

ISSN 1344-8692 Vol. 43 No. 182

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

◇極限環境における伝熱◇

2004. 9

「伝熱」原稿の書き方

How to Write a Manuscript of Dennetsu

伝熱 太郎 (伝熱大学)

Taro DENNETSU (Dennetsu University)

1. はじめに

以下の注意事項に留意して、原稿を作成すること。

2. 「伝熱」用原稿作成上の注意

2.1 標準形式

原稿は Microsoft Word 等を用いて作成し、図や写真等は原稿に張り込み一つのファイルとして完結させる。原稿の標準形式を表 1 に示す。

表 1 原稿の標準形式

用紙サイズ	A4 縦長(210mm×297mm), 横書き
余白サイズ	上余白 30mm, 下余白 30mm 左余白 20mm, 右余白 20mm
タイトル	1 段組, 45mm 前後あける (10 ポイント(10×0.3514mm)で 8 行分)
本文	2 段組, 1 段 80mm, 段間隔余白 10mm
活字	10 ポイント(10×0.3514mm) 本文 (Windows) MS 明朝体 (Macintosh) 細明朝体 見出し (Windows) MS ゴシック体 (Macintosh) 中ゴシック体 英文字・数字 Times New Roman または Symbol
1 行の字数	1 段あたり 23 文字程度
行送り	15 ポイント(15×0.3514=5.271mm) 1 ページあたり 45 行 ただし, 見出しの前は 1 行を挿入

2.2 見出しなど

見出しはゴシック体を用い、大見出しはセンターリングし前に 1 行空ける。中見出しは 2.2 などのように番号をつけ左寄せする。見出しの数字は半角とする。行の始めに、括弧やハイフン等がこないように禁則処理を行うこと。

2.3 句読点

句読点は、および。を用い、、や。は避けること。

2.4 図について

図中のフォントは本文中のフォントと同じものを用いること。

2.5 参考文献について

2.5.1 番号の付け方

参考文献は本文中の該当する個所に[1], [2,4], [6-10]のように番号を入れて示す。

2.4.2 参考文献の引き方

著者名、誌名、巻、年、頁の順とする。毎号頁の改まる雑誌(Therm. Sci. Eng.など)は巻-号数のようにして号数も入れる。著者名は、名字、名前のイニシャル。のように記述する。雑誌名の省略法は科学技術文献速報(JICST)に準拠する。文献の表題は省略する。日本語の雑誌・書籍の場合は著者名・書名とも省略しない。

参考文献

- [1] 伝熱太郎, 伝熱花子, 日本機械学会論文集 B 編, **80-100** (1999) 3000.
- [2] Incropera, F. P. and Dewitt, D. P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons (1976).
- [3] Smith, A. et al., *Therm. Sci. Eng.*, **7-5** (1999) 10.
- [4] 山田太郎, やさしい伝熱, 熱講社 (1980).

原稿作成用のテンプレート (MS-WORD) は下記の伝熱学会のホームページよりダウンロードできます。

伝熱学会のホームページ <http://www.htsj.or.jp/>
会告・記事・論文投稿表紙のテンプレート

http://www.htsj.or.jp/den_guide.html

転載許諾願申請フォーム

<http://www.htsj.or.jp/reqcopy.html>

伝 熱

目 次

〈極限環境における伝熱〉

特集：「極限環境における伝熱」について	高田 保之（九州大学）	1
極低温での伝熱	岡村 哲至（東京工業大学）	2
限界熱流束後の熱伝達	三島 嘉一郎（京都大学）	6
砂漠地域での太陽熱淡水化	永井 二郎（福井大学）	13
海底・深海におけるクラスレート水和物の生成と分解	大村 亮（産業技術総合研究所）	18
太陽光発電衛星の排熱問題	大田 治彦（九州大学）	24

〈プロジェクトQ〉

永久凍土地帯の天然ガスパイプラインからのガス漏洩を抑止せよ	赤川 敏（北海道大学）	31
-------------------------------	-------------	----

〈国際活動・会議報告〉

International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)		
ーその最近の活動報告と会員各位へのお願いー	鈴木 健二郎（芝浦工業大学）	36
第2回マイクロチャネル・ミニチャネル国際会議（ICMM2004）報告	鹿園 直毅（東京大学）	38

〈Heat Transfer〉

金・銀・銅	吉田 英生（京都大学）	40
-------	-------------	----

〈行事カレンダー〉

〈お知らせ〉

第42回日本伝熱シンポジウム開催案内	43
日本伝熱学会東北支部企画 平成16年度秋季伝熱セミナー	44
九州伝熱セミナー in 湯布院 九州発、今、ホットな伝熱!!!	
～ナノ・マイクロ・バイオメディカルテクノロジー～	45
平成16年度日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ	46
第6回実験熱流体に関する世界会議	48
事務局からの連絡	49
「伝熱」会告の書き方	50

インターネット情報サービス

●<http://www.htsj.or.jp/>

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

日本伝熱学会 2004 年度（第 43 期）会長・副会長・理事・監事

◆会 長 荒木 信幸（静岡大学）

◆副会長 増岡 隆士（九州大学）

◆理 事 門出 政則（佐賀大学）
池川 昌弘（北海道大学）
平田 哲夫（信州大学）
清水 昭比古（九州大学）
森 治嗣（東京電力）

◆監 事 伊藤 正昭（日立製作所）

武石 賢一郎（大阪大学）

高田 保之（九州大学）
円山 重直（東北大学）
竹中 信幸（神戸大学）
三浦 隆利（東北大学）
康 倫明（ダイキン）

工藤 一彦（北海道大学）

笠木 伸英（東京大学）

花村 克悟（東京工業大学）
北村 健三（豊橋技術科学大学）
逢坂 昭治（愛媛大学）
大原 敏夫（デンソー）

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.43, No.182, September 2004

CONTENTS

< Heat Transfer under Extreme Environment >

Special Issue on Heat Transfer under Extreme Environment Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)	1
Cryogenic Heat Transfer Tetsuji OKAMURA (Tokyo Institute of Technology)	2
Post-CHF Heat Transport Kaichiro MISHIMA (Kyoto University)	6
Solar Distillation in Desert Areas Niro NAGAI (University of Fukui)	13
Formation and Decomposition of Clathrate Hydrates in Deep Sea Ryo OHMURA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)	18
Thermal Management for Solar Power Satellite Haruhiko OHTA (Kyushu University)	24

<Project Q>

ProjectQ "Control the Gas Leakage from the Natural Gas Pipelinse in Permafrost Regions" Satoshi AKAGAWA (Hokkaido University)	31
--	----

< Report on International Conference and Seminar >

International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT) - Its History, Role and Recent Activities - Kenjiro SUZUKI (Shibaura Institute of Technology)	36
Report on 2 nd International Conference on Microchannles and Minichannels Naoki SHIKAZONO (The University of Tokyo)	38

<Heat Transfer>

Gold, Silver, Bronze Hideo YOSHIDA (Kyoto University)	40
--	----

<Calendar>	41
-------------------------------	----

<Announcements>	43
------------------------------------	----

特集：「極限環境における伝熱」について

Special Issue on Heat Transfer under Extreme Environment

高田 保之 (九州大学)

Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)

Yahoo の国語辞書によると、「極限」という言葉の意味は、「物事の限度ぎりぎりのところ」と記載されています。「極限環境」という言葉では捜せませんでした。が、「極限状況」で「従来の環境への適応手段が、全く役立たなくなった状況。環境の変化が大きすぎて、社会的に慣習化された適応手段による処理が、不可能になったとき起こる。」と書いてありました。

「極限環境における伝熱」は、まさにこの辞書の説明にある状況における伝熱問題の特集を企画したものです。数ある極限環境のすべてを網羅することはできないので、稲田茂昭委員に以下の5編の解説記事を厳選していただきました。

- (1) 極低温での伝熱..... 岡村哲至 (東工大)
- (2) 限界熱流束後の熱伝達... 三島嘉一郎 (京大)
- (3) 砂漠地域での太陽熱淡水化..... 永井二郎 (福井大)
- (4) 海底・深海におけるクラスレート水和物の生成と分解..... 大村 亮 (産総研)
- (5) 太陽光発電衛星の排熱問題... 大田治彦 (九大)

(1)と(2)は温度による分類であり、(3)、(4)、(5)は周囲の環境が人間にとって極限環境である砂漠、深海、宇宙を対象としたものです。(1)では、通常の流体に比べて極めて特異な性質を有する超流動ヘリウムに重点をおいた解説がなされています。ヘリウムが液化され、やがて超伝導現象、超流動現象が発見された歴史的背景を含めて述べられているので、非常に読み易い構成となっています。

(2)の限界熱流束後の熱伝達では、原子炉の安全性の観点から情報が不足している、ドライアウト後の熱伝達率およびリウエット条件について最新の予測方法と伝熱モデルについての解説がなされています。

(3)の永井先生の記事では、砂漠という人間にとっての極限環境において実験研究を行う際の苦労話が紹介されています。生死をも左右する極限環境での苦労話は正直言って実験結果以上に興味深い。海外では科研費による消耗品の購入ができずにポケット

マネーで支出のくだりを読んでいて、経済的にも極限状態での研究であったのだろうと想像した次第です。

(4)はクラスレートの話です。クラスレートの語源から定義や構造に始まり、クラスレートが生成・分解する圧力、温度条件の説明までが分かりやすく述べられています。CO₂の海洋投棄やエネルギー源として期待されているメタンハイドレートの採取に関わる研究として今後の展開が期待されます。

(5)は宇宙というロマンに満ちた極限環境における熱除去の話です。1GWの太陽光発電衛星の排熱が技術的に可能であるかどうか、大田先生の得意とする鉄道模型のような緻密さで詳細に検討されています。大田先生も実現には克服すべき問題が山積みされている、と述べられていますが、宇宙空間における熱技術の開発研究は今後とも重要性を増していくでしょう。

本特集号の解説記事をご執筆くださいました先生方に厚くお礼申し上げます。

さて、編集出版部会では読みやすい「伝熱」を目指して、絶えず新しい面白い企画を立ち上げるよう努力しております。肩のこらない気楽なコラムを作ろうということで、今月号から新企画「Heat Transfer」が始まりました。石黒委員の「以心伝熱」はどうだ、という提案に対して吉田委員が英訳したコラム名で、移植用の心臓を輸送するという意味ではありません。まずは、吉田委員がオリンピックをネタにお手本(ではない見本)を書いてくださいました。本欄への会員の皆様の投稿をお待ちしております。

極低温での伝熱
Cryogenic Heat Transfer

岡村 哲至 (東京工業大学)

Tetsuji OKAMURA (Tokyo Institute of Technology)

1. はじめに

極低温への道は、ある実験での失敗から始まったと言ってもいいかもしれない[1]。時は 19 世紀末、フランス、鉱山技師カイエテは気体の液化実験を行っていた。先人たちが行ったように、気体を高圧にすることによって液化を試みた。取り上げた気体はアセチレンである。液化するであろうと思われていた圧力に達する前に、装置に漏れができて、加圧された気体が外へ逃げた。気体が入れてあった厚肉のガラス管を眺めていた彼は、かすかな霧が発生しすぐに消え行くことを見逃さなかった。

それから約 30 年後、ライデン大学のカメラリン・オンネス教授によって、最後まで液化を拒み続けてきたヘリウムが液化された。さらに数年後、絶対零度近くで起こる奇妙な現象、すなわち超伝導、超流動現象に人類は出会うことになった。

区別した。ヘリウムは三重点が存在しない特別な元素であることもわかった。

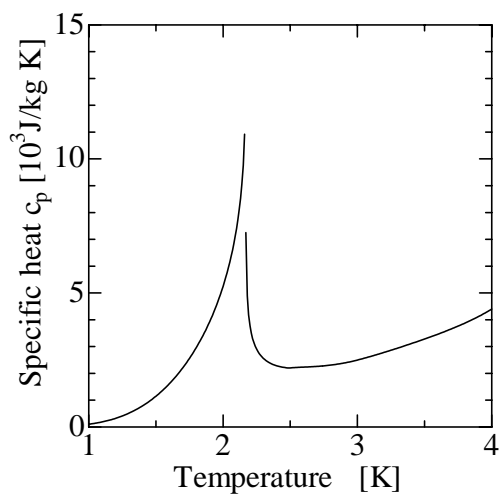


図1 大気圧下でのヘリウムの定圧比熱

2. 奇妙な現象

2.1 三重点がない

オンネス教授をはじめ多くの研究者は、液体ヘリウムを減圧することによって、絶対零度を目指していた。おそらくそのほとんどの研究者は、2.2K 付近まで冷えたところで、それまで沸騰していたヘリウムが急に静かになることを目撃していたはずである。そのほかにも、液の熱伝導率が突然 100 万倍に増加することや、図 1 に示すように、比熱があたかも限りなく大きくなるようなことも発見していた。

ところがこれらの現象があまりにも法外なので、熟練した研究者たちは、それらの結果を発表することを控えた。研究者たちは、2.2K 付近の液体ヘリウムに圧力をかけたり、X 線を当てたりした。ヘリウムの状態図が徐々に明らかになった。それを図 2 に示す。液体の性質に大きな変化が起こる 2.2K 付近のところに線を引き、HeI と HeII として

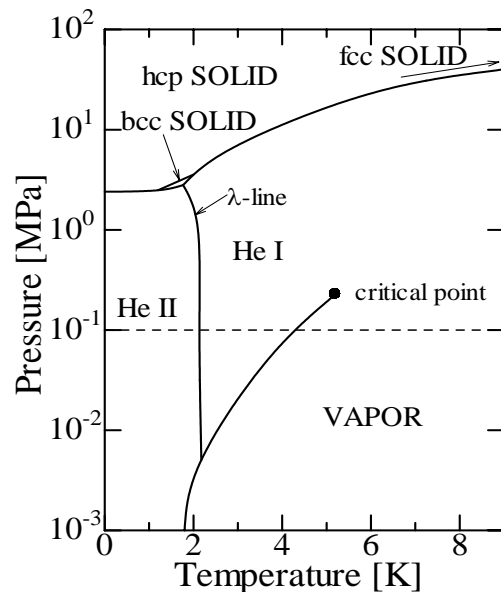


図2 ヘリウムの状態図

2.2 異なる二つの実験結果

ヘリウムの素性を知るための実験で、多くの研究者は悩んでいた。HeI から HeII になると、装置からヘリウムが漏れだすのである。

ある研究者は、液体ヘリウム内で振動する円筒あるいは円板の運動の減衰によって粘性を測った。ある研究者は、毛細管などの隙間流れによって粘性を測った。それらの実験結果は図3に示すように、HeII ではまったく異なっていた[2]。振動板の実験では、HeII でも粘性が認められるのに対し、毛細管の実験ではほとんど非粘性であった。この結果が、超流動と呼ばれる所以となった。

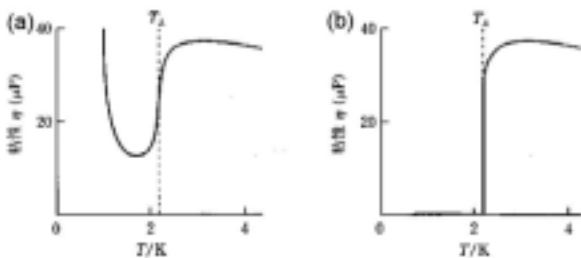


図3 (a)振動実験結果 (b)毛細管実験結果

2.3 熱流束に依存する熱伝導率と温度の波

HeII の中では、熱伝導率が熱流束の大きさに依存する。通常ならば、熱伝導率は物性値の一つで、温度や圧力に依存しても、熱流束には依存しない。管の中に HeII を満たし、片端を加熱すると、HeII 中には温度差ができる。熱流束が小さくなると温度差も小さくなる。この温度差が小さくなるにしたがって熱伝導率は大きくなり、最終的には HeI の100万倍を超える。また小さな熱流束値の熱パルスを加えると、温度波が HeII 中を図4に示すように伝わる。この温度波の伝わる速さは、1~2Kの範囲では、約20m/sである。液体の中で、銅や銀などの良熱伝導性の金属とは比べものにならないほどの速さで、温度波が伝わる。

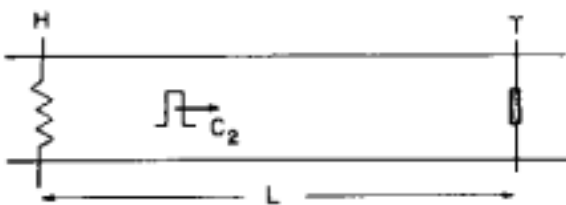


図4 time-of-flight 法による温度波の測定[3]

二つの容器を毛細管でつなぎ HeII で満たして、

片方を加熱すると、過熱された側の容器の液面が上昇する。すなわち、熱源の方向へ液体の流れが起きる。この現象は、“熱機械効果”あるいは“噴水効果”と呼ばれている。

2.4 点と線

一見何の関係もないように思える、粘性や熱伝導に関する実験結果および熱機械効果が、一つのモデルによってつながった。1908年にオンネス教授がヘリウムを液化して30年後、見事な提案がティサから発表された[4]。

HeII 中には、“超流動成分”と“常流動成分”が混じっている。超流動成分は、粘性が0で、エントロピーも0である。常流動成分は通常の流体と同じ性質を示す。超流動成分は、図2に示されるλ線より低温になると現れ、温度が下がるとその割合が図5に示すように増える。という、いわゆる二流体モデルである。

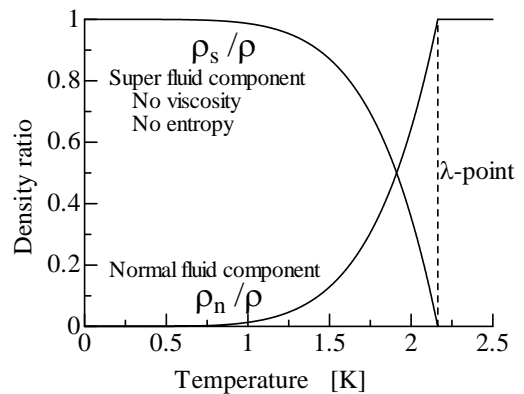


図5 HeII 中の超流動成分と常流動成分の割合

振動板実験では、常流動成分の粘性を測定し、毛細管実験では、常流動成分は粘性のため毛細管内を流れていないため、超流動成分だけの粘性を測っていたことになる。

常流動成分も流れることのできる十分太い管の中では、図6に示すように、熱源に向かってエントロピー0の超流動成分が流れ、常流動成分はそれと逆方向に流れる。HeII 全体としての質量流はないが、熱源からは常流動成分によって、せっせと熱が運び去られている。このようなことから、HeII 内での熱輸送は“内部対流”と呼ばれ、通常の熱伝導に比べて桁違いに大きい。

HeII 内で見られる温度の波は、おおざっぱに言えば常流動成分の流れを観測していたことになる。密度の揺らぎが伝播する通常の音波と区別して、エントロピーの揺らぎが伝播するこの波は“第二音波”と呼ばれる。

HeII 内での熱流束が大きくなるにしたがい、内部対流は活発になる。そして流速がある臨界値以上になると、超流動成分に固有な渦糸が発生する。この状態を、“乱流状態”に移行したとよび、二成分間に“相互摩擦”が発生したとも言う。渦糸の密度や構造などが熱流束によって変わるので、HeII の熱伝導率は熱流束に依存する。液体中の熱伝導に対して、内部対流、乱流状態、相互摩擦といった言葉を使うので、伝熱屋の私としては、最初は抵抗を感じていたが、今ではすっかりなじんでいる。

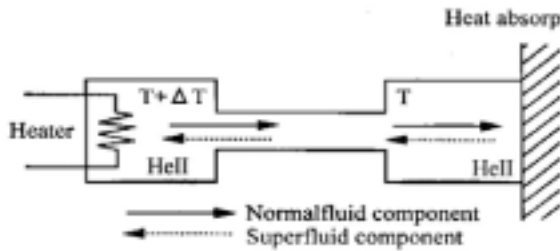


図6 内部対流と呼ばれる HeII 中の熱輸送

HeII が満たされた管を、図7に示すように細い穴がたくさん空いた多孔質材で仕切って、片側を加熱する。たちまち上に述べた内部対流が起こる。ただし、粘性をもつ常流動成分は多孔質内をほとんど通り抜けることができず、超流動成分だけが通り抜ける。結果として、図7に示されるように、左から右に向かって HeII の流れが生じる。これが熱機械効果である。

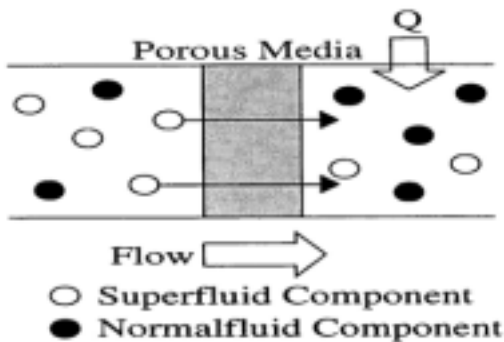


図7 熱機械効果

2.5 液体中に“蒸発”する液体

話しをさらに低温に進めよう。温度を下げるには、液体ヘリウムを減圧して蒸発冷却する方法が最も手軽である。ただし、温度が下がるにつれて蒸気圧が下がるので、真空ポンプで吸い出すことのできるヘリウムガスと利用できる蒸発潜熱が少なくなる。この方法で得られる最低温度は、最終的には真空ポンプの性能による。通常のヘリウム ^4He より大きな蒸発潜熱を持つ、ヘリウムの同位体 ^3He をもってしても、現実には 1 K を少し下回るくらいである。

ミリ K レベルを得る方法の一つに、ヘリウム希釈冷凍がある。ここでも極低温ならではの現象が利用されている。この温度レベルになると、図5に示されたように、ボーズ粒子である ^4He はほとんど超流動成分だけになり、エントロピーが 0 の状態になる。それに対してフェルミ粒子である ^3He は、依然としてエントロピーをもっている。

エントロピー 0 の液体というのは、物理的には存在しているが、エネルギー的には存在していない不思議な液体である。エネルギー的には真空状態と言ってもいいかもしれない。したがって、エントロピー 0 の ^4He に ^3He を混合した液体では、あたかも ^3He 原子だけが存在して、しかもこの原子は減圧された気体原子のようにふるまう。さらに、 ^4He と ^3He は 0.87 K 以下では混和しにくくなることを利用して、図8示すような混合室を作る。

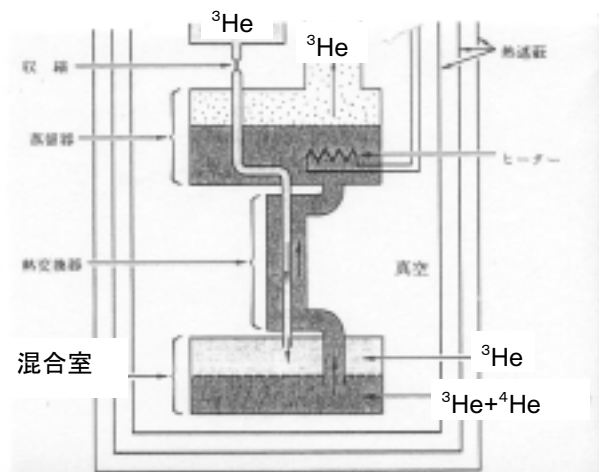


図8 希釈冷凍機の概略[5]

混合室の中では、純粋な ^3He が上になり、 ^4He と ^3He の混合液体が下になる。 ^4He と ^3He の蒸気圧の違いを利用して、混合液体から ^3He だけを抜き取ってやると、混合室内で、液体である ^3He が混合液体へ“蒸発”する。このときの“蒸発潜熱”で冷えてゆく。真空ポンプで液体を減圧する方法と違って、液体から液体へ“蒸発”する潜熱を使うので、温度が下がったからといって蒸気圧が低くなることはない。ただし、この“蒸発”潜熱が温度の2乗に比例するので、得られる最低温度に限界があり、実際には 10mK 程度である。

これより低温を得るためには、電子や陽子、中性子などの自分の軸の回りの回転、いわゆるスピンを使う。磁界をかけてスピンを整列させたり、逆に消磁してスピンを元の状態に戻したりするときに生じる、放熱・吸熱現象をうまく利用して、現在は 10^{-8}K レベルまで達している。

3. 工学的な興味

人類はなぜ、わざわざ極低温を作るのか。原子核物理や物性物理など、物質の本質を探究する理学研究はさて置いて、工学的に一番多い要望はやはり、超伝導を使うためであろう。超伝導によって、強磁界、微弱な磁界との相互作用、零抵抗などの利用分野が大きく開けてくる。また、赤外線望遠鏡や電波望遠鏡、たんぱく質構造解析NMRなどでは、センサーを極低温に冷却することにより、熱雑音を取り除かれるなどして、計測精度が向上する。

約 100 年前に初めてヘリウムが液化された頃は、大掛かりな装置を使って大変な苦勞をして、やっと液体ヘリウムを手に入れていたに違いない。液体ヘリウムは水とは違って、蛇口をひねればジャボジャボ出てくるようなものではなく、取り扱いが厄介である。

技術を進化させ、楽をするようになった人類は今、スイッチを1つ2つ押すだけで、誰でも 4 K レベルの極低温を手に入れることができるようになった。この極低温冷凍機と呼ばれる機械と超伝導マグネットを組み合わせた、“液体ヘリウムを使わない超伝導マグネット”がすでに市販されている。極低温冷凍機の低温部とコイルを熱接触させて冷やすので、伝導冷却超伝導マグネットとも呼ばれる。最近では、この方法を大型の超伝導マ

グネットに適用させるための研究が行われている。

一方で、先にも述べた HeII をマグネット冷却に使ったときの伝熱特性や熱流体特性に関する研究も、着実に進歩している。コンピューターの高性能化により、ティサによって提案された二流体モデルを直接、数値計算で解くことが現実的になってきた。

HeII の奇妙な特性を生かして、今まで以上に上手くマグネットを冷やすことが期待される。

超伝導をはじめ極低温利用技術がもっと普及するためには、冷凍機の効率を上げることが必要である。現在、1 W の熱を 80K レベルから室温までくみ上げるために必要な電力は数 10W、4 K レベルからだと数 kW が必要となる。

4. まとめ

極限の世界では、ごまかしはきかない。これはどの分野でも同じであろう。工学的に興味のある極低温領域は、数 K から 100 K 程度までの間である。 μK レベルを扱う物理学研究者から見れば、けっして極限とはいえないだろう。それでも、手を抜いたところには必ず、あとからそのツケが回ってくる。

超流動の伝熱実験では、温度計の取り付けや伝熱素子部材などの接着をいい加減にしていると、2.2K まで冷やして初めて、必ずや漏れが生じる。実験装置は正直である。室温まで暖め直して、最初からやり直しである。

実験が終わったあとも、しっかりと装置の面倒を見てやらなければならない。装置と実験室との接点では、空気中の水分が凍って低温容器を閉塞させることがある。出口を氷で閉ざされたヘリウムガスや窒素ガスなどが膨張して行き場がなくなり、最悪の場合は容器を破裂させる。

ごまかしのきかない厳しい世界には、教わるものがたくさんある。

参考文献

- [1] Mendelssohn, K, *The Quest for Absolute Zero*, Weidenfeld and Nicolson (1956).
- [2] 山田一雄, 大身哲臣, 超流動, 培風館 (1995).
- [3] Steven W. Van Sciver, *Helium Cryogenics*, Plenum Press (1986).
- [4] Tisza, L., *Nature*, 141 (1938) 913.
- [5] キッテル, 熱物理学, 丸善株式会社 (1983).

