

Vol. 15

1976

No. 59

October

# 伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 59 号

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

## 日本伝熱研究会第15期役員

会 長 西 川 兼 康(九 大)

副会長 泉 亮太郎(名 大) 一 色 尚 次 (東工大)

地方連絡幹事 北 海 道 福 迫 尚一郎(北大)

東 北 相 原 利 雄(東北大)

関東甲信越 飯 田 嘉 宏(横浜国大)

東海北陸 菱 田 幹 雄(名工大)

関 西 勝 田 勝太郎(関西大)

中国四国 鍋 本 暁 秀(広島大)

九 州 世古口 言 彦(九大)

幹 事 斎 藤 暁(室蘭工大) 荻 野 文 丸(京大)

幾世橋 広(東北大) 片 岡 邦 夫(神戸大)

山 川 紀 夫(東北大) 国 友 孟(京大)

山 田 悦 郎(秋田大) 高 城 敏 美(阪大)

佐野川 好 母(原研) 吉 信 宏 夫(大阪府大)

桜 間 直 樹(日立) 浦 川 和 馬(徳島大)

土 方 邦 夫(東工大) 嶋 本 讓(岡山大)

仲 田 哲 朗(石播) 上 原 春 男(佐賀大)

波 江 貞 弘(船研) 増 岡 隆 士(九工大)

植 田 辰 洋(東大)

平 田 賢(東大)

架 谷 昌 信(名大)

林 勇 二 郎(金沢大)

馬 淵 幾 夫(岐阜大)

監 査 小茂島 和 生(慶大) 千 葉 孝 男(高砂熱学)

Vo1. 15

1976

No. 59

October

## 伝 熱 研 究

### 目 次

生体における熱物質移動の研究について .....	谷 下 一 夫 .....	1
地方グループ活動コーナー		
東海研究グループ .....		7
東北研究グループ .....		28
中国・四国研究グループ .....		51
北海道研究グループ .....		62
編集部より .....		69

# 生体における熱、物質移動の研究について

東京女子医科大学日本心臓血圧研究所理論外科

谷下一夫

近來、生物や医学における問題を工学的手法により、明らかにしようとする研究が、盛んになり、ひとつの境界領域として、生物及び医用工学 (Bio-Medical Engineering) という新しい分野が生まれていることは、既に知られている。とりわけ、輸送現象 (熱、物質、運動量輸送) を、生物や医学の問題を対象にして、論じる大きな動きがあり、伝熱学のひとつの分野として、興味深く思われる。筆者は、米国で一番小さな州、ロードアイランドにあるブラウン大学の大学院に留学する機会にめぐまれ、人工肺における物質移動の研究に従事することが出来た。これを契機として、生物及び医学における輸送現象に大きな興味を、見出したわけである。しかしながら、広大な範囲の分野を含むこの領域についての解説は、初心者である筆者の力では、とても不可能なため、ここでは、浅薄な経験に基づく筆者のいくつかの印象を御紹介することにとどめたい。

生体に起きる、個々の現象は、おびただしい数のパラメータを持ち、複雑なプロセスを経るにもかかわらず、ホメオスタシス (Homeostasis) と呼ばれる、生体にとって最適な、定常状態を維持する方向に、常に向っている。輸送現象は、この動的状態を保つために、非常に重要な役割を演じているため、生体内に起きる移動現象の解明は、生体機能の理解のひとつとして、必要欠くべからざるものである。従って、このことは、生理学者、臨床医学者にとって、大きな課題であり、すでに、多くの研究がなされている<sup>(1)</sup>。しかしながら、現象そのものの複雑さ、条件設定の困難、そしてそれらを解析する

手法が限られているために、現象の把握が不完全で、明確な答を得ている問題が少い。従って、生体における移動現象を、工学的アプローチによって解明し、既存の生理学、臨床医学における不足分を補うことは、重要な課題で、移動現象扱う研究者に多く期待されていると思われる。1960年代における、人工臓器開発のための、装置工学をひとつの契機とする化学工学者のめざましい進出は、そのひとつの現われであろう。従って、すでに多くの研究がなされており、詳しい解説書もいくつか出版されている。Transport Phenomenaの著者の1人であるE.N.Lightfootは、Transport Phenomenaの姉妹版として、Transport Phenomena and Living System<sup>(2)</sup>を著し、工学的側面について、非常に詳しく解説している。その他、S.Middleman<sup>(3)</sup>、L. Leyton<sup>(4)</sup>、Wolstenholme and Knight (Ed.)<sup>(5)</sup>による著書がある。Lightfootには、関連する主要な著書、論文が多く引用されているので、興味ある方は、参照されたい。国内では、棚沢一郎教授による、いくつかの詳しい解説<sup>(6)</sup>がある。

#### 1. 生体における伝熱

生体、とくに恒温動物において、得られた化学エネルギーのうち、約20%が運動エネルギーに、残り80%は熱となり、この熱によって、体温を外界の温度より高く保つことができる。ヒトの体内温度(例えば直腸温)は37°Cであるが、蛋白の不可逆的な変化をきたす42°Cに対して5°Cの安全度しかない。従って、生体における温度調節機構は、おどろくべき程精巧に出来ているわけで、生体における伝熱は、その機能上、重要な位置を占めている。生体における伝熱は、大別して、体表から外界への移動と、生体内部における移動とに分けられる。このうち、前者については、工学的手法が直接適用できるため、多くの研究がなされているが、後者については、生体内での熱的測定の困難さのため、定性的な議論の範囲

を越えにくいようである。血液は生体における重要な熱媒体であるが、その、熱的性質についての系統的な研究は、ほとんどなく、全血の熱伝導率が最近になって、測定されはじめた程度である。<sup>(7)</sup>血液の物性値は、血液を構成する要素（赤血球、血漿蛋白等）の影響を受けるとともに、実験条件に大きく作用されるので、データの標準化に、大きな困難がある。

## 2. 生体における物質移動

生体における物質移動は、その機能維持に直接関係してくるので、その解明は、生理学的、臨床医学的に意味があるとともに、人工臓器設計の強力な基礎データとなるため、非常に興味深い。しかしながら、実際には現象が、細胞レベルで起き、数多くの化学反応を伴いながら、選択的に物質が移動するため、微視的な解析は、かなりやっかいである。さらに、細胞膜を介して、能動輸送（エネルギーを消耗しながら、濃度の低い所から高い所に物質が移動する）が起きるので、話は複雑になる。しかしながら無数の微視的現象のひとつひとつを追う事は出来ないので、全体を多成分系と見なし、必要なすべての保存方程式及び不可逆過程の熱力学に基づき一般的な移動速度式を適用する方法が、多くとられている。<sup>(2)</sup>

まず第一に、血液における拡散現象を考えてみよう。血液は一様な溶液ではなく、赤血球等の懸濁液で、拡散のプロセスは、浮遊している粒子の運動により影響を受ける。従って、通常とられる手法は、血液を一様な溶液とみなし、その中での局所平均的な拡散について議論することである。しかし、問題となる代表寸法が粒子径と、同等なオーダーの場合や、ずり速度が大きい場合など、一様性の仮定に無理が生じ、例えば、赤血球の回転による対流効果を見逃しできなくなる。この微視的な効果による物質移動は、微少対流物質伝達（Microconvective Mass Transport）と呼ばれ、赤血球の微少運動による酸素伝達の他に、血液中の有形成分（血小

板)や、蛋白のような大きな分子量を持つ物質の移動に対しても、顕著であるといわれている。

血液における酸素及び炭酸ガスの拡散は、いくつかの段階を経る。例えば、酸素の血液における拡散は、血漿、赤血球細胞膜、赤血球内のヘモグロビン溶液における拡散と化学反応から成り立つ。従って、実際には、この全部のプロセスを含んだ酸素の移動に対して、有効な拡散係数を定義する。ヘモグロビン溶液において、酸素は、可送的にヘモグロビンと化合すが、一度にすべてのヘモグロビンが酸素付加されるわけではないので、酸素付加の度合(飽和度と呼ばれる)の異なるヘモグロビンの分布が形成される。部分的に酸素付加されたヘモグロビンをひとつの溶質と考えると、新たに、その濃度勾配により拡散が起きる。従って、酸素の全輸送量は、酸素だけの形で拡散されるものと、酸化ヘモグロビンの形で拡散されるものの合計になるので、拡散が促進されたことになり、これを促進拡散(Facilitated Diffusion)と呼ばれる。促進拡散は、ヘモグロビンの希釈溶液の場合、顕著な影響を与える。全く同様なことが、炭酸ガスの輸送についても云えるが、その場合、酸塩基平衡が加わってくるので、複雑になる。血液中の酸素及び炭酸ガスの拡散の知識は、肺におけるガス交換の解析及び人工肺設計上重要であり、それらの有効拡散係数の測定も多くなされているが、やはりデータの標準化という大きな問題が残されている。

膜を介しての物質移動は、前述のように、生体において、基本的に重要な現象で、生体機能維持に直接影響を及ぼす。末梢の個々の細胞における体液バランスをはじめとして、各臓器における物質交換、イオンの拡散による神経興奮の伝播等、数多くの例を見い出すことができる。さらに、膜を介しての物質移動は、人工臓器(膜型人工肺、人工腎臓等)工業用等と、多くの応用があり、工学サイドからも、ひとつの大きな研究対象とな

り、急速に発展しつつある分野である。<sup>(8)(9)</sup>

膜は、その厚みのスケールにより、2分子から成る薄い膜と、分子の大きさのオーダーに比して、かなり厚い膜とに分けられる。前者は、細胞膜のモデルとしてよく使われる概念で、物質透過に対して、選択性を示す。現在、工学サイドで着目されているのは後者で、膜内部に生ずる現象を、直接見出すことが困難なため、数多くのモデルが考えられている。詳しくは、文献を参照されたい。

以上、思いつき程度に、いくつかのトピックについて、取り上げてみたが、このような境界領域における研究には、種々様々な概念や手法が必要となることは言うまでもない。筆者が出入していた、ブラウン大学の人工臓器研究室は、工学部と医学部の協力体制のもとにあり、医者とエンジニアが混在し、常にお互いの情報交換を行えるよき場であった。教育体制においても、学部間の壁は全く無く、工学部の学生が医学部の授業を自由にすることが出来た。異質な学問分野間の壁が厚い日本の場合、その壁を無くすことが今後の課題であろう。さらに、この領域における研究で必要なのは、新しい現象や概念に対する謙虚さである。英国の代表的流体力学者M. J. Lighthillは、生物流体力学(Bio-Fluid Mechanics)という新しい分野を開拓しているが、彼が生理学を学ぶのに6年かかったそうである。謙虚で、絶え間ない追究を怠った者には、自然は何も与えてくれないであろう。

#### 参 考 文 献

- (1) 例えば American Physiological Society, Handbook of Physiology.
- (2) E. N. Lightfoot, Transport Phenomena and Living



- System, Wiley (1974).
- (3) S. Middleman, Transport Phenomena in the Cardiovascular System, Wiley (1972).
  - (4) L. Leyton, Fluid Behaviour in Biological Systems, Clarendon Press (1975).
  - (5) Wolstenholme and Knight (Ed.), A Ciba Foundation Symposium : Circulatory and Respiratory Mass Transport, Churchill LTD. (1969).
  - (6) 棚沢一郎、生物体における熱・運動量・物質移動の工学, 日本機械学会誌, 75-636(昭47-1), 94.
  - (7) A. Singh, Measurement of Thermal Conductivity of Stationary Blood by Unsteady-State Method. J. APPL. Physiol., 37:765 (1974).
  - (8) American Physiological Society, Symposium : Biological and Artificial Membranes, Federation Proceedings, 27 : 1249~1309 (1968).
  - (9) N. Lakshminarayanan, Transport Phenomena in Artificial Membranes, Chem. Rev., 65 : 491 (1965).

地方グループ活動コーナー  
東海研究グループ

日時 昭和51年5月8日(土) 13.00～

場所 三重大学工学部 機械科講義室

講演

(1) 針金粗面上の乱流境界層

古 屋 善 正 (名大・工・機械)

藤 田 秀 臣 (三重大・工・機械)

宮 田 勝 文 (名大・工・機械)

(2) 傾斜管内凝縮熱伝達について

泉 亮太郎 (名大・工・機械)

小 沢 通 曜 (三重重工)

山 口 誉 起 (名工大・機械)

石 丸 典 生 (日本電装)

(3) 円管内乱流の温度と速度の微細構造

菱 田 幹 雄 (名工大・生産機械)

長 野 靖 尚 ( " " )

(4) 高温における鉄基二元合金の熱定数について(第1報 純鉄、Fe-

-Cr、Fe-Mo合金)

小 林 清 志 (静大・工・機械)

神 谷 裕 二 ( " " )

佐 野 一 義 (ヤマハ)

藤 村 全 戒 (静大・工・機械)

(5) 多層平板における非定常輻射伝熱

杉山 幸男 (名大・工・化工)

架谷 昌信 ( " )

前田 和雄 ( " )

(6) 分子線による気体と固体表面の干渉

古屋 善正 (名大・工・機械)

藤本 哲夫 (三重大・工・機械)

林 農 (名大・工・機械)

(7) ボルテックス・チューブに関する研究

水蒸気を用いた場合のエネルギー分離性能

高浜 平七郎 (名大・工・機械)

加藤 征三 ( " )

河村 釣 ( " )

横沢 肇 (名大・工・院)

(8) 円柱熱伝達におよぼす上流カルマン渦の影響

桧和田 宗彦 (岐阜大・工・機械)

馬淵 幾夫 ( " )

1) 針金粗面上の乱流境界層

(名大工) 古屋 善正

(三重大工) 藤田 秀臣

(名大工) 宮田 勝文

流路の表面あらさは流動抵抗の大きな増加をもたらすため、Nikuradseをはじめ従来数多くの研究がなされている。また近年、表面あらさは熱伝達

の促進法として注目されており、これらの分野では、表面あらさの流動特性におよぼす影響をより詳しく明らかにすることが望まれる。

形状が簡単な粗面として、長さ 2 m、幅 1 m の平板に直径  $k = 2 \text{ mm}$  の針金を流れに垂直にはった二次元粗面と、同じく直径 2 mm の針金を長さ 40 mm に切ったものを千鳥状に配列した三次元粗面を用い、圧力こう配のない状態でこれらの粗面平板上の乱流境界層の特性を測定した。とくに針金の間隔を広範囲に変化させてその影響を明らかにした。

まず二次元粗面について、速度分布の速度欠陥法則にもとづく壁面に垂直な距離の原点補正を行えば、各表面のあらさの効果は壁法則表示によって、

$$\frac{\Delta u}{u^*} = 5.6 \log \frac{ku^*}{\nu} + C$$

の形に表わされる。ここに  $\Delta u/u^*$  壁法則表示における滑面壁に対する対数直線式からの平行移動量であり、 $u^*$  は摩擦速度、 $\nu$  は動粘性係数である。

C は突起の形状、密度、配列方法など各粗面に固有の関数である。二次元針金粗面では  $P/k$  の値とともにかなり著しく変化し、 $P/k \div 8$  において C は最大値をとった。C とあらさ突起の密度との関係についても検討し、本粗面の場合には Dvorak らの式では表わせないことを示した。

つぎに、粗面を構成する針金のまわりの圧力分布の測定結果を示し、これから針金 1 本当たりの圧力抵抗を求め、本粗面においては全抵抗にしろる圧力抵抗の割合が 70 % 以上と非常に大きいことや、全抵抗から圧力抵抗を差引いた摩擦抵抗に相当する部分が同じレイノルズ数における滑面平板の抵抗に近似的に等しいことなどを明らかにした。

さらに針金のまわりの圧力分布および水槽における流れの観察結果などにもとづいて、 $P/k \div 8$  において流動抵抗が最大値を示す理由について検討

した。

最後に、短い針金を千鳥状に配列した三次元針金粗面上の乱流境界層について、流れが針金の長さにはほぼ等しい間隔で横方向に規則正しく変動しており、針金の中心部において壁面から主流に向い針金の端部で主流から壁面に向うような強い二次流れが存在していることなどを明らかにした。このような横方向に変化する境界層流において、平板の平均抵抗係数を求める方法を提示した。その結果によれば、同じ  $p/k$  の場合には、ある値よりも大きいレイノルズ数においては二次元針金粗面のほうが二次元粗面の場合よりも流動抵抗が小さくなる。

## 2) 傾斜管内凝縮熱伝達について

(名大工) 泉 亮太郎、(三菱重工) 小 沢 通 曜

(名工大) 山 口 誉 起、(日本電装) 石 丸 典 生

傾斜管内における熱伝達および圧力損失についての報告は少なく、とくに凝縮のような二相流となる場合について確立された知見はないように思われる。著者らはコンパクト形コンデンサの立上り管部における熱伝達の基礎研究として、傾斜管内を凝縮を伴ないながら上昇する場合の実験を R-12 を用いて行い、既報の下降流<sup>(1)</sup>および水平管内流<sup>(2)</sup>と比較しながら、熱伝達および圧力損失について報告する。

図 1 は実験装置の概要であり、テスト部 T・S は熱伝達を求めるための銅管で直径 13.4 mm  $\phi$ 、長さ 1,200 mm について 15 の測温点が設置され、圧力損失は長さ 1,400 mm についての差圧をダイヤフラム式差圧計により検出している。G・T は流動状態を確認するための 2 重ガラス管である。テスト管入

口までの可撓パイプおよび直管部は十分な長さを持っているので、テスト部での流動パターンは同じパターンを示している。測定条件は、傾角  $\theta = 0 \sim 90^\circ$ 、冷媒流量  $G_R = 40 \sim 120 \text{ Kg/h}$ 、入口乾き度  $X_{in} = 0.2 \sim 0.8 \text{ Kg/Kg}$ 、入口圧力  $P_{in} = 8.3 \sim 11.9 \text{ Kg/cm}^2$  であった。

熱伝達については、下降流の場合は Chaddock のモデルを傾斜管に適用して、 $(\cos \theta)^{1/4}$  の補正でよい相関が得られたが、上昇流については  $\theta$  と共に熱伝達率  $\alpha_m \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ$  は増加する傾向を示している。これは、少しの傾斜でも重力の影響を受け環状または環状噴霧流となるためであり、このことは圧力損失についても立証できる。 $\alpha_m$  は  $G_R$ 、 $X_{in}$  および熱流束  $q \text{ kcal/m}^2\text{h}$  について一義的な表現は困難であるが、上昇流の場合の  $\alpha_m$  は水平および下降流の  $\alpha_m$  より大なる値を示している。単相モデル用いて  $B$  を  $\theta$  の効果とすれば

$$B = \text{Nu Pr}^{-1/3} / \text{Re}_B^{1/3} = 5.74 (\sin \theta)^{1/8} \quad (1)$$

となり、 $0^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$  で  $\pm 25\%$  の誤差で実験点を相関できた。なお、下降流では  $B = 5.68 (\cos \theta)^{1/4}$  で表わされ、 $\theta = 90^\circ$  を除いて  $\pm 20\%$  の相関が成立。

圧力損失については  $\Delta P / \Delta L \text{ Kg/cm}^2$  は  $\theta$  と共に増すが、 $\theta \approx 70^\circ$  付近で増分は減少し、わずかではあるが噴霧流を伴い減少傾向となる。圧力損失は加速と摩擦によるものとの和と考え、管摩擦係数を

$$\beta = C (\sin \theta)^m \quad (2)$$

で表現すれば、実験点から  $C$  の図と  $m$  の表が与えられ、このようにして求められた  $\beta$  と実験値との関係を示せば図 2 となり、 $\pm 30\%$  の誤差で相関できた。なお、下降流の場合には気体レイノルズ数  $\text{Re}'_g = \text{Re}_g (\sin \theta)$  を用いれば

$$\beta = 21.3 (\sin \theta)^{1.43} \text{Re}'_g^{-0.64} \quad (3)$$

で表現でき、 $\pm 20\%$  の誤差で相関できた。

注) (1) 泉ほか；第10回伝熱シンポ，305(1973-5).

