

伝 熱

目 次

〈支部の話題〉

「東北地区の伝熱」特集にあたって	山田悦郎 (秋田大学)	1
雪国の熱源を求めて	梅宮弘道・横山孝男 (山形大学)	2
氷の温度・濃度複合融解挙動	菅原征洋 (秋田大学)	8
氷を用いた蓄冷・熱 (水平楕円管カプセルによる氷の融解熱伝達)	廣瀬宏一 (岩手大学)	13
噴霧特性の制御とその応用	大黒正敏 (八戸工業大学)	18
多孔質体を用いた超高熱流束除去技術への挑戦	戸田三朗・結城和久 (東北大学)	23

〈連載〉

インタビュー「Joint Research グループリーダーに聞く」

6. 工業技術院機械技術研究所 極限技術部 稲田孝明 主任研究官	聞き手：川口靖夫 (工業技術院, 機械技術研究所)	29
----------------------------------	---------------------------	----

〈国際会議報告〉

2000年度国際伝熱会議 アセンブリ委員会に出席して	平田 賢 (芝浦工業大学)	32
----------------------------	---------------	----

〈行事カレンダー〉

		35
--	--	----

〈お知らせ〉

日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ		37
日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞申請書・推薦書		38
第38回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集		39
セッション分類表		41
第38回日本伝熱シンポジウム研究発表申込書		42
Joint Seminar Recent Numerical Approaches in Advanced Heat Transfer		43
日本伝熱学会研究会「マイクロマシンと熱流体」第5回会合のお知らせ		
(電気学会 マイクロマシン研究会・マグネティックス研究会会合との同日開催)		44
平成13年度宇宙環境利用に関する地上研究公募のご案内		45
「伝熱」会告の書き方		46
事務局からの連絡		47
日本伝熱学会, 入会申込み, 変更届用紙		48
日本伝熱学会, 賛助会員入会申込み, 変更届用紙		49
広告		51

インターネット情報サービス

- <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/htsj/>
最新の会告・行事の予定等を提供
- htsj@asahi-net.email.ne.jp
事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.39, No.159, November, 2000

CONTENTS

<Branch Topics>

“Tohoku and Heat Transfer”, Recent Topics on Heat Transfer Research in Tohoku Area Etsuro YAMADA (Akita University).....	1
Seek Energy Resources in Snow-Fall Areas Hiromichi UMEMIYA and Takao YOKOYAMA (Yamagata University).....	2
Melting Behavior of Ice with a Combined Effect of Temperature and Concentration Masahiro SUGAWARA (AKITA University).....	8
Cold Heat / Heat Storage System using Ice (Ice Melting Heat Transfer in a Horizontal Elliptical Tube Located in Water) Koichi HIROSE (Iwate University).....	13
Control of Spray Characteristics and Their Applications Masatoshi DAIKOKU (Hachinohe Institute of Technology).....	18
A Challenge to Extremely High Heat Flux Removal Technique using a Porous Medium Saburo TODA, Kazuhisa YUKI (Tohoku University).....	23

<Serial: Joint Research>

Preface to “Interviewing a group leader of joint research” Interviewing a group leader of joint research, 6. Dr. Takaaki INADA, Senior Researcher of Mechanical Engineering Laboratory, AIST MITI Interviewer: Yasuo KAWAGUCHI (Mechanical Engineering Laboratory, AIST MITI).....	29
---	----

<Report on International Conference>

Report on the 2000 Meeting of Assembly for International Heat Transfer Conferences Masaru HIRATA (Shibaura Institute of Technology).....	32
---	----

<Calendar>	35
-------------------------------	----

<Announcements>	37
------------------------------------	----

「東北地区の伝熱」特集にあたって
“*Tohoku and Heat Transfer*”, *Recent Topics on Heat
Transfer Research in Tohoku Area*

山田 悦郎 (秋田大学)
Etsuro YAMADA (Akita University)

今回は支部報告の順番で東北地区を紹介する事になりました。最初の部分を浅学な私が書くことには非常に抵抗がありますが、私自身の思いも入れながら義務を果たします。

東北地区の特徴は長所と短所が入り混じった形で述べると以下のようなようです。①各県の面積が広く、しかも、会員数が比較的少ないので直接会って情報交換するには相当の時間を必要とする。②地区内の企業数が少ないので、伝熱に関係する、または、伝熱問題を抱える現場も多くはない。従って、産学協同研究も他の地区に比べて少ないと推定される。③しかしながら、豊かな自然と人情に恵まれた地域であり、東北大学を中心としてまとまりのよい活動を永く続けている、などが上げられると考えています。

良く知られているように、東北地区には抜山四郎先生の沸騰曲線の研究に始まる古い伝統があり、伝熱の研究が第3世代から第4世代に移り変わりつつある今日でも、研究に対する精神は受け継がれているように思います。

さて、東北地区の主たる活動は、春の研究発表会と秋の伝熱セミナーの2本立てとあってよいでしょう。春の会はいつも東北大学のお世話で仙台市内の大学キャンパスで行われることを恒例とし、初期には伝熱シンポジウムに発表する内容を話す形式になっていました。これは、なるべく発表経験の少ない若い人（主として助手や大学院生）に経験を積ませると共にシンポジウムに出席できない人のための情報提供を兼ねていました。さらに、情報交換の機会の少ない宮城県以外の研究者に発表してもらうことを配慮していたと記憶しています。最近では支部の設立とも関連し総会を兼ねた研究会とその後の懇親会を行っています。

一方、秋は地域の持ち回りで、1泊を原則とする話題提供・解説（若い研究者・院生・学生を念頭に置いて）・研究途上のテーマについての内容紹介、な

ど、その都度の実行委員会の企画によって多少異なりますが豊富な内容を持つセミナーが行われます。ここでは、研究発表などの後、夕食会を兼ねた懇親会・2次会と続き、いつも盛り上がります。このセミナーによって先に述べた地域が広くコミュニケーションがとりにくいと思われている欠点が一気に解消出来るような気がします。私自身、約30年ほど以前、現在も研究を続けている分散系の実験と計算の話をした際、まだお元気だった抜山四郎先生に質問をして頂き、「しっかりやりたまえ」と励まされ非常に嬉しく、また、感激したことを思い出します。現在の若い人達にもこのような機会があることを願って毎年のセミナーが実行されていると言ってよいでしょう。幸いに、開催県が岩手・秋田・山形・宮城の4県しかなかった初期に比べ、現在は青森・福島を加えた5県（最近の秋期のセミナーは宮城県を除いている）が交互に開催できるまでになりました。今年も既に一関高専の先生方のお世話で一関地区において開催され無事に終了しました。毎年、企業におられる話題提供者も必ず入れる体制を取り、また、学生諸君を出来るだけ参加させるようにしている主旨も生かされてきました。

次に、研究面に関して少し述べますと、前述のように各県に拠点が出来た最近では、多種多様の研究が行われていると言ってよいと思います。北海道に比べれば寒冷とは言い難い地域ではありますが、雪や氷の融解問題、地下滞水層の利用、地熱利用システムの研究など、地域に密着した研究テーマも多く見られます。今回の支部報告は以上の事情を考慮し、担当理事の東北大学橋爪秀利先生の企画で「相変化の利用」をキーワードとする内容を、各県ごとに紹介する事になりました。ご一読下さり、もし、関心がありましたら直接著者にコンタクトして下さいことを願っております。

雪国の熱源を求めて

Seek Energy Resources in Snow-Fall Areas

支部の話題

梅宮弘道・横山孝男(山形大学)

Hiromichi UMEMIYA, Takao YOKOYAMA (Yamagata University)

1. 緒言

雪は確かに少なくなった。高々2～300年のことであるが史実を見れば分かる。図1は新庄市に昭和8年(1933年)設立された農林省積雪地方農村経済調査所(雪調)に始まって科技厅防災研究所新庄雪氷研究支所に引き継がれた新積雪深の収集データである。よく見ると寡雪年は所々に見られるが最近は特に目立つ。我々の世代では父、母から路上の雪の階段を降りて玄関に入った様子を聞いているがもう信じてもらえない。

夏は方々の家屋敷に苔むした釣べ井戸があった。その水の何とおいしく冷かったことが、子ども心にこれが不思議でならなかった。どこから来るのか。地面は苦い土なのに混沌から清浄がどうして生まれ出るのか。扇風機とクーラーの区別もつかない子ども心に地下水の冷涼さは魔法の誘い水だった。

著者の一人、横山が地元の大学に入ったのは1967年(昭和42年)である。まだ霧中にいた4年の春だった。「うちの会社で逆さ井戸をやっているよ」と町で散水消雪工事の方から信じられない言葉を耳にした。世に人工涵養井なるものの存在は、遠くイスラエルやアメリカが中心で、日本では地質調査所や東京ラジオなどでの試験的实施でしかなかった。

学生を迎えてくれたのが日本地下水開発(株)の方々であった。「消雪した水を側溝へ流すだけでなく元の地下水へと返せないでしょうか」脳裏には地下の浄化能力と何かエネルギー生成能力が浮かんでいたのである。

消融雪の熱源写1を念頭に帯水層蓄熱の研究が

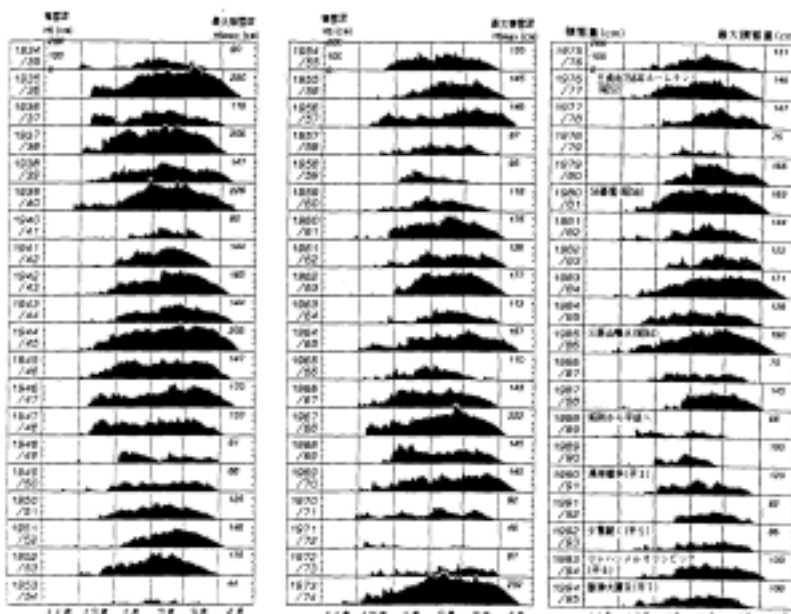


図1 新庄市最大積雪深の経年変化



写1 鉄道レール消雪用実験施設、1973-日本地下水開発株式会社にて

始まった、1973年頃である。

2. 季節の誕生

2.1 なぜ地軸は23.5°傾いた？

公転軌道面に対する傾きのお陰で地球の熱環境は穏やかになっている。トモロコシを焼く時、

時々回す．仮に短くもっと丸まったトーモロコシ
 ならどうか．均一に加熱するために回すだけでなく
 首振りも必要である．太陽と地球の場合，公転
 に加え自転軸の傾きにより均一加熱を促進してい
 る．それでも極冠地方は冷え切って膨大な氷をた
 たえその分は全地表面を 54m 厚の氷で覆うほど
 である．

2.2 惑星の汗の結晶，水

地球の水のルーツはもっとロマンに満ちている．
 地球は宇宙空間に分散した物質の衝突・結合の結
 果生成成長した．地球が隕石を取り込む過程で火
 の玉になりながらも，岩石の結晶水を解放しやが
 て凝縮し海洋を湛えた．一説によれば遥かの宇宙
 から海洋船団が水を送り込んだとも謎説く．

水の蒸発・凝縮という気・液相変化過程と，融
 解・氷結という液・固相変化過程で，莫大な潜熱
 を持つことが地表面温度環境を 0 ~ 100 にと
 どめるに大きな寄与をなし，極冠は巨大な氷蓄冷
 庫である．

地球は太陽から恒常的に 1386W/m2(公転軌道垂
 直面)の輻射熱という恩恵を受けている．その内の
 4 割をはね返すものの赤道と極地方とでは極端な
 アンバランスを生む．灼熱にさらされる赤道付近
 の熱を恒常的に極地へと輸送するのは，大気と含
 有水分であり，海流である．

2.3 地域的，時間的バリエーション

水や空気などによる対流と地軸傾斜により，気
 象の季節変化が作動する．山形の年平均温度は約
 11 で，夏期(7~8月)平均温度は約 24 ，冬期(1
 ~2月)は-0.7 で寒暖の差は 25 ある[1]．

熱りサイクルの第一歩はエネルギーのカスケード
 利用であろうが空調などのように有用性を失っ
 たものは難しい．夏期空調廃熱を資源化できない
 だろうか？

ここに季節がある．時折を越えて周囲環境温度
 が変化し，排熱そのものが付加価値を高めるまで
 待つ(蓄熱する)のはどうだろう．

夏期周囲環境温度を $T_{ev}^s [K]$ ，排熱温度を $T_{et}^s [K]$ ，排
 熱エネルギーを $[J]$ とする時のエクセルギーつま
 り有功エネルギー $E_s [J]$ は

$$E_s = Q_{et}^s \left(1 - \frac{T_{ev}^s}{T_{et}^s} \right) \quad \dots (1)$$

となる．排熱を冬まで蓄熱した結果，その平均温

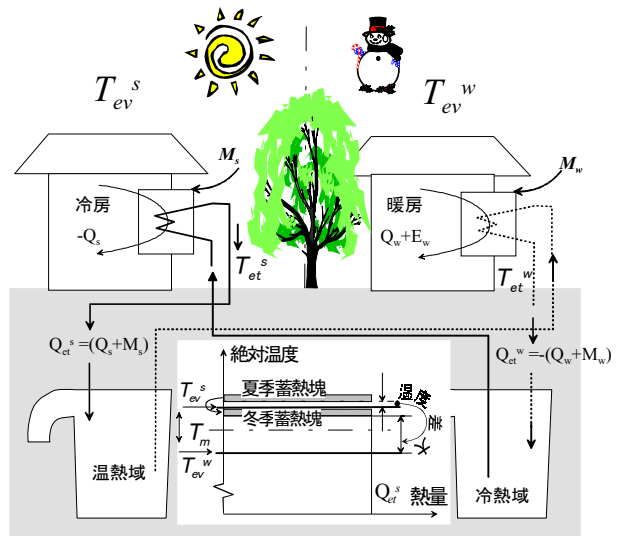


図 2 季節変化による蓄熱媒体の有功化

度 $T_{et}^s [K]$ は年平均温度基準で半分まで降下すると
 しても，熱量はそのまま取り出せる．図 2 に示す
 ように周囲環境温度 T_{ev}^w は低くなることに注目す
 れば上記仮定でもエネルギー資源としてのエクセル
 ギーは高まる可能性はある．即ち

$$\bar{T}_{et}^s = T_m + \frac{1}{2} \cdot (T_{et}^s - T_m) \quad (2)$$

これより

$$\bar{E}_s = Q_{et}^s \left(1 - \frac{T_{ev}^w}{\bar{T}_{et}^s} \right) \quad (3)$$

$$\therefore = Q_{et}^s \left(1 - \frac{T_{ev}^w}{\frac{T_m + T_{et}^s}{2}} \right) \quad (4)$$

ここで年平均温度性より

$$T_m \equiv \frac{T_{ev}^s + T_{ev}^w}{2} \quad (5)$$

これを式(4)に代入して

$$\bar{E}_s = Q_{et}^s \left(1 - \frac{T_{ev}^w}{\frac{T_{ev}^s + T_{ev}^w + 2T_{et}^s}{4}} \right) \quad (6)$$

具体的に数値(表 1)を代入すると以下のような
 である．

$$E_s = Q_{et}^s \left(1 - \frac{297}{313} \right) = 0.051 Q_{et}^s \quad (7)$$

$$\bar{E}_s = Q_{et}^s \left(1 - \frac{272}{297 + 272 + 2 \cdot 313} \right) \quad (8)$$

$$= Q_{et}^s \left(1 - \frac{272}{299} \right) = 0.090 Q_{et}^s \quad (9)$$

従って

$$\bar{E}_s / E_s = \frac{0.0733}{0.0479} = 1.7 \quad (10)$$

となり、半年程の蓄熱を経て温度レベルは半分に降下するにしてもエクセルギーは逆に増加することになる。

表 1 山形の周囲環境温度⁽¹⁾

	T_{ev}^s	T_{ev}^w	T_{et}^s	T_m	\bar{T}_{et}^s
単位	K	K	K	K	K
山形	297	272	313	284	299

3. 帯水層蓄熱のコンセプト

3.1 地下の保温性

地球の遷移エネルギーは太陽熱である。地球内部は発熱状態にあるが地表面への内部からの熱流は太陽ふく射エネルギーの1万分の1以下に過ぎない。つまり地球はその地表面で2分されている。地表温度の地中への浸透深さはおよそ12mである。これに表流水の浸透が加われば例えば深度100mに亘って恒温層が形成される。この地層温度はその地区の年平均温度にほぼ等しい。保温特性に優れた地層が地表面に広く行き渡っていることになる。

3.2 魔法瓶への水の出入れ - 人工涵養

この種の熱の媒体は水を置いて他には考えられない。蓄熱地層としては含水可能で流動可の砂礫層が第一、含水率は高いが流動性の無い粘土層が第二候補である。いずれも井戸がその重要な手段である。狙いとする地層まで井戸を掘削して水を出し入れする。

人為的に水を帯水層へ送り込む人工涵養技術は昨今の成果である。水には過飽和のガス成分が含まれることが多く、それが粒子と接することにより発泡し、砂層の間隙流路を閉塞する。或いはまた鉄バクテリアが井戸内、帯水層内で成長し第2鉄を沈澱させる。同じように浮遊物(s.s)や含有成分が間隙で沈澱固化し流路を閉塞、つまり目詰りを生じさせる。逼迫する水資源確保の点からも人工涵養が注目されてきたが、季節単位の反復運用

を伴う一般帯水層での研究は不十分であった。蓄熱に先立つ1970年代前半に人工涵養の研究が開始された。井戸寿命を伸ばす方法は同じ水質の涵養水を用い定期的に逆洗することである。医学における輸血と同じことで収水層における拒絶反応を防ぐことが肝要である[2]。

3.3 どれだけの蓄熱性があるか

1978年の野外実験例を示す。夏期に23.4℃、9000m³の微温水を80m深の帯水層に送り込んでいる。図3が冬期に回収した微温水である。自然地下水温16℃に対し20℃以上で回収開始し、同量回収量となる9000m³でも17℃を保っている[3]。この場合はペアになっている1組の井戸が熱干渉を起こしたと自然地下水流の存在により蓄熱塊が流されたことにより回収率は30%程度であった。

上記諸要因を考慮し、回収率を50%程度に保つ条件が見出された。それは次の3条件である。

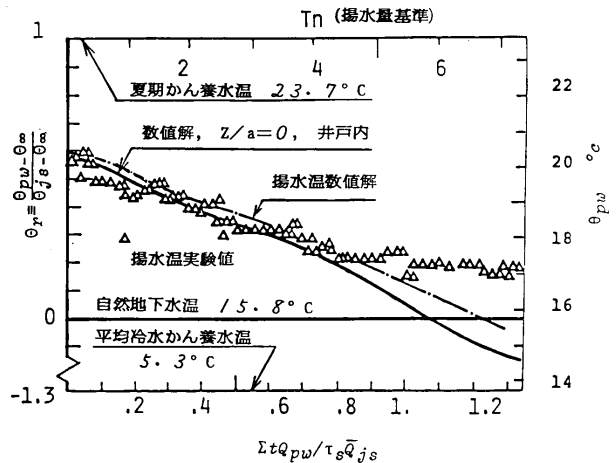


図3 夏期涵養温水の冬期回収、1978年

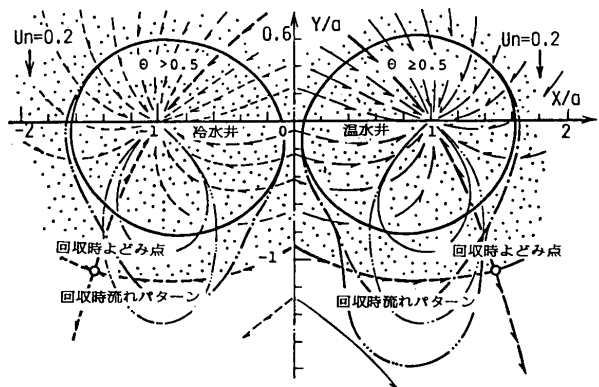


図4 適正条件下における交互蓄熱・回収時の反転パターン

- (1) 井戸軸を自然流に対し垂直にとる：独立
- (2) 蓄熱塊を回収可能領域内にとどめる：淀み点
- (3) 蓄熱塊による回収井戸の内包：内包

このように自然に存在する地下水流に応じた井戸配置と規模を確保することにより図4のように好ましい蓄熱運用がなされ、年々成長し、回収率も高くなって行くことが見出された[4]。この場合半年後の逆運転による熱回収率は50%以上となる。

3.4 真夏の夢

システムの運用形態を夏と冬とで逆転させる。夏運転では冷熱エネルギーが正の価値を持つ。地下に蓄えた冷熱を引き出し、地上で利用した後、熱のごみとなった温熱を地下に蓄える。従来のエネルギー利用形態では熱ごみを空調室外機から大気へ捨てていたものである。その時不要な温熱でも寒い冬になれば有用になる。それまで蓄える。

冬運転ではそれら温熱ごみを利用する。主に暖房である。雪に悩む地域では第2利用として消融雪である。その結果エネルギーごみが出る。冷熱エネルギーである。これを捨てないで、有用となる夏まで地下に蓄える。

本邦で始めて実用化したのは山形市に本拠地を置く日本地下水開発(株)である。長年の先駆的試験と成果が認められ、通産の代替エネルギー補助事業として小規模ながら具体的に帯水層蓄熱冷暖房を開始した。延床面積は1000m²程度、冷房は地下水による直冷、暖房は蓄熱水熱源の30kWヒートポンプでCOPは約4.0~5.0で進められた[5]。

ほぼ同じ時期に本、山形大学キャンパスでも帯水層蓄熱がスタートする。年々歳々季節間熱回収率は上昇し[6]、遂には60%台に突入している[7]。こうなるともはや十分な蓄熱性能であり大量の顕熱を地下土壌に保存可能である。