限界熱流束後の熱伝達

Post-CHF Heat Transport

三島 嘉一郎 (京都大学)

KaichiroMISHIMA (Kyoto University)

1. はじめに

極限環境における伝熱の一つに限界熱流束後の熱伝達がある。これは、液体を作動流体とする伝熱装置において流動沸騰の除熱限界の目安となる限界熱流束 (CHF) を超えた後の熱伝達をいう。この現象は、貫流型ボイラーや冷却材喪失事故時の軽水炉、低温装置など様々な分野で遭遇する。CHF を超えれば伝熱面が高温になり損傷する恐れがあるので、CHF 後の伝熱壁の温度の正確な予測は、これらの装置の性能限界や安全性に関連して重要である。

例えば、沸騰水型軽水炉 (BWR) では、燃料健全性の観点から、通常運転時のみならず異常な過渡変化時においても燃料集合体内において沸騰遷移 (BT) を起こさないことが要求されている。BT が起これば燃料棒が高温になり、被覆管の焼損や材料の劣化を招いて燃料棒の健全性が損なわれるとされているからである。しかし、これまでの知見によれば、たとえ BT が発生しても、直ちに燃料棒の損傷に至るわけではなく、短時間のうちに BT 状態が終結すれば燃料棒の健全性は維持される。このことを踏まえ、日本原子力学会では BWR の燃料健全性に係る標準を策定した[1]。この標準では、燃料健全性の判断基準は、燃料被覆管が経験する最高温度とその持続時間によって表される。したがって、燃料被覆管温度を決定する CHF 後の熱伝達とその開始点である CHF 条件および CHF 後の熱伝達を終結させるリウエット条件に関する十分な知見が要求される。このため、この標準では、BWR 過渡事象で想定される条件において検証され信頼性が確認された予測手法が推奨されている。しかしながら、一般的には、CHF 発生条件については多くの知見があるものの、CHF 後の熱伝達とリウエット条件については、様々な流動様式が関与しメカニズムも多様であるために、予測

手法が確立されているとは言い難い[2]。このため、CHF 後の熱伝達とリウエット現象に関しては、今後の研究に待つところが大きい。

本報では、管内強制流動沸騰系における CHF 後の熱伝達とリウエット条件に関する今後の研究に資することを目的に、筆者が関与した最近の幾つかの研究の成果を紹介することとする。内容としては、CHF (ドライアウト) 後の熱伝達の機構論的モデルならびに液滴衝突および蒸気膜崩壊によるリウエット予測モデルなどを含む。

2. ドライアウト後の熱伝達

大雑把に言って CHF のメカニズムにはドライアウト型と DNB 型とがあることは周知のとおりである。前者は環状噴霧流の液膜蒸発によって起こり、後者はプール沸騰 CHF と同様に、いわゆる核沸騰からの遷移によって起こる。DNB 後の熱伝達では、伝熱面が蒸気膜で覆われ主流部に液相が流れる、いわゆる逆二相流 (逆環状流、逆スラグ流など) になっており、熱伝達モードとしては膜沸騰熱伝達である。この熱伝達モードは、概して高サブクール度、高熱流束の条件で起こり伝熱面温度は極めて高くなる。実験が難しく、また、現象自身が複雑なため、熱伝達の詳細なプロセスが十分に把握されているとは言い難い。このため、DNB 後の熱伝達の予測には、プール膜沸騰熱伝達式や噴霧流をもとにした熱伝達式、あるいは実験相関式が用いられる (CHF 後の熱伝達相関式については紙面の都合で文献[3,4]に譲る)。この点において、DNB 後の熱伝達の機構論的モデルは、他の気液二相流の流動伝熱の研究が高度に進展する中で、取り残されている感がある。これに対して、ドライアウト後の熱伝達では、流れは噴霧流となっており、熱伝達のプロセスは比較的単純である。ここでは、その機構論的モデルについて述べる。噴霧流は、蒸気流に伴って流れる液滴によっ

て特徴づけられ、その熱輸送は蒸気流、液滴および伝熱面の三者の間の熱輸送から成る。通常、加熱噴霧流においては、蒸気と液滴との間には温度差があり、熱非平衡の状態にある。蒸気は過熱蒸気であり、熱平衡クオリティが1であっても蒸気流にはかなりの量の液滴が残っていると考えられる。したがって、伝熱面から蒸気流への熱伝達のみでなく、蒸気から液滴への熱伝達や液滴と伝熱面との衝突あるいは接近による熱伝達も考慮し、また、伝熱面が高温の場合、輻射による熱伝達も考慮する必要がある。

このような噴霧流領域の熱伝達のモデル化のため、相関式の導出において様々な仮定が用いられてきた。その典型的なものは熱平衡の仮定である[3, 4]。すなわち、液相は蒸気相と熱平衡状態にあり、伝熱面は蒸気の強制流動によってのみ冷却されるという仮定である。一方、ドライアウト後の噴霧流域では蒸発は起こらず、熱はすべて蒸気の加熱に使われると仮定する相関式もある[4]。これらの相関式によれば、噴霧流域でクオリティは一定になるので、‘凍結クオリティ相関式 (Frozen quality correlation)’ と呼ばれている。熱平衡を仮定したこれらの相関式は伝熱面温度の上限を与える。これらの相関式の欠点を補うため、補正項を導入して熱非平衡の効果を取り入れる考え方もある[4, 5, 6]。このタイプの相関式は、前二者に比べて適用範囲が広く、正しい漸近的傾向を予測することができる。

これらの相関式に加え、噴霧流域の強制流動に対する多くの実験式が提案されている[4, 5]。これらの多くは伝熱面温度と飽和温度との差、すなわち壁面過熱度をもとに熱伝達係数を予測する式であり簡便ではあるが、適用範囲が限られている。

次に、ドライアウト後の熱伝達モデルについて述べる。一般には、熱非平衡を考慮しなければドライアウト後の熱伝達を精度よく予測することは難しい。その上、ドライアウト後の熱伝達においては、液滴と伝熱面との衝突による熱伝達と輻射による熱伝達も無視できない。これらは、特に低圧力、低流量において全伝熱量と蒸気の過熱度の両方に顕著な効果を示す。このことから、Guo-Mishima [7]は、Fig.1 に示すように伝熱面、蒸気および液滴の間の6つの熱伝達成分、すなわち、①伝熱面から蒸気への強制流動熱伝達 $q_{c,w-v}$ 、②液

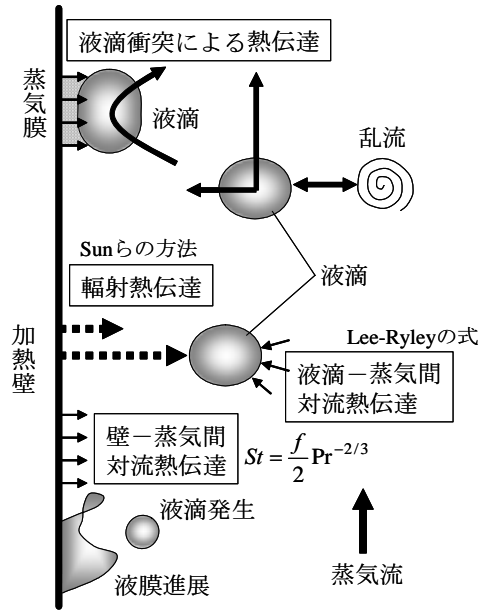


Fig.1 Heat exchange mechanisms in droplet flow.

滴と伝熱面との直接接触による熱伝達 $q_{D,w-d}$ 、③蒸気と液滴との界面における熱伝達 $q_{c,v-d}$ 、④伝熱面、蒸気、液滴の間の輻射熱伝達 $q_{\gamma,w-v}$ 、 $q_{\gamma,w-d}$ 、 $q_{\gamma,v-d}$ を考慮して非平衡熱伝達モデルを提案した。蒸気の過熱度と伝熱面から流体への全伝熱量は、上記熱伝達成分の合計により求められる。

伝熱面から蒸気への対流熱伝達量 $q_{c,w-v}$ は運動量輸送と熱輸送の相似性[8]に基づいて計算する。

$$St \equiv h_{c,w-v} / (xGC_{pv}) = (f/2) Pr_v^{-2/3} \quad (1)$$

$$q_{c,w-v} = h_{c,w-v} (T_w - T_v) \quad (2)$$

ここで、 St : Stanton 数、 $h_{c,w-v}$: 伝熱面から蒸気相への熱伝達率、 G : 質量速度、 x : 蒸気クオリティ、 C_{pv} : 蒸気相の比熱、 Pr_v : 蒸気相の Prandtl 数、 f : Fanning 摩擦係数、 T_w および T_v : それぞれ伝熱面と蒸気相の温度を表す。

液滴と伝熱面との直接接触による熱伝達は、伝熱面に衝突する単一液滴の伝熱量をもとに計算する。噴霧流領域では液滴は球形で小さい (Weber 数 80 以下) とする[9]。このような液滴が伝熱面に衝突し、分裂することなく跳ね返るものとする。跳ね返るまでの過程で、液滴は伝熱面上で平らに変形し、伝熱面を離れる際に再び球形に戻るものとする。この間、液滴と伝熱面との間に蒸気層が形成され、ここで熱伝達が起こる。この蒸気層の直径と伝熱面近傍での液滴の滞在時間 t_R (すなわち液滴が伝熱面に接触してから離れるまでの時間

d_b) は、いずれも Reyleigh の式[9]により計算される。そして、簡略化のための幾つかの仮定のもとに、蒸気層内の運動量式、質量速度の式、質量保存式および圧力の式を解けば、単一液滴の衝突による熱伝達量 Q_{sd} に対して次式を得る。

$$Q_{sd} = \frac{\pi \lambda_v (T_w - T_s) t_R d^2}{4} \left[\frac{32 \rho_l \rho_v \Delta h_v u_{dr}}{9 \mu_v \lambda_v (T_w - T_s) t_R d} \right]^{1/4} \quad (3)$$

ここで、 λ_v : 蒸気の熱伝導率、 T_w : 伝熱面温度、 T_s : 飽和温度、 t_R : 液滴の滞在時間、 d : 液滴径、 ρ_l : 液相の密度、 ρ_v : 蒸気相の密度、 Δh_v : 修正蒸発潜熱、 u_{dr} : 伝熱面の法線方向の液滴速度、 μ_v : 蒸気の粘性係数。

噴霧流の液滴衝突による熱伝達は、単一液滴の衝突による熱伝達量と液滴付着率 m_D を用いて計算でき、これに伝熱面の法線方向の液滴速度と液滴付着率の関係を用いれば次式を得る。

$$q_{D,w-d} = (T_w - T_s) \left[\frac{18 \lambda_v^3 t_R^3 \rho_v \Delta h_v m_D^5}{d^5 \rho_l^4 \mu_v (1 - \alpha) (T_w - T_s)} \right]^{1/4} \quad (4)$$

ここで、 α : ボイド率。液滴付着率に対しては種々のモデルがあるが、それらによる予測結果はかなりばらついている。Guo-Mishima のモデル[7]では、低流量では Kataoka-Ishii の式[10]、高流量では Whalley-Hewitt の式[11]が用いられている。液滴径はもう一つの重要なパラメータであるが、Guo-Mishima のモデルでは Kataoka, Ishii & Mishima の式[12]が用いられている。

蒸気と液滴の間の界面熱伝達率は Lee-Ryley [13] の式を用いて計算される。輻射熱伝達量は、通常、無視されるが、伝熱面と蒸気あるいは液滴との間の温度差が大きい場合、無視できない。Guo-Mishima のモデルでは、噴霧流は光学的に希薄な体系と考え、伝熱面と蒸気、液滴を3つのノードとする電子回路網のアナロジーから輻射熱伝達を計算する[14]。

Guo-Mishima は、Evans ら[15, 16]および Gottula ら [17]の実験データを用いて、各々の熱伝達成分の寄与を調べるによりモデルの検証をしている。Evans らのデータ[16]との比較の結果によれば、蒸気対流熱伝達が支配的であり、伝熱面—液滴および液滴—蒸気間の輻射熱伝達は無視できるが、液滴と伝熱面との衝突による熱伝達と伝熱面から蒸気への輻射熱伝達は無視できず、これらを

無視すれば予測精度はかなり悪くなる。その理由として、とくに、低圧力、低流量、低クオリティにおいては、液滴径が大きいため界面熱伝達が低下し蒸気の過熱度が大きくなること、また、Reynolds 数が小さいため蒸気対流熱伝達率が小さくなることにより、蒸気対流による伝熱面からの熱伝達量が小さくなり、相対的に液滴衝突と伝熱面から蒸気への輻射熱伝達量の寄与が大きくなったと考えられる。一方、高流量・高クオリティでは、蒸気対流による熱伝達量が支配的になる。また、既存の実験データ[15, 16, 17, 18, 19]とモデルとの比較の結果、伝熱面過熱度と蒸気過熱度をよく再現することが示されている。これらのデータの試験条件は大部分が、 $P=0.2-0.6$ MPa、 $G=10-50$ kg/m² and $x=0.3-0.9$ の範囲内にある。また、高圧力、高流量条件での実験データ[19]との一致もよい。なお、液滴付着率については、Kataoka-Ishii の式[10]を用いた場合過大評価し、Whalley-Hewitt の式[11]は実験データをよく再現する。

3. リウエット条件

リウエット (クエンチ) 現象は、CHF に達して伝熱面が蒸気で覆われた膜沸騰状態から、伝熱面が液相に接し、遷移沸騰状態に移行するため、急激に伝熱面温度が低下する現象として知られている。この現象は、例えば、軽水炉においては、冷却材喪失事故時の燃料被覆管の最高温度を決める重要な要因となっている。また、低温装置ではよく遭遇する現象であり、鉄鋼分野では焼入れに関係して重要である。このため、これまで多くの研究がなされている。しかし、現時点では、リウエット現象の全体像について実験的にも理論的にも理解は進んでいない。その理由としては、リウエット現象が流動条件によって多様に変化し、そのプロセスは極めて過渡的であり、その特性を表す物理量の測定が難しいことが挙げられる。流動沸騰系ではリウエット現象が進行するにつれてリウエット (クエンチ) された領域が次第に前進していくので、その領域の先端をクエンチ・フロントと呼ぶ。このクエンチ・フロントは安定膜沸騰領域と遷移沸騰領域との境界となり、その近傍で温度勾配が非常に大きいため、実験でクエンチ・フロントの位置とその位置での熱流動条件を精度よく決めることが容易ではない。クエンチ・フロントでの現象や熱流動条件を表すために、ス

パタリング, リウエットイング, クエンチ, 膜沸騰崩壊, ライデンフロスト点, 最小膜沸騰点など様々な用語が使われている. ここでは, 原子炉の熱流動解析において安定膜沸騰相関式から遷移沸騰相関式に切り替えるキーパラメータとして用いられている最小膜沸騰温度 T_{min} を用いることにする.

リウエット現象には熱水力学的条件に応じて幾つかのタイプがあり, Groeneveld-Snoek [20]は流路の幾何学的条件と流れの条件とにより, 蒸気膜崩壊, 上部フラッディング, 下部フラッディング, 噴霧冷却によるリウエット, Leidenfrost 現象による水平伝熱面でのリウエット, 水平伝熱面上の蒸気膜崩壊の6つのタイプに分類している. それぞれのタイプの説明は文献[20]に譲るが, それぞれについて最小膜沸騰温度を予測するモデルが幾つか提案されており, それらについて以下に述べる.

Bromley[21]は水平円筒外面において膜沸騰時の蒸気膜から離脱して上昇する気泡柱の間隔が Taylor-Helmholtz 不安定によって決まると考え, 蒸気膜に層流を仮定し, 膜沸騰熱伝達の式を導いた. 同様の考えで, Berenson [22] は, 水力学的不安定をもとに水平伝熱面上の膜沸騰熱伝達モデルを提案した. また, その膜沸騰熱伝達率の理論式と蒸気膜を維持する最小熱流束の式とを組み合わせると最小膜沸騰温度の式を導いた. この Berenson の式は, プール沸騰を想定しているため, 流体の物性値のみにより表され, 水平面上の蒸気膜崩壊に対して用いられる. 後に Henry [23]と Plummer [24] は, それぞれ, 非等温伝熱面に対する補正と強制対流に対する補正を導入して Berenson の式を修正した.

Spiegler ら[25] は, 液相の限界過熱度の概念を取り入れ, 伝熱面温度が液相の限界過熱度よりも高ければ伝熱面と液相との接触が絶たれると仮定して, 状態式をもとにして, 圧力のみ依存する最小膜沸騰温度の式を導いた. Kalinin [26] および Baumeister と Simon [27] は, 固体と液体との表面エネルギーの比および固体の熱物性の効果を考慮して Spiegler のモデルを修正した. また, Iloeje [28] は伝熱面近傍の圧力勾配に対する仮定に基づいて機構論的モデルを提案したが, このモデルは非常に複雑であり方程式の解は明示されていない. 一方, Henry [22] は, 膜沸騰の流体力学と伝

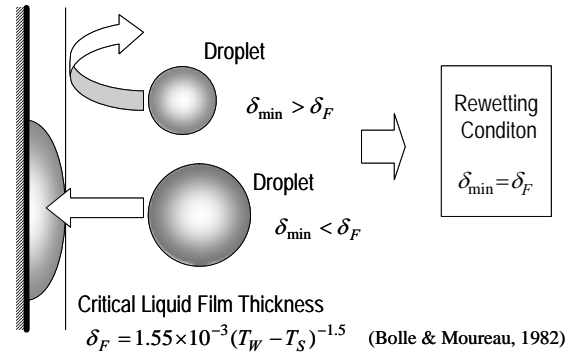


Fig.2 Rewetting model due to droplet impingement.

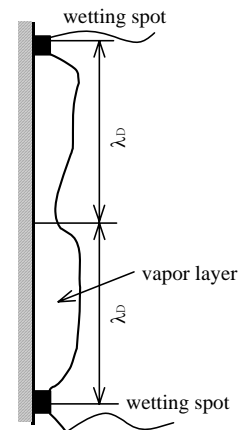


Fig.3 Rewetting model due to interface instability

熱壁の非定常熱伝導効果を考慮してリウエット温度に対する式を導いており, この場合, 式には伝熱壁の熱物性が含まれている. 先に述べたように, 噴霧流熱伝達においては, 伝熱面は, 主として蒸気の対流と, 温度境界層に侵入する(あるいは伝熱面に衝突する)液滴による熱輸送の2つのメカニズムにより冷やされるが, 伝熱面温度の上昇に伴う両者の効果は, 逆向きの傾向であるので, 沸騰曲線は極小点を持つことになる. Iloeje らは, この極小点, すなわち最小膜沸騰点の両側で熱伝達機構は基本的には変わらず, 膜沸騰と遷移沸騰との間の遷移は, 全体的な熱伝達プロセスと伝熱壁の力学のみによって決まると考えた. この不適切な理解は実験データの不足を物語っている. 現象が極度に非定常・非平衡の状態にあり, 温度勾配が急激なために, リウエット温度の精度のよい測定が困難である. この測定の不正確さのためデータのばらつきが大きく, そのために現象の理解も不正確になっている.

最小膜沸騰温度の予測を目的として, これまで

多くの実験相関式が提案されている。その典型的なものに Groeneveld[20], Groeneveld-Stewart [29], Tong [30], Cheng [31]などがある。これらの相関式は簡便であるが、適用範囲が限られている。また、実験データのばらつきの問題から、予測の信頼性には注意を要する。理論または実験により得られた既存の相関式により最小膜沸騰温度の予測がなされているが、各々の予測の間の差が大きく、互いに矛盾する結果さえ出ている。最小膜沸騰温度の予測精度の向上にクエンチ機構についての理解が不可欠といわれる所以である。

最近、Guo-Mishima [32, 33] は、液滴衝突と界面不安定という2つの異なるメカニズムによる最小膜沸騰温度の予測モデルを提案した。液滴衝突のモデル[32]では、蒸気主流中で乱流との相互作用により液滴が運動量を得て伝熱面に接近するが、伝熱面に近づくにつれて液滴表面から蒸発する蒸気の圧力が増して伝熱面への液滴の近接を妨げられるとし、ある限界距離以内に液滴が伝熱面に近づけばリウエットが起こると仮定した。この仮定のもとに液滴の運動方程式を解いて液滴の接近距離を計算し、リウエット限界距離を δ_F とすれば最小膜沸騰温度 T_{min} に対して次式を得る。

$$T_{min} - T_s = \sqrt{\frac{y_0 M u_{y_0}^2 \rho_v \Delta h_{fv}^2}{2 A k_v^2} \left(\frac{\delta_F}{y_0 - \delta_F} \right)} \quad (5)$$

ここで、 y_0 : 液滴の伝熱面方向への運動開始位置 (簡単のため管半径とする), M : 液滴の質量, u_{y_0} : 液滴の伝熱面方向への初速度, A : 液滴の最大断面積, ρ_v : 蒸気の密度, k_v : 蒸気の熱伝導率, Δh_{fv} : 蒸発潜熱を表す。限界距離は Bolle-Moureau [9]の式を使って計算する。Bolle-Moureau の式は、本来、伝熱面上の液膜内で核沸騰が可能になる限界厚さの式であるが、液滴が伝熱面にこの程度の距離近づけばリウエットが始まると仮定している。この仮定は暫定的なものであり、今後の研究により改善されるべきである。

一方、界面不安定によるリウエット・モデル [33]では、逆環状流において、蒸気膜界面の不安定により‘もっとも危険な波長’ [34]をもつ界面波が成長すれば、その波頭が繰り返し伝熱面に接触してリウエットが起こると仮定し、界面波が成長する条件から次の式を導かれる。

$$T_{min} = \frac{24\pi\sigma\Delta h'_{fv}\mu_v(\rho_f + \rho_v)}{\lambda_v L_c \rho_f (\rho_f - \rho_v) g \lambda_q} + T_s \quad (6)$$

ただし、上式では液相速度は気相速度に比べて小さいとして無視している。ここで、 σ : 表面張力, L_c : 液塊の長さ, ρ_f : 液相の密度, λ_v : 上記の熱伝導率, λ_q はリウエット開始時の臨界波長であり、Galloway-Mudawar の観察 [35]結果をもとに、最も危険な波の波長 λ_D の2倍とし、次式で与えられる。

$$\lambda_q = 2\lambda_D = 4\pi \left[\frac{3\sigma}{g(\rho_f - \rho_v)} \right]^{1/2} \quad (8)$$

また、伝熱面近傍では界面の不安定により液相が分裂し液塊になると仮定し、液塊の長さは近似的に $L_c = \lambda_q$ とする。このモデルは、Chen の実験データ [36] ($P=0.115\sim 2.190\text{MPa}$, $G=53\sim 725\text{kg/m}^2\text{s}$, サブクール度 $=0\sim 25.1\text{K}$) および Koizumi の再冠水データ [37] ($P=0.5\sim 3.0\text{MPa}$, 液相速度 $=0.3\text{m/s}$) と比較し、良好な一致を得ている。既存の相関式との比較を Fig.2 に示す。図より、各相関式間のばらつきはかなり大きいことが分かる。その中で、Guo-Mishima[37]のモデルは、これらの相関式全体の平均的な傾向を予測している。

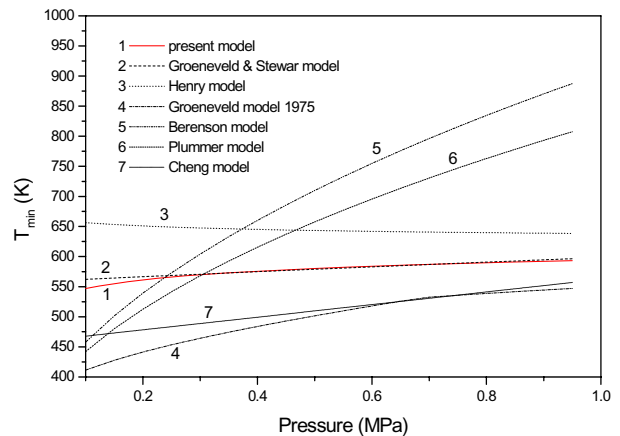


Fig. 4 Comparison of models and correlations for minimum film boiling temperature.

