

ISSN 1344-8692 Vol. 42 No. 176

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

◇研究室のツール特集号(1)◇

2003. 9

「伝熱」原稿の書き方

How to Write a Manuscript of Dennetsu

伝熱 太郎 (伝熱大学)

Taro DENNETSU (Dennetsu University)

1. はじめに

以下の注意事項に留意して、原稿を作成すること。

2. 「伝熱」用原稿作成上の注意

2.1 標準形式

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

表 1 原稿の標準形式

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

2.2 見出しなど

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

2.3 句読点

句読点は、および。を用い、、や。は避けること。

2.4 図について

図中のフォントは本文中のフォントと同じものを用いること。

2.5 参考文献について

2.5.1 番号の付け方

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

2.4.2 参考文献の引き方

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

参考文献

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

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

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

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

転載許諾願申請フォーム

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

伝 熱

目 次

〈研究室のツール特集(1)〉

研究室のツール特集(1)にあたって—知的・物的財産の情報交換— 花村 克悟 (東京工業大学)	1
自然対流の赤外線計測..... 稲垣 照美 (茨城大学)	2
多点同時計測 LDV システム..... 熊田 雅彌, 古市 紀之 (岐阜大学), 八賀 正司 (富山商船高等専門学校)	6
LIF および干渉画像法による噴霧流動計測法の開発秘話 川口 達也, 菱田 公一, 前田 昌信 (慶應義塾大学)	9
HI-LIF を用いた液相内濃度場の計測法..... 山根 岳志 (富山大学)	13
高時間・空間分解能時系列 PIV の開発..... 店橋 護 (東京工業大学), 崔 敬民 (航空宇宙技術研究所), 福里 克彦 (西華産業), 宮内 敏雄 (東京工業大学)	17
レーザーフォーカス変位計を用いたマイクロチャンネル内液膜界面測定システム 波津久 達也, 賞雅 寛而 (東京商船大学)	21
気液界面変位量測定のための電子的スペックル干渉法 西野 耕一, 李 新波 (横浜国立大学)	25

〈会議報告〉

ザンビア国際会議 [HEFAT2003] 報告..... 宇高 義郎 (横浜国立大学)	29
InterPACK2003 報告..... 矢澤 和明 (ソニー)	31

〈海外旅行の裏技シリーズ〉

旅の裏技 (その2 行動編)	原 利次 (日本工業大学)	33
----------------------	---------------------	----

〈支部活動報告〉

京から明日へ—貴船・聖護院・京都大学 伝熱セミナー 報告—..... 吉田 英生 (京都大学)	35
---	----

〈行事カレンダー〉

.....	39
-------	----

〈お知らせ〉

第41回日本伝熱シンポジウム開催案内.....	41
平成15年度日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ.....	42
「九州伝熱セミナー・湯布院」のご案内.....	44
会員名簿の発行について.....	45
「伝熱」会告の書き方.....	47
事務局からの連絡.....	48

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

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.42, No.176, September 2003

CONTENTS

< Special Issue for Tools in Laboratories (1) >

Preface to a Brief Special Issue for Tools in Laboratories -Information Exchange of Intellectual and Material Properties Katsunori HANAMURA (Tokyo Institute of Technology) ······	1
Infrared sensing for natural convection Terumi INAGAKI (Ibaraki University) ······	2
Multi-point LDV system Masaya KUMADA, Noriyuki FURUICHI (Gifu University), Tadashi HACHIGA (Toyama National College of Maritime Technology) ······	6
Inside story of the development of laser induced fluorescent and interferometric laser imaging technique for spray flows Tatsuya KAWAGUCHI, Koichi HISHIDA and Masanobu MAEDA (Keio University) ······	9
A Technique for Measuring a Concentration Field in a Liquid Using HI-LIF Takeshi YAMANE (Toyama University) ······	13
High-Temporal and Spatial Resolution Time-Series PIV Mamoru TANAHASHI (Tokyo Institute of Technology), Gyung-Min CHOI (National Aerospace Laboratory) Katsuhiko FUKUZATO (Seika Corporation), Toshio MIYAUCHI (Tokyo Institute of Technology) ······	17
Measuring System for Liquid Film Interface in Microchannels Using Laser Focus Displacement Meter Tatsuya HAZUKU and Tomoji TAKAMASA (Tokyo University of Mercantile Marine) ······	21
Electronic Speckle Pattern Interferometry for Displacement Measurement Applied to Gas-Liquid Interfaces Koichi NISHINO, Xinbo LI (Yokohama National University) ······	25

< Report on International Conference >

Report on Zambia International Conference Yoshio UTAKA (Yokohama National University) ······	29
Report on InterPACK2003 Kazuaki YAZAWA (Sony) ······	31

< Secret Technique for a Trip >

Secret technique for a trip (2. action) Toshitsugu HARA (Nippon Inst. of Tech.) ······	33
---	----

< Report on Branch Activity >

From Kyo to Tomorrow- Report on Heat-Transfer Seminar at Kibune, Shogoin and Kyoto University -

Hideo YOSHIDA (Kyoto University) ······ 35

<Calendar > ······ 39

<Announcements > ······ 41

研究室のツール特集(1)にあたって

—知的・物的財産の情報交換—

*Preface to a Brief Special Issue for Tools in Laboratories
-Information Exchange of Intellectual and Material Properties-*

花村 克悟 (東京工業大学)

Katsunori HANAMURA (Tokyo Institute of Technology)

実験手順や装置の細部、もしくはその測定手法にたどり着いた道筋など、研究のいわばノウハウに関わる内容を、シンポジウムや講演会のわずかな時間での発表や質疑応答のみで理解することは困難と思われまます。そこで、学会の期間中に発表者やその研究室の関係者を捕まえて、じっくり話を聞く、いわゆるロビー活動（一部で耳にする業界用語？）が、会場内外で頻繁に行われることをご存知のとおりです。今まで測定できなかったものや見えなかったものが、ちょっとしたアイデアで、測定を可能とすることや可視化できる工学の醍醐味は今も研究者や学生を魅了して止みません。そうしたアイデアや測定手法の論理は、研究室のいわば知的財産であり、それによって構築された測定器は物的財産ともいえます。これを学会期間中の短期間のしかも一部の方々のディスカッションにとどめられているのは、有効な情報交換とはいえません。そこで、出版部会では本学会誌を通じて多くの会員の方々に、今一度、学会発表とは一味違った形で「研究室のツール」を紹介し、「あの研究室にはこんな測定器があるのか」、「こういうアイデアが活かされているのか」、「この着想は面白い、うちの研究室でも使えないか」、「この手法は、うちで進めている研究のこんなことに使えないか」といった議論や照会などが沸きあがることを一つの狙いとして本特集を企画しました。

執筆者の方々にも測定手法はもとより、それに必要な（独自に開発もしくは購入された特殊な）機器、さらにはちょっとした「ノウハウ」などを、これから使ってみたいと思っている研究者、同じようなトラブルで悩んでいる技術者、同じ測定対象を全く別の方法でアプローチしている研究者、機器を提供している技術者など多くの方々への情報として執筆をお願いしました。したがって、測定結果は最小限にとどめられ、測定法の紹介と測定機器、苦労話、ノウハウ、アイデアなどを中心

に記述いただいています。

この企画は、本9月号と次の11月号の2回に分けて連載されます。他にもお願いしきれていないものもあり、それらの連載は出版事業部会であらためて話し合うこととして、まず手始めに本企画では、合わせて14件を採りあげてみました。

本9月号では、流れ場の計測が中心で、「自然対流の赤外線計測」、「多点同時計測LDVシステム」、「LIF および干渉画像法による噴霧流動計測法の開発秘話」、「HI-LIF を用いた液相内濃度場の計測法」、「長時間・空間分解能時系列PIVの開発」、「レーザーフォーカス変位計を用いたマイクロチャンネル内液膜界面測定システム」、「来液界面変位量測定のための電子的スペックル干渉法」と、いずれも興味深い内容となっています。

学会期間中のロビー活動でのディスカッションから次の研究の種が生まれる場合も少なくありません。また、そうしたディスカッションや異なる測定手法を知り合うことは互いに刺激となります。この企画においても、互いの知的財産の情報交換を通して、新たな研究の種の発現や研究ネットワーク構築の一助となれば、学会誌としての使命を少なからず果たしたことになるでしょう。さらに、近年では、学際化、多様化、複雑化が進み、一つの研究室のみで、理論と実験、検証を全て行うことが難しい場合が少なくありません。こうした状況では、互いに得意な分野や部分を受け持ち、チームワークを組んで1つの研究を成し遂げることが必要と思われます。どのような組み合わせが可能か、といった場合にも、この学会誌によって、素早い対応ができることを期待しています。さらに、伝熱学会のみにとどまらず、他学協会での内容を連載するのも面白いかもしれません。

最後に、お忙しい中、快く執筆を引き受けていただきました著者の方々に深く感謝いたします。

自然対流の赤外線計測

Infrared sensing for natural convection

稲垣 照美 (茨城大学)

Terumi INAGAKI (Ibaraki University)

1. はじめに

赤外線サーモグラフィは、対象物から発せられる熱エネルギーを感知し、その表面温度を非破壊リモートセンシングに評価する手段であるとともに、複雑な形状を有する二次元温度場をリアルタイムにかつ画素毎に診断・評価することが可能な手段でもある。そのため、この手法は、工学、理学、医学あるいは産業界を始めとする様々な分野で広く利用されている。一方、伝熱学の分野においては、赤外線サーモグラフィによる定量計測が一般的に困難とされ、むしろこれを可視化手段として利用することが多かった。

本誌では、赤外線サーモグラフィによる伝熱計測の定量的な適応性や有効性を広く示すため、気液界面伝熱現象である片面に自由界面を有する有限矩形容器内のベナールセル対流を赤外線サーモグラフィによって可視化計測した例と、垂直平滑平板に沿う乱流自然対流の伝熱計測に赤外線サーモグラフィを適応した例の2つの事例について紹介する。

2. 実験装置と測定法

2.1 赤外線サーモグラフィの特性

本節では、赤外線サーモグラフィの可視化計測や伝熱計測における基本的な特性や、具体的なデータ処理法について述べる。我々が利用している赤外線サーモグラフィ装置は、NEC 三栄製 TH3102MR 型サーモレーサ(スターリング冷却方式、Hd-Cd-Te センサ、検出波長域 8~13 μm 、温度測定範囲-50~2000 $^{\circ}\text{C}$ 、最小検知温度分解能 0.1 $^{\circ}\text{C}$)である。ある1つの熱画像は、水平方向に 255 画素、垂直方向に 239 画素から構成されている。一般に、1つの熱画像あたりの水平および垂直走査範囲は、赤外線サーモグラフィ装置の検出部と計測対象との距離によって異なる。例えば、500mm において水平走査範囲:308mm、垂直走査範囲:292mm および 1000mm において水平走査範囲:576mm、垂直走査範囲:546mm となっている。一方、

熱画像生成時間は、1つの熱画像が 239本の水平走査ラインで構成されているので、ある1つの水平ラインを走査して次の走査までに3.125msを要する。なお、この走査時間3.125msの中には、CRT表示時間1.25msが含まれている。従って、1画像生成時間は、3.125ms \times 239本 \approx 0.75sとなる。その他、赤外線サーモグラフィによる定量計測では、最小検知寸法⁽¹⁾、ノイズ相当温度差⁽²⁾及び熱画像ひずみ⁽³⁾などが及ぼす影響を考慮に入れる必要がある。なお、ラインキャンモードを利用すれば、任意水平走査線上の温度や任意点の温度を最高3.125msの速度で採取することが可能になる。

以上は、赤外線サーモグラフィ装置から直接得られる温度(見掛け温度) T_r に関する取り扱いである。熱伝達率を評価する上で重要な真の温度 T_s は、検定実験から得られた検定式に基づいて決定されている。検定実験は、例えば、加熱固体壁面を計測する場合、主計測と同一環境条件の下で、同一表面性状の検定面を準備し、赤外線サーモグラフィ装置による主計測前後に2回実施している。これによって、検定式の信頼性を確保することができる。図1は、赤外線サーモグラフィにより直接得られた T_r を横軸、 T_s を縦軸として検定結果をプロットした一例である。なお、赤外線

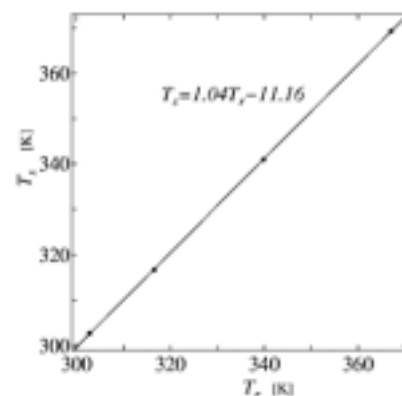


図1 Example : Correlation linking true temperature (T_s) to radiant temperature (T_r)

計測による誤差を可能な限り低減するためには、光沢面に艶消し黒色塗料を塗布するなどして壁面の放射率を大きくする工夫を凝らしている。液面では、赤外線透過率が小さく、かつ表面の放射率が大きいため、上記の検定実験で十分な計測精度が得られる。

2.2 気液界面の可視化計測

2.2.1 実験装置及び計測方法

図2はベナールセル対流の可視化計測実験装置の概略⁽⁴⁾を、図3はその計測体系の概略を示したものである。この装置は、内部に作動流体としてシリコンオイルを充填し、開放端にて気液界面の赤外線計測を実施するためのものである。伝熱面は、上から銅板(厚さ1mm)、熱源であるステンレス箔(幅10mmの短冊状に加工、厚さ30 μ m)の順に張り合わせ、周囲を十分に断熱した厚さ10mmの水平なアクリル矩形容器(濡れ縁底面積100 \times 100 [mm²])の底面に固定した。矩形容器の深さは、最大20mmである。ここでは、銅板を用いることにより伝熱面温度を一様にしていく。伝熱面温度 T_w は、予め検定した直径100 μ mのC-A熱電対を銅板の裏面にスポット溶接して測定している。

実験では、多重反射の影響を可能な限り低減するため、暗室内に赤外線サーモグラフィ装置の検出部と実験装置を同時に設置し、気液界面温度計測を検出部から0.45mの距離で実施している。それぞれの条件につき加熱面温度が約80 $^{\circ}$ Cになるまで徐々にステンレス箔を直流定電圧電源で加熱(ジュール加熱)する。なお、暗室内温度 T_a は、検出部と装置の中間付近に2ヶ所設置した直径300 μ mのC-A熱電対で計測する。

さらに、気液界面においてどのような流動が生じているのかを確認するため、アルミパウダーを併用した

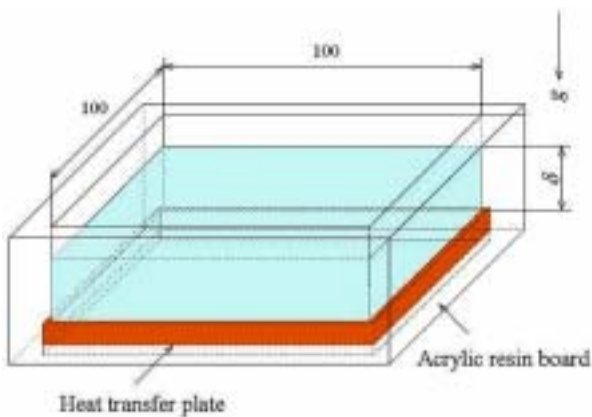


図2 Experimental Apparatus for Natural Convection in a Liquid Layer

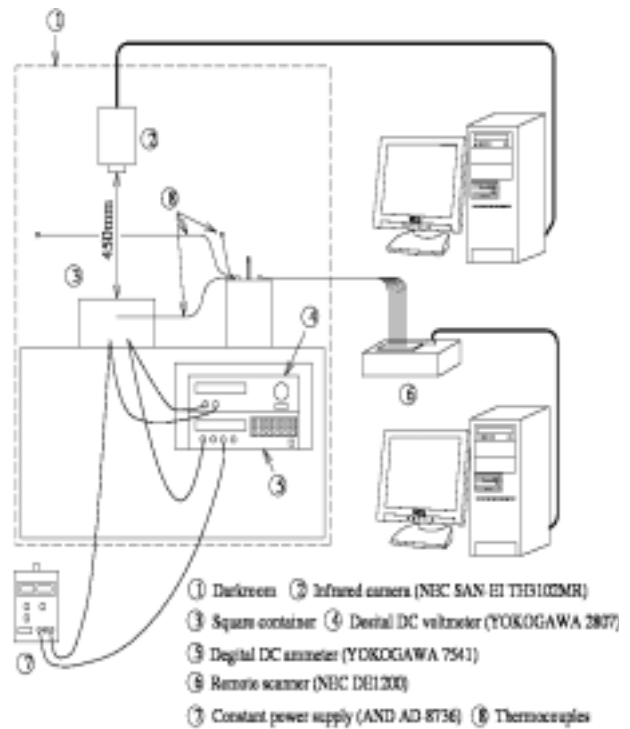


図3 Measuring System

流動パターンの可視化も行っている。撮影は、流れが定常となった段階からデジタルビデオカメラで行った。なお、気液界面とカメラの距離は、0.45mである。

2.2.2 温度場の可視化計測結果

図4の(a)~(d)は、動粘度 $\nu=100$ cst、流体層深さ $\delta=10$ mmにおける気液界面の温度場を赤外線サーモグラフィにより可視化した結果の一例である。図中のレイリ数 Ra_1 は、流体層側のレイリ数である。ここで、 Ra_1 は次式で算出することができる。

$$Ra_1 = Pr_l \frac{g\beta_l(T_w - T_a)\delta^3}{\nu_l^2}$$

式中、 Pr_l は流体のプラントル数、 g は重力加速度、 ν_l は流体の動粘性係数、 β_l は流体の熱膨張係数、 δ は流体層の深さである。図4の(a)から、最初に加熱量が小さければベナールセルが発生せず、一様な温度分布になっていることが分かる。また、図4の(b)~(d)より、加熱量が増加するに従って、それぞれベナールセルが合体を繰り返しながらその大きさを増していき、やがて液層内の対流が乱流状態となってセルの形が崩れていく様子が確認できる。乱流状態では、セルの寸法・形状や発生位置が時々刻々に変動している。なお、流体力学ハンドブック⁽⁶⁾より求められるベナールセル発

生臨界レイリ数 Ra_c は、この条件に対しては 1124 で与えられる。

図 5 (a), (b) は、 $\nu=300\text{cst}$, $\delta=10\text{mm}$ に対する温度場と流れ場の同時可視化画像を示したものである。温度と速度場の動画画像を解析すると、加熱面で暖められた流体が赤や桃を呈した部分の気液界面へ向かって上昇し、界面で冷やされた後、青や緑を呈した部分から加熱面へ向かって下降することが分かる。その結果、気液界面では、幾何境界の影響を受けつつ、様々な色や形をした模様が登場する。このことから、伝熱現象と流動現象は、良好に対応しているものと推察できる。

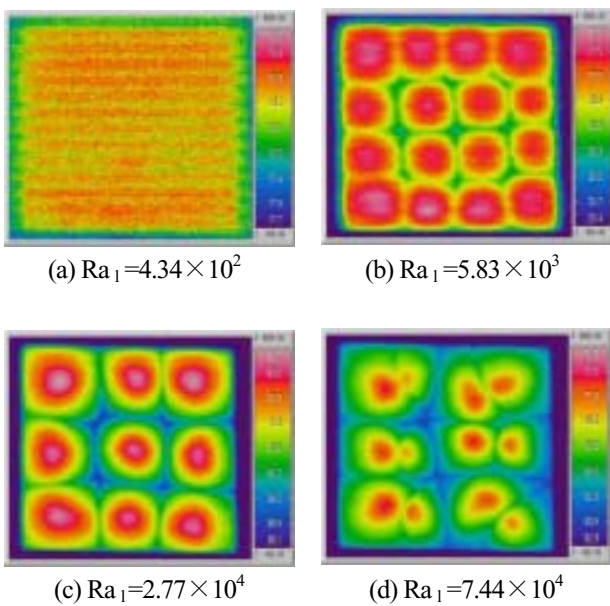


図 4 Visualized Thermal Patterns ($\nu=100\text{cst}$, $\delta=10\text{mm}$)

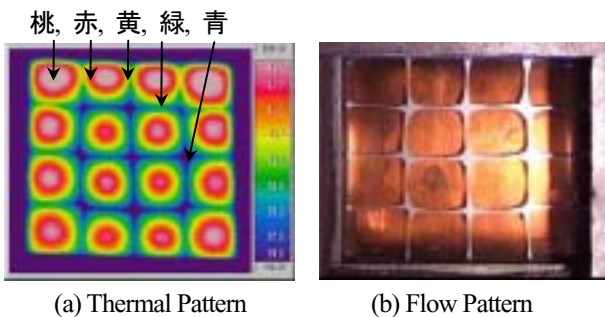


図 5 Visualized Patterns
($\nu=300\text{cst}$, $\delta=10\text{mm}$, $Ra_1=3.49 \times 10^4$)

2.3 加熱固体壁面の伝熱計測

2.3.1 実験装置及び計測方法

図 6 は、垂直な平滑平板に沿う乱流自然対流の伝熱計測実験装置の概略⁶⁾を示したものである。伝熱面は、

長さ 3200mm×幅 300mm、厚さ 15mm のアクリル基盤表裏面上に長さ 300mm×幅 79mm、厚さ $30\mu\text{m}$ の短冊状ステンレス箔を合計 80 枚貼り付け、直列に接続したもので、ジュール加熱により一様伝熱面熱流束で自然対流を誘起することができる。この伝熱面は、層流一遷移一乱流域を同時に実現することが可能である。伝熱面の左右端は、流体の巻き込みを防止するための表裏面対称な側壁を設け、さらに熱伝導損出をなくするため表裏面とも同一条件で通電加熱した。伝熱面先端は 60° の鋭角とし、床から 200mm 離れた位置に伝熱面を垂直に設置した。なお実験は、多重反射の影響を極力低減するため、暗室内(5000mm×2000mm×1500mm)に赤外線サーモグラフィ装置の検出部と実験装置を同時に設置し、伝熱面計測を実験装置から 1000mm の距離で実施した。本実験は、反射の影響や気温変動の少ない深夜に実施し、作動流体は空気とした。

実験では、伝熱面の二次元性を各高さにおける熱画像で確認した後、伝熱面中央線に沿って垂直方向に赤外線サーモグラフィ装置で走査し、中心から左右に 75mm ずつの任意水平捜査線上の平均値として、ある瞬時の伝熱面温度を T_s として決定している。暗室内温度 T_a は、伝熱面から 1000mm 離れた位置に流れ方向に