3.5 自然農法への試み

とかく工業界にこだわりがちであるが微温冷水で十分な農業への適用も熱リサイクルにふさわしい。農林省は昭和53年(1978)から砂丘地における「熱エネルギーの地下貯留」を始めている[8]。砂丘地の浸透性を利用した地表涵養で熱を送り込み、平均地下水温度に対し極く微少の加温、加冷で役立たせる。実験は約10年間繰返され、1987年(昭和62年)には3万m³を地表涵養し、4ヶ月後の11月30日から回収した。問題は2つある。第1は何と言っても涵養能力の劣化である。例えば当

初3m³/minあった浸透能力が1m³/minへと落ち込んでいる。原因は

- (1) 浸透原水に含まれるs.sや細粒分による浸透面の目詰り。
- (2) 涵養池の温度上昇に伴う藻やプランクトン発生による目詰り。
- (3) 浸透水の気泡発生による目詰り。

上記目詰まりは避けようがなく定期的回復作業が不可欠である。すき取りが中心である。三里浜

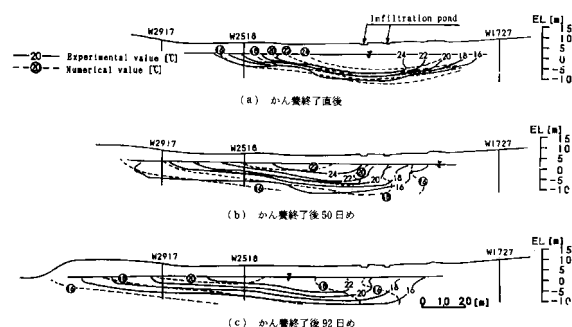


図5 三里浜における地表浸透による温度波伝播実験とシミュレーションによる比較、1987(昭和62年)

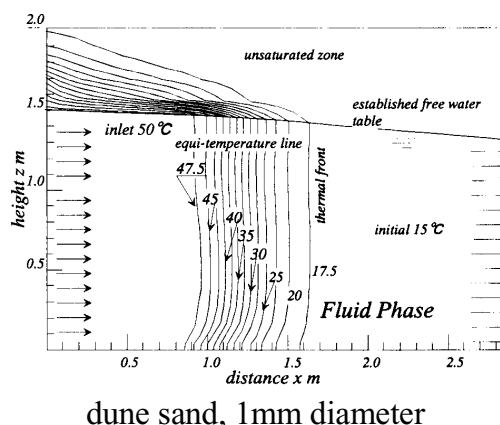
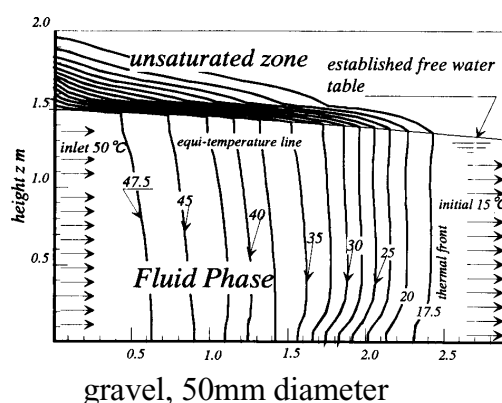


図6 粒子径による温度伝播差異、2相モデルによるシミュレーション

では緻密な観測井戸網が敷かれ詳細なデータが得られた。それに依れば波打ち際へ向う自然地下水位勾配方向へと蓄熱塊は推移し、図5の通り3次元シミュレーションとの一致性が見出されている[9]。

第2の問題は、熱の伝播や回収が何によって左右されその効率良い回収方法は何か。特に不飽和の場合は元々空気が占めていた空隙を浸透水が流下するので粒子にいかん熱を与えるかが熱浸透にとって大きな問題となる。粒子が小さくなればなるほど瞬間的に水の持つ熱を粒子に与えるが粒子が大なる程、例えば砂利から礫へと大なるに連れ、十分に熱が伝わらないまま間隙水の温度伝播が進行する。

土質における熱的不均一性を考慮する手法は同一空間に仮想的に空隙相と粒子相を配置し、相互熱交換しながら場が進行するという2式モデルによれば良い。例えば粒子の大小による熱伝播差違は図6のよう生じる[10]。同じ見掛け自然地下水流速でも、空隙率の大小によって温度波進行は異なって来る。

残された課題は山ほどある。井戸のどこから熱浸透するか[11]もその一つである。

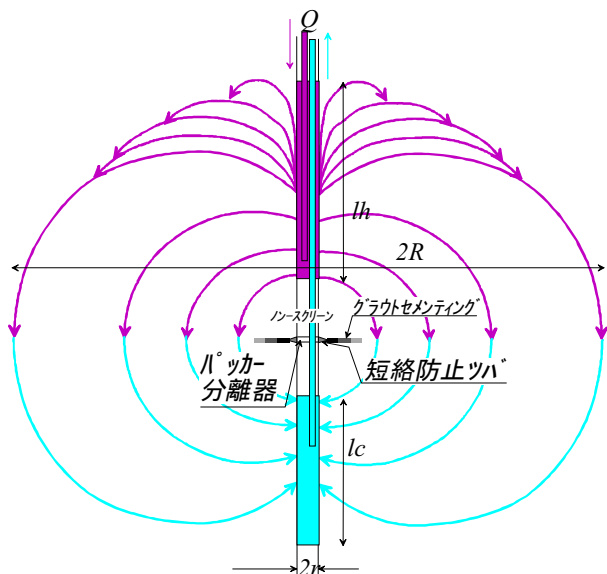


図7 垂直アンカー蓄熱素子概念

4. 地下にこだわって

東京のような密集型都市環境に自然エネルギー利用の環境融合生活形態はあり得るだろうか。あり得るとすれば集合化は進んでいるものの分散型蓄熱が可能な地方都市サイドであろう。正確には

その中でも郊外型庭付き一戸建てと考えている。いずれにしても建物はもっと低エネルギー仕様でなければならない。熱源は太陽で集合化した補助熱源を考える。ここに地下蓄熱を組合せる。

せっきくの人工涵養が地下汚染を招くという可能性を封じるため、飲み水・洗い水以外は地下から出さないという新しい利用体系も考えておく必要がある。即ち井戸内に地下と地上との熱交換器を設置し、エネルギーだけ温熱・冷熱を交互に取り入れるのである。従って1サイクルでエネルギー収支は正負でゼロにする。これを単一井戸で行う。その方法は井戸を上下に区切って使うか、竹を真二つに割るように水平に区分するかである。例えば上下区分の場合、井戸回りの水と流れは図7のようになる。これを反転させて温熱回収・冷熱蓄熱という逆運転を行う。ここからはいよいよ夢である。

室内モデルでは機能性試験がうまく行った。これを実地で試し、コスト削減を企て行きたい。これまでの単なる代替エネルギーだけではなく、CO2 ゼロエミッションの利点を持つ。

5. 地下蓄熱の世界的動向

あくまで地下蓄熱でゴングを鳴らしてみたいものである。1978年に米国のエネルギー省からカリフォルニア州パークレイへの国際蓄熱学会へと招き

表2 Terrastock⁽¹²⁾ ジャナル別発表数(全115件)

太陽熱	土壌蓄熱	タンク蓄熱	相変化学蓄熱	化学蓄熱	水蓄熱	帯層蓄熱	その他
8	20	12	19	9	7	16	24

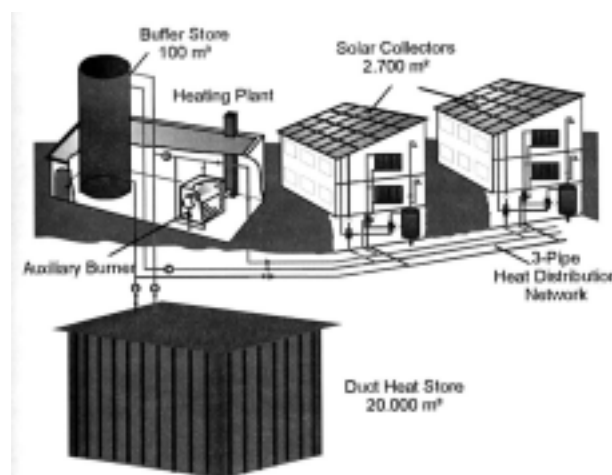


図8 ネッカ-カム市における太陽熱と地中蓄熱を利用した地域冷暖房概念図

を受けた。その時実際に帯水層蓄熱を実施したのは日本(山形)とフランスだけであった。第4回ではそれが10件の報告となり、その他を含め35件の報告がなされた。今年ドイツのシュツットガルトで第8回目が開かれた[12]。ジャンル別に地下蓄熱発表件数をまとめると表2のようになり、土壤蓄熱が主流となっている。例えば100m深で埋設杭熱交換器からの出力が公称4.6kWである。決して安くはないが国の内外で設置が現実のものとなりつつある。地下水の有無や、水質に無関係、地下水汚染の恐れ不用、それに欧米ではCO2ゼロエミッションとキャッチフレーズが続く。実例としてドイツネッカーサルム市での概念図8、杭配置図9を示す。これらがEUの補助を受け、自治体が建設したものである。日本よりはまだまだエネルギー資源を持つ北欧、北米であるが、自然エネルギーへの熱意は広く大きい。会議の締めくりにハーネ教授は「石油が安いから自然エネルギーは太刀打ちできないのだと弱音を吐くのは止めよう」と結んだ。

地中杭熱出力は小さい。これに対し帯水層蓄熱は大きい。小生らの実績では季節間蓄熱でも10~20kW、採熱だけなら百kWのオーダーである。約2桁大きい。井戸1本分がUTES(土壤採熱管)約

100本に相当する。ATES(帯水層蓄熱)もまだ諦めるべきではない。

参考文献

- [1] 国立天文台編,理科年表(机上版), pp.202, 丸善(株), (1999).
- [2] 横山孝男, 梅宮弘道, 日本地下水学会会誌, 17-2, (1975), pp.97-111.
- [3] 横山孝男, 梅宮弘道, 日本機械学会論文集(B)編, vol.46-402(1980-2), pp.322-330.
- [4] 横山孝男, 梅宮弘道, 日本機械学会論文集(B)編, vol.48-435(1982-11), pp.2304-2314.
- [5] 桂木公平, 他2, 地下水と井戸ポンプ, vol.28-3,(1986),pp.1-8.
- [6] 梅宮弘道, 佐藤良弘, 機論(B編), vol.55-No.520(1989-12), pp.3794-3802.
- [7] 梅宮弘道, 武藤剛史, 機論(B編), vol.55-No.520(1989-12), pp.3803-3808.
- [8] 小林郁雄, 他5, 地下水と井戸ポンプ, vol.31-No.8(1989), pp.1-11.
- [9] 横山孝男, 他3, 機論(B), Vol.59-No.563(1993-7), pp.2300-2305.
- [10] Takao Yokoyama, et.al.(3), JSME International Journal Series B, vol.40-No.3(1997), pp.415-421.
- [11] 横山孝男, 東浦將夫, 地下水学会誌, vol.40-No.1, pp.17-31 (1998).
- [12] Proceedings of Terrastock 2000, 8th International Conference on Thermal Energy Storage, University Stuttgart, Germany, August 28 until September 1st, (2000).

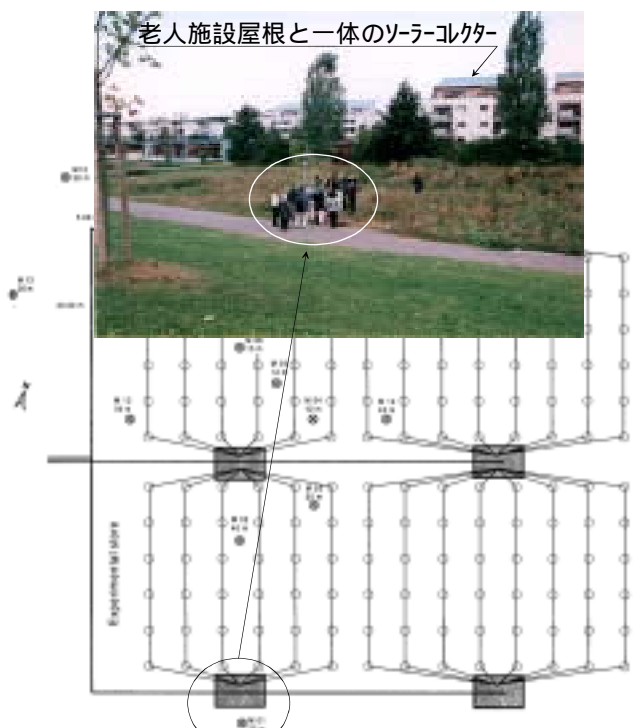


図9 土壤蓄熱領域、Neckarsulm, Germany 2/Sep.'00

氷の温度・濃度複合融解挙動

*Melting Behavior of Ice with a Combined Effect
of Temperature and Concentration*

菅原 征洋 (秋田大学)

Masahiro SUGAWARA (AKITA University)

1. はじめに

氷の融解や水の凍結はNeumann または Stefan 問題として、およそ1800年代の中頃から関心もたれてきて、今もなお研究の対象とされ息の長い問題と言える。この問題の特徴は解析的には固液界面の位置が時間経過につれて変化するため解析が難しいことにある。そのため、時間と融解/凍結量に関する厳密解は長い研究歴史にもかかわらず Neumann と Stefan の解[1]のみである。これは誤差関数を巧みに利用したために解析の成功に至ったと思われる。この厳密解は境界温度が一定など条件が限られているため応用範囲が狭く一般的でない。このため、多くの近似的な取り扱いや数値解析が伝熱関係の論文集に登場するようになってきた。

凍結量の予測にかかせない融解/凍結速度は次に示す固液界面に出入りする熱流束で容易に決まることは周知の通りである。

$$h_f \dot{m} = \lambda \left(\frac{T_L}{x} \right) - \rho_s \left(\frac{T_S}{x} \right) \quad (1)$$

ただし、 h_f は融解の潜熱、 \dot{m} は単位時間、単位面積あたりの融解質量(融解速度)、 λ は熱伝導率、 T は温度、 x は座標、添え字 L は液体、 S は固体を示す。したがって、何らかの方法で融解/凍結系の温度場を解析し、ある時刻での界面の温度勾配を算定することによってその時刻での融解速度を推定することができるのである。仮に固液の温度がいたるところで一様になり、界面の温度勾配が零になれば融解も凍結もしないことになることは式(1)から明らかである。数値解析の発展によって今や一次元問題のみならず複雑な幾何学的な形状を持つ2次元問題や3次元問題でも解析が可能になってきた。

しかしながら、海水や各種水溶液内の純水の融解となると、純水中の融解と比較して取り扱いが難しくなり、融解現象としてもまだ未知な部分が

存在するように思える。たとえば、 0°C の水溶液にこれと同じ温度の氷を浸す場合を考えてみる。少なくとも融解開始時に両者の温度差がない状態とみて良いであろう。このとき式(1)から温度勾配が存在しないので融解速度 \dot{m} は零になって氷は融解しないことになる。しかしながら、 -5°C で20wt%の塩化カルシウム水溶液にこれと同じ温度の純氷を浸すと、融解面の温度が急激に降下して氷は自発的に融解していくことは実験から認められている。この現象は何も目新しいことではなく、冬期間道路上の積雪に薬剤をまいて融雪や凍結防止を行っているが、これと基本的には同じ現象である。熱力学的には融解系に化学ポテンシャルが存在するため、氷は一種の反応挙動ともみられる融解が生じることになる。しかしながら、具体的にある時間内にどれだけ融解するのか、つまり融解速度となると、式(1)のほかに次に示す濃度拡散の式を用意しなければならない。

$$C_F \dot{m} = D \left(\frac{C}{x} \right) \quad (2)$$

ただし、 C_F は融解面の平衡濃度、 ρ は密度、 D は物質拡散係数である。

この式は、融解面をsemi-permeable plane と見なした関係式である。つまり、溶質分子が氷内部に浸透しないとするのである。このように熱バランス式(1)と質量バランス式(2)を連立させて融解速度 \dot{m} と熱力学的に平衡関係にある融解面の温度 T_F と融解面の濃度 C_F を求めるのである。

著者らの報告[2,3]に述べているように、これまで、溶液中の融解(溶解)問題は海水中の氷山などの融解問題について最初海洋学者らに関心が持たれてきたようである。野外実験、研究室実験、解析的な取り扱いなど多くの報告がなされている。しかしながら、融解速度に対する定量的な議論は充分でなく不明な点が多い。このような問題は前

述のNeu-mann/Stefan問題よりは研究歴史が浅く発展途上のように思えるが、しかし、今から100年ほど前に熱力学の第3法則を提唱し、ノーベル賞の受賞者でもあるNernstもこれに関心を示し、溶液中の固体の溶解反応でいわゆるNernstのモデルを提案した[4]。これは溶融面に0.03mmの大変薄い濃度拡散層が存在して、ここの濃度勾配によって拡散する量(Fickの法則)に見合うだけ溶融するというモデルである。拡散層の外側の溶液の濃度は一様濃度と仮定するという、いわゆる折れ線濃度分布モデルである。この物理的に理解しがたい大変薄い拡散層厚さ δ (=0.03mm)の存在が議論の対象になると思うが、しかし、多くの溶解実験結果を説明できるとしている。ただし、この δ の値は数多くの溶解実験結果から反応速度定数を求めて δ の値を算定したのである。

著者らは氷の濃度・温度複合融解に関心をもち、研究を続けてきているが、これまで、報告した主な結果を要約して紹介する[2,5]。

2. 垂直氷板の融解

図1は氷板と塩化カルシウム初期温度がそれぞれ $T_{Si} = T_{Li} = -5^{\circ}\text{C}$ 、水溶液部(氷板)の高さ $H = 100\text{mm}$ 、幅 $L = 50\text{mm}$ 、氷板の厚さ $\delta = 10\text{mm}$ の場合の融解系の流れの可視化写真(a)と数値解析による流れのベクトル線図(b)、等温度分布線(c)および

等濃度分布線図(d)である。ただし、数値解析は連続、運動量、エネルギー、質量保存の格式を連立させて、前述の融解面の境界条件である式(1)と(2)を満足するように繰り返し計算を行うのである。これをみると、最初液層内には対流が存在せず静止しているが、融解に伴う潜熱吸収のため融解面近傍の溶液の温度が降下して密度増加となり負の浮力(下方向、重力方向)が作用する。これに反し融解液の拡散のため溶液は水成分に富み密度の低下をもたらして浮力(上方向)が作用する。しかしながら、濃度体膨張係数 β_c が温度体膨張係数 β_T より格段と大きいことによる濃度差浮力の優勢のため融解面近傍で濃度境界層が形成され融解液の上昇流がみられる(b-1)。融解時間の経過に伴って温度・濃度共に低い融液が融解面を上昇して液層上部で水平方向に広がり、可視化観察に見られるような安定した濃度分布の存在する濃度成層領域(Stratified region)が発達していく様子がわかる(d-1)。この領域の速度は大変小さく、ところによってはほとんど融解液が停止しているように見える。一方、濃度成層領域の下に反時計方向周りの強い渦が存在する。これは等濃度分布線図(d-1)との対比でもわかるように、この領域の濃度は、ほぼ初期濃度に近く、融解液と混じりにくいので、非混合領域(Uncontaminated region)とも呼ばれている。したがって、この領域では濃度差浮力が存在しない

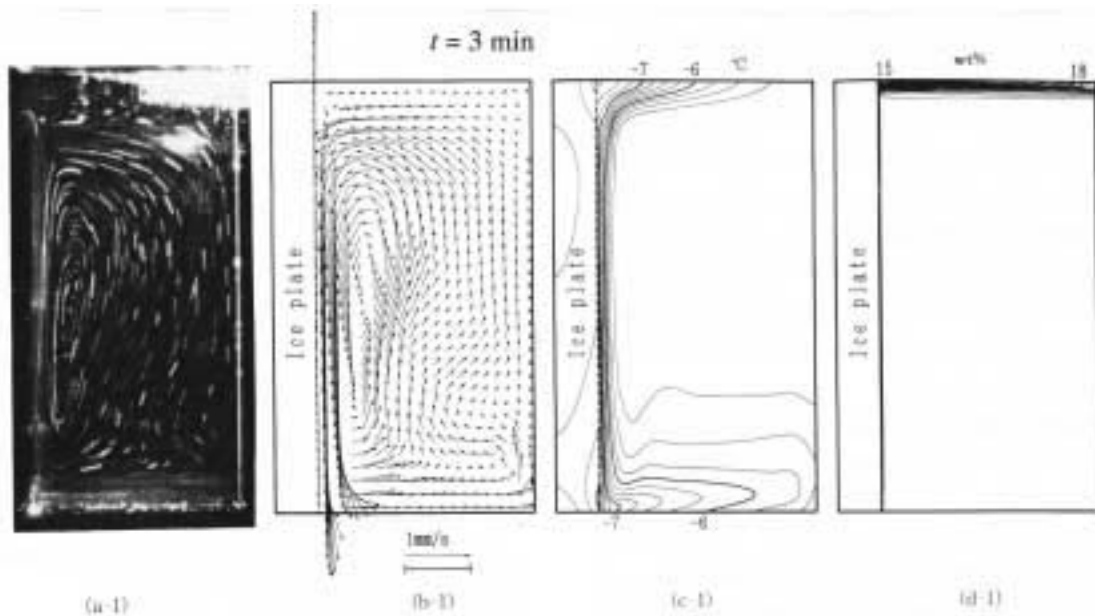


Fig.1 (a) Visual observations of flow in the liquid and predicted results of (b) velocity vector, (c) isotherms and (d) concentration isopleths at $t=3$ min

ので、水溶液の温度低下に伴う負の温度差浮力(重力方向)のみが存在するので、低温の溶液が液層底部へ広がっていくのである。したがって、液層上部と底部で温度の低い領域が存在するのが特徴である。液層内の対流模様は渦の中心が融解面近傍に現れ、他の自然対流では見られない特異な形をなしている。しかも、液層底面をはって来た流れが融解面の対面から引き返して、また上昇している。氷板の融解を伴う複雑な温度・濃度複合対流の時間的变化に対する数値解析結果は可視化観察結果と類似していることが認められる。

図2は図1と同じ計算条件での垂直方向速度 v の水平 (x) 方向の分布を示す。この図から、前記の液層内の流れがいつそう明確になり、融解面 ($x=0$) 近傍の濃度境界層内の融解液の上昇流が明確に認められ、この厚さは極めて薄いのが特徴である。