4. まとめ

CHF 後の熱伝達とリウエット現象について最近の研究を紹介した。ドライアウト後の熱伝達については、噴霧流が比較的一様であるために、その熱伝達は、例えば、ドライアウトが三流体モデルで予測できたように、機構論的モデルにより予測が可能である。しかし、DNB 後の熱伝達

については、現象が複雑で測定も難しいために、十分な知見が得られておらず、機構論的予測モデルは今のところ提案されていない。リウエッティング現象については、界面不安定と液滴衝突による二つの異なるメカニズムによるモデルが提案された。しかし、これらは暫定的なものであり、今後さらに実験データを得て、様々な条件下でのリウエッティング現象に関する知見を蓄積して、これらのモデルの妥当性を検証する必要がある。気液二相流の流動と伝熱に関する研究が高度に進展する中で、この分野は取り残されている感がある。今後のさらなる研究が望まれる。

参考文献

- [1] 日本原子力学会標準「BWRにおける過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準：2003」, AESJ-SC-P002:2003, 2003年6月.
- [2] R.A. Nelson and R.B. Duffey, Quenching Phenomena, International Workshop on Fundamental Aspects of Post-Dryout Heat Transfer, Salt Lake City, 1984.
- [3] G. F. Hewitt, J. M. Delhay and N. Zuber, Post-Dryout Heat Transfer, CRC Press, 1992.
- [4] D. C. Groeneveld, Post-Dryout Heat Transfer: Physical Mechanisms and a Survey of Prediction Methods, Nucl. Engng. Design, 32 (1975) 283-294.
- [5] F. Mayinger and H. Langer, Post-Dryout Heat Transfer, Proc. 6th International Heat Transfer Conference, Part 6, pp. 181-198, Toronto, Canada, Aug. 7-11, 1978.
- [6] D. C. Groeneveld and G. G. J. Delorme, Prediction of Thermal Non-Equilibrium in the Post-Dryout Regime, Nucl. Engng. Design, 1976, 36, 17-26.
- [7] Y.J. Guo and K. Mishima, "A Non-equilibrium Mechanistic Heat Transfer Model for Post-dryout Dispersed Flow Regime," Exp. Therm. Fluid Sci., 26 (2002) 861-869.
- [8] J. C. Chen, F. T. Ozkaynak and R. K. Sundaram, Vapor Heat Transfer in Post-CHF Region Including the Effect of Thermodynamic Non-Equilibrium, Nucl. Engng. Design, 51 (1979) 143-155.
- [9] L. Bolle and J. C. Moureau, Spray Cooling of Hot Surface, in Multiphase Science and Technology, vol. 1, edited by G. F. Hewitt, J. M. Delhay and N. Zuber, Hemisphere, 1986.
- [10] I. Kataoka and M. Ishii, Entrainment and Deposition Rates of Droplets in Annular Two-Phase Flow, Proc. ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference, Vol 1, ed. Y. Moriand and W. J. Yang, 1983.
- [11] G. F. Hewitt, Pressure Drop, Handbook of Multiphase System, Edited by G. Hetsroni, 2-44 - 2-75, Hemisphere Publishing Corporation, 1982.
- [12] I. Kataoka, M. Ishii and K. Mishima, Generation and Size Distribution of Droplet in Annular Two-Phase Flow, Trans. ASME, J. Fluid Engng., 105 (1983) 230-238
- [13] K. Lee and D. J. Ryley, The Evaporation of Water Droplets in Superheated Steam, ASME paper 68-HT-11, 1968.
- [14] K. H. Sun, J. M. Gonzalez-Santalo and C. L. Tien, Calculations of Combined Radiation and Convection Heat Transfer in Rod Bundles Under Emergency Cooling Conditions, Trans. ASME, J. Heat Transfer, 98 (1976) 414-420.
- [15] D. Evans, S. W. Webb and J. C. Chen, Axially Varying Vapor Superheats in Convective Film Boiling, Trans. ASME, J. Heat Transfer, 107 (1985) 663-669.
- [16] D. G. Evans, S. W. Webb, et al, Measurements of Axially Varying Non-Equilibrium in Post-Critical-Heat-Flux Boiling in a Vertical Tube, NUREG/CR-3363, Vols. 1 and 2, June 1983.
- [17] R. C. Gottula, R. A. Nelson, et al, Forced Convective Non-Equilibrium Post-CHF Heat Transfer Experiments in a Vertical Tube, ASME-JSME Thermal Engineering Conference, Honolulu, Mar, 1983.
- [18] S. Nijhawan, J. C. Chen, R. K. Sundaram and E. J. London, Measurement of Vapor Superheat in Post-Critical-Heat-Flux Boiling, Trans. ASME, J. Heat Transfer, 102 (1980) 465-570.
- [19] NUPEC, Annual Report of NUPEC Thermal Hydraulic Test to Evaluate Post DNB Characteristics for PWR Fuel Assemblies, 1999.
- [20] D.C. Groeneveld and C.W. Snoek, A

- Comprehensive Examination of Heat Transfer Correlation Suitable for Reactor Safety Analysis, Multiphase Science and Technology, Vol. 2, 181-274, Edited by G. F. Hewitt, J. M. Delhaye and N. Zuber, Hemisphere, 1986.
- [21] L.A. Bromley, Heat Transfer in Stable Film Boiling, Chem. Eng. Progr., **46**, 221 (1950)
- [22] P.J. Berenson, Film-Boiling Heat Transfer from a Horizontal Surface, J. Heat Transfer, **83** (1961) 351-358.
- [23] R. E. Henry, A Correlation for the Minimum Film Boiling Temperature, AIChE Symposium Series, **70**, No. 138, 81-90 (1974).
- [24] D.N. Plummer, O.C. Iloeje, P. Griffith, and W.M. Rohsenow, A Study of Post-Critical Heat Flux Heat Transfer in a Forced Convection System, M.I.T. Report No. 73645-80, 1973.
- [25] P. Spiegler, J. Hopenfeld, M. Silberberg, C.F. Bumpus, and A. Norman, Onset of Stable Film Boiling and Foam Limit, Int. J. Heat Mass Transfer, **6** (1963) 987-994.
- [26] E.K. Kalinin, Investigation of the Crisis of Film Boiling in Channels, Two-Phase Flow and Heat Transfer in Rod Bundles, ASME Winter Annual Meeting, Los Angeles, pp. 89-94, 1969.
- [27] K.J. Baumeister and F.F. Simon, Leidenfrost Temperature – Its Correlation for Liquid Metals, Cryogenics, Hydrocarbons, and Water, J. Heat Transfer, **95** (1973) 166-173.
- [28] O. C. Iloeje, A Study of Wall Rewet and Heat Transfer in Dispersed Vertical Flow, PhD. Dissertation of the Massachusetts Institute of Technology, July 1974.
- [29] D.C. Groeneveld and J.C. Stewart, The Minimum Film Boiling Temperature for Water During Film Boiling Collapse, 7th Int. Heat Transfer Conf., Munich, 1982.
- [30] L.S. Tong, Heat Transfer Mechanisms in Nucleate and Film Boiling, Nucl. Engng. Design, **21** (1972) 1-25.
- [31] S.C. Cheng, K.T. Poon, P. Lau, and W.W.L. Ng, Transition Boiling Heat Transfer in Forced Vertical Flow (Measurements of Quench Temperature), University of Ottawa 20th Quarterly Progress Report, Oct.-Dec. 1981.
- [32] Y.J. Guo and K. Mishima, A Mechanistic Model on Rewetting Temperature Based on Droplet Impingement, Proc. US-Japan Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, Santa Barbara, USA, June 5-8, 2000.
- [33] Y.J. Guo and K. Mishima, A Rewetting Model Based on Vapor-liquid Interface Instability Mechanism, International Workshop on Current Status and Future Directions in Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow, Osaka, Japan, October 5-6, 2000.
- [34] N. Zuber, Hydrodynamic Aspects of Boiling Heat Transfer, Doctoral Dissertation of University of California, Los Angeles, 1959.
- [35] J.E. Galloway and I. Mudawar, CHF Mechanism in Flow Boiling from a Short Heated Wall – II. Theoretical CHF Model, Int. J. Heat Mass Transfer, **36** (1993) 2527-1540.
- [36] Y. Chen, J. Wang, M. Yang and X. Fu, Experimental Measurement of the Minimum Film Boiling Temperature for Flowing Water,
- [37] Y. Koizumi, et al., High-Pressure Reflooding Experiments of Multi-Rod Bundle at ROSA-IV TPTF, Nucl. Engng. Design, **120** (1990) 301-310.

砂漠地域での太陽熱淡水化 Solar Distillation in Desert Areas

永井 二郎 (福井大学)

Niro NAGAI (University of Fukui)

1. はじめに

本誌編集委員の先生から、「極限環境における伝熱」を特集するので、「砂漠」に関係した報告を執筆」するようご指示頂いた。今年の日本は猛暑に襲われたとはいえ、中東地域では市街地でも最高気温は毎年 50℃前後に達し、「砂漠」地域の気温は人間にとって正に極限環境であると言える。筆者は 1999 年 9 月より数年間にわたって UAE (アラブ首長国連邦) の Ras Al Khaimah 首長国において、太陽熱を利用した淡水化実験を行った。その際には身をもって「極限」を経験した。

しかし、そのような「砂漠」は人間の生理的な条件としては極限環境と言えるが、伝熱現象としては決して極限的ではない (伝熱現象の極限とは何かと問われても筆者には回答不能であるが)。太陽熱淡水化装置内外の温度は数十℃オーダーであり、熱流束もせいぜい数百 W/m² オーダーである。本特集号の企画意図が、「人間にとっての極限環境における伝熱」であることを希望しつつ、以下、砂漠地域での太陽熱淡水化についての経験談ならびに若干の意見を、別報[1]に追記する形で述べたい。

2. UAE での太陽熱による淡水化実験

2.1 太陽熱淡水化の原理と実験装置概略

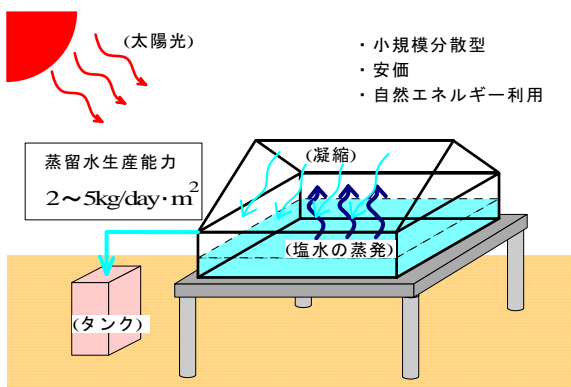


図1 太陽熱淡水化装置の概念図

淡水化の原理はいたって単純で、図1のように装置内の海水や地下水等の塩水が太陽熱により温められると水分のみが蒸発し、透明な屋根の内側で凝縮した淡水を回収するというものである。世界の太陽熱淡水化開発状況や今後の課題等については、文献[2]に詳しい解説があるので、そちらを参照されたい。

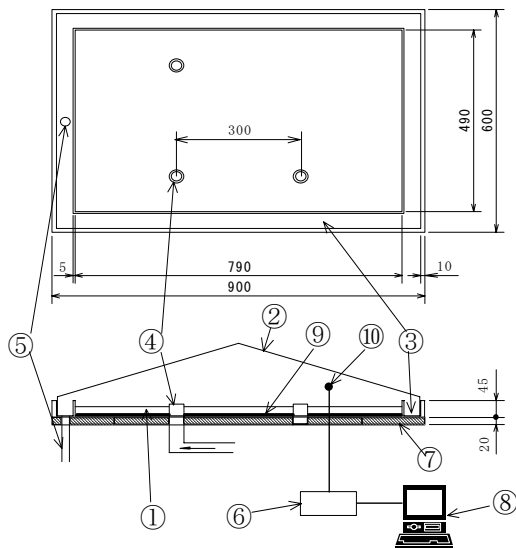
現在、世界全体の淡水化施設の規模は 2000 万トン/日と言われている。その内のほとんどが、化石燃料や電力を利用した多段フラッシュ法や逆浸透膜法によるものであり、太陽熱淡水化のシェアは極めて小さい。その理由は明らかで、大量生産に不向きであり (施設設置面積当たりの造水量が小さい) コストが比較的高いためである。しかし、図1に示すように構造が単純で、小規模分散型が容易であり、ランニングコストがほぼゼロであることから、今後アジア・アフリカ地域の発展途上国において将来性があると考え、太陽熱淡水化装置の熱物質移動モデルを改良することを目的として、基礎的な研究を行ってきた。

図2は筆者らが使用した Basin 型太陽熱淡水化実験装置の写真と概略図である。詳しくは既報[4-6]を参照されたい。透明なポリカーボネート製の屋根と塩化ビニールの Basin により構成されている。この実験により、装置内外の温湿度・装置外の気象データ (日射量, 風速) および淡水造水量を年間を通じて計測し、モデル改良を目指した。この装置では、水盤 (Basin) 設置単位面積当たり 1 日当たり約 2~5 リットル/m²/日の淡水が得られることが分かった。

図3は、より高い造水効率を目指して試作した Tubular 型太陽熱淡水化実験装置の写真と概略図である。詳しくは既報[5, 7]を参照されたい。屋根部を円筒にすることで凝縮面積が比較的増大し、約 1.5 倍の造水効率 (3~8 リットル/m²/日) の淡水を得ることができた。



(a) Basin 型装置の写真



- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Water basin | 6. Data logger |
| 2. Transparent roof | 7. Insulator |
| 3. Catchment | 8. Personal computer |
| 4. Inlet | 9. Heat collector mat |
| 5. Drain | 10. CA thermocouples |

(b) Basin 型装置の概略

図2 Basin 型太陽熱淡水化装置

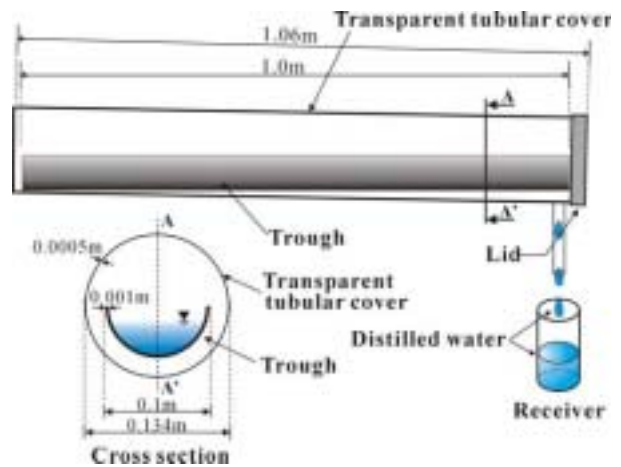
2.2 UAE での淡水化実験を始めるまでの経緯

太陽熱淡水化実験は筆者の立案研究テーマではない。オーストラリアや UAE において既に淡水化実験を手がけてきた PCJ コンサルティングの山形氏から 1997 年に技術相談を受けたのがそもそものきっかけであった。その後、山形氏の援助を受けて福井大学内で模擬実験を行っていたところ、UAE において砂漠の緑化実験[3]を精力的に行っていた福井大学建築建設工学科の福原輝幸教授からお誘いを受けて、ついに UAE で実験することになったのである。

1999 年から約 4 年間、途中科研費（代表：福原教授）の補助も受けながら、福井県立大学の金城・



(a) Tubular 型装置(30 本)の写真



(b) Tubular 型装置の概略

図3 Tubular 型太陽熱淡水化装置

野田両先生および福井大学永長先生も加わり、研究プロジェクトは「土壌保水改良による砂漠の緑化・節水栽培」と「太陽熱を利用した淡水化装置開発」の 2 本立てで行われた。現在、筆者は UAE での実験は行っていないが、福原教授が継続的に研究を実施している。研究開始当初は研究費がほとんど無く、全て自費（ポケットマネー）でまかっていたが、科研費の補助を受けた時には苦勞が報われた気分になったのを思い出す。

2.3 砂漠地域での実験苦勞話

（ここからが本題かもしれないが）UAE での同年実験には苦勞した点があった。以下、いくつかの項目に分けて苦勞話を報告したい。

2.3.1 高温環境下での実験

まずは中東砂漠地域の高温環境下での実験について述べる。UAE の市街地では、夏場の最高気温が 50℃前後、冬場の最高気温が 30℃前後になる。



図4 実験装置完成直後の写真（筆者と装置）

したがって、夏季の正午前後の時間帯には、外で作業をすることは危険を伴う。実際、UAEにおいて夏季の昼間に外で土木・農業作業に従事する出稼ぎの労働者のうち、熱中症で病院に運ばれる者も少なくない。

我々が図2の実験装置のセッティングを行ったのが1999年の9月15日頃であり、日中の最高気温が40数°Cの季節である。朝7AM過ぎにホテルを出発し、実験場所である農場にて作業を11AM過ぎまで続ける。正午前には作業が困難となるので一旦ホテルへ戻り昼食および休息をとる。その後、午後3PM過ぎにホテルを出て日没（7PM頃）まで作業を行った。このようなスケジュールで4～5日作業を続けてようやく実験装置全体が完成した。図4は、その完成直後に撮った感無量の記

念写真である。強い日差しをあびながら気温40数°Cの過酷な環境下で作業を行うと、夕方日没前に気温が35°Cにでもなると大変な涼しさを感じる。日本では35°Cで涼しいと感じることはあり得ないが、気温の落差の大きさに体が敏感に反応するのを感じた。

図5は約1年後の2000年9月7日の淡水化装置内外温湿度と淡水造水量の時間変化を示したものである。1日の中で、外気温は25～40°Cで変化し、淡水化装置内の湿り空気温度は25～80°Cで変化し、装置内湿り空気の相対湿度は、日中正午前後のみ90%程度に低下するが他の時間帯は100%（飽和空気）となっていることがわかる。この装置内外の温度差をドライビングフォースとして水の蒸発・凝縮が起こり、図5に示すように淡水造水量が変化する。実現装置内の温度が80°Cを越すこともあり、装置材質の選定には注意が必要である。

なお、ホテル内やショッピングセンター内は空調により（おそらく）30°C以下に室温がセットされている。したがって、特に夏場に建物内から出入りする回数が多くなると、体調に変調を引き起こしやすい。

2.3.2 水と衣服の必要性

高温環境下にて実験・作業を行う際には水分補給が欠かせない。ある日の体験談を述べたい。

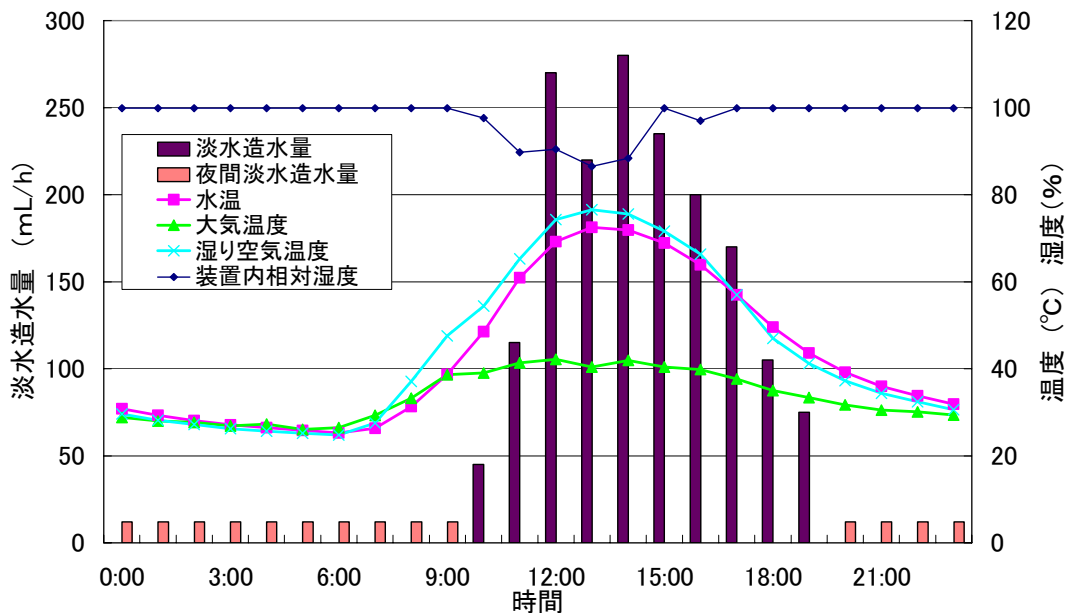


図5 淡水化装置内外温湿度と造水量の時間変化（2000/9/7 at UAE）

2000年の7月(1年で最も平均気温が高い時期)、実験データ取得のため、1人でUAEの農場内で実験を行っていた。実験装置の場所からエアコンのある近くの小屋へ戻ると、ちょっとした手違いで小屋にカギがかけられていた。空いていた部屋はエアコンが無く、天井に大きなファンがついているのみである。仕方なくその部屋の中で仰臥し、ファンの風にあたった。恐らく室温は50℃前後であるため、筆者の体温を36℃程度に維持する放熱手段は、汗の蒸発(潜熱による放熱)のみである。スチームサウナ内と同じような熱的環境下で、11AMから2PM頃までひたすら水を飲み続け汗をかき続け、かろうじて生きながらえた、と思っている。つまり、どこに外出するにも、どのような作業を行うにせよ、水は必需品であり、命の次に大切なものであることを実感した。

また、1999年の9月、実験装置完成後に、車で1時間程度内陸部に入り本物の砂漠を体験した。車を降りると同時に熱風が体を襲った。見渡す限り一面の砂漠であり、数百m歩いてはみたが、熱風と強い日差しによりめまいが生じ、すぐに引き返した記憶がある。砂漠の上に30分近く立っていたと思われるが、その時確信したことは2つあり、「この地に数時間水を持たずに放置されれば死に至る」と、「この地に日差しをさえぎる衣服を与えられず放置されれば死に至る」ことである。砂漠地域の人達の伝統的な衣装には深い意味があること、淡水が無ければ極めて短時間の内に死に至ることを身をもって感じる事ができた。

2.3.3 海外での実験

(本稿の主旨から少しはずれるが)このUAEでの実験のように海外で実験する際には、苦勞することがいくつも生じる。

まず、実験装置本体と計測機器は日本から運び込み、その他材料は現地調達とせざるを得ない。したがって装置本体が故障した場合は、日本から修復のための物品を持って再び現地に出かける必要がある。事前の国内での準備作業には入念なチェックが必要である。なお、科研費や大学の予算では、海外では消耗品を購入することができず、全てポケットマネーからの支出となった。

我々が実験を行った農場では、年に数回停電が起こるため、気象データや装置各部の温度を記録

するデータロガーは車用のバッテリー駆動とした。毎日の淡水造水量の計測は、バングラデッシュからUAEに出稼ぎに来ているOsman氏に依頼した。この淡水量計測データやデータロガー内のデータ回収のため、数ヶ月に一度は誰かがUAEへ行くことになった。筆者はこれまで合計で7回UAEを訪問することになった。

2.4 UAEでの太陽熱淡水化実験の意義

前節で述べたような苦勞をしてまでなぜUAEで実験をするのか、と尋ねられた場合は、「UAEは淡水不足だが太陽熱が豊富な場所であるとともに大変治安が良いこと、さらには海外で実験をすること自体に大変魅力を感じているため」と答えることにしている。UAEはよく知られているように、日本の最大の石油輸入相手国であり、日本との関係は深く、また国全体が大変豊かである。したがって、淡水化設備は大型の多段フラッシュ法をメインとして十分な造水能力を有しており、太陽熱淡水化施設の需要は、一部の例外を除いて現在極めて小さい。しかし、(駐UAE日本大使の言葉を借りれば)石油の代金を支払う以外に日本がUAEに貢献できることがあれば、それはUAEとの友好関係上(ひいては日本のエネルギー安定供給上)大変有意義なことである。数十年後に世界の石油需要が減少した場合に、UAEでの安定な水供給の一部を担うために、太陽熱淡水化施設は求められている。

他にもう1つUAEで実験を行う理由がある。それは、UAE等の裕福な国ではなく、アフリカや南アジアでの貧しい発展途上国における淡水確保のために、太陽熱淡水化の実用化をアピールするためである。それらの国々においては、大型淡水化プラントを設置したとしても、継続的に運用されるとは限らない。太陽熱淡水化設備のような“ローテク”の機械であれば、それらの国々でも小型分散的に利用され続ける可能性がある。また、UAEにはアジア諸国からの出稼ぎ労働者が数多く働いている。石油ビジネスを中心とした商業の中心地でもある。その地において太陽熱淡水化の実験を行い、多くの人にアピールすることが出来れば、将来実用化される可能性があるとして筆者らは考えた。実際、商社関係者あるいは外務省関係者等から打診を受けて、他の国での実験も検討した

ことがある。

3. 最後に

砂漠乾燥地域である UAE での太陽熱淡水化実験について経験談を記した。過酷な気象条件以外にも、文化・宗教上の違いによる苦労話はたくさんあるが、本稿の主旨から大きくはずれるので省略した。

この実験プロジェクト実行に際しては、現地の方々の手厚い心遣いやサポートを受けている。実験場所の手配、実験材料の発注、トラブル発生時の対処等々、我々の実験全般について大変お世話になっている元 UAE 農漁業省次官の Mutawa 氏を初めとして多数の現地の方々に心から感謝したい。Mutawa 氏は御自身のビジネスで超多忙の中、我々を食事に招待して下さいたり、実験中に冷たい飲

