

Vol. 24

No. 92

1985

January

伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 92 号

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

日本伝熱研究会第23期(昭和59年度)役員

会 長		武 山 斌 郎(東北大)
副 会 長	(無任所) (事務担当)	藤 井 哲(九大) 斎 藤 孝 基(東大)
地方連絡幹事	北 海 道 東 北 関 東 東 海 北陸・信越 関 西 中国・四国 (兼第19回伝熱セミナー準備委員長) 九 州	工 藤 一 彦(北 大) 戸 田 三 朗(東北大) 黒 崎 晏 夫(東工大) 長 野 靖 尚(名工大) 前 川 博(新潟大) 鈴 木 健二郎(京 大) 千 葉 徳 男(広島大) 吉 田 駿(九 大)
幹 事 (23名)	稲 葉 英 男(北見工大) 相 場 真 也(秋田工専) 二 浦 隆 利(東北大) 小 澤 由 行(東工大) 鈴 置 昭(高速炉 エンジニアリング) 架 谷 昌 信(名 大) 棚 谷 吉 郎(金沢工大) 木 本 日出夫(阪 大) 柘 植 綾 夫(三菱重工) 平 田 雄 志(阪 大) 宮 本 政 英(山口大) 山 下 宏 幸(福岡大)	花 岡 裕(室蘭工大) 大 内 雅 樹(岩手大) 小 竹 進(東 大) 笠 木 伸 英(東 大) 森 康 彦(慶応大) 熊 田 雅 弥(岐阜大) 日 向 滋(信州大) 塩 津 正 博(京 大) 中 島 健(神戸大) 北 山 正 文(広島工大) 児 玉 英 男(九州電力)
監 査(2名)	塩 治 震太郎(石川島播磨重工), 井 上 晃(東工大)	
「伝熱研究」編集委員長		宮 武 修(九 大)
第22回日本伝熱シンポジウム準備委員長		片 山 功 蔵(東工大)
第18回伝熱セミナー準備委員長		菱 田 幹 雄(名工大)

伝 熱 研 究

目 次

伝熱研究の回顧	佐藤 俊(摂南大)	1
「液粒の蒸発・燃焼の研究」回顧抄	小林清志(豊田工大)	4

<特集：産業界からの提言>

(1) 産業界からの提言	小川康夫(荏原製作所)	7
(2) 伝熱工愕と流体工愕	坂本雄二郎(神戸製鋼)	9
(3) これからの伝熱研究に期待すること	鈴置 昭(高速炉エンジニアリング)	13
(4) 民間企業側の一人としての提言	田中 修(三菱電機)	16
(5) 雑 感	千葉孝男(新日本空調)	17
(6) 伝熱工学界と工業界との融和のすすめ	柘植綾夫(三菱重工)	21
(7) 鉄鋼業における伝熱研究のニーズ	西山哲司(川崎製鉄)	25
(8) 今後の研究課題を考える	藤江邦男(日立製作)	28
(9) 学界の研究に望む	藤掛賢司(豊田中央研)	31
(10) 伝熱促進管の利用促進について	古川哲郎(日立造船)	34
(11) 大学の研究者へ望むこと	三塚正志(新日本製鉄)	35
(12) 企業側にとっての伝熱研究	虫鹿 満(東京ラヂエーター)	39
(13) 技術の進歩の方向と伝熱研究	山家讓二(石播重工)	40
(14) 研究課題“新エネ”に想う	外村俊弥(シャープ)	44

<解 説>

(1) 高速増殖炉における炉心冷却の問題	杉山憲一郎(北大・工)	47
(2) 水素呼吸するふしぎな 合金への伝熱工学的挑戦	米田昌司(日本製鋼)	56
(3) 中長期的な我が国の技術開発の動向と 技術開発施策のあり方について	後藤芳一(機械情報産業局)	59

<研究トピックス>

流路内における気液界面の前進挙動について …… 村上 幸一(愛媛大・工) …………… 69

<国際会議報告>

第10回国際低温工学会議の概況 …………… 伊藤 猛宏(九大・工) …………… 75

<地区研究グループ活動報告>

(1) 東北研究グループ …………… 77
(2) 関西研究グループ …………… 79
(3) 北陸研究グループ …………… 81

<会 告>

<お知らせ>

(1) 第22回日本伝熱シンポジウム講演募集 …………… 83
(2) 北海道研究グループ講演会 (別紙)
(3) 九州研究グループ講演会 (別紙)
(4) 日本機械学会 昭和60年度熱工学講演会 …………… 86
(5) ICHMT XVII International Symposium, Advanced Course …………… 87

伝熱研究の回顧

撰南大学 佐藤 俊 (京都大学名誉教授)

編集委員長から、伝熱研究を顧みた記事をとのご依頼をうけたが、正直なところ古い過去をふり返ることに、果して何らかの役に立つことがあるのだろうか、いささかのとまどいを感じつつ進まぬ筆をとることにした。万一にも若い方々のご参考になることがあれば、まさに望外の幸である。

私が大学を卒業したのは、第2次世界大戦の最中の昭和18年(1943年)であって、私達の年代の者の学生時代には、伝熱学として独立の講義は殆んどの大学で行なわれておらず、応用熱力学か、蒸気工学などの熱機関の講義の一部で熱移動の話が出て来るのが普通で、ボイラなどの実際装置の基本設計に必要な実験データや純実験式の羅列が主体をなしていた。その意味では伝熱学は未だ充分形態を整えた学問分野にはなっていなかったと云ってよいだろう。勿論、それよりかなり以前から研究的に伝熱現象あるいは輸送現象を掘り下げる気運が起っていなかった訳ではなく、例えば、円管の層流温度分布や熱伝達の解が、L. Grätz (1885) や W. Nusselt (1910) により求められ、平板層流境界層の熱伝達の H. Blasius (1908) の解のように層流伝熱についての理論は1900年代の始め頃に、また乱流についても、所謂O方程式モデルの考え方は1930年頃、L. Prandtl (1928)、Th. v. Karman (1934) など既に手がけられていたし、著名な Carslaw の最初の熱伝導論の著書は1906年に出版されていた。我が国での伝熱学にしほった最初の著書は大賀恵二先生の“伝熱諸論とその応用”で、1931年に発刊されていて、その扱いは、当時の外国の伝熱学の本の多くが実験を主として纏めたのに対し、基本的現象の考え方がうまく纏められているのに感心させられる。

上に例を挙げた様に、一部に現象論的考察がなされていたとは云え、大勢は無次元数的整理もなされていない実験結果が、実機の設計に直接利用されていて、いわば理論的考察が実際応用分野に生かされるにはほど遠かった背景を物語っているのではないだろうか。従って、現在伝熱学分野で活躍しておられる私と同年代の方達は、主として応用熱力学の分野の講座で研究を始めた方が多く、また他は流体力学の分野から伝熱問題に興味を持たれ仕事を始められた方達と云ってよいだろう。

さて、私自身が伝熱方面の研究を開始した動機を思い返して見る。私は卒業研究を機械工学科の菅原先生の指導を受けて始めて以来、引続いて先生の下で研究を続けさせて頂くことになったが、当時の講座は番号講座であり、その内容とするところは蒸気工学・応用熱力学であって、私

が卒業研究として与えられたテーマは“蒸気タービン羽根の転向角が羽根列速度係数に及ぼす影響”であった。羽根列出入口断面の速度分布の測定から速度係数を求める実験に携わったが、羽根列内の流れの詳細を知る必要から、更めて、翼理論を始め、流体力学の勉強をと痛感しつつあったと思う。

大学院へ進学を許され特別研究生となって、(当時の大学院は私らの卒業時から大学院特別研究生制度が採用され、前期と後期に分かれていて、現在の修士、博士課程と似ていたが、本質的には教官見習の感が深く、現状の助手の立場に近い。)冷媒など蒸気性質の研究の一方で、触媒層の伝熱への設計資料を出すよう指示され、充填管の伝熱問題に取組み、一連の実験結果を取り纏めて、それなりの整理の上リポートしたが、伝熱現象を本格的に掘り下げるには、余りにも複雑な流れ場および複合された伝熱問題である事を思い知らされた訳である。

そこで、もっと基本的な流れ場での伝熱現象から明確にして行くのが本筋ではないかと考えるようになったのが、私の伝熱学への本質的な取組みを始めた動機で、流体力学の境界領域としての漠然とした認識を持ったのも前記の卒業研究での感覚が一方にあったのによると思う。ただ、時期的には私の大学院前期修了(1945年9月)直前、終戦を迎え、大学も戦後の混乱期に入っていて、大学や研究者の将来への展望も全く不安定な最中で、色々な意味での苦悩を味ったのが、反って伝熱学へじっくりと取組もうとの熱意を持たせたのもいなめない。

兎に角、手始めに平面板に沿う流れ場で、局所熱伝達率分布を測定したが、その結果を発表した論文題目が、思えば全くの冷汗もので、井の中の蛙(かわず)の類であろうが、1947年の機械学会の論文集に「強制流動中の物体表面における熱伝達の研究」と題して掲載されているが、このような歌の論文を投稿した方も投稿した方であるが、これが掲載可となるような状況であったと云うのも、当時の背景を知る意味でも参考になるかと恥をしのんで、敢て記した次第である。この頃、種々の点で適切な指示をして頂いたのが、航空工学教室の藤本武助先生で、先生から得た流体力学の立場からの御助言に随分教えられた所が多く、蒸気工学の菅原先生と流体力学の藤本先生の両先生から直接教えをうけ得たことを幸であったと考えている。

その後は蒸気工学的分野や燃焼工学的分野よりも、徐々に伝熱工学的分野の研究の方が自然に我々の研究室の主体を占めるようになっていった訳であるが、それはさておき、特に戦後約10年、1955年頃までは、戦後の混乱から抜け切れず、物資も充分でなく、実験装置の作成にも現在とは異った意味で随分と苦勞もしたし、測定器類も手作りで間に合わせねばならない時代で、生活もハングリーであり、研究環境もハングリーであったが、伝熱学自体が前記の如き状態で、逆に言えば、明確にしなければと思える事が沢山ありすぎたと云えるかも知れず、私達の年代の人間には、ハングリー精神が自然に生まれる環境にあったと云えるかも知れない。手作りの測定

器で思い浮かべるのは、乱れの測定で、1950年頃乱れと熱伝達との関連をつかみたくて、何とかして乱れの測定をと考えたが、当時市販品がなく、平均の乱れ強さをI型の熱線プローブ信号から測定する装置の作成に取り組んだ。真空管の時代で、高増幅度の真流増幅器には随分苦心して2年近くを要して乱れ強さの測定器を完成させたのを思い出したら、最近の乱れ測定技術と思い比べ、まさに今昔の感を深くしている。

さて、上記の状況下で、私のハングリー精神は色々の研究を乱雑に次々開始する方向に働いたようである。单相流の層流・乱流を始め、管路流沸騰・バーンアウト現象から、ふく射伝熱まで、思いつくまま、種々のテーマを手がけ、為にどれも中途半端で終わっている事が多く、一つのテーマをじっくりと深く掘り下げることが研究者に要請される一面であることを勿論忘れていた訳ではないが、貧欲さが妙にゆがんでいた様に感じられ反省している。ただ、このハングリー精神が割合うまく作用したのは、本伝熱研究会発足の一つの核となった、関西での伝熱研究懇話グループを生んだことかと思う。もともと伝熱問題は種々の応用面に関係があることが当然で、上記グループも最初、京大工学部の各学科で伝熱に関心のある研究者がお互の苦心談をフランクに話し合い、相互に理解を深め、互に利するようにはと云うことで、藤本先生を中心に同好の志に呼びかけて開始し、関西での同様のグループになって行った。関東でも同様な活動があることを知り、京大橋先生らと相談を始めたのが伝熱研究会の発足につながった訳で、本会創設当時の模様は何人かの方々が既に伝熱研究会20周年記念号(1983年Jan)で書いておられるので省くが、創設時の精神がいつまでも生かされて行くことを祈りたい。

現在では生活も豊かになり、研究環境にもめぐまれているが、若い方々も研究者としての貧欲なハングリー精神だけは是非忘れないでほしい。これと関連して、最近、測定装置や計算機のみざましい進歩で、測定方法や解析方法も格段に高度化し、情報に満ちている。為に、現象の解明もより詳細を論ずることとなり、自然、伝熱学も細分専門化の方向が生れるのも止むをえないとは思いますが、細分化された狭い専門にこだわらず、他も貧欲に吸収しようとする意欲だけではなくさないでほしいと思う訳である。特に、伝熱学も現象の解明もさること乍ら、より直接に実際面に生かされるべき時に来ていると考えるが、実際装置では複合的伝熱知識も重要であり、他の分野の研究方法にヒントをうることも少なくないことを経験したものとして、尚更、細分専門化にあまんじてはならないのではと感じる。

以上思いつくまま手前勝手な回顧を記して貴重なページを費してしまったが、お許しを頂きたい。

「液粒の蒸発・燃焼の研究」回顧抄

豊田工業大学 小林清志（静岡大学名誉教授）

終戦直後のことなので、もうかれこれ40年近く前のことになろうか。私は恩師棚沢泰先生の研究室で、今で言うジェット・エンジン（当時はロケットと言った。）の燃焼の研究のお手伝いをしてきた。それが終戦となったので、今にして思えば、先生は少しじっくりと腰を据えた研究を、と考えられたのかも知れない。燃焼室の設計の基本となる燃料粒の燃焼時の寿命について研究してみても、というお話があった。当時私は渦巻噴射弁の研究の途次であったが、この問題には非常に興味をそゝられたことを覚えている。

さて燃焼と言ってもこのような物理的な燃焼では蒸発速度が問題になるので、そのモデル化の構想を練り、まず計算を試みた。途中、う余曲折をしながら、とに角一つの試みの計算結果として、粒径の時間変化を出して、先生にお見せした。果してどうなるのか、全く自信がなかったが、先生はその曲線を見て、即座に

「あゝ、こういう曲線になるのです。これはいいかも知れない。」

と云われた。それ以前に先生は噴霧粒の受止液の研究⁽¹⁾をされていて、薄い油膜の中の水滴が、顕微鏡下で蒸発し、時間と共に小さくなることをすでに測定しておられた。その目的は蒸発しない油を探すことであったが、たいてい油では水滴がほとんど蒸発してしまうので、その過程を掴んでおられたのである。

が然勇気を得た私は、本格的にこの問題に取り組むこととし、文献を探した。しかし、仲々こちらの考えているものと一致するような文献には内外ともにお目にかかれなかった。たゞ一つ、気象関係の人が雨粒の蒸発を調べるための実験をしているものがあった。

雨粒は空から落ちてくるとき、凝縮して生長するものとばかり思っていたが、蒸発して消滅する場合もあるのかと、始めてその時認識した次第である。

さてその文献を読んでも面白くないことが書いてある。蜘蛛の糸に水滴をつけ小さな風洞の吹口の前に水平に張って、風を送り水滴の蒸発を測定しているのである。測定の結果は、水滴径と時間の関係が放物線的に減少している。しかし理論的考察において、毎秒の蒸発量が、表面積と蒸気圧の差に比例するとして求めると、どうしても直径が時間に対し直線的に減るという結果になってしまって、実験と一致しない。これはふに落ちないと述べて一つの疑問を投げかけているのである。

さて、先の私の計算を再び、慎重に検討したところ、修正すべきところもあって、それらをよ

り厳密に訂正し、粒内への熱伝導も考慮に入れて、理論を組み立てた。結果は、直径をDとするとき

$$\frac{d D^2}{d t} = \text{const} = -C \quad (1)$$

という非常に簡単な法則が出て、蒸発速度係数（燃焼の場合は燃焼速度係数）とも云うべきCの内容も物性値と周囲の条件とを与えれば計算できるようになった。(2)

(1)式の結果は、直径で言うと放物線的に減少することであるので、先の雨粒に対する実験とも一致する。そしてその結果は直径の2乗の変化が時間に対して直線となることを意味しており、その傾斜は、粒径に無関係であって、液体の物性値と、雰囲気中の圧力、温度で決まることになるのである。

Cを多くの種類の液体について求めておけば便利である。そこで、実験に移った。細い石英の糸の先に、液粒をつけ、高温になった炉の中に急に入れ、それ以後の蒸発や、燃焼の様子を16mmカメラに撮影して、それを測定解析するというようにした。

だが、当時は終戦直後のことであつたので、物資不足で必ずしも順調に行つたわけではない。第一に、16mmカメラがなかった。また、アルコール類や、ガソリン類、軽油、重油類は市販のもので容易に手に入ったが、標準燃料は普通では入手できなかった。

しかし、不思議なもので、その気になれば道は開けるものである。ちょうど卒業研究で研究室に入ってきた学生の一人に、父親がコダックの16mmカメラを以前から持っているという者がいて、心よく貸してくれることになった。ガソリン・エンジンやディーゼルエンジンの各種の標準燃料は、棚沢先生が燃料専門の教授に話し、それから石油精製会社に頼み、当時はアメリカから輸入した貴重な分をそれぞれ10cc前後の量を分けて貰つた。これらのことは、今思い出しても大変 難しいことであつたし、運も良かったと思われる。

さて、実験をしてみると、実に面白いのである。予期した通りの結果の他に、全く予期しないことが次山出てくるのである。

面白くて夢中になって実験を繰返したように覚えている。同時にやはり実験することは大切であると思つた。それらの内容的なことは、発表した論文(3, 4)にゆずることにして、重油粒が炉の中に入ると、直径が初期段階で大きくなるのには困つた。それでは、一方的に粒径は小さくなるものとはばかり思つていたのであるから。仲々、原因が理解できなかった。結局最後には、これが熱分解によるものであることが判明したが、何回やっても同じ現象が出るのである。

一応この研究も、幾つかの論文にまとめて、しめくくりをしていた頃のある日、私の所に頭の回転の極めて早い友人が訪ねて来た。その友人の専門分野は違つたのであつたが、お互に今やっ

いる研究の話に花が咲いていくのは、自然のなりゆきである。私は理論の結果と実験の結果について、(1)式の簡単な法則、しかし今や不動のものとなった法則の話を中心にした。聞いていたその友人は、即座に

「それはあたり前だ。蒸発量は表面積に比例するのだから。」

と、評した。私はなる程そうかなと一瞬思いはしたが、どうしても完全に納得はいかなかった。

雨粒に関しての気象関係の人の理論の矛盾と、この表面積に比例するから当然だという論理の疑問は長い間、私の脳裏を離れなかった。

この研究が一段落して、何年かたったある日、ふと私は再びその問題について考えてみた。

まず雨粒の蒸発の理論と、こちらの理論との本質的な差異について調べた。こちらは、高温気中での蒸発を念頭においているので、当然のことながら伝熱的考慮をし、熱伝達率を採用している。雨粒に関する計算では、それが無いのである。それが決定的な差異になっている。

さて、熱伝達率がどういう値になるかが問題であるが、これについては 難しいことに、山懸清先生のお若い頃の論文⁵⁾が非常に役に立った。今でこそ伝熱をやる人は誰でも常識として知っていることであるが、その論文では球が微小になったときのヌセルト数は極限值を持っていて、その値は2になることが結論づけられている。これを使うと、熱伝達率は直径に反比例することになり、雨粒の場合にも、(1)式の形になるのである。つまり、気象の人は伝熱を考えなかったが故に、間違った結果を出していたと言える。

つぎに第二の問題について考えてみた。雨粒の理論の場合もこちらの理論の場合も蒸発量は、いずれも表面積に比例するとしている。したがって、表面積に比例するから(1)式の形が当然だと言うことにはならない。よく考えると、(1)式の表現は、表面積の減り方が一定値であるということであって、蒸発量とは全く違うことを意味している。私は、そのときその友人に反論をしたい気持ちになったが、専門分野も違うし、距離的にも遠く離れてしまって、今だにその機会を得ずに時が流れてしまった。もう今さらそんな気にもならないが、やはり早合点で速断することは、慎まなければならないと思ったことである。

その後、この種の研究が世界的にも、非常に盛んになり、優れた研究が数多く発表された。やはり、はじめ直感的に興味をさそわれる問題というのは、良い問題であるのかも知れない。

文 献

- 1) 棚沢、機械及電気、2-2(昭12)、1
- 2) 小林、機論、15-52(昭24)、14
- 3) 小林、機論、20-100(昭29)、826、831、837
- 4) Kobayasi, K., Fifth Sym. (Intern) on Combustion, (1955), 141
- 5) 山懸、機論、9-37、(昭17)、132

<特集：産業界からの提言>

(1) 産業界からの提言

小川 康夫 (株) 荏原製作所総合研究所)

1. ま え が き

産業界から学界に対する提言を書いて欲しいとの依頼があり、何を書いたらよいか、日々思索していたわけですが、あまり良い考えも浮かばないままに締め切り日も近くなってしまいましたので、私が日頃感じている一つの「要望」を書いて、「提言」に替えさせていただきたいと思います。ただし、この要望にしましても主観を混えたものですので、産業界の一個人の意見として参考にしていただければ幸甚と思います。

2. 「簡易実用伝熱問題集」の発行を要望

その要望とはいろいろな具体的な伝熱問題をスピーディーに解くことができる易しい問題集を発行していただきたいということである。このような問題集が必要と思うのは下記のような理由からである。すなわち伝熱問題は産業の基礎技術の一つであり、その知識は伝熱の専門家だけでなくいろいろな分野のエンジニアが必要とすると思うからである。たとえば当社の場合、ポンプや送風機のユーザーや設計者等でも必要とするようである。たとえば次のような事例である。

(イ) ポンプが屋外で寿命試験のために連続運転している場合、外気が極端に寒くなると凍結するおそれがあるが、外気がいくらまで下がったら凍結するか？、凍結しないようにするためにはどのような対策を採ればよいか？

(ロ) ベルトコンベア上を動いている製品が所定の位置に到達するまでに、送風機で所定の温度まで冷却するためにはどの程度の送風機をどういう配置で設置したらよいか。

また伝熱問題は次のようにたとえ家庭においても必要になることがある。

(ハ) 植木鉢用に家庭用小形ビニールハウスを購入しようと思うが、ハウス内温度は厳寒時、何℃位まで下がるか？ またヒーターによって暖房しなければならない場合、一冬の電気代はどの位になるか？

(ニ) 電気貯湯器の放熱損はどの位あるか？ 湯の使用量が多くなると都市ガス湯沸器より得になると思うが、使用量と償却年数との関係はどのようになるか？

以上のように伝熱に関係ない人にとってもみじかな伝熱問題は数多くあるが、熱関連のエンジニアにとっても種々の実際の伝熱問題をスピーディーに解く演習用問題集があると便利であ

る。

たとえばバッフルをする通常のチューブ式熱交換器等の場合、缶胴側の熱抵抗や圧損等の計算は初めて計算する人にとっては多少厄介である。このような種々の熱交換器の実際問題についても実際の数字を用いた解答例があれば非常に便利である。

以上が簡易実用伝熱問題集の発行を要望する理由である。

上記の目的から、この問題集は下記のような内容のものであればよいと思う。

- (1) 先ず、利用者の対象は機械系や化学工学系学生や熱関連エンジニアだけでなく、理類全般の学生や全てのエンジニアを対象とする。すなわち、普通高校の数学を理解している人なら誰でも利用できるようなものとする。
- (2) 内容はできるだけ実用的なものとする。実用的なものは理論的に解き難い場合が多いが、利用者は厳密解を欲しているわけではなく、概略値をスピーディーに知りたいという場合の方が多いので、答を出し難いものでも実用的なものであれば採りあげるようにする。
- (3) 答は記号で得られるものでなく、できるだけ実際の数字で得られるものとする。利用者は物性値や熱通過率等の実際の数字そのものも参考にすることができるからである。
- (4) また計算する場合の条件をあまり与えないようにする。たとえば熱交換器の設計の問題などの場合、スケールファクター等は与えないで、使用条件から、演習者がいくらにしたらよいかを自分で考えて答を出すようにすべきと思う。そのため巻末にこれらの参考データを載せるようにして、模範解答のときに引用できるようにする。従ってこの答えは専門家が解いても同一数字となるとは限らないと思うが、この問題集の意義は概略の答えが出ればよいわけであり、その答えを導く過程がわかれば、利用者がその目的に応じて応用できるものと思う。
- (5) 巻末にできるだけ多くの物性値を掲載し利用しやすくする。また SI 単位以外との換算表を載せる。

学界の諸先生方にとっては意外と思われるかもしれませんが、実際の問題を解くとき、物性値を探ることと、得られた物性値の単位の換算が意外に厄介だと声を良く耳にする。

特に特殊な物性値は得られたとしても、粘度はセンチポアズであったり、エンタルピーが kcal/kg であったり等 SI 単位でない場合が多く、単位の換算で間違ってしまうこともあるようである。なお実際問題として産業界では物性値だけでなく、熱通過率や、スケールファクターや熱伝導率等も SI 単位よりもむしろ kcal/(m² h °C)、m² h °C / kcal、kcal / (mh °C) 等の単位の方が多く使用されているので、必要に応じてこのような単位も併記するようになった方が便利と思う。なお現在市販されている伝熱関係の参考書や問題集も

ほとんどSI単位を用いず kcal 等の単位を用いているようである。

- (6) また解答を導くときに「伝熱工学資料」や「機械工学便覧」の権威あるものと対照させて、記号等も同じ記号を用いるようにしておく。

このようにしておけば深く勉強する場合に便利である。引用文献に直接外国の文献しか引用していない場合は不便である。

- (7) 監修は「伝熱工学資料」の執筆陣のような権威ある先生方をお願いする。

問題が具体的な実際のなものでも条件を簡略にするという作業は非常に難しい作業なので、学界の権威ある先生方の監修が必要である。ただし問題をつくる人は学生や、産業界のエンジニアでもよいと思う。沢山の人の課題を出してもらい、その中から採用する問題を決めた方がよい。

- (8) 計算の複雑なものは解答をパソコンで計算するようにして、そのソフトをこの問題集の付録として「別売り」で販売するようにする。

あくまでもこのニーズはスピーディーに答えを出すことであるので、多少高価となっても購入者は多いと思う。ただし、伝熱全般を勉強しようとする学生等のために、このようなソフトは別売りとするべきである。

3. あ と が き

以上、私が日頃感じていた個人的な要望として「簡易実用伝熱問題集」の発行について書いてみたわけであるが、この提言集に載せるべき内容のものかどうか甚だ疑問である。ただし、この研究会の会の趣旨には「伝熱」の啓蒙もその目的の一つであると思い、このようなことを述べさせていただいた次第である。

(2) 伝熱工愕と流体工愕

坂 本 雄二郎 (株) 神戸製鋼所 機械研究所)

サラリーマン研究者の役割の一面

企業の研究者の研究業務は、最終的には企業の利益につながるものが要求される。この言葉は通常“興味本位で仕事をするな”という意味で表面的にしか捉えられていないように思われるので、私見を混えて少し分析しておく。まず興味があるということは技術的問題があることを意味する。研究担当者の場合この技術的問題は利益につながると判断された研究業務(さもなければ許可されていないはず)の研究途上に発見されることになる。この問題が解決されなくても研究業

務遂行にそれほど支障がない場合は問題提起にとどめ、差当たり素通りするべきである。この種の問題が別の研究業務で解決されねばならないと思われる時、これは学界への問題提起の非常に良い種になる。しかしその問題解決が業務遂行の直接関係している場合、いかに難解であろうともアタックするべきである。企業で発生する流動・伝熱問題は、形状も状況も非常に複雑で、正攻法で攻めると解析不可能であるのが普通である。ところが製品の開発・改良は迅速であることが必要であり、問題の解決過程は簡明で的を得ているのが理想である。非常に複雑怪奇な現象を簡潔に短期間で解決することを要求するのは無茶苦茶であると言って解析を逃げるのは簡単である。この場合は失敗を覚悟で実行し、失敗にめげずに次々と修正を加えてゆくことになる。そして研究者は浮き上がりがちで技術はノウハウとして現場に蓄積される。ただしこのやり方は市場競争がそれほど熾烈でないか、熾烈であっても成果が膨大な利益につながる目途がある場合のみ現実的である。基幹産業という言葉の上にあぐらをかいていたように思われる昔の鉄鋼業がこの場合に相当していたのではないだろうか？ 一般的には、例え解析不可能でも失敗を最小限に食い止めるために勢いだけの解析が必要である。正攻法では解析不可能な（または非現実的な）解析を、スケジュールとの兼ね合いで“どこまでやるか”が問題の核心である。この判断を実施するためにはかなりの幅広い経験と現象の洞察力と決断力が必要である。これを若い研究者に任せるのは酷で通常管理職研究者の役割となる。この判断が適切でない時“趣味的研究をやっているとか興味本位で仕事をしている”といった非難を社内で浴びることになる。また判断が適切でないとした言うのは簡単であるが、“なぜ適切でないのか、とかこういう別法があるではないか”といった積極的な忠告ができなければ、単なるぐちになってしまう点が難しい。“どこまでやるか”の程度により工学にもなるし、工学とは言い難い工愕となることもある。限られた時間でできるだけ工学に近い状態にもってゆくためには研究者のポテンシャルが高いことが必要であり、企業における海外留学制度や学位取得制度も外見はともかくとして本質的な部分にその必要性の根源があることになる。