図3は液層内の温度 T と水濃度 ($I-C$) の融解面

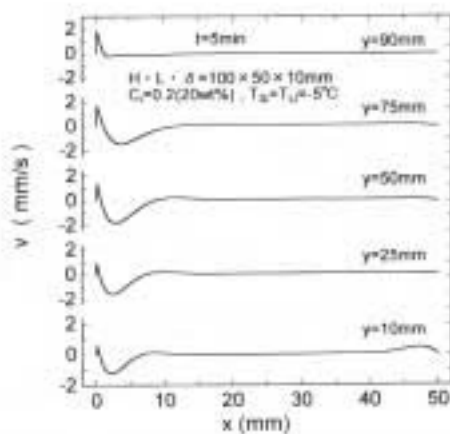


Fig.2 Predicted profiles of vertical velocity component

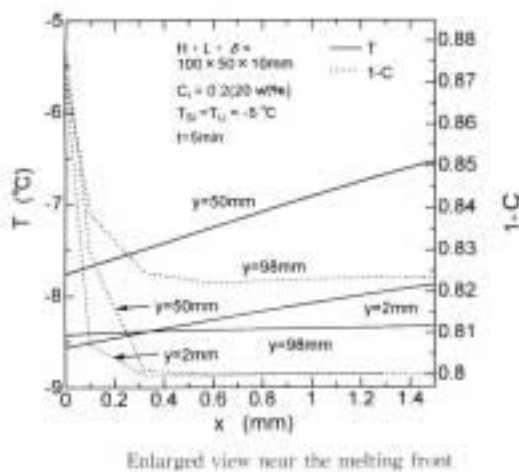


Fig.3 Predicted profiles of temperature and water concentration in the liquid

($x=0$) 付近の拡大図である。破線で示されている水濃度勾配は極めて急であり、液層の底, 中, 上にいくにしたがって勾配がゆるやかになっている。これは融解液が濃度境界層を上昇するにしたがって次第に水成分に富んでいくからである。この濃度勾配の変化は融解速度の変化に対応する。水濃度分布は濃度境界層内では急激な濃度勾配をもつが、これの外側では水平に近い一様濃度分布となっている。このような折れ線濃度分布は、前述の数多くの実験結果を基にして仮定した Nernst (1904) [4] のモデルと形の上では大変良く似ているのは興味深い。しかし、Nernstの拡散層厚さは 0.03mm であるのに対して、著者らの結果は図より 0.3mm で約10倍厚くなっている。温度勾配は水濃度勾配と比較して大変小さいが、これは本融解系のルイス数 Le が約400と大変大きな値をもつことに起因する。

図4は氷板内部中央部の温度 T_1 と融解面と対面する断熱壁の上部温度 T_2 と下部温度 T_3 および平均融解質量 M の時間変化に対する数値解と実験値を比較したものである。融解初期を除いて融解面温度 T_F にほぼ相当する氷板温度 T_1 は融解開始から急激に低下し、その後、おだやかに単調に低下していく傾向を示している。一方、融解面から離れた温度 T_2 と T_3 は T_1 よりかなり遅れて液層内の温度・濃度複合対流によって低下していくのが認められる。本融解問題の複雑さからみて、本数値解析は実験の傾向を比較的によく予測できているように思え、氷板は濃度勾配(濃度拡散)に駆動されて融解し、しかも温度・濃度複合対流に支配されて融解するとした融解モデルはほぼ妥当であると言える。

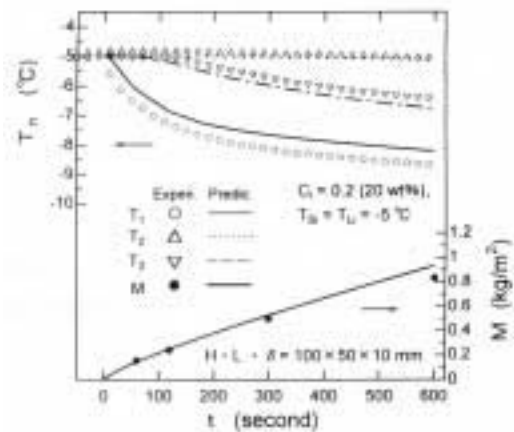


Fig.4 Comparison of predicted and experiment for temperature and mean melting mass

3. 水平氷円柱の融解

図5は融解時間 $t=5 \text{ min}$ のときの液層流れの (a) 可視化観察写真と数値解析で得られた (b) 速度ベクトル, (c) 等温度分布線, (d) 等濃度分布線を示

す. 図1の垂直氷板の場合と異なって, 融解液は氷円柱上面から離れ液層上部を上昇する. 周囲の液はこの上昇流に巻き込まれて, 液層上部で渦状の濃度差対流が形成される. 一方, 液層下部では渦状

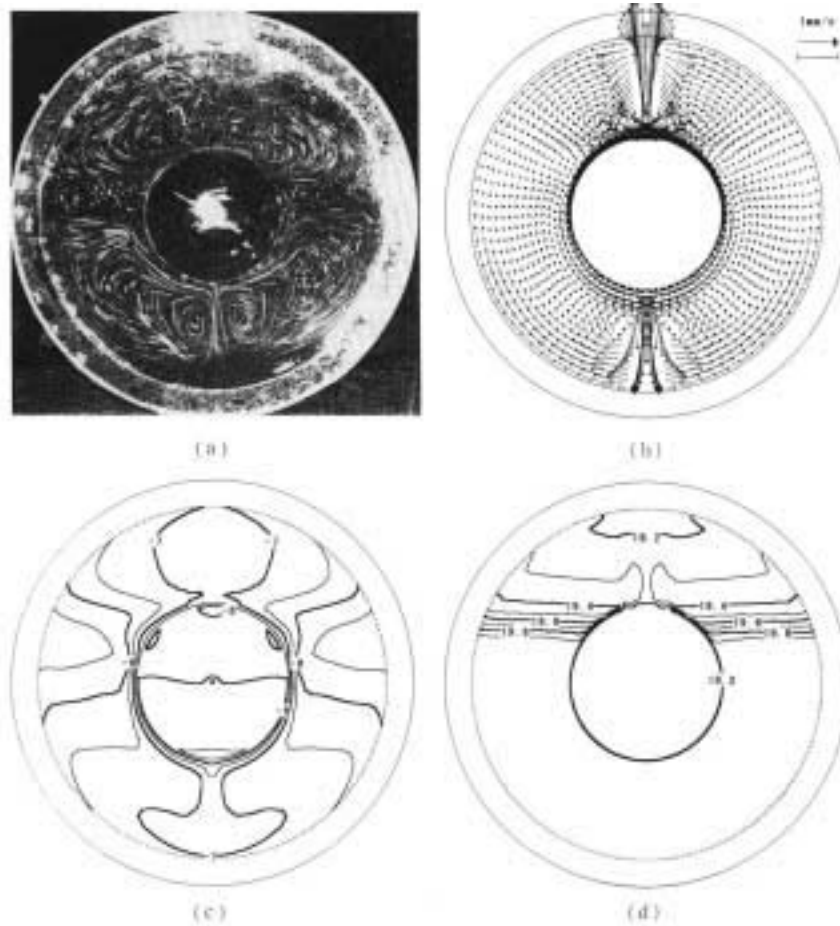


Fig.5 (a) Visual observations of flow in the liquid and predicted results of (b) velocity vector, (c) isotherms and (d) concentration isopleths at $t=5 \text{ min}$

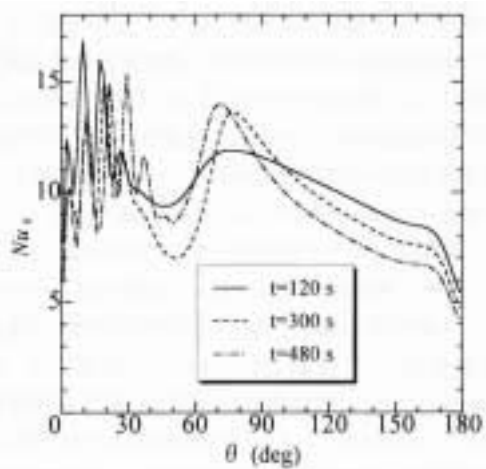


Fig.6 Local Nusselt number at the melting front

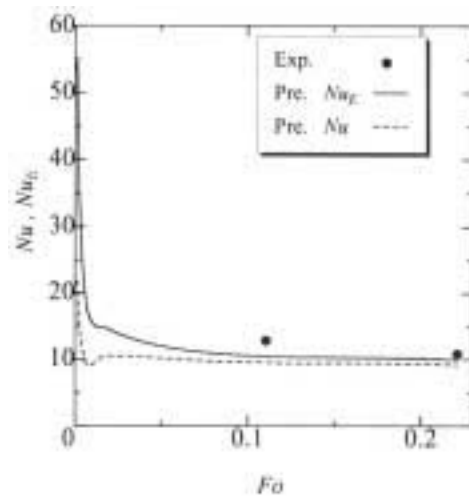


Fig.7 Comparison of experiments and predictions for the mean Nusselt number at the interface

の温度差支配対流が現れる。上方の濃度差支配対流と下方の温度差支配対流との境界付近に流速の大変遅く、ほとんど停滞している領域が認められる。この停滞層の濃度は融解水と混じり合わない初期濃度に近く、しかも温度が融解系で最も高いので、密度的にちょうど上下対流の中間にあるので濃度差支配対流と温度差支配対流に浸食されない安定した領域と思われる。時間の経過につれて流れが弱くなるため、この停滞層の厚さは次第に厚くなっていく。

図6は融解面における角度と局所ヌセルト数 Nu_{θ} の数値解析結果を時間をパラメタにとって示した。 $\theta = 0 \text{ deg}$ は融解面の頂点であり、 $\theta = 180 \text{ deg}$ は最下部の位置である。融解面上部で局所ヌセルト数は比較的に大きな値を示している。しかしながら、鋸刃状に乱れて変動していることが明確に認められる。これは、図5(a)の可視化写真からも推測されるように融解面上部で流れが乱れて、しかも小さな渦が沢山現れている可能性があると思われる。このことは、上部融解面で鮫肌のような細かい凹凸面が観察されたことから推定できる。融解面の θ が大きくなるにつれて Nu_{θ} は次第に小さくなって極小値を示し、また上昇している。この極小値を示す箇所はちょうど液層内の停滞層が存在している位置であると思われる。多少の変動が伴うものの Nu_{θ} は次第に減少して最下部で最も小さな局所ヌセルト数となっている。

図7は平均融解ヌセルト数とフーリエ数との関係であり、実験結果と計算予測結果と比較してある。破線で示したヌセルト数 Nu は氷層からの熱流束を除いたものである(注:純水中の融解の場合の氷層内の熱移動は融解速度を減少させるが、水溶液では逆に促進する)。一方、実線で示したヌセルト数 Nu_E は氷の融解に費やされた全熱流束 q (氷層と液層からの合計熱流束)で計算したものである。融解初期で両者の間(実線と破線)に差異が認められるが、時間の経過につれて両者の差異が次第に減少していることが認められる。したがって、ある程度、時間が経過したら融解に費やされる熱流束 q でヌセルト数を算定しても許容されると思われる。しかしながら、融解初期では両者の差異が大きいため注意を要する。融解初期で大変大きなヌセルト数を示している。これは、氷と水溶液の間に初期温度差がない条件で融解が開始しているため、ヌセルト数を定義している融解面と周囲の温度差

が極めて小さいにもかかわらず融解初期に融解面近傍に大きな温度勾配(濃度勾配)が現れて融解が自発的に急速に進行したことを示す。時間の経過につれて液層内の対流が発達して、準定常的な安定した値を示しており、実験結果と比較的に良く一致していることが認められる。

4. おわりに

水溶液内の氷の融解について著者らがこれまで研究を進めてきた主なものを取り上げた。純水中の氷の融解と異なって、熱拡散と比較してその速度が大変小さい濃度拡散も関与するので解析などの取り扱いが難しくなる反面、純水中の融解には見られない興味ある現象も見られた。この種の研究は地球温暖化による極氷の融解にかかわる環境予測にも応用できる外、最近相変化を利用した蓄熱装置などで凍結による圧力上昇を軽減するため水溶液を凍結させる試みもなされている[6]。氷ばかりでなく、合金など新素材の開発にかかわる凝固・溶融問題にも関連するため、今後の研究発展が望まれる。

参考文献

- [1] Carslaw, H. S. and Jaeger, J. C., *Conduction of Heat in Solids*, Oxford at the Clarendon Press (1959).
- [2] 菅原征洋, 藤田忠, 日本機械学会論文集B編, 63-612(1997)2784.
- [3] Sugawara, M. and Irvine, T. F. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43-9(2000)1591.
- [4] Moelwyn-Hughes, E. A., *The Kinetics of Reactions in Solution*, 2nd ed., Oxford at the Clarendon Press (1947).
- [5] 菅原征洋, 沢木昭祥, 田子真, 藤田忠, 日本機械学会論文集B編, 65-636(1999)2785.
- [6] 笹口健吾, 石川昌稔, 牟田健二, 芳野清隆, 馬場敬之, 第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集(神戸) Vol. I (1999) 9.

氷を用いた蓄冷・熱 (水平楕円管カプセルによる氷の融解熱伝達)

*Cold Heat / Heat Storage System using Ice
(Ice Melting Heat Transfer in a Horizontal Elliptical Tube Located in Water)*

廣瀬 宏一 (岩手大学)

Koichi HIROSE (Iwate University)

1. はじめに

東北地方は本州の北に位置し、南北に細長い地形であり、国土面積の18%を占めている。地形の中央を背骨のように奥羽山脈が走り、都市間距離が大きいとともに、冬期には北海道や北陸の一部とともに雪や寒さによる凍結など、寒さによる様々な問題に直面している地域である。その中でも岩手県は夏が短く、冬には厳しい寒冷地であり、豪雪もさることながら、凍結地域が多いことで知られている。

こうした中にありながらも、2000年の夏は異常とも思える暑さで、使用電力量の増加傾向は収まる気配を見せない。こうしたエネルギー需給構造のアンバランスの低減は緊急な課題の1つであり、雪や氷を用いた様々な対策が探られていることは周知のところでもある。また、氷は寒冷地としての岩手では、冬期には身の周りに普通に存在するものであり、朝日をあびた氷柱の美しさや、バケツに浮かんだ氷の融ける形の妙味など、厳しい寒さの代表としての存在であるばかりでなく、美的・知的な興味を引く存在でもあり続けている。

こうしたエネルギー需給構造の時間的平準化の担い手という観点と、氷は水の中でどのように融けていくのかという単純な好奇心のような複合的な観点から岩手大学で行ってきている氷を用いた蓄冷・熱として水平な楕円管カプセル内での氷の融解熱伝達に関する研究を紹介するものである。

2. 対象とするモデルについて

エネルギー需給構造の時間的整合性を調整するものとして、氷を用いて冷熱を蓄え、必要に応じて取り出して使う氷蓄熱システムは、その有効な手段の1つとして研究され、一部実用化されるに到っている[1]。氷蓄熱システムは大別すると、伝熱面の氷を連続的に離脱させて貯蔵を行うダイナミック型と、伝熱面に氷を固着させるスタティック型とに分けられる[2]。リキッドアイスとしてダイナミック型の製氷方式が実用化されている例もあるが、冷房性能の

予測が困難であるとの指摘もあり、カプセル型の潜熱蓄熱方式を見直す動きもある[3]。しかし、こうしたカプセル型の場合、カプセル形状は円筒状や球状といった単純な形状のものがほとんどであり、任意形状についての研究は、カプセル周囲の熱媒体の自然対流による熱伝達と、カプセル内部の氷の融解を伴う熱伝達とが、相互に連成する複合熱伝達となるため、なかなか見当たらないのが現状である[4]。最近の加工技術の進展に伴い、任意形状管の製作が容易になり、ゼロコイルなどといわれ流動抵抗を低減化するため、熱交換器に楕円管を用いたものも考案されている。こうした自由度の高い形状に対する融解熱伝達特性および対流挙動などを明らかにすることも重要になってきている。ここでは、カプセルを楕円管形状とした場合について行った実験および数値解析から、カプセルの周囲温度や楕円管の配置角度などを変化させることによる氷の融解過程の違いなどに着目した熱伝達特性の変化を示している。

3. 実験装置および実験方法

3.1 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。実験装置は大別して恒温水循環装置、試験部、温度測定機器からなる。供試楕円管を厚さ15mmの亚克力製の台に設けた前後の亚克力製支持板のほぼ中央に固定し、全体を静かに水中に設置した。供試楕円管は直径38mm、肉厚2mmの銅管を用い、楕円率1.4の金型

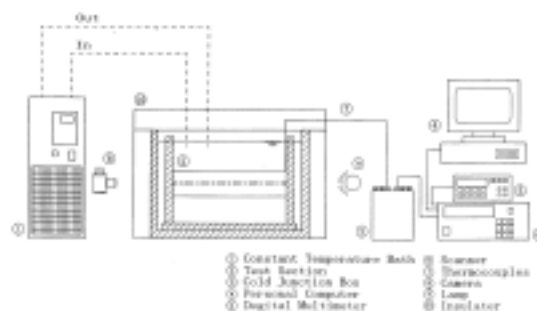


図1 実験装置概略

を自作し、所定の楕円率が得られるまでプレスして製作した。実験水槽は幅 600mm、高さ 350mm、奥行き 290mm あり、周囲を厚さ 50mm の断熱材(発砲ポリスチレン)で覆い、一様な温度に保った。温度測定には 0.2mm の銅-コンスタン(T 型)熱電対を用い、外部零接点補償器を経由して、0.5mm の補償銅線を用いて温度測定機器と接続した。

3.2 実験方法

実験に用いた水は、蒸留水を減圧沸騰させ、空気の含有率を押さえたものを用いて凍結させた。試験水槽の温度が設定温度になるまで約 3 時間ほど恒温水循環装置を動作させ、試験水槽内が一様な温度に達したことを確認した後、恒温水循環装置を止め、流れを静止させた。その後、氷で満たされた楕円管を支持台に取り付け、水平を確認した後、全体を水槽内に静かに設置し、実験開始点とした。実験は周囲温度を変え、それぞれについて楕円管の配置角度を変化させて行った。温度測定の時間間隔は、設定した水温によって氷の融解に要する時間が大きく異なるため、周囲水温により 2, 3, 5, 10 分毎と変化させて行った。また、温度測定と同時に融解面形状の写真撮影を行った。実験は楕円管内部で氷の融解が進行し、氷の中心支持用のアルミパイプが表出した段階で終了とした。

3.3 実験結果

図 2 (a),(b),(c)は、楕円管を縦型に配置した場合に、それぞれ周囲水温 5 で 110min 経過後、周囲水温 10 で 45min 経過後、周囲水温 15 で 22min 経過後の融解面の形状写真を示した。これらから周囲水温が 5 と低い場合、氷は中心軸より下部側で融解が進み上部側に偏っており、上端部側が若干細長くなっている様子が見られる。周囲水温が 10 の場合は氷の上部側が扁平になってきているが、全体的には中

心軸を同心状に囲むように融解していることがわかる。さらに、周囲水温が 15 と高い場合は、逆に中心軸の上部側で融解が促進され、氷は丸みを帯びた形状となり、下部側に偏っていることがわかる。

4. 解 析

4.1 物理モデルおよび座標系

図 3 には数値解析モデルおよび座標系を示した。座標系には水平な楕円管の中心に原点を有する極座標系を用いている。物理的には水温 T の水中に、氷で満たされた楕円形状管を静かに水平に設置することによって、楕円管周囲の水が冷却され、自然対流が発生すると同時に管内の氷が融け始め、楕円管内外の自然対流場が熱的に複合しながら、内部の氷の融解が進行する場合に相当している。解析に際して、次の仮定を用いている。(1)流れは層流である。(2) k , C_p および ρ などの物性値は一定である。(3) Boussinesq 近似が成立する。(4)融解に伴う氷の体積変化はない。(5)固相は中心で固定され、温度は融点で一様である。

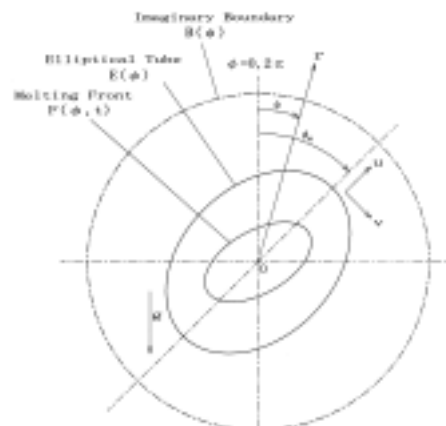
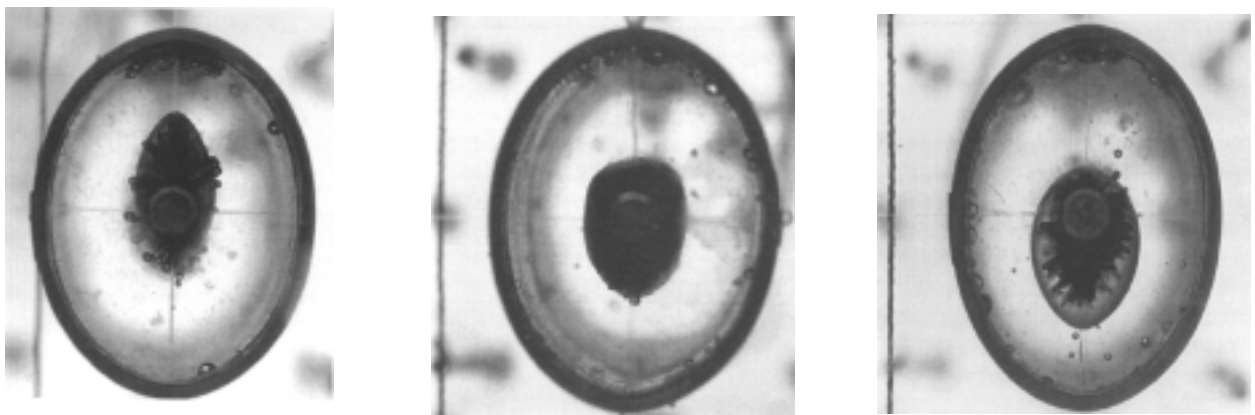


