

ISSN 1344-8692 Vol. 43 No. 183

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

◇ナノ領域への挑戦～実験的アプローチによる熱・物質移動～◇

2004. 11

「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

〈ナノ領域への挑戦 ～実験的アプローチによる熱・物質移動～〉

特集：「ナノ領域への挑戦 ～実験的アプローチによる熱・物質移動～」 平田 哲夫（信州大学），田坂 誠均（住友金属工業（株））	1	
単層カーボンナノチューブの基板上垂直配向成長と光学異方性 丸山 茂夫，村上 陽一（東京大学）	2	
カーボンナノ物質の燃焼合成 奥山 正明（山形大学），富村 寿夫（九州大学），越後 亮三	6	
ベッセルビームを用いたレーザーマイクロドリル加工	河野 正道（九州大学）	10
ナノバブルによる固体微粒子汚れの洗浄 矢部 彰（産業技術総合研究所），森松 達昌（筑波大学大学院）	16	
ナノスケール表面構造制御による光機能表面の創生	山田 純（山梨大学）	19

〈プロジェクトQ〉

新型プリウスにおける性能向上について 阿部 眞一（トヨタ自動車株式会社 HVシステム開発部）	26
---	----

〈国際活動・会議報告〉

Professor E.R.G. Eckert 生誕 100 周年記念シンポジウムに出席して 平田 賢（芝浦工業大学）	32
Eckert 教授生誕 100 周年記念伝熱シンポジウム報告 武石 賢一郎（大阪大学）	34
第 2 回エネルギー変換工学に関する国際会議 [IECEC-2004] 報告 丸山 直樹（三重大学）	37

〈シリーズ 博物館めぐり（2）〉

田川石炭資料館	吉田 英生（京都大学）	39
---------------	-------------------	----

〈Heat Transfer〉

ピクテとカイエテ	高田 保之（九州大学）	42
----------------	-------------------	----

〈行事カレンダー〉	43
-----------------	----

〈お知らせ〉

第 42 回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集	46
優秀プレゼンテーション賞（第 42 回日本伝熱シンポジウム：仙台）	50
事務局からの連絡	52
「伝熱」会告の書き方	53

インターネット情報サービス

●<http://www.htsj.or.jp/>

最新の会告・行事の予定等を提供

●htsj@asahi-net.email.ne.jp

事務局への連絡の電子メールによる受付

日本伝熱学会 2004 年度（第 43 期）会長・副会長・理事・監事

◆会 長 荒木 信幸（静岡大学）

◆副会長 増岡 隆士（九州大学）

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

武石 賢一郎（大阪大学）

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

笠木 伸英（東京大学）

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

◆監 事 伊藤 正昭（日立製作所）

工藤 一彦（北海道大学）

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.43, No.183, November 2004

CONTENTS

< Challenge to Nano-Technology ~Experimental Approach in Heat and Mass Transfer~ >

Special Issue on "Challenge to Nano-Technology~Experimental Approach in Heat and Mass Transfer~"	
Tetsuo HIRATA (Shinshu University), Masahito TASAKA (Sumitomo Metal Industries Ltd.)	1
Growth of Vertically Aligned SWNT Films on Substrates and Their Optical Anisotropy	
Shigeo MARUYAMA & Yoichi MURAKAMI (Tokyo University)	2
Flame Synthesis of Carbon Nanomaterials in Premixed Flames	
Masaaki OKUYAMA (Yamagata University), Toshio TOMIMURA (Kyushu University), Ryoza ECHIGO	6
Laser Micro Drilling Using a Bessel Beam	
Masamichi KOHNO (Kyushu University)	10
Cleaning Effect of Small Particle Contaminated Plate by Utilizing Nano-bubbles Contained Water	
Akira YABE (AIST), Tatsumasa MORIMATSU (Univ.Tsukuba)	16
Optical Functional Surface by Microstructure	
Jun YAMADA (University of Yamanashi)	19

< Project Q >

ProjectQ "Performance Improvement of New Prius"	
Shinichi ABE (Toyota Motor Corporation Hybrid System Management)	26

< Report on International Conference and Seminar >

On Attending the E.R.G Eckert 100 th Anniversary Symposium	
Masaru HIRATA (Shibaura Inst. of Technology)	32
Report on Ernst R. G. Eckert 100 th Anniversary Symposium on Heat Transfer: A Career That Changed a Field	
Ken-ichiro TAKEISHI (Osaka University)	34
Report on 2 nd International Energy Conversion Engineering Conference	
Naoki MARUYAMA (Mie University)	37

< Museum Tour >

Tagawa City Coal-mining Museum	
Hideo YOSHIDA (Kyoto University)	39

< Heat Transfer >

Pictet and Cailletet	
Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)	42

< Calendar >	43
---------------------------	----

特集：「ナノ領域への挑戦 ～実験的アプローチによる熱・物質移動～」

Special Issue on "Challenge to Nano-Technology ～Experimental Approach in Heat and Mass Transfer～"

平田 哲夫 (信州大学), 田坂 誠均 (住友金属工業 (株))

Tetsuo HIRATA (Shinshu University), Masahito TASAKA (Sumitomo Metal Industries Ltd.)

ナノカーボン入りの化粧品？新聞記事を読んで目を疑いました。黒くならないのだろうか... 炭素原子がサッカーボール状に結びついたフラーレン入りの化粧品素材で、従来の美白化粧品の1/50の量で、より美白効果が持続するという。化粧品として商品化された場合、価格は高級化粧品レベルの数万円になるらしい。ナノテクノロジーは、材料・バイオをはじめ半導体産業におけるナノ加工技術など広い範囲で応用されてきていますが、化粧品業界にまで広がってきました。このように近年のナノ領域に関わる技術進展は目覚ましいものがあります。

伝熱の専門分野においてもナノ領域の研究は年々増加の一途をたどっており、関連する研究会も各方面で開催されています。「ナノ」をキーワードとして最近の伝熱シンポジウムの題目を検索してみると、平成14年度4件、平成15年度17件、平成16年度17件となっており、今後ますます重要なキーワードとなることは間違いありません。このような状況の中で、ナノ領域に深い関心を持ち様々な方法でアプローチを試みておられる研究者、また、ブレークスルー技術として取り組んでおられる技術者など、多くの会員の方々への研究情報として、最近の伝熱シンポジウムの講演発表の中から主に実験的研究（または将来実験を予定している研究）を中心として、ナノ研究に造形の深い先生方に執筆していただきました。

本特集号は、次の7つの記事で構成されています。

- (1) 単層カーボンナノチューブの基板上垂直配向成長と光学異方性
..... 丸山茂夫 (東京大学) 他1名
- (2) カーボンナノ物質の燃焼合成
..... 奥山正明 (山形大学) 他2名
- (3) ベッセルビームを用いたレーザーマイクロドリル加工
..... 河野正道 (九州大学)

- (4) ナノバブルによる固体微粒子汚れの洗浄
..... 矢部 彰 (産業技術総合研究所) 他1名
- (5) ナノスケール表面構造制御による光機能表面の創生
..... 山田 純 (山梨大学)
- (6) 生体内の酸素輸送 (仮題) (次号掲載予定)
..... 田村 守 (北海道大学)
- (7) Micro and nano-scale phenomenon in bio heat transfer (次号掲載予定)
..... Prof. J. Bischof (Univ. of Minnesota)

(1)では、基板表面に垂直配向SWNT膜を生成する方法及びそれがランダムSWNT膜に比べて高い偏光異方性を有し、その特徴を用いた光デバイスへの応用性について述べられています。

(2)では、カーボンナノチューブやナノファイバーの生成法として、粉末状のFe/Mo触媒を用いた燃焼法について述べられています。また、粉殻を燃焼場に入れて生成する方法も試みられています。

(3)では、ワークディスタンスや焦点深度が数十mm程度に大きく取れるベッセルビームを用いて、シリコン基板やSUSへのマイクロ加工例が述べられています。

(4)では、超純水ジェットに100nm以上の直径を持つナノバブルを加えることにより、シリコンウェハー表面に付着させた50nm以下のアルミナ微粒子を洗浄できることが述べられています。

(5)では、モルフォ蝶の発色原理を例に挙げて、微細構造表面の反射性質をMaxwell方程式を数値的に解いて求める方法及びその解析例について述べられています。

生体関係の(6)、(7)は入稿が間に合わず、次号に掲載予定です。

最後に、本特集号のために執筆を快諾していただきました先生方に、厚く御礼申し上げます。

単層カーボンナノチューブの基板上垂直配向成長と光学異方性 Growth of Vertically Aligned SWNT Films on Substrates and Their Optical Anisotropy

丸山 茂夫, 村上 陽一 (東京大学)

Shigeo MARUYAMA & Yoichi MURAKAMI (Tokyo University)

1. はじめに

単層カーボンナノチューブ(Single-Walled Carbon Nanotubes, SWNTs)はグラフェンシートを直径 1~3 nm 程度の円筒状に丸めた幾何学形状を有する炭素材料であり, その微細性及び幾何学構造に由来する電子・光学特性や非常に高い機械強度と熱伝導率を有することから, 幅広い分野で応用に向けた研究が進められている[1].

具体的には, グラフェンシートを丸めた幾何学形状によって, π 電子の波動関数が円周方向の周期境界条件を満たして量子化する. このため, SWNT の電子状態密度は van Hove 特異点と呼ばれる発散を示し, 分子と固体との中間的な形になる[1]. また, 巻き方を決めるカイラルベクトルによって, van Hove 特異点(ほとんど離散的なエネルギー準位でありサブバンドとも呼ばれる)のエネルギーが決まり, 金属であるか半導体であるかも決まる. サブバンド間の電子遷移は赤外~可視光のエネルギーに対応し, 様々な分光測定に利用されるとともに, 超高速可飽和吸収素子, 極微細赤外光エミッタ及び赤外光ディテクタなどの光デバイスとしての応用が考えられる.

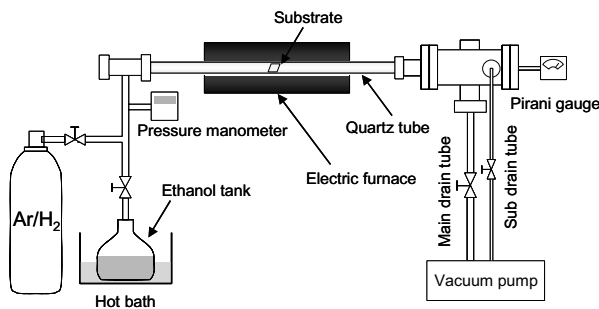


図 1 CVD 装置概略図

SWNT の合成に関しては, レーザーオープン法やアーク放電法に代わって大量合成の可能な CVD 法の開発が進んできている. 著者らはアルコールを炭素源とする触媒 CVD 法(ACCVD 法)によって, 高純

度の SWNT が簡単な装置で合成できることを示した[2]. ゼオライトに触媒金属微粒子を担持することで高収率の SWNT が合成できるとともに[3], カイラリティの分布を狭くできる[4]. また, 簡単な実験装置での高純度合成が可能であることから, 合成中のラマン散乱分光[5]なども可能となった. さらに, ACCVD 法では CVD 温度を比較的低温にできることが, 以下のシリコン基板などへの SWNT の直接合成へとつながった.

従来は, SWNT を合成するためのナノスケールの金属触媒を担持するためには, シリカ, アルミナやゼオライトなどの酸化物粉末やこれらの膜を用いるのが決め手であると考えられていたが, 石英やシリコン基板などの平滑な基板に簡単なディップコート法で触媒金属を担持することでも, ACCVD 法の CVD 温度では凝集や基板材料との反応が起こらないことがわかり, シリコン基板や石英基板上への高純度 SWNT の合成が可能となった[6,7]. さらに適切な CVD 条件下において SWNT が基板から高密度に垂直配向成長すること[8-10]も明らかとなった. それまで, 基板上での垂直配向は直径が 1 桁大きく前述の数々の物性を有しない多層カーボンナノチューブ(MWNT)でのみ可能と考えられていた. 本報では垂直配向 SWNT 膜の成長法, 触媒形成過程, 垂直配向膜の示す光学異方性, 及び考えられる応用について述べる.

2. 触媒担持及び CVD 方法

エタノール溶液に酢酸 Co, 酢酸 Mo を, 各金属種が 0.01 wt% となるように溶解し, シリコン或いは石英基板をこれから 4 cm/min の一定速度で引き上げた後, これを 400 °C 空气中で焼成し酢酸塩を分解する. SWNT の作成にはアルコール CCVD 法[2, 3]を用いる. CVD 装置(図 1)に基板をセットし, Ar/H₂ (3% H₂) の混合気を流しながら 800 °C まで加熱して行く. この過程で酸化状態にあった触媒微粒子は

還元され、活性を取り戻す。加熱後、CVD直前に石英基板を取り出し、基板背面から機械研磨、アルゴンイオンミリングで削って[10]透過型電子顕微鏡(TEM)で基板表面を観察したのが図2である。左下の拡大図の格子間隔から、黒く見える点がCo粒子に対応し、Moは非結晶状態にあるため像として見えない。この像から判るように、還元雰囲気下で800°Cまで加熱しても、本方法では直径1~2nmのCo触媒粒子が熱凝集することなく極めて高密度(~ $1.0 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$)に担持される。CoとMoは1対1で化合し安定な酸化化合物 CoMoO_x ($x \approx 4$)を形成することが知られ、本方法ではCoとMoのモル比が約1.6:1であることから、余剰Coが SiO_2 表面の CoMoO_x 層によって安定化され、熱凝集に耐える高密度微細分散が実現することがTEM及びX線光電子分光より明らかになっている[10]。

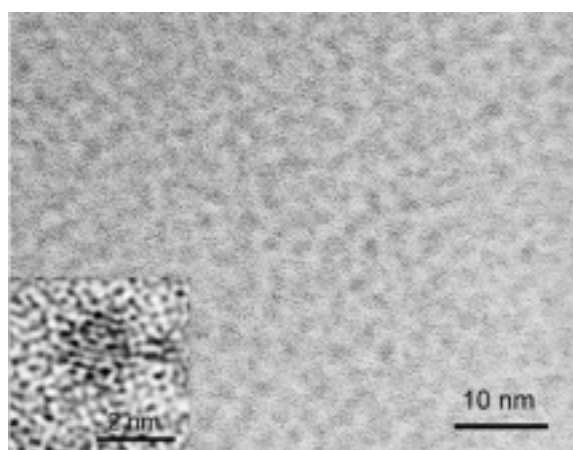


図2 800°Cまで加熱後の石英基板表面TEM像

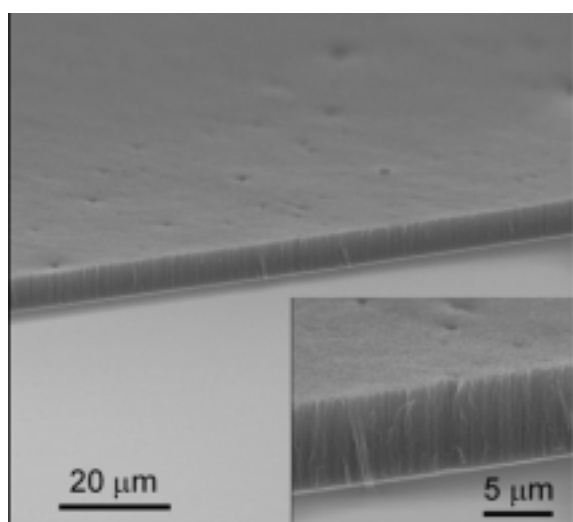


図3 石英基板上に直接合成された垂直配置配向SWNT膜の断面FE-SEM像

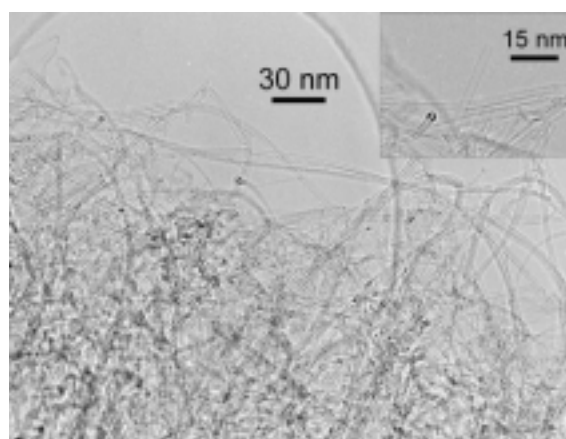


図4 グリッドに擦りつけて観察した配向膜断片の膜上部のTEM像

3. 垂直配向SWNT膜の形態

図3に石英基板表面に10分間のCVDにより直接合成された垂直配向単層SWNT膜の電界放出走査型電子顕微鏡(FE-SEM)像を示す。膜断面に見える線はSWNTの束(バンドル)に対応し、各バンドルの太さは平均で15nm程度である。膜厚は5μm前後で、基板全面(25×12mm)に渡りほぼ均一であることが反射干渉スペクトル測定よりわかる。この結果は、CVD時間を制御することで長さのほぼ揃ったSWNTの一括合成が可能となったことを意味する。現在のところ10分以上触媒活性を保つことが困難で、6μm以上の膜厚は到達できていないが、CVD反応中の環境制御などにより触媒活性を保つことによって、さらに厚い膜厚合成も可能と考えられる。

図4にas-grown状態の膜をTEMグリッドにこすりつけて観察したTEM像を示す。この像から、本試料は未精製に関わらず表面にアモルファスカーボンの付着が見られない極めて高純度なSWNTであることが判る。複数回のTEM観察より、本試料は直径0.8~3nm、平均直径約2.0nmの比較的太いSWNTから成っており、MWNTなどの不純物が含まれていないことを確認している。ここでは膜配向を保った断片の、膜上面に対応すると考えられる部分を観察しており、触媒の入っていない閉じたSWNT端が見られることから、本成長は図5(a)に示したような根元成長と考えられる[11]。また、図5(b)に示すような分子動力学法による触媒からのSWNT生成初期過程の計算からも、直径1nm程度の金属微粒子に炭素が供給され、炭素がキャップ状の形状で折出して、金属微粒子と同じ程度の直径のSWNTへの成長することが伺える[12]。

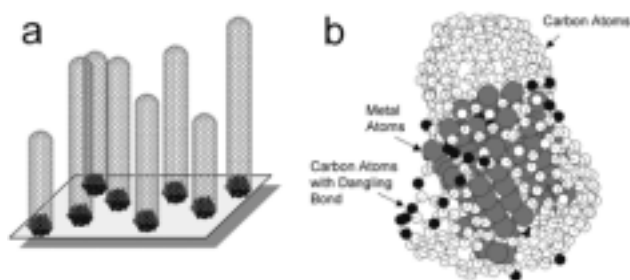


図 5 (a) 基板上触媒からの SWNT 根元成長模式図及び (b) MD による SWNT 成長初期過程の計算

4. 垂直配向 SWNT 膜の光学異方性

本試料は SWNT が (多少の乱れをもって) 一方方向に揃っていること、また透明な光学石英基板上に合成されていることから、SWNT のもつ異方的な光学特性を探求するのに非常に適している。また、その特性を解明することは、基礎的にも光学応用的にも非常に興味深いものである。

図 6 は、励起光 488 nm で、右模式図に(i~iv)として示すように膜に対する入射方向・偏光を変えて測定した垂直配向 SWNT 膜からの共鳴ラマン散乱スペクトルである。低シフト側の radial breathing mode (RBM) のラマンシフトは SWNT の直径とおおよそ反比例するとともに、金属・半導体の区別を始めた SWNT のカイラリティ推定に用いられる極めて重要なスペクトルである。従来は測定対象試料固有の性質を反映すると考えられてきたが、図 6 から明らかのように同一試料からのラマン散乱であるにも関わらず偏光により大きく異なったスペクトル形状を示す[13]。このことは、SWNT 軸に平行な偏光な光と直交する偏光の光では、光吸収の選択則が異なる

という性質に起因するものと考えられ、各 RBM ピークの偏光に対する性質を把握することは、ラマン散乱を SWNT のキャラクター化に用いる上で極めて重要である。

なお、図 6 中の高エネルギー部のラマン散乱は、1590 cm^{-1} 付近の G バンドと 1350 cm^{-1} 付近の D バンドが観察されるが、本試料の場合には欠陥やアモルファスカarbonに起因すると言われる D バンドがほとんど観察されない。

また本試料は配向している為、光吸収でも異方性を示す。図 7 に 633nm の入射光で、偏光及び基板に対する入射角 θ を変化させて測定した本垂直配向膜の透過率変化 (\diamond) を示す[8]。なお縦軸は $\theta=0$ の時の透過度で規格化してある。測定では基板法線方向入射を $\theta=0$ とし、基板を回転させて測定を行なった。偏光については、図 7 中模式図のように基板に対し s (偏光ベクトルと基板回転軸が平行) 及び p (偏光ベクトルと基板回転軸が直交) 偏光を用いて測定した。比較のため、何も合成されていない石英基板 (○)、基板面に平行に成長したランダム SWNT 膜付基板 (□) の透過度、及び実線で表した古典電磁場反射の式から求められた透過度の計算曲線を示す。s 偏光の場合にはいずれの場合も同様な傾向を示す一方、p 偏光の場合には $\theta=0$ からブリュースター角に向けて本来透過が増加するはずが、垂直配向膜の場合のみ電場ベクトルの SWNT 軸上への投影が増加する為、急激な光透過の低下すなわち吸収の増大を伴う。このことは、本垂直配向試料が予想されたように高い偏光異方性を有していることを意味し、合成直後の基板を傾げるだけで偏光子となることがわかる。

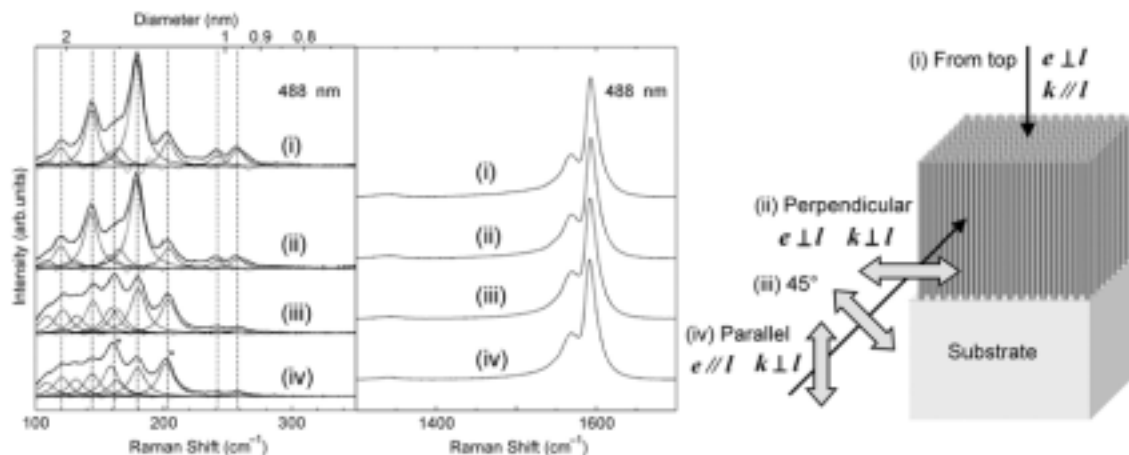


図 6 様々な入射方向・偏光で測定(i~iv)にて、488 nm で測定した垂直配向 SWNT 膜からのラマン散乱スペクトルの (左) RBM とその Lorentzian fit curves, (中) TM 及び (右) その模式図。

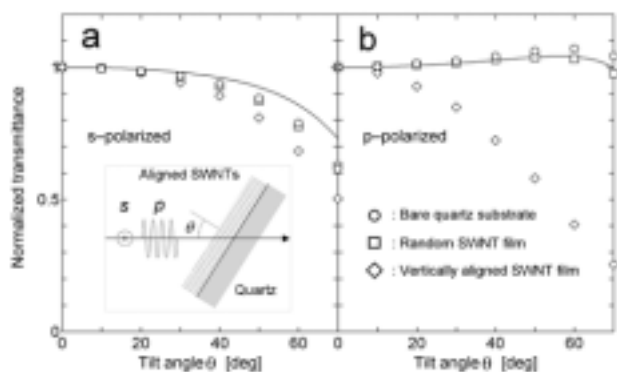


図7 傾斜角 $\theta = 0$ の値で規格化された、垂直配向SWNT膜(◇)、石英基板のみ(○)、ランダムSWNT膜付石英基板(□)の偏光依存光透過特性。実線は古典反射理論による透過曲線。

5. 応用可能性とまとめ

本報では、基板上へのSWNT直接合成に向けた触媒担持法の開発、その触媒形成過程に始まり、アルコールCCVD法により基板上に厚さ数 μm の高密度垂直配向膜の成長が可能であることを示した。本SWNT膜は方向が揃っている為、未だ明らかになっていないSWNTの偏光依存光特性を解明するのに適している。本試料を用いたラマン散乱計測より、散乱スペクトルの偏光依存性を示すことが出来た。また光吸収には偏光依存性が存在し、従来のランダムSWNT膜に光学異方特性を加えた偏光依存デバイスなどの応用が期待される。実際、石英基板上に直接合成されたランダムSWNT膜を可飽和吸収素子として用いて、光通信帯の $1.55\ \mu\text{m}$ において周波数50 MHz、パルス半値幅0.9 psで連続パルスレーザー発振が実現した[14]。さらに最近、本報で紹介し

た石英基板上垂直配向膜を用い、可飽和吸収ゲイン等の諸性質に偏光異方性を持たせ、同様なパルス光発振が可能であることがわかった[15]。このような応用開発はまだ端緒にあり、今後もSWNTを用いた革新的なデバイス提案が期待される。

参考文献

- [1] R. Saito et al., *Physical Properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London, 1998.
齋藤・篠原, カーボンナノチューブの基礎と応用, 培風館 (2004).
- [2] S. Maruyama et al., *Chem. Phys. Lett.*, 360 (2002) 229.
- [3] Y. Murakami et al., *Chem. Phys. Lett.*, 374 (2003) 53.
- [4] Y. Miyauchi et al., *Chem. Phys. Lett.*, 378 (2004) 198.
- [5] S. Chiashi et al., *Chem. Phys. Lett.*, 386 (2004) 89.
- [6] Y. Murakami et al., *Chem. Phys. Lett.*, 377 (2003) 49.
- [7] Y. Murakami et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (2004) 1221.
- [8] Y. Murakami et al., *Chem. Phys. Lett.*, 385 (2004) 298.
- [9] E. Einarsson et al., *Therm. Sci. Eng.*, 12 (2004) 77.
- [10] M. Hu et al., *J. Catalysis*, 225 (2004) 230.
- [11] Y. Murakami et al., *Carbon*, to be submitted.
- [12] Y. Shibuta et al., *Chem. Phys. Lett.*, 382 (2003) 381.
- [13] Y. Murakami et al., *Phys. Rev. B*, submitted.
- [14] S. Yamashita et al., *Opt. Lett.*, 29 (2004) 1581.
- [15] Y. Inoue et al., *OFC 2005*, submitted.

