

Vol. 9
No. 35

1970
October

伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 35 号

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

日本伝熱研究会 第9期役員

会 長：橘 藤男（東 大）

副会長：一色尚次（東工大） 国井大蔵（東 大）—事務担当

幹 事：関 信弘（北 大）—兼北海道連絡 吉沢幸雄（東北大）—兼東北連絡

槌田 昭（成蹊大）—兼関東連絡 高浜平七郎（名 大）—兼東海連絡

南山龍緒（京 都
工芸大）—兼関西連絡 長谷川修（九 大）—兼九州連絡

猪飼 茂（慶 大） 石黒亮二（北 大）

伊藤龍象（阪 大） 大竹伝雄（阪 大）

大谷茂盛（東北大） 小笠原光信（阪 大）

勝田勝太郎（関西大） 甲藤好郎（東 大）

杉山幸男（名 大） 片山功蔵（東工大）

勝原哲治（九工大） 武山斌郎（東北大）

広安博之（広 大） 岐美 格（京 大）

監 査：泉亮太郎（静 大） 森 康夫（東工大）

事務局（〒113）東京都文京区本郷7丁目3-1

東京大学工学部 化学工学科 国井研究室内

電話 03(812)2111 内線4456 振替東京 14749

第8回伝熱シンポジウム：46年5月大阪にて開催 準備委員長：小笠原光信（阪 大）

第9期「伝熱研究」編集委員長：片山功蔵（東工大）

目 次

第4回 国際伝熱学会における Assembly for the International Heat Transfer Conference に出席して-----	水科 篤郎-----	1
ニュース (地方グループ活動)		
§ 1. 関西研究グループ-----		5
§ 2. 九州研究グループ-----		7
第4回 夏期伝熱セミナー特集-----		14
§ 1. 伝熱セミナー要旨		
a) 輝炎およびふく射-----		15
b) 回転場の熱伝達-----		23
c) コンパクト熱交換器-----		28
d) 乾 燥-----		34
e) 石油化学における伝熱問題-----		36
f) 製鉄および冶金工業における伝熱問題-----		49
§ 2. 第4回夏期伝熱セミナー始末記-----	高浜平七郎-----	62
§ 3. 夏季伝熱セミナーに参加して-----		
熊田 雅弥, 柘植 綾夫, 酒井逸明-----		66
第8回 伝熱シンポジウムについて-----	小笠原光信-----	71
E. R. G. Eckert 教授講演会-----		73
会 告-----		74

文献リスト

定期刊行雑誌----- 75

「伝熱研究」編集委員会より----- 92

第 4 回 国際伝熱学会における Assembly
for the International Heat Transfer
Conferences へ出席して

京都大学工学部 水 科 篤 郎

片山編集委員長の命によれば、速報を書けとのことなので、パリであつた Assembly meeting について、しかも日本で開く第 5 回 国際伝熱学会に関する事項を主として報告する。

第 4 回学会の内容についてはいずれ他の方々が書かれることであろう。

8 月 30 日(日)午前 10 時からパリのエリゼ宮の数軒おいて東隣の Cercle Interallie というクラブで、Assembly の会合があり、西脇教授と筆者が出席した。議題は次のごときものであつたが、以下各議題につき簡単に説明する。

1. Information on the Versailles Congress.
2. Approaches made to Unesco in connection with future Congresses, and relations with Unesco.
3. Examination of suggestions made concerning the structure of future Congresses.
4. Project concerning the next Congress, to be held in Japan.
5. Locations of coming Congresses.
6. Election of new Officers of the Assembly, who will take office at the conclusion of the Versailles Congress.
7. Sponsorship by the Assembly of the Heat and Mass Transfer Centre, Yugoslavia.
1. Brun 教授から、ユネスコの会議場がとれなかつたので、ベルサイ

この会議場に変った事情。参加者は913名だが、あと200名ぐらいあるだろうことなどについて報告があつた。ついで Dr. Hahne から座長のうち来られない9名の代替者の名前が発表された。

2. Brun 教授から、今後この国際伝熱学会も、ユーゴスラビアにある International Heat and Mass Transfer Centre もユネスコと連絡を密にし、ユネスコから援助金を貰うよう努力したい旨発言があり諒承された。その手はじめとして、8月31日の開会式にはユネスコ総長の祝詞を工業教育、研究部長の Evstafiev 博士が代読する旨報告された。

3. 英国及びカナダ両国からの申出により、将来の国際伝熱会議のやり方を改革することについて話し合われ、小委員会により案を作ることになつた。小委員長として水科（日本）、他に Rogers 博士（カナダ）、Stephan 教授（西ドイツ）、Lacey 教授（英国）、Eckert 教授（米国）、Zaric 博士（ユーゴスラビア）の5名が指名された。

4. 1974年の第5回国際伝熱学会の組織委員会の状況について質問があつたので、準備委員会を結成し、種々検討しているが、この会議で日本開催の件が、正式に決定されたなら、これを組織委員会にきりかえて、正式に組織にかゝる旨答たところ、驚いたことには日本開催の件は決定済みとのことであつた。したがつて早急に組織委員会にきりかえ、その活動に関する情報を各国の Assembly のメンバーに流す必要がある。なお会場は準備のため動員できる人員の最も多い東京にしたい旨発言したところ、人体諒承された。

5. 1978年にカナダ（モントリオール）、1982年に西ドイツ（ミュンヘン）が名のりをあげた。

6. 米国の Beaty 教授の発言により、Assembly 自体の諸問題に対処するため、今までの副会長の Grigull 教授を会長に、1974年の学会の運営にあたるため、西脇教授を副会長に選出した。

7. ユーゴスラビアにある International Heat and Mass Transfer Centre は Assembly として支持するのではなく

Assemblyのメンバーが個人として支持するものであることが確認され、メンバー全員の名前で同センターに対してユネスコの支持がえられるよう、ユネスコに依頼状を出すことになった。

さて、将来の国際伝熱学会のあり方に関する小委員会は数回の会合を開き、次のごとき改革案を9月4日に開催された Assembly meeting に報告した。

1) Invited review papers

5人位の各分野の第一人者に依頼し、それぞれ専門分野の最近の発展について話をして貰う(1時間)その後討論(30分)

2) General papers

いままでの論文のことであるが、前刷の頁の節約のため、3頁の summary のみを印刷することにする。(ただし、記号等は共通にするとか、運動方程式、エネルギー方程式等の基礎式は省略するとかして、その論文の内容は充分わかるようにする)これをいままでのレポート方式で報告するが、レポートは必ずしもこれらの論文だけでなく、広い視野にたつて報告を行う(30分)その後討論(1時間)。また他の行事を入れるための時間を捻出しなければならないので、3会場並行で行う。またこれらの論文の full paper は学会の会期後に印刷されることを条件として、他の雑誌に会期前から投稿することを許される。

3) Selected papers

約15 厳重な審査をへて選出されるが、伝熱の全分野に、または各国に分配される必要はない。これは著者自身が講演する(約30分・3会場並行)、後一般論文の分と一緒に討論。この論文は Proceedings に full paper が印刷される。

4) Panel discussions

各 topic について、あらかじめ選出された各パネルメンバーに5~10分づつ話をして貰った後討論(全体で1時間30分、2~3会場並行)

5) Open forums

各 topic について、あらかじめ申し出た人は誰でも話をする事ができる（1人5分、全体で1時間30分、2～3会場並行）

6) Round tables

誰でも申し出れば、ある topic についての討論会ができるような室を用意する。

7) Movie film session

伝熱に関する、映画を募集し、審査にパスしたものを公開する session を設ける。

8) Equipment show

伝熱関係の装置、機具、測定器などの展示を行う。

以上のごときものであるが、これはどこまでも recommendation であつて、1974年の実行案は日本の組織委員会が決めるものであることは、小委員会の会合の度毎に強調しておいた。

9月4日夜再び Assembly meeting が開催されたが、筆者はひどい発熱と下痢のため、欠席したので、この改革案は Rogers 教授から報告して貰い、種々討論がなされた。筆者としては次のごとき意見を手紙に書いて彼に託したが、結局は西脇先生が読んで下さつたようである。

日本の組織委員会のために次の諸点につき申し上げておきたい。

1) あまり急激な変革を行い、エントロピーの増大をきたすことはさげたい。

2) Invited lecturers に対して旅費の援助はできない。

3) 前刷は英語で印刷する。

4) 同時通訳は英語 — 日本語のみとなろう。もし他の国語を話す場合には、その国語と英語または日本語の通訳を白前でつれて来てほしい。

この他9月4日の会合ではいろいろ国際的にめんどろな討論があつたようであるが、省略する。

以 上

ニュース (地方グループ活動)

§ 1. 関西研究グループ

昭 4 5 年 6 月 2 6 日

a) 振動燃焼の研究

京大工 鈴 木 健二郎

本報告では、燃焼の役割として(i)加熱により流体密度は低下する。(ii)密度変動は燃焼領域では著しい。(iii)加熱率は周期的に変動する、の3点のみを想定し、燃焼の方式について他に仮定を置くことなく、振動機構を解析し、その結果を実験結果と対比して良く合致することを示した。主な結果は概略下記の通りである。

振動が発振するためには火炎位置が適当でなければならない。適当な位置とは、ある火炎においては、圧力の腹を起点とするそれより下流の $1/4$ 波長内位置であり、他のある火炎ではその上流の $1/4$ 波長内位置である。ある与えられた火炎がいずれに属するかは、パラメータ ϵ の値に依存する。ロケットや噴霧燃焼装置の振動は前者に相当し、singing flame等は後者に相当する。同一の $1/4$ 波長内でも、火炎位置がその両端近傍であるときは、発振性能は弱く、エネルギー損失を増すと発振を防止することができる。このことを用いると、液体推進ロケットおよび気体燃料ロケットで観察されている臨界燃焼器長さの存在や、固体推進ロケットでのその不在の現象等を、time lag modelを用いずに説明することができる。

振動振巾は、火炎位置、エネルギー損失量、保炎の有無により相違し、火炎位置が圧力の節近くにあるとき、エネルギー損失量を増すときおよび火炎を周期的にふらつかぬよう保炎するとき振動振巾は減少する。これ

らは、振動の一般的な抑制策として利用できる。また、振巾と火炎位置の関係を利用するとトンネルバーナ中の振動燃焼の特性をも容易に理解することができる。

b) 高物質流束を伴う輸送現象

阪大・基工 平田 雄志・伊藤 竜象

京大・工 水科 篤郎

壁面近傍における輸送現象を解明するための有効な手段の一つとして拡散律速下の電気化学反応を利用する手段がある。壁面に埋込まれた非常に小さな電極を流れる電流の測定値から、壁面近傍の平均速度勾配とその変動値が比較的容易に測定できる。そこで、平板乱流境界層の壁面に電極を埋込み、高物質流束を伴う場合の壁面近傍の状態の変化を調べた。

定常渦 本実験では多孔板の間に電極をはさんでいるので、電極表面上では高物質移動がない。電極の上流、下流域での多孔板から吹出しが行なわれているので、電極表面附近に定常的な渦が形成している可能性がある。

流れ方向に並んだ三ヶの電極での測定を行なった。電流値と吹出し速度との関係が各電極とも同様であり、また電流値の自己相関関数が時間に対して周期性を表わさなかつたことから電極表面附近で定常的な渦は発生していないことがわかつた。

Intensity 物質移動係数の Intensity の吹出し、吸込み速度による変化は、吹出し ($v_w > 0$) によつて増加し、吸込みによつて減少し、その関係は次式で表わされた。

$$\frac{\sqrt{k'^2}}{\sqrt{k_0^2}} = 1 + 0.39 \times 10^3 \frac{v_w}{u_\infty} \left(\begin{array}{l} -1.5 \times 10^{-3} < \frac{v_w}{u_\infty} < 3.4 \times 10^{-3} \\ S_c = 1.6 \times 10^3 \end{array} \right)$$

上式の関係において、 Re_x に対する変化は見られなかつた。

周波数分布 吹出しに伴つてどの周波成分の変動が増加するかを調べるために、周波数分析を行なった。その結果、乱れの増加に寄与してい

るのは低周波数成分（5～10 Hz）が支配的であることがわかった。

摩擦係数

吹出し、吸込みによる Intensity の変化を考慮して平均物質移動係数より c_f / c_{f_0} を算出し、従来の結果と比較すると、 $v_w > 0$ では、

Film Theory $\left(c_f / c_{f_0} = \phi / (e^\phi - 1) \right)$, 但し $\phi = \frac{v_w / u_\infty}{c_{f_0} / 2}$ よりも少し c_f

が高くなっているが、鳥居の結果とよく一致した。また $v_w < 0$ では、Film theory 鳥居の結果と本実験結果は一致した。また、速度分布を実測し、運動量積分方程式より算出した摩擦係数は電気化学の手法を用いて測定した摩擦係数と 5% の誤差で一致した。

§ 2. 九州研究グループ

昭和 45 年 9 月 1 日 於九州大学工学部

a) 二層異質材料の熱応力—球の場合

九工大 松尾栄人, 勝原哲治, 宮部喜代二

二層を構成する異質材料が、温度変化をともなう場合、熱応力を生じることが十分考えられる。

本報告では、二層異質材料として球体モデルを考え、非定常熱伝導の場合の熱応力について解析解を求め、二、三の材料の組合せによる計算を行ない、主として、二層境界面における傾向を考察しようとして着手した。

球体をモデルとしたのは、人間歯の正常な場合と、急激急冷した後と

では、組織境界面に變形が觀察され、その理由を、非定常熱伝導による熱応力と考へうるか否か、という問題が示されたからである。しかしながら、問題は人間齒のみに限らず、一般に異質二層材の場合にも当然考へすべき点があると考へられる。

そこで、非定常熱伝導で良く用いられる境界条件、時間 $\tau \geq 0$ で表面温度 $Q = \theta$ (θ は周囲流体温度：一定) その他を用いた球体二層モデルの解析解を誘導した。

今回の発表までには、完全な計算結果はえられなかつたが、解析結果の式と一部計算結果とから言えることは、つぎのとおりである。

(1) 境界面の熱応力として半径方向の応力は、強度的に考へしなくとも良い程度の値であり、切線方向の応力は、材料の組合せ、物質値の相異により考へすべき場合がある。特に二層材の熱膨張係数の相異が切線方向応力に及ぼす大きな影響因子と考へられる。

(2) 時間が大きくなり、定常状態に近づくにつれ、各応力は一定値に収平する。

$C_u - F_e, F_e - C_u$ 、人間齒、金冠齒の二層境界面熱応力に関する計算結果については、つぎの機会に報告したい。

b) 非ニュートン流体への自然対流熱伝達

藤井 哲・宮武 修・藤井正夫

田中広史・村上憲太郎

非ニュートン流体の流動特性を表わすモデルとして3個のレオロジー定数 A, B, μ_0 をもつ Sutterly モデル $\mu_{app} = \mu_0 \{ \operatorname{arcsinh} (B \dot{\Delta} / B \dot{\Delta})^A \}$ ($\dot{\Delta}$:せん断速度)を用い、自然対流境界層方程式を差

分方程式に変換して一様伝熱面温度の条件について数値解折を行なつた。

さらに鉛直円筒伝熱面から 5 0 0 0 wppm , 2 0 0 0 wppm の二種類の濃度の Polyethylene Oxide 水溶液について実験を行ない,一様伝熱面温度, 一様熱流束の条件で, 局所熱伝達係数を測定し従来の理論および筆者らの理論解と比較討論した。

図 1 に筆者らの数値解の速度分布, 温度分布を赤木の相似変数に変換して, 赤木および C. Tien の相似解とともに示す。数値解は相似性の成立たないことを示しているが, 慣性項を考慮した速度分布の違いは壁近傍の温度分布すなわち熱伝達係数に殆んど影響しない。

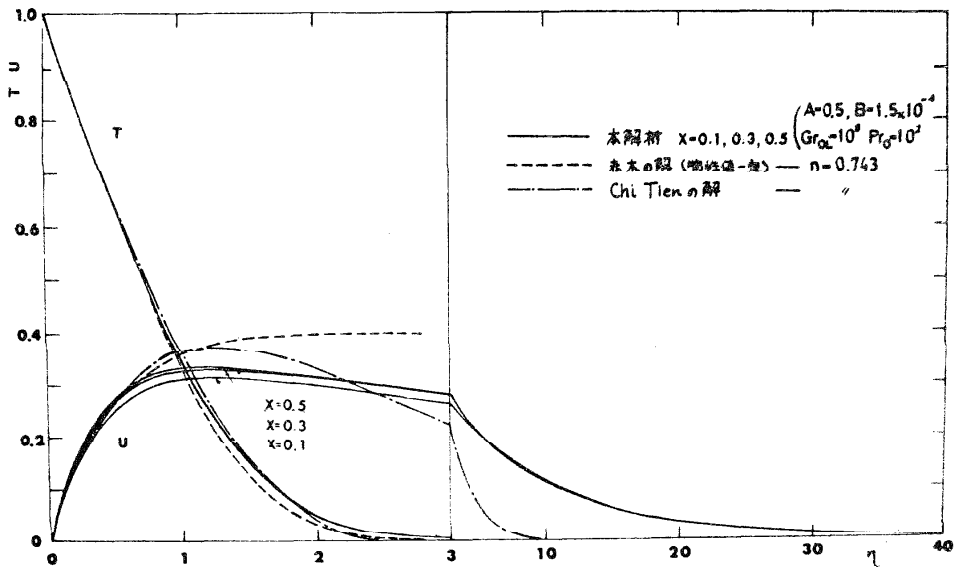


図 1. 速度分布および温度分布

図2に数値解の一例を Nu_x vs $Gr_o Pr_o$ の関係で示す。

$$\left(Nu_x = \alpha_x x / \lambda, Gr_o = g \beta \Delta t x^3 / (\mu^0 / \rho)^2, \right.$$

$$\left. Pr_o = (\mu^0 / \rho) / (\lambda / C_P \rho) \right)$$

これらの結果から熱伝達係数におよぼす非ニュートンパラメタ A , B の影響について検討した。

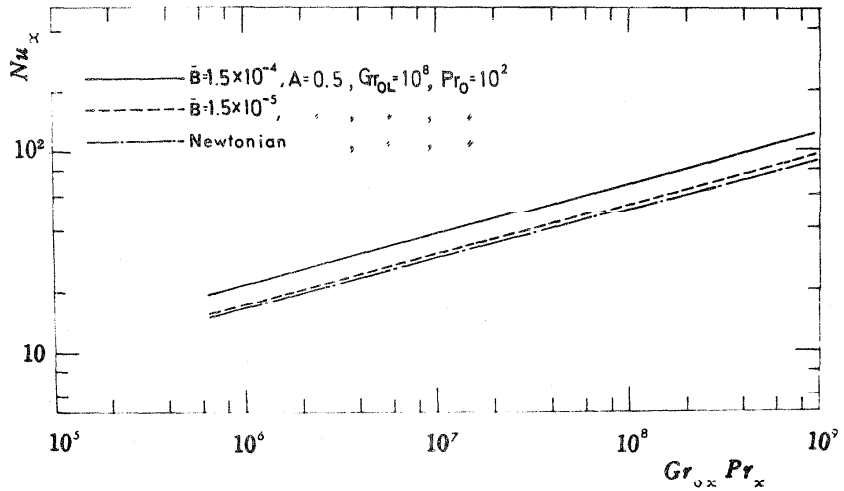


図2. 局所熱伝達係数

図3, 図4に一樣熱面温度の条件での実験結果をそれぞれ粘調度 K および n の2個の定数をもつ指数法則モデル $\tau = K | \dot{\Delta} |^{n-1} \cdot \dot{\Delta}$ および Sutterley モデルを用いて整理して示す。

$$Gr_{xn} = g \beta \Delta t x^{(2+n)} / (2-n) / (K_{\infty} / \rho)^2 / (2-n),$$

