

ISSN 0910-7851

# 伝熱研究

Journal of The Heat Transfer Society of Japan

1994 April  
Vol. 33 No. 129

〈小特集：生体内熱現象の解明の新技术〉

ISSN 0918-9963

**THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING**

Vol. 2

No. 2

日 本 伝 熱 学 会  
The Heat Transfer Society of Japan

## 日本伝熱学会第32期（平成5年度）役員

会 長		棚 澤 一 郎 (東 大)
副 会 長	(編集出版)	坂 口 忠 司 (神 戸 大)
	(企 画)	仲 田 哲 朗 (石 播 重 工)
	(総 務)	土 方 邦 夫 (東 工 大)
理 事	(編集出版)	部 会 長 芹 沢 昭 示 (京 大)
	北 海 道	東 海 道 加 藤 征 二 (二 重 大)
	中 国 四 国	九 州 増 岡 隆 士 (九 工 大)
	工 藤 一 彦 (北 大)	
	加 藤 泰 生 (山 口 大)	
	高 島 啓 行 (住 金 マ ネ ジ メ ン ト)	
	(企 画)	部 会 長 庄 司 正 弘 (東 大)
	東 北	伝 熱 シ ン ポ ジ ウ ム 準 備 委 員 長 福 迫 尚 一 郎 (北 大)
	千 葉 孝 男 (新 日 本 空 調)	北 陸 信 越 平 田 哲 夫 (信 州 大)
	(総 務)	中 島 利 誠 (お 茶 大)
	部 会 長 東 京	望 月 貞 成 (東 農 工 大)
	関 西 木 本 日 出 夫 (阪 大)	青 木 博 史 (豊 田 中 研)
監 事	飯 田 嘉 宏 (横 国 大)	岡 田 孝 夫 (高 砂 熱 学)
評 議 員	金 山 公 夫 (北 見 工 大)	窪 田 英 樹 (室 蘭 工 大)
	関 根 郁 平 (苫 小 牧 高 専)	五 十 嵐 喜 良 (東 北 電 力)
	小 川 清 (日 大)	萩 原 宏 二 郎 (秋 田 高 専)
	橋 爪 秀 利 (東 北 大)	横 山 孝 男 (山 形 大)
	赤 井 誠 (工 技 院)	飯 野 利 喜 (日 立)
	石 塚 勝 (東 芝)	勝 田 正 文 (早 大)
	門 谷 皖 一 (小 松)	河 村 洋 (東 理 大)
	小 泉 安 郎 (工 学 院 大)	田 中 忠 良 (電 総 研)
	田 辺 新 一 (お 茶 大)	谷 下 一 夫 (慶 大)
	長 崎 孝 夫 (東 工 大)	西 尾 茂 文 (東 大)
	菱 田 公 一 (慶 大)	平 井 秀 一 郎 (東 工 大)
	前 川 透 (東 洋 大)	海 野 紘 治 (豊 田 工 大)
	北 村 健 三 (豊 橋 技 科 大)	辻 俊 博 (名 工 大)
	松 田 仁 樹 (名 大)	山 下 博 史 (名 大)
	山 中 晤 郎 (三 菱 電 機)	小 林 睦 夫 (新 潟 大)
	竹 内 正 紀 (福 井 大)	姫 野 修 廣 (信 州 大)
	東 恒 雄 (大 阪 市 大)	片 岡 勲 (京 大)
	神 吉 達 夫 (姫 路 工 大)	坂 本 雄 二 郎 (神 戸 製 鋼 所)
	千 田 二 郎 (同 志 社 大)	藤 井 照 重 (神 戸 大)
	唐 土 宏 (松 下 電 器)	秋 山 巖 (パ ン 日 立)
	鈴 木 洋 (広 島 大)	村 上 幸 一 (愛 媛 大)
	森 岡 斎 (徳 島 大)	伊 藤 昭 彦 (大 分 大)
	金 丸 邦 康 (長 崎 大)	小 森 悟 (九 大)
	笹 口 健 吾 (熊 本 大)	松 尾 篤 一 (三 菱 重 工)

# 伝熱研究 目次

## 〈小特集：生体内熱現象の解明の新技术〉

小特集号にあたって	第32期編集委員会	1
生体内温度のイメージング	宮川道夫 (新潟大学)	2
光を用いた断層イメージング	山田幸生 (機械技術研究所)	13
生体膜のエネルギー変換	池上 明 (慶応義塾大学)	21
サーマルマネキンによるモデル実験		
室内環境、衣服、水冷服の計測と評価	多屋秀人 (生命工学工業技術研究所)	28
温熱負荷に伴う皮膚微小循環動態の変化	浅野牧茂 (日本女子大学)	33
昆虫に関する熱的問題	丹野皓三 (北海道大学)	41

## 〈地方研究グループ活動報告〉

平成5年度関西研究グループ活動報告	47
東海研究グループ活動報告	49
日本ライン伝熱セミナー「先端計算機援用熱流体工学の基礎と実際」	49

## 〈お知らせ〉

「第31回日本伝熱シンポジウム」プログラム	50
「財政基盤強化のための募金事業」個人会員募金のお礼とご報告	70
会告：「電荷移動を伴う熱科学現象研究会」	75
会告：第12回混相流レクチャーシリーズ「混相流のシミュレーション技術」	77
会告：第2回混相流国際会議	77
会告：「第15回日本熱物性シンポジウム」開催案内	78
会告：「複合レーザー計測」ワークショップ	78
「伝熱研究」原稿の書き方	79
「事務局からの連絡」	81
「日本伝熱学会」入会申込書	

**Journal of The Heat Transfer Society of Japan**

**Vol.33, No.129, April, 1994**

**CONTENTS**

**〈Special Issue : Bio Thermal Phenomena — Their New Methodology—〉**

Preface to Special Issue

Editorial Board ..... 1

Techniques Used to Visualize the Temperature Distribution Inside the Human Body

Michio Miyagawa (Niigata University) ..... 2

Optical Tomography

Yukio Yamada (Mechanical Engineering Laboratory, MITI) ..... 13

Energy Transformation in the Biological Membrane

Akira Ikegami (Keio University) ..... 21

Measurement and Evaluation of Thermal Conditions Using Thermal Manikin

Indoor Environments, Clothes and Water-Cooled-Garments

Hideto Taya (National Institute of Bioscience and Human-Technology) ..... 28

Cutaneous Microcirculatory Changes During Acute Heat Exposure

Makishige Asano (Japan Women's University) ..... 33

Insects and Some Problem of Thermal Circumstances

Kouzou Tanno (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ.) ..... 41

**〈Reports on the Local Group Activities〉 ..... 47**

**〈Announcements〉 ..... 50**

生体は外部環境の変動に対しても、常に一定な機能を維持するため、生体の器官や組織においては、様々なプロセスを含む熱や物質の移動現象が生じている。従って器官や組織の機能は移動現象として捉えられることが可能である。しかしながら一般に組織における熱や物質の移動現象は、個々の細胞の集合である不均質構造の場合において、数多くの酵素と関わる化学反応を伴い、血液やリンパ液などの流れが関与して来るため、その把握は極めて難しく、古くから生理学や生化学の分野の研究の中心的な課題であった。近年、理工学サイドで発展して来た伝熱工学、物質移動論の手法が生体現象に適用されるようになり、熱や物質の移動現象に関するバイオメカニクスの研究が、医学サイドのニーズと相俟って、1960年代の後半から活発に行なわれるようになって来た。とくに外界との熱交換、血流による熱の移動、血液循環系、呼吸器系、泌尿器系における熱や物質の移動現象を明確にすることは、臨床医学における新しい診断治療技術の開発や人工臓器の設計にも重要な役割を果たし、宇宙や海底など特殊環境における生体の生命維持を実現するためにも必要となっている。日本機械学会では、熱工学部門とバイオエンジニアリング部門の共同企画で設置された研究分科会「医用・生体熱工学に関する調査研究分科会」や本伝熱学会において設置されている「人間熱科学研究会」では熱心な発表と討論が行われており、とくに伝熱工学の専門家の関心が高まっている。そこで伝熱学会の学会誌の小特集号として「生体内熱現象の解明の新技術」というテーマを提案させて頂き、6件の原稿の執筆をこの分野の第一線でご活躍の方々をお願いした。本小特集号としては、とくに熱現象の解明技術に焦点を絞り、ハイパーサーミヤのような熱現象を利用する治療技術などについては次の機会に譲ることとした。

生体内の熱現象の解明のためには、まず温度に関する情報を得ることが必須である。そこで、無侵襲計測に関して新潟大の宮川教授に、温度以外の物理情報として生体内の酸素濃度などを光による断層イメージングで捉える方法に関して機械技研の山田氏をお願いした。生体内の熱現象には生体内のエネルギー代謝が重要な役割を果たしているので、生体エネルギーの生物物理に関して慶應大医学部の池上教授に執筆して頂いた。生体内外の熱授受を正確に把握することが重要で、熱授受を計測するためのサーマルマネキンが開発されており、生命工学工業技研の多屋氏に執筆頂いた。生体内の伝熱現象は、主に微小血管系で行われているが、微小血管系に熱負荷を加えて血流の状態を直接測定する方法を開発された東京医科歯科大の浅野教授に微小循環系での熱現象に関して執筆して頂いた。さらに一部の生物はかなり極限的な温冷熱環境においても生存出来る機能をもっている。例えば極地で生きる動物や冬の凍結地で越冬する虫などは、伝熱工学的にも興味深いメカニズムを有しており、凍結保存技術などにもヒントになろう。そこで北大低温研の丹野博士に昆虫に関する熱的な問題に関して紹介して頂いた。この他、生体内伝熱現象の基礎やサーモグラフィによる熱現象の解明技術に関しては、本小特集号以外で一般記事として掲載させて頂く予定である。

本小特集号が生体系の熱現象のバイオメカニクスに関して、伝熱学の分野でご参考になれば幸いである。

# 生体内温度のイメージング

宮川道夫（新潟大学）

## 1. はじめに

体内では正常な代謝活動に伴う産熱があり、またある場合には細菌やウイルスに対する自己防御機能の一部として正常な代謝レベルを越えた発熱も起こる。この場合には通常、全身体温の変動が観測されるが、関節炎のように局所的な温度変化を来す疾患もある。また組織レベルで温度変化を来す比較的浅層部の腫瘍もあり、温度分布の観測結果から、その存在に関する情報の一部を得ることができる場合もある。しかし生体内の温度分布計測が医療で決定的に重要となったのは、癌組織が熱に弱いことを利用して腫瘍部を加熱・昇温することにより癌治療を行う「ハイパーサーミア」の登場以来である。最近では健康保険の適用と多くの臨床医の努力により、ハイパーサーミアの臨床適用は各地の医療機関にまで拡大している。しかし、腫瘍を含む治療部位の体内温度分布を無侵襲で計測する技術がなく、①腫瘍組織の温度を一定時間以上確実に42.5℃以上に保つ、②正常組織、特に腫瘍から離れた部位の熱損傷を極力避ける、という2条件を満足した治療の実施が困難であるため、ハイパーサーミアが急速に普及しているという状況にはないのもまた事実である。電磁波や超音波のエネルギーを生体に照射して腫瘍部を加熱・治療するこの療法では、全身体温の上昇や正常組織の熱損傷を避けると同時に、腫瘍部温度を治療効果の飛躍的に向上する42.5℃以上に保つことが非常に重要であり、その実現のためには任意生体断面の温度分布を無侵襲的に画像計測する技術の開発が不可欠とされている。現在では熱電対やサーミスタ、あるいは光ファイバなどの温度センサを数カ所に刺入して腫瘍内部を含む数カ所の温度を観測する侵襲的な温度モニタが行われているが、たかだか数点の温度測定が可能となるに過ぎず、苦痛だ

けでなく感染や転移のリスクもあり、測定が無侵襲化と温度分布の画像計測技術開発が求められている。

一般に“体温”と呼称される体の中心部の温度、つまり中核温は測定部位により若干の幅はあるものの、測定手法に本質的な問題点はない。一方、体内に温度センサを刺入することなしに、つまり無侵襲で体内の温度分布を測定する手法は研究段階にあり、現段階で測定装置は存在していない。しかし上述したハイパーサーミア等では治療の有効性を増すために腫瘍部とその周囲組織の温度をモニタし、治療時に加熱制御することが不可欠と考えられている。本稿ではマイクロ波のCTを利用して体内温度変化量の分布を無侵襲計測する「サーモCT」実現の試みについて先ず紹介する。

次に、「生体内温度のイメージング」というタイトルから若干逸脱するが、吸収したエネルギーによって生体内に形成される“受動的な温度分布”を、モデルを用いることによって生体外で三次元的に可視化する手法について簡単に紹介する。もともと電磁波ハイパーサーミア装置の加熱パターンやその制御性を三次元的に直接観測する手段として研究・開発した技術の一部であるが、電気機械器具からの漏れ電磁波が生体に吸収される様子を三次元的に観測するのに適しており、世界的な関心事となっている電磁環境計測の手段として、その応用研究も進めている。この観測手法は生体計測法そのものではないが、血流による熱伝達を除き、生体内とほぼ同じ条件で体内熱現象を三次元的に観察できる特徴があり、利用できる分野、問題は少なくないと考えられる。

## 2. マイクロ波によるサーモCT

### 2.1 マイクロ波CTと温度差計測

本稿では任意生体断面の温度分布を計測する技術

や装置をサーモCTと呼ぶことにする。ハイパーサーミアにおける治療制御もさることながら、疾患の診断情報としては温度の絶対値分布計測が望まれる。しかし、構成粒子内部運動エネルギーの平均値として定義される温度そのものを測定するのは困難である。マイクロ波CTにおいても、温度に依存して変化する生体組織の物理的特性の内、複素誘電率で表現した組織電気特性の温度依存性を利用して温度変化量を間接的に測定する。絶対値測定が困難な理由は、組織電気的特性の個体差や組織間差異が大きい点にある。

はじめにマイクロ波CTについて簡単に説明する。我々の開発したマイクロ波CT<sup>(1-3)</sup>は、図1に示すように、第一世代のX線CTにおける線源と検出器対を一对の送受信アンテナ対で置換したものである。測定対象である生体を間に挟んで対向した一对の送受信アンテナを並進、および回転走査させ、全方向からの投影データを取得する。X線CTと大きく異なる点は、測定対象の生体とアンテナをボラスと呼ばれるインピーダンス整合媒質の中に置く必要のあることである。実際には生体と複素誘電率がほぼ等しい低濃度の食塩水をボラスとして利用するが、これは生体表面におけるマイクロ波の散乱・回折を極小化する効果もある。

マイクロ波CTは直接的にはマイクロ波の減衰定数 $\alpha$ や位相定数 $\beta$ の分布を測定する。この $\alpha$ と $\beta$ は組織の複素誘電率、つまり比誘電率 $\epsilon'$ と導電率 $\sigma$ により一意に決まるので、マイクロ波CTは生体断面の複素誘電率分布を計測する装置であるとも言え

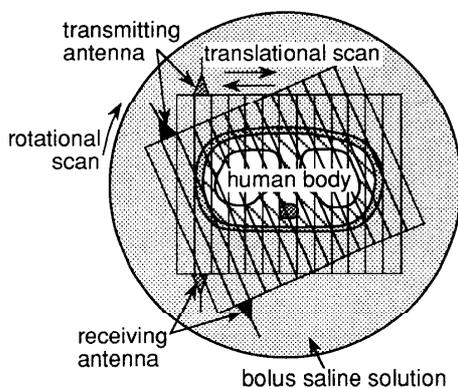


図1 マイクロ波CTの原理

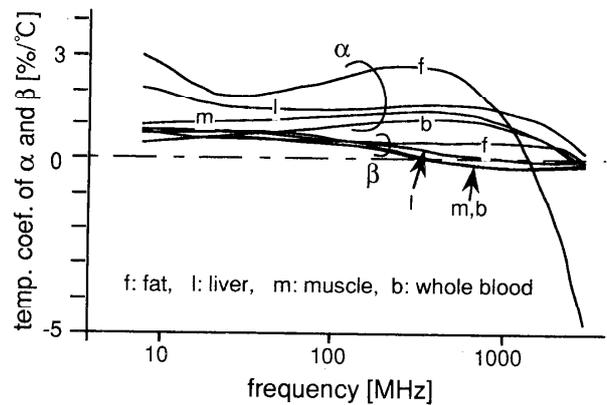


図2 組織伝搬定数の温度依存性

る。この組織複素誘電率の温度依存性を利用すれば、温度変化前後で撮像された同一断面のCT画像の差分演算から温度変化量を画像化できる。これがマイクロ波CTを利用した温度差イメージングの原理である。実際の生体組織で温度変化により複素誘電率の値がどの程度変化するか、つまり代表的組織の $\alpha$ と $\beta$ の値の温度係数を周波数の関数として測定・表示したのが図2である<sup>(4)</sup>。新鮮なブタのサンプル組織で $\alpha$ と $\beta$ の値を測定し、その温度係数の値を示したものであるが、水分含有率の高い血液、筋肉や各種臓器などの組織と、脂肪や骨などのように水分含有率の小さな組織のほぼ2通りに分類できること、高含水組織の中では $\sigma$ の温度係数に殆ど差がないこと、 $\epsilon'$ の温度係数は $\alpha$ に較べ小さいことなどが分かる。イメージングに利用する周波数1~2GHzでは、肝臓の摘出に伴う失血を考慮すれば、図に例示されていない組織を含めて、高含水組織の $\sigma$ の温度係数はほぼ一致する。これはマイクロ波CTによる温度差計測の大きな利点となる。つまり血液と、その血液を多量に含む組織の温度係数が殆ど同じであれば、温度変化を伴わない血流量変化が生じても温度計測誤差の原因とはならない。これはハイパーサーミアの際に実際に生じうる生理状態であるだけに重要な特長である。

## 2. 2 チャープ信号を利用したCT

図1の原理説明で、X線CTの線源・検出器対の代わりに一对の送受信アンテナを用いればマイクロ

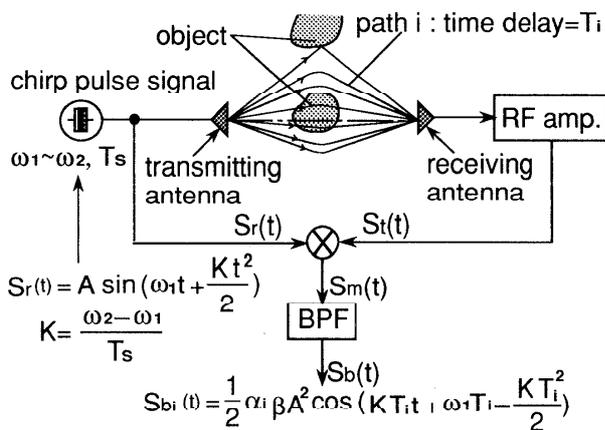


図3 回折波や反射波の除去原理

波CTが実現できると説明した。しかし実際には干渉など波動としての性質が顕著なマイクロ波を測定に利用するため、X線ビームのように直進伝搬性を仮定することは不可能で、CTの実現には工夫が必要となる。ここではチャープパルス信号を測定に利用し、信号処理方法を工夫することで実効的にマイクロ波伝搬の直線性が仮定でき、従って、X線CTと同様な画像再構成アルゴリズムが適用できるチャープレーダ方式のマイクロ波CT<sup>(1-3)</sup>について説明する。

図3に我々の開発したマイクロ波CTの原理を示す。測定には掃引時間 $T_s$ の間に周波数が1GHzから2GHzまで直線的に変化するチャープパルスマイクロ波を用いる。測定周波数の上限は頭部程度の大きさを有する対象部位の透過計測が可能な減衰量から、また下限は生体温度計測時に最低必要と考えられる空間分解能から決められたものである。波動性が顕著なマイクロ波を用いてCT計測を行うため、このCTでは回折波や反射波の影響をチャープレーダの原理を応用して除去する。図3中に記す通り、基準となるチャープパルス信号を $S_r(t)$ とし、経路 $i$ 上を伝搬したことにより $S_r(t)$ より $T_i$ だけ遅れてミキサの信号端子に到達した受信信号と $S_r(t)$ とのビート信号をミキサの中間周波端子に接続された帯域通過フィルタにより取り出すと、式 $S_{b_i}(t)$ のように表せる。この式からビート信号の周波数が送受信アンテナ間の伝搬経路の長さにより変化するのが分かる。当然、ビート信号の中には送受信アンテナ

間の直線伝搬に必要な時間だけ基準信号より遅れる成分も含まれている。従って、ビート信号から、送受信アンテナ間の直線経路に該当する周波数成分だけをFFTアナライザ等により抽出・記録すれば、両アンテナ間を直線伝搬するマイクロ波の減衰量や位相変化量だけを取り出して計測できる。このような方法で散乱・回折波の影響を除去することにより、マイクロ波をあたかも直線伝搬するビームであるかのように扱い、X線CTと同じアルゴリズムを適用してマイクロ波CT画像を再構成することができる。以上が、我々の開発したマイクロ波CTの測定原理である。目的は異なるものの、距離方向の分解能を改善するためにチャープ信号を利用するレーダと同様なパルス圧縮技術を利用することから、チャープレーダ方式マイクロ波CTと呼ぶことにする。ただし、開発したCTでは信号増幅部に帯域通過フィルタが接続されており、パルス圧縮による距離方向の分解能改善効果はあまり大きくはない<sup>(3)</sup>。

図4にチャープレーダ方式マイクロ波CTの実験システムブロック図を示す。測定には、上述した通り1~2GHzのマイクロ波チャープパルス信号を用いている。送信アンテナから照射される2Wのパワーを効率よく測定対象領域に入射させるため、送受信アンテナと測定対象たる生体はボールス食塩水中に置かれる。現実的にはボールスはビニルなどの袋の中に満たし、その袋を生体に密着させればよいから被験者の体が直接水と接することはない。前述した通り、ボールス食塩水の電気特性は生体表面での散乱・回折などの影響を極力小さくするため、生体のそれと等しくなるよう添加食塩濃度により調節されている。受信アンテナで検出されたRF信号は増幅され、ミキサと帯域通過フィルタによって入力信号間のビート信号だけが検出される。このビート信号の周波数は送受信アンテナ間の伝搬経路の長さによって変化する。従って、ビート信号のうち、特定の周波数成分をFFTアナライザで取り出すことにより、送受信アンテナ間を結ぶ直線上を伝搬したマイクロ波の減衰量や位相変化量だけを知ることができる。この様にして散乱・回折の影響を除去し、X線CTと同様な画像再構成アルゴリズムを適用し

てマイクロ波CT画像を得る。図4の試作CTシステムはアンテナ間隔が約280mmであり、測定は並進走査が約2.2mm間隔の合計128点、距離にして全長約282mmの軸上で行われ、この投影データを回転走査により3.6度刻みの合計50方向から取得し、128×50個からなる全投影データを得る。画像再構成はX線CTでも多く採用されているSLフィルタ関数を用いたコンボリューション法に依っているが、差分演算によるノイズ発生と測定間隔との関係から、温度差画像を求める際のSLフィルタ処理は行っていない。参考までに、試作マイクロ波CTシステムの主な仕様を表1に示す。

### 2.3 マイクロ波CTの空間分解能

マイクロ波CTが生体断面の組織複素誘電率分布を画像計測する装置であることは既に述べた通りである。ただし体内波長がcm単位となるマイクロ波CTでは、多少測定の高分解能化が図られたとしても、

他の断層イメージング手法では得られない有用なデータが得られる見込みは、残念ながら現時点までには明らかになっていない。しかし大電力が瞬時に生体の一部に注入されるような特殊な場合を除き、体内の温度分布は1cm程度の空間分解能で測定されても、少なくともハイパーサーミアにおいては、充分役に立つ情報となる。前述したようにマイクロ波CTは本質的に生体温度計測に適した特性を備えている。以上の理由から、マイクロ波CTはサーモCTとしての実用化に最も大きな期待が寄せられている。そこで、マイクロ波CTを温度計測装置と想定した上で、まずその空間分解能をファントムにより評価する。

チャープ信号の中心周波数である1.5GHzにおいて生体と等価な導電率を有する濃度0.69%、温度32℃の食塩水の中に、これとは僅かに導電率の異なる濃度0.44%、32℃の食塩水を満たした直径60mmのプラスチックファントム(生体モデ

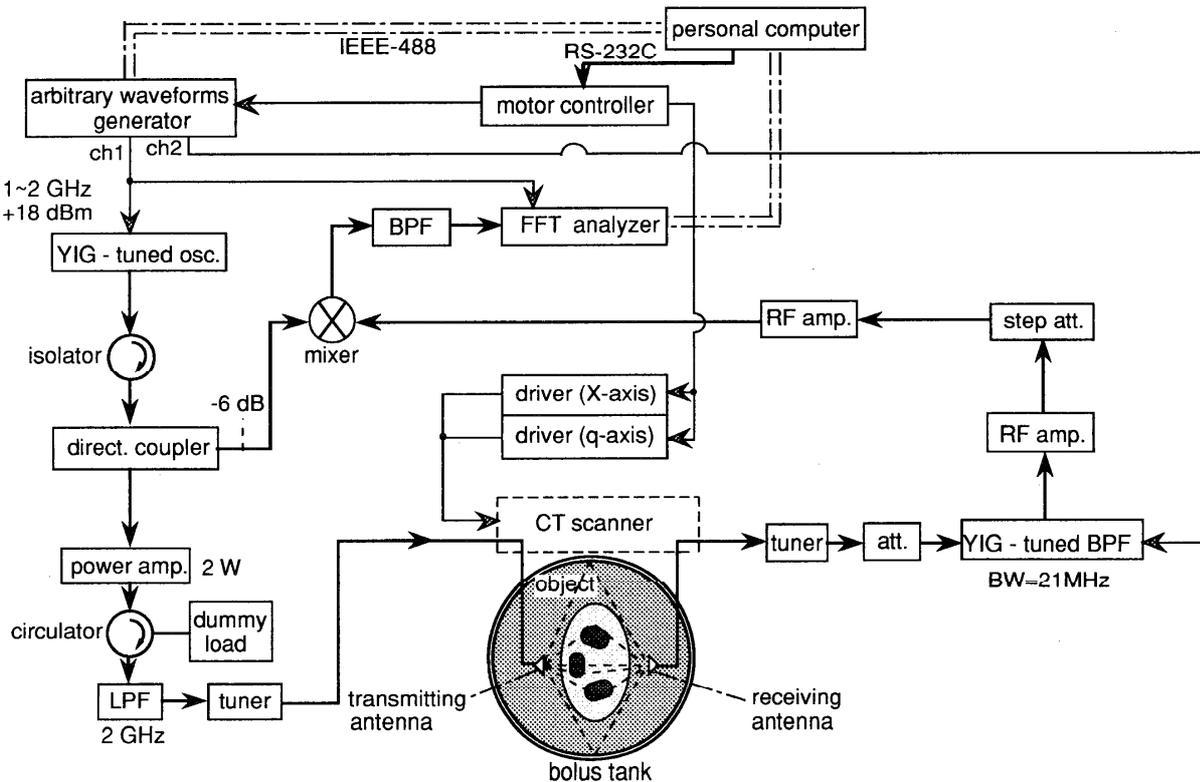
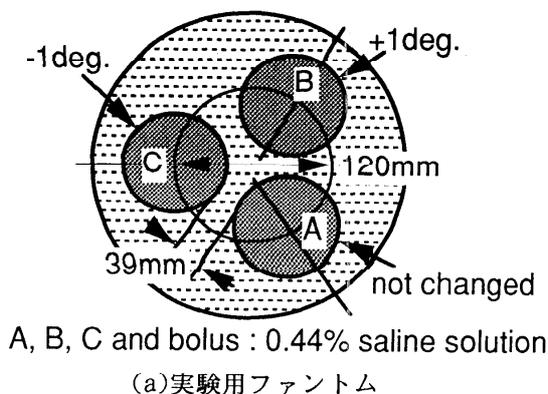


図4 マイクロ波CTブロック図

表1 試作マイクロ波CTの主な仕様

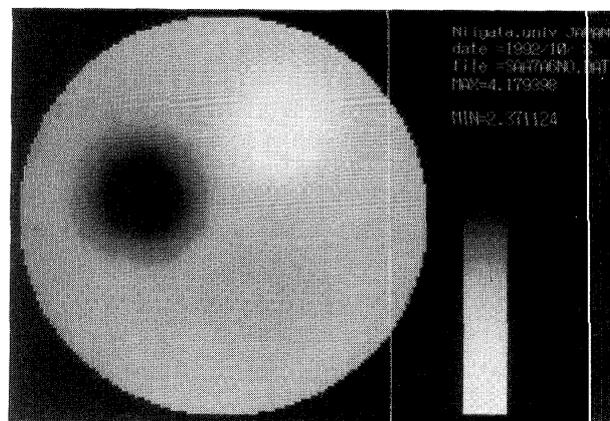
chirp pulse signal	frequency sweep time output power	1000~2000 MHz 20~200 ns (variable) 2 W
antennas	type aperture size distance of two antennae	dielectric loaded waveguide antennas 19.1 mm x 9.5 mm 282 mm
mechanical scan	translation rotation	2.22 mm step, 128 points (about 282 mm) 3.6 degree step, 50 projection angles
dynamic range		36 dB max., (depend on the bolus solution)
maximum size of measurable object		200 mm in diameter
projection data		128 x 50
reconstruction algorithm		convolution method using Shepp & Logan's filter function
time required for imaging	measurement computation	100 min. 15 sec (personal computer base image reconstruction)



ル)を間隔dだけ離して並べる。このdの距離を60mmから5mmまで徐々に狭めていき、その都度、CT撮像を行う。得られた15枚程度のマイクロ波CT画像を基に、画像上における2本の円柱の真円度と両者の分離度から横断面方向の空間分解能を評価した結果、ファントムの食塩濃度によっても変化するが、ほぼ10mm~14mm程度との結果が得られた。食塩水中での半波長が約1.4cmであることを考えれば、ほぼ妥当な値と考えられる。また、縦断面方向の分解能は横断面よりさらに評価が難しい。これまでに、横断面の場合と同様な円柱ファントムを上下方向に動かし、円柱の形状寸法が正しく再構成される距離から凡そ60mm程度との推定値を得ているが、測定方法から考えて、単なる参考値程度の意味しか持たない。

## 2.4 温度差計測の限界について

図5に1.5GHzで $\alpha$ の温度係数が生体等価となるプラスチック円筒入り食塩水ファントムの微小温度変化量をCT計測した結果の一例を示す。図5(a)のようにファントムと同濃度の食塩水ボラス中に直径64mmのファントム円筒3本を三角形に配置し、内部に恒温食塩水を灌流する。ボラス、ファントム食塩水、ともに精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ で温度制御されている。はじめ全ての温度を $32^\circ\text{C}$ 一定としてCT撮影を行い、次にBの温度を $1^\circ\text{C}$ 上げ、Cの温度を $1^\circ\text{C}$ 下げ、Aとボラスの温度は一定に保つ



(b)  $\pm 1^\circ\text{C}$ の温度差画像

図5 温度差イメージング例

たまま2回目のCT撮影を行う。2枚の画像間の差分を求めると図5(b)のように目には見えない $1^\circ\text{C}$ の温度差を画像として観測することができる。同時に、温度変化のないAは差分画像上から消失しているのが分かる。ファントム形状も寸法も極めて正確にイメージングされている。ただし図5の結果は試作したチャープレーダ方式マイクロ波CTの原理的、あるいは事実上の温度分解能が $1^\circ\text{C}$ であることを意味しない。100分という長い測定時間が見かけ上の温度分解能を制限している。

図6はボラス中に測定対象物を何も置かず、5回の並進走査を行って得られた投影データを重ね書きして表示したものであり、実験システムのノイズレベルを表している。図は5回分の実測値を直線目盛りに直し、平均値をゼロとしてドリフトの影響を除去、次に絶対値を求めてから再びdB表示したう

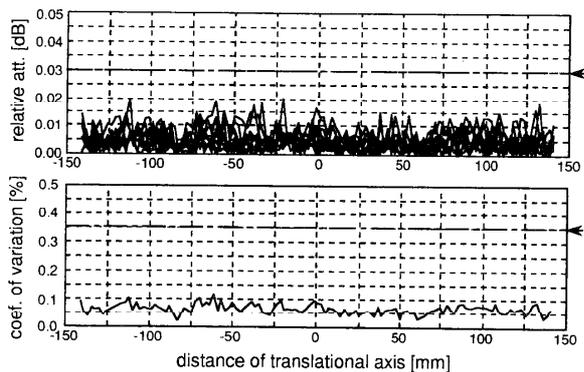


図6 測定系のノイズレベル

え、都合10本の投影データとして重畳表示したものである。図2のグラフより、測定周波数の中心である1.5GHz近辺で筋肉など高含水組織の $\alpha$ が0.7%/deg程度の温度係数を持つことがわかる。1°Cの温度変化をCT画像上で区別するためには、0.35%/degの変化が投影データ段階で区別できる必要がある。図6に示した矢印は何れも1°Cの温度分解能に該当する数値を示しているが、測定系のノイズレベルは、それよりかなり低いことが分かる。実際、図6のピーク値から、ドリフトなどのない仮想的マイクロ波CTの温度分解能を逆算すると、約0.66°Cとなる。この場合の仮想的という言葉は非現実的な仮定を意味しない。測定時間中のゲイン変動をゼロにするか、ゲイン変動の影響が無視できるほど短時間内に測定が完了するよう測定の高速度を図れば達成できる性質のものである。なお、ゲイン変動の主因は容積が70リットル以上もあり、室温に晒されているボラス食塩水の温度変動によるものである。簡単な試算によってもボラスの温度が $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 変化するだけで、直径6.4mmのフェントム食塩水中における1°Cの温度変化は完全にマスクされてしまうことが分かる<sup>(3)</sup>。図5の写真はボラスの温度変化を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ よりは小さく押さえられた時(表示された温度幅が0.2°C未満)に得られたもので、室温条件によっては常に再現できるとは限らない。同様な条件下で既に最小0.7°Cの温度差画像も得ているが、1°Cとは異なり、輪郭形状も真円とはなっていない。しかし、これは既にノイズレベルに近づいていることにも関係している。なお、図6下段の図は変動係数、すなわら標準偏差

を平均値で除したものであり、図中の矢印からも、冗長度を大きくとれば、マイクロ波CTの温度分解能はさらに改善できることを示している。

## 2.5 マイクロ波サーモCTのまとめ

本稿で報告したチャープレーダ方式マイクロ波CTはあくまで基礎研究用の実験装置であり、測定時間100分が真の温度分解能の評価や生体計測可能性の実証を困難なものにしている。実際、100分もの間、ボラスや測定対象物の温度を0.01°Cオーダーの精度で温度制御して温度分解能を評価することは極めて困難である。従って、正確な温度分解能は未だ不明であるが、測定の高速度化が実現できれば、少なくとも0.7°C程度の温度分解能は実現可能と推定される。また、仮に $1^\circ\text{C} \times 1\text{cm}^2$ 程度の分解能であっても、測定の無侵襲性と血流変化などの影響を受けにくいという特長から、当該マイクロ波CTは温熱治療用モニタとして臨床的にも意義のある装置と考えられる。ただし、少なくとも数分、できれば1分程度の高速度撮像を実現しないと、ハイパーサーミア用モニタとしては実用的とは言えない。実用化検討のため、現在、高速度撮像法の研究を進めている段階である。現在の構造のままアンテナを複数化するだけでも測定時間の大幅な短縮は可能であるが、さらに工夫を重ねて実用的な装置を開発したいと考えている。

サーモCTの候補としてはマイクロ波CTのほか、マイクロ波を利用した回折波トモグラフィ<sup>(5)</sup>や高周波インピーダンスの温度依存性を利用したインピーダンスCT<sup>(6)</sup>、NMRを利用して分子拡散定数<sup>(7)</sup>やケミカルシフト<sup>(8)</sup>の温度依存性から温度差を計測しようとするNMRC T法、さらには超音波の減衰や音速、あるいは非線形パラメータの温度依存性を利用した反射法<sup>(9)</sup>なども研究されている。

## 3. モデルによる体内温度分布推定

### 3.1 エネルギー吸収と体内温度分布

生体内においては正常な代謝に基づく熱産生の他、様々な疾患や病原菌に対する防御反応の結果として

の熱発生もある。しかしこのような場合の熱発生は通常全身的なもので、所謂体温計があれば事足りる。しかし、高温物体からの輻射熱に体の一部を晒したり、ハイパーサーミアで電磁波エネルギーが照射されたり、保温マットのような体温より高温の物体に接触した場合、生体に吸収されたエネルギーにより生体内に形成される三次元の温度分布を簡単に知る方法は殆どない。また比較的大きな電力の電磁波被曝実験など、実際に生体を用いて体内の温度分布を直接調べることができないケースもある。以上のような場合には生体とほぼ同じ物理的諸特性を備えた生体の物理モデル、すなわちファントムを用いると、極めて容易に生体内の熱現象を直視する事も可能になる。本稿ではこのような目的で開発されたファントムと、その応用例を紹介する。このようなファントムを有効利用する典型的な一例は、電磁波ハイパーサーミア機器性能の評価や維持の際に必要な加熱パターンの三次元計測である<sup>(11)</sup>。また、様々な機器からの漏れ電磁波が生体に与える熱的効果や非熱効果が電磁環境問題として世界的な関心を集めている。ここで紹介するファントムは特定機器からの漏れ電磁波やトランシーバ等のアンテナから放射される電磁波が生体、とりわけ頭部に吸収される様子を温度という物理量を介して三次元的に観察することにも利用できる<sup>(12)</sup>。電気特性も生体組織とほぼ同一にできるため、生体に吸収されるのと同じ状態で電磁波の吸収エネルギー分布等も三次元的に観察できる。本稿では生体内における熱現象、すなわちエネルギー吸収による温度上昇や伝導を主とする熱輸送を生体外で推定するために利用可能な、電気的、熱的性質が生体類似のファントムについて概説する。この高分子ゲルのファントムはハイパーサーミア装置の性能評価、電子レンジや高周波溶接機など電磁波応用機器からの漏れ電磁波が生体に吸収される様子の観察、手術用温水マットからのエネルギー吸収と蓄熱状況の観察、高温物体に生体の一部を近づけた場合の温度上昇パターンの観察など、極めて広範囲な用途に活用する事ができる。ただし、生体内の温度分布形成には血流も大きな役割を占めており、生体内における熱伝達を論じる際には様々な組織の熱伝

導率やその血流依存性などについて考慮することが重要である。紹介するファントムは血流による熱伝導を考慮していない。つまり熱的には静的なモデルであることに注意して利用する必要がある。

### 3. 2 温度の可視化法

ファントムはポリアクリルアミドやジェランガムなど、常温では透明度の高い高分子ゲルに1%（本稿ではすべて重量濃度で表記）程度の非イオン界面活性剤を添加したものである。このファントムに電磁波等のエネルギーが照射されたり、何らかのエネルギーが与えられて温度上昇が起こると、それまで水分子と緩い結合をしていた活性剤が親水性から疎水性に変わり液滴となって析出する。この結果、それまで透明状態にあったゲルのエネルギー吸収領域が光の散乱により白濁し、不透明状態を呈するようになる。ファントムのこの物理的な性質を利用すると、生体の吸収するエネルギーの三次元分布や、生体内で起こる熱伝達過程を体外で観察・推定する事ができる。曇点と呼ばれるファントムの白濁温度は適当な界面活性剤の選択、ゲル濃度やアルコール添加量の調節により任意の温度に調節できる。また、食塩等のイオン化物質添加により、電気特性も任意の周波数で生体とほぼ等価に調節でき、電磁波の吸収電力パターン等も三次元的に観測可能となる。さらに機械強度も制御可能である。ただしこのファントムは血流の影響を無視した熱的に静的な生体のモデルであり、温度分布というより一定温度以上の領域を、それ以下の領域と区別するモデルである。このため定量的な評価、例えば電磁波被曝量を所定の単位で求めたり、厳密な意味で生体内と同一の熱的環境を要求されるような場合には結果を活用する条件の限定など、十分な配慮が必要となる。

### 3. 3 ファントム組成と性質

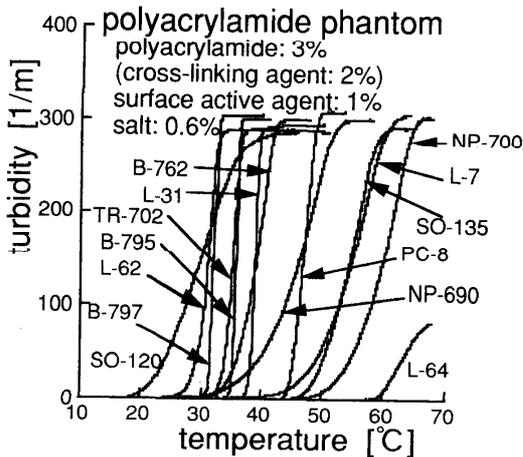
ジェランガムのファントムは、ジェランガム、食塩、界面活性剤および純水をビーカーに入れ90℃以上の温度で5分間以上加熱・溶解させた後、冷却して作製する。またポリアクリルアミドのファントム

を作製するにはアクリルアミド単量体、架橋剤 Bis、界面活性剤、および食塩の混合溶液に 0.02 ~ 0.05 % 程度の重合促進剤 TEMED と 0.03 ~ 0.14 % 程度の APS (過硫酸アンモニウム) を適量添加し、均一に分散させ静置する。TEMED と APS は触媒であり、基本的にはファントムの物理特性には影響を与えない。なお、架橋剤濃度はゲル化剤中に占める割合を相対濃度で示している。

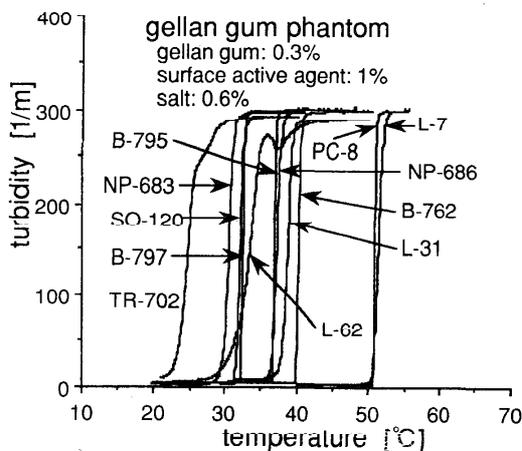
図 7 (a)、(b) にポリアクリルアミドとジェランガム製ファントムの光学特性を示す。縦軸の濁度とは温度上昇により白濁するファントムの不透明度を表す尺度である。具体的には、試験管中に作製したファントムにレーザービームを照射して散乱による見か

け上の直進光の減衰量を光パワーメータにより測定、透過光強度が入射光強度の  $e^{-1}$  となる距離の逆数を示したものである。なお、ファントムが白濁する温度を曇点と呼ぶが、本稿では完全に白濁して定常値に達した時の濁度を 100% とする相対濁度を取り、その相対濁度が 10% となる温度を以て曇点と定義する。図 7 に示す白濁特性は各曲線に記した非イオン界面活性剤 1% を添加したファントムの濁度と温度の関係を示すが、この曲線より上記定義に基づく曇点が求められる。具体的な数値は記載していないが、界面活性剤の種類が変わると曇点も大きく変化するのがわかる。つまり、ゲルと界面活性剤の種類を変えると曇点を調節できることができる。界面活性剤の濃度を上げると曇点以下の温度におけるファントムの透明度が低下し、実用上支障を来す場合が多い。

使用上、一般にはファントムの物理特性のうち、曇点などの光学特性、電気特性、熱特性や機械特性などが問題になる。上記曇点は、ゲルと非イオン界面活性剤の種類や濃度のほか、食塩やアルコールなどの添加によっても変化する。このうちアルコールは他の物理特性に殆ど影響を与えないので、最終的な曇点の微調節に用いられる。このほか、電気特性を生体組織と等価にするためには食塩などイオン化物質の添加が有効であり、機械特性、つまり粘弾性はゲル化剤や架橋材濃度などにより調節可能である<sup>(12)</sup>。比熱や熱伝導率などの熱特性はゲル化剤や添加食塩の濃度の影響を受けるが、殆ど無視できる量である。これは調節が難しいことを意味するが、そもそも生体とそれほど相違ない値となっており、格



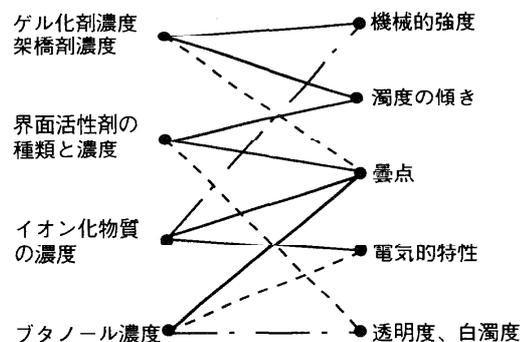
(a) ポリアクリルアミドファントム

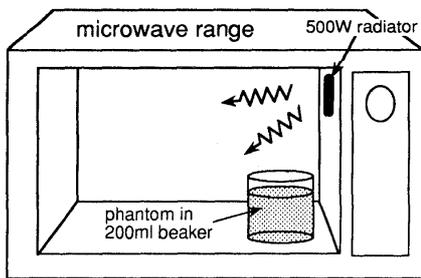


(b) ジェランガムファントム

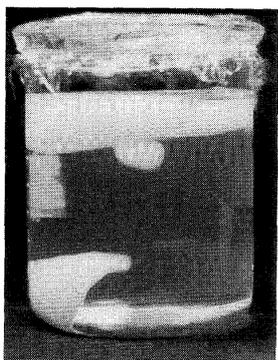
図 7 ファントムの濁度特性

表 2 ファントム物理特性とその調節因子





(a)ファントム配置図



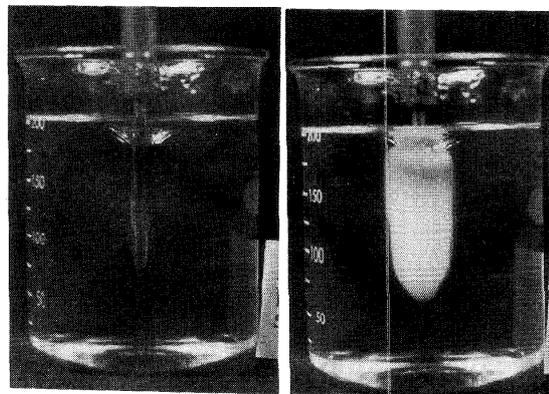
(b)15秒間の電磁波照射結果

図8 吸収電磁波エネルギーの可視化例

別問題は生じない<sup>(13)</sup>。参考までにファントムの物理的諸特性とその影響因子の関係を表2に示す。詳細は割愛するが、希望する物理特性を備えたファントムを作製する一般的手続きは以下のように言える。すなわち、まず、必要とする機械強度からゲル化剤の種類と濃度を定める。次に選択したゲル化剤、目標とする曇点、および濁度の傾きに関するデータから、必要条件を大まかに満足する界面活性剤の種類と濃度を選択・決定する。さらに生体との電気特性等価性を満足させるために必要な食塩の量とブタノール添加量を、曇点降下に対する寄与を考慮しつつ決定する。以上の手続きにより、一般的には必要とする特性を備えたファントムをかなり自由に作製することが可能となる。

### 3. 4 温度分布の可視化例

図8(a)は2450MHz、500Wの家庭用電子レンジの片隅に上記周波数で生体と等価な電気特性を有し、かつ曇点を37℃とした温度24℃のジェランガム製ファントムをガラスビーカーに入れた



(a)t=0 (h)t=3 min.