カーボンナノ物質の燃焼合成

Flame Synthesis of Carbon Nanomaterials in Premixed Flames

奥山 正明 (山形大学), 富村 寿夫(九州大学), 越後 亮三

Masaaki OKUYAMA (Yamagata University), Toshio TOMIMURA (Kyushu University), Ryozo ECHIGO

1. はじめに

今回、「ナノ領域に関する実験について、ノウハウやアイデアなどを解りやすく解説」という機会を与えて頂いた。しかし、いざパソコンに向ってみると、筆者らの“実験”は、「アッ!」と驚くようなノウハウやアイデアに基づいているわけではないことを改めて認識させられた。むしろ、「ふく射エネルギー変換体を用いた燃焼促進法」[1]、「炭素固定化制御燃焼」[2]あるいは「触媒の生成法」[3]など、多くの研究者により築き上げられてきた技術を融合したものと言える。そこで本稿では、「カーボンナノ物質の燃焼合成」に関し、これまで行ってきた幾つかの実験について紹介させて頂くことにする。

2. すず粒子生成からフラーレン生成へ

炭化水素系気体¹を燃料とした燃焼場において、温度と化学種濃度の違いにより、すず粒子への生成過程とフラーレン類への生成過程に分かれると考えられている[4, 5]。筆者らは、燃料にメタンを用い炭素固定化燃焼法を適用してフラーレンの生成実験を試みた。内容は、燃焼温度を 1500K 程度に維持しつつ、フラーレンを生成させるというものである。最も簡単なフラーレンの確認法は、ヘキサンやキシレンなどに溶かして色の変化を見る²ことであるが、この実験では色の変化を確認できなかった(すず粒子は確認できたのだが・・・)。フラーレンが出来難かった理由は、混合気流速が速すぎたためと思われるが、この課題は、現在、形を変えて進行中である。

3. カーボンナノ物質³の生成

3.1 実験装置

図1に燃焼器の概略図を示す。これは、炭素固定化制御燃焼法で用いた燃焼器と同じものである。燃焼器は厚さ 2mm のステンレス製で、その外側と内側は断熱材で覆われている。この断熱材に囲まれた流路(50×50×50mm)内の上流側と下流側には、ふく射エネルギー再循環による燃焼促進法を実現するために、セラミック製の多孔性固体を設置した。燃焼器の側壁には火炎観察用の窓(石英ガラス, 10×50mm, 厚さ 1mm)1ヶ所を設けている。本誌ではデータの記載はないが、反応温度は、Ni製の多孔性固体の下流面に直径 0.1mm の K 型熱電対を設置して測定した。

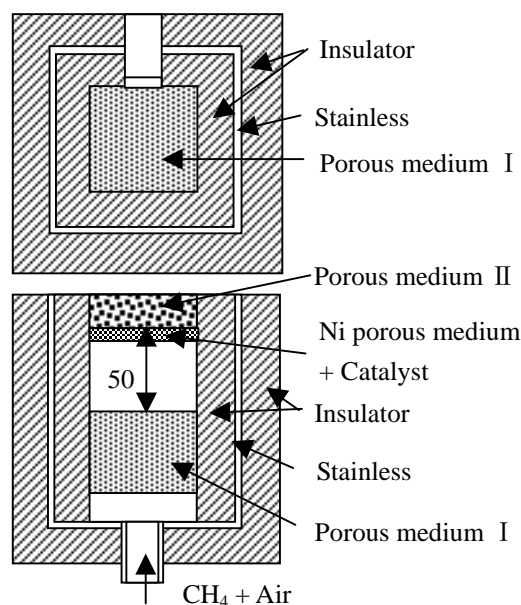


図1 燃焼器の概略図

¹ 全ての炭化水素系気体という訳ではない。

² フラーレンの種類により色が異なる。例えば市販品における C60 が 90%以上の試料では薄青紫色、C60 と C70 が 10%以上の試料ではベージュ色。

³ここで述べているカーボンナノ物質とは、カーボンナノチューブ(CNTs)やカーボンナノファイバー(CNF)などである。

3.2 粉末状の触媒を用いた実験

カーボンナノチューブ(CNTs)生成関連の書籍や文献には、さまざまな触媒の例が記載されている。その中から、本実験では主として Fe/Mo 触媒を選択した。その理由は、文献[3]に触媒の具体的な生成法が記載されていたからである。

図2に、粉末状の Fe/Mo 触媒の走査型電子顕微鏡(SEM)写真を示す。セラミックス粒子に Fe/Mo 触媒を担持させているため、Fe/Mo 触媒そのものの粒子直径は不明である。しかし、エネルギー分散型 X 線分光(EDX)解析によれば、Fe/Mo 触媒粒子はセラミックス粒子の中に比較的均一に分散していること確認できた。最初の頃の触媒生成装置は、耐熱のガラスビンにカンタル線ヒーターを巻いた簡単なものであり、生成した触媒はセラミックス粒子と Fe/Mo 粒子の分散性が非常に悪かった。現在は、ロータリーエバポレーター⁴を用いているので、EDX 解析でみてもほぼ均一に分散している触媒を生成することが可能となった(図2)。

触媒生成に続く次の課題は、「“粉末状の触媒”をどのようにして燃焼場に投入するか？」である。

図1に示した燃焼器の第一の特徴は、平面火炎を形成することができることであり、その面内では、温度、各化学種濃度が一様である。すなわち、Fe/Mo 触媒が火炎内に一様に分散していれば、面内に一様に均一なカーボンナノ物質が生成されると期待される。そこで Fe/Mo 触媒を下流側多孔性固体の上流端に固定して設置することとした⁵(実験初期の段階では、図1に示した Ni 製の多孔性固体の下流面に散布した)。

図3に、燃焼法(輝炎が形成される条件)で生成させたカーボン物質の一例を示す。図3(a)は SEM 写真であり、図3(b)は透過型電子顕微鏡(TEM)写真である。図3より、輝炎場ではすす粒子の他、多層カーボンナノチューブ⁶(MWCNTs)やカーボ

ンナファイバー(CNF)が確認された。最初に輝炎が形成される条件を選んだのは、輝炎内では C_2H_2 、 C_6H_6 や H_2 などの化学種が比較的多く存在しているためである。

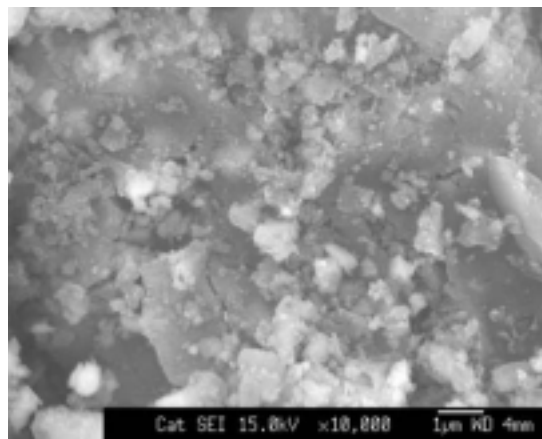
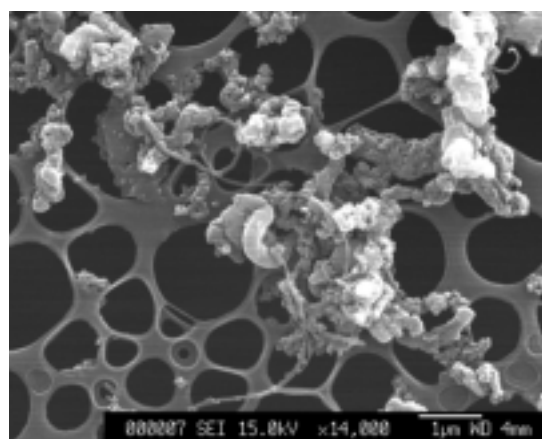
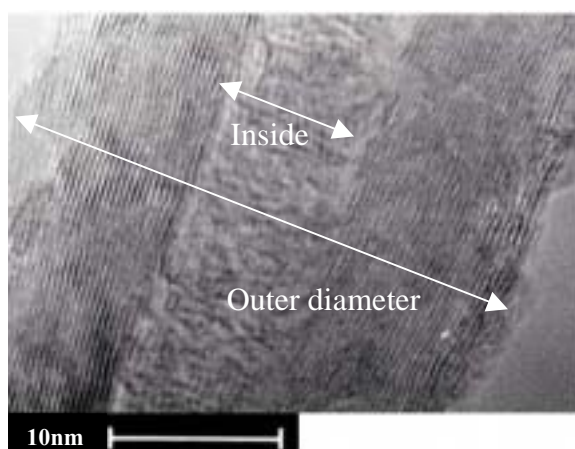


図2 Fe/Mo 触媒 (SEM 写真)



(a) SEM 写真



(b) TEM 写真

図3 輝炎場において生成されたカーボン物質

⁴ 試料を入れたフラスコを回転させながら真空乾燥させる装置。

⁵ カーボン物質の生成を制御する上で、温度及び化学種濃度の影響は大きいものと考えられる。そこで、初めに温度及び化学種濃度が一定になるように触媒を固定して実験を行った。

⁶ 筆者らの実験によれば、輝炎内の実験において、メタンガスと空気の予混合気流速が速い場合は CNTs の側壁はアモルファス状であり、遅い場合は結晶化している傾向にある。

3.3 最適化への道

MWCNTs などが生成すると分かると、次から次へと様々な課題が出てくる。すなわち、

1. 触媒の供給方法.
2. 実験条件(温度, 反応時間など)と生成物の関係. など, 燃焼法による CNTs 生成の最適化を考えていく上では避けては通れない課題である.

3.2 で述べた実験における大きな問題点として次の2点があげられる.

- a. 触媒粒子の大きさをコントロールすることが難しい(実際, どの程度の大きさなのか不明). また, 触媒を燃焼場に薄くかつ一様に分散させるにはちょっとしたテクニックを要する.
- b. 輝炎における実験条件ではすす粒子が生成するため, カーボンナノ物質の生成効率が悪い.

現在, これらの問題点を解決すべく様々な試みを行っている最中である. 図 4(a)は, Fe/Mo 触媒を担持する前の Ni 製の多孔性固体表面の SEM 写真であり, 図中左上の写真は, その拡大写真である. 一方, 図 4(b)は Fe/Mo 触媒を担持した時の SEM 写真である. 図中の矢印で例示した球状の物体が触媒(の集合体)である⁷.

図 5 に, 輝炎場において生成されたカーボンナノ物質の SEM 写真を示す⁸. Ni 製の多孔性固体の表面全体に比較的直径の揃ったカーボンナノ物質が生成していることがわかる. これらの実験では, 触媒の担持法や混合気流速などを変えただけで生成物の質や量などが大きく変化するのが観察された. 現在のところ, 筆者らが行っている生成物の主な評価項目は, SEM および TEM 写真から生成物の直径を測定することと物質の結晶化の有無を調べることなどである. 今後は触媒の直径や生成物の物理的特性などについても系統的な実験や測定を行っていく必要があると考えている.

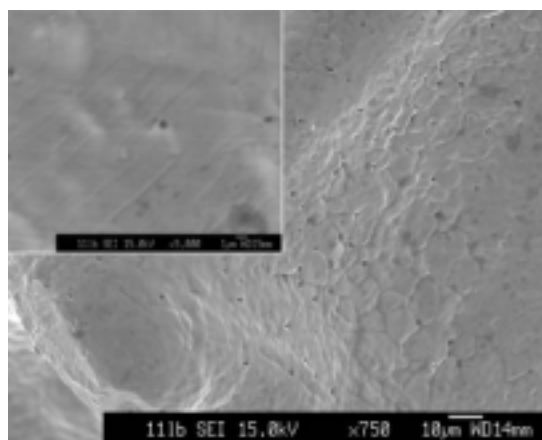
Fe/Mo 触媒以外にも, ガス状にした有機金属⁹を

⁷ 図 4(b)において, 触媒の大きさは 300nm 程度と推測される. 条件によっては触媒の直径を 30nm 程度まで制御することが可能である. なお, 文献 [6, 7]では, 燃焼場に Ni/Cr/Fe や Ni/Cu/Fe 触媒を用いることで CNTs が生成すると報告されている.

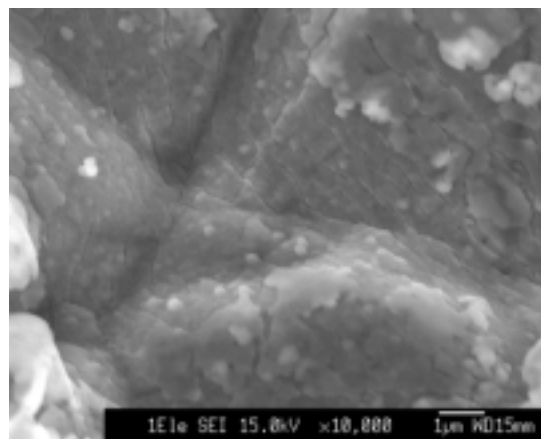
⁸ 図 3 の実験条件とは, 当量比や反応時間などが異なるため, 生成物に関する比較はできない.

⁹ CNTs の生成ではよく知られた触媒ではあるが, 有毒性の物質なので取り扱いには注意が必要である.

利用した実験や燃料を変えた実験などを行っているが, 本稿では省略する.



(a) Fe/Mo 触媒を担持する前の SEM 写真
(左上は拡大写真)



(b) Fe/Mo 触媒を担持した後の SEM 写真
図 4 Ni 製の多孔性固体の表面観察

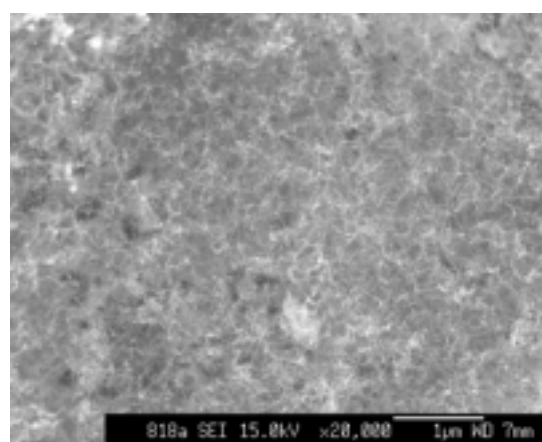
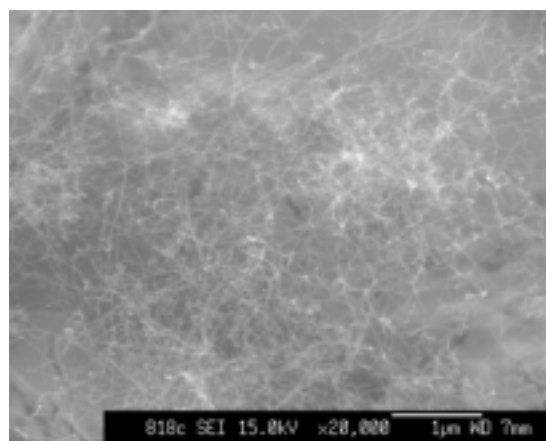


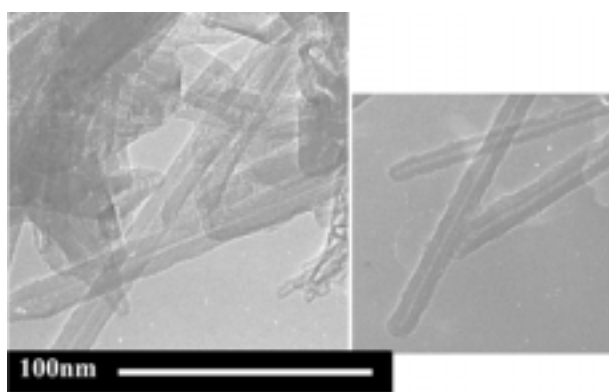
図 5 輝炎場において生成されたカーボン物質
SEM 写真

3.4 粉殻を用いた実験¹⁰

図6に、粉殻を燃焼場に入れて生成させたカーボンナノ物質の電子顕微鏡写真を示す。図6(a)はSEM写真、図6(b)はTEM写真である。本実験は、図1に示したNi製の多孔性固体の下流側に粉殻を置き、メタン/空気過濃予混合火炎で反応させたものである。図6(a)より、粉殻を用いた場合でも比較的直径が揃ったカーボンナノ物質が生成していることが分かる。図6(b)のTEM写真からは結晶化しているか否かは不明であるが、生成された物質の中にはチューブ状の物質も生成していることが分かる。今後、詳細な結果が得られ次第、報告する予定である。



(a) SEM 写真



(b) TEM 写真

図6 粉殻から生成されたカーボンナノ物質

¹⁰ 本実験は、都市エリア産学官連携促進事業「天然素材と合成高分子のハイブリット化による高機能・高性能材料の開発」(可能性試験)「米糠及び粉殻による炭素ナノ材料の開発」により行われている。

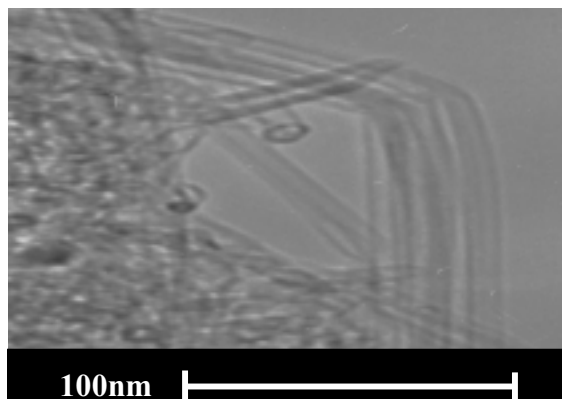


図7 市販のカーボンナノチューブ (TEM 写真)

4. 夢浮橋？それとも夢の懸橋？

図7は、現在市販されているカーボンナノチューブのTEM写真¹¹である。カーボンナノチューブは、その用途に応じて求められる性質や特性が異なっている。

筆者らは、機能性を持たせたカーボンナノ物質を燃焼法で生成させたいと考えている。燃焼法で生成されたナノ物質が新たなナノテクへの懸橋になればとの期待を抱きつつ・・・

これまで、ここでは記載できない“ヒヤリ”とした事などがそれなりにありましたが、伝熱、燃焼、熱工学関係のシンポジウムなどでご意見やご助言を頂いたお陰でここまで進めてこられたと考えています。今後とも様々なご助言などを頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] 越後亮三, 日本機械学会論文集 B 編, **48-435** (1982) 2315.
- [2] 越後亮三他 5 名エネルギー・資源, **11-4** (1990) 358.
- [3] Gassel, A. et al., J. Phys. Chem., **103** (1999) 6484.
- [4] Baxhmann, M. et al., Proc. of the Combust. Inst., **26** (1996) 2259.
- [5] Vander Wal, R. L. et al., Combust. Flame, **136-1/2** (2004) 129.
- [6] Yuan, L. et al., Carbon, **41** (2003) 1889.
- [7] Saveliev, A. V. et al., Combust. Flame, **135-1/2** (2003) 27.

¹¹ メーカーの資料によれば、図7の試料は単層カーボンナノチューブの割合は50%以上、単層カーボンナノチューブを含むCNTsは70%以上である。

ベッセルビームを用いたレーザーマイクロドリル加工 Laser Micro Drilling Using a Bessel Beam.

河野 正道 (九州大学)

Masamichi KOHNO (Kyushu University)

1. はじめに

レーザー加工とは、レーザーのエネルギーで加工物を融解、気化、変形させることにより物理・化学的加工を行うことである。① 非接触加工のため汚染が少ない、② 透明体を通して加工が出来る、③ 照射パワーの制御性がよく、ビームの引き回しや形状が比較的自由にできる等の特徴を持つことから、レーザー加工は切断・溶接・穴あけ・表面改質・マーキング等に用いられている[1,2]。最近では、短波長、短パルス発振装置の開発に伴い、微細加工への適用も活発に行われている。著者らはマイクロ・ナノメートルサイズの実用的なレーザー微細加工技術、特に奥行きのある微細構造の加工技術を開発目的とし、その最も基本である「レーザーマイクロドリル」技術の開発を行っている[3-5]。加工過程が熱的か非熱的かで、加工メカニズムが大きく変化するのも興味深い問題である。

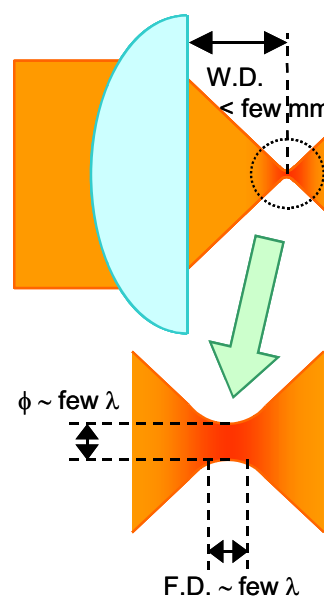


図1 凸レンズによる集光.

2. 凸レンズ集光による微細加工

従来のレーザー微細加工では、主に凸レンズを用いてレーザー光を微小スポットに集光して加工を行っている。開口数を大きくする（きつい集光を行う）ことで集光スポット径を波長程度まで小さくすることが可能だが、いくつかの問題も生じてくる。集光スポット径を波長オーダーまで微小にする集光では、図1に示す通りレンズと加工物との距離（ワークディスタンス、W.D.）が極端に短くなり、焦点深度（F.D.）も光の数波長分程度と極端に浅くなってしまふ。ワークディスタンスが短いとレンズを加工飛散物から保護することが難しくなり、また極端に浅い焦点深度内に加工対象物を置く必要があることから、ワークディスタンスの厳密な制御が必要になる。さらに不透明な材料へのマイクロドリル加工においては、強くテーパーのかかった穴形状になり易く、微小開口

径・高アスペクト比の穴あけが困難等の問題が顕著になってくる。これまでレーザードリル加工に関して、種々の観点から、多くの研究がなされている[6-12]。しかしながら、材料がレーザー光に対して透明であるか不透明であるかを問わない、微小開口径かつ高アスペクト比の、実用的なレーザードリル手法は確立されていない。

3. ベッセルビームの特徴

ベッセルビームは、直径が波長の数～数十倍程度の光強度の強い中心ピークが、数 cm～数 m に渡りその中心ピーク径（光強度分布）を変えずに伝播する、高集光長焦点深度特性を持つ[13-15]。図2にベッセルビーム発生方法の一例を示す。ベッセルビームを発生させる方法はいくつか提案されているが[16,17]、アクシコンレンズを用いるの

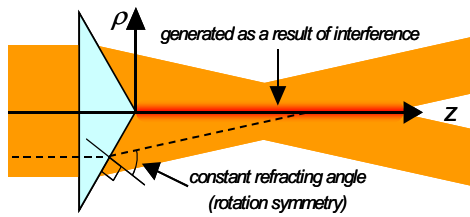


図2 アクシコンレンズによる集光.

