

Vol. 11  
No. 40

1972  
January

# 伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 40 号

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

## 日本伝熱研究会 第10期役員

会 長：齊藤 武 (北 大)  
副会長：小笠原光信 (阪 大) 国井大蔵 (東 大) 一事務担当  
幹 事：関 信弘 (北 大) 一兼北海道連絡 弓削達男 (東北大) 一兼東北連絡  
平田 賢 (東 大) 一兼関東連絡 泉 亮太郎 (静 大) 一兼東海連絡  
赤川浩爾 (神 大) 一兼関西連絡 広安博之 (広 大) 一兼中国四国連絡  
長谷川修 (九 大) 一兼九州連絡 石黒亮二 (北 大)  
伊藤龍象 (阪 大) 越俊亮三 (九 大)  
大谷茂盛 (東北大) 河田治男 (東工大)  
古川進三 (同志社大) 小泉睦男 (早 大)  
杉山幸男 (名 大) 鈴木 崇 (東洋製作)  
武山斌郎 (東北大) 棚沢一郎 (東 大)  
千葉徳男 (広 大) 松本隆一 (神 大)  
岐美 格 (京 大) 山崎弥三郎 (原 研)  
監 査：一色尚次 (東工大) 葛岡常雄 (工学院大)

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10期「伝熱研究」編集委員長：松本隆一 (神大)

## 目 次

わが国の伝熱研究	岐美 格	1
寄書コーナー		
1. 多目的高温ガス冷却炉の開発と熱設計	能沢正雄	10
2. 核融合炉について	大和 春海	24
ニュース		
第9回日本伝熱シンポジウムについて		28
“Heat Transfer Japanese Research”について		31
ユーゴスラビヤにおける1972年夏期セミナー論文募集 について		31
地方グループ活動コーナー		
北海道研究グループ		33
東海研究グループ		41
関西研究グループ		48
九州研究グループ		53
文献リスト		
定期刊行誌		58
編集委員会より		
「伝熱研究」投稿規定		70

## わが国の伝熱研究

京都大学

岐美 格

最近, Eckert と Irvine によって編集された, Progress in Heat and Mass Transfer, Vol. III (1971), Pergamon Press を入手した。この内容は, Heat Transfer Reviews, 1953-1969 であって, 従前から Eckert とそのグループによって, 毎年学術誌 (1961年についての Review からは Int. J. Heat Mass Transfer) に掲載されて来た Heat Transfer Review を一冊にまとめ, 全著者名と全項目索引とを付したものである。これを見ると, 20年に近い時の流れを感じるとともに, 年々, 熱伝達に関する研究が盛んになって来た状態がよくわかる。もちろん, 毎年発表される研究論文報告は非常に多いので, その中から適当に選択されたものが, Heat Transfer Review に文献として掲載されているに過ぎないが, それでも国際的な視野で研究状況を把握することはできるであろう。

第1図は, 毎年の Review にとりあげられた全研究論文件数と全研究者数とを年ごとに示したものである。論文件数も研究者数も飛躍的に増大していることがよくわかる。最近では, 670件, 1230名程度である(平均すると, 1件2名弱の研究者による研究と考えられる)。横軸には矢印で, 国際伝熱会議開催, Int. J. Heat Mass Transfer 誌発刊, Advances in Heat Transfer (Academic Press) 発刊の年を示すとともに, Bulletin JSM E 発刊, 日本伝熱研究会発会の年も示した。

以上の研究の中で, 日本人の研究がどの程度占めているかについてしらべたのが第2図であって, 毎年の Review にとりあげられた日本人研究者数を年ごとに示してある。最近では40数名の名前があがってい

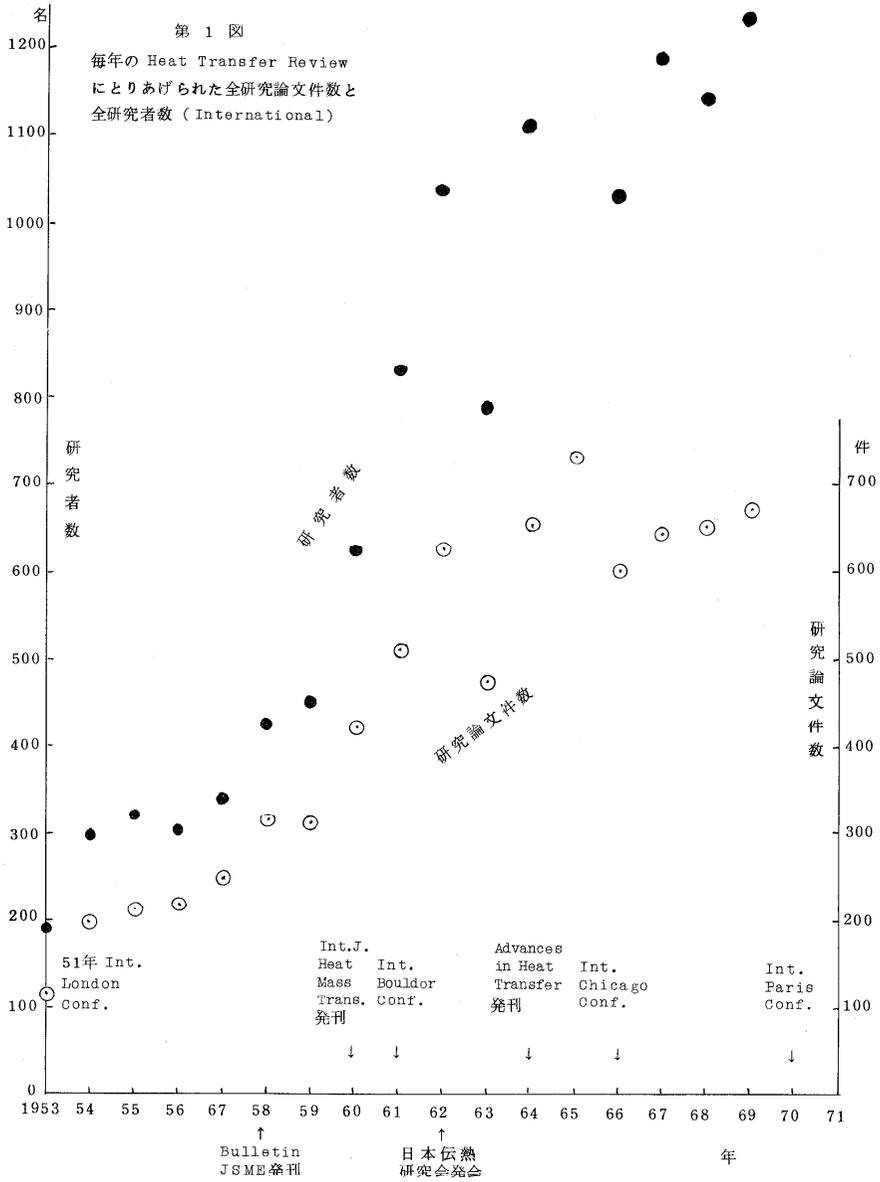
る(20~30件程度の研究件数に相当する)。これもまた飛躍的に増大しているが、情報伝達の容易になったことも、あづかって力があるだろう(第1図の矢印参照)。もちろん、伝熱の分野における、日本人研究者の増加と研究の進展が寄与していることは言うまでもない。しかし第3図を見るとわかるように、全研究者数の4%弱の日本人の研究が最近のReviewにとりあげられている状態である。この割合は多いと見るべきか。すくないと見るべきか。

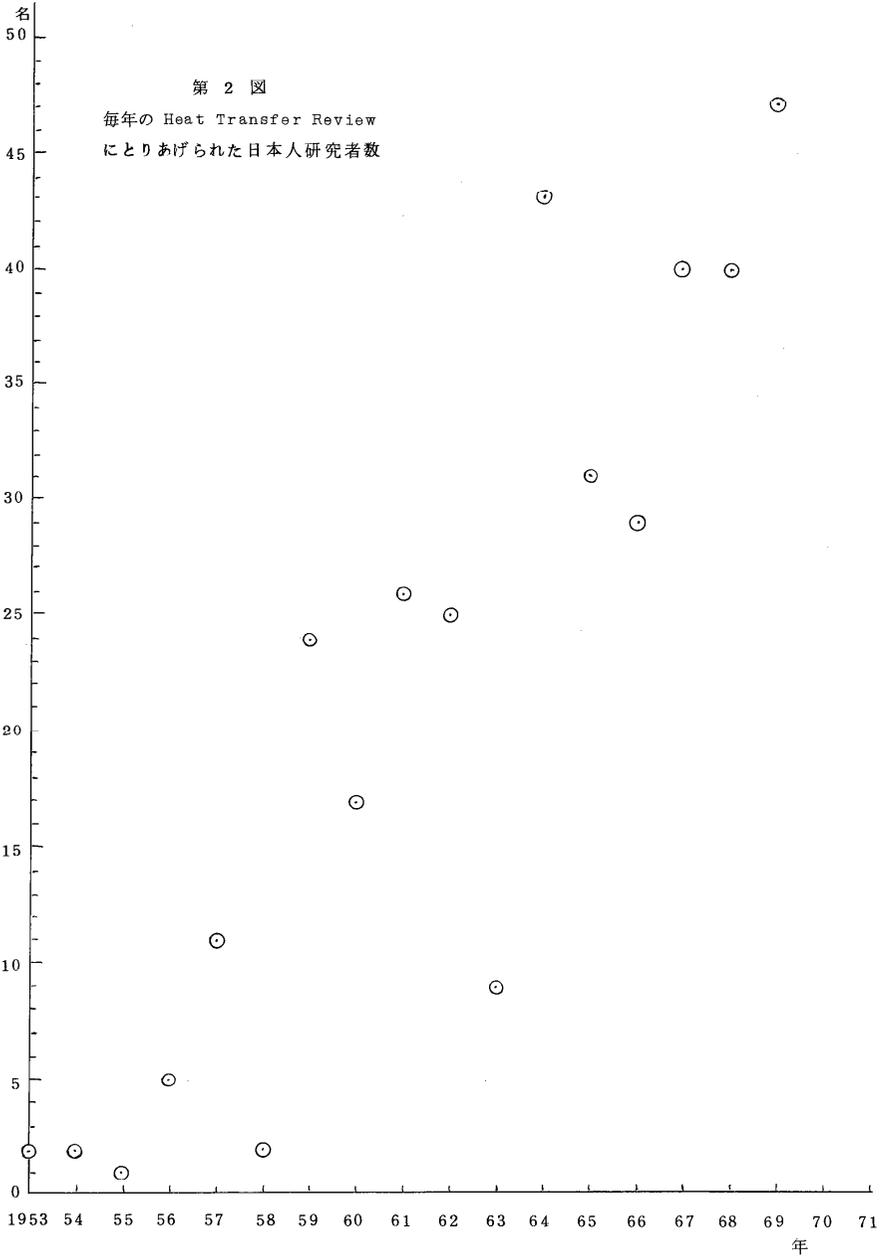
つぎに、1964年から発刊されているAdvances in Heat Transferをとりあげて見よう。これには伝熱の分野におけるいろいろな問題(もちろんトピック的なものも含まれている)についての総説が数篇ずつ、一巻におさめられている。従って問題によっては、かなり古い文献も掲載されているので、歴史的な発展過程とともに、最近の研究状況を知ることができる。これらの各総説に文献としてとりあげられた日本人研究者数がどの程度あるかしらべたのが、別表である。注意すべきは、各総説の書かれた時点までの文献が掲載されているので、もし同じ題目で、いま総説が書かれたら、もっと日本人の研究も多くとりあげられるだろうと思われる題目もある。ともあれ、この表を見ると、日本人の研究が多くとりあげられているとは決して言えないし、なかには日本人研究者が全然見当らない総説もある。

以上の図表から、ある種の結論を導こうという意図は全然ない。むしろ図表によって事実を示すことに、拙文の目的があったこととおことわりしておく。(なお、標準的教科書についても述べるべきであったが、これについては割愛した。また日本人をローマ字名だけで判断したので、若干、数に誤りがあるかもしれない。)

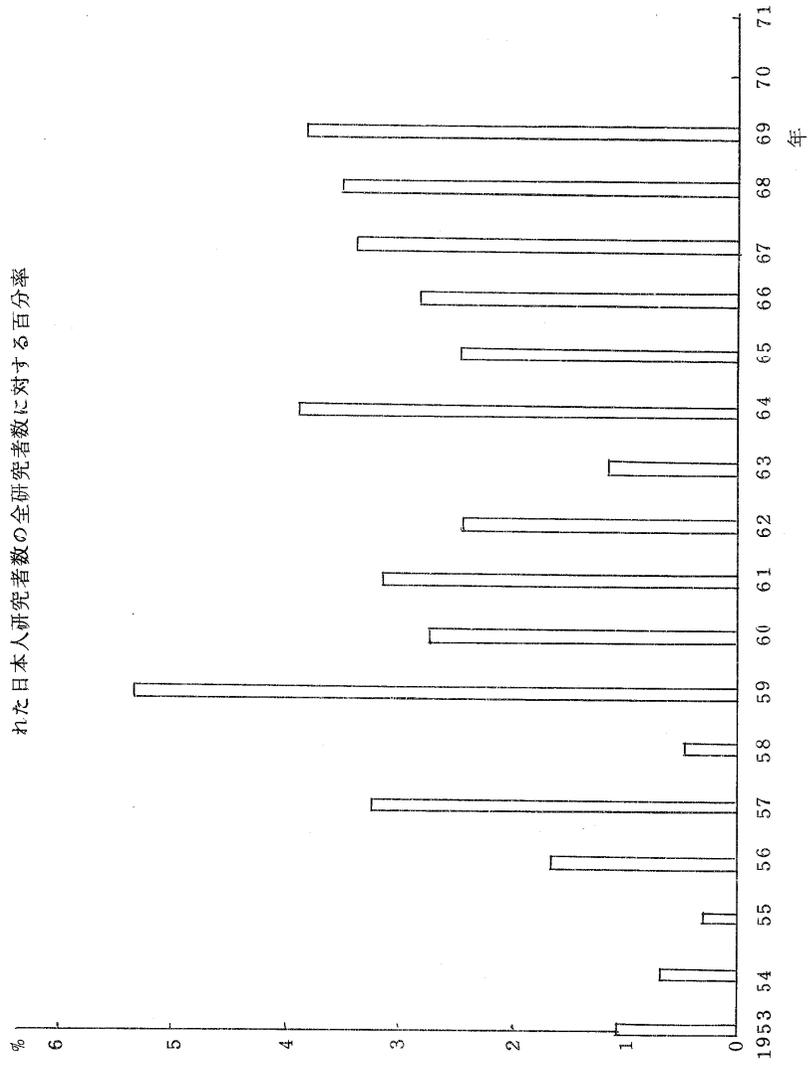
最後に一言、国際的な情報流通システムについて述べておく。筆者の関係している原子力科学技術情報の流通に関して、最近、国際原子力機関(IAEA)において、国際原子力情報システム(INIS)が採用され、活動が開始されてから、一年以上になる。これは、参加国が、自国の原子力科学技術情報をINISへ毎月インプットし、それらをINISで

集成して、参加国へ、INIS Atomindex と磁気テープ、ならびに INIS 抄録と INIS 非市販資料のマイクロフィッシュの形で毎月アウトプットするものである（わが国の窓口は日本原子力研究所である）。1970年4月から1971年5月までのインプット総数は、10134 件で、そのうち米国32.7%、ソ連16.1%、西独10.6%、英国7.3%、日本6.5%、フランス3.9%、その他22.9%となっている。これらの原子力科学技術情報のなかには、伝熱など、広く熱・流体関係の情報も含まれることはもちろんである。大方の御協力を期待してやまない。