(2) 泉ほか；化工論文集，1,381(1975).

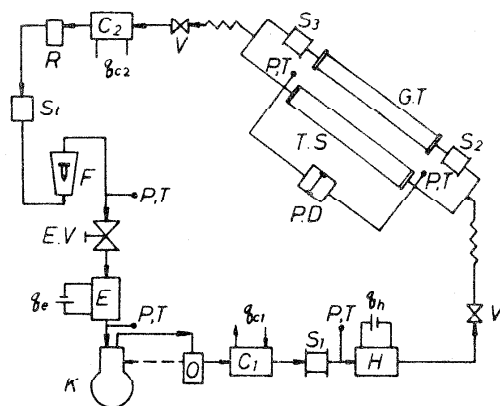


図 1

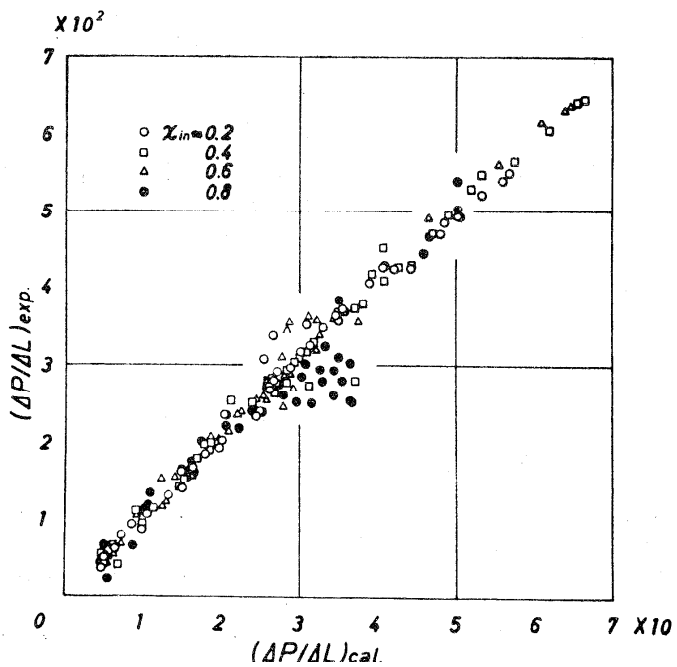


図 2

### 3) 円管内乱流の温度と速度の微細構造

(名工大・機械)菱田 幹雄

( " " )長野 靖尚

壁温一定の伝熱管内で粘性底層に接する遷移層から乱流コアにわたる各領域について、速度と温度の乱れ強さおよびその相関とスペクトル等を測定し、管内流の乱流熱輸送機構を実験的に調べた。速度と温度の乱れの波形、乱れの強さおよび相互相関などの乱流諸因子は、遷移層および粘性底層、乱流域の壁領域、乱流コアおよびコア中心部で変化の傾向が変わり、乱れの様子が異なっている。

遷移層では *Bursting* による強い速度の変動が、周期、振幅共によく似た温度変動を惹起する。速度と温度の乱れは共に *Bursting* による乱れのパワーが最も強く、*Bursting* は乱流熱輸送に強い影響を与えている。速度乱れの自己相関係数から求めた加熱円管内乱流の平均 *Burst* 周期を、内層および外層のパラメータで無次元化すると、無次元 *Burst* 周期は平板乱流境界層のそれと一致する。

速度乱れの強さは加熱により全域で増大するが、無次元乱れ強さは乱流コアでは等温流の値とほぼ一致している。速度乱れと温度乱れは遷移層で最大となるが、その位置は一致せず、温度乱れの方がより壁面から離れた乱流域に近い位置で最大値をとる。速度乱れと温度乱れの相互相関係数は壁面に近づくに従い  $-1$  に近づく。

乱流域の壁領域では普遍速度分布と普遍温度分布に対数法則が成立しているが、速度と温度の無次元乱れ強さにも対数法則が成立している。ここでは相関の強い速度と温度の乱れが多く、速度が増加し温度が減少する変動と、速度が減少して温度が増加する変動の現れる頻度はほぼ同じである。速度と



温度の乱れの相互相関係数は  $-0.61$  で一定である。

乱流コアでは速度と温度の乱れ強さの減少が大きく相関も失われ始め、コア中心部ではそれ等の傾向が激しくなり局所等方性乱れに近づく。コア中心部では速度と温度の無次元乱れ強さの比はほぼ一定で  $0.95$  である。

速度と温度の乱れの一次元パワースペクトルは、壁領域で  $-1$  乗スペクトルが現れ、乱流コアで Kolmogoroff の  $-5/3$  乗スペクトルが現れる。慣性拡散小領域 (inertial-diffusive subrange) の温度乱れのスペクトルは  $-8/3$  乗スペクトルで表される。

温度乱れの規格化スペクトルは低波数域で速度乱れのそれよりも大きく、高波数域では逆に小さくなり、温度乱れが速度乱れに比較して、低波数のより大きなスケールの乱れで支配されていることを示している。

#### 4) 高温における鉄基二元合金の熱定数について

(第1報、純鉄、Fe-Cr、Fe-Mo合金)

(静岡大・工・機) 小林 清 志  
( " ) 神谷 裕 三  
( " ) 藤村 全 戒  
(ヤ マ ハ) 佐野 一 義

近年、材料の熱定数に対して広い温度範囲の値が要求されるようになってくる。本報告は純鉄および Fe-Cr、Fe-Mo、二元合金について、添加元素含有量  $w$  を  $0 \sim 5 \text{ w/o}$  程度に変えて、常温から  $1,300^\circ\text{C}$  の範囲で、熱拡散率、比熱、熱伝導率および導電率を測定し、検討を加えたものである。図1に示すようなステップ加熱による熱拡散率測定装置<sup>(1)</sup>を使い、熱拡散率、比熱<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>を測定し、それから熱伝導率を求めた。また電気比抵抗は別の真空高温炉を使って測定した。

試料の分析値を表1に示す。実験結果は以下に示す。

1) 熱拡散率

図2はFe-Crに関する一例である。770℃付近がA<sub>2</sub>の磁気変態点である。添加元素含有量wが多くなると熱拡散率aは小さくなるか、温度の上昇とともにその影響は小さくなり、A<sub>2</sub>変態点以上の温度では含有量に関係なくほぼ一定となる。

2) 比熱 図3にFe-Crの比熱を示す。比熱は770℃付近の変態点で最大値を示し、全温度範囲

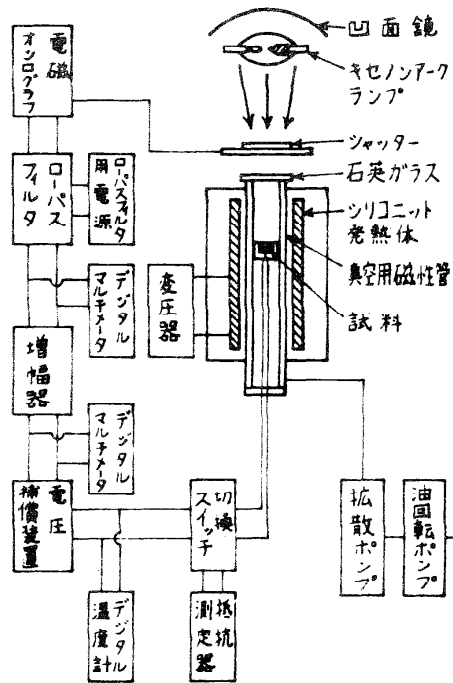


図1 測定装置

表1 試料分析値

試料記号	化学分析値 (wt%)										比重 g/cm <sup>3</sup>
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo		
Fe-1Mo	NO.1	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.005	<0.02	<0.02	<0.02	1.00	7.824
Fe-2Mo	NO.2	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.006	<0.02	<0.02	<0.02	2.01	7.838
Fe-3Mo	NO.3	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.005	<0.02	<0.02	<0.02	3.03	7.850
Fe-5Mo	NO.4	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.005	<0.02	<0.02	<0.02	4.86	7.846
Fe-1Cr	NO.5	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.005	<0.02	<0.02	1.01	<0.02	7.898
Fe-2Cr	NO.6	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.008	<0.02	<0.02	1.85	<0.02	7.901
Fe-3Cr	NO.7	0.003	<0.02	<0.02	0.003	0.009	<0.02	<0.02	2.87	<0.02	7.946
Fe-5Cr	NO.8	0.003	<0.02	<0.02	0.003	0.008	<0.02	<0.02	4.61	<0.02	7.645
Fe	NO.9	0.002	<0.02	<0.02	0.003	0.009	<0.02	<0.02	0.02	<0.02	7.969

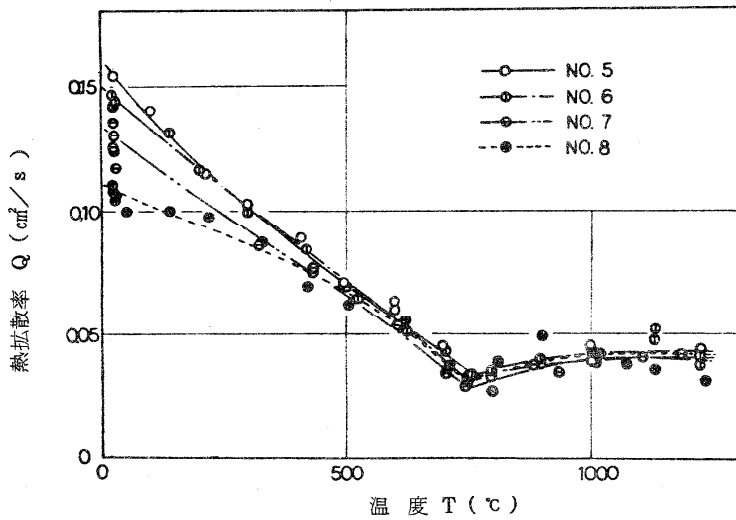


図2 熱拡散率、Fe-Cr

において純鉄よりも二元合金の方が大きな値を示す。

3) 熱伝導率 図4にFe-Moの熱伝導率を示す。Moの含有量が増すにつれて、低温度における熱伝導率は小さくなる。

4) 電気比抵抗 図5にFe-Crの電気比抵抗  $\rho$  の

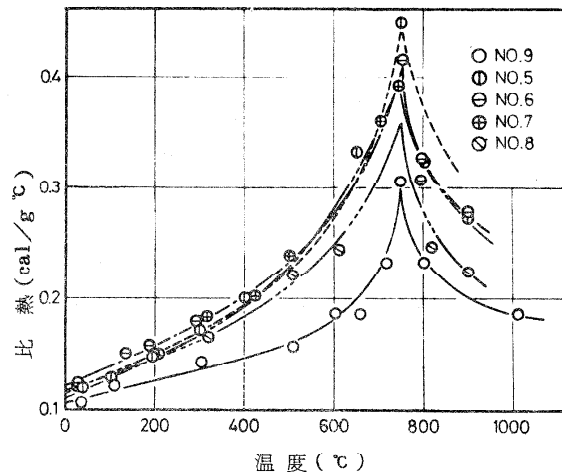


図3 比熱、Fe-Cr

測定結果を示す。含有量が多くなると抵抗は増加するが、変態点を過ぎてからは含有量に無関係に一本になる。 $\rho$ と $w$ の間に関して実験式(1)、(2)、(3)が得られた。以上の測定結果より熱伝導率 $\lambda$  [cal/cm<sup>2</sup>s<sup>2</sup>°K]、導電率 $\sigma$  (1/ $\rho$ ) [1/ $\mu\Omega$ cm]および絶対温度 $T$  [°K]の間の関係について、Fe-Moの場合常温~770°Cまでの範囲で $\lambda/T \sim \sigma$ の関係を示した一例が図6である。

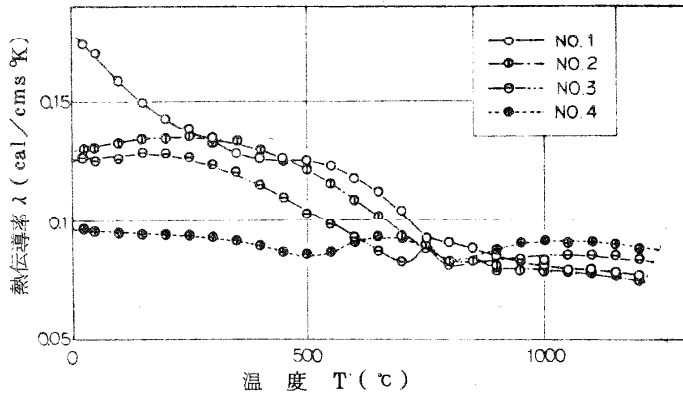


図4 熱伝導率、Fe-Mo

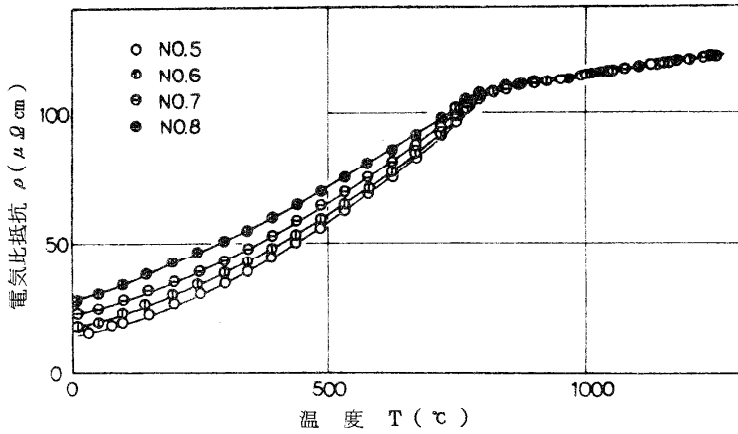


図5 電気比抵抗、Fe-Cr

770 °C 以上において  $\lambda T^2 \sim \sigma T^3$  の関係を示したのが図7である。以上より実験式(4)、(5)が得られた。また Fe-Cr についても同様に実験式(6)、(7)が得られた。

$$\text{Fe} \sim \text{Cr} \quad \rho = 4.5w + \rho_i \text{ [ } \mu\Omega \text{ cm ] (R.T. < T < 1043 \text{ }^\circ\text{K)} \quad (1)$$

$$\rho = 79 + 0.028T \text{ [ } \mu\Omega \text{ cm ] (T > 1043 \text{ }^\circ\text{K)} \quad (2)$$

$$\text{Fe} \sim \text{Mo} \quad \rho = 2.9w + \rho_i \text{ [ } \mu\Omega \text{ cm ] (R.T. < T < 1043 \text{ }^\circ\text{K)} \quad (3)$$

$$\rho = 79 + 0.028T \text{ [ } \mu\Omega \text{ cm ] (T > 1043 \text{ }^\circ\text{K)} \quad (2)$$

ただし、 $\rho_i$  は純鉄の電気比抵抗である。

Fe-Mo  $\lambda = 7.4 \times 10^{-3} \sigma T + 1.6 \times 10^{-5} T \quad (\text{R.T.} < T < 1043 \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (4)$

$\lambda = 5.7 \times 10^{-3} \sigma T + 3.4 \times 10^4 T^{-2} \quad (T > 1043 \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (5)$

Fe-Cr  $\lambda = 8.9 \times 10^{-3} \sigma T + 1.6 \times 10^{-5} T \quad (\text{R.T.} < T < 1043 \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (6)$

$\lambda = 8.0 \times 10^{-3} \sigma T + 5.0 \times 10^3 T^{-2} \quad (T > 1043 \text{ } ^\circ\text{K}) \quad (7)$

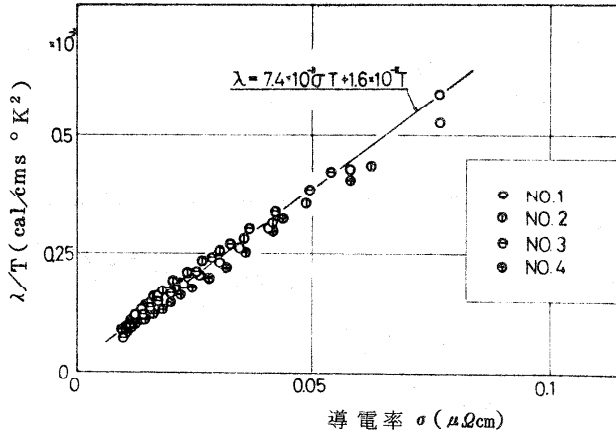


図6  $\lambda/T - \sigma$  の関係、Fe-Mo

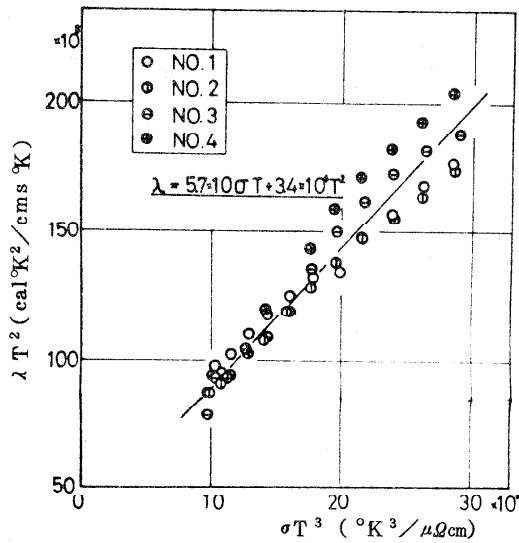


図7  $\lambda T^2 \sim \sigma T^3$  の関係、Fe-Mo

## 文 献

- 1) 小林, 熊田, 原子力学会誌, 9-2, (昭42-2), 58.
- 2) 熊田, 小林, 原子力学会誌, 11-8, (昭44-8), 462.
- 3) Kumada T. & Kobayashik., J. Nuclear Sci. and Tech.,  
12-3(1975-3), 154.

