

伝 熱

目 次

〈支部の話題〉

「九州と伝熱」特集発刊に際して	吉田敬介 (九州大学)	1
九州地区における伝熱研究	今石宣之 (九州大学)	3
九州・沖縄地区における伝熱研究の現状	山田 明 (三菱重工(株))	5
沖縄と太陽熱海水淡水化研究	野底武浩 (琉球大学)	7
高性能コンパクト直膨内融式氷蓄熱器の研究開発経過	笹口健吾 (熊本大学)	9
海洋温度差発電	池上康之 (佐賀大学)	13
ケミカルヒートポンプによる熱エネルギーの有効利用	小倉裕直 (九州工業大学)	15
セラミック熱交換器の開発について	中村利治 (岩尾磁器工業(株))	18
菱刈鉱山における熱環境問題	秋山清悟・高橋昭仁 (住友金属鉱山(株))	21
焼酎粕処理の現状と課題	山下 實 (雲海酒造(株))	23
九州地区におけるアジア諸国との学術交流の現状と課題	小山 繁 (九州大学)	28

〈連載〉

インタビュー「Joint Research グループリーダーに聞く」		
4. 東京大学大学院工学系研究科, 松本洋一郎教授		
聞き手: 川口靖夫 (工業技術院, 機械技術研究所)		30

〈ワンポイント伝熱〉

高温面噴霧冷却熱伝達の評価	大久保英敏 (玉川大学)	33
---------------	--------------	----

〈行事カレンダー〉	37
-----------	----

〈支部活動報告〉

中国四国支部活動報告	38
------------	----

〈お知らせ〉

Third International Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries	39
特別講演会	39
教官公募のお知らせ	40
「伝熱」会告の書き方	41
事務局からの連絡	42
日本伝熱学会, 入会申込み, 変更届用紙	43
日本伝熱学会, 賛助会員入会申込み, 変更届用紙	44
広告	45

インターネット情報サービス

<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/htsj/>

最新の会告・行事の予定等を提供

htsj@asahi-net.email.ne.jp

事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.39, No.156, May, 2000

CONTENTS

<Branch Topics>

“Kyushu and Heat Transfer”, Recent Topics on Heat Transfer Research in Kyushu-Okinawa Area	
Keisuke YOSHIDA (Kyushu University).....	1
Heat Transfer Research in the Kyushu Area	
Nobuyuki IMAISHI (Kyushu University).....	3
The Situation of Study on Heat Transfer in Kyushu-Okinawa Area	
Akira YAMADA (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.).....	5
Ryukyu Islands and Researches on Solar Desalination	
NOSOKO, Takehiro (University of the Ryukyus).....	7
Development of a Compact and Efficient Static-Type Ice Thermal Energy Storage Vessel	
Kengo SASAGUCHI (Kumamoto University).....	9
Ocean Thermal Energy Conversion	
Yasuyuki IKEGAMI (Saga University).....	13
Effective Thermal Energy Utilization by Chemical Heat Pump	
Hironao OGURA (Kyushu Institute of Technology).....	15
Development of Ceramic Heat Exchanger	
Toshiharu NAKAMURA (Iwao Jiki Kogyo.Co.Ltd.).....	18
Thermal Condition Maintenance Problems in Hishikari Gold Mine	
Seigo AKIYAMA and Shoji TAKAHASHI (Sumitomo Metal Minig, Co. Ltd.).....	21
The Present State and Subject on Treatment of Wastewater Discharged from Shochu Distillery	
Makoto YAMASHITA (Unkai-shuzo co.Ltd.).....	23
Scientific Exchange between Kyushu Area and Asian Countries - the State and the Future -	
Shigeru KOYAMA (Kyushu University).....	28

<Serial: Joint Research>

Preface to “Interviewing a group leader of joint research”	
Interviewing a group leader of joint research, 4. Prof. Yoichiro MATSUMOTO of University of Tokyo	
Interviewer: Yasuo KAWAGUCHI (Mechanical Engineering Laboratory, AIST MITI).....	30

< One Point of Heat Transfer>

Evaluation of Heat Transfer from a High Temperature Surface in Spray Cooling	
Hidetoshi OHKUBO (Tamagawa University).....	33

<Calendar>	37
-------------------------------	----

< Reports on the Activities of Branches>	38
---	----

<Announcements>	39
------------------------------------	----

“Kyushu and Heat Transfer”, Recent Topics on Heat Transfer Research
in Kyushu-Okinawa Area

吉田 敬介 (九州大学)
Keisuke YOSHIDA (Kyushu University)

本号の特集は「九州と伝熱」というタイトルでお送りする。

「伝熱シンポジウム開催ブロックごとに地区の最近の活動状況や話題を特集記事にして掲載する」という現編集出版部会の方針のもと、九州地区では「伝熱に関する九州・沖縄の特色ある研究紹介」を行うこととなった。本誌も隔月発行となり、他の多くの学会誌がそうであるように、広い意味で会員に有用な情報記事（場合によっては伝熱にこだわらない読み物的な記事まで）を提供できるようになっている。そこで、本特集は、単なる研究紹介やレビュー的な記事ではなく、読者が九州・沖縄地区の伝熱研究とそれを取り巻く環境を理解して頂き、当該地区在住の伝熱学会会員にこれまで以上に親しみを持って(?)頂けるよう、以下の内容でお届けする。

まず、当該地区会員（九州グループ会員と我々では呼んでいる）の特徴とそれを取り巻く環境について、今石理事（九大）と山田氏（三菱重工）にそれぞれ産学の会員としての立場から分析して頂く。なお、両記事の執筆にあたり、「我々九州グループ会員はどんな人間で、どんな意識をもっているか？」を探る必要が生じたため、当該会員に対するアンケート調査を初めて本年4月上旬に行った。両氏の分析は、その結果に基づくものであるが、他地区の読者のみならず九州グループ会員にとっても自分達を再認識できるものとして大変興味深いものと思う。

次に、九州・沖縄地区における伝熱研究およびそれに関連する最近の話題を、産学7名の方にご紹介頂く。

大学側からは、「『九州（沖縄）的』テーマをもつ伝熱研究」として、野底（琉球大）、笹口（熊本大）、池上（佐賀大）、小倉（九州工大）の会員4氏に、ご

自身の研究を紹介して頂く。それぞれ海水淡水化、氷蓄熱、海洋温度差発電、化学ヒートポンプに関する研究であり、筆者が各内容を解説するまでもないが、これらのテーマに共通するキーワードが「熱さ」であることは明記しておく必要がある。すなわち、これらは「暑さ＝熱さ」を克服するための研究、あるいは「熱さ」を利用する研究であり、その意味で「九州的」である。また、これらはいずれも地域にとどまらず全国的・国際的に重要な研究テーマであるが、このキーワードが地域のニーズと合致しており、そのため地元企業や自治体などとの共同研究がなされたり、なされようとしている。この意味でもまた「九州的」である。

一方、企業側からは「『九州的』産業における伝熱研究関連の話題」として3名の方にご提供頂く。九州といえば、有田焼に代表される陶磁器製造業が思い浮かぶと思うが、磁器製造技術の高度化追求の過程で得た関連技術を応用し、磁器製品や非磁器製品を製造する企業が佐賀県を中心に数多く存在する。その中で、重油燃焼排ガスの低温熱回収に必要な耐酸性を実現したセラミック熱交換器の開発について中村氏（岩尾磁器工業）にご紹介頂く。

また、炭坑節に代表される九州イメージの代表格である炭坑は、もはや長崎県に1鉱を残すのみであるが、一方で、1985年に金の採鉱が開始された鹿児島県の菱刈鉱山は日本最大級の金鉱脈を有し、先日も新鉱脈が発見されるなど「元気印」の鉱山である。しかし、鉱山であるが故、否、菱刈鉱山であるが故の熱工学的問題が存在する。秋山・高橋氏（住友金属鉱山）に、当鉱山の熱環境改善問題を紹介して頂く。

そして、酒好きの多い伝熱学会会員がもっとも馴

染み深い九州特産品といえば、おそらく焼酎であろう。しかし、日本酒のような醸造酒と違い蒸留過程で発生する多量の焼酎粕（廃液）の処理が、地球環境問題への関心の高まりとともに従来の方法（約半分を海洋投棄）では不可能となっていることは意外に知られていない。この業界は中小(零細)企業が多く、大企業のように多くの技術者を抱えられず、大規模投資も不可能なので、処理技術の開発や導入が容易でない。その中で、一部メーカーや団体が業界全体の利益を考え、この問題に精力的に取り組んでいる。焼酎粕処理問題とその具体例について、牽引役の一人である山下氏（雲海酒造）にご紹介頂く。山下氏の専門分野は発酵学であり、専門家以外にはやや難解な部分もあるが、酒造業も「匠（たくみ）」の世界ばかりでなく熱工学が大いに寄与でき、また伝熱研究上興味ある問題が潜在していることを感じて頂ければ企画者の目的は達成される。

最後に、九州はアジアの玄関（日本もアジアであるが）である。例えば、東京の滞在経験がある韓国人は、初めて福岡や熊本に飛行機で降り立ったときに驚嘆の声をあげる。余りに近いからである（ソウル～福岡は飛行機で約 70 分）。逆もまた真なりで、

通商はもちろんのこと、アジア諸国との学术交流も盛んになりつつある。九州地区の大学におけるアジア諸国との国際交流の現状と課題について小山氏（九大）に概説頂く。

さて、本特集に際して行ったアンケートの集計結果を掲載しようとの計画もあったが紙面の都合上、割愛した。次の Web ページに掲載したので、ご覧頂ければ幸いです。

<http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/lab/ki02/>

[keisuke/questionnaire.html](http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/lab/ki02/keisuke/questionnaire.html)

同じアンケートを他地区で行った場合、特に東京・関西地区以外の結果が見てみたい。他地区の方、是非とも調査をお願いできないだろうか。

本特集はこれまでとは雰囲気少し異なるかも知れないが、本誌の新しい役割の一端を担うことができたものと信じている。「九州と伝熱」とは少し大げさなタイトルではあるが、企画者の少しばかりの思い入れの表れとして何卒ご容赦頂きたい。

本企画にあたり、伊藤猛宏（九大）、平 栄蔵（宮崎県工業技術センター）、井上雅弘（九大）、池上康之（佐賀大）、瀬名波 出（琉球大）の会員諸氏には執筆者の選定に多大なご尽力を頂いた。末筆ながらここに記して謝意を表したい。

今石 宣之 (九州大学)

Nobuyuki IMAISHI (Kyushu University)

1. 九州地区の特質

日本伝熱学会九州支部は、九州と沖縄を含む地域の約 140 名の会員から構成されている。今回伝熱学会九州支部の活動の紹介を仰せつかったものの、九州支部の特徴は何にあるのか迷ったため、吉田編集委員と相談の上、アンケートを取ることにした。質問事項の詳細は省略するが、構成員の特徴、他地域との差や九州固有の研究課題の有無などに対する会員の意識を探ろうと試みたもので、120 名の会員に発送し、57 名から回答を得た(回収率 48%)。

アンケート結果の報告の前に、九州について若干の説明を加えたい。前号の北海道地区特集は、その寒冷気候に注目した構成であった。そこでまず、九州・沖縄の気候を他地域と比較し特徴の抽出を試みる。図 1 では、月平均温度(縦軸)と月平均湿度(横軸)の年間の変化軌跡を示す気候図(Climograph)で札幌、東京、福岡、那覇の各都市の気候を比較した。福岡の冬は東京に比べて多湿であるが気温的には大差ない。夏期においては若干多湿ではあるが、あまり大きな差は見られない。一方、那覇では年間を通じて高温多湿状態にあり、他都市の気候との差は際立っている。この地域の特徴が年間消費エネルギー中の冷暖房用途の割合に及ぼす影響を、都市郊外の戸建住宅における年間エネルギー消費量(2次エネルギー消費量)を示す図 2 (1996 年資料)で検討する。札幌では冷房用途がほぼゼロ、那覇では暖房用途がほぼゼロである。全体に冷房用途のエネルギー消費量は少ない。那覇の冷房用エネルギー消費量は確かに他都市より多いが、名古屋、京都、福岡では大差なく、気候図では若干過ごし易い筈の東京の方が多い。(東京人が贅沢か?) 逆に福岡の冬期の日照量の少なさと北風の影響により、暖房用エネルギー消費量は東京より多いのである。北部九州においても高断熱住宅が普及している。夏季における住宅のバッシブクリーニングの問題は、高温多湿の地域に共通の課題ともいえよう。しかし、北部九州以外では気候は温暖である、したがって 冷凍機が無かった時代、

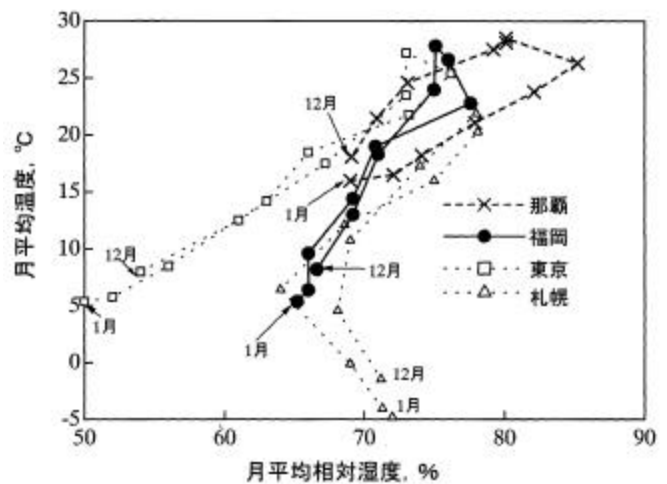


図 1 気候図で見る札幌、東京、福岡、那覇の年間気候の比較

Gcal/世帯/年

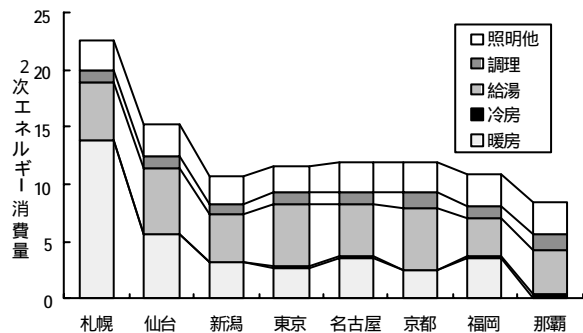


図 2 8 都市域の郊外戸建住宅の用途別エネルギー消費量の比較

日本酒の製造が困難で、焼酎がアルコール飲料の主体であった。この影響は九州人の嗜好に現在も色濃く残っている。

気候以外の重要な地理的要素は、支部域内および他の大都市圏からの距離である。近年の情報関連インフラの充実と共に、遠隔地故の情報収集の困難さは削減されつつあるとはいえ、やはり最先端の科学技術へ直接接する機会が不足しがちという問題は未だ残っている。

九州地区には以前から製鉄・化学の北九州工業地帯を筆頭に、造船・重機、石炭、化学、セメントなどの工業が栄えた。さらに昭和40年代以降各地に大型のコンビナートや半導体デバイス製造工場などが多数誘致され、大きな工業生産力を誇っている。また、シリコンアイランドと呼ばれるなど、新産業への展開も進んでいる。しかし、伝熱学会九州支部会員中の企業人の割合は、140名中6名程度と、極めて少ないのが現状である。関東、東海、関西各支部が企業の方々の積極的参加に支えられているのに対比して際立った特徴である。多くの企業があるものの、九州圏内に広く分散しており、学会活動に参加し難いのが第一の原因であろうが、九州の事業所は生産現場が主体で設計・研究部門が少ないことも影響していると思われる。かつて九州地区に置かれた企業の研究所が、20年以前から東京大阪地区に集中化される傾向が続き、企業会員が激減した。今後企業からの会員をいかに獲得していくかが課題となっている。

一方、学校関係者が(大学等の現職104名、同OB10名、高専等14名)地方公務員(6名)、企業人(6名)を遥かに凌いでいる。なかでも、九大職員(21研究室)が九州支部会員の32%を占めており、一大学への集中度は伝熱学会の全支部中でも最高と思われる。また、会員の勤務地の県別構成を見ても、多くの企業や大学が集中する福岡県が57%を占め、鹿児島県8%、熊本県7%、沖縄県5%、長崎県5%、大分県4%、佐賀県4%、宮崎県2%、OB8%となっている。

このような九州支部の会員の48%から得たアンケートの結果から以下のような支部の姿が見えている。(回答者中の学校関係者87%、福岡県勤務者58%、という数値はほぼ支部全体の構成割合に等しい)

35%が九州出身で、77%が九州圏内の大学を卒業(修了)して九州に勤務し、42%は九州外での長期生活経験を持たぬ、30代以上の学校関係の伝熱研究者を中心に九州支部が形成されている。転勤の少ない学校関係者の割合が高いために、他地域との交流が少ないという結果が得られたのであろう。

構成員の研究テーマ分布をみると、回答者51名(複数回答可、計128テーマ)のうち、沸騰・凝縮/19名、対流伝熱・熱交換器・伝熱促進/8名、省エネルギー

・自然エネルギー・未利用エネルギー利用等/7名、固液相変化(蓄熱、凍結)/7名、自然対流/6名、熱物性/4名などが挙げられている。その他にもヒートパイプ、電子機器冷却、材料製造プロセス、極低温MEMS、生態医工学、 μ G環境利用、マイクロスケール熱流体力学、地熱・混相流など多岐にわたっている。

九州地区特有の伝熱問題としては、高温流動層による焼酎粕の処理、太陽集熱器に及ぼす火山灰降灰の影響評価、(夏季の涸水に悩む北部九州の要求に対応する)海水淡水化、地熱利用などが挙げられた。

学校関係者の会員の大多数が地場産業(30名が31社と)あるいは全国規模の企業との共同研究や技術指導などの経験を有しており、近年の産学連携の傾向は九州支部でも活性化していることがうかがえる。

「アジアに近い」、「アジアに目を向けよう」との声が高い九州ではあるが、会員の35%がアジア諸国との交流関係を持つものの、その大半は中国、韓国との学术交流や留学生受け入れで、JICA、KITA等を通じての技術支援、民間企業との技術交流、タイ、インドネシア等との大学との交流などが散見される程度である。これは全国的に見られる傾向で、アジアとの交流が九州の特質ではないことを示している。

伝熱研究に関して他地域、特に東京地区との差異に対する意識を問うた設問に対する回答では「特に大きな差異は無い」との回答がある一方で、「時間、経費の両面で、直接的情報の収集に不利」、「大手企業が少ないため、熱システム設計者を抱える企業が少なく研究資金も乏しいことから地域内での産学共同研究や委託研究の実施が困難」との指摘もある。ただ、「時流にのった研究の実施には不利かもしれないが、伝熱研究実施上は地域差を感じない」、「地場産業との交流にこだわる必要は無く、日本中から注目される研究を実施すべき」、あるいは「伝熱問題を抱える地場企業は多く、充分貢献できるはず」との意見も見られる。大学の研究成果の社会還元、国際的成果が要求される今後、地域と中央との差異を気にしている時ではないのであろう。

結局、九州支部としては如何にして若手会員および企業人会員を獲得して、企業にも魅力のある活動を実施するかが最大の課題であるとの結論が見えている。20年来変わらない課題ではあるが……。

The Situation of Study on Heat Transfer in Kyusyu-Okinawa Area

山田 明 (三菱重工(株))

Akira YAMADA (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

1. はじめに

筆者自身は三菱重工業株式会社の長崎研究所に勤務しており、いただいたテーマは「地場産業と大学の伝熱研究の関連や特徴の解説」なので、地場産業と大学いずれにも属さない立場である。そのようなテーマは考えるのは初めてだが、本誌のアンケート結果や編集部からいただいた資料にもとづき、述べさせていただきたい。その際、次の2点をキーワードとして考える。