図9 ハンダゴテ周囲の温度上昇

ままセットした状態の図を、図8(b)は15秒間加熱した直後のファントムの写真を示す。ファントム上部と中心部に近い底面、それに容器やファントム上部での干渉により上部近くのファントム中心部にも37℃以上の高温部の生じているのが観察できる(中心部左端はラベルテープ)。このファントムの熱伝導率は生体とほぼ同等な値であり、15秒間では熱伝導の影響が無視できるものとする。この時、白濁境界での吸収電力は $\rho c (T_c - T_0) / t$ として計算することができ、 $3.70 \text{ W/m}^3$ となる。ただし $\rho$ はゲルの密度、 $c$ は比熱、 $t$ は照射時間であり、 $T_c$ は曇点でファントムの初期温度を $T_0$ としている。このように、この高分子ゲルのファントムを利用すれば、単にエネルギー吸収に基づく温度分布だけでなく、一定条件のもとでの吸収電力分布を観察することも可能となる。仮に、時間的に変動する電力がこのファントムに与えられた場合でも、熱伝達の効果が無視できる時間内であれば、その変動する吸収電力のパターンを観測することができる。

温度分布を観測する場合、勿論、観測時間の制限はない。図9(a)、(b)は曇点を37℃に調節したポリアクリルアミドファントムにハンダ鍍を刺入し、20Wの電力を3分間供給した場合の白濁状態を示している。熱伝導を中心とする熱伝達の様子が白濁パターンとして三次元的に観察できるのがわかる。図8と図9、いずれの場合も温度を介して電力吸収

や熱伝達の進行が三次元的にリアルタイムで観察できる。

### 3. 5 温度分布可視化法のまとめ

生体内の温度分布を直接測定する手法ではないが、ポリアクリルアミドやゼランガムの高分子ゲルに非イオン界面活性剤を添加した生体ファントムを用い、生体内で起こる熱現象を可視化する手法について簡単に紹介した。温度の可視化には高分子ゲル中に微量添加した非イオン界面活性剤の“温度に依存した親水性から疎水性への変化”メカニズムを利用している。このファントムは融点が60℃以上であり、電気特性の生体等価性実現、曇点や機械強度の可制御性、さらには透明度や白濁度の良好性、熱特性の生体類似性など、生体内熱現象の推定に極めて都合の良い性質を備えている。物理的諸特性を全く独立に制御できるわけではないが、用途と使用条件に応じて最適な物理特性を備えた生体ファントムをかなり自由に設計することができる特長があり、その活用範囲は広いと考えられる。

### 4. おわりに

体内温度分布を無侵襲計測するサーモCTの実現を目指した“チャープレーダ方式マイクロ波CT”の研究について紹介した。ファントム段階では1℃×1～2cm<sup>2</sup>程度の分解能まで確認できており、現在、温度分解能の実測と生体計測の実現を目標に高速撮像法の研究を進めている。無侵襲測温法としてのマイクロ波CTが最も優れている点は、測定される温度変化量が血流変化の影響を殆ど受けないことにある。

高分子ゲル製の生体ファントムは生体外で生体内の熱現象を可視化することができ、従来の計算による方法や固体ファントム切断面の温度分布をサーモカメラ等で計測する手法に比べ、手軽に、しかも三次元的に生体内熱現象を観測できる利点がある。ただし、このファントムで観察できるのは三次元温度分布というより、曇点以上の温度に達している領域の外形状である点に注意する必要がある。しかし、

単に温度だけでなく、一定の条件下では生体吸収電力などの可視化も可能であり、工夫すれば多分野での活用が可能になるものと思われる。

[謝辞] 本研究のうち、マイクロ波CTの一部に関しては(財)中谷電子計測技術振興財団の、またファントムに関しては(財)テレコム先端技術研究支援センターの援助を戴きました。記してここに感謝申し上げます。

### [参考文献]

- 1) M. Miyakawa: Tomographic measurement of temperature change in phantoms of the human body by chirp radar-type microwave computed tomography, *Med. Biol. Eng. & Comput.*, **31**, pp. S31-S36(1993).
- 2) 宮川道夫: チャープ信号を利用した生体計測用マイクロ波CTの試み, *信学論D-II*, **J75-D-11**, 8, pp. 1447-1454(1992).
- 3) 宮川道夫, 渡辺大介, 林豊彦: チャープレーダ方式マイクロ波CTの改良と温度差イメージング, *電学論C*, **112**, 8, pp. 493-499(1992).
- 4) 宮川道夫: ハイパーサーミアにおける組織誘電特性の温度依存性に関する考察, *日本ハイパーサーミア誌*, **4**, 4, pp. 307-315(1988).
- 5) J. C. Bolomey and M. S. Hawley: Non-invasive control of hyperthermia, in "Methods of hyperthermia control" edited by M. Gautherie, Springer-Verlag(1990).
- 6) H. Kanai, Y. Sawada, et al.: Measurement of temperature change by impedance CT, *Proc. of 6th Intern. Congr. Hyper. Oncol.*, **1**, p. 215, Tucson, Arizona, April 27-May 1(1992).
- 7) D. Le Bihan, J. Delannoy and R. L. Levin: Temperature mapping with MR imaging of molecular diffusion -Application to hyperthermia, *Radiology*, **171**, 3, pp. 853-857(1989).

- 8) K.Kuroda, Y.Miki, et al.: Non-invasive temperature measurement by means of NMR parameters--Use of proton chemical shift with spectral estimation technique, Digest World Cong. Med. phys. & Biomed. Eng., Suppl. 2, Kyoto, July 7-12(1991).
- 9) 植野進一郎, 福喜多博, 他4名: 超音波の非線形現象を用いた無侵襲測温装置, 日本ハイパーサーミア誌, 6, 4, PP.402-410(1990).
- 10) 宮川道夫: マイクロ波による体温分布の画像化, BME, 2, 3, pp.175-178(1988).
- 11) 保科紳一郎, 宮川道夫: 高分子ゲルファントムによる加温領域の三次元的観察法—ジェランガム及びポリアクリルアミドによるファントム, 日本ハイパーサーミア誌, 9, 1, PP.31-39(1993).
- 12) 宮川道夫, 高橋直樹, 保科紳一郎: 高分子ゲルによる吸収エネルギー分布の三次元的観測法—電磁環境計測における生体モデルの検討, 信学論B-II, (投稿中).
- 13) 高橋直樹, 宮川道夫, 保科紳一郎: 電磁環境計測用高分子ゲルファントムの設計法, 1994年信学春期大, B-306, (1994).

# 光を用いた断層イメージング

山田幸生 (工業技術院 機械技術研究所)

## 1. はじめに

X線CTやMRIは生体内部の構造などを断層像として表し、生体診断・治療に威力を発揮している。これらの装置はそれぞれに特有な生体内の情報(X線CTは生体組織の密度、MRIは水素など標的とした物質の分布)を画像化している。最近、光を用いて生体内部の情報を断層像として描き出そうという光CTが試みられ<sup>(1,2)</sup>、世界各国で活発に研究されている。光、特に700nmから900nmの近赤外光を用いることにより、生体内部の酸素化度を計測できる可能性の-highいことが近年明らかになった<sup>(3)</sup>。これは図1に示すように血液中のヘモグロビンや筋肉中のミオグロビンの吸収スペクトルがそれらの酸素化度により変化することを利用するものである。簡単に言えば、動脈血の色と静脈血の色の違いを生きている組織に外部から光を当てて調べようというものである。なお、700nm以下の波長ではヘモグロビン・ミオグロビンによる吸収が強く、900nm以上では水による吸収が強すぎて光を検出することが困難となるため、その間の700nmから900nmの近赤外光が一般に用いられる。近赤外光を用いて生体内部の断層像を描き出すことができれば、X線CTやMRIにより得られる情報とは異なった生理学的な情報が得られるだけでなく、より安全で簡便な診断装置となる可能性が高い。そのため光CTへの期待が高まっており、工業技術院の医療福祉プロジェクトの一環として平成4年度より「光断層イメージングシステム」研究開発が7年計画で開始された。

しかし、光(可視光、近赤外光)は生体により極めて強く散乱されるため、X線CTで確立された技術や手法をそのまま適用しても正しい画像が得られるとは限らない。この様子はヘモグロビン溶液と赤血球浮遊液の吸光度を示す図2によく表されている。散乱体としての赤血球が存在しないヘモグロビン溶液では純粋に吸収のみのスペクトルであるが、同量のヘモグロビ

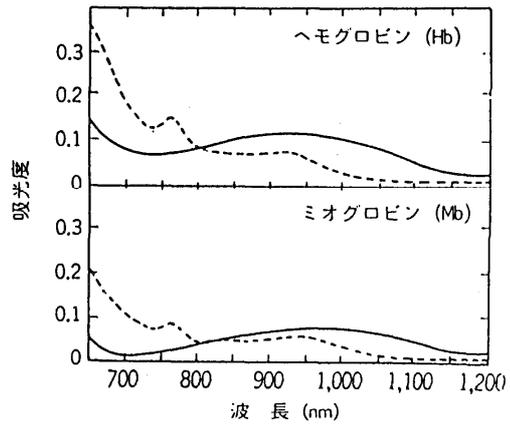


図1. 精製ヘモグロビン水溶液と精製ミオグロビン水溶液の吸収スペクトル<sup>(1)</sup>

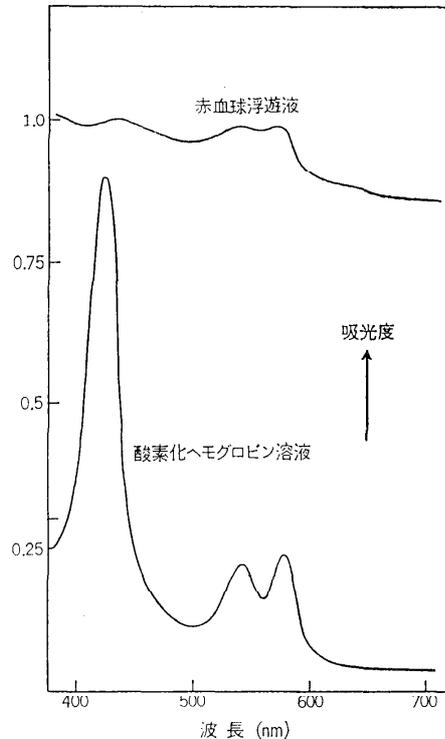


図2. 精製ヘモグロビン水溶液と赤血球浮遊液の吸光度スペクトル<sup>(1)</sup>

ンを含んだ赤血球浮遊液のスペクトルは散乱のために吸光度が大きくなっており、散乱は吸収よりも1桁以上強いことが分かる。(図2は可視域のスペクトルであるが、近赤外光域でも同様である。)光CTに必要な情報は散乱ではなく吸収であるため、生体により強く散乱された光の中から弱い吸収の情報を取り出さねばならない。従って、臨床に有用な光CTを実現するためには、生体内における光の伝播現象を理解し、X線CTで開発されたアルゴリズムが適用可能な測定技術を開発するか、または、光の伝播を記述する方程式に基づいた新しいアルゴリズムを開発する必要がある。

以下では、生体のような散乱体内の光の伝播の物理とそれを基礎にした各種の光CTシミュレーションについて述べる。

## 2. 生体内の光伝播について

生体は光の強い散乱体であり、散乱のパターンを表す散乱の位相関数 $p(\theta)$ は図3のように強い前方散乱を示す。散乱の非等方性を表す非等方散乱パラメータ $g$  ( $-1 \leq g \leq 1$ )は $p(\theta)$ の余弦平均で定義され、 $g=1$ では完全な前方散乱、 $g=-1$ では完全な後方散乱、 $g=0$ では等方散乱である。 $g$ を用いると散乱係数 $\mu_s$  ( $\text{mm}^{-1}$ )は $\mu_s'=(1-g)\mu_s$ により等方散乱に近似できる<sup>(4)</sup>。これは現象的には図4に示すように何度か前方散乱を繰り返すと平均的には等方散乱的に観測できることを意味している。従って、等方散乱近似は光が何度か散乱された後に成立す

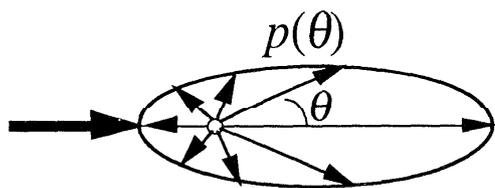


図3. 散乱の位相関数

る近似であり、表面に光を照射することを考えれば、表面からある厚さ(平均散乱距離 $1/\mu_s$ の数倍)よりも薄い組織では等方散乱近似が厳密には成立しない。

散乱係数は波長にはあまり依存しないが、吸収係数は生体内の分光学的酸素濃度指示物質であるヘモグロビンとミオグロビンの吸収スペクトルによって大きく変化する。He-Neレーザの波長で散乱係数と吸収係数を比較すると表1<sup>(5)</sup>のようになる。表1から散乱が吸収よりも10倍以上強いことが分かる。

このような強く散乱する媒体中の光の伝播を記述する主な方法として、光を光子のような粒子と考え、それが散乱粒子により散乱されながら進んで行く様子を統計的に模擬するモンテカルロ法<sup>(6)</sup>と、光の伝播を連続体中の光の拡散と考えて微分方程式を解く方法<sup>(4)</sup>とがある。モンテカルロ法はコンピュータによってのみ可能な方法であり、散乱経路を逐次追跡するため十分な精度で解を得るためには非常に長い計算時間を必要とする。モンテカルロ法による解析については文献<sup>(6,7)</sup>を参照いただくとし、以下では光拡散近似による解析とその応用について述べる。

連続体中の光の伝播を表わす微分方程式は式(1)の時間依存の光拡散方程式である。

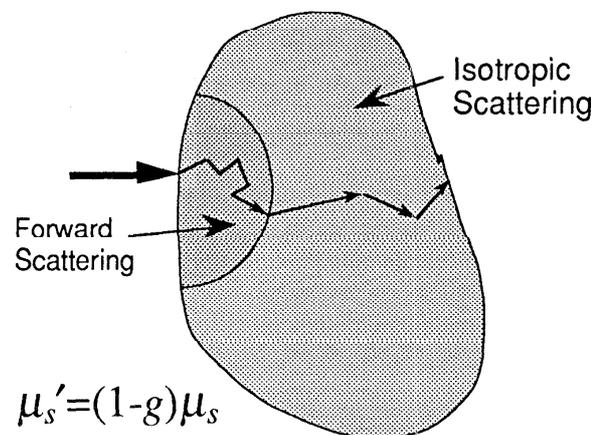


図4. 前方散乱の等方散乱近似

表1. 波長633nmでの生体組織の散乱・吸収特性<sup>(5)</sup>

	$\mu_s$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	$g$	$\mu_s'$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	$\mu_a$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
Chicken muscle	34.5	0.965	1.21	0.012
Bovine muscle	32.7	0.941	1.93	0.15
Pig brain	68.7	0.945	3.78	0.026

$$\frac{1}{c} \frac{d\phi(r,t)}{dt} = \nabla[D(r)\nabla\phi(r,t)] - \mu_a\phi(r,t) + S \quad (1)$$

ここに、 $\phi$ はある位置 $r$ と時間 $t$ における光の強度 (fluence rate) を表わし、 $D$  (mm<sup>2</sup>)は光拡散係数、 $\mu_a$  (mm<sup>-1</sup>)は吸収係数、 $S$ は光源、 $c=0.226$ mm/psは光速である。通常、 $D$ は散乱係数を用いて式(2)のように定義される<sup>(8)</sup>。

$$D = 1/3\mu'_s = 1/3(1-g)\mu_s \quad (2)$$

この式からも分かるように光拡散方程式は光の散乱が等方的な場合にのみ成立する。従って、上に述べたように表面に入射した場合には表面からある厚さ以内では等方散乱近似が成り立たないため光拡散方程式は厳密ではない。式(1)に対応する境界条件は式(3)であり、また、表面で観測される物理量 $\Phi$ は式(4)で与えられる $\phi$ の流束である。

$$-D(r)\frac{d\phi(r,t)}{dn} = \frac{1}{2}\phi(r,t) : \text{at the surface} \quad (3)$$

$$\Phi = -D(r)\frac{d\phi(r,t)}{dn} : \text{at the surface} \quad (4)$$

ここで $n$ は媒体から外へ向かう表面での垂直方向を意味する。

式(1)は熱伝導方程式と同じ形をしている。この方程式は対象物が単純な形状でパラメータも一様であれば解析的に解くことができる<sup>(8,9)</sup>。より一般的に、複雑な形状でパラメータも非一様分布をしている場合には有限要素法によって解くことができる。

### 3. 有限要素法による解析

まず、一様な光学パラメータを持つ平行平板媒体に極短パルス光を入射したときの媒体内光伝播を解析する<sup>(10)</sup>。図5はそれを模擬する厚さ10mm、直径40mmの円板の4分の1で、有限要素のメッシュを示している。妥当な解を得るためにはメッシュ間隔は平均散乱距離 $(1/\mu'_s)$ 以下であることが望ましい。図6は円板の中心に極短パルス光を時間0で入射した後の光強度分布 $\phi$ の有限要素解析結果を示している。ただし、計算の不

安定を避けるため時間 $t=7.4$ psにおける解析解<sup>(9)</sup>から出発した。時間が経過するにつれ光強度の分布が広がって行くのが分かる。ただし、中心部の光強度は時間の経過と共に減少して行き、250psでは7.4psの時よりも約5桁小さくなっている。光強度分布は徐々に広がり、最終的には厚さの中心線に对称となる。

入射点の反対側に透過した光の透過光強度等は図7のようになる。図7には同じ散乱係数( $\mu'_s=1.0$ mm<sup>-1</sup>)で吸収が無い場合とある場合( $\mu_a=0.1$ mm<sup>-1</sup>)の透過光強度および両者の光学厚さの差 $\Delta OD$ を示している。滑らかな線が有限要素法により光拡散方程式を解いた結果で、凹凸の激しい曲線はモンテカルロ法による結果で

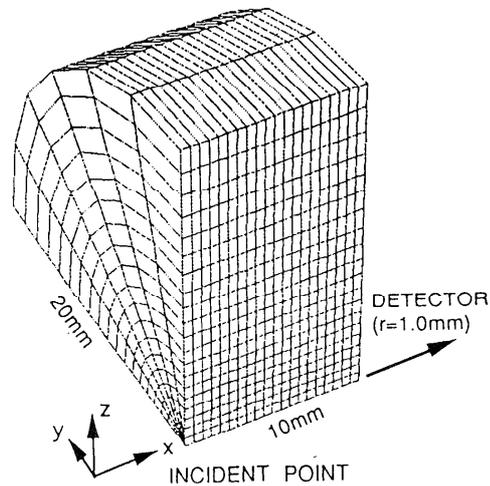


図5. 平行平板 (円板) 媒体の有限要素モデル<sup>(10)</sup>

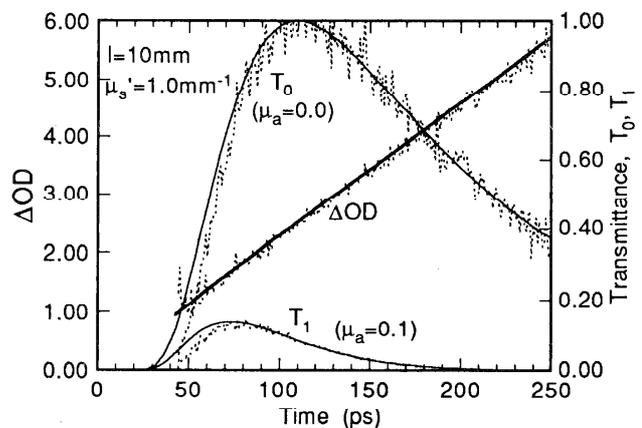


図7. 入射パルス光の透過光強度と光学厚さの差の変化<sup>(10)</sup>

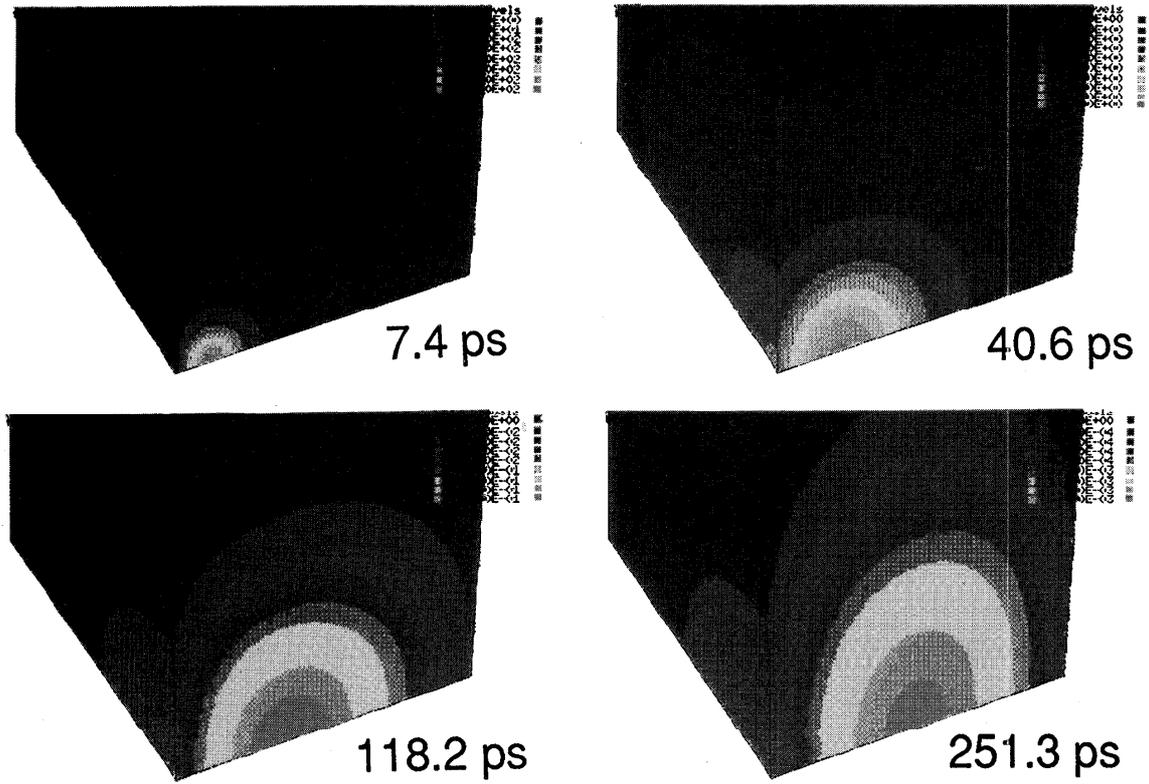


図6. 円板媒体内の入射パルス光伝播の様子<sup>(10)</sup>

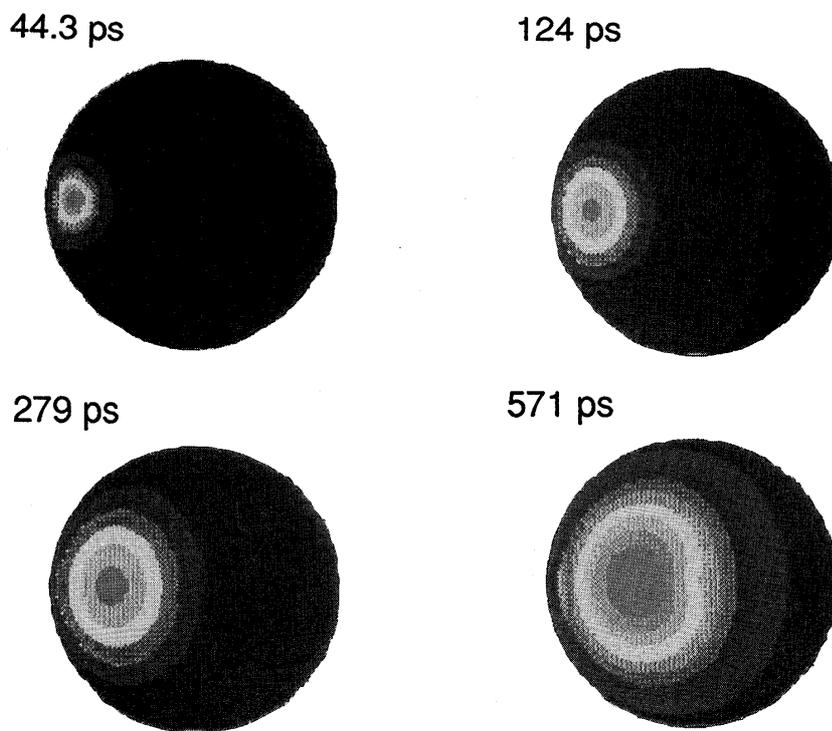


図8. 円柱媒体内のパルス光伝播の様子

ある。光拡散方程式を解いた透過光強度の結果は早い時間を除けばモンテカルロ法による結果とよく一致している。

円柱形状で内部の光学パラメータが非一様媒体の結果<sup>(10)</sup>を次に示す。図8は散乱係数が一様( $\mu_s'=1.0\text{ mm}^{-1}$ )で、円柱の軸を中心に直径5mmの部分のみが吸収係数( $\mu_a=0.02\text{ mm}^{-1}$ )を持つ場合での、入射点を含む面内における光強度分布の変化を表している。571psでは中心部の吸収の影響が明らかである。このように有限要素法を使えば任意の非一様な媒体内の光伝播を推定することができる。

#### 4. パルス光の伝播に関する実験結果

極短パルス光を厚さ10mmの無限平行平板に入射し、解析結果と実験結果を比較する<sup>(11)</sup>。実験は図9に示すように約40psのパルス幅を持ち784nmの近赤外光レーザを光源とし、ラテックス粒子を浮遊させて散乱係数を $\mu_s'=1.0\text{ mm}^{-1}$ に調整した水溶液を生体模擬試料とし、時間分解能が10ps以下の光オシロスコープで透過散乱光を検出した。

実験結果、および、モンテカルロ法と光拡散方程式を有限要素法で解いた計算結果を図10に示す。実験結果とモンテカルロ法および有限要素法の結果はほぼ一致している。計算において試料セルと空気との屈折率の差による界面反射を考慮すれば、計算結果と実験

結果はより良く一致することが分かっている。パルス光の伝播挙動が両解析手法によりうまく記述されることが示された。

#### 5. 光CTの各種の手法

光CTは開発中の技術であり、各種の手法が考えられ研究されている。それらは次のように分類される。(A)直進または近軸光を検出してX線CTのアルゴリズムを用いる。(B)散乱光成分も検出してX線CTのアルゴリズムを用いる。(C)新しい逆問題アルゴリズムにより画像再構成を行なう。

(A)は、わずかではあっても直進またはそれに近い光(いわゆるBallistic PhotonやSnake Photon)を入射光軸上の反対側で検出して、X線CTのアルゴリズムを用いる手法である。検出手法としては、パルス光を用いる(1)最短飛行時間法<sup>(12)</sup>、(2)時間ゲート法<sup>(13)</sup>、連続光を用いる(3)空間的コリメーション法<sup>(14)</sup>、(4)コヒーレント検出法<sup>(15)</sup>などが研究されている。しかし、非常に良い感度の検出器を用いても数cm以上の生体をほとんど散乱せずに透過する光は現在の技術では検出が困難であり、この手法を5cm以上の生体に適用することは難しい。

(B)は散乱光も検出し、その信号から直進光の情報を取り出す手法である。(1)パルス光を用いる時間外挿光度法<sup>(7,16)</sup>、(2)連続光を用いる空間的逆算法<sup>(17)</sup>があ

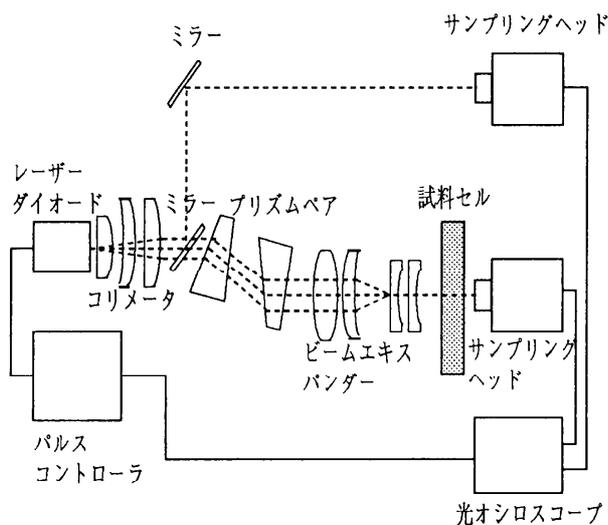


図9. 時間分解パルス光透過実験装置<sup>(11)</sup>

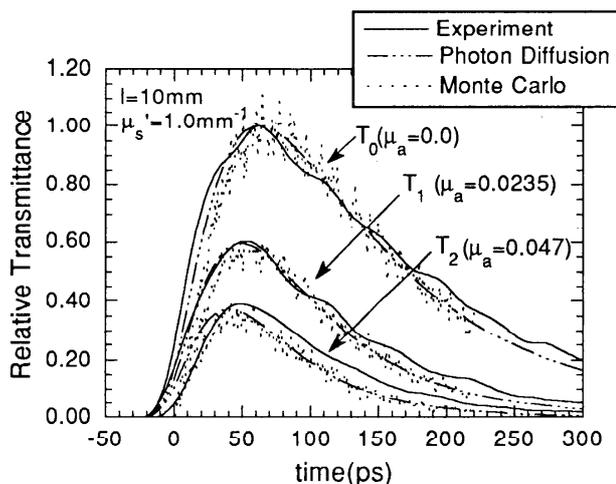


図10. 平行平板媒体の透過パルス光の実験と解析結果<sup>(11)</sup>

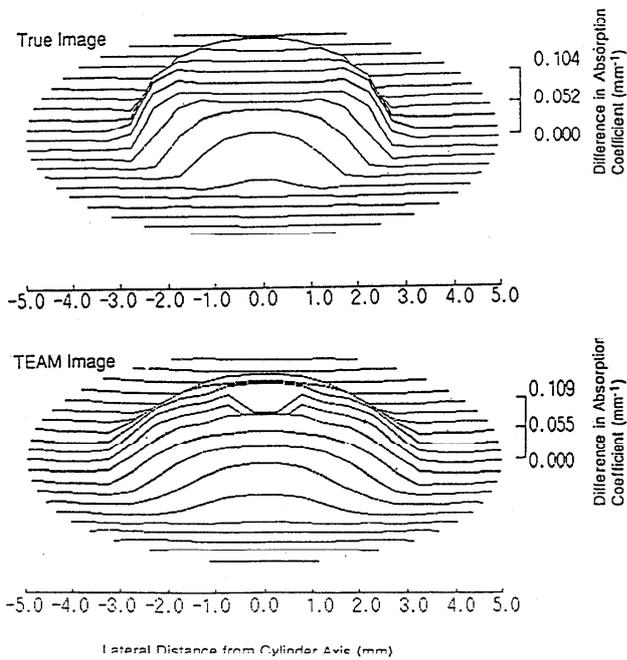


図11. 吸光度時間外挿法のシミュレーション結果<sup>(16)</sup>

る。また、(3)パルス光を用いる立ち上がり時間法<sup>(18)</sup>も研究されている。

時間外挿吸光度法は図10のような測定結果を基に吸光度差 $\Delta OD(t) = \ln(T_0(t)/T_1(t))$ を求めると、外挿により最短時間 $t_{min}$ での値 $\Delta OD_{min}$ が得られる。これはパルス光照射点と透過光検出点を結ぶ直線上の吸収係数の差の線積分値であるため、いわゆるプロジェクションデータとなる。透過光の強度 $T_0, T_1$ は最短時間 $t_{min}$ ではほとんどゼロであるため、 $T_0, T_1$ から直接プロジェクションデータを得ることはできないが、両者の比は $t_{min}$ で有限な値を持つ。これにより強く散乱された信号から吸収の情報を引き出すことができる。得られたプロジェクションデータに対しX線CTのアルゴリズム、いわゆるフィルター補正逆投影法を適用することができる。モンテカルロ法によるシミュレーション結果を図11に示す<sup>(16)</sup>。真の画像をうまく再構成していることが分かる。

(C)はいわゆる逆問題解析手法であり、以下にこのような手法について述べる。

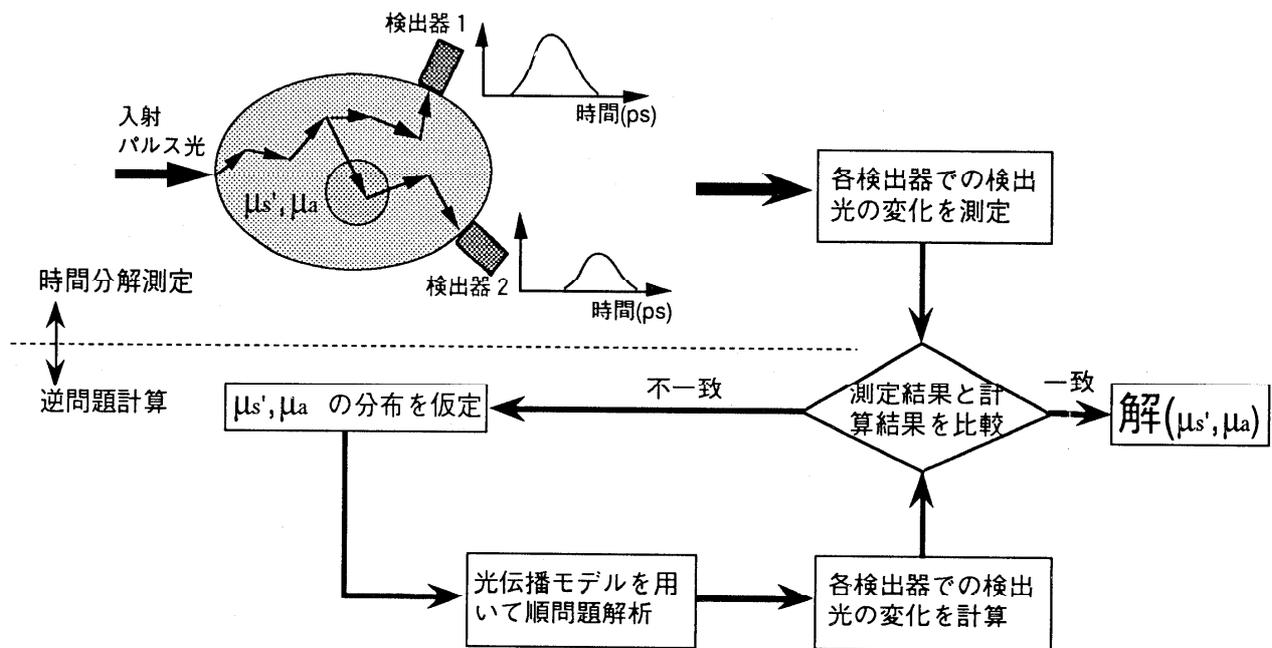


図12. 逆問題アルゴリズムによる光CT

## 6. 内部の吸収係数分布を推定する逆問題

光CTは強い散乱体中の吸収に関する情報を透過した光を測定することにより推定する技術であり、数学的には逆問題である<sup>(19)</sup>。前節まではパルス光の挙動を理解し、内部の光学物性分布を知って測定される透過光強度を予測する、いわゆる順問題を述べたが、順問題、および、逆問題はは次のように記述される。

[順問題]

対象物 $\Omega$ の表面 $\partial\Omega$ において光源の分布 $\{q\}$ が、 $W$ の内部において光学パラメータの分布 $\{p\}$ が与えられたとき、表面 $\partial\Omega$ における測定値分布 $\{M\}$ を見出す。このプロセスをオペレータ $F$ で表せば数学的には次式となる。

$$\{M\}=F[\{p\};\{q\}] \quad (5)$$

[逆問題]

表面 $\partial\Omega$ における光源の分布 $\{q\}$ と測定値分布 $\{M\}$ が与えられたとき $W$ の内部における光学パラメータの分布 $\{p\}$ を見出す。

$$\{p\}=F^{-1}[\{M\};\{q\}] \quad (6)$$

逆問題のプロセスは図12に示されるようなものである。

このような逆問題は生体内部の導伝率分布を求める電気ポテンシャルCTや地中の導伝率分布を調べる電

気探査、音波による生体内部の診断、表面での温度測定から内部の発熱源を同定などと同じ問題である。これらの逆問題は一般に未知数の個数と測定データの個数とが一致しないため複雑な計算処理を必要とする。また、内部の物性パラメータ分布が大きく変化しても表面で観測される測定値がそれほど大きく変化しないことがあるため、解は入力データに含まれる小さな誤差や雑音に強く影響される。さらには間違っただけが得られることもある。このため雑音の影響を弱めたり、間違っただけを排除する「適切化」や「制約条件」、「先験情報」を必要とする。

光CTに上述の逆問題解法を適用する試みがいくつか行なわれている。それらは光拡散方程式を基に有限要素法を用いる方法<sup>(20)</sup>、モンテカルロ法を用いる方法<sup>(21)</sup>、散乱を6光束で近似する方法<sup>(22)</sup>などである。これらの方法によりシミュレーション結果として図13のような画像<sup>(20)</sup>が得られている。しかし、図からも分かるように真の分布を忠実に表しているとは言いがたく、その他の手法にもそれぞれに長所・短所があり、また、実際の生体に適用したときにどのような画像が得られるのかは未知である。このような逆問題解法の発展が望まれている。

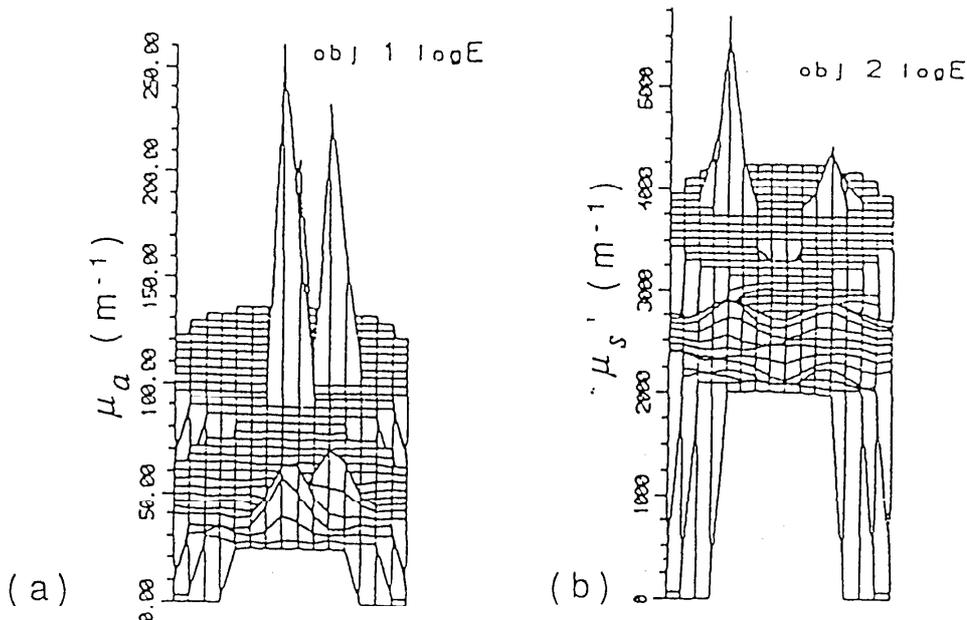


図13. 逆問題解析による光CTシミュレーション結果 (上：真の画像，下：再構成画像)

(a)吸収係数変化の画像(b)散乱係数変化の画像<sup>(20)</sup>

## 7. おわりに

連続光を用い、マウスなどの小動物を対象とし、3cm程度の大きさで特殊な条件下では、X線CTのアルゴリズムにより不鮮明ではあるが光CTの実際の画像がいくつか得られている<sup>(23,2)</sup>。さらに大きな対象では極短パルス光を用いる方法が有力視され、前節で述べたような複雑な逆問題解法が主流になると考えられる。光CTは今後、研究が進み数年後には実際の生体で光断層の画像が得られるのではないかと期待されている。

## [文献]

1. 田村守, 光を使った生体計測---光CTへの道---,  
OplusE, No.90(1987-5)-No.101(1988-4).
2. 田村守, 続・光を使った生体計測---光CTへの道---,  
OplusE, No.126 (1990-5) -No.142 (1991-9).
3. T. Tamura, et al., "New Instruments for Monitoring Hemoglobin Oxygenation," *Oxygen Transport to Tissue XI*, pp.103-107, 1989, Plenum Press.
4. A. Ishimaru, "Wave Propagation and Scattering in Random Media," pp. 175-190, 1978, Academic Press.
5. B. C. Wilson and et al., "Indirect versus direct techniques for the measurement of the optical properties of tissues," *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 46, No. 5, pp. 601-608, 1987.
6. 山田, 長谷川, 「生体の光の散乱, 吸収のモンテカルロ法によるシミュレーション」, 日本機械学会論文集 (B編), 56巻524号, pp.1173-1177, 1990.
7. 山田, 長谷川, 「強い散乱体の光CTシミュレーション」, 日本機械学会論文集 (B編), 57巻540号, pp. 2822-2825, 1991.
8. S. Ito and K. Furutsu, "Theory of Light Pulse Propagation Through Thick Clouds," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 70, pp. 366-374, 1980.
9. M. S. Paterson and et al., "Time resolved reflectance and transmittance for the non-invasive measurement of tissue optical properties," *Appl. Opt.*, Vol. 28, NO. 12, pp. 2331-2336, 1989.
10. Y. Yamada, Y. Hasegawa, "Time-dependent FEM analysis of photon migration in random media," *Proc. of SPIE conf.*, Vol. 1888, No. 19, 1993, SPIE.
11. 高橋, 山田, 長谷川, 計測自動制御学会論文集, Vol. 29, pp. 883-887, 1993.
12. K. M. Yoo and R. R. Alfano, *Opt. Letters*, Vol. 15, pp. 320-322, 1990.
13. F. Kawaguchi and et al., *Med. Biol. Eng. & Compt.*, Vol. 29-suppl., p. 959, 1991.
14. 北間 他, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE91-16, pp. 1-6, 1991.
15. 戸井田 他, 電子情報通信学会論文誌, J74-C-I, pp.137-150, 1991.
16. 山田, 長谷川, 「強い散乱体の光CTシミュレーション (第2報, ファンビーム方式)」, 日本機械学会論文集 (B編), 59巻561号, pp. 1766-1769, 1993.
17. R. Araki and I. Nashimoto, *Proc. SPIE Conference*, Vol. 1431, pp. 321-332, 1991.
18. 杉山, 清水, 山木, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE92-81, pp. 105-111, 1992.
19. 岡本著, 武者監修, 「逆問題とその解き方」, オーム社, 1992.
20. S. R. Arridge and et al., "Performance of iterative reconstruction algorithm for near infrared absorption and scatter imaging," *Proc. of SPIE conf.*, Vol. 1888, No. 39, 1993, SPIE.
21. R. L. Barbour and et al., "Imaging of Subsurface Regions of Random Media by Remote Sensing," *Proc. SPIE conf.*, Vol. 1431, pp. 192-203, SPIE.
22. J. R. Singer, "Image Reconstruction of the Interior of Bodies That Diffuse Radiation," *Science*, Vol. 248, pp. 990-993, 1990.
23. 高田, 「光CTの開発の現況-阪大蛋白質研究所との共同研究-」, 新医療, 1992-7, pp. 32-35.