第3図 毎年の Heat Transfer Review にとりあげられた日本人研究者数の全研究者数に対する百分率



別 表

Advances in Heat Transfer にとりあげられた日本人研究者数

1. Vol.1 (1964)

- a. The Interaction of Thermal Radiation with conduction and Convection Heat Transfer 0
- b. Application of Integral Methods to Transient Non-linear Heat Transfer 3
- c. Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies 0
- d. Boiling 5
- e. The Influence of Electric and Magnetic Fields on Heat Transfer to Electrically Conducting Fluids 2
- f. Fluid Mechanics and Heat Transfer of Two-Phase Annular-Dispersed Flow 1

2. Vol.2 (1965)

- a. Turbulent Boundary-Layer Heat Transfer from Rapidly Accelerating Flow of Rocket Combustion Gases and of Heated Air 0
- b. Chemically Reacting Nonequilibrium Boundary Layers 0
- c. Low Density Heat Transfer 0
- d. Heat Transfer in Non-Newtonian Fluids 6
- e. Radiation Heat Transfer between Surfaces 0

3. Vol.3 (1966)

- a. The Effect of Free-Stream Turbulence on Heat Transfer Rates 2
- b. Heat and Mass Transfer in Turbulent Boundary Layers 3

- c. Liquid Metal Heat Transfer 0
  - d. Radiation Transfer and Interaction of Convection with Radiation Heat Transfer 0
  - e. A Critical Survey of the Major Methods for Measuring and Calculating Dilute Gas Transport Properties 3
4. Vol.4 (1967)
- a. Advances in Free Convection 6
  - b. Heat Transfer in Biotechnology 0
  - c. Effects of Reduced Gravity on Heat Transfer 3
  - d. Advances in Plasma Heat Transfer 1
  - e. Exact Similar Solutions of the Laminar Boundary-Layer Equations 2
5. Vol.5 (1968)
- a. Application of Monte Carlo to Heat Transfer Problems 1
  - b. Film and Transition Boiling 4
  - c. Convection Heat Transfer in Rotating Systems 7
  - d. Thermal Radiation Properties of Gases 1
  - e. Cryogenic Heat Transfer 2
6. Vol.6 (1970)
- a. Supersonic Flows with Imbedded Separated Regions 6
  - b. Optical Methods in Heat Transfer 0
  - c. Unsteady Convective Heat Transfer and Hydrodynamics in Channels 6
  - d. Heat Transfer and Friction in Turbulent Pipe Flow with Variable Physical Properties 7
7. Vol.7 (1971)

- a. Heat Transfer near the Critical Point 5
- b. The Electrochemical Methods in Transport Phenomena 26
- c. Heat Transfer in Rarefied Gases 8
- d. The Heat Pipe 0
- e. Film Cooling 4

## 寄 書 コ ー ナ ー

(夏期伝熱セミナーで提供された話題)

### 多目的高温ガス冷却炉の開発と熱設計

日本原子力研究所

能 沢 正 雄

#### 1. 序

高温ガス冷却炉(高温ガス炉と略称する)は、原子炉の炉心が、黒鉛とセラミックスのみで構成されており、他の原子炉型では見られない特徴をもっている。冷却材は稀有元素のヘリウムを用いるので、高温にいたるまで腐食などの現象がなく、高温化に有利である。

発電用の原子炉としての高温ガス炉は、すでに海外で実用化の域に達したものと見られている。すなわち、1960年のはじめ頃から建設に着手され、研究開発が進められた実験炉規模の、ドラゴン炉、ピーチ・ボトム炉、およびAVR炉は、ここ数年にわたって順調な運転実績を示している。第1表に、これらの高温ガス炉の主要特性を示す。

原型炉規模の発電用ガス炉は、GGA社の建設にかかるフォート・セント・ブレン炉(電気出力330MW)が米国のコロラド州デンバー近くに完成間近か(1972年4月商業運転予定)であり、西独ではAVR炉の延長としてTHTR炉(電気出力300MW)が建設に着工したといわれる。どちらの炉も発電熱効率は約40%である。

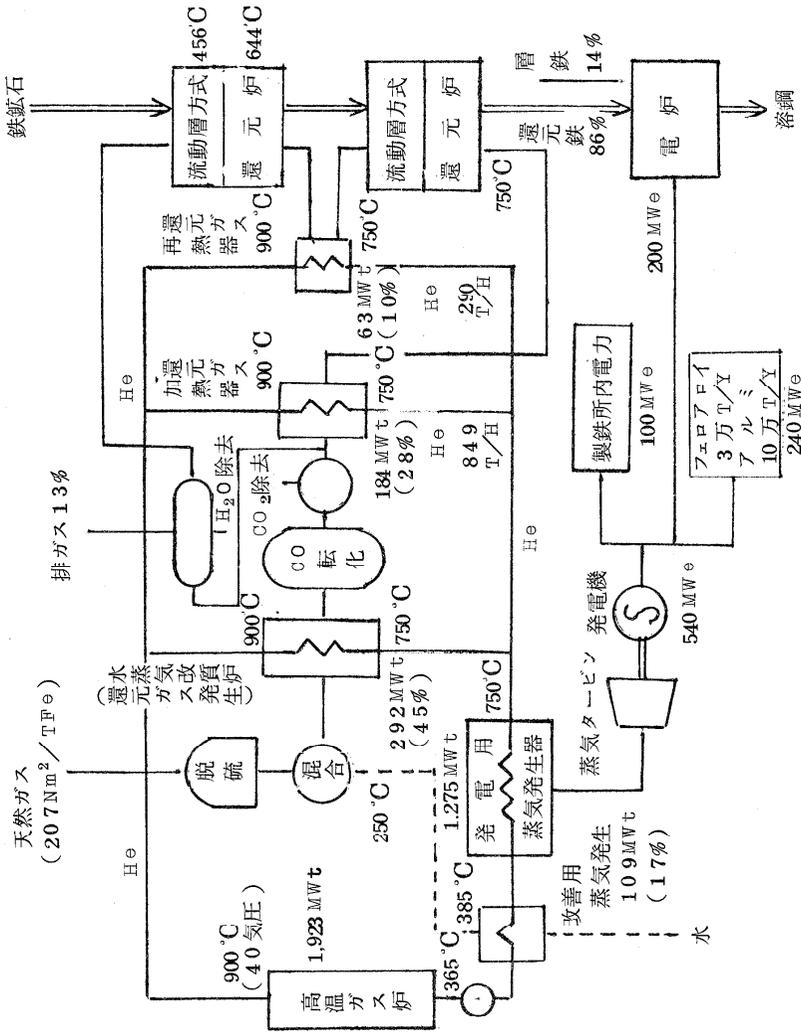
高温ガス炉の技術的可能性は、発電用に必要なガス温度である750°~800°Cよりも高温のガス温度をえて、産業用の加熱源として利用する道を開いた。すなわち、原子力エネルギー(核熱)の多目利用である。なかでも、製鉄産業におけるエネルギー消費が多いため、製鉄業における鉄鉱石の還元過程への応用に深い関心が寄せられている。例と

第1表 実験炉規模の高温ガス炉

炉 名 称	ドラゴン炉	ビーチ・ボトム炉	AVR炉
所 在 地	英 国 ウインフリス	米 国 ペンシルバニア	西 独 ユーリッヒ
所 有 者	OECD	ファイナルファイア 電気	AVR
建 設 者	OECD ドラゴン・プロジ ェクト	GGA社	BBK
着 工	1960年4月	1962年2月	1961
臨界/出力運転	1964/1966	1966/1967	1964/1968
熱出力 (MWt)	20	1155	46
電気出力 (MWe)	—	40	13.2
冷却材原子炉入口温度(°C)	350	344	175
“ 原子炉出口温度(°C)	750	728	850
プラント熱効率(%)	—	34.6	28.7
炉心直径/高さ(m)	1.07/2.54	2.8/2.3	3/3
冷却材圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	20	44.6	10
出力密度 $\text{MW}/\text{m}^3$	14	8.3	2.2
被覆燃料粒子核物質	U-Th	U-Th	U-Th

して、EEC共同体で検討された原子力製鉄の構想がある。その一つは高温ガス炉から1200°Cのヘリウム冷却材を取り出し、この熱を鉛に伝えたのち、1150°Cの鉛をコークス、鉄鉱石を容れたシヤスト炉に通して還元鉄を作り、電炉で溶鋼をえるものであって、他は原子炉から900°Cの冷却材をえて、メタンから還元性ガスを水蒸気改質器によって製造し、純化したのちふたたび750°Cまで加熱し、流動層方式による鉄鉱石の直接還元を用いる考え方である。この後者の場合のフローシートを第1図に示す。第2表はその熱配分である。

日本では、日本原子力産業会議、日本鉄鋼協会が、高温ガス炉の多目



第1図 EEC原子力製鉄(CSM法)フローチャート

第2表 EEC原子力製鉄エネルギー配分

原子炉	
熱出力	1,923 MWt
He 出口温度	900 °C
電力配分	
1.275 MWt (66%) 電力用	(540 MWe)
製鉄所内用	100 MWe
電 炉	200 MWe
その他	240 MWe フェロアロイ 5万 t/y, アルミ 10万 t/y
熱配分	
648 MWt (34%) 加熱用	
天然ガス改質用	292 MWt (45%)
還元ガス加熱用	184 MWt (28%)
還元ガス再加熱用	63 MWt (10%)
改質用スチーム発生	109 MWt (17%)

的利用の検討を昭和43年頃からはじめている。また通産省でも、エネルギー源としての原子炉、軽水炉や高温ガス炉を中心とする、いわゆる原子力コンビナートの検討を行なっている。昭和44年から、日本原子力研究所（原研）でも多目的原子炉としての高温ガス炉の開発に着手した。原子力委員会は、高温ガス炉懇談会を開催し、多目的高温ガス炉の開発が日本でも必要なことを結論づけるに至っている。

さてここでは、原研の高温ガス炉の開発とくにその第1期目標である多目的高温ガス実験炉（以下実験炉と略称することがある）について述べる。

多目的高温ガス実験炉は、冷却材ヘリウムの原子炉出口温度1000°C、熱出力50 MWtの高温ガス炉であって、1000°Cの核熱の熱源としての利用法を確立するとともに高温の汎用熱交換器、ヘリウム・ガスタービンなどの実証を行なうことをも予定している。実験炉の設計は、44年

度に試設計，45年に第1次予備設計を実施し，46年度には第2次予備設計を行なう予定になっている。設計をこのように何度も繰返して行なう理由は，各設計終了後に十分な検討期間をおき，研究開発との関連をよく対応させること，各設計がいくら部分的に粗であってもバランスのとれた総合的なものとすることによって，つぎの段階への発展を円滑に行なうためである。

設計における最大の課題の一つは，与えられた許容温度（約1350°C）の燃料を用いて，原子炉出口温度1000°Cを出させることにある。燃料要素の形状の選定，冷却材流路の決め方，炉心内における出力分布の与え方，燃料の燃焼による変化など考慮すべきパラメーターは多く，一方耐震性，事故時の挙動などの安全性をも考慮する必要がある。高温のヘリウムガスの顕熱を利用する機器の設計もまた未知の分野である。予備設計では，従来の実績の多い機器という観点から，メタンガスの水蒸気改質装置をとりあげ，40気圧，1000°Cのヘリウムの顕熱を使用することを検討している。

## 2. 多目的高温ガス実験炉

固体の燃料を用いる原子炉では，燃料の燃焼（核分裂の進行）にともなって発生する核分裂生成物（F.P.）を冷却材中に放出しない構造をとっている。このため，軽水炉，高速炉では金属の燃料被覆管を用い，F.P.の封じ込めを計っている。しかし金属を用いると，その使用温度上限が強度的な限界のため，低く抑えることとなるので，高温ガス炉では被覆として炭素，炭化珪素を用いている。この燃料形式では，ウランやトリウムの炭化物，酸化物を小球の中心核（kernel）とし，流動床法によって炭化水素やメチルトリクロシランを高温分解させて被覆層として附着せしめるもので，被覆燃料粒子（coated fuel particle）と呼ばれている。F.P.の封じ込めは，ガス状F.P.が高温分解炭素層，固体状のとくに金属F.P.がSiC層によってなされる。それぞれのF.P.の核種について，生成量の約 $10^{-5}$ ～ $10^{-6}$ 程度が拡散によって外え

でてくるといわれる。

高温ガス炉の炉心は、この被覆燃料粒子を発熱源として構成され、減速材と構造材としての黒鉛、冷却材としてのヘリウムがこれに加わる。被覆燃料粒子の使用にあたっては、現在の開発状況からみてその許容温度とみられる $1350^{\circ}\text{C}$ 附近にとどめることが必要であるが、温度勾配が大であると、アメーバ現象による破損が考えられ、また高温すぎると、F.P.の放出が大きくなりすぎるおそれがある。

炉心の出力分布は、核設計によって定める。燃料要素の形状を決定するとき、核的・熱的な考察を加えておくので、核設計での調節は炉心の各位置に置かれる燃料要素内でのウランの濃縮度で行なうこととなる。実験炉では、半径方向に2領域の出力平坦化、軸方向に指数関数型分布を行なうことで、原子炉出口温度と燃料最高温度の差を少なくする努力を払った。

燃料交換の単位となる燃料要素は、海外の高温ガス炉の例から、いろいろな可能性が考えられる。たとえば、球状燃料（ペブルベッド型、AVR, THTR）、棒状燃料（ピーチボトムなど）、ブロック燃料（フォート・ヤント・ブレイン炉）などである。実験炉の設計では、黒鉛ブロック型のもので、冷却孔に挿入する燃料ピンは、黒鉛スリーブに中空形状の燃料ペレットを容れたものとした。この型式は、ホローロッド型燃料ピンと呼ばれている。燃料ペレットは、前に述べた被覆燃料粒子と黒鉛粉を混合し、少量のレジンを固めて $1800^{\circ}\text{C}$ 位で焼成したものである。黒鉛スリーブと燃料ペレットの隙間には、冷却材である40気圧のヘリウムが満されていると考えられる。第3表に、燃料要素の設計諸元を示す。第2図は、この燃料要素を用いて構成した炉心をもつ原子炉体の縦断面図であり、第3図は水平断面である。第4図は燃料要素の図である。

