

ISSN 0910-7851

Vol.37 No.144

伝熱研究

Journal of The Heat Transfer Society of Japan

伝熱研究 目次

〈随想〉

伝熱研究をめぐる随想 伊藤猛宏 (九州大学)1

〈特集：吸収ヒートポンプの現状と将来展望〉

特集「吸収ヒートポンプの現状と将来展望」にあたって

.....第36期編集委員会 森岡斎 (徳島大学工学部機械工学科)
中山顕 (静岡大学工学部機械工学科)3

アドバンスト吸収ヒートポンプサイクル

.....柏木孝夫、功刀能文 (東京農工大学工学部機械システム工学科)4

流下液膜式の再生器の性能と熱・物質移動解析

.....松田晃、川崎健二 (愛媛大学工学部応用化学科)11

界面活性剤による吸収促進 飛原英治、藤田勇 (東京大学)20

吸収ヒートポンプにおける吸収器の伝熱促進

.....古川雅裕、榎本英一 (三洋電機(株)空調システム事業部)
佐々木直栄 (住友軽金属工業(株)研究開発センター)27

コンパクト吸収冷温水機の研究開発

.....本間立、設楽敦 (東京ガス(株)エネルギー技術研究所)34

〈研究ノートから：伝熱問題に関する未成功研究－その2〉

「研究ノートから：－伝熱問題に関する未成功研究－その2－」にあたって

.....第36期編集委員会 熊田雅弥 (岐阜大学)、小澤由行 (高砂熱学工業)44

失敗から得た私の行動指針 中原崇文 (愛知工業大学)46

現象を正確に把握すること 石塚勝 (東芝)48

技術とコストのハードル 松尾篤二 (三菱重工業(株)) 平松正義 (中部電力(株))50

ビール・ディスペンサーにおける高性能冷却技術 小澤由行 (高砂熱学工業)52

〈故大竹一友先生を偲んで〉 荒木信幸 (静岡大学)57

大竹先生、さようなら 黒崎晏夫 (電気通信大学)58

恩師大竹一友先生を偲んで 岡崎健 (東京工業大学)59

大竹一友先生を偲んで 北村健三 (豊橋技術科学大学)60

〈世界のホットユース〉

原子間力顕微鏡を用いた微小領域の熱計測～カリフォルニア大学バークレー校より～

..... 井下田真信 (カリフォルニア大学バークレー校)61

〈研究トピックス〉

LNG タンク受入リード管内のガス巻込現象の実験的研究 内田博幸、新井達也、桜井民雄、西郷一浩 (I H I)	64
--	----

〈賛助会員紹介〉

石川島播磨重工業(株)技術研究所(横浜)	小熊正人(石川島播磨重工業(株)技術研究所)	65
----------------------------	------------------------------	----

〈行事カレンダー〉	69
-----------------	----

〈支部活動報告〉

東海支部活動報告	70
----------------	----

〈お知らせ〉

第35回日本伝熱シンポジウムのご案内	71
パソコンによる熱と流れの入門	75
燃焼反応と流れの数値計算	76
平成10年度熱流体フォーラム講演会開催のご案内	77
マイクロスケール熱・流体现象に関するシンポジウム	78
[Microscale Heat Transfer] Eurotherm Seminar 57	79
第3回複雑乱流場の熱輸送シンポジウムー人間環境における浮力流れの研究と設計の最前線ー	80
第5回アジア学術会議ー科学者フォーラムー	81
第26回可視化情報シンポジウム講演募集	81
「伝熱研究」の表紙の変更にあたって(第36期編集出版部会)	82
「伝熱研究」会告の書き方	82
「伝熱研究」原稿の書き方	83
事務局からの連絡	84
日本伝熱学会、入会申込み、変更届用紙	85

インターネット情報サービス

- <http://htsj.mes.titech.ac.jp/htsj.html>
最新の会告・行事の予定等を提供
- htsj-info@mes.titech.ac.jp
最新の情報を電子メールで受け取りたい方のための電子メールアドレスの登録受付
- htsj@mes.titech.ac.jp
事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.37, No.144, January, 1998

CONTENTS

<Essay>

Thoughts on Heat Transfer Research

Takehiro Ito (Kyushu University) 1

**<Special Issue: Recent Progress and Future Development of Research on
Absorption Chillers and Heat Pumps>**

Preface to Special Issue: Recent Progress and Future Development of Research on Absorption Chillers
and Heat Pumps

Itsuki Morioka (Tokushima University, Dept. of Mechanical Engineering)
Akira Nakayama (Shizuoka University, Dept. of Mechanical Engineering) 3

Advanced Absorption Heat Pump Cycles

Takao Kashiwagi and Yoshifumi Kunugi (Department of Mechanical Systems Engineering, Tokyo
University of Agriculture & Technology) 4

Experiment and Heat-Mass Transfer Analysis of a Vertical Falling-Film Type of Generator

Akira Matsuda and Kenji Kawasaki (Dept. Applied Chemistry, Ehime University) 11

Enhancement of Absorption by Surfactant

Eiji Hihara and Isamu Fujita (The University of Tokyo) 20

Heat Transfer Enhancement for Absorber of Absorption Heat Pump

Masahiro Furukawa and Eiichi Enomoto (Sanyo Electric Co.,Ltd., Commercial Air Conditioning
Division)

Naoe Sasaki (Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Research & Development Center)..... 27

Research and Development on Compact Absorption Chiller-Heater

Ritsu Homma and Atsushi Shitara (Tokyo Gas Co., Ltd., Energy Technology Research Institute) ... 34

<From Research Notes: Still Unsucceeded Research on Heat Transfer Subjects- II >

Prefacè to "From Research Notes"---Still Unsucceeded Research on Heat Transfer Subjects- II ---

Masaya Kumada (Gifu University)
Yoshiyuki Kozawa (Takasago Thermal Engineering Co. Ltd.) 44

My Belief Built up through Failure

Takabumi Nakahara (Aichi Institute of Technology) 46

Clear Understanding on the Flow and Thermal Behavior

Masaru Ishizuka (R & D Center, Toshiba Corporation) 48

Against the Hurdles of Technical Problems and Manufacturing Cost Tokuji Matsuo (Mitsubishi Heavy Industry, Ltd.) Masayoshi Hiramatsu (Chubu Electric Power Co., Ltd.)	50
High-performance Cooling Engineering in a Beer Dispenser Yoshiyuki Kozawa (R & D Center, Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)	52
<Memorial Tributes>	
Nobuyuki Araki (Shizuoka University)	57
Good-bye, Professor Ohtake Yasuo Kurosaki (The University of Electro-Communications)	58
Grateful to the late Professor Kazutomo Ohtake Ken Okazaki (Tokyo Institute of Technology)	59
Memories of Professor Kazutomo Ohtake Kenzo Kitamura (Toyohashi University of Technology)	60
<World Hot Youth>	
Thermal Measurement in Microscopic Scale by Using the Atomic Force Microscopy ~ A Report from University of California, Berkeley ~ Masanobu Igeta (University of California, Berkeley)	61
<Research Topics>	
Experimental Study on Gas Entrainment Phenomena in a Leading Pipe of LNG Tanks Hiroyuki Uchida, Tatsuya Arai, Tamio Sakurai and Kazuhiro Saigo (IHI)	64
<Profile of Industrial Member>	
Research Institute, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. Masahito Oguma (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)	65
<Calendar>	69
<Reports on the Activities of Chapters>	70
<Announcements>	71

伝熱研究をめぐる随想

Thoughts on Heat Transfer Research

伊藤 猛宏 (九州大学)

Takehiro ITO (Kyushu University)

タイトルの先頭のところの伝熱研究は本誌のことではなく、教育機関における文字通りの意味の伝熱研究を多少とも考えてみようという趣旨です。

伝熱偏重

教育的雰囲気における伝熱研究が、伝熱偏重になっていないかという問いかけであります。関連する周辺学問分野の中での伝熱の位置付けが十分ではないという主旨です。学生さんがまとめたと思われる論文を読み、研究発表を聴き、あるいは対話などを通し、常々このように危惧しております。以下の諸点などの認識を高めるような訓練が不足しているように観察しております。

(熱力学)問題の系に存在する不平衡はどのようなものか、その不平衡はどのようにしてもたらされ、どのようにして維持されているか、系を平衡に向かわせる力はなにか、到達されるべき平衡はいかなる意味での平衡であるか、つまり完全な意味での平衡の要件からなにかが拘束されているか。問題の現象や提案する設計による装置の特性をエネルギーの保存やエントロピーの生成の観点から考察してみたか。

(熱物性)伝熱を担う物質の種類が多様化しているために、その性質(property)がよくはわからないのに、よくはわからない性質を使って実験結果を評価したり、整理式を作ったり、理論解析をしたりすることがあります。これらの結果は使用した性質の値や特性に深く関係しているにも関わらず、使用する性質の吟味、使用した性質の記述が十分でないことがあります。性質は係数である程度の認識で、その評価や計算法の改善が疎かになっては困ります。

(流体力学)運動方程式や構成方程式により系の運動的挙動を閉じた形で記述することはできても、教科書の例題以外では、これらがそのまま解けることはまずありません。様々な理由付けで重要な項のみ

を残すことになります。この作業に十分な情熱と時間を充てて欲しいものです。また、ベクトル場や構成方程式の意味とか、これらの直感的把握とか立ち止まって考え込むべき事項がたくさんあります。

研究偏重

教官も学生も研究偏重になっていないかという問いかけであります。これは明らかに教官や学生の評価のあり方によっています。つまり、論文を書いた、いくつ書いたというようなことがいろいろ場面で個人や機関を評価する際の大きな要素になっているという現実を反映しております。そのために、目的や価値が曖昧な論文の洪水になっているように観察しております。

この問題の解決には、教育機関の中での教育理念や評価制度の見直しが必要であります。社会の、特に教育・科学行政や企業の研究開発思想などが深く関わっております。安直に評価するための指標を求めるとか、目に見えやすい結果を欲しがるとか、容易に是正できそうにありません。

しかしながら、少なくとも博士前期(修士)課程の間までは、もっと教育や基礎訓練に重点を置いた方が、学生の将来の大成にとっても好ましく、我が国の産業の独創的技術基盤を涵養する所以ではないかという私見であります。理由を二三挙げますと、(1)学部教科の理解が徹底していないので、これを補うべきである。(2)関連する周辺学問分野の教育を充実させる。(3)多様なハードウェアに接触する機会を与える。

熱工学学会

伝熱学会より熱工学学会の方がよいのではないかという提案です。"学"が二つ続いては語呂が悪いの

で、熱工学会の方がよいとか、そうすると“熱工”の部分は機械学会や電気学会の“機械”や“電気”に相当するような一つの概念ではないのでまずい、とかの字づらの議論とか、関連学会等との摩擦や干渉の議論は差し置いて、提案の主旨を述べます。

伝熱では範囲が狭いのではないかという意味です。現在の伝熱学会における研究発表や論文には、現実的には“伝熱”の中に納まっていないようなものも散見されますので、名称に拘泥しないでもよろしいという意見もありましょう。それでも“狭いのではないか”と思いますのは、伝熱学会の“伝熱”が、本学会を主な活躍舞台にしている若い研究者や学生の視野や責任範囲?の認識を狭めてはいないかと愚考するからであります。

むすび

多少差し障りのあることも書きました。差し障りもなく、物議も醸さないようでは、なにも書かないのと同じであるという思想であります。我が国が economic giant と呼ばれるようになって久しいので

はありますが、“economic”の付されない真の giant でありたいという思いがこのように書くことになりました。

数年前 JANAF 表というものを参照する必要が発生し、データベースを検索しましたところ、我が国には数セット(5)しか備えられていないことが判明しました。データベースが悪かった、データベースが古かったということかも知れませんが、愕然としました。ロケットも飛ばし、ガス・タービンもどんどん生産する一方で、我が国独自の JANAF 表のようなものは存在しない、そのようなものを作成する必要がなかった、現在もその機運はない、などを考え、イケナさはハンパでないと嘆じたのものであります。

以上、筆者の乏しい経験と知識に基づく誤解や間違い多々があろうかと恐れます。また、あれが悪い、これはおかしいなどと気軽に言えるような歳格好ではすでになく、“それもこれもみんなお前さん達の罪であると思いなさい”というような声が聞こえてきます。

特集「吸収ヒートポンプの現状と将来展望」にあたって

特 集

*Preface to Special Issue: Recent Progress and Future Development of
Research on Absorption Chillers and Heat Pumps*

第36期編集委員会

森岡 齋(徳島大学工学部機械工学科), 中山 顕(静岡大学工学部機械工学科)
*Itsuki MORIOKA (Tokushima University, Dept. of Mechanical Engineering) and
Akira NAKAYAMA (Shizuoka University, Dept. of Mechanical Engineering)*

臭化リチウム水溶液を用いた吸収冷凍機(ヒートポンプ)の歴史は古く,日本では1957年に第1号機が製造されている⁽¹⁾。その後,関係者の精力的な努力によって性能も向上してきた。現在は二重効用が使われているが,三重効用の声も聞かれる。最近では,地球環境保全の掛け声が強くなってきており,脱フロンクーラーあるいはヒートポンプとして注目されてきている。最近になって,吸収ヒートポンプ全般に亘った大部な解説書も出されている⁽²⁾。それにしても,フロンを用いた蒸気圧縮式の冷凍機(ヒートポンプ)のように市民に身近な存在には,まだなっていない。熱源を考えても,高温再生器では産業用の工場廃熱を利用するものから燃料の燃焼熱を利用したビル空調用の冷温水機までそろっているが,冷却には冷却塔利用の冷却水しか使えない状態である。

この分野における現在の開発研究の目的は多様である。すなわち,性能(成績係数)向上をめざして,空気冷却を可能とするために,また装置をコンパクト化するために,さらには起動時間を短縮するために,などなど多くの目的で研究が行われている。この特集では,吸収冷凍機(ヒートポンプ)の開発研究の中から,主だったテーマのいくつかを選んで寄稿をお願いした。ただ,「伝熱研究」の読者が伝熱現象に興味を持つことを考えて,その方面の研究記事を多くした。その結果,この特集題名についての研

究紹介を網羅したのではなく,大きな偏りがあることをお許し願いたい。たとえば,高温での安定性確保,高濃度での結晶回避,などの目的で作動流体の研究も盛んである。熱工学的にはもちろん,製品・装置としてはこの分野の研究は必要不可欠なものと考えているが,作動流体の記事依頼はしなかった。最近では日本においても,アンモニア水溶液を用いた吸収冷凍機の研究が多くなってきているが,臭化リチウム水溶液を用いた研究紹介に限定した。

今回の特集では,吸収ヒートポンプおよびその利用全般の解説をも兼ねて,サイクルを主題とした記事をお願いできた。次には,再生器と吸収器における伝熱および物質移動に関して,最新の学術研究と開発研究の記事をお願いした。これら再生器と吸収器の研究を中心として,高性能でしかもコンパクトな装置の開発が進むことを期待している。最後に,執筆者にはお忙しいにも拘わらず,寄稿を快く承諾していただいたことに対し,深く感謝の意を表します。

文献

- (1)久保三郎,炎と水と風 吸収冷凍機物語,(1995),(株)石油化学新聞社.
- (2)(財)ヒートポンプ技術開発センター,吸収ヒートポンプの進展,(1995),(株)ガス事業新聞社.

アドバンスト吸収ヒートポンプサイクル

Advanced Absorption Heat Pump Cycles

柏木 孝夫、功刀 能文 (東京農工大学工学部機械システム工学科)
 Takao KASHIWAGI and Yoshifumi KUNUGI (Department of Mechanical
 Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture & Technology)

1 はじめに

地球環境と省エネルギーのための技術開発が急務であり、その重要な施策として、排熱の徹底的利用が提案されている。とくに冷凍には、発電できなくなった残りの排熱を利用すべきであり、吸収ヒートポンプは、このように熱を多段階で活用するカスケード利用に最も適した、排熱利用冷凍機として期待されている。さらに、自然冷媒を使用するという特徴からも、時代の要請に適合した機器である。

その基本となるのが、ヒートポンプサイクルであり、従来から多くのサイクルが発表され、紹介されている。とくに最近になって世界をあげての研究、開発、考案が盛んに進められている^{1)~18)}。

本稿ではいままで発表されている吸収ヒートポンプサイクルを分類し、機能、目的、方式、構成などと特徴についてまとめて系統的に解説し、展望する。

なお、ここでいう吸収ヒートポンプは、吸収冷凍機、吸収冷温水機、第一種吸収ヒートポンプ、第二種吸収ヒートポンプなどを含んだ上位の概念を表している。

用語・記号等

- 元数 : 互いに混じり合わない作動媒体の組合せ数
- 段数 : 吸収器・蒸発器の対の数又は溶液サイクルの数
- 効用数 : 冷媒の発生回数をいい、冷房時の COP_i と等しい
- COP : 成績係数、COP=(熱出力)/(熱入力)
- COP_i : 理想成績係数、授受した熱量が冷媒の潜熱だけに使用される場合の成績係数
- G : 再生器
- C : 凝縮器
- E : 蒸発器
- A : 吸収器
- COMP : 圧縮機
- H₂O-LiBr : 冷媒が水、吸収剤が臭化リチウムの系
- NH₃-H₂O : 冷媒がアンモニア、吸収剤が水の系

2 吸収サイクルの基本

吸収サイクルは、再生器、凝縮器、蒸発器、吸収器という基本機器のなかに冷媒と吸収剤が状態変化しながら流れ、外部と熱交換することで形成される。一般に吸収サイクルは、冷媒-吸収剤系の圧力-温度-濃度の関係図、いわゆるデューリング線図上に表示されることが多い。図1に水-臭化リチウム系のデューリング線図を示す。この図で、縦軸は圧力、横軸は二成分溶液の温度、右上がり線は臭化リチウムの等濃度線で、左端が濃度ゼロ、この場合冷媒の水を表す。濃度 70%付近の曲線は、臭化リチウムの結晶線である。

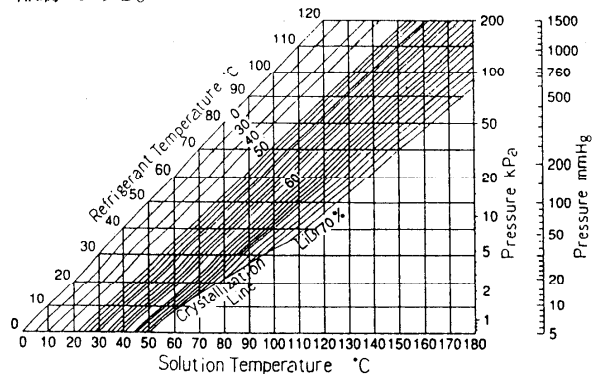


図1 水-臭化リチウム系のデューリング線図

図2に、デューリング線図上に、基本的な吸収サイクルを示す。サイクルは、再生器 G、凝縮器 C、蒸発器 E、吸収器 A からなる。A で生成された濃度 60% の溶液は、昇圧された後 G で加熱されて冷媒蒸気を発生し、64%の溶液に濃縮される。この蒸気は、C で放熱して凝縮した後 E に流入し、冷熱を発生して蒸発する。一方、G の 64%溶液は、A に入って放熱しながら E からの蒸気を吸収して 60%の溶液に希釈される。このように、A と G とを時計まわりに循環する溶液のサイクルと、C から E への冷媒の流れとにより、吸収サイクルは成立つ。ここで、G と C とが高圧、E と A が低圧である。

表1 アドバンスト吸収サイクル

目的	方式	一元			二元	三元
		一段	二段	三段	二段	二段
COP 向上 (増熱型)	凝縮熱回収	二重効用 三重効用 四重効用(圧縮機付) 六重効用	三重効用(リゾープション・圧縮機付)		二重効用	
	吸収熱回収	GAX RA	中圧二重効用 Semi GAX(I II) Adv.RA	リゾープション 付中圧二重効用 (低圧三重効用)		
	凝縮・吸収熱 回収		三重効用	四重効用	三重効用、デュアル 吸着付三重効用 リゾープション付四重効用 四重効用、五重効用 六重効用	トリプル 七重効用
	蒸発熱増大	補助冷媒	リゾープション I			
	その他			第三種ヒート ポンプ		
昇温幅拡大 (昇温型)		SRATA	二段吸収、二段 リゾープション付高温吸収II		二元	
	冷暖房同時 運転			リゾープション 付高温吸収I		
凝縮圧力 低減			リゾープション II			

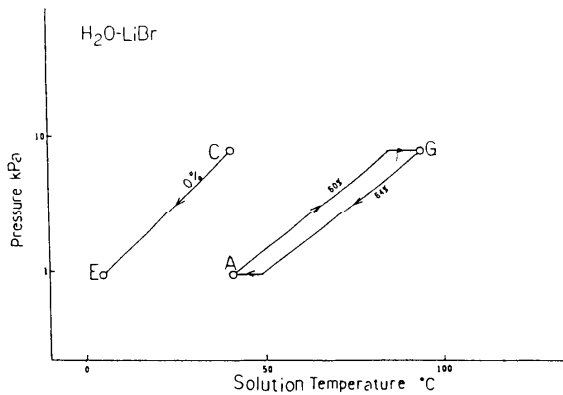


図2 基本的な吸収サイクル

3 吸収ヒートポンプサイクルの分類

吸収ヒートポンプには、冷房用、冷凍用、第一種ヒートポンプ用、第二種ヒートポンプ用、それに発電・冷凍用などが含まれる。駆動エネルギー別では、熱駆動のほか、熱・電力駆動、すなわち吸収/圧縮ハイブリッドサイクルもある。ここで、吸収ヒートポンプサイクルを機能、目的別に分類すると、COP 向上のための増熱型、昇温幅拡大のための昇温型、それに凝縮圧力低減型に分類される。COP 向上型を方式で

方式で分類すると、凝縮熱回収式、吸収熱回収式、凝縮・吸収熱回収式、蒸発熱増大式、その他となる。

ここで、サイクルの目的、方式、それに元数と段数とを分類して表を作成し、各種のサイクル名を書き込んだのが表1である。本稿では、代表的なサイクルをデューリング線図を使って説明するが、作動媒体の組合せが2以上、すなわち、ほとんどの二元、三元のサイクルの場合は圧力軸は省略した。また、線図上のサイクルには溶液の目安の濃度を示した。

なお、これらのサイクルにおいて、外部との熱の授受は、

再生器：加熱、入熱

凝縮器：排熱、放熱

蒸発器：吸熱、加熱

吸収器：排熱、放熱

と表すことにする。

4 COP 向上増熱型サイクル

4.1 凝縮熱を回収するサイクル

代表的な三重効用サイクル¹¹⁾について説明する。

このサイクルは、図3に示すように、二重効用サイクルの上段側にさらにサイクルを設けて 三重効用

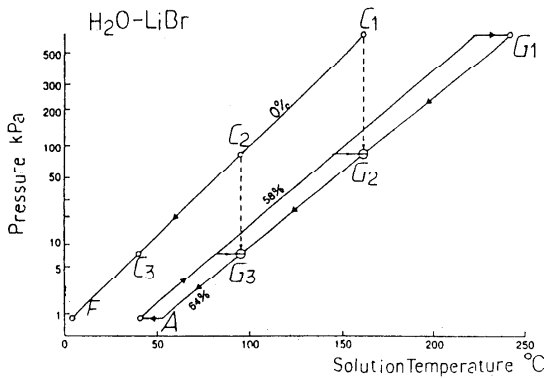


図3 三重効用サイクル

としたものである。図3において、高温再生器 G1 で発生した冷媒蒸気は高温凝縮器 C1 で凝縮し、その凝縮熱で中温再生器 G2 を加熱する。G2 で発生した冷媒蒸気は中温凝縮器 C2 で凝縮し、その凝縮熱で低温再生器 G3 を加熱する。G3 で発生した冷媒蒸気は低温凝縮器 C3 で凝縮し、C1 及び C2 からの冷媒と合流して蒸発器 E に流れ、そこで蒸発して冷熱を発生する。G1、G2、G3 で冷媒を放出して濃縮された溶液はともに吸収器 A に流れ、E で蒸発した冷媒の蒸気を吸収して希溶液になる。希溶液は、3 個の再生器に供給されるが、3 個に並列に送られるパラレルフローと、G1 から G2、G3 へと流すシリーズフローとがある。

三重効用サイクルでは、G1 を 1 の熱量で加熱すると、冷媒は 3 回、すなわち 3 倍発生するので COPi は 3 になる。

4.2 吸収熱を回収するサイクル

(1) GAX サイクル¹²⁾

アンモニア-水系のサイクルは、図4に示すように、冷媒を多く含んだ濃溶液と薄い希溶液との濃度差、すなわち沸点上昇分が大きいのが特徴である。この図で、吸収器 A において希溶液から濃溶液に移行する吸収過程と、再生器 G において濃溶液から希溶液に移行する再生過程との温度が [1] の分オーバーラップしている。そこで図の点線のように、A の排熱の高温部 [1] の熱を G の低温部の加熱の一部に使用できるので G への外部からの加熱量が減少し、COPi > 1 にすることができる。これが、Generator Absorber Heat Exchanger, 略して GAX サイクルである。

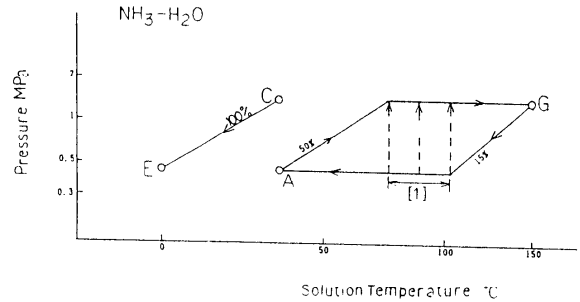


図4 GAX サイクル

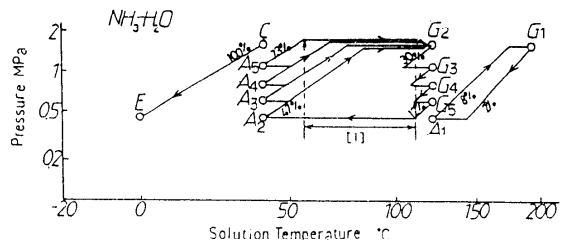


図5 アドバンスト RA サイクル

(2) Advanced RA サイクル¹³⁾

図5に示すように、GAX サイクルをさらに改良したサイクルである。これは、高温再生器 G1 と高温吸収器 A1 とよりなる高温サイクルと再生器 G2、G3、G4、G5 と吸収器 A1、A2、A3、A4、A5 とよりなる低温サイクル、それに凝縮器 C、蒸発器 E とで構成される。

G1、C、E、A1 よりなる高温サイクルは通常の単効用サイクルであり、低温サイクルは複雑に分岐しているが、基本となるのは G2、C、E、A2 よりなっている。高温サイクルと低温サイクルとの接点は、高温サイクルの A1 の排熱で低温サイクルの G2、G3、G4、G5 を加熱すること、C と E とが共用であること、C と低温サイクルの A2、A3、A4、A5 が同じ放熱源に排熱することにある。

低温サイクルの再生器群では、最高圧再生器 G2 で冷媒蒸気を発生した希溶液は、過冷却後減圧されて再び冷媒蒸気を発生させ、さらに高温サイクルの A1 に加熱されて冷媒蒸気を発生させ、G3 になる。同じように、G3 での希溶液は過冷却後減圧され A1 に加熱されて G4 に、続いて G5 になり溶液は最も薄い濃度になる。

一方、低温サイクルの吸収器群では、最低圧吸収器 A2 で冷媒蒸気を吸収した濃溶液は、G5 の圧力まで昇圧されて G5 で発生した冷媒蒸気を吸収して A3 になる。同じように、A3 での濃溶液は、G4 の圧力まで昇圧され G4 からの冷媒蒸気を吸収して A4 に、続い

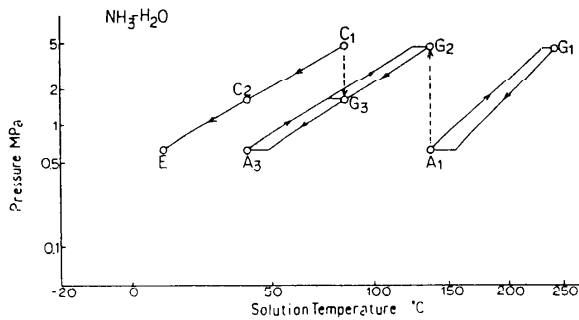


図6 四重効用サイクル

てA5になり溶液は最も濃い濃度になる。

このように、低温サイクルでは濃溶液と希溶液との濃度幅が広がるので、A2とG2とでは温度のラップ分が[1]と増し、多量の吸収熱を再生器加熱に使用することができ、GAXサイクルよりもCOPは向上する。

4.3 凝縮・吸収熱を回収するサイクル

(1) 一元二重効用サイクル¹⁰⁾

アンモニア-水系の二重効用サイクルの高温側に単効用を設けたサイクルである。図6に示すように、高温再生器G1と高温吸収器A1からなる単効用液サイクル、中温再生器G2、低温再生器G3、低温吸収器A2からなる二重効用液サイクル、それに高温凝縮器C1、低温凝縮器C2、蒸発器Eが結合されている。ここで、G2はA1の排熱で、G3はC1の排熱でそれぞれ加熱される。G1を1の熱量で加熱すると、A1の排熱量は1、C1の排熱量は2となるのでEの吸熱量は4になって四重効用が形成され、COP_i=4になる。

(2) 吸着付三重効用サイクル¹⁴⁾

このサイクルは、吸着サイクルと吸収サイクルと結合したもので、図7に示すように、高温側がアンモニア-塩化ニッケル系の吸着サイクル、低温側が水-臭化リチウム系の二重効用サイクルであり、吸着サイクルは、デソバD、凝縮器C1、蒸発器E1、リソバRで構成される。水-臭化リチウム系サイクルは、高温再生器G2、高温凝縮器C2、低温再生器G3、低温凝縮器C3、蒸発器E2、吸収器Aとからなる。

ここで、外部から加熱されてDで脱着発生した冷媒蒸気はC1で凝縮し、E1で蒸発して冷熱を発生する。Dで脱着後の吸着剤は低温のRとなり、E1からの冷媒蒸気を吸着して吸着熱を放出する。この吸着サイクルの排熱で吸収サイクルのG2を加熱し、さらにC2の排熱でG3を加熱する。

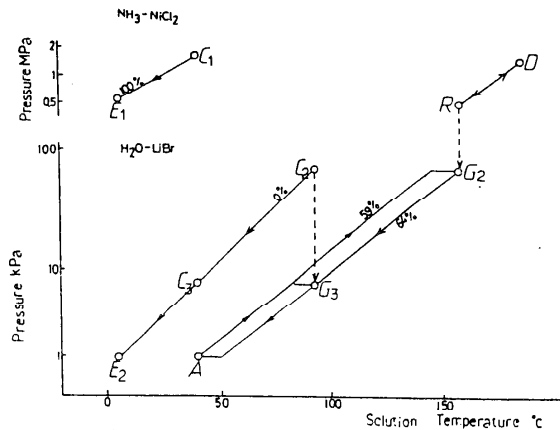


図7 吸着付三重効用サイクル

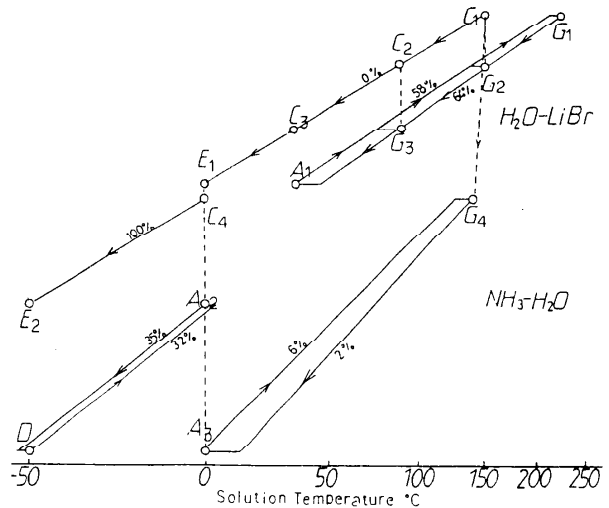


図8 リゾープション付四重効用サイクル

このサイクルは、Dの加熱量1に対して冷熱は、吸着サイクルのE1で1、吸収サイクルのE2で2得られ、結局COP_i=3になる。このサイクルを提案者は、Three-Stage Triple Effectと呼んでいる。

(3) リゾープション付四重効用サイクル

蒸発温度-50°C、吸収・凝縮温度40°Cという低温用サイクルである。図8のように、高段側の水-臭化リチウム系三重効用サイクルと低段側のアンモニア-水系リゾープション付単効用サイクルとを結合させてある。高段サイクルは、高温、中温、低温の再生器G1、G2、G3、高温、中温、低温の凝縮器C1、C2、C3、それに蒸発器E1と吸収器A1とで構成され、C1の排熱でG2が、C2の排熱でG3が加熱される。このサイクルのE1は0°C、C3とA1は40°Cである。

一方、低段サイクルは、再生器G4、凝縮器C4、蒸発器E2、高段吸収器A2、デソバD、低段吸収器A3

で構成される。ここで G4 は、高段サイクルの高温凝縮器 C1 の排熱で加熱され、C4、A2、A3 は高段サイクルの蒸発器 E1 により冷却される。このサイクルの E2、D は -50°C 、E1、C4、A2、A3 は 0°C である。

ここで、高段サイクルの G1 の加熱量 1 に対して C1 の排熱量は、G2 へ $1/2.5$ と、低段サイクルの G4 へ $1.5/2.5$ とに分配される。これにより、C2 の排熱量は $1/2.5$ となりそれが G3 を加熱するので、C3 の排熱量も $1/2.5$ になる。したがって、E1 での吸熱量は、 $1 + 1/2.5 + 1/2.5 = 4.5/2.5$ になる。

また低段サイクルでは、G4 の排熱量、E2 の吸熱量、A2 の排熱量、D の吸熱量、A3 の排熱量はいずれも $1.5/2.5$ となる。これらの熱収支によって、C4、A2、A3 の排熱量は、E1 の吸熱量とバランスし、結局、 -50°C での冷熱は、 $1.5/2.5 + 1.5/2.5 = 3/2.5$ となり、このサイクルの $\text{COP}_i = 1.2$ になる。

(4) 七重効用サイクル¹⁵⁾

いままでで最も効用数の大きいサイクルである。図 9 に示すように、三元三段サイクルで、高温サイクルは水-水酸化ナトリウム系の高温再生器 G1、高温凝縮器 C1、蒸発器 E、高温吸収器 A1 で構成され、中温サイクルは同じく、水-水酸化ナトリウム系の中温再生器 G2、中温凝縮器 C2、蒸発器 E、中温吸収器 A2 からなり、低温サイクルは水-臭化リチウム系の低温再生器 G3、低温凝縮器 C3、蒸発器 E、低温吸収器 A3 より成立っている。

このサイクルにおいて、G2 は C1 と A1 の排熱で加熱され、G3 は C2 と A2 の排熱で加熱される。したがって、G1 の加熱量 1 に対して、G2 の加熱量は 2、さらに G3 の加熱量は 4 となり、全体の冷媒発生回数、すなわち冷媒発生量は 7 となるので、 $\text{COP}_i = 7$ である。

このほか、多重効用サイクルについて広範囲な考察もある。

5 吸収/圧縮ハイブリッドサイクル

吸収サイクルに圧縮機を導入したのがハイブリッドサイクルである。このサイクルは多くの場合アンモニア-水系で実現する。

5.1 ハイブリッドサイクルの特長

(1) 圧縮比を適宜設定することにより、入熱温度・出熱温度を自由にかえられる。これにより、いままで利用できなかった低温度熱源が利用できるようになり、さらに高い昇温幅も実現できるようになる。

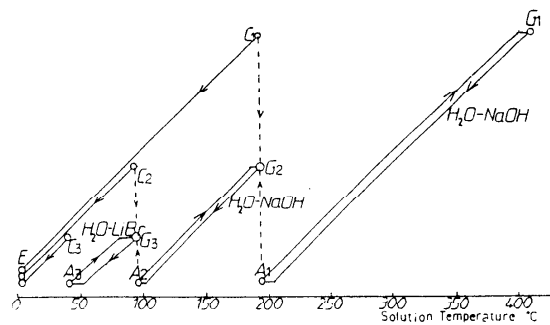


図 9 七重効用サイクル

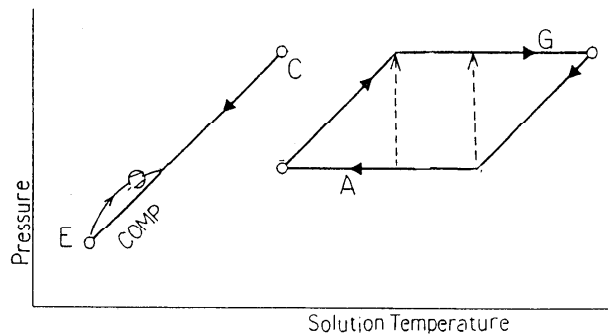


図 10 GAX 付ハイブリッドサイクル

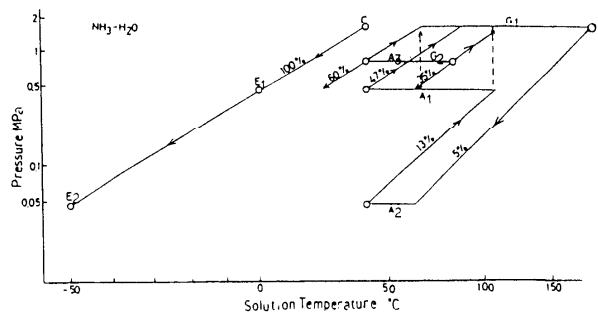


図 11 二温度蒸発 RA サイクル

- (2) わずかな圧縮動力で効率が向上する。
- (3) 余剰電力、夜間電力が活用できる。

5.2 ハイブリッドサイクル¹⁶⁾⁻¹⁸⁾

代表例として低吸熱源利用 GAX サイクルについて説明する。このサイクルでは、図 10 のように、低吸熱源温度の蒸発器 E で蒸発した冷媒蒸気を、圧縮機 COMP で吸収圧力まで昇圧し吸収器 A で希溶液に吸収させる。A でできた濃溶液は昇圧され、再生器 G で加熱されて冷媒蒸気を発生し希溶液になる。冷媒蒸気は凝縮器 C で凝縮し E に流れる。ここで、点線のように GAX を導入し高効率型化をねらっている。

6 低温用サイクル

凝縮・吸収温度 40°Cで、蒸発温度-50°Cを得るアドバンストサイクルもいくつか考えられる。図8でリソープション付四重効用サイクルを示したので、ここでは二温度蒸発 RA サイクルについて説明する。RAとは、Regenerative Absorption のことで図11のように、このサイクルでは-50°Cの蒸発器 E2 のほかに、蒸発器 E1 を加える。この場合 E1 は0°Cである。E2で蒸発した冷媒蒸気を低压吸収器 A2 で吸収し、E1の蒸気を中圧吸収器 A1 で吸収する。

ここで、A1 からの濃溶液が、途中で中圧再生器 G2 と高压吸収器 A3 に分流し、G2 で発生した冷媒蒸気を A3 で吸収して第2の濃溶液となって高压再生器 G1 に流入する。これにより、図の点線で示すように、より多くの A1 の排熱を G1 の加熱に利用することができるようになり、COP_i > 1 となる。なお、C は A1、A2、A3 と同温度の凝縮器である。

7 発電・冷凍サイクル

従来の、単成分を使ったランキンサイクルのような熱サイクルに、アンモニア-水系のような二成分混合物を使用すると、いわゆるカーナサイクルのように特長ある発電サイクルになる。このサイクルは吸収サイクルを応用した熱サイクルである。この発電サイクルに冷凍サイクルを結合させたのが発電・冷凍サイクルである。

図12に発電・冷凍サイクルを示す。まず発電サイクルは、再生器 G1 と吸収器 A よりなる液サイクルがあり、G1 に入る濃溶液が分離して、G1 で発生したほぼアンモニア 100%に近い蒸気と混合器 Mix で混合して、70%の気液混合物ができる。これは、凝縮器 C1、いわゆる復水器で冷却され溶液になる。

この70%溶液は、ポンプでおよそ 11MPa まで昇圧されボイラに入り加熱される。溶液は 165°Cで沸騰をはじめ、最後には 500°Cの過熱蒸気になる。この蒸気はタービンに入って膨張仕事をして軸出力を発生させ、およそ 0.17MPa にまで減圧する。タービンを出たおよそ 85°Cの蒸気は、A で G1 からの希溶液に吸収されて濃溶液になって復液する。