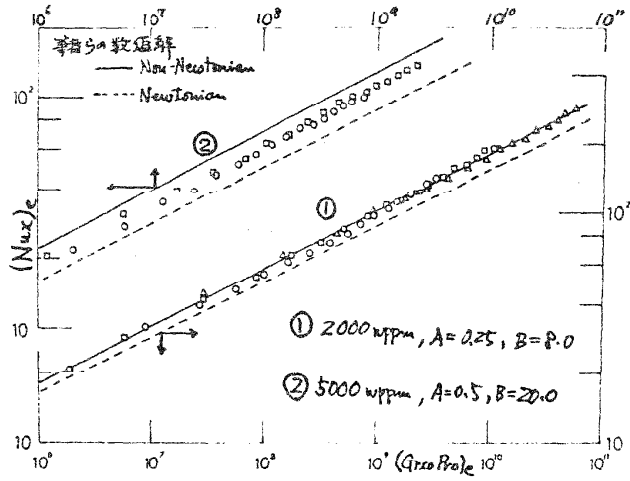


図3. 局所熱伝達係数の指数法則モデルによる整理

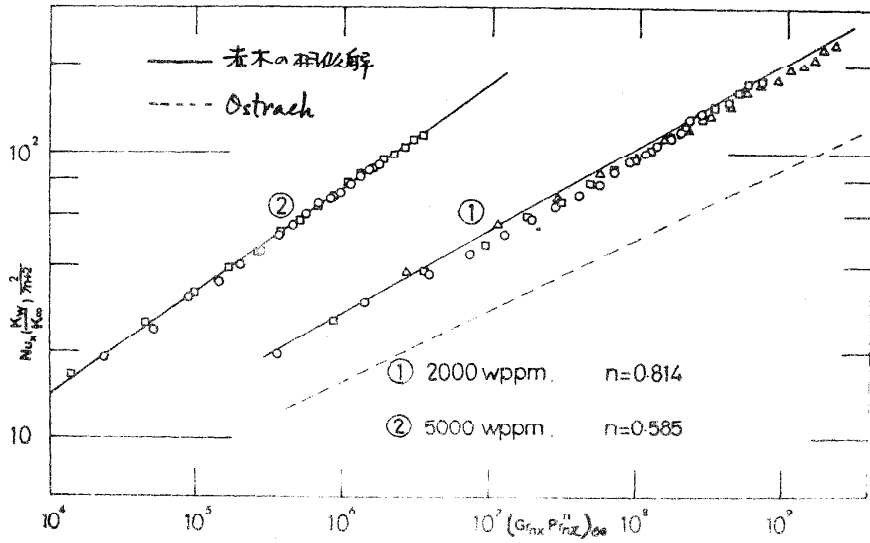


図4. 局所熱伝達係数の Sutterley モデルによる整理

$$Pr_{nx} = \left(\frac{C_p \rho}{\lambda}\right) \left(\frac{K_\infty}{\rho}\right)^{\frac{1}{(2-\mu)}} x^{\frac{2(n-1)}{n-2}}$$

全体的にデータは粘調度 K の温度依存性を考慮した赤木の相似解（指数法則モデルによる）

$$Nu_x \left(\frac{K_w}{K_\infty}\right)^{\frac{2}{(7n+2)}} = 0.63 (10^{n+1})^{0.05} \left(\frac{n}{3n+1}\right)^{\frac{n}{3n+1}} [Gr_{nx} \cdot Pr_{nx}]^{\frac{1}{3\mu+1}}$$

と良く一致する。しかしながら、自然対流におけるせん断速度は一般に小さく、比較的広い範囲の値をもつもので、2000 wppm 溶液のようにその流動特性が指数法則で良く表わせない流体については Sutterley モデルによる整理のほうが理論との対応が良い。ただし、5000 wppm のデータの数値解との差異にみられるように零粘度 μ_0 の測定はかなり困難であり、定数決定の精度が問題となる。

一様熱流束の条件でのデータを指数法則モデルを用いて整理した結果は C. Tien の積分法による近似解より 20% 程度低い値を示した。

c) 濡れ難い面の沸騰における気泡の挙動と伝熱

(九大工) 竹川敏之・中川清・長谷川修

幅 20 mm, 厚さ 0.3 mm のステンレス板の表面にシラスティックを薄くてん付した濡れ難い伝熱面において水のプール飽和沸騰を行い、その気

泡の挙動を高速カメラで撮影して、かゝる伝熱面における沸騰を検討した。

その結果気泡の挙動に関しては

- ① 発泡開始点の過熱度は通常伝熱面のそれより早い。
- ② 離脱気泡は全熱流束範囲にわたつて伝熱面上で数個の小気泡が合体してできた合体泡である。
- ③ 伝熱面は合体泡でほぼ規則正しく充満され、その付着時間は小気泡合体までの時間に対して充分長い。
- ④ 離脱気泡径、付着気泡径、平均離脱周期等は平均熱流束の増加とともに直線的な関係で増加する。

またその伝熱に関しては

- ① 蒸気泡による潜熱輸送
- ② 合体蒸気泡付着期間における蒸気泡を通しての熱伝導
- ③ 合体蒸気泡付着期間における合体蒸気泡間の狭い領域における対流熱輸送

の5つの伝熱によるものと考えられる。

すなわち①、②による伝熱量を気泡の測定結果から算出し、残りの伝熱量を③によるものと考え、合体泡間の狭い領域に層流の関係式 $N_u \propto R_e^{1/2} P_r^{1/3}$ が成立つとし、代表長さとして付着気泡径を W_b とした

場合 $l = \frac{1}{2} (\sqrt{2} - 1) W_b$ をとりまた速度は小気泡の平均吸収速度

にとれば、物性値を飽和温度における値を使つて、残りの伝熱量を $N_u = 0.367 R_e^{1/2} P_r^{1/3}$ で関係づけることができる。

第4回 夏期伝熱セミナー特集

昭和45年7月28日～30日 於：浜名湖畔館山寺

準備委員長	杉山幸男（名大工）
委員	泉亮太郎（静大工）
〃	高浜平七郎（名大工）
運営委員	小林清志（静大工）
〃	兎山仁（静太工）
〃	荒木信幸（静大工）

話題とスケジュール

昭和45年7月28日

a) 「輝炎およびガスふく射」 14:00～17:00

司会者	森康夫（東工大）
話題提供者	黒崎晏夫（東工人）
	国友孟（京大）

昭和45年7月29日

第1室

b) 「回転場の熱伝達」 9:00～12:00

司会者	馬淵幾夫（岐阜大）
話題提供者	内田豊（電気通信大）
	片岡邦夫（神戸大）

第2室

c) 「コンパクト熱交換器」

司会者	泉亮太郎（静岡大）
話題提供者	宇佐美久雄（富士重工）

小 滝 亨 (三菱重工)

d) 「乾燥」 14:00~17:00

司 会 者 桐 栄 良 三 (京 大)

話 題 提 供 者 若 林 嘉 一 郎 (富 山 大)

昭和45年7月30日

e) 「石油化学における伝熱問題」 9:00~10:30

司 会 者 杉 山 幸 男 (名 大)

話 題 提 供 者 佐 藤 武 比 古 (三 菱 油 化)

竹 本 武 史 (日 本 合 成 ゴ ム)

f) 「製鉄および冶金工学における伝熱問題」 10:30~12:00

司 会 者 高 浜 平 七 郎 (名 大)

話 題 提 供 者 大 中 逸 雄 (阪 大)

広 沢 栄 一 (住 友 軽 金 属)

§ 1 伝熱セミナー要旨

a) 「輝炎およびガスふく射」

1) ふく射性ガスを含む系のふく射伝熱

東京工業大学 生産機械

黒崎 晏 夫

燃焼炉とか原子炉等の高温状態において、熱ふく射を吸収、また放射するガスを含んでいる系における伝熱量を求めることは重要な伝熱問題であるが、それを大きく二つに分けると、(1)ガスのふく射に関する特性、すなわち吸収係数とかふく射率に関する問題、(2)ふく射性ガスの含まれている場合の伝熱問題、に分けられる。ここでは後者について話を進めた。

ふく射伝熱過程は他の伝熱過程（伝導，対流）とは異なり，電磁波の伝播によるので，マイクロな取扱いをすると伝磁波方程式とが量子論の領域に立入らねばならぬが，ここではこれまで天文学の領域で用いられていた，マクロな取扱いを行ない，他の伝熱過程とも同時に扱える形を問題とした。

第1章では，先ず，ガスふく射の数式的取扱いに際して必要な用語（ふく射強さ，ふく射熱流束，ふく射エネルギー密度等）についての説明，またふく射伝達方程式の導出，およびふく射エネルギー方程式の導出を行ない，ふく射を考慮することによつて従来の運動方程式およびエネルギー方程式にどのような項を考慮すればよいかを示した。(1)，(2)，(3)，(4)，(5)，(6)，(7)

第2章では，ふく射を考慮したときのふく射伝熱問題の一番簡単な場合として，二枚の平行平板間にふく射性ガスの存在している一次元のうく射伝熱についてのこれまでの研究結果について，厳密解および近似解の解法について述べた。(6)，(8)，(9)，(10)，(12)，(15)，

第3章では，ふく射と他の伝熱過程が共存する場合において，先ず，エネルギー方程式において，いかなる相似パラメーターを考慮すればよいかを述べ，(5)，(6)，一例として平板周りの流れの境界層についてのエネルギー方程式の各項の大きさを比較してパラメーターにより，いかなる項を考慮しなければならぬかを示した。続いて，ふく射と伝導の共存するクエツト流れについての解析，(13)，(14)，(16)，(25)，(29)，並びに実験についての結果を示した。また，ふく射と対流の共存する場合としては，平行平板間の流れで流れが十分に発達している場合(18)，(19)，(20)，(21)，(23)，(28)，について，また，流れが十分に発達していない助走区間についての解析結果(29)を用いて，ふく射性ガスのため伝熱量がどのようにふく射を考慮しない場合と異なるかを示した。

第4章 最後に，ふく射伝熱の応用例として円筒型炉のふく射伝熱で炉の長さが非常に長い場合と，短い場合の近似計算(2)，(23)を実際の工業さの問題に利用出来ると考えて紹介した。さらに，円筒内の流れてふく

射と対流の共存する場合の伝熱計算について、最近の研究結果を示した。

(19), (22), (26), (30)

参 考 文 献

- 1) W.H.McAdams, Heat Transmission, McGraw-Hill (1942)
- 2) H.C.Hottel & A.S.Sarofim, Radiative Transfer, McGraw-Hill (1967)
- 3) V.Kourganoff, Basic Method in Transfer Problem, Dover (1952)
- 4) S.Chandrasekhar, Radiative Transfer, Dover (1950)
- 5) S.I.Pai, Radiation Gas Dynamics, Springer (1966)
- 6) R.D.Cess, Advances in Heat Transfer, vol.1, Academic Press (1964)
- 7) R.Viskanta, Advances in Heat Transfer, vol.3, Academic Press (1966)
- 8) H.C.Hottel, Lecture at the 2nd Int.Heat Transfer Conf. (1961)
- 9) C.M.Usiskin & E.M.Sparrow, Int.J.Heat Mass Transfer 1 (1960), 28
- 10) R.M.Goulard, Int.J.Heat Mass Transfer, 1 (1960), 81
- 11) P.K.Konakov, Int.J.Heat Mass Transfer, 2 (1961), 136
- 12) R.Viskanta & R.J.Grosh, Proc.2nd Int.Heat Transfer Conf. (1961)
- 13) W.Lick, Proc.Heat Transfer Fluid Mech.Inst., Stanford Univ.Press (1963), 14
- 14) R.G.Deissler, J.Heat Transfer, c-86 (1964), 240
- 15) M.Perlmutter & J.R.Howell, J.Heat Transfer, c-86 (1964), 169
- 16) R.Viskanta, J.Heat Transfer, C-84 (1962), 63

- 17) R.Viskanta, & R.J.Grosh, J.Heat Transfer, c-85 (1963), 318
- 18) T.H.Einsten, NASA TR R-154, Wash, D.C (1963)
- 19) T.H.Einsten, NASA TR R-156, Wash. D.C (1963)
- 20) V.N.Adrianov & S.N.Shorin, AIAA J. (1963), 1729
- 21) R.Greif, AIAA J. 3-1 (1965), 98
- 22) S.Desoto, Int.J.Heat Mass Transfer, 11 (1968), 39
- 23) H.C.Hottel, A.F.Sarofim & 竹内, 化学工学, 26-9 (1962), 962
- 24) J.C.Chen, A.I.Ch.E.J. 10-2 (1964), 253
- 25) 杉山, 機械の研究 21-1 (1969), 189
- 26) 架谷, 福原, 杉山, 化学工学 33-6 (1969) 544
- 27) 森, 黒崎, 日本機論, 31-230 (1965), 1501
- 28) 黒崎, 日本機論, 35-278 (1969) 2099
- 29) 黒崎, 日本機論, 35-290 (1970)
- 30) 黒崎, 熱工学講演会講演論文集 (1969-11), 13

II) 輝炎ふく射

京大・工・機械

国友 孟

輝炎ふく射は単純なふく射伝熱の問題とは異なつて燃焼の問題を含んでいるので、全体を包括して理論的取扱いをするのは難しい。従来の研究は、ほとんどが実際の燃焼炉そのものあるいは近いものについて、その燃焼炉自体の伝熱特性だけを研究するにとどまつており、一般的な応用性を持つていない。

筆者はまず最初に、輝炎中に生成するスート粒子群からのふく射に注目し、輝炎中におけるスート粒子群のふく射有効厚さとスート粒子群ふ

く射率の関係を、種々の燃料を燃焼させた輝炎について実験的に究明した。スート粒子群ふく射は主としてその粒子群の粒径分布の相違によつて支配され、また、あるひとつの輝炎内部でのスート粒子群の平均吸収係数の変動はその水素炭素化によつて支配される。すなわち炭化が進行する粒平均吸収係数が小さくなることがわかつた。続いて、輝炎ふく射の分光測定を1.5 μ から5.4 μ の波長領域にわたつて行なつたが、スート粒子群の単色吸収係数の粒径分布の相違によつた実測値と理論値の大小の対応はかなりよかつた。理論値と実測値の大きな差について考えるために、従来の理論のようにスート粒子をグラフアイト粒子と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、さらに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くらべてより実測値に近ずいた。また、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を見出され、これは他の実験結果や筆者の先の実験結果と傾向的に一致するものであつた。

最後に、これらの研究で得られた結果をもとにして輝炎ふく射による伝熱量などを計算する場合に、基本となる輝炎ふく射率あるいは輝炎の平均吸収係数を如何にすれば推定できるかという課題について検討した。そのために、輝炎ふく射中に占めるスート粒子群のふく射と不輝ガスふく射の大きさの関係が燃焼条件、火炎の大きさなどによつてどのように変化するかを調べた。ガスふく射は、空気過剰率が決まると火炎幅が判つていれば計算することができる。スート粒子群ふく射に対する噴霧条件の影響、バーナの種類の影響等はスート粒子の生成量、粒径分布とそのふく射能の影響が互に相殺して、かなり軽減することが考えられた。また、輝炎の温度がふく射率に及ぼす影響についても、スート粒子群ふく射率ガスふく射率と同傾向の影響を受けることが推察された。さらに、火炎の大きさについても同様のことが予測された。

以上のような考察をもとにして、温度範囲900~1600°K、火炎幅0.3~3m、燃料の比重0.805~1.0で、バーナの種類、発熱量、

噴霧空気量，噴霧蒸気量，空気過剰率その他の燃焼条件が種々変化している火炎約130例について（Ijmiden の国際火炎研究財団の実験を含む），スート粒子群ふく射率とガスふく射率の比を求めて整理した結果，液体燃料噴霧燃焼火炎については，燃料の種類と空気過剰率のみで2つのふく射率の比がある程度定まることがわかり，実験式として

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_g} = \frac{0.09}{\varphi - (r^2 - 0.35r + 0.38)} + 6.8r - 5.95$$

〔 φ ：空気過剰率， r ：比重〕
 ($\varphi > 0.75$, $r \geq 0.80$)

を得た。値が負の場合は零とする。

また，燃焼生成ガス分圧についても実験式を求めて ϵ_g を計算するための資料とし，輝炎の平均ふく射率および平均吸収係数を計算したが，その例が図1，図2である。ただし，平均吸収係数は長さによつて変動するものであり，ここに示したのは0.2～5 mでの平均値である。

