

ISSN 1344-8692 Vol. 43 No. 179

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

最近の機能材料とその応用

2004. 3

「伝熱」原稿の書き方

How to Write a Manuscript of Dennetsu

伝熱 太郎 (伝熱大学)

Taro DENNETSU (Dennetsu University)

1. はじめに

以下の注意事項に留意して、原稿を作成すること。

2. 「伝熱」用原稿作成上の注意

2.1 標準形式

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

表 1 原稿の標準形式

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

2.2 見出しなど

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

2.3 句読点

句読点は、および。を用い、、や。は避けること。

2.4 図について

図中のフォントは本文中のフォントと同じものを用いること。

2.5 参考文献について

2.5.1 番号の付け方

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

2.4.2 参考文献の引き方

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

参考文献

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

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

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

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

転載許諾願申請フォーム

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

伝 熱

目 次

最近の機能材料とその応用

「最近の機能材料とその応用」特集号と新企画「Qシリーズ」	高田 保之（編集出版部会長）.....	1
ナノ粒子の自己組織化によるポーラス構造体の製造および特性.....	奥山 喜久夫（広島大学）.....	2
化学反応性を利用したエネルギーシステムと機能材料.....	加藤 之貴（東京工業大学）.....	7
超臨界二酸化炭素を使った高分子成形加工における構造形成と新機能発現	大嶋 正裕（京都大学）.....	12
超臨界流体を用いた材料合成技術.....	猪股 宏（東北大学）.....	17
炭素材料をベースとした固体高分子形燃料電池用電極触媒の開発	尾崎 純一（群馬大学）.....	21
MR流体とその工学的応用.....	中野 政身（山形大学）.....	26
シリカ被覆無機ナノ粒子から生まれる新しい触媒.....	岸田 昌浩（九州大学）.....	32

プロジェクトQ

「未利用エネルギーを活用した超高効率ヒートポンプシステムを実用化せよ」	渡邊 激雄（中部電力）.....	38
--	------------------	----

会議報告

キッズ・エネルギー・シンポジウム 2003 報告.....	神永 文人（茨城大学）.....	43
-------------------------------	------------------	----

行事カレンダー.....		49
--------------	--	----

お知らせ

第41回日本伝熱シンポジウムご案内.....		50
第41回日本伝熱シンポジウムプログラム.....		54
日本伝熱学会・学生会委員会の活動について.....		74
TRANSPORT PHENOMENA IN MICRO AND NANODEVICES.....		75
「伝熱」会告の書き方.....		77
事務局からの連絡.....		78

インターネット情報サービス

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

最新の会告・行事の予定等を提供

htsj@asahi-net.email.ne.jp

事務局への連絡の電子メールによる受付

日本伝熱学会 2003 年度（第 42 期）会長・副会長・理事・監事

会 長 荻野 文丸（舞鶴工業高等専門学校）

副会長 太田 照和（東北大学） 小澤 由行（高砂熱学工業） 笠木 伸英（東京大学）

理 事 門出 政則（佐賀大学） 高田 保之（九州大学） 神永 文人（茨城大学）
円山 重直（東北大学） 近久 武美（北海道大学） 横山 孝男（山形大学）
北村 健三（豊橋技術科学大学） 平田 哲夫（信州大学） 藤井 照重（神戸大学）
奥山 喜久夫（広島大学） 清水昭比古（九州大学） 竹越 栄俊（富山大学）
高橋 修一（東北電力） 大原 敏夫（デンソー） 北村 邦彦（九電工）

監 事 有富 正憲（東京工業大学） 伊藤 正昭（日立製作所）

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.43, No.179, March 2004

CONTENTS

< Recent Functional Materials and its Applications >

Feature Articles on "Recent Functional Materials and its Applications" and a New Series "Q"

Yasuyuki TAKATA (Editor in Chief)	1
Fabrication and Properties of Porous Structure by Self-assembly of Nanoparticles	
Kikuo OKUYAMA (Hiroshima University)	2
Chemical Material Development for Energy System	
Yukitaka KATO (Tokyo Institute of Technology)	7
New Material Structures and their Functions in Supercritical CO ₂ aided Polymer Processing	
Masahiro OHSHIMA (Kyoto University)	12
Material production with supercritical fluids	
Hiroshi INOMATA (Tohoku University)	17
Development of Catalytic Electrode Carbons for Proton Exchange Membrane Fuel Cells	
Jun-ichi OZAKI (Gunma University)	21
Magneto-Rheological Suspension and Its Engineering Applications	
Masami NAKANO (Yamagata University)	26
Novel Catalysts Derived from Silica-Coated Nanoparticles	
Masahiro KISHIDA (Kyushu University)	32

<Project Q>

Project Q "Make Extremely High-Efficiency Heat Pump System
Using Unused Energy Practicable."

Choyu WATANABE (Chubu Electric Power Co., Inc)	38
--	----

< Report on International Conference and Seminar >

A Report on the Kids Energy Symposium 2003

Fumito KAMINAGA (Ibaraki University)	43
--	----

<Calendar>	49
-------------------------------	----

<Announcements>	50
------------------------------------	----

「最近の機能材料とその応用」特集号と新企画「Qシリーズ」
Feature Articles on "Recent Functional Materials and its Applications" and a New Series "Q"

高田 保之(編集出版部会長)
Yasuyuki TAKATA (Editor in Chief)

今月は、栗山雅文委員(山形大学)の編集による「最近の機能材料とその応用」特集号です。2年前に答申された科学技術基本計画において、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の4つの重点研究分野が設定されました。なかでもナノテクノロジーというキーワードは、時代の最先端の研究課題として注目を集めています。今後はナノテクノロジーを応用した種々の機能材料が開発されていくものと思えます。

本特集号は、次の7つの解説記事で構成されています。

奥山喜久夫(広島大学) ナノ粒子の自己組織化によるポーラス構造体の製造および特性

加藤之貴(東京工業大学) 化学反応性を利用したエネルギーシステムと機能材料

大嶋正裕(京都大学) 超臨界二酸化炭素を使った高分子成形加工における構造形成と新機能発現

猪俣 宏(東北大学) 超臨界圧流体を用いた材料合成技術

尾崎純一(群馬大学) 炭素材料をベースとした固体高分子形燃料電池用電極触媒の開発

中野政身(山形大学) MR流体とその工学的応用

岸田昌裕(九州大学) シリカ被覆無機ナノ粒子から生まれる新しい触媒

では噴霧乾燥法により製造された種々のナノサイズのポーラス粒子が紹介されています。自己組織化でできあがったナノポーラス粒子の写真に思わず魅せられてしまいます。ではケミカルヒートポンプの性能を上げるための伝熱促進法が紹介されており、また高反応耐久性の材料開発に対する期待が述べられています。とでは超臨界圧CO₂を利用したユニークな材料の製造法が紹介されています。ポリスチレンを親水化できるというのは面白い性質だと思いました。では燃料電池用炭素電極に鉄を添加することにより、電気伝導度が8倍も増大するなど、金属を添加することにより炭素を活性化させる

ことに成功しています。将来的には白金に代わる触媒の開発が期待されます。ではMR流体と磁場の組み合わせによる粘性の制御、ブレーキへ応用が述べられています。ではNi触媒粒子をシリカで被覆する技術が紹介されており、シリカによる被覆を行うことで、触媒活性の低下を防いだり、イソブタンの共存下でメタンを選択的に燃焼させることに成功しています。いずれも興味深い解説記事です。執筆者は奥山先生を除いて、本会非会員の方々ですが、ご多忙にもかかわらずご執筆いただきましたことを厚くお礼申し上げます。

さて、今月から新しい企画「Qシリーズ」を始めました。

<プロジェクトQ> 伝熱機器等の開発に携わった技術者の苦労話。性能改善のためのブレークスルーはなんだったのか、など。

<ヒストリーQ> エアコンや復水器など、伝熱がかかわる装置の開発や進化の歴史など。

<テクノロジーQ> ハイテクや画期的な伝熱技術の紹介。

プロジェクトQのネーミングは、もちろんNHKの某番組のパクリです。Qは熱を表しますので、Qシリーズとは熱に関わるすべての話題を網羅することになります。現在のところ、プロジェクトQ、ヒストリーQ、テクノロジーQの3つについて適宜記事を掲載していきたいと考えております。

今月のQシリーズは中部電力の渡邊氏による、プロジェクトQ「未利用エネルギーを活用した超高効率ヒートポンプシステムを実用化せよ」です。非常に読み応えのある記事で、声に出して読めば語り手の田口モロウになりきることもできます。Qシリーズは、会員の皆様の情報をもとに記事を集めていきたいと考えておりますので、これこそは相応しいというような話題がありましたら、ぜひとも本編集委員会へご紹介くださいますようお願い申し上げます。

ナノ粒子の自己組織化によるポーラス構造体の製造および特性
Fabrication and Properties of Porous Structure by Self-assembly of Nanoparticles

奥山 喜久夫 (広島大学)

Kikuo OKUYAMA (Hiroshima University)

1. はじめに

ナノメートルから数十ナノメートルオーダのポアを持つポーラス構造体材料は、触媒、薬剤のコントロールリリース材料、低誘電体材料、顔料、電子光学材料など幅広い分野での応用が期待されている。特に規則的な配列を持ったポーラス構造体の製造法としては超分子からなる界面活性剤のミセルを用いて10 ナノメートルまたそれ以下のポアを持つ構造体を製造できるミセル法と、コロイド結晶化法が代表的である。しかしながら、これまでのポーラス構造体の製造は、多くの手順を必要とし、しかも長時間を要するために工業的応用が難しく、形態が微粒子状でないのその後の応用材料としての取り扱いが容易でなかった。

最近、著者らは、ナノ粒子からなるコロイドにポリスチレンラテックス (PSL) 粒子を混合し、この混合液より噴霧乾燥法を用いてメソスケールで規則的な配列のポアを持つ球状のポーラス構造体微粒子の製造を開発した[1,2]。この研究は、サイエンス誌にハイライト研究として紹介されている[3]。さらに、同じ(二成分系)のサスペンションの塗布乾燥法により、規則的に配列したポーラス構造体の膜を製造し、フォトニック結晶としての特性を調べた。

以下に、ナノ粒子サスペンションの噴霧乾燥法、塗布乾燥法によるポーラス構造体の製造、自己組織化されたポーラス構造を持つ微粒子および薄膜の光学特性を中心に特性について述べる。

2. 噴霧乾燥法によるポーラス微粒子の製造

2.1 製造方法

粒子の製造プロセスは、図1に示すように、実験では、超音波噴霧器によってポリスチレンラテックスナノ粒子(PSL)とシリカナノ粒子を混合した原料液を噴霧し、数 μm の液滴とする。このようにして発生したナノ粒子が分散した液滴をキャリアガス

によって加熱炉へと運び乾燥させる。加熱炉は、低温部と高温部の2つの温度ゾーンからなり、低温部で液滴中の溶媒(水)を蒸発させて、シリカとPSLのコンポジット粒子を製造し、高温部での加熱により、テンプレートであるPSL粒子を蒸発・除去することによってポーラス構造体微粒子が製造される。

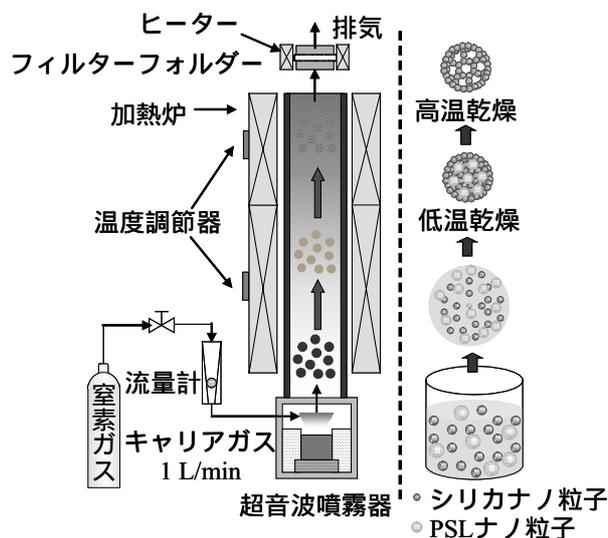


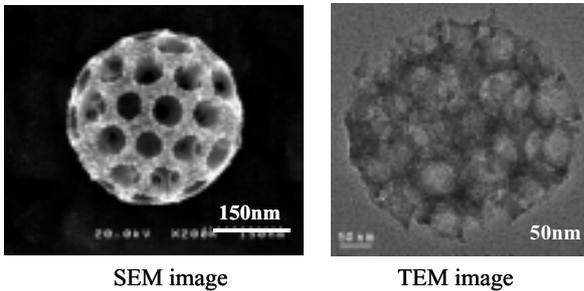
図1 噴霧乾燥法による自己組織化ポーラスシリカ粒子の製造

2.2 ポーラス微粒子の形態制御

製造されたポーラス構造体微粒子のSEM写真およびTEM写真を図2に示す。きれいに配列したシリカ粒子の塊状凝集体が粒子の表面および内部まで製造されており、ポアがヘキサゴナルに配置されていることにより、自己組織化現象が生じていることがわかる。

図3は、PSLナノ粒子およびシリカナノ粒子のサイズを変えた場合の粒子表面のポアサイズを示す。ポアサイズの大きさは、用いたPSL粒子の大きさとなっており、PSL粒子の大きさを変えることで制御できることを示している。また、大きな液滴粒子を

用いると図4に示すようなドーナツ状のポーラス構造体粒子が生成された。



SEM image TEM image

図2 製造されたポーラス構造体微粒子

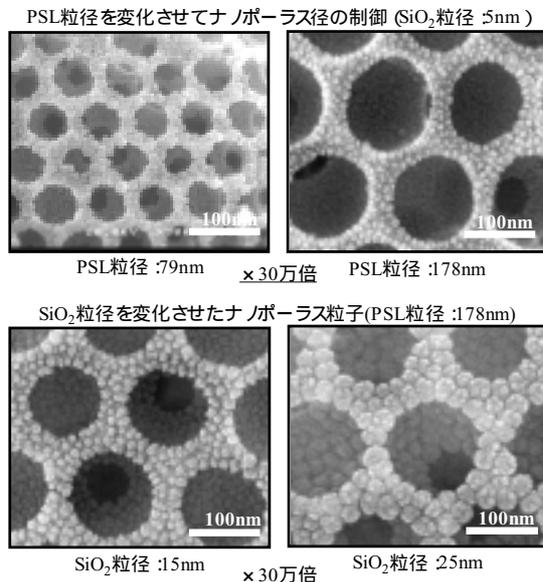


図3 自己組織化ポーラスシリカ粒子のポアサイズの制御

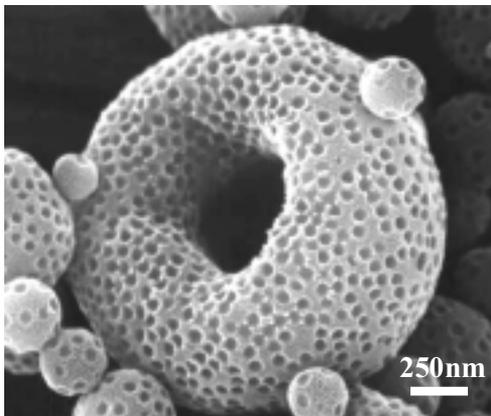


図4 ドーナツ状粒子のSEM写真

シリカのナノ粒子と混合した PSL 濃度を变化させ

た場合に生成したポーラスシリカ粒子の SEM 写真を図5に示す。PSL濃度が1.5wt%のときはポア数が多く、シリカ粒子が少ないためもろい粒子ができていくことがわかる。反対に PSL濃度が0.5wt%のときは微粒子内のポア数が減少し、ポア間の距離が長くなり、高倍率の写真からもわかるように1wt%で生成した粒子に比べるとポアに規則性がない粒子が生成された。つまり、規則的に配置されたポアを持つポーラスシリカ微粒子を生成するためには、PSLとシリカの最適な混合割合があることがわかる。

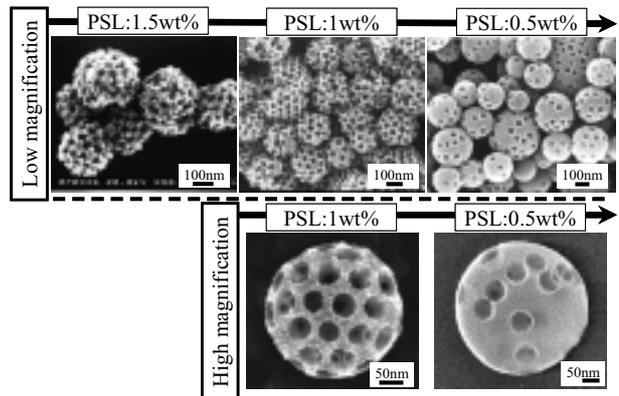


図5 PSL濃度の影響

自己組織化されたポーラス構造が形成される条件を、シリカ粒子の粒子径を縦軸に、PSLの粒子径を横軸にとりグラフにした(図6参照)。シリカナノ粒子の粒径を d 、PSLの粒径を D とすると、PSL粒子間のスペースを充填するシリカ粒子の最大直径は式(1)によって表される。よって自己組織化するシリカ粒子および PSL 粒子サイズの最大の比率は式(2)のようになる。

$$d = (2\sqrt{3}/3 - 1)D \quad (1)$$

$$d/D = 0.155 \quad (2)$$

これより生成条件の境界線を求めることができる。実験結果と比較したところ、境界線より下の領域ではポーラス構造が形成されたが、境界線以上では形成されなかった。自己組織化には、 d/D が 0.155 以下であることが必要条件である。

加熱時間の影響を調べるために、キャリアガスの流量を変えて粒子を製造した。流量が 1l/min のときはポアが規則正しく配列しており自己組織化が確認できるが、2l/min のときは同じ PSL 濃度でもポア数が少なく規則性がないことがわかる。これは流量

が大きいと図7のようにPSL粒子のいくつかは自己組織化せず粒子の表面に突出して蒸発しているからだと考えられる．つまり自己組織化を行うには低温部での滞留時間が少なくとも 1.5 秒程度必要であることがわかった．[7]

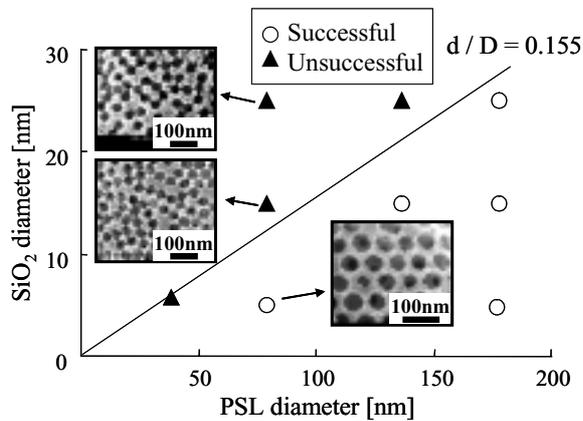


図6 ポーラス構造が形成される条件

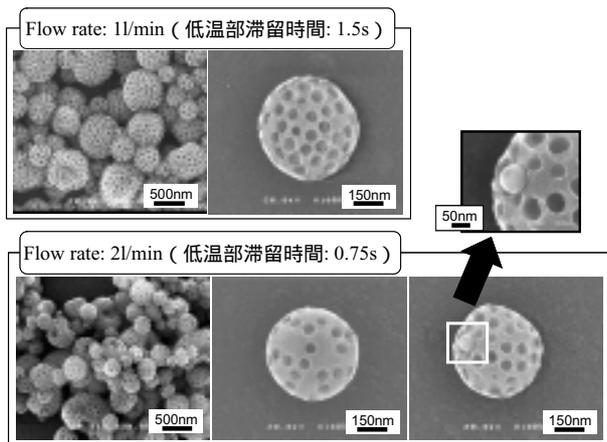


図7 キャリアガス流量の影響

2.3. ポーラス微粒子の光学特性と焼結特性[4]

製造されたメソポーラス微粒子の光学特性を調べるために、微粒子を分級したのち、光散乱特性を調べた．試験粒子としては、空隙の異なるメソポーラス粒子(MP0.5,MP1.0)と比較のために大きさが 5nm, 19nm, 32nm および 109nm のシリカのナノ粒子を噴霧乾燥した粒子を用いた．図8より、粒子の投影面積が一定にもかかわらず、ポーラス粒子は、光の散乱特性が大きく減少することがわかる．

図9は、各種のポーラス粒子の加熱による形態の変化を等体積球相当径の変化で示す．いずれの場合も、1500 以上での粒子の焼結が生じ、1700 で終

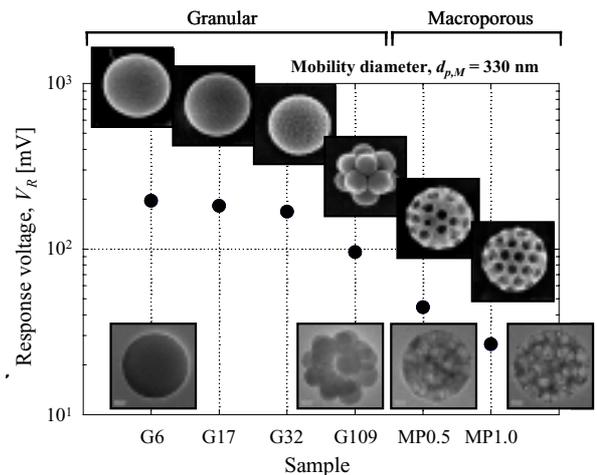


図8 形態と空隙率による散乱の低下

了することがわかる．このことより、ポーラス構造体粒子の空隙率を再加熱によって制御できることがわかる．

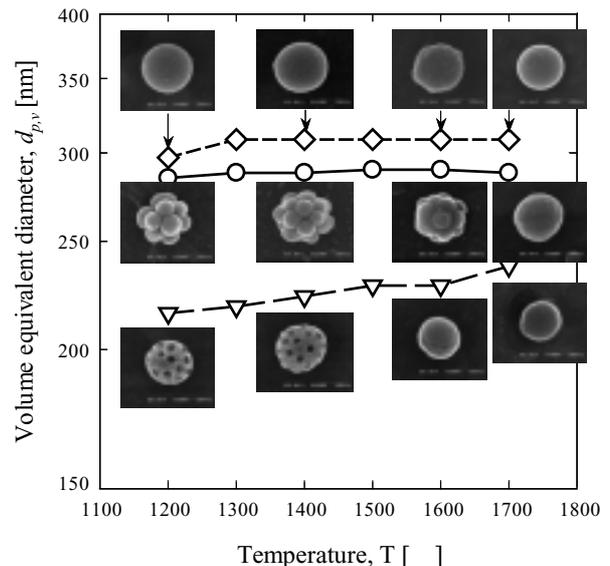


図9 加熱によるSiO2の形態変化

3. 塗布乾燥法によるナノ粒子の配列制御

3.1 粒子配列方法[5]

これまで、規則的三次元構造体を作成するためには、微細なリソグラフィーとエッチングを組み合わせた方法が用いられてきたが、この方法は作成が容易でなく、時間がかかり、コストが高いという問題があった．規則的な配列を持ったポーラス構造体は、フォトニクス結晶としての機能を持ち、高度な光

の制御が可能であるために、光集積回路への応用が期待されている。また、構造内に空気を含んでいるために、超誘電体材料としての応用も期待されている。最近、噴霧乾燥法によるポーラス微粒子の製造と同じ手法が適用された。

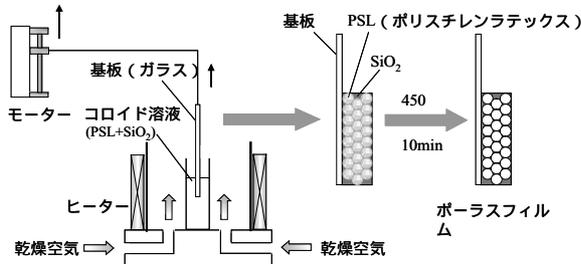


図10 ポーラスフィルムの製造方法および装置図

粒径の異なるシリカナノ粒子とPSL粒子を混合したコロイド溶液を用いて、図10に示すようなディップコーティング法により規則的に配列したポーラス構造体を製造した。

この方法では、まずコロイド溶液に基板を浸し、一定の速度で引上げたときに生じる毛管力を利用して自己組織化により粒子を配列させる。引上げた基板は、PSL粒子が規則的に配列し、その隙間にシリカナノ粒子が充填された状態になっている。これを450で約10分加熱することによってPSL粒子が蒸発し、シリカのナノ粒子のみのポーラス膜が作成できる。

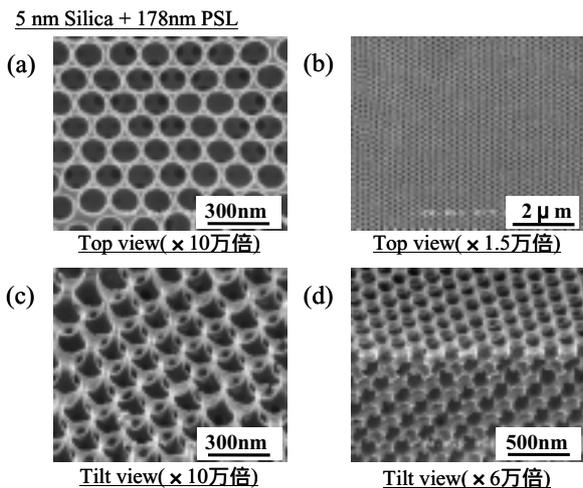


図11 製造したフィルムのSEM写真

作成したポーラス膜のSEM写真を図11に示す。図11(a)はフィルムを正面から見たもので、黒い部分はPSL粒子が蒸発してポアとなった部分で、白い部

分はSiO₂のナノ粒子が集まってできた部分である。図11(c)はフィルムを斜めから見たもので、たくさん見られる小さい孔は、PSL粒子同士が密着している、シリカのナノ粒子が入り込めなかった部分である。図11(d)はフィルムの端を斜めから見たもので、断面の様子から、フィルムの内部も規則的にポアが配列していることがわかる。

3.2 温度による膜厚の制御[6]

フィルム作成時の雰囲気温度による膜厚の変化について測定した。温度を40から80まで変化させたところ、フィルムの膜厚は図12のように温度に比例して厚くなっていることがわかった。これは周りの温度が高い方が、溶媒が早く蒸発し、より多くの粒子が一度に配列することができるためと考えられる。また、断面から見てもポアが規則正しく配列できていることが確認できた。以上より、このようなシンプルな方法によって、表面だけでなく断面にも規則的にポアが配列したポーラスフィルムを作成することができ、温度によって膜厚の制御までもが可能であることがわかった。

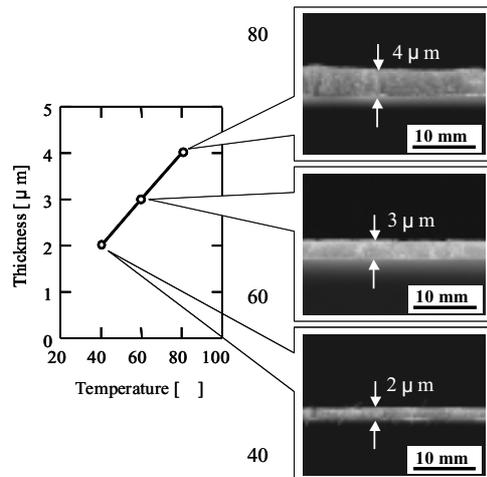


図12 温度による膜厚への影響

3.3 ポーラスフィルムの光学特性

作成したポーラスフィルムのフォトニック結晶としての機能に着目して、光学特性(光透過率)を測定した。図13は三種類のフィルムの測定結果を示している(PSLのみ、PSLとSiO₂、ポーラスSiO₂)。どのフィルムも回折ピークが現れていることから、フォトニック結晶として機能していることが確認できる。ピークの位置が異なるのは、それぞれフィルムを構成している材質が違うことによる。また、図14にPSL粒径を変えることによってポアサイズを

制御したフィルムの測定結果を示す。

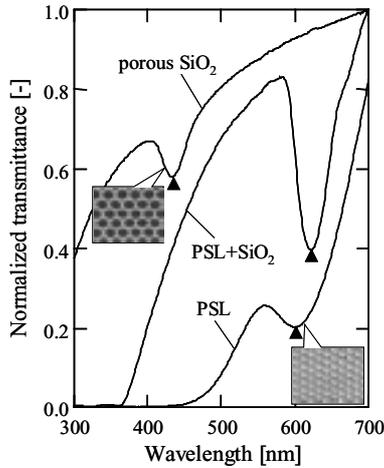


図13 製造したフィルムの光透過率測定結果

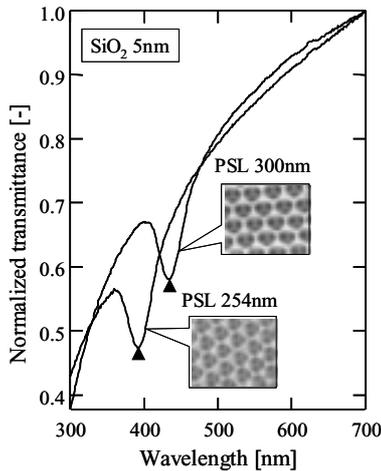


図14 細孔径が及ぼす光透過率への影響

これより、用いた P S L ナノ粒子のサイズ、すなわちポアサイズによってピーク位置が変化し、ピーク位置が生じる波長は、式(3)に示すブラッグの式でよく評価されることがわかった。

$$m\lambda_p = 2d_{hkl} (n_e^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \quad (3)$$

λ_p : 光の波長 (フォトニックバンドギャップ波長)

θ : 光の入射角度 n_e : フィルムの屈折率

d_{hkl} : ポアサイズ

ここで、ポーラスフィルムはその内部に 2 種類の物質 (空気と SiO_2) を含むため、フィルム全体の屈折率を混合体の屈折率として式(4)を用いて求めた。

$$\sum_{i=1}^N v_i \frac{n_i^2 - n_e^2}{n_i^2 + (z/2 - 1)n_e^2} = 0 \quad (4)$$

n_i : 成分 i の屈折率 v_i : 成分 i の体積比率

Z : 1 つの粒子に隣接する粒子数

n_e : 混合の屈折率

以上のことより、ポアサイズを変化させることによってフォトニックバンドギャップを制御できることが明らかとなった。

4. おわりに

噴霧乾燥法により製造されたポーラス構造体微粒子は、数ステップでしかも長時間をかけて合成されてきた材料が、数秒間でしかもワンステップで合成されたということは工業的応用を考えると非常に重要であると考えられる。

また、ナノ粒子のフォトニック結晶への応用には、ナノ粒子の自己組織化現象を利用したポーラス膜の製造が重要であることを示した。ナノ粒子の自己組織化を利用することにより、実にシンプルな方法で作成することができ、またそのポアサイズをテンプレートとなる PSL 粒子の粒径によって容易に制御できるという特徴を持つと言える。今後、このようなポーラス膜を連続的に高速で製造できるプロセスの開発により、フォトニック結晶への応用が実用化されることが期待される。

参考文献

- [1] Iskandar, F., A. Mikrajuddin and K. Okuyama, Nano Lett., Vol.1, No.5 (2001) 231-234
- [2] Iskandar F., A. Mikrajuddin and K. Okuyama, Nano Lett., Vol.2, No.4 (2002) 389-392
- [3] Science, Vol.292, No.5522 (2001)1613
- [4] Chang, H and K. Okuyama, J.Aerosol Sci., Vol 33, Issue 12, (2002) 1701-1720
- [5] Iskandar F., A. Mikrajuddin and K Okuyama, J. Appl. Phys., Vol 93, (2003) 9242
- [6] Iskandar F., Mikrajuddin A., H Yoden and K. Okuyama, J. Sol-Gel Sci. Technol, (2004) in press
- [7] Gradon, L, S. Janeczko, M. Abdullah, F. Iskandar and K. Okuyama, AIChE, (2004) in press.

化学反応性を利用したエネルギーシステムと機能材料

Chemical Material Development for Energy System

加藤 之貴 (東京工業大学)

Yukitaka KATO (Tokyo Institute of Technology)

1. はじめに

エネルギー小国のわが国においてエネルギー有効利用技術の発展は常に望まれている。周知の通り、わが国では石油危機の 1970 年来めざましい技術発展が見られ、とくに産業界は世界屈指の省エネルギー化を実現している。一方で社会の 24 時間化、情報・物流の高度化は民生分野のエネルギー消費を増大させている。京都議定書に基づくさらなる二酸化炭素削減の履行には、なお一層の省エネルギーが必要とされている。エネルギー技術開発もこのようなエネルギー需要構造の変化に応じた従来技術の改良を超えた新たな進展が望まれている。

エネルギー技術の高度化のブレークスルーの一つとして化学反応の利用が上げられる。従来より研究レベルで開発は検討されているが、信頼性、コストの点で商用には十分至っていない。しかし、化学反応の利用は原理的には在来技術の性能を超える可能性を有している。また、他技術の近年の進歩が化学反応の従来短所を補う事例が近年増えている。本論では化学反応を利用した熱エネルギー技術を展望する。とくにケミカルヒートポンプを具体例として最近の研究開発の展開、なかでも機能材料開発の観

点から本技術分野の可能性を示す。

2. 化学反応による熱エネルギー利用

熱エネルギーの有効利用には熱貯蔵（蓄熱）技術と温度変換（ヒートポンプ）技術が必要である。化学反応をこれらの技術へ利用することで従来にはない特性が期待できる。

先ず、化学利用型の熱技術と他の熱技術との相对比较を行うため、図 1 に物質の化学/物理的变化のエネルギー密度の関連を示す[1] (実際には各変化は重複する場合があるがここでは定性的な関係を示す) 従来熱技術は物質の物理変化である顕熱変化、潜熱変化が利用されてきた。これは可逆性および再現性の良さが理由である。しかし性能が物性に強く依存するため、広温度域化、高蓄熱密度化には限界があり、また蓄熱に関しては長期間の貯蔵が困難である。これに対し化学変化は相対的にエネルギー密度が高く、反応条件の選択で幅広い温度域に対応でき、熱システムへの応用に新しい可能性を持つ。ただし、例えば酸化反応等のエンタルピー変化の大きい反応は非可逆的で、連続的な繰り返し応用は困難である。それゆえ可逆化学反応系が、エネルギー密度、対応温度域の点で新しい熱エネルギー媒体として開発対象となりえる。従来、化学反応は生成物の製造を目的に研究開発がされてきた。化学エネルギーシステムは化学反応のエンタルピー変化を利用する技術であり、化学反応の新しい利用分野といえる。化学反応を利用した熱システムとしてはケミカルヒートポンプが代表的である。ケミカルヒートポンプは従来のヒートポンプ同様、昇温、増熱、冷凍が可能である。さらに基本的に熱駆動ゆえに機械式ヒートポンプに無い高効率熱変換が期待できる。また、回分式操作によって熱の貯蔵・放出の機能が付与でき、蓄熱装置として利用できる。ケミカルヒートポンプの実現には機能材料開発が不可欠である。化学反応利用型の他のエネルギー技術にもこの機能材料

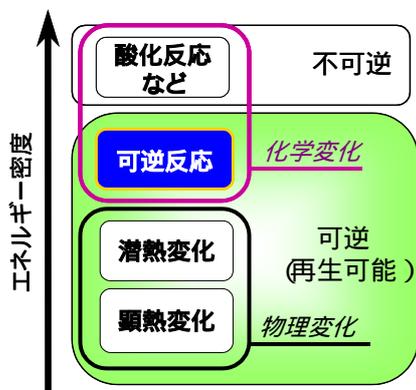


図 1 エネルギー密度基準の化学反応の相対的な位置[1]

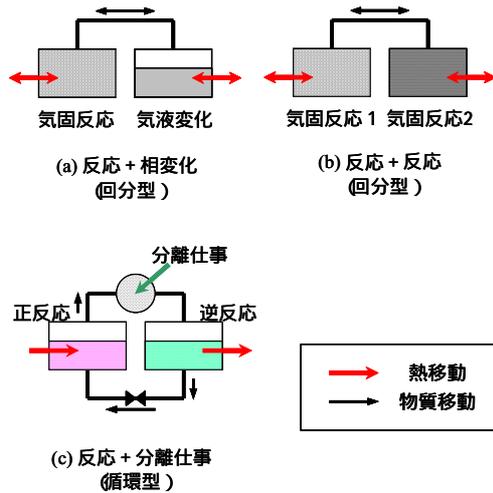


図2 ケミカルヒートポンプの構成分類[1]

技術は有効である．以下では必要となる機能材料の進展を述べる．

2. 熱エネルギー技術と化学機能材料

2.1 ケミカルヒートポンプの分類

化学反応技術は選択する反応でその性質が決まる．よってその選択が重要である．ここではケミカルヒートポンプを反応系で分類し各特性を示す．ケミカルヒートポンプとして現在，狭義では有機反応と無機反応系が，広義では水素吸蔵合金系や吸着系が提案され，従来に比して広温度域，高密度での熱変換を可能にしている．ケミカルヒートポンプの基本構成を図2に示す[1]．求めるケミカルヒートポンプの実現には最初に反応平衡論に基づく所要の利用温度に応じた反応系の選択が必要である．次いで可逆的に反応を進めるためには反応平衡を移動させる何らかの仕事を必要とする．熱駆動式であれば蒸気相の気液変化または別の反応の利用，さらに蒸留，膜などによる分離仕事，機械式であれば圧縮仕事がある．

表1 化学反応材料とケミカルヒートポンプ分類

操作型	回分型		循環型	
	気固系		気液系	
駆動力	反応圧力	反応圧力	分離濃度差	反応圧力
駆動操作	気液相変化	化学反応	分離操作 (蒸留、膜分離)	圧縮機 (分離操作 併用もあり)
装置構成	図1(a)	図1(b)	図1(c)	
反応例	吸着系 CaCl ₂ /CH ₃ NH ₂ 系 CaCl ₂ /NH ₃ 系 CaO/H ₂ O系 MgO/H ₂ O系 BaO/H ₂ O系 MgCl ₂ /NH ₃ 系 MnCl ₂ /NH ₃ 系	水素吸蔵合金系 CaO/CO ₂ 系 CaO/PbO/CO ₂ 系 BaO/CO ₂ 系 MgO/CO ₂ 系	吸収系 アセトン/2-プロパノール/水素 アセタル加水分解系	イソブチレン/水/ 第3ブタール系 ベンゼン/シクロヘキサン/水素系 パラアルデヒド解重合系