### 3. 実験炉炉心の熱設計

冷却材であるヘリウムの圧力は $40\text{ kg/cm}^2$ を採った。これは高い程、

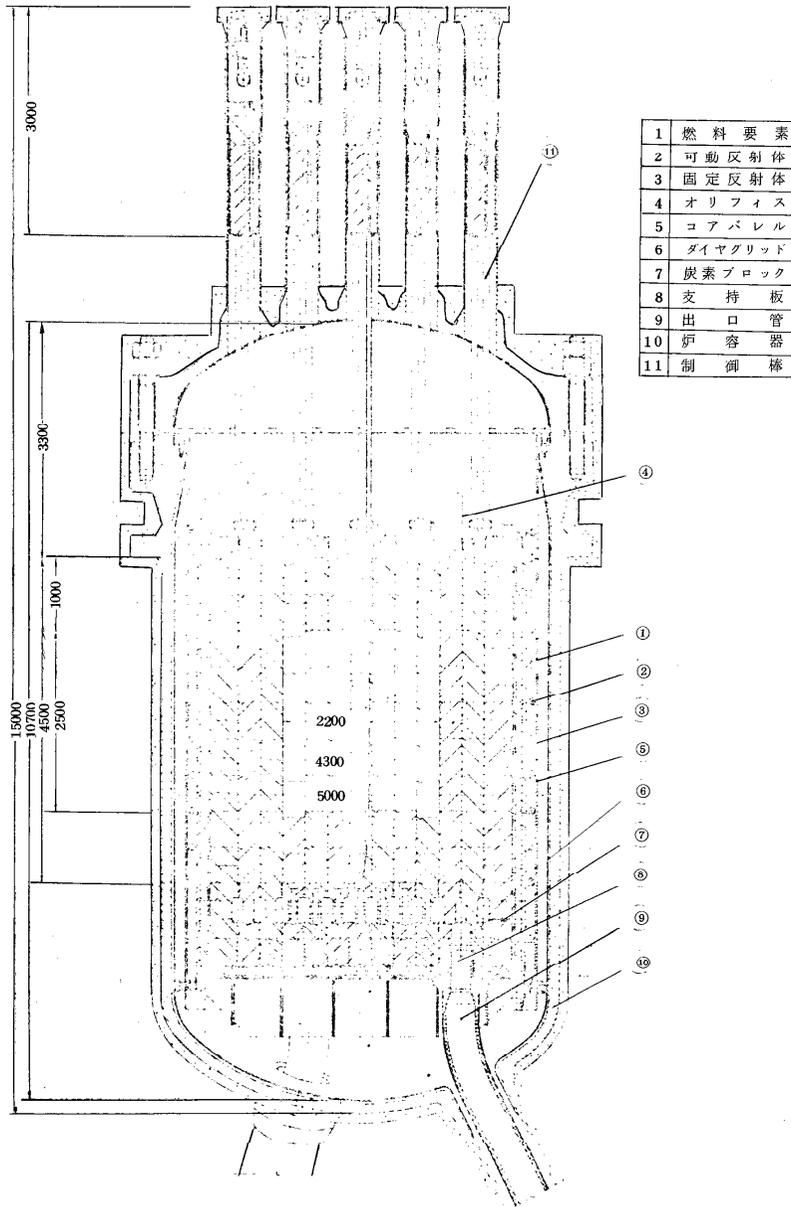
第3表 多目的高温ガス実験炉予備設計における被覆子  
諸元と燃料要素

1 燃料核(カーネル)				
カーネル材		UO <sub>2</sub>		
直径(μ)		500		
密度(対理論密度)		0.90		
濃縮度(%)		4, 6, 8		
真球度(d <sub>max</sub> /d <sub>min</sub> .)		≤1.2		
2 被覆層				
機能	厚さ(μ)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	異方性(BAF) <sup>†</sup>	物質
第1層 緩衝層	40	1.1	—	PyC
第2層 ガス F.P. 密閉	30	1.8	≤1.1	PyC
第3層 金属 F.P. 密閉	25	3.2	—	SiC
第4層 保護層	40	1.8	≤1.1	PyC
3 被覆粒子				
直径(μ)		780		
真球度(d <sub>max</sub> /d <sub>min</sub> .)		≤1.2		
4 燃料ピン				
外径/内径(mm)		34.0/24.2		
長さ(mm)		500		
5 燃料ペレット(穴あき型)				
外径/内径(mm)		24.0/8.0		
高さ(mm)		40.0		
個数/ピン		12		
6 燃料要素ブロック				
六角平面間距離(mm)		299		
高さ(mm)		500		
冷却孔径(mm)		37		
冷却孔ピッチ(mm)		47.5		
冷却孔数/ブロック		36		

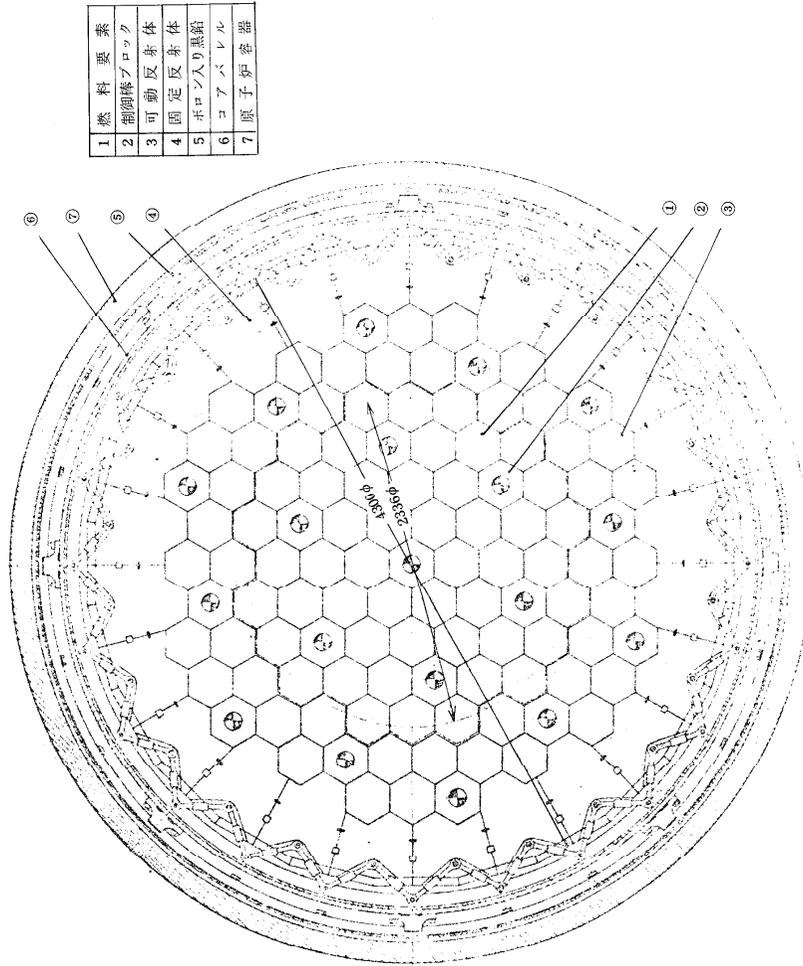
<sup>†</sup> BAF: Bacon Anisotropy Factor

熱除去に有利となるが、水蒸気改善器の2次側である水蒸気とメタンの混合物の圧力が30 Kg/cm<sup>2</sup>以下であり、1000°Cのヘリウムの利用機器の耐圧条件から10 Kg/cm<sup>2</sup>以上の差圧は好ましくないと考えたからである。炉心の冷却は、上部から下部に向ってなされる。このことにより、黒鉛ブロック内の燃料ピンの固定が簡単となり、制御棒の支持

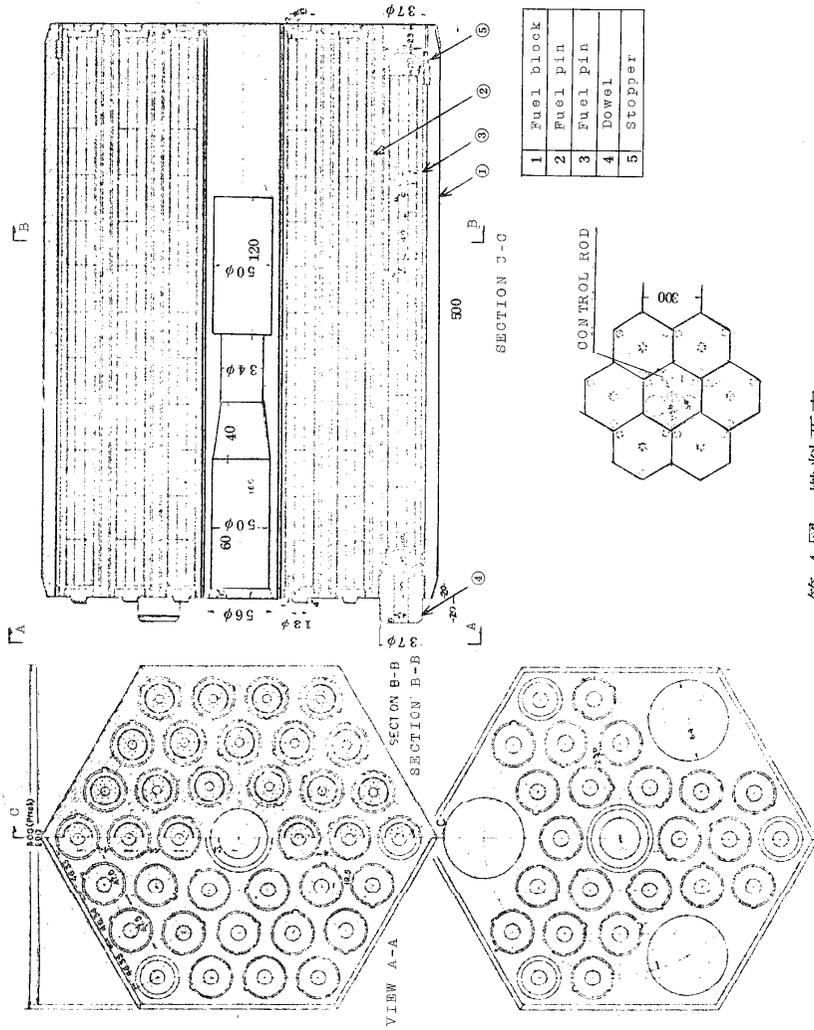
多目的高温ガス実験炉予備設計 (JAERI-memo 4419) より



第2図 原了炉断面図



第3図 原子炉横断面図



第 4 图 燃料要素

機構は低温部である炉容器上部に設置することができる。原子炉の入口温度は400°Cであり、混合出口平均温度は1000°Cである。原子炉容器および主要構成部分は入口温度の400°Cヘリウムで常時冷却されることとなる。

(1) 基本的考え方

燃料体の定格最高温度が1350°C以下であって、原子炉の入口、出口のヘリウム温度が400°C、1000°C平均になるようにすること。原子炉の熱出力は定格で50MWとし、出力分布は核設計で与えられるものとする。また燃焼による出力分布の変化、燃料取り替えによる出力分布の変化を考慮する。

燃料要素は5個縦に積上げて1つのチャンネルを形成している。各チャンネルの冷却材流量配分は、その上部に設うけたオリフィス装置に行なうものとし、燃料の制限値を考慮して流量調節を行なう。

(2) 設計計算

予備設計では、燃料ピンとその外側を流れる冷却材の構成要素(チャンネル)を計算単位として熱流動解析を行なう。冷却材のエンタルピと圧力損失を計算する際に冷却材を温度と圧力の関数として取扱うために繰返し計算を行なう。核計算によって得られる出力分布を用い冷却材のエンタルピ計算を行なうが、発熱によるエンタルピ上昇の他に冷却材の運動エネルギーの効果も考えている。圧力損失では摩擦損失と加速損失を含め、摩擦損失係数は層流域でHagen-Poiseuilleの式、乱流ではNikuradseの式を用いる。

スリーブ表面温度を計算する熱伝達率の式はDittus and Boelterの式を温度補正した次式を用いる。

$$N_u = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.4} \left( \frac{t_{cool}}{t_1} \right)^{0.55}$$

ここに  $t_{cool}$ 、 $t_1$  はそれぞれ冷却材とスリーブ表面温度を表わす。

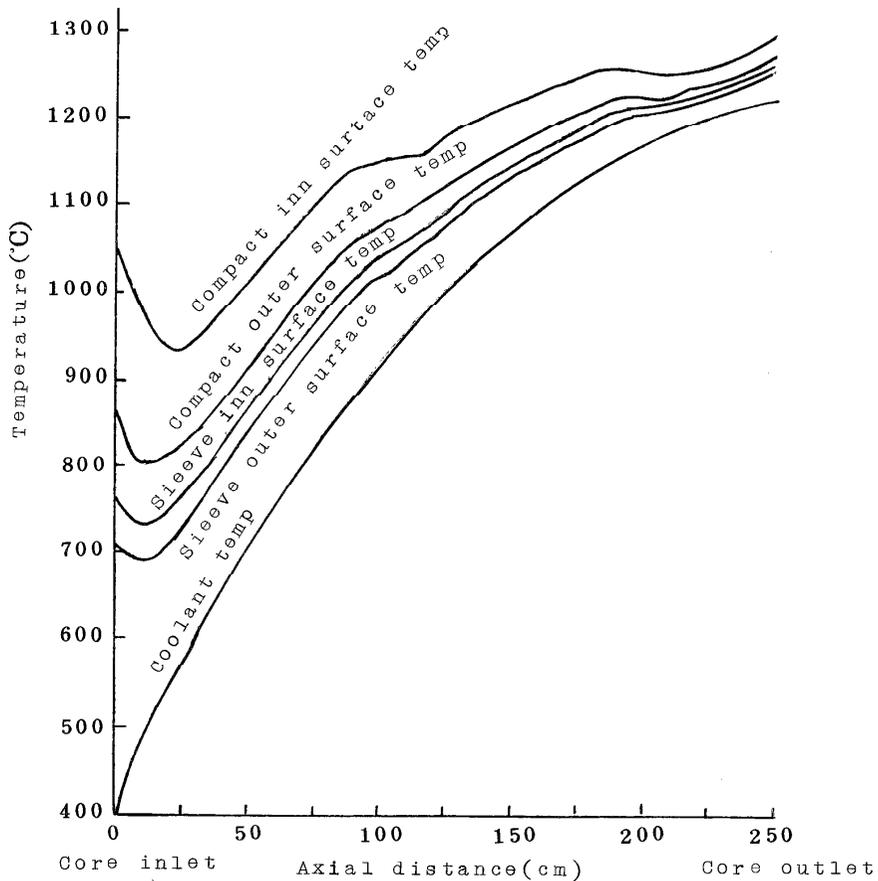
また、燃料ピン内の温度分布は熱伝導方程式の一次元径方向について解いた式を用いる。燃料ペレットとスリーブ間のギャップにおける熱の

移動はヘリウムによる熱伝導分だけを考えているが、このヘリウムの熱伝導率はスリーブ内面とペレット表面の算術平均温度における値を用いる。燃料ペレットの温度分布は発熱が径方向に一様として計算される。

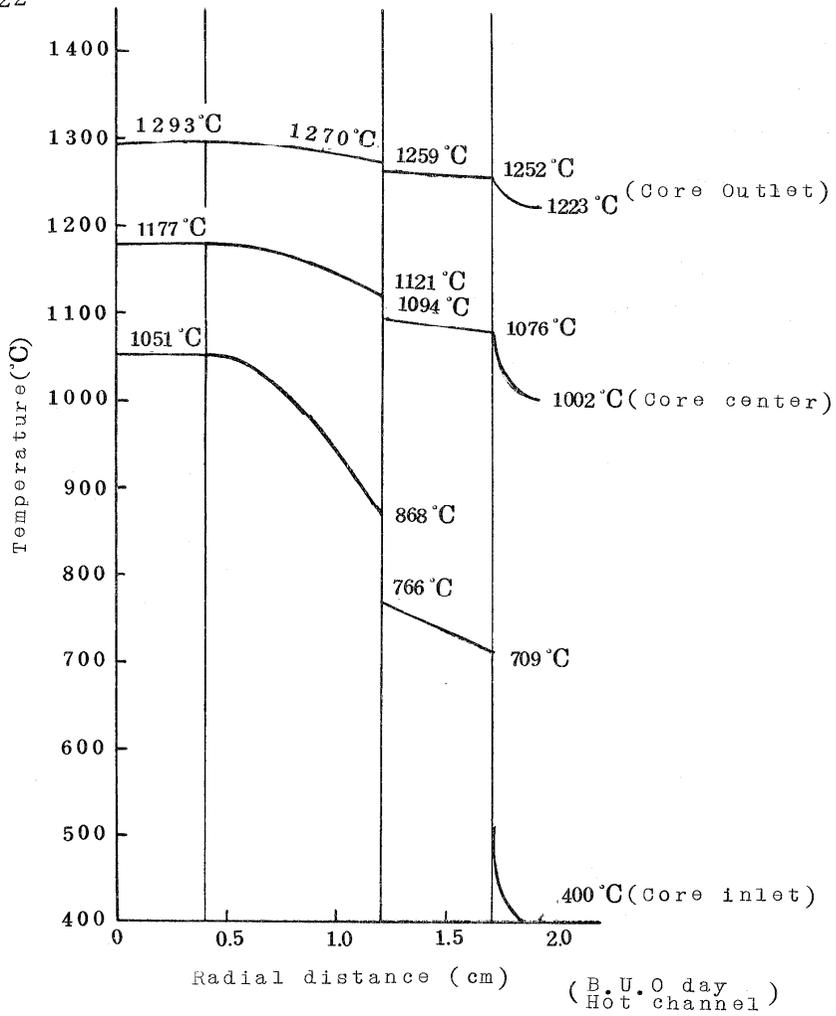
以上の計算は、計算コードを作製し、コンピュータによって解かれている。

### (3) 計算結果

最高温度になる燃料要素の中の1つの冷却チャンネルでの温度分布を、軸方向（第5図）と燃料ピンの半径方向（第6図）について図示した。



第5図 燃料チャンネルの軸方向温度分布 (B.U.O cay Hot channel)