図 3 数値解析モデルおよび座標系



(a) $T = 5$, $t=110\text{min}$

(b) $T = 10$, $t=45\text{min}$

(c) $T = 15$, $t=22\text{min}$

図 2 縦型楕円管における代表的な融解面形状写真 (楕円率 = 1.36)

基礎方程式は楕円管周りの自然対流部分と楕円管内部の融解を伴う部分に分けて表す。

4.1.1 楕円管周りに対して

楕円管の配置角度を変化させるため、楕円管形状および計算上の仮想境界面の両方を固定するために、境界固定法[5]を用いている。

$$\eta_o = \frac{r^+ - E^+(\phi)}{B^+(\phi) - E^+(\phi)}$$

上記の独立変数を用いて変換した無次元化された基礎方程式を以下に示す(便宜上,+記号は省略)。エネルギー式

$$\frac{\partial T_o}{\partial t} + \frac{1}{\pi r} \frac{\partial \eta_o}{\partial r} \frac{\partial (T_o, \psi_o)}{\partial (\eta_o, \phi)} = \nabla_o^2 T_o$$

運動方程式

$$\frac{\partial \omega_o}{\partial t} + \frac{1}{\pi} \frac{\partial \eta_o}{\partial r} \frac{\partial (\omega_o, \psi_o)}{\partial (\eta_o, \phi)} = Pr_o \nabla_o^2 \omega_o + Pr_o Ra_o \left[\sin \pi \phi \frac{\partial f_o}{\partial T_o} \frac{\partial T_o}{\partial \eta_o} \frac{\partial \eta_o}{\partial r} + \frac{\cos \pi \phi}{\pi r} \frac{\partial f_o}{\partial T_o} \left(\frac{\partial T_o}{\partial \eta_o} \frac{\partial \eta_o}{\partial \phi} + \frac{\partial T_o}{\partial \phi} \right) \right]$$

渦度の定義式

$$-\omega_o = \nabla_o^2 \psi_o$$

4.1.2 楕円管内部に対して

楕円管内部では氷の融解を伴う自然対流場となる。氷の融解に伴い融解面が移動するため、融解面と楕円管壁面の両方を固定化する目的で、楕円管内部にも境界固定法を導入した。そのための独立変数を以下に示した(便宜上,以後+記号は省略)。

$$\eta = \frac{r^+ - F^+(\phi, t)}{E^+(\phi) - F^+(\phi, t)}$$

上記の独立変数を用いて変換した無次元化された基礎方程式を以下に示す。

エネルギー式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{\pi} \frac{\partial \eta}{\partial r} \frac{\partial (T, \psi)}{\partial (\eta, \phi)} = \nabla^2 T - \frac{\partial \eta}{\partial t} \frac{\partial T}{\partial \eta}$$

運動方程式

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{1}{\pi} \frac{\partial \eta}{\partial r} \frac{\partial (\omega, \psi)}{\partial (\eta, \phi)} = Pr \nabla^2 \omega - \frac{\partial \eta}{\partial t} \frac{\partial \omega}{\partial \eta} + Pr Ra \left[\sin \pi \phi \frac{\partial f}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial r} + \frac{\cos \pi \phi}{\pi r} \frac{\partial f}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} + \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) \right]$$

渦度の定義式

$$-\omega = \nabla^2 \psi$$

上式中の f_o および f は楕円管周り、楕円管内部の水の密度変化を考慮するための関数であり、水の密度を近似した藤井の式[6]から求められる。

4.1.3 熱的境界条件について

楕円管周りの水の自然対流と氷の融解に伴う楕円管内部の水の自然対流との熱的複合系を考えるため、楕円管内壁での熱的結合条件として次式を用いた。

$$\lambda_o \frac{1}{B-E} \frac{\partial T_o}{\partial \eta_o} = \lambda \frac{1}{E-F} \frac{\partial T}{\partial \eta}$$

楕円管内部における融解面の移動を表す結合条件式には次式を用いた。

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -Ste \left[1 + \left(\frac{F_o}{\pi F} \right)^2 \right] \left. \frac{1}{E-F} \frac{\partial T}{\partial \eta} \right|_{\eta=0}$$

4.2 数値解析

数値解析においては、初期液相を仮定し、楕円管壁面に初期温度として $T_{w,ini}$ を与えた。また、融解面の移動は対流場の形成に比べて遅いことから、融解過程の解析には準定常近似を用いた。数値解析には差分法による陽解法を用い、連続の式にはSOR法を用いた。楕円管の相当平均半径の2.5倍の位置に仮想境界面を設け、熱媒体の流入・流出を考慮した。

結果を整理するのに用いた融解面での局所Nu数は融解面における局所温度勾配と、その時刻における楕円管壁温度分布の平均値 $T_w(t)$ を用いて次のように定義した。 D は楕円管の相当平均直径を表す。

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} = 2 \frac{hR}{\lambda} = 2 \frac{T_{w,ini}}{T_w(t)} \frac{\partial T^+}{\partial r^+}$$

無次元伝熱量 Q^+ は局所Nu数を融解面において積分することにより、平均Nu数は無次元伝熱量 Q^+ を、その時点での融解面の面積 $S(t)$ で割ることによって求め、それぞれ次式のように定義した。

$$Q^+ = \int_S Nu dS(t) \quad , \quad \overline{Nu} = \frac{Q^+}{S(t)}$$

5. 結果および考察

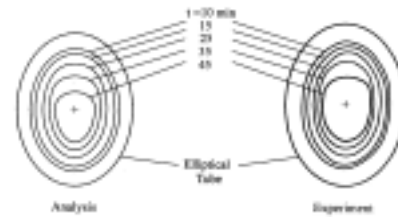
図4には代表的な場合として、周囲水温が10の時、楕円管を縦型に配置したものを示した。図4(a)には実験と数値解析による融解面形状の時間変化の比較を示し、図4(b)には数値解析から求めた融解後期(t=45min)における流れ場、温度場および融解面形状を示した。融解面形状の時間変化は撮影した写真から得たものであり、数値解析による融解過程は、時間の経過とともに融解面上部が扁平化する特徴を捉えており、実験結果と良く一致している事がわかる。周囲水温が10の場合、楕円管壁温度が上昇し4を越えるため、楕円管内部の融解面(0)と

の間に密度反転領域が生じ、流れ場が複雑なものとなる。図4(b)では管壁側に4を越える暖かい渦と、融解面側に4以下の冷たい渦が存在し、半径方向に渦が2重化していることがわかる、この冷たい渦が融解の進行を妨げ、暖かい流れが融解面上部で衝突流となるため、融解が進行し、上部側が扁平化した形状となる。

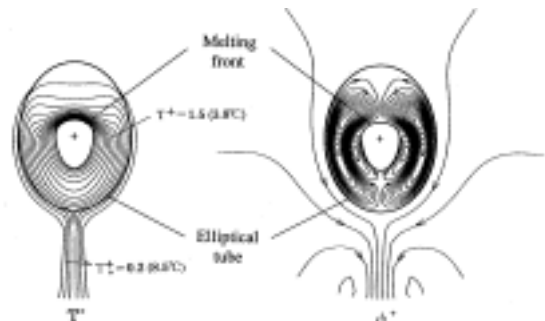
図5には代表的な場合として、周囲水温をパラメータとして変化させた縦型楕円管での氷の融解率の時間変化を示した。図からそれぞれの周囲水温において、実験結果と数値解析結果とは良い一致を示していることがわかる。これらから、水中に置かれた楕円管内の融解熱伝達特性を、数値的に予測する事が可能であると思われた。

図6には周囲水温を10とし、楕円管の配置角度をパラメータとして変化させた場合の、数値解析による融解面まわりの平均Nu数の時間変化を示した。図から融解の初期には、楕円管の配置角度によらず高い値となっている。これは融解の初期において、暖められた管壁と融解面との距離が小さく、温度勾配が大きいためと思われた。また、融解が進行するにつれて平均Nu数は安定するが、楕円管の配置角度による差はなかなか現れないことがわかる。周囲水温が10の場合、氷の融解面付近には4以下の冷たい渦が形成されるため、融解の進行に伴う流れ場の発達による差が現れにくく、融解開始から比較的長期にわたり、配置角度による平均Nu数の顕著な差は現れなかった。しかし、時間の経過とともに平均Nu数の値は縦型で徐々に大きくなり、斜め型、横型となるにつれて小さくなるなど、配置角度による差が大きくなってきている。これは融解の進行に伴い、配置角度の違いによる流れ場の違いが、融解の進行に影響を及ぼすようになってきたためである。

本研究では、相当平均内半径が17mmと小さいため、楕円管内部のRa数も小さく、対流の影響も小



(a) 融解面形状の時間変化の比較



(b) 数値解析による等温線と流線(t=45min)

図4 実験結果と数値解析結果との比較
(縦型楕円管, $T = 10$ の場合)

さいが、管径が大きくなるにつれて、配置角度の影響は大きくなるものと思われ、縦型楕円管の場合には、融解が促進されることが期待される。

図7には特徴的な場合として周囲水温が5の時に楕円管の配置角度を斜め型にしたものを示した。図7(a)には実験と数値解析による融解面形状の時間変化の比較を示し、図7(b)には数値解析から求めた融解後期($t=110\text{min}$)における流れ場、温度場および融解面形状を示した。図7(a)から斜め型の場合、楕円管の中心軸下部側で融解が進行し、斜め上部で融解が遅く、うりざね型の融解面形状となっている。

数値解析結果を実験から得られた融解面形状の時間変化と比較し、定性的・定量的に良く一致していることがわかる。図7(b)では左図が等温線、右図

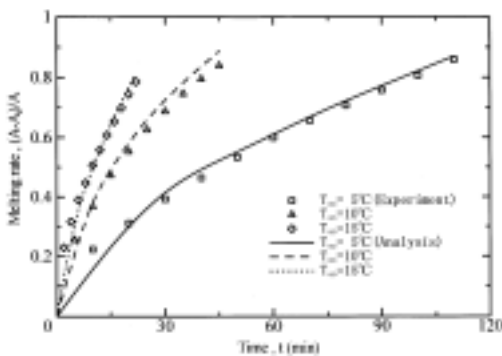


図5 周囲水温による融解率の時間変化の比較
(縦型楕円管の場合)

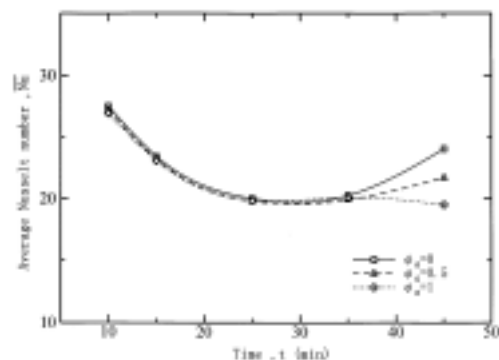
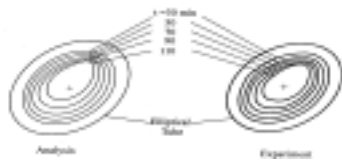
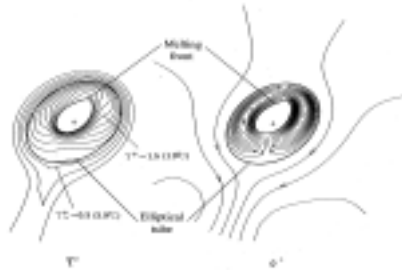


図6 楕円管の配置による平均Nu数の変化
($T = 10$ の場合)



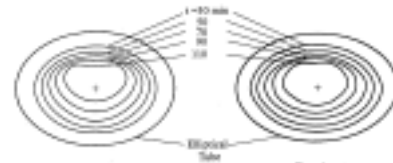
(a) 融解面形状の時間変化の比較



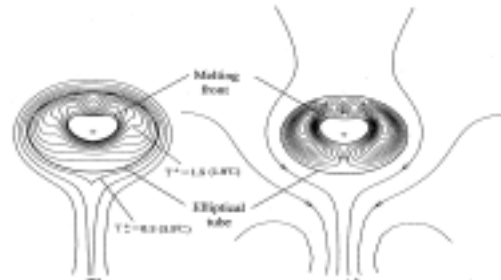
(b) 数値解析による等温線と流線(t=110min)

図7 実験結果と数値解析結果との比較

(斜め型楕円管, $T = 5$ の場合)



(a) 融解面形状の時間変化の比較



(b) 数値解析による等温線と流線(t=45min)

図8 実験結果と数値解析結果との比較

(横型楕円管, $T = 10$ の場合)

が流線を示し、流線から楕円管内部では氷融解面に沿って上昇する渦が見られ、楕円管周りでは単一な下降流となっていることがわかる。また、氷上部側のブルームが上昇する位置が鉛直軸側に近づいて来ており、うりざね型の特徴的な融解面形状が形成される。

図8(a)には周囲水温が5の時に、楕円管を横型に配置した場合の実験と数値解析による融解面形状の時間変化の比較を示し、図8(b)には数値解析から求めた融解後期(t=110min)における流れ場、温度場および融解面形状を示した。横型の場合、中心軸の下部側で融解が進行し、上部側では氷上面が徐々に扁平化し、最終的には上に凹の融解面形状になっていく様子が示されている。数値解析結果においても上記の特徴的な融解過程が良く捉えられていることがわかる。図8(a)から氷上面が扁平になってくると、周囲水温が5の場合、氷上部では融解面付近で密度が軽く楕円管壁側で重くなり、密度的に不安定な状態になる。このため、融解の進行に伴い氷上部に2次渦が発生し、氷上面に向かう衝突流が形成され、氷上面に融解の進行する部分が現れ、融解面は上に凹の形状になっていくことがわかる。

5. おわりに

静水中に置かれた水平な楕円管内の氷の融解熱伝達についての数値解析と実験を通して、次のような思いを深くした。

(1)数値解析結果と実験結果との比較において、両者

には良い一致が見られ、実験的に得られた特徴的な融解面が形成されたメカニズムを数値解析から説明でき、氷を用いた場合、密度反転現象の存在が非常に大きな影響を与えていることがわかり、興味の尽きない問題であることを改めて感じる事ができた。

(2)楕円管の場合、周囲水温や管の配置角度による平均Nu数の変化が見られ、こうした管の配置角度の違いを利用する事によってPCMに蓄熱する場合は太陽光に面して斜め型に、熱を逃がさないようにするには横型に、使用する時は縦型にするなどという、パッシブな伝熱制御の可能性が期待される。

参考文献

- [1] 稲葉英男・ほか2名,日本機械学会論文集B編, **61-589**(1995)3296.
- [2] 稲葉英男・福迫尚一郎, 低温環境下の伝熱現象とその応用, 養賢堂(1996).
- [3] 野間毅・山下勝也, 第36回日本伝熱ソポジウム講演論文集, (1999)353.
- [4] 廣瀬宏一・ほか2名,日本機械学会論文集B編, **63-608**(1997)1375.
- [5] Saitoh,T., Trans. ASME, J. Heat Transfer, **100** (1978) 294.
- [6] 藤井哲・ほか4名, 伝熱工学の進展 3, 養賢堂(1974).

噴霧特性の制御とその応用

Control of Spray Characteristics and Their Applications

支部の話題

大黒 正敏 (八戸工業大学)

Masatoshi DAIKOKU (Hachinohe Institute of Technology)

1. はじめに

液体の微粒化技術は内燃機関やボイラーにおける噴霧燃焼や噴霧乾燥など幅広い分野に用いられている。液体の微粒化は基本的には液体に何らかのエネルギーを加え、その表面積を増加させる操作であり、使用するエネルギーによって微粒化法はしばしば分類されるが、圧力式、二流体式、回転式が大勢を占めている。これら液体微粒化装置は、その使用目的に適した噴霧を得るためのものであり、広い意味では微粒化装置自体に関する研究のほとんどは噴霧特性の制御に関するものであるとも言えるが、本報告では、主に筆者がこれまでに携わり、また現在も継続している二流体噴射弁の開発及び噴霧特性の制御に関する問題と液体微粒化技術の応用について紹介したい。

2. 液体微粒化技術の応用

2.1 農薬散布における噴霧特性の制御

農業分野における液体微粒化技術の応用例として、農薬散布の問題[1]がある。従来は農薬を多量の水で希釈して散布する方法が採られていたが、この場合は生成される噴霧粒子径を小さくする必要はなかったが、薬剤が土壌表面に落下し、薬剤の無駄と土壌汚染の問題が生じる。そのため、現在では、「精密防除」という、農薬の濃度を高めて散布量を少なくする方法が多く採られているようである。

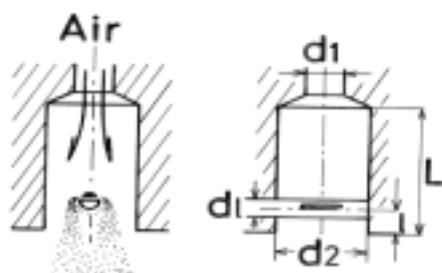


図1 スリット型二流体噴射弁

著者らは既に1980年代にこの方法に着目し、二流体噴射弁の寸法形状が噴霧特性に及ぼす影響を調べた結果[2]を応用して、図1に示す微細なスリットから噴出する液体を空気流で微粒化する方式の温室における農薬散布用の噴射弁を開発し、その特性を実験的に求めた[3]。

図2は噴射弁ポートの寸法が噴霧特性に及ぼす影響を調べた結果である。本実験における気液質量流量比 M_a/M_l の範囲では、噴孔径比 $d_2/d_1=1.5\sim 2.5$ でザウタ平均径 d_{32} が最小値になることがわかる。したがって、農薬散布用の噴射弁として、 $d_2/d_1=2.25$ のものを採用した。

先に述べたように、近年の農薬散布は精密防除を目指しており、粗大粒子の生成を抑制する必要があること、また、温室等の閉鎖空間における農薬散布は人間にとって危険な作業であり、無人化が図られていることなどから、農薬を微粒化して長時間浮遊可能にして、作物への付着効率を向上させる必要がある。

図3(a)はモデル温室に農薬を擬似した液体(灯油70%+乳化剤30%)を噴霧して、その粒子径の時間的変化をモデル室内の比較的高い位置と低い位置それぞれについて求めた結果である。噴射弁自体が

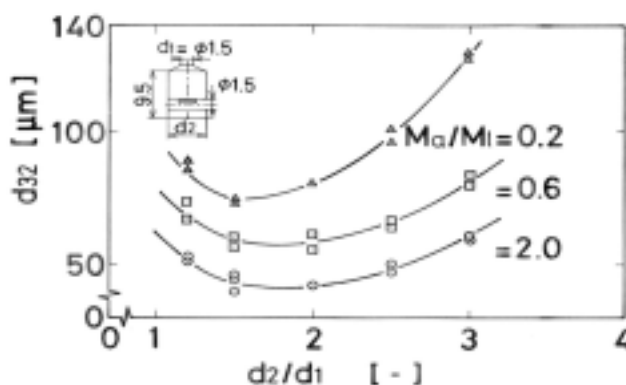
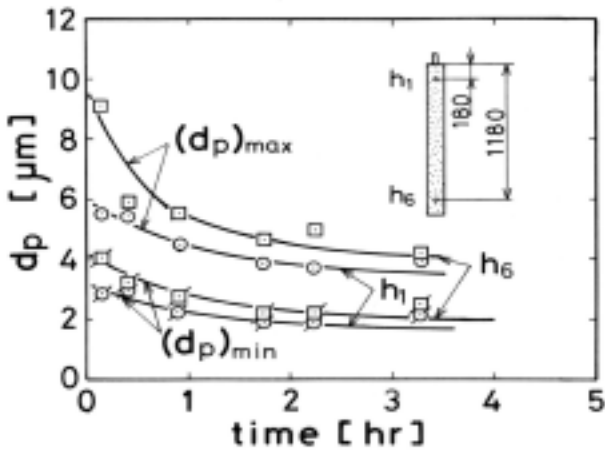
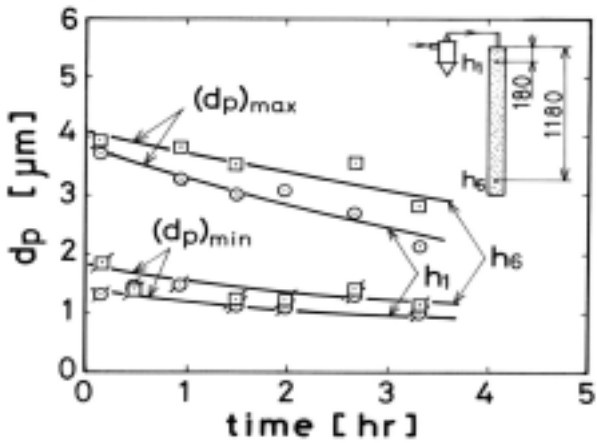


図2 スリット型二流体噴射弁の噴霧特性



(a)サイクロンなしの場合



(b)サイクロンを付加した場合

図3 モデル室内における粒子径の時間的变化

ら発生する噴霧は、当然のことながら粒度分布を持ち、比較的大きい液滴を含んでいるが、モデル室に流入直後に土壌表面に達してしまうために初期液滴径の最大値 $(d_p)_{max}$ 、最小値 $(d_p)_{min}$ は、それぞれ $10\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ にとどまっている。また、初期径が $10\mu\text{m}$ 程の液滴では、噴霧後約1時間以内に落下・蒸発するものの、約3時間経過後でも約 $2\sim 4\mu\text{m}$ の液滴が室内に浮遊することを示している。したがって、農薬を有効利用し、かつ長時間浮遊状態を維持するためには、噴霧直後の最大径で約 $5\mu\text{m}$ が好ましいことがわかる。

図3(b)は二流体噴射弁で生成される噴霧をサイクロンに導入して、 $5\mu\text{m}$ 以上の粗大粒を分離・回収した後にモデル室に流入させた場合の結果である。モデル室内に流入する噴霧の初期液滴径は $4\mu\text{m}$ 以下

に抑えられているために長時間浮遊可能であり、精密防除という目的に合致していることがわかる。この当時は大粒子を分離する方法で農薬散布したが、粒度分布幅が狭い噴霧、単分散の噴霧生成が理想であることは言うまでもない。

2.2 ウォーターミストの消煙・消火への利用

室内火災では、炎よりも煙が原因で死亡する例が多く、火災時における煙の抑制は避難及び救助双方の立場から重要である。一方、消火活動は放水、スプリンクラー等により行われてきたが、近年のOA化の進展に伴い、消火後の水損も無視しえなくなり、より微細なウォーターミスト液滴による消煙・消火の可能性が近年注目されているが、ミスト特性が消煙・消火に及ぼす影響に関する実験的研究はほとんどなされていなかった。