このサイクルでは、タービン出口圧力は A の圧力であり、A の濃度と温度により決まる。また、G1 はタービン出口の低压蒸気の余熱で加熱される。

次に冷凍サイクルでは、あらたに高温再生器 G2、高温凝縮器 C2、蒸発器 E が加わり、A は共通でサイ

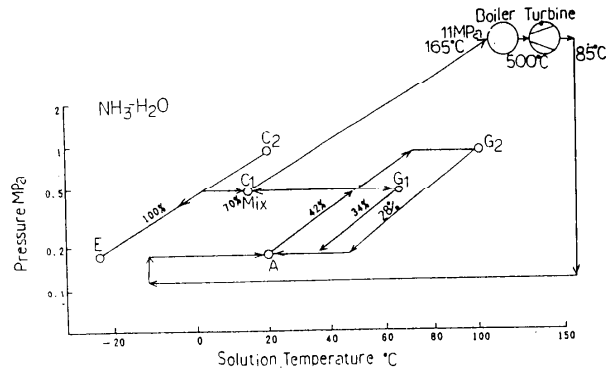


図12 発電・冷凍サイクル

クルを構成する。このサイクルでは、G2 でできた第2の希溶液に E で蒸発した冷媒蒸気が吸収される。A の濃溶液は、分流されて、発電サイクルの G1 と冷凍サイクルの G2 にそれぞれ流入する。

発電・冷凍サイクルの特徴は、A の共用・共通化にある。すなわち、A には、G1 からの希溶液、G2 からの希溶液、タービンからの混合蒸気、E からの冷媒蒸気が流入し、蒸気が溶液に吸収して濃度 42%の濃溶液をつくることにある。このサイクルの G2 の加熱には、ボイラの排熱が使われ、E の冷熱は各種冷凍に供せられる。

8 吸収サイクルの展望

(1) 水冷媒系

冷房用、第二種ヒートポンプ、第三種ヒートポンプについては主力である。吸収剤が臭化リチウムの系では n 重効用化が進むであろう。臭化リチウムに他物質を加えた吸収剤の系では、n 元化、n 段化、n 重効用化、さらには空冷化に期待できる。

(2) アンモニア冷媒系

冷房、冷凍用、ヒートポンプ用として広範囲に活用できる。吸着サイクルとの結合も新しい可能性をもっている。GAX 及び改良 GAX サイクルが実用に近いと考えられる。リソープション及び改良リソープションの応用はインパクトになりそうである。n 段化、n 元化、n 重効用化などバリエーション広い。とくに、冷凍用には特徴が生かせ期待できる。

(3) 水冷媒+アンモニア冷媒系

冷房用、冷凍用、ヒートポンプ用と全ての領域に適している。従来の技術に、新しい技術を付加した新機能、高効率サイクルを構築するための、n 元化、n 段化、n 重効用化に期待できる。

(4) 吸収/圧縮ハイブリッドサイクル

吸収⇔吸収/圧縮の切り替えサイクルが有望である。電力不足時⇔電力過剰時の切り替え運転が可能になれば、余剰電力を利用する電力負荷平準化に有効と考える。

(5) 吸収発電・冷凍サイクル

駆動エネルギーの多様化、出力形態の多様化に適しており、排熱利用、段階的熱利用システムに最適なサイクルであると考えられる。

(6) 実用化への始動に期待する。

9 おわりに

この分野の研究や考案が世界的に進められ、新しいサイクルがいくつか登場した。本稿では、いままで発表されり考案されたサイクルのうち代表的なものについて解説し展望した。読者各位のご参考になれば幸甚である。

10 文献

1. 柏木孝夫監修：吸収ヒートポンプの進展，pp.155-192，ガス事業新聞社，東京(1995)
2. 功刀能文，柏木孝夫：吸収ヒートポンプサイクル，日本冷凍空調学会論文集（寄稿中）
3. 柏木孝夫：吸収サイクルの基本原理とその応用システム，冷凍，62(711)，3(1987)
4. 柏木孝夫：吸収サイクルの多目的利用と冷凍空調システムへの貢献，冷凍，71(748)，162(1990)
5. 功刀能文：最新のアドバンスト吸収サイクルと作動媒体，冷凍，62(789)，683(1993)
6. 柏木孝夫：吸収ヒートポンプの進展，冷凍，72(832)，141(1997)
7. T.Kashiwagi: Overview of Advanced Thermally Activated and Hybrid Heat Pump Systems, "International Ab-Sorption Heat Pump Conference, Key Note Papers Vol. III (Montreal, Canada)", pp.37-49, Ab-Sorption '96 Organizing Committee, Varennes (1996)
8. M. Furutera, T. Origane, T. Sawada, Y. Kunugi, T. Kashiwagi, T. Takei, M. Aizawa and H. Mori: Advanced Absorption Heat Pump Cycles, "International Ab-Sorption Heat Pump Conference (Montreal, Canada)", pp.109-119, Ab-Sorption '96 Organizing Committee, Varennes (1996)
9. E. Ozaki, Y. Ikumi, K. Minato, T. Sugiyama, K. Yamagishi, I. Hashimoto, T. Kashiwagi and S. K. Lee: Comparative COP Evaluation on the Advanced NH₃-H₂O Absorption Heat Pump, "International Ab-Sorption Heat Pump Conference (Montreal, Canada)", pp.137-142, Ab-Sorption '96 Organizing Committee, Varennes (1996)
10. K. Cheung, Y. Hwang, J. F. Judge, K. Kolos, A. Singh and R. Radermacher: Performance assessment of multistage absorption cycles, Int. J. Refrig. 19(7), 473(1996)
11. N. Miyoshi, S. Sugimoto, M. Aizawa: Multi-effect absorption refrigerating machine, U. S. Patent No. 4, 551, 991(1985)
12. B. A. Phillips: Absorption Cycles for Air-cooled Solar Air Conditioning, ASHRAE Trans., 82(Part. 2), 966(1976)
13. K. Dao: Advanced regenerative absorption refrigeration cycles, U. S. Patent No. 4, 921, 515(1990)
14. P. Satzer, F. Ziegler, D. Stitou, B. Spinner and G. Alefeld: Advanced sorption chillers for gas cooling, ASHRAE Trans., 102, Pt. 1, AT-96-20-1(1996)
15. R. C. DeVault, W. J. Biermann: Seven-effect absorption refrigeration, U. S. Patent No. 4, 827, 728(1989)
16. T. Kashiwagi, A. Akisawa, Y. T. Kang and B. B. Saha: Next Generation Technologies for Advanced Energy Conversion Systems, "Proc. of 1997 IAMS Int. Seminar on Thermal and Fluid Engineering for Advanced Energy and Systems (Kasuga, Japan)", pp.1-12, Inst. of Advanced Material Study Kyushu Univ. (1997)
17. E. A. Groll and R. Radermacher: Vapor Compression Heat Pump with Solution Circuit and Desorber/Absorber Heat Exchange, "Proc. of the Int. Absorption Heat Pump Conf. AES-Vol. 31", pp. 463-469, ASME, New Orleans(1994)
18. N. Sawada, K. Minato, Y. Kunugi, T. Mochizuki and T. Kashiwagi: Cycle Simulation and COP Evaluation of Absorption Compression Hybrid Heat Pumps: Heat Amplifier Type, "Proc. of the Int. Absorption Heat Pump Conf. AES-Vol. 31", pp. 471-476, ASME, New Orleans(1994)

流下液膜式の再生器の性能と熱・物質移動解析

Experiment and Heat-Mass Transfer Analysis of a Vertical Falling-Film Type of Generator

松田 晃、川崎 健二 (愛媛大学工学部応用化学科)
Akira MATSUDA and Kenji KAWASAKI (Dept. Applied Chemistry, Ehime University)

1. はじめに

オゾン層破壊に対する非フロン化、夏季の昼間の冷房に対する脱電力化、および地球温暖化防止のための一層の省エネルギー化(排熱の有効利用)が現在の緊急の課題となっている。前二つに対しては水/臭化リチウム系、アンモニア/水系の吸収冷凍機、吸収ヒートポンプが有効であり、三番目の課題についてはこれら機器の一層の高効率化が要求される。そのためには蒸発器、吸収器、再生器、凝縮器および溶液熱交換機の各要素機器についての現象解明と簡便かつ精度の良い計算法が欠かせない。

冷熱を得ることが目的とされる吸収冷凍機では、吸収器、蒸発器に目が向けられるが、低温排熱を用いて冷熱を得る場合には、再生器の高性能化も重要となる。また、増熱、高温化を目的とする吸収ヒートポンプでも混合溶液中での熱と物質の同時移動が起こる再生器が重要である。

2. 各種再生器の比較

ガスや油炎きの吸収冷凍機の高温再生器は炉筒煙管方式か液管方式であり、二重効用の場合は高温再生器で発生した蒸気を用いて加熱する水平管式のプール沸騰による低温再生器を有するのが一般的である。

図1に炉筒部、プール沸騰、流下液膜の各方式の熱流束と温度推進力 ΔT_{sat} の関係を示す。古川ら¹⁾の高温再生器炉筒部での熱流束は高い値を有しているが、 ΔT_{sat} も 15~35 °C と大きく、かなりの加熱温度差がある条件下での値である。水平管式のプール沸騰^{2~5)}では 10 °C 以上の ΔT_{sat} では核沸騰が起って熱流束は急激に上昇するが、 ΔT_{sat} が 10 °C 以下では熱流束は高くない。それに対して、服部ら⁶⁾の水平管外の流下液膜式再生器では ΔT_{sat} が 2 から 10 °C でプール沸騰式の 2.5~5 倍になっている。さらに著者ら⁷⁾の垂直管流下液膜式の熱流束は $\Delta T_{sat} = 2\sim6$ °C でプール沸騰式の 10 倍程度

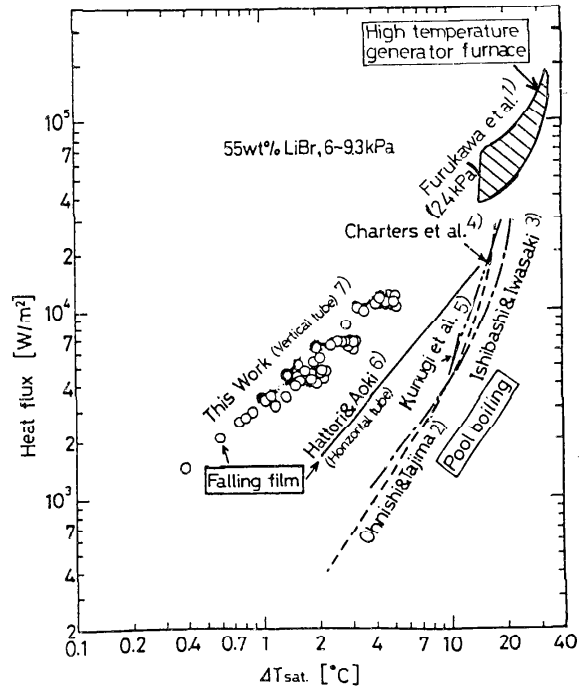


図1 各種再生器の熱流束の比較

になっている。垂直管の方が水平管より大きい熱流束となっているのは、垂直管の方が液膜が薄くなることや液膜の乱れが大きいことによると考えられる。このように流下液膜式の再生器は小さな温度推進力の範囲で大きな熱流束を与えることから、低温排熱を利用する吸収冷凍機や増熱・高温化を目的とする吸収ヒートポンプに適しているといえる。

ここでは低温度差で最も高い熱流束を与える垂直管流下液膜式の再生器に関する著者ら⁸⁾の熱・物質移動解析と実験結果について紹介する。なお、炉筒部およびプール沸騰式の再生器については古川ら⁹⁾の最近の一連の報告を参考にされたい。

3. 垂直管流下液膜式の再生器の熱・物質移動の解析

著者ら⁸⁾は後述するようにステンレス製の垂直管外面に LiBr 水溶液を流下させ管内の加熱水によって濃縮する再生実験を行っている。その場合における流下液膜、ステンレス管壁、加熱水の温度と濃度分布を模式的に図2に示す。再生器の性能として知りたいものは流下液膜からの水の蒸発速度 n_A と加熱水から流下液表面への熱流束 q である。これら両者を得るには液膜表面における温度 t_s と濃度 w_{As} (添字 A は水を B は LiBr を表す)を知ることが不可欠である。つまり、流下するに従って水が蒸発して変化していく t_s と w_{As} をいかにして求めるかが、解析のポイントになる。これは吸収器においても同じである。

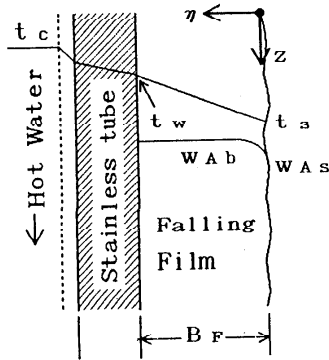


図2 流下液膜の温度と濃度分布

3.1 一方拡散の仮定

図2の流下液膜の表面では水だけが蒸発して LiBr は蒸発も吸収もされない。一方、壁面では水も LiBr も移動しない。そこで、液膜厚さ全体にわたって LiBr の物質流束が 0 であると仮定して、液膜内では水の一方的な拡散が起きているとモデル化する。

解析に当たり次のことを仮定する。

- (a) 再生器内の圧力は一定である。
- (b) 気液界面の温度、濃度は系内圧と平衡になっている。
- (c) 流れ方向の拡散および熱伝導は無視できる。

固定座標系に対する液膜厚さ方向の水の質量流束 n_A は固定座標系に対する Fick の法則により

$$n_A = -\rho_L D_L \frac{\Delta w_A}{\Delta \eta} + w_{Ab}(n_A + n_B) \quad (1)$$

と表される。これを物質移動係数 $k_L (= D_L / \Delta \eta)$ を用いて表すと、

$$n_A = k_L \rho_L (w_{Ab} - w_{As}) + w_{Ab}(n_A + n_B) \quad (2)$$

となる。ここで、LiBr は流下液膜から蒸発しないので LiBr の物質流束 n_B を 0 とおき(一方拡散の仮定)、次式が得られる。

$$n_A = k_L \rho_L \frac{(w_{Ab} - w_{As})}{(1 - w_{Ab})} \quad (3)$$

したがって、水の一方拡散としたときの n_A は等質量相互拡散($n_A = -n_B$)の場合の $1/(1-w_A)$ 倍となる。通常のガス吸収のように溶質の濃度が薄い($w_A \approx 0$)場合は両者の違いはないが、 $H_2O/LiBr$ 系の再生器のように LiBr の高濃度溶液($w_A = 0.38 \sim 0.45$)の場合はどちらの拡散モデルを用いるかによって計算結果は大きく変わってくる。なお、水の濃度が高くなってほとんど水になる($w_A \approx 1$)と式(3)による水の物質流束は非常に大きくなるが、そのような場合は物質移動抵抗は相対的に小さくなり、熱移動抵抗支配となる。

3.2 計算法

流下液を流れ方向に分割し、塔頂から i 番目の微小高さ Δz_i での液本体から界面への水の物質流束(蒸発速度) n_{Ai} は式(3)から次のようになる。

$$n_{Ai} = k_L \rho_L \frac{(w_{Abi} - w_{Asi})}{(1 - w_{Abi})} \quad (4)$$

一方、壁面から気液界面への熱流束 q_i は流下液膜の熱伝達係数 h_L を用いて

$$q_i = h_L (t_{wi} - t_{si}) \quad (5)$$

となる。これら両者は、界面への熱流束によって水が蒸発するので、次式で結びつけられる。

$$q_i = n_{Ai} (\Delta H + \Delta Hd) \quad (6)$$

ここで、 ΔH は LiBr 水溶液の蒸発潜熱、 ΔHd は希釈熱である。一方、加熱水から液膜への熱流束は q_i に等しくなるから

$$q_i = h_{cw} (t_{ci} - t_{wi}) \quad (7)$$

となる。ここで、 h_{cw} は加熱水と管壁を合わせた伝熱係数である。したがって、式(4)、(5)、(6)および式(7)より次式が得られる。

$$\frac{(t_{ci} - t_{si})}{(1/h_L) + (1/h_{cw})} = k_L \rho_L \frac{(w_{Abi} - w_{Asi})}{(1 - w_{Abi})} (\Delta H + \Delta Hd) \quad (8)$$

この式で加熱水温度 t_{ci} と液本体濃度 w_{Abi} が与えられれば式(8)および界面での平衡の条件から液膜表面における温度 t_{si} と濃度 w_{Asi} が試行錯誤法により求められ、 q_i 、 n_{Ai} が得られる。そして式(5)から管壁温度 t_{wi} が計算できる。

再生器入口における平均流速 \bar{u}_{z1} 、本体濃度 w_{Ab1} はそれぞれ次のように与えられる。

$$\bar{u}_{z1} = \frac{V_1}{\pi \cdot D \cdot B_F}, \quad w_{Ab1} = w_{A1} \quad (9)$$

水が蒸発することによる \bar{u}_z 、 w_{Ab} の変化は式(10)、式(11)で与えられる。

$$\bar{u}_{z(i+1)} = \bar{u}_{zi} - \frac{n_{Ai} \cdot \Delta Z_i}{B_F \cdot \rho_L} \quad (10)$$

$$w_{Ab(i+1)} = w_{Abi} - \frac{n_{Ai} \cdot \Delta Z_i (1 - w_{Abi})}{\bar{u}_{zi} \cdot B_F \cdot \rho_L - n_{Ai} \cdot \Delta Z_i} \quad (11)$$

ところで、本実験における流下液膜のレイノルズ数は 800 より小さく、流れは基本的には層流と見なすことが出来るので、流下液膜内での速度分布は放物線、温度分布は直線として出口の混合平均温度を求めても大きな誤りはないと考えられる。したがって、再生器出口における流下液の混合平均温度 t_2 は次式で計算される。

$$t_2 = \frac{\int_0^{B_F} u_{s2} \{1 - (\frac{\eta}{B_F})^2\} \{t_{s2} + \frac{\eta}{B_F} (t_{w2} - t_{s2})\} d\eta}{\int_0^{B_F} u_{s2} \{1 - (\frac{\eta}{B_F})^2\} d\eta} = (3t_{w2} + 5t_{s2})/8 \quad (12)$$

加熱水から流下液膜への熱の移動による加熱水の温度変化は次式で表される (c_p 、 G は加熱水の比熱と質量流量である)。

$$t_{c(i+1)} = t_{ci} - \frac{q_i \cdot \pi \cdot D \cdot \Delta Z_i}{c_p \cdot G} \quad (13)$$

3.3 物性値および流下液膜の特性値

LiBr 水溶液の物性値の中で密度、比熱、粘度、熱伝導度、蒸気圧、蒸発潜熱については Brunk¹⁰⁾ の紹介による式を用いた。液の分子拡散係数については柏木ら¹¹⁾ および Stokes¹²⁾ の測定値を Einstein-Stokes の形に相関した次式を用いた。

$$D_L = (3.468w_B^3 - 10.62w_B^2 + 4.684w_B + 1.106) \times 10^{-9} [(1 + 273.2)\mu_{25}]/(298.2\mu_L) \quad (14)$$

LiBr 水溶液の希釈熱は 40 wt% LiBr を越えると急激に大きくなり、柳場ら¹³⁾ による実測データを相関した次式で求めた。

$$\Delta Hd = 7365w_B^3 - 4920w_B^2 + 1094w_B - 74.90 \quad (15)$$

流下液膜の厚み B_F は新垣ら¹⁴⁾ がレイノルズ数 96~25200 に対して提出した次式で求めた。

$$B_F = (0.279 Re^{5/2} + 7.89 \times 10^{-8} Re^{9/2})^{2/15} \times \{(\rho_L^2 g)/(\mu_L^2)\}^{-1/3} \quad (16)$$

流下液膜の熱伝達係数は Chun & Seban¹⁵⁾ が垂直加熱管外面を流下する水の流下液膜からの蒸発実験で得た次式で求める(層流液膜の場合)。

$$h_L = 0.822 \left(\frac{4\Gamma}{\mu_L}\right)^{-0.22} \cdot \left(\frac{\mu_L^2}{\lambda_L^3 \rho_L^2 g}\right)^{-1/3} \quad (17)$$

一方、流下液膜の物質移動係数 k_L は、完全な層流とみなせる低流量域では、気液界面濃度一定の条件下で得た Pigford の級数解に対する近似式¹⁶⁾ を用いて得られる次の式で求める。

$$k_L = \frac{2D_L}{3B_F} \left\{ 5.12 + \frac{0.483(u_s B_F^2 / D_L \ell)}{1 + 0.286(u_s B_F^2 / D_L \ell)^{1/2}} \right\} \quad (18)$$

更に高い流量域(擬層流域)では比較的多くの物質の流下液膜についてのガス吸収データを相関して得られた疋田ら¹⁷⁾ の実験式(19~21)を用いる。

$$k_L = \frac{0.0219 \Gamma^{0.5} \mu_L^{0.5} (\rho_L^2 g)^{0.293}}{\ell^{0.12} \rho_L} \times \left(\frac{\rho_L D_L}{\mu_L}\right)^{0.38} \cdot \left(\frac{0.072}{\sigma_L}\right)^{0.15} \quad (19)$$

[(Re)c < Re]

$$k_L = \frac{0.106 \mu_L}{\rho_L} \left(\frac{\rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho_L D_L}{\mu_L}\right)^{0.5} \quad (20)$$

ここで、臨界レイノルズ数 (Re)c は

$$(Re)c = 93.3 \left(\frac{\rho_L D_L}{\mu_L}\right)^{0.24} \cdot \left(\frac{\rho_L^2 \ell^3 g}{\mu_L^2}\right)^{0.08} \times \left(\frac{\sigma_L}{0.072}\right)^{0.30} \quad (21)$$

これらの式を用いたときの 水/LiBr 系の流下液膜の熱伝達係数 h_L 、物質移動係数 k_L の値を図3に示す。

4. 実験

実験装置を図4に示す。装置は主に、再生器、凝縮器、原液フィードタンク、液受けタンク、加熱水用恒温槽、オイルマノメータ、真空ポンプ等からなっている。再生器はガラス外套とステンレス鋼製垂直管(外径 15.66 mm、高さ 580 mm、厚さ 0.8 mm)より構成され、流下液はステンレス管外表面を、加熱水は管内部を流下液と並流に流れる。加熱水の流量は 5.97 l/min で、流路断面積は 0.84 cm² である。凝縮器はステンレス鋼製でジャケット部を冷却水が流れ、管内壁(内径 40.3 mm、高さ 700 mm)で

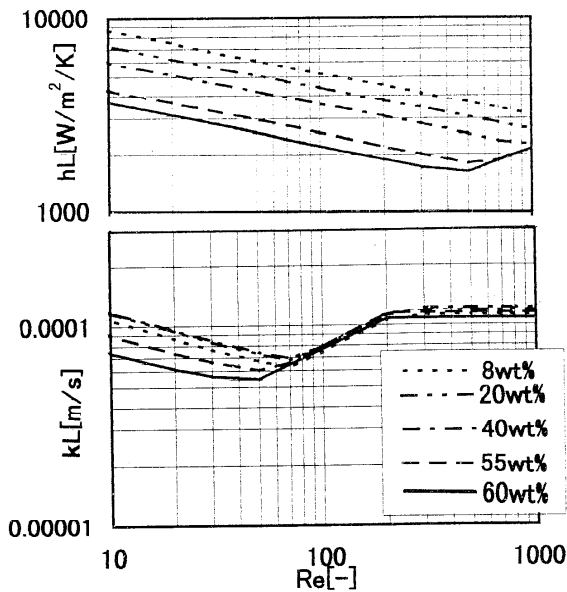


図3 流下液膜の熱伝達係数および物質移動係数

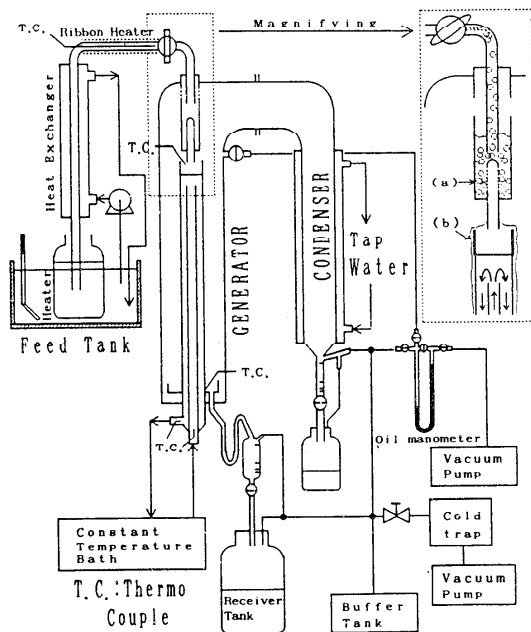


図4 垂直管流下液膜式の再生実験装置図

水蒸気を凝縮させる。

LiBr 水溶液の再生実験は次の手順で行った。実験装置内を真空ポンプで所定の圧力(8.0 kPa)まで下げ、所定の濃度に調整した LiBr 水溶液を原液タンク内で飽和温度まで加熱し、塔頂より実験装置内に流入させる。そのとき、LiBr 水溶液に溶

表1 流下液膜式再生の実験条件

Liquid	8, 20, 40, 55, 60 wt% LiBr
Feed Rate	$(2.5 \sim 770) \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Γ	$(5.1 \sim 1570) \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$
Re	4~800
Pressure	1.3, 5.3, 8.0 kPa
Δt	4, 6, 10 °C

解していた空気が気泡となって発生し流下する恐れがある。そこで、LiBr 水溶液はできるだけ脱気して使用すると共に、流下液の入口に拡大図(a)の様な構造を設け金網で気泡を取り除くことにした。金網を通った流下液は再生器のステンレス管上部に取り付けられた金網とガーゼ(拡大図の(b))で均一に分配されて液膜として流下する。再生器の垂直管内部には流下液の入口における飽和温度より Δt [°C] 高い加熱水を循環させる。

測定はフィード液濃度、系内圧力、加熱水温度を一定に保ち、フィード液流量を変化させ、定常状態になったのを確認してから行った。測定項目はフィード液の再生器出口流量、凝縮液流量、再生器各部における流下液の温度および加熱水の入口・出口の温度である。流量はコックを閉じて一定容積溜まるのに要する時間から求めた。LiBr 水溶液の入口、出口の温度は直径 1 mm の銅-コンスタン熱電対で測定した。一方、流下液の温度は 0.5 mm の熱電対で測定した。熱電対は擦り合わせて回転できるようになっており、流下液温度の測定時だけ流下液の流れに沿って当てた。

実験条件を表1に示す。フィード量の下限は濡れ壁が均一に濡れる条件から、上限は流下液が乱れにより外套へ飛び散らない条件から決まった。なお Δt は再生器入口における加熱水温度と LiBr 水溶液の飽和温度の差であり、再生のための温度推進力を表す。

5. 水を用いた凝縮・蒸発実験の結果

再生器における加熱水と管壁を合わせた伝熱係数 h_{cw} を実験的に求めるために、ステンレス管外壁に水蒸気を滴状凝縮させる実験を行い、凝縮液とステンレス管内の冷却水の間での総括熱伝達係数を求めた。この値は、滴状凝縮¹⁸⁾、冷却水¹⁹⁾についての熱伝達係数の相関式から求めた総括熱伝達係数の値と一致し、滴状凝縮の伝熱抵抗は無視できる程度で

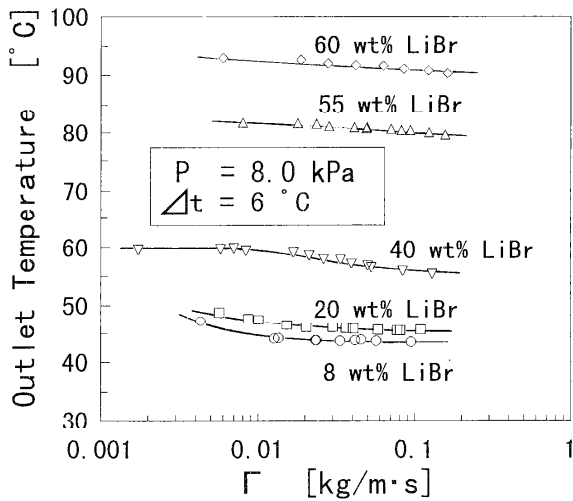


図5 流下液膜式再生器の出口液温度と液流量の関係

あった⁸⁾。そこで、加熱水とステンレス管壁を合わせた伝熱係数 h_{cw} は既往の式を用いて求めることにした。

水をフィード液に用いた蒸発実験から、流下液、ステンレス管壁、加熱水を合わせた総括熱伝達係数を求め、総括熱伝達抵抗から管壁と加熱水の伝熱抵抗を差し引いて得た流下液膜の熱伝達係数 h_L は Chun & Seban の式(17)によく一致した⁸⁾。したがって、LiBr 水溶液に対しても式(17)を適用した。

以上のことから流下液膜、ステンレス管壁、加熱水の伝熱抵抗を各相関式によって求められることが

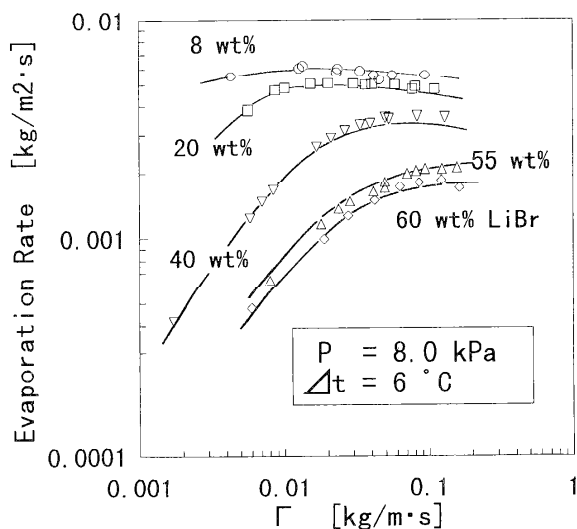


図6 流下液膜式再生器の蒸発速度と液流量の関係

確かめられた。本再生実験範囲におけるそれぞれの伝熱抵抗の割合は、流下液膜が 45~75 %、管壁が 8~15 %、加熱水が 17~40 % と算出された。特に高 LiBr 濃度における流下液膜の抵抗の割合は大きく、本実験装置により流下液膜における熱・物質移動現象を精度よく調べることができると考えられる。

6. 臭化リチウム水溶液の再生実験の結果と考察

6.1 再生器出口の流下液温度

図5に $\Delta t = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ における再生器出口液温度 t_2 と単位幅当たりの質量流量 Γ の関係を LiBr 濃度 w_B をパラメータにして示す。 t_2 は Γ が小さくなると、流下液が濃縮されるため沸点が高くなって上昇している。図中の実線は1次元差分法の計算値であり実測値の傾向とよく一致している。 Δt が 4、10 $^\circ\text{C}$ における出口液温度の計算値と実測値も $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内で一致した。

6.2 再生器における蒸発速度

図6に Δt が 6 $^\circ\text{C}$ における蒸発速度 n_A の実測値と Γ の関係を LiBr 濃度別に示す。8 wt% LiBr 水溶液の場合、 Γ が 0.015 $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ 以上で蒸発速度が減少しているのは Γ が大きくなるほど液膜が厚くなるためであり、一方、 Γ が 0.015 $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ 以下で蒸発速度が減少しているのは流下液の濃縮により液温度が上昇するためである。流下液温度の上昇の影響はフィード液濃度が高いほど高流量域まで及び、40、55、60 wt% LiBr 水溶液の場合は Γ の低下に伴い蒸発速度は急激に減少している。図6における実線は、式(4)の $n_{A,i}$ を再生器の入口から出口まで積算して得られた値を管外表面積で割って得た蒸発速度の計算値であり、実測値の傾向とよく一致している。したがって、1次元差分法の計算モデルは LiBr 水溶液の蒸発現象をよく表しているといえる。

ところで、図6で LiBr 濃度が高くなると蒸発速度は低下しているが、吸収器での冷却能力、吸収ヒートポンプによる増熱化、昇温化のためには吸収(再生)溶液温度は出来るだけ高くしなければならぬから、LiBr 濃度は可能な限り高くする必要がある。したがって、図6から Γ は 0.1 $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ ぐらいで操作すべきであろう。

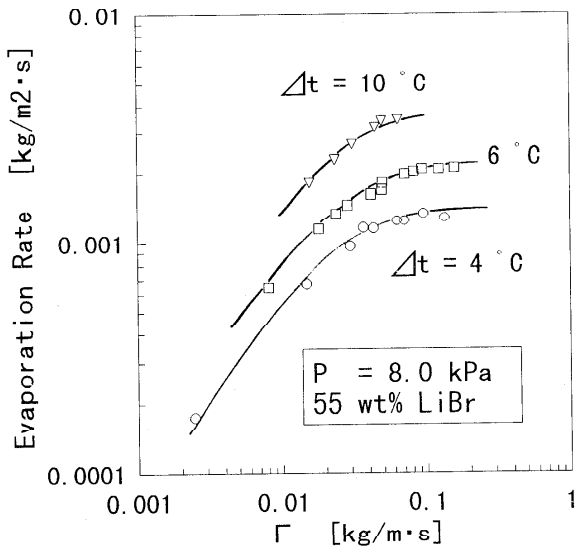


図7 流下液膜式再生器の蒸発速度に与える温度推進力(Δt)の影響

図7に 8.0 kPa で、55 wt% LiBr 水溶液を用いて、再生のための温度推進力 Δt を 4, 6, 10 °C と変化させたときの蒸発速度 n_A と Γ の関係を示す。 Δt が高いほど n_A は大きくなっており両者はほぼ比例関係にある。蒸発速度の計算線はいずれの Δt でもほぼ一致している。

図8は、再生器の蒸発速度 n_A に与える系内圧力 P の影響を調べたものである²⁰⁾。条件は 55 wt% LiBr 水溶液の Γ がおよそ 0.1 kg/m·s において $\Delta t = 4, 6, 10$ °C での n_A を $P = 1.3$,

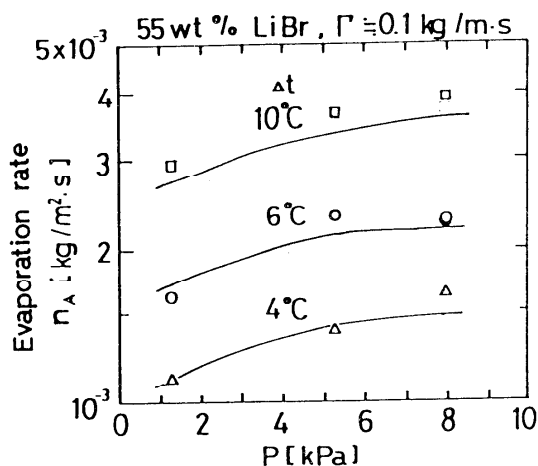


図8 流下液膜式再生器の蒸発速度に与える圧力の影響

5.3, 8.0 kPa に対してプロットしている。圧力の増加とともに n_A は上昇している。これは、流下液膜の熱伝達係数と物質移動係数が圧力の増加（即ち液温度の増加）によって大きくなるからである。図中の実線は計算値を表しており、実測値と一致している。

6. 3 流れ方向の流下液の温度変化及び濃度変化

流量が高い場合と低い場合における 8 および 55 wt% LiBr 水溶液の流れ方向の温度変化の実測値と計算結果を図9に、濃度変化の計算値を図10に、蒸発速度の変化を図11に示す。流量が高い場合の計算結果を破線で表しているが、8 wt% LiBr ($\Gamma = 0.0162$ kg/m·s)、55 wt% LiBr ($\Gamma = 0.0189$ kg/m·s)ともに蒸発による液の濃度変化が小さいために、濃度、温度、蒸発速度は流れ方向にあまり変化しない。一方、流量の小さい実線の場合、Fig. 10 (a)において 8 wt% LiBr ($\Gamma = 0.0030$ kg/m·s)では流れ方向に LiBr 濃度 w_B が大きく変化するが、 w_B が 0.15 より低くなっている塔頂から 0.2 m の間は濃度変化による飽和温度の変化が小さいために、図9(a)で示されるように液膜各部の温度の変化は小さい。したがって、加熱水温度 t_c と界面温度 t_s の差は急激には小さくならず図11(a)において蒸発速度は極端には低下しない。しかし、蒸発により w_B が 0.15 以上になると飽和温度の変化が次第に大きくなり、 t_c が t_s に近づいて蒸発速度が急激に低下する。これに対して 55 wt% LiBr ($\Gamma = 0.0028$ kg/m·s)では水の蒸発による流下液膜の温度の上昇が速く、図9(b)で塔頂から 0.2 m ぐらいで t_c と t_s の差が非常に小さくなり、図11 (b)で蒸発速度がほぼ0になっている。

図9において熱電対による液膜温度の測定値は液膜の混合平均温度 t_b の計算値とおよそ一致しており、1次元差分法の妥当性を裏付けている。なお、図9(b)の 55 wt% LiBr、 $\Gamma = 0.0028$ kg/m·s の温度測定値は計算値より約 1.5 °C 低くなっているが、これは液膜が非常に薄いため熱電対が液膜外を流れる水蒸気の温度の影響を受けているためと推測される。

7. おわりに

地球環境問題から吸収冷凍機、吸収ヒートポンプが注目されており、更に一層の省エネルギー運転が要求されている。このような状況の中で再生器は以

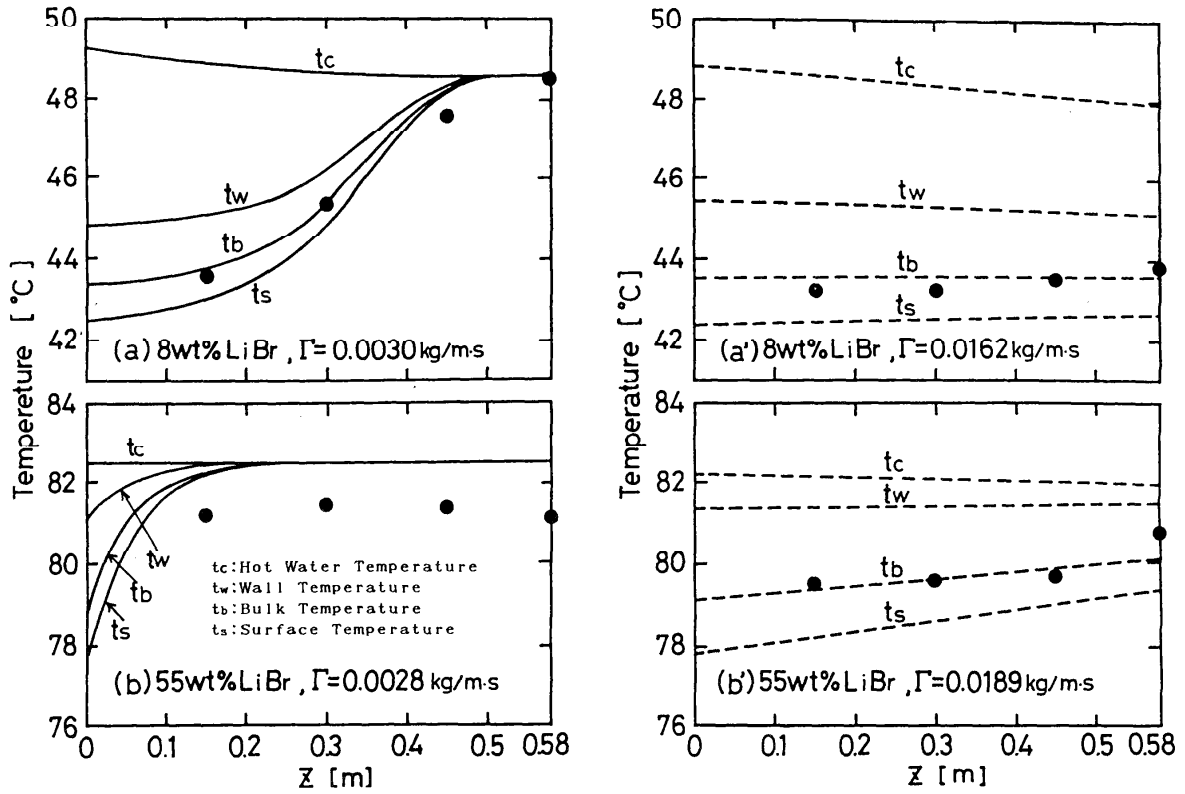


図9 流下液膜の各位置における温度の流れ方向の変化

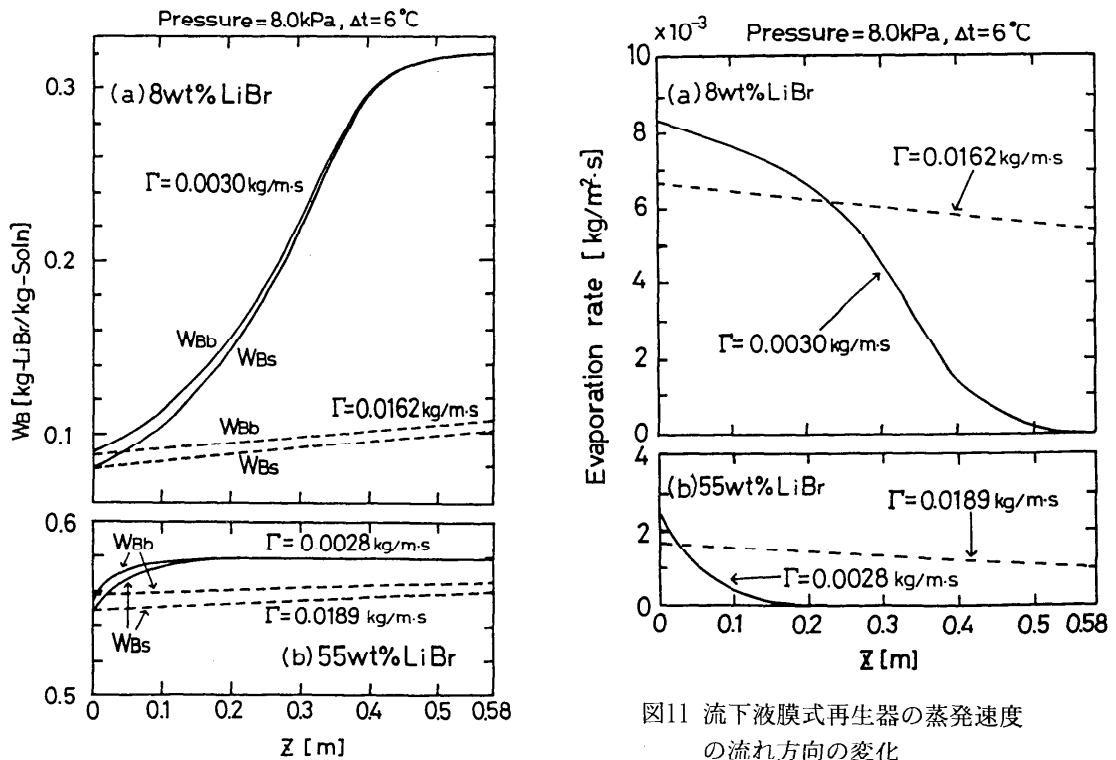


図10 流下液膜の界面および本体濃度の流れ方向の変化

図11 流下液膜式再生器の蒸発速度の流れ方向の変化

前よりも重要な役割を担うことになり、小さな温度推進力で大きな熱流束を有する装置形状が望まれ、垂直管流下液膜式はこの要求を満たすものと考えられる。

本講では LiBr 水溶液膜からの水の蒸発現象が水の一方拡散であるとモデル化し、流下液の熱伝達係数、物質移動係数を用いることによって、流れ方向にだけ差分して、再生器における蒸発速度と液膜温度を計算した。計算値は広い濃度・液流量範囲で、温度推進力、圧力を変えて得た実測値と一致し、本計算法の妥当性を確認できた。また、この計算法は水/塩化リチウム系²¹⁾、メタノール/臭化リチウム系²²⁾にも適用できることを我々は確かめている。

