

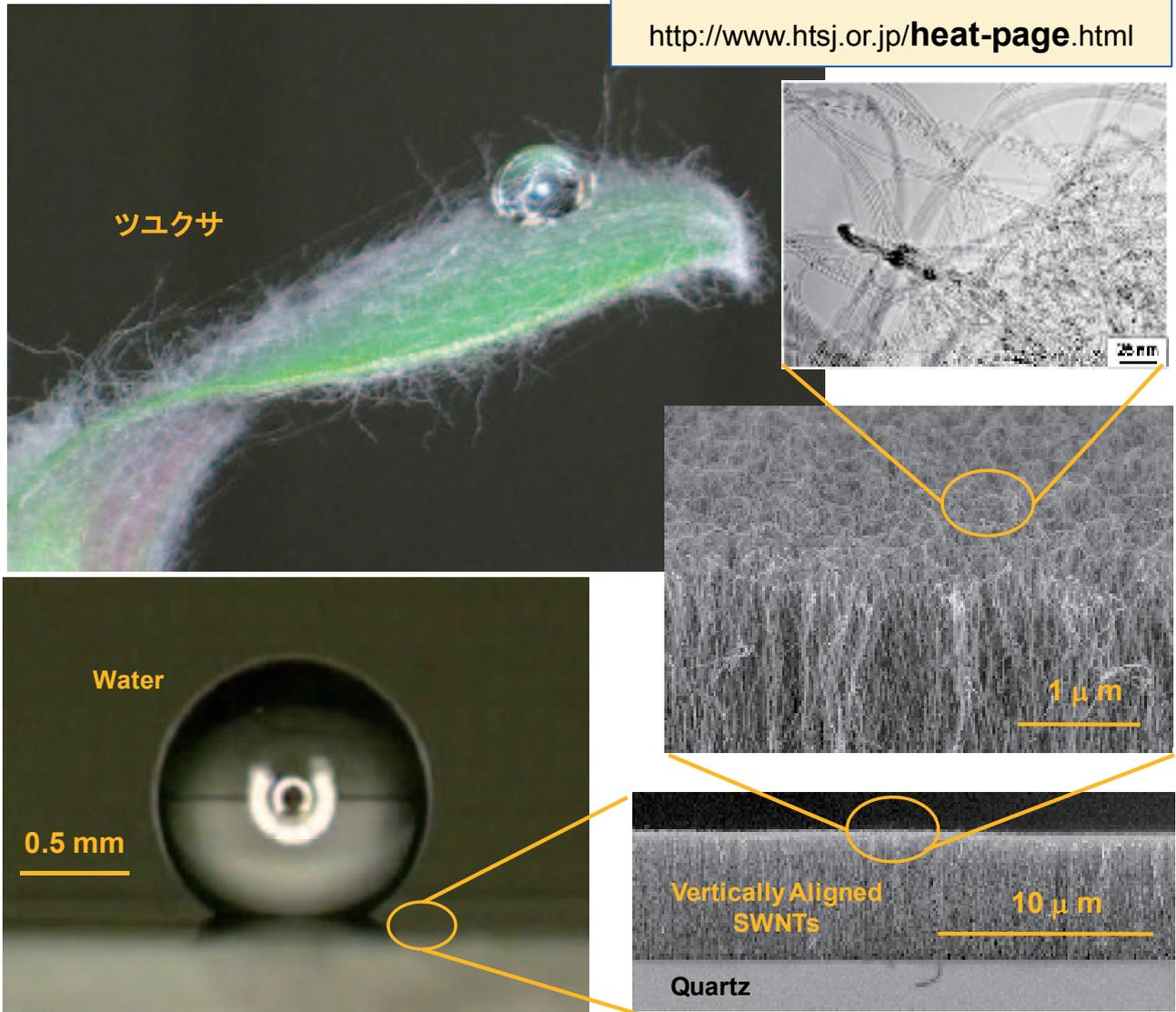
伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 47, No. 200
2008.7

HETSJ

◆特集：新しい計測技術◆



自然界と人工の超撥水性構造

Ultra-hydrophobic Structures in Nature and Artificial Objects

丸山 茂夫 (東京大学)

Shigeo Maruyama (The University of Tokyo)

e-mail: maruyama@photon.t.u-tokyo.ac.jp

ツククサ (露草) の葉の先にのった朝露は、葉を濡らすことなく転げ落ちる。左上図は九州大学の高田先生が届けてくれた写真で本当に朝露であったかどうかは定かではないが、葉の表面の細かな繊維状の構造がよく分かる。接触角がそれぞれ θ_1 と θ_2 の物質1と物質2が面積割合 α_1 と α_2 で複合した物質表面の接触角 θ_c は、カッシー (Cassie) の式で $\cos\theta_c = \alpha_1 \cos\theta_1 + \alpha_2 \cos\theta_2$ と表される。物質2が空気とすると物質1の面積の割合が小さくなると複合表面の接触角は空気の接触角 180° に近づくと理解されている。

さて、左下の図は、石英基板上に垂直配向の単層カーボンナノチューブ (VA-SWNTs) 膜を CVD 合成したものに、小さな水滴をのせたものである (Y. Murakami and S. Maruyama, Chem. Phys. Lett., 422 (2006) 575)。ナノチューブが清浄である場合には見事な超撥水性を示す。右下、右中の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像はこの表面の拡大図である。SWNT が絨毯のように並んでおよそ $5\mu\text{m}$ の厚さの膜になっており、その表面はツククサと同様の構造である。また、右上の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像から表面では直径 2nm 程度のSWNTが5-6本の束となっている様子が分かる。もともとグラファイト表面と水の接触角は 90° 程度の濡れにくい面であるが、このようなツククサ構造となって超撥水性を示す。

伝 熱

目 次

〈学会声明〉

〈新旧会長挨拶〉

- 会長就任にあたって……………第 47 期会長 河村 洋（諏訪東京理科大学）……………2
「イノベーター日本」に貢献する日本伝熱学会の進化への期待
……………第 46 期会長 柘植綾夫（三菱重工業）……………3

〈学会の改革〉

- 日本伝熱学会の改革（2007 年度活動） ……第 46 期副会長 横堀 誠一（武蔵工業大学）……………4

〈第 20 回日本伝熱学会賞〉

- 日本伝熱学会賞選考の報告……………表彰選考委員会委員長 門出政則（佐賀大学）……………6
日本伝熱学会学術賞を受賞して……………高橋厚史（九州大学），
……………張 興（清華大学），藤井丕夫（（独）産業技術総合研究所）……………7
日本伝熱学会技術賞を受賞して……………石川博章（三菱電機） 他 6 名……………8

〈文部科学大臣表彰〉

- 平成 20 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 ……白樫 了（東京大学）……………9

〈第 45 回日本伝熱シンポジウム〉

- 第 45 回日本伝熱シンポジウムを終えて……………実行委員長 河村 洋（諏訪東理大）……………10

〈特別講演〉

- 毛利衛宇宙飛行士「宇宙から見た新しい地球圏」
……………（編）第 45 回日本伝熱シンポジウム実行委員会……………15

〈特集：新しい計測技術〉

テラヘルツ光の発生と応用可能性	川瀬晃道 ^{1,2} , 林伸一郎 ² , 澁谷孝幸 ^{1,2} , 水津光司 ¹ (1名古屋大学, 2理化学研究所)	19
レーザー干渉光熱変換法による高感度吸光分析	高橋英二 (神戸製鋼所)	24
NMR・MRI 計測 — 計測原理と燃料電池, ハイドレート水和物の内部計測事例	小川邦康 (慶應義塾大学)	27
超高感度 HARP カメラ/超高速カメラの研究とその応用 「見えないものが見える, 超の付くテレビカメラ」	吉田哲男 (株式会社日立国際電気)	40

〈特別寄稿〉

高性能沸騰伝熱管「サーモエクセル」：研究開発回顧と展望	中山 恒 (ThermTech International)	53
-----------------------------	--------------------------------	----

〈ネイチャーQ〉

都市化とクマゼミ	初宿成彦 (大阪市立自然史博物館)	60
----------	-------------------	----

〈国際活動・会議報告〉

CHE2007 会議報告	有馬博史 (佐賀大学)	62
--------------	-------------	----

〈Heart Transfer〉

書評：山頂はなぜ涼しいか	中別府 修 (明治大学)	64
--------------	--------------	----

〈巻頭グラビア：heat-page〉

自然界と人工の超撥水性構造	丸山茂夫 (東京大学)	表紙裏
---------------	-------------	-----

〈行事カレンダー〉		65
-----------	--	----

〈お知らせ〉

総会議事録		67
日本伝熱学会東海支部企画 第19回東海伝熱セミナー		70
International Seminar on Heat Transfer and Fluid Flow 参加募集		72
Call for paper- 2nd announcement 12th Annual Conference of ILASS-Asia		73
事務局からの連絡		74
(社)日本伝熱学会 第47期(平成20年度)役員・評議員		76
編集出版部会ノート		80

CONTENTS

< Official Statement >

< New and Former President's Address >

Address as the New President

Hiroshi KAWAMURA (Tokyo University of Science, Suwa) 2

Expecting Heat Transfer Society of Japan as the Engine of "INNOVATOR JAPAN"

Ayao TSUGE (Shibaura Institute of Technology.) 3

< Effort of Improving Society >

Improvement of Society Mission Associated with its Structural Reform

Seiichi YOKOBORI (Musashi Institute of Technology) 4

< The 20th Heat Transfer Society Awards >

On Selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2007

Masanori MONDE (Saga University) 6

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Koji TAKAHASHI (Kyushu University),

Xing ZHANG (Tsinghua University),

Motoo FUJII (AIST) 7

Technical Achievement Award of Heat Transfer Society of Japan

Hiroaki ISHIKAWA (Mitsubishi Electric Co.), et. al. 8

< The Commendation for Science and Technology by the Minister of Education >

The Young Scientists' Prize, The Commendation for Science and Technology

by the Minister of Education, Culture, Sports Science and Technology, 2008

Ryo SHIRAKASHI (The University of Tokyo) 9

< The 45th National Heat Transfer Symposium of Japan >

Report on the 45th National Heat Transfer Symposium of Japan

Hiroshi KAWAMURA (Tokyo University of Science, Suwa) 10

Invited Lecture by Astronaut Dr. Mamoru Mohri

Summarized by Organizing Committee 15

<Special Issue on “Recent Measurement Technologies”>

Generation and applications of Terahertz ray K. Kawase ^{1,2} , S. Hayashi ² , T. Shibuya ^{1,2} , K. Suizu ¹ (¹ Nagoya University, ² RIKEN)	19
A high sensitive absorptiometric analyzing technology using a laser interferometric photo-thermal method Eiji TAKAHASHI (Kobe Steel, LTD.)	24
NMR / MRI measurement – Principle of measurement and applications to PEFC and gas-Hydrate Kuniyasu OGAWA (Keio University)	27
Development of Ultra High Sensitivity Camera Using HARP Image Pickup Tubes and Ultra High Speed Camera Application and Examples Tetsuo YOSHIDA (Research & Development Division)	40

<Contribution>

High-Performance Boiling Heat Transfer Tube “THERMOEXCEL”: Retrospect and Prospect of R&D Efforts Watstru NAKAYAMA (ThermTech International)	53
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<Nature Q>

Urbanization and cicadas Shigehiko SHIYAKE (Osaka Museum of Natural History)	60
---------------------------------------------------------------------------------------	----

<Report on International Conference>

Report on Sixth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology Hirofumi ARIMA (Saga University)	62
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<Heat Transfer>

Book review: Why the top of a mountain is cool Osamu NAKABEPPU (Meiji University)	64
--------------------------------------------------------------------------------------------	----

<Opening-page Gravure: heat-page>

Ultra-hydrophobic Structures in Nature and Artificial Objects Shigeo MARUYAMA (The University of Tokyo)	Opening Page
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

<Calendar>	65
------------------	----

<Announcements>	67
-----------------------	----

日本伝熱学会からの声明

Statement from the Heat Transfer Society of Japan

第46期会長 柘植 綾夫 (芝浦工業大学)
Ayao TSUGE (Shibaura Institute of Technology)

日本伝熱学会では学会の変革を議論し、組織などを順次変革してまいりました。同時に、エネルギー・環境問題等の地球規模の課題に取り組みつつ、世界の持続的発展に貢献する伝熱学・熱学を目指す学会としての社会的使命を改めて再認識し、学会の今後進むべき方向を社会に示す必要があるとの認識から、初めて学会として声明文を起草しました。会員の皆様に事前に電子メールにてお送りすると共に、去る5月22日には第45回日本伝熱シンポジウムの中に会長セッションを設けてお諮りしたところ、参加者の総意をもってこの声明文が採択されるに至りました。すでに学会ホームページ上に掲載されておりますが、改めて本誌に掲載いたします。

声 明

社団法人 日本伝熱学会

社団法人日本伝熱学会はエネルギー社会の学術基盤である伝熱学の進歩普及を通して、わが国と世界の発展に寄与する目的で集った学術・産業界の研究者および技術者の組織であり、創立以来約50年間にわたり、伝熱に関する学理および応用技術において世界をリードすると共に、それを支える人材を輩出してきた。

今夏、わが国では先進主要国による北海道洞爺湖サミットが開催され、エネルギー・環境問題が議論される予定である。この例を引くまでもなく、エネルギー・環境問題は地球レベルでの持続的発展の要として認識されるにいたっているが、当学会の担う伝熱学ないし熱学は本問題の解を追求する上で最も重要な科学技術の基礎をなす学理であり、当学会および会員はこれらを社会と世界に還元する使命を持つ。

この使命の遂行にあたり、当学会が開催する日本伝熱シンポジウムや、刊行する学会誌・論文集を通じて発信・蓄積してきた膨大な知見と知識が、関連する学術・科学技術分野の発展をもたらし、かつ産業と行政によって積極的に活用されることを期待する。

同時に当学会は、エネルギー・環境社会における学会の社会的使命を一層自覚し、これまでの学理究明に加え、知の創造を社会的価値に結びつけることにより社会の要求に一層応え得るよう、公益への寄与度をさらに高めていくよう努める。その一環として、次代を担う子ども達の教育を重視し、行政と産業の支援の下に「キッズ・エネルギー・シンポジウム」の一層の充実等を通して、初等・中等教育段階からのエネルギー教育の充実に貢献する。

当学会は、前身である日本伝熱研究会の発足から数え、3年後に創立50周年を迎える。こうした伝統と成果を背景に、関連学協会相互の連携の強化と併せ、社会からの多様な要求に応え得るよう学会内のサービス体制整備を積極的に進め、以て伝熱学・熱学の普及・向上を通じて日本及び世界の持続的発展の実現に向け責務を果たすことを公約するものである。

以上

2008年5月22日

会長就任にあたって
Address as the New President



河村 洋 (諏訪東京理科大学)

Hiroshi KAWAMURA (Tokyo University of Science, Suwa)

E-mail: kawa@rs.noda.tus.ac.jp

この度、会長に就任させて頂くことになりました。私と致しましては、これまでの研究・職業人生のどの時期を思い起こしても、この学会や伝熱シンポジウムとの強い関わりが思い出されます。

私の恩師の橘藤雄先生は、「自分が“でんねつ”をやっているという、皆は“電熱器”の研究をやっているのですかと云うが、“伝熱”は、“電熱器”と違って、学問なんだからね」とおっしゃっていました。それから、40年が経過し、気づいてみると、私たちの身の回りに電熱器はなくなり、いまの学生は、電熱器を知りません。“電熱”という文字を見ることもほとんどなくなりました。しかし、“伝熱”は、学問として発展し、技術として広く人々の生活に貢献してきました。

また思い起こすこととしましては、この学会の一つの転機であった社団法人化の折に、小竹先生のご指示を受けて、その事務的な手続きをお手伝い致しました。社団法人化して以来、すでに約15年になりますので、この学会は、伝熱研究会として発足してからの約3分の1を、文部科学省認可の社団法人として活動してきたこととなります。

他方いま、学会を取り巻く状況は、大きく変わろうとしています。公益法人制度の改革です。先日の伝熱シンポジウムにおいても会長セッションが設定されて、学会の社会的使命や、公益法人制度の見直しに関する議論がなされ、当学会の社会的使命と果たすべき役割に関する「声明」が採択されました。現在どの学会も、この大きな風の中で、どちらに舵を取るべきか、思い悩んでいる状況です。このように学会の進むべき方向を決めていかなければならないときに会長職をお受けすることになったことには、不思議な巡り合わせと、非常に重い責任を感じております。

このような時期に当たって、前述の「声明」にもある学会の目的と使命を、再確認していかなければなりません。私は、我々の学会の根幹は、やはり、伝熱学や熱学に関する学術や技術を継承して発展させることにあり、これこそが、社会貢献の基礎であると思っております。次にその上にたつて、第1に、その成果を産業や環境問題に適用することにより、人々の暮らしの安定と向上に寄与して行くこと、第2に、成果をこのソサエティの若い人たちに伝承すると共に、一般の人たちや社会の責任ある人々にもわかりやすく伝えて行くこと、第3に、国際的にもより積極的に学術と人の輪を拡げて行くこと、であると思えます。しかし、新しい公益法人制度で求められるものは、より具体的な証かも知れません。また、運営体制についても、我々の学会規模では維持出来ない程度のもものが求められるかも知れません。

このような重要な時期に、学会の方向を決めていくことは、私一人では到底できるものではありません。その点、強力な副会長や理事の方々とともに運営にあたっていただけるのは、大変心強いことでもあります。

またとくに申し上げたいことは、この学会は“社団法人”法人であるということでもあります。“社”というのは、元来、人の集まりを云います。つまり、学会は会員のためにあり、同時に会員によって支えられています。どうか、会員各位が学会に対してなにを求めておられるか、また同時に、学会をどのような形で支えて頂けるかをお考えいただき、お聞かせ下さい。このような会員の力に支えられてこそ、この学会の伝統を継承しより発展させていく方向を見出して行くことができると考えております。よろしく申し上げます。

「イノベーター日本」に貢献する日本伝熱学会の進化への期待
Expecting Heat Transfer Society of Japan as the Engine of "INNOVATOR JAPAN"



第46期会長 柘植綾夫 (芝浦工業大学)
Ayao TSUGE (Shibaura Institute of Technology)

このたびは、河村新会長にバトンをお渡しして会長を退任しました。第46期会長の職責を果たすことが出来たのは、ひとえに森副会長、門出副会長、横堀副会長はじめ理事会の皆様の献身的な学会運営への貢献の賜物です。改めて感謝の意を表します。

日本伝熱学会は1961年に先輩方のご尽力によって創設されて以来、その目的である「伝熱に関する学理および応用についての発表、知識の普及、会員相互および国際的な交流を図ることにより、伝熱学の進展普及を図り、もって我が国の学術の発展に寄与すること」を実践してきた、誇るべき47年の歴史があります。

その間本学会は、学术界および産業界において「知の創造」と「技術革新」、更には「社会・経済的価値創造：イノベーション創出」に貢献する多数の人材を輩出してきたことも特記することが出来ます。

一方、21世紀の今、日本は明治維新、敗戦後の復興に次ぐ第三の国創りの重大変革期に入っていると言えます。国内面では、急速に進む少子高齢化と労働人口減少の日本が如何に持続可能な発展を続けるかという「National Innovation」能力と、地球規模では、環境、エネルギー、経済の3E問題に代表される迫り来る危機に対処する「Global Sustainable Innovation」能力の、“競争”と“協調”の両面からの「イノベーション能力強化」の重要性が今ほど高まった時代は、日本および人類の歴史において無かったと言っても過言では無いでしょう。

同時に、この命題の解決に対する科学と技術の役割の重要性が益々高まっていることも、我々理学と工学で身を立てている会員は改めて認識し、それを行動に移さねばならない時代でもあります。

この認識に立ち、この一年間「学会の社会的使命と体制の検討委員会」を会長、三副会長、河村

新会長、佐藤勲先生、中部主敬先生で立ち上げ、それを支える作業会を横堀副会長のリーダーのもと、理事と企画部会有志の皆さんの参加を得て開催してまいりました。主たる検討課題を俯瞰して、会員の皆様にも考えていただきたい要点をまとめます。

1. 本学会を囲む社会の急速な潮流に応える伝熱学・熱学への期待・・・公共の福祉の増進に寄与するとともに、地球環境と人類社会の調和ある発展に貢献すること。
2. 新公益法人への変更の選択・・・公益優先の公益社団法人か知的好奇心追及のサロン的一般社団法人を選ぶかを5年以内に。
3. 学会の存続のための組織、財務改革と社会的使命の具体的検討・・・緊急の改革を要する、事務局長の雇用、事務局の神田への移動、文科省の審査に向けた準備開始、財務担当役員を新設、経理監査の強化を行いました。
4. 学会の社会的価値の強化に向けた三大改革の方向：「イノベーションに資する活動」、「人材育成と社会及び子供たちへの技術者のロールモデルの見える化貢献」、「国際化、特にアジアでのリーダーシップ」

これらの課題は第47期においても検討を継続されることを期待します。そして、社会との関係強化を改革の中心に据えて、その面での学会活動の日常化と、恒例の伝熱シンポジウムでの「見える化」と「共有化」の実現を期待します。

以上の活動のまとめとして、日本伝熱学会の持つ社会的使命の実行責務を「対外声明」としてまとめ、去る5月22日の総会に提案し、満場一致の賛同を得ることが出来ました。

河村新会長の下で、声明の実行に向けた更なる検討が推進され、学会会員の皆様も、それぞれの立場と横の連携の下、実行への参画・貢献をされることを期待します。

日本伝熱学会の改革（2007 年度活動）

Improvement of Society Mission Associated with its Structural Reform

第 46 期副会長 横堀 誠一（武蔵工業大学）
Seiichi YOKOBORI (Musashi Institute of Technology)
e-mail: yokobori@atom.musashi-tech.ac.jp

1. はじめに

日本伝熱学会の第 46 期（2007 年度）理事会では、学会の抱える懸案の克服にあたって、柘植会長から委嘱されたワーキンググループ（WG）で議論を集約し、可能なものから年度内に改革を具体化した。会長退任挨拶の記載と一部重複するが補足の意味を含めて以下に概要を報告する。

2. 学会を取巻く社会の流れの変化

2.1 社会的活動の強化

2007 年度は学会を取り巻く大きな動きが顕在化し、会務の遂行上無視できなくなった。その第 1 は社会との接点の強化である。国（総合科学技術会議による第 3 期科学技術基本計画とイノベーション創出総合戦略）、内閣（革新的技術創造戦略）、学術会議（憲章決議）など、各組織で一斉に地球環境や科学の社会福祉の増進が謳われ始め、当学会が扱う伝熱学・熱学が重要視されてきたために、それに応ずる必要が出された。

2.2 新公益法人への移行

第 2 に現在の社団法人は 2007 年 12 月から 5 年間に新たに公益社団法人か一般社団法人のいずれかへの移行を余儀なくされ、判断を迫られている。当学会は公益法人への移行を目指す。第 3 者機関に納得される学会の公益性を示すまでにクリアすべき問題は多い。会計処理の表示も複雑となり、従来の処理ソフトでの対応が不可能になってきた。

3. 事務局など体制の改革

3.1 事務局の移転

事務局はこれまで文京区湯島に出版社の好意で同社屋の一部を安価に借りていたが、2007 年 5 月

第 46 期「学会の社会的使命と体制に関する検討委員会」メンバー：柘植綾夫，森康彦，門出政則，横堀誠一，河村洋，佐藤勲，中部主敬

に移転要求が示された。その後、事務局員増員の動きが出たので、従来の事務スペースよりも広い事務室を探し、2008 年 4 月から千代田区内神田に転居して事務を開始した。神田駅より徒歩 5 分で交通の便も良い。本件は所管の文部科学省の事前了解を受け、去る 5 月の総会で承認された。

3.2 事務局長の雇用

これまで長期にわたり、学会事務は専従の倉水裕子さんが総務担当副会長の指示で一手に引き受けて頂いたが、総務担当副会長と倉水さんの事務量が限界に達し、かつ経理上も複数によるチェックが必要となった。そこで懸案の職員複数体制を実行に移し、石塚健氏を事務局長として 4 月から雇用した。同氏は土木学会から日本流体学会の事務局長を歴任されたベテランで、今後は倉水さんと共同で事務を分担される。

3.3 財務担当役員と部会の新設

当学会の財政は堅実かつ正確で、これまで問題を起こしておらず、これは大いに誇れる点である。しかし新法人の移行に伴い、経理面からはこれまで以上に厳格な審査が要求される。確実な出納業務推進に向けて、会計処理ソフトを更新し、同時に理事会組織に財務担当の役員を新設した。財務担当は総務担当と分離させ、今期は企画担当副会長が財務担当を兼担し、産業界の理事が財務理事を担当することにした。これに伴う学会細則も変更を完了している。

4. 学会の使命の改革

4.1 ワーキンググループの設置

事務局の改革は懸案が明確化であるためスムーズな変更ができた。一方、どういう学会にしたいかという将来問題はビジョンの策定を前提とするので遅れ気味になったが、WG ではステップを踏んで検討を進めた。討議された内容は表 1 に記すとおりで、会務全般にわたる長年の懸案である。

表1 作業会での主な議題（順不同）

1	現在の我が国の伝熱技術の総括
2	伝熱シンポジウムのあり方
3	新法人化移行にあたっての考え方
4	社会との連携を強化した学会への変革
5	国の多様なトップダウンの動きと学会の対応
6	関連技術学会とのコラボレーション
7	機械学会熱工学部門との協調、仕分け
8	事務局の改革、とくに財務の強化
9	国際化の強化、とくにアジアの学会を束ねる動き
10	サービス部門の停滞と強化策
11	出版活動のありかた
12	産官学の連携の功罪、FILGAPの総括

5. 学会はどう見られているか

学会内で行う現状認識は最前目になるのが通例であるが、ある程度厳しめな議論を心がけ、表2に示すような問題点に集約できた。見出しだけで個別の説明は省略するが、大方の会員には察しが付く内容と思われる。サロン化する傾向が顕在化しつつあり、このままでは飛躍的な発展が期待できず、現状維持か衰退し、研究会に回帰するという評価となった。手を打たなければならない。

表2 学会の現状認識（順不同）

1	内部には居心地のよい学会
2	大きな不満はない。財政も堅調
3	在会の精神的シンボルが伝熱シンポジウム
4	外部から入りにくい
5	外部への発信が少なく、社会との関係が希薄
6	機械系主流の傾向が顕著、化学系の離脱
7	数年後の職員の定年に伴う事務継承の懸念
8	収益の観点から財務基盤が弱い

6. 学会のビジョン

改革にあたっては「どういう学会にしたいか」の明示からスタートしなければならない。表3はそれを要約したもので、今後の改革のベースになるものである。一言で言えば、従来の学理志向



図1 改革を報告した会長セッション（HPより）

表3 学会のビジョン（順不同）

1	トップ技術は世界レベルを維持する学会
2	伝熱シンポジウムを支柱とする集まり
3	ステップを踏んだ新法人への移行
4	物理現象の解明と社会還元を両輪とする学会
5	現状規模を維持
6	関連技術学会とのコラボレーションを強化
7	事務局は改革を継続
8	より国際化、とくにアジアを束ねる学会へ飛躍
9	サービス部門を新設
10	エネルギー革新技術を支える基幹学会

という学会の特質は維持に努め、排除しないが、新たに社会的価値の強化・社会とのかかわりの強化を組入れた学会に変革すると言うものである。認知科学に設計科学の側面を補強することで公益性を強化するとの言い方もできよう。

7. 社会との関わり（公益性に向けた3大改革）

学会活動は社会活動そのものであり、今更公益性追加が必要かという疑問は依然根強い。ここでいう社会的価値の強化とは、知的関心の追求以外の活動を指す。多様な改革が含まれるが、あえて挙げれば

(1) イノベーションに資する活動、(2) 社会及び初等中等教育を見据えた子供たちへの技術的貢献による人材育成、(3) 国際化、特にアジアでのリーダーシップの確立と言った3点が特に強化すべき項目と考えられ、いずれも現在の学会には欠けているものである。学会初の声明もこうした背景と無縁ではなく、今後の改革の柱である。

8. おわりに

社会の急速な潮流に応える学会改革WGは第47期も継続する。当学会も改革の動きは過去に数回あり、大きなものに20年前の甲藤委員長の答申があるが⁽¹⁾、今回の改革は法人移行の問題があるだけにこれまでとは切迫度が異なる。この機を逃すと深刻な事態を招きかねない。活動の具体化には資金の運用が絡み、職員の増加は人件費の増加に直結する。これまで学会活性化のために温存してきた資産の充当で当面乗切るが、会費の見直しも視野に入れなければならない。会員各位のご理解をいただきながら改革を着実に進めたい。

参考文献

- [1] 「将来問題検討委員会」からの答申を受けて、伝熱研究 27-105 (1988) pp.1-5.

平成 19 年度日本伝熱学会賞選考の報告
On Selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2007

表彰選考委員会委員長
門出 政則 (佐賀大学)
Masanori MONDE (Saga University)
e-mail: monde@me.saga-u.ac.jp

平成 19 年度日本伝熱学会賞学術賞, 技術賞及び奨励賞の公募を行ったところ, 5 件の学術賞, 2 件の技術賞の推薦があった. 所定の手続きにより慎重に審査した結果, 各賞の受賞者を下記のように決定した. 表彰式は, 平成 20 年 5 月 22 日つくば市 (つくば国際会議場) で開催された学会総会において行われた.

1. 学術賞

Scientific Contribution Award
Of the Heat Transfer Society of Japan

代表研究者:

高橋 厚史(九州大学)

共同研究者:

張 興(清華大学)

藤井 丕夫((独)産業技術総合研究所)

「ナノ加工技術を用いた金属薄膜およびカーボンナノチューブの熱物性計測」

Physical Review B
第 74 巻 2006 年

2. 技術賞

Technical Achievement Award
Of the Heat Transfer Society of Japan

代表研究者:

石川 博章(三菱電機(株))

共同研究者:

野村 武秀(三菱電機(株))

斎藤 康之(三菱電機エンジニアリング(株))

大串 哲朗(広島国際大学)

野田 浩幸((独)宇宙航空研究開発機構)

川崎 春夫((独)宇宙航空研究開発機構)

矢部 高宏((独)宇宙航空研究開発機構)

「きく 8 号搭載展開型ラジエータの開発」
「伝熱」47 巻 198 号 (2008) pp. 22-27

表彰委員会後記

奨励賞については, 残念ながら推薦が 1 件もなかった. その原因について, 表彰委員会で検討した結果, 奨励賞の対象者が発表時に大学院生, またはこれに準ずる者(大学卒業後 5 年以内の者)の研究活動に対する評価となっていたために, 対象者が限定されているのではないだろうか?ということになりました. そこで, 博士課程での研究成果に加えて, 更に修了後 3 年程度の研究成果も考慮したいということから, 平成 20 年度から若手研究者 (発表時に 30 歳程度以内の者) の対象範囲を広げて, 奨励賞を授与することにした. (詳細は募集要項参照)

日本伝熱学会学術賞を受賞して

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan



高橋厚史 (九州大学), 張興 (清華大学), 藤井丕夫 ((独)産業技術総合研究所)
Koji TAKAHASHI (Kyushu University), Xing ZHANG (Tsinghua University), Motoo FUJII (AIST)
e-mail: takahashi@aero.kyushu-u.ac.jp

この度は、栄えある「日本伝熱学会学術賞」を受賞させていただき大変光栄に存じております。学会関係の先生方はじめ今回の受賞対象となった研究プロジェクトに協力いただいた方々への感謝の意を込めて、駄文ながらご挨拶をさせていただきたいと思っております。

本受賞課題「ナノ加工技術を用いた金属薄膜およびカーボンナノチューブの熱物性計測」は、2003年頃から当時 MEMS 技術を使って何か面白いことは出来ないかと模索していた高橋と、熱物性計測をナノメートルオーダーにまで展開しようと計画していた藤井および張による一連の共同研究の成果であります。この研究は単一のカーボンナノチューブの熱伝導率を計測するという、世界中の研究者が強く興味を持ちながらも米国からの1件しか報告がなかった課題への挑戦から始まりました。基礎とした計測原理はカーボンファイバー単線を対象として独自に培ったT字一体型プローブ法でありナノチューブへも応用できるものと自信を持っていましたが、第一の関門はナノチューブに近いサイズの白金センサを開発できるかどうかでありました。当時はまだ MEMS という言葉がようやく認知されてきた頃であり、MEMS センサをさらにナノの領域にまで小型化して「実際に」利用しようとする研究者は珍しかったと記憶しています。結果として、2004年から2005年にかけて多層カーボンナノチューブの熱伝導率を詳細に計測することに成功し、その後も金属薄膜の熱物性について同様の実験手法を用いることで知見を多く得たことは、今から振り返っても運に恵まれた時期でありました。

ほとんどの研究は未踏領域への挑戦であることと思っておりますが、上記のような現状よりも桁外れに困難な課題へ立ち向かうには専門を異にする研究者の密接な連携なくしては不可能です。その意味でマッチング役を果たしていただいた高松洋先生

の貢献度は非常に大きかったと思っております。また、高田保之先生にはナノ加工用の大型設備の導入にご尽力をいただきました。さらに、カーボンナノチューブをセンサに取り付ける工程に関しては吾郷浩樹先生と産総研ナノテク研究部門の清水哲夫博士のご助力を仰ぎ、薄膜のナノ加工の基礎となる電子線描画とリフトオフ法に関しては2000年頃の話になりますが九州工業大学マイクロ化センターの浅野種正先生（現在は九大）から丁寧な技術指導を受けました。これらの先生方はじめ多くの方々のご協力と学生たちの徹夜も厭わない努力に対して紙面を借りて改めて深く謝意を表したいと思っております。

さて、当時の実験の内情を少々披露いたしますと、鍵となった懸架状態の金属薄膜細線に関する苦労がやはり忘れられません。ホットフィルムとしての感度を上げるために厚さ20~50nm、幅300~500nmで作りに上げたそれは非常に繊細なために、製作途中でも計測途中でも原因不明のまま頻りに切れたのです。このナノフィルムを製作するには多数の工程を経て丸3日ほど要するのですが最後の工程で切れているのを見つけた時の落胆は大きく、また、計測においても製作段階で苦労しているのを知っているがゆえのプレッシャーと闘いながら実験しているとある瞬間ふっと信号が消えてしまうという事故が繰り返したこともありました。現在では温度管理や電氣的対策で完全に解決している問題なのですが、当時は眠れない日が続いたことも今となっては楽しい思い出です。現在の我々は所属が大きく離れてしまいましたが、再会するたびに「いいチームプレーだったですね」「また何かやりましょう」という話で盛り上がります。その時はまた別の専門家に協力をお願いするに違いないでしょう。どうぞ皆様方よろしくお願いたします。

日本伝熱学会技術賞を受賞して

Technical Achievement Award of Heat Transfer Society of Japan

石川 博章, 野村 武秀 (三菱電機),
 斎藤 康之 (三菱電機エンジニアリング), 大串哲朗 (三菱電機:現 広島国際大学)
 野田 浩幸, 川崎 春夫, 矢部 高宏 (宇宙航空研究開発機構 (JAXA))
 e-mail: Ishikawa.Hiroaki@bp.MitsubishiElectric.co.jp



このたび,つくばで開催されました日本伝熱学会第 46 期総会におきまして「きく 8 号搭載展開型ラジエータの開発」に対して,日本伝熱学会技術賞を頂きました。ご選考頂きました諸先生方,選考委員の方々に紙面をお借りして心よりお礼申し上げます。

将来,衛星内部に搭載される電子機器の電力の大幅な増加および高発熱密度化が予想されています。従来,ロケット打ち上げ時に衛星が収納されるフェアリングサイズの制約によって,衛星の放熱面積を十分確保できない課題があり,打ち上げ後に宇宙空間で放熱パネルを展開して放熱面積を拡大できる展開型ラジエータの開発が将来の衛星にとって不可欠でした。これが,きく 8 号 (ETS-VIII) での実証を目指した開発のきっかけで, JAXA と三菱電機とが一体となり開発を開始しました。

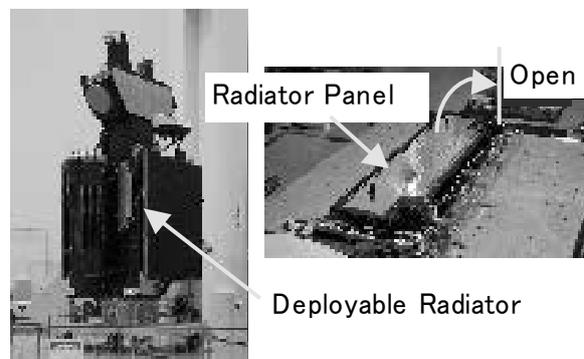
特に展開型ラジエータには熱輸送距離 3m (ループ長 12m) で 1kW 以上の熱を輸送でき,かつ展開部配管のフレキシブル性があるヒートパイプの開発が必須でした。そのため,日本独自の技術で高熱輸送能力を持ち,なおかつ宇宙空間でも従来に無い高い動作の信頼性を確保できるループヒートパイプの開発を始めました。ここでは,作動液を溜めるリザーバを蒸発器に内蔵することで,無重力下のどのような状況でも多孔体のウイックに作動液が浸透して駆動に必要な毛細管力が得られる方式を採用しました。特に宇宙用であり,さらに独自方式であることから,リザーバ内の作動流体の対流状況を可視化したり,-40℃以下の低温環境下から起動させたりするなど考える限り多くの基礎検討をおこないました。ヒートパイプは,内部に使用している作動流体の挙動が重力の影響を受けやすく,実用化には無重力環境での動作実証が不可欠です。開発では航空機による微小重力実験も実施しましたが,微小重力環境の継続時間は約 20 秒と短く,きく 8 号による実証が必須でし