著者らはウォーターミストを用いた効率の良い消煙・消火システム構築を目指し、その基礎的研究として、ミスト発生用渦巻噴射弁の設計・試作を液体微粒化技術の応用として行い、そのミスト特性が消煙に及ぼす影響を調べてきた[4-6]。

図4はミスト流量を一定(10 mL/s)に保ち、ミストのザウタ平均径SMDを $91, 109, 170\mu\text{m}$ と変化させて、モデル室内におけるウォーターミストの消煙特性を調べた結果である。煙濃度を表すパラメータとして、減光係数 C_s が用いられるが、それは次式で表される Lambert-Beer の法則；

$$F = F_0 \exp(-C_s L)$$

において、光源の光強度 F_0 、距離 L における光強度 F を測定することにより求められる。したがって減光係数の値が大きいほど、視界が妨げられることを意味する。なお、ここでの減光係数はミストを噴霧する直前の値 $(C_s)_0$ で無次元化 (Time=0 min にて $C_s/(C_s)_0=1$) したものである。いずれの粒径でも、噴霧直後はモデル室に充満した煙に加えて、ミスト自身が光を遮断するため、減光係数がいったんわずかに上昇し、その後は時間とともに減少することがわかる。なお、図中上部の破線はミストを噴霧しない場合、すなわち煙を充満させて放置した場合の減光係数を示している。ミスト平均粒径が小さくなるにつれて、減光係数がより早く減少するが、これは、同じミスト流量の場合、平均粒径が小さいほどミスト粒子群としては粒子表面積の総和が増すことに加えて、農薬散布の問題でも見られたように、粒子の

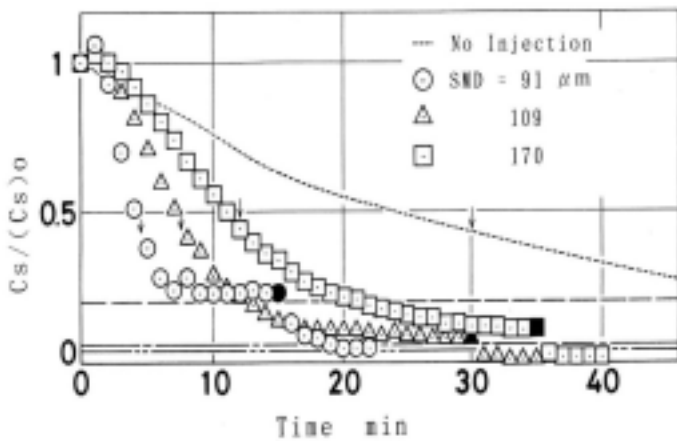


図4 ウォーターミストの消煙特性
(ミスト流量=10 mL/s)

沈降速度が小さく、滞留時間が長くなるために煙の吸着が良好に行われることが原因と考えられる。じゅうぶん時間が経過すると、減光係数の値は変化しなくなるが、これは各平均粒径について、ミストのみが存在する場合の減光係数(図下部の3本の破線、1点鎖線、2点鎖線)にほぼ一致しており、消煙の完了を意味している。

避難時において視界の確保は重要な要素であるが、本研究では、煙が充満して視界が妨げられている初期状態から、モデル室内一側面の黒色壁面に記した白色のマークが対面側から確認される時間(図中)を求め、ミストの消煙性能を比較した。マークが確認できたのは、いずれの場合も $C_s / (C_s)_0 = 0.4$ 程度であり、その時間は約4~12分であることがわかる。特に粒径 $91 \mu\text{m}$ の場合に約4分であり、粒径が小さいほど早く視界が回復することがわかる。

火災時における4分という時間はけっして短い時間とは言えず、今後はさらに迅速な消煙性能を得るためのウォーターミスト特性を実験的に明らかにすることに加え、ミストの煙粒子吸着の機構を検討する必要がある。

3. 二流体噴射弁の噴霧特性制御

ジェットエンジンや自動車用エンジンなどにおいては、広い燃料流量範囲で噴霧特性を制御することが必要とされている。従来、機械的可動機構や噴射弁形状の変化等により燃料流量を制御[7,8]してきたが、厳しい信頼性や耐久性の要求にじゅうぶん応えられるものとは言い難かった。

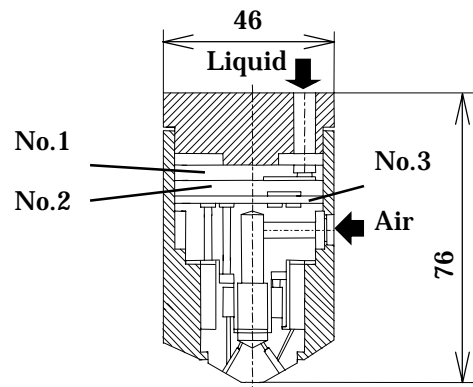


図5 自己制御機能を持つ二流体噴射弁

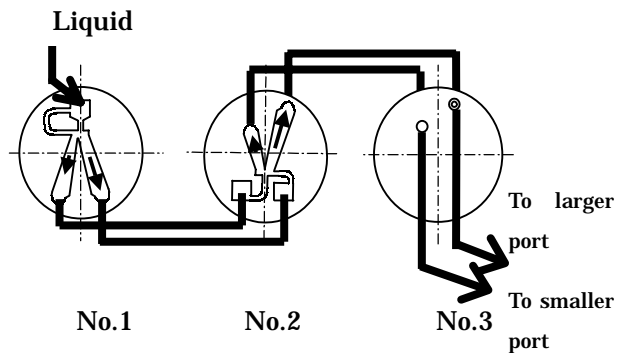


図6 噴射弁内に組込んだ流体素子

図5に示した二流体噴射弁[9]は、比較的大きな平均粒径の噴霧を生成する大噴孔(Larger Port: LP)4個と小さな平均粒径の噴霧を生成する小噴孔(Smaller Port: SP)8個の2種類の噴孔計12個を持つ多孔式Yジェット型二流体噴射弁である。この噴射弁は、図6に示す流体素子の組合せによって、2種類の噴孔への供給液体流量を配分することにより、噴霧全体としての平均粒径を一定に保つ制御を行うものである。

著者らはLPの寸法形状が全体の噴霧粒径へ及ぼす影響を調べ[10]、大流量域でも粒径の増大を抑え、良好な噴霧特性を得る噴孔の選定を行った。その結果、平均粒径は比較的大きいながらも液体流量によらず一定の平均粒径の噴霧を生成することに成功した。しかしながら、流体素子自身の特性が各噴孔への流量配分、噴霧特性へ及ぼす影響に関しては依然不明な点が多かったため、各噴孔への液体の流量配分決定や寸法形状に重要な役割を持つ流体素子に着目し、各流体素子(図6のNo.1及びNo.2)のスプ

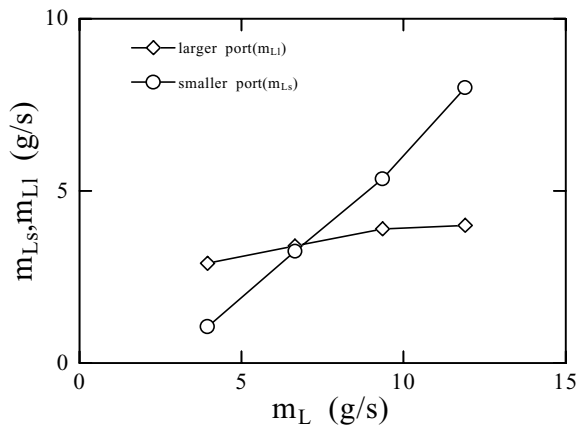


図7 流体素子の流量特性 ($m_A=6.0$ g/s)

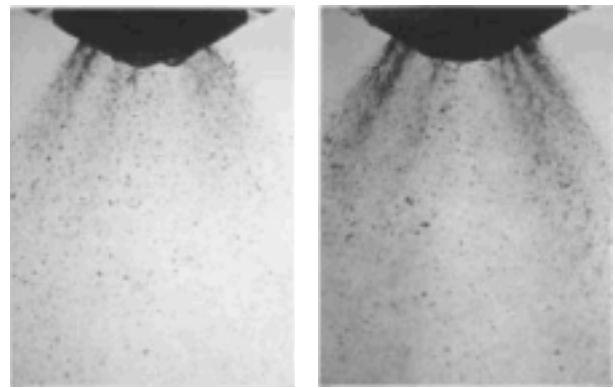


図9 微粒化模様 ($m_A = 6.0$ g/s)

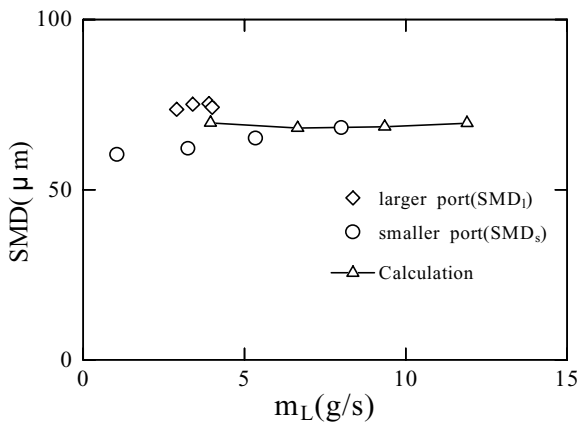


図8 二流体噴射弁の噴霧特性 ($m_A=6.0$ g/s)

リッタオフセットが流量特性や噴霧特性に及ぼす影響を調べた[11]。

さらに、この二流体噴射弁の微粒化特性をさらに向上させるため、液体の流量配分決定に重要な役割を持つ流体素子内の主流・制御流の働きを流れの可視化法も併用して調べた[12]。

図7はSP及びLPに流れる液体流量 m_{Ls} 、 m_{Ll} の全供給流量 $m_L (=m_{Ls} + m_{Ll})$ に対する変化を、微粒化用空気流量 $m_A=6.0$ g/s の場合について求めた結果である。 m_L の増加にともない、 m_{Ls} 、 m_{Ll} とともに単調に増加しているが、その増加率は m_{Ls} の方が大きい。すなわち、小流量時では比較的平均粒径が大きいLPへの流量が相対的に大きく、大流量時では比較的平均粒径が小さいSPへの流量が相対的に大きくなるために、噴霧全体の平均粒径を抑えることが期待できるのである。

図8に、図7の流量特性に対応するSP、LPそれ

ぞれから噴出した噴霧のザウタ平均粒径 (SMD_s : 図中、 SMD_l : 図中) の測定結果と、噴霧全体のザウタ平均粒径 (SMD : 図中) の全供給流量 m_L に対する変化を示す。ここで、噴霧全体の平均粒径 SMD は次式；

$$SMD = \frac{m_L}{\frac{m_{Ls}}{SMD_s} + \frac{m_{Ll}}{SMD_l}}$$

から求めた値である。 m_L が増加すると、SP、LP それぞれから噴出する噴霧の平均粒径は大きくなるものの、噴霧全体のザウタ平均粒径は、供給液体流量によらず約 $70 \mu m$ と一定値に保たれていることがわかる。図7に示した流量特性では、 m_{Ls} 、 m_{Ll} の大小関係が逆転する m_L の値が約 7 g/s であり、他のスプリッタオフセット条件等における一連の実験結果でこのように使用する流量範囲のほぼ中央部で交差する流量特性を示す場合に良好な噴霧特性を示す傾向があることがわかった。

図9に空気流量 $m_A=6.0$ g/s の場合について、微粒化模様の液体流量 m_L による変化を写真撮影した例であり、この噴射弁から生成される噴霧全体のザウタ平均粒径が m_L によらず一定(図8)になる現象を示している。流体素子を組合せることによって適正な流量配分(図7)がなされるために、液体流量 m_L が 6.65 g/s から 11.9 g/s に大きく増加しても、噴孔出口で液膜をほとんど形成せず、また形成されたとしても、空気流により良好に微粒化されていることがわかる。

限られた運転条件とはいえ、液体流量によらず平均粒径を一定に制御可能な二流体噴射弁を実現した。

今後は、より大きなターンダウン比でも利用可能な自己制御機能を有する二流体噴射弁を開発することはもちろんであるが、その設計法の確立が重要であると考えている。

4. おわりに

本報告では、二流体噴射弁の農薬散布への利用、ウォーターミストの消煙への応用、自己制御機能を有する二流体噴射弁を紹介した。究極の液体微粒化法といえば、実用レベルでの均一噴霧生成であろうが、実現は困難な状況にある。一方で液体微粒化技術は現在も噴霧燃焼をはじめ幅広い分野で用いられており、それぞれに要求される噴霧特性も異なっている。したがって、その粒度分布の制御をはじめ、噴霧特性の制御が重要な問題あることは疑いのないところであり、今後も液体微粒化における噴霧特性制御に関する研究を継続したいと考えている。

参考文献

[1] 毛利健太郎・西田恵哉, 微粒化, **8-23**(1999)139 .
 [2] 大黒正敏・丹野庄二・三浦隆利・大谷茂盛, ケ

ミカルエンジニアリング, **32-1**(1987)45 .
 [3] Daikoku, M., et al., Proc. of 4th Int. Conf. on Liquid Atomization and Spray Systems, (1988)465 .
 [4] 大黒正敏・稲村隆夫, 日本火災学会平成 9 年度研究発表会概要集, (1997)36 .
 [5] 大黒正敏・寺井孝男・稲村隆夫, 日本火災学会平成 10 年度研究発表会概要集, (1998)192 .
 [6] 寺井孝男・大黒正敏・稲村隆夫, 日本火災学会平成 11 年度研究発表会概要集, (1999)272 .
 [7] Lefebvre, A.H., *Atomization and Sprays*, Hemisphere, (1989)155 .
 [8] 稲村隆夫・永井伸樹・井熊孝夫, 日本機械学会論文集(B 編), **52-476**(1986)1784 .
 [9] 稲村隆夫・松岡憲一・永井伸樹, 第 3 回微粒化シンポジウム講演論文集, (1994)254 .
 [10] Daikoku, M., et al., Proc. of 7th Int. Conf. on Liquid Atomization and Spray Systems, (1997)318 .
 [11] 大黒正敏・酒井寛明・古舘仁・加賀拓也・稲村隆夫・丹野庄二, 微粒化, **8-24**(1999)180 .
 [12] Daikoku, M., et al., Proc. of 8th Int. Conf. on Liquid Atomization and Spray Systems, (2000)1378 .

多孔質体を用いた超高熱流束除去技術への挑戦

*A Challenge to Extremely High Heat Flux Removal Technique
using a Porous Medium*

支部の話題

戸田三朗・結城和久（東北大学）

Saburo TODA, Kazuhisa YUKI (Tohoku University)

1. 緒言

核融合炉の炉心プラズマ周辺には第一壁、ダイバータ、リミタなどの高熱流束負荷を受ける構造物、機器があり、超高熱流束および高粒子負荷も加わる厳しい環境に耐えることが要求されている。特にダイバータはプラズマに対向しており、中性子による体積加熱やプラズマからの粒子が輸送する熱および放射熱などによる高熱負荷に耐えその機能を果たさねばならない。そのレベルは数十 MW/m^2 が必要とされるが、設計上の裕度を十分にとり信頼のある設計を可能にするために、更に高いレベルの極限技術に挑戦し、実現することへの努力が重要である。

通常、平滑円管における水の強制対流熱伝達では、流速等との兼ね合いで除熱性能に限界があるため、平滑円管内に乱流促進体や遮蔽物を設置したり、管内壁面を加工するなどの特殊な冷却管を使用するケースが多い。従来からの代表的な水冷却伝熱促進技術としては、(1)ねじりテープを管内に挿入してサブクール水を旋回流とする方法、(2)細管あるいは狭隘流路内に高速のサブクール水を流す方法、(3)流動方向に直交するフィンを高熱負荷壁側に設置し、フィン間に形成される循環流とそれによるサブクール水の供給・排出を適切に制御する手法、(4)配管内面に溝を切ったスクリュー管内にサブクール水を流す方法、など様々が提案されており、 50MW/m^2 を超える定常除熱も報告されている[1,2]。しかしながら、これらの冷却技術はいずれも強サブクール水冷却に集約されており、動力炉レベルの熱サイクル構成を考えた場合には不利な面も多い。当研究室では、従来の冷却技術に対し、高熱負荷除去と高出力密度の両立を可能とする新しい冷却方式として金属多孔質体を応用した冷却装置 EVAPORON (Evaporated Fluid Porous Thermodevice) を提案し、その実用化に向け基礎実

験を実施してきた[3,4]。本冷却装置は、高熱負荷面の背面に金属多孔質体の片面を取り付け、流入する冷却材を多孔質内で蒸発させて除熱を行う蒸発潜熱による除熱システムである。本冷却システムの最大の特徴は、積極的な相変化の利用により高温蒸気を取り出せることにあり、加えて水-蒸気ランキンサイクルによる熱システムを構築できる可能性をもつ。

本報告では、ジュール加熱と比較してより高い熱流束を生成可能なプラズマアークジェット発生装置を加熱源として用い、EVAPORON の除熱性能評価実験、特に 10MW/m^2 を超える高熱流束の除熱の可能性について検討する。

2. 多孔質体を応用する種々の技術

多孔質媒体は化学工学の多く分野において使用され、その流動抵抗と熱及び物質伝達に関する多くの知見が得られている[5,6,7]。また地熱システム[8]、原子炉の事故後解析[9,10]、高レベル放射線廃棄物処理[11]、多孔質ヒートパイプ[12][13]、蒸発・凝縮促進[14,15]、断熱材中の水分移動[16]など、その応用は多岐に渡り、多孔質体内の複雑な流動状態との関連から学術的にも興味ある研究対象となっている。従来多孔質内熱流動に関する多くの研究から、高熱流束環境の冷却システムに金属多孔質体を用いる利点として、

- (1) 金属多孔質体の高い熱伝導率により、高負荷面の表面で受ける熱を冷却材内部に伝えることができる。
- (2) 多孔質内では流路のスケールが小さいため、熱伝達率が高くなる。
- (3) 多孔質構成物質と冷却材との接触面積が大きいため、伝熱面積が飛躍的に増加する。
- (4) 積極的な蒸発を利用するため高温蒸気が得ら

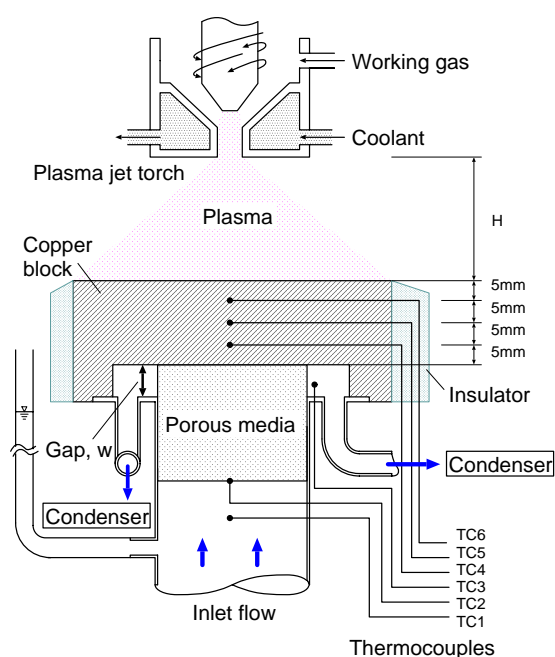


Fig. 1 試験部の詳細

れる。

- (5) 多孔質内のヒートパイプ効果により熱伝導率が増加する。

が挙げられる。また本実験では $10\text{MW}/\text{m}^2$ を超える高熱負荷環境での冷却実験を実施するため、多孔質体内の冷却材流速は必然的に高速になると予想される。当然、流速が速くなるに伴い熱伝達率は増加するが、多孔質体内では流速の高速化に伴い分散現象による運動量と熱の輸送が顕著になり、多孔質内の巨視的流れに垂直な方向への熱伝達が促進される。

3. EVAPORON を用いた高熱流束除去実験

3.1 実験装置と試験部の詳細

試験部の詳細を Fig. 1 に示す。高熱流束源としては非移行型のプラズマアークジェット発生装置が用いられ、伝熱体を上面からプラズマ噴流により照射し、下面から EVAPORON により冷却する簡単な体系となっている。本実験では冷却材として蒸留水が使用される。試験部はプラズマ照射される伝熱体と、多孔質体を挿入した円管流路で構成されている。伝熱体は直径 120mm、厚さ 20mm の銅製円盤であり、側面は耐火セメントにより断熱される。円管流路は内径 50mm、長さ 90mm、肉厚 3mm のステンレス管で、上部において厚さ

Table 1 多孔質の特性と形状パラメータ

特性	多孔質試験体 No.				
		#1	#2	#3	#4
気孔率 [vol.%]		47	42	42	42
平均粒径 [μm]		500	160	160	160
平均孔径 [μm]		25	9	9	9
形状					
di [mm]		0	0	15	15
de [mm]		0	0	10	15

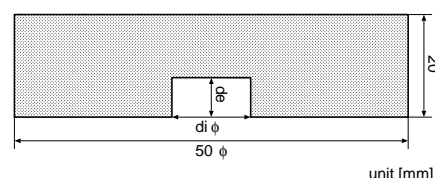


Fig. 2 多孔質体の入口形状

3mm のフランジにより伝熱体と接続される。フランジには流体出口用の内径 8mm の円管が 2 本設置され、耐熱用ホースを介し蒸気凝縮用の筒長 300mm のガラス製リービッヒ冷却管に接続されている。円管流路下部には入口圧力測定用のマンメーターが接続されている。伝熱体である銅ブロックの中心軸上に、直径 1mm のクロメル・アルメルシース熱電対（測定誤差 $\pm 0.75\%$ ）が伝熱面位置から 5mm 間隔で 3 本設置され（TC4, TC5, TC6）、伝熱体の軸方向温度分布が測定される。冷却材流入側温度に関しては、多孔質体底部の中心付近（TC2）と、底部から 20mm 上流（TC1）の 2 ヶ所の温度、流出温度は銅ブロックとフランジのほぼ中間の温度（TC3）を直径 0.5mm のシース熱電対でそれぞれ計測する。リービッヒ冷却管で凝縮された冷却水は、多孔質体への流入速度を求めするため、電子天秤でその流出量の時間変化が測定される。冷却水の循環には最大流量 120L/min、定格出力 260W のマグネットポンプが用いられ、ボールバルブにより流量が調整される。

多孔質体には、球形粒子を充填・焼結した多孔質材が用いられる。材質には耐食性の観点からステンレス鋼を採用する。構成粒子の粒径などの多孔質体特性および多孔質体入口形状による除熱特性の変化を評価するため、Table 1 と Fig. 2 に示される 4 種類の異なる多孔質体を用意される。多孔質体#1 と#2 は入口形状が同じで粒径等の特性が異なり、試験体#2, #3, #4 は特性が同じで形状が異なるものである。本実験では、除熱に対する

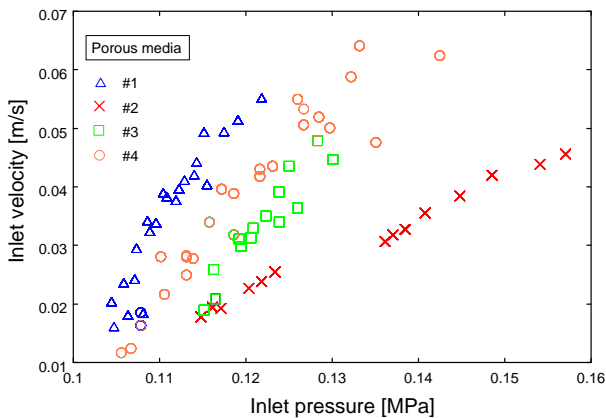


Fig. 3 入口圧力と入口流速の関係

多孔質体特性の影響を#1 と#2 から ,多孔質体入口形状の影響を#2, #3, #4 から評価する .