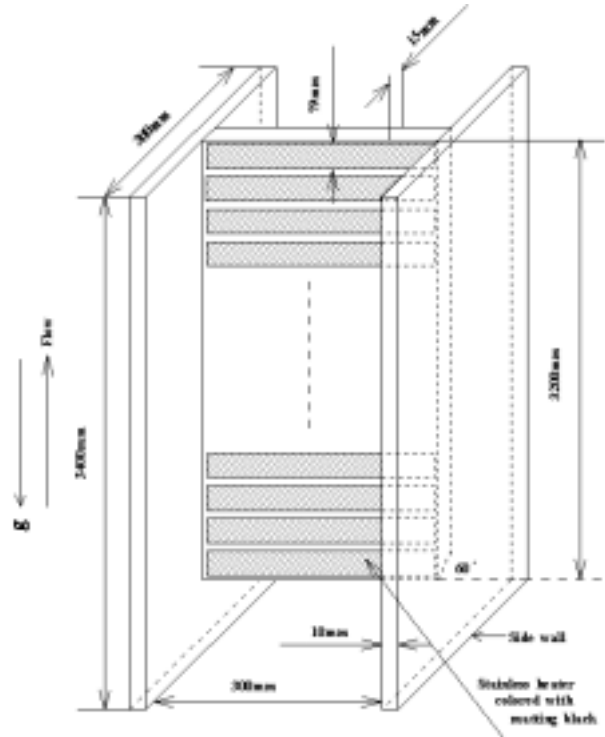


図 6 Experimental Apparatus for Natural Convection along a Vertical Flat Plate

5ヶ所設置した直径 $300\ \mu\text{m}$ の C-A 熱電対で計測した。対流熱伝達へ寄与する伝熱面熱流束 q_w や局所熱伝達率 h_x は、伝熱面裏面への熱伝導損出が無視できることから、画素毎に次式で算出することができる。

$$q_w = \frac{VI}{A} - \varepsilon_s \sigma (T_s^4 - T_a^4)$$

$$h_x = \frac{q_w}{(T_s - T_a)}$$

ここで、 ε_s は、画素毎に予め算出した伝熱面の放射率である⁽⁷⁾。上式中の右辺第 1 項は、ジュール加熱量、第 2 項は放射損出成分である。無次元化の際の熱物性値は、体積膨張率 $\beta [= 1/T_a]$ を除き、全て参照温度 $[T_s - 0.38(T_s - T_a)]$ で評価してある。

2.3.2 自然対流の伝熱計測結果

図 7 は、垂直な平滑平板に沿う自然対流の定常局所熱伝達率に関する実験結果を伝熱面下端からの距離 X を代表長さとした $Nu_{xn} - Ra_x^*$ 数平面上に示したものである。層流域から遷移及び乱流域までを示してある。図中の線群は、従来の経験式及び理論式を示しており、記号は計測値である。

図から、 Ra_x^* が 10^3 から 10^{14} に至る広い範囲で実験値が、従来の伝熱相関式に良好に対応していることが分かる。このことから、赤外線サーモグラフィは、乱流域を含む自然対流の熱伝達を定量的に評価する上で有効な手法の一つであると言える。

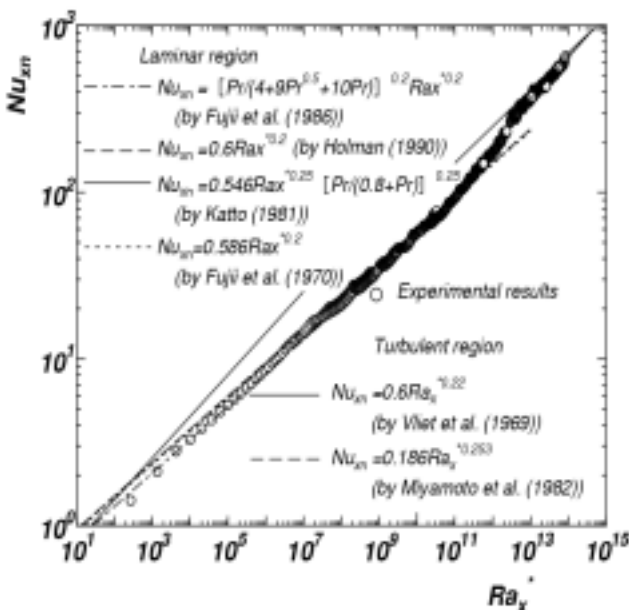


図 7 Nusselt Number

3. まとめ

ここでは、自然対流の赤外線計測について、気液界面の可視化計測や、加熱固体壁面に発生する層流域及び乱流域における伝熱計測を例に取り上げて、自然対流の赤外線計測の有効性に関する話題を提供した。非接触な赤外線計測は、温度場の可視化や定量計測を実施する上で有効な手法であり、乱流域の伝熱計測を定量的に実施する上でも有効な測定手段である。したがって、赤外線計測は、様々な実用上の温度伝熱計測にも対応できるであろう。赤外線サーモグラフィによるリモートセンシング計測では、画素毎の二次元的な温度計測が可能のため、複雑な形状を有する伝熱面の性能をリアルタイムかつ広範囲に評価する上で極めて都合が良いからである。

参考文献

- [1] 黒川賢, 稲垣照美, 安久正紘, 岡本芳三, 赤外単素子センサを用いた機械的走査型サーモグラフィ装置の最小検知寸法に及ぼす要因分析, 可視化情報学会誌, **19-74** (1999) 51-56
- [2] K. Kurokawa, T. Inagaki and M. Agu, A Study on Characteristics of Fundamental Performances for Thermograph, J. of JSME International, Series B **43-4** (2000) 671-678.
- [3] 黒川賢, 稲垣照美, 笠井豊, 宮本貴範, 機械的走査形サーモグラフィ装置の熱画像ひずみ, 日本機械学会論文集 C, **69 - 699** (2003) 633-638.
- [4] 稲垣照美, 金児敏信, 椎名保顕, 自由界面を有する矩形容器内自然対流の伝熱現象と赤外線計測, 日本伝熱シンポジウム公演論文集 Vol. I, (2001) 173-174.
- [5] 日本流体力学会編, 流体力学ハンドブック, 第 2 版 (1999) 292.
- [6] T. Inagaki and Y. Okamoto, Measurement of Turbulent Heat Transfer Coefficients Using Infrared Thermography near Ambient Conditions and Its Quantitative Error Estimation, J. of JSME International, Series B **42** (1999) 275.
- [7] T. Inagaki and Y. Okamoto, Surface Temperature Measurement Using Infrared Radiometer Applying Pseudo-gray-body approximation - Estimation of Radiative Property for Metal Surface, Trans. of ASME, J. of Heat Transfer **118-1** (1996) 73.

多点同時計測 LDV システム

Multi-point LDV system

熊田 雅彌, 古市 紀之 (岐阜大学)

Masaya KUMADA, Noriyuki FURUICHI (Gifu University)

八賀 正司 (富山商船高等専門学校)

Tadashi HACHIGA (Toyama National College of Maritime Technology)

1. はじめに

レーザードップラー流速計 (LDV) はこれまで流体計測の分野において非常に重要な役割を果たしてきている。PIV 全盛の現在であるが、高い時間空間分解能を持ち、(自作すれば)比較的安価であり、また高い自由度を持つこの LDV 計測システムをより高い次元で使用できたら、より良い計測システムの構築ができるのではないだろうかと考える。基本的には空間中の 1 点のみの情報を得るのが LDV であり PIV のような面的な情報を求めるのは難しいが、もう少し多点において計測できればとの発想につきあたる。しかも速度勾配ないしは速度分布が計測できれば、種々乱流統計量の計測が可能となる。そんな発想から当研究室において多点計測 LDV を開発し、実流動場における計測に適用してきた。システムとしては荒い部分や未完成な部分も多々あるが、簡単に紹介する。

2. 計測システム概要

まず、本研究室の多点同時計測 LDV の送光系の写真を図 1 に示した。この多点計測 LDV は、慶応義塾大学・菱田公一先生とのコラボレーションから生まれたものである。多点計測 LDV のアイデア自体はこの装置のようにシート光を利用する手法や、測定位置をポリゴン等により連続的に変化させる等、古くから存在している。しかし、散乱光信号を時系列で処理すると膨大なデータ量となり、これを処理する方法に大きな問題点を抱える。多点を同時にリアルタイムで処理するには工夫が必要である。そこで本研究室では、生データのサンプリングを 1 ビットで行った。この生データを多点分保存し、それに FFT をほどこした。このようにすれば、メモリスペースを節約することができる。1 ビットデータの FFT でどれぐらい精度が出るか気になるところであるが、いくつかのシミュレーションの結果は、ある一定の SN 比

以上の信号であれば 8 ビットのサンプリングとの差は実にわずかであることが示されている。確かにノイズに埋もれたバースト信号は検出しにくい。しかし、美しいバースト信号を得ることが、正しい流速情報を得ることにつながるわけだから、結局は通常の LDV で行われる労力と基本的には変わらない。

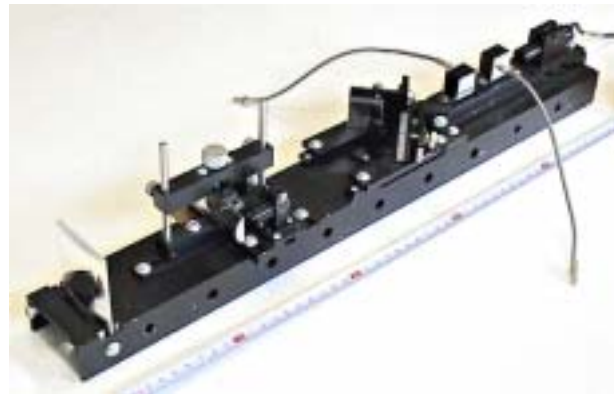


図 1. 多点 LDV 送光系

光源に半導体レーザ (685nm, 40mW) を使用するなど、装置のコンパクト化には気を使った。写真のように、多点にしてはコンパクトな (と自負している) システム (50×500mm) になっている。現在はすべての光学部品を固定しているが、当初は各部品に三自由度を確保していた。しかしあまりに動きすぎ、焦点を設定するのにかなり苦労したために写真のようなリジッドなシステムにした。写真では若干分りにくいので、光学系システムのイラストを図 2 に示す。流速方向検知のためにダブルブラグセルシステムを使用し、また、ロッドレンズとシリンダリカルレンズによりシート光を作成している。このシート光をシリンダリカルレンズにより焦点を結ぶ。この焦点であるライン上の全領域で流速計測が可能なるものである。このように光学系システム自体は通常の LDV となら変わらない。

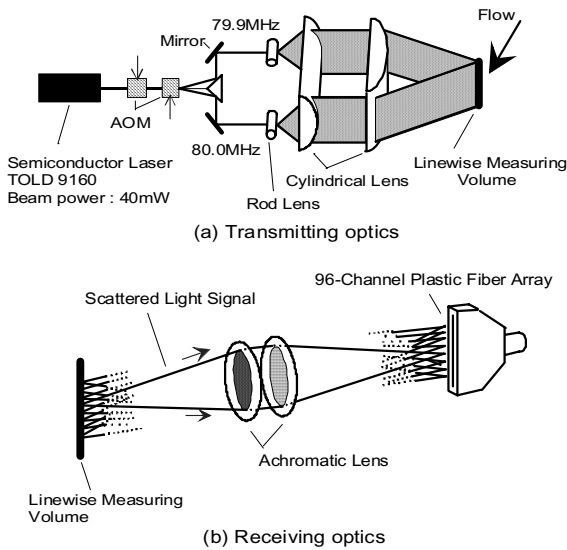


図 2. 光学系概要

ただ送光系のセッティングは難しい。美しいバースト信号をどの位置でも得るためには、いかに交差する測定線をずれないように重ねるかが鍵になる。二本の光軸をいかに水平にセットするか、また、いかに平行なシート光を射出するか、これにつくる。これさえできれば、シート光も自然と所定の測定領域で重なり、ライン状にフリッジが形成されることになる。

受光部は二枚のアクロマティックレンズによりファイバーアレイ上に焦点を結ぶ構造であり、やはり通常の LDV と変わらない。受光部の光ファイバーアレイに関する写真を図 3 に示す。使用しているのは三菱レーヨン製のライトガイドで、直径 0.25mm (コア径 0.24mm) の光ファイバーが端面をそろえて一列に並んだものである。光ファイバーの逆の端面は、アバランシェフォトダイオード (APD) に直結できるようにレセプタクルを装着する改良が施されている。ファイバーは密に並んでいるため、0.25mm 間隔での計測が可能である。一列に並んだファイバーのうち、どのファイバーを使用するかが測定位置を決めることになるので、非常に自由度が高い。

さて、測定領域はライン状になっているので、ライン状の計測部のどの部分を計測しているか、という問題点が出てくる。受光系の焦点位置によって決定されるものだが、当研究室では送光系側

のシートレーザを少しずつ遮蔽して、計測が不可

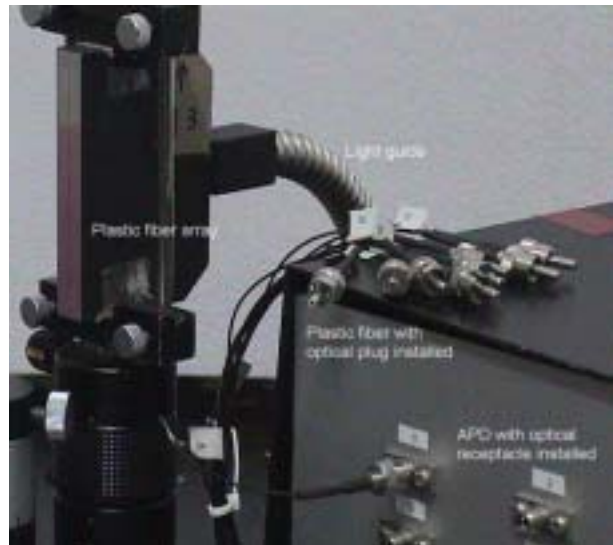


図 3. 光ファイバーアレイ受光部

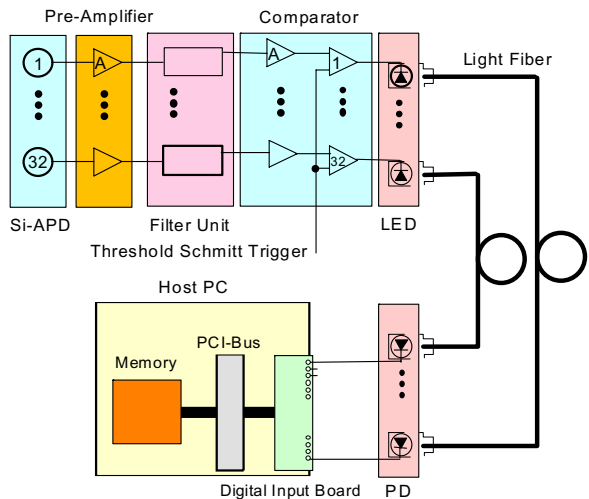


図 4. 回路図概要

能になる位置から決定している。あまりいい方法とも思えず、他にいい方法があればいいのだが、これといって思いつかないままである。

信号処理システムを図 4 に示した。アンプやフィルター等、最終処理においてコンパレータで二値化する以外は、これも通常の LDV 処理システムと変わらない。ノイズ処理には苦労したが、光ファイバーによるデータ転送により、ホスト PC と処理システムを電氣的に隔離し、それに対処している。すべて自作による回路であり、ひとつのチャンネルにひとつのラインを構築しているため、

チャンネル数の拡大が容易に行える。データのサンプリングは1ビットずつできるものであればなんでもいい。メモリの大きいロジックアナライザ等が簡便に使用できて適している。本研究室ではInterface社のデジタルボードを使用している。これは32点分のワンビット信号をひたすらパソコンに送り込んでくれる。当初は、このデータを自作回路により、FIFOメモリに取り込むという手法によって行っていたが、どうしても拡張性に問題があるために、これは廃止した。

ソフトウェアにおけるデータ処理は前述したようにFFT処理を行った。ただし、ワンビットデータであるためにバースト信号が得られているかどうかは生信号から分からない。そのため、出てきたデータをFFTの点数分だけ順に取り出して計算した。この方法だと当然バースト信号が存在しない信号にもFFTをかけてしまう。そのためパワースペクトルから算出されるSN比等からバリデーションチェックを行い、正しい流速情報のみを抽出している。

最後に、計測において一番気になる時空間分解能についてである。時間分解能は上述のようにサンプリング周期とFFTを行う点数から決定される。これは十分に小さい値を確保することができる。一方空間分解能についてであるが、奥行き方向はレーザの交差角から決定されるが、水平面に関しては光ファイバーのコア径に相当していると考えている。

このように、所々に特有のノウハウが必要なものの、ほとんど一般のLDVと大きな違いなく多点の計測が可能なシステムであり、また、ほとんどの部分を自作することができる。拡張性も高いことから、これを数台作成して複数の計測対象場において同時計測も容易である。

3. 実流動場への適用と今後

3次元PIVも広く使われるようになってきている現在、どのような場の計測にこのシステムが適しているのだろうか？本研究室では、はく離再付着流れに適用してきているが、例えばはく離流れのスパン(周)方向に関する流動特性については、三次元性も強く、まだ十分に解明されていない部分が多い。そのような場をこのような手法による計測を適用するには意義があるように考える。そ

こで、図5に示したような計測を行った。図のように、2台の多点LDVシステムを、角度を違えて測定対象中に入射している。したがって、二つの周方向位置における速度分布を同時に計測できることになる。ただ、壁面近傍の計測が難しい円管流路である。まして、シート状のレーザ光を所望の位置で交差させなくてはならないため、ここではいさか無理やりであるが、周方向の角度を固定することを前提として、正12角形の水を満たした箱により、測定部を覆った。これでなんとか壁面から1mm程度離れた位置からステップ高さ程度までの計測を可能にした。結果等については、解析はまだ不十分であるが参考文献^[1]をご覧ください。

さて、この多点LDVシステム今後の発展はいかようなものが考えられるだろうか。もちろんまだまだ精度を上げるような改良の余地はあると考えられる。しかしそれよりも、例えば二方向成分が計測できるシステムを開発できるのであれば、もしくは温度のような他の物理量を同時に計測できればさらなる応用も期待できるのではないかと考えている。自由度がとにかく高いと思うので、測定対象に合わせた開発や改良が容易に可能なのも魅力ではないかと考えている。

参考文献

[1]第40回伝熱シンポジウム講演論文集, p645

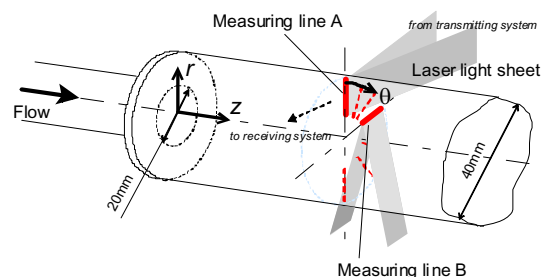


図5. 円管急拡大流れにおける計測例

LIF および干渉画像法による噴霧流動計測法の開発秘話

Inside story of the development of laser induced fluorescent and interferometric laser imaging technique for spray flows

川口 達也, 菱田 公一, 前田 昌信 (慶應義塾大学)

Tatsuya KAWAGUCHI, Koichi HISHIDA and Masanobu MAEDA (Keio University)

1. 開発に至る会話

M: 何でも測れると謳っているものに限ってアバウトでほとんど何も測れないに等しい・・・我々が狙ってきた混相流における移動現象のマイクロメカニズム解明にどれだけ近づけるか、流れの性質を調べる手法を考えるのに流れの性質が解らないとより良い方法が見つからないというジレンマがあるんだ。歴史的経緯から見てもだんだんとその手法は洗練されてゆくものなんだな。

H: 運動している粒子径と速度それに粒子周りの流体の速度が解らないと力学的な解析はできない。

K: 流体の動きは単相流でも乱流は複雑でよく解らないのに、混相にして問題を複雑にしてよくやるな・・・と揶揄されることもあります。伝熱なんか潜熱輸送を使った方が有利ですし、実流体として調べなければならぬことは多々ありますが、蒸発した気体がどこへ行くか、温度分布だけでなく、濃度分布、しかも時系列情報を調べなければならぬし、燃焼が絡んでくるともっと複雑になってどこから手を着けるか・・・気が遠くなりますね。

M: そう、実機では否応なしに調べないといけない現象が見られるけど、まずはブラックボックスとして経験で得た因果関係を基に設計して性能を見ながら手探りで改良を進めて来たんだ。一気に階段を飛び上がって二階には行きにくい。一段ずつあがるのかな。でも、艱難辛苦汝を玉にす。

H: 熱・流体計測は基本的に非接触で計測しなければいけないし、分散系二相流ではスリップ速度があって、特に粒子径に分布があると速度分布も一様ではないので、個々の粒子を追わないといけなことになる。

M: 数値シミュレーションが進んできたので、もう時空間平均値だけでは互いの話が遠くなるし、これまで有力な方法として使われてきた位相ドッ

プラ法は滴径・速度の測定はできてもポイント計測なので周囲の状況が解らない。PIV は面的に速度ベクトル場を求める優れた方法ではあるが、観測窓に入った複数の粒子の作るパターンを相互相関法に従って時間間隔をおいてとったフレームのイメージの中から探してベクトルを求めるので、粒子の個々の速度に大きな差があってはならない訳だ。また、結果が出るように調整すると大きい粒子の動きだけが捉えられる。さあ、そこである程度の範囲の平面、または、立体中の個々の粒子径と速度ベクトル、もちろん結果として瞬間凍結した画面から粒子濃度分布情報が欲しい。最大の目的は噴霧の中心、粒子濃度の高い場所でも確実にデータの出る方法を開発して、今まで見えなかった混合領域から中心部の流れを見たいと言うのが長年の宿題だった。

K: 今は散乱理論も計算コードがしっかりしているし、幸いなことに、ちょうどここ5年位でコンピュータのクロック速度がみるみる速くなって、容量の大きなメモリーが安く手に入るようになりました。それに性能のいい高解像度カメラが供給されるようになりましたからかなり下準備はできていたと言うべきではないでしょうか。もちろん研究室では先輩たちがきっちりフェーズドブレイクシステムや FFT 信号処理法[1]を世界に先駆けてやっておいて頂いたのを更に改良して使わせて頂いたり、今は汎用になっていますが PIV システム開発のときにパルスレーザーを特注で開発してもらったことや、早くから蛍光発光を使って空間温度、濃度の測定に挑戦していたのが下地にあってゼロからのスタートではないので総合力でやれたのではないのでしょうか。

H: ところで、この辺で干渉法を使って液滴径や気泡径が従来法に比べて精度高く測定できる原理を易しく解説しておかなくては・・・

K: そうですね。

2. 事の始まり, 液滴径の測れる PIV が欲しい

(i) 精度の高い径の測定を目指して

本手法[2-7]は一定の広がりのある空間, 平面内の個々の液滴径情報を得ようとする目的から研究されてきた技術である. 干渉性平行光束の中に光透過性の球形粒子があるとき光の散乱は表面からの反射, 粒子内部に屈折して入った光が再び外部に出てくる屈折光および回折光になる. 屈折光は一次二次, 高次の光があるが, 球内で反射を繰り返しているうちに光は出てゆくので高次の屈折光は測定にかかりにくくなる. 虹が二重に見えるのも屈折の回数が1回多い色彩の順が逆になったものが観察されるためであるが, 外側のアーチの強度が弱いのは身近に経験するものである. 回折は光の進行方向の狭い範囲には強いが側方には極端に弱く, 考えに入れなくても良くなる. 小さな液滴の像を拡大してよく見ると, 液滴の輪郭ではなく光る2つの輝点(グレアポイント)が見え, それぞれ反射光, 屈折光に対応する. 観測角を変えるとその点は移動し, その強度もそれぞれ変化する. 角度によっては一次屈折光が消え, 二次屈折光が見えてくる場合もある.