## 生体膜のエネルギー変換

池上 明 (慶応義塾大学医学部)

### I 生体とエネルギー

#### 1) 光合成と化学エネルギー

地球上のあらゆる生物のエネルギー源は太陽の輻射エネルギーである。太陽光のエネルギーは、光合成によって水と二酸化炭素から合成される炭水化物の化学結合のエネルギーとして固定され、植物に貯蔵される。動物は植物に蓄積した炭水化物を消費し、その生命活動に必要なエネルギーを獲得している。

一般に生命活動に必要なエネルギーの主なものは、

- 1) 生体の維持、生長に必要な生体分子の生合成、
  - 2) 生体内の物質輸送、特に細胞内外へのイオンや分子の能動輸送、
  - 3) 筋肉収縮などによる外部にたいする仕事、
  - 4) 熱エネルギーによる体温の保持などである。
- 光合成によって合成されたグルコースなどはいわゆる呼吸作用により、光合成とは逆に最終的には水と二酸化炭素に分解する。その過程では数多くの酵素が作用し、生体に必要な多くの化合物が合成される。そしてエネルギー的に重要で、生体内の石油或いはエネルギー通貨といわれるATPも多数合成される。例えばグルコースが酸化されて水と二酸化炭素に分解されると686 kcalの自由エネルギーが放出されるが、生体はこのエネルギーを長い反応経路を使って小出しにし有効に利用している。

ATP (adenosine triphosphate)はその磷酸結合が切れてADP (adenosine diphosphate)に変わるときに約7 kcalのエネルギーを放出し、能動輸送や筋収縮などエネルギーを必要とする生体内あらゆる現象に関与している。

すなわち生物は光合成によって獲得したエネルギーを消費して、種々の生命活動を維持しているわけである。

#### 2) 生体エネルギー変換

しかしエネルギー消費という表現は物理学的、あるいは熱力学には正確ではない。物理学的にはエネルギーは不変で、決して無くなるわけではなく他の形のエネルギーに変換されるだけである。動物個体で見ても、日常的に行われているのは体内でのエネルギー変換で、摂取された食物に含まれる自由エネルギーはそれによって合成される他の生体物質の自由エネルギーや、能動輸送による電気化学的エネルギーに変換され、さらに運動による力学的エネルギーや熱エネルギーに変換されて、最終的には二酸化炭素や水などと共に廃棄物として外部に放出される。エネルギーは体内で定常的に変換され流れるのみで残らない。

動物個体をマクロに見たエネルギーの流れは植物摂取で動物体内で発生した熱の表面への熱伝導と、血液循環等による熱の移動、発汗等による体表面で熱と水の放出、ATPのエネルギーを利用した筋肉運動などによる外部への仕事等が考えられる。

#### 3) エネルギー変換のメカニズムと分子機械

エネルギー変換をミクロに見るとどうなるだろう。最近の生物科学の発展で、分子レベルでのエネルギー変換の道筋はかなりはっきりしてきたが、その変換の分子的メカニズムは不明なところが多い。すなわちエネルギー変換のシナリオと役者はほぼ出そろっているが、役者たちが舞台上で演技して姿は断片的にしか見えていない。

筋肉収縮のメカニズムも、アクチンとミオシンという二つのタンパク質が主役で、アクチンの重合体の上をミオシンがATP分解のエネルギーを使って一方に移動するというシナリオははっきりしている。しかし、例えていえば、ミオシンが2本の足を使って歩くように移動しているのか、或いは滑っているのかといった点で今ホットな議論が行われている。

生体膜も生体エネルギー変換の重要な場である。そ

ここでは膜蛋白質分子一つ一つが機械のように作動し、種々の形のエネルギー変換機能を行っている。

何れにしても生体エネルギー変換を担っているのはタンパク質で、これらのタンパク質は分子機械と呼ばれている。

分子機械の研究分野では物理的な新しい測定技術が急速に発達し、ナノメートル、ナニュートン或いはナノセカンドといった微量の測定が一つ一つの分子で行われる時代になっており、その分子メカニズムの解明も近いであろう。

最近の工業技術の発展の一つの方向も微少化で、マイクロメートルレベルの加工技術に支えられたミリメートルレベルの機械の開発が進んでいるという。

生物の分子機械はこの様な微少機械の一つの究極の姿を示すもので、その特徴の一つは、熱運動と同じ程度のエネルギーを利用して一方向に仕事したり、イオンを個々に選別して一方向に向けて輸送するなど、いわゆる「マックスウェルの魔物」の実態に近い事であろう。さらに分子機械の特徴は、その機械自身の制作や修復が同じレベルで自立的に行われている点である。以下では生体膜で行われている種々のエネルギー変換機能を概観し、メカニズムの詳細が明らかになりつつある光プロトンポンプについてやや詳しく説明する。

## II 生体膜のエネルギー変換

### 1) 生体膜の組成と構造

まず生体膜の組成や構造、物性について概観しよう。生体の基本的単位である細胞の表面には厚さ100Å程度の膜状構造体があり、原形質膜または細胞膜と呼ばれている。細胞の中にも葉緑体やミトコンドリアのような色々な構造体や顆粒が存在し、それらを包んでいる膜も原形質膜と類似した構造を持っている。生体膜はこれら原形質膜、チラコイド膜、ミトコンドリア膜など細胞を構成して膜状構造体の総称である。

生体膜の主成分は蛋白質と脂質で、脂質の多くは親水的極性基をもつリン脂質とコレステロールのような中性脂質である。生体膜に占める膜蛋白質の重量割合多いもので、75%、少ないもので40%程度である。素鎖部分にもある。脂肪酸の炭素鎖には18—20個

程度のCがあり、その中のいくつかは不飽和結合をしている。

生体膜は、これら脂質分子が、疎水的な炭素鎖の部分を内側に親水的な極性基部分を外側にして配列した、厚さ50Å程度の脂質二層膜を基本的な構造としている。そして種々の膜機能蛋白質はこの二層膜を貫通したり、あるいはその表面近くに入り込んで機能している。脂質二層膜は二次元的な液体に近く流動的で、その中の蛋白質は膜面に平行にかなり自由に動いている（流動モザイクモデル）。しかし形質膜などでは膜の裏打ち蛋白質があり、それが網目構造を形成して流動性を抑えている場合もある。

### 2) 生体膜の機能

生体膜は細胞やその中の小胞体、顆粒の表面を構成しているが、単なる境界ではない。元来生物はその環境との相互作用で生きているのであり、環境と独立しては生きて行けない。生体膜は細胞即ち生物とその環境との境界に位置し、生物と外界との間のエネルギーや物質の変換、交換、あるいは外部からの情報の受容などの最前線に立ち、生命現象に欠くことのできない重要な機能を担っている。ここではエネルギー変換の面からその機能を概観しよう。

### 3) 光合成と呼吸

最初に述べたように地球上に広く分布している生物のエネルギー源は太陽光である。葉緑体のシラコイド膜では一連の光合成酵素群から成る電子伝達系によって、太陽光のエネルギーを利用して炭酸ガスと水から糖などの炭水化物を合成している。いわゆる光合成である。植物ばかりでなく、細菌の中にも植物とよく似た光合成機能を持ったものがある。光合成細菌のクロマトフォアでは植物とよく似た光合成が行われている。

動物はこのようにして合成された炭水化物を食物として摂取し、活動のエネルギー源としている。すなわち糖、脂質、などの炭水化物はその炭素部分が代謝経路により酸化されCO<sub>2</sub>として放出される。一方残された水素部分は脱水素酵素により補酵素を還元する。還元された補酵素のHはミトコンドリア膜の電子伝達系と呼ばれる一連の呼吸酵素群により酸化され水になる。

この過程で呼吸によって得た酸素が利用される。

すなわち光合成と呼吸とは全体としてみると逆反応で、水と炭酸ガスから炭水化物を合成し、太陽光エネルギーをその中に固定するのが光合成で、炭水化物を水と炭酸ガスに分解して再びそのエネルギーを放出する過程が呼吸である。

光合成や呼吸で重要な役割をしているのは電子伝達系である。もともと化学反応は電子のやりとりであるが、電子伝達系は電子を生体膜の片側から反対側に一方向に次々と移動させ、光や化学結合のエネルギーを効率よく利用するように組織された系である。この電子伝達系で主役を勤めるのがヘム蛋白質である。

ミシェルらが光合成細菌の反応中心にあるヘム蛋白質の立体構造をX線回折から見事に解析し、ノーベル賞を授賞したのは比較的最近のことである。複雑な電子伝達系の実体を目に見える形で示した意義は大きい。

#### 4) イオン移動と電気化学ポテンシャル

光合成の電子伝達系で電子はチラコイド膜の内側から外側に流れる。呼吸の電子伝達系で流れる電子はミ

トコンドリア内膜の外膜側からマトリックス側に流れる。電子の移動を直接測定することは困難であるが、電子が膜の一方から他方に移動すると、移動先側では膜外のプロトンが+電荷を失って膜内に入り、移動側では水素原子が電子を失ってプロトンH<sup>+</sup>となって膜外に放出される。すなわち結果として電子の流れと逆方向にH<sup>+</sup>が移動したことになる。

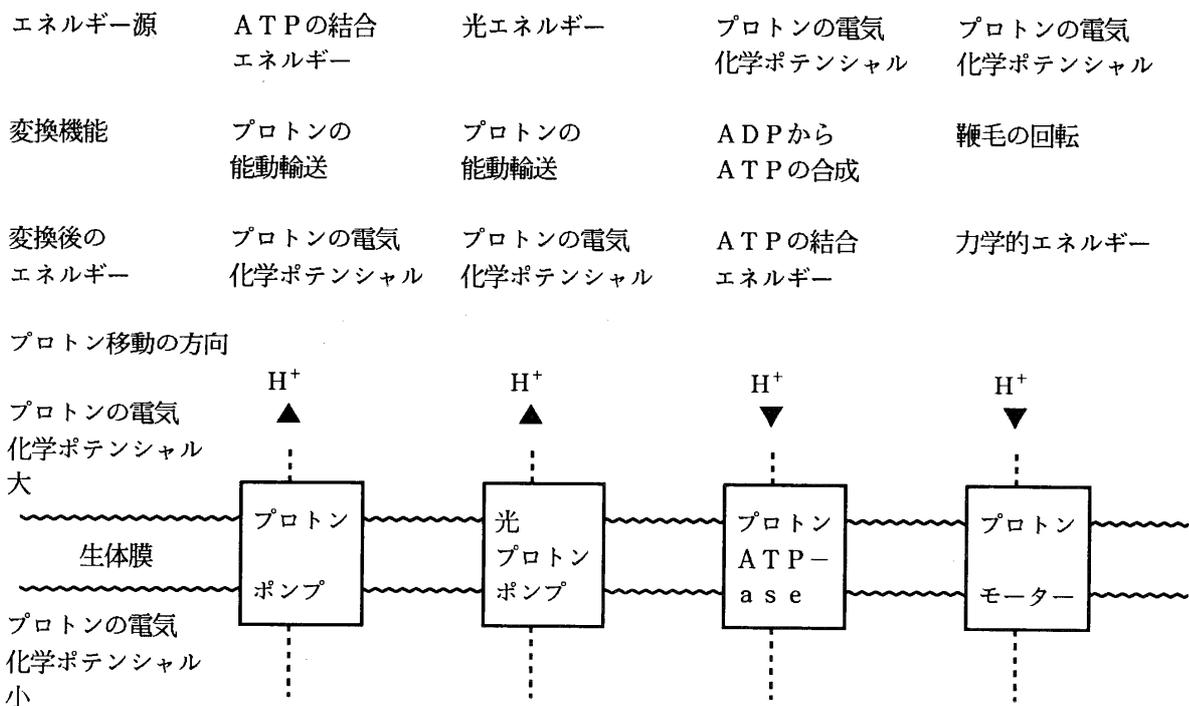
膜を通してプロトンが移動すると細胞膜の両側にプロトンの電気化学ポテンシャル差

$$\Delta \mu_{i-o} = RT \ln [H^+]_i / [H^+]_o + F \Delta \Psi_{i-o}$$

が形成される。ここで電気化学ポテンシャル差 $\Delta \mu$ 、膜電位差 $\Delta \Psi$ は細胞の内側(i)と外側(o)の差である。またRは気体定数、Tは絶対温度、Fはファラデー定数である。

光合成での太陽光エネルギーや呼吸での炭水化物の自由エネルギーの一部は、このような膜を介したプロトンの電気化学ポテンシャルのエネルギーに変換され

図1 生体膜のエネルギー変換分子機械



貯蔵される。そして細胞はこのエネルギーを必要に応じて他のエネルギーに変換して利用している。図1にその概要を示し、以下で説明する。

### 5) プロトンATPase

このATPを合成する酵素はプロトンATPaseと呼ばれ、いくつかのサブユニットからなる膜蛋白質でリン脂質二層膜を貫通している。膜を隔てたプロトンの電気化学ポテンシャル濃度差によってこの酵素の中を流れるプロトンの力を利用してADPからATPを合成する。すなわち電気化学ポテンシャルのエネルギーを化学結合のエネルギーに変換する分子機械である。

### 6) イオンポンプ

一方逆にATPをADPとリン酸に分解し、その結合エネルギーを使ってプロトンを、電気化学ポテンシャル差に逆らって能動輸送するタンパク質もある。

細胞膜にはプロトンの外、NaやK、或いはCaなど種々のイオンポンプが存在し、それらがATPのエネルギーを使ってイオンを能動輸送し、細胞内外のイオンの分布を熱平衡からずらしている。

すなわちイオンポンプはATPのエネルギーを膜の両側の電気化学的ポテンシャル差に変換する機能を持った分子機械である。そして逆に細胞がATPを必要

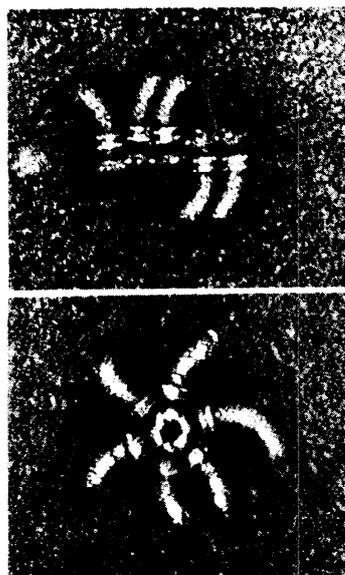
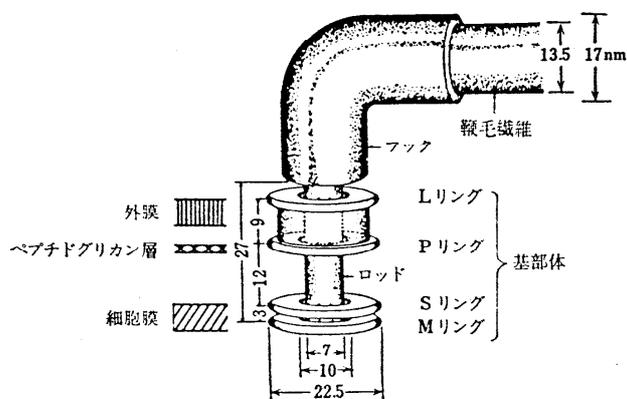
とするとき、プロトンATPaseを使ってATPを合成する。また生体膜が外界からの刺激を受容し急速に情報処理出来るようにしている。

好塩菌の紫膜には光のエネルギーを吸収してプロトンを菌体外に能動輸送する特異な蛋白質バクテリオロドプシンがある。これは光プロトンポンプと呼ばれており、後でやや詳しく説明する。

### 7) イオンモーター

細菌の鞭毛の根元にはイオンモーターと呼ばれる数多くのサブユニットから出来た蛋白質の分子機械がある。これは細胞内外に出来たプロトンの電気化学ポテンシャル差を、鞭毛の回転という力学的エネルギーに変換する分子機械がある。プロトンを水と置き換え、プロトンの電気化学ポテンシャル差を水の位置エネルギー差と置き換えて考えれば、このイオンモーター作動原理は正に水車と同じで、よりくはしくは直流モーターに近いという。最近の *Journal Molecular Biology* の表紙を飾ったこのイオンモーターの主要部分の電顕像とその模式図(帝京大学相沢真一等による)を図2に示しておく。人工の回転シャフトに酷似したものが実際の細胞にあり、それらがタンパク質の対称的な集合体で出来ている事実は驚かされる。

図2 鞭毛基部の模式図と電子顕微鏡像



### III 紫膜の光プロトンポンプ

#### 1) 光プロトンポンプとは

*Halobacterium halobium* という好塩菌の細胞膜には、タンパク質バクテリオロドプシン (bR) が二次元的結晶状に配列した紫色の部分があり、紫膜と呼ばれている。この紫膜のbRは光のエネルギーを利用してプロトンを細胞内から外に少なく見積もっても1万倍の濃度勾配に逆らって輸送するという、強力な光プロトンポンプの機能をもっている。

紫膜は非常に安定で、光合成などと違って分子量の小さいbR分子一種類で光プロトンポンプという特徴ある機能をしているため、また生体膜に広く存在しているイオンポンプのメカニズムを研究するための一つの代表的な材料としても、メカニズムの解明を目指した生物物理的研究が盛んである。

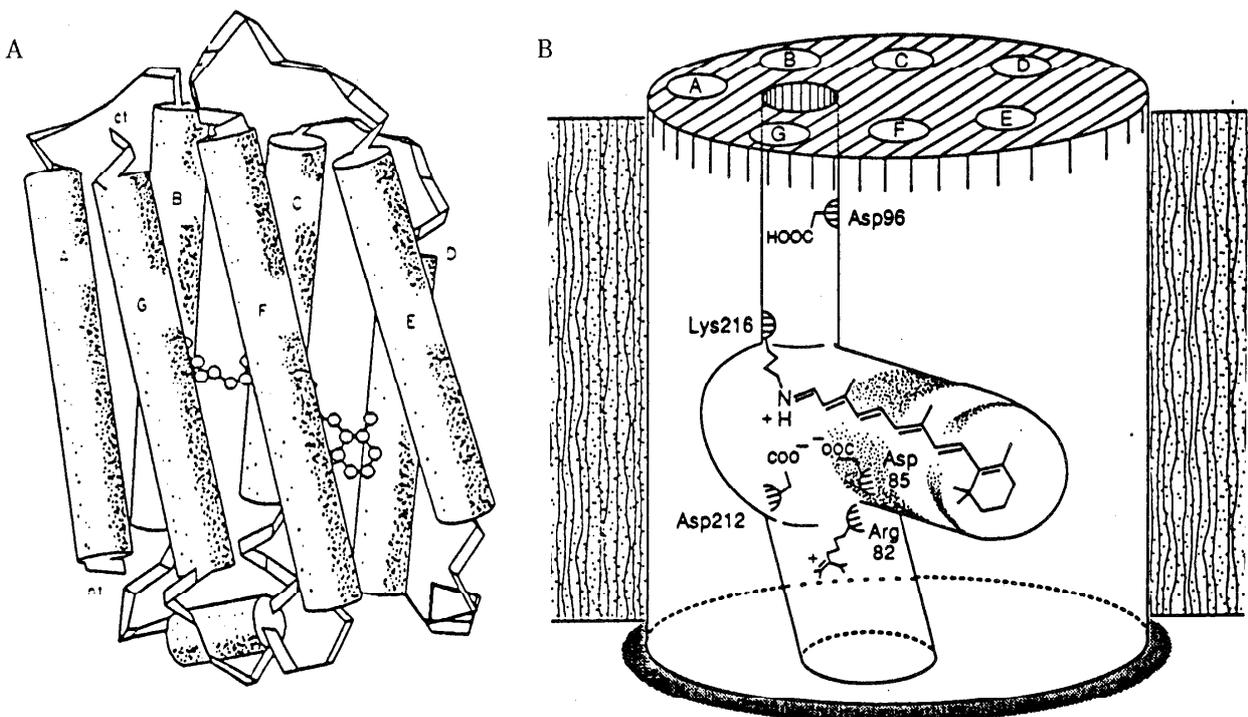
一方紫膜自体がbRの二次元的結晶であるため光センサーや画像記憶素子として応用するための研究も始まっている。

#### 2) bRの構造

bRは248個のアミノ酸からできており、216番目のLysにレチナールがシッフ塩基結合で結合し、これが560nmの光を吸収してポンプを動かしている。紫膜の電子線回折像から解析された立体構造を図3に示す(Hendersonらによる)。しかし分解能が低くポンプの機能に最も重要な色素レチナールの立体配置さえはっきりしない。図3Aは中性子散乱や分光学的な解析結果なども加えて推定されたもので、7本の $\alpha$ -ヘリックスが膜面にほぼ垂直に並び、レチナールがシッフ塩基結合しているLys216は膜の中央近くにある。

レチナール付近のbRの構造でプロトンポンプに直接関係している部分が図3Bに示してある。注目すべき点は、膜の細胞質側(C末端側)の表面近くに電離性の基をもったアスパラギン酸(Asp96)があり、その反対側、すなわち細胞の外側(N末端側)にAsp85があることである。この2つのアスパラギン酸がポンプの機能に深く関係している事は遺伝子操作によりアミノ酸を置換したbR研究からも分かっている。

図3 バクテリオロドプシンの立体構造



3) 光反応サイクル

b Rのレチナールが光を吸収すると全トランスから1 3 シスへ異性化し、吸収の異なる幾つかの中間体を経て元に戻るが、この間にプロトンが能動輸送される。図4は、中性pHのb Rに光パルスを当てた直後の、光反応中間体の時間的变化と各中間体中のレチナールの構造状態を示した光反応サイクルである。

まず光で励起されない暗所に放置し熱平衡状態にあるb Rはb R tとb R cがほぼ1 : 1の割合で混合し平衡を保っている。暗所でのb R tからb R cへ構造変化は2時間程度と遅い(暗順応)。しかし弱い光を当てたときのb R cからb R tへの逆変換(明順応)は早い。

b R'のレチナールが570 nm付近の光を吸収すると、I, Jなどの励起状態を経てレチナールが全トランスから1 3 シス、1 5 トランスに変化し、K590中間体(サフィックスはこの中間体の光吸収波長を示す)ができる。その間の時間は10 psと速い。したがってこの間にb Rのタンパク質側に大きな構造変化が起こるとは考えられない。

KからL, M中間体へと変化するにつれて、順次タ

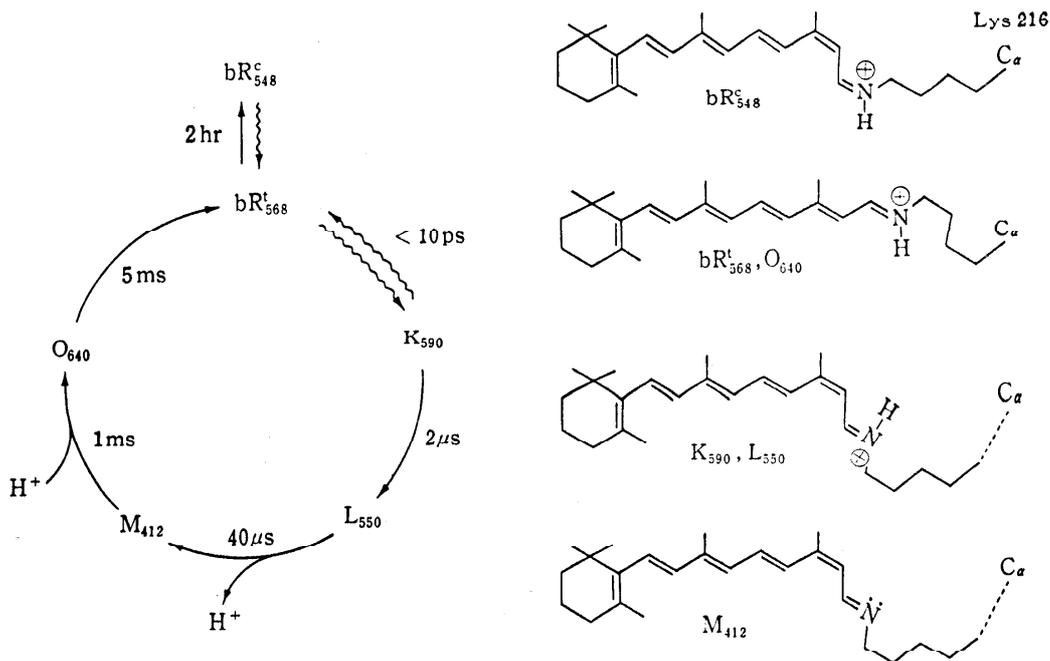
ンパク質の構造や電荷分布が変化するが、レチナールは1 3 シス、1 5 トランスのままである。M中間体は図3に示すごとく、シッフ塩基結合が脱プロトン化している点の特徴であるが、b R'とMとではタンパク質側の構造にもわずかながら差があることは種々報告されている。

Mからb Rにもどる過程はpHに依存する。pHの中性または弱酸性の条件で温度の比較的高いところでは、M中間体は主にO中間体をへてb R'にもどる(図3)。O中間体のレチナールは1 3 トランスでシッフ塩基結合もプロトン化しておりb R'と同じである。しかし吸収波長は明らかに異なりb Rのタンパク質部分の構造が元に戻っていない事を示している。

我々は強い励起光で各中間体の吸収を詳しく調べた結果、アルカリ性になるとMのつぎにNがくる結論した。Nは1 3 シス、1 5 トランスであるが、Mと違ってシッフ塩基結合はプロトン化している。

プロトンはLからMの過程で一個紫膜から細胞の外側に放出され、その後MからOまたはNへの過程で細胞質から紫膜に一個入り込む。

図4 バクテリオロドプシンの光反応サイクルと中間体(左)とレチナールの構造(右)



#### 4) 光プロトンポンプのメカニズム

光反応サイクルに伴ってbRのアミノ酸残基の電離状態がどう変化するかはFTIRなどで知られており、遺伝子操作で電離性アミノ酸残基を置換した系の測定も合わせると、図3Bのレチナールの近くにある、Asp96、Asp85のpK値がbR<sup>t</sup>と変化している事が分かる。

一方先に述べたように暗所での熱平衡状態では、bR<sup>t</sup>とbR<sup>e</sup>がほぼ1対1の割合で平衡している。しかしレチナールを単独に取り出したときの熱平衡状態ではトランスのほうが安定で、1、4Kcalほど自由エネルギーが低い。したがってbRの熱平衡状態でトランスとシスが1:1であるということは、bRのタンパク質部分の立体構造がシス型に有利になっており、レチナール単独の時の自由エネルギーの差を打ち消していると考えられる。

bR<sup>t</sup>とbR<sup>e</sup>でタンパク質の高次構造には大きな差は見つかっていない。しかし我々は2つの状態で膜の表面電荷分布に差があることを見つけた。すなわち、紫膜の両面の少なくとも4つ以上の電離基のpKがbR<sup>t</sup>とbR<sup>e</sup>で変化している。

これらの結果はポリエーテル鎖の全トランスと13、15シスのエネルギー差の一部は電離基の結合のエネルギーの差に変換されていることを示唆している。

光反応サイクルの各段階のエンタルピーやエントロピーを熱測定や反応速度から推定するとM中間体の自由エネルギーはbR<sup>t</sup>やbR<sup>e</sup>より10kcal程度高く不安定な状態にある。これはbRが光励起され全トランスから13シス、15トランスに10psの早さで変化してもタンパク質の立体構造はそれほど早く追従できず、構造に歪が残った状態にあるためと考えられる。そしてLからMに構造変化する過程でシッフ塩基のpKが変化し、プロトンがはずれ、Asp85のpK変化と連動して外側に放出される。一方MからNまたはOの過程でAsp96のpK変化と連動してプロトンが細胞質側からシッフ塩基に到達する。そして全トランスのO中間体になり、平衡状態のbR<sup>t</sup>なる。

以上が現在多くの研究者が抱いているポンプメカニズムの概要である。

#### 参考文献

- 1) 「生体膜の分子素子・分子機械」日本生物物理学会編 生命科学の基礎シリーズ6 (1990年) 学会出版センター
- 2) 池上 明「バクテリオロドプシンの光反応と光プロトンポンプのメカニズム」蛋白質核酸酵素 Vol.34 440-451
- 3) Ikegami, A., Kouyama, T., Kinoshita, K., Jr., Urabe, H., Otomo, J.: Springer Proc. Phys. 20, 173-182 (1987).
- 4) Henderson, R., Baldwin, J. M., Ceska, T. A., Zemlin, F., Beckmann, E., Downing, K. H.: J. Mol. Biol. 213, 899-929(1980).

# サーマルマネキンによるモデル実験 — 室内環境、衣服、水冷服の計測と評価 —

多 屋 秀 人 (生命工学工業技術研究所)

## 1. はじめに

室内温熱環境の適正化のためには、温度、湿度、気流、輻射などの各種物理量を、人間感覚評価特性に合わせて総合化することが必要である。また、人間は発熱体でありことにより周囲環境に温熱的影響を与えること、空間的に気流・熱流に対する遮蔽体としての働きをすることを考慮すると、人間の立場から環境を評価するためには、人間をセンサーとして環境を計測・評価することが最も望ましい。しかし、人間は、個人差・体調・健康状態などが複雑に作用する不安定なセンサーであることから、人間の特性を有する新しいセンサーが必要とされる。

サーマルマネキンとは、人間の温熱特性を有するマネキンであり、人間—環境系における人間の体表面から周囲の環境に対する伝熱過程を再現することができる装置である。Winslow & Herringtonにより最初に開発されたマネキン<sup>1)</sup>は、衣服の熱特性の計測に利用された。その後、単純な円筒模型、生体と類似した表面構造を持つ等身大マネキン、姿勢変化可能なマネキン、歩行可能なマネキン、発汗マネキン等の各種のマネキンが開発されて、衣服の熱特性の評価、新しい放熱量測定方法の検討や室内温熱環境評価において利用されている。

人間の熱特性を有するサーマル・マネキンを設計するために、Clifford は、以下の点を考慮する必要があると指摘している<sup>2)</sup>。1) 新陳代謝、2) 産熱部位から皮膚表面までの熱伝達、3) 各部位における熱容量と蓄熱分布、4) 不感蒸泄および発汗による熱損失、5) 寸法、6) 姿勢、7) 体の輪郭、8) 肌合い・皮膚組織構造、9) 運動

これらの全要素を考慮したマネキンを構成する

ことは非常に困難である。適用範囲を、1) 定常状態、2) 発汗のない環境、3) 皮膚表面から周囲環境への放熱状態、4) ある一定姿勢、5) 安静状態と限定することにより、多くの問題は解決される。我々は、これらの制約条件の下で、人間の温熱特性を有するサーマルマネキンを開発した<sup>3)</sup>。すなわち、制約条件を定常時の伝熱状態に限定することにより、各部位の熱容量や蓄熱分布の問題は解決された。また、適用環境を発汗が発現しない環境に限定することにより、発汗による熱損失のための機構が簡素化された。さらに、皮膚表面における伝熱過程についてのみ注目し、体内における伝熱および体温の問題を対象としないことにより、産熱部から皮膚表面までの熱伝達に関連するマネキンの内部構造の問題を解決した。上記の制約条件下では、1) 発熱体であること、2) 寸法・輪郭・表面状態を人間のデータに合わせること、3) 身体各部位毎に皮膚温または放熱量を調節できることが必要条件である。

## 2. サーマルマネキンの構成と熱特性

開発した2体のマネキンは、成人男女のサイズに合わせた。Type-1は、日本人女子大生200名の生体計測値に、Type-2は、既製服JIS規格M170-90のサイズに基づいている。マネキンの表面積分布は、Table-1に示す通りであり、その配分は人間の場合とほぼ類似している。

サーマルマネキンは、厚さ5mmの高純度のアルミニウムから作られ、全身は頭・胸・背・腹・腰および左右の上腕・前腕・手、大腿・下腿・足の計17部位に分割されている。各部位の躯体内壁面部には熱供給用の電熱線(100Ω)を、表面には表面温度検出センサー (Type-1: 白金抵抗測温体、

Type-2:サーミスタ)を取付けてある。また、隣接部位との間に熱絶縁ソケットを用いて部位間の熱伝導を防止し、熱的に独立している。この結果、各部位の表面温度を独立に設定でき、人間の皮膚温度分布に合わせてマネキンの表面温度の設定が可能となった。躯体内部の空間に発砲プラスチックのチップを充填し、躯体内部の空間における熱対流を防ぎ、マネキン表面からのみ放熱が生じるようにしている。マネキン表面からの輻射による熱伝達特性を合わせるために、マネキン表面に高分子性黒色合成塗料を塗布した。表面の輻射係数は0.9以上である。マネキンの姿勢は立位としている。

サーマルマネキンの熱特性は、人工気候室において相対湿度が65%、壁温と気温が等しく、マネキン正面からほぼ層流の気流があたる条件下で測定された。15℃、20℃、25℃および30℃の環境気温で、裸体時の生体が示す皮膚温分布と等しくなるようにマネキンの表面温度を設定した時のマ

Table-1 Surface area for the manikins

	Type-1		Type-2	
	Area	Ratio	Area	Ratio
Head	0.136	9.7	0.145	8.2
Chest	0.139	10.0	0.185	10.5
Back	0.150	10.8	0.188	10.7
Abdomen	0.058	4.1	0.085	4.8
Buttocks	0.071	5.1	0.068	3.8
Arms	0.125	8.9	0.153	8.6
Forearms	0.080	5.8	0.122	6.9
Hands	0.080	5.7	0.083	4.7
Thighs	0.262	18.8	0.355	20.1
Calves	0.173	12.4	0.237	13.5
Feet	0.121	8.7	0.144	8.2
Total	1.394	100.0	1.764	100.0

(Unit: Area=m<sup>2</sup>, Ratio=%)

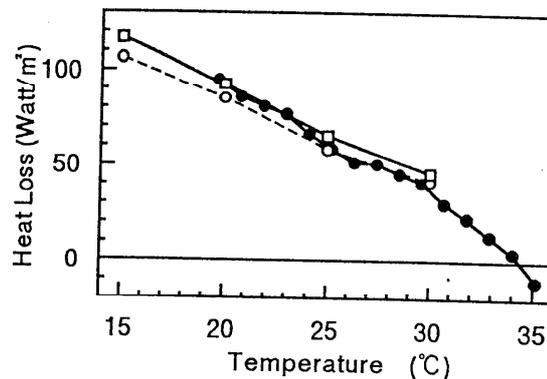


Figure 1 Comparison heat losses among manikins and human. (□: Type-1, ○: Type-2, ●: Gagge's data)

ネキンからの放熱量の測定を行った。定常状態においてマネキンに供給された熱量は、体内に蓄熱されず、マネキン表面から対流および輻射により全て放熱されてる。Figure-1は、各気温におけるマネキンからの放熱量とGaggeらにより測定された生体からの放熱量と関係を示す。両者は一致しており、発汗が生じない30℃以下の環境範囲では、マネキンの放熱特性は人間の特性と類似していることが明らかとなった。

気温  $T_a$  の環境下において、部位 (i) のマネキンの表面積を  $S_i$ 、表面温度  $T_i$ 、供給熱量  $M_i$  とすると、供給熱量は表面温度と環境温度の差に比例し、

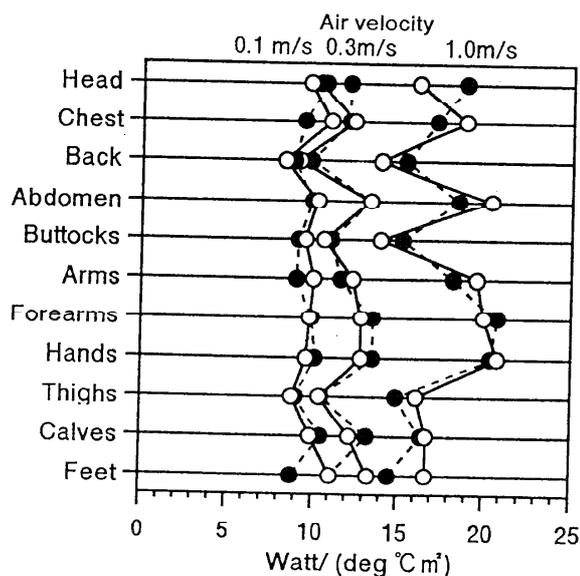


Figure 2 Heat transfer coefficient of each part in manikins. (○: Type-1 ●: Type-2)

次式で示される。

$$M_i / S_i = \alpha_i \cdot (T_i - T_a)$$

Figure-2に、気流が 0.1m/s, 0.3m/s および 1.0m/s の 3 条件の場合における各部位の熱伝達率 ( $\alpha$ ) を示す。部位による差は、表面構造、他の部位との相対的な位置関係、気流に対する遮蔽体としての効果によると考えられる。また、Type-1 および Type-2 の違いによる熱伝達率に差が少ないことが見られた。この結果、マネキンの熱特性に影響する因子として、四肢や体幹部等の形状が重要であり、サイズや細かな曲面構造の影響は少ないと考えられる。しかし、衣服の熱特性を評価するときには、マネキンと衣服の適合性が関連するため、サイズや曲面構造が重要になると考えられる。