み物を持ってきてくれたりと、それはそれは細やかで親切に迎えて下さるのである。さらには実験場所である Mutawa 氏の農場内に、我々福井大学チームのために立派な家まで建てて頂いた。至れり尽くせりである。UAE の将来を憂慮されている Mutawa 氏他現地の方々のためにも、図 6 に示すような太陽熱淡水化および砂漠緑化・節水栽培技術を実用化させたいと考えている。

参考文献

- [1] 永井二郎, “UAE での太陽熱利用淡水化プロジェクト”, 日本機械学会熱工学部門ニューズレター, **36** (2002), 5.
- [2] “第 12 章 淡水化技術”, 新太陽エネルギー利用ハンドブック, 日本太陽エネルギー学会 (2000), 625.
- [3] 福原輝幸, ”砂漠の緑化技術”, 日本機械学会誌, **102-973** (1999), 752.
- [4] 永井二郎, 竹内正紀, 増田周作, 山形順, 福原輝幸, 高野保英, “U.A.E.における太陽熱淡水化装置のフィールドテスト”, 第 37 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, **I** (2000), 185.
- [5] 永井二郎, 福原輝幸, 浅野文郎, “UAE における太陽熱淡水化装置の開発”, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2003 講演論文集, (2003), 339.
- [6] Nagai, N., et al., “Heat Transfer Modeling and Field Test on Basin-Type Solar Distillation Device”, Proc. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Bahamas, (2003), CD-ROM.
- [7] Fukuhara, T., et al., “Production Mechanism and Performance of Tubular Solar Still”, Proc. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Bahamas, (2003), CD-ROM

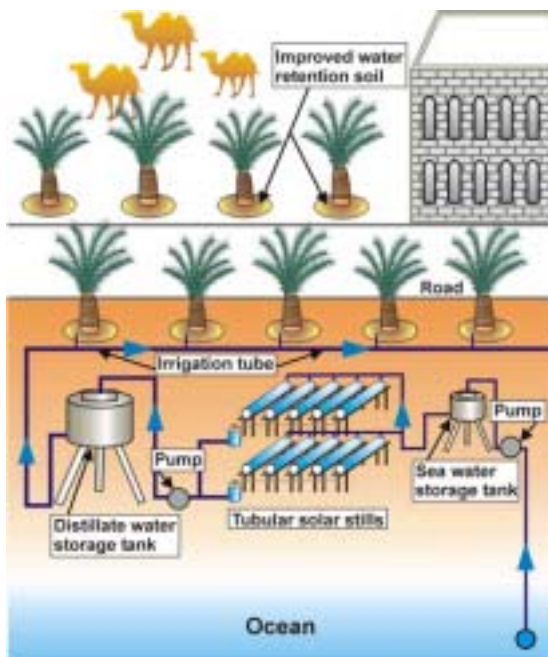


図 6 計画中の太陽熱淡水化・節水栽培技術による海岸緑化システム

海底・深海におけるクラスレート水和物の生成と分解

Formation and Decomposition of Clathrate Hydrates in Deep Sea

大村 亮 (産業技術総合研究所)

Ryo OHMURA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

1. はじめに

ここ十年ほどの間に、クラスレート水和物あるいはガスハイドレートというものがあるいは深海で生成する(そして分解する)という技術的・学術的な話題に接した伝熱のコミュニティーに関わりのある技術者・研究者の数は少なくないものと思われる。クラスレート水和物と海底あるいは深海というキーワードを同時に耳にするのは、二酸化炭素(CO₂)の海洋隔離か天然のメタンハイドレートからの天然ガスの産出のどちらかの話題に関係してのことと思われるが、クラスレート水和物が伝熱のコミュニティーにおいて十分に認知されてはならず、それ故、なぜ海の深いところでクラスレート水和物が生成するのか?という疑問を持っている方も多いのではないかというのがこの解説を書く上での前提である。この解説記事では上記の素朴な疑問に解答を与えられるよう、主にクラスレート水和物生成系の相平衡について述べることにしたい。

clathrate をカタカナ表記した英語からの借用語であるが、clathrate という英語は Powell [1]による造語である。clathrate というが初めて用いられたのは 1948 年であり、Powell [1]が語源としているのはラテン語の形容詞“clathratus”である。筆者の手元の羅和辞典によればこの clathratus というラテン語は“格子状の”という日本語に相当する(なお、ラテン語の clathratus は clatratus と h のない表記になる場合もある)。余談になるが、ラテン語の clathratus が古代ギリシア語からラテン語への借用語ということはないかという疑問を感じたため、ギリシア人の P. Englezos 教授 (University of British Columbia) に訊ねてみたところ、古代ギリシア語の名詞で英語の lock に相当する意味の κλειθρον (klethron) やその形容詞形 κλειθρα (klethra)がラテン語“clathratus”の語源であるとのことであった。したがって clathrate の語源は古代ギリシア語の κλειθρον にさかのぼると考えることもできる。

2. クラスレート水和物とは何か?

定義と結晶構造

クラスレート水和物とは、水分子が水素結合によって作るかご状構造の内部に別の物質の分子が包み込まれてできる結晶のことをいう。かご状構造に包み込まれている分子をゲスト分子、その物質をゲスト物質と呼ぶ。これと対になる用語を用いれば水分子はホスト分子、水(という物質)がホスト物質ということになる。また、ゲスト分子になる物質についてはゲスト物質という用語以外に、hydrate former あるいは hydrate-forming substance という用語が用いられる場合もある。

冒頭から“クラスレート”という言葉を用いて書いてきたが、そもそも“クラスレート”とは一体何の意味かという疑問を持たれる方も多いのではないだろうか。“クラスレート”は英語の

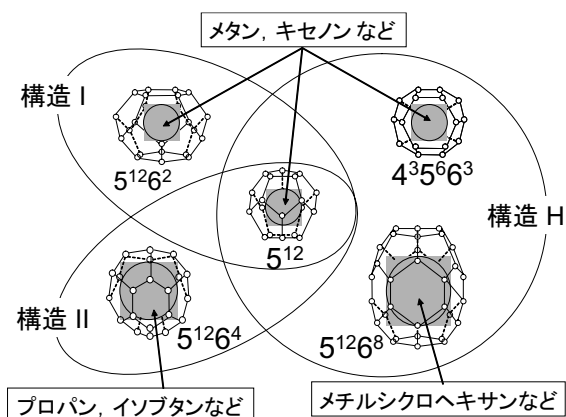


図 1. クラスレート水和物を構成する基本かご状構造の模式図。図中の小さな○はかご状構造を形成する水分子(の酸素原子)の位置を示す。各かご状構造に包接されているゲスト分子も模式的に示した。

ガスハイドレート（気体水和物，gas hydrates）という表現がクラスレート水和物の同義語として用いられているが、これはゲスト物質の多くが、メタン、二酸化炭素、窒素、キセノン等のように常温・常圧下において気体であることによるもので、実際には、常温・常圧下において液体であるゲスト物質も存在する。

クラスレート水和物には複数の結晶構造が存在することが知られているが、これらのうち構造I、構造II、構造Hという結晶構造を構成するかご状構造とそれらのかご状構造に適合する分子の例についての模式図を図1に示す（これら構造I、II、H以外の結晶構造については Davidson のレビュー[2]に当たっていただくか、さらに最新の情報に興味のある方には National Research Council of Canada の J. A. Ripmeester 博士の研究グループの成果を文献調査していただきたい）。この図に示したかご状構造が結晶構造そのものということではなく、これらのかご状構造が面を共有する形で結晶構造が形成されることに注意して欲しい。これら結晶構造の詳細については、Sloan の成書[3]の第2章あるいは大村と森のレビュー[4]を参照されたい。これらのかご状構造はしばしばケージあるいはキャビティーと呼ばれる。

これらのかご状構造の幾何学的形状は多面体であり、しばしば次のような略称が用いられる。

5^{12} ：五角形の12面体

$5^{12}6^2$ ：五角形12面と六角形2面から成る14面体

$5^{12}6^4$ ：五角形12面と六角形4面から成る16面体

$5^{12}6^8$ ：五角形12面と六角形8面から成る20面体

$4^35^66^3$ ：四角形3面、五角形6面、六角形3面から成る12面体

略称といってもこの指数の形での表現をどう読むのかということに悩まれる方も多いと思うが、単に数字を続けて読むのが通例である（その成書で知られる Colorado School of Mines の E. D. Sloan, Jr. 教授がそのように読んでいと著者は記憶している）。例を示せば、 5^{12} の読みはファイブ・トゥウェルブとなる。

特定のクラスレート水和物と呼ぶときには、ゲスト物質の名称を“水和物”あるいは“ハイドレート”の前につけて呼ぶのが通例である。たとえば、 CO_2 をゲスト物質とするクラスレート水和物は CO_2 水和物あるいは CO_2 ハイドレートと呼ばれ、メタンをゲスト物質とする水和物はメタン水和物

あるいはメタンハイドレートと呼ばれる。

3. クラスレート水和物生成系の相平衡

3.1 クラスレート水和物生成系の $p-T$ 線図

一般にクラスレート水和物には高圧・低温で安定という性質（相平衡物性）がある。簡単に言ってしまうと、深海や海底で CO_2 ハイドレートやメタンハイドレートが生成するのは、深海・海底は高圧かつ低温の条件が整っているためである。これについてはもう少し後で詳しく述べることとして、先にクラスレート水和物生成系の相平衡について一般的な事項を述べる。クラスレート水和物の生成する圧力・温度条件を考えるには $p-T$ 線図を用いるのが便利である。この p は系の圧力、 T は系の温度である。図2に水とある一種類のゲスト物質から成る二成分系の $p-T$ 線図を示す。このような系でクラスレート水和物（固相）+ 水の液相 + ゲスト物質の気相（あるいは液相）の三相が平衡状態で共存する温度・圧力条件について Gibbs の相律を考えると自由度は1となり、クラスレート水和物を含む三相平衡条件は $p-T$ 線図

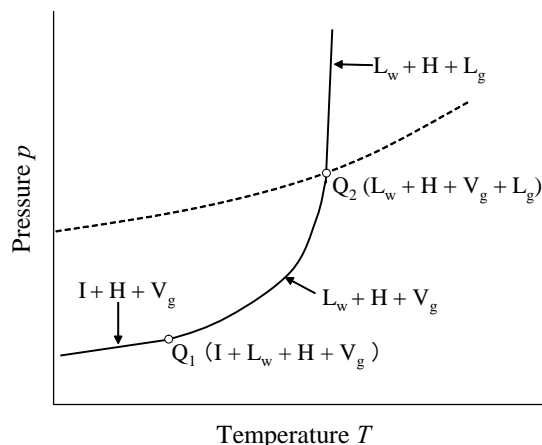


図2. 水 + ゲスト物質二成分系についての $p-T$ 線図。 p は圧力、 T は温度。実線はクラスレート水和物を含む三相平衡状態を示す。図中の文字は以下のように物質及びその物理的状態を示す：I, 氷；H, クラスレート水和物； L_w , 液体の水； L_g , ゲスト物質の液相； V_g , ゲスト物質の気相。たとえば $I+H+V_g$ の線は氷、クラスレート水和物及びゲスト物質の気相の三相が平衡する温度圧力条件を示す。（大村と森[4]の図4を修正）

上では一本の線 (univariant line) となる. 図 2 中における L_w+H+L_g , L_w+H+V_g , $I+H+V_g$ という三本の線がこれにあたる. 四相平衡 (たとえばクラスレート水和物 + 水の液相 + ゲスト物質の液相 + ゲスト物質の気相) を考えると自由度は 0 となり, 四相平衡状態は $p-T$ 線図上で動かない一点 (invariant point) として示されることになる. 図中 Q_1 および Q_2 がこれにあたる. クラスレート水和物 + 水の液相, あるいはクラスレート水和物 + ゲスト物質の気相または液相, という二相平衡を考えると自由度は 2 となり, 二相平衡状態は $p-T$ 線図上では領域としてしか表現されない. $p-T$ 線図上の三相平衡線の左上方の領域がクラスレート水和物 + 水の液相, あるいはクラスレート水和物 + ゲスト物質の気相または液相, という二相平衡状態に対応する.

以上が $p-T$ 線図についての一般論であるが, 具体例をあげて, 深海・海底におけるクラスレート水和物の生成を $p-T$ 線図上で示すこととしたい. 図 3 に二酸化炭素+水(海水)系の $p-T$ 線図を示す. CO_2 ハイドレートについて L_w+H+V_g の三相

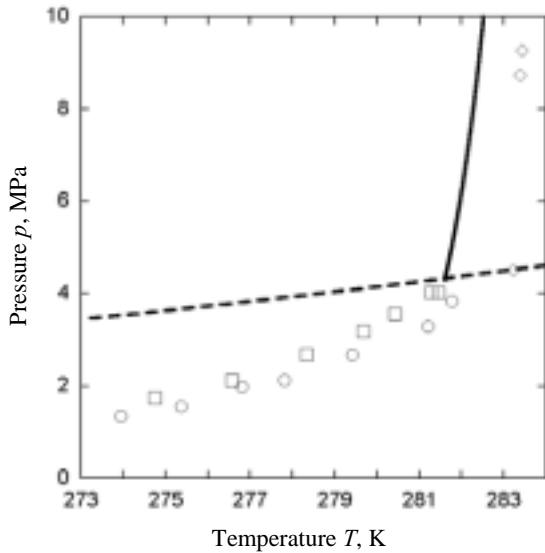


図 3 CO_2 +水(海水)系の $p-T$ 線図. ○, L_w (純水) + $H+V_g$ 三相平衡条件[5]; □, L_w (海水) + $H+V_g$ 三相平衡条件[5];◇, L_w (純水) + $H+L_g$ 三相平衡条件[5]. 実線は L_w (海水) + $H+L_g$ 三相平衡条件の熱力学モデルソフトウェア CSMHYD[3]による予測 (水中の NaCl 濃度を 3.5wt% とした予測). 破線は CO_2 および水の蒸気圧の和.

平衡条件がどのような温度・圧力かというとして $0^\circ C$ で 1.6 MPa, $5^\circ C$ では 2.5 MPa であることがわかる. この相平衡条件と深海における圧力・温度条件を対比させてみれば, CO_2 ハイドレートが生成しう

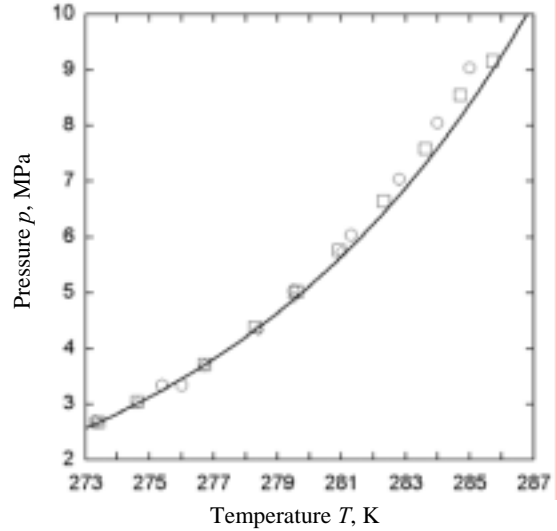


図 4 メタン/水系の $p-T$ 線図. 図中のプロットと実線はそれぞれ実測データと統計熱力学モデルソフトウェア CSMHYD による予測とを示す. 図中の温度・圧力条件下のメタン + 水系では, 平衡条件はすべて L_w+H+V_g となる. 実測データの出典は次の通り: ○ de Roo et al. [7]; □ Adisamisto et al. [8]; ◇, Ohmura et al. [9].

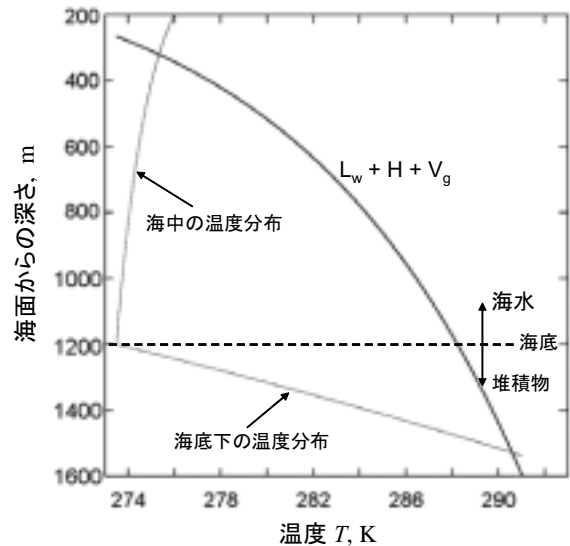


図 5 海水および海底堆積物中の温度とメタンハイドレートの平衡条件の関係を示す模式図. Kvenvolden [10]を参照して作図. 海底が海面下 1200 m にある場合を想定してある.

ることがわかる。例えば、海面下 500 m であれば、圧力は約 5 MPa、温度は 10 °C 以下であるから（厳密には海域によって海水の密度や温度は様々であるはずだが）、この深さの海域に CO₂ を放出した場合には液体 CO₂ と海水との反応によって CO₂ ハイドレートが生成しうると考えられる。同図中の純水系と海水系のデータを比べると海水中の塩分の平衡条件への影響がわかる。塩分を水に溶解させることによる水の凝固点降下と同様の効果がクラスレート水和物の相平衡にも見られるということであるが、その効果はある圧力下において平衡温度が 1–2 K 低温側にずれる程度である。

図 4 にメタン+水系の $p-T$ 線図を示す。海面下 1000 m であれば圧力は 10 MPa 程度、温度は摂氏数度程度と考えられるから、このような条件下で海水とメタンガスが接触すればメタンハイドレートが生成しうることがわかる。海水中の温度は深さが増すとともに下がるが、海底下の地層中では地熱の影響で深さが増すとともに逆に温度が上昇する。天然のメタンハイドレートの場合には海底下の地層（堆積物）中に生成していることが多いが、上記の温度分布のためにより深いところではメタンハイドレートが安定に存在できない圧力・温度条件となる。つまり海底下のあまり深いところではメタンハイドレートが存在しない。このような地熱温度まで含めたメタンハイドレートの安定領域については、図 5 に示すように海面からの深さと海水や堆積物中の温度の関係を考える必要がある。図 5 では海底が海面下 1200 m に位置しており、海底の堆積物中においては地熱によって 100 m 深度が増すと 6 K 程度温度が上昇する場合を想定してある。図中の 3 本の実線で囲まれた領域がメタンハイドレートの生成しうる条件を満たしていることになる。このような条件下では海面下 1500 m（海底からの深度で 300 m）よりも深い領域にはメタンハイドレートは存在しないことになる。

3.2 クラスレート水和物と平衡する水中におけるゲスト物質濃度

$p-T$ 線図についての上の記述では、“水の液相”という表現を用いたが、これはより正確には“ゲスト物質の飽和水溶液相”である。クラスレート水和物と水が二相平衡状態にある場合、水には所定の濃度（平衡濃度）までゲスト物質が溶けて

いる。もし水中におけるゲスト物質の濃度が平衡濃度に達していなければ、この系に存在するクラスレート水和物は分解してゲスト物質を水中へ溶解させていくことになる。ここでいう平衡濃度とは、ゲスト物質の水への溶解度のことではないのか？という疑問を持つ方も多いと思われるが、通常の意味のゲスト物質の水への溶解度と、クラスレート水和物+水という二相平衡状態にある水中におけるゲスト物質濃度とは異なるものである（同一の温度・圧力条件下で異なる値をとる）。通常の意味の溶解度というのは、ゲスト物質の気相あるいは液相が水の液相と平衡状態にある場合の水中におけるゲスト物質の濃度のことである。前項にてクラスレート水和物の深海環境における生成についての解説は終わったはずなのに、なぜこのような溶解度や平衡濃度の話を続けるのかというと、この平衡濃度も深海・海底におけるクラスレート水和物の生成・分解に大きく関わるからである。このことについて以下に具体例を示しながら述べる。

前項に述べたように CO₂ を液化して深海に放出すると、CO₂ と海水とから CO₂ ハイドレートが形成されると考えられる。この現象については、1990

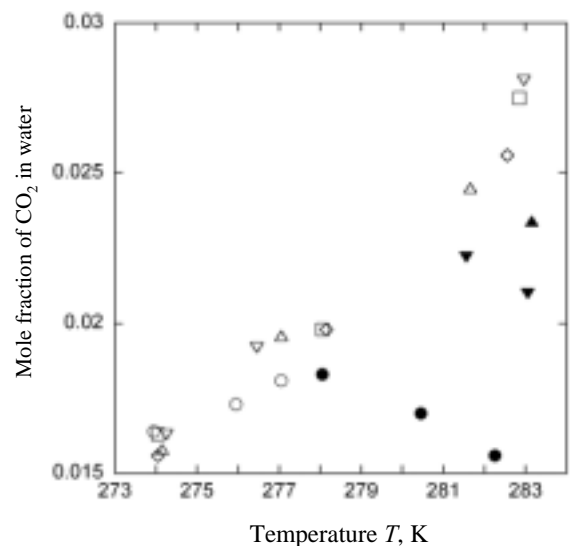


図 6 CO₂ ハイドレートと H + L_w 二相平衡状態にある水中の CO₂ 濃度、および CO₂ の水に対する溶解度 (L_w + V_g 二相平衡状態にある水中の CO₂ 濃度) の温度依存性。Servio & Englezos [13] の実験データによる。H + L_w; ○, 2 MPa; △, 3.7 MPa; ◇, 4.2 MPa; □, 5 MPa; ▽, 6 MPa。L_w + V_g; ●, 2 MPa; ▼, 3 MPa; ▲, 3.7 MPa。

年代に、深海環境を模した実験装置を用いて高圧・低温の水中へ放出された液体 CO_2 の溶解過程を検討する実験が多数行われ、水と液体 CO_2 の界面における薄い膜状のハイドレートの形成が観察されている。液体 CO_2 と海水との接触をハイドレート膜が断つ形となるが、このような場合にも CO_2 液滴は時間経過と共に収縮する。すなわちハイドレート膜によって海水と隔てられている CO_2 が海水中に溶解していくことが実験的に示されている（1990年代の初頭にはハイドレート膜ができればもはや CO_2 は水中には溶解しないのではないかとの見解もあったようだ）。では、どのようにしてハイドレート膜で覆われた CO_2 が水中へ溶解していくのかというメカニズム解明に関する研究の詳細についてはMoriのレビュー[11]を参照していただくとよいが、著者は以下のように考えている。 CO_2 が溶解していくのは、水側表面のハイドレートが分解して CO_2 を水中に放出するためである。しかし、水側表面におけるハイドレートの分解だけが起こるのであれば、 CO_2 液滴を覆うハイドレートは消失してしまうはずであるが、実験的には CO_2 液滴の消失までハイドレート膜が存在したままであることが示されている。ではハイドレート膜はどのようにして維持されるかという点、ハイドレート膜中を浸透して供給される水によってハイドレート膜の CO_2 側で新たにハイドレート結晶が生成するためと考えられる（このクラスレート水和物膜の生成・分解メカニズムは、Sugaya & Mori [12]の考えに従ったものである）。ハイドレート膜がある場合に、 CO_2 の溶解速度が低下するのはなぜかと言えば、“ CO_2 ハイドレートと二相平衡状態にある水中における CO_2 の濃度”（これは、ハイドレート膜の水側表面で局所平衡を仮定すれば、ハイドレートで覆われた CO_2 液滴の水側表面における CO_2 濃度である）が“ CO_2 の液相と二相平衡状態にある水中における溶解度”よりも小さくなる、つまり CO_2 の水中への物質移動の駆動力が減少するためであると解釈される。これら CO_2 の平衡濃度・溶解度の実測値を図6に示す。これらの実測データは一定圧力下における CO_2 の溶解度は温度の低下とともに増大するが、 CO_2 ハイドレートと平衡状態にある水中における CO_2 濃度は溶解度とは逆の温度依存性を持つことを示している。すなわち、三相平衡温度よりも低い温度域で

“ CO_2 ハイドレートと二相平衡状態にある水中における CO_2 の濃度”は“ CO_2 の液相と二相平衡状態にある水中における溶解度”よりも小さくなることが図6よりわかる。

クラスレート水和物と二相平衡にある水中（あるいは海水中）におけるゲスト物質の溶解度の実測値としては、 CO_2 について三件[13-15]、メタンについて二件[16, 17]、HCFC-141b ($\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$) について一件[18]の報告があり、また、理論的にも化学熱力学に立脚した予測[16, 19-21]がなされていることから、上に述べたような溶解度の温度依存性はクラスレート水和物のゲスト物質全般に共通するものと考えてよいように思われる。

ゲスト物質の平衡濃度は、海底下における天然ガスハイドレート（メタンハイドレート）の生成にも関わりがある。天然に存在する天然ガスハイドレートの近傍には天然ガスが気相として存在していないことも多く、このためクラスレート水和物の生成にゲスト物質の気相は必要か否かという科学的疑問がかなり古くから存在したようである[19, 20]。前述のように、クラスレート水和物と二相平衡にある水中におけるゲスト物質の濃度は、通常の意味のゲスト物質の溶解度よりも低いため、ゲスト物質の気相は必ずしもクラスレート水和物の生成に（あるいは少なくとも安定に存在するためには）必要ないということが伺える。最近になってゲスト物質の水溶液中におけるゲスト物質の生成が実験的にも確認されており[22, 23]、著者らも水に溶存するゲスト物質の物質移動に起因するクラスレート水和物の結晶成長について報告している[24-26]。

4. おわりに

今回は深海・海底・クラスレート水和物というキーワードのもと、クラスレート水和物生成系の相平衡について解説した。解説記事であるから、著者としては平易な記述を心がけたつもりだが、それだけに学術的な観点からは物足りないと思う読者も多いのでは、と自分で感じないでもない。最後にクラスレート水和物に関する他のレビューや解説記事を紹介することとしたい。