### 5) 多層平板における非定常輻射伝熱

(名大・工・化工) 杉 山 幸 男

架 谷 昌 信

前 田 和 雄

多層平板断熱材の非定常輻射伝熱特性を数値計算および実験により調べた。数値解は、多層平板の各平板に一次元の非定常熱伝導方程式を適用し、全平板温度一定の初期条件に、上面加熱、下面冷却および各平板の輻射による熱収支の境界条件を与えて、 $A = (\lambda/d) / (\phi \sigma T_H^3) \gg 1$  の場合について近似的に求めた。ここで  $\lambda$ ,  $d$  : 平板の熱伝導度および厚さ、 $\phi$  : 総括吸収率、 $T_H$  : 加熱面温度である。平板枚数の非定常輻射伝熱に及ぼす影響は下層の平板において顕著に現れる。 $A = 50$  の解は  $A = \infty$  の解 (各平板内の温度分布を無視した場合に相当する) と殆んど差異がない。

実験アルミニウム、ステンレス、不透過黒鉛の3種の平板に対して行った。実験結果は  $A = \infty$  とした第1近似による数値計算と全般に良く合っているが、平板3枚の実験では低温部において計算結果よりやや早い立ち上がりを示した。

## 6) 分子線による気体と固体表面の干渉

(名大工)古 屋 善 正

(三重大工)藤 本 哲 夫

(名大工)林 農

希薄気体中におかれた物体からの熱伝達、またこれに働く力の問題を扱うとき、気体分子の固体面上での挙動がわかれば最も詳細な解析が可能となる。本研究は分子線を発生し、それを金属面にあて、散乱された分子の分布を測定し、その結果を単純なモデルを使って整理した。

第1図は実験装置の概略図であり、資料気体(アルゴン、窒素)は音速ノズルを通して噴流となり膨張し希薄な状態となる。これをスキマー、オリフィスによって分子線とし、試験室に導き、そこにおかれた標的面にあてる。反射分子束はよどみ型の検出器によって測定された。試験室の圧力は作動状態で $10^{-8}$  mmHgである。

Ni 標的面における散乱分子束分布の測定例を図1に示した。(a)図は実験前に大気にさらされた面に関するもので、 $20\sim 500$  °Cでは散乱反射であるが、長時間 $600$  °Cに保つと非散乱反射になることを示している。(b)図に見られるように、一度 $600$  °C以上に加熱された標的では $200$  °C以上で強い非散乱反射があらわれる。この強い散乱反射について表面温度、分子線の入射角 $\theta_i$ を種々に変えて測定を行った結果、反射分布束 $I_r$ はNocilla 模型<sup>(1)</sup>によって表現され

$$I_r = \frac{\exp(-S_r^2)}{\pi X(\sigma)} \cos \theta \{1 + F(x)\}$$

$$X = S_r (\sin \theta_r \sin \theta + \cos \theta_r \cos \theta)$$

$$\sigma = S_r \cos \theta_r, \quad X(\sigma) = \exp(-\sigma^2) + \sqrt{\pi} \sigma (1 + \operatorname{erf} \sigma)$$

で与えられることがわかった。ここで  $\theta$  は面法線から測った角度（検出方向）で、 $S_r$ 、 $\theta_r$  は実験的にきめられるパラメーターである。

測定結果より、アルゴン-ニッケルに対しては、

$$S_r = 0.716 \theta_i, \quad \theta_r = 0.530 \theta_i - 0.00114 T_s + 1.326$$

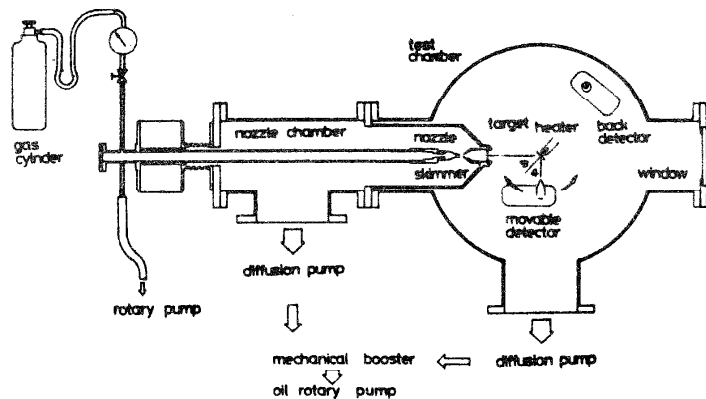
また、窒素-ニッケルに対しては

$$S_r = 0.715 \theta_i, \quad \theta_r = 0.438 \theta_i - 0.0072 T_s + 1.089$$

という関係を得た。

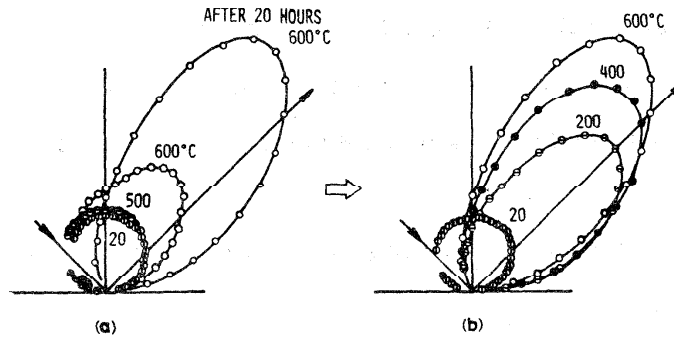
### 参考文献

- (1) Nocilla, S., The Surface Re-Emission Law in Free Molecule Flow, Proceeding of the 3rd Symposium on Rarefied Gas Dynamics, (ed. J. A. Laurmann), Academic Press, (1963) 327.



第 1 図





第 2 図

7) ボルテックスチューブに関する研究

(水蒸気を用いた場合のエネルギー分離性能)。

(名大工)高 浜 平七郎

\* (名大工)加 藤 征 三

(名大工)河 村 釣

(名大大学院)横 沢 肇

ボルテックスチューブ (V・T) に関する従来の研究の大部分は、作動流体として理想気体に近い性質をもつ空気に対するものであり、蒸気とくに飽和域に近い蒸気に関する研究は極めて少なく、汽力発電ユニットの迅速起動などへの応用のための実用的設計資料を提供するまでにはいたっていない。

本研究は、水蒸気を用いた V・T のエネルギー分離に関する総合的な性能実験を系統的に行って、その利得エネルギーを含む一般的な性能評価基準、整理法、最適条件などを明らかにしたものである。とくに供給蒸気を高過熱域から湿り域まで変化させて、そのエネルギー分離に及ぼす影響を調べ、空気の場合と異なり分離性能が著しく変る領域のあることを明らかにした。

水蒸気を作動流体とする V・T の製作は、高過熱水蒸気の物性値が空気に

比較的近い点を考えて、空気に対する設計条件に基づいた。

実験は、理想気体と見なしうる乾燥空気とエネルギー分離しない水分を含む湿り蒸気を性能評価の基準流体と考えると、主に供給蒸気の過熱度  $D \cdot S \cdot H$  を広範囲に変化させて行った。

図 1 は、供給流量  $G_t = 60 \text{ Kg/h}$  一定にして過熱度を変えた場合のエネルギー分離性能特性を示す。ここで縦軸の  $\xi$  は利得（正）および減損（負）のエネルギー流量をノズルにおける噴流の運動エネルギー（いわば  $V \cdot T$  の動力）に対する比として表わした分離性能であり、横軸の  $\xi$  は供給全流量に対する低温側流出流量の比である。この  $\xi$  なるパラメータを用いると、 $D \cdot S \cdot H \geq 15^\circ \text{C}$  の蒸気では過熱度に依らず利得・減損双方のエネルギー共に同一の曲線で整理でき、しかも空気に対する値とも一致している。 $\xi = 0.6 \sim 0.7$  で  $\xi$  の絶対値が最大となり、ノズル噴流エネルギーの 70% 程度を利用することができる。また、 $\xi$  によって全流量や  $V \cdot T$  以降の管路流出抵抗にも依らず、前述の曲線で整理できることもわかった。

一方、 $D \cdot S \cdot H < 15^\circ \text{C}$  になると分離性能は著しく低下し、湿り蒸気では分離がほとんど認められない。これは、ノズル出口で湿り域に入ると蒸気中の水分の大部分が環状流域へ運ばれて蒸発潜熱のためエンタルピー増加が抑制されると共に、逆流域で凝縮した水分が再び環状流域へ遠心力で放出されるので逆流域も  $V \cdot T$  効果を阻害するためと考えられる。なお、このエネルギー分離が生ずる限界のノズル出口における蒸気の乾き度は 0.983 以上であることがわかった。

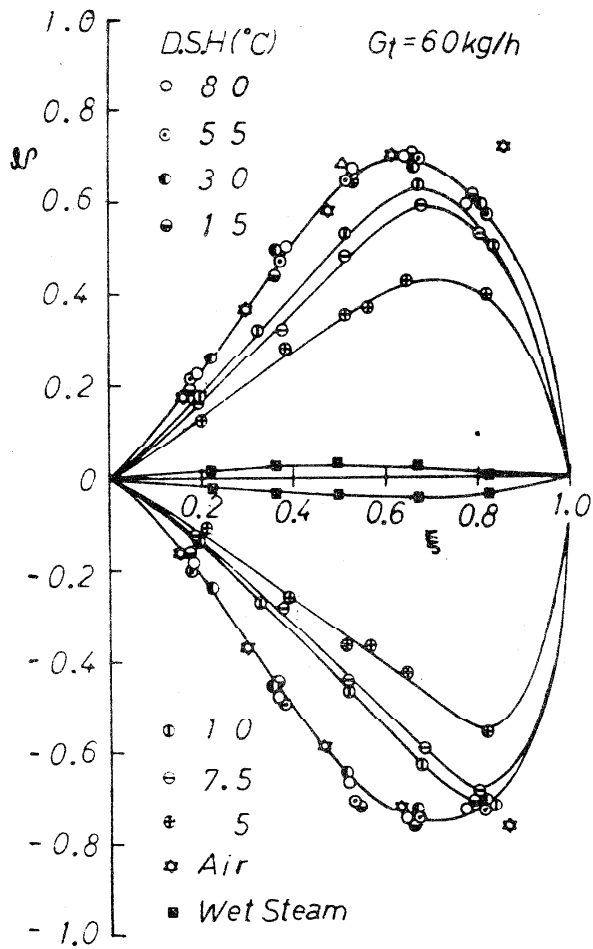


図 1. 水蒸気のエネルギ分離性能

## 8) Kármán 渦列中に置かれた円柱からの熱伝達

(岐阜大・工・機) 梶和田 宗彦

(          #          ) 馬 淵 幾 夫

(松 下 電 工) 田 口 辰 久

本研究は、前方円柱径が後方円柱径より小さい、いわゆる異径直列2円柱の場合において、熱伝達増進と抵抗の減少が期待できる後方円柱に注目し、ナフタリン昇華法による物質伝達実験により、その局所および平均熱（物質）伝達特性を明らかにしたものである。

また、2円柱間の相互干渉および後方円柱まわりの流れ場と熱伝達特性との関連を明らかにするため、油膜法と色素法による可視化、円柱表面静圧測定、熱線風速計による円柱表面近傍および near wake の平均および変動速度やストローハル数の計測を行った。

なお実験範囲は  $d_1/d_2 = 5/38$ 、 $10/38$ 、 $15/38$ 、 $20/38$ 、2円柱間の間隙は  $x^*/d_1 = 0.5 \sim 30.0$ 、 $Re d_2 = (2 \sim 8) \times 10^4$  である。

その結果、以下のことがわかった。

同径直列2円柱の場合に知られている Jump 現象（2円柱間隙を増加させていくと、突然2円柱間でせん断層の巻き込みが始まる流れの急変）が異径直列2円柱の場合にも発生し、その Jump 間隙は図1に示すようになる。

後方円柱の  $C_p$ 、 $Sh$  分布は（図2(a)、(b) Jump 前においては単独円柱と大きく異なり、 $\theta \cong 30^\circ$ に極大値をもつ分布となっている。Jump 後では主流乱れを与えた場合とか、Vortex Generator を円柱に取付けた場合にみられる乱流はく離的分布が  $C_p$ 、 $Sh$  の双方に現われている。

後方円柱の平均熱（物質）伝達率の評価に関する実用上の整理法を図3に示す。間隙により多少異なるが単独円柱（図中●印）よりも約30%高い。

$d_1/d_2 \sim 0.1$  の直列2円柱では、前方の小円柱はTurbulence Promotorとして抵抗の減少と熱伝達の増進をはかることができる。

また、異径比と狭い間隙のある組み合わせにおいて、Switch Flow(S.F.)、Flip Flap Flow(F.F)と名付けた2つの不安定な流れが発生する。  
(ここで、 $X_{cr}^*$ 、 $X_{max}^*$  はそれぞれJump間隙、平均Nu(Sh)の最大値を与える間隙)

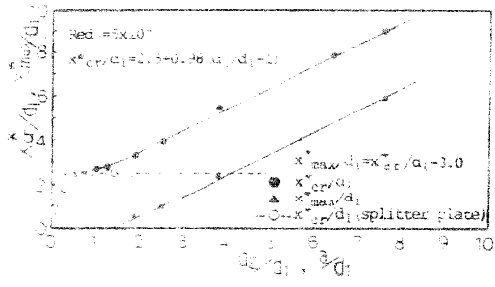


図1 Jump 間隙

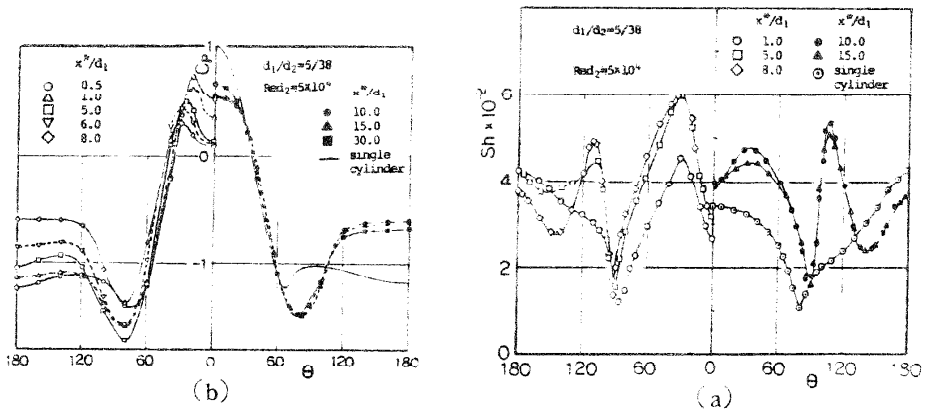


図2  $C_p$  分布と局所シャウド数分布

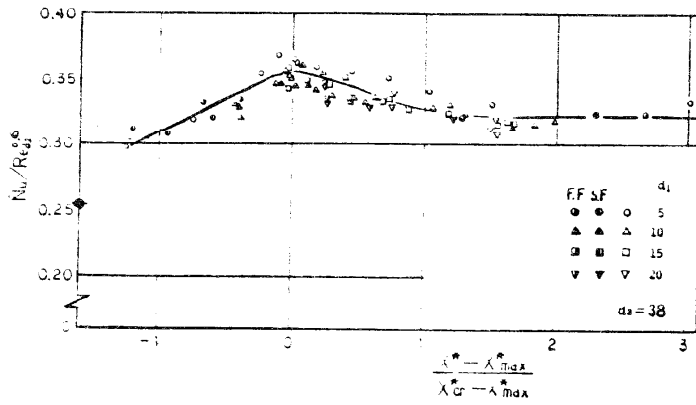


図3 後方円柱の平均ヌセルト数の実用上の整理

## 東北研究グループ

日時 昭和51年5月15日(出) 10:40～17:30

場所 東北大学工学部機械系6番教室

講演

- (1) 噴霧気流中におかれた楔面からの熱伝達  
相原利雄(東北大・速研) 多賀美代蔵(三菱石油)  
原口忠男( " )
- (2) 圧力急減下の過渡熱流動に関する研究  
熊谷明 鯉淵浩(東北大・工院)  
戸田三朗(東北大・工・原子核)
- (3) 剝離と再付着を伴う鈍い前縁を有する円柱まわりの軸対称流れにおける熱伝達  
太田照和 金仲彦 八木達男 渡辺健三(秋田大・鉾山・機械)
- (4) 偏心二重曲管の熱伝達特性(第一報 流れ場について)  
武山斌郎(東北大・工・機械) 渡辺裕(東北大・工院)
- (5) 鏡面および乱反射する曲面を持つ壁面間のふく射伝熱の解析  
増田英俊(東北大・速研)
- (6) 引上げ凝固法によるAl単結晶の形状制御に関する研究  
梅宮弘道(山形大・工・精密) 田副彰三(山形大・工院)  
小沢 誠( " )
- (7) アルミニウムの凝固速度とマクロ組織との対応 — 第2報 —  
梅宮弘道 奥山恵寿 甲野藤俊(山形大・工・精密)  
片山功蔵 服部 賢(東工大)
- (8) 無限長楕円柱の熱伝導に関する研究