- (1)自然および社会……気候、海や山などの地形、地熱・水力・風力・太陽光などの自然エネルギー・および人口、都市の大きさ、交通、産業など。
- (2)研究機関……大学、公的研究機関、企業がどのような活動をしているか。

2. 自然および社会

九州・沖縄地区の自然の特徴としてまず思いつくのは、南国であり火山が多いということで、太陽光・熱、地熱と海洋温度差ではないだろうか。本誌のアンケートでも九州の企業と実施した共同研究16件中4件が地熱であり、太陽熱を加えると6件になる。

地熱に関しては、発電量(kWh)に地熱発電が占める割合は全国平均で0.4%に対して九州は約2%であり、地熱資源が多いことをものがたっている。余談だが、九州・沖縄地区では平成元年から毎年伝熱セミナーが各県持ち回りで開かれている。若い研究者の議論の場を提供することで優れたセミナーと評価されているが、そのうちの半数以上が温泉地で開催されていることは地熱資源が多いことの証拠でもある。ちなみに阿蘇、雲仙、湯布院と全国的に有名な場所も含まれている。

アンケートには現れなかったが、海洋温度差発電に関しては、実験プラントが十数年前鹿児島県の徳之島に建設された後も佐賀大学を中心として研究さ

れている。近年マスコミなどで深層水利用が高知県で取り上げられることが多いが、実績としてはこちらの方が長い。

社会的には、小学校的な知識で恐縮だが、九州・沖縄地区には福岡、佐賀、長崎、大分、熊本、宮崎、鹿児島、沖縄と8県あり、1998年10月1日現在で人口はそれぞれ、499万人、88万人、153万人、123万人、187万人、118万人、179万人、130万人で、合計1,477万人である。

本誌アンケートによると、福岡が勤務地の伝熱研究者は約6割であり、単純な人口割合33%に比べて高い。これは文教や工業を職業とする人の割合が福岡県において他県より高いことを意味していると考えられる。

3. 研究機関 大学や企業

前述のように、地場産業という観点で、新日鐵や三菱重工など本社が九州以外にある企業は除いている。アンケートの中で、大学との共研実績のある企業を見ると、九州電力(株)、九州松下電器(株)などの大企業は当然含まれている。当然、と書いたが、何となく伝熱と言えば発電あるいは大型の機器というイメージが強いせいか、他に約20社が大学との共研実績のあることに驚いた。

それら大学と共同研究を実施した企業の一部を別の資料で調べると、売上高は数～数十億円(一部数百億円)、営業種目は産業機械、医療器械、電子機器、空調、であった。このことは、これらの分野の企業で、伝熱研究の重要性が認識されている証拠といえる。

本誌の解説記事でも、菱刈金山、焼酎など発電や空調以外の分野での伝熱研究を知ることができる。ただ残念なのは本誌アンケートに応えた57名中民間企業は3名と5%にすぎない。伝熱研究の成果を

実際に利用する民間企業からの意見が少ないというのはいささか寂しい。ただ、アンケートでは約 20 社が大学と何らかの交流を行っており、民間企業に研究者は少ないものの伝熱研究の重要性は認識されており、九州地区の大学はそれに応えているといえるのではないだろうか。

アンケートに応えた大学の研究者で、地場企業と技術交流の経験がある方が 52 名中 30 名と約 60% に達している。この数字は是非他の地方と比較してみたいのだが、おそらく高い方ではないだろうか。また想像だが近年増加傾向にあるのではないか。このことは大学の研究者が地場産業との研究交流に積極的であることを意味しており、今後も継続してほしいと思う。

4. 九州・沖縄地区講演会

2.3 節で述べた観点に追加する意味で、伝熱学会での九州・沖縄地区の講演会に於ける、過去五回の講演題目のリストから地域性を探してみた。全 25 件中相変化やヒートポンプなど普遍的なテーマが多い中で、「地熱バイナリー発電におけるプレート式熱交換器の伝熱性能について」、「廃棄物処理におけるエネルギー回収」、「九州地域新エネルギー導入計画」が地域性のあるテーマに見受けられた。とくに「廃棄物処理」と「新エネルギー導入計画」は 3 節で対象とした企業関連のテーマとは異なり、自治体の動向が重要である。これらのような社会性を帯びたテーマに伝熱研究が関わるのは最近の傾向であり、廃棄物や新エネルギーが一般の関心を集めている昨今、今後も増加するのではないだろうか。

5. 関東地区との対比

関東地区の特徴は、前述のキーワードに基づけば社会的には人口、都市と研究機関の圧倒的な大きさと多さであろう。とくに政府機関が集中していることもあり、政策決定などの委員会、審議会の情報も他地区とは比較にならない。アンケートの問い^[注 1]に対する回答も表現は様々だがこの点に基づいているものが多い。ただし、情報量の多い環境には世の中の動向をいち早くわかるという長所もあるが、

それに流されやすいという短所もある。

日本の大企業には、関東地区に本社を持ち、地方に事業所や製作所等工場が何力所もあり、それぞれ機能を分担している。その中では、関東地区と地方との人事異動は、多少は企業によると思うが、一般的に行われている。そのことでお互いの特徴を身をもって学ぶことができる。大学では困難かもしれないが、そういう視点からの制度があっても不思議ではない。

アンケートの問い 21 に対する回答を読むと関東地区との対比は多分に個人的な経験に影響されており、まとめるのは無理があるようだ。ただ印象として関東地区の長所を過大に評価しているコメントが多いように感じた。その中で次のコメントには地域の特徴を冷静に受け止めた自信が感じられる。「・・・共同研究や委託研究は関東・関西に比べて難しいが、伝熱問題を抱えている地場企業は多く、技術指導の面では十分に地方に貢献できる。」

6. おわりに

この文章を書くために、アンケートや他の資料を読んでいて、おぼろげながら九州・沖縄地区の伝熱研究の特徴が浮かんできた。それは、大学の研究者の多くが地場企業との関係の重要性を認識しつつ日々活動している姿である。民間企業としては頼もしい限りである。ただ、本文のテーマからはずれるが、その活動をエネルギー問題など一般の啓蒙に結びつけられないだろうかという期待もある。九州にもいくつかエネルギー関係のテーマ館があるが、いずれも企業の設立である。大学の研究者の活動がどういう形態になるのか想像しづらいが、意義深いものになるだろう。

読者の方々にはまとまりのない文章をお見せしたが、伝熱研究の地域性に関して少しでも考えるきっかけになれば幸いである。

[注 1] アンケートの問い 21: 質問は、「伝熱研究に関する九州地区と他地区の環境、特に東京地区との違いについて、差異があるか否か、あるとすればそれは何か、などご意見があれば自由にお書き下さい。」というものであった。

野底 武浩 (琉球大学)

NOSOKO, Takehiro (University of the Ryukyus)

1. 沖縄の気候と水事情

亜熱帯は、降雨の多い熱帯と温帯に挟まれた、水の蒸発が盛んな乾燥地帯であり、大気大循環により、熱帯や温帯に水蒸気を供給し、雨を降らせている。アフリカのサハラからインド北西部にかけての大砂漠やカラハリ砂漠、オーストラリア砂漠などの大砂漠がこの亜熱帯に集中する。

沖縄島を含む琉球列島は、この亜熱帯に位置するが、大陸と太平洋の境界に位置することから、春から夏にかけては両者の熱容量の大きな差に起因して生ずる前線がこの地域を通過し、多量の降雨をもたらす。さらに、琉球列島のすぐ西を温かい黒潮が常時北上しており、これが冬期には大陸寒気団に多量の水蒸気を供給し、琉球列島に降水の恩恵をもたらしている。

しかし、夏から秋にかけては、亜熱帯本来の気候が支配的になり、少雨傾向が続く。特に沖縄の小さな島々は、珊瑚礁からなる山のない平らな地形であり、保水能力が低く、旱が長期間続くと深刻な水不足となる。

水不足の解消策として沖縄県は、これまで主としてダム建設を進めるとともに、山のない波照間島、北大東島、渡名喜島などには逆浸透膜法による海水淡水化施設を導入し、一日当たり数十～数百トンの造水を行っている。この施設は、電力を消費し、造水単価は約170円/トンとダムからの水の単価約100円/トンに比較して割高である。

2. 太陽熱利用の海水淡水化研究

太陽熱を利用した海水淡水化は、太陽熱により海水を加熱・蒸発させた後、凝縮させて淡水を得る蒸留法が主流である。太陽エネルギー密度は小さいため、太陽熱蒸留器の造水量は少なく、人間の生活に必要な最小限の飲水や炊事用水の供給を目的とする場合が多い。需要としては、生活水準の低い乾燥地域への給水や沖縄の珊瑚礁島などにおける緊急時の住民やホテルへの給水などがあり、小型分散が可能な太陽熱蒸留器が適している。

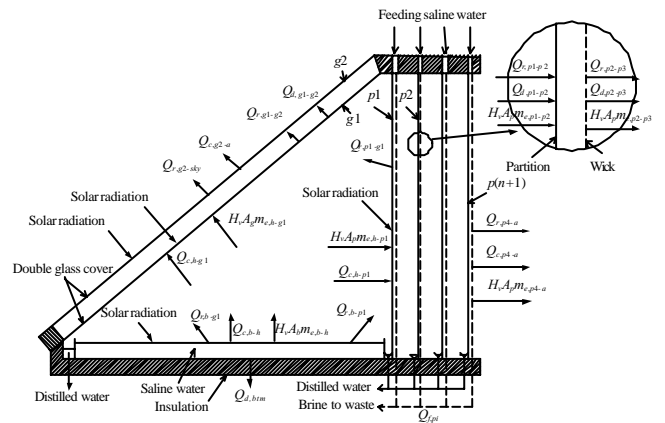


図1 Basin-多重効用複合型太陽熱蒸留器

凝縮潜熱を再利用しない、最も簡易なBasin型蒸留器の効率 = (得られた総蒸留水 × 蒸発潜熱) / (入射太陽エネルギー) は最大50%程度であった。Cooper and Appleyard^[1]は、凝縮潜熱を海水の蒸発に何度も再利用する多重効用型を製作し、効率が約100%に達することを実証した。

数年前、著者の所属する琉球大学工学部の熱工学研究室において、Basin型と多重効用型を複合した太陽熱蒸留器が考案された^[2]。その構造を図1に示す。



図2 琉球大学キャンパスの複合型太陽熱蒸留器

蒸留器は、直角三角形の断面を有し、二重ガラス窓、底面の海水蒸発皿、鉛直な多重効用部から成る。二重ガラス窓を透過した太陽光は、蒸発皿と多重効用部1枚目の仕切り板に吸収される。蒸発皿からの水蒸気は二重ガラス窓下面と1枚目仕切り板に凝縮する。その凝縮潜熱と吸収された太陽熱は、1枚目仕切り板背面のウィック(布)中を流下する海水を蒸発させる。発生した蒸気は狭い空気層を拡散し、2枚目仕切り板に凝縮する。この蒸発・凝縮の過程が3, 4...枚目と繰り返され、各段で蒸留水を得ることができる。

尚、Cooper and Appleyard^[1]以降の従来の多重効用型は、図1の多重効用部に1枚のカバーガラス板が付いた構造で、受熱面仕切り板 p_1 が太陽の方向になるよう上向きに傾斜、設置される。本複合型は、多重効用部を鉛直に設置するため、重力による仕切り板のたわみが少なく、かつ、ウィック(布)のけばが自重により倒れ、母材に張り付くため、仕切り板間隔を大幅に減少させることができる。仕切り板間隔の減少に逆比例して個々の仕切り板間の蒸留効率は増大し、一方、伝熱抵抗は減少する。その結果、蒸留器内に吸収された太陽熱のより大きな割合が多重効用部を通過し、かつ個々の蒸留の効率が高いため、得られる総蒸留水量は著しく増大する。これが本複合型の最大の特徴である。

このアイデアを実証するため、屋外実験とモデル計算を行った。図2の写真は、琉球大学キャンパスに設置された仕切り板間隔5mm、仕切り板8枚の複合型蒸留器である。図3にモデル計算と実験の結果を示す。横軸は多重効用部の蒸留段数、縦軸は全蒸留量である。総蒸留量は段数とともに初め急激に増加し、やがて飽和する。また、仕切り板間隔 g_p が狭いほど蒸留量は大きく、より大きな値の段数で飽和する。すなわち、仕切り板間隔が狭い程より多くの段数の設置が可能であり、かつ個々の蒸留量も多い。

屋外実験の仕切り板間隔5mm、7段の蒸留器で得られた蒸留量は、計算値の約81%である。現在、改良が加えられており、理論計算値とほぼ同じ量の性能が得られる見通しが立っている。一方、我々は内部が観察できる、多重効用部を模擬した鉛直の単一蒸留器を製作し、仕切り板間隔を変えて実験を行ったところ、間隔を2mmまで狭めても海水の蒸留水への混入が生じないことが明らかになった。図3の結果によれば、仕切り板間隔2mm、多重効用部段数15の蒸留器では、一日約26ℓ/m²の淡水が得られることがわかる。効率にすれば約280%であり、Basin型の約5.6倍、田中ら^[3]の従来の多重効用型の仕切り板間隔10mm、段数7の蒸留器の約2.2倍に達する。現在その実証に向けて屋外実験を進めている。

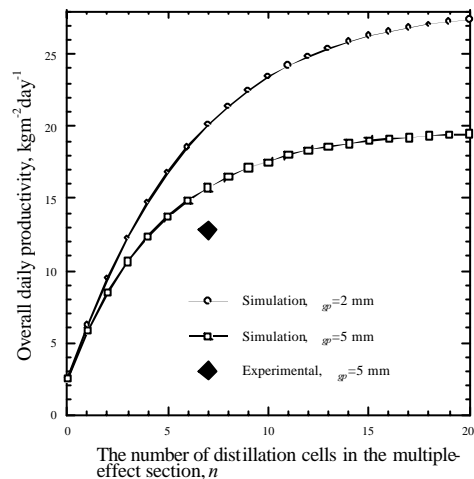


図3 複合型蒸留器の総蒸留量と多重効用部の段数の関係

3. 実用化そして新たなニーズ

世界の乾燥地域における淡水へのニーズは非常に高い。この研究に注目したベンチャー企業の(株)トップエコロジーと(株)日本建鐵が複合型太陽熱蒸留器の実用化に乗り出し、この4月、1号機[アクアキッズ]の製造に成功した。日本のODA活動の中で利用したいとの申し込みがあり、手始めとしてインドネシアの現地での設置、操作に向けて準備中である。これに成功すれば世界各地の国々への普及が約束されているという。

最近、海上保安庁より、我々の研究室に新たなニーズの提供があった。海難時の救命ボートの装備品として、海水蒸留器を開発して欲しいとの申し出である。条件は、コンパクトに折りたためること、約1週間程度確実に淡水を供給できることである。フレキシブルなプラスチック膜などを利用すれば可能ではないかと考えているが、読者の皆様からの発案、助言を期待したい。

近年の地球環境の悪化に伴い、水資源の枯渇が世界的規模で広がっている。著者らが住む沖縄では、世界の乾燥地域と同様な気象条件が得られるため、実証実験に適している。我々の研究が、乾燥地域の人々に少しでも役立てばと願っている。

参考文献

- [1] Cooper and Appleyard, Sun at Work 12, 4, 1967.
- [2] Tanaka, et al., Proceedings of the 4th JSME-KSME Thermal Eng. Conf., 2000, in press.
- [3] 田中耕太郎, 慶應義塾大学大学院, 博士論文, 1985年度

高性能コンパクト直膨内融式氷蓄熱器の研究開発経過

Development of a Compact and Efficient Static-Type Ice Thermal Energy Storage Vessel

笹口 健吾 (熊本大学)

Kengo SASAGUCHI (Kumamoto University)

1. まえがき

固-液相変化を伴う熱流動現象に関する基礎的な研究は、ここ20年程度の間で活発化し、当初の単純な系から、現在では、かなり複雑な系に関する研究まで行われるようになった。一方、応用的な研究は、氷蓄熱空調システムが商業ベースとして登場するようになって、ここ10年程度でにわかに活発化し、現在もその勢いはまだ持続しているように見える。ちなみに、「氷蓄熱」でインターネット上で検索をかけると、1000件程度がヒットした。

さて、現在までに中・大規模のビルなどの建物に対する氷蓄熱空調システムの研究開発は一段落着き、多くのシステムが実際稼働している。今後研究開発及び実用化が待たれるのは、小規模システム及び広い地域などに直接氷を搬送する超大規模システムではないかと思われる、実際それぞれ研究が既に開始されている。本稿では、その内の小規模システムに的を絞って、筆者がこの3年程度行って来ている、実用化を目指した研究「高性能コンパクト直膨内融式氷蓄熱器の開発」について経過を紹介したい。

2. 小型氷蓄熱器の更なるコンパクト高性能化へのニーズとシーズ

なぜ小型システムかと言うと、氷蓄熱空調システムを普及させていった時に最後に残るのが、小規模店舗や一般家屋など小規模分散需要者であるからで、経済性を損なうことなく、システムをコンパクト高性能化する必要がある。しかし、これは言うが易し行うは難しで、一朝一夕には実現できない。そこでまず、現在(3年程度前の時点)で最も小型システムに向く実用化されている方式は何かを調べようと考えた。ちょうどその時、電力会社と空調システムメーカーが共同開発した、エコアイスmini(図1参照)と言う、当時、小型システムとして最適と感じられた製品が市場に出され、マスメディアを通じた宣伝も始まった。ある時、情報収集などの目的で筆者が参加している研究会で、日立冷熱(株)(現、(株)日立空調システム)の技術者によるエコアイスminiについての講演を聴く機会があった。その際、氷蓄熱器の氷充填率(IPF)が0.65程度と小さく、システム構成の中で蓄熱器が最も大きいことが分かった。そこで、なぜIPFがそんなに小さいのかを尋ねたところ、以下の答であった；

・・・本システムは小型化を目指したため、通常の空調システムに氷蓄熱器を直接組み込んだ構造となっており(図1参照)、採冷熱時(融解過程)に高圧の冷媒が蓄熱器の伝熱管内を流れる、いわゆる直膨式であるため、伝熱管はプラスチック製でなく銅製である。従って、蓄冷時(凝固過程)に伝熱管群から発達した氷(内融式であり、凝固・融解とも伝熱管表面から生じる)が接触(ブリッジング)した後も凝固を続けると、凝固の際の体積膨張による高応力発生や氷によって閉じ込められた水が高圧となったりするため、伝熱管が塑性変形に至る危険性がある。従って、凝固はブリッジングが起こる前で止めており、結果的にIPFが小さい値に留まっている・・・
そこで思いついたのが、10年程前に塩化アンモニ

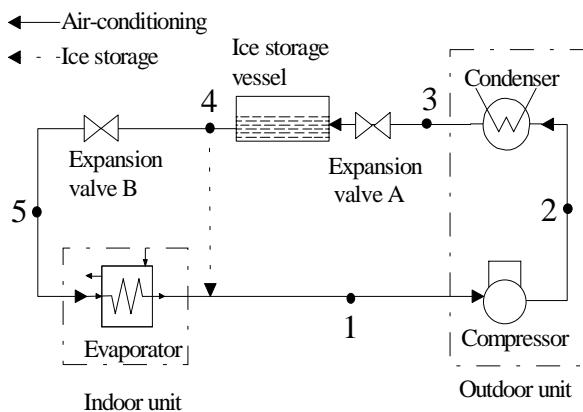


図1 直膨内融式氷蓄熱空調システム (エコアイスmini)の概略

ウム水溶液の凝固実験を行った際^[1]に得た知識；水溶液の凝固層(*mush*)は、純水の場合の硬い純粹の氷と異なり、固-液共存層であり、また共存層内の固相量は水溶液の濃度の増加につれて減っていくという事実であった。すなわち、水溶液を用いれば、圧力上昇は*mush*内に存在する連続した液相を通じて、蓄熱器の上部の空気層に抜けることができ、また*mush*は変形可能なため*mush*がブリッジした後も応力発生は緩和され、凝固を続けることができ、水溶液全体を*mush*にすることが可能ではないかと考えた(図2参照)。ただし、*mush*には液相が含まれ、上述のように水溶液濃度が大きくなるにつれて、その割合は増えるため、余りにも高濃度の水溶液を用