### 3. サーマルマネキンを用いたモデル実験

#### 3. 1 室内環境の計測

サーマルマネキンを用いて室内温度分布の測定を行った。室内空間に設置した熱供給を行わないマネキンは、周囲環境からの輻射熱を受け、熱平衡状態ではマネキンの表面温度は、グローブ球温度に相当すると考えられる。また、マネキンの熱伝達率を求めておくことにより、熱供給を行ったマネキンの表面温度の測定から、室内空間の温度分布の推定が可能である。

気温が18~22℃、気流が0.3m/sに調節した人工気候室内にマネキンを設置し、室内環境計測を行

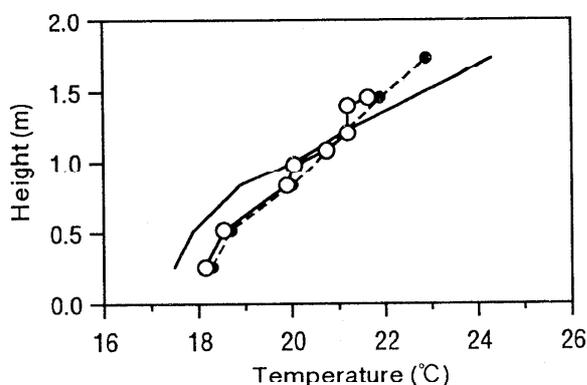


Figure 3 Measurement of room temperature.  
(○:from manikin, ●:globe temperature, line: air temperature)

い、マネキンの各部位に対応する空間の温度を次式から求めた。

$$T = T_i - (M_i / S_i) / \alpha_i$$

Figure 3は、マネキンの表面温度を20℃環境状態における裸体時皮膚温度分布と等しくなるように熱量を供給した状態で求めた室内の温度分布である。輻射のある環境で求めた室内温度分布は、グローブ温度とほぼ等しくなっている。ここで用いた $\alpha_i$ は、周囲壁面からの輻射のない環境で求めた値を用いている。

#### 3. 2 衣服の熱特性の計測

衣服の熱特性は、熱抵抗と水蒸気透過抵抗で示され、特に熱抵抗はクロー単位を用いて表現されることが多い。クロー値とは、「気温70°F、湿度50%以下、気流20ft/minの環境下において、安静椅座状態の人間が快適を感じることに必要な衣服の保温性」を1クローとして提案されたが、これは0.155 deg C · m<sup>2</sup>/Wattに相当する熱抵抗とし扱われている。

衣服の熱抵抗の測定法には、人間を被験者とする方法とサーマルマネキンを用いる方法がある。サーマルマネキンによる測定は、人間を被験者とする場合に比べ、被験者間の個人差や個人内変動の影響が多く、再現性・精度の点において優れている。このため、マネキンは衣服の熱抵抗測定に広く使用されている。衣服の熱特性は物理量であるが、人間が着衣した状態で測る必要がある。同一の衣服であっても、着衣した人間のサイズや体格の違いにより人間-衣服間の空間構成が影響を受けるため、衣服の熱抵抗が異なる。このため、マネキンは、人間のサイズ・形状をリアルに再現することが必要になる。

#### 3. 3 水冷服の伝熱特性の計測

脊髄損傷者は、発汗障害による体温調節が正常に働かないことが多く、これらの人々の社会参加を支援するために、障害を受けた体温調節機能を補う特殊な衣服(水冷服)の開発が行われた。水

冷服は、発汗に代わって人間の皮膚表面からの放熱を助けるために、衣服内部に冷却水を循環させている。ここでは、サーマルマネキンを用いて水冷服の伝熱特性を測定し、マネキン-水冷服-環境系における熱伝達のモデル化を試みた。

人工気候室内に水冷服を着せたサーマルマネキンを用いて計測した。計測システムを Figure-4 に示す。ここで使用したマネキンは、脊髄損傷者と同様に発汗機能がなく、障害者の使用状況とよく一致している。一定水温に保たれた恒温水槽内の冷却液を水冷服に循環させ、所定の熱量が供給されたマネキンの体表面の冷却を行う。水冷服には、胸 6個、背 8個、左右各々の上腕 2個、大腿 2個、下腿 2個の計26個の冷却ユニット(各8cmx8cm)を使用している。この時、環境気温、マネキンへの供給熱量、冷却液の設定温度、冷却服への流量、冷却液の流入温、流出温、マネキン各部位の表面温度の測定を行った。

定常状態におけるマネキン-水冷服-環境間の熱伝達として、

- 1) 冷却部におけるマネキンからの放熱量  $M_1$
  - 2) 冷却部における水冷服の吸熱量  $Q$
  - 3) 非冷却部におけるマネキンからの放熱量  $M_2$
- についてモデル化した。

$$M_1 = \alpha_1 \cdot (T_{s1} - T_f) + \alpha_3 \cdot (T_{s1} - T_a)$$

$$Q = \alpha_1 \cdot (T_{s1} - T_f) - \alpha_2 \cdot (T_f - T_a)$$

$$= 51.6 \cdot q \cdot \Delta T$$

$$M_2 = \alpha_4 \cdot (T_{s2} - T_a)$$

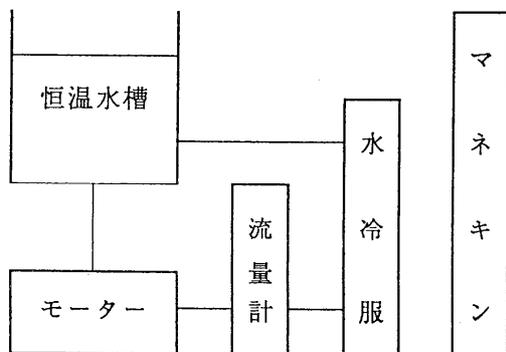


Figure 4 Measuring system for cooling suit

ここで、 $T_{s1}$ :冷却部マネキン表面温度、 $T_{s2}$ :非冷却部マネキン表面温度、 $T_{in}$ :流入冷却液温、 $T_{out}$ :流出冷却液温、 $q$ :流量(l/min)、 $\Delta T$ :流入流出液温度差(= $T_{out} - T_{in}$ )、 $T_f$ :水冷服内平均冷却液温(= $(T_{in} + T_{out})/2$ )、 $M$ :産熱量(= $M_1 + M_2$ )、 $T_a$ :環境気温である。この時、 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ は、

- $\alpha_1$ : 冷却部のマネキン-水冷服間の熱伝達率
  - $\alpha_2$ : 冷却部のマネキン-環境間の熱伝達率
  - $\alpha_3$ : 冷却部の水冷服-環境間の熱伝達率
  - $\alpha_4$ : 非冷却部のマネキン-環境間の熱伝達率
- を示している。

下着(パンツ、半袖シャツ)の上に水冷服を装着させ、その上に半袖綿シャツと綿の長ズボンの外衣の着た状態において水冷服の伝熱特性の計測を行った。実験条件は、気温が 28~36℃、マネキンの産熱量が 37.2~184Watt において、流入温が 14~26℃、流量が 0.35~1.2 l/min. を組み合わせた 13 条件である。設定開始 3 時間経過後の定常状態の計測結果を解析し、未知パラメータ  $\alpha_1 \sim \alpha_4$  の推定を行い、産熱量  $M$ 、吸熱量  $Q$  の次の推定式を得た。

$$M = 5.41 \cdot (T_{s1} - T_f) + 4.95 \cdot (T_{s1} - T_a) + 7.91 \cdot (T_{s2} - T_a) \quad r=0.984$$

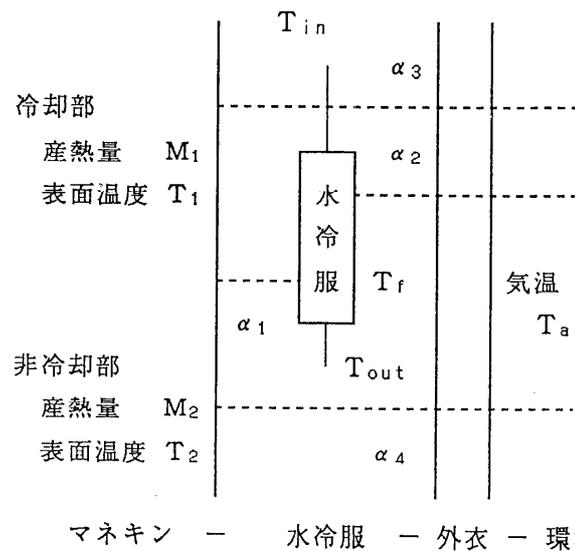


Figure 5 Heat transfer model between manikin - cooling suit - outer wear - environment.

$$Q = 5.41 \cdot (T_{s1} - T_f) - 0.21 \cdot (T_f - T_a)$$

$$r=0.947$$

これらの結果から、産熱量、環境気温、冷却温度、流量を用いて、表面温度と吸熱量を推定する式を得た。

$$T_s = T_a + \left( 0.059 + \frac{0.0031}{q + 0.027} \right) \cdot M$$

$$+ \frac{0.522 \cdot q \cdot (T_{in} - T_a)}{q + 0.027}$$

$$Q = \frac{0.318 \cdot M + 2.79 \cdot (T_a - T_{in})}{1 + 0.027/q}$$

ここで、表面温度に対する流量の影響について検討する。Figure 6は、気温35℃、冷却液温が24℃における水冷服への流量とマネキン表面温度との関係を示す。流量を0.5 l/min.以上の範囲での変化に対して、マネキンの表面温度の変化は少なく、このため流量変化により表面温度を制御することは困難であることが明らかとなった。30~39℃の気温環境において、33~34.5℃の表面温度を維持するために必要な冷却液温を Figure 7に示す。健常者が快適を感じる平均皮膚温レベルは、33~

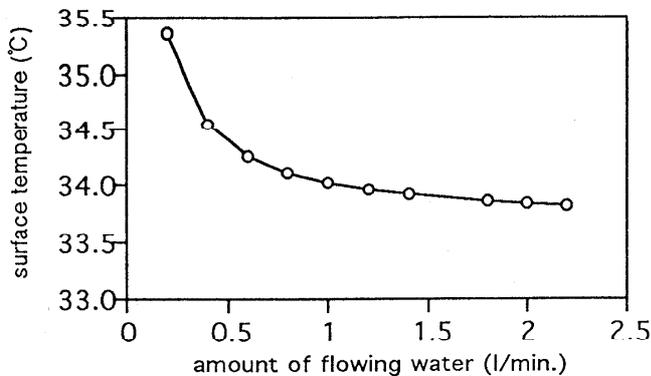


Figure 6 Relation between amount of flowing water and surfacetemperature

34.5℃であり、気温が30℃から上昇するにつれて、冷却液温も直線的に低下することがわかる。

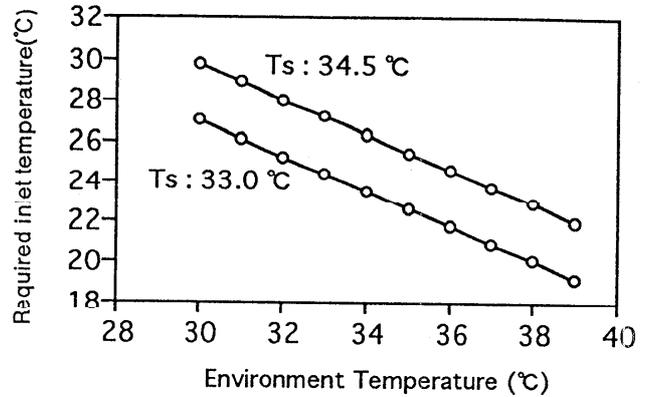


Figure 7 Relation between air temperature and required inlet temperature for neutral surface temperature

#### 4. まとめ

室内の温熱環境の計測、衣服の熱特性の計測や評価に関するサーマルマネキンの適用例について述べた。今後、高齢者・子供・幼児など各種サイズのマネキン、体内の温度分布を再現するマネキン、人間の体温調節中枢機能や感覚特性を備えた高度なサーマルマネキンの開発が期待されている。また、高性能なマネキンを開発するためには、人間の生理特性、感覚特性、評価特性に関する知見を積み重ねる必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) C. E. A. Winslow & L. P. Herrington: Temperature and Human Life. Princeton Univ. Press (1949).
- 2) J. M. Clifford: Ind. Med. Surgery, 40 (1963).
- 3) 三平, 多屋, 荒居: 人間工学, 13, 2, 47-53 (1977).

## 温熱負荷に伴う皮膚微小循環動態の変化

浅野 牧 茂 (日本女子大学)

### はじめに—皮膚微小循環系の特徴

皮膚は単に身体表面を包被しているだけの存在ではない。皮膚は外界と直接接触あっている広大な臓器であって、外因性の物理的、化学的あるいは生物学的な刺激により、また、内因性の神経性あるいは液性の刺激によって、部分的あるいは全身的に一定の反応を示す。皮膚の微小循環(microcirculation, MC)は皮膚自身への酸素と栄養の供給とともに熱の放散という二つの重要な働きを果たすが、皮膚の酸素需要は小さく、MC系血管網を流れる血液の増減は、主として体温調節に関係すると考えられ、ヒトや動物では温熱負荷時に皮膚血管が拡張して体表から環境への熱移動が促進され、至適な体温が維持されることになる。

皮膚からの熱放散に直接に関与する血管はMC系に属する細動脈(arterioles)、毛細血管(capillaries)、細静脈(venules)および動静脈吻合(arterio-venous anastomoses, AVA)である<sup>1)</sup>。AVAはヒトにおいては特に温熱負荷に対して顕著な反応を示す身体部位である四肢末端の無毛部や、顔面、耳介などに限局されて存在し、たとえば寒冷時に血流がほとんど0であったのが中性温度域では20~60ml/100ml/min程度となり、40℃前後の暑熱曝露時には100ml/100ml/minを超過するように変化するのは、このAVAが開大して皮膚に大量の暖かい血液を灌流させるからであると説明されている<sup>2)</sup>。

著者らはAVAの存在するヒト皮膚のモデルとして、同じくAVAが豊富に存在することの知られているウサギ耳介に装着した透明窓<sup>3)</sup>内の、再生皮下組織MC系血管網を対象とし、生体顕微鏡法を用いて直視的観察を行う<sup>4)</sup>とともに、微細光電プレシスモグラフィ(microphotoelectric plethysmography, MPPG:<sup>4, 5)</sup>)による記録を実施しながら、環境温度を上昇させた際に生ずるこのMC系の血行動態の変化を調べ、興味ある知見を得ているので紹介

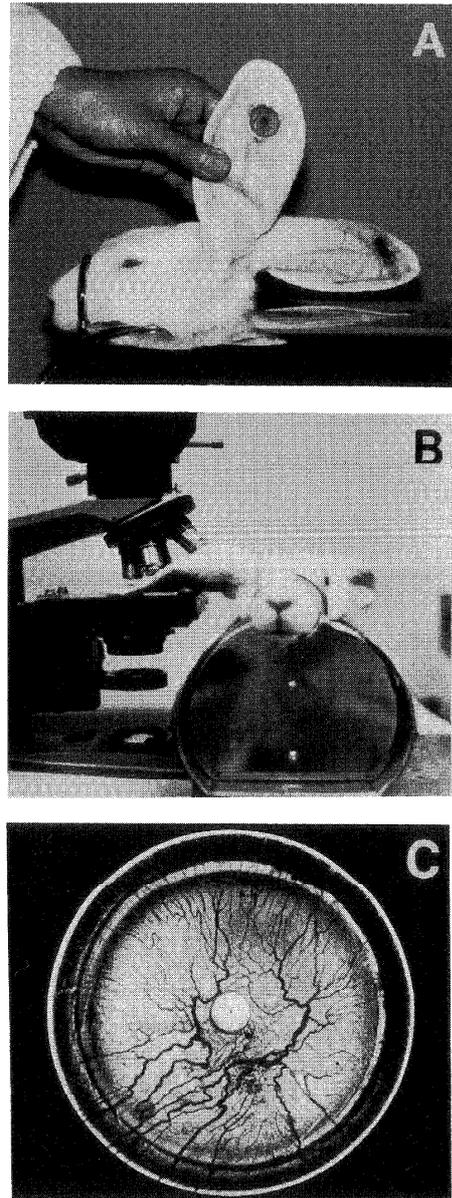


図1 耳介に透明窓(REC)を装着したウサギ(パネルA)とその顕微鏡観察状況(B)、及びREC内のMC系血管網(C)。

中央の円形部分は組織の厚さを50 μmに保つための突起。

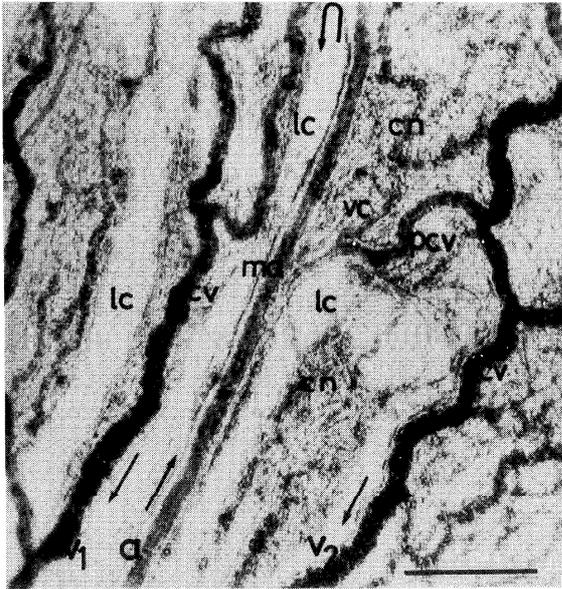
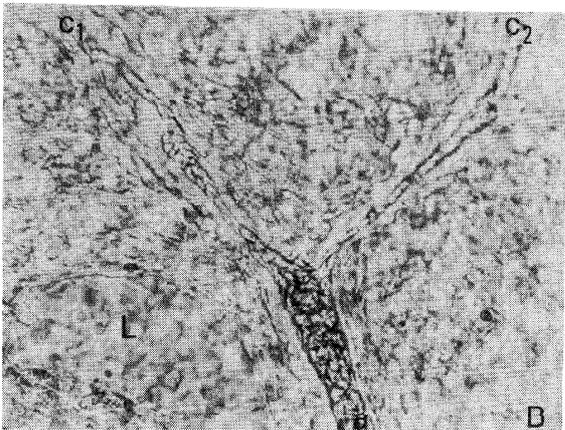
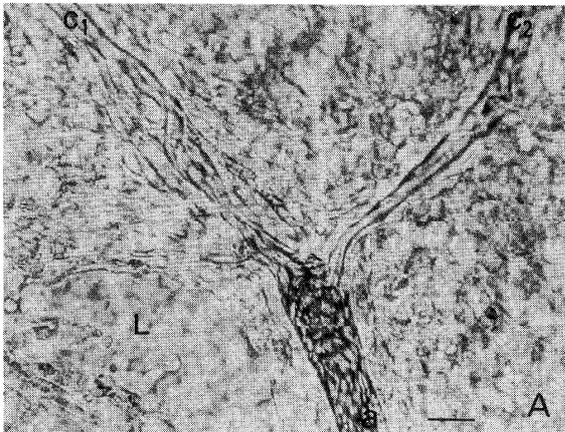


図2 中心通路型MC系血管網(示標200 $\mu\text{m}$ )

a:細動脈、 $v_{1-2}$ :細静脈、ma:後細動脈、cn:毛細血管細静脈、cv:集合細静脈、lc:毛細リンパ管。



する<sup>4, 5)</sup>。

皮膚MC系血管網と血行動態の常態：環境温度20～25 $^{\circ}\text{C}$

研究には図1にみるようなアクリル樹脂製本体とマイカまたはガラス製の円板から成るround-table型透明窓(rabbit ear chamber, REC:<sup>3)</sup>)内のMC系血管網を生体顕微鏡的観察の対象として用いた。

図2はREC内MC系血管網の典型的一例であり、皮下組織のみならず一般MC系についての基本的構築とされる、中心通路型あるいは優先通路型(thoroughfareあるいはpreferential channel)と称されるMC単位を示している<sup>1, 5)</sup>。生体顕微鏡的観察に際しては管径が50 $\mu\text{m}$ 以下の動脈性および静脈性血管を、それぞれ細動脈および細静脈とみなしており、この中心通路型MC系では細動脈aから細動脈 $v_1$ までの血行路を常に優先的に血液が流れている。この細動脈末梢部、すなわち後細動脈ma(metarteriole)からは多数の毛細血管が分岐して毛細血管網cn(capillary net)を形成する。

MC系では心拍や呼吸運動のような原因が明らかな受動的で高頻度の周波数特性を示すものとは別に、1分間当たり数回の低頻度で血管径の能動的、局所的かつ周期的増減が生じ、これに伴う血流量の周期的変化が生体顕微鏡的に観察され、これは血管運動(vasomotion)と呼ばれている。

現在、血管運動は管径が100 $\mu\text{m}$ から5～10 $\mu\text{m}$ の範囲にある小動脈および細動脈の自発的収縮と弛緩の繰り返しによって成り立つ”周期的細動脈血管運動(spontaneous rhythmic arteriolar vasomotion)”を指すとされており<sup>6)</sup>、図3にみる如く、血管運動の存在によって細動脈を介して組織を灌流する血液量は周期的変動を呈する。

血管運動の周波数特性

このような血管運動に伴う血流量の変化は図4に

図3 細動脈分岐部にみる血管運動(示標10 $\mu\text{m}$ )

a:細動脈、 $c_{1-2}$ :毛細血管、L:毛細リンパ管。パネルA:血管運動の拡張期、B:同じく収縮期。

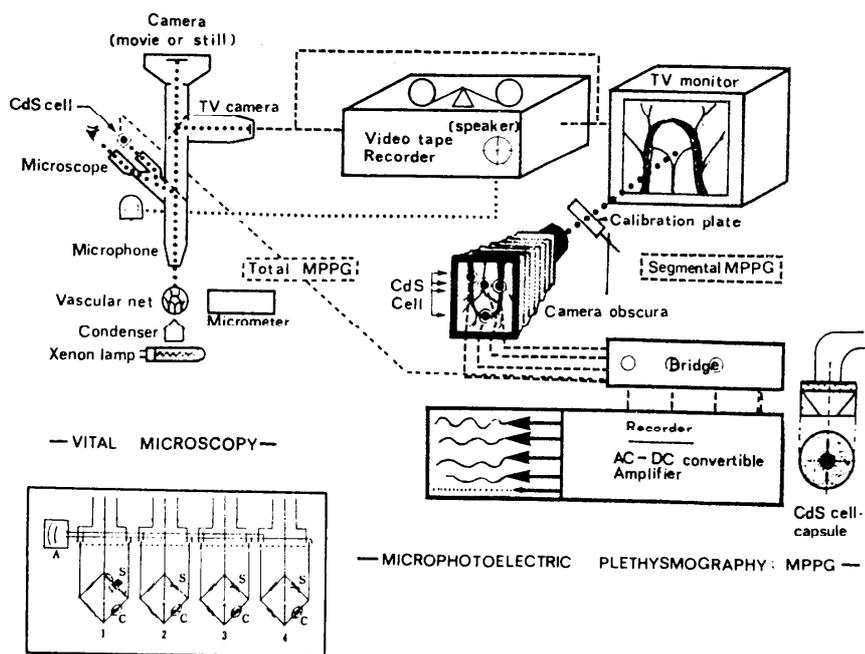


図4 微細光電プレシスモグラフィー(MPPG)の模式図<sup>4, 5</sup>:光電変換素子(CdSセル)を顕微鏡接眼部に適用すれば、観察もMC網全体の血行動態を記録でき(total MPPG)、ピントガラス上のMC像の個々の血管に適用すれば、相異なる血管、あるいは同一血管の相異なる部位の血行動態を併行して記録する(segmental MPPG)ことができる。

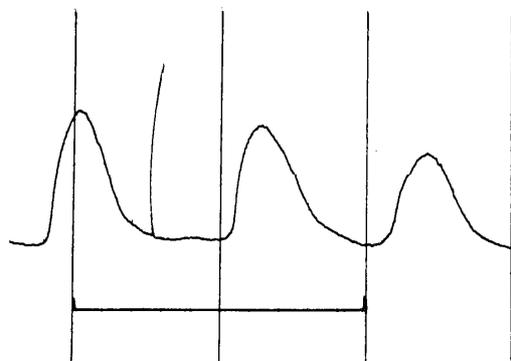


図5 total MPPGで記録した典型的な血管運動に伴う血流変化:示標1分

示されているような光電的記録法MPPG<sup>4, 5</sup>)を用いて連続的に記録することができ、典型的な例では図5のような正弦波形として血流の周期的動揺が記録されている。血管運動に伴う血流量の周期的変化は血流運動(flow motion)と呼ばれ<sup>7)</sup>、血管運動の同義語として広く用いられるが<sup>8)</sup>、血管運動は頻度(周波数、cpm)、収縮-拡張幅(振幅)、平均管

系、および血管分岐レベルのほか、観察中の複数細動脈の活動-非活動比率などの諸特性を有し<sup>8)</sup>、ヒトあるいは実験動物の皮膚および各種臓器・組織について広く情報が得られている<sup>6, 8)</sup>。特に皮膚についての血管運動周波数特性に着目すると、主要周波数成分としてヒトでは1~4cpm<sup>9)</sup>あるいは6~10cpm<sup>6)</sup>、ウサギでは1~4cpm<sup>3, 4, 8)</sup>あるいは2~10<sup>8)</sup>という数値が得られている。

MC系血管網は図2の如く複雑な網目構造をなして複数のMC系単位が互いに連続しているので、単一のMC系単位でもその血管運動は位相のずれをもって修飾されることがあり、図6のように、単一MC系単位でも、それ自体が広い帯域の周波数成分を有するほかに、干渉によって複雑な周波数特性を示す場合もある。

図6の記録波形を心拍による高周波成分を無視して近似波形を計測して分析を行い<sup>10)</sup>、位相を無視して振幅を比較すると周波数特性では

1~4cpm;100%、4~10cpm;30%、10~14cpm;20%、20cpm;10%

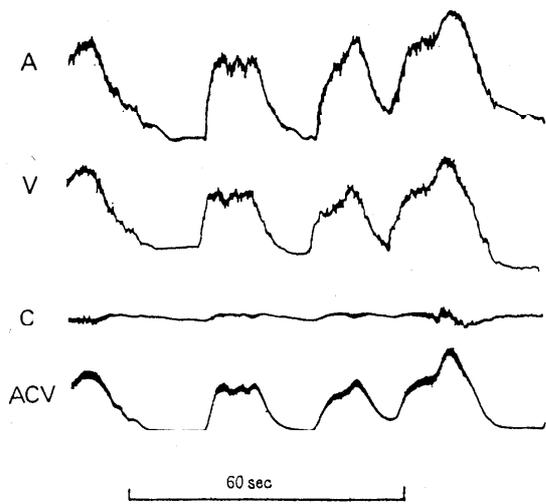


図6 単一MC系単位に属する細動脈 (A)、細動脈 (V) および毛細血管 (C) からと、MC系単位全体 (ACV) からそれぞれ segmental MPPG と total MPPG を用いて同時併行記録した血管運動に伴う周期的血流動揺<sup>4)</sup>: ほぼ2cpmの主要な周波数を有する形の上にこれより高周波数の波形が重畳している。

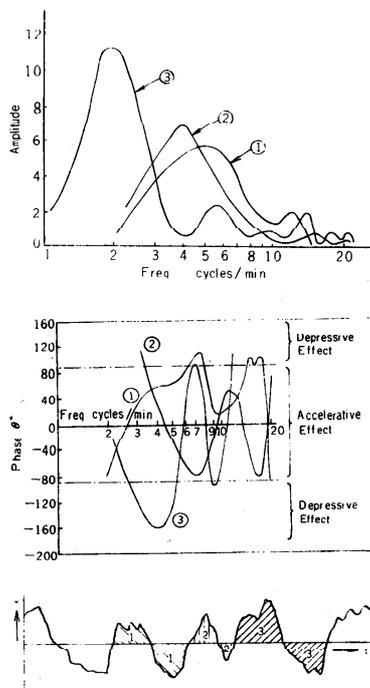


図7 前図の記録ACV波形の周波数分析<sup>10)</sup>。

という周波数成分が区別できる。多くのウサギを対象としてえられたREC内MC系の血管運動の周波数特性は、1~3<sup>4)</sup> cpmのものを振幅および出現頻度からみて主要周波数成分としており、これが $\alpha$ -波と名づけられたが、 $\alpha$ -波群以外にもほぼ4~8cpmおよび4~12cpmの範囲の周波数を有する周期的血流動揺がMPPGの記録から読み取られており、それぞれ $\beta$ -波群および $\gamma$ -波群と命名されている。上記の波形分析結果(図7)のさいしょの3成分はそれぞれ $\alpha$ -波、 $\beta$ -波および $\gamma$ -波に相当するが、さらにこれ等より周波数の高い $\delta$ -波(12-40cpm)および周波数の低い $\omega$ -波も識別されており、ヒトの場合と対比すると表1の如くである<sup>1, 8, 10)</sup>。

### 血管運動の存在意義

血管運動の存在する生理的意義について未だ十分な解明をみたとはいえ難いが、その起源が細動脈平滑筋の局在的自発的活動であることは大方の認めるところであり<sup>8)</sup>、前述したようなその多様な特性の中でも、特に周波数と振幅は内因性および外因性の刺激によって著しい修飾を受けるので、MC系血液灌流の動的平衡を変化させて、MCの本質的存在意義である物質交換の進行に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

血管運動はMC系における有効血管抵抗、血流調節、組織への酸素供給、水の交換、リンパ流などの生理的動態の維持に欠くことができない存在であり、血管運動のない定常的血行動態下での物質交換は困難に陥ると想像されている<sup>11)</sup>。血管運動が失われたり、周波数特性や振幅の減少が著しいというような所見は、生体にとって不利な刺激が加わっているか、または、全身的ないし局所的に病変が生じている時に得られる<sup>8)</sup>。自発性の失われた低灌流状態のMC系に血管運動が再び発現することは、細動脈圧の上昇をもたらして組織の血液灌流量を増加せしめる効果を発揮するとかんがえられ<sup>7)</sup>、血管運動は生体に不利な状態にたいするMC系の回復活動であると推測されている<sup>12)</sup>。

### 温熱負荷による皮膚MC系血行動態の変化

環境温度の上昇に応じて皮膚血流量が増加する

表1 生体顕微鏡的に観察されたウサギおよびヒトの皮膚MC系における血管運動の周波数特性とその命名:RECおよびヒト上腕皮膚透明窓法による<sup>1, 8)</sup>。

Frequency (cpm)	Rabbit chamber for ear lobe	Man chamber for skin tube of the arm
-0.5	$\omega_R$	$\omega$
1(0.5)~4	$\alpha_R$	$\alpha$
4 ~ 8	$\beta_R$	$\beta$
8 ~ 12	$\gamma_R$	$\gamma$
12 ~ 40	$\delta_R$	Respiration
40 ~ 120	Respiration	Pulsation
120~480	Pulsation	

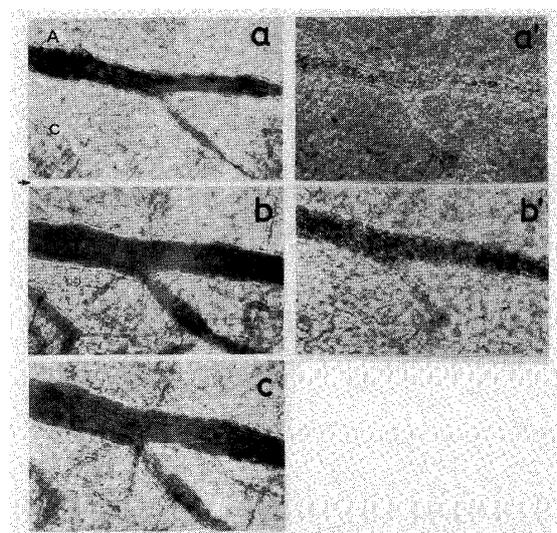


図8 温熱(40°C)環境全身曝露時の細動脈分岐部にみる血行動態の変化(×360)。

A:細動脈、C:毛細血管。

左側パネル(a-c)は血管運動の拡張期、右側(a'-b')は収縮期の像。パネルa・a':環境温度20°C、b・b':40°C10分間曝露時、c:40°C20分間曝露時(収縮期はほとんど消失し、最大限の拡張状態が拍動性に持続する)。

ことは、皮膚温度の上昇や皮膚の色調が赤く変化することで体験的にも知られるが、RECをもちいた生体顕微鏡的観察によってMC系の変化を経時的に詳しく調べることができる。

室温 $22 \pm 2.2$ (S.D)°Cで飼育中のウサギを全身的に40°Cの温熱環境に曝露、あるいはREC装着耳介を局部的に加温すると、REC内MC系血管網は図8のように、細動脈から毛細血管、細静脈まで最大限の

拡張をきたし、血管運動に起因する周期的動揺の認め難い、大量の血液が拍動性で急速に流れるようになる<sup>5)</sup>。20°Cの環境下では、パネルa・a'にみる如く、血管運動の拡張期と収縮の交替は明瞭であるが、40°Cの環境に曝露されて10分を経過すると、パネルb・b'のように、拡張期と収縮期の細動脈管径は著増し、20°Cでは血流のほとんど存在しなかった毛細血管網にも拡張期には多量の血液が灌流されて目に見えるようになっていく。曝露時間が延長して20分に及ぶと、パネルcのように、細動脈の管径増加は最大限に達し、血管運動の収縮期は認め難くなり、拍動性で急速な血流が持続するようになる。この状態では、20°Cの場合拡張期細動脈管径との比較で150%あるいはそれ以上に達する増大がみとめられる<sup>5)</sup>。

このような温熱負荷時のMC系血行動態の変化を、ウサギを5°Cの級間で20°Cから40°Cまでの環境温度に30分ずつ曝露した際のREC内MC系血行動態をtotalMPPGで記録した例を図9に示してある<sup>4, 5)</sup>。環境温度上昇の各段階に応じて、血管運動に基づく血流の周期的動揺の周波数特性と振幅が変化して行き、環境温度が35°Cに及べば血管運動拡張期に拍動性血流が顕著に認められるようになり、40°Cに達すると血管運動収縮期にも血管拡張が出現するので、MPPG記録波形は幅が広がってくる。40°C曝露時間が20分に至れば血管運動の収縮相が不明瞭となり、血管運動そのものが認め難くなって持続的な拡張状態にあるMC系血管網を大量の血液が急速に拍動性を示しながら灌流するので、MPPG記録波形は拍動性血流のため、幅の広いリボン状を呈するようになる。また、環境温度を中性温度(

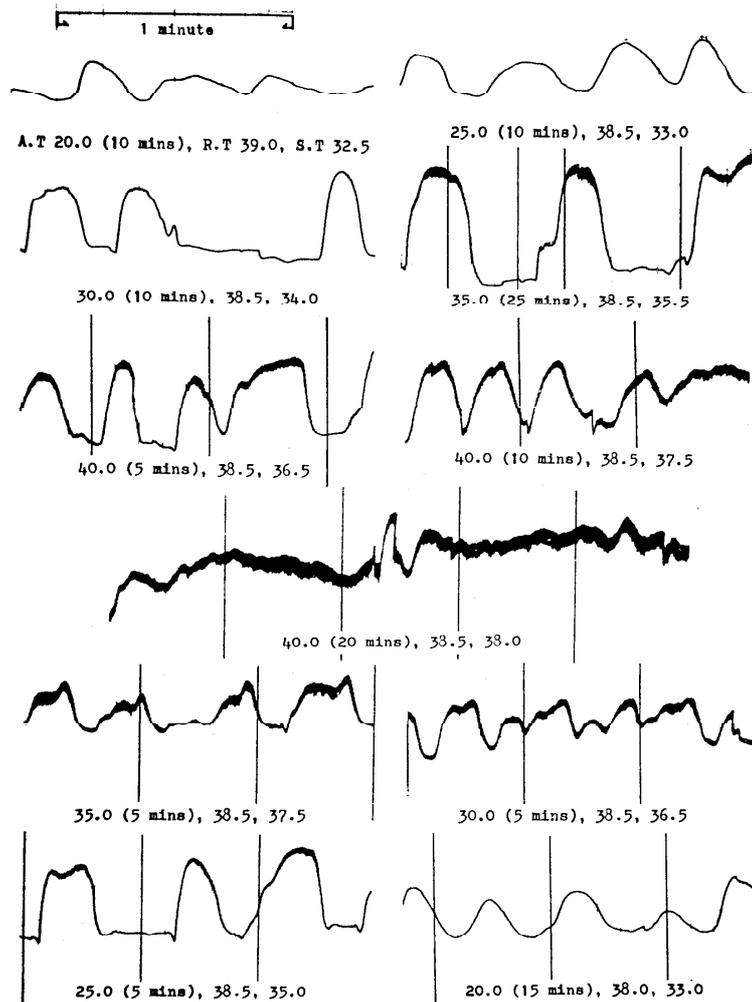


図9 Total MPPG 段階的温熱(20~40°C)環境全身曝露時のMC系血行動態の変化<sup>4, 5)</sup>: A. T:環境温度(°C)、R. T:直腸温度(°C)、S. T:耳介皮膚温度(°C)、括弧内は曝露持続時間(min).

20°C)に戻すにつれて、再び血管運動が明瞭に出現してくる。

このように、温熱負荷による皮膚MC系血動態が温度段階と負荷時間に応じて変化する過程がtotalMPPGを用いて記録することで良く分るが、少くとも40°Cという温熱の負荷による皮膚MC系血行動態の変化は、MC系血管の動的特質である血管運動の発現抑制を伴う持続的血管拡張による血流増加であると言える。

図9の中には、MC系血行動態の変化とともに環境温度A. T、直腸温度R. T、および耳介皮膚温度S. Tも記載されており、皮膚温度がMC動態の変化、す

なわち皮膚血流増加と相伴って上昇するのは対照的に、直腸温度が一定を保っている状況が見取れる。

#### 温熱負荷による血管運動抑制の意義

温熱負荷に対するREC内MC系血管の反応は、図8および図9に示されているように、著しい持続的な血管径の増大である。血流を完全なニュートン流体とみなすと、単一血管内の10の区間を流れる単位時間当たりの血流量Qは圧勾配を $\Delta P/l$ 、血管半径をR、円周率を $\pi$ 、血液粘度を $\eta$ とすると、Poiseuilleの法則

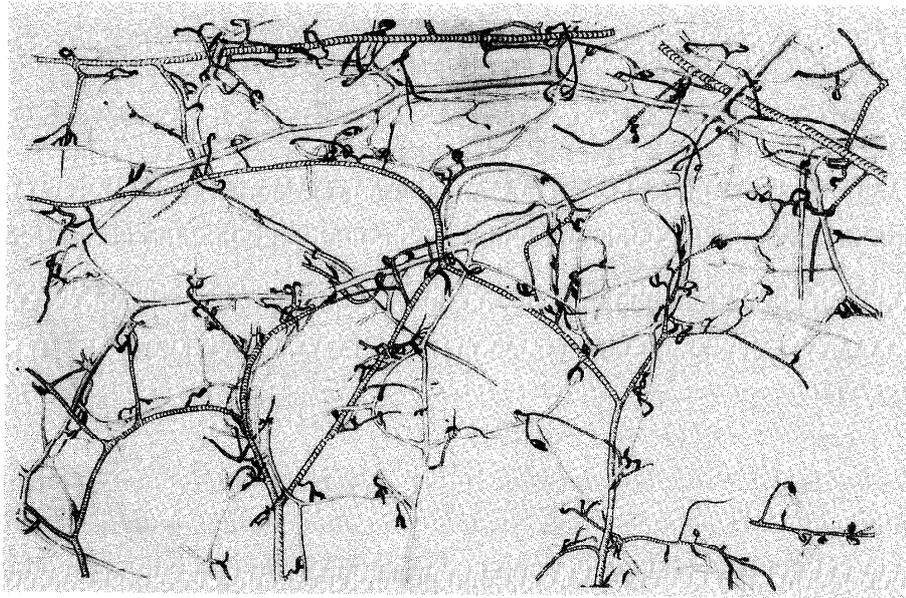


図10 動静脈吻合(AVA)を示すREC内皮下組織MC系血管網のスケッチ:Sonomoto<sup>1,3)</sup>による。  
動脈(横線あり)と静脈(横線なし)の間を短絡している黒色に塗られた短く壁の厚い血管がAVA。

$$Q = \pi R^4 / 8 \eta \cdot \Delta P / l$$

で示されるので、血流量は血管半径の変化に対して4乗で応ずることになり、血管径の増大は極めて著しい血流増加をもたらすことが知られる。

さらに、血管運動の収縮相発現が抑制されることにより管径の著増した拡張相が持続するようになるうえ、中性温度域(20~25℃)の環境下では閉鎖して血流の認められなかった毛細血管網も開口するので、MC系血管網を灌流する血液量は膨大なものになる。つまり、血管運動収縮相発現の抑制は皮膚MC系血管網の血液灌流量増加を促進する役目を担っていることになる。

図9はウサギ耳介の既存皮下組織を内容しているREC内のMC系血管網に見られるAVAのスケッチ<sup>1,3)</sup>である。このAVAも中性温度環境では血管運動と同様に周期的な収縮と拡張を繰り返しており、約半数は閉鎖状態にあるが、温熱負荷により開口数の増加することが観察されている。このAVAは、1cm<sup>2</sup>当たり50箇に及ぶ例もあるが<sup>1,3)</sup>、同様にAVAの存在するヒトの手指皮膚の血管には豊富な交感神経の支配があり、特にAVAには極めて多数の交感神経線維の終末が分布しているので、暑熱曝露時の血流増加は $\alpha$ -作動性交感神経の活動抑制で説明ができる

とされる<sup>2)</sup>。

このように、皮膚MC系血管拡張は皮膚温を上昇させて皮膚表面からの熱放散を促進させるのに役立つが、血管運動発現の抑制を伴う持続的血管拡張は薬理的 $\alpha$ -交感神経遮断時と類似しており<sup>1)</sup>、血管運動が失われた血管拡張が長時間にわたれば、前述の血管運動の存在意義で述べたように、特にMC系における水の交換とリンパ流の生理的動態維持が障害されることが推測される。つまり、温熱負荷に対する生体の熱放散亢進という反応の背景をなす、皮膚MC系血管網の血管運動発現抑制を伴う持続的血管拡張は過度の温熱(40℃)が有害刺激であることをも意味すると言ってよいであろう。

#### おわりに—ヒトとウサギの皮膚の相違

ヒト皮膚MC系血管網のモデルとして、ウサギ耳介に装着したREC内に再生せしめた皮下組織のMC系血管網を研究対象に、急性の温熱(~40℃)環境に曝露した際の変化を生体顕微鏡的に観察した結果を紹介し、皮膚MC系血管が温熱負荷に対して血管運動発現抑制を伴う血管拡張による血液灌流の増加促進を以て機能的に反応することを示したが、ウサギはヒトとは異り発汗をしないのでこのまま

ヒト皮膚の場合に当てはまるとは限らない。ヒトとウサギの皮膚MCに共通な動的特質としての血管運動の存在を考慮に入れた研究がレーザ・ドップラ血流計を用いてヒト下肢皮膚の温熱負荷(43℃)時の血行動態について行われ<sup>14)</sup>、健常人では中性温度(21℃、30% R. H.)環境ではくるぶし上辺(5cm)の皮膚MC系血流に見られる血管運動の周波数(中央値)は2.7cpmであったものが、温熱負荷後には4.5cpmに増加し、振幅の増大も生じたことが記載されており、血管運動の抑制は認められていない。

レーザ・ドップラ血流計による皮膚血流の観察結果がRECを用いたMC系血管網の生体顕微鏡的観察結果と直ちには対応しないのは当然だが、今後さらに血管運動の存在を念頭に置いた研究の進められることを期待したい。

#### 文 献

- 1) 浅野牧茂:微小循環. 入内十郎編:臨床医のための循環生理. 真興交易, 東京, 1976, PP. 148-190.
- 2) 永坂鉄夫:動静脈吻合による皮膚での熱移動の調整:日本生理誌, 52:197-205, 1990
- 3) 浅野牧茂・吉田敬一・田多井吉之介:Rabbit Ear Chamberによる微細循環動態の研究について. 生体の科学:13:285-294, 1962.
- 4) 浅野牧茂・吉田敬一・田多井吉之介:Rabbit Ear Chamber法により観察した高温環境の微細循環に及ぼす影響:同上誌, 15:245-251, 1964.
- 5) 浅野牧茂:温熱環境と皮膚微小循環. 空気調・衛生工学, 56, 225-231, 1982.
- 6) Funk, W. & Intaglietta, M.: Spontaneous arteriolar vasomotion. Prog. Appl. Microcirc. 3: 66-82, 1983.
- 7) Intaglietta, M.: Vasomotion as normal microcirculatory activity and a reaction to impaired homeostasis. *ibid.*, 15:1-9, 1998.
- 8) 浅野牧茂:皮膚微小循環-血管運動を周って. 高崎医学, 43:14-18, 1992.
- 9) Asano, M. & Brånemark, P. -I.: Microphotoelectric plethysmography using a titanium chamber in man. Adv. Microcirc. 4:131-160, 1972.
- 10) 浅野牧茂・吉田敬一・田多井吉之介・矢井田光一: rabbit ear chamber法によって観察された末梢循環の周期性. 末梢循環研究会編:末梢循環とその病態生理, 東大出版会, 東京, 1967, PP. 133-144.
- 11) Secomb, T. W., Intaglietta, M. & Gross, J. F.: Effects of vasomotion on microcirculatory mass transport. Prog. Appl. Microcirc. 15:49-61, 1989.
- 12) Intaglietta, M.: Oscillatory microvascular hemodynamics during pathophysiological conditions. J. Int. Fed. Med. Biol. Engl., 29, (Suppl.) :731, 1991.
- 13) Sonomoto, A.: Studies on the structure and function of arterio-venous anastomoses in the rabbit's ear. Kyushu Mem. Med. Sci., 4:175-198, 1953.
- 14) Cheattle, T. R., Shami, S. K., Stibe, E. et al.: Vasomotion in venous disease. J. Royal Soc. Med., 84:261-263, 1991.