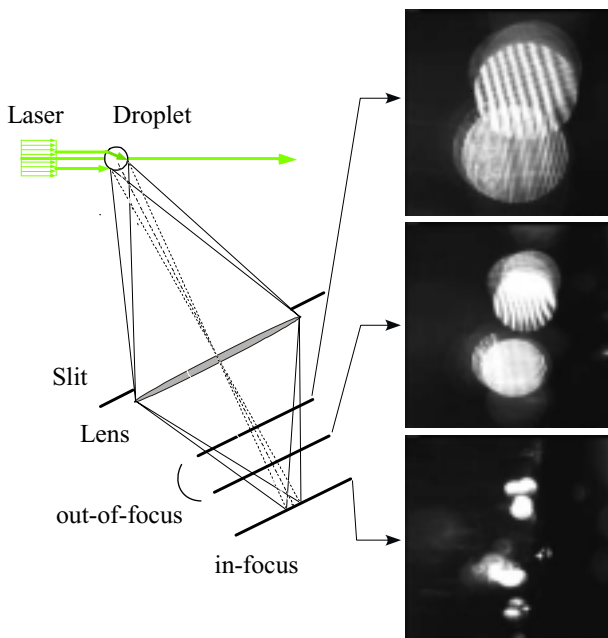
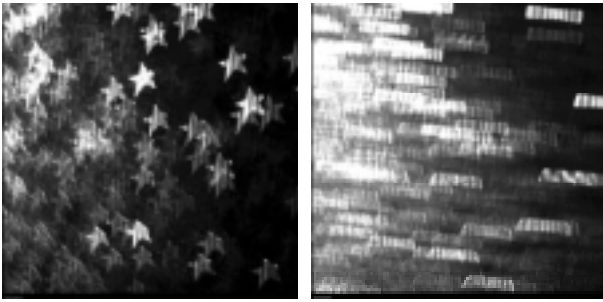


図 1: 非焦点撮影光学系. ディフォーカスによって円形干渉像が次第に大きくなるが, 内包する縞数は変化しない.

噴霧で扱う数~数百マイクロメートルの径の液滴は過酷な衝突や強いせん断域でなければほぼ球径なので, この輝点の間隔を知れば球の直径がわかる. オランダの van de Hulst はその間隔から液滴径が測れるとした[8]. Stuttgart の Roth らのグループは受光系の結像面を in-focus から out-of-focus, 俗に言うピンぼけ状態, 集光レンズを通過してきた二点からのそれぞれの光が十分に重なるようになり, 光路差による干渉縞が出現する(図1). 現れた円形イメージ中の縞数または縞の間隔と円形イメージ直径との比が粒子直径に比例する事を利用してより容易に粒子径を測れるようにした[9]. この方法は単一液滴もしくは数個の液滴を高倍率光学系により撮影する手法に比べて視野領域が桁違いに広く, また光源波長や N.A.などの光学パラメータを比例係数として粒径の絶対測定が可能である特筆すべき特徴がある. 現在のように高解像度高ビット数デジタル CCD カメラが広く普及する以前は極短時間パルス光による散乱光を写真撮影し, 凍結された画像を解析する方法が用いられて来たが, フィルム撮影によるバッチ処理的計測ではデータの採集効率は当然低く, 当時ではまだ画像処理に必要な大容量・高速計算機が無かったので高度な統計処理, 時々刻々の流動の変化を捉えるには至らなかった.

(ii) 高濃度への挑戦, さらに速度ベクトル

非焦点撮影による粒径測定は実際の噴霧への適用が困難とされていたが, 径の広範囲な瞬時的計測という他の手法では実現困難な特質は捨て難いものであった. 我々の研究室でも最初は丸いフリンジを一眼レフカメラで撮影していた. ある時冗談半分で切り紙をしたスリットをレンズ開口部に設置し星型, 三日月型の干渉縞などを撮影(図2)しているうちに長方形スリットを思いついた. これを用いれば像が横長になり縞が何とか認識でき, ある程度の濃度の高い場へも適応できる. スリット高さをどんどん短くすれば更に重なりが回避できるのではないかと, 思い様々なスリットを製作, 試行した結果, スリット幅を狭くしすぎると回折の効果が出てしまうがある程度幅があれば可能であることがわかった. (最近になってこのスリットのみを用いて燃焼場中の液滴数滴を計測する例も提案されて始めている.)



星型スリット

矩形スリット

図2. スリット形状を変化させたときの干渉画像.
非焦点像の外形は開口形状を反映する.

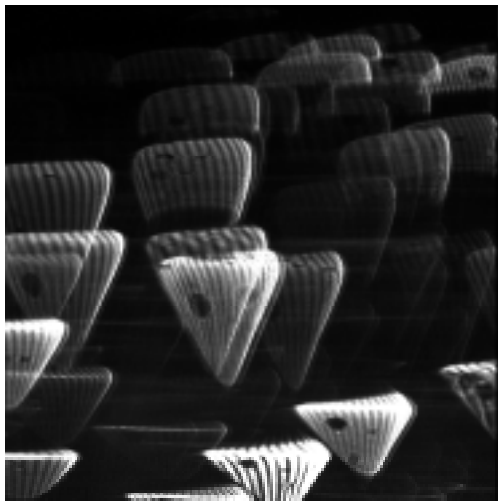


図3. シリンドリカルレンズにより円形干渉縞を「圧縮」しようとして失敗, 歪んだ干渉画像.

やはりスリットだけでは限界があるので, 更に一方向だけインフォーカスにしてしまおう, ちょうど余っていたレーザーシート送光系の円筒凸レンズ1枚用いて丸フリンジを「圧縮」して上下方向をインフォーカスにしようとした. しかしこの光学系では様々な収差の影響が強く出てしまいクラゲのような歪んだ干渉画像が得られるばかりだった(図3).

そこで発想を90度転換して合焦点状態の画像を一方向にディフォーカスし, さらに焦点距離を簡単に变化させられるように焦点距離の等しい円筒面凹凸レンズを組み合わせることにした(図4). このようなレンズ系により球面レンズ主群および CCD カメラをまったく動かすことなく円筒面レンズ間隔をわずかに変化させることで非焦点度を調節できるフレキシブルなシステムとなった.

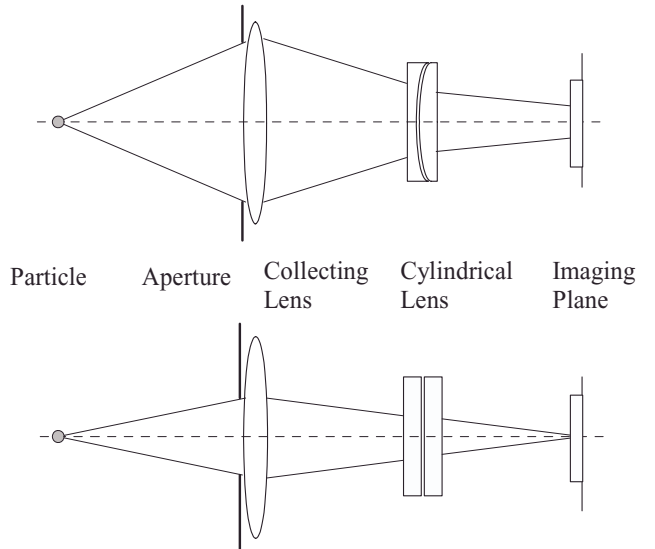
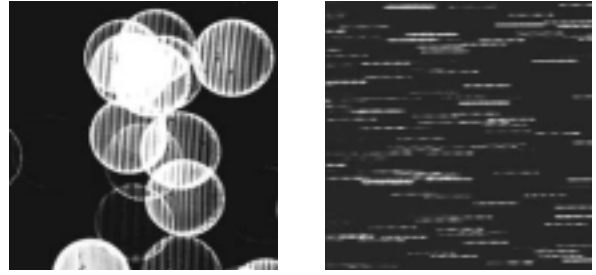


図4. 液滴像同士の重なり of 激しい円形干渉画像 (上左) と, 高濃度場対応光学系 (下) を用いた線状干渉画像 (上右).

粒径が大きくなる場合は干渉縞の周波数も高くなるので, よりディフォーカスすることでたくさんの CCD ピクセルにて像を撮影する. 逆に小さな粒径に対しては干渉縞本数も少ないので CCD 非焦点の度合いを緩めて干渉像の幅を短くする. 幸い噴霧では粒径減少と数密度増加には相関があるのでこれは丁度具合がよい. もちろん円筒レンズ2枚がぴったり貼り合わさる状態では単なるガラス板が挿入されているのと同じなので, 通常の合焦点粒子画像が得られ粒子画像流速測定装置 PIV / PTV に化けることができる.

個々の液滴の干渉像をスキャンすることによって現れる粒子ごとの干渉信号, 全くレーザードップラ流速計のドップラ信号のような波形が得られるので FFT 型の周波数同定法を用いると基本周波数の何十倍もの分解能が得られ, サブミクロンオーダーの粒径の違いを識別できる. 高精度な粒径の情報を使ってダブルパルス露光, 2時刻撮影した

画像から個々の液滴の行き先を見つけることが出来、速度ベクトルが高確度にて決定できる。測定結果から粒径の大小グループ分けをし、それぞれベクトルフィールドが描けるので、噴霧の中で大径群の運動による小径、あるいは気流の流動変化が1つの計測画像から抽出できるようになった。

3. 干渉画像法-LIFの複合計測[10, 11]

微小液滴を含む流れでは液滴の微粒化のみならず蒸発プロセス、分散相と連続相との間の運動量交換、熱物質輸送がキーとなる。粒径・速度の空間構造の詳細が測定可能となると、当然気相側の情報も欲しい。その延長線上に二相流の物質移動を含む流れが見えてくる。揮発性の液体で蛍光性があるアセトンは紫外光の照射により発光、単成分で **quench** の影響が無ければ光強度から濃度が同定できる。蛍光で粒径を狙うと滴の大きさで発光強度が著しく変わり輪郭がはっきりしなくなる。またガスの発光は粒子のそれに比べ著しく弱い。それならば滴の存在するところは抜いてガスの濃度を蛍光法で測定、抜いたところに干渉法で得た径をあてはめれば良いと簡単に考え、実行した。可視光、紫外光の二波長同時発振レーザ、独立した二台の高感度カメラで干渉画像および LIF 画像を同時取得する計測システムを用いて測定を繰り返したが、どうやっても位置が微妙にずれてしまう。

沈黙考... 視野領域の較正は勿論、カメラの pixel を対応付けるマッピング関数、ND フィルタによる散乱・蛍光強度バランスの調整、波長選択のための光学フィルタ、CCD 感度問題なし。しかしまだうまくいかない。閉塞感漂うある日、原因がレーザシート送光系の色収差によることに気がついた。早速円筒レンズではなく円筒ミラーを用いた光学系(図5)を構築し検証を行ったところ干渉画像と LIF 画像が見事に一致した。レンズ系は扱いが容易である反面、色収差が生じる。一方ミラー送光系なら扱いが難しいが色収差を生じない。撮影光学系に気をとられ問題が受光側ではなく送光側にあることを突き止めるまでかなりの遠回りをしたが、結果的に細かな問題点まで洗い出し質の高い計測データを得ることができるようになった。

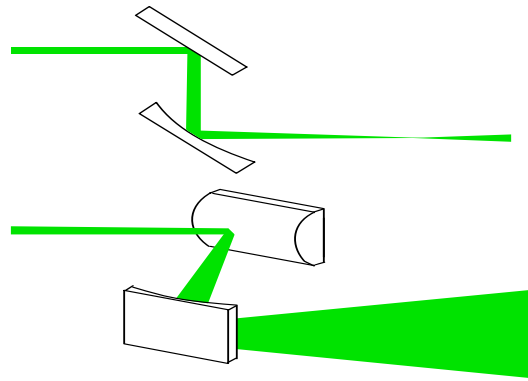


図5 円筒面ミラーによるレーザシート送光系。

4. おわりに

過去の論文をもとに再現実験を行おうとすると同じデータが得られる場合もあるがうまくいかない場合も多い。研究における新たな発想や独自の工夫、さらには将来への展開は実際の試行錯誤のなかから見えてくるものである事を改めて肝に銘じたい。

参考文献

- [1] K.Kobashi, K.Hishida and M.Maeda *Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics* ed R J Adrian et al (Berlin: Springer) pp 268–87, 1990
- [2] M.Maeda, T.Kawaguchi and K.Hishida, *Meas. Sci. Technol.*, **11**, pp.L13–L18, 2000
- [3] T.Kawaguchi, Y.Akasaka and M.Maeda, *Meas. Sci. Technol.*, **13**, pp.308–316, 2002
- [4] M.Maeda, Y.Akasaka, T.Kawaguchi, *Exp in Fluids*, **33**, pp.125–134, 2002
- [5] T.Kawaguchi, T.Kobayashi, K.Hishida and M.Maeda, *Laser Techniques for Fluid Mechanics*, Springer-Verlag, pp.209–220, 2002
- [6] 川口・小林・前田, 機論 (B 編), 68-666, pp.431–438, 2002
- [7] 川口・赤坂・小林・前田, 機論 (B 編), 68-666, pp.576–683, 2002
- [8] H.C.Van de Hulst and R.T.Wang *Appl. Opt.*, **30**, 33, pp.4755–4763, 1991
- [9] N.Roth, K.Anders and A.Frohn *Appl. Opt.*, **30**, pp.4960–4965, 1991
- [10] S.Yamamoto, R.Kurosawa, K.Hishida and M.Maeda, *Thermal and Science Eng.*, **9**, 4, pp.85–86, 2001
- [11] 一柳, 黒澤, 菱田, 前田, 第40回日本伝熱シンポジウム講演論文集, **1**, pp.191–192, 2003

HI-LIF を用いた液相内濃度場の計測法 *A Technique for Measuring a Concentration Field in a Liquid Using HI-LIF*

山根 岳志 (富山大学)
Takeshi YAMANE (Toyama University)

1. はじめに

多成分融液の凝固プロセスにおいて液相で発生する二重拡散対流[1]など、液相濃度分布が諸量の移動を支配する現象を実験的に解明するためには、濃度分布の正確な計測が不可欠である。しかし現状はサンプリング法やプローブ法などによって空間的、時間的に不連続なデータを採取するしか手がなく、濃度場計測技術の停滞は先のような現象の解明の上で大きな障害となっている。そこで筆者らは新規な液相濃度場計測法の構築が重要な課題と考え、温度と濃度の勾配が共存する液相の濃度場を2色のレーザーにより計測する方法、「He-Ne レーザ(赤色: 632.8nm)を用いたレーザーホログラフィー実時間干渉法(HI)」と「Ar レーザ(緑色: 514.5nm)を用いたレーザー誘起蛍光法(LIF)」とを併用した液相濃度場計測システム(HI-LIF)を提案し、実用化へ向けた検討を行っている[2]。

とは言ったものの、液相濃度場を計り得る技術が全く存在しないわけではない。筆者らが提案するHI-LIF 同様に2色のレーザーを組み合わせて行う可視化計測技術、2波長ホログラフィー法(DWHI)が例えばそうである[3]。しかし、DWHI で得られるイメージは2波長(2色)分の干渉縞が重なったものであり、そのため、解析の際にはまず各波長分へ分離作業が必要となる。また、各イメージが温度と濃度の両方に依存していること、さらには各々がお互いを劣化させることから、後のデータ処理が非常に厄介で、且つ精度が出にくい問題もある。

それに対して本HI-LIF では、HI イメージは温度と濃度に依存するものの、LIF イメージは温度に対して支配的となるため、両イメージ間でのデータ処理は単純化され、実用性は高いと予測される。

現在、HI-LIF に必要な技術の開発、細部のレベルアップを行っている段階であり、まだ実用には至っていないが、本稿ではHI-LIF の概要と基本技術を紹介させていただく。

2. HI および LIF

レーザーホログラフィー実時間干渉法(Laser Holographic Interferometry: HI)とレーザー誘起蛍光法(Laser Induced Fluorescence: LIF)は、いずれも対象物の非定常計測が可能な非接触型のレーザー可視化計測技術であり、各々が近年各種分野にて重要な役割を果たしている。HI と LIF を簡単に説明すると次の通りである。

HI は予め乾板上に記録しておいた試験槽内の基準の参照波面と実際の波面とを干渉(実時間干渉)させ内部屈折率変化に起因した位相変調を干渉縞として非定常に捉える技術である。つまり干渉縞として屈折率場が計測可能である。

一方、LIF はレーザーにて特定の分子を単一量子状態に励起させ、それらが基底準位に落ちる際に発する蛍光の強度を観測し、分子の状態量を知る技術である。流体中に蛍光が温度変化に敏感な蛍光染料を溶解し、これにレーザーシート光を入射させることによって液相の温度場が計測可能となる[4]。

3. HI-LIF の概要とシステムの構成

3.1 HI-LIF の概要

筆者らが提案する温度・濃度勾配共存下の液相を測定対象としたHI-LIF は、従来別個に使用される「干渉縞から屈折率場を計測するHI」と「レーザー励起された物質が発する蛍光の温度依存性を利用して温度場を計測するLIF」を組み合わせたものである。2手法を併用し液相の屈折率場と温度場を同時計測する意味は大きく、これにより水溶液の屈折率と温度・濃度との関係から、両情報より一般に計測困難とされる液相濃度場を間接的にはあるが割り出し可能となる。すなわち、HI-LIF は屈折率場、温度場、濃度場の定量データを一回の実験結果より、しかもそれらを非定常で、且つ非接触で同時取得できるシステムである。

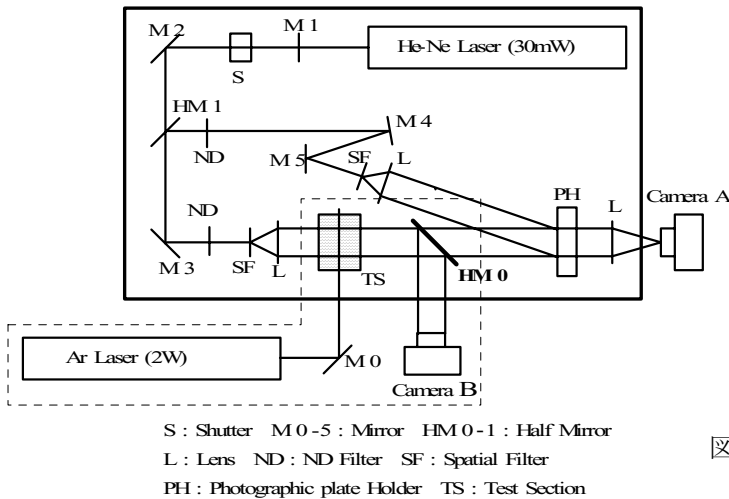


図1 HI-LIF 光学系

HI-LIF 光学系を図1に示す。光源は He-Ne レーザ(波長 632.8nm, 出力 30mW), および Ar レーザ(波長 514.5nm, 総合出力 2W)である。HI-LIF 光学系には HI, LIF の両イメージが時間的に一致して得られるよう両光学系が共存している。ここで、HI イメージは乾板(PH)を通して初めて取得できるが、LIF イメージは乾板越しでは取得できず、固定した一台のデジタルビデオカメラ(Camera A)にての両イメージの撮影は不可能である。そこで、本光学系では、試験部(TS)を透過したHIの物体光とLIFイメージが乾板に到達する前に、それら光学情報をハーフミラー(HM0)にて2つに分け、透過成分のみで干渉縞を作成、これを(Camera Aにて)撮影し、反射成分はLIFイメージとして(Camera Bにて)撮影できるようになっている。

なお、物体光の波長(632.8nm)とLIF蛍光のピーク波長(約600nm)が近いことからLIFイメージへの影響を考慮し、試験部に照射するレーザー光を計測時に切り替えることとしているが、タイムラグ無しで屈折率場と温度場の計測ができるため、十分に目的を果たすと考える。

また、光学情報の解析は特別の光学用システムを用いず、パソコン上の画像処理ソフトにて行うことで、計測の簡便化、低コスト化を図っている。

4. HI-LIFには更に何が必要か

HI-LIFを構成する主な光学装置、測定系は上に述べた通りである。以下にはその他に必要なノウハウの要点を記す。

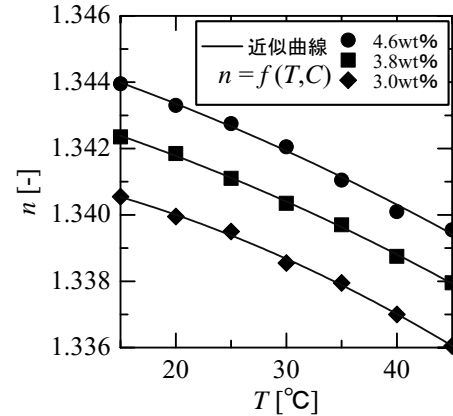


図2 Na₂CO₃水溶液の屈折率と温度・濃度の関係

4.1 水溶液の屈折率と温度・濃度の関係式

HI, LIFのそれぞれについて、対象系に合致した確立された実験・イメージ定量化技術(詳細は後述する)があって初めてHI-LIFは形となる。しかし前述の通り、HIとLIFの併用に重要な意味を与えるもの、つまり濃度場の間接的計測を成り立たせる事実は、「水溶液の屈折率はその温度と濃度の関数として決まること」である。したがって、予めその関係は定式化しておかなくてはならない。ただし、HIイメージの定量化の際も同関係が必要である。