これらの組み合わせでそのヒートポンプの性質が決まる．各基本構成に応じたケミカルヒートポンプの分類を表1に示す．最下段の反応例は開発研究が進められているものである．

2.2 化学機能材料の開発課題

平衡論的には種々のケミカルヒートポンプサイクルが提案可能である．従来より種々の反応系が試されてきた．しかし，ヒートポンプとして成立する反応系は化学反応の中のごく一部に過ぎない．ヒートポンプ反応系には以下の条件が必要である．即ち，(1)繰り返し反応耐久性，(2)主反応の高選択反応性，(3)高反応活性である，また(4)熱エネルギー貯蔵密度が高いこと，さらに(5)高反応性と高伝熱性の両立が上げられる．また他システムと比較しての低コスト化が必要であるため(6)安価，大量生産性が重要である．そして(7)安全性が市場に受け入れられる重要な課題である．ヒートポンプ開発の第一課題は上記の条件を満たす材料開発である．

現在，気固反応の利用が良く検討されている．理由として，固相成分の熱エネルギー貯蔵密度が高いゆえにコンパクトな熱操作ができること，反応の選択性が高く副反応がほとんど無いこと，反応生成物が気体と固体に容易に分離できるため次サイクルの逆反応を容易に高効率に行えること等が利点として評価されていると考えられる．この気固反応系においても材料開発が重要である．定性的に図3に気固反応系の熱プロセスにおける反応層内の反応と熱移動過程を模式的に示す．反応層においては物質移動，化学反応そして熱移動が同時に起こる．互いに他と強く依存するためその操作の最適化は容易ではない．

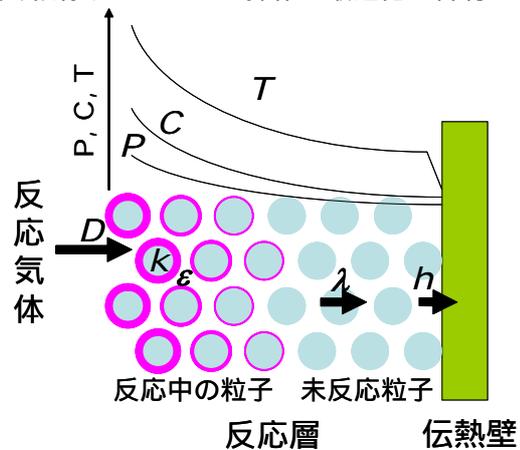


図3 気固反応利用型熱装置の模式図

化学反応速度 (k) は温度 (T), 圧力 (P), 気体濃度 (C) の関数であるが, 同時に材料自身の結晶性, 純度, 粒子サイズ・形状等に大きく影響を受ける。また化学反応によって多くの材料は体積変化を起し, 空隙率 (ε) が変動し, 結果として粒子層の見かけの気体拡散係数 (D) が減少する。また材料の反応変化に伴い熱容量, 粒子間の熱伝導度 (λ), さらに伝熱壁における熱伝達係数 (h) が変動する。また, 反応速度が温度に指数で比例するのに対し, 熱伝導は概ね一次に比例するため反応性と伝熱性を最適化した反応操作は困難になり, 一般的に伝熱律速操作になるため熱入出力においてエクセルギー損失が発生する。これらの解決が化学反應用の化学機能材料に求められるものである。これらの課題は化学熱技術の特性の理解と適切なプロセス操作の上で重要な事項である。

3. 化学機能材料の開発事例

前節で述べたように化学反応を実用的な熱エネルギープロセスとして利用するには反応系の選択のうち化学材料の開発が重要である。用いる化学材料には高反応活性を持つことと同時に高熱・物質移動性を持つ必要などがある。これらの高性能を実現する複合機能を備えた高反応性, 高伝熱性さらに高繰り返し耐久性の化学機能材料が必要である。以下に各観点に分類して材料開発事例を示す。

3.1 高反応性機能材料の開発

ケミカルヒートポンプの提案はそれを可能とする化学反応型機能材料の開発に拠っている。100 以下の低質温熱を利用した冷熱発生用ケミカルヒートポンプとして塩化カルシウム / 水系が検討されている[2]。塩化カルシウムが水を吸収する機能を利用した低温乾燥は, 加熱乾燥が困難な医薬品, 果汁の乾燥にも適しており, 45 以下の低温熱を用いた機械駆動を要しない乾燥・冷凍機としての可能性が示されている。海外においても冷凍機としての開発が進んでいる[3]。メソポーラスシリカゲル体を構造材として, この中に塩化カルシウムを分散担持した機能材料が開発され, 従来のゼオライト, シリカゲル反応材より高い出力特性を実証している。さらに反応活性の観点から反応材料粒径の最適化が進められている[4]。

航空宇宙分野では月面上の設備の温度コントロー

3.2.2 反応粒子の伝熱促進

ルへのケミカルヒートポンプの利用が検討されている[5]。伝熱性, 物質移動性の向上のためナノオーダーの炭素繊維を基材に, 表面に塩化ニッケルを担持した機能材料が開発され 100 レベルの熱源を用いた蓄熱・冷房システムが検討されている。また, 活性炭繊維に反応物を含浸させる手法を用いて塩化マンガン系と塩化バリウム系の 2 段反応型アンモニア系サイクルが 200 前後の太陽熱で駆動する冷凍機として検討されている[6]。

300 域の熱源利用では酸化マグネシウム / 水系が検討されている[7]。従来の市販の酸化マグネシウムには水和反応活性が乏しかった。これに対し水酸化マグネシウムを従来より低温で脱水した酸化マグネシウムが高い反応活性を示すことが明らかになり, これが起点となり実用開発が進んでいる。

3.2 高伝熱性機能材料の開発

とくに気固反応系では充填層型の反応層における有効熱伝導度が低いことから熱伝導度改善が重要である。形式には伝熱フィンなどの挿入による装置的伝熱促進と高熱伝導物質と化学反応物質を複合化し反応粒子自体の熱伝導度を高める方法がある[8]。

3.2.1 装置的伝熱促進

フィン, ワイヤ, リボン状の金属等の高熱伝導度物質を粒子層に挿入した伝熱促進が行われている[9]。酸化カルシウム / 水系では粒子層に体積分率 0.0088 の銅フィンの挿入で層の見かけの有効熱伝導度が 6 倍に増加し, 水和反応の完結時間が 1/4 に減少した事例がある[10]。金属のかわりに炭素繊維を用い, 伝熱促進を行う事例がある。この方法は気体・固体に対する耐腐食性が高いのが特徴である。また炭素繊維が金属に対して軽量で, 小径の材料に加工できることも利点である。酸化マグネシウム / 水系では体積分率 0.05 の炭素繊維ブラシの挿入により水酸化マグネシウム層の有効熱伝導度が 4 倍に増大し, 脱水反応時間が 40% 短縮された事例がある[11]。

シリカゲル / 水系ではシリカゲル粒子を酢酸ピニルをバインダーとして伝熱管等に接着した一体型反応器が開発されている[12]。伝熱壁の熱伝導性を向上することで吸着時間を従来の充填層型の 1/10 以下に短縮している。またアルミニウム伝熱管壁上にゼオライトを化学的に接合することで, 伝熱壁の熱伝達係数を 20 から $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ に向上させた事例がある[3]。

反応に関与しない高熱伝導性物質と反応粒子を混

合化した高熱伝導性反応物質が検討されている．高熱伝導性物質として膨張化グラファイト，活性炭繊維，グラファイト繊維などが利用されている．これらは大量生産がしやすく安全という利点を持っている．塩化カルシウム／メチルアミン系では塩化カルシウム水溶液に膨張化グラファイトを含浸させ乾燥・焼成した複合化反応粒子が調製されている．有効熱伝導度が 0.1 から $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ へ約 10 倍向上し，総括付加反応速度も数倍にすることに成功している[13]．また，複合化粒子を圧縮し高密度化することで，熱伝導度をさらに $2\sim 50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 程度に向上させている事例もある[14]．ただし，高密度化によって反応気体の透過抵抗が増大し，見かけの反応性・熱出力が低下するため，複合化の最適条件の検討が必要である．

3.3 高反応耐久性機能材料の開発

ケミカルヒートポンプでは化学反応は閉サイクルで同じ反応材料が繰り返し利用されることになる．よって反応材料の繰り返し反応に対する耐久性が必要である．耐久性が無ければ，繰り返しの過程で反応活性が低下し，所要のエンタルピー変化が得られず，その結果，ヒートポンプ性能が低下するためである．近年のケミカルヒートポンプ開発において，反応耐久性を有した機能材料の開発も重要な研究対象となっている．

気固反応系では繰り返し反応による反応成分の一次粒子の凝集，巨大化による失活が課題である．凝集にはいくつかのメカニズムが考えられる．大きく熱(温度)または反応成分による凝集が考えられる．おおむね 500 以上の反応域を持つ材料では熱による凝集が焼結として起こり，繰り返し利用のうちに見かけの反応活性が低下する傾向がある．酸化カルシウム／二酸化炭素系ではアルコキッド法で形成したチタン酸カルシウム格子構造に酸化カルシウムを分散させた材料が開発され，高い繰り返し耐久性を実証している[15]

低温反応の凝集は気相反応成分によるものが多い．塩化カルシウム／メタノール系では塩化カルシウム粒子を無処理で利用すると，メタノールにより粒子同士の凝集が進行する．膨張化グラファイトがやはり有用で，そのグラファイトに液状反応成分を含浸することで，グラファイト中の $10 \mu\text{m}$ レベルの仕切られた微小空間に塩化カルシウムを分散担持でき，高い反応耐久性と反応性を両立している[13]．

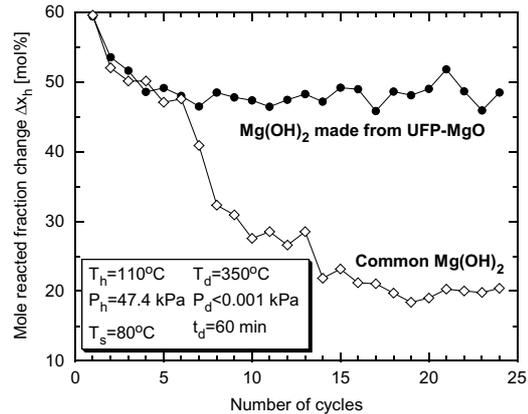


図4 酸化マグネシウム／水系ケミカルヒートポンプにおける酸化マグネシウム水和反応の繰り返し反応特性[16]

気固反応系においては不純物による繰り返し耐久性の阻害もある．酸化マグネシウム／水系における反応材料の繰り返し耐久性が検討されている[16]．図4に通常の反応材料(白丸)および開発された材料(黒丸)の24回までの繰り返し反応耐久性比較を示す．縦軸は酸化マグネシウム水和熱出力時間60分間の水和反応転化率の変化量を示す．通常反応物は繰り返し24回までの反応で次第に反応活性が低下する．通常の反応物は海水から沈殿法にて調製され，酸化マグネシウム純度95-97%程度を持つ．一方で開発された高純度の超微粒子酸化マグネシウム(UFP-MgO)，純度99.9%以上，を先駆体とした反応材料は最初の7回程度は反応性が減少するが，その後24サイクルまで耐久性が維持されている．別途，この開発材料は70回までの耐久性が既に実証されている．この系においては高純度が耐久性に好影響を与える．

このように化学機能材料の繰り返し反応耐久性や伝熱性などの向上には多様なかつユニークなアプローチがある，一方で系統的な研究は未整備であり，今後の研究の発展が望まれる．課題を解明することで新たな研究分野に発展する可能性を持っている．

4. おわりに

化学反応を用いた熱エネルギー技術は高熱密度，広温度操作域の点で新しい可能性を持っている．システムの実用化は用いる化学機能材料の開発に負っているとして過言ではない．化学反応を熱プロセスとして利用するには反応場の高度な物質・熱移動性，同時に繰り返し反応に対する耐久性を有した化学機

能材料の開発が必要である。一方で装置コストを在来の熱エネルギーシステムと競合できる域まで引き下げることも必須である。選択すべき条件が無数にあるように見えるが、低コストと高機能化という相反する要求を考えると、求めるシステムは「周到かつ簡易な装置」になると考えられる。これらの研究開発の方向は新しく、得られた成果は新しい技術分野を開く可能性を持っている。とくに化学反応を物質生産以外の目的に利用するための技術として他に派生する可能性がある。

引用文献

- [1] 加藤之貴, 蓄熱技術-理論とその応用[第 II 編]潜熱蓄熱・化学蓄熱(共著), 信山社サイテック(2001)
- [2] Fujioka, K. *et al.*, Proc. Int. Sorption Heat Pump Conf. (ISHPC '02), 1 (2002) 431.
- [3] Restuccia, G. *et al.*, Proc. Int. Sorption Heat Pump Conf. (ISHPC '02), 1 (2002) 645.
- [4] Dawoud, B. *et al.*, Proc. 5th Minsk Int. Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators", 1 (2003) 306.
- [5] Valkov, V. *et al.*, Proc. Int. Sorption Heat Pump Conf. (ISHPC '02), 1 (2002) 438.
- [6] Vasiliev, L.L. *et al.*, Proc. of the 5th Minsk Int. Seminar "Heat pipes, heat pumps, refrigerators", 1 (2003) 450.
- [7] Kato, Y. *et al.*, J. Chem. Eng. Japan, 36 (2003) 833.
- [8] 藤岡恵子, 最近の化学工学 55 (分担), 化学工業社 (2003) 73.
- [9] Groll, G., Heat Recovery Systems & CHP, 13 (1993) 341.
- [10] 小倉裕直ら, 化学工学論文集, 17 (1991) 916.
- [11] 浜田雄一ら, 第 40 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, vol. III (2003) 737.
- [12] 伊藤睦弘ら, 化学工学論文集, 22 (1996) 163.
- [13] Hirata, Y. *et al.*, J. Chem. Eng. Japan, 36 (2003) 827.
- [14] Mauran S. *et al.*, Heat Recovery Systems & CHP, 13 (1993) 315.
- [15] Aihara, M. *et al.*, Appl. Energy, 69 (2001) 225.
- [16] Kato, Y. *et al.*, J. of Materials Science, 34 (1999) 475.

超臨界二酸化炭素を使った高分子成形加工における構造形成と新機能発現
New Material Structures and their Functions in Supercritical CO₂ aided Polymer Processing

大嶋 正裕 (京都大学)

Masahiro OHSHIMA (Kyoto University)

1. はじめに

高分子材料の伝熱関連製品への利用となると、すぐに思い浮かぶのが発泡体であろう。もともとプラスチックは金属に比べ伝熱係数が低い。そのプラスチックを発泡させて、空気相をプラスチック内部に作り、さらに伝熱係数を低くして断熱効果を向上させたのがプラスチックの発泡体である。高い断熱性と軽量性の利点からプラスチックの発泡体は、建材として昔から広く使われている。今、流行の外断熱工法という建築工法には、このポリスチレンやフェノール樹脂の発泡体がふんだんに使われている。

読者の中には、なにを今さら発泡体のことなどをわざわざ取り上げるのか不思議に思われる方がいらっしゃるかと思う。その答えのヒントは超臨界二酸化炭素という単語にある。

プラスチックの発泡成形は 20 世紀の半ばに開発され、爾来、反応により窒素や二酸化炭素のガスを発生させる化学発泡剤（化学物質）を樹脂に混入するか、物理発泡剤（揮発性物質）を高分子に溶かし込んで、熱や圧力を操作することにより、高分子中に気泡を発生させ、発泡体を製造し続けてきた。1980 年以前は、この物理発泡剤として、フロンガスが使われていた。しかし、1987 年のモントリオール議定書の批准後、地球の温暖化防止やオゾン層破壊防止のためからフロンの撤廃に向けて、プラスチックの発泡成形でもフロンの代替物質の探索が始められた。今日、その代替発泡剤として注目されているのが、窒素と二酸化炭素である。

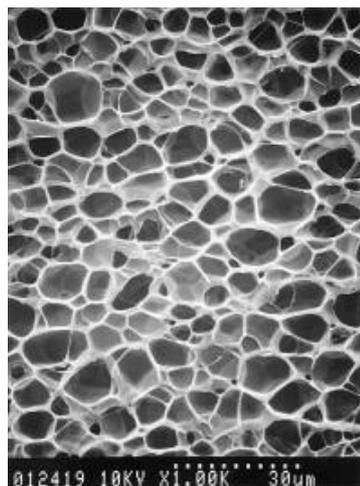
窒素と二酸化炭素は、1) 毒性のないガスである、2) 温暖化係数がフロンに比べ低い（CFC11 は CO₂ の 4600 倍）、3) ポリマーに溶け込む、などの特性をもつ。この二酸化炭素や窒素を使って、従来の発泡体より、より微細に、マイクロオーダーから細かいナノオーダーの気泡を作ってプラスチックを発泡させるという研究がここ数年展開されてきている。

ここでは、二酸化炭素を使って、高分子材料を発

泡させたときにどのような構造が形成されるのか、また、微細な発泡構造によって、従来にはないどのような機能が生れたのか紹介しよう。また、特に、二酸化炭素は、可塑化効果をもち、高分子に溶解すると、粘度やガラス転移温度、結晶化速度など高分子物性を大きく変える性質を有する。この特性を活かして、射出成形品の転写性の向上や、高分子の表面を改質し、新機能を付与するなどの新しい成形技術が開発されている。これについても後半で触れることにしたい。

2. マイクロセルラー

従来、数百 μm 以上の泡径であったものを平均 10 μm 以下の径で、かつ単位体積あたりに 10⁸ 個以上の個数の気泡を持つようにプラスチックを発泡させたものがマイクロセルラーフォーム（あるいはマイクロセルラープラスチック）と呼ばれるものである。これは、米国 MIT の機械工学科の Suh 教授によ



----- 30 μm

図1 PETのマイクロセルラー 古河電工(株)提供³⁾

って1980年代前半に提案されたものである。彼等は、プラスチックをマイクロオーダーの気泡で発泡させれば、機械的強度を損なうことなく材料が節約できると考えた²⁾。それは「発泡体＝やわらかい＝強度が弱い」という既成概念を変え、発泡体の応用範囲を大きく展開できる可能性を示唆し衆目を集めた。図1に、現在、市場に出ているマイクロセルラーの断面写真を示す。

当初、機械的強度が発泡により向上する理由として、1)発泡過程で、気泡壁の高分子が延伸され配向がすすむ、2)結晶性高分子では延伸による配向の促進と共に二酸化炭素による結晶化が促進され、機械的強度が向上する、などの理由が提案された。しかし、従来の発泡体よりも発泡による強度低下は少ないものの、発泡により強度が向上するマイクロセルラープラスチックは残念ながらまだ作られていない。現在は、成形品中の応力集中を緩和し、ひけ・そりを防ぐために微細発泡技術を活かすこと(図2)のほか、プラスチック中に存在する微細気泡が、光の反射性を向上させることや音響振動性を向上することを活かして、軽量反射板や音響板にマイクロセル



図2 PP+ガラス繊維の射出成形品⁴⁾
(左図：反り返った未発泡体、右図：同じ金型を使って窒素で発泡したもの)

ラーが利用されている(図3)。



図3 ステレオのスピーカの音響振動板(写真の白い部分)に使われているのがマイクロセルラー(古河電工(株)提供)³⁾

3. 二酸化炭素による発泡セル構造の創製

ここで紹介している高分子の微細発泡技術は、原理的には非常に簡単なものである。高分子に二酸化炭素や窒素を加圧して溶解させ、その後、減圧や昇温操作を施すことによって、溶解していたガスを溶け切れない状態にし、相変化を起こさせ気泡を作っている。いわゆるビールの栓を抜くと泡が現れる原

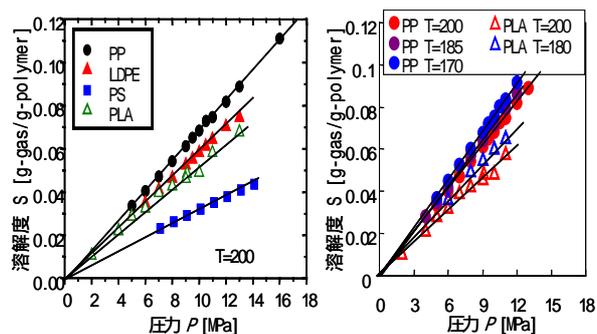


図4 各種樹脂へのCO₂溶解度(圧力依存性)

理と同じである。

図4には、汎用樹脂に二酸化炭素が圧をかけるとどのくらい溶けるかを示している。また、図5には、ポリプロピレン(PP)と生分解性樹脂のポリ乳酸(PLA)にどのくらいの速さで二酸化炭素が溶け

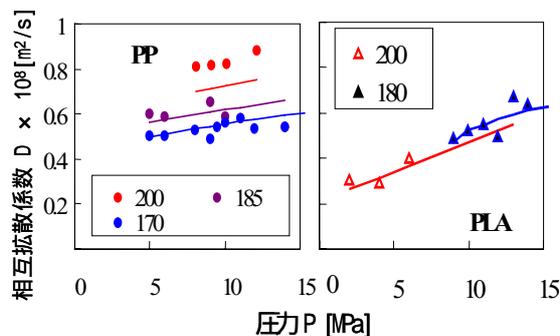


図5 PPとPLAへのCO₂の拡散速度

込んでいくかを示している。図4と5より明らかのように二酸化炭素の高分子への溶け方(溶解度・拡散係数)は、樹脂によっても温度と圧力によっても異なる。熔融状態の高分子へのCO₂の溶解量は、通常、加圧する圧力に比例して増加し、温度が上がると溶解量は減る。(ただし、窒素のように極低分子量のガスでは、温度が上がると溶解量は増える。)また、拡散係数は温度だけではなく、圧力が上がっても増

加する．これは、圧力が高くなるに伴いCO₂の溶解量は増え、CO₂の溶解量が増えると高分子の膨潤度が増す．その結果、拡散抵抗が低くなるため、拡散係数は圧力の増加に伴い大きくなっている．特にPLAでは、膨潤効果が大きく、圧力10~15MPa、温度180でのCO₂の拡散係数が、圧力1~5MPa、温度200での拡散係数よりも大きくなっている．

このようにCO₂を溶かすにしても、ビールやソーダに圧をかけて溶かすのとは違って、高分子では、高分子の分子構造や高分子鎖の絡まり具合によって、その溶解度や拡散の速さが違う．そのため、画一的にどの高分子でも同じ操作で同じセル構造のものができるというわけではない．さらに、発泡によるセル構造の制御を難しくするのは、気泡核生成と成長が同時進行でおこること、そのメカニズムが溶解度・拡散係数だけではなく、界面張力、高分子の粘度特性、および減圧速度等の操作条件の関数となっていることである⁵⁾．

図6は、石英窓がついた高圧オートクレーブで発泡過程を可視化し得られた映像である．図7は、可視化映像を解析して、気泡の数が時々刻々どのように変わるかを減圧開始からの経過時間に対して描いたものである．明らかに気泡生成は一瞬にして終了するのではなく、成長と同時に進行していることがわかる(図6)．また、減圧速度が急激であれば、気泡の数が多くなっていることなど、セル構造は操作条件に強く依存することもわかる．

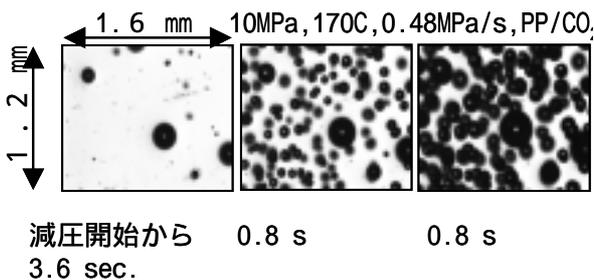


図6 CO₂によるPPの発泡過程の可視化映像
(黒い点が気泡である．時間の経過と共に、黒い点の数が増えていることがわかる．)

このように溶解度、拡散係数を考慮した高分子の選定や操作条件による制御性を積極的に活かすことにより、1 μmを切るナノサイズの大きさの気泡径をもつ発泡体をはじめ、さまざまな形態のセル構造をもつ発泡体を作ることができる．

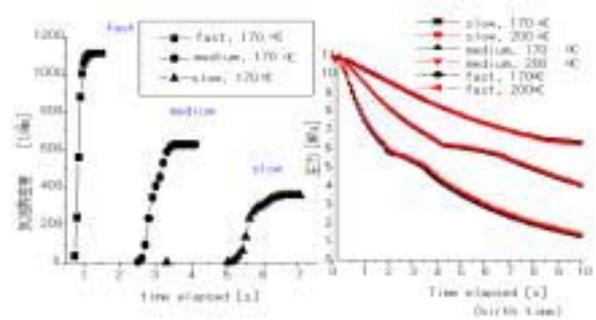


図7 気泡数の時間変化と減圧プロファイル
(3種類の減圧速度(右図)でPPを発泡させたときの気泡数時間変化(左図))

図8~10は、当研究室で作製した種々のセル構造をもつ発泡体のSEM写真である．図8は、ポリプロピレンとラバーのブレンドを低温で発泡させることにより、ラバー部に泡を局在化している．(黒色で表されるラバーの中の白い点が泡である)．図9は、ポリ乳酸(PLA)とポリエチレングリコール(PEG)のブレンドを発泡させることにより得られたセル構造である．PEGの粒子をセルに抱くような変わった構造をとっている．また、図10はポリスチレン(PS)を低分子量のPEGと二酸化炭素で処理して発泡し得られる、セル同士が連続している連続多孔構造である．

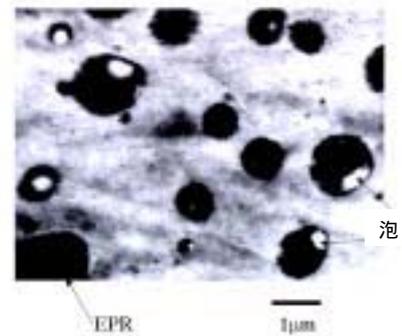


図8 PP+EPRのブレンドの発泡

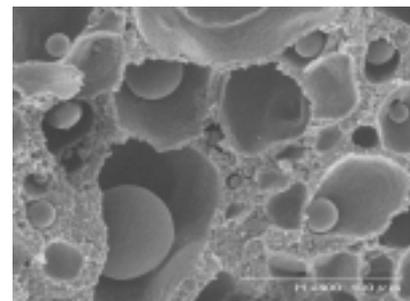


図9 PLA+PEGのブレンドの発泡

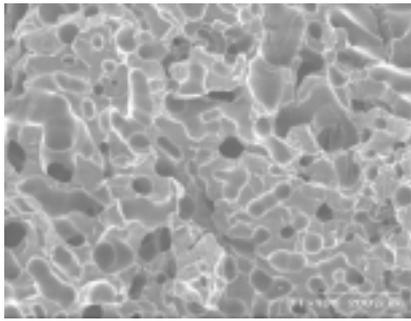


図 1 0 PS+PEG の発泡(連続構造)

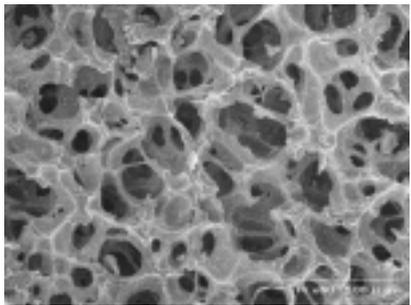


図 1 1 二酸化炭素を使って発泡させ作製したセラミックスの発泡体

二酸化炭素を材料に溶解させ多孔構造を作り出すという手法は、プラスチックの発泡体作成だけに限らず、二酸化炭素が溶けうる材料であれば何にでも適用できる。図 1 1 は、同じ原理で作製したセラミックスの発泡体の SEM 写真である。

紹介してきた発泡成形において二酸化炭素が超臨界状態(温度 31 以上, 圧力 7.48MPa 以上)であるか否かは本質的な問題ではない。超臨界状態では、物質を溶解する力(溶媒和効果)と拡散させる力が高いといわれる。この性質を積極的に成形加工に活かし、新たな機能を付加しようとする研究が発泡成形にも増して活発になっている。

4. 超臨界 CO₂ を使った新たな成形加工技術

図 1 2 に、ポリスチレン (PS) に通常では溶解しない分子量 1000 の PEG を超臨界状態の二酸化炭素を同伴させることにより、PS の内部にまで収着させ、表面の濡れ性を変えた例を示している。

二酸化炭素のものを溶かし込むという性質と溶解し高分子を膨潤させるという性質を活かして高分子の成形品の表面を修飾・改質させる研究が図 1 2 の例にとどまらず、種々行なわれている。このような改質手法を工業的な量産化技術に昇華させようとする次のような研究もなされている。

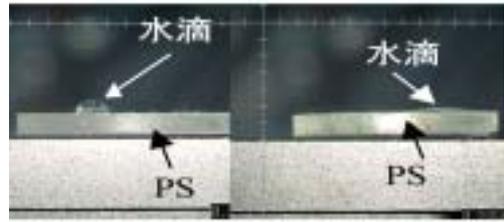


図 1 2 PEG を収着させることにより水をはじかなくできたポリスチレン (PS) (右)

プラスチック成形品の製造法の一つに射出成形法というものがある。これは、プラスチックを熔融・混練して、熔融した樹脂を高い圧力で金型内に射出充填する方法である。このとき、金型内を樹脂は、図 1 3 に示すような噴水流れ(ファウンテンフロー)とよばれる現象を起こして流れる。成形品表面に収着させたい低分子物質(例えば分散染料)を溶解した超臨界 CO₂ を射出成形機の金型に充填しておき、その中に樹脂を射出する。流れの先端(フローフロント)では、CO₂ と低分子物質が熔融樹脂に拡散していく。金型内で樹脂は、先に述べたように噴水流れ(ファウンテンフロー)で流れるため、低分子物質が収着したフローフロントの樹脂は、ファウンテンフロー現象により金型壁面へと流れ込む。このようなメカニズムにより、表面にだけ低分子物質を収着させた成形品を製造できる(図 1 3)。

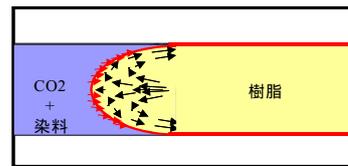


図 1 3 CO₂ を使った表面粘性低下による射出成形技術

5. おわりに

CO₂ を単に材料に溶かして発泡させるだけでも、さまざまな構造をもつ材料が作れることがわかっていただけたらどうか。この手法は、今後、有機溶剤を使わない環境安全性の高い多孔構造形成手法として普及し、作られた構造材料は、断熱用とのみならず、その構造特性を活かして電気部品、分離膜等に用途展開されていくものと思う。また、多孔質材料形成のみならず、超臨界 CO₂ の溶媒和効果や膨潤効果などの特徴を活かしたさまざまな成形加工法が

新たに考案され，新機能が付与された製品が生れるものとする。

考文参献

- [1] www.env.go.jp/earth/ozone/h14pamph/06.htm
- [2] Park, C.B. et al., *Polymer Eng. Sci* 36, 1446, (1995)
- [3] www.furukawa.co.jp/foam/mc-pet/mc-pet_index.htm
- [4] 川東, 成形加工学会 0 2 要旨集, (2002) 115-116
- [5] 瀧 他, *Cellular Plastics*, Sage Publication, 39, 2, (2003) 155-169
-

超臨界流体を用いた材料合成技術

Material production with supercritical fluids

猪股 宏 (東北大学)

Hiroshi INOMATA (Tohoku University)

1. はじめに

超臨界流体とは、物質固有点である気液臨界点を超えた温度・圧力領域にある非凝縮性流体と定義される。図1に物質のPT線図の模式図を示した。図では、着色部が超臨界領域に相当する。

超臨界流体は臨界温度を超えているため分子の熱運動が激しく、しかも密度を理想気体に近い希薄な状態から液体に対応する高密度な状態まで連続的に変化させることが可能であり、密度の関数として表せる多くの平衡・輸送物性の制御が可能である。流体の性質は基本的には流体構成分子の分子間相互作用に支配され、その大きさは分子間距離と熱運動に依存する。従って、圧力を変えてもあまり密度が変化しない通常の液体に比べ、超臨界流体においては微小な圧力の変化が、流体としての性質に大きく影響を及ぼすことになる。超臨界流体の代表的な物性を気体・液体と比較したものを表1に示す。超臨界流体の主な特徴を列挙すると、以下ようになる[1-4]。

密度に依存する物性（溶解力，誘電率，イオン積など）が温度・圧力の微小変化で連続かつ大幅に変化する。

液体に比べ低粘性，高拡散性であり，多孔質固体・微細構造への浸透性に優れている。

臨界点近傍では熱伝導率がきわめて大きくなるため，高い熱移動速度が得られる。また，動粘性が気体・液体に比較して極めて小さいため自然対流が微小温度差で起きやすい。

熱運動と分子間引力が拮抗している状態のため，溶質が存在する場合には，溶質分子周囲の溶媒和構造が形成され，それが温度・圧力により変化する。

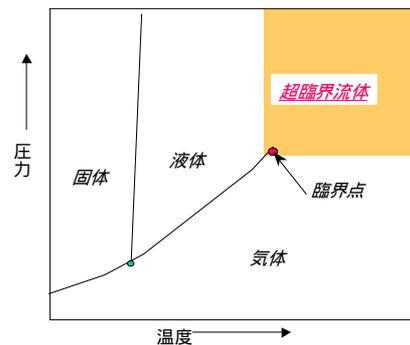


図1 物質の相図(P-T線図)

超臨界流体に関する研究は1980年頃に活発に行われ，主に天然物の抽出あるいはクロマト溶媒としての検討が進められた。その後，抽出に関する研究から，一時期論文・特許数などの減少があったが，最近では，超臨界水の利用技術研究が活発化しており，反応，材料製造などへ展開され，一部は実用化されてきている[4]。専門学術誌(J.Supercrit.Fluids)の論文にみる分野割合を図2に示したが，抽出・分離が依然として高い割合であるが，反応25%，材料も10%程度の投稿になっている。

表1. 気体，液体，超臨界流体のマクロ物性の比較

物性	Gases	Supercritical Fluids	Liquids
密度 [kg/m ³]	0.6 ~ 2.0	300 ~ 900	700 ~ 1600
拡散係数 [10 ⁻⁹ m ² /s]	1000 ~ 4000	20 ~ 700	0.2 ~ 2.0
粘度 [10 ⁻⁵ Pa·s]	1 ~ 3	1 ~ 9	200 ~ 300
熱伝導率 [10 ⁻³ W/mK]	1	1 ~ 100	100
動粘度 [10 ⁻⁷ m ² /s]	100	1 ~ 10	10

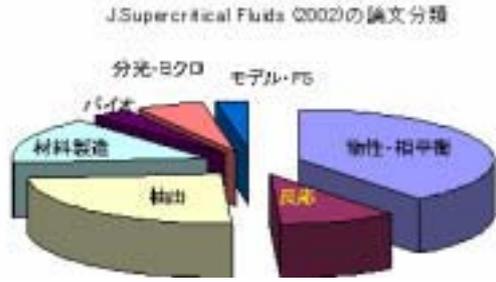


図2 専門雑誌での超臨界関連研究分野

材料技術に関する超臨界流体研究は、形態制御、無機・有機超微粒子合成、高分子加工など広範で様々であり、ここではこれらの材料分野と超臨界流体との関わりについて、超臨界 CO₂ と超臨界水の利用を想定して、技術概略を紹介することにする。

2. 超臨界流体と材料技術

超臨界流体を用いた材料製造・加工の研究を考えたとき、操作法、溶媒種(主として二酸化炭素(CO₂), 水(H₂O), 時にアルコール), 材料材質(無機・有機)などにより分類することができる。ここでは、超臨界流体の溶媒としての役割が明確になる操作に基づいて、検討技術例を分類してみる。

[抽出] 超臨界流体を抽出溶媒として使い、材料基質・マトリックス中から不要成分を除去することにより、材料あるいはその原料を製造する方法。

[晶析] 超臨界流体を晶析溶媒として使い、熱力学安定状態から不安定状態へ、すなわち過飽和度の大きさと変化速度を制御することにより、微粒子、薄膜、ファイバーなどを製造する方法。

[反応] 超臨界流体を反応溶媒として、あるいは反応基質として使い、材料あるいは原料を製造・改質する方法。

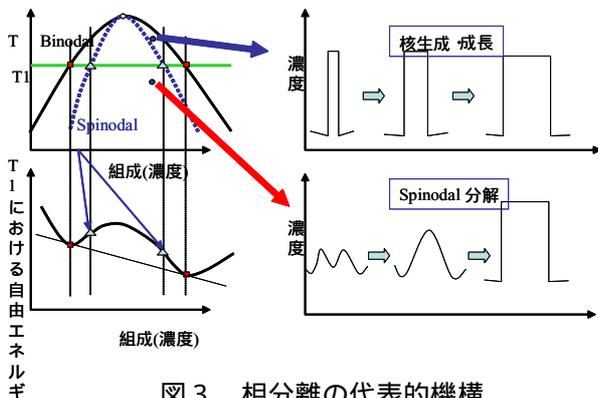


図3 相分離の代表的機構

大別すれば上記のようになるが、反応晶析のように両者を組合せた方法も検討されている。このような分類によると、超臨界流体の材料製造溶媒としての利用は、分離や反応溶媒としての利用と基本的には同じである。但し、材料製造においては、抽出率や反応転化率・選択率のみならず、被抽出物や反応生成物である固体材料の形態や機能の制御が目的であるため、固体(固相)への超臨界流体の作用・影響についても把握することが重要になる。

この際の操作条件としては温度・圧力であるが、特に固相を含む相挙動の圧力依存性が材料製造においては非常に重要な因子となる。すなわち、固相への超臨界流体の溶解、それによる膨潤、晶析操作での過飽和度の制御、スピノーダル分解による相分離構造・形態制御など(図2)、いずれも熱力学安定領域から不安定領域への変化を利用したもので、圧力を操作因子として利用することで、その変化速度を大幅に、かつ均一に制御することが可能であり、従来の液体溶媒では実現が困難な材料製造も超臨界流体を用いることで期待できるのである(図3)。