## 昆虫に関する熱的問題

丹野皓三（北海道大学低温科学研究所）

昆虫を含む多くの変温動物は恒温動物よりも環境温度の日変化、季節変化により大きな影響を受けると考えられる。昆虫に関するいくつかの熱的問題にふれる前に恒温動物の越冬に関して若干ふれ、その相違点を明らかにするステップとする。

### 1. 恒温動物の体温保持

私たち人類と同じく体温を冬でも37°C近くの恒温に保たないと生きていけない鳥類や哺乳類にとっては、寒さにさらされた時どのようにして体表から熱をうばわれないようにするかが問題となる。

体が大きいほど体重あたりの体表面積の割合は小さくなるから、体表から失う熱の発熱に対する割合も少なくてすみ、保温に有利です。ニホンジカよりもエゾジカは体が大きく、さらにより寒冷なツンドラ地帯に棲むトナカイはもっと大きいのはこの理由による適応です。同じくツンドラに棲むヘラジカは体重が数百Kgにもなる。このことが冬に体温を保つのに有利ですが、夏になるとヘラジカは、こんどは体温が高くなるのをおさえるのに苦労します。ヘラジカのあの立派な角の表面近くには毛細血管が走っており、角を放熱板として利用し、夏の体温を調節すると言われていました。

私たちが寒いと体を縮め丸くなるが、体の形も保温に関係があります。体積あたりの表面積の割合は球形に近いほど小さくなり、体表からうばわれる熱量も少なくなる。それで熊やリス、ヤマネなど多くの動物が冬眠するときには、なるべく丸くなって眠ります。又北極圏に棲む、オオカミも同様の姿勢で眠るといわれています。

寒冷な高緯度地方に棲む動物は生まれつき丸みをおびた体形をしている傾向があります。たとえばウサギやキツネの耳は高緯度地方に棲む種類ほど短く、また前方につき出した顎も短くなり丸みをおびます。この現象をアレン（Allen）の法則<sup>1)</sup>と言います。

体毛や羽毛で体表がおおわれることも保温に役立ちます。体毛や羽毛のこまかい繊維にとらえられた動きにくい空気の層が、断熱材として働くからです。動物の体毛の厚みと断熱度はほぼ比例し、近縁の種類動物では、高緯度地方にいくにしたがって体毛が長くなる傾向があります。北極圏に棲む動物の体毛の断熱度はタビネズミで2クロー、トナカイで6クロー、多くの動物がこの間の断熱度を示します<sup>2)</sup>。1クローとは気温21°Cでヒトが快適に感ずる衣服の保温力をあらわす単位です。

アザラシやトド、アシカ、クジラといった海産の哺乳類の場合、陸上の動物と異なる保温のしかたが必要です。アザラシの体毛の長さは6cmほどあるが、毛は太く、毛の密度は低いため、その断熱度は体毛の長さ2cmほどのタビネズミと同程度の2クローほどです。しかも陸上で保温に役立つ体毛も、海中では体毛の層から空気が追い出されて断熱効果を失い、保温には役立ちません。そこでこれら海産の哺乳類は非常に厚い皮下脂肪層を発達させ体温を保持します。脂肪は脂肪細胞の中に分散して閉じこめられているため対流がおこらず、しかもその熱伝導率が非常に小さいので、すばらしい断熱効果を示します。

ところで冬期に食物のなくなる食虫性のコウモリ類は、秋までに体内に蓄えた脂肪の量も飛びまわる必要上、それほど多くはなく、眠っていても体温を37°Cに保ったまま春までもたせるには不十分です。そこで数種のコウモリは冬眠に入り、外気温の低下にともない体温が下がります。種類によって多少異なりますが、体温が5°C近くになると目を覚まし、筋肉をこまかく動かし発熱し体温を37°Cまで急速に上げますが、すぐ眠りに入って、体温はゆっくりと下がっていきます。春までこの方法のくりかえしで過ごし、エネルギー消費を非常に少なくおさえ生存し続けます。極地に棲むハタリス類も同様の方法で冬を越すとされています。

体温を下げなくても、眠るだけで活動している時に比べてエネルギー消費量は 1/10~1/100にへります。熊は冬眠しますが、体温は低下せず、冬眠中に子供を出産するわけですから、いかに秋に体内に蓄える脂肪の量が多く、しかも眠ることによりエネルギー消費を低くおさえているかがわかります。

## 2. 昆虫の越冬

昆虫は環境温度に左右されて体温の変化する変温動物である。このことは、冬期にエネルギー消費が少なくてすむので生存のための利点になっている。しかしミツバチは例外で、冬でも女王のいる巣の中心部は 35℃、外縁に近いところでも 30℃以上に保たないと生存できない。アメリカのイサカ附近の観察によると、自然分蜂したコロニーが初めての冬を越冬できる確率は 24%ほどである。二年目以上のコロニーでは生存率は 78%である<sup>3)</sup>。これは越冬に良い場所を見つけたり、たくさんのエネルギーを必要とする蜜蝋の巣を造り、そのうえ多数の個体が消費する越冬用のたくわえである蜜を冬がやってくる前に集めなければならないからである。変温動物であるミツバチが冬期でもかなり高い温度で恒温に巣を保てるのは、断熱性のすぐれたハニカム構造の大きな巣の構築と、冬期に消費される高エネルギーの花の蜜のたくわえといった集団的行動つまり、社会性があるのはじめて可能になることであり、他の昆虫では知られていない。

寒冷地で越冬する多くの昆虫は、冬になる前に休眠に入るものが多い。休眠に入ると、たとえ気温がかなり高くても、ほとんど酸素呼吸をしなくなる。休眠をしないものでも酸素消費量は 20℃と 0℃との場合を比較すると約 1/10に低下する。昆虫の酸素消費量は同一温度では体重に比例するが、熱帯に棲む種類と極地に棲む種類とではほとんど差がない(図 1)<sup>4)</sup>。つまり活動期の昆虫はその酸素消費量において特に寒冷地への適応は認められない

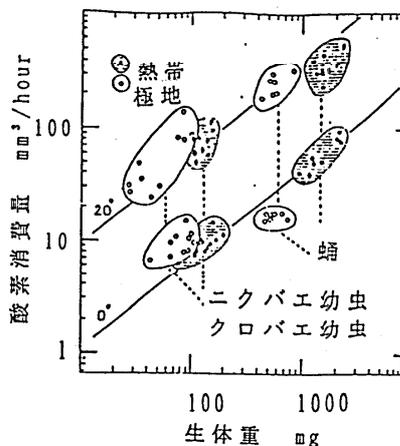


図 1. 熱帯産のニクバエと極地産のクロバエとの代謝率の比較

昆虫が変温動物であるために、冬期のエネルギー消費が少なくてすむ点で、有利であるが、一方寒さによる傷害をのりこえなければならない。例えばカナダのアルバータ州では冬期に -42℃にも気温がさがるが、成虫で越冬する蚊の一種 *Culex territans* の凍結開始の温度(過冷却点)は -26.1℃である。この虫はひとたび凍れば致命的である。しかしこの虫は堆積した岩石のあいだに 75cm も深くもぐって越冬するため最寒月の 1月2月でも、その温度は 30cm の積雪の断熱効果も働いて、-5℃ほどである。この温度では蚊は凍らずにすごし、138日間も 50%の個体が生存できる<sup>5)</sup>。ノルウェーに生息するハマキガ *Zeiraphera diniana* の越冬卵は -51.3℃まで過冷却して樹木の枝先で越冬している<sup>6)</sup>。我国でもヒメクサキリの越冬卵の過冷却点は -32℃で、致命的な凍結から過冷却することによりのがれて冬を越す。卵ばかりでなく、アゲハチョウ<sup>7)</sup> モンシロチョウ<sup>8)</sup> の蛹も過冷却で冬をのりきる。過冷却で越冬するタイプの昆虫が大部分であるが、虫体の凍結がおきても生存できるものもいる。例えばポプラハバチの前蛹<sup>9)</sup> やイラガの前蛹<sup>10)</sup> エゾシロチョウの越冬幼虫<sup>11)</sup> 等は液体窒素の温度でも生存できる。これらの凍結に耐えられる性質を耐寒性という。これらはゆっくりと (0.1℃/min.) 以下の冷却速度で凍結した時のみ、体液は凍結し、氷が析出するが、細胞内

には水が侵入せず脱水され（細胞外凍結）、昆虫は生存できるのであり、急速に凍結すると、細胞内に氷が侵入し（細胞内凍結）、昆虫は障害を受ける。細胞内凍結をひきおこすかどうかに関係する条件は環境温度の冷却速度のほか、虫の過冷却温度、虫の大きさ（体重に対する表面積比）、繭などの断熱性の良い物の存在の有無（凍結開始後の氷の潜熱を保持する）等多くが考えられる。しかしこれらすべてを考慮した解析はいまだなされていない。もちろん昆虫を構成する細胞の大きさやその細胞膜の水に対する透過速度も氷が細胞内に侵入できるかどうかに関係する。

### 3. 活動期の昆虫の体温

北極海のエルスマア島（北緯 81°）に生息する 5 種類の蝶が夏に太陽の輻射であたためられた背の低い植生や地面に翅をおしつける行動をすることが知られている<sup>12)</sup>。植生の表面温度は 1m の高さでの気温よりも 2~8℃ 高く、地面では 9℃ も高くなる。又、地上 24cm の高さでの気温は 1m の高さのそれよりも数度（0.3~5.7℃）高い。そしてほとんどの場合これらの蝶は地上から 50cm 以内の高さで地表面すれすれに飛翔する。さらにこれらの蝶は太陽に対して翅を直角に保つ行動をとる。気温が 17.5℃ の時の実験では翅を太陽に対して直角に保つと 11℃ も高くなり、実験的に翅の角度を変えて測定すると、ほぼその角度のコサインで蝶の体温と気温との差は減少する（図 2）。

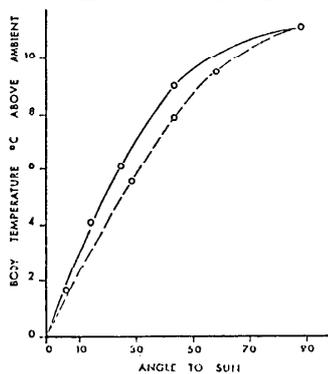


図 2. 蝶の一種 *Boloria chariclea* の体温上昇と太陽と翅の角度との関係

実線： 体温  
破線： 理論値

一般に恒温動物は高緯度に棲息するほど色素が少なくなる傾向があると言われている（Gloger の法則）<sup>13)</sup>。これは有害な紫外線に対する適応と考えられている。一方昆虫においては逆に高緯度に生息するものほどメラニン形成が高く、暗色のものが多くなる<sup>14)</sup>。例をあげると、土壤にすむ昆虫のトビムシ類では高緯度ほど暗色の種類が多くなる（相関係数  $r = 0.806$ ）（図 3）<sup>15)</sup>。

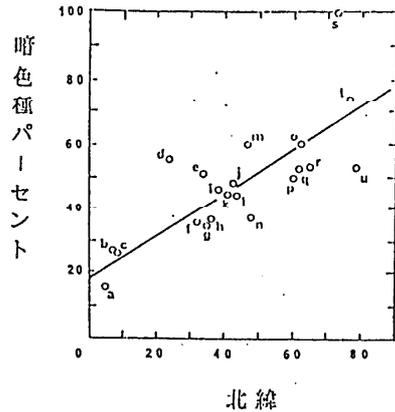


図 3. 暗色のトビムシ類の割合と緯度の関係

これは、暗色の方がより太陽熱を吸収するから、体温をより高めるための適応と考えられる。

### 4. 花の微気象・昆虫の誘引

早春に気温がまだ低い時期に咲くミズバショウに良く似た花で赤みがかったザゼンソウは、その花軸のミトコンドリアの青酸非感受性呼吸系による熱生成をする<sup>16)</sup>。さらにこの花の肉穂花軸を包むようにしている暗紫色の苞葉のため、花序内の温度は気温よりも 20℃ も高い温度に保たれる。この熱で、アミン類やスカトールを気化させ昆虫を誘引し受粉に役立たせている。

一般に受粉を虫媒にたよっている種子植物は昆虫を誘引するための工夫を発達させてきた。花の色彩、匂い、蜜腺の発達、蜜腺にみちびくように配置された色彩パターン、花の形状等がそれである。例えば昆虫の色彩感覚は人間のそれよりも短波長側にずれていて、紫外線が見えているが、多くの花の色を昆虫の感じる三原色の色三角グラフにプロットすると、昆虫の方が人間よりもより広い面積にプロットされる。つまり、

花は人間よりも昆虫に対して良い顔をしているのである。また識別できる色の数も昆虫は15色、人間は12色以下といわれている。寒冷な地域では花の温度も又昆虫を誘引する重要な要因となっている。花の形態とその微気象に関して次にのべる 7つの分類が報告されている<sup>17)</sup>

#### 1) ミクロ温室

透明な花びらで空気を包んでいる。

例 シオガマの類、センノウ。

直射光下で外気より 7°C高くなる。

#### 2) 微毛による熱のトラップ

例 ヤナギ類の尾状花序

アラスカでの観察で外気温 (5°C) の時に20°Cであった。

#### 3) ツリガネ型

地上からの暖かい空気をトラップする。

例 ヒースの場合 4°C上昇

スノードロップでは11°Cも上昇

#### 4) 円板型

太陽の直射光を受けると 5~6°C上昇する。

例 タンポポ、ウサギギク

#### 5) 太陽炉型

花の形がほぼパラボナ反射鏡として働き、柱頭に輻射熱を集中させる。

例 キンロバイ

太陽の入射角が小さくなるにつれこの種の温度上昇率は小さくなるが、花びらの形と雌ずい雄ずいの形による影響により、 $\sin \theta$  には従わない。太陽の入射角が45°以下にならないと温度降下はほとんどみられない。10°Cも上昇する。

#### 6) 太陽追跡型

花の形は前述のものと同じパラボラ型であるが、太陽が沈まない高緯度では24時間太陽を追跡し、長時間にわたり花冠の中を高温に保つ。10°Cも上昇する。

例 チョウノスケソウ、極地のケシ類

#### 7) ジョウゴ型

斜め下方に口を開けたジョウゴ型の花。

例 ユキノシタ属の数種

直射で 6°C上昇するが日が傾くと急速に温度が下降する。

寒冷な地方では花が暖められる事は、葯の生長、花粉管の伸長、受精、子房、そして結果として種子の発達に役だっているものと思われる。また、昆虫を誘引するひとつの要因となっている。例えばユスリカは日のあたっているユキノシタ属の花についてまわり、蚊やオドリバエはチョウノスケソウの花に長時間休んでいる。そしてその体温は外気温よりも 4~14°Cも高い。

#### むすび

断片的なデータへの羅列に近い解説であったといささか危惧しているが、現在の測定値技術をもってすればもっとはっきりときれいに解明できる分野も含んでおり、一人でも興味を持って下されば幸いと感じている。

#### 文 献

- 1) Alee, W.C. & Schmit, V.P. 1951 Ecological animal geography, 1-715
- 2) 「低温とくらし」北海道大学放送教育委員会編集 北海道大学、1985, 1-184
- 3) T. D. シーレイ 1982 ミツバチの家探し行動 Scientific American 日本版 サイエンス 12, 36-44
- 4) Scholander, P. F., Flagg, W., Walters, V., and Irving, L. 1953 Climatic adaptation in arctic and tropical poikilotherms. Physiol. Zool., 67-92
- 5) Hudson, J. E. 1977 Cold hardiness of some adult mosquitoes in central Alberta. Can. J. Zool., 56, 1697-1709
- 6) Bakke, A. 1969 Extremely low supercooling point in eggs of Zeiraphera diniana. Norsk ent. Tidsskr., 16, 81-83
- 7) 丹野皓三 1963 アゲハの越冬蛹の耐凍性、低温科学 生物篇 21, 41-53
- 8) Asahina, E. 1966 Freezing and frost resistance in insects. //n Cryobiology (H.T. Meryman ed.) Academic Press, London, 451-484
- 9) Tanno, K. 1970 Frost injury and resistance

- in the poplar sawfly, *Trichiocampus populi*  
Okamoto. *Contr. Inst. Low Temp. Sci.*, B 16,  
1-41
- 10) Asahina, E. 1959 Prefreezing as a method  
enabling animals to survive freezing at an  
extremely low temperature. *Nature*, 184,  
1003-1004
  - 11) 朝比奈英三・大山佳邦・高橋恒夫 1972 エゾシ  
ロチョウの耐凍性 I. 低温科学、生物篇、30、  
91-98
  - 12) Kevan, P. G. and Shorthouse, J. D. 1970  
Behavioural thermoregulation by high arctic  
butterflies. *Arctic* 23. 268-279
  - 13) Gloger, G. L. 1833 Das Abändern der Vogel  
durch Einfluss des Klimas., A. Schultz Co.,  
Breslalu
  - 14) Vernberg, F. J. 1962 Comparative physiology:  
Latitudinal effects on physiological  
properties of animal populations. *Ann. Rev.  
Physiol.*, 24, 517-546
  - 15) Rapoport, E. H. 1969 Gloger's rule and  
pigmentation of Collembola. *Evolution*,  
23, 622-626
  - 16) Moodie, G. E. E. 1975 Heat production  
and pollination in Araceae. *Can. J. Bot.*  
54, 545-546
  - 17) Kevan, P. G. 1973 Flowers, insects and  
pollination ecology in the Canadian high  
arctic. *Polar Record*, 16, 667-674



## <地方研究グループ活動報告>

### 平成5年度関西研究グループ活動報告

#### 1. 神戸伝熱セミナー

日 時：平成5年8月6日（金）～7日（土）

場 所：住友金属住吉研修所

参加者：70名

内 容：

##### (1) 「ミクروسケール伝熱の最前線」

・日米のミクロ・モレキュラスケール伝熱研究の現状  
土方邦夫（東工大・工）

・*Gas Kinematics* と *Thermodynamics* のはざま：サブ  
ミクロンサイズ領域の熱伝達  
伊藤正行（京大・原研）

・複雑な表面ミクロ-ふく射伝熱学の物性研究-  
牧野俊郎（京大・工）

##### (2) 「伝熱研究に関するコンピュータシミュレーション」

・乱流伝熱のモデリング

長野靖尚（名工大）

・当社における熱流動数値シミュレーション- $\alpha$ -Flow  
の利用事例を中心にして-  
鶴飼 修（三菱重工）

・液体振動による熱輸送の促進-数値シミュレーション  
小沢 守（関西大・工）

##### (3) 「環境と伝熱」

・代替フロン冷媒の技術開発状況  
大西春男（ダイキン）

・CO<sub>2</sub> 増加の影響

吉田篤正（岡山大）

・希薄燃焼による家庭用燃焼機器の低 NO<sub>x</sub> 化の諸問題  
中本充慶（松下電器）

・自動車搭載用小型燃料電池

米田憲郎（三菱電機）

・コージェネレーションの技術動向

片山紘一（大阪ガス）

・氷蓄熱冷暖房装置の開発

宮本守也（三菱電機）

#### 2. 京都地区講演会

日 時：平成5年12月3日（金） 午後1時～5時半

場 所：京都大学工学部化学工学教室

参加者：約50名（講演会終了後懇親会）

内 容：

・矩形密閉容器内自然対流の可視化実験と数値計算

塩見洋一（龍谷大学・理工学部）

・加熱角柱列後方の流れ場の数値計算

堀 正倫（京都工繊大・工芸学部）、近藤政雄（大  
日本スクリーン製造（株））、矢田順三（京都工繊  
大・工芸学部）

・管巢燃焼ボイラモデルにおける対流熱伝達特性

植田芳治・小林 広（ヒラカワガイダム）、小沢守  
（関西大・工）、石谷清幹（大阪大・名誉教授）

・周囲壁温の変化が人体温熱生理に及ぼす影響

吉田 陽（シャープ・エネルギー変換研）

・サーマルアメニティーセンサの開発

加納喜代継（京都電子工業）

・円筒内の水と円筒壁間および水の表面に設置した回転円  
板間の熱伝達

荻野文丸・河合一穂・齊藤泰司（京都大・工）

・ビール、ウイスキー製造における伝熱プロセスとその役  
割

小嶋幸次（サントリー）

・膜冷却としみ出し冷却

吉川進三（同志社大・工）

#### 3. 大阪地区特別講演会

日 時：平成5年9月24日午後2時より

場 所：関西大学100周年記念会館

参加者：約45名（講演会終了後懇親会）

内 容：

・軽水炉における熱流動研究

川西康平（三菱重工高砂研究所）

・カールスルエ原子力研究センターにおける熱流動現象  
の数値シミュレーションの現状-自然対流を中心とし  
て-

Prof.-Ing. Claus Gunther（カールスルエ原子力研究セ  
ンター）

・直交磁場下の液体金属-ガス二相流の伝熱・流動、なら  
びに超音波による伝熱促進とその機構

芹澤昭示（京都大・工）

#### 4. 神戸地区特別講演会・見学会

日 時：平成6年4月7日（木）午後1時より

場 所：三菱重工（株）高砂研究所

参加者：約45名（講演会終了後懇親会）

見学会：高砂研究所 燃焼・伝熱関連研究棟ほか

内 容：

・衝突噴流の伝熱促進・制御

片岡邦夫（神戸大・工）

・ガスタービン空冷翼の冷却技術について

武石賢一郎（三菱重工高砂研究所）

## 5. 若手の会

### (1) 第5回会合

日 時：平成5年7月16日（金）  
場 所：三洋電機（株）研究開発本部  
参加者：13名  
内 容：

- ・ガス事業における環境対策技術  
元江正史（大阪ガス）
- ・エアコン室外機の小型化  
横山昭一（松下電器）
- ・未利用エネルギー利用時の問題点（熱交換器の汚れ）  
桜場一郎（神戸製鋼所）

### (2) 第6回会合

日 時：平成5年11月26日（金）  
場 所：シャープ 奈良新庄工場  
参加者：9名  
内 容：

- ・ガスサイクル式冷凍機  
増田光博（三洋電機）
- ・液晶ディスプレイの放熱技術  
越智 修（シャープ）
- ・清棉工場におけるエネルギーの有効利用  
安田俊彦（日立造船）

### (3) 第7回会合

日 時：平成6年2月25日（金）  
場 所：備後町オークビル  
参加者：11名  
内 容：

- ・代替冷媒のサイクル性能  
隅田嘉裕（三菱電機）
- ・「若手の会」の総括と方針決定

## 6. 伝熱技術フォーラム

### (1) 第1回例会

日 時：平成5年6月7日（月）午後3時～5時  
場 所：新明和工業（株）開発技術本部技術研究所  
参加者：44名（特別懇談会出席者27名）  
見学会：開発技術本部開発研究所  
話題提供：

- ・真空中におけるモータの冷却  
中村勝彦（新明和工業開発本部技術研究所）
- ・廃木材の炭化装置  
山根健司（新明和工業開発本部技術研究所）

### (2) 第2回例会

日 時：平成5年10月28日（金）午後2時～5時  
場 所：関西大学100周年記念会館  
参加者：54名（特別懇談会出席者23名）  
見学会：機械システム工学科熱工学研究室  
話題提供：

- ・剛材強制冷却の伝熱現象  
高島啓行（住金マネジメント（株））
- ・音響振動による熱輸送現象  
小沢 守（関西大学・工）

### (3) 第3回例会

日 時：平成6年2月23日午後3時～7時  
場 所：関西電力南港発電所  
参加者：41名（特別懇談会出席者21名）  
見学会：発電所、CO<sub>2</sub> リサイクル研究施設ほか  
話題提供：

- ・挨拶  
香川久生（南港発電所所長）
- ・関西電力における都市型火力発電について  
埜田真次郎（南港発電所次長）
- ・関西電力における CO<sub>2</sub> リサイクル研究の取り組みについて  
赤野 徹（総合研究所環境技術研究センター）

（関西研究グループ担当理事 木本日日出夫）

## 東海研究グループ活動報告

日本ライン伝熱セミナー「先端計算機援用熱流体工学の基礎と実際」報告

辻 俊博（名古屋工業大学）

東海研究グループが企画する伝熱セミナーを、平成5年9月24日から25日にかけて愛知県犬山市で開催しましたのでご報告致します。本セミナーは今回で4回目となりますが、本年度は名工大が当番となり、実行委員会（といっても委員は私と田川正人先生の2人だけです）を組織してセミナーを開催することになりました。これまでのセミナーでは、乱流伝熱、企業における伝熱研究、熱流体計測がテーマとなっていましたので、今回は最近流行の熱流体解析にスポットを当て、表題のテーマを掲げることにしました。幸い、講師の先生方には快くお引き受け頂き、また長野靖尚先生にもお力添えを頂き、下記のような内容のプログラムを企画することができました。

セミナーの開催地犬山市は、名古屋市近郊の唯一の観光地で、会場の隣には、国宝犬山城、日本モンキーセンター、遊園地などの施設があります。また、すぐ近くに木曾川（ドイツのライン川を模して日本ラインと別称され、これを今回のセミナー表題に冠しました）があり、川下りと鵜飼いで有名です。

さて、本セミナーには大学および企業から56名の方々のご参加を得ました。第1日目の午後、地区理事の加藤征三先生（三重大）の開会挨拶から始まり、まず、「先端計算機利用の基礎」と題するセッションが開かれました。ワークステーションクラスの計算機での科学技術計算の高速化とそれに必要な情報環境を中野守氏（日本DEC）に解説して頂き、また米国における超並列コンピュータの開発動向について、近藤継男氏（豊田中研）に実地視察されたときの印象を含めて紹介して頂きました。次に、「計算方法の基礎と進展」のセッションで中山顕先生（静岡大）には熱流体解析法の基礎を米国留学中のエピソードを交えて分か

り易く講義して頂き、賈為先生（名大、現山形大）には非圧縮性流に関する最新の計算法と解析例を紹介して頂きました。第1日目の最終セッションは、「先端計算の現状と将来（その1）」と題し、燃焼に関する計算法と火炎構造に関して得られるいくつかの情報を山下博史先生（名大）に詳細に解説して頂きました。また、藤井孝藏先生（宇宙科学研）には、熱流体解析結果の分析に威力を発揮する可視化システムについて、独自に開発されたソフトウェアによるサイエンティフィックビジュアライゼーションの世界にご招待頂きました。この後開かれた懇親会では、講師の先生方、荒木信幸先生（静岡大）、熊田雅弥先生（岐阜大）、学生諸君に熱流体の研究に対する抱負、説教、意見を語って頂き、さらに二次会へと進んで一日目の夜も早更けてしまいました。翌日の午前中、「先端計算の現状と将来（その2）」のセッションが開かれ、安倍賢一氏（豊田中研）に最新乱流モデルを用いた複雑乱流の解析法、宇佐美勝先生（三重大）に、モンテカルロシミュレーションによる分子レベルでの熱流体解析法を講義して頂きました。そして、田口浩一氏（コンピュータ・テクノロジー・インテグレイタ）にCFDによる海洋環境アセスメントとして三河湾、浜名湖などの実例を可視化ビデオで紹介して頂き、予定のスケジュールを終了致しました。

今回のセミナーでは、熱流体解析に関する多岐の内容の話題提供があり、CFDの威力について、ご参加頂いた企業の方々、学生諸君にはかなりインパクトがあったように思います。講師の先生方、司会をお願いした長谷川達也先生（名工大）、廣田真史先生（名大）、丸山直樹先生（三重大）ならびに開催準備のお手伝いをお願いした研究室の学生諸君のご協力に深く感謝致します。

# 第31回日本伝熱シンポジウム

開催 5月18日～5月20日

主催 日本伝熱学会  
共催 日本学術会議熱工学研究連絡委員会  
日本機械学会, 化学工学会 他

【開催日】 平成6年5月18日(水)～5月20日(金)

【講演会場】 北海道大学百年記念会館大会議室【A室】  
〒060 札幌市北区北9条西5丁目  
JR札幌駅北口より徒歩6分,  
北海道大学正門内右手  
北海道大学学術交流会館【受付, B室～G室】  
〒060 札幌市北区北9条西5丁目  
JR札幌駅北口より徒歩5分,  
北海道大学正門内左手

ご注意: いずれの会場も開場は午前8時30分です。

## 【シンポジウム参加費】

一般(1名) 事前申込: 7,000円, 当日申込: 8,000円  
学生(1名) 事前申込: 3,000円, 当日申込: 4,000円  
(いずれも講演論文集代は含みません)

## 【講演論文集】

1セット 8,000円(消費税込)  
ただし、郵送の場合には送料700円が加算されます。平成5年度分までの会費を年度内(平成6年3月末日まで)に完納済みの会員には、1セット無料進呈致しますが、本年度より論文集送付要領が変わります。詳細は本プログラム末尾のお知らせをご覧ください。

## 【懇親会】

日時 5月19日(木) 18:30～20:30  
会場 札幌サンプラザ(札幌市北区北24西5)  
会費 事前申込 6,000円 当日申込 7,000円  
同伴夫人は無料です

## 【イブニングセミナー】

「国産ロケットH2用LE7エンジンの開発」  
講師 三菱重工業(株)  
名古屋誘導推進システム製作所  
エンジン・機器部  
次長 岸本健治 氏  
日時 5月18日(水) 17:50～18:50  
会場 講演会場B室

## 【参加申込方法】

参加申込み用の郵便振替用紙をご使用になり、通信欄内の必要事項(氏名、勤務先または学校名、会員・非会員の別はかならずお書きください)を御記入のうえ、当該金額をご送金ください。なお、郵便振替用紙は一人につき一枚ご使用ください(申込み用の郵便振替用紙は、必要枚数、送り先を明記のうえ、下記準備委員会宛ファックスにてお申し付けください)。また、原則として領収証の発行を省略し、郵便局発行の郵便振替払込金領収証をもって、参加費領収証にかえさせていただきます。

## 【申込先】

郵便振替口座: 小樽6-11360  
第31回日本伝熱シンポジウム準備委員会

【事前申込締切】 平成6年4月30日(土)

## 【当日受付】

5月18日(水) 午前8:30よりシンポジウム会場  
(北海道大学学術交流会館)にて行います。

## 【お問い合わせ先】

〒060 札幌市北区北13条西8丁目  
北海道大学工学部 機械工学第二学科内  
第31回日本伝熱シンポジウム準備委員会  
福迫尚一郎  
TEL 011-706-6425, 011-706-6427 FAX 011-706-7889

- ※印は講演者、講演時間は10分、討論はそれぞれのセッションで適宜まとめて行います。
- 連名者の所属が前者と同じ場合は省略してあります。

第1日 5月18日(水)

<< A室 >>

## 【限界熱流束(I)] 9:20～11:00

- 座長 塩津正博(京大原研), 関根郁平(苫小牧高専)
- A111 垂直一樣加熱円管内の自然対流沸騰の限界熱流束  
※門出政則(佐賀大理工), 光武雄一
- A112 鉛直円管内を流れる混合液の限界熱流束および極小熱流束  
H. Auracher(ベルリン工大), ※宮良明男(佐賀大理工), A. Marroquin(シュトゥットガルト大)
- A113 管内強制流動沸騰における上流限界熱流束-管長・管径比の影響について-  
※横谷定雄(東大工), 渡辺誠, 相場誠弥(東大工学), 庄司正弘(東大工)
- A114 垂直加熱管内流下液膜及び低質量流量上昇流のドライアウト熱流束  
小泉安郎(工学院大), ※松尾輝之, 植田辰洋
- A115 二成分混合液の限界熱流束  
藤田恭伸(九大工), 白強(九大院), ※筒井正幸

## 【限界熱流束(II)] 11:10～12:30

- 座長 杉山弘(室蘭工大), 綾威雄(船研原子力技術部)
- A121 流動脈動時における限界熱流束  
※梅川尚嗣(関大工), 小澤守,  
宮崎明(ヒラカワガイダム), 三島嘉一郎(京大炉),  
日引俊
- A122 垂直壁面上のプール沸騰CHF機構について  
※甲藤好郎(日大理工), 乙訓伸次, 横溝剛志
- A123 傾斜管における限界熱流束に関する研究  
※森英夫(九大工), 吉田駿, 大野正規
- A124 水平管群の沸騰熱伝達と限界熱流束  
藤田恭伸(九大工), ※日高澄具, 橋口卓弘(九大院)

## 【各種液体の沸騰] 13:20～14:40

- 座長 菊地義弘(広島大工), 茂地徹(長崎大工)
- A131 細線からフロリナートへの強制対流沸騰熱伝達に対する流速とサブクール度の影響  
※水沼仁志(東工大), デビット コープランド,  
中山恒
- A132 種々の液体における非沸騰状態から膜沸騰への遷移機構  
※櫻井彰(未来エネルギー研), 塩津正博(京大原研),  
畑辛一, 福田勝哉(神船大)

- A133 He II 中の臨界熱流束に対する発熱体直径の影響  
※塩津正博(京大原研), 畑幸一, 竹内右人, 濱勝彦
- A134 He II 中の水平円柱からの膜沸騰熱伝達  
塩津正博(京大原研), ※畑幸一, 竹内右人, 濱勝彦

【核沸騰】 14:50~16:10

- 座長 熊谷哲(東北大工), 坂下弘人(北大工)
- A141 リチウム塩水溶液のプール核沸騰特性  
鴨志田隼司(芝浦工大工), ※松本久史(芝浦工大工),  
一色尚次(日大工), 佐藤運男(芝浦工大工)
- A142 サブクール沸騰開始に及ぼす流路形状影響の基礎研究  
小川純人(東北大工), 奥山光明, ※藤原幸雄, 橋爪秀利,  
森治嗣(東京電力), 戸田三朗(東北大工)
- A143 サブクール領域における沸騰流の伝熱特性  
※加治増夫(阪大工), 西住健治(阪大院),  
古川雅裕(三洋電機), 森幸治(阪大工),  
世古口言彦(阪大工)
- A144 複合伝熱面からの沸騰熱伝達  
藤田恭伸(九大工), ※内田悟, 高鍋浩二(九大院)

【気泡と液膜】 16:20~17:40

- 座長 横谷定雄(東大工), 藤田恭伸(九大工)
- A151 核沸騰気泡下伝熱面の温度変動  
※関根郁平(吉小牧高専)
- A152 狭間げき内の気泡成長にともなう液膜厚さ(気泡成長速度  
の影響)  
※森山清史(東工大), 井上晃(東工大原研)
- A153 沸騰開始時における発泡点近傍の局所熱流束  
※佐古光雄(広島大), 真柄博信(広島大院)
- A154 限界熱流束近傍における液膜厚さとその形成機構  
※小谷拓也(北大院), 熊田俊明(北大工), 坂下弘人

<< B室 >>

【乱流モデル】 9:20~11:00

- 座長 小尾晋之介(慶大理工), 稲垣照美(茨大工)
- B111 壁からの距離を用いない非等方 $k-\epsilon$ モデル(壁近傍での圧  
力拡散を考慮したモデルの改良)  
小林睦夫(新潟大工), 前川博, ※河内一彰(新潟大院)
- B112 平板乱流境界層におけるスパン方向乱流熱流束の収支と圧  
力勾配相関  
※前川博(新潟大工), 小林睦夫, 河田剛毅(長岡高専),  
高野貞明(新潟大院), 北上豊晴
- B113 種々のプラントル数流体の乱流伝熱を予測する温度場2方  
程式モデル  
※佐藤英明(日本電装), 長野靖尚(名工大)
- B114 乱流熱流束モデルの基礎的考察 - 圧力・温度勾配相関 -  
※島田昌也(名工大), 長野靖尚
- B115 DNSデータベースによる温度乱れ散逸方程式のモデリング  
※服部博文(名工大), 長野靖尚

【乱流数値解析(Ⅰ)】 11:10~12:30

- 座長 小林睦夫(新潟大工), 平井秀一郎(東工大)
- B121 縦筋を伴う三次元管内の乱流構造解析  
杉山均(宇都宮大工), 秋山光庸,  
※山中和典(日立製作所), 平田賢(芝浦工大)
- B122 レイノルズ応力モデルを用いた曲管内乱流の数値解析  
※吉田啓之(九大総理工院), 清水昭比古(九大総理工),  
阿部健司(九大総理工院)
- B123 正方突起を有する温度成層流路内の乱流濃度拡散の  
数値研究  
※布施木徹(東京ガス)
- B124 粗面壁を有する正方形断面管内乱流の熱流動解析  
杉山均(宇都宮大工), 秋山光庸,  
※松本将師(日産自動車), 平田賢(芝浦工大)

【乱流数値解析(Ⅱ)】 13:20~14:40

- 座長 布施木徹(東京ガス), 店橋護(東工大)

- B131 壁面せん断乱流における渦構造の時間的发展  
黒田明慈(北大工), 工藤一彦, 谷口博,  
※長谷川聡(北大院), 菅家淳一(北大学)
- B132 細い内管を持つ二重管内乱流熱伝達の  
数値シミュレーション  
※中村誓一(東理大院), 河村洋(東理大)
- B133 温度成層型蓄熱水槽内の非定常乱流場の数値解析  
※莫雲(九大工), 宮武修
- B134 直交座標系熱流体シミュレーションシステムへの解適合格  
子法の適用  
※中野明(松下冷機), 下村信雄,  
里深信行(京都工芸繊維大), 森西晃嗣

【噴流(Ⅰ)】 14:50~16:10

- 座長 一宮浩市(山梨大工), 二宮尚(宇都宮大工)
- B141 擾乱を与えた軸対称噴流の渦輪の挙動  
※栗間諄二(山口大工), 宮本政英, 平田賢(芝浦工大)
- B142 軸対称温水噴流の拡散促進  
※柴崎光直(慶大院), 菱田公一(慶大理工), 前田昌信
- B143 二重円管空気噴流の熱的混合に関する研究  
※荒井康(東理大院), 服部直三(東理大)
- B144 2平板間に設置された円柱への二次元衝突噴流に関する研  
究(流れ場および熱伝達への円柱径の影響)  
※羽田喜昭(長野高専), 土屋良明(信州大),  
倉澤英夫(長野高専), 鈴木健二郎(京大工)

【噴流(Ⅱ)】 16:20~17:20

- 座長 栗間諄二(山口大工), 羽田喜昭(長野高専)
- B151 軸対称衝突噴流よどみ領域の乱流特性  
※西野耕一(横国大), 鳥居薫, 佐間田正憲(横国大院),  
榎谷圭一(横国大)
- B152 環状衝突噴流の局所伝熱特性  
一宮浩市(山梨大工), ※奥村賢(山梨大院)
- B153 核融合炉ダイバータ冷却のための高濃度固気混相衝突噴流  
熱伝達  
清水昭比古(九大総理工), 横峯健彦(九大総理工院),  
※横峯澄伸, 赤澤逸生, 頭島康博(九大工)

<< C室 >>

【二相流(Ⅰ)】 9:20~11:00

- 座長 藤田秀臣(名工大), 竹中信幸(神戸大工)
- C111 吸引流を伴う高速二相ノズル流れの特性  
中川勝文(豊橋技科大), 末田隆史(豊橋技科大院)  
※武内裕嗣(日本電装), 小久保尚躬
- C112 単成分二相ノズル噴流中の液滴分布  
中川勝文(豊橋技科大), ※宮地一茂
- C113 ディスク式絞り機構における熱的非平衡  
※磯野正彦(東船大院), 刑部真弘(東船大)
- C114 二流体モデルによる気液二相旋回流の解析  
※湊明彦(日立エネ研), 山内淳男, 高森和英, 須々木晃
- C115 宇宙排熱システムの熱流動特性  
藤井照重(神戸大工), ※中澤武(神船大),  
宮崎芳郎(東芝), 古川正夫(宇宙開発事業団)