Sloan の成書[3]は天然ガスの成分気体から生成するクラスレート水和物に関するあらゆる分野の研究を網羅していて、クラスレート水和物研究に

関わる者にとっての必読書と言ってよい。

Davidson のレビュー[2]はその対象を天然ガス成分に限ることなく物理化学的な観点から書かれており今日でも学ぶところが多い(著者の場合、研究上の疑問点の多くが Davidson のレビュー[2]に書いてあったということがよくあり、頻繁に温故知新という言葉を使い返している)。

海底や永久凍土地帯における天然のクラスレート水和物(メタンハイドレート)に関する地質学・地球物理学・地球化学的な側面については Buffett のレビュー[27]が参考になると思われる。

クラスレート水和物の生成・分解を積極的に利用する各種産業技術(例えば蓄冷や分離・抽出技術)に関しては、Englezos のレビュー[28]や森の解説記事[29]を、特に近年注目されているクラスレート水和物を利用した天然ガスの輸送・貯蔵技術開発についてはMoriのレビュー[30]や海老沼のレビュー[31]を参照されたい。

参考文献

- [1] Powell, H. M., J. Chem. Soc., (1948) 61.
- [2] Davidson, D. W., In *Water: a Comprehensive Treatise*; Frank F., Ed.; Plenum Press, 1973; Vol. 2, Chapter 3.
- [3] Sloan, E. D., Jr., *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, Dekker, (1998).
- [4] 大村亮, 森康彦, Therm. Sci. Eng., **7-2** (1999) 35.
- [5] Ohgaki, K., Makihara, Y., Takano, K., J. Chem. Eng. Jpn., **26** (1999) 558.
- [6] 大垣一成・濱中貴大, 化学工学論文集, **21** (1980) 800.
- [7] de Roo, J. L., Peters, C. J., Lichtenthaler, R. N. and Diepen, G. A. M., AIChE J., **29** (1983) 651.
- [8] Adismito, S., Frank, R. J., III, Sloan, E. D., Jr., J. Chem. Eng. Data, **36** (1991) 68.
- [9] Ohmura, R., Uchida, T., Takeya, S., Nagao, J., Minagawa, H., Ebinuma, T., Narita, H., J. Chem. Thermodynam., **35** (2003) 2045.
- [10] Kvenvolden, K. A., Chem. Geol., **71** (1988), 173.
- [11] Mori, Y. H., Energy Covers. Mgmt, **39** (1998) 1537.
- [12] Sugaya, M., Mori, Y. H., Chem. Eng. Sci., **51** (1996) 3505.
- [13] Servio, P., Englezos, P., Fluid Phase Equilibria, **190** (2001) 127.
- [14] Kimuro, H., Kusayanagi, T. and Morishita, M., IEEE Trans. on Energy Convers., **9** (1994) 732.
- [15] Yamane, K. and Aya, I. In *MARIENV'95 (Proc. Int. Conf. on Technologies for Marine Environment Preservation)*, Soc. Naval Architects of Japan, Tokyo, Japan, (1995) Vol. 2, pp. 911-917.
- [16] Yang, S. O., Cho, S. H., Lee, H. and Lee, C. S., Fluid Phase Equilibria, **185** (2001), 53.
- [17] Servio, P. and Englezos, P., J. Chem. Eng. Data, **47** (2002) 87.
- [18] Itoh, Y., Kamakura, R., Obi, S., Mori, Y. H., Chem. Eng. Sci., **58** (2002) 107.
- [19] Handa, Y. P., J. Phys. Chem., **94** (1990) 652.
- [20] Zatsepina, O. Y., Buffett, B. A., Geophys. Res. Lett., **24** (1997) 1567.
- [21] 田部豊, 平井秀一郎, 岡崎健, 川村雄行, 土方邦夫, 日本機械学会論文集 B 編, **64** (1998) 2189.
- [22] Buffett, B. A., Zatsepina, O. Y., Marine Geology, **164** (2000) 69.
- [23] Tohidi, B., Anderson, R., Clennell, M. B., Burgass, R. W., Biderkab A. B., Geology, **29** (2001), 867.
- [24] Ohmura, R., Shigetomi, T., Mori, Y. H., J. Crystal Growth, **196** (1999) 164.
- [25] Ohmura, R., Kashiwazaki, S., Mori, Y. H., J. Crystal Growth, **218** (2000) 372
- [26] Ohmura, R., Shimada, W., Uchida, T., Mori, Y. H., Takeya, S., Nagao, J., Minagawa, H., Ebinum, T., Narita, H., Phil. Mag., **84** (2004) 1.
- [27] Buffett, B. A., Annu. Rev. Earth Planet Sci., **28** (2000) 477.
- [28] Englezos, P., Ind. Eng. Chem. Res., **32** (1993) 1251.
- [29] 森康彦, 雪氷, **58** (1996) 477.
- [30] Mori, Y. H., J. Chem. Ind. Eng. (China), **54-suppl.** (2003) 1.
- [31] 海老沼孝郎, 日本エネルギー学会誌, **81** (2002) 908

太陽光発電衛星の排熱問題

Thermal Management for Solar Power Satellite

大田 治彦 (九州大学)

Haruhiko OHTA (Kyushu University)

1. はしがき

環境問題、エネルギー問題に関連して、近年とくに再生可能エネルギーの開発や熱利用をも目的とした電力生産の分散化が考えられている一方で、原子力発電所の出力でベースロード的な運用を行うための代替手段が見出せないのも事実である。宇宙太陽光発電システム (Space Solar Power System) の概念は 1960 年代に米国で考案されたものであり、1 基 100 万 kW 程度を最終目標として、多方面からその成立可否について検討がなされている。宇宙太陽光発電では図 1 の構想図を示すように、太陽電池で発電した電力をたとえばマイクロ波に変換して地球に伝送するもので、天候によらず大電力の供給が可能である。しかし出力相応の太陽電池パネル面積の確保が必要であるため、支持構造材を含めて莫大な打上げ重量が不可避である。ここでは出力最終目標値の 1/100 である 10MW(1 万 kW) 級の検討モデルについて、まず熱伝達と熱輸送の両面から簡単な解析を行い、今後の展開とそれを実現するためのコールドプレートの研究開発に関する実験結果について述べる。

2. 10MW 検討モデルの概要とエネルギーの流れ

最終目標である 1GW 出力を想定した場合、太陽電池パネル(Generator)とマグネトロンなどにより構成される送電部(Transmitter)とを分離して衛星内で大電力輸送を行うことは多くの問題を含む。そこで JAXA (宇宙航空研究開発機構) は、Generator/ Transmitter 複合ユニットから成るモデルを検討対象としている。さらに集光光学系を配置して、太陽電池パネル面への放射エネルギー密度の増大を検討している。ここに集光倍率は衛星の大きさや冷却条件を左右する非常に重要なパラメータである。

宇宙での排熱処理に対する二相流体の使用は、ヒートパイプなどを除いてはほとんど例がなく、

宇宙機器の大型化に伴う今後の開発課題である。二相流体ループでは蒸発熱輸送を行うために同一排熱量に対しては流体流量の低減、すなわちポンプ動力や液体保有量の低減が期待できる。また伝熱部であるコールドプレートやラジエータでは沸騰や凝縮による効率的な熱交換が期待できる。さらに圧力制御により流体温度 (飽和温度) を容易に変更できるために負荷変動への対応が容易であるなどの利点がある。しかし、ロシアを除けば、各国の宇宙機関とも二相流体ループの設計に必要な基礎データがほとんど無い状態であり、この課題について欧米では大きな関心が寄せられている。

表 1 および表 2 は JAXA 10MW 級検討モデルの主要諸元と仮定について纏めたもので、括弧内は検討対象となる値の範囲を示す。上記複合ユニットの 1 モジュール面積は展開前の大きさであり、輸送手段のペイロードの制約上、片面の面積を

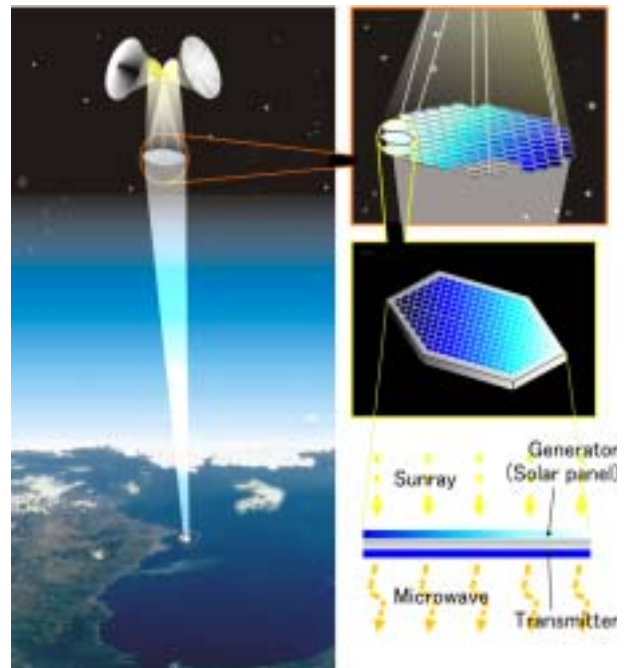


Fig. 1 A concept of space solar power system

$A_1 = 10\text{m}^2$ に抑えてある。表 3 ではモジュール数の低減を意図して、集光倍率を $n = 3.0$ とすれば、発電部と送電部のみから構成される衛星の直径は $D = 200\text{ m}$ となる。集光倍率の過度な増大は、発熱密度の増大とともに確保できる伝熱面積の減少を意味する。表 4~6 は排熱量および複合モジュールの重量について、それぞれモジュール片面の単位面積あたり、衛星の単位重量あたり、モジュール 1 個あたりで示したものである。図 2 は発電衛星におけるエネルギーの流れを示している。検討モデルでは、モジュールの片面を受光とマイク

ロ波の素送信の両目的に使用でき、裏面をラジエータ面積の一部に使用できるとしている。

3. 10MW 級検討モデルの排熱面からの成立性について

3.1 熱伝達に及ぼす重力の影響

著者による微小重力環境下での強制流動沸騰の実験結果例[1]により、内径 8mm の管において、重力の影響は質量速度が約 $300\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の場合や、乾き度が 0.5 以上の場合には重力の影響はほぼ消滅することが明らかとなった。ただし、この

Table 1 System configuration requirements

Radius of generator/ transmitter module assembly and radiators	$D = 200\text{ m}$
Radius of generator/ transmitter module assembly and radiators	$M_{GT} = 70\text{ t}$ (System weight $M_{\text{sys}} = 100\text{ t}$)
Electric power received at ground station	$E_E = 10\text{ MW}$

Table 2 Assumptions for the present analysis

Solar constant	$I = 1.4\text{ kW}/\text{m}^2$
Solar absorptivity	$\alpha = 0.9$ (0.7~0.95)
Generator efficiency	$\eta_G = 0.15$ (0.10~0.15)
Transmitter energy conversion efficiency	$\eta_T = 0.70$ (0.50~0.90)
Transmission efficiency from SSPS to earth	$\eta_{SE} = 0.8$
Single-side area of one generator/ transmitter unified module	$A_1 = 10\text{ m}^2$

Table 3 Basic data for the present reference model of SSPS

Total electric power output at transmitting end of SSPS	$E_S = 12.5\text{ MW}$
Area of the generator/ transmitter module assembly	$A_{GT} = 3.14 \times 10^4\text{ m}^2$
Electric power density at transmitting end of SSPS	$e = 0.4\text{ kW}/\text{m}^2$
Magnification of sunlight condenser	$n \cong 3.0$

Table 4 Waste heat and weight of generator/ transmitter module assembly per unit area.

Waste heat flux from generator	$q_G = 3.15\text{ kW}/\text{m}^2$
Waste heat flux from transmitter	$q_T = 0.19\text{ kW}/\text{m}^2$
Total heat flux	$q = q_G + q_T = 3.34\text{ kW}/\text{m}^2$
Weight of generator/ transmitter module per unit area	$m_{GT} = 2.23\text{ kg}_{GT}/\text{m}^2$
Weight of the whole system	$m_{\text{sys}} = 3.18\text{ kg}_{\text{sys}}/\text{m}^2$

Table 5 Waste heat and weight of generator/ transmitter module per unit weight of the whole system

Weight ratio of generator/ transmitter module to the whole system	$M_{GT}/M_{\text{sys}} = 0.7\text{ kg}_{GT}/\text{kg}_{\text{sys}} = m_{GT}/m_{\text{sys}}$
Waste heat from generator	$q_{0,G} = 0.990\text{ kW}/\text{kg}_{\text{sys}}$
Waste heat from transmitter	$q_{0,T} = 6.0 \times 10^{-2}\text{ kW}/\text{kg}_{\text{sys}}$
Total heat flux	$q_0 = q_{0,G} + q_{0,T} = 1.05\text{ kW}/\text{kg}_{\text{sys}}$

Table 6 Waste heat and weight per one generator/ transmitter unified module

Number of modules for 10MW class SSPS	$N = 3140$
Weight of a unit module	$m_1 = 22.3\text{ kg} / \text{unit module}$
Electric power output at transmitting end	$E_{S1} = 4\text{ kW} / \text{unit module}$
Waste heat from generator	$Q_{G1} = 31.5\text{ kW} / \text{unit module}$

境界値については慣性力や表面張力などの影響を総合した形で、適切に定義された無次元量により表現されるべきものであり、目下研究を進めている。熱伝達に及ぼす重力の影響は環状流に遷移した直後の低～中乾き度域において現れ、微小重力下で熱伝達は劣化する。簡単な解析によれば[2]、環状液膜（基底液膜）の厚さの変化が直接熱伝達を変化させるとは考えにくく、微小重力下では液膜表面の擾乱が著しく低下することから推察して、液膜内のせん断力レベルの低下が熱伝達劣化の主

たる原因と考えられる。

以上の結果を総合して、微小重力下での FC72 の強制流動沸騰における熱伝達係数として図3に示される値を与えた。圧力 $P=0.1\text{MPa}$, 飽和温度 $t_{sat}=56^\circ\text{C}$ において、冷却条件を厳しくするために非常に低い質量速度 $G=50\text{kg/m}^2\text{s}$ を設定した。FC72 は蒸発熱が非常に小さいので、前節で述べた二相流体ループの目的からすれば適当でないが、液单相流体ループへの適用実績や耐圧上の利点もあり、過酷な条件下での試算ということでもここに取り上げている。また作動温度（圧力）は、太陽電池が低温ほど発電効率が高くなることや、ラジエータからの放熱能力などを考慮して、本来は 10°C 付近を目標とすべきであろう。したがって、ここで設定した圧力と温度はあくまで一試算例で

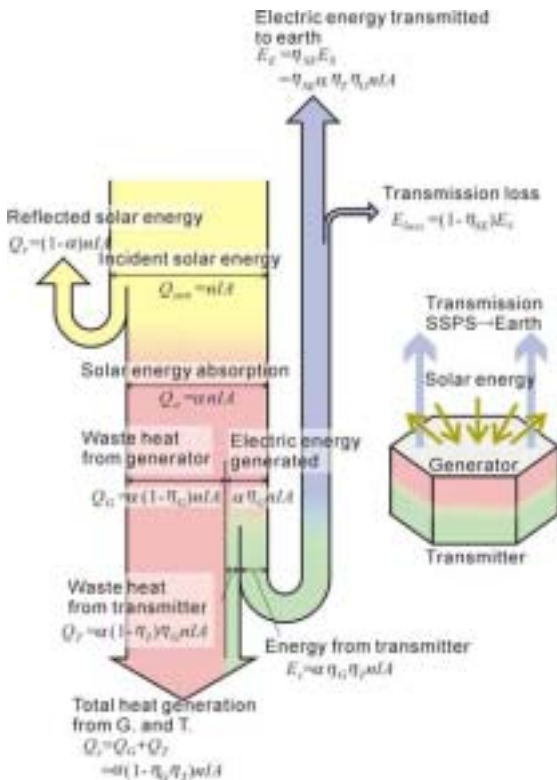


Fig. 2 Energy flow for generator/ transmitter unified module.

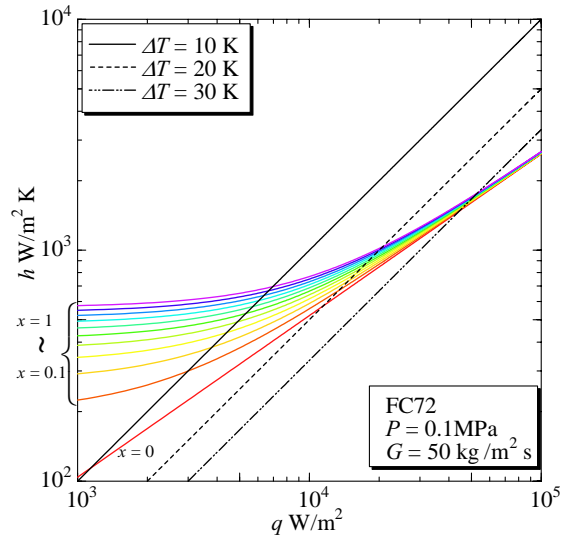
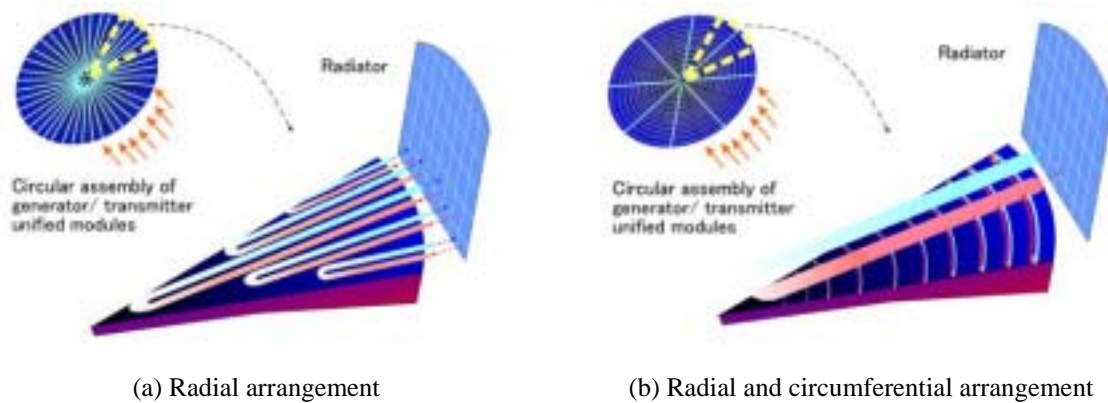


Fig. 3 Predicted heat transfer characteristics in microgravity for FC72 at $G = 50\text{kg/m}^2\text{s}$.



(a) Radial arrangement

(b) Radial and circumferential arrangement

Fig. 4 Examples for the arrangement of two-phase flow loop.

ある。低質量速度においては、限界熱流束も重力の影響を受けるが、実験データがなく、計算では限界熱流束時の乾き度を 0.8 と仮定している。

3.2 二相流体ループによる熱輸送の成立性について

表 4~6 からわかるように、送信部からの排熱量は小さく、複合モジュールの片面の面積にラジエータを設置することにより除熱可能である。これに対して発電部からの排熱量は非常に大きく、新たに衛星の縁部にラジエータを展開する必要があり、このことは最大で衛星の半径相当距離の熱輸送を伴うことを意味する。送信部は電子機器と

しての耐熱温度に基づいた温度設定が可能であり、熱輸送手段は発電部のそれと分離して考える。発電部冷却に対する二相流体ループの配置例は図 4 に模式的に示すように、(a)二相流体ループを半径方向のみに配列する方法、(b)半径方向の二相流体ループと周方向のループヒートパイプなどを組み合わせる方法、などが考えられる。

本試算では(a)を模擬することとし、最も簡単な条件として、半径方向に質量速度一定という仮定をおく。すなわち半径の増大とともにループ数、すなわち流体流量が比例的に増大することになる。一つのループの熱輸送距離を短くするために、熱交換器を介して半径方向にループの接合を行うこ

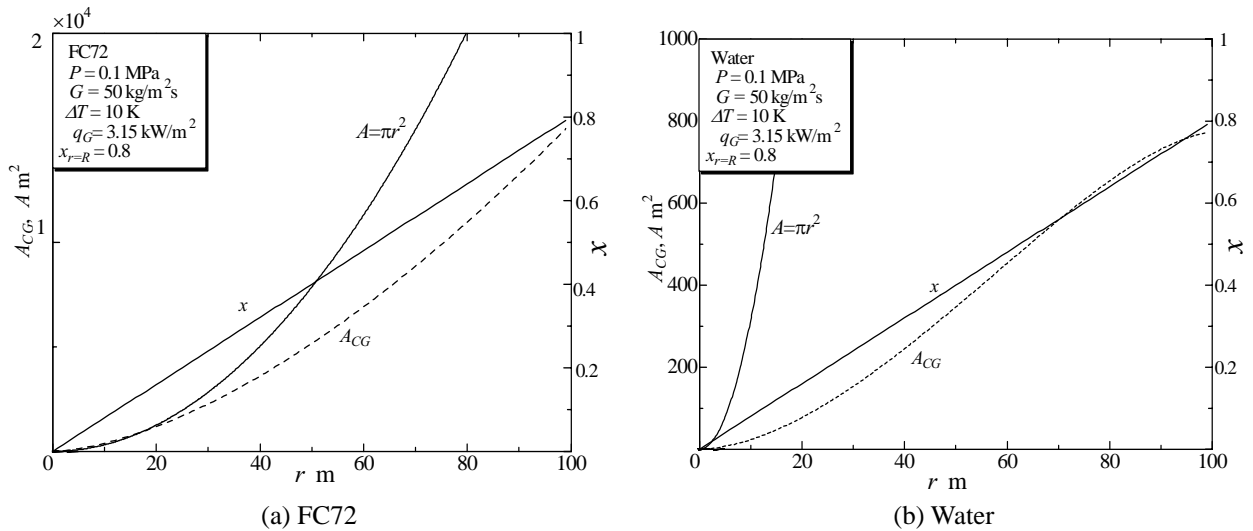


Fig.5 Required heat transfer area versus radius.

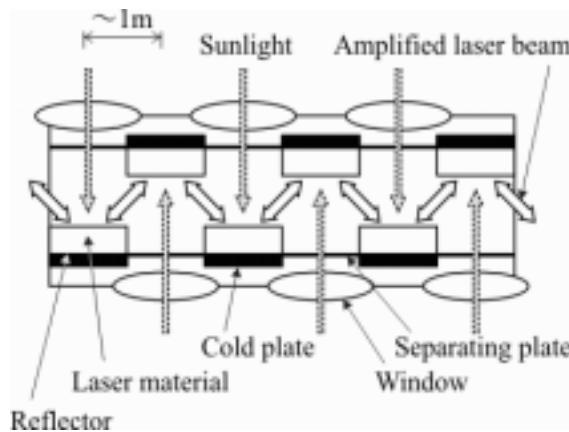


Fig. 6 Active mirror laser amplification system.

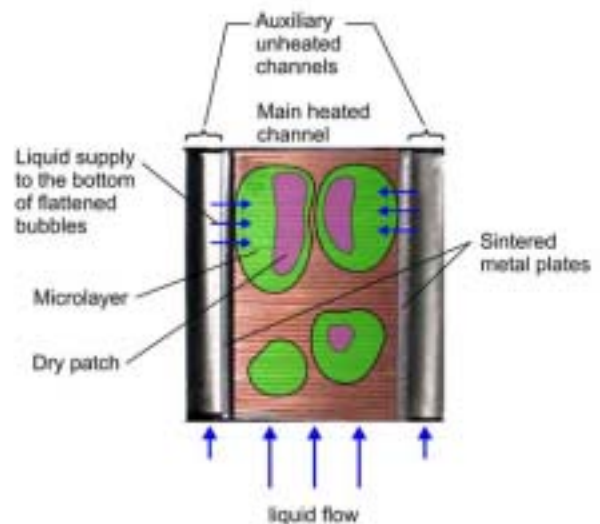


Fig. 7 A narrow channel with auxiliary structures for additional liquid supply.