第 6 図 燃料ピンの半径方向温度分布

4. まとめ

実験炉の予備設計における設計諸元を第 4 表に示したので参考にされたい。

温度領域が高くなると、既存の実験値が見当らなくなるため、原研で

は種々の研究計画がたてられている。

最後に、これを書くについて議論に応じて下さった、宮本喜晟氏に感謝する。

第4表 多目的高温ガス実験炉主要目

	試設計	予備設計
原子炉熱出力 (MWt)	35	50
1次冷却系 (He)		
冷却回路数	3	3
冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ・G)	39	40
冷却材原子炉入口温度 (°C)	500	400
冷却材原子炉出口温度 (°C)	1,000	1,000
炉心燃料要素形状	棒状	六角ブロッ ク状
炉心寸法 (cm)		
直径	235	234
高さ	200	250
半径方向反射体 (黒鉛)	50	70
軸方向反射体 (黒鉛)	50	100
炉心平均 C/U 比	460	360
炉心平均熱中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・sec×10 <sup>13</sup> )	14.5	4.8
炉心平均出力密度 (W/cm <sup>3</sup> )	4.0	4.7
被覆燃料粒子 (3重シール被覆)		
カーネル物質	UC <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
<sup>235</sup> U 濃縮度 (%)	3.4, 4, 7	4, 6, 8
カーネル直径 (μ)	200	500
粒子全径 (μ)	430	780
燃料公称最高温度 (°C)	1,400	1,350

以 上

## 核融合炉について

東芝総研

大和春海

核融合炉には、その燃料の資源が豊富なこと、放射性廃棄物が少なく、安全性が高いこと等、多くの優れた点のあることはよく知られている通りである。特に資源の問題についていえば、現在使用されている化石燃料、核分裂燃料では、いずれエネルギーの需要を満たすことはできなくなり、核融合炉を必要とする時が必ずくるといわれている。核融合反応の研究はすでに20年も続けられているが、融合炉の炉心に相当する高温プラズマの発生に成功していない。ところが最近になって炉心として必要な条件を満たすプラズマを作る見通しが明らかになってきた。ここでは、最も検討が進んでいる重水素、三層水素を燃料とした炉(D-T炉)を念頭におき、核融合炉について簡単にお話をする。

図1に示したように、中心に融合反応を起させるための炉心プラズマがあり、その外に真空容器壁がある。プラズマの温度は $10^8$ °Kといった高温であるため壁との間を磁場によって隔離し、間に真空領域を作って熱絶縁をする。D-T炉ではプラズマ中で起る反応は表1の(a)の反応であり、反応によって発生した14M.e.v.の中性子は真空壁を通過してブランケットに入る。ブランケットは中性子の増倍、減速、吸収をする部分と減速の過程で発生した $\gamma$ 線、および残りの中性子を吸収する遮蔽から成っている。D-T炉では天然に存在しないTを生産することが必要であり、1コ of T原子を消費したとき1コ以上のTを作る構造をもった増殖炉が考えられている。これまでの核計算ではブランケット中に天然のリウムをおき、反応(b)、(c)の組合せによって、増殖率1.3といった大きな値が得られている。ブランケットの外を囲むのは、プラズマを真空壁から隔離するために必要な、磁場を発生する電磁石がおかれる。電磁石

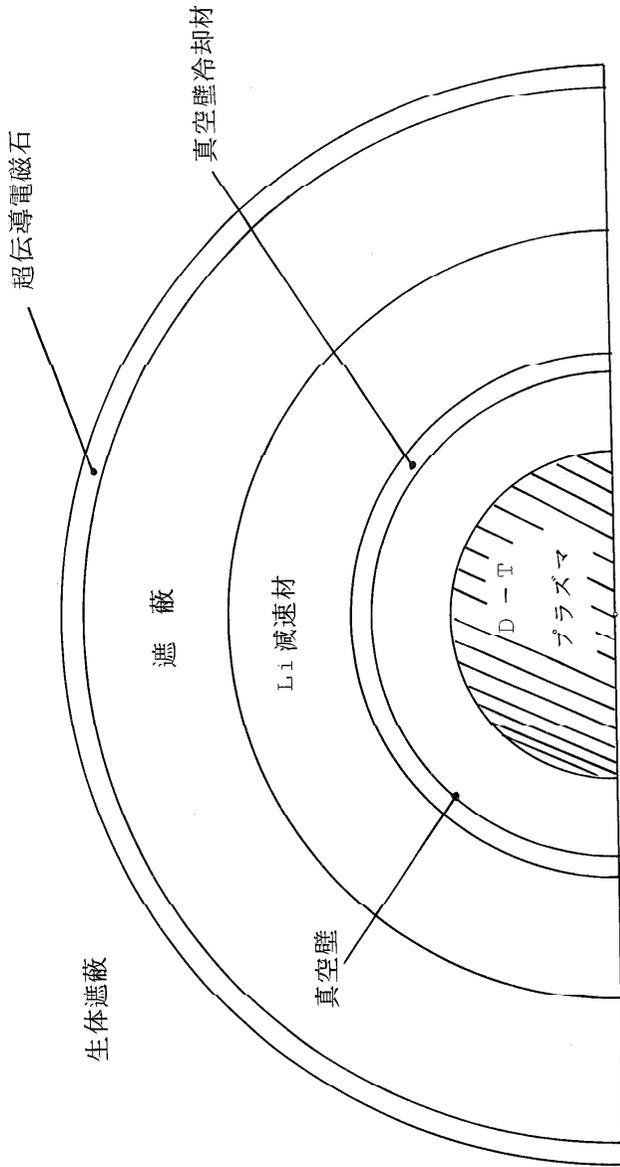
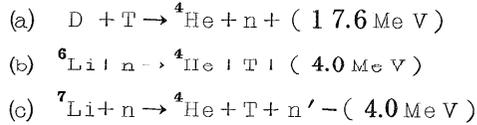


図1. D-T炉断面の概念図

表1. D-T炉の核反応



は超伝導線を使った空心のコイルであり、プラズマの保持に必要な磁場は約100kgである。

核融合炉が実現するための重要な要素として、必要な条件を満たす炉心プラズマが達成されることはもちろんであるが、そのほかTの増殖と並んで、真空壁およびブランケットの冷却の問題がある。真空壁では中性子の減速で起る発熱のほか、プラズマからの電磁波の放射、およびブランケット中で発生した $\gamma$ 線の照射がある。炉の概念設計をする際に基準として、真空壁を通過する中性子のエネルギー束がとられている。例えばしばしば使用されている値としてエネルギー束を $10 \text{ MW/m}^2$ とすると真空壁中での発熱はブランケットの構造によっても異なるが、 $100 \sim 200 \text{ W/cm}^3$ 、ブランケット内では大きいところでも $30 \text{ W/cm}^3$ 程度である。冷却材としては、Tの生産に使用するLiを含んだ物質を使用するのが、冷却路のための十分な空間をとらず優れている。例えば液体金属のLiとか、熔融塩(Li, Be, F<sub>4</sub>)である。そのほかヘリウムによるガス冷却も検討されている。ブランケットおよび真空壁の温度の上限は、構造材、冷却材の種類によって決まるが、これまでの検討では $500 \sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ の間である。発電の効率からは、当然温度が高いことが望ましい。

真空壁および構造材料としては、以前の設計例ではMbが考えられていたが、最近ではNbの例が多くVを使用することを提案している例もある。Nbは加工性に優れ、高温での使用ができるが、中性子による放射化の点でVの方が良い。エネルギー束を決定するもう一つの重要な問題として、真空壁の中性子による放射線損傷がある。真空壁を通過する中性子束は上述の $10 \text{ MW/m}^2$ のとき、約 $3.7 \times 10^{15} / \text{cm}^2 \text{ sec}$ であり、

その値は高速炉 EBR-II 燃料の被覆を通過する中性子束と同程度である。しかしエネルギーは前者で 14 MeV, 後者では 1 MeV であり, 損傷は核融合炉では, はるかに大きな問題である。熱除去の問題, 中性子に損傷の問題のいずれが, 本当にエネルギー束を制限し, その値をいくらしすべきであるかを決定するには, 今後の実に詳しい検討とデータの蓄積を必要とする問題である。

核融合の研究はこれまで炉心プラズマの研究が大部分であったが, 最近炉心以外の部分についての研究がようやく活発になってきた。これから各分野の専門家の参加が核融合炉の実現に不可欠である。

ニ ュ ー ス

第9回伝熱シンポジウムについて

頼実正弘(準備委員長)

日本伝熱シンポジウムは回を重ねる度に盛大になり同慶の至りであります。大阪における第8回シンポジウムで、伝熱研究会のある各地を一巡した形になりました。しかし中国、四国地方には伝熱研究会がなく、この地区でシンポジウムが開催できなかつたため、中四国地区に、伝熱研究会を結成して広島で開催してはどうかというご意見があり、その方針に沿って「中四国伝熱研究会」がスタート(46年6月)し、同時に第9回伝熱シンポジウムのための準備委員会が結成されました。

本準備委員会においては、過去のシンポジウム、および「伝熱研究」に掲載されているシンポジウムの反省について検討し、第9回シンポジウムのあり方について種々討論を行ないました。その結果、従来の講演発表会では、シンポジウムの意義が薄く、各学会の講演会と大差がなく、前刷集を充実すれば、出席する意義が薄いという意見が少なからず出ました。そこで、「シンポジウムは出席しなければ意義がない」のどのようなプログラムにしたい、またそのためには、出席者全員が一堂に会して、一つのテーマについて自由な討論を展開するチャンスを作ろうという結論になり、色々意見もありましたが、初めての試みとして、つぎのように行なうことにしました。

月日(曜日)	午 前	午 後
5:25(木)	講演発表(1)2~3室 従来通り	シンポジウム(1) 管内沸騰流のバーンアウト 座長 西川兼康氏

5:26(金)	講演発表(2)2~3室 従来通り	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="701 322 765 463">総 会</td> <td data-bbox="765 322 897 463">特別講演 熱・燃焼 と公害 杉山幸男氏</td> <td data-bbox="897 322 1015 463">講演発表 (3) 従来通り</td> <td data-bbox="1015 322 1056 463">懇 親 会</td> </tr> </table>	総 会	特別講演 熱・燃焼 と公害 杉山幸男氏	講演発表 (3) 従来通り	懇 親 会
総 会	特別講演 熱・燃焼 と公害 杉山幸男氏	講演発表 (3) 従来通り	懇 親 会			
5:27(土)	講演発表(4)2~3室 従来通り	シンポジウム(Ⅱ) 諸機器における 対流熱伝達の増進 座長 一色尚次氏				

したがって、午前中の行事は従来通りですが、午後のイベントに力点を置きました。したがって、発表件数が多くなると、室数が多くなり問題もありましようが、午後の集合形式でカバーすることで、御了承戴きたいと思います。午後の部を担当下さる諸先生方には、格別の御協力を戴くことになりましたので厚く御礼申し上げます。特にシンポジウムの座長である西川、一色両先生はオーガナイザーとして基調講演あるいはテーマに沿った3~5題の講演を準備中であります。それらも前刷集にのせ、皆様のお手許にお届けし、当日の討論を活発にするための資料と致し度いと思いますので、会員の方々は質問、コメントを多数書面によって提出下さるようお願い致します。

この種のシンポジウムでは、質問コメントのない時程オーガナイザーとして苦痛に思う事はありません。3時間ずつの各セッションを有意義にするため、会員各位の協力を重ねてお願いすると共に鯉のぼり泳ぐ広島に多数の方々の第9回シンポジウムへの参加を懇願致します。

会 告
-----

第9回日本伝熱シンポジウム講演募集

- \* 開催日：昭和47年5月25日（木），26日（金），27日（土）
  - \* 会場：中国新聞社ビル7階（広島市土橋町7）
  - \* 講演申込締切：昭和47年2月10日（木）
  - \* 申込先：東京大学工学部化学工学科内 日本伝熱研究会  
（東京都文京区本郷7-3-1 〒113）  
〔ただし，日本機械学会会員は同会熱工学委員会あて（東京都港区赤坂4丁目1-24，日本規格協会ビル内 〒107）〕
- 申込方法：はがきに「伝熱シンポジウム研究発表申込」と題記
- (1) 題目 (2) 概要（100ないし200字） (3) 氏名・勤務先・所属学協会会員資格（連名の場合は講演者に※印）
  - (4) 連絡先 を記入して上記申込先あてご送付下さい。なお，講演される方は1名1題とし，講演時間は15分の予定です。
- \* 前刷原稿：前刷はオフセット印刷，原稿は1443字詰原稿用紙4枚以内（日本文を原則としますが，英文タイプでも可）。原稿用紙は日本伝熱研究会より後日，研究発表申込者あて送ります。
  - \* 前刷原稿提出期限：昭和47年3月25日（土）
  - \* 前刷原稿送先：〒730 広島市千田町3丁目  
広島大学工学部機械工学科内  
日本伝熱シンポジウム準備委員会

## “Heat Transfer Japanese Research”について

日本の伝熱関係の優秀なしかも他に英訳して発表されたことのない論文を1971年分から順次英訳して、上記の表題の雑誌(年2号)として米国の Scripta Publishing Corporation より発行いたします。第1号は1972年1月の予定です。ASME及び化学工学協会が Co-sponsor になり、編集委員は下記のごとくです。

編集者：J. P. Hartnett; T. F. Irvine, Jr.; 水科篤郎  
編集委員

日本側：青木成文，石谷清幹，石黒亮二，伊藤竜象，大谷茂盛，  
国井大蔵，佐藤 俊，西川兼康，長谷川康，平田 賢，  
藤井正一，森 康夫

米国側：R. D. Cess, S. W. Churchill, E. R. G. Eckert,  
K. A. Gardner, C. Gazley, Jr., S. Kezios,  
F. Landis, S. Levy, S. Ostrach,  
W. M. Rohsenow, R. P. Stein, Y. S. Touloukian,  
P. T. Vickers, J. W. Westwater.

以 上

## ユーゴスラビアにおける1972年 夏期セミナー論文募集について

主 催：International Centre for Heat and Mass Transfer  
期 日：8月30日～9月6日  
場 所：ユーゴスラビア(会場未定)  
主 題：熱交換器の最近の進歩  
内 容：1. Heat and mass transfer in heat exchangers

with single phase stationary flow.