【二相流(Ⅱ)】 11:10~12:30

- 座長 中川勝文(豊橋技科大), 中澤武(神船大)
- C121 狭い流路内を通過する気泡による熱伝達の促進  
※門出政則(佐賀大理工), 光武雄一, 楠田久男
- C122 狭い間隙をもつ偏平流路内の気液二相流  
(液体物性値の影響)  
※藤田秀臣(名工大), 廣田真史, 大原敏夫(日本電装),  
古田裕之(名大院)
- C123 垂直下降気液二相流のプラグ流領域における流動特性  
※森幸治(阪大工), 加治増夫, 中里見正夫(宇部高専),  
清水英男, 坂根学(阪大院), 世古口言彦(阪大工)
- C124 逆環状流の伝熱と圧損  
※竹中信幸(神戸大工), 藤井照重,

安田貴則(神戸大院), 杭出義也(神戸大工)

【二相流(Ⅲ)】 13:20~14:40

座長 門出政則(佐賀大理工), 富山明男(神戸大工)

C131 らせん管内環状二相流の液膜厚さの諸特性(幾何学的に相似ならせん管における曲率の影響)

※渡辺修(愛知工大), 藤田秀臣(名大工)

C132 水平管内成層流に生じる跳水現象

※片山二郎(室蘭工業大学), 佐藤信吾, 高橋洋志

C133 冷凍サイクル熱交換器における気液二相流の挙動

※田中恵三(東大院), 飛原英治(東大工),

松岡文雄(三菱電機生活システム研究所),

斎藤孝基(東大工)

C134 容器内気液二相自然循環の研究

※戸井隆(京大工), 五福明夫(京大原研), 片岡勲

芹沢昭示(京大工)

【二相流(Ⅳ)】 14:50~16:10

座長 刑部真弘(東給大), 大橋幸夫(東芝RDC)

C141 沸騰流路中に生じる密度波振動の特性曲線法による解析

※岡崎元昭(原研)

C142 気泡流における壁近傍の乱流モデルの検討

※片岡勲(京大原研), 芹沢昭示(京大工)

C143 垂直円管内固液二相流の相分布と速度分布に関する一考察

※坂口忠司(神戸大工), 富山明男, 南川久人,

赤對秀明(神戸高専), 金田健吾(椿本チェーン)

C144 垂直管内空気-水系噴霧流のドライアウト過程

※北川哲也(横国大院), 鳥居薫(横国大), 西野耕一,

川上久直

【複雑流路二相流】 16:20~17:40

座長 加治増夫(阪大工), 片岡勲(京大原研)

C151 BWR模擬燃料集合体の限界出力についての研究

(限界出力に及ぼすスペーサ上流の影響)

師岡慎一(東芝原子力技術研), 白川健悦,

木村次郎(東芝原子炉炉心設計部)

C152 気液二相非平衡流におけるサブチャンネル間の乱流混合の取り扱いについて

※川原顕磨(熊本大学), 佐田富道雄,

志賀栄一(九州電力), 佐藤泰生(熊本大学工)

C153 並列沸騰流路におけるガイセリング(流路本数の影響)

※有富正憲(東工大原子炉研), 江俊賢, 石川拓司,

森治嗣(東電), 田畑広明(原電)

C154 二相流合流損失の実験的検討(第3報)

※大橋幸夫(東芝RDC), 橋詰健一

<< D室 >>

【閉空間内自然対流】 9:20~11:00

座長 北村健三(豊橋技科大工), 小澤守(関大工)

D111 薄い矩形密閉容器内の自然対流熱伝達の実験

※幾世橋広(東北大工), 富田哲也(富士総研)

D112 傾斜狭空間内の自然対流熱伝達

※越川浩志(東北大院), 勝村幸博(東北大工)

橋爪秀利, 戸田三朗

D113 矩形容器内における懸濁液の自然対流

岡田昌志(青学大), ※鈴木哲也(青学大院)

D114 大電力加速器ターゲットにおける熱問題

※武田靖(PSI)

D115 二重管内の自然対流熱伝達(偏心にとまなう多重渦の発生とその影響)

廣瀬宏一(岩大工), ※八戸俊貴, 大内雅樹

【物体まわりの自然対流(I)】 11:10~12:30

座長 岡田昌志(青学大理工), 畑幸一(京大原研)

D121 突起状分散熱源を有する鉛直平行平板群の自然対流

※儀間悟(九大総理工院), 富村寿夫(九大機能研),

張興, 藤井不夫

D122 有限長垂直平板の自然対流数値解析(底面温度一定の床面上平板)

※山崎郭滋(高知高専), 斎藤朗(富山商船高専),

永橋優純(高知高専)

D123 ヘリウム・空気置換流の置換流量に関する研究

※文沢元雄(原研), 菱田誠

D124 傾斜平板に沿う自然対流の流動および熱伝達

※木村文義(豊橋技科大院), 北村健三(豊橋技科大工)

【物体まわりの自然対流(Ⅱ)】 13:20~14:40

座長 斎藤武雄(東北大工), 岩崎秀夫(東芝研究開発セ)

D131 格子状フィンによる水平加熱平板上自然対流の伝熱促進

※北村健三(豊橋技科大工), 長江直行(豊橋技科大院),

木村文義

D132 三角配列を有する水平3円柱からの自然対流熱伝達

※相原英世(東理大院), 服部直三(東理大)

D133 自然対流熱伝達の3次元熱流動による劣化

※能登勝久(神戸大), 清田隆, 佐藤輝, 中島健

D134 超臨界圧流体中においてバルス加熱される細線からの自由対流熱伝達

※丹波純(東北大院), 小原拓(東北大流体研),

相原利雄

【自然対流数値解析】 14:50~16:10

座長 藤井丕夫(九大機能研), 能登勝久(神戸大)

D141 球周りの自然対流熱伝達問題の数値解析

(ベンチマーク解)

※高橋ひとみ(東北大工), 斎藤武雄

D142 タイムスペース法に関する研究-空間の解像度の向上-

※柴田真(東北大院), 斎藤武雄(東北大工)

D143 熱駆動流の安定性解析

※田中宏和(名工大), 辻俊博, 長野靖尚

D144 低プラントル数流体の振動ベナール対流の数値解析

原禎治(九大総理工), ※尾添紘之(九大機能研)

【多孔質内自然対流】 16:20~17:20

座長 尾添紘之(九大機能研), 尾崎公一(岡山大工)

D151 粒子層を充填した熱サイフォン内の自然対流熱伝達

※河部弘道(専修大), 田中貞美, 福迫尚一郎(北大工)

D152 多孔質体内二重拡散問題に関する一考察

中山顕(静岡大工), ※芦沢貴弘(静岡大院),

桑原不二朗(静岡大工), 児山仁

D153 飽和多孔質層に接する鉛直加熱平板からの非定常連成熱伝達

※マイケル ヴィニッキー(東北工研), 木村繁男

<< E室 >>

【電子機器の冷却】 9:20~10:40

座長 木村照夫(福井大工), 平澤茂樹(日立機械研)

E111 電子機器筐体の熱解析(ノートブック型パソコン)

※久野勝美(東芝), 岩崎秀夫, 石塚勝

E112 自然空冷式電子機器筐体からの放熱(通気口の位置と誘起流量の関係)

※岩崎秀夫(東芝RDC), 佐々木富也, 久野勝美, 石塚勝

E113 自然対流による電子機器筐体内の冷却

横山孝男(山形大工), ※小林英則(山形大院),

横山和則(山形大工), 保坂興平(三木プーリ),

山根光男

E114 ファン攪拌式ヒートシンクの放熱特性

※北城栄(日本電気)

【半導体の熱特性】 11:10~12:30

座長 久野勝美(東芝RDC), 西原淳夫(日立機械研)

E121 GaAs MESFET内の発熱・熱輸送(ゲート電圧の影響)

※伏信一慶(東工大院), Arunava MAJUMDAR(UCSB),

土方邦夫(東工大工)

- E122 SOI構造トランジスタ素子の熱解析  
 ※平澤茂樹(日立機械研), 中里典生,  
 山口日出(日立デセ), 吉原和弘
- E123 三次元集積回路モデルにおける非等方熱伝導  
 ※斉藤弘幸(東工大), 中山恒(東工大)
- E124 半導体レーザーによる染料熱転写記録の印画特性-内部発熱および熱源移動が染料転写に及ぼす影響-  
 ※村田章(農工大), 望月貞成, 森本泰正,  
 江頭典考(大日本印刷)

【熱物性(I)】 13:20~14:40

- 座長 森康彦(慶大理工), 日向滋(信州大織)
- E131 リブロンを利用した凝固プロセスの観測(第2報:高精度測定のための光学系の改良)  
 ※西尾忠邦(慶大院), 長坂雄次(慶大理工)
- E132 混合物の蒸発熱  
 ※伊藤猛宏(九大), 山口朝彦(慶大院), 赤坂亮
- E133 融解・凝固域にあるLJ原子系の熱力学性質に関する数値実験  
 ※島津裕輔(京大院), 若林英信, 牧野俊郎(京大工)
- E134 トルエン・ベース磁性流体の比熱の温度及び濃度依存性  
 日向野三雄(東北大流体研), 西郷一浩(東北大院),  
 ※伊部雅人, 中村和人, 増田英俊(東北人流体研)

【熱物性(II)】 14:50~16:10

- 座長 佐藤春樹(慶大理工), 日向野三雄(東北大流体研)
- E141 CO<sub>2</sub>レーザを用いた強制レイリー散乱法の研究(第3報 光学系の改良及び自由表面加熱法の誤差要因の検討)  
 ※茨田高志(慶大院), 秋下佳也(慶大),  
 長坂雄次(慶大理工), 長島昭
- E142 液体レンズの形状測定に基づく拡張係数の決定法  
 ※中村英幸(慶大院), 中島英通(慶大理工), 森康彦
- E144 光ファイバセンサによる液体の屈折率測定技術  
 ※日向滋(信州大織), 姫野修廣, 桜井正幸,  
 飯田秀徳(信州大院), 横田徳之

【熱物性(III)】 16:20~17:00

- 座長 長坂雄次(慶大理工), 姫野修廣(信州大織)
- E151 多層試料の熱物性評価 -理論と実験結果の比較-  
 ※唐大偉(静岡大・工), 島田和彦, 牧野敦, 荒木信幸
- E153 分散系混合物の温度伝導率の巨視的均質限界  
 ※山田悦郎(秋田大鉱山), 芹田英一(秋田大鉱山院),  
 伊藤公悦(秋田大鉱山学)

<< F室 >>

【凝固・溶解】 9:20~11:00

- 座長 大河誠司(東工大), 堀部明彦(北大工)
- F111 過冷却固体面における凝固シェル形成過程に関する研究  
 ※西尾茂文(東大生研), 稲村茂(芝浦工大学),  
 永井二郎(福井大工)
- F112 過冷却融液凝固における結晶の自由成長  
 林勇二郎(金沢大工), 國峰寛司(明石高専),  
 ※高森淳(金沢大工)
- F113 凝固点近傍における融液挙動の微粒子散乱による光学的観察(第1報)  
 ※武石伊久雄(慶大院), 村井盛宜(慶大),  
 長島昭(慶大理工)
- F114 過冷を伴う合金融液の凝固  
 林勇二郎(金沢大工), ※義岡秀晃(富山商船高専),  
 國峰寛司(明石高専)
- F115 溶融炉心・コンクリート間の熱的相互作用模擬実験  
 勝村幸博(東北大工), ※川口孝弘(東北大院),  
 橋爪秀利(東北人工), 戸田三朗

【蒸発】 11:10~12:30

座長 田中修(九工大), 新井隆景(室蘭工大)

- F121 上向スプレーフラッシュ蒸発に関する研究  
 上原春男(佐賀大), 池上康之, ※北島信行(佐賀大院)
- F122 真空式太陽熱蒸留器の基礎研究  
 宇田浩三(慶大院), 佐々木克(慶大),  
 ※佐藤二朗(慶大院), 佐藤春樹(慶大理工), 渡部康一
- F123 アクティビティレベルを考慮したスイミングプールの蒸発とエネルギー収支の研究  
 ※C. C. Smith(東北大), 斎藤武雄(東北大工)
- F124 蒸気雰囲気中での液滴蒸発・凝縮モデルの開発  
 ※室田知也(日立エネ研), 川部隆平

【ヒートパイプ(I)】 13:20~14:40

- 座長 角口勝彦(九工大), 室田知也(日立エネ研)
- F131 水を作動流体としたスーパーヒートパイプの伝熱特性  
 ※田中修(九州工大), 越野英和,  
 中川智文(九州工大), 田中弘之,  
 高野義康(九州工大)
- F133 多重マイクロヒートパイプの伝熱性能予測  
 ※吉岡啓介(大分大工)
- F134 熱スクリーンによる自然対流の制御  
 増岡隆士(九工大), ※吉田文明(九工大),  
 谷川洋文(九工大), 鶴田隆治, 高津康幸

【ヒートパイプ(II)】 14:50~16:10

- 座長 沢田正剛(北見工大), 桃木悟(長崎大工)
- F141 強制対流二相ループによる長区間中ケーブル冷却  
 井村英昭(熊本大), 望月正孝(フジクラ), ※斎藤祐士
- F142 熱サイフォン型ヒートパイプの傾斜特性  
 ※白石正夫(機械研),  
 タドトーン・プラデット(チェンマイ大),  
 村上正秀(筑波大)
- F143 二成分系密閉型二相サーモサイフォンの作動限界に及ぼす加熱部非一様熱流束分布の影響  
 ※角口勝彦(九工大), 深野徹
- F144 ヒートパイプを利用した温泉廃湯熱源融雪システム  
 望月正孝(フジクラ), 斎藤政芳, 杉原伸一,  
 石井慎二(北海道フジクラ), 山田忠雄, ※千葉隆

【ヒートパイプ(III)】 16:20~17:20

- 座長 深野徹(九工大), 吉岡啓介(大分大工)
- F151 振動制御型熱輸送管に関する研究  
 (逆位相型熱輸送管の提案)  
 ※史小宏(東大院), 西尾茂文(東大生研),  
 舟津功治(日立)
- F152 音響共鳴冷凍におけるスタックの影響  
 ※原利次(日本工大), 静野貴光(日本工大学),  
 高橋宣任, 岩田博(日立)
- F153 浸透ヒートパイプの開発(熱輸送量の増大)  
 ※一法師茂俊(熊本大工), 井村英昭,  
 山村博隆(熊大院), 緑忠行(熊大工)

<< G室 >>

【計測(I)】 9:20~10:40

- 座長 秋山光庸(宇都宮大), 久保真治(原研)
- G111 流体の混合平均温度の測定(第2報:粘度が比較的大きい場合)  
 ※清水洋一(琉大教育), 山田政由(琉大院),  
 藤井哲(九大機能研)
- G112 超音波CTによる物体内部温度の非接触測定  
 藤井丕夫(九大機能研), ※熊森徹(九大総理工院),  
 張興(九大機能研), 富村寿夫, 濱野光司
- G113 超音波CTによる生体ファントム内の温度分布測定  
 ※縄田豊(八代高専)
- G114 フォトクロミックダイによる表面張力変化の可視化  
 土方邦夫(東工大), ※内田進, 小川邦康(東工大)

【計測(Ⅱ)】 11:10~12:30

- 座長 五十嵐保(防衛大), 工藤彦(北大工)
- G121 原子間力走査型顕微鏡を用いた微小スケール温度場の可視化  
※中別府修(東工大), M. Chandrachud (UCSB), J. Lai, A. Majumdar
- G122 感温液晶の応答性に関する研究(1) 定常特性  
秋野詔夫(原研), 久保真治, ※森本俊一(山梨大院), 一宮浩市(山梨大工), 鷺谷昭二郎(日本マイクロカプセルプロダクツ), 中西真行
- G123 蛍光による温度測定法  
※久保真治(原研), 秋野詔夫, 秋山光庸(宇都宮大), 秋山均
- G124 同一微細蛍光粒子の速度と温度の同時計測手法への一提案  
佐藤勲(東工大), 黒崎晏夫, ※篠原謙一郎(東工大)

【都市・地球環境と伝熱(Ⅰ)】 13:20~14:40

- 座長 佐藤勲(東工大), 廣瀬宏一(岩手大工)
- G131 市街地形態が異なる街区の熱環境形成に関する実測的研究  
※吉田篤正(岡山大工), 森山正和(神戸大工), 宮崎ひろ志(姫路工大), 兵頭美和(神戸大工), 足永晴信(建築研究所)
- G132 濾紙面温度分布を用いた建物周辺気流に関する実験的研究(その1) 気流性状と単体模型の高さによる影響  
※野々村善民(フジタ技術研究所), 成田健一(広島大工)
- G133 都市域における建物外表面対流伝達率に関する風洞実験(その2)  
※成田健一(広島大工), 野々村善民(フジタ技術研究所), 小笠頭(広島大工)
- G134 環八雲の生成機構に関する数値シミュレーション  
吉田英生(東工大), ※桑原良尚(東大院), 越後亮三(東工大), 中山力(日系BP), 仁村英雅(NTTデータ通信)

【都市・地球環境と伝熱(Ⅱ)】 14:50~15:50

- 座長 吉田篤正(岡山大工), 瀬下裕(三菱電機)
- G141 放射冷却を受ける解放系の複合伝熱の数値シミュレーション  
※柳本陽太郎(東北大院), 齋藤武雄(東北大工)
- G142 都市温暖化と大気汚染の3次元シミュレーション  
※星秀俊(東北大院), 齋藤武雄(東北大工)
- G143 地球温暖化の3次元モデリングとシミュレーション  
※久保田哲弥(東北大工), 齋藤武雄

【CO<sub>2</sub>回収】 16:20~17:40

- 座長 宗像鉄雄(機械研), 竹村文男(機械技研)
- G151 深海相当超高压下におけるCO<sub>2</sub>動的挙動の実験  
平井秀一郎(東工大炭素循環セ), 岡崎健, ※荒木紀雄(東大院), 吉本康二(東工大), 上方邦夫(東工大)
- G152 CO<sub>2</sub>溶解密度成層の安定性に関する実験的研究  
※綾威雄(船研原子力技術部), 山根健次(船研大阪支所), 山田信夫(コーアツ)
- G153 二酸化炭素霜と水蒸気霜の複合成長理論  
※青木和夫(長岡技科大), 守屋博司(長岡技科大), 沢田壯之, 服部賢(長岡技科大)
- G154 高压水中におけるCO<sub>2</sub>液泡の溶解特性  
※鈴木亨(筑波大学), 綾威雄(船研), 山根健次, 成合英樹(筑波大)

第2日 5月19日(木)

<< A室 >>

【遷移沸騰】 9:10~10:50

- 座長 熊田俊明(北大工), 福田勝哉(神船大)
- A211 沸騰における固液接触状況に関する研究  
※永井二郎(福井大工), 西尾茂文(東大生研)
- A212 遷移沸騰の伝熱機構の検討  
※安田広志(北大工), 坂下弘人(北大工), 熊田俊明
- A213 遷移沸騰・膜沸騰における熱流束変動  
※原村嘉彦(神奈川大工)
- A214 沸騰現象に対するカオス力学的アプローチ  
庄司正弘(東大工), ※河野太治(東大工院), 根岸紀明(東大工学)
- A215 鉛直矩形平面からの気泡微細化沸騰  
※川崎正史(東北大院), 熊谷哲(東北大工), 久保良(東芝)

【高温物体冷却】 11:00~12:20

- 座長 小泉安郎(工学院大), 永井二郎(福井大工)
- A221 高温金属のミスト冷却特性に及ぼす表面熱抵抗層の影響  
※菊地義弘(広島大工), 辰田耕一(広島大院), 河原淳(広島大工)
- A222 高温加熱面のミスト冷却に関する研究(溝付加熱面による促進と制御)  
※滝本昭(金沢大工), 林勇二郎, 清水幸進(金沢人院), 小坂誠夫(富山大工)
- A223 多段フラットスプレーノズルによる高温垂直面の冷却特性  
※播木道春(住友金属), 森田昌孝
- A224 回転水中紡糸における冷却過程のシミュレーション実験  
※高松洋(九大機能研), 本田博司, 山城光, 藤田隆博(九大総理工)

【膜沸騰】 14:50~16:10

- 座長 原村嘉彦(神奈川大工), 中島忠克(日立機械研)
- A231 水平円柱の膜沸騰熱伝達に関する実験的研究  
※オサマ モンタサ(東大工院), 上野一郎(東大工学), 井上満(東大工), 庄司正弘
- A232 液膜流の膜沸騰熱伝達に関する研究  
※金榮燦(東大工院), 西尾茂文(東大生研), 大久保英敏(東大生研)
- A233 液体金属面上のLeidenfrost現象  
※古谷正裕(電中研), 木下泉, 西義久
- A234 垂直高温厚肉面のリウエッティングに関する研究(伝熱面表面条件と流路間隙の影響)  
※大竹浩靖(工学院大), 小泉安郎, 高橋輝(工学院大院), 宮ト徹(工学院大)

【過渡沸騰】 16:20~18:00

- 座長 西尾茂文(東大生研), 大竹浩靖(工学院大)
- A241 圧力急減に伴う過渡沸騰熱伝達  
※福田勝哉(神戸商船大), 塩津正博(京大原研), 畑幸一, 櫻井彰(未来エネルギー研)
- A242 比較的遅い減圧速度における液体窒素のフラッシング現象  
※渡辺敏晃(室蘭工大), 石田恵介, 花岡裕(室蘭工大), 戸倉郁夫
- A243 非定常加熱時の低熱流束膜沸騰遷移に関する研究(第2報 伝熱面材料, 性状の気泡挙動に与える影響)  
※奥山邦人(横浜国大工), 飯田嘉宏, 加藤尚(横浜国大院)
- A244 圧力波到来時の非定常膜沸騰に関する研究(非定常流れと微粒化の効果)  
※井上晃(東工大原研), 高橋実, 松崎亮男
- A245 高温高压水の水中へのブローダウン挙動(実験結果)  
※石田紀久(原研), 楠剛, 笠原芳幸, 飯田浩正

<< B室 >>

【乱流構造(Ⅰ)】 9:10~10:50

座長 小森悟(九大工), 西野耕一(横国大工)

- B211 温度助走域における乱流輸送現象の統計的解析  
※田川正人(名工大), 三長崇, 長野靖尚
- B212 放射状液膜流れの伝熱特性(再層流化の機構)  
※加藤健司(阪市大工), 東恒雄
- B213 管壁近傍における高レイノルズ数流れのLDV計測  
池田裕二(神戸大), ※田村雅之(神戸大院),  
吉田信俊(小野測器), 中島健(神戸大)
- B214 正方形流路内の乱流熱伝達(乱流熱流束の測定)  
※廣田真史(名工大), 藤田秀臣,  
横澤肇(名大情報文化), 伊藤弘(名大院)
- B215 液表面での炭酸ガス吸収における乱流輸送過程の可視化  
※長崎孝夫(東工大), 土方邦夫, 福島大祐(東工大院)

【乱流構造(Ⅱ)】 11:00~12:20

- 座長 田川正人(名工大), 村田章(農工大)
- B221 不安定温度成層下のチャネル乱流の熱輸送機構と乱流構造  
※飯田雄章(東大院), 笠木伸英(東工大)
- R222 強い安定成層乱流場での熱および物質の輸送に及ぼす分子拡散の効果  
※小森悟(九大工), 長田孝二, 村上泰弘
- B223 温度成層のある格子乱流場の乱流構造  
※神崎隆男(電中研), 市川陽一
- B224 はく離流の周期的な外乱による乱流変動の生成機構  
青木謙太(慶大院), ※小尾晋之介(慶大理工),  
益田重明

【層流】 14:50~16:10

- 座長 太田照和(東北大工), 岸浪紘機(室蘭工大)
- B231 二次流れをともなう管内層流熱伝達のアナロジー  
(曲管と直交回転管)  
※石垣博(航技研)
- B232 脈動流中の角柱周りの流動および熱伝達特性に関する数値解析  
※西村俊彦(京大院), 石井淳治, 鈴木健二郎(京大工)
- B233 迎え角を有する長方形断面柱からの熱伝達  
※高橋忠(東理大院), 服部直三(東理大)
- B234 内管が軸方向に動く偏心環状流路内の十分に発達した層流熱伝達  
茂地徹(長崎大工), 桃木悟, Yung LEE(オタワ大)

【層流剥離】 16:20~18:00

- 座長 長野靖尚(名工大), 黒田明慈(北大工)
- B241 下流部に多孔質体挿入部を有する急拡大流路における流動及び熱伝達  
※増田光博(三洋電機), 鈴木健二郎(京大工)
- B242 二次元対称急拡大流路内流れと熱伝達の数値解析  
※柳岡英樹(東北大院), 畑孝典(小松製作所),  
山崎弘輝(日本航空), 太田照和(東北大工)
- B243 平面上突起物まわりの流れと熱伝達の数値解析  
柳岡英樹(東北大院), 加賀祐司(住友金属工業),  
※中島円(東北大院), 梅野英智, 太田照和(東北大工)
- B244 環状円錐流路内の流れについての実験的評価-剥離現象の周波数解析-  
※バラッカ カレル(農工大工), 望月貞成, 村田章
- B245 ステップ上の自然・強制複合対流熱伝達の過渡特性に関する研究  
※梅木久(ニッテツ室蘭エンジニアリング),  
斉藤図(室蘭工大), 岸浪紘機, 鈴木淳, 北野徳之

<< C室 >>

【凝縮(Ⅰ)】 9:10~10:50

- 座長 横堀誠一(東芝), 高松洋(九大機能研)
- G211 単一流下滴の挙動と滴状凝縮時の熱流束  
※泉正明(岩手大工), 松橋忍(新潟工事),  
大内雅樹(岩手大工), 山川紀夫
- G212 光干渉法による凝結露の成長測定  
※松本茂昭(埼玉大工), 高山欣也(埼玉大工院)

- 豊岡 了(埼玉大工)
- G213 針電極を用いた井-様電場による膜状凝縮熱伝達の促進に関する研究  
※児玉勇司(東洋大工院), 前川透(東洋大工)  
棚沢一郎(東大生研)
- G214 換気のある室内に発生する水蒸気ミストの予測  
※藤井義久(鹿島技研), 太田勝矢, 土方邦夫(東工大)
- G215 2成分混和性媒体の滴状凝縮に関する研究  
土方邦夫(東工大), ※深作善郎(東工大院)  
中別府修(東工大)

【凝縮(Ⅱ)】 11:00~12:20

- 座長 前川透(東洋大工), 西村龍夫(山口大工)
- G221 不凝縮性気体を伴う垂直平板上での蒸気凝縮熱伝達試験(第3報 凝縮劣化に及ぼす不凝縮性気体密度の効果)  
※横堀誠一(東芝), 飛松敏美, 岩崎英明, 長坂秀雄
- G222 二相境界層理論による体積力対流乱流凝縮の理論解析  
上原春男(佐賀大), ※木下英二(佐賀大院)
- G223 亜臨界状態を含む領域の炭酸ガスの体積力対流凝縮  
石原勲(関西大工), ※海老原努(関西大院),  
前小屋哲(クボタ)
- G224 水平回転円筒内凝縮熱伝達(4)(乱流解析)  
※水上祐一(愛媛大工), 竹葉豊幸(愛媛大院),  
彭仕文(愛媛大工)

【分子動力学(Ⅰ)】 14:50~16:10

- 座長 井上剛良(九大機能研), 丸山茂夫(東大工)
- G231 量子分子動力学法による金属クラスターの光吸収に関する研究  
※芝原正彦(東大院), 小竹進(東大工)
- G232 二次元容器内の非定常希薄気体流れのシミュレーション  
※杉山憲一郎(北大工), 桜井浩之(北大院),  
榎戸武揚(北大工), 石黒亮二
- G233 凝縮を伴う平板まわりの高速アルカリ金属蒸気流の挙動  
杉山憲一郎(北大工), 佐伯一成(北大院), ※角田信哉  
榎戸武揚(北大工)
- G234 分子動力学法による流体の輸送性質の研究(第3報 平衡および非平衡MDによるArの自己拡散係数)  
※鳥谷太介(慶大院), 長坂雄次(慶大理工)

【熱伝導】 16:20~18:00

- 座長 斉藤彬夫(東工大), 武内洋(北工研)
- G241 フロロカーボン液の浸漬形衝突噴流を用いた小径伝熱面からの熱伝達に及ぼすノズル径及び流速の影響  
(第1報:単相流領域における局所熱伝達率)  
※西原淳夫(日立機械研), 佐々木重幸, 大曾根靖夫  
中島忠克
- G242 耐火壁の熱的挙動の数値解析  
※金招芬(都立大院), 浅古豊(都立大工), 山口義幸
- G243 レーザー照射治療法の熱伝導解析  
北村礼(東大工学), ※徐重人(テルモ),  
橋本大定(東京警察病院), 庄司正弘(東大工)
- G244 CAES-G/Tの空洞内における熱問題のシミュレーション  
吉田英生(東工大), ※多田茂, 越後亮三,  
北浦州雄(東工大学)
- G245 DT中性子源用回転ターゲットの除熱限界の解析  
※秋本肇(原研), 池田裕二郎, 草野譲一

<< D室 >>

【蓄冷熱(Ⅰ)】 9:10~10:50

- 座長 河部弘道(専修大), 石川正昭(信州大工)
- D211 低温度分散媒を用いた潜熱エマルジョンの蓄冷特性  
稲葉英男(岡山大工), ※森田慎一(岡山大院)
- D212 ヒートパイプを用いた自然蓄冷エネルギーの蓄積  
※沢田正剛(北見工大), 福迫尚一郎(北大工),  
鈴木輝之(北見工大)
- D213 潜熱エネルギー貯蔵システムの性能シミュレーション

- ※加藤秀樹（東北大工），斎藤武雄  
 D214 非水溶性不凍液による水蓄熱装置の開発（第4報：実証装置の運転特性について）  
 ※渡辺裕（東芝），山下勝也，野間毅，八文字孝幸  
 D215 非水溶性不凍液による水蓄熱装置の開発（第5報 氷生成時の水温変化）  
 ※野間毅（東芝），渡辺裕，山下勝也，八文字孝幸

【蓄冷熱（Ⅱ）】 11:00～12:20

- 座長 稲葉英男（岡山大工），松尾篤二（三菱長研）  
 D221 マイクロカプセル化相変化物質スラリー熱媒体（2）粒径と相変化挙動  
 ※秋野詔夫（原研），高瀬和之，久保真治，長島昭（慶大理工），鷲谷昭二郎（日本マイクロカプセルプロダクツ），中西真行  
 D222 水平円筒カプセルを用いた高温複合融解の実験的研究  
 ※星朗（一関高専），斎藤武雄（東北大工）

- D223 水平円筒カプセル型潜熱蓄熱システムの動的制御  
 ※石川正昭（信州大工），平田哲夫，玉木恕乎  
 D224 球カプセルを充填した蓄熱槽の蓄熱特性の実験的研究  
 ※文鐘勲（東北大工），斎藤武雄

【蓄冷熱（Ⅲ）】 14:50～16:10

- 座長 秋野詔夫（原研），野津滋（岡山県立大）  
 D231 LNG冷熱の潜熱貯蔵に関する研究  
 西尾茂文（東大生研），※進景一（静岡ガス）  
 大久保英敏（東大生研）  
 D232 垂直冷却円筒面を流下する水膜の凍結挙動  
 平田哲夫（信州大），石川正昭，※仲田亮（信州大院），井上良一（前川製作所）  
 D233 固体面上における水の発生に関する研究  
 ※大河誠司（東工大），斎藤彬夫  
 D234 剥離生成機構を有する水平冷却面上の凍結熱伝達  
 福迫尚一郎（北大工），山田雅彦，※栗田雅規（川崎重工），河合洋明（道工大）

【蓄冷熱（Ⅳ）】 16:20～17:20

- 座長 平田哲夫（信州大），野間毅（東芝）  
 D241 上部加熱面を有する矩形容器内リキッドアイスの融解熱伝達  
 ※金明煥（韓国海洋大学校），福迫尚一郎（北大工），山田雅彦  
 D242 水溶液の管内過冷却に基づくリキッドアイスの連続生成  
 藤井勝夫（青学大院），岡田昌志（青学大理工），※松本浩二（宮崎大工）  
 D243 流動層を用いたリキッドアイス連続生成機構  
 福迫尚一郎（北大工），山田雅彦，※畠山和也（東北電力），河部弘道（専修大）

<< E室 >>

【フラッキング】 9:10～10:30

- 座長 師岡慎一（東芝原研），湊明彦（日立エネ研）  
 E211 トップフラッキングへのクロス流れの影響  
 ※二又浩文（東船大院），刑部真弘（東船大）  
 E212 垂直管対向二相流のフラッキング挙動（並列複数管の場合）  
 ※片山二郎（室蘭工大），佐藤森（室蘭工大），高橋洋志（室蘭工大）  
 E213 U字部を有する水平管内気液二相流のフラッキング特性  
 坂口忠司（神戸大工），南川久人，細川茂雄，俞和俊（神戸大院），※中森信夫（三菱重工），上野隆司，児玉淳一郎（三菱エンジニアリング）  
 E214 CCFL状態における落下水量に関する研究  
 ※神永文人（茨城大工），柴田裕一（茨高専）

【固気混相流】 11:00～12:20

- 座長 芹沢昭示（京大工），長田孝志（琉大工）  
 E221 移動層単一円管まわりの局所伝熱係数と粒子の動き  
 ※武内洋（北工研），A. T. ピアテンコ  
 E222 流動層内水平円管群周りの粒子挙動と非定常熱伝達（統計的な特性）  
 宮本政英（山口大），高橋克征（山口大院），※金仁杰（山口大），加藤泰生，栗間諒二  
 E223 固気混相流中に張られた水平細線まわりの伝熱特性（粒子径の違いによる影響）  
 ※加藤泰生（山口大工），堀江正彦（山口大院），宮本政英（山口大工）  
 E224 振動流動層形乾燥機の伝熱特性  
 ※前田栄一（篠田製作所），岡本賢一郎（岐阜大院），熊田雅弥（岐阜大工），武藤英威（篠田製作所）

【混相流可視化】 14:50～15:50

- 座長 加藤泰生（山口大），神永文人（茨城大工）  
 E231 陽子線による沸騰気泡の可視化  
 ※高橋修（京大工），稲葉健夫（京大工院），河原全作（京大工），芹沢昭示，河野益近  
 E232 NMR映像法による気液二相流の可視化  
 小幡仁（筑波大院），※文字秀明（筑波大構工），巨瀬勝美（筑波大物工），松井剛一（筑波大構工）  
 E233 レーザー干渉法を用いた水のDraining Filmの厚さ分布と表面せん断応力の測定  
 ※新垣善邦（琉大院），野底武浩（琉大工），長田孝志

【回転場の伝熱】 16:20～18:00

- 座長 石垣博（航技研），清水昭比古（九大総理工）  
 E241 共軸の回転円板と回転円筒間の流体の熱伝達  
 ※荻野文丸（京大工），河合一穂，鈴木徹，平井秀樹  
 E242 鉛直回転円筒よりの対流熱伝達  
 ※竹内正紀（福井大工），木村照夫，坪田論治（アイシン精機），小島久邦（福井大院）  
 E243 アブレーダブルシュラウドリング上の流動と伝熱特性  
 ※宇野聡（岐阜大院），熊田雅弥（岐阜大工），小幡正一（IHI技研），伊地知伸彰  
 E244 ブレーキディスクの熱伝達〔1〕（垂直回転円板による冷却実験）  
 横山孝男（山形大工），廣瀬宏一（岩手大工），※山崎真司（山形大院），鎌田秀一（山形大工），村上秀人（日産自動車），内藤哲之  
 E245 ブレーキディスクの熱伝達〔2〕（水平な加熱回転円板上の熱流動解析）  
 ※廣瀬宏一（岩手大工），横山孝男（山形大工），大内雅樹（岩手大工）

<< F室 >>

【燃焼数値解析】 9:10～10:50

- 座長 岡崎健（東工大炭素循環セ），小林敬幸（名大高温）  
 F211 活性化学種によるメタン-空気予混合気体の着火  
 ※佐野妙子（東海大工）  
 F212 火炎における選択拡散の影響とその評価  
 ※高城敏美（阪大工），徐 喆（阪大院）  
 F213 炉内乱流拡散火炎における燃焼と伝熱の数値予測  
 ※吉本隆光（阪大工），岡本達幸，高城敏美，伊藤毅（阪大工）  
 F214 反応性圧縮性一様等方性乱流のDirect Simulation（化学反応と乱流の相互作用）  
 ※店橋護（東工大工），宮内敏雄（東工大工）  
 F215 直接シミュレーションを用いた混合層における物質および運動量の輸送現象の解析  
 ※平井秀一郎（東工大），谷口太一（阪大院），高城敏美（阪大工）

[実用燃焼] 11:00~12:20

- 座長 高城敏美(阪大工), 宮内敏雄(東工大)
- F221 燃料液滴の微視的着火過程の数値シミュレーション  
※等々力宏(東北大院), 斎藤武雄(東北大工)
- F222 微粉炭粒子の輸送解析モデル  
※田中利幸(日立エネ研), 天野研, 山川正剛,  
小林啓信(日立日立研), 吉田邦勝(バブコック日立)
- F223 パルスコロナ放電による燃焼排ガスの脱硫・脱硝実験  
※恩田和夫(電総研), 加藤健, 春日康弘, 藤原正純,  
福寄洋光(東京理大)
- F224 極短パルス無声放電による重質タービン成分の軽質化  
岡崎健(東工大炭素循環セ),  
森寺弘充(新日鉄プロセス技研),  
※野崎智洋(豊橋技科大院)

[工業炉] 14:50~16:10

- 座長 佐野妙子(東海大工), 田中利幸(日立エネ研)
- F231 工業用ガス燃焼炉内3次元伝熱シミュレーション  
(第4報 乱流燃焼モデルの導入)  
※松村昌彦(大阪ガス), 伊藤誠一, 谷口博(北大工),  
工藤一彦
- F232 ふく射伝熱を考慮した高炉レースウェイ近傍の流動・伝熱  
解析  
※吉田孝雄(東北大院), 柘植英夫,  
青木秀之(東北大工), 三浦隆利
- F233 エネルギー変換のための高圧非定常伝播燃焼器の開発  
※平野智庸(名大院), 小林敬幸(名大高温エネ),  
板谷義紀(名大エネ理工), 架谷昌信
- F234 燃料電池用プレートリフォーマの数値解析 - 壁の熱伝導  
の影響 -  
※平田哲也(IHI), 池田英人, 宮内敏雄(東工大)

[反応] 16:20~17:40

- 座長 板谷義紀(名大エネ理工), 恩田和夫(電総研)
- F241 乾留過程における成形コークスの熱応力解析  
※上田有孝(東北大院), 青木秀之(東北大工),  
三浦隆利, 加藤健次(新日鐵)
- F242 高電圧極短パルスプラズマによるダイヤモンド核発生の能  
動的制御  
※安田真一(豊橋技科大院), 水野彰(豊橋技科大工),  
岡崎健(東工大炭素循環センター)
- F243 気相成長炭素繊維の製造プロセスに関する実験  
※藤本登(九大総理工院), 田中洋一,  
小山繁(九大機能研), 藤井哲
- F244 液相メタノール合成反応におけるガス溶解・輸送過程の基  
礎的研究  
※竹村文男(機械技研), 劉秋生, 姜炳夏, 矢部彰,  
紺谷和夫

<< G室 >>

[冷媒蒸発伝熱] 9:10~10:50

- 座長 本田博司(九大機能研), 宇高義郎(防衛大)
- G211 HCFC-22およびHFC-32/HFC-125/HFC-134aの水平内面  
溝付管内の蒸発熱伝達  
五島正雄(東船大), ※井上順広, 神戸孝治(東船大院),  
佐藤全秋(東芝住空研)
- G212 水平矩形流路内の溝付伝熱面の冷媒HCFC22の蒸発熱伝達と  
圧力損失(上下伝熱面平均の熱伝達率と圧力損失の整理式)  
木戸長生(松下冷機), ※上原春男(佐賀大理工)
- G213 水平内面溝付管内の冷媒HCFC22の蒸発熱伝達と圧力損失  
木戸長生(松下冷機), ※谷口光徳, 平輝彦,  
上原春男(佐賀大理工)
- G214 水平内面溝付管内の純冷媒の蒸発熱伝達の整理式  
※木戸長生(松下冷機), 上原春男(佐賀大理工)
- G215 HFC系混合冷媒の水平管内蒸発熱伝達特性  
鳥越邦和(ダイキン機技研), 蛭子毅, ※奥山和之,  
大西晴夫

[冷媒凝縮伝熱] 11:00~12:20

- 座長 鳥越邦和(ダイキン機技研), 木戸長生(松下冷機)
- G221 HCFC-22およびHFC-32/HFC-125/HFC-134aの水平内面  
溝付管内の凝縮熱伝達  
五島正雄(東船大), ※神戸孝治(東船大院),  
井上順広(東船大), 佐藤全秋(東芝住空研)
- G222 水平フィン付き千鳥管群におけるHCFC-123の凝縮  
(フィン形状の影響)  
本田博司(九大機能研), 高松洋,  
※真喜志治(九大総理工), 瀬下真人,  
高田信夫(九大機能研)
- G223 混合冷媒HFC134a/HCFC123の水平管内凝縮の実験  
※原口英剛(九大総理工院), 小川秀彦,  
小山繁(九大機能研), 藤井哲
- G224 水・エタノール混合蒸気の凝縮熱伝達特性曲線の測定  
宇高義郎(防衛大), ※寺地宣明(防衛大研究科)

[ヒートポンプ] 14:50~16:10

- 座長 小山繁(九大機能研), 清田正徳(徳大工)
- G231 デシカント・クーリングシステムの性能解析及び性能実験  
※田中宏史(福岡工大), 隈 利夫(西部技研)
- G232 アルコール/スーパー活性炭系吸着ヒートポンプによる冷  
熱製造  
※葛山弘一(名大院), 汲田幹夫, 渡辺藤雄(名大工),  
架谷昌信(名大工)
- G233 縦型CaO/H<sub>2</sub>O/Ca(OH)<sub>2</sub>系ケミカルヒートポ  
ンプ装置による冷熱生成  
※小倉裕直(九工大), 佐藤将, 岩戸秀巨, 松野儀三
- G234 塩化カルシウム/メチルアミン系ケミカルヒートポンプ駆  
動反応層の熱物性値の評価  
※平田雄志(阪大基礎工), 藤岡恵子(阪大院),  
加藤真一