産学協同とその難しさ

学界に比べると研究の深さにおいて一般に浅い企業の研究者が、それでも自分でアタックする気になるのにはそれなりの理由がある。① 学界にないデータやノウハウを持っている、② 連成問題が多く周辺状況は自分が一番良く知っている、③ 迅速な対応が必要で、差当りは工愕でもよいから第一段階の答が欲しい、④ 実験しないとどうしようもないと思われる、など種々の事情がある。学界からみると愕然とするような工学すなわち工愕を企業の研究者は苦しまぎれにやっている。常に明確な裏付けのある間違いのない議論をするべく努力されている先生方の態度と

御苦勞には敬意を表しますが、これが産学協同を難しくする一つの原因であるとも感じている。頭はとびきり優れているが気の弱い先生は用心深く、頭はとびきり優れていて気も強い先生は頑固であると言ったらドツカレそうですが少しそんな感じがする。変な表題を平気でつける筆者などどんなに厚顔無恥な男かと思われそうですが、実質は薄顔無恥の迷える子羊でありおまけにかわゆくない。頭はとびきり上等で気も強く厚顔無恥で柔軟な発想のできる紳士が最高である。

従来産学協同が成立しにくかったもう一つの事情は、単に複雑であるだけの工学に学界側から興味を示されなかった点が上げられる。例えば多管式熱交換器の流動伝熱の研究などは学界にとっては労多くして効少ないという感触がぬぐい切れないのではと想像できる。企業の研究者でさえ同じような感触をもっており、特に二相流、多成分系などでは手のつけようがない。流体の物性もさることながら、流動様式や伝熱機構にも推定し難い面が多過ぎ、さらに伝熱流動特性におよぼす寸法効果が明確でないため、信頼できるデータは実機レベルの試験装置に基づくものであることが望ましいと考えられている。小形の模型実験に信頼性がないということが、学界が介入しにくい原因の一つであると共に、企業でも一社で実験を実施することが難しい。この事情を察知して成立したのが、いわゆる Multi Clients 方式の研究機関であり、熱交換器関係では HTFS (Heat Transfer and Fluid Flow Service, 英国) HTRI (Heat Transfer Research Institute, 英国)、精溜器関係では FRI (Fractionation Research Institute, 米国) などがある。流体工学や燃焼工学の分野でもエンジニアリング会社がこの方式に着目して、実用的なプログラムの開発を実施しており NREC 社 (Northern Research Engineering Corporation, 米国) などがこれに相当する。寸法効果ないしは相似則の問題は流体機械や燃焼工学の分野においても残されており、国内でも Multi - Clients 方式に似た形で例えば燃焼器の合理的設計手法に関する研究分科会が実施されたりしたが、分科会で集まる資金は小さく、興味深い成果はでていないが実用プログラムの開発などは通常望めない。鉄鋼業界にも連鑄設備、圧延設備、高炉・石灰炉・焼結炉・転炉などの各種の炉や溶鉄予備処理設備などに複雑な流動伝熱の問題 (溶鋼流動、固液・気液・固気液混相流や充てん層・移動層・流動床関係) は豊富にあるが、近年になってやっと冶金屋に加えて機械屋や化工屋の流動伝熱に関する考察がかなり実施されてきている。前述のようにトライアルアンドエラーで現場にノウハウが蓄積されている部分が多く、工学というより工愕に近いものも多い。工学に近づける努力はなされているが工愕にならざるを得ないほど複雑怪奇なものが多いのも事実である。社外的には鉄鋼協会が工学化に貢献しており、流体工学・伝熱工学関係の先生方は比較的少ないように思われるので、複雑怪奇に御興味のある先生方には御入会をおすすめしたい。大形計算機の発展によりこの複雑怪奇を腕力でねじふせようという試みもかなり実施されだしており、高炉のシミュレーション解析も不可能な

時代から、ひょっとしたらできるかもという時代になってきている。先生方には腕力は興味の対称にならないかもしれないが、腕力で処理できるのは複雑の部分であり怪奇の部分に新しい工学の種が潜んでいるのではないだろうか？ HTFS や FRI の研究も、どうしても工愕臭いところは残っているが、複雑怪奇をいかにモデル化しプログラム化するかに、かなり深い考察も加えられており美事な部分もかなりある。例えば熱交換器を設計するとき、HTRI のプログラムで設計したということが、ユーザへの一つの保証になっており、それぐらいの権威を持つに至っている。一方では企業でさらに精度も確度も良いプログラムを開発しても、ユーザに認識してもらえないチャンスがないといった弊害さえでている。

学界に望む研究の例

鉄鋼業界においてもプラント業界、化工機器業界においても、実機データしか信用できないという現状がある。要するに寸法効果が分らないという点と、現象が種々重なり合って複雑怪奇という点とが問題になっている。

この十数年来学界で研究の盛んな流れの数値解析を基礎にした伝熱・物質移動の解析は、もし完成すれば上述の問題を全て同時に解決してくれる可能性を持っている。もちろん蒸発速度、凝縮速度、化学反応速度は例えば温度、圧力、濃度などの関数で境界条件として与える必要があるが、このような基礎解析なら比較的簡単な装置で実験室で求めることができる。ただしこの技術の完成のためには乱れ機構の解明が必要であり、非常に難解なものであるのは周知のことと思われる。現象解明におよぼす乱れの影響が小さければ誰も大騒ぎしないわけで、例えば粘性係数、拡散係数、化学反応速度などが桁違いの影響を受けるため無視して通れない難所である。したがって乱れのモデル化の研究には企業の研究者も期待するところが大きい。期待するだけのおまえはやらんのかという件については、残念ながらやれないと言わざるをえない。才能もさることながら企業でこれが許されるほどの余裕は現状ないと判断している。やらしてもらえたらやれるのかという件については、もちろん自信がない。しかし意見だけは一人前もっており僭越ながら書かしてもらいます。筆者の感じでは現状の乱流解析は理学部物理学科流体力学専攻の臭いが強過ぎるように思う。もちろん物理現象の解明が必要であるという事情はあるのであるが、物理学→流体工学のルート以外に、流体工愕 → 流体工学のルートが乱れの研究にもあるのではないだろうか？ レイノルズ数やプラントル数でヌセルト数を求めるやり方は層流に対しても乱流に対しても与えられている。乱れのモデルとして $k-\epsilon$ モデルを用いて数値解析すると、従来の $Nu - Re - Pr$ の関係式と良く一致することを示して、 $k-\epsilon$ モデルの妥当性を示した報告はあるが、非常に数多い $Nu - Re - Pr$ の関係式から積極的に乱れモデルを考察した報告を筆者は見たこと

がない。伝熱に限らず圧力損失のデータも非常に多い。極端な話、代表長を種々局所的に合理的に定義してやれば、局所的なレイノルズ数の関数で例えば乱流粘性係数が評価できるのではないかなどと想像しているが全くの見当違いであろうか？ これは見当違いであるとしても、一方程式モデルのように比較的単純なモデルが、どのような癖をもった流れ場で使えなくなるか、とか例えば層流粘性係数とは異なるがある一定の粘性係数を与えてやってもほぼ用が足りるという場合があるとしたら、どのような場合にどの程度の粘性係数を与えてやれば良いかといった少し工愕臭い報告が欲しい。土木工学の分野では一定の粘性係数を与えて用を足している例もあれば、流体機械の内部流れの例では、粘性を無視してさえ、ほぼ用の足りる流れ解析ができる場合もある（ただし共に形状と考慮しなければならぬ外力項が複雑）。対流伝熱の場合に最も乱れ構造の解明が必要という事情は分るが、乱れ構造を詳しく知っている人ほど、大まかな乱れの評価もより合理的に把握できるのではないだろうか？

企業だけではなく学界においても複雑怪奇な現象の研究はあり、混相流などは典型的な例であろうと思われる。複雑怪奇な現象をいかに工学的に取扱うかの参考には常々さして載せておりますが、学界の方でも、もっと別の複雑怪奇に挑戦して戴き、怪奇に潜んでいる新しい工学を見つけて、複雑快気にして戴きたいと切望すると共に、企業でもっている問題提起とできればデータまで紹介できるよう、微力ながら企業の一研究者として頑張つてゆきたいと考えております。

(3) これからの伝熱研究に期待すること

鈴 置 昭 (高速炉エンジニアリング(株))

1. 結果かプロセスか

昨年の第2回伝熱シンポジウムの講演論文集によれば、220余件の発表論文の内訳は、大学からの発表が87%、国立研究機関4%、民間企業9%であった。我国の伝熱研究は圧倒的な大学依存型であり、産業界からの寄与はかなり小さいと言わねばならない。昨年に限らず大分前からひとつとすると我国の伝熱研究の創始以来、この傾向は変わっていないのかも知れない。本誌のテーマが「産業界からの伝熱研究への提言」であって「産業界における伝熱研究の活性化」でなかったことは筆者にとって幸というべきか。

ところで、87%を占める「大学研究者の研究成果が産業界においてどの程度役立っているのだろうか」という問題が本誌において度々議論されている。ただ、この問題を考えるに当たっては、研究成果に対する認識の上で産業界と大学との間に若干のずれがあることを念頭に置

かなければならないように思う。研究成果を結果と結果に至るプロセスに分けて考えると、産業界における研究開発の中で追求されるのはあくまで結果である。大学では結果とプロセスが同等に追求され、評価されており、またそうであるべきであるのとは大いに異なる。

従って、産業界と大学とでは研究開発のフィールドにおいて当然異なっていて良く、大学における研究成果が産業界の技術開発上の隘路をたちどころに解決してくれる特効薬とはなり得べくもない。しかしながら、技術開発の節目節目で頼りになる常備薬や基盤技術の強化に役立つ漢方薬のような役割には大いに期待が寄せられている。特に技術開発の基盤となる技術として、

- i) 熱・流体計測技術
- ii) 熱・流体数値解析技術
- iii) 物性値の測定
- iv) 役立ちそうな新技術、新機構の発明、発見
- v) 伝熱に関するデータベースの作成

などがあげられる。また欲を言えば、研究成果そのままではなく、かなり具体的で目に見える技術の形に成果をまとめていただくと 難しい。産業界への浸透の度も違ってくるのではないかと 思う。

2. 伝熱とエネルギー

識者の言によれば、我国のこれからの産業の目玉はエネルギーと情報とメカトロニクスだと言う。当否はともかく、このうちエネルギーは原子力であろうと石炭であろうとソーラであろうとその価値をキロワットで測ることができる全く量的な製品（商品）である。この点、商品価値に占る質的なもののウェートが高い情報やメカトロニクスとは社会との係り方において基本的に異なるように思う。エネルギー需要の伸びは社会全体の経済的成長に完全に依存することになり、また、その供給コストは経済成長に大きなインパクトを与えることになる。

伝熱研究の歴史と極めて密接な係りがある。近年のエネルギー需要の急激な伸びが、新たなエネルギー資源の確保とその変換技術の開発を要求し、これが伝熱研究の発展と体系化を大いに促した。また逆に、伝熱研究上の成果がエネルギー機器の性能や品質の向上に大いに貢献してきたことも確かである。

筆者が関係する原子力の分野では、技術開発に占る伝熱研究のウェートがかなり高い。原子力プラントが基本的には大きな熱輸送系そのものであるため、伝熱研究を抜きにしたプラント設計が考えられない。プラント停止後においてはなお炉心で発生する崩壊熱を確実にすみやかに除去することが安全上の鉄則であるため、あらゆる状態において炉心冷却能力を確認することが安全設計の基本となっている。など、技術開発の進歩が伝熱研究の進展に依存するところが大きい。

軽水炉では、このところの稼働率の向上に目覚ましいものがあり、定期検査などのため計画停止する期間を除けば実質的に 100% に近い稼働率で運転されているプラントが多い。従って、熱輸送系などのプラントの基本構成に係る部分において緊急かつ強力な研究開発を要するような課題は少なくなって来ている。中期的には、安全性と経済性の調和をめざした改良型プラントの開発が進められつつあり、炉心における熱的余裕度の向上などが課題として取組まれている。

高速炉では、原型炉「もんじゅ」に向けて積み重ねられて来た技術開発が集約段階にさしかかっている。この技術開発の中では、液体ナトリウムが熱媒体であるがための技術やノウハウの蓄積が主要な課題の一つであった。ナトリウムの熱伝達、ガス中の蒸気やミストの挙動、ナトリウム燃焼やナトリウム・水反応など、熱媒体としての特性に関する理解が急速に深まりつつあり、今後とも知識を体系化してゆくための努力が必要である。また次世代の実証炉に関する研究開発も既に着手済みであり、安全設計や機器設計の分野において伝熱研究の進展に解決を期待すべき課題も多い。

このほか、エネルギー関連の分野では超電導を応用した機器の実用化と、それに伴う極低温技術やヘリウム冷凍技術に関する開発、石炭の液化や流動床燃焼などの技術開発において伝熱研究に対する研究ニーズが大きいように思う。

いずれにしても、エネルギー関連技術は社会全体との係り合えば強いいため、その技術開発に当たっては、産業界と大学との特に強い協力関係を必要とする分野ではなからうか。

3. 解析による設計

近年のコンピュータの発展には目覚ましいものがあり、そのコストパフォーマンスは 4～5 年に一桁ずつ向上すると言われる。この発展に支えられて、コンピュータ内部に構築した数学モデルを用いて物理現象を模擬する数値シミュレーションが、設計解析においても広く使用されるようになって来た。

例えば、航空機の設計では模型などを余り作らずに数値シミュレーションにより翼や機体の流体力学的特性を求め、これをもとに設計を進めるという、いわゆる解析による設計が主流となりつつある。風洞実験を重ねて設計データを求める従来の方式に比べて、開発に伴う費用や時間の低減効果は大きい。

構造設計における応力解析も、大分以前より解析による設計が進められており、設計作業の合理化の上で大いに貢献している。

エネルギー技術開発の分野でも、安全設計や機器設計の中で熱・流動現象に対する詳細な現象解明を必要とする場合が多い。流体数値解析の乱流域への適用拡張や、これにもとづく対流

熱伝達の解析などにより数値シミュレーションが現状の実験を主体とした評価に取って替るのはそれほど速い将来のことではないであろう。そのためには、

- i) ナビエストークス方程式のような非線型系の新しい解法
- ii) 限要素法、差分法などの数値解析技法の高度化
- iii) 乱流モデルや境界層モデル

など、数値シミュレーションの基盤となる技術の進歩、改良が不可欠である。熱工学の分野でも解析による設計が早期に実現することを期待したい。

伝熱研究に対する提言を述べるはずが、原子力分野に働く一技術者の伝熱研究に対する極めて個人的な見解や感想に終わってしまったのではないかと恐れている。この拙文から、産業界で考えられ、起っていることの一部でも読み取って頂ければ幸である。

(4) 民間企業側の一人としての提言

田 中 修 (三菱電機(株)中央研究所)

昭和47年、広島市で開催された日本伝熱シンポジウムに私ははじめて参加したとき、それまで時々参加していた学会(私は物理屋出身で、物理学会や応用物理学会に所属していた)とは違った雰囲気を感じた記憶があります。それは参加している皆さんがざっくばらんに和気あいあいと討論し、ゆったりした時間プログラムの中で、人との交流の場をつくっているよい雰囲気に触れたからです。以来このシンポジウムや夏の伝熱セミナーなどにも時々参加し、多くの方々と知りあい、刺激され、啓発されたと思っています。会社にいる若い人々にも日本伝熱研究会を紹介し、シンポジウム、セミナーに参加してもらい、若手の養成にも役立ったと信じております。その意味で地方研究グループの研究発表会などをできるだけひんぱんに開いて、人と人とのつながりをつくる必要があるかとも思います。研究発表すること自体、発表者だけでなく、裏方さんも大変とは思いますが、中間報告あるいは方向付けのアドバイスを受けるつもりぐらいの軽い気持ちで発表するのはいかがでしょうか。

私達大変役に立っている書物としては機械工学便覧、伝熱工学資料、沸騰熱伝達、技術資料、管路ダクトの流体抵抗、流体の熱物性値集(以上日本機械学会編)、冷媒熱物性値表(日本冷凍協会編)などがあります。この種のものはどしどし新しいものに改訂し、新しい研究、開発に役立てるべきかと考えます。またこれは大変厄介なことかもしれませんが、Advances in Heat Transfer (ACADEMIC PRESS)のように日本でも毎年伝熱に関する新しい独創的な

研究、論文の単行本が出版されるのもよいかと思えます。

私達の研究課題あるいは関心事は伝熱促進、新しい伝熱、物質伝達のメカニズム、新しいもの（製品など）などです。開発や研究途中では㊦で公開できないと思いますが、できあがったものについては大いに宣伝もかねて紹介して戴きたい。

最近ヒートパイプ協会ができ、産学協同で会員をふやす努力をしている者の1人です。伝熱研究会とヒートパイプ協会とは設立当初の主旨、メンバーなどの違いがあり、運営、組織などにも差異は出てくると思われますが、私のみる限りでは内容そのものにはそう違いはみられません。大きな違いは伝熱研究会の幹事が会員の数の割に少なく、かつ大学関係の方々でほとんど占められていることです。これには運営上の問題があり、幹事をもう少しふやし、民間企業の人々にも多く入ってもらい、協力する形にすれば、人と人とのつながりが一層でき、産学協同の実をあげられるのではないのでしょうか。

(5) 雑 感

千葉孝男（新日本空調㈱）

1. 駄文を綴るに到った経緯

私は学校を出て以来約30年間一般のビルや工場の生産プロセスに対する空調設備の設計と現場施工の仕事に携ってきた技術者である。しかし、学生時代は熱工学を専攻したという経歴もあるために、実業に携ってからも何となく伝熱問題に興味を持ち、時間的な余裕のある時は機械学会の伝熱部門の研究発表会などに顔を出し、諸研究者の高速な研究を、理解できない乍らも聴講することで、最新の研究を自分でも勉強しているような、快い気分浸ったこともあった。

その後、機械工学や化学工学の中の伝熱問題の研究者が大同団結して伝熱研究会を結成することになった時、諸先輩からの勧誘もあり、入会した。従って、私は伝熱研究会発足当時から会員だった（と思う）。そして、監査なども引受けさせられ、年に一度判らぬ乍ら会計帳簿や預金通帳に眼を通して、会の金銭出納に誤りのないことを証明したりしたこともあった。また二三次伝熱セミナーや東北研究グループで、空調技術に関連する話題を発表したり、紹介したこともあった。こんなことが伝熱研究会と私との浅い交際の内容である。

今回、宮武先生から突然「伝熱研究」の1月号に「産業界からの掲言特集」を組むので、「産業界が必要としている研究課題、学界の研究成果の産業界における有用性など種々の点に

関して率直な要望、感想、問題を提起していただき、会員に考える機会を提供すると共に、産学協同の実をあげる」ことを目指して、「個人的な立場で大いに主観を混えて」何かを書けというようなお手紙を頂戴した。50台の老年の部(?)に属してしまい、しかも研究とか学問とかというような事柄とはほとんど関係のないような日常を送っている私にとっては正に青天の霹靂であったし、直ちにこれは宮武先生の人選に誤りありと感ぜざるを得ず、お断りの手紙を差出そうと考えたが、偶図々々している中に提出期限の11月25日の2日前になってしまったので、勤労感謝の日という、久し振りの骨休めをするように国で定めてくれた日に急いでペンを執り、何を書くかと思いついでいる次第である。今更じたばたしても遅いので、仕方なく「主観を混え」た文章を綴って、責の一端をふさぐことにした。

2. 研究結果と実際とが合わない話

私は昭和40年代に大型の工業用冷却塔の設計製作の仕事もしていた。わが国の強制通風冷却塔は昭和14年に福島県の小名浜の工場に設置されたが、その時以来昭和30年代後半まで桧の一等材を短冊形にしたものを、熱交換用の充填材としていた。しかし昭和30年代後半になって石油化学製品を利用した軽くて性能の良い塩ビ製の充填材が開発され始め、短冊形に比べて表面積が大きく、水膜の滞留時間が長いようなものが次々と市場に現われ始めた。

当時冷却塔充填物の性能については、実験室内で、底面積100mm×100mm程度の実験塔を用いて求めたものが発表されていたが、実際の冷却塔設計にはこのような研究成果とは別に実物で得られた経験値が用いられており、研究結果と経験値との整合性などは問題にすることがなかった、あるいは実業界では実験室内での研究成果などは全く信頼していなかったといっても過言ではないだろう。

そのような状況の中で、私も新しく開発された充填物の採用を迫られるようになり、某メーカーより新型充填物の性能値をとり寄せ、メーカーの実験値に基づいて冷却塔を設計することとした。その結果、従来の冷却塔に比べて、充填物高さが $\frac{1}{2}$ 以下に減り、市場競争に極めて有利な製品を生み出すことができることが判った。しかし、私にとってはこの新形充填物の採用は初めてなので、安全を見て約1.5倍の充填高さとして製作したが、実際に運転してみると、どうも性能がでていないように思われた。ちなみに実地の大型冷却塔の性能検査は極めて難しく、昨年やっと小形冷却塔の性能試験法のJISが完成した許りである。

そこで思い切って自分達の実験用冷却塔を作り、次々と発表される新形充填物の性能を自分達の手で確認した上で、採用の可否を決めることとし、試験部底面積120mm×1,200mm、最大充填高さ4,000mmの実験塔を作り、入口空気温球温度も任意に制御できるようにして、実験を開始した。図-1はその成果の一部で当初実験値とはメーカーが当初提出して来た値、カタ

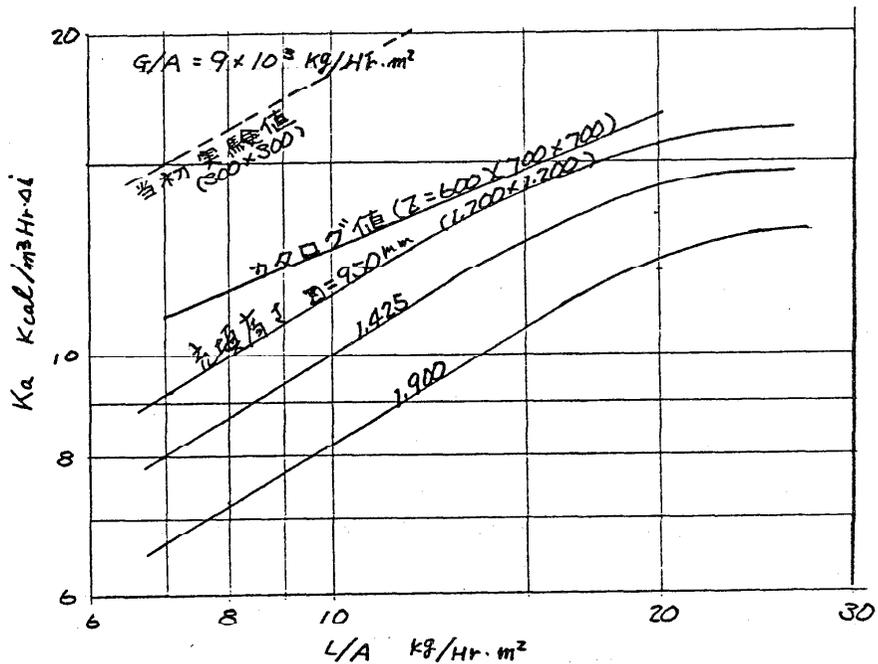


図-1 冷却塔充填物の熱的性能

ログ値はメーカーがその後カタログに掲載した値、その下の3本の線が我々の実験塔で得た値である。この結果を見ると冷却塔充填物の性能は、小型塔と大型塔とは非常に大きく異なることが判る。

化学工学の方面では実験室規模で得られた結果からパイロットプラントや実物にスケールアップする時の理論があるというような話も耳にするが、我々もしメーカーの提出性能を鵜呑みにしていたら、手痛い損害を蒙ったことであつたらう。

3. 誤った思い込みに理屈をつけた話

これは伝熱問題とは関係はないが、矢張大形工業用冷却塔での経験である。

昭和40年代後半、公害問題が喧しくなって新鋭大形製鉄所の冷却塔の送風機騒音を低下させなければならないという問題に遭遇した。私の経験した冷却塔用送風機で最大のものは直径8,400mm、軸動力130KWの軸流送風機である。このような送風機の発生騒音は110ホン程度にもなり、その消音対策は技術的にも極めて困難であった。このような送風機は回転数130 r.p.m.程度で、低周波数の騒音レベルが高いので、直角エルボ型の消音器が極めて効であるが、送風機の所要静圧が20 mm Aq程度であるのに対して、直角エルボを取り付ける

とさらに静圧を5~10 mm Aq 程度上げなければならない。これは動力の増加を招き、動力の増加は送風機の発生騒音をさらに増大させるという結果をもたらすことになるので、何としても他の方法を見出したい。

そこで、送風機メーカーと種々相談を重ねた結果、送風機を直列2台に分割し、1台の送風機の回転数を低下させて、発生騒音を下げようということになった。送風機には次式で表わせるような騒音法則というものがある。

$$PWL_2 = PWL_1 + 70 \log_{10} \frac{D_2}{D_1} + 50 \log_{10} \frac{n_2}{n_1} + 20 \log_{10} \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (1)$$

ここにPWL：音響パワーレベル、D：羽根車直径、n：回転数、 γ ：流体の比重量
この式によれば、Dを等しくし、取扱う流体も同じであれば、回転数を $\frac{1}{2}$ にするとパワーレベルは15 dBも低下することになる。同一騒音を合成すると騒音レベルは3 dB上がるので、この2つの結果を合成すれば多くて12 dB程度の発生騒音の低下が期待できるということになった。このような理屈に基いて直列反転型軸流送風機なるものを開発し、実際に1台だけ納入した。しかし、その結果は全く期待外れであった。送風機の発生騒音を推定するために次のような式がある。

$$PWL = A + B + T$$

ここにPWL：オクターブバンドパワーレベル、A：風量と静圧による成分、B：送風機の静圧効率による成分、T：羽根通過音(騒音)による成分。

この式によれば、同一風量、静圧の送風機では右辺第二項のBの効率によって大きくその発生騒音が左右される。

上述の新形送風機も、2台の送風機を組合せた総合静圧効率が、従来のものに比べて高くなっていけば、必然的に発生騒音も小さくなるが、現実には少し効率は低下していた。従って、期待外れに終わったわけである。というよりはむしろ自分達に都合の良い理屈を探して来て、物事の本質を忘れたことによる大失敗であった。

4. 使いやすい答だけが欲しいという話

新入社員の入社試験でRe数やPr数の簡単な説明はおろか、伝熱の3型式(伝熱、対流、軸射)のあることすら知らない学生が(本当に)沢山来る。そのような学生でも会社では幾人かの採用に踏み切らざるを得ない(これは無名小規模企業のボヤキである)。またこのような人達を会社では一所懸命育成してなんとか一人前に仕上げようとする努力を払っている。

我々の業務の中でも時には非定常伝熱問題を解かなければならないような場合もある。このような時に機械学会の伝熱工学資料は極めて有用であるが、この本は厳密を期するためと、研

究成果の充実とによるのだろうか、初版、2版、3版となるに従って、上述のような基礎のない技術者にとっては段々理解しにくいものになってきたようである。例えば の単位が m^3/h だったり m^3/s だったりした丈でも、悪い頭は混乱の渦の中に入ってしまうようである。沸騰曲線や凝縮曲線には色んな実験結果が何本もの線で示してある。素人にはどの線の値を使ったら良いのか戸惑うばかりである。その結果桁違いの計算結果を平然として提出して来る。彼は権威ある伝熱工学資料を使って解答を出しているのだから、誤っているなどは夢にも思っていない。