た。当然ながら衛星に搭載するには,展開,振動,熱真空試験等の厳しい試験にもパスするように展開型ラジエータを設計する必要もありました。

全ての試験を完了した後,きく 8 号に搭載された展開型ラジエータは 2006 年 12 月 18 日に,種子島宇宙センターから打ち上げられました。その後,関係者が緊張して見守る中,展開保持機構の火工品に点火して展開型ラジエータの展開に成功し,さらに宇宙空間で始めてループヒートパイプの起動も確認されました。成功の喜びは何にも代え難いものでしたが,このことにより日本の技術で世界トップレベルの展開型ラジエータ (放熱量 1kW 以上) およびループヒートパイプの実用化に向けて大きく前進することができました。

きく 8 号での軌道上評価も,つくば宇宙センターにて継続中で,現在 2 年目の運用をおこなっています。1 年以上の長期にわたる二相流体ループの軌道上での評価は日本で初めてとなります。

最後に,本開発の成功は JAXA とメーカーとが協力しあうことで初めて達成できたものです。本開発を進めるにあたり多大なご支援を頂きました JAXA ETS-VIII プロジェクトの辻畑プロジェクトマネージャーおよび三菱電機を初めとする多くの関係者に謝意を表するとともに,日本伝熱学会の益々のご発展を祈念いたします。



きく 8 号と展開型ラジエータ

平成 20 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞を受賞して

*The Young Scientists' Prize, The Commendation for Science and Technology
by the Minister of Education, Culture, Sports Science and Technology, 2008*

白樫 了 (東京大学)

Ryo SHIRAKASHI (The University of Tokyo)

この度、日本伝熱学会より御推薦を賜り、平成 20 年度の科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞、受賞の栄に浴することができました。伝熱学会の関連の方々、とりわけ御推薦下さいました表彰選考委員会の先生方に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。また、表彰選考委員会委員長であった佐賀大学の門出政則先生には、資料作成から文科省へのヒアリングに至るまで大変な御骨折りをいただき、大変恐縮しております。

受賞の対象となった業績は、以下に記す様に必ずしも現象としての伝熱・物質輸送の本道をゆくものではなく、むしろこれらの現象の知見を使った応用研究で、それもどちらかといえば馴染みが薄い内容であると感じていただけに、学会よりご推薦頂いたことは、望外の喜びでもありました。これまでにご支援頂いた多くの先生方のご厚意に報いるためにも、今後も本学会で、引き続きご批判をうけつつ、受賞対象となった研究を深めていく所存です。

本表彰の表彰式は平成 20 年 4 月 15 日に東京の虎ノ門パストラルにておこなわれ、若手科学者賞の受賞者には賞状とメダルが授与されました。以下に受賞当日報道発表のための業績概要と、当日の集合写真を掲載いたします。

【若手科学者賞】

生体の長期高品位保存の研究

国立大学法人 東京大学 生産技術研究所
白樫 了 准教授

業績

タンパク質から組織・臓器に至る生体や生鮮食品等の生体由来の対象物は、他の工業製品等と異なり、その生産や採取から利用までの過程で品質が劣化して長期間の保存が難しいことが需給のバランスの維持や流通を困難にしている。生体の品

質を維持しつつ、経済的で安全かつ効率的な保存法を開発することは、生体由来物質の無駄のない普及を推進する上で重要である。

氏は、熱工学や熱物質輸送現象の実験解析の手法を、耐凍結・乾燥物質の生体への導入、凍結保存プロセスの設計等に应用することで、定量的に扱うことができることを示すと同時に、特に新しい細胞内への物質輸送法を提案している。

本研究成果は、今後需要がふえると見込まれる医療目的の組織や細胞に対する供給の確保にとどまらず、劣化が問題となるバイオ材料や食料などの貯蔵や流通に寄与するものと期待される。

主要論文：

- Ryo Shirakashi, C.M.Koestner, K.J.Mueller, M.Kuerschner, U.Zimmermann and V.Sukhorukov, 「Intracellular Delivery of Trehalose into Mammalian Cells by Electroporation」, Journal of Membrane Biology, p.1-10, vol.189, 2002 年発表
- 上野茂昭, 白樫 了, 都 甲洙, 相良泰行, 工藤謙一, 樋口俊郎, 「希薄溶液系材料内氷結晶の非破壊計測法に関する研究- 誘電特性を利用した氷結晶構造の推定-」日本冷凍空調学会論文集, p.337-344, vol.21, No.4, 2005 年発表



受賞集合写真から抜粋(下から 2 列目左端が著者)

第45回日本伝熱シンポジウムを終えて

Report on the 45th National Heat Transfer Symposium of Japan

実行委員長 河村 洋 (諏訪東理大)

実行委員 阿部 豊 (筑波大), 岡本孝司 (東京大), 宗像鉄雄 (産総研), 齊藤卓志 (東工大),
神永文人 (茨城大), 市川直樹 (産総研), 上野一郎 (東理大), 川口靖夫 (東理大)

Hiroshi KAWAMURA¹, Yutaka ABE², Koji OKAMOTO³, Tetsuo MUNAKATA⁴, Takushi SAITO⁵,
Fumito KAMINAGA⁶, Naoki ICHIKAWA⁴, Ichiro UENO⁷, Yasuo KAWAGUCHI⁷

(1 Tokyo Univ. Science, Suwa, 2 Tsukuba Univ., 3 Univ. Tokyo, 4 AIST,
5 Tokyo Inst. Tech., 6 Ibaraki Univ., 7 Tokyo Univ. Science)

1. 全体報告

日本伝熱シンポジウムは、日本伝熱学会の中核的な行事として8地方支部を一定の順序で回って開催しております。それによれば、今年は、関西支部の順番でしたが、予定されていた京都の会場が、サミットの影響で日程の確定がむずかしいということで、今回のみ、関西と関東の順番を入れ替えて実施することとなりました。その大きな方針が決定したときは、例年よりはかなり日程が遅れておりましたので、その時点で会場の確保が可能なことと、会員の相当のアクティビティがありシンポジウムの準備と運営が可能であると云うことで、つくば地区が関東支部内で選ばれました。会場はつくば国際会議場で、大きな吹き抜けのまわりに、10室以上の部屋が確保でき、交通も、つくばエクスプレスが開通していることにより、大いに改善されており、開催が可能であると判断されました。これが決定されたのが今年の2月でしたので、開催まで1年少々しかなく、ただちに、筑波、千葉北部、茨城地区の会員に呼びかけましたところ、急速に実行委員会を立ち上げることができました。その後は、各委員が役割を分担して下さり、それぞれにはご苦勞があったかとは思いますが、きわめて順調に準備と当日の運営を進めて下さいました。

今回のシンポジウムにおける特別な企画の一つとしては、最近、学会の社会的使命に対する重要性が増加していることと、当学会も公益法人制度改革の影響を受けることから、これらに関して一年間の検討結果を会員に報告し、かつ会員のご意見を直接にうかがうために、会長セッション「日本伝熱学会の社会的使命と体制」を設けたことが

あります。このセッションでは、当学会の社会的使命と果たすべき役割に関する「声明」が採択され、本誌の今号にも掲載されています。また、恒例の行事である特別講演では、サイエンスと宇宙の筑波を代表する方として、宇宙飛行士の毛利衛氏にご講演を依頼しましたところ、幸いお引き受け頂くことができました。ご講演では、500人以上の聴衆を前に、宇宙実験やサイエンスコミュニケーション等について、多くのメッセージを熱く語りかけられました。その模様とご講演の概要は、別の記事として、今号に掲載しております。

これら以外にも、特筆すべきことは多くありますが、以下に、それぞれのご担当の実行委員にご紹介をお願いしています。最後に、お忙しい中をご尽力頂いた実行委員各位のお名前を本記事の文末に記載して、心からの謝意を表するとともに、多数ご参加下さり、本シンポジウムを意義ある学術発表と交流の場にして下さった参加者各位に、深く感謝したいと思います。(河村)



シンポジウム会場

2. 会場運営

会場運営に関わる業務としては、事前の発表会場の設営・懇親会場の設営・発表用機器の手配・クロークの準備、休憩室や事務室の準備・会場内外の案内看板の設置ならびにつくばに宿泊される方のためのホテルの確保などを行うとともに、当日にアルバイトを手配運用して発表会場運営をできるだけ円滑に行うとともにクロークの運用や懇親会の実施などを担当した。

今回の伝熱シンポジウムにおいては、前回の長崎の伝熱シンポジウムで導入されたポスター発表方式から、プレゼンテーション方式に変更しあわせて総合討論を設けることが、実行委員会により決定された。多数の様々な講演会が短い期間の間に多数開催されるという時代の変遷に伴って、発表方式だけでなく論文出版に J-Stage が利用され論文集が CD 化されるなど、学会運営方式も様々に変遷してきているが、今回の伝熱シンポジウムにおける発表方式は、従来の発表形式で行うこととなった。古式ゆかしい学会運営方式では、時間管理を含めて人の手による作業の余地が大きく、単に人手の作業の増加だけでなくそのために必要となる人の管理運用についても膨大な実務作業が発生することになった。

御参加された先生からは、各講演会場入口に受付がいなかったなど従前の伝熱シンポジウムの方式とは完全に同じくはない、などの御意見も頂戴したものの、のべ100人に上るアルバイトを運用して実施した会議としては、何とか無事に乗り越えられたものと考えている。これは、偏りに現地の筑波大学から実行委員として御参集御協力頂いた藤野貴康先生・藤原暁子先生・橋本博文先生・榊原潤先生・文字秀明先生の献身的で膨大な時間を費やした御努力によるものであり、会場運営に御協力頂いた多数の関係各位に対しても、本紙面を借りて感謝の意を表したい。(阿部)

3. J-Stage 利用

昨今では、オンラインジャーナルが一般的になってきていることもあり、本シンポジウムより、J-Stage を利用して論文集を公開することを決定した。J-Stage を利用することのメリットは、大きく分けて3点ある。まず、ID とパスワードを知っていれば、世界中の何処からでも論文へのアクセ

スが可能となる点である。プログラムとアブストラクトは一般公開されるので、検索エンジンなどによって論文が参照される確率が高くなる事も期待される。2点目は、従来、学会員全員に論文集や CD-ROM を事前に郵送していたのに対して、学会誌を通じて ID とパスワードを連絡するだけで、学会員全員に論文集を配布できる点である。郵送料コストを節約できる。3点目は、論文投稿などに J-Stage を用いることで、論文投稿の標準化が図られるとともに、実行委員会の負担を減らすことが期待できる。このように、J-Stage 利用は、大幅なコスト削減につながるるとともに、利便性が増大する。既に論文集 TSE は、J-Stage で公開されていることもあり、大きな問題も無く J-Stage での公開が進められたと考えている。これには、JST 及びアトラス社の方々の多大なご協力があったことを付記して、お礼を申し上げたい。

なお、今回のシンポジウムでは、現地でモノクロ印刷の論文集も追加配布した。400 ページの電話帳 2 冊の論文集であり、全印刷費の 70%はこの論文集に費やされるとともに、現地納品もトラック横付けで荷下ろしだけで1時間半も掛かることとなった。いろいろなご意見があると思うが、コストとメリットを考えると、印刷版の論文集は不要であると私は考えている。お財布にも環境にもやさしくない印刷版論文集はどこかで廃止すべきときに来ていると考える。

また、印刷版論文集を準備するため、J-Stage 及び CD-ROM に掲載される最大 8 ページの電子版論文と、印刷に用いる 2 ページの印刷版論文の 2 種類の論文を著者に準備することを要求するとともに、オンライン投稿システムでも 2 種類の論文を受け付ける為の工夫が必要となった。具体的には、J-Stage では 1 種類の論文しか受け取ることができないため、別のサーバーを立てて、印刷版論文を受け付けることとした。J-Stage 側に若干の仕様変更をお願いし、電子版論文投稿後にスムーズに印刷版論文投稿が可能となるような設定とした。多くの方々のご協力により、ほぼ問題無く印刷版論文の受付ができたが、一部、印刷版論文を別途お送りいただくなどの例外処理も発生した。次回以降も同様のシステムを使うことができると考えているが、電子版のみであれば必要の無い工夫である。印刷版が無くても、必要があれば、J-Stage もしく

は CD-ROM から個別に印刷をすればよい事であり、検索エンジンが主流となった現在、環境にもやさしくない印刷版論文集の必要性について、是非会員の皆様にも議論していただきたい。(岡本)

4. プログラム・OS

今回の伝熱シンポジウムでは、全発表件数は412件であった。この内、OS 55件、優秀プレゼンテーション賞セッション56件、特別セッション5件の合計116件は、各セッション担当者にプログラム作成をお願いしたため、プログラム部会(見学会部会の市川直樹氏を含む産総研メンバー)では、まず296件を74セッションに振り分けて各セッションの座長候補者を決定する作業を行い、最終的には、講演プログラムとOS等を含む全講演の著者総索引の作成作業を行った。

反省点として、セッションの振り分けでは、座長候補者および同一の講演者(連名者を含む)が同じ時間帯のセッションで重ならないように配慮したため、講演によっては若干違和感のあるセッションでの発表となってしまったものがあったこと、座長の方々には短期間に無理を承知でお願いした面があったこと、セッションによっては会場が狭く立ち見の聴講者が出てしまったこと、等が挙げられる。担当者の配慮が不足していたと痛感しているが、ご容赦願いたい。

なお、前節で岡本先生が書かれているように、今回から J-Stage を利用して講演申込をすることになった。今回が初めてということもあり、所属等の書き方を指示していなかったため、種々の書き方で申し込まれた方が多く、所属等を略称で記載するプログラム作成では申込時のデータベースを逐次修正する必要があった。この作業は大変手間がかかるため、次回以降は講演申込時の注意事項として周知徹底させ、プログラム作成時の負担を低減する必要があると思われる。(宗像)

5. 優秀プレゼンテーション賞セッション

当該セッションは、本学会会員である学生や若手研究者をエンカレッジする場として、毎年、伝熱シンポの場を借り、学生会委員会(現委員長:堀部明彦)が企画・運営を行っているものである。今年はおそらくこれまでで最高となる56件の講演申込みがあり、14件×4室でのショートプレゼ

ンおよび40分×2グループ(発表番号の偶数・奇数別)の運営となった。相当な長丁場にもかかわらず、発表者の皆さんの態度は非常に真摯かつ熱心で、発表内容の充実と相まって、かなり広いはずの会場が溢れるほどの大盛況とすることができた。また、セッションの後に続けて開いた交流会にも、発表者だけでなく、多くの若手の皆さんに出席いただき、研究にとどまらない日頃の生活や趣味などの情報交換で交流を深めてもらえたものと思っている。

審査員スコアおよびポスター会場における投票数を学生会委員会により慎重かつ厳正に検討した結果、松村康弘(大阪府立大学)、鈴木博貴(名古屋大学)、丹下学(産業技術総合研究所)、藤田尚利(岡山大学)、押部洋(東北大学)、岡巧(慶應義塾大学)以上敬称略/順不同、の6名の方が優秀プレゼンテーション賞を受賞することとなり、シンポジウム二日目にあった学会総会の場において、河村実行委員長より表彰を受けた。惜しくも受賞に至らなかった皆さんには、是非、これからもチャレンジを続けていただくとともに、より多くの皆さんが本セッションに参加されることを期待している。最後となってしまったが、いずれも甲乙付けがたい困難を極める審査をこなしていただいた審査員の皆さまに、この場を借りて厚く御礼申し上げたい。(齊藤)

6. 企業展示の記録

今回は、企業13社[アビオニクス販売(株)、(株)エヌ・テック、(株)岡崎製作所、(財)高度情報科学技術研究機構、ジーエルサイエンス(株)、(株)日立製作所、日立電線(株)、(株)堀場製作所、(株)明電舎、(株)ライブラリー、京都電子工業(株)、熱移動強化プロセスエンジニアリング CAL GAVIN 連絡事務所、(株)ソフトウェアアクレイドル]の製品展示と今回初めてアカデミック展示を実施し、芝浦工業大学先端工学研究機構エネルギーフロー研究センターと東京理科大学ホリスティック計算科学研究センターからの参加があった。展示場所として2階の広いコンコースを利用したため、シンポジウム参加者が多く立ち寄ることができ、3日間盛会の内に終了することが出来た。(神永)



展示風景

7. 見学会

シンポジウム最終日午後に伝熱学会関東支部との共催で、つくばのビッグサイエンスを見学するテクニカルツアーを企画・実行しました。宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 松本聡氏, 日本自動車研究所 (JARI) 瀬古俊之氏, 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 木村誠宏氏の尽力により, JAXA と JARI, JAXA と KEK をそれぞれ順番にまわる 2 つのツアーとしました (産総研からは松本壮平氏と私で全体のとりまとめを行いました)。当日は天気も良く, 最終的には最初のツアーに 38 名, 後のツアーに 39 名 (引率者含む) 参加しました。最初に行った JAXA では, かわいいガイドさんが同乗し, 総合環境試験施設, 宇宙ステーション試験施設, 宇宙飛行士養成施設, 無重量環境試験施設の 4 施設と展示室での説明を受けました。普段は見学できない施設内も見せてもらいました。撮影厳禁とのことで, 全員カメラ, 携帯電話を預けることとなったのが印象に残っています。JARI では, 大型車両排出ガス試験設備, 衝突実験場, 電気自動車の 3 箇所での見学・体験を行ないました。特に電気自動車は, 見学者全員が一人ずつ模擬市街路での試乗を行ない, その性能を各自で充分に実感しました。また, KEK では, 加速器関連の大型 He 冷凍機, 超伝導磁石試験設備, 衝突点の測定器の 3 施設の見学を行いました。衝突点の測定器の大きさを実感した後, 実際に実験を行っている様子を見ながら熱心に質疑を交わしていました。全体的にはどちらのツアーも順調で, 参加者の方には満足いただけたのではないかと考えています。(市川)



日本自動車研究所での電気自動車試乗

8. 特別講演

シンポジウムの 3 日目には, 宇宙飛行士毛利衛氏による特別講演「宇宙から見た新しい地球圏」が行われました。この講演会には, 学会参加者以外にも, 筑波大学, 東京理科大学 (野田), 東京大学 (柏) からも, 一定数の学生を募集して聴講させました。当日は, 河村洋実行委員長の司会により, 毛利宇宙飛行士の紹介が行われた後, 毛利宇宙飛行士が満を持して登場されました。

ご講演では, 伝熱を研究する立場から地球温暖化などを捉えるグローバルな視点の必要性, また, 研究活動や成果を一般の方に伝えていくことの重要性を主要なメッセージとして, 身振り手振りを交えて熱く語っていただきました。途中 DVD を用いて毛利宇宙飛行士が実際に行った宇宙実験の様子や当時の貴重な映像を紹介されたり, 流体への重力の影響のことをお話しになる際には実際にご自身の手をペットボトルの水で濡らすデモをされたりしながら, 笑いあり, ため息あり, あっという間の 1 時間でした。ニュースなどでは出てこない宇宙での生活に関する話しや, 実験が失敗したと思いきんどずっと悩んでいたというような秘話 (?) も披露していただきました。ご講演の後には, 聴講者からの質問に予定の時間を過ぎながらも熱心に答えておられた姿が印象的でした。ご講演の内容は, 抄録の形で本誌に別載いたしますので, そちらもぜひご覧ください。(上野)

9. まとめ

河村委員長のもと, 1 年強の準備期間を経てシンポジウム開催にたどりつきました。大きな問題は現れなかったようですので, まずは上々の体制



大ホールを埋める参加者と、学生の質問に熱心に答えられる毛利宇宙飛行士

で参加者を迎えられたのではないかと思います。

今回のシンポジウムでは講演件数が 412 件、参加者数 864 名、懇親会参加者数が 301 名という盛会になりました。特別講演は、通常は二日目の午後に設定されますが、今回は講師のご都合で、三日目の午前中の開催となりました。それに伴い、特別講演をもって一般講演は終了するという日程にしました。

実行委員の皆さんはいずれも的確に、しかも細やかな心配りをしながら各方面の準備をこなしてくださって、一緒に仕事をしながら目を見張る思いでした。運営上のいろいろな疑問に、的確かつすばやく答えてくださった、昨年（長崎）、一昨年（名古屋）の準備委員会の皆様にお礼申し上げます。

私は毎年のシンポジウムで、友人達と連れだって土地の名所を巡り、名物に舌鼓をうつのを楽しみにしています。参加者の皆様、今年はいかがでしたでしょうか。残念ながらつくばは長崎や京都といった文化の香りには乏しいのですが、TX つくば駅から会場まで歩いていただいております。都心から 45 分というわずかな距離の場所で科学の集積と自然の豊かさが融合していて、余所には類例のない都市ではないかと思えます。次の機会にはぜひ、つくばのグルメツアーをお楽しみください。

当分の間、シンポジウムのホームページ <http://www.rs.noda.tus.ac.jp/~nhts45/index.html> には会場での写真を掲載しています。どうぞご覧ください。（川口）

第 45 回伝熱シンポジウム実行委員

委員長	河村 洋	諏訪東京理科大学
事務局長	川口 靖夫	東京理科大学
総務部会・事務局	上野 一郎	東京理科大学
総務部会	鈴木 康一	東京理科大学
	塚原 隆裕	東京理科大学
	洪 定杓	東京理科大学
	本澤 政明	東京理科大学
プログラム部会	宗像 鉄雄	(独) 産総研
	矢部 彰	(独) 産総研
	稲田 孝明	(独) 産総研
	松本 壮平	(独) 産総研
見学会部会	市川 直樹	(独) 産総研
	瀬古 俊之	(財) 日本自動車研究所
	松本 聡	(独) 宇宙航空研究開発機構
学生イベント部会	齊藤 卓志	東京工業大学
	佐竹 信一	東京理科大学
	米本 幸弘	東京理科大学
論文集部会	岡本 孝司	東京大学
	染矢 聡	東京大学
	大宮 司啓文	東京大学
会場部会	阿部 豊	筑波大学
	藤野 貴康	筑波大学
	榊原 潤	筑波大学
	文字 秀明	筑波大学
	藤原 暁子	筑波大学
	橋本 博文	筑波大学
	鈴木 敦	(株) 日立製作所
	石井 英二	(株) 日立製作所
	武田 哲明	山梨大学
	秋本 肇	原子力機構
展示・広告部会	大島 宏之	原子力機構
	神永 文人	茨城大学
	稲垣 照美	茨城大学
	松村 邦仁	茨城大学
	柴田 裕一	茨城工業高専
	西田 浩二	(株) 日立製作所
監査	庄司 正弘	神奈川大学
	望月 貞成	東京農工大学
顧問	成合 英樹	(独) 原子力安全基盤機構

特別講演
毛利衛宇宙飛行士 「宇宙から見た新しい地球圏」
Invited Lecture by Astronaut Dr. Mamoru Mohri

(編) 第 45 回日本伝熱シンポジウム実行委員会
Summarized by Organizing Committee

1. はじめに

今回つくばにて開催された第 45 回日本伝熱シンポジウムの 3 日目 (5 月 23 日) には、宇宙飛行士毛利衛氏による特別講演が行われました。河村実行委員長 (諏訪東京理科大学) の司会のもと、まず、この特別講演会共催の日本伝熱学会関東支部を代表して支部長である山田純先生 (芝浦工業大学) のごあいさつがありました。その後、河村実行委員長から、「サイエンスと宇宙の街つくばで伝熱シンポジウムを開催するに当たり、つくばを代表する方として毛利宇宙飛行士にご講演をお願いしたいと考えた。その他にも、宇宙飛行士になられる前は、北海道大学の助教授として材料の研究に当たっておられ、科学者の目で宇宙をご覧になったことや、科学をやさしく一般の人たちに伝えること、また若い学生達の教育にも熱心に力を入れておられることから、ぜひにとお願いしたところ、幸い本日のご講演が実現した。」とのご紹介があった後、毛利宇宙飛行士が壇上に上げられました。壇上に登場された時には、会場は大きな拍手で満たされました。途中 DVD で迫力のある宇宙の映像を紹介されたり、流体への重力の影響のことをお話しになる際には実際にご自身の手をペットボトルの水で濡らすデモをされたりしながらのご講演があり、その後、聴講者との質疑応答が行われ、シンポジウムでのセッションとは全く違う興奮に包まれたあつという間の 1 時間半でした。

2. ご講演抄録

【宇宙と伝熱・地球環境】

今回、第 45 回日本伝熱シンポジウムにご招待いただきましてありがとうございます。

今日会場に来られている皆さんは、「熱が伝わる」ということを研究されている方々だと思いま



講演される毛利宇宙飛行士

す。21 世紀の今、人類にとって何が問題になっているのか・・・地球温暖化です。これは、まさに熱の問題です。この問題をどう解決していったら良いか、それは皆さんのご研究が解決することなのです。ぜひ今日は、国際宇宙ステーションの中で研究者の方がどういう研究をされて、それが実はどのように地球規模の環境問題などに繋がっていったら、研究者の役割は最終的に何なのかということ、少しでもメッセージとして皆さんと一緒に考えられたらと思います。(中略)

人間の宇宙での活動を例に挙げましても、宇宙服のこと一つ考えても、どうやって熱をコントロールするかというのが非常に大きな問題です。今回、そのような熱の研究を直接されている方々の前でお話できることを大変楽しみにして参りましたし、これから多くの研究の分野が熱を介して広がって、皆さんが地球温暖化にも貢献できるというふうには私は信じております。

【はじめて宇宙へ】

さて、私の第一回目の宇宙飛行は 92 年でした。国際宇宙ステーションへの日本の参加が決まったのが 84 年のロンドンでの G7 のサミット、当時は中曽根首相で、アメリカの当時のレーガン大統領から誘いがあって西側諸国が参加するというこ

で、当時その（国際宇宙ステーション建設の）ターゲットは1992年でした。ちょうどアメリカ大陸発見の500年後というはずだったのですけれども、実際にはいろいろな要因で、それがずいぶんと延びてしまいました。日本も83年から参加して、まずはスペースラボを使った実験をして、その経験を踏まえて国際宇宙ステーションの研究室に繋げて行こうという計画でした。そのために、まず宇宙空間という特殊な、地球上ではなかなか得られない環境において何が出来るのか試してみようというのが私の92年のミッションでした。

私自身は、（宇宙飛行士になる前には）材料、なかでも核融合材料の研究を大学でしておりました。たくさんの方々が応募されたのですが、その中で非常に運よく第一回目の宇宙実験の飛行に参加することが出来ました。スペースラボでの34の実験テーマのうち、材料分野が22、それから医学・バイオテクノロジー分野が12でした。今日はその中で代表的なものをご紹介しますと思うのですが、これは熱の伝導・伝達に非常に関係があって、そのことを上手く解釈できるかどうか、準備できるかどうか、宇宙実験が上手くいくかどうかの大きな分かれ目でした。

【重力のない世界】

宇宙は重さのない世界ですから、私たちが普通、実験室で様々な材料を作ったりして研究するときと比べると、非常に基本的な物理パラメータが無くなっています。宇宙では、その重力というパラメータが無くなるという事で、私たちが当たり前の事として思っていることが起きなくなります。

（ここでペットボトルの水を手にかけるデモをされながら）それは今お見せしましたように、地球上では水は容器に入れなければ高いところから低いところへと流れる、それが当たり前ののですが、重力というパラメータが無くなった途端に、この水を次に支配する力が見えてきます。その見えてくる力が例えば、その表面張力や、それから濡れ性や、粘性です。そういう力を調べるのは地上ではなかなか難しく、重力によって隠れていた物質の性質が、大きな支配力である重力が無くなることで現れ、次から次へと思いがけない形で見えてきます。

【宇宙で材料をつくる】

さて、スペースラボでの22の材料実験のうち、

新しいものづくり、特に、化合物半導体に関する実験のご紹介をしたいと思います。今、多くの単結晶シリコンが半導体として一番使われておりますけれども、次世代のコンピュータを考えた時に、やはり、非常に小さくて、熱負荷が少なく、なおかつ記憶容量、計算スピードが大きいものを作るためには、二元系、三元系の半導体が必要です。例えば、ガリウム砒素とかそういうものは随分使われていますけれども、二元系、三元系になったときに、単結晶を作ると、どうしても元素の重さの違いによって、地上ではなかなか上手く均等のものが出来ません。宇宙では熱対流が無くなりますから、液体状態の対流が無くなると、それを固化、結晶化して、冷やしていっても、非常に均一なものが出来るということです。そのほかに容器から不純物が入らなくても済むような、容器が無くても液体を保持できるという無容器で溶かして固めるということが出来ます。22の材料に関する宇宙実験のうち5つが化合物半導体を作る実験でした。

地上で私たち研究者がいろいろなことを想定して実験装置を作ったり試料を容器に入れたりするのですが、地上の常識でいろんなことを想定しますから、どうしても“抜け”があるのです。やはり私たちがいくら考えても、その考えるもとになるのは私たちの当たり前の生活に根ざした経験なので、重力というパラメータが無い空間で、どうということが起きるかを完全に予想することは、本当に難しいことです。そういう“抜け”は、ほとんどの場合失敗のほうに作用しますが、それが全く予想外にうまくいったということも、実際は少ないですけどもありました。

【宇宙でインジウム・アンチモン合金を作る】

次にそのような実験の例を紹介しましょう。（毛利講師は、二つの例を挙げられたが、ここでは、一例を採録する。）このインジウム・アンチモンの実験の提案者は、筑波に物質材料研究所（当時は金属材料技術研究所）の中谷博士（編集注：中谷功博士）という方でした。インジウム・アンチモンというのは、溶けたときに粘性が非常に低いとともに表面張力が小さく、そのために流れてしまっ、単結晶を作るときにシリコンのようないわゆる引き上げ法を使うことが難しいのです。インジウム・アンチモンの場合はロウソクのような

に溶けてしまいますから、なかなか引き上げることが出来ず、地上では出来ても直径3mmとか4mmが限界でした。そこで、それを宇宙で大きなものを作ろうというのが目的でした。(中略)

宇宙実験というのは、地上と宇宙で、地上の研究者の指導の下に宇宙で色々とその通りに宇宙飛行士は働かないといけないのですが、そういう意味ではチームワークがすごく大事になってきます。私も宇宙に行っていますが、土井さんがバックアップで地上のアメリカのアラバマ州にあるマールシャル宇宙飛行センターで絶えず私と交信しました。このために、訓練というのは何度も何度も行われます。ここまで色々なことをしなければいけないのかという気になるくらい、いろんな場合を想定してそれに対処するように全部心配事を洗い出す、そういう訓練がほとんどです。うまくいく場合の訓練というのは一回しかしない訳です。あとは全部失敗するシナリオの元に、それをどのように回復していくかという訓練ばかりです。その失敗するシナリオというのは、インジウム・アンチモンの場合ですと単結晶の半導体を作りますから、まず、真空になっているかどうかが重要です。真空になっていなければいろんな不純物が入ります。真空度が悪ければ残留ガス例えば酸素が残っていると表面が酸化してしまうのですね。

【酸化膜ができてしまった！】

インジウム・アンチモンの場合ですとそれが非常に厳しくて、少しでも酸素があると表面がすぐ黒ずんでしまいます。酸化被膜が出来てしまうのです。酸化被膜が出来たとたん地上での実験は失敗です。なぜかという酸化被膜が出来るとその酸化被膜によって欠陥が生じるのです。それで、とにかく酸化被膜の黒い表面が出てこないようにと祈りつつ本番でも実験を行っていました。地上では重力の影響で3mmか4mmの直径しか最大の半導体はできないのです。この宇宙実験では直径20mmの半導体を作るという冒険的なものだったのですが、宇宙ではそれが簡単に確かに浮いて液体になってもそのまま保持されているのです。そういうのを最初見たときにはすごいなあと思って、おそらく中谷博士も喜んでいたと思うのですが、そのうちに黒ずんで来始めたのです。赤外線でも温められて普通ならばインジウム・アンチモンは金属光沢をしています。私は地上で様々な酸

化実験をして黒ずむタイミングだとか黒ずんでどうなっていくかというのは経験していましたが、宇宙実験で私の目の前で黒ずみ始めたときには本当にかっかりしました。そのため、実験は失敗だがかっかりして帰ってきました。中谷さんの顔を見るのが、つらくてしようがありませんでした。私は研究者の代わりに、実験を成功させるために研究者の目や手になって行ったのですから、失敗してしまった実験の研究者には、やはり会いたくないですね。

【熱対流がないことから世界最大の単結晶が】

そういう気持ちで帰ってきて、しばらくは会うことがなかったのですが、帰ってきて1年後に新聞にこのような記事(編集者注:良い結晶が出来たという記事を、パワーポイントで紹介)が出ました。

これは失敗したはずの実験でした。黒ずんでいたのに絶対に良い単結晶が出来るはずが無かったのにどうしてこんな良い結晶が出来たのかと思ったら、その研究者が理由を説明してくれました。その大きな理由は、普通地上では赤外線加熱すると熱いところと冷たいところがあるので、熱対流を起します。熱対流が起きているところに酸化被膜が出来ると、薄い酸化被膜が熱対流のために破れて結晶の中に酸化被膜が入って、欠陥の多い不純物の多い単結晶になってしまうのです。しかし、宇宙で出来た酸化被膜は破れなかった。破れないのは熱対流が無かったからです。(中略)

(編集者注:単結晶の画像を示しながら)これが私が行った宇宙でのスペースラボの実験で出来た結晶です。こんなふうに表面は酸化被膜でこうガサガサしているのですが内部はとってもきれいな単結晶が出来ました。なおかつこんな太い単結晶が出来たのは、世界で初めてです。研究者が非常に満足してくれたということで私も非常にうれしく思いました。

このように、本当に予想外のことのために、結果的に良い単結晶が出来たのでした。このように、宇宙実験はまだまだ経験が少ないですから、様々な予想外のことがあるのです。でも、その予想外のことも、地上でどれだけ色々な事を想定しているかによって、全く地上と違うことが起こっても対処出来るのです。

【国際宇宙ステーションきぼう】

さて、国際宇宙ステーションが今建設途中で、いよいよスペースラボと違って長期間の実験が可能な実験室が出来ました。6月1日に星出宇宙飛行士が搭乗するスペースシャトルで、国際宇宙ステーションでの日本の一番中心となる「きぼう」の本体部分である実験室を打ち上げ、ステーションと接続します。その後、若田宇宙飛行士が初めて長期滞在をします。最後に、日本の第3回目の「きぼう」のロボットアームや船外のプラットフォーム、船外で実験する部分などを打ち上げて、「きぼう」が完成しますので、その時から国際パートナーとして、絶えず1年半のうちに半年は日本人が必ずいることとなります。今の宇宙飛行士ではとても賄いきれないので、新しい宇宙飛行士を募集しています。ちなみにこの締め切りが6月20日までですから、ぜひ応募して、実験提案もして宇宙飛行士となって自らの手で実験してほしいと思います。

これからは常に「きぼう」という実験室が宇宙にありますから、大学あるいは研究所の普通の研究者が無重力空間の実験室を利用して、自分の研究で重力というパラメーターがなくなると面白い現象になるのではないかとことを実験をできる、そういう時代になりました。そこでこれからは、地上でのいろんな仕事がさらに増えてくると思います。実際に国際宇宙ステーションを支援するために、地上の技術者・研究者が大変必要になります。現実に機械工学や電気、電子工学、情報といったいろいろな、特に工学部の人たちが地上からのサポート役をしていますから、実際にどういいう仕事があるのかこれからごらんいただきたいと思います。(筑波宇宙センターの紹介DVDの映像を示しながら)これは、山崎宇宙飛行士ですね。これは、星出宇宙飛行士です。これからの本格的な運用に向けて、今、訓練の真最中ですが、それをサポートする人たちは、もっともっと必要ですので、ぜひこういう分野にも興味を持ってほしいと思います。

【科学をやさしく伝える】

宇宙に関することは、テレビでニュースになったりして他の科学分野から比べると比較的一般の方々に情報が伝わるのですが、この会場にいる皆さんは研究者の方がほとんどだと思うのですけれ

ど、皆さんがやっておられることを多くの一般の人たちが知ることはなかなかないと思います。

私は今、日本科学未来館という、研究者を支援して一般の人たちに最先端の研究の情報や重要性を伝える仕事をしていると同時に、科学コミュニケーション、つまり、研究者コミュニティと一般社会とを繋ぐ橋の役割をしています。そういう仕事がこれからもっとも必要になってきます。これがアメリカですと、研究者自身ももっとも一般の人たちにプレゼンテーションをしていますから、見えやすいのです。ところが日本の場合ですと、一般には研究者の方々自身があまりそういう訓練をされていません。(中略)いままでは、大学は象牙の塔で、好奇心に従ってやっていたらいいという発想があったと思います。もちろん好奇心も、研究をする上でモチベーションになるのですごくそれは大切ですが、それ以上に、何のために研究しているのかが重要です。何のためにというのは、役に立つということだけではなく、自分自身この研究によって何が大事なのかということをもっとも研究者自身が考えないといけないと思います。(中略)このようなシンポジウムの際にみなさんにこれからお願いしたいのは、自分がやっていることを多くの人に伝えて頂きたいということです。自分の専門の仲間うちだけではなく、もっと広く伝えて頂きたいと思います。はじめに、「地球環境問題、温暖化の問題は“熱”の問題です」と申し上げました。伝熱に関係しているシンポジウムに参加しておられる研究者の方々が、これから起こる人類のいろんな問題を解決していくことに貢献しているという意識を、よりいっそう鮮明に持っていただきたいと願っております。

【ご講演終了】

これ以降、会場からの質問に対して時間を延長して丁寧にコメントをしておられました。この質疑応答の際や、ご講演の途中に宇宙飛行士や地上スタッフの募集の話しをされる時など、参加している学生達などこれからの未来を担う若い方に本当に熱いメッセージを寄せられていることが伝わってきたことが印象的でした。

テラヘルツ光の発生と応用可能性 Generation and applications of Terahertz ray

川瀬晃道^{1,2}, 林伸一郎², 澁谷孝幸^{1,2}, 水津光司¹
¹名古屋大学, ²理化学研究所
 K. Kawase^{1,2}, S. Hayashi², T. Shibuya^{1,2}, K. Suizu¹
¹Nagoya University ²RIKEN
 e-mail: kawase@riken.jp