佐藤鎌三（東北大・機械）

(9) 混合ガスの分離過程における霜状析出層の有効熱伝導度

河村文雄 嶋田時男（東北大・工院）

山川紀夫 大谷茂盛（東北大・工・化工）

(10) 回転円柱まわりの温度境界層の剥ぎとりと熱伝達の光学的実験

鳥田了八 大内雅樹 武山斌郎（東北大・工・機械）

(11) 水平なヘリカルコイルからの自然対流熱伝達

坪内為雄 藤田尚毅（東北学院大・工・機械）

金 正俊（東北学院大・工院）

(12) 相変化をとともう限定空間の熱伝達（続報）

熊谷 哲（東北大・工院） 武山斌郎（東北大・工・機械）

海野 治（東北大・工・機械）

(13) 人工涵養法による帯水層の蓄熱利用

横山孝男 梅宮弘道 佐々木 隆（山形大・工・精密）

(14) 二次凍結問題の研究

斎藤武雄（東北大・工・機械第二）

1) 噴霧気流中の楔面からの熱伝達（第1報）

（東北大・速研）相原利雄

（三菱石油） 多賀美代蔵

（東北大・速研）原口忠男

伝熱工学的見地からすれば、エネルギーの有効利用の為には、伝熱媒体と物体間の温度差と媒体輸送に要する動力とが、いずれも出来るだけ小さいこと



が望ましい。このような要求を満たす手段の一つに、気流中に液滴を懸濁せしめた噴霧気流による冷却法がある。本報では、壁面に沿う主流に圧力勾配があり、かつ水滴の壁面衝突が活発で、幾何学的に簡単な形状であると言う観点から、熱流束一様の楔面を取り上げ、伝熱面上での効果的な液膜生成をねらって、比較的大径滴（体面積平均径 $98\sim 139\mu$ ）を懸濁せしめた水-空気2成分系の2次元噴流のポテンシャルコア内で実験を行った。供試伝熱面は、長さ $260\text{mm}$ の平行尾部を有する楔状物体（頂角 $35^\circ 52'$ 、幅 $703\text{mm}$ 、楔面長さ $95\text{mm}$ ）に $30\mu$ ステンレス箔を密着せしめ、通電加熱したものである。平均噴口速度 $\bar{U}_j=3\sim 9\text{m/s}$ 、熱流束 $=350\sim 15300\text{kcal/m}^2\text{h}$ 、伝熱面温度 $<60^\circ\text{C}$ の実験から下記の結果が得られた。

(1) 单相時（空気のみ）の境界層外縁速度 $U_\infty$ の分布は、衝突噴流のポテンシャル理論（著者の数値計算による）にかなり近い値を示す。

(2) 主流乱れ $16\sim 17\%$ の单相時の局所熱伝達率 $h_{x(1)}$ について、 $Re_x (= U_\infty x/\nu_a)$ が $10^3\sim 6\times 10^4$ の範囲で次の実験式を得た。

$$\frac{x h_{x(1)}}{\lambda_a} = 0.424 Re_x^{0.5} (0.939 + 1.04 \times 10^{-3} Re_x^{0.5})$$

ここで $X$ は楔先端からの距離、 $\lambda_a$ と $\nu_a$ は空気の熱伝導率と動粘度である。

(3) 質量混合比（ローディング比）が $5\times 10^{-4}\sim 3\times 10^{-2}$ 程度の微量の水滴懸濁によって、噴霧気流時の局所熱伝達率 $h_{x(2)}$ は、单相時の $h_{x(1)}$ の $2\sim 14$ 倍に増大することが出来る。

(4) 関連諸因子の影響の程度を調べるため1st order estimationを行ない、測定値に比較的近い結果を得た。

## 2) 圧力急減下の過度熱流動に関する研究

(東北大・工・原子核) 熊谷 明 鯉淵 浩 戸田三朗

Blow-down 時の熱伝達については十分に把握されていない点が多い。本研究は軽水ループの一部の瞬時破断を模擬してこれを実現し、過渡時に対して Jens-Lottes 式と Schrock-Grossman 式の評価を行うと共にこの時の熱水挙動の基礎データを得ようとするものである。

ループの試験部は内径 $28\text{mm}$ のバイレックスガラスであり、発熱体は $\phi 10$ 、肉厚 $0.5\text{mm}$ 有効発熱長さ $300\text{mm}$ の SUS パイプである。実験は系圧力 $P = 6\text{ kg/cm}^2\text{a}$  流速 $U_1 = 0.5 \sim 4\text{ m/sec}$ 、サブクーリング $\Delta T_{\text{sub}} = 70 \sim 5\text{ deg}$ 、初期熱流束 $q_0 = 1 \sim 2 \times 10^6\text{ kcal/m}^2\text{h}$  に設定され、破断後の試験部入口出口の水温 $T_i T_o$ 、入口出口の圧力 $P_i P_o$ と流速 $U_1$ 、発熱体壁温 $T_w$ をそれぞれ電磁オンログラフとペンレコーダに同時記録した。

結果を $\Delta T_{\text{sub}}$ で $P_o$ を整理すると図1のごとくである。破断直後の圧力降下は $\Delta T_{\text{sub}}$ が大きい程顕著に現れるが、気泡発生による圧力回復が急減時の圧力伝播より遅いので回復も遅れる傾向にあり、減圧速度は流出した体積流量に依存するので $\Delta T_{\text{sub}}$ が大きく quality が正になり得るような場合は所有エンタルピーが高く、それが系内の圧力を高く保つ原因となる。一方初期設定流速で整理した場合には、破断後の圧力降下速度に違いは明確に現れなかった。

図2は流速と quality の変化を $\Delta T_{\text{sub}}$ で整理したものであるが、Blow-down 中も $U_1$ は初期設定値をほぼ保ってはいるが、quality が正に接近して来た時のサブクール領域で著しい変動を起すことが示された。これは表面核沸騰によって生成合体した気泡が発熱部を離脱した後に急速に凝縮することによる流速変動が大きく寄与しているものと考えられる。 $\Delta T_{\text{sub}}$

が小さくて Blow-down 中に過飽和になり、流出が臨界流の場合には変動が小さくなる。

破断後、Subcooled Blow-down を持続する場合と、系圧力の降下により途中から Saturated Blow-down に遷移する場合とが観察された。以下で実験値の熱伝達率というのは熱流束を平均水温  $\Delta T = T_w - \left(\frac{T_i + T_o}{2}\right)$  で除した値である。 $\Delta T_{sub}$  で整理した図 3 から、サブクーリングが小さくなるに従って Jens-Lottes 式からの熱伝達率が大きくなる方にずれて来るのが判別できる。 $\Delta T_{sub}$  が 30, 15 deg の時は途中から飽和沸騰に遷移したのであるが、このように  $\Delta T_{sub}$  が小さいような範囲に対しては Jens-Lottes 式を非定常の熱伝達の評価に適用するのは不適當であると思われる。本実験では破断後もポンプを稼動し続けているが、サブクーリングの大きな場合には初期流速を変えて整理しても Jens-Lottes 式からの熱伝達率と実験値は良い一致を示した。

Saturated Blow-down での熱伝達率に Schrock-Grossman 式を適用して  $\Delta T_{sub}$  で整理したのが図 4 である。↓印は飽和への遷移点を示したもののだが、Schrock-Grossman 式からの結果は実験値よりも小さな値で得られた。 $\Delta T_{sub}$  が小さい方が熱伝達率が大きい、これは quality が増加する流動様式へ移行するにつれて、強制対流伝熱より沸騰による伝熱効果の方が支配的になることを示すものであり、この熱伝達率の増加は DNB 発生がない場合、環状流の終期まで続く。

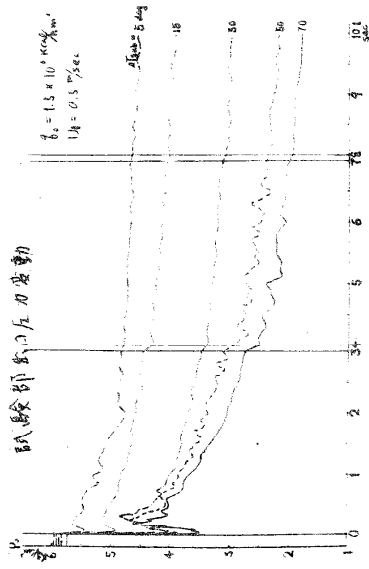


図 1

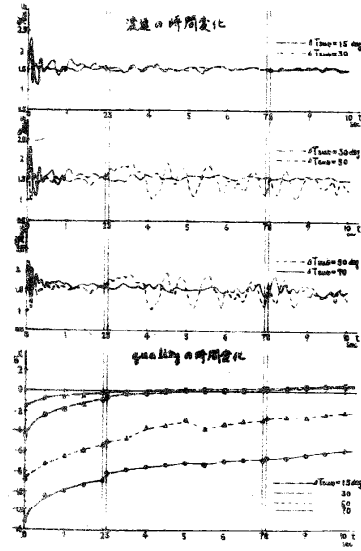


図 2

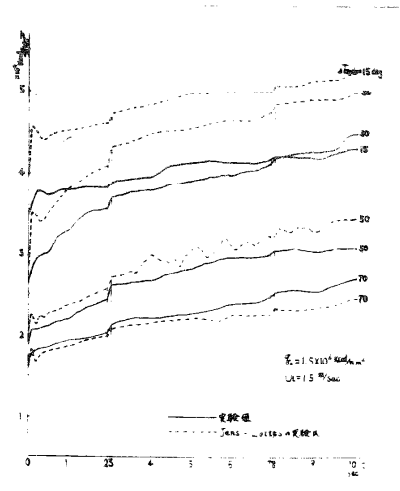


図 3

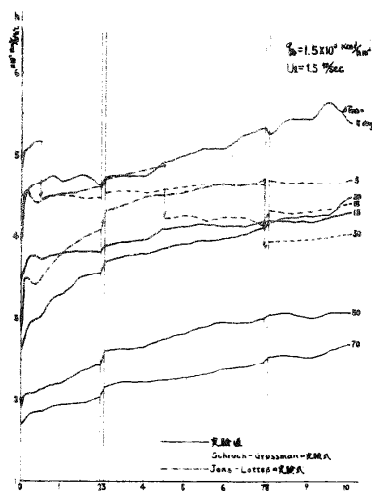


図 4

参考文献

小沢由行ら " 非定常減圧沸騰に関する研究 "

東工大 第911回日本伝熱シンポ

3) 剝離と再付着を伴う鈍い前縁を有する円柱まわりの軸対称流れにおける熱伝達

(秋田大・鉦山・機) 太田照和 金 伸彦

(元秋田大学生) 八木達男 渡辺健三

物体表面からいったん剝離した流れが再び付着するような流れは、断面が急激に変化する流路、突起を有する平面、鈍い物体など多くの場合にみられ、流れのみならず熱伝達に関しても数多くの研究がなされてきている。しかしながらこのような剝離と再付着を伴う軸対称あるいは三次元物体まわりの流れにおける熱伝達に関するものはきわめて少ない。このような観点から、本研究は前縁から剝離し、そして再付着する鈍い前縁を有する円柱まわりの軸対称流れに関し、剝離域内部、再付着領域さらには再付着後の境界層発達領域における円柱表面からの熱伝達特性、速度場そして温度場を実験的に明らかにしようとしたものである。

実験には、加熱面として50μのステンレス板をはりつけた、直径38mm、長さ504mmの円柱を使用し、熱流束一定のもとで実験を行った。その結果を図1に示す。熱伝達率は剝離域内部から再付着領域にむかい急激に増加し、レイノルズ数には依存せず前縁から円柱直径のほぼ1.4倍下流の位置で最大値をとり、その後下流にむかい単調に減少している。再付着点および再付着点下流の境界層発達領域における熱伝達率を、鈍い前縁を有する平板まわりの一次流れにおける結果(1)と対比し、二次元流れと軸対称流れの間には強い相似性のあることが明らかにしてある。また温度場の発達の様相を明らかにし、さらに速度場の発達を非加熱の場合に対する結果(2)と対比しながら検討している。

文献

- (1) T. Ota and N. Kon, J. Heat Transfer, Trans. ASME, Ser. C Vol. 96, 1974, PP 459 ~ 462.
- (2) T. Ota J. Appl. Mech., Trans. ASME, Ser. E, Vol. 42, 1975, pp. 311 ~ 315.

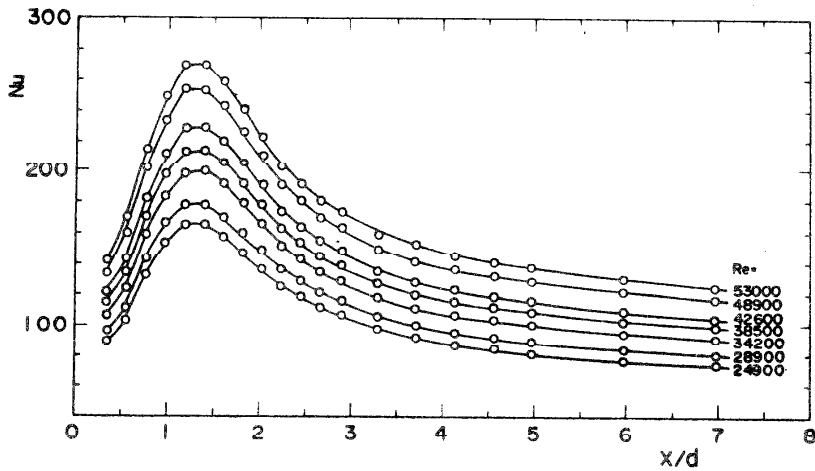


図1 熱伝達率分布に及ぼすレイノルズ数の影響 ( $q=1700 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ )

4) 偏心二重曲管の熱伝達特性 (第1報 流れ場について)

(東北大・工・機) \* 渡辺 裕

( " ) 武山 斌郎

二重管型熱交換器の形状は、多種多様であり、ほぼ基礎研究段階では完成の域に達しているといえる。しかし二重曲管型の熱交換器に関しては、実用例があるにもかかわらず、研究面では未だ知見していない。

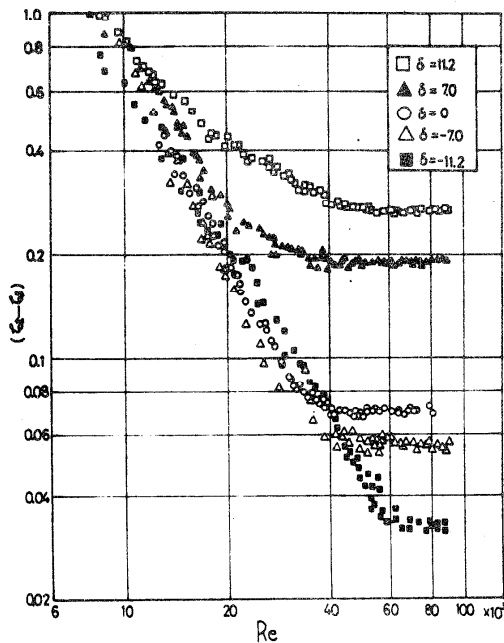
本研究では、実験的に製作の容易である二重管式の  $180^\circ$  戻り管を製作し、曲り部分に生じる二次流れが熱伝達にどのような影響を持つかを実験的に解

明することを目的とする。

その第一段階として、外管内径 38.4 mm の引抜真鍮管と内部外径 16.0 mm のベークライトパイプ、曲り部の曲率半径 190 mm の実験装置を用いて、180° 曲り部の抵抗係数を求めてみた。

曲管部では、流路長さが約 0.6 m と短いため、伊藤(1)による整理方法に準じた  $(\zeta_t - \zeta_s)$  の形の抵抗係数が測定可能であった。

結果を、偏心量  $\delta$  をパラメータとして図に示す。 $(\zeta_t - \zeta_s)$  の値は、レイノルズ数の上昇と共に減少して、それぞれ漸近値を持つようになった。この傾向は、内管が存在しない場合と同じである。それぞれの漸近値は、偏心が内側から外側へ向かうにつれて大きくなっており、一番内側と外側とでは約 10 倍の差があらわれた。この抵抗係数の大小に関連した熱伝達の関係が興味あるところであるが、今後の研究結果を待たなくてはならない。



偏心二重曲管の抵抗係数

## 5) 鏡面および乱反射する曲面を持つ壁面間のふく射伝熱の解析

( 東北大・速研 ) 増田英俊

固体壁曲面間のふく射伝熱で、反射を鏡面反射、または鏡面反射と乱反射の合成  $\rho = \rho^s + \rho^d$  ( $\rho$  は反射率、 $\rho^s$  および  $\rho^d$  はそれぞれ反射率の鏡面反射と乱反射の成分) と仮定した解析がこれまでにいくつか行われている(1)~(3)。しかし曲面間の問題に鏡面反射を取り入れたそれらは、いずれも応用はごく特定な場合に限定されるとか、多重反射を考慮すると計算はきわめて複雑といったものである。前報(4)では、平面間のふく射伝熱の解析で、ふく射強さに対して基礎式(厳密式)を立て、あるいはその近似式を導いて解を求めるといふ従来と比べて比較的容易な解法を示したが、本報ではそれを曲面間の問題に拡張した。さらに  $\rho^s/\rho \approx 1$  に対する近似式、および  $0 \leq \rho^s/\rho \leq 1$  間で成り立つ概算式も導いた。

数値計算例として同一径で無限長の平行円柱、無限長で平行な円柱と平板および両端開放の円管内壁の各伝熱系についてそれぞれの解を求めて比較を行った。図1は円管内壁の系で、内壁温度  $T_w$  とふく射率  $\epsilon$  は面上で一様、周囲外界は絶対零度として求めた局所熱流束  $q$  の厳密解と近似解の比較を示す( $\sigma$  はステファン・ボルツマン定数)。表1は上記の数値解(厳密解と近似解)から得られる内壁上の平均熱流束  $q_m$  および概算式から得られる概算値の比較である。これらの例からわかるように  $\rho^s/\rho \approx 1$  で本近似解は高精度が期待できる。また概算値もある場合を除いておおむね好結果が得られる。

### 文献

- (1) Perlmutter, M. and Siegel, R., Trans. ASME, Ser.C, 85(1963)

55.



- (2) Sparrow, E. M. and Lin, S. H., *Int. J. Heat & Mass Transf.*, 8 (1965), 769.
- (3) Burkhard, D. G., ほか2名, *Int. J. & Mass Transf.*, 16 (1973), 271.
- (4) 増田, 第12回日本伝熱シンポジウム講演論文集(昭50), 485.