が簡便である[6,18-20]. アクシコンレンズにレーザー光を入射すると凸レンズ集光と異なり特定の焦点に光が集光されず、図2に示すような集光がなされる. これはアクシコンレンズにおける屈折率が場所に関わらず一定のためである. ちなみに凸レンズは、光がレンズに入射された位置に関わらず焦点を通過するような仕組みになっている. 図2において、アクシコンレンズを通過し、上向きに屈折した光と下向きに屈折した光の干渉によって、伝播軸上にベッセルビームが発生する. 図3は数値計算によって得られた、ベッセルビーム発生領域におけるビームの断面プロファイルである. X軸およびY軸は光軸中心からの距離を示しており、縦軸はビーム強度を示している. 光軸中心に強度の強い鋭いピークがあり、その周囲に強度が弱い、いくつものリング状の副次ピークが存在するのが特徴である.

図4はベッセルビームの強度分布である. ワークディスタンスや焦点深度はビーム径やビーム波長等の条件により変化するが、図1に示した通り、凸レンズ集光にて集光スポット径を波長オーダー

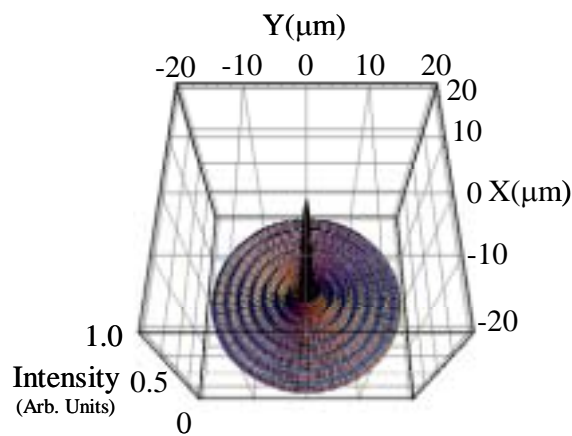


図3 ベッセルビーム発生領域におけるビームの断面プロファイル.

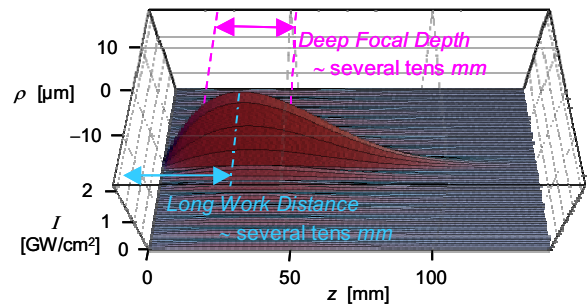


図4 ベッセルビームの強度分布.

まで微小にする集光では、ワークディスタンスは数mm程度で、焦点深度(F.D.)は光の数波長分程度と極端に浅くなる. しかしながらベッセルビームは、ワークディスタンスは数十mm程度と長い上に、焦点深度も数十mm程度と極端に深い. したがって、長いワークディスタンスを確保したうえで、その厳密な制御を必要とせず、微細加工を行えることが期待される.

そこで、このような高集光長焦点深度特性を持つベッセルビームをマイクロドリル加工に適用することにより、従来技術の問題点を解決し、微小開口径・高アスペクト比のドリル加工を行えるか検証した.

4. 実験装置

本研究で用いている実験装置は図5に示す通り、非常にシンプルな構成となっている. ナノ秒パルスの実験ではパルス幅10ナノ秒、波長532nm、繰り返し10HzのパルスNd:YAGレーザーを、フェムト秒パルスの実験ではパルス幅150フェムト秒、波長780nm、繰り返し1kHzのパルスレーザーを光源とした. レーザーは実験を通して一定の条件で発振しており、発振器とアクシコンレンズ

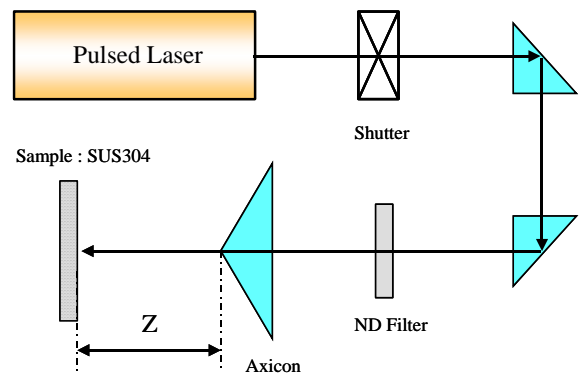


図5 実験装置の概略図.

の間に機械的シャッターと適切な ND フィルターが挿入され、試料へのレーザー光の照射の開始・終了、及び照射されるレーザー光の強度が制御される。試料に照射する光パルス数は、機械的シャッターの開放時間により調節する。アクシコンレンズは半頂角 77.5° のものを使用し、アクシコンレンズの頂点と試料の距離 Z をワークディスタンスと定義した。試料にはシリコン基板もしくは SUS304 板を用いており、 x - y - z ステージにて位置を制御した。試料が置かれている雰囲気は大気である。

5. 加工過程が熱的なナノ秒パルスによる加工

5.1 シリコン基板への点加工

図 6 はベッセルビームの生成を実験的に確認するため、シリコン基板へ行った点加工の顕微鏡写真である。計算から求めた中心ピークの平均エネルギー密度は約 $120\text{J}/(\text{cm}^2\cdot\text{pulse})$ となっており、可視光のナノ秒パルスレーザーにおけるシリコンのアブレーションしきい値、約 $2\text{J}/(\text{cm}^2\cdot\text{pulse})$ [2] より 2 桁ほど大きい値となっている。写真の中心に直径 $7\mu\text{m}$ ほどの深い穴が、その外側に直径 $60\mu\text{m}$ ほどにわたり、シリコン表面が熔融したと思われる領域が観測された。また、熔融したシリコンが飛び散ったと思われる痕も併せて観測されている。さらに、この熔融したと思われる領域の外側に幾つものリング状の加工痕が観測されている。それぞれのリング模様の間隔は $2.9\mu\text{m}$ となっており、

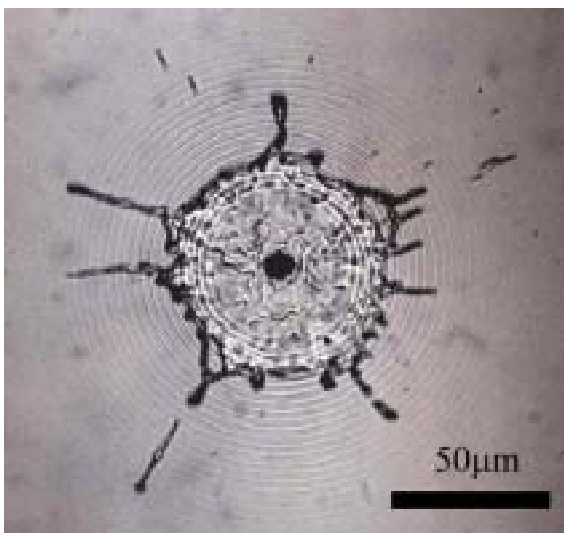


図 6 シリコン基板への点加工の顕微鏡写真。

計算から求められたベッセルビームの副次ピーク間隔の値 $2.6\mu\text{m}$ とほぼ同様であったことから、リング状の加工痕はベッセルビームの副次ピークによるものと考えられる。したがってこの写真は、ベッセルビームが生成されていること示している。

図 6 の写真にて、熔融したシリコンの飛散痕やその外側に多重リング構造が観測されたが、これらは当然、微細加工にとって好ましくない現象である。特に多重リング構造の存在はベッセルビームを微細加工に適用する際の大きなデメリットと指摘されている[18]。しかしながら、図 3 におけるベッセルビームの中心ピークのみが、アブレーションしきい値を越えるようにエネルギー密度を制御すれば、微細かつ多重リング構造の無い加工が可能である。

5.2 ワークディスタンスを変化させての加工

ベッセルビームを微細加工に適用する際のメリットは前述した通り、深い焦点深度を持つことから、ワークディスタンスの厳密な制御を必要としないことである。深い焦点深度が実現されていることを確認するために、ワークディスタンス“ Z ”を変化させての点加工を行った。図 7 はそれぞれ $Z = 35, 36, 37\text{mm}$ の位置にシリコン基板を配置して行った点加工の顕微鏡写真である。計算から求めた中心ピークの平均エネルギー密度は約 $3\text{J}/(\text{cm}^2\cdot\text{pulse})$ となっており、可視光のナノ秒パルスレーザーにおけるシリコンのアブレーションしきい値とほぼ同等である。加工痕直径はどれも $1\mu\text{m}$ 程度であることから、エネルギー密度を制御することにより、微細な加工が可能であることが

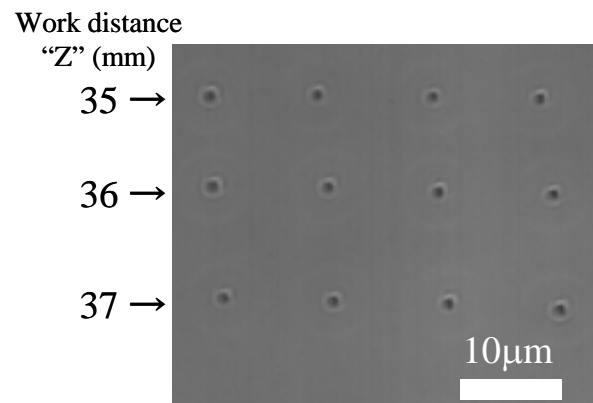


図 7 ワークディスタンス Z を変化させて、シリコン基板へ行った点加工の顕微鏡写真。

分かる。最も注目すべきことはワークディスタンスが 2mm も異なっているにもかかわらず、ほぼ同程度の微細な加工点直径を保っていることである。通常の凸レンズ集光では、焦点位置から数 mm もずれてしまうと集光スポット径が急激に増大するため、加工点直径を保つことはもちろんのこと、加工すること自体が非常に困難になってしまう。このように、ワークディスタンスを mm オーダーでずらしても加工点直径を μm オーダーで維持できるのは、ベッセルビームが持つ高集光長焦点深度特性によるものである。

5.3 SUS への穴あけ加工

ベッセルビームの伝播特性は干渉により与えられるため、レーザー光に対して不透明な材料のドリル加工には適していないと考えられてきた。しかしながら、我々の最近の研究[3-5]で、ベッセルビームが不透明材料に対する微小開口径・高アスペクト比のレーザードリル用ビームとして、高い適性を有していると考えられる結果が得られている。

図 8 は厚さ $100\mu\text{m}$ の SUS304 板に形成された貫通穴（出口側）の SEM 写真であり、直径は約 $5\mu\text{m}$ となっている。計算から求めた照射されたビームの中心ピーク平均エネルギー密度は $74\text{J}/(\text{cm}^2\cdot\text{pulse})$ で、照射されたパルス数は 100 である。穴の貫通は、ガイド光として用いている He-Ne レーザー光の透過によって、また透過照明の金属顕微鏡観察によっても容易に確認できる。試料の溶融によるバリが見られ、この点は改善する必要があるが、ベッセルビームが不透明材料に対する

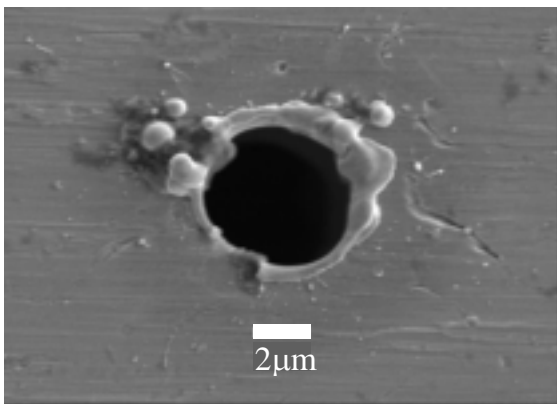


図 8 SUS 板（厚さ $100\mu\text{m}$ ）に形成した貫通穴（出口側）の SEM 写真。

微小開口径・高アスペクト比のレーザードリル用ビームとして、高い適性を有していることを示している。現時点では、レーザー光を照射された箇所が熱によって融解・蒸発することによって、穴が掘られると考えている。

6. 微細開口径深穴の形状観察

平面的な形状や凸形状の試料の形状観察・評価に光学顕微鏡や SEM が重宝されているが、開口径が小さく高アスペクト比のドリル穴の内部形状を観察するのは困難になる。このようなドリル穴の内部形状を、従来どおりの断面観察により行うことは可能である。しかしながら、断面出しに高

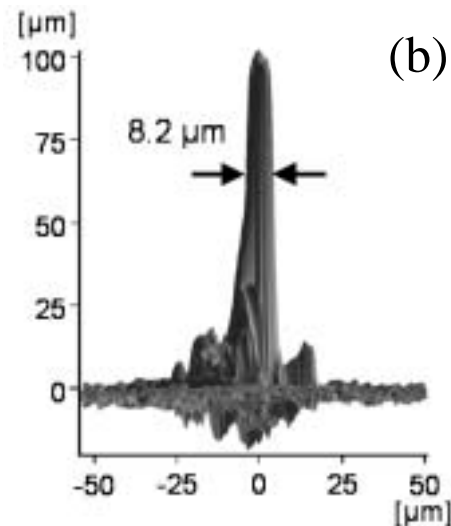
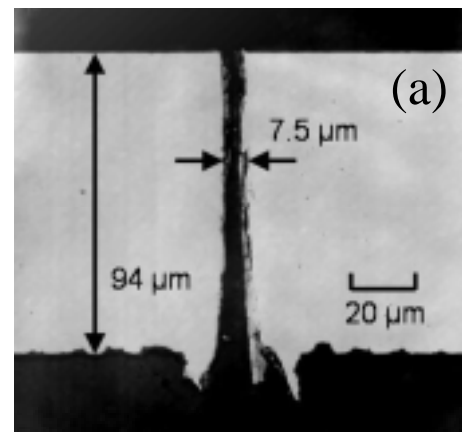


図 9 SUS 板（厚さ $100\mu\text{m}$ ）に形成された貫通穴の、(a)断面観察写真、(b)レプリカのレーザー顕微鏡 3D 写真。いずれの図においても、レーザー光は下から上に向かって照射されている。

い加工精度が要求されるため、観察・評価用の試料作成に、細心の注意と多大な時間が必要になってくる。従って、レーザーマイクロドリル技術の開発やこれを用いた実際の加工における条件出しに適用できる、従来の断面観察に代わる、迅速で妥当な評価法の確立が望まれる。そこで、原子炉圧力容器などの取り外すことができない構造物の損傷部位観察などの用途に用いられている、平面的な微細凹凸形状の転写であるレプリカ法を適用することを試みた[21]。レプリカは、Struers A/S 製レプリセットを用いて作成し、このレプリカをレーザー顕微鏡（レーザーテック（株）製 VL2000D）で観測した。ドリル穴の断面試料は、ドリル穴をあけた SUS 板を冷間埋込用樹脂に包埋して、これを樹脂ごと切断・研磨して作成した。この断面試料を、同じくレーザー顕微鏡にて観測した。

図 9 に SUS304（厚さ 100 μm ）に形成された貫通穴の、(a)断面観察写真、(b)レプリカのレーザー顕微鏡 3D 写真を示す。いずれの図においても、レーザーは下から上に向かって照射されている。両者が良く一致していることから、レプリカ法が微小開口径・高アスペクト比の穴形状を正確に評価できる手法として適切であることを示している。断面試料を作成するには半日程度の時間を要するのに対して、レプリカの場合、要するのは樹脂硬化の時間（約 20 min.）のみであり、さらにひとつのレプリカで同一試料内にある複数の貫通穴の形状を写し取ることができる。従って、迅速性ばかりでなく、多数量のサンプリングが容易な点においても優れている。

7. 加工過程が非熱的なフェムト秒パルスによる加工

熱影響が大きいと、微細加工には適さないと考えられているナノ秒パルスで、テーパがほとんど無い、円柱状の微小開口径・高アスペクト比のドリル加工を達成出来たことから、高集光長焦点深度特性はパルス幅によってその特性が大きな影響を受けることが無い、微細加工に適する特性であると推察した。この推察を実験にて確認するために、加工過程が熱的なナノ秒パルスと非熱的なフェムト秒パルスを用いて、ドリル加工を行った結果、パルス幅（加工過程）に関係なく微小開口

径・高アスペクト比のドリル加工が可能であった[22]。また加工によって生じる試料表面の荒れを観察した結果、入射光のパルス幅によって、明らかに差があったことから各パルス幅における除去メカニズムも併せて考察した。

加工の際に生じた、試料表面（SUS304）の荒れを観察したレーザー顕微鏡 3D 像の典型例を図 10、(a) ナノ秒パルス、(b) フェムト秒パルスに示す。ベッセルビームでの加工においては、図 6 に示したように、照射されるビームのエネルギー密度が高いと副次ピークによる多重リング構造の加工痕が観察されることがある。ナノ秒パルスを用いた場合(a)では表面が比較的滑らかであるのに対して、フェムト秒パルスの場合(b)は、はっきりとした多重リング構造が観測されている。ナノ秒パルスでは熱の発生による表面の融解により、表面が滑らかになったのに対して、フェムト秒パルスでは熱の発生が起りにくいいため、表面の融解が起らず、ベッセルビームの副次ピークによる加工がより顕著となったと考えている。

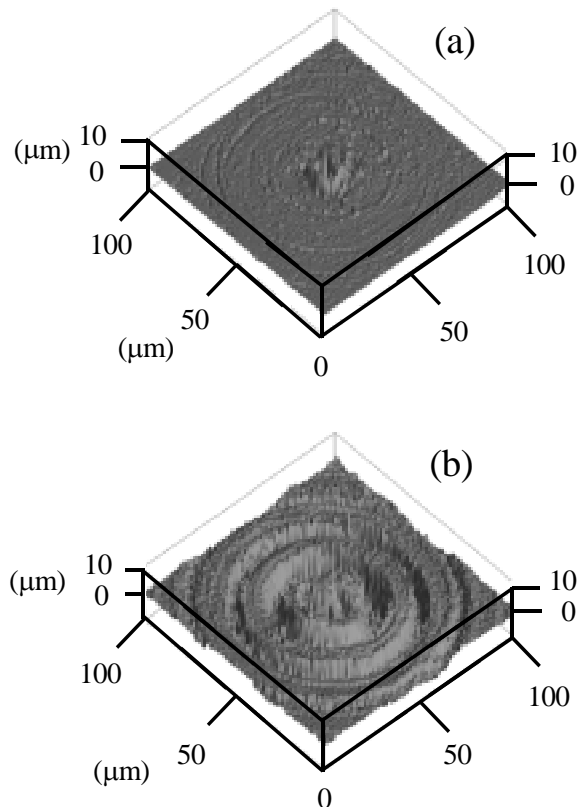


図 10 加工の際に生じた、試料表面（SUS304）の荒れを観察したレーザー顕微鏡 3D 像。(a) ナノ秒パルス、(b) フェムト秒パルス。

様々な条件で貫通穴を形成した結果、パルス幅による特徴として、フェムト秒パルスにて大きなエネルギーを用いると、表面の荒れが目立つものの、小さなパルスエネルギーにて照射数を増やすことにより表面の荒れを抑えられること。一方、ナノ秒パルスでは、大きなエネルギーを用いても、表面の荒れが目立たないため照射数を減らせ、その結果として単パルスあたりの除去量が多くなることが分かった。

8. おわりに

高集光長焦点深度特性を持つベッセルビームをレーザーマイクロドリル加工に適用することにより、従来技術の問題点を解決し、材料がレーザー光に対して透明であるか不透明であるかを問わない、微小開口径・高アスペクト比の実用的なレーザーマイクロドリル手法を確立できる可能性がある。「レーザーマイクロドリル」技術を応用することで、任意な微小部分の材料の除去や溝ほり、切断などが可能になり、マイクロマシン製造などの広範なレーザー微細加工への展開が期待される。

熱の問題に関しては、熱影響が大きいため、微細加工には適さないと考えられているナノ秒パルスで、テーパがほとんど無い、円柱状の微小開口径・高アスペクト比のドリル加工が可能である点が興味深い。微小領域・短時間領域での熱流体現象として、固体が光エネルギーを吸収した結果として起こる、加熱・融解・蒸発等の現象が加工現象にどう寄与するのかを探究したいと考えている。

謝辞

本研究は産業技術総合研究所の松岡芳彦博士・矢部彰博士、レーザーテック社の高瀬修氏との共同研究によるものです。特に集光に関する計算は松岡芳彦博士が作成したプログラムを用いています。またレプリカを用いた研究ではレーザーテック社の高橋修氏にお世話になりました。フェムト秒パルスの実験ではタレスレーザー社、サイバーレー

ザー社にご協力して頂きました。この場を借りまして深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 吉田善一, マイクロ加工の物理と応用, 裳華房, (1998).
- [2] 電気学会, レーザーアブレーションとその応用, コロナ社, (1999).
- [3] 松岡芳彦, レーザー研究, **32** (2004) 131.
- [4] 松岡芳彦, 河野正道, レーザー研究, **32** (2004) 348.
- [5] Kohno, M. et al., JSME Int. J., Ser.B, **47** (2004) 497.
- [6] Ng, L. K. G. et al., Opt. Laser Technol., **33** (2001) 393.
- [7] Gofuku, E. et al., Appl. Surf. Sci., **64** (1993) 353.
- [8] Zhu, X. et al., Appl. Surf. Sci., **152** (1999) 138.
- [9] Békési, J. et al., Appl. Phys. **A76** (2003) 355.
- [10] Pronko, P. P. et al., Opt. Commun., **114** (1995) 106.
- [11] Tan, B. et al., Opt. Laser Technol., **35** (2003) 199.
- [12] Varel, H. et al., Appl. Phys. **A65** (1997) 367
- [13] McLeod, H. J., J. Opt. Soc. Am., **44** (1954) 592.
- [14] Durnin, J. et al., J. Opt. Soc. Am., **A4** (1987) 651.
- [15] Durnin, J. et al., Phys. Rev. Lett., **58** (1987) 1499.
- [16] Hidaka, T. et al., Jpn. J. Appl. Phys., **30** (1991) 1738.
- [17] Uehara, K. et al., Appl. Phys. **B48** (1989) 125.
- [18] Scott, G. et al., Opt. Eng., **31** (1992) 2640.
- [19] Gadonas, R. et al., Opt. Commun., **196** (2001) 309.
- [20] Marcinkevičius, A. et al., Jpn. J. Appl. Phys., **40** (2001) 1197.
- [21] 松岡芳彦, 河野正道, 高瀬修, レーザー研究, **32** (2004) 535.
- [22] 河野正道, 松岡芳彦, 矢部彰, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2004) 595.