2. Heat and mass transfer in heat exchangers with multiphase stationary flow.
3. Heat and mass transfer in a packed bed.
4. Heat and mass transfer in periodically operating heat exchangers.
5. New design of heat exchangers.

上記のセミナーに出席し、講演される意志のある方は（セミナーですので出席する事が条件です）1000 words の英文アブストラクトを3月15日までに下記宛お送り下さい。

ただし、今回のセミナーは熱交換器を実際の装置として見るということ条件がついていますので、応用と結びつかない論文では困ると思います。

〒606 京都市左京区吉田本町

京都大学工学部化学工学教室

水 科 篤 郎

## 地方グループ活動コーナー

### 北海道研究グループ

昭和46年10月8日

北海道大学工学部機械工学科

- (1) 管壁の温度変化を伴う水の凍結問題  
(釧路工高専) 坂爪伸二 菅原征洋\*
- (2) 水中における雪の融解について  
(北大工) 今野智視
- (3) ウォールジェットの熱伝達  
(北大工) 三田地紘史 石黒亮二

#### (1) 管壁の温度変化を伴う水の凍結問題

釧路工高専 坂爪伸二 ※菅原征洋

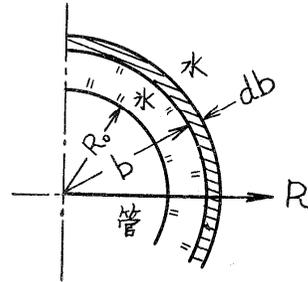
本報告は、管壁温度が変動し、且つ、凍結面において対流熱伝達を伴う場合の垂直円管外の水の凍結問題を解析し、これと実験結果と比較検討したものである。

この場合、凍結モデルは第1図に示すように軸対称の場合であり、また、水側から凍結面へ移動する熱量を一定とし、 $\phi = \theta_i / \theta_c$ ,  $\tau = (k_i \theta_c / r L R_0^2) t$ ,  $r = R / R_0$ ,  $\beta = b / R_0$  なる無次元変数を導入すると、基礎微分方程式及び熱平衡式は次のようになる。

$$\text{Ste} \frac{\partial \phi}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) \quad (1) \quad \frac{d\beta}{d\tau} = \left( \frac{\partial \phi}{\partial r} \right)_{\beta} - H \quad (2)$$

こゝに、 $\phi$ 、 $\theta$  : 温度、 $\tau$ 、 $t$  : 時間、 $r$ 、 $R$  : 管中心からの距離、 $R_0$  : 管中心から管外壁面までの距離、 $\beta$ 、 $b$  : 管中心から凍結面までの距離、 $k$  : 熱伝導率、 $h$  : 熱伝達率、 $\rho$  : 比重量、 $C_p$  : 定圧比熱、 $L$  : 凍結の潜熱、 $Ste$  : 無次元数 ( $C_p \theta_c / L$ )、 $H$  : 無次元数 ( $h R_0 \theta_w / k_i \theta_c$ )、また、添字  $i$  は水、 $w$  は水を示す。なお、 $\theta_c$  は管壁温度に從属する温度であり、 $\theta_w$  は周囲の水の温度である。

水の凍結の場合には  $Ste \ll 1$  と見做せるためこれをパラメタとして摂動法を用いると、氷厚  $\beta(\tau, Ste)$  は次のようになる。



$$\beta(\tau, Ste) = F_0(\tau) + Ste \frac{1}{F_0(\tau) \ln F_0(\tau)}$$

$$\int_0^\tau \phi^\circ(\tau) \frac{\beta_1(\tau, Ste)}{F_0(\tau)} \left(1 + \frac{1}{\ln F_0(\tau)}\right) d\tau + Ste \beta_1(\tau, Ste) \quad (3)$$

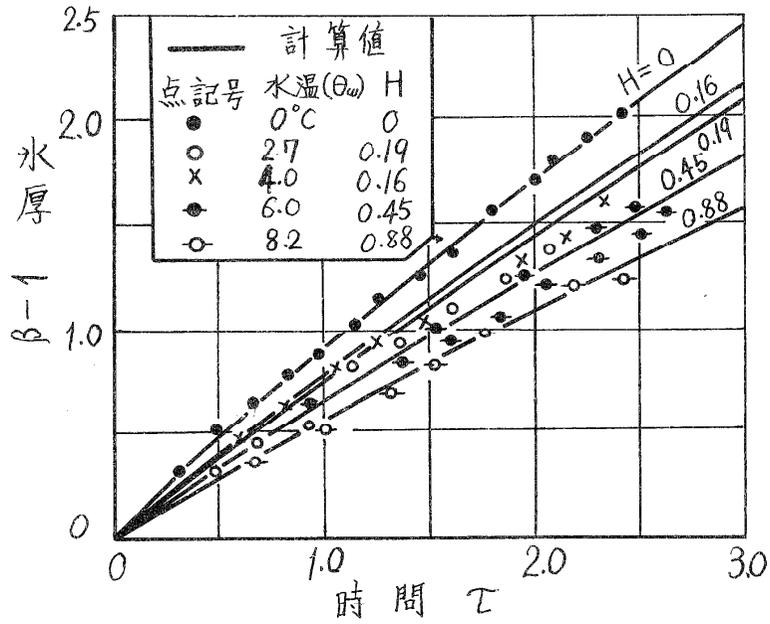
こゝに  $\frac{d\phi^\circ(\tau)}{d\tau} = -\frac{\phi^\circ(\tau)}{F_0(\tau) \ln F_0(\tau)} - H, F(0) = 1$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{1}{4} \left\{ \int_0^\tau \frac{d\phi^\circ}{d\tau} \left( \frac{F_0}{\ln F_0} - \frac{F_0}{(\ln F_0)^2} + \frac{1}{F_0 \ln F_0} + \frac{1}{F_0 (\ln F_0)^2} \right) d\tau \right. \\ &\quad \left. + \int_0^\tau \phi^\circ \frac{dF_0}{d\tau} \left( \frac{2}{\ln F_0} - \frac{2}{(\ln F_0)^2} + \frac{1}{(\ln F_0)^3} \right) d\tau \right\}, \beta_1(0, Ste) = \\ &= 0 \end{aligned}$$

こゝで、管壁温度条件  $\phi^\circ(\tau)$  を適当な時間の関数で表わし、凍結面の熱伝達率が分かると(3)式より氷厚の時間的変化が求められる。

実験は管壁温度を直線的に下降させた、すなわち  $\phi^\circ(\tau) = -\tau$  なる場合について行なつてある。具体的に次元をもつた変数で示すと  $\theta^\circ(t) = -1.076t$ 、 $Ste = 0.048$ 、 $\theta_c = 7.84$  である。

第2図は、水温を種々変化させた場合について実験値と(3)式の数値解を比較したものである。水温が0℃のときは計算値と良く一致している。



才2図

水温 6 °C の場合は、実験値のバラツキが大きく不安定であった。これは、凍結面附近の水の流れが乱れやすく、その結果、温度分布が変化するためであると思われる。この点についてはさらに検討するつもりである。

この解析解は適用範囲に限定を受け、例えば、 $\phi^\circ(\tau)$  が周期函数な場合には、そのまま適用出来ないことである。

終りに、本研究を行なうにあたり、北海道大学工学部 関 信弘教授、福迫尚一郎助教授の御指導と御助言を得た。ここに、深く謝意を表わす。

## (2) 水中における雪の融解について

北大工学部 今野智祝

現存する融雪機械は水との接触によって雪を融解させるものが大部分であるが、水中における雪の熱伝達率などについてはほとんど知られていない。融雪機械内で融解しつつある雪の形状は複雑であるが、ここでは雪を直径75mmの球に成形しその水中における熱伝達率を測定した結果を報告する。

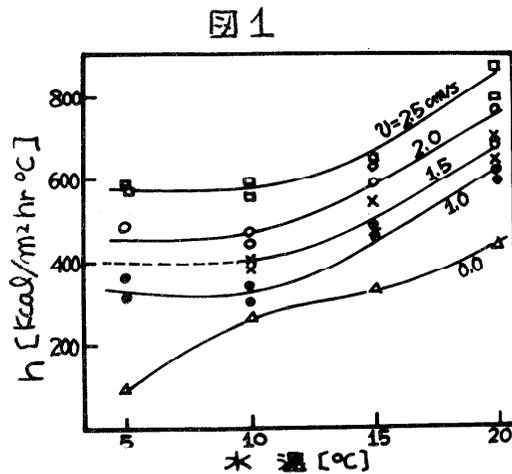
使用した雪は自然状態でのかさ比重約0.25 gr/cm<sup>3</sup>・温度約-3℃の新雪であり、それを圧縮成形することによりかさ比重が0.26~0.59 gr/cm<sup>3</sup>の範囲の試料を得た。また、雪の特殊な場合としてかさ比重約0.93 gr/cm<sup>3</sup>の氷をも使用した。熱伝達率は試料雪(または氷)の球が水中で融解することによる径の減少速度を写真計測によって求めた。

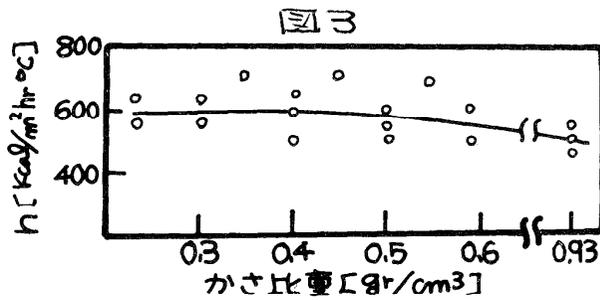
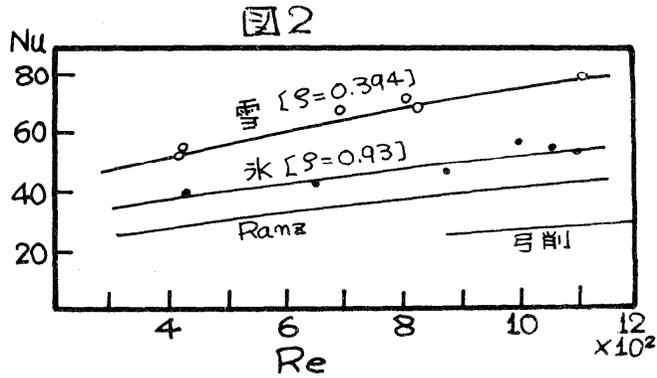
### 実験結果

かさ比重0.39 gr/cm<sup>3</sup>

の雪について水温による熱伝達率の変化を図1に示す。これによれば雪は他の物質と異なりその熱伝達率は水温に大きく影響される。

次に水温15℃の場合の雪と氷の球に対する流速の影響を図2に示す。同時に Ranz(1)の空气中における水滴球、および弓削(2)の固体球に対





する実験結果をも比較して示す。

図3は水温15℃, 流速2.5 cm/s ( $Re \doteq 1.2 \times 10^3$ ) に設定した場合のかさ比重が熱伝達率におよぼす影響を示したものである。

結論

- 水中における雪の熱伝達率は水温に大きく影響される。
- 空気中における水滴球・固体球などと比較して水中における氷球・雪球は熱伝達率が大きく特に雪の場合に著しい。これは雪の内部に侵入した水によっても熱交換されるためと思われる。

- (1) W. E. Ranz & W. R. Marshall, Chem. Engng. Progr., Vol 48, No. 3 (1952).
- (2) 弓削・梅原, 機械学会論文集, 16-54 (1950).

### (3) ウォールジェット熱伝達

北大工 三田地 紘史

北大工 石黒 亮二

層流の二次元および軸対称ウォールジェットの速度場に関して Glauert は相似解を求めた。この速度場の解析結果を用い温度場を解析すると、等温壁，等熱流束壁，断熱壁などの場合には温度場に相似解が求まり，局所ヌッセルト数  $Nu_x$  に関連した壁無次元温度勾配  $\left(\frac{dT}{d\eta}\right)_{\eta=0}$  は一義的に定まる。

壁面温度がステップ状に変化する場合については，一般に温度場に，加熱開始位置  $x_0$  の影響が入るが， $x_0$  に関連した無次元距離  $\xi = \log\left(\frac{x}{x_0}\right)$  を導入することにより，温度場を  $x_0$  によらない一般的な形で取扱うことが可能となり， $\left(\frac{\partial T}{\partial \eta}\right)_{\eta=0}$  は  $\xi$  のみの関数として数値的に求まり， $Nu_x$  は次のようになる。

$$Nu_x = \frac{x}{\lambda} = - \left(\frac{\partial T}{\partial \eta}\right)_{\eta=0} \cdot \left(\frac{u_0 x_0}{\nu}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot (\exp(\xi))^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (1)$$

さらに，等温壁，断熱壁，ステップ温度壁の場合には，二次元に対する温度場の解と軸対称に対する温度場の解とを適当な変数変換により一対一に対応づけることができる。(Mangler 変換)。

乱流ウォールジェットの速度場においては，解析的な相似解はない。しかし Glauert はレイノルズ数  $\left(\frac{u_m \delta_T}{\nu}\right)$  のオーダーによって定まるパ

ラメーター $\alpha$ を用い、乱流ウォールジェット速度場の近似的な相似解を求めている。

一方、実験的研究は、二次元の速度場について、Sigalla, Schwartyら、Bradshawら、Myerら、熊田ら、などによりなされており、さらにMyerら、熊田ら、はステップ温度壁に対して速度分布と温度分布を $(\frac{1}{n})$ 乗則形の曲線で近似しプロフィル法を用い、実験とよく合う $Nux$ の計算式を導いている。軸対称の場合は、速度場についてBakke、田中らにより実験されているが、温度場についての検討は見当たらない。

軸対称乱流ウォールジェット速度場に対しGlauertの速度分布を用いると、等温壁、等熱流束壁、断熱壁の場合を対象として温度場にも相似解が仮定でき、境界層を外層、内層、底層に分け、それぞれの解を別々に求め、境界を適合させて境界層全体の温度分布を求めることができる。このような方法によれば、数式上、温度場の解が相似解の形で求まるが、この解はパラメーター $\alpha$ の他に底層の取扱によっても大きく影響を受ける。また、速度場の近似が温度場の計算にかなり大きな誤差をもたらしている疑問もある。しかし断熱壁の場合には壁面近傍で熱の移動が小さい故、その影響は小さい。

壁面温度がステップ状に変化する場合についても、Glauertの速度分布を用いることが考えられるが、この場合にも底層の取扱いで上述と全く同じ困難が生ずる。一方、軸対称乱流ウォールジェットに関し、Bakke、田中らは実験より速度場を相似な形で得ている。この実験より得られた相似な形の速度分布を熱伝達の計算に使用することを考える。

はじめに内層のみを考える。速度分布、温度分布を $(1/n)$ 乗則形の曲線で近似し、プロフィル法を適用すれば次の結果をうる。

$$Nur = \frac{hr}{\lambda} = C_1 \cdot R_s \cdot \left(\frac{r_s}{r}\right)^{c_2} \bar{r}^{c_2} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r}\right)^{c_3}\right]^{c_4} \quad (2)$$

ここで $c_1, c_2, c_3, c_4$ は速度場の実験より求まる定数であるが、田中らの実験値を用い、 $n=7$ とするとそれぞれ0.0383, -1.12, 0.989, -0.111となる。

つぎに境界層全体を考慮した温度場の解析を行なう。田中らは軸対称乱流ウォールジェットにおいて速度分布を壁面法則の形で表示できることを実験的に確めた。速度分布に対しこの壁面法則形の相似を仮定し、エネルギー式を変換し、加熱開始位置  $r_0$  を含む微少変数  $\Delta$  をパラメータとして摂動展開し、温度場の解を  $r_0$  によらない一般的な形で求めると、 $Nu r$  は次のように求まる。

$$Nu r = \frac{h r}{\lambda} = -B \bar{r}^\varepsilon \left[ \left( \frac{\partial T_0}{\partial Z^+} \right)_{Z^+=0} + \left( \frac{\partial T_1}{\partial Z^+} \right)_{Z^+=0} \Delta + \dots \right] \quad (3)$$

ここで  $\left( \frac{\partial T_0}{\partial Z^+} \right)_{Z^+=0}$ ,  $\left( \frac{\partial T_1}{\partial Z^+} \right)_{Z^+=0}$  …… は層流の場合と同様に  $\xi = \log \left( \frac{r}{r_0} \right)$

のみの関数であり、 $B$ ,  $\varepsilon$  は速度場の実験より求まるが、田中らの実験ではそれぞれ  $3.0 \times 10^4$ ,  $-0.0995$  である。

以上、ウォールジェットの熱伝達について検討を加えたが、今後、軸対称乱流ウォールジェットについての実験を行ない、計算で用いた定数の妥当性の確認または補正を行なう必要がある。

#### 文献

- Dakko, P.; J. Fluid Mech, Vol 2 (1957) p467.  
 Bradshaw, P, Love, E. M.; ARCR & M3205 (1961).  
 Glauert, M. B.; J. Fluid Mech, Vol 1 (1956) p625.  
 Sigalla, A.; J. Royal, Aer. So. 62 (1958) p873.  
 Schwary, N. H, Cosart, W. P. J. Fluid Mech vol 10 (1961) p481.  
 熊田, 馬淵: 日本機械学会編文集巻 273 (昭-44) p1053.  
 Myer, G. E, Schauer, J. J., Eustis, R. H.  
     Trans. A. S. M. E ser E. (1963) p47.  
     Trans. A. S. M. E ser C. (1963) p209.  
 田中, 田中: 日本機械学会講演論文集 No 216 (1969) p67.  
 二田地, 石黒: 第 8 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (1971) p133.  
     日本機械学会北海道支部第 15 回講演論文集 (1971)

p237.