いと、せっかく水溶液全体を*mush*にしても、含まれる固相そのものの量(すなわち蓄冷量)が、氷のブリッジ前で凝固を止めている現在の純水の場合より減少する可能性があり、本アイデアが破綻する。そうかと言って、固相量を増加させることに余りにも目を奪われて、水溶液濃度を小さくしすぎると、今度は*mush*が硬くなりすぎて、前述の応力発生や高圧発生を緩和できなくなり、伝熱管が損傷する。従って、固相量が純水の場合に比べある程度多く(実用化に際しての電力会社やメーカーの意欲を刺激するためには20%~30%程度の増加は必要であると考えた)、かつ、応力発生及び高圧発生を緩和できる最適の水溶液濃度を決定する必要があった。

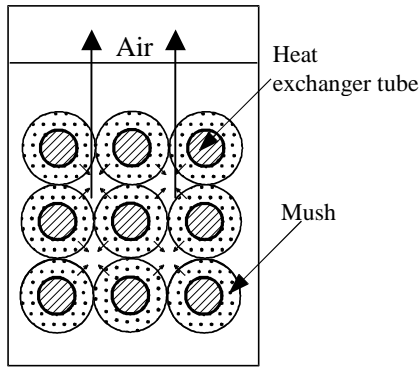


図2 本アイデアの概念

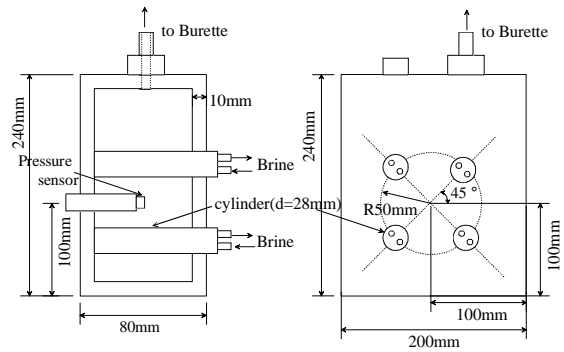
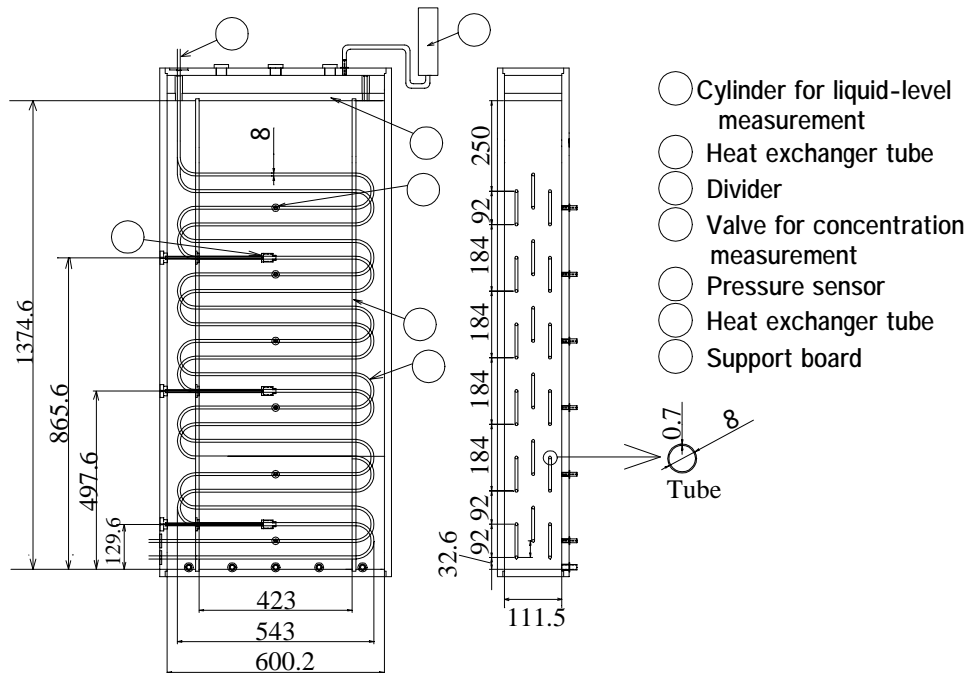


図3 圧力測定専用装置



(実器の9列の伝熱管のうち3列を設置し、余分な空間は取り除いてある)

図4 実器規模の実験装置

まず、本アイデアを九州電力(株)に提案し、成功率50%程度と言うことを承知してもらった上で、共同研究を行うということになった。

3. アイデア検証のための実験

いきなり実器規模(1000W x 1500H x 600D)で実験を行うのは困難と思えたので、まず圧力上昇を測定するための4本の伝熱管を有する小型圧力測定専用装置(図3)と8本の伝熱管を有する凝固・融解量測定のための小型氷蓄熱器を用いて、まず上述したアイデアが有効か否かの確認を行った。その結果、圧力上昇がほとんど無く、かつ固相量が純水の場合と比べて20%程度大きい水溶液濃度が存在することが明らかになり^[2,3]、次ぎの実器規模の蓄熱器を用いた実験を行う価値が出てきた。

実器規模の蓄熱器(以下、実器モデルと呼ぶ)では、伝熱管としては、エコアイス mini に実際に使用されている伝熱管群9列の内の3列を取り出して使用した。そして、実器では氷のブリッジングによる事故を防ぐ目的のために、凝固しない余分な空間を設けてあるが、本実験装置においては蓄熱器全体を凝固させるため、それは全て取り払った設計にした。製作した実器モデル装置を図4に示す。

図5は図4の実器モデルで測定した圧力変化で、純水($Co=0\%$)では圧力 P は急上昇するが、初期濃度 $Co=1\%$ (質量百分率)の水溶液(エチレングリコール水溶液)を用いれば、装置のどの位置でも(図中の h は装置底面から圧力センサーまでの高さを表す)、圧力はほとんど増加していないことが良く分かる。また、水溶液全体が $mush$ となるように十分凝固を進めた後にも伝熱管や装置に変形や破損は観察されず、

純水の場合に見られる氷の体積膨張による応力発生が緩和されることが実証された。

次ぎに、図6及び図7はそれぞれ、実器モデルの凝固過程で生成された固相質量 M_s (相図によると、 $mush$ 内の固相は純粋な氷である)及び融解過程における液相質量 M_m の比較を示したものである(軸の A は伝熱管総表面積)。図6から、氷のブリッジング時で凝固を止めている純水の場合に比べ、水溶液の場合の40000秒における固相量は約30%程度増加しており(言いかえると、蓄熱器の30%程度のコンパクト化ができる)、筆者が提案したアイデアが有効であることが確認された。また、図7を見ると、融解速度(図の曲線の傾き)は水溶液の場合も純水の場合も大差が無いことも分かる。

図8は水溶液($Co=1\%$)の凝固状態の時間変化(蓄熱器低部付近の管群周り)を示しているが、時間 $t=39600s$ (図8(c))では、 $mush$ がかなり発達し、ほとんど容器全体を覆っていることが明確に分かる。

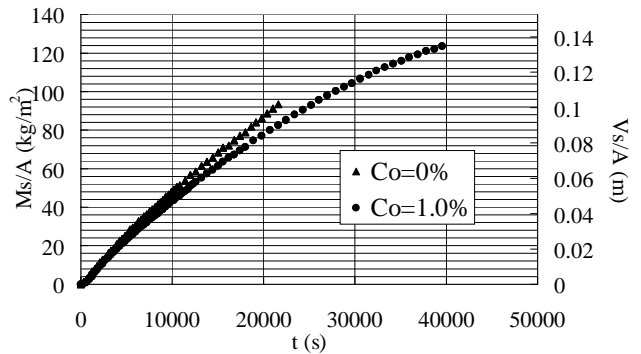


図6 凝固量の比較

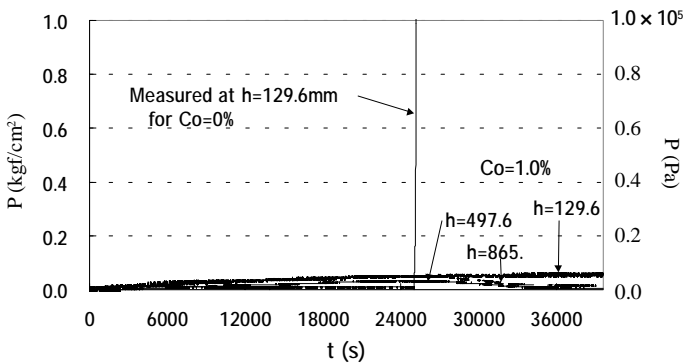


図5 圧力変化

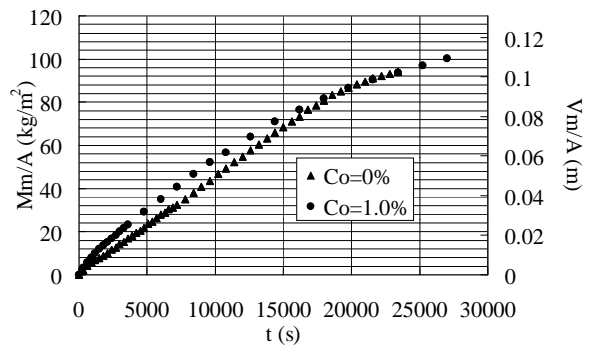


図7 融解量の比較

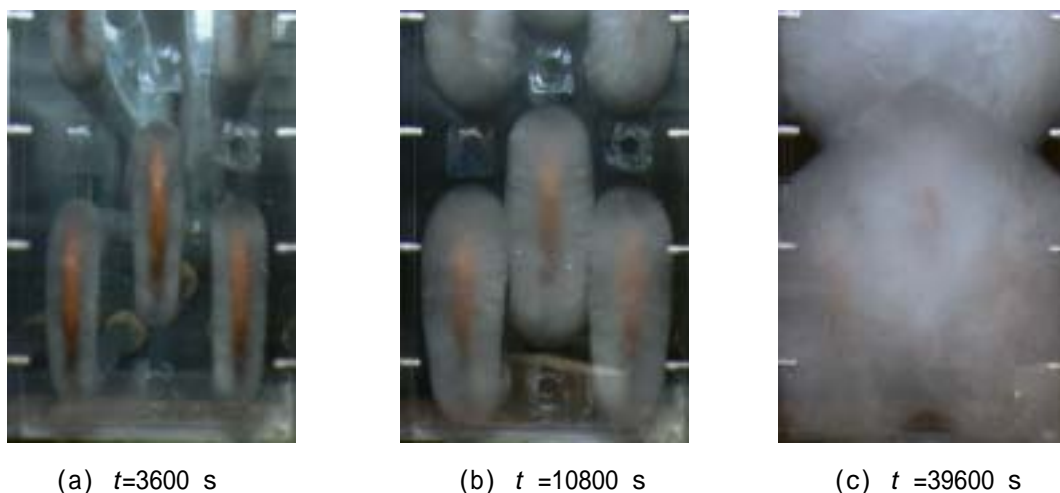


図8 1%濃度水溶液の凝固層の発達(蓄熱器低部付近)

ただし、凝固・融解サイクルを繰り返すに従って次第に、水溶液の濃度が蓄熱器の上部で小さく、下部で大きくなることが明らかとなった。これは、*mush*内の固相(純粋な氷)が融解する際に生じた低濃度融液が蓄熱器上部へと上昇・集積するためである。

4. 実用化に向けての課題

以上がこれまでの研究経過の概略であるが、実用化のためは更に以下のようなことを考える必要があると思われる、現在検討中である。

1. 上述のように、蓄熱器上部に低濃度融液が集積する傾向がある。低濃度部分の再凝固層はより硬い*mush*となるので、余りに低濃度の融液部分が生じると、圧力上昇の原因となるので、濃度を均一にする攪拌法。
2. 低濃度水溶液を用いると、IPFは増加することができるが、凝固時間は純水を用いる場合に比べ長くなるので、凝固時間を短縮するには、何らかの伝熱促進法が必要。
3. 内融式は他の方式と比べ、元来、融解速度が小さいので、この点からも伝熱促進が必要である。
4. エチレングリコール水溶液を蓄熱器内で長期使用した場合の腐敗性などのチェックが必要。

む す び

現在、これまでの研究結果を九州電力(株)及び

(株)日立空調システムに説明し、実証システムの製作に取りかかる準備を進めている。

以上、高性能コンパクト直膨内融式氷蓄熱器の研究開発に至ったきっかけと研究経過の概略を説明しましたが、行ってこられた基礎的研究成果を実用化することに興味をお持ちの方に少しでも参考になれば幸いです。なお、研究の詳細は以下のホームページを参照下さい。

<http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/Info/lab/heat/sasa/main.htm>

また、ご質問等があれば、電子メールや電話でお願いいたします。

E-mail: sasa@gpo.kumamoto-u.ac.jp

Tel: 096-342-3756

参 考 文 献

- [1] 笹口・ほか2名, 2成分相変化材の凝固過程, 機論, 57-539, B(1991), 2315-2322.
- [2] Sasaguchi, K., et. al., Development of an Efficient Static-Type Ice Thermal Energy Storage Vessel Using a Low Concentration Aqueous Solution, *Lecture Note in Physics, Advances in Cold-Region Thermal Engineering and Science*, Springer, (1999), 575-584.
- [3] 笹口・ほか3名, 低濃度水溶液を利用することによるスタティック型氷蓄熱器の高性能化に関する研究(平滑管群及びフィン付管群を用いた実験), 第36回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 2, (1999), 357-358.

池上 康之 (佐賀大学)

Yasuyuki IKEGAMI (Saga University)

1. はじめに

九州,特に南の島といえば「海」を思い浮べる方が多いのではないと思う。海洋温度差発電は,これらの海洋表層の温度が温かい地域に適しているといわれているが,近年,海洋資源,とりわけ「海洋深層水」の有する優れた特性が見直され,南洋の地域に限らず日本国内はもとより海外で再び大きな期待が寄せられている。これらの背景には,地球規模で顕在化し深刻な状況にある環境・エネルギー問題が挙げられるが,他にも近年新しい技術の導入や多くの大型プロジェクトが推進されるなど,海洋温度差発電も新しい時代に入ったといわれている。

佐賀大学では,上原春男教授を中心に27年前よりこの海洋温度差発電に関する研究を行っている。施設としては,佐賀県伊万里市に理工学部附属海洋温度差エネルギー実験施設があり,その研究拠点の役割を担っている。

本報告では,佐賀大学における海洋温度差発電の研究と併せて,海洋温度差発電を取り巻く状況,今後の展望について概説させていただきたい。

2. 海洋温度差発電

図1に,クローズドサイクル方式を用いた基本的な海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion: OTEC)システムを示す^[1]。主な構成機器は,蒸発器,凝縮器,タービン,発電機,ポンプからなる。これらの機器はパイプで連結され,作動流体としてアンモニアが封入されている。

作動流体は,液体の状態ではポンプによって蒸発器に送られる。そこで,表層の温海水によって加熱され,蒸発し蒸気となる。蒸気は,タービンを通過することによって,発電機を回転させて発電する。タービンを出た蒸気は,凝縮器で約600m~1000mの深層より汲み上げられた冷海水によって冷却され,再び液体となる。この繰り返しを行うことで,化石燃料を使用することなく海水で発電することができる。

OTECの発電方式には,クローズドサイクルの他に,オープンサイクルとこれらのサイクルを組み合わせたハイブリッドサイクルの3つに大別される。オープンサイクルに関しては,米国のHELH(Natural Energy Laboratory of Hawaii)を中心に研究開発が行われ定格出力210kWの実証実験に成功している。しかし,クローズドサイクルを用いる方が経済的でより大きな出力の発電が可能であることが明らかとなり,近年ではクローズドサイクルを用いたOTECに関する研究開発の方が主流となっている。

クローズドサイクルでは,これまで長年,単成分であるアンモニアなどを作動流体として用いたランキンサイクルについてのみ研究開発が行われてきたところが,近年OTECに関する新しいサイクルが提案されるなど,OTECの研究開発も新しい段階を向えたと考えられている。

3. 佐賀大学における海洋温度差発電の研究

1973年に上原教授がOTECの研究を開始し,1979年の日本初の洋上実験(島根沖),1980年国内最初の海洋温度差発電実験所(伊万里市)の設置に始まり,今日まで約10基の実証プラントを建設し研究を行ってきた^[1]。これまでの主な成果は,

- (1)OTECでは,蒸発器および凝縮器には以前よりチューブ式熱交換器が用いられていたが,佐賀大学

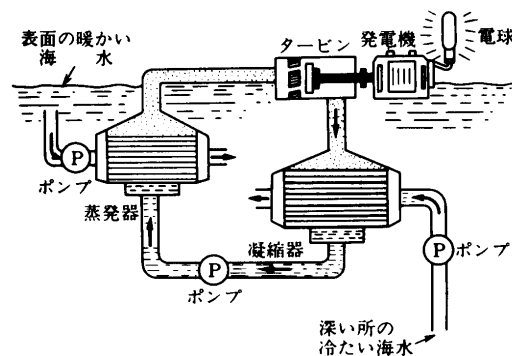


図1 海洋温度差発電システム

で高性能なプレート式熱交換器を開発し導入することによって、OTECが実用化レベルまで達したと評価されている。今日開発されたこれらのプレートは、OTECに留まらず、地熱発電や海水淡水化装置など小温度差利用システムにおいても用いられている。

- (2)クローズドサイクルを用いた OTEC の設計に必要なデータを提供するとともに、システム設計手法を提案し確立した。これらについて国内および海外で国有特許を取得した。この特許を用いて種々の実証プロジェクトが進められている。
- (3)従来からアンモニアやフロンなどの純物質が作動流体として用いられていたが、A.Kalina が発明したアンモニア/水の混合物質を用いたカーリーナサイクルが注目されている。佐賀大学では、9 kW の実験装置を設置し実験的研究を行うとともに、理論的にカーリーナサイクルよりサイクル効率が高い佐賀大学方式(ウエハラサイクルと呼ばれている)を提案し国有特許を取得した。

他は、紙面の都合上省略する。伝熱工学に関する今後の主な課題としては、下記の事項が挙げられる。

(1)プレート式熱交換器の一層の高性能化

プレート内は、2～8 mm 程度の狭い流路で、かつ伝熱面上が複雑な形状をしているため、その伝熱現象は複雑であり十分解明されていない。

(2)アンモニア/水系混合媒体の伝熱現象の解明

従来のフロン系混合媒体とは異なり、露点と沸点との差が極めて大きく約 100 近い、また吸収など様々な化学反応も伴うため、その伝熱現象は複雑であり十分解明されていない。特に、実験データがまだまだ不足している。

4. 海洋温度差発電と環境・エネルギー問題

COP3 以降、自然エネルギーへの期待が一段と高まり、その実用化および普及推進が各方面で望まれている。OTEC もこれらを契機に研究が盛んになり、様々な新しい研究成果が報告されてきている。

従来のライフサイクルアセスメント(LCA)では、自然エネルギーを利用する発電所は希薄なエネルギーを用いるため、発電所建設による CO₂ 排出がかなり大きいことが指摘されていた。このような状況の中、近年種々の高精度な LCA が提案されている。田原ら^[2]は、OTEC を含めた種々の発電方式の LCA を行い、自然エネルギーの中でも、特に水力発電とともに OTEC に利があることを示している。表 1 に、田原らによる評価を示す。100MW の OTEC の場合、石炭火力発電の約 1.5%、LNG の 2.4%、太陽電池に

表 1 各発電方式の 1kWh 当たりの CO₂ 排出原単位

発電方式	kg-CO ₂ /kWh
石炭火力	0.916
石油火力	0.756
LNG	0.563
水力	0.017
海洋温度差発電(2.5MW)	0.119
海洋温度差発電(100MW)	0.014
太陽電池	0.153

対しても約 10%と極めて僅かな排出量であることが確認できる。このような評価により、二酸化炭素削減を含めた地球温暖化対策の有力な解決策の一つとして期待されるようになってきている。

一方、海洋深層水は、「安定低水温性」「清浄性」「富栄養性」の特徴があり、再生循環性の資源価値を有しており、海洋温度差発電に留まらず 21 世紀の新しい資源開発として注目されている。特に、水産増養殖などの水産分野、冷房施設や既設発電所の高効率化などエネルギー分野、アトピーなどの医療分野などで期待され、科学技術庁、水産庁、通産省などが多くのプロジェクトを立ち上げ推進している。なお、既に深層取水設備を有する高知県、富山県に続いて、2000 年には、沖縄県久米島においてこれまでの最深である深層約 600m から約 15000t/日の海洋深層水を汲み上げる研究所が完成する予定である。その他に、静岡県、三重県、北海道などでも既に計画が進められている。また、最近では海水からのウラン・リチウム回収や水素製造なども注目されている。

5. おわりに

紙面の都合上で示せなかったが、佐賀大学とインド政府が進めている OTEC の 1000kW 実証試験が本年秋に運転開始予定である。このようなプロジェクトにより海洋温度差発電の実用化が一層推進され、今後も多くの方々が関心を持たれ、研究開発が一層進展することを切望する。

参考文献

- [1]上原,海洋エネルギー利用技術, 森北出版 (1996)
 [2]田原ら, 化学工学論文集, 23-1, pp.88-94 (1997)

Effective Thermal Energy Utilization by Chemical Heat Pump

小倉 裕直 (九州工業大学)

Hironao OGURA (Kyushu Institute of Technology)

1. はじめに

資源・エネルギー問題の観点から、クリーンな熱エネルギー有効利用システムの開発が求められている。特に九州地区では気温が高いために夏季の冷熱需要が多い。このために夏季昼間の電気利用量が多く深夜電力の有効利用が望まれている。

このような観点から著者はケミカルヒートポンプ(CHP)による熱エネルギーの有効利用システムの検討を実験および理論解析により行ってきた。本報では、特に実用化を目指して各種検討を行ってきた酸化カルシウム/水/水酸化カルシウム(CaO/H₂O/Ca(OH)₂)反応系ケミカルヒートポンプの著者らの開発状況を報告する。

開発例として、各種排熱や深夜電力などの余剰エネルギーを回収し、改質して高温熱・冷熱として放出するシステムに関して、深夜電力蓄熱・昼間温熱(給湯用)・冷熱(冷房用)生成システム^[1]および工業用高効率乾燥システム^[2]について報告する。

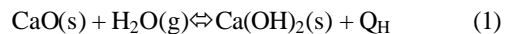
2. ケミカルヒートポンプとは?