図2に例としてNa₂CO₃水溶液の屈折率と温度・濃度の関係を示す。測定にはアッペの屈折率計(ATAGO MODEL 1T)を使用している。図の通り、ある温度と濃度に対して一意で屈折率が決まることがいえる。ここで、図2の結果はあくまでも屈折率計におけるNa-D線(589.3nm)に対するものであり、本研究で問題とするHe-Neレーザー(632.8nm)に対する値とは厳密に一致しないことが指摘されるところである。しかし伊藤および後藤[5]と同様の検討にて、ここで得られる屈折率の式(図2実線)はHe-Neレーザーを利用する定量計測においてもそのまま適用可能なことが確認できている。なお、Na₂CO₃水溶液の屈折率をNa-D線とHe-Neレーザーとで比べた場合の差は0.12%以内であり、後述の温度・濃度変化率はほぼ一致する。

4.2 ハーフミラーの選択

また、HI-LIFにハーフミラー(図1, HM0)は欠かせない。ハーフミラーには用途に合わせて、コーティング膜の仕様、反射・透過光学特性等に様々な種類が選ばれるが、ここで最も適当なものはLIF実験

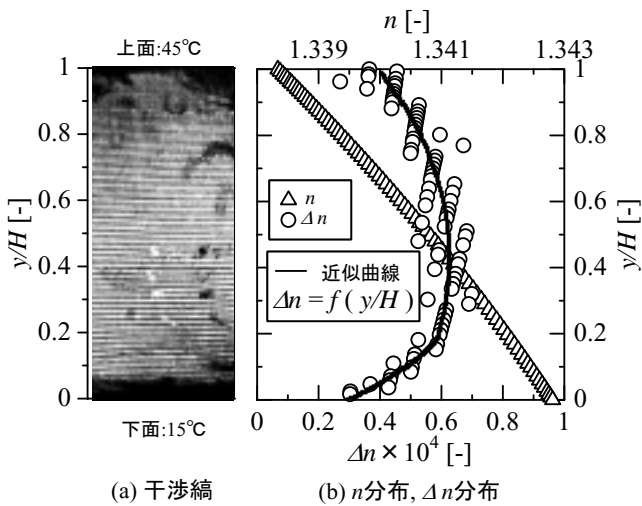


図3 安定温度成層場の干渉縞と n , Δn 分布

の性質から、誘電体コーティングしたもので、反射・透過率の波長依存性が少なく、それが 50:50 に近いものであると認識している。

4.3 HI の技術—HI イメージの定量化方法—

干渉縞は屈折率の等値線と一致するため、イメージの定量化の際には、まず各縞に屈折率を与えなくてはならない。ごく簡単な理論を考えると、光に対して直角方向に屈折率勾配が存在する物体内部では、光の波長 λ 、透過距離 L とすると、HI で得られる干渉縞の縞間隔 δ 、さらに縞一本あたりの屈折率変化 Δn は次となる[2]。

$$\delta = \frac{\lambda}{L \frac{dn}{dx}}, \quad \Delta n \left(= \delta \frac{dn}{dx} \right) = \frac{\lambda}{L} \quad (1)$$

ここで、屈折率が温度と濃度の関数であるとき、

$$\frac{dn}{dx} = \frac{\partial n}{\partial T} \frac{dT}{dx} + \frac{\partial n}{\partial C} \frac{dC}{dx} \quad (2)$$

となる。ここで $\partial n / \partial T$ 、 $\partial n / \partial C$ は屈折率の温度変化率、および濃度変化率である。(1)式より、レーザー光の透過距離(装置の光透過方向深さ)が固定されるとき、理想的には縞間の Δn は系の温度・濃度状態に関係なく一定値を取ることがいえる。ここで、計測対象が矩形容器内の流体である場合、例えば、均一濃度(3.8wt%)の Na_2CO_3 水溶液を上加熱(45°C)、下冷却(15°C)した安定温度成層場で得られる干渉縞(図3 a)は等温線と一致し、先の屈折率の式より直ちに各縞の屈折率がわかる。これによると理論とは異なり、垂直方向の縞間隔(Δn の分布)は一樣とはならず、

上下壁面に近いほどそれは小さな値を取る(図3 b)。この原因は壁面で不可避な光の反射により縞位置が付加的にシフトすることであり、また、撮影時のカメラレンズの焦点位置によってもシフト量が変わるものと考えられる。そのため筆者らはこれを、実験を改めるごとに補償が必要な装置的特性として捉えることとし、 Δn の分布状態を垂直高さの関数として定式化(図3b 実線)しておく方法を採用している。

HI イメージの定量化手順は次のようになる。定量化にはまず基準となる値が必要となるため、一点の温度と濃度を実測、あるいは仮定し、先の屈折率の式を用いて同箇所の屈折率を決定する。それができたならば、そこを出発点に干渉縞分布から Δn 分布の式に基づいて全ての縞の屈折率が求まる。縞間の値は内挿する。

以上は物体光路上にハーフミラー(図2, HM0)が存在する場合も同様である。

4.4 LIF の技術

4.4.1 レーザシート光, 蛍光染料等

レーザー光は全反射ミラーにより導き、試験部手前にてシリンドリカルレンズでスリット光(厚さ約 0.5mm)に変換する。なお、レーザーの伝送に光ファイバーの利用も一般的であるが、LIF に際してはシート光に空間的強度ムラが大きく生じる傾向にあったため、先述の方法を選択した。

蛍光物質にはAr レーザ(514.5nm)を吸収するとき、オレンジ色(約 600nm)に蛍光する、ローダミン B を利用した。なお、ローダミン B の溶解濃度には測定系・周辺装置等に合った最適値(0.2~1.0mg/l程度であろう)があるため、予め試験的にこれを決めておく必要がある。

イメージの撮影は蛍光のみを捉える目的で色フィルター(540nm 以下カット)を介して行う。

4.4.2 LIF イメージの定量化方法

筆者らは蛍光強度測定の簡便化、低コスト化を考え、イメージ中のそれを色、つまり三刺激値(RGB 輝度値)として評価する方法を検討している。

計測の対象を矩形容器内にある Na_2CO_3 水溶液の上加熱、下冷却した安定温度成層場としたとき、流体温度・濃度と R 値との関係は図4である。なお、先述の通り、2次元計測を実現するレーザーシート光の空間的強度分布は一樣であることが理想であるが、ムラの発生が不可避であるため、LIF イメージの解

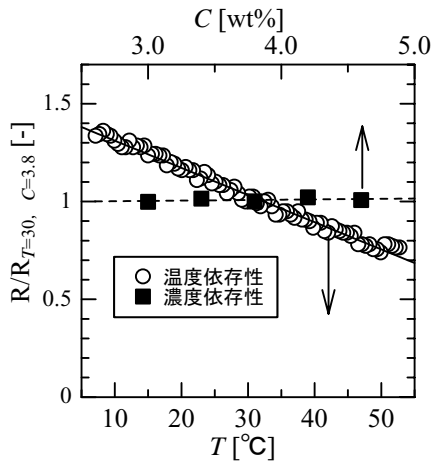
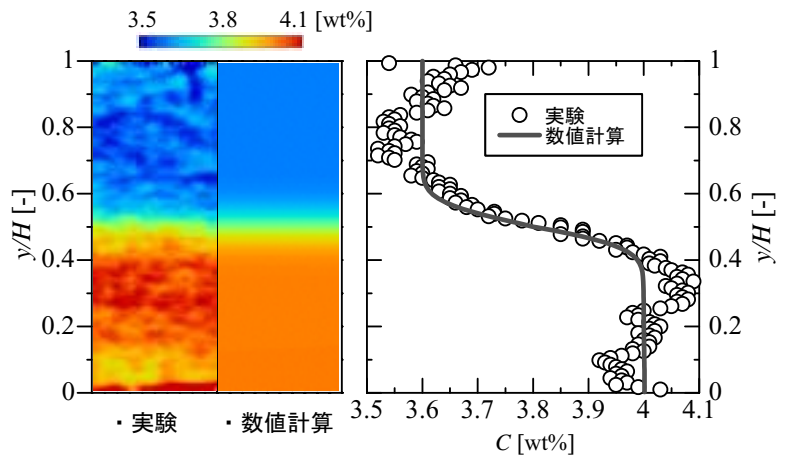


図4 R 値の温度・濃度依存性



(a) 濃度場比較図 (b) 垂直断面濃度分布比較図

図5 HI-LIF での濃度場計測結果

析には均一温度でのイメージを参照し、ムラ除去したものを使用している。図の横軸は水溶液の温度と濃度であり、横軸はイメージ中の R 値を標準値で正規化したものである。○プロットは R 値の温度依存性を、■プロットは濃度依存性を示している。高温で低輝度、低温で高輝度となること、また高温-低温間で輝度変化は直線的となること（○）がわかる。また、水溶液濃度の影響は無い（■）こともいえる。これより R 値を流体温度の示温量とできることがわかる。

ただし、カメラにより捉えられたイメージの輝度値はカメラやレンズの分光特性や、電圧を輝度値に変換する際のカメラの設定、環境の明るさによって変化する相対値であり、測定系、測定環境によって異なるものと考えられる。したがって、基準温度に対する参照 R 値を複数箇所（最低 2 箇所）で調べる必要があるが、それにより図 4 の関係を利用してイメージ全体の温度場が求まる。

以上のことはハーフミラー（図 1, HM0）にて反射したイメージを対象とした場合も同様である。

5. HI-LIF による濃度場計測結果の例

試験槽内流体の屈折率場と温度場が計測できたならば、先の屈折率の式を用いて 2 情報より濃度場は機械的に算出できる。濃度場計測結果の例を数値計算結果と共に図 5 に示す。これは安定温度成層場において発達過程にある濃度拡散層のある瞬間を捉えたものである。図 5a は濃度場を、図 5b は断面の濃度分布を示す。本来、上下層で濃度均一となるべきところ、計測結果にはムラ存在した（図 5a）が、濃度

の値としてはまずまず妥当であり、変化の大きな濃度拡散層部が良好に再現できた（図 5b）。誤差は数値にして約 5%であった。この誤差の主因は LIF による温度場計測の精度不足にあることが判明しており、LIF の計測技術をレベルアップすれば十分解決可能であると考えられる。これが目下の検討事項である。

6. おわりに

本稿では筆者らが提案する 2 色のレーザにより液相濃度場を計測する HI-LIF について概要を紹介致しました。実用化にはまだまだ検討すべき事項が残されている未完の技術を記事とすることに申し訳ない気持ちもありましたが、早期実用化を目指す上での強い良い刺激となりました。このような機会を与えていただいたことに感謝致します。

参考文献

- [1] Ostrach, S, *ASME J. Fluid Eng.*, **101** (1983) 5.
- [2] 山根岳志, 吉田正道, 宮下尚, 化学工学論文集, **28-1** (2002) 49.
- [3] 対馬昇, 鳴海明, 中根一郎, 柏木孝夫, 第 35 回伝熱シンポジウム講演論文集, **III** (1998) 877.
- [4] 榊原潤, 菱田公一, 前田昌信, *Thermal Science & Engineering*, **2-4** (1994) 1.
- [5] 伊藤昭彦, 後藤昭和, 日本機械学会論文集 B 編, **60-567** (1994) 2875.

高時間・空間分解能時系列 PIV の開発 High-Temporal and Spatial Resolution Time-Series PIV

店橋 護 (東京工業大学), 崔 敬民 (航空宇宙技術研究所)
福里 克彦 (西華産業), 宮内 敏雄 (東京工業大学)

Mamoru TANAHASHI (Tokyo Institute of Technology), Gyung-Min CHOI (National Aerospace Laboratory)
Katsuhiko FUKUZATO (Seika Corporation), Toshio MIYAUCHI (Tokyo Institute of Technology)

1. はじめに

流体速度の計測法としては、最も古典的な熱線流速計から LDV, 超音波流速計, 粒子画像流速計 (PIV) 等が開発されており, 用途に応じて最適な方法が比較的簡単に利用できる時代である。しかし, 完全な三次元空間内の三成分速度の時系列計測法は現在でも存在せず, 既存の計測法は長所短所を併せ持っている。ここでは, 構想から 6 年近くの歳月をかけて開発した高時間・空間分解能時系列 PIV の紹介を行う。この時系列 PIV システムは数百 Hz から数十 kHz の範囲で二次元平面内の二成分あるいは三成分速度の計測が可能である。

2. 直接数値計算からレーザ計測へ

現在, 乱流の直接数値計算(DNS)は極めて一般的な乱流研究ツールであり, ここで改めて説明する必要はないであろう。15 年前, 当時のスーパーコンピュータでは 64^3 程度の格子点を用いた DNS が精一杯であり, 実験室レベルで計測対象とされるレイノルズ数には到底及ばない極めて低レイノルズ数の流れを扱うに過ぎなかった。しかし, 現在では 1000^3 を越える格子点を用いた DNS が可能となっており, 流れ場によっては通常の実験装置や速度計測法では計測が困難なレイノルズ数まで詳細な計算が可能となっている。このような詳細な DNS は, 単に高レイノルズ数の速度場を我々に与えるだけでなく, これまでわからなかった現象や構造に関する重要な知見を与えている。

著者らは乱流に関する多くの現象の中で, 最も小さな渦に注目した(1)。渦のサイズは乱流の最小スケールであるコルモゴロフ・スケールの約 10 倍程度, 回転速度は当時のデータで乱流強度程度である。色々な特性がわかってくると「実験的に計測したい」という欲求が生じるのは必然である。そこで, 自ら計測装置を開発することにした。速度計測法を調査した結果, PIV が最も可能性があ

るとの結論に至った。開発目標の PIV システムに要求した性能は次の通りである。

- ・ 画像取得装置の解像度は, 最低でも 512×512 pixels であり, 可能ならば 1024×1024 pixels 以上が必要。
- ・ 数百 Hz~数 kHz までの時間分解能
- ・ 高速流あるいは高レイノルズ数流れに適用可能とすためストラドリングの採用

本システムが構想から完成まで 6 年近くの歳月を要した理由は, 上述の要求を満たす要素機器を探す必要があったためである。開発開始当時の PIV の一般的な構成は, 画像取得に 1024×1024 pixels で 30 frames/s の CCD カメラが, 光源には 30Hz 程度の PIV 用ダブルパルスレーザが採用されていた。そのため, PIV の時間分解能も 30Hz 程度であった。

3. 時系列 PIV システムの概要

3.1 システムの概要

図 1 は, 開発した時系列 PIV 計測システムの概略図を示している(2-4)。計測システムは, 2 台の高周波数 Nd:YAG レーザ, 光学系, CMOS カメラ (Vision Research, Phantom V5.0 or V7.0) 及びパルスジェネレータ (LabSmith, LC880) から構成されている。2 台のレーザからの出力は, レーザビーム合成光学系を介してダブルパルス化され, レーザシート生成光学系によってシート状に引き延ばされた後, 計測領域を照射する。トレーサー粒子による散乱光は, 1024×1024 pixels で 1000frames/s (512×512 pixels では 3700frames/s), あるいは 800×600 pixels で 4800frames/s (512×512 pixels では 8300 frames/s) の撮影が可能な CMOS カメラによって撮影され, PC に取り込まれる。カメラを 2 台用意すれば, ステレオスコピック PIV となり, 速度三成分の計測が可能である。この構成は, 従来の PIV システムと何ら変化が無いように見えるが, 個々

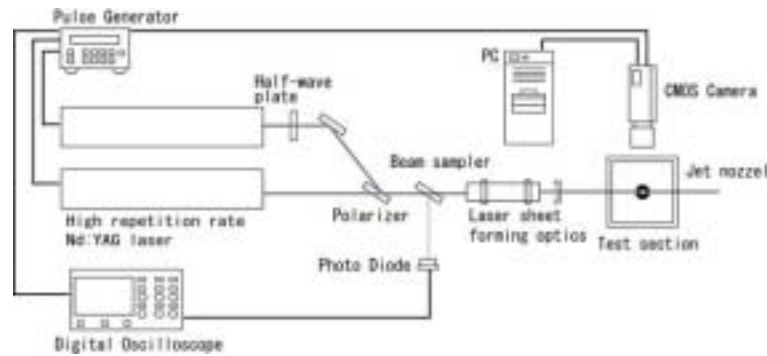


図1 高時間・空間分解能時系列PIVシステムの概略

の要素機器の性能は全く異なっている。

3.2 レーザの選定

従来のPIVで用いられるYAGレーザーの周波数は高々数十Hzで、PIV用ダブルパルスレーザーとして数社から販売されており、比較的安価に入手可能である。しかし、著者らが要求した性能は数kHz以上の高周波数で十分なパワーを有するパルスレーザーであった。メーカー数社を調べた結果、熱流体分野ではあまり利用されないが、工業加工用として要求を満たすレーザーが存在した。本システムで採用した工業加工用の高出力・高繰り返し周波数Nd:YAGレーザーは、繰り返し周波数10kHzで最大平均出力50Wである。

このレーザーはシングルキャビティのシングルパルスレーザーであるため、同じレーザーを2台用意し、1/2波長板とポライザーを用いてそれぞれのレーザー光を同一光軸上に合成してダブルパルス化を行っている(図2)。この作業は市販のPIV用ダブルパルスレーザーの多くでは内部で行われており、ユーザーが行う必要は全くない。光軸調整の微妙な誤差は計測領域で大きな誤差となるため、慎重に行う必要がある。また、工業加工用のレーザーであるためビーム特性はそれほど良くなく、主要なビームの周囲に強度は弱いが幾つかのビームスポットが存在している。質の良いレーザーシートを計測領域で形成させるために、レーザー出口直後に口径4mmのピンホール・マスクを挿入し、不要な光を排除している。

3.3 レーザの制御

採用したYAGレーザーは、主要な用途が工業加工であるため、同期制御に関する詳細な情報についても不明確であった。最終的に、安全面からは決して好ましい方法ではないが、電源のサイドパ

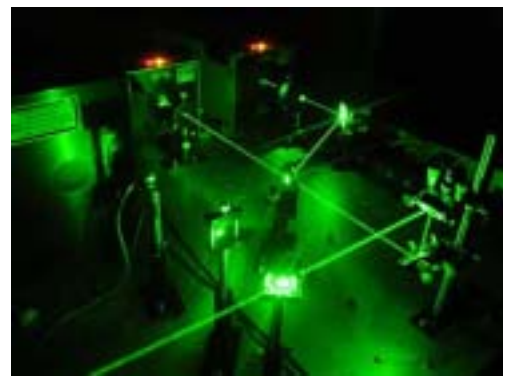


図2 レーザ合成光学系

ネルを取り外し、内部にひっそりと取り付けられている通常は使用されていない外部コントロール端子を用いてレーザー2台の同期制御を行っている。

次に、2台のレーザーのパワーバランスを取る必要がある。市販のPIV用レーザーでは、連続するレーザーパルスのパワーバランスはある程度調整されている。PIVでは、連続する粒子画像の相関から速度を算出するため、必ずしも連続するレーザー光の強度を完全に一致させる必要はないが、それにも限度がある。そこで、各レーザーの発振特性を詳細に調べる必要があった。図3は2台のレーザーそれぞれに対するレーザーダイオード駆動電流とレーザーパルスのエネルギー密度の関係を示している。これらの情報についても詳細なデータはメーカーから与えられておらず、図3は研究室での実測データである。ダイオード駆動電流が一定の場合、周波数が低くなるにつれてエネルギー密度が増加していることがわかるが、2台のレーザーの特性は明らかに異なっている。本システムではレーザーの損傷を防ぐために、測定に用いる周波数のエネルギー密度が10kHzでの最大エネルギー密度以下になるよう

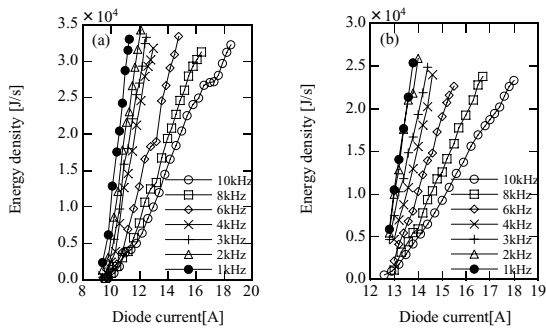


図3 ダイオード駆動電流とレーザーパルスのエネルギー密度の関係。(a) レーザ1, (b) レーザ2

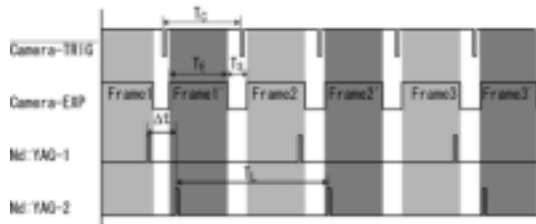


図4 タイミング・ダイアグラム

に、また、2台のレーザーのエネルギー密度がほぼ等しくなるように駆動電流を設定している。図3に示したデータは10kHzまでであるが、10kHz以上でも十分PIVに必要な光量を得ることができる。

3.4 画像取得装置の選定

開発過程で最も重要な課題であったのは画像取得装置の選定であった。開発開始当時には CCDカメラを用いたデジタルPIVが主流となっており、標準的なCCDカメラは1024×1024 pixelsで30 frames/sであった。デジタルは捨ててアナログへ戻ることも検討した。例えば、当時映画「マトリックス」が話題となっていたが、映画フィルムのデジタル処理があそこまで可能ならば、昔ながらのドラム式の高速度ビデオで撮影し、ハリウッドを探せばフィルムをすべてデジタル変換をするような会社があるのではないかと経費を度外視して検討したが、ドラム式の高速度ビデオにトリガーをかけられないことで話は終わった。

CMOS素子の開発と進展により、デジタル高速度カメラもその頃変革期にあった。本システムで採用しているPhantomシリーズを例にすると、1999年に512×512pixelsで1000 frames/sのV.4.1が発売され、2000年には1024×1024pixelsで1000 frames/sのV.5.0が発表される予定であった。そのような状況から、本システムではCMOSカメラを

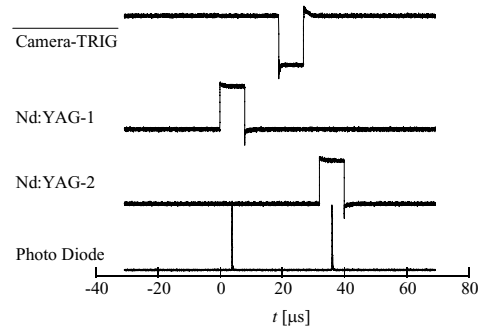


図5 CMOSカメラ, Nd:YAGレーザーのトリガー信号及びフォトダイオードの出力信号

画像取得装置として採用することとした。CMOSカメラは高速度ビデオとしての実績はあったが、レーザーなどの他の装置との完全な同期制御に関しては未知であり、多少のノウハウを蓄積する必要があった。

