

Vol. 22
No. 85

1983
April

伝 熱 研 究

News of HTSJ

第 85 号

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

日本伝熱研究会第21期(昭和57年度)役員

会 長		青 木 成 文(東工大)	
副 会 長	(無任所)	大 谷 茂 盛(東北大)	
	(事務担当)	秋 山 守(東大)	
地方連絡幹事	北 海 道	齊 藤 函(室蘭工大)	
	東 北	幾世橋 広(東北大)	
	関 東	田 中 宏 明(東大)	
	東 海	藤 田 秀 臣(名大)	
	北陸・信越	竹 内 正 紀(福井大)	
	関 西	中 西 重 康(阪大)	
	中国・四国	角 田 敏 一(広島大)	
	九 州	伊 藤 猛 宏(九大)	
幹 事	遠 藤 一 夫(北大)	石 黒 亮 二(北大)	
	千 葉 陽 一(一関工専)	山 田 悦 郎(秋田大)	
	前 田 昌 信(慶応大)	蜂 巢 毅(日立)	
	山 田 幸 生(機械技研)	齊 藤 孝 基(東大)	
	宮 内 敏 雄(東工大)	菱 田 幹 雄(名工大)	
	荒 木 信 幸(静大)	宮 下 尚(富山大)	
	前 川 博(新潟大)	片 岡 邦 夫(神戸大)	
	菊 地 義 弘(京大)	荻 野 文 丸(京大)	
	加 茂 信 行(大阪府大)	古 川 哲 郎(日立造船)	
	千 葉 徳 男(広大)	宮 本 政 英(山口大)	
	藤 井 丕 夫(九大)	曾 田 正 浩(三菱重工)	
	門 出 政 則(佐賀大)		
監 査	岡 本 芳 三(原研)	根 井 弘 道(東芝)	
第20回伝熱シンポジウム準備委員長		藤 井 哲(九大)	
第21期「伝熱研究」編集委員長		永 井 伸 樹(東北大)	
第16回伝熱セミナー準備委員長		安 達 勤(筑波大)	

伝 熱 研 究 目 次

<日本伝熱研究会20周年記念特集を読んで>

故橋藤雄先生の思い出	河村 洋(原研)	1
------------	----------	---

<解 説>

伝熱を視る—感温液晶の応用—	笠木 伸 英(東大・工)	4
深部地殻熱エネルギー利用技術の現状と将来	川島 俊 夫(東北大・工)	12
	阿部 博 之()	12

<研究トピックス>

集雪冷房システム開発のプロフィール	梅村 晃 由(長岡技科大)	23
半透過性流体を用いる体積受熱型ソーラー コレクターの伝熱特性	架谷 昌 信(名大・工)	28

<海外大学・研究所紹介>

イギリスとアメリカの大学院教育と研究	長野 靖 尚(名工大)	36
太陽エネルギー研究のメッカを訪ねて	斎藤 武 雄(東北大・工)	39

<お知らせ>

(1) 第20回日本伝熱シンポジウム	45
(2) 第17回伝熱セミナーのお知らせ	73
(3) 第4回日本熱物性シンポジウム開催の御案内と講演募集	76

<編集後記>

故 橋藤雄先生の思い出

河 村 洋(原 研)

前号の伝熱研究会20周年記念特集号の中に故橋藤雄先生のお名前を随所に拝見し、この筆をとりました。前号に寄せられた諸先生の寄稿から、橋先生が伝熱研究会の設立と発展にお力を尽されたことがよくわかります。私が先生にお世話になり始めたのは昭和39年秋からで、しかも当時は学生であったので、伝熱研究会に対する橋先生のご尽力を先生の側から描くことは、私には残念ながらほとんどできません。

橋先生と伝熱研究会を結びつける当時の思い出といえば、私が大学院学生としてお世話になり始めた40年春の間もないころ、先生が「今日は伝熱シンポジウムというのをやっているのだが、君も一応伝熱を研究しているのだから、そういう会をやっていることぐらいはおぼえておいてほしいネ」とおっしゃったことです。それで私も聞きに行ったのが、今にして思えば都市センターでの第二回伝熱シンポジウムでした。そのとき橋先生は、留学生の謝さんと連名で「噴流を受ける平板の熱伝達(沸騰を伴う場合)」のご講演をされる予定でしたが、時間になってもお出でにならず、座長(記録によれば佐藤俊先生)のご指示により、謝さんが突然のことにとまどいながら、多少不自由な日本語でやっと発表をされました。その後討論があり、謝さんがとうとう答えにつまってしまった時、突然うしろの方で橋先生が立上って一言二言発言されたのをよく憶えています。

またいつの機会にか先生が、「伝熱研究会を学会にしようという話もあるが、あれは研究会でいい。学会をそんなにくつも作っても仕方がない。」とおっしゃっていた記憶もあります。これが、前号に小笠原先生、水科先生、栗野先生もお書きになっている基本思想であったのだと思います。

橋藤雄先生は、昭和11年に東大機械科をご卒業になり、航空研究所等を経て、昭和20年に東大第二工学部助教授に任官され、その後東大生産技術研究所の教授、昭和38年からは工学部原子力工学科の教授を務められました。

私のはじめて橋先生にお目にかかったのも、原子力工学科での「原子炉熱工学」というご講義のときでした。最初の講義のとき、デンネツというのは熱を伝えると書くのだというお話をされ、「私が伝熱をやっているというと、たいていの人は、『あつ電熱器のご研究ですか』というが、電熱器じゃなくて『伝熱』というのは学問なんだからネ」とおっしゃったのをよく憶えています。

私事にわたって恐縮ですが、私が伝熱の研究をはじめたのは、この講義の中で先生から、「バ

ーンアウトについてはまだ何もわかっていない。」というお話を聞いたのがきっかけでした。「研究がないのですか。」と質問したところ、先生は、「いや論文は背の高さくらいあるんだよ。」とおっしゃいましたが、当時の私にはその意味がよくわからず、不思議でなりませんでした。今ならきっと、「論文は霞が関ビルの高さくらいあるんだよ。だけどやっぱりわかっていない。」とおっしゃるにちがひありません。

いつか大学院の学生で、ある解析を主とした英文のテキストの輪講をしたい、と先生に申し出たことがありました。先生は反対はされませんでした、「しかし、伝熱があれだけだと思っ

てはいけないよ。」とおっしゃったことが忘れられません。

先生の伝熱研究に対するお考えの根本の一つは、現象は本来複雑なものだ、ということであったと思います。したがって、たまに自分ではよいと思う実験結果を出し、これでやっと一つ問題が解決したと思っ

て意気揚々と先生のところに押しかけると、必ず、「本当にそうなのかね、君」と云われて、私が思いもしなかつたような点をいくつも指摘されたものでした。

私はこの数年来、乱流モデルなるものを使って伝熱の解析をしておりますが、この仕事は複雑な乱流現象を簡単なモデルで表わしてうまく合いましたというもので、橘先生にはなんとなくご報告しづらい気がしています。というのは、以下のような事態になってしまうことが、ありありと目に浮ぶからです。橘先生：「ところで君、そのモデルに未定定数はいくつあるの。」、私：「8個です」、橘先生：「そんなにあったらネ、君、どんな実験結果でもうまく合わせられるヨ。」、私：「いえ、未定定数といっても、大体は乱れの強さや渦の大きさから見当がつく訳で……。」、橘先生：「そんな見てきたようなことを云うけどネ、本当はそんなに簡単なものじゃないんだヨ」

橘先生はお人柄はとくに円満な方でしたが、研究についてはこんな風に本当にきびしい方でした。私もこんな見方を忘れないことが、橘先生から伝熱研究の手ほどきを受けたおかげであると思っ

ています。

橘先生がお亡りになって、昨年で十年となりました。そのため昨年は、一色、甲藤両先生など橘先生とご深交の厚かつた先生方にもお出でいただき、秋山、棚沢両先生を発起人とする門下生一同でささやかな記念会を催し、小さな追悼集を刊行しました。伝熱研究会はちょうど20周年ということですから、力を尽されたこの研究会の成長を橘先生は半分しかご覧にならなかったこととなります。それが残念でありませんが、昨今の伝熱研究会の発展を、橘先生もきっと喜んで見ておられることと思っ

日本伝熱研究会20周年記念特集（Vol. 22, No. 84）の中でミスプリント等がありましたので、下記のように訂正いたします。（編集委員会）

頁		誤	正
35	本文4行目	高塚	富塚
"	9行目	故田中敬吉教授（日本大学理工学部名誉教授）	（ ）内削除
"	21行目	高塚先生	富塚先生
36	15行目	39,600発	39,600台
37	1行目	裏通りあった	裏通りにあった
"	1行目	慣し	慣わし

（附記） 田中敬吉先生は当時東京帝国大学教授であった。戦後、千葉工業大学、名古屋大学、上智大学理工学部教授を歴任されて既に故人とられました。（栗野誠一）

伝熱を視る 感温液晶の応用一

笠 木 伸 英 (東大工)

1. はじめに

筆者は、近年感温液晶を伝熱あるいは流れの実験に応用することを試みてきたが、本稿では液晶についての基礎知識ならびに応用技術について概説し、伝熱研究会会員諸氏の御批判を賜われれば幸いと思う。

温度計測の立場からは感温液晶も広い意味で温度計の一種と言えよう。現在温度計測の手法としては数多くのものが実用されているが、ここで紹介する液晶はある面や空間にわたってある時刻の温度分布を知りたい場合に有利である。液晶は、手軽に使用できること、比較的安価であること、実験装置に対して特別の要求を持たぬこと、流れや温度場へ与える影響が小さいこと、適切な使用条件での測定精度・分解能は多くの場合十分満足しうるものであること等の点で優れていると考えられる。

2. 液 晶

液晶の物理的、化学的性質等の詳細については他の文献^[1~5]を参照されたい。有機化合物の結晶はそのほとんどが光学的異方性を示すが、通常は加熱すると融点で融解して等方性の液体となる。しかし、ある種の有機化合物には等方性液体と結晶体の中間状態を有するものがあり、これを液晶 (Liquid Crystal 又は Mesophase) という。なかでも結晶と等方性液体となる温度の間のある特定の温度領域で液晶状態となるものをサーモトロピック (thermotropic) 液晶とよぶ。又二種の物質を混合して液晶状態をとるものを混合液晶とよぶ。温度センサとして主として応用するのは、後述するコレステリック液晶物質同士の混合液晶である。^[6]

一方、液晶はその分子配列構造あるいは光学的性質から通常、(a)スメクティック (Smectic) 液晶、(b)ネマティック (Nematic) 液晶、(c)コレステリック (Cholesteric) 液晶、の三種類に大別される。この中でコレステリック液晶は光学活性 (旋光性) の液晶物質で、多くはコレステロール化合物である。コレステリック液晶の構造は図1^[7, 8]に示すように、分子の長軸が厚さ 3 \AA 程度の各分子層内に一方向に配列し、各分子層で配列方向が少しずつ回転している。この分子層の回転角は例えば 18000 deg/mm 程度、旋光性を有する石英で 20 deg/mm 程度であるから、^[7]液晶が非常に強い光学活性をもつことがわかる。このようなコレステリック液晶の薄層は特定の波長の光に対して選択性散乱を示す。この波長を決定する因子は、液晶物質、温度、光

の入射角、電磁界、圧力や剪断力、環境中の化学物質等であり、微視的にはらせん構造のピッチの変化に帰因しているが、この中で利用するのは温度に対する強い依存性である。コレステリック液晶は温度の上昇とともに、赤、黄、緑、青と、波長の短い領域へ色彩変化するものが多い。

前述したサーモトロピック液晶の中には、加熱冷却過程で可逆的に相変化を生じて液晶状態になる互変性液晶と、加熱冷却のどちらか一方の過程で液晶状態となる単変性液晶があるが、^[1]我々が利用するのは前者に属するものである。互変性液晶についても加熱冷却速度が早い場合、高温域でヒステリシスのあることが報告されているが、^[9]筆者の経験では少なくとも常温付近では他の誤差要素に比較して問題にならないと言える。さて、いくつかの液晶を混合して混合液晶とすることにより、呈色温度領域の異なる液晶を製作することができることが知られている。^[6]図2は、コレステリル・ノナノエイトに種々のコレステリック液晶を添加した場合の散乱光波長の温度依存性を示したものである。液晶の混合により、種々の呈色温度特性を有する液晶が得られることがわかる。従来コレステリック混合液晶は、 $-20\sim 350^{\circ}\text{C}$ の呈色範囲で製作されているが、^[10]現在のところ常温から大きくはずれる場合には後述する液晶マイクロカプセルの破壊が問題となるので、今後新たな技術が必要であろう。

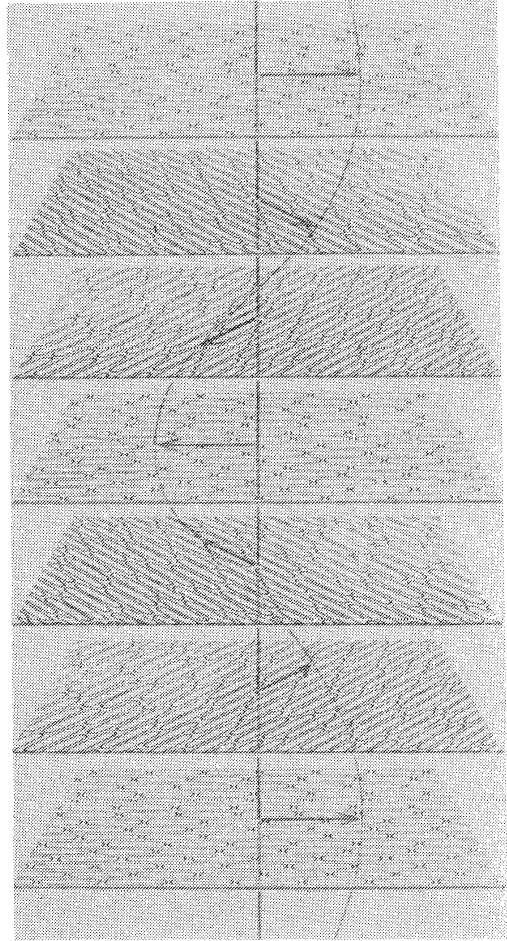


図1. コレステリック液晶の分子配列構造^[7,8]

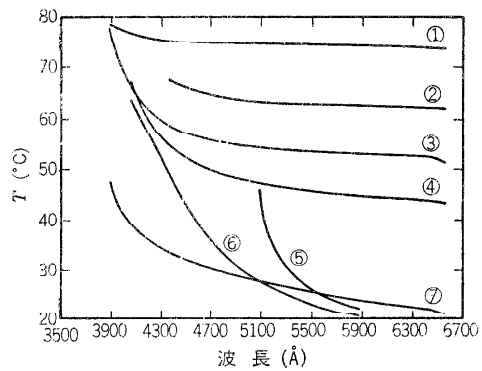


図2. 種々の混合液晶の散乱光波長の温度依存性^[6]

3. 液晶の応用

3.1 応用に関する基礎事項

一般にコレステリック液晶は化学的に安定な物質ではない。そこで、このような液晶の化学的汚染、物理的損傷を防止するために、通常ゼラチンとアラビアゴムを成分とする濃厚コロイド相によって径が5~30 μm 程度のマイクロカプセルに封じ込める手法がとられている。^[11~13]このようにマイクロカプセル化された液晶を用いると、温度分布の分解能は0.02mm程度と言われている。^[10]このような液晶マイクロカプセルを顔料とした印刷インキは国内でも市販されており、これをナイロン製スクリーンを介して固体表面に薄く塗布することが可能である。塗布された液晶層の厚さはスクリーンのメッシュサイズ、塗布回数によるが、約30~50 μm 程度で発色が良好である。又液晶マイクロカプセルを予めアセテートあるいはポリエステルフィルム上に印刷した液晶シート(厚さ100 μm 程度)も市販されている。筆者らは、液晶シートの熱抵抗と時定数を小さくするため、最近では厚さが約50 μm のシートを製作して使用している。

コレステリック液晶は前述のように選択散乱性を有するが、散乱光は円偏光の成分であり、他の成分の光はすべて透過するので、散乱光の観察のため背景を黒色にする必要がある。この際、使用する黒色塗料等は液晶を侵さないような成分を使う注意が必要である。

液晶の温度較正は通常液晶層に近接した細径の熱電対によって行なう。注意すべきことは、液晶の散乱光スペクトラムは光の入射角の強い関数であるから、光源及び観察位置を一連の実験を通じて一定に保つことである。このようにして較正された結果、液晶の感度の高いものを使用すれば $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 程度の精度は比較的容易に達成できると考えられる。

液晶を用いた実験における応答性については、この方面の研究は極く僅かしか報告がなく、^[14,15]それぞれの使用条件に応じたチェックを行なう必要がある。液晶の呈色の遅れには二つの要素がある。即ちコレステリック液晶のらせん構造がそのピッチを変えるための分子構造的な時間遅れと、液晶自身の熱容量に基づく伝熱的遅れである。^[15]前者については文献^[10,16]に若干の記述があるが、この方面の基礎的データはほとんど見あたらず今後の研究を待たねばならない。一方、伝熱面の非定常温度変化の追跡には液晶相の熱容量に基づく遅れが支配的である。これら二つの要素を含めた時定数の推定法については別の解説^[17]で触れているので参照されたい。予め応答性の解析を行なっておくことにより、可視化される温度変化の物理的意味は十分明らかになると考えられる。

液晶を用いた可視化実験の応用形態をいくつかの点から分類して表に示す。A-(1)では、通常マイクロカプセルの比重は1.02~1.03であり、例えば水には濃度にして0.1wt%程度混入すればよいので、流体の物性値変化も無視しつる程小さい。^[18]A-(2)では、固体面上に液晶を配備す

表 伝熱実験における液晶の応用形態

項目	分類	測定形態
A	(1) 三次元(空間)測定 (2) 二次元(面)測定	液体中にコレステリック液晶のマイクロカプセルを浮遊させる。 コレステリック液晶のインキを固体面に均一に塗布,あるいは液晶シートを貼る。
B	(1) 温度分布変動の測定 (2) 時間平均温度分布の測定	現象の時間スケールが液晶の時定数に比較して大きい場合。 現象の時間スケールが液晶の時定数に比較して小さい場合。
C	(1) 定性的パターン認識 (2) 定量的分布測定	肉眼による観察。またはカラスチール写真あるいはカラー映画による記録。 カラー写真あるいは単色光源による白黒写真。スチール写真あるいは映画による記録。

ると、いずれの方法でも50~100 μm 厚さ程度の熱抵抗層を付加することになるので、この点については伝熱学的配慮が必要である。B一(1)、(2)ではむしろ対象とする現象の時間スケールでその測定形態が決まってしまうことになり、B一(1)は例えば水流等、B一(2)では例えば風洞実験等ということになる。C一(1)は白色光の下での観察であり、色彩的にも美しく、又C一(2)に比べて情報量が多いと言えよう。局所的に温度勾配の大きな場所も判定可能である。一方、C一(2)では単色光源を用いると照射光のスペクトラムに対応したある特定の温度領域のみが輝くことになり等温線が瞬時に得られることになる。図2に示したように、温度・散乱光波長曲線は長波長域で水平に近づき一般に黄色から赤色の散乱光は極く狭い温度範囲で得られることになるので、この領域のスペクトルを有する単色光源の使用が良好な温度分解能を与えることになる。光源としてはナトリウム光源(5890 \AA)が良好で、再現性良く温度を検出できる。^[19]

3.2 感温液晶による温度場の可視化

コレステリック液晶の実用例は、温度、電場、化学的環境による光学的性質の変化を利用するものが報告されており、ディスプレイ装置、非破壊検査法をはじめとして多種にのぼっているが、^[20] 伝熱あるいは流れの実験に応用された例は数少ない。^[17] ここでは著者の経験した実験のなかから二三の例を示したい。又参考までに、従来著者らが使用した液晶は、コレステリル・ノナノエイト、コレステリル・オレイル・カーボネイト、コレステリル・クロライドの混合液晶であり、これらの成分の配合割合により、発色温度域が異なるものである。被測定温度がどの程度の温度レベルにあり、どの程度の温度変化があるかによって、それぞれに適した呈色域を有する液晶を使用する必要があるが、緑色呈色温度が22~42 $^{\circ}\text{C}$ の範囲、呈色温度スパンが3~5 $^{\circ}\text{C}$ のものを多く使用している。