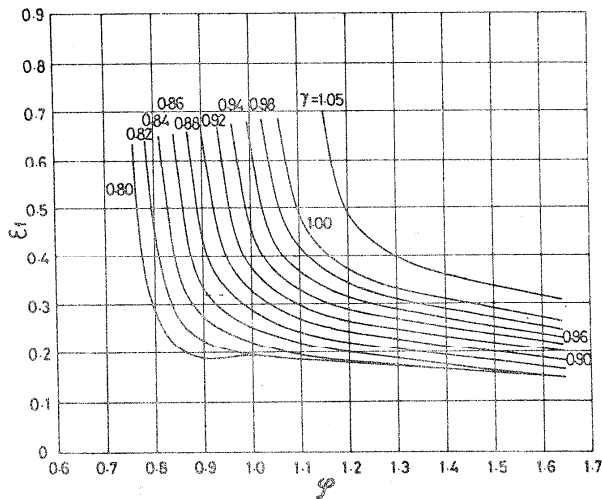


図1. 輝炎の平均ふく射率

$T = 1500^\circ\text{K}$, $L = 2.0\text{ m}$

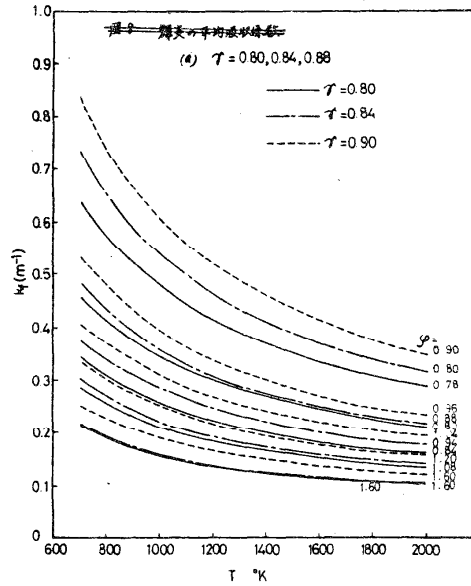


図2 輝炎の平均吸収係数

iii) 『輝炎およびガスふく射』討論要旨

「輝炎およびガスふく射」に関する二つの講演の中、先ず、「ふく射性ガスを含んだ系のふく射伝熱」に対して次のような討論があつた。

「ふく射と伝導とが共存した場合の伝熱量の近似計算として、ふく射による伝熱量と伝導による伝熱量を各々独立に求めて、それを単純和したものがよい近似を与えるというのは、エネルギー方程式において、ふく射エネルギーと伝導エネルギーを加えたのだから当然ではないか。」(泉, 静大)との質問に対しては、「エネルギー方程式においてふく射エネルギーの項を加えることにより、温度に関してエネルギー方程式は非線型方程式となる。したがつて、その結果より求めた伝熱量が、各々を単独に求めたものを加算した(線型)結果に等しいとは簡単には云えなく、厳密解による結果と比較してみても、はじめて云えることである。」(黒崎, 東

工大)の回答があつた。

次に、「輝炎ふく射」に關しての討論は次のようなものであつた。

先ず、「sootなどによる散乱を考える場合、ふく射伝熱において二次散乱とか三次散乱を考えに入れる必要はないか」(小林, 静大)の質問に対して、「これまで、二次散乱、三次散乱を考慮したものはないようである」(黒崎, 東工大)また「ふく射伝熱の場合には、sootの大きさが非常に小さく、その体積割合は $10^{-6} \sim 10^{-9}$ であるから、二次元散乱とか三次散乱を考えなくてもよいようである」(森, 東工大)の回答があつた。

次に、「sootのふく射率において、炭素の含有率が同じでも結晶構造によつてふく射率が異なる。すなわち、ふく射率に対して、sootの形成過程とか、化学構造とかによる影響についてはどのように考えているか」(杉山, 名大)の質問に対して、「たしかに、sootの結晶構造の違い等によりふく射率は異なると考えられる。しかし、これは非常に難しい問題で現在はまだよく分かつていない。ここで示した結果は、もつとマクロな形のもので、実際問題に対して利用出来る結果ではないかと考えている」(国友, 京大)の回答があつた。

次に、「燃焼条件がいろいろ異なることによりsootの組成が異なり、ふく射率が異なると思われるがどうか」(小林, 静大)の質問があり、これに対して、「燃焼条件、例えば、バーナー形状、空気混合比等によりsootのふく射率は異なるが、講演者の実験した範囲、並びに、I. Jmuidenの実験結果を整理してみると、かなり広範囲の燃焼条件を含んでいるにもかかわらず、ここで示したようなパラメータで割合に簡単な結果となつたので、この結果がかなり広範囲の燃焼条件の場合に利用出来るのではないかと考えている」(国友, 京大)との回答があつた。

(執筆者 東工大・森 康 夫)

b) 「回転場の熱伝達」

i) 回転場における Bénard 問題

電気通信大

内 田 豊

下側より加熱を受ける静止水平流体層内に先ずる不安定現象は Bénard 問題として良く知られている。層内の流体が不安定となつて対流運動が発生するためには、レイレイ数 $R = g \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot d^3 / \kappa \nu$ (g : 重力加速度, α : 体膨張率, ΔT : 上下境界面間の温度差, d : 流体層の厚さ, κ : 温度伝導率, ν : 動粘度) が臨界値 R_c 以上でなくてはならない。対流運動成分の振巾を $A(t)$ とし, 時間 t に対する依存性を $A(t) = A_0 \cdot \exp(\sigma t)$ とおいた場合, σ の値によつて対流運動はふたつのパターンに大別される。すなわち, σ が実数の場合不安定現象は通常対流細胞として現われるが (cellular convection), σ が虚数の場合には時間と共に振動する形式 (overstable convection) となる。z 軸まわりの角速度 Ω が零の静止流体層においては overstable convection の発生しない事が理論的, 実験的に証明されている。

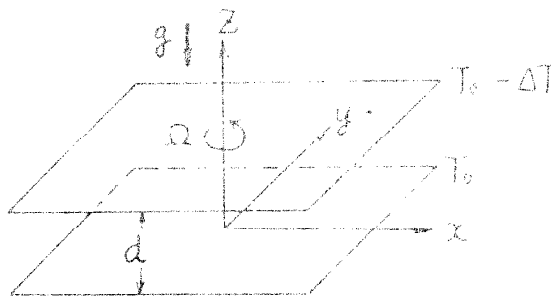


図1 座標系

Ω が有限値をとる場合には, コリオリ加速度の項により回転の影響が現われる。線形安定理論によれば Ω の効果はテイラー数 $T = 4 \Omega^2 d^4 /$

ν^2 で代表されるが、流体層の回転は安定側に作用するため T が大になるにしたがつて臨界レイレイ数 R_c も増大する。

$T > 0$ では R_c が増加するのみでなく、 $T = 0$ では実現不能だつた overstable convection が現われる様になる。Cellular convection と overstable convection のいずれが最初に発生するかを決定するパラメータはプラントル数 P_r である。 P_r がある臨界値 P_{rc} よりも小なる状態では、 $T > T_c$ なる領域において overstable convection が最初の不安定現象として発生する。 $P_r > P_{rc}$ では常に cellular convection がみられる。 P_{rc}, T_c は上下面の境界条件によつて決定される値であり、上下面が自由表面の場合についてのみ $P_{rc} = 0.677$ なる値が求められている。

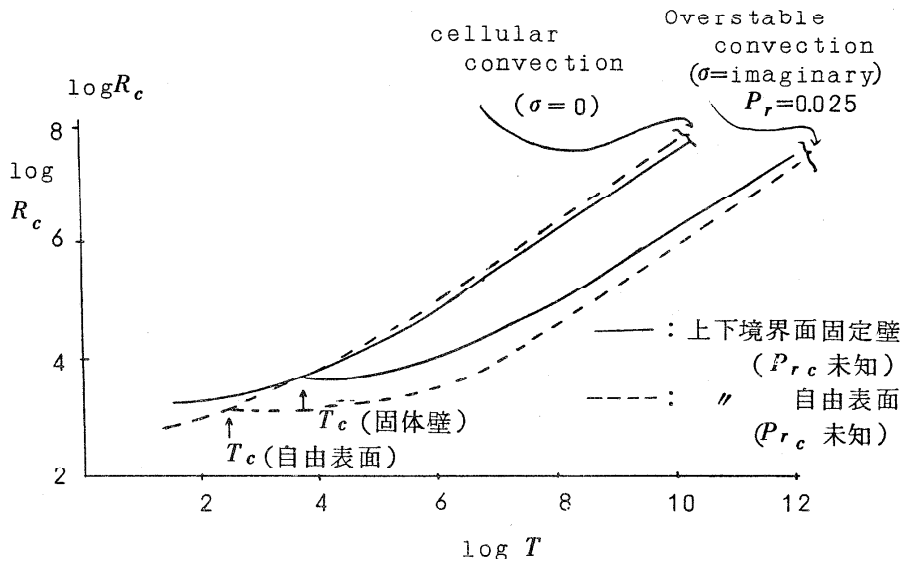


図 2. 臨界レイレイ数 R_c とテイラー数 T の関係

図 2 には臨界レイレイ数 R_c とテイラー数 T の関係が示されている。図中の曲線は線形理論による値で、実線が上下境界面が固定壁の場合、点線が自由表面の場合、をそれぞれ示している。

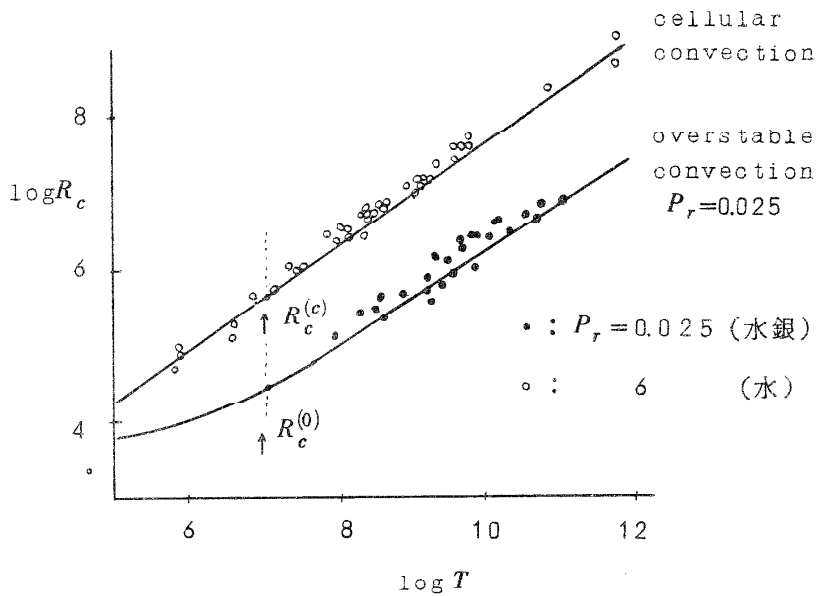


図3. 臨界レイレイ数 R_c の実験値

図3は上下境界面が固定壁の場合に水 ($P_r = 6$, 白丸) と水銀 ($P_r = 0.025$, 黒丸) に対して $R_c \sim T$ の関係を実験的に求めた結果であり, 臨界レイレイ数に関しては実線で示される線形理論の結果が有効である事が分る。

水銀の場合で T を一定に保ちつつ R を増加してゆくと, 先づ overstable convection に対する臨界値 $R_c^{(0)}$ に達した点で overstable convection が発生する。さらに R を増加して, R が cellular convection に対する臨界値 $R_c^{(c)}$ に達すると, 対流のモードは overstable convection より cellular convection へと移行する可能性がある。Goroff, Rossby 等はこのモード移行に伴う熱伝達量の変化に着目した実験を行なっているが, 未だ統一的な結論は得られておらず, overstable convection の存在, 非線形効果等を考慮に入れた実験と比較し得る様な理論解析が待たれている。

Reference

- Chandrasekhar, S. 1961 Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, Oxford Univ. Press
Fultz, D. & Nakagawa, Y. Proc. Roy. Soc. A231, P. 211 (1955)
Goroff, I. R. Proc. Roy. Soc. A254 P. 537 (1960)
Veronis, G. J. Fluid Mech. 5 P. 401 (1959)
Rossby, H. T. J. Fluid Mech. 36 P. 309 (1969)

ii) 回転場の熱伝達

(共軸2重回転円筒間流れの輸送現象)

神戸大・工

片岡邦夫

同心軸をもつ2重円筒間にできる環状部に流体を入れ、外円筒を静止し内円筒を回転すると環状部に流れ方向の圧力勾配をもたない剪断流が形成される。

この流れは層流と乱流との間に安定な特有の2次流（テイラー渦）が存在する広い遷移域を有す。

主として筆者の実験を中心に次の3部に別けて説明した。

[1] 乱流における輸送現象^{1,2)}

従来平均的な総括伝熱係数、摩擦トルク以外に、乱流拡散係数の理論（第1回セミナーのテーマ）により流れ中心部における熱と運動量の乱流輸送を論じ、管内流と対比して実験結果を説明した。

乱流渦による混合が激しいため流れ中心部における熱の乱流拡散係数 ϵ_H/ν にプラントル数の影響がないこと。総括伝熱係数に基づくヌッセルト数は運動量の乱流拡散係数 ϵ_M/ν が小さい壁近傍の伝熱抵抗が支配的であり、プラントル数の影響が現われること。流路の曲率が大きいいため運動量輸送に回転のベクトル性が影響する。それ故、流路の曲率

を考慮に入れた混合距離理論あるいは熱と相似に輸送されるものは再運動量であるという仮説により説明できることなどを示した。

〔2〕 テイラー渦流の輸送現象^{3, 4)}

熱と物質の輸送現象の間にアナロジーがあるとする原則に基づいて、この回転流動系の輸送現象の測定に、反応イオン (Cu^{++}) の拡散律速状態にある電極反応を応用して得られた実験結果について説明した。

テイラー渦流における外円筒壁の局所物質移動係数 (伝熱係数) は軸方向に明確な正弦波からの歪みによりテイラー渦の大きさ、渦の歪みを観察できること。外円筒壁 (主陰極) 内に分布させた点電極 (陰極) に Cu^{++} イオンが析出し放電する電流密度の時間変化と、これを時間平均して得られる局所物質移動速度の軸方向の位置的变化よりこの流動系の層流と乱流の間の遷移現象が明確になつたことなどを説明した。

$$Ta < Ta_{cr} \quad \text{層流業} \left(\begin{array}{l} Ta_{cr} = 41.2, d/R_i \ll 1 \\ Ta_{cr} = 60, d/R_i = 0.62 \end{array} \right)$$

$Ta = Ta_{cr}$ テイラー渦発生 (位置的変動発生)

$Ta_{cr} < Ta < 800$ 層流テイラー渦流 (位置的変動)

$Ta \sim 1,000$ 遷移流 (時間的変動発生)

$2,000 < Ta < 10,000 \sim 15,000$ 乱れテイラー渦流

(時間的変動, 位置的変動)

$Ta > 15,000$ 乱流 (時間的変動)

〔3〕 テイラー渦流動機構^{4, 5)}

流体と同比重の微粒子を浮遊させ、テイラー渦流に追従するこの微粒子の飛跡を2方向よりストロボ光を用いて同時撮影する方法を紹介し、テイラー渦流の流速分布の実験結果を示した。一方、間隙幅の広い場合 Stuart の非線型解析を応用して得られる流速分布の理論解と実験値とを比較検討した。この測定法により得られる流速分布よりテイラー渦の大きさ、歪み、回転中心の位置を求め、前項の物質移動係数 (伝熱係数) の軸方向の分布の正弦波からのずれと対応することを示した。

d : 間隙幅

R_i : 内円筒半径

$$Ta = \frac{R_i \omega d}{\nu} \sqrt{\frac{d}{R_i}} : \text{テイラー数}$$

[文 献]

- 1) 水科篤郎 : 日本機械学会誌, 72, № 602, 328 (1969)
- 2) 水科篤郎ら : 化学工学, 31, 974 (1967)
- 3) 水科篤郎ら : 第5回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (1968)
- 4) 水科篤郎ら : 化学工学, 32, 795 (1968)
- 5) 水科篤郎ら : 化学工学 (投稿予定)

c) 「コンパクト熱交換器」

i) アルミ・コンパクト熱交換器の工作技術

富士重工航空技術本部

宇佐見 久 雄

さいきん、大学でおこなっている研究と、産業界の実際の問題との結びつきがすくないのではないかといろいろ疑問が、主として会社の側からもち出されているようです。ここでは、テーマとなつているコンパクト熱交換器について、この問題の会社の立場からの、ひとつの見方を御話しすると共に、コンパクト熱交換器では性能と同じように大切な製作法を、アルミ・グレーシング法を例にとつて説明したいと思います。

表は、コンパクト熱交換器を製品として作るときに、考えておかなければならない主な項目と、用途によつてどの項目に重点がおかれるかを示したものです。記号は、◎が最重点の項目、○は、100%でなくて

も、何かの形でこの項目が満足されていないと実用にならないもの△は、できれば満足していた方が良いが、やむを得ない時は不満足でも良いということを示しています。この表から、実用になつているものは、いくつもの重点項目をすべて重要度に応じて満足させていることが、おわかり頂けると思います。伝熱関係の研究は、このような重点項目のうち、

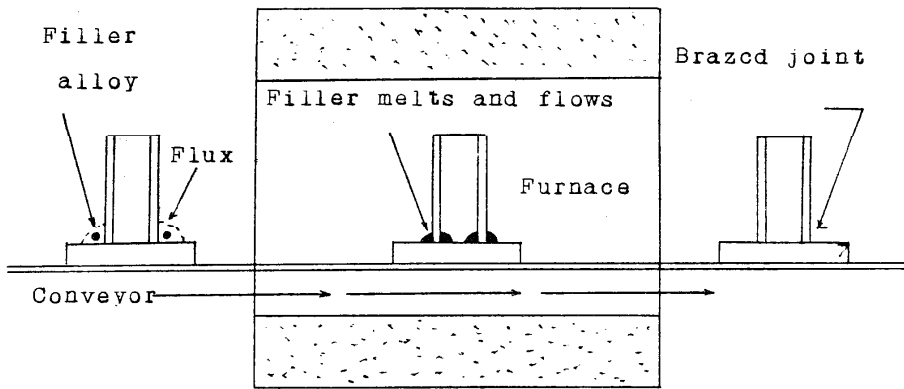
表

区分 項目	航空機		自動車	一般産業用
	軍用	民間		
性能	◎	◎	○	○
価格	△	○	◎	○
生産性	△	○	○	○
耐久性	○	○	○	◎
信頼性	○	◎	○	○
重量	◎	○	△	△
寸度	○	○	○	△