3.2 実験条件及び方法

本実験では ,まず試験部に水を循環させ入口圧力を固定した状態でプラズマジェットを照射し測定を開始する .プラズマジェットのノズル出口孔径は 10mm ,放電電流は最大の 300A である .作動流体であるアルゴン ,水素 ,窒素の各流量をそれぞれ 30, 100, 25L/min と固定する .伝熱体への入射熱流束はプラズマ噴出ノズル出口と伝熱体との距離 H に強く依存するため ,本実験ではその距離 H を 4.5, 7.0, 9.5, 12cm とする .各温度と冷却水量の測定時間は 80 秒間 ,プラズマ照射時間を開始後 10~70 秒の 60 秒間とし ,主に入口圧力 ,多孔質試験体 ,及び Fig. 1 に示されるギャップ幅 (流体出口幅) w をパラメータとする .

熱電対により得られる温度データから ,伝熱体中心軸上の温度分布を指数関数による最小自乗法から近似し ,次式の平均除去熱流束を算出する .

$$\bar{q}_{rmv} = -k_{Cu} a_1 a_2 \exp(a_2 x_w) \quad (1)$$

ここで k_{Cu} は銅の熱伝導率 , x_w は銅ブロックと多孔質体の界面位置を表す .また冷却材が除去する熱流束は多孔質体内部での水の蒸発割合を β とすると ,

$$\bar{q}_{rmv} = m \{ c_l (T_{out} - T_{in}) + \beta h_{fg} \} \quad (2)$$

からも定義される .ここで , m は質量流束 , c_l は水の比熱 , h_{fg} は蒸発潜熱 , T_{in} は冷却材の入口温度 ,

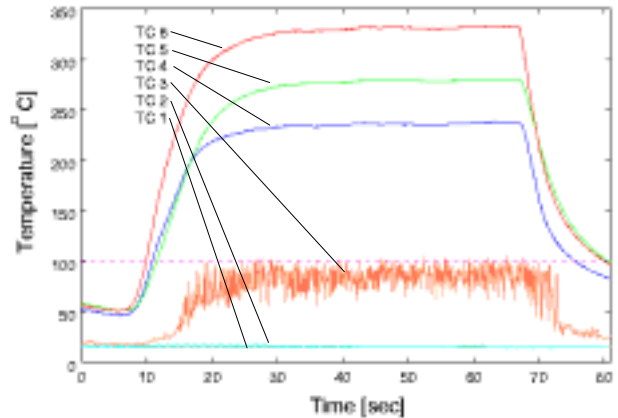


Fig. 4 伝熱体内部の時間変化

T_{out} は出口平均温度である .本実験では水の蒸発割合を(1), (2)式から算出する .

4. 実験結果と考察

4.1 流動特性に対する多孔質試験体の影響

入口圧力と入口流速の関係を Fig. 3 に示す .ギャップ幅 w は 5mm である .流出冷却水の流束は蒸発に伴い脈動しているため ,データには多少のばらつきが見られるが ,各多孔質体とも入口圧力と入口流速はほぼ比例関係にあると言える .多孔質体#1-4 では ,多孔質体の構成粒子が一番粗い#1 が最も流れ易く ,次いで多孔質体に空けられた穴がより伝熱面近傍まで達している#4 ,多孔質体の構成が密で入口形状に穴を持たない多孔質体#2 が一番流れ難いものとなる .これは当然 ,孔径が小さい多孔質体ほど圧力損失が高くなることを意味している .EVAPORON の応用に関し ,その多大な圧力損失の軽減化は重要な課題であり ,除熱特性との兼ね合いから孔径 ,形状 ,ギャップ幅の最適化を計る必要がある .また流体出口となるギャップ幅 w を広げることで ,流体がより流れ易くなることも併せて確認した .

4.2 EVAPORON の除熱特性と温度評価

先述の様に ,プラズマジェットから伝熱体への入射熱流束はプラズマノズル-伝熱体間距離 H に強く依存し , H が短いほど伝熱体への入射熱流束はもちろんプラズマ自身の温度も高くなる .Fig. 4 に $H=7.0$ cm の場合の伝熱体内部温度の時間変化を示す .多孔質体は#1 ,ギャップ幅 w は 5mm ,冷

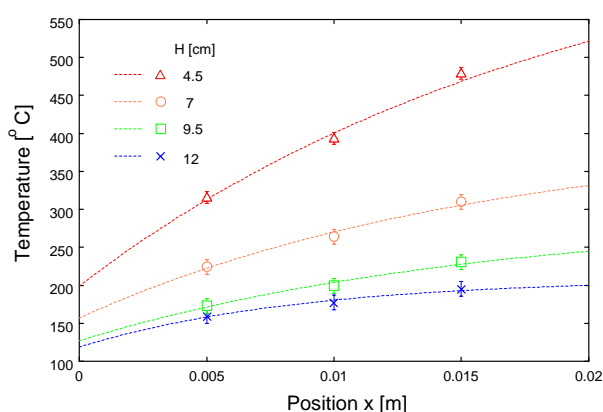


Fig. 5 伝熱体内部の温度分布

却材の入口流速は 0.034m/s である。多少ノイズが確認されるが、伝熱体の内部温度 (TC4-TC6) はプラズマジェット照射とともに急激に上昇し、照射後 30 秒程度でほぼ定常状態に達しており、プラズマの放電と冷却が安定的に行われていることが確認される。冷却水は多孔質体内で全て蒸発することはないが、出口温度 TC3 が非常に短い時間間隔で振動しているため、試験部伝熱面付近の蒸気相が激しく発達と崩壊を繰り返しているものと考えられる。実験中の入口圧力も同様に振動している。多孔質底部の温度 TC2 とその 20mm 下流での水温 TC1 には温度差がほとんどなく、この実験条件下では多孔質体入口底面には伝熱面からの熱の影響が殆どないと言える。本実験では、除去熱流束の算出に上述のプラズマ放電後半の定常状態における測定温度を使用する。Fig. 5 にノズル-伝熱体間距離 H を変えたときの伝熱体中心軸上の温度分布を示す。多孔質体は #2, w は 5mm である。 $H=4.5, 7.0, 9.5, 12\text{cm}$ のときの入口流速はそれぞれ 0.046m/s, 0.036m/s, 0.034m/s, 0.020m/s である。横軸位置 $x=0$ は伝熱体と多孔質体の接触面, $x=0.02$ は伝熱体のプラズマ照射面に対応している。試験部をプラズマ側に $H=12\text{cm}$ から 2.5cm 間隔で近づけるに伴い、伝熱体内の温度が飛躍的に上昇していることが確認される。補間される温度分布から伝熱体と多孔質体の接触面での熱流束を計算すると、 $H=12, 9.5, 7, 4.5\text{cm}$ の順にそれぞれ 3.01, 3.80, 5.76, 9.79MW/m² と、熱流束も飛躍的に上昇することが伺える。また $H=4.5, 7, 9.5, 12\text{cm}$ のいずれの場合も、 $x=0$ での温度の勾配は $x=0.02$ と比べ若干大きくなっている。除去熱流束と入射熱流束はそ

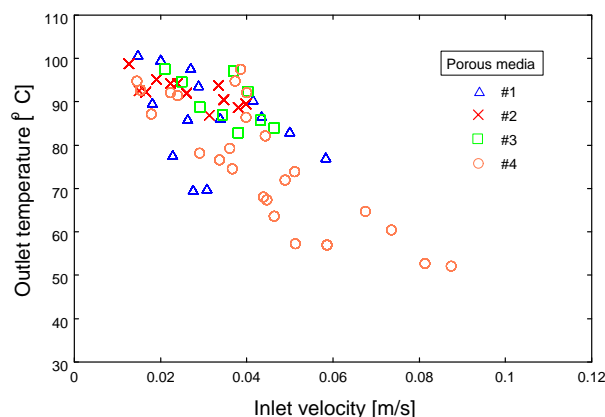


Fig. 6 入口流速に対する出口温度の遷移

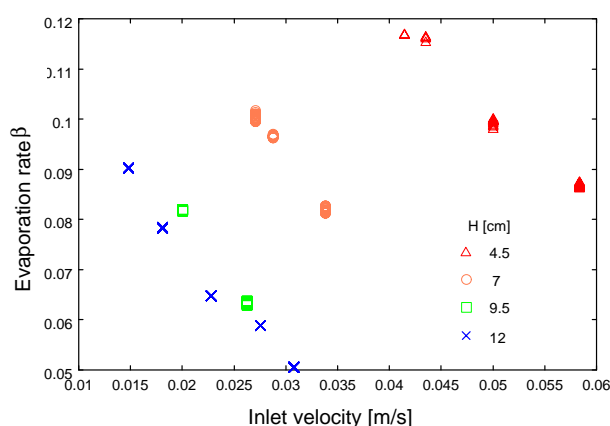


Fig. 7 入口流速に対する蒸発割合

れぞれ $x=0, 0.02\text{[m]}$ での温度勾配に比例するため、除去熱流束が入射熱流束を上回っていることが分かる。定常状態での入射熱量と除去熱量は等しいため、これはプラズマジェットから伝熱体への熱の入射面積が冷却面側の伝熱面よりも広いことを示唆している。伝熱体に入射するプラズマ噴流の熱流束分布は中心軸上でピークを持つと考えられるが、本冷却システムではその入射熱分布を、より狭い面積に集中させ除去していると言える。次に冷却材の出口平均温度に対する入口流速の影響を Fig. 6 に示す。多孔質体 #1-4 とともに $w=2.5\text{mm}$ のデータである。熱電対より計測される出口温度は、蒸発が生じる場合に激しく振動するため多孔質試験体による明確な違いは見出せないが、流入流速が速くなると共に冷却水の出口温度が低くなることが確認できる。これは Fig. 7 に示される流速増加に伴う多孔質体内における冷却水の蒸発割合の低下に起因するものである。またノズル-伝熱体間距離 H が長い場合、プラズマ自身の温度も低くな

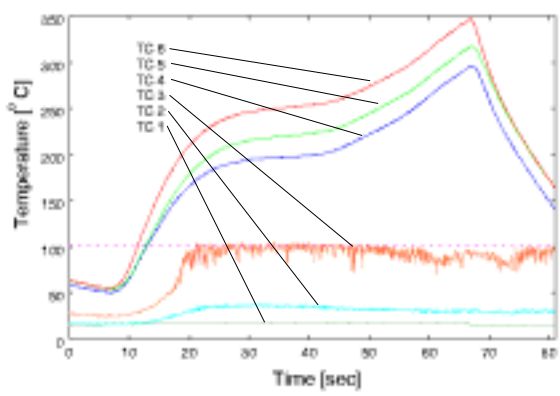


Fig. 8 限界熱流束時における伝熱体内温度変化

るため蒸発割合も低下する．本冷却システムをエネルギー取り出し装置と考える場合，蒸発割合の低下はエネルギー出力密度が低くなることを意味しており，すなわち本装置では定常状態を保持できる最小限の流速で冷却水を循環させ，出力密度を高める必要があると言える．より高い熱流束を除去するには必然的に流速を速くする必要があり蒸発割合も低くなると予想されるが，Fig. 7からは除去熱流束が大きい範囲（ H が短い）にあっても蒸発割合は必ずしも低下することはない．この他，ギャップ幅が2.5mmのときは5mmと比べ蒸発割合が高くなることを確認した．

4.3 EVAPORONの限界熱流束特性

前節で述べたように，冷却水流入速度を遅くすると冷却水の出口平均温度と蒸発割合は上昇し，エネルギー出力密度も高くなる．しかしながら，冷却水入口速度が十分でない場合，伝熱体温度は定常状態から非定常に移行するという限界熱流束の問題が生じる．本冷却システムにおいては，高出力密度の観点から冷却水流速を入射熱流束を除去できる最小の値に設定することが望ましい反面，超高熱流束を安定的に除去するため，その最小流速値にある程度の裕度を持たせて冷却水を循環させる必要がある．Fig. 8に定常状態から非定常状態に移行するときの試験部の温度変化を示す．多孔質体は#2， $w=2.5\text{mm}$ ， $H=9.5\text{cm}$ のデータである．冷却水の入口流速は0.017m/sで限界熱流束 q_{CHF} は 3.4MW/m^2 である．伝熱体内の温度分布は実験開始からほぼ40secで定常状態に達しつつあるが，それ以降急激に温度が上昇している．この温度の急激な変化は多孔質内の流動変化，すなわち蒸気

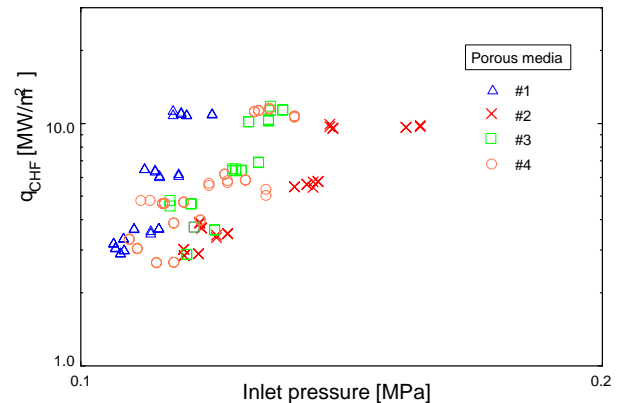


Fig. 9 入口圧力に対する限界熱流束

相の成長と崩壊に起因していると考えられる．当然，熱流束がより高い環境での伝熱体内部の温度分布は，これら多孔質内部での流動変化やポンプの振動に対し敏感となる．

Fig. 9に入口圧力と限界熱流束の関係を示す．多孔質#1-4とも $w=2.5$ ，5mmの両方のデータをプロットしてあり，入口圧力の上昇にともない限界熱流束は大きくなり，ほぼ比例の関係が確認できる．入口圧力が同じ場合，多孔質体#1，4，3，2の順で限界熱流束の値は高くなる．これは多孔質内での冷却水の流れ易さの順に同じである．入口圧力と冷却水流速はほぼ比例の関係にあるので，限界熱流束と冷却水流速もまた次式の比例関係が成り立つと考えられる．

$$q_{CHF} = c \cdot u \quad (3)$$

ここで c は多孔質体特性・形状や実験条件による比例定数である．限界熱流束 10MW/m^2 を得るために必要な入口圧力は，多孔質#1では0.11MPa程度で，#2，3，4ではそれぞれ0.14，0.13，0.14MPaである．すなわち本冷却システムでは，僅か0.1MPaのオーダーで 10MW/m^2 の定常的熱除去が可能であり，更に多孔質体厚さ等のパラメータの最適化を計ることでより低い圧力損失での除熱が可能となると言える．Fig. 10にギャップ幅5mmのときの限界熱流束と冷却水入口流速の関係を示す．多孔質#1-4の多孔質試験体の違いによる顕著な差は確認できないが，流速に対し限界熱流束はほぼ比例的に上昇している．除去熱流束に対する多孔質体の特性や形状の影響が明確に確認される低熱流束環境下における実験[3]では，冷却水の入口流速は 10^{-4}m/s のオーダーであり，本実験での入口流速

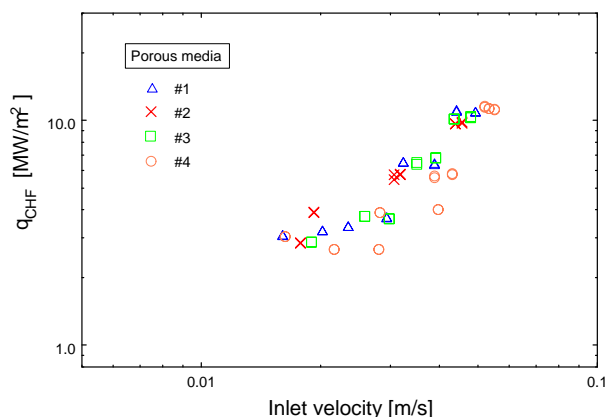


Fig. 10 限界熱流束に対する入口流速の影響

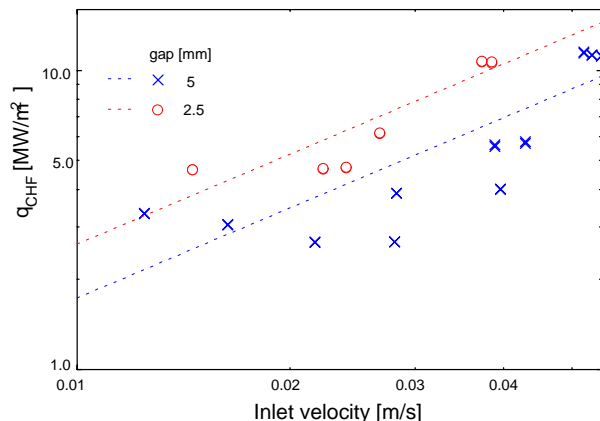


Fig. 11 限界熱流束に対するギャップ幅の影響

と比較し非常に遅い範囲の流速を対象としている。すなわち EVAPORON による除去熱流束と多孔質体特性・形状の関係には、入口流速が強く依存しているものと推測される。流速が遅い場合、多孔質体に入射する熱は伝熱面近傍だけでなく多孔質体内部へ深く伝達されるため、冷却水入口付近の流動状態、すなわち多孔質体入口の幾何形状にも強く依存する。これに対し流速が速い場合、熱の侵入深さは伝熱面のごく近傍であり、限界熱流束は多孔質体入口形状に依存しないと考えられる。これに対し多孔質体出口の影響、すなわちギャップ幅を変化させることで限界熱流束に顕著な差を Fig. 11 から確認できる。多孔質体は #4 である。図中、式(3)に対応する比例定数 c の値は $w=5$ の場合で 1.74×10^8 、 $w=2.5$ の場合では 2.63×10^8 である。すなわちギャップ幅が狭い場合により高い熱除去が可能となる。ギャップが狭い場合、出口流路面積の減少により逆に出口流速が増加するため、これが多孔質体内部の分散効果を高め、より高い熱伝達を得ているものと推測される。またギャップが狭い場合、多孔質内の冷却材は必然的に伝熱面近傍を流れるため、この効果も熱伝達向上に大きく寄与していると考えられる。

5 結言

金属多孔質体を応用した冷却システムを用いて、高熱負荷環境下における除熱実験を行った。本研究で提案している EVAPORON による高熱負荷除去システムが完成すれば、1)高熱・粒子負荷の両面に耐えられる高熱負荷壁による核融合炉炉心コ

ンテナが可能となる、2)高温蒸気の直接発生によるエネルギー変換の効率化が図れる、など、核融合動力炉のダイバータや第一壁などの高負荷壁の問題を画期的に解決できることになり、その実現のために大きく貢献するものと考えられる。

本報告は、平成十二年度博士後期課程を修了した江原真司の博士論文の一部をまとめたものである。詳細に関しては同論文を参照されたい。

参考文献

- [1] Boscary, J., Araki, M. et al., Fusion Technol., 35, 3, (1999) 289.
- [2] Araki, M, Sato, K. at el, Fusion Technol., 29 (1996) 519.
- [3] S.Toda, S.Ebara et al, Proceedings of the 11th International Heat Transfer Conference, 4, (1998), 503.
- [4] S.Ebara, S.toda at el, Heat and Mass Transfer, 36, (2000), 273.
- [5] 齊藤彬夫, 大河誠司ら, 機論B編 61, 582 (1995).
- [6] 福田研二, 長谷川修ら, 機論B編 56, 529 (1990).
- [7] A. P. De Wasch, G. F. Froment, Chem. Engng. Sci. (1972) 567.
- [8] C. H. Sondergeld, D. L. Turcotte, J. Geophys. Res. 82 (1977) 2045.
- [9] M. Chung, I. Catton, Nucl. Eng. Des. 128, (1991) 289.
- [10] I. Catton, M. chung, Nucl. Eng. Des. 151, (1994) 185.
- [11] C. Doughty, K. Pruess, Int. J. heat Mass Transfer 31, (1988) 79..
- [12] K. S. Udell, ASME J. Heat Transfer 105, (1983) 485.
- [13] C. Figus, Y. Le Bray, S. Bories and M. Prat, Proc. of the 11th International Heat Transfer Conference 4, (1998) 393.
- [14] J. Y. Chang, S. M. You, Int. J. Heat Mass Transfer 40, (1997) 4449.
- [15] J. Y. Chang, S. M. You. Int. J. Heat Mass Transfer 40, (1997) 4437.
- [16] H. C. Tien and K. Vafai, Int. H. Heat Mass Transfer 33, (1990) 1263.