ところで、我国で実用化されている吸収冷凍機の作動媒体は水/臭化リチウム系がほとんどであったが、最近アンモニア/水系の吸収冷凍機が製造され始められつつある。また、水/臭化リチウム系に第3成分を加えることにより溶解度を高くしてより高い温度上昇を可能にして冷却、昇温の条件を向上させる試みがなされている。これら作動媒体の冷凍性能やヒートポンプ性能を評価するためには、精度の高い実験データの集積に加えて、理論解析による評価が欠かせない。その意味で本講が参考になれば幸いである。

記号

B_F	: 液膜厚み	[m]
c_p	: 比熱	[J · k g ⁻¹ K ⁻¹]
D	: 管径	[m]
D_L	: 分子拡散係数	[m ² · s ⁻¹]
G	: 加熱水質量流量	[k g · s ⁻¹]
g	: 重力加速度	[m · s ⁻²]
h	: 熱伝達係数	[W · m ⁻² K ⁻¹]
k_L	: 流下液膜の物質移動係数	[m · s ⁻¹]
l	: 管長	[m]
n	: 物質流束	[k g · m ⁻² s ⁻¹]
P	: 系内圧力	[P a]
q	: 熱流束	[W · m ⁻²]
Re	: 流下液膜レイノルズ数($-4\Gamma/\mu_v$)	[-]
t	: 摂氏温度	[°C]
\bar{u}_z	: 流下液の平均流速	[m · s ⁻¹]
u_s	: 流下液の表面速度	[m · s ⁻¹]
V	: 流下液の体積流量	[m ³ · s ⁻¹]
w	: 質量分率	[-]

z	: 流れ方向の座標	[m]
Γ	: 単位幅当たりの質量流量	[k g · m ⁻¹ s ⁻¹]
ΔH	: 蒸発潜熱	[J · k g ⁻¹]
ΔHd	: 希釈熱	[J · k g ⁻¹]
ΔT_{sat}	: 伝熱面温度とLiBr水溶液の飽和温度の差	[K]
Δt	: 塔入口における加熱水温度と流下液飽和温度の差	[°C]
η	: 液膜厚さ方向の座標	[m]
λ	: 熱伝導度	[W · m ⁻¹ K ⁻¹]
μ	: 粘度	[P a · s]
ρ	: 密度	[k g · m ⁻³]
σ	: 表面張力	[N · m ⁻¹]

添字

1 : 入口	2 : 出口
A : 水	B : 臭化リチウム
b : 液本体	c : 加熱水
cw : 加熱水および管壁	i : i 番目の分割
L : 流下液	s : 気液界面
w : 管壁	25 : 25 °C

引用文献

- 古川雅裕, 榎本英一, 世古口言彦, 冷論, 10-2(1993), 209
- 大西守正, 田島収, 冷凍, 49(1974), 687
- 石橋英一, 岩崎一雄, 冷凍, 57(1982), 231
- Charters, W. W. S., V. R. Megler, W. D. Chen, Y. F. Wang, Int. J. Refrig., 5-2(1982), 107
- 功刀能文, 白井三平, 大内富久, 福田民雄, 冷論, 1-2(1984), 141
- 服部賢, 青木和夫, 「ヒートポンプ調査研究報告書」, 日本冷凍協会(1987), p. 311
- 松田晃, 羽田邦彦, 川村輝夫, 冷論, 7-2(1990), 151
- 松田晃, 川村輝夫, 羽田邦彦, 冷論, 7-2(1990), 139
- 古川雅裕, 他, 冷論, 9-1(1992), 17, 10-2(1993), 209, 11-2(1994), 201, 11-3(1994), 349, 12-2(1995), 191, 12-2(1995), 201
- Brunk, M. F., Ki Klima-Kälte-Heizung, 10-10(1982), 365
- 柏木孝夫, 黒崎晏夫, 二階堂勳, 冷論, 1-1(1984), 89

- 12) Stokes, R. H, J. Am. Chem. Soc., 72(1950),
2243
- 13) 柳場重男, 植村正, 成田博厚, 冷凍, 36(1961),
622
- 14) 新垣勉, 中山慎司, 鈴木政典, 外山茂樹, 化工
論文集, 11-3(1985), 286
- 15) Chun, K. R, R. A. Seban, J Heat Transfer,
Nov. (1971), 391
- 16) 宗像建, 松田晃, 九大工学集報, 47-5(1974),
631
- 17) 疋田晴夫, 中西和弘, 片岡建, 化学工学, 23-7
(1959), 459
- 18) 化学工学協会編, 化学工学便覧第5版(1988),
p. 348
- 19) Wiegand, J. H, Am. Inst. Chem. Engrs., 41(1945),
147
- 20) Matsuda. A., K. H. Choi, K. Hada, T. kawamura,
Int. J. Refrig., 17-8(1994), 538
- 21) 松田晃, 崔光炫, 冷凍, 68(1993), 731
- 22) 松田晃, 崔光炫, 冷凍, 68(1993), 744

界面活性剤による吸収促進

Enhancement of Absorption by Surfactant

飛原 英治、藤田 勇 (東京大学)

Eiji HIHARA and Isamu FUJITA (The University of Tokyo)

1 はじめに

現在、多くの吸収式冷凍機で作動媒体として用いられている臭化リチウム水溶液は粘性が大きく熱伝導率は小さいので、吸収器や再生器における熱物質輸送の促進が重要である。吸収冷凍機で用いられる吸収器や再生器では多成分流体の物質輸送を伴っているので、伝熱管の表面に拡大伝熱面を用いたり、乱流促進体を取り付けるなどの通常の伝熱促進法に加えて、界面活性剤などの添加物を利用して熱物質輸送を促進することが行われている。少量の界面活性剤を溶液に加えることによって、吸収促進がなされれば、高価な高性能伝熱管を用いる必要がないので、界面活性剤による伝熱促進は極めて有効である。

歴史的には、吸収式冷凍機の再生器において臭化リチウム水溶液を沸騰させるときに、たくさんの気泡が発生して液面が大きく変動することを防ぐために、溶液の表面張力を低下させる目的で界面活性剤が添加されたといわれている。実験を行っていく中で、再生器の泡立ち抑制効果よりも吸収器性能を大きく向上させることが注目され、吸収促進剤として界面活性剤が使われるようになった。このように、実機では昔から界面活性剤が使われていたのであるが、その促進機構についてはほとんど分かっていなかった。

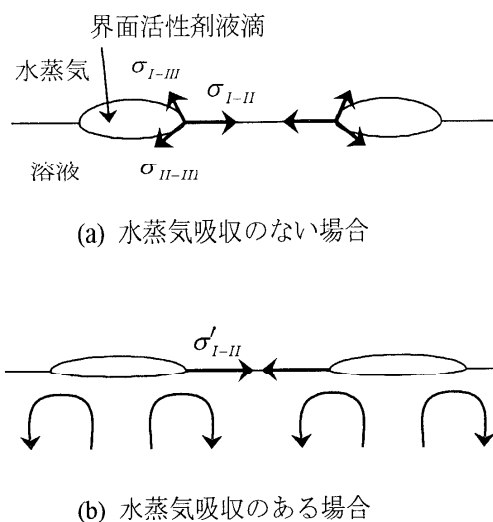
近年の研究の結果、界面活性剤による吸収促進機構についてはかなり分かるようになってきて、概略は Ziegler & Grossman⁽¹⁾によってレビューされている。界面活性剤の添加による熱物質伝達率の向上の基本的メカニズムは、界面活性剤を添加すると、表面張力の溶媒濃度依存性が変化し、水蒸気吸収にともなって、溶液表面に表面張力の不均一分布が生成し、表面近傍にマランゴニ効果に基づく強い対流が発生するためである。

2 静止溶液への水蒸気吸収

通常の吸収器では、溶液は伝熱管の外壁や内壁を流下しながら水蒸気を吸収するので、界面活性剤による不安定効果は溶液の流動と絡み合って複雑な様相を呈し、わかりにくい。界面活性剤を溶解した水溶液へ水蒸気が吸収するときの不安定流動の基本的な発生機構は、静止した溶液への吸収において最も純粋な形で現れるので、まず、静止溶液への吸収系をとりあげる。

2.1 不安定の基本的メカニズム

界面活性剤による吸収促進について、その機構を初めて提案した論文は柏木ら⁽²⁾によるものである。静止した臭化リチウム水溶液に溶解度以上の界面活性剤を添加すると、図 1 のように溶けきらない界面活性剤は滴状となって溶液の表面に浮かぶ。水蒸気の吸収がないときには、液滴の境界面で三つの界面張力(水溶液-気体間の表面張力 σ_{I-II} 、界面活性剤-気体間の表面張力 σ_{I-III} 、水溶液-界面活性剤間の界面張力)が釣り合っている。ここで水蒸気の吸収を行うと、界面活性剤液滴表面では吸収せず、水溶液表面でのみ吸収す

図 1 界面活性剤の液滴モデル⁽²⁾

るので、水溶液-気体間の表面張力 σ_{l-g} のみが上昇し、 $\sigma'_{l-g}(>\sigma_{l-g})$ となる。また、 σ'_{l-g} は界面活性剤液滴から離れれば離れるほど大きくなるので、図1に示されるような対流が発生すると説明されている。水蒸気の吸収により表面張力の不均一性が形成され、マランゴニ効果により対流が発生することを示した点で画期的であったが、その後の実験的研究により、溶解度以下の界面活性剤を添加した場合(界面活性剤が完全に溶けている状態)でも十分大きな吸収促進が起ることが発見され、この機構だけではすべての吸収促進挙動を説明できないと認識されるようになった。

続いて、溶解度以下の界面活性剤濃度でも吸収促進するメカニズムを提案したのは Hozawa ら⁽³⁾である。その研究で最も重要な点は、界面活性剤を含む臭化リチウム水溶液の表面張力の溶媒濃度依存性を明らかにしたことにある。図2に示すように、界面活性剤を含まない純粋な臭化リチウム水溶液の表面張力は、溶媒の濃度が増加するにしたがって低下し、温度が上昇しても低下する。しかし、界面活性剤を微量添加すると、その様相は一変し、溶媒の濃度が増加するにしたがって表面張力は増大するようになる。これは塩析効果と呼ばれる現象の結果である。図3に示すように、臭化リチウム水溶液のような電解質水溶液に界面活性剤を添加すると、その一部は溶液内部に溶け込み、それ以外は溶液表面に吸着する。この状態から溶媒濃度を増加させると、相対的に増加した水分子は界面に吸着していた界面活性剤分子に配位して溶解するようになる。その結果、表面に吸着した界面活性剤分子が減少するので表面張力が増大し、溶媒濃度に対する表面張

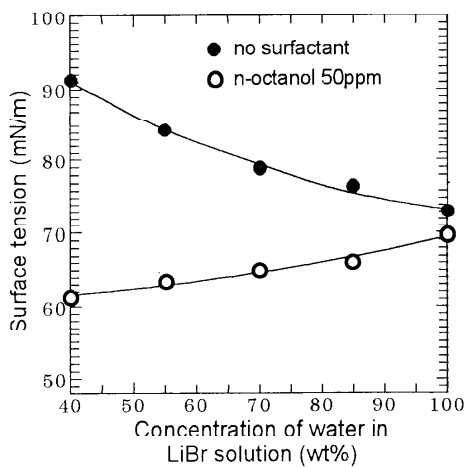
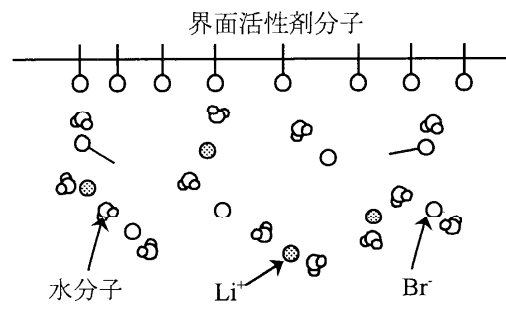


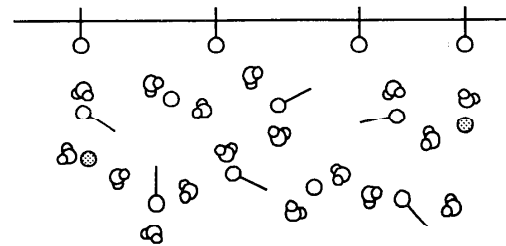
図2 臭化リチウム水溶液の表面張力

力の勾配は正の値をもつことになる。

この表面張力の特性が明らかになったことにより、界面活性剤を完全に溶解した臭化リチウム水溶液が吸収する時の不安定性の基本原理が判明した。図4のように溶液層内に対流セルを仮定し、水蒸気が溶液表面で吸収されるときに、そのセルが維持されるかどうかを考えてみる。対流セルが維持されるような力が作用すれば、系は不安定である。界面活性剤が添加されているときは、対流セルの中で湧き上がる溶液の溶媒濃度



(a) 溶媒濃度が低いとき



(b) 溶媒濃度が高いとき

図3 溶媒濃度による界面活性剤の界面吸着の違い

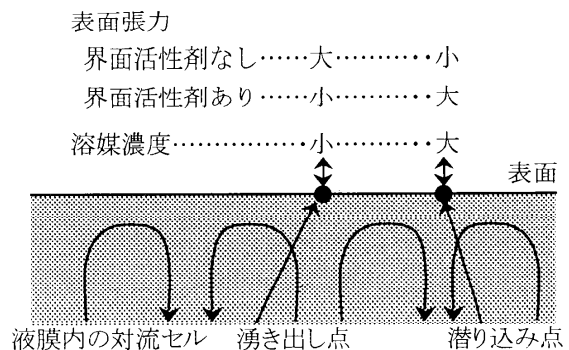


図4 液膜内対流セルの不安定モデル

は低いので表面張力は小さくなり、湧き上がった溶液は周辺から引っ張られる力を受ける。湧き上がった溶液は表面を流れるうちに水蒸気を吸収して溶媒濃度が増大し表面張力が増大する。したがって、沈降する箇所の溶液は高表面張力を示し、仮定した対流セルを維持するように表面張力分布は作用する。界面活性剤を添加しないと、表面張力分布が逆になり、対流は抑制されセルは消滅する。

以上が不安定の基本的な発生原理であるが、表面張力は溶媒濃度ばかりでなく温度や界面活性剤濃度にも依存するので、その影響についても検討が必要である。局所的な表面の界面活性剤濃度については、塩析効果の説明でも分かるように、平均界面活性剤濃度を決めると、表面近傍の溶液内の溶媒濃度によって定まるので、独立変数と考える必要はない。したがって、表面張力は溶媒濃度と温度の二つの変数の関数と考えることが可能である。

次に、表面張力に与える温度の影響についてはかなり複雑である。というのは、気液界面で気液平衡を仮定するのが普通であるから、溶液表面において溶媒濃度と温度は独立には変動せず、気液平衡の条件を満たしながら変動する。このような制限の下での不安定の発生を説明できなければ、吸収促進の真のメカニズムを解明したことはない。

2.2 静止液膜吸収系の線形安定性解析

表面張力の不均一が原因の液膜の不安定流動について、数値流体力学的なシミュレーション⁽³⁾⁽⁴⁾をすることは十分可能であるが、気液界面における気液平衡関係の制限の影響や、表面張力に与える熱拡散と物質拡散の影響を明らかにするには、やや見通しが悪い。そこで、古典的な手法である線形安定性解析を用いて、さまざまなパラメータの影響について検討した結果⁽⁵⁾を紹介したい。

静止液膜における表面張力の揺らぎによるマランゴニ対流の発生は Pearson ら⁽⁶⁾⁽⁸⁾の線形安定性解析によって明らかにされたものであるが、その解析は表面張力の温度依存性のみを考慮し、界面での気液平衡を仮定しておらず、加熱液膜系で不安定が発生している。それに対し、界面活性剤を添加した臭化リチウム水溶液の水蒸気吸収系では、表面張力が温度のみならず濃度にも依存し、界面が水蒸気と平衡状態にあり、また不安定が基本的には冷却液膜で起きていることなど、Pearson のモデルとは異なる特徴を有している。

線形安定性解析にあたって流体の運動方程式、連続の式、エネルギー式、物質拡散の式の中には表面張力の効果は全く入っていないで、液層表面の境界条件の中に表面張力の影響が加わる。表面張力の局所的な勾配が液層表面のせん断力を励起し、液層内の流動を発生させる。臭化リチウム水溶液の表面張力は前述のように、溶媒濃度 c と温度 T の関数と考えることができ、その変化は近似的に次式にて表わされる。

$$d\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial c}dc + \frac{\partial\sigma}{\partial T}dT$$

$\partial\sigma/\partial T$ は通常負であるが $\partial\sigma/\partial c$ は界面活性剤の有無により値が大きく変化する。図 2 は最大泡圧法による表面張力の測定例であるが、界面活性剤を添加しない場合には $\partial\sigma/\partial c$ は負の値を持つのにに対し、界面活性剤としてオクタノールを 50ppm 添加した場合、 $\partial\sigma/\partial c$ の値は正に変化する。界面活性剤の濃度は、 $\partial\sigma/\partial c$ の値を通して間接的に表面張力に影響を与えている。

次に、臭化リチウム水溶液の溶液バルクと気液界面における平衡関係を模式的に濃度-温度線図上に表したのが図 5 である。吸収の駆動ポテンシャルとなるのは気相蒸気圧と溶液バルクに対応する平衡蒸気圧の差 $P_s - P_b$ である。気相に熱物質移動に対する抵抗がないとすると、気液界面の温度 T と溶媒濃度 c は図 5 の等圧線 (P_s) 上になければならないので、次の拘束条件を満たさなければならない。

$$P_s = P_b + \frac{\partial P}{\partial T}(T - T_b) + \frac{\partial P}{\partial c}(c - c_b)$$

ここで、温度及び濃度に依存する表面張力の効果を表すマランゴニ数をそれぞれ Ma_t 、 Ma_c とすると、

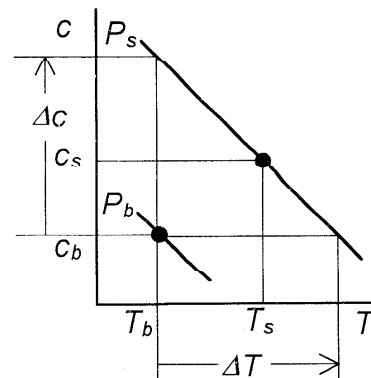


図 5 液層表面における気液平衡関係と吸収の駆動力

温度擾乱と濃度擾乱は上式の制限を受けるのでその振幅は等しく逆位相になる。したがって、二つのマランゴニ数を以下のように一つにまとめることができる。

$$Ma = Ma_t - Ma_c = \frac{H\Delta T}{\mu\nu} \frac{d\sigma}{dT}$$

ただし、 H は液の深さ、 μ は粘度、 ν は動粘度、 ΔT は図 5 のように $\Delta P = P_c - P_b$ を温度換算した吸収の駆動力である。

以上のような条件の下に、平滑な界面に発生する温度や濃度の微小擾乱の安定性を線形化した擾乱方程式から求めると、図 6 のような中立安定線が得られる。濃度境界層厚さをパラメータにしている。不安定領域はマランゴニ数の正負の両領域に見いだすことができる。濃度境界層厚さが小さいときには、マランゴニ数が正の領域に不安定が存在している。吸収がはじまり濃度境界層が厚くなると、波数が大きく、かつマランゴニ数が負の領域に不安定が発生し、この領域は濃度境界層の発達にともなって、低波数側に広がっていく。その際、臨界マランゴニ数の絶対値も小さくなっていき、系がより不安定になっていく様子がうかがえる。こうした

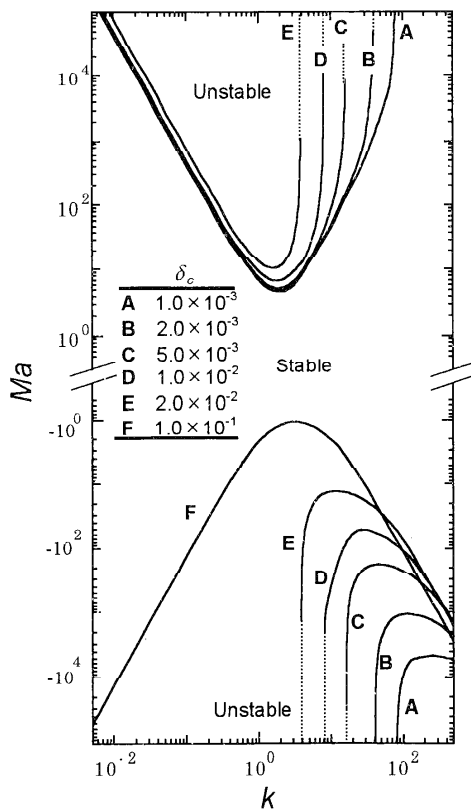


図 6 濃度境界層厚さの増大による中立安定曲線の変化

濃度境界層の厚さの変化に伴う不安定領域の変化は、濃度境界層の発達に伴って不安定化の原因が温度擾乱支配から濃度擾乱支配に変化していることに対応している。

2.3 静止液膜への吸収実験

界面活性剤の濃度や種類によって吸収促進効果などの程度違うかを実験した結果を紹介したい⁽⁴⁾。実験装置は図 7 に示すように、吸収容器と蒸発器が管により連結されている。吸収容器の中に小さな皿が釣り下げられており、その中に臭化リチウム水溶液が少量入れられ、真空中に排気される。次に、二つの容器を連結する管に取り付けられている弁を開放して、吸収が開始される。水蒸気の吸収に応じて、皿の重量が増加するので、その重量をロードセルで測ることにより時々刻々の吸収量を定量的に測定することができる。

図 8 は界面活性剤として添加したオクタノールの濃度の違いによる吸収性能を比較したものである。標準的な実験条件は表 1 に示す通りである。吸収が活発な時点では、何も添加しない場合に比べて 4 倍程度に吸収量が増加している。オクタノールの溶解度は約 100ppm であるので、それよりも低い濃度 25ppm で吸収は十分促進されていることが分かる。

次に、界面活性剤の種類による吸収性能の違いを示したのが図 9 である。実験に用いた界面活性剤はいずれも直鎖系アルコールで物性値の概略は表 2 に示す通りである。界面活性剤の濃度はいずれも 25 ppm であり、溶解度の大きいヘキサノールの場合には界面活性剤の添加濃度が低すぎて、吸収促進が十分ではない。また、分子の大きいノナノールでは臭化リチウム水溶液にはほとんど溶解せず、吸収促進剤としては適当でない。この実験によると、ヘプタノールも実用機に使われているオクタノールや 2 エチル 1 ヘキサノールと同等

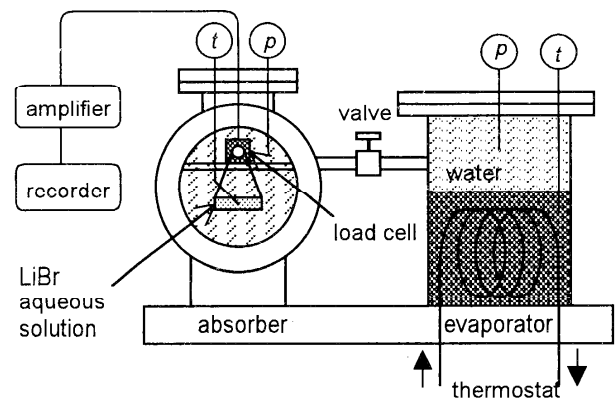


図 7 静止液膜吸収実験装置

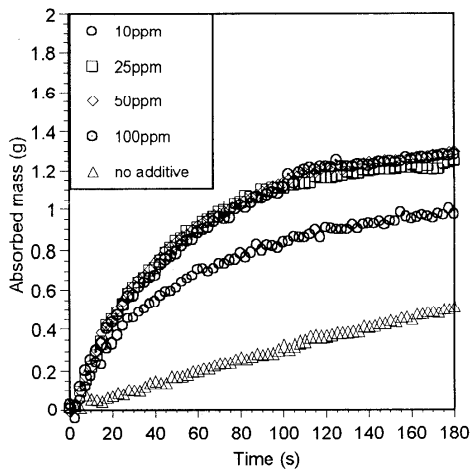


図 8 吸収量に与える界面活性剤濃度の影響

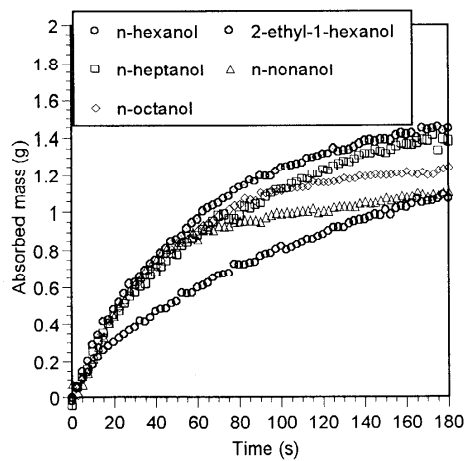


図 9 吸収量に与える界面活性剤種類の影響

の吸収促進性能を示している。ヘプタノールが実用機に使われない理由は、ヘプタノールと水の沸点差が小さいため、溶液の再生時にヘプタノールが水と共に蒸発してしまい、蒸発したヘプタノールを臭化リチウム水溶液へ戻す操作が煩雑になるためではないかと思われる。

また、ヘプタノールのように沸点の低い界面活性剤を用いると、蒸発器で蒸発する水の中に溶解している界面活性剤濃度が高くなり、界面活性剤蒸気を含む水蒸気が吸収されることになる。界面活性剤蒸気が含まれることによって吸収促進があるのではないかと期待から実験的な研究がされたこともあるが、一般に、界面活性な物質が表面から出て行く系ではマランゴニ不安定が起こる可能性はあるが、界面活性な物質が表面に入る系では不安定流動は起こりにくいので、吸収促進は

表 1 静止液膜吸収の標準実験条件

Evaporating temperature	20 °C
Initial temperature of solution	30 °C
Initial LiBr concentration	55 %
Depth of solution	10 mm
Kind of surfactant	n-octanol
Concentration of surfactant	25 ppm

表 2 界面活性剤の主要物性

Name	Chem. Form.	Boiling Temp. °C	Solubility in water
n-hexanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$	157.85	0.624
n-heptanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{OH}$	176.81	unknown
n-octanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$	195	0.00586
2-ethyl-1-hexanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OH}$	183.5	unknown
n-nonanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{OH}$	213.5	almost zero

期待できないのではないかとと思われる。したがって、吸収促進と揮発性の観点からオクタノールが実用化されていることには合理的な理由があるようである。

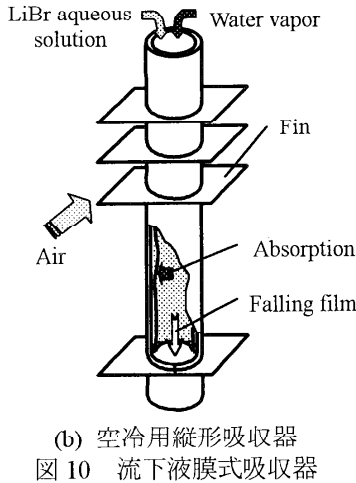
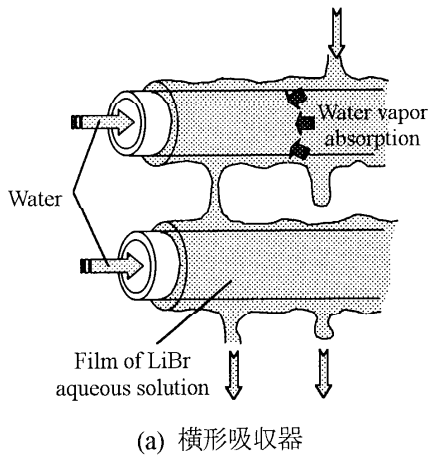
3 流下液膜への水蒸気吸収

3.1 空冷化のための流下液膜式吸収器の開発

これまでの吸収式冷温水機は、吸収器と凝縮器の冷却を水によって行っているため、図 10(a)のように横形吸収器が用いられてきた。水平に設置された伝熱管の外側を吸収液が水蒸気を吸収しながら流下し、冷却水は管の中を流れるものである。ところが、最近、冷却水系の設備、管理コストの削減のために、空気による冷却方式の要求が高まり、図 10(b)のような空冷式縦形吸収器の開発が行われている。空気側伝熱は水に比べて大変悪いので、空気を管の外側に流し、フィンなどを設置する。吸収液と水蒸気は垂直に設置した伝熱管の内側を流すことになる。縦形吸収器の界面活性剤の添加による吸収促進率は、それほど高くなく、吸収液の流動状況や濡れ性など、まだ不明な点が多い。狭い円管の中を流すことに無理があり、コンパクトにもしにくいことから、プレート式吸収器の研究⁶⁾も行われるようになってきている。

3.2 流下液膜吸収系の線形安定解析

静止溶液への吸収では、促進の原理を解明するには適しているが、実用的な観点からは、水平管上、垂直管内あるいは垂直平板上を流下する吸収液への蒸気吸収の促進を考えなければならない。界面活性剤の



添加による流下液膜の界面に攪乱が発生する機構が静止液膜と比べて本質的な違いがあるとは思えないが、界面攪乱と液膜内の平均流動の相互作用により、発生する擾乱の形態にある種の特徴が現れる。この特徴を利用すれば、高性能な伝熱面の開発も可能になる。そこで、マランゴニ効果が原因で流下液膜に現れる不安定性について、簡単に説明したい⁽⁹⁾。

簡単のために平板上を流下する液膜の安定性を考え、液膜の厚さは一定で凹凸はないと仮定する。流れに直交する方向に伝わる擾乱の安定性は、静止液膜の安定性と同じ(流れの影響を受けない)であるので、流れ方向に伝わる擾乱について安定性を解析した例として $Re=10$ の場合の中立安定曲線を図 11 に示す。静止液膜系と同様に、臨界マランゴニ数が液膜厚さで無次元化した波数 $k=1$ 付近にあることがわかる。そこで波数 $k=1$ における中立安定点のレイノルズ数依存性を図 12 に示す。図 12 が示すようにレイノルズ数が

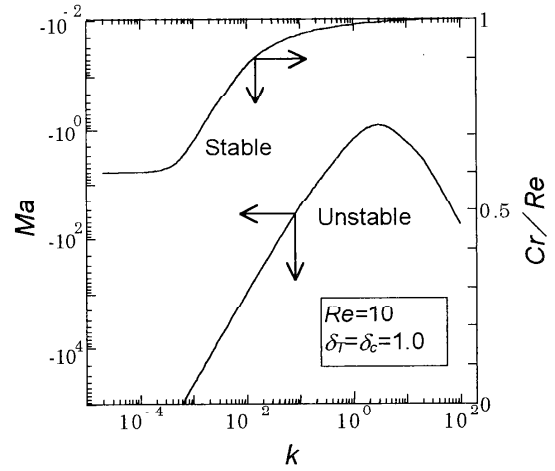


図 11 縦モード擾乱の中立安定曲線

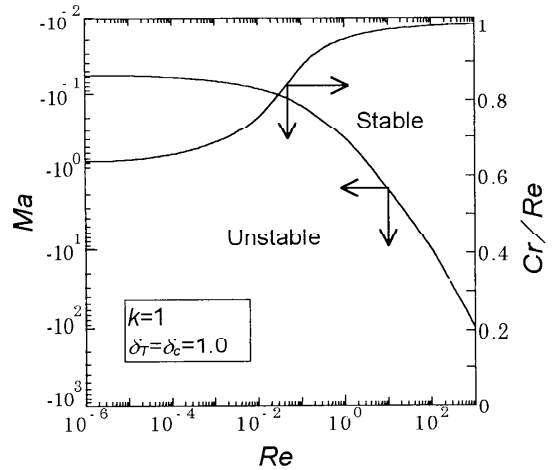


図 12 中立安定曲線のレイノルズ数依存性

増加すると、それに伴って安定領域が広がっていくことがわかる。 $Re \rightarrow 0$ の極限が横方向の不安定性に相当するから、流下液膜の吸収系においては横方向の擾乱の方が縦方向より不安定化しやすいということが分かる。この結果は、界面活性剤を添加した LiBr 水溶液の流下液膜が水蒸気吸収するときに吸収開始点近傍に流下方向と直交する方向に波立ちが現れるという観察⁽¹⁰⁾とも定性的に一致する。この結果から、高性能伝熱管を考えるときには横方向の擾乱を抑制しない構造であることが重要である。

ここでは、気液界面の変形を許さないモデルを用いているため、一般の流下液膜で見られる Re の増加によって発生する長波長不安定は考慮されていない。し

かしながら、長波長不安定は濡れ性などを考えるときには重要であるが、界面活性剤の添加による吸収促進は比較的波長の短い擾乱により担われているので、無視することは容認される。

4 おわりに

吸収液に微量の界面活性剤を添加するだけで、全く動力負荷を増加させることなく、吸収性能を何倍にも向上させることができるという現象に惹かれて、10年くらい前にこの研究を始め、最近やっとその性質の全貌が分かってきたような気がする。これまでの経過を振り返ってみると、Hozawaら⁽³⁾により界面活性剤を含む臭化リチウム水溶液の表面張力の性質が発表された時には、衝撃を受けた。その頃、筆者らも表面張力の性質が鍵と考えて測定を試みていたが、界面活性剤を含む水溶液の表面張力の測定は難しく、安定な測定ができないでいたからである。塩析効果など全く知らなかったのも、機械工学の知識だけでは限界があることを痛感した次第である(化学出身の人でも塩析を知る人はほとんどいないのであるが)。

これで、界面活性剤による吸収促進の問題はすべて解決したかと思ったが、実はそうではなく、次の問題点として、気液界面における気液平衡の条件が、界面攪乱を抑制する効果をもつことがわかり、気液平衡条件を考慮した液膜の安定性解析をやることになった。この手法は古典的ではあるが、現象の全貌をつかむには適しており、数値シミュレーションでは得られない有用な情報を得ることができた。

今後は、空冷式冷凍機に適した高性能な吸収器を開発するといった実用的な研究に重点が移って行くと思われる。筆者らもこれからは、工業的にも有益な研究をしていきたいと考えている。

文 献

- (1) F. Ziegler and G. Grossman, *Int. J. Refrigeration*, **19-5**(1996), 301-309.
- (2) 柏木・李・黒沢・野邑・小俣, 日機論 **57-539 B** (1991), 111-118.
- (3) M. Hozawa, M. Inoue, J. Sato and T. Tsukada, *J. Chem. Eng. Japan*, **24-2** (1991), 209-214.
- (4) H. Daiguji, E. Hihara and T. Saito, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **40-8**(1996), 1743-1752.
- (5) 藤田・飛原, 日機論 **63-613B** (1997), 3063-3071.
- (6) J. R. A. Pearson, *J. Fluid Mech.*, **4** (1958), 489-500.
- (7) L. E. Scriven, *J. Fluid Mech.*, **19** (1963), 321-340.
- (8) K. A. Smith, *J. Fluid Mech.*, **24** (1966), 401-414.
- (9) 野邑・西村・伊興田・石川・迫田・大橋, 日本冷凍空調学会学術講演会論文集, (1997), 41-44.
- (10) E. Hihara and T. Saito, *Int. J. Refrigeration*, **16** (1993), 339-346.