ナノバブルによる固体微粒子汚れの洗浄

Cleaning Effect of Small Particle Contaminated Plate by Utilizing Nano-bubbles Contained Water

矢部 彰 (産業技術総合研究所), 森松 達昌 (筑波大学大学院)

Akira YABE (AIST), Tatsumasa MORIMATSU (Univ.Tsukuba)

1. はじめに

直径がマイクロメートルオーダーのマイクロバブルについては、体積に比べて表面積の割合が大きいことを利用して、気液溶解の促進や気泡表面に吸着させ浮上分離させるなどの機能性を発揮させて、油濁水の浄化などの環境保全、気体溶解の促進などの化学反応促進、水系動植物の成長促進技術への応用が進められてきている。

しかしながら、おおむね $1\ \mu\text{m}$ 以下の水中に浮遊する気泡については、画像解析による個数の把握が難しくなることから、あまり実験的に検討されず、どこまで小さい気泡が存在するかなどの問題が解明されていない。沸騰気泡に関しては、表面張力による気泡内部の圧力上昇が、系の圧力と同じになるまで小さい気泡が発生でき、高い圧力の系では沸騰気泡は小さくなることが知られているが、溶解している気体により発生する気泡に関しては、どこまで小さい気泡が存在するかは知られていない。特に、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の気泡の個数は、レーザー光の散乱を利用した計測法を使用することが多いが、イオン交換水や蒸留水中にも、 $1\ \mu\text{m}$ 程度以下の固体微粒子が、 $1\ \text{万個/ml}$ 程度存在するため、固体微粒子か気泡かを判別できず、極めて小さい気泡に関する研究は進んでいなかった。

一方で、筆者らは、数十 μm のマイクロ気泡の水中での上昇速度を実験的に検討し、イオン交換水や蒸留水では、気液界面が滑る流体力学条件を満足する上昇速度には到達せず、固体粒子と同じ気液界面が動かない界面条件の遅い上昇速度になることを明らかにした。また、気液界面が滑る流体条件を満足させる為には、水中の固体微粒子を $10\ \text{個/ml}$ 程度まで少なくし、同時に、液体中の全有機炭素含有量を数ppbまで低下させ、超純水の条件を実現する必要があることを明らかにした。

超純水製造技術は、半導体製造装置の発達と共に急速に進展している分野であり、取扱いの容易

な超純水製造装置も入手可能であることから、通常の水中に $10\ \text{万個/ml}$ 程度存在する固体微粒子を超純水製造装置により大幅に低減し、固体微粒子の影響を小さくした状態で、光散乱法により、 $1\ \mu\text{m}$ より小さい気泡の存在を議論することが可能であると考えられる。

そこで、現在の光散乱法による微小気泡計測では、 $50\sim 100\text{nm}$ 程度の気泡径までの計測が限界であるので、 100nm 程度のナノメートルオーダーの気泡が存在するかどうかを具体的な検討課題として、実験的に検討した。

ナノバブルの生成方法としては、電気分解や超音波付与などを実験的に検討し、溶存気体量の多い状態で超音波によりキャビテーションを発生させることにより、ナノバブルが発生でき、数分程度以上の長時間存在できることを明らかにした。

100nm 程度の直径の微小空気泡であるナノバブルが存在すると、様々な効果が期待できる。たとえば、水中での 100nm のナノバブルは気液界面の表面張力によって、内部の圧力は、 30 気圧程度まで上昇すると考えられ、高い圧力による物理的効果や化学反応促進効果が期待できる。たとえば、ナノバブルが固体表面近傍で変形して形状が急激に変化した場合、数十気圧の圧力差に基づく圧力波が生じることが予想され、この圧力波の伝播により物体表面に存在する固体粒子汚れ成分を除去できる可能性が考えられる。また、高い圧力を必要とする化学反応に対する触媒の効果をナノバブルの表面が果たすことも期待される。

そこで、ナノバブルの持つ機能を実証する目的で、超純水中に存在するナノバブルにより、平板表面上の固体微粒子汚れがどの程度洗浄できるかを実験的に検討した。

2. 実験

図1にナノバブルを発生させる実験装置の概要

を示す。試験部および超音波発振器，超純水製造装置，気泡発生部，全有機炭素濃度計，酸素濃度計，ミー散乱を利用した微粒子・微小気泡計より構成されている。

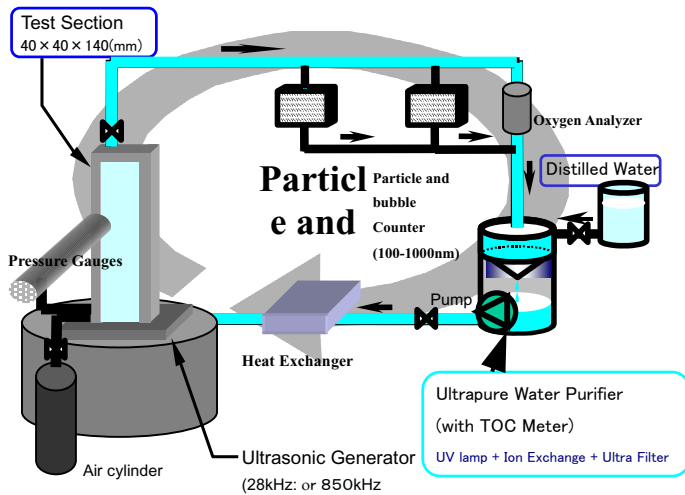


図 1. ナノバブル発生実験装置概要図

実験はクリーンブース内で行い，超純水製造装置と試験部の間で水を循環させ，水中の微粒子を十分減少させ，超音波を付与する。また，流路は冷却し，温度を一定に保持した。

図 2 にナノバブルの発生に関する実験結果の代表例を示す。超音波発信器の周波数 28kHz，過飽和度 $\gamma = 1.42$ ，圧力 0.12Mpa の場合で，直径 100-150nm の微粒子および気泡数の合計の時間変化を示している。超音波を付与することにより，指示値は増加し，超音波付与をしている間は同程度増加し，超音波付与を終了するとほぼ元の値に戻る。この増加量は，溶存気体の過飽和度と共に増加し，また，増加量は，気泡径が $1 \mu\text{m}$ から 50nm まで小さくなるに従って，増加した。このことから，この

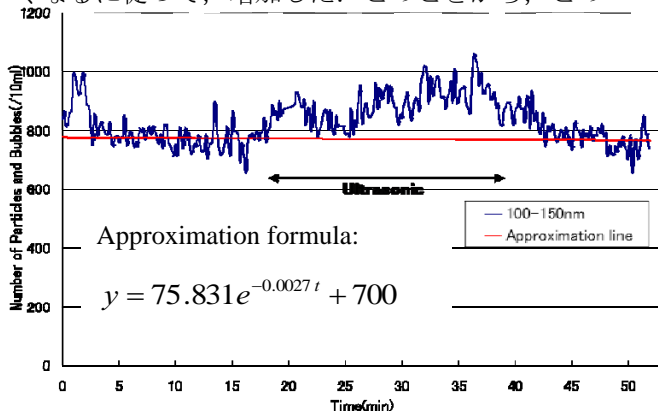


図 2 微粒子及び気泡数の時間変化

増加量は，固体微粒子を示すのではなく，空気の詳細気泡の発生を示すものと判断した。

図 3 にナノバブルによる固体微粒子洗浄実験装置の概要を示す。試験部，超音波発振器 (850kHz)，超純水製造装置，酸素濃度計，微粒子・微小気泡計，ポンプ，流量計，熱交換器から構成されている。試験部は中の様子を観察するために側面部 4 面に石英ガラス窓を備えたステンレス製のものを用いた。ナノバブル発生部も側面 2 面に石英ガラス窓を備えたステンレス製のものを用いた。洗浄効果を調べる固体微粒子として，研磨剤として用いられているアルミナ微粒子 (粒径 50nm 以下) をシリコンウェハー表面に付着させて使用した。

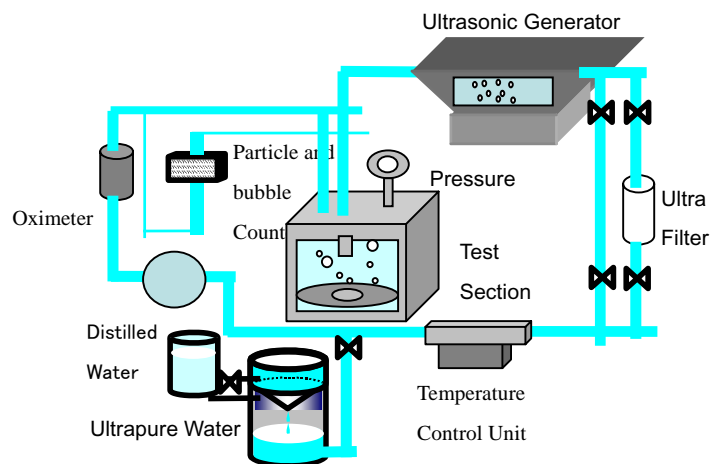


図 3 ナノバブルによる固体微粒子洗浄実験装置

実験の手順は，まずアルミナ微粒子を付着させたシリコンウェハーを含むループを超純水製造装置からの超純水で満たし，ポンプで限外フィルター，熱交換器を通るループを循環させ水中の微粒子を除去しながら水を冷却する。微粒子計の値と水温が安定した後にフィルターを通過しないループに換え，超音波発振器を始動させ，サンプルにナノバブルを含む超純水ジェットを供給する。約 30 分間ナノバブルを発生させた後，試験部のウェハーを取り出し，乾燥させた後に顕微鏡で観察し，その表面に付着している微粒子数の変化を調べることによって洗浄効果を評価した。

3. ナノバブルによる固体微粒子洗浄効果 500nm～1000nm の気泡径の気泡が約 1000 個/ml

増加した状態で、ナノバブルを含んだ超純水の液体ジェットと、ナノバブルを発生させない状態の超純水ジェットを衝突噴流の形で固体微粒子が付着した平板に毎秒約 2m の流速で与え、洗浄効果を実験した。

図 4 に洗浄前のウェハー、図 5 に超純水ジェットのみによる洗浄後のウェハー、図 6 にナノバブルを含んだ超純水の光学顕微鏡写真を示す。これより、超純水ジェットのみでは洗浄効果が無いこと、また、超純水ジェットにナノバブルを加えた時には、ほぼ全面に洗浄効果が出ていることがわかる。次に、電子顕微鏡写真を、図 7、図 8 に示すが、ナノバブルを含む超純水により、固体微粒子が凝集してできた直径 $1\mu\text{m}$ 以上の固体微粒子は、ほとんど除去できていることがわかる。洗浄効果を定量的に評価するため、図 7、図 8 から洗浄によるアルミナ微粒子の減少率を調べると、



図 4 洗浄前



図 5 超純水ジェット



図 6 超純水ジェット+ナノバブル

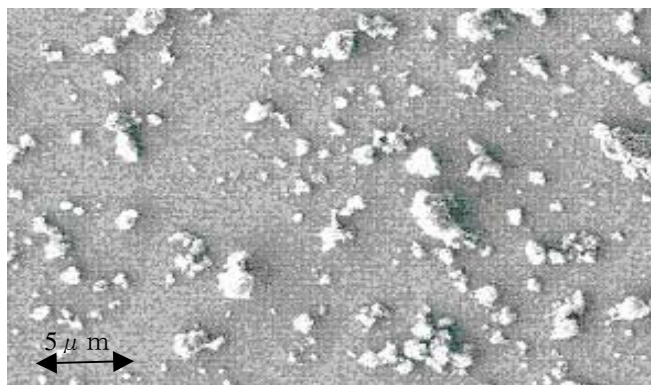


図 7 超純水ジェット

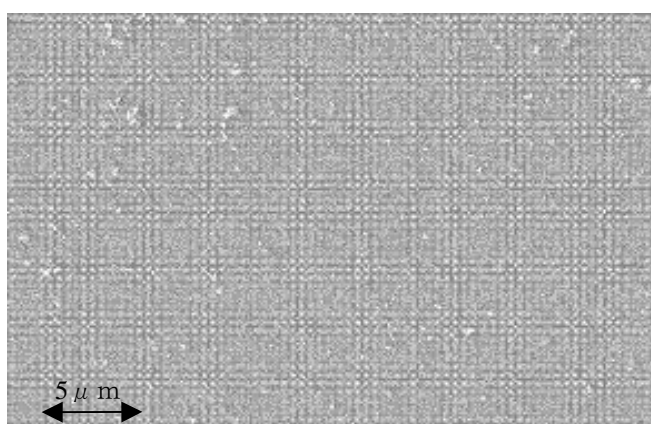


図 8 超純水ジェット+ナノバブル

面積割合で 92%、体積割合で 99%の固体微粒子が洗浄され、除去できていることが分かる。

また、超音波付与部と異なる場所で洗浄効果を実現できたことから、超音波付与によるエロージョンを伴うことなく、ナノバブルにより洗浄できるという特徴を有することも示すことができた。

4. 終わりに

100nm 程度の直径を持つ空気泡のナノバブルを超音波付与により発生させることに成功し、数分間以上存在することを明らかにした。また、ナノバブルが固体微粒子汚れに対する洗浄効果を有することを実験的に明らかにした。

参考文献

- [1] 寺門他 3 名, 39 回伝熱シンポ B216(2002),379
- [2] 後藤他 4 名, 40 回伝熱シンポ A215(2003),359
- [3] 森松他 5 名, 41 回伝熱シンポ, B313(2004),591
- [4] 矢部, 後藤, 特願 2002-288963

ナノスケール表面構造制御による光機能表面の創生

Optical Functional Surface by Microstructure

山田 純 (山梨大学)

Jun YAMADA (University of Yamanashi)

1. はじめに

これまで伝熱学で扱われてきたふく射研究の多くは、当然であるが、ふく射として運ばれるエネルギーに着目した研究であった。例えば、燃焼炉に代表される壁-壁間や壁-燃焼ガス間のふく射伝熱、あるいは、ふく射を利用した様々な焼成プロセスなどである。これらの分野におけるふく射伝熱の研究を眺めていると、残念に思うことがある。それは次の理由による。

例えば、火炉等の壁-燃焼ガス間のふく射伝熱を定量評価しようとする時、まず、波長毎の壁の放射率や吸収率、また、ガスの吸収係数などを詳細に調べ、それを利用して波長毎に伝わるエネルギーを求め、さらに、そのエネルギーを全波長に渡って積分することになる。大変な苦労の末に求まるのが、一つの熱流束である。波長毎のエネルギーは大変重要ではあっても、最後には「熱流束」の中に埋もれてしまう。残念に思う原因は「苦労が見えない」ことである。本稿で紹介したい内容は、ふく射の研究者の苦労が文字通り「見える」ようにするための研究である。

前置きが長くなったが、ふく射は電磁波である。したがって波としての性質を合わせ持つ。偏光することもあるし、干渉なども起こす。レーザー応用計測では良く聞くこれらの言葉も、熱源からの

ふく射を扱うことが多い「ふく射伝熱」ではあまり聞かれない。ただし、少し伝熱から距離をおくと、我々の周りには干渉や偏光などが引き起こす様々な現象が観察される。特に可視光の波長域では、干渉が色の違いとして見られることがしばしばある。水の上にてきた油の膜などがその例である。

自然界に目を移すと、実に様々なもの、例えば、鮑の貝殻、玉虫などが干渉によって色づいている。最も良く知られた例としては、南米に生息するMorpho蝶(モルフォチョウ亜科に分類される蝶の一種、図1)があげられる。この蝶は、金属的に輝く青い翅をもつことで有名で、翅を覆う鱗粉表面に、図1に示すような、奥行き方向に断面形状が変化しない2次元的なナノスケールの構造があり、それらが複雑な干渉を起こすことで色づいて見える。

この蝶の発色原理に関する研究は、古くから行われており、現在においても活発な研究[1-3]がなされている。当初は、横方向に伸びる突起列(Lamella)とその空隙が、多層干渉膜として働くことで発色していると考えられていた。しかし、斜め方向から見た際の反射性質が多層干渉膜とは異なることから、今では、縦に伸びる突起列(Ridge)もまた、その発色に寄与していることが分

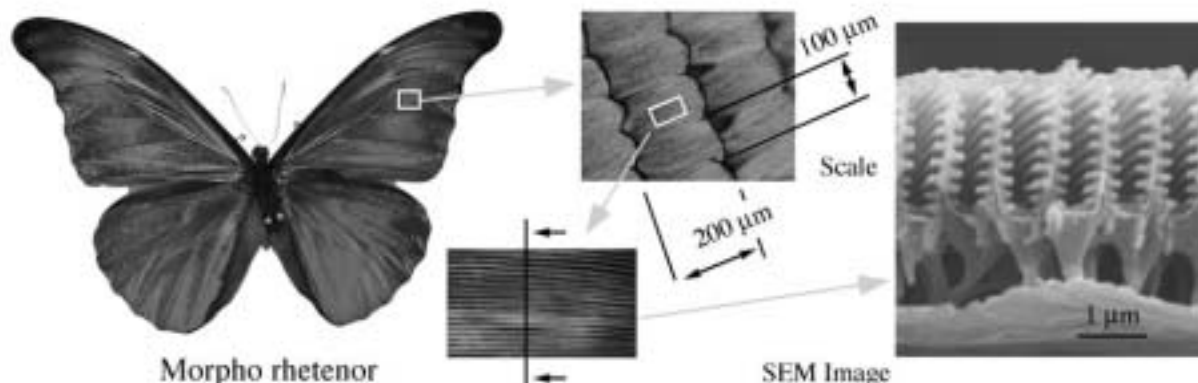


図1 モルフォ蝶とその鱗粉

かっている。最近になって、その発色原理の基本的な部分が明らかにされ、同様の発色を見せる表面を人口的に作る試みもなされている[4].

もし、物体表面にこのような微細構造を構築することで、表面の光（ふく射）性質を制御することができれば、ふく射機能性表面として様々な用途に利用できる可能性がある。例えば、色あせの激しい赤い塗料に変わるものやエネルギー効率に優れた色温度の高い放射源（赤外線は放射せず、可視波長域のふく射を効率的に放射できる熱源）などある。ただ、この実現のためには、どのような微細構造をつくれれば、要求に応じたふく射性質が得られるかを予測することが不可欠である。

著者らは、モルフォ蝶の発色原理に関する数値解析を通じて、微細構造をもつ表面のふく射性質を予測するための数値解析コードの開発を行ってきた。本稿では、著者らが現在利用している数値解析手法と、同様な目的に利用可能なもう一つの解析手法を紹介する。また、そのような数値解析手法により、現状でどの程度のことか予測できるのかを紹介する。

2. 電磁界の数値解析

表面の微細構造寸法が波長と同程度の大きさであること、また、干渉を扱う必要があることから、その表面からの反射を解析するには、幾何光学的な取り扱いができない。光を電磁波として取り扱う「電磁波動論」が必要となる。ここでは、電磁界を支配する Maxwell 方程式を数値的に解くことで、微細構造をもつ表面の反射性質を導く手法を紹介する。

古くは積分方程式に基礎を置くモーメント法 (Moment methods) が Maxwell 方程式の数値解法によく利用されていたが、近年の計算機の急速な進歩に合わせるかのように、様々な電磁界問題への適用が容易な Finite Differential Time Domain Method (FDTD 法) と有限要素法の二つの手法が、主要な解析手法としての地位を確立しているように見える。ここでは、両手法の概要とその特徴を簡単に述べておく。

2.1 FDTD 法

FDTD 法は、Maxwell の微分方程式を差分化し、時間領域で解く方法と説明されるが、伝熱分野でなじみ易い言い方をすれば、微分方程式の非定常

解法である。解法の詳細に関しては多くの教科書 [5, 6] が出版されているので、そちらを参照されたいが、ここでは、宇野の文献 [7] を参考にその手法の概要を簡単に述べておく。

解くべき方程式は次の Maxwell の微分方程式である。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{E} と \mathbf{H} は、それぞれ、電界と磁界、 \mathbf{D} は電束密度、 \mathbf{B} は磁束密度、また、 ρ と \mathbf{J} はそれぞれ源である電荷密度、電流密度を表す。

式(3), (4) は、電荷保存の法則、

$$\nabla \cdot \mathbf{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

を利用すると、式(1), (2) から導かれるもので、独立ではない。

いま、簡単のために、媒質を等方、非分散性とする（そうでない場合ももちろん取り扱える）と、式(1) と式(2)は、構成方程式 $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ 、 $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ 、 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ （強制的な電流源は考えない）を用いて次のように書き表すことができる。

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E} + \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E} \quad (7)$$

ここで、 μ 、 ϵ 、 σ はそれぞれ透磁率、誘電率および導電率である。例えば、物体による電磁波の散乱を解析する場合、これらは物体のある所とない所（空間）で異なる値をとる（場所の関数となる）。

これらの方程式を差分化して解くために、電界、磁界に関する時間微分を次のように差分化することにする。

$$\left. \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right|_{t=(n-1/2)\Delta t} = \frac{\mathbf{E}^n - \mathbf{E}^{n-1}}{\Delta t} \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \right|_{t=n\Delta t} = \frac{\mathbf{H}^{n+1/2} - \mathbf{H}^{n-1/2}}{\Delta t} \quad (9)$$

ここで、 Δt は時間刻みをあらわす。また、上付添え字 n は、 n 時刻ステップを表し、 $n-1/2$ は、 n 時刻ステップと $n-1$ 時刻ステップの中間の時間を

表す。この数値解析では、電界は、 $t=n\Delta t$ で、磁界は $t=(n-1/2)\Delta t$ のように異なる時間ステップで解かれる。

これを式(8), (9)に代入すると次式を得る。

$$\frac{\mathbf{E}^n - \mathbf{E}^{n-1}}{\Delta t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \mathbf{E}^{n-1/2} + \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}^{n-1/2} \quad (10)$$

$$\frac{\mathbf{H}^{n+1/2} - \mathbf{H}^{n-1/2}}{\Delta t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E}^n \quad (11)$$

式(10)右辺第一項の $\mathbf{E}^{n-1/2}$ は、 \mathbf{E}^n あるいは \mathbf{E}^{n-1} 、もしくはそれらの平均で近似する。それぞれ、熱流体の数値解析でいうところの陰解法、陽解法、中間解法に相当する。

空間に関する微分を含む回転 ($\nabla \times$) は、図 2 に示すように、電界と磁界の要素をコントロールボリューム内に配置すれば (熱流体解析で利用されるスタッガード格子に似ている)、差分化せずと

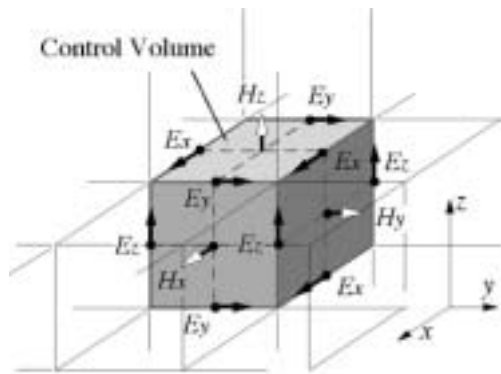


図 2 電界要素と磁界要素の配置

も簡単に計算できる。参考文献[5, 7]を参照されたい。

さて、ここまで来れば明らかなように、 \mathbf{E}^{n-1} と $\mathbf{H}^{n-1/2}$ が分かっているならば、式(10)で \mathbf{E}^n を式(11)で $\mathbf{H}^{n+1/2}$ が求まる。この解析を利用すると、解析領域に入射した電磁波がどのように伝播していくかを時間を追って計算することができる。解析領域内に物体があれば、それによる散乱波 (反射波) の電磁界が計算されることになる。

2.2 遠方界の積分表現

この FDTD 法により、微細構造を持つ表面による反射 (散乱) も取り扱えるが、解析領域をどのように定め、境界条件をどのように扱うかという問題は残る。また、反射 (散乱) 波は空間に拡がって行くが、数値解析では、無限に大きな解析領域は扱えない。ある限られた領域の電磁界が得ら

れるだけである。この電磁界 (場) はいわゆる「近接場」で、われわれが観察できる反射光の電磁界ではない。反射光の強さを知るには、表面 (散乱体) よりも十分に離れた場所での電磁界、いわゆる「遠方界」を得る必要がある。この遠方界は、電磁界の積分表現を利用して求めることができる。この積分表現に関しては、文献 [5, 6, 8]で詳しく述べられている。式が与えられているので、遠方界を計算するのは容易である。

以上、簡単に FDTD 法の概要を説明したが、この手法の特長の一つに、パルス光を入射させ、その散乱波を求めて、フーリエ変換すれば、散乱性質の周波数依存性 (波長依存性) を一度に得られる点があげられる。FDTD 法がアンテナ解析に良く利用される所以である。

2.3 有限要素法

有限要素法による電磁界の解析もまた、FDTD 法と並んで良く利用される。有限要素法の特徴は、対象の形状が変わっても解析コードをほとんど変えることなく利用できるという柔軟な適用性であろう。「ある光機能を実現するために、どのような表面微細構造が必要か」を予測する、言葉を変えれば、ある光機能を実現する表面構造の設計には、先の FDTD 法より適しているかもしれない。その詳細は教科書[9]を参照されたい。ここでは、その概要だけを述べておく。

有限要素法は、FDTD 法とは異なり、時間の関数として電磁界を求めるわけではない。ここで紹介する有限要素法では、時間的には角周波数 ω で正弦的に変化する電磁界を取り扱う。ただし、後に述べるように、このことは適用できる問題を制限するものではない。

解くべき Maxwell 方程式は前に示した式(1)-(4)とする。いま、電磁界 \mathbf{E}, \mathbf{H} が角周波数 ω で正弦的に変化するとすると、それらは時間に無関係な $\dot{\mathbf{E}}, \dot{\mathbf{H}}$ を用いて

$$\mathbf{E} = \text{Re}[\dot{\mathbf{E}} \exp(i\omega t)] \quad (12)$$

$$\mathbf{H} = \text{Re}[\dot{\mathbf{H}} \exp(i\omega t)] \quad (13)$$

と表せる。ここで Re は実部を、 i は虚数単位を表す。これらを式(1)~(4)に代入すると、 $\exp(i\omega t)$ が消去でき、さらに構成方程式を用いると

$$\nabla \times \dot{\mathbf{E}} = -i\omega\mu\dot{\mathbf{H}} \quad (14)$$

$$\nabla \times \dot{\mathbf{H}} = (i\omega\epsilon + \sigma)\dot{\mathbf{E}} \quad (15)$$

$$\nabla \cdot \dot{\mathbf{E}} = \rho \quad (16)$$

$$\nabla \cdot \dot{\mathbf{H}} = 0 \quad (17)$$

を得る。これらの式を解いて時間に無関係な $\dot{\mathbf{E}}$, $\dot{\mathbf{H}}$ が得られれば、実際の電磁界はそれらに $\exp(i\omega t)$ を乗じて求めることができる。

電磁界 \mathbf{E} , \mathbf{H} の時間変化が正弦的でない場合でも、周期的でさえあれば、Fourier 級数展開を利用して求めることができる。すなわち、異なる周波数で正弦的に時間変化する \mathbf{E} , \mathbf{H} を、それぞれの周波数ごとに求め、後で重ね合わせれば良い。なお、ここで表記を簡略化するためにあらためて時間に無関係な $\dot{\mathbf{E}}$, $\dot{\mathbf{H}}$ を \mathbf{E} , \mathbf{H} で表すことにする。

式(14), (15)から磁界 \mathbf{H} を消去すると、電界 \mathbf{E} に関する次の方程式が導かれる。

$$\nabla \times \frac{1}{\mu_r} \nabla \times \mathbf{E} - k_0^2 \epsilon_r \mathbf{E} = 0 \quad (18)$$

ここで、真空中の k_0 は波数である。なお、この式に現れる ϵ_r と μ_r は、複素比誘電率、比透磁率である。FDTD 法でも述べたように、場所の関数である。有限要素法では要素によりその値が異なることになる。