図3は高温ガスタービン翼の全面膜冷却セパルの壁温分布を前述のナトリウム光源を用いて可視化したものである。^[19] アクリル製厚さ25mmの平板に、内径 $d=12\text{mm}$ 、角度 30° の吹出し孔を5dのピッチで千鳥配列に開けてある。風洞出口のテスト部にこの冷却壁が据え付けられ、加

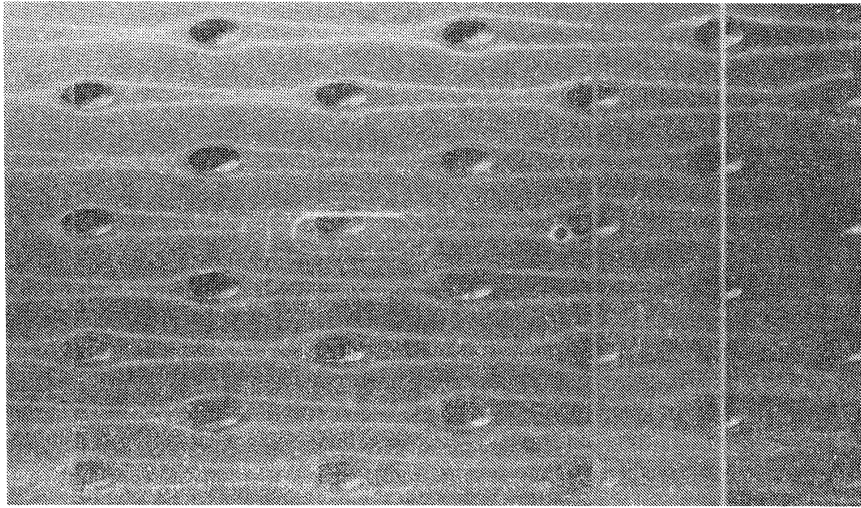


図3. 全面膜冷却壁上の等温線の可視化

熱された二次流が各吹出し孔を通過して 20m/s の主流側へ流出する。このような膜冷却の冷却性能は冷却効率 $\eta_w = (T_w - T_\infty) / (T_2 - T_\infty)$ 、(T_w ; 壁温、 T_2 ; 二次空気温度、 T_∞ ; 主流温度)、を用いて評価されるが、図に示された輝線は等温線即ちある値の等冷却効率線を表示している。液晶層の厚さは黒色塗料も含めて約 $100\ \mu\text{m}$ で一様であり、その伝熱的影響は無視しうる程小さい。実験では T_2 を変化させて種々の η_w に対する等冷却効率線を得ているが、測定された一連の値は十分満足しうる精度であり、その後のモデル計算結果とも良好に一致している。^[21]

図4,5は平板に衝突する空気の軸対称噴流の熱伝達を、平板上流に設置した多孔板によって人為的に増進した際の衝突板上の定常な温度分布である。^[22,23] 増進は激点熱伝達率で最大3倍程度にもおよぶ。 $Re_D = 5.2 \times 10^4$ 、 $H/D=2$ の条件下で、最大の伝熱増進を得るためには多孔板の孔ピッチ p/d あるいは衝突板との距離 δ/d に最適値が存在する。伝熱面は表面に接着された極く薄いステンレス鋼箔

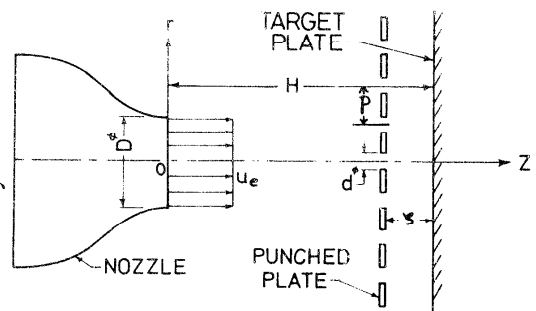
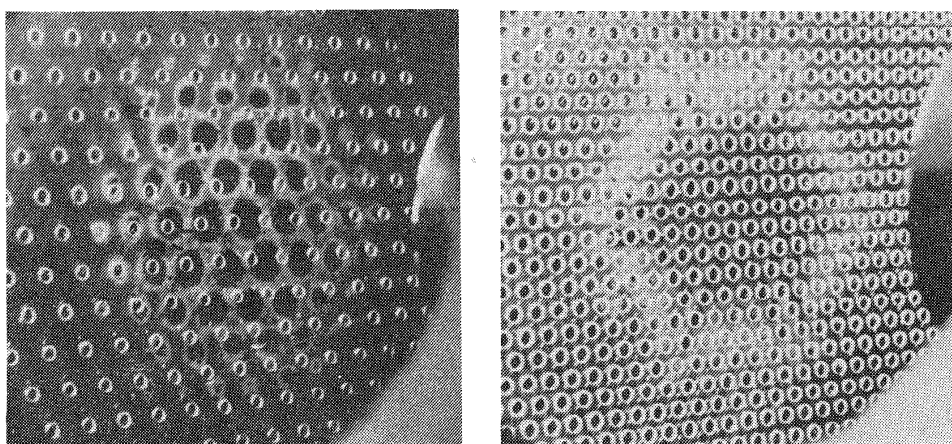


図4. 多孔板による衝突噴流熱伝達の増進



(a) $p/d=3.33, \zeta/d=3$

(b) $p/d=2.0, \zeta/d=2.0$

図5. 多孔板により誘起される伝熱面温度分布パターン

を直接通電加熱して等熱流束面としており、さらにその上に液晶シートを貼りつけてある。ここで興味深いのは、実験パラメータ $p/d, \zeta/d$ を微妙に変化させることによって種々の壁温分布パターンが現われることである。図5には二例を示したが、図中中央部の黒い部分は低温領域、白い部分は高温領域を示す。等熱流束壁であるから、これらの温度分布は局所熱伝達率の分布に直接対応している。

図6は、回流水槽テスト部で発達した二次元平板乱流境界層をつくり、その平板面を図5と同様に等熱流束加熱して非定常な壁温変動パターンを観察した結果である。^[25] 観察面のほぼ中央部は液晶シートの代わりに黒色のポリエステル膜を接着し、ここでは水素気泡法を用いて乱流構造の可視化を同時に行なっている。図中黒い部分が高温、白い部分が低温の領域である。乱流境界層の壁面近傍は流れ方向に長く伸びた縞状のストリーク構造が観察され、低速流体部分で高温縞が、高速部分で低温縞がよく対応して現われる。又水素気泡法では縞状構造の流れ方向の観察には限度があるが、液晶によれば温度縞が $1000 \sim 2000 \nu / u^*$ (ν : 動粘性係数、 u^* : 摩擦速度) 程度の長さにならって観察され、粘性底層近傍の乱流構造が予想外に流れ方向に長く伸びたものであること、そしてこの領域の伝熱機構はこれらの準秩序的乱流運動によって担われていることがわかる。

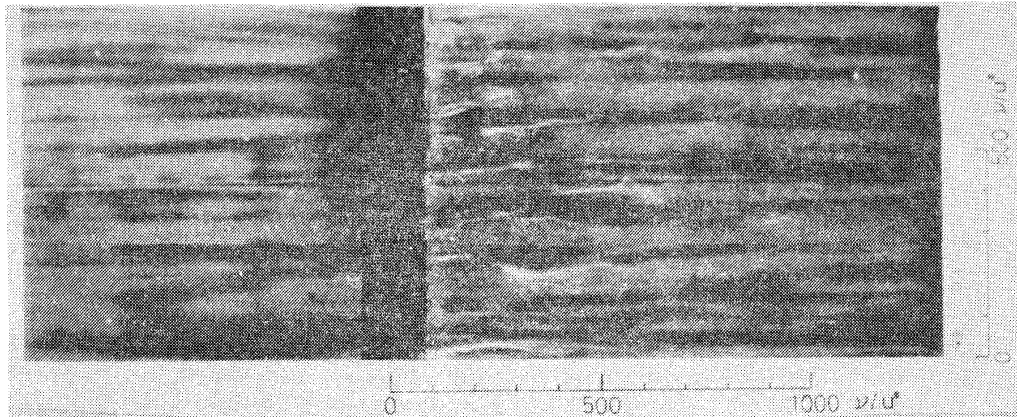


図6. 乱流境界層壁近傍の乱流構造と非定常温度場
($Re_{\theta}=990$, $u_{\infty}=0.20\text{m/s}$)

以上ここで示した計測例は、液晶を用いたことによって初めて可能であったものばかりである。使用方法等で今後とも検討すべき余地もあるが、伝熱屋にとって液晶が有益な情報を与えてくれることは間違いなさそうである。

4. おわりに

感温液晶の応用に関して、コレステリック液晶の性質、実用上の基本的事項について概説し、伝熱あるいは流れの実験への応用例を紹介した。特に、液晶による温度計測は、面あるいは空間の温度計測において、従来の方法に比べて非常に優れた点が多く見い出せること、そしてその温度分解能、精度、再現性、応答性等の点でも、適切な配慮のもとで十分満足しうる温度指示媒体であることを述べた。従来の応用例は未だその数は少なく、今後我々にとって液晶が一層身近になることによって様々な有効な応用法が開発されるものと考えられる。近年の画像処理技術の発展は目ざましいものがあるが、液晶という温度表示媒体がそれらの電子機器技術と結合されることも将来大いに期待されるところである。

参 考 文 献

- (1) 小林(編);液晶—その性質と応用、工業技術ライブラリー, 29(昭45),日刊工業新聞社
- (2) 立花他;液晶,共立化学ライブラリー, 1(昭47),共立出版
- (3) 中田,堀;液晶の製法と応用,(昭49),幸書房
- (4) Gray,G.W.;Molecular Structure and Properties of Liquid Crystals,(1969),Academic Press
- (5) Brown,G.H.;Advances in Liquid Crystals,1-3(1975-78),Academic Press
- (6) Ferguson,J.L.et al;Molecular Crystals,1(1966),309
- (7) Ferguson,J.L.;Scientific American,211-2(1964),77
- (8) Ferguson,J.L.;Molecular Crystals,1(1966),293
- (9) Dixon,G.D.and Scala,L.C.;Molecular Crystals and Liquid Crystals,10(1970),317
- (10) Lauriente,M.and Ferguson,J.L.;Electronic Design,15-19(1967)71
- (11) 久保,荒井;千葉大学工学部研究報告, 20-40(昭45)163
- (12) 小野寺;印刷雑誌, 55-2(昭47), 3
- (13) 植田他;印刷雑誌, 55-2(昭47), 11
- (14) Parker,R.;Molecular Crystals and Liquid Crystals,20-3(1973)99
- (15) Grodzka,P.G.and Facemire,B.R.;Letters in Heat and Mass Transfer,2(1975),169
- (16) Ferguson,J.L.;Applied Optics,7-9(1968),1729
- (17) 笠木;流れの可視化, 2-7(昭57), 647
- (18) 木村;第2回流れの可視化シンポ,(昭49),99
- (19) 笠木他;日機論(B), 48-430(昭57),1146
- (20) 古畑他;固体物理, 4-6(昭44), 1729
- (21) 笠木他;機講論, 820-17(昭57), 28
- (22) Ali Khan 他;第17回伝熱シンポ,(昭55), 37
- (23) Ali Khan,M.M.et al.;Heat Transfer 1982,3(1982),363
- (24) 入谷他;日機論(B), 48-435(昭57),2284.

深部地殻熱エネルギー利用技術の現状と将来

川 島 俊 夫 (東北大・工)

阿 部 博 之 (")

1. 深部地殻熱エネルギーと地熱発電の現状

1.1 深部地殻熱資源

21世紀のエネルギー需要に対処するために新しいエネルギー利用の開発が必要である。地球のごく表面をおおっている地殻には、地球内部からの熱伝導、放射性物質の崩壊、マグマの上昇による膨大な熱エネルギーが蓄えられている。いま地殻内に一辺4.5 kmの岩の立方体を考え、温度差100℃に相当する岩体の熱エネルギーをすべて有効に利用できたとすると、現在我が国で1年間に使用されている全エネルギーに匹敵する。すべてを有効に利用することはもちろん不可能であるが、地殻内に蓄えられている熱エネルギーが如何に大きいかを示している例といえる。

地殻の浅所の恵まれたごく一部では上述の熱エネルギーによる地熱流体が形成され、各国の開発対象になってきた。しかしより深部の、固体岩石内に蓄えられた普遍的なエネルギーに対してはこれまで人類の手が及んでおらず、米国や西欧などで最近注目しはじめた段階である。これまでの地熱開発の対象(≤2~2.5 km)に比して深部の地殻内の熱エネルギーを深部地殻熱エネルギーと称することにする。深部地殻熱エネルギー利用の開発・研究は少なくとも国家規模になるが、それには精力的な工学的基礎研究が必須である。解決しなければならない基礎的課題が山積しているからである。

1.2 地熱発電

地熱発電は数百mないし1 km程度の浅部の開発から近年少しづつ深部に準んでいる。現在稼動中から開発予定までの地熱井を図1のように分類する。頂点Aは地熱井(生産井)の出口において蒸気の形で熱エネルギーを利用できる場合である。この型では貯留層の水温が高く(250℃程度以上)、ときには蒸気の形で貯留されていることもある。坑井を上昇していく過程で減圧され蒸気になる。米国のガイザースや我が国の松

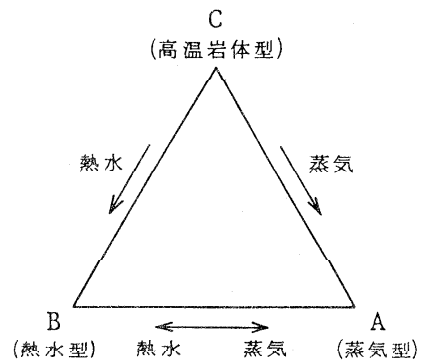


図1 地熱開発の型

川がAとみなせるかまたはAに近い。このように恵まれた地熱井は世界中でも数少ない。

頂点Bは熱水の形で得られる場合である。貯留層の温度はAに比して低い。熱水と蒸気の重量比を考えると、我が国の地熱発電所のほとんどはBに近い熱水卓越型である。熱水をフラッシュさせ蒸気にしタービンに送る方式が通常用いられるが、バイナリー発電やトータルフロー発電も考えられている。地上設備についていえば、我が国は世界中の大半を製作しており、現状および課題については解説⁽¹⁾,⁽²⁾を参照されたい。

AまたはBからCに近づくとそれぞれ蒸気量または熱水量が減少し、頂点Cにおいては坑井の深部の岩は高温であるが熱流体は得られない。いわゆる（乾燥）高温岩体（HDR）である。

熱水卓越型の開発にブレーキをかけている要因に環境問題がある。天然の地熱水には種々の化学成分が含まれており、pHも大幅に異なる。またCaCO₃やSiO₂のようなスケールの問題、Asの処理の問題、冷却塔から放出されるH₂Sなどの不凝縮ガスの問題があり、これらが地域によって事情を異にする。現在開発中または有望視されている発電所予定地の多くは国立公園のような指定公園またはその近傍にあり、開発に制限を受けている。

地熱が原子力に比べて石油代替エネルギーとして極めて低い位置にいる理由に、資源量の推定が難しいことと共に上記の問題点がある。地殻内の熱エネルギーは膨大である。これは図1においてCの型を含んでいるからである。発電規模の拡大と共に地下深部に進んでいくが、CないしCに近い型の開発がますます要請されることになり、これは代替エネルギーとして主要な位置をしめるためにきけて通れない課題である。

なお地熱技術開発の問題点については最近の解説⁽³⁾があるので参照されたい。

2. 深部地殻熱エネルギー利用方式

2.1 大規模深部地熱発電

現在我が国で稼働中の地熱発電所は地下2 km程度までの浅部で熱エネルギーを抽出しており、発電所当りの出力は50 MW程度またはそれ以下である。方外国にはイタリアのラルデレロ（400 MW）、米国のガイザース（1000 MW）のように大規模発電所がみられる。

我が国においても昭和57年すでに九州の八丁原発電所において九州電力により地下3 kmでの蒸気の噴出試験に成功している。我が国の地下3 kmないし4 kmの深部には350℃以上の高温の蒸気や熱水を有する巨人貯留層の存在が予想されており、ツンシャイン計画の一環として「大規模深部地熱発電環境保全調査」および深部地熱資源探査技術の確立化をめざした「地熱探査技術等検証調査」が計画された。新エネルギー総合開発機構（NEDO）が中心

になり、昭和53年度から九州の豊肥地域、昭和55年度から東北の仙岩、栗駒の調査が始まっている。豊肥では3kmの近くまで掘削が進んでおり、巨大き裂が確認されている。大規模貯留層の存在を示唆するものであるが、巨大き裂を通過する掘削技術の確立が望まれる。大規模深部地熱発電所の完成までには種々の技術的困難を克服しなければならないが、その暁には1000MW級の発電所が複数実現するのも夢ではない。

2.2 高温岩体（HDR）発電

1.2節でのべた図1のCの型では地下の熱交換面として人工き裂を設ける方法が有望である。この方法は米国Los Alamos研究所（LANL）のSmithらによって提案され、我が国においても多数の雑誌で紹介されているので、ここでは原理を簡単に述べるのにとどめる。

まず入水井を掘削し、所定の温度の岩体に到達したのちに高圧ポンプを用いて水圧破砕（hydraulic fracturing）し、人工き裂を作成する。さらに水を供給してき裂を成長させ、必要な熱交換面積が得られたら出水井と結合する。

図2が高温岩体発電の模式図である。き裂は狭い空間であり、水はこの中を流れる過程で岩体から加熱され温度が上昇する。A、Bまたはそれらに近い場合に比較して、地下熱交換面の設計（面積の確保と寿命評価、出水温度の経年変化）法の確立がより近い将来に期待されている。また天然の地熱水を用いていないので、化学的諸問題が飛躍的に改善される。

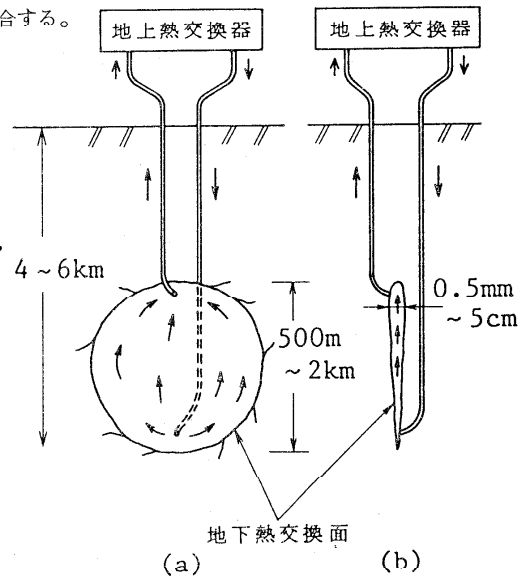


図2 高温岩体熱利用の原理

3 人工き裂利用技術と熱エネルギーの抽出

3.1 各国におけるHDR開発

3.1.1 米国 HDRの開発は1973年からニューメキシコ州のLANLにおいて開始され、1982年の研究費の総額は1500万ドルであり、66%を米国DOE、我が国と西独が17%ずつ

つ負担している。

才Ⅰ期(Phase Ⅰ)では地下約3kmの約200℃の花崗岩体中に小規模な人工き裂を作成し、入水井—き裂—出水井の循環テストを行い、1978年の才Ⅰ回テスト(75日間、3.1MWの熱出力)にはじまり、1980年の才Ⅴ回テスト(286日間、2.3MW)に成功している。人工貯留層の出口の水温は才Ⅴ回テストでは156℃—158℃—149℃であった。人工貯留層はすなわち地下熱交換面を構成しているき裂であるが、当初は図2の模式図に示したような単一人工き裂とこれに交差する数枚の天然き裂からなると考えられていた。種々の計測および検討の結果から、後には図3⁽⁴⁾のように、少なくとも3枚の垂直き裂からなると考えられるようになった。