1. はじめに

近年、遠赤外線あるいはサブミリ波の領域において新しい発生・検出方式の研究が急速に進展しつつあり、それとともにテラヘルツ光 (THz 波) という言葉がよく用いられるようになった。テラヘルツ光の定義は人により多少異なるが、およそ周波数が 0.3 THz~10 THz の領域、波長に換算すると 1 mm~30 μm の領域を指す。この領域は、光波と電波の境界、詳しくいうと遠赤外とミリ波の間に位置しており、光波と電波のそれぞれの領域が重要な応用技術とともに発展し成熟してきたのとは対照的に、技術面でも応用面でも開拓が遅れている。しかしながら、この周波数帯の電磁波の特徴をいかしたイメージング、非破壊計測、爆薬・禁止薬物検出、バイオや医学への応用、および様々な産業応用への可能性など、テラヘルツ光研究は今後ますます重要になることが予想される。また、これまで光源・検出器の未発達のために解明されていない物理現象・生命現象・物質構造の解明、および宇宙、大気や生体、プラズマなどの計測・診断、さらにはテラヘルツ非線形現象など幅広い基礎的研究分野の発展につながる可能性も大きい。テラヘルツテクノロジー動向調査委員会の報告によれば[1]、テラヘルツ光の応用が見込まれる分野は実に広範囲にわたる。それは、テラヘルツ光が物質を透過し、数百 μm の空間分解能を有し、人体に安全で、試薬類の指紋スペクトルを有し、さらには DNA の 1 本鎖 2 本鎖の識別・半導体不純物への感度・結晶多形の解析・水と氷の吸収差、などといったユニークな特長を有しているためである。

テラヘルツ光は電波のように紙、プラスチック、ビニール、繊維、半導体、セラミクス、脂肪、粉体、氷など様々な物質を透過すると共に、光波のようにレンズやミラーで空間を自在に取り回すことができる。また、電波に比べて波長が短いため、

多くのイメージング用途にとって必要十分な数百 μm の空間分解能を有している。さらに近年、ビタミン、糖、医薬品、農薬、禁止薬物、爆薬など様々な試薬類に固有の吸収スペクトル (指紋スペクトル) が 3 THz 以下の低周波数領域で見出され、その分光応用可能性が広がりつつある (図 1)。まだテラヘルツ技術は開発が始まったばかりで未熟であるが、人類はかつてニーズのあるところ必ずそれを実現する技術を発展させてきた。テラヘルツ応用もいずれは小型高出力光源あるいは高感度検出器などの技術が飛躍的に高まり、爆薬検出や覚せい剤検出などの安全安心分野、あるいは工場の製造ラインにおける種々の非破壊検査などが実用化されてゆくと考えられる。さらに言えば、X 線、紫外、可視、赤外、ミリ波、マイクロ波、電波帯、とそれぞれの周波数域に固有の用途が開拓されてきたように、テラヘルツ光においても画期的な応用、たとえばタンパク活性の ON/OFF といったような、いわゆるキラーアプリがいずれ見つかるものと期待される。



図 1 テラヘルツ光の特長と応用可能性

但し、テラヘルツ光利用技術開発の分野では、産業界のニーズに盲目的な我々研究者が依然として

主導権を握っている状況であるため、ニーズの掘り起こしが不十分であることは否めない。たとえば化学工業の業界団体との懇話会において、将来テラヘルツ光が役立ちそうなニーズが多数提示され驚いたこともあった。化学工業とテラヘルツ分野は普段関わりが薄くお互いのことをよく知らないが、近い将来重要な産業応用がこの辺りから生まれる予感がする。産業界の方からはしばしば「テラヘルツ光のシステムのコストは幾らか」という問いを頂戴し返答に窮するが、研究段階では高コストでも、少量産効果が働けば急激に価格は下がることは自明であるので、現状でのシステムのコストは大した意味を持たない。光学分野のシステムは、元々が人件費9割と言われるような高コスト体質なだけに、量産化によってたとえば実験室レベルで組むと数百万円から一千万円以上かかるようなCDプレーヤーのピックアップ部品が数百円、車載ミリ波レーダーシステムが十数万円、というような劇的なコストダウンが可能である。

2. 広帯域波長可変テラヘルツ光源の開発

1THz以下の数百GHzの領域にはBWO (backward wave oscillator: 後進波管) のような実用的な波長可変光源が存在するのに対し、BWOの可変域が急減する1THz以上の高周波側での波長可変光源開発は遅れている。広帯域波長可変テラヘルツ光源には、自由電子レーザー、p-Geレーザー、フォトミキシングなどがあるが、それぞれ、大規模である、極低温を要する、出力が低い、などの実用上の課題を有している。換言すれば、小型簡便な光源が開発されれば、様々な応用研究が飛躍的に拡大すると予想される。他方、フェムト秒レーザを光源に用いたテラヘルツ時間領域分光法が世界的に広く用いられているが、テラヘルツ超短パルスの時間波形をフーリエ変換するという原理ゆえに、たとえば衣服の下に隠した爆薬検査のようにテラヘルツ光の時間波形が乱れる場合には正しいスペクトルが得られにくくなるという課題もある。

このような背景の下、我々はレーザー光の波長変換技術を用いて、既存の自由電子レーザーなどに比べ小型簡便な広帯域波長可変テラヘルツ光源を開発し、さらにその光源を用いた分光システムあるいは分光光度計を構築し、そのシステムを郵

便物や衣服の下に隠された危険物探知に応用することを目標に研究を進めている。

まず、我々は15年前からテラヘルツ光パラメトリック発振器に関する研究を進めた[2]。これは、ナノ秒パルスNd:YAGレーザーを光源とする非線形光学効果を用いたテラヘルツ波光源で、広帯域波長可変性、室温動作、小型簡便性などを特色とする。約100~300 μm (1~3 THz)で連続波長可変であり、出力ピーク強度は数十mWである。次いで開発に成功した光注入型のテラヘルツパラメトリック発振器は、ナノ秒パルスの理論限界(フーリエ限界)の狭線化である0.003 cm⁻¹, 100 MHzを達成した。最近では、マイクロチップNd:YAGレーザーを励起光源としたパームトップサイズの光注入型テラヘルツパラメトリック発振器の開発などを進めている[3, 4]。

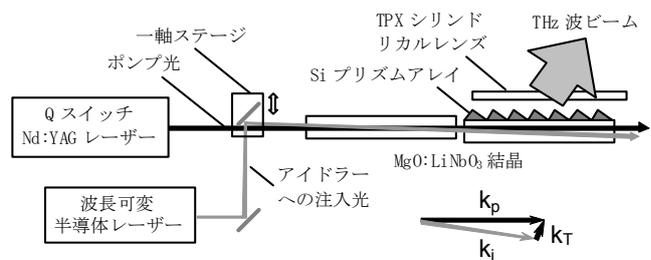


図2 光注入型テラヘルツ光パラメトリック発振器のブロック図

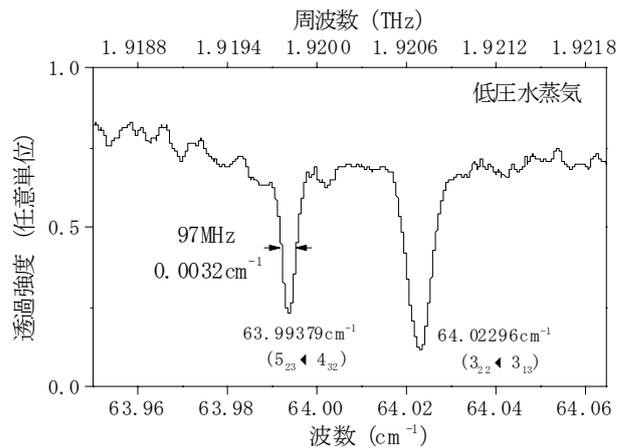


図3 低圧水蒸気 (H₂O) の1.919 THz付近における吸収スペクトル測定例。分解能100 MHz (0.003 cm⁻¹)以下が得られている。

前述のとおり、テラヘルツ光のユニークな特性は X 線のように物質を”透視”でき、多くの目的に必要な数百 μm の空間分解能を有し、かつ指紋スペクトルで試薬類を識別できる、というものであるが、実はこの能力を有するのはテラヘルツ光の中でも大約 0.5~3 THz の狭い範囲に限られる。なぜならば、多くの物質は大約 3 THz 以下の周波数帯のみ透過し、他方、試薬類が指紋スペクトルを有するのは大約 0.5THz 以上の周波数帯だからである。X 線~可視~赤外~電波とあらゆる電磁周波数帯のなかでも、この”透視識別能力”を有するのは 0.5~3THz だけであると言うことができ、テラヘルツ光のこの特性こそが今後の安全安心目的の応用にとって最重要であると考えている。我々が開発してきたテラヘルツパラメトリック光源は、この周波数領域を丁度カバーしており、昨夏スイスで NATO が開催したテラヘルツ光のセキュリティ応用に関する国際会議においても、『0.5~3THz で実用的な唯一の波長可変テラヘルツ光源であり、安全安心目的にとって重要な技術である』との評価を得た。

3. 世界のテラヘルツ応用開発状況

テラヘルツ光を用いた新しい分光/イメージング技術に関するプロジェクト研究がここ数年欧米で強力に推進されており、我が国でもこの分野の推進は急務と考えられる。ここでは欧米のテラヘルツ光技術開発動向に関して主要なプロジェクトを紹介する。個々の研究者レベルでのテラヘルツ研究開発も国内外で急速な広がりを見せているが、ここでは紹介しきれない。米国では過去十年余り大学レベルでテラヘルツ研究を強力に推進してきたが、昨今政府や企業もテラヘルツ光の有用性に着目するところとなり、以下に挙げるような活発な展開が見られる。まず、米国防総省の研究機関である国防高等研究計画庁 (DARPA) は、テラヘルツイメージング技術に関するプロジェクト (TIFT :Terahertz Imaging Focal-plane-array Technology) を進めている。開発目標は高出力テラヘルツ光源、小型高感度テラヘルツカメラ、およびそれらを用いたイメージングシステムで、例えばカメラに関しての要求性能は、テラヘルツ光の回折限界の空間分解能が得られる小型センサーアレイで極低温を必要とせず、かつビデオレートでの撮像が可能

なこと、などとなっている。プロジェクトの大きな狙いは自爆テロリスト (Suicide Bomber) の摘発にあり、爆薬を服の下などに隠していないかを安全距離である 30m 程度手前からテラヘルツ光の高出力光源と高感度カメラを組み合わせた空間分解能 2~3 cm のリモートセンシングシステムで判別するとしている。米国レンセラー工科大学の X.C. Zhang 教授らは、この目的で THz-ABCD (air-breakdown- coherent- detection) というユニークな方法を提案している[5]。これは、フェムト秒レーザーを大きなレンズで数十 m 先の人間の衣服近傍に集光し、空気をプラズマ化させて光スイッチの代わりとすることで時間領域分光を行うというものである。Zhang 教授によると、現在 10m の距離で成功しており、今後 100m まで距離を延ばすとのこと。

次に、NASA はスペースシャトルの外壁タイル内部の欠陥検査用にテラヘルツイメージング技術を用いた検査システムを Picometrix 社から購入し、既に実用に供している。これは、NASA がスペースシャトルの爆発事故の後、この目的で様々な数十種類の非破壊検査技術を公平にテストした結果、テラヘルツイメージングが最も高精度でタイル内部の欠陥を検出したため採用された。同様の目的で、前述の Zhang 教授らは数百 GHz の連続波光源とショットキーバリアダイオード検出器の組み合わせによる高速かつ高感度なラスタースキャンイメージングシステムを開発し、Zomega というベンチャーから製品化もしている。また、バージニア大学発のベンチャーである Virginia Diode Inc 社は、数百 GHz から 2THz 付近の領域を得意としており、マイクロ波の通倍技術を用いた高出力テラヘルツ光源やプレーナー型のショットキーバリアダイオード検出器などを製品化している。

EU では、テラヘルツ技術開発に関するいくつかの国際共同プロジェクトが走っている。2003 年まで医療応用目的のテラヘルツイメージング技術開発に関する 5 カ国共同プロジェクト”TERAVISION”が行われ、その後 2004 年から”TERANOVA”という 5 年計画の新プロジェクトに発展している。TERANOVA においては、量子カスケードレーザーなどの固体光源や広帯域波長可変光源、さらに高感度検出器の開発を行い、平行して開発するイメージングシステムに供する。

他方、2002年には、ラザフォード・アップルトン研究所を中心に、期間限定のプロジェクト”StarTiger”が行われ、200~300GHz付近での黒体輻射によるパッシブイメージング技術が集中的に開発された。その結果、衣服の下の凶器や、本の裏側に隠した手などが見事に画像化され、現在その技術はThruvision社が2006年に製品化し、毎秒3フレームのテラヘルツパッシブイメージング装置を実現している。同社CTOのChris Mann博士によれば、先行するミリ波のパッシブイメージャーとの差別化のため、数十メートル先の画像の空間分解能を強めたいとのこと。EUのテラヘルツ関連企業といえば英国東芝ケンブリッジからのスピノフ企業であるTeraview社が有名である。時間領域分光法による分光器およびイメージングシステムを皮膚がんなどの医学診断用や医薬品検査用に精力的に開発しており、分光器で有名なBruker社とも提携し、製薬業界など活発にユーザー開拓を進めている。最近では、Teraview社は避妊ピルの薬品メーカーにテラヘルツトモグラフィでピル錠剤のコーティング厚さを測定する装置を納め、既存の破壊検査手法に比べて数千分の1の短時間でコーティング異常を判定することに成功している。

なお、我国では(株)先端赤外、(株)栃木ニコン、(株)東京インスツルメンツ、(株)日本分光、(有)パックスなどがテラヘルツ分析器や光学部品などの開発/製造/販売を精力的に進めている。先端赤外は理研と共同で郵便物内に隠された禁止薬物のテラヘルツ分光検出システムを開発した。また、パックスは、理研、東北大と共同でテラヘルツパラメトリック光源を製品化し、さらに非球面テラヘルツレンズなどを世界に販売している。

4. 我々のテラヘルツ応用研究

我々は、次のようなテラヘルツ光利用技術に関する研究を進めている。まず、広帯域波長可変テラヘルツ光源を用いたテラヘルツ分光イメージング技術の研究開発を行った。これは、複数の試薬が混ざったサンプル中の特定試薬の分布密度を画像化する技術で、光源の広帯域波長可変性、および3THz以下の低周波域で次々見出されている試薬類の指紋スペクトルを活かした成果である[6]。この技術を用いて、郵便物検査、覚醒剤・爆発物

所持検査、医薬品検査、病理組織診断、などへの応用が期待される(図4)。また、テラヘルツ光の散乱光モニタリングにより隠された粉体の摘発が可能であることを示し、大量に流通する郵便物の中から迅速に疑わしい郵便を抽出する実験を進めた[7]。

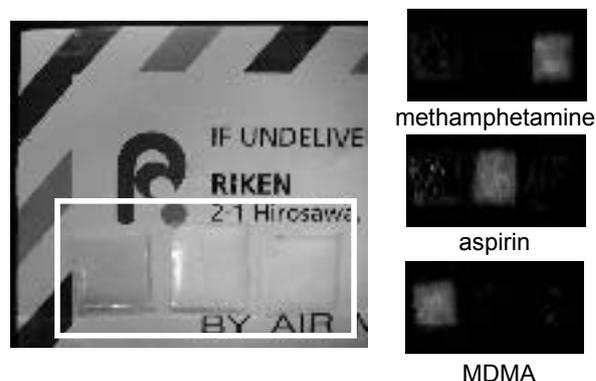


図4 封筒中の禁止薬物のテラヘルツ分光イメージング画像

また、レーザーテラヘルツ放射顕微鏡という新しい非破壊非接触の計測診断技術を阪大と共同で開発し、半導体チップ(LSI)の故障解析へ応用した[8]。現在、この郵便物検査システムおよびLSI診断システムは理研仙台の大谷チームによって研究開発が継続中である。また、メタルメッシュなどのテラヘルツ技術を用いた新奇なケミカル/バイオセンサーなどへの応用を模索している[9,10]。参考まで、筆者らが撮像した種々のテラヘルツイメージング例を図5に示す。左上から、葉の水成分[7]、断線回路[8]、乾燥エビ、唐辛子、蟬の羽根、乾燥イチゴ、ICカード、LSI内部電界[8]、封筒中の禁止薬物[6]などである。各イメージングの詳細については文献を参照されたい[11-13]。

4. おわりに

テラヘルツ光を発生可能な量子カスケードレーザー(Quantum Cascade Laser; QCL)がこの数年で急速に発展し、近い将来のテラヘルツ産業応用の本命という意見もある。しかしながら、QCLは極低温を要し、原理的に前述の0.5~3 THz帯を発生することが得意でないため、テラヘルツ光ならではの”透視能力”を活用するには開発要素も多い。例えば、数年内に米英が実現しようと注力している可搬型テラヘルツ分光イメージングシステムに

よる自爆テロリストの摘発という目的に関しても、米国の複数の研究グループは QCL を用いて装置開発を進めている。しかしながら、衣服の下に隠された爆薬の指紋スペクトルを観測可能な 0.5～3THz の領域において、可搬型装置上の QCL を用いて 20～30 m 先の分光イメージングが可能なほど十分な出力を発生させることは相当なチャレンジであることは間違いない。

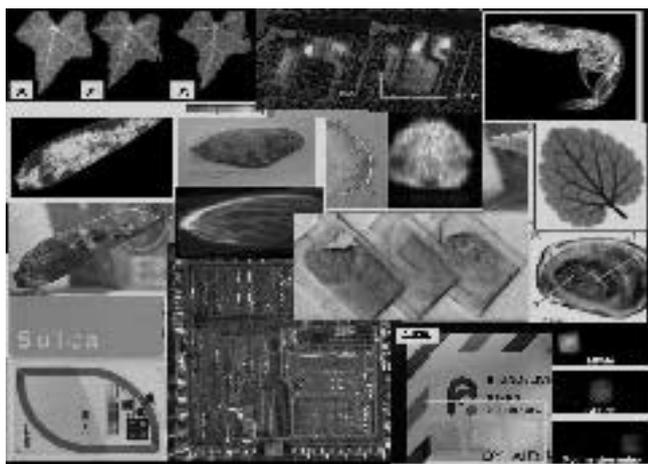


図5 各種テラヘルツイメージング

1970年代に広く研究されていた差周波光混合による半導体結晶からの広帯域波長可変テラヘルツ光発生[14]をリバイバルし、最近のレーザー技術や有機非線形結晶技術などを動員して 0.5～3THz 域の高出力波長可変テラヘルツ光源を実現することが、爆薬や薬物検出のような目的にとって近道なのではないかと感じている。非線形光学技術は数十年の発展を経てなお日々進化しており、たとえば光波帯においても半導体レーザーなどの登場の陰でパラメトリック光源は基礎研究のツールとして着実に生き残っている。そのように、テラヘルツ光においても QCL やマイクロ波通倍技術など優れた光源の登場後も、非線形光学効果を用いた広帯域波長可変テラヘルツ光源は存在意義をアピールし続けると我々は考えている。

謝辞: 本稿の研究遂行に関し、理研の大谷知行、伊藤弘昌、各リームリーダー、緑川克美主任研究員、東北大の小川雄一准教授、科学警察研究所の井上博之室長、金森達之研究員、分子研の平等拓範准教授、浜松ホト

ニクスの酒井博殿、菅博文殿、アドバンテスト研究所の加藤英志殿、今村元規殿、阪大の斗内政吉教授に厚く感謝致します。本研究の一部は、科研費基盤 A 18206009、村田財団研究助成金により行われた。

参考文献

- [1] 斗内政吉, テラヘルツ技術, オーム社 (2006).
- [2] K. Kawase, J. Shikata and H. Ito, J. Phys. D: Appl. Phys. **35** (2002) R1.
- [3] S. Hayashi, H. Minamide, T. Ikari, Y. Ogawa, J. Shikata, H. Ito, C. Otani, K. Kawase, Appl. Opt. **46** (2007) 117.
- [4] N. Pavel, J. Saikawa, S. Kurimura, T. Taira, Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 1253.
- [5] J. Dai, X. Xie, X.-C. Zhang, Phys. Rev. Lett. **97** (2006) 103903.
- [6] K. Kawase, Y. Ogawa, Y. Watanabe, H. Inoue, Opt. Exp. **11** (2003) 2549.
- [7] 渋谷孝幸, 山下雅弘, 小川雄一, 大谷知行, 井上博之, 金森達之, 川瀬晃道, 電学論 C **125** (2005) 545.
- [8] M. Yamashita, K. Kawase, C. Otani, T. Kiwa, M. Tonouchi, Opt. Exp. **13** (2005) 115.
- [9] F. Miyamaru, S. Hayashi, C. Otani, K. Kawase, Y. Ogawa, H. Yoshida, E. Kato, Opt. Lett. **31** (2006) 1118.
- [10] H. Yoshida, Y. Ogawa, Y. Kawai, S. Hayashi, A. Hayashi, C. Otani, E. Kato, F. Miyamaru, K. Kawase, Appl. Phys. Lett. **91** (2007) 253901.
- [11] 小川雄一, 川瀬晃道, 水野麻弥, 山下将嗣, 大谷知行, 電学論 C **124** (2004) 1672.
- [12] M. Mizuno, C. Otani, K. Kawase, Y. Kurihara, K. Shindo, Y. Ogawa, H. Matsuki, J. Electromag. Waves and Appl. **20** (2006) 341.
- [13] Y. Morita, A. Dobroiu, C. Otani, K. Kawase, J. Adv. Mech. Design Sys. and Manufac. **1** (2007) 338.
- [14] R. Aggarwal, B. Lax, H. Fetterman, P. Tannenwald, and B. Clifton, J. Appl. Phys. **45** (1974) 3972.

レーザ干渉光熱変換法による高感度吸光分析

A high sensitive absorptiometric analyzing technology using a laser interferometric photo-thermal method

高橋 英二 (神戸製鋼所)
Eiji TAKAHASHI (Kobe Steel, LTD.)
e-mail: takahashi.eiji@kobelco.com

1. はじめに

近年、ライフサイエンス分野でのプロテオーム解析や環境分野での有害物質の微量分析等、有機分子の高感度吸光分析ニーズが高まっている。液体中の試料（蛋白質や DNA 等の生体分子、重金属や環境ホルモン等の有害物質等）の微量分析に用いられる分析技術として最も簡易かつ普及している手法に吸光法がある。分析対象試料の光吸収に合致した光を透過または反射させ、試料の吸収した光量を測定することで、定量分析や吸収スペクトル測定を行うものである。吸光法は比較的簡単な光学系構成で実現できるものの、背景信号と測定信号の差分を測定する測定原理的な理由から、近年の高感度分析ニーズに容易には対応できず、種々の微量分析法が研究開発されている。

光熱変換分光法[1]は、高感度吸光分析ニーズに合致した微量分析法の一つである。光熱変換現象とは、物質が光を吸収すると励起状態に励起され、様々な過程を経て基底状態に緩和する際、蛍光やりん光などの光放射を伴わない過程、すなわち無輻射過程において、物質の吸収した光エネルギーが熱として放射される現象である。光熱変換分光法では、この光熱変換現象により放射される熱を、様々なプローブにより精密測定するものである。古くは光音響分光法から発展してきた経緯があり、気体の熱特性、固体物質の結晶構造分析や内部欠陥検査などへの適用がなされた後、近年では、液体中の微量試料の分析にも適用範囲が広がっている。熱レンズ顕微鏡[2]は、液体中の微量試料の分析に向けて開発されたものであるが、液体中に熱レンズと呼ばれる屈折率分布を生成するためには、励起光としてレーザ光源を用いる必要があり、蛋白質等の紫外波長域に光吸収のある試料に対しては直接的に分析できない課題がある。

我々は、高まる高感度吸光分析ニーズに対応すべく、光熱変換分光法を基本測定原理におき、熱

レンズ顕微鏡では対応が難しい紫外波長域の吸光分析を含む新たな吸光分析法を開発した。本稿にて測定手法と適用先について紹介する。

2. 測定手法

我々は、これまでに半導体ウェハ内部の結晶欠陥検査に用いてきたヘテロダイン干渉計[3]をベースに、液体中の微量試料の吸光分析が可能なレーザ干渉光熱変換法[4]を開発した。

図1に測定原理を示す。分析対象試料の光吸収波長に合致した励起光を照射し、試料の光吸収後の緩和過程での発熱を、試料周辺の溶媒の屈折率変化として、今回開発した液体中試料分析向けヘテロダイン干渉計により光の位相変化を精密に検出する。位相変化は試料の光吸収に起因しており、本手法で検出した位相信号と、試料の吸光度には良い相関があることを実験的に確認している。

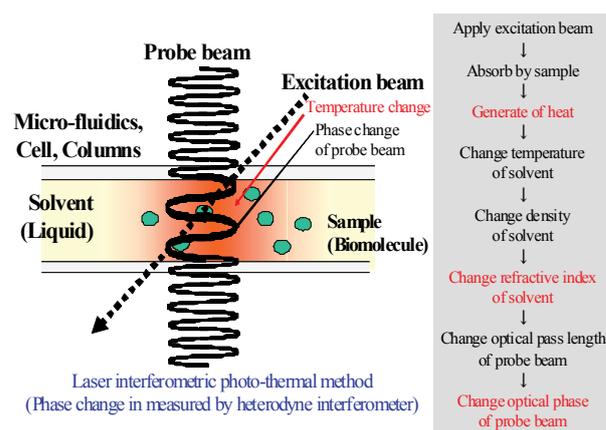


Fig.1 Principle of measurement

従来普及の吸光法は、試料により光吸収された光量を励起光の透過光強度の減少として直接的に測定しており、光吸収が僅かな低濃度や極微量の試料に対しては、透過光強度の僅かな減少を高分解能で測定可能な受光素子が必要となるが、高分

解能と広ダイナミックレンジを備えた受光素子の実現は現実的には難しい。一方、本手法では、励起光と測定光の2系統の光学系を用いており

(図1)、低濃度や極微量の試料の吸光度に応じて励起光のみ照射光強度を増減させることで、光熱変換現象による発熱量、従って溶媒の屈折率変化を増減させることができ、ヘテロダイン干渉計を用いた測定光学系は同じ感度のままで、超微量分析にも対応することができる。

また同じ光熱変換現象を利用する熱レンズ法はレーザ光源を用いる必要があるが、本手法は試料周辺の溶媒の屈折率分布を生成する必要は無く、励起光源としてレーザ以外にキセノンランプ等の集光性の低い光源を用いることができる。従って、蛋白質等の紫外波長域に光吸収のある試料に対して、非標識で高感度に定量分析が可能である。

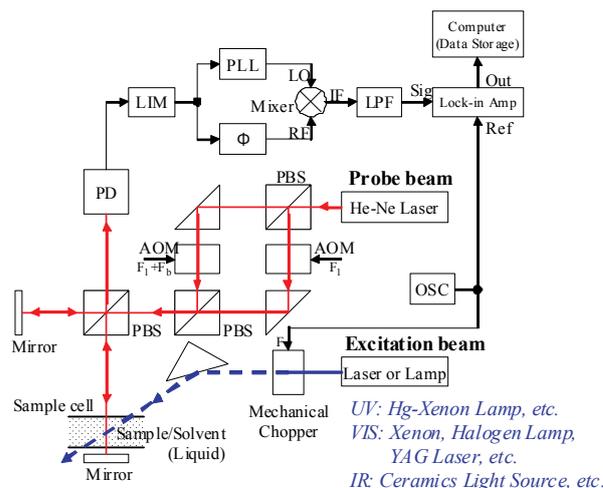


Fig.2 Experimental setup

3. 装置構成

図2に、本手法の光学系構成を示す。図3は、本手法の光学系構成を組込んだ高感度吸光分析装置のプロトタイプ機である。

励起光源は、レーザやランプ等、分析対象試料の光吸収波長に合わせて選択可能である。励起光源は、チョッパ等により断続光に変調され、液体中の試料に照射される。試料の励起による温度変化、すなわち屈折率変化を測定するための測定光の光源には、周波数安定化 He-Ne レーザ ($\lambda=632.8\text{nm}$) を用いた。He-Ne レーザの光は二分岐され、音響光学変調素子 (AOM) でそれぞれ異なる光周波数にシフトされ、一方の光が試料中の励起光照射位置に照射され、その反射光はもう一方の光と合成された後、光検出素子 (PD) で光干渉信号として検出される。光干渉信号は、AOM による光周波数シフトの差分をキャリア周波数とするビート信号として観測され、試料の励起光吸収による屈折率変化の信号は、ビート信号のキャリア周波数の側波帯に含まれる。位相検波回路を通して側波帯信号を抽出し、ロックインアンプにより励起光の変調に同期して、試料の屈折率変化信号を積算検出する。



Fig.3 Prototype System

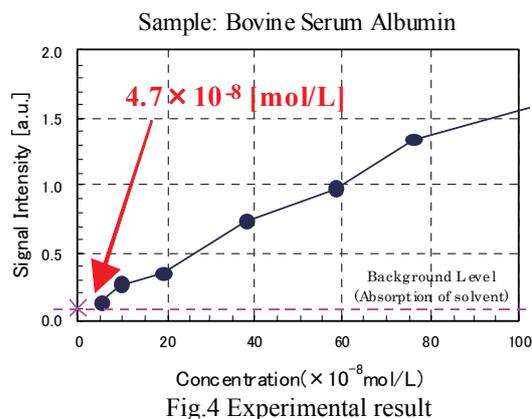


Fig.4 Experimental result

4. 測定結果

図4に、標準的な蛋白質 (Bovine Serum Albumin) の紫外吸光分析結果を示す。励起光源はキセノン

ランプを用い、紫外波長域 ($\lambda=254\text{nm}\pm 15\text{nm}$) を励起光として照射した。溶媒 (超純水) のみの背景信号に対し、検出下限として $4.7\times 10^{-8}[\text{mol/L}]$ を実測値として確認した。従来吸光法では一般的には $10^{-6}[\text{mol/L}]$ 程度が検出下限であり、本手法の高感度性能が示されている。

5. おわりに

高感度な吸光分析手法として、光熱変換現象を利用したレーザー干渉光熱変換法について紹介した。試料の吸収した光を熱エネルギーに変換し、発熱による溶媒の屈折率変化を精密測定する本手法は、従来吸光法に比べて100~1,000倍の高感度性能を有する。ライフサイエンス分野においては、従来吸光法に換わる非標識の高感度吸光分析法として、蛋白質等の生体分子を生体内と類似の低濃度 ($10^{-11}\sim 10^{-9}[\text{mol/L}]$) で直接的に相互作用反応等を定量分析できる可能性もあり、将来的には、生体分子の機能解明、免疫反応研究や新薬開発等における有用な分析手法の一つになりうる期待がある。

また環境分野においても同様に、高感度性能を活用し、化学反応によるバッチ処理的な微量分析ではなく、光計測による連続的なオンラインモニタ技術として発展すると考えられる。例えば、工場内の上水・下水のオンラインモニタ等、産業上でも有効利用が期待される。

本研究は、NEDO 先進ナノバイオデバイスプロジェクト「レーザー干渉光熱変換法によるサブアtomol生体分子分析技術の研究開発」(2003年~2005年)の一環として行われた。

参考文献

- [1] 片山建二, 由井宏治, 澤田嗣郎, 応用物理学会誌, 第70巻 第6号, 672-676 (2001)
- [2] Uchiyama, K., et.al., JJAP, Vol.39, No.9A, 5316-5322 (2000)
- [3] Takamatsu, H., Nishimoto, Y., and Nakai, Y., JJAP, Vol.29, No.12, 2847-2850 (1990)
- [4] 高橋英二, 馬渡亮, 高松弘行, 日本分析化学会第55年会講演要旨集, P1039 (2006)

NMR・MRI計測 —計測原理と燃料電池，ハイドレート水和物の内部計測事例—
NMR / MRI measurement – Principle of measurement and applications to PEFC and gas-Hydrate

小川 邦康 (慶應義塾大学)
 Kuniyasu OGAWA (Keio University)
 e-mail: ogawa@mech.keio.ac.jp

1. はじめに

簡潔で読み易いNMR・MRI計測の解説を書く。これを本解説の目標とした。もちろん、伝熱研究者に読んだ後に満足感を与える必要もあろう。欲張るならば、読み終えて「もう少し深く知りたい」、「実際の計測も見てみたい」とさらに先へと好奇心が湧いてくるならば、最高である。このように、自分勝手に目標を設定した。ただし、これを達成するのは容易ではない。本解説は、無謀にもこれに挑戦した試みとして位置付けて頂きたい。ちなみに、NMRは核磁気共鳴、MRIは核磁気共鳴画像の略称である。

多くの方から「NMR・MRIの計測原理は?」「何が計測できるの?」「特徴は何?」と質問を受ける。工学分野にNMR・MRIが広く利用されていないのが原因ではあるが、その計測原理はどうしても直感的には理解しづらい。NMR・MRIの成書を紹介しても、丁寧に長い解説を書いても、忙しい研究者はそれらを読む時間がない。結局、聞いた方

が早い、要点だけ知りたいと言うのが研究者の本音であろう。

本解説は、知りたいことと要点だけを表や図にまとめた。文章は最小限に留め、読まなくても、表と図を眺めるだけでも大筋が理解できるようにした。文章構成はまず第2章で「NMR・MRIの特徴」を、次いで第3章で「計測原理」を述べる。そして、最後の第4章では、NMRを燃料電池の含水量と電流の計測に、MRIをハイドレート水和物のガス貯蔵密度の計測に利用した事例を示す。

上記の方針に沿って書いたため、第3章の計測原理では、物理的な正確さや細かな数式を記述することを止めた。より正確な物理的・数学的理解が必要だと感じた方は成書[1-8]を読んで頂きたい。

2. NMR・MRIの特徴

特徴は比較することでより明確になる。理解もし易い。本章では、MRI計測と光学計測の比較、NMRとMRIの比較を表にして示す。また、実際

表1 MRI計測と光学計測の比較

項目		MRI計測	光学計測(デジタルカメラ)
観測に用いる帯域		電磁波(10~100MHz程度)	可視光
電磁波の起源		核磁化が励起され、その回転運動が電磁波として放射	照明光の反射、透過、吸収、または発光
検出器		一個のRFプローブ(コイル)	CCD(二次元配列の素子) 【検出器で画像化が成立】
画像化		勾配磁場を印加し、位置情報をエンコーディングしてNMR信号を受信。その後、フーリエ変換でデコーディングして画像化【デコーディングで画像化が成立】	集光レンズでCCD面上に結像
空間分解能	通常時	1mm×1mm×厚さ1mm程度	集光系で任意
	高空間分解能計測時	10μm×10μm×厚さ10μmが計測限界	1μm×1μm×厚さ1μm程度
時間分解能	通常時	1~数分間程度	30ms程度
	高速画像取得法時	1秒間程度	0.1~1ms程度(シャッター機能あり)
長所		・光を散乱する、不透明な物体の内部計測に適用可能 ・分子運動(拡散、緩和)に関わる特異な量も計測可能	・高い時間・空間分解能 ・安価 ・計測原理が理解し易い
短所		・磁場印加、電磁波検出のため試料に制限あり。 ・計測時間が長い。 ・高価 ・計測原理が理解し難い。	・光が散乱、不透明な物体には適用が困難 ・計測値は光学経路で積分された値となる。

に計測を始める場合に最小限必要となる計測システムの構成と、NMR・MRI計測に特有の注意すべき制限についても示す。ただし、比較表は著者の少ない経験を基に独断で作成したため、古い情報、偏った見方を記載した箇所もある。典型例のみを分かり易く書いたのだとしてご容赦頂きたい。

2.1 光学計測と比較したMRIの特徴

画像計測で最も身近な機器はデジタルカメラであろう。それは「CCD素子を用いた光学計測」の典型例である。光学計測（デジタルカメラ）とMRI計測とを比較した。比較を表1に示す。

両者は計測原理が全く異なる。光学計測では、被写体の画像を二次元配列のCCD素子面上に結像させることで画像化する。一方、MRIでは、一つのRFプローブが試料を覆い、試料全体から信号を受信する。RFプローブ自体に空間を分割する機能はない。

そこで、空間・時間的に変化しない静磁場に加えて、位置と共に一定の勾配で増減する勾配磁場を、ある一定の時間だけ付加する。この操作によって、位置情報をNMR信号にエンコーディングし、それをフーリエ変換でデコーディングすることで、試料の空間分割が可能となる。詳細は第3.5節を参照されたい。

MRI計測では、二次元画像を得るために、磁場勾配の強度を変えて勾配磁場を印加し、NMR信号を得るという操作を複数回（例えば、128回）繰り返す。このため、時間分解能（一つの画像を取得するのに要する時間）が1～数分間と長くな

る。時間分解能が悪い、すなわち、計測時間が長いと言うのがMRI計測の短所である。

高速画像取得法を用いれば、時間分解能は短くなるが、画質が劣化したり、適用できる試料が限られるなどの制約がある。注意が必要である。

MRI計測は短所もあるが、光学計測が苦手とする、光が強く散乱されたり、不透明な物体にも適用することができる。頭部や腹部など体内の画像診断がその典型的な例であろう。MRIでしか得られない情報もあり、このような場合にMRIは活躍する。

2.2 NMRとMRIの共通点・相違点

NMRとMRIとを本解説では区別している。両者の比較を表2に示す。計測原理は共通であるが、MRIは二次元または三次元での空間画像が計測できるが、NMRはそうではなく、試料全体の代表値のみである。MRIによる画像計測では、位置情報をエンコーディングするための勾配磁場印加とそのデコーディングが不可欠となる。この点が両者の大きな相違である。

2.3 MRIの装置構成

MRI計測を行う際の必要最小限の基本装置構成を図1に示す。図の左側には、静磁場を印加する磁石とRFプローブ、勾配磁場コイルがある。RFプローブの中に試料が挿入される。RFプローブによって核磁化が励起され、また、NMR信号が受信される。