Fig.1 に CaO/H₂O/Ca(OH)₂ 反応系ケミカルヒートポンプの作動原理を簡単に示す。ケミカルヒートポンプは、さらに作動モードとして蓄熱モード、昇温モード、増熱モードおよび冷凍モードの4つが基本的に考えられる。ケミカルヒートポンプの作動温度レベルは、反応系に依存することに加えて、これらの作動モードに応じてその作動温度レベルが決定される。本系は、蓄熱温度域は 400 レベルと比較的高いものの放熱温度レベルが 0 レベルから 600 レベルと広がっている。

3. CaO/H₂O/Ca(OH)₂ 反応系 CHP 実験概要

3-1 反応系

本反応系 CHP 単体は以下に示される化学反応から成り立つ。



3-2 反応材

実験試料としては、粒径区分が 0.7~1.0mm の広島産寒水石(CaCO₃)をマuffle炉で5時間焼成したCaO粒子を主に用いた。

3-3 実験装置

実験装置としては、これまでいくつものタイプを製作してきた。Fig.2 はプロト機 Type の概略図である。本機は、上部円柱型ステンレス製反応器、下部円柱型ステンレス製蒸発器/凝縮器がジョイントバルブを介して垂直に連結された縦型密閉系装置である。反応器内には充填層が設置されている。充填層内にはコイル状に巻かれた熱交換器と蓄熱用ヒーターが設置されている。反応器内の熱・物質移動を促進した充填層反応器形状の詳細図を Fig.3 に示す。Type は多段充填層で中心部熱交換、Type は多段充填層で層上面部および中心部熱交換である。蒸発器/凝縮器内には反応媒体である H₂O を封入するためのガラス製容器が置かれ、ガラス容器内には熱交換器が設置されている。また、装置全体はグラスウールにより断熱されている。

3-4 実験方法

蓄熱実験は充填層反応器内に設置されたヒーター

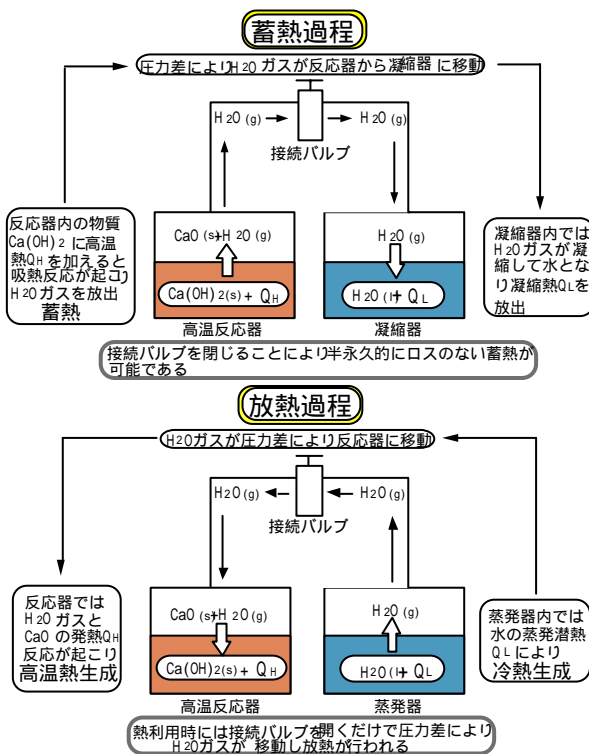


Fig.1 Principle of Chemical Heat Pump using CaO/H₂O/Ca(OH)₂ reaction

から $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に熱が与えられ、脱水反応が進行することにより行われる。この際発生した $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ により反応器内圧力は蒸発器/凝縮器内圧力より高くなる。この圧力差によって $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ は反応器から蒸発器/凝縮器へと移動し、蒸発器/凝縮器内熱交換器により凝縮熱が奪われることにより凝縮する。この操作により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が CaO と $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ に熱分解されて、化学蓄熱が行われる。

蓄熱過程終了後、ジョイントバルブを閉じた状態で反応器を所定温度まで（自然）冷却すると反応器内圧力は蒸発器/凝縮器内圧力より低くなる。放熱実験は、この圧力差を利用して進行する。圧力差のみによって蒸発器/凝縮器内の H_2O が蒸発し反応器へ

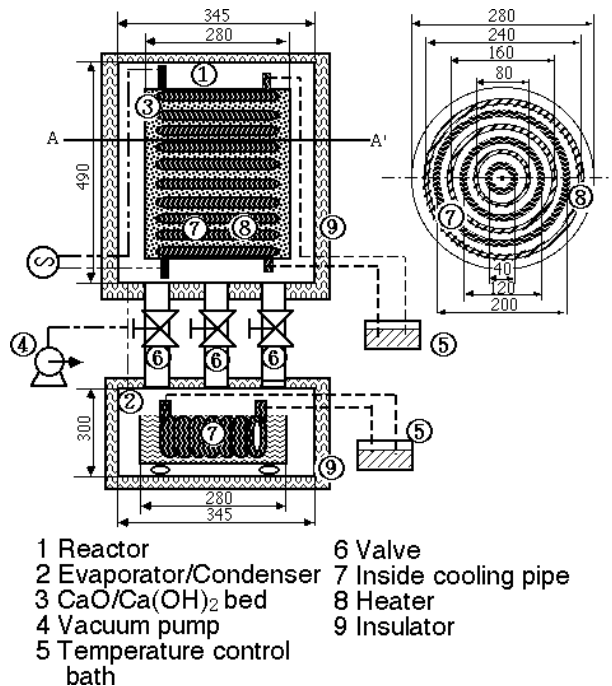


Fig.2 Schematic diagram of chemical heat pump unit - Type I -

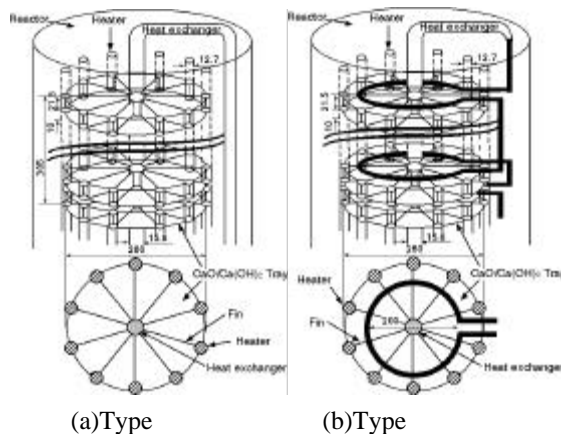


Fig.3 Renewed reactor Type (a), Type (b)

と移動する。この際、反応器内では、 CaO の水和反応が起こり、温熱が生成される。蒸発器/凝縮器では H_2O の蒸発が起こり、冷熱生成が行われる。生成された温・冷熱は熱交換器によって回収される。

4. 結果および考察

4-1 深夜電力蓄熱 - 昼間温・冷熱生成装置実験

本実験では Fig.4 に示すように深夜電力を蓄え、昼間に給湯用温熱および冷房用冷熱を生成することを想定した検討を行った。

Fig.5 に先に示した3種類の反応器を用いた場合の放熱過程における反応率および温・冷熱放熱量の

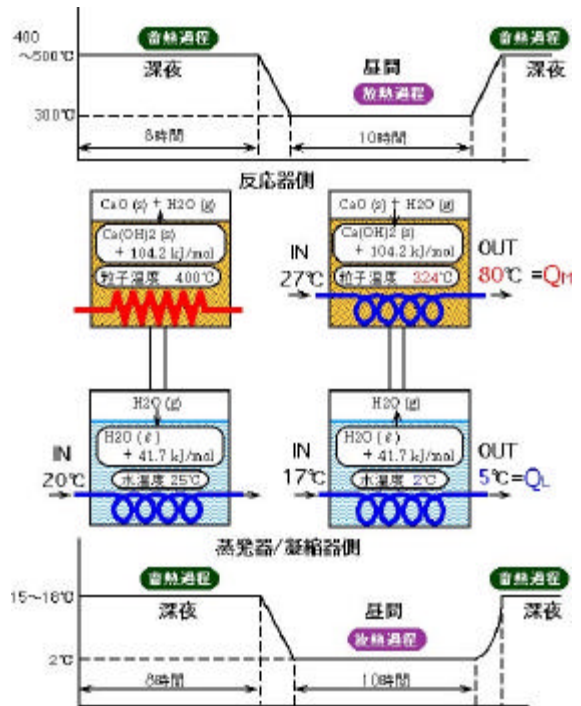


Fig.4 $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ CHP experiment for night electric power utilization

経時変化を示す。熱媒体の流量が一定である実験において Type (a) と Type (b) を比較すると多段トレイ方式である Type (a) の場合が反応率が大きいことがわかる。本冷熱生成モードでは反応の作動媒体である水蒸気の圧力が低く、反応層への水蒸気の流入が困難なため、Type (a) の様に充填層高が小さくなると反応性が増大する。一方、Type (b) に着目すると熱媒体流量を制御することおよび反応材の高活性化により大幅に反応率が向上したことが確認され、5 時間での到達反応率は 86% である。熱交換器部分を改良した Type (a) を用いた場合の経時変化を Fig.5 において実線で示す。改良前の Type (a) と比較すると反応率がやや減少していることがわかる。この原因としては熱交換器の延長された部分がトレイの間に位置し、充填層内への水蒸気流入の際の抵抗になっているこ

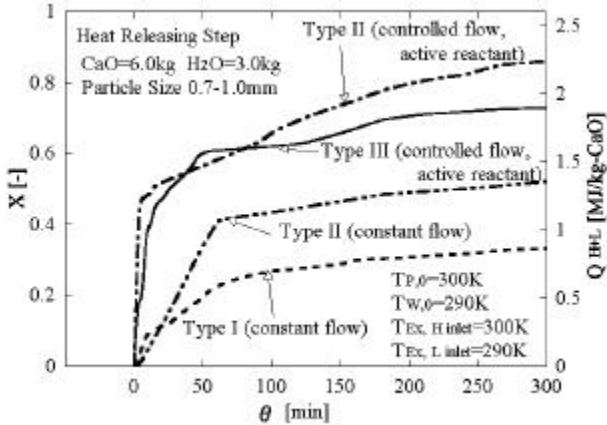


Fig.5 Changes of overall-conversion of CaO bed, generated heat amount

Table 1 Generated heat and recovered heat

Type	Q_G [MJ]	Q_R [MJ]	Q_R/Q_G [-]
Type	9.59	2.93	0.31
Type	8.11	5.04	0.62

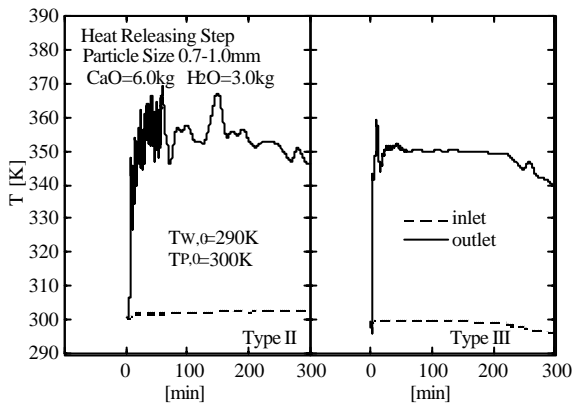
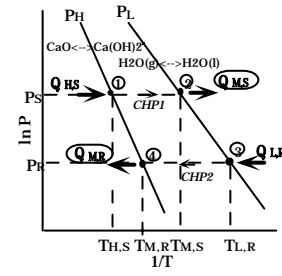


Fig.6 Temperature-changes of heat exchanging water at inlet and outlet

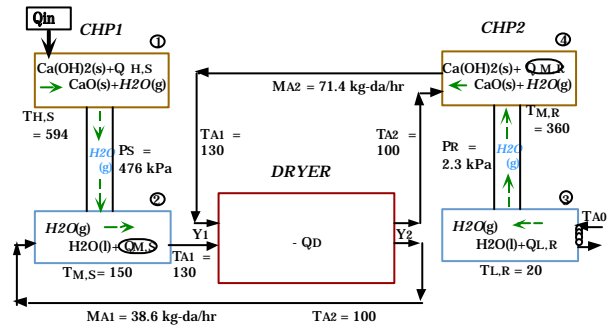
とが考えられる．しかしながら Type Ⅱでは，Table 1 に示されるように回収熱量は増大し，Fig.6 に示されるように回収温熱の温度も安定しており，総合的には性能の向上が確認される．

4-2 ケミカルヒートポンプドライヤーシステム

本反応系ケミカルヒートポンプのシステムの検討の一例としてケミカルヒートポンプドライヤー（CHPD）を新たに提案する．本システムの Type I の概念図を Fig.7 に示す．本システムでは，高温乾燥空気 $Q_{H,S}=Q_{in}$, 594 °C が CHP1 反応器側において蓄熱され，凝縮器側では凝縮熱により $Q_{M,S}$, 150°C の熱が発生する．一方 CHP2 では同時に放熱過程における常温空気熱 $Q_{L,R}$ を利用した中温熱生成 $Q_{M,R}$, 360°C が進行する．これら $Q_{M,S}$ と $Q_{M,R}$ を同時に使用して $T_{A1}=130$ °C の高温乾燥空気が生成され，乾燥部へ導入，循環される．CHP1 と CHP2 を定期的に役割を交換することにより，本システムはほぼ連続的な運



a) Operating line



b) Flowsheet

Fig.7 Operation principle of the CHPD for CaO/H₂O/Ca(OH)₂ heat enhancement mode

転が可能となる．

本システム効率の推算結果の一例を示すと，
 $Q_{ev} = 1.71$ MJ/kg of water evaporation (No heat loss)
 $Q_{ev} = 2.45$ MJ/kg of water evaporation (30% heat loss)
 となり乾燥エネルギーの大幅な節約が可能となる
 ことがわかる．

5．終わりに

著者らが行っているケミカルヒートポンプの開発に関して，その基本的概念を示すと共に，酸化カルシウム/水/水酸化カルシウム反応系を用いた深夜電力有効利用システムおよび工業用乾燥システムの研究成果の一部を報告した．これらのシステムの実験データおよび熱エネルギー有効利用に関する効率等を示した．今後はさらに，各種余剰エネルギーと需要エネルギーにフィットしたシステムを開発し，熱エネルギーのリサイクルを支えるケミカルヒートポンプシステムを実用化していきたい．

参考文献

- [1]小倉裕直ら”深夜電力蓄熱 - 冷・温熱回収型 CaO/H₂O/Ca(OH)₂ 系ケミカルヒートポンプ試作機の基本特性” 化学工学論文集, 24, pp856-861 (1998)
- [2]Ogura, H and Arun. S. Mujumdar, “Proposal for a novel Chemical Heat Pump Dryer” Drying Technology, 18, pp1033-1053 (2000)

Development of Ceramic Heat Exchanger

中村 利治 (岩尾磁器工業(株))

Toshiharu NAKAMURA (Iwao Jiki Kogyo.Co.Ltd.)