3.5 PIVシステムの同期制御

本システムでは、同期制御の実績のない高周波数YAGレーザー2台と高速度CMOSカメラ1台ないしは2台をμsのオーダーで同期制御している。図4はCMOSカメラとYAGレーザーのトリガ信号及びカメラの露光タイミングのダイアグラムを示している。それぞれのレーザーからのパルス光を連続するフレームを挟むように同期制御するシンプルなダイアグラムである。通常用いられるファンクションジェネレータとディレイジェネレータを数台組み合わせる方法も試みたが、結局8チャンネルのパルスジェネレータ(LabSmith社製LC880)を採用することで完全な制御が可能となった。

本システムでは、光路上にレーザーパルスを検出するためのフォトダイオードが設置されており、カメラの露光情報と共に制御状態をモニターできる。図5は、カメラを3800frames/s、レーザー発振周波数を1.9kHz、パルス間隔を32μsとした場合のトリガー信号とフォトダイオード出力を示している。ここで、採用したCMOSカメラはトリガ信号の立ち下がりより3μs後に露光を開始する。カメラのフレーム間にはデータ格納用の待ち時間が存在するため、連続する画像の時間間隔はこの待ち時間により制約される。本システムの最小時間間隔は7μsであり、比較的高速な流れにも適用可能である。

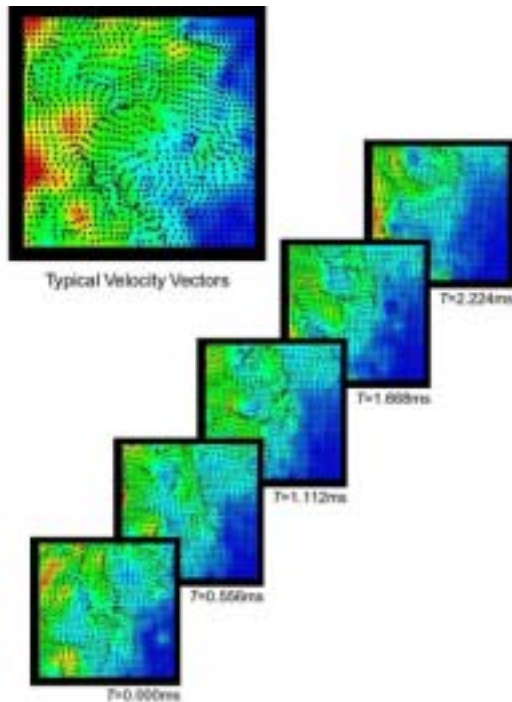


図 6 時系列 PIV による速度ベクトル(1.799kHz)

3.6 速度算出法

本システムでは、相互相関法により得られた速度ベクトルに含まれる過誤ベクトルの除去に二つの新しい方法を導入している。まず、一組の粒子画像から得られた速度ベクトルに対して、最終検査領域の空間分解能に応じた sharp cutoff フィルターを施すことにより過誤ベクトルを除去している。この方法は粒子輸送を伴う乱流の DNS 結果を用いた PIV 計測シミュレーションにより開発されたものであり、一般に用いられている周囲数点からの補間により過誤ベクトルを除去する方法よりも高精度である(5,6)。二つ目の方法は時系列 PIV の特徴を利用したものであり、空間情報から上述の方法で過誤ベクトルを除去した後に、時間情報を用いて時間的な sharp cutoff フィルターを各速度定義点において施すことでさらに過誤ベクトルを除去している(7)。

3.7 安全対策

採用したレーザ 1 台の最大出力が 50W であるため、実験は極めて危険である。そこで、50W 以上のレーザに耐えられるビームダンパーを特別に作成し、計測領域背後でレーザ光を吸収させている。

3.8 計測例

図 6 は乱流噴流における 1.799kHz での計測結

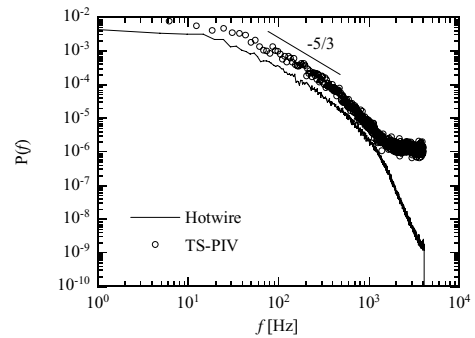


図 7 時系列 PIV によるパワースペクトル(8kHz)

果を示している(2,4)。乱流運動の時間的な変化を明確に捕らえられている。図 7 は 8kHz の時系列 PIV 計測で得られたパワースペクトルを示しているが(4)、熱線流速計と比べてそんな色ない時間分解能が得られている。ただし、時系列 PIV ではこのような情報が数百点以上の位置で同時に計測可能であり、従来とは異なる研究アプローチを生み出すかも知れない。

4. まとめ

ここで紹介した高時間・空間分解能時系列 PIV は未だ発展途上の段階にあり、現在では最高で 26.7kHz での計測が可能となっている。詳細は何処かで報告するが、これは従来の PIV に比べて時間分解能が 3 桁上がったことになる。このような計測法の進展により、新たな研究や開発が行われれば幸いである。

参考文献

- [1] Tanahashi, M. et al., *J. Turbulence*, **2** (2001), 6.
- [2] 店橋, 福地, 斎藤, 崔, 福里, 宮内, 第 40 回燃焼シンポジウム講演論文集 (2002) 131.
- [3] 店橋, 福地, 崔, 福里, 宮内, 第 40 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 3 (2003), 809.
- [4] Tanahashi, M. et al., *Turbulent Heat and Mass Transfer 4*, Begell House, Inc, (2003) in press.
- [5] 店橋, 福島, 宮内, 第 34 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, **2** (1997) 357.
- [6] Tanahashi, M. et al., *Engineering Turbulence Modeling and Measurements - 5*, Elsevier (2002) 525-534.
- [7] 店橋, 福地, 福里, 宮内, 2002 年度熱工学講演会講演論文集 (2002) 121.

レーザーフォーカス変位計を用いたマイクロチャンネル内液膜界面測定システム

Measuring System for Liquid Film Interface in Microchannels Using Laser Focus Displacement Meter

波津久 達也, 賞雅 寛而 (東京商船大学)

Tatsuya HAZUKU and Tomoji TAKAMASA (Tokyo University of Mercantile Marine)

1. はじめに

近年, 核融合炉ダイバイターおよび高出力電子機器の冷却等に関連して, マイクロチャンネル内の気液二相流研究が活発に行われている。これまで, 多くの実験的研究により, マイクロチャンネル内の流動様式, 気液速度, ボイド率及び圧力損失などの知見が得られてきた。ここで, 環状流及びスラグ流域における管内壁面液膜は, マイクロチャンネル内における流動および熱伝達の重要な支配因子の1つである。最近の報告によれば, マイクロチャンネル内の気液二相流動は, 薄い液膜の存在の有無により大きく影響を受けるとされている[1]。従って, マイクロチャンネル内を対象とした二相流解析モデルを高精度に構築するためには, 気液界面構造を詳細かつ高精度に捉えることが不可欠となる。流路構造が小さいほど液膜の局所変動や波の挙動をより厳密に評価する必要があるが, どこまでこれらの諸物理値を微視的に扱えるかという問題は, 計測機器性能に依存するところが大きい。液膜の流動特性を評価するため, これまでにレーザーを用いた可視化技術, また電気抵抗法及び静電容量法などの電気的手法や, 超音波計測法などが用いられてきた。これらの手法は各測定対象に応じた優位点をそれぞれに有しているが, 流れに付加的な擾乱を与える, 空間精度を低下させるなど, マイクロチャンネル内のようなよりマイクロな流動を対象とする場合には, いくつかの問題がある。従って, 優れた時間・空間分解能を有し, かつ, 非接触による詳細で精緻な測定を可能にする測定手法の開発が, マイクロチャンネルを対象とした二相流研究において重要な課題であると言える。

ここでは, レーザーフォーカス変位計(Laser Focus Displacement Meter, LFD: 以下LFDという)とFEP管を用いたマイクロチャンネル内の液膜界面構造の高精度計測システムの開発について, その測定システムによる誤差を理論的, 実験的に検証した結果と, 0.5 mm, 1.0 mm 円管内に形成する水-空気系気液

二相流を対象にした界面変位の測定例を紹介する。

2. FEP管内液膜測定システムと誤差評価

Fig.1にLFDの測定原理の概念を示す。LFDから対象物の変位は, 音叉により往復運動する対物レンズを通過するレーザーが, 対象物上で焦点を結ぶ時の対物レンズの位置を検知することにより決定される。LFDの対象物上の焦点のスポット径は $2\ \mu\text{m}$ であるため, 空間分解能が $0.1\ \mu\text{m}$ と非常に高い。LFDの時間分解能は音叉の周波数(最小1.4 kHz)に依存するが, 測定誤差を少なくするために2回の測定値の平均値を出力値としており, したがってサンプリング周期は $0.7\text{--}1\ \text{kHz}$ になる。賞雅らは, このLFDを用いた新しい液膜測定手法を開発し, 実際の鉛直壁面及び円管内壁面を流下する液膜の計測に適用してその有効性を明らかにした[2-4]。しかしながら, LFDで透明管内壁面に形成する液膜を測定する場合, 透明壁と液膜界面からのレーザー反射光が互いに干渉することによ

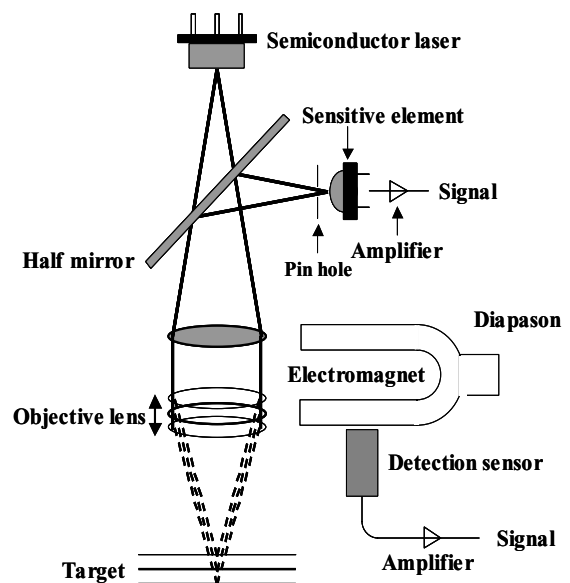


Fig.1 Principle of laser focus displacement meter

り、実際には 20–50 μm より薄い膜厚さは測定できない(Fig.2). この LFD の測定限界は、液膜の界面形状と透明壁の屈折率に依存する. 本研究で提唱するマイクロチャンネル内液膜測定システムの測定部は、Fig.3 に示すように FEP 管 (Fluorinated Ethylene Propylene tube, 株式会社イワセ, EXLON Series) とアクリル製の Water box からなる. FEP 管と水の屈折率はそれぞれ 1.34 及び 1.33 であるので、管内壁面からの反射信号が除去されて液膜界面からの信号のみを入手できる. また Water box を用いることにより、管断面方向の曲率の違いから生じるレーザー光の焦点ひずみによる検出不可の問題も回避される. このシステムを用いることにより、管内外表面における屈折の影響はほとんど無視できるが、1 μm 以下の非常に薄い液膜を議論する場合には厳密な補正が必要となる. そこで Fig.3 に示すように、アクリル製 Water box と FEP 管内を通過するレーザー光の光路を、屈折の法則を用いて理論的に評価した. この図において、X 軸は接線方向を、Y 軸は円錐照射レーザーの光軸を、Z 軸は管軸方向をそれぞれ表している. FEP 管内に水がない状態において LFD により測定される Water box 内壁—管内壁間の値が δ_p であるとする、FEP 管内の液膜の理論的厚さ δ_f は測定変位 δ_m に対して次式のように表される.

$$\delta_f = C_r \delta_m - \delta_p \quad (1)$$

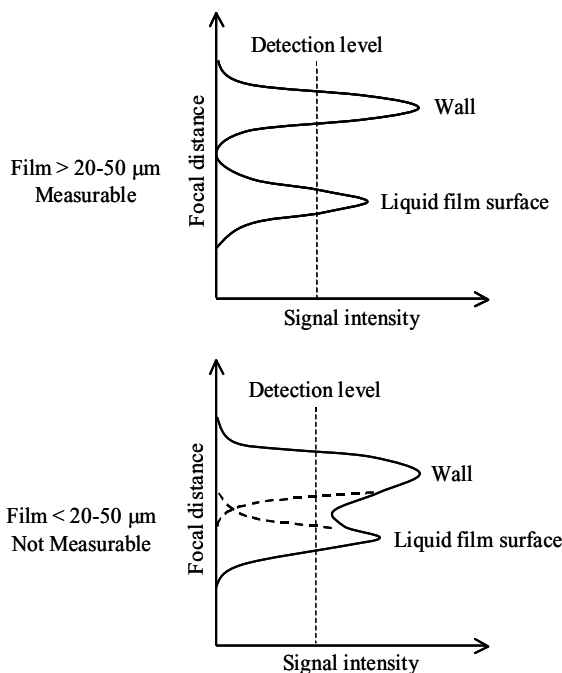


Fig.2 Signal disturbance in thin film measurement

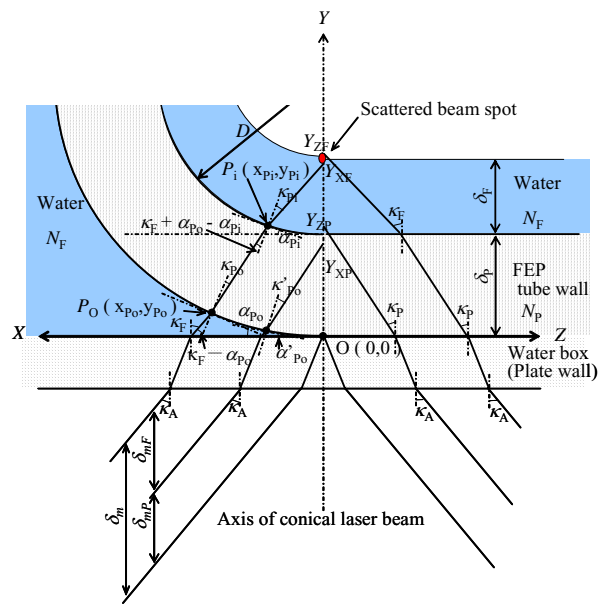


Fig.3 Laser beam paths in LFD measurement

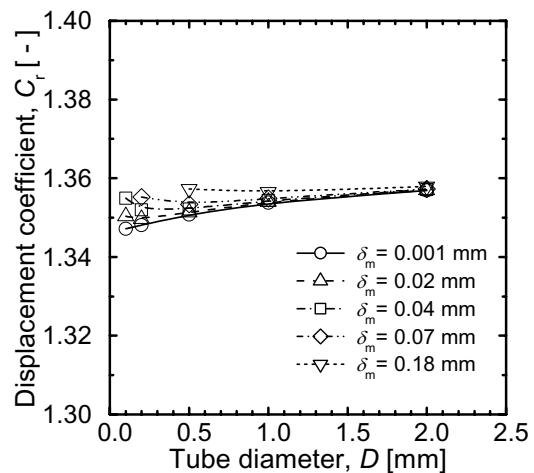


Fig.4 Calculated displacement coefficient for Eq. (1)

ここで C_r は、光路計算から導かれる変位係数であり、管内径、肉厚および液膜厚さの関数となる[5]. Fig.4 は、管内径および液膜厚さに対する変位係数の変化の関係を示している. 例えば管内径 25 μm –2 mm, 測定膜厚さ 0.5 μm –0.18 mm に対して、この係数 C_r は 1.345–1.355 の範囲で変化する.

次に、式(1)の有効性を確認するために、Fig.5 に示すような体系を用いた予備実験を行った. 1 μm 精度で駆動されるトラバースにより、仮想液界面となる針先端—FEP 管内壁面間の距離が設定され、その設定値 δ_s と、LFD による測定値 δ_m 及び式(1)により補正された値 δ_f を比較した. Fig.6 に示されるように、 δ_s と δ_f は、1–500 μm の範囲において 5 % 以内で一致することが確認された.

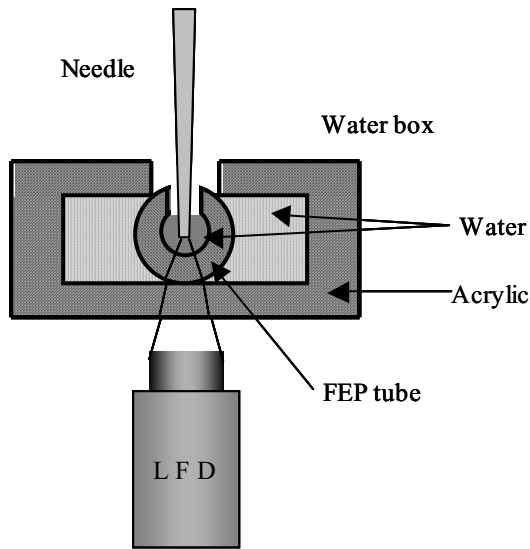


Fig. 5 Apparatus for preliminary test of refraction error

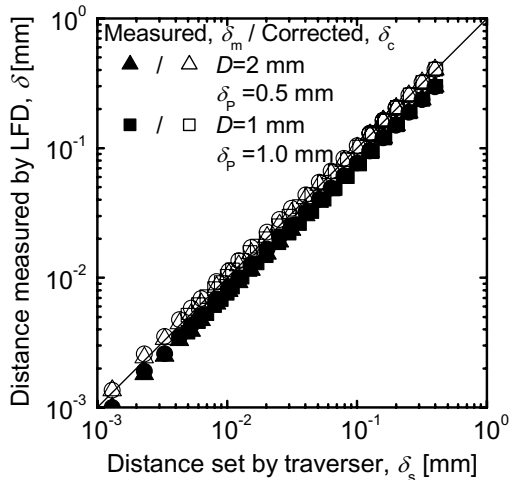


Fig. 6 Refraction error and corrected displacement

3. マイクロチャンネル内液膜流動特性の計測

次に実際の流動系における計測を行った。Fig.7 は本実験で使用した空気-水系水平管二相流ループの概略図である。気相には窒素ガスを使用し、液相には純水器により電気伝導度 $1.0 \mu\text{S/cm}$ 以下に調節された水を使用した。本実験のような極細管における流量を精度良く測定するのは困難である。本実験ではテスト管内を通過した二相流をテスト管出口において分離し、メスシリンダーにより気液両相の単位時間当たりの体積量を測定して、各実験の流量条件を整理した。実験はスラグ流および環状流を形成する領域を対象として行った。大気圧換算の気液両相の見かけ速度範囲はそれぞれ $j_{ga} = 0.44 - 22 \text{ m/s}$ と $j_{fa} = 0.070 - 1.1 \text{ m/s}$ である。テスト管には内径 $D = 1.0 \text{ mm}$ と 0.5 mm の FEP 管が用い

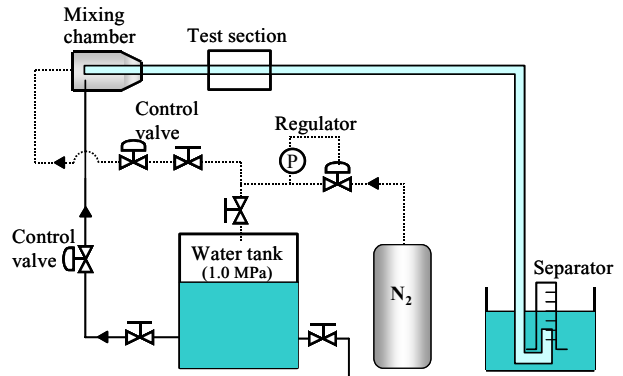


Fig.7 Apparatus for gas-liquid interface measurement in microchannel

られ、気液混合部からの距離 $z = 250 \text{ mm}$ の位置に測定部が設けられている。測定部は FEP 管の周囲に純水で満たされた Water box が設置されており、気液界面の時間変動は、Water box の外壁側から LFD により測定される。LFD より出力される電圧信号は、サンプリング周波数 1 kHz にてパーソナルコンピュータに取り込まれ、式(1)による屈折の補正がなされる。また LFD からの出力信号とトリガーにより同期された毎分 2000 コマの高速度ビデオカメラにより、管内の流動が撮影される。

マイクロチャンネル流動実験では、気液流動に及ぼすポンプないし外部擾乱による管の振動の影響は避けられない。従って、装置そのものなるべく無振動状態に近づけるとともに、テスト中のチャンネルの振動をモニターすることが必要である。この測定系ではテスト中のチャンネル振動が LFD によりモニターされ、実験条件において最大の振動が $2 \mu\text{m}$ であることが確認された。この振動の影響及び光学的電氣的誤差を確認するために、各テストの前に空気単相流を用いて、FEP 管内壁信号の擾乱を調べた。その結果、擾乱の大きさは、管内壁変位信号に対して $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 以内であることが確認された。従ってこの測定系における液膜厚さの最小測定限界は $0.25 \mu\text{m}$ であると言える。

Fig.8, 9 にそれぞれ、 0.5 mm 管内に形成するスラグ流および 1.0 mm 管内に形成する環状流の管内流動高速度ビデオ画像と気液界面変位を示す。Fig.9 において画像の番号は、LFD 信号の時間軸に示された番号と一致している。透過光で撮影されているため、図中白い部分は液相を、黒い部分は気相を示している。Fig.8 に示すスラグ流域において、LFD は

個々の気液スラグの通過状態に対して良く追従した計測を行っているが、気体スラグ前後部の界面傾斜が大きい部分では計測信号がとぎれている。これは、LFDの界面傾斜に対する測定限界(約33°)を超えたために生じたものと考えられる。一方、Fig.9に示される環状流域では、液膜の界面傾斜がほぼ20°以内であるので、連続した計測信号が得られていることがわかる。先に述べたように、着目すべき点はスラグ流および環状流域における壁面上の液膜の存在である。Fig.9において液膜がとぎれた部分は画像からは完全にドライであるように見えるが、LFDの信号によれば、壁面に厚さ1 μm以下の薄い液膜が存在し、その中に局所的に乾いた部分が存在していることが確認

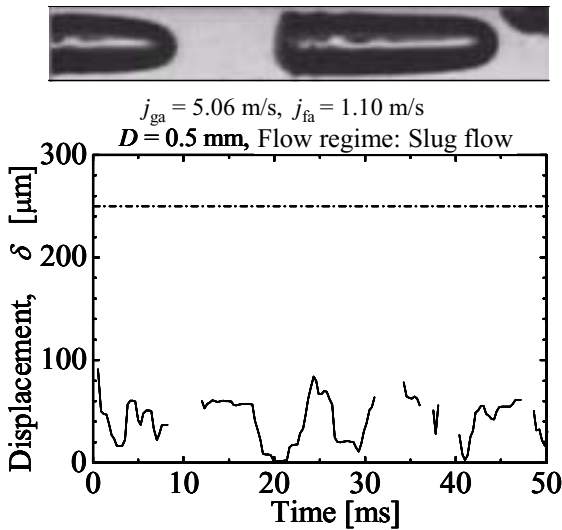


Fig.8 Transient displacement of the interface of 0.5-mm tube in slug flow

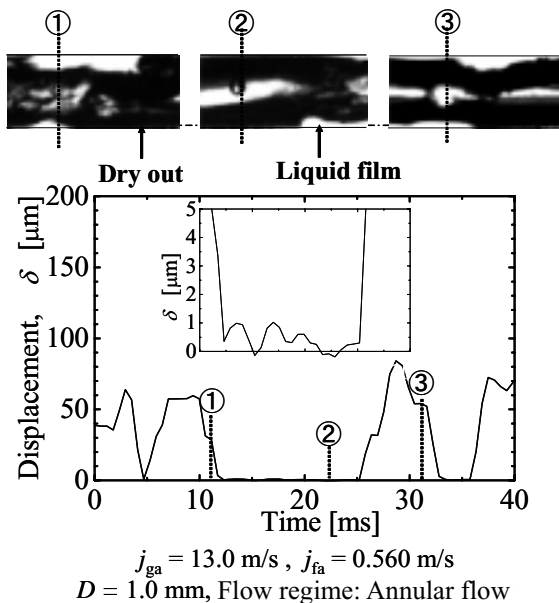


Fig.9 Transient displacement of the interface of 1-mm tube in annular flow

された。ここで、管内壁面の濡れ性の指標である液滴接触角は、水に対して、アクリル管やガラス管が50–60°であるのに対して、FEP管では80–90°である。またSerizawaら[1]の実験では管内壁面をアルカリ洗浄することにより、内壁表面条件を一定に保っているのに対し、本実験では各テストの前に清浄水による洗浄のみを行っている。従って、内壁面の汚れや濡れ性の影響について詳しく論じることはできないが、この研究で行われたように通常の内壁面条件では、1 μm以下の薄い液膜の中に部分的に乾いた壁面が存在すると言うことができるだろう。また、本測定系における液膜厚さの最小測定限界から、0.25 μm以下の液膜厚さについては論じることができないが、測定システムの振動を抑制するなどの手段により、さらに測定限界を向上することができると考えられる。

4. おわりに

以上、FEP管とLFDを用いたマイクロチャンネル内気液界面の高精度測定システムを提唱し、その有効性を確認した。LFDは測定1周期の中で壁面と界面の位置信号を読み取り、液膜界面波形を非接触で検出できることから、測定系の振動に鋭敏に影響を受けるマイクロチャンネル内の気液界面を最小限の誤差で測定できる。また、管内の流動および熱伝達特性と密接に関連するサブミクロン級の局所液膜挙動を定量的に捉えることのできるほとんど唯一の測定手法と言える。このような測定システムの発達により、マイクロチャンネル内気液二相流モデルの作成に必要なボイド率や界面面積濃度などの知見を得ることが期待される。

参考文献

- [1] Serizawa, A. et al., Experimental Thermal and Fluid Science, 26, 6-7 (2002) 703-714.
- [2] 賞雅寛而, 波津久達也, 日本機械学会論文集B編, 64-617 (1998) 128-135.
- [3] 賞雅寛而, 波津久達也, 日本機械学会論文集B編, 64-619 (1998) 775-780.
- [4] 賞雅寛而, 小林健次, 日本機械学会論文集B編, 64-628 (1998) 4023-4030.
- [5] Hazuku, T. et al., Proc. 1st Int. Conf. on Micro and Minichannels, Rochester, USA, (2003) 543-540.