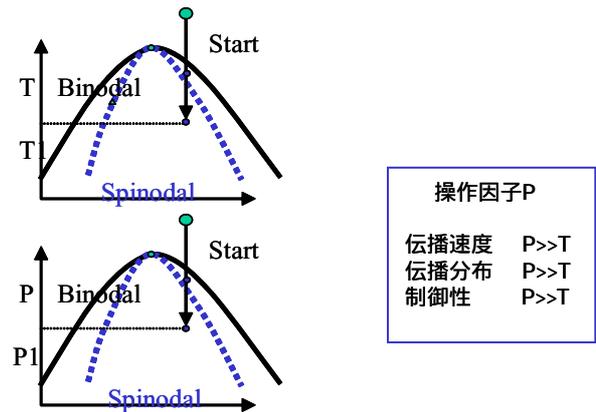


図4 相分離パラメータとしての圧力

以下、上記の操作分類による研究の例を紹介するが、多くの成書や解説にその他の興味深い研究が紹介されているので参考にされたい[1,2]。

3. 抽出溶媒とした材料製造

脱バインダー、脱脂:

成形体材料の製造工程では、最終製品には不要な物質を途中工程で添加し、後工程にて除去しなければならない場合がある。このような除去工程でのキーポイントは、材料の構造・機能を損なうことなく迅速に不要成分を除去することである。超

臨界流体 (CO₂) は、金属あるいは結晶性プラスチックへ溶解せず、微細部分への浸透・拡散性に優れており、本目的には非常に適した溶媒と言える。
 <セラミック成形体製造、焼結金属製造、オリゴマー除去、合成ポリマー脱溶媒>

材料の洗浄：

精密洗浄技術は、日本の先端産業を支える重要な分野であるが、主に使用されてきた CFC (クロロフルオロカーボン) が使用規制された現状で、その代替洗浄法として超臨界 CO₂ 洗浄が検討されている。洗浄の目的の大部分が脱脂であることから、CO₂ の油分溶解力と高拡散性と、乾燥工程が不要という点を利用した応用例である。形状が複雑なもの、水や熱に弱いもの、乾燥に長時間を要するものの洗浄に優位性が見出せる。

<精密機械部品洗浄、光学材料洗浄、半導体基板洗浄、医療器具洗浄>

固体の乾燥、無機多孔体 (エアロゲル) の乾燥：超臨界乾燥ともよばれる分野で、収縮をできる限り抑制した乾燥法である。被乾燥物中の溶媒を加熱・加圧して超臨界状態にする、あるいは新たに超臨界流体を導入することで溶媒・超臨界流体混合系の超臨界状態を生成させて溶媒を超臨界流体に置換する方法により均一相での乾燥が可能となり、収縮が発生しない。

<シリカエアロゲル製造、石炭・木製品乾燥>

4. 晶析溶媒とした材料製造 (相分離促進)

RESS 法：

超臨界流体中に溶質を溶解させ、これをノズルを通して大気圧付近まで急速に膨張させることによって、密度低下と断熱膨張による温度低下により溶解度の急減を誘起し、溶質を析出させるのが Rapid Expansion of Supercritical Solutions (RESS) 法で、Matson らにより提案されたものである [5]。溶質の大きな過飽和度が、極短時間に達成されるため、核生成は瞬時であるが、その後の凝集の制御に工夫が必要である。析出粒子の捕集面までの距離、膨張直前の温度、圧力、ノズル形状、濃度など操作パラメータは多いが、薄膜、微粒子などが得られる。

<金属酸化物微粒子、有機物微結晶、表面修飾>

GAS 法：

Gas Anti-Solvent 法で、貧溶媒化により相分離を誘起することで固体を再結晶させて材料・原料を製造する方法である。超臨界流体と液体溶媒を比較

した場合、一般に溶質溶解度は超臨界流体の場合が小さい (貧溶媒) であることから、溶液に超臨界流体を添加して液液あるいは固液相分離を促進させるものである。この方法は、Krukoniis ら [6] が提案し、初めは火薬などの機械的粉碎が困難な物質の微粒子化法として適用された。その後、医薬品のドラックデリバリー用マイクロカプセルなどへも応用されている。なお、超臨界流体中へ溶液を導入することにより、貧溶媒化速度を速める方法や、超臨界流体を添加する圧力を制御することで過飽和度 (貧溶媒化度) を多段階にするような手法も提案されている。

<火薬微粉体、医薬品ドラックデリバリー用マイクロカプセル製造、医薬品結晶製造、クエン酸精製、微粒子コーティング>

発泡ポリマー：

この方法は、「晶析溶媒」というよりは「相分離促進」を利用した材料製造法である。

プラスチック中に、物理的発泡剤として超臨界流体 (CO₂、或いは N₂) を高圧下で溶解させ、混練、均一化後に、減圧させることにより溶解ガスを過飽和状態にすることで微小気泡を生成させるものである。熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、エラストマーなど種々のプラスチックに対して適用可能である。CO₂ に関しては、可塑化効果も確認されており、粘性低下、融点降下などの要因もあり、プレス成形などのバッチ式から、押出し成形、射出成形など連続プロセスへの適用についても研究が進んでいる。

なお、発泡の目的としては減容化、軽量化が主流であったが、最近では気泡径が 10 ミクロン以下のマイクロセルラープラスチックが特異な機能を有することから注目されている。

<断熱材・梱包材用発泡プラスチック、通気性ポリマーシート、機能性 (高衝撃強度・低誘電率・高重量剛性) マイクロセルラープラスチック>

薬剤含浸法：

ポリマーなどへ薬剤等を添加する場合、機械的混入法が使用されてきたが、ポリマーを溶融させる高温域で薬剤の揮発・分解などの問題が生じる。これに対して、超臨界流体の薬剤等に対する溶解力とポリマー中への溶解性と高拡散性を利用したもので、薬剤を溶解した超臨界溶液中にポリマーなどのマトリックスを浸漬させることで、マトリックス中へ超臨界流体とともに薬剤を溶解させ、続いて減圧させることにより薬剤のみマトリック

ス中に残した状態で超臨界流体を系外に排出する方法である。本法は、マトリックスを繊維とすれば、染色法として利用することができる。〈芳香材，繊維染色〉

5. 反応溶媒とした材料製造

水熱合成・反応晶析：

金属塩水溶液を加熱すると加水分解により金属水酸化物が生成し、さらに高温下では脱水反応により金属酸化物となる。これは金属酸化物の水熱合成法として古くから知られており、亜臨界状態でのオートクレーブを用いた回分操作が主流であった。これに対して超臨界水の状態では、密度などに加えて誘電率やイオン積も大きく変化する。阿尻ら[7]は、水熱合成を超臨界状態でしかも連続操作により金属超微粒子を製造する方法を提案した。超臨界状態での反応器の直後に反応溶液を急冷・減圧することで核発生と成長を行うもので、温度、圧力、濃度、反応時間などをパラメータとして粒子形状（大きさ、モルフォロジー）の制御が可能である。また、原料選定により複合酸化物にも対応できる。

〈バリウムヘキサフェライト，発光材料，電池材料，金属回収〉

ポリマー重合：

超臨界 CO₂ が多くのポリマー材料のモノマーを溶解すること、また AIBN に代表される開始剤も溶解することから、溶液重合における脱有機溶媒として、CO₂ 重合が検討されている[8]。本法では、CO₂ が通常の有機溶媒に置換しただけであるが、高分子量物質の CO₂ への溶解度は小さいため、生成ポリマーが CO₂ 相から析出するようになる。そのため、分散安定剤を添加した析出・分散重合などが提案されている。あるいはフッ化物が CO₂ に高い親和性を示すことからフッ素系ポリマーにつ

いては完全が CO₂ 中での重合も可能である。芯物質を分散させた状態で重合を行えば、マイクロカプセルあるいはコーティング材の製造法として期待できる。

〈PS，PMMA などの分散重合，PTFE 重合〉

6. おわりに

超臨界流体技術は、科学技術基本計画に関連した国家産業戦略にも、21世紀のシーズ技術として明記されており、今後の研究開発が期待されるものである。現在超臨界流体として主に用いられている CO₂ と水は、そもそも地球環境に調和した溶媒であり、その利用を今後積極的に考えるべきものあり、特に今回のテーマである材料製造ではその工程に溶媒が不可避であることから、超臨界流体が本分野において製造技術として普及するポテンシャルは高いと期待できる。代替溶媒のみならず、その特徴を生かしたユニークな製造技術が続々と提案されるためにも、少しでも多くの人々が超臨界流体技術へ関心を抱いて頂ければ幸いである。

引用文献

- [1] Mark McHugh, Van Krukonis, "Supercritical Fluid Extraction", Butterworths, (1984)
- [2] 斎藤正三郎 監修, 超臨界流体の科学と技術, 三共ビジネス, (1996) など
- [3] Erdogan Kiran, Joan Brennecke, ACS Symp. Ser. 514, "Supercritical Fluid Engineering Science", (1993)
- [4] 超臨界流体高度利用特別研究会, ワーキンググループ活動成果報告書 No.1 (1991) 2, (1995), 3, (1999)
- [5] D.W. Matson, J. Fulton, R. Petersen, R.D. Smith, IEC. Res., 26, 325, (1987)
- [6] V. Krukonis, AIChE Ann. Meeting, SF, Nov. (1984)
- [7] T. Adschiri, M. Kanazawa, K. Arai, J. Am. Ceram. Soc., 75, 1019 (1992); ibid 75, 2615 (1992)

炭素材料をベースとした固体高分子形燃料電池用電極触媒の開発

Development of Catalytic Electrode Carbons for Proton Exchange Membrane Fuel Cells

尾崎 純一 (群馬大学)

Jun-ichi OZAKI (Gunma University)

1. はじめに

今、固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化を目指し、世界各国でその開発競争が進められている。筆者は、炭素材料の表面に酸素還元活性を与え、高価な白金の利用を極力抑えた、炭素をベースとする電極触媒の開発を目標に研究を進めている。

本稿では、はじめに炭素材料およびその電気化学的性質について解説し、ついで固体高分子形燃料電池における問題点を指摘した後、現在、筆者らが進めている、炭素をベースとした電極触媒開発に関する研究の一部を紹介する。

1.1 炭素の同素体

炭素原子は sp , sp^2 , sp^3 の 3 種類の混成軌道を取ることができる。これらの混成軌道を用いて形成される有機化合物の代表例が、それぞれアセチレン、ベンゼン、メタンである。一方、炭素の同素体もこの混成様式に対応して、3 種類が知られている。これらの同素体を図 1 に示す。 sp 混成軌道からなる同素体はカルピンと呼ばれ、三重結合と単結合が交互に配置した一次元炭素鎖が、図に示すような結晶を形成している。しかしながら、この同素体は合成が困難であり、物性の解明には至っていない。 sp^2 混成軌道からなる同素体は黒鉛であり、これは炭素六角網面が規則的に積層・配列した構造である。 sp^3 混成軌道からなる同素体は、装飾用や工業用として重要な材料であるダイヤモンドである。

一般に炭素と言うとき、この言葉は少なくとも二つのことを意味している。ひとつは元素としての炭素を、そしてもう一つは、活性炭や炭素繊維などに代表される炭素材料を、それぞれ指している。炭素材料学会編のカーボン用語辞典によると、炭素材料とは「黒鉛およびその類似体」とされており、これは sp^2 混成炭素を主体とした材料といえる[1]。

1.2 炭素化過程における物性の変化

炭素材料の調製は、いわゆる炭焼きと同じ原理で、

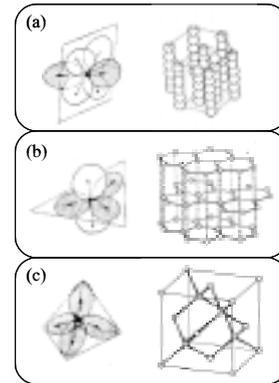


図 1 炭素の結合様式と同素体。(a) sp 混成, (b) sp^2 混成, (c) sp^3 混成。

原料となる有機化合物を、酸素を断った不活性雰囲気下で、加熱処理することにより行われる。図 2 に炭素化過程における反応の概要を示す[2]。有機物を加熱していくと、化学的に不安定な部分が、揮発分として脱離していく。残った固体もしくは液体生成物中では、有機分子の環化、芳香族化が起こる。さらに高温で処理すると、芳香環の拡大、および異種原子の脱離が起こり、次第に六角網面を基本とする炭素主体の固体生成物が形成される。この過程は、1000 ~ 1500 までに完結し、炭素化過程と呼ばれている。得られた固体生成物を、それ以上の高温で熱処理すると、六角網面の整列が起こり、3000 程度で黒鉛構造に近づいていく。この過程を黒鉛化過程と称する。

さて、炭素化過程では、芳香環の拡大、つまり、電子系の拡大が起こり、これを反映して、炭素化

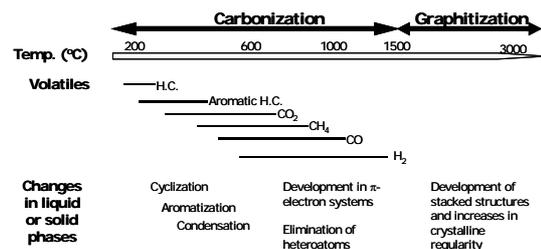


図 2 有機物の加熱における化学・物理変化

物の電子物性が大きく変化する．例えば，電気伝導度は，1000 までの加熱により，約 10 桁もの変化を示す[3]．つまり，炭素化過程の間に，電気的性質は絶縁体から半導体領域を経て，導電体までの広い範囲で変わっているのである．このことは，炭素化反応をうまく制御することにより，望みどおりの物性を持った炭素材料を調製できることを意味している．これが筆者の炭素材料研究の出発点である．

1.3 鉄の添加による炭素の物性制御

炭素化を制御する一般的な方法として，温度，圧力，加熱雰囲気などの操作条件を変えること，出発原料を選ぶこと，が挙げられる．筆者らは炭素化反応に対する触媒効果を期待して，鉄化合物を原料有機化合物に加えて加熱する手法の検討を行ってきた．その結果，1) 400 という低温の熱処理にもかかわらず，得られた炭素化物の電気伝導度が 8 桁も増大すること[4] 2) 鉄共存下で調製した炭素と n 型シリコン基板からなるダイオードの光応答が増加し，またその高周波特性も向上すること[5] 3) フェリシアン化物イオンの酸化還元反応に対し，高い電極触媒効果が得られること[6]，を明らかにしてきた．特に 3)においては，得られた炭素の電子移動速度が，白金のそれに匹敵しており，この事実が，本稿で紹介する，炭素をベースとした酸素還元触媒への展開の直接のきっかけとなっている．

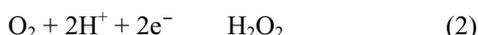
1.4 炭素材料の電気化学的性質

炭素材料は，高い導電性と化学的安定性を持つため，電極材料として用いられてきた．そして，その電気化学的性質については多くの検討がなされている．ここでは，特に炭素表面上における酸素還元反応について，既往の研究を紹介する．

酸素還元反応には，次式に示す二つの反応様式がある．式(1)は 4 電子反応経路であり，酸素から水を生じる反応経路である．



一方，式(2)は 2 電子反応経路であり，過酸化水素が生成する反応である．



どちらの反応が起こりやすいかは，用いる電極の種類により決定される．白金では 4 電子反応経路が，そして残念ながら炭素材料や金では 2 電子反応経路が優勢であるといわれている[7]．

黒鉛結晶は図 1 に示したように六角網面が積み重なった構造であり，その積層方向は弱いファン・デ

ル・ワールス相互作用で，そして網面内は強固な共有結合で，それぞれ結合されている．この結晶の異方性にに基づき，黒鉛の表面は二つに分類できる．即ち，六角網面に平行な表面と，それに対して垂直な表面の二種類であり，前者をベール面，後者をエッジ面と呼ぶ．エッジ面は共有結合を切断することにより得られる表面であるため，ファン・デル・ワールス結合を切断して得られるベール面に比べて不安定であり，化学的な反応性は高い．酸素還元活性は，エッジ面上での反応がベール面上での反応に比べて 2~3 桁活性の大きいことが報告されている[8]．

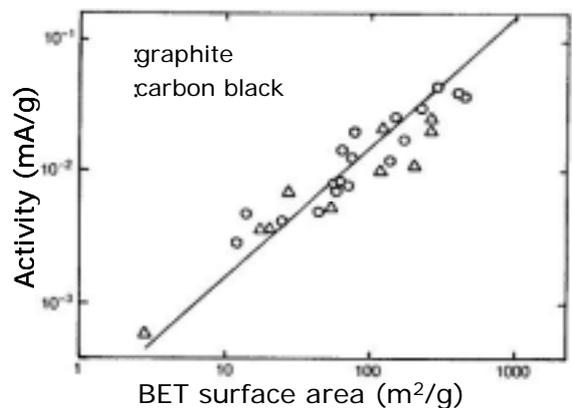


図 3 酸素還元活性と BET 比表面積の関係

炭素材料の重要な物性のひとつに，窒素吸着より求めた BET 比表面積がある．図 3 は黒鉛材料，カーボンブラックを電極としたときの酸素還元活性を，BET 比表面積に対して示したものである[9]．これより，黒鉛材料とカーボンブラックの活性は比表面積に比例していることが分かる．また，炭素表面，特にエッジ面には酸素が吸着し，これにより図 4 に示したような含酸素表面官能基が形成される．これらのうち，キノン基が酸素還元反応を促進することが報告されている[10]．

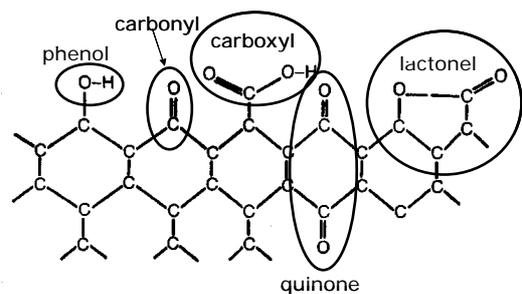


図 4 炭素表面官能基の種類

以上をまとめると、炭素は2電子反応しか起こさず、その活性は比表面積、結晶面、および表面官能基という因子に支配されるといえる。特に、2電子反応しか起こらないという点は問題である。しかし、これらの研究は、既存の炭素材料について検討されたものである。上に解説した、炭素材料の多様な物性を考慮すると、その調製を工夫することにより、4電子反応を起こす炭素材料を調製できる可能性があると考えている。

2. 固体高分子形燃料電池

燃料電池は、一方の電極で水素酸化反応 ($\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$)、もう一つの電極で酸素還元反応 ($\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) を行い、連続的に燃料である水素と、酸化剤である酸素または空気を供給して、電気エネルギーを外部に取り出す装置である。現在、自動車用および定置用として注目を浴びているのは、固体高分子形燃料電池 (PEFC) である。これは電解質としてプロトン伝導性を持つ高分子膜 (例えばナフィオン® 等) を用い、80 程度の低温で作動するというものである。

PEFC の構造を図 5 に示す。心臓部は、水素酸化と酸素還元を行う電極触媒によりプロトン交換膜を挟み込んだ部分で、これを膜電極接合体 (MEA) と称する。さらに、その両側を、反応ガスの拡散と水分のコントロールを行うガス拡散層と、ガスの流路の刻まれたバイポーラプレートの二層により挟み込むことにより、単セルが構成される。実際の用途には、これを多数積み重ねたスタックとして供される。これら、PEFC の重要な要素であるプロトン交換膜、電極触媒、そしてバイポーラプレートのコストが高いことが問題となっており、この低下が、PEFC 実用化の上で、重要な課題となっている。

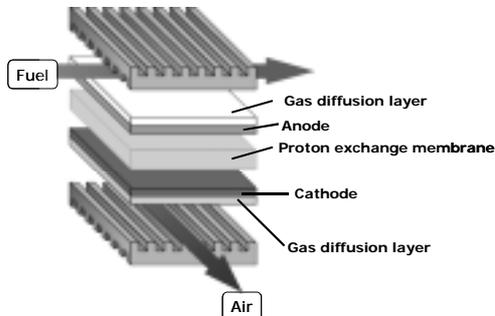


図 5 固体高分子形燃料電池の構成

さて、酸素還元反応は、水素酸化反応に比べて非常に遅い。これを補うために、重量比で 50%もの白

金を 2~5nm の粒子径で、炭素担体に高分散担持した触媒が用いられている。このような多量の白金の使用がコスト低下を妨げる一因になっている。また、白金の埋蔵量は限られており、現状の技術レベルでは燃料電池自動車 2.8 億台分の白金しかないといわれている [11]。そこで、白金使用量を少なくした高活性触媒、もしくは全く白金を用いない非白金系触媒の開発が、重要な課題となっている。白金使用量の低減法として、白金触媒の効率的な担持法 [12] や合金化による高性能化 [13] が検討されている。その一方で、金属硫化物、金属酸化物、そしてフタロシアニンに代表される N_4 -錯体系など、非白金系触媒の開発も、次世代技術としての期待がもたれ、研究が進められている [14]。

3. 金属添加による炭素の活性化

1.3 で述べたように、筆者らは、鉄化合物と有機物の混合物より調製した炭素材料が、電気化学的に活性であることを見出している。このようにして得られた炭素の透過型電子顕微鏡像の一例を、図 6 に示す。鉄を加えることにより、大きさ数 10nm の炭素網面からなるシェル状構造が生成している。

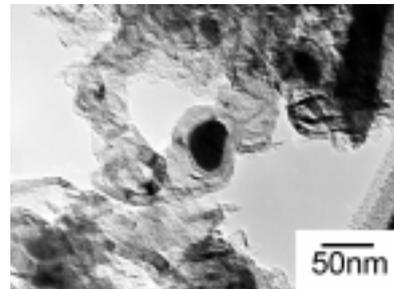


図 6 フェロセンの作用により生成したナノスケールのシェル状炭素構造。図中、黒色の部分は凝集した鉄化合物である。

フェリシアン化物イオンの酸化還元反応の場合、その活性はシェル状構造の発達程度に伴い増大した [6]。しかし、酸素還元反応の場合、その活性が最大となるような、最適なシェル構造の発達程度の存在が示された。その前後において、炭素表面の性状が異なっているようである [15]。

さらに、金属の種類とその導入形態が、炭素化物の構造および酸素還元活性に及ぼす影響を検討するために、リチウム、マグネシウム、鉄、コバルト、各金属のアセチルアセトナート錯体 (AA)、およびフタロシアニン錯体 (Pc) を添加したフラン樹脂炭を調製した。遷移金属系錯体を導入し得られた炭素

は、ナノシェル構造をとり、AA系に比べて、Pc系の方が小さなシェルから構成されている。一方、典型金属系錯体を導入した炭素は、無定形の構造を示した。以上のように、生成する炭素の構造は導入する金属の種類、および導入形態依存することが分かった[16]。

Pc錯体を導入して調製した炭素材料について、その酸素還元活性を図7に示す。CoPc系試料がもっとも高い活性を示した。この活性が、表面に残った金属に起因するものではないことは、同図にAWで示したCoPc系とFePc系の酸洗試料の活性が、元の試料の活性に比べて増加していることから明らかである。また、X線光電子分光法により酸洗前後で試料表面の元素組成を検討したところ、酸洗後には全く金属種は認められなくなっており、これは、得られた活性が、表面に存在する金属種由来ではないことを支持している[17]。

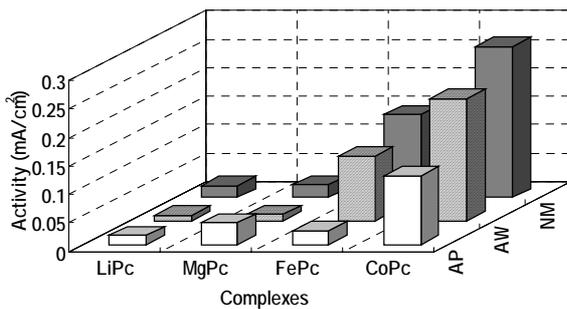


図7 各種フタロシアニンを導入して調製した炭素の酸素還元活性。AP:調製試料, AW:酸洗い試料, NM:微粒子化試料。

我々の手法は、金属錯体を有機物に均一に混合する手法であるため、ナノスケールのシェル状構造は、炭素粒子中に均一に発生していると考えられる。もしも、この炭素粒子をシェル状構造と同程度の大きさにまで粉砕すれば、より多くの活性点が露出し、活性は増大するであろう。最近、図8に示すように、被粉砕物のスラリーに150 MPaの高圧をかけ、それを単結晶ダイヤモンド製ノズルより噴出させ、微粒子化する装置が開発された(吉田機械興業製 ナノマイザー)。これを用いて微粒子化を行ったところ、炭素粒子を35 nmまで微粒子化することができた。そして、電極活性は図7にNMで表したように、シェル状構造を含むFePc系およびCoPc系試料で飛躍的に向上した[18]。

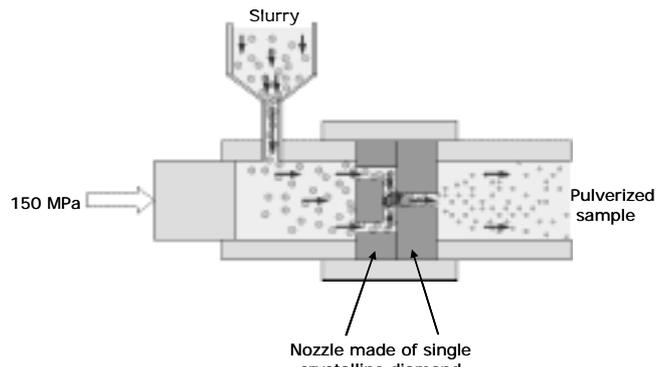


図8 高圧を用いた微粒子化装置の概念図。

4. 結言

筆者は、これまで白金触媒の担体という「黒子」に徹してきた炭素材料に、触媒という「主役」を割り当て、炭素材料を表舞台に引き出すことを目論んでいる。本稿では、紙数の都合上紹介することはできなかったが、炭素材料に窒素やホウ素をドーピングすることにより、酸素還元活性が増大することも見出している[18]。今後、これら炭素系触媒の反応機構を明らかにすることにより、炭素の酸素還元活性を支配する因子を抽出し、炭素をベースとした触媒の設計および調製法の確立を行っていきたいと考えている。

謝辞

本稿の内容は平成14年度 NEDO 固体高分子形燃料電池要素開発等「酸素還元能を持つ炭素材料とその微粒子化技術の研究開発」の委託を受けて行ったものを含む。炭素材料の可能性にかけてご援助くださった NEDO に感謝いたします。

参考文献

- [1] 炭素材料学会カーボン用語辞典編集委員会編, カーボン用語辞典, アグネ承風社 (2000)。
- [2] 大谷杉郎, 真田雄三, 炭素化学の基礎, p.19, オーム社(1980)。
- [3] Carmona, F, Delhaes, P., J. Appl. Phys., **49**(1978) 618.
- [4] Ozaki, J., Watanabe, T., Nishiyama, Y., J. Phys. Chem., **97** (1993)1400.
- [5] Ozaki, J., Nishiyama, Y., J. Appl. Phys., **77** (1995) 4459.

- [6] 尾崎純一, 三井正彦, 西山諄行, 炭素, **1994**, 268-274; Ozaki, J., Mitsui, M. Nishiyama, Y. Carbon, **36** (1998)131; Ozaki, J. Mitusi, M., Nishiyama, Y., Cashion, J. D., Brown, L. J., Chem. Mat., **10**(1998)3386; Ozaki, J., Nozawa, K. Oya, A. Chem. Lett., **1998**(1998) 573.
- [7] Kinoshita K. Carbon -Electrochemical and physicochemical properties, New York: Wiley 1988, pp. 226-292.
- [8] Morcos I, Yeager E. Electrochim Acta **5**(1970)953.
- [9] Appleby, J. A. Marie, J. Electrochim. Acta, **24** (1979)195.
- [10] Zhang, Z. W., Tryk, D. A., Yeager, E. B. in Proceeding of the Workshop on The Electrochemistry of Carbon, S. Sarangapani, J. R. Akridge, and B. Shumm, Eds., The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1984, p. 158.
- [11] 風間智英, 図解 燃料電池のすべて (本間琢也監修), 工業調査会, 2003, p.14.
- [12] 安田秀雄, 山地正矩, 工業材料, 51(4) (2003) 55.
- [13] Toda, T., Igarashi, H., Watanabe, M., J. Electroanal. Chem. **460** (1999)258.
- [14] Lalonde, G. Cote, R. Tamizhmani, G. Guay, D. Dodelet, J. P. Dignard-Bailey, L. Weng, L. T. Bertrand, P. Electrochim. Acta **40**(1995), 2635.
- [15] 尾崎純一, 野澤清美, 古市敦哉, 大谷朝男: 第30回 炭素材料学会年会要旨集, 2003.12(千葉), p.36-37.
- [16] 古市敦哉, 尾崎純一, 大谷朝男: 第30回 炭素材料学会年会要旨集, 2003.12. (千葉), p.30-31.
- [17] 尾崎純一, 古市敦哉, 大谷朝男: 第30回 炭素材料学会年会要旨集, 2003.12.(千葉), p.304-305.
- [18] 穴原知典, 尾崎純一, 大谷朝男: 第30回 炭素材料学会年会要旨集, 2003.12. (千葉), p.28-29.
-

MR 流体とその工学的応用

Magneto-Rheological Suspension and Its Engineering Applications

中野 政身 (山形大学)

Masami NAKANO (Yamagata University)

1. はじめに

「液体の流れやすさや流れにくさ（粘性）および硬さや柔らかさ（弾性）などのレオロジー特性を磁場によって自由に制御することができたら、どのようなことが実現できるだろうか?」。このような問いを我々に投げかけてくれる液体が MR (Magneto-rheological) 流体である。MR 流体は外部磁場の作用のもとでそのレオロジー特性が変化する現象、いわゆる MR 効果を示す機能性流体であり、特にその粘性（厳密には降伏せん断応力）を数ミリ秒のオーダーで電氣的に可逆的かつ連続的に変化させることができる特筆すべき機能をもっている。そのため、この機能性流体を各種機械装置に応用することによって、従来になかった様式の敏速で簡便な制御用機器および機械制御システムの実現の可能性がある。最近開発されている MR 流体の高性能化と信頼性の向上とあいまって、ダンパ、バルブ、ブレーキ、クラッチ等の機械要素への応用だけでなく、その適用分野も自動車、ロボット、福祉機械、一般産業用機械、土木建築機械、建築構造物、橋梁、宇宙構造物など多方面に広がってきており、実用化の気運も高まってきている[1-3]。

本解説では、まず MR 流体の磁場印加によるレオロジー特性の基本的な変化とその機能発現メカニズムを概観し、その特性を活かした各種の工学的な応用例を紹介するとともに、これらの機能性流体を用いることによる効果や特徴などについて言及する。

2. MR 流体のレオロジー特性と電気・力変換機構

2.1 機能発現機構とレオロジー特性

MR 流体は、シリコンオイル等の油を分散媒としその中にミクロンサイズの強磁性体粒子を高濃度で分散させたコロイド溶液であり、磁場の印加によってそのレオロジー特性を急速かつ可逆的に変化できる機能（MR 効果）を示す。例えば、このような MR 流体中に平行な二つの磁極を入れて磁極間に磁

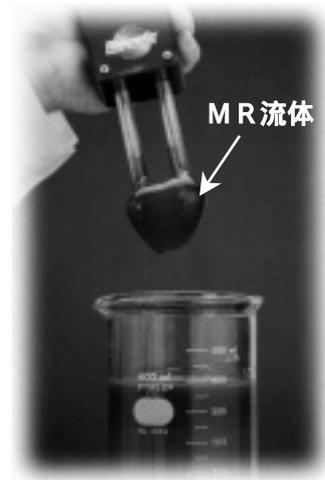


図 1 磁極間の MR 流体の挙動（米国 Lord 社のカタログから引用）

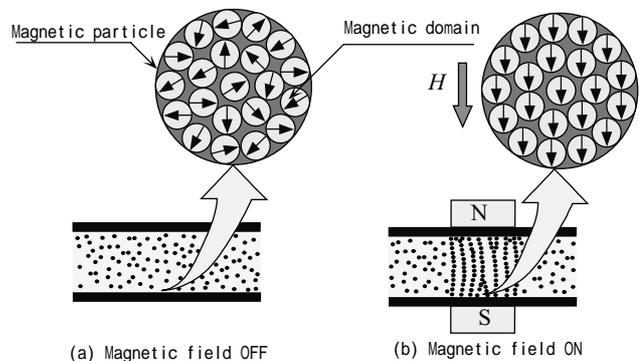


図 2 MR 流体の機能発現メカニズム

に変化できる機能（MR 効果）を示す。例えば、このような MR 流体中に平行な二つの磁極を入れて磁極間に磁場を印加して持ち上げると、図 1 のように MR 流体が磁極間に固まって付いて上がる。すなわち磁場下では固体のように振舞う。その後、磁極間の磁場を切ると MR 流体に流動性が生じ流れ落ちる。このように、MR 流体は磁場によって液体から固体へ、そして固体から液体へと相変化を示す。このような MR 流体の MR 効果は、基本的には、図 2 に示

すように強磁性体粒子中でランダムな方向を向いていた磁区が磁場の印加によって磁界方向に様に配向することにより粒子が磁気的に分極することに基づいている。すなわち、磁気分極した粒子同士が互いに引き付け合い結合して鎖状につながり多数のクラスター（架橋構造）を形成して磁極間を物理的に結合し、流動方向に対して直角に形成するこれらのクラスターが流動抵抗となり、見かけ上流体の粘性が増加したように振舞うのである。

一方、このように外部磁場に反応する機能性流体として磁性流体が古くから知られているが、MR 流体との最も大きな違いは分散粒子径である。一般的な磁性流体の粒子径は5～10nm程度であるのに対してMR 流体では1～10μm程度であるため、この粒子径のオーダーの違いからMR 流体では磁性流体に比べ著しく大きなMR効果が得られる。また、両流体とも粒子同士の凝集や分散安定性の向上のため分散粒子表面に界面活性剤等を吸着させているが、磁性流体ではブラウン運動によって分散粒子が様に分散するのに対して、MR 流体では分散粒子の比重が大きいため粒子の沈降が問題となる。この対策として、常に弱磁場を印加するなどして粒子沈降を抑制する提案がなされている。

以上のように、MR 流体は基本的には分散粒子の磁気分極によるクラスター構造の形成に起因してレオロジー特性が変化することから、磁場の印加により降伏せん断応力 τ_y が誘起されるピンガム流体に類似した挙動を呈する。その誘起せん断応力 τ_y は次式のように表せる[4,5]。

$$\tau_y = \mu \dot{\gamma} + \tau_y \quad (1)$$

ここで、 μ は流体の無磁場時の基底粘度、 $\dot{\gamma}$ はせん断速度である。図3には、MR 流体の代表的な磁気レオロジー特性（せん断速度 $\dot{\gamma}$ - せん断応力 曲線）を示す。せん断応力 τ はせん断速度 $\dot{\gamma}$ に大きく

依存せず、磁場によって可変な降伏せん断応力 τ_y で決まるほぼ一定な値を示す。これはMR 流体の降伏後の特性であるが、降伏以前のMR 流体の微小変形領域では、図4に示すように弾性的な特性を呈し流体歪みにほぼ比例してせん断応力は増大する。その複素弾性率 G^* は磁場強度 H と歪み振動周波数 f に依存する。この降伏以前と降伏後の遷移が起こる歪み振動領域でのMR 流体の挙動は、クラスターの崩壊と形成が関与するため動的な粘弾性特性が関

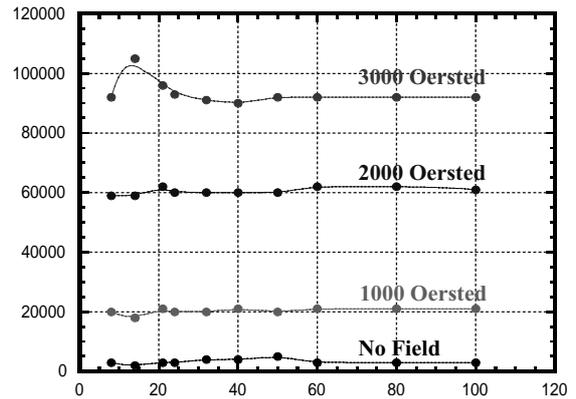


図3 MR 流体のせん断速度 - せん断応力曲線

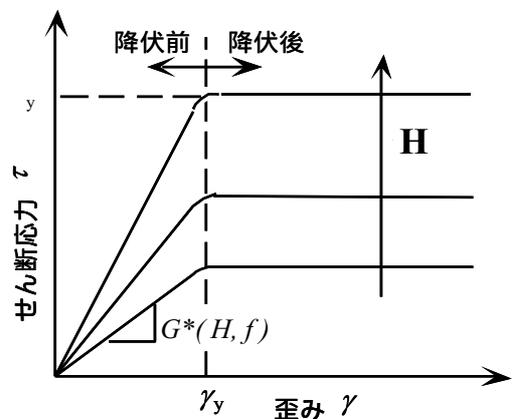


図4 MR 流体の流体歪み - せん断応力曲線

表1 MR 流体と粒子分散系 ER 流体の性能比較

	MR Suspension	ER Suspension
Max. Yield stress	50-100 kPa	2-5 kPa
Max. Field	~ 250 kA/m	~ 4 kV/mm
Viscosity	0.1-1.0 Pa · s	0.1-1.0 Pa · s
Operable Temp. Range	-40 to +150	+10 to +90 (ionic, DC)
Response Time	<milliseconds	<milliseconds
Density	3-4 g/cm ³	1-2 g/cm ³
Power supply	2-25V/1-2A	2-5kV/1-10mA

与するため動的な粘弾性特性として非常に興味深い[6]。

MR 流体とほぼ同様な特性を示す機能性流体として、電場に反応して降伏せん断応力の発生する粒子分散系の ER (Electro-rheological) 流体があるが[7]、MR 流体に比べて誘起せん断応力が 1/10 から 1/50 と小さく、使用できる温度範囲も狭い。表1には、MR 流体と粒子分散系 ER 流体の最大誘起降伏せん

断応力，応答時間，流体密度，使用できる温度範囲などの性能を比較して示す．

2.2 電気・力変換機構

MR流体を活用して，電気信号（磁場）から機械的な力あるいは流体圧力へ変換する基本的な構造は，移動壁面構造をもつせん断流れモードとスクイーズ流れモード，さらに固定壁面構造をもつ圧力流れモードの三通りに大別される[8]．他に上記三種類の流れモードが混在する変換機構も考えられるが，その原理は基本的にはこれら三種類の流れモードで理解される．