とは、流体温度の低下に伴うラジエータでの放熱性能の低下や重量増の問題がある。これより、衛星の中心部から導入される流体ループは 100m の熱輸送距離を伴うことになる。

半径 r 方向の発熱量の増分 dQ に対する、乾き度の変化 dx および、伝熱面過熱度 ΔT を一定とした場合の熱伝達係数とコールドプレート伝熱面積の積の変化 $d(hA_{cG})$ について次式が成立する。

$$dQ=2\pi q_G r dr =G A_o h_g dx =\Delta T d(hA_{cG}) \quad (1)$$

ここに q_G : 発電部からの熱流束, G : 質量速度 (一定), A_o : 半径 r における二相流体ループ流路断面面積の総和, h_g : 蒸発潜熱を表す。流路断面形状を工夫すれば、全コールドプレート伝熱面積 A_{cG} は衛星片面の面積より大きく設定することは可能である。図 3 より, h は x と ΔT の値から与えられるので, A_o が決定されれば, 上式より A_{cG} と r の関係が得られることになる。ここで円形の衛星全体に一樣な厚さ δ のダクトを貼り付けた場合を想定すると A_o は次のようになる。

$$A_o=2\pi r\delta \quad (2)$$

両式からわかるように, x は r に比例して変化する。

図 5 (a) は $G=50\text{kg/m}^2\text{s}$, $\Delta T=10\text{K}$ について計算される A_{cG} と r の関係を示したもので, 図中には参照のために衛星片面上の面積 $A=\pi r^2$ も記入している。計算では $r=0\text{m}$ で乾き度 $x=0$, $r=R=100\text{m}$ で $x=0.8$ を仮定した。これより $r=0$ 付近で $A_{cG}>A$ となるが, 衛星全体 ($r=R=100\text{m}$) で見れば A_{cG} は衛星片面の面積 $A=3.14\times 10^4\text{m}^2$ の 48% となっている。本計算では任意の r から導入される流体ループの入口乾き度はゼロではなく, 図に示される乾き度の値となっているがこれは非現実的である。同一の流体ループに対して乾き度の範囲 (すなわち除去熱量) を変えることなく, 入口乾き度がゼロとなるようにシフトさせれば, 図 3 から熱伝達係数のレベルが低下することは明白であり, 計算をやり直した結果, A_{cG} として A の 83% の面積が必要となることが明らかとなった。この値は十分に実現できる値である。

図 5 (a) と同様の計算を大気圧下の水について

行った結果, 図 5 (b) に示すように, 必要とされる伝熱面積 A_{cG} は A の 2.5% に過ぎないことがわかる。

4. 新たな展開

最終目標である 1 GW を達成するために衛星を巨大化させることは実際上不可能である。一つの解は集光倍率増大の限界を明らかにして, 1 GW を複数の衛星群で実現することである。他の一つの解は 2000 倍程度の集光倍率をレーザー媒質に入射させてレーザーでエネルギーを伝送する方法である。すなわち, レーザー媒質の透明性の確保とコールドプレートの設置という要求を同時に満たすために, 図 6 のようなアクティブミラー方式 [3] を採用することになる。ここで問題となるのが, $5\times 10^5\text{W/m}^2$ の熱流束を 1m^2 程度の大面积から最小のサイズ, 打ち上げ重量, 所要動力の冷却システムで除去せねばならないことである。このために以下のような実験を試みている。

5. 平行平板間狭隘流路における限界熱流束の増大

平行平板間の狭隘流路を対象としたコールドプレートの開発はアンモニアや有機溶媒系の作動媒体に対する耐圧に問題を残すが, コンパクト化や軽量化に対しては有用である。垂直流路の強制流動沸騰実験の結果 [4] によれば, 微小重力下では浮力の消滅により扁平気泡のスライディング速度が低下して巨大化する。限界熱流束は, 扁平気泡の成長に伴ってドライパッチが伸展することによる伝熱面温度上昇の速度と, 扁平気泡内へのバルク

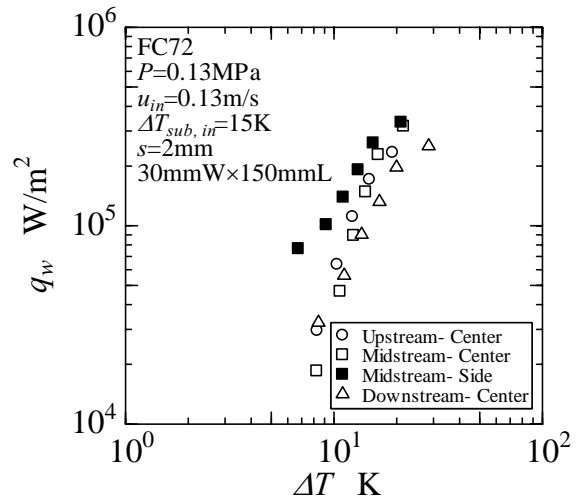


Fig.8 Boiling curves for different locations.

液体の進入によるクエンチ周期により決定される。極端に狭い間隙幅では、限界熱流束状態の達成に対して、これら2つの効果が相殺される傾向を持つが（伝熱面温度上昇速度大、クエンチ周期小）、結果的には間隙の減少とともに限界熱流束は単調減少する。このような状況は通常重力下と同様であり、微小重力下においても限界熱流束の低下は狭隘流路型コールドプレートの弱点である。

このような狭隘流路における限界熱流束増大の方法として3つの方法を考えた。一番目は流路構造を工夫して、扁平気泡底部への液体供給を促進する方法である[5]。例えば図7に示すように、非加熱副流路を加熱主流路と平行に設置し、両流路を仕切る焼結金属板および主流路内加熱面上のグループを介して気泡底部に直接液体を供給するもので、とくに流れ方向の発熱長さが大となる場合に有効と考えられる。この場合、主流路への直接的な液体供給は必ずしも必要ではない。二番目の方法は高サブクール状態の液体を発熱面に供給する方法で、熱流束が非常に高い場合には気泡微細化沸騰（MEB）に移行して、実質的な限界熱流束の増大が期待できる[6, 7]。この場合、流路下流部における液体サブクール度の維持が問題となる。三番目は混合媒体を使用して、限界熱流束の増大を行う方法で、上述の各方法との併用も効果的である可能性がある。すなわちマランゴニ力を利用して扁平気泡底部のマイクロ液膜への液体供給を促進せんとするものである。表面張力は温度と濃度の関数であり、特定の液体の組み合わせと特定の濃度および温度範囲において、マイクロ液膜の先端部ほど表面張力が大きくなるケースが有り得るので[8]、ドライパッチの拡大を阻止する効果が期待できる。

一番目の方法について以下のような実験を行った。伝熱面は幅30mm、流路方向長さ150mmの銅製で、頂角90度、深さ0.5mmのグループがピッチ1mmで流れの横断方向に密接して刻まれている。対向側は非加熱面で溝頂部との間隙は2mmである。試験液体はFC72で圧力 $P=0.13\text{MPa}$ 下での飽和温度は 65.0°C である。主流路入口液体流速およびサブクール度はそれぞれ $u_{in}=0.13\text{m/s}$ および $\Delta T_{sub,in}=15\text{K}$ である。図8は伝熱面表面熱流束 q と伝熱面過熱度 ΔT の関係を示したもので、下流部（D-C、加熱開始からの長さ $z=125\text{mm}$ ）において

はバーンアウトにより伝熱面温度の急上昇が生じる直前まで熱流束を増大させている。下流部では限界熱流束値として $2.8 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ が得られており、これはプール沸騰に対するZuberの式から計算される値の約1.7倍に相当する。入口液体流速を $u_{in}=0.065\text{m/s}$ に低下させても限界熱流束値にほとんど差異はなかった。このとき、主流路入口流量のみに対して熱バランスより出口乾き度を計算すると約2.5になることから、出口乾き度が1でバーンアウトが生じると仮定しても、主流路への液体供給量の約1.5倍の流量が副流路から焼結板を介して供給されたことになる。

6. まとめ

太陽光発電衛星の実現には、ここに述べた熱輸送の問題以外に克服すべき問題が山積状態である。最近、本課題に関する有力な国際会議の一つであるSPS'04[9]がESA(ヨーロッパ宇宙機関)主催で開催されたが、具体的な試験結果や試験計画に関するものは非常に少なく、JAXAを中心とした日本での取り組みが最も活発であった。また排熱問題が非常に重要であることの認識は十分にあるにもかかわらず、この課題への取り組み例が極端に少ないことも事実であった。太陽光発電衛星の実現に対して、排熱処理システムの小型化や軽量化に対する要求は厳しく、他の宇宙機への熱技術と同様に、一つの極限的技術の開発が不可避である。発電衛星の実現性については不透明な部分が多いが、開発技術の民生転用を視野に入れれば、極限的技術課題への取り組みは十分意義のあるものと考えている。

謝辞

本報の前半の検討はJAXA SSPS ワーキンググループでの提供データに基づいて行ったものである。冷却システム開発に関する実験はNEDOの「エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発」プロジェクトの一環により行われたものであり、ここにあらためて謝意を表す。

参考文献

- [1] Ohta, H., *Advances in Heat Transfer*, Elsevier, **37** (2003), 1.
- [2] Ohta, H. et al., *Proc. 3th Int. Conf. Multiphase*

- Flow*, Lyon, France, Japan (1998), CDrom.
- [3] JAXA, SSPS WG8-5 資料 (2004)
- [4] Ohta, H et.al., *Proc. 12th Int. Heat Transfer Conf.*, Grenoble, France (2002), 3, 725 .
- [5] Ohta, H. et al., *Proc. 5th Int. Conf. Multiphase Flow*, Yokohama, Japan (2004), CDrom
- [6] Inada, S.et al, *Trans. JSME, Ser.B*, **47**-422 (1981), 2030.
- [7] Suzuki, K et al., *Proc. Microgravity Transport Process in Fluid, Thermal, Biological and Materials Sciences II*, UEF, Banff, Canada (2001), 325.
- [8] Abe, Y. and Iwasaki, A., *Proc. Microgravity Transport Process in Fluid, Thermal, Biological and Materials Sciences III*, ECI, Davos, Switzerland (2003) (to be published).
- [9] *Proc. Int. Conf. Solar Power Transmission*, Granada, Spain, ESA (2004).
-

永久凍土地帯の天然ガスパイプラインからのガス漏洩を抑止せよ ProjectQ “Control the Gas Leakage from the Natural Gas Pipeline in Permafrost Regions”

赤川 敏 (北海道大学)

Satoshi AKAGAWA (Hokkaido University)

1. はじめに

永久凍土地帯の天然ガスパイプラインから膨大なガス漏洩が発生し、地球温暖化に拍車をかけている。この話を耳にしたのは1998年秋である。事実関係を確認したくとも現場はロシアの西シベリアであり、杳として確たる情報が入手できない。

アラスカ、カナダさらには東シベリアの永久凍土地帯でも様々なガスパイプラインがその永久凍土地帯に計画されていた。

これらの地域でも西シベリア同様のガス漏洩が発生したら、という危惧が高まった。

ここでは、この危惧に対しこれまで実施した様々な調査、研究を紹介させていただく。

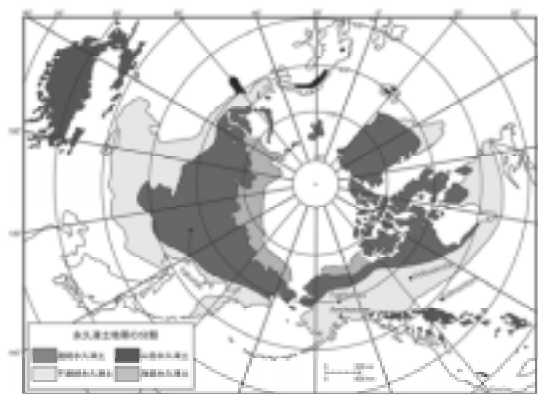


図1 世界の永久凍土分布 (Pewe 1982)

2. ガス漏洩の現状

凍結していない普通の地盤に埋設されるガスパイプラインでは、ここに記すような問題は当然発生しない。それは地盤が凍結しないため後に示すような物性変化や凍上[1]と呼ばれる膨張を起こさないためである。また、永久凍土地帯は非常に特殊な構造を持ちその温度環境で様々な物性を示す。

ここではまず永久凍土の地形的な特徴を示し、このような地盤に埋設されるガスパイプラインがどのような挙動をするかを概説する。

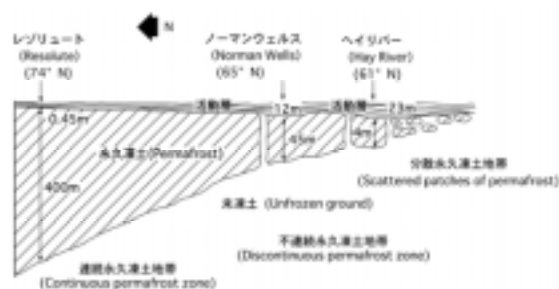


図2 永久凍土の厚さ分布 (Johnston 1981)

2.1 永久凍土地帯の特徴的な地形

永久凍土はその名の示すように長年に渡り凍結している地盤の呼称である。定義は国により多少異なるが一般には連続して2年以上融解しない地盤を指すことが多い。

永久凍土は図1に示すように北半球では北極海を中心とする大陸北部に分布している[2]。同図に示すように低緯度であってもヒマラヤ等の山岳部にも山岳永久凍土が存在する。日本においては富士山や大雪山系にその存在が確認されている[3]。

永久凍土は図1に示すように連続帯と不連続帯に分類される。不連続帯は同図の連続体南縁に分布する。この状況は図2に示す永久凍土の南北断面図[4]により理解できる。すなわち、永久凍土は北部で厚く、南進するに従いその厚さが減少し、ついには存在なくなっている。この南縁は年平均気温がほぼ -2°C と一般に言われているが、詳しくは不連続永久凍土の南縁では年平均気温 -1°C 、連続永久凍土の南縁では -8°C との報告[4]もある。ちなみに、地球の温暖化により年平均気温が 1°C 上昇すると、永久凍土はほぼ100kmほど後退する。この後退に伴い農耕地が増大すると歓迎する人々と、融解する永久凍土から放出される

メタン等の温室効果がスを危惧する人々が存在する。

図2に示すように、永久凍土の地表面部分は夏季に融解する。この部分は活動層と呼ばれ、極寒の地における植物の生長を可能にしている。すなわち、活動層の下方は永久凍土が不透水層として働き、活動層内の間隙水（凍っていない土の間隙に存在する水分）が下方へ浸透することを防止している。このため、一般に降水量の少ない（年間降水量 200mm 程度）永久凍土地帯にタイガと呼ばれる森林が存在できる。永久凍土が地球の温暖化により消失してゆくような場合は、例えばオーストラリア中央部のように乾燥草原化し、CO₂の吸収源である森林の減少が危惧されている。

一般に永久凍土地帯の気温は夏季に 20～30℃におよび、冬季の最低気温は- 60℃に達するところもある。このため、地盤は図3に示すような大きな温度変化を毎年受けることになる[4]。特に、活動層が凍結する冬季の地盤内温度変化は凍土に熱応力を発生させる。例えば、同図に示す温度分布のように、年較差の影響する深度までの凍土は地表付近で最大数十℃の温度低下となり、上部に大きく下部に小さいという収縮応力分布が発生する。結果として、地盤の乾燥と同様に亀甲状のクラックが冬季に発生する。このクラックに冬季は

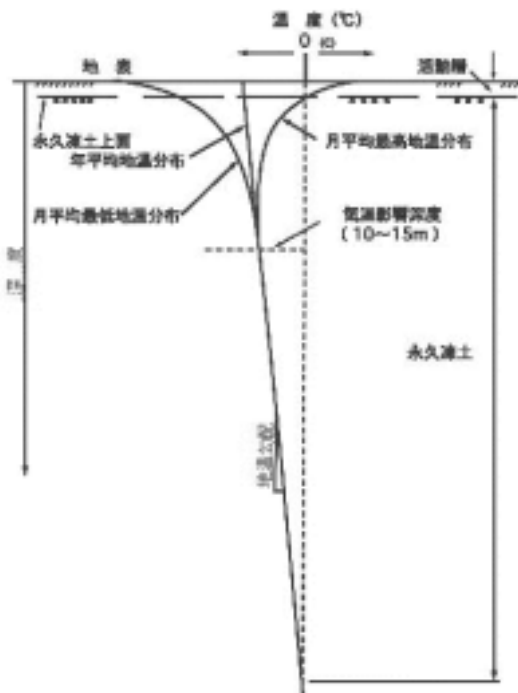


図3 永久凍土上部の温度分布変化



図4 氷楔（アイスウエッジ）
（アラスカ・コービル川）



図5 上空から見た構造土
（アラスカ・プルドベイ付近）

降雪等が進入し、夏季には活動層の出現により間隙水が浸透する。このサイクルを毎年繰り返すことにより、図4に示すような楔状の氷塊が亀甲模様部分に成長する。この氷塊を氷楔（アイスウエッジ）と呼ぶ。大きさは幅数メートル、深さ十数メートルに及ぶものもある。また、このような氷楔が成長した亀甲模様を上空から見ると図5のように見え、このような地形を構造土と呼ぶ。亀甲模様の大きさは数メートルから数十メートルある。

構造土の中央部の活動層は初冬に上部から凍結を始め、冬季に向ってその凍結範囲は亀甲模様の中央部に迫ってくる。そのため、凍土に取り囲まれた中央の未凍結部分の間隙水は圧力が上昇し、その圧力が噴泥のように地表に解放されない場合は、次第に表層の凍土層が上昇し、上記の条件等が継続されれば図6に示すような小山が成長する。この小山はピンゴと呼ばれ、内部は水で構成されている。

このように構造土は氷楔やピンゴの成因と密接



図6 ピンゴの遠景
(アラスカ・プルドベイ付近)

に関係しているが、図7に示すような膨大な氷塊が地表直下に連続して存在する場合もある。同図に示すものは露出している氷厚だけで40mにも達する。このような氷塊を集塊氷と呼ぶが、成因は特定されていない。



図7 巨大な集塊氷の露頭(新シベリア諸島大リヤホスキー島ジモビヨ海岸)

以上のように、永久凍土には特有な地形が存在し、それらは地盤内の氷塊の存在と強く関係している。この状況を見れば図8に示すように、生活排熱により地盤中の氷塊を融解させ、地盤の



図8 永久凍土融解により生じた不等沈下を受けた家屋(アラスカ州フェアバンクス市)

沈下による障害が発生する。このような不具合を防止するには永久凍土浅層部に様々な形態で分布する氷塊分布を把握し、これを融かさなことが、永久凍土のエンジニアリングを成功させるキーポイントである。

2.2 西シベリアにおけるガス漏洩の現状

永久凍土地帯に構造物を建設する場合は、前節に示したように凍土を融かさなことが鉄則である。しかしながら西シベリアにおいては、天然ガスの温度を正の温度のまま搬送してしまった。この結果、永久凍土中に埋設されたパイプライン周囲の氷を多く含む凍土は融解し、強度を失い、パイプの浮力により図9に示すように浮上している



図9 浮上した埋設ガスパイプライン(直径約1.5m)



図10 パイプ周囲の凍土が融解し、洗掘され、損傷したパイプからのガス漏洩状況

箇所が数多く認められる。中には融解土が洗掘されその際損傷したパイプから、図10に示すように搬送ガスが漏洩している場合もある。このような状況が西シベリアにおける天然ガス漏洩の代表的な状況と現在考えられている。

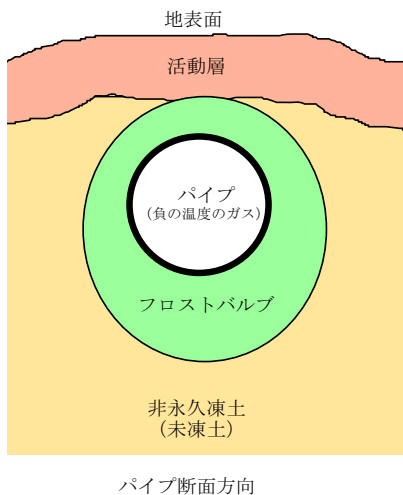
3. 信頼できるガスパイプラインへの模索

西シベリアの天然ガスパイプラインは永久凍土エンジニアリングの鉄則を軽んじた結果、大きな環境問題を提起している。西側諸国には現在西シベリアのパイプラインに匹敵する大規模なものは存在しないが、先にも記したように、今後の同様な立地における建設需要予測から様々な研究が実施されていた。この結果、永久凍土地帯を貫くガスパイプラインはその搬送ガスを負の温度に冷却することが推奨されている。この考え方は永久凍土地帯に敷設されるガスパイプライン総延長の多くの部分で有効に機能することが期待できるが、永久凍土地帯の一部に存在するタリクとよばれる未凍結地盤やその南縁に存在する不連続永久凍土地帯（凍土と未凍土が隣接して存在する地帯）においては新たな問題を提起することとなる。

次節以降、この新たな問題およびその問題解決のために実施したアラスカ州の永久凍土地帯での実大実験の様子を報告する。

3.1 新たに推定されるガス漏洩の原因

負の温度に冷却したガスを搬送するという方法は周囲の永久凍土を融解せず、パイプラインは安定に永久凍土内に存在すると考えられた。しかしながら、永久凍土に隣接する未凍土では負の温度の搬送ガスの冷熱でパイプ周囲の地盤が凍結するという新たな問題が発生する。この人工的に発生する凍土はその成因や形状からフロストバルブと呼ばれ（図11参照）、地盤が凍上（凍ることによ



パイプ断面方向

図11 新しい課題の根源であるフロストバルブの形状

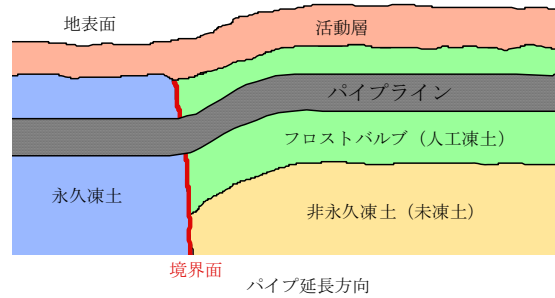


図12 永久凍土とタリクの境界部で危惧されるパイプの曲げ

り土中の水分の体積膨張以上に膨らむ現象)する性質が高い場合、パイプごと上昇させてしまう。結果として、永久凍土と未凍土の境界部では図12に示すようにパイプが大きく曲がるのが予想される。このような機械的な変状がパイプの健全性に悪影響を及ぼすことが危惧された。

3.2 永久凍土地帯での実大実験

前節に記した変状を定量的に予想する術を当時我々は持ち合わせていなかった。地盤はその温度が正の領域ではほとんどその物性に变化がない。しかしながら、負の温度領域ではその強度や熱的性質が大きく変化する。また、いわゆる土は負の温度で凍らない間隙水（不凍水）を多く持ち、この保有量は温度の低下と共に低下するという性質を持っている。さらには、凍上という現象は熱の伝導、間隙水の氷への相変化、間隙水の凍結面への流れと、これに伴う地盤の膨張といった非常に複雑な現象なのである。これら個々の諸物性や凍上に関する基礎的な知見は既にかなり充実しているが、これらを永久凍土とタリクの境界部に敷設されるパイプラインと地盤の相互作用として厳密



図13 アラスカ州フェアバンクスにおける実大実験（パイプ埋設状況）

に評価し、設計手法を確立する必要がある。そこで、我々は1999年秋にアラスカ州フェアバンクス市近郊の不連続永久凍土地帯に直径0.9m長さ105mのパイプラインを埋設し、 -10°C の圧縮空気(約1.5MPa)を循環し2003年夏まで実験を継続した(図13参照)。

実験では、地盤内温度分布、パイプの鉛直方向の変位、パイプ表面のひずみ、地表面の鉛直変位、パイプ下方地盤の凍上量を計測し、パイプおよび周囲地盤の挙動を記録すると共に、室内実験として地盤の凍上性試験の他、パルスNMRによる不凍水分量、非定常法による熱伝導率等の温度依存性の把握、BET法による比表面積の測定等を実施し、実大パイプラインの挙動を解釈するために必要な諸物性を得た。

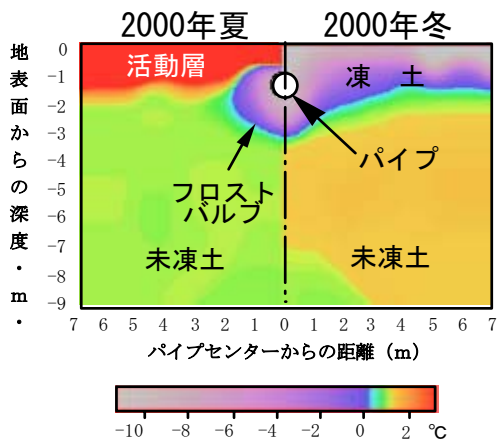


図14 夏および冬の地盤内温度分布とフロストバルブの形状

実験をとおして図14に示すようなフロストバルブが凍土に隣接する未凍土区間に成長することが確認された。フロストバルブの成長に伴いその外周部で凍上現象が発生し、未凍土区間に埋設されたパイプは図15に示すように上昇した。

実験に際して計測した様々な物理量と地盤の諸物性を駆使してこの挙動を解析すれば、設計手法は構築できるはずであった。しかしながら、実験を始めて最初の夏に境界近くの永久凍土側のパイプが突然跳ね上がった(図15中右の矢印)。翌年の夏はさらに永久凍土側のパイプが再度跳ね上がった(図15中左の矢印)。新たな課題が発生した。

跳ね上がる前のパイプの曲げモーメントは軽微なものであった。この程度の応力状態であれば、

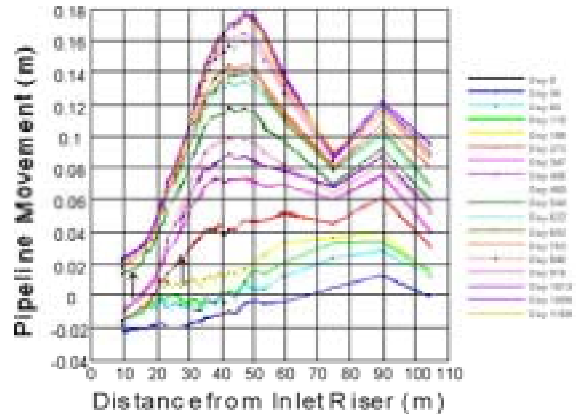


図15 パイプラインの鉛直変位分布

パイプは健全に機能すると判断できた。しかし、実大実験で計測されたパイプの跳ね上がりは新たな問題を提起した。

永久凍土と未凍土の境界部でこのような跳ね上がりが毎年起きれば、パイプラインは地上に露出する可能性がある。西シベリアと同様な問題が再現される可能性がある。現在この原因は図14に示す夏季に発生する活動層が原因と推測されている。すなわち、パイプの上部に存在する堅い凍土が活動層の発生で薄くなりパイプを押さえ込む力が減少したためと我々は考えている。

4. 今後の展望

新たな課題、すなわち永久凍土側のパイプの跳ね上がりにより、凍土の破壊をも検討する必要があると確認された。我々は現在「跳ね上がり」を起こす破壊モードを解析している。当然最終的にはこの問題を回避する方策を確立する必要がある。しかしながら、先にも記したように対象の地盤は温度により様々な挙動を示す。また、パイプと地盤(凍土と未凍土)の相互作用をより厳密に捉える必要がある。この課題に広範な技術者の参加が期待される。

参考文献

- [1] 赤川 敏, 雪氷, **66-2**, (2004)149-161
- [2] Pewe, T. L., *Geological & Geophysical Surveys Special Report 15* (1982) 1-109.
- [3] 福田正己, 木下誠一, 第四紀研究, **12**, (1974) 192-202.
- [4] Johnston, G.H., *Permafrost—Engineering design and construction—*, John Wiley & Sons, (1981) .

