

伝熱研究

1992
April
Vol. 31
No. 121

Journal of Heat Transfer Society of Japan

<特集:建築・環境における伝熱問題>

特集にあたって.....第30期編集委員会

[都市建築群]

都市接地層における気流と熱拡散問題.....平岡 久司
都市河川における温排水の拡散特性.....中村 安弘
都市域における伝熱と熱環境.....片山 忠久
都市キャニオンにおける伝熱.....吉田 篤正

[建物外表面]

建物外表面の熱伝達.....成田 健一
建築における日射および大気放射の利用.....渡邊 俊行

[室内現象]

室内熱環境の数値シミュレーション
—解析手法の概要と暖房時の解析例—.....大西 潤治
室内温熱環境の放射場・対流場の連成問題の解析.....村上 周三
建築壁体における熱と水分の同時移動問題.....松本 衛
室内混合エネルギー損失.....中原 信生、伊藤 尚寛

[居住者まわりの伝熱]

人体まわりの熱伝達.....持田 徹
人体からの熱損失と温冷感.....田辺 新一

[特殊空間の伝熱問題]

大空間における上下温度分布の予測モデル.....戸河里 敏
道路トンネル内の火災時換気における熱・煙・気流解析.....古藤 悟

<故西脇仁一先生を偲んで>

西脇仁一先生を偲んで.....一色 尚次
西脇仁一先生の御逝去を悼む.....平田 賢
恩師 西脇仁一先生.....鳥居 薫
西脇仁一先生を偲ぶ.....越後 亮三
故西脇仁一先生を偲んで.....拓植 綾夫

<受賞>

ASME, 1991年メルビルメダル受賞.....桜井 彰

日本伝熱学会第30期（平成3年度）役員

会 長		小 竹 進 (東 大)
副 会 長	(無 任 所) (事務担当)	架 谷 昌 信 (名 大) 井 上 晃 (東 工 大)
地方連絡幹事	北 海 道 東 北 関 東 東 海 北 陸 信 越 関 西 中 国 四 国 九 州	花 岡 裕 (室 蘭 工 大) 三 浦 隆 利 (東 北 大) 森 康 彦 (慶 応 大) 長 野 靖 尚 (名 工 大) 滝 本 昭 (金 沢 大) 坂 口 忠 司 (神 戸 大) 菊 地 義 弘 (広 島 大) 本 田 博 司 (九 大)
幹 事 (23名)	早 坂 洋 史 (北 大) 黒 川 政 秋 (東 大) 横 山 孝 男 (山 形 大) 五十嵐 保 (防 衛 大) 吉 田 英 生 (東 工 大) 西 村 誠 (岐 阜 大) 青 木 和 夫 (長 岡 技 科 大) 萩 原 良 道 (京 大) 千 田 衛 (同 志 社 大) 森 岡 斎 (徳 島 大) 池 崎 英 二 (新 日 鐵 株) 森 英 夫 (九 大)	馬 場 弘 (北 見 工 大) 円 山 重 直 (東 北 大) 西 尾 茂 文 (東 大) 野 路 伸 治 (荏 原 総 研) 中 山 顕 (静 岡 大) 木 村 照 夫 (福 井 大) 坂 本 雄 二 郎 (神 戸 製 鋼 株) 平 田 雄 志 (阪 大) 森 幸 治 (阪 大) 稲 葉 英 男 (岡 山 大) 宮 良 明 男 (佐 賀 大)
監 査 (2名)	河 村 洋 (東 理 大)	二 階 勳 (鹿 島 建 設 株)
「伝熱研究」編集委員長		藤 田 秀 臣 (名 大)
第29回日本伝熱シンポジウム準備委員長		高 城 敏 美 (阪 大)

伝 熱 研 究

目 次

<特集：建築・環境における伝熱問題>

特集にあたって	第30期編集委員会.....	1
〔都市建築群〕		
都市接地層における気流と熱拡散問題	平岡久司(京 大)...	2
都市河川における温排水の拡散特性	中村安弘(大 阪 大)...	8
都市域における伝熱と熱環境	片山忠久(九 大)...	14
都市キャニオンにおける伝熱	吉田篤正(岡 大)...	22
〔建物外表面〕		
建物外表面の熱伝達	成田健一(広 大)...	28
建築における日射および大気放射の利用	渡邊俊行(九 大)...	34
〔室内現象〕		
室内熱環境の数値シミュレーション — 解析手法の概要と暖房時の解析例 —		
.....	大西潤治(大 阪 大)...	40
室内温熱環境の放射場・対流場の連成問題の解析	村上周三(東 大)...	46
建築壁体における熱と水分の同時移動問題	松本 衛(神 戸 大)...	55
室内混合エネルギー損失	中原信生、伊藤尚寛(名 大)...	62
〔居住者まわりの伝熱〕		
人体まわりの熱伝達	持田 徹(北 大)...	69
人体からの熱損失と温冷感	田辺新一(お茶の水女子大)...	79
〔特殊空間の伝熱問題〕		
大空間における上下温度分布の予測モデル	戸河里敏(鹿島技研)...	85
道路トンネル内の火災時換気における熱・煙・気流解析	古藤 悟(三菱電機)...	91
<故西脇仁一先生を偲んで>		
西脇仁一先生を偲んで	一色尚次(日 大)...	99
西脇仁一先生の御逝去を悼む	平田 賢(東 大)...	101
恩師 西脇仁一先生	鳥居 薫(横浜国大)...	103
西脇仁一先生を偲ぶ	越後亮三(東 工 大)...	105
故西脇仁一先生を偲んで	拓植綾夫(三菱重工業)...	107

<受賞>

ASME, 1991年メルビル・メダル受賞 桜井 彰(京 大)… 109

<地方研究グループ活動報告>

関西研究グループセミナー、講演会、フォーラム… 片岡邦夫、坂口忠司(神 戸 大)… 111

九州研究グループ講演会 本田博司(九 大)… 119

<編集後記>

第30期「伝熱研究」編集後記 藤田秀臣(名 大)… 121

<お知らせ>

学会組織検討委員会の設立とご協力をお願い 会長 小竹 進… 123

第30期(平成3年度)総会のお知らせ 124

第29回日本伝熱シンポジウム 125

第13回日本熱物性シンポジウム 144

流れ数値解析の基礎と応用—デモ付講習会 145

第8回混相流レクチャーシリーズ「レーザーを用いた混相流の計測と可視化」 146

第5回混相流インターナショナル・レクチャーコース

「カプセル輸送技術の現状と将来」 148

第16回国際会議のための準備セミナー 150

The Sixth International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-6)

in Thermal Engineering, Seoul, Korea 151

3rd World Conference on Experimental Heat Transfer,

Fluid Mechanics and Thermodynamics 152

日本複写権センター発足と複写権委託表示について 153

事務局からの連絡 事務局について 154

学会案内と入会手続きについて 154

会員の方々へ 155

日本伝熱学会新規入会申込み・変更用紙

Journal of Heat Transfer Society of Japan

Vol.31, No.121, April, 1992

CONTENTS

<Special Issue: Heat Transfer in the Urban and Building Environment>

Preface to the Special Issue Editorial Board 1

Urban Area

Turbulent Diffusion within Urban Surface Layer..... Hisashi Hiraoaka (kyoto Univ.)..... 2

Mixing Characteristics of Heated Effluents in Urban River
..... Yasuhiro Nakamura (Osaka Univ.) 8

Heat Transfer and Thermal Environment in Urban Area
..... Tadahisa Katayama(Kyushu Univ.) 14

Heat Transfer Urban Canyon
..... Atsumasa Yoshida(Okayama Univ) 22

Outside Building Wall

Heat Transfer at Outside Building Wall
..... Ken-ichi Narita (Hiroshima Univ.) 28

Utilization of Solar and Atmospheric Radition to Architecture
..... Toshiyuki Watanabe (Kyushu Univ.) 34

Room Environment

Numerical Simulation of Room Thermal Environments-Outline of Calculation
Procedure and Some Its Applications Junji Onishi (Osaka Univ.) 40

Study of Thermal Environment in Room by Means of Coupled Simulation of
Convective and Radiative Heat Transfer Shuzo Murakami (Univ. of Tokyo) 46

Simultaneous Heat and Moisture Transfer in Building Structure
..... Mamoru Matsumoto (Kobe Univ.) 55

Mixing Energy Loss in Air-Conditioned Room
..... Nobuo Nakahara and Hisahiro Ito (Nagoya Univ.) 62

Man and Her/His Environment

Heat Transfer between Man and His Environment	Tohru Mochida (Hokkaido Univ.)	69
Heat Transfer between Man and Her/His Environment and Thermal Sensation	Shin-ichi Tanabe (Ochanomizu Univ.)	79

Special Spaces

Simplified Prediction Model of Vertical Air Temperature Distribution in a Large Space	Satoshi Togari (Kajima Tech. Res. Inst.)	85
Air Flow Analyses in a Longitudinally Ventilated Road Tunnel	Satoru Kotoh (Mitsubishi Electric Corp.)	91

<In Memory of Professor Niichi Nishiwaki>

A Memory of Professor N. Nishiwaki	Naotsugu Isshiki (Nihon Univ.)	99
In Memorial Professor Niichi Nishiwaki	Masaru Hirata (Tokyo Univ.)	101
In Memory of Professor Niichi Nishiwaki	Kahoru Torii (Yokohama National Univ.)	103
To the Memory of Professor Niichi Nishiwaki	Ryozo Echigo (Tokyo Institute of Technology)	105
To the Memory of Professor Niichi Nishiwaki	Ayao Tsuge (Mitsubishi Heavy Industries)	107

<Receiving a Prize>

The Members Received the ASME 1991 Melville Medal	Akira Sakurai (Kyoto Univ.)	109
--	-----------------------------------	-----

<Reports on the Local Group Activities>

111

<Postscript by the Editor>

121

<Announcements>

123

<特集：建築・環境における伝熱問題>

特集にあたって

第30期編集委員会

本年度の学会幹事会では、学会組織に関する検討が主要な議題として取り上げられてきた。その議論において指摘されている問題点の一つは、現在の会員の大部分が日本機械学会の熱工学科部門登録者とオーバーラップしており、伝熱現象を共通の研究テーマとする多分野の研究者の横断的組織とは言い難いことである。この現状を改め、本会を既存の学会で充足し得ない分野をカバーする独自の組織にする必要があると云うのが幹事会における大方の合意である。

そのための具体策については今後も検討が続けられるが、本会の研究活動の幅を広げるための第一歩としては、本会会員が近接分野の研究の現状を知り、それぞれの分野の研究者と交流を深めることが重要であると考えられる。このような観点から、本特集号では我々の日常生活と密接な関係がある建築・環境における伝熱問題を取り上げ、専門家の方々に解説・展望をお願いした。なお、地球規模の環境問題については、すでに本誌のVol. 29, No. 113 (1990)で特集が組まれているため、本号からは除外した。日本伝熱シンポジウムにおいても、従来から環境伝熱のセッションが設けられ、講演発表が行われているが、その数は多くはない。しかし、アメニティー指向の高まりに伴って民生用のエネルギー需要が急速に増大している現在、地球環境問題とも関連して、この分野の研究は今後さらに重要になるものと考えられる。また、それぞれの解説をお読みなればおわかりのように、伝熱工学の研究者が寄与できる分野であると考えられる。

本特集号の企画にあたっては、大阪大学工学部環境工学科の水野稔教授にテーマの設定と執筆候補者の推薦の全般にわたって貴重な御助言をいただいた。また、執筆者の方々には年度末の大変忙しい時期にもかかわらず、短期間ですばらしい原稿をお寄せいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

[都市建築群]

都市接地気層における気流と熱拡散問題

平岡 久司 (京都大学工学部)

1. はじめに

大気の運動は、地表面に近い気層では地表面の影響を受ける。この気層を大気境界層 (atmospheric boundary layer) と呼ばれる。この層の高度は平均的に1,000m内外と言われている。大気境界層は、下から底層、接地 (気) 層 (surface layer)、Ekman層の3層に大別される。大気境界層より上の気層は自由大気 (free atmosphere) と呼ばれる。(例えば、塩谷(1981)、竹内・近藤(1981)、Pielke(1984)、Stull(1988)参照)。

底層 (wake layer, キャンピ層とも呼ばれる) は樹木や建物のなどの地表の被覆物内部の気層である。平坦な地表面ではこの層は無視できる。接地層は底層の上部に位置し、上端は数10mから数100mに達する。この層では、コリオリ力の影響は小さく、運動量や熱フラックスは一定と見なして良い。中立の大気安定度の場合には、風速や温度分布は対数則に従う。Ekman層は大気境界層の中で最も上部の気層であり、コリオリ力や大気安定度の影響を強く受ける。層の高さは数1000mに達するとされている。(例えば、塩谷(1981)、竹内・近藤(1981)、Pielke(1984)参照)。

以上、大気境界層を3つの層に分けて説明したが、都市と郊外のように地表面の性質が急変する場合には、内部境界層が発達する。内部境界層の中は、底層、接地層、遷移層 (transition layer) に分けられる。

2. 接地気層の風速プロファイル

2.1 風速プロファイル

接地層は、運動量や熱の鉛直方向のフラックスが高さによらず一定と見なせる層で、constant flux layer とも呼ばれる。この層では、風速 U と温度 Θ のプロファイルは次式により表わされる。(例えば、竹内・近藤(1981)、Pielke(1984)参照)。

$$\frac{\partial U(z)}{\partial z} = \frac{u_*}{\kappa z} \phi_m(z/L) \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial \Theta(z)}{\partial z} = \frac{\theta_*}{z} \phi_h(z/L) \quad (7.2)$$

ここで、 $u_* = -\overline{uw}$, $\theta_* = -\overline{w\theta} / u_*$ である。 $\phi_m(z/L)$, $\phi_h(z/L)$ は大気安定度に依存する普遍関数

である。LはMonin, Obkhovのレングスケールであり、次式で定義される。

$$L = -\frac{u_*^3}{\kappa(g/\Theta_0)w\theta_*} = \frac{u_*^2}{\kappa(g/\Theta_0)\theta_*} \quad (7.3)$$

(7.1)式、(7.2)式より風速、温度のプロファイルは以下のように表わされる。

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left[\log \frac{z-d}{z_0} - \Psi_m \left(\frac{z-d}{L} \right) \right] \quad (7.4)$$

$$\Theta(z) = \theta_0(z_0+d) + \theta_* \left[\log \frac{z-d}{z_0} - \Psi_h \left(\frac{z-d}{L} \right) \right] \quad (7.5)$$

ここで、 u_* は摩擦速度、 θ_* は摩擦温度、 κ はカルマン定数、 d は零面変位(zero displacement)、 z_0 は粗度(roughness length)である。また、 $\Psi_m(z/L)$ 、 $\Psi_h(z/L)$ は次式で表わされる。

$$\Psi_m \left(\frac{z}{L} \right) = \int_0^{z/L} \frac{1-\phi_m}{z/L} d(z/L) \quad (7.6)$$

$$\Psi_h \left(\frac{z}{L} \right) = \int_0^{z/L} \frac{1-\phi_h}{z/L} d(z/L) \quad (7.7)$$

大気安定度が中立の場合には、風速や温度のプロファイルは対数分布を示す。普遍関数 $\phi_m(z/L)$ 、 $\phi_h(z/L)$ はBusingerら(1971)の測定によれば、 $\zeta = z/L$ として、

$$\phi_m(\zeta) = \begin{cases} 1+4.7\zeta & 0 < \zeta < 1 \\ (1-15\zeta)^{-1/4} & -2 \leq \zeta \leq 0 \end{cases} \quad (7.8)$$

$$\phi_h(\zeta) = \begin{cases} 0.74+4.7\zeta & 0 \leq \zeta \leq 1 \\ 0.74(1-9\zeta)^{-1/2} & -2 \leq \zeta \leq 0 \end{cases} \quad (7.9)$$

と書かれる。ほかの研究者の測定結果に関しては、Yaglom(1977)、竹内・近藤(1981)にまとめられている。

(注：(7.2)式の表現は、Busingerら(1971)に従った。 Θ は一般には温位(potential temperature)で表わされるが、接地層の高さは低いため、ここでは気温とした。)

2.2 粗度

粗度は地表面の凹凸の度合いを表わすものであり、一般には風速を $\log(z-d)$ の関数としてプロットすることにより実験的に決定される。Counihan(1975)のレビューでは、都市の粗度は2.3mとしている。ほかの研究者の測定結果(塩谷、1981)では、都市の粗度は1.4m程度である。

都市の粗度に関しては、Lettau(1969)の風洞実験がある。Lettauは次のような実験式を提案し

た。h は粗度要素の高さ。

$$z_0/h=0.5(A^*/A) \quad (7.10)$$

ここに、 A^* は粗度要素の主風向への射影面積、 A は敷地面積である。Counihan(1971)の実験では、立方体を規則的に配置し、粗度を立方体の占有密度 (A_R/A)をパラメータとして表わした。占有密度が25%以下の時、粗度は占有密度に比例するとし、次式で表わした。

$$z_0/h=1.08(A_R/A)-0.08 \quad 0.1 \leq (A_R/A) \leq 0.25 \quad (7.11)$$

ここに、 A_R は粗度要素の平面積、 A は敷地面積である。亀井・丸田(1978)は直方体の粗度要素を千鳥型に配置した実験を行なっている。roughness密度 (γ) をパラメータとして粗度と roughness密度の関係式を提案している。

$$\gamma=0.771 \log^{-1.84} \left\{ \frac{z_{10}}{z_0} + \frac{7}{\exp[0.75(z_0/z_{10})]} - 2.5 \right\} \quad (7.12)$$

ここに、 $\gamma = ah/Az_0$ 、 a は粗度の面積、 A は敷地面積、 z_0 は地上10mの高さを示す。また、Raupachら(1980)も粗度をroughness concentrationの関数として表わしている。片山ら(1980)は2次元粗度要素を用いた実験をしている。粗度要素の高さと間隔の比をパラメータとしている。

2.3 零面変位

高層の建物が立ち並ぶ市街地では、風速の対数分布における高さの基準は地表面ではなく、高さd(零面変位)だけシフトする。この量も、一般には風速を $\log(z-d)$ の関数としてプロットすることにより実験的に決定される。

Counihan(1971)の実験では、占有密度 (A_R/A)をパラメータとして次式で表わした。

$$d/h=1.3(A_R/A) \quad (A_R/A) \leq 0.5 \sim 0.6 \quad (7.13)$$

Raupachら(1980)の実験では $d/h=0.76$ と成っている。関根・海野(1976)は、粗度要素として直方体を規則的に並べた実験を行ない粗度要素の間隔が $1.5h$ 以下のとき $d/h=2/3$ であるとしている。片山ら(1980)は2次元粗度要素での結果を示している。

実際に都市の風速分布の測定では、 $d/h=2/3$ が比較的使用される。(例えば、Hogstrom, 1982)。

2.4 べき分布

以上に示したように、接地層では風速の鉛直分布は対数則で表わされるが、実用的にはべき分布で表わされることが多い。(塩谷、1981)

$$U(z) = \left(\frac{z}{z_{10}} \right)^\alpha U_{10} \quad (7.14)$$

各都市でのべき指数 α の大きさを表-1 に示す。

Counihan (1975) は、多くの研究者の測定結果をまとめ、べき指数と粗度の関係について以下のような実験式を提案している。

$$1/\alpha = 0.24 + 0.096 \log_{10} z_0 + 0.016 (\log_{10} z_0)^2 \quad (7.15)$$

亀井・丸田(1978)は実験により、ラフネス密度 (γ) をパラメータとしてべき指数を次式で表わしている。

$$\alpha = 0.682 \sqrt{2\gamma - \gamma^2} \quad (7.16)$$

2.5 変動風速の大きさ

中立の大気状態では、接地層での乱れの量は高さ方向に変化せず、一定である。counihan (1975) は、各方向の乱れの量は $\sqrt{u^2} : \sqrt{v^2} : \sqrt{w^2} = 1.0 : 0.75 : 0.50$ を適当としている。また、多くの研究者の測定結果をまとめて、高さ30mでの風速 (U_{30}) と粗度を用いて u^2 の値を次式で表わしている。

$$\frac{\sqrt{u^2}}{U_{30}} = 0.24 + 0.096 \log_{10} z_0 + 0.016 (\log_{10} z_0)^2 \quad (7.17)$$

Rothら(1989)はVancouver郊外(建物高さ8.5m、建物間隔23m、零面変位約3.5m、粗度0.5m)での風速と温度のスペクトルを測定している。Rothらは、都市の接地層内ではMonin-Obukhovの相似則が成り立つこと、温度、風速のスペクトルと運動量、顕熱フラックスのコスベクトルは滑らかな表面での測定データと一致することを示している。

3. キャノピー層内の風速プロファイル

都市キャノピー層内の風速分布に関しては、佐伯・堀部(1989)の研究がある。佐伯・堀部は風洞実験により風速分布の実験式を次式で与えた。

$$\frac{U(z)}{U_{z_r}} = \frac{1 + \exp\{\mu(1-v)\}}{1 + \exp\{\mu(z/Zr - v)\}} \quad (7.18)$$

ここで、 Z_r は粗度影響高さ（キャノピー層高さに相当する）、 U_z は Z_r での風速、 μ と ν は粗度パラメータである。佐伯・堀部は粗度パラメータを5つの市街地形態指標を用いて回帰式で表わしている。

4. 乱流モデルによる都市境界層の解析

以上、都市の境界層での風速分布に関する測定および実験的研究について概説した。新しい研究として、都市キャノピー層や接地層を含めた都市境界層の数値解析による研究が始まっている。これには植物キャノピーの乱流モデルが応用されている。

現在の植物キャノピー乱流モデルは、WilsonとShaw(1977)によって始められた。WilsonとShawは、ナビエストークス式に空間平均を施すことにより、葉の抗力を平均流の運動方程式やレイノルズ応力式に葉の抗力効果を組み込んでいる。Yamada(1982)は、WilsonとShawのモデルを $(k-k_1)$ 2方程式モデルに変換し、乱れのエネルギーとレンダスケールの方程式に葉の効力効果を組み込んでいる。

都市キャノピー乱流モデルはUnoら(1989)と平岡ら(1989)によって提案されている。UnoらのはYamada(1982)の $(k-k_1)$ モデルを $(k-\epsilon)$ モデルに変換し、夜間の都市境界層の数値解析を行なった。平岡らはナビエストークス式をアンサンブル平均し、次に空間平均を施したモデルを提案している。完結問題に関してはLaunderら(1975)の半実験的方法に従ってモデル化している。図-1は都市キャノピー内の温度の乱流拡散を都市キャノピー乱流モデルを用いて解析した結果である。(平岡, 1989)。対象は建物高さと同が16m, 建物間隔が16mの, 建物が規則的に配置された都市キャノピーである。図中の印○, △, □は3次元 $(k-\epsilon)$ モデルによる3次元温度場の数値実験から得られた値(各高さでのキャノピー内の気温の平均温度)である。

実線は1次元の都市キャノピーモデルを用いて計算した結果である。case 1は壁面温度を1とした場合, case 2は屋根と地面の表面温度を1とした場合, case 3はすべての表面温度を1とした場合の結果である。都市キャノピー乱流モデルを用いると底層, 接地層, それ以上の高さまでの都市の気温を連続的に予測できるのが分かる。

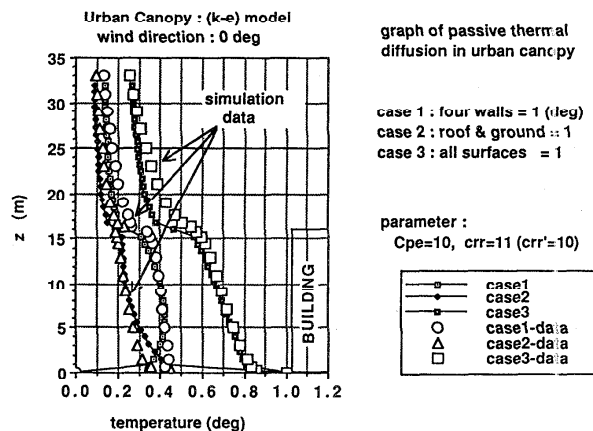


Fig 1

Table 1

	$1/\alpha$		$1/\alpha$
London	0.29	New Orleans	0.284
Louisville	0.26	Philadelphia	0.28
Minneapolis	0.31	St. Louis	0.28
Montreal	0.288	Tokyo	0.285

* Counihan (1975)

参考文献

- (1) Businger, J.A., Wyngaard, J.C., Izumi, Y. and Bradley, E.F. (1971) : Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, 28, 181-189.
- (2) Counihan, J. (1971) : Wind tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and the roughness density of three-dimensional roughness elements, *Atmos. Env.*, 5, 637-642.
- (3) Counihan, J. (1975) : Adiabatic atmospheric boundary layers: A review and analysis of data from the period 1880-1972. *Atmos. Env.*, 9, 871-905.
- (4) 平岡久司 (1989) : 都市キャノピー内での乱流モデルの考察 (Passive な温度場について), 日本建築学会大会 学術講演梗概集, D 環境工学, 451-452.
- (5) 平岡久司、丸山 敬、中村泰人、桂 順治 (1989) : 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究 (その1 乱流モデルの作成), 日本建築学会計画系論文報告集, 406, 1-9.
- (6) 平岡久司、丸山 敬、中村泰人、桂 順治 (1990) : 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究 (その2 実験データとの比較によるモデルの検証), 日本建築学会計画系論文報告集, 416, 1-8.
- (7) 亀井 勇, 丸田栄蔵 (1978) : 高層建物周辺に生ずる強風領域の実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 264, 31-39.
- (8) 片山忠久, 後藤 滋, 堀 寛 (1980) : 市街地上の接地境界層の形成に関する風洞実験, 日本建築学会論文報告集, 293, 97-104.
- (9) Launder, B.E., Reece, G.J. and Rodi, W. (1975) : Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure, *J. Fluid Mech.*, 68, 537-566.
- (10) Lettau, H.H. (1969) : Note on aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness element description, *J. Appl. Meteorol.*, 8, 828-832.
- (11) Pielke, R.A. (1984) : *Mesoscale Meteorological Modeling*, Academic Press.
- (12) Raupach, M.R., Thom, A.S. and Edwards, I. (1980) : A wind-tunnel study of turbulent flow close to regularly arrayed rough surfaces, *Boundary-Layer Meteorol.*, 18, 373-397.
- (13) Roth, M., Oke, T.R. and Steyn, D.G. (1989) : Velocity and temperature spectra and cospectra in an unstable suburban atmosphere, *Boundary-Layer Meteorol.*, 47, 309-320.
- (14) 佐伯紀男, 堀部秀雄 (1989) : 粗度影響層内における風速分布, 日本建築学会計画系論文報告集, 399, 21-27.
- (15) 関根 毅, 海野健一 (1976) : 市街地における建築物周辺気流の立体的構造に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 245, 113-121.
- (16) 塩谷正雄 (1981) : 強風の性質, 開発社.
- (17) Stull, R.B. (1988) : *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers.
- (18) 竹内清秀, 近藤純正 (1981) : 地表に近い大気 (大気科学講座1), 東京大学出版会.
- (19) Uno, I., Ueda, H. and Wakamatsu, S. (1989) : Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer, *Boundary-Layer Meteorol.*, 49, 77-98.
- (20) Yaglom, A.M. (1977) : Comments on wind and temperature flux-profile relationships, *Boundary-Layer Meteorol.*, 11, 89-102.
- (21) Yamada, T. (1982) : A numerical model study of turbulence airflow in and above a forest canopy, *J. Meteorol. Soc. Japan.*, 60, 439-454.
- (22) Wilson, N.R. and Shaw, R.H. (1977) : A higher order closure model for canopy flow, *J. Appl. Meteorol.*, 16, 1197-1205.

1. はじめに

都市と河川の関わりは実に多様である。上水道・工業用水の水源や水運の航路として役立っているのはもちろん、テニスコート、野球場、遊歩道、公園などとして整備された河川敷は市民の憩いの場となっている。また、一般に河川水温は冬季には気温よりも高く、夏季には気温よりも低いため、夏季の都市気象の緩和にも役立っている^{1,2)}。これは、河川水のもつ熱エネルギーのパッシブな利用法といえるが、最近では、地球環境問題を視野にいたした省エネルギーの観点から、河川水を夏季には地域冷暖房用冷凍機の冷却水として、冬季には暖房用ヒートポンプの低熱源あるいは給湯用ヒートポンプの低熱源として積極的に活用していこうという考えがある。大川端リバーシティでの隅田川の水を利用した給湯システムなどはこの例である。河川水の熱源としての利用は省エネルギーの観点からは確かに望ましいものであるが、冷凍機の冷却水として利用された河川水は自然水温よりも数度高い温排水として、ヒートポンプの低熱源として利用された河川水は数度低い冷排水として河川へ放出されるため、河川水質や河川生態系に対する慎重な検討が必要である。とくに、夏季の河川水温の上昇は水中溶存酸素量を減少させると同時に水棲生物の酸素消費量を高めるので、急速な水中溶存酸素の低下を招き水質を悪化させる。河川における魚の浮上事故は夏に発生するのが普通である³⁾。ここでは、温排水に的を絞り、河川水質や河川生態系への影響を考える際の基礎となる温排水の拡散特性について検討してみたい。これまで、温排水の拡散現象を解明するために、水理模型による実験的研究^{4~9)}ならびに大型計算機を用いた数値シミュレーション^{10~14)}を行ってきたが、ここでは水理模型による実験結果をもとに温排水の拡散特性について述べてみたい。

2. 温排水の拡散現象の支配因子

図-1 に示す室内矩形水路（水深 H [m]、水路幅 W [m]）に、温排水が水路側壁の矩形放水口（ $B \times C$ ）から水平に流入する場合を考える。座標軸と記号を 図-1 のようにとり、代表長さに水深 H 、代表速度に水路の平均流速 v_m [m/s]、代表温度に温排水温度 T_h [°C] と水路水温 T_c

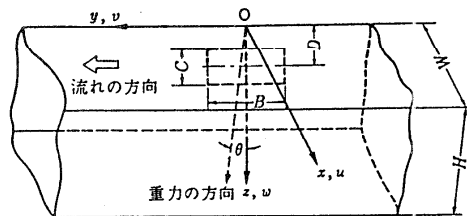


図-1 座標系

[°C] の温度差 $T_h - T_c$ を選び、各無次元変数を $x^* = x/H$ 、 $y^* = y/H$ 、 $z^* = z/H$ 、 $u^* = u/v_m$ 、 $v^* = v/v_m$ 、 $w^* = w/v_m$ 、 $T^* = (T - T_c)/(T_h - T_c)$ のように定義し、連続の式、運動方程式、エネルギー式および境界条件を無次元表示すると、幾何学的境界条件として 4個、運動量輸

送に関して6個，熱輸送に関して5個の計15個の無次元数を得るが，これらを整理すると最終的に W/H ， B/H ， C/H ， D/H ， Re ， Fr ， F_d ， u_m/v_m ， q_{SF}^* の9個の無次元数となる⁴⁾．ここで， Re ， Fr ， F_d はそれぞれ $v_m R/\nu$ ， v_m/\sqrt{gH} ， $v_m/\sqrt{g_d H}$ で定義されるレイノルズ数，フルード数，密度フルード数であり， u_m/v_m は温排水の平均流出速度と水路平均流速の速度比， q_{SF}^* は水表面からの放熱に関する無次元数である．ただし， R は水路の流体平均深さ[m]， ν は水の動粘性係数[m²/s]， g は重力の加速度[m/s²]， $g_d=(\rho_o-\rho_h)g/\rho_o$ で ρ_o ， ρ_h は温度 T_o ， T_h での水の密度[kg/m³]である．

ここでは，上に挙げたすべての影響因子と温排水の拡散特性の関係について議論することはできないので，重要影響因子である速度比と密度フルード数のみをとりあげ，表層放水の条件下での，両因子と温排水の拡散特性の関係について紹介することにする．

3. 温排水の拡散特性に及ぼす速度比と密度フルード数の影響

温排水に関わる水質基準については，わが国では，東京都や川崎市の条例で，排出水温の上限値に対する規制がみられる程度であるが¹⁵⁾，欧米では混合域の大きさや下流域での温度上昇の上限値を規制しているところもある．例えば米国ニューヨーク州の水質基準では，河川断面または体積流量の50%以上が自然水温に保たれ，混合域以外での最高温度ならびに自然水温からの温度上昇はそれぞれ30℃，2.8℃を超えてはならないとしている¹⁶⁾．また，イタリアでは，放水口より下流1km地点での温度上昇の上限値を3℃と定めている¹⁵⁾．このように，河川における温排水問題では，河川断面に占める熱汚染域の大きさ，最高温度の流下方向への減衰などが問題となる．したがって，ここでは，温排水の拡散特性として，最高温度の流下方向への減衰，流路断面での等温線内に含まれる面積の最大値，ならびに熱汚染域の大きさを表す指標として流路内の等温面内に含まれる体積をとりあげて，それらと無次元因子の関係について検討する．実験は水路幅 $W=200$ mm，水深 $H=100$ mm，長さ $L=4000$ mmの室内矩形水路を用い， $B/C=80/12.5$ ， $50/20$ ， $20/50$ の三つの異なる放水口形状下で行った． $Re\approx 3000$ ， $Fr=0.07$ であり，速度比と密度フルード数の実験範囲はそれぞれ0.24~2.17，0.66~2.47である．なお，以下では放水口形状およびその深さの表記法として， $B/C/D=50/20/10$ もしくは単に50/20/10のように書く．

3.1 最高温度の減衰特性

図-2は最高温度 T_{max}^* と噴流軸に沿う距離 s^* ($=s/H$)の関係を示したものである． $1/T_{max}^*-1$ と s^* は直線関係にあることがわかる．一様流中における点熱源からの熱の拡散問題に対する解析解⁵⁾を利用して，この直線の傾き

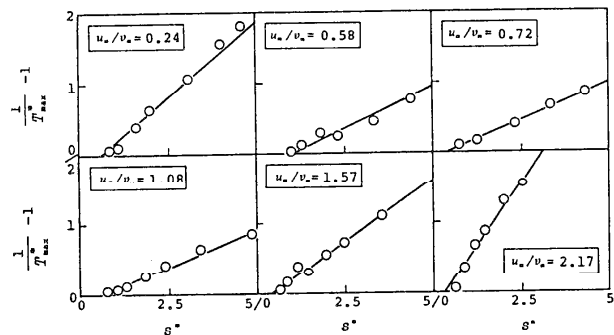


図-2 最高温度 T_{max}^* と噴流軸に沿う距離 s^* の関係

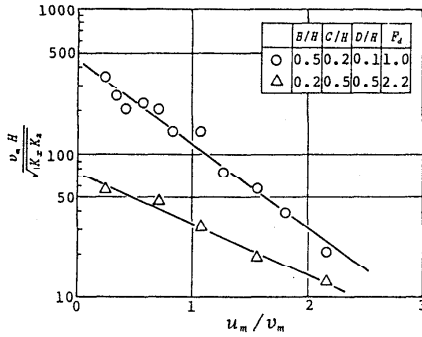


図-3 $v_m H / \sqrt{K_x K_z}$ と速度比 u_m / v_m の関係

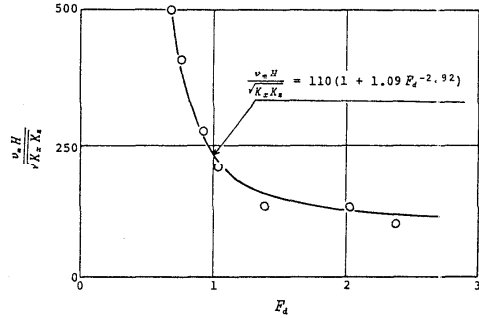


図-4 表層放水時の $v_m H / \sqrt{K_x K_z}$ と密度フルード数 F_d の関係 (50/20/10; $u_m / v_m = 0.72$)

より乱流拡散係数に関連した無次元数 $v_m H / \sqrt{K_x K_z}$ を求め、これと速度比の関係を示すと図-3 のようになる⁹⁾。ここで、 K_x 、 K_z はそれぞれ一様流中における x 、 z 方向の乱流拡散係数 [m^2/s] である。この図から、乱流拡散係数 K_x 、 K_z の幾何平均 $\sqrt{K_x K_z}$ は速度比の増加とともに指数関数的に増大する。図-4 は $v_m H / \sqrt{K_x K_z}$ と密度フルード数の関係を示したものである。 $F_d < 1$ では $v_m H / \sqrt{K_x K_z}$ は急速に増大する。すなわち、密度フルード数の小さな条件では浮力の影響で温排水と水路水の混合が著しく抑制されることを示している。