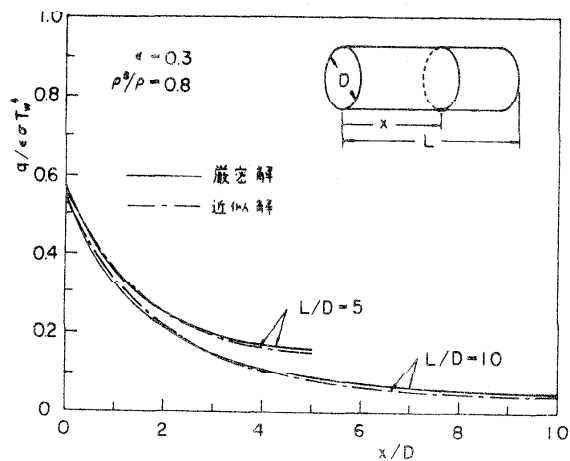


図1 円管内壁の局所熱流束

表1 円管内壁の平均熱流束  $q_m/\epsilon\sigma T_w^4$  の比較 ( $\epsilon = 0.3$ )

$\rho^s/\rho$	厳密値	概算値	近似値	$\rho^s/\rho$	厳密値	概算値	近似値
1.0	0.2657	0.2748	0.2657	1.0	0.1479	0.1522	0.1479
0.9	0.2652	0.2741	0.2649	0.9	0.1448	0.1519	0.1452
0.8	0.2635	0.2734	0.2631	0.8	0.1412	0.1515	0.1422
0.7	0.2608	0.2728	0.2607	0.7	0.1375	0.1512	0.1393
0	0.2331	0.2681	—	0	0.1131	0.1489	—

(a)  $L/D = 5$

(b)  $L/D = 10$

## 6) 引上凝固法によるAl単結晶の形状制御に関する研究

(山形大工) 梅宮弘道 田副彰三

小沢 誠

半導体用単結晶製作に使われるCZ法、FZ法では、より高純度、完全な結晶が要求されるようになったため、結晶の直径変動が問題となっている。直径制御には、(1)赤外線検出を持ったコンピュータ制御によるもの、(2)重量比較法、(3)レーザ法により液面の曲りを検出して行うものなどがある。本研究では、低融点のAl単結晶を使い、CZ法により引上棒および融液2点での温度を境界条件として、ML法による数値計算で、固液界面の移動方向・速度を計算し、引上速度を制御して直径を制御しようとするものである。それによると固液界面の移動方向によって直径の増・減の傾向が判断でき、その速度に対して引上速度を適当に制御し、固液界面の位置を一定に保てば、直径制御が可能であることがわかった。

## 7) アルミニウムの凝固速度とマクロ組織との対応 第2報

山形大工 梅宮弘道 東工大 片山功蔵

" 奥山恵寿 " 服部 賢

" 甲野藤俊

鑄造・ダイキャストなどにおいては、どのような凝固過程をたどるかによ  
り、製品の品質が異なってくる。金属の凝固過程において、凝固速度と組織  
との対応を研究することは重要な課題である。著者らは、これまでSn(99.9  
%)およびAl(99.99%)を用いた凝固実験を行ない、i)凝固過程の温度場

は十分な精度で解析することができる。ii) マクロ組織数は、固液界面のエントロピー生成率に密接な関係がある。ことを明らかにした。

本報告では、純Alの半球1次元凝固実験および理論解析を行ない、次のような結論を得た。

- i) 固液界面に中間相を想定することにより、過冷度を定量的に把握することができる。
- ii) 中間相モデルによる解析結果と実験結果は定性的に良い一致を示し、本論文の基本的考え方を肯定する結果が得られ、凝固相マクロ組織は、熱揺動による核生成によって増加することが明らかになった。
- iii) 凝固相内マクロ組織分布は、凝固過程における冷却曲線より推定することができる。

8) 無限長楕円柱の熱伝導に関する研究(任意の初期温度分布を有する楕円柱の表面から温度零の媒質に熱放散が行なわれる場合)

(東北大・工・機械) 佐藤謙蔵

板・棒・円柱・球などに関する熱伝導問題は、従来多くの研究者によって取りあげられ基礎的な問題については、ほぼ完成されているように思われる。しかしながら、楕円柱は応用上基礎的なモデルであるにもかかわらず、その熱伝導問題を扱った研究として、筆者は6編の報告をあげることができるのみであり、いまだに未解明の部分が多い。これら6編の文献のうち、Kogan<sup>(1)</sup>は任意の初期温度分布を有する楕円柱の表面から温度零の媒質に熱放散が行なわれる場合の無限長楕円柱の非定常熱伝導問題を、Galerkinの近似解法に基づいて解いた。

本研究は、Kogan<sup>(1)</sup>の問題を近似解法によらず正確な解法によって解いたものである。正確な理論展開を行なうためには、直交座標(x, y)と  $x = c \cosh \xi \cos \eta$ ,  $y = c \sinh \xi \sin \eta$  ( $2c =$ 焦点間距離)なる関係を有する楕円座標( $\xi, \eta$ )を導入する。そのとき、非定常熱伝導方程式、境界条件、初期条件は、次のように表わされる。

非定常熱伝導方程式：

$$\partial^2 \theta / \partial \xi^2 + \partial^2 \theta / \partial \eta^2 - (c^2 / 2\kappa)(\cosh 2\xi - \cos 2\eta) \partial \theta / \partial t = 0 \quad (1)$$

$$\text{境界条件：} \quad \partial \theta / \partial \xi + h \theta = 0 \quad (2)$$

$$\text{初期条件：} \quad \theta(\xi, \eta, 0) = f(\xi, \eta) \quad (3)$$

ここに  $\theta(\xi, \eta, t) =$ 温度、 $\kappa =$ 温度伝播率、 $t =$ 時間、 $h = \alpha / \lambda$ 、 $\alpha =$ 熱伝達係数、 $\lambda =$ 熱伝導率、 $2\ell_1^2 = c^2(\cosh 2\xi - \cos 2\eta)$ である。なお  $\ell_1 \theta \xi$  は、楕円の法線方向に沿う微小弧の長さである。本研究は、数学的には、条件式(2)(3)のもとに、微分方程式(1)を解くことである。式(1)の解は初期温度分布が楕円の長・短軸に対称な場合、

$$\theta(\xi, \eta, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_{2n} \text{Ce}_{2n}(\xi, q) \text{ce}_{2n}(\eta, q) \exp^{-\kappa \nu^2 t} \quad (4)$$

ここに  $\text{ce} =$ マシュー関数、 $\text{Ce} =$ 変形マシュー関数、 $q = \nu^2 c^2 / 4$ 、 $\nu =$ 定数、 $C =$ 積分定数、式(4)を式(2)に代入し、マシュー関数の直交性に着目すれば、 $C$ に関する無限連立一次方程式を得る。それより  $C$ を消去すると無限行列方程式の形式で固有値を決定する特性方程式を得る。

$$\begin{vmatrix} e_{00} & e_{01} & e_{02} & e_{03} & \dots & \dots & \dots \\ e_{10} & e_{11} & e_{12} & e_{13} & \dots & \dots & \dots \\ e_{20} & e_{21} & e_{22} & e_{23} & \dots & \dots & \dots \\ e_{30} & e_{31} & e_{32} & e_{33} & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} = 0 \quad (5)$$

ここに

$$e_{np} = hcCe_{2p}(\xi_0, q)\delta_{np} + \sqrt{2}\left\{\sum_{j=0}^{\infty} L_{2j}(2\xi_0)\psi_{2p, 2n}^{(j)}(q)\right\}Ce_{2p}'(\xi_0, q), n, p = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

ここでLは、ガウスの超幾何関数を含む関数であり、 $\psi$ はマシュー関数のフーリエ係数からなる関数である。式(5)の根である固有値を用いて、初期条件式(3)を満足する本問題の最終解は

$$\theta(\xi, \eta, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{\int_0^{\xi_0} \int_0^{2\pi} (\cosh 2\xi - \cos 2\eta) \tau_m(\xi, \eta; q_m) f(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\int_0^{\xi_0} \int_0^{2\pi} (\cosh 2\xi - \cos 2\eta) \{\tau_m(\xi, \eta; q_m)\}^2 d\xi d\eta} \right\} \tau_m(\xi, \eta, q_m) \cdot \exp^{-\kappa \nu_m^2 t} \quad (7)$$

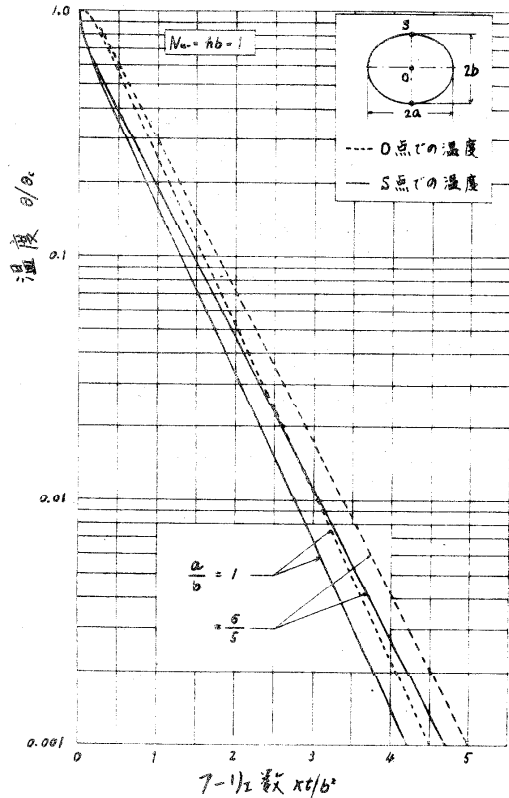
ここに

$$\tau_m(\xi, \eta; q_m) = \sum_{p=0}^{\infty} \gamma_{2p}(q_m) Ce_{2p}(\xi, q_m) ce_{2p}(\eta, q_m), m=1, 2, \dots \quad (8)$$

式(7)で  $f(\xi, \eta) = \theta_c (= \text{一定})$  とおくと、一定の初期温度分布を有する場合の解となる。この場合ヌセルト数  $Nu = hb = 1$  として、フーリエ数  $\kappa t/b^2$  と楕円の中心軸上(0点)および短軸上の表面(S点)での温度  $\theta/\theta_c$  との関係

を計算した。得られた結果を楕円の縦横比  $a/b = 1$  (円) と  $a/b = 6/5$  の場合を比較して図に与えた。これらのグラフは、Koganが与えたグラフと同じ傾向を有する。

最後に、本研究の御指導にたいして東北大学工学部機械工学科の斎藤秀雄教授に感謝の意を表わ



す次第である。

- (1) Kogan, M. G., Heat conduction in an elliptical cylinder, Journal of Engineering Physics, 17(1972), 1535-1540.

9) 混合ガスの分離過程における霜状析出層の有効熱伝導度

(東北大・工・化工) 河村文雄 嶋田時男

山川紀夫 大谷茂盛

混合ガスの分離、精製過程などに結霜現象を利用する方法があり、特に原子炉用燃料ウランの遠心分離法による濃縮、精製過程に応用され注目を浴びている。しかしながら結霜過程における熱および物質移動機構に関しては未だ不明の点が多い。

本研究では空気・六フッ化硫黄( $\text{SF}_6$ )系あるいは空気・二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )系混合ガスを冷却した水平平板上に流し、その面上に $\text{SF}_6$ あるいは $\text{CO}_2$ を析出させ、かかる場合の熱および物質移動機構を解明することを目的として霜状析出層の有効熱伝導度 $\lambda_f$ を実験的に求め、さらに著者らが先に空気・水蒸気系において提案した $\lambda_f$ の推算報<sup>1)</sup>がかかる系における析出層の有効熱伝導度の推算にも適用できるかどうかを検討した。

実験結果によると析出層の密度 $\rho_f$ および有効熱伝導 $\lambda_f$ については $\text{SF}_6$ および $\text{CO}_2$ 両系においてそれぞれ時間の経過とともにほぼ直線的に増加するが、その増加率は徐々に減少する。また両系とも $\lambda_f$ と $\rho_f$ の間にはそれぞれ相関関係があると認められるが、 $\lambda_f$ は層内固体部における伝導伝熱のほか<sup>1)</sup>に空隙部における物質の拡散・凝固に伴なう潜熱移動の影響を受けるため $\lambda_f$ は単に $\rho_f$ のみで相関することは出来ない。著者らは先に霜層の $\lambda_f$ に関して層

内での物質移動による潜熱移動をも考慮し(1)式を提案した。

$$\lambda_f = \alpha_0 \cdot m \pi r^2 \cdot \lambda_i + (1 - m \pi r^2) D \cdot L H \cdot K O \cdot K_1 (e^{\epsilon t_f} - e^{\epsilon t_w}) / (t_f - t_w) \quad (1)$$

ここで右辺第1項は層内固体部における伝導伝熱の項、第2項は層内での物質移動による潜熱移動の項であり、また $\alpha_0$ は層内固体部における熱流の屈曲などを考慮した伝導伝熱に対する補正項である。また $\lambda_i$ は析出層固体そのものの熱伝導度である。そこで(1)式が本実験の系に対しても適用できるかどうかを検討した。まず最初に $SF_6$ および $CO_2$ の固体そのものの $\lambda_i$ を別途測定して求め、実験データを用いて $\alpha_0$ を算出した結果、本実験の範囲内では $\alpha_0$  ( $SF_6$ 系) = 0.785 また  $\alpha_0$  ( $CO_2$ 系) = 0.465 である。さて図1には両系において(1)式を用いて推算した $\lambda_{fcal.}$ と実測の $\lambda_{fexp.}$ との比較を示した。

両系ともプロットは多少バラついてはいるが比較的良い一致を示し、かかる混合ガス系に対しても本推算法を用いてある程度の推算が可能なものと思われる。しかしながら本推算法では層内固体部における伝導伝熱に対する補正項 $\alpha_0$ を用いているとは言え、その機構には全く触れていないなど問題を残している。(以上の詳細については第13回日本伝熱シンポジウム前刷集P196を参照されたい。)

文献(1) 山川、大谷：化学工業，36，197(1972)。

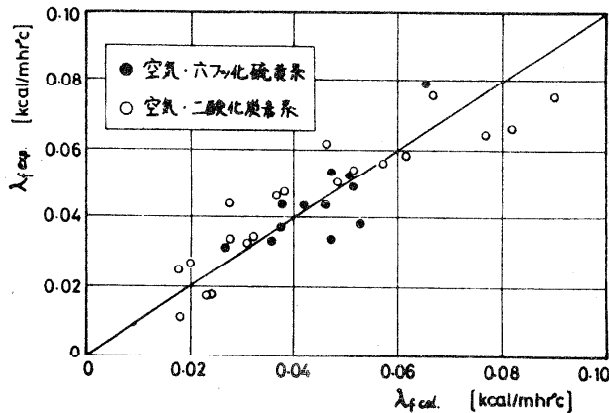


図 1  $\lambda_{f cal.}$  と  $\lambda_{f exp.}$  の比較

10) 回転円柱まわりの温度境界層の剥ぎとりと熱伝達の光学的実験

( 東北大・工・機械 ) 島田了八

( " ) 大内雅樹

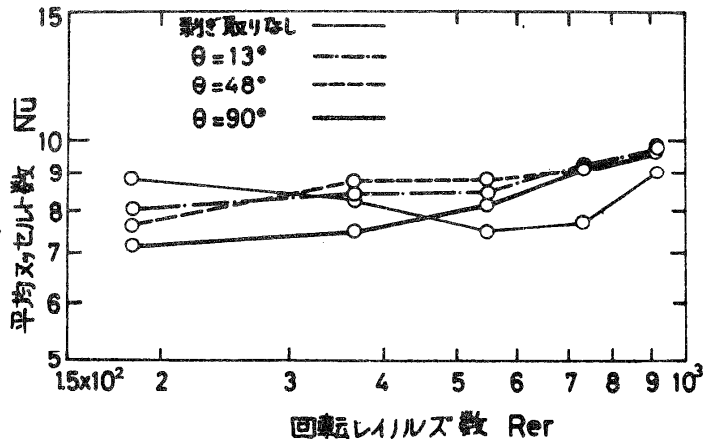
( " ) 武山斌郎

臨界レイノルズ数前後の回転数において剥ぎ取り板によって回転円柱表面の温度境界層を強制的に剥ぎ取ることによる熱伝達率の変化をマッハツェンダ干渉計を用いて観察し考察を行ったものであります。その結果として、臨界レイノルズ数以上において剥ぎ取り板を入れるとその後方で熱伝達率が明らかに向上します。

臨界レイノルズ数以下では剥ぎ取り板で自然対流をじゃましてしまい剥ぎ取り後方で熱伝達率が低下してしまいます。そこで自然対流をほとんどじゃましない細い線などで剥ぎ取ってやると剥ぎ取り板後方で熱伝達率が向上します。

剥ぎ取り角  $\theta$  は小さくなればなるほど剥ぎ取り後方で熱伝達率が増加し剥ぎ取り板後方で熱伝達率が増加し剥ぎ取り板前方の熱伝達率は減少します。

剥ぎ取り板と円柱表面の間隔  $\delta$  は小さくなればなるほど熱伝達率は向上します。





## 11) コイル状細線からの自然対流熱伝達

(東北学院大学・工・機) 坪内為雄

(東北学院大学・工・機) 藤田尚毅

(東北学院大学・工院) \*金 正俊

従来、自然対流においては、水平、垂直、傾斜細線等の研究は数多く行なわれているが細線をコイル状に巻いたものに関する研究はまだ行なわれていない。前報<sup>(1)</sup>ではコイルのピッチ(P)及びコイルの直径(D)を変化させた場合の実験結果の報告を行なった。

本報告ではコイルのピッチ(P)、直径(D)及び素線直径(d)を変化させた場合の無次元関係式を報告する。実験は素線直径、ピッチ及び直径をそれぞれ3種類に変化させて行なった。その結果、得られた関係式は次式の様になった。

$$\text{Nu}(d) = 0.93 \exp\{2.0 \{ \ln(P/d) - 0.14 \}^{1/2} - 3.2 + 0.11(D/P)\} \cdot \text{Gr}(d)^{0.29}$$
$$(1.5 < P/d < 15, 4 \times 10^{-2} < \text{Gr}(d) < 10)$$

参考文献 伝熱研究 1976, Vol 15, No 57, P29.