我々のような二流・三流技術者にとっては、必ずしも厳密さを要求されない場合が少なくないし、また2で述べたように、実験条件と実用状態では、流れの様相一つをとってみても随分異なっているのが大部分である。従って計算によって得られた結果は上位二桁乃至三桁位の範囲でおおよそ合っていれば良いというようなことが屢々である。

私自身の問題としても、例えば蒸気配管の還水管（凝縮水を暖房用放熱器からボイラへ返送するための管）内は、凝縮水と再蒸発蒸気または空気との二相流になっているものと思われるが、実用上は米国で1930年代に得られた実験結果を modify して末だに利用しており、大量に生みだされる二相流の研究成果は、全く利用されていない（利用できない？）というような状況にある。

最近漸く産学協同も会社で半ば認められるようになって来たようだが、工業上の実際問題の解決に対しては、仲々難しい問題があるように思われる。一つには企業側の学者の研究への無理解と応用力不足、他は研究者側の「学としての学」追求とか「我（独り？）専し」といったような高踏的態度とによるのだろうか。

突然の執筆依頼に対して、役立たずの妄言を取り止めもなく記してしまった。余り要望も提言もなく、単なる感想に過ぎないものをお出しすることになったことをお許し下さい。

(6) 伝熱工学界と工業界との融和のすすめ

柘 植 綾 夫（三菱重工業(株)技術本部高砂研究所）

1. はじめに

日本の工業界は、従来の海外からの技術導入によるライセンス生産から、自らの頭脳で創造した技術に基づく新製品生産への脱皮の時代に入っており、その体質の改革の成否がその企業の存亡を決するという重大な時期を迎えている。

これは正に、明治の文明開化に次ぐ日本人の頭脳的変革が求められている時期であり、20年後に現在を振り返った時、この変革の時期が如何に重要な曲り角であったかが浮き彫りとなる。

この様な重大な時期を迎え、各企業の新技術、新製品を生み出す責任を持つ開発部門の技術者は「新技術を手本無しで創造すること」の難しさに直面し、懸命になって対処策を模索している。

この工業界の変革期は日本だけのものではなく、欧米の諸国も同様な状況にあり、国家というトータルシステムで見た場合、「既成技術から独創技術への変革」の度合いによってその国力が大きく左右されることになる。

この様な変革期においては、工学界と工業界の有機的な結合の成否が重要なカギであり、日本の現状を欧米のそれと比較するに、その不充分さに震撼させられるのは筆者のみではないであらう。

換言すれば、我が国においては工学界と工業界の有機的な結合の面での改善の余地が大であり、その改善によって工業界、ひいては国力の増強が相当期待出来ることになる。

本稿では工業界に席を置く筆者から見た両者の融和の為の問題点を摘出して、会員の皆様の御批判を仰ぎたい。

2. 伝熱工学の分野での現状の分析

工学界と工業界の融合のバロメーターの一つとして伝熱シンポジウムの論文の投稿数を見ると次の如き数字が得られる。

第21回 日本伝熱シンポジウム総論文数	:	223 編
工業界独自の投稿論文	:	16 編
工学界と工業界の共著の投稿論文	:	13 編

総論文数の13%が工業界の研究者の著、あるいは工学界との共著になっている。この数字には、工業界の直接のニーズを受けて、工学界が独自に実施したという“両界融和”の一つの形態が含まれていない欠点があるが、工業界の参画度があまりに低いという事実は認めざるを得ないと考えられる。

次に、論文総数223編のうちで、その研究成果の応用対象を何らかの形で明記しているものは約半数の107編であり、この数字で見ると、工業化を目指した工学研究の健全なことを示している。

一步、工業界に近づいた見方として、論文の課題に、工業機器ないしはシステムを明記した応用研究論文数を見ると、上記107編のうちで40編であり、論文総数223編のうちで約

18%を占めている。これも又、伝熱シンポジウムの性格からして比較的健全な数字と見られようが、工業界側からすると50%は要求したくなるであろう。

これらの限られたデータからの判断は危険ではあるが、主観を交えた総括として次の事柄が指摘出来ないであろうか。

- (1) 伝熱工学界と工業界との成果の交流の場として国内の代表的学会である「日本伝熱シンポジウム」への工業界側からの参画率は極めて低い。
- (2) 研究論文のうちで、応用対象を具体的に持っているものは約半数は有り、数のうえではほぼ健全と言えるが、実際に発表を聞いた人の満足度との不一致が問題ではないか。
- (3) (1) および(2)の根底には、「学術的価値」は有っても、「工業への応用」の面で、研究成果が実っていないか、あるいは少くとも実りの方向付けすらしていない論文が多すぎるという潜在的な問題が存在するのではないか。

3. 伝熱工学界と工業界の融和のすすめ

前項の様な現状を改善するには工学界のみ努力では不可であり、工業界の努力が不可欠である。

3.1 工業界の努力すべき点

工業界における伝熱工学は、機器なりシステムといったハードの開発および設計、そして製造といった物に即しており、他人の模倣をしない限り、新技術、新製品の開発を実行していく途上で必ず遭遇するものと考えられる。本稿の冒頭に述べた如く、我が国の工業界はこれからは手本の無い新技術、新製品の創出無くしては存続が困難となる時代を迎えており、その過程に生じてくる種々の工学的問題を今以上に工学界へ投げかけ、助けを求める態度が求められよう。

その際、工業界側にも、単に「総合」のみならず、工学的問題の「分析」能力が求められており、大学での高等教育および研究の *Apprentice* を受けた高級技術者の層が厚くなっている工業界の現有人材ならば、これが可能であり、この伝熱研究を読んでいる工業界側の技術者に求められている訳である。

工業界側から工学界側への工学的支援の要請には、当然、資金的裏付けが必要であり、この確保も又、工業界側の技術者の責務であろう。

要するに、工業界側として努力すべき点は、「ある程度の分析を踏えた工学的問題」を「適切な資金を伴って」工学界側に渡すことであろう。

更に、「新の創造活動の成果は模倣とは異なり、ある程度の熟成の為の時間が必要」であることの認識も不可欠であろう。

3.2 工学界の努力すべき点

前述の努め、工学は理学と異り、ハードへの「応用」無くしては存在価値は著しく低下することを認識する必要がある。この認識に立つと、以下の事柄が現在以上に努力され、具体化される必要がある。

(1) 研究の応用目的の明確な位置付け

もちろん、伝熱学は工学のみならず科学としての性格が有るのであるから、「新事象の発見」とか「従来、普遍化されていなかった事象の普遍化」といった研究も必要であるが、これらのいずれにも属さぬ研究の取組みには、その応用目的の明確な位置付けが不可欠であろう。

(2) 研究のアプローチ方法の体質改革

前述の「新の創造活動の成果の熟成には時間が必要」に対応して、「新の応用研究の寿命は意外と短い」ことが忘れられがちである。地球的に考えると、新技術・新製品の寿命は短く、一つのものに固執していると時代遅れとなると同様に、応用研究も時間との勝負の面が有る。

従って、工学界側にその様な能力に欠けている場合、どうしても「応用研究とは隔った「科学的研究」へ方へと片寄ってしまう。この辺の工学界側のアプローチ方法の体質改革が望まれる。

具体的には、大学院生の Power の有効活用とそれに対する報酬制度のルール化も一つの手ではなかろうか。

(3) 研究成果の工学的レベルからの査定

工業界側の技術者、研究者は常に「応用研究の成果」が査定され、それが次ステップへの明確な反省と方針付けとなり、「工学的研究の成果」も、伝熱シンポジウム等の「工学界レベル」での査定を受けられ、これも又、次ステップの反省となり得ており、健全な環境に有ると言えよう。

一方、工学界側の研究者は「学術的成果」の査定は受けても、「工学的成果」の査定はなかなか受け難い環境にあるのではなかろうか。

この辺の体質の改革のためのルール化が、意識の改革と伴って必要であろうと考える。

4. ま と め

伝熱工学界と工業界との融和の為、両方からの歩み寄るべき事柄を抽出したが、まだまだ分析と提言が甘いと考える。しかしながら日本を取り巻く状況を見ると猶手は許されぬものがある。

例えば、原子力エネルギー開発の面を例にとれば、欧米の各国は、国というトータルシステムのなかで研究開発が有機的に行われており、その分だけ研究開発投資が有効に行われ、それに裏打ちされた新技術を確立し、競争力を強化している。

従って、工学界および工業界の各研究者、技術者がとにかく、やれるところから改善策を実行していくことが肝要であろう。同時に組織的変革への探求も絶やすことなく各界で共同で行われるべきであろう。

(7) 鉄鋼業における伝熱研究のニーズ

西山 哲 司 (川崎製鉄(株)千葉製鉄所エネルギー部)

1. はじめに

今さら言うまでもないが、我々鉄鋼業にあつては、『熱を制する者は、鉄を制す』と言うのが昔からの共通認識である。

図1に、鉄鋼業における各プロセスでの温度変化を示した。一見してわかるように、我々鉄鋼業にあつては、いたるところが加熱、冷却のプロセスで占められており、この意味で『伝熱研究』が中心的課題である。

その第一の課題は、加熱に必要な熱エネルギーの消費量が約 $5,000 \times 10^3 \text{ KCAI/t}$ - 粗鋼と膨大なことから、省エネルギーに対するニーズである。

第二の課題は、製品の性質を支配する因子が熱履歴によって決まることから、加熱、冷却の制御が、品質制御上不可欠である、ということにある。

第三の課題は、鉄鋼設備は巨額の投資が必要である、という面からイニシャルコスト低減、長寿命といった、トータルライフコストミニマム化に対するの寄与である。

これら3つの課題のそれぞれについて、今までの経過を概説し、これからのニーズについての私見を述べる。

2. 省エネルギーのニーズ

鉄鋼業は、ここ十年の間、省エネルギーに特に力を注いできた。取り扱うエネルギー量が膨大であり又、製品コストに占めるエネルギーの割合が15～25% であることから、このコスト削減は至上命題であった。石油ショック当初我々が取り組んだのは、まず投資をせずに容易に出来る改善であった。いいかえればむだをなくす活動であり、1つのアイデアで大きな効果が発揮できた時期であった。その後排熱回収装置といった設備投資がより効果的であることが

ら、多くの省エネ投資を行ってきた。この省エネ設備の企画、設備段階で、伝熱効率向上による投入熱量の減少、熱伝達率向上によるコンパクトな熱回収装置の設計といった伝熱解析が多く用いられた。これらの解析は、言わば単位操作としての伝熱問題であった。ある程度、対象設備とその操作がわかる伝熱屋がいれば、ほとんどの伝熱問題は解決できた時期でもあった。

これらの活動の結果、製鉄所の排熱の質が低下してきた。すなわち、低温大容量、高温でダーティー、小容量分散といった排熱が多くなり、投資効率が悪化してきた。現状プロセスでの制約条件下で行き詰った我々は、プロセスそのものを見直すべく、製鉄プロセスの連続化、同期化、省略とか、最近では新しい製鉄プロセス作りといった考え方に方向転換してきた。今でこそ日本のほとんどの製鉄所で採用されている連続鋳造、ホットチャージ、直送圧延（CC-DR）といったものはその代表例である。現在では高炉～圧延迄の連続化も検討がなされてきている。これらを進めるに当たり、伝熱研究は設備、操業、品質面で重要な役割を持ってきた。例えば溶鋼からスラブへの凝固、CCスラブの冷却、スラブ搬送、加熱炉ヒートパターン、エッジヒータ等スラブを中心としたトータルシステム化には対流、輻射、燃焼、沸騰、凝固等の伝熱に関する複合の要素技術が静的、動的解析に用いられた。

一方、現プロセスの見直しと平行して、トータルエネルギーコストミニウム（即ち、トータルプロフィットマックス）という観点から製鉄プロセスを見直してきた。即ち、製鉄プロセスは、大きなエネルギー変換設備であり、またある意味では蓄熱設備でもある。この機能とエネルギーを組み合わせ、エネルギー最適運用をするために各プロセスのエネルギー面から見たシミュレーション解析を行ってきた。この中には、伝熱研究で取り上げられている各要素を利用してモデル化を行った。この結果、製鉄所内で必要なガス量を制御するために、溶鋳炉へのコークス投入量を増減量を決定したり、スラブ加熱炉の燃料使用量を予測する事等、ができるようになった。

以上のように、鉄鋼業の省エネルギー対策は、着々と前進してきたが、まだまだ多くの問題点も残してきている。たとえば、今後の問題として昼夜間での電力料金差を利用した蓄エネルギー技術より低温までの排熱回収及び利用技術、さらに高効率化を追求した組み合わせ技術、そして次世代の製鉄プロセスの開発等を進めていくために、伝熱研究はさらに重要となってくると思われます。

『鉄鋼業は、冷たい原材料から冷たい製品を作っているのであるから、伝熱工学から見ればエネルギーは不用である』という事を目標に今後共、省エネルギーを進めていくつもりである。

3. 品質制御上のニーズ

鋼材の品質は、お客のニーズに合った材質を、安いコストで作るという意味で、それぞれの

要求が無限であるかぎり、限界がない。

鋼材の品質を決定する主な要因の一つが「熱処理」である。

鋼板の熱処理（加工熱処理も含めて）は、各ラインが高速で運転されている中で、その各所で、任意の温度履歴を達成するためには広いレンジでの熱伝達係数が要求される。鋼板の放射率、ラインスピード、板巾、板厚等の変化に追従し、金属組成から要求される狭い範囲の板温を制御していくためには、刻々変化する境界条件を加味した。精度の高い伝熱解析が必要である。

最近特に、鋼材の冷却技術が高品質化、工程品種統合化の面から、ハード面も含めてレベルアップしてきた。しかし、均一冷却性、膜沸騰域での安定性、高速冷却時の制御性等には、まだまだ改善すべき問題点も多い。もちろん、加熱に関しても、低温均一加熱、スケール発生防止、高温間接加熱等にも、解決しなければならない問題が残されている。

4. 設備からのニーズ

鉄鋼の設備は、その取り扱い量が大きいために、新しい設備の建設、改造に掛る費用は莫大である。必要なスペックを満足し、投資を最小にするための道具として、伝熱技術は重要な役割を持つ。例えば、溶鋳炉付属の熱風炉は約50億円の投資が必要である。熱風炉は、燃焼、送風の繰り返しにより、ガスと蓄熱レンガの熱の受授が行なわれるが、この伝熱には、輻射、強制、自然対流、レンガ内の伝導等がある。この周期的非定常の解析を行う事により、最小投資のための最適スペック（レンガ形状、蓄熱室高さ、径、断熱レンガ厚さ等）を決める事ができる。この結果、我々の例では約7%強、設備を小さくすることができた。

一方、稼動中設備のメンテナンスとか、長寿命化対策にとっても、伝熱技術は不可欠なものである。外部観察データより、内部の状況を推定する例として、溶鋳炉の炉命を決定づける炉底レンガの残存厚さの推定がある。同設備の改修には100億円前後の費用が必要であり、炉命を1年延長する事は10億円以上の投資抑制となる。炉命判定のためのレンガ厚さ推定には、炉内溶銑流動、溶銑一レンガ内伝導、境界層での熱抵抗、水冷鉄皮からの熱伝達等の伝熱解析を用い、多くの成果を上げているが、境界条件の設定にはまだまだ多くの問題点がある。

以上のように設備に対するイニシャルコスト、メンテナンスコスト及び長寿命化というトータルライフサイクルコスト低減には、伝熱研究への期待は非常に大きい。

5. 伝熱研究への要望

鉄鋼業は、あらゆる伝熱機構を持ったプロセスの集合体であり、伝熱の宝庫と言える。しかしその機構は複雑であり、条件付き伝熱問題とか、伝熱単独の処理では対応できないのが現実である。製鉄所の伝熱屋は、直面している問題点に対し、伝熱研究会等の論文の中から、

最もマッチした情報を選び出し、システム化し、稼動中設備のデータと比較を行うといったやり方をしばしば取る。この時に、理論と現実のギャップが常に発生してくる。このギャップを少なくするために、実設備の操業データから補正項を求めたり、模型実験を行い、補間するといった手段を取っている。この事は、とりもなおさず、鉄鋼業のニーズにマッチした研究が少いとも思われる。これは我々の方からニーズを提案し、研究を御願ひするのがすじではあるが、伝熱に関して学会と産業界の継ガリ、パイプが少いように思われる。例えば、日本伝熱シンポジウムの発表論文には、ほとんど産業界のものが見られない。この事は、我々の不勉強が主因であることはいままでもないが、研究会におかれても、雰囲気作りといった面からのバックアップを検討していただきたいと思う。

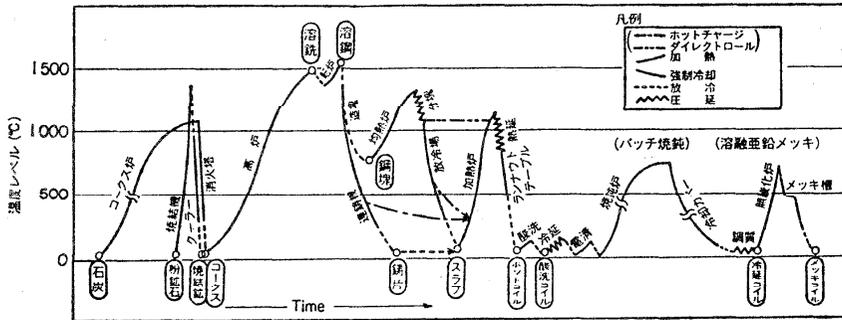


図1 一貫工程における材料の温度変化例

(出典：鉄と鋼64(1978)P1835)

(8) 今後の研究課題を考える

藤江 邦男 (株)日立製作所 技術管理部)

最近の伝熱研究会のシンポジウム、セミナーなどの出席状況を見ると、年毎に盛会になり、また以前と比べ企業からの出席者が多少多くなったように聞いており、良い方向に進んでいることを会員の一人として喜んでおります。これは研究会を企画、運営されてこられた先生方のご努力のたま物であり、そのご努力に対し敬意を表する次第です。しかし会員構成の割合から申しますと、企業からの論文発表は発表題目数では10%にも及びません。この点は外国の同種の学会活動と大きく異なる点の一つで、この原因の一つは企業側の学会活動に対する認識不足もあります。一方発表論文の内容の実用性の欠如、並びに発表の独創性よりむしろ論文としての体裁を重

んじる傾向があるように、企業の技術者が感じているためと思います。特に「学」での研究内容が企業での実用性に耐える価値を持つ論文が少ないことも事実であり、論文のための論文が多く、内容も独創性に乏しく、以前発表された論文に多少の工夫を加えた程度で、印象に残る論文が少ない。このことは我が国においては伝熱の分野ばかりでなく、機械工学を構成している学問分野については、一般的に云えることではないでしょうか。勿論論文としても独創性がありレベルも高く、研究の展開によっては実用性も高い基礎的研究論文も発表されている。このような価値ある研究論文の有効性を見付け、製品にまで発展させることは企業の研究者、技術者の責任であり、価値ある研究成果を活用する努力が企業に不足していることは、企業側は強く反省する必要がある。以前からよく云われていることであるが、外国でやったことは直ぐ真似するか、同じことを国内でやってもなかなか評価し取り上げようとする風潮は以前程ではないがまだ残っていることは産・学共通の事実である。しかしこの傾向の存在にも一理あるように思われる。それは外国の大学の先生方は産業界の実情をよく把握しており、技術に対する経済観念を持ち、自己の研究の社会に対する具体的効果を重視する傾向がある。この現われの一端として外国の大学の先生が自己の専門分野での重要な特許公告をよく知っていることである。また先生方の研究経歴の中に特許を何件持っているか時々記述されており、我が国とは特許を評価する習慣の点で大きな違いがあることを感ずる。我が国でも大学教授になる資格の一つとして、少なくとも基本的な特許に対しては、論文と同等に取り扱ってもよいのではないか。このことは教育に独創性を重視する風気を助勢するばかりでなく、悪戯に論文の数を評価するよりも、余程社会的にも有効であるように思われる。

我が国と外国での産・学協同による研究は、外国では歴史もあり盛んであるが、我が国では政府指導型で最近では従来より多くなる傾向にあるが、真の産・学共研はこれからと云う状況にある。さらに伝熱分野で大学から発表される論文を見方限りでは、研究内容において一部基礎的研究を除いて、企業内の研究と変わりなく、大学が必ずしも企業の弱い創造的な基本研究、または独創的応用研究をしているようには見受けられない。私の経験によると基本的研究から得た成果を製品にまで発展させるには、比較的簡単な場合でも数年はかかり、場合によっては10年以上かかることもあった。基本的研究だけだと数年で一応の目的が付く場合でも、これを製品にまで発展させるためには、一般に基本研究期間の3倍以上の期間を要するのが普通である。これは基本的研究は多くの場合、単に目標とした要素的性能が達成されれば一応終了したことになる。この成果を製品にまで展開するためにはさらに開発過程である応用研究、実用研究を行ない、初めて製品として世に出る経過を辿る。この応用研究、実用研究の段階では目標性能を確保するための要素、製品試作などと平行して製作するに必要な生産技術の開発を推進するなど経済性、信頼性

を確保するために多くの時間が必要です。産・学共研で企業が「学」に対して第一に期待することは、個性的製品の開発の芽となる独創的な基本研究です。このような独創的基本研究は従来から一般に研究者が目標としており、独創性の高低はあっても論文として具備しなければならない条件の一つである。しかし問題は論文の持つ独創性の内容であり、ただ単に他に人が発表していないからだけで独創性があるとは云えず、その独創的考察が発展の可能性を秘めており、有効に活用される素地を持っていることが重要である。この基本的研究を発展させ最終的に製品に結び付けることは、企業における研究開発の大きな仕事の一つであり、産・学が協力して人類社会の生活環境向上に寄与することが産・学共研の真の意味であり、これを悪戯に阻止する理由は少なくとも工学分野では無いように思われる。

これからの工学上の研究開発の対象となる課題は益々大形プロジェクトになり、その基礎研究であっても個人で出来る範囲を超え、産・学の多くの研究者、技術者各人の得意とする学問範囲で協力して初めて目標を達成することが可能になる。まして製品化に至っては今後単一企業での開発は困難になる場合が多くなり、異業種企業間の協力が必要である。このような場合、参加者一人一人の能力を如何に発揮させ、この力を総合的に有効活用し目的を達成するかが指導者に与えられた課題である。したがって大形プロジェクトにおいては指導者の選任が重要な問題であり、プロジェクトの成否は指導者の素質に左右されるところが大きい。指導者として備えていなければならない能力の一つに、常に研究開発進行過程を前以って予測し、過程をシュミレーションで上げられる。研究開発では内容の独創性が高ければ高い程、その研究開発の過程をシュミレーションすることは困難であるが、時々刻々変化する研究の進行状況に対して、常に先行してシュミレーションを行ない、予測される問題点に対し対策を立案し、実際に問題が発生した時は直ちに前以って立案した対策を実施し、研究に遅れを起させないようにすることが重要である。最近のような高度情報社会では、自分が今やっている研究開発は世界の何処かで同じ研究がなされていると考えることが妥当であり、一刻の研究の遅れが研究者にとって命取りになる位きびしく考えることが必要である。企業では特許出願の一日の遅れが後日大きな問題になったことをよく聞く。研究者、技術者にとってその研究開発が独創的であればある程時間との競争の時代であることを意識せざるをえない。しかしこのような問題の解決の一つは、対象の研究課題に対し他人より先行して研究に着手することによって、リードタイムを得るよう心掛けることである。

前述したように今からの研究課題は従来のように、一つの領域の専門知識だけで解決することは困難であり、他領域又は他分野の専門知識又は専門家の協力が必要である境界領域、学際分野の課題が研究対象として益々多く取り上げられかつ重要になってくる。しかし我が国においては、毎年開催されている伝熱シンポジウムでの発表題目を見ても、従来からの機械工学領域の研究発

表が非常に多く、他分野での課題を取り上げた研究発表は僅かで、他分野での伝熱問題は各分野の研究者に任しているのが現状である。この際、伝熱に関する研究経歴が長い機械工学領域の専門家が、他分野の研究者と協力して新分野の伝熱問題に取り組み、適切かつ迅速に解決されることが期待できるばかりでなく、伝熱の新しい分野が開け、伝熱の研究も今より活性化されるものと思われる。その一つの例として、今後共成長が期待されている半導体自身、および電子計算機並びに周辺機器などの分野が上げられる。さらに半導体を製造する装置の開発は今までの伝熱研究の延長上の一領域として取り扱うことができる。今後半導体製造装置は益々半導体の高集積化に伴い、加工精度が要求され、最近のサブミクロン加工を目的とした装置では、電子系、光学系、機構系、制御系などの問題に加えて冷却系を含む伝熱問題が重要な課題になっている。しかし現状は残念ながら今まで機械工学の伝熱領域で活躍されている研究者の半導体関連分野への積極的参加は少ない。

私はもっと若い研究者が従来の専門に囚われず、新しい分野、例えば医学、農学、生化学などの研究分野に進出し、今までに培った伝熱の知識を十分に活用され、世界的に活躍することを大いに期待している。私は若い研究者、技術者に対して“Nothing venture, nothing have”に挑戦することを期待する。

以上、日頃産・学共研について考えていたことを含めて簡単に記述しましたが、特に精神的並びに年令的に若い研究者、技術者の方々が多少なりとも私見を理解して下さい、ご賛同をいただければ大変幸に存じます。終りにこの執筆の機会を与えて下さいました編集委員の先生方に厚く感謝申し上げます。

(9) 学界の研究に望む

藤 掛 賢 司 (株)豊田中央研究所)

目的のない研究は存在しない。この研究目的が我が国の学界と産業界でいささか異なるところがあるために、企業内では学界での研究成果が現在困っている問題の答えを出すのに直接役立つものが少ないというので、もう少し学界の研究を産業界に近づけられないかと言ったことが議論されている。

と言う私も伝熱研究の前号(第84号)で伝熱シンポジウムでの講演で企業として魅力を感じることが極めて少ないと書いた。それでは魅力ある講演会となるようにするにはどうしたらよいか、お前の考えを提言せよというのが編集委員長の御依頼の主旨と思われる。しかし私としても

良い考えを持っているわけではないので、少し困惑したが問題点提起といった形で述べさせていた
だくことにした。

それは私が30年代に文部教官として国立大学で5年間伝熱に関する研究を行い、その後24
年間民間の研究所で熱関係の研究に従事したことから大学と産業界での研究の違いが判っている
からである。

私が大学の研究室に在籍していた当時 Trans. ASME などでは人工衛星が大気圏に突入する時
の高温を防ぐための冷却の問題などの論文が大多数であった。当時の我が国の学界の研究もこれ
に刺激されて transpiration cooling とか吹出し冷却などが多かった。つまり、文献片手に諸
外国で行なわれている研究の結果を多少拡大する、あるいは研究結果の多少不備なところを補う
と言うような研究テーマの選び方をしていた。そのため、研究の目的が論文として発表すること
にあるように思えてならなかった。

研究費も人手も少ないことからテーマの選定はかなり限られることは止むを得ないとしても工
学の道を選んだ自分の気持として割切れないものがあつた。そして、人間の生活を豊かにする物
に直結するような研究がしたいと思うようになり、現在の研究所に移った。もちろん、たとえ前
述のようなテーマの選び方でも学問体系を整えとか、大学での教育に何らかの形で役に立つと
は思ったが、もう少し研究成果が自分自身納得できる形で利用されたいという強い願望があつた。

当時、我が国の企業は大なり小なり外国で開発された技術を導入し、安くて良い製品として販
売し業績を急上昇させていた。従つて良い品を安く作るための生産技術が著しく進歩した。その
結果、輸出競争が増し、電化製品、造船、自動車などが外貨を稼ぎ、今日の豊かさをもたらすと
ともに貿易摩擦を起していることは皆様よく御存じのことである。現在、我が国の工業技術レベ
ルは平均的には先進諸国並であると言われているが、生産技術が先進諸国以上である反面、技術
開発力はとても先進諸国並とは言えないように思う。

そして、多額の対日貿易赤字を出している米国など先進諸国からの技術導入は極めて困難にな
っているし、米国企業の見学等も日本の民間人に対してはかなり門戸を狭くしているのが実状で
ある。

よく言われていることではあるが、国土が狭く、天然資源に乏しい日本としては優秀な頭脳を
持つ人的資源に恵まれているので、その頭脳によって優れた技術開発を行ない、それをもとに世
界市場に進出すれば、現在のような安くて良い品だけが特長での輸出による貿易摩擦はなくなる
であろう。また、できれば技術そのものを輸出することにより石油、食糧などを買う外貨が稼げ
るようになることが望ましい。今、我が国の創造的技術開発の必要性が強く叫ばれている所以で
ある。