媒質が均質な場合（有限要素法では各要素内で均質）には、式(18)は次のように簡単な形に書き表せる。

$$\nabla^2 \mathbf{E} + k_0^2 \epsilon_r \mu_r \mathbf{E} = 0 \quad (19)$$

すなわち、電界ベクトルの各要素は Helmholtz 方程式を満たす。図3に示すような2次元散乱問題において、もし、入射波の電界が紙面に垂直な方向 (z 方向) にのみ電界をもつ (TM モードの)

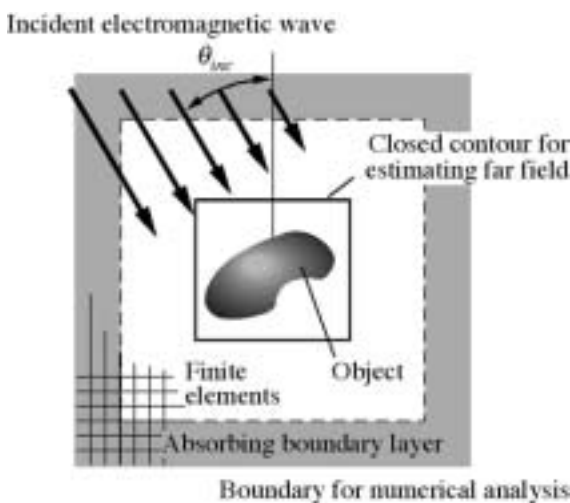


図3 2次元解析モデル

直線偏光とすると、この場合、散乱波もまた同方向 (z 方向) にのみ電界をもつことになるので、式(12)は z 方向の成分についてのみ解けば良い。

また、入射波の電界が紙面に平行な場合には、磁界は誌面に垂直になるので、磁界に関する同様な式で z 方向の磁界を解けば、式(15)から電界を求めることができる。

電磁界に関する有限要素法では、式(18), あるいは、式(19)などを解くことになるが、その手法は構造力学解析などの有限要素法と変わらない。問題は、FDTD 法でも述べたように、散乱波などは無限に広がって行くので、その境界条件をどのように取り扱うかである。図3に示した吸収境界 (Absorbing boundary) はその一つで、解析境界で散乱波が反射されないように吸収層が設けられている。これらの具体的な手法に関しても、文献[9]を参照されたい。

3. 微細構造を持つ表面の反射性質

ここでは、有限要素法による解析例を紹介する。まず、本稿の初めに紹介した、モルフォ蝶鱗粉の反射を解析してみた。図4はその解析モデルである。示される寸法は図1から読み取った平均値で、十分に正確とは言えないことをご了承願いたい。このモデルは2次元モデルで、両サイドは周期境界である。入射波の電界ベクトルは誌面に垂直で、入射角 θ_{in} は 30 度である。得られた近接場を図5に示す。電界強さの絶対値を、その強さに応じた明暗で表示している。この図では、電界強さと鱗

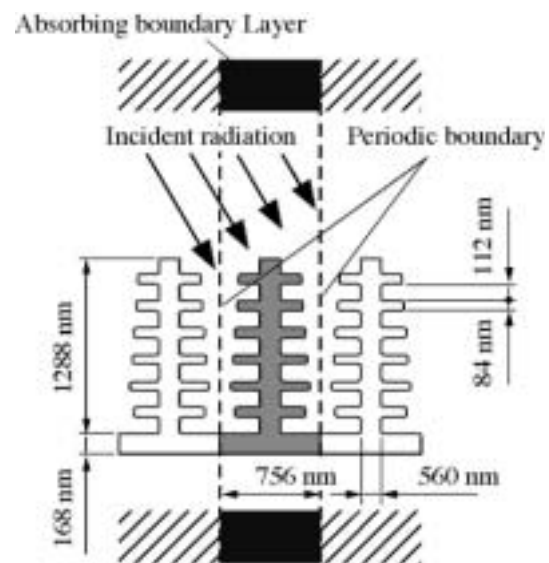


図4 Morpho蝶鱗粉の解析モデル

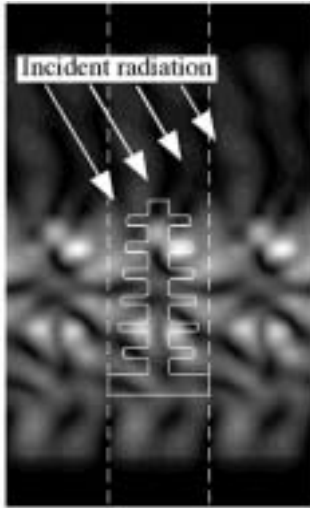


図5 鱗粉モデル周りの電界強さ

粉形状との関係がつかみやすいように解析領域を三つ並べて表示してある。鱗粉構造の中で電界が強くなっているところがあるが、これから鱗粉の反射性質を言い表すことは難しい。

図6に、図5の電界から求めた、反射光の強度分布を示している。入射光軸を含む面内の反射光の強さである。パラメータは波長であるが、赤い色に相当する長い波長 ($\lambda = 616 \text{ nm}, 728 \text{ nm}$) ではどの方向においても反射光は弱い。青や緑に相当する波長 ($\lambda = 392 \text{ nm}, 504 \text{ nm}$) では、規則反射方向 (30°) と、後方に強いピークが現れているのが分かる。鱗粉が青く色づいて見えることを表していると言える。ただ、この強いピークは実際のモルフォ蝶では観察されない。数値解析では完全な周期構造を扱っているために強いピークが生

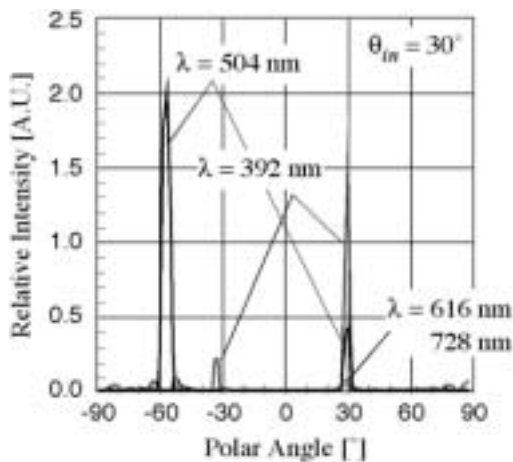


図6 Morpho蝶鱗粉による反射光の強度分布 (解析結果)

じている。図1に示されるように、鱗粉内でさえ周期構造は不完全であるため、かなりの拡がりを生じる。

さて、この後方への強い反射は、実際にも観察されている。図7はその様子を示したものであるが、光が入ってくる方向で最も強い反射が見られる。これを定量的に評価するために、翅の2方向反射率の計測を行った。結果を図8に示す。パラメータは入射光の角度である。計測用のプローブが入射光を遮るために、光の入射側は一部計測できない。先に述べた微細構造の若干の不規則性と、鱗粉毎の並びの僅かな不規則性のために鋭いピークが観察されることはない。しかし、その方向(光が入射する側)の反射が強くなっている様子は分かる。

この研究の目標は、モルフォ蝶の反射性質を明ら

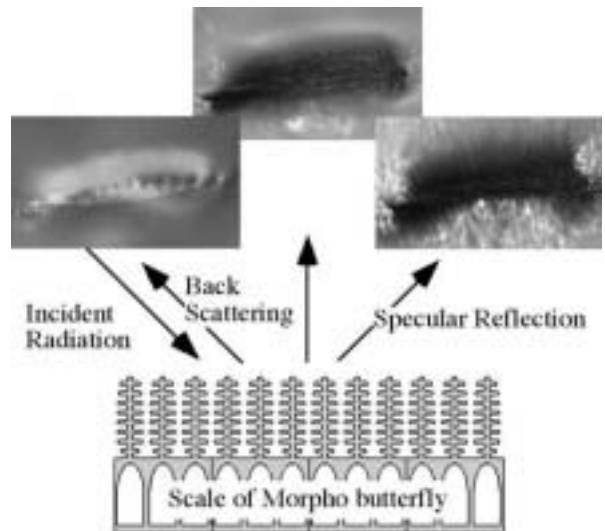


図7 Morpho蝶鱗粉による反射の様子

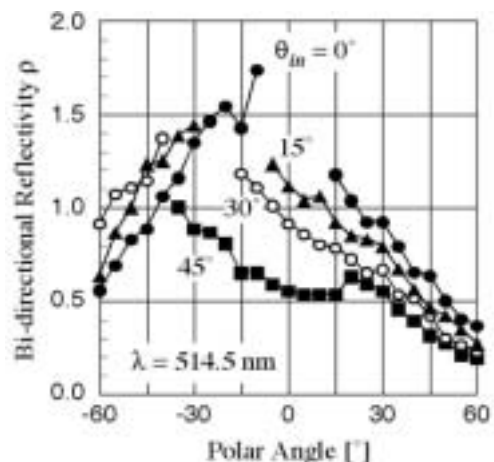


図8 鱗粉による反射光の強度分布

かにすることではなく、要求に応じたふく射性質をもつ表面の設計、製作にある。この研究の途中経過として、モルフォ蝶と同様な反射性質をもつ(であろう)表面の微細構造を考えてみた。これに当たっては、現在の微細加工技術で何とか製作可能な構造であることも考慮した。その構造を図9に示す。

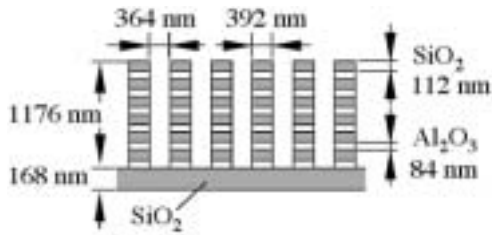


図9 疑似鱗粉構造

図に示すように、この構造は、多層干渉膜に深い縦溝のある2次元構造である。モルフォ蝶鱗粉では、横方向へ伸びる突起とその空隙が多層干渉膜として働くこと、また、それらが縦溝により分断されていることから、同様の効果を狙って考えられたものである。この表面の反射性質を解析した結果を図10に示す。モルフォ蝶鱗粉の解析結果と同様、後方への強い反射も観察される。波長依存性なども同じになるように、さらに詳しく構造を詰める必要はあるが、比較的単純な構造で、その反射性質を再現できる可能性はある。今後は、実際に設計された構造を製作、評価していく必要がある。

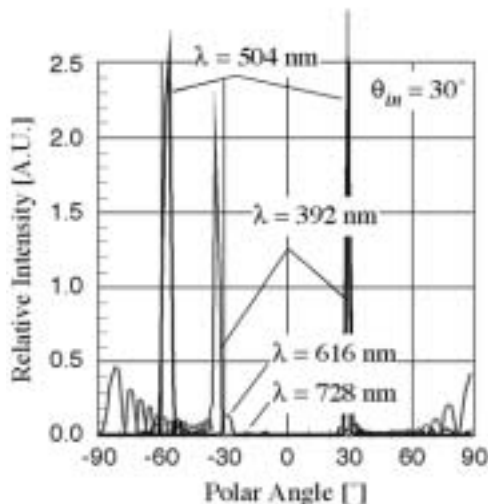


図10 疑似鱗粉による反射光の強度分布

4. 最近の話題

2004年の伝熱シンポジウムでは、このような微細構造を有する表面のふく射性質に関する議論が盛んであった。効率的にふく射エネルギーを利用するという観点から、「ある波長域のふく射だけを熱源から放射させられるか？」に関して議論があった。講演会場だけではならず、会場外でも熱心に議論が続けられていた。

若林らは、金属表面に酸化膜が形成される際に、そこから放射されるふく射に干渉が観察されることから、表面に薄膜を設けることで波長選択放射面の可能性を示した[10]。2004年のシンポジウムでは、波長より広めの溝列からのふく射が干渉するかを実験的に調べていた[11]。

花村らは、光起電力セルによる効率的発電を実現するために、ふく射熱源と光起電力セルの間に多層干渉膜(干渉フィルター)を設けることを提案、セルの感度が高い波長域のふく射エネルギーだけを取りだせるかを検討していた[12]。

宮崎らは、フォトリソグラフィを利用することで熱ふく射特性の制御が可能であるとの立場から、Focused Ion Beam-Chemical Vapor Depositionにより微細構造をもつサンプルを製作、その反射性質の計測を行っていた[13]。伝熱の分野では、あまりなじみない言葉で語ってはいるが、研究の目的、その手法ともに良く似ている。

また、これ以前にも円山らは、微細な正方形セル孔を表面に設けることで、放射ふく射のスペクトルに、微細構造に起因すると考えられるピークが現れることを示している[14]。シンポジウム会場でもそれに関する議論が聞かれた。

さて、これらの研究にみられるように最近では微細構造もつ表面の放射性質に関心が寄せられている。著者としても、放射性質に本解析手法を応用していきたい。

5. おわりに

本稿を書き終えたいま、ここで紹介した内容が本特集号の記事にはあまりふさわしくなかったような気がする。企画された先生方にお詫び申し上げたい。

なお、本稿では電磁界の数値解析手法として有限要素法とFDTD法の二つを紹介したが、これは電磁波が比較的簡単に扱えることを感じてい

ただきたかったからである。最近の伝熱シンポジウムでも、表面のふく射性質の話題に限らず、電磁波を取り扱った研究がよく報告されている。すこしでも興味を抱いていただければ幸いである。

参考文献

- [1] Vukusic, P. Sambles, J. R., Lawrence, C. R., Wootton, J., Proc of Royal Society of London, B Vol. 266 (1999) pp. 1403-1411
- [2] Gralak B., Tayeb, G., Enoch, S., Optical Express, Vol. 9, No. 11 (2001) pp. 567-578
- [3] Kinoshita, S., Yoshioka, S., Proc of Royal Society of London, B Vol. 269 (2002) pp. 1417-1411
- [4] 吉岡伸也, 木下修一, 斎藤彰, 応用物理学会誌, Vol. 73, No. 7, pp. 939-942 (2004)
- [5] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社 (1998)
- [6] Kunz. S. K., Luebbers, R. J., The Finite Differential Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press (1993)
- [7] 宇野亨, 電子情報学会誌, Vol. 80, No. 2 (1997) pp. 184-191
- [8] 熊谷信昭, 森田長吉, 電磁波と境界要素法, 森北出版 (1987)
- [9] Volakis, J. L., Chatterjee, A., Kempel L. C. Finite Element Method for Electromagnetics, IEEE Press (1998)
- [10] 若林英信, 羽田哲ほか, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 67, No. 660 (2001) pp. 2121-2128
- [11] 若林英信, 田中洋之, 松本充弘, 牧野俊郎, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. III (2004) pp. 745-746
- [12] 熊野智之, 花村克悟, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. III (2004) pp.741-742
- [13] 木原正裕, 宮崎康次, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. I (2004) pp.91-92
- [14] Maruyama, S.ほか, Applied Physics Letter, Vol. 79 (2001) pp. 1393-1395
-

新型プリウスにおける性能向上について
ProjectQ “Performance improvement of New Prius”



阿部 眞一 (トヨタ自動車株式会社 HV システム開発部)

Shinichi ABE (Toyota Motor Corporation Hybrid System Management)

1. 背景

省資源・地球温暖化防止のため、CO2 排出量削減が急務となり、自動車の燃料向上が強く求められている。こうした中で、内燃機関－電気ハイブリッドシステムは大幅な効率向上が期待されるシステムとして注目されている。

THS は更なる進化を遂げ、’03 年に、「新世代 Toyota Hybrid System (THS II)」は開発され、従来型に対して大幅な動力性能向上と更なる燃費向上による CO₂削減、さらに現在各国で提案されているもっとも厳しいエミッション規制対応を実現し、世界トップレベルの環境性能を実現した。

2. トヨタハイブリッドシステム II (THS II)

図 1 に THS II の構成を示す。本システムは THS をベースに、モーター、発電機の電源系を高電圧化して、エネルギー伝達系の損失を大幅に低減し、車全体としてのエネルギー効率最適化制御を進化させることにより、画期的な高効率化を図っている。THS II は、エンジン効率の悪い低速走行条件などでは徹底してエンジンを停止させ、モーターのみで走行し、通常走行時は高効率エンジンを動力源に、動力分割機構によりエンジンの動力を発電機駆動用と車両駆動用に分配し、効率の良いエンジン運転領域を選択して運転すると同時に、発電力と駆動力の配分をエネルギー効率が最良となるよう連続的に制御している。さらに新ブレーキシステムと組み合わせた新回生協調ブレーキシステムの採用、高性能化したバッテリー、エネルギー伝達系の大幅な損失低減とあいまって回生エネルギー量を増加させた。

図 2 に高電圧回路構成を示す。必要に応じて求められたデューティにより IGBT のスイッチングが行なわれ、電池電圧からモータ・発電機の最適な動作電圧への昇圧が行なわれる。

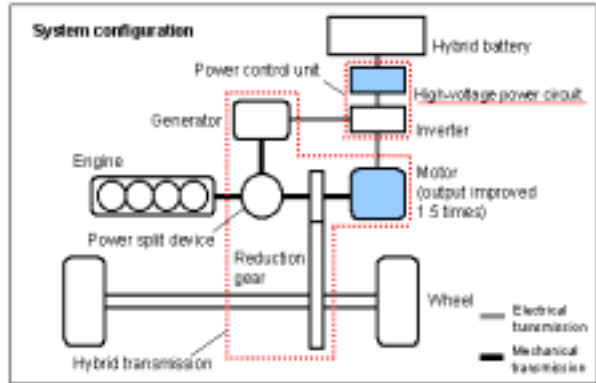


図 1. トヨタハイブリッドシステム II(THS II)

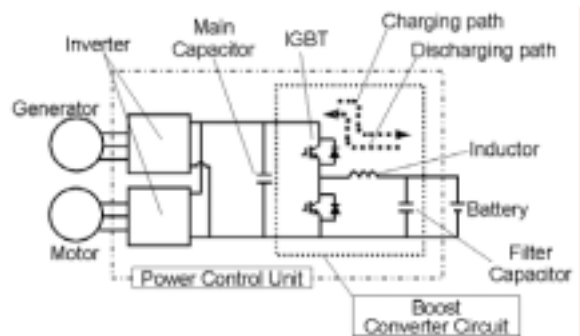


図 2. 高電圧回路

3. システム定格

表 1.に各コンポーネントの定格を示す。

表 1. システム定格

Engine	ITEM	THSII	THS
	Type	1.5L gasoline (high-expansion ratio cycle)	1.5L gasoline (high-expansion ratio cycle)
	Maximum output (kW)	57.5/0.000	53/4.500
	Maximum torque (Nm)	115/4,200	115/4,200
Motor	Type	Synchronous AC motor	Synchronous AC motor
	Maximum output (kW)	50/1,200-1,540	33/1,040-5,600
	Maximum torque (Nm)	400/0-1,000	350/0-400
System	Maximum output(kW) /Vehicle speed(km/h)	82/85 or higher	74/120 or higher
	Maximum output(kW) at 85km/h	82	65
	Maximum torque(Nm) /Vehicle speed(km/h)	478/22 or lower	421/11 or lower
	Maximum torque(Nm) at 22km/h	478	378
	Battery	Type	Nickel-metal hydride
	Maximum output(kW)	21	21

4. 各コンポーネントの効率向上

個々のコンポーネントは単品としての効率改善も重要であるが、構成要素を制御によって最適運転領域で動作させることの効果も大きい。

4.1 エンジンの性能向上

エンジンに対する出力アップ要求に対し、最大回転数の変更(4500rpm→5000rpm)により対応した。さらに、フリクション低減として、ピストンの軽量化・ピストンリングの低張力化を織込んだ。また、エンジン回転数および負荷に応じて、VVT-iにより吸気バルブタイミングを制御により最適化することにより、高出力と高効率の両立を図った。その結果、図3、4に示すように最高出力を向上させた上で最小燃費率 225g/kWh を達成した。

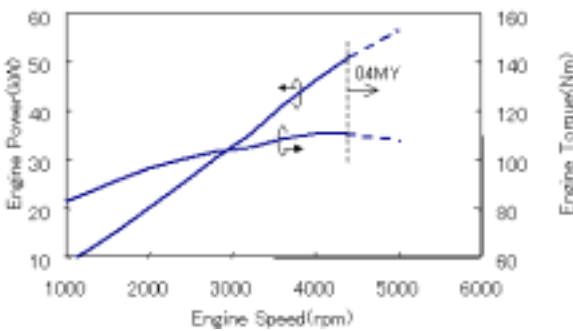


図 3. エンジン性能

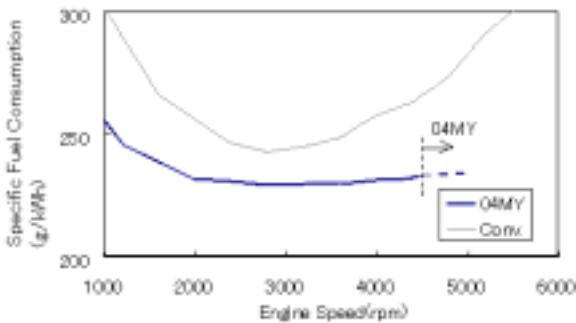


図 4. エンジン最小燃費率比較

4.2 モータ・駆動系の性能向上

基本構造は、THS と同じものであるが、モーター性能の向上と、駆動系損失の低減を図った。主な変更内容は、機械系としては①減速ギヤのボールベアリング採用、②低粘度油採用、電気系として③電源電圧の高電圧化による出力・トルクの向

上、④ロータ磁石の V 字配置によるトルク向上、⑤モーター制御の変更 (図 5) である。今回の改良により機械系損失の回転依存項の 30%低減と同時にモータ性能を大幅に改良した (図 6, 7)。

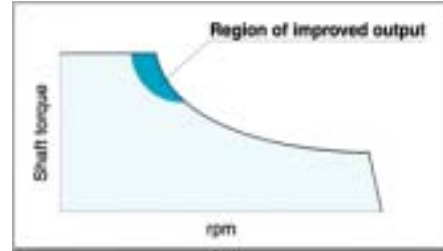


図 5. 過変調制御の効果

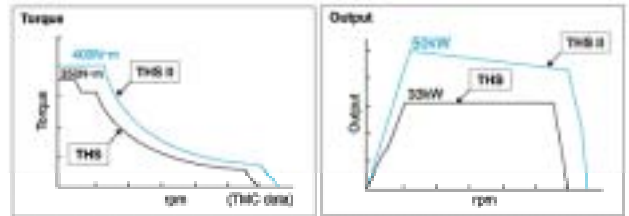


図 6. モータ性能

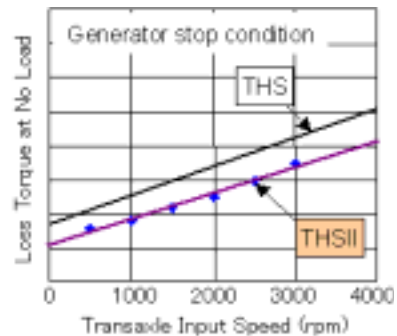


図 7. 駆動系の損失

4.3 システム制御の改良

エンジン本体、駆動系の改良に加えて、ハイブリッドシステムとの協調制御も以下の点で改良を加えた。図 8 に示すようにエンジンが軽負荷運転の場合にはバッテリーへの充電量をふやすことで、エンジンの暖機性向上、エンジン効率の良い運転域としている。また、低車速で比較的高い駆動力を要求された場合 (図 9)、エンジン効率、発電機、プラネタリギア損失が最適となるバッテリーアシスト量を選択しました。

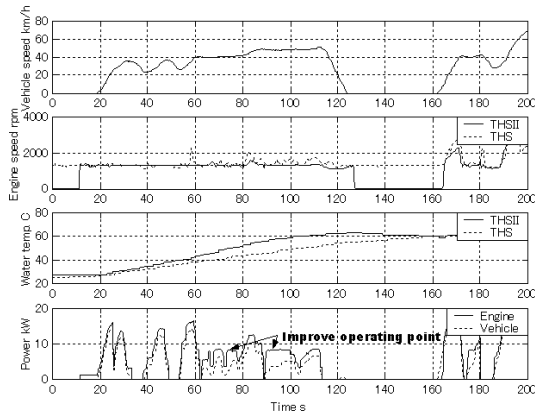


図 8. エンジン運転域の改善

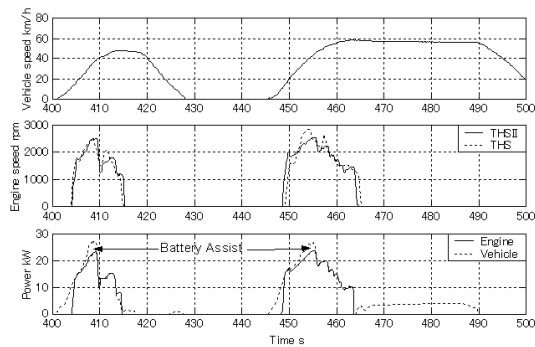


図 9. バッテリーアシストの効果

図 10, 11 に THS&THS II におけるエネルギーの流れを示す。エンジンの出力は動力分割機構で分割され、一方はエンジン直達として車軸へ、もう一方はジェネレーターで発電され、モーターでトルクアシストされるのが狙いのエネルギーの流れである。しかし、中・高速定常走行等では、エンジン直達トルクが大きすぎるがゆえにモーターで発電し、そのエネルギーでエンジン直達トルクを再度伝えるというエネルギー再循環が生じ、伝達効率が悪化する領域がある。一方、図 12 に示すようにエンジンの使用域を等出力上で高回転、軽負荷にすればこのエネルギー再循環は回避できるが、エンジンの効率は悪化する。このため、システム効率が最適になるようにエンジンの使用域をさらに最適化した。これにより特に中・高速定常走行の燃費を向上させている。