## 12) 相変化をともなう限定空間の熱伝達(統報)

(東北大・工・機) 熊谷 哲

武山斌郎

海野紘治

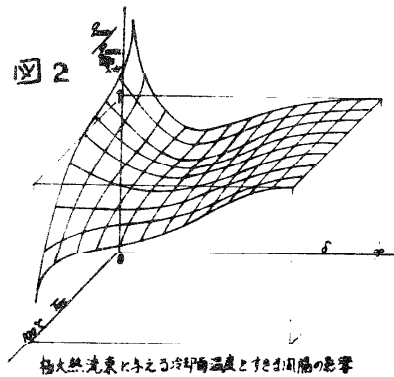
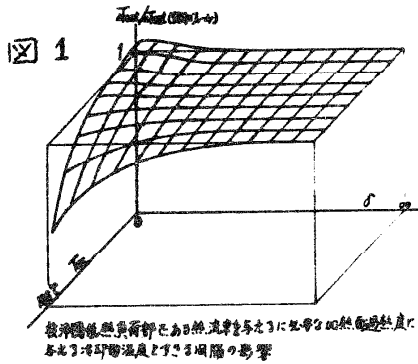
沸騰伝熱面の上方から冷却面を近づけると加熱面の熱伝達は大きく影響を受ける。その影響の仕方は冷却面の温度、大きさおよびすきまの広さによって違いがある。核沸騰の低熱負荷領域に与える冷却面温度とすきま広さの影

響を模式的に表わすと図1のようになる。冷却面温度が高くなり、すきまが狭くなるにつれ、同じ熱流束を得るのに必要な加熱面過熱度が小さくて済むようになる。

極大熱流束に与える同じ2つの因子の影響を図2に示す。冷却面には加熱面上方の空間を狭く限定することで外部への気ほうの噴出を妨げる働きと、すきま内に発生した気ほうを凝縮させ、蒸気密度を小さくして熱伝達を促進する効果がある。従って冷却面を近づけるとあるすきまで極小値をとることになる。

外部との交換を考えるには周囲液体の温度を変えてみるとよい。周囲液体の温度は核沸騰の低熱負荷領域にはあまり大きな影響を与えないが、高熱負荷領域には大きな影響を与え、そのサブクールによって極大熱流束を著しく増大できる。

遷移領域にも冷却面は同じ二つの効果をもつと推測できる。



### 13) 人工かん養法による帯水層の蓄熱利用

(かん養、揚水同量時の場合)

(山形大学・工学部) \* 横山孝男

( 同 ) 梅宮弘道

( 同 ) 佐々木隆

近年地下水資源の枯渇やそれに伴う諸弊害を除去するため地下水の人工かん養が行なわれる様になったが、いたずらにかん養されれば水質水温に却って悪影響を及ぼすのでかん養井の選定、隣接井との間隔等の配慮が必要である。著者らはこれまでかん養井、揚水井の並列運転を行なって蓄熱利用の可能性と熱解析の無次元化を確かめた。これにより隣接揚水井間隔等の算出方法を示唆したが、この様な一定水温のかん養を継続すると熱汚染は避け得ない。これを防いで永続的な蓄熱利用を行なうためには周期注水温を用い帯水層の蓄熱性で位相をずらし振巾を減少させて地上と常に有効な温度差を保つ必要がある。本報告ではこの様な利用法の検討前提として縮小モデルを作製して数値解と比較検討した。その結果、縮小モデル実験結果と数値解はよく一致し、ほぼ十分な精度である事から、今後熱汚染を回避して周期注水温等による帯水層の蓄熱利用を行なう際の予測に十分役立つものと考えられる。しかし充填物を変えた追実験や、より細部に渡った検討も必要と思われる。

### 14) 二次元凍結問題に関する研究

(東北人・工) 齋藤武雄

多方面への応用が可能な二次元移動境界問題の基本的問題として正方形および正三角形領域内の二次元凍結の実験を行った。

本実験結果は、従来の多くの解析法、たとえば、解析的手法、Conventional法、Relaxation法、等角写像法、Murray-Landis法などの諸方法の検定に用いることが出来る。

界面形状の時々刻々の可視化を目的として一定時間間隔で着色液を混入し攪拌することにより透明な縞模様を作り、実験終了後、軸に直角方向に約1 cm程度の厚さにsliceし、写真撮影した。

実験結果の写真を図. 1に、同トレース図を図. 2に示す。また、筆者の境界固定法<sup>(1)(2)(3)</sup>による数値解析結果との比較を図. 3に示した。

本実験結果は、数値解法の開発上、その検定に重要であり、これを出発点として、種々の複雑な問題、たとえば、自然対流、強制対流が複合する様な問題も容易に解析できる。

#### References,

- (1) T. Saitoh, Technology Reports, Tohoku Univ., 41(1976).
- (2) T. Saitoh, 11th Japanese Symposium on Heat Transfer (1974), 333.
- (3) T. Saitoh, Paper to appear in OJ.



Fig. 1

冷却速度  $-0.05^{\circ}\text{C}/\text{min}$

の場合の界面形状の写真

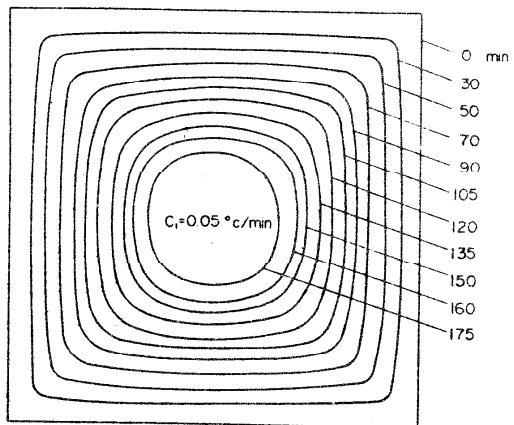


Fig. 2

トレース図 (条件は Fig. 1  
と同じ)

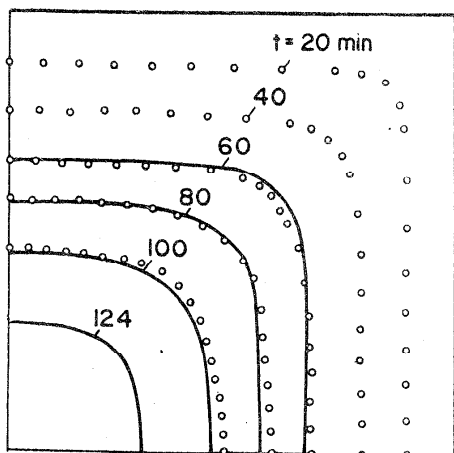


Fig. 3

冷却速度  $-0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合の  
実験と理論<sup>(15)</sup>の比較

○印：実験，実線：理論

(  $H = 7.8 \text{ mm}$  )

## 中国・四国研究グループ

日時 昭和51年5月19日(木) 13:00~16:00

場所 広島大学工学部機械工学科機械第2講義室

講演

- (1) 横フィン付管のフィンの熱伝達  
鍋本暁秀 千葉徳男(広大・工)
- (2) 水平上向伝熱面における自然対流の一実験  
千葉徳男 橋本達鋭 佐古光雄(広大・工)
- (3) 静電容量の変化を利用した液滴の粒径とその速度の測定法の研究 (II)  
玉野和保 北山正文(広工大・工)
- (4) 超臨界状態における液体燃料の蒸発(続報)  
角田敏一 広安博之(広大・工)
- (5) 核沸騰における線の影響  
佐古光雄 千葉徳男(広大・工)

### 1) 横フィン付管のフィンの熱伝達

(広島大・工) 鍋本暁秀 千葉徳男

筆者らは、直交流の中におかれた横フィン付管のフィンの熱伝達についてフィン表面の流れとフィン局所熱伝達量とを測定して、フィンの熱伝達率変化のメカニズムを明らかにしたいと考えて一連の実験を進めている。(1) 本報告は、フィン間隔を変えた場合の熱伝達量変化を測定したものである。

フィンの大きさは、管径を43mmφ、フィンの直径を90および100mmφ

の2種類、フィンの厚みは、熱流量測定用フィンが1.3 mm、その他は1 mmとし、フィン間隔は4.6.9.15 mmの4種類とした。送風機の吸込側に設けた試験部ダクトは、180×390 mmの大きさで、ダクト入口から800 mmの位置に1本のフィン付管を設置した。

局所熱伝達量を測定したフィンは、厚み0.1 mmの銅板の両側に厚み0.5 mmのベークライト板をアラルダイトで接着してつくった。熱伝達量は、片側のベークライト板の表裏の面に取りつけた、アルメル・クロメル熱電対の温度差から求めた。熱電対は径0.05 mmのものをローラで0.02 mmに押しつぶして接点をつくり、片面にアラルダイトをぬって、セロテープではり着けて固定した。銅板は、フィンの中心部にあけた孔のところでフィンの外側に折返し、この面に接する銅のスペーサから熱を受けて、全体へ伝える役割をもっている。測定用フィンは、ダクトの外の電熱源から熱を伝える銅の丸棒に、銅のスペーサを両側からねじ込んで取付けた。

実験では、フィン付管を20°づつ回転させて定常状態になるのを待ち、熱起電力をペンレコーダに記録させた。

得られた局所熱伝達率分布の1例を図1に示す。図中の数字は、ベークライト板の表裏の熱起電力差を、フィン表面とダクト入口空気との熱起電力差で割ったものを100倍した数値となっている。図中に記入された点線は円管まわりに生ずるえり巻渦の範囲である<sup>(1)</sup>

図2は、フィンの平均熱伝達率がフィン間隔によって変る様子を示している。縦軸は、フィンの全伝熱量をフィンの平均温度とダクト入口空気温度との温度差で割って、フィンのコンダクタンスの形で示したものである。

フィン間隔によってコンダクタンスに極大値が生じている。板の前縁には板厚による増速効果と、フィン前縁はく離があらわれるが、これらの効果がフィン間隔によって変るのが原因であろうと考えている。今後、板厚を変え

た実験を行って、更に検討する予定である。

(1) 鍋本、千葉、第12回日本伝熱シンポジウム講論、(昭50-5), 25.

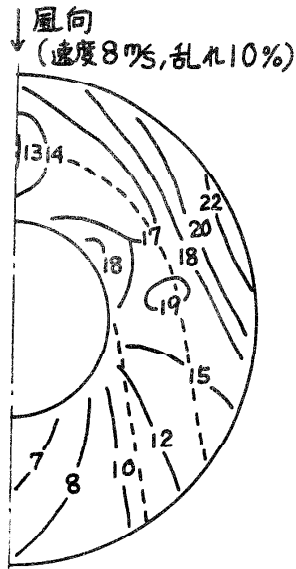


図1 フィン表面の熱伝達率分布  
(フィン径110φ、フィン間隔9mm)

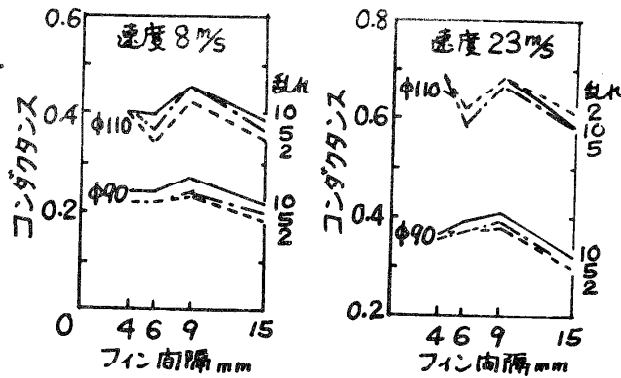


図2 コンダクタンス



## 2) 水平上向伝熱面における自然対流の一実験

( 広島大工 ) 千葉徳男 橋本達鋭 佐古光雄

熱伝達係数は定常状態における値として定義され、測定が行われている。この点は上向き水平板上の自然対流においても同様である。しかし大気中における自然対流は半無限領域における流動として考えるべきであると思われるが、その場合には定常状態が存在せず、大気の運動と熱移動とを非定常問題として取り扱うべきである。本報告はこのような観点に立脚して上向き水平加熱板上の流体の運動を観察した。

実験装置は長さ245、巾110、高さ225mmの水槽であって、底面に錫箔を貼り、これに通電して発熱させた。実験した水深は10、20、30、40、50mmの5種類で、熱負荷は各水深に対して約5、12、15、22kw/m<sup>2</sup>の4種類である。

実験にあたっては注射器を用いて水底に厚さ約2mmの牛乳層を作り、錫箔に通電した後の牛乳の動きを写真撮影によって観察した。通電後約10~40秒後牛乳層は動き出し、バナーセル状の運動が観察された。乱れが現れるまでの待ち時間は熱負荷が大きい場合に短く、熱負荷の小さい場合には長い。なお熱負荷2kw/m<sup>2</sup>の実験をも行ったが、この場合は乱れが現れる前に分子拡散によって牛乳が全層に拡散し、流動を観察することができなかった。

セルの最初の平均直径は約20mmであって、流動はセルの縁辺部における膜状の上昇流である。したがって、膜に囲まれた内部はごく遅い下降流になっていると考えられる。膜の上縁は時間の経過とともに直線的に上昇する。同時にセルの平均直径も大きくなるがその成長速度はわずかである。実験によって得られた牛乳膜の平均上昇高さや時間との関係を図1に、図1から計算した上昇速度を図2に示す。

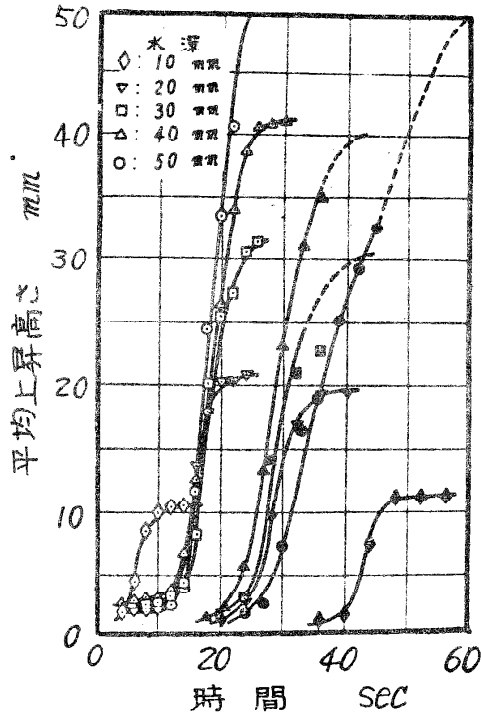


図 1

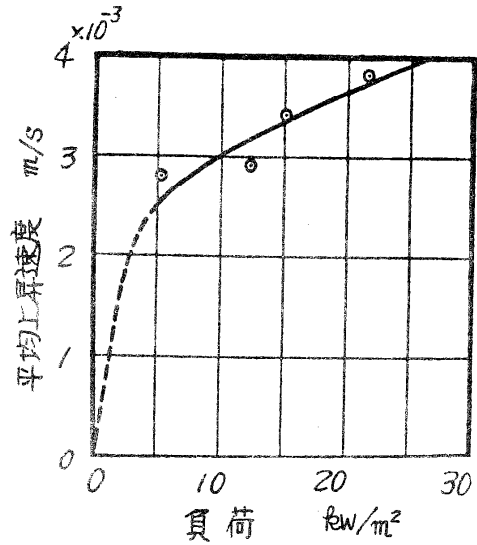


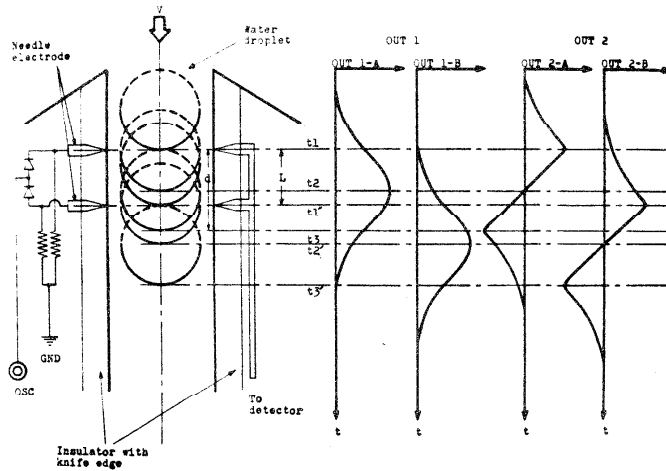
図 2

3) 静電容量の変化を利用した液滴の粒径とその速度の測定法の研究 (II)

(広島大・工) \*玉野和保 北山正文

前回報告した対向双刃型電極を用いた測定法は液滴の電極間での通過経路により実際の粒径と測定粒径とに差異を生じることがあった。この問題は電極形状を対向双針型とすることで解決した。さらに電極を誘電率の小さな絶縁物でコーティングし液滴が電極に付着することによる測定波形への乱れを防止する改良を行なった。しかし本測定法を実際の噴霧流中に応用するにあたっては探針電極間に種々の方向から多数の液滴が一度に侵入してくること

もあり、この場合に測定波形よりこれが単一の液滴によるものか否かの判別が行なえるように一層の改良が必要であった。判別を行なう方法としては、1つの液滴を計測中に他の液滴を侵入させないようにする方法と、多数の液滴が侵入してきても得られた波形から単一であったか否かを知ることができるようにする方式の2つが考えられる。本報では対向双針型電極の前後の電極間距離を可能な限り狭め1つの液滴を前部の電極で測定中に同時に後部の電極でその液滴を測定する前者の方法を採用した測定原理について報告した。測定原理の確認実験からはその妥当性が証明され、液滴の粒径ならびに速度の較正実験より測定値は粒径、 $1.8\sim 2.9\mu\text{m}$ 、速度  $0.55\sim 1.68\text{m/s}$  の範囲の各較正值に対してその $\pm 10\%$ の精度内での一致を得た。



#### 4) 超臨界状態における液体燃料の蒸発

( 広島大・工 ) 角田敏一 広安博之

ディーゼル機関の燃焼室においては液体燃料がそれ自身の臨界温度をはるかに越えた高温、高圧のふん囲気中で蒸発する場合が多い、ところが、このような現象に関しては十分な知識が得られていないのが現状であり、そのため著者らはこの現象に注目して研究を進めてきた、石英ガラス容器内部に液体燃料を入れて蒸発させた場合の光学的観察についてはすでに報告済であり<sup>(1)</sup>、ここでは噴霧の基本構成要素である単一液滴を取りあげ、それが超臨界ふん囲気中におかれた場合の蒸発現象について述べる。超臨界ふん囲気中における液滴の直径変化、蒸発率等については測定済であるので<sup>(2)</sup>、液滴温度の測定に重点を置く。さらに、高温、高圧下の蒸発現象に適用できる理論式<sup>(3)</sup>を用いて液滴温度を予測し、石英ガラス容器に燃料を入れた場合の測定結果、液滴の測定結果と比較することによって液滴が臨界温度に達する可能性について検討する。測定装置の主要部は圧力容器とその内部の可動高温炉でありこれによって高温、高圧下における液滴の蒸発実験を行う。圧力容器に固定した直径  $0.4\text{ mm}$  で先端を球状とした石英系の先端に直径  $1\sim 2\text{ mm}$  程度の液滴を作り、それに対して高温炉を移動させることにより液滴を瞬間的に高温気体に触れさせる。高温炉内で蒸発する液滴の温度変化は素線径  $50\ \mu$  の CA 熱電対で測定する。CA 熱電対の高温接点が石英系先端球部に接するように取り付け、その出力をオシロスコープに導き記録、測定する。使用燃料は n ヘキサン、n ヘプタン、n ヘキサデカン、イソオクタンでふん囲気温度および圧力の範囲は  $100^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ atg}\sim 50\text{ atg}$  である。このような条件において液滴温度変化を測定し、その結果から液滴が消滅するときの温度(液滴最終温度)を求めた。その結果を図 1 に示す。これから明らかなよう

に、ふん囲気温度、圧力の上昇とともに液滴最終温度は上昇することがわかった。また、ふん囲気圧力および温度が燃料の臨界値を越えた条件下においても液滴温度は臨界温度に達していない。ところが、測定値を図の点線のごとく外そうすると臨界温度と交わることから、ふん囲気温度あるいは圧力をさらに高めていくと液滴最終温度に達する可能性が大きいことがわかった。つぎに理論的にこの点の検討を行った。液滴表面の一部を固体膜で包んだ場合の蒸発特性を理論的に予測し、ガラス容器内の燃料の蒸発特性と比較した結果傾向の一致が見られたことから、液滴の理論式<sup>(3)</sup>は臨界点付近においても適用可能であることがわかった。したがって、液滴に適用し測定範囲外の高温、高圧のふん囲気中における蒸発現象の予測を行ったところ、ふん囲気圧力、温度の十分高い条件においては液滴が蒸発途中で臨界温度に達する可能性の大きいことがわかった。

文 献

- (1) 角田、広安，第12回伝熱シンポジウム（昭50-5），585.
- (2) 広安ほか3名，日機論，40-339（昭49-11），3147.
- (3) 角田、広安，日機論，42-356（昭51-4），1216.