才Ⅱ期(Phase Ⅱ)は才Ⅰ期を一まわり大きくしたもので、地下約4.5kmを対象としまだ小さいとはいえ実用規模の20~50MWの熱出力を目標にしている。EE-2、EE-3の2本の坑井を掘削し、水圧破碎による人工き裂の作成を試みた(図4)。EE-2井で水圧破碎を実施すると、才Ⅰ期からの類推でき裂は垂直上方に成長し、EE-3と結合するものと考えられていた。そこでEE-2内の数箇所において水圧破碎を行い、平行な数枚のき裂からなる多重き裂(multiple fractures)の作成が計画された。熱交換面積を大きくする必要があるのである。水圧破碎は昨年(1982年)ライナーおよびケーシングの直下部で実施されたが、得られたき裂の進展方向はいずれも予想からずれ、図4に示すように40~45度傾いた。

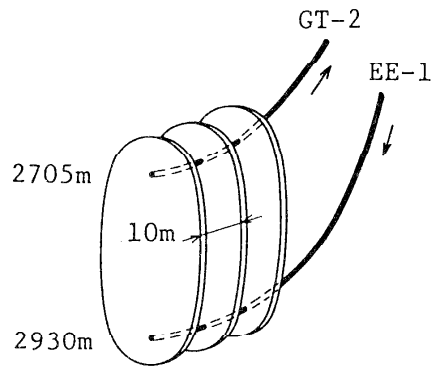


図3 LANL才Ⅰ期計画

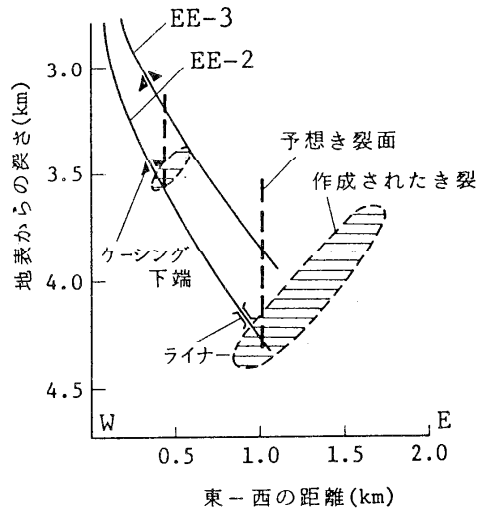


図4 LANL才Ⅱ期計画

上部のき裂はE E-3に結合しているように見えるが、紙面の垂直方向にずれており結合に至っていない(1982年末現在)、き裂とE E-3の結合の達成は時間の問題であるが、き裂進展方向がどのような理由で傾斜したか、き裂面をどのように設計していくか、については地下構造に対する固体力学、破壊力学に基づく今後の研究課題である。

3.1.2 その他の各国 英国ではエネルギー省およびECの援助のもとに、Camborne 鉱山大学が西部のCornwallでHDRの開発を行っている。才1期(1976-1980)の4本の坑井からなる地下300m級の小規模システムの開発を経て、現在の才2期では2km級を実施している。我が国と異なり地下の温度勾配が小さく、2kmで80℃である。水圧破碎に先立って火薬による破碎を行っており(図5)、ポンプ圧の軽減に効果がある。

LANLでは火薬は使用されていない。き裂はせん断モードで下方に進展すると考えており、加速度型センサーによる4点観測を行っている。出水温度は50~55℃である。才3期(1983~)ではさらに下方6km級の坑井を掘削し、出水温度200~220℃の発電を計画している。(7)このほかに1km級のHDRからの120℃の熱水を火力発電の給水加熱に利用し、発電燃料の節約を図る計画もある。

西独では複数の大学、研究所の共同プロジェクトチームによってHDRの研究開発が進められている。200~300

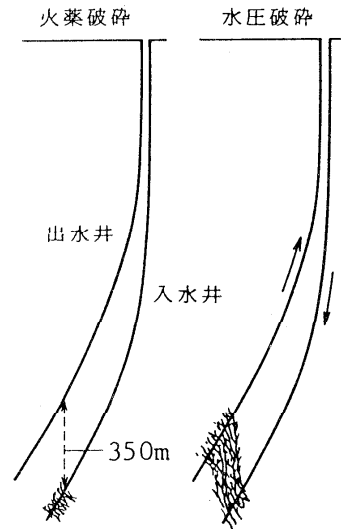


図5 英国のHDR開発

m級の「フィールド実験室」をつくり、き裂と坑井の結合、循環テストなどに成功している。温度が低く小規模ではあるが、基礎的技術の確立を着実に進めている。フランスの開発状況も西独と類似点が多く、100~250m級の坑井で種々の基礎技術の開発を図っており、人工き裂に加えて潜在き裂の利用も考えている。なお西独、フランス共に次の目標として4km級の開発計画をもっている。

我が国においてもサンシャイン計画の一環としてHDRの開発を行っている。岐阜県の焼岳地域で水圧破碎によるフィールドテストを実施しており、規模は西独、フランスとほぼ同等である。

3.2 熱水卓越地熱資源の地下刺激技術

水圧破砕法によって人工き裂を作成し、地熱エネルギーを有効に抽出しようという考え方は蒸気型、熱水型の地熱利用に対しても有効である。貯留層を目指して地下数kmの生産井を掘削したとしても貯留層との結合が不十分で生産量が過小であるか、全く得られない場合が少なくない。生産井と貯留層の連結のために人工き裂を利用する。また発電等に供した水を地下に戻す還元井に対しても十分な還元量を得るために人工き裂が有用である。この種の目的のために人工き裂を作成する技術を地下刺激技術という。生産井に対する模式図を図6に示す。

熱水卓越型資源の地下刺激技術について我が国は先進であり、その例を以下に示す。

北海道森発電所（現在稼動中）の建設過程において道南地熱エネルギー、ハリバートン（米国）両社による水圧破砕が行われた。水圧破砕は1978年7本の坑井、1980年3本と前回のうちの4本の坑井を対象に実施され、生産量や還元量の増加に優れた成果が認められた。一例として、後に地下で連絡していることが判明した2本の坑井の生産量の変化を図7(5)に示す。

上記の例は水圧破砕の有効性を示しているが、まだ実施前にならずとも成否を予測できる段階ではなく、必要な大きさのき裂を必要な場所に作成するき裂の設計はこれからの課題である。

なおツンシャイン計画の中で水圧破砕用ポンプや破砕用液の開発が進められている。

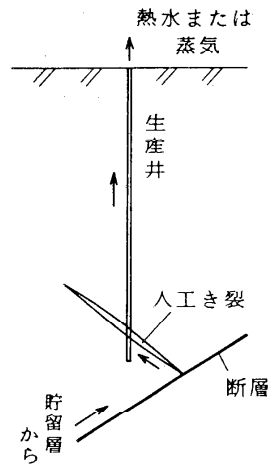


図6 水圧破砕による地下刺激技術

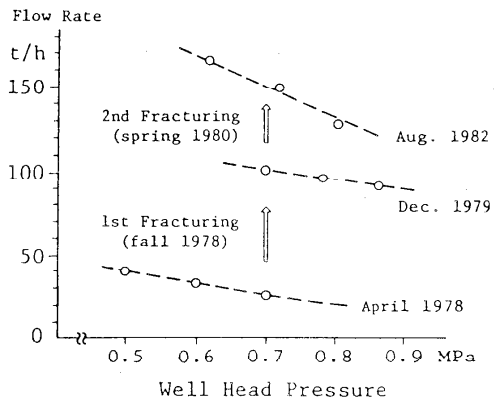


図7 森発電所における水圧破砕の例

4 深部地殻熱エネルギー抽出技術の課題

4.1 深部掘削技術

深部掘削ではまずビットの耐熱、耐摩耗性の工夫が材料、構造両面から要求される。ビットの交換回数を大幅に減らす必要がある。また傾斜掘りに際しての坑井の方位の検出を実時間で把握することも掘削費用軽減から考えなければならない。以下問題点を項目別にのべる。

掘削装置については今後の研究課題として次のようなものがあげられる。(8)

- (1) 掘削装置の組立、解体、運搬の能率化。
- (2) 揚管、降管時のパイプハンドリング装置。
- (3) ドリルパイプのねじ締め、戻し遠隔操作。
- (4) 自動掘進装置。揚降管の不要な掘削装置。

掘進効率のよいローラカッタビットがキとして使用されているが、ベアリングと刃先寿命の改良が急がれる。一方高温対策として構造上軸受を必要としないソリッドビットの開発も望まれる。掘管の検討課題には、継手の摩耗対策やアルミニウム合金等による軽量化がある。

泥水の代りに空気を用いて掘りくずの排出とビットの冷却を行うエアドリリング法が最近検討されている。蒸気層に達すると情報が入手でき対策がたて易いこと、蒸気層では掘進率が大きくまた寿命が長いこと等の利点がある。一方掘りくずの排出や耐熱対策に問題があり、今後の研究課題である。

なお新しい岩石破碎技術として、機械応力式のほか、熱応力方式や溶融方式等が提案されている。(8)

4.2 深部地殻熱エネルギー抽出システム

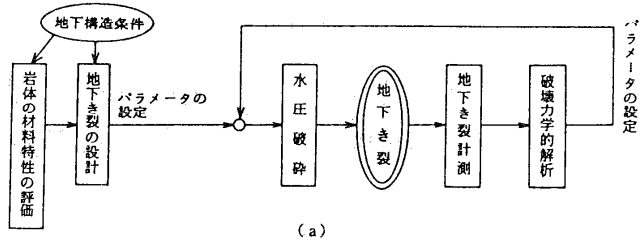
深部地殻熱エネルギーの開発においては、熱交換面（熱流体路を含む）としてのき裂面を設計し、これを作成し、さらに必要な年限にわたって制御・保持する技術を確認することが必要になる。地下熱交換面の作成および制御・保持システムを図8に示す。

この達成のために3種の分担研究課題Ⅰ～Ⅲが考えられ、それらの相互関係を図9に示す。

き裂の寸法および進展速度は破壊力学に基づいて評価されなければならない。破壊力学は元来機械、構造物の不安定破壊予知のために確立した学問分野であるが、熱抽出のための地下き裂においてはき裂をとりまく岩体が十分に大きいので、水の供給によって巨視的な不安定破壊を生じることはない。(9)

き裂内の水の流れや温度分布の解析が伝熱論や流体力学の式に基づいて行われ、木田を中心に多くの論文が発表されている。熱出力は熱交換面積に依存するが、熱交換面積すなわちき裂の面積はき裂進展を支配する地下環境下の材料特性値（破壊靱性など）、地圧、水圧、

＜地下熱交換面作成システム＞



＜地下熱交換面制御・保持システム＞

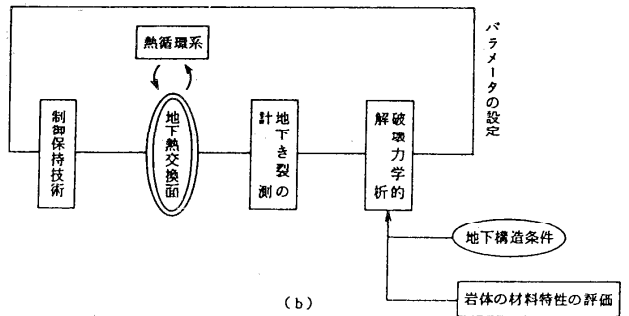


図8 深部地殻熱抽出システム

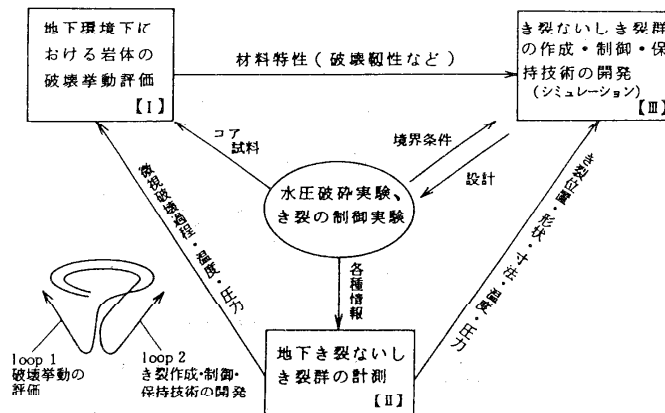


図9 熱抽出システム設計のための分担研究

熱応力に極めて敏感であり、したがって破壊力学の式をも連立させて解析する必要がある。機械工学を中心とした各学問分野の関連を図10に示す。

入水井（還元井）—地下熱交換面—出水井（生産井）の地下熱交換系を地下構造に応じてモデル化し、き裂群や熱出力の経年変化を予想するシミュレーション・システムの開発が主要な課題となる。なお図1の熱水型およびこれに近い場合は熱流だけでなく地中の熱水の対流

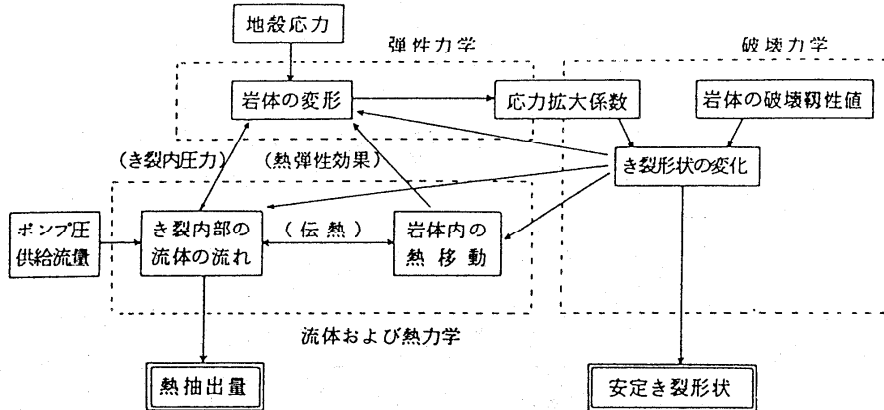


図10 地下き裂の挙動解析のための各学問分野とその相互関係

を考慮しなければならない。還元井をどこに設けるべきかの算定は現在の地熱開発においても要請されている緊急課題である。

必要な大きさのき裂を必要な位置に作成し、保持していくためにはき裂の大きさや進展状況を何らかの方法で計測する必要がある。LANLをはじめ欧米のHDRの開発ではき裂計測法が盛んに研究されている。現在AE（アコースティック・エミッション）法が有望であり、東北大学工学部の研究グループは熱水型地熱開発の水圧破砕時におけるき裂の進展を、1600m離れた地表近くに設置した加速度型センサー内蔵のゾンデにより、内外ではじめて

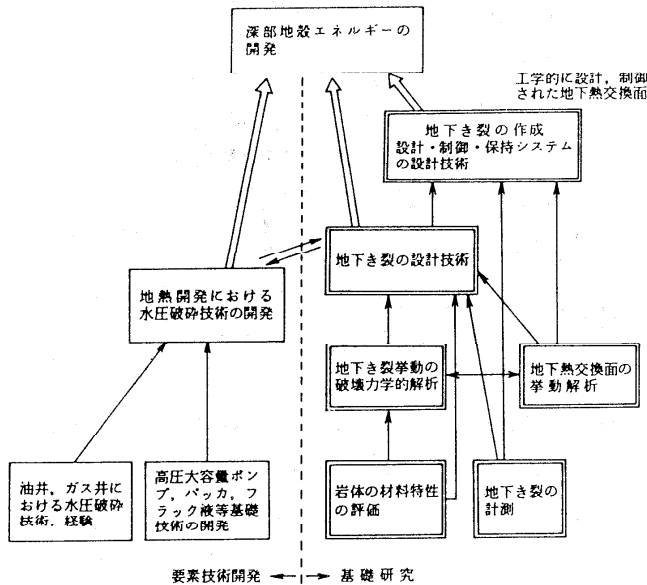


図11 地下熱交換面設計技術開発の流れ

計測することに成功している。(6)また生産井のバルブ閉止(ビルドアップテスト)時に、閉止速度によって地下き裂(天然を含む)が大きく進展することを観測している。(6)

地下き裂の大きさが水圧、熱応力などによって敏感に変化することをのべたが、その上地下水環境下において破壊靱性が低下するために長年月の間にき裂寸法が大幅に増大する。地下き裂を地表において常時観測し、熱交換面の位置、大きさを常時把握するための観測方法の研究・開発が必要である。

図11は地下き裂設計技術の流れを示しており、ナンシャイン計画等で中心となっている要素技術開発と大学向きの研究が結合してはじめて深部地殻熱エネルギーの開発が達成されるであろう。

4.3 日米科学協力事業セミナー

本報に直接関連する国際的な研究集會に昭和57年11月東京、仙台で開催されたセミナー「地熱開発のための水圧破碎技術」があるので紹介する。

地下構造に応じて熱交換面(熱流体路を含む)としてのき裂の設計・計測・監視・保持のために必要とされる基礎技術分野について、日米を中心に最新の研究情報を交換、討議する。さらに種々の型(図1参照)に対する熱エネルギー抽出システムの概念設計のために不可欠な今後の基礎研究分野を明らかにする。このような目的で日米科学協力事業セミナー(日本側:学術振興会, 米国側: NSF)が開催された。日本側の責任者は筆者の一人阿部と東大の平川教授, 米国側はNorthwestern大学のNemat-Nasser教授である。

討議課題として取り上げた柱となる四つのトピックを以下に示す。

TOPIC 1 Subsurface Structure and Hydraulic Fracturing

TOPIC 2 Rock Mass Properties in the Presence of Pressurized Fluid at Elevated Temperatures

TOPIC 3 Mapping of Subsurface Fractures

TOPIC 4 Simulation of Geothermal Reservoirs

米国からはこの分野のベストメンバーが参加し、オブザーバーではあるが西独、フランスのHDR開発のリーダーが出席した。上記トピックについていくつかの新しい考え方が発表され、き裂の挙動、保持方法などを中心に多くの討論があった。さらに特別セッションを設け、米国および西欧の最新のHDR開発状況と技術的問題点の紹介が行われた。発表された論文名および外国人参加者の内容要旨については筆者の一人による報告⁽¹⁰⁾を参照されたい。また全論文についてはプロシーディングスがオランダの出版社から刊行される予定である。

本セミナーは上記課題に関連して開催された最初の国際会議であり、関係諸先生のご支援により文字通り成功裡に終了したが、深部地殻熱エネルギー抽出技術を確立するまでには今後何回かのこの種の国際的な情報、意見の交換の場が必要となろう。

5 おわりに

深部地殻熱エネルギー抽出の構想は、これまでの地熱開発の対象深度をさらに進めた地下3～10 kmの未経験の領域に対する総合的な工学の挑戦であり、地下人工熱交換面の作成と保持技術に向けて目的を明確に絞った工学的基礎研究と掘削技術を含む関連新技術、材料、装置等の開発を必要としている超大型規模の開発・研究である。とくに基礎研究の分野は学問的にも未知の部分が多くまた学際的であり、大学の関連各分野の研究者の共同研究によって推進するのが効果的である。

東北大学工学部においては機械、電気、化学工学、資源の各学科、基礎工学教室、材料強度研究施設の研究者からなる研究グループG E E Eを組織し、地下き裂設計を目指して多数の論文を内外に発表し、また多くの成果を得てきた。これには学部内や文部省エネルギー特別研究の諸先生のご支援によるところが少なくない。紙面を借りて感謝申し上げる。なお本報の記述にあたってG E E Eの何人かの先生にお世話になった。また本執筆は本学精密工学科永井教授のお勤めによるものであり、合わせて御礼申し上げる。

<文 献>

- (1) 秋葉, 日本機械学会誌, 84-752 (昭56-7), 633。
- (2) 森, エネルギー・資源, 1-2 (昭55-7), 15。
- (3) 陶山, 日本機械学会誌, 85-768 (昭57-11), 1229。
- (4) たとえば, Murphy, H. . First Japan - U.S. Joint Seminar on Hydraulic Fracturing and Geothermal Energy, Nov., 1982, Japan Society for the Promotion of Science and National Science Foundation, U.S.A., 343。
- (5) Katagiri, K. ほか2名, 同上, 19。
- (6) Niitsuma, H. ほか6名, 同上, 227。
- (7) Batchelor, A. S. ., Geothermal Reservoir Engineering Workshop, Stanford, Dec., 1982。
- (8) 高岡, 建設の機械化, 372 (昭和56-2), 56。
- (9) Abe, H. ほか2名, J. Geophysical Res., 81-29 (1976), 5335。
- (10) 阿部, 地熱技術, 8-1/2 (昭和58-1), 5。

集雪冷房システム開発のプロフィール

梅 村 晃 由(長岡技科大)