図-5 は $u_m / v_m - F_d$ 平面上での最高温度 $T_{m,x}^*$ の等値線を示したもので、 $y^* = 10$ の断面での値である。この図から F_d が一定の条件下では最高温度は速度比に対して極大値をもち、 u_m / v_m が一定の条件下では、密度フルード数が小さい(浮力の大きな条件)ほど高い値を示す。 F_d が一定の条件下で最高温度が速度比に対して極大値をもつということは注目に値する。ところで、最高温度に関連した実際の法規制では、イタリアのように下流域での温度上昇の上限値が具体的に与えられる場合がある。ここでは、これに関連して、下流域での最高温度が小さくなる条件とはどのような条件であるかを、(1) F_d が一定の条件下で u_m / v_m が変化する場合(これは例えば、温排水温度が一定のままで温排水流量が変わる場合に相当する)、(2) u_m / v_m 一定の条件下で F_d が変化する場合(これは例えば温排水流量が一定で温排水温度が変わる場合に相当する)、(3) 放水口

からの放出熱量 Φ [$kcal/s$] が一定の下で u_m / v_m と F_d が同時に変化する場合の三つの場合について、図-5 を用いて考察する。 F_d 一定の条件下で速度比が変化する場合には、 $T_{m,x}^*$ が極大値をとる速度比を境にして、速度比が小さくなるほどまた逆に速度比が大きくなるほど最高温度は小さくなる。このことは、下流域での温度上昇に関する規制値を満たすための方法として、 u_m / v_m を小さくする方法と逆に大きくする方法の二つの方法があることを意味している。後述するように、

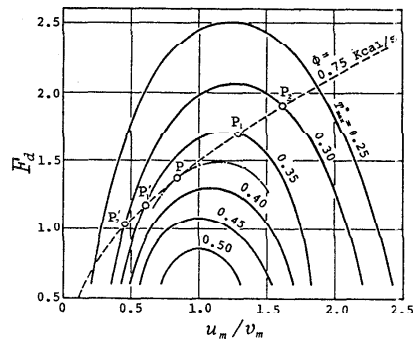


図-5 表層放水時の $T_{m,x}^*$ の等値線 (50/20/10; $y^* = 10$)

u_m/v_m が大きくなると、等温線内に含まれる最大断面積が増大するなど、熱汚染問題上好ましくない結果が生じるが、最高温度に関する規制のみの場合、 u_m/v_m を大きくすることによっても定められた下流点での温度上昇を規制値以下に抑えることが可能となる。これは、最高温度のみを規制するやり方の一つの盲点といえる。

u_m/v_m が一定で F_d が変化する場合には、図から明らかなように、 F_d が大きいほど T_{max}^* は小さくなる。また、ある y^* での自然水温からの有次元の温度上昇の最大値 ΔT_{max} [°C]は、密度フルード数の定義式と水の密度に対する一次近似式 $\rho_h = \rho_c \{1 - \beta(T_h - T_c)\}$ から、

$$\Delta T_{max} = \frac{v_m^2}{\beta g H} T_{max}^* F_d^{-2} \quad (1)$$

で表されるように、 T_{max}^* に比例する以外に F_d^2 に反比例する。したがって、 F_d が大きくなると ΔT_{max} は急速に低下することになる。例えば、 $u_m/v_m = 0.72$ のとき、 $F_d = 0.68, 0.93, 1.39, 2.38$ に対する ΔT_{max} はそれぞれ20.7, 10.3, 3.4, 1.1°Cとなる。このことは、下流域での温度上昇を抑える方法として、省エネルギーに努め排出熱量をできるだけ少なくし排水温度を低くすることが非常に有効であることを示している。

放水口からの放出熱量 Φ が一定の場合の速度比と密度フルード数の関係は、 $\Phi = \rho c_p B C u_m (T_h - T_c)$ 、密度フルード数の定義式および水の密度に対する一次近似式から式(2)で表される。

$$\frac{u_m}{v_m} = \frac{\beta g H \Phi}{\rho c_p B C v_m^3} F_d^2 \quad (2)$$

図-5中の破線は $\Phi = 0.75 \text{ kcal/s}$ で一定のときの u_m/v_m と F_d の関係を示したものである。この曲線上を $(u_m/v_m, F_d)$ が動くときの ΔT_{max} の変化は、式(1)を考慮すれば P_1' よりも P_1 よりも P_2 において低い値をとる。したがって、点Pから右側に遠ざかるほど、言い換えれば速度比と密度フルード数が大きくなる低温大流量の放出条件のほうが下流域での ΔT_{max} は小さくなる。

3.2 等温線内に含まれる断面積の最大値 A_{max}^{**}

等温線内に含まれる断面積 A^{**} （流路断面積で無次元化した面積）は流下方向に最初増大し、ある y^* で最大値に達したあと減少していく。この最大値 A_{max}^{**} を検討しておくことは、流路断面における最大熱汚染域に対する法規制と関連して重要である。図-6は A_{max}^{**} と速度比および密度フルード数との関係を示したものであるが、一様流中での点熱源からの熱拡散問題に対する解析解が示唆するように、 A_{max}^{**} は近似的に速度比に比例し、密度フルード数には無関係であることがわかる。自然水温からの有次元の温度上昇値 ΔT [°C]に対する $A_{\Delta T, max}^{**}$ と速度比、密度フルード数の関係は、実験定

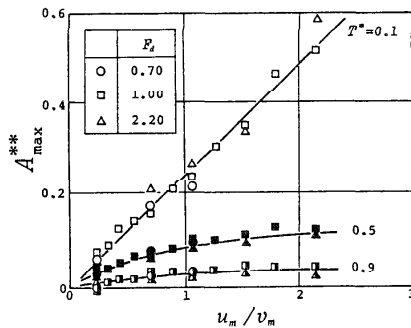


図-6 表層放水時の A_{max}^{**} と F_d 、 u_m/v_m の関係 (50/20/10)

数 n ($0.5 < n < 1.0$) を使って次式で表される⁹⁾。

$$A_{\Delta T, \max}^{**} \propto \left(\frac{v_m^2}{\beta g H} \right)^n \frac{u_m}{v_m} \Delta T^{-n} F_d^{-2n} \quad (3)$$

これより、 ΔT が与えられたときの $A_{\Delta T, \max}^{**}$ は速度比に比例し、 F_d^{2n} に反比例する。したがって、温排水放出量が増加すれば流路断面内の熱汚染域も増大する (図-7 参照)。また、放水口からの放出熱量 Φ [kcal/s] が一定の下では、 $u_m/v_m > 0.4$ の領域では $A_{\Delta T, \max}^{**}$ はあまり変化しないという結果が得られている⁹⁾。

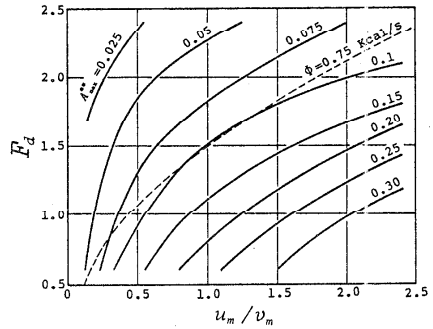


図-7 表層放水時の $A_{\Delta T, \max}^{**}$ の等値線 (50/20/10; $\Delta T = 3^\circ\text{C}$)

3.3 等温面内に含まれる体積 V^*

等温面内に含まれる体積 V^* ($=V/H^3$) は、一様流中での点熱源からの温排水拡散問題における解析解を補正した式 (7) で表される⁵⁾。

$$V^* = a \left\{ \left(T^* - \frac{Q_h}{Q_c} \right)^{-2} + (2 - b T^*) \ln T^* - 1 \right\} \quad (4)$$

ここで、 a 、 b は実験定数、 Q_h 、 Q_c は温排水流量、水路流量 [m^3/s] である。図-8 は $T^* = 0.3$ に対する V^* の等値線であるが、 F_d 一定の条件下では、 F_d が小さい範囲では、 V^* は速度比に対して極大値をもつが、 F_d が大きな範囲では単調に増加する。この理由についてはここでは省略する。密度フルード数による V^* の変化は、 $u_m/v_m = 1$ 付近の速度比で最も大きくなり、速度比の小さな領域や逆に大きな領域では F_d による V^* の変化は小さいことがよくわかる。また、これらの図から、 V^* が大きくなる条件は、密度フルード数が小さく、速度比が 1 程度の条件であることがわかる。

つぎに、自然水温からの有次元の温度上昇 ΔT [$^\circ\text{C}$] に対する温度域 $V_{\Delta T}^*$ と ΔT の関係について、図-9 をもとに、(1) 密度フルード数が一定で、速度比のみが変化する場合、(2) 速度比が一定で密度フルード数のみが変化する場合、(3) 放水口からの放出熱量 Φ が一定で、速度比および密度フルード数が同時に変化する場合の三つの場合について考察してみよう。図-9 からわかるように、 F_d

ルド数が同時に変化する場合の三つの場合について考察してみよう。図-9 からわかるように、 F_d

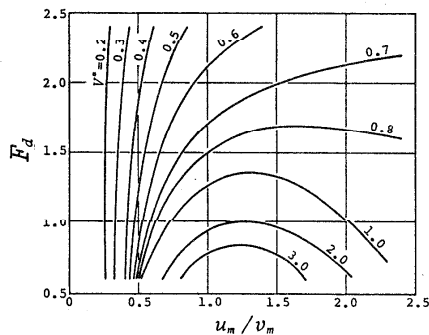


図-8 表層放水時の V^* の等値線 (50/20/10; $T^* = 0.3$)

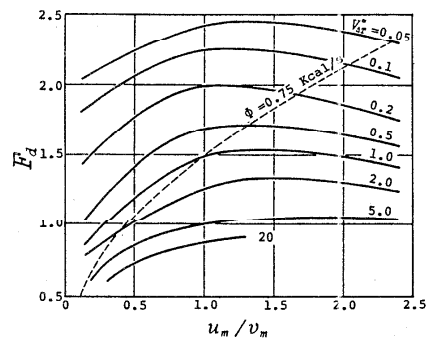


図-9 表層放水時の $V_{\Delta T}^*$ の等値線 (50/20/10; $\Delta T = 3^\circ\text{C}$)

一定で、 $u_m/v_m < 1$ の範囲では $V_{\Delta T^*}$ は速度比とともに増大するが、 $u_m/v_m > 1$ では速度比による顕著な変化はみられない。速度比一定の条件下では、 F_d が大きくなると $V_{\Delta T^*}$ は急激に減少する。例えば、図-9の $u_m/v_m = 0.72$ の場合、 $F_d = 1.4, 2.4$ に対する $V_{\Delta T^*}$ は $F_d = 0.8$ のときの約 $1/33, 1/740$ になる。 $F_d = 1.4, 2.4$ のときの放出熱量は $F_d = 0.8$ のときの約 $1/2.5, 1/6$ であるから、放出熱量を減らし温排水温度を下げることの効果は極めて大きい。

放水口からの放出熱量 Φ が一定のもとで、 $u_m/v_m, F_d$ がともに変化する場合は、図-9の破線の例からわかるように、 ΔT 以上の温度域 $V_{\Delta T^*}$ は $u_m/v_m, F_d$ がともに大きな条件ほど小さくなる。すなわち、高温小流量の温排水排出条件よりも低温大流量の排出条件の方が $V_{\Delta T^*}$ は小さくなる。

4. まとめ

河川における温排水の拡散現象の支配因子のうち、重要因子である速度比と密度フルード数に焦点を当て、これら両因子が温排水の拡散特性に及ぼす影響について述べた。ここでは、温排水の拡散特性として、欧米での水質基準を参考に、最高温度の流下方向への減衰、等温線内に含まれる最大断面積および等温面内に含まれる体積をとりあげ、無次元温度 T^* による一般的特性の議論と、実際の法規制で重要となる有次元の温度上昇 ΔT に対する最大断面積や温度域の議論も行った。水質基準を遵守し水系の熱汚染を軽減するための適切な温排水排出条件の設定や、温排水に関する法規制を行うためには、ここで紹介したような研究の蓄積が必要であると考えている。なお、室内模型実験結果は、目的とする諸量と各無次元因子との関係について、その全体的傾向を明らかにするという点で有効な手段であるが、その結果を定量的に実河川に適用するには、スケール効果などの問題があるので、定量的予測を行うためには数値シミュレーションも併用すべきであると考えている。

参考文献

- 1, 2) 村川ほか：都市河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究，日本建築学会計画系論文集，393号（1988），pp. 25-34. 415号（1990），pp. 9-19
- 3) 建設省河川局監修，社団法人日本河川協会編：1980日本河川水質年鑑（昭56），山海堂
- 4~7) 内藤，中村ほか：長方形水路における温排水の熱拡散に関する研究（第1報～第4報），空気調和・衛生工学会論文集，No. 2（1976），pp. 27-38，No. 4（1977），pp. 29-37，No. 6（1978），pp. 37-46，No. 11（1979），pp. 45-53
- 8, 9) NAKAMURA, Y. et al.: Mixing Characteristics of Heated Effluents in Open Channel Flow. I, II, Technology Reports of The Osaka University, 37-1905（1987），pp. 347-355, 37-1906（1987），pp. 357-364
- 10 - 14) 内藤，中村ほか：長方形水路における温排水の熱拡散に関する研究（第5報～第9報）。空気調和・衛生工学会論文集，No. 23（1983），pp. 17-25，No. 23（1983），pp. 27-36，No. 26（1984），pp. 29-38，No. 28（1985），pp. 53-62，No. 28（1985），pp. 63-72
- 15) 中原ほか：自然通風式冷却塔の設計，建築技術，298（1976），pp. 183-193
- 16) New York State Public Health Law-Criteria Governing Thermal Discharges (Heated Liquids), Chapter X, Part 704, Div. Water Resources, 1969

1. はじめに

最近、夏は寝苦しい夜が多くなった。都市では人口の増大と集中に伴う建物の高層・高密度と舗装化が進行し、それによって裸地や水面、緑地が消失しつつあり、また大量のエネルギー消費に伴う廃熱の増大も原因となって、都市は高温化と低湿化、すなわち砂漠化しているということが出来る。世界一の大都市東京ばかりではなく、都市化が急な地方都市においてもこの現象を認めることが出来る。図1は東京および面積と人口がそれぞれ東京の約1/5および1/10の福岡市における平均気温と平均湿度の100年間の変化を比較している^{1) 2)}。東京では1910年以降、福岡では1930年以降気温が上昇しはじめ、両都市ともに1950年頃からの上昇が顕著である。湿度も1950年以降の減少が急激である。図中には全国39地点の建物密度と年最大風速の平均値に関して1930年頃から1980年までの変化を比較している³⁾。建物密度の全国平均値は1950年から増大しはじめ、特に1960年以降にそれが顕著である。一方、年最大風速の全国平均値は年によって相違が大きいけれども1950年以降減少する傾向にあり、1960年以降の減少が著しい。このように、都市化の一要素である建物密度の増大と気温の上昇および湿度、風速の減少はほぼその時期を一にしている。

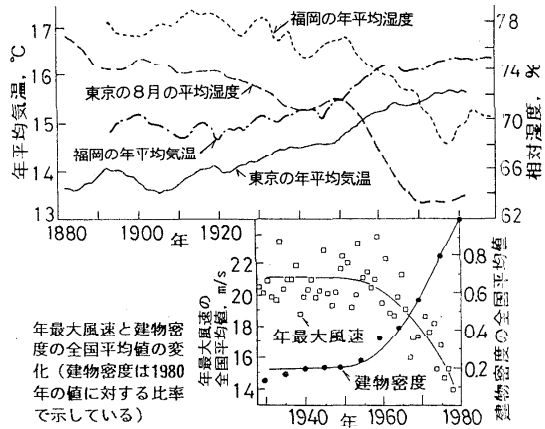


図1 都市における気候要素と建物密度の経年変化

2. 各種地被材料の熱収支と温度

都市化によって惹起される伝熱諸要素の変化は非常に複雑であるが、その基本は裸地、草地の舗装化および水面、緑地の消失に伴う地表面熱収支の変化と、それによる地表面の高温化であろう。地表面の熱収支は次式で与えられる。

$$(1-r)S = \varepsilon(\sigma T_s^4 - L) + G + H + \ell E \quad (1)$$

ここに E: 蒸発量、 G: 地中の伝導熱量、 H: 顕熱、 L: 大気放射量
 ℓ: 水の蒸発潜熱、 r: 地表面のアルベード、 S: 水平面全天日射量
 T_s: 地表面温度、 ε: 放射率、 σ: 黒体の放射定数

4年間の実測に基づく芝地とアスファルト面の8月における平均的な成分別熱流を図2に示す⁴⁾。表面の取得熱量を+、放熱量を-としている。アスファルトのrは塵埃などの沈着により4年の

間に0.07から0.10に変化している。芝地の r は降雨後の湿潤時に0.25、乾燥時に0.35である。伝導熱量は芝地に比較してアスファルトのそれが大きく、昼間、日射吸収量の1/3程度に達する。長波放射量も芝地に比較してアスファルトのそれが大きい。これは主に表面温度の差に依る。以上各熱流成分の差として、顕熱 H と蒸発潜熱 E の和が図中に与えられている。この熱流のみ芝地がアスファルトのそれに比較して大きく、約3倍の値となっている。他の測定結果によれば、芝地の蒸発潜熱は顕熱の約3倍である⁵⁾。

上記の芝地およびアスファルトの表面温度の8月における日変動を図3に示す。熱収支と同時に測定された4年間の平均的な値である。芝地の最高値が42°Cであるのに対し、アスファルト面のそれは60°C以上となり、その日較差は日積算日射量が大きい時40°Cに達する。裸地の表面温度は平均的に芝地のそれより高く、コンクリート舗装のそれはアスファルトに比較して低温に保たれる。

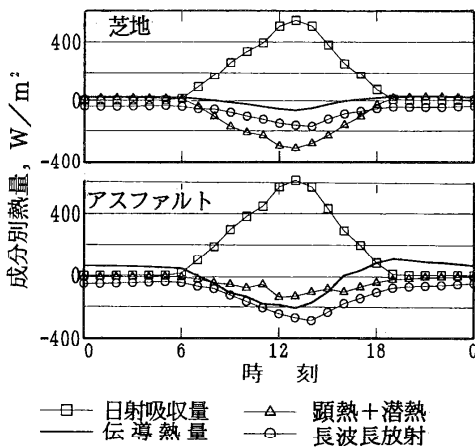


図2 芝地およびアスファルト舗装面の成分別熱量の日変化(8月)

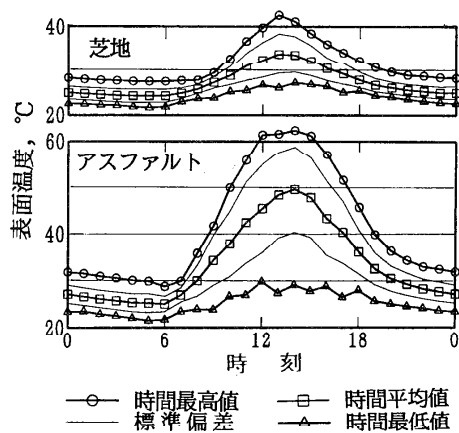


図3 芝地およびアスファルト面の表面温度の日変化(8月)

3. 水面、緑地の熱収支と温度

湖の水面における8月の平均的な熱収支の測定例を図4に示す⁶⁾。図中の R は日射吸収量と長波放射量の差として与えられる正味放射量である。

$$R = (1-r) S - \epsilon(\sigma T_s^4 - L) \quad (2)$$

正味放射量に対し、湖水面からの損失熱量の割合が大きく、水中での対流も大きく作用しているものと考えられる。潜熱は昼間、損失熱量の1/2以上になるのに対し、顕熱はほとんど0であり、水面温度と気温の差が小さいことをうかがわせる。面積約24haの池の中央部における8月晴日の早朝から夜間にいたる水面温度と気温の測定例を図5に示す⁷⁾。水面温度は気温よりも昼間1~2°C高くなることもあるが、はば気温に近い変動を示し、日射量が大きいにも拘わらず30°Cを超えない。

次に公園緑地における緑陰の熱収支と温度を調べる⁸⁾。図6は面積約50m²程度の小さな緑陰内の裸地面とその外側にあつて陽の当たる裸地およびコンクリート舗装面の8月の晴日における正味放射量 R の測定例である。日向の裸地とコンクリート面の R がそれぞれ最大500および600w/m²と

なるのに対し、緑陰内では木漏れ陽が当たる時以外は非常に小さい。日射が葉層によって遮蔽され、葉温も低温のためである。緑陰内のRが木漏れ陽によって日向の値より大きくなるのは、緑陰内の地表面温度が低く(2)式の右辺第2項の上向き長波放射量が日向よりも小さいためである。この地表面を蔽う葉層内の気温と葉温を比較して図7に示す。葉温は日射の当たる時以外は気温と等しく、その値は40°Cを超えない。以上のように緑地における葉層は、日射を遮蔽して地表面を熱的に安定な低温面に維持する二層構造を形成し、第二の地表面としての役割を果たしている⁹⁾。

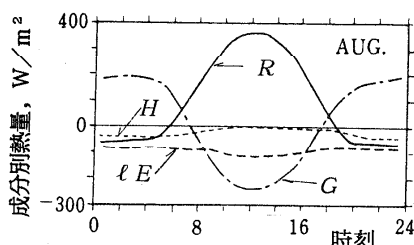


図4 湖水面の成分別熱量の日変化(8月)

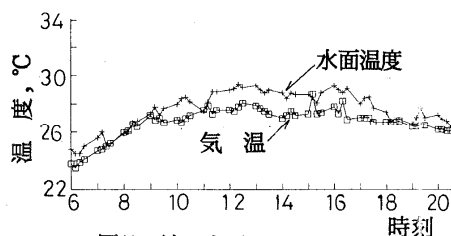


図5 池の水面温度と気温の経時変化(8月)

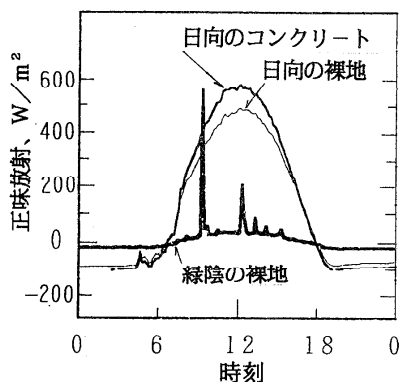


図6 緑陰と日向における正味放射の日変化(8月)

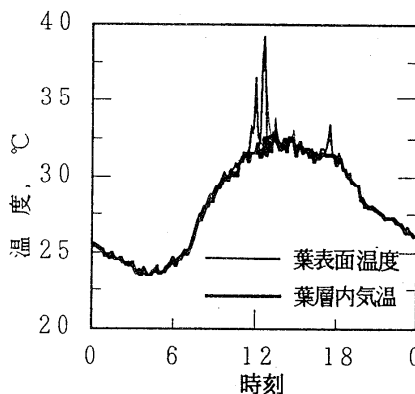
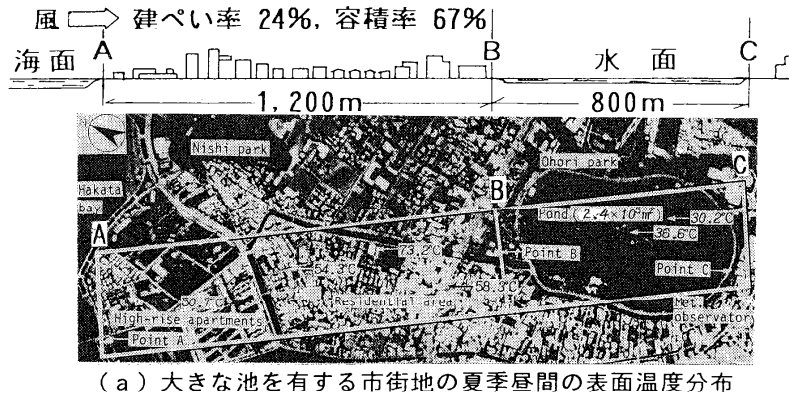


図7 葉層内の気温と葉温の口変化(8月)

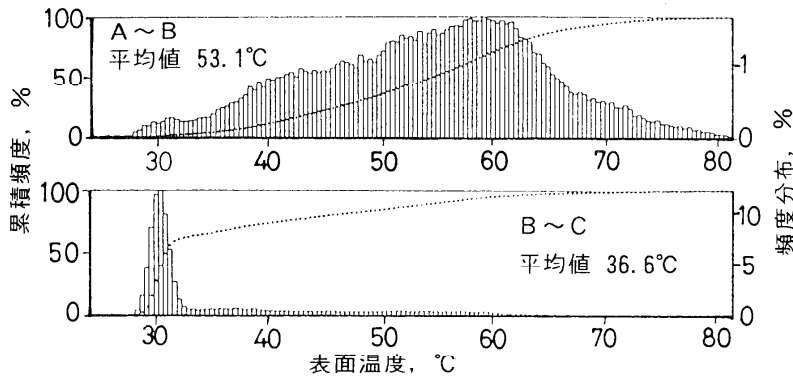
4. 都市の複雑多様な地表面の温度と顕熱

都市は非常に多くの地被材料によって構成され、空間の形状も複雑である。建物と建物に挟まれた空間(いわゆるstreet canyon, urban canyon)は、都市を構成する単位空間として重要であり、そこでの熱収支に関する実測^{10) 11)}が種々行われている。しかし、いずれも小規模で単純な現場が使用されている。実際の空間では気流分布に関してcavityが形成され、表面温度分布に関して建物や街路樹などの陰が重なり合い、その複雑さは正確な予測を不可能とする程のものである。

図8(a)は、面積約24haの池を有し海岸に面する市街地の、夏季晴日の正午における上空800mからの航空機リモートセンシング Multi Spectral Scannerによる表面温度分布を示している¹²⁾。30°C前後の海、池、河川の水面、40°C前後の緑地、60°C前後のアスファルト道路、70°C以上の金



(a) 大きな池を有する市街地の夏季昼間の表面温度分布



(b) (a)図における表面温度のヒストグラム

図8 都市の複雑地表面の温度分布(7月下旬, 正午)

属屋根などが混在している様子が分かる。海岸に面するAから建ぺい率24%の密集市街を1,200m隔たるBまでと、Bから800mにわたる池を挟むCまでの、図中の枠の範囲内における表面温度のヒストグラムを図8(b)に示す。A~B間の表面温度は30~80°Cの広範囲に及び、最頻度は60°C、平均値は53.1°Cである。水面が多くを占めるB~C間では表面温度の最頻値は30°C、平均値は36.6°Cである。

このように高温となる市街地の冷却には、風が大きな役割を果たす。しかし、その表面温度の分布は複雑であり、個々の部位や材料の顕熱を算定しても、都市全体の熱環境を計画しようとする場合、無意味であろう。このような広域にわたる複雑地表面の場合、風向方向に隔たる2点の風速と気温の鉛直分布を測定することにより、その間の平均的な顕熱を求めることが出来る。この方法をトラバース法という¹³⁾。その概要を図9に示す。高さzにおいて、面積 $1m^2$ 、高さdzの空気塊が風と共に水平に移動する間に受ける顕熱量と、その間の温度変化に関し次式が成り立つ¹⁴⁾。

$$\rho c_p \theta_L(z) dz - \rho c_p \theta_V(z) dz = dQ(z) \cdot \tau \quad (3)$$

ここに、 ρ : 空気の密度、 c_p : 空気の比熱、 $\theta_V(z)$ 、 $\theta_L(z)$: 高さzにおける風上と風下における気温、 $dQ(z)$: 高さzにおける顕熱、 τ : 時間

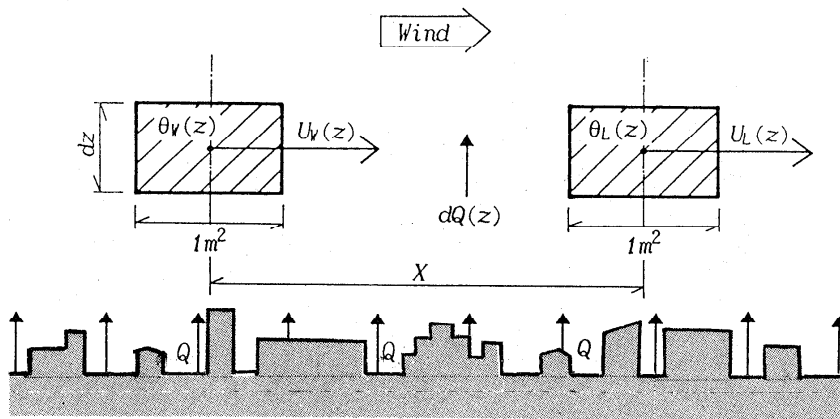


図9 トラバース法

τ は風向方向の2点間の距離 X の移動に要する時間であり次式で与えられる。

$$\frac{U_v(z) + U_L(z)}{2} \cdot \tau = X \quad (4)$$

ここに $U_w(z)$, $U_L(z)$: 風上と風下の2点における高さ z の平均風速、

(4)式を(3)式に代入し、 z について積分すれば

$$Q = \frac{\rho c_p}{X} \int_0^Z [\theta_L(z) - \theta_v(z)] \frac{U_v(z) + U_L(z)}{2} dz \quad (5)$$

積分の上限 Z は $\theta_L(z)$ が $\theta_v(z)$ に等しくなる高さである。

図8に示すA, Bの2地点において、風向がこの2点を結ぶ方向と一致する海寄りの晴日に、2台の係留気球を使用して同時に平均風速と気温の垂直分布を測定し、(5)式に測定データを代入して求めた顕熱を図10に示す。8月下旬に測定されているが、表面温度が平均 50°C 以上となる複雑な市街地の昼間の顕熱量は水平面全天日射量の1/3に達する。

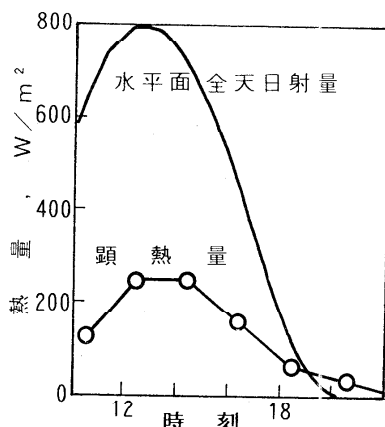


図10 トラバース法による市街地の顕熱(8月)

5. 都市における気流分布の乱流数値シミュレーション

夏季における海風の暑熱緩和効果は良く知られた事実である¹⁵⁾。我が国の多くの都市が海に面して発達していることを考えれば、都市の熱環境の改善のためには、土地利用の計画とともに風通しのよい街づくりを行うことが重要である。都市における気温は一様ではなく、その

分布は地表面を覆う建物等の配置や低層の風によって影響される。10kmのオーダーのスケールを持つ都市気候の特徴を明らかにするため、都市域における気温分布を測定した例を図11に示す。海岸線に対しほぼ直角に吹く海風および陸風に沿う直線上約10kmの間における4点の建物の屋上、地上高さ30~40mにおいて夏季の昼間に測定されている。海風時は最も風上側となるFの気温が、

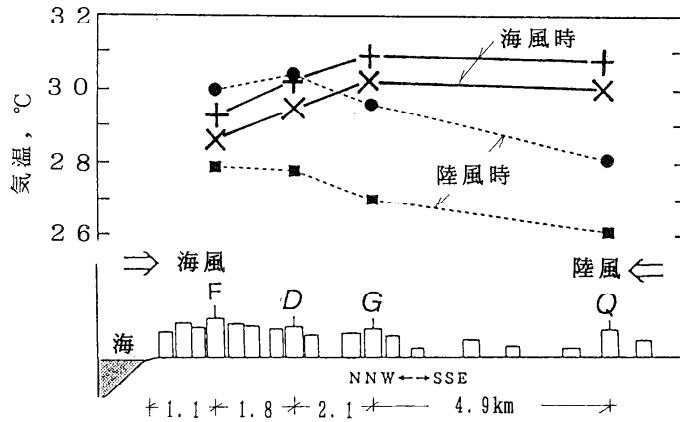


図 1 1 海風時と陸風時の気温分布 (夏季の昼間)

他の3地点より低い。F-G間の気温の上昇は明確であり、FとGの気温差は最大 2°C に達する。G-Q間はわずかに気温が低下する。これは図中に模式的に示している各測定点間の建物密度および水面、緑地など低温面の存在の違いによる影響と考えられる。陸風時においても、風上側のQの気温が最も低く、風下に進むに従い気温の上昇する傾向が見られる。

年々砂漠化していく都市の中に水面や緑地を計画的に導入しようとする場合、その影響の範囲と強さを知る必要がある。都市の気流や温度分布のシミュレーションに、実測に基づく乱流統計量を比較的簡単に境界条件として与えることのできる2方程式モデルを適用する試みがみられる¹⁶⁾。しかし実測値と比較した例は少ない。図8に示される海岸から内陸へ向かう2,000mの市街地を図12のようにモデル化してk-ε型の2方程式モデルを適用し、海風時における風速および気温の鉛直分布の2次元の数値シミュレーションを行い、実測値と比較する¹⁷⁾。以下にk-ε 2方程式モデルを示す。数値計算アルゴリズムにはMAC法を用い、計算点はx方向を40等分、z方向を16等分する長方形の等間隔スタガード格子に設定する。空間の差分化は基本的に中心差分を用いるが、kとεの輸送方程式の移流項については1次精度風上差分を用い、時間微分項はAdams-Bashforth型で差分化する。流入境界A-A'においては速度および温度を一定値で様な分布として与える。この速度と温度を無次元化の基準量としているので、 $u=1$, $w=0$, $\theta=0$ となる。乱流統計量は実測値に基づいて線形補間して与え、kは一律に $1.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 、渦スケールは $z < 20\text{m}$ で $4z$, $z > 20\text{m}$ で 80m

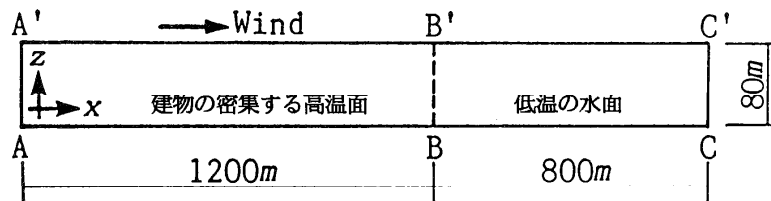


図 1 2 数値計算対象領域

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6) \quad C_D = 0.09, C_1 = 1.59, C_2 = 0.18, \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 1$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j u_i) = -\frac{\partial \pi}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu_t + \frac{1}{Re} \right) e_{ij} \right\} + \delta_{i3} \frac{Gr}{Re^2} \theta \quad (7)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \theta) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_3} + \frac{1}{Re \cdot Pr} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right\} \quad (8)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_1} + \frac{1}{Re} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + \nu_t \frac{e_{ij}^2}{2} - \varepsilon - \frac{Gr}{Re^2} \frac{\nu_t}{\sigma_3} \frac{\partial \theta}{\partial x_3} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_2} + \frac{1}{Re} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right\} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t \frac{e_{ij}^2}{2} - C_2 \frac{k}{\nu_t} \varepsilon \quad (10)$$

$$\nu_t = C_D \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (11) \quad e_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (12)$$

where,

x_i : 座標, u_i : 速度, π : 乱流圧力を含む圧力, θ : 温度
 k : 乱流エネルギー, ε : 乱流散逸率, ν_t : 渦動粘性係数
 t : 時間, Re : Réynolds数, Gr : Grashof数, Pr : Prandtl数

とする。これらの値を測定高さの80mを代表長さとして無次元化する。流出境界 C-C' はすべて Free slipとする。上空境界 A'-C' では $w=0, k, \varepsilon$ は Free slipとする。 u, θ は $u=1, \theta=0$ に固定した場合(Fixed)と、Free slip の場合(Free)について検討する。地表面境界 A-C では u について対数則を仮定し¹⁶⁾、その粗度は実測値よりA-B間で0.2m、B-C間で0.005mとする。 θ についてはこれらの粗度からYaglom-Kaderの式により、バルク係数をそれぞれ0.005、0.0025として計算する。表面温度の値はA-B間を1、B-C間を0とする。実測値に基づき $Re=5 \times 10^7, Gr=8 \times 10^4$ とする。

流入境界となる A~A' の実測値は数値計算の境界条件として用いるので、B~B' および C~C' におけるシミュレーション結果を実測値と比較して図13に示す。計算結果は B~B' および C~C' ともに実測値とよく一致している。上空境界条件の違いは、平均風速については上空ばかりでなく低層にも表れているが、気温についてはその違いが明確ではない。