図 13 に上記の改良を織込んだ LA#4 モードでのエンジン使用域を示す。

発電機、モーター、インバーター、昇圧コンバータの損失は図 14 に示されるようにシステム電

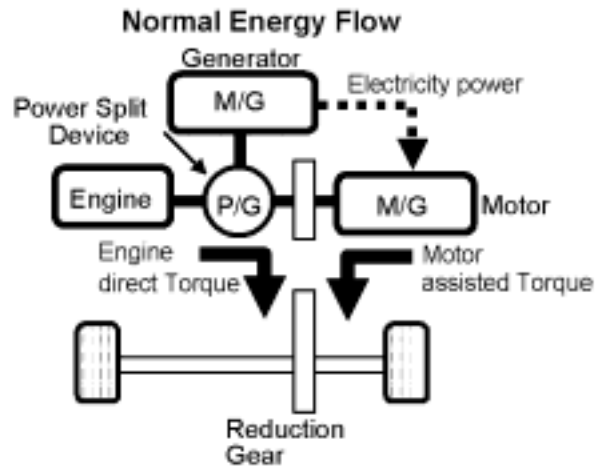


図 10. 通常時のトルク伝達

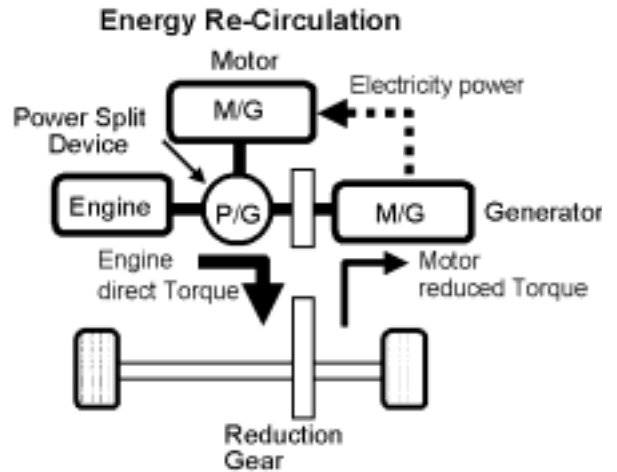


図 11. エネルギー再循環時のトルク伝達

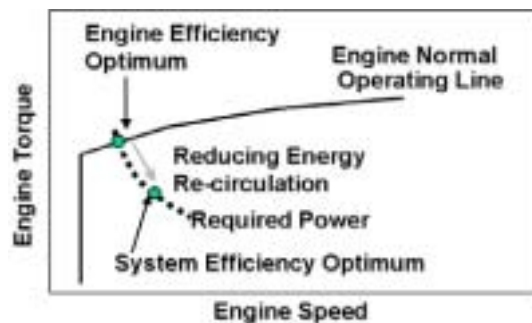


図 12. エンジン使用域の最適化

圧によって影響を受けることが分かっている。従ってこれらの損失を最小となるようにシステム電圧の最適化を制御により行うことでシステム効率の向上を図っている。(図 15)

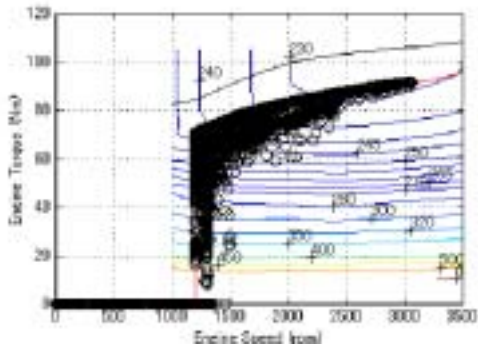


図 13. LA#4 モードでのエンジン使用域

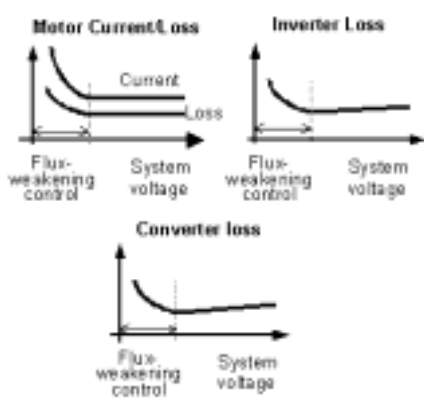


図 14. 電気損失

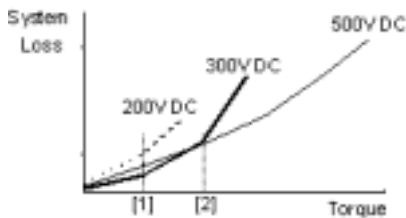


図 15. システム最適電圧

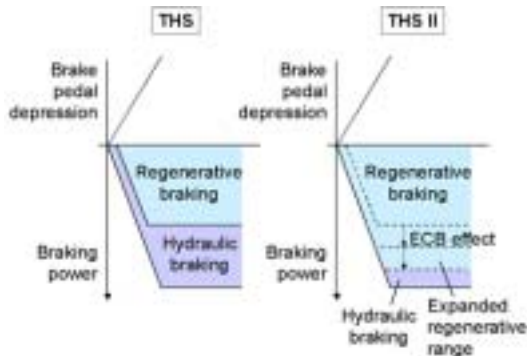


図 16. 回生協調ブレーキの改善

4.4 新回生協調ブレーキシステム

図 16 に示すように制御性に優れる電子制御ブレーキシステム (ECB) の採用により回生協調ブレーキシステムを進化させ、油圧ブレーキの制動分担分を減らす、即ち回生ブレーキ領域を拡大させると共に、新開発の高出力バッテリー採用とあいまって、最大回生発電量を高めることで回生エネルギー量を増加させている。

4.5 車両での向上策

車両側の燃費向上策として、ホイールベアリングの損失低減、外形・床下形状の最適化による走行抵抗低減を図った。また、実走行での燃費向上にも着目し、電動エアコンコンプレッサーを採用することで、エアコン使用時のエンジン間欠運転領域の拡大、エアコン・ヒーター制御の最適化を実施した。さらに、補機電力消費が少ない時には DCDC コンバータからの出力電圧を低くすることで補機バッテリーとアクセサリへの過剰な電力供給を抑制した。

5. 燃費測定結果

これまでに述べた各種対策を織込み、国内 10-15 モードで 35.5km/L、米国 LA#4・ハイウェイモードの Comb.燃費で 65.8mpg、欧州モードで O₂104g/km を達成した。図 17 に、米国モードで他車(ガソリン)と比較の結果を示す。従来車に対して優れた燃費を示すことが分かる。

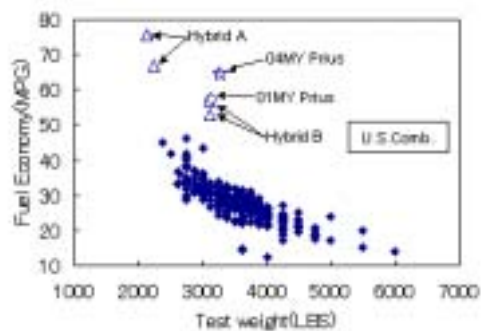


図 17. 対米 Comb. 燃費

夏季のエアコンを使用した走行を想定し従来型と燃費を比較した結果を表 2 に示す。前述の各種対策の効果で約 20%の燃費向上が確認できた。

表 2 燃費比較

車両	THS II	THS
燃費 (km/L)	22.1	18.6

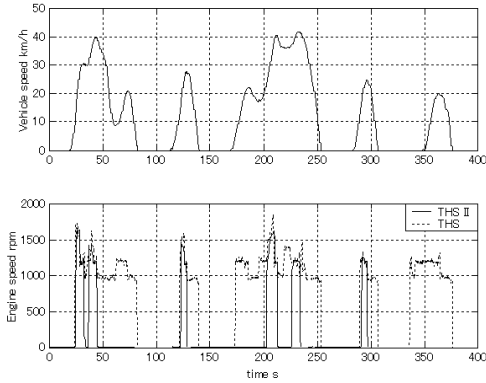


図 18. 夏季渋滞走行モード (30℃, A/Con)

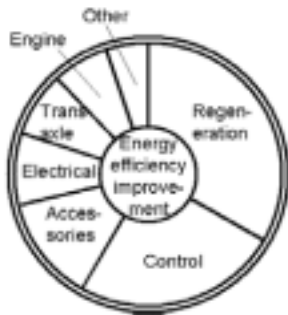


図 19 効率改善の内訳 (10-15M)

図 19 に 10-15M における効率改善の内訳を示す。かなりの部分が制御系の見直しによって改善されていることが分かる。

6. 車両動力性能

6.1 システム出力

制御電圧の 500V 化によるモータトルク、出力向上、エンジン最高出力向上により、図 20 に示すようにシステム出力は全領域において THS 比大幅に向上していることが分かる。

図 21 に発電機の最大回転数を THS の 6500rpm から 10000 回転に上げた効果を模式的に示しているが、より低い車速においてもエンジンの高回転側を利用でき低中速領域での出力向上に貢献している。

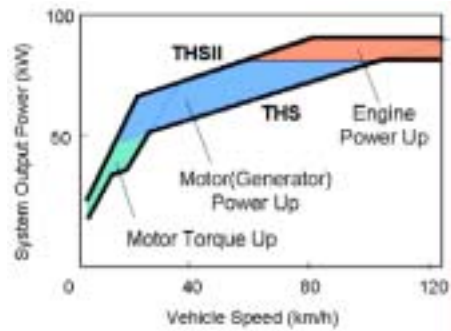


図 20 システム出力比較

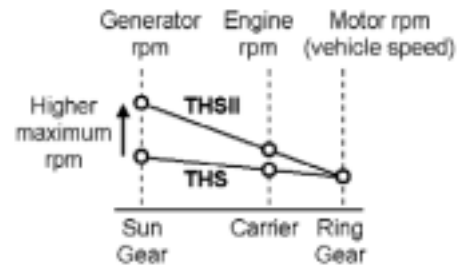


図 21. 発電機最大回転数変更の効果

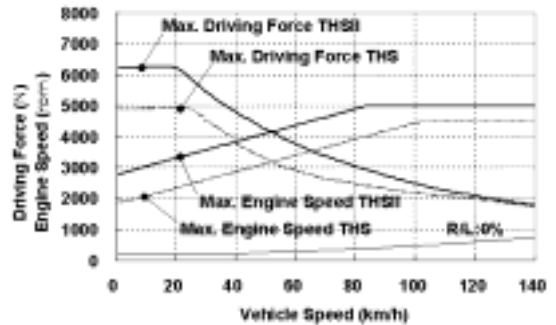


図 22. 駆動力比較

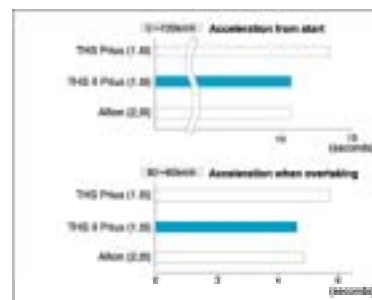


図 23. 動力性能比較

6.2 システム駆動力

図 22 に示すように THS に比較して駆動力においても大幅に向上していることが分かる。

上記の結果、2.0L クラスの AT 車実使用域ではほぼ同等の動力性能 (図 23) となった。さらに鋭い立ち上がりやスムーズかつ力強い加速感により

卓越した走りを実現させた。(図 24)

6.3 EV スイッチ

今回、新たな試みとして HEV 車の商品力向上を目的として EV スイッチによる EV 領域拡大を導入した(図 25)が、システム制御に負う所が大きい。

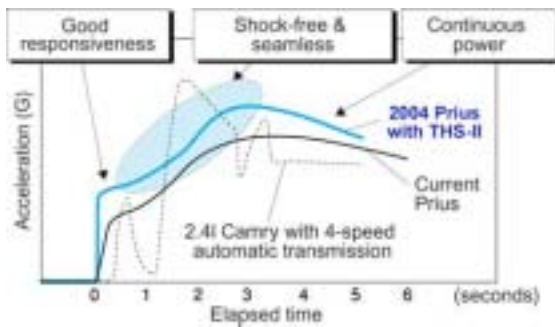


図 24. 加速度比較 (50-80km/h)

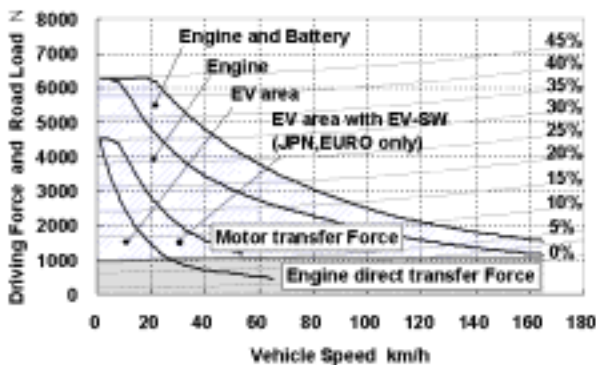


図 25. 駆動力 (EV 領域表示)

7. まとめ

エンジンと発電機の最高回転数アップ，モーターの最高出力アップ，電源電圧の高電圧化，回生エネルギーとエネルギー伝達系の損失低減等によって，動力性能と環境性能の両立を達成した。

これらの個々のコンポーネントの性能向上はもちろん非常に重要な要素であるが，特に HEV 車両としての完成度を上げているシステム制御の重要性はますます増加している。

参考文献

- [1] 牟田浩一郎：「Development of new-generation Hybrid system THS-II」(SAE 2004-01-0064)
- [2] 阿部眞一：「Development of the Hybrid Vehicle and Future Expectation」(SAE 2000-01-C042)
- [3] 岡村賢樹，佐藤栄次，佐々木正一：「Development of Hybrid Electric Drive System Using a Boost Converter」(EVS20 2003)
- [4] 永田修一，梅山浩哉，菊池義晃，山下晴義：「Hybrid Vehicles のための New Battery System の発展」(EVS20 2003)
- [5] 高岡俊文，小谷武史，阿部眞一，上田建仁：「Engine と Hybrid Vehicle の間の Optimization の研究」(Aachener Kolloquium Fahrzeug-und Motorentechnik 2003)
- [6] トヨタ・ウェブサイト
- [7] (http://www.toyota.co.jp/IRweb/special_rep/thsl/thls2_1.html)

Professor E.R.G. Eckert 生誕 100 周年記念シンポジウムに出席して
On Attending the E.R.G Eckert 100th Anniversary Symposium

平田 賢(芝浦工業大学)

Masaru HIRATA (Shibaura Inst. of Technology)

2004 年 9 月 13 日(月), E.R.G. Eckert 先生にゆかりの深い, 米国ミネアポリス市ミネソタ大学構内のラディソン・ホテル・メトロドームにおいて, Eckert 先生の生誕 100 周年をお祝いする(筈であった)シンポジウムが開かれた. Prof.J.P.Hartnett, Prof.W.E.Ibele, Prof.E.M.Sparrow, Prof.D.B.Spalding, Prof.R.J.Goldstein, Prof.T.Simon, Prof.K.Takeishi, Prof.R.J.Adrian, Prof.J.R.Lloyd, Prof.S.Patankar, Prof.E.Pfender, Prof.J.Ramsey, Prof.R.Simoneau, Prof.L.Wang, Prof.H.H.Winter など伝熱学の分野で著名な先生方を中心に 100 人ほどが集まった. ここで“筈”と書かせて頂いたのは, この 9 月 13 日が先生の満 100 歳のお誕生日で, お元気な先生を囲み, 盛大なお祝いの記念シンポジウムとパーティを開く筈であった. 直前までお元気で楽しみにしておられた由であったが, まことに残念なことに去る 7 月 9 日, ご自宅で多くのお子さまやお孫さまに看取られながら大往生を遂げられたのである. シンポジウムは追悼の会となってしまったが, それぞれの得意とする分野のエッセンスを取り上げて印象的な講演が並んだ.

夜のセッションでは追悼の乾杯のあと, Prof.R.J.Goldstein が 25 年前に採録した Eckert 先生の 30 分のインタビュービデオが紹介された. Eckert 先生は 1904 年にチェコのプラハで生まれたが, 父親が教育に熱心であったことと, ジムナジウムでの先生に恵まれたという. 中でも数学と英語の先生が素晴らしかったらしい. 生物も好きでその道に進むことも考えたらしいが, プラハの Technische Hochschule では結局, 機械工学に進んだ. 今だったら Micro-Biology をやっていたらと述べられた. ソシアリズムの影響も受けたし, Hochschule 時代から合唱音楽もやったという. 熱力学に初めてぶつかったときには最初はよく解らなかったと正直に述懐しておられたが, 結局, 人から機械的エネルギーへの進歩に共鳴してボイ

ラ・蒸気タービン発電所のアシスタントとして働き始め, やがて大学に職を得た. 実験が好きだったが資金がなかったので, 可能な限り単純化することを考えた. 加熱に電気を使うことが多いので電気工学も学んだ. チェコは人口が少ないし資金も本もない. 全てのエンジニアが工夫し, 何かを発明しなければやって行けない. その後ドイツの Braunschweig の大学などを経てプラハの大学の教授となったという. Eckert 先生は第 2 次大戦の終結の頃, ロケットで有名な von Braun など数 10 人のドイツ系の科学者を, 米国が捕虜として連れて行った中の一人と聞いていたが, 飾り気のない先生の人柄のにじみ出た, あたたかいインタビューであった.

筆者は 1962 年に IAEA(国際原子力機関)のフェローシップを得て, 同年 8 月から翌 63 年の 9 月まで, Eckert 先生が指導するミネソタ大学機械工学科の Heat Transfer Laboratory に客員として滞在した. Eckert 先生のお名前は伝熱学を志すものなら誰でも知っている有名な教科書“Heat and Mass Transfer”(初版 1950 年)を通じてよく存じ上げていたが, その先生を総帥として Prof.Ibele が熱力学を, Prof.Sparrow が伝熱工学を教えており, Prof.Goldstein はまだ大学院博士課程を修了したての Assistant Professor であった. 30 人以上の大学院学生を抱え, ASME の Transaction には毎号数編の論文を発表するほどの誠に活潑な黄金時代の研究室であった. いつも MIT の Prof.W.M.Rohsenow の研究室と対比され, 学会などではお互いに競争意識むき出しの討論を繰り返していた. Eckert 先生ご自身は決して親分風を吹かされる方ではなかったが, 一の子分を自認する Prof.Hartnett や Prof.T.F.Irvine(二人とも既に他大学の教授に転出していった)が中心となって, あの冷戦時代に, 英国の Prof.Spalding やフランスの Prof.E.Brun, ドイツ

の Prof.U.Grigull, 当時のソ連の Prof.A.I.Leontiev, 筆者の恩師である日本の西脇仁一先生などと協力して, 学問に国境はないとばかりにまずは Assembly for International Conferences on Heat Transfer を立ち上げ, 最初の「国際伝熱会議」を 1951 年 London と Atlantic City で, 第 2 回を 1961 年に Boulder と London で開催し, 以降は 4 年ごとに Chicago, Versailles, 東京, Toronto, Munich, San Francisco, Jerusalem, Brighton, Kyongju, Grenoble と定期的に開催してきた. この間に冷戦は無事に終結し, 世界に平和が訪れた. 次回 2006 年にはオーストラリアのシドニーでの開催が予定されている. この活動と併行して, International

Journal of Heat and Mass Transfer を発刊したり International Center for Heat and Mass Transfer を組織するなど, Eckert 先生一門が, まさに東西の融合に力を発揮したことは後世に語り継がれてよいだろう.

結局, Eckert 先生は大きな存在で, なにも難しいことは言われなかったが, 子分どもが素直に育ち, 国際的にも各種の人材が大きく羽ばたいたと言えよう. 日本からも多くの方がお世話になったし, アメリカの科学技術予算を握る National Science Foundation の General Secretary, 中国系の Dr.Win Aung など異色の存在である. 諸々の感謝を籠めて追悼の辞としたい.



ミネソタ大学機械工学科前にて Heat Transfer Lab.の面々(1962.9.)

左より : Assoc.Prof.R.J.Goldstein, Mr.J.L.Novotony, Res.Assoc.E.R.G.Winter, Prof.E.A.Fletcher, Prof.E.R.G.Eckert, Prof.W.E.Ibele, & Res.Assoc.Masaru Hirata.

Eckert 教授生誕 100 周年記念伝熱シンポジウム報告

*Report on Ernst R. G. Eckert 100th Anniversary Symposium on Heat Transfer:
A Career That Changed a Field*

武石 賢一郎 (大阪大学)

Ken-ichiro TAKEISHI (Osaka University)

1. シンポジウムの背景

本年 9 月 13 日に、ミネソタ大学構内のラディソン・ホテル・メトロドームにて“Ernst R.G. Eckert 100th Anniversary Symposium on Heat Transfer : A Career That Changed a Field”が開催された。9 月 13 日は Eckert 教授の誕生日で、それをお祝いする意味でミネソタ大学の先生方が中心となり準備されて来たのであるが、折しも本年 7 月 8 日に亡くなられた。生誕 100 周年記念伝熱講演会は急遽追悼講演会になってしまったが、Eckert 教授ゆかりの関係者約 100 人が集まり故人を偲んだ。

Eckert 教授の業績を改めて紹介する必要は無いと思うが、Eckert 教授は航空工学の研究者として、そしてミネソタ大学の教授として国際的に著名な新しい分野を開拓した人であった。Eckert 教授は 550 編以上の論文を執筆され、また、高速流における伝熱を伴った散逸効果の特徴づける“Eckert 数”を創出された方でもある。さらなる業績については平田先生が思い出話と共に本号に紹介されているので、ここでは講演会を中心に紹介する。

講演会に先立って、前日の 12 日に、Eckert 文庫の開所式典が催された。Eckert 文庫は、Eckert 教授の蔵書と、教授が指導した学生の学位論文の全てを収めていて、Eckert 教授ゆかりのミネソタ大学機械工学科旧館の一室に設けられたものである。最新の学位論文には 2000 年代のものがあり、生涯研究を続けられていた先生の業績がこのような形でも理解することが出来る。

2. 講演会

講演会は、9 月 13 日に開催され、Eckert 教授ゆかりの世界的な第一人者である先生方が Eckert 教授との関係を端的に紹介されるとともにその分野の伝熱の進展について講演された。講演者と演題およびその概要は以下の通りである。



図 1. Eckert 文庫の蔵書



図 2. Eckert 教授指導の学位論文

Ronald Adrian (Professor, Department of Theoretical and Applied Mechanics, University of Illinois at Urbana-Champaign): “Structure of Thermal Convection”

Adrian 教授は壁乱流に関心が深く、ベナールセルの乱流構造をステレオ PIV で計測した速度分布および DNS 解析で、そこに発生する乱流構造の解明状況を報告された。

Masaru Hirata, (Professor Emeritus, University of

Tokyo): “Some Findings on Impingement Heat Transfer”

平田教授は衝突噴流の伝熱研究に関して、1968年から2002年の間に10名以上の学位取得者を出したことを述べ、二次元、円孔、超音速噴流、ブルームなどの伝熱特性を紹介された。

John R. Lloyd (Professor Michigan State University): “Thermal Energy Transport Across Material Interfaces at the Nanoscale”

Lloyd 教授はナノ／分子におけるエネルギー輸送につき、金属と非金属の界面で生じる現象につき紹介された。

George D. Raithby (Professor Emeritus, University of Waterloo): “Direct Design of Shape”

Raithby 教授は逆問題を用いて、望む圧力分布あるいは熱流束分布を与えて形状を最適化する手法につき紹介された。既にタービン翼形設計等では速度分布を与えて形状を最適化する手法が実用化されている。

Brian Spalding (Concentration Heat & Momentum, Ltd.): “In the Footsteps of Masters -- from Eckert to Timoshenko”

Spalding 教授は卓越したアイデアが業績となった Eckert 教授の時代を i 計算期以前, ii CFD 時代, iii CFD と固体の応力解析が統一される時代に分けて, iii に関係する Timoshenko の基礎式までの発展状況を報告された。

Win Aung (Secretary General INEER and National Science Foundation): “INEER and the quest for excellence: The influence of professor Ernst Eckert in International Engineering and Research”

Aung さんは Eckert 教授が独, オーストリー, 米, 日, ブラジルなどとの研究交流を進め, Global Network を築いた功績を讃えた。Concept of 1+1 > 2 であることと Eckert’s Legacy を紹介された。

Ralph L. Webb (Omega Piezo and Professor Emeritus of Mechanical Engineering at Penn State University): “Advances in Air-Cooled Heat Exchange Technology”