1. 研究開発の発端と経過

鋳物の凝固過程の熱物質移動を包括的に捉える研究の第1段階が終って、何か新しい顕著な結果を導いてやろうと思っていた矢先、新潟県の長岡市に新しい大学が出来て、そちらへ転任するという話が進んだ。昭和53年、第2次石油ショックのほとぼりのさめやらぬ時であった。新しい大学は創造性と実践性を標榜し、need-orientedな研究をという雰囲気が強かった。新しい特定研究費を獲得するため、服部賢先生らと話し合っただけで決めたのが、冬の雪の冷熱を夏の冷房に利用するシステムの開発であった。

集った教官は6人、1人を除いて雪を取り扱った経験はなく、雪国の出身者もいなかった。研究は不安に覆われていたけれども、新鮮さと自由とがあった。4月の学生受け入れから、大学発足の雑用に追われ続けたが、年が明ける頃には、ようやく一つの考え方がまとまった。メンバーの中にはその未熟さを懸念する人もいたが、本学の紀要の第1号に、「技術報告」として発表⁽¹⁾した。そして、その年の春には、日本伝熱研究会の北陸信越支部の講演会を本学の新しい講義室で開催し、ここでもお話しした。雪国の出身の、新潟大学の前川先生達からも、好評を寄せていただいた。

次の1年間はこの研究をどのように発展させて行ったらよいか模索の時代であった。いくつかの試みを行ったが、メンバーが統一的な方向に動き出すという状況はできなかった。我々自身ももっと雪を学び経験することが必要であると思われた。新潟大学に何人かの雪の研究者がおられる。また科学技術庁の雪害実験研究所もある。また、塩沢町には、国鉄の研究所もある。こうした所の研究者が定期的に集って我々に雪のことを教えて呉れると有難い。我々は学内に「積雪会」と呼ぶ雪研究者の組織を作り、上記の機関の人達に協力をお願いした。力強い賛同が得られ、逆に皆さんが会員になられて勉強が進んだ。

さて、上に述べた技術報告では、後に詳述する如く、約10平方キロメートルの市街部を対象として、そこから除雪した雪を集め、夏にその地域を冷房するという考えが示され、「集雪冷房システム」という名前を付けたのであるが、2年目には、服部賢先生らから、1つの事業所とか建物、極端には1戸の住宅を対象とするシステムが提案された⁽²⁾。そこで、今口では前者を集中システム、後者を個別システムと呼ぶことにしている。なお、後者は、ヒートポンプを用いて、地上の雪を解かして地下の水槽に氷を作り、夏は逆に地下の水を解かして地上の建物を冷房すると

いう考えを採用している。この意味で「潜熱交換融雪システム」と呼ぶが、本稿では詳細は省く。

3年目の昭和56年は、18年周期と云われる56豪雪の年であった。福井、石川、富山県で積雪の新記録が出た。長岡市ではそれ程ではなかったが、それでも2mを越す大雪であった。新聞やテレビが我々のシステムを大いに宣伝して呉れる。しかし、この内容は、構想だけで、裏付けの実体に乏しい。実行したいと思う実験や計算は多いが、金も人手も少ない。

とりあえず出来ることとして、冬から夏にかけて雪を貯蔵するときの融雪量を算定するための研究をした。地中にタンクを埋設して中の融雪を調べる実験と計算を行った。また、冬に街で集めた雪を貯蔵場までパイプで輸送することを想定して、雪水混相流の輸送の実験にかかった。はじめに雪輸送の管摩擦抵抗の測定を行った。4年目に入ると、最初に入学した学生が丁度修士の2年になった。彼等が修士論文のテーマとして、これらの研究を引き受け、それぞれ一つのまとまりを作って呉れた。⁽³⁾⁽⁴⁾

5年目すなわち昭和57年度は、新しい飛躍を始める最初の年になったように思われる。まず春には、本学に技術開発センターが開かれ、このシステムがその開発テーマの1つに決められた。なお、技術開発センターというのは、本学の設立の新構想の1つで、産学協同で、実用的なテーマの技術開発をするところ。頭脳と場所の一部は大学で提供するが研究費は専ら企業がもつというもの。僅かではあるが、いくつかの企業からも資金が得られる見通しができた。また、6月には、科学研究費の援助が、我々グループの関連テーマの一つに与えられることになった。それから、9月になると、長岡市議会が、この集雪冷房システムの開発のために、間接的ではあるが、何がしかの援助をすることを決めて呉れた。12月には、科学研究費エネルギー特別研究の第3回講演会に招いていただいた。⁽⁷⁾ エネルギーとして雪の利用が新しい計画研究テーマに入れてもらえるかも知れない。

2. 集雪冷房システムの組立て

我が国の日本海沿岸ほど雪の多いところに都市ができて例は稀である。それでいて夏の気温は結構高く、たとえば長岡市で、夏の平均気温は東京より僅かばかり高い。これらの都市において、冬の除雪は大変な苦勞であるし、夏の冷房用の電力が電力需要ピーク時の30%を越えるという事情は、東京とそれ程変らない。冬の除雪を助け夏の電力を節約することを目的としてこのシステムは組立てられた。

システム(集中システム)は、①街の中で除雪した雪を集める部分と、②その雪を貯雪場に送る部分と、③夏まで貯蔵する貯雪場と、④貯雪場から冷熱を街へ送る部分と、⑤冷熱を用いて建物を冷房する部分からなると考えられる。どの部分から先に考えてもよいけれども、全体がうま

く整合することが必要である。まず③の貯雪場から考えることにした。今日では断熱材のよいものがあるから、断熱タンクか倉庫を作ってここで貯蔵することもできるであろう。しかし、その建設費は高そうて、大量の雪のハンドリングも容易でない。そもそも雪の融解は、積んだ雪の表面から熱が流入するためであり、その解ける割合は表面積に比例し、体積に半比例すると思われる。それならば1ヶ所に大量に貯めればもちがよいということになる。そこで考えたのが雪ダムである。都市の郊外に適当な谷があれば、ここに堤を作って雪を貯め上面に適当な覆いをすれば十分に夏までもつてであろう。ハンドリングはどうするか。雪だけで荷役作業をするのは大変だから、水と混ぜてスラリー輸送の技術が使えないか。川越ら⁽⁵⁾や磯部ら⁽⁶⁾は、雪のパイプ輸送の試みを発表していた。うまくすれば、40%も雪を混入することができそうである。雪水の混合物をダムにポンプで送れば、ダムの中で雪は上に浮くだろうから、ダムの底から水を抜いて、これをまた街に送ればよい。つまり水はダムと街との間を循環し、雪は街からダムに力的に送られる。夏についてはどうだろうか、同じ様に水を循環するものとすれば、ダムでは雪を解かした冷水ができ、これが街に送られるから、この冷水を導入してファンコイルを回わせれば、冷凍機を用いずに建物の冷房ができることになる。つまり上記②の雪の輸送、④の冷水輸送は、街中の各集雪所と雪ダムとを結ぶ復線の配管網によることとなる。雪の水力輸送の技術開発は成功するものとして、そのコストは、トラック輸送あるいはコンベアー輸送とくらべてどうであろうか。小量ならとに角、大量ならパイプ輸送の方が安そうである。それに、夏の冷水輸送には、パイプ輸送が非常に有利なように見える。こんな次第で断熱被覆を施した配管網を敷設するという考えが固った。①の集雪部では、冬に道路や家敷で除雪した雪をどうやって、上記の輸送管に押込むかという問題が生れる。パイプは、その機能や敷設される地形を考慮すると、数気圧以下の加圧状態におかれるとみられる。ここに雪を押込む押し込み機の開発が、①の集雪部に関する大きな開発テーマとなった。更に、現に行われている種々の除雪作業が、この押し込み機の設置によって、どれだけ改善されるか。ここにもう一つの研究テーマがある。

3. 長岡市を対象とした試算

システムの具体的効果を知るため、代表的積雪都市である長岡市を対象として、その中心部の1×10 Kmの地域に上記パイプラインを敷設し、その郊外数Kmの谷間に貯雪ダムをおくことを検討してみた。

この都市では雪は、おむね12月の木から降り始め、3月下旬まで降り、積雪は4月中旬までである。しかし、その量と時期は年によって大きく変わることがあるので、どの時期にどれだけ雪を押込むか。それに対応してこのシステムには、どれだけの能力をもたせるべきか、ということ

は実際には難しい。しかし、ここでは、そうしたことの詳細に立入ることを避け、単純に1mの深さの有効積雪があり、その積雪の13%がパイプラインによって集められるとした。その時、1×10kmの地域から出る雪は40万トンで、この雪を720時間かけて運び出すものとすれば、排雪能力は約555トン/時である。雪は水の中に30%まで混入されるものとして、計算すると、冬期に送られる雪水混相流の量は約135万トン。水は循環するから、ダムは容積は110万トンあればよいと思われる。この輸送に必要な動力は910kW、電力エネルギーでは660MWhとなる。

ダムに貯えた雪が春から夏にかけてどの程度解けるかを知ることは極めて重要である。ところで、ダム中の雪の融解は、ダムの上面および底部から流入する熱と、暖い水が入り込むことによって持ち込まれる熱によって進行するものと考えられる。これらの熱をなるべく少なくするため、まず、ダムの上流から来る水は、ダムに入らないようにバイパス溝を設けて下流に落す。またダムの底を通して地下水の出入りが行われないように適当な止水工事を施す。更にダムの上面には、適当な断熱の覆いを設ける。この覆いを具体的にどのようにするかは、今探索中であるけれども、仮に、わらなどを積んで、5cmの静止空気層に相当する断熱が出来るものとすれば、ダムの上に降った雨がそのままダムの中に入ったとしても、かなりの雪が残る。すなわち、3月末に40万トンの雪と50万トンの冷水があったとすれば、9月末に、28万トンの雪と79万トンの冷水が残る計算となる。

上記の冷水を先の断熱パイプラインを用いて、街に送れば、各家庭やビルには、おむね6~10℃程度の冷水が供給され、ファンコイルで部屋の暖気を吸収して、ダムには15~20℃の水が帰って来る。この水で雪を融解して、再び冷水として循環すれば、結局、125m²のビル面積か、またはその約半分の面積の木造住宅の部屋の冷房ができる。1住宅が30m²の冷房を行うとすれば、約2万戸の住宅が冷房されることになり、奇しくも、この戸数は上記1×10km²の地域にある住宅戸数に匹敵する。

最後にこのシステムによって、冷房用エネルギーがどれだけ節約されるかを試算した。上記のダムは、街より約150m高い所に作ることにしているから、この揚程を利用して、水を捨てれば、夏の電力ピーク時には、短時間ではあるが、発電施設として使うことも可能である。しかし、普通は、ダムの中に残った雪を解かすため、冷水をダムに戻してやる必要がある。その立場で電力を計算すると、冷水の輸送とファンコイルの電力として、1330kWが必要である。もしも同じ冷房を、電気冷凍機で行えば、27,500kWとなり、電力は4.8%に減少したことになる。1シーズン全体の電気エネルギーでみると、冬の雪の輸送電力も加えて、1,560MWhであり、冷凍機を用いた値は1,650MWhであるから、エネルギー値で9.5%に減少したことになる。ちな

みに2.0円/MWhとすれば、年間約3億円の電気が浮くこととなる。

4. 将来に向けて

既に触れたごとく、年毎に異なる降雪量や夏の気温に対応して、どれだけの規模のシステムを設置して、どのように運転したらよいかを決めることは難しい。種々の関係データを集め解析しなければならない。また雪を送るための輸送機器、貯雪ダムの覆いなど、新しい装置や施設の開発も必要である。これらの開発は、勿論、大学だけで行えるものではない。企業と大学との協力が必要である。またこのシステムの性格上、公共性も強い。したがって国や地方公共団体の協力も得なければならない。

我々はお弱いなながらも一つのチームを作って、開発をスタートした。5年後に、このシステムの実用化の条件を明確に示す予定である。そのために、システムのコストの計算も始めた。

5年後に、日本海沿岸の多くの都市でこのシステムの適用が可能で、しかもそのコストが従来の方法に優るといふ結論が得られれば嬉しい。しかし、結論はもっと限定的になるかも知れない。……今は、その結論が得られるまで、研究資金が調達でき、研究が順調に進行するようにと祈る気持である。

参考文献

- (1) 梅村他4、長岡技術科学大学研究報告、1号(1979)、158頁。
- (2) 服部賢他1、特許公開、昭55-077934。
- (3) 川上他3、機講論、№820-14(1982-10、第60期、全国大会、流体工学)159頁。
- (4) 梅村他3、雪氷、44巻3号(1982)、141頁。
- (5) 川越他1、第9回自然災害シンポジウム論文集(1972)、103頁。
- (6) 磯部他2、雪氷学会秋季講演了稿集(1978)、149頁。

半透過性流体を用いる体積受熱型 ソーラーコレクターの伝熱特性

架 谷 昌 信 (名大工)

1. はじめに

自然エネルギーの一つである太陽エネルギーは、周知のごとく、その総量、環境適応性などの点で他のエネルギー資源にくらべ優れた特性を備えていると考えられているが、トータルとしてエネルギー密度が低いうえに、間接性がきわめて高いため、有効利用を計るうえで解決すべき問題点も数多く含まれている。このような太陽エネルギーの特質から、現在、ソーラーコレクターのR&Dに関する基礎研究は、主として、1)高集光システム、2)高速度・高効率収熱システム、および3)最適熱輸送・蓄熱システムの3つのテーマに大別・分割され、それらの個々について活発な研究活動が行われている。

従来、上述の主要3テーマのうち、ソーラーコレクターの高効率化に関連した研究が最も多く、2~3の基本型とそれに係る種々のバリエーションに関する考察も多く報告されているが、それらのほとんどは太陽のふく射エネルギーを吸収面上で面受熱し、そこから対流伝熱によって収熱作動流体へ熱を伝える方式になっている。これに対して、近年、収熱・作動流体にブラックリキッド^{1)~5)} 固体微粒分散ガス^{6), 7)}などの光学的半透過性流体を用い、太陽ふく射を流体内へ直接収熱する体積受熱型ソーラーコレクターが注目されつつあり、その有効性についての比較研究などが最近報告されるようになってきている。しかし、その特性を論ずるうえでキーファクターとなる伝熱特性については、現象の複雑さも相まってまだ十分に明らかにされているとは言えない。

本稿では、著者らが最近基礎的観点から検討を重ねている半透過性流体を流熱・作動流体に用いる体積受熱型ソーラーコレクターの概要を紹介し、その非定常伝熱特性について既存のソーラーコレクターなどと比較しつつ概説する。

2. 体積受熱型ソーラーコレクターの概要

いま、ソーラーコレクターの収熱・作動流体への収熱効率の本質的意味の理解を容易にするため、受熱面における総括的な熱収支を考える。ただし、断熱面として設計されるべき部分よりの熱損失は無視しうるものとする。受熱面へ入射する全日射フラックスを J_0 、再ふく射による放熱フラックスを R_0 、流体への収熱フラックスを Q_t 、受熱面からの対流による放熱フ

フラックスを q_c 、受熱面積を A_s 、太陽ふく射に対する受熱面の吸収率を a 、および再ふく射に対する受熱面の射出率を ϵ とすると、

$$A_s I_o = Q_t + A_s (R_o + q_c) \quad (1)$$

$$R_o = (1 - a) I_o + \epsilon \sigma T_s^4 \quad (2)$$

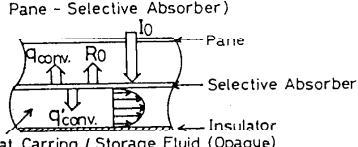
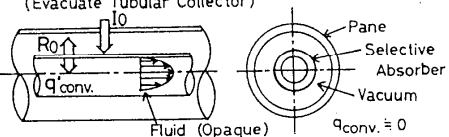
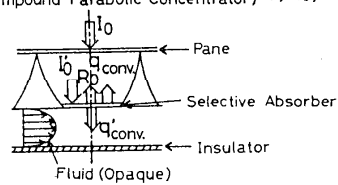
$$q_c = h_g (T_s - T_a) \quad (3)$$

したがって、収熱効率 E_f は、

$$E_f = \frac{Q_t}{A_s I_o} = a - \frac{1}{I_o} [\epsilon \sigma T_s^4 + h_g (T_s - T_a)] \quad (4)$$

上式より、 E_f を大きくするには、 a が大きく、 ϵ および h_g (または T_s) を小さくすればよいことになる。表 1 に代表的なソーラーコレクターとそれらにおける収熱機構をスケッチで示す⁸⁾ が、表中の(1)~(3)では、いずれも上述のことを基調として収熱効率を高めるために選択吸

表 1. 代表的なソーラーコレクターとそれらにおける伝熱機構

Classification of Conventional Solar Collectors	Sketch of Heat Transfer Mechanism
(1) Flat Plate Collectors Pane - Black Paint System Pane - Selective Absorber System Honey Comb System	(One Pane - Selective Absorber) 
(2) Tubular Collector	(Heat Carrying / Storage Fluid (Opaque))
(3) Evacuate Tubular Collector	(Evacuate Tubular Collector) 
(4) Concentrating Collector Sun - Tracking System Compound Parabolic Concentrator (CPC) Linear Concentrator (Fresnel)	(Compound Parabolic Concentrator) 7) 10) 

収板が受熱面に用いられたり、透過板と選択吸収板との間を真空にして対流熱損失の低減がはかられたりしている。なお、表中の(4)はエネルギー密度を高めるための集光システムを分類したものである。

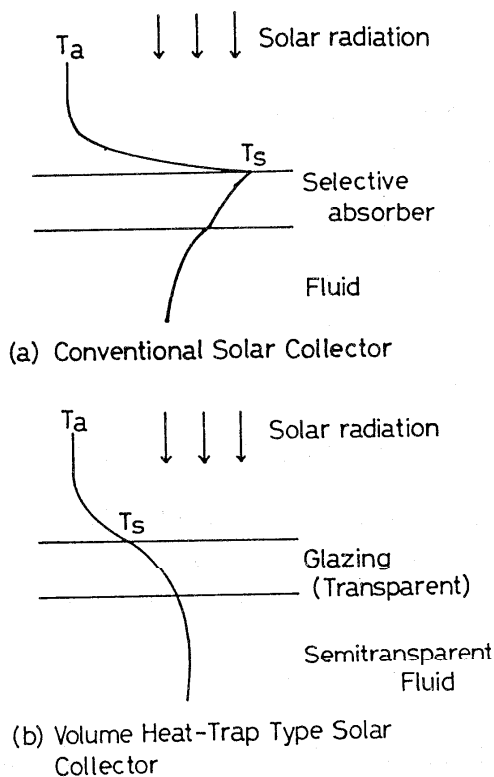


図1. ソーラーコレクターの収熱機構

図1は、面受熱方式のソーラーコレクター（図1-(a)）と体積受熱型ソーラーコレクター（図1-(b)）の収熱原理の比較を示したもので、表1に示した一般のソーラーコレクターはいずれも最終的には前者のタイプに属し、吸収板表面で温度が最高になるのに対して、後者のタイプは太陽ふく射を収熱・作動流体内で直接収熱する方式であるため流体内部で温度が上昇し、流体表面よりの熱損失が比較的容易に低減されるという特徴を有している。

著者らは、^{9~11)} これまで半透過性流体を収熱・作動流体に用いる体積受熱型ソーラーコレクターのR&Dに関する基礎研究の一環として、上部よりふく射加熱される半透過性液体層における定常および非定常伝熱特性について検討し、液体層へのふく射エネルギーの収熱速度および効率は液体層の光学特性（吸収係数、光学的厚さなど）に大きな影響を受けることを明らかにし、この事実に基づいて、半透過性液体層の光学特性をある程度任意に変化させる一つの方法として、固体微粒子を分散させた場合に関する基礎研究を行っている。以下に、固体微粒子分散によるふく射エネルギー収熱への効果について紹介を行う。

3. 理論的背景

図2に示すように、厚さBの水平な固体微粒子分散半透過性液体層が上部のふく射熱源よりステップ加熱される伝熱系を考える。熱源からのふく射熱流束はdiffuseとし、また液体層内