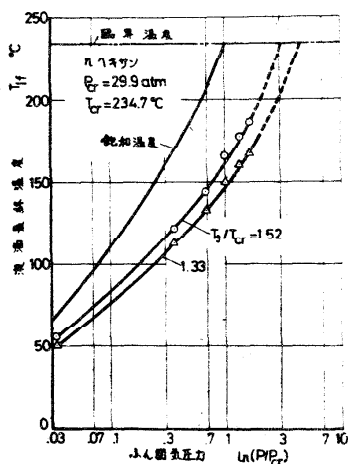


図1 液滴最終温度

## 5) 核沸騰における線径の影響

( 広島大工 ) 佐古光雄 千葉徳男

本実験は種々の線径に対する沸騰特性および初気ほう発生点が以後の沸騰履歴に及ぼす影響を調べたものである。

実験は純水を用いて大気圧下のプール飽和沸騰で行い、熱負荷は安定化直流電源を用いて電気加熱により与え、表面温度は試験部細線の抵抗値から求めた。使用した細線は白金線 ( $d=10\mu\sim 0.3\text{mm}$ ) およびニッケル線 ( $d=0.3\text{mm}$ ) である。

種々の線径に対する沸騰曲線と初気ほう発生点を図1に示す。図中の実線は平均の  $q-\Delta t$  曲線を示したもので、線径  $25\mu$  以下の場合と  $50\mu$  より大きい場合で明らかに差が認められる。線径  $50\mu$  以上の細線では衆知の沸騰曲線を示すが、 $25\mu$  以下の細線では、熱負荷の増加とともに熱伝達率は小さくなり、また比較的高い熱負荷では初気ほう発生と同時にその部分の温度が急上昇し、いわゆる核沸騰域は存在せず自然対流域から直接膜沸騰に移行する。これは気ほうの発生、成長、離脱といった気ほうサイクルが必ずしも熱伝達の促進に寄与しないことを意味し、気ほうサイクルによる熱伝達率の増大効果には過熱境界層の厚さに下限が存在することを示していると思われる。

初気ほう発生時の表面過熱度は同一の伝熱面を用いても広い範囲にばらついている。比較的低い過熱度で初気ほうが発生した場合には、熱負荷を上昇しても発ほう点数は増加せずそのまま自然対流域の線上をたどり、核沸騰開始点と初気ほう発生点とは一致しない。また高い過熱度で初気ほうが発生した場合には、低負荷の核沸騰域でヒステリシス現象が強く現れ負荷の上昇時と下降時では異なる挙動を示す。このように低負荷の核沸騰域および核沸騰域の狭い  $50\sim 100\mu$  の線では核沸騰全域にわたって、初気ほう発生点の差

が以後の沸騰特性に支配的で、その領域での沸騰曲線は一意的に定まらな  
いと考えられる。50 $\mu$ の線の場合自然対流域が図中 a' まで続き初気ほう発生  
と同時にバーンアウトした例もあった。

表面温度の測定例を図 2 に示す。(a)および(b)は 25 $\mu$  の場合で(a)は自然対流  
域(b)は比較的低い熱負荷における初気ほう発生時の挙動である。自然対流域  
での 2~3 秒程度のゆっくりした周期の温度変動は伝熱面上部で境界層がはく  
離するために生じたもので、線径が大きい場合も同様の挙動を示す。

(b)では矢印の位置が発ほう時期を示すが、1, 2 は単一気ほうの場合、3, 4 は  
連続気ほう発生の場合である。図に示すように初気ほう発生と同時にその部  
分の温度がスパイク状に上昇していることがわかる。(c)は 0.3 mm の場合の初  
気ほう発生時の例で、矢印が発ほう時を示し温度の急下降がみられる。この  
場合も単気ほうの場合と連続気ほうの場合がある。またこれらの結果をみる  
と自然対流域での温度変動がピークに達したとき初気ほうができやすいとい  
うことができる。

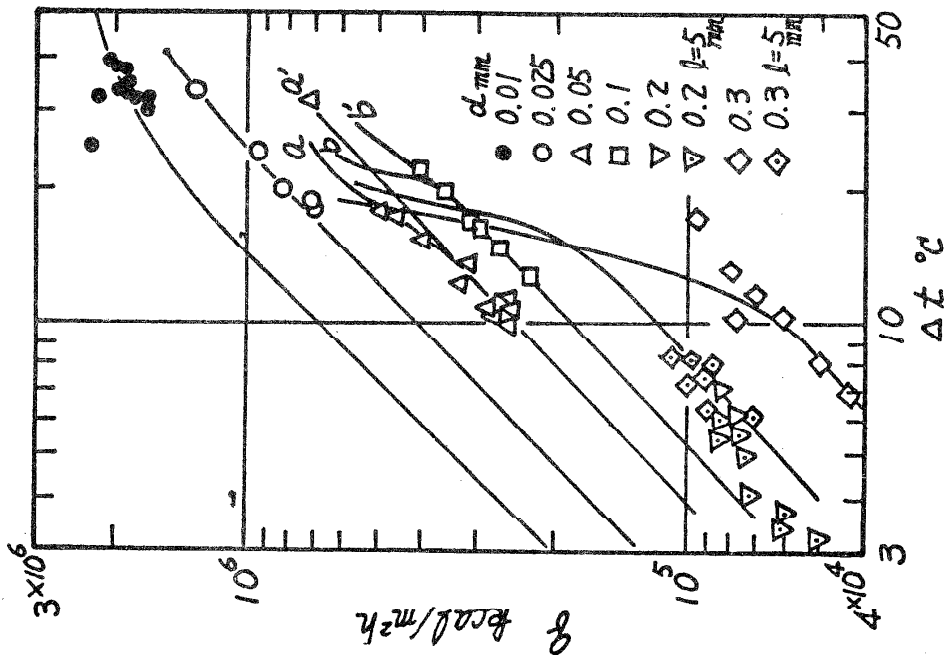


図1. 沸騰曲線および初気ほり発生点

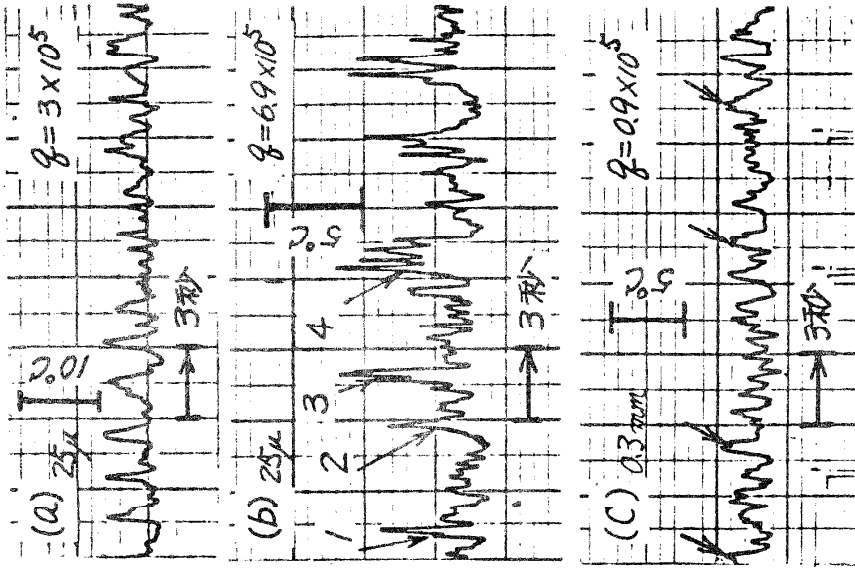


図2. 伝熱面温度変動の一例



## 北海道研究グループ

日 時 昭和51年7月24日(土) 13:00~16:00

場 所 室蘭工業大学本部会議室

講 演

(1) 霜層の成長に関する一考察

\*戸 倉 郁 夫 齊 藤 暁 岸 浪 紘 機

(室工大・機械)

(2) ミストの発生を伴なう場合の高温面からの蒸発について

\*熊 田 俊 明 石 黒 亮 二 清 水 孝 之

(北大・工・原子)

(3) リモートセンシングによる地域温度分布の測定

\*齊 藤 武 谷 口 博 園 田 隆

田 城 徹 雄 (北大・工・機)

1) 霜層の成長に関する一考察

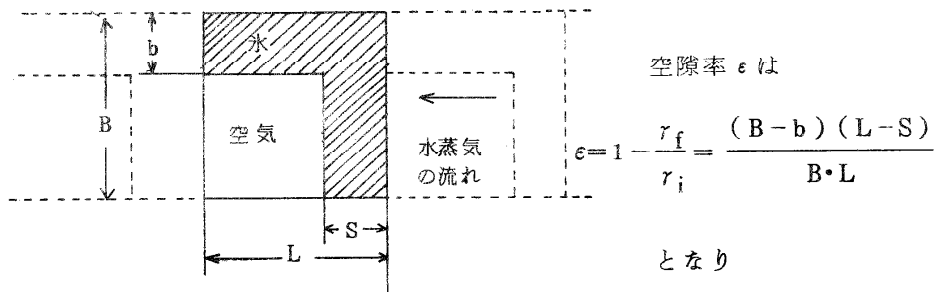
(室蘭工業大学・機)\*戸 倉 郁 夫

( " ) 齊 藤 暁

( " ) 岸 浪 紘 機

着霜時の伝熱量や霜の成長量の簡単な予測法について検討した。

霜層内につきのような小さな要素を考える。



$$E = 1 - S/L \quad (\epsilon \leq E \leq 1) \text{ とおく。}$$

要素の熱伝導率  $k_f$  は

$$k_f = \frac{k_2 \left( 1 - \frac{\epsilon}{E} \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right) \right)}{1 - \frac{\epsilon}{E} (1 - E) \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right)} \quad (1)$$

$k_1$  : 空気の熱伝導率  
 $k_2$  : 氷の "

となり、霜層の拡散の(抵抗)係数  $C$  として

$$C = \frac{m_f}{m} = \frac{\epsilon}{1 - \frac{\epsilon}{E} (1 - E) \cdot \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right)} \quad (2)$$

$m$  : 空気層の物質流束  
 $m_f$  : 同じ大きさの霜層の物質流束

が得られる。

着霜の初期には並列的要素の強い霜ができ ( $E \approx 1$ )、時間が経過すると直列的要素も強くなる。 ( $E \rightarrow \epsilon$ )。これらを満足する簡単な  $E$  の式として次式を仮定する。

$$E = 1 - (1 - \epsilon) \cdot (\tau / \tau_0)^n \quad (3) \quad \tau : \text{時間}$$

ここで  $\tau_0$  は霜層が氷の層になるまでの時間とする。

(1)および(2)式を用いて霜層の成長の簡単な計算を試みた。その結果、(3)式のとり方によって着霜の傾向をある程度予測できることがわかった。しかし実験では、霜層表面に水滴が形成されながら成長する場合も観察されており、この様な場合も含めて、上述の考え方の適用範囲は限られるであろう。

文 献

1. B.W.Jones and J.D.Parker, "Frost Formation With Varying Environmental Parameters" J.Heat Transfer, May 255-259(1975).
2. H. Auracher, "Water Vapour Diffusion and Frost Formation in Capillaries," International Institute of Refrigeration, Commissions B-1, B-2, &E1, 477-488 (1972).

2) ミストの発生を伴う場合の高温面からの蒸発について

(北大・工・原子)\*熊 田 俊 明

( " ) 石 黒 亮 二

( " ) 清 水 孝 之

蒸発面温度に較べて気相の温度が著しく低い場合には、蒸発面の近傍にミストが発生し蒸発が促進されると云われている。

本報はこのような場合の蒸発現象を扱った基礎的な研究に関するものである。

図1に示すように、アルゴン雰囲気の密閉ボックス底面の中央に矩形形状のナトリウム液面を設け、ボックス壁面および底面を室温としてナトリウム液面温度を変えて蒸発実験を行なった。

図2は蒸発率に基づくSherwood 数を求め、各種の理論値と比較したものである。実測によるSherwood数(○印)はミストが発生しないと仮定して得た理論値(実線)の2~3倍となっている。ミストが発生する場合の解

析法としては Hills ら<sup>(1)</sup> の蒸発面近傍の蒸気圧が飽和蒸気圧で抑えられると仮定する理論や、Turkdogun ら<sup>(2)</sup> が提唱した CSM (Critical supersaturation model) がある。前者は図中に破線で示すように実測値と比較してはるかに大きい Sherwood 数を与える。また、CSM は図中に一点および二点鎖線で示すように実測値に近い推算値を与えるが、ナトリウム温度に対する変化の傾向は異なる。

CSM は骨子となっている次の二つの仮定から成立している。

- (a) 臨界過飽和蒸気圧でミスト核が生成する。
- (b) ミスト核生成位置の蒸気圧は臨界過飽和蒸気圧に保たれる。

しかし、この仮定の成立については根拠が明確にされていない。そこでミストが発生する場合の蒸発現象を一層明らかにし、さらにこの一つの仮定の妥当性について検討する目的で、ミスト発生状態の写真を撮り解析した。

図 3 はその写真の一例で、ナトリウム液面とミスト発生域の間には thermo-phoresis の効果によってミスト発生のための外部核の全く存在しない dust-free な領域が形成されている。このため蒸発面温度が高くなると dust-free な領域内に self-nucleation の可能性があり、これによる生成核が thermo-phoresis の効果によって速やかに蒸発面を離れる方向に輸送されることが知られた。

#### <文 献>

- (1) Hills, A.W.D., et al.: Int. J. Heat Mass Trans., 12, 111 (1969).
- (2) Turkdogun, E. T., et al.: Trans. Met. Soc. AIME, 230, 750 (1964).

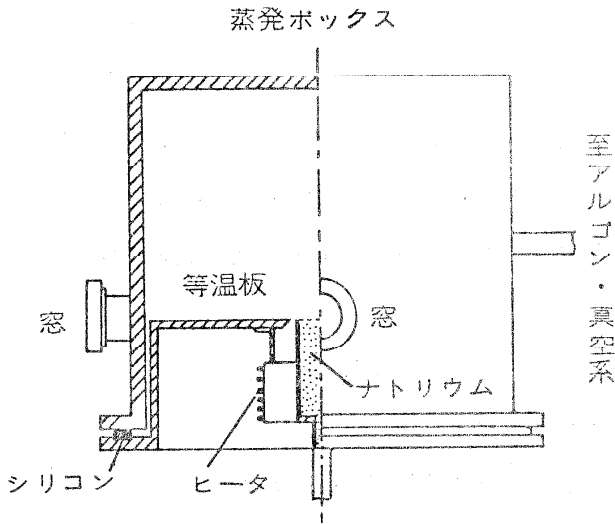


図1 蒸発ボックス詳細図

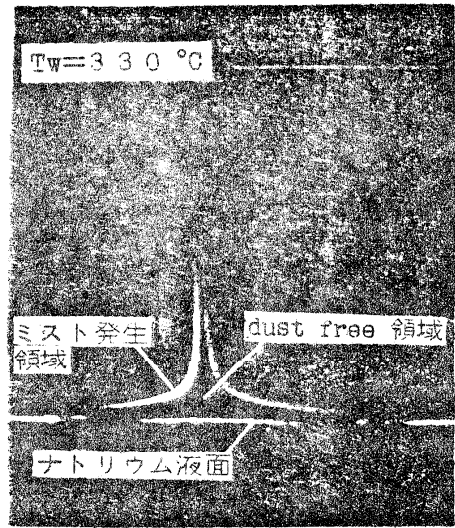


図3 ミスト発生域の写真例

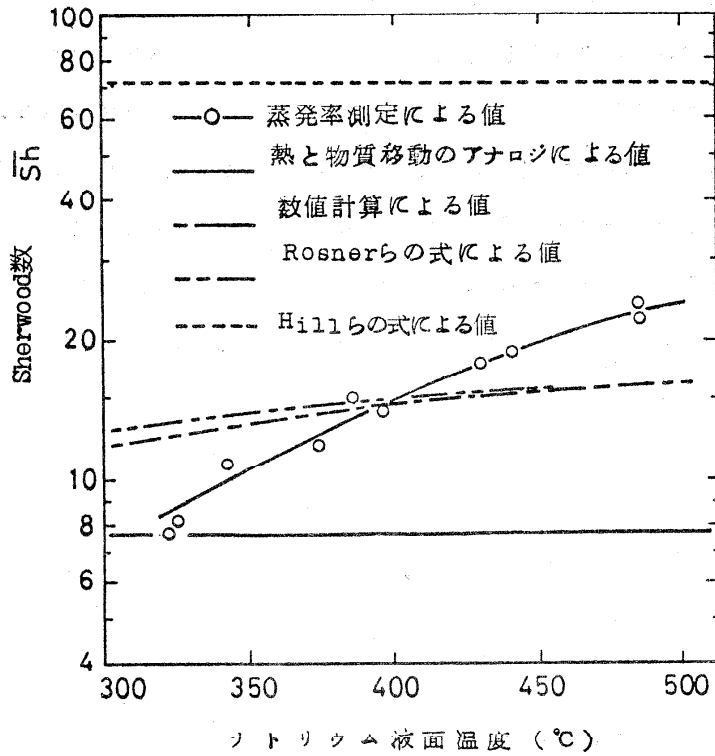


図2 ナトリウム液面温度とSherwood数

### 3) リモートセンシングによる地域温度分布の測定

(北大・工・機)\*齊 藤 武  
谷 口 博  
園 田 隆  
田 城 徹 雄

都市では、畑地、緑地や樹林帯が次第に減少し、コンクリート建造物、木造モルタル家屋、舗装道路などがこれに替りつつあり、都市地表面を構成する物質の熱的諸性質が大きく変化している。また、人の生活活動のため、市街地面積当りのエネルギー消費、すなわち、放散人工熱量も大きくなって、特異な都市気候を形成している。このような都市の熱的環境、温度構造を解析するため、地域温度分布とその時間変化を、ある特定の場合であるが、測定したので、その一部をスライドで示した。