International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)

— その最近の活動報告と会員各位へのお願い —

International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)

- Its History, Role and Recent Activities -

鈴木 健二郎 (芝浦工業大学)

Kenjiro SUZUKI (Shibaura Institute of Technology)

標題にある ICHMT についての記事は、Centre の会長 (President) を務められた森康夫先生 (東京工業大学名誉教授) が、当時の学会 (研究会) 誌「伝熱研究」の 24 巻 (1985 年) と 26 巻 (1987 年) に、また越後亮三先生 (東京工業大学名誉教授) が 29 巻 (1990 年) に寄稿されて以来のことです。本年 6 月に開催された理事会 (EC: Executive Committee) で、私が EC の Vice Chairman に選出され、一年後からの 2 年間 Chairman として微力を尽くす必要が生じました。当人である私自身が、晴天の霹靂で戸惑っているところですが、本誌の編集委員である京都大学吉田英生教授より、お誘いがありましたので、この機会に Centre の最近の活動をご報告し、会員の皆様のご協力、ご支援をお願いしたいと考えて、この一文を書かせて頂いています。

センターの設立の経緯については、森康夫先生が述べられていますので、詳しくは先生の記事に譲るとして、ごく簡単に述べれば次のようであったとされています。1960 年当時、東 (旧ソ連邦を盟主とした共産圏) と西の間に横たわる壁は高く、学术交流もままならない状態でありましたが、米国 J. P. Hartnett 教授などの努力で伝熱分野における純粋学術的な交流を促進するために、学術誌 (International Journal of Heat and Mass Transfer) と国際会議 (International Heat Transfer Conference) と併せて設立されたものです。その後、時間の経過とともに UNESCO 活動の一端を担う性格も持つこととなり、開発途上にある国々の伝熱学・伝熱工学分野の研究・教育活動を支援する目的も付け加えられました。設立当初より事務局は Beograd にある Boris Kidrich Institute of Nuclear Sciences に置かれていましたが、事務局を東西間の中立的地域に置く必要性が低下したことに加えて、ユーゴスラヴィアの内戦が長期化したことに伴って Centre の活動維持が困難となり、1993 年以

来トルコの Ankara にある Middle East Technical University (METU) に置かれています。事務局の移動については、森康夫先生が会長として舵取りに大きな役割を果たされたと聞き及びます。

センターの目的は、EC の中で 2 年前から再検討が行われ、憲章として

ICHMT provides a unique apolitical forum for the world's leading heat and mass transfer scientists and engineers. This mission of ICHMT is to pursue excellence and foster the international exchange of science and engineering in all branches of heat and mass transfer through symposia, publications, promotion of research and exchange of personnel for the benefit of people everywhere.

が決められました。この目的に沿って、シンポジウムの主催ならびに共催、Luikov Medal および Fellowship Award の選考・授与、出版活動、国際交流活動、若手研究者および経済的困難度の高い国の研究者への会議出席支援などを行っています。Luikov Medal は 1979 年以来 12 名 (日本からは森康夫先生 1 名) に、Fellowship Award は 1980 年以来、32 名 (日本からは中山恒先生と私の 2 名) に授与されています。

センターの顔は President であり、現在はイタリアの M. Cumo 教授が、その任にあります。また、日常的な連絡等の事務は事務局長 (Secretary-General) が行っていますが、6 月に METU の Faruk Arinc 教授が再選され、向こう 3 年間任務を継続することになりました。Centre の活動方針は全て、毎年 2 回開催される EC で決定されます。会長と EC メンバー 15 名は Scientific Council の投票で決定されますが、現在の Scientific Council は、32 国・地域、1 機関 (UNESCO) から出た 142 名により構

成されています。我が国からのメンバーは
藤田 恭伸, 笠木 伸英, 河村 洋,
森 康夫, 長野 靖尚, 中山 恒,
荻野 文丸, 庄司 正弘, 鈴木 健二郎,
棚沢 一郎 (以上敬称略)

の10名です。ちなみに、ECのVice Chairman (したがって1年後のChairman) はECの中の互選で決まります。

Centreは、東西の壁が崩れて以来、当初の目的から上に掲げた新しい目的を果たす非政治的な学術組織として衣替えをし、更なる展開を図ろうとしています。開発途上国や経済的困窮国の活動支援を行う一方で、バイオテクノロジー、ナノテクノロジー、環境エネルギーなどの新しい分野の伝熱活動を推進することとし、鋭意活動を展開しています。前回の国際伝熱会議では、国内論文委員

会委員長の庄司正弘先生の報告にありましたように、我が国の論文数は米国と並びました。

International Journal of Heat and Mass Transferへの投稿論文数は、日本のEditor Office (Editor: 鈴木健二郎, Assoc. Editor: 西尾茂文教授) の取り扱い論文数は米国Editorに次ぐ2位であります。他の活動分野と同じように、学術活動の分野においても、国際活動に果たす日本の役割への期待が高まっています。日本伝熱学会ならびに学会会員の皆様には、是非Centreへの一層のご支援をお願いしたいと思いますし、また、センターの活動を踏み台にして、皆様が一層の国際的活動を展開して下さることを期待したいと存じます。

どうか、宜しく願います。

(ICHMTのホームページ <http://www.ichmt.org/>)

第2回マイクロチャネル・ミニチャネル国際会議 (ICMM2004) 報告

Report on 2nd International Conference on Microchannels and Minichannels

鹿園 直毅 (東京大学)

Naoki SHIKAZONO (The University of Tokyo)

第2回マイクロチャネル・ミニチャネルに関する国際会議 (ICMM2004) が、本年6月17日から19日の3日間にわたり、米国ニューヨーク州オントリオ湖湖畔のローチェスター市において開催された。本年も、昨年に引き続きローチェスター工科大 (Rochester Institute of Technology, 以後RIT) での開催である。本会議は ASME により主催され、conference chair が S.Kandlikar 教授、日本からは co-chair として西尾先生、committee メンバーとして庄司先生と笠木先生が参加されている。会議へは pre-registration で 185 名、オンサイトで 30 名以上の参加があり、遅く起きると朝食とコーヒーにありつけなくなるほどで、予想以上の大入りであった。日本からは、吉田先生 (京大)、大田先生 (九大) が keynote 講演をされたほか、大学および企業から約 15 名の参加であった。

表1に本会議での分野別講演論文数を示す。分野としては、参加者に沸騰関係の研究者が多いため、沸騰・蒸発の発表が多いが、小径化による伝熱促進効果の恩恵が確実に受けられる单相流の研究も多くの発表があった。その他、マイクロ・ミ

ニに深く関連する分野として MEMS, μ TAS, マイクロポンプ・ファンなど、多方面からの発表があり、3つのパラレルセッションで活発な議論が交わされた。

参加者の多くが大学関係者で、企業からの参加者はあまり多くなく、ほとんどが基礎研究のフェーズである。基礎データの重要性は論を待たないが、その一方で、これらをどこにどのように使えばどんなメリットがあるのかのメッセージが弱い発表が見受けられたことも事実であろう。企業からの参加者が少なかったことがこれを間接的に裏付けている気がする。Banquet 際のプレゼンでも、どなたかお名前は忘れたが、マイクロ・ミニ研究は "small as possible" ではなく "small as reasonable" であるべきだと述べられていた。次回の第3回 ICMM では、マイクロ・ミニ伝熱を実機器でどのように顕在化させるのか、戦略的な発表が増えることが期待される。

また、全体を通じた議論として、マイクロ・ミニの学術的定義のコンセンサスが十分に共有されていないとの指摘が笠木先生からあった。物性値

表1 分野別講演論文数

分野	講演論文数	
	Keynote 講演	一般講演
Single Phase Flow	1	25
Boiling / Evaporation	2	23
Two Phase Flow	1	10
Fabrication / MEMS	2	9
Electronics Cooling	1	9
Flow under Electrical Fields	1	9
Heat Pipe	2	6
Biological Systems	2	4
Micro Mixer	1	5
Condensation	0	6
Nano-scale Effects	1	4
Heat Exchangers	0	5



図1 会場入口にて

や伝熱場に関わらず、何でもある数字以下ならマイクロだということにはならない筈で、近いうちにコミュニティとしての見解を示す必要があると思われる。また、R. K. Shah 先生からは、マイクロチャンネルにおいて、従来サイズではあまり問われなかった断面形状、粗さ、角の R 取り等の影響をきちんと評価しておくことの重要性が改めて指摘された。

なお、ICMM2004 に先立ち、6 月 14 日から 16 日の 3 日間、同会場で 2nd International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology が開催された。こちらにも併せて出席したので、簡単に紹介する。本会議は熱交換器で有名な R. K. Shah 教授が chair, Kandlikar 先生が co-chair で、同じく ASME 主催である。発表数は、keynote とポスターを含む 125 件であった。PEFC と SOFC が各々約 3 割、MCFC、DMFC、改質、その他がそれぞれ約 1 割ずつという内容構成であった。こちらは ICMM2004 とは打って変わって企業からの参加者が非常に多く、聴講のみの参加者も多かったとみられ、立ち見が出るほどの盛況であった。燃料電池へのビジネス界からの関心の高さが伺えた。燃料電池の課題は、一にコスト、二にコスト、三にコストだというのが共通のコメントで、少しでも障壁の低いマーケットを掘り起こそうとするアグレッシブさが印象的であった。また、米国エネルギー省 (DOE) の支援のもと、米国の産官学一枚岩な (に見える) 連携による開発パワーにも圧倒された。全体ビジョン、目標値、構成メンバーの役割分担等がオープンに共有されており、国として漏れ、ダブりのない効率的な開発体制を構築しようという意図が感じられる。例えば、SOFC に関して言えば、大量生産による小型・低コスト SOFC (3~10kW クラスで \$400/kW) をターゲットとする SECA プログラムが 1999 年から継続しており、今回の会議でも複数の関係者からローカルに競合することなく成果報告が行われていた。

両会議が開催された RIT Inn & Conference Center は RIT の宿泊・会議施設であるが、元々は郊外街道沿いの Marriott ホテルを買い上げたものらしく、やや年季は入っているものの、プールや

フィットネスがあったり、部屋数や会議場といい、大学の施設としては申し分のないものであった。ただし、ロケーションは悪く、周辺の歩ける範囲には 1km ほど先の交差点にマクドナルドがある以外、全く何もない辺鄙な場所に位置している。稼働率を上げるために、頻繁にこのような会議を催す必要があると思うが、現場の方々のご苦労がしのばれる。幸いなことに、今回、吉田先生がレンタカーでご参加されていたので、「本日も 6 時にロビーで」とのメールに甘え、連日夕食をご一緒させて頂いた。ノンアルコールで我慢下さった吉田先生に紙面を借りて感謝申し上げます。「東京」は車で 10 分ほどの距離にあるレストランであるが (ちなみに隣は「上海」)、エキゾチックな雰囲気の中で鈴木健二郎先生が注文された天ぷら定食は、アメリカンなボリュームに皆仰天しながらも、食べきれないとお裾分けで頂いたロブスターは大変美味でした。

という訳で、来年の第 3 回マイクロチャンネル・ミニチャンネルに関する国際会議は、ローチェスターではなく、オンタリオ湖を挟んだカナダ・トロントで開催される予定である。次回も日本から多くの方が参加されることを期待して本報告を終えたい。

末筆ながら、本稿をまとめるにあたり、(株)日立製作所の鈴木敦氏に会議の情報を提供頂きました。記して、感謝申し上げます。



図2 「東京」にて

金・銀・銅
Gold, Silver, Bronze

Heat Transfer

吉田 英生 (京都大学)
Hideo YOSHIDA (Kyoto University)

今年の夏といえば、何といってもアテネオリンピック。日本の獲得メダル数は、金 16, 銀 9, 銅 12, 合計 37 個で史上最高！ たいしたものです。学校の運動会で 1 位になるだけでも大変なのに、区市郡町村、都道府県、全国の大会を経て、さらに世界の大会で 1 位になるなんて。地球上の人類 64 億人の頂点ですもんね。

あまりに感動したので、まず“涙”について記しておこうと思います。新編英和活用大辞典(研究社 1995)によれば、“涙を流す”は、*draw tears* や *shed tears*, 一方、“涙をこらえる”は、*choke back/down one's tears*, *fight/force/gulp back one's tears*, *repress one's tears* などだそうです。

そんな涙と深く係わる金・銀・銅って何でしょう？ 1 位・2 位・3 位の象徴に過ぎないと言ってしまえばそれまでですが、そんなそこらのものでは、命がけの勝利の象徴にはなり得ません。

そこでこの機会に、物理化学的、伝熱的な側面から、金・銀・銅を調べてみました。(銅メダルの“銅”の英語は *copper* でなく *bronze* ですから、本当は青銅、つまり合金のようですが。) 高校の化学でも習ったように、金・銀・銅は、周期表の Ib 属にある銅属元素に位置づけられ、化学的に安定していることが特徴です。表 1 に 3 者を比較してみました。スポーツとは異なって、何を以て優れているとするかは難しいですが、ここでは何れも値が大きいことが優れているとみなし、最大値はボードに、最小値はイタリアにしました。

まず金の原子量が大きく、密度も大きいことに気がきます。筆者は普段、手にすることもないので、実感ありませんでした。よくインタビューで“この金メダルの重みはいかがですか”なんて尋ねていますが、もともと物理的に重いようです。そういえば、Archimedes が *Eureka!* と叫んだのも、金の王冠と銀を混入した王冠を、比重差と浮力に基づいて見分けられることに気付いたときでした。

ところで、理科年表を眺めているうちに発見したことがあります。単体のモル当たりの熱容量は、炭素などを例外とすると、物質が異なってもあまり変わらないのですね。よくよく考えてみると、モル当たりということは分子数が等しいことだから、当然のことなのかもしれません。

Wiedemann-Franz の法則がほぼ成り立つ熱伝導と電気伝導に関しては、銀・銅・金の順。伝熱の視点からは、金もたいしたことはありません。

このように、金・銀・銅も視点を変えれば 3 者 3 様。同様に、金メダル・銀メダル・銅メダルも、単に 1 位・2 位・3 位の象徴と考えるより、もっと多様な見方ができるのではないのでしょうか。

最後に、ハンマー投げの室伏広治選手が引用していた、メダル裏面に刻まれた Pindar (518 - 438 B.C.) の Olympic Ode の英訳は以下のとおりです。

O mother of gold-crowned contests, Olympia, queen of truth (<http://www.mlahanas.de/Greeks/Live/Writer/Pindar.htm>, <http://www.athens2004.com/en/Medals>)



表 1 金・銀・銅の比較

	金 Au	銀 Ag	銅 Cu
原子量	196.97	107.87	63.55
密度 kg/m^3 (0°C)	19320	10500	8960
定圧比熱容量 kJ/(kg K) (25°C)	0.129	0.236	0.385
熱伝導率 W/(m K) (0°C)	319	428	403
温度伝導率 $\times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ (0°C)	1.280	1.727	1.168
電気伝導率 $\times 10^7 \text{S/m}$ (0°C)	4.88	6.80	6.45
融点 $^\circ\text{C}$ (1 気圧)	1064.4	961.9	1084.5
沸点 $^\circ\text{C}$ (1 気圧)	2857	2162	2571

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、開催日)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2004年					
11月	24日(水)～ 26日(金) 国際伝熱フォーラム International Forum on Heat Transfer(IFHT2004) (京都リサーチパーク、京都市)	'04.2/29	'04.7/31	〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 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 〒599-8531 堺市学園町1-1 大阪府立大学大学 院工学研究科 機械系専攻エネルギー機械工学 分野 中部主敬 Tel: 072-254-9224 Fax: 072-254-9904 E-mail:nakabe@energy.osakafu-u.ac.jp http://www.ifht2004.energy.osakafu-u.ac.jp/	1月号

本会共催、協賛、後援行事

開催日	行事名 (開催地、開催日)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2004年					
7月	15日(木)、 16日(金) 日本機械学会関西支部第270回講習会 「設計に使える熱流体解析の基礎と応用」 (大阪科学技術センター、大阪)	'04.7/7 (申込締切)		〒550-0004 大阪市西区御本町1-8-4 大阪科学技術センター内 (社)日本機械学会関西 支部 Tel:06-6443-2073 Fax:06-6443-6049 E-mail:jsme@soleil.ocn.ne.jp http://www.kansai.jsme.or.jp	
7月	19日(月)～ 21日(水) 第32回可視化情報シンポジウム (工学部大学院新館校舎、東京)	'04.2/27	'04.5/17	〒114-0034 東京都北区上十条3-29-20-103 (社)可視化情報学会事務局 Tel:03-5993-5020 E-mail:info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp/sympo2004	
7月	24日(土)、 25日(日) 日本実験力学会2004年度年次講演会 (戦災復興記念館、仙台)	'04.4/16	'04.5/28	〒980-8575 仙台市青葉区星陵町4-1 東北大学 大学院歯学研究科 口腔器官構造学分野 小西通雄 Tel:022-717-8283 Fax:022-717-8284 E-mail:konishi@anat.dent.tohoku.ac.jp http://moire.sys.wakayama-u.ac.jp/JSEM/	
8月	5日(木)～ 7日(土) 日本混相流学会年次講演会2004及び第23回混相流シンポジウム (岡山大学津島キャンパス、岡山市)	'04.3/26	'04.6/11	〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 岡山大学工学部機 械工学科伝熱工学研究室内 日本混相流学会年 次講演会2004及び第23回混相流シンポジウム 事務局 E-mail:jsmf@heat6.mech.okayama-u.ac.jp http://heat6.mech.okayama-u.ac.jp/jsmf/index.html	
8月	9日(月)～ 11日(水) 日本流体力学会年次2004 (名古屋大学工学部)	'04.3/31	'04.6/18	日本流体力学会年次2004運営委員会 http://fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp/jsfm-c/NENKAI2004/ あるいは http://www.nagare.or.jp/	
8月	29日(日)～ 9月3日(金) 第24回国際航空科学会議横浜大会(24th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 2004, Yokohama) (パシフィコ横浜国際会議場、横浜市)	'03.7/31		〒105-0004 東京都港区新橋1-18-2 日本航空宇 宙学会 第24回国際航空科学会議事務局 Tel : 03-3519-4808 Fax:03-3519-9998 e-mail: icas@jsass.or.jp http://www.jsass.or.jp/icas	
9月	27日(月)～ 28日(火) 可視化情報学会全国講演会(愛媛2004) (放送大学愛媛学習センター、松山市)	'04.5/28	'04.7/23	〒790-8577 松山市文京町3 愛媛大学工学部 機械工学科 榎原秀樹 Tel/Fax: 089-927-9721 e-mail: vsj2004@adm.ehime-u.ac.jp http://www.vsj.or.jp/ehime/	
10月	4日(月)～ 8日(金) 第6回原子炉熱流動と運転及び安全性に関する国際会議 (NUTHOS6) (奈良県新公会堂、奈良市)	'03.12/15 (Abstract)		e-mail: info@nuthos6.org http://www.nuthos6.org	
10月	22日(金) 第8回スターリングサイクルシンポジウム (日本大学理工学部、東京都)	'04.5/28	'04.9/10	〒160-0016 東京都新宿区富蔵町35 信濃町煉瓦 館5階 社団法人 日本機械学会 滝本 Tel : 03-5360-3507 e-mail:takimoto@jsme.or.jp	
10月	19日(火)、 20日(水) (社)日本機械学会関西支部 第272回講習会 (大阪科学技術センター、大阪市)	'04.10/12		〒550-0004 大阪市西区本町御本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 Tel : 06-6443-2073 Fax : 06-6443-6049 e-mail : jsme@soleil.ocn.ne.jp	

行事カレンダー

10月	20日(水)～ 22日(金)	第25回日本熱物性シンポジウム (メルボルン長野 長野市)	'04.9/17	'04.9/17	〒386-8567 上田市常田 3-15-1 信州大学繊維 学部繊維機械学科 第25回日本物性シンポジ ウム実行委員会事務局 姫野修廣 Tel:0268-21-5431 Fax:0268-21-5319 e-mail:jstp25@walkers.shinshu-u.ac.jp URL:http://www.therm.shinshu-u.ac.jp/jstp25/		
10月	24日(日)～ 27日(水)	2004年度 日本冷凍空調学会「年次大会」 (静岡大学工学部 浜松市)			〒432-8561 浜松市城北 3-5-1 静岡大学工学部機械工学科 年次大会実行委員長・柳沢 正 TEL/FAX : 053-478-1056 e-mail :reito@mb.infoweb.ne.jp		
11月	11日(木)、 12日(金)	AFI/TFI-2004 Fourth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (仙台国際センター、仙台市)	'04.7/15 (Abstract)	'04.8/31	http://www.ifs.tohoku.ac.jp/afi-tfi-2004/		
11月	13日(土)、 14日(日)	熱工学コンファレンス2004 (東北大学工学部、仙台市)	'04.6/11	'04.9/10	〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学 大学院工学研究科機械知能工学専攻 熱工学コ ンファレンス2004 実行委員会委員長 太田照和 e-mail:ota@cc.mech.tohoku.ac.jp http://www.e-kenkyu.com/JSME-TEC2004		
11月	16日(火)	日本機械学会東海支部・関西支部合同企画 第37回座談会 (名古屋通信ビル、名古屋市)	'04.11.5		〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 (社) 日本機械学会関西支部事務局 TEL: 06-6443-2073 Fax: 06-6443-6049 e-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp		
11月	17日(水)、 18日(木)	「可視化フロンティア」第2回サイエンティフィック・ビジ ョーアリゼーション講習会 (日本大学理工学部、東京都千代田区)			〒114-0034 東京都北区上十条 3-29-20-103 社団法人 可視化情報学会 事務局長 柿沼肇 Tel : 03-5993-5020 Fax: 03-5993-5026 e-mail:info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp		
11月	27日(土)、 28日(日)	第28回人間—生活環境系シンポジウム (椋山女学園大学、名古屋市)	'04.10/31		〒464-8662 名古屋市千種区星が丘元町17-3 椋山女学園大学 生活科学部 生活環境デザイ ン科 大野研究室 Tel: 052-781-1186 Fax: 052-782-7265		
12月	1日(水)～ 3日(金)	日本地熱学会平成16年度学術講演会 (産業技術総合研究所、つくば市)			〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地熱科学領域 海田秀志 Tel : 04-7182-1181 Fax: 04-7183-3182 e-mail:kaieda@cniepi.denken.or.jp http://www.soc.nii.ac.jp/grsj/		
12月	4日(土)、 5日(日)	第11回エコテクノロジーに関するアジア国際シンポジウム (ASET11) (富山国際会議場、富山市)			〒939-8630 富山市本郷町13 富山工業高等専 門学校内 ASET 事務局 袋布昌幹 Tel : 076-493-5479 Fax : 076-492-3859 http://www.toyama-nct.ac.jp/event/aset/		
12月	8日(水)、 9日(木)	文部科学省ITプログラム 第3回「職場の基盤ソフトウェアの 開発」シンポジウム (経産五連ホール、東京都千代田区)			〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所 計算科学技術連携研 究センター 事務局 Tel:03-5452-6661 Fax:03-5452-6662 e-mail:office@fisis.iis.u-tokyo.ac.jp URL:http://www.fisis.iis.u-tokyo.ac.jp		
12月	8日(水)、 9日(木)	日本機械学会関西支部 第273回講習会 (大阪科学技術センター、大阪市)	'04.12.3		〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 (社) 日本機械学会関西支部事務局 TEL: 06-6443-2073 Fax: 06-6443-6049 e-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp		
12月	21日(火)、 22日(水)	第13回微細化シンポジウム (日本大学理工学部 東京都)	'04.10.1	'04.11.12	〒275-8575 日本大学 生産工学部 機械工学 科 野村研究室気付 第13回微細化シンポ 参 加担当幹事 Tel : 047-474-2356 Fax : 047-474-2349		
2005年							
2月	3日(木)～ 4日(金)	11 th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"(Mate2005)	'04.9.1	'04.11.19	〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町1-11 (社) 溶接学会 Mate2005 事務局 Tel : 06-6879-4166 Fax: 06-6879-4166 e-mail : mate@casi.osaka-u.ac.jp		
3月	9日(水)～ 11日(金)	日本実験力学学会2005年度年次講演会			〒278-8510 野田市山崎 2641 東京理科大学理 工学部機械工学科 町田賢司 TEL:04-7124-1501 内 3920 Fax:04-7123-9814 e-mail:mca@rs.noda.tus.ac.jp		
9月	12日(月)～ 15日(木)	第3回人間—生活環境系国際会議	'04.11.20	'05.3.31	〒151-8523 東京都渋谷区代々木3-22-1 文化女子大学 被曝衛生学研究内 第3回人間—生活環境系国際会議事務局 Tel&Fax : 03-3299-2336 e-mail : iches2005@bunka.ac.jp URL : http://jhes-jp.com/iches05		

第 42 回日本伝熱シンポジウム開催案内

開催日 平成 17 年 6 月 6 日(月)～8 日(水)
会場 仙台国際センター(〒980-0856 仙台市青葉区青葉山、TEL:022-265-2450)

研究発表申込締切 平成 17 年 1 月中旬
論文原稿締切 平成 17 年 3 月初旬

【シンポジウムの形式】

詳細は検討中ですが、下記以外については、従来形式を踏襲いたします。

大分類セッションの実施

伝熱工学は、基礎から応用まで研究・開発の対象であり、応用範囲も拡大してきました。さらに要素研究か製品開発かでも研究手法が変化しています。そのため一見すると、伝熱シンポジウムは小分類化され、多種多様な発表が入り乱れ、まとまりがないように見えます。伝熱シンポジウムの発表に対して討論が十分になされていないという批判もあります。しかしながら、伝熱という基礎を応用しているだけで、本質は変化していないとも言えます。

そこで、シンポジウムの初日一日だけ、大領域の研究分野の講演会を開催します。参加者は、最初から最後まで少数の会場で聞き、発表し、討論し、伝熱工学についての知識・技術開発の相互啓発を行うことを主な目的とします。この試みは、シンポジウムに参加してみようという試みを仙台大会から発進することでもあります。

これは従来のシンポジウム発表の手法とは異なりますが、全員から注目を浴びながら、賞賛されたり、批判されたりする、伝熱研究会創設時のサロンのようなシンポジウムへ近づかせようという試みでもあります。

【研究発表申込方法】

- Web による申込とします。
- 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。
- 詳細は会誌「伝熱」(平成 16 年 11 月号)およびホームページに掲載いたします。

【論文】

- 論文の長さは、一題目当たり 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(二段組み×片側 26 字×60 行)。
- 執筆要綱は、会誌「伝熱」(平成 17 年 1 月号)およびホームページに掲載いたします。

【参加登録費等】

詳細は会誌「伝熱」(平成 16 年 11 月号)およびホームページに掲載いたします。

【懇親会】

- 開催日 平成 17 年 6 月 7 日(火)
- 会場 仙台国際センター内

【お問い合わせ先】

第 42 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
東北大学大学院工学研究科化学工学専攻内
FAX: 022-217-6165、E-mail: thermo42@tranpo.che.tohoku.ac.jp

第 42 回日本伝熱シンポジウム実行委員会 委員長 三浦 隆利

日本伝熱学会東北支部企画 平成16年度秋季伝熱セミナー

本年度東北支部秋季伝熱セミナーは、東北最南端の福島県の担当です。交通の便の良い、温泉地である磐梯熱海に会場を用意いたしました。学生の皆さんも奮ってご参加下さい。

日時:平成16年11月20日(土)から21日(日)

場所:磐梯熱海温泉 清陵山倶楽部

〒 963-1309 福島県郡山市熱海町 5-18

Tel : 024-084-2530

(<http://www.seiryozan.jp>)

交通案内:東北自動車道-(郡山 J.C.)- 磐越自動車道-(磐梯熱海 I.C.)