学界の研究は学問に関するものであり、産業界のそれは製品開発に関するものであるからその間に溝があってもかまわないという議論は成り立たないと思う。

機械学会誌59年11月号に石原会長とトヨタ自動車会長豊田英二氏の対談がある。その終りの方(P10)に

石原：最近是企业の研究が非常に充実していますね。

豊田：学校がぼやぼやしているとおいでいかれますよ。卒直に言えば、私もが大学のとき習った先生方は、外国のものをもってきてわれわれに教えてくれました。また当時はそれでよかったんですよ。

しかし、いまやほとんどレベルはそろってきたんですね。だから、向うも凸凹しているし、こちらでも凸凹している。平均値はだいたいそろってきたことになります。こちらもある程度のことをやる、外国もやる、それを相互に交流する、というような時代になってきたんではないですか。

現場でやっている技術者は、現実に毎日ニーズにおつかりながらやっていますから、そういうところからニーズをもっていつて研究されないと、きっとおいできぼりになります。(原文のまま)

ここで原点に戻って工学とは何んぞや／＼を考えてみたい。

「工学と技術の本質」(棚沢泰著)によれば工学は、自然の真理を探求することを目的とする自然科学とは本質的に異なり、自然科学の本質を持ちながら技術を介して社会へ応用することを目的としている。したがって、工学は自然科学を人間社会に應用して人類の発達や福祉の増進などを図ることを目的とする「応用科学」と、ノーハウを主体とする「工業技術」の二つに分けられる。

そして、新しい科学や技術を生み出す行為が、科学と技術に関する研究であり、基礎研究と応用研究に分けられる。基礎研究とは学問を生み出すための研究であり、応用研究は技術を生み出すための研究である。したがって、工学では応用科学や工業技術に関する応用研究が行なわれるのである。応用研究はまた人間生活を豊かにするための技術を生み出す研究である。

このような観点からして伝熱工学に関する我が国の研究の実体はどうであろうか。

産業界における研究は企業が伸びて行くために必要なニーズに直面し、今後の製品開発に必要な技術開発が進められ、新製品を一番で出すために毎日が競争という厳しい現実がある。一方、学界での実体はよく判らないが、かつて私が昭和30年代に経験した大学での研究テーマ選定は行なわれていないだろうか。もし論文を發表すること、あるいは学位を取ることが目的のような研究であったなら、それは自分のための研究であって、前述の工学の本質から大きくはずれた研

究である。

我が国の今後を考えると、学界と産業界のコミュニケーション、人事交流をさかんにし、それぞれを特長を生かした形で分担して新しい技術を創造するための研究が進むように願うものである。

それでは具体的にどうしたらよいか。その二、三の提言を伝熱研究、第84号および第91号に述べさせてもらったのでここでは割愛する。いろいろな方法が考えられるが、今こそ学界と産業界がよく話合って、今までの殻を破って新しい方向に進むべき時に来ていると思う。

10 伝熱促進管の利用促進について

古川 哲郎（日立造船(株) 技術研究所）

伝熱促進管がその有効性を示すデータとともに伝熱メーカーから売り出されて久しい。また伝熱促進技術に関する研究報告も最近伝熱シンポジウム等で多く発表されるようになったが、実際の使用は未だ冷凍機など一部の用途に限られている。

その促進効果は熱交換器メーカーにとって非常に魅力あるものであるが、これらを熱交換器の伝熱面として使用する場合、熱交換器は長年使用するものであるから、初期性能だけでなく長期性能を重視せざるを得ない。現在のところ長期性能に関する信頼出来るデータはほとんどないよう有効なことがわかりつつも長期的に性能補償が出来ないため使用に踏切れないのが実情であろう。この長期性能は伝熱促進管自体の特性だけでなく、使用条件、使用環境により大きく左右されるものと思われ、信頼性のあるデータを得ることが非常に難しいことがその理由であろう。

また伝熱促進効果の研究は伝熱屋にとって面白いテーマであるが、実際使用しようとする場合心配される問題が多く残っている。たとえば、個々の形状の伝熱管によって異と思われるが、汚れ易いか否かその条件は、細孔などが汚れた場合性能はどうか、またその再生方法はあるのか、腐蝕したら性能はどうか等……。

そこで勝手な夢想をさせていただくならば管メーカー、熱交換器メーカー、ユーザー、研究者が協力して長期的、広範囲に信頼性、一般性のあるデータを収集し、広く利用出来るようにする研究プロジェクトを発足させることが出来たらと思う。

これにより、伝熱促進管の使用促進を画り、その結果、省資源・省エネルギー効果も非常に大きいと思う。

また、伝熱面の汚れに関しては、現在使用している平滑管に関しても量的には根拠なく、一般

性のない、個々のケースに対して経験的数値を用いているが実情であるが、一般性のあるデータの採取方法、汚れの評価方法、伝熱管の評価方法などが確立されれば今後非常に役立つものと思われる。

更に同一の方法で採取した多くのデータの検討により長期的性能に影響する要因分析を行ない伝熱面の状態、熱交換流体の性状等から長期的性能がある程度予測することが可能になることも夢ではなくなるのではないのでしょうか。

(11) 大学の研究者へ望むこと

三 塚 正 志 (新日鉄(株)中央研究本部)

1. はじめに

本誌86号に駄文を書いたためか、宮武編集委員長から表記のテーマを頂戴した。

私は、昭和34年から26年間、製鉄会社の研究所で研究らしきことをしている。この間、日本の鉄鋼業は、復興、成長、停滞と変貌している。これに対応して、製鉄の研究テーマも変遷してきた。すなわち、復興期：導入技術の改良研究、国産技術の開発研究、成長期：増産技術の研究、新製品の開発研究、材質・品質の向上研究、コンピュータ適用の研究、停滞期：コストダウン技術の研究、省エネルギー技術の研究である。この中で、成長期から停滞期への移行は、非常に急激であった。

この26年間の研究生活(途中約4年間は研究管理業務)で経験した大学の研究と会社の研究との違い、大学の研究・研究者へ望むこと、などについて思いつくまま記述する。

2. 感想

(1) 大学の研究者と会社の研究者との学問的レベル差

一般的に、能力の高い人が大学に残り(大研究者と略記)、それ以外の方が会社に就職する(会研究者と略記)、卒業後、大研究者は広い分野の学問を究め、かつ特定分野の研究に専念する。これに対し、会研究者は研究以外の業務を担当させられたり、担当テーマ・所属研究室も会社の都合によって変えられることが多い。その上、優秀な人は管理者勉強のため、30歳台に入ると研究・技術の管理や操業技術の業務を経験させられる。

以上の結果、大研究者と会研究者との学問的レベル差は、ますます拡大する。私は、会研究者の育成方法を改良すべきだと考える。

(2) 両研究者の研究内容・研究方法の違い

一般論として、大研究者は、現象の実験的・理論的解明が主目的のため、現象を理想的条件下で、または理想化して解明・解析することが多い。これに対し、会研究者は、製品や

製造法の開発が主目的のため、種々の要因を包含する現象を研究対象にすること、および目標の早期達成のため（期限付が多い）、個々の現象をブラックボックス（BB）にしたまま研究全体を前進させることが多い。

会社の研究管理者（経営者）は、目標の製品の製造が営業的に可能になった段階で、BBを残したまま、その研究を終了させることが多いが、この方法には疑問を感じる。上記BBを地道に解明することは、次の飛躍につながるはずである。一方、(会)研究者の業績は製品や製造技術を営業的に開発した段階で評価されるため、(会)研究者は、BBへ地道に挑戦しない傾向があるし、また、管理者にもBBの解明研究を高く評価しない傾向がある。

(3) 両研究者の論文作成・発表の差

(大)研究者の業績は、公表論文の質と量(?)で評価される。これに対し、(会)研究者のそれは、開発した製品や製造法の営業的成績で評価される。(会)研究者の研究には、BBが多いこと、現象の解明・解析度合が低いこと、研究結果の機密性、社内での業績評価制度などの理由から、(会)研究者は、工業的・学術的に優れた研究を行う割には、学術誌へ論文または技術報告を発表することが少ない。

研究結果は世界共通の宝だから、(会)研究者は、自分の研究が不完全であろうとも、その研究結果に学術的新規性があるか、または工業的に有用ならば、許容される範囲内でその結果を学術誌に発表すべきだ、と私は考える。公表によって、この結果が他の研究者の研究に役立つたり、または他の研究者がBBを解明したり、現象をより精度良く解明・解析するかも知れない。

3. 製鉄工程における伝熱工学的課題

紙数の都合上割愛する。

4. 大学の研究への要望

私は、26年間、金属工学（鉄鋼）と機械工学（伝熱）に関係しているので、両分野における経験から、大学の研究に対し、二、三の要望をする。

(1) 研究テーマの選択

大学の研究には、研究Grの規模が小さいためか、研究費が少額のためか、所定期間内に学生を卒業させるためか、モデル化し易く、理想的条件が得られ易く、短期間で結論が得られそうな現象を取り扱ったこじんまりしたテーマが多いように見受けられる。また、大学では工業的にはほぼ100%解明、解析されている現象を、さらに詳細に研究していないことも多い。上記のような研究も必要ではあるが、大多数の(大)研究者は、①未来を拓く革新的テーマ、②世界的・国家的大テーマ、③すべての研究開発の基盤となる物性値や境界条件を

定量化・一般化するテーマ、④生産現場で困っている現象を解明するテーマなどを研究してほしい。

(2) スケールアップの研究

大学の実験規模は、実験担当者数、費用などの制約のため小さい。現象の本質は、実験規模に無関係かも知れないが、新しく研究された製品、プロセス、設備などを生産規模までスケールアップするに際しては、予想もしない現象、周辺技術の問題、経済性の問題などが多発し、この解析が最重要テーマになることが多い。大学の実用設備の規模をもう一ランク大きくし、大学の研究段階で生産規模へのスケールアップのための指針、スケールアップ時に予測される課題とその解決指針などをある程度まで明らかにしてほしい。

(3) 理想的条件下の基礎研究と実用化研究

大学では、現象の本質を探求することが主目的のため、Ⓐ研究者は、理想的条件下で現象を解明・解析する。これに対し、会社では「良い製品を、より安く製造すること」すなわち、経済性が重要なため、理想的条件で生産することはできない。このため、生産現場の現象には、種々の要因が複雑に関与している。Ⓐ研究者が実用化を前提にして、ある現象を研究する場合には、理想的条件下で得られた結果を実用化するに際して発生するであろう課題を予測し、その対応策も併せて検討してほしい。

(4) 物性値・境界条件の定量化

コンピュータの発達によって、かなり複雑な現象も理論的に解析できるようになった。理論解析の導入は、研究の質的向上・精度向上、複数要因の影響度合の同時解析、実験量の削減による研究費用の低減などに対して、非常に有効である。理論解析に際しては、①現象のモデル化・解析プログラムの開発、②解析対象の物性値・境界条件の定量化、および③理論解析結果の実験的検証が必要である。複雑な現象を理論的に解析する場合、得られる結果は、使用する物性値や境界条件の精度に大きく支配される。これらの定量化やその精度向上の研究は、小規模実験でも可能であり、また、その結果は、大学でも会社でも有効に活用される。以上の理論から、Ⓐ研究者が物性値・境界条件に関する研究を行うことを希望する。

5. 産学共同研究への提案

(1) Ⓔ研究者の大学における研究

基礎的・探索的な研究、物性値・境界条件の測定などで、Ⓔ研究者が、Ⓐ研究者の指導・助言を受けながら実施することが効率的であり、かつⒶ研究者にもメリットがある場合には、Ⓔ研究者が一定期間大学へ出張（目的留学）し、大学においてⒶ研究者と共同研究する。もちろん、会社は研究費を負担し、大学は頭脳を提供する。この制度は、従来から

行われており、大きな問題はないものと考えられる。

(2) ① 研究者の会社の研究への直接参加

会社では、目的が明確で、かつ緊急を要する大形テーマの開発に際しては、プロジェクト (PJ) チームを編成し、多くの研究者・技術者および多額の費用を投じて、短期間で開発を行う。このテーマに適する ① 研究者が頭脳として、このPJに参加すれば、このテーマは非常に効率的に達成されるであろう。一方、① 研究者は、実用化開発における種々の課題を肌で感じ、その上自分の将来の研究テーマを発掘することもできるであろう。

① 研究者は、この期間、大学を退職して会社に常駐してPJに直接参加することが前提条件である。① 研究者が2～6ヶ月に1回程度来社し、その期間の開発経過の説明を聞いて指導する方式では、彼の優れた能力を十分に発揮し適切な指導・助言することは不可能なようである。もちろん、この制度には人事上、待遇上、機密上などのむずかしい問題が存在する。

(3) 活動期の ① ② 研究者の人事交流

大学または会社で10年間程度の研究経験を有する活動期の研究者が、一定期間、大学から会社へ、会社から大学へ異動して、同じテーマの研究を継続する。① 研究者は、大学での研究結果の実用化開発を、② 研究者は、基礎的・探索的研究またはすでに実用化している技術の詳細な解析・解明研究を行う。契約期間終了後には、旧所属に戻るか、三者(本人、大学、会社)が合意すれば、正式に移籍してもよい。従来から、この年令で大学から会社へ移籍する研究者は多いが、その逆は少ない。この制度にも、上記(2)と同様の問題が存在する。

(4) 産業界から ① 研究者 Gr への研究委託

各社に共通する基礎的・基盤的テーマの研究を産業界から大学側研究者 Gr (類似のテーマを研究している各大学の研究者 Gr) へ委託する。産業界が費用を負担する。この方式は、従来から、各学協会の活動として行われているが、実施方法を改良すべきだと考える。

たとえば、研究範囲、達成範囲、研究期間、特許の出願方法、研究結果の論文発表の範囲と時期、費用の負担と配分の仕方などについて、事前に詳細かつ明解に取り決めておくことが必要である。

6. おわりに

大学の研究について、私が常日頃考えていることを思いつくまま記述した。基本的考え方は、以下の4点である。

- ① ① 研究者の学問的レベルは、② 研究者のそれより高い。
- ② ① 研究者の優秀な頭脳を、会社の研究・開発に有効に活かしたい。

③ ④ 研究者が、若い時期に、実用化開発を体験する。

④ 産学協同の成果をあげるためには、大学と会社との間で人事交流を行う。

(S 59. 11. 17 記)

(12) 企業にとっての伝熱研究

虫 鹿 満 (東京ラヂエーター製造 株)

編集委員会より“産業界が必要としている研究課題”“学界の研究成果の産業界における有用性”といった大きなテーマについて執筆を依頼され何を書けば良いか思いなやんだすえ、私共の会社の主製品であるラヂエーターのおかれている環境、開発の歴史などを振り返りながら学界への要望らしきものを述べてみます。

最近の自動車のニーズ、動向はトラックについてみると騒音規制、視界改善への対応、エンジンの高出力化などであり、それがラヂエーターにとっては冷却風の通気性の悪化、設置スペースの制限、放熱量の増大となり、必然的にラヂエーターへのニーズとして高性能化、小型化が要求されます。又当然のことながら低コスト、燃費の改善等から軽量化も要求されております。これらのニーズこそ我々ラヂエーターメーカーの最大の研究課題でありその目標達成に各社しのぎをけずっております。

さてラヂエーターの構成部品のうち直接性能に寄与するのは冷却水の通路であるチューブと冷却風の通路であるフィンですが、エンジン冷却水はチューブ内を通り熱をチューブ壁に伝え(強制対流熱伝達)、チューブ、フィンを通して(熱伝導)、冷却風に放散(強制対流熱伝達)されます。このうち、フィンから冷却風への熱伝達が、ラヂエーター性能にとって支配的であるのでこの空気側熱伝達率 αa をいかに向上させるかが直接的な重要課題であります。現在の自動車用ラヂエーターのフィンほとんど、ルーバ付コルゲートフィンですがこのルーバの形状が αa の向上を達成する大きな要因であります。ルーバのピッチが冷却風に対応する長さとしてポールハウゼンの強制対流層流熱伝達率の式が当てはまるといわれていますが、各ルーバで温度境界層の発達、分断を繰り返すことによってフィン内部での αa の低下を防ぎ性能向上を図るわけです。理屈としては温度境界層の発達を分断してしまう為にはルーバピッチを小さくすれば良いわけですが、現実にはそれだけでは αa の向上は図れない場合があります。理由としては冷却風がルーバに沿ったきれいな流れであれば問題ないのですが実際の流れはもっと複雑でありフィンピッチ、ルーバピッチ、ルーバ角度等によってきまるルーバの幾何学的配列といったものが流れに大きく

影響するからです。私共が基礎研究として取り上げるテーマもこれらの影響度の把握を行い製品設計への方向付けを見出すことが主目的となります。更にこの基礎研究も本来は理論的な解析も必要とは思いますが、時間的な制約等から実験的な解析のみにとどまっておりますが充分開発目的を達することが出来ます。余りアカデミックでないとの批判もあるかと思いますが、企業としては時間は大きな制約条件であり、加工技術の開発、生産設備の製作を含め可能な限り早く市場に供給する必要があり、実験的な解析で目標が定まればあとは加工技術の開発に力が注がれます。理論上伝熱工学的に優れていても実際に安価で安定した製品が出来なければ商品とはならず、企業での開発は伝熱の基礎研究とその形状を作り出す加工技術の開発が両輪となって進められてきました。ちなみにルーバピッチも世に出た当初は8mmでしたが最新のは実に $\frac{1}{10}$ の0.8mmのものまで製作されておりますがこの間約30年の年月を要しております。伝熱工学上更にピッチを小さくすれば α の向上があるとしても加工技術上の進歩がなければ安定した製品を作り出すことは難かしく現在の力点はそちらにおかれております。

学界で発表されている論文は極めて厳密に設定された条件下でのものが多く一般性に欠けていると思われ、同業種の企業が発表する論文を除くとほとんどのものが直ぐには応用できないのが実状です。しかしながら私共の扱っている課題の中にも学界で取り上げてよいテーマもあるのではないのでしょうか。例えばポールハウゼンの式の実際的な適用範囲であり、平板の長さが数ミリメートルの範囲から1ミリメートル以下になって来た現在熱伝達率は式の通り無限大まで向上する可能性があるのか？ 実際の使用環境に存在する流体の乱れが熱伝達率に及ぼす影響度は？ 等であります。更にそれらのテーマを進めることによって開発される新しい計測技術、実験装置等は私共にとって非常に役立つものと成ることが期待されます。

以上取りとめないことを述べてきましたが最後にこの伝熱研究会で若い技術者の育成に基礎講座的なものを開設し伝熱の基礎ならびに計測技術、新分野などを御教授願えれば幸いに思います。

(13) 技術の進歩の方向と伝熱研究

山 家 譲 二 (石川島播磨重工(株)技術本部)

技術の進歩の方向と伝熱研究という大それた題名となっているが内容は1.技術の進歩の方向、2.新エネルギーの開発、3.伝熱研究は役立つ？ の三つに分けて意見をのべたいと思う。

1. 技術の進歩の方向

20世紀後半は石油エネルギーの世紀であり、石油の大量消費に発するあらゆる資源の大量消費がその最大の特徴の一つであった。そして1973年に起った石油ショックはエネルギーの問題が人類の死活の問題であり、人類の将来に重大な影響を与えることを大衆も知った。

人類はエネルギーの節約を考え一方で新しいエネルギー源を求めて努力すると共にエネルギーと物との大量消費から発する公害問題、環境問題に深い関心を払うようになった。エネルギー資源と物質資源の有限であることとこれらの消費から発する環境汚せんは20世紀末1/4世紀においてようやく大衆の常識となった。しかしエネルギーの質を考え、その上での節約、汚せんの対策を実現するにはまだ年月を要するだろう。エネルギー減の法則はたしかに20世紀大衆の常識であろうが熱力学第2法則(エントロピ増大の法則)は大衆にとって21世紀になって初めて常識となろう。社会の進歩発展が大衆の常識のレベルの向上に深く負っている民主主義国家では上記のようなエネルギーに関する観点は大きな問題である。21世紀はエネルギーの質を考え、環境を考え、全体の最適化を求めるエントロピ重視(エントロピの増大を抑える)時代に入ると思われる、熱機関の熱効率の向上、省エネルギー、資源の節約、公害対策など極めて狭い範囲で考えられてきた従来の技術問題もエントロピ的観点から大きな、場合によってはグローバルな観点からその解決が求められていく、例えば従来の熱機関が単なる燃比の向上というニーズから排気の無公害化と進み、これからは燃料の種類と環境(地球上)の熱汚せん、CO₂の増大、の抑止などのニーズに発展して行きつつある。熱エネルギーの使用法も高温使用から段階的の利用へと既に進みつつあり複合サイクルは発電システムの主流となりつつある。

量的にも質的にもすぐれ低位のエントロピをもつ石油資源を中心にすえて子孫のためその節約を考えながら消費して行き、一方明らかに将来性のない多くの新エネルギー源の開発(そしてそのための石油消費)を抑えて、ローカルな更にグローバルな環境保全のための対策を構じていくのがこれからの考え方の中心であろう。このような技術の進歩の方向から研究課題をサーベイすると次の如くならう。

- (1) 石炭など低質エネルギー源の効率的大量使用とそれに併う公害処理技術の開発は重要課題である。これには石炭の採掘から始ってハンドリング、貯蔵、ガス化、無公害燃焼法、燃焼後のガス処理、灰利用など多くの研究が拡っていく。
- (2) エネルギーの質を考えた段階的使用法として排熱利用やコンバインドサイクルの研究は燃料の低質化と共に発表する。先進国の発電は石炭燃料から電気へとなり、そして原子力発電はどう発展していくか、これは大衆の考え方がこれからどう変わっていくかに左右されるむづ

かしい問題である。

- (3) 積極的な環境改善そして飢餓対策のための超大型プロジェクトが行われるだろう。砂漠の緑化、僅概、水資源確保のための土木工事、酸性雨対策など地球規模での重厚長大技術が求められる。
- (4) 原子力発電の発展は予測がむづかしいが、燃料のリサイクリング、放射性廃棄物処理の技術は益々重要となりその規模も大となろう、関係する副産物（金属など）の積極利用が行なわれる。
- (5) 有限な物質資源、特に金属の近い将来における枯渇を前にして還元技術（抽出、分離、再利用）の研究は21世紀の重要研究の一つとなろう。これは現在の混合、複離化によって性能を高めようとする生産技術に対応する逆向きの技術である。筆者はかつてもっと大きな観点から還元工場論⁽¹⁾として提案したことがある。

2. 新エネルギーの開発

約7年前筆者は日本機械学会誌に拙文⁽²⁾をのせた。その中にエネルギー源の生成年数表なるものを発表した。これを下表1に示す。

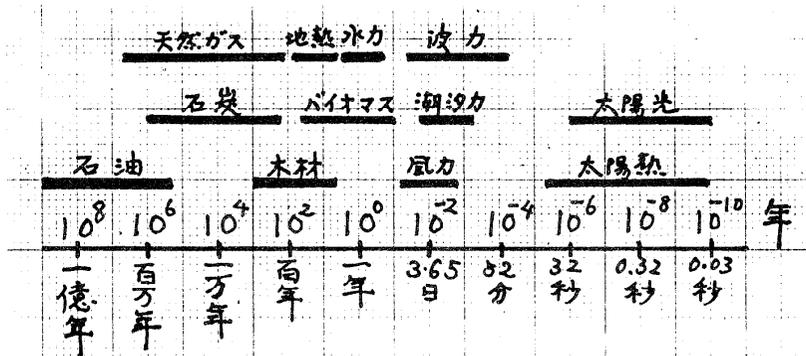


表1 エネルギー源の生成年数表

これはあるエネルギー源が人類に利用される形に生成されるまでかかった年月を対数軸上に並べたものである。例えば木材は生成に10～100年かかり、水力は雨水がダムにたまる時間として一年のオーダーで、太陽熱の直接利用は秒の単位となる。この表から見ると我々の最も多用している石油、石炭、天然ガスが最も左側に位置し、いわゆる新エネルギー源といわれているものは右端に並んでいる。このことは石油などのエネルギー源は長い時間をかけてエントロピの小さい状態にコンセントレートされたことを示している。人類の大量消費しているエネルギー源は、実はその中に秘められコンデンスされた時間を消費しているのである。そして新エネルギーの多く

はエントロピの極大に近いもの即ち薄く広く分散しているものであり、これを利用するには再び多くのエネルギー（これが石油であるから困るのであるが）を要することを示している。人間にとって時間というものは短縮したり延伸したり、移動したりすることが非常に困難なものである。このことは一般に新エネルギーの実用が困難なことを示している。しかし故にすべての新エネルギー源が駄目なわけではない。例えば時間の移動即ち時間をずらし少量のエネルギーでも貯えて大きくして使うことができればよい、これは蓄エネルギー技術である。過日筆者が早大小林寛教授の講演を聞いた所では太陽光発電でも少し効率（今約 11%）が向上したならば既設の配電網と揚水発電を逆用し、各家庭の書間の屋根上の太陽光発電を電力会社が買電して夜間電力に使えるという、このように時間の移動即ち蓄エネルギー技術はローカルな又は分散した形で発生する新エネルギーを経済的に実用化するチャンスを与えるかも知れない。なお表中核燃料は入れていないがこれを左端におくべきか、読者はどう考えられるか？

3. 伝熱研究は役に立つか？

さて伝熱研究者の間でずっと前から常に話題となっており伝熱研究誌上ににぎわしている問題の一つは伝熱研究が実際のメーカーや現場に役立っていないという議論である。これは一つは伝熱研究の特徴的な面の一つと思われる。ここで他の工学材料力学、構造力学、流体力学、熱力学などと比べてみる。メーカー関係者が役に立つかどうかを言うとき一言で言えば機械の設計に役立つかどうかということである。

材料力学や構造力学は機械の強度メンバーの断面を決めるばかりでなくその形細かくは曲率半径 R まできめてしまう。流体力学は航空機の翼の面積ばかりでなくその細かい形、表面のあらさまで決めてしまう。それに比べて伝熱では熱交換器の大体の伝熱表面積や大体の表面状況を決めるが決定的なディメンションや形状を決めることがない、勿論原子炉や最近の伝熱問題では相当細かい設計に伝熱計算は立入るがその都合は材料力学や構造力学の比ではない。伝熱研究が熱という分子運動のトランスファーを扱うに対し、材料力学は力のトランスファー（それは直接形と結びつく）を扱うから当然のことで伝熱研究が他の工学に比して劣っていることは全々関係のない本質的な話である。この点熱力学も似ている所がある。熱機関や熱・流体のプロセスの大まかな設計やシステムの構成に熱力学は大きな寄与をするが具体的なハードの設計にはあまり関係がない所が伝熱研究と同様であろう。唯伝熱研究もあまりマイクロな研究の迷路に入ることなく大きな基本的なシステムの機械の設計の面で大いに役立ってもらいたいものである。1 で技術の進歩の方向をのべたが現在は多相関化の時代である（世の中ではよく多様化の時代というが）、多相関化の時代では他の工学との関連において伝熱研究が発表していく分野がとくに拡がっていると思う。システムの面での伝熱研究の発展を望みたい。

以上浅学な筆者の独断と偏見を書きならべたけれども多くの御異見をお聞かせ下さる機会があれば幸である。

- 文献 1) 山家 ; 機械技術協会会報 26-2
(昭 49-10), 1.
2) 山家 ; 日本機械学会誌 80-698
(1977), 22.