(a)せん断流れモード[9] MR流体を充填した二つの平板間に平板接線方向への相対運動によってせん断流れが生じ流体のせん断抵抗によって平板に運動方向と反対方向に抵抗力 f_d が作用する．平板間への垂直印加磁場の強さによってMR流体のせん断抵抗が変化し抵抗力が可変となる．平板の長さ L_c 及び幅 B とすると，その抵抗力 f_d はつぎのように求まる．

$$f_d = L_c B \quad (2)$$

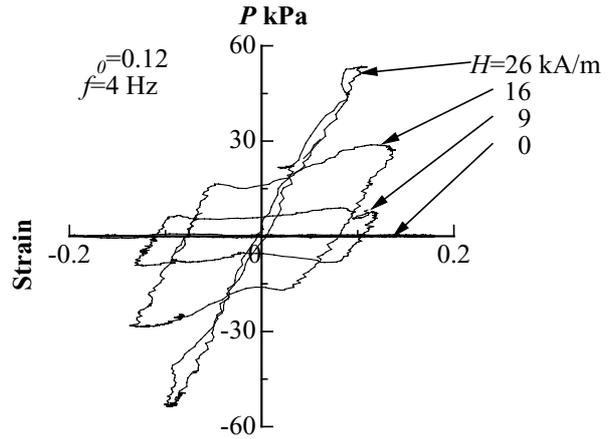
すなわち，このような流れモードで抵抗力を大きく可変するには，平板面積を大きくしかつせん断応力の変化幅の大きな流体を用いる必要がある．この流れモードが利用される機械要素として，並進・回転型ダンパ，クラッチ，ブレーキなどがあげられるのである．

(b)スクイーズ流れモード 二つの平板間の平板法線方向への相対運動によって平板間のMR流体に流入のスクイーズ流れが生じ，運動している平板に運動方向と反対方向に抵抗力が発生する．平板間への垂直印加磁場の強さによってその流動抵抗が変化し平板面へ加わる抵抗力が可変となる．この流れモードは微小振動に対するスクイーズダンパとして利用される．

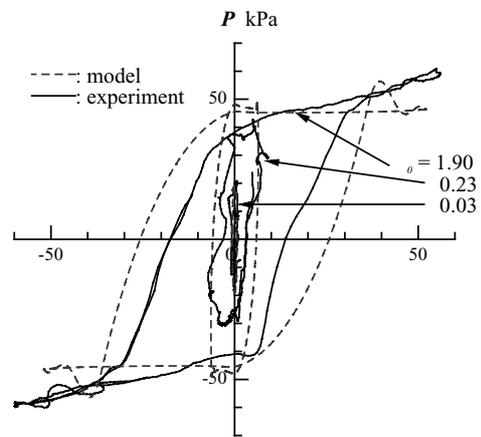
(c)圧力流れモード 固定された平板間流路(L_c :長さ， h :間隔)をMR流体が流れる場合には，平板に垂直な印加磁場の強さによってその流動抵抗を可変し流路間の圧力降下 P を変化させることができるため，全く可動部のないバルブを構成することができる．磁場印加によるこの圧力降下成分 P_{MR} は，降伏せん断応力を σ_y とすると，次のようになる[4-6]．

$$P_{MR} = (2 \sim 3L_c / h) \sigma_y \quad (3)$$

この流れモードはバルブとして応用され，MRバルブを活用したダンパ，MR流体を作動媒体とする液圧システム，及び磁性を有する薬粒子を封入したマイクロカプセルを用いた生体内ドラッグデリバリーシ



(a) 流体歪 - 有効差圧 P ヒステリシスループの磁場強度 H による変化



(b) 流体歪速度 $\dot{\epsilon}$ - 有効差圧 P ヒステリシスループの流体歪振幅 σ_0 による変化 ($H=16 \text{ kA/m}$, $f=4.3 \text{ Hz}$)

図5 MR流体の圧力流れモードにおける往復振動流の動的粘弾性特性

テムなどへの展開が研究されている．また，この圧力流れモードにおける往復振動流はダンパ内の振動流れに相当し，その動的粘弾性特性はダンパ設計時に重要となる．MR流体については，圧力流れモードでの往復振動流の動的粘弾性が測定され，その動的機械モデルが提案され測定結果を良く表している[4, 5]．その結果の一部を図5に示す．図5(a)は，比較的小さな流体歪振幅 $\sigma_0 = 0.12$ における流体歪-差圧ヒステリシスループの有効磁場強度 H に対する変化の様子を表している．磁場を印加した場合の全てのヒステリシスループに右上がり勾配をもつ降伏前弾性域が観察され， $H=16 \text{ kA/m}$ 以下ではその後降伏しほぼ一定のレベルを示し平行四辺形のループを呈する．磁場強度を増すに従い降伏前弾性域が拡大し，有効磁場強度

$H = 26 \text{ kA/m}$ を印加した場合には降伏現象はなく弾性域のみの挙動へ変化する様子が観察される。図 5(b) は流体歪振幅が比較的小さい場合の歪速度-有効差圧ヒステリシスループの実験値と計算値の比較を示す。

$\phi_0 = 0.03$ のときのループは降伏前の領域のみであるが、 ϕ_0 の増加に伴い降伏前、降伏後の 2 つの領域から成るヒステリシスループを描く。このように降伏前後の領域においても、提案したモデルは大略傾向を再現できている。

以上のように、MR 流体を応用したデバイス設計に際しては流れモード毎の MR 流体のレオロジー特性を把握することが肝要となる。

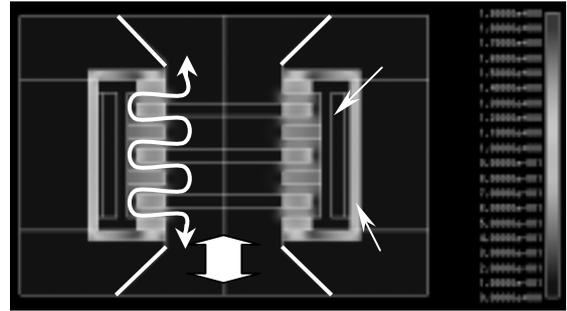
3. MR 流体の工学的応用

3.1 MR ダンパと除振制御

MR 流体は磁場印加により粘性が可変であるということから、最も有望な応用分野として、振動減衰装置とその各種分野の振動制御への適用があげられる。

図 6 には、開発した MR 流体(MRF-132LD, Load 社製)を用いた拮抗型ペローズダンパとそれに振動体とばねを装着した一自由度振動系の除振脚モデルを示す[10]。ダンパはメタルペローズからなる二つの伸縮液室を MR バルブで連結した構造をしており、両液室端(A_0 : 受圧面積)の受圧板を二本の摺動ロッドによって連結することにより両液室間の差圧 $P = P_1 - P_2$ に対応した減衰力 $f_d = A_0 P$ が発生する。MR バルブは、図 6 の上図に示すように、円筒状コイルの内部に層状に配置された 3 枚の環状プレートからなるジグザグ流路をもつ。バルブの絞り部に相当する流路に垂直に磁束を集中させて磁場強度を高めるため、その流路部分に磁性体を用い、円筒状コイルの外側には珪素鋼板で磁気閉回路を構成している。振動体の運動に伴ってペローズ液室の伸縮が生じ両液室内の MR 流体は MR バルブの電極間を往来する。その流動抵抗を電極間への印加電圧によって変化することができるので両液室間の差圧 P を変えることができる。ひいては MR ダンパの減衰力が MR バルブへの印加電圧によって可変となる。

図 7 には、拮抗型 MR ペローズダンパを用いた一自由度振動系の除振脚モデルに対する除振性能を示す[10]。これは、スカイフック制御則の概念に基づいて MR ダンパの MR 効果により可変な減衰力を除振したい物体の速度フィードバック信号に比例して変化するようにした減衰力可変ダンパとしての適用例である。具体的には、振動体の絶対速度 dx_m/dt を検



ジグザグ流路をもつ MR バルブの磁場解析による磁束密度分布(印加電流 $I = 1.0 \text{ A}$)

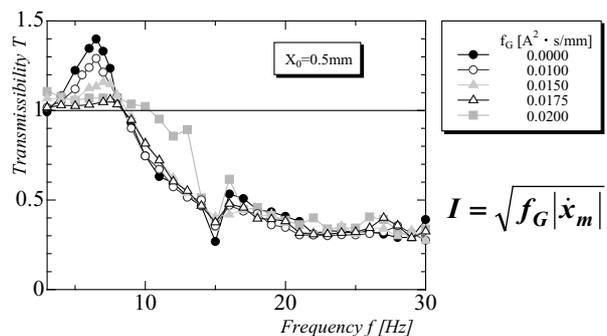
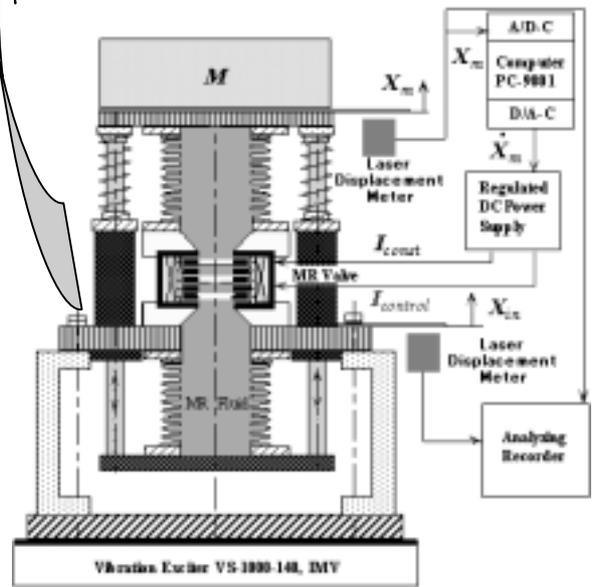


図 7 MR ダンパによる一自由度振動系除振脚モデルの除振性能(振動体速度フィードバック制御)

である。具体的には、振動体の絶対速度 dx_m/dt を検出しそれに比例した電圧の絶対値の平方根を MR ダンパへの印加電圧とすることにより実現できる[11]。フィードバックゲイン f_G を大きくするに従い共振周波数帯域で顕著な除振効果がみられ、しかも、他の高い周波数帯域では振動伝達率をほとんど上昇させることがなく、良好な制振性能を示す。しかし、 f_G

が大きくなりすぎる ($fG = 0.02$) と振動伝達率が高周波数帯域で若干上昇する傾向があり、最適な fG が存在することが分かる。なお、定電流印加時には、印加電流値の増加に伴い共振周波数付近の帯域では著しい除振効果が認められるが、10Hz より高い周波数域では逆に振動伝達率が上昇して好ましくない。いわゆる典型的な摩擦ダンパとしての除振特性を示す。

3.2 MRブレーキを用いたコイル巻線用張力制御

コイル巻線においては、線材の張力が変動して不適當であると断線や巻乱れの原因となる。このような巻線時の線材の張力を制御する装置としては、線材を巻き付けた回転プリーをメカ的な摩擦ブレーキやヒステリシスブレーキ等で制動する原理のものが多用されている。このように装置では、回転プリー・ブレーキ系の回転慣性が根本的な問題となり、線速の変動が著しい非円形コイルの巻線時には張力変動が避けられないなどの問題がある。図8には、この問題を根本的に解決するために開発された、線材がMR流体を含ませた多孔質体（スポンジ）の中を直接通過することによりMR流体の抵抗力を受けて制動する機構を採用したMRブレーキを示す[12]。図9に示すように、在来の線材をプリーに巻付けて制動するブレーキを用いたものに比して、張力変動を1/5程度に著しく抑制することができ、安定なコイル巻線を実現している。

3.3 モーター用MRブレーキ

モーターには、頻繁に変化する位置や速度の指令に対して追従できるよう、大きな加速度で起動及び停止する能力が要求される。特にインダクションモーターなどを用いた簡便なサーボ機構においては、停止時の回転慣性による停止位置のズレをなくする目的で電磁ブレーキが多用されている。

現在実用化されているモーター用の電磁ブレーキは機械的な摩擦式が主流で、制動力は摩擦係数により決定される構造であるため、ブレーキの鳴き音が発生する、制動トルクの経時変化が大きい、摩耗により寿命が短い、制動トルクが調整できない、摩耗粉が発生するなどの問題があり、改善が求められている。

図10には、以上のような現有技術のもつ問題点を解決する目的で開発した、MR流体を活用したモーター用電磁ブレーキを示す[13]。インダクションモーターの軸に直結された1つのディスク型ローターの両側の空隙 ($h=1\text{mm}$) にMR流体を充填し、その両空隙の外側に配置した2つの円環状コイルの電磁

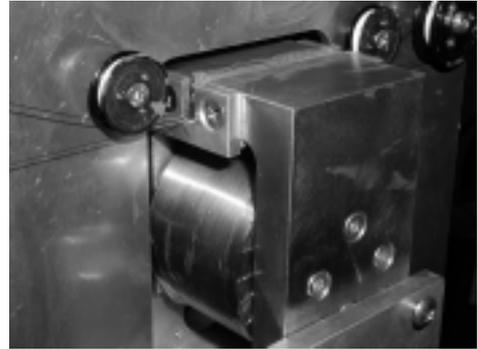
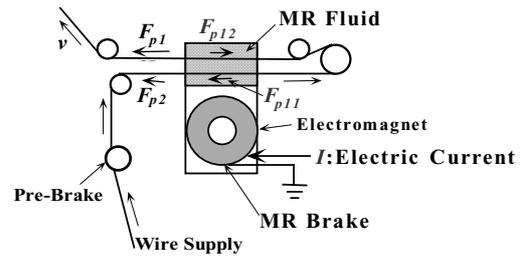
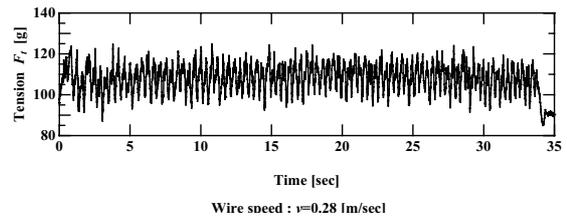
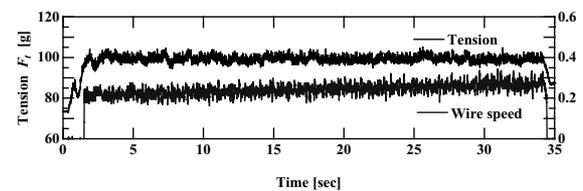


図8 コイル巻線用張力制御装置のMRブレーキ



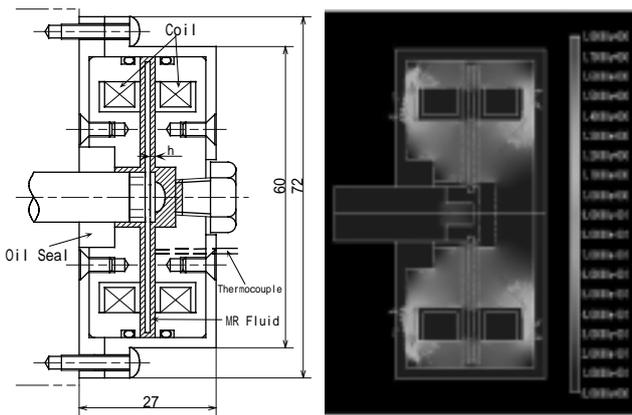
(a) 在来のプリー・メカブレーキ系



(b) 開発したMR流体ブレーキ系

図9 在来品と開発した張力制御装置によるコイル巻取り時の張力変動の比較

石によってMR流体に磁場を印加して、ブレーキローターに制動トルクを与える構造となっている。このMR流体ブレーキの発生制動トルクは、回転速度やMR流体の温度にはほとんど依存せず、印加電流によって変化できる。0.35 A 印加時に約 1.0 Nm のトルクが発生し、小型モーター用ブレーキとしては十分な制動トルクが確保できている。また、モーターのブレーキング性能の指標であるモーターの停止時間も、図11に示すように、印加電流の増加に伴って短くなり、0.35 A 印加時に 0.05 ~ 0.06sec の停



(a)モーター用MRブレーキ (b)磁場解析結果
 図 10 MR流体を用いたモーター用電磁ブレーキ

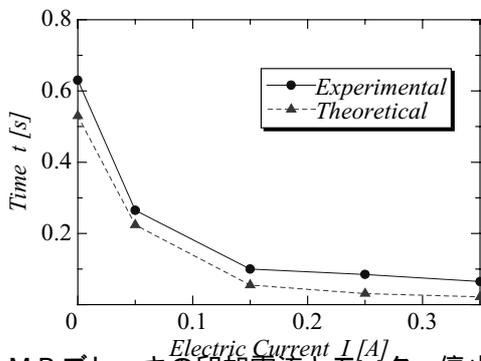


図 11 MRブレーキの印加電流とモーター停止時間との関係

止時間と0.065secの始動時間が得られ、在来の市販されているメカ的な電磁ブレーキ付モーターの停止・始動時間を上回る性能が得られた。以上のように、鳴き音がなく、モーターの寿命時間内で保持力を保証し、かつ使用者側が制動トルクを調整可能で、磨耗粉も発生しないMR流体を活用したモーター用電磁ブレーキを実現している。

4. おわりに

すでに、GMのCadillac's ImajにMR流体を用いたショックアブソーバーを使ったセミアクティブサスペンションシステムが搭載されるなど、実用化の

事例が様々な分野で実現されてきている。今後とも、MR流体のもつ機能と特徴を活かした軽量コンパクトで、コストパフォーマンスや信頼性の高い独自の機械装置の開発や制御技術の進展に期待したい。

参考文献

- [1] 中野政身編集，機能性流体の油空圧機器への応用に関する研究委員会研究成果報告書，日本フルードパワーシステム学会(2002) 227.
- [2] Nakano, M. and Koyama, K. editors, Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and their Applications, World Scientific Publishing (1998) 893.
- [3] Bossis, G. editor, Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, World Scientific Publishing (2002) 884.
- [4] Yamamoto, H. and Nakano, M., J. of Intelligent Material Systems and Structures, **10-8** (1999) 658.
- [5] 山本英樹，中野政身，日本レオロジー学会誌，**30-2** (2002) 83.
- [6] Nakano, M. et al., Int. J. of Modern Physics B, **13-14, 15&16** (1999) 2068.
- [7] Nakano, M. et al., Int. J. of Modern Physics B, **10-23 &24** (1996) 2965.
- [8] 中野政身，計測と制御，**34-9** (1995) 707.
- [9] Satou, A. and Nakano, M. et al., CD-ROM Proc. of Fifth JSME-KSME Fluids Eng. Conf., No.02-207, (2002) 1.
- [10] 中野政身，他2名，JFPS平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003) 78.
- [11] 中野政身，伊藤一寿，特許第2677515号(1994)
- [12] 中野政身，他3名，JSME第79期流体工学部門講演会CD-ROM版講演論文集，No.01-3 (2001) Paper No.508.
- [13] 中野政身，菅又祥丈，第52回理論応用力学講演会講演論文集(NCTAM2003) (2003)517.

シリカ被覆無機ナノ粒子から生まれる新しい触媒

Novel Catalysts Derived from Silica-Coated Nanoparticles

岸田 昌浩 (九州大学)

Masahiro KISHIDA (Kyushu University)

1. はじめに

近年、ナノ粒子の研究が盛んに行われており、物理的形狀が新しいナノ粒子も多数見出されてきている。筆者らも、以前から無機ナノ粒子をナノスケール厚さのシリカで被覆した新しいナノ粒子の調製に成功している。シリカは構造の制御や表面の化学修飾が容易であるため、シリカ被覆ナノ粒子には様々な工学的応用の可能性を見出すことができる。筆者は、その潜在能に惹かれて、触媒、磁性ビーズ、希土類磁石、燃料電池、固定化酵素、さらにバイオセンサーへ向けた展開と研究を広げているところである。

その中で、ここではシリカ被覆ナノ粒子の触媒としての応用について述べたいと思う。新材料のテーマに触媒ではマッチングが悪いと思われるかもしれないが、物理的構造があまり重要視されてこなかった触媒研究においてこそ、シリカ被覆という新しい物理構造が興味深い結果を引き出せるものと考えている。また、本文で触れることはできないが、触媒反応では熱移動現象も非常に重要な役割をしている。そこで、新しい材料であるシリカ被覆無機ナノ粒子の調製から微細構造制御について述べた後、そのナノ粒子の高い触媒能について述べることにする。

2. シリカ被覆無機ナノ粒子の調製

1996年に Liz-Marzán ら^[1]が、金ナノ粒子をシリカで均一にコーティングすることに成功して以来、種々の金属ナノ粒子をシリカで被覆する報告がなされている。我々も、Marzán らとは異なる方法で、種々の無機ナノ粒子をナノスケール厚さのシリカで均一被覆することに成功している。図1に我々が調製したシリカ被覆無機ナノ粒子の例を示す。

調製法の詳細については既報^[ii-iv]を参照していただきたいが、我々の調製法では、金属前駆体のナノ粒子を液相中でシリカ被覆し、液相から試料を取り出した後に熱処理を行って中心の前駆体粒子を金属

状態あるいは金属酸化物状態にする点に特徴がある。金属ナノ粒子よりもはるかに凝集しにくい前駆体ナノ粒子を用いることによって、シリカ被覆過程でも凝集することなく高密度状態での被覆が可能となっている。具体的には、調製溶液 1cc 当たり 0.2~0.3g の被覆ナノ粒子を得ることができる。このように粒子の生産性を向上させることは、ナノ粒子を工学的に応用する場合には非常に重要と考えられる。

また、種々の前駆体ナノ粒子のシリカ被覆を検討してきたため、金属ナノ粒子以外の無機ナノ粒子も容易にシリカ被覆できるようになった。図1に示したマグネタイトナノ粒子をはじめ、遷移金属、希土類、さらにフェライト(図2)などの複合酸化物ナノ粒子のシリカ被覆にも成功している。Fe-Co フェライトではシリカ被覆後の磁気特性を調べ、Co/Fe の仕込み組成に対する飽和磁化および保磁力を求めた。Fe-Co 系では Co/Fe 比=0.2~0.3 で保磁力が最大となることが知られており、図2でもその傾向が認められる。したがって、ほぼ仕込み比通りの Fe と Co からなるナノ粒子がシリカ被覆されており、Fe と Co が別々の粒子となって被覆されているわけではないことが示された。

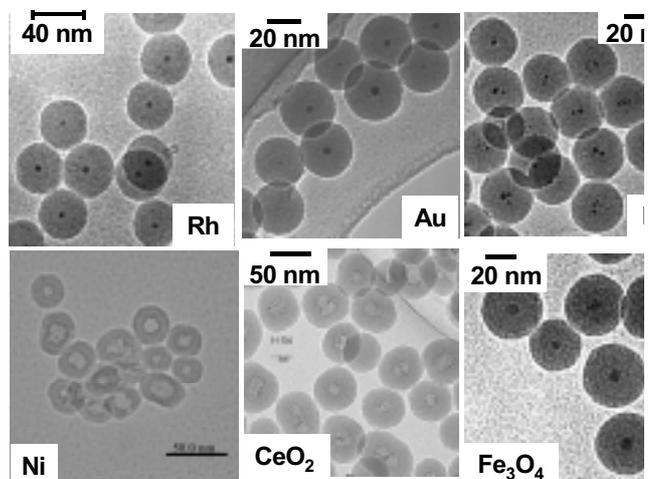


図1 種々のシリカ被覆無機ナノ粒子の TEM 写真

金属以外のナノ粒子の被覆において注意しなければならない点は、粒子がコーティング中に溶出する可能性があることである。図1のNiおよびCeO₂の場合には、中心に空洞が形成されており、金属はシリカ内壁に付着した状態である。これは、前駆体ナノ粒子がシリカ被覆過程で溶出したことを示している。しかし、これらの粒子も、シリカ被覆過程に要する時間を短くしたり、溶液のpHを制御するなどの方法で、空洞のない被覆ナノ粒子とすることができる。

3. シリカ被覆ナノ粒子の構造制御

ナノ粒子を工学的に利用しようとする場合、その構造を制御しておくことは重要である。シリカ被覆ナノ粒子の場合、シリカ被覆層の厚さ、細孔径、および金属ナノ粒子の大きさが制御すべき因子となる。

シリカ層の厚さは、金属塩に対するシリカ原料(ケイ酸エチル)の添加量を変化させることで容易に制御できる。図3は、Rh量を一定にしケイ酸エチルの添加量を変化させて調製したシリカ被覆Rhナノ粒子のTEM写真である。ケイ酸エチルの添加量を減らすとシリカ層厚さが38nmから8nmまで薄くなった。これ以上薄くすることも可能であるが、図3のように各粒子が孤立した状態ではなく、被覆粒子同士の凝集が顕著となる。

シリカ被覆層内の細孔径は空気焼成温度を変えることで制御可能である。ただし、ゼオライトのような結晶体ではなくアモルファスシリカであるため、細孔径分布はシャープにはならない。図4は、空気焼成温度を変えたシリカ被覆Ptナノ粒子の細孔径分布を示している。空気焼成温度を高くすると細孔容積が減少していることがわかる。これは熱収縮によってシリカ細孔が閉塞したためである。一方、平均細孔径は焼成温度を高くするほど大きくなった(7-10)。これは熱収縮による細孔の閉塞が小さい細孔ほど起こりやすいためと考えられる。その平均細孔径の変化はわずかではあったが、物質分離には適した細孔径であり、後述するようにこの細孔径の変化が物質分離能に大きく影響を及ぼす。

中心金属の粒子径制御はシリカ層の構造制御よりも困難である。シリカ被覆に必要な調製条件を定めると、中心金属粒子径を制御するための操作因子が著しく制限されるためである。中心金属の前駆体ナノ粒子はマイクロエマルジョンを利用して合成しているため、その大きさは3~5nmとなるが、磁性粒子のように10nm以上の粒子径にしたい場合も多い。そこで、中心粒子を大きくしたい場合には、金属前

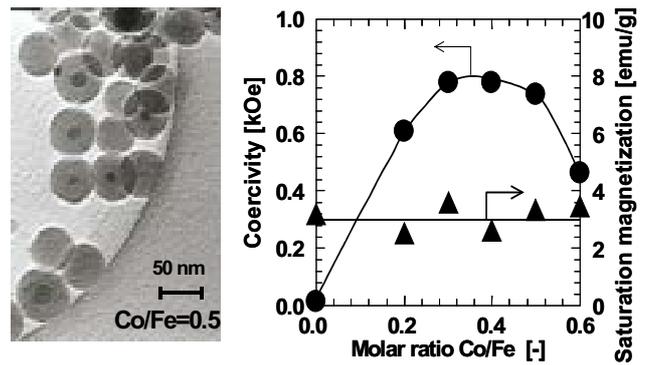


図2 シリカ被覆フェライトナノ粒子及びその磁気特性

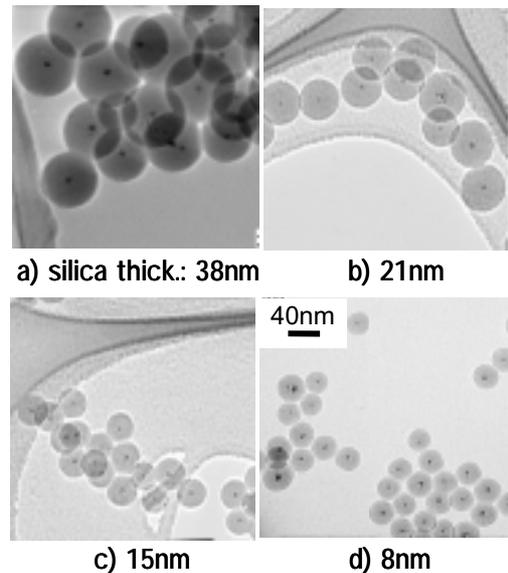


図3 シリカ被覆Rh粒子の被覆層厚さの制御

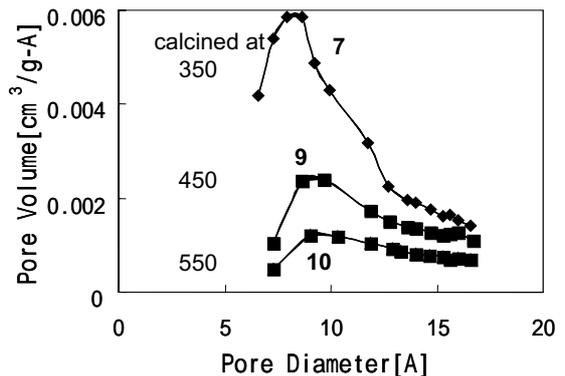


図4 焼成温度を変えたシリカ被覆Ptナノ粒子の細孔径分布 (Ar吸着法)

駆体粒子を逐次的に成長させる方法を用いた。すなわち、一旦ナノ粒子を合成した後に、再度金属原料塩の添加と粒子合成操作を行う。これを繰り返すと粒子は徐々に大きくなり、目的の大きさに達した時

点でシリカ被覆を行うという単純な方法である。図5は、その方法で調製したシリカ被覆 Fe_3O_4 ナノ粒子のTEM写真である。中心粒子がいびつな形状になってはいるが、粒子合成操作の回数を重ねることによってマグネタイト粒子径が明らかに増大している。

以上のように、シリカ被覆無機ナノ粒子のシリカ被覆層厚さ、シリカ被覆層の細孔径、および中心ナノ粒子の粒子径を制御できることが示された。

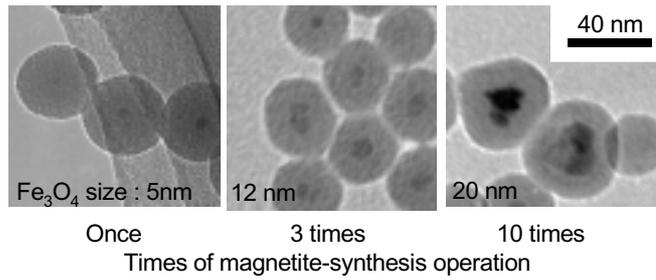


図5 中心 Rh 粒子径の制御

4. シリカ被覆 Rh ナノ粒子の耐熱性

金属ナノ粒子は高温になるとシンタリング（熱凝集）を起こし、大きな粒子へと成長する。このシンタリングは、触媒において常に問題となる現象である。しかし、金属ナノ粒子の表面全体を別の物質で被覆すれば、金属のシンタリングが起こりにくくなることは明白である。逆に、活性点である金属表面を他の物質で覆うと触媒活性が低下する可能性もある。図6は、熱処理の前後で、シリカ被覆 Rh ナノ粒子と従来の含浸法で調製したシリカ担持 Rh 触媒の Rh 粒子径を比較した図である。含浸法触媒では、熱処理後に Rh 粒子径が増大しており、シンタリングが起きていることがわかる。しかし、被覆ナノ粒子では Rh 粒子径がほとんど変化していない。このようにナノ粒子をシリカ被覆することによってシンタリングを根本的に防ぐことができた。また、酸素共存下であれば1000℃でも被覆構造が保たれ、金属のシンタリングも起こらなかった。

先述したように、ナノ粒子をシリカで被覆すると、その被覆層が反応物の透過を阻害する可能性がある。図7は、シリカ被覆 Rh ナノ粒子を含めた各種 Rh 触媒の NO-CO 反応特性を調べた結果 [v] である。NO-CO 反応は自動車の排気ガス浄化反応のモデル反応である。図の縦軸は NO が 50% 反応する温度 (T50) を示しており、T50 が低いほど触媒活性が高いこととなる。熱処理前の触媒活性は、いずれの触媒でもそれほど大きな相違はない。逆にこの結果から、被覆構造をもつ粒子でも、従来法触媒と同等の触媒活性を発現できることが示された。図7には、900℃で12時間の空気焼成処理を行った後の NO-CO 活性も示している。いずれの触媒も熱処理によって T50 が上昇し触媒活性が低下した。しかし、シリカ層厚さが 8nm と薄い被覆粒子だけは、その活性低下が他の触媒よりも著しく少なかった。すなわち、シリカ被覆 Rh ナノ粒子は著しく耐熱性

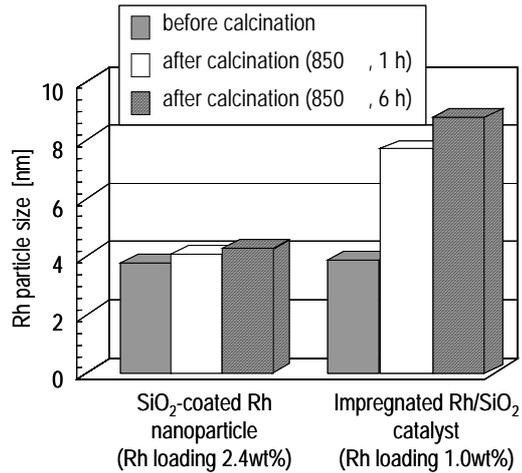


図6 シリカ被覆 Rh ナノ粒子の耐シンタリング性

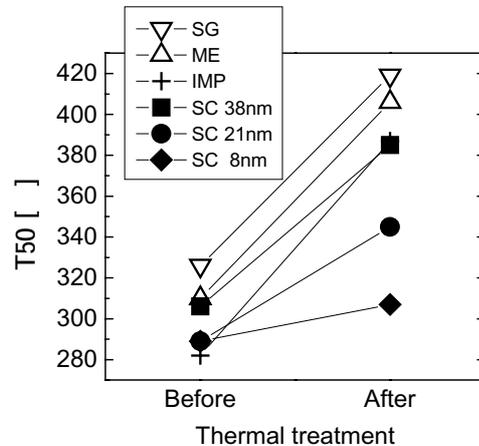


図7 熱処理前後の各種 Rh 触媒の NO-CO 活性
SG: ゾルゲル法, ME: マイクロエマルジョン法, IMP: 含浸法, SC: シリカ被覆粒子(シリカ層厚さ)

の高い触媒であることが示された。

図7では、同じ被覆構造を有していても、シリカ層の厚い粒子では従来法触媒と同様の活性低下が起きている。被覆触媒では Rh のシンタリングは起こらないため、この活性低下はシンタリング以外の要因である。詳細は省略するが、高温の熱処理によってシリカが熱収縮し、いずれの被覆触媒でも細孔

の閉塞が進行していた。このためにガスが中心の Rh へアクセスしにくくなっていた。しかし、その収縮はシリカ層厚さが薄いほど少なく、シリカ層厚さ 8nm の被覆粒子は、他法で調製した触媒と比べても、熱処理後のガス透過性が非常に高かった。すなわち、シリカ層が薄いほどシリカ中の細孔構造の耐熱性が高くなることを示している。以上から、図 7 においてシリカ層の薄い被覆触媒が熱処理後も高活性を示した要因は、中心 Rh およびシリカ細孔の双方が高い耐熱性を有していたためと言える。

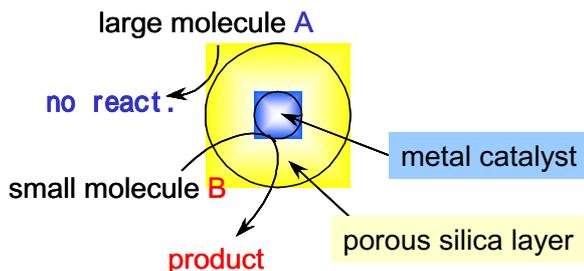


図 8 シリカ被覆ナノ粒子への物質分離能の付与

表 1 シリカ被覆 Pt ナノ粒子触媒のメタン - イソブタン共存燃焼反応特性

Catalyst	Cal.temp. []	Conversion [%]		
		CH ₄	<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	CH ₄ / <i>i</i> -C ₄ H ₁₀
impregnated-Pt		3.9	10.5	0.4
	350	14.9	3.2	4.7
SiO ₂ coated Pt ¹⁾	450	9.3	5.8	1.6
	500	10.9	4.8	2.3
	525	9.3	8.9	1.0

300 , 常圧, SV 4200 cc/g-cat.h,
CH₄:*i*-C₄H₁₀:N₂:O₂=1:1:4:1

5.シリカ被覆 Pt ナノ粒子への物質分離能の付与
シリカ被覆 Rh ナノ粒子では、シリカ被覆層が反応物の Rh へのアクセスを阻害することなく、高温反応用触媒として有用であることを述べた。次に、シリカ被覆層の細孔径をより小さくすることで、図 8 に示すようにシリカ層に物質分離能を付与することができないかと考えた。金属には、図 4 で細孔径分布を示したシリカ被覆 Pt ナノ粒子触媒を取り上げ、モデル反応としてはメタンとイソブタンの燃焼反応を取り上げた。この反応系は実用性が低いものの、反応速度が非常に速いという特徴がある。すなわち、シリカ層中の拡散が律速となりやすい反応系として選んだ。なお、TEM 観察では認められないほど微量の Pt がシリカ表面に存在していたが、その Pt は反応前に王水処理を繰り返し行って除去した。まず、シリカ被覆 Pt ナノ粒子を用いて、メタンとイソブタンを別々に供給して単独燃焼反応試験を行ったが、メタンとイソブタンの転化率に相違は認められなかった。すなわち、この粒子のシリカ被覆層には、メタンとイソブタンの分子ふるい能がないことがわかった。これは被覆層がアモルファスシリカであるため、仕方のないことである。しかし、シリカ層中の拡散律速になれば、メタンとイソブタンの拡散速度の相違が反応転化率に影響するはずである。そこで、メタンとイソブタンの共存燃焼反応を行ったところ、表 1 に示すような結果が得られた。本来メタンよりもイソブタンの方が燃焼しやすいため、従来の含浸法触媒ではイソブタンの方がメタンの 2 倍以上燃焼している。しかし、被覆触媒では逆にメタンの方がよく燃焼しており、特に 350 で焼成した被覆触媒ではイソブタンの約 5 倍もメタンが燃焼した。このようにシリカ被覆触媒を用いて、イソブタン共存下でもメタンを選択的に燃焼させることができた。

この反応結果がシリカ被覆層の物質分離能に起因していることを確かめるため、活性化エネルギーの測定とシリカ被覆層厚さの影響を調べた。メタン単独燃焼反応試験を微分反応器条件で行い、その活性化エネルギーを求めたところ、含浸法および被覆触媒の見かけの活性化エネルギーは、それぞれ 97kJ/mol および 47kJ/mol となった。被覆層中の拡散が律速となる場合、見かけの活性化エネルギーは真の活性化エネルギーの半分になることが知られているが、被覆触媒の活性化エネルギーと含浸法触媒のそれは、ちょうどこの関係に従っている。さらに、シリカ被覆層厚さの異なる被覆粒子を調製して、シリカ層厚さがメタン燃焼反応速度に及ぼす影響を調べた(図 9)。シリカ層厚さが厚くなるほどメタン転化率は減少しており、またシリカ層厚さとメタン反応速度もほぼ反比例していた。以上から、シリカ被覆 Pt ナノ粒子触媒上でのメタン燃焼反応は、シリカ層中のメタンの拡散律速となっていることが示された。したがって、表 1 で述べた被覆触媒のメタン選択的燃焼能が、シリカ層中の物質分離能に起因していることが証明された。つまり、ナノ粒子に触媒能と物質分離能の双方を付与することに成功したと言える。今後は、このシリカ被覆ナノ粒子を用いて触媒毒に被毒しにくい触媒の開発を進める予定である。