## 東海研究グループ

昭和46年11月6日

岐阜大学工学部 機械工学科

- (1) 併発固体反応に関する研究  
（名大工） 杉山幸男  
（岐阜大工） 架谷昌信  
（三井東庄） 中田三郎
- (2) 側壁を有する噴流による熱伝達の研究  
（再付着噴流の岐点物質伝達率について）  
（岐阜大工） 熊田雅弥 馬淵幾夫  
（琉球大理工） 親川兼勇
- (3) 縦振動による均一微粒化  
（静岡大工） 荒木信幸 益田 明\*

### (1) 併発固体反応に関する研究

名大・工 杉山幸男, 岐大・工 架谷昌信  
三井東庄 中田三郎

固体反応を取り扱う実際の化学工業においては一つの固体内に数種の反応が併発する場合が多い。本研究においては、近年ヨーロッパにおい

てMüller-Kühne プロセスとして研究活発な石膏からの硫化カルシウムの生成反応とカーボンの燃焼反応との併発反応を反応例として実験を行ない、工学的観点から熱および物質の移動過程をも含めた比較的一般的な基礎微分方程式を導き、これを数値的に解いて実験結果と比較することによってその妥当性を検証するとともに、反応進行時における固体球内の反応率、温度および濃度の変化過程に及ぼす反応相互間の干渉効果、諸操作因子などの影響について考察を行なった。

固体の総括反応速度を解析するためにはつぎのように熱伝導、拡散および化学反応のそれぞれの速度を表わす3つの方程式を基礎方程式としてこれらを連立させて解析するのが比較的一般的である。いま、試料を単一固体球とし、多種の反応を伴う固体球内非定常熱伝導方程式をかくとつぎのように表わされる。

$$\left(\frac{\partial s}{\partial \tau}\right) = \frac{1}{\xi^2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( U \xi^2 \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right) \quad (1)$$

$$S = \theta - (w_2 / C_p) \sum_i H_i x_i, \quad \tau = \lambda_{e,0} t / C_{p,0} \rho_0 b^2, \quad \xi = r/b,$$

$$U = \left( \frac{\lambda_e}{C_p \rho} \right) / \left( \frac{\lambda_{e,0}}{C_{p,0} \rho_0} \right), \quad \theta : \text{温度}, \quad t : \text{時間}, \quad \lambda_e : \text{熱伝導度}, \quad C_p : \text{比}$$

熱,  $\rho$  : 高密度,  $b$  : 球半径,  $r$  : 半径方向距離,  $w$  : 初期固体濃度,  $H$  : 反応熱,  $x$  : 反応率, 添字  $0$  : 基準値 (初期値)

同様に非定常拡散方程式はつぎのようになる。

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial \tau}\right) = \frac{\phi}{\xi^2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( V \xi^2 \frac{\partial C_g}{\partial \xi} \right) \quad (2)$$

$$Q = C_g - \rho w_2 \sum_i G_i x_i, \quad \phi = D_{e,0} C_{p,0} \rho_0 / \lambda_{e,0}, \quad V = D_e / D_{e,0}$$

$C_g$  : ガス濃度,  $D_e$  : 拡散係数,  $G$  : ガス反応当量

化学反応速度は一般に温度、固体濃度、気体濃度などの関数として表わされるが、ここで反応例として取り上げた併発反応 ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{CaS} + 2\text{CO}_2$  : 吸熱,  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  ; 発熱) についてつぎのようにかく。

$$\frac{\partial x_1}{\partial \tau} = f_1(\theta)(1 - a x_1)(1 - x_1 - x_2), \quad \frac{\partial x_2}{\partial \tau} = f_2(\theta, C_g)(1 - x_1 - x_2) \quad (3)$$

$$x_1 = (C_{s,2,0} - C_{s,2})_1 / C_{s,2,0}, \quad x_2 = (C_{s,2,0} - C_{s,2})_2 / C_{s,2,0},$$

$$a = M_1 w_2 / 2M_2 w_1$$

$C_s$  ; 固体濃度,  $M$  ; 分子量, 添字 1 ; 石膏, 2 ; カーボン,  $f_1(\theta)$   
 $f_2(\theta, Cg)$  ; 反応速度定数に匹敵する項。

(1)~(3)式を初期および境界条件(第3種)を考慮して解くと, 反応進行時の球内における温度, 濃度, 反応率分布の経時変化を求めることができる。

計算結果と実験結果との照合の一例を図に示す。図から本解析例を併発固体反応に適用することの妥当性が窺える。

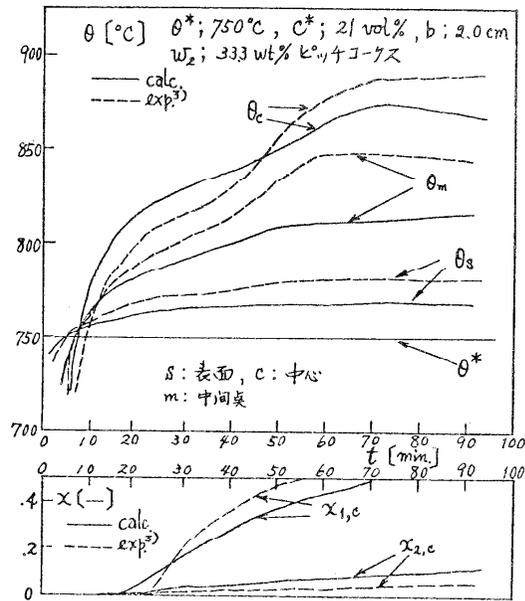


Fig.1 計算結果と実験結果との照合

## (2) 側壁を有する噴流による熱伝達の研究 (再付着噴流の岐点物質伝達率について)

岐大・工 熊田雅弥, 馬淵幾夫  
琉球大・理工 親川兼勇

1. Coanda 効果により噴流がわん曲し, 壁面に再付着する噴流の熱伝達特性を明らかにするために二次元ノズルに対して傾斜ならびにオフセットして側壁平板をおいた場合の側壁平板上の局所物質伝達率分布の測定については既に報告した<sup>(1)(2)</sup>。本研究は再付着噴流の岐点物質伝達率が側壁平板の配置(オフセット, 傾斜, 垂直)にかかわらず統一的に記述しうる可能性について考察した。

2. 考え方 再付着噴流は図1に示すように, 噴流中心流線(一点鎖線)が再付着するのではなく分割流線(点線)が再付着し, 垂直に衝突する場合と異なるが, いずれも岐点近傍の圧力こう配の存在のもとにおける噴流乱れ効果が岐点物質伝達率を支配するという点で共通である。この観点から衝突噴流のノズル平板間距離  $Z_n$  に対応する再付着噴流における相当ノズル平板間距離  $Z_e$  を導入する。さらに再付着点におけるせき止め最大圧力  $C_{p_{max}}$

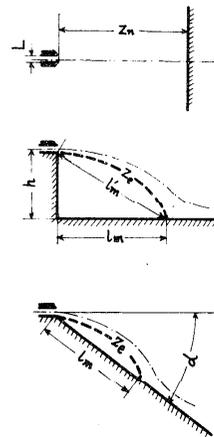


図1

が幾何学的配置によって異なることを考え, 岐点圧に相当する速度(到達速度,  $U_a$ )を求め, これを代表速度とする噴流レイノルズ数を導入した。図2に示すように Bubble の形成を伴う再付着噴流による岐点物質伝達率は分割流線に沿って測った相当ノズル平板間距離 ( $Z_e/L$ ) および到達レイノルズ数 ( $Re_a = U_a L / \nu$ ) により, 側壁平板の配置に無関係に

$$Sh_{max} = 0.84 Sc^{0.43} Re_a^{0.58} (Ze/L)^{-0.33}$$

で整理できる。もちろん  $Ze/L$  の代りに  $Zn/L$  とすれば衝突噴流の場合に適用できる。なお上式中  $L$  はノズル高さで、その適用範囲は  $Zn/L, Ze/L \geq 8$  である。

参考のためオフセット比  $h/L = 8.5, 12.5$  に対する油膜法による端板上の流れパターンの写真を図3に示す。図中▲印は再付着点の位置を示し、 $C_{pmax}$  の位置とほぼ一致する。

(1)(2) 熊田ほか3名, 講演論, No. 217 (69-10 第47期全国大会)。

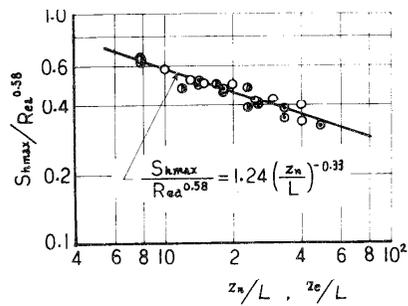


図2 ○衝突噴流 ○オフセット ◎傾斜

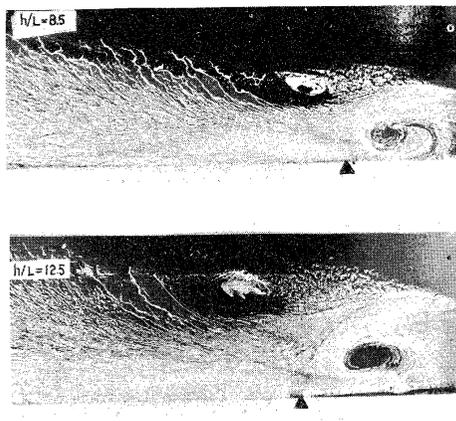


図3

### (3) 縦振動による均一微粒化

静岡大・工 荒木信幸

同上 益田 明

液滴の蒸発や燃焼の基礎的研究などにおいて、均一な直径を持つ微小液滴群を必要とする場合が多い。本研究はノズルに縦振動を与えることにより、均一度の優れた液滴群を生成するにはどのような条件が必要であるかを求めたものである。

液体には蒸留水を用い、ノズル振動数を250~6000Hz、ノズル振幅を0~0.25mm、噴流直径を0.15~0.41mm、噴流速度を0~5m/sとそれぞれ変化させて微粒化現象を観察した結果、与える条件により均一に微粒化できる範囲が存在し、その範囲内においてはノズルに加えた振動数と全く同数の液滴が生成されることがわかった。噴流波長とノズル振動数によって均一微粒化範囲を整理すると図1のようになる。下限以下の噴流波長においては、液体量が不足し、一回の振動によって生成される液滴の大きさが異なってくるようになり、上限以上においては、余滴が出来て2種類以上の液滴が存在するようになる。つまり上限と下限の間が均一微粒化状態の範囲である。最上限はノズル状態が良好な時、一度生成された余滴が落下途中に主滴と合体し、均一になる限度を示す。下限を整理すると図2のようになり、ノズル振動数が大きい範囲で噴流波長が $\pi d$ に収束する( $d$ は噴流直径)。これはRayleighの不安定理論と一致している。

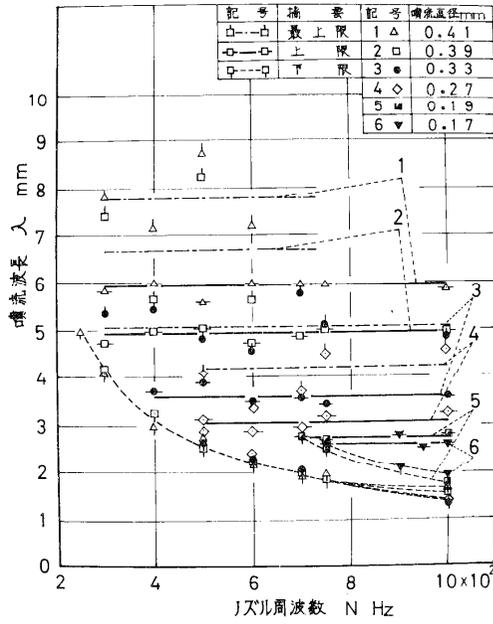


図 1

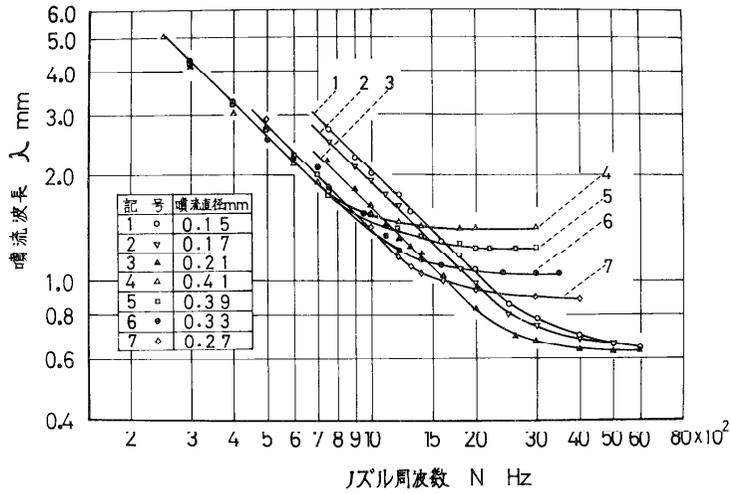


図 2

## 関西研究グループ

昭和46年9月28日

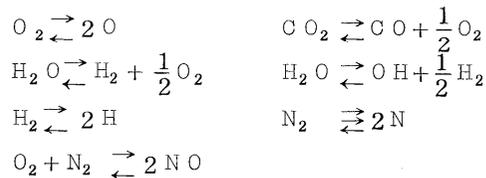
京都大学原子エネルギー研究所

- (1) 燃焼反応を伴う乱流境界層の数値解法に対する一試案  
(同志社大・工) 吉川進三
- (2) 過渡沸騰熱伝達について  
(京大・原子エネルギー研) 桜井 彰