1. はじめに

当社は、有田焼で有名な佐賀県有田町に本社をおく、従業員 245 名の磁器材料メーカーである。磁器材料の特徴と言え、読者には耐高温性をイメージする方が多いと思うが、当社では他の重要な特徴である耐酸腐食性に早くから着目し、それを応用した装置部品を数多く製造・販売してきた。

ここでは、当社が部品ではなく装置として初めて取り組んだ、「セラミック熱交換器」について、開発における苦労話を交えて紹介したいと思う。

2. セラミック熱交換器の特徴

現在、地球温暖化防止の面より省エネルギーが叫ばれており、その一つとして、燃焼ガスからの排熱回収を従来にも増して進めようとの動きがある。すなわち、ボイラ、工業炉等の排熱回収において、従来見過ごされていた排熱温度 200 程度以下の低温域での熱回収を行おうとするものである。しかし、重油などを燃料とする排ガスには SO_x等の腐食成分を含むため、脱硫装置の装着が困難な中・小型の装置では通常金属を用いた熱交換器（以下、従来型と呼ぶ）による熱回収は困難である。耐酸腐食性に優れたセラミックを熱交換器の伝熱部に使用することができれば、このような条件下の熱回収が可能になる。熱交換器「MIC - 300」(図 1) は、このような考えから開発を行った。

当熱交換器は、伝熱部にセラミックを使用したガス - ガスタイプの直交流式熱交換器であり、主としてディーゼルエンジン排ガスからの低温熱回収を目的とした。開発にあたって考慮した点は次の通りである。

(1) 熱通過率が従来型熱交換器と同等であること。

表 1 に熱通過率の計算例を示す。セラミックは一般的に熱の不良導体であるが、表のようにセラミッ

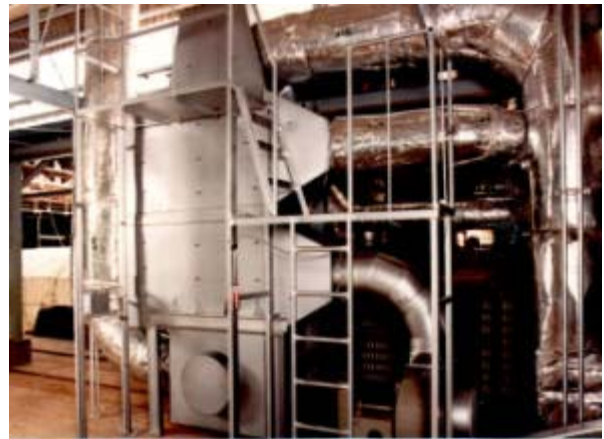


図 1 セラミック熱交換器「MIC-300」の全景(左側のダクト状の部分)

表 1 熱通過率の比較 (計算例)

伝熱エレメント材質	セラミック	ステンレス	炭素鋼
肉厚 mm	1.8	1.0	1.0
材料の熱伝導率 W/mK	1.2	16.3	46.5
境膜の有効熱伝導率 W/mK	34.9	34.9	34.9
総合の熱通過率 W/m ² K	17.0	17.4	17.4

クの壁厚みを 1.8mm 程度と、非常に薄く製作できれば、材料自体の熱伝導抵抗はガス境膜の熱伝導抵抗に比較してほとんど無視することができるほど小さい値となり、熱交換器の伝熱部として遜色のないものとなる。したがって、適切な材料の選定およびその材料を薄く製作する技術があること。

(2) 急熱・急冷に対応できること。

セラミックはもろく(引張強度は炭素鋼の 10 分の 1 以下)、排ガス温度の変化に耐えられるには、材料強度もさることながら、熱膨張が小さくなければならない。したがって、熱膨張係数が小さい材料を選定すること。

(3) 伝熱部表面の清掃が容易であること。

排ガス中に含まれる煤塵などのダストが伝熱面に付着しにくく、またエアブローあるいは水洗によるダストの離脱が容易であること。そのため、エレメント構造の複雑化を避けること。

3. MIC-300の構造

開発されたセラミック熱交換器「MIC-300」の伝熱エレメントの外観および形状図を図2および図3に、熱交換器組立図を図4に示す。

伝熱エレメントには、主として耐酸性、耐熱性に優れたリシアセラミック ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$) を使用している。リシアセラミックは普通磁器より熱膨張係数が小さく、耐熱衝撃性に優れたセラミックであり 500 以上の急熱、急冷に対応できる特性を有する(表1)。エレメントの厚さは 1.8mm とし、伝熱エレメント同士をクッション性を有するパッキン材を介して金属製の各部ケーシングにより締め込んでいる。

このような構造により、ダストの除去についても、排ガスの性状により、エアブロー、蒸気ブロー、水洗装置を選択することができる。

4. 開発にあたっての苦労話

当社に、大手プラントメーカーからディーゼルエンジンの排ガス熱回収を目的としたセラミック熱交換器の開発話が持ち込まれたのは、1983年(昭和58年)のことであった。耐酸磁器を主とする材料メーカーである当社にとり、磁器部材を組み込んだ装置を手掛けるのはほとんど初めての経験であり、戸惑うことが多々あった。

1.8mm という薄肉セラミックの成型にあたっては、従来より当社が取り組んできた、薄肉セラミックハニカム成型技術により対応可能であったが、もっとも頭を悩ましたのは、パッキン材の選定あるいはガス間リーク対策であった。



図2 伝熱エレメントの外観

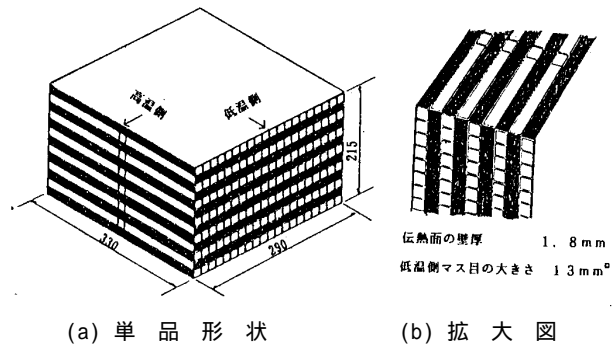


図3 伝熱エレメントの形状図

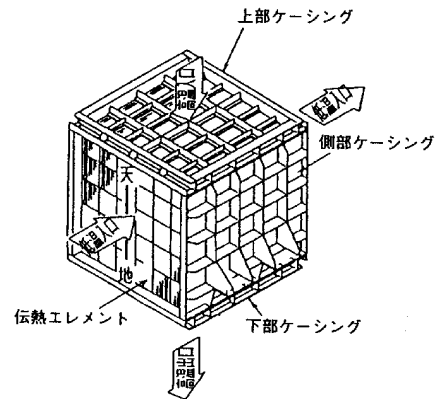


図4 熱交換器組立図

表1 リシアセラミックスと普通磁器の特性比較

		リシアセラミックス	普通磁器
化学特性	耐蝕性 (JIS) * %	0.2	0.1
	高比重	2.2	2.3
物理特性	曲げ強度 MPa	39	59
	圧縮強度 MPa	304	343
熱特性	熱膨張係数	1.5×10^{-6}	6.0×10^{-6}
	熱伝導率 W/mK	1.2	1.2

*耐蝕性 (JIS): 塩酸・硫酸・硝酸各 10% 溶液の混合液中にて 90 分で 5 時間加熱したときの質量減

セラミックエレメントをパッキン材を介して組み立てて行くのであるが、パッキン材の選定にあたり、耐熱性および耐蝕性があり、かつ弾力性のある材料がこの世にほとんど存在しないことが判明し、愕然とした。苦勞に苦勞を重ねた結果、現在のパッキン材の組み合わせに辿りついた。

また高温側と低温側間の相互ガスリークについては、一つのエレメント内でのリークは薄い素材同士を釉薬（ゆうやく、うわぐすり）を使用して接着することにより簡単に解決できたが、エレメントを組み立てた状態でのリークについてはなかなか解決できなかった。結局、エレメントブロックの研磨加工を行うことで解決した。

5. おわりに

このようにして直交流タイプとして最初のセラミック熱交換器が完成した。現在はユニチカ(株)殿設置のゴミ焼却場などで稼働し、順調な運転が続いている。当熱交換器は、その後の原油価格の低迷もあり、予想されたほどの販売実績とまでは行かないが、低温度域での熱回収は必然であり、本熱交換器の潜在的な需要は大きいものとする。

なお、当社では地元の佐賀大学を始めとする大学との産学交流や異業種間交流を行っているが、当社だけでなく地場産業全体の技術力向上のためにも、今後益々積極的に進めて行きたいと思う。

Thermal Condition Maintenance Problems in Hishikari Gold Mine

秋山清悟・高橋昭仁（住友金属鉱山(株)）
 Seigo AKIYAMA and Shoji TAKAHASHI
 (Sumitomo Metal Minig, Co. Ltd.)

1. はじめに

菱刈鉱山は鹿児島県伊佐郡菱刈町に位置する金鉱山である。菱刈鉱床は昭和56年に金属鉱業事業団が実施したボーリング探査によって発見され、昭和58年1月から坑道による探鉱開発に着手した。開発から2年7カ月後の昭和60年7月に海拔100Mレベル(地表からの深度約150m)で、金を含有する鉱脈に至り、探鉱出鉱を開始した。平成9年5月末には販売金量が83tを超え産金量日本一となった。開発当時は坑口出鉱規模5万t/年であったが、現在は16万t/年の生産を行っている。この間、本鉱床に加え山田・山神と二つの鉱床を発見し、坑内展開も順次拡大してきた。現在、年間4km程度の坑道掘進を行っており、坑道総延長は80kmを超えている(図1)。

当鉱山は岩盤温度が高いことがその特徴の一つであり、坑内の作業環境が悪化しやすい。本稿では本鉱床の開発から操業にいたる間で、重要な技術的課題であった坑内熱環境の改善について紹介する。

2. 坑内熱環境

菱刈鉱山は昭和58年に本格的斜坑掘進に入ったが、開発初期の技術的課題は鉱脈中に存在する高温(60~65℃)の温泉水を安全に抜湯し、周辺の環境に影響を与えることなく処理することであった。水平坑道を展開してからも、第一斜坑を入気、第二斜

坑を排気とする中央式通気とし、排気系統に熱発生源である抜湯基地・揚湯配管を配置した。主要扇風機は回転数可変であるので坑内展開に合わせ風量を順次増量したが、坑内展開の拡大や予想以上の湧湯量により通気への供給熱量が増加し坑内環境が悪化した。

坑道の掘進を行う切羽(図2)は、環境が最も悪化しやすい作業場であり、ファンと風管により新鮮な空気を供給する(図3)。切羽の冷却は、風管途中に設置したプレートフィンコイル(図4)に冷水を通水する方式の局所冷却方式であり、冷凍機能力1,200ℓ/分(@10℃)の体制でスタートした。しかし、取水源の水量が気候によって大きく変動するので地元への影響を考慮して取水量を最小限にとどめたため、冷水供給量は500~700ℓ/分となり切羽環境に問題を生じた。このため坑内環境を抜本的に改善すべく昭和60年から昭和63年にかけて次の環境改善工事を実施した。

(1)通気

通気シミュレーションを実施した結果、坑内展開が広がった場合、既設主要扇風機による中央式通気では限界があり、早急に通気系統を中央式から対偶式に移行すべきであり、風量についても大幅に増量すべきであるとの結論に達した。このため本鉱床西端に排気専用立坑(直径4m、高低差160m)を開

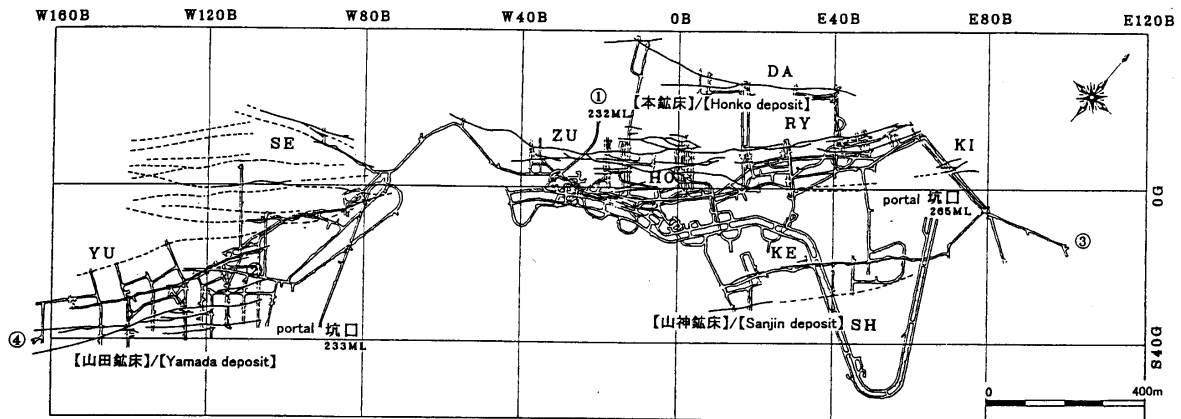


図1 菱刈鉱山平面図

削すると共に主要扇風機を新設し 昭和 62 年 6 月に対偶式通気系統に移行した(図 5)。通気量も 5,000m³/分から 10,000m³/分に倍増した。

(2)排水

立坑排気の通気系統をとるためには、入気経路となる第二斜坑からポンプ室・高温配管の放熱を排除しなければならない。こうした熱源を完全に断熱することは不可能であるので、新たに排気側に排水系統を確保すべく排水専用の立坑を開削すると共に 10M レベルポンプ室に坑外直送ポンプを新設し、排気側で揚水する体制を完成した。



図 2 切羽



図 3 風管



図 4 プレートフィンコイル

(3)局所冷却

切羽環境の実状を踏まえ、冷水増強工事を実施した。まず、冷凍機 1 台を増設し、設備能力を 125 万 kcal/h から 200 万 kcal/h に増強した。また、工業用水不足を解消するため、排水系統切換えによって不要となった第二斜坑排水系統を利用して冷水のクロージドサーキットシステムを構築し、1,500l/分(@5)の冷水供給体制を完成させた。

菱刈鉱山ではエンタルピーを熱環境管理指標として用いており、エンタルピー 21kcal/kg (乾球温度 28 ・湿度 100%に相当) 以下を管理目標としている。これら一連の坑内環境改善の結果、ほぼ全ての切羽で目標が達成され、坑内環境は大幅に改善された。

3. おわりに

菱刈鉱山で最初に開発した本鉱床は、高温の温泉水を伴うが故に幾多の困難に遭遇したが、その都度適切に対処し問題を解決してきた。この経験を基に、山田鉱床・山神鉱床の開発も効率的に進めることができた。鉱山は立地場所を選ばず、また坑内も狭い。これが他産業にはない制約条件を与えることが多い。例えば本鉱山では利用可能水量が少く、プレートフィンコイルが所定の伝熱性能を発揮しない原因となっている。このように機械工業で想定される使用環境と異なるために性能予測が困難であり、問題解決に時間がかかることも多い。本文を通じ、鉱山の伝熱問題に興味を持って頂けたら幸いである。

参考文献

- [1].炭坑保安技術要覧, 第 5 編および第 6 編, 資源・素材学会, 1990.

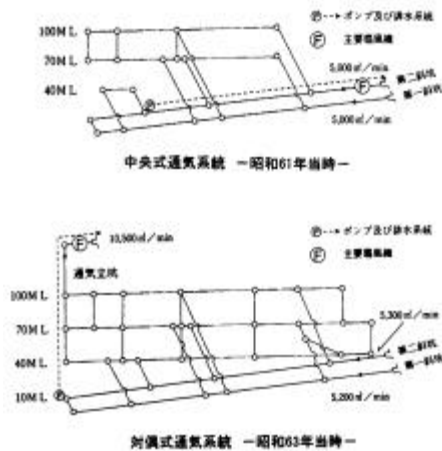


図 5 通気系統の変遷

支部の話題

The Present State and Subject on Treatment of Wastewater
Discharged from Shochu Distillery

山下 實 (雲海酒造(株))
Makoto YAMASHITA (Unkai-shuzo co.Ltd.)

1. はじめに

全国の焼酎(乙類焼酎, 以下同じ)生産量に占める九州地方, 中でも熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島 の 4 県(熊本国税局管内)におけるそれは 84% を超え, まさに圧倒的なシェアを占めている. ところで, 焼酎製造時に生じる焼酎廃液, 焼酎蒸留残渣等と業界で呼ばれているいわゆる焼酎粕は, 焼酎の種類(芋, 麦, 米, ソバなど)と蒸留方法によっても異なるが, 焼酎生産量の 1~2 倍も発生し, 水分は 90~95% もあり, 腐敗しやすく保存性が悪い. また, 毎日あるいは季節ごとに多量に(特に芋)発生するものの, その利用は困難であり, また安価な処理方法も小規模では極めて難しく, 海洋投棄が全体の 40% を占めている現状である. しかしながら, 海洋投棄については「海洋汚染防止に関するロンドン条約」により原則禁止が打ち出され, 業界としての対応が急がれている.

ロンドン条約については, 海洋投入処分に関する規制強化のため, 1993 年に改正が実施され, さらに

1996 年 11 月には海洋投棄に関する規制強化のため, 条約議定書が採択された. 条約議定書においては, 海洋投入処分の許可の発給に際しては環境影響評価を実施し, その結果, 海洋環境に影響がないと認められる廃棄物に限って海洋投入処分の許可を発給する制度(WAF: Waste Assessment Framework)を導入することとされており, 我が国においても WAF の制度を確実に実施することが条約上求められることとなった^[1].

その中において, 焼酎業界は環境庁の行政指導もあり, 2000 年末までに海洋投入を止め, すべて陸上処理に転換しなければならないこととなっている. この履行のためにも海洋投入処分から陸上処理への転換を急がなければならない状況にある.

焼酎の主生産地を管轄する熊本国税局管内における平成 10 酒造年度(10 月~翌年 9 月)の県別, 及び原料別焼酎粕処理状況をみると表 1, 表 2 のとおりである.

焼酎粕処理の問題は麦と芋焼酎が当面の主な問題

表 1 県別の焼酎粕処理状況(平成 10 酒造年度)^[2]

(単位: kl, %)

方法 県名	海洋投棄			特殊肥料			飼料			その他			合計	
	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	累計場数
熊本	11,965	45.3	12	696	2.6	7	6,510	24.6	14	7,262	27.5	10	26,433	43
大分	27,989	47.7	3	4,477	7.6	4	25,537	43.5	11	682	1.2	5	58,684	23
鹿児島	100,570	47.7	36	46,909	22.2	45	13,826	6.6	25	49,688	23.5	26	210,993	132
宮崎	8,257	8.4	8	45,475	46.2	20	3,910	4.0	5	40,824	41.5	13	98,466	46
合計	148,780	37.7	59	97,557	24.7	76	49,782	12.6	55	98,456	25.0	54	394,576	244

(注) 合計は, 端数処理の関係から符合しない.

表 2 原料別の焼酎粕処理状況(平成 10 酒造年度)^[2]

(単位: kl, %)

方法 県名	海洋投棄			特殊肥料			飼料			その他			合計	
	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	比率	場数	数量	累計場数
甘 藷	63,068	48.2	37	47,117	36.0	33	9,297	7.1	22	11,314	8.7	27	130,796	119
米	12,892	38.0	20	6,371	18.8	20	6,444	19.0	21	8,201	24.2	19	33,909	80
麦	71,628	34.5	27	35,448	17.1	32	32,964	15.9	25	67,343	32.5	30	207,382	114
そば	586	4.6	5	575	4.5	7	956	7.5	3	10,689	83.5	7	12,807	22
黒糖	0	0.0	0	7,785	89.0	23	100	1.1	1	867	9.9	5	8,751	29
その他	607	65.2	7	261	28.1	7	21	2.3	2	42	4.5	3	931	19
合計	148,780	37.7	96	97,557	24.7	122	49,782	12.6	74	98,456	25.0	91	394,576	383

(注) 合計は, 端数処理の関係から符合しない.