(14) 研究課題“新エネ”に想う

外 村 俊 弥 (シャープ (株) エネルギー変換研究所)

研究課題について日頃思っていることを、エネルギーを例に述べてみたい。

1. 研究開発の取り組み姿勢

研究課題への取り組みは、官・学・産のそれぞれの立場で姿勢が異っている。

一般に学界(国公立研究機関を含む) は、主として先端技術に関する基礎研究を、また産業界は実用化研究と市場開拓及び育成を、官界は企業化への円滑な推進政策と指導にあたっている。

学界の基礎研究の成果に基いてその早期企業化をはかる産業界の実用化研究は、量産設備と新市場開拓を含めた大きな投資を伴うために、研究成果に対する市場の見通しが明らかになるまでは産業界の積極的な取り組みは困難である。

また一方、市場の訴求に直結した研究課題には各社とも早期企業化に鎬を削っている。とりわけベンチャービジネスによる積極的な対応は目を見張るものがある。

エネルギーや食糧問題、公害対策や防災対策については、いずれも国を挙げて取り組むべき長期の重要課題である。それゆえに多くの部門でそれらの基礎研究が進められている。しかしこれらのさしあたっての市場が小さいためにその企業化は容易ではなさそうである。

このように研究テーマの選定には以上のような情勢の認識のうえで考えることが望まれる。

2. エネルギーの課題を例として

エネルギーに関する課題を例にとれば、石油代替である新エネルギーの開発は、きわめて重要な研究課題であることは云うまでもないが、当然のこと乍ら、その市場は石油に関する国際情勢に大きな影響をうける。石油価格の変動はその市場規模を著しく変化させ、見通しは非常に不透明であると言える。

したがって新エネルギーに関する産業界の実用化研究は消極的とならざるを得ないのである。

石油代替としての新エネルギー開発は、長期の重要課題であるが、その企業化は、現状ではエネルギー・セキュリティの背景に支えられた実態の伴わない市場の開拓をすることからはじめなければならない。

エネルギー・セキュリティに立脚した従来からの新エネルギー、省エネルギーの考え方にとらわれず、エネルギーを広範囲にとらえて、その要素技術を市場性のある新しい分野への活用について見直し、将来に備えるべきであろう。そのような意味からエネルギーの種類とその変換について例示してみれば第1図のようになる。この変換形で比較的新しい分野として今後に期待されるのは光エネルギーと化学エネルギーのそれぞれを中心とした他のエネルギーとの変換形であろう。

例えば将来の冷暖房を考えた場合、今まで以上に放射と湿度交換を活用した快適性の追求がなされるものと思われる。温度差が少く、大きな面積からの熱交換、吸脱着剤を活用した水分の移行による潜熱交換、放射、湿度が人体に与える快感度などの基礎的な追求とその成果は、豊かな環境作りを背景として大きな市場を開いてゆくものと思われる。

またレーザーやマイクロウェーブを用いた瞬間加熱、局部加熱等の伝熱の特長は、その追求とともにさらに市場を広げてゆくものと思う。

3. む す び

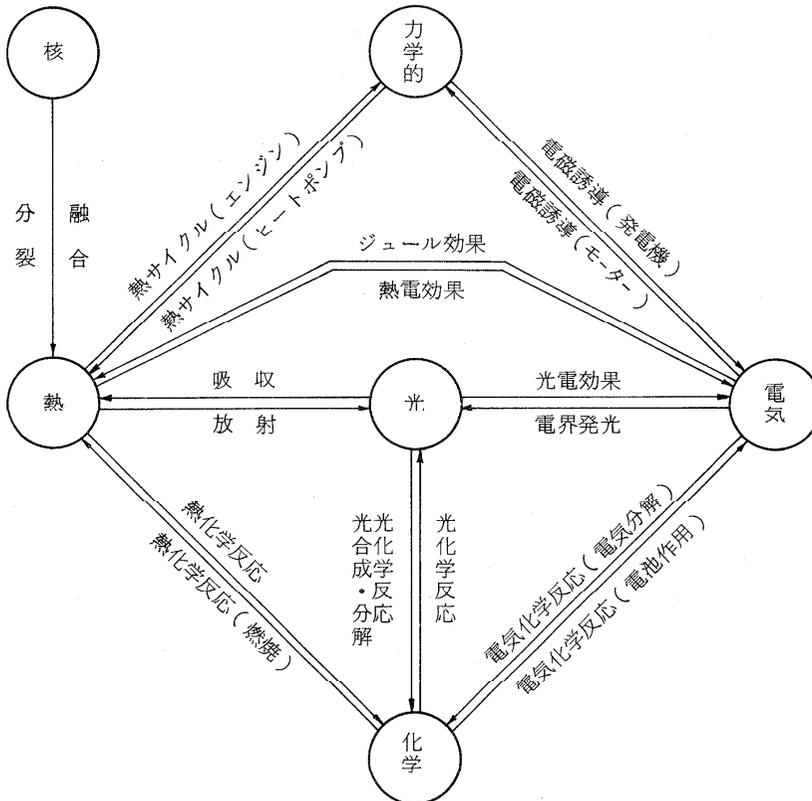
経済大国とは云え今後特に独創技術の研究開発を促進せねばならない我が国にとって、大型の基礎研究を成功させることはきわめて重要な課題である。

独創的な基礎研究は、新市場を産み出し、また普遍的な基礎技術の確立は、多くの実用化研究に活用されることが期待される。

産業界が学界に望むとすればこのような基礎研究であろう。市場開拓に柔軟に対応するとともに研究の有効な活用を念頭においた官学産の協力が大切と思う。

以 上

エネルギーの種類と変換形



第 1 図

本号の特集〈産業界からの提言〉に対する会員各位の御意見・御感想文を下記の要領に従ってお寄せ下さい。なお、「伝熱研究」への掲載の採否は編集委員会に御一任願います。

記

題 目 : 御自由
 枚 数 : 400字詰原稿用紙5枚以内
 締 切 : 昭和60年2月5日
 送 付 先 : 〒816 春日市春日公園6-1
 九州大学生産科学研究所
 宮 武 修 (電話092(573)9611 内線653)

< 解 説 >

(1) 高速増殖炉における炉心冷却の問題

北海道大学工学部 杉 山 憲一郎

はじめに

高速増殖炉という言葉からすぐさま液体金属を連想される方が多いと思う。本稿では境界領域の問題として解決が求められている高速増殖炉の炉心冷却の問題を、液体金属の伝熱の立場から述べる。

高速増殖炉の特徴

軽水炉（熱中性子炉）と高速増殖炉の本質的な相違は、前者が熱中性子と呼ばれるエネルギーの低い中性子（0.03 eV程度）を利用するのに対し、後者はエネルギーの高い高速中性子（100 keV程度）を利用していることである。その結果、高速増殖炉では天然ウランの99.3%を占め、核分裂を起こしにくいウラン238が核分裂性のプルトニウム239に変換される頻度を、核分裂でプルトニウムが失われる頻度よりも高くすることができる。すなわち、エネルギーを発生させたことによって失われた燃料よりも多くの新しい燃料を作り出すことが可能であり、軽水炉に比べ天然ウランの利用率が飛躍的に向上する。このことは、エネルギー供給に対するウラン資源からの制約がなくなることを意味し、エネルギー保障の観点からこの炉の開発が強力に進められている。

表1に高速増殖炉の主要項目を現在主流をなしている軽水炉と比較して示した。軽水炉に比べ熱効率が40%と高いこと、出力密度が1桁近く大きいこと、炉心出口温度が500℃を越えること、熱衝撃が1桁大きくなることなど、高速増殖炉の炉心が熱的に非常に厳しい環境下に置かれることが分る。このような過酷な条件は、増殖炉を目指すことによる炉物理的必然性と軽水炉と競合しうる経済性の要求から生じている。例えば、出力密度が非常に高いのは、この両方の要求を満すためであり、結果として優れた伝熱特性を持つ冷却材が必要となる。ただし、この冷却材は、中性子に対する減速効果が小さくなければならず、水のような質量数の小さい物質を含むものは利用できない。現在では、構造材との共存性なども考慮し、液体ナトリウムが世界的にこの炉の冷却材として用いられている。

高速増殖炉と軽水炉で最も異なる安全性の問題は何らかの原因により炉心に沸騰が生じた場合、軽水炉では常に出力が下がる方向に現象が推移すくのに対し、商業炉規模の高速増殖炉では沸騰の生じる場所により出力が上昇することである。従って、高速増殖炉では沸騰は生じてはならず

冷却材の沸点は高くなければならない。液体ナトリウムの沸点は1気圧で883℃と高く、この点からも優れた冷却材であり、炉心の健全性が保持できる範囲で炉心出口温度を高くし、熱効率を高めることができる。

表1 高速増殖炉と軽水炉の比較

	高速増殖炉	軽水炉
電気出力(万kW)	100	100
熱出力(万kW)	250	300
熱効率(%)	40	33
燃料要素(本)	$30 \sim 100 \times 10^3$	$30 \sim 50 \times 10^3$
出力密度(kW/l)	250 ~ 500	35 ~ 90
燃焼度(MWD/t)	$\sim 100 \times 10^3$	$25 \sim 30 \times 10^3$
中性子束(n/cm ² ・秒)	$\sim 10^{15}$ (高速)	$10^{13} \sim 10^{14}$ (熱)
炉心出口温度(℃)	530 ~ 560	280 ~ 325
炉心入口温度(℃)	370 ~ 400	220 ~ 290
被覆材最高温度(℃)	620 ~ 700	~ 350
熱衝撃(℃/秒)	1.5 ~ 10	1 ~ 1.5
1次系圧力(kg/cm ² G)	~ 0.5 (カバーガス圧)	72 (BWR) 158 (PWR)

軽水炉と高速増殖炉とのもう一つの大きな相違は、利用する中性子のエネルギーレベルから生じてくる。すなわち、軽水炉では中性子束スペクトルの最大値が0.03 eV程度であるのに対し、高速増殖炉ではその最大値が100 keV付近に存在する。このため炉心の構造材を構成する原子は、この高いエネルギーの中性子(主に100 keV以上)に叩かれ、その配列が大きく変化し格子欠陥が蓄積される。この現象はマクロ的には構造材の体積膨張に結び付き、燃料集合体は中性子束の分布に依存して膨張したり湾曲したりする。炉心の設計上この現象は、軽水炉ではほとんど問題とならないが、高速増殖炉では極めて重要な問題となる。

炉心の冷却問題

高速増殖炉の燃料集合体の形状を図1に示した。集合体はラッパ管と燃料要素とから成り、冷却材はエントランスノズルより流入し、燃料要素間を流れ上部より流出する。各燃料要素の幾何学的な位置関係はワイヤスペーサにより保持される。商業炉規模の燃料集合体では、全長は5m程になり燃料要素(直径7~8mm)の数は200本を越える。また、液体ナトリウムの流速は毎秒10mに近くなる。

上で述べたようにこの燃料集合体が高速中性子照射により非対称な膨張を生じ、結果として湾

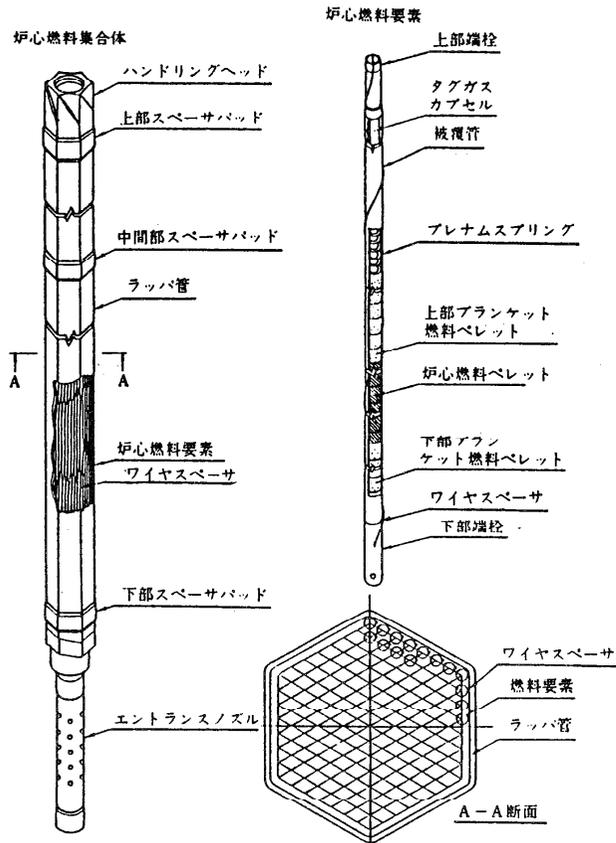


図1 高速増殖炉の燃料集合体

曲を引き起こす。この際燃料集合体内の温度分布は、中性子束分布と冷却材流量とのバランスにより決まるが、集合体断面方向に数10度の温度勾配を生じるのが一般的である。従って、熱応力による湾曲が中性子照射湾曲に重なる。また、温度が高い(最高700℃程度)ため、このように生じた応力に対し、クリープ現象も加わることになり、炉心の構造物は複雑な変形挙動を示す。このような状況下では燃料集合体内の冷却材の流動状態も大きな影響を受けるが、各燃料要素は所定の温度に冷却されなければならない、この条件が満たされない場合には燃料要素破損事故に発展して行く。この状況をフローダイアグラムで示すと図2のごとくなる。

従来の装置設計では、諸要求から定まる形状寸法に対し、伝熱特性が把握されれば、熱設計は完了した。この原則は軽水炉の場合でも同様であった。すなわち、エネルギーの低い熱中性子を

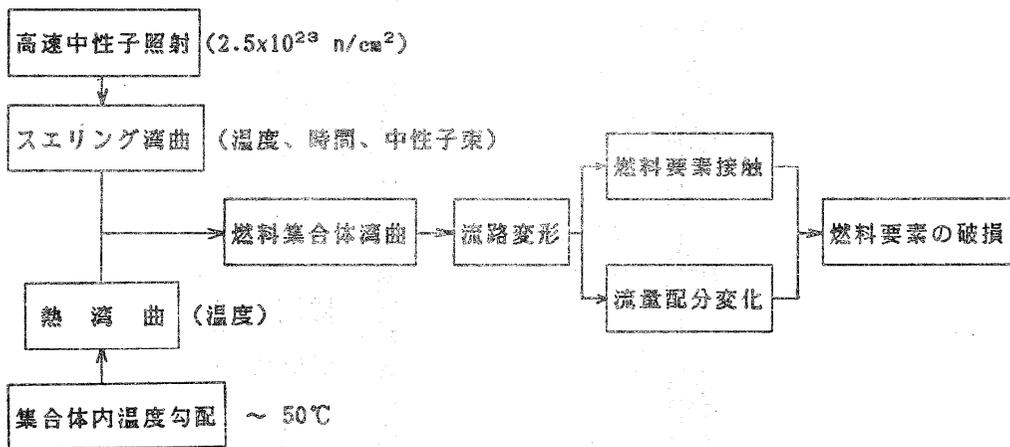


図2 燃料集合体湾曲が熱設計に及ぼす影響

利用することと中性子束も炉心温度も低いいため、炉心の変形は生じず、初期の形状寸法は燃料要素が炉心に挿荷されている間保持されると考えて良い。従って、炉心の伝熱特性は、電気加熱によるモックアップ実験により把握が可能であった。

しかし、高速増殖炉の炉心では、初期の配列形状での伝熱特性（ナトリウムを用いた伝熱実験により確認できる）の把握に加え、炉心の安全性を保証する上から上述の諸現象により時間空間的に変形を生じた炉心形状での冷却能力の把握が必要である。照射変形、熱応力、クリープ現象はいずれも温度に依存しており、核設計、炉材料、構造設計と密接に関連する境界領域的問題としての熱設計が求められている。

なお、最近このような複雑な現象をコンピュータを使ってシミュレーションする試みがなされている。図3にこの種の解析により求めたラップ管内の燃料要素の湾曲モードの一例を示した¹⁾。燃料要素の全長は 2.8 m、直径 6.5 mm である。燃焼初期と 500 日照射後の湾曲モードはかなり異なっており、時間空間的に複雑な変化をすることが分る。

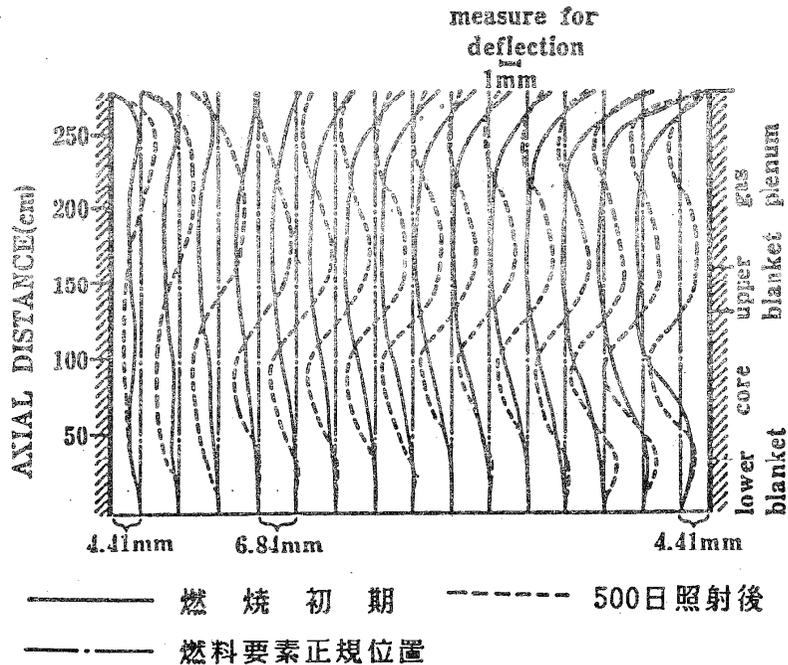


図3 燃料要素湾曲モードの解析例

液体金属の伝熱特性

上記の炉心における熱除去の問題は、基本的には管群平行流の伝熱として位置付けられるものであるが、この種の問題に対し、伝熱工学の立場からどれだけの蓄積が行われているだろうか？

流路の系として最も単純な円管内の液体金属の伝熱実験は、1940年代の後半より始められており、世界で最初の高速度炉であるクレメンタイン（水銀冷却）の計画と時を同じくしている。

しかし、多数の研究者により報告された実験値は非常にばらつく上に、解析値より小さい場合が多く、その原因について長いこと議論がされた。1960年代後半には、妥当な熱伝達率が研究者の間で諒解され、現在では乱流域における清浄な液体金属に対しては(1)式に示す Subbotinらの実験式を用いる場合が多い。

$$Nu = 5 + 0.025 Pe^{0.8} \quad (1)$$

また、この際問題となっていた乱流プラントル数については、この10年余りの間に液体ナトリウムを用いた実験が著者らのものを含め3つ報告されている。^{2~4} それらの値を図4に示した。三者は異なる測定方法を採用しているが、良い一致が得られている。なお、値としては通常流体の場合と異なっており、かつレイノルズ数に依存していることが分る。従って、円管の系として

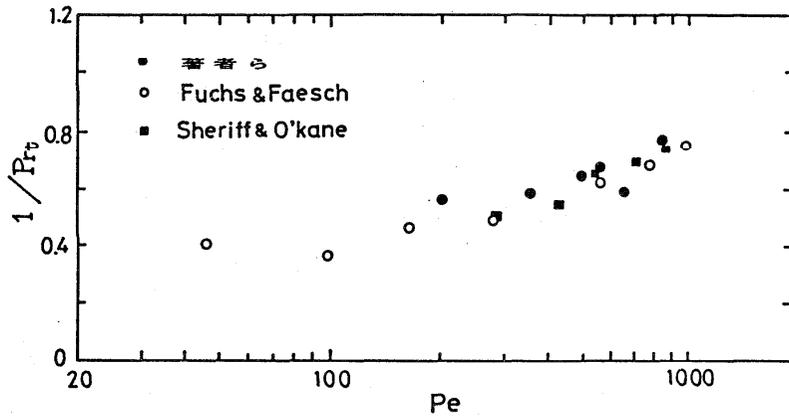


図4 液体ナトリウムの乱流プラントル数

残されている問題はない。

通常流体の場合、等価直径の概念を適用することにより、管群平行流の伝熱特性は円管の結果から基本的には推定可能である。しかし、液体金属ではプラントル数が非常に小さく（例えば液体Naでは0.005程度）、温度場が流路全域に広がり幾何学形状の影響を強く受けるため、等価直径の概念は適用できない。このため炉心などに直接関連する管群平行流での伝熱特性を明らかにするための実験が、1960年代半ばより比較的多数報告されている。しかし、この場合も実験値は予想される値よりも相当低いことが多い。一例としてKalishとDwyer⁵⁾によるナトリウム・カリウム合金による測定結果を図5に示した。図中の実線CCは、低ペクレ数（低レイノルズ数）域では熱伝導が支配的であるとして得られた解析値である。図から明らかのように実験値はペクレ数1,000程度からこの値に比べ相当低くなる。大部分の実験値が程度の差はあるものの、このような傾向を報告しているが、この原因は明確にされていない。

この伝熱特性の低下は、先に述べた円管内の実験で問題とされた現象（酸化物、濡れなど）による部分もあると考えられる。事実図5の結果に対し、Kalishらは伝熱面が液体金属と充分濡れていないことが原因であろうと報告している。しかし、より本質的には管群平行流における低プラントル数流体の伝熱特性に起因している可能性もある。管群の系では、製作、組立て公差に基づく流路断面の不均一性が最初から存在する。また液体ナトリウムを対象とする管群の系では作動温度は500℃程度と考えて良いから、このような温度域では熱応力に起因する変形も生じ、現実の流路形状は理想と異なると考えておくべきである。このような変形流路で液体金属の伝熱

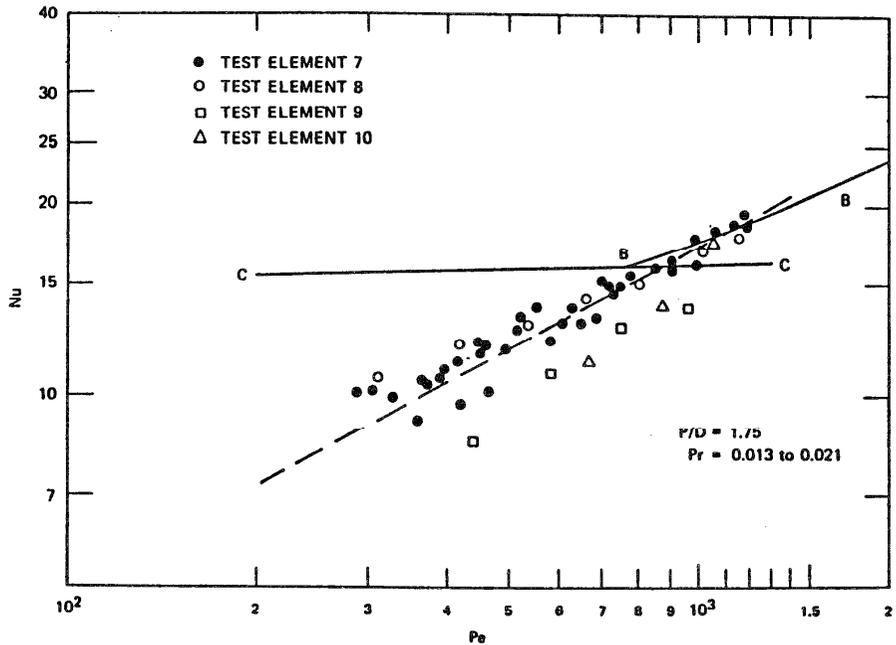


図5 管群における平均ヌセルト数 (Na K 合金)

特性は如何なる挙動を示すであろうか？

著者らはこのような状況での管群の伝熱特性を基本的に検討するため、幾何学形状を正確に把握できる二重管を用い、液体ナトリウムでの実験を行った。⁶⁾ なおこの実験では、円管の実験で従来議論された実験上の諸問題は本質的に取除かれていることを確認している。図6は、内管を流れと直角方向に移動し、変形流路を作って得られた平均ヌセルト数の結果である。図から明らかかなように変位が大きくなる程平均ヌセルト数は大きく低下することが分る。横軸はレイノルズ数に換算すると $Pe = 100$ が約 1.5×10^4 に対応する。この低下は低プラントル数流体では必然的なものである。通常流体では状況は異なり、同一条件で平均ヌセルト数は僅かに低下するだけである。すなわち、プラントル数が大きい通常流体では、温度変化の大部分が管近傍に限られているため、変位により流れ場が変化しても流速が大きくなった領域ではそれに追従して熱伝達率が上昇し、逆に速度が低下した領域では熱伝達率が低下し、結果として平均ヌセルト数は僅かに低下するだけである。しかし、温度場が流路全域に生じている液体金属では、変位により新たな温度場の相互干渉を引き起こし、狭い流路域の伝熱面からの熱除去能力が加速度的に低下し、平均熱伝達率自体が大きく低下する。従って、液体金属を冷却材とする現実の管群平行流の系で

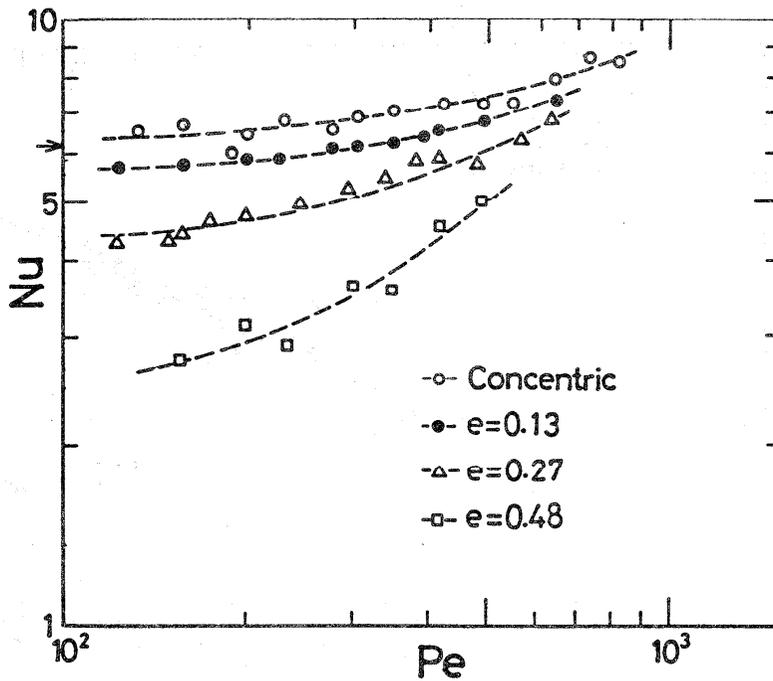


図6 偏心二重管(半径比1.7)の平均ヌセルト数

は、低プラントル数流体の特性として伝熱量は理想値より常に低下すると考えておくべきである。

上述の実験では内管の境界条件は等熱流束と等温の間にあるが、数値解析によれば⁴⁾、等温壁の場合よりも等熱流束壁の方が伝熱特性の低下は著しい。また、ピッチ対直径比が小さい系程伝熱特性が悪くなることが分った。この事実を実際の高速増殖炉に対応させれば、熱流束で規定されピッチ対直径比が小さい炉心の系の方が、伝熱面温度が規定される中間熱交換器や蒸気発生器の系よりも、基本的には変位に対し伝熱特性が著しく低下するといえる。

最近 Möller と Tschöke⁷⁾ によって液体ナトリウム中の19本の加熱管のうち1本が湾曲している場合の正確な管表面温度分布の測定値が報告されている。今後、この種の実験が増えて行くと予想されるが、現在まで蓄積された液体金属の伝熱に関する知見と開発上の要求との間には相当大きなギャップがあると言わざるを得ない。

おわりに

現在、フランスでは商業炉規模のスーパーフェニックス(電気出力120万KW)の完成が目前に迫っており、85年には運転開始が予定されている。このスーパーフェニックスの建設費は軽水炉の2.7倍といわれており、この比をさらに1.5倍まで下げることが実用化へ移行するための

次の目標になっている。これに伴って炉心熱設計の観点からは、想定される状況下で湾曲した燃料集合体内の燃料要素の表面温度をより正確に把握することが強く求められている。

以上液体金属の伝熱特性との関連で高速増殖炉の炉心冷却の問題を述べてきたが、高速増殖炉の種々の問題は本質的にはプルトニウムを利用することから発生しているといえる。現在我々が利用している元素番号92のウランは、この元素が発見された当時地球のかなたに見出された天皇星(ウラヌス)に因んでウラニウムと名付けられた。そして、93番目の元素には、海王星に因んでネプツニウム、94番目の元素には冥王星(プルートー)に因みプルトニウムと命名された。従って、高速増殖炉は、20世紀の半ばに人間が作り出した現世の冥土の王の審判に耐えうる技術の確立を求められているといえるかも知れない。

参 考 文 献

1. 菱田, 日本原子力学会誌, vol. 21 (1979) P.136
2. Fuchs, H. and Faesch., Progress in Heat and Mass Transfer vol. 7, P. 39, Pergamon Press (1973)
3. Sheriff, N. and O' Kane, D.J., Int. J. Heat Mass Transfer, vol 24 (1981) P. 205
4. 著者ら, 投稿準備中
5. Kalish, S. and Dwyer, O.E., Int. J. Heat Mass Transfer vol.10 (1967) P. 1533.
6. Ishiguro, R., Sugiyama, K. and Sakashita, H., Heat Transfer 1982 vol.5, P. 481, Hemisphere Publishing Corporation (1982)
7. Möller, R. and Tschöke, H., Nucl. Engrg. Des. vol.62 (1980) P. 69