Joint Research グループリーダーに聞く
6. 工業技術院機械技術研究所 極限技術部
稲田孝明主任研究官

ジョイント・リサーチ

Interviewing a group leader of joint research

6. Dr. Takaaki INADA,

Senior Researcher of Mechanical Engineering Laboratory, AIST MITI

聞き手：川口靖夫（機技研）

Interviewer: Yasuo KAWAGUCHI(MEL)

研究課題：コージェネレーション負荷変動対応用高性能氷蓄熱輸送法の研究

制 度：NEDO 新規産業創造型提案公募事業

期 間：H 9 年～ 1 1 年度

共同相手先：高砂熱学工業（株）総合研究所
小澤由行参与

- まず研究の背景から伺います。

最近小型分散型のエネルギー源としてコージェネレーションシステムが関心を呼んでいます。ところが夏季の冷房負荷量，時間的変動量がともに大きいために，何らかのエネルギー貯蔵が必要です。私たちの想定するシステムは，コージェネでは電気エネルギー出力が最大となるよう運転しておき，余剰エネルギーを氷スラリーの形で貯めておく，というものです。そこでは，必要に応じて過冷却水から自在に氷スラリーを作れる技術が必要です。

- この研究の目標は。

この研究では，氷蓄熱・輸送システムの製氷器内に超音波発生器を組み込んで能動的に過冷却解消を行わせようとしています。氷スラリーを生成するためには，冷凍機で水を 0 度以下の過冷却状態に冷やし，蓄氷槽へ輸送する途中で何らかの手段で過冷却の状態を解除しなければなりません。従来の方法では過冷却解消だけのために大きな装置が必要であり，過冷却水の温度にしても，特定の温度の状態でなければ氷スラリーがうまくできないという不自由なものでした。そこで私たちは超音波を与えて過冷却解消を行う新しい方法を開発しました。

- 今までは具体的に何が問題だったのですか。

従来の方法では，図 1 左のように水を過冷却解除

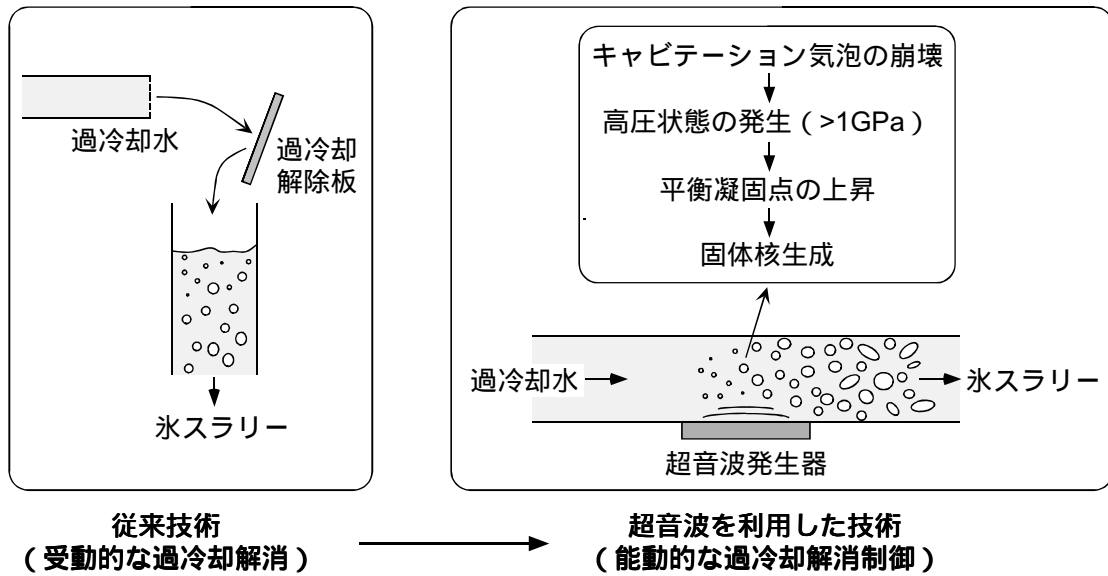
板と呼ばれる板にぶつけて氷を成長させるのですが，250kW 級の冷凍機の場合，その下の配管は高さ約 6m，太さ 600mm といった，塔状の大きなものになります。水は高いところから板（あるいは管壁）にぶつかり，槽内で 20 秒以上の時間をかけ，十分過冷却を解消した後，細い配管に入っていきます。こうしないと細い配管内で氷ができはじめ，配管が詰まってしまうのです。コンパクト化するためには，閉管路内ですべてのプロセスを終わらせるのが良いのですが，上流や下流の望まないところでは氷が発生しないようにするのが課題でした。

- 問題解決のためのアイデアはどうやって得ましたか。

まずはじめは，過冷却解除板の真似を，能動的にやってみようというところから出発しました。「水にインパクトを与えて凍るものなら，超音波は効くだろう」と思ったわけです（図 1 右）実際，静止した水でも，流れる水に対しても，数多くの氷結晶がバルクから成長し始め，優れた方法であることがわかりました。その後，超音波を使う方法はキャビテーションによる瞬時の高圧場による固体核発生という別のメカニズムによることがわかってきました（文献 1）。

- 共同研究でできあがった装置はどういうものですか。またこの装置はどの程度の市場規模を持つものですか。

写真 1 がそれで，太さは 300mm，長さは 1m ほどです（文献 2）。従来の方式と比べると体積は 1/10 以下になり，配管に組み込むことができます。ある報告（文献 3）によるとオフィスビルなどのセントラル空調のうち，2010 年までに氷蓄熱シ



- ・システムのコンパクト化
- ・過冷却解消の制御：高効率化

図1 超音波による過冷却解消

システムに切り替え可能なもの、あるいは新規に設置される氷蓄熱システムは、合計で約 300 万 kW と見積もられています。この電力は 1996 年時点の最大需要電力の約 1.8% にのびます。こうした大きな需要を支える機器をコンパクト化、高効率化できることは意味があります。

- さて、共同研究はどのようなスタイルで実行したのですか。

情報の交換はかなり綿密にやりました。研究を始めた時には、「能動的に過冷却を解消する」という目標を設定しただけで、手段までは決めていませんでしたので、初年度はねらいを絞るために随分ディスカッションを重ねました。その結果いくつかの候補の内から、超音波を使う方法が有望だということがわかりました。その後も年間 4、5 回はミーティングを開いてお互いのデータに対してつっこんだ議論をしました。

- お互いの相手に対する貢献はどのようなものでしたか。

機技研では机にのる程度の小さな装置を使い、静止した水の過冷却解消のメカニズムについて基礎的研究をし、高砂熱学工業ではより大きなスケールの装置で応用研究をしました。よりよい製品を

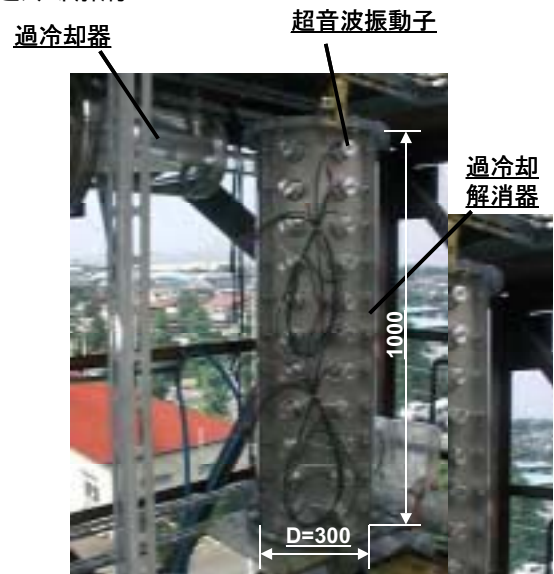


図2 完成した過冷却解除器

作るためにはメカニズムの解明が必要ですが、私の方ではある程度責任を果たせたと感じています。一方、本格的な製品とするためには、流れる水にその技術を適用し、氷の上流への伝播・成長を防いだり、下流での凝集・閉塞を防ぐ必要があります。高砂熱学工業がそれを担当してくれました。先方の担当者である小澤さんはメカニズムの議論についても遠慮なく意見を言うくださり、対等な協力関係の中でお互いの研究や技術が伸びた、と実感しています。

- さて、共同研究をしてみて、カルチャアの違いなどを感じたことはありませんか。

あまり感じなかった、というのが本当のところですよ。よその話では、成果の公表について公立の機関と企業では考え方が違うそうですが、今回のケースで発表に制約は一切なく、むしろ薦められました。小澤さんのパーソナリティによるものも大きいですね。

- 共同研究のメリットと思うことは何ですか。

大学、国立研究所、企業とそれぞれに風土や使命には違いはありますが、得意なところを出し合って、対等に共同すると良い成果に結びつくと思います。例えば機技研では、あれこれアイデアを出し、小型の実証装置を使ってその原理を確認することはできますが、数百 kW クラスの装置で本当にうまくいくかどうかを知ることはできません。過冷却解消のメカニズムを考えながら、ああしたら、こうしたらと議論した結果が、企業との共同によって現実の物に組んでもらえると「いいなあ」と思いました。

- この研究の次の段階は。

研究の最終段階になって、過冷却水に気泡が含まれている場合には、超音波の効果はさらに大きくなることを見出しました。この方法で、過冷却解消器はさらにコンパクト化、高効率化できるかもしれません。また、パートナーは変わりますが、来年からは氷スラリーの比較的長距離の輸送や、過冷却現象の制御に関して共同研究を始める計画です。

- どうもありがとうございました。

参考文献

- [1] 稲田孝明, 張旭, 矢部彰, 田中誠, 小澤由行, “超音波振動を利用した水の過冷却解消能動制御”, 日本機械学会論文集 B 編, vol.65 (1999), pp.3455-3460.
- [2] 三戸大介, 小澤由行, 谷野正幸, 稲田孝明, “水の過冷却解除に関する能動制御技術の開発”, 日本冷凍空調学会論文集, vol.17 (2000), pp.191-201.
- [3] 1997年電気事業審議会基本政策部電気負荷平準化対策検討小委員会中間報告。

2000年度国際伝熱会議 アセンブリ委員会に出席して

*Report on the 2000 Meeting of Assembly for
International Heat Transfer Conferences*

平田 賢 (芝浦工業大学)

Masaru HIRATA (Shibaura Institute of Technology)

1998年8月に韓国の慶州で開かれた第11回国際伝熱会議に続いて、第12回会議はフランスのGrenobleで2002年8月18～23日に開催される。韓国の会議では、日本の発表論文数は99編で、米国の84編、韓国の52編を抑え最大数であった。それも他国は、採択されても会場で発表(ポスターセッション形式による)されなかった論文の数がかなりの数に上ったり、論文の割り振り数に対して提出された論文数が少なかつたりしたが、日本は採択された論文の全編が会場で発表された2国の内の一つであった。他の一国は論文割り振り数10編に対し採択数9編のオランダである。

論文数の割り振りは会議の2年前に開かれるアセンブリ委員会で、実績に基づく主催国からの提案をもとに審議・決定されるが、そのようなGrenoble会議のためのアセンブリ委員会が、2000年9月10日午前10～12時、ちょうど今年度のEuropean Thermal Sciences Conferenceに合わせて同じ会場のKongress Haus Stadthalle Heidelbergの中で開催された。この委員会は、アセンブリメンバーの15か国を代表する2人ずつの委員で構成されており、国際伝熱会議の歴史的経緯から、これまでは各国とも、機械系と化学工学系を代表する委員を選出してきた。日本からは平田と京都大学荻野文丸教授兩名が出席してきたが、今回は荻野教授が公用のため出席出来なかったので平田一人が出席した。因みに決議の際の投票数は1国あたり2票の権利を持つ。主要な議題は、アセンブリメンバーの新規加入の承認、4年に1回開かれる国際伝熱会議の開催地や地域別の論文数の割り振りを決めることなどである。今回の会議は会長の前回会議の開催国である韓国のProf. S.T. Roがアセンブリ会長として議長を務めたが、出席者については正式の議事録が未だ到着していないので省略する。

会長の挨拶のあと議事に入り、まず1998年8月28

日(金)に韓国慶州ヒルトンホテルで開かれた前回会議の議事録を確認した。続いて、慶州における第11回国際伝熱会議の事後報告が韓国側から行われた。収入272,360ドル、支出269,200ドル、残額3,160ドルは韓国機械学会負担金15,000ドルから差し引くことで了承された。

次に第12回国際伝熱会議(Grenoble会議と略称)の準備状況がフランス側から報告された。組織委員長 Prof. Jean-Marc Delhaye, 論文委員長 Prof. Jean Taine, 事務局長 Prof. Jean-Bernard Saulnier, 会期は2002年8月18～23日、会場はAtria World Trade Center Grenoble, 公式オーガナイザはフランス熱力学会、参加登録料500ユーロ、内容予定はキーノート講演33編、ポスター論文発表565編(6室並行、54セッション)、パネル討論4件、日程は2000年8月1日 Web Site 開設(Prof. Jean Taine, Ecole Centrale Paris, 92295 Chatenay-Malabry Cedex, France, ihtc12@em2c.ecp.fr), 同9月10日 Heidelberg にてアセンブリ委員会の承認を経て論文割り振り数決定、フランス側組織委員会(Steering Committee, SCと略記)はWeb Siteに2001年1月1日第1次アナウンスメント発表、同時に International Scientific Committee(ISCと略記)メンバー宛にポスター送付、同4月1日までに各国ISCメンバーは割り振られた数の少なくとも2倍の数のキーノート講演候補者をSC宛に通知、同5月30日までに論文発表希望者は各国のISCメンバー宛にアブストラクトを送付、同7月1日までに各国ISCメンバーはアブストラクトを審査後、採択決定した著者宛に論文作成ガイドラインを送付、同日までにSCはキーノート講演者を決定しISCに通知、同9月15日までに各国ISCメンバーはSCに採択論文のアブストラクトを送付、SCは著者宛に論文を各国ISCメンバー宛に送付するよう依頼、同12月1日に最終アナウンスメントを送付、2002年2月15日までに各国ISCメン

バーは、キーノート講演前刷及び担当した採択論文の前刷を、論文発表者の一覧表とともにSC宛に送付のこと、その場合この著者一覧表は、e-mailに添付して同時にSC宛送付のこと、同3月15日にSCは詳細な第1次プログラムをWeb Siteに発表、同7月1日までに印刷所は最終プログラム及びアブストラクトの印刷物を完成しGrenobleに納品、同日までに出版社はCD-romをGrenobleに納品、同8月18日～23日本番、という日程で進行させる予定とのフランス側の提案を大筋において了承したが、CD-romのみというフランス側の提案に反対が多く、出版社から後でProceedingsを出版させる方向で見積もりを提出させ、後刻検討することとなった。日本の論文割り振り数は、第11回が割り振り90に対し実数99編であったが、第12回の事務局案は80編であったので、90乃至95編に増やすよう申し入れた。キーノートは33編のうち5編(推薦数は10編)が割り振られており、この数はバランス上妥当と考えたので受け入れた。因みに前回は3編であった。

次の議題はオーストラリアに於ける第13回国際伝熱会議(Sydney 2006)の準備状況報告である。公式オーガナイザはAustralasian Fluids and Thermal Engineering Society、組織委員長 Emeritus Professor Gra-

ham de Vahl Davis, UNSW、論文委員長 Emeritus Professor Brian Milton, UNSW、事務局長 Prof. Eddie Leonardi, UNSW、会期は2006年8月20日～26日、会場はSydney Convention and Exhibition Centre、併設展示会8月23日～25日に250～300社の出展予定、という。

次にメンバーシップ審査委員会(委員長 Prof. R.J.Goldstein, 委員 Prof. K.Stephan, 同 Prof. M.Hirata)の議を経て南アフリカのアセンブリメンバーへの参加申請が審議された。伝熱研究のアクティビティ、前第11回会議への参加者数6名などの実績について審議され、投票の結果、賛成10票、反対15票で否決された。併せてメンバーシップ審査委員会について審議され、内規を変更して、今後は元会長で構成するAdmission Committeeで予備的に審議した後アセンブリ会議にかけられることとなった。この委員会は Prof. R.J.Goldstein, Prof. G.Hewitt, Prof. S.Sideman で構成される。

次回のアセンブリ会議はGrenoble 会議の初日、2002年8月18日に行うことを決め審議を終了した。

日本の伝熱研究者各位に、前回会議と同様、質・量ともに世界に冠たる日本の伝熱研究のレベルを存分に示して下さいようお願いしてアセンブリ会議出席の報告とする。

行事カレンダー

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名(開催地,開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2001年					
5月	23日(水)~25日(金) 第38回日本伝熱シンポジウム (大宮,ソニックシティー)	'01.1/19	'01.3/9	第38回日本伝熱シンポジウム準備委員会 委員長 望月貞成 東京農工大学工学部機械システム工学科内 FAX:042-388-7088, E-mail:htsymp38@mlab.mech.tuat.ac.jp	

本会共催,協賛行事

開催日	行事名(開催地,開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2000年					
11月	17日(金) 日本機械学会関西支部 ウィークエンドセミナー2000 「IT革命と21世紀への扉を開く新製品・新技術」 (大阪市 建設交流館)	'00.11/10 (定員300名)		(社)日本機械学会 関西支部 http://www.jsme.or.jp/ks/	
11月	21日(火) シンポジウム「快適と健康をもたらす次世代の空調技術」	'00.11/7		(社)自動車技術会 事務局 小峰ふみ子 Tel:03-3262-8213, Fax:03-3261-2204 E-mail:komine@jsae.or.jp http://www.jsae.or.jp/	
11月	21日(火)~22日(水) 日本機械学会関西支部 第245回講習会 「構造・強度設計における数値シミュレーション技術の最先端動向」(大阪科学技術センター)	'00.11/14 (定員100名)		(社)日本機械学会 関西支部 http://www.jsme.or.jp/ks/	
11月	29日(水)~12/1日(金) 第38回燃焼シンポジウム (アクロス福岡)	'00.7/28	'00.9/18	九州大学大学院工学研究科機械科学専攻 第38回燃焼シンポジウム事務局 Tel:092-642-3467(城戸),3404(村瀬), 3468(北川), Fax:092-641-9744 E-mail:sympo38@comb.mech.kyushu-u.ac.jp http://www.soc.nacsis.ac.jp/cs/j2/cs/j-j/symp38	
12月	4日(月)~5日(火) 日本機械学会関西支部 第246回講習会 「熱流体計測の基礎と最先端技術」 (大阪市 建設交流館)	'00.11/28 (定員100名)		(社)日本機械学会 関西支部 http://www.jsme.or.jp/ks/	
12月	14日(木)~15日(金) 第9回微粒化シンポジウム (つくば市 工業技術院)	'00.10/6 (講演申込) '00.11/24 (参加申込)	'00.11/10	日本液体微粒化学会事務局 慶應義塾大学理工学部 機械工学科 徳岡研究室気付 事務局長 徳岡直静 〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1 Tel&Fax:045-566-1514 E-mail:tokuoka@mech.keio.ac.jp	
12月	21日(木)~23日(土) 日本数値流体力学会 第14回日本数値流体力学シンポジウム (中央大学理工学部 春日キャンパス)	'00.9/20		東京理科大学 山本 誠 Tel:03-3260-4272 内3352, FAX:03-3260-4291 E-mail:yanamoto@me.kagu.sut.ac.jp http://www.rs.kagu.sut.ac.jp/~yanamoto/cfds14.html	
2001年					
7月	12日~13日 混相流シンポジウム2001 (北九州国際会議場)			九州工業大学工学部機能知能工学科 湯 晋一 Tel:093-884-3174, Fax:093-871-8591 E-mail:yuu@mech.kyutech.ac.jp	
7月	12日~13日 日本混相流学会 年会講演会2001 (北九州国際会議場)			九州工業大学工学部機能知能工学科 湯 晋一 Tel:093-884-3174, Fax:093-871-8591 E-mail:yuu@mech.kyutech.ac.jp	
10月	4日~5日 東北大学流体科学研究所 主催 The First International Symposium on Advanced Fluid Information AFI-2001 (宮城蔵王ロイヤルホテル)			東北大学 流体科学研究所 円山 重直 Tel & Fax:022-217-5243 E-mail:maruyama@ifs.tohoku.ac.jp	

日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ

日本伝熱学会の内規に基づき、学術賞、技術賞、および奨励賞が設けられています。つきましては、下記の要領に従って本年度の募集を行いますので、自薦、他薦を問わず応募下さいますようお願い申し上げます。

記

1. 対象となる業績

- ・ 学術賞の対象は、原則として、最近5回の日本伝熱シンポジウムにおいて発表し、*Thermal Science and Engineering* 誌またはその他の国内外で審査のある論文集に掲載された優秀な伝熱研究論文とする。
- ・ 技術賞の対象は、公表された優秀な伝熱技術とする。
- ・ 奨励賞の対象は原則として、最近2回の日本伝熱シンポジウムにおいて優秀な論文を発表した若手研究者で、発表時に大学院生、またはこれに準ずる者（大学卒業後5年以内の者）とする。
- ・ 学術賞および奨励賞の対象資格は、原則として本会会員に限る。
- ・ 学術賞は2件程度、技術賞は1件程度、奨励賞は4件程度とする。

2. 選考方法

- ・ 学術賞・技術賞・奨励賞の選考は、「表彰選考委員会」が「日本伝熱学会賞審査・選考方法内規」によって行う。
- ・ 表彰選考委員は、公募の他に学術賞・技術賞・奨励賞候補を推薦することができる。

3. 提出書類

所定用紙「日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 申請書・推薦書」 1通
論文抜刷または技術内容参考資料 6部
日本伝熱シンポジウム講演論文集抜刷 6部

4. 提出先

〒501-1193 岐阜市柳戸1-1
岐阜大学工学部 機械システム工学科
熊田雅弥宛
TEL 058-293-2530 FAX 058-230-1892

5. 提出期限：平成13年1月9日（火）必着

6. 問い合わせ先：提出先に同じ

日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞
申請書・推薦書

申請者・推薦者名 _____ 印

論文題名または： _____

技術名 _____

刊行物名または： _____

技術内容 _____

(論文抜刷または技術内容参考資料6部添付)

受賞候補者(氏名・勤務先・職名・代表者の連絡先住所, **Tel. No.**, **Fax. No.**, 本会会員資格の有無, 氏名には振り仮名をお付け下さい)

代表研究者： _____

共同研究者： _____

関連研究の伝熱シンポジウム発表

論文題名： _____

講演発表：第 _____ 回シンポジウム講演論文集 _____ 頁(抜刷6部添付)

申請・推薦理由： _____

注) 不要の文字を消して下さい。

第 38 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集

開 催 日 : 平成 13 年 5 月 23 日 (水) ~ 25 日 (金)
会 場 : 大宮ソニックシティ (〒 331-8669 埼玉県大宮市桜木町 1-7-5, TEL : (048)647-4111)
(平成 13 年 5 月 1 日より「さいたま市」に市名変更)

研究発表申込締切 : 平成 13 年 1 月 19 日 (金)
論文原稿締切 : 平成 13 年 3 月 9 日 (金)
参加事前申込締切 : 平成 13 年 4 月 13 日 (金)

【シンポジウムの形式】

- ・一般申込みによる通常セッション及び企画部会によるオーガナイズドセッションを実施します。
- ・講演は 1 題目につき 20 分 (発表 10 分, 質疑 10 分) の予定です。

【研究発表申込方法】

- ・原則として **Web** からの申込み (ホームページ : <http://ht.t.u-tokyo.ac.jp>) と致します。ホームページにある申込書に必要事項を記入し, お申込下さい。その後, 申込受理のメールがお手元に届きましたら, それに記載されている申込番号, 第一著者名, 題目 (最初 7 文字程度), 必要経費 (講演申込整理費のみ, or 講演申込整理費 + ファイル変換代行作業料), 依頼人の住所, 及び振込金額をご記入の上, 下記の口座に申込整理費 3,000 円を郵便振替でご送金下さい (本号挟込みの払込取扱票をご利用下さい)。
- ・なお, **Web** からの申込ができない場合は本号に掲載の研究発表申込書に必要事項を記入し, 下記送付先に **FAX** で発表申込書をお送り下さい。その後, 申込受理の **FAX** がお手元に届きましたら, 上記 Web 申込の場合と同様, **FAX** に記載されている申込番号, 第一著者名, 題目 (最初 7 文字程度), 必要経費 (講演申込整理費のみ, or 講演申込整理費 + ファイル変換代行作業料), 依頼人の住所, 及び振込金額をご記入の上, 下記の口座に申込整理費 3,000 円を郵便振替でご送金下さい (本号挟込みの払込取扱票をご利用下さい)。

FAX 申込時の送付先及び問合せ先 : 工業技術院 機械技術研究所 宗像鉄雄 宛て FAX:(0298)61-7240
講演申込整理費払込先 : 口座番号 : 00290-9-54822, 口座名称 : 第 38 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

- ・申込整理費を講演会当日に会場にて支払われる場合は 4,000 円とさせていただきます。
- ・講演発表申込は, 講演者 1 名につき 1 題目とさせていただきます。
- ・発表の採否及びセッションへの振分けは, 実行委員会にご一任願います。

【論 文】

- ・講演論文集は原寸大のオフセット印刷及び CD-ROM として作製致します。論文の長さは, 1 題目当たり A4 用紙 2 ページとし, 作成フォーマットは前回と同様の予定です (2 段組×片側 26 字× 60 行)。
- ・執筆要綱は, 会誌「伝熱」(平成 13 年 1 月号) 及びホームページに掲載致します。
- ・本シンポジウムでは講演論文集を CD-ROM 化するため, 論文原稿は原則として PDF のファイル形式で提出して戴きます。但し, どうしても PDF での提出が困難な場合 (紙による提出, PDF 以外のファイル形式による提出) には, 論文申込整理費のほかに別途変換作業料 (5,000 円) を申し受けて, 実行委員会が PDF 化 (スキャナー変換を含む) を代行致します。CD-ROM 化のため印刷日程が厳しくなっており, 原稿締切りに遅れると論文集と CD-ROM には載りませんのでご注意ください。

- ・論文の電子化（PDF化）については、下記文献が参考になります。
“小林, Microsoft Word を使った論文作成方法, 日本機械学会誌, 103-979(2000.6), pp. 396-403.”
“川野・岡本, 論文の電子化について (より良いPDFを作るために), 可視化情報, 20-77(2000.4), pp. 27-32.”