図1の右側には、構成要素に制御命令を出し、

表2 NMRとMRIの共通点・相違点

項目	NMR計測	MRI計測
計測原理		<ul style="list-style-type: none"> ・核磁気共鳴(NMR)現象を利用 ・NMR周波数は磁場強度に比例 ・NMR信号を時系列データとして取得
装置構成	磁石、RFプローブ(RFコイル)、RF発振機、励起波送信機、検波機、制御・データ処理機	
取得できる物理量(出力値)	特定物質の濃度、NMRスペクトル、T1、T2緩和時定数など	
計測対象	1H、13C、19Fなど	1H(主に水)
RFコイルと試料の位置関係	RFコイルが試料全体を覆うように設置	RFコイルが計測領域を覆うように設置
位置情報のエンコーディングとデコーディング	—	勾配磁場を印加して、位置情報をエンコーディングしながらNMR信号を取得。フーリエ変換でデコーディングし、画像化。
エンコーディングに必要な装置	—	勾配磁場を印加する装置(勾配磁場コイルと電源)が必要
画像の空間次元	—	二次元または三次元空間の画像
計測時間	1秒間程度	1～数分間程度(画素数に依存)
測定結果の出力	試料全体の代表値	計測した物理量の空間分布(画像として表示)
主な用途	化学構造の分析など	医用画像診断

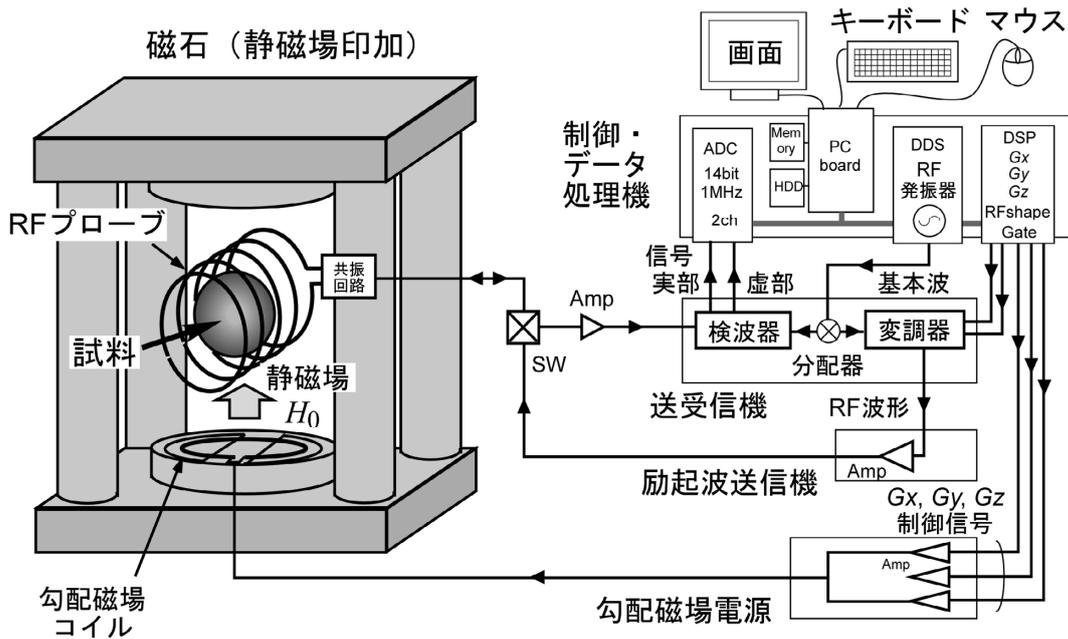


図1 MRI計測装置の全体構成

取得した信号の処理をする制御・データ処理機、励起波形を整形する変調器、NMR信号を復調する検波器、励起パルスを増幅する励起波送信機、勾配磁場コイルを駆動する勾配磁場電源がある。

励起パルスは変調器を介して整形され、増幅されてRFプローブに伝送される。これにより試料中の核磁化は励起され、核磁化の回転運動がNMR信号としてRFプローブにより受信される。NMR信号は検波器で低周波変調された後、ADCでデジタル化され、PCに取り込まれる。

NMRであれば、NMR信号はスペクトル解析され、特定物質の濃度や化学構造の分析に利用される。MRIでは、フーリエ変換を行い、画像に再構成されてMR画像となる。

2.4 磁石内に挿入する試料と装置の制限

NMR・MRI計測では、試料を磁石内に入れなければならない。これが最も大きな制約である。図2には、磁石内部に挿入できる材料を記載した。磁場を歪ませない非磁性体が使用できる。例えば、銅合金（真鍮など）やアルミニウム合金が「計測に関わらない領域」で使用できる。

図2の右側には、RFコイル内部で使用できる材料も示した。RFコイル内部は計測領域となるため、その材料は非磁性でかつ絶縁性材料でなければならない。磁石内部に挿入できる材料よりも制限は

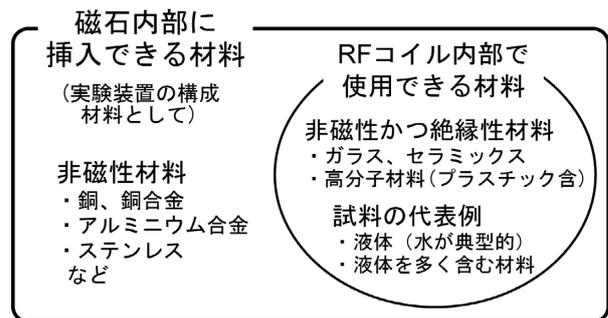


図2 NMR・MRI計測で使用できる材料

より厳しくなる。

RFコイル内部に導電性材料を入れると、NMR信号が減衰・阻害されて、NMR信号が受信できなくなってしまう。このため、RFコイル内部で使用できる材料は絶縁性材料という条件が加わる。例えば、ガラス、セラミック、プラスチック材料などである。

3. NMR・MRIの計測原理

原子核のスピンが核の磁化ベクトルを作る。その磁化ベクトルの振る舞いを理解すれば、NMR計測の基本原理が分かる。まずは、最も単純な水素原子¹Hでそれを説明する。その後、空間・時間的に一様な静磁場に、勾配磁場を印加することで試料の空間分割が可能となることを示す。これ

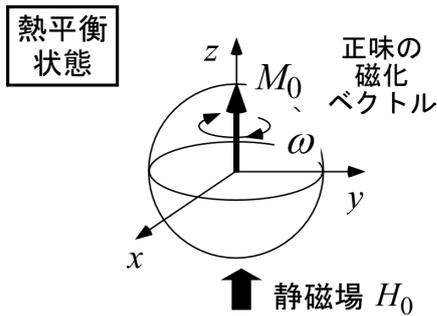


図 3 熱平衡状態にある正味の磁化ベクトル M_0 の運動 (静磁場 H_0 を印加すると z 軸を回転軸として回転周波数 ω で回転する)

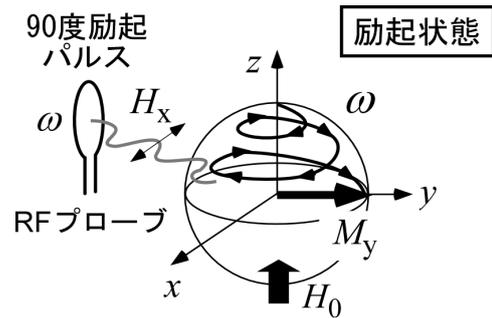


図 4 (a) 正味の磁化ベクトルが 90 度励起パルスの照射によって回転周波数 ω で回転しながら倒れて、励起磁化 M_y となる様子

を二次元空間に拡張した手法が MRI 計測である。

3.1 磁化ベクトルの運動

水素原子 ^1H に静磁場 H_0 を印加すると、磁場に対して順方向と逆方向を向く原子核のスピンの数が現れる。熱平衡状態では順方向のスピンの数の方が多い。試料が水であれば、水の中には多数の水素原子核があるため、多数のスピンの総和は一つの「正味の磁化ベクトル」として表現できる。その様子を図 3 に示した。「正味の磁化ベクトル」を以降では単に「磁化ベクトル」と呼ぶ。

熱平衡状態での磁化ベクトル M_0 は、静磁場が印加された z 軸方向を向き、 z 軸を回転軸として回っている。その回転周波数 ω [Hz] は次式で表される。

$$\omega = \gamma H_0 \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

ここで、 γ [Hz/T] は核磁気回転比である。水素原子 ^1H では γ は 42.6×10^6 であり、固有の値である。水 H_2O に 1 T (テスラ) の磁場を印加すると回転周波数 ω は 42.6 MHz となり、この周波数が磁化ベクトルの共鳴周波数 ω となる。また、式(1)が示すように、磁化ベクトルの回転周波数 ω は静磁場強度 H_0 に正比例する。

3.2 励起と NMR 信号

図 3 の磁化ベクトルの矢印が棒磁石の N 極と仮想しよう。磁化ベクトルの始点を S 極と見ても良い。棒磁石が z 軸を回転軸として回転しても、周囲の磁力線は変化せず、磁化ベクトルの回転は観測できない。磁化ベクトルの回転運動を観測するためには、磁化ベクトルを横 (xy 平面上) に倒す

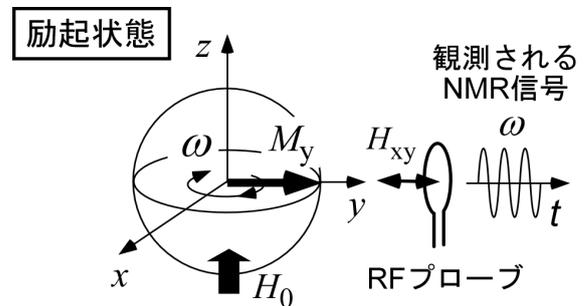


図 4 (b) 励起磁化 M_y が回転周波数 ω で回転することで、RF プローブに振動数 ω の NMR 信号が受信される様子

ように「励起」する必要がある。

RF プローブから磁化ベクトル M_0 に向けて回転周波数 ω で x 方向に振動する磁場 H_x を照射し続けると、図 4(a) に示すように、磁化ベクトルは xy 平面上に徐々に倒れていく。そして、励起磁化 M_y となる。ちょうど 90 度倒れた際の励起パルスと 90 度励起パルスと呼ぶ。

照射を止めて、図 4(b) のように、RF プローブを受信側に切り替える。この時、励起磁化 M_y の矢印先端は RF プローブに近づいたり、離れたったりして、RF プローブを貫く磁力線が時間と共に変動することになる。その変動は回転周波数 ω に等しい。このように、磁化ベクトルが励起され、 xy 成分が生ずることで我々は NMR 信号を観測することができる。

この図では二つの RF プローブを描いたが、実際の装置には RF プローブは一つしかない。励起と受信の役目を切り替えて使う。

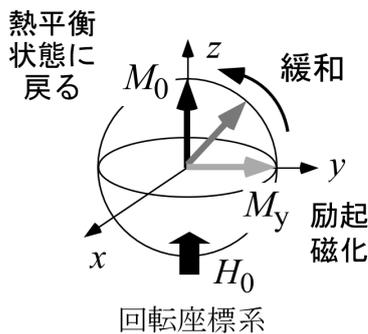


図 5 (a) 励起磁化 M_y がエネルギー緩和して熱平衡状態の M_0 に戻って行く様子。これを T_1 緩和過程と呼ぶ。(ただし、回転周波数 ω の回転座標系から磁化ベクトルを見ている)

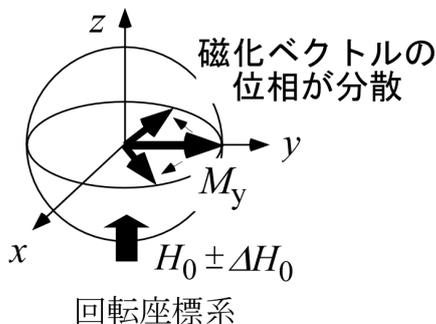


図 5 (b) 個々の励起磁化 M_y の位相が分散して、総和の M_y が減少して行く様子。これを T_2 緩和過程と呼ぶ。(ただし、回転周波数 ω の回転座標系から磁化ベクトルを見ている)

3.3 T_1 , T_2 緩和時定数

励起された磁化ベクトルは熱平衡状態へと戻る。これを T_1 緩和と言ひ、その時定数は T_1 緩和時定数で表される。この緩和は、磁化ベクトルのエネルギーを周囲の分子運動（熱）へと散逸させる。水の T_1 緩和時定数は 1~3 秒間程度である。図 5(a) に緩和する様子を示した。この図では、磁化ベクトルの運動を見やすくするために、周波数 ω で回転する回転座標系に乗せて描いている。

NMR 信号を観測していると T_1 緩和よりも短く NMR 信号は減衰していく。原因は、ミクロな視点で見れば、水素原子核 ^1H が受ける磁場強度は分子運動により絶えず変動しているためである。水であれば、O 原子が水素原子のすぐ隣にあり、それが磁場を強く歪ませる。このため、水素原子

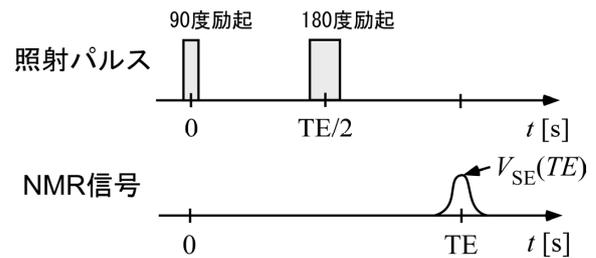


図 6 スピンエコー法の励起タイミングとエコー信号が現れるタイミング

核 ^1H が受ける磁場強度は絶えず変動し、その結果、図 5 (b) に示すように、磁化ベクトルの位相は徐々に分散していく。試料全体の磁化ベクトルの総和を考えれば、位相の分散により NMR 信号が減少することとなる。

これが、磁化ベクトルの位相が分散することで生ずる信号減衰である。これを T_2 緩和と呼ぶ。水の T_2 緩和時定数は数 100 ミリ秒間程度である。 T_2 緩和は分子運動に強く関わるため、高分子材料などでは含水量によって T_2 緩和時定数が大きく変わる。

3.4 NMR 信号強度の記述式

T_2 緩和時定数による NMR 信号の減衰があるため、NMR 信号強度は単純に試料の濃度に比例しない。ここでは、一般的な MRI 撮像法である「スピンエコー法」を用いた場合に観測される NMR 信号のピーク強度 $V_{SE}(TE)$ [a.u.] を考えよう。スピンエコー法とは、図 6 に示すように、1 回目の励起パルス (90 度励起) を照射してから時間 $TE/2$ [s] だけ待って、2 回目の励起パルス (180 度励起) を照射し、さらに時間 $TE/2$ だけ待って NMR 信号を受信する方法である。この手法は、時間 TE で磁化ベクトルの位相を収束させ、装置や試料自身による静磁場の不均一性を小さく抑え、定量性が高くなるという特徴を持つ。

$$V_{SE}(TE) = A\rho \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{TR}{T_1}\right) \right\} \exp\left(-\frac{TE}{T_2}\right) [\text{a.u.}] \quad (2)$$

ここで、 ρ は計測試料中の水の濃度 (例えば、1000 [kg/m³]), TR は 90 度励起パルスの繰り返し時間 [s], TE はスピンエコー法で磁化ベクトルの位相を収束させて、エコーが観測されるまでの時間 [s], A は RF プローブの受信感度やアンプ増幅率など

の装置特性を表す定数[a.u.]であり、既知の濃度の試料を計測して決める。TR, TE は試料に応じて計測者が決める計測パラメータである。典型値は、TR が 1 秒間, TE が 10 ミリ秒間である。

NMR 信号強度を計測し、 T_1, T_2 緩和時定数を別の計測で求めておけば、式(3)から試料の濃度 ρ を算出することができる。

3.5 勾配磁場印加による位置情報のエンコーディング・デコーディング

MRI の画像取得法を説明する前に準備をする。勾配磁場の印加と、その勾配磁場を用いて NMR 信号に位置情報をエンコーディングする方法、および、デコーディング方法について説明しよう。位置情報のエンコーディング・デコーディングとは、試料のどの位置から NMR 信号を取得したかを区別できるように、NMR 信号に位置情報を入れ込んでおき、受信後に位置情報を取り出すことである。

3.5.1 勾配磁場

磁化ベクトルの回転周波数 ω は、式(1)で示したように、磁場強度 H に正比例する。磁場強度 H が位置 x と共に変わり、 $H(x)$ と書けるならば、回転周波数 ω も位置 x の関数として $\omega(x)$ と書ける。ここで、磁場強度 $H(x)$ は、図 7 (a) で示すように、位置 x の一次関数としよう。式で書けば、

$$H(x) = G_x(x - x_0) + H_0 \quad [\text{T}] \quad (3)$$

となる。ここで、位置 x_0 は勾配磁場の原点である。位置 x に関して一定の勾配 G_x を持つ磁場分布なので、これを勾配磁場と呼ぶ。勾配磁場は図 1 に示した勾配磁場コイルに電流を流して形成させる。 x, y, z の 3 方向の勾配磁場がそれぞれの勾配磁場コイルによって独立に作られる。

3.5.2 位置情報のエンコーディング

図 7(a) に描いたように、試料内に含まれる水に濃度分布 $\rho(x, y, z)$ があるとしよう。この試料に位置 x に対して勾配磁場 G_x を印加すると、式(1)と(3)より、位置 x での回転周波数 $\omega(x)$ は

$$\omega(x) = \gamma G_x(x - x_0) + \gamma H_0 \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

となる。この回転周波数の分布 $\omega(x)$ が図 7(b) に描かれている。

図 7(b) の周波数分布 $\omega(x)$ は位置 x と正比例の関係にあるから、回転周波数 ω によって位置 x を特

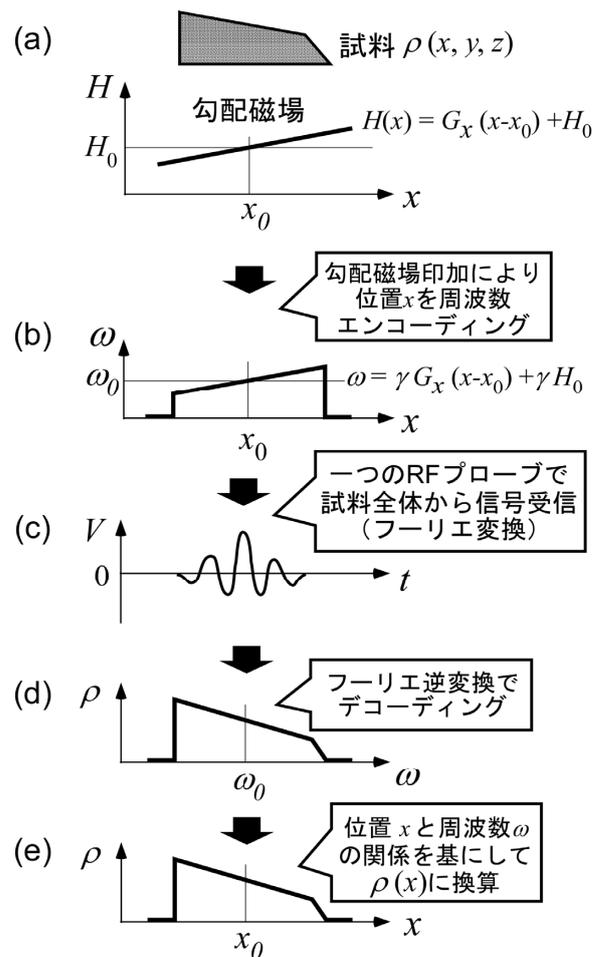


図 7 勾配磁場 G_x の印加による位置 x の「周波数エンコーディング」と、フーリエ逆変換によるデコーディング

定することができる。すなわち、回転周波数によって位置をエンコーディングしたと言えよう。この方法を「周波数エンコーディング」と呼ぶ。

3.5.3 位置情報のデコーディング

MRI 装置には信号を受信する RF プローブは一つしかない。このため、試料全域から放出される異なる周波数の NMR 信号は、図 7(c) に示すように、一つの RF プローブによって重ね合わされて受信される。これは NMR 信号を周波数で積分していることに相当し、数学的には「フーリエ変換」を行いながら信号 $V(t)$ を取得することになる。

周波数が混ぜ合わさった NMR 信号 $V(t)$ をフーリエ逆変換して、スペクトル解析すれば、周波数ごとのフーリエ係数、すなわち水の濃度分布 $\rho(\omega)$ を図 7(d) のように求めることができる。さらに、

式(4)の位置 x と周波数 ω との関係を用いて換算すれば、 x 方向の水の濃度分布 $\rho(x)$ が図 7(e) のように求められる。この操作をデコーディングと呼ぶ。

まとめると、勾配磁場を印加し、磁化ベクトルの回転周波数に空間分布を形成させて、NMR 信号に位置情報を入れ込む操作(周波数エンコード)を行い、NMR 信号の受信後に、周波数を基に位置を特定するフーリエ逆変換(デコーディング)を行う。

3.6 画像への拡張

MRI 計測として画像化するには、二次元(x, y) 方向の位置のエンコーディングが必要である。MRI 計測では、磁化ベクトルの「周波数」と「位相」の二つを使って位置のエンコーディングを行っている。

この概念を正確に理解するには「波数 k 」を導入する必要がある。そして、二次元(x, y) 方向の勾配磁場(G_x, G_y) を印加することと、波数空間(k_x, k_y) とを対応させ、二つの波数(k_x, k_y) を独立に操作することで MR 画像が得られる、という順序で説明せねばならない。しかし、紙面の都合上、ここでの説明では波数を用いず、代わりに「磁場勾配印加による位相の進行・後退」を説明して済ませる。概念は十分に伝わるであろう。より厳密な説明が必要な場合には成書をご覧頂きたい。[1-3, 6]

3.6.1 勾配磁場の印加時間で進行・後退する位相差

3.5 節の「周波数エンコーディング」を位相 ϕ の視点から見てみよう。式(4)から、位置 x_0 での磁化ベクトルの回転周波数 ω_0 は γH_0 であり、これを基準の位相 $\phi_0(t)$ [rad] としよう。すると、基準位相 $\phi_0(t)$ は、時間 t が経過することによって

$$\phi_0(t) = 2\pi\gamma H_0 t \quad \text{[rad]} \quad (5)$$

に従って進行していく。

次に、 x 方向の勾配磁場 G_x を印加して、位置 x での位相 $\phi(x, t)$ [rad] を考えよう。位相 $\phi(x, t)$ と基準位相 $\phi_0(t)$ との位相の差 $\Delta\phi(x, t)$ [rad] は

$$\begin{aligned} \Delta\phi(x, t) &= \phi(x, t) - \phi_0(t) \\ &= 2\pi\gamma G_x (x - x_0) t \quad \text{[rad]} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。位相差 $\Delta\phi(x, t)$ は周波数 ω_0 で回転する回転座標系から見た磁化ベクトルの位相と考えればよい。式(6)は、位相差 $\Delta\phi(x, t)$ が磁場勾配 G_x と、勾配磁場を印加した時間 t に比例することを示して

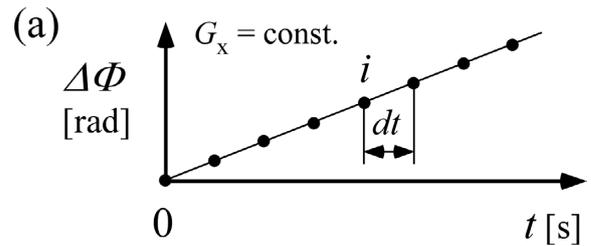


図 8 (a) 勾配磁場 G_x の印加時間で進行する位相差 $\Delta\phi$. x 方向の勾配磁場 G_x (一定) を印加すると位相差 $\Delta\phi$ は印加時間 t に比例して増加し、一定のサンプリング間隔 dt で取得すれば、位相差 $\Delta\phi$ は等間隔で増加する

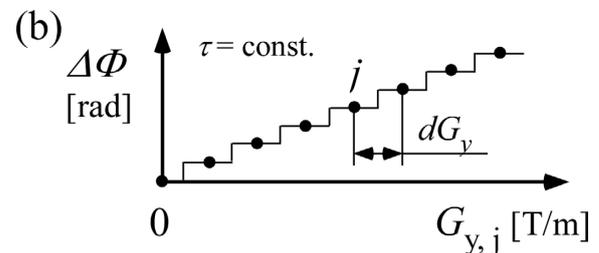


図 8 (b) 勾配磁場強度 $G_{y,j}$ の増加で進行する位相差 $\Delta\phi$. y 方向の勾配磁場 $G_{y,j}$ を印加し、その勾配磁場の印加時間 τ は一定として、勾配磁場 $G_{y,j}$ の強度を dG_y ずつ順次増加させれば、位相差 $\Delta\phi$ は等間隔で増加する

いる。図 8(a) に示したように、NMR 信号を一定のサンプリング間隔 dt [s] で観測したとすれば、サンプリング番号 i の増加と共に、位相差 $\Delta\phi(x, t)$ は一定の増加量で増加していく。

周波数エンコードでは、勾配磁場 G_x を印加して、NMR 信号を時間 t に対して観測すると、位置 x ごとに周波数 $\omega(x)$ が異なることを利用していた。これを時間 t でフーリエ逆変換すれば周波数 ω (位置 x に対応) でのフーリエ係数が求まった。位相差の視点で式(6)を見れば、ある位置 x での位相差 $\Delta\phi(x, t)$ は、 G_x は一定値であるが、時間 t が常に同じ速度で増加していく(時間が経過する、という意味) ことによって増加する。この位相差の進行速度(周波数と同意)が位置 x の関数となっていた。

3.6.2 勾配磁場強度の増減で進行・後退する位相差

見方を変えても良い。式(6)の勾配磁場の印加時間を時間 τ とする。勾配磁場をある一定の時間 τ だけしか印加せず、その代わりに、磁場勾配 G_y

を順次増加させて位相差 $\Delta\Phi$ を増加させる。ここで、順次とは、図 8(b)に示したように、一回目($j=1$)の NMR 信号の受信では磁場勾配 $G_{y,j=1}$ で取得し、二回目($j=2$)の NMR 信号の受信では、ある一定の値 dG_y だけ増加させた磁場勾配 $G_{y,j=2}$ で取得し、…と一定の増加量 dG_y を常に G_y に加えて、それを $j=N$ まで N 回繰り返す操作のことである。このように、順次 G_y を増加させた場合の j 番目の位相差 $\Delta\Phi(y, G_{y,j})$ は次式のように書けよう。

$$\Delta\Phi(y, G_{y,j}) = 2\pi\gamma G_{y,j}(y - y_0)\tau \quad [\text{rad}] \quad (7)$$

磁場勾配 $G_{y,j}$ が一定間隔で順次増加する式(7)と、一定速度で時間 t が経過していく式(6)とを対比させて考えよう。式(6)では時間 t でフーリエ逆変換したように、式(7)では、磁場勾配 G_y でフーリエ逆変換すると位置 y でのフーリエ係数が求まる。すなわち、磁場勾配 $G_{y,j}$ を順次増加して印加すれば、位置 y のエンコーディングができ、フーリエ逆変換でデコーディングができる。この G_y による位相の操作を「位相エンコーディング」と呼ぶ。

3.6.3 MRI 計測でのエンコーディング

MRI 計測では、周波数と位相の両方を用いて、画像化している。勾配磁場(G_x, G_y)とその印加時間(t, τ)を独立に制御して、二次元空間(x, y)のエンコーディングを行っている。巧みで、非常に賢い方法である。それゆえ、位相エンコーディングを理解するには、多くの努力を要し、とても一度読んで分かるものではない。小生も理解するのに数年を要した。分からなければ、飛ばして頂いて良い。

位相エンコーディングには欠点もある。MRI 計測では、位相エンコーディングのために「磁場勾配 $G_{y,j}$ を順次増加させて NMR 信号を繰り返し取得する操作」が必要となる。この操作のために MRI 計測の時間が長く、表 1 に示したように、時間分解能は 1~数分間程度である。これが原因で、MRI 計測は高い時間分解能を持つ計測法とはなかなか言い難い。

残った z 軸方向は、磁化ベクトルを励起する際に行なう。図 7(a)と同様に、勾配磁場 G_z を印加し、試料に周波数分布 $\omega(z)$ を付けてから、ある特定の励起周波数 ω_0 のみを照射すれば、計測したい位置 z の磁化ベクトルのみを選択的に励起できる。これにより、位置 z の断面のみから NMR 信号を受信できる。これを「選択励起」と呼ぶ。

次に、NMR・MRI での計測事例を示そう。

4. 内部計測への適用事例

NMR・MRI 計測を燃料電池とハイドレート水と物の計測に適用した事例を 4 つ示そう。4 つの事例は、欲しい計測量とその算出方法がそれぞれ異なる。NMR・MRI 特有の性質を利用している。

- ①含水量計測 ← NMR 信号の強度
- ②電流分布計測 ← 電流が作る磁場で NMR 周波数が増減
- ③メタノール浸透量計測 ← CH のみの NMR 信号強度
- ④ガス貯蔵密度計測 ← MR 画像の信号強度

①~③は小さなコイルを燃料電池内に挿入して NMR 計測を行った事例である。④は耐圧容器を磁石に挿入して MRI 計測を行った事例である。以下に簡単に計測原理と計測結果を示す。

4.1 固体高分子型燃料電池の含水量計測 [9-11]

固体高分子型燃料電池で使われる固体高分子電解質膜(以下では、PEM と呼ぶ)では、プロトン伝導性を高く維持するために、PEM を適切な含水量に保つ必要がある。PEM の含水量とは PEM 内に含まれる水分子の濃度であり、含水量が増減すれば、NMR 信号強度はほぼ比例して増減する。この関係を利用して含水量を計測した。

4.1.1 小型表面コイルの特性

NMR・MRI 計測では計測時間が常に問題となる。燃料電池の始動時や負荷変動が大きい場合には、遅くとも秒単位で計測したい。しかも、アノード側、カソード側で含水量は異なるであろうから、少なくとも両極での相違が見られるように局所化して計測もしたい。これらの要求を満たすために、小型表面コイルを用いて計測した。

小型表面コイルとは、細い銅線を渦巻状に巻いたコイルである。図 9 に示すように、試料に貼り付ければ、コイル近傍の NMR 信号を取得できる。小型表面コイルが NMR 信号を主に取得している領域は、コイルの内側でかつ、深さはコイル内径の 4~5 分の 1 程度の深さの領域である。これによって計測領域の局所化を行った。また、NMR 信号は 0.5 秒間で取得できる。小型表面コイルによって計測の局所化と短時間化が図れる。ただし、複数の小型表面コイルに対応できる計測システム

を作らねばならない。これは株式会社エム・アール・テクノロジー[17]の協力を得て行った。

4.1.2 水電解運転用 MEA

小型表面コイルは線径 50 μm のポリウレタン被覆付銅線を外径 1.3mm で 3 回巻いて製作した。図 9 に示すように、MEA (Membrane Electrode Assembly) のアノード側とカソード側にコイルを配置した。MEA は、セル温度が 75 $^{\circ}\text{C}$ 、0.14 kg/m^3 の水蒸気を含む窒素ガス雰囲気中に置かれている。

MEA に直流電圧を印加すると、水電解運転となる。水電解運転ならば電流を容易に制御できるため、計測法を検証するには都合が良い。電流密度を 0.10、0.30 A/cm^2 の二つのケースで実験した。電流を印加して過渡的に変化する様子を 4.8 秒間隔で計測した。

4.1.3 水電解運転時での PEM 内含水量の時間経過の計測結果

MEA に直流電圧を印加した時間をゼロとし、アノード側(CH 1)とカソード側(CH 2)で取得したエコー信号強度の時間経過を図 10 に示した。

図 10 から、水電解を開始するとアノード側の含水量は時間と共に減少し、一方、カソード側では一旦含水量が増加して、その後はゆっくりと減少していく様子が見られる。電流密度が大きくなるとその変動も大きくなっている。この計測結果は、アノード側では電気分解と電気浸透流によって PEM 内の含水量が早く減少し、カソード側では電気浸透流によって一旦は含水量が増加するが、電気分解によって PEM 全体の含水量が減少するためにカソード側でも徐々に減少していくという現象を捉えていると考えている。

小型表面コイルを用いることで、短時間計測と局所計測の両方が可能になったと言えよう。

4.2 固体高分子型燃料電池の電流分布計測 [12]

燃料電池では、発電電流を常に高く維持し続けるように運転させることが求められる。全領域で発電電流が高ければ申し分ない。しかし、供給される燃料ガス濃度や水蒸気濃度は燃料電池内で全て等しいとは限らず、生成した水も一様に除去されとは限らないため、発電電流密度には空間分布があると推測される。燃料電池内の発電電流を計測できれば、PEM 内含水量とつき合わせて不均一発電の原因を把握できるであろう。それは電流

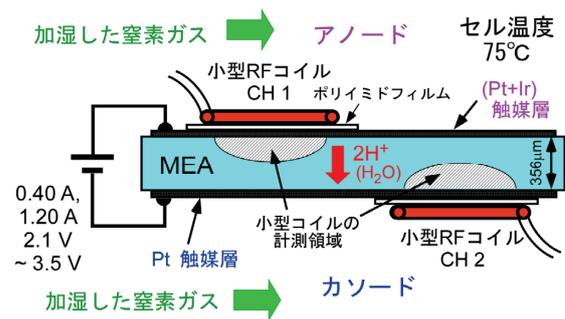


図 9 含水量計測のための水電解用 MEA と小型表面コイルの配置

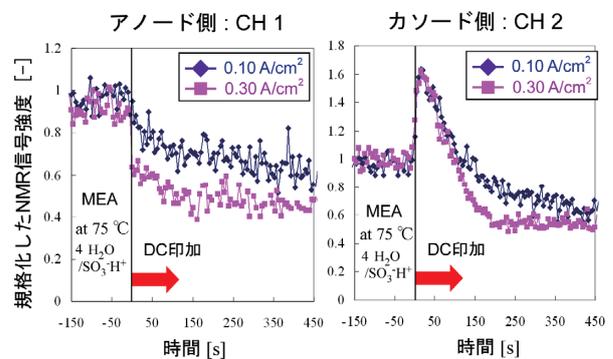


図 10 MEA を水電解運転した際の含水量の時間変化。小型表面コイルをアノード、カソード側に設置し、NMR 信号を取得した。縦軸は NMR 信号強度を規格化して示し、含水量に対応する。この時間変化を示した。

低下の原因を見つけたり、対策に有用であろう。電流分布計測は、複数の小型表面コイルを用いて NMR 信号の周波数変化量を測ることで可能となる。電流計測の原理と事例を示す。

4.2.1 電流計測の原理 [13]

NMR 信号の共鳴周波数は、式(1)に示したように、磁場強度に比例する。一方、電流は電流量に比例した強さの磁場を形成する。この二つを組み合わせると電流が計測できる。

図 11 に示すように、電流をセパレータで集電せず、発電した電流が GDL(Gas Diffusion Layer)に沿って流れるようにすれば、GDL の周囲には磁場 H_I が形成される。小型表面コイルは GDL と PEM の間に挿入しておき、水が含まれている PEM からの NMR 信号を受信する。この NMR 信号の共

鳴周波数は磁場 H_1 に比例して増減することとなる。図 11 の上部に示したように、燃料電池が一樣に発電すれば、アノード側の GDL を流れる電流 I は位置 y に比例して減少するため、共鳴周波数のシフト量 $\Delta\omega$ は位置 y に比例して減少するであろう。複数の小型表面コイルによってシフト量 $\Delta\omega$ を計測し、磁場解析と組み合わせることで、発電電流の空間分布を推測することができる。

4.2.2 燃料電池セルと発電条件

MEA は PEM (Nafion117, 厚さ 178 μm) 上に Pt 触媒層をホットプレスで形成して製作した。触媒層の寸法は 23 mm \times 20 mm である。GDL には厚さ 400 μm のカーボンメッシュを用いた。小型表面コイルは線径 80 μm の銅線を内径 0.6 mm で渦巻き状に 5 回巻いて製作した。図 11 中に記号 A から H で示した小型表面コイルを MEA と GDL の間に挿入した。

水素(13 ml/min)と空気(48 ml/min)を供給して発電した。水素のみ 20 $^{\circ}\text{C}$ のバブラーを通して加湿した。セル温度は 20 $^{\circ}\text{C}$ とした。

4.2.3 周波数シフト量の空間分布

燃料電池の発電電流密度が 87 mA/cm^2 の際に、アノード側のコイル A から D で計測された周波数シフト量 $\Delta\omega$ を●印で図 12 に示した。また、MEA 内で一樣に発電していると仮定して磁場解析を行い、周波数シフト量を求めた結果も実線で図 12 に示した。比較すれば、両者はほぼ一致しており、燃料電池内で一樣に発電していることが分かる。発電が一樣でなければ、一樣と仮定した磁場解析結果と測定値のずれが大きくなるはずである。

このように、NMR 信号の周波数シフト量から燃料電池の電流分布を推測することができる。

4.3 ダイレクト・メタノール燃料電池のメタノール浸透量計測 [14, 15]

メタノールを燃料として使うダイレクト・メタノール燃料電池では、一部のメタノールがそのまま PEM を透過して、発電せずに酸素極で燃えてしまうという問題がある。この現象を「メタノールクロスオーバー」と呼ぶ。

PEM の燃料極側の面にメタノール水溶液を供給すると、水 H_2O とメタノール CH_3OH が PEM の空気極側の面へと浸透していく。メタノールの CH と水の OH とでは ^1H の共鳴周波数が数 ppm だ