気液界面変位量測定のための電子的スペckル干渉法

Electronic Speckle Pattern Interferometry for Displacement Measurement Applied to Gas-Liquid Interfaces

西野 耕一, 李 新波 (横浜国大)

Koichi NISHINO, Xinbo LI (Yokohama National University)

1. はじめに

電子的スペckル干渉法 (Electronic Speckle Pattern Interferometry, 以後 ESPI) は基本的にマイケルソン干渉計と同一原理の方法で, 物体面と参照面にレーザ光などの可干渉光を照射し, 両面からの反射光を干渉させて輝度分布を得る. それを解析することにより, 物体面の高さ, 傾斜, 奥行き方向変位量, 水平方向変位量などを求める方法である. 物体面と参照面の片方あるいは両方が粗面の場合, 干渉によってスペckルと呼ばれる不規則斑点模様が生じる. 個々のスペckルは, 撮影条件を適切に設定すれば, 電子デバイスである CCD 素子で解像することができる. これが, 電子的スペckル干渉法と呼ばれる所以である.

ESPI の特徴は, (1) 粗面の測定が可能である, (2) 市販の CCD カメラで測定可能である, (3) 従って, 計測効率が高く, 動的現象の測定に向いている, (4) 広い測定面を対象とすることができる, などである. 本稿では, 気液界面の動的変位量測定を目指して開発した ESPI について紹介する. なお, なぜ気液界面の動的変位量を測定するのか? については本稿の主題から逸れるため割愛する. 温度差駆動の表面張力対流 (マランゴニ対流) の振動流遷移メカニズムを理解する上で重要だから, とだけ述べておく.

2. 計測システム

まず, ベースとなるマイケルソン干渉計の原理を図 1 に示す. コリメートされた参照光と物体光を鏡面に照射し, それらからの反射光を干渉させる. その結果, 光路長差に対応する明暗の干渉縞が形成される. 各干渉縞は光路長差が等しい箇所を連ねたものであり, 物体面の等高線を与える. また, 物体面が運動している場合, 等高線の時間変化を解析することによって動的変位量を得ることができる.

気液界面は鏡面と見なせる. 従って, マイケルソン干渉計ではなく, なぜ ESPI を用いるのか? という素朴な疑問を持たれるであろう. その理由は, (1) ESPI は参照面の光学的要求 (位置や形状への要求) が緩い, (2) 大きな気液界面変形が存在しても計測可能である, ことにある. 図 1 のマイケルソン干渉計において, もし参照面の調整が不十分で物体面に対して相対的に傾斜していると, CCD 素子では解像できぬほど細かい干渉縞が生じてしまう. 大きな気液界面変形が存在する場合も同様で, その箇所では非常に細かい等高線が生じてしまう. これに対して, ESPI の信号キャリアであるスペckルは, そのサイズが撮影条件 (波長, F 値, 撮影倍率) のみで定まり^[1], 参照面と物体面の姿勢や, 気液界面変形の大きさには依らないため, CCD 素子でも解像できる. このことは, 測定箇所を間引いていることに相当し, それが故に CCD 素子でも解像できる, と解釈される.

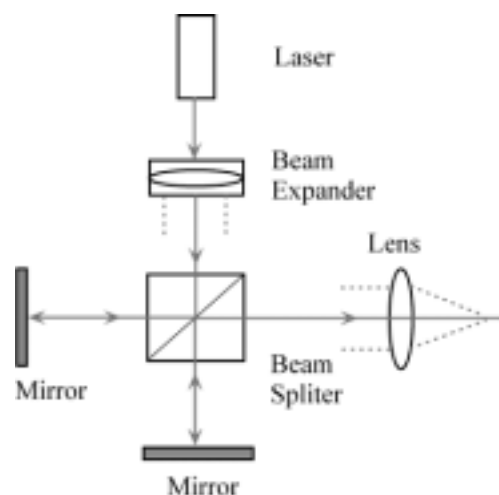


図 1 マイケルソン干渉計

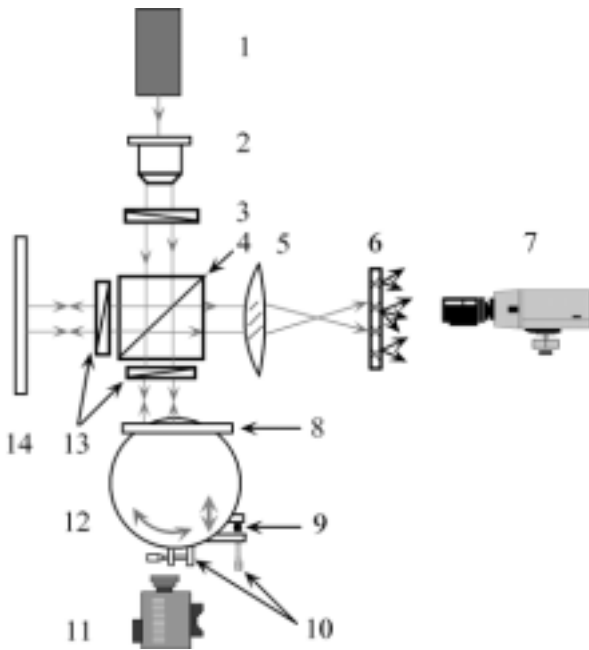
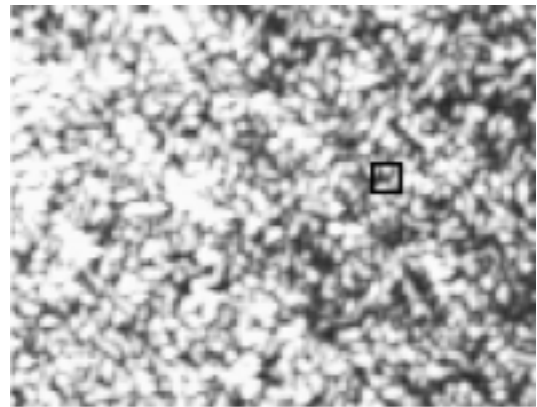


図2 気液界面変形測定用の ESPI システム

図2に著者らが構築した ESPI システムを示す。検証実験のためのもので、気液界面の代わりに鏡(#8)を移動装置に取り付けてある。スペックルを発生させるため、CCD カメラの前にすりガラスが置かれており、CCD カメラはすりガラス背面にピントが合っている。リレーレンズ(#5)は、参照面と物体面をすりガラス裏面に投影する役割を果たし、すりガラスによってランダムな位相差が反射光に付加される。光源(#1)は半導体励起の Nd:YAG レーザ(波長 532nm, 出力 50mW, 可干渉長 100m)である。偏光ビームスプリッタ(#4)で参照光と物体光とに分離する際に、1/2 波長板(#3)の回転角度を変えることによって、参照光と物体光の強度比を調整する。

図3(上部)は動の変位面について撮影されたスペックル画像である。このように、ランダムな斑点模様が得られるだけで、これからは変位量の情報は抽出できない。変位量を得るためには、(1)2 フレームのスペックル画像の減算処理によって干渉縞を得る、(2)時系列のスペックル画像を撮影して各スペックルの輝度変化を得る、のいずれかが行われる。図4に減算処理で得られた干渉縞を示す。スペックルが信号キャリアとなって干渉縞が形成されていることがわかる。当初、著者らは、このよ



An example of specklegram (100 x 120 pixels)

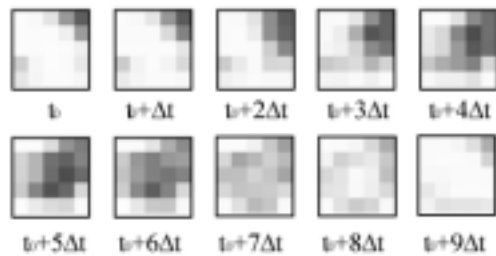


図3 動の変位面のスペックル画像(上部)と局所輝度の時間変化(下部)

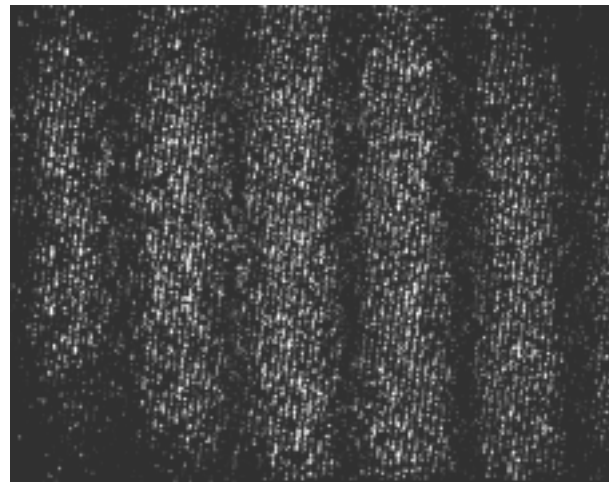


図4 減算処理による干渉縞画像(604×480画素)

うな干渉縞画像から変位量分布を求めるための縞解析を検討したが、あまり良好な結果を得ることができなかった。スペックルが縞解析におけるノイズとなること、および干渉縞の存在する位置でしか変位量が得られことなどが理由である。そこで、現在では(2)の方法を用いて気液界面の動の変位量を

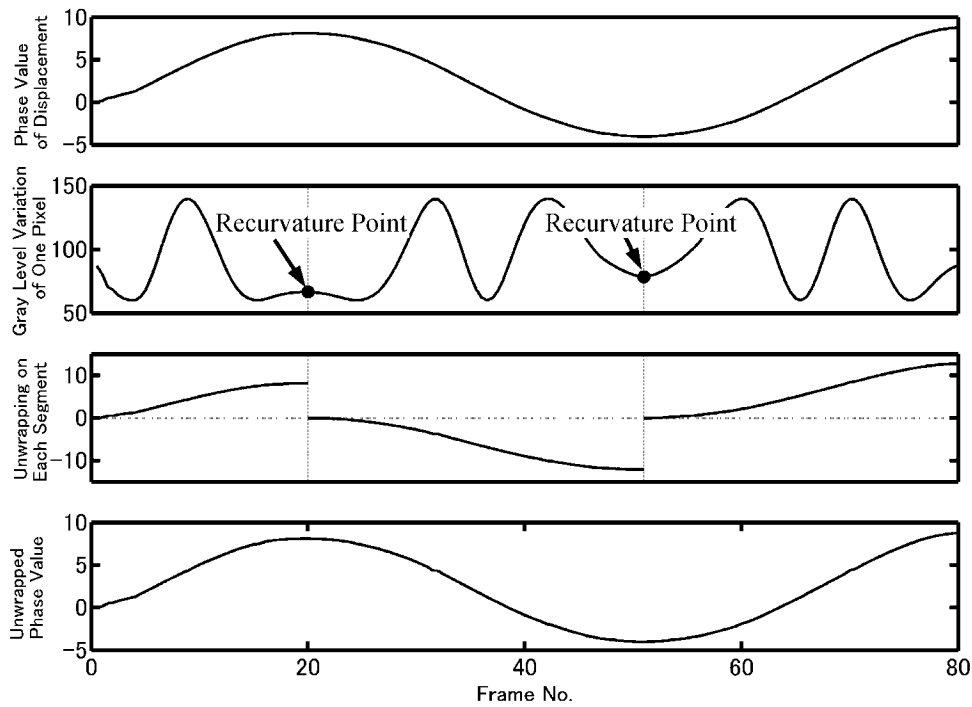


図4 往復動変位における位相再構築アルゴリズム：上から，(a) 動の変位の位相，(b) スペックル輝度の時間変化，(c) 単調変化区間で再構築された位相，(d)再構築された位相

測定している。

3. 解析方法

動の変位する場合，スペックル輝度 I は次式に従って変化する^[2]。

$$I(x, y, t) = I_b(x, y) + I_m(x, y) \cos \varphi(x, y, t) \quad (1)$$

ここで， I_b は平均輝度， I_m は輝度振幅， φ は位相であり， (x, y, t) は CCD 素子上 (x, y) の点における時刻 t を意味する。 φ は最大輝度 $I_{\max}(=I_b+I_m)$ と最小輝度 $I_{\min}(=I_b-I_m)$ から次式で定まる。

$$\varphi = \cos^{-1} \left\{ \frac{2I - I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right\} \quad (2)$$

位相変化 $\Delta\varphi$ と変位量 d とは次の関係にある。

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_0 - \vec{n}_s) \cdot \vec{d} \quad (3)$$

ここで， λ は照明光の波長， \vec{n}_0 ， \vec{n}_s ， \vec{d} はそれぞれ単位入射ベクトル，単位反射ベクトル，変位ベクトルである。図2のように入射，反射，変位が同方向の場合は，

$$\Delta\varphi = 4\pi d / \lambda \quad (4)$$

となる。ここで， d は変位量である。図3（下部）はスペックル画像中のマーク位置の輝度を $\Delta t = 1/30\text{s}$ 間隔で示したものである。この例では時間的に単調増加する動の変位が物体面に与えられている。時間とともに輝度が白→黒→白と周期変化していることがわかる。このような輝度変化から I_{\max} と I_{\min} が定まり，さらに φ が定まる。近年，周期的輝度変化を巧みに解析することにより，式(2)が抱える 2π -ambiguity を回避する位相再構築アルゴリズムが提案され，Temporal Speckle Pattern Interferometry (TSPI) と呼ばれている^[3]。

さて，気液界面の動の変位では，単調増加（減少）でなく，複雑な動の変位を示すことが多い。そのた

め、変位方向の逆転箇所（recurvature point, 以後 RP）を検出するアルゴリズムを開発した。図 4 にその考え方を示す。RP では輝度変化が極値をとり、それまでの正弦波的なものと明らかに異なる輝度変化を示す（図 4(b)）。このことを利用すると RP を自動検出することができる。人工スペックル画像を用いたコンピュータシミュレーションによれば、空間的および時間的な近接画素の輝度変化を考慮することにより、高い信頼性で RP を検出できることが示されている（その詳細は別に報告する予定である^[4]）。RP が検出されれば、単調変化区間ごとに位相再構築を行い（図 4(c)）、それらをつなぎ合わせることで位相全体の再構築が完了する（図 4(d)）。

4. 検証実験

開発した ESPI を検証するため、移動装置に取り付けた表面蒸着鏡の動的変位を測定した。移動装置のマイクロメータヘッドを非定常に加熱・放熱することによって、熱膨張を利用してマイクロオーダーの動的変位を与えた。検証データを取得するため、市販のレーザ焦点型変位計（以後、LFDM。スポットサイズ $2\mu\text{m}$ 、分解能 $0.1\mu\text{m}$ ）を用いて、鏡裏側から変位量を同時測定した。

その結果を図 5 に示す。周期 30s 程度の加熱・放熱により、全振幅 $1\mu\text{m}$ 程度の動的変位が与えられている。ESPI による結果（図中の TSPI）はレーザ焦点型変位計による結果（図中の LFDM）と良好に一致しており、グラフの滑らかさを見ると分解能ではむしろ LFDM を上回っているように見受けられる。LFDM は鏡裏面の 1 点でのデータを与えるが、ESPI は面的データを与える（この実験における有効データポイントは 110,000 点）。図 5 には有効データポイントからランダムに選ばれた 30 点のデータが示されており、それらは互いに良好に一致している。LFDM の測定結果と ESPI の測定結果（全有効データポイント）との差異の標準偏差は $0.12\mu\text{m}$ である。この値は LFDM 自身のばらつきを含む。ESPI のみのばらつきを評価すると $0.10\mu\text{m}$ である。

ESPI の測定分解能はスペックルの輝度変化の S/N 比で定まる。図 5 の測定では、輝度変化の全振幅が約 100 であったので、輝度ノイズを ± 10 と過大評価しても、測定分解能は $0.025\lambda = 0.013\mu\text{m}$ となる。

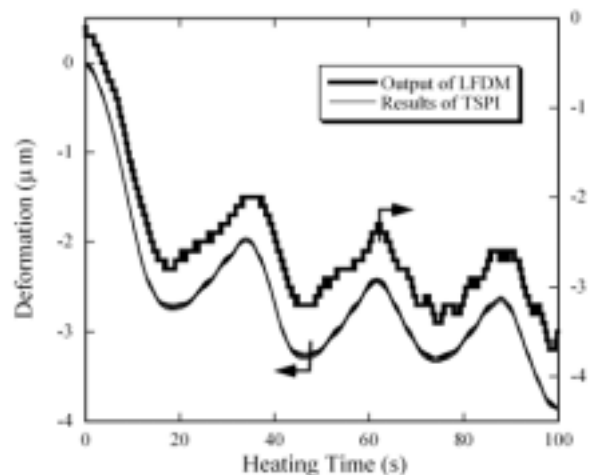


図 5 動的変位測定の検証結果

また、空間分解能は撮影範囲を概ね 50×50 分割した大きさ、時間分解能は $1/15\text{s}$ である（高速 CCD カメラの導入で容易に向上できる）。

5. おわりに

本稿では、気液界面の動的変位量測定を目指して開発した電子的スペックル干渉法を紹介した。光学的セットアップが比較的容易でありながら、 $1/40$ 波長オーダーの測定分解能が実現でき、CCD カメラを用いた時系列測定が可能であるなど、幾つかの優れた特徴を有している。気液界面のみならず、他の鏡面や粗面などの動的変位量測定に有効であると考えられる。

謝辞

本稿で紹介した ESPI は、宇宙開発事業団宇宙環境利用研究システム課題研究「マランゴニ対流のモデル化研究」の一環として開発したものである。

参考文献

- [1] Lehmann, M., in *Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques*, John Wiley & Sons (2001), 1.
- [2] Jones, R. and Wykes, C., *Holographic and Speckle Interferometry (2nd edition)*, Cambridge University Press (1989).
- [3] Li, X. and Tao, G., *Optics & Laser Technology*, **34** (2002) 259.
- [4] Li, X., Nishino, K. and Yoda, S., submitted to *Measurement Science and Technology*.