吸収ヒートポンプにおける吸収器の伝熱促進

Heat Transfer Enhancement for Absorber of Absorption Heat Pump

古川 雅裕、榎本 英一 (三洋電機 (株) 空調システム事業部)
 佐々木直栄 (住友軽金属工業 (株) 研究開発センター)
 Masahiro FURUKAWA and Eiichi ENOMOTO (Sanyo Electric Co.,
 Ltd., Commercial Air Conditioning Division)
 Naoe SASAKI (Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Research &
 Development Center)

1. はじめに

吸収ヒートポンプは、フロン規制や夏場の電力負荷の平滑化による需要促進の強い追い風を受けて拡大してきている。このような背景から現在 大型の空調熱源機として、確固たる地位を占めている。しかし、電動式ターボ冷凍機に比べて 大きさが大きい、重量が重いという欠点があり、今後はより一層の小型・軽量化が求められている。

吸収ヒートポンプは、蒸発器、吸収器、再生器、凝縮器の4つの主要な熱交換器で構成されている。それらの中で吸収器は伝熱面積及び容積が最大であり、吸収器を小型化することが機械の小型化への近道である。

吸収器における吸収過程では吸収液中に冷媒蒸気が吸収される際に放出される潜熱や稀釈熱を冷却水に伝える熱移動に加え物質移動による濃度分布も共存するため、より複雑な現象となっている。そのため高性能化が4つの熱交換器の中で最も困難とされている。

吸収器は使用の用途により水平管型と垂直管型に分類される。吸収ヒートポンプは、蒸発器と吸収器との間の圧力差をなるべく小さくするため、水平管型が主流である。一方空冷式においては、設置上の有効利用ということで垂直管型が主流となっている。このように、水平管型と垂直管型では流動状況が異なるので性能改善の具体策も異なっている。本文では吸収ヒートポンプで主流を占める水平管型吸収器に限定して議論を進める。

吸収器の伝熱促進についての研究は数多くあり1980年代後半から活発に研究されている。内容的には、伝熱促進管の研究^{(1)~(4)}、マランゴニー対流の発生と伝熱促進の関係^{(5)~(8)}、吸収器のコンパクト化に対する研究^{(9)~(12)}を中心に進められている。伝熱促進管について

は、マランゴニー対流を促進させ物質移動を起こしやすく、しかもコストパフォーマンスに優れた伝熱管の開発が必要である。

伝熱促進管の研究に加え最近では実用機に近い管群研究も進められている。管群における物質移動と熱移動の両方の研究が進められ、新しい吸収器の提案も出てきている。本文では、このような吸収器の最近の研究動向を紹介し、さらに今後の研究課題と展望について述べる。

2. 吸収器用伝熱促進管

これまで公表されてきた水平管型吸収器用の伝熱促進管は、図1に示すように、フィン付管、ローレット管、およびフルーテッド管の3種類に大きく分類できる。これらの分類にしたがって、各種伝熱促進管の形状的特徴、伝熱性能、および伝熱促進メカニズムについて以下にまとめる。

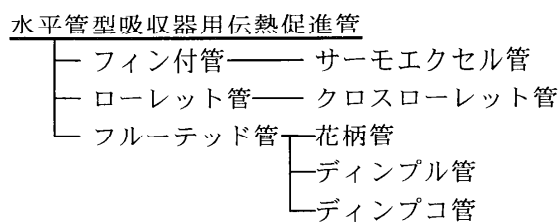


図1 水平管型吸収器用伝熱促進管の分類

2. 1 各種伝熱促進管の形状

(1) フィン付管

フィン付管の代表的なものとしては、サーモエクセル管⁽¹³⁾が知られている。概略形状を図2に示す。サーモエクセルCは元来凝縮器用伝熱管として開発されたものであり、周方向のフィンは機械加工(すき起こし加工)により付与され、さらに管軸方向にも多数の溝が形成され

ている。このサーモエクセルCをベースとして、管軸に平行な溝の条数を低減するなどの改善を加えたサーモエクセルAが吸収器用伝熱促進管として知られている。伝熱面積を平滑管の数倍程度まで増大できることがメリットとしてあげられるが、管周方向のフィン成形工程において難しい加工を強いられることから加工コストおよび単重が増加するものと推測される。

(2) ローレット管

螺旋状の溝を形成したシングルローレット管やねじれ角の異なる溝を重ね合わせたクロスローレット管が知られている。クロスローレット管の代表的な形状を図3に示す⁽¹⁾⁽¹⁴⁾。伝熱面積は、平滑管の2倍程度まで増大するが、加工コストや単重の増加は避けられないものと推測される。

(3) フルーテッド管

フルーテッド管の代表的なものとしては、著者らが開発した花柄管が知られている。概略形状を図4に示す⁽³⁾。花柄管は管軸に平行な溝からなるダブルフルーテッド管の一種であり、溝凹部および凸部の曲率半径、溝深さ、および溝ピッチを吸収器用に最適化したものが実際の吸収ヒートポンプの吸収器用伝熱促進管として採用されている。伝熱面積は平滑管とほぼ同等であるが、引き抜き加工で製造可能なために加工コストが低く、単重も平滑管並に抑えられるというメリットを有する。

最近では、“単重が平滑管並に抑えられる”というメリットに着目したと思われるディンプル管⁽¹⁵⁾やディンプコ管⁽¹⁶⁾も開発されている。

ディンプル管の概略形状を図5に示す。ディンプル管は、厳密にはフルーテッド管に分類できないが、管軸に垂直な一断面を見るとダブルフルーテッド管の特徴を有するという理由から本文ではダブルフルーテッド管の一種として取り扱う。伝熱面積は平滑管の1.5倍程度であり、単重は平滑管よりもやや上回る程度と推測される。この形状を伝熱管として実現するには、銅条加工～ロールフォーミング～溶接造管という加工工程が必要となり、加工コストの低減や溶接部からのリーク防止などが今後の大きな課題と考えられる。

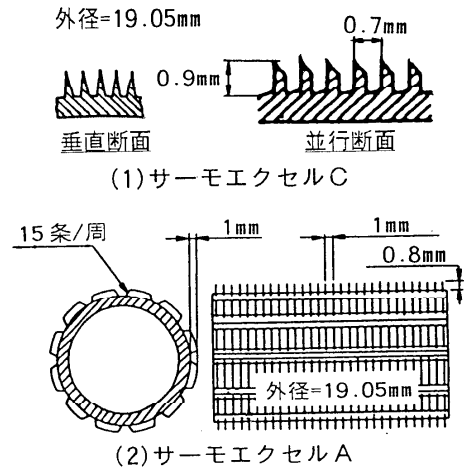


図2 サーモエクセル管の概略形状

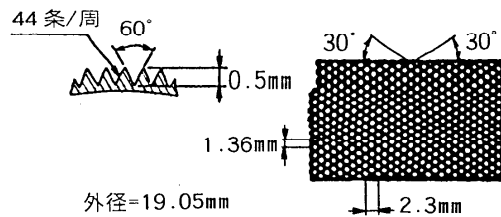


図3 ローレット管の概略形状

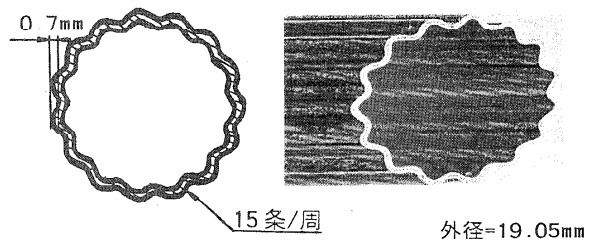


図4 花柄管の概略形状

ディンプルコ管の概略形状を図6に示す。ディンプルコ管は管軸に平行な溝を有する点で花柄管と似通っているが、管軸方向において一定ピッチで溝の位相を管周方向に変化させたものであり、形状的には花柄管とディンプル管の中間的な特徴を有するダブルフルーテッド管の一種とみなせる。伝熱面積は、花柄管とほぼ同等であるものと推測される。加工方法は、単純な引き抜き加工で製造可能な花柄管に比べると加工コストがやや上回るものと推測される。

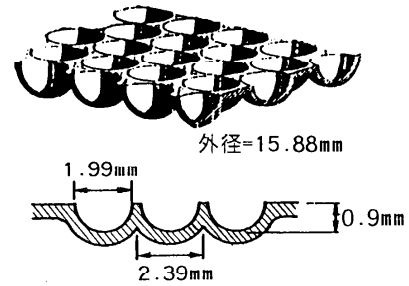


図5 ディンプル管の概略形状

2. 2 各種伝熱促進管の性能比較

平滑管を基準とした各種伝熱促進管の伝熱性能比と実質伝熱面積比との関係を図7にまとめて示す。ここに示すデータは全て界面活性剤を添加した場合のものである。参考文献中に実質伝熱面積が明記されていないディンプルコ管については花柄管と同等と仮定した。花柄管の実質伝熱面積は実測した値を用いた。性能比については、各研究者によって評価基準が異なるが、それぞれの論文において比較評価に用いられた基準を尊重した。熱通過率の記載されていない伝熱管については、著者らが推察して求めた。図中に示した実線は単位伝熱面積当たりの性能が平滑管と同一である場合を示す基準線である。

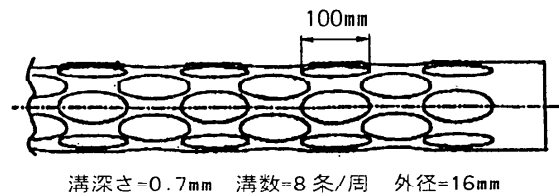


図6 ディンプルコ管の概略形状

サーモエクセル管に代表されるフィン付管やクロスローレット管に代表されるローレット管の場合、伝熱面積の増大率に比べて性能向上率が明らかに下回っていることがわかる。サーモエクセルA管の場合、フルーテッド管の特性を兼ね備えるために比較的少ない数の管軸方向溝を形成しているが、管周方向のフィンピッチが小さ過ぎるために、吸収溶液がフィンの大部分を覆う形となり、吸収伝熱に有効な水蒸気-LiBr水溶液界面の面積が実質伝熱面積を下回ることが考えられる。また、管周方向に形成されたフィンの断面形状が鋭利であるために管軸方向溝に沿った液膜の拡張作用や界面活性剤添加による攪乱作用が妨げられることも考えられる。

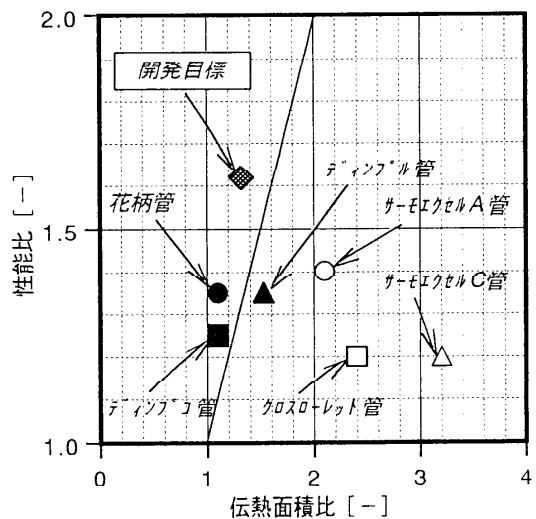


図7 性能比—伝熱面積比線図

クロスローレット管の場合も基本的には同様の要因により伝熱面積比に比べて性能比が低い。管軸方向への液膜拡張効果がほとんど期待できないことによる影響が大きいものと考えられる。

これらに比べて、花柄管に代表されるフルー

テッド管は伝熱面積の増大率と同程度以上の性能向上率が得られることがわかる。中でも伝熱面積増大率に対して性能向上率が最も高い花柄管の場合、管軸方向溝の深さ、凹部および凸部の曲率半径を最適化したことにより、比較的薄い液膜が形成されるため、実質面積にほぼ等しい気-液界面面積が得られている。また、管軸方向溝が軸方向に連続して形成されているために、液膜の拡張効果および界面活性剤添加による攪乱効果を妨げる要因が少ない。さらに、溝凹部および凸部は滑らかな局面を呈しているため、図8のように管周方向へ流下する液膜が液切れを起こすことなく流下し、液膜の厚い凹部と液膜の薄い凸部との濃度勾配に起因した表面張力差により発生するマランゴニー対流が液膜攪乱効果を一層促進している。ディンプル管およびディンプル管は溝が連続していないため、特に管軸方向への液膜拡張効果および攪乱効果が幾分減少することが考えられる。

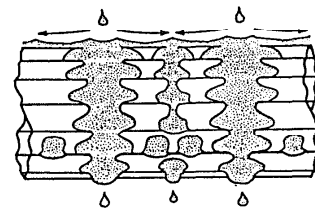
今後の吸収器用伝熱促進管に関する研究開発の方向性を図7に示したが、伝熱面積増大率と性能向上率をバランス良く向上させることが伝熱促進管開発のポイントになると考える。

3. 吸収器の小型化の研究動向と今後の方向性

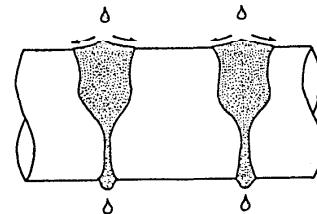
吸収器の管群を構成する伝熱促進管については、前述のように数々の研究がなされている。しかし、吸収器を小型化するためには伝熱促進管の研究だけでなく吸収器管群の小型化の研究も同時に必要である。吸収器の管群研究については、管群における性能研究と管群の小型化に関する研究の大きく2つに分類できる。各々について最近の研究動向を紹介するとともに、小型化に必要な研究課題と展望について述べる。

3.1 管群の性能研究

実用機の吸収器は多数の伝熱管で成り立っており大型機になる程管群形状が大きくなる。従って各管群での局所の熱伝達特性の把握が重要になってきている。野邑らは単列であるが13段を上段(2~5段)、中央(6~9段)、下段(10~13段)に区分けし図9、10に示すように各管群毎の熱通過率と管外熱伝達率を求めている。この実験によると、伝熱特性は上



(a) 花柄管



(b) 平滑管

図8 流下液膜模式図 ($\Gamma=0.013\text{kg/m}\cdot\text{s}$)

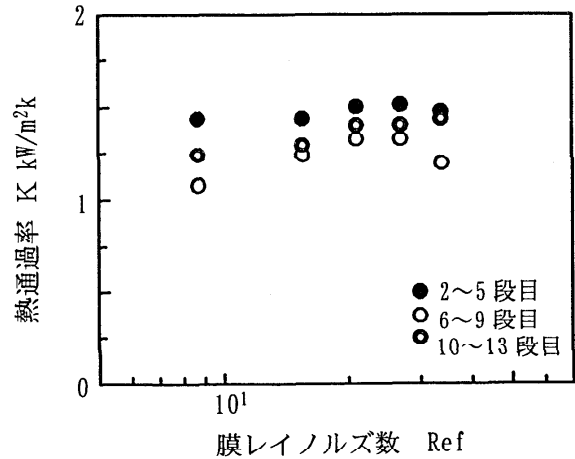


図9 膜レイノルズ数による熱通過率の変化

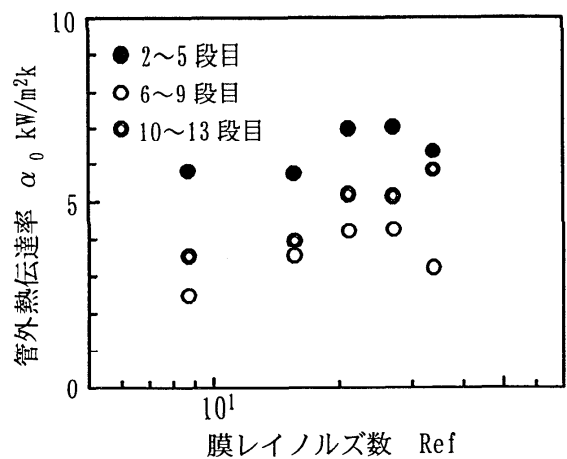


図10 膜レイノルズ数による管外熱伝達率の変化

段が最も高く、次が下段で、中段が最も低い結果になっている。このように吸収器管群において熱伝達特性に大きな分布があることを指摘している⁽¹⁷⁾。さらにこの熱伝達特性の分布の原因はLiBr溶液の粘性と相関があるとしている。この結果から実用機の管群においても同じように、熱伝達特性に大きな分布があると予想される。

L. Hoffmannらは、単列24段の水平伝熱管において、散布流量や冷却水温度、溶液温度、溶液濃度を変化させて熱伝達特性に対する溶液の物性の影響を調査している。その結果、熱伝達率は動粘性係数の増加と表面張力の増加にしたがって減少し、散布流量の増加にしたがって増加することを報告している⁽¹⁸⁾。

これまでは、単列での研究例が多く実用機のような複数列での影響を研究調査した事例はまったくない。今後は、実用機に近い複数列での管群の性能研究が望まれる。

3. 2 管群の小型化における研究

管群を小型・高性能化するために伝熱管と伝熱管の縦ピッチを変えて、吸収性能を調査した研究も最近では多くなっている。

R. H. Wassenaarは単列10段の水平伝熱管において、管ピッチの間隔を12、15、27、36mmと変え、さらに散布流量をかえて吸収性能の実験とモデル解析を行っている。この研究では、界面活性剤の影響は除外されてはいるものの管ピッチによる影響および散布流量による影響を実験により調査し、モデルによる数値解析の評価に管ピッチの影響を取り入れている⁽¹⁹⁾。

野邑らは、界面活性剤を添加した水平平滑管単列9段による実験で、管ピッチの影響について報告している。管ピッチが狭いほうが高い冷凍能力を示し、中でも伝熱管を密着させた管列の方が、管接触部溝内での溶液の保留挙動により図11のように一番高い熱通過率を示すと報告している。

また管ピッチが広いほど伝熱管と伝熱管との間で吸収される量は多くなることを明らかにしている。そして管ピッチが広くなると管ピッチの影響で液滴が剥離して飛散する量が増加することも観察報告している⁽⁹⁾。

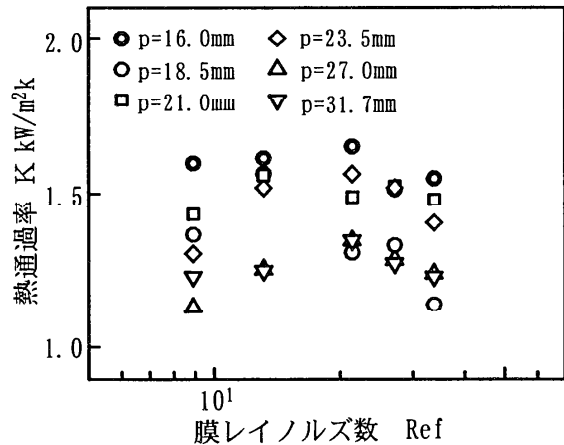


図 11 膜レイノルズ数による熱通過率の変化

実用機においては蒸発器で発生する冷媒水蒸気と界面活性剤であるn-オクタノール蒸気とが混合し、吸収器管群の管ピッチの隙間を通り吸収される。一方、吸収器伝熱管上においては、冷媒蒸気中に含まれる界面活性剤であるn-オクタノールと吸収液中に溶解しているn-オクタノールによりマランゴニー対流が発生している。この場合、蒸発器から移動してきた冷媒蒸気中に含まれるn-オクタノールの方が吸収液中に溶解しているn-オクタノールよりマランゴニー対流を引き起こしやすいと考えられる⁽²⁰⁾。したがって実用機の場合、蒸発器から発生し吸収器へ移動するn-オクタノール蒸気を吸収器に引込みやすい最適ピッチを持った管群形状の構造にすることが望ましい。

3. 3 今後の研究課題と展望

今後の吸収器小型化への研究課題としては管群内における各段毎の正確な局所熱伝達率の評価と物質移動の把握が必要である。

吸収器の場合、物質移動が熱移動より律速になるので物質移動の把握がより重要となる。そのためには管群の伝熱管上のマランゴニー速度の測定、マランゴニー対流に起因しておこる液膜厚みの動的挙動を把握することにより物質移

動量を定量化することが望まれる。

さらに小型化研究としては、実用機での最適ピッチの研究開発と蒸発器から吸収器へ管群ピッチを通して流入するn-オクタノール蒸気の流れ分布とメカニズムの解明により管群のコンパクト化がさらに図れることが期待される。

一方、水平管型管群にとらわれず図12のようなプレート型の吸収熱交換器の研究開発も開始されている⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。プレート型熱交換器の利点は、小さな空間で物質移動面積を大きく取れることである。今後は、このような物質移動面積を考慮した研究開発も重要になってくる。これらの研究により吸収器の小型化がさらに進むものとする。

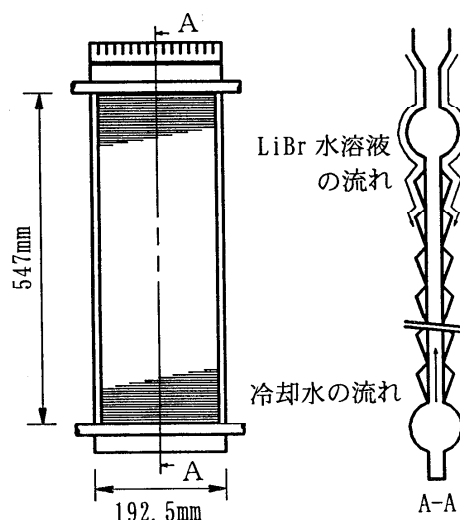


図12 プレート型吸収熱交換器の概略

4. おわりに

環境エネルギーの新時代に向けて、吸収ヒートポンプは追い風を受けている。

本文では、比較的容易に入手できる文献をもとに現在研究されている水平管流下液膜型吸収器について、伝熱促進管を中心に吸収器のコンパクト化の最近の技術動向と今後の展望について述べた。

吸収器の小型化を図るにはマランゴニー対流に最適な伝熱促進管の開発とマランゴニー対流を起こしやすい管群の形状開発にかかっていると断言しても過言ではない。

今後の技術革新により吸収ヒートポンプのより一層の小型・軽量化を期待したい。

参考文献

1. 永岡義一, 西山教之, 鯨坂和浩, 川又 治, 只木禎力, 第24回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (1987), 507.
2. 川又 治, 大谷忠男, 第22回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, (1988), 61.
3. 占川雅裕, 佐々木直栄, 金子敏之, 野世溪 精, 日本冷凍協会論文集, Vol. 10, No. 2 (1993), 219.
4. N. Isshiki, K. Ogawa, N. Sasaki and Funato, Proceedings of Absorption Heat Pump Conference'91 Tokyo, (1991), 377.
5. 柏木孝夫, 冷凍, 60, No. 687 (1985), 72.
6. 柏木孝夫, 李 東浩, 黒沢茂吉, 野邑泰弘, 小俣康二, 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 57, No. 539 (1991), 2277.
7. 高原 勉, 林田 篤, 八橋 元, 飛原英治, 斎藤孝基, 日本冷凍協会論文集, Vol. 9, No. 3 (1992), 235.
8. 野邑泰弘, 西村伸也, 伊興田浩志, 石川公 博, 平成8年度日本冷凍協会学術講演会講演論文集, (1996), 209.
9. 野邑泰弘, 西村伸也, 伊興田浩志, 石川公博, 神代 済, 森 啓之, 平成8年度日本冷凍協会学術講演会講演論文集, (1996), 205.
10. 野邑泰弘, 西村伸也, 伊興田浩志, 石川公博, 迫田哲也, 大橋俊邦, 平成9年度日本冷凍空調学会学術講演会講演論文集, (1997), 41.

- 1 1. 清田正徳, 森岡 斎, 大平浩康,
第 33 回日本伝熱シンポジウム講演論
文集, (1996), 585.
- 1 2. 上原伸基, 長崎孝夫, 土方邦夫, 松下英俊,
第 34 回日本伝熱シンポジウム講演論
文集, (1997), 509.
- 1 3. 川又 治, 大谷忠男, 永岡義一, 西山教之,
第 28 回伸銅技術研究会講演会講演概要
集, (1988), 59.
- 1 4. 井上修行, 永岡義一, 西山教之, 八橋 元
第 21 回空気調和・冷凍連合講演会講演論
文集, (1987), 85.
- 1 5. 久島大資, 西口 章, 大内富久,
日本機械学会熱工学講演会講演論文集,
(1994), 236.
- 1 6. 高橋宏行, 佐伯主税, 石川 守, 木島廣行,
第 37 回伸銅技術研究会講演会講演概要
集, (1997), 37.
- 1 7. 野邑泰弘, 西村伸也, 伊興田浩志, 神代 済,
森 啓充, 平成 7 年度日本冷凍協会学術講
演会講演論文集, (1996), 37.
- 1 8. L. Hoffmann, I. Greiter, A. Wagner,
V. weiss and G. Alefled, Int J. Refrig.
Vol 19, No. 5, (1996), 331.
- 1 9. R. H. Wassenaar, Int. J. Refrig. Vol 19,
No. 5, (1996), 347.
- 2 0. 柏木孝夫, 渡辺浩克, 小俣康二, 第 2 2 回
空気調和・冷凍連合講演会講演論文集,
(1988), 65.

コンパクト吸収冷温水機の研究開発

Research and Development on Compact Absorption
Chiller-Heater

本間 立、設楽 敦（東京ガス（株）エネルギー技術研究所）
Ritsu HOMMA and Atsushi SHITARA (Tokyo Gas Co., Ltd., Energy
Technology Research Institute)

1. 研究開発の背景・目的

日本では1959年に単効用機が製品化されて以来、臭化リチウムを用いた吸収冷温水機は普及を続けているが、これは以下に集約した3つの特長を有していることに起因する。第一にオゾン層の破壊だけでなく地球温暖化に対しても悪影響をおよぼすフロン冷媒を使用していない点、第二に夏場に逼迫する電力需要の平準化に貢献できる点、第三に他熱源の排熱にて駆動可能であり総合エネルギー効率の向上に貢献できる点である。これらの観点より、現在では大規模空調システムを中心に幅広く普及しているが、今後のさらなる普及拡大に向けて、中小ビル向けのリニューアル市場およびターボプレース市場でのシェアの拡大が望まれている。これらの新規開拓市場での重要なファクターである機器の搬入性、設置性、イニシャルコスト削減を実現するためにも、吸収冷温水機の大幅なコンパクト化が必要となる。ここで本研究開発をより効果的なものとするため、開発目標値としては、大きさは容積比で現状の50%、効率は現状と同等、コストは現状と同等以下と設定した。

一方、1964年に国内としては二重効用第1号機が製品化されて以来、現在までに着実なコンパクト化を達成してきている。しかしここ20年間に着目する限りでは、最近の10年間のコンパクト化達成率が、それ以前の10年間のそれと比較して、大幅に低下して

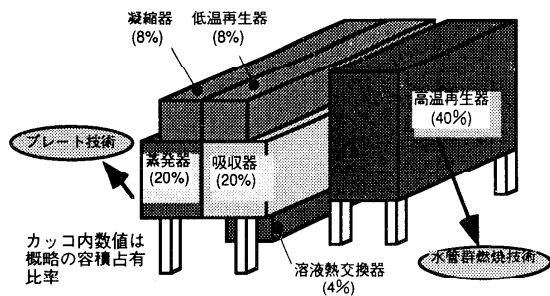


図1 現状の吸収冷温水機の構成要素概略図

きている。このような状況の中、上記開発目標を達成するためには、既成概念にとらわれずに、新規技術の適用を積極的に推進していく必要がある。そこで本研究開発では、図1に示したように、現状一般的な二重効用吸収冷温水機の中でも占有容積が非常に大きい高温再生器、吸収器、蒸発器にまず着目し、高温再生器には従来の炉筒煙管もしくは炉筒水管方式にかわりボイラで用いられている水管群燃焼技術を、吸収器・蒸発器には従来の水平管群方式にかわりプレート型熱交換技術をそれぞれシーズとして検討を行っている。

2. 高温再生器の研究開発

2.1 コンパクト高温再生器の概念

高温再生器は、吸収器で冷媒（水）を吸収して希釈された吸収溶液（LiBr水溶液）を加熱濃縮し、冷媒を再生する要素であり、機能・構造ともにボイラと類似している。本研究では、一部のボイラで既に採用されている水管群燃焼方式の高温再生器への適用により、従来の再生器に対して燃焼室の省略による大幅なコンパクト化、溶液充填量の削減、起動特性の向上を図ることを目的としている。図2に概念図を示す。

一方、LiBr水溶液は高温下で金属に対して腐食性が高く、現在の高温再生器の材質である鉄に対しては過去の研究⁽¹⁾により200℃が腐食の限界温度とされている。従来型再生器では文献⁽²⁾によると熱負荷は

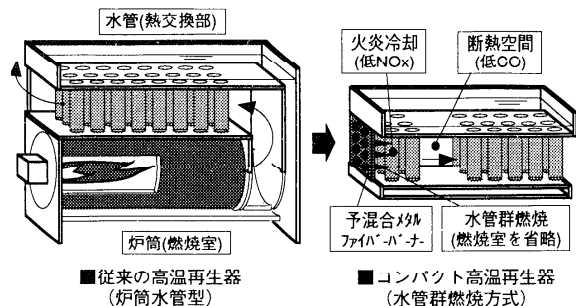


図2 コンパクト高温再生器

比較的小さく最大170kW/m²であるが、今回適用する水管群燃焼方式は、ボイラのデータを参考にすると最大470kW/m²までに達し、前列水管群の壁温上昇による腐食が予測される。

本報ではLiBr水溶液の伝熱性能に関して、単管による基礎試験と管群による実機試験を行い、材質の腐食の観点から本再生器の適用可能性を検討した。

2. 2 単管による基礎試験

2. 2. 1 供試体

単管供試体を図3に示す。供試体は電気ヒータで加熱される伝熱管と、上部および下部ヘッダをつなぐ下降管で構成されており、下降管のバルブの開閉により貫流方式と自然循環方式に切替が可能である。実機で沸騰により生じる自然循環流は、このバルブの開閉によりその影響をみる事ができる。伝熱管は材質SUS304、鉄の2種類で内径25mm、外径45mm、長さ500mmの管を用い、壁面温度は熱電対を図のように管の厚さ方向に2点取り付け、次式より局所熱流束を求めた。

$$q = \frac{\lambda}{1} (T_{wout} - T_{win}) \quad (1)$$

2. 2. 2 実験条件

実験条件を表1に示す。供試流体として水、LiBr水溶液の比較、および伝熱管材質として従来用いている鉄と耐食性のあるSUS304との比較を行った。

2. 2. 3 試験結果および考察

(1) 壁面温度分布

図4に供試流体に水およびLiBr水溶液、伝熱管SUS304および鉄を用いた場合の壁面温度分布を示す。なお、熱流束は実機で想定される最大熱流束470kW/m²に合わせた。

a) 水とLiBr水溶液の伝熱性能比較

伝熱管がSUS304の場合について、水とLiBr水溶液の伝熱性能を比較する。図よりLiBr水溶液ではサブクール領域である管入口の壁面温度が上昇している。一方、水の場合は伝熱性能の低下は見られず、全体的にフラットな壁面温度分布となっている。これは、LiBr水溶液ではサブクール沸騰が起きにくく、沸騰開始するための過熱度 ΔT_{sat} が水よりも必要となり壁面温度が上昇しているものと思われる。

b) 伝熱管材質による伝熱性能比較

次に供試流体にLiBr水溶液を用いた場合の、材質SUS304と鉄との比較をする。図より鉄の場合は

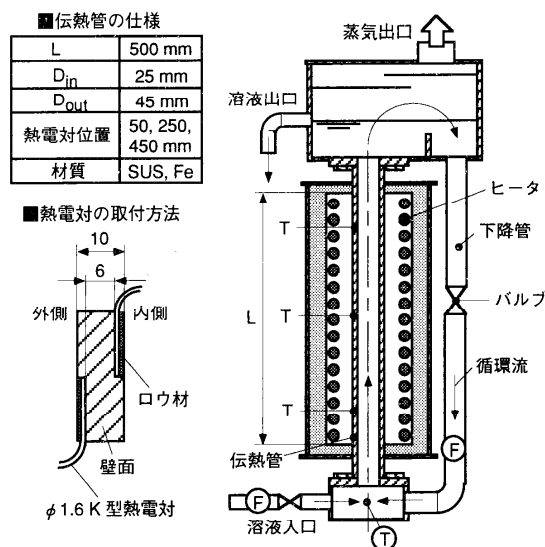


図3 単管供試体

表1 実験条件

ヒータ	熱流束	q	200~500	kW/m ²
LiBr水溶液	入口濃度	X _{s1}	57	wt%
	入口飽和温度	T _s *	140	°C
	入口流速	V _s	0.2~0.7	m/s
	サブクール度	ΔT _{sub}	-20	°C
	蒸気圧力	P _r	80	kPa

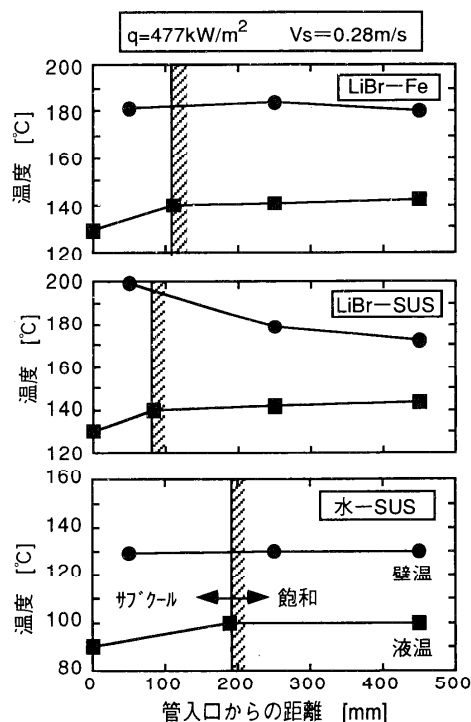


図4 壁面温度分布

SUSのようなサブクール領域での伝熱性能低下はみられない。これは、鉄の方が表面性状が粗く沸騰核となるキャビティが多く、サブクール沸騰が活発に起こるためと考えられる。

(2) サブクール領域の伝熱性能

図5にサブクール領域の伝熱特性を示す。縦軸には熱伝達率、横軸にはサブクール度として次式で定義するクオリティが示されている。

$$X = \frac{C_p \cdot \Delta T_{sub}}{H_{fg}} \quad (2)$$

図よりサブクール領域では、LiBr水溶液は水に対して熱伝達率は低く、材質に関しては鉄の方がSUSよりも熱伝達率が高いことが分かる。また、クオリティが大きくなると飽和沸騰が始まり、熱伝達率の差は少なくなっている。LiBr水溶液-SUSの組み合わせにおいては、同じクオリティでは液流速が大きい程、熱伝達率も大きくなること分かる。一方、その他の組合せは流速の影響はあまりみられないが、これはサブクール沸騰により生じる気泡の流れが大きく、入口流速の効果が少なくなっているためと思われる。

この結果より、壁面温度の低下による腐食の防止、およびコストの観点からも従来の材質である鉄を用いた方が良いと思われる。

2.3 実機試験

2.3.1 供試再生器

図6に実機試作器の概略図を示す。容量は523kW、材質は鉄、前3列の管群の内径は41.2mmであり、単管試験と同様に内側と外側の2点の壁温を測定した。溶液の入口を缶体の下部に3ヶ所設け、壁温に及ぼす影響をみた。また実験条件は実機の高温再生器の条件に設定した。

2.3.2 試験結果

(1) 前列水管の壁面温度

定格燃焼時の各管群における壁温分布を調べたところ、前列の2番目の伝熱管において壁面温度が最大であった。また、溶液は図6の供試再生器の入口1から入れた場合が、最も壁温低減効果があった。これは稀溶液の流入による飽和温度の低下によるものと思われる。

図7に前列2番目の水管の壁温および熱流束分布を示す。最大熱流束は水管の下部から中部にみられ約500kW/m²で壁面温度は186℃であり限界温度200

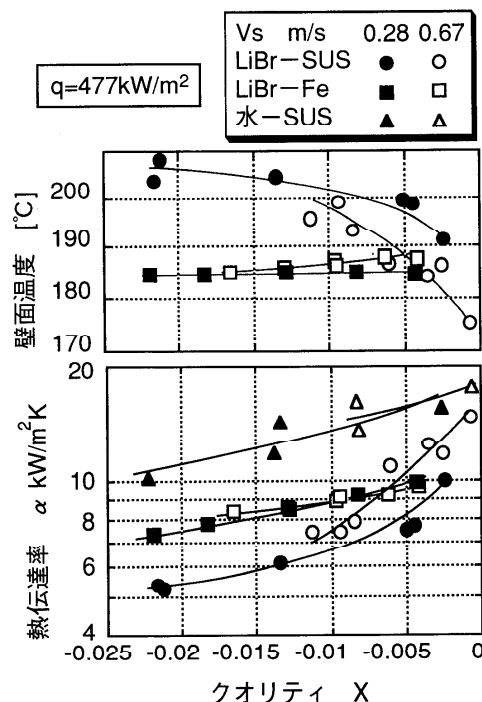


図5 サブクール領域の伝熱性能

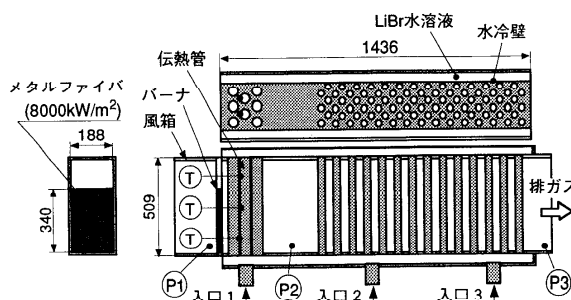


図6 実機試作器

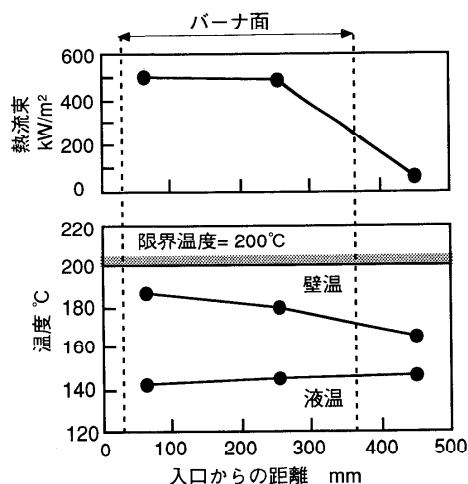


図7 前列水管の壁面温度分布

℃以下に抑えられることが分かった。バーナ位置との関係により熱流束に偏りがあることから、バーナ面位置を改善して熱流束の均一化を図ることにより最大熱流束は低減されると思われる。

(2) 単管試験結果との比較

図8に、本試験の前列2番目の伝熱管と単管試験の飽和領域（管中部）における過熱度 ΔT_{sat} と熱流束の関係を示す。実機試験結果は多少ばらつきがあるものの単管試験結果より伝熱性能は良いことが分かる。この違いの理由としては管径の相違（単管試験25mm、実機試験41.2mm）による流動の違いが考えられる。また、単管試験においてこの領域では核沸騰による熱伝達が主で材質による差異はほとんどないことが分かる。

2. 3. 3 コンパクト性評価

表2に従来型に対する本試作器のコンパクト性の比較を示す。表より容積の50%コンパクト化が達成されていることが分かる。

2. 4 基礎試験のまとめ

水管群燃焼方式を用いたコンパクト高温再生器を開発するにあたり、LiBr水溶液の伝熱性能に関して、単管による基礎試験と管群による実機試験を行い、材質の腐食の観点から本再生器の適用可能性を検討した。

(1) 単管試験

・LiBr水溶液において、伝熱管材質にSUSを用いた場合、サブクール領域での伝熱性能低下がみられた。一方、作動流体が水、あるいは材質が鉄の場合は同様の傾向はみられなかった。これより壁面温度低下の観点からは材質としてSUSよりも鉄の方が望ましいと思われる。

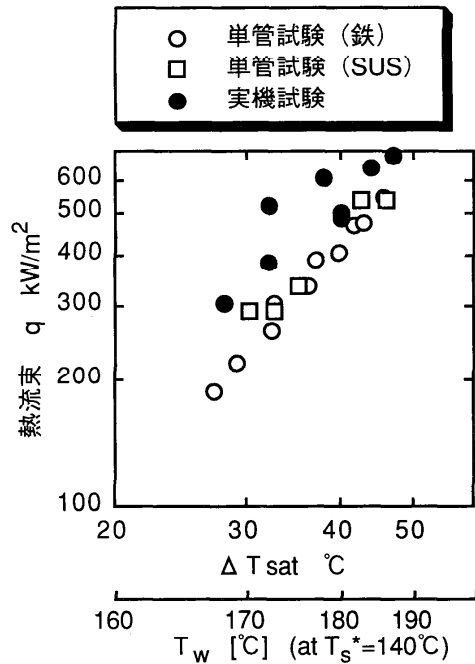
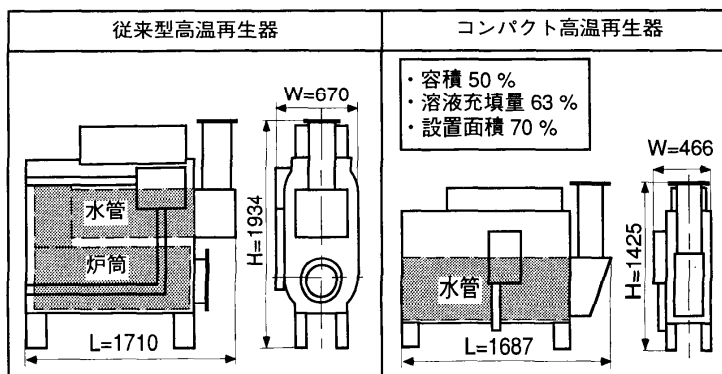


図8 沸騰曲線

(2) 実機試験

・定格燃焼時において前列2番目の伝熱管が最大壁面温度186℃を示し、鉄の限界温度である200℃以下となり本再生器の適用可能性が示された。
 ・単管試験結果との比較より実機試験の方が伝熱性能が良かった。この違いの理由としては管径の相違による流動の違いが考えられる。

表2 コンパクト性評価



3. 吸収器・蒸発器の研究開発

3. 1 コンパクト吸収器・蒸発器の概念

従来の吸収器・蒸発器の構造は図9のとおり、伝熱面部分は水平管群で構成されている。一方、新規技術であるプレート型熱交換技術は、図10のとおり単位容積あたりの伝熱面積密度を増加させることにより、同一吸収・蒸発能力を従来よりも小さい容積にて実現することが可能である。本熱交換方式は従来の水平管群と比較して熱交換形態が大きく異なるので、まずは基盤現象の把握を行い、その上で最終的に最適設計法の導出を行うこととした。そこで本研究開発では、実験による性能評価だけでなく、数値解析による詳細現象の評価を行っている。その中でも本報告では、現象がより複雑である吸収器にまず着目し、実験に先がけて行った数値解析より判明したプレート吸収器の可能性について述べる。

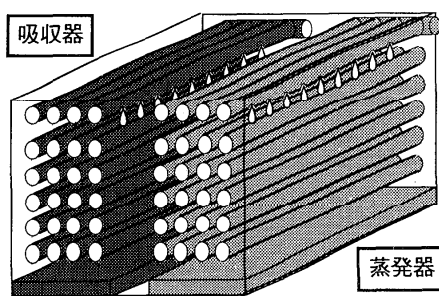


図9 従来構造の吸収器・蒸発器

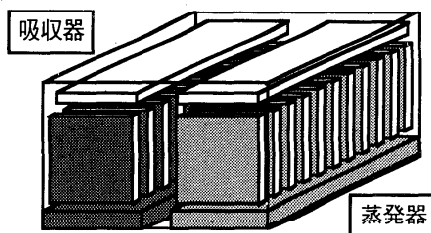


図10 新規技術の吸収器・蒸発器

3. 2 解析モデルの分類

プレート吸収器の基盤現象を把握し、最適設計法の導出を行うためには、任意の垂直加工伝熱面上を流下する吸収溶液の液膜を自由界面問題として扱い、同時に冷媒蒸気吸収による温度場・濃度場を解く必要がある。しかしこの最終解析モデルは非常に複雑であるため、表3に示すとおり途中に2つのステップを設けてアプローチを試みる。

3. 3 基本層流モデル

3. 3. 1 解析モデル

基本層流モデル⁽³⁾⁽⁴⁾は、垂直プレート吸収器の基本であり、垂直平滑面上を流下する乱れの全くない系を対象としている。通常実機の吸収器では、流下する濃溶液流量は膜レイノルズ数で100以下であることから、本モデルにおいても流れは層流とした。