拡散律速の場合、得られた反応速度からシリカ層中の拡散速度を求めることができる。この粒子のようにナノスケール距離の拡散速度を測定できるような材料はこれまでになかったのではなかろうか。詳細は省略するが、中心 Pt 表面のメタン濃度を酸素がすべて消費されたときの濃度と仮定して有効拡散係数を算出したところ $5.8 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{sec}$ となった。この値は一般的なガス有効拡散係数と比較するとはるかに小さい値であるが、逆にこのようなオーダーでなければ 20nm 距離の拡散が律速となることはない。また、被覆触媒の細孔径分布測定から平均細孔径と空隙率を求め、さらに屈曲係数=2 で Knudsen 拡散すると仮定して算出した有効拡散係数は $2.4 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$ となった。測定値とは 8 桁もオーダーが異なる。このような相違が生じる原因としては 2 つ考えられる。1 つは中心 Pt への貫通細孔が空隙率で評価される細孔よりもはるかに少ないことである。もう 1 点は、極めて狭い細孔内で反応ガス分子と生成ガス分子の向流拡散となることである。しかも、貫通孔が少ないことから、ゼオライトのような細孔同士の連結もなく、1nm 径以下の一本の細孔内で両ガス分子が向流拡散している可能性が高い。今後より詳細な検討が必要ではあるが、シリカ被覆金属ナノ粒子が物質移動評価用の試料としても有用であると言える。

さらに、図 10 のようにシリカ層の内部 (Ni) と外部 (Pt) に別の金属を固定化することも可能であるため、シリカ層の外部と内部での熱移動も含めて物質移動を解析できれば、触媒性能のさらなる向上にも役立つものと考えている。

6. シリカ被覆 Ni ナノ粒子触媒の特異な反応特性

最後に、シリカ被覆ナノ粒子が特異な触媒反応特性を示す例として、シリカ被覆 Ni ナノ粒子触媒のメタン部分酸化反応特性を紹介したい。メタン部分酸化反応は、近年、水素製造用反応として注目されている反応である。その触媒としては Ni 触媒が有望視されているが、低温で酸素が共存すると Ni が酸化されて触媒活性を失うという問題がある^[vi]。そのため現在は、酸化されにくい貴金属触媒を中心に研究開発が行われている^[vii]。

図 11 は、シリカ被覆 Ni ナノ粒子触媒および含浸法 Ni 触媒のメタン部分酸化活性を示している。含浸法触媒では報告されている通り、800 より低い温度では部分酸化活性が発現せず、水素が全く生成しな

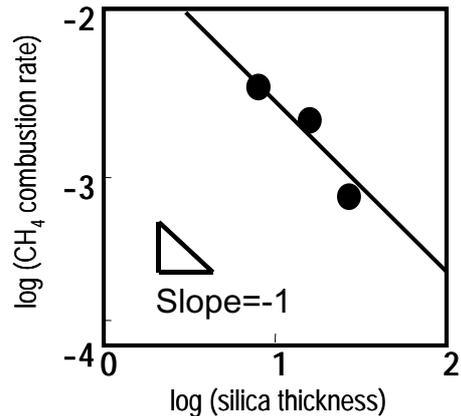


図 9 シリカ層厚さがメタン転化率に及ぼす影響

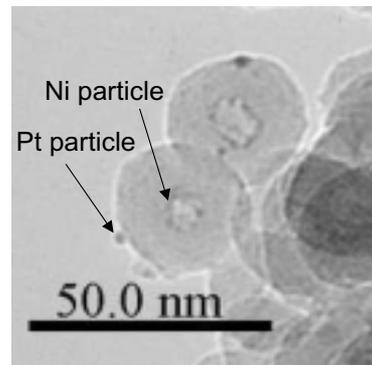


図 10 シリカ層の内外に異種の金属ナノ粒子を固定化した例 (Ni 3.5wt%, Pt 0.12wt%)

かった。しかし、被覆触媒では 700 でも高い部分酸化能を示した。また、生成ガス中の水素/一酸化炭素モル比 = 1.98 で、また完全燃焼による CO₂ の生成もほとんど認められなかったため、ほぼ量論通りに反応が進行していた。さらに、700 で 80 時間までの反応試験を行ったが、その間の活性低下は全く認められず、触媒上への炭素析出も全く起こらなかった。このように Ni 単独触媒を用いて、700 という低温でメタン部分酸化能が発現するという報告例はない。さらに、この反応系に CO₂ を供給したところ (自熱的改質反応)、500 でも十分な水素生成活性が発現するようになり、反応温度をさらに低下させることができた。

メタン部分酸化反応 15 時間後の触媒の *in-situ* TPO 測定から、700 の反応中に含浸法触媒の Ni は完全に酸化されているが、被覆触媒の Ni の大部分は金属状態であることがわかった。さらに、図 12 に示すように反応前処理として 700 で空気焼成を行っても、被覆触媒は部分酸化活性を失わなかった。したがって、Ni をシリカで被覆することによって、

Ni が酸化されにくくなることが示された。この酸化されにくさの直接的な要因を明らかにするには至っていないが、シリカと Ni の結合の強さが従来法触媒と異なること、またその Ni-SiO₂ 界面が Ni 粒子表面よりも反応ガスに対して近い側に存在することが関係しているものと考えられる。

以上、シリカ被覆によって物質分離能が得られる例と触媒能が変化する例を示したが、このようにナノ粒子の物理構造とそれによって変化する触媒特性との関係を研究することは、今後重要になるのではないかと考えている。

7. 終わりに

シリカ被覆無機ナノ粒子の構造の制御とそこから得られる新しい触媒能について述べてきた。触媒反応は複雑な化学現象であるが、そこから離れて物理構造の観点から触媒を研究すれば、まだまだ興味深い結果が得られることを端的に述べたつもりである。冒頭で述べたように、シリカ被覆無機ナノ粒子は触媒以外の機能性材料としても大きな可能性を秘めている。今後しばらくは、この被覆ナノ粒子と向き合うつもりである。

参考文献

[1] Liz-Marzan, L.M., Giersig, M., Mulvaney, P., *Chem. Commun.*, 1996, 731.
 [2] Kishida, M., Tago, T., Hatsuta, T., Wakabayashi, K., *Chem. Lett.*, 2000, 1108.
 [3] Tago, T., Hatsuta, T., Miyajima, K., Kishida, M., Tashiro S., Wakabayashi, K., *J. Am. Ceram. Soc.*, 85 (2002) 2188.
 [4] Tago, T., Tashiro, S., Hashimoto, Y., Wakabayashi K., Kishida, M., *J. Nanoparticle Res.*, 5 (2003) 55.

[5] Ikeda, M., Tago, T., Kishida, K., Wakabayashi, K., *Chem. Commun.*, 2001, 2512.
 [6] Choudhary, V.R. *et al.*, *J.Catal.*, 157 (1995) 752.
 [7] Tomishige, K. *et al*, *Appl.Catal., A:General*, 233 (2003) 35.

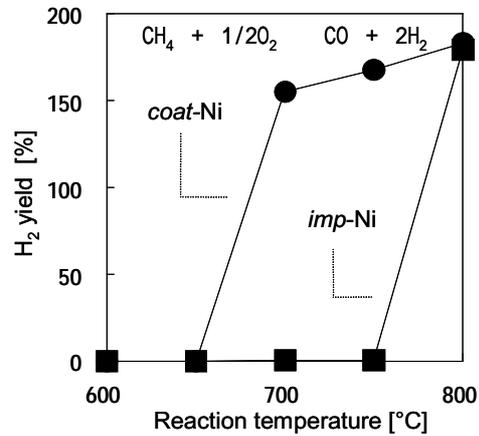


図 11 シリカ被覆 Ni ナノ粒子のメタン部分酸化活性
 CH₄:O₂:N₂ = 2:1:2.5, SV 16500cc/g-cat.h.

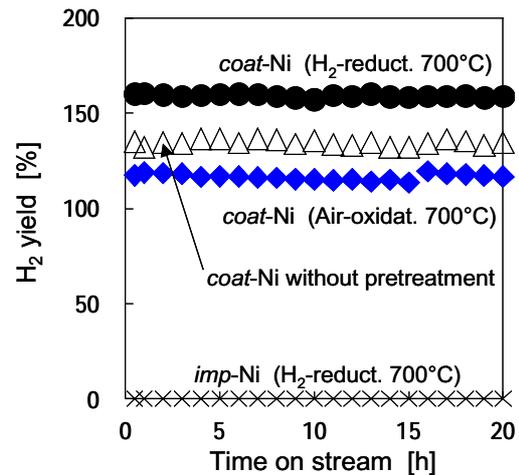


図 12 空気焼成前処理を行った被覆触媒のメタン部分酸化活性

「未利用エネルギーを活用した超高効率ヒートポンプシステムを実用化せよ」

Project Q "Make Extremely High-Efficiency Heat Pump System Using Unused Energy Practicable."

渡邊 激雄（中部電力）

Choyu WATANABE (Chubu Electric Power Co., Inc.)

1. 河川水利用スーパーヒートポンプシステム
の実証試験

1991年4月中部電力の研究所に所属していた私は、「スーパーヒートポンプパイロットプラントの実証試験を行え。熱源は堀川の水を使って、関係会社トーエネックの事務所ビルの空調を行え。」と、指示を受けた。

1.1 スーパーヒートポンプとそのシステム

スーパーヒートポンプというのは、政府のムーンライト計画で研究開発されていた種々の超高性能ヒートポンプのことである。その中でも、政府の研究が終了した後に中部電力が実証試験を担当するパイロットプラントは、従来の2倍近いエネルギー効率（冷暖房能力を消費電力で割った値）で、冷暖房用の水を冷やしたり、暖めたりすることができ、冷暖房能力が1,000kWと、1台で床面積8,000m²クラスのビルの冷暖房を行うことのできる、まさしく画期的な空調機器であった。

しかし、スーパーヒートポンプを調べていく内に、実用化には未だかなりの課題があることがわかった。そのうちの 하나가、蒸発器と凝縮器の耐食性であった。蒸発器と凝縮器はエネルギー効率

を重視するために巨大なアルミニウム製プレートフィン式の熱交換器となっており、堀川のような河川水はもちろん、冷暖房用の水を使っても穴が空いてしまうということであった。

実証試験を行うために、蒸発器と凝縮器にアルミニウムの腐食を抑制する薬剤を添加した不凍液を循環することとし、腐食抑制剤入りの不凍液と冷暖房用の水との熱交換のためにステンレス製のプレート式熱交換器を、腐食抑制剤入りの不凍液と堀川の水との熱交換のためにチタン製のプレート式熱交換器を追加することとなった。元々必要であった河川水ポンプと冷温水ポンプの他に、2台の不凍液ポンプが追加されることとなった。ヒートポンプ単体でいくら効率が良くても、ポンプの消費電力を含めたシステム全体のエネルギー効率が低ければ何にもならない。このため、プレート式熱交換器における温度差を小さくすることとポンプ動力を低減することが重要となった。各ポンプの流量は、ヒートポンプのエネルギー効率の変化も考慮し、システムのエネルギー効率が最高になるように決め、各ポンプの流量をインバータで最適値に制御することとした^[1]。

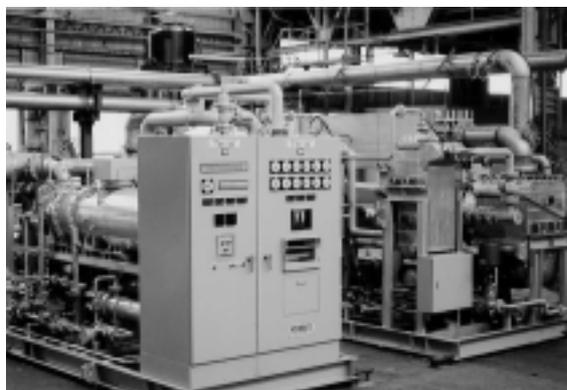


図1 スーパーヒートポンプの外観



図2 河川水利用スーパーヒートポンプシステム

1.2 熱源に堀川の水を使う

ヒートポンプは、熱を低温源から高温源に汲み上げる、文字通り、熱のポンプのことである。高温源と低温源の温度差が小さいほど楽に汲み上げられるため、エネルギー効率が向上する。河川水、海水、下水処理水などは空気に比べて、夏は冷たく、冬は温かいため、ヒートポンプの熱源に用いられれば、消費電力が低減し、省エネルギーを達成できる。空気とこれらの水の温度差は未利用エネルギーの一つとされ、未利用エネルギーを活用することは政府のエネルギー政策でも重要なものとされていた。

大型のヒートポンプでビルの冷房を行う場合、低温源としての冷房用の冷水から、高温源としての外気が冷却水に熱を汲み上げる。冷却水はクーリングタワーで放熱させられる。熱源に堀川の水を使うということは、外気やクーリングタワーの冷却水の代わりに、堀川の水を使うということであり、高温源の温度が下がるため、エネルギー効率が向上する。また、クーリングタワーでは不可能な暖房も可能となる。

堀川というのは、名古屋城を築城する際に開削された人工の河川である。上流で一級河川の庄内川とつながっており、わずかな淡水が流れ込むが、中部電力が実証試験を行おうとしていたトーエネックのビル周辺は河口に近く、潮の満ち引きにより流入する海水がほとんどを占める。

堀川の水を使うためには、水利権の申請が必要であった。実際には、水はほとんど海水であっても一級河川と繋がっているためである。当初予定していた1日2,500m³以上の水量では、建設大臣許可が必要であった。東京では、既に建設大臣許可を得て河川水を利用していた地域冷暖房施設があり、容易ではないにしろ、1年くらいで許可されるものと思っていた。地方建設局下の土木事務所との調整を経て、地方建設局と調整を重ねた。しかし、地方建設局を通じて本省に相談が持ち込まれると、繰り返し繰り返し宿題が出されるようになった。参考書類を作るばかりで一向に申請書類を出せなかった。そして、2年の歳月が流れた。まだ、規制緩和が叫ばれる前の時代だった。

事態を打開するため、地方建設局の了承を得て、霞ヶ関の本省に出向き、相談した。結果は門前払いに近いものだった。話の主旨は、ヒートポンプ

の熱源に河川水を利用するのは、水の消費がなく、水の温度を変えるもので、従来の水利とは異なるものである。本省としてのガイドラインは未だ決まっておらず、東京の物件はあくまで特例中の特例であり、決して前例ではないということだった。許可はもうおりないと思った。2年も許可申請を行ってきたのに会社に申し訳ないと思い、責任を取る覚悟を決めた。

ところが、本省から水量を減らして地方処分(県知事許可)にせよとの指導があったと、地方建設局から連絡を受けたのは、その翌日だった。水量が減れば運転時間は減るものの、実証試験として一応のことはできるものと考えた。申請の窓口は地方建設局下の土木事務所から県の土木事務所に変わった。県の土木事務所、県の本局との調整を終えた。しかし、県知事許可を得るためには、地方建設局長の認可が必要であった。地方建設局下の土木事務所を経て再び地方建設局にたどり着いたときには、地方建設局の以前の担当者は異動していた。地方建設局長認可と県知事許可を得たのは、調整を初めてから約2年半が経った、1993年のお盆明けだった。

堀川の水を使うためには、技術的に解決しなければならぬ問題もあった。チタン製プレート式熱交換器の汚れ防止であった。河川水や海水を通水し続けると、スライムと呼ばれる粘着質のスケールが付着し、圧力損失の増大と熱伝達性能の低下を招く。このため、ヒートポンプの運転を休止しているときに、1週間に2回程度、河川水熱交換器の水を抜き、オゾンを溶存させた淡水を循環し、スライムの付着防止または分解を行う方法を考案し、2年間の通水試験を行い、その有効性を確認した^[2]。特許を3件出願した。

1.3 実証試験

実証試験が開始されたのは、1993年12月だった。運開式を盛大に行った。こみ上げてくるものがあった。水利権許可申請で実証試験の開始が当初予定より遅れたため、事前の検討は十分にできていた。実証試験は極めて順調に進んだ。1993年12月から1995年9月までの約2年間でシステムの運転時間は2,000時間に及んだ。ヒートポンプ単体のエネルギー効率は冷房で6.4、暖房で5.0となり、ポンプ動力を含んだシステムのエネルギー効率は冷房で5.5、暖房で4.5となった。これらの

値は空気熱源のスクルーヒートポンプシステムに比べ、冷房で46.2%、暖房で38.4%も高かった。試験結果をまとめ、1996年10月に慶州で行われた日韓機械学会合同熱工学会議で発表した^[3]。1997年5月に名古屋で行われた日本伝熱シンポジウムで日本伝熱学会技術賞をいただいた。

2. 超高効率ヒートポンプの実用化

実証試験を無事終えることができたものの、今度は、未利用エネルギーを活用した超高効率ヒートポンプシステムを実用化せよとの命令を受けた。

2.1 スーパーヒートポンプ実用化の課題

スーパーヒートポンプを実用化するためには、前述した熱交換器の耐食性の他に、まだ三つの課題があった。一つ目は、蒸発器と凝縮器などの熱交換器が非常に大きく、通常はヒートポンプ全体で一つの架台の上にユニットとしてまとめられるが、圧縮機ユニットと熱交換器ユニットの二つに分けられ、設置面積が従来機の約2倍になっていることだった。二つ目の課題は、蒸発器と凝縮器などの熱交換器が高コストであり、ヒートポンプ単体としても、製造コストが従来機の数倍となることだった。三つ目の課題は、ローレンツサイクルという高効率サイクルを実現するため、HCFC系の混合冷媒（HCFC22とHCFC142bの混合）を用いていた。しかし、HCFCもCFCと同様にオゾン層破壊に影響があるため、HFC系冷媒への転換が必要であった。

2.2 新たなヒートポンプの開発

地元の水族館にシャチやイルカを飼育するプールを作る計画が持ち上がり、プールの水温調節に海水熱源のヒートポンプシステムが利用できないかという相談を中部電力の名古屋支店から受けたのは1995年11月だった。場所は実証試験を行ったトーエネックのビルから堀川に沿ってわずか2kmほど南下した名古屋港に面していた。海水利用システムの有利さは説明できたものの、スーパーヒートポンプの実用化に向けた課題を解決しない限り、推奨できるヒートポンプはなかった。

超高効率ヒートポンプ実用化のために、新たなヒートポンプの開発計画を社内で提案することとした。ヒートポンプ開発の目標は、冷暖房能力が700kWから3,500kWまでのラインナップとし、従来機と同程度のコストと設置面積で、海水を直接

通すことができ、エネルギー効率はスーパーヒートポンプより若干低くなるものの、従来機の1.5倍とし、冷媒はオゾン層に影響しないHFC系とした。

開発メンバーも増強され、櫻場一郎が加わった。中部電力が試作を委託するメーカーの神戸製鋼所では、スーパーヒートポンプにも関わっていた神崎奈津夫さんが担当となった。

2.3 HFC系混合冷媒の選定と高性能対向流熱交換器の開発

スーパーヒートポンプでは、ローレンツサイクルを採用していた。図3はローレンツサイクルと逆カルノーサイクルをT-S線図（温度-エントロピー線図）上に模式的に示したものである。T-S線図上で囲まれた面積が、ヒートポンプを動作させるのに必要な動力となる。図中の長方形が一般的なヒートポンプの作動原理である逆カルノーサイクルで菱形がローレンツサイクルである。

水冷式の場合で考えると、冷水・温水は温度変化を伴う顕熱により冷媒と熱授受を行うので、冷媒側が凝縮・蒸発に伴い温度変化すれば図に示すように菱形を構成でき、図中の斜線部分の動力が削減できることとなる。したがって、同一交換熱量に対して圧縮機に必要な動力が低減されるので、ローレンツサイクルは逆カルノーサイクルに対して高効率となる可能性がある。

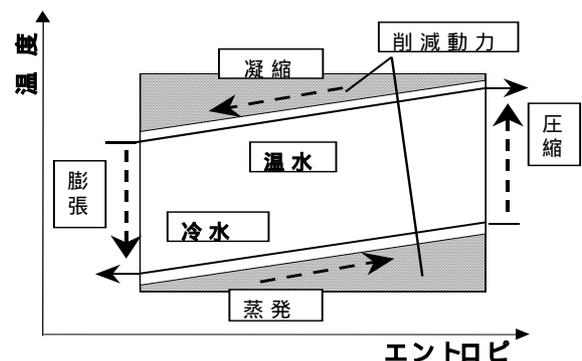


図3 ローレンツサイクル

ローレンツサイクルを成立させるためには凝縮・蒸発につれて温度変化する非共沸混合冷媒が必要である

また、ローレンツサイクルによりヒートポンプの高効率化を達成するには、高性能な対向流熱交換器が必要となる。図3においてローレンツサイ

クルが逆カルノーサイクルに比べて高効率となるのは、前述したようにローレンツサイクルの菱形が逆カルノーサイクルの長方形の内部で形成されるからであり、十分な伝熱性能を伴わない熱交換器を用いると長方形の外に菱形をつくることとなり、逆に効率は低下してしまう。また、非共沸混合冷媒は一般的に用いられている単一冷媒（HCFC22，HFC134a など）に比べ伝熱性能で劣り、従来の設計手法で製作された熱交換器を用いると逆に効率は低下してしまうので、熱交換器の性能特性は非常に重要であった。

当時、空調用に広く用いられていた HCFC22 の代替冷媒として、オゾンを破壊しない HFC32，HFC125，HFC134a を混合成分とする HFC407 系が注目を浴びていた。HFC407 系は温度すべりが 5 ～ 7 程度と水側の一般的な温度変化に近いので、図 3 に示すとおりローレンツサイクルを構成できる。このため、新たなヒートポンプでは、冷媒としては HFC407 系を使用することとした。

新たなヒートポンプでは、高性能対向流熱交換器としてプレート式熱交換器を用いることとした。プレートの材質は海水など腐食性の水を通す場合はチタンとし、空調用の冷温水やクーリングタワーの冷却水を通す場合にはステンレスとした。従来のプレート式熱交換器は各伝熱プレートをゴムパッキンでシールしており、ヒートポンプとして用いる場合の耐圧性・長期信頼性に疑問な点もあり、広くは普及していなかった。当時、一体ロウ付けタイプや 2 枚の伝熱プレートをレーザー溶接したタイプが開発され、ヒートポンプ分野への適

用が容易となった。ロウ付けタイプは生産工程の問題から大型化に限界があり、レーザー溶接タイプを用いることとした。

レーザー溶接タイプのプレート式熱交換器は、2 枚のプレートで構成された流路がレーザー溶接により袋状にシールされており冷媒漏れ対策、耐圧性の点で非常に高い信頼性を確保した。図 4 に溶接プレートの外観と断面を、図 5 に溶接プレートの伝熱部の概念図を示す。

2.4 超高効率ヒートポンプ「ウルトラハイエフ」

1997 年度に冷暖房能力 300kW 機を開発し、1998 年度に冷暖房能力 2,000kW 機を開発した。製品の名称は超効率 (Ultra-High Efficiency) という意味で、UHE またはウルトラハイエフと付けた。電力設備の超高圧 (UHV, Ultra-High Voltage) を参考にしたものだった。ウルトラハイエフは名古屋港水族館に 4 台採用された^[4]。熱源はもちろん名古屋港の海水であり、プールの水も海水である。オゾンによりプレート式熱交換器のスライム付着を防止する装置も採用された。図 6 にウルトラハイエフの外観を、図 7 に名古屋港水族館の飼育プールの外観を示す。

そればかりか、大手半導体メーカーのクリーンルームの年間冷房、東京の大規模ホテルの冷房、中部国際空港ターミナルビルの地域冷暖房などの用途に約 50 台が採用されていたのだった。

ウルトラハイエフはその独創性、技術的革新性、省エネルギー性が評価され、1999 年度の日本機械学会賞 (技術)、2001 年度の中日産業技術賞 (経済産業大臣賞) など数々の表彰を受けた。河川水

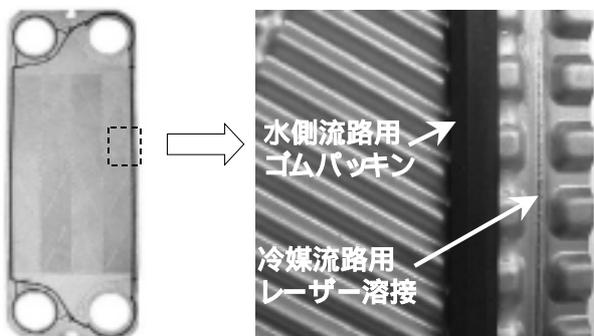


図 4 溶接プレートの外観と断面

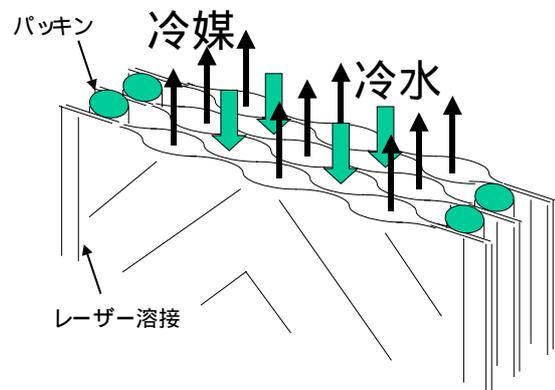


図 5 溶接プレートの伝熱部の概念図



図6 ウルトラハイエフ（冷暖房能力2,000kW）

スーパーヒートポンプシステム実証試験の計画に関わって以来、既に約11年が経っていた。

参考文献

[1] Watanabe, C., Proceeding of the ASME-JSME Thermal Engineering Conference, Vol.4 (1995), p. 449.



図7 名古屋港水族館の飼育プール

[2] Watanabe, C. et Al., Proceeding of the 3rd KSME-JSME Thermal Engineering Conference, Vol.2 (1996), p.505.

[3] Watanabe, C. et Al., Proceeding of the 3rd KSME-JSME Thermal Engineering Conference, Vol.3 (1996), 133-138.

[4] さかなかな, Vol.40 (2003), p.5, 財団法人名古屋港水族館.

キッズ・エネルギー・シンポジウム 2003 報告

A Report on the Kids Energy Symposium 2003

神永 文人 (茨城大学)

Fumito KAMINAGA (Ibaraki University)

1. はじめに

本年度で8回目になるが、企画部会が中心になって毎年開催しているキッズ・エネルギー・シンポジウムを本年度は11月8日に神奈川県川崎市にある東芝科学館で開催した。私が関東支部の担当になって、「来年度は川崎の東芝科学館で開催する予定で、企画部会の担当者は東芝の奈良林さんですから、よろしく」と当時の部会長であった関西大学の小澤守教授から依頼があったのが始まりです。さてだれに頼もうかと周りを見渡すと、副会長を除いて関東支部は私以外にだれも居ないことが分かり、やむを得ず実施責任者を担当する羽目になってしまいました。ただ、最初はかなり気楽に考えていましたが、参考のために米沢市で開催された前回のシンポジウムを見学してから、これは大変なものを引き受けてしまったと心を入れ替え、企画・準備を行うことになりました。

昨年の11月の科研費(成果公開発表B)の応募に始まり、会場での事前打ち合わせ4回を含め合計8回の準備の打ち合わせを重ねて、なんとか開催に漕ぎ着けることができました。打ち合わせの過程で、参加者のほとんどは小学生である可能性が高いことが判明し、講演より実演を主体にした内容に改めることになりました。それが幸いしたか、飽きて歩き回る参加者も出ず、参加者の皆さんに興味を持って熱心に聴いてもらうことができました。参加者は、午前中、小学生166名、保護者31名、見学の大学生9名、計206名で、午後は料理教室と工作教室で小学生69名、保護者37名、計106名、および体験コーナーで小学生55名が参加しました。以下にその内容を紹介します。

2. シンポジウムの内容

午前の部では「熱エネルギーを利用するときの面白現象」というテーマでクイズ大会と「超電導と極低温の不思議体験」というテーマで実験ショーを行った。

クイズ大会では、「熱伝導・熱対流・ふく射・表面張力」の4問を出題し、回答させた。これは、伝熱学会が本企画の主催団体であることから、少なくとも伝熱の基本モードは知ってもらおうとの意図である。第4番目の「表面張力」の問題は3問では正解率が高くなると予想されることもあって、一般的にもなじみの現象として採り上げた。図5にその4つの問題を示す。「熱伝導」問題としては、加熱円柱中心から銅・アルミ・黄銅・木の4本の細線棒材を放射状に置き、各々の棒の先端に蝋燭を立て、一番先に倒れるのはどれか、を答えさせた。「熱対流」では、加熱円柱周りの上昇気流の問題とし、上下左右のどの位置の空気温度が高くなるかを答えさせ、「ふく射」の問題としては、光エネルギーが色彩板(黒、白、橙)のどれが一番よく受熱されるかを答えさせた。「表面張力」ではテイラー不安定波長に関連させ、ペットボトルの口のサイズを5mm~20mmに変えた場合、どの口から水がこぼれるかを答えさせた。工学院大学の小泉安郎教授が4つの問題を順次出題した後、正確な正解率を得るため解答の説明の前に解答用紙を回収する方法をとった。正解の説明は、時間的制約から事前に実験を行い準備したビデオ(図6に動画の1シーンを示す)により東京大学の庄司正弘教授が行った。会場には「当たった」「難しいよ」といった大きな声が響く中、実験の映像や解説にうなずく子供が多かった。正解率は図7に示すようであり、第4問の表面張力を除き概ね良好であり、当然のごとく高学年ほど正解率が高くなっている。クイズ参加者145名の内、全問正解者は10名であり、1等1名、2等2名、3等7名を選び表彰した。当初はもう少し全問正解者が多くなるものと予想していたが、問4が難しかったのと、予想に反して、問1の正解率があまり高くなかったことが理由として上げられる。

実験ショーは東芝の栗山透氏が担当し、極低温と超電導に関する実演・体験を主にした講演である。最初に液

液体窒素を用いた極低温の実験・説明を行った。

- 液体窒素を室温の鉄板の上に落とすと、熱いフライパンの上に落とされた水滴と同じような挙動となること

- 液体窒素を入れたステンレスカップの外側には霜が着かずに液体で濡れたようになり、その液体は酸素であること

- 熱膨張の実験として、膨らませたゴム風船の一端を液体窒素に入れると、風船の冷やされていない部分が縮んでいくが、液体窒素から取り出すと元の膨らんだ状態に戻ることに、ゴムボールは液体窒素に入れても形は変わらないが、床に落とすと大きな音をたてて粉々に割れる(子供達にはこの実験が最もうけた)こと、ステンレスのリングとリングの内径よりやや直径の大きなアルミニウムの丸棒を作り、室温で丸棒はリングを通らないが、アルミの丸棒を液体窒素で冷やすことによって、リングを通るようになること、消しゴムを液体窒素に入れると、外見上何ら変化がないが、液体窒素から取り出してしばらく放置しておくと、突然粉々に破裂するなどを実演・紹介した。

- 液体窒素が室温に戻る際に膨張することを示す実験として、アルミ製のペットボトルに液体窒素を入れ、ゴム風船をフタ代わりに被せ、液体窒素が蒸発するにつれて風船がどんどん膨らみ、ある所で飛んで行く実験(実際には、そのまま割れてしまい失敗であった)、液体窒素を脱脂綿に含ませて写真のフィルムケースに入れてフタをすると、蒸発した窒素ガスでフィルムケース内の内圧が上がると、しばらくしてフタがポンという音と共に数mの高さまで上がることを実演した。

次に、極低温によって実現される超電導の説明を行った。超電導はまだ子供達に馴染みが少ないため、超電導を利用した実際の機器であるリニアモーターカーとMRI(磁気共鳴診断装置)に関し、ビデオを用いて紹介した。その後、ステージ上に設置した超電導磁石を用いて強力磁場体験を行った。磁石は、室温で直径10cmの空間に最大11テスラ(11万ガウス)の磁界を発生するもので、液体ヘリウムを使用しないで極低温冷凍機のみで-269℃まで冷却しているため非常にコンパクトなものである。3テスラ程度の磁場を発生して以下の実験・体験を行った。

- 自由に回転する小さな鉄のピンを用いて、超電導磁石の回りにできている磁力線を可視化

- 軽いスチールたわしが超電導磁石の作る磁場で非常に強い力で引き寄せられること

- 磁場中に落としたアルミ缶が電磁誘導のためにブレーキがかかり、非常にゆっくり落ちて行く

- 銅線で作ったコイルを超電導磁石が作る磁場中に設置して電流を流すとコイルが回転してモータになる

液体窒素と超電導の実験とも、会場の子供達(8名ずつ計16名)にステージまで上がってもらい、一緒に実験を行った。

午前中は会場が広く参加者が非常に多かったため、午後1時間体験コーナーを設け、実際の実験装置と器具でクイズ大会の正解の実験や液体窒素と超電導磁石の実験を体験してもらった。

午後の部では実習を主とし、「料理と伝熱科学」をテーマとした料理教室、ローソクの熱で走る「ポンポン船」と発電の原理を理解するための「蒸気タービン」を実際に作る工作教室を3つの会場で並列に開催した。

料理教室は砂糖の加熱と調理と題して、東京家政大学の長尾慶子教授が担当し、30分程度の説明とデモンストレーションをまず行い、その後は参加者29名を5班に分けそれぞれの実験台にて以下のような実習を行い、できたものを試食した。

- 比重について理解する実験：砂糖濃度を変えた溶液(シロップ)中および水の中に、それぞれ果物や牛乳羹(寒天と牛乳でかためたゼリー)を入れて浮き沈みの様子を確かめ、比重について理解し、シロップに寒天ゼリーと果物を入れた牛乳羹を作り、試食して楽しんだ。

- 砂糖液の加熱による性質の変化を確認する実験：シロップを加熱していくとその温度によって砂糖液の性質が変わることを、ピーナッツの砂糖衣とクッキーのフォンダンかけ(110℃付近まで加熱後冷まし結晶を析出させる)、カルメラ焼(120~130℃に加熱し、重曹を加えて膨らませる)、べっこう飴(150℃以上で加熱し、べっこう色にして型にながし固める)などの調理実習を通して、色や香り、結晶のできかた、糸の引き方などの砂糖の変化を目視で観察するとともに、顕微鏡で結晶の大きさを確かめた。

会場設備が調理実習対応ではなかったため、加熱機器は各班電磁調理器1台と対応鍋2組としたが、このことが新しい誘導加熱方式の電磁調理器の特徴や使い方を説明する良い機会ともなった。また、各班共、時間内で実

習し試食でき、男の子も一緒になって嬉々としてピーナツの砂糖衣の結晶をかき混ぜていたりして、参加者からも非常に好評であった。

ローソクによる加熱で進むポンポン船を作る工作教室は茨城大学神永文人教授が担当し、参加者が小学生 16 名であった。この工作テーマは早く決まったが、準備の方が大変であった。ローソクによって蒸気を作るボイラ一部分の試作を種々試みたが、安定して動作するものはなかなか完成せず、最終的には部品の製作価格を考慮して、大人の科学創刊号の付録の一部を使うことにした。ボイラーなど工作部品の確認やぼんぼん船の進む原理をテキストを用いて説明の後、テキストの順番に従って 1 点 1 点部品を指示し、組み立て方を実演しながら、参加者も各自で組み立て、それぞれの船を完成させた。船体部は付録の部品を利用せずバルサ材で新たに作ったため、ボイラー部のパイプの長さ調整が必要で、この部分に関する参加者の工夫が結果に大きく影響することになった。工作が完成後、長さ 1.2m の水路を用いてタイムトライヤルを行い、競技大会を実施した。1 名だけがどうしても終点にたどり着けなかったが、15 名はポンポン音を立てて終点までたどり着けた。タイムは、ローソクに火をつけてから 23 秒で辿り着いたのが 1 位で、最長は 82 秒となった。本来はアンケートをとる予定だったが、最後に念を押すのを忘れてしまったため、2 名からしか得ることができなかったが、好評で、口頭では来年も開催しないのかと大勢から質問されたほどであった。

蒸気タービンを自作し、水蒸気を用い実際に発電を行う工作教室は東芝の奈良林直氏が担当し、参加者が 24 名であった。最初に、熱エネルギーと蒸気タービンを使った発電の説明と電気の大切さの説明を行った後に、蒸気タービンの製作を行った。説明書を使って、1 ステップ毎に全員ができていることを確認しながら子供たちがあわてないように注意して以下の順序で工作を進めた。

部品の確認。タービン発電機の台の制作。アルミ円盤で羽根車を制作。さらに羽根に湾曲とねじりを加えて、タービン翼を加工。ソーラーモーターの軸にプロペラを取り付け、蒸気タービンを完成。その後、ヘアー

ドライヤーの送風で蒸気タービンの作動テストとタービン翼のチューニングを行った。完成した蒸気タービンに電気ヒータを使って容器内の水を沸騰させて作った蒸気を当て、発電コンテストを行った。コンテストはアナログテスターの電流計を負荷にしてデジタルテスターを使って電圧を測定し、電圧値を競った。この工作教室のアンケート結果も非常に良く、高い満足度であった。

以上の説明にあるように午前と午後を通じ盛りだくさんの内容であり、多面的に楽しくエネルギーや熱について実習を通して子供たちが学習することができ、これからの若い人たちへの学会からの啓蒙活動を盛会のうちに行うことができた。

なお、本シンポジウムでは記者からの取材があり、内容が 11 月 9 日の神奈川新聞に紹介された。

3. おわりに

今回のシンポジウムは小学生が主な対象であるため、内容は伝熱に関連するものを題材に興味を持ってかつ飽きずに参加してもらうため、上述のように実演・体験・実習を主に内容を企画した。そのため、担当していただいた講師の皆様には、これまでの慣れている講演とはかなり異なった内容であったため、その準備に多大の労力をおかけしたと思います。この場を借りて深くお礼申し上げます。また、この企画の PR と実施に全面的にご協力いただいた東芝科学館の浅田靖之館長はじめ職員の皆様に深く感謝の意を表します。