6. おわりに

都市全体をカバーする熱環境、すなわちヒートアイランドを対象とした3次元の数値解析が行われているが、定量的には未だ充分ではないようである¹⁸⁾。地盤内の熱・水分の同時移動、地表面構造と熱交換係数および蒸発能との関係¹⁹⁾、大気境界層の正確なモデルの開発などが、今後、都市域の伝熱と熱環境の問題にとって重要なテーマである。

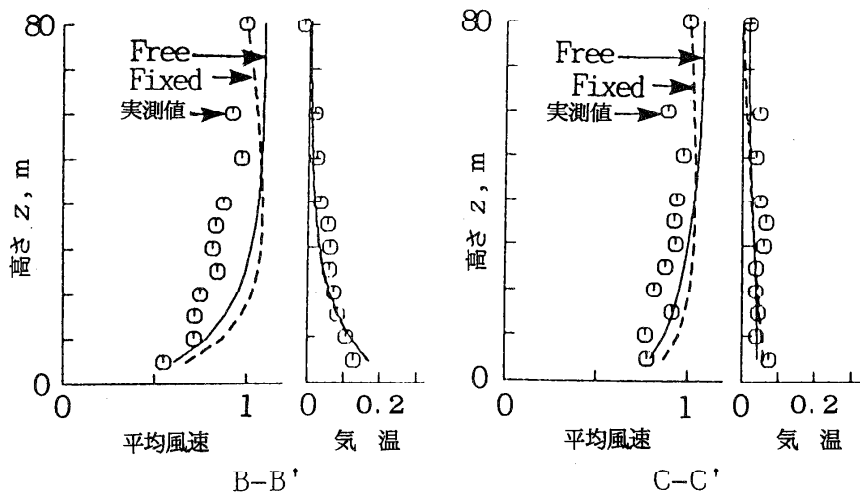


図1.3 平均風速と気温の垂直分布の実測値と計算値の比較

[参考文献]

- 1) 尾島俊雄, 都市汚染, 空気調和・衛生工学, Vol. 64, No. 9, (1990), 17-21
- 2) 福岡管区気象台, 福岡の気象100年, 日本気象協会福岡本部, (1990), 43-44
- 3) 田村幸雄, 須田健一, 松井源吾, 風速と建物密度の永年変化について, 日本風工学会誌, No. 16, (1983), 15-16
- 4) 佐々木俊彦, 片山忠久 他2名, 地表面熱収支の長期観測 その7, 日本建築学会九州支部研究報告, 第33号, (1992), 61-64
- 5) T. Katayama et al., Investigation on the formation of thermal environment in an urban canyon, 日本建築学会計画系論文報告集, 第372号, (1987), 30-43
- 6) 吉野正敏, 都市気候における水面の効果, 建築雑誌, Vol. 98, No. 1208, (1983), 42-45
- 7) 片山忠久, 石井昭夫 他6名, 大きな池を持つ公園周囲の熱環境に関する実測調査, 九州大学総合理工学研究科報告, 第11巻, 第4号, (1990), 403-412
- 8) 前田昌一郎, 北山広樹, 片山忠久 他2名, 緑地における熱環境形成に関する調査研究(その1), (その2), 日本建築学会九州支部研究報告, 第32号, (1991), 173-180
- 9) Oke著, 新田 尚 他共訳, 境界層の気候, 朝倉書店, (1981)
- 10) Nunez, M. and Oke, T. R., The energy balance of an urban Canyon, Journal of Applied Meteorology, Vol. 16, (1977), 11-19
- 11) 古田篤正, 都市域の人工層一表面系における熱輸送に関する研究, 学位論文, (1990), 100-124
- 12) 片山忠久, 石井昭夫 他4名, 水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第372号, (1987), 21-29
- 13) 河村武 他1名, 霞ヶ浦の湖風の変質に及ぼす地上建物群の影響, 日本気象学会春季大会予稿集, 45, (1984), 98
- 14) T. Katayama, J. Tsutsumi, et al., Observations of heat flux in an urban area with a large pond by kytoons, J. of Wind Engineering, 32, (1989), 41-50
- 15) 浅井富男, 海陸風, 別冊サイエンス, 18, (1977), 87-93
- 16) 丸山 敬, 粗面上に発達する乱流境界層のk-εモデルによるシミュレーション, 第3回生研NSTシンポジウム講演論文集, (1988), 79-85
- 17) 堤純一郎, 片山忠久 他4名, 市街地風の乱流数値シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1989), 453-454
- 18) 斎藤武雄 他1名, 都市ヒートアイランドの研究, 第26回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (1989), 106-108
- 19) 近藤純正, 複雑多様な地表面の熱収支—研究の指針—, 天気, 31巻, 9号, (1984), 43-51

1. はじめに

都市域では広範囲にわたって屋外環境表面[1]が人為的に改変され、コンクリートの高層ビルが建ち並び、道路はアスファルトで舗装されている。田園地帯の都市化に伴う表面状態の変化は、排出される熱および汚染物質の増加に相まって、都市域の大気層-表面系（図1）の熱構造を大きく変え、夏季の熱帯夜、高濃度大気汚染などの現象を生み出した。

その熱構造の実態を解明するため、様々な観点から数値解析、模型実験およびフィールド測定が行われた。例えば、人工廃熱と表面温度との関係[2,3]、大気中の汚染物質がふく射熱輸送に与える影響[4,5]、様々な地表面の被覆材料の表面温度あるいはそこでの熱収支[6,7]などが検討された。しかし、これまでの研究では、高層ビル群が形成する大規模な凹凸構造（粗さ）が、都市大気の接地層、境界層における熱輸送にどのような影響を与えるかについては十分には明らかにされていない。鶴野ら[8]は、建物による抵抗係数の概念を導入した乱流モデルを提案したが、その熱輸送の評価には改善されるべき点を残している。今後、建物の平均高さ（Roof Level - 図1）付近における熱および物質輸送に注目した研究が望まれる。

複雑な都市の表面形状を問題にする場合、適切なモデル化が必要である。1つの構成単位として、向かい合う同じ高さの2棟のビルおよびその壁面とそこにはさまれた舗装道路で形成されるいわゆる2次元”都市キャニオン[9]”（図2）を挙げることができる。”都市表

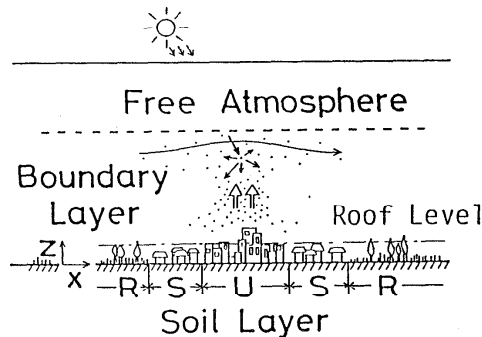


図1 都市域の大気層-表面系

U、S、Rはそれぞれ都市、郊外、田園を表す

面”は この都市キャニオンを最小の単位とし、その繰り返しであると考えることができる。

都市キャニオンにおける伝熱は、熱輸送に関与する表面積、キャニオン内外の気流性状、キャニオン内へのふく射の閉じ込め、建物の熱容量、キャニオン内の位置に依存する不均一な熱輸送などが絡み合い、平坦な面での現象に比べて複雑である。都市キャニオンにおける伝熱に関する研究は十分には行われておらず、その実態は未だ明かではない。

以下では2次元都市キャニオンだけでなく、建物が3次的に配置された都市表面（図3）を対象とする研究にも言及する。

2. 都市キャニオン内の気流、気温分布

中村ら[10]は、2次元都市キャニオンにおける気温分布をフィールド測定した。対象としたキャニオンの高さと同幅はほぼ等しく、キャニオンの方位は東西方向である。その結果は、キャニオン内では気温のばらつきは全般に小さく、キャニオンの外部空間との気温差も小さいことを示している。さらに測定結果を解析し、夜間においてもキャニオン内では熱的に不安定な状態にあることを明らかにした[11]。同じ都市キャニオンを対象に、キャニオンの底部と建物の屋上の平均風速・風向を比較し、キャニオン内の気流性状に関する知見を得ている[11]。キャニオンの高さと同幅の比が異なる場合、建物が3次元配置されている場合について、Hunterら[12]は数値解析により、キャニオン内の気流性状を検討し

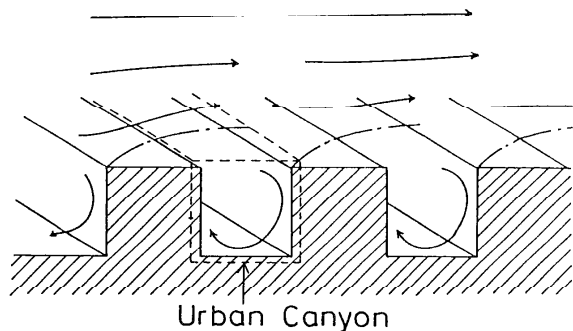


図2 都市キャニオン

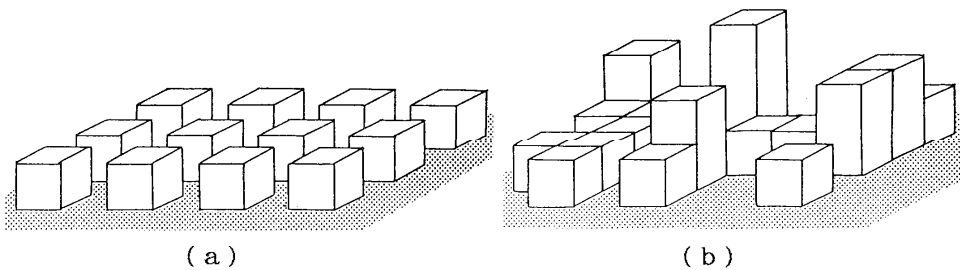


図3 都市表面の3次元モデル

ている。建物周辺の気流について、平均流だけでなく乱れ強さなどについても詳細に調べられている[13]。

3. 都市キャニオンを構成する表面の温度、熱収支

中村ら[14]は一連の研究で、キャニオンを構成する表面の温度および熱収支についてもフィールド測定を行っている。また、キャニオンの方位、キャニオン底部の材質が表面温度および熱収支に及ぼす効果を数値解析により明らかにしている[15]。Nunetz & Oke [9]は、キャニオンの方位が南北方向であり、未舗装の道路を含むキャニオンを対象にして、その構成する表面の熱収支のフィールド測定を行っている。また、夜間、表面からの赤外放射流束と周囲の表面、大気から表面へ向かう赤外放射流束を測定し、赤外放射流束の発散（放射冷却）とキャニオン内の気温低下速度の関係を議論している[16]。キャニオン底部から天空が見渡せる割合（天空率）は放射冷却に大きく影響すると考えられる。このため、キャニオン内の夜間の気温と天空率の関心に注目した研究が行われている[17]。さらに、都市キャニオンを構成する表面の対流熱伝達率に関して、フィールド測定に基づく研究も進められている[14, 18]。

4. 太陽ふく射に対する都市キャニオンの反射特性

都市キャニオンの持つ立体構造と太陽ふく射に対する反射特性の関係については、都市模型を用いた実験および数値解析により研究が進められてきた。内藤ら[19~23]は一連の研究で、近似的に求めた形態係数を用いる方法により数値解析を行っている。2次元都市キャニオンおよび同じ大きさの建物が水平面上に規則正しく3次元的に配置された系を対象に、太陽ふく射に対する都市表面の吸収率を、太陽ふく射の入射条件、建物の配置状況に注目して評価している。構成表面はふく射に対して灰色体、完全拡散反射面を仮定しており、文献[23]では構成表面の反射率分布を考慮している。Aida[24]は、コンクリートブロックを規則正しく並べて都市模型とし、屋外において実験を行った。都市模型の表面の太陽ふく射に対する全半球反射率（アルベド）を求め、多重反射による反射率の低下が大

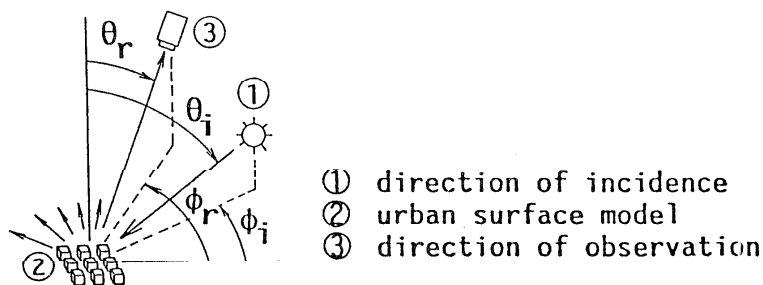


図4 2方向反射率（指向入射-指向反射率）の測定系

きいことを示した。その結果をふまえて、モンテカルロ法を用いた数値解析により、構成表面の反射特性も考慮に入れて、2次元都市キャニオンのアルベドに関する検討を行っている[25, 26]。

著者ら[27]は、都市表面における反射の角度特性に取り組むため、いくつかの都市の模型を対象とする2方向反射率の室内実験(図4)を試みた。併せて、モンテカルロ法を用いた数値解析も行った。その結果の一部を図5に示す。構成表面が完全拡散反射面にもかかわらず、多数の垂直壁面の存在により、鏡面反射成分と拡散反射成分に加えて、入射方向にも強く反射することが明らかになった。さらに、建物高さにばらつきがある都市表面(図3(b))を想定し、その反射特性に関する検討も加えた。

5. 都市キャニオンにおける熱輸送

著者らは、ひとつの2次元都市キャニオンについて、フィールド測定を行い、都市キャニオンにおける熱輸送機構に迫っている[28, 29]。建物の屋上の高さと同じ高さにあるキ

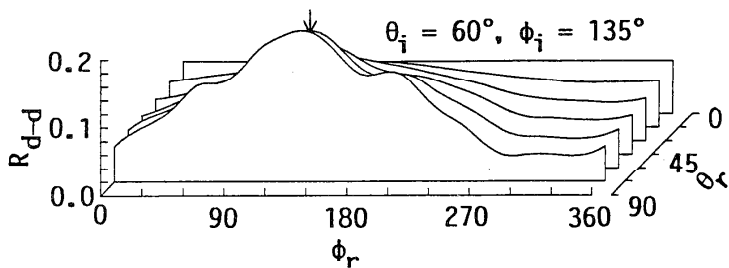


図5 2方向反射率 R_{a-a} の反射の天頂角 θ_r 、方位角 ϕ_r 依存性

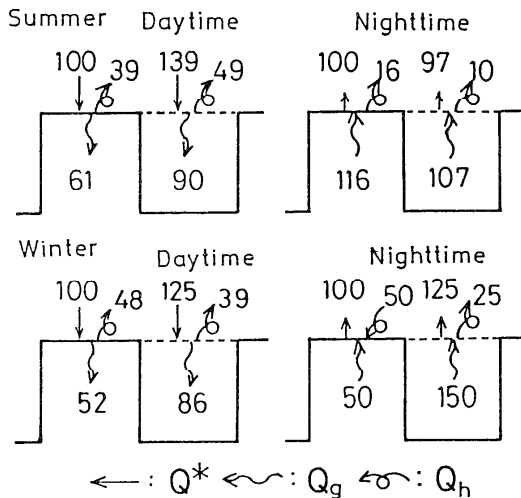


図6 屋上面とTop面の熱収支の比較

ャニオン空間の上面に仮想面 (Top面) [図6の破線部]を考える考え方を提案している。都市キャニオンの熱収支は、キャニオンの外部空間への熱の出入口である Top面における熱収支で代表する。Top面 と平坦面である建物の屋上面における測定の結果を比較、検討し、都市キャニオンの熱収支を明らかにした。その結果の一部として、夏季と冬季における日中と夜間の平均的な熱収支を模式的に図6に示す。図中の数字は屋上面における正味のふく射流束 (Q^*) を100としたときの相対値を表す。また、 Q_g 、 Q_h はそれぞれ伝導熱流束、対流熱流束を表す。キャニオンは日中における蓄熱を容易にし、夜間における放熱を妨げることがわかった。

また、赤松ら[30]は、簡単な伝熱モデルにより都市キャニオンにおける熱輸送の数値解析を行った。フィールド測定の結果と対比させることにより、その有効性を示した。方位、幾何的形狀などが異なる いくつかの都市キャニオンにおける熱輸送を評価した。内藤ら[31]は、2次元都市キャニオンを対象にし、ふく射輸送を重視した数値解析により、都市の気温形成に関する凹凸(キャニオン)の効果と他の因子のそれを比較している。Terjung & O'Rourke [32] は、3次元都市表面モデルを用いて、数値解析により表面温度の形成、場所により不均一な熱輸送を検討した。

6. おわりに

以上、都市キャニオンにおける伝熱に関してこれまで行われてきた研究を紹介してきたが、ほかにも都市キャニオン内での大気汚染[33]、人体に対する熱的な影響[34]、水分蒸発量[35]などについても報告されている。今後、都市の3次元的な表面構造の適切なモデル化、都市域の大気層-表面系における大気流動と熱および物質輸送機構に及ぼす実生活スケールの都市の表面構造の影響に関する検討などを行う必要がある。地球規模の環境問題に対する関心が高まっている昨今、われわれの日常生活に密接に関連する都市・建築における伝熱問題に多くの分野の方々にも少しでも興味を持っていただければ幸いです。なお、本稿はたまたま著者が知ることができた研究を列挙したもので、不十分な点も多いと思われるがお許しいただきたい。

参考文献

- (1) 吉田・国友, 日本機械学会論文集 (B編), 54-497 (1988), 172.
- (2) Torrance, K.E. and Shum, J.S.W., Atmospheric Environment, 10 (1976), 329.
- (3) Yoshida, A. and Kunimoto, T., Int. J. Heat Mass Transfer, 29-7 (1986), 1041.
- (4) Viskanta, R. et al., J. Atmospheric Sciences, 34 (1977), 1091.
- (5) 吉田・国友, 日本機械学会論文集 (B編), 55-513 (1989), 1403.
- (6) Ojima, T. and Moriyama, M., Energy and Buildings, 4 (1982), 99.

- (7) 片山・ほか2名, 日本建築学会論文報告集(計画系), 372(1987), 30.
- (8) 鶴野・ほか3名, 衛生工学研究論文集, 24(1988), 125.
- (9) Nunez, M. and Oke, T.R., *J. Applied Meteorology*, 16(1977), 11.
- (10) 中村・ほか2名, 日本建築学会論文報告集(計画系), 364(1986), 48.
- (11) 中村・Oke, T.R., *Atmospheric Environment*, 22-12(1988), 2691.
- (12) Hunter, L.J., et al., *Energy and Buildings*, 15-16(1990/91), 315.
- (13) 例えば, Murakami, S., et al., *Energy and Buildings*, 15-16(1990/91), 345.
- (14) 中村・ほか2名, 日本建築学会論文報告集(計画系), 364(1986), 57.
- (15) 中村・平岡, 日本建築学会論文報告集(計画系), 367(1986), 8.
- (16) Nunez, M. and Oke, T.R., *Boudary Layer Meteorology*, 10(1976), 121.
- (17) Eliasson, I., *Energy and Buildings*, 15-16(1990/91), 141.
- (18) 吉田・ほか2名, 第26日本伝熱シンポジウム講演論文集, (1989), 103.
- (19) 内藤・水野, 空気調和・衛生工学会論文集, 2(1976), 1.
- (20) 内藤・水野, 空気調和・衛生工学会論文集, 5(1977), 33.
- (21) 内藤・ほか2名, 空気調和・衛生工学会論文集, 8(1978), 23.
- (22) 内藤・ほか2名, 空気調和・衛生工学会論文集, 14(1980), 79.
- (23) 内藤・ほか2名, 空気調和・衛生工学会論文集, 22(1983), 51.
- (24) Aida, M., *Boudary Layer Meteorology*, 23(1982), 405.
- (25) Aida, M. and Gotoh, K., *Boudary Layer Meteorology*, 23(1982), 415.
- (26) Sievers, U. and Zdunkowski, W., *Boudary Layer Meteorology*, 33(1985), 245.
- (27) 吉田・ほか3名, 第28日本伝熱シンポジウム講演論文集, (1991), 808.
- (28) 吉田・ほか2名, 日本機械学会論文集(B編), 56-524(1990), 1155.
- (29) Yoshida, A., et al., *Energy and Buildings*, 15-16(1990/91), 417.
- (30) 赤松・ほか2名, 第27日本伝熱シンポジウム講演論文集, (1990), 766.
- (31) 内藤・ほか2名, 空気調和・衛生工学会論文集, 22(1983), 41.
- (32) Terjung, W.H. and O'Rourke, P.A., *Boudary Layer Meteorology*, 19(1980), 93.
- (33) Sievers, U. and Zdunkowski, W., *Contrib. Atmospheric Physics*, 59-1(1986), 13.
- (34) Burt, J.E., et al., *Int. J. Biometeorology*, 26(1982), 3.
- (35) 成田・ほか2名, 日本建築学会論文報告集(計画系), 366(1986), 1.

[建物外表面]

建物外表面の熱伝達

成田健一 (広島大学)

1. はじめに

今回「建築・環境における伝熱問題」という特集にあたり、「建物外表面の熱伝達」という題を頂戴したが、筆者はこのテーマに関してまったくの駆出しであり、とても建築分野を代表するような総説を執筆するには値しないし、また事実無理である。「熱伝達」というテーマは伝熱の中心課題の一つであるし、建築分野においてもすでに数多くの研究の蓄積があり、筆者は未だその全容を把握するにはとても至っていない。従って、ここでは特に最近手掛けている風洞実験と実測を中心に筆者の知る範囲での研究動向や問題点について述べさせて頂くこととし、数値計算におけるモデル化等については他稿に譲ることとする。

2. 「建物」の「外表面」における熱伝達

一般に、空調負荷計算等の実務レベルでは、構造体表面の定常熱伝達特性を対流熱伝達率と放射熱伝達率を合わせた総合熱伝達率で表し、その値としては表1のような一定値が用いられることが多い¹⁾。なお、放射熱伝達については別稿で詳しく述べられると思うので、ここでは対流熱伝達率についてのみ述べる。

表1. 平面壁の強制対流時の総合熱伝達率 α_0

季節	場所	α_0 (kcal/m ² h°C)
冬季暖房負荷計算用	市街地 (3 m/s)	30
	郊外 (5 m/s)	35
夏季冷房負荷計算用	市街地 (3 m/s)	20
	郊外 (5 m/s)	30

これらの値の根拠となっているのは50cm角の垂直銅板を用いたJürgesの風洞実験で、例えば夏季の20 (kcal/m²h°C) という値は、Jürges式の風速3m/sの値約16に放射熱伝達率約4を加算して決められたものである。しかしながら、Jürges式は乱れの小さい一様流中での実験であり、しかも温度境界層の未発達部分を含んだ小試料面による結果であることから、建物外表面の値として適用するには問題があると以前から指摘されている²⁾。特に、漠然と風速と言っているが、実際の建物壁面の場合、どの位置の風速を採用したらよいかは全く明らかにされていない。建物外表面の対流熱伝達は、いわゆる上空風よりも壁面近傍の気流性状と深く関連しているはずであり、その近傍風は一般に上空風よりかなり弱い。従って一様流における流速をそのまま適用することは、edge effect を含む小試料面での測定であることと同様、伝達率の過大評価につながる。このことは、特に夏季の冷房負荷計算においては危険側となるため問題がある³⁾。

以上、建築分野での取扱について概説したが、現状の提案値は種々の問題を含んでいる。

図1は、建物外表面の伝達率に関する因子についてまとめた一例である⁴⁾。この項のタイトルで、わざわざ建物と外表面に"「」"をつけたのは「建物」を対象にするが故に特有のスケールと複雑な凹凸をもち、また「外表面」を対象にするが故に不規則な"自然風"を相手にしなくてはならないという特殊性があるからである。

まずスケールについてであるが、建築壁面において対流伝達率を考える対象面をどう取るかは難しい問題である。先にも述べたように平板に平行流をあてた場合、局所対流伝達率(局所ヌッセルト数)は気流方向に変化する。理論的には、乱流状態で先端からの距離の $-1/5$ 乗に比例して減少するとするのが一般的であろうが、実際の建築壁面ではそのような"距離"、すなわちレイノルズ数の代表長さに相当するものを決定しがたい。これには壁面粗度による複雑な速度境界層の存在も関連している。伝達率のスケール効果については、建築分野でもいくつかの風洞実験が報告されている²⁾⁵⁾が、乱れの小さい平行流での検討にとどまっている。今後さらに、面に対する風向が変化した場合や自然風に近いより乱れた気流におけるスケール効果についても検討する必要があると思われる。

構造体表面には、a)素材の種類、表面仕上げなどによる材料自体の表面粗度、b)窓サッシュ面の枠や棧、波型鉄板、折版屋根、柱形、梁形などによる凹凸、c)庇、軒、ベランダ、戸境壁などによる凹凸、など様々な粗度が存在する⁶⁾。これらの影響についてはまだ十分な検討がなされているとは言い難いが、表面積が決定できる一部の材質については、見付け表面積に対する対象表面の実表面積の比率を基準平面の対流熱伝達率に乘じることで、a)やb)についての対流熱伝達率を近似的に求めることが可能であると報告されている⁷⁾。

次に、自然風を相手にするが故の難しさであるが、これは結局のところ"建物近傍気流"の把握の難しさという問題に還元される。この点は、建物自然換気における壁面風圧の取扱と似たところがある。建物近傍の風は、建物周囲の状況・建物形状・建物における壁面位置・壁面方位に対する風向、そして壁面の凹凸などにより大きく変化する。従って建物外表面の熱伝達率を壁面近傍風と関連づけるのは無意味であるという意見もある⁸⁾が、一方上空風と壁面近傍風との関係を実測データの蓄積から統計的に求め、対流伝達率を近傍風と関連づけるという試みも行われている⁹⁾。それによれば、対流熱伝達率は概ね近傍風の一次式で表され、一方近傍風も上空風と密接な関係を持ち、両者の関係は風向壁面と風背壁面の各々二つにまとめられる。

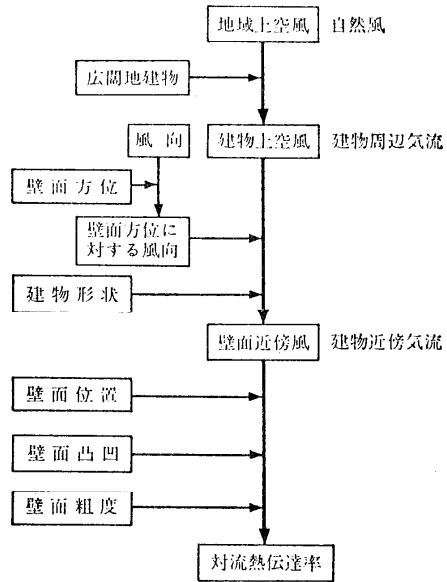


図1. 建物外表面熱伝達率に関する因子

これらの成果に基づき、上空風から近傍風を求め、さらに近傍風から対流熱伝達率を求めるという2段階方式の提案もなされている¹⁰⁾。

また自然風という点では、その“乱れ”が対流伝達率にどのように影響しているかも重要な検討課題であるが、これまで一部周期変動気流による風洞実験が行なわれているものの¹¹⁾²⁾、未だ十分な検討がなされていない。

機械伝熱や化学工学分野の方々からは、建築の論文は無次元数による取扱がなされていないとよく御指摘を受ける。しかしながら、以上述べてきたように建物外表面では必ずしも教科書的な境界層が形成されているとは限らず、そこでの対流熱伝達とりわけ強制対流熱伝達に関しては無次元表示に馴染まない側面もある。いづれにせよ、建物外表面での対流熱伝達に関しては関与する要因が非常に多く、統一的な取扱には解決すべき問題点が山積していると言えよう。

3. 濾紙面蒸発による対流伝達率評価の試み

筆者らは都市気候研究における市街地空間のモデル化を念頭に、市街地における地表面蒸発量を各種建物配列について検討し、建物に強く影響された市街地風と地表面伝達率との関連について検討してきた¹²⁾。その一環として、近年濾紙面蒸発による建物壁面の対流伝達率の評価を試みているので、ここではその一端について紹介させて頂く。

いわゆるアナロジーを利用した熱伝達率の間接測定としては、ナフタリンの昇華を利用するものが有名であるが、ここでは水分蒸発による物質伝達から対流熱伝達率の評価を試みている。これまでの熱伝達の実験では、放射伝達の分離など熱流測定の難しさもさることながら、建物の一面に熱流を限定することは困難であり、また模型から地面板への熱伝導などいくつかの誤差要因を回避することは至難の技である。その点、濾紙面蒸発による測定ではflux面を容易に限定できるため、任意の向きの一壁面についてや同一壁面内の局所分布の測定も可能と思われる。また大きな温度差を設定する必要もないため、自然対流を含まない強制対流伝達率のみの測定が可能である。現在この方法を応用し、模型建物による風洞実験ならびに実大窓面における自然風中での実測を継続中である。

風洞実験ならびに窓面での実測における測定方法の概要は以下の通りである。アクリル板に厚さ1mmの濾紙を張り付け、側面を防水処理したものを試料としている。これに充分水を含ませた後30分間風洞ないしは自然風中に置き、その間の蒸発量を電子天秤で測定する。蒸発面の温度は濾紙の表面直下に熱電対あるいはサーミスタを挿入して測定している。これらの値と空気層の温湿度より、対流物質伝達率(k)を求めている。なお窓面実測においてはedge effectをできるだけ避けるため、71cm四方の濾紙をアルミサッシェのガラス面に張り付け、蒸発量の測定はその中央6cm四方について行っている。また屋上面上15mでの上空風および窓面近傍の風を3次元超音波風速計および無指向性サーミスタ風速計で同時に測定し、上空風と近傍風の関係や窓面對流伝達率と近傍気流性状との関係等についても検討している。

(1) 風洞模型実験

図3は、図2に示す直方体模型の各面における面平均の k と上空風速(U_{∞})との関係を示したもので、図4に示した2種類のアプローチフローについて比較している。ここでRoughと表示しているアプローチフローは、ベキ指数 $1/4$ ・模型高さでの乱れの強さを 0.2 としたもので、測定部の風上側に粗度要素を配列し、いわゆる市街地における典型的な風を再現したものである。Roughにおいては風上面で k が最も大きく、次いで屋上面→側面→風下面の順となる。この結果は、風下面で最大となる一様流中の角柱における伝達率分布¹³⁾とは大きく異なっている。境界層が薄い(Smooth)では風下面の値が増大一様流中の結果に近づいており、気流の乱れの大小で伝達率分布が著しく変化することがわかる。図5は、Roughの条件で一辺 6 cm の立方体模型に対し風向を変化させた場合の結果を示している。

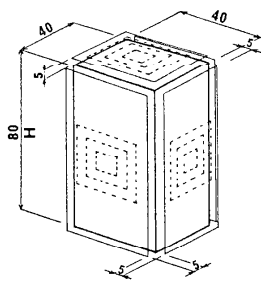


図2. 建物模型

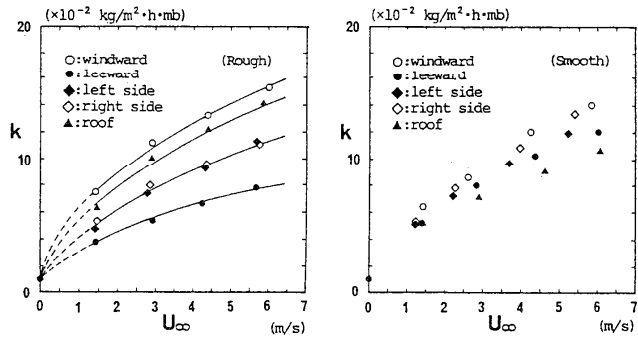


図3. 対流物質伝達率と上空風速の関係

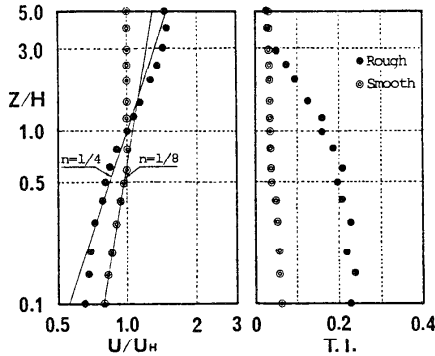


図4. アプローチフローのプロファイル

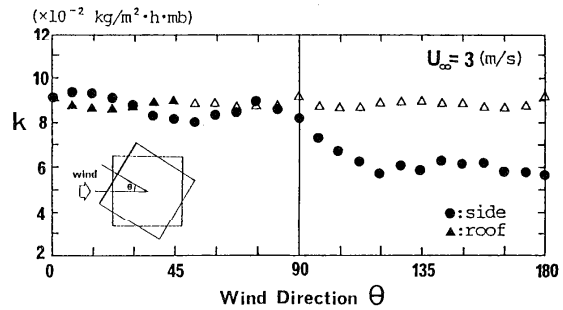
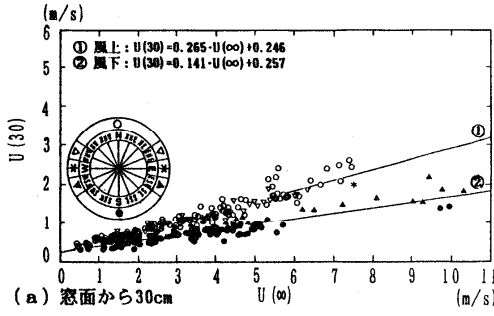


図5. 風向による対流物質伝達率の変化(立方体模型)

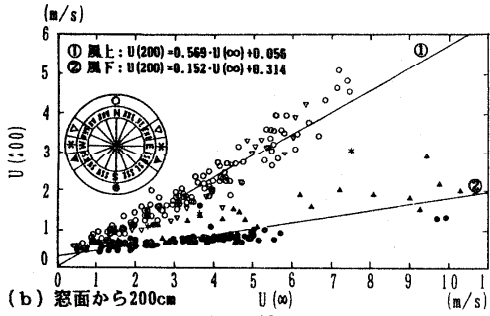
(2) 自然風中での窓面実測

実測対象建物は東西方向に長軸をもつ広島大学工学部の高層棟(8F建)で、その北側7F中央部の窓面において測定を行っている。

図6に上空風速と窓面近傍風速の関係を示す。両者の関係は風上風と風下風できれいに二分する。図7は、近傍 30 cm の風速と k との関係で、風向に無関係にほぼ一定の関係が認められる。図8は、上空風速と k との関係を示したもので、図中の直線は図6と図7の回帰式から求めた関係式である。熱伝達による同様の観測結果⁹⁾(図中破線; ルイスの関係を用いて変換した値)



(a) 窓面から30cm



(b) 窓面から200cm

図6. 上空風速と近傍風速の関係

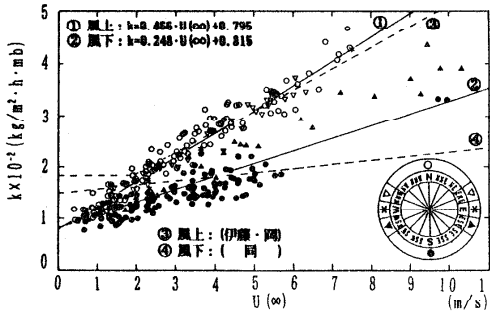


図8. 対流物質伝達率と上空風速の関係

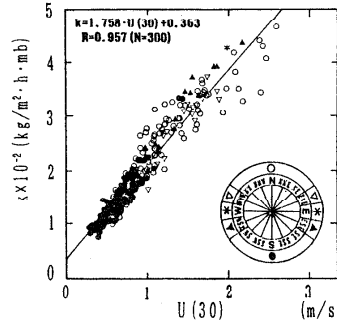


図7. 対流物質伝達率と近傍風速(30cm)の関係

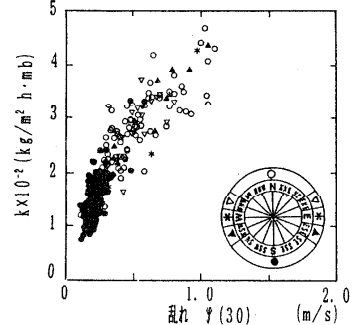


図9. 対流物質伝達率と近傍(30cm)の"乱れ"の関係

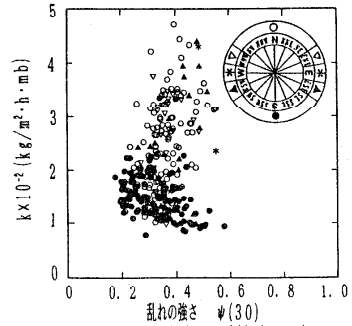


図10. 対流物質伝達率と近傍(30cm)の"乱れの強さ"の関係

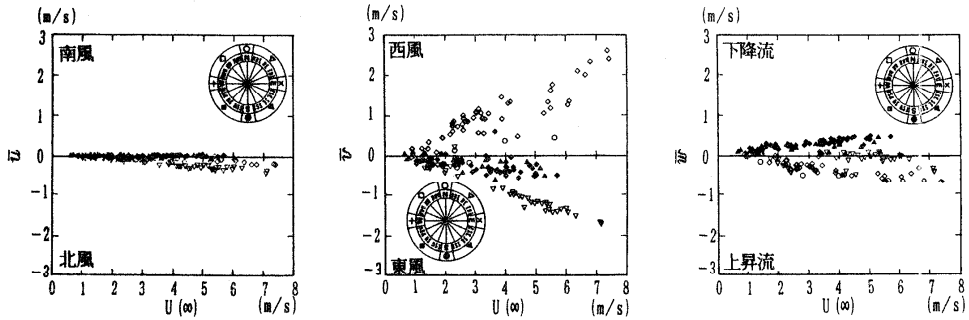


図11. 上空風速と近傍(30cm)の各風速成分の関係

と比較すると、弱風域で伝達率が小さくなっている点が特徴で、これは自然対流の有無による差と思われる。また風下面は風上面の半分程度で、境界層条件を考慮した先の風洞実験の結果と一致しており、乱れ性状の一致が重要であることがわかる。図9と図10には、各々kと近傍の“乱れ”および“乱れの強さ”との関係を示した。窓面近傍の乱れの強さは40%前後の値を示している。図11は成分別にみた近傍風速で、窓に平行な東西成分が最も強く、窓に垂直な南北成分はほとんど零に近い。鉛直成分は、風上風時には上昇流、風下風時には下降流となっている。

4. むすび

本稿では自然対流についてはほとんど触れて来なかったが、それについては室内の熱伝達の稿で扱って頂けるものと思う。なお、最近が湿潤状態の壁面における伝達率についても検討がなされており¹⁴⁾、温度差や濃度差に基づく自然対流の影響が小さい場合には熱伝達と物質伝達にアナログが成り立つことが示されている。このことは、筆者らの間接測定が熱伝達に適應できる可能性を示唆しているが、今後さらに検討をすすめ、建物外表面の対流伝達現象の解明に少しでも寄与したいと考えている。

<参考文献>

- 1) 松尾 陽, 他: 新建築学体系10(環境物理). 彰国社, p. 47, 1984
- 2) 小林定教・宮野秋彦: 熱伝達率の研究. 日本建築学会論文報告集, 258, p. 53-62, 1977
- 3) 木村建一: 夏期の外側表面熱伝達率について. 日本建築学会関東支部, p. 141-144, 1966
- 4) 市街地風研究会, 編: 市街地風の研究. オーム社, p. 151, 1978
- 5) 小林定教: 熱伝達特性と試料面寸法. 日本建築学会大会, p. 691-692, 1981
- 6) 宮野秋彦: 建物の断熱と防湿. 学芸出版社, p. 84, 1981
- 7) 宮野秋彦: 人工気候下での構造体の熱特性に関する研究(第6報). 日本建築学会東海支部, p. 127-130, 1970
- 8) 前田敏男, 他: 建物外壁面の熱伝達率に関する模型実験. 日本建築学会大会, p. 231-232, 1970
- 9) 伊藤直明・岡 樹生, 他: 自然風による建築物外表面の対流熱伝達に関する研究—その1, その2. 日本建築学会論文報告集, 191, p. 27-36, p. 37-43, 1972
- 10) 木村建一, 他: 電算機による動的空調負荷計算法. 空気調和・衛生工学, 46-3, p. 3-38, 1972
- 11) 岡 樹生, 他: 風洞実験による表面熱伝達率の測定(その2). 日本建築学会大会, p. 237-238, 1968
- 12) 成田健一, 他: 市街地の蒸発量に及ぼす建物周辺気流の影響に関する実験的研究. 日本建築学会計画系論文報告集, 361, p. 10-20, 1986 同題(続報). 366, p. 1-11, 1986
- 13) 五十嵐 保: 正方形柱まわりの流動と熱伝達. 日本機械学会論文集B, 50-452, p. 1173-1181, 1984
- 14) 尾崎明仁, 他: 建築外表面の熱・水分伝達に関する実験的研究. 日本建築学会計画系論文報告集, 407, p. 11-25, 1990

[3. の著者関連の文献]

市街地における建物外表面伝達率に関する実験的研究. その1, その2; 日本建築学会大会, p. 1261-1264, 1990. その3, その4, その5; 日本建築学会中国支部, p. 297-308, 1991. その6, その7; 日本建築学会大会, p. 977-980, 1991. その8, その9; 日本建築学会中国支部, 1992.

