙を使用して下さい。
8. 本誌の仕上りは，当分の間謄写によつて行ないますから図面は現寸大のものを書いて下さい。
9. 原稿の送り先は，下記宛にお願いします。

札幌市北12条西8丁目

北海道大学工学部機械工学科 石黒亮二気付

伝熱研究編集委員会

付・33号は2月末を原稿締切りとします。

伝 熱 研 究

Vol. 8, No. 32

1969年12月31日発行

発行所 日本伝熱研究会

東京都文京区本郷7丁目3-1

東京大学工学部機械工学科内

電話(812)2111, 内6147, 6127

振替 東京 14749

(非売品) (謄写をもつて印刷にかえます)