実験・実習の準備や当日の実験補助・受付等では、東芝大学から 4 名 東京家政大学から 3 名 東芝から 3 名、および事務局の方々にたいへんご尽力いただきました。あわせてお礼申し上げます。さらに、超電導磁石一式をお貸しいただいた(株)東芝殿、リニアモーターカーおよび MRI のビデオをお貸しいただいた東海旅客鉄道(株)殿および東芝メディカルシステムズ(株)殿に謝意を表します。最後に、今回のシンポジウムは平成 15 年度科学研究費補助金研究成果公開促進費「研究成果公開発表(B)」の補助を受けたことを付記し、感謝いたします。



図1 開会式の様子



図3 クイズ大会での出題風景



図2 会場の様子



図4 クイズ大会での解答の説明風景

クイズ1 いちばん早くたおれるのはどれ？

1. アルミ (円玉と同じ)

2. しんちゆう (円玉と同じ)

3. 銅 (円玉と同じ)

4. 木 (わりばしと同じ)

クイズ2 どこがいちばん熱い？

1. 上

2. よこ

3. 下

4. 全部同じ

クイズ3 どれがいちばん熱くなる？

1. 白い板

2. 黒い板

3. オレンジ色の板

4. どの板も同じあつさ

クイズ4 どの穴からこぼれる？

1. 全部の穴からこぼれる

2. 10ミリと5ミリの穴からこぼれる

3. 15ミリの穴からこぼれる

4. 全部こぼれない

5ミリ 10ミリ 15ミリ 20ミリ

図5 クイズ大会における問題

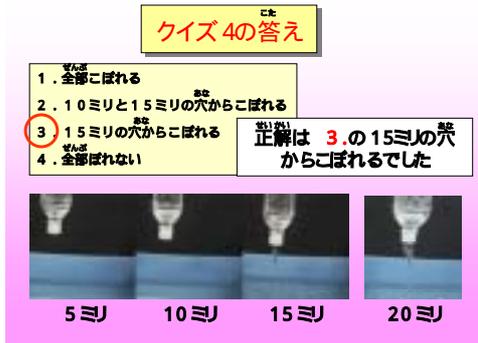
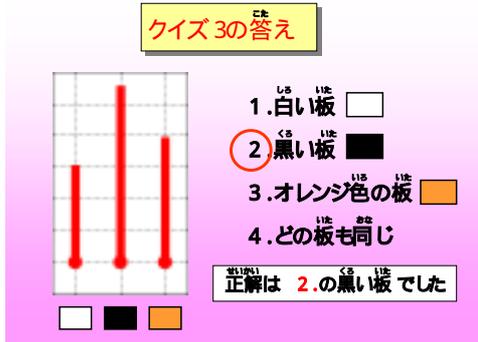
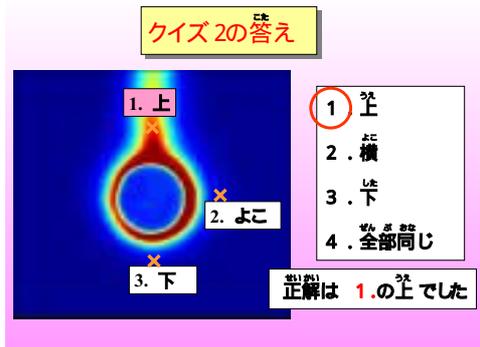


図6 クイズの正解の説明

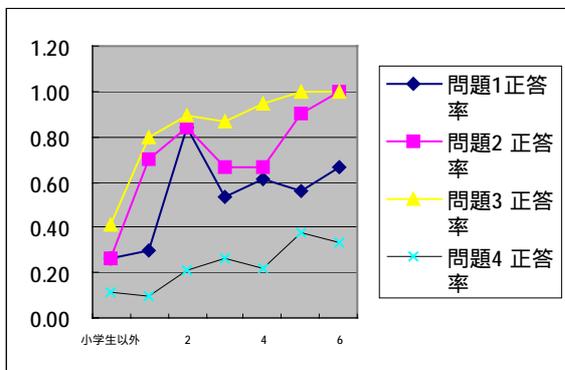


図7 クイズの正答率



図8 実験ショーの全体風景



図9 実験ショーでの体験の様子



図10 料理教室の説明風景



図 11 料理教室での実習の様子



図 12 ポンポン船工作と試運転の様子



図 13 蒸気タービンの工作と発電の様子

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
2004年						
5月	26日(水)~ 28日(金)	第41回日本伝熱シンポジウム (富山国際会議場および富山県民会館、富山市)	'04.1/16	'04.3/8	富山大学工学部 機械知能システム工学科 第41回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局 平澤良男、喜多野一幸 thermo@eng.toyama-u.ac.jp http://www3.toyama-u.ac.jp/~thermo/	1月号

本会共催,協賛,後援行事

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
2004年						
3月	14日(日)~ 17日(水)	The first International Symposium on Micro & Nano Technology (ISMNT-1) (ホノルル、ハワイ)	'03.5/31 (Abstract)	'03.8/31	Komatsu Electronics Inc., President Dr. Makoto Inoue E-mail:makoto_inoue@komatsu.co.jp http://www.ismnt.com	
3月	15日(月) 16日(火)	The first International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology (SMAM-1) (東京ビッグサイト、東京)	'04.1/12 (Abstract)	'04.3/15	〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 産総研 極微 プロファイル計測研究所 藤本俊幸 E-mail:SMAM-1-sec@m.aist.go.jp, T.Fujimoto@aist.go.jp http://www.nmij.jp/MP/SMAM-1	
4月	14日(水)~ 16日(金)	第38回空気調和・冷凍連合講演会 (東京海洋大学海洋工学部 越中島会館講堂、東京)	'04.1/16	'04.2/27	〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃町煉 瓦館(社)日本機械学会/第38回空気調和・冷 凍連合講演会係 Tel:03-5360-3502 Fax:03-5360-3508 E-mail:iio@jsme.or.jp	
4月	21日(水)~ 23日(金)	第4回 '04熱伝計・対策技術シンポジウム	,	,	〒105-8522 東京都港区芝公園3-1-22(社)日 本能率協会 産業振興本部 産業情報推進部 熱伝計・対策技術シンポジウム事務局 久保田 Tel:03-3434-1410 Fax:03-3434-3593 E-mail:Hideki_Kubota@jma.or.jp	
5月	9日(日)~ 15日(水)	15th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-15)(バンコク、タイ)	'03.8/31 (Abstract)	'03.10/31	北海道大学大学院工学研究科物質工学専攻 井口学 E-mail:istp-15@eng.hokudai.ac.jp	
5月	27日(木) 28日(金)	日本機械学会関西支部第268回講習会「破壊力学の基礎と最新 応用(実験実習・計算演習付き)	'04.5/20		〒550-0004 大阪市西区朝本町1-8-4 大阪科学技術センター内(社)日本機械学会 関西支部 Tel:06-6443-2073 Fax:06-6443-6049 E-mail:jsme@soleil.ocn.ne.jp http://www.kansai.jsme.or.jp/	
7月	19日(月)~ 21日(水)	第32回可視化情報シンポジウム (工学院大学新宿校舎、東京)	'04.2/27	'04.5/17	〒114-0034 東京都北区上十条3-29-20-103 (社)可視化情報学会事務局 Tel:03-5993-5020 E-mail:info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp/sympo2004	
8月	5日(木)~ 7日(土)	日本湿相流学会年會講演会2004及び第23回湿相流シンポジウ ム (岡山大学津島キャンパス、岡山市)	'04.3/26	'04.6/11	〒700-8530 岡山市津島中3-1-1 岡山大学工 学部機械工学科伝熱工学研究室 日本湿相流 学会年會講演会2004及び第23回湿相流シ ンポジウム事務局 E-mail:jsmf@heat6.mech.okayama-u.ac.jp http://heat6.mech.okayama-u.ac.jp/jsmf/index.html	
8月	29日(日)~ 9月3日(金)	第24回国際航空科学会議横浜大会(24th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 2004, Yokohama) (パシフィコ横浜国際会議場、横浜市)	'03.7/31		〒181-0015 東京都三鷹市大沢6-13-1 航空 宇宙技術研究所 次世代超音速機プロジェクト - (第24回国際航空科学会議機務大会 組織 委員会 プログラム委員会幹事) 吉田恵司 Tel:0422-40-3510 Fax:0422-40-3536 e-mail:yoshiken@nal.go.jp http://www.jsass.or.jp/icas	
10月	4日(月)~ 8日(金)	第6回原子炉熱流動と運転及び安全性に関する国際会議 (NUTHOS6) (奈良県新公会堂、奈良市)	'03.12/15 (Abstract)		e-mail: info@nuthos6.org http://www.nuthos6.org	
11月	13日(土) 14日(日)	熱工学コンファレンス2004 (東北大学工学部 仙台市)	'04.6/11	'04.9/10	〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北 大学大学院工学研究科機械知能工学専攻 熱 工学コンファレンス2004 実行委員会委員長 太田照和 e-mail:ota@cc.mech.tohoku.ac.jp http://www.e-kenkyu.com/JSME-TEC2004	

第 41 回日本伝熱シンポジウムご案内

URL : <http://www3.toyama-u.ac.jp/~thermo/>

[開催日]

平成 16 年 5 月 26 日 (水) ~ 28 日 (金)

[講演会場]

富山国際会議場 (〒930 0084 富山市大手町 1 番
2 号 TEL : (076)424 5931)

富山県民会館 (〒930 0006 富山市新総曲輪 4 番
18 号 TEL : (076)432 3111)

[シンポジウム参加費]

一般 (事前申込 : 6,000 円, 会場申込 : 8,000 円)

学生 (事前申込 : 3,000 円, 会場申込 : 4,000 円)

[講演論文集]

- 1) 伝熱学会会員 : 事前申込者には CD-ROM 版を事前送付, 印刷版を当日会場受付にて配布します。当日申込者には会場受付にて CD-ROM 版と印刷版の両方を配布します。

不参加者には原則として印刷版は配布しませんが, CD-ROM 版のみ事前に送付します。

- 2) 伝熱学会非会員 : 事前申込者で論文集代金 (8,000 円) を支払われた方には CD-ROM 版を事前送付, 印刷版を当日会場受付にて配布します。当日申込者で論文集代金 (8,000 円) を支払われた方には会場受付にて CD-ROM 版と印刷版の両方を配布します。ただし, 会場受付にて会員登録した場合には論文集代金は無料です。

なお, 論文集のみの購入を希望される方は CD-ROM 版と印刷版の両方をシンポジウム終了後送付します。この場合は, 別途送料 1,000 円を頂きます。

[懇親会]

日 時 : 平成 16 年 5 月 27 日 (木) 18:00 ~ 20:00

会 場 : 名鉄トヤマホテル (〒930 0004 富山市
桜橋通り 2 28, TEL(076)431 2211)

参加費 : 一般 (事前申込 : 8,000 円, 会場申込 :
10,000 円, 夫婦同伴者 1 名無料)

学生 (事前申込 : 4,000 円, 会場申込 :
5,000 円)

[参加申込方法]

学会誌「伝熱」(2004 年 1 月号)もしくはホームページをご覧ください。

(事前申込締切 : 平成 16 年 4 月 9 日 (金))

[発表の形式]

発表時間はオーガナイズドセッション (O.S.) 以外 1 題目につき 10 分とします。初めに発表を行い後ほど一括して討論を行います。なお, 実行

委員会では OHP 兼用液晶プロジェクターを用意しますが, パソコンは各自ご持参下さい。また, パソコンとの接続トラブルに備えて紙原稿(透明シートでなくても良い)も必ずご持参下さい。

[特別講演]

日 時 : 5 月 27 日 (木) 15:00 ~ 16:00

会 場 : 富山国際会議場メインホール (A 室)

題 目 : 和漢診療学の風景

講 師 : 寺澤捷年 (富山医科薬科大学副学長)

この講演は一般市民も参加できます。

[総 会]

日 時 : 5 月 27 日 (木) 16:10 ~ 17:10

会 場 : 富山国際会議場メインホール (A 室)

[オーガナイズドセッション]

テーマ 1 : 生体における熱と物質移動

企画者 : 谷下一夫 (慶大)

日 時 : 5 月 26 日 (水) 16 : 25 ~ 18 : 05

会 場 : C 室

テーマ 2 : 熱物性研究開発の役割とその展望

企画者 : 稲葉英男 (岡山大)

日 時 : 5 月 27 日 (木) 13 : 15 ~ 14 : 45

会 場 : C 室

テーマ 3 : 電子機器における伝熱問題 1, 2

企画者 : 石塚勝 (富山県大)

日 時 : 5 月 28 日 (金) 10 : 35 ~ 14 : 35

会 場 : H 室

[IECEC2004 Pre-symposium セッション , ,]

日 時 : 5 月 27 日 (木) 9 : 00 ~ 14 : 35

会 場 : G 室

[優秀プレゼンテーション賞セッション]

日 時 : 5 月 26 日 (水) 9:00 ~ 18:05

会 場 : B 室, C 室

[学生・若手研究者の交流会]

日 時 : 5 月 26 日 (水) 18 : 20 ~ 20:20

会 場 : B 室

[宿泊・航空券・JR 券のご案内]

学会誌「伝熱」(2004 年 1 月号)またはホームページをご覧ください。

[お問い合わせ先]

第 41 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局

FAX&TEL : (076)445 6783 (平澤良男)

E-mail : thermo@eng.toyama-u.ac.jp

第 41 回日本伝熱シンポジウム [富山]

プログラム [第 1 日目 : 5 月 26 日]

A 室	B 室	C 室	D 室	E 室	F 室	G 室	H 室	I 室
A11	B11	C11	D11 ミクロ伝熱 1	E11	F11	G11	H11	I11 熱輸送システム とデバイス 1
沸騰 1	優秀プレゼン 1 (エネルギー 1)	優秀プレゼン 6 (熱流動 1)		対流 1	乱流 1	計測 1	融解・凝固 1	
9:00-10:20	9:00-10:20	9:00-10:20	9:20-10:20	9:00-10:20	9:00-10:20	9:00-10:20	9:00-10:20	9:00-10:20
A12	B12	C12	D12	E12	F12	G12	H12	I12 熱輸送システム とデバイス 2 10:35-11:35
沸騰 2	優秀プレゼン 2 (エネルギー 2)	優秀プレゼン 7 (熱流動 2)	ミクロ伝熱 2	対流 2	乱流 2	計測 2	融解・凝固 2	
10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	10:35-11:55	
A13	B13	C13	D13	E13	F13	G13	H13	I13 熱輸送システム とデバイス 3 13:15-14:15
沸騰 3	優秀プレゼン 3 (相変化 1)	優秀プレゼン 8 (熱流動 3) 13:15-14:15	ミクロ伝熱 3	対流 3	乱流 3	蒸発と凝縮 1	物質生成 1	
13:15-14:35	13:15-14:35		13:15-14:35	13:15-14:35	13:15-14:35	13:15-14:35	13:15-14:35	
A14	B14	C14	D14	E14	F14	G14	H14	I14 熱輸送システム とデバイス 4
沸騰 4	優秀プレゼン 4 (相変化 2)	優秀プレゼン 9 (熱流動 4) 14:50-15:50	ミクロ伝熱 4	回転体内の流れ	剥離流	蒸発と凝縮 2	物質生成 2	
14:50-16:10	14:50-16:10		14:50-16:10	14:50-16:10	14:50-16:10	14:50-16:10	14:50-16:10	14:50-16:10
A15	B15	C15	D15	E15	F15	G15	H15	I15 熱輸送システム とデバイス 5 16:25-17:25
沸騰 5	優秀プレゼン 5 (その他)	O.S.生体におけ る熱と物質移動	ミクロ伝熱 5	自然対流 1	燃料電池 1	液滴挙動	冷暖房システム	
16:25-17:45	16:25-18:05	16:25-18:05	16:25-17:45	16:25-18:05	16:25-17:45	16:25-18:05	16:25-18:05	
	16:25-18:05	16:25-18:05				16:25-18:05	16:25-18:05	

第 41 回日本伝熱シンポジウム [富山]

プログラム [第 2 日目 : 5 月 27 日]

A 室	B 室	C 室	D 室	E 室	F 室	G 室	H 室	I 室
A21 沸騰 6 9:00-10:20	B21 熱流動制御と計測 9:00-10:20	C21 物質伝達 1 9:00-10:20	D21 ミクロ伝熱 6 9:00-10:20	E21 自然対流 2 9:00-10:20	F21 燃料電池 2 9:20-10:20	G21 IECEC2004 Pre-symposium I 9:00-10:20	H21 電子機器・デバイス 1 9:20-10:20	I21 燃焼 1 9:00-10:20
A22 沸騰 7 10:35-11:55	B22 マイクロデバイス 1 10:35-11:55	C22 物質伝達 2 10:35-11:55	D22 ミクロ伝熱 7 10:35-11:55	E22 熱交換器 1 10:35-11:55	F22 冷凍サイクル 1 10:35-11:55	G22 IECEC2004 Pre-symposium II 10:35-11:55	H22 電子機器・デバイス 2 10:35-11:55	I22 燃焼 2 10:35-11:55
A23 沸騰 8 13:15-14:15	B23 マイクロデバイス 2 13:15-14:15	C23 OS熱物性研究 開発の役割と その展望 13:15-14:45	D23 二相流 1 13:15-14:35	E23 熱交換器 2 13:15-14:35	F23 冷凍サイクル 2 13:15-14:35	G23 IECEC2004 Pre-symposium III 13:15-14:35	H23 電子機器・デバイス 3 13:15-14:35	I23 燃焼 3 13:15-14:35
特別講演 (会場 : 富山国際会議場メインホール (A 室)) 15:00-16:00								
総会 (会場 : 富山国際会議場メインホール (A 室)) 16:10-17:10								
懇親会 (会場 : 名鉄トヤマホテル) 18:00-20:00								

第 41 回日本伝熱シンポジウム [富山]

プログラム [第 3 日目 : 5 月 28 日]

A 室	B 室	C 室	D 室	E 室	F 室	G 室	H 室	I 室
A31 マランゴニ対流 9:00-10:20	B31 マイクロ デバイス 3 9:00-10:20	C31 熱物性 1 9:00-10:20	D31 二相流 2 9:00-10:20	E31 超臨界 9:00-10:20	F31 冷凍サイクル 3 9:20-10:20	G31 ふく射 9:00-10:20	H31 電子機器・ デバイス 4 9:00-10:20	I31 伝熱制御 9:20-10:20
A32 半導体製造 10:35-11:55	B32 マイクロ デバイス 4 10:35-11:55	C32 熱物性 2 10:35-11:55	D32 混相流 10:35-11:55	E32 高分子材料 10:35-11:35	F32 多孔 +質内流動 1 10:35-11:55	G32 噴霧流 10:35-11:55	H32 O.S.電子機器 における 伝熱問題 1 10:35-11:55	I32 食品と生体 1 10:35-11:55
A33 噴流 1 13:15-14:15	B33 計算手法 13:15-14:35	C33 熱物性 3 13:15-14:35	D33 相変化利用 13:15-14:35	E33 粒子層 1 13:15-14:35	F33 多孔質内流動 2 13:15-14:35	G33 環境・ エネルギー 13:15-14:35	H33 O.S.電子機器 における 伝熱問題 2 13:15-14:35	I33 食品と生体 2 13:15-14:15
A34 噴流 2 14:50-15:50	B34 機器・システム 14:50-16:30	C34 熱物性 4 14:50-15:50	D34 熱流動特性 14:50-16:30	E34 粒子層 2 14:50-16:10	F34 熱伝達特性 14:50-16:10	G34 自然環境 14:50-16:10	H34 システムと 熱流動 14:50-16:10	I34 食品と生体 3 14:50-15:50

第 41 回日本伝熱シンポジウムプログラム

第 1 日 5 月 26 日 (水)

<A 室>

- A11 沸騰 1 9:00-10:20
- A111 液 - 液直接接触蒸発時の蒸気泡離脱現象に関する研究
*角口 勝彦(産総研)
- A112 ワイヤークoil挿入による垂直管内沸騰伝熱促進とそのメカニズム
*竹島 敬志(高知高専), 浅野 等(神戸大), 藤井 照重, 中松 英志(クボタ), 竹村 洋平(高知高専)
- A113 ラグランジュシミュレーションによるポストドライアウト熱伝達解析
*松浦 敬三(原燃工), 片岡 勲(阪大), 三島 嘉一郎(京大)
- A114 塩類添加液滴の加熱面上での蒸発特性に関する研究
*松村 邦仁(茨城大), 神永 文人, 古谷 正裕(電中研)
- A12 沸騰 2 10:35-11:55
- A121 圧力急減に伴うぬれやすい液体中の水平円柱における高圧下初期プール非沸騰又は沸騰から定常核沸騰又は膜沸騰への遷移
*福田 勝哉(神戸大), 櫻井 章(京大名誉教授)
- A122 有限長の垂直円柱まわりのサブクール膜沸騰熱伝達の実験
*山田 たかし(長崎大), 茂地 徹, 桃木 悟, 金丸 邦康
- A123 サブクール沸騰高熱流束域における合体泡下の液層ドライアウト挙動
*小野 綾子(北大), 坂下 弘人, 村井 郁夫, 杉山 憲一郎
- A124 サブクール状態下のプール膜沸騰における固液接触直後の濡れ性動的挙動に関する研究
大竹 浩靖(工学院大), *尾崎 陽一, 小泉 安郎
- A13 沸騰 3 13:15-14:35
- A131 加熱細線における気泡微細化プール沸騰
*湯浅 真樹(東大), 丹下 学, 渡辺 誠, 庄司 正弘
- A132 気泡微細化を伴うサブクール流動沸騰 (スケールアップ伝熱面の場合)
*國分 聡行(東理大), 鈴木 康一
- A133 サブクール流動沸騰系における脈動流下沸騰熱伝達に関する研究
大竹 浩靖(工学院大), *山崎 智史, 小泉 安郎
- A134 短い垂直円管内水の強制対流サブクール沸騰限界熱流束 (その 5. 溶存ガス濃度の影響)
*畑 幸一(京大), 小森 洋和, 塩津 正博, 野田 信明(核融合研)

- A14 沸騰 4 14:50-16:10
- A141 混合液の核沸騰限界熱流束
*筒井 正幸(九大), 藤田 恭伸
- A142 流動脈動下における傾斜管限界熱流束特性
*梅川 尚嗣(関西大), 田中 秀和, 平山 美緒, 小澤 守
- A143 鉛直矩形流路内流動沸騰における気泡底部の液膜に関する研究
*宮本 猛(デンソー/豊田工大), 海野 統治(豊田工大)
- A144 円管・矩形管内における液体窒素の沸騰伝熱流動特性
*平山 美緒(関西大), 武田 幸弘, 梅川 尚嗣, 小澤 守
- A15 沸騰 5 16:25-17:45
- A151 白金表面からの FC-72 の沸騰開始
*水上 紘一(愛媛大), ノル アフィファ ヤハヤ, 向笠 忍, 阿部 文明
- A152 線照射下における放射線誘起沸騰改善
*今井 康之(東大), 岡本 孝司, 班目 春樹, 賞雅 寛而(東京海洋大学)
- A153 リチウム系混合塩水溶液のプール核沸騰熱伝達特性
鴨志田 隼司(芝浦工大), *伊藤 穰台, 柴田 隆雄
- A154 人工キャピティ面からのイソプロパノールの核沸騰特性
*志村 暢彦(東大), 丹下 学, 渡辺 誠, 庄司 正弘

<B 室>

- B11 優秀プレゼン 1 (エネルギー 1) 9:00-10:20
- B111 矩形フィン形熱電素子の発電特性とマイクロシステムへの適用性
*小田 豊(京大), 吉田 英生
- B112 高出力密度 / 高効率な可逆セル・スタックの開発
*加藤 敦史(高砂熱学工業), 橘高 大悟, 小澤 由行, 屋 隆了(大機エンジニアリング), 熊谷 直和, 赤井 誠(産総研)
- B113 円筒型内部改質 SOFC セルの温度場と与える改質用触媒分布の影響
*西野 貴文(京大), 岩井 裕, 鈴木 健二郎(芝浦工大)
- B114 高圧作動による固体高分子形燃料電池の性能向上と膜内水分分布
*実生 達朗(東工大), 津島 将司, 平井 秀一郎
- B12 優秀プレゼン 2 (エネルギー 2) 10:35-11:55
- B121 ヒートパイプを用いた太陽熱多重効用型蒸留器の屋内実験
*田中 真人(久留米高専), 田中 大, 中武 靖仁, 平瀬 国男
- B122 太陽電池モジュール冷却用トップヒート型ヒートパイプの開発研究

		<C室>
	*小糸 康志(熊本大), 堀内 康洋, 山口 鉄洋, 井村 英昭, 鳥居 修一	
B123	光触媒に凝縮を併用した空間内臭気除去システムの開発 瀧本 昭(金沢大), 多田 幸生, 大西 元, *宮田 好司	C11 優秀プレゼン 6 (熱流動 1) 9:00-10:20
B124	マイクロCPC型ソーラーコレクタに関する研究 *加藤 潤(東北大), 齋藤 武雄	C111 Scheimpflug 配置を考慮した三次元三成分PIVの開発 *横山 大志(ミツバ), 二宮 尚(宇都宮大), 杉山 均
B13	優秀プレゼン 3 (相変化 1) 13:15-14:35	C112 傾斜冷却面への飽和湿り空気の凝縮熱伝達 *増田 智春(福井大), 仲野 達也, 永井 二郎, 竹内 正紀
B131	潜熱蓄熱スラリの過冷却現象の解明 工藤 一彦(北大), *中田 勝啓, 黒田 明慈, 小熊 正人(IHI)	C113 乱流場における熱および運動量輸送の相似性に関する一考察 *東根 光善(大阪市大), 加藤 健司, 東 恒雄
B132	強制対流下における極低温平板および円柱面への着霜に関する研究 *吹場 活佳(総研大), 佐藤 哲也(JAXA), 坪井 伸幸	C114 衝突噴流熱伝達を予測するための乱流モデルに関する研究 *佐藤 博(原研), 服部 博文(名工大), 長野 靖尚
B133	着霜円管群の噴流による昇華除霜挙動 稲葉 英男(岡山大), 堀部 明彦, 春木 直人, *藤岡 裕記	C12 優秀プレゼン 7 (熱流動 2) 10:35-11:55
B134	ベーシック型パルス管冷凍機における管壁の効果 *小清水 孝夫(九大), 久保田 裕巳, 高田 保之, 伊藤 猛宏(東亜大)	C121 ふく射特性制御のためのフォトニック結晶の作製と評価 *木原 正裕(九工大), 宮崎 康次, 塚本 寛
B14	優秀プレゼン 4 (相変化 2) 14:50-16:10	C122 傾斜多孔質体を用いた伝熱促進に関する研究 *富樫 ひさえ(東北大), 結城 和久, 橋爪 秀利
B141	高温水蒸気を用いたバイオマスによる水素製造に関する基礎的研究 *矢尾 俊介(東工大), 乙黒 一真, 吉川 邦夫, 岡 洋祐(中国電力), 中村 孝洋	C123 乱流微粉炭燃焼に及ぼすふく射熱の影響に関する数値解析的検討 *後藤 晃権(東北大), 両角 仁夫, 青木 秀之, 三浦 隆利
B142	ペーストリガ蒸気爆発のマイクロメカニズムに関する研究 *新井 崇洋(筑波大) 阿部 豊 佐藤 健一郎(三菱重工), 中川 裕二	C124 斜め波状壁を用いた再生熱交換器の伝熱促進機構 *森本 賢一(東大), 鈴木 雄二, 笠木 伸英
B143	水溶液凍結層と固体冷却面との付着状態の観察 *青山 剛士(信州大), 石川 正昭, 平田 哲夫	C13 優秀プレゼン 8 (熱流動 3) 13:15-14:15
B144	酸性水と金属を用いた水素発生貯蔵法 *清水 達哉(三重大), 加藤 征三, 西村 顕	C131 トムズ効果による乱流摩擦抵抗の低減機構 黒田 明慈(北大), *鈴木 潤, 工藤 一彦
B15	優秀プレゼン 5 (その他) 16:25-18:05	C132 キャビティ内を掃引する粘弾性流体の熱流動に関する数値計算 *山田 紗矢香(神戸大), 鈴木 洋, 薄井 洋基
B151	液滴振動法による表面張力測定における振幅の影響 *小野寺 博樹(東工大) 松本 聡(宇宙航空研究開発機構), 小宮 敦樹, 石川 毅彦, 依田 真一	C133 対称急拡大流路内の三次元剥離流れと熱伝達のLES *菅原 一彰(東北大), 吉川 浩行, 太田 照和
B152	低温プラズマ照射による幼苗育成の向上と食品素材の滅菌 *長島 啓介(群馬大), 稲田 茂昭, 藤波 一博(波里)	C14 優秀プレゼン 9 (熱流動 4) 14:50-15:50
B153	屋外空間における人間の熱的快適性に関する基礎的研究 吉田 篤正(大阪府大), 高村 聡, *杉岡 真宏	C141 磁性流体における強磁性微粒子の分散特性 *角田 憲隆(東工大), 松下 潤一郎, 木倉 宏成, 有富 正憲, 小林 勇二(理学メカトロ)
B154	マイクロポンプ用マイクロ流量計の開発 *藤原 真人(日機装), 村上 元章, 西山 尚(電通大), 角田 直人, 山田 幸生	C142 液柱内温度差マランゴニ対流における回転振動流と動的粒子集合(PAS) *田中 志穂(東理大), 上野 一郎, 河村 洋
B155	フィン&チューブ熱交換器のバス設計ツールの開発 *上藤 陽一(三菱重工), 青木 泰高	C143 単層カーボンナノチューブ成長過程のその場ラマン散乱及び温度測定 *千足 昇平(東大), 村上 陽一, 宮内 雄平, 丸山 茂夫
		C15 O.S. 生体における熱と物質移動 16:25-18:05
		C151 生体の凍結とその要素現象 *石黒 博(九工大)
		C152 頸動脈分岐部における血行力学 - 動脈硬化発症メカニズム解明に向けて -

- *多田 茂(東工大)
C153 血管内皮細胞の物質輸送能に及ぼせん断応力の影響
*工藤 奨(芝浦工大), 谷下 一夫(慶応大)
C154 RecQ 酵素の DNA 巻き戻し速度測定装置の開発
*宮崎 康次(九工大), 草野 好司, 安田 隆
- <D室>
- D11 ミクロ伝熱 1 9:20-10:20
D111 近接場光を用いたナノスケール熱物性計測法の開発: 単層カーボンナノチューブの予備的測定
田口 良広(慶応大), *小林 三香子, 堀口 幸裕, 齋木 敏治, 長坂 雄次
D112 アルコールから合成した単層カーボンナノチューブの近赤外蛍光分光
*宮内 雄平(東大), 小川 哲, 林田 恵範, 丸山 茂夫
D113 FT-ICR による SWNTs 生成触媒 Co/Fe 混合クラスターの質量分析と初期反応
*井上 修平(東大), 吉永 聡志, 井上 満, 丸山 茂夫
D12 ミクロ伝熱 2 10:35-11:55
D121 垂直配向単層カーボンナノチューブ膜の CVD 生成と光応用
*村上 陽一(東大), 千足 昇平, 宮内 雄平, 丸山 茂夫
D122 垂直配向単層カーボンナノチューブの成長機構
*エリック エイナルソン(東大), 枝村 理夫, 村上 陽一, 五十嵐 康弘, 丸山 茂夫
D123 単層カーボンナノチューブ生成初期過程の分子動力学
*澁田 靖(東大), 丸山 茂夫
D124 カーボンナノチューブの熱伝導と熱抵抗に関する分子動力学
*丸山 茂夫(東大), 谷口 祐規, 五十嵐 康弘
D13 ミクロ伝熱 3 13:15-14:35
D131 鎖状炭素分子の発熱的凝集過程に関する分子動力学シミュレーション
*山口 康隆(阪大), 若林 知成(京大)
D132 ナノ流動に伴う気泡生成機構の分子動力学シミュレーション
*長山 暁子(徳山高専), 鶴田 隆治(九工大)
D133 脂質膜における輸送現象に関する分子動力学解析
*杉井 泰介(東大), 高木 周, 松本 洋一郎
D134 固体壁面間でせん断を受ける極薄膜液体水の分子動力学的研究
小原 拓(東北大), *鳥居 大地
D14 ミクロ伝熱 4 14:50-16:10
D141 ナノポーラス垂直円柱表面での自然対流水分蒸発 (瀬戸半磁器 6 号土製素焼円柱の焼成温度の影響)
*原 秀介(東洋大)
D142 固気液接触界線の分子動力学
*木村 達人(神奈川大), 原村 嘉彦
- D143 液体の波動方程式に関する分子動力学的研究
*岩城 敏博(富山大)
D144 Si/SiO₂ 界面系の固体熱伝導の分子シミュレーション
松本 充弘(京大), *伊藤 陽一, 若林 英信, 牧野 俊郎
D15 ミクロ伝熱 5 16:25-17:45
D151 気液界面と電解質の相互作用に関する分子動力学解析
*菊川 豪太(東大), 高木 周, 松本 洋一郎
D152 水表面における二酸化炭素吸収の分子動力学的研究
*村岡 光夫(京大), 松本 充弘
D153 油水界面における界面活性剤の分子動力学
*七瀧 健治(東大), 大宮司 啓文
D154 ゼオライトへの水の吸着の分子動力学
*城野 克広(東大), 大宮司 啓文
- <E室>
- E11 対流 1 9:00-10:20
E111 反応を伴う液 - 液界面の不安定現象
西村 龍夫(山口大), 伊藤 義典, *渡辺 孝
E112 垂直加熱・冷却壁を持つ矩形容器内における上下に成層した 2 液の自然対流
*寺岡 喜和(青学大), 岡田 昌志, 松本 一樹, 中川 慎二(富山県大)
E113 二段ステップを有する垂直面上の自然強制複合対流熱伝達
*榎山 和宏(中央エンジニアリング), ヒムサーラムバリータ(室蘭工大), 宮西 広樹(スター農機), 天坂 陽星(SMC), 鈴木 淳(室蘭工大), 岸浪 紘機
E114 水平二重円管における自然対流のカオスへの遷移
*小早川 孝志(同志社大), 仁尾 明良(京都製作所), 千田 衛(同志社大), 稲岡 恭二
E12 対流 2 10:35-11:55
E121 塩水楔における二重拡散現象の三次元数値解析
*鎌倉 勝善(富山高専), 宮下 尚, 尾添 紘之(九大)
E122 液体金属の正方容器内共役自然対流に及ぼす側壁の熱伝導の影響
菊地 義弘(広島大), 片山 幸祐, *中川 亨
E123 時間発展自然対流境界層の乱流特性
*久保 英士(名工大), 辻 俊博, 服部 康男(電中研)
E124 勾配磁場の作用による熱的安定空気層の対流不安定
*日向野 三雄(秋田県大), 赤松 正人, 岡崎 康正, 渡部 慎也
E13 対流 3 13:15-14:35
E131 熱対流パターンとカオス挙動
加来田 智宏(九大), *柿本 益志, 増岡 隆士
E132 二重円管内密度成層中での自然対流熱伝達に及ぼす内管径の影響 (第 2 報, 内管径が小さい場合)
*姫野 修廣(信州大), 安達 貴弥, 中農 智恵美, 日向 滋

- E133 偏心内管から一定熱流束加熱した場合の水平二重円管内密度成層での二重拡散対流熱伝達
ブッレスファンディアリ チャム ジャムシッド (信州大), *日向 滋, 姫野 修廣
- E134 水平環状空間内の水の密度逆転を伴う自然対流の3次元構造
*舟渡 裕一(富山県大), 大田 晋, 鈴木 立之
- E14 回転体内の流れ 14:50-16:10
- E141 磁化力下における回転円筒容器内の水の流動
*赤松 正人(秋田県大), 日向野 三雄, 高橋 義雄, 尾添 紘之(九大)
- E142 画像処理流速計による回転キャピティ内流れの速度場計測
*齋藤 博史(東農工大), 村田 章, 望月 貞成
- E143 気液混在状態の密閉円形容器における容器回転時液体-容器間熱伝達特性
*堀 元人(富士電機アドバンステクノロジー)
- E144 回転チャンネル内流れの乱流伝熱構造
*塚松 裕崇(名工大), 服部 博文, 長野 靖尚
- E15 自然対流 1 16:25-17:45
- E151 自由界面を有する矩形容器内自然対流の伝熱現象と赤外線計測
*稲垣 照美(茨城大), 羽鳥 雅一, 鈴木 智博, 椎名 保顕(原研)
- E152 水平上向き加熱円板上自然対流の流動と伝熱
*北村 健三(豊橋技科大), 本谷 和浩, 福原 恵, 木村 文義(姫路工大)
- E153 端部が封鎖された水平上向き加熱平板まわりの自然対流の流動と伝熱
*木村 文義(姫路工大), 五郎丸 恭, 北村 健三(豊橋技科大)
- E154 溝内に置かれた水平加熱円管列の自然対流熱伝達
河合 洋明(北海道工大), *平 章介(ニッキ), 大竹 秀雄(北海道工大)
- <F 室>
- F11 乱流 1 9:00-10:20
- F111 流れ方向に分布をもつ加熱条件を課した平行平板間乱流熱伝達のDNS
*関 洋治(東理大), 河村 洋
- F112 熱伝達を伴う粗面乱流の準秩序構造
保浦 知也(名工大), 伊藤 正雄, *服部 博文, 長野 靖尚
- F113 安定密度成層下にある一様せん断乱流の渦構造と運動量輸送
*飯田 雄章(名工大), 佐田 郁馬, 吉田 一優, 長野 靖尚
- F114 自由界面近傍での乱流構造と熱輸送機構
*古谷 浩司(名工大), 飯田 雄章, 長野 靖尚
- F12 乱流 2 10:35-11:55
- F121 シアーのない壁面上乱流境界層に関する線形解析
*長田 孝二(京大), ジュリアン ハント(Univ. Col. London)
- F122 液膜流の乱流遷移
*朴 相戴(琉球大), 野底 武浩, 長崎 孝夫(東工大)
- F123 二重円管内乱流加熱ガス層流化のDNS
*佐竹 信一(東理大), 功刀 資彰(京大)
- F124 剥離, 再付着及び再発達を伴う乱流境界層での解析的関数モデルの評価
*須賀 一彦(豊田中研)
- F13 乱流 3 13:15-14:35
- F131 対向型T字合流管内乱流の流動特性
*中山 浩(名大), 廣田 真史, 信田 和弘
- F132 逆圧力こう配を伴う乱流温度境界層の熱伝達機構
*保浦 知也(名工大), 河野 一郎, 長野 靖尚
- F133 色彩場を用いたカラー画像 3D 速度測定による周期渦の平板上崩壊現象の解明
*三松 順治(岐阜大), 青山 光郎, 檜和田 宗彦
- F134 バッファ層内の高分子の絡まりと破断による乱流抵抗低減
大庭 玄(神戸製鋼所), *萩原 良道(京工繊大)
- F14 剥離流 14:50-16:10
- F141 急拡大矩形流路内の三次元剥離流れと熱伝達の数値解析
吉川 浩行(東北大), *石川 公威, 太田 照和
- F142 ダクト内バックステップ流れの熱伝達特性 - レイノルズ数とアスペクト比の影響 -
*岸 展之(同志社大), 橋下 健一, 稲岡 恭二, 千田 衛
- F143 ダクト内バックステップ流れの熱伝達に関する3次元数値解析 - 入口速度分布とアスペクト比の影響 -
*西村 路子(同志社大), 金子 明夫, 稲岡 恭二, 千田 衛
- F144 円管急拡大流れの再付着領域における周方向特性
*古市 紀之(岐阜大), 青山 拓磨, 熊田 雅弥
- F15 燃料電池 1 16:25-17:45
- F151 Numerical Prediction of Thermo-Fluid Field in a Disk Shape Planar SOFC
*党 政(京大), 岩井 裕, 鈴木 健二郎(芝浦工大)
- F152 固体高分子形燃料電池の過渡応答 ()
伊藤 衡平(九大), *益田 啓光, 増岡 隆士, 恩田 和夫(豊技大)
- F153 固体高分子形燃料電池のMRI計測に基づく膜厚方向電解質膜内水分移動現象の解析
*寺西 一浩(東工大), 津島 将司, 平井 秀一郎
- F154 固体高分子形燃料電池内の凝縮水生成挙動および温度分布の可視化観察
*小川 朋宏(北大), 野原 尚史, 菊田 和重, 近久 武美, 菱沼 孝夫(E&E 研究所)