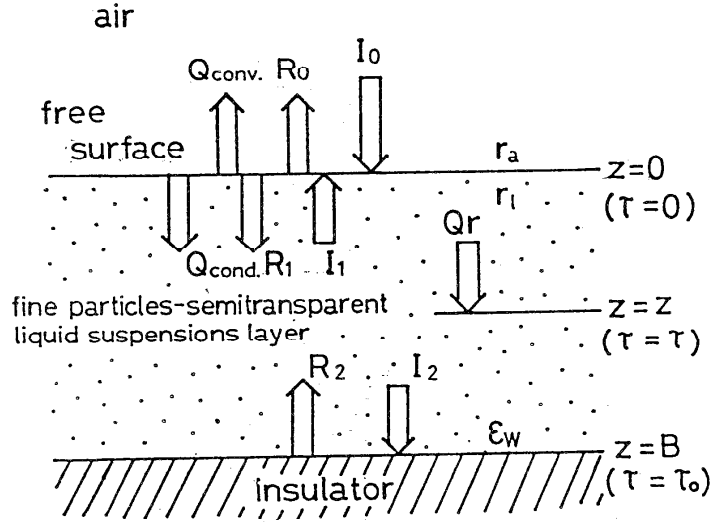


図2. 伝熱モデル

の熱移動は1次元ふく射・伝導共存系と仮定すると、非定常熱移動方程式は次式のごとく与えられる¹²⁾

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_\ell \frac{\partial T}{\partial z} - Q_r \right) \quad (5)$$

初期および境界条件は、

$$\theta = 0, \quad 0 \leq z \leq B; \quad T = T_0 \quad (6)$$

$$\theta \geq 0, \quad z = 0; \quad \lambda_\ell \left(-\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=0} + h_g (T_s - T_a) = 0 \quad (7)$$

$$\theta \geq 0, \quad z = B; \quad \lambda_\ell \left(-\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=B} + Q_r = 0 \quad (8)$$

B : 層厚さ, c_p : 比熱, h_g : 自然対流伝熱係数, T : 温度, z : 距離,

λ_ℓ : 熱伝導度, ρ : 密度

ここに、 Q_r はふく射熱流束で、散乱が無視しうるものとする¹³⁾

$$Q_r = \int_0^\infty \left[2 I_0 \lambda D_3(\tau_\lambda) + 2 r_{\ell\lambda} I_1 \lambda E_3(\tau_\lambda) - 2 R_2 \lambda E_3(\tau_0 \lambda - \tau_\lambda) + 2 \int_0^\tau \lambda E_{b\lambda} E_2(\tau_\lambda - \tau') d\tau' - 2 \int_{\tau_\lambda}^{\tau_0} E_{b\lambda} E_2(\tau' - \tau_\lambda) d\tau' \right] d\lambda \quad (9)$$

D_3 : 界面関数, E_2, E_3 : 指数積分関数, $E_{b\lambda}$: 単色黒体ふく射能,

$r_{\ell\lambda}$: 単色反射率, τ : 光学距離, λ : 波長

*この点については別途検討を行っている。

Γ_1 および R_2 は、それぞれ液体層下部から液面への照度（イラジエイション）および液体層底面から上部への射度（ラジオンティ）を表わす。

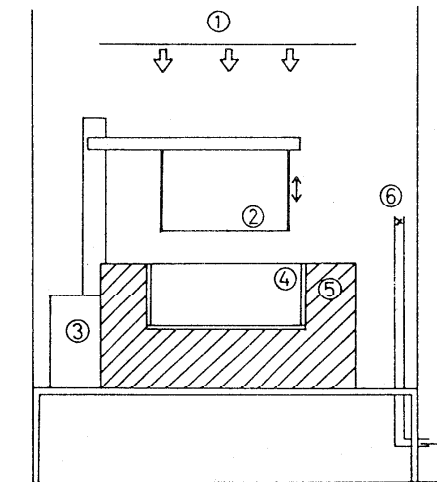
固体微粒子分散液体の単色吸収係数 $\alpha_{s\lambda}$ は、純液体の単色吸収係数を $\alpha_{s\lambda}^0$ とすると、次式のように固体微粒子分散濃度 c_g に対して線型近似できるものとする。

$$\alpha_{s\lambda} = \alpha_{s\lambda}^0 + \beta_{\lambda} c_g \quad (10)$$

理論計算は、熱源からのふく射フラックスおよび液体の吸収係数の波長依存性を Multiband 化することにより基礎式を差分化し、数値的に計算される。

4. 実験概要

現在用いている実験装置の概略を図3に示す。試料容器は、内径 95 mmφ、深さ 30 mm のガラス製円筒容器で、底面には厚さ 2 mm のグラファイト板が設置されている。また試料容器の底面および側面はガラスウールで断熱されている。ふく射熱源には、100 V - 125 W の赤外線ランプを用い、液体層内温度分布の非定常変化を、水平に張った 50 μ m 銅-コンスタンタン熱電対を可逆モーターで上部より定速降下させ X-Y レコーダー上に連続記録させる。装置全体はビニールシートで囲まれており、試料表面の空気相は自然対流条件下にある。



- ① Radiant Heat Source
- ② Thermocouple of Differential Type
- ③ Reversible Motor ④ Sample Container
- ⑤ Insulating Materials ⑥ Suction Thermometer

図3. 実験装置の概略図

5. 結果の大要

図4に分光光度計で測定した固体微粒子分散液体の吸収係数と分散濃度の関係を示す。図中

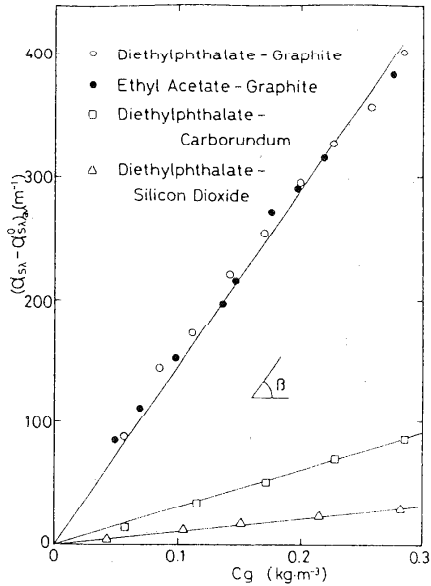


図4. 固体微粒子分散・液体の吸収係数

には、ジエチルフタレート-グラファイト系の他に種々の系における測定結果も示されている。これより、(10)式の近似が実験範囲内で有効で、固体分散により半透過性液体のふく射吸収特性をある程度任意に変化させることがわかる。図5は、赤外線ランプによりステップ加熱した場合の層内温度分布の経時変化に関する実験結果と理論計算結果の比較の一例を示す。図には固体分散濃度 $c_g = 0$ の場合の実験結果も併示されている。これより、実験結果と理論結果との間には良好な一致が認められるとともに、固体微粒子分散により液体層内の伝熱特性が大きな影響を受けていることがわかる。図6は、液厚み10mmで底面に厚さ1mmのアルミニウム板を設置した場合の分散液体層の平均温度と分散濃度との関係について、実験的および理論的に得られた結果を示したもので、ある分散濃度において平均温度上昇が最大になることが見受けられる。これは、分散濃度が低い場合には、入射ふく射が底面で反射され再び放出されるフラックスが増大し、逆に、高分散濃度域では表面温度の増大に伴い放熱量が増加するため、ある中間濃度で収熱量が最大となる点が存在するものと考えている。

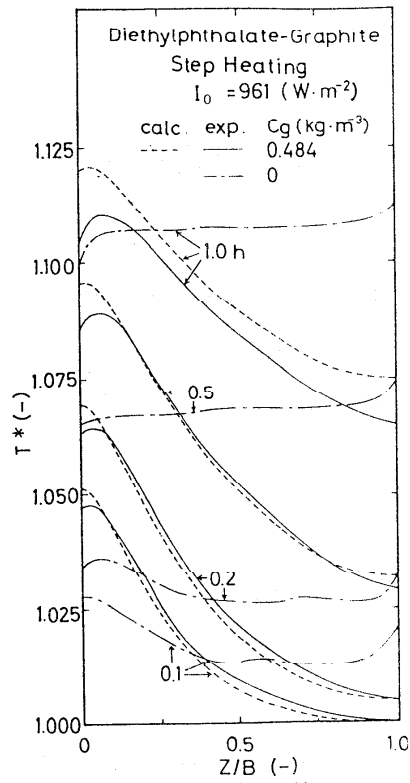


図 5. 理論と実験の比較例

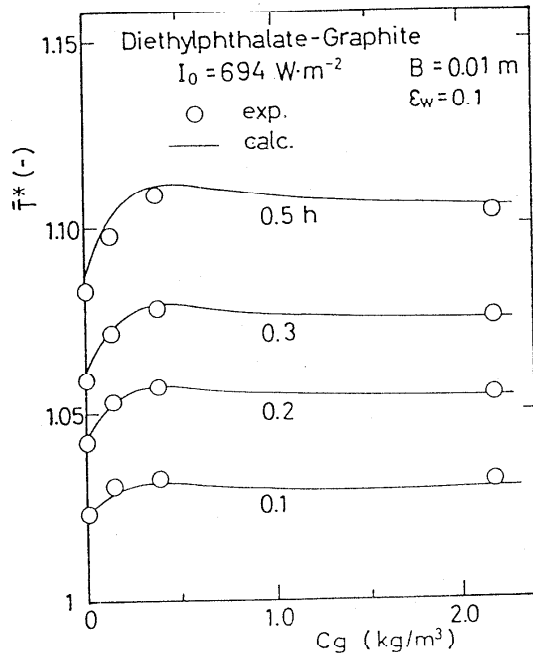


図 6. 昇温速度と分散濃度の関係

6. あ と が き

太陽エネルギーを半透過性液体層内へ直接収熱する体積受熱型ソーラーコレクターの基本概念と液体層に固体微粒子を分散させることにより層内の熱移動特性に与える影響に関し、基礎的観点から述べた。著者らのこれまでの研究の結果、分散液体の吸収係数は分散濃度に対して線型近似できるとともに、ふく射エネルギーの収熱が最大となる分散濃度が存在することが理論的および実験的に明らかとなった。

最後に、本ソーラーコレクターの高効率化ならびに実用化のためには、さらに詳細な検討が必要になるものと考えられる。

<文 献>

- 1) Drumleve , T. D. : ISES annual meeting , Fort Collins , Colorado , August (1974)
- 2) Wagner , T. R. et. al ; Solar Energy , 25 , 549 (1980)
- 3) Minardi , J. E. et. al ; ibid , 17 , 179 (1975)
- 4) 岩木ら ; 第 16 回空気調和・冷凍連合講演会論文集 , p165 (1982)
- 5) 門谷ら ; ibid , p 169 (1982)
- 6) Abdelrahman , M. A. et. al ; Solar Energy , 22 , 45 (1979)
- 7) Hunt , A. J. ; Lawrence Berkeley Laboratory , Energy & Environment Division (1980)
- 8) Noguchi , T ; Int. Symp. on Solar Energy for Development , №A-7 , Tokyo (1979)
- 9) 新井ら ; 化工論文集 , 5 , 118 (1979)
- 10) 新井ら ; ibid , 5 , 471 (1979)
- 11) 新井ら ; ibid , 6 , 241 (1980)
- 12) 新井ら ; 第 18 回日本伝熱シンポジウム論文集 (1981)
- 13) 杉山ら ; 化学工学 , 30 , 1112 (1966)

イギリスとアメリカの大学院教育と研究

長野 靖 尚(名工大)

文部省在外研究員として、昭和56年2月から12月まで、英国のインペリアル・カレッジと米国のスタンフォード大学に滞在しましたが、その報告を書くように「伝熱研究」編集委員長から依頼されました。両大学で大学院生の研究指導をしましたのでその感想から表題の事について偏った印象を書いてみます。

インペリアル・カレッジの教官の構成は極端なピラミッド構造で教授の数は少なく、大世帯の機械工学科で9名、航空学科ではBradshaw教授ら3名です。この事が若手の研究者が先行きを考えて大学に残る事を嫌い、結果として英国の大学の研究者の層が薄いという事に結びついているようです。大部分の生粋の英国人は学部卒で産業界に入ってしまう。これには大学の人事の構造的な問題だけでなく、産業界にも問題があるようです。即ちPh.Dを得るとOver qualifiedで産業界にはその受け皿が出来上がっていません。伝熱関係ではHarwell(英国原子力公社の研究所)かNEL(産業界に属する国立工学研究所)ぐらいがPh.Dの卒業生を積極的に採用してくれるという状態のようです。

では大学院での研究は誰によって支えられているかと申しますと、それは殆んどが外国人です。工科系大学院生の半数以上が外国人で、これはインペリアル・カレッジだけでなく、他の大学でも同様のようです。多額の金を外国人の高等教育に使っているのは奇異に思えますが、優秀な頭脳を持った外国人集団ですので、その成果が世界のトップクラスであることは頷けます。もっとも有能なこれら若手のPh.D生はやがて母国へ帰りますから、英国はこのままでいいのだろうかという疑問を感じずにはいられませんでした。

大半の英国人が学部だけで卒業してしまう事に関係があるかも知れませんが、講義は大学院より学部の方が充実していました。私は機械工学科のWhitelaw教授の研究室で、Dr.Gibsonと曲壁に沿う乱流境界層の伝熱の研究を行いました。指導した大学院生も毎日研究一本の生活をしていました。研究室の他の大学院生を見ても研究中心で講義はほんの付け足しという状態で後述のアメリカと全く対照的でした。

学部でどの程度の講義がされているかを参考の為に伝熱に関係している科目のみ以下に記します。インペリアル・カレッジの学部は標準が3年間のコースになっています。

***1年次……(1)Introduction to Fluid Mechanics, Heat Transfer and Thermodynamics (2)Fluid Mechanics and Heat Transfer (3)Thermodynamics

(4)Laboratory (学生実験) (5)Introduction to Computing, 2年次 (1)Thermodynamics (2)Fluid Mechanics (3)Heat Transfer (4)Computing (5)Laboratory 3年次(教官も示す) (1)Fundamentals of Fluid Mechanics and Heat Transfer(Taylor, Whitelaw) (2)Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer Engineering (Gosman, Lockwood, Singham) (3)Computer-Aided Design in Fluid Flow and Heat Transfer (2と同じ) (4)Combustion Process (Spalding, Ma) (5)Thermal Power Engineering (Barnes, El-Shirbini, Watson) (6)Nuclear Power (Goddard, Peerless, Williams) (7)Laboratory (卒研)(注、Prof. Spaldingは昭和56年6月付で機械工学科の講義担当を離れた)、*
** 3年次の講義では2方程式モデル等の乱流モデルの詳しい解説もされていました。

アメリカではスタンフォード大学の機械工学科のKline 教授の研究室に滞在しました。この大学については「伝熱研究」(1982年1月号)で東大の笠木先生が詳しく書かれていますので、重複を避け、やはり大学院生の指導を通して知り得た事を書きます。アメリカでは多数の人が大学院まで教育を継続しています。スタンフォード大学の機械工学専攻の昭和56~57年在席の大学院生(Ms, Ph.D)は名簿によると345名(内女性34名)います。その内熱・流体専攻(Thermosciences Division)の大学院生は153名です。産業界も高等教育を受けた人達を歓迎しているようです。学生も自分のポテンシャルを高め資格を得ることが、即良い地位と給与を得ることに結びつくと考えています。

スタンフォードでは学部の講義はそれ程レベルは高くなく(偏見?)、大学院の講義が充実しています。例えば修士の講義で伝熱に関係のあるものを挙げますと、(1)Engineering Thermodynamics (2)Thermodynamics of Propulsion Systems, (3)Solar Energy (4)Thermodynamics of Synthetic Fuel (5)Advanced Fluids Engineering (6)Gasdynamics (7)Fluid Dynamics of Turbomachinery (8)Geophysical Fluid Dynamics (9)Turbulence (10)Computational Methods in Fluid Mechanics (11)Radiative and Conductive Heat Transfer (12)Convective Heat and Mass Transfer (13)Physical Gas Dynamics (14)Introduction to Partially Ionized Gases (15)The Physics of High-Temperature Gases (16)Magneto-fluidmechanics (17)Combustion and Pollution (18)Advanced Combustion (19)Nuclear Engineering (20)Controlled Thermonuclear Fusionです。大学院生はこれらの講義(勿論全科目ではない)の消化に追われています。イギリスの様にもっぱら研究のみとはいきません。更にPh.D生はその審査の前に資格試験(Qualifying Examination)にべ

スしなければなりません。名目だけの試験かと思っていましたら、実際不合格になり涙ながらに母国へ帰った留学生もいました。教育及び研究に対する本人の自主性を重んずる態度は日本やイギリスより強いと感じました。大学院生の指導も日本のように手取り足取りはしません。私はバック・ステップの流動を研究している学生と、温度と速度の同時測定の研究をしている学生の面倒を見ましたが、両者共に殆んど自分達で研究を進展させよう（意地悪な見方をするとPh.Dを得る為に何が何でも纏めてしまおう）とする気迫が感ぜられました。大学院を無事終えた学生は遅しく、産業界へ入っても直ちに第一線へ加わるようです。日本人が組織として国際競争に立ち向かうだけでなく、今後個人のレベルで互角の勝負をするには、甘えを排した厳しい教育が今以上に不可欠と痛感しました。

太陽エネルギー研究のメッカを訪ねて

齋藤 武雄(東北大工)

筆者は昨年四月から約半年間、米国コロラド州立大学太陽エネルギー応用研究所に滞在する機会を得たので、その研究所を中心とした米国、中西部の太陽エネルギー研究を活発に行っている大学および研究所を紹介したい。また、日本人の滞在地としては極めて珍しいコロラド州で生活したので合わせて、その風土および習慣なども紹介する。

コロラド州立大学太陽エネルギー応用研究所

米国西海岸を飛び立ち残雪のロッキーの山々を越え約2時間すると Colorado 州 Denver の Stapleton 国際空港が眼下に現われる。ここは、Milehigh city と呼ばれる、映画の舞台としておなじみの標高 1600m の高地の中西部きっての大都市である。

高地の性か、風がつよく飛行機が異様に揺れた。州都 Denver は人口が 170 万の大都市にしては、ささいで評判の良い都市ではあるが、一方犯罪発生率 (crime rate) は全米第 4 位と無気味な一面ももち合わせている。

その Denver から Interstate 25 号に乗って左側に高さ 14256 フィート (4345 m) の秀峰 Longs Peak を眺めながら約 70 マイル北へ走ると人口 7 万の小さな田園都市 Fort Collins にたどりつく。ここが筆者が半年間程滞在したコロラド州立大学のある所で、ここは有名な Rocky Mountain National Park の東の麓に位置し、やはり 1600m 近くの高地で、酸素は薄く、気圧も低く、また紫外線のつよさも平地のつよさの 2 倍位あり、その上に空気は極端に乾燥し到着した当初は何か異様な地のようにさえ思えた。

Colorado 州全体の人口は約 270 万人で私の住む宮城県とあまり変わらない人口であるが、面積の方は実に日本全土の 72% (全米第 8 位) もある。

アメリカは何でも Big である。松かさ(毬)の大きさが日本のものの 10 倍位あるのには全く驚いた。

しかし大きくて困るのは自然災害である。

3~4 年前、Fort Collins の地に直径が 20 cm 大の雹 (hailstones) が降り家屋や家畜および車などに大きな被害を与え幼児 1 人が打たれて死亡した。また 5~6 年前には近くの Big Thomson Canyon が洪水に (flash flood) に襲われ 150 人以上が死亡した。これらは自然の災害であるが、1982 年 7 月の Estes Park (Rocky Mountain 入口のきれいな観

光地)のダムの決壊のように安易な設計による“人災”と呼べる災害もこの国では多いようである。

さて前置きはこの位にして、筆者が滞在したColorado州立大学の太陽エネルギー応用研究所についてお話ししよう。この研究所はメインキャンパスから5~6マイル離れたFoothill campusにあり、そこに、Solar House I, II, IIIおよびグリーンハウスとパッシブハウスの5つのビルディングが建てられている。これをSolar Villageと呼んでいる。これらのうちSolar House IIは世界で最初の本格的Air systemを用いた太陽熱暖冷房ハウスで、コレクタ面積が約56m²、蓄熱槽容積(碎石)10.2m³、熱負荷460MJ/dayで太陽エネルギー依存率は65%となっている。しかし補助加熱用ヒートポンプやポンプなどの諸動力源を含めたオーバオールのコPは2.8で、太陽エネルギーを用いている割には、あまり有効なシステムとは言えない怨みがある。筆者の偽わらざる感想としては、このシステムはエネルギーをふんだんに使える米国だからこそ実現出来たのであってそのまま日本に持ち帰っても殆んど意味のないものという印象であった。もう一つのSolar House Iは、Liquid systemで、コレクタ面積は59m²、蓄熱槽容積(水)は4.5m³、熱負荷が700MJ/dayというものである。