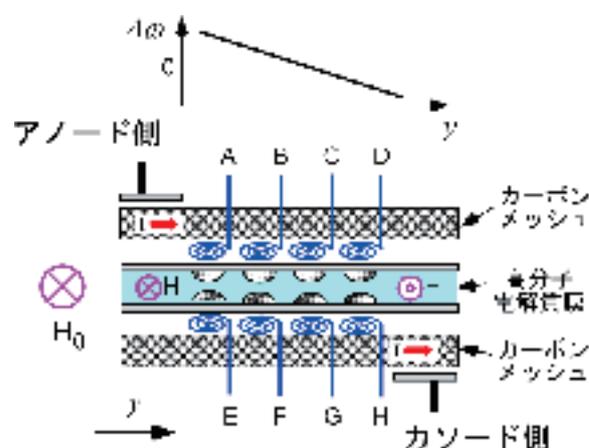


図 11 燃料電池内部の構造と小型表面コイルの設置位置

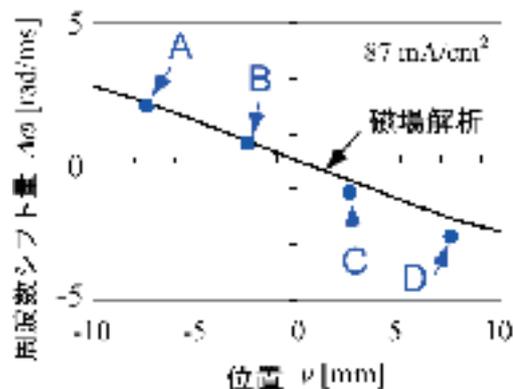


図 12 燃料電池の発電運転時に小型表面コイルで計測された周波数シフト量の空間分布と、磁場解析で得られた空間分布

け異なり、NMR では両者を区別して、その濃度を計測することができる。CH に注目してメタノールを追えば、PEM 内へのメタノールの浸透量と浸透速度を計測することができる。この計測法は、クロスオーバー量の少ない PEM を開発する際に有用となるであろう。

4.3.1 小型表面コイルでのスペクトル計測

小型表面コイルは計測領域が 1mm 以下と小さいため、計測領域内での静磁場の均一性は非常に高くなる。このため、数 ppm だけ離れた CH と OH の ^1H スペクトルでも明確に分離することができる。また、NMR 信号を 1 秒間以内で取得できるため、スペクトルの時系列データも得られる。これを利用して、PEM 内に浸透していくメタノール

ル濃度を時系列で計測した。

4.3.2 PEM へのメタノール水溶液供給法

PEMは図13に示すような流路付セルに挟んだ。PEMの厚さは500 μmである。上側の流路には窒素ガスを50 ml/minで、下側の流路にはメタノール水溶液を0.5 ml/minで流した。メタノール濃度は10, 20, 30 vol%の三つの条件で行った。小型表面コイルは窒素ガス側にあり、PEM表面に押し付けた。コイルはPEM内のNMR信号を受信し、窒素ガス側に浸透してくるメタノールを計測する。始めに水を2時間流し、その後、メタノール水溶液を流し始めた。この時間をゼロとした。

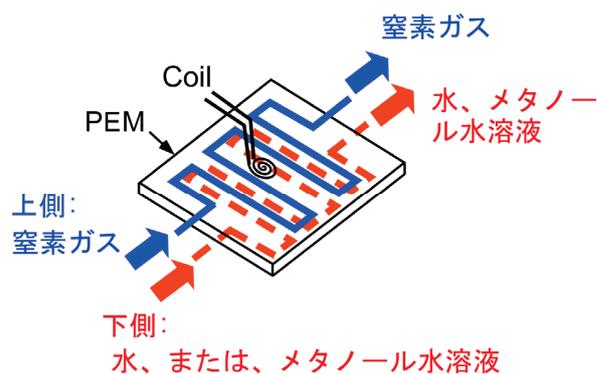


図13 メタノール浸透量と浸透速度を計測するためのセル構造と小型表面コイルの配置

4.3.3 PEM 内メタノール濃度の時間変化

図14にCHスペクトルの面積割合の時間経過を示した。この面積割合が大きいほど、PEM内に浸透したメタノール濃度が高いことを表す。時間経過と共にいずれの濃度の水溶液でもCHスペクトルは増加し、増加量の勾配から浸透速度が算出できる。この方法により、供給メタノール濃度に依存した浸透量と浸透速度を求めることができる。

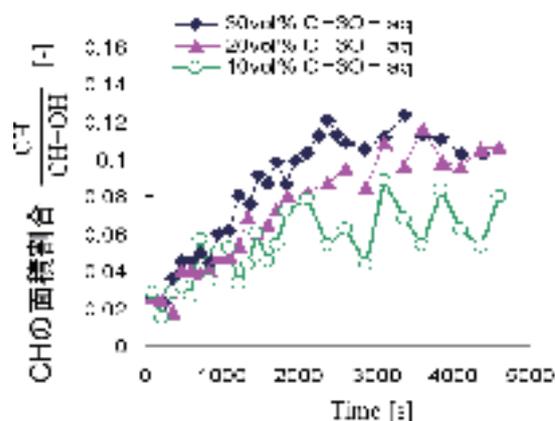


図14 メタノール浸透量に相当するCHスペクトルの面積割合の時系列変化

4.1節～4.3節では、小型表面コイルで計測領域を限定する特殊な計測手法を紹介した。次に、一般的なRFプローブを用いてMRI計測を行った事例を示す。

4.4 ハイドレート水和物のガス貯蔵密度計測[16]

一般的なMRI計測では、RFプローブが試料を覆い、勾配磁場を印加してMR画像を得る。円筒状耐圧容器の円筒側面にRFプローブを巻き、容器内部のハイドレート水和物の塊をMRIで計測した。MR画像の信号強度を基にガス貯蔵密度(貯蔵できたガス体積と始めに注入した水の体積との比)が算出できる。

4.4.1 MRI計測が可能な耐圧容器

クラスレート水和物は水分子がゲスト分子の周りに包摂してできた結晶である。耐圧容器内に水とガスを入れ、約3℃に冷却して加圧すると気液界面に水和物結晶ができる。全体を混合させながら生成させれば、微細な水和物結晶が多数浮遊したシャーベット状の水和物塊ができる。水和物塊は、光を強く散乱するため、光では内部まで観察できない。そこで、図15に示すような耐圧容器を製作して磁石内に設置し、クラスレート水和物が生成する過程の水和物塊内の様子をMRIで計測

した。

4.4.2 信号強度からガス貯蔵密度の算出

T_1 , T_2 緩和時定数が一定の水和物塊では、NMR信号強度は水和物塊に残存する液相の水の濃度に比例する。この理由は、水和物結晶になった水分子は T_2 緩和時定数が1 μs以下と非常に短く、結晶からはNMR信号が観測されないためである。したがって、水の濃度が低下した分だけ、水和物が生成し、ガス貯蔵密度が増加することとなる。

4.4.3 ガス貯蔵密度の鉛直断面分布

図16(a)には上述の計算方法で算出したガス貯蔵密度の鉛直断面分布を示した。また、図(b)には気泡の流動から推測された流動場の様子を模式的に描いた。攪拌翼から離れた水和物塊上部で静止領域ができ、その部分でガス貯蔵密度が高くなっていることが分かった。

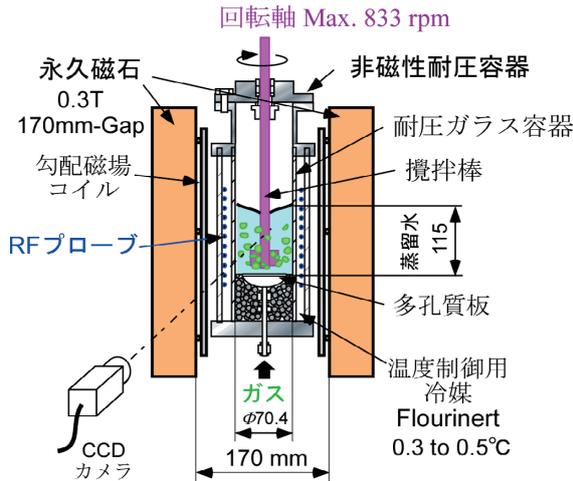


図 15 ハイドレート水和物生成過程を MRI で計測するための耐圧試験容器の概略図

このように、MRI 計測で得られた画像の信号強度からガス貯蔵密度などの他の情報量に変換することができる。

5. まとめ

「短く簡潔に」を心がけて随分ラフに（エイ、ヤーと）書いた部分もある。特に、最初の「光学計測との比較」や「NMR・MRI の比較」の表では「ここはちょっと気になるなあ」とご意見をお持ちの方がおられよう。是非、お聞かせ頂きたい。

本解説が少しでも NMR・MRI 計測の難解さを和らげ、読者の疑問が少しでも晴れたのであれば、幸いである。しかし、こんな夢を見ているのは小生だけかもしれない。

結局、簡潔どころか、だらだらと長い解説となってしまう。小生の性格をご存知の方であれば、「いつもよりは短いよ」と援護して頂けるかもしれない。いずれにせよ、最後までお読み頂けたのであれば、とてもうれしい。

謝辞

拝師智之氏（株式会社エム・アール・テクノロジー）が提供する NMR・MRI 装置でアイデアが具体化され、計測法が確立し、実験で実証できた。氏の技術的助言は不可欠であった。また、伊藤衡平先生（九州大学）が MRI を燃料電池に適用しよ

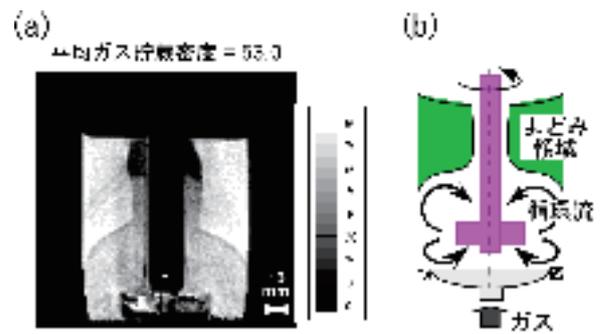


図 16 (a) MR 画像の信号強度から算出した水和物塊内のガス貯蔵密度の空間分布 (b) 耐圧試験容器内で攪拌されている際の水和物の流動パターン

うと発案した。このアイデアで研究が始まった。両氏に深く感謝している。

ここで示した研究の一部は科学研究費、NEDO（次世代技術開発）からの助成を受けて行われた。感謝の意を示す。

参考文献

- [1] 巨瀬勝美, NMR イメージング, 共立出版 (2004)
- [2] 巨瀬勝美編著, コンパクト MRI, 共立出版 (2004)
- [3] 岩井喜典, 齋藤雄督, 今里悠一編著, 医用画像診断装置—CT, MRI を中心として—, コロナ社 (1988)
- [4] ファラー, ベッカー共著, 赤坂一之, 井元敏明共訳, パルスおよびフーリエ変換 NMR—理論および方法への入門—, 吉岡書店, (1971)
- [5] 小川邦康, MRI の原理とその計測法—その 1: スピンは回る(NMR の原理)—, 熱物性誌, 19-1, 15/21 (2005)
- [6] 小川邦康, MRI の原理とその計測法—その 2: 位置情報を織り込む(MRI への拡張)—, 熱物性誌, 19-2, 79/94 (2005)
- [7] 拝師智之, 小川邦康, MRI の原理とその計測法—その 3: ハードウェアと計測の制限—, 熱物性誌, 19-3, 153/170 (2005)
- [8] 小川邦康, MRI の原理とその計測法—その 4: MRI での計測量と計測法—, 熱物性誌, 19-4,

- 222/236 (2005)
- [9] 小川邦康, 伊藤衡平, 拝師智之, 菱田公一, 小型表面コイルを用いた燃料電池用固体高分子電解質膜の局所含水量測定法, 日本機械学会論文集 B 編, 72-716, (2006-4), 1013-1020
- [10] 小川邦康, 拝師智之, 伊藤衡平, WO2006/030743, 試料中のプロトン性溶媒量を局所的に測定する方法, 装置
- [11] 小川邦康, 拝師智之, 宇津澤慎, 伊藤衡平, 特開 2007-121037 磁気共鳴法を用いて試料中のプロトン性溶媒の挙動の分布を測定する測定装置, 測定方法およびプログラム
- [12] 横内康夫, 小川邦康, 拝師智之, 伊藤衡平, NMR センサーによる燃料電池発電時の電流分布計測, 第 45 回伝熱シンポ講演論文集, (2008), Vol.I, 491-492
- [13] 横内康夫, 小川邦康, 拝師智之, 伊藤衡平, 複数 NMR センサーを用いた水電解運転時の MEA 内を流れる電流分布の計測, 機械学会 2007 年度熱工学講演論文集, No.07-05, (2007), 119-120
- [14] 小川邦康, 伊藤衡平, 拝師智之, 小型 NMR センサーを用いた高分子電解質膜内メタノール濃度計測法の開発, 第 44 回日本伝熱シンポ講演論文集, (2007), Vol.I, 357-358
- [15] 小川邦康・拝師智之・伊藤衡平, 特開 2007-051990, 核磁気共鳴法を用いて膜の透過特性を測定する測定装置および測定方法
- [16] 小川邦康, 川副嘉郎, 拝師智之, 宇津澤慎, MRI によるクラスレート水和物のガス貯蔵密度分布計測法の開発と水和物生成時の密度分布形成過程の観察, 日本機械学会論文集 B 編, 70-700, (2004), 3204-3211
- [17] 永久磁石を用いた小型の MRI 装置, 複数の RF プローブを用いて計測できる NMR 装置を製造・販売している企業として, 例えば, 株式会社エム・アール・テクノロジーがある.
<http://www.mrtechnology.co.jp/>

超高感度 HARP カメラ/超高速カメラの研究とその応用

「見えないものが見える, 超の付くテレビカメラ」

Development of Ultra High Sensitivity Camera Using HARP Image Pickup Tubes
and Ultra High Speed Camera Application and Examples

吉田 哲男 (株式会社 日立国際電気 情報通信システム研究所)

Tetsuo YOSHIDA (Research & Development Division)

e-mail : yoshida.tetsuo@h-kokusai.com

1. はじめに

見えないものを見たい, を合言葉に超の付くカメラの研究と応用に取り組んでいる。人間の目で確認し, 映像を記録, 解析することにより多くの謎解きが可能となり, 未知の映像は感動と科学的な検証, 実証が可能となる。今回はそんな超と名の付くカメラの研究とその応用について紹介する。

我々は, NHK 放送技術研究所 (以下, NHK 技研) らと共同で, 人間が見ることの出来ない暗闇の中でも撮像できる, HARP^{[1][2][3]}®(High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor)撮像管を用いた超高感度ハイビジョンカメラと, NHK 技研, 近畿大学と共同で, 肉眼では捕らえられない一瞬の現象を通常の照明下でも鮮明に撮影出来るように画素周辺記録型撮像素子 (ISIS V4 CCD)^[4] (In-situ Storage Image Sensor) CCD (Charge Coupled Device) を用いた超高速カラーカメラの研究を行なっている。

この超高感度カメラは, 夜間の緊急報道番組, サイエンス番組のみならず, 今日では X 線, 照明の当てられない胎児医療診断, バイオの研究, さらに深海探査など, さまざまな分野に応用が広がり, 社会に貢献する先進技術として注目を集めている。

一方, 超高速カメラは, 爆発, 破壊などの科学技術の検証や, ゴルフ野球, コマーシャルなどの放送分野で使用され, 肉眼では捕らえられない一瞬の現象を, 最大 1 秒間に 100 万枚相当 (100 万 fps) (frame per second) の映像を 144 フレーム記録できることを実現した感度の高い超高速カラーカメラである。

HARP® は日立製作所の登録商標です。

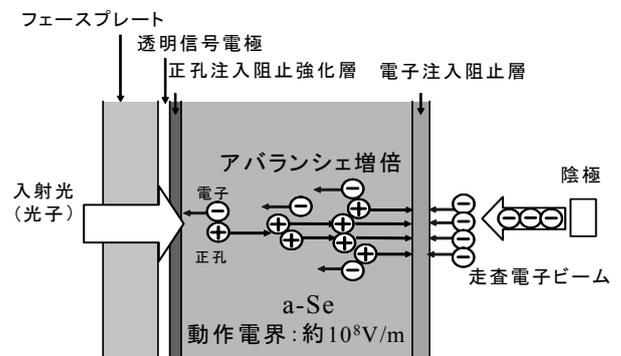
さらに, 当社研究所では, テレビカメラの未来を開く技術として「スーパーハイビジョンカメラ」の映像処理技術とその評価技術の開発に NHK 技研と取り組んでいる。まさに超の付く高精細カメラである。画素数, 横 7,680×縦 4,320 (3,300 万画素), 現在の HD TV 横 1,980×縦 1,080 (220 万画素) の 16 倍の情報量を持っている。10 年先の映像技術として超臨場感, 立体感のある映像技術の研究にも取り組んでいる。

本稿では日本発のオリジナル技術として注目されている, 超高感度ハイビジョンカメラと, 超高速カラーカメラの動作原理, 技術課題, その応用例, 最後に今後の展望について述べる。

2. 超高感度 HARP カメラ

2.1 HARP 撮像管の動作原理

1985 年 NHK 技研は, 光導電型撮像管ターゲットのアモルファスセレン (a-Se) 光電変換膜に約 10^8V/m の強い電界を印加して動作させたとき, 連続して安定なアバランシェ増倍現象が生じ, 画質劣化が抑制された状態で高い感度が得られることを発見し HARP 撮像管として実用化した。



電子と正孔は強い電界で加速され衝突を繰り返し, なだれ状の新たな電子と正孔対を発生させるアバランシェ増倍作用を示す。

図 1 HARP 撮像管の動作原理

HARP 撮像管の動作原理を図 1 に示す。入射光で生成された電子と正孔は、約 10^8V/m の強い電界がかけられた a-Se 膜内で加速されてイオン化衝突を起し、新たな電子・正孔対を発生させる。それらが繰り返し加速されて次々と新たな電荷を作り出す。この作用により、入射光子 1 個に対して増倍された多数の電子が透明信号電極から取り出される。HARP 撮像管で高い感度が得られるのは、a-Se 膜でこのような電荷のアバランシェ増倍が生じ、かつ、増倍で付加されるノイズがほとんどないことによるものである。

2.2 HARP 撮像管の主要特性

図 1 の動作原理からわかるように、HARP 撮像管では a-Se 膜が厚いほどアバランシェ現象の増倍率が大きくなり、高い感度が得られる。開発当初の HARP 撮像管では、ターゲット膜厚が $2\mu\text{m}$ で増倍率は約 10 であったが、今日では、 $15\mu\text{m}$ で増倍率 200 の 2/3MM 型 HARP 撮像管が製品化されている。

さらに、研究的用にはこれより厚い、膜厚 $25\mu\text{m}$ で印加電圧 2,500V 時に増倍率約 600 が得られる 2/3 型 HARP ターゲットも試作されており、NHK 技研等と当社とでそれらの試作管がカメラに実装し、撮像実験が進められてきた。図 2 に HARP 撮像管の外観を示す。



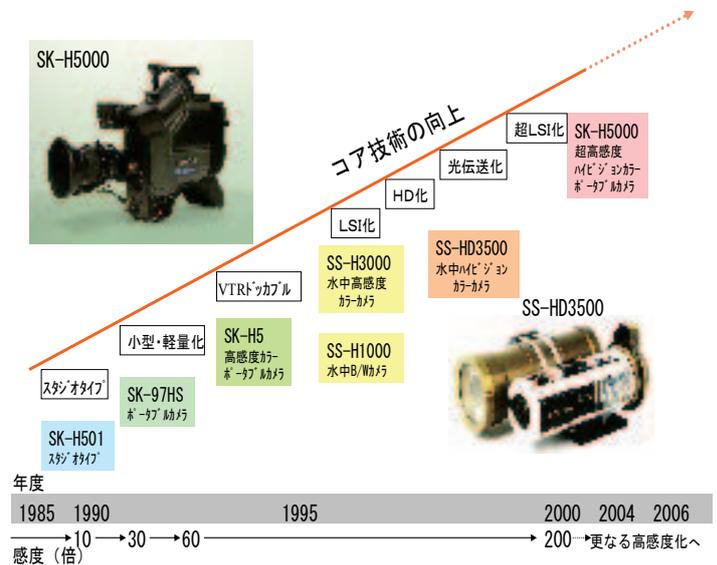
HARP 撮像管は筒形をした真空管です。光電変換部は撮像管の先端部（左側）に位置し入ってきた光をアバランシェ増倍する。

図 2 2/3 型 HARP 撮像管

2.3 超高感度 HARP カメラの開発

「もっと暗い被写体を鮮明に見たい」という要求からテレビカメラの研究開発においては、時代や分野を超え、「高感度化」「高精細化」「高 S/N 化」が技術課題として常に取り上げられている。

HARP 撮像管を用いたカメラの研究開発は約 20 年にわたり、多種多様な用途での活用に応えた推移を図 3 に示す。



HARP カメラの開発機種を年代別掲げ感度向上と当時のコア技術を取り入れて製品化したカメラの推移を示す。

図 3. HARP 方式カメラの開発年表

超高感度 HARP 撮像管（増倍率 200 倍）を用いて、小型、軽量、低消費電力化したポータブル型の放送用超高感度ハイビジョン HARP カメラ（SK-H5000）を図 4 に示す。



製品化された超高感度ハイビジョン HARP カメラ放送分野以外にも新しい応用分野を広げている。

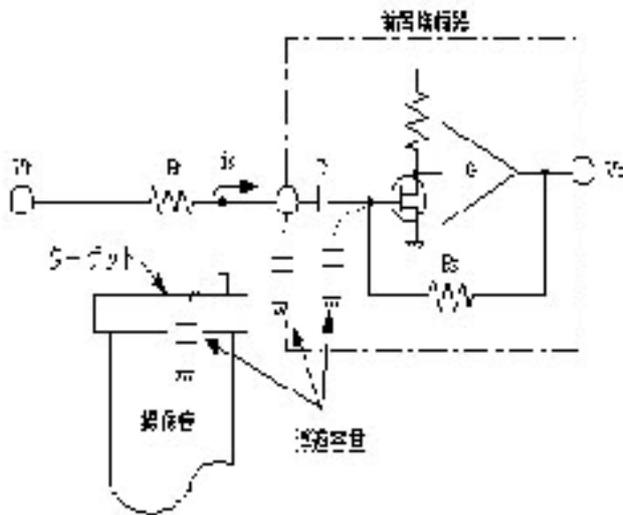
図 4 開発したハイビジョン HARP カメラ

以下 SK-H5000 に組み入れた主要開発技術の内、高感度化、撮像管の温度制御技術の2点について述べる。

2.3.1 高感度（高S/N）化

HARP 撮像管でアバランシェ現象により高感度性を実現するには、ターゲット電極に数千V以上の直流電圧を供給することが必須となる。加えて増倍率がターゲット電極電圧に鋭敏に依存するため、直流電源には極めて高精度の安定性が要求される。また撮像管カメラでは nA オーダーの微弱な信号電流を扱うため、S/N劣化を極力少なくすることが重要となる。SK-H5000 ではこれらの要請に応えるべく、新たに、低雑音FETを採用したプリアンプと極めて安定な高電圧回路の開発を行なった。

図5は前置増幅器の模式図である。撮像管出力から前置増幅器回路までのパターンには浮遊容量が発生する。この浮遊容量がSN比に大きく影響を及ぼす。従って、高いSNのカメラを実現するためには、回路設計だけでなく、部品選定、部品実装に十分気を配り浮遊容量増加の増加を防ぐ必要がある。



撮像管カメラにおける前置増幅器に使用する部品の他、擬似的な浮遊容量も加えたS/N用検討の模式図を示す。

図5 前置増幅器 模式図

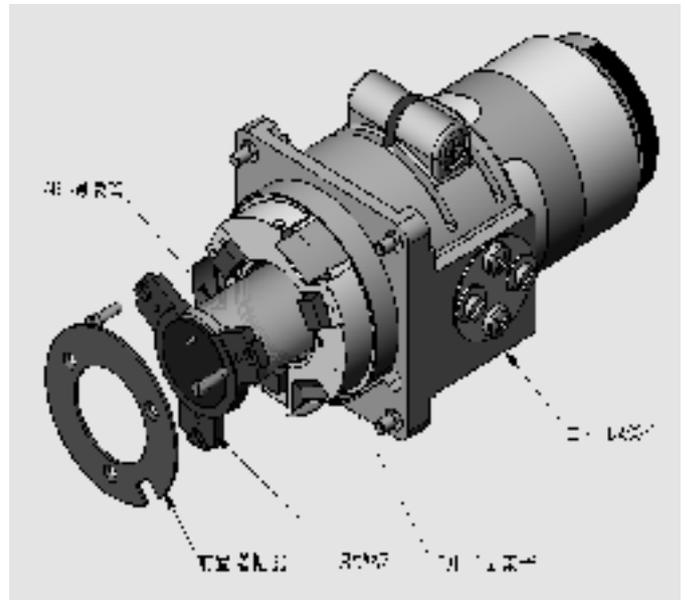
2.3.2 撮像管の温度制御機能

HARP 撮像管の安定性、信頼性向上を図るために、ペルチェ素子を用いた電子恒温化構造により撮像管ターゲットの温度コントロールを行っている。これにより、周囲の温度環境にかかわらず、電源投入後撮像管の光電変換膜（ターゲット）を30秒以内に32℃に設定でき、HARP 撮像管が安定に動作させている。

写真からもわかるように HARP 撮像管は直径18mm、長さ105mmの円筒形をした真空管である。光電変換部は撮像管の先端部に位置しここを32℃に保つ必要がある。

図6にペルチェ素子を用いた電子恒温化構造を示す。円筒形の周りに120度間隔に3ヶのペルチェ素子を配置し、素子の放熱側には体積の大きいコイルアセンブリに放熱、プリズム管体、カメラ管体に放熱される。

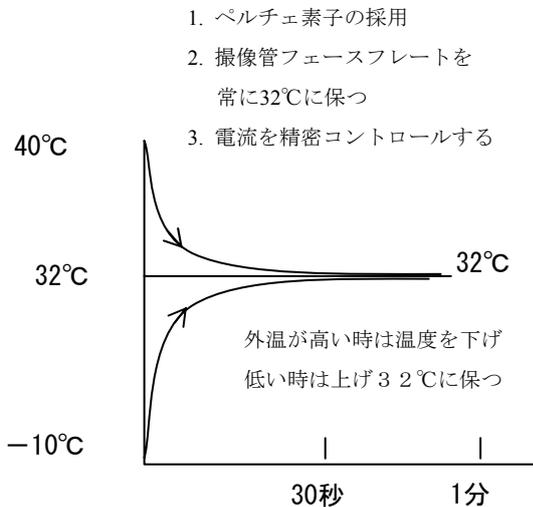
ペルチェ素子は、特殊形状をした吸熱板を介し、インジウムリングと呼ばれる円筒形の先端部に高精度に接触させると共に撮像管前面からも冷却、加熱させる2重構造としその効率を高めている。



HARP 撮像管を中心に、ペルチェ素子、吸熱、放熱構造を示す。

図6 撮像管の電子恒温化構造

この結果、図7に示すように外気温度が+40℃から-10℃に変化しても光電変換膜は32℃に保たれている。



電源をONと同時に外温が高い時は冷却し温度を下げ、低い時は暖め光電変換膜を常に32℃に保つ。

図7 温度制御コントロール

また、光電変換部は信号取り出し口かつ、高感度（高 S/N）化の最重要箇所でもあり実装方法、制御電流雑音、温度コントロール方法含めた多くのノウハウの蓄積が重要であった。

2.4 HARP カメラ SK-H5000 の主な仕様

仕様

- | | |
|-------------|----------------------------------------------------|
| (1) 撮像方式 | R, G, B 3管方式 |
| (2) 撮像管 | APイメージャ:増倍率200
(2/3MM型 HARP 撮像管) |
| (3) 感度 | 20 lx F 5.6 |
| (4) 最低被写体照度 | 0.08lx |
| (5) S/N | 40dB Ych30MHz (目標値) |
| (6) 増倍率 | 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128,
200 切替 |
| (7) 蓄積時間 | OFF, 1/30, 1/15, 1/8, 1/4,
1/2, 1, 2, 3, 4 秒 切替 |
| (8) 解像度 | 水平解像度 800TV 本
(最適調整時) |
| (9) 出力信号 | 1080i フィールド周波数
59.94Hz |

2.5 撮像比較実験

SK-H5000 カメラに膜厚 15 μ m の HARP 撮像管を実装した時の暗所における撮像実験の結果を図 8(a), (b)に示す。これらの実験では、比較用としてハイビジョン用 CCD カメラを用いた。

被写体照度 0.3 ルクス、レンズ絞り F1.7 で撮影した結果である。CCD カメラでは 12dB (4 倍) のゲインアップでも撮影が困難であるが、HARP カメラは、このような暗い被写体でもゲインアップなしで鮮明な映像として捉えていることがわかる。



(a) HARP カメラ (0db)



(b) CCD カメラ (+12db)

HARP カメラ SK-H5000 と CCD カメラの比較撮像例を示す。HARP カメラは鮮明な映像を捕らえその違いがよくわかる。

図 8 比較撮像例 (0.3 lx F1.7)

2.6 超高感度カメラの応用

2.6.1 放送での活用

HARP 撮像管を実装した高感度ハイビジョンカラーカメラは、超高感度でありながら通常のカメラと同じ感覚で安心して使用できるという大きな特長がある。そのためこのカメラは、夜間緊急報道や自然科学番組など種々の番組制作に活用されている。

図9に使用された例を示す。夜のお台場周辺の映像である。(a)は、橋や都市周辺の明るいエリアが圧縮され、また、海面の暗い部分も良く見え、HARPカメラの高感度、高ダイナミックレンジである特長がよく生かされていることがわかる。

(b)はその拡大映像である。船の航行の軌跡や海面の波の微妙な波紋も確実に捉えている様子がはっきり確認できる。



(a) 夜のお台場周辺



(b) 夜の遊覧船（東京湾）

高感度、高ダイナミックレンジである特長がよく生かされた映像と、夜船の航行の軌跡や海面の波紋の微妙な変化をはっきりと捉えている。

図9 夜間撮影やスペシャル番組での活用例

2.6.2 先端研究への応用

HARP 撮像管が青色光に高い光電変換効率を持つことから、これを水中用カメラに適用した場合、特に優れた撮像能力（超高感度・高画質）を発揮すると考え、長年、海洋研究開発機構（旧海洋科学技術センター）と共同で水中撮影の基礎実験を行ってきた。その結果実現したのが、世界初の深海探査用超高感度ハイビジョン HARP カメラ（SS-HD3500）である。同研究機構と共同開発したこのカメラは、暗黒の深海に生息する生物や海底の様子をこれまでにない鮮明な映像として捉えることに成功している（図10）。

このカメラの開発などが基となり、2002年11月に、相模湾初島沖、水深1200mの海底からの初めてのハイビジョン生中継が行われ、“深海の神秘の世界”が茶の間にクリアな映像で紹介された。また、スマトラ沖大地震直後の震源域の調査において地震によってできた海底の大きな亀裂や崩落を確認し地震発生メカニズムの分析に貢献した。



深海無人探査機ハイパードルフィンに搭載したHARPカメラと撮影された深海に暮らすくらげを示す。

図10 深海無人探査機ハイパードルフィンと水中HARPカメラ（提供 海洋研究開発機構）

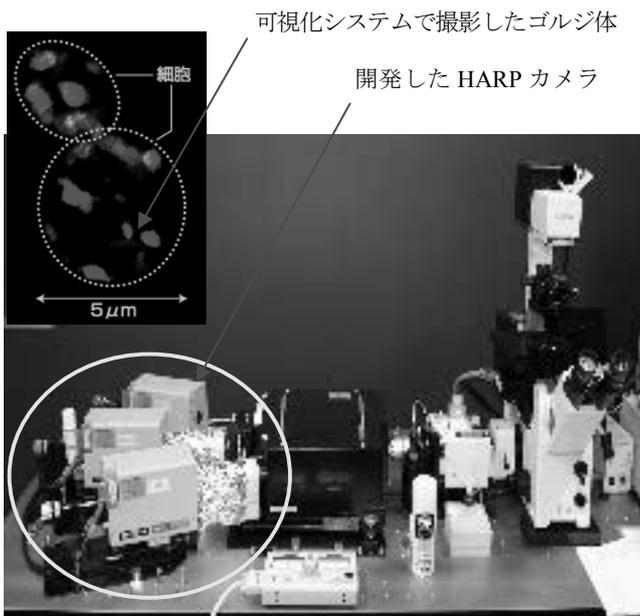
2.6.3 医療、バイオ

また、HARPカメラは、ガンの早期発見や心筋梗塞の高度診断を目的とした微小血管X線診断の研究^[5]、照明の当てられない胎児医療診断、白内障、網膜診断などの眼科医療研究に活用されている。これらの研究はX線の被曝量、強い光による光毒を大幅に減らす事が出来人間に優しい医療研究と言える。

さらに、最近予防医療の実現や画期的な新薬の開発などを目的とした国のバイオプロジェクトの研究にも HARP 撮像管とそのカメラが関わっている。このプロジェクトの研究では、生きた細胞内の蛋白質分子の動きを観察し、その挙動を明らかにすることが重要であるといわれている。細胞に強い光を当てると細胞が短時間で死滅することから、カメラには高い感度が求められる。

現在、増倍率 1000 の HARP 撮像管^[6]とそれを用いた極超高感度カメラの開発が進められた。この研究成果は生きた細胞内の「ゴルジ体」と呼ばれる器官が時間と共に変化していく様子をナノレベルで初めてカラーの立体画像 (3D) で捉え、細胞内で出来たタンパク質を運ぶ新しいメカニズムを世界で初めて解明し英国科学誌「ネイチャー」(平成 18 年 5 月 14 日付) に掲載された。(図 11)

(理化学研究所 中野明彦先生らによる)



超高感度 HARP カメラ、分光光学系、共焦点顕微鏡、多波長レーザーなどを組み合わせ、生きた細胞の中の蛋白質分子の動きを観察したシステムを示す。

図 11 超高感度可視化システム
(提供：理化学研究所)

以上のほか、HARP カメラの新しい応用として、夜間の海や火山の監視、テレビドラマや映画の夜間撮影などへの適用が話題となっており、それぞれ精力的に実験が進められている。

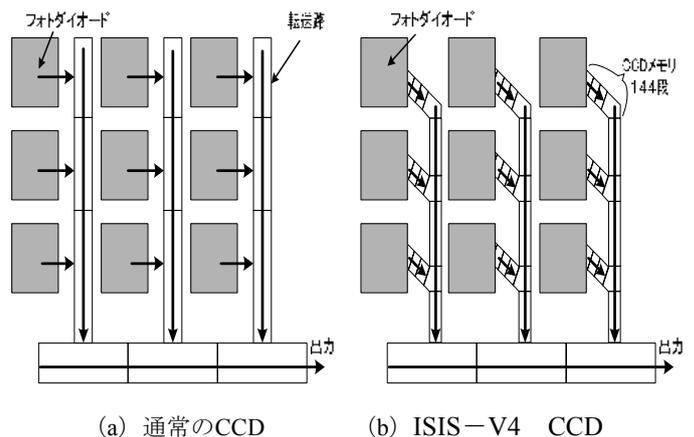
3. 超高速カメラ

3.1 超高速 CCD の構造と動作原理

人間の目では見ることの出来ない超高速現象を撮影する為、信号を記録する為のメモリーを各画素のフォトダイオードに直結して配列することにより、超高速撮像を可能にしたカメラの研究を行っている。

図 12 (a) は通常の CCD による読み出し方を示している。フォトダイオードにより光電変換された信号電荷はフレームごとに垂直、水平の多段にわたる長い転送路を経由して CCD の外部に読み出す構造である。撮影速度を上げるには読み出す転送スピードを上げるか、読み出す画素数を減らすか、またはその両方が必要であるが、読み出すスピードには限界があり、また、画素数を減らすことは情報量の不足をまねくこととなるため、通常の CCD の構造で超高速撮影を行うことは困難であった。

これに対して、ISIS-V4 は、最大 1 秒間に 100 万枚相当 (100 万 fps) (frame per second) の映像を 144 フレーム記録できることを実現した素子で、超高速撮影が可能になり、通常の CCD とは異なる特殊な構造となっている。図 12 (b) に示すように ISIS-V4 の読み出し方法は、フレーム毎に信号電荷を外部に読み出すことなく、フレームごとの電荷転送段数を 1 段として合計 144 段のフレームメモリーを構成し、各画素のフォトダイオードの信号電荷を格納する構造としたことで、超高速撮影を可能にしている。

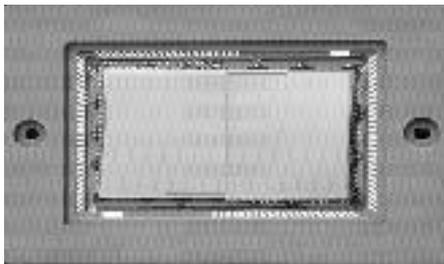


信号電荷を外部に読み出すことなく、各画素のフォトダイオードごとのメモリーに取り込み超高速を実現

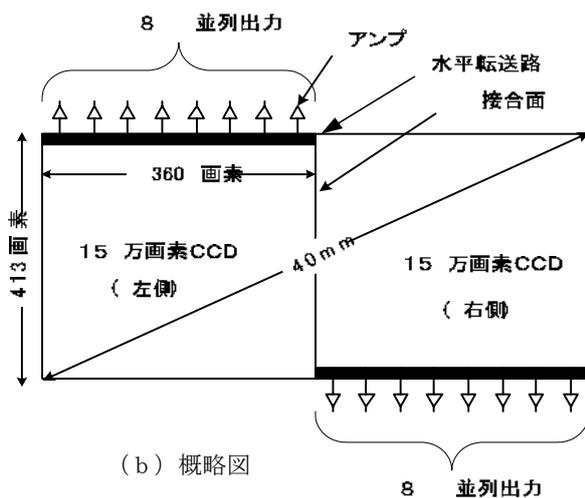
図 12 通常の CCD と ISIS の動作原理の違いを示す

図 13(a)に ISIS-V4 の外観を、図 13(b)に概略図を示す。図 13(b)に示すように、ISIS-V4 は、2つの15万画素の CCD の接合面を中心に、上下左右対称接合した、720 (横) × 413 (縦) の約 30 万画素撮像素子である。これにより多画素化を実現している。ISIS-V4 はモニタモード、高速モード、連続モードという3種類の動作が可能である。特に連続モードのために左右の CCD はそれぞれ8チャンネルに分割されており、全部で16チャンネルの水平転送路と出力アンプを持ち、各チャンネルが並列動作を行うことにより、1,000fps での連続出力に対応している。