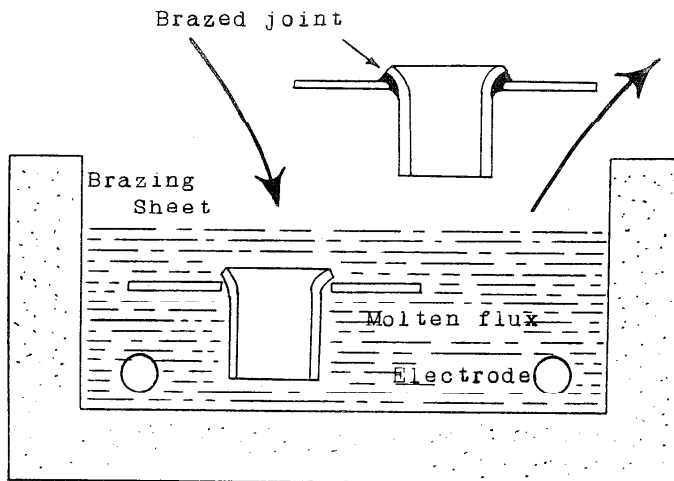
性能についての問題解決にわづかに役立つだけであるという見方をすれば、大学の研究は会社にとって殆ど役に立たないということも言えると思います。しかし同じ表から、性能というのはどのような用途に対しても重要な項目であるということもわかりますし、理論的に、つみ上げた計算がこれ程正直に、出来上つた製品に反映する項目はありません。この場合どちらの見方も正しいということを確認合ふことが必要ではないかと考えます。そこで今回は、コンパクト熱交換器の製作にあつて、性能と同じように重要な製法を、アルミ・ブレージング法 (Aluminum Brazing) を例にとつて御説明したいと思います。

この技術は航空機用として発達したもので、航空用としては当然軽いことが必要であり、熱交換器を、軽くて(銅の1/2.5)、銅に次ぐ熱

伝導率をもっているアルミ合金で作りたくなります。しかも振動や加速度をはげしく受けるので、各部品を圧着するだけでなく、金属同志で接合する必要があります。ところがアルミ合金は、大気中では、強固な酸化皮膜を形成するので、(1)酸化皮膜をとり除く作用をするフラックスを使うか、(2)アルミゴンガスのような、いわゆる中性ふん囲気で、酸素を遮断したり、酸素のない真空中で、溶接 (Welding) や、ろう接 (Brazing) をおこなう必要があります。熱交換器のような、数十ないし数百の部品を組み合わせ、しかも一種の圧力容器で洩れがあつてはならないものを、このような方法で製作するため、現在も研究が続けられています。というのは、現在使われている方法は、一長一短があり理想的な方法というのが発見されないでいるからです。(1)(2)のどちらかの方法の場合も、アルミの材料としては、融点の高い純アルミ系の3003を主として使い、これより約30℃融点の低い716系をろう材としています。Brazing sheetというのは、母材の表面に約10%の厚さのろう材を圧着 (Clad) してあるもので、熱交換器によく使います。アルミのろう接は、ろう材が溶ける数度の範囲に部品を保たなければならないので、熱容量が大きく、管路の複雑なもの程製作は困難になります。図は、フラックスを使うろう接点の概念を示したものです。フラックスを使わない (Fluxless) 方法として、現在行われているのは真空ろう接で、ジャンボジェット機の空調用熱交換器はこの方法で作られています。どちらの方法でもろう接は高温の炉の中で行い、フラックスを使う方法では、空気炉 (Air Furnace) と浸漬炉 (Dip) が、フラックスを使わない方法では、真空炉が使われています。部品を加熱する伝熱機構としては、空気炉では空気による強制対流と炉壁からのふく射、浸漬炉では、溶けたフラックスからの自然対流、真空炉では炉壁からのふく射となります。均一に加熱するという目的のためには、熱伝達率が大きく、比熱も大きい溶融フラックスの中へ入れる浸漬法が最も良く事実良い製品が得られます。しかしこの方法は複雑な管路のものではフラックスが炉から出したときに凝固し管路をふさいでしまうおそれがあるので、ジ



Furnace brazing in continuous furnaces is production fabrication of various aluminum assemblies.



Dip brazing lends itself production of complex heat exchangers.

ヤンボの熱交換器などは真空炉で作っているわけです。またフラックスの主成分は塩化化合物なので、洗いが不十分で僅かでも残っていると腐蝕をおこすというような欠点もあります。

したがって、アルミ熱交換器を設計するときは、はじめからどの方法でろう接を行うか決めておかなければなりません。

このようなお話で、性能に最重点をおいているコンパクト熱交換器でも、製品とするためには、高度の生産技術との2人3脚が必要であることを御理解いただければ幸いです。

文 献

- (1) 坪内為雄編；熱交換器 133~154 朝倉書店
- (2) 宇佐見；機械学会誌 Vol.71 №595 (昭43-8) 35~42
- (3) 宇佐見・肝付；航空機用コンパクト熱交換器
飛行機シンポジウム講演集 (1949-11) 航空宇宙学会 39~40

ii) コンパクト熱交換器

三菱重工名古屋機器

小 滝 夸

1. フィン形状の選定

一般にコルゲートタイプといわれているフィンについて、"Compact Heat Exchangers"のデータを使つて、必要面積・圧力損失・必要体積に注目して、各因数の重みを等しいとして評価数を求めたところ、ウエービフィンが良いことがわかつた。しかし、フィンには、それぞれ特徴があり、使用されるシステム全体として考えなければならず、そのときは、因数はもつと多くなり、それぞれの重みづけも用途によつて変わるので、評価数としてつぎのような形を考える必要があろう。

$$E = k A^{\delta_1} B^{\delta_2} C^{\delta_3} \dots \dots \dots \sum_1^n \delta_i = 1$$

2. フィンでの熱伝達

フィンでの熱伝達と抵抗は、当然フィンまわりの流体の流れによつてきまる。一例として、ウエーブフィンについて、水流試験とシュリーレンによる熱伝達率の測定を行つた。その結果、ウエーブフィンでは、曲がり流路での遠心力に起因する渦列が遷移域で発生して、亀の甲状のパターン配列され、乱流への遷移が、ストレートなチャンネルにくらべて非常にはよくなる。熱伝達率は、渦の強さと対応しているようで、平均値は文献の値とほぼ一致した。

また、空気調和によく使われる、連続したフィンに円管を組合せた、いわゆるプレートフィンチューブ熱交換器では、フィンに近いところでは粘性の影響を強くうけ、中間は、管群に対する流れに近いと考えられるが、管群のみと異なるのは、いわゆるネツクレスポーツクスが発生することであり、管の配列が管のウエークを大きく支配し、これによつてフィンの有効な面積も影響をうけることである。ネツクレスポーツクスは、前の管のウエークに入らなければ発生するので、ウエークのコントロールと、渦の影響の及ぶ範囲を見極め管配列をきめる必要がある。また、除湿する場合、フィンに水滴がつくと、当然流れが変わるので、熱伝達率も変つてくる。

3. 熱交換器の小形化のための注意事項

高性能なフィンが開発されたとき、どのようにこれを使つていくべきかについての注意事項につつてのべる。

3.1 設計点の選び方

(1) 運転点 熱交換器をつけるシステムの運転点が、一点にきめられて変更が許されないという場合はほとんどないと思われるので、運転点による必要な熱交換器の大きさの変化のパターンを認識したうえできめる必要がある。

(2) 正面流速と流量 面積コストと動力コストの和を考えると、正面流速に対して最小点があるが、この最小点は、正面面積が大きいほど下がる。

一般に、高性能なフィンを使つた熱交換器は、うすく、正面面積が大きくなる傾向がある。

(3) 熱抵抗の配分 両流体側の熱抵抗を等しくすることのみが正しいのではなく、目的によつて配分をきめるべきである。

3.2 流速分布

正面面積が大きくなると、流速分布の問題が発生する。ことに、ファンの出口側におかれた場合が問題で、10%内外の性能低下はすぐ生じてしまう。また、二相流での分配が問題で、フローパターンをととのえたいうで分配しなければならない。

3.3 有効に伝熱面を使う

冷媒のように、圧力で温度の変化する流体では、熱交換器内の圧力損失のみならず、ガスラインの圧力損失が重要で、粘度の高い潤滑油が数%冷媒とともに循環すると、すぐ数倍の圧力損失を生ずることがある*。

また、蒸発器・凝縮器では、過熱度・過冷却度を大きくしすぎないことも大切である。

* Martinelli, Boelter 他 Trans ASME, Feb. 1944

d) 「乾燥」

i) 粒粉体層内液状水移動

富山大学

若林 嘉一郎

Krischer³⁾は(1)粒体層内に直径の異なる毛管が多数存在し、(2)毛管吸引力が層内液状水移動の起動力になるという2つの仮定をおき、毛管吸引力を毛管径の関数で表現して内部液状水移動を解析した。解析の結果、毛管径と毛管本数の関数を屈曲係数(水分の通路たる毛管が屈曲す

ることに対する補正係数)で除すことによつて、水分移動量が表現された。ここに毛管径と毛管数、含水率の関係は上記の第1の仮定から求まる。

毛管径と含水率の関係は物質によつて異なりそれを求めるには実験によらねばならぬ。Krischer は(1)毛管径が約0.1ミクロン以上のときは含水粒体層に遠心力をかけて脱水し、(2)毛管径が100A以下のときは含水粒体層の平衡蒸気圧を測定してこれを求めた。

桐栄ら²⁾は遠心力法では高精度の結果が得られぬと考え、水銀ポロシメーターを用いる方法を採用している。

Krischerは砂層、軽石および屋根瓦について、乾燥過程における内部水分分布の時間的変化を測定し、砂層の屈曲係数は7.5、軽石のそれは1.5、屋根瓦のそれは250になることを知つた。

大谷ら³⁾の解析によれば、粒体層内液状水移動量は毛管吸引力と含水率、屈曲係数で表現された。そして、彼らは毛管吸引力の測定値と乾燥過程における内部水分分布の測定値から屈曲係数を求めた。また、水平方向定常水分移動が毛管吸引力の勾配によつて引き起こされるように工夫された実験を行なつて、その結果からも屈曲係数を求めた⁴⁾。これらの2つの研究によれば屈曲係数が含水率によつて著しく変化することが確かめられ、Krischerの得た結果が修正された。

桐栄ら²⁾はKozeny-Carman式にもとづいて液状水移動式を求めた。この式では、水分移動量を表わすのに毛管吸引力と含水率のほかにKなる係数が用いられた。ここに、Kは毛管体積径、毛管内壁面積径およびKozeny係数の関与する係数である。Kは傾斜粒子層内に毛管吸引力勾配が存在しないように工夫された実験から求められた。また、桐栄らは粒子層が水で満たされたときのKの値を K_0 とし、実験および確率論的解析により K/K_0 を求め、その値が材料に無関係で含水率のみの関数となることを確かめた。これは大谷らの研究結果をさらに発展させたものといえる。

筆者⁵⁾は粉体層内液状水が滲透圧的吸引力を起動力として移動すると

みなし、乾燥収縮の存在を考慮に入れ、乾燥過程における含水率の時間的变化を表わす偏微分方程式を作った。この式では、滲透圧的吸引力に由来する値と粉体粒子の比表面積が関与している。粉体粒子層たる粘土の比表面積は空気透過実験、液状水透過実験およびBET法による実験から求められ、その値が $4.1 \sim 6.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ となつた。一方、粘土の乾燥過程における内部水分分布も測定された。そこで、比表面積を $4.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ とおき、滲透圧的吸引力の測定値を用いて基礎微分方程式を解き、計算値が乾燥実験値にかなりよく一致することを確かめた。

文 献

- 1) Krischer, O.: Krischer/Kröll Trocknungstechnik (I)
« Die wissenschaftlichen Grundlagen der
Trocknungstechnik » Zweite Auflage S.220 (1960)
- 2) 桐栄良三, 岡崎守男: Preprint of 62nd National Meeting
of A.I.Ch.E. (1967)
- 3) 大谷茂盛, 前田四郎: 化学工学, 28, 362 (1964)
- 4) 大谷茂盛, 前田四郎: 同書, 31, 463 (1967)
- 5) 若林嘉一郎: 化学工学協会「乾燥工学シンポジウム」講演要旨集
(1969)

e) 「石油化学における伝熱問題」

i) 石油化学における伝熱問題

三菱油化・技術開発研究所

佐藤 武比古

石油化学工業は Chemical Reaction を使つた Process Industry
として昭和33年頃より外国技術の導入に依存して出発し、その後設備

の大型化を伴って急速に発展しつつある分野である。近年各方面で国産独自の技術が積極的に開発されているが、新技術の開発に際して伝熱問題の解析は化学反応・解媒と並ぶ重要なテーマである。

1. 石油化学における伝熱問題の特徴

石油化学工業において発生し、利用されている伝熱問題の特徴は化学反応と関連していることで、組成変化・物性変化を伴う広範囲の多成分系物質を取扱い、これに化学反応による発熱・吸熱が加わること、更に高温・高圧を取扱うため物性が充分把握出来ない場合があること等に解析のむずかしさがある。

化学反応を伴う伝熱装置の設計は反応速度、反応熱、物性を把握し各装置個有の伝熱機構に基づき伝熱の基礎式を導いた上で化学反応が最適化するよう取進めるが、同時に高温高圧の状態が多量の危険物を取扱うと共に異常反応を伴うことがあるため構造強度上にも充分配慮が要求される。

2. 伝熱問題の実例

例一 1. 炭化水素の熱分解炉

外熱式管状反応管を用いてガス温度 $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 、圧力 $1 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 、加熱時間 $0.3 \sim 1.0$ 秒程度の条件でナフサ・灯油等を熱分解しエチレンを製造する装置である。構造の概要を Fig-1, 2 に示す。

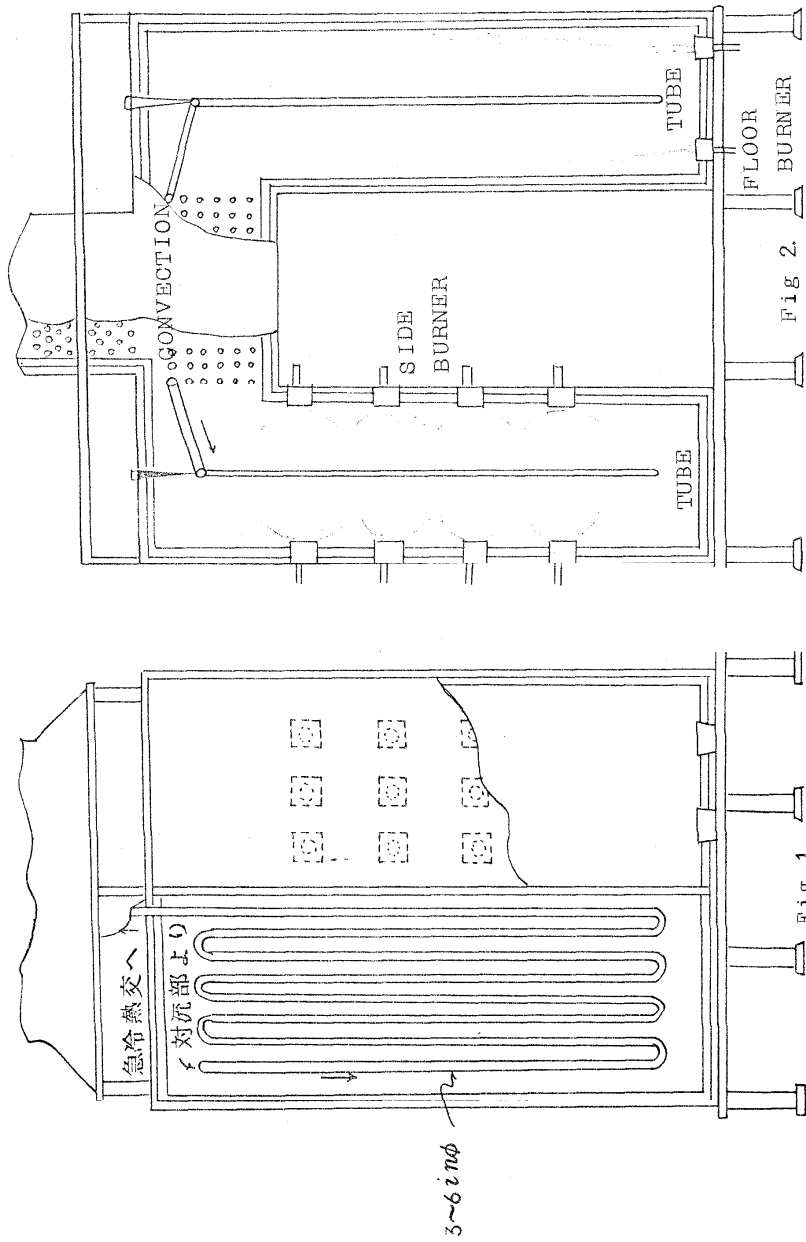


Fig. 1, 2 炭化水素の熱分解炉

イ) 伝熱の基礎式

反応管各部での熱所要量及び温度分布は熱分解反応の反応速度式 r_i , 反応熱 ΔH_{Ri} を設定し反応管単位長さに対し下記伝熱式を連立して逐次計算により求める。

$$\frac{dQ}{dz} = \sum G_i \Delta H_{Ri} \frac{dr_i}{dz} + \sum G_i c_{Pi} \frac{dT}{dz} \text{-----(1)}$$

$$\frac{dQ}{dz} = 4.88 \phi \pi D_o \left\{ \left(\frac{T_F}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_S}{100} \right)^4 \right\} \text{-----(2)}$$

$$\frac{dQ}{dz} = \frac{\lambda}{l} \pi D_{av} (T_S - T_i) \text{-----(3)}$$

$$\frac{dQ}{dz} = h \pi D_i (T_i - T) \text{-----(4)}$$

計算結果と実装置での実測値を Fig- 3, 4 に示す。

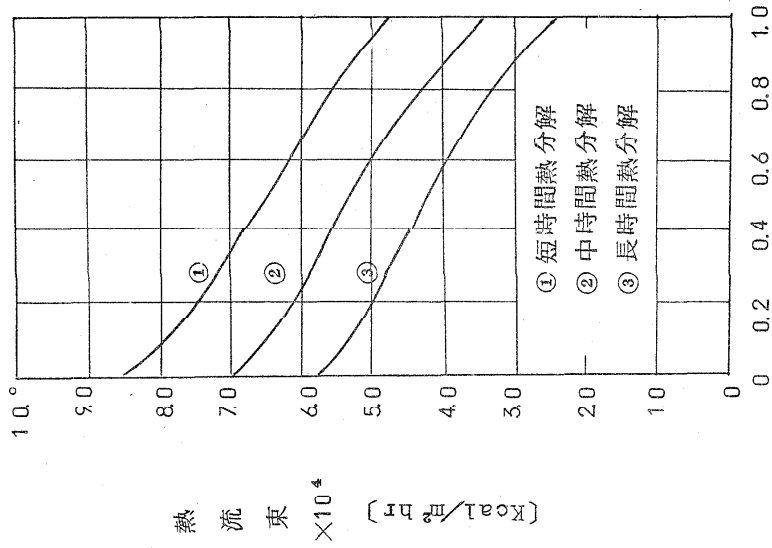


Fig. 4 エチレン製造管式熱分解炉の熱流束モデルと実測値の比較

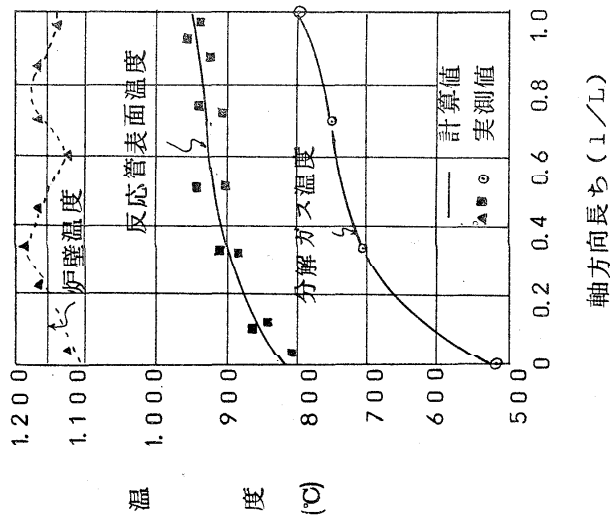


Fig. 3 エチレン製造管式熱分解炉モデルと実測値の比較

ロ) 問題点

反応管は 1000~1050℃ の限界温度で使用されるため局部過熱を生じないようバーナー性能を設定し炉壁温度を一定にする必要があるが、長炎バーナーに関して燃焼条件とバーナー軸方向温度分布の関係を求める計算式が見出されていないため理論式による設計が出来ない点に問題がある。