表3 解析モデルの分類

解析モデル	モデル概要	モデル図
1. 基本層流モデル	垂直壁での基本的な吸収モデル	A
2. 波動吸収モデル	波動を与えた場合の吸収モデル	B
3. 自由界面波動吸収モデル	加工壁における自由界面流れを考慮した吸収モデル	C

A	B	C

3. 3. 2 解析における仮定

本モデルにおける仮定を以下のように設定した。

- ・流れは十分静かな二次元層流とした。
- ・冷却壁面上へ流入直後より速度分布は充分発達しており、その速度分布はヌセルトの水膜理論により与えられる。
- ・界面は平衡とする。
- ・界面の熱流束は吸収物質流束と吸収潜熱の積で与えられる。
- ・界面活性剤は添加しない。

3. 3. 3 基礎式

速度場では、ヌセルトの水膜理論式よりx軸方向速度uを、さらに連続の式よりy軸方向速度vを算出した。また、温度場にはエネルギー方程式、濃度場には拡散方程式を適用した。各式を以下に示す。

$$u = \frac{g}{2\nu} (2\delta y - y^2) \quad (3)$$

$$v = -\frac{g}{2\nu} y^2 \frac{d\delta}{dx} \quad (4)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} - a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (5)$$

$$u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = D \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \quad (6)$$

3.3.4 解析手法

臭化リチウムの拡散係数は温度伝導率の1/100程度であるため、温度分布と異なり濃度分布は液膜内部には浸透せず界面で濃度勾配が急になっていると予想される。そこで界面でメッシュ数の多い不等分割格子を採用し、座標変換を行った。差分計算はコントロールボリューム法により各要素の収支を保ちながら進めた。

3.3.5 解析条件

- ・吸収圧力：6[mmHg]≒0.8[kPa]
- ・溶液入口濃度：59.0[wt%]、温度：40.4[°C]
- ・冷却壁温度：30[°C]一定
- ・溶液入口流量：膜レイノルズ数 $Re_f=20$

3.3.6 解析結果

図11に、横軸に液膜流下位置（流入時の初期膜厚 δ_0 で規格化）とした場合の上段から温度分布、濃度分布、吸収物質流束分布を示す。上中段の縦軸は膜厚を表し、上段の等温線は1[°C]間隔、中段の等濃度線は0.05[wt%]間隔とした。これより温度拡散は膜厚方向全域に渡って浸透しているが、濃度変化が浸透している層は界面付近のみであることがわかる。これは膜厚方向の攪乱効果、つまり対流項が非常に小さいことに起因している。図12に、対流項の駆動力となる膜厚方向速度 v を、膜厚方向位置に対して示す。これより速度 v の値は 10^{-7} [m/s]のオーダーと非常に小さい値であることが分かる。その結果、図11下段に示すとおり、吸収物質流束が後述の波動吸収の場合と比較して非常に小さい。これより吸収促進を

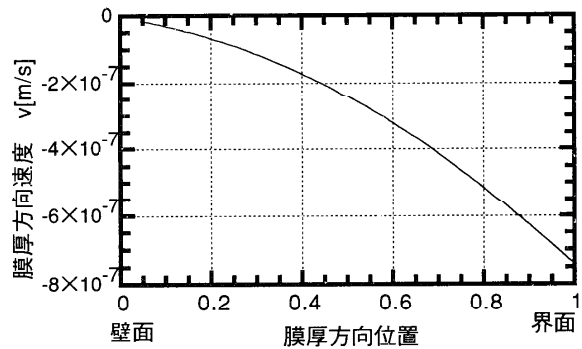


図12 膜厚方向速度(基本層流モデル)

図中には、膜厚方向の速度成分を増加させ、界面の低濃度溶液と液膜内部の高濃度溶液を十分に混合することが効果的であると考えられる。

3.4 波動吸収モデル

3.4.1 解析モデル

基本層流モデルでは流下する溶液は波動や乱れの全くない水膜として扱ったが、実際の垂直平滑プレート表面を流下する溶液の挙動では一定波長の周期的な波動が観察される。また、実用化の際のプレート吸収器は形状加工伝熱面を持つと予想され、その場合、溶液は波動液膜となって流下すると考えられる。そこで、液膜の波動が吸収性能に与える影響を把握するために、波動吸収モデル¹⁰⁾では基本層流モデルをベースとして液膜に周期的な波動を与えた場合の速度・温度・濃度分布を解析した。

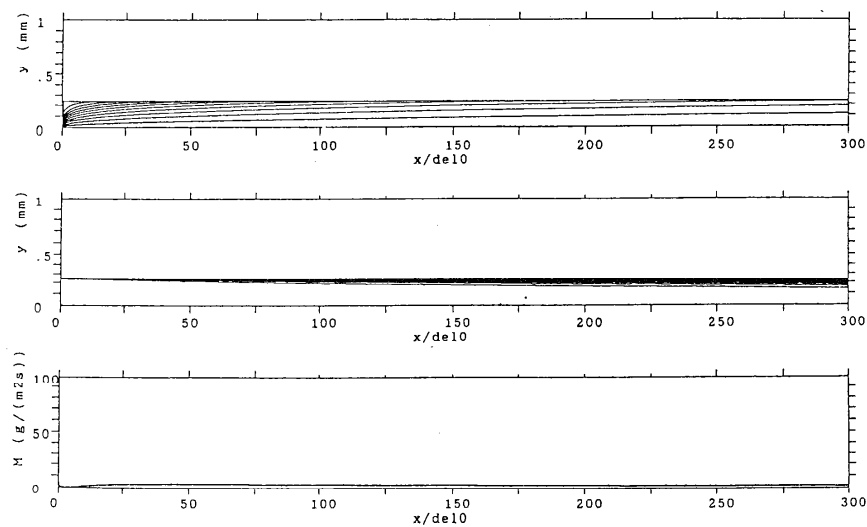


図11 基本層流モデルの解析結果

3.4.2 解析における仮定

- ・流れは2次元層流とする。
- ・液膜には周期的な波動を与え、波形変動の時間変化が小さくなった定常波の波形および速度分布を3波長分に延長した領域を解析系とする。
- ・界面は平衡とする。
- ・界面の熱流束は吸収物質流束と吸収潜熱の積で与えられる。
- ・界面活性剤は添加しない。

3.4.3 基礎式

速度場は運動量方程式と連続の式、温度場はエネルギー方程式、濃度場は拡散方程式を適用した。各式を以下に示す。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + g \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (11)$$

3.4.4 解析手法

基本層流モデルと同様に不等分割格子を採用し、差分計算はコントロールボリューム法を用いた。

3.4.5 解析条件

溶液入口流量： $Re_f=20,70$ としたほかは、基本層流モデルと同一条件とした。

3.4.6 解析結果

(1) 波動が吸収性能におよぼす効果の評価

図13に、溶液の膜レイノルズ数を基本層流モデルと同一条件である20とした場合の、波動液膜吸収解析の結果を示す。図13の形態は図11と同一とする。

●温度場

波動の発生により膜厚が薄い部分が形成され、その部分では温度勾配が急になり、熱伝達が向上し局所吸収量が增大する。

●濃度場

波動の中の位置により分布が大きく異なることから、詳細現象を把握するために、図14に示したように1波長当たり3つの部分に分割してデータの検証を行った。

a)山部前面($I \approx 0 \sim 50$)

図15に山部前面における膜厚方向位置に対する膜厚方向速度の変化を示す。これより、界面から液膜内部に向かって基本層流モデルでの値の1000倍程度に相当する 10^{-4} [m/s]オーダーの速度に起因する対流項が存在し、界面で希釈された溶液が内部に浸透していることが分かる。

b)山部背面～谷部($I \approx 50 \sim 100$)

図16に山部背面から谷部における膜厚方向位置に対する膜厚方向速度の変化を示す。これより、山部背面($I \approx 50 \sim 75$)では液膜内部から界面に向かって 10^{-3} [m/s]オーダーの速度に起因する対流項が存在し、内部の濃厚な溶液が界面に供給されていることが分かる。そのため谷部($I \approx 75 \sim 90$)では界面に濃厚な溶液が存在し、冷媒蒸気が吸収しやすくなるため、物質伝達が向上する。

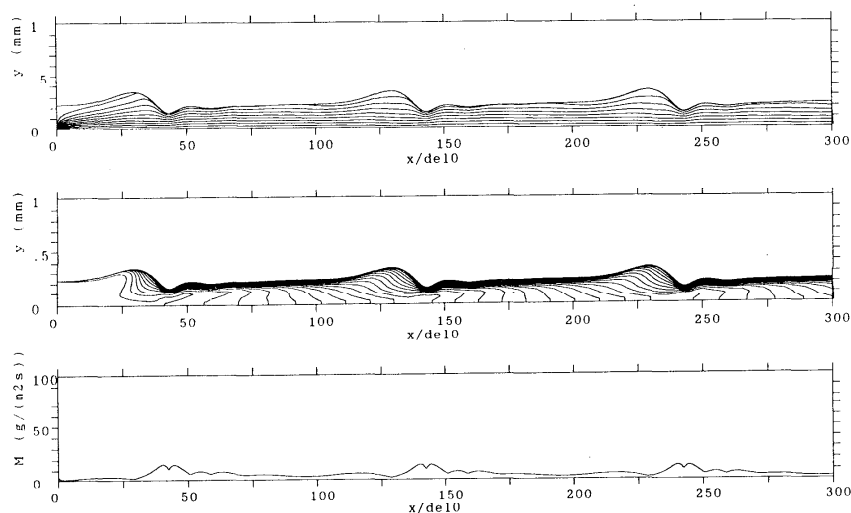


図13 波動吸収モデルの解析結果($Re_f=20$)

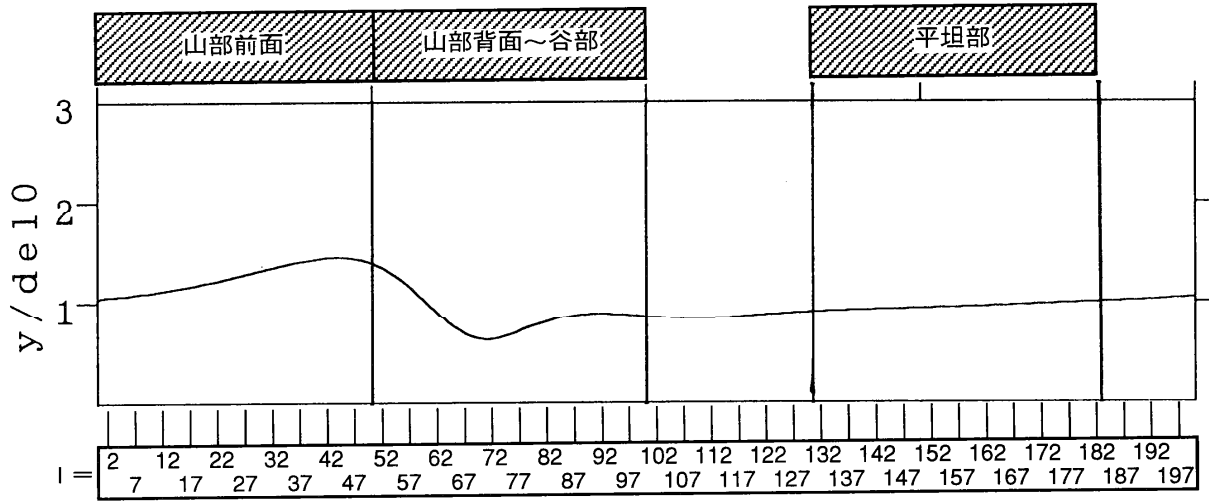


図14 1波長当たりの領域分割($Re=20$)

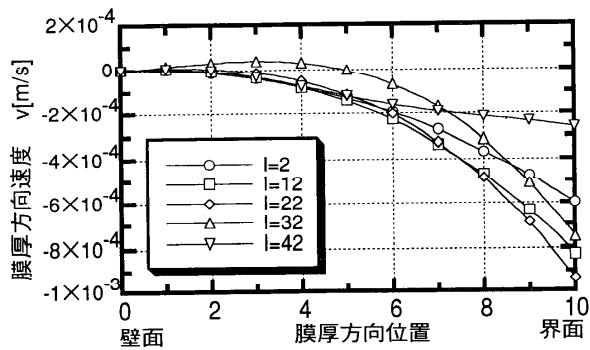


図15 山部前面での膜厚方向速度

c) 平坦部($l=130\sim 180$)

図17に平坦部における膜厚方向位置に対する膜厚方向速度の変化を示す。これから分かるとおり、この領域での膜厚方向速度の絶対値は、図15の山部前面の1/2以下であり、液膜を攪乱させる効果は小さい。そのため、図13中段よりわかるとおり、山部・谷部においていったん形成された濃度攪乱が重力方向に流下する速度成分で流され、濃度勾配が再び界面近傍に集中する傾向がある。その結果、この領域での吸収性能は促進されづらいことが分かる。

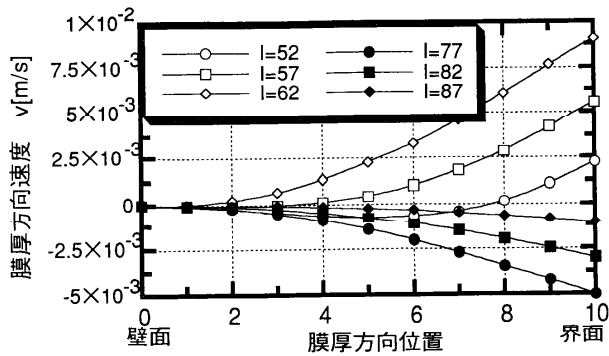


図16 山部背面~谷部での膜厚方向速度

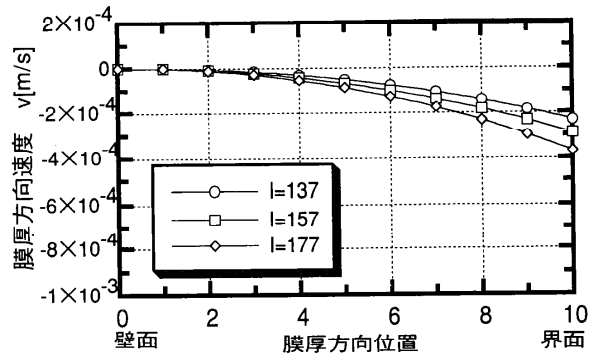


図17 平坦部での膜厚方向速度

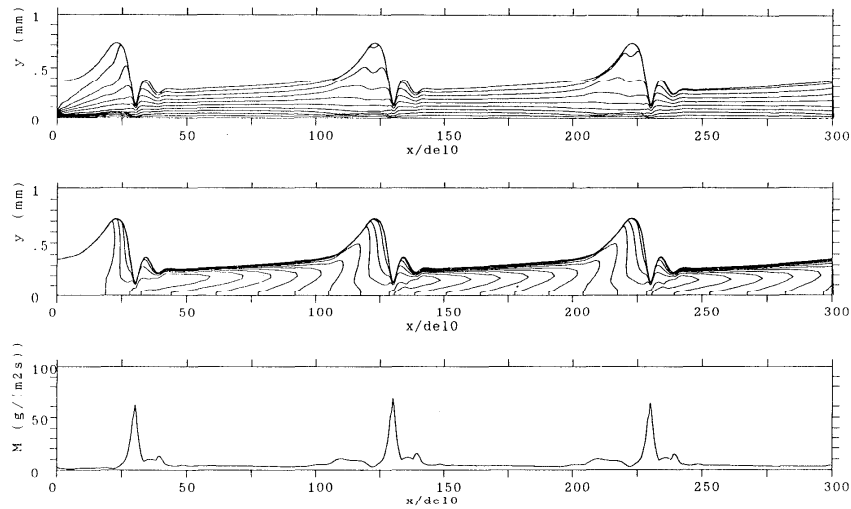


図18 波動吸収モデルの解析結果($Re_f=70$)

(2) 高い吸収性能を引き出す最適波動形状の評価

図18に、膜レイノルズ数を70とした場合の、波動液膜吸収解析の結果を示し、図13と比較検討する。

●速度場

膜レイノルズ数が20と70の場合における、膜厚方向の速度分布を図19に示す。図では横軸に液膜流下位置を、縦軸に液膜厚さをそれぞれ流入時の初期膜厚 δ_0 で規格化し、矢印の長さは速度と対応している。これより、波形が大きく変化している部分では膜厚方向速度も大きく変化していることが分かる。

●温度場

膜レイノルズ数が20と70の時の最小膜厚を比較すると、それぞれ0.148[mm]、0.116[mm]である。これより、最小膜厚が小さいほどその部分での温度勾配

がきつくなり、熱伝達が向上して吸収性能が増大することが分かる。

●濃度場

図19より、波動谷部では膜厚方向速度が正方向に最大の位置と負方向に最大の位置が隣接していることがわかる。(丸印で囲った部分)この現象は濃度攪乱に非常に効果的であると思われる。その攪乱効果を評価するために、図20では、膜レイノルズ数をパラメータとして図19で丸印で囲った部分である隣接位置での膜厚方向速度差を縦軸に示した。これより、膜レイノルズ数が70のように波形変動が大きいほど、隣接位置での膜厚方向速度差が大きくなる。その結果、濃度攪乱の効果が顕著となり、局所吸収性能が飛躍的に向上することが分かる。

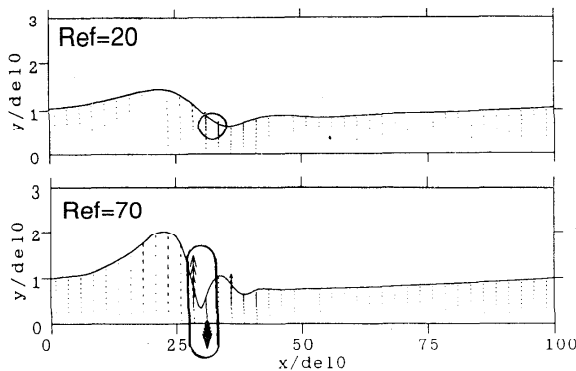


図19 膜厚方向速度分布($Re_f=20,70$)

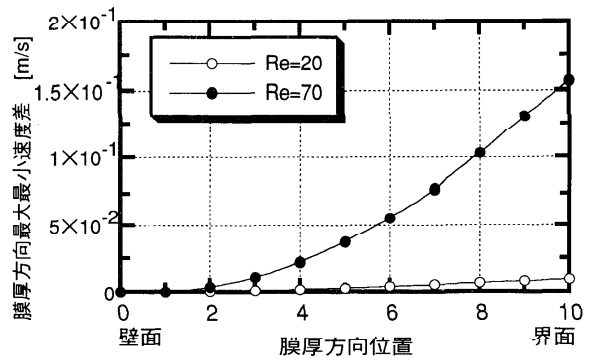


図20 膜厚方向最大最小速度差($Re_f=20,70$)

3. 5 解析より判明した知見

以上の解析結果および考察より、吸収性能を可能な限り促進させるためには、以下のような条件を満たした波動が存在する液膜であることが望ましい。

- (1) 膜厚に可能な限り薄い部分が存在すること。
ただし、液膜が切れずに存在していることを前提とする。
- (2) 膜厚の厚い部分と薄い部分が隣接し、かつその変化が急激であること。
- (3) 上記(1)と(2)の現象が同時に起こるほど効果は大きい。
- (4) 単位液膜流下距離中の平坦部が可能な限り短く、山部の数が多いこと。

4. 今後の展望

4. 1 高温再生器

ボイフの水管群燃焼技術を用いたコンパクト高温再生器の課題として、本報告では被加熱側である臭化リチウム水溶液による腐食の問題に着目した。これより、本技術は、高温による腐食の心配はなく、適用可能であることを確認した。一方、溶液を加熱するガスバーナには、そのコンパクト性から低圧供給ガスを用いた高負荷燃焼バーナを採用した。そのために必要な技術開発となる、部分負荷時の燃焼性能の把握や圧力損失増大ともなうブロウ容量増加に対応するためのベンチュリミキサの開発にも既に着手しており、それらの適用可能性も別途確認した。これより、本技術を用いることにより、高温再生器の缶体容積を従来の50%までコンパクト化を達成することが可能となった。

4. 2 吸収器・蒸発器

プレート型吸収器・蒸発器は、従来の水平伝熱管群と比較して熱交換形態が大きく異なる。そのため、まずは基盤現象の把握を行い、それら様々な基盤技術の蓄積のもとで最終的に最適設計法の導出を行っていく必要がある。そしてこれらの研究を継続する際に必要なことは、実現象を評価・検証することのできる実験的アプローチと、実験では解析しきれない詳細部分の評価や実験では実現困難な様々なパラメータ解析が可能である数値解析的アプローチの効果的な組合せである。

(1) 実験的アプローチ

要素試験により、プレート吸収器・蒸発器ともに以下の項目を重点的に解析していく。本アプローチ

は、実際の現象を把握することができるという点で非常に重要である。

●伝熱面形状の影響

伝熱面の突起やピッチ、高さ等の影響を確認する

●膜レイノルズ数の影響

従来値にとらわれず、様々な流量に対しての特性を確認する

●界面活性剤の影響

従来より実用化されている2エチル1ヘキシルアルコールを添加した場合の特性を確認する

(2) 数値解析的アプローチ

表3に示す自由界面波動吸収モデルの開発を行う。この解析モデルを用いて、以下に示す項目を重点的に解析し、実験的アプローチでは解析困難な液膜の速度分布・温度分布・濃度分布の評価等、理論的側面からの基盤技術の把握・最適設計方法の導出を行っていく。

●伝熱面形状の影響

多種多様な伝熱面形状パラメータの影響を評価する

●膜レイノルズ数の影響

各伝熱面形状において、様々な流量に対する特性を確認する

4. 3 熱源機の高効率化への展望

CO₂排出にともなう地球温暖化を抑制するためにも、高効率吸収冷温水機の研究開発が必要となる。高効率化のための技術シーズとしては、サイクルの改良、排ガスの熱回収、高性能吸収器蒸発器の開発、サイクル内部の熱回収等が考えられる。今回の研究成果であるコンパクト高温再生器、吸収器、蒸発器技術やそれらの基盤現象解析技術は、上記の高効率化の技術シーズの一部に適用することが可能であるため、本研究開発は将来的な高効率熱源機開発の一つのステップをも兼ねているものと考えている。

謝辞

本研究での吸収器の数値解析を行うに当たり、徳島大学工学部機械工学科の森岡斎教授、清田正徳助教授に多大なご指導を賜りましたこと、ここに深厚なる謝意を表します。

参考文献

- (1) 神足ら: 東京ガス技術研究所報告第35号(1990)
- (2) 古川ら: 第26回空調・冷凍連合講演論文集(1992)
- (3) 浦川, 森岡, 清田: 機論B, 52巻476号, 1766(1986)
- (4) 清田, 森岡: 機論B, 58巻554号, 3167(1992)
- (5) 清田, 森岡, 清井: 機論B, 60巻580号, 4177(1994)
- (6) 酒巻: 徳島大学大学院工学研究科修士論文(1996)

「研究ノートから：－伝熱問題に関する
未成功研究－その2－」にあたって

研究ノート

Preface to "From Research Notes"

---Still Unsucceeded Research on Heat Transfer Subjects- II ---

第36期編集委員会

熊田 雅弥 (岐阜大学), 小澤 由行 (高砂熱学工業)

Masaya KUMADA (Gifu University)

Yoshiyuki KOZAWA (Takasago Thermal Engineering, Co., Ltd.)

この学会誌「伝熱研究」が会員の皆様のお手元に届く頃は、21世紀まで後700日、100週間を切っているであろう。オリンピックでもあるまいに、研究や技術には、このような類のカウント・ダウンは無意味かもしれない。しかし21世紀までとっくに残り10年も無いのに、ここ数年「21世紀を展望した新しい・・・」、という夢物語りの楽観的な催しや記事は、各種の学会・学会誌で大いにもてはやされていることも事実である。一方逆に、いわゆる「世紀末世相」というか、20世紀の社会の矛盾や問題、あるいは刹那や挫折感に依拠して、21世紀を悲観的に捉えた主張も、昨今の世の中では多い。

将来を楽観視するか、悲観視するかは、いつの世でもあり、誰でも考えることである。しかし科学技術の世界で大切なことは、物事をまずは正確に把握することである。また、何かの専門家であっても、いざれ人ひとりであることには変わりはなく、生活や社会の中で培われている人の感性や価値観も大切であろう。ここで、少なくとも大事なこととして言えるのは、その道の専門家が現象やそれに纏わる各種の事象を表面的に捉えて、希望的な観測をし、主張して、結果的に根拠のない煽動にすぎない動きに一役を買うのは、厳に慎むべきことであろう。

この編集企画は、伝熱に係わる研究や技術を、「失敗・未成功」という観点から、より正確に把握しようとするものである。その第1回目では、20世紀のこの40～50年間にわたって「伝熱研究を創って来られた先生方」の中から、7人の先生に寄稿を願った。その中で敢えて吐露された失敗に纏わる種々の状況と要因の分析は、従来方式の学会活動では「知り得なかった鋭い」ものが多い。またそれらは「古くて既に誰しも克服済み」という内容でないと受け止められた読者の方も多いのではないかと。さらに、それぞれの研究課題に対して、その著者が「失

敗を糧にしたり克服したい」という執念、あるいは「将来の研究の進展に託す」情熱は、世代を越えても変わらぬもの、むしろ新しいものと言えよう。すなわち伝熱の研究や技術においても、当事者自らの失敗を含めた「事実」に対する真摯な分析力と常に「一歩先」を見据えた強烈な忍耐力とが、結果を成功に導く「車の両輪である」ことがくみ取られる。

第2回目は、以下のような考え方から、主に企業で伝熱に係わる研究・開発や技術開発に携わって来られた方々に寄稿をお願いした。

- (1)伝熱学会への最近の多くの指摘に、もっと企業の「もの作り」や「エンジニアリング」に直接役立つ研究や活動の方向を見出したい、ということがある。一般に企業には、市場や社会のニーズやコスト意識についての実体験が豊富にある。これらとの関連を含めて取り上げられる「失敗」は、必ずや今後の伝熱研究に有効なものになるであろう。
- (2)機械学会誌(昨年11月号)上の座談会「長寿社会の学会のあり方」では、『失敗から学ぶために』何をすべきかが、話題の一つに取り上げられている。その中の具体的な方法として、『難しいこと』だが、「開発の現役の人に話をしてもらうことが一番」、ということが言われている。伝熱学会はこじんまりとしたアットホームな組織であり、その特長を生かせば、そのような困難も必ずや具体的に克服できよう。

今回お届けする《研究ノートから》には、4名の方々が寄稿を下された。世の中の具体的なシステムや装置と伝熱技術との関係が、伝熱研究でよくある伝熱現象に依拠したアプローチとはひと味違った別な形で、浮き彫りにされていると確信する。またシステムや製品の開発とその市場投入における伝熱技術の役割あるいは限界なども、具体的な事象に基づ

いて改めてご認識頂けるであろう。種々の困難を押してご執筆を頂いた方々に、ここに改めてお礼を申し述べたい。

ところで、この《研究ノートから》の編集企画では、当初から編集担当者としてその実施に蟬りや悩みが多かった。幸いにして、既に11人の方々の献身的なご協力を頂くことができ、どうにか進行させて載っている。一つ一つの失敗の重要性については、今更論を待たない。しかし、失敗の因果関係の同定あるいは糧としての活用方法となると、現状までの内容だけからでは、これらのケース・バイ・ケースの様々なものを、容易には水平展開しにくい。今後この編集企画をどのように定着あるいは統括できるかについては、甚だ心許ないというのが目下のところ編集担当者の偽らざる心境である。まずは「何事も失敗を恐れず、なせばなる」をモットーに突き

進むことにしたいが、この編集企画に対する会員各位の知恵と労力のご提供を今まで以上にお願いしたい。

失敗は、人が浅知恵であるがゆえに経験できる、貴重な財産である。これを加えて、伝熱学会では、人間の生活・社会・経済の中にある「人間臭さ(Human Relations)」、あるいは「人間の根元的な振る舞い(Human Behavior)」までも活動のスコープに入れ、その「学術活動の広く具体的な社会還元を一層図る」、ということを目指したい。

以下には、哲学者・中島義道氏と経済学者・飯田経夫氏の次世代に向けた最近の主張を引用して、とくに、伝熱分野の21世紀を担う若い研究者・技術者の、一層強烈な奮起とリーダー・シップの発揮を含めた、革新(Innovation)に期待することにした。

《・・・それは、アアしましょう・コウしましょうという管理標語・管理放送がほとんどなく、各人が自分の判断にもとづいて動く社会である。

・・・それは、「思いやり」とか「優しさ」という美名のもとに相手を傷つけないように配慮して言葉をグイと呑み込む社会でなく、言葉を尽くして相手と対立し最終的には潔く責任を引き受ける社会である。

・・・あなたはこうした社会の実現を望まないであろうか》

【〈対話〉のない社会--思いやりと優しさが圧殺するもの--】より

中島義道著 (PHP新書: Nov. 1997)

《・・・ごくふつうの人間の幸せということを目安に考えると、資本主義・市場経済には、それにそぐわない側面がある。そして、そういう欠陥を是正するために、経済学はこれまで血みどろの努力を続けてきたけれども、それはそれで、必ずしも成功したとはいいがたい。しかし、その反面、貧乏をなくし「豊かさ」を実現するという面では、資本主義・市場経済は、かなりの成功をおさめてきた。

・・・ところが人びとは、とかく既成の観念に災いされ、あるいは、みずからの利害に影響されて、なかなか現実を直視しようとしなない。そこから私は、経済学という学問――さらには社会科学という学問の客観性と、その意義とについて、深刻な疑問にとらわれざるをえないことが、率直に言ってしばしばある。》

【経済学の終わり--「豊かさ」のあとに来るもの--】より

飯田経夫著 (PHP新書: Nov. 1997)

失敗から得た私の行動指針

My Belief Built up through Failure

中原 崇文 (愛知工業大学)

Takabumi NAKAHARA (Aichi Institute of Technology)

1. 不幸中の幸い

今思い出しても「ゾットとする体験」である。
あれは夏の暑い日の午後であった。U氏と共同して燃焼の実験を行っていた2時過ぎのことと記憶している。「ドカーン」という轟音であわてて振り返ってみると、混合槽頂部に設けたマンホールのふたが吹き飛び、油と水蒸気の噴煙が10メートルほど猛烈に噴き出したのである。
瞬間的に燃焼中の油系統バルブを閉め、U氏とともに消火器を持って無我夢中で走ったが、幸いにして数回噴煙を上げただけで収まった。
あたり一面はもとより、我々も頭から油を被り真っ黒になってしまったが、火事にならなかったことにホッと胸をなでおろしたものであった。油火災になっていたら、今頃このような体験談を書いている立場にはなかったと思う。不幸中の幸いであった。
今回の伝熱研究誌は失敗談を書けとの指示なので、以上の体験を中心にして、これらから得られた教訓と我が人生への反映を記述してみたい。

2. 地震、雷、火事、親父

これらは周知のように怖いものの代表として、昔から云われてきているが、火事を除いたほかのものは、皆第三者的に起こるという特徴を持つものである。火事は当事者の注意で避けられるもので、発生件数は昨今のように親父が優くなった社会ではもっとも多く発生するものであろう。火事には至らなかったが、一つ間違えば大事故につながった上記の体験は、事前の検討などを十分に行えば避けられたものであるので、反省も含め少し纏めてみたい。

その研究は、プラスチック原料生産過程で発生する中間段階の高分子廃棄物をエネルギー源として活用する方法の一つとして、廃棄物を高温の重油の中

に溶かし込んで一緒に燃料として利用することの可能性を探るものである。

工場から提供された廃棄物の融点は190度であるので、高圧蒸気で間接的に200度程度まで加熱し、低沸点分を蒸発させた高温の重油と攪拌して溶融混合物を造る計画とした。

溶融混合物を造る装置は、

- 1)投入廃棄物による故障の心配があるので、機械的可動構造物の無い重油の循環方式を採用
- 2)投入廃棄物中に含まれる異物対策として、底部に滞留層を設ける
- 3)廃棄物付着水分は、布で拭いて十分に除去
- 4)火災防止のためタンク頂部は、窒素ガスでシールして大気に直接触れないようにする

ことを考慮して既存の油貯蔵槽を若干改造し、溶融混合槽として実験に用いた。

燃焼させた結果は、排ガス中に含まれる煤塵量や窒素酸化物、硫黄酸化物も少なく、本方法による活用に目処がたった。

重油の噴出は、以上のような結果が得られ始めた頃起こった。溶融混合槽内の加熱蒸気管の破裂が原因と見て調査したが、健全であった。槽内をよく調べたところ、油分の中に水分が認められた。水分の混入は急激な膨張によるトラブルにつながると予測し、試料の投入時には布で水分を拭き取るなどしてきたが、長時間の間に微量の水分が底部に蓄積したものと考えられた。

流動解析で確認すると、底部の流れは停滞し比重の大きい水分が滞留する。上部の高温部からの伝導熱によって底部に滞留した水分が、急激に蒸発し噴出したものと反省した。

3. 失敗を反映した対策で好結果

この反省を基にして、

- 1)槽の底部から混合液を抜く
- 2)異物対策はポンプ吸引部にフィルターを設置す

る

ことを骨子として、改良を加えた。

この方式により、以降の実験は事故もなく順調に進み、廃棄物の活用の技術も確立することが出来た。

わずかな改良であるが、工業的な点から見ると、

- 1)内部に機械的な可動部分を設けにくい
- 2)内部に滞留部分が無いようにしたい

場合の混合方式として有用と考え、いくつかの場合に適用し、効果を発揮している。大失敗を技術的に検討して立案した新しい溶融方式は、他の分野でも役に立ったことになった。

以上の大失敗は、

- 1)研究の主要目的の部分は、十分な検討を行っているのに、何ら支障は発生しなかった。
- 2)周辺機器として溶融混合させる部分も、当時の技術範囲でかなり検討したつもりであったが、不十分なところがあった。

ために起こったものであるが、しかし、失敗を考慮した対策により、好結果が生み出されたといえる。

4. 失敗から得た行動指針

一連の体験から得た反省点は、「時間とコストの競争が厳しい企業人」として当たり前のことではあるが、

- A)主要機器のみならず周辺機器に対しても、定量的な検討を事前に十分行うこと
- B)失敗してもデータを捨ててしまわずに、それを基にして対策を技術的観点から行うこと

であるといえる。さらに、

- C)失敗をおそれないこと
- D)出来なかった原因を参考にして可能にするための方策を前向きに討論すること

が肝要と考え、これらをその後の行動における指針として職場において実行してきた。

5. 若い人へのフィードバック

平成7年4月から職を変更して、教育の場で若い学生達の指導を行っている。経験十分な先生方との意見交換をしたわけではなく、また3年足らずの短い期間の体験であり、ごく一部分の偏った部分からの判断であるので、反論もあると思うが、卒業研究などからみた学生達の共通項は、

- 1)判断基準が非常に感覚的である
 - 2)定量的表現に弱く、叙情詩的表現である
 - 3)失敗を何遍でも繰り返す、すなわち失敗の原因が技術的に把握されていない
 - 4)当然「試行錯誤」の繰り返しの繰り返しで、時間のみが行って行く
 - 5)講義での学習を生かしていない
 - 6)出来ない理由をいろいろ並び立てる
 - 7)難しいことへの挑戦意欲がやや不足
- などの特徴があるといえよう。

社会環境が映像や漫画などのイメージ媒体であふれている一方、常に受け身の状態で暗記し、それを試験でただ吐き出すだけという受験勉強と成績評価で締め付けられてきた結果と思われ、かわいそうであるとさえ考えるのである。

学生にとり卒業研究は、翌年からの企業生活に備え、それまでの講義で得られた知識をフルに引き出すとともに受け身一方で詰め込まれてきた立場を変え、テーマと解決のヒントのみを与えられて自発的に推進して結果を出し、それを取り纏めてPRする格好の訓練の場といえる。

そのような意味で卒業研究は、企業に入る前に個別に徹底的に指導できる非常によい場ととらえ、一連の体験から得た行動指針：

- A). 叙情詩的表現から脱皮し定量的な検討
- B). 技術的観点からの把握
- C). 失敗をおそれずにチャレンジ
- D). どのようにしたら解決するかという点に論点をのこした前向きな討論

を学生達にも実行させ、身につけるようにしている。

そして卒業研究の終盤を迎えても、時間の経過に身を任せられている学生達に対して、「試行錯誤はもうやめよう」と口を酸っぱくして云っている昨今である。しかし、やはり来年も同じことを繰り返していることとなるであろう。

6. おわりに

小澤編集担当からのご指示で執筆することとなったが、記述した中身は編集方針に合致しているか否か自信がない。企業と教育の場双方を体験している浅学非才の一技術者からの報告と自戒を込めた反省の言葉としてご笑読いただければ幸いである。

現象を正確に把握すること

Clear Understanding on the Flow and Thermal Behavior

石塚 勝 (東芝)

Masaru ISHIZUKA (R&D Center, Toshiba Corporation)

1. はじめに

編集担当から、「失敗談を書いて下さい」と依頼されて、引き受けたのはいいのですが、意外と自分が失敗談らしき経験がないことに気がつきました。すこし考えて、結局、これは、私自身の思い上がりで、己に対する厳しさが抜けていたことにほかならないことに気がつきました。しかし、失敗談そのものは、ないのです。つまり、失敗するほど、研究を突き詰めていなかったか、危ないと悟ると、失敗する前に仕事を止めるか、いずれにしても、他人に「これが失敗談です」と誇れる？ものがないのです。ただし、この機会にもう一度、自分の過去を洗い出してみようということで、思いにふけた結果、今から考えると「これが失敗談に入りそう」な経験を思い出したので、ご紹介します。

2. 複写機の熱設計

学会等で何度かお話をさせていただきましたが(1,2,3)、私どもは、熱解析を実際の電子機器の設計に応用しようと考えていまして、種々の解析法にトライしてきました。コンセプトは「現場の熱設計者が使えるツール」ということで、机上で扱えるのが至上命題でした。当時は、パソコンを使った流熱解析手法ということで、節点法を用いた解析法を開発していました。方法としては、流れの可視化実験等を使って、おおまかな流れ場を把握し、その流線を圧力を表す節点で分割し、節点と節点とを流体抵抗で連結します。また、温度場では、発熱体からの熱が移動する経路を描き、温度場である節点同士を熱抵抗で連結します。そして、エンタルピーの混合式と対流熱伝達式を使って、温度場と流体場とを連結します。この方法を使って、10年近く前、複写機の熱設計に利用することにしました。さっそく可視化実験を行うために、図1の透明のモデル機を作成し、流動パラフィン塗布した細線を熱して、白煙

を発生させ、流路を見定めました。図2にあるような流線図を書きました。ここで、実は、この図で、中央にある搬送ベルト下部にある破線の流線は当初無視されていました。流れがはっきりせず、よく見えなかったのです。この後、図3にあるような節点網で、搬送ベルト下の太線が存在しない節点網を描き、計算をしました。研究計画では、現状のモデルで、実験で得た温度場と比較して、特定が困難な流体抵抗値を逆算して求め、今度はその値を使って、空気取り入れ口の面積や位置、全体流量などのパラメータと温度場との関係をあきらかにしようとしたのでした。ところが、いざ計算してみると、ドラム近辺の測定温度を計算値がまったくシミュレートしませんでした。つまり、近辺の流体抵抗値を多少変化させても、5℃以上の差が出てしまいました。複写機では、被写体をのせるコピー台が下からのランプに熱せられて、ガラスに温度差ができ、それにより熱応力破壊がおこりはしないかという心配と、ヒートローラの熱によって、ドラムの温度が高くなり、印字性能が悪くなりにはしないかという心配があります。ドラムは温度に敏感で、数度の温度上昇で、印画性能が悪くなります。それでも、設計現場からはやくデータがほしいと催促され、観念して、そのまま上述したパラメータサーベイをすることにしたのですが、パラメータを多少変えても、ドラムの温度場に有為差が生じないのです。いささか、こまり果てました。節点の切り直しなどを行いました。結局無為無策が続きました。数週間後、当時の共同研究者の佐々木氏が、「もう一度、可視化実験をしたい」と言い出したので、「ではやってみよう」ということになりました。彼は、可視化実験では実力派でしたが、今度はドラム周りの観察を慎重に行いました。すると、搬送ベルトの下に、かすかに、前回の可視化実験結果では、表れなかった流線が見えました。前回の実験では、可視化ランプの光度と注意力が不足していたのでした。さっそく、図2に示す通り、破線の流線を付け加えたところ、あれほど

うまく行かなかった実験値との合わせがうまく行きました。あとから考えると、当然あるべき流線でしたが、実際に可視化実験をしたために、かえって「モデルに間違いはない」という過信が生じました。その時ほど、正確な現象把握の大切さを知らされたことはありません。現場の方には迷惑をかけました。これは、完全に研究姿勢に由来する研究方法の失敗でした。

3. 教訓

最近、分子動力学など計算力学の発展が目覚しく、計算機による解析を実際の設計にも応用しようとする試みが出てきました。パソコンのように製品サイクルが早い機種は、何よりも早めに機器の熱性能を予測して、設計期間を短縮する技術も必要になってきました。そのため、熱設計に数値解析を用いることが増えています。これは、重電機器において同じです。問題になる点は設計開発コストです。軽電機器のように量産することがないため、設計開発のコストが直接製品の値段へ反映されることになるからです。設計開発コストには、人件費（設計開発期間）、実験装置製作費などが含まれますが、これらを低減するためには数値解析を用いることがぜひとも重要になっています。これは、大変結構なことなのですが、これは、あくまでも現象の正確な把握の基盤があって、はじめて有効であることを肝に銘じています。特に、数値計算結果からの実現現象の読み込みを重要視しています。とかく、出てきた結果を、鵜呑みにして、前に進む傾向が見受けられますが、これは後で非常な危険をはらんでいます。特に、企業では、大変な損失を被ることになります。私の失敗は、実はこの一歩手前だったのです。その時は気がつかなかったのですが、後から振り替えると、恐ろしささえ感じます。

4. あとがき

今回は、複写機の熱設計の際の失敗談を紹介しました。あえて、失敗談としました。これは、その時は気がつかないことではありますが、あとから考えると大きな損失を招きかねない事件だったからです。そして、このことは、昨今、数値計算結果からの実現現象判読を忘れ、とかく、若い人のなかに、出てきた結果を、鵜呑みにして、前に進む傾向が見受けられます。これは、企業では、大変な損失を被る危険があります。本稿が、すこしでも、若い方のお役にたてば幸いです。

[参考文献]

- (1)佐々木, 石塚, 機構論, No.890-27 (1989), p.19.
- (2)佐々木, 石塚, 機構論, No.900-14 (1990), p.273.
- (3)石塚, 機械の研究, Vol.44, No.11 (1992), p1154.