ザンビア国際会議〔HEFAT2003〕報告

Report on Zambia International Conference

宇高 義郎 (横浜国立大学)

Yoshio UTAKA (Yokohama National University)

1. Zambia Conference (HEFAT 2003)

アフリカ・ザンビアの世界3大瀑布の一つ Victoria Falls にほど近いホテルにて6/23-25に開催された国際会議の報告をする。まず、会議の正式名称からおおよそどのような会議か把握できると思う：Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (HEFAT 2003)。おそらく南アフリカ地域で唯一の熱流体分野の国際会議を開催するため、可能な限り広範な分野を含めたのであろう。開催地の稀少さに加えて、このことが本会議の特徴になっている。参加人数約120名、参加国数31であった。南ア共和国と米国からのそれぞれ約20名ずつの参加を除いて、他の国々からの参加者数はすべて一桁で世界中から薄く広く分布した。日本からは、伝熱および流体分野からそれぞれ3名の計6名が参加した。

講演内容を表1にまとめた。表中の Sessions は分野分けを意味しており、それらを基本に実際の講演セッションが構成されていた。4件のキーノート、111件の一般講演、19件のポスター発表があった。Zebra, Giraffe, Elephant, Lion 名の4室にて並行して講演が行われた。当然、一人の聞ける講演数は最大25%である。したがって、全般を見通すことは少し正確さを欠くかもしれないが、講演・座長等で関係したセッションとプログラムから印象を述べても大きな誤りはないものと思う。表中の発表の分野構成をみると、会議名の伝熱、流体、熱力学の各分野というよりは、熱流体工学の主要分野、すなわち、伝熱、流体、熱機関、動力(システム)等から構成されていた。斯くも広い分野を分類していることから、我々の慣れている、例えば伝熱シンポジウムあるいは国際伝熱会議のような大会議の専門別のセッション内容を作ることは難しく、各セッションとも名称の冠し方はともかく、中身はかなり分散型であった。議論は活発であった。その評価はともかく、普段身近

な分野を中心としていることもあって、逆に新鮮でもあった。換言すると、広い分野の講演を聴く機会が少ないので、不勉強な身にはこれもまた意味があろう。関連の写真を次頁に示した。

表1 HEFAT2003

Sessions	Number of papers
(1) Simulations	23
(2) Heat transfer enhancement and heat exchangers	15
(3) Applications	15
(4) MEMS, Electronic cooling, Micro channels, thermoacoustic engines	4
(5) Reciprocating and hybrid engines and heat engines	7
(6) Natural convections and cooling towers	7
(7) Thermal systems, HVAC and environment	2
(8) Phase change	10
(9) Reactors, Power/thermal plants	6
(10) Visualization and measuring techniques	5
(11) Radial and axial engine/turbines, fans, compressors and pumps	7
(12) Turbulence	2
(13) Fluid mechanics, heat transfer and physical properties	4
(14) Combustion	3
(15) Entropy	1
Poster session	19

2. その他・旅行記など

今回の会議の旅程として、南回りにてアフリカに行く予定でいたが、SARS 流行地の経由となるためヨーロッパ回りに変更した。成田空港からロンドン、ヨハネスブルグ経由にてリビングストン空港まで 40 時間近くかかり、また帰りは機中 2 泊の長旅であった。今回の学会参加は、この原稿の依頼元でもある、九大・高田保之先生と相談して決めていたもので、もともと観光案内書もあまり見あたらず一人では少々不安でもあった。しかし、現地へ到着後の感想は全く逆であった。まず、到着してすぐに Victoria Falls を見学した。そのスケールの大きな景観に圧倒され、長旅の疲れは消え去った。さらに、予想に反し現地は涼しく、また快適なホテル・会場、ザンベジ川下り、サファリツアーと、遙々日本から出かけた甲斐のある催しに参加することができ大満足であった。以下に、会議とは直接関係ないながら、会議の性格を伝える意味で少しだけこれらについて記しておきたい。

2.1 Victoria Falls and Zambezi River Boat Tour

北米のナイアガラの滝、南米のイグアスの滝、そしてアフリカのビクトリアの滝を世界三大瀑布と呼ぶ(らしい)。その一つの、Victoria Falls はザンビアとジンバブエにまたがって存在し、幅 1.7 km, 最大落差 111 m におよぶザンベジ川の垂直落下である。周辺には高く大きな水煙が上がっており、あたかもそれは地面に根付いている雲のように見えた。太陽+虹の下、レインコート無しには近寄れない。また、会議の中日午後からのザンベジ川下りは、ビールを片手にゆったりと、波ひとつない広大な川を進みながら、カバやキリン見物の快適なものであった。

2.2 ボツワナ・サファリツアー

会議に行ってみると、日程が Announcement と 1 日ずれていることがわかり、終了翌日がフリーになった。チョベ国立公園のサファリツアーに参加した。丸 1 日かけて隣国ボツワナまで出かける本格的なものであった。午前中は車で、午後はボートで川からの野生動物見物をした。会議室名にあった Lion と Zebra は見ることはできなかったが、象、ワニやイグアナはなかなかの迫力だった。

来年は南ア共和国・ケープタウンにて開催とのことである。Victoria Falls とはまた違った趣があるはずで、参加できればと期待している。



図 1 会議の昼食風景 (Zambezi Sun Hotel にて)



図 2 ザンビア・Victoria Falls



図 3 ザンベジ川・Victoria Falls 上流 (上側の虹)



図 4 これはカバの群れ (チョベ川)

InterPACK2003 報告

Report on InterPACK2003

矢澤 和明 (ソニー)
Kazuaki YAZAWA (Sony)

1. はじめに

2003 International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition という正式名の会議で、2 年毎に恒例的にハワイ州で開催されている。熱と機械工学的側面からのパッケージ (実装) に関する話題が多く議論され、SemiTherm や IMAPS 等と同様に半導体の実装を中心に据えながらも、どちらかという電気的特性の議論が多いこれらの会議とは参加者の顔ぶれも違っている。

もともとパッケージング技術は応用技術に位置づけられる分野でありながら、産・学でほぼ半々といった構成で発表と議論がサイエンスや学問をベースにしてなされて行く事にこの会議の醍醐味があると言えよう。過去 3 回の経過を見ると Thermal Management に関するセッションが相対的に増えており、似たような問題を抱える「熱、熱現象」の研究者・技術者の議論の場といった感が強くなってきている。電子機器の熱技術者としては、隔年で相互補間するように開催される ITerm と併せて、技術の動向を見る良い機会でもある。1 回の会議で電子器冷却に関する全てが議論できるわけでも、配分良く論文発表があるわけでもない、「流れ」から読み取ることが重要であり、この報告はその中のほんの一部と見ていただきたい。

また、InterPACK は「このような会議を日本でも開催できると良いのに」という気にさせられる場でもある。英語で議論するのが日本人にとってハンディキャップであるだけでなく、日本の大学と企業技術者の間の会話が足らないと感じる。

以降、特徴的な話題を取り上げる。かなり偏りがあるが、自分で得た感触をもとにまとめた。

2. ヒートシンク関連トピック

「いまさらヒートシンク？」というコメントや声が聞こえそうだが、実際ヒートシンクに関する

発表やパネル討論が多い。半導体を含む電子部品を一つの筐体に納めて製品にする事がパッケージング技術のミッションである限り、つまり InterPACK の主題において永遠のテーマと言って良いのではないか。マイクロチャネルや水冷といった華やかにみえる先進技術が目立つこともあり、吸熱-輸送-放熱というシステムの最終段の役割が見えにくいと思うが、放熱にも革新的な技術の進歩を我々は期待している。Khan ら [1] による基本的なフィン形状に関する研究、バイパス流のあるヒートシンクとしては Urdaneta ら [2] によるピンフィン、Jeng ら [3] によるストレートフィンが報告されている。また、Narasimhan ら [4] による数値計算コンパクトモデル、あるいは、Rencz ら [5] による時刻暦応答のモデル化、Marotta ら [6] によるグラファイトヒートシンクの特性分析等々、ヒートシンクに関する論文だけで 26 件ほどが目についた。実用的か？という面では、強制流の源となるファンやポンプの駆動能力 (いわゆる P-Q 特性曲線) を配慮した形でモデル化されているものが多いのは有益である。

3. 熱輸送デバイス関連トピック

熱輸送デバイスの研究が、やや希薄になってきている印象を受ける。前々回あたりの話題の中心は、マイクロヒートパイプだったと記憶している。四年経って電子機器冷却ではすっかり定着した感のヒートパイプについては、アプリケーションへの適応技術に関しての内容が多く Suzuki ら [7] の氷点以下で稼動する構造、Jamal-Eddine ら [8] のヒンジ連結ヒートパイプ、Khandekar ら [9] の 3 次元実装への適用など 7 件ほど報告されている。それ以外での熱輸送デバイスでは Roth ら [10] や、Gima ら [11] のサーモサイフォンの報告等があるが、大きな革新技術の胎動は感じられなかった。吸熱に関してはマイクロチャネルに関する論

文が6件ほどあった。しかし、相変化を伴う吸熱メカニズムは、Pautschら [12] の spray evaporation の報告があった程度で活発とは言えなかったのは残念である。

4. 熱源としての半導体のトレンドと課題

IBM Fellow の Chu 氏、富士通の山本氏の基調講演や後述のパネルセッションで特に白熱した議論となっていたのは半導体の Thermal Management であり、その背景にあるのはマイクロプロセッサや通信用の高速スイッチングデバイス等、高速動作を要求するデバイスのトレンドである。一体いつまで Moore の法則に沿って行くのか? という議論があちこちであった。この答えはともかく、当面は発熱量も熱流束も増え、かつ動作許容最大温度は下がる傾向である。結果として次のような温度制御上の大きな課題を作っている。

- (1)さらなる高熱流束に対応した吸熱機構が必要
 - (2)半導体から見た外部の相当熱伝達率、すなわち Biot 数の増加に伴い、半導体材料の熱伝導率が相対的に低下し、これを救済する技術が必要
- Chan ら [13] は高熱流束に対する吸熱方法の総合的な報告をしていた。また、チップ内熱伝導に関する研究としては Fushinobu ら [14]、Ghai [15] を挙げることができる。

5. パネルセッション

これ自体が技術的なトピックではないが、興味深い動きなので取り上げる。最近の流行? なのか、パネルセッションの数が増えてきている—今回 9 セッション—。事実、パネルとキーノートだけを聴講しても、かなりの時間は埋まってしまうほどで、立ち見も間々見受けられる。人気の理由は、「パネルは相対的に新鮮なネタを拾うチャンスがより多くあるから」だろう。実験の結果がきれいに出揃っていなくてもパネルで着想を他に先駆けて披露する発表者側のメリットもあり、議論は白熱する。Advances in Heat Sink and Heat Spreader Design 等が印象に残った。パネルの発表資料は残らないので、結果として直接参照出来ないのが大きな欠点でもあるが、自分の研究・開発における疑問や仮定などを検証するためには役に立つこともある。

6. むすび

伝熱シンポジウムや熱工学講演会等との表面的相違点は場所と時間の余裕である。熱気と熱意はむしろ日本での会議の方に感じるし、密度も濃く幅も広い。一方で、Leading Edge をうまく切り出し集中して議論しているのが InterPACK などであるように思える。InterPACK で新たに学んだ事の多くは、今年も産業界メンバーの誰かが盛んに質問していた論文発表やパネルでの話題の中にあった。この点を考えると、その研究は必要であり、かつ有益な成果が出てきていると言えるだろう。こういう産学の関係が日本にももっと必要である。

参考文献

- [1] Khan, W. A. et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35014
- [2] Urdaneta, Mario et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35268
- [3] Jeng, Tzer-Ming et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35021
- [4] Narasimhan, Sridhar et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-353237
- [5] Rencz, M. et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35049
- [6] Marotta, E. E. et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35060
- [7] Suzuki, Osamu et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35098
- [8] Jamal-Eddine, Tarek et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35186
- [9] Khandekar, Sameer et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35109
- [10] Roth, Hongkoo et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35002
- [11] Gima, Satoru et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35148
- [12] Pautsch, Adam G. et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35227
- [13] Chan, Albert et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35041
- [14] Fushinobu, Kazuyoshi et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35079
- [15] Ghai, Sartaj S. et al., InterPACK'03 Proceedings, (2003), IPACK2003-35258

旅の裏技（その2 行動編）

Secret technique for a trip (2. action)

原 利次（日本工業大学）

Toshitsugu HARA (Nippon Inst. of Tech.)

前回¹⁾の旅の用具について触れたついでに、ここでは行動について述べよう。一人旅を続けていると、好むと好まざると、いろいろなことにチャレンジすることが必要である。

1. 全身を使って食べる

旅に出たからには、なるべくその土地の珍しいものを食べたい。でも外国語で書かれたメニューはほとんど中身がわからない。でもやっぱり好きなものを食べたい。この繰返しが必要な行動を起こす。

再生可能エネルギー利用会議に出席するため、中国の武漢を訪れたときのことである。しばらく宿泊地の大学内のゲスト用食堂で食べていたが、だんだんといわゆる万人向けの味に飽きてきて、地元の本当の味を試してみたくなり、ある日一人で街に出て食堂を探した。看板には中国語のみで英語は見当たらない。

さて、何軒か並んだ食堂のうち、若い女性が例の脇に大きくスリットの入った中国服を着て客の呼び込みをしている店に入ることにした。ドアをあけ入ってみると、地元風の中国人が席を占め、皆お互いに知合いらしくお昼時のおしゃべりを楽しんでいるかのようだ。その中程の空いた席に座った。

メニューを見て驚いた。中国語の漢字ばかりで食べ



物を連想するような語がない。今日は久しぶりにスープのある麺類が食べたいのだがー。でも辛いのは苦手だ。さあどうしよう。まずは英語で聞いてみた。全く通じない。

つぎに持ち歩いていたガイドブックの端の空白を使い、ボールペンでラーメンの絵を描いた。どんぶりの中に麺とスープを書き入れ、端に箸を2本書き込んだ。周りの人たちは何が起こるのか興味しんしんでこちらの様子を見ている。絵を見せながら麺をつるつる食べる真似をしてみせ（落語でよくやっているようにー）、口を手で押さえるようにしてハーハー息を出し、掌を左右に振ってダメダメをして見せた。麺を食べたいが辛いのは駄目、と言いたいのだがー。ボディランゲージだ。果たせるかな、お姐さんは笑って、判った判った、という顔をしてくれた。任せておきー、と言ったのだろう（と思う）、すぐに奥の厨房になにやら中国語で叫んだ。

久しく待つ間、周りを見渡すと、先ほど心配そうに見ていた人たちは、もう既に見落着かと思ったのか、皆自分たちの会話に戻っていた。やれやれ最後まで見られているのでは食事も落ち着かない。

待つことしばし、期待のスープ麺が来た。と思いきや、素の麺とタレが別々の容器に盛られてきた。そしてお姐さんが言うことには（言葉が判らないのだから指図したと言うべきか?）、好きなようにタレを混ぜて食べるように、とのことなのである。なるほどそうか、自分で調整すればいいわけだ。かくして待望の麺には行き着いたのだが、スープのないまま素麺を食べる羽目になった。さすがにお皿一杯に盛られた麺の半分も食べられなかった。まあいいか。こんなセリフがあったことを思い出した。

結果は知らない。全力を賭した過程が美しいのだ。強いのだ。ーキケロー

2. 羞恥心を捨てて得る

最近では海外での国際会議参加のついでに音楽会に行く人も多い。可視化情報処理国際会議でエジンバラに行ったときのことである。夏の夕暮れに行われるタトゥーと呼ばれる音楽祭は切符がなかなか手に入らない。元来は学会のツアーで楽に行ける筈であったが、学会の手違いで私だけが専用バスに乗れず、あらためて自分で切符を探す羽目になった。

まずは一人では心細いので一緒に音楽会に行く仲間を探したら、運良く I 先生夫妻が仲間になってくれた。I 先生夫妻とはソレントでも一緒にいるし、夫妻して行動派なので、何かと心強い。

目的の音楽会の当日、まずは A3 位の大きな紙を探し、マジックインクで大きく「入場券募集！」と英語で書いて、ポスターを 3 人分作った。I 夫妻と一緒に各自これを胸に、音楽会場であるエジンバラ城の入口門に通じる道端に、音楽会が始まる数時間前から立つわけである。

(言ってみればワールドカップの当日券探しと同じだ。) I 夫妻もさすがに初めての体験だったようだが、こちらは何とか入場券を入手したくて必死である。



始めは入口門の近くに黙って道行く人たちを眺めていたが、突然うら若き日本女性がマジックインクを持って現れ、「向いの 2 階から様子を眺めていたが、そんなことではだめよ。もっと字を大きく書きなさい。」と言うが早いが、自分でこちらのポスターの字を大きく目立つようにしてくれた。なにやら日本からこの街に勉強に来ているところらしく、初めは単純な興味からこちらの様子を見ていたが、やり方が歯がゆくなって黙って見ていられなくて、部屋から降りてきてしまったようだ。

その後彼女のお勧めに従い、入口付近よりも人の流れの上流に移り、かつ目立つように銅像の柵の上に立ち、パントマイムをしながら道行く人に呼びかけた。恥ずかしげも何もありません。

道端で呼び込みをやっていると、こちらが入場券を売ることか逆希望者がきたり、警察のパトロールが来て幾らで買うのか詰問されたり、いろいろあったが、結局都合で入場券が余った人から、合計 3 枚の入場券をほとんど通常の価格で入手することが出来た。

かくして、その夜の音楽祭を心行くまで堪能することが出来、エジンバラ城にもよい思い出が残った。

3. 同好の士と踊る

前述した武漢(中国)の夏は暑い。滞在中、ホテルの近くで毎朝 6 時頃から太極拳をやっていることを聞きつけた。以前シドニーで日曜の朝中国人が公園に集まり、楽しそうに太極拳をやっているのを見てから、自分でも少しずつ練習を始めていた。

朝まだ早いうちにホテルの近くを散歩してみると、なるほど、あちこちで 5~6 人ずつ集まり、それぞれラジオから聞こえてくる音楽に合わせて、身体を動かしている。それまで知らなかったが、同じ太極拳でもいろいろな型があり、いろいろな音楽があるらしい。自分はまだ一つしか知らないのを知っているグループを探す。やっと見つけたのは大学構内裏手の林の中の一団だった。初めはただ眺めていたが、人のよさそうなグループだったので、思い切って恐る恐る一番後ろで、前の人の動きを真似しながら身体を動かした。

よしよし、まあまあこの位は出来るぞ。と気分よくやっていたら、そのうちぐるりと回れ右して後ろにまわるところにきた。その途端今まで一番後ろの自分が今度は一番前ではないか。こちらは見習う人が前にいなくなり、途端に動きに歯切れが悪くなる。それでも横眼で斜め後ろの人を皆がら、次の回れ右まで何とか持ちこたえた。

地元の人たちは、言葉は全く通じないがその笑顔から、同好の仲間を暖かく迎えてくれた。短い時間だったが、思い切って参加してよかったと思っている。同好の士は、世界中どこでも暖かく迎えてくれる。

注 1) 原, 伝熱 vol.42 No. 174 (2003.5) 57-58.

京から明日へ
— 貴船・聖護院・京都大学 伝熱セミナー 報告 —
From Kyo to Tomorrow
- Report on Heat-Transfer Seminar at Kibune, Shogoin and Kyoto University -

吉田 英生 (京都大学)

Hideo YOSHIDA (Kyoto University)

1. 真夏の昼夜朝の夢

冷夏の中にあつて幸いにも夏らしさを取り戻した8月22日午後から23日昼過ぎまでの正味1日、

日本伝熱学会関西支部主催

貴船・聖護院・京都大学 伝熱セミナー

— 森羅万象におけるシステムと熱 —

を開催した。セミナータイトルにあるように、開催場所は、京の奥座敷の貴船、京銘菓八ツ橋でもおなじみの聖護院の御殿荘（京都大学時計台から南方500m）、そして京都大学の3ヶ所である。北は東北から西は九州まで53名の方々にご参加いただき、当初の予想を遙かに上回る充実感と楽しさの中で終えることができた。

準備委員会は、コンサートに例えるならば、曲目と演奏者を決定し会場を準備したにすぎないが、素晴らしい演奏者と素晴らしい聴衆が素晴らしい時間を生み出して下さったと感謝している。ふり返って思えば、そのコンサートの曲目は、『真夏の昼夜朝の夢』（3部作）であったのではなかろうか。

2. 関西 ⇄ 京U阪U神？

少し、道草することをお許しいただきたい。今年のキーワードの一つは間違いなく『阪神』であろう。しかし、今年は京都パープルサンガの天皇杯優勝で幕開けしたことも忘れることはできない。これらのスポーツ界の両雄にも象徴されるように、2府4県の関西では、何かにつけ京・阪・神の3極構造で代表させることが多い。日本伝熱学会関西支部も例外ではなく、多くの役がこの3地区で回っている。関西支部主催の伝熱セミナーは隔年開催なので、今年は6年ぶりに京都地区担当となった。

3. 願ったこと

まず、セミナー前日に印刷製本した講演論文集に掲載した文章を引用させていただく。

ごあいさつ

例年ならば、早く秋の風が吹いてくれないかと願う時期ですが、今年の夏は極めて異常で、遅ればせながら残暑というよりは夏本番？となりました。冷夏の深刻な打撃を受ける農業や諸産業の方々の苦悩は察して余りありますが、幸いにも本セミナーは、本来の夏の暑さの中で、京の奥座敷『貴船』を出発点として、開催できることをありがたく思っております。ご多用中にもかかわらず、関西の枠を越えた全国各地より、本セミナーにご参加・ご協力を賜りました皆様に、心からお礼申し上げます。

本セミナーのご案内にも述べましたように、改めて申すまでもなく、私達は地球上に生き、そして宇宙の中に生きています。しかし、日常の生活では物理的にも精神的にも人間社会の存在が余りにも大きすぎ、結果的に、たとえば地平線や水平線、さらには幾多の星雲さえ意識することなく暮らしていることが多いように思います。一方で、人間より小さな生命体については、無意識のうちに人間中心主義に立つがために、その多様性や自然の中での役割などに十分な関心と理解が至らない場合が多いように思います。

本セミナーでは、貴船の森と水の神秘的な力も借りて、このような森羅万象におけるシステム、その中でもとりわけ伝熱セミナーにふさわしい熱との接点に焦点を合わせて、種々の角度から第一線の先生方にご講演をいただき、関連する問題を掘り下げてみたいと思っております。同時に、ご参加の皆様のお睦を深めていただくことも重要な目的でございます。正味1日のセミナーではありますが、貴船・聖護院・京都大学の3会場で、リラックスした雰囲気の中で、上記二つの目的がかなえられることを願っております。

2003年8月22日

セミナー準備委員会

吉田英生, 岩井 裕, 若林英信, 齋藤元浩
(京都大学 大学院工学研究科
機械工学・機械物理工学専攻)

以上のような願いの下に、セミナーの大枠を設定し、講演内容と講師の方々を検討し始めたのは2002年のクリスマス頃であった。毎日毎日、関西地方にある大学のホームページを片っ端からbrowseし、熱と接点のありそうな先生をリストアップした。実際に先生方に可能性を打診したのはもっと後なのであるが、セミナー開催の8ヶ月前にイメージだけは出来上がった。

今回、インターネットとe-mailは本当に便利な道具だと思いつく感じた。セミナー当日まで、次に紹介する6人の先生方のうち、4人の先生方はお顔も、2人の先生方はお声も存じ上げなかった。それでもセミナーの企画と準備ができたのである。

4. プログラムと二つの余談

以下にプログラムを示す。(敬称略) なお、貴船までは、京都大学から徒歩で10分程度の出町柳から叡山電車で27分、京都大学からの距離は15km程度である。

第1部 (22日午後：貴船ひろや)

植田洋匡

京都大学 防災研究所 大気災害研究部門

大気・海洋の内部および界面での伝熱問題

古川善紹

京都大学 大学院理学研究科 火山研究センター

火山から覗く地球内部

—熱が駆動する惑星システム—

水野 稔

大阪大学 大学院工学研究科 環境工学専攻

都市の熱代謝システム

(夕食後、観光バスで移動)

第2部 (22日夜間：聖護院御殿荘)

第3部 (23日午前：京都大学)