1. はじめに

太陽からの放射エネルギーは日照や日射として室内の居住環境に大きな影響を及ぼす。日照は日当たりとその影響まで含む幅広い用語であるが、日射には太陽からくる熱という物理的意味しかない¹⁾。ただし、日照が指向性の強い透過成分を問題にするのに対して、日射には直達成分だけでなく、拡散性の高い天空散乱成分や地物反射成分も含まれる。

一方、大気中の水蒸気や二酸化炭素によって吸収された成分は大気からのガス放射、すなわち大気放射として地上に到達する。大気放射は四六時中存在しており、その波長は天空日射より長い。拡散性が高い点では天空日射に似ている。地物は日射によって加熱され、長波長域では大気との放射熱交換によって昼も夜も冷却される。

ここでは、建築における日射および大気放射の利用について、その概略を述べるとともに、建物外面へ入射する放射量の計算法と建物外面での放射収支の考え方を簡単に紹介したい。

2. 建築と太陽

建築は古くから太陽と深く関わってきた。太陽の動きによって建物の配置や形態が決まる場合も少なくない。図1は米国コロラド州メサ・ベルデ（北緯37度）にあるプエブロ・インディアン²⁾の住居跡である²⁾。南面する巨大な崖下の窪地に 約500人規模の住居群が弧状に並んでいることからクリフパレスとも呼ばれる。冬は石積みの住居と周囲の岩盤が日射を蓄熱し、夜になると放熱する。夏は南に張り出した上部の岩盤が日射を遮蔽し、崖下の住居は周囲の大地によって冷却される。

住宅は冬暖かくて夏涼しいのが理想である。まずは、冬の太陽を取り入れ、夏の太陽を遮断したい。わが国の場合、太陽の出

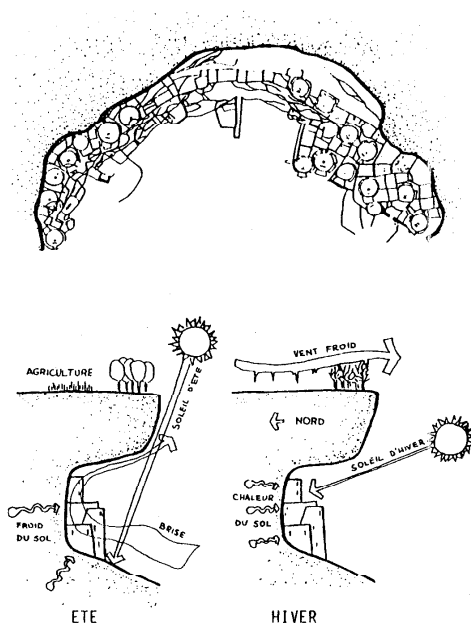


図1 プエブロ・インディアンの住居跡²⁾

入り方位が、冬は南側に、夏は北側に偏り、南中高度も冬は約30度、夏は約80度となる。図2は晴天日に鉛直面が受ける日積算日射量（東京、北緯35度）である³⁾。南面は夏至の1.5kWh/(m²・d)から冬至の5.2kWh/(m²・d)まで変化する。夏至の南面は東西面の半分の日射量に過ぎない。わが国の住宅が主開口を南面させる所以である。この南面に庇を付ければ、夏の日射遮蔽効果は大きく、冬の日射熱取得を妨げることもない。

しかし、南面開口や庇の効果は万能ではない。緯度が高くなれば、夏の太陽は地平線近くを回転し、いわゆる白夜になる。だから、北欧の住宅では主開口の向きがあまり問題にならず、庇も多く用いられない。わが国の場合はとくに夏の西日対策が問題になる。このような低い日差しをカットするには、昔から簾（すだれ）や格子が使われ、最近ではベネシャン・ブラインドやブリーズ・ソレイユまでである。簾は外付けで、ブラインドは内付けのものが多いが、遮熱の点では外付けのほうが有利である。また、格子やブリーズ・ソレイユは建築化された装置として意匠的にも面白い。

オイルショック以降、建築においても太陽エネルギーを積極的に活用しようという気運が高まった。いわゆるソーラーハウスであるが、これにはアクティブシステムとパッシブシステムがある。当初は給湯や太陽熱冷房を目的としたアクティブ方式への関心が高かったが、その後はできるだけ機械類に頼らず、もっと自然に建築的な手法で太陽エネルギーを利用しようとするパッシブ思想³⁾が台頭した。それは、「自然は

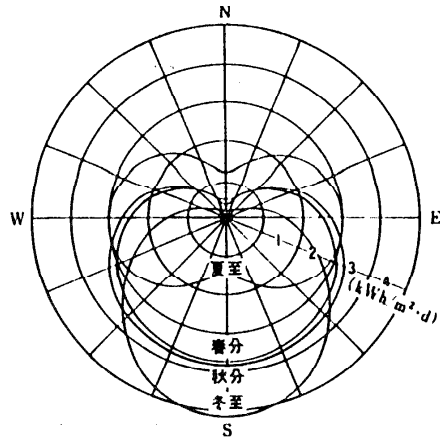


図2 鉛直面が受ける日積算日射量³⁾
(東京、北緯35度)

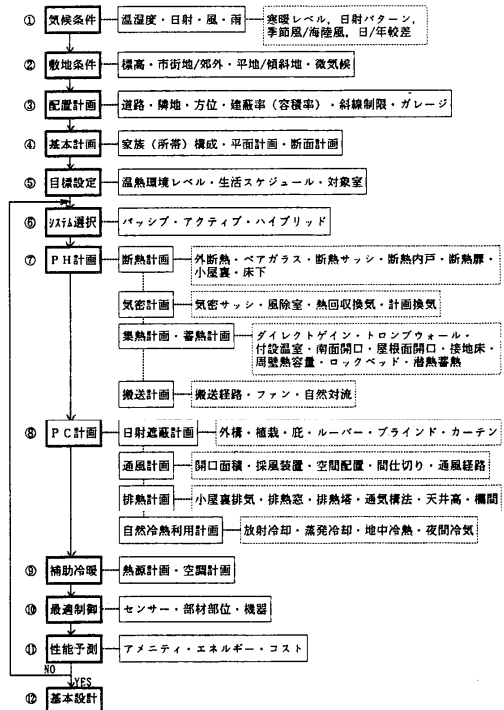


図3 住宅における熱環境計画の全体フローとチェック項目³⁾

「慈しむべきもの、共存すべきもの」という基本理念⁵⁾に立ち、人間と建築と自然との関係を問い直す試みでもある。地球環境問題とも関連して、今後も環境共生という概念は重要である。しかし、パッシブ方式には自ずから限界があり、必要なアメニティを確保するには、補助冷暖房システムが欠かせない。図3はこのような住宅における熱環境計画の全体フローとチェック項目をまとめたものである⁶⁾。

3. 最近の建築的利用システム

最近、建築で話題になっている日射利用システムを2つご紹介しよう。図4はOMソーラーと呼ばれる給湯暖房システムのハンドリングユニットである⁷⁾。冬の集熱時は、屋根で暖められた空気が縦ダクトから床フローリングと土間コンクリートの間を通して室内に出る。このとき土間コンクリートが蓄熱し、夜になると室内循環空気に放熱される。また、ユニット内の熱交換コイルでつくられた温水は温水タンクと補助温水器を経て給湯される。図5はこのシステムの応用例である⁸⁾。夏はクールチューブで冷やされた外気がファンコンベクターにより床下から室内へ送られるが、夜間は屋根面の放射冷却を利用することも可能と思われる。

最近のオフィスビルはOA化やインテリジェント化に伴う内部発熱の増加により冷房負荷が増える傾向にある。図6はベンチレーション窓の概念図である⁹⁾。冷房時は二重ガラス内のブラインドで吸収された日射熱が室内からの循環空気により外部へ排

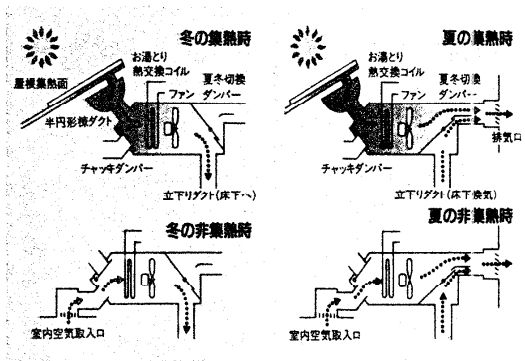
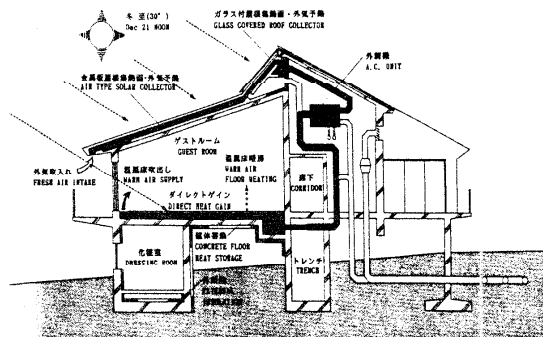
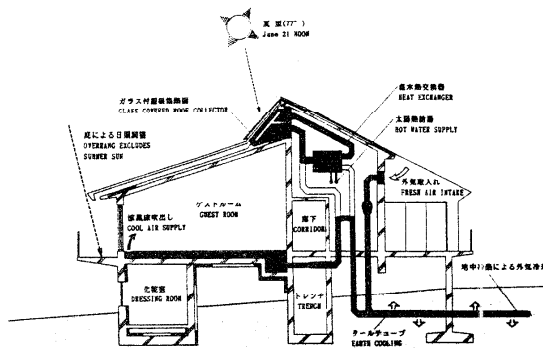


図4 OMハンドリングユニット内の空気の流れ⁷⁾



(a) 冬季晴天時



(b) 夏季晴天時

図5 飯綱山荘のパッシブシステム⁸⁾
(設計: 日建設計/東京)

出される。暖房時はそれを回収して室内に再循環したり、取り入れ外気の予熱に利用する。さらに、内蔵ブラインドのスラット角を自動制御することにより、室内の熱環境はもちろん、光環境も大幅に改善される。窓のシステム化は建築計画や設備計画に図7のような波及効果をもたらす¹⁰⁾。

放射冷却の利用システムとしては、ソルエアパネルが注目される。冷媒直彫形の集放熱器で、放熱の時間帯は一般に夜間であるが、蓄熱空調方式と併用することにより電力負荷の平準化も図れる¹¹⁾。

4. 建物外面への人射放射量

このようなシステムの開発には正確な太陽の動きと外界から入射する放射量を知る必要がある。

まず、北緯 ϕ [度]、東経 L [度]における日本標準時刻 t_s [h]の太陽高度 h [度]と太陽方位角 α [度]は次式で求められる。

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$$

$$\cot \alpha = \sin \phi \cot t - \cos \phi \tan \delta \operatorname{cosec} t$$

ここで、時角 t [度]は、日赤緯 δ [度]と均時差 e [min]がわかれば、

$$t = 15 (t_s - 12) + L - 135 + e / 4$$

となる。日赤緯 δ [度]と均時差 e [min]の計算にはいくつかの方法があるが、精算法としては山崎のプログラムなどが用いられている¹²⁾。

太陽位置がわかれば、建物の外面に入射する口射量 I [W/m^2]は次式で与えられる。

$$I = D + S + R$$

ここで、 D は直達、 S は天空、 R は地物反射による各日射量 [W/m^2]であり、天空日射および反射日射の輝度分布を一様とみなし、地物を水平地面で代表させれば、それぞれ次式となる。

$$D = DN \cdot \cos i \quad (\text{ただし、} \cos i < 0 \text{ のとき } \cos i = 0 \text{ とする})$$

$$S = SH \cdot F_s$$

$$R = TH \cdot F_r \cdot \rho$$

ここで、 DN は法線面の直達、 SH は水平面の天空、 TH は水平面の全天による各日射量 [W/m^2]、 i

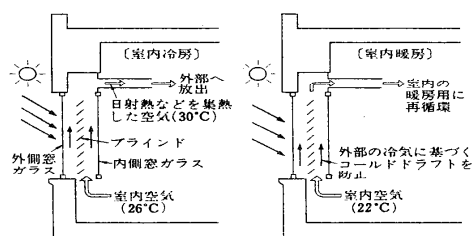


図6 ベンチレーション窓の概念図⁹⁾

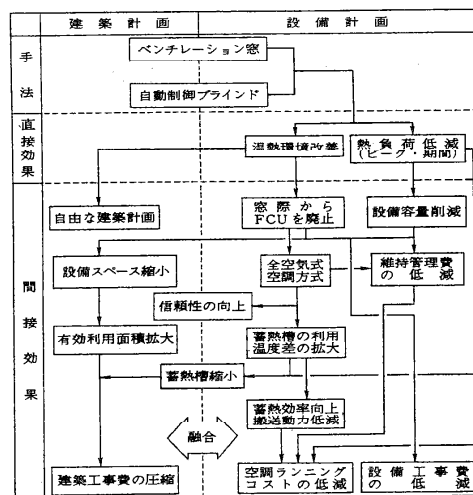


図7 窓のシステム化による波及効果¹⁰⁾

は建物外面への直達入射角[度], F_s と F_g は建物外面が天空および地面をみる形態係数, ρ は地面アルベードである。建物外面の傾斜角 θ [度], 方位角 μ [度], 太陽高度 h [度], 太陽方位角 α [度] のとき, 建物外面への直達入射角 i は次式となる。

$$\cos i = \sin h \cos \theta + \cos h \sin \theta \cos(\alpha - \mu)$$

また, DN, SH, THの間には次の関係がある。ただし, DHは水平面の直達日射量[W/m²]である。

$$TH = DN \cdot \sin h + SH = DH + SH$$

したがって, ある時刻のTHが与えられれば, これを何らかの方法でDHとSHに分離することにより, 任意の建物外面に入射する日射量 I を求めることができる。幸い, わが国の気象官署ではTHの観測が広く実施されている。このTHを指向性の強い直達成分DHと拡散性の高い天空成分SHに分離する問題を直散分離という。しかし, 分離に際しては太陽近傍の放射輝度の高い天空部分の取り扱いが問題になる¹³⁾。分離された天空成分が一様とみなせない場合は, 天空の放射輝度分布を考慮したモデルが必要となり, そのモデルは水平面での分離方法と整合性がなければならない。また, 建物外面に庇などがある場合は, D, S, Rをそれぞれ修正する必要がある。

一方, 建物の外面に入射する長波放射量 J [W/m²] は次式で近似される。

$$J = A + G$$

ここで, Aは大気, Gは地物からの各放射量[W/m²]である。いずれも拡散性が高く, 地物が外気温度 T_o [K] に等しい完全黒体と仮定すれば, それぞれ次式となる。

$$A = AH \cdot F_s$$

$$G = \sigma T_o^4 \cdot F_g$$

ここで, AHは水平面の大気放射量[W/m²], σ はステファン・ボルツマン定数である。わが国の気象官署では一般にAHは観測されていないが, 全天候型放射収支計と全天日射計を併用すれば測定できるし, 外気水蒸気圧, 外気温度, 雲量から推定することも可能である。また, 快晴時の大気放射には高度角特性があるが, 日射に比べればその方向性はあまり問題にならない¹⁴⁾。

5. 建物外面の放射収支

日射量 I と長波放射量 J が入射した場合, 建物外面での放射収支量 N [W/m²] は次式となる。

$$N = a I + \varepsilon (J - \sigma T^4)$$

ここで, a は建物外面の日射吸収率, ε は建物外面の放射率(長波吸収率に等しい), T は外面温度[K]である。上式に J の各成分を代入し, $F_s + F_g = 1$ の関係を用いれば,

$$N = a I + \varepsilon (AH \cdot F_s + \sigma T_o^4 \cdot F_g - \sigma T^4) = a I + \varepsilon \sigma (T_o^4 - T^4) - \varepsilon (\sigma T_o^4 - AH) F_s$$

となる。すなわち, 建物外面の長波放射伝熱は, 外界から入射する長波放射量が一般に不確定なので, まず外気温度に等しい完全黒体放射量が入射するとして建物外面との授受 $\varepsilon \sigma (T_o^4 - T^4)$ を考え, 次に外気温度に等しい完全黒体と大気との授受 $\varepsilon (\sigma T_o^4 - AH) F_s$ を引いて補正するという解釈もできる¹⁵⁾。補正項に含まれる $\sigma T_o^4 - AH$ を夜間放射量 NR [W/m²] と呼ぶ。また,

外気温度に等しい完全黒体と建物外面との授受項 $\varepsilon \sigma (T_0^4 - T^4)$ を $\alpha_r (T_0 - T)$ として線形近似し、これに対流熱伝達項 $\alpha_c (T_0 - T)$ を重ねて $\alpha_o (T_0 - T)$ の形で表現する。ここで、 α_r は放射熱伝達率、 α_c は対流熱伝達率、 α_o は $\alpha_c + \alpha_r$ で定義される総合熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$] である。

結局、水分移動を無視した建物外面での熱収支は次式となる。

$$Q = \alpha_o (T_0 - T) + a I - \varepsilon NR \cdot F_s = \alpha_o \cdot [\{ T_0 + (a I - \varepsilon NR \cdot F_s) / \alpha_o \} - T]$$

ここで、 Q は熱伝導項 [W/m^2] であり、 $\{ \}$ 内を相当外気温度（ただし、摂氏）と呼ぶ。すなわち、建物外面の日射と夜間放射は外気温度を相当外気温度に置換して考慮される。日射を透過する窓ガラスの場合は、相当外気温度を $T_0 - \varepsilon NR \cdot F_s / \alpha_o$ とし、日射の吸収成分と透過成分を日射取得率という概念で別途処理する。

6. おわりに

いただいたテーマは「建物外面の輻射伝熱とその利用」であったが、輻射伝熱もその利用も概要を述べるにとどまった。建築伝熱の特徴として、形態や構成の複雑さ、入力や境界条件の時間的変動、熱と空気と水の複合移動、居住性あるいは快適性などが挙げられるが、とくに日射や大気放射の問題は確定的なモデルで記述するには限界がある。民生用エネルギー消費が確実に伸びてゆくなかで、地球環境問題やエネルギー問題を考えると、風土に根ざした建築の熱環境計画や省エネルギー的な空調設備計画が今後ますます重要になると考える。

引用／参考文献

- 1) 木村建一: 太陽論, 新建築学大系8自然環境, 彰国社, 1984
- 2) Giancarlo Cataldi: Le Ragioni Dell' Abitare, ALINEA, 1988
- 3) 日本建築学会編: 建築設計資料集成1環境, 丸善, 1978
- 4) 瀬尾文彰: 環境建築論序説, 彰国社, 1979
- 5) Vincent Scully; 小玉祐一郎, 秋本望 訳: ソーラー・アーキテクチャの建築的意味/パッシブ・ソーラーとヴァナキュラー, 建築文化, 第38巻第4号(通巻第438号), 1983
- 6) 渡辺俊行: 九州における気候風土と住環境, 九州住宅シンポジウム, 1990
- 7) 田中三彦: 自然を享受する快適空間, SQUARE, Vol. 3, 1991
- 8) 小玉祐一郎, Jeffrey Cook, Simos Yannas 編: 自然エネルギーと建築, プロセス・アーキテクチャ, 第98号, 1991
- 9) 松縄堅: 建築ならびに建築設備における最近の省エネルギー技術, 空気調和・衛生工学, 第61巻第2号, 1987
- 10) 井上隆: 東京電力東村山総合社屋, IBEC, 第12巻第2号(通巻第65号), 1991
- 11) 日野俊之: 太陽熱利用ヒートポンプシステム, 空気調和・衛生工学, 第60巻第1号, 1986
- 12) 山崎均: 日照環境の基礎計算式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1980
- 13) 渡辺俊行, 浦野良美, 林徹夫: 水平面全天日射量の直散分離と傾斜面日射量の推定, 日本建築学会論文報告集, 第330号, 1983
- 14) 浦野良美, 渡辺俊行, 阿波英俊, 高尾直樹: 水平面大気放射量の観測と部材外表面に入射する長波放射量について, 日本建築学会論文報告集, 第330号, 1983
- 15) 渡辺俊行, 浦野良美, 林徹夫: 壁体の大気放射冷却について, 日本建築学会第13回熱シンポジウム, 1983

1. はじめに

熱環境は空気の質と共に快適空間実現のために欠かせない要素であり、近年になって、暖冷房機器メーカーの技術者、あるいは空調システム技術者の間で関心が高まっており、現場における実用的な解析手法に対するニーズが増えつつある。

室内熱環境は、人体側の条件を除けば、気流、気温、湿度および輻射温度によって決定されるため、それらを実用的な精度でシミュレートする必要がある。非等温室内気流を扱った研究は等温室内気流に関する報告と比較するとそれほど多くはないが、最近になって実用的に重要な壁面熱損失あるいは室内温度分布について定量的な検討も報告されるようになった^{[1]~[6]}。しかし、壁面伝熱を評価する際、熱的境界条件を室外に設定した報告例は比較的少ない^{[2][3]}。

以下では、室外気温を与条件とした壁面伝熱の解析手法を中心に、筆者らが開発した室内熱環境解析コードについて簡単に述べ、2、3の解析例を紹介する。

2. 解析手法の概要

2.1 気流解析

室内気流解析では、有限差分法が主流であり、本研究では、圧力修正法^[7]により解析を行っている。差分スキームには一次精度風上差分 (power law^[7])、および傾斜風上差分 (SUDS)^[8] を3次元に拡張したスキームを併用している。乱流モデルには、 $k-\epsilon$ モデルを適用し、壁面境界条件には対数則に基づく壁関数^[9]を用いた。

2.2 壁面伝熱の取扱い法

2.2.1 HMM 本解析コードでは、2種類の解析手法を用いている。1つは、壁体を計算領域に取り込み、固体 (壁体) に接する流体セルの固体側境界における熱伝導率 λ_{int} を調和平均で与える方法であり (図-1)^[10]、HMM (Harmonic Mean Method) と呼ぶことにする。すなわち固体側セルおよび流体セルの熱伝導率を λ_s 、 λ_{fw} とすると、 λ_{int} は

$$\lambda_{int} = \frac{2\lambda_s\lambda_{fw}}{\lambda_s + \lambda_{fw}} \quad (1)$$

で与えられる。式(1)では、固体-流体境界における熱流束は形の上ですべて伝導で移動すると仮定している。したがって、壁面相互の輻射熱交換を無視すると、壁体-流体のインターフェイスでの熱フラックスは

$$q_{int} \equiv -\lambda_{int} \frac{\theta_f - \theta_w}{1/2\delta y} = -\alpha_C(\theta_f - \theta_w) \quad (2)$$

となる。HMMにおいて壁面熱流束を正しく評価するためには、固体に隣接する温度計算セルの定義点における λ_{fw} の設定方法が重要となる。 λ_{fw} は、有効乱流熱伝導率ともいふべき量であり、図-1の点Pから点w間の平均的な値をとると考えられる。しかし、 λ_{fw} の値を解析的に与えることは困

難であるため、適当な方法により推定しなければならない。熱伝達率 α_C の経験値が使用できる場合には、式(2)から次式の形で λ_{fw} の値を推定することが可能である。

$$\beta_0 = \frac{\alpha_C \delta y}{2\lambda_f} \quad (3)$$

ただし、 $\lambda_{fw} = \beta_0 \lambda_f$ であり、 λ_f は流体の熱伝導率である。

HMMは、壁面の乱流伝熱における全ての不確定要素を λ_{fw} (あるいは β_0)で表現してしまおうという、一見粗いモデルではあるが、取扱いが簡便であり、既存の壁面乱流モデルに代わる適当なモデルが確立していない室内気流解析の現状では、 β_0 の推定に経験を蓄積すれば、実用的な手法として有効であると考えられる。

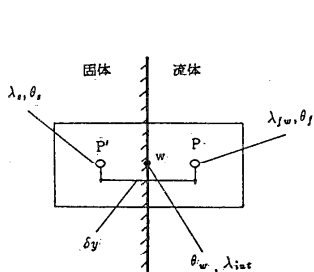


図-1 固体-流体境界における諸量。

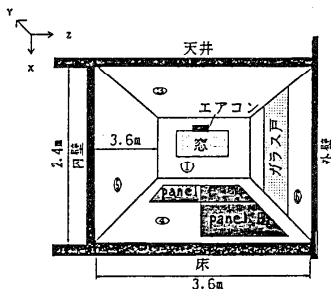


図-2 計算対象室

表 1: PMVと温冷感の対応。

PMV	温冷感
-3	cold
-2	cool
-1	slightly cool
0	neutral
+1	slightly warm
+2	warm
+3	hot

2.2.2 HBM もう1つは、壁体内表面における熱バランスを解いてエネルギー式の境界条件とする手法であり^[11]、HBM(Heat Balance equation Method)と呼ぶことにする。HBMの概要は以下の通りである。

外気から室内に至る壁体伝熱に1次元熱伝導を仮定すると、壁体内表面において以下の熱バランス式が成立する。

$$q_C + q_R + q_L + q_P = 0 \quad (4)$$

ただし、 q_C は室内空気から壁面へ伝達される対流熱流束、 q_R は壁面相互放射交換により壁面が受け取る熱流束、 q_L は外気から壁体内表面への伝導熱流束、 q_P はパネル暖冷房等による壁体内表面での発熱である。 q_C, q_R, q_L は、壁面に流入する熱流を正として以下のように表せる。

$$q_C = \alpha_C(\theta_a - \theta_w), q_R = \varepsilon\sigma(T_{mrt}^4 - T_w^4), q_L = R_w(\theta_o - \theta_w) \quad (5)$$

ここに、 θ_w 、 T_w は壁体内表面温度、 α_C は対流熱伝達率、 θ_a は気流温度、 ε は壁面の射出率、 T_{mrt} は壁面の平均放射温度、 R_w は壁体の熱抵抗(壁体外表面熱抵抗 α_o を含む)、 θ_o は室外気温である。なお、各種温度の表記において、摂氏の値は θ で、また絶対温度は T で表わすものとする。定常解析では、式(4)を解いて θ_w を求めエネルギー式の境界条件として反復計算を行う。本手法は、HMMよりは汎用的な手法であり広範な応用が可能であるが、 α_C 、 α_o の与え方、代表温度 θ_a の選び方などに不確定な要素が残る。後で述べる計算例では、 α_C には壁関数を適用して解析的に求め、 α_o には経験値を使用している。

2.2.3 壁面相互輻射の解析 式(5)第2式により壁面のある点における輻射熱流束を計算する場合に、その点における平均輻射温度 T_{mrt} を知る必要がある。ここで、空間を取り囲む壁体を輻射解析のための微小面要素に分割し、それぞれの面要素あるいは面要素に関する諸量は添え字 i, j を付して区別するものとする、面要素 i における平均輻射温度 T_{mrt} は次式で表せる。

$$T_{mrt,i}^4 = \sum_j B_{ij} T_{w_j}^4 \quad (6)$$

B_{ij} は Gebhart の吸収係数であり、 B_{ij} を求めるために必要な面要素の形態係数 F_{ij} の算出には、放射熱線法を用いた^[12]。

2.2.4 壁面過度応答解析^[13] 非定常現象の解析は、暖冷房機器の立ち上がり特性解析、あるいはシステムの制御特性を検討する場合等において重要である。HMM では、非定常解析のための変更は不要であるが、HBM を用いる場合は、非定常解析の際、式(4)における q_L を壁体非定常熱伝を考慮した形で与える必要がある。ここでは、筆者らが基本的な検討を行った3種の解析法について簡単に述べる^[13]。

手法1は、壁体内表面熱流の過度応答を半無限固体の1次元非定常熱伝導と仮定することにより、時刻 $t = t_{n-1}$ から $t = t_n$ 間の非定常熱伝導は、近似的に $t = t_{n-1}$ における温度分布による定常熱伝導と、 $\Delta\theta = \theta_w^n - \theta_w^{n-1}$ を励振とするインディシャル応答の重ね合わせで表せると考えて解析的に非定常熱流を求め、式(4)の q_L に使用する。

手法2は、空調熱負荷の動的計算法で使用されている壁体の応答係数(レスポンスファクタ)^[14]を利用する手法である。いま、壁体の吸熱応答係数を X_j とし、 X_j の第 N 項以降は公比 ρ を用いて $X_{j+1} = \rho X_j$ と表せると仮定すると、時刻 n における熱流 q_n は

$$q_n = \sum_{j=0}^{N-1} \theta_{n-j} X_j + X_N \sum_{j=N}^{\infty} \theta_{n-j} \rho^{j-N} \quad (7)$$

で与えられる。この方法では式(4)の q_L の代わりに q_n を使用すればよい。

手法3は、各時間ステップ毎に壁体内熱伝導の基礎式を離散化し、数値的に解いて式(4)の q_L を求める。内外表面における温度勾配は2次精度の差分式で近似した。

2.3 熱環境評価指標

熱的快適性を支配する因子は、気温、気流速、湿度、輻射温度および人体側の量として着衣量と代謝量の6要素である。これらの要素全てを組み込んだ快適性評価指標として、 PMV (Predicted Mean Vote)^[15]、あるいは新有効温度(New Effective Temperature)ET*^[16]等がよく用いられている。本計算コードでも種々の目的に応じた熱環境評価を可能とするために、 PMV の空間分布の計算可能としている。ある点の PMV を求めるためには、その点における人体モデルと周囲壁体間の平均輻射温度 $T_{mrt,o}$ が必要であり、上述の放射熱線法により F_{oj} を求め、 B_{oj} を計算した。人体モデルには微小球を仮定した。表-1に PMV と温熱感との対応を示す。

3. 解析結果

3.1 計算手法の検証

予測精度の概要を確認する目的で、図-2 に示す和室 8 畳間の 1/2 サイズの模型室による実験を行い、解析結果と比較した。模型室壁体は、壁面 No.1 および No.6 の窓ガラス相当部分は厚さ 3mm、その他の壁体は全て厚さ 15mm のアクリル平板である。室内気温は、中央断面 ($z=0.9\text{m}$) 内を中心に合計 130 点で、また壁体内外表面温度は合計 148 点において測定した。気流速は、中央断面において、垂直方向に 6 点、合計 54 点で測定した。

解析結果との比較を表-2、図-3 に示す。エアコン吹出し条件は、気流速 $V_{in} = 4.2\text{m/s}$, $\theta_{in} = 38^\circ\text{C}$ で、鉛直下方に対して 30° の方向に吹出している。計算メッシュ分割数は、 $21 \times 23 \times 19$ である。表-2 において、run-1 は HMM、run-2、run3 は HBM コードによる計算結果であり、壁体外表面温度の測定値を境界条件とした。 θ_m は室内平均気温、 θ_{ret} は吸込み温度、 Q_{in} は投入熱量、 Q_L は $\sum QL$ である。図-3 には、速度および温度分布の比較を示した。run-3 の室内平均気温 θ_m が run-1 と比較して 2°C 高めに予測されていることを考慮すると、HMM、HBM 共にほぼ妥当な予測結果となっていることがわかる。

表 2: 計算結果と実験結果の比較.