[吸収式冷凍機] 16:20~18:00

- 座長 上原春男(佐賀大理工), 飛原英治(東大工)
- G241 臭化リチウム水溶液膜への水蒸気吸収に及ぼす管表面形状  
の影響  
※清田正徳(徳大工), 森岡斎
- G242 吸収器用たて形伝熱管の吸収熱伝達  
※小川清(日大工), 一色尚次, 金戸崇(日大院)
- G243 流下液膜波形の数値解析  
清田正徳(徳大工), 森岡斎, ※清井正則(徳大院)
- G244 周期的に誘起された表面波による流下液膜のガス吸収促進  
※吉村パウロ昇(琉大院), 野底武浩(琉大工),  
長田孝志(琉大工)
- G245 吸収熱伝達におけるCCS伝熱面の考え方とその効果  
※一色尚次(日大工), 小川清

第3日 5月20日(金)

<< A室 >>

[沸騰熱伝達] 9:10~10:50

- 座長 長崎孝夫(東工大), 奥山邦人(横浜国大工)
- A311 マイクロチャンネルによる強制対流沸騰熱伝達の促進  
※御澤肇(東工大), 中山恒(東工大)
- A312 気泡下部液膜厚さの時間的変化と電場による影響  
※高橋克行(東京理科大院), 矢部彰(機械技研),  
牧博司(東京理科大), 劉秋生(機械技研), 竹村文男
- A313 EHD効果を用いた液滴の蒸発促進(第4報 単一液滴の  
蒸発時の定常熱流束の測定)  
※高野清(東大生研), 棚澤一郎, 西尾茂文
- A314 電場における気泡成長の数値解析  
伊藤猛宏(九大), ※高田保之, 白川英観(九大院),  
黒木虎人(九大)

A315 逆浴溶液による沸騰の抑制  
※佐藤公俊(岐阜大院),横井豊(豊田中研),  
熊田雅弥(岐阜大工)

[沸騰制御] 11:00~12:20

座長 有富正憲(東工大原研),石田紀久(原研)

A321 ねじりテープ挿入管サブクール沸騰限界熱流束に対する非  
均一加熱条件の影響

成合英樹(筑波大構造工),稲坂富士夫(船舶技研),  
石川厚史(筑波大院),※木下秀孝

A322 ねじりテープ挿入による管内沸騰熱伝達の促進

藤田恭伸(九大工),吉田敬介,  
※アレクサンダー・ロペス(九大院),藤田浩一

A323 壁温分布可視化によるねじりテープ挿入管での限界熱流束  
現象の考察

※李相烈(東工大),井上晃(東工大原研),高橋実

A324 細長い開口部を有する水平環状すきま内におかれた円管の  
沸騰熱伝達(開口部位置の影響について)

※土田一(秋田高専),相場真也,  
石田坂勲(ヤマテコーポレーション),  
宮田曉史(ナブコシステム)

[沸騰可視化] 13:20~14:20

座長 高田保之(九大工),古谷正裕(電中研)

A331 透明伝熱管を用いた微小重力場の管内強制流動沸騰熱伝達  
(第1報,航空機搭載用沸騰ループおよび透明伝熱管の製作)

※太田治彦(九大工),藤山寛(長崎大工),  
石倉精三(日産自動車),井上浩一(九大工院),  
山田善照,吉田駿(九大工)

A332 透明伝熱管を用いた微小重力場の管内強制流動沸騰熱伝達  
(第2報,航空機実験の結果)

太田治彦(九大工),※井上浩一(九大工院),山田善照,  
石倉精三(日産自動車),藤山寛(長崎大工),  
吉田駿(九大工)

A333 垂直二重管内の沸騰を伴う流動の可視化実験(小質量速度  
の場合)

※水野知博(室蘭工大),杉山弘(室蘭工大),  
新井隆景,亀知之(室蘭工大)

[蒸気爆発] 14:50~16:10

座長 太田治彦(九大工),高橋実(東工大原研)

A341 外部圧力波によって生ずる単一液滴の蒸気爆発の蒸気膜崩  
壊過程

※高島武雄(横浜国大工),飯田嘉宏

A342 水蒸気爆発の自発トリガリングに及ぼすエタノール  
添加の影響

※松村邦仁(筑波大院),桜井雅利(筑波大学),  
成合英樹(筑波大構造工)

A343 液中への高温物体突入時に形成される気相シートの  
強制崩壊

西尾茂文(東大生研),※上村光宏,  
高橋義雄(東大工院),棚澤一郎(東大生研)

A344 白金細線の超高速加熱と爆発現象

庄司正弘(東大工),※若松賢太郎(東大工院)  
大久保忠教(東大工学),水上清二

[微小伝熱面沸騰] 16:20~17:40

座長 滝本昭(金沢大工),稲田茂昭(群馬大工)

A351 極微小平面伝熱面の超高速加熱時における沸騰核生成  
(加圧下における実験)

飯田嘉宏(横国大工),奥山邦人,  
※遠藤哲也(横国大院)

A352 微小伝熱面からの沸騰伝熱(第2報:隣接素子の影響)

長崎孝夫(東工大工),伏信一慶(東工大院),  
※宇井淳(東工大学),土方邦夫(東工大工)

A353 フロロカーボン液の浸漬形衝突噴流を用いた小径伝熱面か  
らの熱伝達に及ぼすノズル径及び流速の影響  
(第2報:等温加熱面における局所沸騰熱伝達率)

※中島忠克(日立機械研),佐々木重幸,大曾根靖夫  
西原淳夫

A354 フロロカーボン液の浸漬形衝突噴流を用いた小径伝熱面か  
らの熱伝達に及ぼすノズル径及び流速の影響  
(第3報:ノズル径/伝熱面径比の広い範囲における限界熱  
流束)

※佐々木重幸(日立機械研),中島忠克,大曾根靖夫  
西原淳夫

<< B室 >>

[対流伝熱促進(I)] 9:10~10:50

座長 加藤健司(阪市大工),鈴木雄二(名工大)

B311 偏平柱を挿入した乱流境界層における熱伝達

※青木勇(京大院),松井大,稲岡恭二(京大工),  
鈴木健二郎

B312 角柱に付設したスプリットプレートによる

乱流熱伝達の制御

※松井大(京大院),青木勇,稲岡恭二(京大工),  
萩原良道,鈴木健二郎

B313 平板上に垂直に置かれた角柱周りの流れ(第2報 馬蹄渦  
の構造)

鶴野省三(防衛大),※坪井柳一,神津正男,田村健一

B314 長方形断面柱を囲った平行平板流路内の熱伝達

※井谷慈(同大院),千田衛(同大工),吉川進三

B315 壁面上に置かれた角柱の強制対流冷却における温度及び流  
れ場の可視化

※斉田浩明(東理大学),井澤成聡,  
本間克則(東理大院),河村洋(東理大)

[対流伝熱促進(II)] 11:00~12:20

座長 菱田公一(慶大理工),廣田真史(名工大)

B321 回転翼挿入による管内熱伝達の促進に関する研究

※瀧名波出(琉大工),親川兼勇,宮城力(琉大院)

B322 一様流中の正方形柱の伝熱促進(局所伝熱特性)

※五十嵐保(防衛大),筒井敬之

B323 EHD効果による対流伝熱促進とそのメカニズムに関する  
研究

矢部彰(機械技研),※安達雅樹(筑波大院),  
成合英樹(筑波大),竹村文男(機械技研)

B324 絶縁誘電体中のEHD対流の不安定性解析

土方邦夫(東工大工),※小川邦康(東工大院)

[対流伝熱促進(III)] 13:20~14:40

座長 土方邦夫(東工大工),稲岡恭二(京大工)

B331 軟磁性体粒子群を含む気体を用いた局所熱伝達の  
増進と制御(第4報)

岸沢浩(慶大院),※梅森広成,佐藤洋平,  
菱田公一(慶大理工),前田昌信

B332 2次元超音波音場解析による水槽内物体上のキャピテーシ  
ョン強度の予測

※野村信福(愛媛大),中川勝文(豊橋技科大),  
江端伸英(豊橋技科大)

B333 ゲート部発熱を考慮した金型の熱解析

横山孝男(山形大工),※石黒聡(キヤノン),  
山本研(山形大院),小林章(デュポンジャパン),  
竹田実(世紀株式会社)

B334 加熱により励起される気柱振動に関する研究(第2報)

※石井達哉(東大院),飛原英治(東大工),斎藤孝基

[剥離流] 14:50~16:10

座長 河村洋(東理大),千田衛(同志社大工)

B341 後向きステップ下流の再付着領域の熱伝達特性の制御に関  
する研究(スラットを用いた場合)

※斎藤武史(琉球大院),瀧名波出(琉球大),親川兼勇

B342 鈍頭平板まわりの乱流熱伝達

太田照和(東北大工),※今孝紀(本田技研)

- B343 脈動流場におけるくぼみつき流路内の物質移動特性  
※西村龍夫(山口大機械)
- B344 噴霧状気液二相流におけるステップ後流の流動と熱伝達  
長安立人(慶大院), ※河島弘毅, 菱田公一(慶大理工),  
前田昌信

[二重拡散自然対流] 16:20~17:40  
座長 浅古豊(都立大工), 中山顕(静岡大工)

- B351 二重拡散自然対流における振動現象  
※鎌倉勝善(富山高専), 尾添紘之(九州大学)
- B352 二成分成層系のベナール対流(上下に分割された矩形容器内自然対流)  
※小澤守(関大工), 梅川尚嗣, 松本義文(住電)
- B353 密閉容器内の二重拡散対流における履歴現象  
※西村龍夫(山口大工), 井本勉(山口大院)
- B354 ロールオーバー発生に対する初期濃度差の影響  
※宗像鉄雄(機械研), 棚澤一郎(東大生研)

<< C室 >>

[分子動力学(II)] 9:10~10:30  
座長 庄司正弘(東大工), 斎藤洋子(日立機械研)

- C311 水分子の水素結合とクラスタ形成に関する分子動力学的研究  
※小原拓(東北大流体研), 相原利雄
- C312 クラスターの凝縮の数値シミュレーション  
※前田英志(東大工), 橋本博文(東大院),  
小竹進(東大工)
- C313 金属のクラスター生成に関する研究  
※北原元(東大工), 青木功(東大工), 小竹進
- C314 凝縮相近傍でのクラスター分布の研究  
※橋本博文(東大院), 小竹進(東大工), 青木功

[分子動力学(III)] 11:00~12:20  
座長 吉田英生(東工大工), 小原拓(東北大流体研)

- C321 分子動力学を用いた気泡核生成に関する研究  
※池上康之(佐賀大), 井上剛良(九大)
- C322 液体の蒸発凝縮過程の分子動力学  
※松本充弘(名大工), 泰岡顕治(名大院),  
片岡洋右(法政大工)
- C323 固体表面に接触する液滴の分子シミュレーション  
松本壮平(東大工院), ※猿渡英樹(東大工学),  
丸山茂夫(東大工)
- C324 水液滴表面挙動の分子シミュレーション  
※松本壮平(東大工院), 丸山茂夫(東大工),  
庄司正弘, 小竹進

[分子動力学(IV)] 13:20~14:40  
座長 松本充弘(名大工), 池上康之(佐賀大)

- C331 ダイバータ壁の融融・蒸発に関する分子動力学の基礎解析  
中館博(東北大院), 勝村幸博(東北大工), 橋爪秀利,  
戸田三朗
- C332 分子熱移動モデルによる半導体成膜形状解析  
※斎藤洋子(日立機械研), 平澤茂樹, 白井建人,  
山口日出(日立デセ)
- C333 真空蒸着に用いる分子線速度選別器の開発  
※橋村真治(九大総理工院), 井上剛良(九大機能研)
- C334 速度選別真空蒸着法による薄膜凝縮過程の研究  
※井上剛良(九大機能研), 橋村真治(九大総理工院),  
田中雄一郎

[分子動力学(V)] 14:50~16:10  
座長 加藤征三(三重大工), 杉山憲一郎(北大工)

- C341 電子衝突に伴う酸素原子励起状態変化の量子モンテカルロ解析  
※石丸和博(岐阜高専), 岡崎健(東工大炭素循環セ)
- C342 クラスレートの構造安定性に関する分子動力学シミュレーション

※倉岡進輔(東工大学), 平井秀一郎(東工大炭素循環セ),  
岡崎 健

- C343 フラレーン生成機構の分子シミュレーション  
丸山茂夫(東大工), ※山口康隆(東大工学),  
高木敏男(東大工院), 松本壮平
- C344 フラレーン生成過程に及ぼす対流の影響  
丸山茂夫(東大工), ※高木敏男(東大工院),  
金原秀明(東大工学), 井上満(東大工)

[分子動力学(VI)] 16:20~17:20  
座長 中山恒(東工大), 石丸和博(岐阜高専)

- C351 QMD STUDY ON ENERGY TRANSFER OF A DIATOMIC MOLECULE TO SOLID SURFACE  
※T. N. Zolotoukhina(東大工), 小竹進
- C352 異粒子薄膜の熱伝導特性の分子動力学的研究  
※永石幸治(東大工), 芝原正彦(東大院),  
小竹進(東大工)
- C353 低密度気体の物理量計測と可視化(LDLIF/LT法の適用)  
※加藤征三(三重大工), 岡副博之(三重大院)

<< D室 >>

[ふく射伝熱(I)] 9:10~10:50  
座長 横山孝男(山形大工), 馬場弘(北見工大)

- D311 フラックス法の火炉解析への適用性  
※福地健(バブコック日立)
- D312 光線射出モデルによる放射要素法(REM<sup>2</sup>)を用いた任意形状放射物体の伝熱解析  
※円山重直(東北大流体研), 相原利雄
- D313 光拡散近似における拡散係数  
古津宏一(武蔵村山市中藤), ※山田幸生(機械技研)
- D314 SOLUTION OF TWO-DIMENSIONAL BLACKBODY INVERSE RADIATION PROBLEM BY INVERSE MONTE CARLO METHOD  
※小熊正人(Univ. of Texas), J. R. Howell
- D315 粒子散乱と壁面の乱反射を考慮した放射の数値解析  
※早坂洋史(北大工)

[ふく射伝熱(II)] 11:00~12:20

- 座長 牧野俊郎(京大工), 円山重直(東北大流体研)
- D321 流動層における流動粒子群-伝熱面間のふく射熱交換(加熱伝熱面近傍の粒子群が放射するふく射)  
山田純(東工大工), 黒崎晏夫, ※森川知之(東大院)
- D322 乱数を用いた衛星用展開メッシュアンテナの到達率  
※宮坂明宏(NTT)
- D323 ラジアントチューブバーナーの温度解析  
工藤一彦(北大工), 谷口博, ※持田明野,  
水沢孝章(東邦ガス), 羽木敏, 中村泰久
- D324 非灰色ガス噴流の放射・対流共存伝熱解析  
工藤一彦(北大工), 谷口博, 黒田明慈,  
小幡正一(IHI), ※大高円(北大院), 牛島哲洋

[ふく射伝熱(III)] 13:20~14:40

- 座長 早坂洋史(北大工), 福地 健(バブコック日立)
- D331 多孔構造素子による熱電発電の高効率化に関する研究  
※多和田清(東工大院), 越後亮三(東工大工), 古田基,  
吉田英生, 多田茂
- D332 太陽熱コレクターの最適性能評価に関する研究  
※小張泰弘(HBC映画), 齊藤因(室蘭工大),  
岸浪絃機, 鈴木淳, 西巻淳也
- D333 PVセル面積とバッテリー容量の比率変化によるソーラーカーの走行性能  
※遠藤登(北見工大), 金山公夫, 馬場弘, 齊藤正典
- D334 瞬間気相ドーピング装置におけるランプ加熱機構の開発  
※松島勝(日立中研), 清田幸弘, 金子豊,  
金友正文, 宮田敏光

【ふく射伝熱(Ⅳ)】 14:50~16:10

座長 山田純(東工大),宮坂明宏(NTT)

- D341 耐酸化C/C複合材の高温輻射率  
※弓立浩三(宇宙開発事業団),芳中敏成
- D342 アルコール類水溶液の分光透過率  
※馬場弘(北見工大),金山公夫,遠藤登,藤井誠一(北見市)
- D343 相変化物質の赤外線加熱過程の定量的検討  
※宮永俊之(電中研),大沼敏治
- D344 配向を考慮した繊維層の放射エネルギー透過特性解析  
工藤一彦(北大工),※李炳熙,谷口博,黒田明慈,藤関健(北大)

【熱画像】 16:20~17:40

座長 三浦隆利(東北大),山田幸生(機械技研)

- D351 赤外線画像装置による放射率が未知な物体の表面温度計測  
※山田純(東工大),黒崎晏夫,奥田幸彦(東工大)
- D352 赤外線映像装置を利用した伝熱計測に関する研究  
※稲垣照美(茨工大),鈴木健一郎(茨大院),岡本芳三(茨工大)
- D353 サーマルカメラによる放射熱の計測  
早坂洋史(北大工),※高崎朗(北大院),園田信哉
- D354 熱イメージ法による住宅熱環境の計測  
岡本芳三(茨城大),稲垣照美,※黒川賢(NEC三栄)

<< E室 >>

【直接接触伝熱】 9:10~10:50

座長 花村克悟(岐阜大工),磯上尚志(日立機械研)

- E311 水-フルオロカーボン二液相界面におけるクラスレート水和物の生成挙動  
※菅谷誠(慶大院),石神喜広(慶大理工),森 康彦
- E312 リチウム塩水溶液による分散蒸気泡の吸収・凝縮特性  
※鴨志田隼司(芝浦工大),堀田圭一(三菱重工長崎),一色尚次(日工大)
- E313 蒸気バブリングによる水中溶存酸素の脱気特性に関する研究  
※河野俊二(東芝電技研),根本晃,尾山俊樹(東芝アイテック)
- E314 電場によって誘起される液滴内の流動  
※野上憲一(能開大院),梶信藤(能開大),森康彦(慶大理工)
- E315 低融点合金と水との直接接触式熱交換器の伝熱特性(第2報:圧力の影響)  
木下泉(電中研),西義久,古谷正裕

【熱交換器(Ⅰ)】 11:00~12:20

座長 堀政義(石播),水上浩(東芝)

- E321 小型ヘリウム冷凍機用積層熱交換器の伝熱及び流動特性  
※磯上尚志(日立機械研),佐保典英,横井和明(日立T.E.),滝沢照広(日立日立工場),古田史
- E322 超高温用高性能セラミック熱交換器に関する基礎的研究  
※上田修(岐阜大院),花村克悟(岐阜大工),熊田雅弥
- E323 熱放出割合を独立変数とする拡張された相似曲線の予測(縦フィン付潜熱蓄熱器の凝固過程について)  
※海野紘治(豊田工大)
- E324 分割フィン付き伝熱管周りの凝固融解に関する研究  
※平澤良男(富山大工),竹越栄俊,紺矢浩史(富山大院),小坂暁夫(富山大工)

【熱交換器(Ⅱ)】 13:20~14:40

座長 平澤良男(富山大工),鴨志田隼司(芝浦工大)

- E331 ピンフィンによる基板熱伝達の促進  
※松本亮介(同志社大院),吉川進三(同志社大工),千田衛
- E332 ピンフィン群のコンパクト熱交換器への応用  
※水上浩(東芝RDC),石塚勝,望月自成(東京農工大)

E333 LSI用超コンパクトヒートシンクの熱伝達及び圧力損失特性

※田坂誠均(住友金属工業),相原利雄(東北大流体研),林千博(住友金属工業)

- E334 ピンフィン型ヒートシンクの噴流冷却における圧力損失の簡易予測法  
※近藤義広(日立),松島均(日立)

【熱交換器(Ⅲ)】 14:50~16:10

座長 田中宏史(福岡大工),橋詰健一(東芝)

- E341 一様流中に置かれた単一円管まわりの着霜特性と電場付与による霜成長の抑制  
※石原健一(岐阜大院),中田春男(ダイキン工業),熊田雅弥(岐阜大工)
- E342 対向流式熱交換器における熱電解析  
※アンヘル ベタンクルト(東工大),越後亮三(東工大),吉田英生
- E343 界面活性剤を用いた管内流動抵抗軽減と熱伝達  
稲葉英男(岡山大工),※浅野秀昭(岡山大院),尾崎公一(岡山大工)
- E344 発熱反応を伴う熱交換プロセスに関するエクセルギー解析  
※曾維平(名大工),松田仁樹,架谷昌信

【熱交換器(Ⅳ)】 16:20~17:40

座長 海野紘治(豊田工大),河野俊二(東芝電技研)

- E351 液相流動床熱交換器の開発(第1報:水平単管を用いた基礎実験)  
※橋詰健一(東芝),阿部法光
- E352 液相流動床熱交換器の開発(第2報:水平管群を用いた基礎実験)  
※阿部法光(東芝),橋詰健一
- E353 微小重力下でのスプレー冷却  
※加藤雅也(慶大院),近藤彰宏(慶大),阿部宜之(電総研),長島昭(慶大理工),森康彦
- E354 水平ライフル管内二相流伝熱の特徴  
※堀政義(石播)

<< F室 >>

【充填層における流動・伝熱(Ⅰ)】 9:10~10:30

座長 上宇都幸一(大分大工),村田圭治(東芝RDC)

- F311 一段球状粒子充填矩形くぼみの対流熱伝達(くぼみ幅の影響)  
稲葉英男(岡山大工),※尾崎公一
- F312 スリット状充填層における物質移動(き裂内の水の伝熱特性)  
荻野文丸(京大工),※山村方人,福田偉志
- F313 球状粒子充填層の熱および物質移動  
河合洋明(道工大),※東條勇,岡垣理,福迫尚一郎(北大工)
- F314 不飽和粒子層内における二次元水分凍結の解析  
※赤堀匡俊(長岡技科大),青木和夫(長岡技科大),谷社(長岡技科大),服部賢(長岡技科大)

【充填層における流動・伝熱(Ⅱ)】 11:00~12:20

座長 鶴田隆治(九工大),河合洋明(道工大)

- F321 多孔物質内の壁面効果を考慮した自然対流熱伝達に関する研究  
※福士貴広(三機工業),斉藤図(室蘭工大),岸浪紋機,鈴木淳,数納隆史
- F322 水蒸気質質反応を伴う多孔質層内熱伝達  
宇佐見優(東京電力),福迫尚一郎(北大工),山田雅彦,※信田哲滋(日本電装),堀沢二郎(北大院)
- F323 充填層型触媒反応層内熱・物質伝達  
※上宇都幸一(大分大工),斎藤晋一
- F324 間隙流を考慮した充填層熱輸送と熱分散  
横山孝男(山形大工),※佐藤義一(神戸製鋼),堀内雄介(山形大工),東浦将夫(防災科学研)

桂木公平（日本地下水開発），吉田順雄（東北電力）

【充填層における流動・伝熱（Ⅲ）】 13:20~14:40

座長 笹口健吾（熊本大工），山田雅彦（北大工）

F331 原子炉配管断熱材中の漏洩蒸気流に関する実験的研究  
（第3報：蒸気による平板多孔質の衝突実験）

※許文勝（東北大工），中谷雄一，橋爪秀利，戸田三朗

F332 多孔質体内の熱流動の微視的数値シミュレーション  
（第2報：多孔質体慣性効果の検討）

※桑原不二朗（静岡大工），中山頌

河村恭博（静岡大院），児山仁（静岡大工）

F333 内部凝縮を伴う多孔質断熱層の伝熱特性

※村田圭治（東芝RDC），橋詰健一

F334 水溶液で満たされた粒子充填層における水平円管  
周りの凍結

※土屋賢一（青学大院），岡田昌志（青学大理工），

松本浩二（宮崎大）

【複合対流伝熱（Ⅰ）】 14:50~16:10

座長 辻俊博（名工大），杉山均（宇都宮大工）

F341 ねじりテープを挿入した水平直円管内層流熱伝達に及ぼす  
浮力の影響

青山善行（愛媛大工），※田井禎久（愛媛大院）

F342 球体の対流熱伝達率に及ぼす乱流強度の影響

※窪田英樹（室蘭工大），山田則行，黒沢和隆

F343 浮力が作用する正方形管内の流れと熱伝達

石垣博（航技研），※望月宋和

F344 回転加熱された小円板への微粒子沈着の数値解析

※平野博之（九大総理工），尾添紘之（九大機能研）

【複合対流伝熱（Ⅱ）】 16:20~17:20

座長 窪田英樹（室蘭工大），青山善行（媛大工）

F351 複合対流の3次元流れによるはく離に関する数値解析

※坂元美定（山梨大院），功刀資彰（原研）

一宮浩市（山梨大工）

F352 水平な平行平板間中を流動する低プラントル数流体の  
複合対流熱伝達

※内藤悦郎（滋賀県立短大），長野靖尚（名工大），

辻俊博，王煤（名工大）

F353 一樣流中におかれた振動平板周りの熱流動数値解析

杉山均（宇都宮大工），秋山光庸，

※立野岡誠（三菱冷熱工業），

筒井嘉博（本田技術研究所）

<< G室 >>

【生体における伝熱】 9:10~10:50

座長 竹越栄俊（富山大工），佐々木章（秋田高専）

G311 凍結保護物質を含む赤血球懸濁液の凍結に対する不凍タン  
パク質の影響

※石黒博（筑波大構造），

ルビンスキー・ボリス（U.C.B.）

G312 オニオンセルの凍結挙動に及ぼす外部凍結の影響

鶴田隆治（九工大），※川水努（九工大），

増岡隆士（九工大）

G313 生物体の凍結過程の可視化

ハスラン アリアス（群馬大），※稲田茂昭

G314 凍結細胞の融解とミクロ挙動（プロトプラストを用いた生  
残率の実験）

林男二郎（金沢大工），※多田幸生，蔭谷（金沢大院）

G315 末梢部血管反応を考慮した人体熱モデルの開発（数値計算  
的検証）

竹森利和（大阪ガス），※庄司祐子（神戸大学），中島健

【融解蓄冷熱】 11:00~12:20

座長 石黒博（筑波大構造），牧野敦（静岡大工）

G321 発熱面を有する矩形領域内の融解の数値解析

※笹口健吾（熊本大工），石原明（熊本大学），

張 泓（熊本大院）

G322 矩形容器内に置かれた水平円筒回りの固-液相変化  
（数値解析）

笹口健吾（熊本大工），※草野剛嗣（熊本大院），

管洋光（熊本大学）

G323 塩水中に置かれた水平氷円柱の融解熱伝達

※渡辺力（函館高専），福迫尚一郎（北大工），山田雅彦，

堀部明彦

G324 凍結粒子層の融解特性

※佐々木章（秋田高専），阿部善宏（住ベメディカル），

鷹嘴浩輝（秋田大学）

【凝固蓄冷熱】 13:20~14:40

座長 大久保英敏（東大生研），山本春樹（旭川高専）

G331 冷却面上に置かれた液滴の過冷却凝固挙動

※堀部明彦（北大工），福迫尚一郎，

山田雅彦，田子真（環資研）

G332 氷核活性化物質を用いたバルク状過冷却水の限界過冷却度

※稲葉英男（岡山大工），武谷健吾（岡山大院），

浅野敬也（岡山大工）

G333 過冷却液体の結晶成長速度に対する一考察

※牧野敦（静岡大工），二村元規（東芝），

荒木信幸（静岡大工）

G334 流動過冷却水中での氷球挙動

稲葉英男（岡山大工），※武谷健吾（岡山大院）

【空調機】 14:50~16:10

座長 戸倉郁夫（室蘭工大），青木和夫（長岡技科大）

G341 混合冷媒HFC134a/HCFC123を用いた熱変換機システムの実験

※屋良朝康（九大機能研），小山繁，

河本貴雄（九大総理工院），藤井哲（九大機能研）

G342 複合格子法による放熱評価シミュレーションシステム  
の開発

※下村信雄（松下冷機），小川修（松下電器），

児王久，中野明（松下冷機）

G343 着霜現象に及ぼす表面温度の影響

※大久保英敏（東大生研），田島收（愛知工大）

G344 昇華蒸発現象を利用した除霜

稲葉英男（岡山大工），

※今井誠士（岡山大自然科学研）

【室内環境】 16:20~17:40

座長 山岸英明（釧路高専），下村信雄（松下冷機）

G351 大空間空調システムに関する研究（空間内温度分布に及ぼ  
す給気口・排気口位置の影響）

※浜口八朗（神戸大発達科学），坂口忠司（神戸大工），

富山明男，川鍋穂（神戸大院），大城匡豊（大気社）

G352 旋回流を用いた局所排気の研究

土方邦夫（東工大），※相澤芳弘（東工大），

鈴木祐二（東工大），小澤由行（高砂熱学）

G353 人体モデルを用いた不均一環境の評価に関する研究（1）

※斉藤信（三菱電機），瀬下裕

G354 室内熱放射環境の制御に関する研究（5）

※中野真理子（三菱電機），瀬下裕

日程表

第1日 5月18日(水)				
	A室	B室	C室	D室
9:00				
	9:20	9:20	9:20	9:20
	限界熱流束 (I)	乱流モデル	二相流 (I)	閉空間内自然対流
10:00	A 1 1 1 } A 1 1 5	B 1 1 1 } B 1 1 5	C 1 1 1 } C 1 1 5	D 1 1 1 } D 1 1 5
11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
	11:10	11:10	11:10	11:10
	限界熱流束 (II)	乱流数値解析 (I)	二相流 (II)	物体まわりの 自然対流 (I)
12:00	A 1 2 1 } A 1 2 4	B 1 2 1 } B 1 2 4	C 1 2 1 } C 1 2 4	D 1 2 1 } D 1 2 4
	12:30	12:30	12:30	12:30
13:00				
	13:20	13:20	13:20	13:20
	各種液体の沸騰	乱流数値解析 (II)	二相流 (III)	物体まわりの 自然対流 (II)
14:00	A 1 3 1 } A 1 3 4	B 1 3 1 } B 1 3 4	C 1 3 1 } C 1 3 4	D 1 3 1 } D 1 3 4
	14:40	14:40	14:40	14:40
	14:50	14:50	14:50	14:50
15:00	核沸騰	噴流 (I)	二相流 (IV)	自然対流数値解析
	A 1 4 1 } A 1 4 4	B 1 4 1 } B 1 4 4	C 1 4 1 } C 1 4 4	D 1 4 1 } D 1 4 4
16:00	16:10	16:10	16:10	16:10
	16:20	16:20	16:20	16:20
	気泡と液膜	噴流 (II)	複雑流路二相流	多孔質内自然対流
17:00	A 1 5 1 } A 1 5 4	B 1 5 1 } B 1 5 3	C 1 5 1 } C 1 5 4	D 1 5 1 } D 1 5 3
	17:40	17:20	17:40	17:20
18:00		17:50		
		イブニングセミナ		
19:00		18:50		

日程表

第1日 5月18日(水)			
	E室	F室	G室
9:00	<p>9:20</p> <p>電子機器の冷却</p> <p>E 1 1 1</p> <p>  }</p> <p>E 1 1 4</p> <p>10:40</p>	<p>9:20</p> <p>凝固・溶解</p> <p>F 1 1 1</p> <p>  }</p> <p>F 1 1 5</p> <p>11:00</p>	<p>9:20</p> <p>計測 (I)</p> <p>G 1 1 1</p> <p>  }</p> <p>G 1 1 4</p> <p>10:40</p>
11:00	<p>11:10</p> <p>半導体の熱特性</p> <p>E 1 2 1</p> <p>  }</p> <p>E 1 2 4</p> <p>12:30</p>	<p>11:10</p> <p>蒸発</p> <p>F 1 2 1</p> <p>  }</p> <p>F 1 2 4</p> <p>12:30</p>	<p>11:10</p> <p>計測 (II)</p> <p>G 1 2 1</p> <p>  }</p> <p>G 1 2 4</p> <p>12:30</p>
13:00	<p>13:20</p> <p>熱物性 (I)</p> <p>E 1 3 1</p> <p>  }</p> <p>E 1 3 4</p> <p>14:40</p>	<p>13:20</p> <p>ヒートパイプ (I)</p> <p>F 1 3 1</p> <p>  }</p> <p>F 1 3 4</p> <p>14:40</p>	<p>13:20</p> <p>都市・地球環境 と伝熱 (I)</p> <p>G 1 3 1</p> <p>  }</p> <p>G 1 3 4</p> <p>14:40</p>
15:00	<p>14:50</p> <p>熱物性 (II)</p> <p>E 1 4 1</p> <p>  }</p> <p>E 1 4 4</p> <p>16:10</p>	<p>14:50</p> <p>ヒートパイプ (II)</p> <p>F 1 4 1</p> <p>  }</p> <p>F 1 4 4</p> <p>16:10</p>	<p>14:50</p> <p>都市・地球環境 と伝熱 (II)</p> <p>G 1 4 1</p> <p>  }</p> <p>G 1 4 3</p> <p>15:50</p>
16:00	<p>16:20</p> <p>熱物性 (III)</p> <p>E 1 5 1</p> <p>E 1 5 3</p> <p>17:00</p>	<p>16:20</p> <p>ヒートパイプ (III)</p> <p>F 1 5 1</p> <p>  }</p> <p>F 1 5 3</p> <p>17:20</p>	<p>16:20</p> <p>CO<sub>2</sub>回収</p> <p>G 1 5 1</p> <p>  }</p> <p>G 1 5 4</p> <p>17:40</p>
18:00			
19:00			

日程表

第2日 5月19日(木)				
	A室	B室	C室	D室
9:00	9:10 遷移沸騰 A 2 1 1 A 2 1 5	9:10 乱流構造 (I) B 2 1 1 B 2 1 5	9:10 凝縮 (I) C 2 1 1 C 2 1 5	9:10 蓄冷熱 (I) D 2 1 1 D 2 1 5
10:00	10:50 11:00 高温物体冷却 A 2 2 1 A 2 2 4	10:50 11:00 乱流構造 (II) B 2 2 1 B 2 2 4	10:50 11:00 凝縮 (II) C 2 2 1 C 2 2 4	10:50 11:00 蓄冷熱 (II) D 2 2 1 D 2 2 4
11:00	12:00	12:00	12:00	12:00
13:00		13:10 総会		
14:00		14:40 14:50 層流 B 2 3 1 B 2 3 4	14:50 分子動力学 (I) C 2 3 1 C 2 3 4	14:50 蓄冷熱 (III) D 2 3 1 D 2 3 4
15:00	16:00	16:00	16:00	16:00
16:00	16:10 16:20 過渡沸騰 A 2 4 1 A 2 4 5	16:10 16:20 層流剥離 B 2 4 1 B 2 4 5	16:10 16:20 熱伝導 C 2 4 1 C 2 4 5	16:10 16:20 蓄冷熱 (IV) D 2 4 1 D 2 4 3 17:20
17:00	18:00	18:00	18:00	18:00
18:00	18:30 懇親会 20:30			

日程表

第2日 5月19日(木)			
	E室	F室	G室
9:00	9:10 フラッシュ E 2 1 1 }	9:10 燃焼数值解析 F 2 1 1 }	9:10 冷媒蒸発伝熱 G 2 1 1 }
10:00	E 2 1 4 10:30	F 2 1 5 10:50	G 2 1 5 10:50
11:00	11:00 固気混相流 E 2 2 1 }	11:00 実用燃焼 F 2 2 1 }	11:00 冷媒凝縮伝熱 G 2 2 1 }
12:00	E 2 2 4 12:20	F 2 2 4 12:20	G 2 2 4 12:20
13:00			
14:00			
15:00	14:50 混相流可視化 E 2 3 1 }	14:50 工業炉 F 2 3 1 }	14:50 ヒートポンプ G 2 3 1 }
16:00	E 2 3 3 15:50	F 2 3 4 16:10	G 2 3 4 16:10
17:00	16:20 回転場の伝熱 E 2 4 1 }	16:20 反応 F 2 4 1 }	16:20 吸収式冷凍機 G 2 4 1 }
18:00	E 2 4 5 18:00	F 2 4 4 17:40	G 2 4 5 18:00
	18:30 懇親会 20:30		

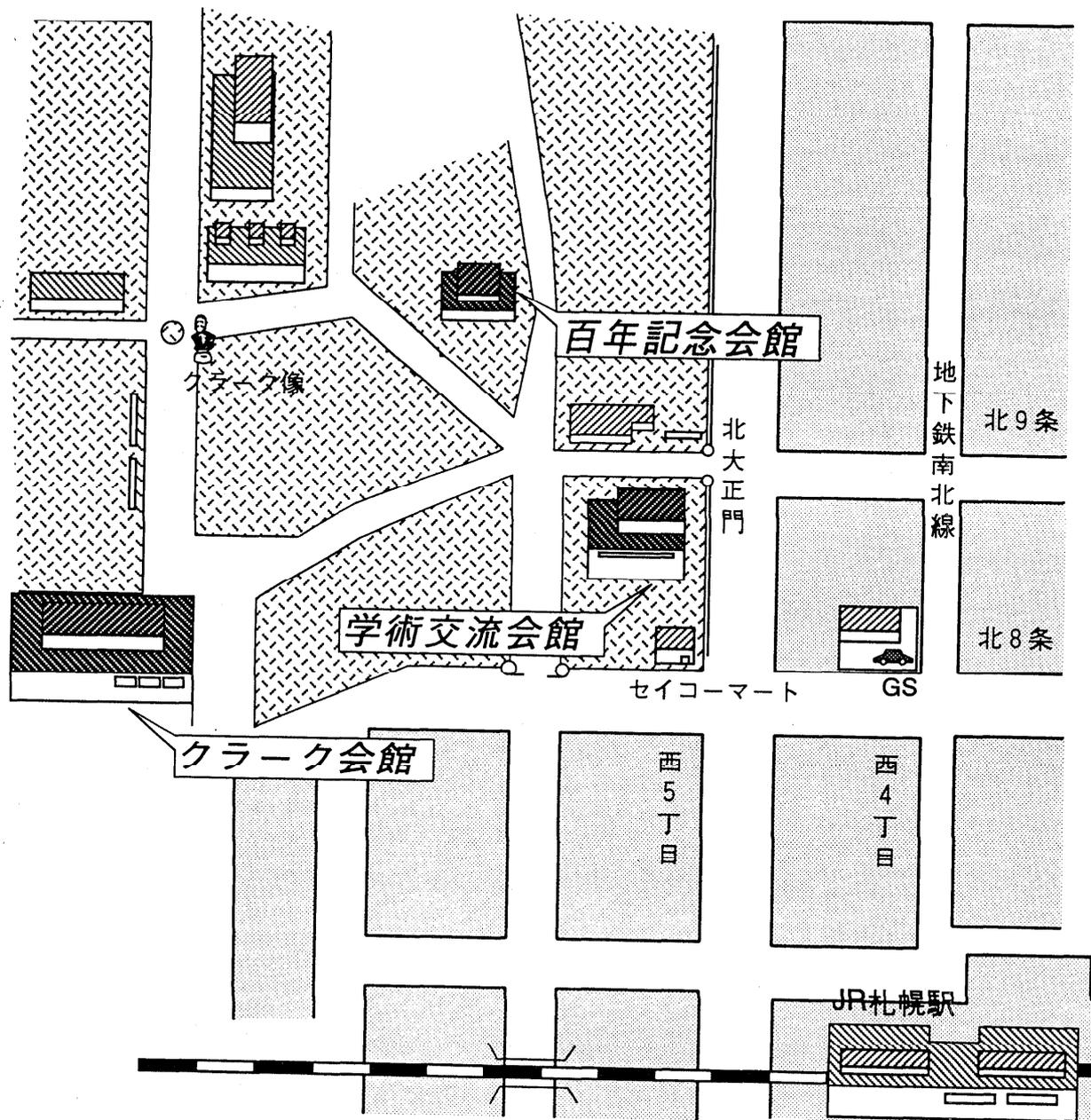
日程表

第3日 5月20日(金)				
	A室	B室	C室	D室
9:00	9:10 沸騰伝熱促進 A 3 1 1 } A 3 1 5	9:10 対流伝熱促進 (I) B 3 1 1 } B 3 1 5	9:10 分子動力学 (II) C 3 1 1 } C 3 1 4	9:10 ふく射伝熱 (I) D 3 1 1 } D 3 1 5
10:00			10:30	
11:00	10:50 11:00 沸騰制御 A 3 2 1 } A 3 2 4	10:50 11:00 対流伝熱促進 (II) B 3 2 1 } B 3 2 4	11:00 分子動力学 (III) C 3 2 1 } C 3 2 4	10:50 11:00 ふく射伝熱 (II) D 3 2 1 } D 3 2 4
12:00	12:20	12:20	12:20	12:20
13:00				
14:00	13:20 沸騰可視化 A 3 3 1 } A 3 3 3 14:20	13:20 対流伝熱促進 (III) B 3 3 1 } B 3 3 4	13:20 分子動力学 (IV) C 3 3 1 } C 3 3 4	13:20 ふく射伝熱 (III) D 3 3 1 } D 3 3 4
15:00	14:50 蒸気爆発 A 3 4 1 } A 3 4 4	14:40 14:50 剥離流 B 3 4 1 } B 3 4 4	14:40 14:50 分子動力学 (V) C 3 4 1 } C 3 4 4	14:40 14:50 ふく射伝熱 (IV) D 3 4 1 } D 3 4 4
16:00	16:10 16:20	16:10 16:20	16:10 16:20	16:10 16:20
17:00	微小伝熱面沸騰 A 3 5 1 } A 3 5 4 17:40	二重拡散自然対流 B 3 5 1 } B 3 5 4 17:40	分子動力学 (VI) C 3 5 1 } C 3 5 3 17:20	熱画像 D 3 5 1 } D 3 5 4 17:40
18:00				