また、超高速撮影に必要な光量を確保するために、フォトダイオードを含むピクセルサイズは $50.4 \times 50.4 \mu\text{m}^2$ と大きく設計されている。



(a) ISIS-CCD 外観図



(b) 概略図

2つの15万画素の CCD を、上下左右対称に接合し高画素化を実現している

図 13 ISIS CCD の外観と概略図

3.2 超高速カメラの開発

本カメラの開発にあたり ISIS-V4 の特徴を最大限に発揮する構成と機能を考慮した。超高速撮影モードでは、撮影速度は 30~100 万枚/秒で記録時間は撮影速度に関係なく 144 フレームです。情報量は従来機の約 1,000 倍以上です。また、長時間連続撮影モードでは、1,000 枚/秒の速度で約 5 秒間の撮影が可能です。

図14はISIS-V4を使用して開発した超高速カメラのブロック系統図を示し、カメラヘッド部と信号処理部 (CCU : Camera Control Unit) からなっている。

カメラヘッド部は光学部、撮像部、CDS (Correlated Double Sampling : 相関2重サンプリング) 部の3つの部分で分けられる。撮像部の ISIS-V4 で撮像された映像信号は、CDS 部で相関2重サンプリングを行い、カメラケーブルを通して信号処理部へ出力される。高速モード時は、ISIS-V4 で撮像した信号電荷を CCD の外部に出力するまでの間、光学部のメカニカルシャッターで遮光して入射光による影響を回避する。信号処理部は、大きく ADC (Analog to Digital Converter) 部、ソート・フォーマット変換部、プロセス部、出力部の4ブロックで構成されている。

ADC部は、カメラヘッド部からの入力信号をアナログアンプを通してデジタルデータに変換する。ソート・フォーマット変換部では、ISIS-Vから特殊な読み出し方をしてADC部でデジタルデータに変換された映像信号を、DPRAM (Dual Port Ram) に書き込み、撮像イメージに合わせて読み出すことによって並び替えを行う。並び替えながら出力したデータはメモリ部に順次入力され、各フレームの映像情報として格納される。このデータは、撮像イメージに合ったRAWデータである。

プロセス部では、そのデータより RGB 信号を復調し、ガンマ、輪郭補正などの処理を行って、Y/C 信号 (輝度信号 (Y) と色信号C)) に変換する。出力部では、Y/C信号をHD-SDI (High Definition Serial Digital Interface) フォーマット信号に変換して最終の出力となる。

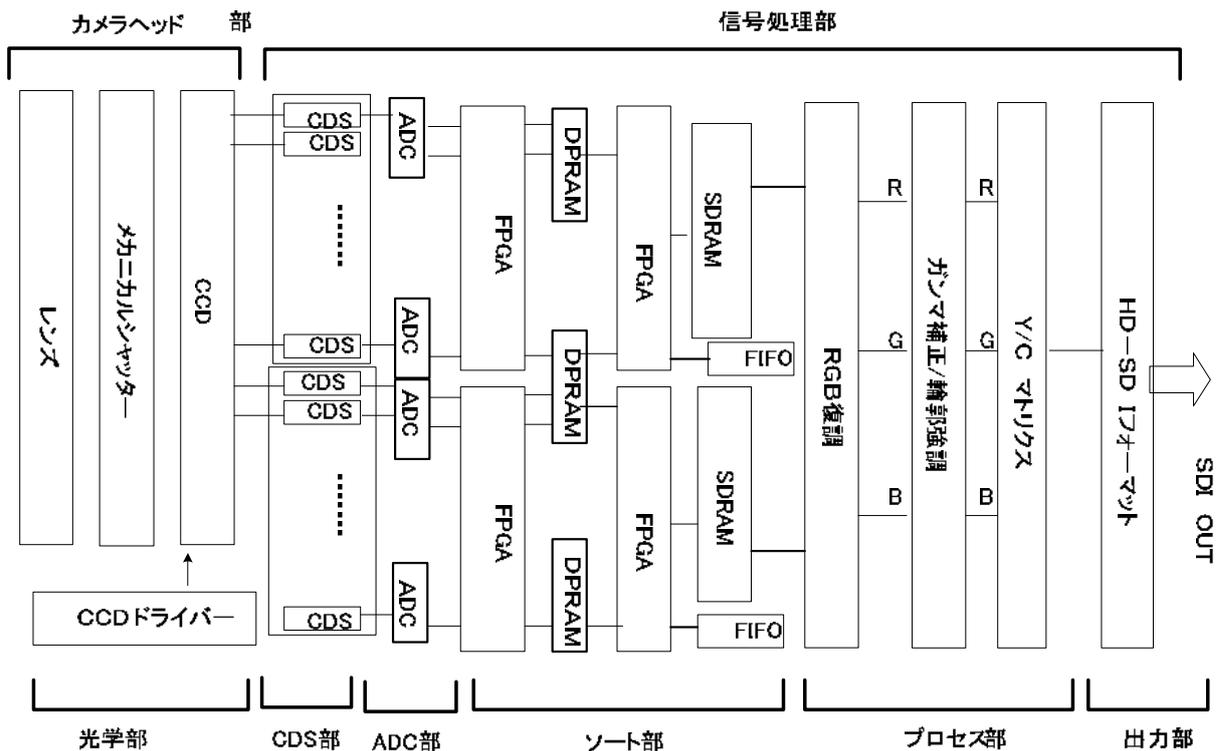


図14 カメラのブロック系統図

超高速カメラの主な開発内容として以下の技術的課題を検討した。

- 1) モニタ，高速，連続という3種類の読み出しモードの確立
- 2) ソート処理
- 3) 黒バランス補正
- 4) リニアリティ補正
- 5) 白バランス補正
- 6) 白キズ補正

このうち、通常のCCDとは異なる技術的な対処を行った、黒バランス補正とリニアリティ補正について説明する。

3.3 黒バランス補正

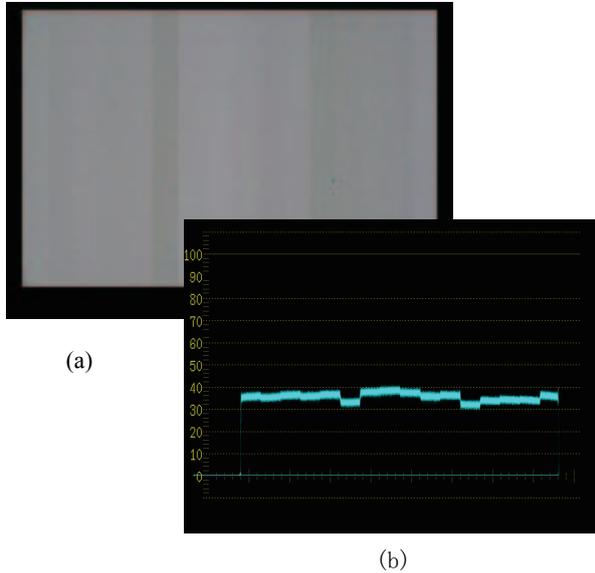
テレビカメラの画質を決める要素に黒のノイズ、一様性特性と、CCDの立ち上がり時のリニアリティ特性があり、本CCDの特徴である16チャンネルの信号特性がそろわないと大きな画質の低下を招く。

テレビカメラの画質を決める要素に黒のノイズ、一様性、があり画質向上の最重要項目となっている。

本ISIS-V4CCDは高速度での連続、読み出し(1,000fps)を確保するため16チャンネルの信号を並列で出力しているが、CCD内部FDAの特性のばらつきにより、図15(a)のように遮光時にチャンネル間で黒のレベル差が発生し、チャンネル間で段差をもってしまう。図15(b)はその波形を観測したものである。

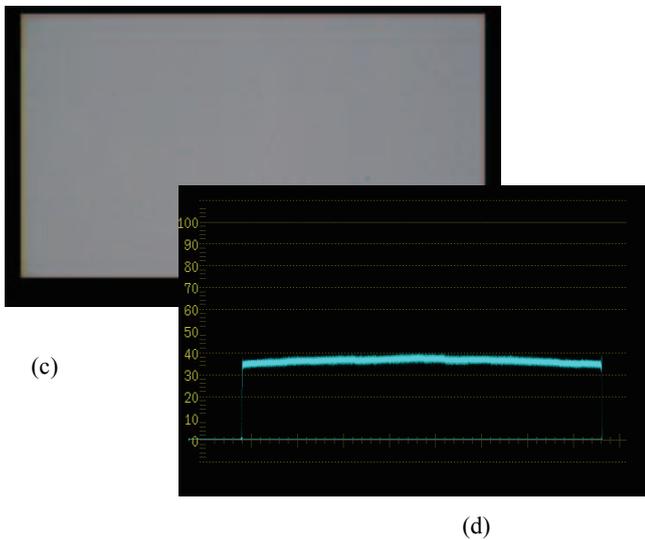
この段差の波形を平坦にするために、補正を行う前の段差のある黒の画像データを、144フレーム分メモリに記録しておく。そして、新たに撮影する画像のデータから、メモリに記録した各フレームに相当する黒の画像データを差し引く。これにより黒レベルをゼロにすることで全フレームの補正を行っている。それに所定の基準レベルを加えて黒レベルを設定している。この補正を各スピードに応じ変更することにより、各スピードにおける黒レベルのバランス変動に対応している。

図15(c)は黒レベル補正を行った画像で、その波形を(d)に示す。チャンネル間でのばらつき、段差がなくなり一様性のよい画面となっている。



(a) チャンネル間段差のある画像
(b) チャンネル間段差のある波形

図15 (a)(b) チャンネル間で段差のある黒レベル

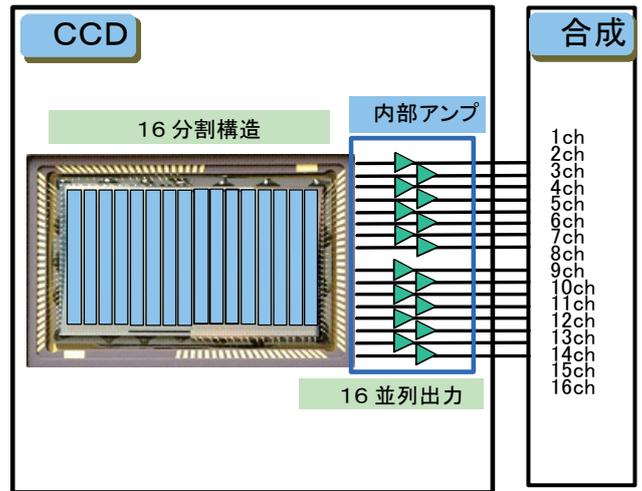


(c) チャンネル間補正した画像
(d) チャンネル間補正した波形

図15 (c)(d) チャンネル間補正した黒レベル

3.4 リニアリティ補正

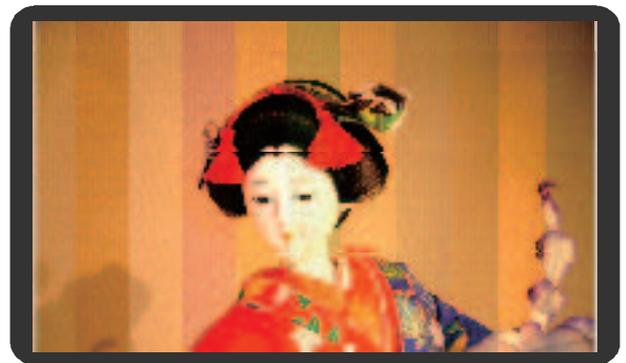
黒レベルの場合と同様に、ISIS-V4 の内部構成は、図 16 (a) の様に 16 チャンネル並列出力となっているが、FDA の特性のばらつきにより、映像が図 16 (b) のようにチャンネル間隔で短冊状の模様となって画面に映し出される。この現象は、各チャンネルの光量に対する信号出力の差であるリニアリティの違いによるものであり、先の黒レベル補正を行っても解決しない。



16ch の CCD が縦に配置され異なる 16 個の出力を合成して 1 つの画面を作る

図 16(a) CCD の構造と出力構成図

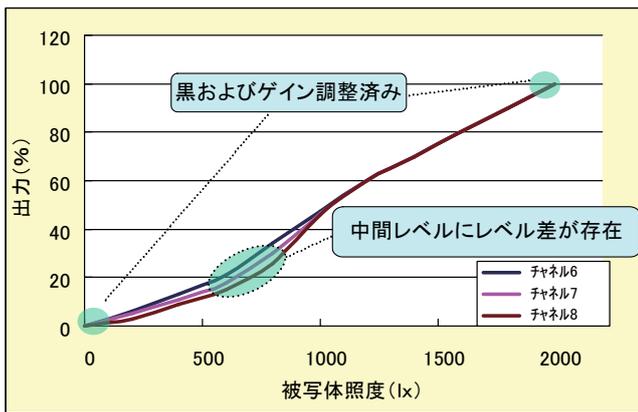
モニタ映像



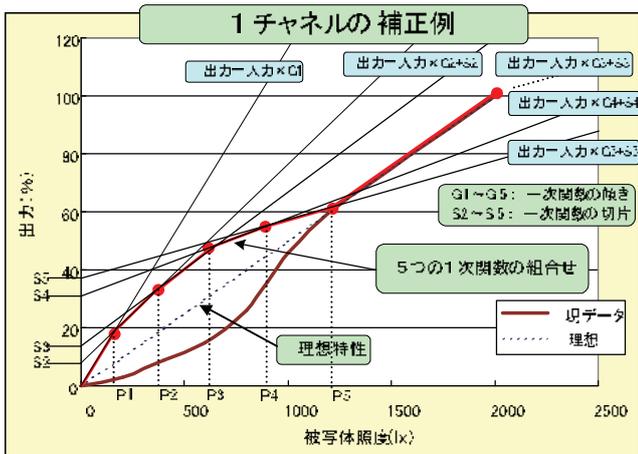
16ch のアンプ特性の誤差により映像出力が短冊状に見える画質像が劣化した画像

図 16(b) CCD と出力画像

図 17(a)のグラフは横軸に被写体照度、縦軸に出力の関係を表した時の本カメラの出力特性グラフ（現データ、茶色表示）であり、0%のレベルを合わせる黒補正、100%のレベルを合わせるゲイン調整はすでに行ったものである。グラフを見ると、波形レベルで 50%以下の部分でチャンネル間のレベル差が存在し、それ以上の明るさがあるとレベル差がなくなっている。そこで中間レベルまでの入力光量を 5 段階に分け、各段でのゲインをチャンネルごとに設定してリニアリティの調整を行った。その方法を図 17(b)に示す。各 16 並列出力が理想特性となるように、5つの一次関数を組み合わせた 5 折点直線で近似補正した。補正関数は、パラメータの増大を防ぐために複雑な関数を使用せず、数個の CCD サンプルデータを測定しシミュレーションを行った結果採用したものである。

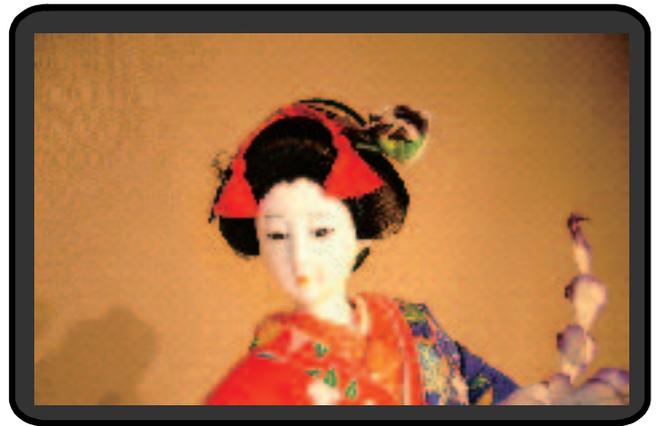


(a) 出力特性グラフ



(b) 補正関数グラフ

図 17 出力特性及び補正関数グラフ



並列16出力間にリニアリティ相関で補正した画像
短冊状の縦線が見えない

図18 リニアリティ補正画像

図18は、この補正係数をISIS-V4の16並列出力を個別に求めてゲインを設定し、並列16出力間にリニアリティ相関を持たせた結果の画像である。

チャンネル間の短冊状の縦縞模様が解消されその補正効果がよく解かる。

3.5 開発したカメラの仕様

今回開発したカメラの仕様を表1に示す。

表1 高速度カメラの主な仕様

画素数	30万画素 (720画素(H)×413画素(V))
アスペクト比	16 : 9
素子サイズ	対角40mm
撮影速度	モニタモード : 15fps 高速モード : 30~1,000,000fps 連続モード : 30~1,000fps
記録枚数	高速モード : 144フレーム 連続モード : 13,000フレーム
感度	ISO2000相当以上
S/N	54dB
メモリ	3GB
映像出力	HD-SDI, LAN (100BASE-TX)

30 万画素の ISIS-V4 にベイヤ配列の RGB 原色フィルタを適用して開発した単板式超高速カラーカメラの一体型を図 19 に示す。



図19 超高速カラーカメラ

3.6 撮像例

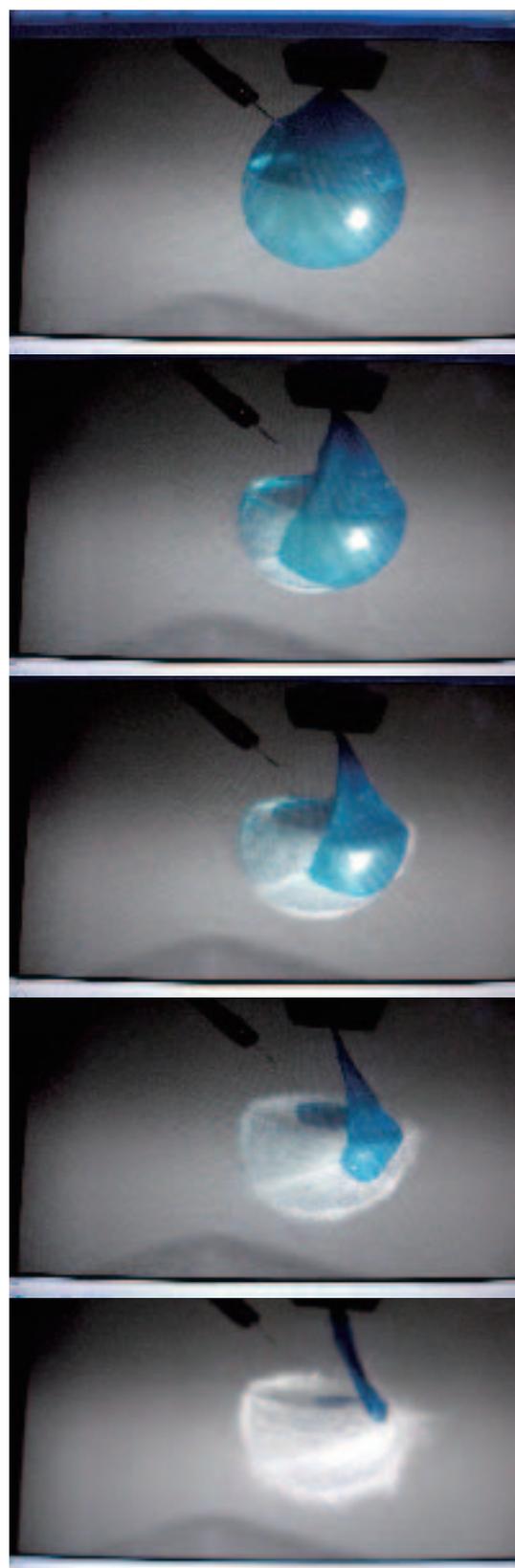
図 20 (a) は、通常の CCD カメラで風船が割れる様子を撮像した例を示す。通常 CCD での撮像では、高速現象のため映像がぶれてしまい水風船が割れてから水しぶきが飛び散るまでの様子をはっきりと捉えることができない。

一方、図 20 (b) は、先の CCD カメラと同じ照明条件で超高速カメラにより 16,000fps の撮像速度で水風船が割れる様子を撮像した例を示す。超高速カメラでの撮像では水風船に亀裂が入るところから徐々にしぼんでいく様子をはっきりと、かつ鮮明に捉えている。また水風船の形を残している中の水風船が徐々にしぼんでいくのと同時に、徐々に細かいしぶきを上げながら崩れていく様子も鮮明に見て取れる。



(HDTV) : 60fps/sec

図 20 (a) 通常の CCD カメラ

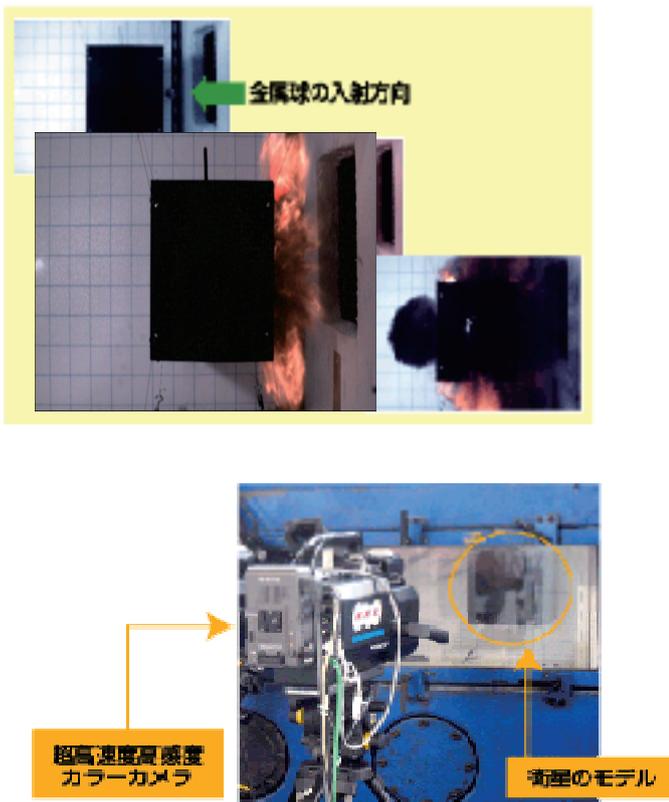


(HDTV) : 16,000fps/sec

図 20 (b) 超高速カメラ

次に、別の撮影例を紹介する。地球大気圏外の宇宙空間には、スペースデブリ（「宇宙ごみ」）がある。それらは使われなくなったロケットや人工衛星、それらが衝突してできた破片などである。これらは時速2万5千kmという想像を絶するスピードで、地球の周りを回っており、宇宙ステーションや人工衛星との衝突の危険が指摘されている。そこで、宇宙の安全を守るため、デブリの動きを監視することと並んで衛星との衝突の瞬間の様子、および、その時に飛散する破片の挙動を把握することが重要である。

実験は、人工衛星のモデル（小型電子回路を搭載した約20cm³の箱）に、直径3cmの金属球を音速の5倍近い時速6,000kmで衝突させたものである。超高速度カメラは、この衝突瞬間の破壊現象を超高速度カメラが、1コマ21万分の1秒の速度で撮影し、鮮明なカラースローモーション映像として捉えることに成功した（図21）。



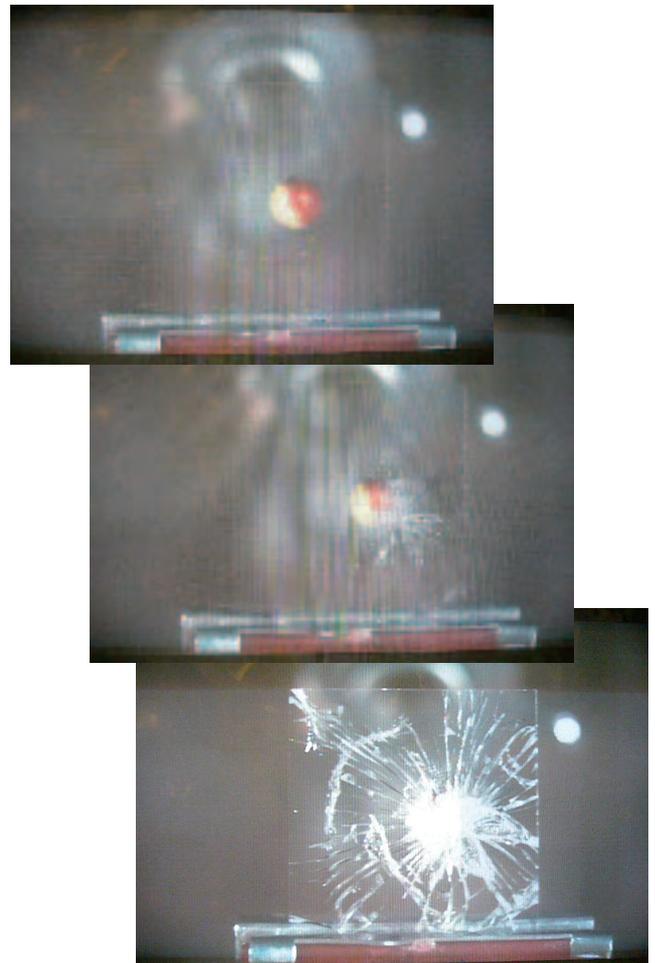
直径3cmの金属球を時速6千kmで衝突させた実験風景と
（チェンバー内は、空気を抜き真空状態に近い）
破壊現象の瞬間映像（1コマ21万分の1秒で撮影）

図21 スペースデブリ（宇宙ごみ）の衝突実験
（写真提供 NHK技研）

一方、図22は、ガラスにプラスチックの銃弾が当たる瞬間の映像である。ガラスのひびに入る過程を77万分の1秒で撮影したものである。ガラスのひび割れる過程が、時間と距離から克明に解析出来、製品開発、品質管理が可能となる。

本カメラは、1コマが100万分の1秒という超高速度撮影が可能であり、爆発、衝突、破壊の瞬間の観測といった未知の超高速度現象の解析が期待されている^[7]。

このように通常まったく見ることの出来ない現象も、超高速度カメラを用いることで、過渡現象の可視化が可能となると共に、まったく別の現象のように神秘的、感動的な映像を見る事ができる。同時にその瞬間に潜んでいる非常に細かな新たな現象の発見にもつながる。



プラスチックの銃弾でガラスにひび割れが
出来る過程（77万分の1秒で撮影）

図22 ガラスにひびの入り過程

4. まとめと今後の展望

人間が暗くて見ることの出来ない中でも撮像できる超高感度HARPカメラや、人間の目では見えない100万分の1秒の高速現象を可視化出来る超高速カメラの究極の撮像装置を考える場合、その撮像デバイスの重要性は言うまでもない。

究極の超高感度撮像デバイスとは何かを考えると、それは付加雑音なしに非常に大きな利得が得られる内部増幅機能を有し、また、開口率と光電変換効率の双方が100%のデバイスということになる。今後、HARPターゲットの光電変換効率がさらに向上し、薄板形状の冷陰極HARP撮像板^[8]が究極の超高感度撮像デバイスとして実用化されると、HARPカメラの応用は一段と大きく広がると考えられる。また、超高速カメラにおいても、100万分の1秒でも解析出来ない現象も多く存在し、1,000万分の1秒、1億万分の1秒と言う超高速現象の解析要求もある。

今後の課題として、速度、感度、総画素数(情報量速度×総画素数)、記録時間などの検証を行い究極のデバイスとは何かとの検証も始めたい。

放送、映像が多様化する中、高感度、高速度カメラは放送分野のみならず、研究開発、医療などの分野においても今後その需要は増え、従来にない用途への応用も考えられる。このため、今後さらなる実用化に向けた開発が要求され、高速度、超高速カメラの意義はますます大きなものとなっていくと思われる。

本稿では、放送、映像側から見た解説と撮像例などを紹介した。異なる専門分野の方々からのご

感想、ご意見を頂き、今後の研究に役立てたいとも思います。

最後に、超高感度ハイビジョンHARPカメラの研究、開発にご指導頂いたNHK技術局、NHK技研の関係各位に、超高速カメラの開発にご指導いただいたNHK技研、近畿大学の関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- [1] K. Tanioka, J. Yamazaki, K. Shidara, K. Taketoshi, T. "An Avalanche-Mode Amorphous Selenium Photoconductive Layer for Use as a Camera Tube Target," IEEE Electron Device Letters, EDL-8, 9, pp.392-394 (1987)
- [2] 谷岡, 山崎, 設楽, 竹歳, 河村, 平井, 高崎, 雲内: "アバランシェ増倍 a-Se 光導電膜を用いた高感度 HARP 撮像管," テレビ誌, 44, 8, pp. 1074-1083 (1990)
- [3] 久保田: "超高感度新 Super-HARP カメラの開発," NHK 技研 R&D, Vol.41, 8, p. 45 (Aug. 1996)
- [4] 江藤剛治他: "斜行直線CCD型画素周辺記憶領域を持つ100万枚/秒の撮像素子", 映像情報メ学会誌, Vol.56, No.3, pp483~486 (2002)
- [5] 久保田, 加藤, 鈴木四, 谷岡, 盛, 兵藤: "ハイビジョン新 Super-HARP 撮像管とその放射線医療診断への応用," テレビ学技報, Vol.20, 71, p. 13 (1996)
- [6] 松原, 大川, 宮川, 鈴木, 高島, 江上, 谷岡, 小林, 小楠, 平井: "極超高感度新 Super-HARP 膜の試作," 映情メ年大 12-3, (2003)
- [7] 丸山裕孝他: "超高速高感度カラーカメラの開発," 映メ年次大会, 21-10(2003)
- [8] N. Egami, M. Nanba, Y. Takiguchi, K. Osada, T Watabe, "FEA image sensor with Electron-beam Focusing System", IVNC '04, 4.1, pp. 228-229 (2004)

高性能沸騰伝熱管「サーモエクセル」：研究開発の回顧と展望

High-Performance Boiling Heat Transfer Tube "THERMOEXCEL": Retrospect and Prospect of R&D Efforts

中山 恒 (ThermTech International)

Wataru NAKAYAMA (ThermTech International)

e-mail: watnakayama@aol.com

1. はじめに—サーモエクセルとは

高性能沸騰伝熱管「サーモエクセル」の外観写真を図 1 に示す。外形 16mm の銅管に微細な表面構造を設けたもので、管外表面でフロン系冷媒の沸騰熱伝達を促進し、管内を流れる水を冷却する。表面構造を図 2 に示す。表皮(lid)下にトンネル(tunnel)と称する連続した空洞があり、表皮にはトンネルと管外の冷媒を連結する孔(pore)が設けられている。表面構造寸法の例を記すとトンネル幅(W_t) 0.25mm, トンネル高さ(H_t) 0.5mm, トンネルピッチ(λ_t) 0.55mm, 孔に内接する円の直径(d_o) 0.1mm, 孔ピッチ(λ_o) 0.7mmである。図 3 は伝熱性能を調べるために行った実験の写真で、冷媒の発泡が促進されている様子を示している。フロン系冷媒 R-11 を用いて得た沸騰曲線を図 4 に示す。例えば熱流束 1 W/cm^2 のレベルで比較すると、サーモエクセル上の過熱度は平滑管上の過熱度の 1/10 で済む。過熱度が 5 K の場合、サーモエクセル上の熱流束は平滑管上の熱流束の 50 倍近くになる。

サーモエクセル伝熱管は空調用大型冷凍機の蒸発器に用いられている。サーモエクセルが採用される以前には、管外に短フィン設けたローフィン管が用いられていた。サーモエクセルの採用によって冷凍機を如何に小型化することが出来たかを図 5 に示す。図 5 は冷媒 R-12 を用いた冷凍機の例で、図 5(a)では蒸発器にローフィン管が用いられており、蒸発器の上に凝縮器と圧縮機を載せた構造になっている。図 5(b)に示すように、サーモエクセル管を用いると蒸発器容積が減り、凝縮器も蒸発器のシェル内部に納められ、冷凍機を著しく小型にすることが出来た。

図 6 に、サーモエクセル構造を円管外面に設ける機械加工手順を示す。最初に浅い溝の列を(knurling)設け、次に切削バイトでフィン列を立てる(bit cutting)。フィンの稜線は鋭い凹凸を有し、

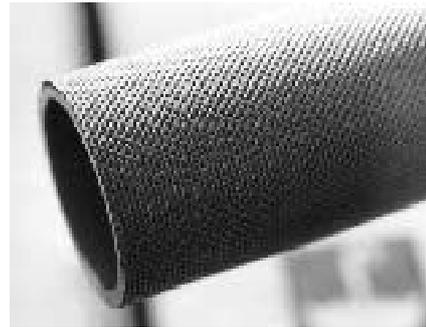


図 1 沸騰伝熱管「サーモエクセル」の外観

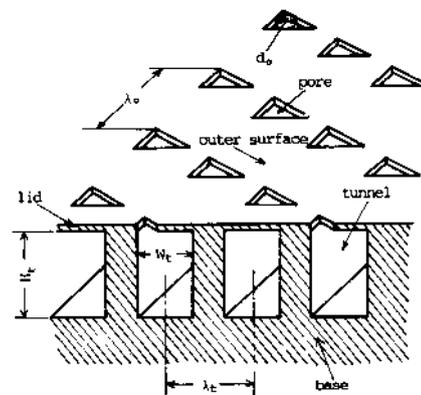


図 2 サーモエクセルの表面構造

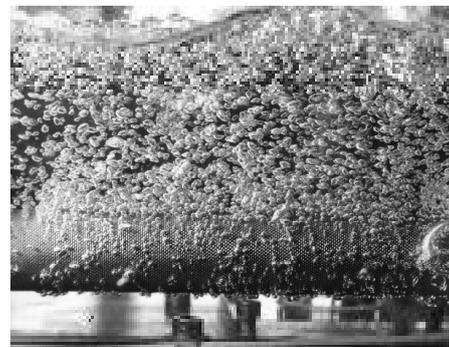


図 3 冷媒の沸騰状況

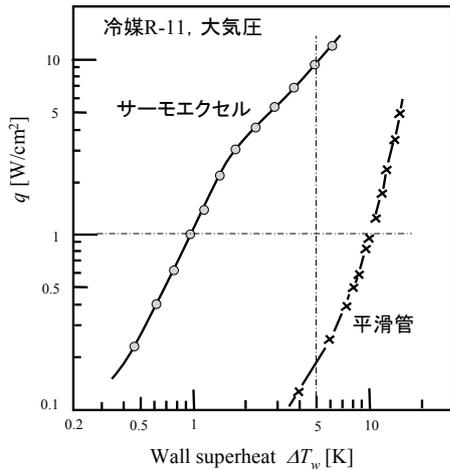


図4 沸騰曲線の比較 (冷媒 R-11, 大気圧)

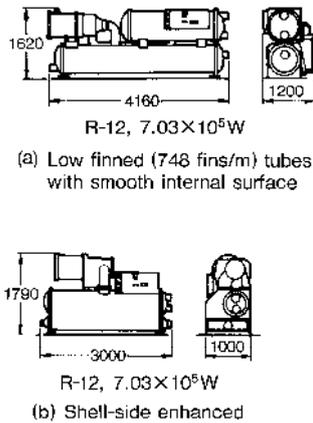


図5 サーモエクスセルによって実現した冷凍機の小型化

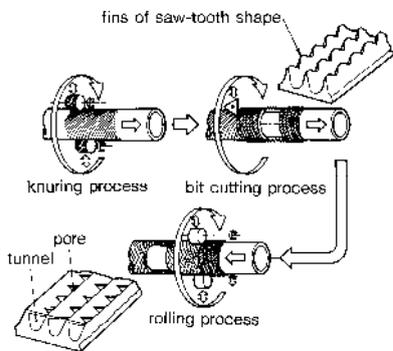


図6 サーモエクスセルの製法

フィンの頂をローラーで寝かせる (rolling) と所望の構造になる。これらの加工に必要な工具は一つのヘッドに纏められ、銅管はヘッドを通過するとサーモエクスセル管になる。なお、rolling工程を省くと表面に鋭いフィンを有する管が得られ、鋭いフィンが凝縮伝熱の促進に有効なことから凝縮器に用いられている。凝縮器用伝熱管を「サーモエクスセルC」、蒸発器用伝熱管を「サーモエクスセルE」と呼んでいる。本稿では専ら沸騰伝熱促進を主題にするので伝熱管の呼称からEを省くことにする。サーモエクスセルの開発と冷凍機への応用に関する初期の文献を[1-5]に掲げておく。

2. 背景と研究開発のあらまし

1970年代初頭はオイルショックに見舞われる一方、新宿副都心で高層ビルの建築が始まった時期でもあった。オイルショックは省エネルギー技術の研究開発を促し、なかでも高性能熱交換器の開発には大きな関心が寄せられた。しかし、ビル空調用冷凍機のメーカーでもある(株)日立製作所にとっては、高層ビル対応の製品開発が焦眉の急を要していた。高層ビルは床面積に制約がある一方、空調容積は大きい。要求性能を満たし、しかも占有床面積が小さく済む冷凍機が求められる。それには先ず蒸発器を小型化しなければならない。蒸発器は多数の伝熱管をシェル内に収めたシェル・チューブ熱交換器で、シェル(管外)側で沸騰する冷媒は蒸発潜熱が小さく、従って管外表面の熱伝達率は管内を流れる水の対流熱伝達に比べて低い。沸騰熱伝達促進に対する大きなニーズがある。冷凍機を生産していた工場の工場長が機械研究所の研究室に来られ、「君ら熱の研究をしていると言うが熱交換器は一向に小さくならないじゃないか」と言われたことを覚えている。

核沸騰熱伝達の促進に関する研究はそれまでも多く行われており、気泡発生核を安定に保持する‘再侵入くぼみ’が有効であることは広く知られていた。‘再侵入くぼみ’、もしくはこれと同じ効果をもたらす微細表面構造を伝熱管の外表面に如何にして設けるかが実用化へ向けての課題であった。先ず考えられたのは金属粉末を伝熱面に焼結し、多孔層を形成する方法であった[6]。Union Carbide社は焼結多孔層を外表面に有する”High Flux Tube”を既に実用化し、石化製品プラントの