Run No.	計算コード	差分スキーム	θ_m [$^\circ\text{C}$]	θ_{ret} [$^\circ\text{C}$]	Q_{in} [W]	Q_L [W]
run1	HMM	SUDS	16.6	16.3	911	893
run2	HBM	power law	17.8	17.9	802	827
run3	HBM	SUDS	18.6	18.3	828	849
実験	—	—	16.7	16.5	910	859

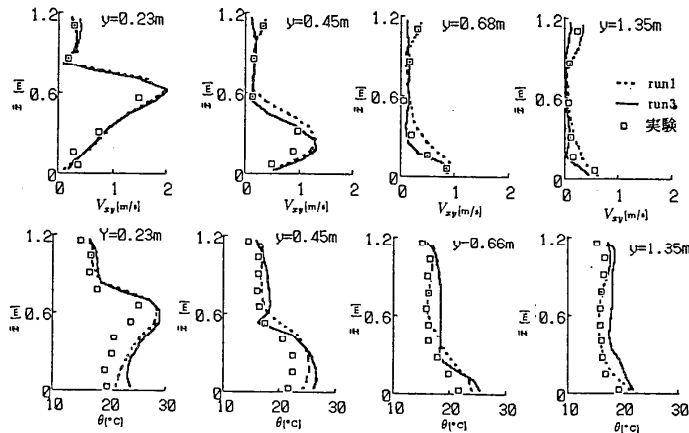


図-3 計算値と実験値の比較 (上:速度分布、下:温度分布)

3.2 暖房方式の比較

図-2 に示した戸建て住宅の和室 8 畳を対象に、暖房方式を比較した結果について以下に述べる。暖房システムは、エアコンによる温風暖房と輻射パネル暖房を想定し、パネルの位置をパラメータとして以下の 5 ケースについて比較した。計算は、HBM コードを用い、メッシュ分割数は 3.1 と同じである。

- case1 : エアコン暖房 $\theta_{in} = 36^\circ\text{C}$, $V_{in} = 4.3\text{m/s}$ 、吹き出し角度 30°
- case2 : パネル暖房 A (床全面)
- case3 : パネル暖房 B (床半面、ガラス戸側)
- case4 : パネル暖房 C (床半面、窓側)
- case5 : パネル暖房 D (天井全面, power law)

使用した差分スキームは case5 が power law, その他のケースは SUDES である。

熱環境を評価する場合、輻射環境の影響が重要であり、特に輻射パネルを用いている場合には、輻射温度が熱的快適性に及ぼす効果は大きく、気温のみによる比較は無意味となる^[17]。本ケーススタディでは、システムの投入熱量を一定とし、このときに実現される熱環境を PMV を用いて比較検討した。パネルの投入熱量は、case2,5 では $q_P \approx 100[\text{W}/\text{m}^2]$ 、case3,4 ではその 2 倍とし、case1 では投入熱量がパネルの場合とほぼ等しくなるように、 θ_{in} , V_{in} を調節した。

解析結果の主要な数値を表-3 に示す。 Q_P はパネルの全投入熱量、 $Q_{L,P}$ はパネル裏側からの損失熱量、 PMV_{oz} は居住域 (床面からの距離 $\bar{x} = 0.4 \sim 1.5\text{m}$ とした) における PMV の平均値である。輻射暖房の場合には、かなり低い気温で対流暖房と同等の熱環境となっている。このような解析を行うことにより室内熱環境と必要エネルギー量に関する厳密な検討が可能と考えられる。各ケースにおける PMV の空間分布を図-4 に示す。

表 3: 暖房方式の比較.

caseNo.	Q_{in} [W]	Q_P [W]	θ_m [°C]	Q_L [W]	$Q_{L,P}$ [W]	PMV_{oz} [-]
1	1318	-	27.5	1331	-	0.86
2	-	1324	24.5	1033	284	0.63
3	-	1324	24.5	1112	192	0.61
4	-	1324	24.8	1123	195	0.68
5	-	1324	21.9	937	387	0.42

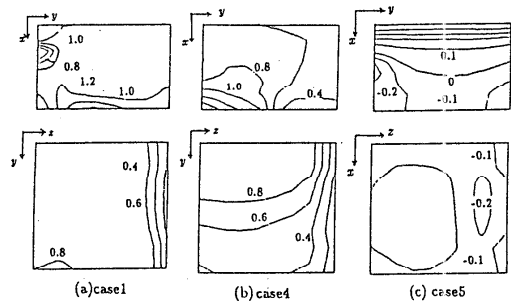


図-4 : PMV の空間分布 (上: $x-y$ 面, $z = 1.6\text{m}$, 下: $y-z$ 面, 床上 0.8m)

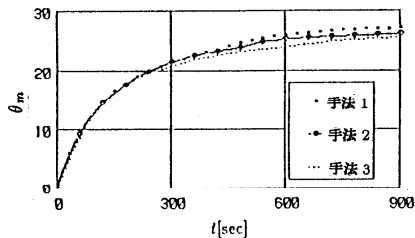


図-5 立上がり解析 (エアコン暖房)

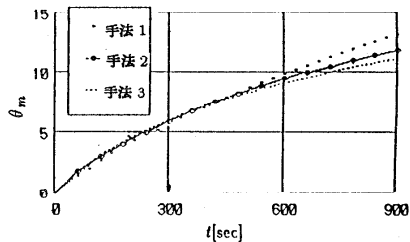


図-6 立上がり解析 (パネル暖房)

3.3 非定常解析手法の比較

図-3 に示した部屋のエアコンを含む中央断面を想定した2次元室を対象として、2.2.4 で述べた解析手法を比較した。図-5 は、対流暖房で吹出し条件は $V_{in} = 2\text{m/s}$, $\theta_{in} = 31^\circ\text{C}$ 、図-6 は、床パネル暖房で投入熱量は $Q_P = 558\text{W}$ で、何れもタイムステップ $\Delta t = 1$ 分、 $N = 6$ とした立ち上がり解析結果である。計算メッシュ分割数は、 27×36 で、HBM コードを用いている。立ち上がりから数分間は3手法の差はみられないが、それ以降手法1が手法2,3に比べて応答が若干速くなっている。これは、時間の経過と共に手法1の仮定が成立しにくくなり、 q_L を過小に評価するためと考えられる。

4. まとめ

室外気温を与条件として室内の熱環境を予測する場合、壁面熱伝達の評価法が、定量的に妥当な予測が可能か否かの要点であることは明かであるが、室内気流の特殊性から壁面に沿う流れの性質が曖昧であるため、室内気流解析に適切なモデルやデータが見あたらないか、あるいは計算コストや計算容量の点で実用的でない場合が多い。HMM は、これらの点を考慮して開発した手法であり、輻射伝熱の影響が少ない対流暖房時には、実用的に許容し得る精度の予測が可能であるが、 β_0 (式(3)) 推定に関する経験の蓄積が課題である。HBM は、より一般的な手法であり、広範な応用が可能と考えられるが、壁面熱損失をやや過小に評価する傾向があり、壁関数の適用法に検討の余地が残されている。これらの壁面熱伝達解析手法の詳細な検討のためには、実験データとの比較検討が不可欠であり、輻射暖房や過度応答の場合も含めて精度のよい実験データを整備することも今後の課題である。

PMVやET*等の評価指標は人体が一樣な熱環境に置かれた場合の温熱感を与えるため、空間的に分布が形成されている場合、人体が実際に感じる温熱感との対応が問題となる。3.2に示したPMVの計算例では、このような点も考慮して実際的な応用法を検討する必要がある。

なお、3.1で述べた実験を行うに当たり、株式会社東芝富士工場開発技術部にご協力頂いたことを付記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Holmes M.J., Lam J. et al. : Proc. 2nd Int. Conference RoomVent'90, Oslo, Norway, 1990, A-19.
- [2] 堤, 浦野 他 : 日本建築学会大会梗概集, 1984, p.245.
- [3] 貝塚, 岩本 : 空気調和・衛生工学会論文集, No.38, 1988, p.67.
- [4] 佐藤, 村上 他 : 日本建築学会大会梗概集, 1989, p.1023.
- [5] 村上, 加藤 他 : 同上, 1990, p.479.
- [6] 久保, 倉淵 他 : 同上, 1991, p.503.
- [7] Patankar S.V. : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, 1980.
- [8] Raithby G.D. : Computer Methods in Applied Mech. and Engng., 9, 1976, p.153.
- [9] Khalil E.E. : Numer. Methods Laminar Turbulent Flow, 1982, p.363.
- [10] 大西, 内藤 : 空気調和・衛生工学会講演論文集, 1986, p.537.
- [11] Onishi J., Kurimura M. et al. : Proc. 2nd Int. Conference RoomVent'90, Oslo, Norway, 1990, A-6.
- [12] 竹谷, 大西 他 : 空気調和・衛生工学会講演論文集, 1990, p.1161.
- [13] 大西, 竹谷 他 : 同上, 1991, p.885.
- [14] 松尾, 横山 他 : 空調設備の動的熱負荷計算入門, 日本設備士協会, 1980.
- [15] Fanger, P.O. : Thermal Comfort, Robert E Krieger Publishing, 1982.
- [16] Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. et al. : ASHRAE Trans, Vol.77, 1971, p.247.
- [17] 佐竹, 大西 他 : 空気調和・衛生工学会近畿支部講演論文集, 1989, p.139.

室内温熱環境の放射場・対流場の連成問題の解析

村上周三（東京大学生産技術研究所）

1 空調時の室内における温熱空気環境の構成

我々が日常生活を営んでいる室内の温熱空気環境の概念的構成図を図1に示す。このモデルに示されるように温熱環境は次に示すようなさまざまな要素により構成されている。

1. 吹き出し、吸い込み空気（暖冷房、換気のため）
2. 対流、放射（壁面・窓面等を通じての、熱の流入又は流出）
3. 直達日射、天空日射
4. 漏気（隙間を通して）
5. 内部発熱（人体、照明、事務機器等より）

暖房の場合には流出熱を、冷房の場合には流入熱をそれぞれ暖房負荷、冷房負荷と呼び、四季を通じてこれらを適切に制御し、室内を快適な温熱空気環境に保つことが空気調和の目的である。

室内の温度分布や放射場分布には、さまざまな不均一が生じがちである。自然に形成される温度分布は、一般には床面付近が冷く天井面付近が暖く、いわゆる“頭寒足熱”の逆になりがちである。従って、快適な環境を形成するためには熱放射や空気流を人為的に制御することが必要であり、本稿で示す放射場、対流場の連成問題の解析^(1,4)はそれらの基礎となるものである。このような高度の解析手法は、最近の乱流数値解析手法の援用によりはじめて可能になったものである。

2 連成シミュレーションの必要性とその構造

通常の室内の熱輸送においては、対流成分、放射成分のいずれも無視できない。すなわち、合理的な暖冷房のためには室内空間における対流場と放射場の両者の連成シミュレーションが必要とされる。^(1,2)

対流場、放射場の連成問題では、室内の壁面温は式(3)に示すように、壁面上での対流及び伝熱研究 Vol. 31, No. 121

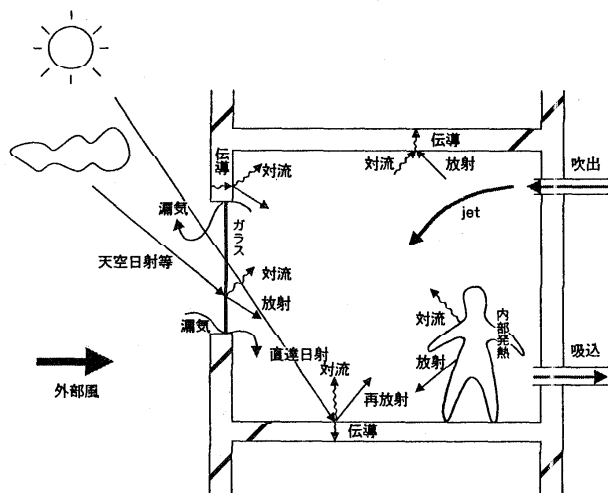


図1 室内の温熱空気環境の構成概念図

放射熱伝達、並びに壁体からの熱伝導の三者の平衡条件により定まる。すなわち三者は、壁表面温度を介して相互に大きな影響を及ぼしあう。そのため、精度の高い連成シミュレーションを行なうためには、三者いずれのシミュレーションもその予測精度が充分満足できるレベルであることが重要となる。

室内壁面温と空気温が異なる場合、壁近傍では密度差による自然対流が生じる。室内の流れ場では、この浮力による自然対流の効果は、吹出噴流及びその誘引流等による強制対流に比べ無視できないことが多い。しかしながら、自然対流、強制対流が混在する複雑な閉鎖空間内の流れ場における壁表面からの対流熱伝達の解析を充分な精度で行なうには、未だ多くの検討されるべき点が残されている。このため現状では閉鎖空間内の放射場、対流場の連成シミュレーションでは、特にこの対流熱伝達シミュレーションの取扱に注意が必要となる。^{(1), (3)}

ここでは、図2に示すように天井面を冷却し、かつ冷風を吹出す冷房時の居室を題材として、壁間放射熱伝達を連成させた

室内の流れ場、温度場のシミュレーション結果を実験結果と対応させながら紹介する。

3 連成シミュレーション手法の概要

3.1 非等温乱流場のシミュレーション

流れ場の解析では密度差による浮力効果を考慮する必要がある。ただし通常、空調時の室内の温度差はそれ程大きくないので、非圧縮性のビジネス流体を仮定して解析を行う。しかしながら、室内の温度差の範囲内でも浮力効果は十分に大きく、しばしば浮力による乱れの非等方向性が顕著となる。また、暖房時の大弁近くの流れ場は強安走となって乱れが小さくなり、fully-turbulentの条件を仮

表1 k-εモデル基礎式(非等温場、3次元)

(k-方程式)	$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + G_k - \epsilon$	①
(ε-方程式)	$\frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu_i}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k + C_{\epsilon 3} G_k - C_{\epsilon 2} \epsilon)$	②
(θ-方程式)	$\frac{D\theta}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right]$	③
	$P_k = \nu_i \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j}$ ④	$G_k = g_i \cdot \beta \cdot \frac{\nu_i}{\sigma_s} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \cdot \delta_{is}$ ⑤
	C _{ε1} :1.44 C _{ε2} :1.92 C _{ε3} はG _k >0の場合1.44, G _k ≤0の場合0.0, σ _k :1.0 σ _ε :1.3 σ _θ :1.0 C _μ :0.09 g _s :-9.8(m/s ²)	

注 上式②のC_{ε3}の取り扱いはいはP.L.Viollet⁽⁶⁾の提案に基づく。

表2 対流、放射解析の境界条件

吹出	U _{in} =測定値(図2参照) k _{in} =1/2·(U _{in} ×0.1) ² ℓ _{in} =0.05m ε _{in} =C _ε ·k _{in} ^{3/2} /ℓ _{in} (C _ε =0.09) θ _{in} =測定値(図2参照)
吸込	U _{out} =測定値 k, ε, θ等のスカラー量はフリースリップ
壁面(速度)	一般化対数則 ⁽⁵⁾ 壁面上のシアストレス(壁面せん断応力τ _w)は②式で、壁面速度勾配は③式、k-方程式中の壁面第一セルのε(ε ₁)は④式、ε-方程式中の壁面第一セルのε(ε ₁)は④式で計算する。 $\frac{(U)}{(u_n u_i)} (C_\mu^{1/2} \cdot k)^{1/2} = \frac{1}{\kappa} \ell_n \left[\frac{E \cdot h (C_\mu^{1/2} \cdot k)^{1/2}}{\nu} \right] \dots \textcircled{a}$ $\left\{ (\nu + \nu_i) \cdot \frac{\partial U_i}{\partial x_n} \right\}_{x_n=0} = (-u_n u_i) \dots \textcircled{b}$ $\bar{\epsilon} = \frac{C_\mu^{3/4} \cdot k^{3/2}}{\kappa \cdot h} \ell_n \left[\frac{E \cdot h \cdot (C_\mu^{1/2} \cdot k)^{1/2}}{\nu} \right] \dots \textcircled{c} \quad \epsilon_1 = \frac{C_\mu^{3/4} \cdot k^{3/2}}{\kappa \cdot h} \dots \textcircled{d}$ 添え字tは接線方向を、nは法線方向、inは流入、outは流出を示す。 hは壁から第1セルのスカラー定義点までの距離。κ=0.4、C _μ =0.09 E=9.0、ν=0.000015
壁面(温度熱流)	各壁面要素i面で次の熱平衡式を気流計算の各ステップ毎に解く。 q _{rad} ⁱⁿ +q _{rad} ^{out} +q _{conv} ⁱⁿ =0 ⑥(流入を正、流出を負) ⑥式中の各項は q _{rad} ⁱⁿ =α _c (θ _w ⁱⁿ -θ _w ⁱⁿ) ⑦ q _{rad} ^{out} =-4T _m ³ ·σ·ε _i ∑B _{j1} (θ _w ⁱⁿ -θ _w ⁱⁿ) ⁴ ⑧ q _{conv} ⁱⁿ は既知として与えた。壁面温度θ _w ⁱⁿ は⑥~⑧式より求める。 対流熱伝達率α _c はケ-λAでは窓面・外壁面で7.0(kcal/m ² ·h·°C)、その他は4.0。ケ-λBでは窓面・外壁面で6.0その他は4.0。 T _m は平均絶対温度(300°K)。B _{j1} はGebhartの吸収係数、σはステファンボルツマン定数、ε _i はi面の放射係数(本報では全壁面で0.95)。 なお、計算の安定化のためq _{rad} の項中のθ _w は前時点の値を用いた。

定することが困難となる場合も生じる。このため、等方的な渦粘性を仮定する標準k-εモデルによるシミュレーションは、この種の流れ場ではその予測精度が低下する危険性があることに留意する必要がある。ここでは、浮力による乱れ性状への影響の存在する流れ場で、その工学的精度が実験と比較検証されているViollet型のk-εモデル(表1)^(6,7)を用いている。表2に用いた境界条件を示す。室内気流に対してASM(代数応力モデル)やLarge Eddy Simulationを適用した事例については、文献13,14等を参照されたい。

3.2 壁面对流熱伝達の取り扱い

前述したように壁面近傍の温度境界層における流れ場、温度場のシミュレーションの精度は、対流場、放射場の連成シミュレーション全体の精度に大きく影響するため特に注意が必要となる。

対数速度分布、及びヒートフラックスに関するレイノルズアナロジーに基づく壁関数型の対流熱伝達に関する境界条件が、円管流などの強制対流時の場合と同様に室内の解析においても用いられることがある⁽¹⁾。しかし室内の流れ場では、対流熱伝達に関するこのタイプの境界条件をチューニングして、実験結果に対応するような結果を得るためには、その乱流プラントル数などをかなり大きく変化させる必要がある。現状ではこの乱流プラントル数の適切な値等に関して不明な点も多く、これら対数則型の壁関数をそのまま強制対流の場合と同じように用いることには困難な点が多い。^(3,4)

精度の高い壁面の対流熱伝達シミュレーションを行なうには、低Re数型の乱流モデルを用いて壁面近傍の境界層流を充分細い差分格子により解析することが最も適切と考えられる。⁽⁶⁾しかし、熱輸送を連立させた低Re型の乱流モデルの開発⁽⁹⁾は未だ多くの検討の余地を残しているし、また室内の3次元解析の場合、低Re数型モデルを適用するのに充分な細いメッシュ分割を施すことは現状では一般に困難である。

従ってここでは、このような低Re数型の精巧な対流熱伝達シミュレーションを行うことを避け、境界条件として式(1)に示すような慣用的に用いられている対流熱伝達率 α_c に基づく壁関数により対流熱伝達量 q_{cv} を表わした場合のシミュレーション結果を示す。対数則型の壁関数の適用例に関しては文献1を参照されたい。シミュレーションで用いた α_c は、壁面、天井面等、それぞれの各面で一定値とし、実験と対応するように最適化している。その値は結果的に空調設備工学で慣用的に用いられる値(4kcal/m²h°C前後の値)と良く対応している。

$$q_{cv} = -\alpha_c (\theta_{wi} - \theta_{ai}) \quad (1)$$

(1)式で θ_{wi} は壁面温、 θ_{ai} は壁近傍の空気温を表す。ただし θ_{ai} の定義位置(例えば差分の壁面第1セルの位置とするか、より離れた場所の平均温度にするか等)により、 α_c の最適値は変化するので注意が必要である。例えば θ_{ai} が壁面温度境界層の内側で定義された場合、 α_c の最適値は θ_{ai} の境界層内の相対位置により大きく変化する。逆に、 θ_{ai} がこの温度境界層のすぐ外側

伝熱研究 Vol. 31, No. 121

で定義されれば、 α_{ci} の代表性は高くなると思われる。しかし、壁面、天井面近くの流れの性状は場所により異なるので、多くの壁面に対して、1つの代表性の高い θ_w を定めることは容易ではない。今回は、壁面第1セルの温度を θ_w として用いているが、上記のような意味で今回の α_{ci} の最適化は、今回のシミュレーションで用いた差分分割を前提とする最適化となっている。⁽⁴⁾ この場合、第1セルの壁関数 $\gamma^+ = u^* y/\nu$ の値は15~20程度の所が多い。

3.3 壁間相互放射のシミュレーション

閉鎖空間内の壁面間の放射熱授受は、直接的な放射熱伝達のほかに他の壁面を経由する間接的な放射熱伝達も考慮する必要がある。放射場の計算方法には各種のものがあるが、ここではGebhartの吸収係数法による計算法を用いた例を示す。^(11, 2, 1) 筆者らはモンテカルロ法に基づく放射場解析も行っているが、これについては文献10, 12を参照されたい。吸収係数を用いると固体面 w_i の間接放射も考慮した実質放射熱伝達量 q_{Ri} は次式となる。

$$q_{Ri} = -\sigma \cdot \epsilon_i \sum B_{ij} \cdot (\theta_{wi}^4 - \theta_{wj}^4) \quad (2)$$

但し、 B_{ij} は吸収係数、 ϵ_i は w_i 面の放射係数。 B_{ij} は、面間平均形態係数及び、各面の放射係数から算出される。

3.4 壁面温度の算出

壁面温度は壁面の各点における伝導熱 q_{cdi} 、放射熱伝達 q_{Ri} 、対流熱伝達 q_{cvi} の熱平衡（熱量保存則）により定まる。

$$q_{cdi} + q_{Ri} + q_{cvi} = 0 \quad (3)$$

表2に、これらの計算条件を流体シミュレーションの境界条件とともにまとめて示す。今回の解析では、各壁面の q_{cd} は

- 1) 熱フラックスを与えられる場合（外壁面、窓面と天井冷却面）と
 - 2) 断熱面（その他の壁面）
- のいずれかである。

4 実験並びにシミュレーションの対象空間
対象空間の概略を図2に示す。この居室モデルでは、右側壁面に冷房用の

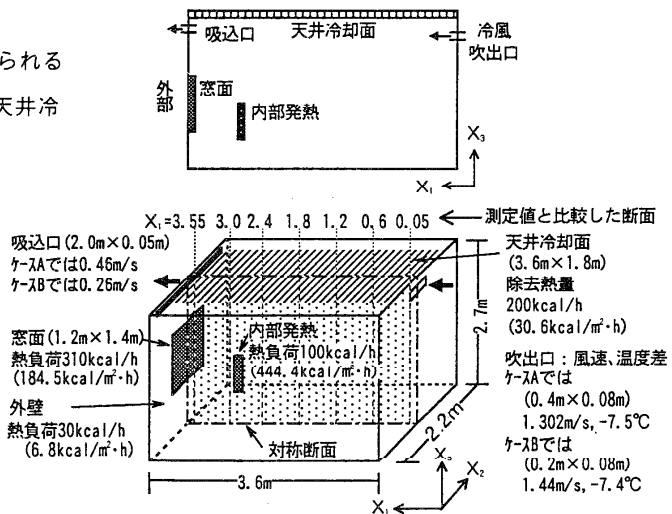


図2 実験、及び計算対象空間
(ここに示す測定値は実験による)

吹出口を持ち天井面に冷房用の冷却パネルを設置している。筆者らはこれを放射パネル冷房併用空調方式と呼んでいる。対流、放射連成シミュレーション

表3 実験・計算の空調条件（冷房）

実験・計算ケース		冷房負荷 (kcal/h)	放射パネル	吹出空気 (kcal/h)		
			負担熱量 (kcal/h)	吹出吸込 温度差(°C)	風量 (m ³ /h)	負担熱量 (kcal/h)
ケース A	天井面を冷却しない 場合(全空気式冷房)	440	0	10.0	150	440
ケース B	天井面を冷却する 場合(併用式冷房)	440	200	10.0	83	240

の対象として極めて適切な空間である。空間は幅2.2m、奥行3.6m、高さ2.7mの閉空間である。左側の壁面、窓面は外気に面しており冷房時には室内側に日射等による貫流熱負荷がある。他の三壁面、及び床面は他室に接しており、熱的に遮断されている。天井部には冷却パネルが設置されるが、断熱条件を課すことも可能としている。室内には人体、機器等による他に内部発熱がある。内部発熱は、対流成分のみで、放射熱伝達成分はないものと仮定する。

このような室内モデルについて、実験用模型を実大スケールで作成し、図2、表3に示すケースA,Bの2つの空調条件で、室内の気流、空気温度、並びに壁表面温度を測定し、シミュレーション結果と比較する。⁽⁴⁾ シミュレーションは当然実験に対応する境界条件の下で行われる。

5 シミュレーション結果

天井面を冷却パネルで冷やさないケースAの場合(全空気式冷房)と、冷却するケースBの場合(併用式冷房)の2ケースについて、検討結果を示す。

5.1 天井面を冷却しない場合（ケースA）

(1)流れ場、温度場の概要

実験結果、シミュレーション結果を図3、4に示す。温度は床上1mを基準面とし、その平均温度からの偏差を示している（すなわち基準面の平均温度を0°Cとして表示している）。図3(a)、図4(b)に示されるように、左側窓面から室内への熱流入により窓近傍及び窓上部（図中左上）は高温域となっている。吹出気流（冷風）はこの高温域にぶつかり、負の浮力を受け急速に下降する。室内全体を見ると、窓部で生ずる上昇気流による循環流と吹出気流及びこれに誘引される流れによる大きな循環流の二つが生じている。図3(b)、図4(c)～(f)に示されるように、壁面温度に関しては、窓部からの熱貫流によって窓面近傍の壁面温度は高くなっている。

(2)シミュレーションと実験の比較

気流分布のパターンは、図4(a)に示される通りで、この結果は図3(a)に示す実験とほぼ対応した結果を示す。シミュレーション結果には窓近傍での熱上昇流の発生が良く示されており、この影響で窓上部に高温の循環流部が見られる。また吹出噴流は、高温の循環流及び浮力の影響で急速に下降している。空気温度の分布に関しては、全体的に図3(a)、図4(b)に示されるシミュレーション結果は図3(a)の実験結果と良く対応する。壁面温度に関しては全体的に図4(c)～(f)に示されるシミュレーション結果は、図3(b)の実験結果とある程度対応している。しかし窓面温度がシミュレーション結果の方が実験結果より多少低く、また他の壁面ではシミュレーション伝熱研究 Vol. 31, No. 121

の方が多少高くなっている。これは、このシミュレーションでは壁面対流熱伝達率 α_c のチューニングがまだ十分でなく、窓面で多少大きく（ここでは $\alpha_c = 7.0$ ）、他の壁面では多少小さい（窓面以外の壁面で $\alpha_c = 4.0$ ）ためであると考えられる。

(3) 発熱面（左側の窓、外壁面）からの熱伝達

左側の窓、外壁面から室内に侵入する伝熱量の内訳を図7に示す。窓面、外壁面（図2の左側壁面）で与えられた伝導による

流入熱 q_{cb} は対流熱流束成分 q_{cv} と放射熱流束成分 q_r に分離されて室内に流入する。対流熱流束成分 q_{cv} は放射熱流束成分 q_r に比べ多少大きい程度である。即ち窓面からの取得熱の内、ほぼ半分がその面で空気に熱伝達され、残りの半分は放射熱伝達により室内の各壁面に熱輸送されて各壁面温を上昇させ、そこから最終的に空気に熱伝達されている。このような構造的な解析は、連成シミュレーションにより、はじめて可能となったものである。

この熱の流入する壁面における対流熱伝達量の大小は室内の流れ場、温度場に以下の影響を与える。窓面からの対流熱伝達量が大きい場合、放射熱伝達量は相対的に小さくなる。窓面から窓近傍空気への熱伝達量がかさいため窓面表面温度は相対的に低下し、窓近傍空気の温度は上昇する。そのため窓近傍での熱上昇流は大きくなる。これは吹出空気の下流の度合い等にも影響を与え、また、室内全域の気流性状にも影響する。この場合、窓面からの放射熱伝達量は

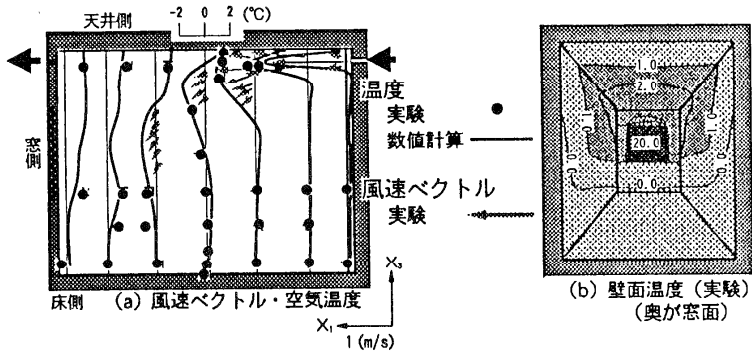


図3 天井面を冷却しない場合(ケースA)の実験・計算結果
(床上1mの基準面を0°Cとして表示)

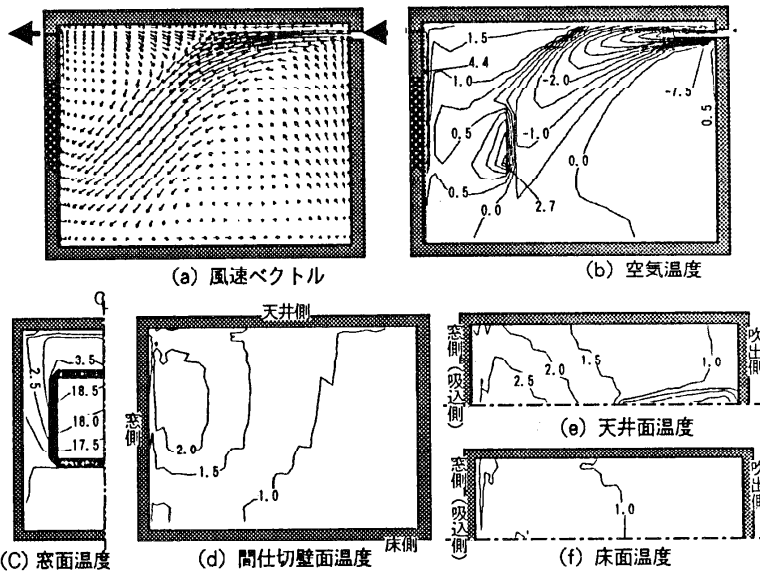


図4 天井を冷却しない場合(ケースA)の計算結果
(床上1mの基準面を0°Cとして表示)

小さくなるので、窓から放射を受ける天井等の壁表面温の上昇は小さい。ところで、対流熱伝達量は壁面温と空気温の差に比例する。窓面の対流が活発になり、窓表面温度が下降し壁面近傍の室内空気温度が上昇すれば両者の温度差が小さくなるため対流熱伝達量は小さくなる。このメカニズムが負のフィードバックとして作用するので、壁面からの対流熱伝達が際限なく上昇するのを抑制する。

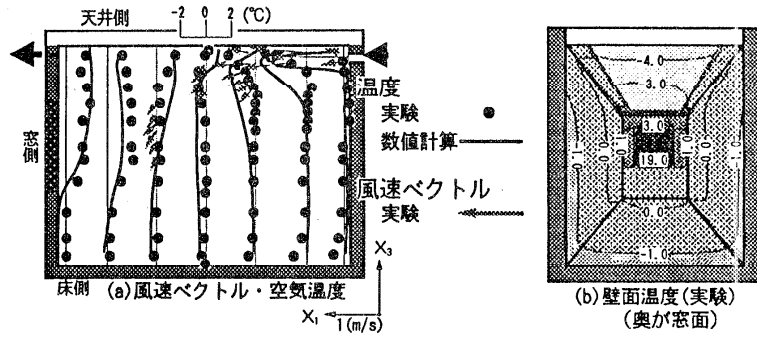


図5 天井を冷却した場合(ケースD)の実験・計算結果

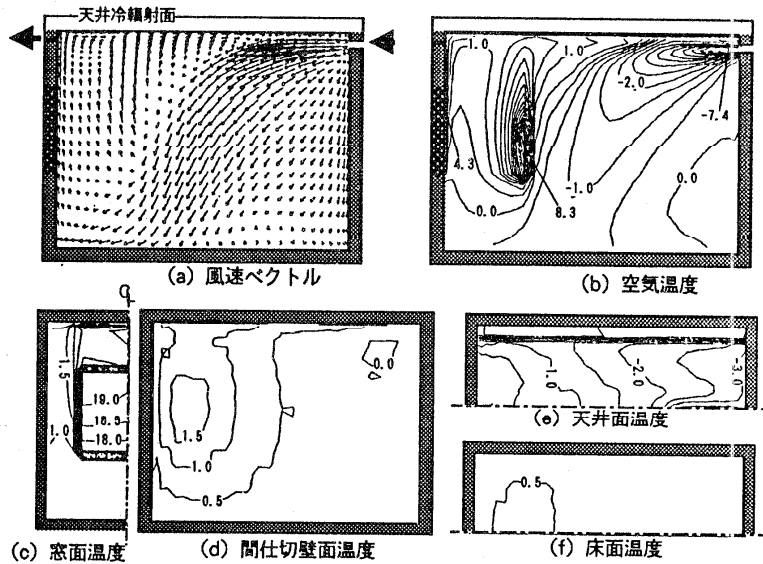


図6 天井面を冷却した場合(ケースB)の計算結果

5.2 天井を冷却した場合(ケースB)

(1) 流れ場、温度場の概要

シミュレーション結果、実験結果を図5.6に示す。天井面を冷却する場合、冷房負荷の約

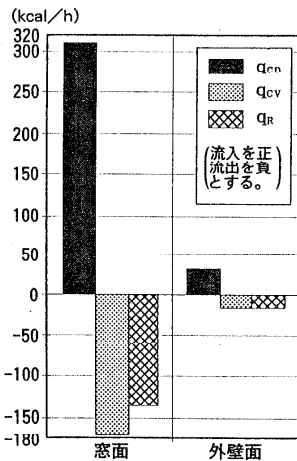


図7 窓、外壁表面での q_{cd} , q_{cv} , q_r の収支(ケースA)
(各壁面における総熱量を示す)

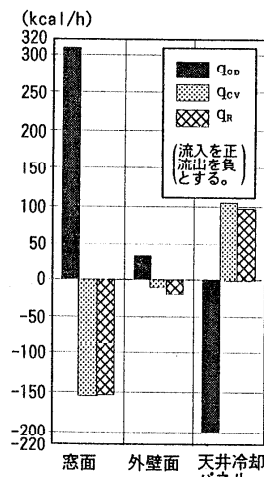


図8 壁表面での q_{cd} , q_{cv} , q_r の収支(ケースB)

半分が天井冷却パネルで負担されるため冷房用の吹出気流は約半分に減少される。従って、図5(a)、図6(b)に示されるように吹出気流（冷風）の影響が小さく、室内空気温度分布はケースAの全空気式冷房に比べ均一の方向に向かう。また、図5(b)、図6(c)～(f)に示されるように、天井面の冷却の影響で各壁面温度は全空気式冷房に比べ全体的に低くなっている。左側の窓面から室内への貫流熱により窓近傍の壁面温度は高くなっているものの、天井を冷却しないケースAに比べると天井の冷却パネル面への熱放射の促進効果でその程度は小さい。

(2) シミュレーションと実験の比較

天井を冷却した場合、冷風吹出噴流の負担する熱量が天井を冷却しない全空気式冷房に比べて小さく、室内の内部発熱近傍の温度上昇を十分に抑制できない。従って図6(a)に示されるようにこれに伴う熱上昇流がシミュレーションで認められる。空気温度に関して、シミュレーションは、全体的に実験と概ね対応している。壁面温度に関して、図6(c)～(f)に示されるシミュレーション結果は、図5(b)の実験結果とある程度対応している。特に窓表面温度に関しては、実験とシミュレーションはよく一致しており、ここで用いた窓部分の対流熱伝達率 $\alpha_c=6.0$ は本解析条件の場合、最適値と言える。但し、窓、外壁部を除く各壁面は全体的に実験よりも多少温度が高い。これは、窓、外壁部以外の α_c に関してはその設定値($\alpha_c=4.0$)が多少小さいためであると考えられる。天井の冷却面の表面温度に関しては、全体的に多少温度が高くなっているが、シミュレーション結果は概ね実験結果に対応している。