【講演登録及び参加費用】

- ・講演申込整理費：3,000 円（当日会場支払：4,000 円）
- ・シンポジウム参加費（論文集代は含みません, 日本伝熱学会会員, 非会員共）：
一般（事前申込：8,000 円, 会場申込：10,000 円）, 学生（事前申込：4,000 円, 会場申込：5,000 円）
- ・講演論文集：日本伝熱学会会員：無料, 非会員：8,000 円
- ・PDF ファイル変換代行作業料（スキャナー変換含む, 日本伝熱学会会員, 非会員共）：5,000 円

【懇親会】

- ・開催日：平成 13 年 5 月 24 日（木）
- ・会 場：大宮ソニックシティ 市民ホール
- ・参加費：一般（事前申込：8,000 円, 会場申込：10,000 円, 事前申込, 会場申込共に夫婦同伴者 1 名無料）
学生（事前申込：4,000 円, 会場申込：5,000 円）

【ご注意】

- ・研究発表申込の取消及び論文原稿の差替は、準備と運営に支障をきたしますのご遠慮下さい。
- ・論文の題目と著者名が発表申込時と論文提出時において相違ないようお願い致します。
- ・発表に用いる機器は原則として OHP のみとさせていただきます。
- ・論文原稿及び別刷りは返却, 配布致しません。
- ・その他ご不明な点がありましたら下記まで FAX または E-mail にてお問い合わせ下さい。

【お問い合わせ先】

第 38 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
東京農工大学 工学部 機械システム工学科内
FAX: (042)388-7088, E-mail: htsymp38@mmlab.mech.tuat.ac.jp

第 38 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
委員長 望月 貞成

【セッション分類表】

() 技術別分類

大分類	小分類
a:要素機器	a-1:熱交換器, a-2:蒸発器・凝縮器, a-3:空調・冷凍機器, a-4:加熱・冷却機器, a-5:反応・燃焼機器, a-6:蓄熱・蓄冷機器, a-7:熱輸送デバイス・熱輸送機器, a-8:ヒートシンク, a-9:その他
b:エネルギー・ 環境システム 技術	b-1:動力・発電システム, b-2:高効率エネルギー変換システム, b-3:エネルギー有効利用システム, b-4:自然エネルギー等利用システム, b-5:空調・冷凍システム, b-6:環境技術, b-7:その他
c:境界技術 (thermal management を含む)	c-1:素材製造技術, c-2:加工・成形技術, c-3:生産技術, c-4:航空・宇宙技術, c-5: 生体・食品技術, c-6:電子・情報技術, c-7:極低温・低温技術, c-8:MEMS, c-9:ピークル, c-10:その他
d:実験・計測・ データ処理技術	d-1:温度計測, d-2:熱流束計測, d-3:速度計測, d-4:画像処理, d-5:その他
e:その他	e-1:その他

() 現象別分類

大分類	小分類
A:熱物性	A-1:固体熱物性, A-2:液体混合系熱物性, A-3:測定法, A-4:その他
B:熱伝導	B-1:熱伝導, B-2:接触熱抵抗, B-3:その他
C:熱放射(ふく射)	C-1:放射(ふく射)物性, C-2:放射(ふく射)伝熱, C-3:放射(ふく射)の数値シミュレーション, C-4:伝熱促進・制御, C-5:その他
D:強制対流	D-1:層流, D-2:乱流構造とモデル化, D-3:乱流の数値シミュレーション, D-4:剥離流れ・噴流, D-5:伝熱促進・制御, D-6:その他
E:自然対流	E-1:密閉空間, E-2:物体周り, E-3:共存対流, E-4:伝熱促進・制御, E-5:その他
F:相変化素過程	F-1:相変化分子運動論, F-2:接触界線, F-3:界面安定性, F-4:核生成・核活性化, F-5:異相成長, F-6:構造化, F-7:その他
G:蒸発・沸騰	G-1:蒸発, G-2:核沸騰, G-3:限界熱流束・遷移沸騰, G-4:極小熱流束・膜沸騰, G-5:過渡沸騰, G-6:伝熱促進・制御, G-7:直接接触系, G-8:その他
H:凝縮・吸着	H-1:凝縮, H-2:直接接触系, H-3:吸着, H-4:伝熱促進・制御, H-5:その他
I:凝固・凍結・融解	I-1:凝固, I-2:凍結, I-3:霜, I-4:融解, I-5:伝熱促進・制御, I-6:その他
J:混相流	J-1:等温系二相流, J-2:沸騰二相流, J-3:凝縮二相流, J-4:固気・固液二相流, J-5:噴霧系, J-6:混相流のモデル化と数値解析, J-7:伝熱促進・制御, J-8:その他
K:多孔質・粒子系	K-1:充填層・流動層, K-2:多孔質層, K-3:その他
L:物質移動	L-1:物質伝達, L-2:熱移動を伴う物質移動, L-3:その他
M:反応・燃焼	M-1:反応を伴う伝熱, M-2:燃焼を伴う伝熱, M-3:その他
N:超スケール伝熱	N-1:分子・クラスタースケール, N-2:マイクロスケール, N-3:都市スケール, N-4:地球スケール, N-5:マルチスケール, N-6:その他
O:微小重力場など 特殊場	O-1:微小重力場, O-2:電場・磁場, O-3:極低温場, O-4:回転場, O-5:その他
P:その他	P-1:逆問題, P-2:その他

() オーガナイズドセッション

オーガナイズドセッションの分類については、12月上旬にホームページ (<http://ht.t.u-tokyo.ac.jp>) に記載します。

第 38 回日本伝熱シンポジウム研究発表申込書 (原則 Web から申込み)

講演 題目	和文		
	英文		
著者名 (フルネーム) (講演者に*印)	所属・勤務先 (省略形)	伝熱学会 会員資格	会員外の方の所 属学協会と資格
和文	和文		
英文	英文		
和文	和文		
英文	英文		
和文	和文		
英文	英文		
和文	和文		
英文	英文		
和文	和文		
英文	英文		
和文	和文		
英文	英文		
セッション分類 (分類表の小分類から少なくとも2つを選び, 優先順位を考えてご記入下さい. 選択に際しては, できれば技術別分類と現象別分類の両方から選択して下さい) 例: 1.(a-6), 2.(A-2), 3.(O-4), 4.(b-2), 5.(K-2)			
希望小分類 1.(-), 2.(-), 3.(-), 4.(-), 5.(-)			
オーガナイズドセッション オーガナイズドセッション希望の方は下の欄に を入れてください. その場合, 上記分類へのご記入は不要です. () OS-1, () OS-2, () OS-3			
キーワード (5つ程度) () () () () ()			
連 絡 先			
住所	〒		
氏名	所属		
TEL	FAX		
E-mail			
準備委員会記入欄	受付日	年 月 日	受付番号:

(お願い) 原則 Web からの申込み (<http://ht.t.u-tokyo.ac.jp>) となっております. なお, Web からの申込ができない場合は, 工業技術院 機械技術研究所 宗像鉄雄 宛て FAX:(0298) 61-7240 にお送り下さい. 外国人著者の場合, 英文著者名欄に記入頂くと共に, 和文著者名欄もカタカナ書きでご記入お願いします.

Joint Seminar
Recent Numerical Approaches in Advanced Heat Transfer
May 14 and 15, 2001 Seoul, Korea

under the joint sponsorship of
Heat Transfer Society of Japan and
Thermal/Flow Control Research Center of
Korea Institute of Science & Technology(KIST)
co-chaired by
T. Ito(Kyushu Univ.) and J. M. Hyun(KAIST)

Approximately 15 presentations have been organized by the chairmen, and an additional 5 presentations may be accommodated. Those who wish to present papers are asked to submit by e-mail abstracts in English (around 500 words), by February 28, 2001, to the seminar secretaries shown below.

Y. Takata (Kyushu Univ.)

fax +81-92-642-3400 takata@mech.kyushu-u.ac.jp

B. H. Kang (KIST)

fax +82-2-958-5689 bhkang@kistmail.kist.re.kr

S. J. Kim (KAIST)

fax +82-42-869-3210 sungjinkim@cais.kaist.ac.kr

日本伝熱学会研究会「マイクロマシンと熱流体」第5回会合のお知らせ
(電気学会 マイクロマシン研究会・マグネティックス研究会会合との同日開催)

標記会合を下記の通り開催致します。本研究会(主査:笠木伸英(東大),副主査:藤田博之(東大),顧問:下山勲(東大),幹事:村田章(農工大))はマイクロマシンに関連した熱流体を広く対象とし、意見交換、勉強会、見学会などを行っております。第5回会合は昨年同様に電気学会マイクロマシン研究会(委員長:佐藤一雄(名大))との同日開催とし、さらに今回は、電気学会A部門マグネティックス研究会(委員長:角野圭一(横国大))とも同日開催になります。本研究会委員以外の方の参加も歓迎致します。整理の都合上、参加ご希望の方は下記問い合わせ先までご連絡下さい。

○日時:平成13年 2月28日(水) 時間は未定

○場所:立命館大学理工学部びわこ草津キャンパス コアステーション2階 大会議室
JR 京都駅から JR 西日本琵琶湖線(東海道線)にて20分、南草津駅下車。
東口より近江鉄道バス「立命館大学行き」または「立命館大学経由飛鳥グリーンヒル行き」にて「立命館大学」下車、徒歩1分。
URL: <http://www.ritsumei.ac.jp/cinfo/map/index.htm>をご覧ください。

○参加費:無料(但し論文集は有料)

○プログラム

午前・午後 電気学会マイクロマシン研究会・マグネティックス研究会講演
マイクロマシンの製作法・性能評価・応用(6~8件程度)、マイクロ磁気デバイス・
マイクロ磁気センサの材料・設計・製法・応用・製品化などに関する講演を行います。

午後 伝熱学会研究会「マイクロマシンと熱流体」講演

- ・加藤 宗(日立製作所 機械研究所)
「超音波を応用した微量液の非接触攪拌技術(仮題)」
- ・鈴木雄二(東京大学大学院 工学系研究科)
「乱流制御に用いるマイクロデバイスの開発(仮題)」
- ・渡慶次学(神奈川科学技術アカデミー 北森プロジェクト)
「マイクロ流体システムの化学分析への応用(仮題)」
- ・浮田宏生(立命館大学 光工学科)
「光圧回転体による流体攪拌(仮題)」

○問い合わせ先: 〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16
東京農工大学 工学部 機械システム工学科 村田 章
TEL 042-388-7089 FAX 042-385-7204 (学科共通)
E-mail murata@mmlab.mech.tuat.ac.jp
URL <http://www.mmlab.mech.tuat.ac.jp/micromachine>

平成13年度宇宙環境利用に関する地上研究公募のご案内

国際宇宙ステーションの宇宙における組立が1998年11月から開始され、本格的な宇宙環境を利用する時代を迎えようとしております。宇宙環境では、微小重力や高真空等地上では得がたい環境の下で、実験を実施することができます。

我が国は、国際宇宙ステーション計画に独自の実験棟「きぼう」をもって参加しており、今後、このような宇宙環境を利用する機会が飛躍的に増大することになります。

一方、地上での広範な分野の研究を宇宙環境を利用する実験に結びつけ、更には具体的な宇宙実験の提案・実施に至るまで地上における関連研究の蓄積が必要です。

本制度は、このように「きぼう」を中心とした宇宙環境を利用する準備段階として、幅広い分野の研究者に研究機会を提供し、宇宙環境利用に関連する地上研究を推進することを目的としています。

■公募制度の概要

大学、国立試験研究機関、民間企業などの研究者の方々を対象に幅広く研究テーマを募集します。

●応募資格

応募者の国籍、所属機関の所在地（国内外）は問いませんが、日本語による応募及び面接に対応できる語学力を必要とします。

●公募対象研究分野

微小重力科学、微小重力物理学、生物科学、バイオメディカル、宇宙医学、宇宙科学、地球科学、宇宙利用技術開発の8分野

●研究費、研究期間

- ・フェーズⅠ研究（A） 研究費：3千万円以下／年 研究期間：1～3年
- ・フェーズⅠ研究（B） 研究費：6百万円以下／年 研究期間：1～3年
- ・フェーズⅠ研究（B）萌芽的研究 研究費：150万円以下（総額） 研究期間：1.5年
- ・フェーズⅡ研究 研究費：1千万円程度～1億円以下／年 研究期間：1～3年

●選定

財団法人日本宇宙フォーラム内に、有識者によって構成される委員会を設置し、応募された研究テーマの選定等を行います。

●研究形態

研究形態としては、委託研究（大学、企業）、共同研究（国立研究所）、招聘研究の形態をとります。

●実験施設、試験施設の提供

研究の必要に応じて調整の上、落下塔、航空機の微小重力模擬実験施設等の利用機会を提供いたします。

●スケジュール

- ・応募受付締め切り：平成13年2月28日（水）消印有効
- ・研究開始：平成13年8月～

●問い合わせ先

財団法人日本宇宙フォーラム

公募研究推進部 募集担当 電話：03-3459-1653 FAX：03-5470-8426

URL：<http://www2.jsforum.or.jp/> E-mail:koubo@jsforum.or.jp

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

本会は、伝熱に関する学理技術の進展と知識の普及、会員相互及び国際的な交流を図ることを目的としています。

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

会員種別	資格	会費(年額)
正会員	伝熱に関する学識経験を有する者で、本会の目的に賛同して入会した個人	8,000円
賛助会員	本会の目的に賛同し、本会の事業を援助する法人またはその事業所、あるいは個人	1口 30,000円
学生会員	高専、短大、大学の学部および大学院に在学中の学生で、本会の目的に賛同して入会した個人	4,000円
名誉会員	本会に特に功労のあった者で、総会において推薦された者	8,000円 但し、70才以上は0円
推薦会員	本会の発展に寄与することが期待できる者で、当該年度の総会において推薦された者	0円

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

- 「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。
(本年度発行予定：5, 7, 9, 11, 1, 3月号)
・正会員、学生会員、名誉会員、推薦会員に1冊送付
・賛助会員に口数分の冊数送付
- 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。
・正・学生・名誉・推薦の各会員に1部、賛助会員に口数分の部数(但し、伝熱シンポジウム開催の前年度の3月25日までに前年度分までの会費を納入した会員に限る)

【入会手続き】

正会員または学生会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局宛にファックスまたは郵送で送り、郵便振替にて当該年度会費をお支払い下さい。賛助会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局宛にファックスまたは郵送でお送り下さい。必要があれば本会の内容、会則、入会手続き等についてご説明します。賛助会員への申込みは何口でも可能です。

(注意)

- 申込用紙には氏名を明瞭に記入し、難読文字にはJISコードの指示をお願いします。
- 会費納入時の郵便振替用紙には、会員名(必要に応じてフリガナを付す)を必ず記入して下さい。会社名のみ記載の場合、入金の取扱いができず、会費未納のままとなります。
- 学生会員への入会申込においては、指導教官による在学証明(署名・捺印)が必要です。

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

個人会員と賛助会員の増加が検討されています。会員の皆様におかれましても、できる限り周囲の関連の方々や団体に入会をお誘い下さるようお願いいたします。また、賛助会員への入会申込み受付におきまして、A(3口) B(2口) C(1口)と分けております。現賛助会員におかれましても、できる限り口数の増加をお願いいたします。

【会費納入について】

会費は当該年度内に納入してください。請求書はお申し出のない限り特に発行しません。会費納入状況は事務局にお問い合わせ下さい。会費納入には折込みの郵便振替用紙をご利用下さい。その他の送金方法で手数料が必要な場合には、送金額から減額します。フリガナ名の検索によって入金事務処理を行っておりますので会社名のみで会員名の記載がない場合には未納扱いになります。

【変更届について】

(勤務先、住所、通信先等の変更)
勤務先、住所、通信先等に変更が生じた場合には、巻末の「変更届用紙」にて速やかに事務局へお知らせ下さい。通信先の変更届がない場合には、郵送物が会員に確実に届かず、あるいは宛名不明により以降の郵送が継続できなくなります。また、再発送が可能な場合にもその費用をご負担頂くことになります。

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

(学生会員から正会員への変更)

学生会員が社会人になられた場合には、会費が変わりますので正会員への変更届を速やかにご提出下さい。このことにつきましては、指導教官の方々からもご指導をお願いします。

(変更届提出上の注意)

会員データを変更する際の誤りを防ぐため、変更届は必ず書面にて会員自身もしくは代理と認められる方がご提出下さるようお願いいたします。

【退会届について】

退会を希望される方は、退会日付けを記した書面にて退会届(郵便振替用紙に記載可)を提出し、未納会費を納入して下さい。会員登録を抹消します。

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々は、至急納入をお願いします。特に、平成11年度以降の会費未納の方には「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処分が理事会で決定されます。

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局

(業務内容)

- 入会届、変更届、退会届の受付
- 会費納入の受付、会費徴収等
- 会員、非会員からの問い合わせに対する対応、連絡等
- 伝熱シンポジウム終了後の「講演論文集」の注文受付、新入会員への「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」発送、その他刊行物の発送
- その他必要な業務

(所在地)

〒113-0034 東京都文京区湯島2-16-16
社団法人日本伝熱学会
TEL, FAX: 03-5689-3401
E-MAIL: htsj@asahi-net.email.ne.jp
(土日、祝祭日を除く、午前10時～午後5時)
学会HP: <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/htsj/index-j.html>

(注意)

- 事務局への連絡、お問い合わせには、電話によらずできるだけ郵便振替用紙の通信欄やファックス等の書面にてお願いします。
- 学会事務の統括と上記以外の事務は、下記にて行なっております。

〒113-8656 文京区本郷7-3-1
東京大学大学院工学系研究科
機械工学専攻 庄司 正弘
TEL:03-5841-6406 FAX:03-5800-6987
E-MAIL: shoji@photon.t.u-tokyo.ac.jp

◇編集後記◇

第39期編集出版部会委員

副会長	熊田雅弥	岐阜大学
部会長	菱田公一	慶應義塾大学
委員		
理事	小林睦夫	新潟大学
	山田雅彦	北海道大学
	牧野俊郎	京都大学
	西村龍夫	山口大学
監事	横堀誠一	東芝
評議員		
	小原 拓	東北大学
	川口靖夫	機械技術研究所
	佐藤 勲	東京工業大学
	泰岡顕治	慶應義塾大学
	花村克悟	岐阜大学
	吉田敬介	九州大学大学院
	水上紘一	愛媛大学
	康 倫明	ダイキン環境研究所
	石黒 博	筑波大学
	鈴木 洋	神戸大学
TSE チーフエディター		
	小竹 進	
TSE 出版担当		
	瀧本 昭	金沢大学

平成12年11月30日

第39期編集出版部会長 菱田 公一

編集出版事務局：〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1
慶應義塾大学工学部システムデザイン工学科
菱田公一
TEL: 045-566-1739
FAX: 045-566-1720
e-mail: hishida@sd.keio.ac.jp

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F
学術著作権協会 (TEL/FAX: 03-3475-5618)

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

伝 熱

ISSN 1344-8692

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol. 39, No.159

2000年11月発行

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan
16-16, Yushima 2-chome, Bunkyo-ku,
Tokyo-113, Japan
Phone, Fax: +81-3-5689-3401