熱交換器に用いていた。

熱交換器に技術革新の種があることをいち早く認め、研究開発体制を立ち上げたのは、当時の日立製作所機械研究所第一部長、藤江邦男氏（伝熱学会 31 期会長）であった。藤江氏は研究所、工場、本社の関連部門を特別研究プロジェクトに結集し、卓越したリーダーシップを発揮された。プロジェクトの極めて重要な第一歩は生産技術のエキスパートを得ることであった。日立グループ内で銅製品の供給元である日立電線（株）から柿崎公男氏が加わり、前述した伝熱管の製法が短時日のうちに完成した。さらに日立電線本社からは市川寛氏が加わり、同氏は日立電線内でのプロジェクト推進に尽力された。「サーモエクセル」の名付け親は市川氏である。

プロジェクトの立ち上げに追い風となったのは前述したようにオイルショックが引き起こした省エネルギー技術への関心の高まりである。本プロジェクトは通産省から省エネルギー技術開発助成の対象に選ばれた。このような社外機関からの認定は、日立グループ内での開発体制を整えるのに役立ったようである。かくして基礎研究、製品化、生産技術、特許戦略の各分野に投入するリソースが確保され、プロジェクトは発展することになった。さらにプロジェクトの対象は年次が進むに従い沸騰伝熱管のみならず、凝縮用伝熱管、ルームエアコン用熱交換器、吸収式冷凍機用伝熱管などに広がり、日立の伝熱技術は幅広い製品をカバーする技術体系として確立された。この間に多くの研究者と技術者が重要な働きをした。全員の氏名を挙げたいところであるが割愛せざるを得ない。また、研究開発の成果は学会など社外機関から高い評価を得、各種の賞を授かった。機械学会技術賞（1978）[5]、市村賞（1978）、ASME Heat Transfer Division Best Paper Award（1981）[8, 9]などである。

研究開発のあらまは以上の通りである。さて、本稿の読者の多くの関心は基礎研究面にあることと察し、以下には筆者のグループが担当した基礎研究に話を絞ることとする。

3 サーモエクセルの伝熱促進機構

先にも述べたように、核沸騰伝熱促進面としては焼結生成多孔質面が最初に実用化された[7]。焼結層と対比してみると、サーモエクセルの構造的

特徴は幾何形状の規則性にある。周知のように、通常の伝熱面では面上の微小なくぼみにトラップされた残留気体が気泡発生核になる。くぼみはランダムに存在し、しかも残留気泡核の存在もランダムなので、沸騰現象の始まりは定量予測が難しいランダム要因を孕んでいる。ランダム要因が中心的役割を演じる現象の研究では、実験が主要な研究手段になる。このため核沸騰伝熱の研究では実験データの蓄積に頼らざるを得ない。単一気泡の成長を解析した研究は多数あるが、伝熱面全体の沸騰伝熱性能に関する理論は確立し難い。こうした状況は焼結多孔層による沸騰促進の場合も変わらず、多孔質層内の空隙の分布がそもそもランダムである。サーモエクセルのように表面構造に規則性があると、沸騰現象に規則性がもたらされる可能性が生じる。そうだとすると、伝熱データを解釈し、ひいては構造各部の寸法を決めるうえでガイドとなる理論を構築できるかも知れない。つまり規則性がランダム性を凌駕すれば、沸騰現象の研究に理論を持ち込む余地が出てこようかと考えた。

これは一見途方もない望みに思え、企業での研究テーマとしてはアカデミックに過ぎるとも考えられたが、基礎研究には現実的なニーズがあった。ニーズの一つは表面構造の最適値を短時日のうちに決めなければならなかったことである。もう一つのニーズは先述の Union Carbide 社との間に予想された特許係争に係わるものであった。Union Carbide 社は「再侵入くぼみ」の製作に関する多数のアイデア特許を既に登録していた。サーモエクセルの独自性を強調するには沸騰伝熱促進に関する上述のコンセプトの確立と、これを支える基礎研究を済ませておく必要があった。基礎研究といっても時間と研究費の制約が厳しいなかで行うわけである。最初の実験装置を図 7 に示す。

これは 2 枚の硝子板、孔あき銅片、ヒーターを用い作ったものである。銅片とヒーターの間の細長いスペースがサーモエクセルのトンネルを模擬している。銅片上部のガラス板の間のスペースは液プールである。冷媒 R-11 をガラス板の間のスペースに注入し、ヒーターの入力を調節しながら観察をした。観察写真の例を図 8 に示す。加熱を始めるとトンネル内部の残留気泡が膨張を始め（図 8 左）、やがて開孔から気泡が成長する（右）。

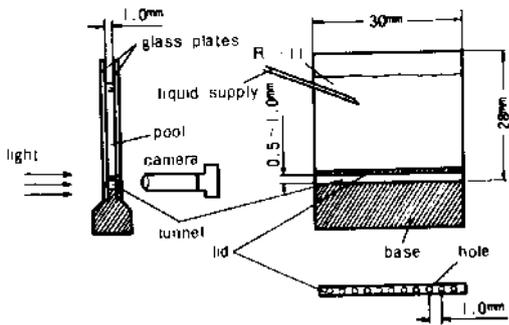


図7 トンネルモデル内部の流動と開孔からの発泡を観察した実験装置

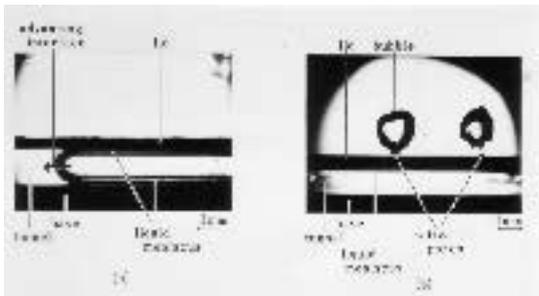


図8 トンネル内の蒸気塊の膨張（左）と開孔からの発泡（右）

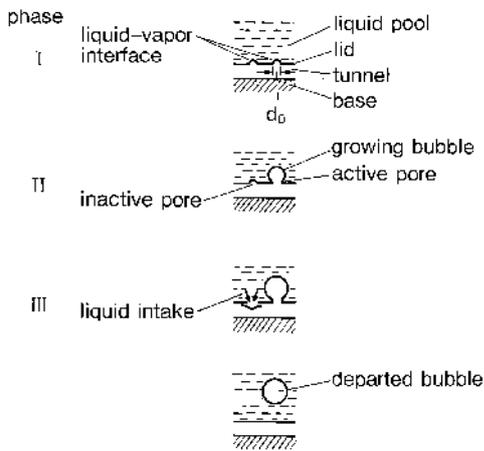


図9 沸騰機構のモデル

開孔は10個ほど設けてあるが、発泡は2~3個の開孔からのみであった。トンネルは矩形断面を有しているため、蒸気塊がトンネル内で膨張しても四隅には液のメニスカスが残る。気泡が開孔から離脱する瞬間、トンネル内の液メニスカスが脈動する。こうした観察を基に、図9に示す動サイクルモデルを考えた。フェーズIではトンネル内での蒸発によりトンネル内圧力が高まり、気泡が全ての開孔から成長しようとする。開孔径と蒸気ドームの径が等しい瞬間に、トンネル内圧力はサイクル過程のなかで最高レベルに達する。しかし、気泡の成長は全く一様ではないから、成長が早い気泡がトンネル内の圧力を下げる働きをする（フェーズII）。気泡成長が遅い開孔では圧力バランスが崩れ、これらの開孔からは液がトンネル内に流入する（フェーズIII）。トンネルに流入した液はトンネル断面の角部に沿って毛細管力に引っ張られて急速に広がる。この過程が実験で観察したメニスカスの脈動であろうと考えた。トンネル内に流入した液は蒸発し、フェーズはIに戻る。

モデルに基づき解析式を導き、開孔の寸法が伝熱性能に及ぼす影響を予測した[8,9]。その結果、作動流体が水の場合には最適開孔径が0.15mm近傍になることが分かった。フロン系冷媒は表面張力が小さく最適開孔径は0.1mm付近になるが、このモデルによれば開孔径と伝熱性能の関係はゆるやかで、最適開孔径は水の場合ほど明確ではない。さて、図9の動的サイクルは生じうる様態の一つに過ぎず、実際には図10に示す3様態が考えられる。トンネル内が液枯れになる‘dried-up’、図9のサイクルが維持される‘suction-evaporation’、トンネル内に液が充満する‘flooded’の様態である[10]。何れの様態が生じるかは作動流体の物性、壁面過熱度、および表面構造の寸法による。図9の‘suction-evaporation’サイクルを維持するための条件を探ることが研究課題になった。とくに開孔径の影響に注目すると次のように考えられる。開孔に大小のバリエーションをつけ、比較的大きな径の開孔を小さな径の開孔群の間に点在させる。つまり、トンネルから蒸気を逃がす機能を有する開孔（大开孔）と、液枯れを防ぐ機能を有する開孔（小開孔）を混在させる。実際の伝熱管で開孔径にバリエーションをつけるのは、製作過程（図6）の最初の溝付け加工（knurling）で溝の深度に

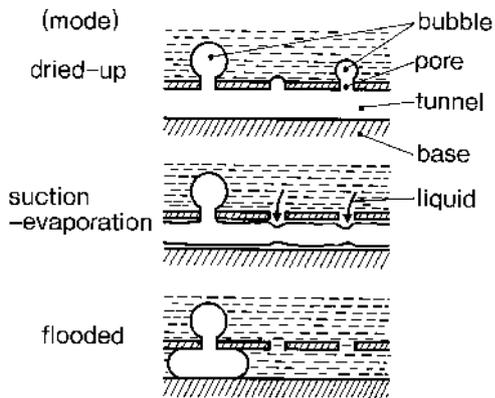


図 10 トンネル内における液保持の3様態

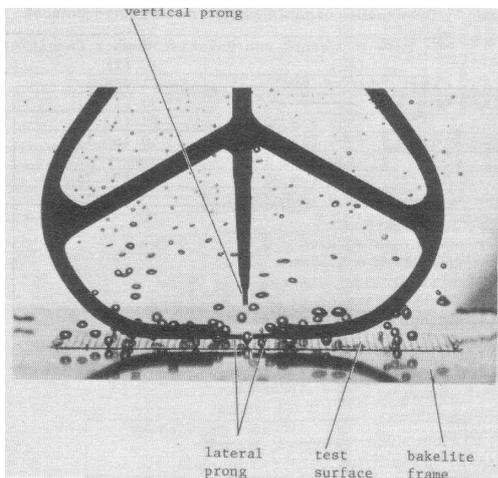


図 11 発泡データを得る実験装置

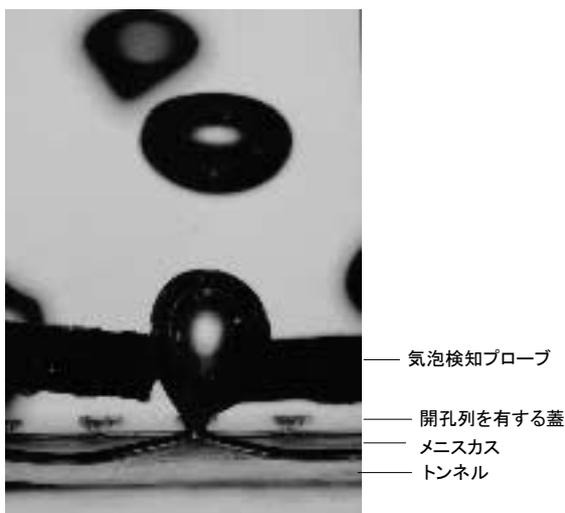


図 12 発泡とトンネル内の状況を調べる実験

変化をつければ良い。

そこで基礎研究の次の段階では、開孔径のバリエーションと伝熱性能の相関を組織的に調べるようになった。とくに開孔径は気泡発生サイトと発生周波数を通じて伝熱性能に影響することから、気泡発生データを組織的にしかも迅速に得たい。実験モデルは銅ブロック表面 (3cm×2cm) に溝を掘り、これに多孔銅板を半田付けしたもので、蓋をされた溝がトンネルの役目をする。多孔銅板には大小の開孔を決められた割合とピッチで混在させた。大开孔は 0.1mm, 0.15mm 径, 小開孔は 0.05mm 径とした。気泡発生データを集めるプローブを図 11 に示す。プローブは試片表面をスキャンし、気泡を検知すると発泡点に留まって気泡径と離脱周波数を測定する。図 11 はプローブが動作している状況を示す [10]。図 12 は同様のプローブを透明モデルに用い、トンネル内の状況と発泡との関連を調べた実験の写真である。プローブの製作、測定とデータ処理系の構築には大黒崇弘氏が才能を発揮した。今日のようにパソコンによるデータ処理やロボティックスのリソースが十分に無かった時代である。約 1/4 世紀ほど前に得た気泡発生に関する体系的な実験データは今日でも多く見られるものではない。

このようにして、サーモエクスセルの表面構造寸法を決めるための知見を蓄積した。実製品の寸法は製作技術の制約もあり、基礎研究の結論が全て反映されているわけではない。しかし、基礎研究はサーモエクスセルの完成に必要な役割を果たしたと思う。

4 その後

サーモエクスセルの開発が一段落すると、筆者らのグループは電子計算機の冷却問題に取り組むことになった。電子計算機の発熱量は 1980 年代に入ると急速に増え、高性能冷却へのニーズが高まった。集積回路チップの冷却に沸騰伝熱を適用する構想が持ち上がり、サーモエクスセル開発で培った沸騰伝熱促進技術を応用するべく検討した。集積回路冷却の場合、伝熱面は約 1cm² と伝熱管の表面積に比べて格段に小さい。限られた面積からの発泡確率を高めるには、チップの冷却面に多孔層を設けるのが効果的であろうと考えられる。実際、IBM 社では多孔質金属の皮膜をチップ冷却面に

成長させる案を検討していた。こちらはサーモエクセルのコンセプトを引き継ぎ、規則的幾何形状を有する多孔構造体（多孔スタッド，図 13）をチップに接合する案を検討した[11, 12]。1980年代後半に公表されたデータの比較によれば，多孔スタッドは最高レベルの伝熱性能を有するものであった。

しかし，1990年代に入ると集積回路技術の世界で大きな変化が生じた。発熱量の少ない CMOS 方式への転換が大型計算機でも急速に進められたのである。高性能冷却法開発の勢いは頓挫し，多孔スタッドが実際に用いられることは無かった。但し，サイリスタの冷却にサーモエクセル面が採用され，電子デバイス冷却への適用例になった。これは電車駆動制御装置に用いられた[13]。電子計算機の発熱問題は近年再び深刻化し，多孔スタッドに注目が注がれるようになった。筆者が 1996年から数年にわたって携わったメリーランド大学での研究の一環は，サーバー計算機冷却への多孔スタッド適用に関するものであった。

冷凍機用伝熱管としてのサーモエクセルは約 30年の製品ライフを保ち，今日でも活躍している。サーモエクセルは高性能伝熱管の開発熱を触発し，その後，表面構造と製法に関する多くのアイデアが内外の伝熱管メーカーと研究者から発表された。最近までの研究開発状況は Webb 教授がまとめている[14]。また，オゾン層問題への対応から新冷媒への移行が進んだが，サーモエクセルは他の同種伝熱管に比べ優位を保っている。但し，高压冷媒の場合には，改良の余地があるとの報告がある[15]。今後，地球温暖化対策の一環としてさらに新しい冷媒の開発が進むと考えられる。冷媒の物性に適応した沸騰伝熱面構造の検討は今後も続けなければならない。

サーモエクセルに関する基礎研究に携わって以来，流体の相変化をミクروسケールで制御するというテーマが頭から離れない。微細表面構造を設計し，気液二相が混在するパターンを意図的に作る。今日，MEMS 技術の発達のおかげで多様な微細構造を製作できるようになった。また，温度と熱流のミクروسケール制御のニーズも高まっている。集積回路の温度制御，バイオリアクターの温度制御などに応用が考えられ，こうしたマイクロ伝熱制御法の研究はこれから成長するであろう。

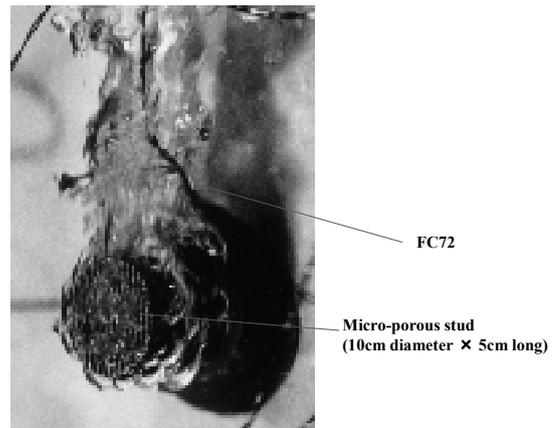


図 13 多孔スタッドによる模擬チップの沸騰冷却

5 おわりに

かつて，トランジスタの発明から今日の IT 時代に至る経緯を調べ，基礎研究と新産業創出の関連を拙著に表した[16]。その際印象に残ったのは，基礎研究に対する限定された具体的なニーズが存在し，しかも人と人との出会いと言う極めて偶発的な要因がうまく働いたとき，インパクトが強い成果が生まれることであった。サーモエクセルは広汎な技術スペクトルのなかの小さな一角に位置するもので，勿論トランジスタとは比較にならない。それでも人との出会いが如何に大きな要因であったかと，振り返ってみて感じ入っている。藤江さんなくしてサーモエクセルはなかったであろう。また，製法の柿崎さんと潤滑役の市川さんと言うプレーヤーが居なかったら，アイデアがあってもプロジェクトは進まなかったであろう。筆者はこれらの先輩に出会って協力する機会に恵まれた。また，大黒，桑原（平吉），中島（忠克）の諸君と基礎研究チームを組めたことも極めてラッキーなことであった。これら諸君とは熱意を共有し，またそれぞれが持てる才能を存分に注いでくれた。30年ほど前になるが，年末の大掃除を横目に研究室でバラックセットを組み立て，沸騰の観察に見入っていた様が昨日のことに思い出される。勿論，先にも述べたようにサーモエクセルの開発には多くの人たちが重要な貢献をされた。これらの方々の氏名を列挙できずお詫び申し上げます。

また，沸騰熱伝達の促進に関しては多くの研究がなされており，活発な研究が続けられている先生方が伝熱学会にも居られる。サーモエクセル関

連以外の文献はほとんど引用出来なかった。事情を察しお許し願えれば幸いである。

サーモエクセルに関する研究はまた、海外の研究者との交流を深めるきっかけを与えてくれた。なかでも Arthur E. Bergles 教授, Ralph Webb 教授とは親交を結ぶこととなった。両教授の長年のご厚誼に感謝する次第である。

参考文献

- [1] Fujie, K., Nakayama, W., Kuwahara, H., Nakayama, Y., and Kakizaki, K., High-Flux Heat Transfer Tubes "THERMOEXCEL'S"; Their Performance and the Results of Feasibility Test in a Refrigerating Machine, Proc. XIV International Congress of Refrigeration, **II**, Moscow (1975) 633.
- [2] 中山 恒, 大黒崇弘, 桑原平吉, 柿崎公男, 高性能伝熱面「サーモエクセル」, 日立評論, **57-8**(1975)1.
- [3] Fujie, K., Nakayama, W., Kuwahara, H., and Kakizaki, K., Heat Transfer Wall for Boiling Liquids, U.S. Patent 4,060,125 (1977).
- [4] Arai, N., Fukushima, T., Arai, A., Nakajima, T., Fujie, K., and Nakayama, Y., Heat Transfer Tubes Enhancing Boiling and Condensation in Heat Exchangers of a Refrigerating Machine, ASHRAE Trans., **83-2** (1977).
- [5] 藤江邦男, 中山 恒, 柿崎公男, 新井 亨, 高性能伝熱面(サーモエクセル)の開発, 日本機械学会誌 **81-714**(1978)419.
- [6] 西川兼康, 伊藤猛宏, 田中克典, 焼結金属層による核沸騰の伝熱促進—フロンの実験—, 冷凍 **53-612**(1978)15.
- [7] O'Neill, P. S., Gottzmann, C. F., and Terbot, J. W., Novel Heat Exchanger Increases Cascade Cycle Efficiency for Natural Gas Liquefaction, Advances in Cryogenic Engineering, **17** (1972) 420.
- [8] Nakayama, W., Daikoku, T., Kuwahara, H., and Nakajima, T., Dynamic Model of Enhanced Boiling Heat Transfer on Porous Surfaces, Part I: Experimental Investigation, ASME Journal of Heat Transfer, **102-3** (1980) 445.
- [9] Nakayama, W., Daikoku, T., Kuwahara, H., and Nakajima, T., Dynamic Model of Enhanced Boiling Heat Transfer on Porous Surfaces, Part II: Analytical Modeling, ASME Journal of Heat Transfer, **102-3** (1980) 451.
- [10] Nakayama, W., Daikoku, T., and Nakajima, T., Effects of Pore Diameters and System Pressure on Nucleate Boiling Heat Transfer from Porous Surfaces, ASME Journal of Heat Transfer, **104-2** (1982) 286.
- [11] Nakayama, W., Nakajima, T., and Hirasawa, S., Heat Sink Studs Having Enhanced Boiling Surfaces for Cooling of Microelectronic Components, ASME Paper No.84-WA/HT-89, (1984).
- [12] 中島忠克, 中山 恒, 大橋繁男, 桑原平吉, 多孔伝熱体(スタッド)からフロンナート液への沸騰伝熱における限界熱負荷, 日本機械学会論文集 B 編, **57-539** (1991) 2363.
- [13] Nakayama, W., Okada, S., and Kuwahara, H., Experience in Cooling Power Electronic Devices by Phase-Changing Refrigerants and the Prospect of Its Application to Cooling Microelectronic Equipment, Proc. 1987 International Symposium On Microelectronics, International Society of Hybrid Microelectronics, Minneapolis, Sept. 28-30, 1987, 165.
- [14] Webb, R. L., Odyssey of the Enhanced Boiling Surface, Donald Q. Kern Lecture Award Paper, ASME J. Heat Transfer, **126-12** (2004) 1051.
- [15] Jung, D., An, K., and Park, J., Nucleate Boiling Heat Transfer Coefficients of HCFC22, HFC134a, HFC125, and HFC32 on Various Enhanced Tubes, International Journal of Refrigeration, **27**(2004)202.
- [16] 中山 恒, 技術予測論, 日科技連出版(1998).

都市化とクマゼミ

Urbanization and cicadas

初宿 成彦 (大阪市立自然史博物館)

Shigehiko SHIYAKE (Osaka Museum of Natural History)

e-mail: Shiyake@mus-nh.city.osaka.jp

クマゼミが増えた

大阪市内の緑地帯では夏になると、クマゼミが盛んに鳴くようすが聞かれる。発生ピーク時の7月下旬から8月上旬では、朝5時台から10時ごろまで、90デシベル以上という大音量を掻き立てている。

東住吉区の長居公園では、生息するセミの99%以上がクマゼミで、アブラゼミなど他のセミはほとんど見られなくなっている。ところが、大阪市内で昔、セミ採りをしたという元昆虫少年たちは、みんな「こんなにクマゼミは多くなかった」と口を揃えていた。

そこで、2005～06年に行った聞き取りアンケートを行い、それを集計してみたところ、大阪市内でクマゼミがこんなに増えたのは1980年ごろで、それ以前は多少とも穏やかな鳴き方をするアブラゼミが主流であったことがわかった[1]。

さらに、このアンケートでは、クマゼミが増えたと思う原因についても記してもらった。その結果、地球温暖化やヒートアイランドなど、気温の上昇を回答に記す人が全体の84%という結果になった。

気温上昇がセミに与える影響

気温の上昇が進んでいるのは事実であり、大阪・東京では年平均気温で約1.5度、潮岬のようにヒートアイランド現象の影響の小さいところでも0.9度、この50年間で上昇している。クマゼミは従来、日本海側で福井県が、太平洋側で神奈川県三浦半島が、それぞれ北限地であるとされてきたが、2005年には石川県金沢市で、また2007年には茨城県取手市で、それぞれクマゼミの発生の証拠である「ぬげがら」が見つかった。このことは気温の上昇に伴い、クマゼミの分布が北に上がっていることを示している。

また、大阪ではクマゼミ初鳴の平年日は7月11

日とされているが、最近10年間でこの平年日より遅かったのは2006年(7月14日)のみで、平均をとると7月5日である(表)。桜の開花と同様、初夏の気温推移がクマゼミの出現日に影響することがわかっているが、このような早期出現も気温が上昇した影響であるといえる。

もし、気温の上昇だけがクマゼミが増加した原因であれば、大阪(年平均気温16.5度)より温暖な都市では、クマゼミが同様に多いはずである。ところが、鹿児島(18.3度)や宮崎(17.2度)でも、市内の緑地はクマゼミだらけとはなっていない。鹿児島市内にある鴨池運動公園ではアブラゼミが4匹に1匹の割合で見ついているほか、鹿児島大学構内ではクマゼミを見つけることさえ困難なほど、アブラゼミが大多数を占めていた。気温の上昇だけでは、クマゼミの増加を説明できないことになる。

東京がクマゼミだらけになる?

それではなぜ、大阪でクマゼミが増えたのだろうか。大阪市立大学の研究グループでは卵から孵化した幼虫が地中に潜る際に、クマゼミは他のセミよりも固い土壌に潜る能力が優れていることを見いだしている[2]。また大阪市立環境科学研究所の研究グループは、都市部において、クマゼミのほうがアブラゼミよりも、鳥の捕食を免れる割合が高いことを見いだしている[3]。このように、都市の大規模な形成が、物理的もしくは生態的に、クマゼミの生存に有利な条件もたらしている可能性があるように思われる。

東京には現在、アブラゼミやミンミンゼミが街のおもなセミになっているが、三浦半島方面から北上してきたクマゼミが入り始めており、各地でクマゼミの鳴き声を聞くようになったという声がしばしば聞かれるようになっている。実際に東京湾岸沿いでたくさんのクマゼミの「ぬげがら」も

見つかっている場所がある。東京は大規模な都市化が大阪以上に進んでいる上に、クマゼミが増え始めた 1980 年ごろの大阪の気温をすでに上回っており、クマゼミがたくさんすみつくための条件はすでに整っていると考えている。

2030 年ごろ、東京の街はクマゼミだらけになっているのではないだろうか。

参考文献

- [1] 沼田英治, 初宿成彦, 都会にすむセミたち, 海游舎(2007).
- [2] 森山実, 沼田英治, クマゼミが都市部に増えた理由を探る (1) (2), 日本昆虫学会第 67 回大会講演要旨(2007).
- [3] Takakura, K. et al., Cover dependence of predation avoidance alters the effect of habitat fragmentation on two cicadas (Hemiptera: Cicadidae), Ann. Entomol. Soc. America 100 (5) (2007) 729 – 735.

表. 大阪でのクマゼミの初鳴日

年	初鳴日
1998	6月25日
1999	7月7日
2000	7月10日
2001	7月9日
2002	7月5日
2003	7月9日
2004	7月5日
2005	6月30日
2006	7月14日
2007	7月3日
平年値	7月11日

大阪管区気象台の生物季節観測より



図. クマゼミ *Cryptotympana facialis*.

CHE2007 会議報告

Report on Sixth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology

有馬 博史 (佐賀大学)

Hirofumi ARIMA (Saga University)

e-mail: arima@ioes.saga-u.ac.jp

はじめに

CHE2007は、熱交換器の基礎及び応用技術に関するEngineering Conferences International 主催の国際会議として隔年で行われていて、今年で第6回目となります。会議は、1回目が1997年にアメリカ・スノーバードでの開催されたのを皮切りに、第2回カナダ・バンフ(1999)、第3回スイス・ダボス(2001)、第4回ギリシャ・クレタ島(2003)、第5回カナダ・ウイスラー(2005)と主に世界の名だたるリゾート地で行われ、今回はドイツのポツダムでの開催となりました。

ポツダムと言えば、第2次世界大戦における日本への降伏勧告、”ポツダム宣言”が出された場所であることから、日本人にとっては馴染みのある地名です。最寄りの空港であるベルリン国際空港からポツダムまでは車で約50分、電車で約30分の距離にあります。市内には、プロイセン皇帝フリードリヒ2世が離宮として使用したサンスーシ宮殿(無憂宮, Fig. 1)があり、ドイツの長い歴史を感じさせる町でした。また、この時期の気候は非常に穏やかでしたが、日本との寒暖差が10度以上と大きく、日本出発時は30度以上あり半袖シャツで過ごしていたのが、ドイツ到着後は羽織るものが何か無いと非常に厳しい状態でした。

会議について

会議は、ポツダム市郊外のリゾートホテル“Seminar SeeHotel Potsdam (Fig.2)”を会場及び宿泊地として2007年9月16日(日)の夕食から21日(金)昼食までの6日間の日程で、ホテルの会議場1室で行われました。時間は、朝9時から夜8時でしたが、途中昼食と昼食後2時間のNetworking/Informal Discussions Time (実質Free time)を挟んだので、実質一日8時間の会議でした。

今回の会議は、ChairのR. K. Shah先生、Co-Chairの富山県立大の石塚勝先生、A. M. Jacobi先生、V.



Fig. 1 サンスーシ宮殿

(左から、宮崎先生[九工大]、志満津さん[豊田中研]、近藤さん[日立AP]、鈴木先生[東京理科大]、石塚先生[富山県立大]、筆者)



Fig. 2 学会会場 ”Seminar SeeHotel”

V. Wadekar先生のご尽力より、18カ国から計71名の参加者が集まりました。内訳として、日本 14名、ドイツ 10名、米国 9名、韓国 6名、ロシア、イギリス 各5名、中国、インド、フランス、オランダ、その他であり、日本からの参加が最多でした。また、講演についても計51件中、日本からが14件と最多で

した。また、会期中ポスターセッションも行われ、計18件中日本からは3件の発表がありました。(米国が最多の4件)

セッションは、熱交の開発、単相流、測定法、設計、伝熱促進、高温熱交、相変化など多岐にわたるトピックスで構成されていました。また、計4件の基調講演もあり、その一つとして、九大の高田先生による「超高圧下における水素の熱物性」についての講演も行われました。

各講演で扱われた熱交換器の種類としては、管型が20件、プレート型が24件、マイクロ/ナローチャンネルが3件、ヒートシンク10件、その他12件でした。比較的多かったプレート型熱交換器による研究では、プレートフィン熱交のCFDを使った流れ解析や、プレート表面の微小構造物による伝熱促進についての解析について発表されていました。また、実験と数値計算の内訳では、実験の講演が45件、数値計算が24件でした。実験研究の中でも8件については可視化による研究発表であり、そのほとんどが熱交流路内流れの可視化実験でした。会場では動画に見られる現象について多くの参加者が興味を引かれたようで、活発な議論がされていました。

会期中、私が特に興味を持った講演の一つは、ドイツのKabelacらによるプレート式熱交の実機を用いた局所熱伝達の測定で、我々が困難としていた温度測定法における試みがなされていたことから、今後の研究を進める上で大きな収穫となりました。

エクスカーション

ところで会議3日目の午前中は、ポツダムおよびベルリンへのエクスカーションがありました。

エクスカーションは約30名が参加し、日本からの学会参加者もほとんど参加しました。

コースは、会場ホテル→サンスーシ→ポツダム市内(車窓)→ベルリン市内(車窓)→ブランデンブルグ門(昼食)→ベルリンの壁→ベルリン市内(車窓)→会場ホテルでした。

折角なので、ここでサンスーシとベルリンについて少し紹介したいと思います。

1) サンスーシ (Fig. 1) は、1747年にプロイセン皇帝フリードリヒ2世が離宮として作らせた宮殿であり、ポツダムの象徴となっています。宮殿は290haの広大な庭園の中に点在していて、その庭園は市民が散策できる憩いの場となっています。

2) ベルリン市は、過去ベルリンの壁によって東西に分断されていました。1989年11月9日にその崩壊が世界各国に中継されたことは記憶に新しいと思います。その壁 (Fig. 3) も現在では一部を残すにとどまっています。壁崩壊の時に映し出されたブランデンブルグ門 (Fig. 4) 周辺も再開発が進み、その当時の面影はありませんでした。しかし、一歩郊外に出ると、再統一から約20年経った今でも旧東西地区の差は歴然で、復興の難しさを感じさせられました。



Fig. 3 ベルリンの壁 (壁の向こうが旧西ベルリン)



Fig. 4 ブランデンブルグ門 (旧東ベルリン側から)

最後に、私は国際学会の参加の経験も少なく、また長期間の国際学会に参加したのも初めてであり不安も大きかったのですが、石塚勝先生を始めとして多くの先生方に親切にいただき、会議期間を不自由なく過ごすことができました。また、私の研究に関連の高い分野の研究発表が多く、最新の情報を得る絶好の機会であり、非常に有意義な会議でした。

書評：山頂はなぜ涼しいか

Book review: *Why the top of a mountain is cool*

中別府 修 (明治大学)

Osamu NAKABEPPU (Meiji University)

e-mail: onakabep@isc.meiji.ac.jp

つくばで開催された第 46 回日本伝熱シンポジウム最終日の特別講演では、宇宙飛行士の毛利衛さんからスペースシャトルや国際宇宙ステーションでの宇宙実験の話題とともに、日本伝熱学会員や学生諸君に向け、科学技術を一般の人や子ども達に伝えるサイエンスコミュニケーションの重要性が伝えられました。筆者も小中学生を対象とした夏休み科学教室や高校への出前授業に参加する機会が増え、また、学生の理科離れや工学離れを実感することもあり、今や、理科や科学を正しく面白く伝えることが非常に重要になったと感じています。

今回、Heart Transfer の紙面を借り、熱やエネルギーに関連した話題を平易に科学的に解説した書籍「山頂はなぜ涼しいか—熱・エネルギーの科学—⁽¹⁾」を紹介します。意を同じくする会員各位が身近な方々に科学技術の面白さを伝える際の参考にして頂ければと思います。

本書は、日常生活で遭遇する熱・エネルギーに関連したさまざまな疑問 30 余題に Q&A 形式で平易に答え、熱・エネルギーの科学の面白さや楽しさを伝えようと、日本熱測定学会⁽²⁾シニアの会により編纂されたものです。この学会には、温度変化に伴う熱の出入りや状態変化から物質の性質や状態を調べる熱分析を軸とし、物理、化学、材料、バイオ、医薬、食品等の種々の専門家と分析・機器関連企業の方々方が所属しており、シニアメンバー有志が理科離れ対策や一般成人の科学的リテラシーの向上を目指し、本書が出版されたものです。

幾つかの話題を紹介すると、

- ・水はなぜ温まりにくく冷めにくいのか？
- ・ゴムを伸ばすと暖かくなるのはなぜ？
- ・発電所では電気はどのようにしてつくられるのか？
- ・保冷材や冷却パックはなぜものを冷やすことができるのか？

- ・山頂はなぜ涼しいか？
- ・金属はなぜ熱をよく伝えるのか？
- ・フェーン現象はどうして起こる？
- ・花火の鮮やかな色はどうしてでるのか？
- ・太陽の表面温度はどのようにして測るか？
- ・宇宙のエントロピーが増え続けるとどうなるか？

など、熱を専門とする会員には、すぐに答えが連想されるものもありますが、本書では、熱力学や物理、化学、材料科学等の知識を用いて解説が行われ、「なるほど、そういうことか」と思う部分や「そうだろうけど、〇〇の影響は？」など、知的好奇心を刺激されます。ちなみにタイトルの疑問に対する解説は、山に沿って吹き上がる空気の断熱膨張による温度低下であり、空気の場合高度に対する温度変化率は約 $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と見積もられ、水分の凝縮熱の寄与により、実際には約 $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ となることが説明されています。

本書編集委員会の談では、「熱・エネルギーに関連した身近な話題を高校生や一般成人を対象に解説したものです。」とのことですが、筆者の感想としては、執筆者が第一線の研究者でもあり、解説の内容は一般の読者のレベルを超え、力の入ったものとの印象が残ります。日本伝熱学会会員や熱関連研究室の学生にも十分歯ごたえがある内容だと思います。

理科離れや工学離れが問題視されている近年、日本伝熱学会員も身近な不思議を平易に科学的にさらりと語り、学生や一般の方々に「なるほど！」を提供する機会も増えることと思います。一度本書をお手にとられてみることをお勧めします。

- (1) 科学のとびら 47「山頂はなぜ涼しいか 熱・エネルギーの科学」、日本熱測定学会編、(株)東京化学同人、2006 年 10 月発行
- (2) <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jscta/j+/hpmain0.html>

行事カレンダー

本会主催行事

開催日		行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2008年						
9月	17日(水) ～ 19日(金)	2nd International Forum on Heat Transfer (IFHT2008) (開催場所: 東京大学生産技術研究所)	2007.12.31	2008.3.31	Professor Masaru Ishizuka, Dept. of Mechanical Systems Engineering Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu, Toyama 939-0398, Japan TEL: 81-766-56-7500 Ext.387, FAX: 81-766-56-6131 E-mail: ishizuka@pu-toyama.ac.jp	
9月	26日(金) 27日(土)	東海支部企画 第19回東海伝熱セミナー (開催地: 愛知県知多郡南知多町)	2008.8.29		名古屋工業大学 ながれ領域 飯田 雄章 〒466-8555 名古屋市長和区御器所町 TEL/FAX: 052-735-5347 E-mail iida.oaki@nitech.ac.jp http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/~netsu_tk/19th_seminar2008.htm	No. 200 (2008.7)