(3) 発熱面（左側の窓、外壁面）からの熱伝達

天井面を冷却した場合の各壁面での熱流の収支を図8に示す。天井冷却パネルが負担している冷房負荷量の約半分は空気からの対流熱伝達（流入）であり、残りは各壁面からの放射熱伝達（流入）による。即ち、左側の窓、外壁面からの全流入熱のうち約2/3が天井面で吸収されており、そのうち約1/3は放射熱として入射、吸収されて排熱され、また約1/3が対流熱として天井面に向かって熱伝達され排熱される。残り約1/3が直接、または放射経路で各壁面から対流により室内空気に伝達され、内部発熱体より直接空気に伝達された熱量とともに吹出・吸込口の空気温度差の形で換気により排熱されている。

6 まとめ

- ①室内温熱環境場を対象に、壁面での対流熱伝達、放射熱伝達を連成させて解析する方法の概要を示した。放射解析を連成させる3次元乱流数値シミュレーションでは、特に壁面からの対流熱伝達の精度の高いシミュレーションが重要となる。
- ②ここでは実用的見地から、壁面对流熱伝達計算に、慣用的な熱伝達率 α_c に基づく壁関数を使用したシミュレーションの例を示した。
- ③対流熱伝達率 α_c の最適化の結果、多少の差異を除き、シミュレーション結果は気流分布、空気温度、壁面温度ともに工学的に十分な精度で実験と対応する。

④この解析により、冷房時に外部から侵入する熱がどのようなメカニズムで室内に伝わり、そして排出されるかが構造的に明らかにされた。

記号表

U_i : i 方向平均流速 [m/s]	k : 乱流エネルギー [m ² /s ²]	ε : k の散逸率 [m ² /s ³]
Θ : 温度の平均値 [°C]	θ : 温度の変動成分 [°C]	Θ_a : 空気温度 [°C]
Θ_w^0 : 壁面要素(i)の表面温度 [°C]	Θ_f^0 : 壁面要素(i)に隣接する流体第一セル温度 [°C]	
α_c : 対流熱伝達率 [kcal/m ² ·h·°C]	g_i : i 方向重力加速度 [m/s ²]	β : 体膨張係数 [1/°C]
q_{cb}^0 : 壁面要素(i)での伝導熱伝達量 [kcal/m ² ·h]	q_{cv}^0 : 壁面要素(i)での対流熱伝達量 [kcal/m ² ·h]	
q_r^0 : 壁面要素(i)での放射熱伝達量 [kcal/m ² ·h]	S_i : i 面の面積 [m ²]	
u^* : 摩擦速度 [m/s]	θ^* : 摩擦温度 [°C]	$u^*\theta^*$: 壁面对流熱フラックス [m ² ·°C/s]
ψ_{ij} : i 面、j 面の面間平均形態係数 [-]	σ : ステファンボルツマン定数 [4.88×10 ⁻⁸ kcal/m ² ·h·K ⁴]	
ε_i : i 面の放射係数 [-]	T_i : i 面の絶対温度 [K]	B_{ij} : i 面、j 面間のGebhartの吸収係数 [-]

謝辞 本稿の作成にあたり東京大学大学院生崔棟皓君の労を多としました。記して感謝します。

参考文献

- (1) 村上周三、加藤信介、近藤靖史、近本智行：乱流数値解析による室内対流熱伝達に関する研究、その4、その5：空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集、平成2年
- (2) 坂本雄三、松尾陽、野村豪、鎌田元康：2方程式モデルによる3次元熱対流の数値解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和53年
- (3) 貝塚正光、岩本静雄：共役勾配法を用いた定常解法による床暖房室内の空気分布の数値予測、日本建築学会大会論文梗概集、昭和62年
- (4) 加藤信介、村上周三、近藤靖史、近本智行、高橋義文：閉鎖空間内の対流場と放射場の達成シミュレーション、その1、その2、第4回数値流体力学シンポジウム、平成2年
- (5) B.E. Launder, D.B. Spalding: The numerical computation of turbulent flows, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering. vol.3, pp.269~289(1974)
- (6) P.L. Viollet: The modeling of turbulent recirculating flows for the purpose of reactor thermal-hydraulic analysis, Nuclear Engineering and Design, Vol.99 pp.365~377(1987)
- (7) 村上周三、加藤信介、中川浩之：非等温室内気流に関する研究、その5、空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集、平成1年
- (8) B.E. Launder: On the computation of convective heat transfer in complex turbulent flows, Transactions of ASME, J. of Heat Transfer, vol.110, p.1112(1988)
- (9) Y.Nagano and C. Kim: A two equation model for heat transport in wall turbulent shear flows, transactions of ASME, J. of Heat Transfer vol.110, p. 583(1988)
- (10) T. Omori, h. Taniguchi and K. Kudo: Radiative heat transfer analysis of indoor thermal environment, Numerical methods in thermal problems, vol.6 Part 1, p.730, Edited by R. W. Lewis and K. Morgan, Pineridge press, Swansea, U.K. (1989)
- (11) B. Gebhart: A new method for calculating radiant exchanges, ASHRAE transactions, Vol.65, pp.321~332(1959)
- (12) 村上周三、加藤信介、大森敬明、崔棟皓、小林光：閉鎖空間内の対流場と放射場の達成シミュレーション、その3、その4、建築学会関東支部研究報告集、1992年
- (13) S. Murakami, S. Kato, Y. Kondo: Examining k-ε EVM by means of ASM for a 3-D horizontal buoyant jet in enclosed space, International Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements (1990)
- (14) 村上周三、加藤信介、持田灯、水谷国男：LESによる室内気流の数値解析、その1、その2、建築学会大会学術講演梗概集、1991年

建築壁体における熱と水分の同時移動問題

松本 衛 (神戸大学)

1. はじめに

居住環境の快適化、建物の省エネルギー化等の観点から、近年、建物の計画、設計における熱設計が重要度を増しており、建物における伝熱過程の解析の精密化、予測精度の向上は著しい。また、シミュレーション技術の進歩などにも支えられて、実用設計段階でも格段の進歩を遂げている。一方、建築分野で湿気問題と呼ばれている問題、建築壁体内等での結露の害防止、防湿や建物の室内湿度調節(調湿効果)等が古くから注目され研究されて来たが、熱との連結性の問題も含め、定量的な研究は余り行われなかった。

建築の伝熱問題における困難の1つは、境界条件、例えば外気温湿度、日射、大気輻射、外気風などの建物外界の気象条件や人間の生活にともなう熱、水分の発生量等の複雑さとさらにそれらのものが建物の状態や熱負荷に同程度の重要さで作用する事にあると思われる。そのために建物の現象把握、挙動解析では非定常状態解析が必須であり、その観点より考える系の適切な精度のモデル化が要請される。

一方、建築の湿気問題として現象を見ると、建築壁体の表面や内部では、その含水率は一般にかなり広い範囲で変動している。適切に設計された壁体では、壁体内の含水率は水蒸気拡散支配のいわゆるHygroscopic状態に保たれるが、場合に依っては含水率がいわゆる結露(材料表面や内部で)や雨水などによって上昇し、Macro毛細管水など液相水分での存在や移動が生じる。逆に壁体の経済性や極限設計の考え方に立てば、過剰な防湿設計に代わって材料の許容し得る範囲内に含水率を維持すればよいという考え方もできる。すなわちNon-hygroscopicの状態を含む非定常解析が要請される事になる。特に、地盤を含む系を考えるとときにはこの取扱いが必須となる。これらの現象は、温度の変動と連携しているから、現象を把握するためには、伝熱問題と同時に取り扱わなければならない。建物の熱負荷を考えると、壁体のこの水分性状は当然建物の熱負荷に影響するから、建物内部の湿度調整を考慮すれば、負荷算定にはこの影響の検討、計算モデルへの水分影響の組み込みが、計算法の整合性の観点からも必要となる。建築分野における熱・水分の同時移動問題はこのような観点から研究され、現在に至っている。

建築壁体に使われる材料は、ガラスや金属を除けば、全て多孔質体であり、吸着、毛細管凝縮等による吸湿性を持った材料である。したがって上記の問題は、多孔質体における水分と熱の同時移動問題である。基本的には乾燥問題と同種の問題であるが、吸湿、凝縮過程も考える必要がある事、外界気象条件など境界入力が複雑に変動し、それらを動的に予測する必要がある点で、モデル化等において乾燥問題とは異なったアプローチが必要となる。本報告では、建築分野における水分お

よび熱移動の問題の主として建築壁体における問題とその記述モデルについて報告する。

2. 建築壁体内の熱・水分の移動方程式

2.1 多孔質体内の拡散式

多孔質壁体を材料実質（固体）、水分（気、液、固相）及び乾燥空気（不活性）の多成分、多相の混合体とみなし、容積平均概念を用いて連続体として処理すれば、非平衡熱力学の考え方を適応して¹⁾、熱、物質の保存方程式と構成方程式が得られる。建築壁体で生じる非平衡の程度（ポテンシャル勾配、その変化速度）を考慮すれば、火災下での壁体条件を除けば、系は熱的には勿論水分についても、局所平衡系すなわち局所的には相間で温度差、水分ポテンシャル差はないとみなし得ると考えられる²⁾。この様に考え、水分ポテンシャルとして、自由水規準の水分の化学ポテンシャルを用いる事にすれば、拡散式（構成式）が得られ、これを熱、水分、湿り空気の保存式に代入すれば、閉じた方程式系が得られる。ただし、用いた水分ポテンシャルは、流束と駆動力の積がエントロピー生成項となる構成式を変形したものであるから、Onsagerの相反則は満足しない形となる。取り扱う問題の精度、これまで得られた知見等を考慮して、Dufour効果などのCross効果を見れば、拡散式（構成式）

は、次のように表現できる^{3,4)}。

$$\begin{aligned} q &= -\lambda \nabla T \\ j_w &= -\lambda'_T \nabla T - \lambda'_{u'} (\nabla \mu - F) - \lambda'_{P'} \nabla P \quad (1) \\ j_a &= -K_P \nabla P \end{aligned}$$

ここに、

$$j_w = j_{ow} + j_{lw} \quad (2)$$

$$j_{ow} = -\lambda'_{T_o} \nabla T - \lambda'_{u'_o} (\nabla \mu - F) - \lambda'_{P_o} \nabla P \quad (3)$$

$$j_{lw} = -\lambda'_{T_l} \nabla T - \lambda'_{u'_l} (\nabla \mu - F) - \lambda'_{P_l} \nabla P \quad (4)$$

ただし

$$\begin{aligned} \lambda'_T &= \lambda'_{T_o} + \lambda'_{T_l} \\ \lambda'_{u'} &= \lambda'_{u'_o} + \lambda'_{u'_l} \quad (5) \\ \lambda'_{P'} &= \lambda'_{P_o} + \lambda'_{P_l} \end{aligned}$$

ここで、拡散速度は固体実質に相対的な速度と定義している。(1)式の湿り空気に関する式 j_a は、Darcy則であり水分拡散式中の ∇P に関する項もそれぞれ液相水分、気相水分に対するDarcy則であり、層流を想定している事に対応している。水分に関する伝導率 λ'_T 、 $\lambda'_{u'}$ は、(1)式の第2式を用いて測定されるが^{4,5,6)}、(3)(4)式に示される気相、液相への分離については測定法上問題が残されている。通常、巨視的類推より、 $\lambda'_{T_l} = 0$ 、 $\lambda'_{T'} = \lambda'_{T_o}$ 。

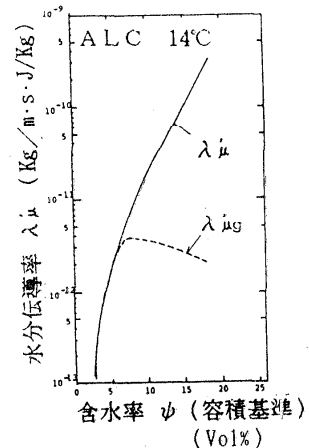


図-1 水分伝導率 λ'_μ の値

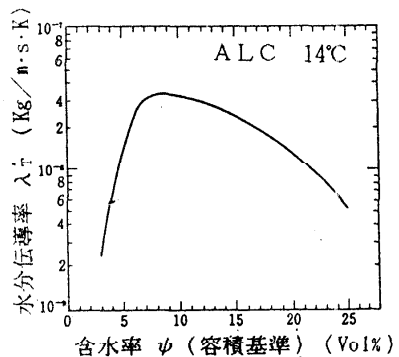


図-2 水分伝導率 λ'_T の値

で推定され⁷⁾、 λ_{wv} 、 λ_{vg} に関しては、Hygroscopic域での湿気伝導率（水蒸気分圧勾配に対する水蒸気拡散係数）と気相容積比の積から換算して求める。この推定による結果への影響は、直接には後述のように熱収支式にのみ現れる。

水分伝導率は、図-1、2に示す気泡コンクリートについての測定値³⁾に示されるように含水率したがって水分の化学ポテンシャルに非常に強く依存し、また温度依存性も大きい。気相水分伝導率 λ_{vg} の値の温度による増加は、飽和水蒸気圧（温度の関数）に比例し、 λ_{vg} は飽和水蒸気圧及びその温度勾配に依存して変化する。液相の水分伝導率の温度依存性は気相のそれに比して小さく、通常壁体のおかれている常温域では温度依存性がないと見なして取り扱える⁷⁻⁹⁾。

2.2 平衡関係式

多孔質体内の平衡含水率（容積比） ϕ は、温度及び水分の化学ポテンシャルに依って定まる。この平衡関係は、水分の化学ポテンシャルの定義 $\mu = RT \ln(p_w/p_w^s)$ を用い、等温吸着測定（相対湿度に対する平衡含水率測定）、水銀圧入法、加圧膜法、テンションメータ法等により、含水率の広い範囲にわたって測定できる。よく知られるようにこの関係は、履歴の影響を受け、正確に取り扱うためにはこの影響を考慮した取扱いが必要となるが、それを考慮すると変化過程の解析は非常に複雑となる。履歴を考えた平衡関係の研究が行われてはいるが¹⁰⁾、現象の複雑さのためのあり非常に少ない。検討すべき問題は残されているが現状では、履歴がないとして取り扱っている。建築では一般に変化過程は多数の周期成分（年オーダから分オーダまで）を含む周期過程と見なせるから、解析に用いる平衡関係は、周期過程の平均値を用いる。平衡含水率は水分の化学ポテンシャル、温度の関数であり、それは局所的にも成立するものとする。

$$\text{履歴を無視すると} \quad \phi = f(\mu, T) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &\text{あるいはその逆関数} \\ &\mu = F(\phi, T) \quad (6') \end{aligned}$$

当然の事ながら、上記の関数 f は材料に依って異なる。

2.3 含水率を用いた拡散式

(1)(3)(4)式に平衡関係式(6')式を代入すれば水分の化学ポテンシャル μ の代わりに含水率を用いた拡散式が得られる。得られた式は、毛細管モデルおよび2種混合ガスの蒸気拡散理論と吸着相拡散現象論を用いたPhilip, deVries等^{11,12)}によって提案、証明された拡散式と一致し、これを用いた後述の熱・水分変化方程式もdeVriesらのものと一致する。

Luikovが陽に指摘したように、含水率は異なる材料を含む多体（多層）系では適切な移動ポテンシャルではない。異種材間の熱力学的平衡はそれぞれの含水率の等値を意味しないからである。ここで述べた含水率を変数とする場合には、材料界面で(6')式の平衡関係式が常に必要である。

2.4 熱・水分の変化方程式

熱、水分、湿り空気の保存式に拡散式(1)-(4)式および平衡関係式(6)式を代入して、これらの変化過程を記述する閉じた方程式系が得られる。

火災時等の特殊な条件の場合を除き、建築壁体に加えられる湿り空気の圧力差（風圧、室内外の温度差にともなうもの）は小さく、水分移動における圧力差 ∇P の項は他の項に比して小さく無視できる（ガラス綿断熱材等の空隙の非常に多き材料については、浮力、風圧力の影響は正確に取り扱わねばならないが、ここではこの問題は省略する）。この場合の閉じた形の変化方程式^{4,7,8)}は水分収支について

$$\rho_{lw} \frac{\partial \phi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} + \rho_{lw} \frac{\partial \phi}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \lambda'_u (\nabla \mu - F) + \nabla \lambda'_T \nabla T \quad (7)$$

ただしこの式では $\rho_{lw}\phi \gg \rho_{sw}\psi$ であるので気相水分の蓄積量の増加は無視している。また左辺第2項は、通常 $\partial \phi / \partial T = 0$ とみなせるから無視される。

熱収支式は、

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + C_{lw} j_{lw} \nabla T = \nabla \lambda \nabla T + r_{s1} r \quad (8)$$

$c\rho$ は、系全体の熱容量すなわち固体実質、多孔質体内の水分（液相および気相）、乾燥空気の熱容量の和である。 $r = H_g - H_l$ は気相水分と液相水分のエンタルピー差すなわち相変化熱であり、 r_{s1} は気相から液相への相変化量である。 r_{s1} は、気相水分収支式または液相水分収支式から得られる。前者で表現すると

$$r_{s1} = \nabla \lambda'_{us} \nabla \mu + \nabla \lambda'_{Ts} \nabla T - \frac{\partial \rho_{sw} \psi}{\partial t}$$

右辺第3項は、 ρ_{sw} が大きくなる高温の場合を除き一般に非常に小さいので、通常無視出来る。この場合、熱収支の式は

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + C_{lw} j_{lw} \nabla T = \nabla (\lambda + r \lambda'_{Ts}) \nabla T + r \lambda'_{us} \nabla \mu \quad (9)$$

左辺の j_{lw} は(4)式で与えられる。

降雨時の地盤表面の様な液水流の大きくなる飽水時や高温時を除けば左辺第2項は一般に小さく、通常の建築壁体では無視できる。

(9)式で示されるように、水分流動を伴う場合、通常の方法に依って測定される熱伝導率は $(\lambda + r \lambda'_{Ts})$ でも、 λ でもない。湿った材料の熱伝導率を正しく測定するためには、(7)(9)式を用いた $(\lambda + r \lambda'_{Ts})$ の測定と λ'_{us} の独立測定による $r \lambda'_{us}$ の分離が必要となる。この測定法の研究が報告されている^{13,14)}。

境界条件式は境界面の水分および熱収支より

$$-\lambda'_u \left(\frac{\partial \mu}{\partial n} - \mathbf{nF} \right) - \lambda'_T \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha'_u (\mu_0 - \mu) + \alpha'_T (T_0 - T) + j_s \quad (10)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} - r \left[\lambda'_{Ts} \frac{\partial T}{\partial n} + \lambda'_{us} \left(\frac{\partial \mu}{\partial n} - \mathbf{nF} \right) \right] = (\alpha + r \alpha'_T) (T_0 - T) + r \alpha'_u (\mu_0 - \mu) + q_s \quad (11)$$

ただし \mathbf{n} は境界面の内向き法線ベクトル。 α'_u α'_T は水分伝達率で、通常の水蒸気伝達率 α' から

$$\alpha_w = \alpha' (\partial p_w / \partial \mu) \quad \alpha_T = \alpha' (\partial p_w / \partial T) \quad (12)$$

によってその値は得られる。

表面水分発生量 j_w (例えば降雨) が大きくなると表面は飽水しその水分の化学ポテンシャル μ は 0 となり、水分収支に関する境界条件は第 1 種境界条件に変わる¹⁵⁾。水膜ができる場合には水膜重量による圧力に対応する正の値が加わる。

異種材の境界面においては、境界条件は、ポテンシャル μ 、 T の連続性および水分流、熱流 (それぞれ (10) および (11) 式左辺で与えられる) の連続性より得られる。

変化方程式 (7) (9) 式を (10) (11) 式などの境界条件と適当な初期条件で解けば、 μ および T が得られる。前述のように水分伝導率 λ_w 、 λ_T や水分容量 $\rho_w (\partial \phi / \partial \mu)$ は水分の化学ポテンシャル μ および温度 T に強く依存しているため、その意味で変化方程式および境界条件式はかなり強い非線形となり、数値解析は複雑となる。特に、これらの壁体で構成される室の温湿度変動を計算するには、かなりのコンピュータ資源が必要となり、壁体設計の面から適当な線形化近似¹⁶⁾が要請されている。

3 Hygroscopic近似方程式と適応限界

一般に、多孔質体内では含水率が十分小さいとき、水分移動は蒸気拡散が支配的となる。この状態をHygroscopic域と呼んでいる。この状態では、拡散式 (3) 式において、水分の化学ポテンシャル μ に、同温同圧の純 (1 成分) 水蒸気のそれを規準としたものを用いると、熱拡散項は小さく、建築壁体条件では無視できるから、結局拡散項は水蒸気圧勾配のみで、与えられる事になる。材料実質に相対的な水分流 $j_{aw} = j_w$ は結局よく知られた蒸気拡散式

$$j_{aw} = j_w = -\lambda' \nabla p_w \quad (13)$$

ただし、圧力差によるDarcy流れ (層流流れ) の項は、等圧系を考え、ここでは除いた。湿気伝導率 λ' の含水率、温度依存性は大きくない事がよく知られており、近似的には一定値として取り扱える。平衡含水率 ϕ の水蒸気圧 p_w 、温度 T 依存性を

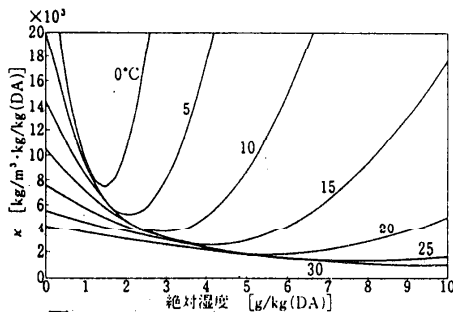


図 3 せんい板の α の値

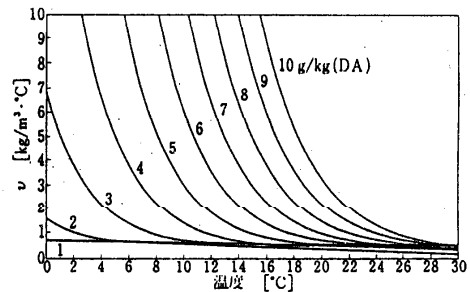


図 4 せんい板の ν の値

$$\kappa = \rho_w (\partial \phi / \partial p_v) \quad \nu = -\rho_w (\partial \phi / \partial T) \quad (14)$$

と記号すると、水分容量を示すこの値は、図-3、4（水蒸気圧の代わりに絶対湿度表現）のような挙動を示す¹⁷⁾。温度、水蒸気圧の変化の範囲が余り大きくなければ、これらの値を一定値と見なす事も出来よう。

(13)(14)式を熱・水分の収支式に代入すれば、(7)(9)式は次式となる。

$$\begin{aligned} (c' r' + \kappa) \frac{\partial p_v}{\partial t} - \nu \frac{\partial T}{\partial t} &= \nabla \lambda' \cdot \nabla p_v \\ -\kappa \frac{\partial p_v}{\partial t} + (c \rho + r \nu) \frac{\partial T}{\partial t} &= \nabla \lambda \nabla T \end{aligned} \quad (15)$$

このHygroscopic域に対する方程式の適応範囲は、材料によって異なるが、その上限は大略相対湿度で90-95%程度であり、液水の水分伝導率 λ_w の値から推定できる。数値的ケーススタディでは、 $\lambda_w \geq \lambda_w$ ならば、この近似が許される¹⁸⁾。壁体内部の状態予測を目的とせず、単に室の温湿度変動や熱・水分負荷のみを算定、予測する事を目的とする場合には、壁体の表面近傍がHygroscopic域に維持されていればさらに高温までこの近似が適応できる¹⁹⁾。

水分に関する物性値 λ', κ, ν を一定値と見なせばこの方程式は線形となり、純熱伝導の場合と同様各種解析解が可能となり^{7,20,21)}、また重畳則を使って、その挙動把握や効率のよい計算が可能となる。実用的には現在の熱負荷計算法に同じ思想で組み込む事ができる。このHygroscopic線形近似は、相対湿度RH=90%以下の条件で、変動幅RHで20%程度（高温では小さくなる）温度Tで10°C程度である。従って、建物の熱・水分負荷の算定では、年間を2期すなわち夏期及び冬期に分け、その期間中は時不変線形系として取り扱う事ができる^{7,20,21)}。

この方程式で記述される建築壁体の水分の吸湿、脱湿作用を建築分野では、室に対する壁体の吸放湿あるいは調湿効果と呼んでいる。

4 おわりに

建物に水分はつき物であり、居住環境としても生産、保存環境としてもその調整、制御が必要であり、建築物の耐久性の観点からもそのコントロールが要請される。そのためには水分に活性的な建築壁体の水分挙動を妥当な精度で把握する必要がある。またその水分挙動はその温度場の変化に密接に関係しており、同時に温度場、熱流やさらに室の暖冷房の熱負荷変動に影響を与える。室内の温湿度変動や熱負荷予測の高精度化さらに建物の熱負荷算定の整合化や壁体の合理的設計とその耐久性、健康性の正しい評価のために、壁体の水分および熱挙動の十分な精度の解析が必要となってきた。この観点から、建築伝熱の分野での話題、特にその中心課題としての壁体の熱・水分挙動記述モデルについて報告した。凍結、融解問題など興味有る問題もあるが、ここでは省略した。

文献

- 1) Drokhov, I.N., Kafarov, V.V., Nigmatulin, R.I., J. Appl. Math. Mech., 39(1975), 461.
- 2) Luikov, A.V., Heat and Mass Transfer in Capillary-porous Bodies, Pergamon, (1966)
- 3) Matsumoto, M., Energy Conservation in Heating, Cooling and Ventilating Building, (ed. C.J. Hoogendoorn and N.H. Afgan) Vol.1, 45. Hemisphere (1978)
- 4) 松本 衛、建築壁体内の熱水分の同時移動およびその蓄積に関する研究, 学位論文(1978)
- 5) 池田、鉾井、堀江、日本建築学会計画系論文報告集 355(1985), 1.
- 6) 松本、鉾井、恩村 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学) (1987) 943.
- 7) 松本 衛 湿気 建築学大系10 環境物理 彰国社(1984)
- 8) Matsumoto, M., 6th All-union Heat and Mass Transfer Conference, Minsk(1980) V.7 39.
- 9) 鉾井、池田、堀江 日本建築学会近畿支部研究報告集(計画系) p81. (1977)
- 10) 松本 松下, 日本建築学会論文報告集 306(1981), 65.
- 11) Philip, J.R., deVries, D.A., Trans. Amer. Geophys. Union, 38(1958), 222,
- 12) van der Kooij, J., Moisture Transport in Cellular Concrete Roof, Diss. TH Eindhoven, (1971)
- 13) 鉾井、池田、堀江 日本建築学会計画系論文報告集 384(1985), 11.
- 14) ISO/DIS 10051, Thermal Insulation -Moisture Effect on Heat Transfer (1991)
- 15) Matsumoto, M., Iwamae, A., Energy and Buildings, 11(1986), 221.
- 16) Matsumoto, M., Tanaka, Y., Energy and Buildings, 16(1991), 861.
- 17) 芝池、松本, 日本建築学会計画系論文報告集, 366(1986), 22.
- 18) 松本、松波, 日本建築学会近畿支部研究報告集 30(1990), 85.
- 19) 松本、藤本、日本建築学会近畿支部研究報告集 31(1992), (発表予定)
- 20) 松本、近藤 日本建築学会計画系論文報告集 347(1985), 1.
- 21) 松本 衛、第21回熱シンポジウム、日本建築学会環境工学委員会, 21(1991), 1.

記号

c = 水分を含む多孔質材の比熱
[J/kg k]

c' = (48)式

c_a = 湿り空気の比熱 [J/kg k]

$c_{g,w}$ = 水蒸気の比熱 [J/kg k]

$c_{l,w}$ = 液相水分の比熱 [J/kg k]

F = 重力 [N/kg]

j_w = 水分流 [kg/m²s]

j_a = 湿り空気流 [kg/m²s]

$j_{g,w}$ = 気相水分流 [kg/m²s]

$j_{l,w}$ = 液相水分流 [kg/m²s]

j_s = 表面発生水分流 [kg/m²s]

P = 圧力 [N/m²]

p_v = 水蒸気分圧 [N/m²]

$p_{v,s}$ = 飽和水蒸気圧 [N/m²]

q = 拡散(伝導)熱流 [w/m²]

q_s = 表面発熱 [w/m²]

r = 水分の蒸発潜熱 [J/kg]

R_v = 水のガス常数 [J/kg k]

T = 温度 [k]

t = 時間

α = 熱伝達率 [w/m²k]

α' = 湿気伝達率 [kg/m²s Pa]

α'_w = 化学ポテンシャル差に対する水分伝達率 [kg/m²s J/kg]

α'_T = 温度差に対する水分伝達率
[kg/m²s k]

λ = 熱伝達率 [w/mk]

λ_w = ポテンシャル勾配に対する

水分伝達率

[kg/m²s J/kg]

$\lambda'_{g,w}$ = 気相水分伝達率

$\lambda'_{l,w}$ = 液相水分伝達率

λ'_T = 温度勾配に対する

水分伝達率

[kg/m²s k]

$\lambda'_{T,g}$ = 相水分水分伝達率

$\lambda'_{T,l}$ = 液相水分水分伝達率

μ = 水分の化学ポテンシャル

(自由水規準) [J/kg]

= $K_v T \ln(p_{v,s}/p_v)$

ρ = 固体の見かけの密度 [kg/m³]

ρ_w = 液相水分の密度 [kg/m³]

ϕ = 含水率 [m³/m³]

添字

a = 湿り空気

g = 気相

l = 液相

w = 水分

s = 境界面

0 = 規準または空気

n = 外気

中原 信生 (名古屋大学)

伊藤 尚寛 (名古屋大学)

1. はじめに

快適なオフィス環境の形成に空気調和は重要な役割を果たすが、その設計・運転に際し省エネルギーへの十分な配慮が不可欠であることは言うまでもない。オフィスの熱環境を設計・評価する上で、ペリメータ部(外壁近傍の領域)とインテリア部(外壁から離れた領域)の熱負荷特性の違いが問題となる。この差に効率よく対応するために、空調システムをこれら2つの系統に分離する方法がよく採用される。しかし、冬期や中間期にはペリメータ暖房、インテリア冷房という同時冷暖房状態が形成されやすく、空気分布設計と制御の方法によっては冷温熱の混合によるエネルギー損失が発生する。既存ビルでの運転実績の分析からもこの現象発生の可能性が指摘されている¹⁾。この発生を防止することが省エネルギーのもとに快適空調環境を形成するために不可欠な要請となる。本研究は室内混合エネルギー損失の機構を実大実験によって解明し、それを防止するための空気分布設計・制御の具体策について言及したものである。

2. 室内混合エネルギー損失の定義と発生原因

OA化に代表される執務環境の変化に伴いオフィスの室内発熱が増加する傾向にある。結果として、外界の影響を受けにくいインテリア部ではほぼ年間にわたって冷房が必要になる。しかし、ペリメータ部はやはり外壁からの熱損失が支配的であるために冬期にはやはり暖房が要求される。しかも、前者の負荷が比較的安定しているのに比べ、後者は外界気象変動に併せて変動しやすい。したがって、ペリメータ部とインテリア部の空調システムを分離して、冬期には前者を暖房、後者を冷房することが熱負荷処理の観点から合理的であり、快適環境の形成にも大きく寄与する。ところが、各ゾーンから供給された温熱と冷熱がそれぞれの負荷を処理する前に混合してしまうと、制御系がさらに熱量を供給するように作用して本来室に発生する熱負荷以上の熱量が供給されてしまう。これが室内混合エネルギー損失である。逆に、それぞれの熱負荷どうしが混合すれば、供給熱量を減らすことができる。これ

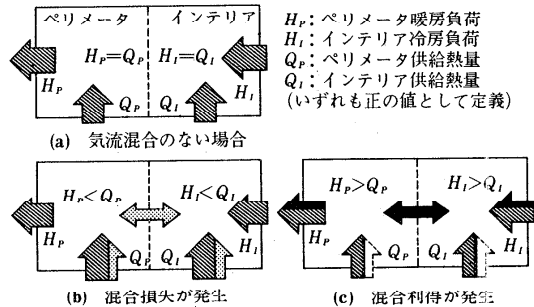


図1. 室内混合エネルギー損失と利得

が室内混合エネルギー利得である。これらの概念を示したのが図1である。利得量を負の損失量として連続的に定義すれば、

$$ML = (Q_P - H_P) + (Q_I - H_I) = (Q_P + Q_I) - (H_P + H_I) \quad (1)$$

の関係が得られる。ここに、 ML ：混合損失量、 H ：熱負荷、 Q ：供給熱量であり、添字 P 、 I はペリメータとインテリアを示す。負荷、熱量はすべて絶対値として定義される。

室内混合エネルギー損失は原理的に室内気流と温度分布の問題であり、システムの制御特性を介して発生する極めて複雑な現象である。筆者らは非等温流れの数値解析に基づくアプローチ^{2) 3)}を試みるとともに、設計・評価情報として最も有用な混合損失量そのものに焦点を当てた実験解析を系統的に行った。すなわち、設計と制御に関わる各種要因のもとに混合損失量を定量化し、設計・制御法への還元を可能とした。本報ではこの実験結果を中心に述べる。

ところで、系統を分離しなければ同時冷暖房の形成そのものが回避され、混合損失も発生しない。しかし、とくに室奥行が大きい場合には不均一な負荷を単一のシステムで処理することは困難で、本来の空調の目的である快適性確保の観点からは問題が多くなる⁴⁾。

3. 実大実験による室内混合エネルギー損失の要因効果分析

3.1 対象システムと実験概要

本研究ではペリメータ部はファンコイルユニット、インテリア部は単一ダクト方式によって空調を行う最も一般的なシステムを対象とした。さらに、ペリメータ暖房にふく射暖房を併用することが快適性をより高めるために有効であることが予想されたので、ファンコイルとふく射パネルの併用システムも対象とした。混合損失に影響を与えると予想される空気分布と制御に関係する要因を抽出し、実験計画法⁵⁾を適用した4シリーズの実大室実験を中心として要因効果分析を行った。なお、分析対象とした主な要因は後述する表3に示される。また、以下には主要な2つのシリーズの実験結果の重要な知見のみを記し、それ以外の有用な知見については設計指針に関する考察としてまとめて後述した。

3.2 実験装置と方法

実験は図2に示す実大居室と実大空調装置を備える実験室で行った。外気条件調節室で外気温度条件が作られ(-17~5℃)、隣接の壁(外壁を疑似)から貫流熱として室内に暖房負荷が与えられる。インテリア部では天井照明発熱と疑似人体発熱が冷房負荷として与えられる。空調対象室の周囲は外乱を極力排除するように室内とほぼ同じ温度になるように空調され、かつ、厳密を期すためこの外乱量は後述する損失量の算出過程で補正された。両ゾーンの空調系はともに一定吹出風量のもとで吹出温度が制御された。また、ふく射パネル(電気ヒータ方式)の放熱量は要因水準によって固定された。実験手順は以下の通りである。①ペリメータ・インテリア境界部をシートで仕切り、所定の実験条件に従って運転を行い、定常状態に達した時点で熱量・室内温度分布等の測定を行う(混合前)。②シートを取り除き、そのまま運転を続け再度定常に達した時点で計測を行う(混合後)。③トレーサーを用いて室内気流分布の可視化

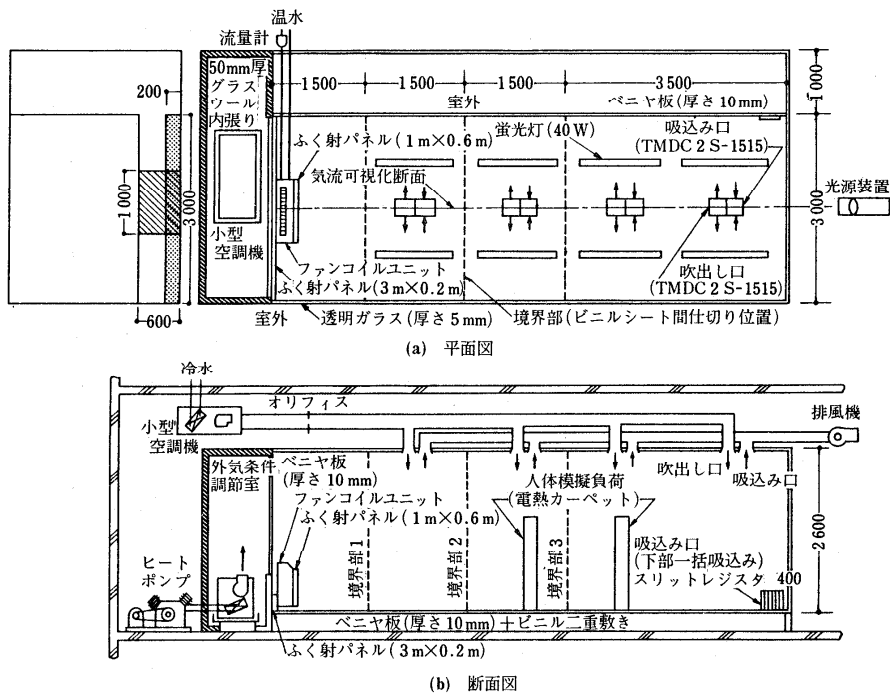


図2. 実験装置

を行う。一連の実験過程において、混合後にも各制御系がその制御範囲を超えないように（混合前後とも供給熱量不足にならないように）、混合前の各送水温度と流量が調節された。混合前後の熱量の差が混合損失量として算出された。