例-2 発熱を伴う充填層型反応器

固体充填層型管状反応を用いて 30~500 Kcal/gmol の比較的大きい発熱を伴う多成分系の気相酸化反応を行なう装置である。

イ) 伝熱の基礎式

$$-u \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r E_r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \sum r_i = 0 \quad \text{-----(1)}$$

$$-u \frac{\partial t}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{h_{er}}{c_p \rho} \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\sum r_i (-\Delta H_i)}{c_p \rho} = 0 \quad \text{-----(2)}$$

h_{er}, h_w の計算式は日本機械学会編伝熱工学資料 P175~177 の式を用いた。

ガス流れ方向及び半径方向の温度分布について計算結果と実装置での実測値を Fig-6, 7 に示す。反応の激しい部分で誤差が大きいが λ_e を操作することにより良く一致する。

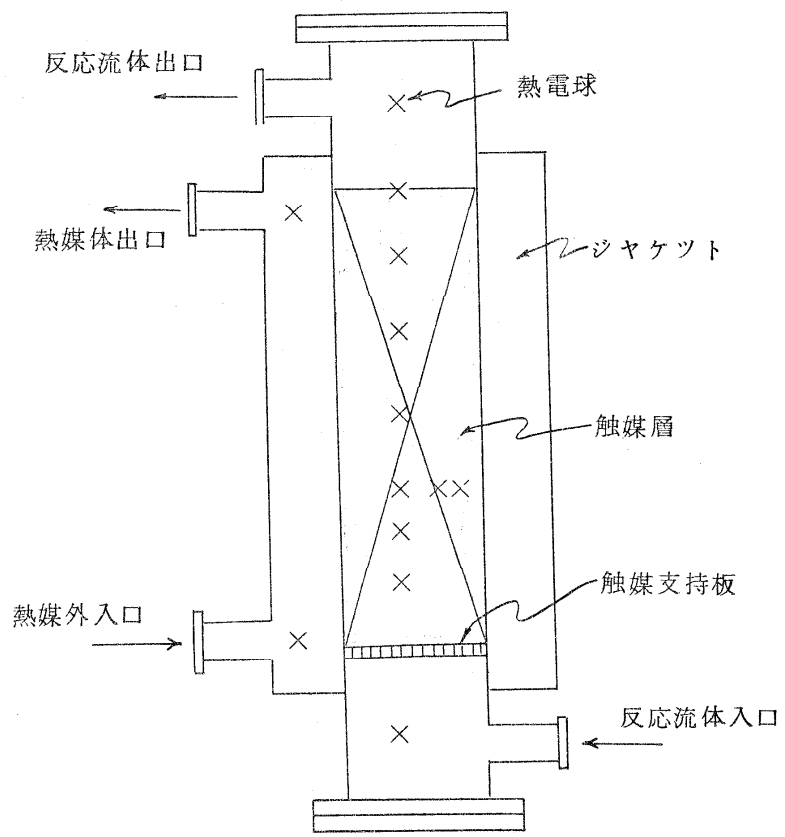


Fig.5 概略テスト装置図

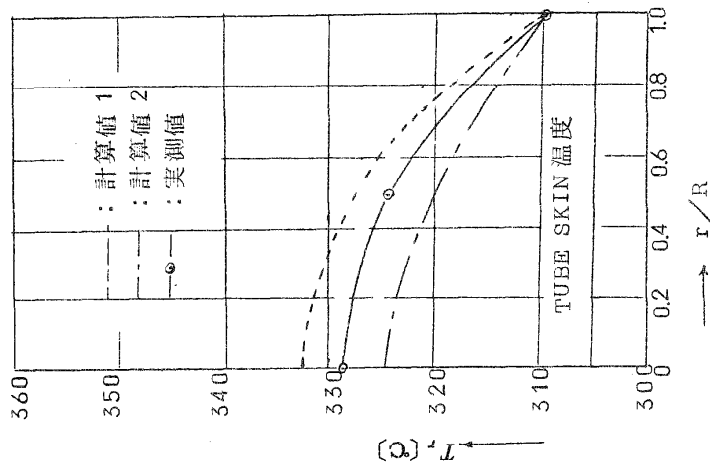


Fig. 7 反応管内半径方向温度分布
($L/L_0 = 0.3$)

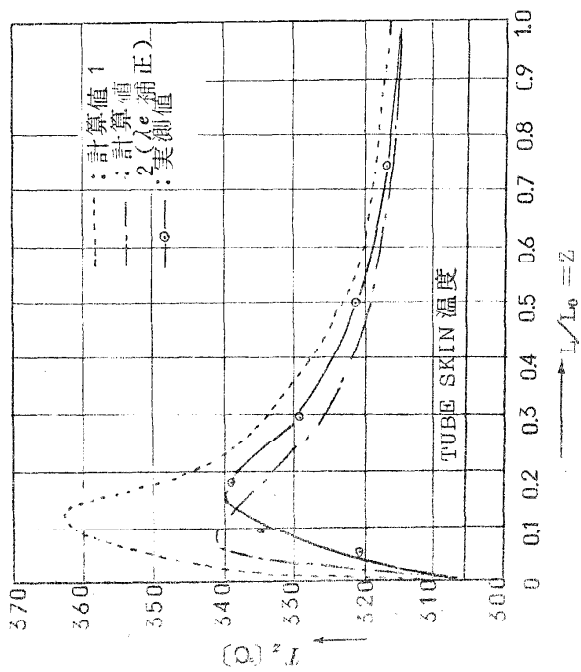


Fig. 6 反応管内軸方向温度分布
($r = 0$)

ロ) 問題点

誤差の原因は反応速度式、物性値、測定方法等の誤差もあるが、基本的には λ_e の基礎式に反応項が加味されていないこと及び壁効果が特殊な条件にあつたこと等にあると判断される。

ii) 合成ゴム工業に於ける熱的諸問題について

日本合成ゴム(株)

大 川 鴻

竹 本 武 史

(1) はじめに

近年、化学工業に於いて、設備規模の大型化は著しく、^{1) 2) 3)}そのうちの一つである合成ゴムに於いても、大型化の傾向にあり、加えて、最近の高分子工業の著しい発展にともない、新種の合成ゴムが次々と、工業化される様になつて来た。

設備規模の大型化は又、同時に小規模装置では、影響の少なかつた種々の現象が大規模スケールの場合、問題になることが多くなつて来た。⁴⁾

プロセス中に於ける熱的問題も、そのうちの一つであり、いかなる熱的問題が考えられるか、以下に2, 3触れてみたい。

(2), 合成ゴムのプロセスについて

合成ゴムの古くて代表的なものに、乳化重合によるBRプロセスがあるが、近年、溶液重合による各種合成ゴムのプロセスが見られるようになつて来た。図1~図4^{5) 6) 7)}に各種合成ゴムの製造プロセスの例を示す。

これらのフローシートに示すように、単位プロセスとして、乳化重合系では、

1. 重合工程, 2. 回収工程, 3. 凝固工程, 4. 乾燥, 仕上工程にわけられ又溶液重合では、

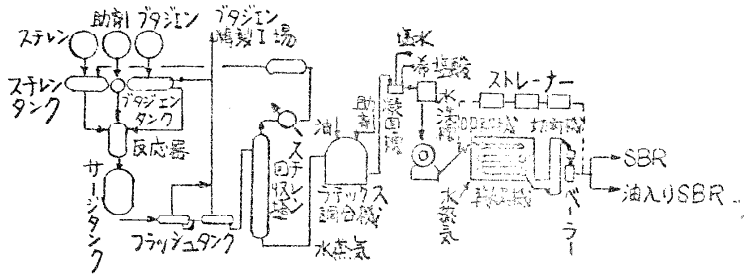


図1 乳化重合SBRプロセス⁵⁾

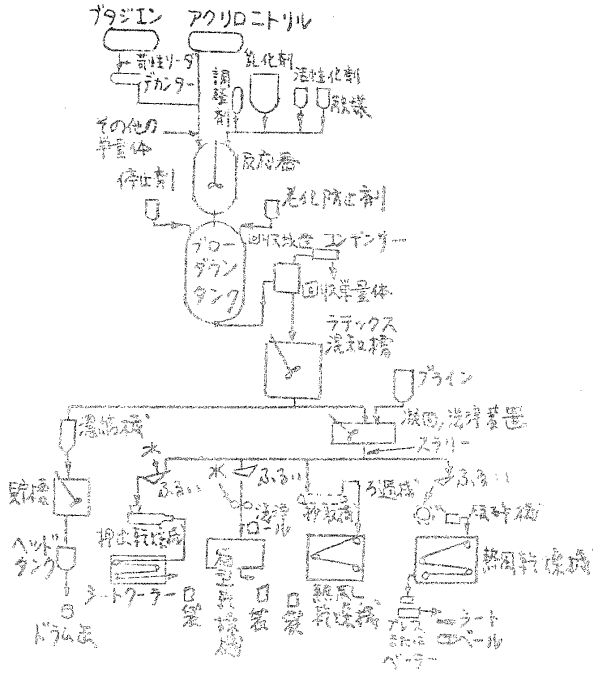


図2 乳化重合NBRプロセス⁵⁾

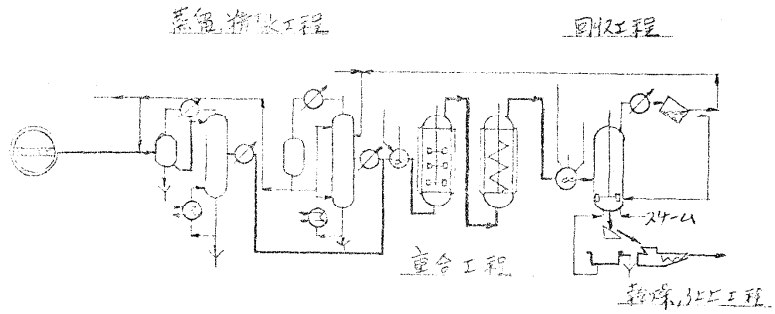


図3. SNAM'S ポリブタジエンプロセス⁶⁾

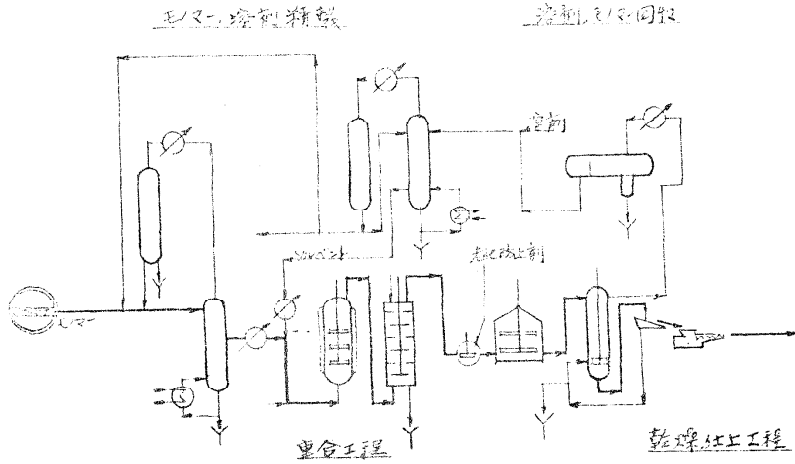


図4. 溶液重合
SNAM'S ポリイソブレンプロセス⁶⁾

1.重合工程, 2.回収工程, 3.乾燥, 仕上工程, 4.蒸留, 精製工程, にわけられる。

これらの単位プロセスは, 夫々, 内部エネルギー又は, 外部エネルギーが与えられることにより, そのプロセス中に物質が流れ, 原料が製品となる。その内部エネルギー及び, 外部エネルギーは, 或る場合には反応熱として, 或る場合は電力, 水蒸気, その他により外部より与えられる。

実際のプロセスに於いて, 上記のエネルギーの与えられ方に問題が生ずる事があり, 熱的問題もそのうちの1つと言えよう。

(3) 熱的問題の例

単位プロセスのうち, 熱的問題として, 熱交換器類については省略し, ここでは直接的熱エネルギーに関し, 2, 3の問題点をとりあげることにする。

(i) 重合プロセスに於ける反応熱及びその除去の問題,^{8, 9, 10} 特に高粘度域における問題及び局部加熱又は冷却の問題があげられる。

高粘度液(非ニュートン流体)については, 所要動力にかなりのデータ集積がみられるが, 伝熱に関するものはほとんどない。局部冷却及び, 伝熱の例として, 連続重合槽にあつては, 反応熱除去を助ける意味で, 供給液の顕熱利用を計るが, 高粘度液への低温, 低粘度供給液(ニュートン流体)が混合される際, 混合状態と共に, 局部冷却の程度が問題となつて来る。

(ii) 水蒸気による直接加熱の場合

ここでも局部加熱の問題があり, 特に熱的制限が100℃といった制約条件が存在する場合であつて, 合成ゴムラテックスなどでは, この種の工程が良くみられる。^{11) 12) 13)}

(iii) 近年, ゴムの乾燥に使用されて来た機械的乾燥方式における, その熱的機構及びその制御方法等^{5) 14) 15)}本方式は, スクリューによるゴムのコンパウンディング作用で機械的エネルギーを, 熱エネルギーに変化させることにより, ゴムの乾燥を行なわしめるものである。

(IV) おわりに

上記の如く、熱的諸問題は、実にプラントに於いて数多くあり、スタートアップの方法についても、場合によつては制約をうける場合がある。これらのプロセスに於いて今後発展すべきと考えられるのは、

- (f) 局部加熱，冷却の問題
- (g) 温度制約のある場合のその制約以上の熱源を使用する場合の方法，
(f)と同じと言える)
- (h) 機械的エネルギーの熱への変換のされ方
- (i) 物理的現象と化学的現象又は実装置上の組合せのための，解析の方法等，があげられる。

以上熱というものが，プロセスを支配する重要な因子の一つである以上，システム中での伝熱問題としての取扱いが，更に発展することが望まれる。

参 考 文 献

- 1) 山口隆章；化学プラントの大型化
化学装置，10，№1（1968）16～
- 2) 玉置明善；化学プラントの大型化について 化学工学，32，
№7（1968）665
- 3) 江口 孝；最近の大型化学プラントにおける問題点
化学工学，34，№2（1970）110
- 4) 内藤雅言；大型化に伴うプロセス設計上の諸問題
化学工学，31，№10（1967）936～
- 5) 大川 鴻；合成ゴムの乾燥について
化学工学，32，№11（1967）1044～
- 6) M. BRUZZONE, et al.; SNAMS NEW POLYDIENE PROCESS,
HYORODARBON PROCESSING 47, No-11, (1968) 179
- 7) J. E. TROYAN; PROCESS PROBLEMS IN LOW TEMPERATURE
EMULSION POLYMERIZATION

RUBBER AGE, 63, NO.5, (1948) 585

- 8) 水科, 村上ら; 非ニュートン流体の攪拌槽壁における伝熱に関する
実験的研究
化学工学, 30 No.9, (1966) 819.
- 9) 重合の反応工学 化学同人社, 化学増刊34
- 10) MARVIN W. LARSON; THE DESIGN OF A CONTINUOUS
COLD RUBBER PROCESS
CEP. 47 No.5 (1951) 270
- 11) H.S. SMITH et al; DEVELOPMENTS IN LOW TEMPERATURE
POLYMERIZATION OF GR-S LATEX
IEC 43 No.1 (1951) 212
- 12) C.R. JOHNSON et al; MONOMER RECOVERY IN
GR-S MANUFACTURE, 45 NO.6 (1949) 407
- 13) F.T. MURASKI; PILOT PLANT PREPARATION OF STEREO
SPECIFIC RUBBERS.
CEP 57 No.8 (1961) 62
- 14) SHECDON BAER et al; MECHANICAL DEWATERING AND
DRYING OF RUBBER
RUBBER AGE, OCTOBER (1964) 78

f) 「製鉄および冶金工学における伝熱問題」

i) 製鉄および冶金工学における伝熱問題

大阪大学工学部冶金学科

大 中 逸 雄

製鉄および冶金工学における伝熱問題には、ほとんどすべての伝

熱問題が含まれていると言つても過言ではない。従つて、ここでは、伝熱シンボジウムなどで従来あまり取り上げられていない問題のいくつかを紹介することにする。

1 焼結炉における問題⁽¹⁾ 貧鉄。粉鉄の利用あるいはユークス比の低下を目的として、粉鉄を焼結して高炉に装入する場合がある。例えば、連続式のドワイトロイド方式の焼結状態は図1のようなものと考えられ、熱伝達、蒸発、燃焼、溶解、乾燥、反応を含んだ非定常問題である。こ