### (1) 燃焼反応を伴う乱流境界層の数値解法に対する一試案

同志社大学工学部 吉川進三

流れに平行におかれた平板上から炭化水素系液体燃料が蒸発し、乱流境界層内で燃焼する場合を考える。境界層内で



等の熱解離が生じるものと考え、境界層内では燃料蒸気をも含め、12種類の成分が存在することになる。すなわち、本問題の未知数は、12種類の成分濃度 $W_1, \dots, W_{12}$ 、それらの成分の生成率 $Z_1, \dots, Z_{12}$ 、 $x$ および $y$ 方向速度 $u, v$ および温度 $T$ の合計27個である。

一方，基礎式は連続の式(1)，運動量の式(2)，エネルギーの式(3)，各成分連続の式(4)～(15)，化学平衡式(16)～(22)，生成率(反応速度)の式(23)～(27)である。したがって上の27個の未知数は独立変数  $x$  および  $y$  の関数として求めることができる。

実際に解くにあたっては，基礎式を Mangler-Nicolson 法の差分表示を用いて数値的に解く。

数値解法としては，上に述べたように乱流境界層内で熱解離を行なう場合に適用できる一般的な方法を示したが，実際の数値計算結果としては，当日までに得られた，熱解離を伴わない層流境界層という最も簡単な場合の一例のみを示した。計算条件は次の通りである。

燃料：メチルアルコール，                      流速：1 m/sec.  
 温度：20 °C                                      頻度因子： $10^{12}$  sec<sup>-1</sup>  
 活性化エネルギー：41.3 kcal/mol  
 発熱量：4800 kcal/Kg                      蒸発潜熱：263 kcal/Kg

各成分の粘着係数  $\mu_i$ ，熱伝導率  $\lambda_i$ ， $i-j$  2成分系における相互拡散係数  $D_{ij}$  の値は

$$\begin{aligned} \ln \mu_i &= A_i (\ln T)^2 + B_i (\ln T) + C_i \\ \ln \lambda_i &= E_i (\ln T)^2 + F_i (\ln T) + G_i \\ \ln (p D_{ij}) &= H_{ij} (\ln T)^2 + I_{ij} (\ln T) + J_{ij} \quad (p: \text{圧力}) \end{aligned}$$

と表わされ，各成分に対する定数  $A_i \sim G_i$  を示した。 $H_{ij}$ ， $I_{ij}$  および  $J_{ij}$  の数値は紙面の都合で省いた。これらの数値を用いて，混合ガスの粘性係数  $\mu$ ，熱伝導率  $\lambda$  および多成分系に対する拡散係数  $D_i$  を計算した。

本方法では，前縁における解を得ることが困難であるので，前縁における結果のみについては，従来からよく知られている。化学反応速度を無限大とした火炎面モデル法を用いて計算した。その結果は図1に示されている。ここに，

$$\eta = \frac{U_e}{(2\xi)^{1/2}} \int_0^y \rho dy \qquad \xi = \int_0^x (\rho \mu) U_e dx$$

$U_e$  : 主流速度,  $t$  : 温度,  $f'$  : 無次元速度,  $w_1$  : 燃料蒸気濃度,  
 $w_2$  : 酸素濃度,  $w_3$  : 二酸化炭素濃度,  $w_4$  : 水蒸気濃度,  $w_5$  :  
 素濃度である。

図2は図1の結果を用い, 本方法によって求めた結果である。こゝに  
 $Z_1$ は燃料蒸気の生成率で, マイナスの値である。したがって,  $-Z_1$ は  
 燃料蒸気の燃焼速度を示す。 $U_w$ は蒸発速度である。火炎面モデル法を  
 用いると図1に示した結果は図2の位置 ( $x = 2 \text{ mm}$ ) においてもほと  
 んど変わらないので, 両図を比較すると, 各分布の間に相当な相違がある  
 ことがわかる。

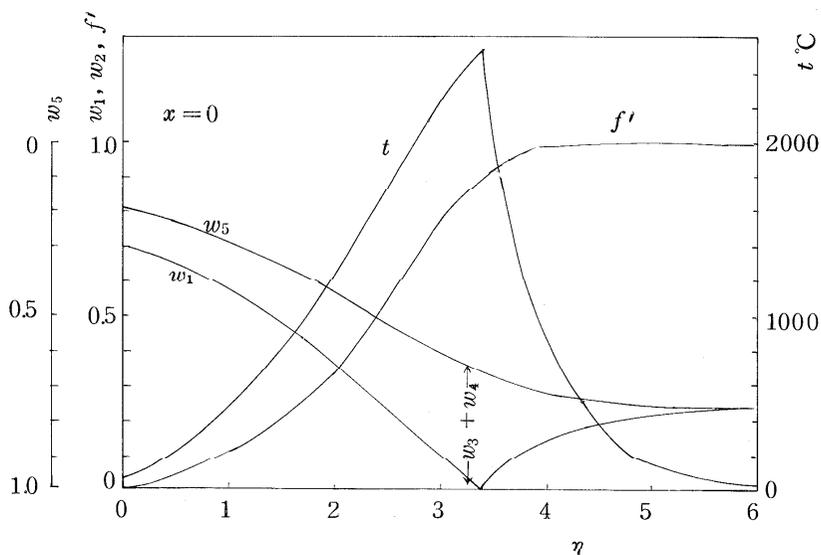


図1

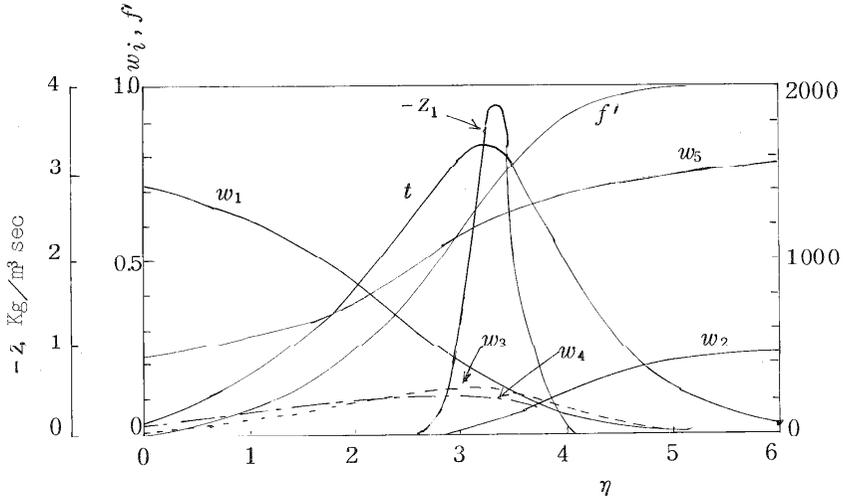


図 2

## ② 過渡沸騰熱伝達について

京大，原子エネルギー研究所 桜井 彰

定常プール沸騰状態の沸騰曲線は、よく知られているが、発熱量が時間と共に増大する場合の動的沸騰状態が、熱流束  $q$  - 過熱度  $\Delta T_{\text{sat}}$  面上で、いかなる経過をとるか、従来殆んど明らかにされていない。

この種の問題を明らかにするため、冷却水がプール状態で、発熱体発熱量の時間的変化として指数関数状、Step 状、ランプ状の代表的単一上昇発熱量について動的な沸騰状態に関する実験的研究を行ない、任意の単一上昇発熱量に対する動的な沸騰熱伝達の一般的性質の解明を試みた。

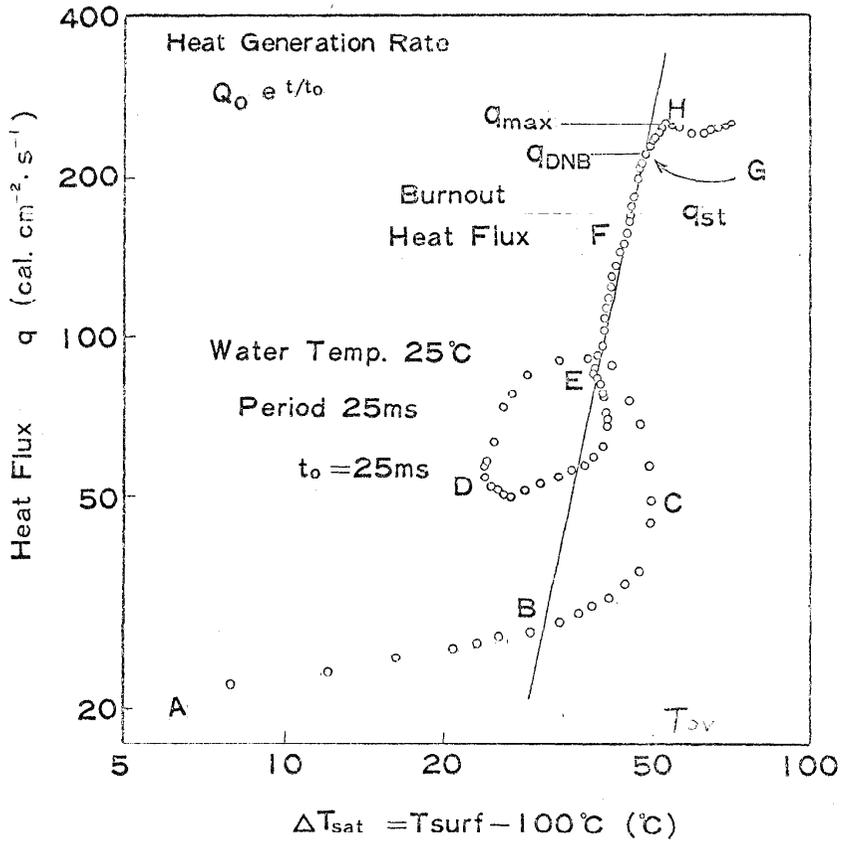
図は、指数関数状発熱量  $Q_0 e^{t/t_0}$  に対する  $q - \Delta T_{sat}$  面への代表的経過を示す。

発熱体表面温度上昇が速い場合、初期の熱伝達は、冷却水は動かず熱伝導による (AB)。発熱体表面温度が冷却水沸点を充分越えると、急激な集団的気泡が発生し、その結果発熱体表面附近の冷却水が攪拌され、その温度が下降するため、最大値  $T_{ov} = T_{surf} - 10.0^\circ\text{C}$  (C) となる。 $T_{ov}$  は、温度の Over shoot と呼ばれる。

この  $T_{ov}$  の値の任意単一上昇発熱量に対する評価の方法を、提案した<sup>(1)</sup>。急激な発熱体温度上昇にともない、非沸騰状態から沸騰状態へ移行にともなう過渡的な温度の Over shoot は、減衰振動的に定常沸騰曲線上 (E) に至り、その曲線上 (EF) を上昇するが、定常臨界熱流束  $q_{st}$  を越え、その曲線の延長上をさらに上昇し、過渡的な  $q_{DNB}$  (G)、 $q_{max}$  (H) に至る。FG 曲線は過渡的核沸騰領域であるが、定常臨界熱流束を越えて存在する理由として、定常核沸騰曲線上に、そこに至る経過に依存する寿命をもった準定常核沸騰状態の存在を定量的に明らかにした。即ち、発熱量が時間と共に増大する場合、 $q_{st}$  を越え、その寿命が零となる迄、定常核沸騰曲線の延長上に存在する準定常核沸騰曲線上を上昇するというモデルを提示した<sup>(3)</sup>。この際、発熱体熱容量が大きく、かつ初期冷却水温度が高くなると、過渡的な温度の Over shoot の定常又は準定常核沸騰曲線への収斂が悪くなる傾向にある。以上、発熱量が時間と共に増大する場合、 $q - \Delta T_{sat}$  面上で、過渡的極大熱流束  $q_{max}$  に至る迄の経過の概要を示した。

#### 参考文献

- 1) 桜井, 塩津: 日本原子力学会, 炉物理・炉工学分科会 D38 (昭46)
- 2) Sakurai, Mizukami, Shiozu: Heat Transfer 1970, Vol. V, B3.4 (1970)  
Elsevire Publ. Co., Amsterdam
- 3) Sakurai: Heat Transfer 1970 Vol. X, 200~201 (1970).



九州研究グループ

昭和46年9月3日

九州大学工学部応用原子核工学科

- (1) 落下液膜の熱伝達係数について

- (九大・工) 吉岡啓介 長谷川修 田中芳久
- (2) 自然対流の安定性に関する一問題 (Vol. 10, No. 39, p. 55の訂正)
- (九大・工) 伊藤猛宏\* 西川兼康
- (福岡大・工) 山下宏幸
- (3) 自然対流境界層における層流から乱流への遷移について
- (九大・生産研) 藤井 哲 藤井 夫

### (1) 落下液膜の熱伝達係数について

九大・工 吉岡啓介 長谷川修 田中芳久

垂直に落下する液膜の熱伝達係数について、乱流域まで適用出来るものを示したものとして、凝縮液膜の熱伝達を対象にしたコルバーン<sup>(1)</sup>のアナロジー式があり、ほかに、平均の熱伝達係数ではあるが、マクアダムス<sup>(2)</sup>、ゼクソイエ<sup>(3)</sup>らの実験式がある。

$$\text{Colburn} : \alpha \left( \frac{J^2}{g\lambda^3} \right)^{1/3} = 0.056 Pr^{1/3} Re^{1/5}, \quad Re = \frac{4P}{\mu}$$

$$\text{Sexauer} : \bar{\alpha} \frac{H}{\lambda} = 137 Re^{0.5} Pr^{0.15} (H/H_0)^{0.935}$$

$H$  = 落下距離,  $H_0 = 1$  m

$$\text{Mc Adams} : \bar{\alpha} = 5.14 \left( \frac{M}{U} \right)^{1/3}$$

$M$  = 質量流量,  $U$  = めれぶち長さ

$\nu$  = 動粘性係数,  $\mu$  = 粘性係数,  $\lambda$  = 熱伝導率,  $g$  = 重力加速度,  
 $T$  = 比質量流量,  $\alpha$  = 熱伝達係数,  $\bar{\alpha}$  = 平均熱伝達係数

本報告ではコルバーンの式の妥当性を検討するために行なった実験

結果を示し、彼が指定した値でのアナロジー式は適用しがたいことを示す。

実験は、水の垂直落下液膜であり、伝熱面は長さ1 m、直径13 mmの不銹鋼管外表面である。熱伝達係数は落下距離5 cmから10 cm間隔に10点の位置で局所の値として求めた。流体温度は局所の混合平均を用いた。われわれの結果とウィルケ<sup>(4)</sup>の示した結果との比較を図1に、コルバーンの式との比較を図2に示す。

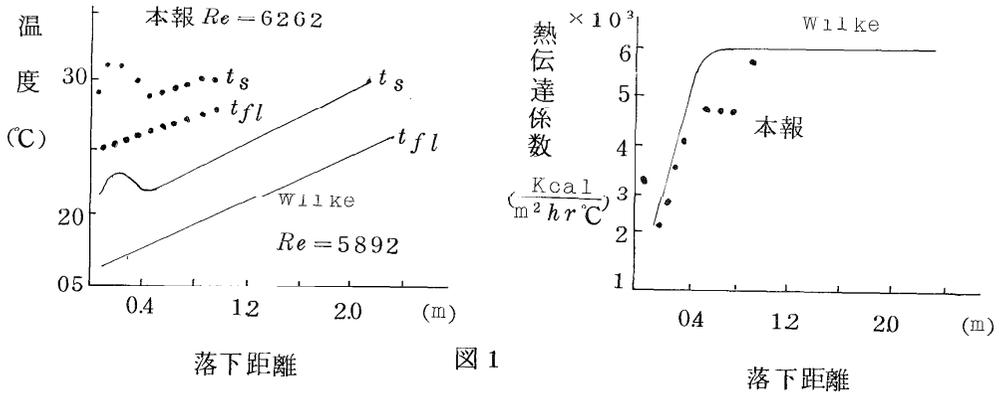


図1

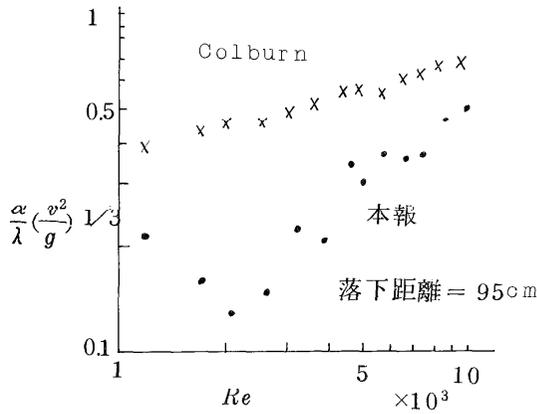


図2

文献

1. Colburn; Indust. Engng. Chem. Vol. 26, No. 4, p. 432 (1934).
2. McAdams, Drew and Bays; Trans ASME vol. 62, No. 10, p. 627 (1940).
3. Sexauer; Forsch. Ing. -Wes. Band 10., Nr. 6, S. 286 (1939).
4. Wilke; VDI-ForSch 490 Band 28, (1962).