3.3 主要要因の定量化

ふく射パネルを用いない最も一般的なシステムを対象とし、設計・制御に関わる基本的な要因を選んで行われた実験から得られた効果推定表を表1に示す。なお、混合損失率は混合損失量を本来の熱負荷（実験では混合前の熱量）で除したものとして定義される。主な結果は以下のように整理された。

- 1) ペリメータ (P) とインテリア (I) の設定温度差が混合損失に圧倒的な影響を及ぼしている。その理由は両ゾーンの温度差に起因する循環流の発生によると考えられる。図3に示すように境界部で仮想開口を仮定すれば、両側の温度差によって圧力差分布が発生しそれが循環流を発生させるとモデル化できる（後述）。
- 2) インテリア部の吹出風量が大きいほどペリメータへの冷風の侵入が促進されるため、混合損失を増加させる。一方、ペリメータ奥行きが短いほど混合損失を小さくする。これは相対的に高温のインテリア空気がペリメータ部に誘引されやすくなり、それがセンサーに検地されて、供給熱量を減らす方向に制御動作が作用したためと考えられる。
- 3) ペリメータ吹出方向は、 90° （水平）の場合が最も損失を多くし、 30° が最も小さくする。前者は温風がインテリア部に侵入し易くなるためである。

表1. 主要要因の効果推定表（実験計画法に基づく）

要因	全混合損失量			混合損失率			要因の水準			単位
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
A P 吹き長さ	-99	-5	105	-17	2	15	1.5	3.0	4.5	[m]
C P 吹き方向	21	-108	87	4	-15	11	0	30	90	[°]
F I 吹き風量(換気回数)	148	-82	-66	14	-4	-9	12	8	4	[回/h]
G I-P 設定温度差	540	3	-543	59	-1	-58	-2	0	2	[°C]
B×D 垂れ壁長さ×P 吹き Ar 数	36	-111	74	6	-18	13	0×大	0×中	0×小	[mm]
	-105	51	54	-11	7	4	200×大	200×中	200×小	[mm]
B×H 垂れ壁長さ ×I サーモスタット位置	68	60	-128	5	11	-17	400×大	400×中	400×小	[mm]
	208	-44	-164	30	-8	-22	0×天井P 寄	0×天井炎	0×壁	[mm]
C×D P 吹き方向×P 吹き Ar 数	-72	-39	111	-15	1	14	200×天井P 寄	200×天井炎	200×壁	[mm]
	-136	83	53	-15	6	8	400×天井P 寄	400×天井炎	400×壁	[mm]
C×D P 吹き方向×P 吹き Ar 数	7	48	-55	3	8	-11	0×大	0×中	0×小	[°]
	83	-88	5	15	-10	-5	30×大	30×中	30×小	[°]
基準値±信頼限界	-90	40	50	-18	2	16	90×大	90×中	90×小	[°]
	-62±151 [kcal/h]			-2±27 [%]						

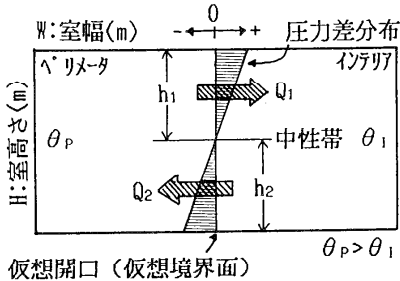


図3. 設定温度差による循環流発生モデル化

3.4 ペリメータ環境の最適制御法の検討

ペリメータの設定温度を低くすることが混合損失防止に有効であることが判ったが、通常は窓面からの冷ふく射やコールドRAFTのためにペリメータ部の体感温度が低下するため、その低下を相殺するために設定温度が高くされる。したがって、混合利得が得られることはまず期待できない。環境状態を両ゾーンで一定に保持しつつ、ペリメータの設定温度を低くする方法として、ペリメータ部にふく射暖房を併用することが考えられる。すなわち、ペリメータ部のふく射温度を上げることにより、体感温度を一定に保った上で空気温度を相対的に低くすることが可能となる。等価環境条件としては、ふく射暖房の効果を捉え易い作用温度 ($O T = \frac{1}{2} \text{空気温度} + \frac{1}{2} \text{平均ふく射温度}$) が適切であると考えられる。ふく射暖房を併用することを前提としたこの手法の効果を検証するための実験が行われ、以下の知見が得られた。

- 1) 前述の実験と同様に設定温度差が圧倒的な影響を及ぼし、その効果も同じであった。しかし、この効果は全実験の環境条件を作用温度で一定に設定した上での結果であるので、ペリメータ環境制御法の差異を意味することになる。

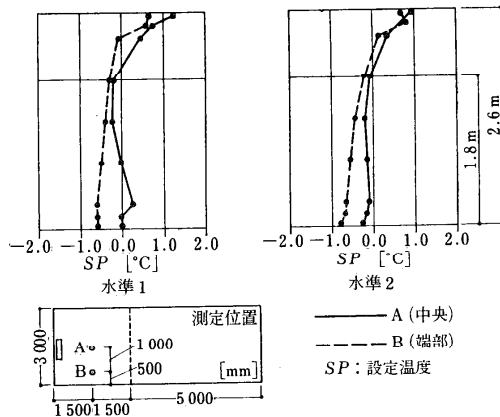


図4. 設定温度差の各水準における室内作用温度分布 (インテリヤ設定温度-ペリメータ設定温度, 水準1: 0.1°C, 水準2: -0.8°C)

2) 実際に形成される室内温度分布（作用温度）の設定温度水準による比較を図4に示す。パネル放熱量を多くし、空気設定温度を低めた水準位置の方が、足元の温度環境を改善していることが確認できる。

3) ファンコイルユニットの測温体取付け位置は、ふく射パネルによって暖められた空気温を検出しやすい吸込口の方が有利であった。吹出口横の場合はコールドドラフトの影響を受けて、供給熱量を増大させる方向に制御が働くために損失量を大きくした。

4. 室内混合エネルギー損失量の推定モデル

一連の実験結果を総合的に解析することによって、種々の設計・制御因子から混合損失量を推定できるモデルを展開した。混合損失量はペリメータ部とインテリア部の設定温度差に最も強く影響され、それは両ゾーン間の温度差換気現象により説明できると予想された。そこで、図3に示したように、仮想境界部を開口として想定し、両ゾーンにおける熱ポテンシャルの差が換気の駆動力になるとして温度差換気の理論を適用する。以下に、その過程を示す。

開口をはさんで、 θ_p 、 θ_i の一樣温度の空気が存在するとき、両ゾーン間の温度差 $\Delta\theta$ ($=\theta_p - \theta_i$ 、ここでは $\theta_p > \theta_i$ 、単位：℃)によって生じる換気風量 Q_1 、 Q_2 [m^3/h]は、

$$Q_1 = 3600 \int_0^{h_1} \alpha W \sqrt{\frac{2g}{\gamma_p} |\Delta\gamma| y} dy, \quad Q_2 = 3600 \int_0^{h_2} \alpha W \sqrt{\frac{2g}{\gamma_i} |\Delta\gamma| y} dy \quad (2)$$

と表される。ここで、 h_1 、 h_2 ：中性帯から天井、床までの距離[m]、 W ：室の幅[m]、 g ：重力加速度 [m/s^2]、 γ_p 、 γ_i ： θ_p 、 θ_i における空気の比重量 [kg/m^3]、 $\Delta\gamma$ ： $\gamma_p - \gamma_i$ [kg/m^3]である。 α は開口部における流量係数であり、本来は開口部の形状によって決定されるものである。このモデル化においては室の強制換気機構などの影響も含むものとし“等価流量係数”と称する。また、ここでは負の値も採り得ると定義する。

各ゾーンでの風量収支は0であるので $Q_1 = Q_2$ が成立する。空調空間では $\Delta\theta$ は通常は数℃であるので $\gamma_p \approx \gamma_i$ ($=\gamma$)と近似しても精度は損なわれないので、 $h_1 = h_2$ ($=H/2$)が導かれる。ここに、 H ：室の天井高 [m]である。混合損失量はこれらの換気風量に伴う熱移動量として表されるので、最終的に次式により損失量 ML [$kcal/h$]が求められる。

$$ML = 4800 c \gamma \alpha W \left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma_p} |\Delta\gamma|} |\Delta\theta| \quad (3)$$

c は空気の比熱 [$kcal/kg \cdot ^\circ C$]である。したがって、未知数は等価流量係数 α だけとなり、次式を仮定し、実験から影響要因 X_i ($i=0 \sim N$) そのものを含めて係数 k_i を同定する。

$$\alpha = k_0 + \sum_{i=1}^N k_i X_i \quad (4)$$

前節で述べた約100の実験データを用いた重回帰分析による同定結果を表2に示す。同表に

は変数の説明も併せて記してある。表2による推定値と実験値の相関を図5に示す。比較的高い相関係数(約0.86)が示すように、実用上十分の推定精度を有していると判断できる。

ここで、混合損失(または利得)の発生が期間空調エネルギー消費量にどの程度影響を与えるかを評価するために、標準的な事務所ビルを設定して動的熱負荷計算とこの推定モデルを用いてケーススタディを行った結果⁹⁾を表3に示す。運転条件によりエネルギー消費量に2倍以上の差が生じることが判る。

5. 分離空調システムの設計

法・運転法に関する考察

以上の研究のまとめとして、同時冷暖房が発生するときの分離空調方式の設計・運転制御にあたって留意すべき点、

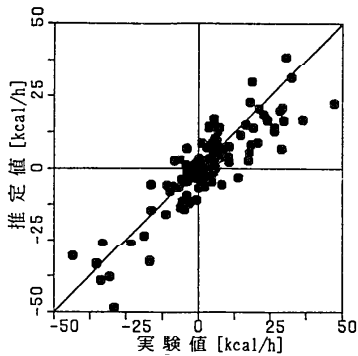


図5. モデルによる推定値と実験値の相関

表2. 混合損失量の推定モデル(同定結果)

要因	説明変数		α	
			k_1	k_1^*
1 設定温度差(バリエータインテリ)	°C	X_{01}	0.137	0.613
2 垂れ壁長さ	m	X_{02}	0.078	0.048
3 ペリメータ奥行さ	m	X_{03}	0.014	0.053
4 ファンコイル吹出アルキメデス数	-	X_{04}	-0.007	-0.081
5 ファンコイル吹出方向	°	X_{05}	$-0.14 \cdot 10^{-4}$	-0.019
6 ファンコイル分担保荷	kcal/h·m	X_{06}	$0.86 \cdot 10^{-4}$	0.044
7 ファンコイル制御用測温体取付け位置	正面中央	$X_{07,1}$	-0.001	-0.003
	正面中央前方2.0c.m	$X_{07,2}$	0.014	0.010
	吹出口横	$X_{07,3}$	0.065	0.123
	吸込口	$X_{07,4}$	0	0
8 ファンコイル吹出口種類	レジスタ型	$X_{08,1}$	0.012	0.030
	誘引	$X_{08,2}$	0	0
9 ふく射パネル分担保荷	kcal/h·m	X_{09}	$-0.89 \cdot 10^{-8}$	-0.294
10 パネル種類	床パネル	$X_{10,1}$	0.212	0.490
	ファンコイル前面	$X_{10,2}$	0.203	0.373
	ベニスボード型	$X_{10,3}$	0.195	0.358
	なし	$X_{10,4}$	0	0
11 インテリア部換気回数	回/h	X_{11}	0.014	0.296
12 インテリア部負荷	kcal/h·m ²	X_{12}	$0.27 \cdot 10^{-10}$	0.016
13 インテリア部制御用測温体取付け位置	内壁面中央	$X_{13,1}$	-0.016	-0.039
	吸込口(ダクト)	$X_{13,2}$	0.011	0.026
	室中央	$X_{13,3}$	0	0
14 インテリア部吹出方式	ふく流型(クワゾイアザを含む)	$X_{14,1}$	0.022	0.052
	長方形(レジスタ型)吹出口	$X_{14,2}$	0.103	0.204
	拡散(アネモスタット)型	$X_{14,3}$	0	0
15 インテリア部吸込方式	壁一括	$X_{15,1}$	0.113	-0.258
	天井吸込	$X_{15,2}$	0.045	-0.072
	天井吸込(P側閉)	$X_{15,3}$	0	0
16 バリエータインテリ換気回数差(P-I)	回/h	X_{16}	$-0.56 \cdot 10^{-8}$	-0.040
回帰定数			-0.255	
重相関係数			0.857	

- k_1 は回帰係数、 k_1^* は標準化回帰係数を示す。
- 名義尺度の要因(7, 8, 10, 13, 14, 15)はダミー変数として処理しており、それぞれ対応するカテゴリには1の値を与え、それ以外のものには0の値を与える。例えば7の場合、測温体が吹出口横取付であれば、 $X_{07,2}=1$, $X_{07,1}=X_{07,3}=X_{07,4}=0$ とする。
- パネルはペリメータ暖房を行うものであり、ファンコイルユニットと併用することを基本方針とする。また、パネルは一定放熱量で無制御であり、パネルで処理しきれない暖房負荷がファンコイルで処理されることになる。
- アルキメデス(Ar)数は $\rho \beta L \Delta \theta / V$ で計算する。ここに、 ρ :重力加速度[m/s²]、 β :温度膨張係数[°C⁻¹]、 L :吹出口等価直径[m]、 $\Delta \theta$:吹出温度差[°C]、 V :吹出風速[m/s]である。変数としては $\log_e Ar$ を用いる。
- ファンコイルおよびパネル負荷は外壁単位幅当りを示し、ペリメータ奥行き長さはシステム的に分離される長さを表す。また、ファンコイル吹出方向は鉛直上向きを0度として定義する。

表3. 期間混合損失量の推定例

要因				推定量 [Mcal/m ²]		
ペリメータ設定温度	インテリア設定温度	外壁断熱・窓面積率	ふく射暖房	室顕熱負荷	混合損失量	必要供給熱
20 °C	20 °C	なし・50%	なし	39.8	-3.5	36.3
22	20	なし・50%	なし	46.4	12.9	59.3
20	20	あり・25%	なし	24.1	-1.0	23.0
18	20	なし・50%	併用	35.3	-4.9	30.4

- 基準階面積1,800 m²の中央コア形式のオフィスビルを想定し、空調運転時間は8~18時、休業日は休みとした。
- ここに示す諸量はすべて11月~3月の152日間における集計値である。
- 室顕熱負荷とは、ペリメータとインテリアに本来発生する負荷で、冷房負荷と暖房負荷の絶対値の和の合計である。

考慮すべき点について総括的に論じ、最適設計・制御を行うための方法について考察する。

- 1) 温熱環境水準をペリメータ部とインテリア部で一定に維持するという前提に立った場合、両部の環境条件は体感指標に基づい

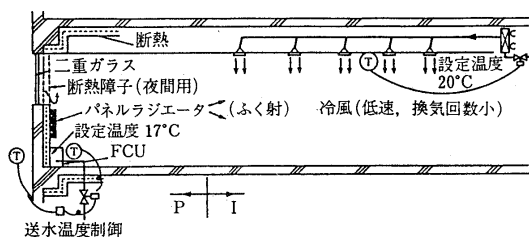


図6. 推奨される同時冷暖房システム

て決定されるべきである。暖房期はふく射の影響が大きいため、簡便性も考慮すると作用温度が体感指標として適切である。

- 2) ペリメータ部の空気設定温度がインテリア部より高い場合には、多大な混合損失が発生するばかりか、温度分布的にも体感上不利な分布形となる。したがって、このような温度設定は避けるべきである。
- 3) 作用温度を両部で一定に保持した上で、ペリメータ部の空気設定温度をインテリア部より低くするには、ふく射暖房の併用が有効である。設置面積と表面温度の許す範囲内で、最大限パネルヒーターに負荷を分担させるのが望ましい。
- 4) 外壁の窓面積の縮小、断熱の強化もふく射暖房と同様な効果をもたらす。その極限はペリメータ暖房負荷をインテリア冷房負荷とともに混合利得として処理しても、温度分布的に何等問題を起こさない程度まで極小化し、“ペリメータ部”を消滅させたものであろう。
- 5) 上述した方法以外に、空気分布に関する要因として、①インテリア部の換気回数を小さくする、②ファンコイルユニットの測温体は吸込口や吹出口横は避ける、③インテリア部吹出口には天井取付けで拡散性の大きいものを用いる、ことが有効である。

以上の考察に基づき、分離空調方式において、同時冷暖房を最小の消費エネルギーで実現し、かつ、室内環境を良好に保つための空調モデルの一つを図6に示す。

6. おわりに

実大実験に基づいて同時冷暖房空間に発生する混合エネルギー損失量の定量化を行い、空気分布設計と制御に関する具体的な防止法について考察した。ペリメータ暖房にふく射パネルを併用することが、快適性を高め、かつ混合損失を防止するために有効である。夏期の冷房時にもパネルが有効に利用できれば、今後のオフィス空調の最適方式になり得る可能性がある。なお、本報の内容は文献6)7)を中心にまとめたものである。

参考文献

- 1) 加藤見：実態から見た室内温度分布の挙動，空気調和・衛生工学会シンポジウム「空調における省エネルギーと最適化の課題」(1987)
- 2) 伊藤尚寛，中原信生：同時暖冷房室のエネルギー・環境特性に関する研究，その4，日本建築学会大会学術講演梗概集(1987)
- 3) 伊藤尚寛，中原信生：温風暖房空間における気流・温度分布の数値シミュレーション，日本建築学会東海支部研究報告集(1988)
- 4) 伊藤尚寛，横井睦己，中原信生：同時暖冷房室のエネルギー・環境特性に関する研究，その3，日本建築学会大会学術講演梗概集(1986)
- 5) 田口玄一：第3版実験計画法一上，下，丸善(1976, 1977)
- 6) 中原信生，伊藤尚寛，梶原豊久：空気調和における室内混合損失の防止に関する研究，第1・2報，空気調和・衛生工学会論文集，No. 33(1987)
- 7) 伊藤尚寛，中原信生：空気調和における室内混合損失の防止に関する研究，第3報，空気調和・衛生工学会論文集，No. 41(1989)

[居住者まわりの伝熱]

人体まわりの熱伝達

持田 徹 (北海道大学)

1. はじめに

人体まわりの熱伝達について考究する目的の一つは、空調和・暖冷房設計に繋がる熱環境の評価や設計、さらにはその為の温感指標を作成する基礎とすることにある。

人は代謝によって得たエネルギーで日常の活動を行うとともに、熱を体外に放出して体温の恒常性を維持している。呼吸に伴う放熱などの微小伝熱量もあるが、人体と外界との間でなされる熱伝達は、その大部分が対流、放射、汗の蒸発に伴う放熱で占められる。しかし、生理反応を有する人体からの熱伝達現象を考えようとする時、一般物体からの熱伝達とは異なる特徴的な点や、扱い方も必要となる。二、三の例を挙げれば、通常、体温は37°C前後の一定値に保たれているので、居住空間の温度領域によっては、対流や放射の熱流の方向に逆転が生じるが、蒸汗放熱は常に人から環境へ向かう熱流のみである。また、一般に皮膚の表面温度は各部位ごとに異なるが、それらを平均化する方法も重要である。さらに、人体は複雑な形状をしており、かつ様々な姿勢をとるので、対流熱伝達率や対流・放射伝熱に拘る体表面積などにも大きな影響を与える。

本稿では生理反応を伴う発熱体としての人体と、周囲環境との間でなされる個々の熱授受の特徴的な点とその一応用例として、全体の熱平衡式を基に導かれる温感指標について概説する。

2. 産熱と着衣

人体から外界への熱の流れをみる上で産熱量と着衣量は、是非とも考慮すべき人体側の前提条件である。

人は食事で得たエネルギーの約1/4で生活活動を行う一方、残りの大部分は熱として体外に放出し、体温の恒常性を保っている。発生熱である代謝量は、通常、生体工学の分野ではmet単位 ($1 \text{ met} = 50 \text{ kcal}/\text{m}^2(\text{皮膚表面積})\text{h} = 58 \text{ W}/\text{m}^2$) で表され、図-1に示すように作業や運動によって異なる¹⁾。なお、代謝量は年齢

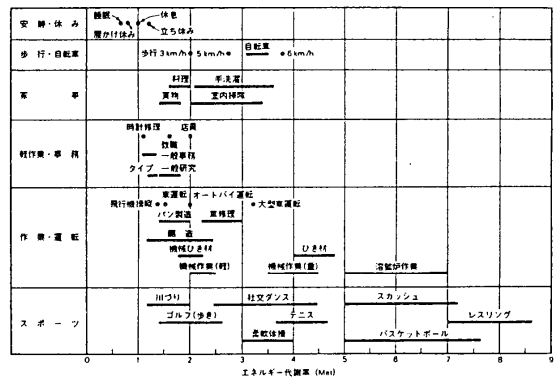


図-1 作業内容と代謝量¹⁾

や男女による差もあり、また見掛けは同じ作業状態であっても、図-2のように環境条件によって代謝量が異なり、低温域での震えや高温域での酵素の活性化に伴う産熱増加が見られる。

着衣は熱抵抗および湿分抵抗として作用する。着衣の熱抵抗を表す単位としては、clo値 ($1\text{ clo} = 0.18\text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{Kcal} = 0.155\text{ m}^2\text{C}/\text{W}$) が広く用いられ、着衣量との関係は表-1¹⁾で示される。一方、着衣の透湿性を表す単位としては、permeability index³⁾、permeation efficiency factor⁴⁾、透湿係数⁵⁾などがある。

3. 人体と環境との間の熱授受

3-1 平均皮膚温

体表面からの熱伝達を考えようとする時、各部位ごとに異なる皮膚表面温を何らかの方法で平均化して取り扱うことが基本となる。生体は体温を一定に保たせる為に、暑い環境では、皮膚の毛細血管を拡張して皮膚表面の血流量を増大させ、体熱の放散を図る。その結果、皮膚表面温は全身にわたって均等になるが、低温環境では逆に末梢部への血流量を制限するので、頭部や躯幹部と手足とでは皮膚温の差が大きくなる。快適な状態でも皮膚表面温は各部位により異なるが、このように局所的に差異のある皮膚温の平均値を得る為に、種々の重みを用いた平均皮膚温の算出式が提案されている⁶⁾。平均化する為の重み係数としては、皮膚の面積比率、熱伝達率の比率、皮膚感度の比率などがあるが、Hardy-DuBoisの面積加重の平均皮膚温式⁷⁾が多用されている。

平均皮膚温のもう一つの重要な点は、生体と周囲環境との間の熱交換が行われた結果形成される生理的な状態値であり、人の感じる暑さ寒さの度合いや快・不快の程度、すなわち温熱感覚や快適感覚と良い相関を有することである。温熱感と快適感の区別とともに、平均皮膚温との関係は図-3、4⁸⁾に示される。両図から、一般に温熱感と快適感は別種のものであることや、暖かくも涼しくもないと言う温熱感を表す「中立」と快・不快を表す「快適」のみが平均的に

表-1 着衣と熱抵抗¹⁾

衣類名	生地	重量 (kg)	体積 (cc)	衣類名	生地	重量 (kg)	体積 (cc)
真広上下(薄手)	あや織り	0.567	0.35	ドレス(薄手、異地付)	織	0.150	0.17
・ (厚手)	・	0.648	0.49	・ (厚手)	織	1.180	0.63
スポーツジャケット(薄手)	・	0.848	0.49	長袖ブラウス(薄手)	・	0.095	0.20
・ (厚手)	・	0.848	0.49	・ (厚手)	・	0.165	0.29
長袖シャツ	平織り	0.201	0.29	半袖ブラウス(薄手)	・	0.088	0.17
半袖シャツ	・	0.163	0.19	ジャケット(薄手)	織	0.510	0.31
長袖ニットシャツ(薄)	織	0.196	0.24	・ (厚)	・	0.709	0.43
・ (厚)	・	0.261	0.31	短パン(薄手)	織	0.172	0.17
半袖ニットシャツ(薄)	・	0.201	0.22	長袖セーター(薄手)	織	0.301	0.37
・ (厚)	・	0.193	0.25	ベスト(薄手)	織	0.193	0.20
チョッキ(薄手)	織	0.202	0.20	オーバーサイズロン・織	50/50	0.454-0.510	0.55
・ (厚手)	・	0.232	0.30	ショール(薄手)	織	0.227	0.30
オーバーサイズロン・織	50/50	0.454-0.510	0.55	スワッチ(薄手)	・	0.162	0.26
ズボン(薄手)	平織り	0.232	0.24	・ (厚)	・	0.821	0.44
・ (厚手)	あや織り	0.513	0.32	スカート(薄手、異地付)	あや織り	0.422	0.22
短パン(薄手)	織	0.096	0.08	ゴスロム・セパレート	・	—	0.56
半袖アンダーシャツ	・	0.099	0.09	短パン(上)	・	—	0.04
ブリーフ	・	0.057	0.05	軍ズリッパ	・	—	0.13
長ズリッパ(上)	・	0.142	0.25	軍ズリッパ	織	0.142	0.19
・ (下)	・	0.188	0.25	・ (上)	・	—	0.25
・ (下)	フッフル	0.170	0.35	・ (下)	・	—	0.198
ツックス(薄手)	・	0.227	0.35	長ズリッパ(上)	フッフル	0.170	0.25
・ (厚)	・	0.057	0.03	・ (下)	・	0.227	0.25
ハイソックス(薄手)	・	0.113	0.04	パンチーストッキング	・	—	0.01
・ (厚)	・	0.113	0.06	タイツ(薄手)	織	0.113	0.06
短くつ	・	0.459	0.04	ハイソックス(厚手)	・	0.113	0.06
長くつ(薄手)	・	0.567	0.15	・ (厚)	・	0.170	0.08
ひざかけブーツ(織)	・	0.907	0.30	くつ	・	0.284	0.03
				ひざかけブーツ(革)	・	0.907	0.30

男子用

女子用

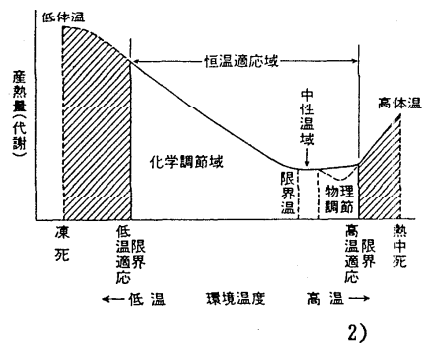


図-2 環境温度と代謝量²⁾

は一致し、かつその時の平均皮膚温は33°C~34°Cであることが読み取れる。

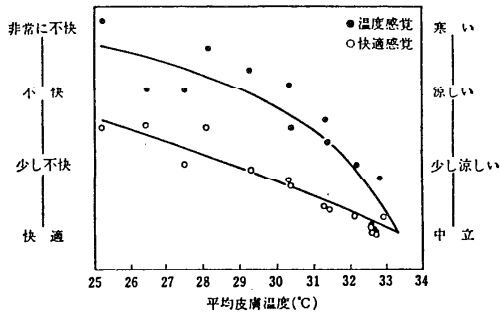


図-3 低温域における平均皮膚温と
温熱感覚・快適感覚の関係⁸⁾

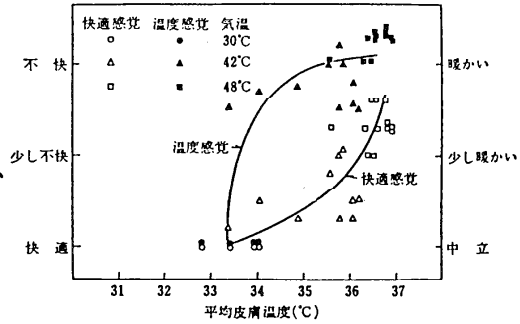


図-4 高温域における平均皮膚温と
温熱感覚・快適感覚の関係⁸⁾

3-2 対流熱伝達

体表面は裸の場合には皮膚表面であり、着衣時では衣服外表面温となる。衣服は熱伝導抵抗と透湿抵抗として作用するから、衣服外面と環境との間の抵抗に2章で述べた着衣抵抗を直列に加えれば熱伝達量が算出できるので、本稿では裸体時における対流、放射、蒸汗の各放熱量を中心に述べる。なお、これら二つの放熱量で全放熱量の約9割を占める。

裸体時における対流熱伝達量は、次式で与えられる。

$$C = \frac{Hc}{Ac} = hc(T_s - T_a) \quad (1)$$

ただし、C: 対流熱伝達量(単位皮面積・時間あたり) Hc: 対流熱伝達量(単位時間あたり)
Ac: 対流熱伝達に拘る皮膚表面積 hc: 対流熱伝達率 Ts: 平均皮膚温 Ta: 気温

人体は複雑な形状をしており、また作業状態によって姿勢を変えるので、対流熱伝達量を算出する場合に、式(1)の対流熱伝達率hcと対流に拘る皮膚表面積Acとして如何なる値を用いるかが、主要な問題となる。

四肢の状態や姿勢によって、対流に拘る皮膚表面積Acは変わるので、有効対流皮面積を用いるべきであるが、通常はその変動は少なくないとみて全体表面積Aを用いる。全体表面積Aを求める式は、体重と身長の間数としたDuBoisらの式、日本人の実測値から導いた高比良の式、⁹⁾ 藤本らの式¹¹⁾がある。なお、身長170cmで体重60Kgの人は式(2)より、体表面積は1.65m²と算出される。

$$A = 68.83 \times 10^{-4} \times Wt^{0.444} \times Ht^{0.663} \quad ; \quad \text{藤本・渡辺の式}^{11)} \quad (2)$$

ただし、A: 全体表面積 (m²) Wt: 体重 (Kg) Ht: 身長 (cm)

一方、人体に関する対流熱伝達率hcは、気流や姿勢によって大きな影響を受けるが、人を用いた生理実験を基に導いた実験式や、人をモデル化して理論的に導いた式が種々提案されており¹²⁾、また着衣の影響なども検討されている¹³⁾。提案式とその軌跡を図-5に掲げる。

図-5を見れば、結果的に強制対流のみとみなされる式や、自然対流をも考慮した式など様々であるが、例えば日常の室内気流に相当する0.15m/sの対流熱伝達率の値が最大値と最小値では2倍以上の開きが見られる。このことは計算の際に用いられる式によっては、対流熱伝達率に2倍の差が生じることを意味する。

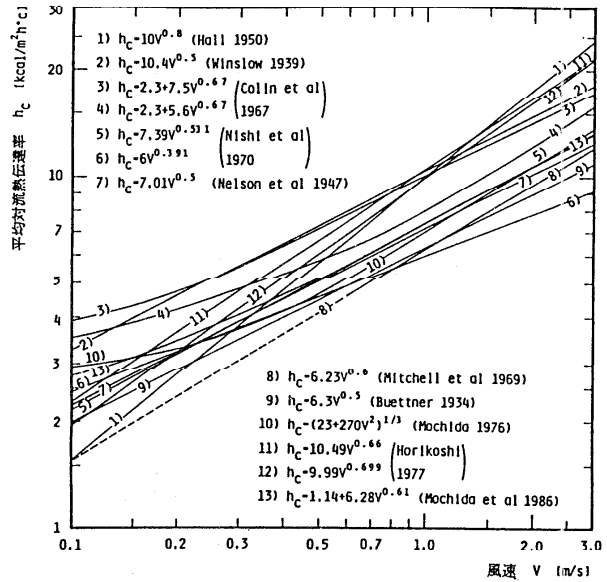


図-5 人体に関する対流熱伝達率の比較¹²⁾

3-3 放射熱伝達

通常の屋内における熱放射では長波長が主体となり、また皮膚や衣服表面も黒体に近い放射率を持つ。放射熱伝達量の算出は、絶対温度の4乗差を基礎とするが、温度範囲を日常の居住域に限定すれば、4乗差式の線形化が可能になり、人体から環境への放射伝熱量は、式(3)で与えられる¹⁴⁾。

$$R = \frac{Hr}{Ar} = hr (Ts - \sum FiTi) = hr (Ts - Tr) \quad (3)$$

ただし、R: 放射熱伝達量 (単位皮面積・時間あたり) Hr: 放射熱伝達量 (単位時間あたり)
Ar: 放射熱伝達に拘る面積 hr: 線形化された放射熱伝達率

T_s : 皮膚表面温度 T_i : 周壁 i の表面温度 T_r : 平均放射温度 ($= \sum F_i T_i$)
 F_i : 重み係数

放射熱伝達に拘る面積 A_r は、対流の場合と同じように、姿勢によって全体表面積より小さくなるので、有効放射皮面積比 $Fr = A_r / A$ を定義し、裸体時の Fr 値として、¹⁵⁾ 椅座時 : $Fr = 0.7$ 、¹⁶⁾ 立位時 : $Fr = 0.725$ を用いる場合がある。

放射熱伝達率 hr と平均放射温度 T_r は、直達放射のみに着目したか、多重放射をも考慮して導いたかにより定義が異なり、それぞれ固有の特徴を有する。¹⁷⁾

$$\text{放射熱伝達率} \left\{ \begin{array}{l} \text{直達放射のみ考慮 : } hr = \epsilon_s \epsilon_i \sigma k \quad (4) \\ \text{多重放射をも考慮 : } hr = \epsilon_s \sigma k \quad (5) \end{array} \right.$$

$$\text{平均放射温度} \left\{ \begin{array}{l} \text{直達放射のみ考慮 : } T_r = \sum F_i T_i = \sum \phi_i T_i \quad (6) \\ \text{多重放射をも考慮 : } T_r = \sum F_i T_i = \sum b_i T_i \quad (7) \end{array} \right.$$

ただし、 ϵ_s : 人体表面の放射率 ϵ_i : 壁面 i の放射率 σ : Stefan-Boltzmann定数
 ($= 4.88 \times 10^{-8} \text{kcal}/\text{m}^2 \text{hk}^4 = 5.67 \text{W}/\text{m}^2 \text{k}^4$) k : 放射に関する温度係数 [$(273 + T_s) + (273 + T_i)$] [$(273 + T_s)^2 + (273 + T_i)^2$] : T_s, T_i [°C]
 ϕ_i : 人体 s と周壁 i との間の形態係数 b_i : 人体 s と周壁 i との間の吸収係数
 (absorption factor)

式(4)で放射熱伝達率 hr の中には、人体の放射率 ϵ_s と周囲壁面の放射率 ϵ_i が入っているが、式(5)では人体の放射率 ϵ_s のみである。多重放射を考慮して式を展開した場合には、壁面放射率 ϵ_i は式(7)の吸収係数 b_i の中に組み込まれてくる。式(6)や式(7)は在室者の室内における位置によって異なる値を示すので、熱放射感をよく評価することができるが、通常多用されている壁面積比加重の平均放射温度は在室者の位置に関係なく一定となるので、熱放射感を正確に評価できないという欠点を有する。

なお、平均放射温度を算出する為の重み係数 F_i としては、上記の形態係数や吸収係数のほかに、壁面数(単純平均)、壁面積比率、形態係数と放射率の複合などがある。¹⁷⁾

3-4 蒸汗熱伝達

汗の蒸発に伴う熱伝達は、人体にとって対流熱伝達と放射熱伝達と並ぶ重要な伝熱形式である。対流と放射による熱伝達は、低温領域で大きな割合を占めるが、皮膚温や体温より高い温

度領域では、人体側の受熱となるので、このような環境では蒸汗熱伝達が唯一の放熱経路となる。発汗は緊張した時の精神性発汗と温熱性発汗に大別されるが、温熱性発汗のみが体温調節に関与する。この温熱性発汗は不感蒸泄と発汗から成り立ち、不感蒸泄は皮膚層を通しての不断の水分拡散であり、一方、発汗は暑い環境や運動した時の、いわゆる汗である。不感蒸泄は日常絶え間なく行われ、その放熱量も代謝量の $1/4 \sim 1/5$ とほぼ一定値を示し、椅子に座っている人が熱的に快適な状態にある時には約 $15 \sim 20 \text{ W}$ (ワット)程度である。他方、椅座時の最大発汗量は熱量に換算して、代謝量の約2倍である。¹⁸⁾