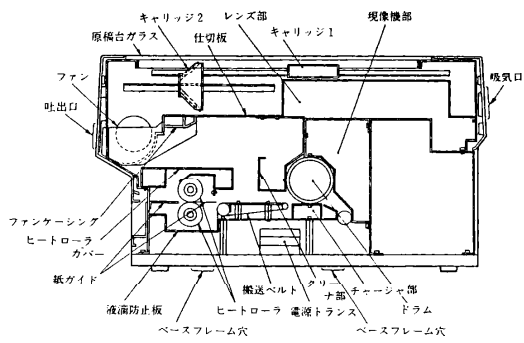


図1 複写機モデル

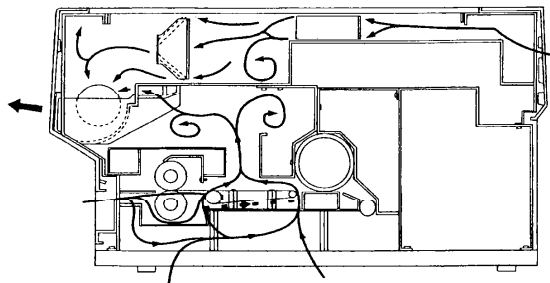


図2 可視化実験の結果

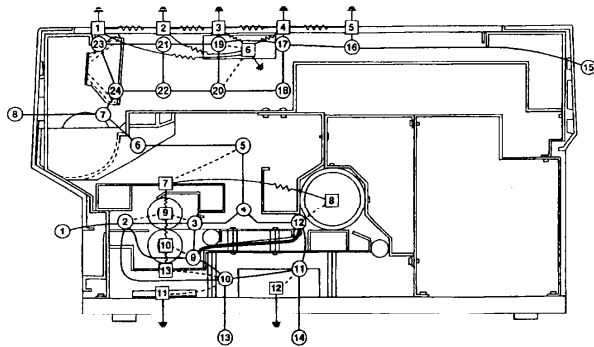


図3 節点場

技術とコストのハードル

*Against the Hurdles of Technical Problems
and Manufacturing Cost*

松尾 篤二 (三菱重工業 (株))

平松 正義 (中部電力 (株))

Tokuji MATSUO (Mitsubishi Heavy Industry, Ltd.)

Masayoshi HIRAMATSU (Chubu Electric Power Co., Inc.)

1. はじめに

ものづくり企業での研究の目的は、最終的には新たな製品の開発あるいは既存製品の改良という形で、成果を自社の製品に反映することにある。その意味では製品になって初めてその研究は成功である。しかし、たとえ製品につながらなくても、研究の過程で得たさまざまな経験、知見は研究者の知識を広め、別の機会に何らかの形で役立つことが多い。したがって、その研究を失敗あるいは不成功とは言いきれない。

それはともかく、製品にならなかった研究を未成功とするならば、未成功の原因はケースバイケースで様々である。技術的にはクリアできてコスト面から断念というケースも多い。そういった例のひとつを述べることにする。

2. 電気温水器コンパクト化の研究での経験

2.1 研究の動機

一般住宅で使用されている深夜電力利用の電気温水器は、メンテナンスフリーで火災等の危険性もなく、唯一、湯を使いすぎると水しか出ない点を除けば、大変使い勝手のよい蓄熱装置である。しかし、需要は伸び悩んでいる。その原因の一つに温水器本体が大きいという点が上げられる。ガス焚きの給湯器に比べるとはるかに大きく場所を取る。なんとか能力の低下を招くことなく、コンパクトな温水器はできないか、そんな理想を掲げて研究に取り組んだ。

2.2 蓄熱材の選定と潜熱の予想とのずれ

蓄熱容量を変えずにコンパクトにするには、蓄熱密度を上げなければならない。そのために、比較的狭い温度変化で高密度蓄熱が可能な潜熱蓄熱方式を選択した。

使用する蓄熱材には潜熱が大きいことのほかに種々の要求がある。まず、家庭用であることから本質的安全性が重要である。安全性とは、化学的に安定でかつ毒性がないことである。絶対に爆発や火災

を起こしてはならないし、万一漏洩した場合でも人体に害があつてはならない。次に、蓄熱材や蓄熱装置の設置が法的規制を受けないことが必要である。設置手続や定期検査が必要になると、とても住宅向きではない。温水を発生させるには蓄熱材と水との間で熱交換させなければならないので、蓄熱材を入れた蓄熱槽の中に熱交換器を設置する構造になるが、このような熱交換器は一種のボイラであり、労働省の「ボイラ及び圧力容器安全規則」の適用を受けないよう配慮が必要である。同規則は、圧力1.08MPa以下で伝熱面積5m²以下の貫流ボイラには適用されないで、給湯停止時に熱交換器内の水が蓄熱材と同じ温度になっても、水の圧力が1.08MPaを超えないように、蓄熱材の融点はその飽和温度である183℃以下であることが必要となる。そのほかに、蓄熱材には、安価であること、材料腐食性がないこと、取り扱いが容易であることが要求される。

このような蓄熱材への要求を満たしうるものとして、一般にはHTS(Heat Transfer Salt)と呼ばれている硝酸塩系溶融塩を選定した。メーカーカタログ値によると、融点は142℃、溶融潜熱は255kJ/kgであった。ところが実際に測定してみると、融点は水のように一定温度ではなく、144～153℃の範囲に広がっており、この温度範囲での潜熱は84kJ/kgとカタログ値より大幅に小さかった。溶融潜熱とは別に90℃付近に転移熱があつて、それを含めると141kJ/kgとなったが、それでもカタログ値よりかなり小さいのでメーカーに問い合わせると、潜熱の数値はその後変更されているとの回答であった。随分いい加減なカタログだと思ったものである。文献にはHTSの潜熱を84kJ/kgとしたものもあつたが、用いることにした溶融塩は特殊な配合あるいは製法により潜熱を高めてあるものと思ったのが最初の失敗であった。しかし早い段階でその誤りに気づき、しかも蓄熱槽は余裕を見込んで大きめに設計したので、蓄熱材を増量し、さらに顕熱分も利用することで所要の蓄熱量は確保できた。

この温水器について講演会で発表した際に、著名な先生から、HTSは潜熱が小さいので蓄熱材には適

さないとのコメントをいただいたが、蓄熱材の新規開発は毛頭考えておらず、住宅用という前述のような種々の制約からほかに適当な蓄熱材が見当たらなかったというのが実状であった。

2.3 試験機での見込み違い

ともあれ、HTSを蓄熱材として、従来の貯湯量0.37 m³級の電気温水器と同等の給湯能力で容積は1/2を目標として、図1の構成の試験機を製作した。当初、電気ヒータは蓄熱槽の底部のみに設置した。

ところが、このような構成で蓄熱と給湯を繰り返していくうちに、矩形の蓄熱槽がわずかながら膨らんできた。これは次の理由によるものと推定した。給湯時には溶融した蓄熱材は下の方から凝固する。凝固すると固相の方が液相より比容積が小さいので収縮し、上方の液相が下りてきて収縮分を埋める。このようにして給湯を終え、凝固した状態から電気ヒータに通電して蓄熱を開始すると、まずヒータ周りの蓄熱材が溶融して溶融範囲が次第に上方へ拡大する。溶融すると蓄熱材は膨張するが、上方が凝固相で塞がれているので逃げ道がなく蓄熱槽の膨らみを引き起こしたという次第である。やっかいなことにこの膨らみはあるところで収まるというものではなく、いずれは蓄熱槽の破壊を引き起こす恐れがあった。これを防ぐために副ヒータを鉛直に配置し、蓄熱開始時にはまず副ヒータのみに通電してその周りを溶かし、その後底部の主ヒータに通電して溶融した蓄熱材の体積膨張分を上部へ逃がすようにした。この副ヒータは期待通りの効果を発揮し、その後蓄熱槽の膨らみは止まった。

蓄熱材の凝固・溶融に伴う体積変化は十分認識していたつもりだったが、蓄熱槽の膨らみまでは考慮

が至らなかった。凝固相は予想以上に強固で、やってみてはじめて気づいたというのが正直なところである。

給湯の際には、蓄熱終了後の蓄熱材温度が高い状態では熱交換器から混合弁へ過熱蒸気が供給されて冷水と混合される。給湯の進行に伴って蓄熱材の温度が低下すると、熱交換器出口水温は次第に低下する。使用した混合弁は市販品で、本来流入側条件の変化があまり大きくない状態で使用するものであったため、本温水器のように高温側が過熱蒸気から温水まで変化する条件には対応できず、結局手動弁である程度流量を調節する必要があった。

このように、いくつかの見込み違いやトラブルがあったものの、いずれも試験機としてはクリアでき、従来の温水器と同等の能力を発揮できた。

住宅用として完成させるためには、給湯温度調節など技術的に解決すべき課題は残ったが、さほど困難ではなく解決可能との見通しを持った。

2.4 コストの制約

しかしながら、問題はコストである。従来型温水器はいわばタンクとヒータだけであるのに対して、本方式では蓄熱材や熱交換器が必要になる。当然その分コストアップになる。また蓄熱温度は従来型は95℃程度以下であるのに対し、本試験装置では溶融完了のために最高170℃まで上げており、高温化に対応した保温が必要になる。従来型と同じ保温材を用いると厚さが増すので、全体容積が増大する。保温材を薄くして容積を抑えるためには、高価な保温材を用いなければならない。いずれもコストアップをもたらす。

目標コストは、従来型並みはもともと無理であるので従来型の2倍以下としたが、蓄熱材、熱交換器、給湯温度調節器が付加され、保温材も高価になるのでは、決して容易に達成できる目標ではなかった。当初からコストも十分意識して、できるだけ簡略な構造にしたが、残った技術課題の解決に必要なコストの増加も見込まれ、量産効果を考慮しても最終的には目標値に収める目処が立たず、製品化は見送った。

3. むすび

コストの点から、研究の成果は製品という形に実を結ばなかった。見通しが甘かったといえばそれまでであるが、困難な中でなんとか道はないかと探った結果である。最初からあきらめることなく、挑戦する姿勢は大切ではなかろうか。

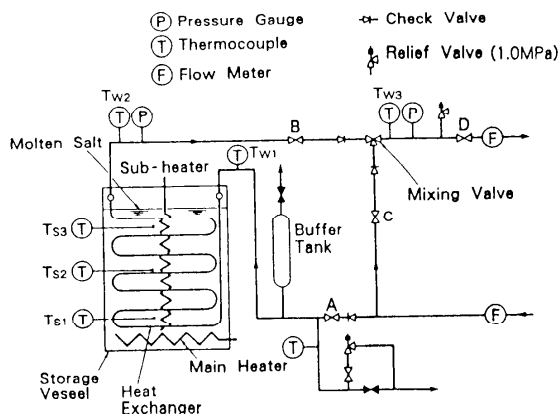


図1 試験機の系統図

ビール・ディスペンサーにおける高性能冷却技術

High-performance Cooling Engineering in a Beer Dispenser

小澤 由行 (高砂熱学工業 (株)、総合研究所)
Yoshiyuki KOZAWA (R & D Center, Takasago Thermal
Engineering Co., Ltd.)

1. ビール・ディスペンサーとは

生ビールは、一昔前は夏の風物詩のひとつで、ビア・ガーデンくらいでしか味わえないものであった。しかし昨今では皆さんがご経験されているとおりに、四季を問わず、どんな小さなお店でも生ジョッキを傾けることができる。これは生ビール用の瞬間冷却器、すなわちビール・ディスペンサーが広く普及したことで実現できたのである。

ビールの味に蘊蓄のある方は多いと思われるが、このディスペンサーの仕組みをご存じの方は少ないのでなかろうか。数年前に、とある飲料会社からこの高性能化の相談を頂戴するまでは、もちろん私も全く関心がなかった。

そこで、図1にビール・ディスペンサーの仕組みを示す。ビール樽には炭酸ガスの小型ボンベが接続されている。このガス圧で生ビールが押し出されてディスペンサーの冷却コイル管内に入り、そこで冷却され、さらにコックを操作して規定の量のビールがジョッキに注がれる。このとき、小型の冷凍回路を用いて作られたソリッド・タイプの氷塊が、槽の外周近傍に円筒状にある。またこの冷却コイルは水没させてある。さらに攪拌翼を設けてこの水に対流

を誘起させて氷を融解し、同時に冷却コイルの管外壁を冷やしている。すなわちこのディスペンサーは、氷蓄熱付き攪拌伝熱槽の構造になっている。

槽内の氷は、常に規定の量があるようにゆっくりと作られている。一方ビールは、注文のあったときに、即座に冷却して給仕されることになる。このディスペンサーでは、生ビールを必要に応じて、瞬間的に冷却して、短時間に供給することが使命である。ここで、製氷時の熱出力に対するビール注出時のそれとの比は、一般に20倍以上ある。

昨今では氷蓄熱が広く利用されてきているが、このように熱負荷特性が時間的に桁違いに大きく異なる利用に対して応用されている例は少ない。その意味では、このディスペンサーは、熱負荷特性と蓄熱技術を巧妙に組み合わせた装置であり、とくに氷蓄熱の持つ冷却に関するポテンシャルを極めて有効に引き出しているものである。

2. 高性能冷却のニーズ

生ビールの味を決する重要な因子の一つにビールの温度がある。現有のディスペンサーでも、元々このことに注視して設計されている。しかし実際のユーザから、次のようなクレームがあったようである。

- (1) いっときに、多数杯のジョッキに生ビールを注出すると、ビールの温度が上昇してしまう。
- (2) このとき、ディスペンサー内部の氷は、まだ無くなっていない。

そこで、「冷却技術を高性能化して欲しい」というのが主要なニーズであった。

一般に世の中で既に実用化されている装置の高性能化のニーズを技術の改良・改善で満たす場合、種々の制約条件がつきものである。このディスペンサーの場合には、以下のような制約条件を予め考慮することにした。

- ① 技術の要件：生ビールの注出に要する時間、冷凍

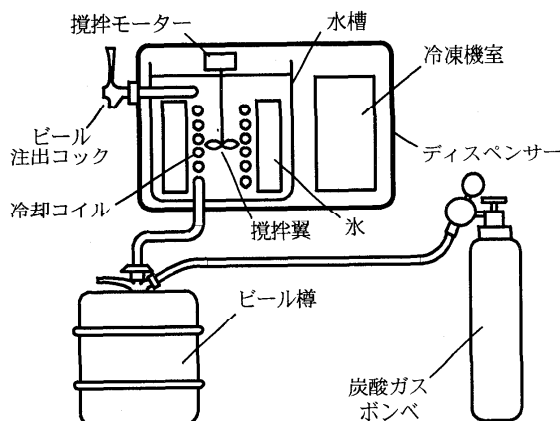


図1 ビール・ディスペンサーの仕組み

機などでの所要動力、装置の大きさは増大させないこと。

②経済の要件：装置の製造・運転・保守に係わるコストは増大させないこと。

③安全・信頼・保守の要件：誰でも・いつでも・どこでも安心して簡単に使えるものであること。

これらのクレームや制約条件をまとめれば、「現在のディスペンサーの『機構や使い勝手』をそのままにして、冷却の性能（能力と量）だけを改善せよ！」というニーズである。これこそ伝熱技術屋の得意とするところであり、すなわち出番であった。

3. 冷却不足に対する要因分析

ディスペンサー内での伝熱過程を模式的に示せば、図2のようになる。この中で冷却コイルの管内の伝熱は、単純であり、予測の精度もよいが、上述の制約条件下では大幅な伝熱性能の向上は期待できない。このことを踏まえて考察すれば、後は攪拌流による氷の融解伝熱と管外対流伝熱を、管内流の伝熱にバランスさせるか、あるいは向上させることが冷却性能を向上させる方法になる。

冷却性能向上の手法を特定するためには、当然のこととして、現行のディスペンサーの冷却特性を分析する必要がある。幸いにして、あるディスペンサーを用いて水を連続注出したときの図3のような注出水の温度履歴があった。この二つのカーブから、管内熱伝達率、管外熱伝達率、氷面熱伝達率を求めることができた。その結果、基準の伝熱面積に管外の表面積を用いて評価すると、管外熱伝達率と氷面熱伝達率は、管内熱伝達率の約0.4と0.6であり、また槽内の水温が高すぎることが判明した。

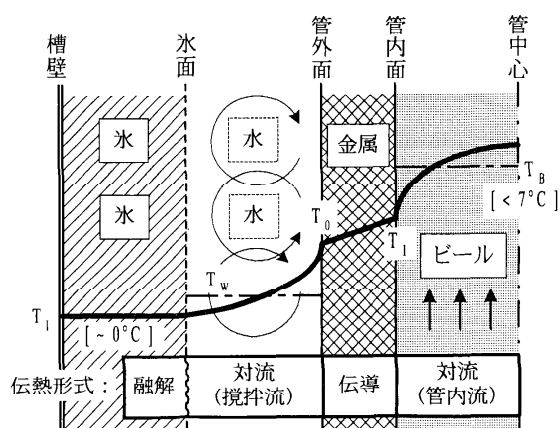


図2 ビール・ディスペンサー内の伝熱過程

一方、この伝熱過程には、円筒状の氷面を攪拌伝熱槽の槽内径のジャケット面と見なせば、熱伝達率一般式を適用できる可能性がある。現行のディスペンサーの構造と寸法および流動に係わる諸条件を与えて各部の熱伝達率の値を実際に評価したところ、約10%程度の差違を有するものの、ほぼ前述のそれぞれの熱伝達率の値が得られた。

以上のような要因分析から、現行のディスペンサーでは、管外および氷面の伝熱が冷却不足をもたらす要因であることを特定した。また、攪拌伝熱槽の一般式を用いて冷却性能の予測が可能であることが分かった。

4. 冷却性能向上のための設計

攪拌伝熱槽内の流動と伝熱については、多くの研究や技術の蓄積がある。このことは、例えば化学工学便覧によくまとめられている。

まずは構造と流動の問題について定性的な検討を行った結果、以下の3点が改良点として挙げられた。

- (1)冷却コイルのピッチ(p)が管外径(d)と同一であるために、槽内の放射流を妨害しているのので、この p/d を > 1 になるようにする。
- (2)攪拌翼にはプロペラ方式を採用して、主に軸流による冷却効果を期待しているが、タービン翼に変更して流動による冷却効果を高める。
- (3)槽形状には四隅に丸みのある四角柱型を採用しているが、円柱型に変更して、槽内の止水領域を無くする。

次に流動と伝熱の問題については、一般式の内容を定量的に分析することにした。攪拌伝熱槽の一般式では、ジャケット面とコイル管外壁のそれぞれの

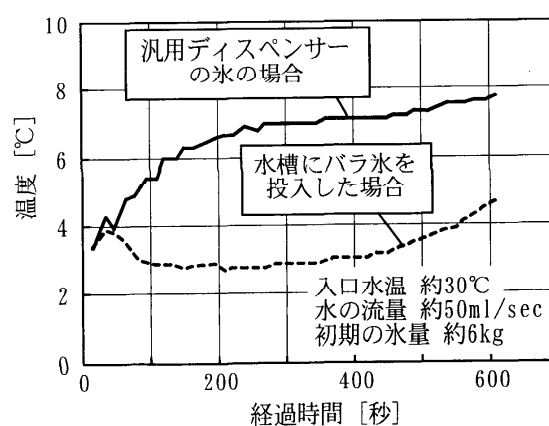


図3 現行のディスペンサーでの注出水の温度履歴

熱伝達率は、流体の物性・流動、槽の形状、攪拌翼の形状と特性について無次元化して整理されている。その中で伝熱に大きな影響を与えるものは、ジャケット面に設置される邪魔板の有無と速度に攪拌翼の回転数をとったレイノルズ数、および槽の高さと内径の比の三つである。ビール・ディスペンサーの場合の伝熱では、不用意に向上させると、却ってビールの温度が下がりすぎ、結果的にビールの味を損なうことになる。そこで注出温度が約5℃となる最適な設計値を、この攪拌伝熱槽の一般式から定めた。

その他に設計では、槽内を従来方式の清水から溶液式に変更して液温上昇を簡便に抑えることや槽形状を扁平にして水槽部の内径を大きくして伝熱を向上させることも可能である。しかし、前述の制約条件の中で挙げた要件を対照させて、これらを不採用にして、現行のディスペンサーとなるべく同等のものになるようにした。

図4には、上述のような設計検討と計算を基にした、高性能冷却技術を組み込んだディスペンサーの

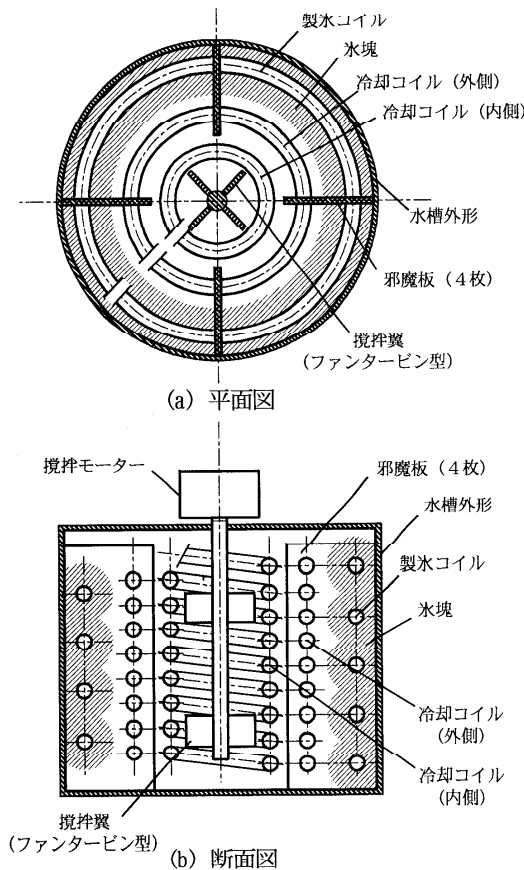


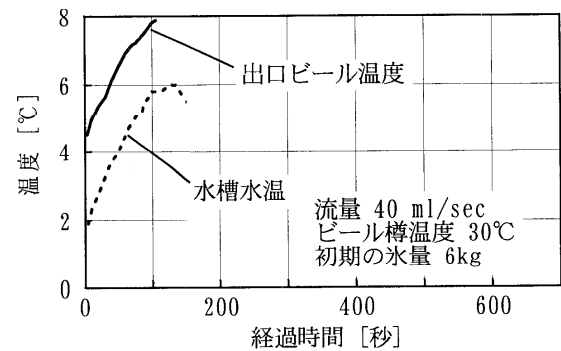
図4 高性能冷却技術を組み込んだビール・ディスペンサーの構造

構造を示す。その特徴は、邪魔板を設置し、ファンタービン攪拌翼にし、冷却コイルに隙間を設けた螺旋構造にしたことである。なお、冷却コイルと製水コイルの管径とコイル径は現行のディスペンサーの場合とほぼ同一にした。また、炭酸ガスの圧力制御の方法や注出コックは現行のものと変更することなくビールを注出でき、加えて装置の全体の大きさに変更を来さないために、冷却コイルの全長は同一にした。さらに、「納まりの問題」を克服するために、冷却コイルは図のような二重螺旋の構造にした。

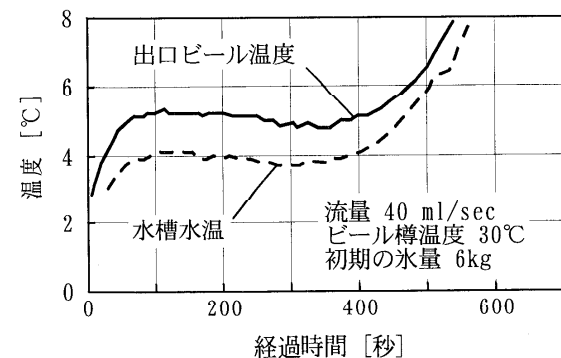
5. 高性能冷却技術の確認試験結果

図5には、現行のディスペンサーと高性能冷却技術を組み込んだそれを用いて、生ビールを連続注出した場合の注出コック出口のビール温度と水槽温度の時間経過を比較して示す。

図から明らかなように、ここで新たに設計した高性能冷却型のディスペンサーでは、



(a) 現行ディスペンサーによるビールの連続注出温度履歴



(b) 高性能冷却型ディスペンサーによるビールの連続注出温度履歴

図5 現行のディスペンサーと高性能型を用いて生ビールを連続注出したときの温度履歴の比較

- (1)連続注出温度を5～6℃で安定に推移させることができる。
- (2)その注出温度での連続注出時間を4～5倍に延長させることができる。
- さらに、トータルの熱バランス計算から、
- (3)蓄氷量の90%以上をビールの冷却に有効に利用できる。
- ことが判明している。

これらに併せて、高性能冷却型のディスペンサーでは、攪拌翼の回転数の設定を加減すれば、例えば季節ごとあるいは好みに応じて、「温め」あるいは「冷め」のビールを注出することも簡単にできる。

6. 伝熱技術 (Heat Transfer Engineering) の 研究・開発 (R & D) としての失敗談

6.1 技術や研究・開発における失敗とは

技術とは、科学を実地に応用して自然の事物を改変・加工して、「人間の生活に利用する『わざ』」と定義されている。また前回のこの「研究ノートから」への藤江邦男元会長の寄稿の冒頭では、「企業では研究開発の成果が製品化、または少なくとも製品に生かされ、市場で販売されて企業の業績に多少なりとも寄与しなければ、その研究開発は失敗である。」と指摘されている。すなわち技術や研究・開発では、方法と目的の両者が含まれる。この中で目的達成が成否を決する。とくに最終的な目的は、人間、市場・社会を相手に捉えなくてはならない。このことは極めて当たり前のことであり、頭では誰でも認識されている。しかし、実際問題に遭遇した場合、この目的達成は往々にして至難の『わざ』である。だからこのような目的に対する達成度ということから見れば、結果的に失敗が多いのであろう。

さらに、このような目的達成に対しては、科学的あるいは客観的な、はたまた一般的あるいは普遍的なアプローチは、必ずしも有効でないし、そのようなアプローチそのものが存在しないのかもしれない。そこで、技術や研究・開発における目的達成の素晴らしさを、理想や責務としては知っているとはいいながら、現実には専門性あるいは分業化などに依拠して、「自分にはできない・できる訳がない・する必要がない」という場合も多くなる。しかし専門性や仕事は何であれ、我々は、好き・嫌い、快・不快など、主観を持った人間であり、また今は市場メカニズムに依存して社会生活を営んでいる。だから一技

術屋あるいは一研究・開発者として、人間や社会に対する当事者責任の発揮として、個々の目的達成の命題において具体的に努力することが肝要であろう。

また、極めて個人的な意見ではあるが、伝熱に係わる研究や技術では、いわゆる「方法」は既に潤沢に用意されていると考えている。むしろ解明すべきあるいは社会受容性までも加味した「目的」とそのような「目的」に叶った例が、少ないのではないと思われる。さらに、伝熱学会の活性化で昨今よく議論される産官学の協調や風通しの改善では、単に仕組みや組織を議論するのではなく、伝熱に係わる研究や技術における、これらの「目的」には何があり、「目的」を達成するには何が必要であるかということについて、真摯にそれぞれの立場で考察して創造することから開始したいと考えている。これらの思考や創造に対して、人間臭いあるいは社会経済との関連を含めた過去の具体的な失敗は必要不可欠なことであり、その精緻な原因分析なくして、いきなり理想型が創出されるものではあるまい。

6.2 ビール・ディスペンサーにおける高性能冷却技術の失敗とは

今回の冷却技術の改良・改善・開発では、まずはニーズがあり、ついで制約条件を考慮し、伝熱技術を展開して、それらの結果から、現有の商品の4～5倍を実現する高性能冷却技術が得られた。いつときは「これは行けるぞ!」との夢を描いた。しかし、このディスペンサーは製品化あるいは製品に生かされることはなかった。すなわち、失敗に終わった。また、伝熱研究の内容としては、新規なものではなく、単に複合した伝熱過程における熱通過率の調整という、限りなく演習問題に近いものである。

この技術が市場で生かされることがない理由については、基本的にはやはり前回の藤江邦男元会長の寄稿の中で吐露されたことと同じである。約40年も前に先達が既にご経験済みのことが、当時企業人4年目であったとは言え、私には理解できていなかったことに、今改めて恥じらひを感じている。

読者から、しつこいあるいは言い訳・愚痴であるとの失笑を買うことを覚悟して、最後にこの失敗の理由(結果論)をもう少し詳しく説明させて戴く。

6.2.1 ニーズの捉え方・分析の失敗

ニーズに応えることが、技術開発では大切であるとよく言われる。しかしこのニーズが難物で、まず

正しく捉えることが難しい。また正しく捉えた場合でも、今度は技術で応えられる方法がない場合が多い。すなわち、ニーズをよく分析すれば、本来的に技術屋の出番でない場合も多い。

このディスペンサーの高性能冷却技術では、クレームをニーズに置き換えた。一般にクレームは人から発せられる場合が多い。このときクレームを発する状況、場所、時さらにはその人となり・立場によっては、受け取る人がそのクレームを極めて重大視してしまう。結果論で言えば、今回のクレームは、さほど重要でなかったようである。

現有のこのタイプのディスペンサーでも、大凡10杯以上のジョッキをいっときに給仕する場合に問題が起きる。このような状況がどのくらいの頻度で発生しているかの市場調査は事前には為されていない。さらに沢山のジョッキを給仕する場合でも、ビールを無駄にはするが、生じた泡を捨てて、注ぎ足すことでも対応できるし、現実はそのようにすることも、ユーザにとっては、往々にして我慢・許容できる範囲になっているようである。

次にこのクレームは、主に人の触覚と味覚に基づいて発せられたものである。これらの感覚は、人の五感の中では極めて数量化できにくいものである。また人の順応機能により、我慢や許容の範囲が曖昧あるいは個人差が大きい。このことは、今回の技術のように、たとえ温度制御が確実にできていても、人がその魅力や効用を感じにくいことにもつながる。

幸いにしてこの確認試験の期間中には、注出した種々の温度の生ビールを沢山飲まさせて戴いた。しかし「味：音痴」の私には、そのときは結局、「質より量」の方が有り難かったと記憶している。現状の科学技術が人に「やさしくする」上で、ある意味での「むなしさ」とも言えるが、逆に、このあたりには伝熱に係わる研究・開発や技術開発の課題の宝庫があるのかもしれない。話が違うが、例えばバブル経済を謳歌していた頃には、空調の世界では「快適環境」創造に因らなだ特許や技術・商品が流行ったこともあった。

6.2.2 商品の意味・価値の同定の失敗

これは、本業でなく他種の業務に中途半端な分析に基づいて世話を焼くと、往々にして起こる失敗例である。

このディスペンサーは、ビール会社が生ビールを量販してもらうために、多数の販売店に貸与するも

のである。換言すれば、ビールという商品の瓶や缶の類であり、包装の技術の一種である。したがって元々の商品に占めるこの種の技術の重要性や価値は低く抑えられざるを得ない。

次にこのディスペンサーの冷却能力のアップは、伝熱という観点から缶をアルミで作るか鉄で作るかのような問題に類似している。たとえ冷却能力が5倍も違っていても、ビールのメーカーや生ビールを飲む人には、その差による確かな効果または有り難さは、やはり分かりにくい。

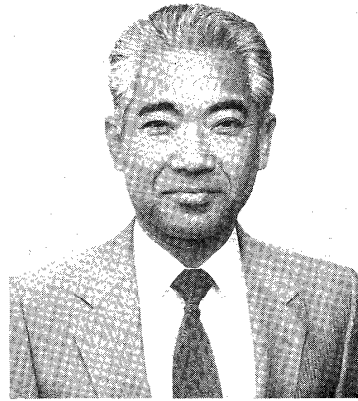
ところで、このディスペンサー自体は一種の家電製品であり、その量産製造の体制や製品のライン・アップは既に整っている。このことは、一部の部品の僅かな追加や仕様変更とて、既にギリギリのコスト低減が図られている場合には、なかなか受け入れられにくいことを意味する。また生ビールを給仕するお店で、1段の容量アップの機種に交換できれば、ディスペンサーの冷却能力不足は、即座にかつ大したコスト上昇なしに、見かけ上簡単に解決できよう。さらにそのお店のディスペンサーを大容量化することは、結果的にあるいは将来的に生ビールの量販拡大に寄与することも容易に期待でき、ディスペンサー貸与者には「うま味」のある話でもあろう。

今は何かにつけてコスト低減が至上命題である。今回の冷却能力のアップも、利便性の向上に留まらず、引いては種々のコスト低減にも寄与しよう。しかし、コスト低減とて、この場合の早道は、一技術の改良・改善よりは、例えばビールの販売量の増大を含めた市場力・市場規模の増強に依拠して、量産商品に対して「コスト低減プレッシャー」を掛けることであろう。

私も生ビールは好きな方であるが、以上に紹介した失敗から、一体世の中では「誰が『うまい生ビール』を飲みたがっているのか?」、「誰が『うまい生ビール』を飲ませたいのか?」が分からなくなってしまった。これは、味についての表現方法に、『うまい・まずい』くらいしか語彙を持ち合わせていない、単に私の「貧しさ」なのかもしれない。

この原稿を執筆中に、徳島大学の森岡先生始め多くの方々から、私の稚拙で分かりにくい文章と内容に対して、多くのコメントを頂戴した。私には極めて貴重な反芻の機会を授けて戴いた。ここに改めて御礼を申し述べたい。

《故大竹一友先生を偲んで》



故 大竹一友 先生（享年60歳）

豊橋技術科学大学エコロジー工学系教授大竹一友先生は、国際協力事業団(JICA)インドネシア高等教育開発計画長期派遣専門家としてご活躍中のところ、去る9月26日インドネシアにおいて航空機事故による不慮の死を遂げられました。

先生には伝熱研究会時代より我々の学会活動を支え、ご尽力いただきました。ここに、先生に身近な方々に追悼文をお寄せいただき先生を偲ぶ縁とさせていただきます。

尚、10月5日出雲葬祭センター豊橋において葬儀・告別式、10月31日豊橋勤労福祉会館において大学葬が執り行われ、本会東海支部として花輪を捧げご冥福をお祈りしました。

略歴

- 1961年3月 東京工業大学理工学部機械工学科卒業
- 1963年3月 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了
- 1963年4月 東京工業大学工学部機械工学科助手
- 1971年10月 東京工業大学より学位（工学博士）取得
「燃焼ガスプラズマの熱工学的研究」
- 1972年4月 東京工業大学機械物理工学科助教授
- 1978年4月 豊橋技術科学大学工学部エネルギー工学系教授
- 1987年9月 中国華中理工大学顧問教授
- 1989年4月 豊橋技術科学大学技術開発センター長
(1992年3月まで)
- 1991年10月 中国東北電力学院客座教授
- 1992年4月 豊橋技術科学大学エコロジー工学系教授
- 1994年11月 北海道大学エネルギー先端工学研究センター客員教授

受賞

- 1973年4月 日本機械学会論文賞
「燃焼反応の熱伝達におよぼす影響」

- 1986年9月 谷川熱技術振興基金 第1回粉生熱技術振興賞

著書

- 工業熱力学通論（昭和58年）日刊工業新聞社刊
- 燃焼工学（昭和60年）コロナ社
- 化学工学の進歩 21 燃焼・熱工学（昭和62年）横書店
- 燃焼の設計－理論と実際－（平成2年）オーム社
- 基礎伝熱工学（平成元年）共立出版社

国内活動

- 日本学術審議会専門委員
- 日本学術会議熱工学研究連絡委員会委員
- 日本学術振興会第148委員会「石炭の有効利用技術」運営委員
- 通産省資源エネルギー庁公益事業部電力技術課
「高度運転監視技術開発調査」委員会委員長
- 通産省資源エネルギー庁環境審査会顧問
- 通産省中部通産産業局「中部地域ゼロエミッション研究会」委員
- 愛知県環境審議会大気部会長

国際活動

- 国際石炭燃焼シンポジウム国際委員会常任委員
- 国際協力事業団（JICA）インドネシア高等教育開発長期派遣専門家
- 通産産業省委託ISO/TC207環境管理規格審議委員会
環境パフォーマンス評価小委員会委員長
- 通産産業省委託国際規格制定会議日本代表・国際草稿委員会委員

[文責：日本伝熱学会東海支部長 荒木信幸]

大竹先生, さようなら

Good-bye, Professor Ohtake

黒崎 晏夫 (電気通信大学)

Yasuo KUROSAKI (The University of Electro-Communications)

大竹先生, 貴方に最後にお会いしたのは, 本年5月に急逝された東京工業大学の土方邦夫先生のご葬儀のときでした. 同じ研究室で一緒に勉強した一番若い仲間を亡くし, 二人で悲しみを分かちました. その時, 君は6月初旬からJICAの仕事で1年間インドネシアに滞在することを話してくれました. 最後に, 「お互いに還暦を迎えたのだから体だけは大切にしよう. 元気でね. では, また.」と言って別れたのははっきりと覚えております. それから, 5ヶ月後に貴方の悲報に接し, このように急にお別れを申し上げなければならないとは, 誠に痛恨の極みであります. 半年の中に, 親しい二人の研究仲間の甲辞を書く悲しみは言葉に表せません.

学生時代, 貴方は同じ機械工学科の一年後輩で水泳部, 私はサッカー部で学生時代からの友人でした. 個人プレーの猛者の多い水泳部をうまく纏めて行く名マネージャーとして有名で, すでに才能の片鱗を現していました.

貴方が, 恩師森 康夫先生の下で助手として燃焼の研究生活を開始するきっかけに成ったのは, 貴方の素晴らしい大学院授業のレポートが先生の目に留まったからでした. 研究を開始されてからの貴方の精力的な活動には, 同じ研究室にいていつも驚かされておりました. 貴方は実験装置の殆どを学生と一緒に自分の手で作り, 検討し, 実験を行い成果を発表するのです. とにかく, 自分の置かれている環境下において, 周りの状況を考えながら自分の最善を尽くす態度には多くの人々を引きつけるものがありました.

大竹先生, 貴方のこの実行力が, 豊橋技術科学大学の創設に際しては, 最大限に発揮されたと私は確信しております. 豊橋への赴任が決まると直に, 横浜に建てたばかりで入居もしてない家を処分され, 豊橋の方に自宅を建設されて当地へ全身で溶込む態度には感心させられました. 貴方のあの献身的な努力無くしては, 今日の豊橋技術科学大学の基盤は築かれなかったと思います. 石炭燃焼の研究では, 世界

的な評価を受けてられました. その研究の将来の世界的な広がりとしてのエコロジー学科の創設は素晴らしい発想でありました. 環境問題と経済問題とはなかなか利害の一致が難しいにも拘わらず, 人類愛のために貴方は人生最後の大事業として世界の第一線に赴かれたその勇気と行動力は誰もが真似できるものではありません. でも, 現実にはあまりにも過酷すぎます. しかし, 先生の高邁な意志は必ずや後輩が引き継いでくれるものと確信しております.

貴方は仕事人間では無く, 人生を大いに楽しむ方法を知っている素晴らしい才能の持ち主でした. 水泳はもちろん, スキー, ダンス, ヨット, オートバイ, 釣り, ゴルフと趣味は多義に渡っていました. 若き東京工業大学時代には, 土曜日5時に研究が終わってからスキー場に駆けつけて次の日スキーを夕方ぎりぎりまで滑るという, 貴方らしい精力的なスキーに, ご一緒させて貰いましたね. そこで, 一級の腕前になれるあたりが面目躍如です. 豊橋に来られてからは, ヨット, オートバイと興味は広がり, 特にオートバイは仙台や秋田の学会までと半端でなくなっていましたね.