(2) 自然対流の安定性に関する一問題 (前回分の訂正)

九大・工 伊藤猛宏\* 西川兼康  
福岡大・工 山下宏幸

前回発表した結果には数値計算のプログラムに誤りがあり、そのために金属箔伝熱面の電気抵抗の温度係数を規定するパラメータの安定性に及ぼす影響が過大評価されていたことを説明した。ついで定電流電源の場合には、系のグラスホフ数がある限界値より小さくなると、あらゆる波長および振動数の外乱に対して系が不安定になることを明らかにした。

(3) 自然対流境界層における層流から乱流への遷移について

九大生産研 藤井 哲 藤井 夫

鉛直円筒伝熱面から水, スピンドル油, モビルサーム油, ダフニー油 ( $Pr = 4 \sim 3000$ ) への自然対流熱伝達の実験を行ない, 特に境界層の層流から乱流への自然的遷移現象に注目し, 渦対の発生限界位置  $x_{o.r.i}$ ,

単位時間当り発生数  $n$ ，渦の波長  $\lambda$  などを観測した。層流境界層の遷移領域について，渦対の発生に伴う波うち現象が観察される点を第1遷移点，渦対が確認され，そこで熱伝達係数が急増する点を第2遷移点，渦対が崩壊し，遷移乱流域に移行する点を第3遷移点と定義し，主として第1遷移点に関する測定データをまとめた。結果を従来の実験的研究および微小攪乱法による中立安定曲線，藤井，加藤らの理論的研究と比較検討した。その結果次のような結論を得た。

(1) 鉛直面に沿う自然対流境界層が層流から渦列層に遷移するとき，その限界グラスホフ数  $Grxcra_I$  (添字  $I$  は第1遷移点を表わす) とプラントル数  $Pr$  および渦レイノルズ数とプラントル数の関係はそれぞれ次式で表わされる。

$$Grxcra_I = 2.1 \times 10^9 \cdot Pr^{-\frac{3}{5}}$$

$$\frac{\lambda n x c r i_I}{\nu} = 2.45 \times 10^4 \cdot Pr^{-\frac{3}{5}}$$

$$\frac{\lambda^2 n}{\nu} = 6.0 \times 10^3 \cdot Pr^{-\frac{4}{5}}$$

(2) 微小攪乱法における  $\alpha - G$  平面上 ( $\alpha$  は無次元波数， $G = 4 (Grx/4)^{1/4}$ ) で自然的遷移に関する実験データは中立安定曲線とは非常に異なった特徴を示しており次式で表わされる。

$$\alpha = 5.0 \times 10^5 \cdot G^{-\frac{7}{3}}$$

(3) 自然的遷移において発生する不安定波は強制的に与えられた微小攪乱とは明らかに異なった特徴を示している。

(4) 微小攪乱法にもとづく Dring や Gebhart の考え方では自然的遷移現象を正しく説明することは出来ない。藤井あるいは加藤らの考え方では定性的傾向を示すことが出来る。しかしながら自然対流境界層の層流から乱流への遷移に関しては，さらに厳密な理論が必要である。

文献リスト

定 期 刊 行 誌

A. I. Ch. E. Journal

Vol. 17, No. 5 (1971 - 9)

- \* P.G. Kosky and F.W. Staub  
Local Condensing Heat Transfer Coefficients in the  
Annular Flow Regime.
- \* G.J. Klein and J.W. Westwater  
Heat Transfer from Multiple Spines to Boiling Liquids.
- \* I. Yaron and B. Gal-Or  
Relative Velocities and Pressure Drops in Clouds of  
Drops Bubbles, or Solid Particles.
- \* R.D. Rieke and R.L. Pigford  
Behavior of Gas Bubbles in Fluidized Beds.
- \* R.H. Bonnecaze, W. Erskine, Jr., and E.J. Greskovich  
Holdup and Pressure Drop for Two-Phase Slug Flow in  
Inclined Pipelines.
- \* A.N. Dravid, K.A. Smith, E.W. Merrell and P.L.T. Brian  
Effect of Secondary Fluid Motion on Laminar Flow Heat  
Transfer in Helically Coiled Tubes.
- \* R.J. Brunson and R.M. Wellek  
Mass Transfer Inside Liquid Droplets and Gas Bubbles  
Accompanied by a Second-Order Chemical Reaction.

- \* W.E. Beimesch and D.P. Kessler  
Liquid-Gas Distribution Measurements in the Pulsing  
Regime of Two-Phase Concurrent Flow in Packed Beds.
- \* E.J. Creskovich and A.L. Shrier  
Pressure Drop and Holdup in Horizontal Slug Flow.

Atomkern Energie

Vol. 17, No. 4 (July, 1971)

- \* Groß, M., H. Jentges, P. Kafka and H. Stölben  
Experimental Results on Acoustic Detection of Sodium  
and Water Boiling

Vol. 18, No. 1

NONE

British Chemical Engineering

Vol. 16, No. 2/3 (1971)

NONE

Vol. 16, No. 4/5 (1971)

- \* K. Sherwin  
Combined Convection of Single Phase Turbulent Flow  
within a Vertical Tube.

-60-

\* V. Pachaiyappan

Thermal Conductivity of Organic Liquids.

Vol. 16, No. 6 (1971)

NONE

Vol. 16, No. 7 (1971)

\* K. Sherwin

Forced Convection Heat Transfer.

Vol. 16, No. 8 (1971)

\* H. Barrow and T.L. Sitharamarao

The Effect of Variation in the Volumetric Expansion  
Coefficient on Free Convection Heat Transfer.

Vol. 16, No. 9 (1971)

NONE

B. W. K.

Band 23, Nr. 7 (Juli, 1971)

NONE

Band 23, Nr. 8 (August, 1971)

NONE

Band 23, Nr. 9 (September, 1971)

NONE

Canadian J. of Chem. Eng.

Vol. 49, No. 3 (1971)

\* L.C. Thomas

A Turbulent Transport Model with Emphasis on Heat  
Transfer to Liquid Metals

\* I.C. Finlay

An Analysis of Heat Transfer During Flow of an Air/  
Water Mist Across a Heated Cylinder

Vol. 49, No. 4 (1971)

\* M.V. Krishnamurthy and R. Ramachandran

Laminar Film Boiling on a Porous Vertical Wall with  
Uniform Suction Velocity

\* J. Vlachopoulos and J.F. Tomich

Heat Transfer from a Turbulent Hot Air Jet Impinging  
Normally on a Flat Plate

\* K.B. Mathur and N. Epstein

Heat and Mass Transfer in Spouted Beds

\* T.S. Chen, G.A. Scheffel and L.M. Huang

Coupled Transport of Heat and Mass in Laminar Tube Flow

Chemical Engineering Science

Vol. 26, No. 6 (June, 1971)

- \* Y.-P. Shih and S.-Y. Tsay  
Analytical Solutions for Freezing a Saturated Liquid  
Inside or Outside Cylinders.
- \* S. Waslo and B. Gal-Or  
Boundary Layer Theory for Mass and Heat Transfer in  
Clouds of Moving Drops, Bubbles or Solid Particles.
- \* L. Biasi, P. Stipari and A. Tozzi  
Bubble Growth in Non-Uniform Temperature Fields.
- \* P.L. Zuideveld and P.J. Van Den Berg  
Design of Lime Shaft Kilns.

Vol. 26, No. 7 (July, 1971)

- \* O.G. Larionov and A.L. Myers  
Thermodynamics of Adsorption from Nonideal Solutions  
of Nonelectrolytes.
- \* J.C. Orcutt and B.H. Carpenter  
Bubble Coalescence and the Simulation of Mass Transport  
and Chemical Reaction in Gas Fluidized Beds.

Vol. 26, No. 8 (Aug. 1971)

- \* K. Asano and S. Fujita  
Mass Transfer for a Wide Range of Driving Force.  
Evaporation of Pure Liquids.

- \* D.H. Cho  
Expansion of a Cold Bubble Suddenly Formed in a Hot  
Liquid.
- \* L. Thomas  
Temperature Profiles for Turbulent Flow in Tubes and  
Basic Surface Renewal Models.

Chemie Ingenieur Technik

Bd. 43, Nr. 15 (Aug. 1971)

- \* H. Straubel  
Verdampfungsmessung an Tropfen im Submikroskopischen  
Bereich.

Bd. 43, Nr. 16 (Aug. 1971)

NONE

Bd. 43, Nr. 17 (Sept. 1971)

- \* O. Krischer u. E. Sommer  
Kapillare Flüssigkeitsleitung in Porigen Stoffen bei  
Trocknungs- und Befeuchtungsvorgängen.
- \* R. Günther u. G. Janisch  
Meßwerte der Flammengeschwindigkeit von Gasen und  
Gasgemischen.
- \* V. Václavěk u. V. Veselý  
Experimentelle Untersuchung der Lokaln Überhitzung in  
einem Kontinuierlichen Adiobatischen Rührkessel-Reaktor.

-64-

Bd. 43, Nr. 18 (Sept. 1971)

NONE

I & EC Fundamentals

Vol. 10, No. 3 (Aug. 1971)

- \* R.E. Young and J.P. O'Connell  
An Empirical Corresponding States Correlation of  
Densities and Transport Properties of 1-1 Alkali Metal  
Molten Salts
- \* G.M. Agrawal and G. Thodos  
Temperature Dependence of Viscosity for Cryogenic  
Fluids in Their Saturated Liquid State

Journal of Chemical and Engineering Data

Vol. 16, No. 3 (1971)

NONE

Journal of Fluid Mechanics

Vol. 48, Part 2, 28 July 1971

NONE

Vol. 48, Part 3, 16 August 1971

NONE

Vol. 48, Part 4, 27 August 1971

NONE

Vol. 49, Part 1, 13 September 1971

NONE

Vol. 49, Part 2, 29 September 1971

NONE

Vol. 49, Part 3, 15 October 1971

NONE

KÄLTETECHNIK - KLIMATISIERUNG

Band 23, Heft 4 - April 1971

1) E. Embik

Theorie und Praxis der Gefriereschwindigkeit.

2) F. Steimle

Zusammenhang zwischen Wärmeübergang und Druckabfall  
turbulenter Strömungen.

3) W. Tamm

Berechnung der Wärmeleitfähigkeit feuchtgewordener  
Isolierstoffe von unregelmässiger Struktur.

Band 23, Heft 7 - Juli 1971

- 1) Z.R. Huelle  
Leistungssteigerung eines Luftkühlers durch Beeinflussung der Kältemittelstromung.
- 2) S. Chadzidakis  
Wärmeübergang am waagerechten, mit Ammoniak - Wasser - Lösungen berieselten Rohr.
- 3) H. Lotz  
Wärme- und Stoffaustauschvorgänge in bereifenden Lamellenrippen - Luftkühlern im Zusammenhang mit deren Betriebsverhalten.

Band 23, Heft 8 - Aug. 1971

- 1) W.A. Stein  
Das Erweiterte Korrespondenzgesetz für den Zweiten Virialkoeffizienten reiner Stoffe.
- 2) S. Iltsheff  
Über einige Versuche zur Erzielung von Tropfenkondensation mit fluorierten Kältemitteln.
- 3) C.G. Almen  
Über die wirtschaftliche Bemessung von kleinen Absorptionsapparaten.

Band 23, Heft 9 - Sept. 1971

- 1) E. Bender  
Zur Aufstellung von Zustandsgleichungen, aus denen sich die Sättigungsgrößen exakt berechnen lassen - gezeigt am Beispiel des Methans.

- 2) J.J. Martin und R.C. Downing  
Thermodynamische Eigenschaften des Kältemittels 502.
- 3) R. Glatthaar und E. Liem  
Betriererfahrungen mit einer Heliumkälteanlage für  
eine Leistung von 300 W bei einer Temperature von  
1.8 K.
- 4) H. Kreft  
Filament-Winding von Fasertanks für Flüssigwasser-  
stoff.

Physics of Fluids

Vol. 14, No. 7 (July, 1971)

- \* S. Rosenblat and G.A. Tanaka  
Modulation of Thermal Convection Instability

Vol. 14, No. 8 (August, 1971)

NONE

Proceedings of the Royal Society

Vol. 324, No. 1557 (12 Aug. 1971)

- \* Durst, F. & Whitelaw, J.H.  
Optimization of optical anemometers.

\* Thong, K.C. & Weinberg, F.J.

Electrical control of the combustion of solid and liquid particulate suspensions.

Vol. 324, No. 1558 (8 Sept. 1971)

\* Dewey, J.M.

The properties of a blast wave obtained from an analysis of the particle trajectories.

\* Spalding, D.B. & Stephenson, P.L.

Laminar flame propagation in hydrogen+bromine mixtures.

Vol. 324, No. 1559 (21 Sept. 1971)

\*McLeod, J.B.

The existence of axially symmetric flow above a rotating disk.

Trans. Instn. Chem. Engrs.

Vol. 49, No. 3 (July 1971)

NONE

V.D.I. - Forschungsheft

Bd. 546 (1971)

\* Dietrich Rex. Braunschweig

Flüssigmetall-MID-Kreisprozesse für Raumfahrt-  
Energieversorgungssysteme.

編集委員会より

あけましておめでとうございます。

1972年の年頭にあたり、伝熱研究会々員の皆様に新年の御挨拶を申し上げます。

前号で予告いたしました10周年特集号は、第9回シンポジウムの正式の案内のできる41号の方がよいということになり次号に延期させて頂きました。

たゞ、シンポジウムについての大筋がきまりましたのでニュースとして掲載されています。

大変興味ある企画がもりこまれているようですので、会員の方々に御期待いただけるのではないかと思います。

「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、編集委員会によって決定されます。
4. 採用の原稿は、場合によって、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 与によって行ないますから、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。

(657) 神戸市灘区六甲台町

神戸大学 工学部 機械工学科

松 木 隆 一 気付

「伝熱研究編集会」

付, 41号は3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。若干の変更はご自由です。
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. ご執筆に当って「伝熱研究」の投稿規定に従って下さい。

伝 熱 研 究

Vol. 11, No. 40

1972年1月10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)