であり、県別では鹿児島、宮崎の両県が主なる問題地域である。特に芋焼酎の問題がポイントであると言っている。

2. 焼酎の製造工程

焼酎には、連続式蒸留機を用いて蒸留した甲類焼酎と単式蒸留機を用いて蒸留した乙類焼酎（本格焼酎）とがあるが、ここでは後者の製造工程について解説する（図1）。焼酎は、泡盛を除き、一次仕込みと二次仕込みの二段階で作る。一次仕込みに使用される原料を麹原料、二次仕込みの原料を主原料という。麹原料は米・麦が主体であり、主原料は大麦、

ソバ、甘藷、米などを使用する。「焼酎」の呼び名は、この主原料の種類によって決まる。二次仕込みで製造された二次醪（もろみ）は蒸留釜に入れ加熱蒸留する。蒸留には減圧蒸留と常圧蒸留によるものがある。蒸留によって原酒が得られるが、その際に多量の焼酎粕が発生する。得られた原酒は、濾過、熟成、精製、割水を経てびん詰めされ、製品となる。

焼酎粕の有効利用並びに処理方法として広く知られているものを図2に示す。しかしながら、コスト面などから、これらは必ずしも全てが実施されているわけではない。

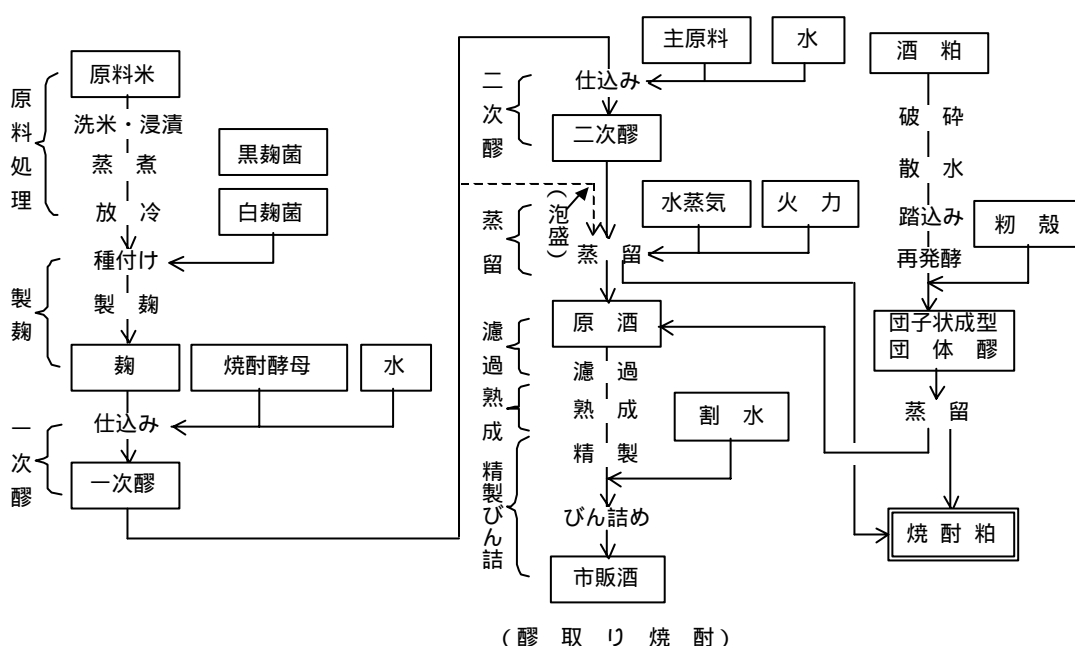


図1 焼酎の製造工程^[3]

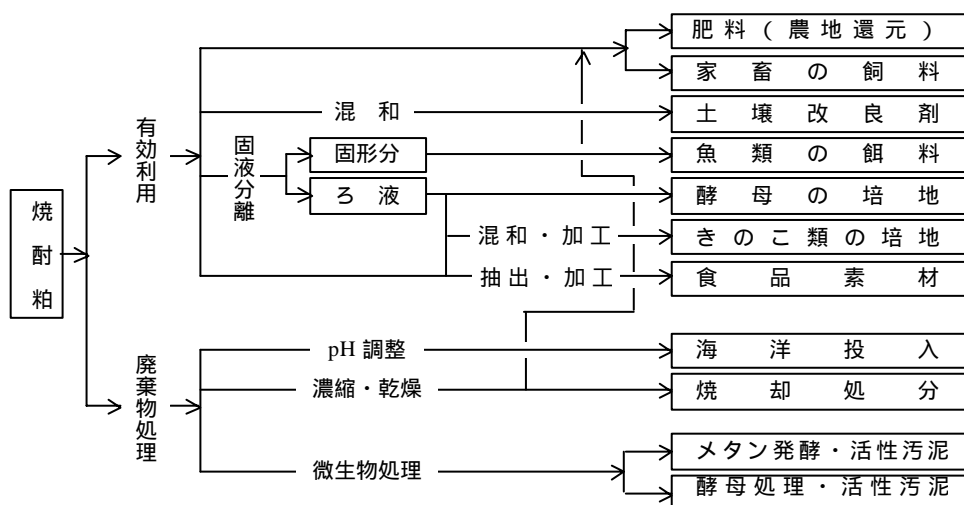


図2 考え得る焼酎粕の処理方法^[4]

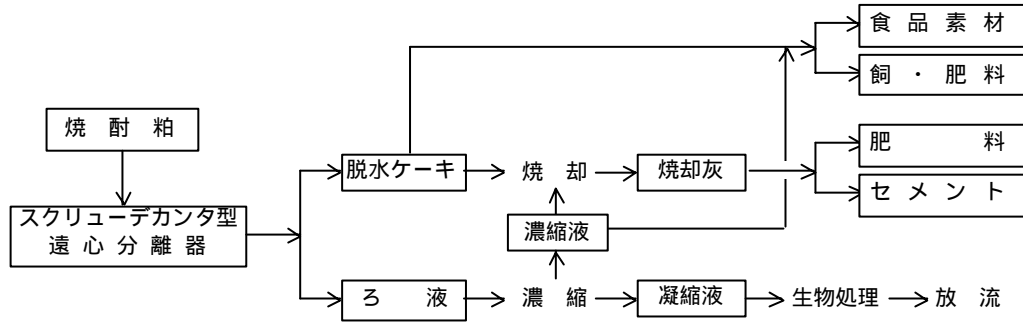


図3 焼酎粕処理ブロックフローシート(雲海酒造)

3. 焼酎粕の処理と実施例等

焼酎粕の処理が実際に実施されているもの、または実施される可能性の高いものについて、以下に紹介したい。

(1) 雲海酒造(株)(宮崎県)

陸上処理を先行しておいて、次に有効利用を図ることとした。処理システムは以下の5条件を前提とした。

1. 確実な処理と小さなリスク。
2. 低コスト(支払利息+減価償却費含み 5000円/t以下)。

3. 高度な技術を必要としない容易な管理

4. 公害の先送りをせず、他方依存型でなく、自己完結型であること。

5. 処理及び処理工程中間生成物の利用が可能な自由度の高いシステムであること。

図3および図4に、当社における焼酎粕処理の概要を示すフローシートを示す。

焼酎醪を蒸留した後に残留する焼酎粕を、そのままデカンタ(Decanter)と呼ばれる固液分離装置により熱時に連続して固液分離し、ろ液と脱水ケーキに分ける。得られたろ液は減圧濃縮機で濃縮した後、

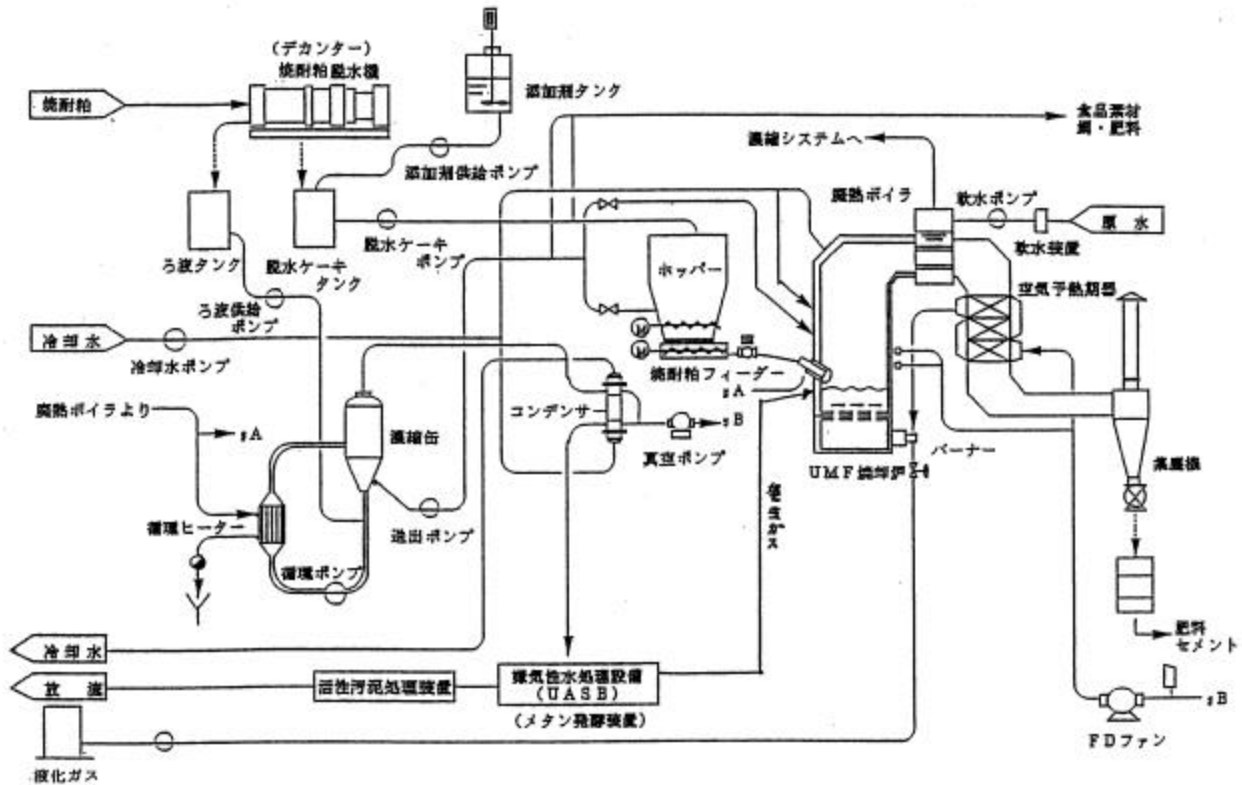


図4 焼酎粕処理フローシート(雲海酒造)

UMF (Ube Multi Fuel)焼却炉 (廃熱ボイラ、浅層流動床式) で焼却する . 一方脱水ケーキは直接 UMF 焼却炉にて焼却する . 焼却に伴い発生する燃焼熱は廃液ボイラの熱源となり , 得られた蒸気は濃縮機に熱源として供給する . 又濃縮に伴い発生する凝縮液はアルコールと酢酸を主成分とし BOD(生化学的酸素要求量)15,000 ~ 20,000ppmである .

これを IHI-UASB(IHI Up-flow Anaerobic Sludge Bed,上向流嫌気性汚泥床)法によるメタン発酵で処理し , 更に活性汚泥処理して放流している . メタン発酵により得られたメタンを主成分とする発生ガスは廃熱ボイラの熱源として焼却炉へ投入する . 最終的に残るバグフィルタで回収した焼却灰はセメント原料としている . 焼酎粕より得られた固形分 , 濃縮液 , 液分のメタン発酵処理で発生したガスの燃焼熱で焼却炉の 8 割強の熱源を供給し , 外部から供給する助燃料(液化ガス)の燃焼熱は 1 割弱である .

現在は焼酎粕の濃縮液及び固形分は TMR(Total Mixed Ration, 完全混合飼料)に相当量を原料として利用している .

本処理プラントは , 平成 9 年 6 月に完成し , ダイオキシン等の抑制基準もクリアし , 1 日平均 80t(MAX100t)で稼働している . 図 5 に本処理プラントの全景を示す .

(2)三和酒類(株) (大分県)

図 6 に示すような工程で焼酎粕を固液分離し , 固形分 (5~7%大麦ヌカを混合) と液分をそれぞれ専用の乾燥機で乾燥した後に , 再び混合して高蛋白質を特徴とする自家配合用として使用する混合飼料の製品化 (表 3) がなされている .

(3)協和発酵(株) [5] (福岡県)

焼酎粕を酵素処理して粘度を下げ , 水分 70%まで濃縮し , これに天然物を加え乾燥飼料化するシステムを開発し , 海洋投棄を中止した . なお , この再資源化技術は無料公開している .

(4)宮崎大学地域共同研究センター [6] , 宮崎県食品加工研究開発センター [7] (宮崎県)

焼酎粕の脱水ケーキ , 濃縮液と副材料を用いエグ

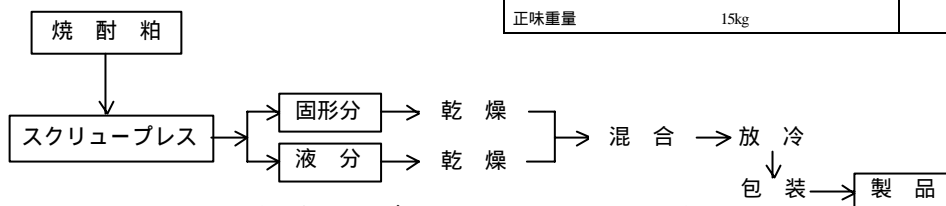


図 6 麦焼酎粕 飼料化ブロックフローシート(三和酒類)



図 5 焼酎粕処理プラント全景 (雲海酒造)

ストルーダ(Extruder)処理する機能性飼料の開発研究が進められている .

(5)大和一酒造 [8] (熊本県)

焼酎粕を濾過して仕込水に再利用することで , 排出量を低減している .

(6)熊本県工業技術センター , 熊本大学 , 球磨焼酎酒造組合 , 熊本県本格焼酎技術開発システム [9] (熊本県)

焼酎粕の液部を , 独自の酵母を使って異臭成分を押さえ , 仕込水として再利用する技術の開発に成功した . 蒸留廃液は 8 回使用可能であるため , 排出量が大幅に低減された .

(8)九州化工(株) [10] (鹿児島県)

クエン酸発酵廃液処理(メタン発酵と活性汚泥法)と同じ方法で処理し放流している .

(9)薩摩酒造(株) [11] (鹿児島県)

焼酎粕をデカンタで固液分離し , 固形分 (脱水ケーキ) は飼・肥料化を図り , 液分 (分離液) は希釈して IHI-UASB 法(IC リアクタ(Internal Circulation Reactor))でメタン発酵処理し , さらに活性汚泥処理

表 3 大麦焼酎粕乾燥飼料の概要(飼料袋記載事項から抜粋 , 麦酵源)

原材料名	大麦焼酎粕・大麦ヌカ	成分参考値	
飼料の名称	麦酵源	水分	12%
飼料の種類	混合飼料	粗蛋白質	35%
製造年月	袋下部に記載	粗脂肪	3%
製造業者の名称および住所	三和酒類株式会社	可消化蛋白質	25%
製造事業場の名称 および所在地	大分県宇佐市 大字山木 2331-1	可消化養分総量	60%
正味重量	15kg		

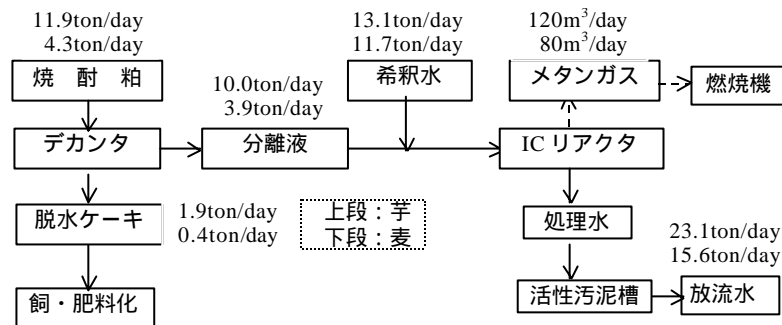


図7 メタン発酵による焼酎粕の処理実証試験(ICリアクタを用いた処理試験, 薩摩酒造)

をして放流する。図7に示すシステムの実証試験が行われた。

(10) 南西糖業(株) (鹿児島県)

サトウキビから蔗糖を製造する過程で発生するバカス(絞り粕), フィルターケーキに焼酎粕を加えてコンポスト(Compost, 堆肥)を製造している。

この他、焼酎粕を直接飼料として又畑地還元している例や、焼酎粕と鶏糞, 乾燥牛糞などの畜産廃棄物, パーク(樹皮)その他の廃棄物を用いてコンポストを製造している事例も多く見られるが、紙面の都合で紹介を割愛する。

4. おわりに

焼酎粕は BOD40,000~90,000ppm, H₂O 90~95%, pH4.0~4.5 で腐敗しやすいが、今後さらに新たな処理方法や利用についての研究開発がなされ、焼酎業界の安定と発展が得られることを期待している。

焼酎の製造では、仕込みや蒸留工程などの加熱・冷却操作もさることながら、焼酎粕処理問題の解決に対しても熱関連技術の開発が重要な課題の一つで

ある。本誌読者には余り馴染みのない用語が出現したかも知れないが、本分野に潜在する伝熱問題の発掘に興味を持って頂ければ幸いである。

参考文献

- [1] 週刊廃棄物新聞, (株)日報, 1996.11.18.
- [2] 平成10酒造年度しょうちゅう調査書熊本国税局, 1998, p30.
- [3] 本格焼酎製造技術, 日本醸造協会, 1991, p14.
- [4] 本格焼酎製造技術, 日本醸造協会, 1991, p322.
- [5] 日本経済新聞, 1998.3.16.
- [6] Annual Report of CRC in 1998, 宮崎大学地域共同研究センター.
- [7] みやざき技術情報, 宮崎県食品加工研究開発センター, 1997.
- [8] 西日本新聞, 1987.1.5.
- [9] 日本経済新聞, 1998.5.21.
- [10] 日刊工業新聞 1987.7.8.
- [11] 平成8年度鹿児島本格焼酎技術開発研究システム研究成果報告書, 鹿児島県本格焼酎技術開発研究システム, 1996, p15.

Scientific Exchange between Kyushu Area and Asian Countries
- the State and the Future -

小山 繁 (九州大学)

Shigeru Koyama (Kyushu University)

教育、産業、文化などのあらゆる分野において地域の特色や独自性を高度に活かした活動が求められる社会的機運が高まっている今日、歴史的にも大陸との交易・交流の窓口として発展してきた九州地区にとってアジア諸国との交流をこれまで以上に進展させることが重要であると位置付けられている。そこで、九州地区の大学における伝熱関係分野に関する最近5年間の学術交流の実状を把握するために大分大2研究室、九州大11研究室、熊本大2研究室、佐賀大2研究室、長崎大2研究室、福岡大1研究室の計20研究室にご協力頂いた。本稿ではその調査結果について報告する。

表1は最近5年間のアジア諸国からの留学生の受入状況を示す。留学生の殆どが大学院生であり、その中でも圧倒的に中国及び韓国出身者が多いことが特徴である。このことは後述する学術交流協定校の数や、各国の人口を反映しているものではあるが、東南アジア諸国との、特に工学分野における交流をもっと積極的に進めることの必要性が感じられる。

表2はアジア諸国出身者の大学教官等の採用状況を示す。いずれのポストについても人数はそれほど多くはない。しかしながら、外国人客員教授招聘は国際共同研究の橋渡しの役割を果たすものとして実績を上げつつある。一方、大学教官定員の増員が望めない今日、各々の研究の活性化を維持する為にも、またアジア諸国との連携を深める為にも非常勤博士研究員、日本学術振興会外国人特別研究員などのポストをもっと積極的に活用することが求められる。

表3は九州地区の大学あるいはその部局が最近主催した国際会議等を示す。各大学の特徴を活かした形での講演会、シンポジウム等が盛んになりつつある。(準)定期的に開催される国際会議は、利便性の故、韓国との大学間が主である。今後は韓国だけに止まらずアジア諸国全体との連携を深める必要があるが、そのためには予算的手だてを確保することが問題となる。

表4は調査にご協力いただいた九州地区大学のアジア諸国における学術交流協定校(工学分野関連)を示す。学術交流協定校を核として留学生受入、研究交流などが行われているが、工学分野においては

表1. 最近5年間のアジア諸国からの留学生受入状況

国名	学部	大学院		計(名)
		修士	博士	
中華人民共和国	0	10	6	16
大韓民国	0	1	9	10
バングラデシュ	0	1	4	5
モンゴル	0	3	1	4
インドネシア	0	0	3	3
タイ	0	2	1	3
マレーシア	2	0	1	3
ネパール	0	1	1	2
スリランカ	0	1	0	1
バーレーン	0	1	0	1
ミャンマー	0	1	0	1
計(名)	2	21	26	49

表2. 最近5年間のアジア諸国出身者の大学教官等採用状況

職種	国名(名)	計(名)
外国人客員教授	中国(3), 韓国(1)	4
助 教 授	中国(2)	2
講 師	中国(1)	1
助 手	中国(7)	7
非常勤博士研究員	中国(3)	3
研究支援推進員	中国(1)	1
外国人特別研究員	中国(2), 韓国(1)	3
	計(名)	21

中国、韓国が主である。

表5はアジア諸国の大学等との最近の研究交流状況を示す。ここ10年、主として個人レベルでの研究上の交流が進められてきた。また、アジア諸国(主として中国及び韓国)からの来訪者数も年々増加しつつある。しかしながら、今後はより一層の実質的交流が求められるところである。なお、昨年度、韓国交際交流財団の支援のもとに韓国との学術・文化交流の拠点として九州大学に韓国研究センターが創設されたが、このようなセンターを介した交流も今後盛んにすべきである。