大竹先生, 貴方は学生の面倒見が良いのも有名でした. 研究室に来た学生は, 先生の虜になって居るようでした. 私も, 貴方に頼まれて十年以上も大学院の非常勤講師を続けさせていただいたのも貴方の人柄に魅せられたためです.

大竹先生, どれだけの言葉を尽くしても, 貴方との別れのつらさは語り尽くせません. 貴方は本当に素晴らしい才能・人格の持ち主でした. 貴方は, 遺憾なくそれを発揮して, 文字通り疾風のごとく60年余の生涯を駆け抜けて行ってしまいました. どうか, 天上で君がこよなく愛されたご家族, 仲間, 後輩の発展を末永く見守って下さい.

今はただ, 貴方の素晴らしい思い出を胸に抱き, 仲間と共にご冥福を心からお祈り致します.

大竹先生, どうか安らかにおやすみ下さい.

さようなら.

恩師大竹一友先生を偲んで

Grateful to the late Professor Kazutomo Ohtake

岡崎 健 (東京工業大学)

Ken OKAZAKI (Tokyo Institute of Technology)

燃料電池および水素エネルギー利用技術に関する学会参加と視察のため、18日間の予定でヨーロッパに滞在していた。9月26日の夕方、スペイン最大の電力会社であるIBERDROLAの技術研究所を訪問してホテルに戻った時のことである。Faxの内容に愕然とした。インドネシアガルーダ航空機が墜落し、その乗客名簿に豊橋技術科学大学の大竹一友先生のお名前があるという。何かの間違いか、もしそうだとでも助かってほしいと願わずにいられなかったが、恩師の死が現実のものとなってしまった。10月5日の告別式に間に合うように予定を切り上げて帰国した。

それにしても、何というめぐり合わせであろうか。同じ熱工学分野の世界的なリーダーであられた東工大の土方邦夫教授が、5月18日に急死されてからまだ4ヶ月ちょっとしか経っていないというのに……。昭和47年4月に私が東工大機械物理工学科の卒研で森康夫教授率いる熱研に配属されたとき、大竹先生は助教授着任直後で、土方先生は助手をされていた。それから四半世紀今日に至るまで、両先生には公私にわたって本当にお世話になった。土方先生には特に、私が博士課程修了と同時に助手として、大竹先生は教授として、昭和53年に創設の豊橋技術科学大学エネルギー工学系と一緒に赴任し15年間にわたって御指導をいただいた。その後、5年前に私が東工大に転任してからも、ことあるごとにいろいろ相談にのっていただいた。まさに、国際協力事業団(JICA)の活動のさなかの、しかも、間接的ではあるものの大竹先生が情熱を持って取り組んでおられた開発途上国の環境問題が原因の劇的な殉死であった。

大竹先生の豊橋技科大にかける情熱には凄いのがあった。アイデアに満ちた新しい研究を花開かせたのはもちろんであるが、愛知県や豊橋市の地域に密着した技術開発や環境保全に関わるプロジェクトを次々に手がけられ、豊橋を環境の先進地域、情報発信基地とすべく献身的に活動された。そこで育った第三セクターのサイエン

ス・クリエイトを核として、「ゼロエミッションを実践・学習できるテーマパーク」の実現の夢を熱く私に語って下さったのは、インドネシア赴任の直前のことであった。

大竹先生との思い出は尽きない。昭和53年4月、豊橋技科大に赴任早々、授業に間に合わせるため学生実験のテキスト作成から実験装置の製作まで数日で仕上げることがとなったが、工作機械など全くない状況ですべてヤスリと金鋸で手作業で行った。その時も大竹先生は毎日明け方まで手伝ってくれた、というよりむしろ率先して作業をして下さった。他人に非常に厳しいところもあったが、それ以上にいつも自分に厳しい責任感の強い先生であった。それ以降も、雑務はご自分の責任で処理され、若い研究者が自分の研究に没頭できるような配慮を一貫して欠くことはなかった。昭和60~61年に私が1年間米国滞在させていただいたときも、すでに研究室は別々だったにもかかわらず、私の担当していた授業から学生実験、さらに学生の研究指導まで、一切を本当に親身になってやって下さった。さらに、大学の様子、学生の研究のことなどを含めて長文の暖かい激励のお手紙を頻繁に送って下さった。本当に頭が下がる思いであった。私が今あるのも、もちろんいろいろな先生方の御指導によるものではあるが、30歳代の研究者として最も大切な時期にこのような暖かいご配慮と御指導をいただいた大竹先生に負うところが大きいと、今さらながらつくづく感じるとともに感謝の気持ちで胸が一杯になる。

あの大きな声での高笑い、豪放闊達、すべてプロ級の趣味の多彩さ、妥協を許さぬ論客、責任感の強さ……などは皆のよく知るところであるが、実は非常に繊細で深い思いやりに満ちているところが、むしろ大竹先生の本来の姿であると私はずっと思っている。何事に対しても情熱と夢を持って本気で取り組む大竹先生の生き方には、私自身はかり知れない大きな影響を受けている。大竹先生、ご恩は決して忘れません。どうぞ安らかにお眠り下さい。

大竹一友先生を偲んで

Memories of Professor Kazutomo Ohtake

北村健三 (豊橋技術科学大学)

Kenzo KITAMURA (Toyohashi University of Technology)

平成9年9月26日(金)仕事を終えて帰宅の途中、何気なくスイッチを入れた車のラジオからインドネシアで国内線の旅客機が墜落し、多数の死傷者が出ている模様とのニュースが流れ込んできた。続いて、搭乗者名簿に5人の日本人客の名前が載っており、そのうち2人は愛知県の豊橋技術科学大学の関係者で、一人は大竹一友さん、もう一人は事務局長のTさんであるとのアナウンサーのややうわずった声が聞こえてきた。その知らせを聞いた途端呆然としてしまい、その後どうしたのよく思い出せない。事故から1週間余り後の告別式、そして一ヶ月後の大学葬と時間ばかり慌ただしく過ぎていく中で、未だに大竹先生の突然のご逝去が信じられず、ひょっとしたら今もインドネシアの片隅で現地の大学の先生相手に、(あまり上手とは言えない)ジョークを連発しては、あの高らかな笑い声を響かせているのでは、とついついあらぬ考えにとりつかれてしまいます。

大竹先生と身近に接する機会を得ましたのは、今から18年余りに、豊橋技術科学大学の助手として採用されて以来になります。先生はその1年前に技科大開学に合わせて東工大から本学エネルギー工学系に教授として赴任されておられました。先生はその頃すでに燃焼やMHDの分野で数多くの業績を挙げられた著名な方であり、緊張して新任のご挨拶に伺ったことを憶えています。しかし、事前の予想に反して先生のお人柄は非常にざつとくばらんで、大学院を出たばかりの新入り教師の私にも同じ学科の先輩の先生方と全く変わらない態度で接して頂きました。当時技科大は新設間もなく、キャンパスは至る所建設機械により掘り起こされて、さながら工事現場の真真中に大学が建っているような有様でした。その中を、大竹先生は作業服姿で、新たに配属された第一期の卒研生と共に研究室の立ち上げに奔走されていらっしゃいました。創設の意気に燃える学生達に囲まれて、先生はあの頃人生の中で最も輝き、充実した時期を過ごされたよ

うに思います。

先生は、その後15年間に在籍されたエネルギー工学系から、平成5年4月に本学に新設されたエコロジー工学系に移られました。そしてエコロジー工学系系長として学科の立ち上げに奔走された後、本年(平成9年)7月から、国際協力事業団によるインドネシア高等教育開発計画の長期専門家として2年間の予定で、単身インドネシアのメダンに赴かれました。エコロジー工学という新しい学問分野を創設すべく情熱を傾注されたのも、現役ばりばりの学者でありながらインドネシアの工学教育、研究水準の向上を計るべく身を

賭して活動されたのも、今にして思えば技科大創設時のあの熱気と感動を、もう一度呼び起こしたいとの希いが基になっていたような気がします。

先生を知る人からはよく、先生は舌鋒鋭く、時に歯に衣を着せず物事をおっしゃるとの評が聞こえて来ます。舌鋒は確かに辛辣ではあったのですが、その矛先は、研究であれ人であれ、既成の概念や権威にしがみついたものに対して一貫して向けられていたように思います。他面、権威も何もない学生や若手の教官に対しては限りなく優しい先生でした。とくに大学の創設時と一緒に過ごした学生に対する思い入れは特別で、同窓生の集まりがあると、いつも決まって出席され、満面に笑みを浮かべて歓談されていた姿が今もありありと眼に浮かびます。先生とは先年1冊の本を共同で執筆させて頂きましたが、所属する講座や専門分野が異なっていたこともあって、先生のご薫陶に直接触れる機会には恵まれませんでした。先生を失った今それだけが心残りではありません。せめて、先生の学問に対する猛烈なとか形容のしようのない情熱や行動力の一端でも見習わなくてはと自戒する今日この頃です。

先生のご冥福を心よりお祈りします。

原子間力顕微鏡を用いた微小領域の熱計測 ～カリフォルニア大学バークレー校より～

*Thermal Measurement in Microscopic Scale by
Using the Atomic Force Microscopy
～A Report from University of California, Berkeley～*

井下田 真信 (カリフォルニア大学バークレー校)
Masanobu IGETA (University of California, Berkeley)

1. はじめに

日本でも非常に有名なカリフォルニア大学バークレー校は理工学において世界最高水準を誇り、毎年世界中から研究者や観光客が訪れます。勿論、熱工学分野でも教官の質や量、研究レベルは全米一と目を見張るものがあります。

筆者は今年3月に東京工業大学理工学研究科機械物理工学科修士課程を卒業、その後博士課程に進学し、現在極限エネルギー工学講座に所属するかたわら、客員研究員としてカリフォルニア大学バークレー校機械工学科で研究に励んでいます。というのも東京工業大学故土方邦夫教授の推薦が大きな割合を占めるものの、修士課程での研究に密接に関係しているミクロスケール伝熱を学ぶためには、この分野で世界的に有名な教官が揃うカリフォルニア大学バークレー校機械工学科で研究を行い、世界レベルでの情報の交換が必要であると考えたからです。

現在、アメリカ特にバークレー校においては物理、電気、化学、生物学などの各学科の境界に位置する研究がtopicとなっており、一つの研究に異なった分野から研究者が集まり、学科の壁を越えた交流が盛んに行われています。熱工学においては半導体プロセスを利用したミクロスケールデバイス作成、すなわちMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と関わりのあるミクロスケールエネルギー輸送現象を主眼とした研究のニーズが高まっており、今までのbasicalな熱工学から、微小領域・時間における熱輸送現象を対象としたものに移行しつつ、他工学分野との接点を模索しています。今回はバークレー校からミクロスケール伝熱の研究の一つとなる自分の研究を中心に紹介します。

2. カリフォルニア州について

カリフォルニア州は太平洋に面しているため、アジアからの玄関としての役割を果たし、州人口約3200万人、解放的な雰囲気から世界中のあらゆる場所から人が集まり、日本人にとっても非常に住みやすい環境になっています。大都市としては北のSan Francisco、南のLos Angelesがあげられ、それぞれ80、300万人程度住んでいます。特にSan Francisco郊外の沿岸部はBay Areaと呼ばれ、半導体産業で非常に有名なシリコンバレーを中心として、付近にバークレー校とスタンフォード大学の2大学を擁し、科学技術においては世界最先端を走り、各企業と大学が密接な結びつきを持ちながら先端技術の研究・開発を行っています。またLos Angeles付近にもカリフォルニア工科大学やカリフォルニア大学ロサンゼルス校と工学分野で有名な大学が多数あります。

3. カリフォルニア大学バークレー校

カリフォルニア州立大学12分校の中で、バークレー校は最も歴史があり(1873年設立)、学術研究レベルも最高のものとなっています。特にScience, Engineering系が強く、ノーベル賞受賞者も世界最高の16人にのぼります。また学生運動の発端となった

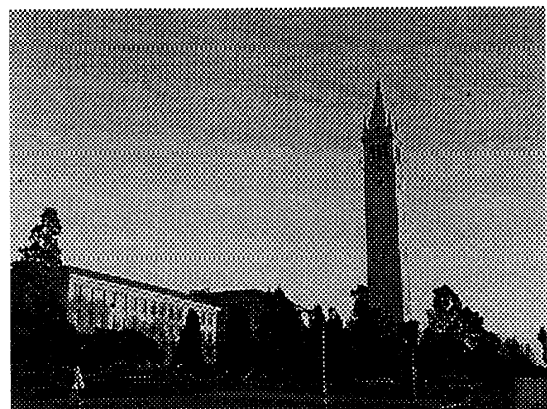


図1 バークレーキャンパス

場所であることから、色々な面で自由が重視され、日本の大学にはない雰囲気を持っています。生徒は約2万人、博士課程に在籍する生徒の数も多く、そのレベルは非常に高く評価され、アメリカで活躍している教授のうち、大きな割合をバークレー校卒業生が占めています。バークレー校の機械工学科は約40人の教授陣と250人程度の Graduate Student（修士課程及び博士課程に所属する生徒）で構成され、日本の様々な大学・企業から研究員が来ていることもこの学科の一つの特色となっています。現在熱工学分野の研究室は8つ程度存在し、筆者は Majumdar 教授の指導のもと、7名前後の Graduate Student 及び企業研究生と共に、ミクロスケールの熱計測を主眼にした Microscale Thermophysics Laboratory に所属し、原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy) を用いた微小領域の熱計測 (特に温度計測) を行っています。

4. 微小スケールにおける熱計測

半導体プロセスなどの微細加工技術の向上による LSI (高集積回路) の微小化・高集積化による半導体チップ内の発熱機構の解明、炭素繊維強化プラスチックなどの新複合材料の異種物質界面での熱輸送、固体表面上での化学反応の解明などサブミクロンオーダーの微小領域における伝熱現象を計測する需要は世界的にも高まっています。従来、微小スケール熱計測には赤外線やラマン散乱を利用した光学的手法が利用されてきましたが、光の回折の影響により、計測に使用する光の波長以下の空間分解能を得るには至りません。

その一方で、走査型プローブ顕微鏡 (SPM, Scanning Probe Microscopy) に各種の温度計測機能を付加させた走査型熱顕微鏡 (SThM, Scanning Thermal Microscopy) が Majumdar 教授らにより開発され、光学的手法における計測限界を越えたサブミクロンスケールでの温度・温度同時計測例が報告され始めています。しかし、この手法では測定プローブの先端に空間分解能程度の非常に小さな熱電対を作成しなければならないため、この微細加工に大きな時間と労力を要し、加工後のプローブ特性の個体差が大きいために、微細加工を必要としない熱膨張を利用した新たな温度計測法 (SThEM, Scanning Thermal

Expansion Microscopy) を開発し、微小領域における試料表面の形状及び温度分布の同時計測を行っています。

5. 熱膨張顕微鏡による熱計測

図2に原子間力顕微鏡を含めた熱膨張顕微鏡の概要を示します。原子間力顕微鏡は、非常に小さいバネ定数を持つカンチレバー (片持ち梁) と呼ばれるプローブ先端と試料の間に働く微小な力をプローブのたわみにより検出し、プローブ先端と試料間の距離を一定に保ちながら試料水平面上をプローブが走査することで原子スケールで3次元の表面形状の計測を可能とします。詳しく言うと、外力を受けて生じるプローブのたわみがプローブ背面で反射させたレーザー光路変化として、2分割フォトディテクターにより検出されます。このフォトディテクター信号にフィードバックをかけ、プローブのたわみ (角度) が常に一定になるように、試料台を高さ方向にピエゾスキャナーで調節させ、同時に水平面方向にも動かすことで表面形状像を得ます。

一方、熱膨張検出に関しては表面形状検出とは別の新たなループを作ります。まず導電性を持たせた試料に、ある周波数の AC 電圧を加え、ジュール発熱させます。すると印加された AC 電圧周波数の2倍で熱膨張が行われるため、この周波数に lock-in し、この信号から熱膨張像を得るものです。しかし両信号ともに同じフォトディテクターから情報をとるため、印加する AC 電圧はフィードバックループ

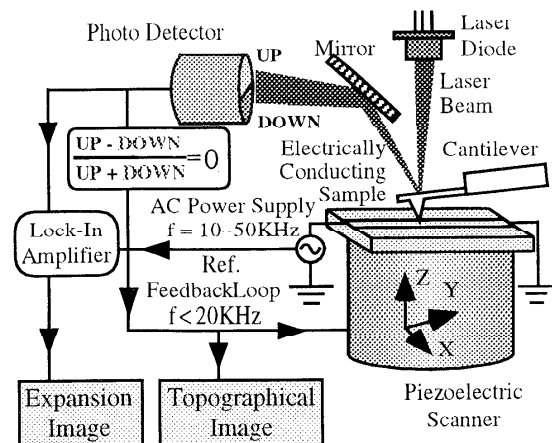


図2 熱膨張顕微鏡システム

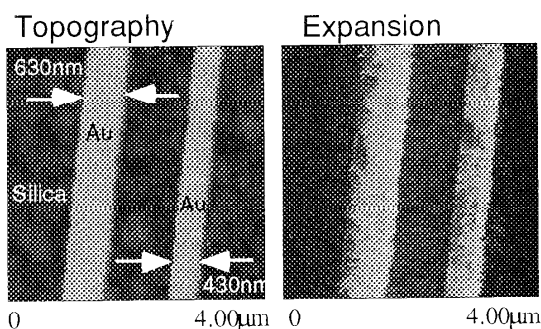


図3 金細線の表面形状及び熱膨張像

プでは追いつくことのできない20KHz以上の周波数を加えることで、表面形状の信号に熱膨張の信号が入らないようにします。

図3が本手法により得られた結果の一部です。シリカ上に高さ160nmの2本の金薄膜細線を蒸着させ、これに30KHz、1.4Vの電圧を印加し、4µm四方の表面形状(左)と熱膨張(右)の像を同時計測したものです。白い部分はそれぞれ垂直方向に高い部分、熱膨張の大きい部分を示しています。両像において水平面上の位置は1対1に対応しており、これらの像から金細線の部分だけが大きく膨張していることが分かります。結果から金部分での熱膨張高さは25pmとなっています。またプローブの熱振動によるノイズが計測中の分解能を吟味する上で重要となりますが、この条件下においては1pm程度と得られ、検出された熱膨張信号に比べ、無視できる程度の小さい値となっています。

また得られた熱膨張高さ変動(ΔL)を温度変動(ΔT)に変換するには以下の式を用います。

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ただし L は膨張する物質の高さ、 α はその熱膨張率を示します。そのため、正確な温度分布を得るためには L 及び α の較正を必要とします。

次に空間分解能がどの程度であるか知るために、ITO(インジウムスズ酸化物)薄膜をジュール発熱させ、1µm四方の熱膨張を測ったものを図4に示します。ITOの粒子サイズは100nm程度、その粒界サイズは10nm程度であり、このスケールにおいても、熱膨張像は表面形状像と引けを取らない鮮明な像が得られ、空間分解能は少なくとも粒界サイズ程度であることがわかります。さらに表面形状像で高い部分が熱膨張像においても信号の大きい部分に対

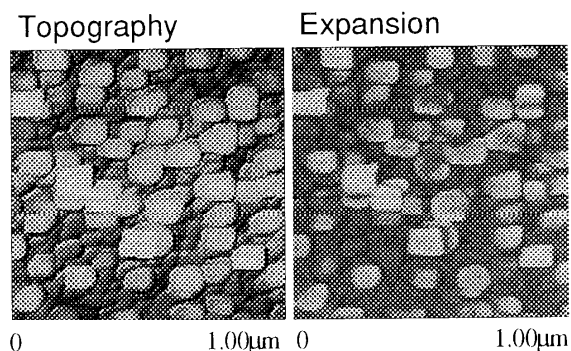


図4 ITOの表面形状及び熱膨張像

応しており、またその他の結果からも、純粋な熱膨張信号であることが確かめられています。

この手法は導電性のある試料のみにしか適用できないため、不導体試料においても適用できるよう現在は試料をレーザーにより周期加熱させ、得られた熱膨張信号から、温度や熱物性を計測する手法を開発している途中です。

6. おわりに

今回この紙面をお借りして、筆者の取り組んでいる研究を簡単に紹介させていただきました。最近日本における伝熱工学も分子動力学に代表されるミクロスケールでの研究が盛んに行われています。当研究室でもミクロ伝熱現象の解明を通して他工学分野における熱・エネルギー問題を研究する方向に進んでいます。特に強調されるべきは、このようなミクロスケールにおける計測技術の確立の重要性です。今回ご紹介した計測例は従来の計測技術では測り得ないことは明らかです。新たな計測技術の開発を通じ他工学分野や企業との交流を盛んにしながら、社会のニーズに答え得る研究も行うことが重要であると思います。そのためには単に熱工学のみならず、他工学分野にも目を据えた幅広い知識・視野でものを考えることが必要とされ、熱工学研究も積極的に他分野に入り込んでいくことが将来の熱工学像となるのではないかと考えています。

参考文献

- Varesi, J. and Majumdar, A., 1997, "Scanning Joule Expansion Microscopy at Nanometer Scales," *Applied Physics Letters* (in press)

LNGタンク受入リード管内の ガス巻込現象の実験的研究

*Experimental Study on Gas Entrainment Phenomena
in a Leading Pipe of LNG Tanks*

研究トピックス

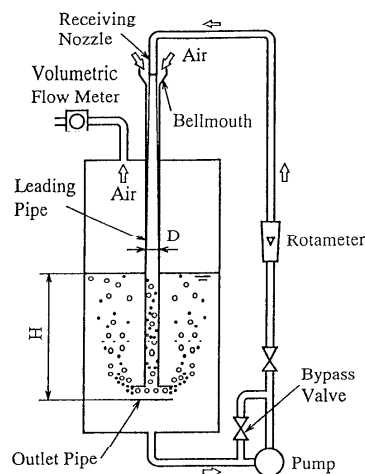
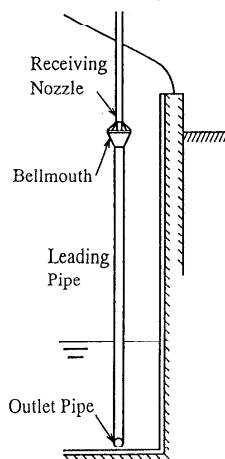
内田 博幸, 新井 達也, 桜井 民雄, 西郷 一浩 (IHI)
Hiroyuki UCHIDA, Tatsuya ARAI, Tamio SAKURAI and
Kazuhiro SAIGO (IHI)

1. はじめに

エネルギー需要の増大とともにLNG（液化天然ガス）タンクは大型化の傾向にある。多くのLNGタンクは図1に示すような受入リード管と呼ばれる鉛直管をもっている（例えば内径70cm、長さ50m）が、最近大型タンクで液受入時にガス空間内の開口部からガスが吸い込まれてタンク内圧が低下する例が報告されている。LNGタンクの信頼性と安全性を高めるために、主因と考えられる「ガス巻込」のメカニズムを明らかにして、巻込量予測を可能にすることを旨として研究を行っている。

2. 実験装置および実験結果の例

図2に現在我々が使用している実験装置の構成を示す。巻込現象に注目して水と空気を用いた実験を行っており、気泡の凝縮過程は模擬していない。リード管内径は36mm、長さは約2mである。巻込まれた空気の流量を容積式流量計で計測している。空気流量はスラグの発生などによって変動するので10分間の流量を計測して平均した。



実験結果の一例を図3に示す。巻込空気量は水流量に対して大略増加傾向にある。しかし、比較的low流量においては巻込量の減少傾向が見られる。これは流れの観察結果との対応から以下のように説明できる。すなわち、非常に低流量では受入ノズルからの水流は管壁に触れることなく液面に直接衝突するが、水流量の増加とともに一部が管壁を濡らしながら流下するようになる。さらに流量が増加すると、液膜が管壁から剥離して液面に直接衝突する流れが再び支配的となる。水流が直接液面に衝突する場合には「衝突速度」が現象を支配する重要なパラメータとなる。

3. おわりに

現在、水流量とタンク水位をパラメータとした実験を行っており、さらに、巻込ガスを抑制するための実験や、実機に近い大きさのモデルによる実験をすすめる予定である。

謝辞：本研究に関する知多エルエヌジー（株）殿のご協力に対して謝意を表す。

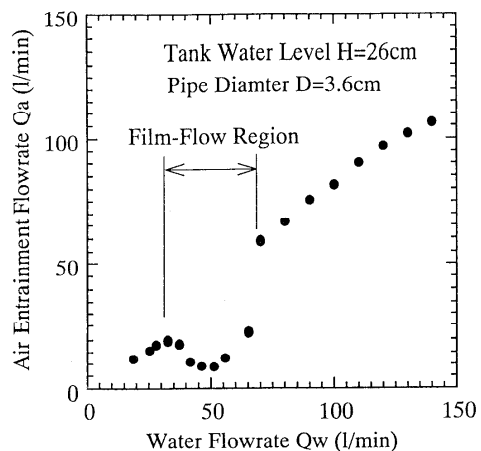


図1. 受入リード管の配置 図2. 実験装置の構成 図3. 巻込ガス量の計測結果の一例

賛助会員紹介

賛助会員紹介

石川島播磨重工業（株） 技術研究所（横浜）

Research Institute, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

小熊 正人（石川島播磨重工業(株)技術研究所）
Masahito OGUMA (Ishikawajima-Harima Heavy
Industries Co., Ltd.)

1. はじめに

石川島播磨重工技術研究所は東京都江東区豊洲と横浜市磯子区の地に設置されている。組織上は全社技術本部に属しており、全社の技術支援ならびに新技術開発を行っているが、今回紹介する技術研究所横浜地区は基礎研究とともに陸・海・空各分野における大型機器の開発研究まで行っているのが特徴である。図1に当研究所の概観を示す。昨今の環境関連技術の関心の高まりにより、研究所敷地内に環境テクニカルセンタを設立し、環境保全分野において基礎研究から製品開発まで迅速なる総合研究ができる体制が整いつつある。ここでは、このような環境技術に関連した伝熱技術の一部として、ごみ焼却場排ガス冷却器、飛灰溶融炉ならびに大気環境評価技術を紹介する。



図1 研究所外観

2. ごみ焼却場排ガス冷却器内シミュレーション

都市ごみ焼却炉からの燃焼排ガスは煤塵が多く含まれているため集塵器で除去している。しかし集塵器には温度上限があり水スプレにより冷却するのが通常である。しかし冷却器内部や下流側ダクト内壁に湿った煤塵が付着することを防ぐため、スプレした水を完全に冷却器内で蒸発させる必要がある。そこで液滴飛翔距離と蒸発に関する解析手法を開発している。

図2に冷却器内温度分布とスプレ水滴の軌跡を示す解析結果の一例を示す。この研究では水滴の飛翔中の蒸発モデルを考案し、このモデルを汎用熱流体解析コードに組み込んで数値解析を実施した。解析結果は既設実機冷却器の実測値と比較することで妥当性を確認し、新規のガス冷却器の設計に反映させている。

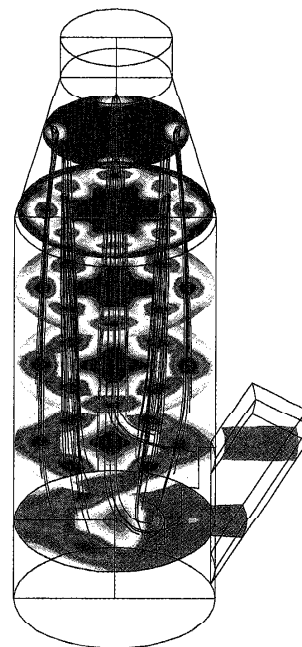


図2 冷却器内温度分布ならびに水滴軌跡

3. 飛灰溶融炉の伝熱

ごみ焼却場から排出される焼却灰を減容処理する装置の一つとして飛灰溶融炉がある。図3は本溶融炉の外観を示す。本溶融炉は直流式通電加熱炉であり、炉中心に陽電極、炉底を陰電極としている。内部溶融状態を予測することは重要であるが、溶融温

度が1600Kと高い。また溶融液粘性の温度依存性が大きく、温度100deg下がると1/10になる性質があるため、解析ならびに実験検証が容易ではない。図3に実験で確認された解析結果を示すが、直流による電磁対流より自然対流の影響が大きいことや炉の大きさによって流動が大きく変わる事がわかった。実験検証が容易でない領域においても数値解析を用いることで設計指針を確立している。

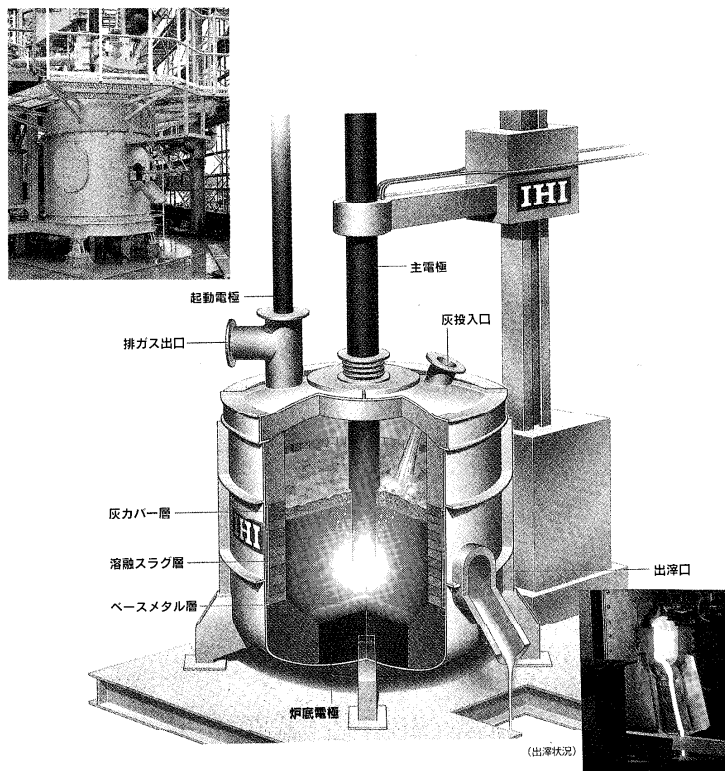
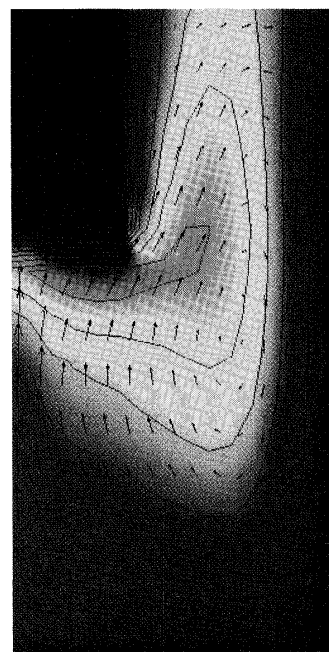


図3 飛灰溶融炉概略図

3. 大気環境評価技術

環境保全関連技術として環境アセスメントがあり、各種プラントから排出されるガスや粉塵などがどのように広がるかを予測することが重要である。排出ガスの広がりには地形や風だけではなく、地面や水面の温度や大気温度分布によって異なる。そこでこのような条件を模擬できる装置を用いて評価する技術の構築が必要である。図4に設備全景を示す。本設備は温度成層風洞と呼ばれ試験部内の気流速度分布だけではなく温度分布も設定する事ができる。図5は放射冷却時の煙突排ガスの拡散状態を可視化したものである。放射冷却時は地表温

主電極



炉底

図4 溶融液内熱流動分布

度が大気温度より下がるため上から下への大気下降流がなく、煙突からの排気ガスの影響が下方で検出される。この現象は扇型拡散と呼ばれる。

4. おわりに

ここでは、当社技術研究所横浜地区の環境関連の熱技術の一端を紹介した。数値解析が主ではあるが汎用解析コードや試験設備を利用して新たなモデルや手法を付け加えることにより、熱技術を独自の技術として仕上げており、これらの技術は別分野にも広く適用されている。

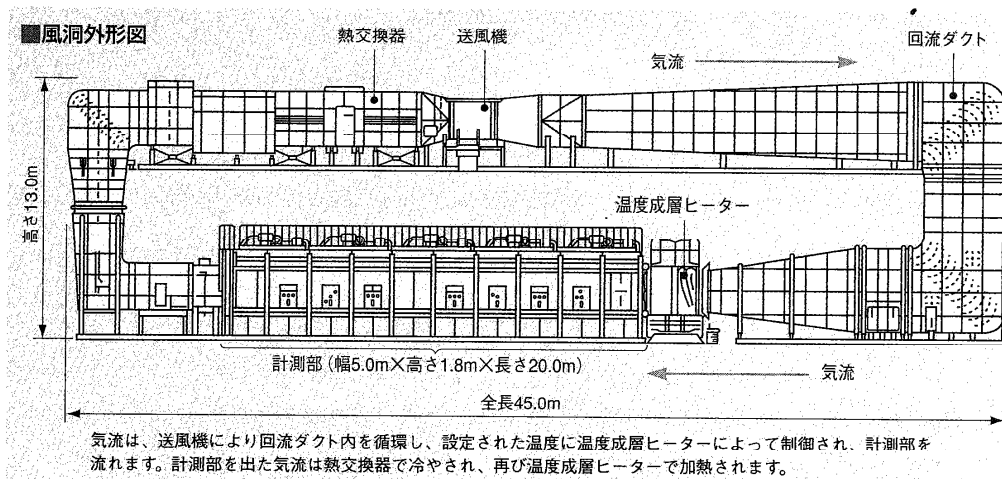


図5 温度成層風洞外観

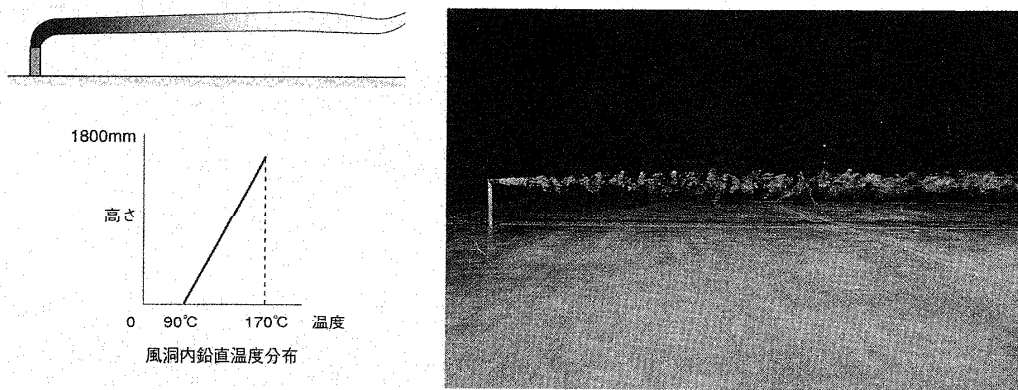


図6 煙突排ガスの流動 (放射冷却時)

行事カレンダー

本会主催・共催行事

開催日	行事名 (開催地、開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号	
1998年						
3月	4(水)	第3回複雑乱流場の熱輸送シンポジウム —人間環境における浮力流れの研究と設計の 最前線— (東京、日本建築学会ホール)			東京理科大学理工学部機械工学科 河村 洋 Tel.: 0471-24-1501, Fax.: 0471-23-9814 E-mail: kawa@muraapl.me.noda.sut.ac.jp	Vol. 37 No. 144
	17(火)	マイクロスケール熱・流動現象に関する シンポジウム (東京、東京工業大学百年記念館)	'98.2.20		東京工業大学工学部機械知能システム学科 伏信 一 慶 Tel.: 03-5734-3090, Fax.: 03-3729-0587 東京大学生産技術研究所 西尾 茂 文 Tel.&Fax.: 03-5411-0694	Vol. 37 No. 144
5月	27(水) ~29(金)	第35回日本伝熱シンポジウム (名古屋、名古屋国際会議場)	'98.1.23	'98.3.13	第35回日本伝熱シンポジウム準備委員会 藤田 秀 臣 Tel.: 052-789-2702, Fax.: 052-789-2703 E-mail: sympo@siphon.me.mech.nagoya-u.ac.jp http://siphon.me.mech.nagoya-u.ac.jp/sympo	Vol. 36 No. 143
	27(水)	The Frontiers Forum 準備セッション (名古屋、名古屋国際会議場： 第35回日本伝熱シンポジウムにて開催)	企画応募 '98.1.23		東京大学生産技術研究所 西尾 茂 文 Tel.&Fax.: 03-5411-0694	Vol. 36 No. 143

その他の関連行事

開催日	行事名 (開催地、開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	備考	
1998年						
6月	8(月) ~12(金)	International Symposium on Heat and Mass Transfer in Biological and Medical Engineering (Kusadasi, Turkey)	伝熱研究 参照	伝熱研究 参照	筑波大学構造工学系 石 黒 博 Tel.: 0298-53-5267, Fax.: 0298-53-5207 E-mail: ishiguro@kz.tsukuba.ac.jp	Vol. 36 No. 141 参照
	27(土) ~29(月)	Second Trabzon International Energy and Environment Symposium (TIEES-98) (Trabzon, Turkey)	Abstract '97.11.15		東京農工大学工学部機械システム工学科 望月 貞 成 Tel./Fax.: 0423-88-7088 E-mail: motizuki@cc.tuat.ac.jp http://www.cc.tuat.ac.jp/motizuki/tiees	Vol. 36 No. 142 参照
7月	8(水) ~10(金)	Microscale Heat Transfer (Eurotherm Seminar 57) (Poitiers, France)	Abstract '98.2.1	'98.5.15	Dr. D. Lemonnier LET-ENSM Tel.: +33-5-49 49 81 00, Fax.: +33-5-49 49 81 01 E-mail: euro5 /@let.univ-poitiers.fr	Vol. 37 No. 144 参照
8月	23(日) ~28(金)	第11回国際伝熱会議 (大韓民国、慶州)	Abstract '97.6.2	'97.10.1	九州大学工学部 藤田 恭 伸	Vol. 36 No. 140 参照
9月	1(火) ~4(金)	8th International Symposium on Flow Visualization (イタリア、ソレント)	Abstract '97.12.22	'98.5.22	Prof. G. M. Carlomagno Facolta di Ingegneria - DETEC Tel.: +39-81-7682178, Fax.: +39-81-2390364 E-mail: carmagno@unina.it http://www.detc.unina.it/8isfv/	
12月	1(火) ~3(木)	第2回高温エネルギー変換システムおよび関 連技術に関する国際シンポジウム (愛知、名古屋大学シンポジオン)			RAN98事務局 Tel.: 052-789-3913, Fax.: 052-789-3910 E-mail: narai@mhlab.nuce.nagoya-u.ac.jp	Vol. 36 No. 142 参照
1999年						
3月	15(月) ~19(金)	第5回ASME-JSMF熱工学合同会議 (米国、サンディエゴ)	Abstract '98.3.2	'98.6.15	東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 庄 司 正 弘 Tel.: 03-3812-2111 Ext.6406, Fax.: 03-5800-6987 E-mail: shoji@photon.t.u-tokyo.ac.jp, a-j99@photon.t.u-tokyo.ac.jp (投稿用)	Vol. 36 No. 143 参照
5月	17(月) ~19(水)	The 2nd Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-2) (米国、ホノルル)	Abstract '98.8.1	'98.11.10	東京農工大学工学部機械システム工学科 望月 貞 成 Tel./Fax.: 0423-88-7088 E-mail: psfvip-2@mmlab.mech.tuat.ac.jp http://www.cc.tuat.ac.jp/psfvip-2	
	23(日) ~25(火)	2nd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation (イタリア、ピサ)	Abstract '98.3.31	Mat '99.2.18	Dr. Paolo Di Marco Energy Department, University of Pisa http://docenti.ing.unipi.it/~d6600/pisa99/	Vol. 37 No. 144 参照

<支部活動報告>

東海支部活動報告

1. 支部総会、特別講演会、見学会

日時 平成9年4月17日(木) 14:30～16:40

会場 (株)デンソー本社(刈谷市)

参加者 108名

特別講演 「地球にやさしいカーエアコンづくり」

(株)デンソー 冷暖房事業部

副事業部長 取締役 中田修二

見学会 製品展示室

[支部第3期(第36期)役員]

支部長 荒木信幸(静岡大)

副支部長 小林信雄(トヨタ自動車), 辻 俊博(名古屋工大)

幹事 中原崇文(愛知工大), 三田地紘史(豊橋技科大), 北村健三(豊橋技科大), 中山頭(静岡大), 加藤征三(三重大), 中村泰久(東邦ガス), 松田仁樹(名古屋大), 渡邊激雄(中部電力), 平尾康彦(三菱重工)

監事 熊田雅弥(岐阜大学), 大原敏夫(デンソー)

アドバイザー 藤田秀臣(名古屋大, 第35回日本伝熱シンポジウム準備委員長)

[概要] 総会では、事業報告・事業計画、収支決算・予算案および役員についての議事を行った。また、特別講演では、カーエアコンについて、開発・研究の変遷、将来展望をグローバルな観点から解説していただき、その後製品展示室を見学した。

2. 熱流体科学特別セミナー

日時 平成9年9月22日(月)13:30～15:00

会場 名古屋工業大学

参加者 40名

内容 “Transition Measurements as Applied to Turbine Flows”

米国機械学会フェロー T.W. Simon 教授
(米国ミネソタ大学)

[概要] タービン翼周りの流れに関して、剥離を伴う境界層の遷移を熱線流速計により計測し、レイノルズ数、主流乱れおよび圧力勾配の影響による剥離発生の有無を観察するとともに、条件付きサンプリング法を用いて流れ特性の変化を調べた研究

について講演して頂いた。

3. 東海伝熱セミナー

テーマ 反応を伴う伝熱の基礎と最前線

日時 平成9年10月17日(金)～18日(土)

会場 地方職員共済組合保養所 浜名荘
(静岡県浜名郡)

参加者 81名

世話担当 中山 頭(静岡大学)

内容 (1) 燃焼の数値シミュレーションはどこまでできるか

山下博史(名古屋大)

(2) 燃焼合成における燃焼波伝播に及ぼす熱損失の影響

牧野 敦(静岡大)

(3) ガス加熱式燃焼装置の伝熱解析

田村守淑(東邦ガス)

(4) 乱流拡散燃焼における数値シミュレーションの最前線

野田 進(豊橋技科大)

(5) 熱循環法を用いた燃焼器と反応器の伝熱特性

新井紀男, 篠田昌久, 毎原玲香(名古屋大)

(6) 筒内噴射ガソリンエンジン(GDI)の開発

中山 修(三菱自工)

(7) 炭酸ガスの燃料種へのプラズマ反応変換

加藤征三(三重大)

(8) 渦輪と予混合火炎の干渉

長谷川達也(名古屋工大)

(9) 往復流動超過濃可燃限界燃焼におけるメタンの直接改質

花村克悟(岐阜大)

[概要]

伝熱研究の新しい展開として、反応を伴う伝熱に関するセミナーを開催した。燃焼シミュレーションにおける手法の解説と最新成果、燃焼を利用した高機能材料の合成、大気循環への影響を重視した燃焼研究、燃焼装置の開発・改良、燃焼メカニズムの解明と内容も広範囲にわたり、予定を越える多数の参加者を得て盛況であった。

第35回日本伝熱シンポジウムのご案内

- ・開 催 日 平成10年5月27日(水)～29日(金)
- ・講 演 会 場 名古屋国際会議場(名古屋市熱田区熱田西町1-1) TEL: (052) 683-7711
 金山駅(JR東海道本線・中央線, 地下鉄名城線, 名鉄)より地下鉄名城線・名古屋港
 行き「日比野」または同・新瑞橋行き「西高蔵」下車徒歩5分(名古屋港行きにご乗車
 になり日比野駅を利用された方が便利です)
- ・シンポジウム 一般 事前申込: 7,000円 当日申込: 8,000円
 参 加 費 学生 事前申込: 3,000円 当日申込: 4,000円
 (いずれも講演論文集代は含みません)
- ・講演論文集 1) シンポジウム参加者(会場受付にてお受け取り下さい)
 日本伝熱学会会員: 無料(1セット)
 非会員: 8,000円(1セット)
 2) シンポジウム不参加者
 日本伝熱学会会員: 無料(1セット)で後日郵送
 非会員: 9,000円(1セット・送料込み)で後日郵送
 3) 追加注文
 会場受け取り: 8,000円(1セット)
 後日郵送: 9,000円(1セット・送料込み)
- ・懇 親 会 日時 5月28日(木) 18時30分～20時30分
 会場 サイプレスガーデンホテル(名古屋市熱田区金山町1-9-8)
 金山駅(JR東海道本線・中央線, 地下鉄名城線, 名鉄)南口より徒歩1分
 会費 事前申込: 一般 6,000円(同伴者1名は無料) 学生 3,000円
 当日申込: 一般 7,000円(同伴者1名は無料) 学生 3,000円
- ・参加申込方法 本号に挟み込みの郵便振替払込取扱票を各人1名につき1枚ずつご使用になり, 通信欄
 に「氏名(ふりがな), 伝熱学会会員・非会員の別, 勤務先または学校名, 参加費, 懇
 親会費, 懇親会同伴者の有無, 講演論文集(有料分・送料除く: 1セット8000円), 論
 文集送料(1セット1000円), 払込合計金額」をご記入の上, その合計金額をご送金下
 さい. 参加証等は当日受付にてお渡しいたします. なお原則として領収書の発行は省略
 し, 郵便振替払込票兼受領証をもって代えさせていただきます.
 (郵便振替口座番号: 00840-0-87825, 口座名称: 第35回日本伝熱シン
 ポジウム準備委員会)
- ・事前申込締切 平成10年4月17日(金)(消印有効)
- ・問い合わせ先 〒464-01(平成10年2月からは〒464-8603)名古屋市千種区不老町
 名古屋大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
 第35回日本伝熱シンポジウム事務局・廣田真史
 TEL: (052)789-2702 FAX: (052)789-2703 E-mail: sympo@siphon.me.mech.nagoya-u.ac.jp
 ホームページ: <http://siphon.me.mech.nagoya-u.ac.jp/~sympo>
- ・受 付 5月27日(水) 8:50から名古屋国際会議場2号館1階ロビーにて行います
- ・宿 泊 本会議場には付設の宿泊施設はありません. 宿泊に関しては, 本号挟み込みの「宿泊・
 弁当お申し込みのご案内」をご参照下さい.
- ・昼 食 本会議場内の食堂は席数が十分ではなく, 会場周辺にも飲食店はほとんどありません.
 準備委員会では昼食用に弁当の予約を受け付けますのでご利用下さい. 原則として当日
 受付による弁当の販売は行いません. 詳しくは上記のご案内をご覧ください.