JRでは郡山から磐越西線で約15分(磐梯熱海駅)

費用:一般 15,000 円, 学生 10,000 円

11/20 13:00 受付開始

13:30 - 17:30 秋季伝熱セミナー(講演者:交渉中)

19:00 - 21:00 夕食・懇談

11/21 朝食後解散

申込方法 : E-mail あるいは FAX でお申し込み下さい。

題名に「東北支部秋季伝熱セミナー申し込み」と明記の上、
参加者の氏名、所属、一般・学生の区別、連絡先住所、電話番号、
FAX 番号、E-mail address をお知らせ下さい。

交渉中の講演者は確定次第ご連絡いたします。講演内容により出席
を検討されるという方は、事前に E-mail address を申し込み、登録
してください。追加情報を発信いたします。

申込締切 : 10月30日(土)

申込先 : いわき明星大学工学部機械工学科 東 之弘

E-mail : higashi@iwakimu.ac.jp

FAX : 0246-29-0577

九州伝熱セミナー in 湯布院
九州発、今、ホットな伝熱!!!
～ナノ・マイクロ・バイオメディカルテクノロジー～

日本伝熱学会九州支部主催

今一番ホットな技術は？ いわずもがな、タイトルに上げた「ナノ、マイクロ、バイオ」技術でしょう。九州支部では、これら三つのキーワードに関わる先生をお招きし、御講話を頂く機会を設けました。また、湯布院をその開催地として選びました。翌日には、お酒の見学会を予定しております。ゆっくりと温泉につかりながら、時にお酒も交えながら、ホットな伝熱技術に耳を傾けませんか？

期日： 10月8日（金）～9日（土）

会場： ゆふとぴあ（西部ガスグループ保養所、<http://www2.odn.ne.jp/yufutopia>）

大分県大分郡湯布院町大字川上宇野の草 1947-38、TEL：0977-85-5801

交通： JR 由布院駅より／車で6分／徒歩で30分

高速バス由布院駅前停留所より／車で6分

大分自動車道由布院インターより／車で15分

<http://www2.odn.ne.jp/yufutopia/access.html>

定員： 60名

参加費： 会員、非会員ともに12,000円。学生は8,000円（宿泊費、夕食、朝食込み）。

参加費は当日、受付にて集めます。

申込： 電子メールにてお願いします。

メールの件名を「九州伝熱セミナー参加」と記し、

氏名、所属、役職、電話、電子メールアドレスを明記の上、

kohei@mech.kyushu-u.ac.jp（伊藤衡平、九州大学）まで、メール下さい。

スケジュール：

10月8日（金）

12時～受付

13時～講演会

「ナノ微細構造と熱物性制御」、宮崎康次、九州工業大学

「ベッセルレーザービームを用いたマイクロドリル加工における、パルス幅依存」、

河野正道、九州大学

「ピコサット用宇宙推進機とMEMS技術」、高橋厚史、九州大学

「光マイクロマシン」、澤田廉士、九州大学

「ナノ・マイクロ多重多孔質層による伝熱促進」、功刀資彰、京都大学

「関節軟骨組織内マクロスケール輸送現象に及ぼす細胞活動の影響」、渡部正夫、九州大学

「細胞の凍結傷害機序—浸透圧ストレスによる水の細胞膜透過と細胞の体積変化」

高松 洋、九州大学

「生体内熱・物質移動のはなし」、石黒 博、九州工業大学

10月9日（土）

9時～見学会（国東半島名所めぐり。貸切バス利用）

問い合わせ先：伊藤衡平、九州大学、kohei@mech.kyushu-u.ac.jp、TEL 092-642-3492

一言：「準備の都合上、なるべく早く申し込み頂ければ幸いです。」

平成 16 年度
日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ

日本伝熱学会には、内規にしたがい、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、下記の要領にしたがって本年度の募集を行いますので、自薦、他薦を問わず、多数ご応募下さい。

記

1. 対象となる業績

- (1) 学術賞の対象は、原則として、最近3年間の *Thermal Science and Engineering* 誌に掲載された、あるいは、最近5回の日本伝熱シンポジウムにおいて発表し国内外の審査のある学術論文集に掲載された伝熱に関する優秀な研究論文とします。なお、受賞対象研究課題名は、必ずしも論文題目と一致する必要はありません。また、*Thermal Science and Engineering* 誌に掲載された論文は、日本伝熱シンポジウムにおける発表の有無にかかわらず、受賞の対象となります。
- (2) 技術賞の対象は、公表された優秀な伝熱技術とします。
- (3) 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)とします。
- (4) 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ります。
- (5) 贈賞数は、学術賞2件程度、技術賞1件程度、奨励賞4件程度とします。

2. 選考方法

- (1) 各賞の選考は、「表彰選考委員会」が「日本伝熱学会賞審査・選考方法内規」によって行います。
- (2) 表彰選考委員会は、公募の他に、各賞の候補を推薦することが出来るものとします。

3. 提出書類

- (1) 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
(用紙は次ページをコピーまたは学会ホームページからダウンロードしてご使用ください。)
- (2) 論文抜刷または技術内容参考資料 6部
- (3) 日本伝熱シンポジウム講演論文集抜刷 6部 (該当する場合)

4. 提出先

〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1
九州大学大学院工学研究院機械科学部門
増岡 隆士 宛
(E-mail : masuoka@mech.kyushu-u.ac.jp)
TEL 092-642-4376 FAX 092-641-9744

5. 提出期限：平成17年1月14日(金)

6. 問い合わせ先：提出先に同じ。

以上

平成 16 年度 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
所属 (_____)

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(ふりがな), 本会会員資格・勤務先・職名・代表者の連絡先住所, E-mail, Tel, Fax)

代表研究者：氏名・所属・職名 _____
連絡先 _____

共同研究者：氏名・所属・職名 _____

関連研究の伝熱シンポジウム発表 (該当する場合)

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： _____

連絡先 (推薦の場合) _____

6th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics

第 6 回実験熱流体に関する世界会議

目的 :

実験熱流体世界会議(ExHFT)の目的は、熱流体現象の科学的解明・工学的応用に取り組む世界各国の実験研究者が四年に一度、一堂に会することによって、熱流体分野における実験科学・工学の最新の手法や技術、最新の知見を世界的規模で交換し、同分野における研究の一層の進捗および国際間の学術的・実学的交流を推進することにあります。これまで、米国、ベルギー、ギリシアなど欧米を中心に、四年に一度開催されており今回で第六回を迎えますが、アジア地区での開催は初となります。前回のギリシアでは 40 カ国から 310 名の参加を集めました。

皆様のご講演およびご参加をお待ちしております。

詳細は以下のホームページをご参照下さい。

<http://pixy.ifs.tohoku.ac.jp/exhft6/index.html>

会期 :

2005 年 4 月 17 日 (日) ~ 21 日 (木)

会場 :

ホテル松島大観荘 (宮城県松島町) <http://www.taikanso.co.jp/>

参加費 :

一般 60,000 円 学生 50,000 円

参加申込締切日 :

2004 年 10 月 15 日 (金) アブストラクト〆切

2004 年 12 月 15 日 (水) 講演論文〆切

講演申込方法 :

第 6 回実験熱流体に関する世界会議ホームページ(<http://pixy.ifs.tohoku.ac.jp/exhft6/index.html>)の申込受付欄に必要事項を記入してください。

連絡先 :

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

東北大学流体科学研究所内

「第 6 回実験熱流体に関する世界会議」実行委員会事務局

e-mail : exhft6@pixy.ifs.tohoku.ac.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	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。

1. 「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

2. 「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コードのご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、入金の手続きができず、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、送金者側の負担にてお願い致します。フリガナ名の検索によって入金の手続き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となります。

(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12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》

- i)入会届, 変更届, 退会届の受付
- ii)会費納入の受付, 会費徴収等
- iii)会員, 非会員からの問い合わせに対する応対, 連絡等
- iv)伝熱シンポジウム終了後の「講演論文集」の注文受付, 新入会員への学会誌「伝熱」, 論文集「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」発送, その他刊行物の発送
- v)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
HP: <http://www.htsj.or.jp>
(土日、祝祭日を除く、午前10時～午後5時)

(注意)

1. 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。
2. 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 東京都文京区本郷 7-3-1
東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
笠木 伸英
TEL: 03-5841-6417 FAX: 03-5800-6999
E-Mail : htsj@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp

「伝熱」会告の書き方

大きさは、縦 115mm 以内、横 170mm 以内に収まるようにしてください。
この範囲に入らないものは、「伝熱」原稿の書き方に従ってください。

「伝熱」会告の書き方のテンプレート (MS-WORD) は、下記の伝熱学会のホームページよりダウンロードできます。

伝熱学会のホームページ : http://www.htsj.or.jp/den_guide.html

新入会員 (2004. 4~2004. 7. 2) 80 名

資格	氏名	勤務先	資格	氏名	勤務先
正	中島 雅祐	石川島播磨重工業 (株)	学生	青山 剛士	信州大学 大学院機械システム工学科
正	向笠 忍	愛媛大学 工学部	学生	角田 憲隆	東京工業大学 大学院理工学研究科
正	青柳 喜久	(株) メープル技術研究所	学生	朴 鍾徳	神戸大学 海事科学部
正	八賀 正司	富山商船高等専門学校	正	井上 誠	小松エレクトロニクス (株)
正	竹内 誠一	産業技術短期大学	学生	朴 相戴 (Park Chang-Dae)	琉球大学 工学部
正	梶田 欣	名古屋市工業研究所	正	生田 裕也	三菱電機 (株) 生産技術センター
正	永田 光夫	セイコーエプソン (株)	正	添田 晴生	大阪電気通信大学
正	棚橋 高成	日本アイ・ピー・エム (株)	正	高橋 桂子	(独) 海洋研究開発機構
正	西田 耕介	東京工業大学	学生	ALY Wael Ibrahim Ahmed	岡山大学 自然科学研究科
正	岡本 寛	島根大学 総合理工学部	学生	大川 大輔	東京大学 大学院工学系研究科
学生	増田 智春	福井大学 工学部	学生	長島 啓介	群馬大学 大学院工学研究科
学生	横山 大志	宇都宮大学 大学院工学研究科	学生	田中 肇	北海道大学 大学院工学研究科
学生	西野 貴文	京都大学 大学院工学研究科	学生	梅木 信彦	北海道大学 大学院工学研究科
学生	定道 有頂	三重大学 大学院工学研究科	学生	奥村 真澄	東北大学 大学院工学研究科
学生	清水 達哉	三重大学 大学院工学研究科	学生	富樫 ひさえ	東北大学 大学院工学研究科
学生	鈴木 潤	北海道大学 大学院工学研究科	学生	井澤 宏昌	金沢工業大学 大学院
学生	宮田 好司	金沢大学 大学院自然科学研究科	学生	森本 賢一	東京大学 大学院工学系研究科
学生	田中 真人	久留米工業高等専門学校	学生	中川 和人	東北大学
学生	杉岡 真宏	大阪府立大学 大学院工学研究科	学生	若林 太郎	北海道大学 大学院工学研究科
学生	新井 崇洋	筑波大学 大学院システム情報工学研究科	学生	千葉 紘太郎	北海道大学 大学院工学研究科
学生	千足 昇平	東京大学 工学系研究科	学生	林 知生	北海道大学 大学院工学研究科
学生	中田 勝啓	北海道大学 大学院工学研究科	正	広瀬 義幸	住友電気工業 (株)
正	江藤 淳朗	九州大学 大学院工学府	正	大野 裕司	東芝キャリア (株)
正	牧田 和志	川重冷熱工業 (株)	正	森田 善幸	(株) 本田技術研究所
正	佐藤 博	日本原子力研究所	正	大澤 充	(株) 本田技術研究所
正	河野 正道	九州大学 大学院	正	早瀬 岳	サムスン電子 (株)
正	加藤 敦史	高砂熱学工業 (株) 総合研究所	正	チン ウェイ	シャープ (株)
学生	實生 達朗	東京工業大学 大学院理工学研究科	正	鈴木 裕	(株) ヤチダ
正	窪田 光宏	名古屋大学 大学院工学研究科	正	岩崎 正道	富士電機アドバンステクノロジー (株)
正	藤原 真人	日機装 (株)	正	工藤 奨	芝浦工業大学
正	松本 圭司	日本アイピーエム (株)	正	上野 裕平	有限会社エフテクノ
学生	矢尾 俊介	東京工業大学大学院総合理工学研究科	正	田中 貴博	石川島播磨重工業 (株)
学生	東根 光善	大阪市立大学 大学院工学研究科	正	森田 慎一	独立行政法人国立高等専門学校機構
正	安原 薫	山形大学 工学部	正	藤岡 裕記	ダイキン工業 (株)
正	堀 紀弘	(株) ノーリツ	正	名田 譲	千葉科学大学
正	清滝 和雄	日新電機 (株)	正	森 英明	(株) 日立製作所
学生	後藤 晃権	東北大学 大学院工学研究科	学生	小野寺 博樹	東京工業大学
学生	大庭 みゆき	九州大学 大学院工学研究科	学生	須賀 良介	青山学院大学 理工学部
正	福島 賢	JFE スチール (株)	正	首藤 登志夫	北見工業大学
正	佐谷野 顕生	(株) 東芝 京浜事業所	正	静谷 光隆	(株) 日立製作所 機械研究所

43 期寄付会費 (2004. 4. 1~8. 31) 64 名 161,000 円

資格	氏名	勤務先	資格	氏名	勤務先
名誉特	甲藤 好郎		正	曾田 正浩	三菱重工業(株)
名誉特	石谷 清幹		正	高田 保之	九州大学 大学院工学研究院
名誉(永年)	飯田 嘉宏	横浜国立大学	正	武石 賢一郎	大阪大学 大学院工学研究科
名誉(永年)	梅村 晃由	梅村研究開発事務所	正	田子 真	秋田大学
名誉(永年)	谷口 博	(株)エルパワーテクノロジー	正	柘植 綾夫	三菱重工業(株)
名誉	井上 晃		正	土田 一	秋田工業高等専門学校
名誉	越後 亮三	芝浦工業大学	正	寺西 恒宣	富山工業高等専門学校
名誉	塩冶 震太郎		正	長野 靖尚	名古屋工業大学 大学院工学研究科
名誉	中山 恒		正	中山 顕	静岡大学 工学部
正	荒木 信幸	静岡大学 工学部	正	西尾 茂文	東京大学 生産技術研究所
正	石田 哲義	(財団法人)北陸電気保安協会	正	西田 哲也	水産大学校
正	石塚 勝	富山県立大学 工学部	正	西村 龍夫	山口大学 工学部
正	宇高 義郎	横浜国立大学 大学院工学研究院	正	花村 克悟	東京工業大学
正	逢坂 昭治	徳島大学 工学部	正	久角 喜徳	大阪ガス(株)
正	大石 克巳	九州大学 大学院工学研究院	正	藤井 丕夫	九州大学
正	太田 照和	東北大学 大学院工学研究科	正	藤野 淳市	福岡大学
正	小川 邦康	慶應義塾大学 理工学部	正	本田 知宏	福岡大学
正	荻野 文丸	舞鶴工業高等専門学校	正	牧野 俊郎	京都大学 大学院工学研究科
正	小澤 守	関西大学 工学部	正	増岡 隆士	九州大学 大学院工学研究院
正	小畑 良洋	独立行政法人 産業技術総合研究所	正	松本 亮介	関西大学 工学部
正	笠木 伸英	東京大学 大学院工学系研究科	正	水上 紘一	愛媛大学
正	勝田 正文	早稲田大学	正	望月 貞成	東京農工大学 工学部
正	加藤 泰生	山口大学	正	森 茂	金沢大学
正	神永 文人	茨城大学 工学部	正	門出 政則	佐賀大学 理工学部
正	河村 洋	東京理科大学 理工学部	正	矢部 彰	産業技術総合研究所
正	工藤 一彦	北海道大学 大学院工学研究科	正	山口 朝彦	長崎大学 工学部
正	小林 睦夫	新潟大学 工学部	正	山下 宏幸	福岡大学 工学部
正	佐藤 勲	東京工業大学 大学院理工学研究科	正	山田 雅彦	北海道大学 大学院工学研究科
正	佐藤 公俊	広島工業大学 工学部	正	横堀 誠一	(株)東芝 電力産業システム技術開発センター
正	庄司 正弘	独立行政法人 産業技術総合研究所	正	横山 信博	明星電気(株) 技術本部
正	白樫 了	東京大学	正	吉田 英生	京都大学 大学院工学研究科
正	鈴木 雄二	東京大学 大学院工学系研究科	正	米盛 勉	㈱日鉱共石

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届出用紙

(右の該当に○を記入)

1. 正会員・学生会員入会申込書
2. 変更名 (書面による届出のみ受け)

(注意)

- ・楷書体で明瞭に記入
・氏名にふりがなを付す
・通信文は余白に記入
・申込時に郵便振替にて会費納入

0	申込年月日					年					月					日
1	会員資格	正・学														
2	氏名															
3	ふりがな															
4	生年月日	1	9			年										日
5	* 勤務先・ 学校	名称														
6		〒	—													
7		所在地														
8		TEL														
9		FAX														
10		電子メール														
11	共通・専用															
12	自宅	〒	—													
13		住所														
14		TEL														
15		FAX														
16																
17	通信先**	勤務先・自宅					自宅情報を会員名簿に記載しない...									
18	学位															
19	最終出身校															
20	卒業年次	T・S・H														
21	分専	基礎的分野	・		←(下記の専門分野の番号)											
22	野門	応用分野	・													
23	学生会員の場合:指導教官名***															
24																
印																

※専門分野

基礎的分野

- 1: 強制対流 2: 自然対流 3: 表面張力駆動対流 4: 沸騰・蒸発・凝縮 5: 混相流
6: 融解・凝固 7: 熱伝導 8: 放射 9: 反応・燃焼 10: 物質移動
11: 多孔質伝熱 12: 極低温 13: 熱物性 14: 計測・可視化 15: 数値シミュレーション
16: EHD・MHD 17: 混合物 18: マイクロ伝熱 19: 分子スケール伝熱 20: その他 ()

応用分野

- 1: 熱交換器 2: 畜熱 3: 冷凍・空調 4: 電子機器・情報機器 5: ヒートパイプ・熱サイフォン
6: 航空・宇宙機器 7: 海洋機器 8: 火力発電プラント 9: ガスタービン 10: 地熱
11: 燃料電池 12: 熱電変換 13: エネルギー貯蔵 14: 原子力発電プラント 15: 製鉄
16: 材料・加工 17: 流動層 18: 廃棄物処理 19: 生体・人間熱科学 20: バイオ・食品
21: エンジン 22: 住環境 23: 都市環境 24: 地球環境 25: 建築・土木
26: MEMS 27: レーザー 28: グリーンエネルギー・小型分散エネルギー 29: その他 ()

*) 学生会員入会申込者は学校名, 学部, 学科, 研究室名, 学年 (M2, D3 など) を記す.

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する.

***) 学生会員入会申込者は, 指導教官の署名・捺印を受ける.

****) 会員名簿等作成時に自宅情報の掲載を希望しない場合はレ点をつける.

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届け用紙

0	申込年月日					年				月					日
---	-------	--	--	--	--	---	--	--	--	---	--	--	--	--	---

※ご記入に際しての注意

日本伝熱学会からの郵送物は代表者にお送りしておりますので、代表者の所属に変更がありましたら、書面にて事務局宛ご連絡くださるようお願いいたします。

1	会員資格	賛助会員												
2	代表者氏名													
3	ふりがな													
4	代表者勤務先	名称(所属)												
5		〒	—											
6		所在地												
7		TEL												
8		FAX												
9	口数	口												
10			共通・専用											

日本伝熱学会入会のご案内

- 学会の会計年度は毎年4月1日から翌年3月末日までです。
- 賛助会員の会費は1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。申し込み口数により、次のように分けております。(3口), B(2口), C(1口)
- 会員になりますと「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」をお申し込み口数1口につき各1部お送りします。「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお申し込み口数1口につき1部無料でさしあげます。この伝熱とTHERMAL SCIENCE AND ENGINEERINGは通常、年6回(5, 7, 9, 11, 1, 3月号)発行しております。但し、日本伝熱シンポジウム講演論文集につきましては、前年度の会費を年度末までに完納された会員に限り当該年度のものを無料でさしあげます。なお、年度途中でご入会された方には残部の都合でお送りできない場合もありますので、あらかじめご承知おきください。
- 本学会では、事務作業簡素化のために会費の領収書の発行は郵便振替や銀行振込の控えをあてています。簡単な書式の領収書はご用意できますが、それ以外の場合には貴社ご指定の書式をご送付下さいますようお願い申し上げます。

申込書送付先 ; 〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16
社団法人日本伝熱学会事務局 TEL&FAX ; 03-5689-3401

会費の振込先 ;

- 郵便振替の場合—郵便振替口座 00160-4-14749 社団法人日本伝熱学会
- 銀行振込の場合—みずほ銀行 大岡山支店 普通預金口座 145-1517941
社団法人日本伝熱学会
- 現金書留の場合—上記の事務局宛に御送金下さい。

広告>

センサテクノス株式会社

広告

有) テクノオフィス 3月号 更新版

広告
日本カノマックス

◇編集後記◇

アテネオリンピックは日本選手のメダルラッシュで大いに盛り上がりました。しまいにはトランプのジャックみたいな服装の男がマラソン選手に抱きついたので仰天しました。抱きつかれた選手も明るい顔で「銅でもいいや。」と満足していたので、非常に救われた気持ちになりました。「だからさあ、高橋尚子を出しときゃ金と銀とれたんだよ。」としつこく主張する ISZK 先生とは好対照でした。

今月号から始まった Heart Transfer というコラムでも「金・銀・銅」というタイムリーな話題が掲載されていますので、是非ご一読ください。ちなみに金メダルは銀に 6 グラム以上の純金でメッキがしてあるそうです。本誌への投稿、また、本誌に対するご意見・ご要望など、編集出版事務局ないしはお近くの第 43 期編集出版部会委員までお寄せください。

副会長	増岡 隆士	九州大学
部会長	高田 保之	九州大学
委員		
(理事)	北村 健三	豊橋技術科学大学
	平田 哲夫	信州大学
	森 治嗣	東京電力
(評議員)	栗山 雅文	山形大学
	稲田 茂昭	群馬大学
	平澤 茂樹	日立製作所
	白樫 了	東京大学
	吉田 英生	京都大学
	田坂 誠均	住友金属
	石黒 博	九州工業大学
(事務)	久保田裕巳	九州大学
TSE チーフエディター		
	西尾 茂文	東京大学
TSE 出版担当		
	永井 二郎	福井大学

平成 16 年 9 月 10 日

編集出版事務局：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1
九州大学 大学院工学研究院 機械科学部門
高田 保之 / 久保田裕巳
Tel : 092-642-3398 / -3402
Fax : 092-642-3400
e-mail: takata@mech.kyushu-u.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 : +1-978-750-8400 Fax : +1-978-750-4744

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
Phone / Fax : +81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : +1-978-750-8400 Fax : +1-978-750-4744

伝 熱

ISSN 1344-8692

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol. 43, No. 182

2004年9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 113-0034, Japan
Phone / Fax : +81-3-5689-3401