この研究所の現在の所長はProfessor S.Karakiで、彼はCanada生まれの日系2世で、日本語は読み書きが出来ないが、話すには不自由なようであった。しかし、専門用語を知らないことが彼の自尊心を傷つけるらしく少なくとも私との会話は英語であった。彼の奥様も米国生まれの日系2世で“生粋の米国人”であるが、自宅には、日本の品々を飾ってあった。

また、料理も寿司などの日本料理が得意で時々訪ねてご馳走になったことがAmerican foodsに飽きた筆者にとって何よりの慰めであった。それにしても、あの奥様を拝見する限り、たとえ日本に育たなくても日本人の血が流れているというだけで、日本への郷愁を断ち切れないということに改めて痛感させられた。どんなに長く外国で生活していてもやはり外国人になり切れないことの表れとみるべきだろう。

研究所のStaffには、CSUの大学院生、学生のほか、ニュージーランド、オーストラリア、カナダ、インド、中国および日本(私)など各国からの研究者が居り、流石、太陽エネルギー研究のメッカという感じがした。

私の米国滞在の成果の1つは、これらの国々の研究者達と友人になったことである。

LosAlamos National Laboratory

Denverから南下してNew Mexico州境を越えて暫く行くとLosAlamosという小さな町にたどり着く。よくもこんな小さな何も無い町に国立研究所が出来たものと思ふ程の淋しい処に広

人な研究所があった。

LANLには、太陽エネルギーだけでなく地熱エネルギーなどの研究所があるが、筆者は、Dr. J.D. Balcomb のいる太陽エネルギー部門を訪れた。Dr. Balcomb は、Passive House のエキスパートで、雑誌Time やLife誌上でもBalcomb 邸が紹介されている。彼は、太陽エネルギー利用はPassive方式で十分であると主張する。Active方式のメッカCSUから行った小生としては、簡単にうなづくことも出来ず、じつと彼の説明に聞き入るのみであった。しかし、長い間、Passive利用に携わってきた彼の説明には説得力があった。「あしたSanta Feの自宅に来ないか」というので、次の日の朝訪問した。

Balcomb 邸は、Santa Feの他の家々と同じ粘土色の外観でPassive Houseらしく前面のガラスの面積が大きくとってあり中には植物を植えてあった。中央の仕切りには厚さ50cm位のれんかの壁を用いており、この壁の熱容量を利用して蓄熱する仕組みであった。年間を通じて部屋の温度変化が少なく快適であると奥様が話しておられた。

New Mexico 州立大学

Albuquerqueを出て南に向かう Interstate 25号は、どこまでも真直で沿道には全くといっていい程何も無い荒野が続く。日本の高速道路と異なってParking areaが20Km毎にある訳ではなく、たまにRest area(米国ではこう言う)があるもののトイレと水の設備があるのみで食糧とガス欠の危機を感じる。

150マイル位走っただろうか。忽然と険しい山々が前方に現われたときは、何とも言えない安堵感が全身を覆う。漸く次の目的地、Las Crucesの町にたどり着いたのだ。

Las Crucesの町の人々はとくに親切であったが、恐らく、それも砂漠のオアシスのこの町にやっと流れついたという寂寥感からの故の連帯のあらわれかとも思う。

この町にあるNew Mexico州立大学の機械工学科には、CSUを卒業されたT.R. Mancini先生がおられたので彼を頼りに訪ねた。彼はCampusから5~6マイル離れた別の場所にSolar Pond方式の実験ハウスを持っていて、まずそこに案内してくれた。住宅の平たい屋根の上に厚さ15cm程の水の入ったビニールバックが載せてあり、日中太陽熱で温め夜、暖房に用いる。また夏は、暗れた夜間に放射冷却を利用し水を冷却し日中冷房に用いるという方式である。

この大学には太陽エネルギー研究所があり、そこでは、太陽電池による発電の研究が精力的に行われていた。また、農学部には、かなり古い太陽熱冷暖房システムがあり、現在でも稼働しており、Russell Mathews先生が案内して説明してくれた。

Arizona 州立大学

筆者が米国を車で旅行して最も印象的であった都市は何と言っても Arizona 州の州都 Phoenix である。訪れた時期が8月の末の猛暑(気温約42℃)であったこともあるが、あの Palm tree (しゅろ)の樹々の美しさは生涯忘れることが出来ないだろう。

ここ10年の間に人口が急膨張したと現地の方が言っていたが、それ程魅力のある都市なのである。

近くの Tempe という町にある Arizona 州立大学には、世界的に有名な J. I. Yellott 教授がおられた。先生は滞在したホテルまでわざわざ迎えに来て下さり若輩のこころは大いに恐縮した。アメリカ紳士の作法を教えられた気がした。以来、日本を訪ねてくれる外国人をもてなす時のお手本にしている。

また、建築科の Stanley A. Mumma 教授を中心とする若手のグループが太陽エネルギー利用についてのキャンペーン活動を一般市民を相手に月に1回程度の割合で行っており多勢の市民が参加していることを知り改めて、環境エネルギー利用に対する、国民の理解の重要性を認識させられた。

アメリカの太陽エネルギー研究者の多くがそうであるように Prof. Yellott もやはり自宅に Solar House を持っている。日本の Yazaki がコレクタからチラー(吸収式冷凍機のこと)までを奇贈してくれたとかで、その性能に大いに満足しているとのことだった。

同大学の College of Engng. and Applied Sciences には B. D. Wood 教授がおり各種ソーラーシステムの性能試験の他、太陽熱利用による溶液の濃縮の研究などを行っていた。

あとがき

以上、まとまりのない見聞記に終わったが、もう少し専門的な話は別の機会に譲りたい。

大学、研究所を訪ねる傍、各地の名所、旧跡を訪ね歩いた。一部は本文中でも記述したが、主な処を最後に記しておきたい。New Mexico 州の南端の町 Las Cruces から30~40マイル東にある White Sands National Monument は一見の価値がある。この近くにはアメリカ軍のミサイル基地や元大統領の Johnson の名前をとった NASA Johnson Space Center White Sands Test Facility などがある。何も無い荒野に忽然と出現する真白い砂の大陸は目を見張るものがある。1~2億年前にこの一帯が陥没することによって出来たものらしい。

もうスペースがないが、帰途に訪れた Grand Canyon の雄姿、Utah 州の Canyonland 国立公園や Arches 国立公園も素晴しかった。

半年間の米国滞在中 CSU の Karaki 先生と夫妻を始め数多くの人々にお世話になった。この

紙面を借りて感謝の言葉を述べたい。

ニュージーランドからの Dr. コースの大学院生でルームメイトでもあった Pete、ありがとう。きっと君の国を訪れヨットで航海するよ。10回以上の Tennis と小生の生きた英語の先生であった院生の秀才 Mark、ありがとう。大の日本びいきの君の来日を待つ。おてんばの秘書の Wendy、いい年をしてトランポリンで飛んで怪我をするな！ Solar House 1 の秘書の Jill、枝官の Don、中国人の Wang、Lu の 2 人、それに日本車の愛好家 Chuck、みんなありがとう……。いつか逢える日までさようなら…。

<お 知 ら せ >

(1) 第 20 回日本伝熱シンポジウム

開催 6 月 1 日～3 日 (申込先：第 20 回日本伝熱シンポジウム準備委員会)

[共催：日本学会会議エネルギー工学研究連絡委員会、本会ほか 9 学協会]

開催日 昭和 58 年 6 月 1 日(水)～3 日(金)

講演会場 福岡サンパレス [〒812 福岡市博多区築港本町 2-1

電話 092-272-1123]

懇親会場 同 上

参加諸費 シンポジウム参加費：事前申込 1 名 5,000 円、当日申込 1 名 6,000 円、ただし学生、大学院生は事前申込 1 名 2,500 円、当日申込 1 名 3,000 円(いずれも講演論文集代を含まず)

講演論文集代：1 冊 5,000 円(ただし、日本伝熱研究会会員には 1 冊無料進呈)

懇親会 6 月 2 日(木) 18:30～20:00 1 名 6,000 円(ただし、同伴夫人は無料)

申込要領 B5 判の用紙に「第 20 回日本伝熱シンポジウム申込」と題記し、(1)氏名、(2)勤務先または学校名、(3)連絡先、(4)講演論文集冊数(進呈分以外)、(5)懇親会出欠(夫人同伴の方はその旨を明記)を明記し、該当費用を添えて、必ず現金書留にて下記へお申込みください(できるだけ、本号末尾の申込用紙をご利用下さい)。参加証は当日、受付でお渡しいたします。

申込締切 昭和 58 年 5 月 14 日(土)

申込先 〒816 春口市春口字坂本
九州大学生産科学研究所 熱及び物質移動部門内
第 20 回日本伝熱シンポジウム準備委員会
電話 (092) 573-9611 内線 660, 669

なお、会場での当日受付は第 1 日目の 8 時 30 分より行います。

記念講演 講師 九州大学教授 工学部機械工学科 工博 西川兼康氏
題目 「沸騰の特質とその伝熱機構」
日時 6 月 2 日(木) 13:40～14:40

講演次第 (1)*印は講演者、各講演は 10 分、討論はそれぞれの講演群のうちで適宜行います。
(2)勤務先省略の方は後者と同一

— A 室 —

第1日 6月1日 (水)

[強制対流 (I)] (9:20~10:20)

[座長 五十嵐 保 君(防衛大)]

A101 V字形切欠きをもつ後向きステップのはく離域の熱伝達

機正 馬淵 幾夫
機准※伊藤 真純(東芝)
機正 熊田 雅弥(岐阜大)
機正 河村 隆雄(岐阜工高専)

A102 二楕円柱からの強制対流熱伝達

機正※太田 照和
機正 西山 秀哉(秋田大)
機学 小南 譲太()

A103 楕円柱の強制対流熱伝達(スケール付着の影響)

機正 太田 照和
機正※西山 秀哉(秋田大)

[強制対流 (II)] (10:40~12:00)

[座長 太田 照和 君(秋田大)]

A104 円柱はく離域の伝熱機構に関する研究

機正 熊田 雅弥(岐阜大)
機正※藤田 禎雄(アイシン精機)
機学 三矢 輝章(岐阜大)
機正 八賀 正司(高山短大)
機正 馬淵 幾夫(岐阜大)

A105 迎角のある正方形角柱からの強制対流熱伝達

機正※松和田宗彦
機正 馬淵 幾夫(岐阜大)
機正 熊田 雅弥
機学 小川 賢()

A106 正方形柱まわりの流動と熱伝達

機正 五十嵐 保(防衛大)

A107 急拡大管内再付着流の熱伝達実験と考察

機正 涌坂 伸明(船舶技研)

[強制対流(Ⅲ)] (13:40~15:20)

[座長 鳥居 薫 君(横浜国大)]

A108 二次元チャネル乱流の壁面近傍領域における伝熱機構

機正※入谷陽一郎 機正 笠木 伸英(東大)

機正 平田 賢 機学 久保田正人(#)

A109 液体金属の乱流熱伝達(円管内乱流の場合)

機正 鈴木健二郎 機学※東角 敦雄(京大)

A110 伝熱管内の速度と温度の乱れの高次モーメント(第1報, 確率分布)

機正 菱田 幹雄 機正※長野 靖尚(名工大)

機准 田川 正人(#)

A111 開水路における乱流構造と熱の輸送

化工正※荻野 文丸 化工学 佐治 聡一(京大)

化工正 水科 篤郎(#)

A112 循環を伴う流れの乱流熱伝達機構

機正 鈴木健二郎 機学※井田 真樹(京大)

機正 佐藤 俊(#)

[強制対流(Ⅳ)] (15:40~17:20)

[座長 笠木 伸英 君(東大)]

A113 管軸と並行な微細突起を有する曲内管内乱流熱伝達(第1報, 流れ場に関する計測)

機正※青山 善行 機正 二神 浩三(愛媛大)

機止 土万 邦夫 機止 森 康夫(東工大)

A114 円柱により, かく乱を受ける乱流境界層(第2報)

(温度場に関連したバースティング構造について)

機正※川口 靖夫 飯田 利昭(京大)

機正 鈴木健二郎 機正 佐藤 俊(#)

A115 縮小流路内乱流境界層の研究

機正※鳥居 薫 機正 星 要之介(横浜国大)

A116 管内旋回流における層流化現象の予測

機学※平井秀一郎 機正 高城 敏美(阪大)

A117 三角形断面の直管内における完全発達乱流

化工正※薄井 洋基

化学 岡田 茂(山口大)

化工正 佐野 雄二(")

第2日 6月2日(木)

[強制対流(V)] (9:00~10:20)

[座長 小竹 進君(東大)]

A201 等温加熱平板上の境界層流れおよび熱伝達に及ぼす浮力の影響

機正※菱田 公一

機学 吉田 有広(慶大)

機正 前田 昌信(")

A202 助走区間の遷移領域熱伝達

機正※鶴野 省三

機正 金子 靖雄(防衛大)

機学 榎原 伸一(")

A203 水平円管内強制自然複合層流熱伝達に及ぼす管壁内熱伝導の影響

機正※二神 浩三

機正 水上 紘一(愛媛大)

機正 青山 善行

機学 池内 司(")

機学 河野 敬(")

A204 凍結を伴う管内層流強制対流熱伝達(第3報)

機正・原正※戸田 三朗

杉山 弘一(東北大)

[強制対流(VI)] (10:40~12:00)

[座長 二神 浩三君(愛媛大)]

A205 一様流れ中の円柱の対流熱伝達におよぼす壁面の影響

高山 宏一(動燃事業団)

機正※島田 了八

機正 武山 斌郎(東北大)

A206 壁面近傍におかれた円管まわりの熱伝達

機正※相場 真也

機正 土田 一(秋田高専)

佐々木 了

東海林博美(")

A207 高温気体衝突噴流の伝熱特性

化工正※片岡 邦夫(神戸大)

化工正 松尾 均(化成水島)

化工正 春藤 泰之(富士電機)

A208 加熱円型噴流の間欠領域での組織的乱流構造

化工正*小森 悟

化工正 植田 洋匡(公害研)

化工正 小泉 美明

化工正 山本 一夫(横浜国大)

[強制対流(Ⅵ)] (15:30~17:10)

[座長 鈴木 健二郎 君(京大)]

A209 平行平板流路内に千鳥状に平板を置いた場合の壁面熱伝達

機正 泉 亮太郎(名大)

機正*親川 兼勇(琉球大)

A210 複数突起が、対向平滑面の熱伝達に及ぼす影響について

—— 熱伝達と流動の対応および伝熱性能 ——

機正*一宮 浩市

機学 横山 正人(山梨大)

A211 平板強制対流熱伝達に及ぼす境界層内円柱の影響(円柱からの渦の放出)

機正*藤田 秀臣

機正 高浜平七郎(名大)

大石 忠(#)

A212 流路壁の滑らかな突起列による伝熱促進の基礎的研究(第2報)

機正 森 康夫

機正 土方 邦夫(東工大)

機准*石黒 博(#)

A213 三次元攪乱による管内熱伝達の促進

機学*山田 和信

機正 馬淵 幾夫(岐阜大)

機正 熊田 雅弥

機正 桧和田宗彦(#)

第3日 6月3日(金)

[自由対流(Ⅲ)] (9:00~10:20)

[座長 増岡 隆士 君(九工大)]

A301 一様発熱する矩形物体からの自然対流熱伝達

機正*竹内 正紀

機正 部谷 尚道(福井大)

機正 木村 照夫

機正 田中 義樹(#)

A302 短い平板まわりの自由対流熱伝達

機正 宮本 政英

機正※加藤 泰生(山口大)

機正 栗間 諄二(#)

A303 水平加熱面上からの自然対流(初期流動の数値解析)

機正※佐占 光雄

機学 古田 真一(広島大)

機正 千葉 徳男(#)

A304 自然対流によるカルマン渦列の崩壊(統報)

機正 能登 勝久

機学※石田 仁志(神戸大)

機正 松本 隆一(#)

[自由対流(Ⅳ)] (10:40~12:20)

[座長 棚沢一郎君(東大)]

A305 二重球殻内の自然対流の三次元数値解析

機正・化工正※尾添 紘之

藤井 敬一(岡山大)

柴田 勉

栗山 寿志(#)

S. W. Churchill (ペンシルベニア大)

A306 傾斜環状流体層内の自然対流に関する研究

機学・原学※岩重 健五

機正・原学 高田 保之(九大)

機正・原正 福田 研一

機正・原正 長谷川 修(#)

A307 傾斜流体層内自然対流における側壁の影響について

機正※増岡 隆士

機准 清水 元(九工大)

A308 密閉流体層内の自然対流熱伝達(隔壁傾斜角の影響)

機正 宮部喜代二

機止※鶴崎 淳(大分大)

A309 密閉空間自由対流熱伝達における非定常熱伝達

機止 吉岡 啓介(大分大)

[自由対流(Ⅴ)] (13:40~15:20)

[座長 吉岡啓介君(大分大)]

A310 互い混ざり合わない流体が存在する密閉容器内の自然対流熱伝達

——界面張力駆動力も考慮した解析——

- 機正※木村 照夫
機正 竹内 正紀
- 機正 部谷 尚道(福井大)
機学 磯見 英明(#)
- A311 密閉容器内自然対流の振動現象について(統報)
- 機正※北村 健三
機学 込山 公一(豊橋技科大)
機正 斉藤 武(#)
- A312 環状多孔質層内自然対流の振動について
- 機学※内 幸彦
機正 増岡 隆士(九工大)
- A313 磁場下の液体金属の自然対流熱伝達
- 原学※竹中 信幸
原学 塩川 隆弘(京大)
原正 岐美 格(#)
- A314 タンク型高速炉隔壁構造部の熱伝達(第2報)
成層化液体金属中の自然対流熱伝達特性
- 原正※魚谷 正樹
原正 猶原 信幸(電力中研)
- [自由対流(V)] (15:40~17:20)
[座長 森岡 斎君(徳島大)]
- A315 高温引張試験機での垂直環状空間内自然対流
- 機正※鳥居 卓爾
尾崎 敏範(日立)
- A316 非対称加熱を受ける管内流の伝熱
第2報, 長方形ダクトの場合, ふく射伝熱の影響
- 機正 黒崎 晏夫
機学※佐藤 勲(東工大)
- A317 鉛直平行平板間の乱流自由対流熱伝達
- 機正※宮本 政英
機正 加藤 泰生(山口大)
機正 栗間 諄二(#)
- A318 鉛直平行平板伝熱面を含む長方形断面流路内の自然対流熱伝達
(一様熱流束・両面加熱の場合)
- 機正※玉利 賢一(鹿児島大)
機正 沢津橋辰郎(本田技研)
蔵迫 兼志(防衛庁)
- A319 熱伝達におよぼす気泡の液体かく乱効果
- 機正 玉利 賢一(鹿児島大)
機学※鳥井 修一(九大)

— B 室 —

第1日 6月1日 (水)

[沸騰 (I)] (9 : 0 0 ~ 1 0 : 2 0)

[座長 庄 司 正 弘 君 (東大)]

B101 管内高速流による強制流動沸騰熱伝達に関する研究 (第4報)

機正※福山 佳孝 (東芝)

機正 平田 賢 (東大)

B102 微細フィン面の強制対流沸騰熱伝達

機正※佐々木伸一

機正 岸本 享 (武蔵野通研)

B103 冷媒の水平蒸発管内熱伝達の促進に関する研究

機正 吉田 駿

機正 西川 兼康 (九大)

機正※松永 崇 (#)

冷正 中田 春男 (ダイキン)

B104 狭いすき間の平行二平面内吹き出し噴流への沸騰熱伝達 (気液流動の観察)

機正 鎌田 長幸 (八戸高専)

[沸騰 (II)] (1 0 : 4 0 ~ 1 2 : 0 0)

[座長 吉 田 駿 君 (九大)]

B105 平面噴流沸騰系の限界熱流束に関連して加熱面に沿う液流の特性 (第2報)

機正※原村 嘉彦

機正 甲藤 好郎 (東大)

B106 高圧における比較的 low 流量域の限界熱流束の研究

機正 甲藤 好郎

機学※大野 浩伸 (東大)