(2) 水素呼吸するふしぎな合金への伝熱工学的挑戦

㈱日本製鋼所 室蘭製作所総合管理室

水素利用システムチーム 米田昌司

いわゆる新素材として最近富にマスコミの注目を浴びている金属材料の一つに水素貯蔵合金がある。本稿ではこの「水素呼吸するふしぎな合金」である水素貯蔵合金の応用段階における伝熱工学の役割について駄評を試みることにしたい。

水素貯蔵合金は加圧又は除熱すると水素を吸収し、減圧又は加熱すると水素を放出する、言わば水素呼吸する合金であり、水素を吸収する際には発熱反応を起こし、逆に水素を放出する際には吸熱反応を起こす。この性質を用いれば以下で述べる様にヒートポンプ、蓄熱、水素精製、ケミカルエンジン等様々な用途に應用が可能となる。この水素貯蔵合金の金属学的な研究は専門外で詳しくは分らないが、著者の知る限りでは僅に少なくとも10年以上の前から行なわれ、その有用性が提唱されて来たが、なにせ5年程前までは1gが数千円のオーダーであり、言わば貴金属の範疇に入っていた。最近筆者の勤務する会社の材料研究所の所長である大西博士を中心とするグループがそのほぼ千分の一程度まで合金の価格を低減することに成功し、新聞、テレビなどのマスコミで取上げられる様になったことも手伝って、その應用への実用化が急速にクローズアップされて来た。

この様な安価な水素貯蔵合金がつくられるに至った背景を考えると、本論から脱線するものの、他の観点から或いは興味深いものと考え。すなわち話はかなりさかのぼるが、筆者が勤務する会社は明治40年に創業し、2度の世界大戦を経験している。この間、例えば戦艦大和の砲身を造るなど重広長大な製品を造ることを得意として来たが、戦後平和な時代となり、この技術を生かして石油精製用リアクター等を製造する様になった。このリアクターの中には重質油分解の為に水添分解用反応塔(ハイドロクラッカー)等があり、これまで世界最大の1200トンのハイドロクラッカーを造った経験がある。このハイドロクラッカー等の塔槽類の製作にあたっては特に金属材料の水素脆化が問題となり、鋼に水素を侵入させまいとする金属学的な研究が続けられて来た。この言わば「悪い水素」との金属屋さん達の長年の戦いのデータはふんだんにあった。間接的にせよ、このデータをもとにこの「悪い水素」を逆の発想で「良い水素」に変えたのが今回の水素貯蔵合金の開発成果ではなかったかと考えるのである。つまり、今までのいかに金属への水素の侵入を阻止するかという方向から水素を金属組織内にいかに多量に吸収させ、また可逆的に放出させるかという逆の発想から生まれた産物の様に思うのである。

さて本論にもどって、水素貯蔵合金の応用例としてまずヒートポンプについて述べることにしたい。同一の水素平衡圧のもとで高温と低温を呈する2種類の水素貯蔵合金(それぞれM、M'とする)をそれぞれ別の反応槽に充填させ、両槽を水素が移動出来るパイプで連結する。両槽を真空にした後水素を両槽に封入させ、水素貯蔵合金(Metal Hydride; 以後MHと呼ぶ)を活性化する。ここでヒートポンプに使用されるMHとしてはカルシウム・ニッケル系、鉄・チタン系、ランタン・ニッケル系等が使用される。

尚M、M'それぞれの反応槽は熱媒体が流入することが可能な熱交換器構造となっている。MHヒートポンプは図1に示すA、B、C、Dのサイクルで作動する。図1における横軸は系内の水素の絶対温度Tの逆数、縦軸は水素の系内平衡圧であり、Cの過程で系外に熱量が供給される。

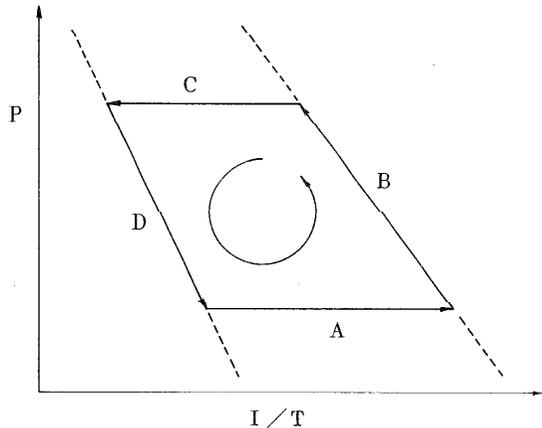


図1 ヒートポンプ圧力-温度サイクル図

さて作動原理であるが、まず
Bの過程：合金M'に水素が飽和状態で吸収されており、高熱源からの熱媒体が熱交換器に入ると合金M'の温度を上昇させ、M'から水素を放出させ、システムの水素圧を上昇せしめ合金Mに水素を吸収せしめる。

Cの過程：高温側合金Mに水素が吸収されると合金Mは発熱するが、この熱を熱媒体に伝え、これを熱負荷に供給する。

Dの過程：熱交換器Mに高熱源からの熱媒体が流入し、熱交換器M'に低熱源からの媒体が流入し、合金M'の温度を降下せしめると、水素を飽和状態に吸収していた合金Mから水素が放出し、合金Mが吸収する過程に移る。

Aの過程：合金Mの冷却、合金Mの加熱を続けると、水素は合金Mより合金M'にはば移動し、水素圧力が最小値を示すまで続く。

といった4つの過程を繰り返し、熱負荷に熱量を供給する。

このMHヒートポンプの作動原理と類似したプロセスで、水素の精製、二重、三重水素の分離、蓄熱、水素貯蔵等へのMHの応用が可能である。また熱媒体のMHへの熱の授受により水素圧力を変動させ、機械エネルギーに変換するケミカルエンジンやロボットへの応用ならびに水素を燃料とする自動車の水素貯蔵タンク等への応用も考えられている。この様にMHを用いた様々な応

用機器は実はいずれも水素貯蔵合金と熱媒体との間を熱交換する熱交換器である。

従って今後この種の応用機器の開発にあたっては伝熱屋さんの奮闘に期待がかかっている。例えばMHヒートポンプの場合、排熱を熱源として利用することが多く、従って熱源の温度も40～90℃程度の範囲であるから水素貯蔵合金を内蔵するMH熱交換器（シェルアンドチューブ型ではMHがチューブ内、シェル内に内蔵される場合それぞれチューブ内蔵型、シェル内蔵型と呼ぶ）においては熱媒体側は相変化を伴わない熱伝達となり、従来の伝熱相関式の適用がある程度可能であるが、MH側の伝熱機構は今のところ不明な部分が多い。すなわちMH側の熱伝達機構は水素を吸収放出することにより、およそ外径数十ミクロンとなったMH粒子間の熱伝導と粒子内のポーラスメディア内の水素による強制及び自然対流の複合熱伝達とがコンバインした複雑な熱伝達機構が予想される。また更に複雑なことに水素平衡圧の変動により、この熱伝達は常に非定常的に発熱、吸熱反応が行なわれるということである。

著者はこのMH熱交換器の開発・設計に携っており、伝熱基礎実験、MH熱交換器設計CADシステム（YOMEXシリーズ）の開発等に奮戦中である。

今後特に基礎研究の分野において、より多くの伝熱屋さん諸兄に、このMHの伝熱機構の研究に参画いただき、この重要な現象が解明されんことを期待する次第である。

中長期的な我が国の技術開発の動向と 技術開発施策のあり方について

通商産業省機械情報産業局総務課

後 藤 芳 一

I はじめに

近年、我が国の技術開発をめぐる環境は急速な変化をみせている。

国際社会における相互依存の増大、我が国経済の比重の高まりとともに、相応の国際貢献が求められる時代となった。もはや導入技術応用改良型の技術開発は困難となり、創造型の技術開発推進が不可欠となっている。

一方、国内をみれば、産業構造の高度化、経済社会の成熟化とともに国民のニーズは多様化しつつある。技術開発は、新たな経済社会を構築する原動力として、こうした動きに応じていかねなければならない。

既に他の主要先進国は、エレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジー等の新技術の重要性に着目し、積極的な施策を展開しつつある。

こうした動きの中で、今後の我が国の技術開発の新しい理念と戦略はいかにあるべきか。

以上の問題意識から、58年12月に通商産業省工業技術院長の私的諮問機関として「技術開発の展望研究会」（座長、林 雄二郎（財）未来工学研究副理事長）が設置された。

同研究会は、中長期的な技術開発の動向と技術開発施策のあり方について検討を行い、この度取りまとめを行った。

ここでは、この報告書のうち、主要な部分を紹介させていただくこととしたい。

II 報告書要旨

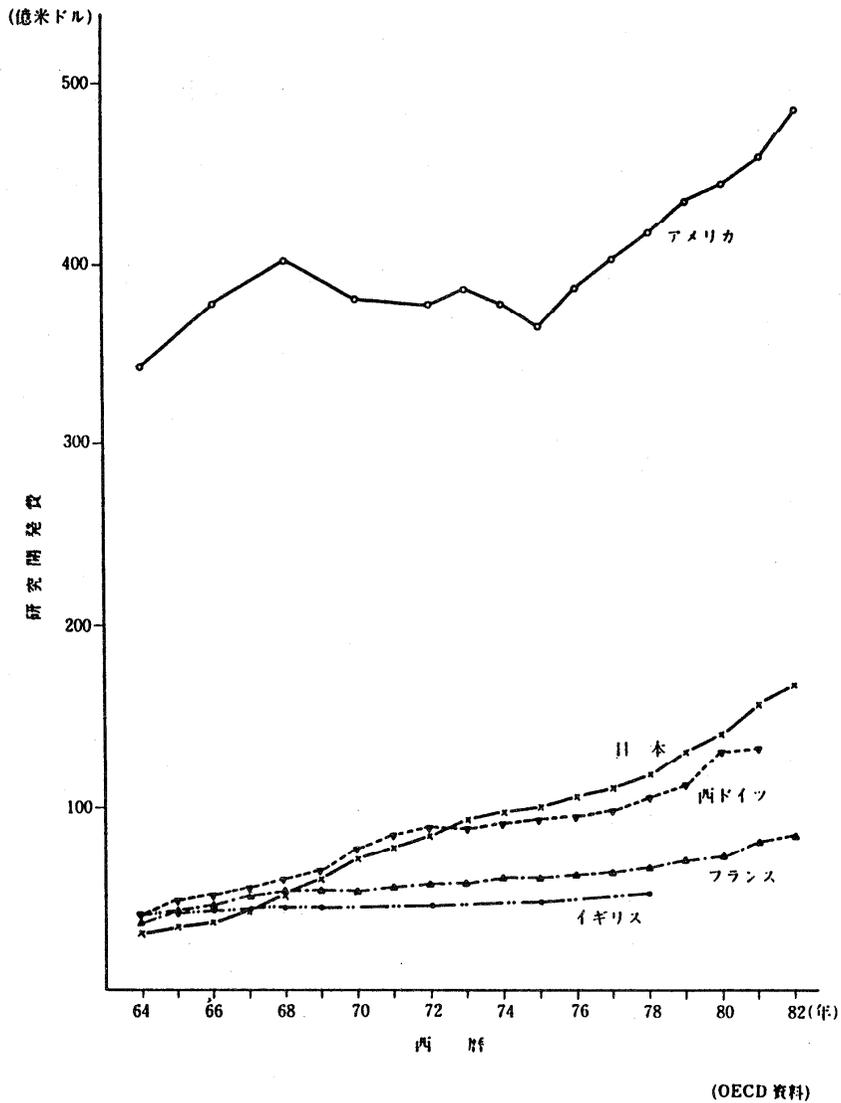
1 我が国の技術開発をめぐる諸情勢の変化

(1) 近年、世界経済活性化の原動力として、技術開発に対する期待がますます高まっている。

国際的地位向上に伴い、技術開発において我が国が果たすべき役割も増大している。

(2) 米欧先進国は、先端技術分野を中心として政府研究開発予算の大幅な拡充強化等種々の技術開発促進等を講じている。（図1）また、今後の技術開発の推進に当たり、産業構造、社会構造の変化に伴う技術に対する要請の変化、雇用問題等に係る技術に対する社会的関心の高まり等への配慮が必要となっている。

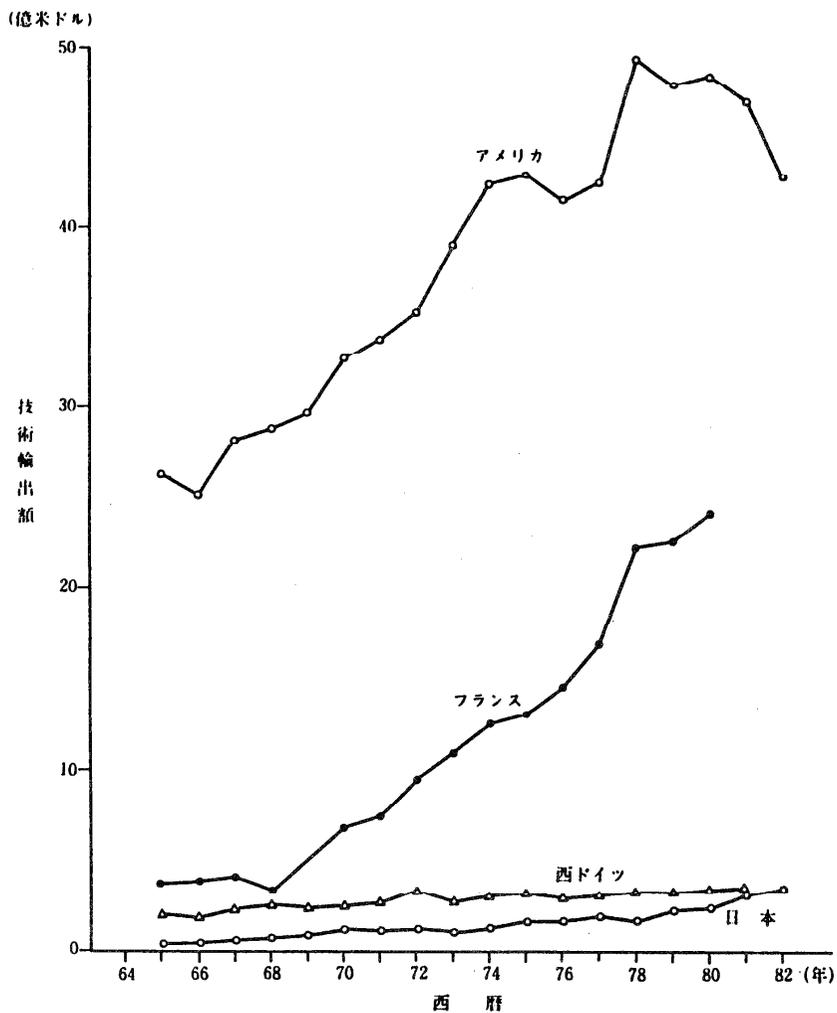
図1 主要国の研究開発費の推移 (実質：1975年価格基準)



2 技術開発の現状及び問題点

- (1) 我が国の技術力は、民間活力を活用した技術開発により、生産技術を中心とした一部の分野では米欧先進国と同等またはそれ以上のレベルに達したものの、基礎的研究や産業技術の基盤的分野では依然遅れをとっている。(図2)
- (2) 我が国の研究開発環境については、①大学、国立試験研究機関の基礎的研究機能の相対

図2 主要国の技術輸出額の推移 (実質：1975年価格基準)



(注) 技術輸出額には、ファッション製品のデザイン料等も含まれており、フランスの技術輸出額が大きいことの一因となっていると推定される。

的低下、②不十分な産学官の連携(図3)、③科学技術データベース等研究開発基盤整備の立遅れ等の問題が指摘できる。

図3 〔大学・国公立研究機関との共同研究の主要な問題点〕

- R & Dのスケジューリング、成果の発表に関する大学とのギャップ
- R & Dの目的、テーマ内容の不一致
- 研究成果の配分、帰属の問題
- 研究成果の配分、帰属の問題
- 機密漏洩の心配
- 手続きが繁雑
- 適切な相手先の選択が困難
- R & D計画変更が困難
- 共同研究に応じてくれない
- 産学共同研究に対する社会的評価
- 研究データの評価・検討が困難

(昭59年工業技術院アンケート)

- (3) 更に、科学技術情報／研究者の交流／研究協力の面で、国際的対応が著しく遅れている。社会ニーズに応える技術開発、地域振興、国際的支持格差の是正に配慮した技術開発も、今後の重要な課題となっている。

3 今後の技術開発の方向

- (1) 今後の技術開発の方向としては、自ら新たな技術分野を創造するような、いわば次代の資産となる技術開発に取り組む必要がある。
- 分野別には、新しい産業の基盤／芽となるエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジー等が重点分野として挙げられる。
- (2) 民間における技術開発は今後とも我が国の技術革新の主たる源泉として重要な役割を果たすと考えられ、一層の充実が望まれる。
- また、民間企業のみでは実施困難な公共ニーズへの対応、セキュリティ確保等のための技術開発にも積極的に取り組む必要がある。

(3) 我が国の研究開発費は、従来からの目標である80年代末までに対GNP比3%を達成
 「80年代の通商産業政策のあり方」、55年3月産業構造審議会答申)することを目標と
 し、また、今後基盤技術開発等を拡充強化するためには、政府の負担割合を高め、当面30
 %、長期的には、官民分担のバランスを十分勘案しつつ、欧米並みの40%程度をめざすこ
 とが適当である。(図4～5)

図4 研究開発費の対GNP比率の推移

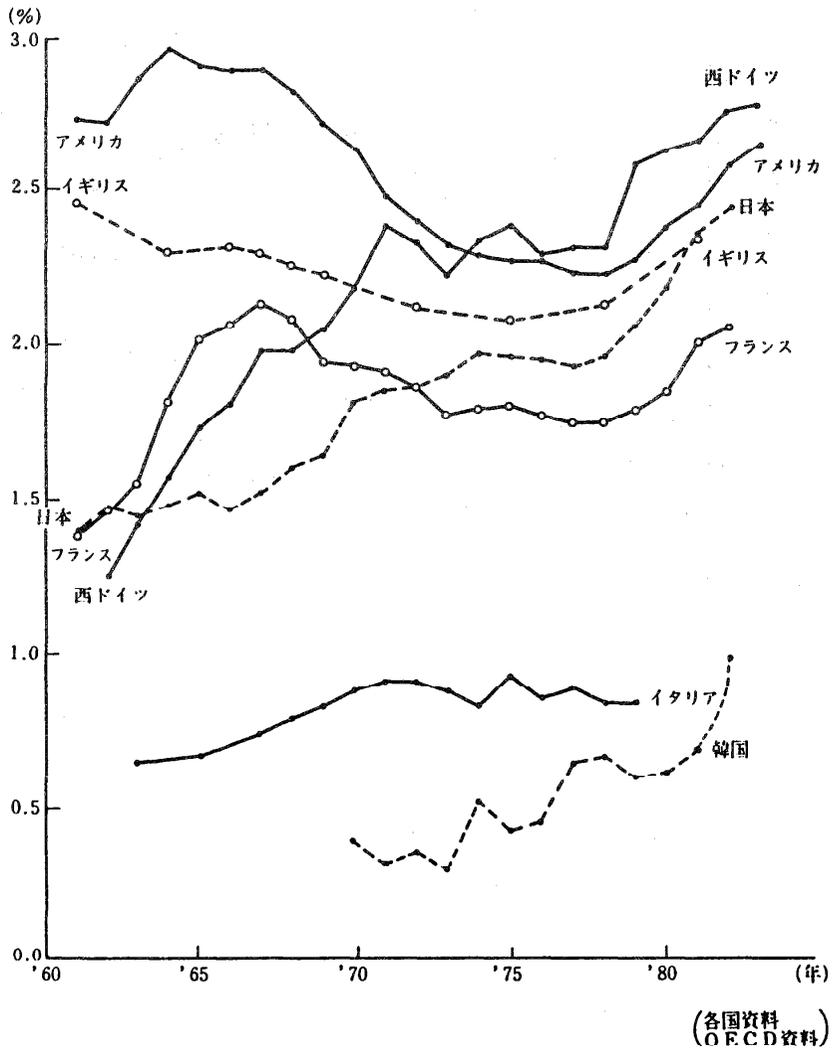
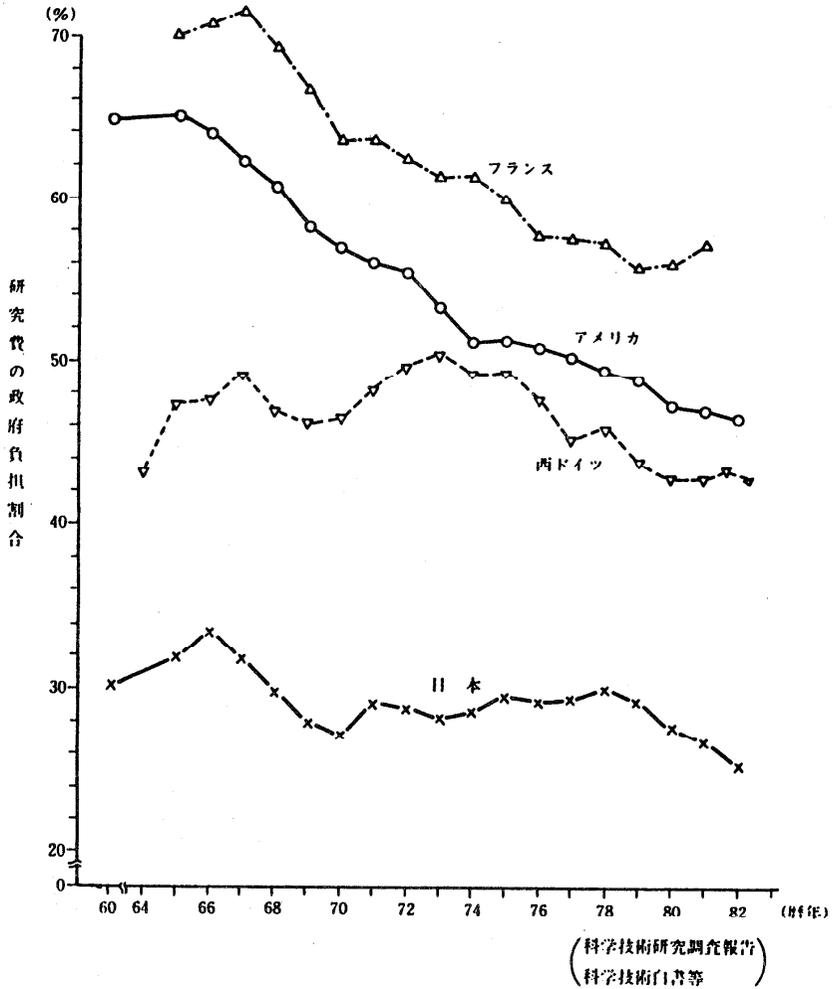


図5 研究費官民負担の国際比較



- (4) 人材の需給をみれば、量的には確保が可能なものの、電気・通信系の研究者の不足、高齢化に伴う創造的研究開発に適した20~30歳台の研究者の減少といった質的な問題がある。このため、大学における教育、企業における訓練の充実が望まれる。

II 備考

上記II、に対する今後の対応策として、政府自らが所要の分野に関する技術開発を強力に推進

する他、民間に対して必要なインセンティブを付与し、技術開発環境の整備に一層努める必要が指摘されている。

最後に、研究者の需給について以下に紹介することとする。

(1) 研究者の需給動向

専門分野別の研究者数の伸び率から 1990 年の自然科学分野の研究者数を算出すると、1983 年約 34.5 万人が 44.4 万人と、年平均約 3.7% の伸び率となる。量的な確保はともかくとして（年平均 1.43 万人の研究者の増加予測に対して、自然科学系大学院の 83 年度定員約 2.55 万人）、優秀な研究者数には、限りがあると考えられる。

我が国の人口構成変化を見ると人口の高齢化により今後創造的な研究開発に適した年齢層（25～39 才）の減少が予測されており、質的な面で研究者の確保に支障が生ずることが懸念される。

特に、企業においては、研究開発活動の急速な拡大に伴い、研究者の確保が大きな問題となって来ており、これは成長率の高い産業でとりわけ目立っている。事実、企業に対するアンケート調査の結果によれば、7 割以上の企業が将来の研究者の確保に問題があると考えており、具体的には、新規分野、境界領域等における研究分野の拡大に対し人材の養成が追いつかないこと、先端技術分野における優秀な研究者の新規採用が困難になっていること等が問題点として挙げられている。（図 6）

図 6 研究者確保の見通しと問題点

有効回答企業数	149社
うち { 問題なし	38社 (25.5)
{ 問題あり	111社 (74.5)

(質的な問題)

- 1 研究分野の拡大に対応した人材の養成が追いつかない。
(特に新規分野、境界領域)
- 2 大卒者のレベル低下
- 3 高齢化による能力低下
- 4 平均化・没個性化
- 5 国際的に通用する研究者の不足

(量的な問題)

- 1 先端分野の研究者の不足、特に優秀な研究者の新規採用が困難
工業技術院アンケート調査 (58年度末現在)

(2) 民間における研究者需給の動向

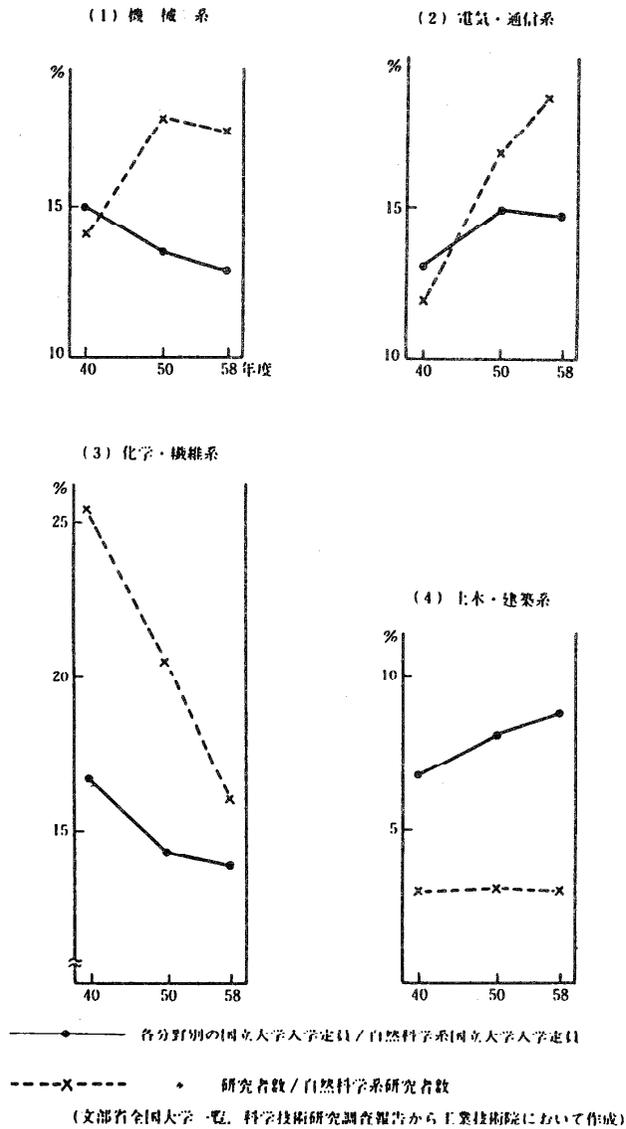
民間部門の研究者についてみると、1990年で約29.6万人と予測されており、研究者数に占める割合も、1984年の57.7%から1990年は66.6%となり、民間部門における研究者需要の伸びは、国、研究機関よりも大きいと推定される。

このうち電気・通信系の研究者については、電気機械工業の研究者が約72%を占めるが、今後とも大幅に需要が増加する(約8.1%/年)と予測される。しかしながら、他の分野と比較して人材の供給が充分とはいえず、また近年大学の定員が困難になっていることもあり、今後ますます電気機械工業における研究者の確保が困難になって来ると予想される。