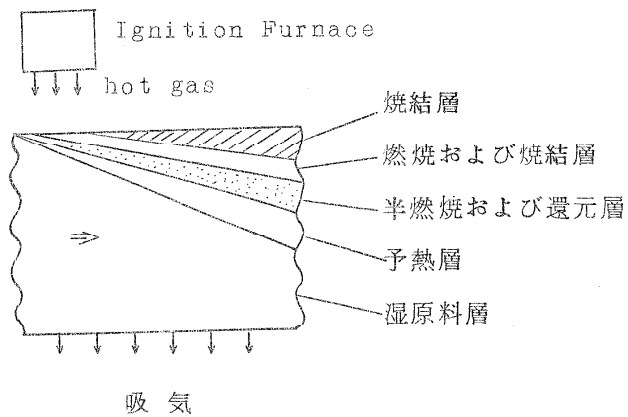


図1. ドワイトロイド式焼結

の場合、品質と生産性の向上のため、原料の移動速度、空気流量、原料の厚さ、通気度、点火温度などの最適値を求めることが問題となる。また、焼結炉は製鉄所内における最も大きい公害源の一つであり、完全燃焼の方法や、有害ガスを放出させぬような焼結方法の開発研究が望まれる。

2. 造塊、鑄造における問題 ここで最も冶金工学的な問題は金属の凝固問題である。従来のマクロな凝固理論⁽²⁾では、固液界面が一様に進行する場合を取扱っているが、実際には、デンドライト（樹枝状晶）が成長し、ガイ骨状のネットワークを形成した後、ネットワークの間の溶融金属が凝固する場合や、デンドライトが切断、推積して凝固が進む場合

の方が多。この為、従来の冶金工学では、温度分布、溶質濃度分布などを仮定してデンドライトの成長速度、樹枝間隙などを計算で求めているが⁽³⁾、これだけでは全体の凝固時間、凝固速度などを求めることはできない。またリムド鋼の凝固の際には、固液界面でCOガスが発生し、かく乱が生じるためより一層問題は複雑になる⁽⁴⁾。これらは、物質移動相変化、発熱、吸熱等を伴つて非可逆過程の問題で、いかに取扱うか今後の問題である。

蒸発、乾燥問題として興味を引くのは、生型鑄型に熔融金属を鑄込んだ時の問題である⁽⁵⁾。鑄造は急激に加熱され、鑄壁附近の水分が蒸発移動し、再び凝縮する。この凝固層の厚さは、金属の凝固時間や、通気性に影響を与え（従つて鑄造欠陥にも）るため重要な問題となる。

この他、金型の熱応力計算⁽⁶⁾、複雑な金型の冷却方法と温度分布の計算方法やシミュレーション、連続鑄造における凝固厚さと引抜き速度および冷却速度との関係⁽⁷⁾、凝固を伴う湯流れと鑄込時の鑄型温度上昇、溶湯輸送時温度低下の推定、鑄物砂の冷却⁽⁸⁾などの問題がある。

3. 熱処理、表面処理における問題 超音波焼入れ⁽⁹⁾、熔融金属による焼入れなどにおける熱伝達と焼入れ性の問題や窒化、加炭などにおける熱拡散の問題および、イオンビームによるイオンの金属中への強制拡散などの物質拡散を伴つた問題も面白い問題である。

また、鑄型表面に異種金属を含んだ塗型剤を塗つておくことにより、鑄物の表面のみを合金化させることができる⁽⁵⁾この反応過程（熱伝達、相変化、化学反応、表面張力などを伴う）がよく分れば、よりよいコントロールされた合金層を得ることができる研究が望まれる。

4. 参考文献

- (1) 頼巖他「焼結の操業解析」鉄と鋼No.3, Vol.56 (1970) など
- (2) A.W.Hills "A generalized integral-profile method for the analysis of unidirectional heat flow during solidification" Trans. AIME vol 245 (1969) など
- (3) 例えば、日本金属学会セミナーテキスト (1969) "結晶成長と凝

固”

- (4) 梶井他 “リムド鋼の凝固について” Trans. ISIJ. 8 (1968)
Raffaello Passeri 他 “A contribution to study of
rimming steel solidification”
鉄と鋼 No. 7, vol. 56, (1970)
- (5) А. И. ВЕНИК “ ТЕРМОДИНАМИКА ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ ”
uzgamerombo dawugeosproerwe llockba 1968.
- (6) 平谷 “ 鋳型の熱応力 ” 鉄と鋼 No. 9, vol. 55 (1969)
- (7) A. W. D. Hills, J. Iron Steel Inst. 203-1 (1965-1), 18
森山他, 鉄と鋼 No. 8 vol. 55 (1969)
- (8) 大中他, 鋳物 No. 4, vol. 42 (1970)
- (9) S. W. Wong, AIChE Journal vol. 15, No. 2 (1969)

ii) 連続鋳造の熱解析について

住友軽金属工業株式会社 研究部

広 沢 栄 一

1. はじめに

1. 連続鋳造法の原理

鋳造の一方から熔融金属を流し込み, 鋳型の他方から凝固した金属を連続的に取出す方法

いろいろな型式があるが最も一般的なのは水冷鋳型方式 (図 1) である。

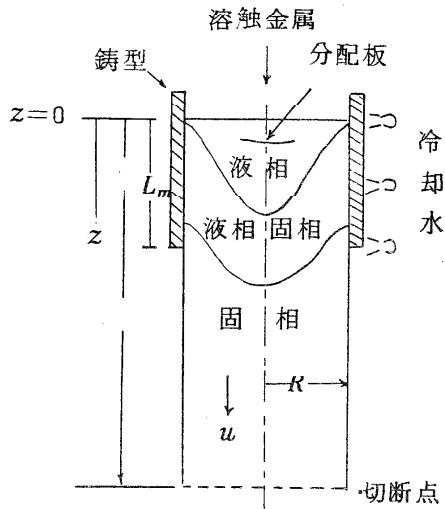


図1. 連続鑄造の概略図⁸⁾

2. 連続鑄造の成否

溶湯温度，鑄型の冷却，鑄造速度などの鑄造条件のバランスが必要

3. 鑄塊に対する要求

i) 表面・内部とも健全，ii) 結晶粒の細いこと，iii) 成分偏析の少ないこと，iv) 鑄造中またはその後ワレないこと，v) 鑄造速度のできるだけ大きいこと。

4. 熱解析の方法 (表1)

- | | |
|------------|------------------|
| i) 解析的方法 | 凝固層の形を数式で表わす。 |
| ii) 数値解析法 | 温度分布を数値計算で求める。 |
| iii) アナログ法 | 温度分布をアナログ量で表示する。 |

表 1. 連続鑄造における主要熱解析法

1. プログラフ法	研究者	シミュレーションの方法				境界条件	物理定数
		伝導性液体法 (凝固殻のみ取扱う)	抵抗容量回路法	流体力学法	インコトツ表面温度内		
	Lewis (1954)					一定	
	吉田ら (1964)					"	
	Stecher (1967)					"	
2. 数学的方法	研究者	凝固温度分布	溶湯温度分布	表面温度内	トツ表面温度内	熱伝達係数	物理定数
解析法	Roth (1943)	1 次式	一定(凝固温度)	一定	一定	-	一定
	Savage (1962)	"	"	長さ方向で変る	-	長さ方向で変る	"
	Pehlke (1964)	"	"	"	長さ方向で変る	一定	"
	Hills (1965)	3 次式	一定 (θM)	"	-	-	"
	森山・靦 (1968)	確率関数	"	一定	一定	-	"
数値解析	Klein (1953)	丸棒 (1次元)	動的 (非定常)	表面温度を仮定	一定	一定	一定
	Adenis (1963)	(")	静的 (定常)	温度分布, 熱流に仮定なし	長さ方向で変る	一定	温度で変る
	Kung (1967)	矩形 (2次元)	動的 (定常)	軸方向の熱流無視	長さ方向で変る	長さ方向で変る	"
	Mizikar (1967)	(1次元)	動的 (定常)	温度に關し仮定なし	熱流束法	熱流束法	"

2. 連続鑄造の伝熱方程式

方向に一様な速度で降下する鑄塊を考える。伝熱方程式は

$$\rho c u \frac{\partial \theta}{\partial t} + \rho c u \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (1)$$

左辺第2項は媒体の運動のため附加されるものである。

定常状態では $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$ として

$$\rho c u \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (2)$$

が得られる。

一方座標軸が媒体と同じ速度と一緒に運動すると考えると

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (3)$$

定常状態に対しては $z = \text{一定}$ と考える。(3)式は形は非定常であるが鑄塊の温度が溶湯表面を出発点として時間的にどう変化して行くかがわかる。

(Kung Mizikar の方法)

境界条件

(1) 溶湯表面 $\theta_{z=0} = \theta_M(x, y)$ (4)

(2) 鑄塊中心 $\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{\text{center}} = \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_{\text{center}} = 0$ (5)

(3) 鑄塊表面 $-K \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{\text{surf}} = q_{out}(\theta_{surf})$ (6)

(4) 鑄塊下端 $\theta_{z=L} = \theta_L(x, y)$ (7)

q_{out} は鑄型の部分とそれ以下で分けて考え

鑄型部分 $q_{out} = h(\theta_{surf} - \theta_{H_2O})$ (8)

水冷部分 $q_{out} = h_w (\theta_{surf} - \theta_{H_2O})$ (9)

空冷部分 $q_{out} = \nu \cdot \epsilon_1 (T_{surf}^4 - T_{air}^4) + h_a (\theta_{surf} - \theta_{air})$ (10)

ただし、 T は絶対温度である。鑄型部分の h は鑄塊の凝固収縮による空隙ができるため、溶湯表面からの距離によりその値が異なる。その他、物理定数の温度依存性や凝固潜熱についても考慮しなければならない。

3. 解析的方法

解析的方法にはいろいろあるが、Hills の積分プロファイル法が最も精密な方法である。彼は凝固厚さ s と鑄塊の表面温度 θ_0 を溶湯表面からの距離 z の関数として表わした。たゞしつぎの仮定を置いている。

1. 鑄造方向の熱流は無視する。
2. 溶湯温度は一定。
3. 物理定数は温度で変らない。
4. 鑄型と冷却水との熱伝達係数は一定
5. 溶湯の熱量は一定温度（凝固界面）で放出される。
6. 凝固層の温度分布は3次式で表わせる。

Hills の用いた基礎式は図 2 より

微分方程式 $\rho c u \frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$ (11)

境界条件 $\left\{ \begin{array}{l} \theta_{x=0} = \theta_0(z) \\ K \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0} = h \theta_0 \end{array} \right.$ (12)

$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{x=s} = \theta_s \text{ (凝固温度)} \\ u \rho [L + c(\theta_M - \theta_s)] \frac{ds}{dz} = K \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=s} \end{array} \right.$ (15)

ただし L は凝固潜熱である。

凝固層 $s_{z=0} = 0$ (16)

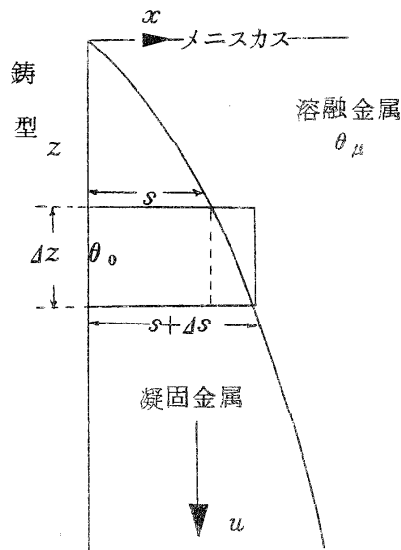


図2. 連続鑄造の熱バランス

$$u\rho[L + c\theta_M] \frac{ds}{dz} - \frac{d}{dz} \left[\int_0^s u\rho c\theta dx \right] = h\theta_0 \quad (17)$$

$$\text{凝固層温度分布 } \frac{\theta}{\theta_s} = a_0 + a_1 \left(\frac{x}{s}\right) + a_2 \left(\frac{x}{s}\right)^2 + a_3 \left(\frac{x}{s}\right)^3 \quad (18)$$

これらの式より溶湯表面からの距離 z に対する凝固層の厚さ s および表面温度を求めることができる。Hills に従つて温度その他を無次元化したものを図3, 4に示す。

$$\left. \begin{aligned} \theta_0^* &\equiv \frac{\theta_0}{\theta_s}, \quad s^* \equiv \frac{h}{K} \cdot s \\ z^* &\equiv z \cdot \frac{h^2}{u\rho cK} \\ H^* &\equiv \frac{L + c(\theta_M - \theta_s)}{c\theta_s} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

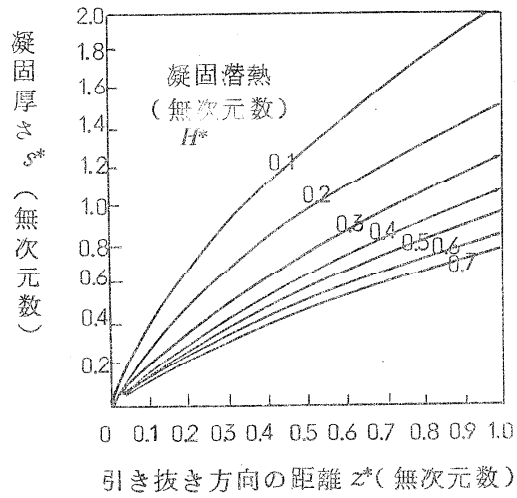


図3. 凝固厚さと引き方向の距離の関係

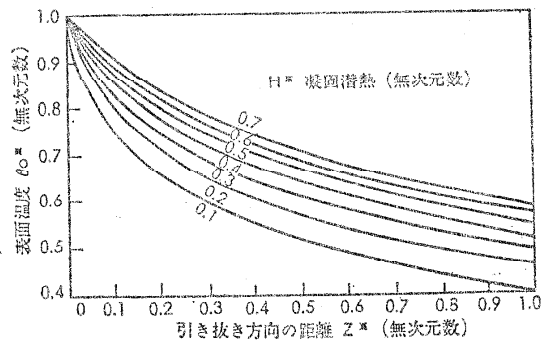


図4. 引き抜き方向の距離による表面温度の変化

計算機による代表的な計算結果を表2に示す。

表2. 熱解析の計算例

メニスカス からの距離 z (cm)	凝固層の 厚さ s (cm)	ガス間隙 d (cm)	熱伝達係 数 $(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}})$	鋳塊表面 温度 θ_0 ($^\circ\text{C}$)	鋳型表面 温度 θ_1 ($^\circ\text{C}$)
0.000	0.000	0.002100	0.04849	1500.0	261.0
3.000	0.109	"	"	1403.9	229.5
5.992	0.200	"	"	1338.6	—
6.000	0.200	0.002101	0.04846	1338.6	219.5
9.000	0.249	0.002588	0.04051	1333.2	186.1
12.000	0.291	0.002983	0.03574	1328.8	166.0
15.000	0.399	0.003322	0.03246	1325.1	152.3
C	K	θ_s	$\theta_M - \theta_s$	L	ρ
0.160	0.0700	1500.0	20.0	64.0	750
K_m	K_g	m	u	ϕ	u_w
0.980	0.000120	1.60	3.40	20.00	10000
D_w	α	B	t_d	d_0	Taper
1250	0.000018	10.0	0.20	0.00210	0.00

4. 数値解析法

4.1 Kung-Mizikar の方法

Kung らは鋳塊の温度分布を計算する微分方程式として座標が鋳塊と同じ速度で動く場合を考え、つぎの仮定の下に問題を取扱った。

1. 軸方向の熱流は無視する。
2. 密度は温度に対し一定
3. 凝固潜熱は比熱に繰り入れて計算する。
4. 溶湯の表面温度は一定
5. 溶湯の対流運動は熱伝導係数を調節して取扱う

彼らは(3)式の微分方程式を差分式に直して温度分布の時間的変化を計

算した。図5にMizikarの得た計算結果を示す。

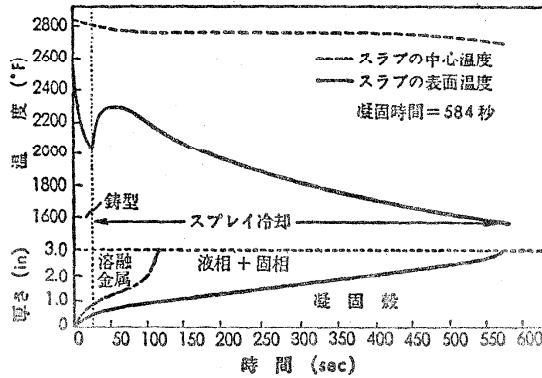


図5. 6インチスラブの凝固プロフィールと表面および中心温度 ($h_{\text{spray}}=75 \text{ Btu per h. sqft. } ^\circ\text{F}$)

4.2 Adenisの方法

Adenisらは定常状態として(2)式を考え、とかく無視され勝ちな軸方向の熱流も考慮に入れ、鋳型の熱伝達係数も詳しく内容を分析して取扱い、つぎの仮定の下に M_g の丸棒インゴットの熱解析を行った。

1. 溶湯部の不規則な対流運動による熱の移動は無視する。
2. 鋳塊の長さは一定
3. 凝固収縮による空隙の形成は鋳塊表面の温度が液相温度になったときに起る。

Adenisらによる数値計算の結果を実測と対比させて図6に示す。両者は比較的良好に合っているが、中心部の温度経過は計算では液相温度まで徐々に下るに反し、実測ではかなり一定温度を保つ。これは溶湯の対流効果が計算では考慮されていないためである。

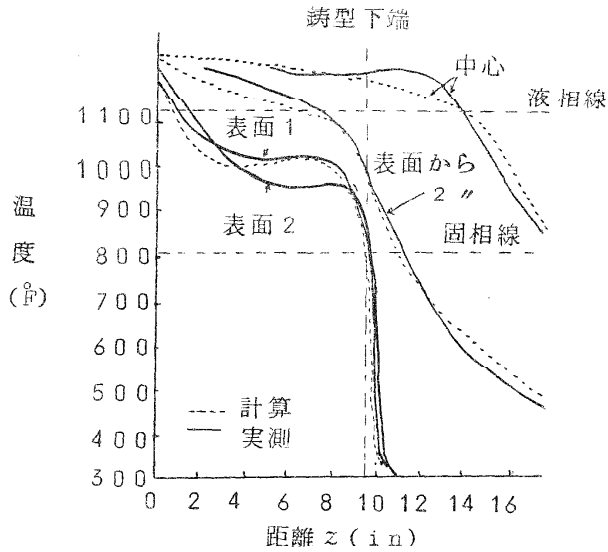


図6. 計算と実測の比較

M_g 合金AZ80A, ビレット径16"
 鋳型長さ9.5", 鋳造速度2.1"/min

5. 結 語

連続鋳造の熱解析の方法，特に教学的方法について解析的なHillsの方法，数値解析によるKung-Mizikarの方法およびAdenisらの方法について述べたが，いずれの方法もそれぞれ長短あり，精密な解法必ずしも最良とは云えない。連続鋳造の凝固過程の解析としてはさらに冶金的な問題として成分偏析や，結晶粒あるいはデンドライトセルの大きさ，および内部応力の発生などにつき説明する必要がある。