<G室>

- G11 計測 1 9:00-10:20
- G111 水の吸収スペクトル変化を用いた流量計の基礎研究
*桃木 秀幸(電通大), 角田 直人, 落合 洋(東京計装), 山田 幸生(電通大)
- G112 レーリ散乱法による温度とラジカル自発光の局所同時測定
*瀬尾 健彦(阪大), 赤松 史光, 芝原 正彦, 香月 正司
- G113 光の揺らぎを利用した空間平均顕熱輸送量の屋外用計測装置の開発
*吉田 篤正(大阪府大), 阪口 斉(岡山大), 田中 仁士(大阪府大)
- G114 乱流予混合火炎における CH-OH PLIF/PIV 同時計測
*加藤 修司(東工大), 村上 伸一郎, 店橋 護, 崔 敬民(宇宙航空研究開発機構), 宮内 敏雄(東工大)
- G12 計測 2 10:35-11:55
- G121 パブリング・攪拌法によるクラスレート水和物生成時の水和物密度分布形成過程のMRI計測
*小川 邦康(慶応大), 川副 嘉郎, 拝師 智之(エム・アル・テクノロジー), 宇津澤 慎
- G122 臨界レイノルズ数を超える円柱後方乱流場のPIV計測
*津島 将司(東工大), 村岡 良一, 平井 秀一郎
- G123 高温高压水溶液測定用カロリーメータの開発(新しい熱量計セルの提案)
*田中 勝之(慶応大), 上松 公彦
- G124 HI-LIFによる液相内濃度場計測
山根 岳志(富山大), *和田 祐, 木下 貴典, 吉田 正道
- G13 蒸発と凝縮 1 13:15-14:35
- G131 微細流路におけるCO₂冷媒の凝縮伝熱特性
*長田 裕司(豊田中研), 長谷川 恵津夫(デンソー), 川久保 昌章
- G132 マイクロチャネル式高密度蒸気発生器の研究(第4報)
*田崎 豊(日産自動車), 宇高 義郎(横浜国大)
- G133 マイクロチャネル式蒸発器における蒸発薄液膜厚さ測定(第2報)
宇高 義郎(横浜国大), 田崎 豊(日産自動車), *奥田 修平(横浜国大)
- G134 密閉容器に封入した過飽和水溶液の冷却に伴う結晶成長および自然対流
*吉田 正道(富山大), 山根 岳志, 嶋 隆伸, 高坂 美由紀
- G14 蒸発と凝縮 2 14:50-16:10
- G141 ケイ酸ナトリウムの発泡特性(破泡の数値シミュレーション)
*大高 武士(都立大), 浅古 豊
- G142 自発的蒸気爆発の挙動におよぼす高温液物性と落下条件の影響
*高島 武雄(小山高専)

- G143 高温雰囲気中で蒸発する噴霧液滴群の干涉画像計測
*竹内 悟郎(慶応大), 川口 達也, 菱田 公一, 前田 昌信
- G144 振動を伴う自由界面における凝縮熱伝達に関する研究
*近藤 喜之(三菱重工), 武石 賢一郎, 北山 治, 徳永 建, 秋山 勝彦
- G15 液滴挙動 16:25-18:05
- G151 液滴衝突と音信号の発生
*関根 郁平(苫小牧高専), 花岡 裕(室蘭工大), 戸倉 郁夫
- G152 高密度不溶性液滴を含む上昇水流の熱伝達に関する数値シミュレーション
*川合 智也(京工繊大), 弓削 拓治(神戸製鋼所), 萩原 良道(京工繊大)
- G153 流れ方向に並んだ4液滴の一樣気流中における分裂(液滴分裂モデル評価のための基礎実験研究)
*鈴木 孝司(豊橋技科大), 三田地 紘史, 津嶋 賢太郎
- G154 フラーレンの溶媒中拡散係数の濃度依存性(ソーレー強制レイリ散乱法の適用)
*山本 泰之(慶応大), 長坂 雄次, 長島 昭
- G155 垂直自由落下液膜流における熱伝達の3次元数値解析
功刀 資章(京大), *木野 千晶, 芹澤 昭示

<H室>

- H11 融解・凝固 1 9:00-10:20
- H111 低温室に置かれた平板に落下する液滴の凍結現象
*長谷 有太(信州大), 平田 哲夫, 石川 正昭, 井上 忠一, 安江 宣征
- H112 低温恒温水槽における冷却熱交換器周りの凍結現象
*澤部 健司(信州大), 平田 哲夫, 石川 正昭, 上田 庸孝
- H113 アイスオンコイル方式による凍結濃縮の基礎実験
*松原 幸治(新潟大), 長谷川 聡, 小林 睦夫, 梁取 美智雄(新潟TLO)
- H114 マイクロ波照射下における細胞内凍結
*田嶋 俊介(九工大), 越野 英和, 鶴田 隆治
- H12 融解・凝固 2 10:35-11:55
- H121 ポリビニールアルコール(PVA)水溶液の磁気緩和時間, 誘電物性の測定
白樫 了(東大), *高野 清
- H122 冷却管周りの不織アルミニウム繊維層内水の凍結促進実験
菅原 征洋(秋田大), *金坂 大志, 小野寺 高広, 田子 真, 藤田 忠, 吉木 祐也(サンリツハイブリッド)
- H123 微粒子を含む液体の凝固における電場付与の影響
*青木 和夫(長岡技科大), 赤堀 匡俊, 田中 吉美, 星野 督亮
- H124 凝固界面進行に伴う溶存気体の掃き出し・捕捉現象
青木 和夫(長岡技科大), 赤堀 匡俊, 小泉 明, *星野 督亮

H13	物質生成 1	13:15-14:35	御特性 *北畑 慶之(神戸大), 藤井 照重, 浅野 等, 杉本勝美, 遠山 伸一(JAXA), 川崎 春夫
H131	メタン+エタン+プロパン混合ガス中への水噴霧によるクラスレート水和物の生成 (共存する大分子ゲスト物質の影響)		I113 蒸気圧利用抗重力形熱輸送装置の研究 *大串 哲朗(三菱電機), 村上 正明, 山中 晤郎 (三菱電機エンジニアリング)
H132	クラスレート水和物生成に及ぼす界面活性剤の効果		I114 相変化を利用した並列細管熱輸送デバイス *野口 誠貴(東農工大), 大西 徹夫, 望月 貞成, 村田 章
H133	ゲスト物質飽和水溶液中におけるクラスレート水和物の結晶成長 (メタンハイドレートの結晶モルフォロジー)		I12 熱輸送システムとデバイス 2 10:35-11:35
H134	分子動力学シミュレーションのための構造Hハイドレート結晶構造に関する研究		I121 細径SEMOS ヒートパイプに関する研究 *中岡 真一(東大), 永田 真一, 西尾 茂文
H14	物質生成 2	14:50-16:10	I122 振動流を用いた熱輸送管に関する研究 *林 知生(北大), 池川 昌弘, 山田 雅彦, 川南 剛, 高橋 大我
H141	過冷却水中の氷単結晶成長に与えるシランカップリング剤の影響		I123 脈動流による熱輸送の特性 *犬飼 哲(千葉大), 高橋 貢, 田中 学, 菱田 誠
H142	磁性流体を用いたフレーク氷の生成		I13 熱輸送システムとデバイス 3 13:15-14:15
H143	氷蓄熱における電荷による壁面氷結防止に関する研究 (素過程の検討)		I131 マイクロ SEMOS Heat Pipe の動作限界 永田 真一(東大), *汪 双鳳, 許 建偉, 西尾 茂文
H144	水和物スラリーの生成特性に関する研究		I132 マイクロチャンネルループヒートパイプの熱輸送特性 中別府 修(東工大), *宮田 悠也
H15	冷暖房システム	16:25-18:05	I133 加速度が体積力に誘発する影響を付与した平板型μHPの性能特性に関する研究 勝田 正文(早稲田大), *アハマド ジャリルバンド, 本間 裕二, 斎藤 紘一郎
H151	デシカント空調における水冷型吸着器の熱・物質移動特性		I14 熱輸送システムとデバイス 4 14:50-16:10
H152	ケミカル除湿を用いた高効率空調システムの基礎的検討		I141 リザーバ内蔵ループ型ヒートパイプの熱特性 *石川 博章(三菱電機), 大串 哲朗
H153	過冷却蓄熱を利用した床暖房システムの検討		I142 並列ループ型熱サイフンの伝熱特性に関する研究 (単管との比較) *神永 文人(茨城大), 徳原 淳, チャウドリ フィロズ, 松村 邦仁
H154	氷水貯蔵時の圧縮が流動水の透過率に及ぼす影響		I143 トップヒート型ループ熱サイフンの熱特性に及ぼす姿勢の影響 *一法師 茂俊(三菱電機), 上原 伸哲, 山田 晃
H155	最適化手法を用いた空調機用熱交換器の開発 (熱交換器フィン形状の最適化)		I144 反重力型二相熱サイフンによる熱輸送(第2報: 作動温度差について) *井村 英昭(熊本大), 一ノ宮 拓也, 小糸 康志, 鳥居 修一
	<1室>		I15 熱輸送システムとデバイス 5 16:25-17:25
I11	熱輸送システムとデバイス 1	9:00-10:20	I151 キャピラリーポンプの性能特性に関する研究 *岡田 雄介(神戸大), 藤井 照重, 浅野 等, 杉本勝美
I111	潜熱利用排熱システムにおける弁開度による温度制御に関する研究		I152 ミニチャンネル内の熱流動特性に関する研究 *菅谷 正則(神戸大), 藤井 照重, 浅野 等, 杉本勝美
I112	宇宙用潜熱利用排熱システムにおけるアキュムレータ制		I153 マイクロチャンネルを流れるガス流の熱伝達 *浅古 豊(都立大)

第2日 5月27日(木)

<A室>

- A21 沸騰 6 9:00-10:20
- A211 サブクールプール沸騰での気泡挙動 - 静電容量法と触針法による測定 -
小野 竜次郎(北大), *坂下 弘人, 村井 郁夫
- A212 マイクロストラクチャによる核沸騰伝熱促進
浅野 等(神戸大), *秋田 賢二, 藤井 照重
- A213 ワイヤラップ燃料ピンのリウエット特性(2)
*堺 公明(サイクル機構), 藤井 正 徹, 此村 守
- A214 対向流条件下高温垂直狭隘環状流路のリウエットングの研究(第2報)
小泉 安郎(工学院大), *坂本 直樹, 大竹 浩靖
- A22 沸騰 7 10:35-11:55
- A221 MEMS センサによる沸騰気泡核近傍の局所温度計測
中別府 修(東工大), *古川 雄太
- A222 鉛直円管内サブクール沸騰中における蒸気泡の挙動
*大川 富雄(阪大), 石田 竜裕, 片岡 勲, 森 治嗣(東京電力)
- A223 ミニチャンネル内の気泡微細化強制流動沸騰
*丹下 学(東大), 高木 周, 渡辺 誠, 庄司 正弘
- A224 2次元気泡の生成合体挙動
*石川 桂(東大), 楠原 誠(芝浦工大), 渡辺 誠(東大), 庄司 正弘
- A23 沸騰 8 13:15-14:15
- A231 浸漬冷却中の高温面の非定常冷却伝熱特性
*松田 昇一(佐賀大), 門出 政則, 光武 雄一
- A232 スプレーによる高温面の非定常冷却伝熱特性
門出 政則(佐賀大), *光武 雄一, 小島 良洋(原子力発電技術機構), 三上 晃(佐賀大)
- A233 濡れ限界温度に及ぼす接触角の影響
*山下 秋満(九大), 日高 澄具, 高田 保之

<B室>

- B21 熱流動制御と計測 9:00-10:20
- B211 PVC 流動層へのマイクロ波照射による選択的脱塩素
*小林 潤(名大), 堀 素美, 浜田 章裕, 小林 信介, 羽多野 重信, 板谷 義紀, 森 滋勝
- B212 化学反応場としての単一気泡の挙動に関する研究
*向笠 忍(愛媛大), 野村 信福, 豊田 洋通, 吉村 崇史(マツダE&T)
- B213 矩形導波管を用いたマイクロ波による流体の加熱特性
青木 和夫(長岡技科大), *赤堀 匡俊, 森田 正人, 金 秀男
- B214 水素吸蔵合金の劣化機構の反応速度論的考察
*廣澤 寿幸(東北大), 宮内 信輔, 両角 仁夫, 青木 秀之, 三浦 隆利

B22 マイクロデバイス 1 10:35-11:55

- B221 マイクロノズルを流れるガス流におよぼす粘性の影響
*村上 信太郎(都立大), 浅古 豊
- B222 マイクロ流路内の流体混合に及ぼす低周波振動の効果
*伊藤 靖仁(京大), 小森 悟
- B223 サーマルインクジェットノズルからの液中噴射
奥山 邦人(横浜国大), *岸川 慎治, 國枝 博信, 荒牧 賢治, 飯田 嘉宏
- B224 ナノフレディックチャンネルにおけるイオンの移動現象
*大宮 司 啓文(東大), P. Yang(Univ. California, Berkeley), A. Majumdar
- B23 マイクロデバイス 2 13:15-14:15
- B231 微小流動デバイス内混合性 2 流体における界面張力の影響
*杉井 康彦(東大), 岡本 孝司, 火原 彰秀, 渡慶次 学(神奈川サイエンスアカデミー), 北森 武彦(東大)
- B232 マイクロチャンネル内ステップ流における多種混合粒子を用いた熱流動制御
三松 順治(岐阜大), *小島 一孝
- B233 クライオプローブ用微小冷却器の基礎実験
円山 重直(東北大), *中川 和人, 酒井 清吾

<C室>

- C21 物質伝達 1 9:00-10:20
- C211 加圧超流動ヘリウムの強制対流熱伝達(2) 実験
*岡村崇弘(京大), 畑 幸一, 濱 勝彦, 佐伯 正仁, 白井 康之, 塩津 正博
- C212 加圧超流動ヘリウムの強制対流熱伝達(3) 数値解析
*岡村 崇弘(京大), 塩津 正博
- C213 加圧 He II 中のオリフリス付きダクト一端の平板発熱体における熱伝達
*塩津 正博(京大), 小西 聡士郎, 畑 幸一, 濱 勝彦, 白井 康之
- C214 有機系収着剤デシカントローターの水蒸気収着特性
稲葉 英男(岡山大), 堀部 明彦, 春木 直人, *山中 敬仁
- C22 物質伝達 2 10:35-11:55
- C221 流下液膜式マイクログループ蒸発器の高性能化に関する研究
*長谷部 昌平(東大), 鹿園 直毅, 笠木 伸英
- C222 水蒸気の空気中への移動
*田中 修(徳島文理大), 三島 崇宏
- C223 単分子吸着膜の 2 次元的状态相と吸着ダイナミクスとの関係
*安藤 嘉倫(慶応大), 泰岡 顕治
- C224 ローフィンによる縦板上凝縮熱伝達の促進(離散効果の予測について)
*儲 仁オ(コマツ) 門谷 皖一, 佐野 精二郎, 畠中 勉, 西尾 茂文(東大)

C23 O.S. 熱物性研究開発の役割とその展望13:15-14:45

<E室>

C231 熱物性研究開発の現状とその展望

*長坂 雄次(慶応大)

C232 分散型熱物性データベース開発の現状とその展望

*馬場 哲也(産総研)

C233 熱物性測定機器開発の現状とその展望

*新里 寛英(ベテル)

<D室>

D21 ミクロ伝熱 6 9:00-10:20

D211 ナノ構造物が界面エネルギー伝達へ与える影響

*芝原 正彦(阪大), 功刀 資彰(京大), 向 勝己(伊勢屋機械製作所), 香月 正司(阪大)

D212 分子動力学による Si 表面における SiH₄ 解離反応モデルの構築

*崎山 幸紀(東大), 伊賀 良彦, 高木 周, 松本 洋一郎

D213 分子動力学法による SiC 表面上のアルゴンクラスタ衝突
佐竹 信一(東理大), 功刀 資彰(京大), 芝原 正彦(阪大), *松井 隆之(東理大), 谷口 淳, 宮本 岩男

D214 ナノ・ミクロ多重多孔質層による伝熱促進: 空気の場合
*功刀 資彰(京大), 向 勝己(伊勢屋機械製作所), 芝原 正彦(阪大)

D22 ミクロ伝熱 7 10:35-11:55

D221 吸着 CO の挙動に及ぼす Pt 触媒の表面ステップの影響
井上 剛良(東工大), *今井 啓喬

D222 光から熱へのエネルギー変換過程の分子動力学モデルの構築とレーザー加工への応用
井上 剛良(東工大), *本郷 章紀

D223 遷移金属材の熱電子輸送表面粗さの影響
*ゾロツキヒナ タチアナ(産総研), 矢部 彰

D224 レーザー照射による腫瘍組織と微小循環の熱挙動に関する数値解析
*賀 纒(理研), 白崎 実, 劉 浩(千葉大), 姫野 龍太郎(理研)

D23 二相流 1 13:15-14:35

D231 高温高圧水蒸気二相流下での燃料棒表面液膜厚さに関する研究

*師岡 慎一(東芝), 佐藤 道雄, 白川 健悦, 山本 泰

D232 分岐管による固液二相流の分配特性 (水平方向の流入から上か下に分岐する場合)

*山本 司(福井大), 太田 淳一, 貝沼 洋介, 藤本 陽三, 高木 邦雄(松浦機械製作所)

D233 MRI 直接計測に基づく多孔質内の二相流動特性の解明

*石井 稔宏(東工大), 末包 哲也, 津島 将司, 平井 秀一郎

D234 鉛直円管内気液二相乱流の乱流構造変化 (高速度 PIV による時系列乱流微細構造の抽出)

*吉村 公希(慶応大), 湊 大樹, 佐藤 洋平, 菱田 公一

E21 自然対流 2 9:00-10:20

E211 上向きポアズイコ流の局所加熱流速測定に基づく極微小流量計

*小泉 博義(電通大), 小出 敏寛, 芹澤 将也, 熊谷 義貴

E212 水平から傾斜させた平行平板間の自然対流熱伝達

*本田 丈士(関西大), 福井 大輔, 石原 勲

E213 下端に流動抵抗をもつ垂直矩形流路内の自然対流熱伝達

*須田 吏(関西大), 本位伝 尚彦(三菱電線), 石原 勲(関西大)

E214 軸方向磁場印加下円筒容器内における導電性流体の静止状態からのスピニングアップ

李 昶昊(LG Cable), *田川 俊夫(九大), 玄 在民(韓国科学技術院), 尾添 紘之(九大)

E22 熱交換器 1 10:35-11:55

E221 流動層垂直管熱交換器の伝熱特性に対する層材挙動と空隙率の影響

*古井 秀治(関西大), 梅川 尚嗣, 都築 雅和, 大倉 正詞, 小澤 守, 竹中 信幸(神戸大)

E222 二重膜剥ぎ取り(DFR)熱交換器の伝熱特性 - 主として管外伝熱 -

*千葉 陽一(一関高専), 照井 剛, 高嶋 あつ也

E223 横型熱交換器 2 次側沸騰二相流における蒸気-水界面速度の測定

*近藤 昌也(原研), 中村 秀夫, 栗田 智久(東芝), 新井 健司, 岡崎 利彦(原電), 徳間 英昭(東京電力)

E224 三重管式熱交換器の伝熱および圧力損失

*松永 崇(久留米高専), 多田 宗儀(イズミフードマシナリ), 木村 淳平

E23 熱交換器 2 13:15-14:35

E231 ボール蓄熱体充填再生熱交換器の性能におよぼす各種パラメータの効果

工藤 一彦(北大), *若林 太郎, 持田 明野, 青木 修一(東邦ガス)

E232 潜熱回収型熱交換器における熱流動特性 (ストレートフィンにおけるフィンピッチとフィン長さの影響)

川口 清司(富山大), 奥井 健一, *下浦 貴裕, 大河内 隆樹(デンソー), 長賀部 博之, 蜷川 稔英

E233 ボイラ対流伝熱部に配置されたフィン付管群の熱・流動特性

*奥田 憲弘(関西大), 松本 亮介, 石原 勲, 小澤 守

E234 渦発生体を有する熱交換器の伝熱・圧力損失特性

*岩崎 正道(富士電機アドバンストテクノロジ), 久保山 公道, 齋藤 博史(東農工大), 藤澤 修, 望月 貞成, 村田 章

<F 室>

- F21 燃料電池 2 9:20-10:20
- F211 微細加工技術を用いたPEFC用金属拡散層に関する研究
*高橋 大志(東工大), 伏信 一慶, 岡崎 健
- F212 PEFC カソード用合金触媒表面の電子状態・原子構造と反応活性向上
岡崎 健(東工大), 伏信 一慶, 内本 喜晴, *小岩 信基, 国分 亮
- F213 燃料気化供給型ダイレクトメタノール燃料電池の膜直接加湿による発電特性への影響
*鈴木 祐二(東工大), 井上 剛良, 西端 基
- F22 冷凍サイクル 1 10:35-11:55
- F221 CO₂細管内蒸発伝熱特性への冷凍機油混入の影響
勝田 正文(早稲田大), 青柳 利治, 八木 俊太, 寺村 朋晃, *芳賀 亮, 向山 洋(三洋電機), 上村 一郎
- F222 新型媒体を用いた吸収冷凍機の特長
*野田 英彦(八戸工大), 山田 章, 阿部 貴宏, 松崎 晴美, 高橋 燦吉
- F223 垂直平板を流下するLiBr水溶液による水蒸気吸収
*山城 光(九大), 高松 洋, 井手 悟, 本田 博司
- F224 マイクロガスタービン・燃料電池・単効用および二重効用H₂O/LiBr吸収冷凍機からなるマイクロコージェネレーションシステムの性能評価
吉田 英生(京大), *上田 章雄, 齋藤 元浩
- F23 冷凍サイクル 2 13:15-14:35
- F231 吸収冷凍機における高効率吸収器の開発(第2報)
*李 允煥(産総研), 竹村 文男, 飛原 英治(東大), 遠藤 尚樹(産総研)
- F232 Analysis of Ammonia Absorption into Aqueous Solution - Simultaneous mass and heat transfer -
*ハーテム ムスタファ ムフタ(佐賀大), イーサマヒムード, 石田 賢治, 門出 政則
- F233 混合型吸収器を用いた吸収冷凍サイクルのシミュレーション
*土井 茂裕(日立空調システム), 李 允煥(産総研), 竹村 文男, 飛原 英治(東大)
- F234 LNG直冷CO₂液化器の概念設計
*満田 正彦(神戸製鋼), 田中 正幸, 関 辰与志(関西電力), 応本 和之

<G 室>

- G21 IECEC2004 Pre-symposium I 9:00-10:20
- G211 Economical and Environmental Aspects of Heat Pump System Utilizing Unused Energy in Aquarium
*Satoru Okamoto (Shimane Univ.)
- G212 Thermoelectric Properties of -Zn₄Sb₃ Synthesized by MA-SPS Method
*Takashi Itoh(Nagoya Univ.), Jiayi Shan, Kuniyuki

Kitagawa

- G213 Environmental Impact Assessment of Independent Co-generation Systems using LCA Method
*Naoki Maruyama (Mie Univ.), Yucho Sadamichi, Anugerah Widiyanto, Seizo Kato, Akira Nishimura
- G214 Life Cycle Analysis for Electricity Grid Systems in Japan
Anugerah Widiyanto(Mie Univ.), *Naoki Maruyama, Seizo Kato
- G22 IECEC2004 Pre-symposium II 10:35-11:55
- G221 Development of New Matrix for Stirling Engine Regenerator
*Atsushi Matsugutchi(Nat. Defense Academy), Noboru Kagawa, Seizo Tsuruno, Toshiki Izumi
- G222 Aerodynamic Loads on a Horizontal Axis Wind Turbine Rotor Exerted by Turbulent Inflow
Yutaka Hasegawa(Nagoya Univ.), Hiroshi Imamura, Kai Karikomi(Mitsubishi Heavy Industry), Naoyuki Yonezawa(Nagoya Univ.), *Junsuke Murata, Koji Kikuyama
- G223 High Yield CO₂ Conversion into CH₄ by Photocatalyst Coated on Cu Substrate
Seizo Kato(Mie Univ.), Akira Nishimura, *Nobumasa Sugiura, Naoki Maruyama, Shinji Kato(Noritake)
- G224 Study on spectral-control emitter in high temperature
*Tomoyuki Kumano(Tokyo Inst. Tech.), Katsunori Hanamura
- G23 IECEC2004 Pre-symposium III 13:15-14:35
- G231 Confinement Effects on the Dynamics of Swirl Stabilized Gaseous Fuel Flames
*A. K. Gupta(Univ. Maryland), S. Archer
- G232 The two-dimensional visualization of the premixing hydrogen-oxygen high temperature flame.
*Hiroyuki Oyama(Nagoya Univ.), Yuuhei Ueno (Nagoya Univ.), Kuniyuki Kitagawa, Ryushin Omasa(Japan Techno)
- G233 NOx emission and fly ash characteristics from oxygen-brown pulverized coal combustion
*Haeyang Pak(Nagoya Univ.), Nobuyuki Iwashima, Noriyuki Kobayashi, Masanobu Hasatani
- G234 Commercial Demonstration of Small-scale Gasification and Power Generation for Treatment of Municipal Solid Wastes
*Kunio Yoshikawa(Tokyo Inst. Tech.)

<H 室>

- H21 電子機器・デバイス 1 9:20-10:20
- H211 低風速管内に置かれた薄型ブロックの伝熱促進
*中村 元(防衛大), 五十嵐 保
- H212 平行平板流路に置かれた角柱列の圧力損失

- 膜厚さとの相互相関に関する検討
*佐々木 隆史(北大), 菊田 和重, 近久 武美, 菱沼孝夫(E&E 研究所), 盛満 和広(日立国際電気), 山口天和
- A33 噴流 1 13:15-14:15
- A331 衝突噴流による高温面の急冷却過程における均一核生成の可能性
*ピーター ロイド ウッドフィールド(佐賀大), 門出政則, オロック クマル モジュンダル
- A332 臭化リチウム水溶液の超音速ノズル内の二相膨張特性(ノズル内流動特性とノズルからの液滴噴流の観察)
*中村 聡史(東大), 李 允煥(産総研), 党 超鋸, 飛原英治(東大)
- A333 強制振動円柱が及ぼす衝突噴流熱伝達への影響
*羽田 喜昭(長野高専), 土屋 良明(信州大), 倉澤 英夫(長野高専), 中部 主敬(大阪府大), 鈴木 健二郎(芝浦工大)
- A34 噴流 2 14:50-15:50
- A341 流入型スワール流による衝突噴流の熱移動
一宮 浩市(山梨大), *玉川 学資, 塚本 恒二, 宮下寛章(カルソニックカンセイ)
- A342 クロス型 2 噴流による空間内温度分布制御
*駒田 隆太郎(慶応大), 鈴木 雄介, 山本 和之, 菱田 公一
- A343 衝突 2 次元噴流群における熱伝達のフィードバック制御-PIV・熱伝達の同時計測データに基づいたコントローラのチューニング-
*山本 和之(慶応大), 片山 智章, 菱田 公一
- <B 室>
- B31 マイクロデバイス 3 9:00-10:20
- B311 沸騰気泡を利用したマイクロポンプの研究
小泉 安郎(工学院大), *下重 直彦, 大竹 浩晴
- B312 沸騰の伝播現象を利用したマイクロポンプの基礎研究(第 2 報, 基板材質の影響)
奥山 邦人(横浜国大), *木野 高志, キム ジョンファン, 飯田 嘉宏
- B313 ナノバブルの発生特性に関する基礎的研究(第 2 報: 容気体量と超音波周波数の影響)
*後藤 瑞希(筑波大), 森松 達昌, 津代 久子(産総研), 河野 正道, 阿部 豊(筑波大), 矢部 彰(産総研/筑波大)
- B314 ナノバブルの洗浄機能に関する研究(第一報 微粒子汚れの洗浄効果)
*森松 達昌(筑波大), 後藤 瑞希, 河野 正道(産総研), 松岡 芳彦, 牧 博司(東理大), 矢部 彰(産総研/筑波大)
- B32 マイクロデバイス 4 10:35-11:55
- B321 ベッセルレーザービームを用いたマイクロドリル加工における, パルス幅の及ぼす影響
*河野 正道(産総研), 松岡 芳彦, 矢部 彰
- B322 ボルツマン輸送方程式による微小領域の熱伝導数値シミュレーション
嵐 豊貴(九工大), *宮崎 康次, 塚本 寛
- B323 分離型熱電素子における仕事関数差による冷却効果の研究
*大場 正和(筑波大), 松岡 芳彦(産総研), 矢部 彰(産総研/筑波大), 河野 正道(産総研)
- B324 無機レジストを用いた電子ビーム描画によるフォトニック結晶の作製
*谷口 淳(東理大), 佐竹 信一, 山本 圭輔, 宮本 岩男, 田口 佳男(エリオニクス)
- B33 計算手法 13:15-14:35
- B331 高速低温流に発生するキャピテーションに関する数値解析
*伊藤 優(東工大), 長崎 孝夫
- B332 気液界面における熱輸送量の C-CUP 法による評価法の検討
*阿部 陽介(総合研究大学院大学), 高橋 桂子(地球シミュレータセンター), 渡邊 智彦(核融合研), 佐藤 哲也(地球シミュレータセンター)
- B333 地球共生システムの数値シミュレーションに関する研究
*若嶋 振一郎(東北大), 齋藤 武雄
- B334 有限体積法における離散化行列方程式の高速計算手法の検討
*松下 洋介(東北大), 宮内 信輔, 両角 仁夫, 青木 秀之, 三浦 隆利
- B34 機器・システム 14:50-16:30
- B341 酸化カルシウム/二酸化炭素系ケミカルヒートポンプの出力性能数値解析
*リ コウテツ(東工大), 加藤 之貴, 吉澤 善男
- B342 超小型廃棄物ガス化発電システムにおけるガス化特性
*大野 淳平(東工大), オウ イン, 吉川 邦夫, 橋本 芳郎(マイクロエナジー), 松岡 一博
- B343 超小型マイクロペアクラップ熱交換システムの開発
*大川 大輔(東大), 鹿園 直毅, 笠木 伸英, 鈴木 雄二
- B344 カーエアコン用 HVAC における高・低温空気流の乱流混合
*廣田 真史(名大), 浅野 秀夫(デンソー/名大), 中山 浩(名大), 浅野 太一, 多田 勝義, 平山 俊作(デンソー)
- B345 焼却炉の性能予測に関する研究
*田中 貴博(IHI) 水野 昌幸 黒田 幸生 小熊 正人
- <C 室>
- C31 熱物性 1 9:00-10:20
- C311 ナノメートルスケールにおける金属薄膜の熱物性
*高橋 文明(名古屋市工研), 濱田 幸弘(名古屋都市産業振興公社), 八田 一郎(福井工大)
- C312 溶液拡散場における拡散係数の短時間高精度測定

	*狩谷 真太郎(東北大), 圓山 重直, 洒井 清吾, 小川 邦康(慶應大), 森 健太郎(東北大)	<D室>	
C313	超音波の伝播特性を利用した接触熱コンダクタンスの評価 - 数値シミュレーション - *叢 培忠(九大), 張 興, 藤井 丕夫	D31	二相流 2 9:00-10:20
C314	接触熱抵抗に及ぼす挿入フィラー材の物性の影響 *富村 寿夫(九大)	D311	狭い平行平板間流路における気液二相流の流動構造 *澤井 徹(近畿大), 宮崎 博規, 加治 増夫, 松井 剛一
C32	熱物性 2 10:35-11:55	D312	超音波によるマイクロ気泡の制御 *山本 茂季(京大), 小西 留美, 松本 充弘
C321	シリコンオイル - フロリナートの界面張力及び界面張力温度係数 *染矢 聡(産総研), 宗像 鉄雄	D313	稠密燃料集合体内二相流挙動に関する大規模シミュレーション *小瀬 裕男(大和システムエンジニア), 高瀬 和之(原研), 吉田 啓之, 玉井 秀定, 叶野 琢磨, 秋本 肇
C322	ナノ粉体 流体混合物の熱伝導率測定 *謝 華清(九大), 藤井 丕夫, 張 興	D314	濃度差マランゴ二凝縮における伝熱面温度勾配による表面張力差液体移動 宇高 義郎(横浜国大), *神山 知紀, 宮下 和哉
C323	火炎加熱をうける積層板 (不織アルミニウム繊維層, 耐火板, 木板など) の昇温実験 *菅原 征洋(秋田大), 村上 武治, 藤田 忠, 吉木 祐也(サンリツハイブリッド)	D32	混相流 10:35-11:55
C324	VIPR-UNIFAC gE モデルの相互作用パラメータ決定法に関する研究 *山口 朝彦(長崎大), ユルゲン ラーライ(オルデンブルク大), ユルゲン グメーリング	D321	熱媒体中に置かれた水平管群内の相変化物質の融解熱伝達 *廣瀬 宏一(岩手大), 渡邊 浩之, 畠山 純一, 横山 孝男(山形大)
C33	熱物性 3 13:15-14:35	D322	水平氷板上面の温度・濃度複合融解に現れるサメ肌現象と融解面近傍の対流模様 菅原 征洋(秋田大), *佐藤 佳央, 佐伯 惇, 田子 真, 藤田 忠
C331	凍結させた含水シリカゲルの融解過程に関する研究 *平澤 良男(富山大), 見崎 太, 竹越 栄俊	D323	不溶性凝固油滴の水中での融解特性 田中 雄太(千葉大), *中尾 吉伸, 田中 学, 菱田 誠, 椎名 保顕(原研)
C332	THERMO-REFLECTANCE による Silicon 基板上の SiO ₂ 薄膜の熱伝導率測定 *加藤 良三(アルパック理工), 八田 一郎(福井工大)	D324	氷スラリーの曲管内流動と熱伝達挙動 堀部 明彦(岡山大), 稲葉 英男, 春木 直人, *橋本 隆史
C333	熱電材料の薄膜形成過程における熱伝導率インプロセス測定に関する研究: 第3報 サブミクロン薄膜用装置の開発 長島 雅幸(慶応大), *實川 仁美, 長坂 雄次, 吉田 隆(名大), 須藤 公彦(中部 TLO 日立機研分室), 中里 典生	D33	相変化利用 13:15-14:35
C334	熱流計法による断熱材の熱伝導率測定 大村 高弘(ニチアス), *坪井 幹憲, 小野寺 正剛	D331	PCM を用いた NTE カプセルの浮力変化の推定 *高梨 耕史(都立大), 山口 義幸(姫路工大)
C34	熱物性 4 14:50-15:50	D332	CLFR を用いた太陽熱集熱技術における高融点相変化物質の調査 *星 朗(一関高専), デイビッド ミルズ(シドニー大), アントニー ビッター, 齋藤 武雄(東北大)
C341	生体内部物性値推定に関する逆問題数値シミュレーション *廣田 州弘(北大), 池川 昌弘, 山田 雅彦, 永田 真一	D333	相変化材を利用したコジェネレーション用熱供給ユニットの開発 *浅野 等(神戸大), 藤井 照重, 久角 喜徳(大阪ガス), 安孫子 哲男(住友精密工業), 堀 紀弘(ノーリツ)
C342	レーザー誘起表面波法による広範な粘性率動的計測に関する研究 (加熱パワー可変システムの導入および 0.1~10000mPa・s への適用) 大場 孝浩(慶応大), *藪井 謙, 長坂 雄次	D334	固液相変化潜熱を利用した流体温度変動の低減化に関する研究 *椎名 保顕(原研)
C343	放射線誘起および光誘起親水性 *古谷 正裕(電中研), 松村 哲夫, 賞雅 寛而(海洋大), 岡本 孝司(東大), 本城 義夫(電力テクノシステムズ), 宮野 征巳(産創研)	D34	熱流動特性 14:50-16:30
		D341	閉管内における臨界点近傍の二酸化炭素による熱輸送機構に関する研究 *林 宏樹(東大), 王 劍鋒, 飛原 英治
		D342	直角分岐部における振動流の可視化 *祖川 雄宇(千葉大), 勝山 祥光, 高橋 大輔, 田中 学, 菱田 誠