研究発表申込者の方へ

第35回日本伝熱シンポジウムに研究発表を申し込まれた方は、下記の要領に従って書類をご提出下さいますようお願いいたします。なお、論文原稿送付先および論文原稿に関する問い合わせメールアドレスは、準備委員会事務局とは異なりますのでご注意ください。

ご提出いただく書類

1. 講演論文原稿 (A4・2ページ) 1部
次ページの原稿見本と書き方をご参照下さい。FAXによる原稿送付は受け付けません。
2. 講演論文原稿のコピー 2部
1. の正原稿に加えてそのコピーを2部お送り下さい。
3. J I C S Tデータベース用抄録 1部
本シンポジウムでの発表論文のアブストラクトは、全てJ I C S Tデータベースに収録されます。
原稿提出時に、2ページ後の論文抄録用紙に和文アブストラクトをお書きの上ご送付下さい。

論文原稿締切 平成10年3月13日(金) 必着(締切を厳守下さい)

書類送付先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学 工学部 機械システム工学科
第35回日本伝熱シンポジウム準備委員会論文集発行部会・熊田雅弥
TEL : (058)293-2530 FAX : (058)230-1892 (共通)
E-mail : sympo@mech.gifu-u.ac.jp
ホームページ : <http://siphon.me.mech.nagoya-u.ac.jp/~sympo>

第35回日本伝熱シンポジウム準備委員会委員長
藤田秀臣

講演番号 25mm × 10mm 伝熱シンポジウム講演論文の書き方 (表題・14ポイント) (副題・12ポイント, 無い場合には1行あける)

事務局で記入 Instruction for preparing a paper (英文の標題・12ポイント) 上側 20mm 余白 (英文の副題・12ポイント, 無い場合はつめる) (1行あける)

伝正 織田 一郎 (尾張大) 化正 豊臣 二郎 (太閤工業)
機学 *徳川 三郎 (三河大院) (12ポイント, 発表者には*をつける) (1行あける)

Ichiro ODA¹, Jiro TOYOTOMI² and Saburo TOKUGAWA³ (10ポイント)
¹Dept. of Mech. Eng., Owari Univ., Chikusa-ku, Nagoya 464-0001 (10ポイント)
²Taikou Industry, Nakamura-ku, Nagoya 450-0002
³Dept. of Mech. Eng., Mikawa Univ., Toyota 471-0003 (複数の所属の時は上付きの数字で区別する) (1行あける)

(5文字あける) This paper describes (英文アブストラクト・100語程度)..... (1行あける)

Key Words: Forced Convection, (10ポイント, 3~5個程度) (1行あける)

1. 緒言 (ボールドまたは下線) 論文原稿は以下に示す執筆要項に従って作製下さい。ただし印刷の都合上, ここに示すサンプルのマージン等の寸法は, 実際の提出原稿とは異なっていますのでご注意下さい。

2. 原稿用紙 A4判2枚に, ワープロ等を用いて作製して下さい。上下のマージン20mmずつ, 左右のマージン15mmずつを必ずとって下さい。

3. 表題 日本語の主題は14ポイント, 副題は12ポイント程度の文字, 英語の主題・副題は12ポイント程度の文字をご使用下さい。左上隅には講演番号を記入するための空欄 (25mm×10mm) を設けて下さい。講演番号は準備委員会で記入致します。

4. 会員資格・著者名・所属 会員資格・氏名・所属 (略記) を申込書と同一順序で日本語(12ポイント)でお書き下さい。連名者がある場合には, 講演者の前に*印をつけて下さい。次いで, 1行あけて英文 (10ポイント) でもお書き下さい。所属機関の所在地も例に倣ってご記入下さい。所属機関が複数の場合には上付き数字で区別して下さい。

5. 英文アブストラクト・キーワード 100語程度の英文アブストラクト, および3~5個程度の英文キーワードをお書き下さい (10ポイント)。

6. 本文 本文は1ページ目をこのスタイルで, 2段組み, 片側1行26文字程度, 9ポイントで作製下さい。2ページ目も, 2段組み, 片側1行26文字程度, 9ポイント, 片側60行程度を目安として作製下さい。以上の数字は一応の目安ですが, 上下・左右のマージン(上下各20mm, 左右各15mm) は必ず設けて下さい。

7. 図表 図表中の記号及びキャプションは英語でお書き下さい。写真や図表を貼り付ける場合には, 裏に薄く図番と著者名をご記入の上, しっかりと貼して下さい。印刷は全て白黒です。

8. 文献 文献を引用する場合には, 本文中の引用箇所の右上に小括弧を付けた番号⁽¹⁾で表し, 本文の末尾に下記のようにまとめて文献を列記して下さい。

9. その他 右上隅の余白部分に, 講演者名とページ (徳川・1/2), 及び研究発表申込時にメールなどでご連絡した申込番号を, 薄く鉛筆でご記入下さい。論文原稿の送付先は下記の通りです。事務局とは異なっておりますのでご注意下さい。締め切りを厳守して下さい (平成10年3月13日 (金) 必着)。

原稿送付先:
〒501-1193 岐阜市柳戸1-1
岐阜大学 工学部 機械システム工学科
第35回日本伝熱シンポジウム準備委員会
論文集発行部会・熊田雅弥
TEL:(058)293-2530 FAX:(058)230-1892 (共通)
E-mail:sympo@mech.gifu-u.ac.jp

正原稿に加えて, 論文原稿のコピー2部とJICSTデータベース用抄録をご提出下さい。FAXによる原稿提出は受け付けません。

文献の記載例
(1) 徳川・他2名, 機論(B), 64-630 (1998), 123.
↑ 雑誌などの略称
↑ 著者が3名以上の場合は他何名として下さい
↑ 巻・号, 発行年度, 先頭ページ

左側 15mm 余白, 右側も 15mm 余白
下側 20mm 余白
段間隔 10mm

図表のキャプションの例
Fig. 1 Schematic diagram of

パソコンによる 熱と流れの入門

数値解析法の基礎、モデリングの方法などの基礎的な知識と、熱伝導・層流伝熱・乱流伝熱などへの適用方法を実際に実機で演習。

さらに最近話題になっている分子動力学について熱流体分野への適用に関し、基礎から応用と実例などを解析。

講義中ご使用の Floppy Disk はそのままお持ち帰りいただき、実際の実務にご利用いただくことができます。

会期：1998年2月10日（火）～3月24日（火） 合計6回：NEC/PC-9821Xa 演習

会場：(株) リース電子内「LEEパソコン教室」

東京都千代田区神田駿河台

セッションガイド及び講師

S-1 2/10（火） 差分法による熱伝導解析 功刀 資影 日本原子力研究所

1. 熱伝導方程式の考え方 2. 差分法の基礎 3. 熱伝導方程式の数値解法 4. 複雑な形状への適用

S-2 2/11（水） 層流熱伝達の解析 功刀 資影 日本原子力研究所

佐竹 信一 工学院大学

1. 層流対流の基礎式 2. 数値解法の問題点 3. 境界条件と解の精度 4. 層流対流の実際

S-3 3/2（月） 乱流熱伝達の解析 吉田 英生 東京工業大学

1. まえがき 2. レイノルズ方程式と完結 (closure) 問題 3. 乱流モデル 4. 計算例

S-4 3/3（火） 相変化および移動境界問題の非定常シミュレーション 長崎 孝夫 東京工業大学

1. 相変化を伴う場の解析 2. 自由表面における波動を伴う流れの解析

S-5 3/23（月） ふく射伝熱の基礎と応用 圓山 重直 東北大学

1. 熱ふく射の基礎 2. 電磁場の伝播と物体間のエネルギー交換 3. ふく射要素法による任意形状・任意加熱条件下のふく射伝熱 4. ふく射伝熱解析の実用計算

S-6 3/24（火） 熱流体の分子動力学 小竹 進 東京大学名誉教授

1. 分子動力学の基礎 2. 数値解法と境界条件 3. 物理量と平均操作 4. 応用と実例

後援：社団法人 日本伝熱学会

参加料：'98/1/26迄 後援・参加実績者（162,500）協賛団体（175,500）国公立研究機関（149,500）

会員外（185,250）大学院・大学生（80,000）

資料請求先・問合せ先：先端科学技術・情報教育センター

〒164 東京都中野区本町4-31-5 新中野ダイヤモンドMS 3F303

TEL: 03-3380-3495 FAX: 03-3380-3490

燃焼反応と流れの数値計算

燃焼現象は、現在、熱エネルギー源として工業技術に利用されている最も重要なものであるが、多成分拡散・化学反応・発熱を含む非常に複雑な熱流体問題であり、その数値計算には様々なノウハウが必要である。

ここでは、この分野で長年先鋭的な研究をされてきている講師陣により、化学反応過程を含めた燃焼流れの数値計算の基礎と実際について講習を行います。特に実習については、汎用的に利用されてきている“CHEMKIN”を使って、その使用法、使用上の問題点を解説しながらワークステーションを用いての実習に重点をおいています。

会期：1998年2月18日（水）～2月20日（金）3日間

会場：工学院大学 0652教室・14階パソコン教室 新宿区西新宿1-24-2

セッションガイド及び講師

S-1 2/18（水）乱流燃焼の直接数値計算 宮内 敏雄 東京工業大学

- 1.はじめに、2.基礎方程式、3.数値計算法、4.乱流予混合火炎の直接数値計算、5.乱流拡散火炎の直接数値計算、6.まとめ

S-2 2/19（木）層流燃焼の数値計算 佐野 妙子 東海大学

- 1.はじめに、2.基礎方程式、3.燃焼反応、4.熱化学定数、5.輸送係数、6.層流予混合平面火炎
汎用ソフトChemkinの説明 宮内 敏雄・店橋 護 東京工業大学

- 1.はじめに、2.Chemkinの概要、3.熱物性値データベースの利用法、4.輸送係数データベースの利用法、5.基礎燃焼場の汎用ソフトウェアの利用法、6.実習問題の説明

S-3 2/20（金）Chemkinを用いた燃焼反応と流れの数値解析（実習） 宮内 敏雄・店橋 護
東京工業大学・佐竹 信一 工学院大学

- 1.はじめに、2.化学反応機構について、3.Chemkinデータベースを用いた熱物性値の計算、4.Chemkinデータベースを用いた輸送係数の計算、5.Chemkinを用いた一次元予混合火炎の数値計算
6.Chemkinの有効な利用法について、7.まとめ

後援：日本燃焼学会

協賛：社団法人 日本伝熱学会 その他

参加料：'98/2/2迄 参加実績者（51,000）後援・国公立研究機関（53,000）協賛団体（56,000）会員外（63,000）大学院生・大学生（25,000）

資料請求先・問合せ先：先端科学技術・情報教育センター

〒164 東京都中野区本町4-31-5 新中野ダイヤモンドMS 3F303

TEL: 03-3380-3495 FAX: 03-3380-3490

平成 10 年度熱流体フォーラム講演会開催のご案内

第 45 回講演会 4 月 7 日 (火) 午後 1 時～午後 5 時

「Turbulent Boundary Layer Control by Spanwise Wall Oscillation」

University of Nottingham Dr. K. S. Choi 先生

「相関を用いるガス流動の計測」

京都大学教授 池上 詢 先生

第 6 回熱流体先端技術講演会 5 月 28 日 (木) 午前 10 時～午後 5 時

特別講演会「風力発電の現状と将来」

足利工業大学教授 牛山 泉 先生

第 7 回熱流体先端技術講演会 10 月 29 日 (木) 午前 10 時～午後 5 時

特別講演会「サメ波だからスマート・スキンへ (熱流動の能動制御の試み)」

東京大学講師 鈴木 雄二 先生

第 46 回講演会 12 月 3 日 (木) 午後 1 時～午後 5 時

「広域熱供給ネットワークについて」

大阪大学教授 鈴木 胖 先生

「“システムエネルギー” 技術の展開」

芝浦工業大学教授 平田 賢 先生

お問い合わせ先

芝浦工業大学機械工学科 流体力学研究室

熱流体フォーラム事務局

TEL 03-5476-2409

FAX 03-5476-3077

マイクロスケール熱・流体现象に関するシンポジウム

(日本伝熱学会主催、電気学会・計測制御学会・日本機械学会協賛)

日本伝熱学会企画部会では、マイクロマシンやマイクロセンサなどに関連してマイクロスケール熱・流体现象が今後様々な領域において重要となると考え、電気学会および計測自動制御学会において同様の興味をお持ちの方々との情報交換を行うためのシンポジウムを企画いたしました。立場の異なる研究者同士の情報交換の場として有意義な会としたいと存じますので、多数の方々のご参加を期待しております。

- 開催日時：** 平成 10 年 3 月 17 日 (火) 9:30～17:30 (懇親会 18:00～19:30)
開催場所： 東京工業大学百年記念館 フェライト会議室 (東京都目黒区大岡山二丁目 1 2-1)
参加費： 講演会 500 円、懇親会 3,000 円 (当日申し受けます)
参加申込： 下記の用紙にて、平成 10 年 2 月 20 日 (金) までにお申し込み下さい。
(定員となり次第、受付中止とさせていただきますのでお早めにお申し込み下さい)
参加申込先： 〒152 東京都目黒区大岡山二丁目 1 2-1
東京工業大学 工学部 機械知能システム学科 伏信一慶 (FAX 03-3729-0587)
問合せ先： 東京大学 生産技術研究所 西尾茂文 (TEL & FAX 03-5411-0694)

プログラム：

9:30-9:40	開会の辞	：西尾茂文 (東大)
9:40-10:05	マイクロマシンにおける熱・流体现象	：藤田博之 (東大)
10:05-10:30	バブルジェットプリンターにおける熱・流体现象	：浅井 郎 (キャノン)
10:30-10:55	気液相変化によるマイクロポンプ機構	：尾崎浩一 (機械研)
11:05-11:30	マランゴニ効果を用いたマイクロアクチュエータ	：吉田英生 (東工大)
11:30-11:55	レーザ局所温度制御による DNA 分子のマクロモビレーション	：水野 彰 (豊橋技科大)
13:00-13:25	マイクロ加工による熱型赤外センサ	：相澤浩一 (松下電工)
13:25-13:50	光ファイバを利用した光熱振動センサ	：羽根一博 (東北大)
13:50-14:15	マイクロマシンのレーザステイクションリカバリ	：伏信一慶 (東工大)
14:15-14:40	熱分析用エアブリッジマイクロセンサ	：木村光照 (東北学院大)
14:50-15:15	原子間力顕微鏡を用いた微小接触面における熱電子輸送	：中別府 修 (東大)
15:15-15:40	熱磁石制御マイクロスイッチ	：橋本 悦 (NTT)
15:40-16:05	クラスター凝集の解析	：前川 透 (東洋大)
16:05-16:30	バクテリアの鞭毛による遊泳運動の解析	：曲山幸生 (食品総合研)
16:30-16:55	感熱式フローセンサの熱伝導メカニズム	：岡野 覚 (リコー)
16:55-17:20	マイクロチャネルにおける流れと熱伝達	：村田 章 (東京農工大)
17:20-17:30	閉会の辞	：藤田博之 (東大)

東京工業大学 工学部 機械知能システム学科
伏信一慶 宛て

「マイクロスケール熱・流体现象に関するシンポジウム」参加申し込み用紙

お名前： _____

御所属： _____

連絡先： _____ TEL: _____

御所属学会 (○をつけて下さい)：日本伝熱学会、電気学会、計測自動制御学会、日本機械学会

(以下の①～③に○をつけて下さい)

①シンポジウムのみ参加 (500 円) ②懇親会にも参加 (3,500 円) ③懇親会のみに参加 (3,000 円)

[Microscale Heat Transfer] Eurotherm Seminar 57

Date: July 8,9,10, 1998

Place: ENSMA, Site de Futuroscope, POITIERS, France

The engineering school ENSMA is located in the Futuroscope park area about 10 kilometers away from Poitiers and 330 kilometers from Paris.

Concerned topics :

*Microscale heat transfer in

- conduction (transient and steady states), thin films, scattering of phonon at interfaces
- convection in micro-channels, microscale fluidic
- microheat pipes
- change of phase (condensation, evaporation, adsorption, sublimation)
- radiation (small size of geometry, porosity, rugosity, multilayer structures...)

*Application fields

- material processing; manufacturing
- microelectromechanical systems (MEMS)
- microelectronic devices and I.C.
- microthermal to electric energy conversion devices
- laser/matter interaction
- thermomechanical effects to irradiation of solid surfaces, cracks propagation
- microthermal imaging and metrology
- heat exchangers with micro structures
- micro, nano-electronics, optoelectronics, photonic devices...

*New tools and performances for modeling and measuring

- statistical physics, Monte Carlo, molecular dynamics
- optical techniques
- near field microscopes...

Paper selection will be based upon a reviewed abstract of 500 words minimum with a maximum of two pages. It should clearly state the purpose, the methodology, the results and conclusions of the work. Three copies of the abstract should reach the seminar secretariat in due time, as indicated below:

Abstract due : February 1st 1998 Acceptance notification : March 1st 1998 Final papers due : May 15th 1998
--

Registration fees are 2200 FF. This includes the proceedings volume, the lunches, the coffee breaks and a banquet. Registration for doctoral students is 1600 FF.

Information, inquiries, abstract and paper submissions should be sent to :

Dr. D.LEMONNIER
LET - ENSMA
B.P. 109 - Site du Futuroscope
86960 FUTUROSCOPE cedex
Phone : (33) 5 49 49 81 00
Fax : (33) 5 49 49 81 01
e-mail : euro57@let.univ-poitiers.fr

第3回 複雑乱流場の熱輸送シンポジウム

—人間環境における浮力流れの研究と設計の最前線—

人間を取りまく環境においては、浮力に起因する流れが、つねに重要な役割を果たしています。これについて、近年、コンピューターやエレクトロニクス技術の発展により、シミュレーション及び実験の双方において、研究の飛躍的な進展が見られます。そこで今回のシンポジウムでは、浮力流れに関する研究とその設計への応用について、建築環境工学及び伝熱工学の両分野から、それぞれの最前線において活躍しておられる方々にご講演いただくとともに、参加者との討論とも通じて、人間環境における快適性、安全性、省エネルギー等の諸課題について、建築学と伝熱学の学際的観点から、その動向を探らうとするものです。

日時：平成10年3月4日（水）13：00から17：00

場所：日本建築学会ホール（東京都港区芝5-26-20）

JR山手線田町駅下車 徒歩5分

共催 1. 日本建築学会環境工学委員会 空気環境小委員会 乱流熱輸送WG
2. 日本伝熱学会

プログラム

- | | | |
|---------------------------|----|-------------------|
| 1. 趣旨説明 | | 河村 洋（東理大） |
| 2. 浮力流れの数値シミュレーション | 司会 | 近藤靖史（武蔵工大、日本建築学会） |
| (1)人体周辺の熱上昇流のCFDと実験による解析 | | 村上周三（東大生研） |
| (2)浮力の作用する乱流の直接数値シミュレーション | | 笠木伸英（東大工） |
| 3. 浮力流れの実験 | 司会 | 辻 俊博（名工大、日本伝熱学会） |
| (1)加熱物体からの熱上昇流の相互干渉 | | 北村健三（豊橋技科大） |
| (2)火災における熱対流 | | 辻本誠（建設省建築研） |
| 4. 設計への応用 | 司会 | 水谷国男（三建設備、日本建築学会） |
| (1)電子機器の省エネルギーと熱流体設計 | | 石塚 勝（東芝） |
| (2)建築空間における熱と空気の流れの設計 | | 戸河里 敏（鹿島建設） |
| 5. サマリー | | 加藤信介（東大生研） |

参加費 会員4,000円（日本建築学会、日本伝熱学会）、会員外6,000円、学生2,000円

各講演は約30分。セッションごとに質疑・討論。最後に全体討論

第5回アジア学術会議－科学者フォーラム－

期 日：平成10年3月11日（水）～13日（金）

3月11日（水）開会式・基調講演等

3月12日（木）シンポジウム等

3月13日（金）セッション等

場 所：日本学術会議堂等（〒106 東京都港区六本木7-22-34）

参加国：中華人民共和国、インド、インドネシア、大韓民国、マレーシア、
フィリピン、シンガポール、タイ、ヴェトナム及び日本 計10ヶ国

テーマ：アジアにおける学術の直面する課題～持続可能な発展に向けて～

パネルディスカッションテーマ：学術の研究環境の在り方

地球的規模の諸問題への学術の対応の在り方

連絡先：日本学術会議事務局学術部情報国際課国際交流係

Tel. 03(3403)1949

第26回可視化情報シンポジウム講演募集

開催日：平成10年7月15日（水）～17日（金）

場 所：工学院大学講堂（新宿校舎）

講演内容：1. 可視化技術の開発・研究

2. 可視化手法の応用例

3. 可視化情報処理

4. その他可視化情報に関するもの

講演申込方法：1) 論文表題（和文および英文）

2) 著者名，会員資格，所属（共著の場合は者順に記入，講演者に*印）

3) 連絡先（所在地，所属，氏名，電話，FAX，電子メールアドレス）

4) キーワード（可視化手法，対象となる現象名など，3つ以内）

5) 使用機器 6) 要旨

講演申込期限：平成10年3月7日（土）

論文提出期限：平成10年5月6日（水）

講演申込先：〒114-0034

東京都北区上十條 3-29-20

（社）可視化情報学会事務局

Tel. 03-5993-5020 Fax. 03-5993-5026

「伝熱研究」の表紙の変更にあたって

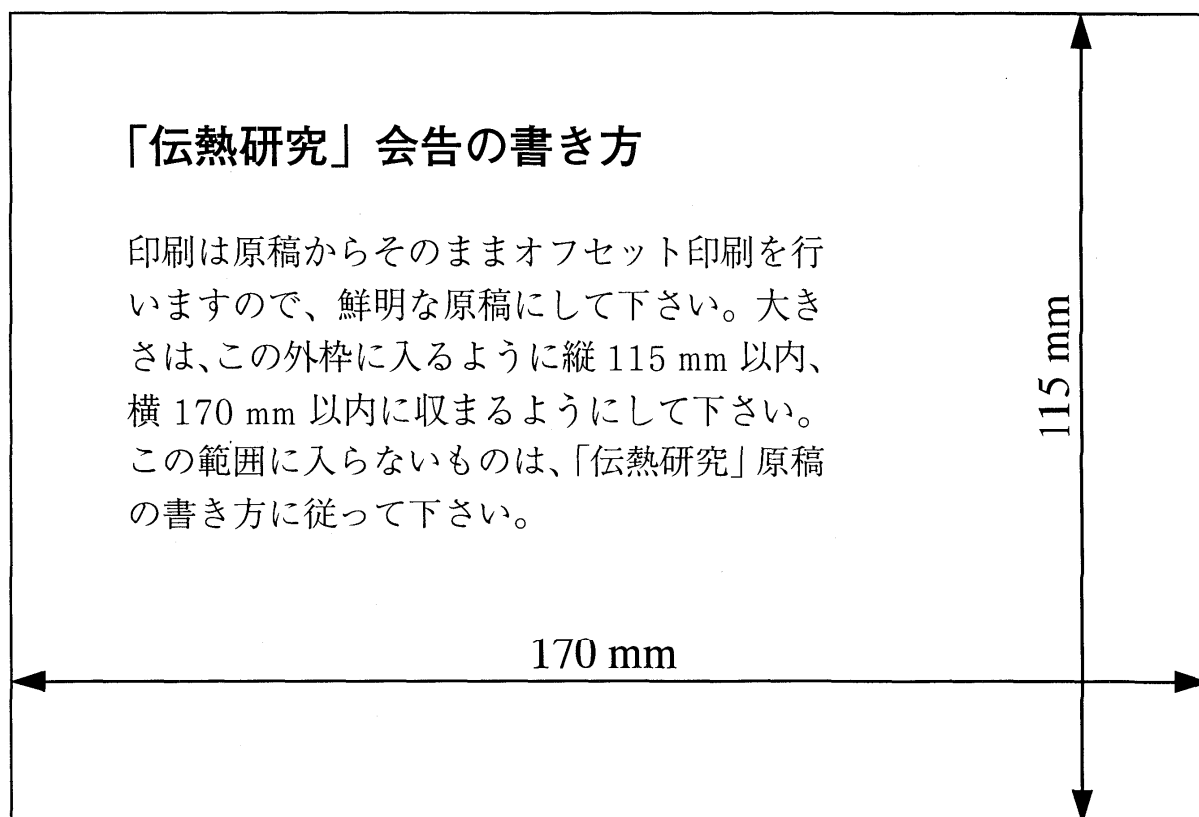
第36期編集出版部会

日本伝熱研究会の会誌としての「伝熱研究」は、25周年の1987年1月号(Vol.26)の100号記念特集で初めて、それまで続けていた無地の表紙のデザインを変更した。それは、当時の編集委員の荒木信幸先生(静大)の原案による温度分布の変化と干渉縞を表現したものと黒崎編集委員長(電通大)の編集後記に書かれている。そして表紙のカラーも毎巻変えられた。1991年に日本伝熱研究会から日本伝熱学会に改名してからも、そのまま維持された。その後1993年に「伝熱研究」に、学会活動の充実としての論文集である「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING (TSE)」が合本で編集・出版された。そして1994年(Vol.33, No.128)の1月号よりB5版からA4版にサイズの変更がなされ、それに伴って表紙は一新されました。新しいデザインは、エネルギーの無限の拡がり象徴したものと芹沢編集委員長(京大)の編集後記に書かれている。さらに、論文集のTSEが特集号による膨大なページを理由に

初めて分冊の形で出版された。前期の編集出版部会のご尽力により編集企画を充実させると同時に原稿のフォーマットの書式の改善も計られてきました。しかし、学会活動の定着に伴い、最近「伝熱研究」という学会誌名を検討してはというご意見が、編集のマンネリ化を懸念する形で寄せられています。今期部会も会誌名及び編集方針刷新の検討に入っていますが、今号の1998年の「伝熱研究」1月号(Vol.37, No.1:TSE Vol.6, No.1)より理事会の承認の下にまず表紙の変更を行うことにしました。デザインは、TSEのチーフエディターの小竹進先生(東洋大)によるもので、赤は熱を、青は流体を意味し、その境界は鮮明でなく融合したものであり、また同時に赤は高温を、青は低温をも意味しています。引き続き編集出版部会では、編集企画の刷新に向けて努力して行くつもりですが、会員の皆様からの積極的なご意見も期待しております。

「伝熱研究」会告の書き方

印刷は原稿からそのままオフセット印刷を行いますので、鮮明な原稿にして下さい。大きさは、この外枠に入るように縦115 mm以内、横170 mm以内に収まるようにして下さい。この範囲に入らないものは、「伝熱研究」原稿の書き方に従って下さい。



「伝熱研究」原稿の書き方

伝熱 太郎 (伝熱大学)

(1行)
(2行)
(3行)
(4行)
(5行)
(6行)
(7行)
(8行)

42 mm

1. 「伝熱研究」用原稿の標準形式

用紙サイズ：A4 縦長 (210mm × 297mm), 横書き
余白サイズ：上余白 30 mm, 下余白 30 mm
左余白 20 mm, 右余白 20 mm

コ ラ ム：2 段組とします。

1 コラム 80 mm, コラム間隔 10 mm

活字サイズ：10ポイント(10×0.3514=3.514mm)の全角文字を標準とします。英文字・数字には半角文字が好ましい。

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=5.271 mm)

1 行あたり 45 行となります。

2. 「伝熱研究」用原稿作成上の注意

- (1)印刷は原稿からそのままオフセット印刷で行いますので、この点を考慮の上、写真・図表等には特に注意して鮮明なものをご使用下さい。
- (2)原稿枚数は原則として最大 10 枚 (図表込み) を越えないで下さい。
- (3)原稿は出力フォーマットに従って作成の上編集委員会までご送付下さい。
- (4)図表は、原稿内に直接張り込んで下さい。
- (5)原稿の頁数は各頁の上すみに青鉛筆で薄く 1/8, 2/8 のように記入して下さい。
- (6)本手引きの各種寸法及び文字数等は、お手持ちのワープロの機能によっては、必ずしもこれらを満足できないかもしれません。このような場合には適宜これにできるだけ近くなるように、原稿をおつくりくださいますようお願い申し上げます。
- (7)本文の体裁・項目の分け方などは、自由にお書き下さい。

15 ポイント行間

15 ポイント行間

題目の部分は、編集委員会で作成いたしますので、8行の空白(=42 mm)を用意しておいてください。また、表題・氏名・所属の和文および英文は別紙にご用意下さい。なお、2頁以降は、最初の行から2段組で本文をお書きください。

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

その他の事項

・可能ならば、字体に関しては、本文には明朝体を使用し、見出しにはゴシック体を使用してください。

20

20

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

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

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

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

- 「伝熱研究, THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。
(本年度発行予定：4月号, 7月号, 10月号, 1月号)
・正会員、学生会員、名誉会員、推薦会員に1冊送付
・賛助会員に口数分の冊数送付
- 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。
・正・学生・名誉・推薦の各会員に1部、賛助会員に口数分の部数(但し、伝熱シンポジウム開催の前年度の3月25日までに前年度分までの会費を納入した会員に限る)

【入会手続き】

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

(注意)

- ・申込用紙には氏名を明瞭に記入し、難読文字にはJISコードの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、入金取扱いができず、会費未納のままとなります。
- ・学生会員への入会申込においては、指導教官による在学証明(署名・捺印)が必要です。

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

個人会員と賛助会員の増加が検討されています。会員の皆様におかれましても、できる限り周囲の関連の方々や団体に入会をお誘い下さるようお願いします。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します。

【会費納入について】

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

【変更届について】

(勤務先、住所、通信先等の変更)

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

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

(学生会員から正会員への変更)

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

(変更届提出上の注意)

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

【退会届について】

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

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々は、至急納入をお願いします。特に、平成8年度以降の会費未納の方には「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処分が理事会で決定されます。

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局

(業務内容)

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

(所在地)

〒113 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
(土日、祝祭日を除く、午前10時~午後5時)

(注意)

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

〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
横浜国立大学 大学院 工学研究科
人工環境システム学専攻 飯田 嘉宏
TEL:045-339-4010 FAX:045-339-4010 (又は4012)

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届用紙

(右の該当に○を記入) 1. 正会員・学生会員入会申込書
2. 変更届 (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
・申込み時に郵便振替にて会費納入

0	申込年月日	1	9	9	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	月	日	
5	名称						
6	* 勤務先	-					
7	所在地						
8	TEL						
9	FAX						
10	〒						
11	住所						
12	自宅						
13	TEL						
14	FAX						
15	〒						
16	通信先**	勤務先・自宅					
17	学位						
18	最終出身校						
19	卒業年次	T・S・H					
20	専門分野	← (下記の専門分野の番号)					
21	学生会員の場合: 指導教官名***	印					

専門分野
1: 自然対流 2: 強制対流 3: 熱伝導 4: 凝縮 5: 沸騰・蒸発 6: 混相流
7: 物質移動 8: 反応・燃焼 9: 放射 10: 熱物性 11: 熱交換器 12: 流動層
13: 蓄熱 14: 空速・空調 15: 内燃機関 16: ガスタービン 17: 蒸気機関 18: 原子力
19: 太陽熱 20: 環境 21: その他 ()
例: 電子機器の冷却, 生体伝熱, 分子動力学等
*) 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。

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届用紙

0	申込年月日	1	9	9	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下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	名称 (所属)						
5	〒						
6	所在地						
7	TEL						
8	FAX						
9	〒						
10	口数	共通・専用					

日本伝熱学会入会のご案内

1. 本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。
2. 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。
A (3口), B (2口), C (1口)
3. 会員になりますと「伝熱研究」をお申し込み口数1口につき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部無料でさせていただきます。
この伝熱研究は通常, 年4回 (4, 7, 10, 1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も無料で差しあげます。尚, 年度途中でご入会の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下さい。
4. 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おります。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いたします。
申込書送付先: 〒113 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

会費の払込先:

- (1) 郵便振替の場合ー 郵便振替口座 00160-4-14749 社団法人日本伝熱学会
- (2) 銀行振込の場合ー 第一勧業銀行 大岡山支店 普通預金口座 145-1517941 社団法人日本伝熱学会
- (3) 現金書留の場合ー 上記の事務局宛に御送金下さい。

複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会内日本複写権センター支部
〒107 東京都港区赤坂 9-6-42-704
Phone 03-3475-4621/5618
Fax 03-3403-1738

Notice about Photocopying

In the U.S.A., authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by [copyright owner's name], provided that designated fees are paid directly to Copyright Clearance Center. For those organizations that have been granted a photocopy license by CCC a separate system of payment has been arranged.

Copyright Clearance Center 27, Congress St.
Salem, MA 01970
Phone (508)744-3350
Fax (508)741-2318

伝 熱 研 究

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol. 37, No.144

ISSN 0910-7851

1998年1月発行

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会
〒113 東京都文京区湯島 2-16-16
電話 03(5689)3401
Fax. 03(5689)3401
郵便振替 00160-4-14749

Published by

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

伝熱研究 VOL.37, NO.144

〈随想〉

伝熱研究をめぐる随想 伊藤猛宏 (九州大学)1

〈特集：吸収ヒートポンプの現状と将来展望〉

特集「吸収ヒートポンプの現状と将来展望」にあたって

..... 第36期編集委員会 森岡斎 (徳島大学工学部機械工学科)
中山顕 (静岡大学工学部機械工学科)3

アドバンスト吸収ヒートポンプサイクル

..... 柏木孝夫、功刀能文 (東京農工大学工学部機械システム工学科)4

流下液膜式の再生器の性能と熱・物質移動解析

..... 松田晃、川崎健二 (愛媛大学工学部応用化学科)11

界面活性剤による吸収促進 飛原英治、藤田勇 (東京大学)20

吸収ヒートポンプにおける吸収器の伝熱促進

..... 古川雅裕、榎本英一 (三洋電機(株)空調システム事業部)
佐々木直栄 (住友軽金属工業(株)研究開発センター)27

コンパクト吸収冷温水機の研究開発

..... 本間立、設楽敦 (東京ガス(株)エネルギー技術研究所)34

〈研究ノートから：伝熱問題に関する未成功研究—その2〉

「研究ノートから：—伝熱問題に関する未成功研究—その2—」にあたって

..... 第36期編集委員会 熊田雅弥 (岐阜大学)、小澤由行 (高砂熱学工業)44

失敗から得た私の行動指針 中原崇文 (愛知工業大学)46

現象を正確に把握すること 石塚勝 (東芝)48

技術とコストのハードル 松尾篤二 (三菱重工業(株)) 平松正義 (中部電力(株))50

ビール・ディスペンサーにおける高性能冷却技術 小澤由行 (高砂熱学工業)52

〈故大竹一友先生を偲んで〉 荒木信幸 (静岡大学)57

大竹先生、さようなら 黒崎晏夫 (電気通信大学)58

恩師大竹一友先生を偲んで 岡崎健 (東京工業大学)59

大竹一友先生を偲んで 北村健三 (豊橋技術科学大学)60

〈世界のホットユース〉

原子間力顕微鏡を用いた微小領域の熱計測～カリフォルニア大学バークレー校より～

..... 井下田真信 (カリフォルニア大学バークレー校)61

〈研究トピックス〉

LNGタンク受入リード管内のガス巻込現象の実験的研究

..... 内田博幸、新井達也、桜井民雄、西郷一浩 (IHI)64

〈賛助会員紹介〉

石川島播磨重工業(株)技術研究所 (横浜) 小熊正人 (石川島播磨重工業(株)技術研究所)65