本会共催, 協賛, 後援行事

開催日		行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2008年						
7月	22日(火) 23日(水)	第36回可視化情報シンポジウム (開催場所: 工学院大学新宿校舎)	2008.2.29	2008.5.16	社団法人 可視化情報学会 事務局長 柿沼 肇 〒114-0023 東京都北区上十条 3-29-20-103 TEL 03-5993-5020 FAX 03-5993-5026 E-mail info@vsj.or.jp	
8月	7(水)	「機械の日・機械週間」記念行事 (開催地: 横浜市)	定員次第		(社)日本機械学会「機械の日記念行事」係 〒160-0016 新宿区信濃町 35 信濃町煉瓦館 5階 TEL 03-5360-3505 FAX 03-5360-3509 E-mail : kikainohi@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/2008am/	
8月	8日(金) ～ 10日(日)	日本混相流学会年会講演会 2008 第27回混相流シンポジウム (開催場所: 会津大学)	2008.2.4 ～ 3.31	2008.6.6	日本混相流学会年会講演会 2008 実行委員会事務局 担当: 兼本 茂 〒965-8580 会津若松市一箕町鶴賀 会津大学コンピュータ理工学部 TEL/FAX: 0242-37-2501/2745 E-mail: kanemoto@u-aizu.ac.jp Web: http://toptr.co.jp/conv/3218/jsmf2008/	
8月	20(水)	日本熱電学会創立5周年記念 熱電講習会 —熱電変換の基礎と応用— (開催場所: 早稲田大学大久保キャンパス)	2008.8.11 (事前)		担当: サレジオ高専 小島 勉 TEL 042-775-3020 FAX 042-775-3021 E-mail : netsuden@salesio-sp.ac.jp	
9月	2(火) 3(水)	日本液体微粒化学会 第4回微粒化セミナー —液体微粒化の基礎と計測技術— (開催場所: 日本大学駿河台キャンパス)	2008.8.22		日本液体微粒化学会事務局 〒554-0022 大阪市此花区春日出中 2-14-9 (株)学術出版印刷内 TEL 06-6466-1588 FAX 06-6463-2522 E-mail: info@ilass-japan.or.jp	
9月	4日(木) ～ 7日(日)	日本流体力学会年会 2008 および 40周年記念講演会 (開催場所: 神戸大学六甲台キャンパス)	2008.5.23		社団法人日本流体力学会 152-0011 東京都目黒区原町 1-16-5 TEL 03-3714-0427 FAX 03-3714-0434 E-mail : jsfm@rf7.so-net.ne.jp	
9月	25日(木) 26日(金)	日本機械学会関西支部 第297回講習会 「熱エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」 —ヒートポンプ・蓄熱システムの動向と最新技術— (開催地: 大阪市)	2008.9.19		社団法人日本機械学会関西支部 〒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 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp Web: http://www.kansai.jsme.or.jp/	
10月	8日(水) ～ 10日(金)	第29回日本熱物性シンポジウム (開催場所: 日本女子大学)	2008.6.20	2008.8.22	日本女子大学理学部 数物科学科上川井研究室 事務局 田中明美 〒112-8681 東京都文京区目白台 2-8-1 TEL 03-5981-3603 e-mail : akemi@fc.jwu.ac.jp	
10月	11(土) ～ 12(日)	可視化情報学会全国講演会 (釧路 2008) (開催地: 釧路市)	2008.7.1	2008.8.11	北海道大学大学院工学研究科 奈良林 直 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-709-6103 FAX 011-709-6104 E-MAIL narabayashi@visualization.jp	
10月	19日(日) ～ 23日(木)	2008年度日本冷凍空調学会年次大会 (開催地: 大阪市)			年次大会実行委員長 西村 伸也 E-mail: jsrae08@jsrae.or.jp Web: http://www.jsrae.or.jp/	

行事カレンダー

10月	23日(木) 24日(金)	日本機械学会関西支部 第298回講習会 (熱応力による変形・破壊の評価方法と対策事例 —デモ展示付き—) (開催地:大阪市)	2008.10.16		社団法人日本機械学会関西支部 〒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 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp Web: http://www.kansai.jsme.or.jp/
11月	5日(水)	No.08-43 第11回スターリングサイクルシンポジウム (開催場所: 国士舘大学)	2008.6.13	2008.9.26	国士舘大学理工学部 実行委員長 岸本健 TEL 03-5481-3334 FAX 03-5481-3253 E-mail: otaka@kokushikan.ac.jp
12月	3日(水) ～ 5日(金)	第46回燃焼シンポジウム (開催地: 京都市)	2008.7.18	2008.9.19	第46回燃焼シンポジウム事務局 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都 大学エネルギー科学研究科 エネルギー 変換科学専攻内 TEL/FAX 075-753-5230 E-mail: sympo46@combustionsociety.jp
12月	9日(水) ～ 13日(土)	IUMRS アジア国際会議 2008 (開催地: 名古屋市)	2008.6.30		名古屋大学大学院光学研究科 化学・生物 工学専攻 太田裕道 名古屋市千草区不老町 TEL 052-789-3202 FAX 052-789-3201 e-mail: h-ohata@apchem.nagoya-u.ac.jp
12月	13日(土)	計算力学技術者(CAE技術者)(2級),(1級)認定試験 —熱流体力学分野の解析技術者— (開催地: 東京工業大学, 名古屋工業大学, 大阪市, 九州大学)	2008.8.29		社団法人日本機械学会能力開発促進機構 Web: http://www.jsme.or.jp/cee/cmmintei.htm
12月	17日(水) ～ 19日(金)	第22回数値流体力学シンポジウム (開催地: 東京都渋谷区)	2008.7.12	2008.9.13	シンポジウム実行委員会事務局 金野 祥久 〒192-0015 八王子市中野町 2665 工学 院大学機械工学科 FAX 042-627-2360 E-mail: cfd2008@fluid.mech.kogakuin.ac.jp Web: http://www.nagare.or.jp/cfd/cfd22/
12月	17日(水) ～ 20日(土)	Second International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Application: ThETA 2 (開催地: Cairo, Egypt)	2008.6.2		Web: http://www.thetaconf.org/index.htm
12月	19日(金) 20日(土)	The 8th International Symposium on Advanced Fluid Information and Trasdiciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2008) (開催場所: 東北大学)			東北大学流体科学研究所 流体融合研究セ ンター 大竹浩人 TEL/FAX: 022-217-5284 E-mail: ohtake@sammy.ifs.tohoku.ac.jp
2009年					
1月	29日(木) 30日(金)	15th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics" (開催地: 横浜市)	2008.9.4	2008.10.20	(社)溶接学会 Mate 2009 事務局 〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 1-11 TEL 03-3253-0488 FAX 03-3253-3059 Email: s_kogure@tt.rim.or.jp Web: http://wwwsoc.nii.ac.jp/jws/research/micro/mate/Mate2009.html
11月	16日(月) ～ 19日(木)	The 7th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-7) (開催地: Kaohsiung, Taiwan, ROC)	2008.10.31	2009.4.15	Dr. Tai, C.H., National Pingtung Univ. of Science and Technology (Taiwan, ROC) E-mail: chtai@mail.npust.edu.tw Web: http://www.tuat.ac.jp/%7Eeptfe/

社団法人日本伝熱学会第46期（平成19年度）総会議事録

1. 日 付 平成20年3月22日（水）17時～18時
2. 場 所 つくば市庁舎2-209 つくば国際会議場 中ホール
3. 出席人数 1,182名
4. 出席者 318名（うち委員以外席512名）より法定人数（出席人数の過半数）を確保し、総会に成立した。
5. 総会経緯
議長に報告 後式式を冒出し、次の議案について逐次審議した。

第1号議案 第46期事業報告の件

議長より、社団法人日本伝熱学会第46期（平成19年度）総会議案（以下、総会議案と称す）の第1号議案第46期事業報告について諮り、協議一致でこれを可決した。

第2号議案 第46期決算報告の件

議長より、総会議案の第2号議案第46期決算報告について諮り、協議一致でこれを可決した。

第3号議案 平成19年度収支決算の件

議長より、総会議案の第3号議案平成19年度収支決算について諮り、協議一致でこれを可決した。

第4号議案 平成20年度事業計画の件

議長より、総会議案の第4号議案平成20年度事業計画について諮り、協議一致でこれを可決した。

第5号議案 平成20年度収支予算の件

議長より、総会議案の第5号議案平成20年度収支予算について諮り、協議一致でこれを可決した。

第6号議案 定款の改定

議長より、総会議案の第6号議案定款の改定について諮り、協議一致でこれを可決した。

第7号議案 日本伝熱学会賞の設置の件

議長より、総会議案の第7号議案日本伝熱学会学術賞・技術賞・奨励賞・優秀プレゼンテーション賞授賞について議案経緯についての報告がなされた。本年度の日本伝熱学会賞受賞者は、次のとおりである。

- | | |
|-----------|----------------------|
| 日本伝熱学会学術賞 | - 代表研究者：高松厚史（九州大学） |
| | - 共同研究者：弓 興（千葉大学） |
| | 藤井公次（産業技術総合研究所） |
| 日本伝熱学会技術賞 | - 代表研究者：石川博司（三菱）(機務) |
| | - 共同研究者 野口武秀（三菱）(機務) |
| | 斎藤康之（三菱重機エンジニアリング社） |
| | 大串智洋（広島国際大学） |
| | 野田浩幸（宇宙航空研究開発機構） |
| | 川崎孝太（宇宙航空研究開発機構） |
| | 久部高次（宇宙航空研究開発機構） |
| 日本伝熱学会奨励賞 | なし |

「ハル高子会委員プレゼンテーション賞」(学則第44回日本学術シンポジウム賞時)

藤井 茂 (東京工業大学)

Adina O'log (東京農工大学)

木口 崇 (愛知県立大学)

佐村裕恵子 (岡山理科大学)

第9号議案 タクシーの運転の手

議案より、総会議案の第9号議案名會委員の職名について修正された。本年度の各會委員職名は次のとおりである。

副会長	深野 徹	前田 耕助
若手 澤士	木口 一朗	

第9号議案 第47期役員の見直し

議案より、総会議案の第9号議案第47期役員の見直しについて以下のとおり決期役員の見案がなされ、議案一読でこれを可決した。

定款第10条第2項により選任する役員

理事 (会長)	相澤 統夫	理事 (副会長)	山口 政訓
---------	-------	----------	-------

定款第10条第3項により選任する役員

理事	工藤 泰	理事	堀村 隆夫
理事	山口 隆	理事	吉田 兼正
理事	村上 功一	理事	大島 敏行
理事	石塚 勝		
幹事	上田 幸生		

定款第10条第3項により選任する役員

理事	河本 祥
----	------

第47期に新たに選任される役員

定款第10条第3項により選任される役員

理事 (会長)	河本 祥	理事 (副会長)	池内 剛
---------	------	----------	------

定款第10条第1-9により選任される役員

理事	田部 豊	理事	青木 泰之
理事	原村 真志	理事	千田 俊
理事	梅本 伸男	理事	大曾根 純三
理事	藤川 恵子		
幹事	江永 文人		

定款第10条第3項により選任される役員

理事	牧野 俊昭
----	-------

定款第10条第2項ただし書きDにより選任される役員

理事 (副会長)	篠 康彦
理事 (副会長)	須崎 誠一

第10号議案 議事録署名人選任の件

議長より、本日の議事の経過を議事録にまとめるにあたり、議長に加えて議事録署名人2名を選任したい旨の提案があり、協議の結果、門出 政則氏、森 康彦氏の2名を選任した。

以上により、本日の議事を終了した。

平成20年5月22日

社団法人日本伝熱学会第46期（平成19年度）総会

議長	相植 敏夫	<u>相植 敏夫</u>	
議事録担当	門出 政則	<u>門出 政則</u>	
議事録署名人	森 康彦	<u>森 康彦</u>	

日本伝熱学会東海支部企画 第19回東海伝熱セミナー

日本伝熱学会東海支部では、熱交換器に関する最新技術、基礎研究を大きなテーマに標記のセミナーを下記の通り開催いたします。ふるってご参加くださいますようお願い申し上げます。

期 日：平成20年9月26日（金）午後～9月27日（土）午前

会 場：まるは食堂旅館

〒470-3412 愛知県知多郡南知多町豊浜字峠8

TEL 0569-65-1315 FAX 0569-65-1777 ホームページ <http://www.maruha-net.co.jp/>

参加費：一般（会員，非会員）13,000円（宿泊費，懇談会費，資料代等を含む）

学生（会員，非会員）8,000円（同）

定 員：50名（先着順に受付）

プログラム：

9月26日（金）

13:00～ 受付開始

13:50～14:00 開会挨拶

14:00～17:00 講演会

「プレート式熱交換器の最新動向」

櫻場 一郎 氏（空調・熱供給チームリーダー 研究主査

中部電力株式会社 エネルギー応用研究所 都市・産業技術グループ所属）

「ハイブリット車用大容量インバータ冷却器」

安部井 淳 氏（株式会社デンソー 熱交換器開発部 第1開発室）

「給湯器用熱交換器」

森本 正和 氏（株式会社デンソー 熱交換器開発部 第5開発室）

「ボイラにおける熱交換器の技術動向について」

田中 收 氏（主席研究員 三浦工業株式会社 RDセンター技術顧問室）

17:00～18:30 休憩・入浴

18:30～22:00 懇談会

9月27日（土）

9:00～11:40 講演会

「プレート熱交換器内気液二相流の熱流動特性」

浅野 等 氏（准教授 神戸大学大学院 工学研究科 機械工学専攻）

「多孔質体としてみる熱交換器」

桑原 不二朗 氏（准教授 静岡大学 工学部）

「多分岐管における気液二相分配」

廣田 真史 氏（教授 三重大学大学院 工学研究科 機械工学専攻）

11:40 閉会

12:00 解散

※最終プログラムにつきましては、下記のセミナーホームページにて後日掲載致します。

※都合により、講演順序の変更があることをご了承ください。

参加申込み方法：「第19回東海伝熱セミナー申込み」と明記の上、

(1) 申込み者氏名（ふりがな）、

- (2) 性別
- (3) 一般または学生の区別,
- (4) 所属,
- (5) 連絡先 (住所, 電話, FAX, E-mail アドレス),
- (6) フル参加あるいは講演会のみ参加 (その他ご要望)

についてできるだけ E-mail でお申込み下さい。宿泊は 1 室 4~5 名となりますので、申込み時に相部屋希望等をお知らせ下さい。出来る限り考慮致します。また、研究室などでまとめてお申込みいただければ幸いです。参加費は当日受付にて徴収します。

申込期限：平成 20 年 8 月 29 日 (金)

申込み先：

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学 ながれ領域 飯田 雄章

E-mail iida.oaki@nitech.ac.jp

TEL/FAX 052-735-5347

東海支部 HP：http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/~netsu_tk/

セミナーHP：http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/~netsu_tk/19th_seminar2008.htm

International Seminar on Heat Transfer and Fluid Flow 参加募集

主催 日本伝熱学会関西支部, 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻

日時 平成 20 年 9 月 22 日 (月) 10:00~19:30

場所 大阪大学吹田キャンパス銀杏会館 (Ichyo-Kaikan, Osaka University)

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2, 2-2 Yamada-oka, Suita City, 565-0871, Japan)

アクセス <http://www.ichou.or.jp/access/access.html>

プログラム

9:00- Registration

10:00-10:20 Opening Ceremony

10:20-11:10 Prof. S. H. Winoto (National University of Singapore, Singapore)

“On the Wavelength Selection of Gortler Vortices in Concave Surface Boundary Layers”

11:10-12:00 Prof. S. Wada (Osaka University, Japan)

“Multiple Red Blood Cell Behavior in Human Circulation: Multi-Scale Modeling and Simulation of Blood Flow”

12:00-13:00 Lunch (Restaurant Minerba)

13:00-13:50 Prof. W.-S. Yoon (Yonsei University, Korea)

“MDS Studies on Nano-Scale Transports: Liquid Jet Breakup, Phase Transition and Particle Deposition”

13:50-14:40 Prof. K. Hishida (Keio University, Japan)

“Combined Laser Sensing in Macro- and Microscopic Transport Phenomena”

14:40-15:00 Coffee Break

15:00-15:50 Prof. S.-J. Song (Seoul National University, Korea)

“Examples of Fluid-Structure Interactions in Turbomachinery”

15:50-16:40 Prof. Y. Hagiwara (Kyoto Institute of Technology, Japan)

“Effects of Antifreeze Proteins on the Prism Faces of a Gradually Growing Ice Crystal”

16:40-17:00 Closing Ceremony

17:30-19:30 Reception (Restaurant La Scena)

参加費 一般 7,000円

学生 2,000円

参加受入可能人数 200名

参加申し込み

下記事務局までEメールで氏名・ご所属(英文名併記)をご記入の上, 9月8日(月)までにお申し込みください。参加費については当日申し受けます。

事務局: 細川茂雄(神戸大学) (Shigeo Hosokawa, Kobe University) hosokawa@mech.kobe-u.ac.jp

Call for paper- 2nd announcement

12th Annual Conference of *ILASS-Asia*

1. General Information

Date: December 17-18, 2008

Venue: Keio University, Yagami campus (in Yokohama Pref.), Sousou-kan (Conference Building), Multi-media rooms
Address: 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-city, Kanagawa 223-8522, Japan
http://www.keio.ac.jp/english/about_keio/campus_info/accessmaps.html

Official language: English

Registration Fee (covers to participate in the 17th Symposium of ILASS-Japan):

General US\$100 (Japanese Yen 10,000)

Student US\$ 40 (Japanese Yen 4,000)

(A volume of proceedings and a banquet are included)

2. Topics

The organizing committee of *ILASS-Asia* requests the submission of papers for the 12th Annual Conference of *ILASS-Asia*. *ILASS-Asia* was established for the mutual exchange of scientific and technical information, and promotion of membership in each *ILASS* body in all areas of Asia. The conference focus is interdisciplinary and covers the following topics:

__ Fluid mechanics of the disintegration of liquids and the spray formation. In addition, modeling of spray and flow phenomena.

__ Instrumentation related to sprays for the measurements of drop size, drop velocity, drop concentration, patternation, film thickness, vapor concentration etc.

__ Design, operation and performance of liquid atomizers and spray systems

__ Aerosol and particulate technologies __ Transfer processes in which liquid sprays are used, such as in spray combustion, spray reactors, spray dryers and humidifiers, spray painting /coating, agricultural, industrial and medical sprays, fire fighting sprays, atomization for metal powders and spray forming.

3. Paper Preparation

The organization committee of *ILASS-Asia* requests the submission of 300 words abstract. Initial screening of paper will be based on the 300 words abstract which should be single-spaced with authors' names, address, phone, fax, email placed under the title.

4. Deadlines for Paper Submission

__ August 31 '08: 300 words abstract

__ September 15 '08: Notification of abstract acceptance

__ October 1 '08: Full paper

__ October 15 '08: Notification of paper acceptance

__ November 7 '08: Camera-ready manuscript in electronic file

5. Technical Sessions

Papers will be presented in parallel sessions during the two days of conference. The presentation will be limited to 25 minutes including 10 minutes for discussion. Several invited plenary papers will also be presented.

6. Exhibition

Manufacturers of spray equipment, instrumentation or CFD software are invited to exhibit and demonstrate their products in an exhibit area close to the lecture rooms and will also be the venue for coffee breaks.

7. Contact

Chair : Professor Naochika TOKUOKA, (Keio Univ.)

TEL/FAX: +81-45-566-1514

E-mail: tokuoka@mech.keio.ac.jp

Vice-Chairs :

Prof. Seiichi SHIGA, (Gunma Univ.)

TEL: +81-277-30-1514

FAX: +81-277-30-1516

E-mail: shiga@me.gunma-u.ac.jp

Prof. Jiro SENDA, (Doshisha Univ.)

TEL/FAX: +81-774-65-6405

E-mail: jsenda@mail.doshisha.ac.jp

Secretaries:

Dr. Mikiya ARAKI, (Gunma Univ.)

TEL/FAX: +81-277-30-1516

E-mail: araki@me.gunma-u.ac.jp

Dr. Motohiro OSHIMA, (Fukui Univ. of Tech.)

TEL: +81-776-29-2709

FAX: +81-776-29-7891

E-mail: m-oshima@fukui-ut.ac.jp



編集出版部会からのお知らせ ー各種行事・広告などの掲載についてー



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値ある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対 象	対 応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています。)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、総務部会長・編集出版部会長・広報委員会委員長・総務担当副会長補佐評議員に記事を同時送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務部会長に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務部会長より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関係のある分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を総務部会長に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務部会長より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を広報委員会委員長（HP担当）・総務担当副会長補佐評議員（ML担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載（バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長または広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては http://www.htsj.or.jp/banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：原村 嘉彦（神奈川大学）：haramy01@kanagawa-u.ac.jp
- ・編集出版部会長：近久武美（北海道大学）：takemi@eng.hokudai.ac.jp
- ・広報委員会委員長：佐藤洋平（慶應義塾大学）：yohei@sd.keio.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐評議員：小川邦康（慶應義塾大学）：ogawa@mech.keio.ac.jp
- ・事務局：倉水裕子：office@htsj.or.jp

【注意】

- ・原稿はWordファイルまたはtextファイルをお願いします。
- ・HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承願います。
- ・MLで添付ファイル配信する場合は、pdfあるいはjpgファイルで2MB以下をお願いします。

47期新入会員 (2008. 4. 11~2008. 7. 4) 正 23名・学生 31名

資	氏名	所属	資	氏名	所属
学	野村 和也	広島大学 大学院工学研究科	学	福留 功二	名古屋工業大学 大学院機能工学専攻
学	辻本 剛	広島大学大学院工学研究科	学	城谷 将宏	九州工業大学 大学院工学研究科
学	竹内 洋之	東京理科大学 大学院工学研究科	学	福富 隆弘	神奈川大学
学	藤田 尚利	岡山大学 大学院自然科学研究科	学	田中 淳平	神奈川大学
学	片岡 由美	大阪府立大学 大学院工学研究科	学	阿部 仁志	神奈川大学
正	三好 新二	㈱日本自動車部品総合研究所	学	小瀬 裕男	京都大学 大学院工学研究科
正	川水 努	三菱重工(株)広島研究所	学	木村 博幸	室蘭工業大学
学	小柴 誠一郎	芝浦工業大学 大学院工学研究科	学	間山 貴文	北海道大学 大学院工学研究科
正	金山 公夫	マルシヨウ技研株式会社	学	森岡 玲史	北海道大学 大学院工学研究科
学	神山 貴宏	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	学	松本 悠佑	静岡大学 大学院
正	浅岡 龍徳	青山学院大学 理工学部	学	瀧田 晋平	東京工業大学 大学院理工学研究科
正	葛谷 拓嗣	株式会社イノアック技術研究所	正	安 孝根	韓国科学財団東京事務所
正	洪 定杓	東京理科大学 理工学部	正	宮本 淳一	独立行政法人 産業技術総合研究所
正	木村 嘉孝	木村技術士事務所	正	西 剛伺	日本エイ・エム・ディ株式会社
学	永井 大資	九州工業大学 大学院生命体工学研究科	正	河南 治	兵庫県立大学
学	田島 純一	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	正	三浦 涉臣	東芝キャリア株式会社
学	眞鍋 壮	横浜国立大学 大学院	正	米本 幸弘	東京理科大学 基礎工学部
正	新 隆之	㈱日立製作所 機械研究所	正	市川 裕久	株式会社 三五
学	馬瀬口 諒	茨城大学 工学部	正	柴田 裕一	茨城工業高等専門学校
学	始田 祐輔	大阪大学 大学院工学研究科	正	平田 勝哉	同志社大学 理工学部
学	相川 梨紗	広島大学 大学院工学研究科	正	森 英男	九州大学 大学院工学研究院
学	榎本 拓郎	首都大学東京大学院 システムデザイン研究科	正	松岡 寛和	株式会社コベルコ科研
学	鈴木 博貴	名古屋大学 大学院工学研究科	正	延谷 義晴	株式会社コベルコ科研
学	星加 啓太郎	東京大学 大学院新領域創成科学研究科	正	阿部 陽香	産業技術総合研究所
学	仙波 達哉	東京大学 大学院新領域創成科学研究科	学	岡崎 峻	筑波大学 大学院システム情報工学研究科
学	山本 晃範	名古屋大学 大学院工学研究科	正	高坂 祐頭	佐賀大学
学	高桑 貞一	富山県立大学 大学院機械システム工学専攻	正	北山 慎吾	株式会社 丸三電機

47期寄付会費 (2008. 5. 1~2008. 7. 4) 1名 2,000円

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	日向野 三雄	秋田県立大学			

(社)日本伝熱学会 第47期 (平成20年度) 役員・評議員**会長**

河村 洋 (諏訪東京理科大学)

副会長(企画, 財務)
(編集出版・表彰)
(総務)

横堀 誠一 (武蔵工業大学)

瀧本 昭 (金沢大学)

森 康彦 (慶應義塾大学)

理事中部 主敬[†] (京都大学)

青木 秀之 (東北大学)

姫野 修廣 (信州大学)

森 英夫 (九州大学)

大曾根靖夫 (日立製作所)

近久 武美[‡] (北海道大学)

原村 嘉彦* (神奈川大学)

千田 衛 (同志社大学)

牧野 俊郎** (京都大学)

藤岡 恵子 (ファンクショナルフルイット)

田部 豊 (北海道大学)

廣田 真史 (三重大学)

橋本 律男 (広島大学)

松野 孝充 (トヨタ自動車)

[†]:企画部会長, [‡]:編集出版部会長, *:総務部会長, **:伝熱シンポジウム担当**監事**

大原 敏夫 (デンソー)

神永 文人 (茨城大学)

評議員

武田 靖 (北海道大学)

小原 拓 (東北大学)

星 朗 (一関工業高等専門学校)

田口 良広 (慶應義塾大学)

白樫 了 (東京大学)

丸山 直樹 (三重大学)

板谷 義紀 (名古屋大学)

坂村 芳孝 (富山県立大学)

柴田 豊 (ダイキン環境)

木村 文義 (兵庫県立大学)

森田 慎一 (米子工業高等専門学校)

井上 浩一 (九州大学)

山口 朝彦 (長崎大学)

望月 高昭 (東京学芸大学)

横野 泰之 (東芝)

石塚 勝 (富山県立大学)

長谷川 達也 (名古屋大学)

吉田 篤正 (大阪府立大学)

鹿園 直毅 (東京大学)

津島 将司 (東京工業大学)

山田 雅彦 (北海道大学)

栗山 雅文 (山形大学)

小野 直樹 (芝浦工業大学)

佐藤 洋平 (慶應義塾大学)

堀木 幸代 (東京海洋大学)

野川 正文 (アイシン精機)

桑原不二郎 (静岡大学)

多田 幸生 (金沢大学)

福谷 和久 (神戸製鋼所)

小森 晃 (松下電器産業)

亀谷 岳文 (JFEスチール)

岩本 光生 (大分大学)

小川 邦康 (慶應義塾大学)

福山 佳孝 (JAXA)

伏信 一慶 (東京工業大学)

中川 慎二 (富山県立大学)

角口 勝彦 (産業技術総合研究所)

花村 克悟 (東京工業大学)

一法師茂俊 (三菱電機)

大島 伸行 (北海道大学)

東 之弘 (いわき明星大学)

宗像 鉄雄 (産業技術総合研究所)

小林 健一 (明治大学)

大竹 浩靖 (工学院大学)

青木 修一 (東邦ガス)

松原 幸治 (新潟大学)

岩井 裕 (京都大学)

松本 亮介 (関西大学)

野津 滋 (岡山県立大学)

野村 信福 (愛媛大学)

濱本 芳徳 (九州大学)

泰岡 颯治 (慶應義塾大学)

新 隆之 (日立製作所)

岡田 昌志 (青山学院大学)

大黒 崇弘 (日立国際電気)

中別府 修 (明治大学)

久角 喜徳 (大阪ガス)

吉田 憲司 (大阪大学)

委員会委員長

伝熱シンポジウム実行委員長

表彰委員会委員長

学生会委員長

第15回国際伝熱会議準備懇談会委員長

広報委員会委員長

国際交流会委員長

TSEチーフエディター

産学交流委員会委員長

牧野 俊郎 (京都大学)

瀧本 昭 (金沢大学、理事・副会長)

堀部 明彦 (岡山大学)

吉田 英生 (京都大学)

佐藤 洋平 (慶應義塾大学)

佐藤 勲 (東京工業大学)

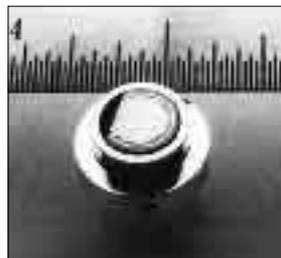
門出 政則 (佐賀大学)

大曾根靖夫 (日立製作所)

熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 (W/cm^2) に比例した直流電圧を出力します。弊社の製品は米国バージニア工科大学が開発した新しい技術をVatell社で商品化したもので、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

熱流束マイクロセンサー



特徴

- 最高速の応答 (約 6μ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラバース実験
- タービンプレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

ガードン型円形フォイルセンサー



センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

シート状熱流束センサー



センサーは銅とニッケルのサーモパイルから構成されており、測定対象物に貼付けて使います。センサーは厚さが0.2mmと薄いため、柔軟性に富んでおり、直径1インチの円筒形に湾曲させる事が出来ますので、パイプなどに貼り付けてお使いになるには最適です。

使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定

熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。

センサテクノ株式会社

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

URL www.senstech.jp

E-mail senstech@td6.so-net.ne.jp

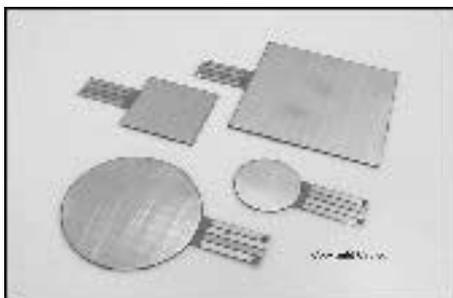
テクノオフィスは、独自の高度技術を持つ海外メーカーの

熱流計／熱流束センサーをご紹介します。

CAPTEC 社 (フランス)

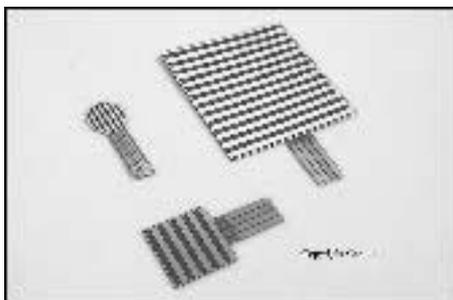
CAPTEC 社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5～300×300 [mm] (厚み:0.4 [mm])
 熱抵抗値: 0.00015 [°C/(W/m²)]
 熱伝導率: 2.7 [W/mK]
 温度範囲: -200～200 [°C]
 応答速度: 約 200 [ms]
 柔軟性: フレキシブルー直径 30 [mm] に彎曲
 リジッドー平面用
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C], 防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5～50×50 [mm]
 厚み: 0.25 [mm]
 温度範囲: -200～250 [°C]
 応答速度: 約 50 [ms]
 柔軟性: 直径 30 [mm] に彎曲
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C]
 波長領域: 広帯域(可視+赤外)／標準(赤外)

【アプリケーション】

◇伝熱一般 ◇温熱環境 ◇サーマルマネキン ◇食品／調理ー焼成オーブン ◇コンクリート・地中埋設

○当社では、CAPTEC 製品に最適なデータロガーも取扱っております。お気軽にお問い合わせ下さい。

有限会社 テクノオフィス (CAPTEC 社日本総代理店)

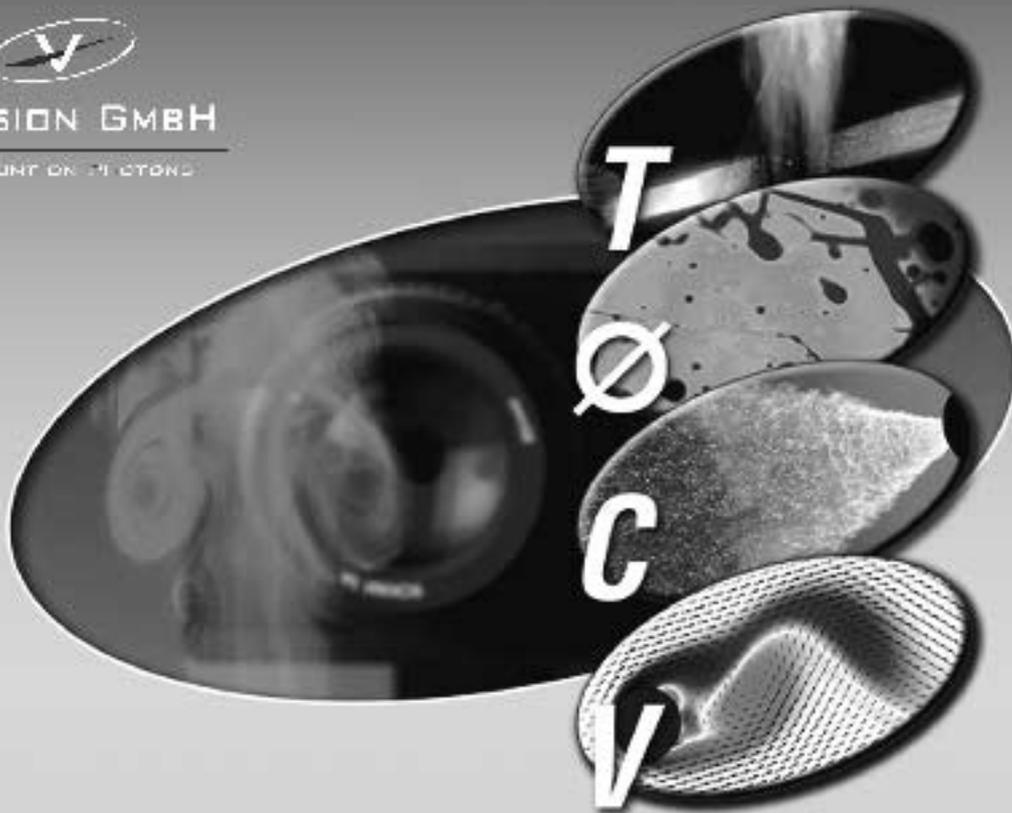
URL: <http://www.techno-office.com/>

本社: 〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B

TEL. 045 (901) 9861 FAX. 045 (901) 9522

LaVision社レーザーイメージング製品の 日本総代理店になりました

PIV、LIF、Raman、Rayleigh、LII、等の技術を組み合わせた複合計測システムを構築し、種々のアプリケーションでのソリューションを提供します。



Laser Imaging Solution

アプリケーション	Laser Imaging Techniques						計測システム
	Mie	LIF	PIV	Raman	Rayleigh	LII	
流れ 流体力学	流れ構造 パターネーション	流れの可視化 ミキシング	流れ場	組成 温度	気体濃度 気体温度		FlowMaster FluidMaster
噴霧	液滴 パターネーション	液体(燃料)質量 液体/蒸気	流れ場	液体/蒸気 温度			SprayMaster SizingMaster
		プレーナー液滴サイズ計測	質量流束				
燃焼 エンジン	粒子 液滴	ラジカル、燃料 化学プロセス	流れ場	ガス組成 温度	気体濃度 気体温度	すす	FlameMaster EngineMaster
プラズマ	粒子 生成	種 反応画像	流れ場				PlasmaMaster
材料試験 表面変形	高度画像相関						StrainMaster
	2次元&3次元の変形、歪み場、応力						
上記全ての アプリケーション	(超)高速イメージング						High-Speed Master System
	過渡現象、時-空間相関の時系列過程						

本広告の製品仕様は改善のため予告無く変更する場合があります



KANOMAX

日本カノマックス株式会社
流体計測ディヴィジョン

お問い合わせは、カスタマーサービス窓口へ

Email fluids@kanomax.co.jp

TEL. (03)6825-9090 FAX. (03)5371-7680

URL <http://www.kanomax.co.jp/fgroup.html>

編集出版部会ノート Note from the Editorial Board

5月の総会を期に編集出版部会の委員が下記のように変更となりました。2年任期となっておりますので、一部が代替わりとなっております。昨年に比べて人数を増やし、より強力な体制といたしました。今後の記事にご期待頂ければ幸甚です。なお、TSEのチーフエディターおよび幹事の一人も変更になっております。

本会誌は予算の許す範囲内で、カラーページを多く取り入れております。会員の皆様におかれましては、研究の随想や苦労話、あるいは研究成果の主要部分をまとめた物など、論文集では書けないような記事を「特別寄稿」としてご執筆頂き、ご自身の記録としてもご利用頂ければ誠に幸いです。特に、定年退職前後の会員にはこうした記事をご執筆頂ければ、会員も大喜びです。ご自身による投稿は勿論、身近に該当する方がおられましたら、小職宛、ご連絡頂ければ誠にありがたく思います。会員間の気軽な意見交換の場として、Heart Transfer といった欄も用意しておりますので、お気軽に種々のご意見や記事投稿を頂ければ幸いです。

では、今後ともよろしく願いいたします。

近久武美 (北海道大学)
Takemi Chikahisa (Hokkaido University)
e-mail: takemi@eng.hokudai.ac.jp

副会長 瀧本 昭 (金沢大)	部会長 近久武美 (北海道大学)
委員	
(理事) 姫野修廣 (信州大学)	藤岡恵子 ((株) ファンクショナル・フルイット)
橋本律男 (広島大学)	角口勝彦 (産業総合研究所)
(評議員) 大黒崇弘 (日立国際電気)	鹿園直毅 (東京大学)
吉田篤正 (大阪府立大学)	長谷川達也 (名古屋大学)
中別府 修 (明治大学)	一法師茂俊 (三菱電機)
花村克悟 (東工大)	久角喜徳 (大阪ガス)
福谷和久 (神戸製鋼)	

TSE チーフエディター 門出政則 (佐賀大学)
編集幹事 岩本 薫 (東京農工大学) 石田賢治 (佐賀大学)

編集出版事務局：
北海道大学大学院工学研究科エネルギー環境システム専攻 近久武美
〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
Tel: 011-706-6785 Fax: 011-706-7889, takemi@eng.hokudai.ac.jp