Webb 教授は空気冷却熱交換器における1963年から40年間の発展をレビューされた。

Ephraim Sparrow (Professor, University of Minnesota): “An Unexpected U-Turn After an Eckert Straight Start”

Sparrow 教授は教科書から教科書にコピーされ、

何年にも渡って正しいとされてきた Drag Coefficient から導かれる伝熱の誤りを Eckert 教授が指摘されたことを紹介された。

H. Henning Winter (Professor, University of Massachusetts Amherst): “A Tribute to the Eckert Number”

Winter 教授は、Eckert 教授が創出された

Eckert 数: $E_c = u^2 / C_p (T_1 - T_0)$ の物理的な意味についての考察を報告された。



図3 Eckert 数が入られた盾

Fabio Gori (Professor, University of Rome): “Fluid Dynamics Measurement and Flow Visualizations of a Free Slot Jet of Air”

Gori 教授は円筒面への噴流が衝突する場合の伝熱特性およびフリージェットの流動伝熱特性につき報告された。

Ludek Krejci (Institute of Thermomechanics Academy of Sciences of the Czech Republic): “The Phenomenology of Laminar-Turbulent Transition in Thermal Plasma Flows”

Krejci 教授はアークヒータ, プラズマジェット, 熱流束プローブについて紹介された。

Donald McEligot (INEEL:Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, and Professor Emeritus at the University of Arizona) “Effects of Realistic Roughness on Turbine Blade Flow”

McEligot 教授はタービン翼の表面荒さと加速パラメータの伝熱への影響について報告された。

Hitoshi Sakamoto (Graduate Student, University of Minnesota): “[Perspectives from a Recent Graduate Student Advisee of Professor Eckert](#)”

坂本さんは 1998 年からミネソタ大学の学生で MS と PhD を取得している。彼自身 Eckert 教授の指導を受けたが教育者としての Eckert 像を紹介して下さいました。Eckert 教授は常に “Think about !” と言われた。



図 4 講演の状況 (Raithby 教授)



図 5 シンポジウムの状況 (左 Pfender 教授, 中央左平田教授)

3. Eckert 教授を偲ぶ

晩餐会では Goldsteine 教授による Eckert 教授の人柄がにじみでるインタビュー録画の紹介に続き

Patankar 教授の司会で 5 人の方々の挨拶とこれに続き会場からの自由スピーチがあった。インタビュー録画の内容については、平田先生の記事を参照していただきたい。(録画 DVD を入手している) 中でも平田先生は奥様と共に、米国留学時の家族的な交流の思い出を写真と共に紹介され故人を偲ばれた。私は、平田先生に続き Eckert 教授との個人的な思い出を述べた後、日本伝熱学会荒木会長のメッセージである “Eckert 教授が日本伝熱学会創設の際寄与されたことや、ミネソタ大学に日本の多くの先生、研究者を招き伝熱研究の国際交流に多大に貢献されたこと等への感謝” を伝えた。

Eckert 教授に最後にお会いしたのは 1985 年であり、その後はなかなか先生の研究室を訪問する機会が無く、今回お会いできることを楽しみにしていたのであるが叶わなかった。しかし人柄がにじみでる声は脳裏に今も残っている。Eckert 教授室はミネソタ大学機械工学科の旧館にある。本会議で訪れた時も Eckert 教授室は以前と変わらぬまま名前が書かれ存在していたが、先生から再び色々なお話を聞くことが出来なくなったと思うと非常に寂しい気持ちになった。

最後にミネソタ大学を訪問した際、ディナーはギリシヤスタイル (日本スタイルで男の人のみの会食) にしようとミネアポリスのレストランに誘って下さった時の写真を紹介し、先生への敬意と感謝の意を表して私の追悼とさせていただきます。



図 6 ミネアポリスのレストランにて (1985.3)
(左から Prof. T. W. Simon, Prof. E. R. G. Eckert, Prof. R. J. Goldstein, 著者)

第2回エネルギー変換工学に関する国際会議〔IECEC-2004〕報告

Report on 2nd International Energy Conversion Engineering Conference

丸山 直樹 (三重大学)
Naoki MARUYAMA (Mie University)

本年8月16日から19日にかけて、米国ロードアイランド州プロビデンスにてAIAA主催の2nd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC2004)が開催された。これは、昨年のポーツマスでの開催に続き、Internationalとして第2回開催となった。会場は、Road Island Convention Center に隣接したWestin Hotelが主会場であった(写真1)。

表1に一般講演の論文数を示す。これに加えて、基調講演がいくつかあった。一般講演は大きく7つのトピックスから成り、更に詳細なセッションで構成された。講演は9室で行われ、それぞれ比較的こぢんまりとした部屋で、時間もあまり気にせずディスカッションがされていた。会議の名称にもあるように、エネルギー変換に関するものが多いが、AIAAが主催であることもあり、航空宇宙でのエネルギー利用に関するものが多くみられた。とくにスターリングエンジンに関する発表が多く、このテーマの会場はいずれも満室であった。

IECECを国際会議として開催するにあたり、昨年以上に海外からの発表ならびに参加募集に対する意気込みが強く感じられた。今回、論文数215編、参加者247名で、それぞれ昨年より増加した。表2



写真1 主会場となった The Westin Providence

に参加者数を示す。米国内ではオハイオ州からの参加者(NASA関係者)が多く、米国外からの参加者は46名で、その内25名が日本からの参加者であった。

表1 分野別論文数

Topics	Number of papers
Energy Conversion	68
Energy Storage	13
Fuels, Renewable Energy, and Power Systems	28
Aerospace Power Systems	61
Policy and Environmental Energy Issues	5
Thermal Management	32
Nanomaterials for Power	8
Total	215

表2 参加者数

Country	Attendance
USA	201
Japan	25
Canada	5
China (RPC)	3
Egypt	2
Israel	2
Italy	2
The Netherlands	2
All other	5
Total	247

AIAAでは、論文投稿の受付、原稿提出等は全てweb上で行われた。今回の最終原稿提出期限が会期の数日前であったため、会場では、各論文400語程度の要旨集とプログラムのみの配付であった。著者にとっては、提出期限が遅いに越したことはないが、個人的には会場でCD-ROM等何らかの形で本論文が無いのは少々残念であった。発表には本論文提出が必須であり、発表当日のSpeakers' Briefingでは、論文Upload依頼のアナウンスがされていた。また、会期直前の8月上旬、AIAAのwebsiteが大きく更新さ

れ、Uploadのためのサイトがわからなくなるというアクシデントもあったが、日本からの投稿は期日までに完了したようであった。論文は、後日CD-ROMで配付され、AIAA websiteでも見る事ができる。

今回、幸いにも本国際会議の運営会議に参加する機会を得た。また、IECECの中核となるTES委員会（AIAA Terrestrial Energy Systems Technical Committee）にも出席した（写真2）。いずれも夕食を兼ねての会議である。これら2つのミーティング出席者の多くは兼任で、IECECの具体的な運営についてはTESが行っている雰囲気であった。運営会議では、論文の質を向上させつつも論文数、参加者数の増加、とくに米国外からの参加の増加が議論の中心であった。このため、運営委員それぞれが各地域でより綿密な情報提供を行うことになった。日本の方々へは小生が、韓国、中国等アジア地区へはSteering Committeeのメンバーである北川 邦行 教授（名古屋大）が担当することになった。本会議にご関心を持たれましたら、ぜひお問い合わせ下さい。



写真2 TES meeting にて

IECEC2004に関しては、本年の第41回日本伝熱シンポジウム（富山）にて本国際会議のTechnical Program ChairでもあるAshwani K. Gupta教授（Univ. of Maryland）を迎え、本学会「高効率エネルギー変換研究会（主査：菊山 功嗣 教授（名古屋大），幹事：北川 邦行 教授（同））」の主宰により、IECEC2004 Pre-symposiumが開催された。ここで、少々紹介させていただく。

本セッションは、シンポジウム2日目の朝から3セッションにわたって12件の発表が行われた。発表ならびに進行は英語で行われ、発表者はIECEC2004への参加予定者であるが、大学院生も含まれた。割

り当てられた時間の都合上、各々の発表時間は質疑を含め20分と本番より短縮されたものであったが、研究内容に加え、プレゼンへのアドバイスもあった。近頃では、国内でも多数国際会議が開催されており発表の機会も多数あるが、とくに大学院生や若手研究者にとってはいい機会であったと思われた。ぜひとも英語によるプレゼンとディスカッションの場に積極的に参加していただきたいと思う。

このPre-symposiumの開催、また本研究会としてIECEC2004に協賛したため、本研究会会員には参加登録費をAIAA会員扱いにするという配慮がされた。一般参加に対して\$135のディスカウントの恩恵を受けた。

また、来年度の第42回日本伝熱シンポジウム（仙台）でも、上記研究会主宰によりPre-symposiumの開催を計画している。IECEC2005へのご参加と共に、Pre-symposiumへもご参加下さい。



写真3 Pre-Symposium の1コマ

なお、2005年度はサンフランシスコで開催されます。ご関連分野の方々にはぜひご参加下さいますよう、併せてご案内致します。

3rd International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC2005)

開催日：15-18 August, 2005

開催地：Hyatt Regency San Francisco at Embarcadero
San Francisco, California, USA.

<http://www.aiaa.org/content.cfm?pageid=230&lumeetingid=1090>

国内HP：<http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/Link/IECEC/IECEC2005.htm>

アブストラクト申込締切日：2005年2月11日

問い合わせ先（丸山）：naoki@mach.mie-u.ac.jp

シリーズ 博物館めぐり (2)

田川市石炭資料館

Tagawa City Coal-mining Museum

吉田 英生 (京都大学)

Hideo YOSHIDA (Kyoto University)

1. 石炭とともに歩んだ筑豊の田川市

五木寛之氏の『青春の門 第一部 筑豊篇』の冒頭は、主人公の伊吹信介が生まれ育った田川と香春(かわら)岳の記述から始まる。

香春岳は異様な山である。

けっして高い山ではないが、そのあたえる印象が異様なのだ。

福岡市から国道二百一号線を車で走り、八木山峠をこえて飯塚市をぬけ、さらに烏尾峠とよばれる峠道をくだりにかかる時、不意に奇怪な山の姿が左手にぬつとあらわれる。

標高にくらべて、実際よりはるかに巨大な感じをうけるのは、平野部からいきなり急角度でそびえたっているからだ。

南寄りのもっとも高い峰から一の岳、二の岳、三の岳とつづく。

一の岳は、その中腹から上が、みにくく切りとられて、牡蠣色の地肌が残酷な感じで露出している。山麓のセメント工場が、原石をとるために数十年にわたって頂上から休まずに削りつづけた結果である。

かつて筑豊炭田の中心であった田川市。五木氏の文章と同様に、福岡から国道 201 号線で行くと、北東に香春岳を望みながら、中元寺川を越えて南東側に 2 km 程度行ったところに、煉瓦色の田川市石炭資料館(図 1・図 2)がある。背後には「あんまり煙突が高いので」と炭坑節に謡われた三井田川鉱業所伊田坑の巨大な二本煙突(図 3)がそびえ立っている。この煙突は明治 41 年(1908 年)、蒸気動力の排煙用として建設されたものである。蒸気動力に代わる電力の台頭で、完成後ほどなく用途変更の憂き目にあうことになるが、高さ約 45m、下部の直径 5.6 m の二本煙突は今でも威容を誇っている。一方、近くの小高い丘には、炭鉱殉職者慰霊碑や韓国人徴用犠牲者慰霊碑があり、日本の近代産業化を牽引した石炭の光と影を想起させる。

時代を遡ると、田川市で石炭が発見されたのは、天正 15 年(1587 年)、村上義信(香春城の落人)が伊田の石場で黒い石をかまどにしたところ燃え始めたときと伝えられている。採炭は江戸時代の中期から始まったが、嘉永 6 年(1853 年)の黒船来航以



図 1 香春岳と田川市石炭資料館(西側面)



図 2 田川市石炭資料館(北正面)



図 3 二本煙突と復元された炭鉱住宅

来、蒸気動力のエネルギー源として本格的な石炭利用が始まった[1].

明治 22 年(1889 年)に田川採炭会社(後に田川採炭鉱を経て田川採炭組と改名)が進出し、田川市域の炭坑に初めて中央の資本が加わった。さらに、明治 33 年(1900 年)、三井鉱山が田川採炭組を買収して、三井田川炭鉱を創立、大正 7 年(1918 年)に三井田川鉱業所として、筑豊随一の大炭鉱に発展した。しかし、いわゆるエネルギー革命のために炭鉱は構造不況業種となり、東京オリンピックが開催された昭和 39 年(1964 年)に閉山となり、その業務を引き継いだ第二会社田川鉱業所新田川炭鉱も昭和 44 年(1969 年)に閉山した[1]。市の人口は昭和 33 年(1958 年)に 10 万人を越えて最多となったが、現在では約半分の 5 万人余りとなっている。(http://www.joho.tagawa.fukuoka.jp/toukei/03/pdf/02-01.pdf)

2. 資料館の社会性と展示内容

田川市石炭資料館は、新シリーズ“博物館めぐり”の一つとして取り上げるには不適切だったかもしれない——。石炭は化石燃料の代表の一つであるとの認識から、エネルギーと伝熱との関連で書き始めたものの、上記のような思いにかられて何度もためらった。筆者は博物館シリーズの発案者として、本来は科学的・工学的な立場から回を重ねることを希望していたが、今回自ら取り上げた資料館について調査を進めるうちに、わが国の近代史の重要な一部としての社会的側面が前面に出てきてしまって、思い悩んだのである。しかし、おりしも新潟県中越地震や数々の台風水害で、不可抗力ともいえる圧倒的な力(こちらは自然であるが)に人々が翻弄されている社会の現実を思うと、社会的な側面の強い炭鉱・炭坑に関して、伝熱誌を通して、特に若い人たちに紹介しておくことも意義あるのではないかと思いなおした。

資料館には、新生代古第三紀(約 6000 万～2500 万年前)の植物の想像図に始まり、石炭の工業的側面、炭鉱の歴史、炭鉱模型(図 4)、炭鉱断面図(図 5)、炭鉱で使われた機械、炭坑労働の情景などが展示されている[2]。それらの中でも、とりわけ印象深いのは、明治・大正・昭和期の炭坑を数多くの絵で記録した山本作兵衛氏の作品群[3]であり、またそれらの一部を実物大で表現した図 6・図 7



図 4 三井田川鉱業所伊田坑模型 (縮尺 1 : 150)



図 5 炭鉱断面図



図 6 手掘採炭のジオラマ (左側部)



図 7 手掘採炭のジオラマ (右側部)



図8 人車

のようなジオラマである。加えて当時の映像も繰り返し上映されており、炭鉱の状況が鮮明に理解できると同時に胸を打つ。また、資料館の外側には、当時の炭鉱住宅(図3)や運搬用の機関車・人車(図8)などが展示されている。

3. その後の調査：貴重な永末十四雄氏の書

資料館から戻ってから調査を続けた。インターネットでは、田川市だけでなく、大牟田市、夕張市、釧路市なども炭鉱に関する有益な情報を与えてくれる。個人のサイトであるが、Yui Muraai という方の <http://www6.airnet.ne.jp/~mura/index.html> は極めて充実しているので一見の価値がある。

多くの炭鉱に関する資料・データの中でも、とりわけ貴重な1冊の書に出会うことができたのでご紹介したい。元 田川市立図書館長の永末十四雄氏による『筑豊 石炭の地域史』(NHK ブックス 1973)[4]である。永末氏はこの書のいたるところで、以下のように筋肉質な言葉で筑豊の本質に迫る。

筑豊においてわが国の国産エネルギーの発展と衰退の過程が象徴されるといっても差し支えあるまい。明治維新後わが国が近代国家として自立するため筑豊は慌しく開発され、戦後は高度経済成長を促進するため速やかに崩壊させられた。近代国家として発足して以来、わが国の忙しげな足取りが筑豊ほどダイレクトに投影された地域はないように思われる。今日の悲運は安易拙速な開発にともなう非合理的な生産構造と労働力の過度の依存による資源の濫掘に帰せられているが、それも常に先進国と競合するために背伸びし続けてきたわが国の後進性と貧しさの極端な反映に他ならない。

石炭鉱業の合理化以後、筑豊は予測を超える情況の展開に翻弄され、塗炭の苦しみをなめながら先例をみない地域社会の構造的変革を経過してきた。かつて誰が今日の情況を予見することができたであろうか、すべ

て予想される最悪状態以上のことが現実化され、住民はそれに堪えることにならされてきたのである。〈エネルギー革命〉は一般には時代の経済的動向の修辭にすぎぬものとして記憶されるかもしれないが、筑豊の住民は〈革命〉の言葉の意味するもの、その苛烈さ、酷薄さ、重たさを痛切に思いしらされてきた。

4. むすび

筆者自身が子供時代のずっと昔のことなので、若い読者はおそらくご存知ないであろう。炭鉱では、炭じん爆発事故がときどき発生し、多数の犠牲者を出してきた。昭和38年(1963年)11月9日には三井三池炭鉱三川坑で死者458人という最悪の事故が起こった[5]。事故を告げる、真っ黒かつ非常に大きな字で印刷された新聞記事を見るのは、子供心ながら怖かった。

わが国では大部分の炭鉱は昭和40年代に消え、国内唯一残った釧路の太平洋炭鉱も、平成14年(2002年)1月30日閉山するに至った。かつては多数あった硬(ボタ)山も、現在では崩されて消えていると聞く。石炭エネルギーについては今後も新たな展開が期待されるが、わが国の資源という点では、石炭産業はその役割を終えたといえよう。

今日、われわれはエネルギー問題を論じるとき“石炭・石油・天然ガス…”と、いとも簡単に語句を並べてしまうが、その個々の資源を獲得するために、また人々が日々生きていくために、どれだけの労苦を重ねてきたかということは、忘れてはならないことだと思う。田川市石炭資料館は、そのことを痛切なまでに教えてくれる。

最後に、本学会には九州や北海道など石炭産地の方々が多くおられるのに、地元出身でもない筆者がこのような題材を取り上げたことは僭越であろうし、内容の深みにも欠けるであろうとも危惧している。お許しを請う次第である。

参考文献

- [1] 田川市石炭資料館編、炭鉱(ヤマ)の文化、(1998)。
- [2] 田川市石炭資料館パンフレット、(2002)。
- [3] 山本作兵衛、筑豊炭坑絵物語、葦書房(1998)。
- [4] 永末十四雄、筑豊 石炭の地域史、NHK ブックス 199、日本放送出版協会(1973)。
- [5] 森弘太、原田正純、三池炭鉱 1963年炭じん爆発を追う、NHK出版(1999)。

ピクテとカイエテ

Pictet and Cailletet

Heat Transfer

高田 保之 (九州大学)

Yasuyuki TAKATA (Kyushu University)

「伝熱」9月号は吉田英生先生によるメダルの話題でした。陸上のスプリント競技では、100万分の1秒の違いが、金・銀・銅の分かれ目となります。研究者の間でも歴史上1分1秒を争うような競争があるようです。今回は Mendelssohn 著、*The Quest for Absolute Zero*^[1]の中に出てくる酸素の液化競争にまつわる話を紹介しましょう。

酸素が液化されたのは1877年の12月のことで、ピクテとカイエテがほぼ同時期に液化に成功したと言われています。ピクテはスイスの物理学者で1877年12月22日にパリの科学アカデミーに「本日酸素の液化に成功した。」と電報で知らせました。一方、カイエテはもともとフランスの鉱山技師で、酸素を300気圧に圧縮した後、二酸化硫黄により -29°C に冷却し、急減圧により酸素の液化に成功しました。液化といってもミスト状態の酸素です。カイエテはこの液化成功の報を12月24日に、すなわちピクテより2日遅れでパリの科学アカデミーに報告しました。科学史上、酸素を最初に液化したのはピクテでカイエテが2番目ということで決着したのでしょうか。

実はカイエテの方がピクテより20日早い12月2日に酸素の液化に成功していたのです。酸素が液化できたということは非常に衝撃的なことでした。カイエテはすぐに科学アカデミーに報告しようかと考えましたが、躊躇してしまいました。なぜなら、彼は科学アカデミーの通信会員の選挙を控えていたからです。選挙の前に衝撃的な酸素液化成功を発表すると、投票に悪影響を及ぼすのではないかと考えたカイエテは酸素の液化成功を発表しないままにしておいたのです。少くも発表を遅らせてもどうってことないだろう、と気楽に考えていたのでしょう。選挙は12月17日に行われ、カイエテは見事に通信会員に当選しました。しかし、カイエテが科学アカデミーに酸素液化を報告する2日前にピクテが電報で知らせして

まった。これはカイエテにとっては、ものすごい誤算だったに違いありません。

幸いなことに、カイエテは運に見放されませんでした。彼は酸素を液化したその日、12月2日に、液化実験の詳細をパリの友人に書き送っていました。手紙は12月3日に友人に届き、彼はその手紙を直ちに科学アカデミーの幹事に届け、幹事はサインをしてその手紙を封印しました。これが証拠となり、カイエテが最初に酸素を液化した人として公式に認められることになったのです。

面白いことに、空気の工業的液化装置も1895年に二人の技術者が全く独立に同じ時期に開発しているのです。ハンブソンが5月23日に英国で、リンデが6月5日にドイツで空気液化装置の特許を取得しています。

科学の世界では、まったく独立に同時期に発明・発見をするという偶然が時々あるようですが、低温の世界でしかも液化という分野で二つのエピソードがあるというのも不思議な気がします。筆者が知らないだけで、伝熱研究の分野においても同じような事例があるのかもしれない。

参考文献

[1] K. Mendelssohn, *The Quest for Absolute Zero*, Taylor & Francis Ltd., 1977



Raoul-Pierre Pictet^[1]
(1846-1929)



Louis-Paul Cailletet^[1]
(1832-1913)

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						
11月	24日(水)～ 26日(金)	国際伝熱フォーラム International Forum on Heat Transfer(IFHT2004) (京都市サテライトパーク, 京都市)	'04.2/29	'04.7/31	〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1 東北大学流体科学研究所 円山重直 Tel&Fax: 022-217-5243 E-mail:maruyama@ifs.tohoku.ac.jp 〒599-8531 堺市学園町 1-1 大阪府立大学大学院工学研究科 機械系専攻エネルギー機械工学分野 中部主敬 Tel: 072-254-9224 Fax: 072-254-9904 E-mail:nakabe@energy.osakafu-u.ac.jp http://www.ifht2004.energy.osakafu-u.ac.jp/	1月号

本会共催, 協賛, 後援行事

開催日		行事名 (開催地, 開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2004年						
7月	15日(木), 16日(金)	日本機械学会関西支部第270回講習会 「設計に使える熱流体解析の基礎と応用」 (大阪科学技術センター, 大阪)	'04.7/7 (申込締切)		〒550-0004 大阪市西区靱本町 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	
7月	24日(土), 25日(日)	日本実験力学会 2004年度年次講演会 (戦災復興記念館, 仙台)	'04.4/16	'04.5/28	〒980-8575 仙台市青葉区星陵町 4-1 東北大学大学院歯学研究科 口腔器官構造学分野 小西通雄 Tel:022-717-8283 Fax:022-717-8284 E-mail:konishi@anat.dent.tohoku.ac.jp http://moire.sys.wakayama-u.ac.jp/JSEM/	
8月	5日(木)～ 7日(土)	日本混相流学会年次講演会 2004 及び第23回混相流シンポジウム (岡山大学津島キャンパス, 岡山市)	'04.3/26	'04.6/11	〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学工学部機械工学科伝熱工学研究室内 日本混相流学会年次講演会 2004 及び第23回混相流シンポジウム事務局 E-mail:jsmf@heat6.mech.okayama-u.ac.jp http://heat6.mech.okayama-u.ac.jp/jsmf/index.html	
8月	9日(月)～ 11日(水)	日本流体力学会年次講演会 2004 (名古屋大学工学部)	'04.3/31	'04.6/18	日本流体力学会年次講演会 2004 運営委員会 http://fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp/jsfm-c/NENKAI2004/ あるいは http://www.nagare.or.jp/	
8月	29日(日)～ 9月3日(金)	第24回国際航空科学会議横浜大会(24th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 2004, Yokohama) (パシフィコ横浜国際会議場, 横浜市)	'03.7/31		〒105-0004 東京都港区新橋 1-18-2 日本航空宇宙学会 第24回国際航空科学会議事務局 Tel : 03-3519-4808 Fax:03-3519-9998 e-mail: icas@jsass.or.jp http://www.jsass.or.jp/icas	
9月	27日(月)～ 28日(火)	可視化情報学会全国講演会 (愛媛 2004) (放送大学愛媛学習センター, 松山市)	'04.5/28	'04.7/23	〒790-8577 松山市文京町 3 愛媛大学工学部機械工学科 檜原秀樹 Tel/Fax: 089-927-9721 e-mail: vsj2004@adm.ehime-u.ac.jp http://www.vsj.or.jp/ehime/ e-mail: info@nuthos6.org http://www.nuthos6.org	
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)			
10月	19日(火), 20日(水)	(社)日本機械学会関西支部 第272回講習会 (大阪科学技術センター, 大阪市)	'04.10/12		〒550-0004 大阪市西区本町靱本町 1-8-4 大阪科学技術センタービル内 Tel : 06-6443-2073 Fax : 06-6443-6049 e-mail : jsme@soleil.ocn.ne.jp	