その一つは、サーモカメラによるもので、キャノン社製CT4B形(産業用)を使用した。北大構内にカメラを固定し、樹木、コンクリート建屋、アスファルト舗道などのある風景を、太陽光線の影響を避けるため晴天日の日没後夜間に翌朝まで30~60分おきに断続的に撮影した。コンクリート建屋、アスファルト舗道が樹木や芝生に遅れ次第に温度低下をする過程が、構造物内部の梁や桁などの存在を示す等温帯熱像図の変化として現われている。これは5または10段階の黑白写真であるが、その濃淡をカラーで表わすことも可能である。

他の一つは、米国ディーダラス社マルチ・スペクトルカメラによる札幌市街地の8~14 $\mu$ 赤外線バンドのリモート・センシングで、アジア航測株式会社に依頼した航空写真である。この波長域では太陽光線(0.3~4 $\mu$ )の反射の影響はないので昼間撮影を行った。映像はカラー処理をおこない、12種に色分けした。ある温度範囲は同じカラーで示される。トタン屋根、コン

クリート建物、舗装路面などの温度は高く、藻岩山森林、植物園、北大構内など水を含む土や緑地が低い温度を示している。秋冷の日射量最高 $500\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$ の日中測定で、最高、最低の温度差 $25^\circ\text{C}$ であった。

## 編 集 部 よ り

去る9月4日開かれた幹事会において「伝熱研究」の内容についていろいろの意見が出されました。この中に「伝熱研究」の記事にだんだん会報的なものが増えて来て、会員のなまの声あまり聞かれなくなって来たのではないだろうかという御意見がかなりありました。「伝熱研究」の英文名は「News of HTSJ」でありますから会報的な性格は当然であります。例えば、地方グループ活動コーナーでは、講演内容の紹介に相当な紙数をさいていますが、この中には次の伝熱シンポジウムで正式に講演されるものもあり、その予稿集と重複していると考えられるものもあります。そこで会報的あるいは官製ニュース的？記事をもう少し圧縮して、余った紙面を会員に提供するため、試みに次号以降に会員からの投稿を募ることになりました。投稿の内容は、研究ノート、メモ、トピックスの解説から始まって、提案、質問、会又は会誌への注文、放談、随想、海外だより、見聞記、等々、何でも結構です。主観を交えたざっくばらんな書き方が歓迎されます。

次に、会報的文章で恐縮ですが、投稿の仕方をまとめて書きますから、これに従って御応募下さい。特に、若い方々も御遠慮なく奮って御応募下さることを望みます。

1. 投稿内容は伝熱研究に関するものであれば何でも自由です。
2. 原稿は和文。A4判400字詰横書原稿用紙に4～5枚程度。青または黒のペンまたはボールペン書き。
3. 特に複雑またはむづかしい文字、記号については赤ペンで文字指定。
4. 図は墨入れしたもの、またはそれをゼロックス等で複写したもの。
5. 「伝熱研究」は季刊で1、4、7、10月に発行されます。〆切は発行日の前々月末日。例えば、次号は1月に発行されますので〆切は11月



末となります。

6. 投稿が多過ぎて次号の予定頁数をはるかに越す場合は、掲載が次々号に延期されることがあるかも知れません。
7. 投稿宛先は編集委員長。今年度（来年4月号まで）は、

〒591 堺市百舌鳥梅町4丁804

大阪府立大学工学部機械工学教室

吉 信 宏 夫

## 会 告

### (1) 第14回日本伝熱シンポジウム

#### 講 演 募 集

- 開 催 日 昭和52年5月31日(火)～6月2日(木)
- 会 場 日本都市センター、東京都千代田区平河町
- 講演申込締切 昭和52年1月31日(月)
- 原稿締切 昭和52年3月11日(金)
- 講演申込先 第14回日本伝熱シンポジウム準備委員会
- 講演申込法
  1. はがき大の用紙に「第14回伝熱シンポジウム研究発表申込み」と標記し
    - (1) 題目 (2) 概要(100ないし200字以内、各セッションへの振分けに必要な若干個のキーワードをいれてください)  
例1：強制対流・管内流・うず拡散係数……  
例2：沸騰・核沸騰・気泡生成……
    - (3) 氏名、勤務先、所属学会ならびに会員資格(連名の場合は講演者に※印)
    - (4) 連絡先を記入し研究発表申込整理費1,000円とともに現金書留で上記申込先宛お申込ください。
  2. 講演は1名1題に限り、講演時間は15分の予定。
  3. 講演の採否は準備委員会にご一任願います。
  4. 前刷原稿：前刷集はオフセット印刷、原稿執筆枚数は、1,927字詰原稿用紙3枚以内、原稿用紙は準備委員会より講演申込者(講演者)宛送付します。

。本シンポジウムでは、上記講演発表以外に若干のトピックスに関する  
オープン・フォーラムを実施する予定です。以上

準備委員長…… 植田辰洋 日本伝熱シンポジウム共催学協会

- 。 共 催 日本学術会議熱エネルギー工学研究連絡委員会、日本伝熱研究会（幹事会）、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、日本建築学会、日本航空宇宙学会、日本冷凍協会、低温工学協会

## (2) 第6回国際伝熱会議論文募集予告

時 間 : 1978年8月7日～11日

場 所 : カナダ、トロント市

一般論文 数 : 30篇 (日本及東南アジア諸国)

長 さ : 第5回と同じ形式で6頁

発表形式 : ポスターセッション

(今までのレポーターによる発表とちがいますので、著者は是非出席しなければなりません。)

選定順序 : アブストラクト〆切 1977年1月

アブストラクト選定 1977年2月

論文原稿〆切 1977年6月

論文選定 1977年8月

なお First Announcement がカナダから到着次第会員にご報告申し上げます。

# { 3 } "LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER 論文募集案内"

下記のとおり LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER  
の論文を募集しておりますのでふるって御投稿下さい。なお論文は日本の  
Editorである東京工業大学 森康夫教授あてにお送り下さい。

## LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER

### BOARD OF EDITORS

F. A. HIGGINS  
8 place du Commerce, Paris 15<sup>ème</sup>, France  
CARL GAZLEY, JR.  
Dept. of Geophysics & Astronomy, The Rand Corpora-  
tion, 1790 Main Street, Santa Monica, California 90406  
J. GOSSE (Associate Editor)  
C. N. A. M., 292 rue Saint-Martin, 75141-Paris  
Cedex 03, France  
U. GRIGULL  
Technische Universität, Arcisstrasse 21, München, Ger-  
many

E. HAHNE (Associate Editor)  
Institut für Wärmetechnik Der Universität Stuttgart  
7 Stuttgart-1, Seidenstr. 36, Germany

J. P. HARTNETT  
Energy Engineering Department, University of Illinois,  
Box 4348, Chicago, Illinois 60680

O. G. MARTYENKO  
Heat & Mass Transfer Institute, Byelorussian Academy  
of Sciences, 25 Podlesnaya, Minsk, B.S.S.R., U.S.S.R.  
W. J. MINKOWYCZ (Associate Editor)  
Energy Engineering Department, University of Illinois,  
Box 4348, Chicago, Illinois 60680

Y. MORI  
Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology,  
Meguro-ku, Tokyo, Japan

D. B. SPALDING  
Mechanical Engineering Department, Imperial College  
of Science & Technology, Exhibition Road, London  
S.W. 7, England

J. H. WHITELAW  
Mechanical Engineering Department, Imperial College  
of Science & Technology, Exhibition Road, London  
S.W. 7, England

ZORAN ŽARIĆ  
International Centre for Heat & Mass Transfer, P. O.  
Box 522, Belgrade, Yugoslavia

### AIMS AND SCOPE

*Letters in Heat and Mass Transfer* is an international journal for the rapid communication of contributions in heat and mass transfer. It is the companion Journal to the *International Journal of Heat and Mass Transfer* and is edited by the same Board of Editors. The sponsor of the Journal is the International Center for Heat and Mass Transfer. *Letters in Heat and Mass Transfer*

serves as a world forum for the rapid dissemination of new ideas, new measurement techniques, preliminary findings of ongoing investigations, discussions, and criticisms in the field of heat and mass transfer. The anticipated time between receipt of a manuscript and publication is six to eight weeks.

### Annual Subscription Rates

Published Bi-Monthly. For libraries, research establishments and all other multiple-reader institutions \$50.00 per annum. 2 year subscription (1976/77), \$95.00. Special reduced rates for individuals: In the interests of maximizing the dissemination of the research results published in this important international journal, we have established a two-tier price structure whereby individuals, whose institution takes out a library subscription, may purchase a second or additional subscription for their personal use at a much reduced rate of \$25.00 U.S. per annum. For private subscribers who order direct from the publisher certifying that the journal is for their personal use only, \$25.00. Airmail subscriptions extra. Microfilm is available.

**Microform Subscriptions and Back Issues:** Current subscriptions on microfiche, and back files on microfilm as well as back issues in the paper editions of all previously published volumes are available from: Pergamon Press and/or its division, Microforms International Marketing Company, Fairview Park, Elmsford, New York 10523 U.S.A. or Headington Hill Hall, Oxford, England. Copyright ©1976 Pergamon Press.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronic, electrostatic, magnetic tape, mechanical, photocopy, recording or otherwise, without permission in writing from the publishers. Copyright ©1976 Pergamon Press.

**Publishing Offices**  
Pergamon Press, Maxwell House, Fairview Park,  
Elmsford, N.Y. 10523, U.S.A.  
Pergamon Press, Headington Hill Hall,  
Oxford OX3 0BW England

**Advertising Offices**  
Promotion Consultants, Inc., 395 Saw Mill River Road,  
Elmsford, N.Y. 10523, U.S.A.  
Pergamon Press, Headington Hill Hall,  
Oxford OX3 0BW England

# LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER

## INFORMATION FOR AUTHORS

Two types of manuscripts will be considered for publication in **LETTERS IN HEAT AND MASS TRANSFER**: (1) **LETTERS**: These are either short reports of new work, or discussions of work which has already been published. Authors are asked to limit their **LETTERS** to 10 pages, including diagrams. (2) **SUMMARIES**: These are abstracts of reports, theses, or manuscripts which are too long for publication in full. Such **SUMMARIES** (not more than four typewritten pages in length), will be published only if the original (full length) report is available, either from the author, or, at cost of photo reproduction, from the publisher. A **SUMMARY** should, therefore, be submitted with one copy of the original document, and a statement to the effect that reproduction and distribution of copies is permitted. In addition to **LETTERS** and **SUMMARIES**, special features may be added from time to time.

Longer **LETTERS** manuscripts and all **SUMMARIES** should contain an Abstract in English.

**SUBMISSION OF PAPERS**: The procedure is to submit manuscripts to the appropriate regional Editor clearly stating that it is intended for the "Letters Journal" and requesting the Editor to forward the contribution to the Coordinating Editor. An Editor who communicates a paper for publication thereby accepts responsibility for its general high standard, but not for every detail of its content.

**FORMAT AND LAYOUT**: These must conform accurately to the specifications given below. Because the papers are photographically reproduced from the original typescripts, this is an essential requirement. Those papers that fail to conform may be returned to the author for re-typing even if otherwise acceptable. Copies of the instructions for the preparation of manuscripts, typing sheets and sample pages can be obtained from any Editor or the Production Offices of Pergamon Press, Inc., Maxwell House, Fairview Park, Elmsford, New York 10523.

**FREQUENCY OF PUBLICATION**: The "Letters Journal" will be published bi-monthly.

**PRINTERS' PROOFS AND REPRINTS**: For obvious reasons, proofs are not required and cannot be supplied. Reprint order forms will be sent to the Authors whose papers have been accepted for publication.

**PUBLICATION LANGUAGES**: The Journal will be published in English, French and German. Abstracts should be in English.

## PREPARATION OF MANUSCRIPTS

- (1) Manuscripts should be typed on good quality white bond paper measuring either 8½ x 11 inches (conventional American size) or 21 x 29.7 cm (standard size DIN A 4).
- (2) It is imperative that a black typewriter ribbon be used; blue does not reproduce. Electric typescript is preferred; small and italic typefaces are unsuitable. Care should be taken to ensure a clean, clear impression of the letters. Avoid erasure marks, smudges, pencil or ink corrections and creases.
- (3) The typing area of page 1 must be 6½ x 8¼ inches (16.5 x 21 cm); the typing area of all other pages must be 6½ x 9½ inches (16.5 x 24 cm). Each page should be completely filled with typing and/or diagrams.
- (4) The title should be all in CAPITAL LETTERS (except formulae), centered on the width of page 1, and beginning 2 inches (5 cm) below the top edge of the paper.
- (5) Allow a ½ inch (1.3 cm) space between the title and the names of the author(s). Follow immediately below, and on a separate line, with his (their) affiliation(s). Center each line.
- (6) Allow a 1 inch (2.5 cm) space between authors' affiliation and the Abstract. Type the word **ABSTRACT** in capitals, beginning at the left hand margin. Then type Abstract itself in lower case lettering and single spacing, the whole passage being set in from the left hand margin by the length of the word "ABSTRACT."
- (7) If an Abstract appears, allow a ½ inch (1.3 cm) space between the last line and the first major heading. If no Abstract appears, leave a 1 inch (2.5 cm) space between the authors' affiliation and the first major heading. Major headings, e.g., Introduction, Analysis, Methods, Results, Acknowledgements, Nomenclature, References (recommended order of presentation), should be typed in capitals and lower case letters, centered on the width of the page and underlined. Subsidiary headings, if used, should begin at the left hand margin, and should be underlined.
- (8) Spacing between text lines should be 1½. (Use double spacing if 1½ is not available.) Use double spacing between paragraphs and between text and all major and subsidiary headings. Paragraphs should be indented 5 typewriter spaces.
- (9) Tables should be typed as part of the text, but in such a way as to avoid confusion with the text. The word **TABLE** should be capitalized and centered with the table number above the table. The heading should have the first letters of all main words capitalized. Authors should try to ensure that a single table does not overlay onto the next page. All tables should have headings.
- (10) Any material that cannot be typed, such as symbols and formulae, should be inked carefully in black.
- (11) Line diagrams should be supplied, preferably in the form of glossy prints, in the size in which they are intended to appear in the Journal. They should NOT be pasted in but appropriate space for each figure should be left above the descriptive caption. The figure number and author's name should be clearly indicated on the reverse side of each illustration. Care should be taken to ensure the caption does not become confused with the text. The abbreviation **FIG.** should be capitalized and with the figure number, centered above the caption. The caption itself should be in single space typing. Allow 3 spaces between end of caption and text which follows. Line drawings supplied may be larger than their intended size in the Journal, provided the line thicknesses are sufficient to permit the required degree of reduction.
- (12) Half-tone pictures should be supplied in duplicate as glossy prints in the actual size (or slightly larger) in which they are to appear in the Journal. Handle captions as under (11).
- (13) Do not type the page numbers, but number each sheet lightly near the bottom with a blue pencil.
- (14) References should be indicated in the text by consecutive numbers in brackets, thus [1,2], as part of the text, not raised above it, the full reference being cited in a numbered list at the end of the text in single spacing; double spacing between successive references. References should contain the names of all authors of any one paper together with their initials, the title of the journal (with generally accepted abbreviation, if possible), volume number (underlined), first page number and year, as illustrated below. References to books should contain the publisher's name and location.
  1. D. K. Edwards and A. Balakrishnan, *Int. J. Heat Mass Transfer* 16, 25 (1973).
  2. E. R. G. Eckert and R. M. Drake, Jr., *Analysis of Heat and Mass Transfer*, p. 285. McGraw-Hill, New York (1972).
- (15) Use only standard symbols and abbreviations in text and illustrations.
- (16) Metric system of units is required. Where desirable, conversion into a duplicate set of units may be shown in parenthesis in text or on illustrations.
- (17) Manuscripts and diagrams should NOT BE FOLDED.
- (18) Footnotes should be typed single spaced, 3 spaces below text at the bottom of the appropriate page and separated from the text by a 1 inch line. They should be wholly within the allowed typing area.
- (19) THE ORIGINAL AND TWO COPIES OF THE MANUSCRIPT ARE REQUIRED FOR SUBMISSION.

日本伝熱研究会への入会手続きについて

(1) 個人会員

葉書若くは、下記用紙に所要事項御記入の上、事務局宛御送付下さい。  
同時に郵便振替等にて当該年度分の会費(3,000円/年)をお支払い下さい。  
会員には「伝熱研究」及び「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお送りしています。

申込書送付先：〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学生産機械工学科 応用熱学講座気付

日本伝熱研究会

郵便振替口座：東京6-14749

銀行振替口座：第一勧業銀行大岡山支店・普通預金

(店番号145)-(口座番号 1342238)

日本伝熱研究会

日本伝熱研究会員申込書		(昭和 年 月 日)	
ふりがな 氏名	年 月 日生	学 位 称	号
勤務先・部・課			
同上所在地	(電 番)		
通 信 先	〒	(電 番)	
現 住 所	(電 番)		
最終出身校 及卒業年月日			
備 考			

(2) 維持会員

葉書若くは、下記用紙に所要事項御記入の上、事務局宛御送付下さい。  
同時に郵便振替等にて当該年度分の会費（1口20,000円/年）をお支払い下さい。申込は何口でも結構です。会員には「伝熱研究」及び「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等を申込1口につき1部ずつお送りしています。

日本伝熱研究会維持会員申込書		(昭和 年 月 日)
ふりがな 会社名		
部 課		(電話 )
同上所在地		
連絡代表者		(電話 )
会誌送付先	〒	(電話 )
備 考		申込口数 口



伝熱研究

Vol.15No.59

1976年10月発行

発行所 日本伝熱研究会

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学生産機械工学科応用熱学講座気付

日本伝熱研究会

電話 (726) 1111 (代) 内線 2539

振替 東京 6-14749

(非売品)