大澤直哉

京都大学大学院 農学研究科 森林生態学研究室

熱帯林の一斉開花メカニズムと昆虫による

送粉システム

北宅善昭

大阪府立大学 大学院農学生命科学研究科

植物の葉および群落における熱交換

阪上雅昭

京都大学 大学院人間・環境学研究科

関連環境学専攻

宇宙における熱的現象

—重力と熱力学の関わりを中心にして—

以上の内容は5月末にほぼ決定した。実はこの時期、関西の大学の先生でプログラムを固めることができたと思ってほっとしたのも束の間、火山の話題をお願いした古川先生のメールの署名欄を見て驚いた。熊本県阿蘇郡長陽村の火山研究センターとなっている。それまではe-mailアドレスから、工学部とは今出川通で隔てた理学部に研究室があるものとばかり思い込んでいたからだ。電話で交渉する時代ならこのようなことはまず起こらない。通常は所属機関のみ意識するe-mailというのは、物理的な空間概念も不問としてしまうということを改めて認識した。

なお、事前に「第2部のセミナーとは何か？」というご質問を頂戴したが、当方としては「言わずもがなのこと」とお答えするしかなかった。もちろん、ここでも「書かずもがなのこと」である。

5. 気楽さと前向きな加減さの中で

日本伝熱学会の会員の多くは工学関係者であるが、今回の講師の先生方の所属は、工学、理学、農学、各2名ずつである。学部が異なるということは単に専門が異なるということだけでなく、まずメンタリティーが大いに異なるということを実感できた点、本セミナーの予想外の成果の一つとも言えるのではないかと思う。

大学の工学部にいると理学部の方々とは学内委員会等で親しくなることがあり、お会いして最初に気付くことは理学部の方々はネクタイ姿も希であるし、互いを先生付けで呼ぶことも少なく、総じて形式ばらないということである。

本セミナーでは理学部や農学部の講師の方々に貴重なご協力をいただくことになったし、暑い夏休みの山中で行うことでもあったので、できるだけ自由で気楽な雰囲気を大切にしたいと考えた。加えて、京都には「何とかかなりまっしゃろ」というような大らかというかチャランポランな土壌もある。勉強と親睦の促進のために、できる限りの気楽さと前向きな加減さを運営の原則とした。

具体例として、まず講演論文は、様式なし、分量制限なし、締切はセミナー開催2日前の朝とした。そのかわり、素人が興味を覚えたときにさらなる勉強に発展していける内容であることに留意いただいた。講演中は、いつでも質問を差し挟ませていただくこととし、(川床での夕御飯の時間を圧迫しない限りは)時間超過も気にしない。このような自由・とことん質問原則を設けても、飽くなき好奇心で講師に詰め寄る聴衆なくしては、無意味である。しかし、本セミナーの参加者の方々に對して、そのような心配は無用であった。

講演の内容は、プログラムからご想像いただけるように、大きなスケールから並べると、宇宙、地球、大気、海洋、森林、都市、植物、昆虫、と要するに森羅万象何でもありである。この中で、大気、海洋、都市については、伝熱シンポジウムでも対象となる場合があるので比較的身近であると言えるかもしれない。しかし、筆者自身の胸に手を当ててみると、地球内部の溶岩が噴出する火山については、温泉の恩恵に浴しながらも一歩踏み込んで考えたことがなかったのではないだろうか。また、植物や昆虫についても、日々どこまで

関心を持って眺めたことがあったろうか。さらに、宇宙については、今年の夏は火星大接近で盛り上がったものの、137億年ともいわれる宇宙生成の過程は、実は熱力学の対象そのものとも言えることを十分認識していなかったように思う。もちろん、最初に比較的身近といった大気、海洋、都市についても、未理解のことは多い。

6. 袋小路でない明日に向けて

印象に残ったことは枚挙に暇がないが、それらの中で筆者が一番どきとした言葉は、大澤先生の植物と昆虫の共進化(植物は効率の良い受粉の理由から、昆虫は蜜や花粉の確保の理由から、パートナーシップを形成する)の話題において、両者が1対1の袋小路に入り込むと、共に栄えている間は良いが、一方が絶えると他方も絶えるということであった。このことは、社会的現象を含むあらゆる現象に当てはまる警鐘と受け取った。

袋小路でない明日に向けて本セミナーが何かを残してくれたのではないかと感謝して、本報告のむすびとさせていただきます。



貴船ひろや前にて

(写真がゆがんでいるのではなく、山道のため右下から左上に向けて傾斜している)



植田洋匡 先生



古川善紹 先生



水野 稔 先生



貴船ひろや大広間



京都大学工学部教室



大澤直哉 先生



北宅善昭 先生



阪上雅昭 先生

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名 (開催地, 開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2004年					
5月 26日(水)～ 28日(金)	第41回日本伝熱シンポジウム (富山国際会議場および富山県民会館、富山市)				

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
2003年					
10月 6日(月)～ 8日(水)	第24回日本熱物性シンポジウム (岡山大学津島キャンパス、岡山市)	*03.6/6	*03.8/8	〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学 工学部機械工学科 第24回日本熱物性シン ポジウム実行委員会事務局 堀高明彦 Tel:086-251-8047, Fax:086-251-8266 E-mail:jstp@heat6.mech.okayama-u.ac.jp http://heat6.mech.okayama-u.ac.jp/jstp/	
10月 12日(月)～ 17日(金)	4th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer (THMT-03) (トルコ, アンタルヤ, Antalya, TURKEY)	*03.1/15	*03.5/31	〒466-8555 名古屋市昭和区御器町 名古 屋工業大学 長野清尚 Tel:052-735-5325 Fax:052-735-5359 E-mail:nagano@heat.mech.nitech.ac.jp URL:http://www.ichtm.org/upcoming-meetin gs/THMT-03/announce.html	
10月 16日(木)、 17日(金)	日本機械学会関西支部第265回講習会 「熱流体計測の基礎、及び最近の応用技術」 (大阪科学技術センター)	*03.10/9 (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.jsme.or.jp/ks/	
10月 23日(木) 24日(金)	第19回睡眠環境シンポジウム (名古屋ガーデンパレス、名古屋市)	*03.7/31	*03.8/20	〒480-1195 愛知県愛知郡長久手町岩作雁又 21 愛知医科大学医学部 第2生理学講義内 第19回睡眠環境シンポジウム事務局 Tel:0561-62-3311(内線2212/2274) Fax:0561-63-9809 E-mail:sse@aichi-med-u.ac.jp http://www.aichi-med-u.ac.jp/physio2/	
10月 27日(月)～ 29日(水)	平成15年度日本冷凍空調学会学術講演会 (東京商船大学)	*03.7/14	*03.9/5	〒160-0008 新宿区三栄町8 三栄ビル (社)日本冷凍空調学会 Tel:03-3356-5231 Fax:03-3356-5233 E-mail:reito@nb.infoweb.ne.jp http://www.thermal-mech-kait.net/~reito/ application.html	
10月 31日(金)～ 11月1日 (土)	可視化情報学会全国講演会 (宇都宮大学工学部)	*03.7/4	*03.8/22	〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部機械システム工学科 庵原 昭夫 Tel/Fax:028-689-6036 E-mail:utsunomiya@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp/utsunomiya/	
11月 2日(日)～ 7日(金)	International Gas Turbine Congress 2003 TOKYO 8th Congress in Japan (江戸川総合区民ホール)	*02.5/31	*03.2/1	The Gas Turbine Society of Japan 7-5-13-402 Nishi-Shinjuku, Shinnjuku-ku, Tokyo 160-0023, Japan Fax:+81-3-3365-0387 E-mail:igtc@hal.go.jp	
11月 3日(月)～ 8日(土)	第3回国際シンポジウム「複雑系における非常にゆっくりとした 緩和現象の解明」 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Systems (太白区文化センター楽楽ホール、仙台市)	*03.5/31		〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 東北大学流体科学研究所 徳山道夫 Tel/Fax:022-217-5327 E-mail:tpkuyama@ifs.tohoku.ac.jp http://www.ifs.tohoku.ac.jp/slow-dynamic s/	
11月 9日(日)～ 13日(木)	International Conference on Power Engineering-03, Kobe 2003年 動力エネルギー国際会議神戸大会 (神戸国際会議場)	*02.3	*03.3	東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館 (社)日 本機械学会総合企画グループ 高橋正彦 Tel:03-5360-3505	

行事カレンダー

11月	15日(土) 16日(日)	熱工学コンファレンス2003 - 地球を救う熱工学技術 - (金沢大学工学部)	'03.6/6	'03.9/19	〒820-8667 金沢市小立野2-40-20 金沢大学工 学部人間・機械工学科 瀧本昭 Tel:076-234-4741 Fax:076-234-4743 http://www.jsme.or.jp/ted/
11月	19日(水)	可視化情報学会講習会「流れの可視化入門講座」 (日本大学理工学部暖房可台校舎)	'03.10/31		(社)可視化情報学会事務局 Tel:03-5993-5020, Fax:03-5993-5026 E-mail: info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp
11月	21日(金)～ 23日(日)	日本地熱学会平成15年度学術講演会 (仙台国際センター)	'03.8/29	'03.9/29	http://wwwsoc.nii.ac.jp/grsj/
12月	1日(月)～ 3日(水)	マイクロエンジニアリングに関する国際シンポジウム - 熱流体・信頼性・メカトロニクス - (日立製作所機械工学研究所、土浦市、産業技術総合研究所、つく ば市)	'02.3 (Abstract)	'02.8 Full Paper	東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館(社)日 本機械学会総合企画グループ 高橋正彦 Tel:03-5360-3505
12月	3日(水)～ 5日(金)	第41回燃焼シンポジウム (つくば国際会議場、つくば市)	'03.7/18	'03.9/24	〒305-8569 つくば市小野川16-1 産業技 術総合研究所エネルギー利用研究部門内 第41回燃焼シンポジウム事務局 Tel:029-861-8072, Fax:029-861-8222 E-mail:sympo41@combustionsociety.jp http://combustionsociety.jp/sympo41 Fax:047-469-5479
12月	5日(金)、 6日(土)	第27回人間-生活環境系シンポジウム (日本大学理工学部暖房可台校舎)	'03.8/30	'03.10/30	E-mail:info@hes2003.arch.cst.nihon-u.ac. jp http:// hes2003.arch.cst.nihon-u.ac.jp
12月	17日(水)～ 19日(金)	第17回数値流体力学シンポジウム (国立オリンピック記念青少年センター、東京)			
2004年					
2月	5日(木)、 6日(金)	第10回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シン ポジウム、Mate2004 (パシフィコ横浜)	'03.9/1 (Abstract 縮 切)	'03.11/20	〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 1-11 (社)溶接学会 Mate 2004事務局 Tel:06-6879-8698 Fax:06-6878-3110 E-mail:mate@jwri.osaka-u.ac.jp http://wwwsoc.nii.ac.jp/jws/research/mic ro/Mate2004.html
3月	14日(日)～ 17日(水)	The first International Symposium on Micro & Nano Technology (ISMNT-1) (ホノルル、ハワイ)	'03.5/31 (Abstract)	'03.8/31	Komatsu Electronics Inc., President Dr. Makoto Inoue E-mail:makoto_inoue@komatsu.co.jp http://www.ismnt.com
3月	15日(月)、 16日(火)	The first International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology (SMAM-1) (東京ビッグサイト、東京)	'04.1/12 (Abstract)	'04.3/15	〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 産総研 極微 プロファイル計測研究所 藤本俊幸 E-mail:SMAM-1-sec@m.aist.go.jp, T.Fujimoto@aist.go.jp http://www.nmij.jp/MP/SMAM-1
5月	9日(日)～ 15日(水)	15th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-15) (バンコク、タイ)	'03.8/31 (Abstract)	'03.10/31	北海道大学大学院工学研究科物質工学専攻 井口学 E-mail:istp-15@eng.hokudai.ac.jp
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 Interna tional Council of the Aeronautical Sciences, 2004, Yokohama) (パシフィコ横浜国際会議場、横浜市)	'03.7/31		〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1 航空 宇宙技術研究所 次世代超音速機プロジェクトセ タ - (第24回国際航空科学会議横浜大会 組織 委員会 プログラム・ツクル委員会幹事) 吉田憲司 Tel:0422-40-3510 Fax:0422-40-3536 e-mail:yoshiken@na1.go.jp http://www.jsass.or.jp/icas

第41回日本伝熱シンポジウム開催案内

開 催 日 平成 16 年 5 月 26 日（水）～ 28 日（金）
会 場 富山国際会議場（〒930 - 0084 富山市大手町 1 番 2 号 TEL : (076)424 - 5931）
富山県民会館（〒930 - 0006 富山市新総曲輪 4 番 18 号 TEL : (076)432 - 3111）

研究発表申込締切 平成 16 年 1 月中旬
論文原稿締切 平成 16 年 3 月初旬

【シンポジウムの形式】

詳細は検討中ですが、従来の形式とあまり変わらない予定です。

【研究発表申込方法】

- ・ Web による申込みと致します。
- ・ 講演発表申込は、講演者 1 名につき 1 題目とさせていただきます。
- ・ 詳細は会誌「伝熱」（平成 15 年 11 月号）及びホームページに掲載致します。

【論文】

- ・ 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 16 年 1 月号）及びホームページに掲載致します。

【参加登録費等】

詳細は会誌「伝熱」（平成 15 年 11 月号）及びホームページに掲載致します。

【懇親会】

- ・ 開催日 平成 16 年 5 月 27 日（木）
- ・ 会 場 名鉄トヤマホテル（〒930 - 0004 富山市桜橋通り 2 - 28, TEL(076)431 - 2211）

【お問い合わせ先】

第 41 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
富山大学工学部 機械知能システム工学科内
FAX : (076)445 - 6785, E-mail : thermo@eng.toyama-u.ac.jp

第 41 回日本伝熱シンポジウム実行委員会 委員長 竹越 栄俊

平成 15 年度
日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 公募のお知らせ

日本伝熱学会には、内規にしたがい、学術賞、技術賞、および奨励賞が設けられています。つきましては、下記の要領にしたがって本年度の募集を行いますので、自薦、他薦を問わず、多数ご応募下さい。

記

1. 対象となる業績

- (1) 学術賞の対象は、原則として、最近3年間の *Thermal Science and Engineering* 誌に掲載された、あるいは、最近5回の日本伝熱シンポジウムにおいて発表し国内外の審査のある学術論文集に掲載された伝熱に関する優秀な研究論文とします。なお、受賞対象研究課題名は、必ずしも論文題目と一致する必要はありません。また、*Thermal Science and Engineering* 誌に掲載された論文は、日本伝熱シンポジウムにおける発表の有無にかかわらず、受賞の対象となります。
- (2) 技術賞の対象は、公表された優秀な伝熱技術とします。
- (3) 奨励賞の対象は、原則として、最近2回の日本伝熱シンポジウムにおいて優秀な論文を発表した若手研究者で、発表時に大学院生、またはこれに準ずる者(大学卒業後5年以内の者)とします。
- (4) 学術賞および奨励賞の対象資格は、原則として本会会員に限ります。
- (5) 贈賞数は、学術賞2件程度、技術賞1件程度、奨励賞4件程度とします。

2. 選考方法

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

3. 提出書類

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

4. 提出先

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01
東北大学大学院工学研究科機械知能工学専攻
太田 照和 宛
(E-mail : ota@cc.mech.tohoku.ac.jp)
TEL 022-217-6930 FAX 022-217-6931

5. 提出期限：平成16年 1月15日(木)
6. 問い合わせ先：提出先に同じ。

以上

平成 15 年度 日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞
申請書・推薦書

申請者・推薦者名 _____ 印
所属 (_____)

論文題名または： _____
技術名 _____
刊行物名または： _____
技術内容 _____

(論文抜刷または技術内容参考資料 6 部添付)

受賞候補者 (氏名(ふりがな), 本会会員資格・勤務先・職名・代表者の連絡先住所, E-mail, Tel, Fax)
代表研究者：氏名・所属・職名 _____
連絡先 _____

共同研究者：氏名・所属・職名 _____

関連研究の伝熱シンポジウム発表 (該当する場合)

論文題名： _____

講演発表：第 _____ 回シンポジウム講演論文集 _____ 頁 (抜刷 6 部添付)

申請・推薦理由： _____

連絡先 (推薦の場合) _____

九州支部企画 「九州伝熱セミナー・湯布院」のご案内

日本伝熱学会九州支部では、標記セミナーを下記の要領で開催いたします。奮ってご参加下さいますよう、ご案内申し上げます。

日 時：平成 15 年 10 月 10 日（金）～11 日（土）

場 所：ゆふトピア（西部ガスグループ保養所）
大分県大分郡湯布院町大字川上字野々草 1947-38
TEL:0977-85-5801, FAX: 0977-85-5802

交 通：JR 由布院駅より／車で 6 分／徒歩 30 分
高速バス由布院駅前停留所より／車で 6 分
大分自動車道由布院インターより／車で 15 分

定 員：60 名。ただし、定員となりしだい締め切らせて頂きます。

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

申込み：「九州伝熱セミナー・湯布院」と明記の上、氏名、所属、役職、連絡先（住所、電話、E-mail）を下記まで、郵送、FAX または E-mail でお知らせ下さい。参加費は当日受付にて集めます。

〒830-8555 福岡県久留米市小森野 1-1-1
久留米高専・制御情報工学科 松永 崇
TEL:0942-35-9367, FAX:0942-35-9307
E-mail: matunaga@ME.kurume-nct.ac.jp

スケジュール：

10 月 11 日（金）

12:00～13:00 受付

13:00～17:30 講演会

招待講演

1. 『新しいエネルギーコミュニティーについて』

講師、西部ガス株式会社エネルギー営業部 川崎春次氏

2. 『熱力学、熱工学そして熱技術』

講師、芝浦工業大学 越後亮三氏

一般講演（募集中）

18:30～ 夕食（懇親会）

10 月 11 日（土）

9:00～ 見学会（八丁原地熱発電所ほか、希望者のみ）

会員各位

会員名簿の発行について
—お知らせ—

総務部会

新会員名簿の発行を来年3月に予定しております。会員各位には会員情報の確認、訂正を文書およびメール（アドレスを連絡済の会員のみ）により、10月上旬にお願いする予定であります。もし、名簿に関するお願いの文書が、10月下旬までにお手元に届いていない場合は、お手数ですが学会事務局へお問い合わせ下さい。

富山大学工学部機械知能システム工学科教員公募

1. 募集人員 助教授または講師 1名
 2. 所 属 機械知能システム工学科 機械制御情報工学講座
 3. 専門分野 ナノテクノロジーに関する力学（特に量子効果を対象とする分野が望ましい）
 4. 担当教育 機械工学において数値計算手法を創成・応用するための教育（授業科目名：工業力学，基礎情報工学，シミュレーション工学，ソフトウェア工学演習など）
 5. 応募資格 年齢は45歳位までが望ましく，博士の学位を有し，機械工学に関する大学院博士前期・後期課程の教育研究を担当できる方（外国人は日本語でも講義できることが望ましい）
 6. 着任時期 2004年4月1日以降のできるだけ早い時期
 7. 提出書類
 - (1) 履歴書（写真添付，所属学協会および社会活動，受賞，連絡方法も記載）
 - (2) 研究業績リスト（①審査された学術論文，②著書，③審査された国際会議発表論文，④その他の論文，⑤特許などに分類）
 - (3) 上記(2)①，③の別刷各1部（コピーも可）
 - (4) 科学研究費や共同研究費などの外部資金獲得状況
 - (5) 国際貢献，社会貢献などがあれば，そのリスト
 - (6) 教育と研究に対する抱負（1500字以内）
 - (7) 応募者に関する意見を伺える方2名の氏名，所属，連絡先
 8. 応募締切 2003年10月31日(金)
 9. 書類送付先および問合せ先
〒930-8555 富山市五福3190/ 富山大学工学部機械知能システム工学科/
学科長 小泉邦雄/ TEL & FAX 076-445-6795/ e-mail:precm@eng.toyama-u.ac.jp
- (注)応募書類は，封筒の表に「教員応募書類在中」と朱書きし，書留で郵送して下さい。応募書類は原則として返却しません。なお選考状況により別途書類の提出，面接をお願いすることがあります。

「伝熱」会告の書き方

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

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

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

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

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

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

(本年度発行予定：5, 7, 9, 11, 1, 3月号)

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

2. 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。

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

【入会手続き】

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

(注意)

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

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

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

【会費納入について】

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

【変更届について】

(勤務先、住所、通信先等の変更)

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

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

(学生会員から正会員への変更)

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

(変更届提出上の注意)

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

【退会届について】

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

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々は、至急納入をお願いします。特に、平成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

新入会員 (2003. 7～2003. 8. 31)

5名

資格	氏名	勤務先	資格	氏名	勤務先
正	寺岡 喜和	青山学院大学 理工学部	学生		
正	中曾 浩一	九州大学大学院工学研究院	学生		
正	山本 賢	横河電機(株)	学生		
正	向 勝己	(株)伊勢屋機械製作所	学生		
正	山本 剛	九州大学大学院工学研究院	学生		

寄付会費 (2003. 7～2003. 8. 31) 10名 27,000円

資格	氏名	勤務先	資格	氏名	勤務先
名誉(永年)	野村 雅宣		正	賞雅 寛而	東京商船大学
名誉	玉利 賢一		正	長田 孝志	琉球大学工学部
名誉	服部 賢	長岡技術科学大学	正	久角 喜徳	大阪ガス(株)
正	上宇都幸一	大分大学工学部	正	森 康彦	慶応義塾大学理工学部
正	河原 治	富山工業高等専門学校	正	長谷川 淳一	一関工業高等専門学校

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届用紙

広告>

センサテクノス株式会社

広告

有) テクノオフィス 3月号 更新版

広告
日本カノマックス

◇編集後記◇

真夏を涼しく過ごせたと思ったら盆を過ぎてから厳しい残暑となり、寝苦しい日々が続いております。さて、今回は花村委員と稲田委員の編集による研究室のツール特集号(1)です。研究で役立っているツールやノウハウを紹介していただくという企画です。お忙しい中原稿をご執筆いただきました方々に厚くお礼申し上げます。

編集委員会では、「伝熱」に関するアンケートの集計結果(前号に関連記事掲載)をもとに、新企画や人気の高かった昔の企画の復活など、魅力ある学会誌の編集に力を入れていく所存です。本誌への原稿の投稿、また、本誌に対するご意見・ご要望など、お近くの下記委員ないしは編集出版事務局、第42期編集出版部会委員までお寄せください。

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

平成 15 年 9 月 10 日

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

複写される方に

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

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

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

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

Notice about photocopying

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

Except in the USA

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

In the USA

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

伝 熱

ISSN 1344-8692

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol. 42, No. 176

2003年9月発行

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

Published by

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