機械系の研究者については、機械工業、電気機械工業、輸送用機械工業、精密機械工業の研究者が約79%を占めるが、従来、他の分野と比較して需要が大きい割には供給が少ないが、電子・通信系よりも今後の伸びが小さい(約4.7%と予測される)ので問題は少ないと考えられる。

化学・繊維系の研究者については、化学工業、繊維工業、紙パルプ工業で約54%を占めるが、バイオテクノロジー、新素材、エレクトロニクス等に関連した特定の分野を除き、今後の伸びは極めて小さい(約1.6%/年)と予測されているにも係らず、現状のままの研究者の供給が続けば、これら分野の研究者を他分野に活用する必要が生じて来よう。(図7)

図7 分野別学生数の推移と研究者数の推移



(3) 研究者の確保・養成対策

こうした需給の乖離は将来の我が国の研究開発活動を著しく阻害するおそれがあり、早急に対策を講ずる必要がある。その第一は、教育・訓練の充実である。

先ず、大学における教育の拡充が必要となろう。これは、単に研究者の供給の総数を増すだけ

ではなく、社会の需要に応じた研究者を育てることが不可欠である。従来、大学における講座数、学生数の推移が、社会の動きを必ずしも反映したものと言えず、今後は、組織の変更等の面で柔軟性のある教育活動が望まれる。

企業の一部では、既に、海外からの研究者の招聘、研究所の海外立地という形で、外国人研究者の活用を図っているところがある。この他、国際研究協力等の形で、外国の研究能力を積極的に活用することが、研究者需要の逼迫に応えるひとつの重要な方策となろう。

Ⅳ 参 考 文 献

- 「新しい時代の技術開発戦略」
(工業技術院編、(財)通商産業調査会発行)

<研究トピックス>

管路内における気液界面の前進挙動について

村上 幸一 (愛媛大学工学部)

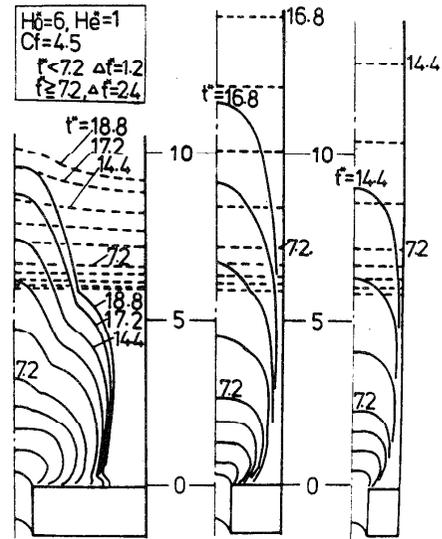
1 まえがき

急激な圧力が加わり液面が気体により急速に加速され、気液界面が動かされる非定常二相流は、原子炉の蒸気発生器の伝熱管破損事故、運転急変時の原子炉内における気泡の吹き抜け、あるいは激しい二相流脈動のおこる貫流形熱交換器など数多くみられる。そして、これらの現象において、気液界面がどのような形状で、またどのような速度で動かされるかは、原子炉の安全性の点などから重要な問題と考えられる。

また、筆者等は、オリフィスから広い液中や狭い管路内の液中へ噴き出す加圧気泡の挙動について研究してきた。(1)、(2) 図1には、オリフィ

スから吹き出す気体の流れをモデル化しSMAC法(3)により解析した結果を示しているが、実験値とも良く合っていた。また、同図に示された気泡の挙動は、狭い管路の沸とう現象と良く似た挙動を示している。そのことから、加圧気泡の管路内液中での挙動の研究は、狭い管路における沸とう現象などの将来の研究の一助となるものと思われる。

以上の観点から、液中での加圧気泡の挙動を系統的に調べてきたが、ここでは、鉛直管路(4)、(5)あるいは水平管路内(6)を、圧力負荷された気液界面が急速に移動する現象について得られた成果の一部を紹介する。



2 鉛直管路内における気液界面の前進挙動 図1 SMAC法で求められた管路内へ吹き込まれた加圧気泡の形状

図2には、使用した実験装置の概略が示してある。すなわち、下端に絞り比εのノズル

を持つ内径 d の鉛直管路にノズルから初期液高 l_0 まで満たした液体（密度 ρ ）に上方から圧力 P_0 （ゲージ圧）が加えられ、下端のノズルから瞬時に液体が噴き出す場合を考えている。また l_b の位置に損失係数 k_b の障害物が設置できるようになっている。

2.1 界面先端速度

まず、液体は一様に剛体として管路内を流下すると仮定し、一次元液体柱として気液界面の挙動のモデル化を行ない解析した。図3には、無次元界面先端位置 X/l_0 に対する無次元界面先端速度 U_t/U_0 （なお $U_0 = \sqrt{2P_0/\rho}$ ）のモデル化による解析値と実験値が併記してある。同図によれば、実験値は、 E が 0.6 以上のノズル近くでも界面が加速される加速領域では、縮流係数 C_c を 1 とした実線の解析値と、 E が 0.6 以下のノズル近傍で界面がほぼ等速で流下する等速領域では、 C_c を 0.87 とした点線の解析値と良く合っている。このように管路内の界面先端速度は、界面を平たんと仮定し液柱を一つの剛体とした一次元平均流下モデルで表わされる。

しかし、このモデルでは界面先端速度の物理的に正確な説明とはいえないので、 l_0 の低い場合には SMAC 法で、また l_0 の高い場合には、管路内液中を長い気体スラグが定期的上昇するときのスラグ先端上昇速度の式を参考にし、液体自身の加速による加速度場があるものとして、界面先端の速度 V_t を次式で表わし更に詳しい解析を行なっている。

$$U_t = C_1 U_a + 0.35 \sqrt{\frac{dU_a}{dt}} \cdot d \cdot i$$

なお、 C_1 は管路中心における液体の最高速度と

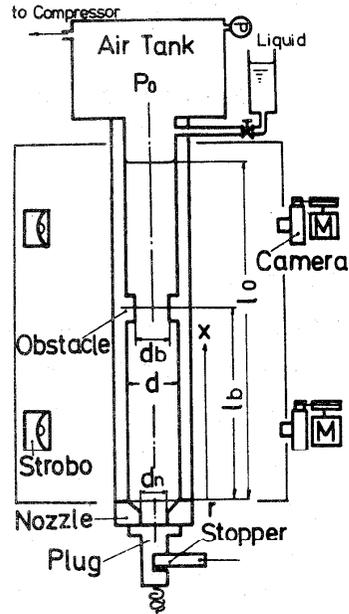


図2 鉛直管路の実験装置

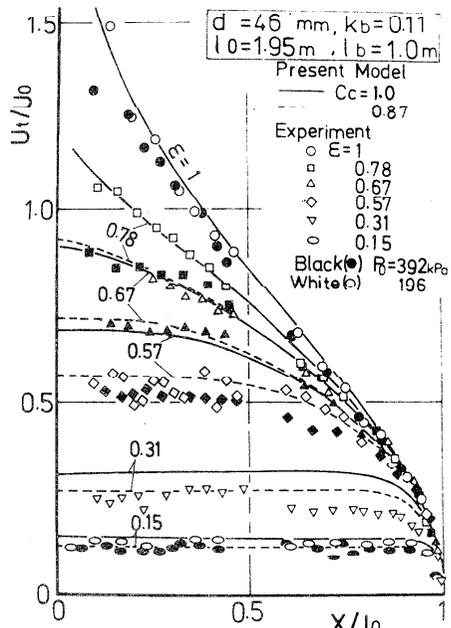


図3 界面先端位置と界面先端速度の関係（鉛直管路）

平均速度 U_a の比とし、 i の値は U_a が加速のときは1、減速のときは0とする。

この解析の結果、次の重要な知見が得られた。 E が大きい加速領域では、境界層が管路中心に到達するまでは、少なくとも中心部に関しては粘性の影響を受けないので、一次元平均流下モデルが成立する。また、 E が0.6以下と小さい等速過程では、界面先端速度は管路内液体の速度分布の最高速度により支配されるので、界面先端より後方に残留する液量の影響を受ける。

2.2 界面先端の形状と残留液量

(加速領域) 気液界面が流下するにつれ界面の速度が増加するとき、レーレー・テイラー形の不安定問題となり、界面のわずかな乱れが急速に成長し中心付近で指状の突起が現われる。しかし、さらに加速過程が続く加速領域では、この指状突起はちぎれ、流路途中の障害物の有無によらず滑らかな半球状の安定な界面となる。

次に、 $E=1$ の場合の界面先端より上方の壁に残留する液量について述べる。ノズルから流出する液量に対する界面先端より上方の壁へ付着し残留する液量の割合を示す残留率 β は、 $\beta = (U_t - U_a) / U_t$ で定義される。図4には、

壁で液がすべると仮定したときの d を代表長さとする界面先端の無次元移動距離に対する β 値の変化過程を、SMAC法及びモデル化により解析し、その値を実線と点線で記してある。この図によれば、 l_x/d が小さくなり加速度が急激に増加するノズル近傍を除けば、 l_x/d 値によらずいずれの解析値もほぼ二点鎖線で示される曲線と一致している。このことから、境界層の発達が少なく界面先端が常に加速される場合には、界面先端より後方へ残留する液量は d を代表長さとする無次元移動距離によってほぼ決められることがわかる。

(等速領域) E の小さい等速領域では、途中に障害物のない場合には界面はほぼ平たんに流下し、そのとき壁に残留する液量は少ない。しかし界面先端が流路途中の障害物を通過する場合には、界面に凹凸のシワが生じる乱れの素が発生し、この乱れの素が界面先端近傍で蛇状に曲がる乱れた界面に成長することがある。この乱れの素の発生と成長に及ぼす因子を観察実験により検討した結果、次式を得ている。

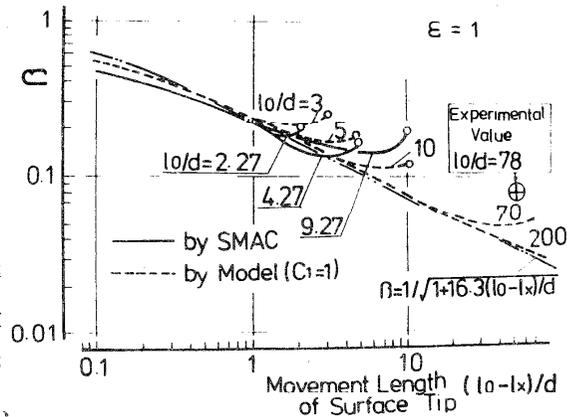


図4 界面先端の進行距離と残留率 β の関係(鉛直管路)

乱れの素の発生条件 $Re\sqrt{kb} > 5 \times 10^3$

乱れの素の成長条件 $S > 60/Re$

ただし、 $Re = U_0 d / L$ 、 $S = L\sqrt{\rho}/(\sigma d)$ とし、 L 、 σ は液体の動粘性係数および表面張力、 U_0 は障害物通過後の落ち着いた界面先端速度とする。

そして、この乱れが成長すると、界面先端より後方に残留する液量はノズルから流出する液量のほぼ25%に達し、その結果界面の乱れない時に比べ界面先端速度が速くなることが実験的に確かめられている。このように流路途中にある障害物の界面の挙動に及ぼす影響は、界面が等速に移動するときの方が大きいという興味ある結果が得られている。

3. 水平流路内液中での加圧気泡の挙動

図5に示された高さ H 、奥行 b (=15mm)の長方形断面を持つ長さ l の流路は、干渉板と名付けた上壁と、この干渉板より充分長い長さ le の側壁と底壁で構成されている。また、この装置は広い水槽内に設置され、その両端は水槽に開放されている。すなわち、流路内の液体が流路外の気体中に放出される前章と違い、ここでは液中に放出されている。そして、この流路を満たす液体内に、流路底面に設けられた巾 d_n (=8mm)

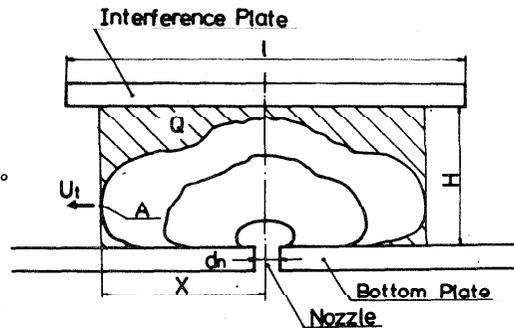


図5 水平流路の概略図

のスリット状ノズルから瞬時に加圧気泡を吹き込み、その成長過程について検討している。なお、同図の水平方向界面先端位置A点における水平方向速度を U_t 、写真撮影より求めた斜線部の総面積を残留液量 Q としている。

3.1 界面先端の水平方向速度

図6には、 l/d が30以下と短い流路について、 l/H を変えた際の、無次元先端位置 $2X/l$ に対する無次元水平方向速度 U_t/U_0 の実験値が記してある。同図によれば、 l/H の値が等しければ、 l/d 値が違っても $2X/l$ の全域にわたって U_t/U_0 の変化過程はほぼ一致している。この結果、界面先端速度に l/H の及ぼす影響の大きいことがわかる。同図には、ノズルから吹き出す気体噴流の界面への衝突効果を見逃したSMAU法による解析値も実線で併記してあるが、実験値と良く一致している。

また、 l/H が小さい程 $2X/l$ に対する速度の増加割合が減少している。これは気泡が成長

する際、気泡内圧力によって加速される液体は、界面先端より前方に存在する長さ l の流路内の液体だけでなく、この流路外の流路出口近傍に存在する液体も含んでいるためと考えられる。すなわち、加速される流路内の質量は l に比例し、流路外の加速に関与する質量は H に関係するとすれば、前者と後者の比 l/H が小さいほど加速されるべき流路外の質量の割合が大きくなるためである。

しかし、 l/d が30以上と流路が長くなると、 U_t の変化過程に l/H よりも H/d の及ぼす影響が大きいことが実験により示された。これは流路が長くなると気泡が流路断面全域に拡がって成長するため、 H/d が大きくなるとノズルから吹き出す気体の速度が U_t に比し大きくなり、気泡内圧力が低下するためである。

3.2 界面先端より後方に残留する液量

図7には、 $l/d = 30, 60, 90$ とし、 H/d を4~12の範囲で変えたときの、 $2X/H$ に対する Q/H^2 の実験値が記してある。同図によれば、実験値にばらつきはあるものの、 Q/H^2 の $2X/H$ に対する増加過程は、 $2X/H$ が10くらいまで l/d 、 H/d 値によらずほぼ同じである。同図には、 $l/d = 30$ 一定とし、 H/d を1~6の範囲で変えたときの SMAC 法による解析値を示してあるが、 H/d 値によらずほぼ一つの実

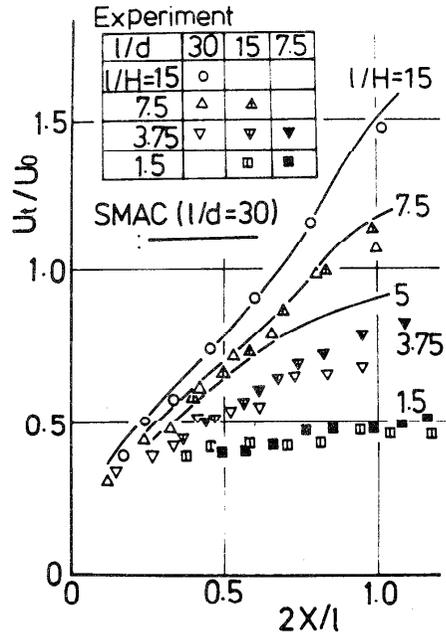


図6 界面先端位置と界面先端速度の関係（水平流路）

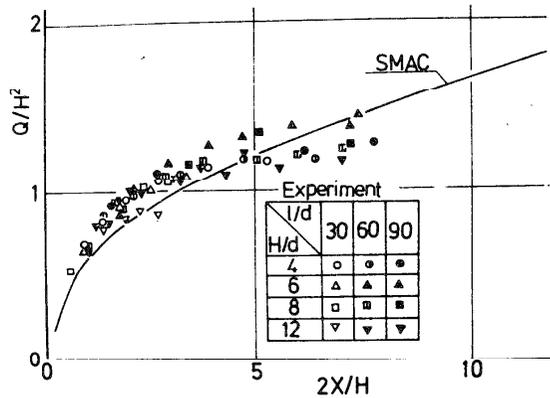


図7 界面先端の進行距離と残留液量の関係（水平流路）

線で表わされ、実験値と同様な傾向を示している。しかし、 $2X/H$ に対する Q/H^2 の増加割合は $2X/H$ が5以上では、数値解析値の方が実験値に比し大きいようである。これは、数値解析で気体噴流による界面の形状変化を考慮しなかったためと思われる。

すなわち、代表長さを H とすれば、界面先端より後方へ残留する液量は良く整理できることがわかる。

4 結 び

流路内の液中を明瞭な界面を持つ加圧された気体が進行する現象について得られた主な知見は、以下のことである。界面先端速度は、筆者の提案する簡単な次元平均流下モデルで表わされ、代表長さを流路長さとするれば良い。また、界面先端が加速的に進行する場合、界面先端より後方に残留する液量は、代表長さを流路直径あるいは高さとするれば良く整理できる。

しかし、気体の界面への衝突効果が大きく、気体の流れの予測が困難な3章のような現象の詳細な解析には、両相の流れを同時に解く必要がある。Ramshaw⁽⁷⁾、Nichols等⁽⁸⁾により開発されている。しかし、現在の所、界面で二相の流れにすべりのある現象に適用できる解析法はみあたらないようであり、今後の発展が望まれる。

また、沸とう熱伝達に関連して、甲藤等の狭い平行二円板間へ吹き込まれた気泡の挙動についての研究^{(9),(10)}がみられるが、今後筆者等の研究をこの方面へ展開したいと思う。

参 考 文 献

- (1) 村上・ほか2名、機論、48巻432号、B(昭57)、1465
- (2) 村上・ほか2名、機論、48巻433号、B(昭57)、1709
- (3) Amsden, A.A. and Harlow, F.H., Los Alamos Scientific Laboratory Report, LA-4370(1970)
- (4) 村上・ほか2名、機論、48巻433号、B(昭57)、1718
- (5) 村上・ほか2名、機論、49巻437号、B(昭58)、139
- (6) 未発表
- (7) Ramshaw, J.D. and Trapp, J.A., Journal of Computational Physics, 21(1976)、438
- (8) Nichols, B.D., ほか2名、Los Alamos Scientific Laboratory Report, LA-8355(1980)
- (9) 甲藤、庄司、機論、35巻271号、(昭44)、634
- (10) 甲藤・ほか2名、機論、38巻315号、(昭47)、2906

< 国際会議報告 >

第 10 回国際低温工学会議の概況

伊藤 猛 宏 (九州大学工学部)

題記会議、ICEC10: Tenth International Cryogenic Engineering Conference and Exhibition, July 31 - August 3, 1984, Otaniemi, Finland の概況を報告します。

この会議は International Cryogenic Engineering Committee (ICEC) が常に実質的な開催母体となって、ほぼ隔年開催されており、我が国はすでに第 1 回 (京都)、第 5 回 (京都) および第 9 回 (神戸) をホストしています。今回は上記 committee の外にフィンランドの文部省とヘルシンキ工業大学が共催しておりました。

さて、今回の会議会場は Helsinki 市西方約 9 km の Otaniemi という所にあるヘルシンキ工業大学のメイン・ビルディングで、賞の贈呈式と晩餐会は Helsinki 市中心部にある Finlandia Hall で行われました。

4 日間の会期で全員参加 (plenary) が 9 セッションで 17 論文、口頭が 14 セッションで 90 論文、ポスターが 10 セッションで 111 論文、post-deadline が 1 セッションで論文数不明、あと受賞式と受賞者講演および晩餐会のセッションが各一回ありましたので、都合 36 セッション 219 強の論文数となり、全員参加セッションには各 45 分割り当ててありましたので、一般の論文発表は大変窮屈な日程になっておりました。発表の取り下げも大変に多く、最終日までに提出すべき論文の最終原稿の集まりも、はかばかしくないように見受けられました。

また参加者数は全部で 312 名で、主な内訳 (10 名以上) は日本 56 名、合衆国 42 名、フィンランド 41 名、西独 39 名、イギリス 27 名、フランス 23 名、ソ連邦 13 名、イタリア 12 名、スイス 12 名、オランダ 11 名のような具合で、やたら日本人が目立ちました。

4 日間の午前中すべてが全員参加セッションで、別に午後 1 つ全員参加セッションがあり、これが今回のプログラム編成の特徴のようで、題目は超電導量子干渉装置 (SQUID) 用冷凍機、磁気冷凍、核磁気共鳴 (NMR) の生物学および医学への応用、NMR および分光学のための超電導マグネット、SQUID の応用、ヘリウム冷却赤外線望遠鏡、磁気カーディオグラフィーの現状、SQUID センサーによる磁気カーディオグラフィー、多層断熱、大型希釈冷凍機、低温外科学、低温外科用器材、超電導磁気浮上、超電導回廊、LCT (large coil task) 向け日本製超電導コイル、超電導磁気分離、ミリ、マイクロ、およびナノケルビン領域の冷凍、などですべて展望講

演になっておりました。

口頭およびポスターセッションの題目は、特別な冷凍法、超電導マグネット技術、クライオゲンの性質、超低温冷凍、医学応用、ヘリウムⅡ技術、温度測定と計装、大規模冷凍、熱伝達と固体の物性値、宇宙応用、クライオゲンの冷凍、移送および貯蔵、超電導材料、超電導電力貯蔵、超電導応用、SQUIDとその応用、などで、私共は「超臨界圧ヘリウムの強制対流熱伝達」と「過渡ブール沸騰」に関し、一つずつ発表しました。

全体の印象としては、大学のいろいろな資材を総動員して、手際よく、かつ(あまり金のかからないという意味の)経済的に運営された会議であったように思います。参加登録料は晩餐会を含めて200米ドルでした。なお次回は1986年にベルリン(西)で開催されることが決定しており、その次はインドというように聞いております。

＜地区研究グループ活動報告＞

東北研究グループ

夏期セミナー

日 時 昭和59年8月29日、12時30分～8月30日、15時30分

場 所 東北大学川渡共同セミナーセンター

講 演

8月29日

- 1) 伝熱研究をふりかえって。
江草龍男(八戸工大)
- 2) 高速増殖炉における伝熱問題。
土屋毎男(動燃事業団)
- 3) ガス冷却炉における伝熱問題。
工藤昭雄(バブコック日立)
- 4) Time - and Space - resolved Concentration and Temperature Measurements
Using Ragleigh Scattering Correlation Technique .
Dr. Jurgen Haumann (ルール大学熱流体力学研究所、西ドイツ)

8月30日

- 5) 強制対流伝熱の諸問題
太田照和(秋田大学)
- 6) 攪はん槽における熱および物質伝達。
栗山雅文(山形大学)
- 7) 国産大型ロケット開発と伝熱上の問題点
新野正之(航空宇宙技術研究所)
- 8) ウォータージェットの利用技術 — 第7回Water Jet 切削技術国際シンポジウム
(カナダ) — を中心として
幾世橋広(東北大)

東北グループでは毎年夏から初秋の時期に伝熱のエキスパートを招いて研究会を開催してきたが、本年は上記のように第一線で活躍中の講師の諸氏と多彩な内容で、世話役を東北大学グループ(幹事の戸田と三浦が担当)が担当し、2日間にわたる東北グループ夏期セミナーを開

催した。場所は伝熱セミナー会場にも使われた東北大学共同セミナーで、予定定員をこえる54名の参加（名古屋から嵐和夫氏（三菱重工）が参加されたのが遠路ということで印象的であった）があって大変盛況なセミナーとなった。特に、遠路広島、茨城よりお出でいただいた講師の工藤、土屋の両氏をはじめとする講師の諸氏には厚く謝意を表したい。8月29日夜の懇親会はジギス汗鍋を囲み、武山会長のお手料理の“はや”を賞味しながらの時は、その味の忘れられない参加者が多かったと思われる。また、本研究会には西ドイツのルール大学、熱流体力学研究所からDr. Jurgen Haumann氏が丁度札幌と東京で続けて開催された“レーザ・スペクトロスコープ”と“レーザ・ラマン散乱”の国際会議に参加の途中、東北大学を訪門されたので、特別講演をしていただいた。同氏は翌日の会議出席のため、当日深夜東京着で戻るという強行スケジュールではあったが、興味深い内容の講演と国際セミナー的な雰囲気は当研究会の良い思い出となる。ここに同氏に対し深い謝意を表す次第である。

講演はいつでも大変豊かな内容、示唆に富むものであったので、順次本伝熱研究へご投稿いただくと思っている。講演の概要は、短文での非礼を許していただくとして次のようなものであった。講演1)はボイラから原子力への広く活躍された間の伝熱研究と、石川、抜山の著名な先生方との出会いを含めた歴史的な話を中心とするものであった。講演2)は高速増殖炉におけるナトリウム技術を中心に、炉本体、蒸気発生器をはじめとして炉容器内流動、沸騰、ナトリウム-水反応など安全性に関する伝熱問題の話であった。講演3)は高温ガス炉を中心として、高温熱交換器における輻射効果を取入れた設計、フィン、粗面の問題、乱層の遷移現象、高温断熱2重管、断熱層内対流、高温ガス炉非常炉心冷却系起動時などの伝熱問題の話であった。講演4)はレーザ光のレーリ散乱を応用して燃焼炎中の濃度と温度の時間・位置の同時計測法に関する基礎研究で、測定値の統計処理による測定精度の向上と火炎における実計測例の呈示など大変興味深いものであった。講演5)は強制対流伝熱における日本と世界の研究の動向を中心とし今後望まれ、発展が期待される研究について興味ある分析結果を示され、またご自身の研究現状にも触れられた。講演6)は高粘性流体の攪はん（層流であるが故に混ざりにくい）問題を、せん断流型、せん回流型の2種について、熱移動度、熱的混合、非ニュートン流体の取扱い、新しい攪はん翼の開発などについて説明され、さらに実験に用いられたコレステリック液晶による高精度の温度計測について示された。講演7)は最近話題になっている国産大型ロケットH-2型開発にあたって生じている伝熱問題の内、燃焼と冷却の問題に焦点を絞り、 20kW/cm^2 という高熱負荷壁の冷却構造とその製造法、熱疲労問題、短形管内流の曲率効果による冷却性能、まさつ係数増大の問題等スケールの大きい話題であった。講演8)は高速、高圧のWater-Jetによる切削技術について、その基礎メカニズムから応用機器および現場における切削装置の運転実例までの広

範囲にわたり、第7回Water-Jet切削技術国際シンポジウム（7月にカナダにて開催）を中心として話があった。また、カナダ、米国のいくつかの研究所訪問とそこでの現状について話があり、加えてカラー・スライドによる“訪問、滞在記”が披露されて大変楽しい講演であった。

以上のように、広範囲でバライティーに富んだセミナーに長時間にわたり熱心な参加者のご協力をいただき有意義な研究会となったことを世話役の幹事よりお礼を申し上げる次第である。また会場の設営、懇親会の準備に東北大学工学部原子核工学科、化学工学科の若い諸君の尽力があったことを申し添えて感謝に変えたい。なお、来年度の研究会は山形大学のグループにより計画される予定である。

（東北地方連絡幹事 戸田三朗）

関西研究グループ

日 時 昭和59年9月21日（金） 13:30～17:00

場 所 京都大学工学部機械系205講義室（京都市左京区吉田本町）

講 演

- 1) 膜沸騰現象の諸問題
京都大学 櫻井彰、*塩津正博、畑幸一
- 2) 浸漬冷却における表面熱抵抗層の急冷促進効果（間欠性固液接触モデルによる解析）
京都大学 *菊地義弘
- 3) 相互不溶性二液界面を有する平板からのプール沸騰伝熱
京都大学 *松本利達、荻野文丸
- 4) 都市を含む地域の環境伝熱に関する研究
京都大学 *吉田篤正、国友孟

（*印 講演者）

<講演概要>

講演1) 圧力範囲20KPa～2MPaの飽和及びサブクール水中で、水平円柱発熱体のプール膜沸騰実験を発熱体直径を0.7～5mmまで種々変えて行った。飽和膜沸騰熱伝達を±5%の誤差で表示する半実験式を与えた。或る発熱体径範囲の飽和及びサブクール膜沸騰熱伝達の実験結果は、膜沸騰気液界面で蒸気・液両速度が等しい境界条件での二相境界層膜沸騰理論モデルの解と±10%の誤差で一致した。膜沸騰極小温度 T_{min} の圧力依存性の傾向は、1.1MPa以上の領域とそれ以下の領域で明確な差違を示した。低圧域の T_{min} は、水力的テラ不安定性で決まり高圧域の