- D343 大気圧放電プラズマによる流動層型反応場を用いたオゾン生成
*石丸 和博(岐阜高専), 佐々木 信介
- D344 アルカリ水電解モデルの検討(離脱気泡径の計測)
*永井 二郎(福井大), 竹内 正紀, 杉山 健太, 古田 哲也
- D345 二酸化炭素を媒体とする二相流エジェクタの特性
*赤木 智(東大), 王 劍鋒, 飛原 英治
<E室>
- E31 超臨界 9:00-10:20
- E311 超臨界水溶液の管内乱流熱伝達特性
*松村 幸彦(広島大), 森 庸行, 菊地 義弘
- E312 直接数値計算による超臨界CO₂の伝熱促進機構の解明
橋本 克巳(電中研), *平澤 一暁(東工大), 店橋 護, 宮内 敏雄
- E313 超臨界圧から亜臨界圧への減圧時における管内流過渡熱伝達特性
*山下 徹(九大), 森 英夫, 大野 正規, 吉田 駿, 小見田 秀雄(東芝), 木藤 和明(日立)
- E314 超臨界二酸化炭素の冷却熱伝達に与えるオイルの影響
*福岡 賢(東大), 大藪 貴之, 党 超鋦(産総研), 王 劍鋒(東大), 飛原 英治
- E32 高分子材料 10:35-11:15
- E321 熱融着現象を利用した高分子材料の分別手法 - 実現可能性の検討 -
*島 一元(東工大), 佐藤 勲, 斉藤 卓志
- E322 溶融ポリマー流動先端の過渡特性
*高橋 誠(名工大), 辻 俊博
- E33 粒子層 1 13:15-14:35
- E331 PIV可視化実験によるペブル充填管内流れ構造の解明
*奥村 真澄(東北大), 結城 和久, 橋爪 秀利
- E332 粒子数密度が輻射の散乱に及ぼす影響のMaxwell方程式差分法による検討
*岡本 達幸(阪大), 山田 大円, 岸 真治, 高城 敏美
- E333 球状ゼオライト粒子内拡散過程の逆解析
*上宇都 幸一(大分大), 合原 麻美
- E334 ゲル状潜熱体スラリーの細管内強制対流熱伝達
稲葉 英男(岡山大), 堀部 明彦, 春木 直人, *中尾 紹男
- E34 粒子層 2 14:50-16:10
- E341 固液流動層の3次元熱流動解析
*大門 靖彦(北大), 池川 昌弘, 山田 雅彦, 伊勢村 将和
- E342 径の異なる粒子からなる固定層の有効熱伝導率に及ぼす温度の影響
*羽入田 勝也(北陸電力), 石田 哲義
- E343 径の異なる粒子からなる固定層の有効熱伝導率に及ぼす流体の影響
*石田 哲義(北陸電力), 羽入田 勝也
- E344 粒子層内のドライアウト現象に及ぼす粒子構造の影響
赤堀 匡俊(長岡技科大), 青木 和夫, *川口 孝則
<F室>
- F31 冷凍サイクル 3 9:20-10:20
- F311 LNG蓄冷装置の概念設計
*山本 誠一(神戸製鋼), 満田 正彦, 田中 正幸, 関辰与志(関西電力), 応本 和之
- F312 常温磁気冷凍システムにおける磁気作業物質の伝熱特性
*千葉 紘太郎(北大), 川南 剛, 池川 昌弘, 山田 雅彦, 磯野 祐介
- F313 シリカゲル-水吸着冷凍サイクルにおけるシリカゲル層厚さの最適化
*本間 寛己(静岡大), 増田 鎮, 荒木 信幸
- F32 多孔質内流動 1 10:35-11:55
- F321 多孔質体内乱流に関する考察(第1報 乱流発生とForchheimerドラッグ)
*中山 顕(静岡大), 桑原 不二朗, 本山 英明
- F322 多孔質体内乱流に関する考察(第2報 多孔質体内乱流のLES)
*桑原 不二朗(静岡大), 山根 聖久, 中山 顕
- F323 界面張力・濡れ性を考慮した多孔質内二層流のLBM解析
*末包 哲也(東工大), 塚本 佳久, 平井 秀一郎
- F324 格子ボルツマン法による多孔質体中の熱流動解析
*喜多野 一幸(富山大), 瀬田 剛, 奥西 泰之, 竹越 栄俊
- F33 多孔質内流動 2 13:15-14:35
- F331 多孔質内渦拡散に関する研究
*高津 康幸(広国学大), 増岡 隆士(九大)
- F332 積層多孔質体の乾燥機構に関する研究
谷川 洋文(九工大), *森田 大志, 鶴田 隆治
- F333 多孔質体を介した湿分移動(第1報 多孔質体材料性質の影響)
王 世学(横滨国大), 宇高 義郎, *桜井 章則, 田崎 豊(日産自動車)
- F334 多孔質体を介した湿分移動(第2報 流体の熱的条件および装置の幾何的条件の影響)
*王 世学(横滨国大), 宇高 義郎, 桜井 章則, 田崎 豊(日産自動車)
- F34 熱伝達特性 14:50-16:10
- F341 流体温度ゆらぎがある矩形流路内の熱伝達特性
*吉村 進哉(同志社大), 高木 義裕, 河村 雅也, 千田 衛, 稲岡 恭二, 村松 壽晴(サイクル機構)
- F342 鍋の伝熱学的研究
*高尾 俊匡(東大), 長尾 慶子(東京家政大), 渡辺 誠(東大), 庄司 正弘
- F343 遷音速タービン翼面熱伝達に関する研究
*北村 剛(三菱重工), 武石 賢一郎, 松浦 正昭, 野上

龍馬					
F344	オープンセル発泡金属の伝熱に関する実験的研究 *金 銘永(ダイキン), 藤野 広和, 柴田 豊, 吉岡 俊, 中田 春男				*山口 正敏(日本地下水開発), 安彦 宏人, 沼澤 喜一, 横山 孝男(山形大), 神谷 和憲
	<G室>				G344 電場による二酸化炭素吸収促進の試み: II 印加電圧極性の影響 多田 互孝(能開総大), *望月 高昭(学芸大), 梶 信藤 (能開総大)
G31	ふく射	9:00-10:20			<H室>
G311	日射と長波長放射を分離した正味放射束ベクトルの計測 *中村 泰人(熊本県大)				
G312	薄膜コーティング石英ガラスにおける等方半球入射光の 選択波長透過 熊野 智之(東工大), *花村 克悟			H31	電子機器・デバイス4 9:00-10:20
G313	ミスト雰囲気中のふく射 - 対流複合伝熱の数値解析 *酒井 清吾(東北大), 円山 重直			H311	電子機器におけるチャンネル構造壁による冷却促進 *矢澤 和明(ソニー)
G314	薄膜系と格子系により放射された熱ふく射球面波の干渉 *若林 英信(京大), 田中 洋之, 松本 充弘, 牧野 俊郎			H312	CMOS 構造を考慮したサブミクロン Si デバイスの熱・ 電気連成解析 *畠山 友行(東工大), 伏信 一慶, 岡崎 健
G32	噴霧流	10:35-11:55		H313	自然空冷電子機器における出口形状の影響 *北村 陽児(富山県大), 石塚 勝, 中川 慎二
G321	空隙率を考慮した Lagrange 法による噴霧流解析手法の 検討 *渡部 弘達(東北大), 松下 洋介, 両角 仁夫, 青木 秀之, 丹野 庄二, 三浦 隆利			H314	ベンチマーク筐体内で強制空冷される BGA パッケージ の熱性能(筐体内空間率の影響) *中山 和之(富山県大), 石塚 勝, 中川 慎二
G322	減衰乱流における噴霧の影響 *馬場 雄也(阪大), 赤松 史光			H32	O.S. 電子機器における伝熱問題 1 10:35-11:55
G323	スプレーフラッシュ蒸発による加圧加熱水の微粒化(完全 噴霧の形成条件) 小坂 暁夫(富山大), *尾崎 拓実, 竹越 栄俊, 平澤 良男			H321	モバイル電子機器に見る熱-複合工学の課題 *中山 恒(ThermTech Intern'l)
G324	微小量ミスト噴霧による伝熱促進 *瀬名波 出(琉球大), 宮藤 義孝(富山高専), 檜和田 宗彦(岐阜大), 親川 兼勇(琉球大)			H322	半導体電子デバイスにおける熱問題 *伏信 一慶(東工大)
G33	環境・エネルギー	13:15-14:35		H323	ファン性能評価とその問題点 *池川 昌弘(北大)
G331	風力を利用した海水淡水化蒸留器に関する研究 *中武 靖仁(久留米高専), 田中 大			H33	O.S. 電子機器における伝熱問題 2 13:15-14:35
G332	フライホイールエネルギー貯蔵に関する研究 *後藤 修平(東北大), 齋藤 武雄			H331	高周波インダクタの熱解析モデル化手法 *小泉 雄大(コーセル), 石塚 勝(富山県大)
G333	夏期都市空間の熱環境計測および評価に関する研究 *山田 昇(東北大), 道川内 亮, 齋藤 武雄			H332	パワーデバイス冷却における課題 *岩崎 秀夫(東芝)
G334	地中熱利用融雪システムの開発(群杭による季節蓄熱効果) *竹内 正紀(福井大), 永井 二郎, 宮本 重信(福井県雪 対策・建設技研), 大澤 良和(福井大), 五十嵐 俊介			H333	電子機器の理想的な冷却に関する一提案 *近藤 義広(日立)
G34	自然環境	14:50-16:10		H34	システムと熱流動 14:50-16:10
G341	大地での環境熱探熱と予測 *横山 孝男(山形大), 梅宮 弘道, 廣瀬 宏一(岩手大), 安彦 宏人(日本地下水開発)			H341	内部混合型二流体噴霧器における内部流動と噴霧特性 *川島 伸一(富山県大), 舟渡 裕一, 坂村 芳孝, 鈴木 立之
G342	植物が存在する環境の温度と湿度 *橋本 博文(筑波大)			H342	非構造格子を用いた圧縮性流れの数値計算について *中山 勝之(富山県大), 坂村 芳孝, 鈴木 立之
G343	融雪浸透水の影響を受ける排水性舗装体内放熱管からの 温度伝播			H343	PSP を用いた回転物体表面圧力計測 *北村 昌洋(富山県大), 坂村 芳孝, 鈴木 立之
				H344	球群が置かれた固体壁に衝撃波が入射したときの圧力変化 *小谷 明(富山県大), 舟渡 裕一, 坂村 芳孝, 鈴木 立之

<I室>

- I31 伝熱制御 9:20-10:20
- I311 切欠きフィン付設流路の熱流動特性に及ぼすフィン形状の影響
*野田 健生(大阪府大), 巽 和也, 中部 主敬
- I312 ヘリカルコイルにおける界面活性剤添加水の流動抵抗と熱伝達低減効果
稲葉 英男(岡山大), 堀部 明彦, 春木 直人,
*ウェルイブラハム アハメド アリ, 中田 達(東邦化学工業), 佐藤 健次
- I313 界面活性剤を添加したエチレングリコール水溶液の流動抵抗と熱伝達低減効果
*春木 直人(岡山大), 稲葉 英男, 堀部 明彦, 田中 真司, 中田 達(東邦化学工業), 佐藤 健次
- I32 食品と生体 1 10:35-11:55
- I321 電解質水溶液の高浸透圧ストレスに対する細胞の応答と損傷特性
石黒 博(九工大), 河野良平, *福田敬介
- I322 凍結解凍PC-3細胞の生存率
*高松 洋(九大), 福田 優子, シルビア ザヴロッカ
- I323 細胞外糖類による細胞内凍結抑制の機序に関する研究
*白樫 了(東大), 永澤 みゆき(電通大)
- I324 食品凍結における3次元ミクロ構造と損傷機序
*多田 幸生(金沢大), 中谷 博行(ダイキン工業), 瀧本 昭(金沢大), 林 勇二郎
- I33 食品と生体 2 13:15-14:15
- I331 放射加熱が発汗作用に及ぼす影響
*原 利次(日本工大), 石川 雄太, 石原 明
- I332 人の肌のふく射性質に関する研究
山田 純(山梨大), *川村 歩, 三浦 由将(資生堂),
高田 定樹, 小川 克基
- I333 クールジャケットの開発
工藤 一彦(北大), 長谷川 太一, *田中 肇, 黒田 明慈
- I34 食品と生体 3 14:50-15:50
- I341 マイクロ波減圧乾燥による海産物の乾燥法について
*林 伊久(福岡県工業技術センター), 川原 圭司(九工大),
原田 孝二, 鶴田 隆治
- I342 枯葉・枯れ枝への高電圧放電実験
*早坂 洋史(北大), 橋本 好弘(札幌消防研), 橋場 幸宗
(札幌高専), 関岡 昇三(関西テック), 新藤 孝敏(電中研),
浅川 聡, 本田 秀樹
- I343 遠赤外線加熱炉による焙煎技術
*和泉 秀明(山形大), 高橋 一郎

宿泊・航空券・JR 券のご案内

この度、富山にて開催されます「第41回日本伝熱シンポジウム」へのご参加を心より歓迎申し上げます。

全国各地より参加されます皆様の宿泊や交通についてご便宜をお図りするために、本シンポジウム限定の割引パックのご案内を近畿日本ツーリスト(株)富山支店よりさせていただくこととなりました。富山市内のホテルは収容数が少なく混雑が予想されます。また、お部屋数には限りがございますのでお早めにお申し込み下さいますようお願いいたします。

敬具

近畿日本ツーリスト(株)富山支店

1. 宿泊のご案内

申込み締め切り **2004年5月10日(月)必着**

(1) 宿泊設定日 2004年5月25日(火)26日(水)27日(木)28日(金)の4泊

(2) 設定ホテル 表中の金額は、**1泊朝食付・サービス料・消費税込み**の一人様の金額です。

記号	ホテル名	部屋タイプ	宿泊料金	ロケーション
A-S	富山全日空ホテル	シングル	11,000円	JR富山駅より徒歩12分 (国際会議場隣接)
A-T		ツイン	10,000円	
B-S	名鉄トヤマホテル	シングル	11,000円	JR富山駅より徒歩6分 (懇親会場ホテル)
B-T		ツイン	10,000円	
C	富山第一ホテル	シングル	11,000円	JR富山駅より徒歩10分
D-S	アパホテル富山駅前	シングル	8,000円	JR富山駅より徒歩6分
D-T		ツイン	8,000円	
E	富山地铁ホテル	シングル	7,200円	JR富山駅隣接 富山地铁駅直結
F	ルートイン富山	シングル	6,800円	JR富山駅より徒歩3分
G	パークイン富山	シングル	5,500円	JR富山駅より徒歩5分
H	ホテルプライム	シングル	5,200円	JR富山駅より徒歩5分

受付は先着順とさせていただきます。ご希望タイプが売り切れの場合、他のタイプやホテルに変更させていただく場合がございますのであらかじめご了承ください。

食事条件の変更による払い戻しは行いません。

2. 航空券・宿泊パックのご案内

申込み締め切り **2004年5月10日(月)必着**

下記の特別割引航空運賃は**ご宿泊をお申し込みの方のみ有効**となります。航空券のみのお申し込みは受けかねますのでご了承ください。

(a) 往路設定便

記号	搭乗日	区間	便名	発着時間の目安	普通運賃	大会割引運賃
A	5/25(火)	羽田 富山	全日空889	16:00 17:00	18,800円	13,000円
B	5/26(水)	羽田 富山	全日空883	09:00 10:00	18,800円	15,000円
C	5/26(水)	羽田 富山	全日空885	11:00 12:00	18,800円	15,000円

(b) 復路設定便

記号	搭乗日	区間	便名	発着時間の目安	普通運賃	大会割引運賃
ア	5/28(金)	富山 羽田	全日空884	09:00 10:00	18,800円	13,000円
イ	5/28(金)	富山 羽田	全日空888	16:30 17:30	18,800円	15,000円

代金には航空保険料、消費税を含みます。**2003年12月現在のスケジュール及び代金**に基づいておりますので変

お知らせ

更になる場合がございます。(最新の運行ダイヤをご確認下さい。)

各便とも**お申し込みの人員が5名様以上**に満たない場合は便のご変更をお願いするか、通常運賃でのご案内となりますのでご了承下さい。また、予めご用意した座席が満席になり次第締め切りとさせていただきます。

3. JR券・宿泊パックのご案内 申込み締め切り **2004年5月10日(月)必着**

下記の特別割引JR料金は**ご宿泊をお申し込みの方のみ有効**となります。JR券のみのお申し込みは受けかねますのでご了承下さい。

設定区間

区 間	利用列車名	通常料金(片道)	大会割引料金(片道)
東 京～富 山	とき+はくたか	11,600円	9,500円
名古屋～富 山	しらさぎ	8,280円	7,000円
大 阪～富 山	サンダーバード	8,490円	7,250円
京 都～富 山	サンダーバード	7,960円	6,750円
岡 山～富 山	ひかり+サンダーバード	11,110円	10,250円
広 島～富 山	ひかり+サンダーバード	13,820円	11,750円
博 多～富 山	ひかり+サンダーバード	16,360円	13,250円

ご希望の列車・乗車日を指定の上、**2名様以上でお申し込み下さい**。また特別割引切符のため、お申し込み後の予約の変更はできません。(予め列車の時刻表をお調べ下さいますようお願いいたします。)

座席は普通指定席となります。代金には片道の乗車券・指定席特急料金が含まれます。

JR各列車の指定席は**ご乗車日の1ヶ月前の発売**となり、ご指定の列車をご用意できない場合もございますので予めご了承ください。

4. お申し込み方法について

別紙申込書に必要事項をご記入後、ファクシミリ又は郵送にてお申し込み下さい。

下記ホームページでも受付をいたしております。

<http://www.knt.co.jp/ec/2004/htsj41/>

申込み締め切り 2004年5月10日(月)必着

5. 予約回答書発送について

先着順に受け付け、「**予約回答書・請求書**」を申込み代表者へ発送いたします。

6. 代金のお支払い

指定日までに請求書に記載の口座へお振り込み下さい。

なお、通信事務費としてお一人につき500円を申し受けますのでご了承下さい。

7. 変更・取消について

申込み後の**変更・取消については必ず書面にてご連絡**下さい。

取消日に応じて以下の取消料を申し受けます(当社営業日を基準としますので休日にあたる場合はその前日から取消料が発生いたします)。取消料と通信事務費を差し引いた残金をご返金させていただきます。ご返金の精算は事務手続き上大会終了後に行うことがありますので予めご了承下さい。

お知らせ

取消料

(1) 宿泊 / 1泊につき

取消日	宿泊日の20日前以降	宿泊日の10日前以降	宿泊日の前日	宿泊当日及び無連絡
取消料	宿泊料金の20%	宿泊料金の30%	宿泊料金の50%	宿泊料金の100%

(2) 航空券 / 片道につき

区 間	出発の13日前～10日前	出発の9日前～1日前	出発当日及び無連絡
羽田発着便	2,420円	4,420円	6,420円

(3) JR券 / 片道につき

取消日	出発日の20日前以降	出発日の前日	出発時刻以降及び無連絡
取消料	530円	JR代金の30%	JR代金の100%

お申し込み・お問い合わせ先

近畿日本ツーリスト(株)富山支店

「第41回日本伝熱シンポジウム」担当：丸田・坂井

〒930-0003 富山市桜町1-4-24

TEL: 076-433-8855 FAX: 076-433-8609

営業時間：9時～18時 土・日・祝日休み

第41回日本伝熱シンポジウム 宿泊・航空券・JR券申込書

FAX送付先：076-433-8609

お申込み手順について

- ・ 必要事項ご記入後FAX又は郵送にてお申し込み下さい。(締め切り5月10日必着)
- ・ 先着順に受け付け後に、代表者の方へ「予約回答書・請求書」を郵送いたします。
- ・ 指定の口座へ(請求書に記載)代金全額をお振り込みお願いします。
- ・ 通信事務費としてお申し込み1名様につき500円加算させていただきます。
- ・ 航空券及びJR券は弊社に宿泊のお申し込みがある場合のみ有効です。必ず宿泊とセットでお申し込み下さい。

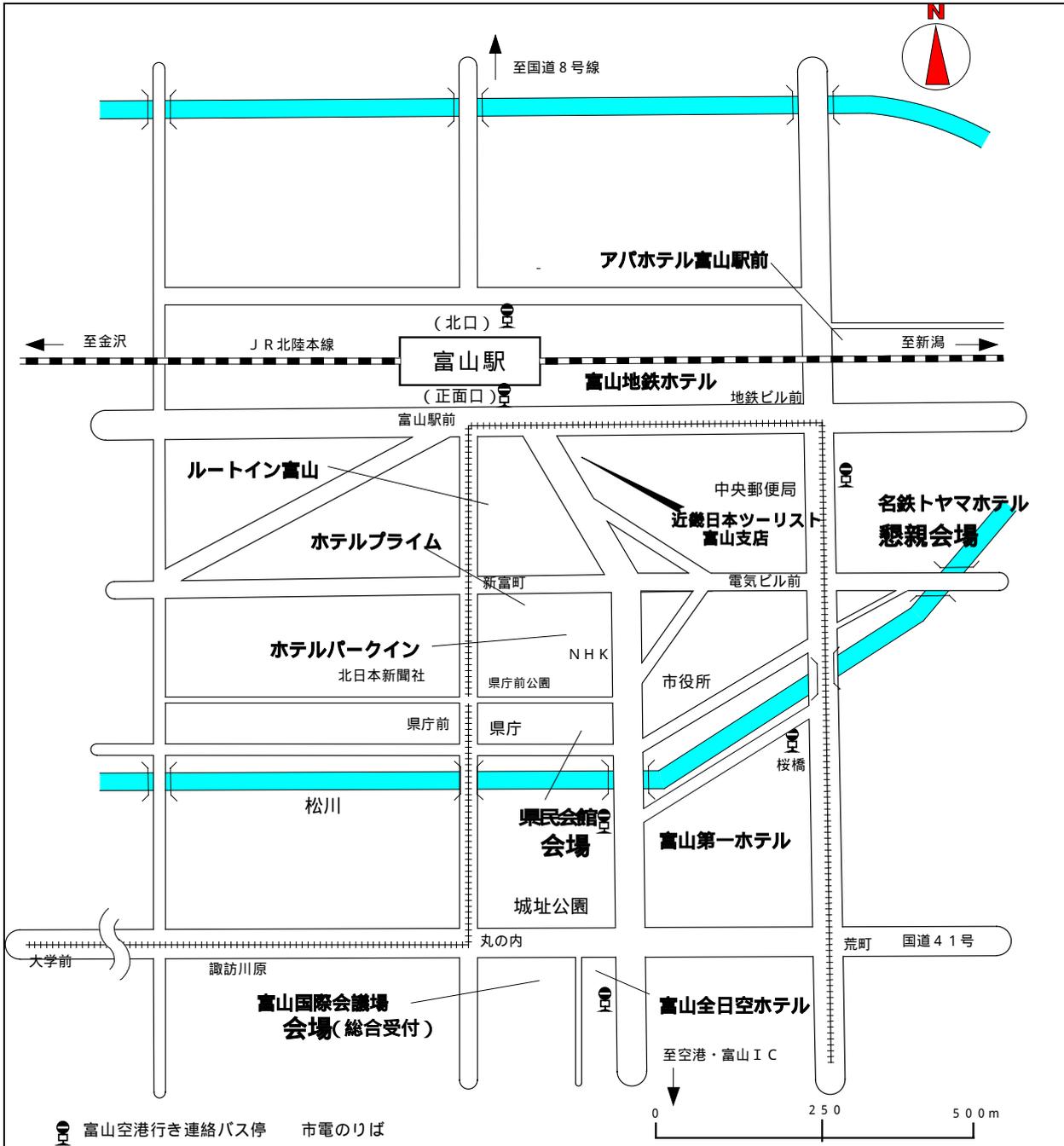
申込代表者氏名										
連絡先		TEL () -				(内線)				
勤務先名										
回答書送付先 (勤務先・自宅)		〒 - 住所		TEL:() -		FAX:() -				
(ふりがな) 宿泊者氏名	年令	性別	宿泊日				泊数	ホテル記号		同室者名
			5/25	5/26	5/27	5/28		第1希望	第2希望	
		男女								
		男女								
		男女								
		男女								
		男女								

航空券・JR券の予約をお申し込みの方 (上記で宿泊をお申し込みの方に限ります)

航空券の予約 (設定便の中からご選択下さい。)					
日付	区間	便名	記号	印	人数
5/25 (火)	羽田～富山	ANA889便 16:00 頃発	A		
5/26 (水)	羽田～富山	ANA883便 09:00 頃発	B		
5/26 (水)	羽田～富山	ANA885便 11:00 頃発	C		
5/28 (金)	富山～羽田	ANA884便 09:00 頃発	ア		
5/28 (金)	富山～羽田	ANA888便 16:30 頃発	イ		

JR券 (設定区間の中でご希望の列車を指定して下さい。)						
	日付	乗車駅	下車駅	列車名	人数	煙草
往路	5/ ()	(:) 発	富山駅 (:) 着			喫煙 禁煙
復路	5/ ()	富山駅 (:) 発	(:) 着			喫煙 禁煙

会場・ホテル案内



富山駅より富山国際会議場 (総合受付) まで徒歩 12 分

富山駅より名鉄トヤマホテル (懇親会場) まで徒歩 6 分

富山空港から J R 富山駅まで直通連絡バスで約 30 分, タクシーで約 20 分

北陸自動車道富山インターより富山駅まで車で約 20 分

日本伝熱学会・学生会委員会の活動について（第41回日本伝熱シンポジウム：富山）

学生会委員会・委員長 三松 順治

学生会員・若手会員を主たる対象とする下記の2行事の開催を、第41回日本伝熱シンポジウム（富山）の第1日目に、予定しております。対象の方のみではなく、ぜひ多くの日本伝熱学会の会員の皆様に、御参加・御協力戴き、有意義な行事にしたいと存じますので、何分にも、よろしく御願い申し上げます。

優秀プレゼンテーション賞（学生・若手研究者を対象）

第41回日本伝熱シンポジウムの優秀プレゼンテーション賞セッションでは、企業・大学・研究機関等の各研究Gを代表する35件の研究発表および審査を実施する予定ですので、伝熱学会の会員の皆様方には、多数の御参加・御聴講および審査・質疑応答への御協力を、何分にも、よろしく御願い申し上げます。

- 日時：平成16年5月26日（水）第1日目 B11,B12,B13,B14,B15 C11,C12,C13,C14 セッション 計35件
対象：企業、大学、研究所等の技術者・研究者で、平成16年3月31日現在28才以下の者、または、発表申込当日学生の者（今回より発表対象者を広げ、若手研究者も対象に致します。）
応募資格：発表時（＝審査時）に、日本伝熱学会の会員（正員、学生会員）or 申し込み中である事。
応募の数：研究グループ長または指導教官等あたり、1名（1件）の発表応募とさせていただきます。
審査方法：各講演に対して、数名の学会役員（理事、評議員、企画部会員および学生会委員等：現在・旧）に、審査・講評を依頼し、審査結果を集計して選考致します。先に提出の論文原稿内容より、当日のプレゼンテーション（講演・討議等）を重視して審査し、続く交流会で結果をお渡します。

学生・若手研究者の交流会（兼：優秀プレゼン賞結果発表会） 全会員対象 ＜日本伝熱学会・学生会委員会、企画部会：共同主催＞

優秀プレゼン賞セッション後、学生会員・若手研究者の交流を目的とした会を予定しております。御自分で若手（＝現役）と自負される研究者を含め、多数の会員の皆様の御参加・御支援を御願い申し上げます。

- 日時：平成16年5月26日（水）学会第1日目 18:20-（2時間程度の予定）場所はB室の予定
対象：プレゼン賞応募者、学生会員、伝熱学会の若手会員、学会役員、学生会委員、含む：審査員
参加費：無料＝プレゼン賞応募者・学生会員、1000円＋＝それ以外の会員（1日目午前中：受付横で！）
体裁：気楽な簡単パーティ形式（飲み物・食べ物付きで開催）、参加リスト・名札を作成。CD-ROMを配布。
内容：
・次世代研究者へのメッセージ（講演）＜学会、国際化、次世代研究、学会での若年層：仮題＞
1. 伝熱学会の現状と将来 日本伝熱学会・会長 荻野先生
2. 伝熱研究の国際的状況 同上・国際委員会・委員長 圓山先生
3. 次世代伝熱研究の萌芽 日本伝熱学会・副会長 小澤先生
4. 学会での若年層の役割 同上・学生会委員会・委員長 三松順治
・配布CD-ROM（内容：各HP・リンク・資料集）概要説明⇒各自のノート型PCで見ながら研究紹介を実施
・プレゼン賞応募者・国内外の研究室・研究Gの紹介（各ブロック毎、学生会委員、本人など）
・優秀プレゼン賞の審査方法・審査状況・全体分布等の説明（学生会幹事）、各自の結果表配布
・優秀プレゼンテーション賞の結果発表・候補者内定（＝決定）・確認、お祝い、挨拶、連絡
・交流会＝懇親会（出席者間交流促進、若手企業研究者の研究・就職体験談の短い発表：数件）
申込方法：参加申込（プレゼン応募者外）はWEBページ上で！（http://netsu-n.mep.titech.ac.jp/htsj/we_are_youngJ.html）
申込期限はリスト・名札・CD-ROM等の準備の為5月18日（火）迄です。*飛入り参加は当日でもOKです。

TRANSPORT PHENOMENA IN MICRO AND NANODEVICES

**October 17-24, 2004
Kona, Hawaii**

The meeting will bring together a small but select group of researchers interested in all aspects of transport phenomena in micro and nanodevices. That is the transport of mass, momentum, energy, and information in devices with characteristic lengths ranging from several nanometers to several micrometers. Potential applications include micro and nano systems involving mixing, combustion, energy conversion, computing, bioanalytics, chemical synthesis, photonics, etc. Also included are micro- and nanofabrication technologies involving transport phenomena, such as spin coating, etching, CVD, etc.

There will be a strong presence in the conference of quantum transport to complement traditional transport (such as mass, momentum and energy flux in solids and fluids), all of course as taking place in minute devices. Those two disparate communities hardly know much about each other and the conference should be useful in correcting this. Poster presentations will be included if the number of requests for oral presentations exceeds the meeting capacity.

Dr. Mohamed Gad-el-Hak, Virginia Commonwealth University, USA
Professor Nobuhide Kasagi, The University of Tokyo, Japan
Dr. Steffen Hardt of the Institute of Microtechnology, Mainz, Germany

Additional information about this Conference - and a registration form - can be found at the Conference's web site:

<http://www.engconfintl.org/4at.html>

Engineering Conferences International (ECI) is the successor to the United Engineering Foundation Conferences. ECI offices are located at 6 MetroTech Center, Brooklyn, NY 11201;
Tel: 1-718-260-3743, Fax: 1-718-260-3754,
E-mail: bkhengconfintl@aol.com, WWW: <http://www.engconfintl.org>.

芝浦工業大学工学部機械工学科教員公募

1. 募集人員 教授 1 名
2. 所 属 機械工学科
3. 専門分野 熱エネルギー系（熱工学，伝熱工学）
4. 担当科目 熱力学，環境・エネルギー工学，機械ゼミナール，機械工学実験など（担当する科目は多少変更する可能性があります）
5. 応募資格
 - (1) 博士の学位を有する方
 - (2) 大学院の教育・研究指導ができる方
 - (3) 60 歳までの方
 - (4) 学生指導に熱意のある方
6. 着任日時 2004 年 10 月 1 日もしくは 2005 年 4 月 1 日
7. 提出書類
 - (1) 履歴書（写真貼付）
 - (2) 業績リスト
 - ・ 研究業績（学術論文，国際会議論文，口頭発表，著書，特許など）
 - ・ 研究費の導入実績（文部科学省科研費 その他）
 - ・ 教育実績（教授したことのある科目など）
 - (3) 最近 5 年間の主要研究論文の別刷り（5 編以内，コピー可）
 - (4) 健康診断書（形式は随意，2 ヶ月以内）
 - (5) 教育と研究に対する考え方（2000 字以内）
 - (6) 推薦書（可能であれば）
8. 締切日 2004 年 7 月 31 日（土）必着
9. 選考方法 書類選考，面接および模擬授業
10. 書類提出先および問い合わせ先

〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 / 芝浦工業大学 工学部機械工学科 主任 / 宇都宮登雄 /

電話 (03) 5476-3107 (直通) / FAX (03) 5476-3068 / E-mail : utunomiy@sic.shibaura-it.ac.jp

応募書類は簡易書留で，封筒表面に応募書類と朱書きして下さい。なお，応募書類は返却できないこともありますので，あらかじめご了承下さい。

「伝熱」会告の書き方

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

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

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

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

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

1. 「伝熱」, 「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。

(本年度発行予定: 5, 7, 9, 11, 1, 3月号)

- ・正会員, 学生会員, 名誉会員, 推薦会員に1冊送付
- ・賛助会員に口数分の冊数送付

2. 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。

- ・正・学生・名誉・推薦の各会員に1部, 賛助会員に口数分の部数(但し, 伝熱シンポジウム開催の前年度の3月25日までに前年度分までの会費を納入した会員に限る)

【入会手続き】

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

(注意)

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

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

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

【会費納入について】

会費は当該年度内に納入してください。請求書はお申し出のない限り特に発行しません。会費納入状況は事務局にお問い合わせ下さい。会費納入には折込みの郵便振替用紙をご利用下さい。その他の送金方法で手数料が必要な場合には、送金者側の負担にてお願い致します。フリガナ名の検索によって入金の手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となります.

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には,必要に応じて代表者を変更できます.

(学生会員から正会員への変更)

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

(変更届提出上の注意)

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

【退会届について】

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

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間,会費を滞納されている会員の方々は,至急納入をお願いします.特に,平成12年度以降の会費未納の方には「伝熱」「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており,近く退会処分が理事会で決定されます.

3.事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております.

事務局

《業務内容》

-)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,新入会員への学会誌「伝熱」,論文集「THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」発送,その他刊行物の発送
-)その他必要な業務

《所在地》

〒113-0034 東京都文京区湯島2-16-16

社団法人 日本伝熱学会

TEL, FAX: 03-5689-3401

E-MAIL: htsj@asahi-net.email.ne.jp

HP: http://www.htsj.or.jp

(土日,祝祭日を除く,午前10時~午後5時)

(注意)

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

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻

笠木 伸英

TEL: 03-5841-6417 FAX: 03-5800-6999

E-Mail: htsj@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp

新入会員（2004.1～2004.2） 8名

資格	氏名	勤務先
正	中野 真理子	三菱電機（株）住環境研究開発センター
正	Peter Lloyd Woodfield	佐賀大学 海洋エネルギー研究センター
学生	高橋 誠	名古屋工業大学大学院工学研究科
学生	和田 賢宣	神戸大学大学院自然科学研究科
正	松田 昇一	佐賀大学 海洋エネルギー研究センター
学生	田中 志穂	東京理科大学 理工学研究科
学生	宮本 猛	豊田工業大学 工学部工学研究科
学生	山田 紗矢香	神戸大学 工学部

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届出用紙

(右の該当に を記入) 1. 正会員・学生会員入会申込書
2. 変更名(書面による届出のみ受付け)
(注意) ・楷書体で明瞭に記入 ・氏名にふりがなを付す
・通信文は余白に記入 ・申込時に郵便振替にて会費納入

0	申込年月日				年			月			日	
1	会員資格	正・学										
2	氏名											
3	ふりがな											
4	生年月日	1	9		年			月			日	
5	* 勤務先・ 学校	名称										
6		〒										
7		所在地										
8		TEL										
9		FAX										
10		電子メール										
11												
12	自宅	〒										
13		住所										
14		TEL										
15		FAX										
16	通信先**		勤務先・自宅			自宅情報を会員名簿に記載しない…						
17	学位											
18	最終出身校											
19	卒業年次		T・S・H									
20	分専	基礎的分野			(下記の専門分野の番号)							
21	野門	応用分野										
22	学生会員の場合:指導教官名***											
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												

専門分野

基礎的分野

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

応用分野

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

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

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する.

***) 学生会員入会申込者は, 指導教官の署名・捺印を受ける.

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

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届け用紙

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

ご記入に際しての注意

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

1	会員資格	賛助会員											
2	代表者氏名												
3	ふりがな												
4	代表者勤務先	名称(所属)											
5		〒											
6		所在地											
7		TEL											
8		FAX											
9	共通・専用												
10	口数	口											
11													

日本伝熱学会入会のご案内

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

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

会費の振込先 ;

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

広告>

センサテクノス株式会社

広告

有)テクノオフィス 3月号 更新版

広告
日本カノマックス

編集後記

暖かい春を迎え、花粉症が流行ると思いきや、流行ったのは鳥インフルエンザであります。BSE問題といい、今回の事件といい、食の安全について考えさせられました。新年度から国立大学が法人化されると、今度は“職”の安全を考えないといけないようです。くだらない駄洒落を書いたので、また寒くなってしまいました。

さて、3月号は栗山委員の編集による《最近の機能材料とその応用》の特集号です。また、《Qシリーズ》という新企画も始まりました。年度末のお忙しい中、原稿をご準備くださいました執筆者の方々にお礼申し上げます。

本誌への原稿の投稿、また、本誌に対するご意見・ご要望など、お近くの下記委員ないしは編集出版事務局、第42期編集出版部会委員までお寄せください。

副会長	太田 照和	東北大学
部会長	高田 保之	九州大学
委員		
(理事)	近久 武美	北海道大学
	北村 健三	豊橋技術科学大学
	平田 哲夫	信州大学
	藤井 照重	神戸大学
	奥山喜久夫	広島大学
(評議員)	栗山 雅文	山形大学
	稲田 茂昭	群馬大学
	花村 克悟	東京工業大学
	白樫 了	東京大学
	吉田 英生	京都大学
	石黒 博	九州工業大学
(事務)	久保田裕巳	九州大学
TSE チーフエディター		
	西尾 茂文	東京大学
TSE 出版担当		
	永井 二郎	福井大学

平成 16 年 3 月 10 日

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

複写される方に

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

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

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

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

Notice about photocopying

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

Except in the USA

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

In the USA

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

伝 熱

ISSN 1344-8692

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol. 43, No. 179

2004年3月発行

発行所 社団法人 日本伝熱学会
〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16
電話 03(5689)3401
Fax. 03(5689)3401
郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan
16-16, Yushima 2-chome, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0034, Japan
Phone / Fax : +81-3-5689-3401