B107 「加熱長さ/加熱相当直径」比が小さい場合の限界熱流束

機正 甲藤 好郎

機学※宇磨谷雅英 (東大)

B108 垂直長方形断面ダクト内の水の限界熱流束

原正※三島嘉一郎

原正 西原 英晃 (京大)

[沸騰 (III)] (1 3 : 4 0 ~ 1 5 : 2 0)

[座長 桜 井 彰 君 (京大)]

B109 密閉流体層内の沸騰熱伝達に関する研究

(第 1 報, 核沸騰と限界熱流束に関する実験結果)

機正 神永 文人(茨城大)

B110 軽水炉燃料出力急昇試験用沸騰水キャプセルの限界熱流束の測定

原正※石井 忠彦

原正 阿部 弘(原研)

原正 瀬崎 勝二

原正 中田 宏勝(＃)

B111 姿勢と流動の組合わせによる四つの強サブクール沸騰系の熱伝達

機学※藤林 晃夫

機正 熊谷 哲(東北大)

機正 武山 斌郎(＃)

B112 非定常高熱入力下の沸騰除熱特性に関する研究

(系圧力の除熱限界に及ぼす影響)

機学※奥山 邦人

機正 青木 成文(東工大)

機正 小澤 由行

機正 井上 晃(＃)

B113 衝撃波下における膜沸騰の非定常熱伝達に関する研究

(第4報, Exploding wire による圧力発生とその非定常伝熱への影響)

※中村 忍

機正 井上 晃(東工大)

機正 青木 成文

機正 有富 正憲(＃)

[沸騰(Ⅳ)]

(15:40~17:20)

[座長 伊藤 猛 宏 君(九大)]

B114 水平円柱における膜沸騰熱伝達

原正※桜井 彰

原正 塩津 正博(京大)

原正 畑 幸一(＃)

B115 水平円柱における膜沸騰極小温度及び熱流束

原正 桜井 彰

原正※塩津 正博(京大)

原正 畑 幸一(＃)

B116 水平加熱面上のプール飽和沸騰における極小熱流束点の研究

機学※長野 秀信

機正 庄司 正弘(東大)

B117 最小膜沸騰温度に関する一考察(間欠性固液接触モデルによる解析)

原正※菊地 義弘

原正 岐美 格(京大)

B118 水平円柱プール飽和沸騰極小熱流束データの整理に関する一考察

機正 庄司 正弘(東大)

第2日 6月2日 (木)

[沸騰 (V)] (9 : 0 0 ~ 1 0 : 2 0)

[座長 井上 晃 君 (東工大)]

B201 垂直高温面の液膜冷却 — 液サブクールの影響 —

機正※井上 満

機正 植田 辰洋 (東大)

機准 小谷 一雄 (運輸省)

B202 再冠水過程におけるクエンチフロントの進行

機正・原正 村尾 良夫 (原研)

B203 高温面リフラッキング冷却過程の熱伝達

機正 植田 辰洋

機正 井上 満 (東大)

機准※山本 光昭 (三菱重工)

B204 沸騰特性に対する表面熱抵抗層の影響

機正 西尾 茂文 (東大)

[沸騰 (VI)] (1 0 : 4 0 ~ 1 2 : 0 0)

[座長 戸田 三朗 君 (東北大)]

B205 核沸騰伝熱における固体表面温度の測定

化工上止 浅野 強

化工正 井内 哲 (姫路工大)

化学※中西 繁樹 (#)

B206 水平管外沸騰熱伝達に及ぼす管群の影響について (続報)

機正※小山 由夫

機正 橋詰 健一 (東芝)

B207 管群における沸騰熱伝達の研究

(第 2 報, 多段管の実験および管群効果の予測方法)

機正 藤田 恭伸

機正 西川 兼康 (九大)

機正※大田 治彦

日高 澄具 (#)

機学 野口 裕文 (#)

B208 直接接触式蒸発器の伝熱過程に関する研究 (第2報)

機正 藤田 恭伸

機正 西川 兼康 (九大)

機正※平碁 国男 (#)

[沸騰 (VI)] (15:30~17:10)

[座長 藤田 恭伸 君 (九大)]

B209 等厚環状フィン列の沸騰熱伝達における気液流動の干渉 (続報, フィン高さの影響)

機正※能谷 哲

機正 趙 鋁珙 (東北大)

機正 島田 了八

機正 広野 洋一 (")

機正 武山 紘郎 (")

B210 溝付加工面における核沸騰熱伝達 (第2報)

機正※浜野陽一郎

機正 中条 義輝 (阿南高専)

B211 各種多孔質沸騰伝熱面の性能比較 (第2報)

機正 伊藤 猛宏

機正 西川 兼康 (九大)

機正※田中 克典 (")

B212 多孔沸騰伝熱面における表皮下空洞内の液膜状態 (飽和圧力の影響)

機正※中島 忠克

機正 中山 恒 (日立)

機正 大黒 崇弘 (")

B213 水溶液の沸騰伝熱に関する研究 (腐蝕汚染した面の沸騰について)

機正※鴨志田隼司 (芝浦工大)

機正 一色 尚次 (東工大)

第3日 6月3日 (金)

[沸騰 (VII)] (9:00~10:20)

[座長 成合 英樹 君 (筑波大)]

B301 減圧による非加熱固体面からの沸騰開始

機正・原正※水上 紘一 (愛媛大)

機正 二神 浩三 (")

B302 高温液面上に落下するより高密度の揮発性液滴の蒸発

伝学※野底 武浩

甲田 良憲 (慶大)

機正 森 康彦 (")

B303 遷移沸騰域における衝突液滴の非定常熱伝達

機正※稲田 茂昭

機正 宮阪 芳喜 (群馬大)

機学 西田 浩二(群馬大)

B304 高温液小滴と低沸点液による蒸気爆発に関する一基礎実験

機正・化工正 飯田 嘉宏(横浜国大)

機正※高島 武雄

秋吉 亮()

[凝縮(I)] (10:40~12:20)

[座長 本田 博 司君(岡山大)]

B305 界面波の影響を考慮に入れた膜状凝縮熱伝達の解析

機正 鈴木健二郎

三輪田達典(京大)

機正※萩原 良道

機正 佐藤 俊()

B306 多成分気体の膜凝縮に及ぼす不凝縮気体の影響

機正・航正 小竹 進(東大)

B307 三成分混合気の平板上での層流強制対流凝縮

機正 藤井 哲

機正※小山 繁(九大)

B308 滴・膜状凝縮混在伝熱面のパターン変化による熱伝達特性

機学※山内 昭良

機正 熊谷 哲(東北大)

機正 武山 斌郎()

B309 ptfe被覆面上のプロピレングリコールの凝縮曲線

機正 宇高 義郎

機正 斉藤 彬夫(東工大)

機学※谷 達也

渋谷 広彦()

機正 片山 功蔵()

[凝縮(II)] (13:40~15:20)

[座長 田中 宏 明君(東大)]

B310 微小面内での滴状凝縮

荻野 温

機正 高野 孝義(豊田工大)

機正※海野 紘治()

B311 高速顕微鏡写真による滴状凝縮の初生機構の観察

機正 原口 忠男(東北大)

B312 内面薄付管のR-113に対する管内凝縮熱伝達

機正※平沢 茂樹

機正 桑原 平吉(日立)

機正 中山 恒(#)

機正 森 康夫(東工大)

B313 排液板の取付けによる水平フィン付管上の凝縮促進(排液板材質および高さの影響)

機正・冷正※本田 博司(岡山大)

機正・冷正 野津 滋(#)

B314 鉛直スワール管上の凝縮熱伝達

機正※上原 春男

機正 中岡 勉(佐賀大)

武居 宏充(日本鋳業)

[凝縮(Ⅲ)] (15:40~17:20)

[座長 上原春男君(佐賀大)]

B315 プール水中での蒸気凝縮時における凝縮振動の振動周波数

機正 綾 威雄(船研)

機正※成合 英樹

若林 学(筑波大)

B316 高速蒸気の水凝縮に伴う圧力脈動発生機構

機正 宇多村元昭(日立)

B317 飽和蒸気中を落下する冷液滴への直接接触凝縮(第3報)

機正 土万 邦夫

機正 森 康夫(東工大)

※川口 滋(#)

B318 疎水性液体中における水蒸気泡の直接接触凝縮形態改善の試み

小嶋 敏雄

伝学※清水 康(慶大)

伝学 小川 人士

機正 森 康彦(#)

B319 溶液中への冷媒蒸気の吸収機構に関する研究

(ホログラフィ干渉法によるLiBr水溶液中への水蒸気吸収機構の解明)

機正※柏木 孝夫

機正 黒崎 晏夫(東工大)

機正 二階 勲(石川島播磨)

穴戸 弘明(東工人)

— C 室 —

第 1 日 6 月 1 日 (水)

〔 流動層 〕 (9 : 2 0 ~ 1 0 : 2 0)
〔 座長 前 田 昌 信 君 (慶大) 〕

C101 流動層型熱交換器の研究

(第 2 報, 壁面熱伝達特性に対する流路幅の影響)

機正※山下 博史 機正 泉 亮太郎 (名大)
機正 加賀 定 機学 牧田 和久 (")

C102 流動層型熱交換器に関する基礎研究

機正 化工正※永橋 優純 (小松製作所)
機正 平山 直道 (都立大)
機准 鈴木 伸芳 (日産自動車)

C103 流動層内におかれた管群の熱伝達特性

機正 福迫尚一郎 機正 関 信弘 (北大)
機学※石黒 正剛 野沢 俊 (")

〔 二相流 (I) 〕 (1 0 : 4 0 ~ 1 2 : 0 0)
〔 座長 福 迫 尚 一 郎 君 (北大) 〕

C104 固体粒子が熱伝達に及ぼす影響についての実験的研究

機学※沢田 朋久 機学 大日方一樹 (成蹊大)
機正 前沢 三郎 機正 榎田 昭 (")

C105 らせん管内を流れる固気二相流の熱伝達

機正・原正※清水昭比古 機学・原学 船越 浩 (九大)
機正・原正 長谷川 修 (")
機正・原正 越後 亮三 (東工大)

C106 スリット吹き出しのある平板上の固気混相流動と熱伝達(粒子径の影響)

機学※渡辺 英行

機正 菱田 公一(慶大)

機正 前田 昌信(〃)

C107 混相流中の粒子群の粒径,速度および濃度の非接触測定(4ビームLDVによる粒径測定)

機学※但馬 維昭

機正 前田 昌信(慶大)

機正 菱田 公一(〃)

〔二相流(Ⅱ)〕 (13:40~15:20)

〔座長 柘植綾夫君(三菱重工)〕

C108 上昇流動水中におかれた単孔ノズルから発生する気ほうの大きさに関する研究

機正 日向 滋(信州大)

C109 局所ボイド比測定法の研究

原正※砂田 謙二

原正 北山 正文(広島工大)

C110 気液二相流乱流特性の実時間測定を試み

原学※津田 和宏

原正 芹沢 昭示(京大)

原正 岐美 格(〃)

C111 水平管内スラグ流の特性変化に関する研究

機学 青木 誠

機正※飛原 英治(東大)

機正 斎藤 孝基(〃)

C112 垂直上昇気液二相流における液体塊速度の遷移について

機正 世古口言彦

機正 武石 雅之(九大)

機学※斎藤英多賀(〃)

〔二相流(Ⅲ)〕 (15:40~17:20)

〔座長 土方邦夫君(東工大)〕

C113 過渡沸騰時におけるサブクール・チャンネル内ボイド率変化に関する研究

機正・原正 戸田 三朗

※堀 豊(東北大)

C114 配管破断時のフラッシングとブローダウン反力

機正・原正 矢野 歳和(原研)

C115 熱水タービン用ノズルの特性に関する研究

機学※吉田 勝正

機正 中川 勝文(豊橋技科大)

C116 水-空気二相流中の管群励振力に関する実験研究

機正※山口 信行

機正 坂田 薫(三菱重工)

機正 柘植 綾夫

機正 中村 友道(")

C117 一次元気液二相流の基礎方程式について

機正※中西 重康

機正 加治 増夫(阪大)

第2日 6月2日(木)

〔二相流(Ⅳ)〕 (9:00~10:20)

〔座長 赤川浩爾君(神戸大)〕

C201 対向気流のある円管内流下液膜の液膜厚さについて

機正※渡辺 修

機正 田島 収(愛知工大)

C202 シンタ給水下向き環状噴霧流における液滴および液膜の挙動

機正※岡田 修(鈴鹿工高専)

機正 高浜平七郎

機正 藤田 秀臣(名大)

機学 村上 雅則(")

C203 水平に近い傾斜管内での気液環状二相流の研究

(第3報, 下降流における流動様相と管周方向の膜厚分布について)

機正 深野 徹(九大)

機正※逢坂 昭治(徳島大)

機正 森本 隆雄(")

機正 世古口言彦(九大)

C204 気流を伴う水平長方形管内薄膜流の研究

(第9報, 高気流速域における気液界面のせん断力)

機正 深野 徹

機学※官部 圭介(九大)

機正 伊藤 昭彦(大分大)

坂本 太郎(九大)

〔二相流（Ⅴ）〕 （10：40～12：00）

〔座長 齋藤孝基君（東大）〕

C205 衝突気ほう噴流の熱伝達（続報）

機正※古田 英生

機正 森 康夫（東工大）

機正 土方 邦夫（"）

C206 管内二相噴流の壁面からの乱流熱伝達

機正 鈴木健二郎

機正 佐藤 俊（京大）

機学※中部 主敬

機正 山中 亨（"）

C207 蒸発管内の液膜挙動と壁温変動に関する研究

機正 中西 重康

機正 加治 増夫（阪大）

機正 山内 庄司（高松工専）

機准※数岡 洋一（三菱重工）

機学 沢井 徹（阪大）

C208 らせんコイル蒸発管におけるドライアウトの発生と壁温挙動

機正※加治 増夫

機正 中西 重康（阪大）

機学 平林健太郎

機学 大石 真也（"）

〔二相流（Ⅵ）〕 （15：00～16：00）

〔座長 世古口言彦君（九大）〕

C209 一成分二相流における衝撃現象

（第3報，気泡流の実験および解析結果）

機正 赤川 浩爾

機正 藤井 照重（神戸大）

機正 忽那 泰章

機准※坪倉 定雄（"）

機学 北野 立夫

機学 松下 肇（"）

C210 気液二相流の衝撃現象に関する研究

（第4報，微小線形解法による検討）

機正※藤井 照重

機正 赤川 浩爾（神戸大）

機准 坪倉 定雄

機学 北野 立夫（"）

機学 松下 肇（"）

C211 二相沸騰領域に入射する圧力波の挙動

機学※間宮 尚久

機正 中川 勝文(豊橋技科大)

[一般]

(16:20~18:00)

[座長 荒 卷 誠 吾 君(広島工大)]

C212 液滴への直接接触熱伝達の電気流体力学的促進

(系の物性と促進効果の関係の検討)

機正※梶 信藤(職訓大)

機正 森 康彦(慶大)

C213 ETS-III軌道投入時,第1国内可視時の予測温度と取得温度との比較

航正 吉川 正夫(宇宙開発事業団)

応用数学会 網代 正孝(三菱スペース・ソフトウェア)

機正・計測制御学会※石井 忠司()

C214 熱的諸問題へのプログラム

SINDA利用の見通しおよび適用例

航正 吉川 正夫(宇宙開発事業団)

※今井 良一()

応用数学会 網代 正孝(三菱スペース・ソフトウェア)

機正・計測制御学会 石井 忠司()

米国航空宇宙学会 大竹 崇夫(センチュリ・リサーチ・センタ)

C215 自然エネルギー自立ハウスの長期蓄熱シミュレーション

機正 斎藤 武雄

機学 松橋 博基(東北大)

C216 都市型ヒートアイランドの3次元シミュレーション

機正※斎藤 武雄(東北大)

福田 浩三(小松製作所)

第 3 日 6 月 3 日 (金)

〔強制対流 (Ⅶ)〕 (9 : 0 0 ~ 1 0 : 2 0)

〔座長 荻野文丸君(京大)〕

C301 指数関数的に増大する熱流束下での強制対流過渡熱伝達

機正・原正 片岡 勲(京大)

C302 講演とりやめ

C303 振動気流中の直列二円柱の熱伝達

機正※青木 功 機正 小竹 進(東大)

C304 ジェットとブルームの乱流特性

機正 石垣 博(航技研)

〔強制対流 (Ⅷ)〕 (1 0 : 4 0 ~ 1 2 : 0 0)

〔座長 植田洋匡君(公害研)〕

C305 湿球温度利用による局所熱伝達率測定法

機正※熊田 俊明 機学 田村 伸彦(北大)

機正 石黒 亮二()

C306 燃焼ガスプラズマ流に接する冷電極上の電流集中発生限界に関する実験的研究

機正※岡崎 健 村井 善幸(豊橋技科大)

田抜 義照(三菱レイヨン)

C307 ウィンドブレーカー(防風着)に関する考察

機正 竹内 正頭 ※村崎 勉(東工大)

機正 黒崎 晏夫 機正 一色 尚次()

C308 プリント基板上に配列されたLSIパッケージの強制対流熱伝達

機正※芦分 範行 機正 中山 恒(日立)

機正 大黒 崇弘 電通正 小林二三幸()

〔放射 (Ⅰ)〕 (1 3 : 4 0 ~ 1 5 : 2 0)

〔座長 越後亮三君(東工大)〕

C309 低温における湿り空気凝結層の赤外ふく射性質に関する研究

村松 憲秀 出馬 弘昭(京大)

機正 辻本聡一郎 機正※国友 孟(〃)

C310 遷移金属とその合金の液体状態における熱ふく射性質の研究

機学※成宮 祥介 松田 昌平(京大)

長谷川宏幸 機正 牧野 俊郎(〃)

機正 国友 孟(〃)

C311 建築材料の可視および赤外域におけるふく射性質の研究

機学※佐橋 実 機学 出井 誠一(京大)

機正 国友 孟(〃)

C312 逆平板形太陽熱集熱器に関する研究

(第1報, 反射鏡形状に関する2次元的検討)

機准※田中耕太郎 梅原 規司(慶大)

機正 渡部 康一(〃)

C313 任意の傾斜角と方位角の傾斜面日射量の算定と実測値との比較

機正※馬場 弘 機正 金山 公夫(北見工大)

〔放射(Ⅱ)〕 (15:40~17:20)

〔座長 国友 孟君(京大)〕

C314 顕熱と輻射エネルギー間の効果的変換法における流動伝熱(矩形流路の場合)

機正※陳内 秀信(大同特殊鋼)

機正 富村 寿夫 機正 吉澤 善男(東工大)

機正 越後 亮三(〃)

C315 高性能輻射変換体を用いた熱交換器に関する基礎的研究

機正※富村 寿夫 機正 吉澤 善男(東工大)

機正 陳内 秀信(大同特殊鋼)

機正 越後 亮三(東工大)

C316 モンテカルロ法によるボイラ炉内の輻射伝熱系の解析

機正※金田 博志 機正 尾崎 雅則(パブコック日立)

機正 秋山 巖(〃)

C317 Sky radiation cooling による長期蓄冷法の研究

機正 斎藤 武雄

機学※小野 富男(東北大)

C318 人工衛星用放熱制御器

機正※宮崎 芳郎

佐々木富也(東芝)

— D 室 —

第1日 6月1日(水)

[燃焼]

(9:20~10:20)

[座長 黒崎 晏夫 君(東工大)]

D101 多孔性固体中における可燃性混合気の燃焼の研究

(第2報, 多孔性固体内の温度分布の解析)

機正※吉澤 善男

機学 花村 克悟(東工大)

機止 富村 寿夫

機正 古田 基(")

機正 越後 亮三(")

D102 燃焼ガスの遠隔レーザー計測

(第3報, 速度・温度の同一点同時測定)

機正 藤井 昭一

機正※五味 光男(航技研)

機正 江口 邦久(")

神 康晴(日本科学工業)

D103 燃焼ガスの遠隔レーザー計測

(第4報, 乱流火災の速度 Faure 平均データについて)

機正 藤井 昭一

機正 江口 邦久(航技研)

機正 五味 光男(")

航正※山口 進(アイシン精機)

[熱物性]

(10:40~12:20)

[座長 飯田 嘉宏 君(横浜国大)]

D104 バルブシート用焼結合金の熱物性値の研究

機正 竹越 栄俊

機正※平沢 良男(富山大)