九州地区の地理的利便性の反映として、中国及び韓国との交流が最も深いことが明らかになったが、他のアジア諸国からの九州地区への求心力をもっと高める為、また、九州の特色と独自性を活かした学術交流をさらに深める為には、どのような努力が必要であるか今一度考えねばならない。この点に関して著者自身、未だ明確な答えを探しきれていない。大学においては単に留学生受入に止まらず、研究と教育を合同で行うシステムを活用した学術交流、研

究者の双方向派遣による先端的研究の推進、大学や公的研究機関以外の民間企業との共同研究の推進などの必要性を感じる。さらに、EU諸国のように、将来的にはアジア諸国内でお互いに自由に交流が出来るようになればとも感じる。

最後に、本稿執筆に際してご協力いただいた九州地区内伝熱関係研究者に感謝すると共に、今回の執筆に際して行った調査が九州地区全体をカバーすることができなかったことをお詫びする。

表3．九州地区の大学あるいはその部局が最近主催した国際会議等

年度	会 議 名	概 要
1995	1995 IAMS Int. Seminar on Manufacturing of Advanced Materials, Kyushu Univ.	CVD, 単結晶育成などの機能材料製造過程に関する九大機能研主催招待講演会
1995	Int. Joint Symposium on Thermo-Fluids Engineering on The Front-Most Line, Nagasaki Univ., Shizuoka Univ. and Ryongnam Univ.	長崎大, 静岡大, 嶺南大(韓国)の機械工学関連分野の研究者による合同シンポジウム
1997	1997 IAMS Int. Seminar on Thermal and Fluid Engineering for Advanced Energy Systems, Kyushu Univ.	高効率エネルギーシステム構築に係わる熱流体工学に関する九大機能研主催招待講演会
1998	The 5th Joint Symposium of Cheju National University and Nagasaki University on Science and Technology, Cheju Nat. Univ. and Nagasaki Univ.	長崎大の工学部・水産学部と済州大(韓国)の工学部・海洋科学部・自然科学部の研究者による合同シンポジウム
1999	Int. OTEC-DOWA Conference 1999 in IMARI, Saga Univ.	海洋温度差発電及び海洋深層水を中心にその高性能化及び利用技術に関する国際会議
1999	The 4th Int. Joint Symposium Between Kyushu University and Chungnam National University, Kyushu Univ. and Chungnam Nat. Univ.	九大及び忠南大(韓国)の機械工学関連学科の交流と学術講演会
1999	1st Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Sciences, Kyushu Univ., Pusan Nat. Univ. and POSTECH	韓国の釜山大及び浦項工大と九大総理工(院)との交流と大学院生を中心とした学術講演会
2000	2000 IAMS Int. Seminar on Thermal Design and Management for Electronic Equipment and Material Processing, Kyushu Univ.	電子機器及び新素材創製における熱的課題に関する九大の機能研主催招待講演会

表4．九州地区の大学との学術交流協定校(抜粋)

国 名	大 学 名
中華人民共和国	北京工業大学, 北京航空航天大学, 大連理工大学, 華南理工大学, 華中理工大学, 山東工業大学, 清華大学, 西安交通大学(エネルギー動力工程学院), 浙江大学, 中国科学技術大学など
大 韓 民 国	釜山大学校, 西京大学校, 嶺南大学校, ウルサン大学校, 全北大学校, 工科大学, 済州大学校, 昌原大学校, 忠南大学校, 忠州大学校, 浦項工科大学校, 韓国科学技術院など
香 港	香港大学
バングラデシュ	バングラデシュ工科大学, バングラデシュ科学工科大学

表5．アジア諸国の大学等との最近の研究交流状況

相手国	相手国機関	日本側	研 究 交 流 内 容
中 国	中国科学院力学研究所	九州大学	微小重力科学特に表面張力対流
	西安交通大学	九州大学	磁気対流
	北京工業大学	九州大学	電子素子の浸漬沸騰冷却
	中国科学技術大学	九州大学	熱物性推算方法
韓 国	浦項工科大学校	九州大学	新冷媒の伝熱
	L G電子(株)	九州大学	蒸気圧縮式ヒートポンプ用熱交換器
インド	Bangalore University	九州大学	多孔質内の伝熱と流動
	国立海洋研究所	佐賀大学	1000kW 海洋温度差発電の実証研究

Joint Research グループリーダーに聞く

4. 東京大学大学院工学系研究科，松本洋一郎教授

Interviewing a group leader of joint research

4. Prof. Yoichiro MATSUMOTO of University of Tokyo

聞き手：川口靖夫（機技研）

Interviewer: Yasuo KAWAGUCHI (MEL)

研究課題：高効率液相化学反応器の研究開発
 制度：NEDO提案公募型・エネルギー・環境技術分野
 期間：H9年～11年度
 共同相手先：京都大学大学院工学研究科（芹沢昭示教授），機械技術研究所，三菱ガス化学（株）

- まず，研究目標からお聞かせ願います。
 この開発は，マイクロバブルの数多い応用の一つとして，液相化学反応器の高効率化を達成しようとするものです。気液混相の反応器ではガスの溶解過程と触媒不均一性が反応を律速するケースがあるので，1mm以下の径をもつマイクロバブルを使えば気液表面積比を上げることができます。反応器では攪拌器を用いて混合を促進するのが普通ですが，攪拌器によるエネルギー消費量も大きいので，マイクロバブルによって攪拌器を省略できれば大きなメリットが生まれます。

- 具体的にどのような反応器をお考えでしょうか。また，今回のパートナーとの仕事の分担は。
 気泡を用いた液相化学反応器は化学工学や生物工学の分野で広く見られ，化学反応を効率よく行なわせることは重要な課題となっています。機技研は前から液相反応器に関する研究を三菱ガス化学と協力して行っていました。機技研の竹村文男さん（現東大助教授）が単一気泡の挙動と溶解過程を，京大の芹沢先生と私が複数気泡に関する実験と解析を分担しています。

- マイクロバブルを大量に発生する方法にご苦労があったと思います。どこから思いつかれたのですか。
 水槽の底からガスを吹き出すだけでは，泡を小さくすることはできません。考えているうちに，パケツにホースで水を注いでいくと小さな泡ができることに思い至りました。水面に勢い良く水を吹き

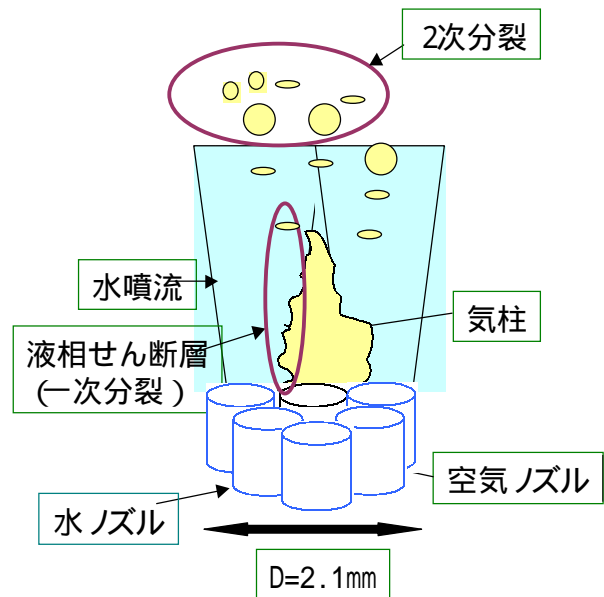
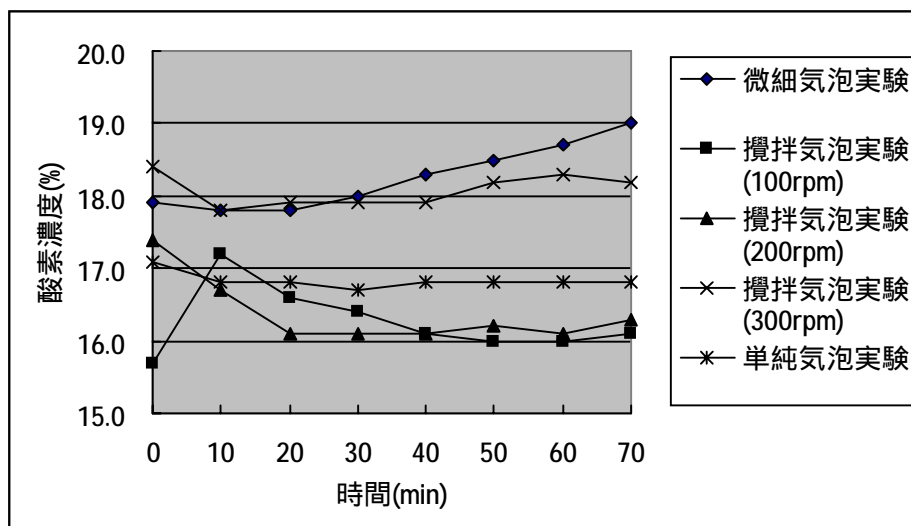


図1 微小気泡発生装置と微細化機構

込んで，空気を巻き込むと強いせん断によって泡が小さくなるのですね。あとはこの系を逆さにして容器の底から吹き出すようにし，マイクロバブルが噴流の周縁部に十分広がるようにガスと液体の噴出口の配置を工夫しました（図1）。気泡径が通常4mm位であるものが，水噴流によるせん断の働きで0.2mm以下の泡を大量に発生できるようになりました。水噴流はほとんどエネルギーを消費しないのも利点です。

- マイクロバブル法で省エネルギー効果のほどはいかがでしたか。
 図2を見て下さい。反応器内の酸素濃度の時間変化を示したグラフです。単純気泡を吹き込んだだけの場合に酸素濃度はほとんど増加しません。これに攪拌器を併用すると（攪拌気泡実験）溶解は加速するはずですが，その程度は微々たるものです。マイクロバブルを使った場合（微細気泡実験）には酸素濃



単純気泡実験に比した追加電力 (水 900ml/minあたり)
 1. 微細気泡発生装置 + 約2W
 2. 攪拌 200rpm) + 10 ~ 20W
 省電力効果 約5 ~ 10倍

図2 マイクロバブルによる省エネルギー効果の測定

度が急速に上昇することがわかります。マイクロバブルを発生させる装置にもエネルギーは必要ですが、200rpmで回転する攪拌器の消費エネルギーの1/10から1/5で、しかもはるかに大きな効果があります。

- この提案をうまく採択にもっていった「コツ」は何でしょう。

化学反応器をユニークな方法で高効率化し、省エネルギーを図る、というアイデアで提案書を出しました。

「コツ」ですか。提案書をうまく書く人を雇う！というのは冗談です。提案書のコツは、明確な目標をわかりやすく、ピンポイント的に「これできます！」と書くことです。あれにも役立つ、これにも役立つ、では採択側が混乱します。

共同研究の枠組みでは、基礎を担う大学と、実際の反応器を知っている企業、その中間をつなぐ国立研という3者のバランスも良かったと思います。

- この制度の利点、また反省点は何でしょう。

掲げた研究目標はもちろん達成するのですが、そのために用意した装置等によって研究室の基盤が強化できたことが大きなメリットでした。基盤が強くなれば様々なアイデアを育てることができ、次の提

案に結びつけることができません。これは知的な拡大再生産ですね。ハイエンドの目標も大事ですが、そうした意味で基礎研究は次の飛躍のためには不可欠です。

今回の研究では企業ともっと密にコミュニケーションをすべきであったことは反省しています。三菱ガス化学が実用装置を作って私たちのアイデアを組み込み、そこで生じた問題点を大学におろしてくれたら良い循環ができて、さらに研究は立体的になったと思います。

- 企業との共同で、問題解決のためにそこまで積極的に動いてくださる先生は少ないと思います。やや話はそれますが、社会の中であって大学の役割はどう変わっていくのでしょうか。

大学は教育の場であること、今まで蓄えてきた知的資産を守っていくこと、という大きな使命がありますが、閉じた世界を形作ってしまうのでは問題です。特に工学部にあっては社会の中で存在意義を示す必要があるでしょう。

例えばある公共工事などでは、市民の評価では不要となったプロジェクトであっても一旦始まったものをやめられない事が問題となっています。その一因として、大学が偏った技術者を養成しているのでは

ないか、という反省があります。つまり社会には長期的視野や社会のニーズを正しくくみとれる技術者が必要とされていて、大学はそれを育ててこなかったのではないかと、いうわけですね。大学が閉ざされた社会になっていては、視野の広い研究者や技術者を育てることはできません。

- 国立大学の教官も兼業許可が出るよう法律が改められる見通しです。こうした動きも社会に開かれた大学になる動きを加速するのでしょうか。

大学の先生が別の所から給料を貰う、というのは小さな現象ですが、広く見ればこれからは知的資産に正当な対価を払う社会になっていくでしょう。つまり今まであった「ソフトウェアはタダである」という通念は変わり、産業構造にも変化が生じるでしょうね。

これに関して、プロジェクト予算についても注文があります。今後改善されるなら、少なくとも博士課程の大学院生に対する人件費を計上できるような仕組みがあると良いですね。社会的な通念に照らすと仕事に報酬を払うのは当然で、学生をただ使う仕組みは徒弟的であって改める必要があると感じています。

大学の社会的責任といった大きな課題も含めて様々なことを考えるわけですが、この提案公募型の共同研究に取り組んだことも、良いきっかけになっていますね。

- 最後に、マイクロバブル技術の将来について伺いたいのですが。

マイクロバブルの応用は広く、曝気槽に使用すれば浅くコンパクトなものを提供できます。攪拌器による強いせん断に耐えられない生物系の反応器にも適用できるでしょう。走っている船体の廻りを泡で覆うと船の摩擦抵抗が大幅に減少することがわかっています。一方で泡を大量に吹き出すためのエネルギーが必要になるので、損益は0に近いのが現状ですが、泡をマイクロバブル化すれば正味のエネルギーの利得が大きくなる可能性があります。

また、数mmというような大きな泡を発生する通常の散気管では気泡柱が局在化し、大きな泡がまっすぐ上昇し、あまり液体と混ざらずに自由表面に達してしまう傾向がありますが、マイクロバブル化することにより、ゆったりした大規模な対流を起こすことができます。これをうまく用いれば、ダムや湖沼の深層水を攪拌して浄化する目的にも使えるのではないかと、考えています。

- サブミリスケールの泡が数100mのタンカーや数kmスケールの環境エンジニアリングにも役立つ、というのはすばらしいですね。興味深いお話をありがとうございました。

(00年5月2日)

- 伝熱の常識と非常識 -
高温面噴霧冷却熱伝達の評価

Evaluation of Heat Transfer from a High Temperature Surface in Spray Cooling

大久保 英敏 (玉川大学)

Hidetoshi OHKUBO (Tamagawa University)

1. はじめに

小さな液滴の分散によって形成される噴霧を高温物体の表面に衝突させ、高温面を冷却する方法を噴霧(liquid spray, spray)冷却と呼んでいる。噴霧冷却に関する名称で一般に使用されているものとして、スプレー冷却、ミスト冷却、フォグ冷却が挙げられる。平田先生 [1] はこれらの名称を微粒化法を考慮して定義付けされているが、噴霧の名称に関しては、分散される液滴の大きさや液滴の微粒化方法によって異なった名称が使用されており、残念ながら明確な定義がなされないままに現在に至っている。また、噴霧冷却を一般にスプレー冷却と呼んでいる場合も多い。

この「噴霧冷却」に関する話を伝熱の常識と非常識に書いてみないかとの依頼を受けたときの感想は、なるほどと感じた部分と困ったと感じた部分とが相半ばであった。前者は、用語の統一もままならない現状を理解してもらう良い機会になるのではないかという期待から、後者は現時点で噴霧冷却の研究にはたして常識といえるものが確立されているのだろうかという疑問からである。

なお、噴霧冷却と一口に言っても、その研究領域は多岐に渡っているので、ここでは(噴霧流を形成する)液滴の飽和温度以上の高温面を冷却する場合の噴霧冷却熱伝達特性に関して、特に沸騰現象の膜沸騰に相当する高温域について考えたい。

2. 噴霧冷却熱伝達特性

私と噴霧冷却との出会いは、東京大学生産技術研究所で西尾茂文先生に噴霧冷却を利用して薄板の強化ガラスを作ってみないかと言われたことに始まる。ガラスは壊れやすいものというイメージがある上に、高温に熱したガラスに噴霧を吹き付けることでガラスを強化しようという発想は、一見非常識にも見えるが、研究を進めるうちに、誰もが常識と思える方法で確実に作成できることが判った。以来、材料製造・処理技術への応用を考えながら、現象を複雑に

している諸因子の影響を研究してきた。

噴霧冷却は、気体噴流と比較してより高い冷却能力を得ることができるだけでなく、噴霧流の濃さを表す尺度である液滴流量密度の制御により、気体噴流から液体噴流に至るまで、冷却能力を自在に制御することが可能である冷却方法であると言われていた。しかし、研究を始めた当初は既存測定値を液滴流量密度で整理してもばらつきが大きく、明らかにされていない影響因子を見いだす必要性を痛感した。現在では、高温域熱伝達率に顕著な影響を及ぼす因子は、鉛直平面系では、液滴流量密度、液滴温度と冷却面材料であり、水平上向き平面系では液滴流量密度、液滴温度、非定常性および冷却面寸法であることが判っている [2]。さらに、これらの因子の他に冷却面表面の過熱度の影響も考慮する必要がある。高温域下限界温度には冷却面表面のぬれ性、表面熱抵抗層の影響も無視できないことが判っている [2]。既存測定値の中には、これらの因子に関する実験条件が明記されていないものも数多くあり、貴重な研究成果であるにも関わらず比較検討できないのが残念である。

「温故知新」に習って、噴霧冷却熱伝達の初期の研究をたずねると、1953年に棚澤先生 [3] が発表された「噴霧焼き入れの研究」に辿り着く。この事実はあまり知られていないようであるが、噴霧冷却に関する最初の研究と思われる一連の研究は非常に示唆に富んだものであり、液滴の飽和温度以上の高温面を噴霧冷却した場合の熱伝達特性は、沸騰曲線と同様のN字曲線となることが既に明らかにされている。

また、鋼材の噴霧冷却の研究成果も数多く残されているが、沸騰曲線の極小熱流束点温度に相当する高温域下限界温度が、水の過熱限界温度(一定圧力で水が液相の状態で過熱され得る限界の温度)を遥かに超える温度であったり、中には高温域すら存在しない熱伝達特性も多数見受けられる。熱伝達特性の横軸である過熱度は、厳密には平均過熱度であ

り、伝熱面温度の時間的変動および表面の温度分布の相違は熱伝達特性には現れないことにも問題があるが、この分野の応用研究と基礎研究との距離を縮めるためには熱伝達特性に影響を及ぼす諸因子を把握し、現象の全体像を共有することが必要である。そのためには、お互いの会話も重要となる。

3. 高温域熱伝達機構

ここでは、研究例の多い衝突液滴同士の干渉が無視できる希薄ミスト域における高温域熱伝達機構について検討してみたい。希薄ミスト域の場合、高温域における熱流束 q_f は棚沢ら[3]が指摘したように、液滴群による伝熱 q_1 、空気噴流による伝熱 q_a 、および放射伝熱 q_r の和として表すことができる。

$$q_f = q_1 + q_a + q_r \quad (1)$$

これらの中で、先に述べた既存測定値のばらつきは主として液滴群による伝熱 q_1 によるものであると考えられる。

Deb and Yao [4]は、液滴群による伝熱 q_1 をさらに次のような3つの成分に分けている。

- (a) 衝突液滴が伝熱面に衝突し反発する間に行われる伝熱
- (b) 局所的な蒸気層を介しての伝熱
- (c) 衝突液滴に巻き込まれた空気流と伝熱面との間の伝熱