日程表

第3日 5月20日(金)			
	E室	F室	G室
9:00	<p>9:10</p> <p>直接接触伝熱</p> <p>E 3 1 1</p> <p>}</p> <p>E 3 1 5</p>	<p>9:10</p> <p>充填層における 流動・伝熱 (I)</p> <p>F 3 1 1</p> <p>}</p> <p>F 3 1 4</p> <p>10:30</p>	<p>9:10</p> <p>生体における伝熱</p> <p>G 3 1 1</p> <p>}</p> <p>G 3 1 5</p>
10:00			
11:00	<p>10:50</p> <p>11:00</p> <p>熱交換器 (I)</p> <p>E 3 2 1</p> <p>}</p> <p>E 3 2 4</p> <p>12:20</p>	<p>11:00</p> <p>充填層における 流動・伝熱 (II)</p> <p>F 3 2 1</p> <p>}</p> <p>F 3 2 4</p> <p>12:20</p>	<p>10:50</p> <p>11:00</p> <p>融解蓄冷熱</p> <p>G 3 2 1</p> <p>}</p> <p>G 3 2 4</p> <p>12:20</p>
12:00			
13:00			
14:00	<p>13:20</p> <p>熱交換器 (II)</p> <p>E 3 3 1</p> <p>}</p> <p>E 3 3 4</p> <p>14:40</p> <p>14:50</p>	<p>13:20</p> <p>充填層における 流動・伝熱 (III)</p> <p>F 3 3 1</p> <p>}</p> <p>F 3 3 4</p> <p>14:40</p> <p>14:50</p>	<p>13:20</p> <p>凝固蓄冷熱</p> <p>G 3 3 1</p> <p>}</p> <p>G 3 3 4</p> <p>14:40</p> <p>14:50</p>
15:00	<p>熱交換器 (III)</p> <p>E 3 4 1</p> <p>}</p> <p>E 3 4 4</p> <p>16:10</p> <p>16:20</p>	<p>複合対流伝熱 (I)</p> <p>F 3 4 1</p> <p>}</p> <p>F 3 4 4</p> <p>16:10</p> <p>16:20</p>	<p>空調機</p> <p>G 3 4 1</p> <p>}</p> <p>G 3 4 4</p> <p>16:10</p> <p>16:20</p>
16:00			
17:00	<p>熱交換器 (IV)</p> <p>E 3 5 1</p> <p>}</p> <p>E 3 5 4</p> <p>17:40</p>	<p>複合対流伝熱 (II)</p> <p>F 3 5 1</p> <p>}</p> <p>F 3 5 3</p> <p>17:20</p>	<p>室内環境</p> <p>G 3 5 1</p> <p>}</p> <p>G 3 5 4</p> <p>17:40</p>
18:00			

# 第31回 伝熱シンポジウム 会場の御案内



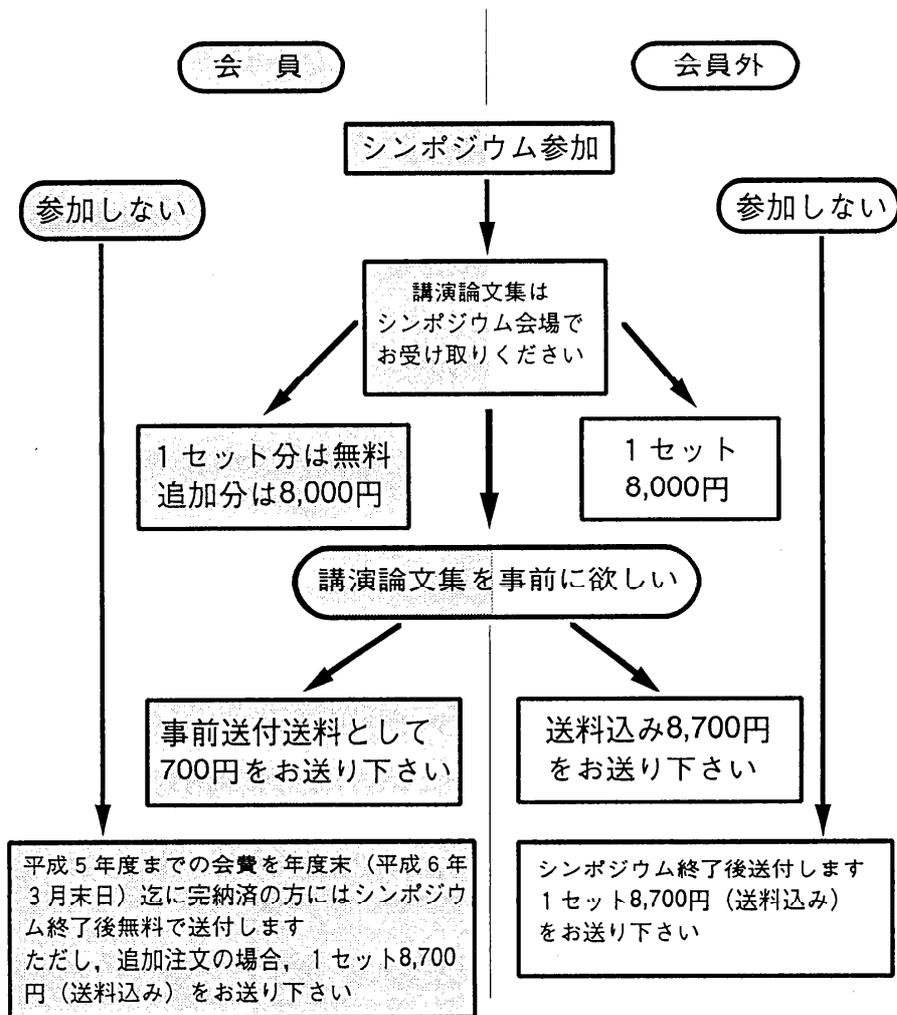
# お知らせ

## 伝熱シンポジウム講演論文集の事前送付要領が変わります！！

平成5年9月18日開催の伝熱学会理事会において、経費節減および事務簡素化のため、第31回日本伝熱シンポジウムよりシンポジウム参加者への講演論文集の事前送付を取りやめることが承認されました。

これまで、日本伝熱学会会員の方々（シンポジウム開催年度の前年度までの会費を、当該年度の3月末日までに完納している会員に限ります）には、講演論文集をシンポジウム開催前にお届けしておりましたが、シンポジウムに参加される会員の方は、講演会場でお受け取りいただくこととなります。シンポジウムに不参加の会員の方および追加注文分はシンポジウム終了後お送り致します。なお、今回に限り、特に御希望の方にはシンポジウム開催前にお送り致しますが、その際には事前送付送料として700円をいただきます。

なにとぞ、ご理解と御協力を賜われますようお願い申し上げます。



日本伝熱学会

「財政基盤強化のための募金事業」

個人会員募金のお礼とご報告

会員の皆様方には、ますますご清栄で、ご活躍のことと拝察申し上げます。

さて、当学会の財政基盤を強化するために、昨年1月1日から12月31日まで実施致しました、個人会員の皆様方からの募金事業に関しましては、諸事ご多端の折りにもかかわらず、517名の方々と2会員グループから絶大なるご理解とご協力を戴きまして、目標額に対して約50%増の、14,873,500円のご醸金を賜り、誠にありがたく心からお礼申し上げます。

この募金額は賛同者お一人様当りの額としても、この種の事業として高額であり、皆様方の日頃日本伝熱学会にお寄せいただいているご熱意が直接感じられ、学会の将来について大変心強く思う次第でございます。

顧みますと、組織検討委員会の本学会将来構想の検討結果により、「社団法人化」の具体案が打ち出され、直ちに計画に取り掛かり、学会幹部のご努力によって比較的短期間で法人化可能性の見込みが立ったので、そのために必要な基金の整備と財政基盤強化のために、理事会の決定により急遽本募金事業が開始されました。十分な準備期間が取れなかったため、本事業に関しては何かと不行き届きで、各方面に多大のご迷惑をおかけしたかと存じますが、皆様のご協力によって目標が達成できましたことを重ねてお礼申し上げます。

今後は、お寄せいただいたご醸金につきましては、本事業の趣旨に添った有為な用途に充てるべく、皆様のご意見を学会連宮に反映させるように努力を尽くす所存でございますので、今後も一層のご支援、ご協力をお願い申し上げます。

なおご参考までに、本事業の一環として関連企業各位にご協力をお願いしております賛助会員（特別）ご加入の依頼も、最近の厳しい景況にかかわらず比較的順調に経緯していることをご報告申し上げます。

また、最後になりましたが、発起人に応じていただいた皆様方、実行委員会委員各位およびお世話戴いたすべての方々に篤く感謝申し上げます。

平成6年3月吉日

募金事業発起人代表

藤江 邦男

募金事業実行委員会委員長

棚沢 一郎

「財政基盤強化のための募金事業 個人会員募金」

募金者ご芳名

募金 期間	平成5年1月1日 ~ 平成5年12月31日
募金者総数	517名 (他に2グループ)
募金総口数	2974.7 口
総 金 額	14,873,500 円

相場 眞也殿	池崎 英二殿	井上 晃殿	大岡五三実殿	長内 敏雄殿
相原 利雄殿	池田 裕二殿	井上 剛良殿	大隈 正人殿	小澤 守殿
青木 秀之殿	石垣 博殿	庵原 久夫殿	太田 淳一殿	尾添 紘之殿
青木 成文殿	石黒 亮二殿	今石 宣之殿	太田 照和殿	小田 鶴介殿
青木 和夫殿	石黒 博殿	井村 英昭殿	大田 治彦殿	落合 政昭殿
青木 博史殿	石塚 勝殿	入谷陽一郎殿	大竹 浩靖殿	落合 淳一殿
青山 善行殿	石塚 隆雄殿	岩城 敏博殿	大中 逸雄殿	小原 拓殿
赤井 誠殿	石橋 英一殿	岩淵 牧男殿	大西 浩之殿	親川 兼勇殿
赤川 浩爾殿	石原 勲殿	岩堀 宏治殿	大野 常美殿	小山 隆行殿
秋本 肇殿	石谷 清幹殿	岩本 光生殿	大野 正規殿	海野 紘治殿
秋山 守殿	泉 正明殿	植田 辰洋殿	大場 謙吉殿	香川 達雄殿
秋山 友宏殿	板谷 義紀殿	上原 春男殿	大原 清司殿	笠尾 大作殿
浅井 朗殿	一宮 浩市殿	上松 公彦殿	大村 直人殿	笠木 伸英殿
浅古 豊殿	一色 尚次殿	埋橋 英夫殿	岡崎 健殿	加治 増夫殿
浅野 強殿	一法師茂俊殿	宇高 義郎殿	岡崎 卓朗殿	片岡 邦夫殿
芦分 範行殿	伊藤 猛宏殿	内田 秀雄殿	小笠原光信殿	片岡 勲殿
新井 紀男殿	伊藤 龍象殿	内田 悟殿	岡田 昌志殿	勝田勝太郎殿
荒木 信幸殿	伊藤 昭彦殿	梅宮 弘道殿	岡田 孝夫殿	勝田 正文殿
有富 正憲殿	伊藤 正昭殿	梅村 晃由殿	岡田 定五殿	加藤 泰生殿
粟野 誠一殿	稲井 信彦殿	越後 亮三殿	小川 清殿	加藤 征三殿
飯田 嘉宏殿	稲垣 照美殿	塩治震太郎殿	荻野 文丸殿	加藤 健司殿
飯野 利喜殿	稲坂富士夫殿	逢坂 昭治殿	小口 幸成殿	角口 勝彦殿
猪飼 茂殿	稲田 茂昭殿	大石 克巳殿	小熊 正人殿	門谷 皖一殿
五十嵐 保殿	稲葉 英男殿	大岩 紀生殿	奥山 邦人殿	金山 公夫殿
池上 康之殿	稲村 降夫殿	大内 雅樹殿	尾崎 脩殿	金丸 邦康殿

鎌倉 勝善殿	黒崎 晏夫殿	佐藤 恭三殿	大黒 正敏殿	辻 廣殿
鎌田 長幸殿	桑原 啓一殿	佐藤 泰生殿	平良 哲治殿	土田 一殿
上宇都幸一殿	小泉 博義殿	佐藤 厚殿	高城 敏美殿	土屋 良明殿
神沢 淳殿	小泉 安郎殿	佐野 妙子殿	高島 啓行殿	筒井 正幸殿
神永 文人殿	小澤 由行殿	佐野川好母殿	高島 武雄殿	鶴田 隆治殿
亀岡 利行殿	小関 守史殿	澤井 徹殿	高田 保之殿	鶴野 省三殿
加茂 信行殿	小竹 進殿	沢田 正剛殿	高津 康幸殿	寺田 耕殿
仮屋崎 侃殿	小西 恵三殿	椎名 孝次殿	高野 孝義殿	寺西 恒宣殿
河合 一穂殿	小林 睦夫殿	塩津 正博殿	高橋力 不子殿	藤 道治殿
河合 洋明殿	小林 清志殿	茂地 徹殿	高橋 一郎殿	時田 雄次殿
川江 信治殿	小林 崇殿	篠原 久殿	高橋 夫殿	戸倉 郁夫殿
川上 靖殿	小松 源一殿	柴田 豊殿	高松 洋殿	戸田 三朗殿
川島 陽介殿	小宮山淑方殿	島田 了八殿	田川 正人殿	羽谷 吉郎殿
河部 弘道殿	小森 悟殿	清水昭比古殿	滝本 昭殿	富村 寿夫殿
河村 洋殿	小森 友明殿	清水 信吾殿	竹内 正顯殿	富山 明男殿
神吉 達夫殿	小森 勝夫殿	下村龍太郎殿	竹内 正紀殿	鳥居 修一殿
木枝 茂和殿	児山 仁殿	庄司 正弘殿	竹越 栄俊殿	鳥居 薫殿
菊地 義弘殿	小山 繁殿	庄司 幸嗣殿	竹中 信幸殿	内藤 悦郎殿
岸浪 紘機殿	近藤 哲也殿	新里 寛英殿	武山 斌郎殿	永井 二郎殿
北村 健三殿	近藤 継男殿	新宅 浩雄殿	田子 真殿	永井 伸樹殿
吉川 進三殿	今野 宏卓殿	末永 秀夫殿	田島 収殿	中岡 勉殿
木戸 長生殿	斎藤 武殿	菅原 征洋殿	多田 幸生殿	中川 順達殿
鬼頭 幸秀殿	斎藤 彬夫殿	杉山憲一郎殿	多田 寿雄殿	長坂 雄次殿
木下 泉殿	斎藤 凶殿	鈴木 洋殿	田中 収殿	長崎 孝夫殿
木村 龍治殿	斎藤 眞秀殿	鈴木健二郎殿	田中 修殿	中里見正夫殿
木村 照夫殿	齋藤 武雄殿	鈴木 利夫殿	田中 博由殿	中島 忠克殿
木村 繁男殿	齋藤 孝基殿	鈴木 康一殿	田中 克典殿	中島賢一郎殿
木本日出夫殿	坂井 正康殿	鈴木 祐二殿	棚澤 一郎殿	中島 健殿
姜 採東殿	坂口 勝次殿	数土 幸夫殿	店橋 護殿	中島 肇殿
清田 正徳殿	坂口 忠司殿	須藤 浩三殿	谷口 博殿	中島 昭殿
幾世橋 広殿	坂下 弘人殿	関 信弘殿	玉置 昌義殿	仲田 哲朗殿
久我 修殿	坂元 健殿	関根 郁平殿	玉木 恕乎殿	長田 孝志殿
楠田 久男殿	坂本 守義殿	瀬名波 出殿	玉利 賢一殿	中西 重康殿
工藤 一彦殿	坂本雄二郎殿	芹澤 昭示殿	千葉 徳男殿	長野 靖尚殿
國峰 寛司殿	櫻井 彰殿	千田 二郎殿	千葉 陽一殿	永橋 優純殿
窪田 英樹殿	佐古 光雄殿	千田 衛殿	千葉 孝男殿	中原 崇文殿
久保田裕巳殿	佐々木世治殿	曾田 正浩殿	塚越 律夫殿	中村 肇殿
熊谷 哲殿	佐々木 享殿	素谷 順二殿	塚田 隆夫殿	中村 止秋殿
熊田 俊明殿	笹口 健吾殿	園井 英一殿	柘植 綾夫殿	中村 昭三殿
栗間 諄二殿	佐田富道雄殿	大黒 崇弘殿	辻 俊博殿	長元 孝夫殿

中山 頭殿	林 勇二郎殿	二神 浩三殿	三塚 正志殿	山口 正義殿
中山 恒殿	原 利次殿	舟渡 裕一殿	南川 久人殿	山崎 郭滋殿
鍋本 暁秀殿	原口 忠男殿	古川 哲郎殿	南山 龍緒殿	山崎慎一郎殿
波江 貞弘殿	原村 嘉彦殿	古川 徹殿	三松 順治殿	山下 宏幸殿
奈良崎道治殿	播木 道春殿	古寺 雅晴殿	宮内 敏雄殿	山下 博史殿
成合 英樹殿	久角 喜徳殿	古畑 朋彦殿	宮崎 亮一殿	山田 悦郎殿
鳴海 明殿	土方 邦夫殿	宝諸 幸男殿	宮下 尚殿	山田 盛二殿
縄田 豊殿	菱田 幹雄殿	星 朗殿	宮武 修殿	山田 雅彦殿
二階 勲殿	菱田 公一殿	細川 力殿	宮部喜代二殿	山田 幸生殿
西尾 茂文殿	日高 澄具殿	細川 茂雄殿	宮本 政英殿	山田 昭殿
西川 兼康殿	日向 滋殿	堀 雅夫殿	宮良 明男殿	山中 晤郎殿
西田 哲也殿	飛原 英治殿	堀部 明彦殿	武藤 哲生殿	山野 憲洋殿
西野 耕一殿	姫野 修廣殿	洪 海平殿	宗像 健殿	山本 春樹殿
西村 龍夫殿	平井秀一郎殿	本田 知宏殿	宗像 鉄雄殿	横澤 肇殿
西村 伸也殿	平岡 節郎殿	本田 博司殿	村尾 良夫殿	横堀 誠一殿
西村 誠殿	平澤 茂樹殿	前川 博殿	村上 幸一殿	横谷 定雄殿
西山 秀哉殿	平澤 良男殿	前川 透殿	村瀬 道雄殿	横山 孝男殿
西脇 信彦殿	平田 哲夫殿	前田 隼殿	村田 章殿	吉岡 啓介殿
二宮 尚殿	平田 雄志殿	前田 昌信殿	村田 杏坪殿	吉川 浩行殿
根井 弘道殿	平簪 国男殿	前野 一夫殿	望月 貞成殿	吉澤 善男殿
埜上 洋殿	廣瀬 宏一殿	牧野 俊郎殿	桃木 悟殿	吉田 英生殿
野田 英彦殿	廣田 真史殿	増岡 隆土殿	百生 登殿	吉田 潔殿
能登 勝久殿	廣安 博之殿	増田 英俊殿	森 康彦殿	吉田 駿殿
野村 雅宣殿	樽和田宗彦殿	増田 雅昭殿	森 康夫殿	吉田 篤正殿
萩原 良道殿	深井 潤殿	松井 剛一殿	森 茂殿	吉田 正道殿
架谷 昌信殿	深野 徹殿	松浦 章裕殿	森 英夫殿	吉原 計一殿
橋爪 秀利殿	福井 啓介殿	松尾 篤二殿	森 幸治殿	吉原 正博殿
橋本 博文殿	福迫尚一郎殿	松田 仁樹殿	森岡 斎殿	老固 潔一殿
橋本 昌也殿	福田 研二殿	松田 理殿	森岡 幹雄殿	渡辺 健次殿
長谷川 修殿	藤井 雅雄殿	松永 崇殿	唐土 宏殿	渡辺 誠殿
長谷川淳一殿	藤井 哲殿	松本 健一殿	門出 政則殿	渡辺 裕殿
蜂巢 毅殿	藤井 丕夫殿	松本 隆一殿	八木 良尚殿	渡辺 修殿
八田 桂三殿	藤井 照重殿	松本 浩二殿	矢田 順三殿	
服部 直三殿	藤江 邦男殿	円山 重直殿	柳井 誠殿	
服部 賢殿	藤掛 賢司殿	三浦 隆利殿	柳田 武彦殿	
花村 克悟殿	藤田 尚毅殿	水上 紘一殿	矢野 歳和殿	
羽田 喜昭殿	藤田 秀臣殿	水谷 幸夫殿	矢部 彰殿	
馬場 弘殿	藤田 恭伸殿	水野 忠治殿	山内 庄司殿	
浜口 八朗殿	藤本 哲夫殿	三田地紘史殿	山家 讓二殿	
早坂 洋史殿	布施木 徹殿	岐美 格殿	山川 紀夫殿	

ダイキン工業・一同殿

(鳥越 邦和殿、川添 政宣殿、樽谷 勇殿、中田 春男殿、川端 克宏殿、  
田中順一郎殿、喜 冠南殿、笠井 一成殿、蛭子 毅殿)

東海地区若手研究者グループ殿



### <個人会員募金状況報告>

●個人会員募金額

総額 14,873,500円、 2974.7口(517名様、他に2グループ)

●個人会員募金者御芳名(平成6年1月13日以降分)

廣安博之殿(広島大学) (以上 10口)	中村昭三殿(日立製作所) (以上 5口)	鎌田長幸殿(八戸工高専) (以上 4口)
土屋良明殿(信州大学)	尾添紘之殿(九州大学)	店橋 護殿(東京工業大学)
西脇信彦殿(東京農工大学) (以上 8口)	高橋 実殿(東京工業大学)	二宮 尚殿(宇都宮大学)
有富正憲殿(東京工業大学)	井上剛良殿(九州大学)	鈴木祐二殿(東京工業大学) (以上 3口)
神沢 淳殿(東京工業大学)	椎名孝次殿(日立製作所)	大原清司殿(芦屋大学)
鈴木康一般(東京理科大学)	宗像鉄雄殿(機械技術研)	永橋優純殿(高知工業高校)
数土幸夫殿(日本原子力)	中川順達殿(東京工業大学)	姜 採東殿 (以上 1口)
原 利次殿(日本工業大学) (以上 6口)	前川 透殿(東洋大学)	
赤井 誠殿(機械技術研)	竹中信幸殿(神戸大学)	
	沢田正剛殿(北見工業大)	
	長元孝夫殿(石川工業高校)	



### <賛助会員(特別)入会申込状況報告>

●入会申込企業数(含・入金済企業)(平成6年3月15日現在、学会事務局受付分)

79社(含・事業所)(328口)

●賛助会員(特別)入会申込企業御芳名(含・入金済企業)(順不同)

(平成6年1月12日～平成6年3月15日、事務局受付分)

(株)中部プラントサービス殿	東邦ガス(株)・都市エネルギー技術開発部殿
(株)神戸製鋼所・技術開発本部殿	日立造船(株)殿
北陸電力(株)殿	コマツ・研究本部殿
三菱重工業(株)・技術本部・長崎研究所殿	(株)大気社・技術研究所殿
スズキ(株)・技術研究所・横浜研究部殿	日本原子力発電(株)殿
松下精工(株)・空調技術研究所殿	富士重工業(株)・航空宇宙事業本部殿
日本ガイシ(株)殿	千代田化工建設(株)殿
三井造船(株)殿	東洋エンジニアリング(株)殿
住友軽金属工業(株)・伸銅所殿	パプコック日立(株)呉研究所殿
アイシン精機(株)殿	(株)四国総合研究所殿

※訂正とお詫び

これまでのご報告中の誤りを、追加訂正させていただきます。

失礼を深くお詫び申し上げます。

<個人会員募金> 大内雅樹殿 (誤) 6口、(正) 7口

<賛助会員(特別)入会申込> (誤) (有) アブダビ殿、(正) (有) アダブテクノ殿

# 電荷移動を伴う熱科学現象研究会

## 研究目的

伝熱工学が省エネルギーに寄与したことは間違いないが、伝熱促進手法等もすでに成熟した段階にあり、これ以上の急激な発展は期待できない。このような点から熱科学の新しい研究方向の一つとして、イオンや電子などの荷電粒子の移動が生じるような場を、化学反応や伝熱促進等に積極的に利用することにより、従来にはない化学反応や、高性能エネルギー伝達等の熱科学現象を生じさせようと考えられる。従来、伝熱分野では電場というEHDによる伝熱促進のみが取り上げられてきたが、これは電荷の移動を伴う熱現象の極一部にすぎない。電荷の移動は主に電気、電子工学分野に属すると考えがちであるが、多くの現象は電荷の移動と同時に熱移動が生じており、熱工学分野の技術者、研究者のセンスによるアプローチが求められている。そこで本研究会では、機械工学、化学工学のみならず、電気や電子工学、物理学等を専門とする研究者にも参加していただき、次の様な課題に取り組む。

- ① 種々の放電現象下での熱物質移動（伝熱促進、特殊冷却、放電加工）
- ② イオン化現象と化学反応促進（環境汚染物質処理）
- ③ 電場と光化学反応（CVD、膜生成）
- ④ レーザによる化学反応制御と計測（LIF）
- ⑤ 薄膜、半導体における量子伝熱学

## 研究組織

主査 水野 彰（豊橋技術科学大学、工学部、エコロジー工学系、教授）

〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘、TEL 0532-47-0111内504、FAX 0532-48-3422

幹事 吉田英生（東京工業大学、工学部、機械科学科、助教授）

〒152 目黒区大岡山2-12-1、TEL 03-5734-2500、FAX 03-5734-2891

幹事 中谷 元（三菱電機㈱、伊丹製作所、開発部、ビーム応用技術グループマネージャー）

〒661 尼崎市塚口本町8-1-1、TEL 06-497-8452、FAX 06-497-9360

委員 林勇二郎（金沢大）、井上剛良（九大、機能研）ほか

## 研究会の開催回数と場所

主に東京で年6回程度（なお、第1回研究会を札幌での伝熱シンポジウムの機会に開催する予定です。）

参加希望者は下記の申し込み用紙を吉田幹事あてにお送り下さい。

-----切り取り線-----

## 電荷移動を伴う熱科学現象研究会参加申し込み

参加希望者氏名 \_\_\_\_\_

所 属： \_\_\_\_\_

住 所： \_\_\_\_\_

TEL. \_\_\_\_\_

FAX： \_\_\_\_\_



**日本混相流学会 第12回混相流レクチャーシリーズ**  
**混相流のシミュレーション技術 —よくわかる混相流数値解析—**

- 協 賛** エネルギー・資源学会、化学工学会、可視化情報学会、空気調和・衛生工学会、計算力学学会、資源素材学会、数値流体力学学会、スラリー輸送研究会、土木学会、日本エアロゾル学会、日本機械学会、日本空気清浄協会、日本原子力学会、日本航空宇宙学会、日本造船学会、日本鉄鋼協会、日本伝熱学会、日本船舶機関学会、日本物理学会、日本ボイラ協会、日本流体力学学会、日本冷凍協会、廃棄物学会、粉体工学会
- 日 時** 1994年6月6日(月)、7日(火) 10時～17時
- 会 場** 大阪市立大学文化交流センター (JR大阪駅より徒歩8分) TEL (06)344-5425
- 題 目** 6月6日(気液二相流のシミュレーション)
- 講 師** 気液二相流の基礎方程式、構成式/京都大学原子エネルギー研究所 片岡 勲  
 気液二相流の数値解析の基礎/神戸大学工学部 富山明男  
 気液二相流の不安定現象のシミュレーション/関西大学工学部 小沢 守  
 気液二相流シミュレーションの実際/日本原子力研究所 秋本 肇
- 6月7日(固気二相流のシミュレーション)
- 固気二相流の数値解析手法と離散粒子モデルの基礎/大阪大学工学部 辻 裕  
 二流体モデルによる固気二相流れのシミュレーション/名古屋大学工学部 中村正秋  
 DSMC法による中間濃度流れのシミュレーション/大阪大学工学部 田中敏嗣  
 DEMによる高濃度流れのシミュレーション/(株)神戸製鋼所 中西 宏  
 市販ソフトによる高濃度流れの計算例/AI・IE・E・ジャパン(株) 岡 新一
- 参加費** 会員(協賛学協会会員を含む) 30,000円 非会員40,000円 学生5,000円(テキスト代を含む)
- 申込方法** はがきに「第12回混相流講習会申し込み」と題記し、氏名、加盟学協会名、勤務先、連絡先を明記し、〒659 兵庫県芦屋市公光町9-7-202 (株)学術出版印刷内 日本混相流学会 企画運営委員会 (TEL. 0797-38-3390 FAX. 0797-38-3351) までお申込みください。

**第2回混相流国際会議**

*Second International Conference on Multiphase Flow (ICMF '95-KYOTO)*

- 主 催** : 日本混相流学会
- 協 賛** : エネルギー・資源学会、化学工学会、可視化情報学会、資源素材学会、自動制御学会、スラリー輸送研究会、土木学会、日本エアロゾル学会、日本機械学会、日本空気清浄学会、日本原子力学会、日本航空宇宙学会、日本鉄鋼協会、日本伝熱学会、日本バイオレオロジー協会、日本ボイラ協会、日本流体力学学会、粉体工学会、新技術事業団、動力炉核燃料開発事業団、日本原子力研究所、米国化学工学会、米国機械学会、米国原子力学会、ドイツ化学工学会、中国顆粒学会、国際フライトパイプライン協会、EPR I、米国エネルギー省、米国科学振興財団
- 日 時** : 平成7年4月3日(月) - 4月7日(金)
- 会 場** : 国立京都国際会館
- 論文募集** : アブストラクト(英文 1,500 - 2,000 語) 提出締切・・・平成6年7月1日(金)  
 提出先: 深野 徹教授 (Scientific Committee Co-Chairman)  
 〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1、九州大学工学部機械工学科  
 Tel:092-641-1101 (内線 5440)、Fax:092-641-9744
- 参加費** : 平成7年1月31日まで(事前登録) 50,000円(論文集、パンフレット費他含む)  
 平成7年2月1日以後の申込(当日) 60,000円  
 ただし 学生は半額
- 問合せ先** : 芹澤昭示教授 (Conference Chairman)  
 〒606-01 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科原子核工学教室  
 Tel & Fax: 075-753-5829

# 第15回日本熱物性シンポジウム開催案内

第15回実行委員長 竹越栄俊 (富山大学工学部)

第15回日本熱物性シンポジウムを下記の次第で開催致します。お気軽にお誘い合わせの上、多数ご参加下さるようお願い申し上げます。

通常のセッションのほか、オーガナイズドセッションとして、(a)人間-衣服-環境系における繊維状材料の熱物性、(b)複合材料の熱物性値、等を企画しています。また、レビュー講演として、「分子動力学の進展」、ワークショップとして「雪と氷の熱物性」及び「熱物性値測定における計測技術の評価」を企画しております。さらに、特別講演としてDr. J. F. Sacadura (フランス) による「繊維状及び発泡材のふく射特性」、その他を予定しております。講演及び参加申込要領は「熱物性」4月号に掲載されておりますが、講演申込書又は参加申込書をご希望の方は、Faxまたは葉書にて氏名(ふりがな)、勤務先(又は学校名)、連絡先、所属学協会名をご記入の上、下記宛先までお申し込みください。なお、予約参加申込は期日までの送金をもって予約と致します。

## 記

開催期間：平成6年10月18日(火)～20日(木)  
会場：富山県民会館(〒930 富山市新総曲輪4番18号)

JR富山駅から徒歩10分、  
バス2分(市役所前下車)

参加費：日本熱物性学会会員及び共催・協賛学協会会員 5,000円、学生 2,500円、  
非会員 6,000円

講演論文：日本熱物性学会会員 3,000円

集代 その他 6,000円

懇親会：日時 10月19日(水)

一般 7,000円、学生 5,000円

(上記の代金の予約外はすべて 1,000円加算)

講演申込締切：平成6年6月15日(水)

論文原稿締切：平成6年8月20日(土)

予約参加申込締切：平成6年9月20日(火)

問い合わせ、講演申込及び参加申込先

〒930 富山市五福3190

富山大学工学部機械システム工学科 竹越研究室 気付

Tel. (0764) 41-1271 内線 2800, 2801, 2802

Fax. (0764) 41-8432 (工学部共通)

郵便振替口座：00710-4-14897

第15回日本熱物性シンポジウム実行委員会

## 『複合レーザー計測』ワークショップ

最前線の流体計測技術を手近に!!

主催：熱流体フォーラム(旧流体フォーラム)

共催：日本機械学会、日本伝熱学会、日本混相流学会、可視化情報学会

開催日 1994年10月5日(水) 9:40～17:00 会場 芝浦工業大学 本館43教室

趣旨 近年、熱い期待が寄せられているレーザードップラー流速計(LDA)や位相ドップラー流速計(PDA)、粒子像解析流速計測法(PIV)や粒子追跡法(PTV)といった流体計測技術をもっと手近なものとするために、ある程度の使用経験を有する研究者や設計開発者を対象として、良好な計測への具体的ノウハウや問題回避の方法について講習するとともに、事前のアンケート調査と質疑応答による個別問題の解決を図ります。

講師 池田裕二(神戸大学)、菱田公一(慶應義塾大学)、西野耕一(横浜国立大学)

参加費 一般 18,000円、学生 9,000円 (テキスト代含む)

### 詳細問い合わせ、申込先

〒108 東京都港区芝浦3-9-14  
芝浦工業大学 工学部 機械工学科 流体力学研究室内  
熱流体フォーラム事務局  
TEL: (03) 5476-2409 FAX: (03) 5476-3077

### 銀行振込先

三菱銀行 田町東口支店(店番049)  
普通預金口座 0319618  
口座名称 「熱流体フォーラム」

### 申込方法

B5版用紙に『複合レーザー計測』ワークショップ  
申込みと題記し、(1)住所(2)勤務先の名称  
(3)送付先(4)氏名(ふりがな)(5)参加  
費の銀行振込予定日を明記のうえ、郵便またはFAX  
でお送りください。

申込締め切り 平成6年7月末日

(1行目は最初の2行空白、2ページは最初の行から2段組みで本文を書く)		(35mm程度)
<b>「伝熱研究」原稿の書き方</b> (表題は3行目の中央に横倍角文字で)		
(氏名、所属を5行目に右に詰めて)		伝熱 太郎 (伝熱大学)
(1ページ目は7行目から本文がスタート) . . . . .	. . . . .	. . . . .
・印刷は原稿からそのままオフセット印刷で行いますので、この点を考慮の上、写真、図表等には特に注意して鮮明なものをご使用ください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
・原稿枚数は原則として最大10枚(図表込み)を越えないでください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
・原稿は下記の出力フォーマットに従って作成の上、編集委員会までご送付ください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . . 「伝熱研究」用原稿の標準形式 . . . . .	. . . . .	. . . . .
用紙サイズ：A4縦長、横書き、2段組 . . . . .	. . . . .	(上余白 25mm)
. . . . .	. . . . .	(下余白 30mm)
活字サイズ：全角文字を標準とする。(英文字、数 . . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . . 字は半角文字が好ましい) . . . . .	. . . . .	. . . . .
1行の字数：1段あたり24文字程度(22~24 . . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . . 文字の間ならかまわない)	. . . . .	(242mm)
図 表：原稿内に直接張り込んでください。 . . . . .	. . . . .	. . . . .
頁 数：原稿の頁数は各頁の上すみに青鉛筆で . . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . . 薄く1/8、2/8のように記入。 . . . . .	. . . . .	(右余白 14mm程度)
. . . . .	. . . . .	. . . . .
← (1コラム長 84mm) →	← (1コラム長 84mm) →	. . . . .
. . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . . (段間すきま 8mm) →	←	. . . . .
. . . . .	. . . . .	. . . . .
(左余白 20mm以上) . . . . .	. . . . .	(1行 24字)
. . . . .	. . . . .	(1頁 40行)

## 「伝熱研究」会告の書き方

印刷は原稿からそのままオフセット印刷を行いますので、鮮明な原稿にしてください。大きさは、この外枠に入るように縦117mm以内横176mm以内に収まるようにしてください。この範囲に入らないものは、「伝熱研究」原稿の書き方に従ってください。

117mm

176mm

## 正 誤 表

「断想—第二法則」

伊藤 猛宏

伝熱研究 第33巻第128号

ページ

誤

正

7右下7行目	(A) から (G)	(G) から (K)
9左上4行目	評価	不人気の理由

# 事務局からの連絡

## 1. 学会案内と入会手続きについて

### 【目的】

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

### 【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。（但し、「伝熱研究」の巻と表紙の色は1月号から10月号までの一年間同じです）

### 【会員の種別と会費】

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

### 【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

1. 「伝熱研究、THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。

（本年度発行予定：4月号、7月号、10月号、1月号）

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

2. 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。

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

### 【入会手続き】

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

#### （注 意）

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

## 2. 会員の方々へ

### 【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

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

### 【会費納入について】

会費納入状況は「伝熱研究」郵送ラベルの累積請求額でご確認下さい。会費納入には折込みの郵便振替用紙をご利用下さい。その他の送金方法で手数料が必要な場合には、送金額から減額します。フリガナ名の検索によって入金の手続き処理を行っておりますので会社名のみで会員名の記載がない場合には未納扱いになります。

### 【変更届について】

#### （勤務先、住所、通信先等の変更）

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

#### （賛助会員の代表者変更）

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

#### （学生会員から正会員への変更）

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

#### （変更届提出上の注意）

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

### 【退会届について】

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

### 【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々は、本号宛ラベルの会費請求額をご確認の上、至急納入をお願いします。特に、平成5年度以降の会費未納の方には「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処置が理事会で協議されます。

## 3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

### 事務局

#### （業務内容）

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

#### （所在地）

〒113 東京都文京区本郷5-25-18

日本伝熱学会

TEL/FAX : 03-5689-3401

（土日、祝祭日を除く、午前9時～午後5時）

#### （注 意）

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

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学 工学部  
機械宇宙学科 土方 邦夫  
TEL:03-3726-1111 (内線3172, 3336) FAX:03-3729-0628

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届用紙

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

0	申込年月日	H	年	月	日
1	会員資格	正・学			
2	氏名				
3	ふりがな				
4	生年月日	M・T・S	年	月	日
5	名称				
6	* 勤務先	-			
7	所在地				
8	TEL				
9	FAX				
10	〒				
11	住所				
12	TEL				
13	自宅				
14	TEL				
15	勤務先・自宅				
16	通信先				
17	学位				
18	最終出身校				
19	卒業年次	T・S・H			
20	専門分野				
21	学生会員の場合：指導教官名	***			
	印				

- 専門分野  
 1: 自然対流 2: 強制対流 3: 熱伝導 4: 凝縮 5: 沸騰・蒸発 6: 混相流  
 7: 物質移動 8: 反応・燃焼 9: 放射 10: 熱物性 11: 熱交換器 12: 流動層  
 13: 蓄熱 14: 冷凍・空調 15: 内燃機関 16: ガス・ピッチ 17: 蒸気機関 18: 原子力  
 19: 太陽熱 20: 環境 21: その他 ( )  
 例：電子機器の冷却、生体伝熱、分子動力学等  
 \*) 学生会員入会申込者は学校名、学部、学科、研究室名、学年 (MC, D3など) を記す。  
 \*\*) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する。  
 \*\*\*) 学生会員入会申込者は、指導教官の署名・捺印を受ける。

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届用紙

0	申込年月日	H	年	月	日
1	会員資格	賛助会員			
2	代表者氏名				
3	ふりがな				
4	代 表 者 名 称 (所属)				
5	〒				
6	所在地				
7	TEL				
8	FAX				
9	TEL				
10	FAX				
11	口数				共通・専用
12	口数				

- ※ご記入に際しての注意  
 日本伝熱学会からの郵送物は代表者にお送りしておりますので、代表者の所属に変更がありましたら、書面にて事務局宛ご連絡下さるようお願いいたします。
- 日本伝熱学会入会のご案内  
 1. 本学会の会計年度は毎年4月1日から翌年3月末日までです。  
 2. 賛助会員の会費は1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。申し込み口数により、次のように分けております。  
 A (5口)、B (2口)、C (1口)  
 3. 会員になりますと「伝熱研究」をお申し込み口数1口につき1部お送りします。「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお申し込み口数1口につき1部無料でお送りいたします。  
 この伝熱研究は通常、年4回 (4、7、10、1月号) 発行しております。  
 但し、日本伝熱シンポジウム講演論文集につきましては、前年度の会費を年度末までに納入された会員に限り当該年度のものをお送りいたします。  
 前、年度途中でご入会の方は残額の都合でお送りできない場合もありますので、あらかじめご承知おき下さい。  
 4. 本学会では、事務作業簡素化のために会費の領収書の発行は郵便振替や銀行振込の控えをあてています。簡単な書式の領収書をご用意できますが、それ以外の場合には貴社ご指定の書式をご送付下さいようお願いいたします。  
 申込書送付先：〒113 東京都文京区本郷5-25-13  
 日本伝熱学会事務局 TEL, FAX, 03-5689-3401  
 会費の払込先：  
 (1) 郵便振替の場合 - 郵便振替口座 東京6-14749 日本伝熱学会  
 (2) 銀行振込の場合 - 第一勧業銀行 大岡山支店 普通預金口座 145-1517941  
 日本伝熱学会 代表 土方邦夫  
 (3) 現金書留の場合 - 上記の事務局宛に御送金下さい。

## 複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会内日本複写権センター支部  
〒107 東京都港区赤坂 9-6-42-704  
Phone 03-3475-4621/5618  
Fax 03-3403-1738

### Notice about photocopying

In the U.S.A., authorization to photocopy items for internal or personal use, or the internal or personal use of specific clients, is granted by [copyright owner's name], provided that designated fees are paid directly to Copyright Clearance Center. For those organizations that have been granted a photocopy license by CCC a separate system of payment has been arranged.

Copyright Clearance Center 27 Congress St.  
Salem, MA 01970  
Phone (508)744-3350  
Fax (508)741-2318

**伝 熱 研 究**

ISSN 0910-7851

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol.33, No.129

1994年 4 月 発行

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

ISSN 0918-9963

Vol.2, No.2

April, 1994

発行所 **日 本 伝 熱 学 会**

〒113 東京都文京区本郷5-25-18

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 東京 6-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan  
25-18, Hongo 5-chome, Bunkyo-ku,  
Tokyo, Japan, Post No.113  
Phone, Fax: +81-3-5689-3401

## 伝熱研究 Vol. 33, No. 129

### 〈小特集：生体内熱現象の解明の新技术〉

小特集号にあたって	第32期編集委員会	1
生体内温度のイメージング	宮川道夫 (新潟大学)	2
光を用いた断層イメージング	山田幸生 (機械技術研究所)	13
生体膜のエネルギー変換	池上 明 (慶応義塾大学)	21
サーマルマネキンによるモデル実験		
室内環境、衣服、水冷服の計測と評価	多屋秀人 (生命工学工業技術研究所)	28
温熱負荷に伴う皮膚微小循環動態の変化	浅野牧茂 (日本女子大学)	33
昆虫に関する熱的問題	丹野皓三 (北海道大学)	41

## THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING Vol.2, No.2

1. Vacuum Deposition of Velocity-Selected Metal-Vapor Atoms (in Japanese)	1
Inoue T. and Hashimura S.	
<i>(Velocity selector, Translational energy, Vacuum deposition Crystalline structure, Condensation coefficient, Silver)</i>	
2. Theory and Numerical Method on the Inverse Problem of Heat Conduction (in Japanese)	9
Sunaga T.	
<i>(Heat Conduction, Inverse Problem, Regularization)</i>	
3. Large Eddy Simulation of Turbulent Heat Transfer in a Concentric Annulus (in Japanese)	16
Kawamura H., Nakamura S., Satake S. and Kunugi T.	
<i>(Turbulent Flow, Heat Transfer, Large Eddy Simulation Annular Flow)</i>	