機正 井村 定久(")

清田 文夫(リケン)

D105 パラフィン炭化水素の熱伝導率の測定と推算

川口 直樹

機正※長坂 雄次(慶大)

機止 長島 昭(")

D106 トリフルオロエタノール水溶液の熱伝導率

機正※矢田 順三

機正 南山 龍緒(京工繊大)

片岡日出男(")

D107 比熱の温度依存性に関する自動測定法の研究

機正 小林 清志(静岡大)

中村 好志(トヨタ自動車)

機学※大石 学

機正 荒木 信幸(静岡大)

D108 トリウム含有弗化物溶融塩の熱拡散率測定

機正※荒木 信幸(静岡大)

原正 加藤 義大(原研)

機正 小林 清志(静岡大)

原正 古川 和男(原研)

(熱交換器(Ⅰ)) (13:40~15:20)

(座長 中山 恒君(日立))

D109 フィン付き熱交換器の研究

(第4報, 非定常法によるフィン性能測定装置)

機正 藤掛 賢司

機正※青木 博史(豊田中研)

三井 宏之(")

D110 フィン付平面放熱システムの自然対流伝熱特性とその最適形状

機正※田中 貞行(福井高専)

機正 国友 孟(京大)

吉田 敏実(福井高専)

D111 熱交換器フィンの伝熱解析

(第2報, ルーバフィンにおける熱伝達率の数値解析)

機正※平松 道雄

機正 石丸 典生(日本電装)

D112 ストリップ・フィンの伝熱と圧損特性

機正・航正 宇佐見久雄(富士重工)

D113 千鳥配置平板列伝熱系の流動・伝熱特性(第3報)

機学※三宅 俊也

平井 悦郎(京大)

機正 鈴木健二郎(〃)

〔熱交換器(Ⅱ)〕 (15:40~17:20)

〔座長 谷口 博君(北大)〕

D114 粒子内部伝導を考慮した直交流型移動層式熱交換装置のシミュレーション

機正※箕浦 忠行

機正 坂本雄二郎(神戸製鋼)

D115 ペブル床蓄熱型高温熱交換器の熱特性に関する実験

機正 吉川 邦夫(東工大)

D116 潜熱・顕熱混合型蓄熱に関する研究

機正 林 勇二郎

機正 滝本 昭(金沢大)

機正 河原 誠二

機学※孔 鉄男(〃)

D117 太陽熱利用給湯暖房システムの設計諸元の最適化

機正※廣安 博之

機学 池田 道夫(広島大)

D118 平板型太陽集熱器の集熱効率改善(対流防止用フィルムの効果)

機正 伊藤 定裕(幾徳工大)

第2日 6月2日(木)

〔熱交換器(Ⅲ)〕 (9:20~10:20)

〔座長 宮武 修君(九大)〕

D201 気液分離形の蒸発器

機正※田中 直樹

機正 池内 正毅(三菱電機)

弓倉 恒雄(")

D202 スワール管型蒸発器の性能試験

機正 上原 春男

機正※中岡 勉(佐賀大)

機学 萩原 勝二(")

武居 宏充(日鉱エンジニアリング)

D203 円周金網型ヒートパイプにおける蒸発部の挙動に関する実験的研究

機正※野田 英彦

機正 吉岡 啓介(大分大)

機正 浜武 俊朗(")

〔熱交換器(Ⅳ)〕 (10:40~12:00)

〔座長 廣 安 博 之 君(広島大)〕

D204 ボイラ排ガス中の潜熱回収

(第2報, 抽気サイクルへの適用)

機正※工藤 一彦

機正 谷口 博(北大)

黄 其励(")

機正 笠原 敬介

岸 孝行(前川製作所)

D205 吸収式ヒートポンプの温度特性に関する研究

機正※古川 哲郎

機正 古寺 雅晴(目立造船)

機正 北村 充(")

D206 ボルテックス管の冷却性能増進(高温部の水冷効果)

機正・化工正 荒巻 誠吾(広島工大)

D207 蓄熱水槽に関する基礎研究(熱的動特性に関する実験)

機正※田中 逸大

機学 服部 仁司(九大)

機正 宮武 修(")

〔自由対流(Ⅰ)〕 (15:00~16:20)

〔座長 宮 本 政 英 君(山口人)〕

D208 水平線熱源からのプルームの揺動現象

(遷移域と乱流域のスキクトル)

機正※能登 勝久

機学 石田 仁志(神戸大)

機正 松本 隆一(")

D209 浮力ブルームの揺動観察

機正 浦川 和馬

機正※森岡 斎(徳島大)

機正 清田 正徳(")

D210 凝固と発熱を伴う水平管内の自然対流熱伝達

機正 三田地紘史

機学※古内 正美(豊橋技科大)

機正 北村 健三(")

機正 飯田 嘉宏(横浜国大)

D211 講演とりやめ

[自由対流(Ⅱ)] (16:40~18:00)

[座長 尾 添 紘 之 君(岡山大)]

D212 水平方向に温度勾配を付与した水平液体層内の浮力・マランゴニ力共存自然対流の研究

機正※前川 透

機正 棚沢 一郎(東大)

機正 落合 淳一

機正 塩治震太郎(石川島播磨)

D213 高粘性流体貯蔵タンクの自然対流加熱に関する伝熱シミュレーション

機正※赤木 新介

機学 武村 資文(阪大)

機学 内田 完司(")

D214 傾斜矩形くぼみ内の自然対流熱伝達

機正 稲葉 英男(北見工大)

D215 地熱利用に対するサーモサイフオンの解析

機正※忽那 泰章

機正 赤川 浩爾(神戸大)

機正 藤井 照重(")

第 3 日 6 月 3 日 (金)

[蒸発(Ⅰ)] (9:20~10:20)

[座長 林 勇二郎 君(金沢大)]

D301 高性能蒸発面の基礎的研究

機正 森 康夫

機正 土方 邦夫(東工大)

※水田 桂司(")

D302 水平管における液膜蒸発熱伝達の研究

(第2報, 熱伝達の促進法について)

機正 藤田 恭伸

機正 西川 兼康(九大)

機正※本田 知宏

機正 筒井 正幸(")

機学 堤 雅徳(")

D303 乱流気相と蒸発液面間の熱伝達 (第3報)

—— 蒸発による吹き出しが大きい場合の既存の実験値の検討 ——

機正 熊田 俊明

機学※栗原 利行(北大)

機正 石黒 亮二(")

〔蒸発(Ⅱ)〕 (10:40~11:40)

(座長 河村 祐治 君(広島大))

D304 水滴冷却を受ける加熱粒子層内の熱および物質移動

機正 福迫尚一郎

機正 関 信弘(北大)

機学※伊藤 仁人

高橋 秀美(")

D305 噴霧液滴群の蒸発を伴う対流熱伝達

(第1報, 滴運動を考慮した理論解析)

機正 滝本 昭(金沢大)

機正※松田 理(石川高専)

機正 林 勇二郎(金沢大)

D306 噴霧液滴群の蒸発を伴う対流熱伝達

(第2報, 鉛直加熱平板の実験)

機正 林 勇二郎

機正※滝本 昭(金沢大)

機正 松田 理(石川高専)

機学 磯崎 匡均(金沢大)

〔熱伝導(Ⅰ)〕 (13:40~15:20)

〔座長 長島 昭君(慶大)〕

D307 潜熱蓄熱の伝熱問題 (第7報)

機正 斎藤 彬夫

機准※長久保伸一郎(東工人)

機正 宇高 義郎

機正 片山 功蔵(")

D308 フィンチューブ型潜熱蓄熱装置の伝熱特性

(第2報, 凝固過程の解析及び実験値との比較)

機正※笹口 健吾

機正 井村 英昭(熊本大)

機学 古庄 弘一(")

D309 球カプセル潜熱蓄熱槽の性能シミュレーション

機正 斎藤 武雄

機正※広瀬 宏一(東北大)

D310 地下帯水層による自然エネルギーの蓄熱(蓄熱適性地の選定法)

機正 梅宮 弘道

機正 横山 孝男(山形大)

機学※工藤 正之(")

D311 地下水と土壌蓄熱効果を利用した無雪道路の研究 第2報

(地下帯水層温熱蓄熱による融雪実験)

機正 梅宮 弘道

機正※羽賀 恵寿(山形大)

機学 阿部 政吉

機学 原 資治(")

〔熱伝導(Ⅱ)〕 (15:40~17:20)

〔座長 井村 英昭君(熊本大)〕

D312 非定常熱伝導逆問題における表面の温度および熱流束

機正・原正 黒柳 利之(原研)

D313 非線型熱伝導方程式の古典解

伝正※北田 韶彦(日体大)

伝正 梅原 博行(製品科学研究所)

D314 水・空気系多孔質の融解過程に関する研究(層高さの高い場合について)

機正 青木 和夫

機正 服部 賢(長岡技科大)

機学※氏家 孝(")

D315 セラミックス・プラズマコーティング層の熱遮蔽効果

機正 阿部 俊夫

※久松 暢（電中研）

機正 石川 浩（ ” ）

D316 埋設管内通水による堆肥層発酵熱抽出操作の近似解法

化工正 小森 友明

化工正※関 平和（金沢大）

(2) 第 17 回伝熱セミナーのお知らせ

1. 会 期

昭和 58 年 7 月 15 日 (金) 15:00 から

7 月 17 日 (日) 13:00 まで 2 泊 3 日

2. 会場・宿舎

〒 648 - 02 和歌山県伊都郡高野町

高野町中央公民館 (電話 07365 - 6 - 2076)

宿 坊 赤松院 (電話 07365 - 6 - 2734)

利用交通機関等の詳細は、参加申込者に追って通知いたします。

所要時間は、国鉄新大阪駅または大阪空港より約 3 時間です。

(会場・宿舎は高野山奥の院に近く、弘法大師入定千百五十年の大遠忌が行なわれ、また高野山竜神温泉ルートなど南紀への旅も魅力があります。近畿の歴史を訪ねてください)

3. 参加費 (懇親会費を含む)

会員 21,000 円, 学生 18,000 円, 非会員 25,000 円

なお、日程の一部に参加される方も同額の参加費を徴収いたします。

4. 定 員 100 名

5. 申 込

締切 6 月 20 日 (月)

方法 本号同封の郵便振替払込書に必要事項をご記入の上、当該参加費をご送金ください。

なお、締切後の取消しには参加費を返却いたしません。

(郵便振替払込書を申込用紙としておりますので、さらにご必要の方は下記宛ご請求ください。)

申込先 〒 564 吹田市山手町 3 丁目 3 - 35

関西大学工学部機械工学教室

勝田勝太郎 (電話 06 - 388 - 1121)

6. 懇親テニス大会

日時 昭和 58 年 7 月 14 日 (木) 午後

7 月 15 日 (金) 午前

会場 高野町総合グラウンド内テニスコート

会費 別途徴収

申込 郵便振替払込書の所定欄にご記入ください。

実施要領詳細は参加申込者に追って通知いたします。

お問い合わせ 〒565 吹田市山田丘2-1

大阪大学工学部機械工学科

加治増夫(電話 06-877-5111, 内線4224)

7. 前泊・後泊・家族同伴希望の取扱い

大いに歓迎いたしますので、早目に申込みください。

前泊・後泊・同伴者の費用などの詳細はご連絡いたします。

8. 日 程

7月15日(金)

13:00~15:00 受付

15:00~15:05 準備委員長挨拶 勝田勝太郎(関西大)

15:05~16:35 これまでとこれからの伝熱

司会者 勝田勝太郎(関西大)

(1) 一色尚次(東工大)

(2) 佐藤 俊(京都大)

(3) 青木成文(東工大)

16:40~17:40 特別講演

「高野山に因んだ演題」 関西大学社会学部教授 前田 卓(予定)

17:40~18:30 休憩

18:30~21:00 懇親会

司会者 国友 孟(京都大)

7月16日(土)

9:00~12:00 流動伝熱問題のモデリング

司会者 鈴木健二郎(京都大)

(1) 「原子炉における伝熱問題と乱流のモデリング」 河村 洋(原研)

(2) 「乱流伝熱促進法と乱流のモデリング」 土方邦夫(東工大)

(3) 「燃焼器における乱流燃焼とそのモデリング」 香月正司(大阪大)

12:00~14:00 昼 食

14:00~17:00 流動伝熱問題の数値解析手法

司会者 大中逸雄(大阪大)

(1) 「ソーラシステムにおける自然対流の数値解析」 尾添紘之(岡山大)

(2) 「熱・拡散・流体関連問題の有限要素法による解析」 松田安弘(日本IBM)

(3) 「熱・流体問題への境界要素法の応用」 田中正隆(大阪大)

17:00～19:00 休憩・夕食

19:00～21:00 フィルムセッション 司会者 高城敏美(大阪大)

(1) Turbulence (管内乱流, 乱流噴流, 成層乱流等の可視化—EBEによる)

提供者 木本日出夫(大阪大)

(2) ① Eddies in Captivity (自由乱流中の過運動の可視化—Perry and Limによる)

② 2-Dチャンネル内流れの可視化

③ Large Eddy Simulation による可視化(Moin and Kimによる)

①～③提供者 笠木伸英(東京大)

(3) 各種流れの数値シミュレーションによる可視化(IDMによる)

提供者 松田安弘(日本IBM)

7月17日(日)

9:00～12:00 伝熱トピックス

司会者 吉信宏夫(大阪府大)

(1) 「鉄鋼工業における流動解析」

八百 升(川崎製鉄)

(2) 「冷凍法淡水化」

長嶋義悟(三井造船)

(3) 「電子機器の冷却」

藤井雅雄(三菱電機)

12:00～13:00 昼食

解散の挨拶 勝田勝太郎(関西大)

(敬称略)

(3) 第4回日本熱物性シンポジウム

開催の御案内と講演募集

熱伝導率，熱拡散率，比熱などの種々の熱物性値は，エネルギー問題に関する工学・理学の分野ばかりでなく，自然科学全体にわたる広い分野で重要性を増しており，データや測定に関する斯界の要求は非常に強いものがあります。

そこで，熱物性値研究者と利用者が一堂に集って意見交換する第4回日本熱物性シンポジウムを下記のように開くことになりました。国際的な交流も計画しています。

ご関心をお持ちの方は，どなたでも御参加下さい。

開 催 日 昭和58年10月20日(木)，21日(金)，22日(土)

会 場 神奈川県立『県民ホール』会議室

横浜市中区山下町3-7

[根岸線(京浜東北線)関内駅下車]

セッションのテーマ(予定)

1. 測定法，機器，標準物質
2. 熱物性値データの評価
3. 金属，高温材料
4. 固体および不均質材
5. 建材および断熱材
6. 液体，気体
7. 高温融体，低温液体
8. セラミック，エレクトロニクス材
9. 食品，衣料，生体
10. 輻射物性
11. 土壌，雪氷その他エネルギー材料など

講演申込み 申込み資格に制限はありません。A4版レポート用紙に①講演題目，②著者名(発表者に○印)，③所属，④連絡先を記し，さらに(A)研究目的，(B)実験方法，(C)実験結果などの概略を記入して下記申込み先宛お送り下さい。なお講演の採否は，日本熱物性研究会論文委員会にご 任下さい。

申込み〆切 6月30日(木)

採否決定通知 7月下旬

講演論文集原稿〆切 8月31日(水) (4ページ, 用紙送付)

参加申込み ハガキに所属機関, 連絡先, 氏名, 懇親会参加希望の有無を記入して申込んで下さい。プログラム, 会場案内などの資料を送付します。論文集は会場でお渡しします。

申込み先 〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 156

横浜国立大学工学部化学工学科飯田研究室内

第4回日本熱物性シンポジウム実行委員会

電話 045 (335) 1451 内線 2874, 2857

参加費 2,000円(学生1,500円), 費用は当日会場で申し受けます。

講演論文集 日本熱物性研究会会員には当日無料でお渡しします。会費未払いの場合はお払い下さい。欠席の方には終了後郵送します。

非会員の方には1部5,000円でお頒けします。出席されず論文集のみ購入希望の方は, ハガキで部数と送り先を書き, 下記へお申込み下さい。

〒223 横浜市港北区日吉3-14-1

慶応義塾大学理工学部機械工学科

長島研究室気付 日本熱物性研究会

(電話 044 (63) 1141, 内線 3168, 3167)

日本伝熱研究会への入会手続きについて

(1) 個人会員および学生会員

葉書または、下記の当該申込み用紙に所要事項御記入の上、事務局宛御送付下さい。同時に郵便振替等にて当該年度分の会費（個人会費は5,000円/年、学生会員は3,500円/年）をお支払い下さい。

会員には「伝熱研究」及び「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお送りしています。

なお、「日本伝熱シンポジウム講演論文集」については、前年度の会費を納入された方に限り、当該年度のもの1冊をお送りしております。

申込書送付先：〒113 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学工学部原子力工学科気付

日本伝熱研究会

郵便振替口座：東京6-14749

銀行振込口座：富士銀行吉祥寺支店・普通預金

(店番号246) - (口座番号1323690)

日本伝熱研究会

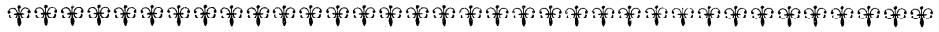
日本伝熱研究会個人会員申込書			
(昭和 年 月 日)			
ふりがな 氏名	年 月 日生	学位 称号	学 位 号
勤務先・部・課	(電 話)		
同上所在地			
通 信 先	〒	(電 話)	
現 住 所	(電 話)		
最終出身校 及卒業年月日			
備 考			

日本伝熱研究会学生会員申込書			
(昭和 年 月 日)			
ふりがな 氏名		生年月日	年 月 日
学 校 名		学 年	
同上所在地			
通 信 先	〒	(電 話)	
現 住 所		(電 話)	
在学証明 上記の学生が確かに在学していることを証明します。 指導教官名 ㊟			

(2) 維持会員

葉書または、下記の用紙に所要事項御記入の上、事務局宛御送付下さい。同時に郵便振替等にて当該年度分の会費(1口30,000円/年)をお支払い下さい。申込は何口でも結構です。会員には「伝熱研究」及び「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等を申込1口につき1部ずつお送りしています。

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



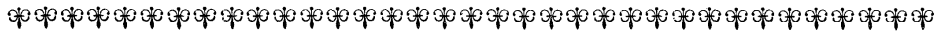
＜編 集 後 記＞

本号には、解説、研究トピックス、海外大学・研究所紹介を掲載しました。また、原研河村洋氏から故橋先生の思い出が寄稿されました。年度末ご多忙の折にご執筆いただいた各位に厚く御礼申し上げます。

20周年記念特集では「伝熱研究」について種々ご意見を賜りましたが、特に伝熱シンポジウム特集（7月号）の内容については再検討する必要を感じました。7月号の編集時期は伝熱研究会の会期の変わり目に当たるため、事前に編集会議を開催することが困難な状況にありました。当編集委員会ではこの問題点について討議した結果、4月号の編集会議の際に、次期編集委員長も交えて、次期7月号の編集方針についても十分に審議することとし、今期から実行に移しました。

この一年間、アイデア、原稿集め等にご協力いただきました事務局、地方連絡幹事ならびにご執筆いただいた方々に改めて御礼申し上げます。

（永 井 記）



第 20 回 日本伝熱シンポジウム申込書

第 20 回 日本伝熱シンポジウムに参加を申込まれる方、あるいは講演論文集を購入される方は下の用紙を切取ってご利用下さい。

第 20 回 日本伝熱シンポジウム申込書 〔申込締切期日 5月14日(土)〕		
ふりがな 氏 名		
勤 務 先	(〒)〔電話() ー)	
連 絡 先	(〒)〔電話() ー)	
シンポジウム 参 加 費	5,000円(個人会員, 維持会員, 非会員) 2,500円(学生員, 学生)	円
懇親会費 (6,000円)	出・欠 夫人同伴 する (無料招待) しない	円
講演論文集 (5,000円)	(勤務先に送付します) 冊	円
総 計		円
備考：シンポジウム参加費欄は当該資格を○でお囲み下さい。この申込書はお一人一枚で ご使用下さい。複数の場合はこの用紙をコピーしてお使い下さい。		

伝熱研究

Vol. 22 No. 85

1983年4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

東京大学工学部原子力工学科気付

日本伝熱研究会

電話 03(812)2111(代) 内線6989

振替 東京 6-14749

(非売品)