それはHeterogeneous Spontaneous Nucleation の下限温度で定まるというモデルを与えた。然し、テラ不安定性に基礎を置く従来の理論モデルは、上記低圧域の T_{min} 及び G_{min} の圧力依存性を全く記述出来ない。低圧域の極小点近傍の気液界面波々長、気泡離脱頻歩、離脱気泡径を観察して表示式を与え、それらに基づく T_{min} 、 G_{min} の表示式を与えた。

講演2) 高温物体を液体中で急冷する場合、表面に薄い熱抵抗層を被覆することによって、膜沸騰から遷移沸騰への移行が早まり、急冷が促進されるという現象を説明するため、間欠性固液接触モデルを提案した。本モデルでは、安定な膜沸騰状態でも、気液界面の脈動によって、間欠的であるが、液体が直接、伝熱表面の一部に接触するという仮定に基づき、膜沸騰状態を、①乾燥期間、②接触(伝導)期間、③蒸発期間、に分け、各期間における温度変化を非定常熱伝導方程式から求める。計算により、平均(バルク)伝熱面温度が十分高くても、間欠性固液接触によって、伝熱面温度が局所的な急降下を繰返し、遂に限界温度に達して遷移沸騰へ早期に移行することを示した。そして、計算結果は液体窒素—テフロン系や水—耐熱塗料系に対して得られた実験データとよく一致した。

講演3) プールされた不溶解性二液の液々界面を垂直に横切るように設置した平板からの沸騰伝熱の特性を、水とR-113および水とイソオクタンとの組み合わせで実験的に検討した。自然対流域から比較的低温流束の核沸騰域において、以下の結果を得た。

1) 界面より下の部分は、沸騰時、自然対流時とも単独の液体中とほとんど変わらない。

2) 界面より上の部分の伝熱係数は、

④ 水とR-113中では、下層のR-113に浸っている部分の約4倍の高さまで、ヒータート端からの距離にはほぼ比例して、R-113単独の場合の3倍程度まで大きくなる。これは、同一熱流束において、水が共沸点で飽和沸騰すると仮定した場合より大きい。

⑤ 水とイソオクタン中においては、共沸点の液温の水がサブクール沸騰した場合程度の値が、より低温流束時まで得られる。

講演4) 都市を含む地域の熱環境を把握し、その原因を探るため、水平方向にも広がりを持つ2次元シミュレーションを行った。その結果、次のことが明らかになった。夜間の都市域の高温化は主に人工熱と地下層の熱容量が、昼間のそれに対しては地表面からの水分の蒸発量(潜熱量)が大きい要因となっている。夏と冬の場合では潜熱量の効果に大きな差がある。また、風の弱い場合は、風の強い場合に比べて夜間は人工熱と地下層の熱容量の効果が大きくなるが、昼間は各要因とも風の強さによる影響は受けない。鉛直方向の温度分布は人工熱の影響を最も強く受ける。エアロゾルは都市域の地表面近くの温度を下げ、その上空では逆に昇温に作用する。また、都市の風下の郊外と田園の地域では、都市域と異なり、地表面にごく近い所より少し上空で都市域の

影響を受けて高温化傾向を示し、夜間はある風速で影響が最大となる。

(地方連絡幹事 鈴木 健二郎)

北陸信越グループ研究発表会

日 時 昭和59年11月17日(土) 13:30~18:30

場 所 福井大学工学部会議室

講 演

- 1) 水平板上の自然対流熱伝達に及ぼす干渉板の影響
竹内正紀、部谷尚道、木村照夫(福井大工)、*高松正仁(福井大院)
- 2) アルミニウム系複合材料の熱定数の測定
*平沢良男、竹越栄俊、井村定久(富山大工)
- 3) 偏心二重管環状部流れの乱流強度分布
宮下 尚、若林嘉一郎(富山大工)、*萩下雅俊(富山大院)
- 4) 着霜をともなうフィン付管群形熱交換器の特性に関する研究(各列の熱伝達特性と
圧力損失について)
青木和夫、服部 賢(長岡技大)、*秋田浩市(長岡技大院)
- 5) 強制対流コロナ放電場における熱・物質移動
*多田幸生(金沢大院)、滝本 昭、林 勇二郎(金沢大工)

<講演概要>

1) 水平壁面の一部を一樣温度に加熱した発熱面の上方に、これと同一寸法の端面を持つ長方形物体(干渉板)が置かれた場合の自然対流を解析的に予測し、実験により確かめた。干渉板端面温度が周囲流体と同一の場合、干渉板を加熱板に近づけると熱的不安定による渦運動が発生する。

2) アルミ-シリコン合金は SiC 、 Si_3N_4 を混入した複合材料の熱拡散率と比熱を常温~400°Cの範囲で測定し、考察を行った。熱拡散率はセラミックス粒子混入率の増加に伴い低下するが、比熱は混入率にあまり依存しない。また、熱伝導率は250°C以上で上昇傾向を示す。

3) 偏心二重管環状部の発達した乱流において、平均速度と乱流強度(二成分)の分布を測定するとともに、測定点を双曲座標で表わすことにより実験結果を統一して表わす整理法が試みられた。平均速度と乱流強度の分布は内管の偏心による歪みを有し、偏心率に大きく依存して変る。

4) 着霜をともなう多列熱交換器では、上流部の熱・物質交換により空気温度と水蒸気濃度が下流に向って低下するため、霜相の成長が上流部と下流部で大きく異なる。結果として、熱伝達率と圧力損失は各列ごとに複雑に変化するが、これらはモデルを用いた解析によりよく予測できる。

5) 部分的に等温冷却された平行平板とその中心に置かれたワイヤ陰極との間に形成されるコロナ放電場が、層流の強制対流に重ね合わされた場合の電場、流れ場および温度場を解析し、実験との比較検討を行った。低 Re 域では二対もしくは一対の渦が発生し、伝熱促進効果が現われる。

参加者数 研究発表会 25名 懇親会 23名

(北陸信越地方連絡幹事 前川 博)

< お 知 ら せ >

(1) 第 22 回日本伝熱シンポジウム講演募集

開 催 日 昭和60年5月20日(月)～5月22日(水)

会 場 日本都市センター(〒102 東京都千代田区平河町2-4-1)

講演申込締切 昭和60年1月31日(水) 必着

原稿締切 昭和60年3月15日(金) 必着

講演申込先 〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学原子炉工学研究所内

第22回日本伝熱シンポジウム準備委員会

ただし、日本機械学会会員は、下記宛申込んで下さい。

〒151 東京都渋谷区代々木2-4-9 三信北星ビル内

日本機械学会企画室

講演申込方法

1. 伝熱研究本号の最終ページに添付されている申込用紙(またはそのコピー)、または、はがき大の用紙に「第22回日本伝熱シンポジウム研究発表申込」と標記し、(1)題目、(2)所属学協会ならびに会員資格・氏名(ふりがな、連名の場合は、講演者の頭に※印)・勤務先、(3)概要(100字程度)、(4)セッション振り分けのため、下記に示す分野1個と若干のキーワードおよび、(5)連絡先を記入し、整理費1,000円を添えて現金書留にて申込んで下さい。(できるだけ本号添付の申込用紙をご利用下さい)。

分野：強制対流、自然対流、沸騰、凝縮、蒸発、二相流伝熱、流動層伝熱、放射、熱伝導、熱物性、熱交換器、燃焼、その他

2. 講演は1名1題に限り、講演時間、討論時間は、それぞれ10分の予定です。ポスターセッションは行いません。
3. 講演の採否は準備委員会にご一任願います。
4. 前刷原稿：前刷集はオフセット印刷、原稿執筆枚数は1,927字(41行×47字)詰原稿用紙3枚以内、原稿用紙は準備委員会より講演申込者(講演者)宛送付します。
 - ご注意 1. 講演申込後の取消しは、準備と運営に支障をきたしますので、ご遠慮下さい。十分検討した上、お申込み下さい。
 - 2. 申込書と前刷原稿の題目や講演者に不一致が生じないように申込書の控えをお残し下さい。

(2) 北海道研究グループ講演会 (別紙)

下記の通り講演会を開催しますので、多数ご参加下さい。

日時 昭和60年2月9日(土) 13:30～17:00

場所 北見工業大学、機械工学科

講演

- (1) 固体平板上の燃焼伝熱に関する研究

丁藤一彦、谷口 博、小能正人、汪 昔寄(北大工)

- (2) 断熱材に水分蓄積を伴う場合の熱伝導特性

坂爪伸二、工藤 均(釧路工専)

- (3) 地下貯水槽の凍結防止に関する研究

稲葉英男、福田武幸(北見工大)

- (4) ユニット型およびハウス型空気式集熱装置の性能

金山公夫、馬場 弘(北見工大)

・講演終了後、懇親会を行います。

連絡先 〒090 北見市公園町165

北見工業大学 機械工学科 稲葉英男

TEL 0157-24-7786

(3) 九州研究グループ講演会 (別紙)

日時 昭和60年1月30日(水) 13:30～17:40

場所 九州大学工学部2号館生産機械314号室

- 講演 (1) 熱伝達を応用した管内流量および汚れ係数測定法
藤井 哲、※小山 繁、田中守也(九大生研)
- (2) 太陽熱による自然換気に関する研究
藤井 哲、小山 繁、※大城匡豊
ニカノール・ブエンコンセホ(九大生研)
- (3) ASME 冬期年会に出席して
※藤井 哲(九大生研)
- (4) 油・フロン系冷媒の混合液における沸騰熱伝達
※門出政則(佐賀大理工)
- (5) 負特性領域を含む高温伝熱試験装置の試作
伊藤猛宏、※高田保之、中島 肇(九大工)、白石典久(川鉄水島)
- (6) 英国の伝熱研究機関訪問記
※伊藤猛宏(九大工)

なお、講演会終了後18:00から懇親会を行います。是非ご参加下さい。
会費は2,500円です。

連絡先：九州大学工学部動力機械工学科

TEL 092-641-1101 EXT 5533

吉 田 駿

(4) 昭和60年度「熱工学講演会」開催のお知らせ

日本機械学会 熱工学委員会 合同企画
九州支部

開催月日：昭和60年11月13日(水)－11月15日(金)

〔ただし、13日は午後から〕

開催場所：『パシフィック・ホテル沖縄』

〔〒900 那覇市西3-5-1 Tel (0988)68-5162 〕

講演の種類：論文講演A、Bおよび要旨講演

〔ご注意〕 昭和60年4月より新方式講演会が全面的に実施されるのに伴ない、熱工学講演会も新方式に従うこととなります。昭和60年度熱工学講演会で論文講演(A、Bとも)を希望される方は、遅くとも昭和60年4月末日迄に、学会宛に論文を投稿する必要があります。その際、熱工学講演会での発表を希望する旨明記して下さい。なお、要旨講演の申込締切(原稿同時提出)は昭和60年7月10日(休)16時必着です。

その他：本講演会では、論文発表だけでなくフィルム・セッション、懇親会、見学会、カタログ展示等も企画しております。また、空路利用の方のための団体割引、宿泊施設の斡旋などの便宜をおはかりする予定ですので、できるだけ多くの方がご参加下さるよう期待しております。

1985


**International Centre
 for Heat and Mass Transfer**
 Belgrade, Yugoslavia

ICHTM Advanced Course

HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS

Sponsored by:
 United Nations Educational, Scientific
 and Cultural Organization, Paris
 Institute for High Temperatures,
 Moscow
 ENERCONWEST — Sarajevo
 The Boris Kidric Institute
 of Nuclear Sciences, Belgrade

Preliminary Programme

August 19—23, 1985
 Hotel Libertas
 Dubrovnik, Yugoslavia

1985


**International Centre
 for Heat and Mass Transfer**
 Belgrade, Yugoslavia

XVII International Symposium

HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS

Second Announcement
 and
Call for Papers

August 26—30, 1985 **Notify change**
 Hotel Libertas
 Dubrovnik, Yugoslavia


**International Centre
 for Heat and Mass Transfer**

The general objective of the International Centre for Heat and Mass Transfer, founded in 1968, is to promote and foster international cooperation in the field of heat and mass transfer. This objective is achieved by the following special activities:

- organization of international symposia and advanced courses;
 - promotion of international cooperative research in the field;
 - promotion of the exchange of technical information and personnel;
 - publication of technical literature etc.
- The International Centre for Heat and Mass Transfer Council and the Executive Committee are leading scientists in the field from all over the world.

Institutional Members

American Geophysical Union; American Institute of Chemical Engineers; American Society of Mechanical Engineers; Associazione Termotecnica Italiana; Canadian Society of Chemical Engineering; Canadian Society of Mechanical Engineering; Chamber of Mechanical Engineers of Turkey; Chemical Engineering Group of New Zealand; Chinese Society of Engineering Thermophysics; European Society of Heat and Mass Transfer; Indian National Committee for Heat and Mass Transfer; Institution of Chemical Engineers, London; Institution of Engineers of Australia; Institution of Mechanical Engineers, London; Israel Institute of Chemical Engineers; Koninklijk Instituut van Ingenieurs, the Netherlands; Österreichischer Ingenieur- und Architekten Verein; Sociedad Argentina de Investigadores en Ciencia de la Ingeniería Química; Society of Chemical Engineers of Japan; Société Française des Thermiciens; Versin Deutscher Ingenieure; Yugoslav Society of Heat Engineers.

Scientific Council

U. Grigali (President), M. A. Styrikovich (Past President), W. M. Tolstunov (Vice President)

Executive Committee

C. J. Hoogendoorn (Chairman), M. A. Combarou (Vice Chairman), B. Berkovsky, A. E. Berglas, G. F. Hewitt, E. I. Knabekpasheva, Y. Mori, J. T. Rogers, D. B. Spalding, K. Stephan, B. X. Wang.

Secretary General: Z. Zarić
 Scientific Secretary: N. Afgan

(1) **ADVANCED COURSE
HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS**

Scope

The rapidly growing need of a rational and economical utilization of energy resources has required an intensive development of high temperature heat exchangers. These heat exchangers, both recuperative and regenerative, have been increasingly used in the power industry, chemical engineering, metallurgy, internal combustion engines, and facilities for recovery and regeneration of waste heat. The International Centre for Heat Research is realizing the importance of high temperature heat exchangers and is sponsoring the development of efficient technologies considered it expedient to hold an Advanced Course on High Temperature Heat Exchangers. The ICHMT has invited the leading specialists in this field from the USSR, Japan, Great Britain, FR Germany, the Netherlands, USA, to participate in the Advanced Course. The objective of holding the Advanced Course is a systematic exchange of information and design principles, properties of high temperature materials for such heat exchangers, and the experience in the operation of high temperature heat exchangers in various domains of the present day technology. The Advanced Course is intended to increase the level of professional skill of specialists in the field of power engineering, chemical engineering, metallurgy and materials science.

PROGRAMME

1. **INTRODUCTION**
by A. E. Shalidin (USSR)
High temperature heat exchangers and their role in modern energetics and technology.
2. **HEAT TRANSFER PROBLEMS IN HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS**
by A. A. Zukauskas (USSR)
General principles of calculation. Average temperature differences for various flows. Heat transfer coefficients. Radiation heat transfer and its role. Pressure drop in heat exchanger channels. Transient processes.
3. **HIGH TEMPERATURE RECUPERATIVE HEAT EXCHANGERS**
by E. D. Fedorovich (USSR)
Principal schemes and typical designs. Heat exchanger components and their calculation. Gas-gas heat exchangers. Liquid metal heat exchangers. Heat exchangers for gas turbines.

4. **CALCULATION OF HIGH TEMPERATURE REGENERATIVE HEAT EXCHANGERS**

To be announced (Great Britain)
Analytical and numerical calculation techniques for regenerators. Calculation of the effect of transient modes. Hydraulic resistance of apparatuses. Energetic and exergetic efficiency of heat exchangers.

5. **HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS FOR METALLURGY**

by B. A. Bekovkov (USSR)
Needs for oxidizing and reducing gases for metallurgy. High temperature heating as a mean for processes. Intensification. Various types of heat exchangers. Stock gases heat recovery by means of high temperature heat exchangers. Cost analysis.

6. **REGENERATIVE GAS REDUCTION PROCESSES IN HEAT EXCHANGERS**

by L. Blijsters, M. van de Vooede (the Netherlands)
Principal apparatus designs. Apparatus structures and types matrix heat exchangers with stationary matrix. Matrix operation under variable temperature conditions. Insulation and lining of regenerators. Materials and peculiarities of their behaviour in regenerators.

7. **HEAT EXCHANGER MATERIALS**

by Ju. A. Progov (USSR)
Metals, ceramics, composite materials, mechanical and thermophysical properties of high temperature materials. Behaviour of materials in heat exchanger components. Behaviour of materials in reductive and oxidizing media. Component fabrication technology.

8. **HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGER APPLICATION IN POWER ENGINEERING AND ENERGY TECHNOLOGICAL PROCESSES**

by E. E. Stipilin (USSR)
Oxidizer heating for high temperature installation. High temperature regenerators for the production of hydrogen. Steam reforming of methane. The use of recuperative heat exchangers in high temperature endothermal processes. Calculation of heat transfer in regenerators in the presence of chemical reactions.

9. **HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS FOR NUCLEAR POWER GENERATION**

by M. Della-Donna (FRG)
Types of nuclear reactors. Helium, sodium, liquid metal and molten salt cooled reactors. First circuit heat exchangers. Requirements to heat exchanger materials. Maintenance.

10. **HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS**

by R. Echiro (Japan)
Heat transfer augmentation: possibilities. Methods of heat transfer intensification. Heat exchanger surface extension. Turbulence of the flows. Possibilities for increasing of radiation heat transfer contribution. Heat exchanger with heat transfer intensifier; optimization.

11. **HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS FOR SOLAR TECHNOLOGY**

by F. Kreith (USA)
Direct contact of air to parabolic heat transfer. Light-weight, high-temperature design, thermal insulation, concepts for high temperature storage. Direct radiation cavity receiver design.

DIRECTOR OF THE COURSE

Acad. A. E. Shcherbin
Institute for High Temperatures
USSR Academy of Sciences
Korovin'skoe Choz'e
Moscow 127 412
USSR

FACULTY MEMBERS

- Prof. B. A. Bekovkov
Research Institute of Metallurgical Heat Engineering
Studencheskaya ul. 15
Sverdlovsk 62015, USSR
- Prof. M. Della-Donna
Kernforschungsanstalt Karlsruhe
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Postfach 3640
D-7500 Karlsruhe, FR GERMANY
- Prof. R. Echiro
Department of Mechanical Engineering
Tokyo Institute of Technology
4260 Kagayama 2-124
Meguro-ku
Tokyo 152, JAPAN
- Prof. E. D. Fedorovich
Central Boiler and Turbines Institute
Polibocheskaaya ul. 24
Leningrad 194021, USSR
- Prof. E. Kreith
Solar Energy Research Institute
Golden, CO 80401 USA, USA
- Prof. Ju. A. Progov
Ukrainian Research Institute of Refractory Material
Ul. Sudbova 19
Khar'kov 310044, USSR
- Prof. L. Blijsters
Den Dolech 2
3600 MB Eindhoven, THE NETHERLANDS
- Prof. E. Shcherbin
Institute for High Temperatures
Korovin'skoe Choz'e
Moscow 127412, USSR

Registration

The Registration form lists the schedule of registration fees for the Symposium. Registration includes a complete set of proceedings, which will be made available at the start of the Symposium. Members of the International Symposium are invited to obtain the registration form by writing either the Chairman of the International Symposium or the Scientific Secretary of ICHMT.

Contribution to the Symposium, Paper Selection and Deadline

Papers are invited to the subject area of International Symposium, within the scope of the sessions listed above. Persons wishing to contribute papers to this Symposium should submit their manuscripts to the Scientific Secretary by January 20, 1985. The abstract should be of suitable technical quality so that a reasonable judgement based on comparative merit may form the basis for selection.

The authors will be notified of the acceptance of their papers by March 1, 1985. Accepted papers will be required by April 15, 1985, and must be in English. At the time the authors will be given mats to finalize their typescripts.

All papers will be published and distributed to the participants at the Symposium in Dubrovnik, Yugoslavia. This book will be published by Hemisphere Publishing Corporation, Washington, D. C. USA.

Due to the limited time schedule, one copy of the abstract should be forwarded to the Chairman of the Symposium Organization Committee:

Prof. Y. Mori
Department of Mechanical Engineering
University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu, 182, Tokyo, JAPAN

One copy should be sent to the Scientific Secretary of International Centre for Heat and Mass Transfer:

Prof. Naim Afgan
ICHMT
P.O. Box 522
11001 Belgrade, Yugoslavia

Information on Symposium Sessions

At each session, an introductory lecture will be presented by an invited expert who will present a state-of-the-art report on the particular subject on the Session. The format of the sessions will be similar to earlier sessions. Papers which will be printed in advance and will be available to participants at the Symposium. The Proceedings will be published by:

Hemisphere Publishing Corporation
1010 Vermont Avenue, N. W.
Suite 612
Washington D. C. 20005, USA

The format of the Proceedings will be similar to earlier publications of this kind. These will be discussed after each paper. Short contributions within these discussion period should be arranged with the Chairman of the Session at which the contributions are to be made.

Symposium Committee Members

1. Prof. D. Cvetković
ENERGONWEST
Tvrniska 3
71000 Sarajevo
YUGOSLAVIA
2. Prof. R. Eceligo
Department of Mechanical Engineering
Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ohokayama, Meguro-ku
Tokyo
JAPAN
3. Prof. R. J. Hoags
Department of Chemical Engineering
The University of Leeds
LS2 9JT Leeds
GREAT BRITAIN
4. Prof. M. McEligott
Department of Aerospace and Mechanical Engineering
University of Arizona
Tucson, Arizona 85721
USA
5. Prof. H. Miyabe
Department of Mechanical Engineering
Meiji University
Yamate-cho
1-1-1 Hoshiminia
Tama-ku, Kawasaki City
Kanagawa
JAPAN
6. Prof. Y. Okamoto
High Temperature Engineering Laboratory
Japan Atomic Research Institute
Tokai-Mura
JAPAN
7. Prof. E. Schilling
Kernforschungsinstitut Jülich GmbH
P.O. Box 1913
D-5170 Jülich 1
FR GERMANY
8. Acad. A. A. Zukiavskas
The Academy of Sciences of the Ukrainian SSR
Levko Prospekt 3
23800 Vihnia
USSR
9. Prof. A. G. Bergles
Department of Mechanical Engineering
Iowa State University, Ames, IA 50011
USA

Place and Accommodation

The Course will be held at the Hotel Libertas, Dubrovnik. Dubrovnik is a city easily accessible by air, automobile or ship and the most celebrated medieval town on the Yugoslav Adriatic Coast. It was founded in the 7th century and is the oldest continuously inhabited city in the world. The whole town is enclosed by high stone walls. There are many museums in Dubrovnik, but the town itself is a museum, with history in almost every house. The International Dubrovnik Airport is situated 25 km from Dubrovnik. AK Terminal and Yugoslav Air Lines (JAT) buses connect the airport directly with the terminal. From the terminal to No. 7a and 7c are a direct connection to the Hotel Libertas.

Participants and accompanying persons will be accommodated at the Hotel Libertas. A category hotel Libertas is located in one of the most beautiful parts of the town facing the Lovrjenac Fortress and the island of Lokrum, with a view over the city ramparts. It is within 15 minutes walking distance from the old city and contains a swimming pool, tennis courts, a separate children's pool, outdoor swimming pool, separate children's pool, own beach, health centre with sauna, massage, solarium; bowling, billiards, boutique, hairdresser, small sales art gallery; large restaurant, taverna, sportive bars, night club, banqueting hall, convention hall, parking space and garage, with a car.

Reservation can be done by direct contact with the Hotel. The reserved capacity in the Hotel is limited to 100 persons, and there is an additional limitation on the number of single rooms. Priority will be given to those who first submit Reservation forms. The special price for Advanced Course participants are:

Hotel Libertas, per person, per day:	US \$ 88.50
Demi pension, single room (bath/balcony) sea-viewed	US \$ 48.50
Demi pension, double room (bath/balcony)	US \$ 46.50
Demi pension, double room (bath/balcony)	US \$ 44.50
Addition for full board expenses	US \$ 8.00
Deduct for room plus breakfast	US \$ 8.00
Hotel taxes per day per person	US \$ 0.80

Participants are asked to make their reservation by use of the attached form, which is to be sent directly to Hotel Libertas, not later than July 15, 1985. Please note that participants attending the Advanced Course are responsible for their own hotel reservation. Hotel reservation forms and program for your convenience.

The address of the hotel is:
 Hotel Libertas
 Sales Department
 Att: Nida Hoizzo
 1. Lovrjenkova St.
 50000 Dubrovnik, Yugoslavia
 Phone: 274404
 Cable: LIBHOT, Telex: 275-88 LIBHOT

Hotel reservation will be confirmed after receipt of the Form, a deposit of US \$ 100 per person (which will be deducted from the hotel bill), and reservation fee of US \$ 4 (which will not be deducted from the bill). The deposit of US \$ 4 (which will not be deducted from the bill) will be done only by use of bank cashier checks payable to the bank account No: 31700-620-16-27530-1627, Dubrovacka banka. Participants from Yugoslavia are asked to transfer deposit of din. 1,500.00 by use of "opka uplatnica" to account No: 31700-601-1627, SDK Dubrovnik.

Cancellation and return of deposit: Cancellation that reach the hotel before July 1, 1985 will be returned in the whole amount, 50% of the deposit will be returned in the amount of 50% of the deposit when the cancellation reaches the hotel in the period from July 15, 1985 to five days prior to the beginning of the Advanced Course. Deposit will not be returned in those cases when cancellation reaches the hotel after this period.

REGISTRATION FORM



International Centre for Heat and Mass Transfer

I wish to attend the 1985 ICHMT Course on HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS

Name
 Affiliation
 Mailing Address
 Phone Telex

Registration Fee US \$ 600
 Make check or money order payable to:
 Account No: 7000-12-01-82102-5/62
 Jugobanka, M. Tita 11, 11000 Belgrade, Yugoslavia

- I am enclosing the total amount
 I will pay on arrival
 Bill my organization to the attention of

Name Title

Please return as soon as possible to:
 International Centre
 for Heat and Mass Transfer
 Secretariat
 P. O. Box 522
 11001 Belgrade, Yugoslavia

Advance Registration Form



International Centre for Heat and Mass Transfer

1985 International Symposium on HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS

Please check:

- I plan to attend
 I will submit an abstract

Schedule of fees:

Symposium Registration before May 1, 1985	US \$ 275
Symposium Registration after May 1, 1985	US \$ 300
Participant Presenting Papers	US \$ 250

Make check or money order payable to:

Account No: 7000-12-01-82102-5/62
 Jugobanka, 11, M. Tita, 11000 Belgrade, Yugoslavia

Name
 Affiliation

Title
 Address (mailing)

Please return as soon as possible to:

International Centre for Heat and Mass Transfer, Secretariat, P. O. Box 522, 11001 Belgrade, Yugoslavia
 My Organization is interested in participating in the exhibition. Please send further details when available.

HOTEL ACCOMMODATION FORM

**ICHMT Advanced Course on
 HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS**

Hotel Libertas
 Sales Department
 Dubrovnik, Yugoslavia

ICHMT Symposium on HIGH TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS

Please reserve me the following accommodation in connection with the above Symposium

Name Title
 Address
 Telex Phone Date Signature

Hotel Libertas

- Sea-viewed
 single single
 double double

Number of places in single/double room

Arrival day Departure day Number of nights

I enclose a deposit of US \$ (i.e. persons X \$ 100)

N. B. Prices are given in the Program. Please mark the desired number and category. Reservations will be confirmed after the receipt of this form, deposit of US \$ 100 and the reservation fee of US \$ 4.
 More detailed information on the hotel reservation can be found under the item Accommodation.

Hotel LIBERTAS
 Sales Department
 Att: Miss Neda TIOZZO

1. Lavčevićeva St.
 50000 Dubrovnik
 Yugoslavia

伝熱研究

Vol. 24 №92

1985年1月発行

発行所 日本伝熱研究会

〒113 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学工学部機械工学科気付

日本伝熱研究会

電話 03(812)2111 (代) 内線6322

振替 東京 6-14749

(非売品)