§ 2 第4回夏期伝熱セミナー始末記

名 大 高 浜 平七郎

今年の夏期伝熱セミナーは、はじめての試みとして地方が世話をして実施することとなり、東海グループが担当、7月28日から3日間、浜松市浜名湖畔館山寺のホテルで開催された。

今回は東海地方としての特色をもたせ、産業界の技術者の関心をも集めるために、テーマ選定に当つて応用面をも取り入れる工夫をした。最初申込みが少く心配したが、締切前後に申込みが相次ぎ、結局参加者は延べ95名うち47名が大学（16名が大学院生）、48名が会社からであつた。折角の申込み故、定員を少し超過して受け付けたため、宿泊の点でやや窮屈な感があり、ことに静大の方々がホテルからはみ出すという結果を招き大変申し訳ないことであつた。

行事内容は別項に示すが、話題提供者はそれぞれ調査・資料作成等に非常な苦心をされたあとがうかがわれ、また一般参加者も終始熱心に討論され、所期の成果を挙げる事ができた。第1日夜の懇親会、休憩時間を利用しての湖畔の散歩、さらに同室者の小宴会等を通じて参加者相互の話し合いが活発に行なわれ、それはそれは十分意義のあることであつた。最後に、話題提供者、司会者に心から御礼申上げたい。なお準備委員会は、委員長：杉山幸男（名大）、会場及び宿舎担当：泉亮太郎（静大）、事務担当：高浜平七郎（名大）ということであつたが、静大の小林清志、児山 仁、荒木信幸各氏が運営委員として種々協力され、ことに受付や部屋割り当面倒な当日の諸用を手伝わられたことを記して謝意を表する次第である。また伝熱研究会幹事会および事務局から並々ならぬ御配慮と御援助を頂き、大過なくセミナーを了えることができたことに對し、感謝致します。（1970年8月）

（東海グループ連絡員）

第4回 夏期伝熱セミナー

参加者名簿 (順不同)

(司会者及び話題提供者)

氏名	勤務先	氏名	勤務先
森 康 夫	東工大	土方 邦 夫	東工大
黒 崎 夫	東工大	鶴 野 省 三	防衛大
国 友 孟	京 大	川 島 豊	岐阜大
馬 淵 幾 夫	岐阜大	西 脇 信 彦	東工大
内 田 豊	電気通信大	小 坂 徹	大成建設
片 岡 邦 夫	神戸大	恩 多 洪 三	日阪製作所
泉 亮太郎	静岡大	高 橋 道 夫	豊田中央研究所
宇佐見 久 雄	富士重工	保 城 誠 一	豊田中央研究所
小 滝 夸	三菱重工	長 野 靖 尚	名工大
桐 榮 良 三	京 大	石 川 徹	工学院大
若 林 嘉一郎	富山大	石 丸 典 生	日本電装
杉 山 幸 男	名 大	石 井 勝 也	日本電装
竹 本 武 史	日本合成ゴム	長 良 敏 夫	日本電装
佐 藤 武比古	三菱油化	内 藤 悦 郎	名工大
高 浜 平七郎	名 大	峰 崇 毅	日立製作所
大 中 逸 雄	阪 大	中 川 真 幸	東海電極
広 沢 栄 一	住友軽金属	秋 岡 実 則	高砂熱学工業
(参加者)		中 村 肇	大同工大
田 中 忠 良	東工大	吉 田 崇	建材社
小笠原 和 天	東工大	森 健 一	建材社
深 田 智 久	東工大	北 村 延 天	石川島播磨
		植 野 昌 之	日立製作所

氏 名	勤 務 先	氏 名	勤 務 先
長 田 孝 志	琉球大学	小 川 清	日 大
木 村 淳 一	東邦瓦期	奥 田 不二夫	東京ラジエター
多 畑 潤一郎	東邦瓦期	大 友 芳 治	東京ラジエター
河 田 英 一	東邦瓦期	松 原 清 一	三菱重工
川 田 裕 昭	日本揮発油	久保田 滋	日本アスベスト
村 橋 照 善	新日本製鉄	伊 藤 健 治	トヨタ自動車
伊 藤 通 浩	中村自動車工業	和 田 竜 児	豊田工機
中 村 正 秋	名 大	西 原 義 美	川崎重工
西 村 誠	名 大	阪 口 哲 也	川崎重工
佐 藤 厚	名 大	芝 田 瑛	三菱油化
新 井 紀 男	名 大	森 田 泰 正	千代田化工建設
湯 沢 恩	名 大	石 川 義 弘	パロマ工業
加 谷 昌 信	岐阜大	稲 葉 由 大	日本油脂
小 森 勝 夫	豊田工高専	高 楠 敏 樹	昭和四日市石油
井 口 朗	豊田工高専	成 瀬 哲 生	近畿大
浅 川 勇 吉	日 大	鬼 頭 正 和	群馬大
岡 村 徹	日本陶器	柳 下 義 夫	日本合成ゴム
石 川 亘	日本陶器	池 田 亨	東 大
下 間 照 男	日本陶管	矢 崎 富士夫	日本合成ゴム
早 川 良 光	イソライト工業	酒 井 逸 朗	三菱重工
高 島 啓 行	住友金属	富 田 節 雄	日 大
柘 植 綾 夫	東 大	平 田 賢	東 大
伊 藤 正 昭	東 大		
仲 戸 川 哲 人	東 大	(運営委員)	
熊 田 雅 弥	東 大	小 林 清 志	静 大
小 原 義 夫	東 大	児 山 仁	静 大
唐 木 幹 夫	東 大	荒 木 信 幸	静 大
伊 藤 宗 孝	渡辺製菓		

日本伝熱研究会
第4回 夏期伝熱セミナー
会計報告

昭和45年8月29日
第4回夏期セミナー準備委員会
委員長 杉山幸男

	収 入	支 出
1. 参加費	円	円
会 員 (7000円 34名)	238,000	
学 生 (5000円 16名)	80,000	
非会員 (9000円 25名)	225,000	
司会者・話題提供者・運営委員	66,000	
2. 郵便貯金利息	195	
1. 会場関係費		
宿泊費 91名 2泊		294,400
会議室使用料		12,000
会場整備アルバイト		17,280
会場整備連絡費		5,000
2. 懇親会費		98,274
3. 昼食費		33,000
4. 茶菓代		18,350
5. 司会者・話題提供者・運営委員旅費		98,100
6. 準備委員打合交通費		5,800
7. 参加取消し者へ返金		5,000
8. 事務・連絡費		
現金書留料金		2,050
通信連絡費		9,238
印刷費・用紙代		5,100
什器・文具費		1,500
9. 日本伝熱研究会繰入金		5,453
計	609,195円	609,195円

3 夏期伝熱セミナーに参加して

(Seminar だけでなく「Symposium」をも)

岐阜大学 熊田 雅 弥

7月末に館山寺で開かれた第4回夏季伝熱セミナー参加者として、「伝熱セミナーかくあるべし」というようなもので、何か書くように言われましたが、とても駆出し者の私には、無理ですので感想文にしました。

夏季セミナー参加は今年で3回目ですが、最初「話題」の内容で(勿論参加費と場所を考えてのことですが)参加を決めていましたが、それは何時か、セミナーの雰囲気引かれたということになつてしまいました。(こう申しては、幹事や話題提供の諸先生に申し分けないのですが)

夏季セミナーの意義については、すでに平田先生が書かれておられますが(会誌 6-25, 1968)、要するに“若手”中心の自由討論が主目的だと思います。新鮮な着想とその発展が創造されるということ。

しかし、日本の伝熱工学の次期主力部隊育成ともなれば、大先生、中先生中心という(会誌 6-23 藤井) Seminar 的性格の全面化はやむ得ず、若手にとつては「時間外」討論であるいは「放談会」でその目的を果しました。(会誌 6-31 1969 中川)。

時間と人数の制約を考えたら、決して今までのセミナーの内容が軽んじられるものではなく、幹事や話題提供の諸先生方の努力にただ感謝の念あるのみです。

ただ、毎回の感想に聞かれることですが、今回も、浅学非才の私を甚

了したのは「時間外」での「Symposium」でした。本来、語源的には、Symposium は、「酒宴」という意味だそうですが、その意味そのものの中での放談でした。そこで、「なぜ伝熱工学をするのか」「テーマはいかにして設定するのか」という哲学思想から、当節流行の「テーマの責任は誰が負うのか」という“追求集会”まで、まさに“放談”そのものの開花でした。日頃、師の影は踏まずとも思う大先生を前にしてのアルコールを援軍にしての放談は、100冊の本を読破しても得られないパトスを生みださせるものでした。

Symposium という名の日本伝熱シンポは揺るぎなき位置を占めています。しかし、夏季セミナーの“支え”となつている語源的「Symposium」にも“夜”の位置だけでなく太陽の下での位置を与えたら、日頃、“若手”の停滞を嘆く声も無くなるのではないのでしょうか。

勿論、未完成の若手の苦悩は、「時間外」Symposium の如く、自然発生的に生まれ、拡大する中でこそ、真に解決を与えられるのですが、ただ、大先生には、身を廻りにのせることを快しと思われるようお願いいたします。

最後になりましたが、今年は特に景勝地 鶴山寺で有意義な3日間を過ごせたことに対し、幹事の諸先生に感謝します。

「80パーセントと20パーセント」 (夏期伝熱セミナーに参加して)

東工大 拓 植 綾 夫

今回のセミナーにおいて「80パーセント、20パーセント議論」なるものが生れたのは、一つの収穫ではないでしょうか。

「乾燥」、「石油化学、製鉄および冶金工学における伝熱問題」等のテーマを通して、生産というものと伝熱工学との対決の場が出来たように思われ、私のように若い者にとって、大変興味深く感じました。

挑戦は企業側の生産部門から始まりました。「石油化学において伝熱工学の理論なるものは現象の20%しか説明出来ない。」

伝熱工学者から反論が起りました。「現象を正確に把握ること出来るならば、理論は80%まで現象を説明出来る。」

この「80%か20%か議論」は昼間のみならず、夜の懇親会(浴衣でビール! 筆者は幹事の先生方に100%の感謝の念を表します)においても論じられました。言うならばこの数字は、既成の伝熱工学に対する両者の満足度のパラメータと見られましょう。どちらかと言うと工学を創り出す側の研究者が80%満足しており、一方これを実際に利用する方が20%しか信頼していない。数字がこれと逆だとしたら何と伝熱工学の将来は明るいことでしょう。事態は深刻です。

この種の議論こそ伝熱セミナーにふさわしく、パネルディスカッション形式の時間が用意されたらと思われまます。

さて、若い人達(大学院生)はどんな満足度を持つのでしょうか。工学者に対して20%、また生産者に対しても20%しか満足していない

はずの若手連の声はどこにも聞えませんでした。

若い人達が試行錯誤にしてもこの種の問題に積極的に取り組む必要があるのではないのでしょうか。大学院クラスの人達で冬期伝熱セミナーでも開き、横の結びつきを通して伝熱工学の在り方について意見を交換したいものです。

第4回 夏期伝熱セミナーに参加して

三菱電工・名古屋機器製作所

西井逸朗

私はこのセミナーに出席したのは、初めてですが、ともすれば我々技術者は日常業務に埋没しがちで、視野がせまくなることが多いものと考えます。そのような場合、本セミナーのような企画に参加して工学の広い分野に涉つて関連がある伝熱現象について、勉強することは、現象の把握の仕方、自分にとって別な分野の新しく開発された考え方、または、工業装置の別な新しい応用分野の点などで、将来の仕事の上で十分役立つものと思います。

日頃論文等の活字から接していた諸先生から直接に話を伺うことが出来たことも、ものごとの理解を深める上から有効であつたと考えます。また私のような年代の他の業種で活躍しておられる技術者の方とも、日頃の技術者としての苦勞や、問題の所在について話が出来たこともセミナーの有効なことであつたと思います。

セミナーの内容で特に印象に残つたこととか、関心を持ったことを記すと次のようになります。一つは、乾燥工程に精通しておられ

る桐栄教授（京大）の乾燥についての現状のレベルとか，開発要請されている分野などについてよく理解できました。他の一つは物理現象の新しい理解の仕方として役立つと思われる内田豊氏の“回転場における Benard 問題”の講演は伝熱現象の奥深い面を覗いたように思いました。

出来の悪い参加者のみが云うことかも知れませんが，各話題提供者は概要を予め印刷物として用意願いますと，一層受講者側の効果は上つたのではないかと思います。何れかにしましても話題提供者は多忙で用意に苦勞されますこととお察し致しますが，宜しく願いたいと思います。

最後に今後もこのようなセミナーが開催されますことを希望します。

第8回伝熱シンポジウムについて

大阪大学 小笠原 光 信

来年のシンポジウムは関西でやるが、第1回は京都であつたから今度は大阪がよかろうということになり、たまたま大阪在住の私が設営係を抑せつかりました。内心大いにじくじたるものがありますが、このうえはすこしでも意義あるものといいたたく、皆さまのご協力を切に願います。

つきましては準備委員会で話し合つていることの概要をお知らせして皆さまからの卒直なご意見、ご希望を伺うよすがにしたいと思ひます。

準備委員会は京大、神大、阪府大、京工織大、関西大、阪大の先生がた14名で組織し、すでに2回集まりました。その結果、来々5月20(木)、21日(金)、22日(土)の3日間にわたつて大阪科学技術センタで開催するとの原案をとて、10月の本部幹事会で承認を求めるとの予定です。

問題はシンポジウムのありかたですが、試みにWebsterで"Symposium"をひいて見ますと、最初にあるのが、古代ギリシヤでのdrinking partyだということです。それがしだいに堅くなつて、共通なトピツクをまないたにのせて多くの人が行なう一連の討論であるとしています。べつにそんなことはこだわるわけではありませんが、第1回のときはたしかにこのようなふん囲氣を念頭においた記憶がありますし、すくなくとも研究発表だけに終始しない方がよいのではないかというのがわれわれの意向です。しかし一方、年を追つての盛況ぶりはこの催しの意義を如実に示していますから、われわれだけの考へで向きを変えるのは軽卒でありましよう、そこで、われわれは第8回の催しに対して次のような方向づけを考へています。

(1) 「伝熱」を核として、従来よりもつと多くの分野(学協会)の方々

に参加願ひ、問題のいろいろな捕えかたを披露してほしい。(2)研究発表会に終始せず、一部でもよいから、もつと限定したトピツクについての討論の場を作りたい。ということです。これに対する具体的な名案はなかなか浮かびませんが、(1)に対しては多方面の方々に関心を持たれるような特別講演を第1、2日に織込む(全員が一室で)、(2)に対しては第3日に特定な二つのテーマについて2室で並列に展望講演をお願いし、それに続いては、これらテーマに関連の深い研究発表を配置して討論を盛上げたいと考えています。これら特別講演、展望講演の題目は近くおしらせできると思います。

皆さまのご意見を伺う時期が遅すぎた観がありますが、来年に間に合わないときは次回へ申し送りたく、何事によらず、ぜひご意見をお寄せ下さるよう切定します。

なお準備委員会では、シンポジウムは勉強会でもいいではないか；ごく絞られたテーマについて、展望講演があり、依頼講演があり、一般研究発表があるというのはどうか；一般講演は研究途上のもので、参会者から助言を求める形のものでもよくないか、などの話も出ました。しかし80編に及ぶ従来の研究発表講演会はそのもので非常に有意義でありますし、今後ますます多くの学協会員の共通の場になるでしょう。このことを思うと、従来のシンポジウムは研究発表講演会(ならびに総会の場)としてそのままもり立て、別に勉強会としてのシンポジウムを計画してはどうでしょうか。勉強会ではごく狭いテーマを取上げ本当にそれに取組んでいる小人数の会合をねらうことにします。そのテーマも時期も発散的でよいと思います。ただしこの最後のくだけは今後に対する私の個人的発言にすぎません。(第8回伝熱シンポジウム準備委員長)

『E. R. G. Eckert 教授の講演会』

7月8日、本郷学士会館にて Eckert 教授は “100 YEARS HEAT TRANSFER RESEARCH” なるテーマで講演をされた。

会場には各大該の先生方をはじめ、会社研究所関係の方々、および大学院学生達およそ130人ばかり集まり、教授の講演に耳を傾けた。

Osborne Reynolds の肖像から始まった教授の講演は、対流熱伝達に関する研究の進歩の過程をフィルムを混えて紹介したものである。層流の流れと熱伝達が電子計算機の進歩によつて解かれ、やがてさらに大型の電子計算機の開発に伴い Navier-Stokes の方程式を解くことによつて流れの剥離の機構が明らかにされていく。水素気泡法によつて可視化された平板上の乱流構造の解析。熱伝達と物質伝達の相似性等々。

およそ1時間程の講演は Osborne Reynolds の肖像でもつて終つた。

長身で姿勢の美しい銀髪の Eckert 教授は、老眼鏡の下に常に暖い微笑を湛えた目をしておられ、力強くよく通る声でもつて話された。長い経験に加えて、その老いても尚満ちている活力を持つておられる教授から、強い魅力が感じられた。

講演の後、教授夫妻を囲んでの懇談会が開かれた。

柘 植 綾 夫 (東大工)

会 告

「燃焼伝熱関連問題講演会」開催予定のおしらせ

1. 日 時 昭和45年11月13日(金)午後2時より5時まで
2. 場 所 新設された日本学術会議六本木講堂
3. 講演題目および講演者

「燃料液滴の着火に関する2, 3の問題」

慶応大学工学部 猪 飼 茂 氏

「火 炎 輻 射」

京都大学工学部 国 友 氏

文献リスト

AIAA JOURNAL

Vol. 8, No. 4, 1970, p. 609

Y. P. CHANG and C. S. KANG

Transient and steady heat transfer in a conducting and radiating medium.

ibid p. 758

C. ECONOMOS

A transformation theory of the compressible turbulent boundary layer with mass transfer.

ibid p. 789

T. CHMIELEWSKI and P. M. SHERMAN

Effect of a carrier gas on homogeneous condensation in a supersonic nozzle.

ibid p. 794

L. H. BACK

Acceleration and cooling effects in laminar boundary layers-subsonic, transonic and supersonic speeds.

ibid p. 817

R. H. KORKEGI and R. A. BRIGGS

Compressible turbulent plane Couette flow with variable heat transfer based on von Kármán

Vol. 8, No. 5 1970. p. 954

C. C. PAPPAS and G. LEE

Heat transfer and Pressure on a hypersonic blunt cone with mass addition

CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE

Vol. 25. No. 3, March, 1970

E. RUCKENSTEIN and C. BERBENTE

The effect of roll-cells on mass transfer.

ibid

T. R. GALLOWAY and B. H. SAGE

A model of the mechanism of transport in packed,
distended and fluidized beds.

ibid

G. C. FRAZIER et al

Film transfer with non-equilibrium chemical reaction.