行事カレンダー

10月	20日(水)～ 22日(金)	第25回日本熱物性シンポジウム (メルパルク長野 長野市)	'04.9/17	'04.9/17	〒386-8567 上田市常田3-15-1 信州大学 繊維学部機能機械学科 第25回日本物性 シンポジウム実行委員会事務局 姫野修 廣 Tel:0268-21-5431 Fax:0268-21-5319 e-mail:jstp25@walker.shinshu-u.ac.jp URL:http://www.therm.shinshu-u.ac.jp/jstp25/	
10月	22日(金)	第8回スターリングサイクルシンポジウム (日本大学理工学部, 東京都)	'04.5/28	'04.9/10	〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃 町煉瓦館5階 社団法人 日本機械学会 滝本 Tel: 03-5360-3507 e-mail:takimoto@jsme.or.jp	
	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
10月	24日(日)～ 27日(水)	2004年度 日本冷凍空調学会「年次大会」 (静岡大学工学部 浜松市)			〒432-8561 浜松市城北3-5-1 静岡大学工学部機械工 学科 年次大会実行委員長・柳沢 正 TEL/FAX: 053-478-1056 e-mail :reito@mb.infoweb.ne.jp	
11月	11日(木), 12日(金)	AFI/TFI-2004 Fourth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (仙台国際センター, 仙台市)	'04.7/15 (Abstract)	'04.8/31	http://www.ifs.tohoku.ac.jp/afi-tfi-2004/	
11月	13日(土), 14日(日)	熱工学コンファレンス2004 (東北大学工学部, 仙台市)	'04.6/11	'04.9/10	〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 東 北大学大学院工学研究科機械知能工学専 攻 熱工学コンファレンス2004 実行委員 会委員長 太田照和 e-mail:ota@cc.mech.tohoku.ac.jp http://www.e-kenkyu.com/JSME-TEC2004	
11月	16日(火)	日本機械学会東海支部・関西支部合同企画 第37回座談会 (名古屋通信ビル, 名古屋市)	'04.11.5		〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 (社) 日本機械学会関西支部事務局 TEL: 06-6443-2073 Fax: 06-6443-6049 e-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp	
11月	17日(水), 18日(木)	「可視化フロンティア」第2回サイエンティフィック・ビ ジュアリゼーション講習会 (日本大学理工学部, 東京都千代田区)			〒114-0034 東京都北区上十条 3-29-20-103 社団法人 可視化情報学会 事務局長 柿沼肇 Tel: 03-5993-5020 Fax: 03-5993-5026 e-mail:info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp	
11月	27日(土), 28日(日)	第28回人間—生活環境系シンポジウム (椋山女学園大学, 名古屋市)	'04.10/31		〒464-8662 名古屋市千種区星が丘元町 17-3 椋山女学園大学 生活科学部 生活環境 デザイン科 大野研究室 Tel: 052-781-1186 Fax: 052-782-7265	
12月	1日(水), 2日(木)	第21回睡眠環境シンポジウム (イコス上尾, 上尾市)		'04.11.15	〒362-0806 埼玉県北足立郡伊奈町小室671-7 日本睡眠環境学会 Tel/Fax 048-723-3606 e-mail: sse@futon-center.com	
12月	1日(水)～ 3日(金)	日本地熱学会平成16年度学術講演会 (産業技術総合研究所, つくば市)			〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 電力中央研究所 地圏科学領域 海江田 秀志 Tel: 04-7182-1181 Fax: 04-7183-3182 e-mail:kaieda@criepi.denken.or.jp http://wwwsoc.nii.ac.jp/grsj/	
12月	4日(土), 5日(日)	第11回エコテクノロジーに関するアジア国際シンポジウム (ASET11) (富山国際会議場, 富山市)			〒939-8630 富山市本郷町13 富山工業 高等専門学校内 ASET 事務局 袋布昌幹 Tel: 076-493-5479 Fax: 076-492-3859 http://www.toyama-nct.ac.jp/event/aset/	

行事カレンダー

12月	8日(水), 9日(木)	文部科学省 IT プログラム 第3回「戦略的基盤ソフトウェアの開発」シンポジウム (経団連ホール, 東京都千代田区)			〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 計算科学技術 連携研究センター 事務局 Tel:03-5452-6661 Fax:03-5452-6662 e-mail:office@fsis.iis.u-tokyo.ac.jp URL:http://www.fsis.iis.u-tokyo.ac.jp		
12月	8日(水), 9日(木)	日本機械学会関西支部 第273回講習会 (大阪科学技術センター, 大阪市)	'04.12.3		〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内 (社) 日本機械学会関西支部事務局 TEL: 06-6443-2073 Fax: 06-6443-6049 e-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp		
12月	21日(火), 22日(水)	第13回微粒化シンポジウム (日本大学理工学部 東京都)	'04.10.1	'04.11.12	〒275-8575 日本大学 生産工学部 機 械工学科 野村研究室気付 第13回微粒 化シンポ 参加担当幹事 Tel : 047-474-2356 Fax : 047-474-2349		
2005年							
1月	24日(月), 25日(火)	自動車技術会 No.02-05 シンポジウム 「カーエアコン新冷媒技術についてー地球温暖化防止最新 技術動向」 (工学院大学 東京都)	'05.1.11		社団法人 自動車技術会 技術・交流チーム 小峰 ふみ子 TEL:03-3262-8214 FAX:03-3261-2204		
	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	
2月	3日(木)～ 4日(金)	11 th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"(Mate2005) (パシフィコ横浜 横浜市)	'04.9.1	'04.11.19	〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間 町1-11 (社) 溶接学会 Mate2005 事務局 Tel : 06-6879-4166 Fax: 06-6879-4166 e-mail : mate@casi.osaka-u.ac.jp		
3月	7日(月), 8日(火)	第5回GSCシンポジウム (学術総合センター・一ツ橋記念堂 東京都)	'04.11.26	'05.1.17	〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-3-5 (財)化学技術戦略推進機構 (JCII) 内 GSCシンポジウム事務局 Tel:03-5282-7866 Fax:03-5282-0250 e-mail:gscn@jcii.or.jp URL:http://www.gscn.net/event/index.html		
3月	9日(水)～ 11日(金)	日本実験力学会 2005年度年次講演会 (東京理科大学 野田キャンパス 野田市)			〒278-8510 野田市山崎 2641 東京理科 大学理工学部機械工学科 町田賢司 TEL:04-7124-1501 内 3920 Fax:04-7123-9814 e-mail:mac@rs.noda.tus.ac.jp		
9月	12日(月)～ 15日(木)	第3回人間-生活環境系国際会議 (文化女子大学 東京都)	'04.11.20	'05.3.31	〒151-8523 東京都渋谷区代々木 3-22-1 文化女子大学 被服衛生学研究内 第3回人間-生活環境系国際会議事務局 Tel&Fax : 03-3299-2336 e-mail : iches2005@bunka.ac.jp URL : http://jhes-jp.com/iches05		
2006年							
9月	17日～ 21日	The Seventeenth International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-17)		'06.03.18	〒939-0398 富山県射水郡小杉黒河 5180 富山県立大学工学部 機械システム工学 科 教授 石塚 勝 Tel:0766-56-7500 Fax:0766-56-6131 e-mail: ishizuka@pu-toyama.ac.jp		

第42回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集

開催日 平成17年6月6日(月)～8日(水)
会場 仙台国際センター(〒980-0856 仙台市青葉区青葉山 TEL:022-265-2211)

講演申込締切 平成17年1月21日(金)

論文原稿締切 平成17年3月14日(月)

参加事前申込締切 平成17年4月15日(金)

【シンポジウムの形式】 一伝熱シンポジウムの原点に立ち返ってみたいー

(I)大分類セッション(新企画)

伝熱工学は、基礎から応用まで研究・開発の対象であり、応用範囲も拡大してきました。さらに要素研究か製品開発かでも研究手法が変化しています。そのため一見すると、伝熱シンポジウムは小分類化され、多種多様な発表が入り乱れ、まとまりがないように見えます。しかしながら、伝熱という基礎を応用しているだけで、本質は変化していないとも言えます。伝熱シンポジウムの発表に対して討論が十分になされていないという批判もあります。そこで、シンポジウムの初日一日だけ、大領域の研究分野の講演会を開催します。参加者は、講演に耳を傾け、発表し、討論し、伝熱工学についての知識・技術開発の相互啓発を行うことを主な目的とします。この試みは、シンポジウムに参加してみようという試みを仙台大会から発進することでもあります。これは従来のシンポジウム発表の手法とは異なりますが、全員から注目を浴びながら、賞賛されたり、批判されたりする、伝熱研究会創設時のサロンのようなシンポジウムへ近づかせようという試みでもあります。いずれのセッションにおいても審査ならびにプログラム編成を目的として講演申込時に200字のアブストラクトを提出いただきますが、実行委員会で内容を審査いたします。大分類セッションに申し込んだ場合でも、小分類セッションに移行することがあります。本セッションの中で優れた内容の研究に対して、表彰を行います。大分類のセッション枠は下記の4分類とし、広い分野から公募します。

A)マイクロ・ナノ、B)バイオ、C)エネルギー、D)環境。

(II)小分類セッション

研究発表申込者は、大分類・小分類セッション枠か優秀プレゼンテーション賞セッション枠のいずれかにお申し込みいただくことになります。大分類・小分類セッション枠にお申し込みの場合、大分類セッション発表希望者を募ります。小分類セッションへの発表希望者でも、プログラム編成に伴い大分類セッションに移行することがあります。選定は実行委員会にご一任下さい。

(III)優秀プレゼンテーション賞セッション

優秀プレゼンテーション賞セッションは従来学生プレゼンテーション賞セッションと呼ばれていたものですが、今回より発表対象者を広げ、企業、大学、研究所等の技術者・研究者で平成17年3月31日現在28才以下の者、または発表申し込み当日学生の者が発表できるようにしたものです。指導教員または研究グループ長等は奮って1名の代表をご推薦下さるようお願いいたします。

1講演あたりの時間は、大分類・小分類セッション、優秀プレゼンテーション賞セッションとも発表時間10分ずつ4件、討論40分計80分で1セッションを原則としますが、講演件数によって変更する場合があります。

【講演申込方法】

- 原則としてWebからの申込みと致します。ホームページ(<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>)から講演申込ページにアクセスしていただき、手順に従って講演申込者情報、タイトル、連名者、講演希望セッション枠、連絡先メールアドレス等の必要事項を入力していただきます。優秀プレゼンテーション賞セッションに申込みれる場合は指導教員または研究グループ長等の名前も必ず記入して下さい。ただし、原則として指導教員・研究グループ長等毎に、応募者は1名とします。実行委員会で講演申込を受理します

と、登録されたメールアドレスに申込受理のメールを送信いたします。その際、講演申込の受付 ID 番号等をご連絡いたしますので、登録内容をご確認の上、メールを大切に保存して下さい。講演申込締切は平成 17 年 1 月 21 日(金)です。講演申込整理費(講演 1 件につき 3,000 円)については、郵便振替口座あるいは銀行口座宛、講演申込締切後の平成 17 年 1 月 31 日(月)までにご送金下さい。その際、所属研究室分取りまとめでの送金も受け付けますが、本号綴じ込みの払込取扱票の通信欄に、講演申込一件ごとに受付 ID 番号、第一著者名、題目の最初の 7 文字程度の記入をお願い致します。銀行振込の際は、受付 ID 番号との照合を行うため、指定口座に送金後、Web ホームページ内にある送金完了通知画面にて送金日および口座名義(現金でのお振込みの場合は依頼人名)をご記入いただき、送金完了手続きを行って下さい。銀行振込においても郵便振替の場合と同様に、所属研究室分取りまとめでの送金も受け付けますが、上記 Web ホームページ上にて講演者各自が、数人分まとめて送金した送金日および口座名義(現金でのお振込みの場合は依頼人名)をご記入いただき、講演者全員がそれぞれ送金完了手続きを行って下さい。

- ・ なお、Web のホームページからの申込ができない場合は本号に掲載の研究発表申込書に必要事項を記入し、下記送付先に FAX で発表申込書をお送りください。その後、申込受理の FAX がお手元に届きましたら、上記 E-mail 申込の場合と同様に、FAX に記載されている受付 ID 番号、第一著者名、題目(最初の 7 文字程度)、依頼人の住所氏名および振込金額をご記入の上、平成 17 年 1 月 31 日(月)までに講演申込整理費(1 件 3,000 円)を郵便振替でご送金ください(本号挟込みの払込取扱票をご利用ください)。

FAX 申込時の送付先および問合せ先：第 42 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局 FAX：(022)217-6165

講演申込整理費払込先：

郵便振替	口座記号番号：02280-7-64302 加入者名：第 42 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
銀行振込	銀行名：みずほ銀行 支店名：仙台支店 種別：普通 口座番号：4181658 名前：第 42 回日本伝熱シンポジウム実行委員会 (ダイ 42 カイニホンデンネツシンポジウムジッコウインカイ)

- ・ 講演申込整理費の講演会場での支払いは原則として認めません。期日(平成 17 年 1 月 31 日(月))までに払込みがない場合は講演申込みが無効になることもありますので、ご留意下さい。
- ・ 講演発表申込みは、講演者 1 名につき 1 題目とさせていただきます。
- ・ 発表の採否およびセッションへの振分けは、実行委員会にご一任願います。

【参加申込】

平成 17 年 2 月から開始いたします。詳細は会誌「伝熱」(平成 17 年 1 月号)、および Web ホームページ(<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>)の参加申込ページをご参照下さい。

【講演論文集】

- ・ 講演論文集は原寸大のオフセット印刷および CD-ROM として作製致します。論文の長さは、1 題目当たり A4 用紙 2 ページとし、作成フォーマットは前回とほぼ同様の予定です(2 段組×片側 26 字×60 行)。
- ・ 執筆要綱は、会誌「伝熱」(平成 17 年 1 月号)および Web ホームページ(<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>)に掲載致します。
- ・ 本シンポジウムでは講演論文集を CD-ROM 化するため、論文原稿は原則として Web の入稿システムから PDF ファイルで提出して戴きます。Web の入稿システムから入稿できない場合は、実行委員会事務局まで E-mail か FAX でお問い合わせ下さい。なお、CD-ROM 化のために日程が厳しくなっており、原稿締切りに遅れると論文集と CD-ROM には載りませんのでご注意下さい。
- ・ 講演論文集の抄録を科学技術振興事業団(JST)のデータベースに入力いたします。講演論文集入稿の際には、JST データベースへの入力もお願い致します。
- ・ 論文の電子化(PDF 化)については、下記の文献が参考になります。

“小林, Microsoft Word を使った論文作成方法, 日本機械学会誌, 103 - 979 (2000. 6), pp. 396-403”

“川野, 岡本, 論文の電子化について(より良い PDF を作るために), 可視化情報, 20-77 (2000. 4), pp. 27-32”

【講演申込および参加費等】

- ・ 講演申込整理費：3,000円
- ・ シンポジウム参加費：
一般（事前申込：8,000円，会場申込：10,000円），学生（事前申込：4,000円，会場申込：5,000円）
- ・ 講演論文集：伝熱学会会員：無料（CD-ROM版は事前送付，印刷版はシンポジウム参加者に当日手渡し）
非会員：8,000円（会場受付で会員登録をされた場合は無料）

【懇親会】

- ・ 開催日 平成17年6月7日（火）
- ・ 会場 仙台国際センター 桜の間（〒980-0856 仙台市青葉区青葉山 TEL：022-265-2211）
- ・ 参加費 一般（事前申込：7,000円，会場申込：9,000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）

【交通・宿泊について】

- ・ 交通と宿泊の取扱旅行業者につきましては，会誌「伝熱」（平成17年1月号）またはホームページ（<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>）をご参照ください。

【ご注意】

- ・ 講演申込の取消しは，準備と運営に支障をきたしますのご遠慮下さい。
- ・ 講演題目，連名者の所属，連名者の順番等は，Webから訂正が可能です。この機能を用いて，最終的に提出する論文の題目と著者名が講演申込時と論文提出時において相違ないように確認して下さい。
- ・ 発表に用いる機器は原則として液晶プロジェクタとしますが，OHPも使用可能です。講演者は各自パソコンをご持参下さい。発表方法の詳細はWebホームページ（<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>）に掲載予定です。
- ・ 講演申込整理費，参加費，懇親会費は取消しの場合でも返却致しません。
- ・ 論文原稿の返却，別刷りの配布はいたしません。
- ・ その他ご不明な点がありましたら下記までFAXまたはE-mailにてお問合せください。

【お問い合わせ先】

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

第42回日本伝熱シンポジウム実行委員会
委員長 三浦 隆利

セッション分類表

(I)大分類セッション	(II)小分類セッション
A) マイクロ・ナノ	a) 熱物性
B) バイオ	b) 熱伝導
C) エネルギー	c) 熱ふく射
D) 環境	d) 対流
	e) 相変化
	f) 混相流
	g) 化学反応を伴う伝熱
	h) 伝熱機器
	i) 計測
	j) その他
(III)優秀プレゼンテーション賞セッション	

第 42 回日本伝熱シンポジウム講演申込書 (原則 Web から申込み)

講演 題目	和文			
	英文			
著者名 (フルネーム) (講演者に * 印)		所属・勤務先 (省略形でお願いします。)	伝熱学会 会員資格	会員外の方の所 属学協会と資格
和文		和文		
英文		英文		
和文		和文		
英文		英文		
和文		和文		
英文		英文		
和文		和文		
英文		英文		
和文		和文		
英文		英文		
アブストラクト (200 字程度) 				
セッションの分類 (希望セッションの口のいずれかチェックを入れ, 該当欄に情報をご記入下さい。)				
<input type="checkbox"/> 大分類・小分類セッション <input type="checkbox"/> 大分類セッションでの発表を希望する (大分類, 小分類にかかわらず, 下記 A~D, a~j の両方をご記入下さい)				
(I) 大分類 A~D の中からいずれか一つをご記入下さい () (II) 小分類 a~j の中から希望順に四つまでご記入下さい 希望小分類 第1希望 (), 第2希望 (), 第3希望 (), 第4希望 ()				
<input type="checkbox"/> (III) 優秀プレゼンテーション賞セッション 指導教員・研究グループ長等氏名 ()				
連絡先				
住所	〒			
氏名			所属	
TEL			FAX	
E-mail				

実行委員会記入欄	受付日	年	月	日	受付番号:
----------	-----	---	---	---	-------

(お願い) 原則 Web からの申込みとなっております (<http://www.senkyo.co.jp/42nhts/index-j.html>). なお, Web からの申込みができない場合はシンポ事務局・青木秀之 宛 FAX: (022) 217 - 6165 にお送り下さい。外国人著者の場合, 英文著者名欄に記入頂くと共に和文著者名欄もカタカナ書きでご記入をお願いします。

優秀プレゼンテーション賞（第42回日本伝熱シンポジウム：仙台）について

第42回日本伝熱シンポジウムにおいて、下記のように優秀プレゼンテーション賞を実施します予定ですので、企業・大学・研究機関等、多数の皆様への応募申込・御参加を、何分にも、よろしく御願い申し上げます。

日本伝熱学会・学生会委員会・委員長 三松 順治

- 日 時：** 平成17年6月6日（月） 学会第1日目 優秀プレゼンテーション賞セッション（2部屋並列）
- 対 象：** 企業、大学、研究所等の技術者・研究者で、平成17年3月31日現在で28才以下の者、または、発表申込当日学生の者（前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。
- 応募方法：** 第42回日本伝熱シンポジウム研究発表申込時に、申込書のセッション分類の“優秀プレゼンテーション賞セッション”にチェックをし、“指導教官または研究グループ長等氏名”をお書き下さい。（なお、申込後の応募追加変更は、プログラム編成前で、可能な場合のみ対応します。）
- 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）を重視して審査を行います。<=「伝熱」2004.7参照
- 審査結果：** 学会第2日目午前に、シンポ総受付で、結果（受賞者の皆様）を発表すると共に、応募者各位に、審査結果・コメント等の結果票をお渡します。受賞者は、学会総会で表彰される予定です。

<なお、詳細は、伝熱学会・伝熱シンポ実行委内で検討中ですので、最新情報は当該HPを御覧下さい。>

九州大学大学院工学研究院機械科学部門教員公募

1. 募集人員 教授 1名
2. 所 属 機械科学部門 熱工学講座
(学内共同教育研究施設「水素利用技術研究センター」の教授を兼務し、その運営に携わっていただく予定です)
3. 研究分野 エネルギーシステム (水素利用プロセス, 燃料電池, 熱エネルギー変換 など)
4. 担当科目
学 部 : 熱力学および機械工学の基礎と応用に関する科目
大学院 : 水素利用プロセス など
5. 応募資格 博士の学位を有し、大学院博士課程における教育および研究の指導能力を有して、当該研究分野において優れた業績のある方.
6. 着任時期 採用決定後できるだけ早い時期 (2005年6月以降)
7. 任 期 5年 (審査のうえ再任可)
8. 提出書類
(1) 履歴書 (写真貼付, 連絡先と E-mail を明記), (2) 研究業績 (学術論文, 国際会議 Proceedings, 原著・編著書, 総説・学術資料等, 発明・考案・特許等, その他 (掲載決定論文, 講演発表数等) に分類), (3) 教育実績 (公開講座, 社内教育等を含む), (4) 学会および社会における活動等 (所属学協会およびその学協会での役員・委員歴, 国際会議委員歴, 受賞歴等), (5) 科学研究費, 共同研究・受託研究等の競争的研究資金の獲得状況 (代表分), (6) これまでの研究の概要 (2000字以内), (7) 今後の研究計画 (2000字以内), (8) 教育と研究に対する抱負 (1000字以内), (9) 代表的な論文の別刷り (5編以内, 各1部, コピー可), (10) 応募者について意見を伺える方1名以上の氏名, 所属および連絡先
9. 公募締切 2005年1月31日 (月) 必着
10. 選考方法 書類による一次審査後, 面接 (プレゼンテーションを含む) による二次審査を実施.
11. 応募書類提出先および問合せ先
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 / 九州大学大学院工学研究院機械科学部門 教授 森 英夫 / 電話 (092) 642-3481 / FAX (092) 641-9744 / E-mail : mori@mech.kyushu-u.ac.jp
※「応募書類在中」と朱書き, 簡易書留にて郵送して下さい. なお, 応募書類は返却いたしませんので, ご了承下さい.

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

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

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

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

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

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

(本年度発行予定：5, 7, 9, 11, 1, 3月号)

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

2. 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。

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

【入会手続き】

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

(注意)

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

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

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

【会費納入について】

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

【変更届について】

(勤務先, 住所, 通信先等の変更)

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

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には, 必要に応じて代表者を変更できます.

(学生会員から正会員への変更)

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

(変更届提出上の注意)

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

【退会届について】

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

【会費を長期滞納されている方へ】

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

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております.

事務局

《業務内容》

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

《所在地》

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

(注意)

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

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
笠木 伸英
TEL: 03-5841-6417 FAX: 03-5800-6999
E-Mail : htsj@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp

「伝熱」会告の書き方

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

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

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

43期新入会員（2004. 8. 1～2004. 10. 31） 6名

資格	氏名	勤務先
正	中嶋 祐司	(株)日本アルミ
正	谷口 淳	(株)富士通研究所
正	嶋田 哲也	エスペック(株)技術開発本部
正	加藤 之貴	東京工業大学原子炉工学研究所
正	諸我 勝巳	(株)コロナ
正	小井戸 哲也	(株)本田技術研究所

43期寄付会費（2004. 8. 1～2004. 10. 31） 2名

資格	氏名	勤務先
正	高橋 一郎	山形大学工学部
正	亀井 秀也	

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届出用紙

(右の該当に○を記入)

1. 正会員・学生会員入会申込書

2. 変更名 (書面による届出のみ受け)

(注意)

・楷書体で明瞭に記入

・通信文は余白に記入

・氏名にふりがなを付す

・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	共通・専用																
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***																印

※専門分野

基礎的分野

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

応用分野

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

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

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する.

***) 学生会員入会申込者は, 指導教官の署名・捺印を受ける.

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

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届け用紙

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

※ご記入に際しての注意

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

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

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
日本カノマックス

◇編集後記◇

そろそろ忘年会の心配をする季節になってきました。今年は台風や地震といった天災も多かったし、各方面で激震が走りました。なかでもオリックス・近鉄の合併に始まった野球界の騒動はすごかったですね。仙台の新球団誕生はうれしいニュースですが、我がダイエーホークスはプレーオフで負けた上に、応援感謝セールで球団みずからを激安で売却する羽目となりました。昨年の優勝の喜びが遠い昔のようです。くよくよしても始まらないので、今晚の宴会のつまみの心配でもすることにします。

さて、本誌への投稿、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43期編集出版部会委員までお寄せください。

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

平成 16 年 11 月 12 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. 183

2004年11月発行

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

Published by

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