液滴群による熱伝達機構を解明するためには、まず衝突液滴と高温面との伝熱特性を理解する必要がある。この観点から重要な基礎研究として、まずライデンフロスト現象が挙げられる。しかし、実際の噴霧冷却では、必ずしも衝突液滴は蒸発し消滅するまで高温面上に滞在している訳ではない。

この理由から高温面に衝突する液滴を対象とした熱伝達実験が数多く行われている。単一液滴の衝突実験に関する研究成果から、高温域に相当する非ぬれ領域では、伝熱面に衝突した液滴の挙動は次のようになることが明らかになっている。

すなわち、

1. 液滴は衝突後伝熱面上に薄く広がり、その後収縮または分裂してリバウンドする。
2. 収縮するか分裂するかは動圧と表面張力による圧力の比であるウェーバ数 We によって決定することができ、 $We=80$ 前後の値を境界値として境界値より小さい場合は収縮し、大きい場合は分裂する。

既存測定値には $We > 80$ となる条件のものが多

く、液滴群による伝熱を評価するためには、衝突液滴の分裂の有無を考慮した熱伝達モデルを作る必要がある。

一方、衝突液滴と高温面との伝熱特性に関して、いくつかのモデルが提案されている。戸田[5]は高温域の熱伝達を支配しているものとして、

- (1) 衝突液滴と高温面との直接接点伝熱
- (2) 液膜の膜沸騰状伝熱

の二つの伝熱機構を提案し、前者の伝熱で液膜下部に発生する蒸気によって膜沸騰状態へ移行し、その後、後者の伝熱が行われるという熱伝達解析を行っている。これに対して、Bolle and Moureau [6]は液滴の形状の一部が残るドーム部では(1)の機構の伝熱、ドーム部以外の周辺液膜部分では(2)の機構の伝熱が行われていると仮定し、熱伝達解析を行っている。ただし、Bolle and Moureauのモデルでは、ドーム部全体において固液の直接接点が起こっていると仮定しており、固液接点の時間的・空間的確率を過大に評価している可能性がある。また、伊藤ら[7]は(1)の機構の伝熱は認めておらず、(2)の機構の伝熱として液膜状ではなく、球状液滴の熱伝達解析を行っている。

以上の伝熱機構は、Deb and Yao [4]が指摘した成分の内の、(a)衝突液滴が伝熱面に衝突し反発する間に行われる伝熱についてのみを取り扱っている。残る二成分を取り入れたモデル解析は見受けられない。また、これまで提案されているモデル解析には多くの仮定が含まれており、常識・非常識の議論は今後出てくるものと思われる。

そこで、もう少しマクロ的な視点から、液滴群による伝熱は液体の蒸発潜熱が支配的であるのか顕熱が支配的であるのかを考えてみたい。

前者に着目した研究では、蒸発効率と呼ばれる以下の式が用いられている。蒸発効率は液滴群による伝熱量と伝熱面に衝突したすべての液滴を蒸発させるために必要な熱量との比である。

$$= q_1 / \{ D(L + C_p T_{sub}) \} \quad (2)$$

また、後者に着目した研究では、 C をパラメータとした以下の式が用いられる。

$$q_1 = C \cdot C_p D T_{sub} \quad (3)$$

ここで、 ρ 、 C_p 、 L は、それぞれ液滴の密度、比熱、蒸発潜熱であり、 T_{sub} はサブクール度、 D は液滴流量密度である。

現実には、潜熱と顕熱のいずれもが液滴群による伝熱に係わっていることは明らかであるが、庄司ら

[8]は一次元熱伝導相変化モデル(三層モデル)を用いて、液体のサブクール度が特別小さくない限り、相変化に係わる熱量は液体内に伝わる熱量に比べて無視できることを示している。この研究成果に基づき、筆者ら[9]は、高温域噴霧冷却における熱流束が、液滴への熱流束 q_1 と(放射熱流束を含む)気流への熱流束 q_{aj} との和であり、前者が液体顕熱変化と関連しているとする次式を提案している。

$$q_f = q_1 + q_a + q_r = C \cdot C_p D (T_{sub} + q_{aj}) \quad (4)$$

この式を用いて、 C をパラメータとすることにより測定値の評価が可能であることが明らかになり、液滴列実験からのアプローチの有効性が確認できたと考えているが、伝熱量の冷却面温度依存性などの定性的評価は(現段階では)十分ではなく、 C の評価に対しては今後検討する必要がある。

4. おわりに

噴霧冷却の研究は、理論的にも実験的にも明らかにすべき課題が数多く残されているが、研究を進める姿勢も重要である。用語の統一も検討すべき時期に来ていると思われる。この伝熱の常識と非常識のシリーズで、熊田先生[10]が「実験や観察結果に基づいた現象の把握が何よりも大切で、次に実験事実と矛盾しないモデルの構築へと研究が進められるべきです。」と述べられているが、その通りだと思う。ただ、一方では衝突液滴の冷却面上での滞在時間は、筆者の計算では 10^{-5} sのオーダーとなる場合があり、容易には観察も行えない現実がある。

高温域噴霧冷却熱伝達特性を予測するために、これまでもいくつかの熱伝達モデルが提案されてきたが、噴霧液滴が高温面に衝突する際の挙動および高温面離脱後の挙動は必ずしも明らかにされているとは言い難いのが現状である。したがって、従来の熱伝達モデルにはいくつかの仮定が設けられており、仮定の妥当性やモデルの適用範囲についても、今後検討を加える必要があると感じている。

また、これまでに行われた噴霧冷却の伝熱機構に関する研究では、衝突液滴同士の合体やこれに伴う冷却面表面上での連続液膜の形成が発生しないとの前提で伝熱機構が議論されており、連続液膜の形成条件まで議論した研究は見受けられない。しかし、これらの前提のもとに高温域噴霧冷却熱伝達特性を検討する場合には、まず衝突液滴同士の合体が発生する条件や液膜の形成条件を明らかにしておく必要

がある。さらに、衝突液滴がリバウンドした後に再衝突する問題も無視できない。

最後に、高温のガラスに希薄ミスト流を吹き付けた場合、ガラスがどうなったかをお話しして結びとしたい。

ガラスを強化する方法の一つとして、表面に圧縮応力層を形成する表面急冷法がある。ガラスの内部に発生する応力は、ガラスの固化温度に達するまでは応力分布はほとんど発生せず、ガラスの固化温度を経て表面と内部の温度差がなくなるまでの間に応力分布が凍結される。このような表面急冷法においては、ガラスの固化温度以上の温度領域におけるガラス内厚さ方向の最大温度差により凍結される応力分布の程度が決定される。

噴霧冷却による表面急冷法では、観察結果からガラスの破損が高温域下限温度以下の液膜形成過程で発生することが判明した。すなわち、高温域では、たとえミクロ的な固液接触が発生していたとしてもガラスは破損しなかったのである。さらに、冷却曲線の測定結果から、破損が発生する時点ではすでに強化過程が終了していることが確認できた。これらの結果に基づき、最終的に噴霧冷却から空気噴流冷却への二段階冷却方式を提案することで、薄板の強化ガラスを作成することができた。

参考文献

- [1] 平田：第35回西山記念技術講座，(1975)，47.
- [2] 大久保・西尾：鉄と鋼，79-4(1993)，497.
- [3] 棚澤他2名：機械の研究，5-2(1953)143，5-3(1953)，200，5-4(1953)，263，5-5(1953)，321，5-6(1953)，387，5-7(1953)，449.
- [4] S. Deb and S. C. Yao：Int. J. Heat and Mass Transf.，32-11(1989)，2099.
- [5] 戸田：伝熱工学の進展3，(1974)，211，養賢堂。
- [6] L. Bolle and J. C. Moureau：Two-Phase Flows and Heat Transfer，3(1977)，Hemisphere Pub. Co.
- [7] 伊藤他2名：機論，55B-511(1989)，805.
- [8] 庄司他2名：機論，50B-451(1984)，716.
- [9] 大久保・西尾：機論，57B-539(1991)，2349.
- [10] 熊田：伝熱，38-153(1999)，13.

行事カレンダー

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名(開催地,開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2001年					
5月 23日(水)～ 25日(金)	第38回日本伝熱シンポジウム (大宮,ソニックシティー)	未定	未定	第38回日本伝熱シンポジウム準備委員会 委員長 望月貞成 東京農工大学工学部機械システム工学科	

本会共催,協賛行事

開催日	行事名(開催地,開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2000年					
7月 13日(木)～ 14日(金)	日本混相流学会 年会講演会2000(第1回) (仙台市民会館)	'00.3/31	'00.5/31	東北大学流体科学研究所 井小萩利明 Tel:022-217-5228, Fax:022-217-5229 E-mail: ikohagi@ifs.tohoku.ac.jp http://cfs.ifs.tohoku.ac.jp/multiphase2000/	
7月 17日(月)～ 19日(水)	第28回可視化情報シンポジウム (工学院大学講堂(新宿校舎))	'00.3/3	'00.5/12	(社)可視化情報学会事務局 Tel:03-5993-5020, Fax:03-5993-5026 http://www.vsj.or.jp/symp2k	
7月 18日(火)～ 19日(水)	日本機械学会関西支部 第242回講習会 「最新の熱流体現象の解析と伝熱・燃焼の基礎と実際」 (大阪市 建設交流館)	'00.7/12 (定員100名)		(社)日本機械学会 関西支部 http://www.jsme.or.jp/ks/	
10月 7日(土)～ 8日(日)	可視化情報学会全国講演会(札幌2000) (北海道工業大学)	'00.6/12	'00.7/31	(社)可視化情報学会事務局 Tel:03-5993-5020, Fax:03-5993-5026 http://www.vsj.or.jp/svs2000/	
10月 18日(水)～ 20日(金)	第21回日本熱物性学会シンポジウム (名古屋市工業研究所)	'00.6/16 (講演申込) 00.9/18 (参加申込)	'00.9/11 必着	第21回日本熱物性学会シンポジウム実行委員会 名古屋大学工学研究科 八田一郎 Tel:052-789-4466, Fax:052-789-3706 E-mail:a40114a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jstp2	
11月 10日(金)～ 11日(土)	第4回オーガナイズド混相流フォーラム OMF'00-Takayama(混相流の乱流・ダイナミクス) (高山市飛騨世也世也産業振興センター)	'00.7/31	'00.10/6	名古屋大学大学院人間情報学研究科 峯村吉泰 Tel:052-789-4783 E-mail:mine@info.human.nagoya-u.ac.jp 内山知実 Tel:052-789-5187 E-mail:uchiyama@info.human.nagoya-u.ac.jp http://www.flow.human.nagoya-u.ac.jp/ JSMF/OMF/OMF00/	
11月 29日(水)～ 12/1日(金)	第38回燃焼シンポジウム (アクロス福岡)	'00.7/28	'00.9/18	九州大学大学院工学研究科燃焼科学専攻 第38回燃焼シンポジウム事務局 Tel:092-642-3467(城戸),3404(村瀬), 3468(北川),Fax:092-641-9744 E-mail:sympo38@comb.mech.kyushu-u.ac.jp http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/cs/j2/cs-j-j/symp38	

< 支部活動報告 >

中国四国支部活動報告

1. 研究討論会

日時 平成 11 年 5 月 14 日 (金)

場所 広島大学大学会館

参加者 26 名

内容

- ・冷媒のマイクロフォン付き水平管内凝縮：熱伝達の数値解析 (Part 1) 野津滋 (岡山県立大)
- ・高温鋼板表面での酸化皮膜成長 川水努 (三菱重工業)
- ・溶融塩充填潜熱蓄熱槽の蓄熱促進に関する基礎研究 稲葉英男 (岡山大), 堀部明彦, 春木直人, 松尾幸一
- ・円柱群に直交する流れの強制・自然複合対流熱伝達 プラボヲ (広島大), 田島直典, 菊地義弘
- ・脈動流下における直列二円柱まわりの熱伝達に及ぼす軸間距離の影響 芳原弘行 (広島大), 菊地義弘, 前川謹吾, 安村健, 尾長伸介
- ・狭い平行流路における低密度気体のチョーク流れと熱伝達 石偉 (山口大), 宮本政英, 加藤泰生, 栗間諄二
- ・水平細管内等密度油・水混合流体におけるプラグ拳動 草野剛嗣 (徳島大), 逢坂昭治, 大林真, 鎌田恭彰

2. 中国四国伝熱セミナー・阿波

日時 平成 11 年 8 月 27 日 (金) ~ 28 日 (土)

場所 徳島県阿波郡阿波町土柱休養村センター

参加者 51 名

内容 宇宙開発における伝熱と流動問題

- ・宇宙機の熱制御と流体ループの適用 山田浩之 (川崎重工業)
- ・微小重力下における沸騰熱伝達 大田治彦 (九州大)
- ・宇宙排熱技術と気液二相環状流の流動特性 藤井輝重 (神戸大)
- ・宇宙開発における伝熱と流動の問題 大谷雄一 (三菱重工業)

3. 講演会・研究討論会・見学会

日時 平成 11 年 11 月 19 日 (金)

場所 山口県産業技術センター

参加者 17 名

内容

(1) 講演会

- ・金網を利用した蒸気泡拳動の制限と伝熱促進効果 角口勝彦 (資源環境技術総合研究所)

(2) 見学会

- ・冷媒のマイクロフィン付き水平管内凝縮 (Part2: W 溝付き管内における流動様相) 楠瀬涼 (岡山県立大), 川崎義之, 野津滋, 藤原航
- ・非正常法による液体の熱伝導率測定用エキスパートシステム 山川祐一郎 (岡山県立大), 野津滋, 藤原航

(3) 見学会

山口県産業技術センター

4. 中国四国支部役員会

日時 平成 11 年 11 月 19 日 (金)

場所 山口県産業技術センター

参加者 12 名

内容

- 平成 11 年度の事業および会計の中間報告。
- 平成 12 年度事業計画。平成 12 年度役員案。

Third International Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries

June 10-15, 2001, Davos Conference Centre, Davos, Switzerland

The drive to minimize capital investment and improve the energy efficiency of process industry plants has led to a reassessment of the desirability and practicality of incorporating compact heat exchangers and heat transfer enhancement technology into process plants. With the high success of the first and second Conferences (held in USA, June 22-27, 1997 and Canada, July 18-23, 1999, respectively), this third Conference is organized in Switzerland. The organizers of this Conference intend to bring together a select group of users, manufacturers, designers, contractors, consultants and researchers to share their knowledge, experience, and ideas to support the theme of the Conference.

DEADLINES

August 11, 2000	A copy of abstract due	January 5, 2001	Notification of manuscript acceptance
October 6, 2000	Full manuscript due	January 26, 2001	Complete paper due

Chair: Dr. R. K. Shah (USA)

Co-Chairs: Dr. A. W. Deakin (UK), Prof. H. Honda (Japan), Dr. T. M. Rudy (USA)

Scientific Committee Members (Japan): Prof. H. Fujita (Nagoya Univ.), Prof. M. Ishizuka (Toyama Prefectural Univ.),

Mr. K. Kasano (Sumitomo Precision Products), Prof. M. Kumada (Gifu Univ.), Prof. K. Suzuki (Kyoto Univ.)

詳細は <http://www.engfnd.org> をご覧になるか、下記宛お問い合わせ下さい。

〒816-8580 春日市春日公園6-1 九州大学機能物質科学研究所 本田博司

Tel: 092-583-7787, Fax: 092-583-7882, E-mail: hhonda@cm.kyushu-u.ac.jp

特別講演会

主 催： 日本機械学会東北支部
共 催： 東北大学流体科学研究所、日本伝熱学会東北支部、化学工学会東北支部
日 時： 平成11年9月16日(木) 15:30 ~ 17:00
場 所： 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学流体科学研究所 2号館5F大講義室
講 師： 日本大学工学部 棚澤一郎教授
演 題： 「低温における生命現象と生体の凍結保存」
問い合わせ先： 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 東北大学流体科学研究所 円山重直
Tel & FAX: 022-217-5243 E-mail: maruyama@ifs.tohoku.ac.jp

教官公募のお知らせ

電気通信大学電気通信学部知能機械工学科において下記の要領で教官の募集をしております。

- 公 募 人 員 : 教授 1 名
- 所 属 : 知能機械工学科 機械科学講座(大講座) 熱工学分野
- 専 門 分 野 : 伝熱事象の解析・実験, マイクロスケール伝熱, 複雑熱流体現象,
バイオ関連の伝熱, 熱計測技術, 生産技術における伝熱 等
- 担 当 講 義 : 大学院・学部専門科目および学部専門基礎科目(数学, 物理, 応用数学等)
- 応 募 資 格 : 博士の学位を有し, 専門分野に十分な研究業績がある方
博士後期課程の研究指導ができる方
着任時 45 歳から 55 歳までの方が望ましい
- 着 任 時 期 : 平成 13 年 4 月 1 日
- 提 出 書 類 : (1)履歴書(写真貼付)
(2)業績リスト(著書, 研究論文, 解説論文, 国際会議での発表論文等を区別し, 共著者
名はすべて記入すること)
(3)主要論文別刷(5 編程度)
(4)研究活動概要(これまでの研究内容と自己評価: 2000 字程度)
(5)就任後の研究・教育に関する抱負(2000 字程度)
(6)他薦の場合: 推薦書および推薦人以外で本人について照会可能な方 1 名の氏名・所属・
連絡先
自薦の場合: 本人について照会可能な方 2 名の氏名・所属・連絡先
- 応 募 締 切 : 平成 12 年 6 月 30 日(必着)
- 選 考 方 法 : 書類選考の後, 選考委員会の面接を行う
- 照 会 先 : 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
電気通信大学 電気通信学部 知能機械工学科
学科長 本間恭二(Tel. 0424-43-5387)
または
選考担当教授 黒田成昭
Tel. 0424-43-5389, Fax. 0424-85-9318
e-mail: kuroda@mce.uec.ac.jp
- 応募書類の送付: 選考担当教授宛に, 書留郵便にてお送り下さい

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

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

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

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

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

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

【入会手続き】

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

(注意)

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

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

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

【会費納入について】

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

【変更届について】

(勤務先、住所、通信先等の変更)

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

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

(学生会員から正会員への変更)

学生会員が社会人になられた場合には、会費が変わりますので正会員への変更届を速やかにご提出下さい。このことにつきまして、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会員の方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々には、至急納入をお願いします。特に、平成10年度以降の会費未納の方には「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処分が理事会で決定されます。

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局

(業務内容)

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

(所在地)

〒113 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)

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

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

編集後記

第38期編集出版部会委員

副会長	吉田 駿	九州大学
部会長	菱田公一	慶應義塾大学
委員	水上紘一	愛媛大学
	小林睦夫	新潟大学
	平田雄志	大阪大学
	渡邊澁雄	中部電力株式会社
	横堀誠一	株式会社東芝
	山田雅彦	北海道大学大学院
	小原拓	東北大学
	小熊正人	石川島播磨重工業(株)
	川口靖夫	機械技術研究所
	佐藤勲	東京工業大学
	泰岡顕治	慶應義塾大学
	花村克悟	岐阜大学
	瀧本 昭	金沢大学
	中部主敬	京都大学大学院
	吉田敬介	九州大学大学院
TSE	小竹 進	東洋大学

平成12年5月31日

第38期編集出版部会長 菱田公一

編集出版事務局：〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1
慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科
菱田公一
TEL: 045-566-1740
FAX: 045-566-1720
e-mail: hishida@sd.keio.ac.jp

複写される方に

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

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

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

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

Notice about photocopying

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

Except in the USA

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

In the USA

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

伝 熱

ISSN 1344-8692

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol. 39, No.156

2000年5月発行

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan

16-16, Yushima 2-chome, Bunkyo-ku,

Tokyo-113, Japan

Phone, Fax: +81-3-5689-3401