Vol. 25, No. 4, April, 1970

R. G. EVANS et al

Pressure wave propagation in adiabatic slug-annular-
mist two-phase gas-liquid flow.

ibid

H. R. NAGENDRA et al

Free convection heat transfer in vertical annui

ibid

J. D. GODDARD

On membrane diffusion with near-equilibrium reaction.

ibid

T. HIROSE and M. MOO-YOUNG

Generalized expressions for gas absorption rates in
bubbles.

ibid

M. DE SANTIAGO and I. H. FARINA

Mass transfer with second order reaction. numerical
solution.

Vol. 25, No. 5, May, 1970

M. R. GOLDMAN and L. R. BARRETT

The investigation of diffusion phenomena in laminar flow at high temperatures.

ibid

E. RUCKENSTEIN

Mass or heat transfer to turbulent separated flows for large Schmidt or Prandtl numbers.

ibid

C. A. SLEICHER et al

A solution to the turbulent Graetz Problem by matched asymptotic expansions-1. The case of uniform wall temperature.

ibid

R. B. KEEY

The estimation of drying -flux profiles in continuously worked dryers.

ibid

R. C. LINDBERG and R. A. SCIMITZ

Multiplicity of states with surface reaction on a blunt object in a convective system.

R. J. BRUNSON and R. M. WELLEK

Determination of the enhancement factor for mass transfer with an instantaneously fast chemical reaction.

CHEMIE INGENIEUR TECHNIK

Vol. 42, No. 6, March, 1970

M. MAYER

Berechnung von Schubspannung und Wärmeübergang an langgestromten Fäden.

ibid

I. VLADEA und N. D. OANCEA

Untersuchungen zum Wärme- und Stoffaustausch in einem vertikalen Kanal sowie in einem Kühlturm bei Gegenstrom mit Filmberieselung.

W. KORNER

Einfluss hoher Beschleunigung auf den Wärmeübergang beim Sieden.

E. SOMMER

Charakteristische Unterscheide bei der Kapillaren Flüssigkeitsbewegung bei der Be- und Entfeuchtung.

Vol. 42, No. 7, April, 1970

F. R. BLOCK

Prozesswärme aus Kernenergie

ibid

G. GERLACH

Eindampfen von Schwefelsäure mit Tauchbrennern.

ibid

H. JUNG

Die Beanspruchung der Rohrböden von Wärmeaustauschern.

Vol. 42, No. 8, April, 1970

G. KORTUM und H. V. BIEDERSEE

Dampf Flüssigkeit-Gleichgewichte (Siedediagramme) binärer Systeme hoher relativer Flüchtigkeit.

Vol. 42, No. 9+10, May, 1970

D. THOMAS

Wärmeübergang, Druckverlust und wirtschaftliche Wärmeübergang bei Drallströmung.

Vol. 42, No. 11, June, 1970

H. ESCHENAUER

Beanspruchungen in einem temperatur-belasteten bauteil.
Vol. 42, No. 12, June, 1970

H. SANDER und H. BAUMGART

Spannung suntersuchunger an einem U-Rohr-Abhitzekeessel.
ibid

W. MENSING und K. SCHUGERL

Stoffaustauschmessunger an schwebendeu Tropfen.
(Teil 1: Messtechnik)

HEAT TRANSFER SOVET RESEARCH

Vol. 1, No 6 (Nov. 1969)

V. I. Tolubinskiy and Yu. N. Ostovskiy

Mechanism of heat transfer of binary mixtures.

A. P. Oratskiy et al

Burnout in annular channels with two-sided heating.

V. I. Tolubinskiy and B. Ya. Fedorchenko

Effect of pressure and subcooling on boiling crisis
in bulk boiling.

V. G. Sapozhnikov and N. I. Syromyatnikov

Study of heat transfer in pulsating bed under vacuum.

G. N. Kuzhulin and D. A. Labuntov

Boiling heat transfer crisis for water in forced flow
through channels.

V. N. Timofeyev et al.

Investigation of radiation field in a cylindrical
chamber filled by an absorbing medium (two dimensional
problem)

Combined heat transfer in an absorbing streammoving
in a flat channel. part 1, 2 and 3.

N. O. Lidorenko et al.

Concerning the thermal conductivity of film-type energy converters.

A. P. Baskakov

Transfer of heat from an isothermal surface to a continuous flow of dispersed medium.

Yu. I. Bakalin et al.

Study of heat transfer in pool boiling of N_2O_4 .

N. M. Stoyanov

Experimental study of heat transfer across an ammonia-filled closed cavity.

A. P. Ornatskiy et al

Burnout of cylindrical surfaces in transverse flow.

R. Ya. Ladnev

Variation of heat transfer in time with various hydrodynamic operating regimes in a natural-circulation evaporating loop.

V. P. Bubnov et al

Experimental investigation of the enthalpy of nitrogen tetroxide (N_2O_4) in the liquid phase.

I. M. Fedotkin

Hydraulic resistance of throttling orifices in two-phase flow.

A. P. Netyukhaylo and I. A. Sherenkov

Structure of the interface in stratified flow (Planar Problem).

P. A. Rybalkin

Convective heat transfer in horizontal furnace walls.

Vol. 2, No. 1. (1970)

V. I. Tolubinskiy et al.

Boiling crisis in longitudinal flow pasy rod bundles.

O. A. Kremnev et al

The interaction of water spheroids with heated surface.

Ye. P. Dyban and E. Ya. Epik

Effect of turbulence on calculating heat transfer
dowstream of an oriffice in a tube.

V. A. Yefimov et al

A Study of thermal processes in solidification of
large steel ingots in cast-iron molds.

V. I. Tolubinskiy et al

Heat transfer to boiling water-glycerine mixtures.

V. Ye. Dunduchenko and M. M. Nazarchuk

Approximate solution of one class of problems on
unsteady heat transfer in a liquid moving in a pipe.

A. P. Ornatskiy et al

The effect of hydrodynamic conditions of the operation
of parallel small-diameter steam-generating channels
on the heat transfer crisis.

Ye. P. Dyban and V. D. kurosh

Heat transfer at the leding edge of a turbine blade.

I. Ye. Virozub and A. S. Shvets

Concerning the development of viscous nonadiabatic
channel flow of compressible gas.

N. V. Zozulya and B. L. Kalinin

effect of velocity and turbulent pulsation fields at
aplate with a rectangular step

G. L. Bakukha and G. I. Sergeev

The effect of Polydispersion of solid particles in a gas flow on the external heat transfer rate

Yu. G. Khorunzhiy et al

Heat transfer at the surface of an ingot in a vacuum chamber.

M. V. Stradomskiy and Ye. P. Vasil'yev

Heat transfer through cylindrical space formed by a cylinder in reciprocating motion within an outer stationary cylinder.

V. R. Borovskiy et al

Heat transfer from thin cylinders to axial air flow.

A. M. Kichigin et al

Concerning certain possibilities of studying the boiling mechanism by acoustic methods.

A. P. Ornatskiy and Ye. M. Smagina

Heat transfer from a plate with wire-loop fins to forced flow of air in a wide channel.

N. V. Zozulya et al

Effect of perforated transverse plate fins on oval pipes on the rate of heat transfer.

Ye. N. Shevchuk

Free convection heat transfer to boiling potassium.

Yu. G. Klimenko et al

Heat transfer between a spouting bed and the surface of a spherical probe.

V. A. Chernobay

Critical heat loads in a rectangular duct with a nonuniformly heated perimeter.

Ye. V. Yashenko

Transfer of heat to fluids in ultrasonic and sonic fields.

I. M. Fedotkin and L. P. Zarudnev

Correlation of experimental data on local heat transfer in heating of air-liquid mixture in pipes.

Vol. 2, No. 2, (mar. 1970)

V. V. Salomatov

Temperature conditions in solids under combined effects of radiation and convection.

A. A. Stolyarov

Concerning stratified adiabatic two-phase flow in a cylindrical channel.

F. M. Mitenkov et al

Analysis of flow oscillations in a boiling channel.

V. N. Volkov and V. K. Li-Orlov.

A refinement of the integral method in solving the heat conduction equation.

V. A. Kirpikov et al

A study of the heat transfer and frictional resistance in a diverging-converging duct.

S. P. Detkow and A. V. Vinogradov

Radiant heat transfer in a layer of gaseous CO_2 and H_2O and their mixtures.

V. A. Gerliga and R. A. Dulevskiy

The thermohydraulic stability of multi-channel steam-generating systems.

G. N. Danilova

Correlation of boiling heat transfer data for freons

G. N. Danilova and A. V. Kupriyanova

Boiling heat transfer to freons C318 and 21.

N. M. Belyayev and Yu. G. Artemenko

Experimental study of heat and mass transfer during
evaporation of water under vacuum.

5-1970

	頁
大容量ボイラ・タービンの部品材料 の信頼性と寿命	2
熱機械組立ての際の溶接	5
円筒蒸気ボイラにおけるキ裂の発生 と拡大におよぼす熱応力の影響	11
種々の熱処理後の X18H12T 鋼製過 熱蒸気管の耐熱特性	13
非定常温度場におけるボイラ鋼の周 期的塑性変形の機構	16
蒸気タービンの鑄造ケーシング材料 の耐熱特性の検査法	19
ガスタービンの鑄造部品用の耐熱鋼	23
補助タービン付プラントの熱設計の解 析	26
超音速タービン段の研究	29
導電性モデルによるタービン翼の温度 度場の決定	35
ガスタービンプラントの燃焼炉で天 然ガスを燃焼させる場合窒素酸化物	

	頁
形成に対するバーナの構造の影響	35
ガスタービンプラントの無事故作業の 確立について	38
微粉炭ボイラ $HK-10-2H$ における 燃焼室内の炎の自動制御	41
大型発電所用燃料としてのグシノアゼ ルスキー褐炭	45
送風機動力のエネルギー損失の決定	47
超臨界圧タービンの場合と腐蝕生成物 の沈殿	50
モスクワのエネルギー網に使われる水の 性質	54
炉過器の初段の陰イオン減衰試験結果	57
炭酸ガスの等温絞り効果の実験的研究	60
水の比容積と密度の積分平均に与える 初期エンタルピとエンタルピ増加量の 影響	63
流路内の熱伝達限界	66
温度 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$, 圧力 $0\sim 500\text{ bar}$ の範囲内 の CO_2 の密度の測定	69
相似則により得られる重水の蒸気の熱 力学的性質と状態方程式	70

6-1970

	頁
大出力プラントの自動化の問題とその 展望	2
自動化のための貫流ボイラの必要条件	6
800M watt -200 ボイラの蒸 気温度制御の動特性	8

	頁
30%以下の負荷降下がある場合の ボイラの自動運転	12
300Mwattプラントのボイラユニ ットの動特性の解析の比較	15
超臨界圧ボイラユニットのダイジタ ルモデル	18
固形燃料の粘着性	22
石炭の炎の中に含まれる微小な組成 物とその性質の研究	24
煙突から排出される亜硫酸ガス濃度 の決定法の研究	28
アルミフィン付き前部の熱伝達	31
スクリーン管の熱計算とその特性	33
湿分のタービン低圧段効率に与える 影響	35
タービン翼列の形状損失	38
軸流タービン各段の半径方向圧力勾 配とM数の関係	42
ガスタービンプラント(設置型)の 燃焼室内ガスの特性の理論研究	44
外円筒固定, 内円筒回転の場合の環 状流路内熱伝達	47
円錐状物体の衝撃圧入法による鋼の 硬さと耐久性の決定	50
結合部の応力緩和状態における破壊 までの時間計算の図式解析法	52
水中での鉄の腐蝕生成物の進展と静 的状态における構造機表面のそれら	

	頁
の分離について	54
発電所の運転サイクル中にヒドラジン が存在する場合の酸化鉄、亜硫酸塩の 挙動	56
加熱流路内の体積蒸気含有率の実際の 計算法	58
局所熱流束を高めた場合に外側加熱環 状流路の熱伝達におよぼす影響	61
高いパラメータの等温紋り効果の研究	63
強制対流サブクール液中での沸騰開始 条件の研究	65
純水の落下液滴の分散度の決定の表現 方法	68
断熱層の熱的物性値を決めるための問 題	70

7-1970

	頁
800Mwattプラントの固状スラグ除 去装置付燃焼炉	2
T III-110 ボイラの炉内の燃焼	6
液状スラグ除去装置付炉の借用拡大に ついて	9
クズネツシ炭を燃焼させる液状スラグ 除去装置付炉の応用範囲	15
付属燃焼器付立て型サイクロン式炉 におけるイルジーボロジンスク炭の燃焼	17

	頁
対向衝撃ジェットによる低質油燃焼 の場合の液相部の研究	21
遠心式分離炎の実験的研究	25
パーナが片側あるいは両側にある場 合の燃焼室内の流れ	27
未燃分と灰の溶融性の間の有効性の 研究	31
における貫流ボイラの動特性の 計算	33
ユニット化された連続測定装置	38
小型化された中央ボイラタービン研 究所の塩分計	41
一段の反動度 $\rho=0.5$ のタービン段 の基本的特性の研究	44
水平な曲線流路内の流量特性の計算	46
ガスタービン翼の空気冷却の有効性 の研究	48
ガスタービンプラントの再斥器容量 の計算	52
初期非定常加熱による動力装置細部 の温度場と応力	55
熱機械製造における鋼管の溶接特性 衝撃応力を減少させた $15 \times 1 M1 \phi$ 鋼の蒸気管としての信頼性の増加	58
非定常状態の蒸気管の温度場と応 力の計算	61
高温における耐燃材料の効果に対す る評価	64
	66

	頁
12MX鋼製の管の耐熱性について	71
種々の内径の管内助走区間内局所熱 伝達の研究	73

8-1970

	頁
火力発電所の補機にみられる技術水 準の高さ	2
再生式空気予熱器の拡大の問題	5
K-300-240XTF3 タービンの コンデンサの脱気力	8
800Mwatt M3タービンの低圧両 熱器	11
M3の300Mwattプラントの給 水ポンプの実験結果	15
槌式粉碎機の最適パラメータと最適 値の決定	22
表面活性剤を使用した経済的微粉炭 化	26
原子計算機によるガスジェット装置 の性能計算	30
ボイラII-50の2次蒸気温度制御 系の実験	33
"呼び出し"を信号化し制御する装置	36
湿り蒸気タービンの湿分分離	40
湿り蒸気域のタービン段の制御特性 に与える部分流入の影響	42

	頁
超音速ラバルノズル内の流れの図式	45
解法	45
航空発動機のガスタービンプラント への応用	46
ガスタービンプラントの燃焼室のマ ルチダンパの作動特性	49
簿膜表面熱電対による温度場の研究	53
垂直管束内での高速蒸気の擬縮熱伝 達と抵抗	56
超臨界 ボイラのスクリーンの水力 および温度特性の計算	58
貫流ボイラの信頼性とその熱水力的 特性	61
BK-50プラントの配管系の腐蝕損 耗	65
スパイラルフィン付管束からの伝熱 と流動抵抗	66
加熱面上にあるモノイソプロピルジ フニールの分解と腐蝕生成物の研究	68
作動流体のP, V, Tが変わる場合の 熱力学的表現	70
飽和蒸気の温度と圧力の関係の近似 的解析	73
各種フィルタによる銅と真鍮のふし よく生成物のコンデンサからの除去	76
種々の鉍水と真鍮製コンデンサ用管 の相互作用	80
NaClとLiClの蒸気サスペンショ ンの電気伝導性	84

編集委員会より

- 「伝熱研究」35号は、去る7月開催の第4回夏期伝熱セミナーの特集とし、全題目の要旨と討論の一部を掲載した。御執筆下さった話題提供者・司会者の諸先生ならびに準備委員会委員諸氏特に高浜先生に御礼申し上げます。
- 巻頭の第5回国際伝熱学会関係の記事は、帰国そうそうの水科先生が御多忙中におよせ下さったもので、34号の甲藤先生の「準備委員会の発足」と共にお読み置き願いたい。第4回会議の内容は次号に掲載する予定。
- 明年5月開催の第8回シンポジウム(大阪)の準備は着々と進められている。準備委員長小笠原先生が御希望なさるようにより良きシンポジウムにするための御意見を同委員会へお寄せ下さるよう期待します。
- 本号は頁数が予定を超過したため、文献リストの一部を次号に廻さざるをえませんでした。原稿をお寄せ下さった方におわび致します。なお HEAT TRANSFER SOVIET RESEARCH(英文)は、ASMEより隔月刊行される定期刊行物です。お知らせ下さった北大石黒先生に感謝致します。

「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，国の内外の研究・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，当分の間騰与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。

(〒152) 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学 機械工学科

片山 功 蔵 気 付

「伝熱研究編集委員会」

付・36号は11月20日を原稿締切りとします。

「伝熱研究ニュース」「セミナーおよびシンポジウム要旨」執筆要領

1. 「要旨」の原稿の長さは「伝熱研究ニュース」程度・刷り上り1～2頁（図・表とも）A4原稿用紙3～4枚を標準とする。若干の変更は御自由です。
2. タイトルに「〇〇要旨」と記し，関連講演の「題目」および「執筆

者名」を明記して下さい。

3. 「討論要旨」の文責は執筆者としますが、後日「伝熱研究」誌上に再討論が投稿されるような形式も好ましいと思います。
4. 「要旨」を御執筆（あるいは執筆者を御推挙）下さる方は会期中は会場受付にお渡し下さい。会期後は別記「編集委員長宛」お知らせ下さい。
5. 御執筆に当つて「伝熱研究」の投稿規定に従つて下さい。

伝 熱 研 究

Vol. 9, No.35

1970年10月21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

東京大学工学部化学工学科内

電話(812)2111, 内線4465

振替 東京 14749

(非売品) (謄写をもって印刷にかえます)