蒸汗放熱量の代表的な表示形式としては、次の三つが挙げられる。

$$E_{sk} = G L_s \quad (8)$$

$$E_{sk} = \kappa h c (P_s - P_a) \quad (9)$$

$$= \kappa h c (\phi_s P_{ss} - \phi_a P_{as}) \quad (9)'$$

$$E_{sk} = \kappa h c (P_{ss} - P_a) w \quad (10)$$

ただし、 E_{sk} : 蒸汗放熱量 (単位皮面積・時間あたり) G : 蒸汗量 (単位皮面積・時間あたり) L_s : 平均皮膚温に対する蒸発潜熱 κ : ルイスの係数 P_s : 皮膚表面の平均水蒸気圧 P_a : 環境の水蒸気圧 P_{ss} : 平均皮膚温に対する飽和水蒸気圧 P_{as} : 環境の飽和水蒸気圧 ϕ_s : 皮膚表面の相対湿度 ϕ_a : 環境の相対湿度 w : ぬれ面積率 (wettedness)¹⁹⁾

式(8)~(10)はそれぞれに内容上の特徴を有している²⁰⁾ので、目的に合った式を用いればよいが、蒸汗放熱量を考える上で大きな問題となるのは、皮膚表面温は一面的に決まるのに対し、通常は皮膚表面が飽和状態にないので、皮膚表面の(平均)水蒸気圧は、皮膚温の他にも一つの状態値を与えなければ決まらない点である。被験者実験を行い、環境側および人体側の測定可能な物理量を計測すれば、その条件下での皮膚表面の平均水蒸気圧、ぬれ面積率、蒸汗放熱量は式(8)~(10)から求めることはできる。しかし、人体からの放熱量を考える最も重要な目的の一つである、環境の温熱性・快適性を評価するための指標、すなわち温感指標を作成するという立場から言えば、人体内部の熱モデルをも考えない限り、任意の条件における皮膚表面の相対湿度や水蒸気圧、あるいはぬれ面積率を予測し特定することはできない。要約すれば、(平均)皮膚温と皮膚表面の相対湿度、あるいは皮膚表面の(平均)水蒸気圧、またはぬれ面積率のいずれかの関係を予め知ることが最重要課題で、この為に別途の基礎的生理実験を行う必要がある。

式(10)は Gagge¹⁹⁾により提案された蒸汗放熱量の表示式で、通常は飽和状態にない皮膚表面の水蒸気圧を、常に平均皮膚温に対する飽和水蒸気圧で置き換え、この処置に基づく過大視分をぬれ面積率(wettedness)で補正している。このぬれ面積率 w は人の蒸汗特性をマクロな立場²¹⁾から表現するのに現状では種々の点で最も適しており、次式によって定義されている。

$$w = \frac{E_{sk}}{E_{skmax}} = \frac{A_w}{A} \quad (11)$$

ただし、 E_{skmax} : 最大蒸汗放熱量 A_w : ぬれている体表面積

3-5 呼吸放熱量

呼吸に伴う放熱量は、呼吸気道や肺胞内で加温加湿された空気と外界の空気とのエンタルピー差によって求めることができ、Fanger²²⁾が提案した次式が多用されている。

$$k = M(0.1488 - 0.0014T_a - 0.0023P_a) \quad (12)$$

ただし、 k : 呼吸放熱量 [kcal/m²h] M : 代謝量 [kcal/m²h]

呼吸による伝熱量は椅座時の快適状態では代謝量の約10%と放熱側であるが、式(12)からもわかるように、環境の条件によっては人体への受熱となり得る。

3-6 伝導伝熱量

椅子に座している時には、背部や臀部から椅子への伝導がみられる。床暖房、特に家庭の間で直接床に座している時などは、温熱感に与える影響が大きい。通常の場合、伝導による伝熱量が代謝量の5%前後との実験結果も報告されている。²³⁾

3-7 衣服換気に伴う放熱量

衣服を着ることにより、皮膚と衣服間や衣服と衣服間にできる空間を介して衣服換気が起こり、この衣服換気に伴う放熱量が存在する。普通着衣時における衣服換気量は平均して400~500 l/h、多い場合には1000 l/hに及ぶと言われる。²⁴⁾この数値に基づいて衣服換気に伴う放熱量を試算すると、代謝量の約10%に達する。²⁵⁾

3-8 外部仕事に費やされる熱量

日常の動作や業務では、外部仕事に費やされる熱量は殆ど無視できるが、急な坂道を登る場合などでは、代謝量の2割に達することもある。²²⁾

3-9 蓄熱量

体温調節域を超えた高温あるいは低温環境の非定常域では、体温が変化し蓄熱や過冷が起こる。蓄熱量 S は平均体温の時間変化($\Delta T_b / \Delta t$)をもとに次式で与えられる。²¹⁾

$$S = 0.83 \frac{Wt}{A} \cdot \frac{\Delta T_b}{\Delta t} \quad (13)$$

ただし、 S :蓄熱量[kcal/m²h] T_b :平均体温[°C] t :時間[h]
0.83:人体の平均比熱[kcal/kg°C]

4. 熱平衡式と温感指標

夏の室内で気温が多少高くても、湿度が低い時や風があれば然程暑さを感じなかったり、冬に厚着や運動をすれば寒さを凌げると言った例をみるように、暑さ寒さの度合いは環境側と人体側の両面から影響を受ける。人の温熱感や快適感に影響を与える環境側と人体側の要素は種々あるが、環境側の気温、放射温(壁温)、湿度、風速および人体側の着衣、作業量(代謝量)の6要素は考慮すべき最少の必須要素であり、これらは前章で述べた各放熱量と深い拘りを持つ。²⁷⁾

環境の温熱性や快適性を評価したり、空調暖冷房設計の基本となる環境の設定値を求める為の温感指標は、その作成過程から二つに大別される。一つは本稿で述べた各放熱量の総和と代謝量との間で熱平衡式をたて、それに人体に関する生理的・心理的状態値を代入して指標を作成する方法であり、Fangerの予想平均温冷感 PMV (Predicted Mean Vote)²²⁾やGaggeらの新有効温度 ET^* (New Effective Temperature)²⁶⁾などが代表である。他の一つは、多数の被験者を用いて大規模な生理心理実験を重ね、その結果から実験式やノグラムを導くもので、HoughtonとYaglouの有効温度 ET (Effective Temperature)²⁸⁾がこれに属し、1970年頃までの約半世紀の間、代表的な指標として使用されてきた。現在では前記の PMV と ET^* が広く使用されているが、この二つの指標も発表されてから20年以上が経過し、実際の人体反応と合致しない点などが指摘されはじめており、²⁹⁾³⁰⁾生理心理実験を踏まえ、熱伝達論を基礎にした生理工学の分野からの、より人体の温熱反応に近い指標の作成が待たれている。

5. おわりに

人も自然界の一員であり、人から環境への熱伝達も特殊なものではなく、他の物体同志の熱伝達と同様、基本的には熱伝達の法則に従う。しかし、精巧な機能と複雑な外形を有し、微妙な生理心理反応を示す人体の熱伝達現象を解明しようとする時、便宜上無生物の熱伝達と異なる扱いや見方が必要になる場合がある。本稿では、日常の空調暖冷房環境に関する基礎事項と

して、人体まわりの熱伝達の種類と応用の一部について梗概したが、人体に関する熱伝達現象を詳しく調べることは、個人を対象とするオフィス空調のパーソナル化への対応、自動車などや宇宙船内あるいは宇宙都市の熱環境制御、医学的な面での病気治療や人工臓器の開発など多方面に寄与するところが多いと考えられる。

引用・参考文献

- 1) 日本建築学会編：建築設計資料集成—環境1、丸善、P.106 & P.107、1978
- 2) 菊地安行・坂本弘・佐藤方彦・田中正敏・吉田敬一：生理人類学入門、南江堂、P.30&P.31、1981
- 3) A.H.Woodcock: Moisture transfer in textile system, Part I, Textile Research Journal, P.628, 1962
- 4) Y.Nishi & A.P.Gagge: Moisture permeation of clothing — a factor governing thermal equilibrium and comfort, ASHRAE Trans., Vol.76, Part I, P.137, 1970
- 5) 持田徹・横山真太郎：着衣の透湿抵抗に関する工学的研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.3、P.79、1977
- 6) T.Mochida: Mean skin temperature weighted by skin area, heat transfer coefficients and thermal sensitivity, Bull. of Faculty of Engrg., Hokkaido Univ., No.115, P.1, 1983
- 7) J.D.Hardy & E.F.DuBois: The technic of measuring radiation and convection, J.Nutr., No.15, P.461, 1938
- 8) A.P.Gagge, J.A.Stolwijk & J.D.Hardy: Comfort and thermal sensation and associated physiological responses at various ambient temperature, Environmental Research, Vol.1, P.1 (温熱生理学・中山昭雄編・西安信著、理工学社(1981)、P.60の図-2・19と図-2・20より引用)
- 9) D.DuBois & E.F.DuBois: A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known, Archives of Inter. Medicine, Vol.17, P.863, 1916
- 10) 関田直幹・内菌耕二：新生理学 下、医学書院、P.478、1975
- 11) 藤本薫喜・渡辺孟：日本人の体表面積に関する研究、日本衛生学会誌23(5)、P.443、1968
- 12) 持田徹・森山敏彦：人体を円筒モデルとした対流熱伝達率の研究、北海道大学工学部研究報告、第104号、P.39、1986
- 13) 持田徹：着衣時の対流およびふく射熱伝達率、空気調和・衛生工学会論文集、No.15、P.1 1981

- 14) 持田徹・射場本勲市郎：熱ふく射効果の評価法に関する研究 —— Absorption Factor 加重の平均ふく射温、空気調和・衛生工学会論文集、No.2、P.47、1976
- 15) P.O.Fanger: Radiation data for the human body, ASHRAE Trans., Vol.76, Part II, P.338, 1970
- 16) 堀越哲美・宮原英男・小林陽太郎：人体と矩形面との間の形態係数および人体の有効ふく射面積に関する研究、日本建築学会論文集、第268号、P.109、1978
- 17) 持田徹：平均ふく射温に及ぼす壁面ふく射率の影響、北海道大学工学部研究報告、第113号 P.68、1983
- 18) 久野寧：汗の話、光生館、P.88、1971
- 19) A.P.Gagge: A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration, Amer. J. Physiol., Vol.120, p.277, 1937
- 20) 持田徹・落藤澄・堀越哲美・嶋倉一實：蒸汗放熱表示式の特徴とぬれ面積率の変化特性を考慮した等平均皮膚温線、空気調和・衛生工学会論文集、No.48、P.51、1992
- 21) 西安信：人体と環境との熱交換、温熱生理学（中山昭雄編）、理工学社、P.45&P.49 1981
- 22) P.O.Fanger: Thermal comfort, Danish technical press, P.28&P.24、1970
- 23) 土肥まり子・辻知佳子・堀越哲美：冷房空間における温熱環境条件の人体影響に関する実験的研究 —— その1 接触伝導を考慮した気温の皮膚温・放熱量への影響、日本建築学術講演梗概集、P.265、1987
- 24) 庄司光：衣服の衛生学、光生館、P.49、1969
- 25) T.Mochida: Influence of heat loss by clothing ventilation on thermal sensation, Memoirs of Faculty of Engrg., Hokkaido Univ., P.46, 1977
- 26) A.P.Gagge, J.A.J.Stolwijk & Y.Nishi: An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, ASHRAE Trans., Vol.77 P.247, 1971
- 27) 居住熱環境の快適性と評価指標の基礎的な考え方、空気調和・衛生工学会北海道支部セミナー資料集、P.11-1、1991
- 28) F.C.Houghten & C.P.Yag(log)lou: Determining lines of equal comfort, ASHRAE Trans., Vol.29, P.163, 1923
- 29) 堀越哲美：PMVと快適方程式の検討、空気調和・衛生工学、第60巻、第10号、P.963、1986
- 30) 持田徹・嶋倉一實・森山敏彦・伊藤誠・今城忠宣：暑熱環境におけるぬれ面積率の挙動に関する基礎的研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.46、P.1、1991

人体からの熱損失と温冷感

田辺 新一（お茶の水女子大学家政学部）

1. はじめに

ここでは、熱的快適性に影響を与える6要素の説明と、現在温冷感を予測するのに良く用いられているPMVに関する解説を行う。

2. 快適性に影響を与える要素

人体の熱的快適性に影響する6要素は、空気温度、放射温度、気流、湿度、着衣量、代謝量である。着衣量と代謝量は人間側の要素で、他の4要素は環境条件である。

2.1 着衣量

衣服の断熱性は、クロ(clo)値という単位で表わされる。冬のスリーピーススーツが1.0clo程度である。温熱環境指標の計算などに用いられているクロ値は、皮膚表面から着衣外表面までの熱抵抗の値である。1cloは、 $0.155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ の熱抵抗である。そもそもクロ値という単位は、1941年にアメリカ・イェール大学・ピアス研究所のGagge博士によって提案された¹⁾。クロ値は、人間が生理的・心理的に快適さを維持できる被服の断熱性能として定義される。従って、正確に述べるとクロ値は、熱抵抗でありながら、人体の条件と周囲の環境条件の影響を受ける問題があるが、衣服熱抵抗をマクロ的に表現できるため広く使用されている。図1に典型的衣服のクロ値を示す。クロ値は、正確にはサーマルマネキンで測定される。サーマルマネキンは、着衣の熱抵抗を測定する以外に温熱環境の評価測定にも用いられる²⁾。

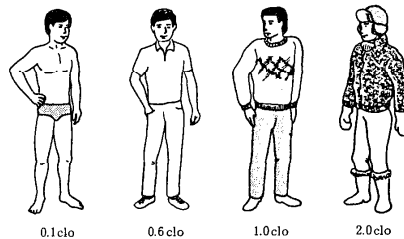


図1 典型的衣服のクロ値

2.2 代謝量

代謝量は、メット(met)という単位で表わされる。1metは、椅子に座り安静にしている時の代謝量で $58.2 \text{ W}/\text{m}^2$ である。通常の事務作業時は、 $1.1 \sim 1.2 \text{ met}$ の代謝量である。椅子に座って読書などしている場合、各人が $100 \sim 200 \text{ W}$ の熱を出していることになる。

2. 3 気温

気温とは空気温度のことである。室内に上下・水平の温度分布がある場合、空気温をどこで定義するかは大変難しい。通常、椅子に座っている場合、床上0.6mを体中心とする。

2. 4 平均放射温度

平均放射温度とは、実際の不均一な放射場において在室者が周囲環境と放射熱交換を行なうのと同量の放射熱交換を行なう場合の均一周囲温度である。平均放射温度では人体と周囲との形態係数が考慮されているので、人間が室内のどの位置にいるかによって平均放射温度は異なる。式(1)に平均放射温度の定義を示す。これは、周壁の放射率が1に近い場合に適用される。厳密には、相互放射を考慮して算出する必要がある。周壁・天井・床面等と人体との形態係数 (F_{pi}) は、立位の場合、と、座位の場合で図により算出する³⁾。

$$t_r = \sqrt[4]{\sum F_{pi} (t_i + 273)^4} - 273 \quad \dots(1)$$

ここで、

t_r	: 平均放射温度	[°C]
t_i	: 周壁・天井・床面等の表面温度	[°C]
F_{pi}	: 周壁・天井・床面等と人体の形態係数	[-]

2. 5 気流

気流とは空気の動きのことである。人体が動いている場合は、その動きも含めた相対気流として定義される。気流は、体感に与える影響が大きく、特に夏季の涼感、冬季の寒さ感覚には大きな影響がある。強すぎる気流はドラフトを生じさせる。暑いときは同じ気温であっても気流があれば涼しく感じる。

2. 6 湿度

湿度は相対湿度あるいは絶対湿度で表現される。湿度は温冷感に影響を与えるとともに、低湿度・高湿度では人体に非熱的不快感を与える。低湿度では静電気の問題が生じる。高湿度では皮膚のぬれ率増加による不快感がある。

3. PMV

3. 1 快適方程式

Pangerによって提案された、人体の熱的中立温度を予測する快適方程式について述べる。人体の熱平衡は、熱的快適性の必要条件にすぎない。熱的中立になるためには、熱平衡とともに、平均皮

膚温度と皮膚よりの蒸発熱損失量がある適当な範囲になければならない。快適方程式では、熱的中立時の平均皮膚温度と皮膚よりの蒸発熱損失量が式(2)、(3)のように代謝量の関数となると考えたところがキーポイントである。これによって、人体に関する熱平衡式は6要素のみで表現できる。

$$t_s = 35.7 - 0.028 (M - W) \quad \dots(2)$$

$$E_s = 0.42 (M - W - 58.15) \quad \dots(3)$$

人体に関する熱平衡式は、以下のようになる。

$$(M - W) - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} = K = R + C \quad \dots(4)$$

ここで、

t_s	: 平均皮膚温度	[°C]
M	: 代謝量	[W/m ²]
W	: 機械的仕事量	[W/m ²]
E_d	: 不感蒸泄量	[W/m ²]
E_s	: 皮膚面よりの蒸発熱損失量	[W/m ²]
E_{re}	: 呼吸による潜熱損失量	[W/m ²]
C_{re}	: 呼吸による顕熱損失量	[W/m ²]
K	: 衣服を通る熱損失量	[W/m ²]
R	: 放射熱損失量	[W/m ²]
C	: 対流熱損失量	[W/m ²]

以上の単位 [W/m²] は、体表面積 1 m² 当たりの熱量を意味する。
各パラメータは以下の式で表される。

$$E_d = 3.05 * 10^{-3} * (5733 - 6.99 (M - W) - P_a) \quad \dots(5)$$

$$E_{re} = 1.7 * 10^{-5} M (5867 - P_a) \quad \dots(6)$$

$$C_{re} = 0.0014 M (34 - t_a) \quad \dots(7)$$

$$K = \frac{t_s - t_{cl}}{0.155 I_{cl}} = \frac{35.7 - 0.028 (M - W) - t_{cl}}{0.155 I_{cl}} \quad \dots(8)$$

$$R = 3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \quad \dots(9)$$

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad \dots(10)$$

ここで、

- t_{cl} : 着衣外表面温度 [°C]
 P_a : 水蒸気圧 [Pa]
 v : 平均風速 [m/s]

また、Fangerの快適方程式では、人体に対する体流熱伝達率は、Winslow⁴⁾による式(11)が使用されている。また、着衣面積比は式(12)が使用されている。

$$h_c = 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad \begin{matrix} 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \text{の時} \\ 12.1\sqrt{v} & 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \text{の時} \end{matrix} \quad \dots(11)$$

$$f_{cl} = \begin{matrix} 1.00 + 0.2 I_{cl} & I_{cl} < 0.5 \text{ clo} \\ 1.05 + 0.1 I_{cl} & I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \end{matrix} \quad \dots(12)$$

3.2 PMVの成り立ち

温熱環境の6要素の複合効果の評価するかについて、デンマーク工科大学のFanger教授がPMV理論³⁾を発表している。これは、1984年にISO-7730⁵⁾として国際規格化された。PMV理論は、温熱環境の6要素を代入すると、その条件で、暖かいと感じるか、寒いと感じるかを数値として表現してくれる。人体に関する熱平衡式と1300人に及ぶ被験者実験結果に基づいて提案された。図2にそのスケールを示す。

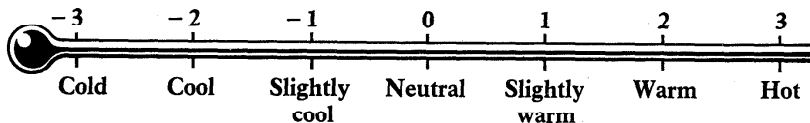


図2 PMVのスケール

PMVは、人体の熱負荷(L)に基づき算出される。人体の熱負荷とは熱的中立状態からの仮想上の偏差を熱量で表したものである。実際の人体は、生理学的に皮膚温度、蒸発熱損失量を調整し熱平衡を保っている。式(4)の左辺から右辺を引いて人体の熱負荷は求められる。

$$L = (M - W) - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} - R - C \quad \dots(13)$$

式(13)中の着衣外表面温度 (t_{cl}) は、以下の式で求める。

$$\begin{aligned} t_{cl} &= t_a - 0.155 I_{cl} (R + C) \quad \dots(14) \\ &= 35.7 - 0.028 (M - W) - 0.155 I_{cl} (3.96 * 10^{-8} f_{cl} (t_{cl} + 273)^4 \\ &\quad - (t_r + 273)^4 + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)) \end{aligned}$$

Fangerは、人体の熱負荷 (L) が変化すれば温冷感申告 (Y) が変化すると考えた。被験者実験結果は、作用温度の関数として温冷感申告値 (Y) が示されているので、作用温度の変化量に対する人体の熱負荷の変化量がわかれば、人体の熱負荷 (L) と温冷感申告 (Y) の関係を表す微分方程式が求められる。代謝量が異なる4種類の被験者実験結果について、各々の $\delta Y / \delta L$ 値を求めて、微分方程式(15)を作成した。代謝量が高くなるほど、熱負荷の変化に対しての温冷感の変化が鈍くなる。式(15)を積分し、申告値 $Y = 0$ (中立) の時は、熱負荷 (L) は0という初期条件を代入した。この積分で求められた Y を PMV (Predicted Mean Vote) と名付けた。 PMV は、式(16)で算出される。

$$\frac{\delta Y}{\delta L} = 0.303 e^{-0.036M} + 0.028 \quad \dots(15)$$

$$PMV = (0.303 e^{-0.036M} + 0.028) (M - W - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} - R - C) \quad \dots(16)$$

すなわち、

$$\begin{aligned} PMV &= (0.303 e^{-0.036M} + 0.028) * \\ &\quad ((M - W) \\ &\quad - 3.05 * 10^{-8} (5733 - 6.99 (M - W) - P_a) \\ &\quad - 0.42 ((M - W) - 58.15) \\ &\quad - 1.7 * 10^{-5} M (5867 - P_a) \\ &\quad - 0.0014M (34 - t_a) \\ &\quad - 3.96 * 10^{-8} f_{cl} ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \\ &\quad - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)) \quad \dots(17) \end{aligned}$$

となる。式(17)中の t_{cl} は、式(14)より求める。

FangerはPMVとPPDの関係を提案している。人間がある状態下で暑いか寒いかが判明してもその時に何%の人がその環境に不満足かを調べなければ、正しい建築・衣服設計はできない。ISO-7730では快適なPMV、PPDの値として、 $-0.5 < PMV < +0.5$ 、 $PPD < 10\%$ を推奨している。

日本人について、表1に季節別、国別の回帰式と中立温度を示す⁶⁾。4つの被験者実験とも、同一着衣量、同一衣服で行われている。熱的中立温度に関しては、温熱環境要素を同一にした実験では、国別、季節別の相違はほとんどない。しかし、熱的中立から離れた環境下では、適応能力などが異なるので快適感が異なることがありうる。

表1 季節別、国別の回帰式と中立温度

	Number	Regression equation	Neutral temperature (°C)
College-age Japanese (Winter)			
Female+male	78	$Y = -6.725 + 0.2668 T$	25.3
Female	38	$Y = -6.212 + 0.2372 T$	26.2
Male	40	$Y = -7.275 + 0.2954 T$	24.6
College-age Japanese (Summer)			
Female+male	172	$Y = -9.080 + 0.3448 T$	26.3
Female	84	$Y = -9.821 + 0.3663 T$	26.8
Male	88	$Y = -8.337 + 0.3130 T$	25.8
College-age Danish			
Female+male	128	$Y = -7.836 + 0.3048 T$	25.7
Female	64	$Y = -9.963 + 0.3907 T$	25.5
Male	64	$Y = -5.709 + 0.2190 T$	26.1
College-age American			
Female+male	720	$Y = -8.625 + 0.3376 T$	25.6
Female	360	$Y = -9.678 + 0.3735 T$	25.9
Male	360	$Y = -7.574 + 0.3019 T$	25.1

【参考文献】

- 1) A. P. Gagge, A. C. Burton, H. C. Bazett, Practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment, SCIENCE, 1941, pp. 428-430
- 2) 田辺、サーマルマネキンを用いた室内温熱環境の評価、(EHTについて)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990、pp. 817-818
- 3) P. O. Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, 1970
- 4) C. E. A. Winslow, A. P. Gagge, L. P. Herrington, The influence of air movement upon heat losses from the clothed human body, Journal of Physiology Vol. 127, 1939, pp. 505-518
- 5) ISO-7730, Moderate thermal environments -Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984
- 6) S. Tanabe, Thermal comfort requirements of sedentary college-age subjects during the winter season in Japan, 日本家政学会誌、Vol. 41, No. 5, 1990, pp. 437-445

[特殊空間の伝熱問題]

大空間における上下温度分布の予測モデル

戸河里 敏 (鹿島技術研究所)

1. はじめに

大空間の空調・熱環境計画を行うに当たっては、居住域のみを対象とした冷房負荷算定・上部非空調域の温度予測や暖房時の上下温度分布予測が必要となる。

特に、近年急増しているアトリウムのように明るさ、開放感が重視される空間では、ガラス屋根、ガラス壁面が多用されるため、日射など外界気象条件の影響により、上下に大きな温度差が形成されやすく、従来の大空間以上に、こうした分布を考慮することが、温熱環境の予測、(居住域の)冷房負荷算定を行う上で重要となっている。

これらの特性は、気象条件、使用条件などにより時間とともに大きく変動するため、周壁等を含めた非定常熱解析を行うことが必要である。

こうした検討を行うため、非定常解析に組み込み可能な上下温度分布予測モデルを作成した。実験値との比較でも良好な結果を得ており、その概要を紹介する。

2. 上下温度分布の簡易予測モデル(ブロックモデル)¹⁾

大空間においては、水平方向の温度分布が均一になり易いことは、経験的に良く知られており、対象空間を上下方向のみ n 個のブロックに分割する。

ブロックモデルは、図-1に示すように壁面に沿う下降流(または上昇流)を表現する「壁面流モデル」、空調吹出気流を自由噴流として扱いその影響を評価する「非等温噴流モデル」、空間内の上部と下部の温度差に起因する熱移動を評価する「熱移動係数 C_B 」の3つからなっている。

上下温度差が大きい場合には、壁面間の放射伝熱の影響が大きくなるので、室内側表面熱伝達については放射と対流を分離して扱う。周壁の熱伝導計算には、次元の前進型差分を用いている。²⁾

2.1 垂直壁面に沿う気流の扱い(壁面流モデル)

(1) 冷却面の扱い

a) 下降流の発生(図-2(a))

ブロック空気温度 $T(I)$ に対し、冷却壁面 K の表面温度 $T_w(I, K)$ が低い場合を考える。ブロック I から壁面(面積 $A_w(I, K)$)への熱の流出 $q_w(I, K)$ と同時に、壁面に沿う下降気流が生じるとする[風量 $V_{out}(I, K)$]。

発生する下降流の平均的な温度を $T_D(I, K)$ とする。この温度降下は、壁面への熱の流

出によって生じるのでブロック I の壁面 K については次式が成立つ。

$$q_w (I, K) = \alpha_c (I, K) \cdot A_w (I, K) \cdot \{ T_w (I, K) - T (I) \}$$

$$= C \cdot \gamma \cdot V_{OUT} (I, K) \cdot \{ T_D (I, K) - T (I) \} \quad \dots (1)$$

発生する下降流の平均温度 $T_D (I, K)$ は、Appendix で述べるように、近似的に次式で与えられるものとする。

$$T_D (I, K) \approx 0.75 \cdot T (I) + 0.25 \cdot T_w (I, K) \quad \dots (2)$$

この関係を (1) 式に代入することにより次式を得る。

$$V_{OUT} (I, K) = 4 \cdot \alpha_c (I, K) \cdot A_w (I, K) / C \cdot \gamma \quad \dots (3)$$

すなわち、壁面の対流熱伝達率 α_c を与えれば、発生する下降流の温度及び風量が求められることになる。

b) 下降流の合成 (図-2 (b))

ブロック I では、このブロックで発生する下降流 [風量 $V_{OUT} (I, K)$, 温度 $T_D (I, K)$] に、ブロック (I-1) からの壁面に沿う下降流 [風量 $V_{MD} (I-1, K)$, 温度 $T_M (I-1, K)$] が加わるため、「合成された下降流」の温度 $T_M (I, K)$ 及び風量 $V_M (I, K)$ を次式で求める。但し、各流れの $C \cdot \gamma$ はほぼ等しいとして簡略化している。

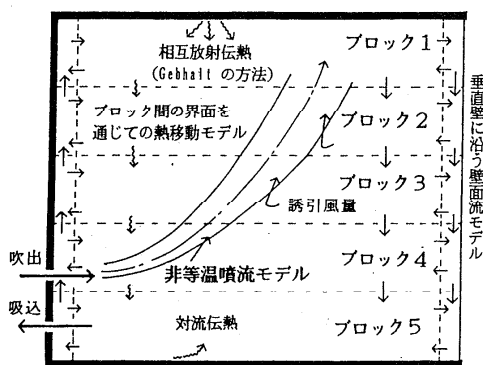
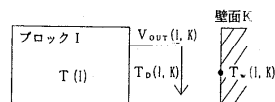


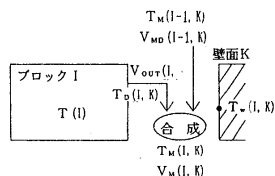
図-1 ブロックモデル概要 (5分割の場合)

表-1 流れの判定 (下降流の場合)

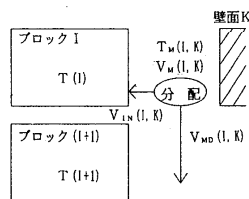
温度条件	$V_{IW} (I, K)$	$V_{MD} (I, K)$
$T_w (I, K) \geq T (I)$	$= V_M (I, K)$	$= 0$
$T (I) > T_w (I, K) > T (I+1)$	$= V_M (I, K) \cdot \frac{T_w (I, K) - T (I+1)}{T (I) - T (I+1)}$	$= V_M (I, K) - V_{IW} (I, K)$
$T_w (I, K) \leq T (I+1)$	$= 0$	$= V_M (I, K)$



(a) ブロック I での下降流の発生



(b) 下降流の合成



(c) 下降流の分配

図-2 壁面流モデル (下降流の場合)

$$V_M(I, K) = V_{MD}(I-1, K) + V_{OUT}(I, K) \quad \dots (4)$$

$$T_M(I, K) = \{V_{MD}(I-1, K) \cdot T_M(I-1, K) + V_{OUT}(I, K) \cdot T_D(I, K)\} / V_M(I, K) \quad \dots (5)$$

最上部ブロック 1 については、 $V_{MD}(0, K) = 0$ とする。

c) 下降流の行先の決定 (図-2 (c), 表-1)

上記合成流 (風量 $V_M(I, K)$) をその平均温度 $T_M(I, K)$ と関連するブロック I 及びブロック (I+1) の空気温との関係より、表-1 にしたがって、ブロック I に流入する風量 $V_{IN}(I, K)$ 及び壁面に沿ってブロック (I+1) に下降する風量 $V_{MD}(I, K)$ を算出する。

壁面温度が既知の場合、ブロック温度 $T(I)$ を仮定すれば、(2) ~ (5) 式及び表-1 を用いて最上部のブロック 1 から順次下降流の計算が可能となる。

(2) 加熱面の扱い

高温壁面については、最下部ブロック n から計算を開始するが、方法は同様である。

2. 2 空調気流の扱い (非等温噴流モデル)

図-1 に示すように壁面から温風が水平に吹き出された場合を例にとり、空調気流の扱いを説明する。図-1 に示すように吹出口はブロック 4 に設けられているとする。

ブロック 4 から吹き出された温風は、周囲空気を誘引し、総風量を増しつつ浮力により上昇し、ブロック 3 に流入する。ブロック 3 に流入時の総風量と吹出風量の差が、ブロック 4 から誘引した風量 $V_E(4, 1)$ である。温風は総風量を増しつつ、上昇する (図-8)。

吹出気流の軌道及び誘引風量の算出に当っては、大空間においては、吹出気流は自由噴流に近い挙動をするものと仮定し、非等温噴流の解析方法を用いる¹⁾。

2. 3 ブロック間の温度差による熱の移動

上下に隣接するブロック間の温度差に起因する熱の移動は、以下のように扱う。

(1) 上部ブロック温度が高い場合

ブロック間の熱移動を規定するパラメータとして、熱移動係数 $C_B(I)$ を導入し、次式でブロック (I-1) からブロック I への流入熱量 $q_B(I)$ (kcal/h) を求める。

$$q_B(I) = C_B(I) \cdot A_B(I) \cdot \{T(I-1) - T(I)\} \quad \dots (6)$$

$A_B(I)$: ブロック (I-1) とブロック I の境界面積 (m^2)

『 $C_B(I)$ は、安定した温度成層を形成する場合にとる値』として定義しているが、以下の検討では、 $C_B(I) = 2$ (kcal/h m^2 °C) とすると、種々の実験ケースを良く再現できた。

(2) 上部ブロック温度が低い場合

密度差に伴う上下混合が活発なため、 $T(I-1) \approx T(I)$ になるものとする。

3. 計算値と実験値の比較

実験用模型室は3m×3m×2.5m(高さ)で、実物の1/5を想定している。1面がガラス面で他は断熱壁である。各時刻に測定された周囲温及び空調吹出条件を境界条件として『ブロックモデル』により、上下温度分布を計算した結果を、測定値と比較しながら以下に示す。対流熱伝率は熱流の測定結果から推定して与えた(表-2)。

3.1 自然対流：周囲を加熱・冷却した場合 [実験ケース：N-10]

周囲を長時間約12℃に保った後に、40℃まで加温し、再び冷却した場合に形成される上下温度分布につき比較を行った。図-3にみられるように、室温及び上下温度差は概ね良く一致している。図-4に加熱時のブロックモデルの計算結果を示す。ガラス面が高温となるため、これに沿う上昇流温度 $T_M(1,1)$ はブロック空気温度 $T(1)$ より高くなり、全量がガラス面に沿って上昇し、最上部のブロック1に流入する。この流れが全体の温度分布を特徴づけている。

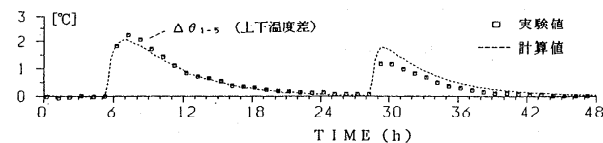
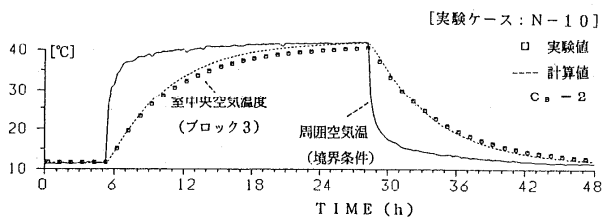


図-3 室温及び上下温度差の比較

表-2 対流熱伝達率 α_c
[kcal/h·m²·°C]

	冷風風吹出し (熱流)	温風吹出の場合 (吹出気流の影響)
天井・床	上向き $\alpha_c = 4$ 下向き $\alpha_c = 2$	天井 $\alpha_c = 8$ 床については同左
ガラス面	$\alpha_c = 3$	ブロック1 $\alpha_c = 8$ (吹出気流の影響) 他は $\alpha_c = 5$
断熱壁面	$\alpha_c = 3$	$\alpha_c = 3$

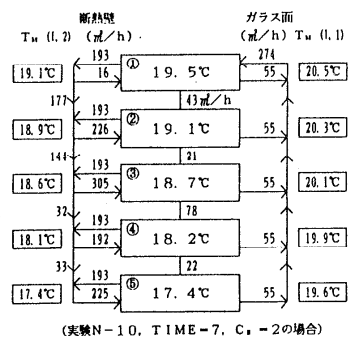


図-4 ブロックモデル計算結果

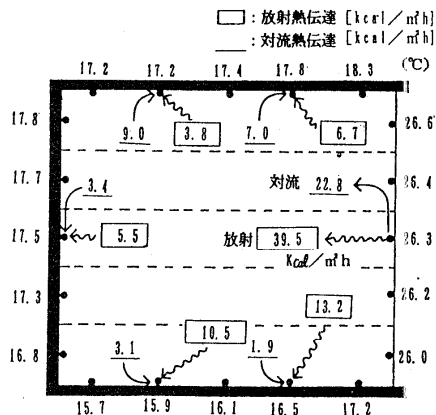


図-5 室内側表面温度及び熱流の計算結果

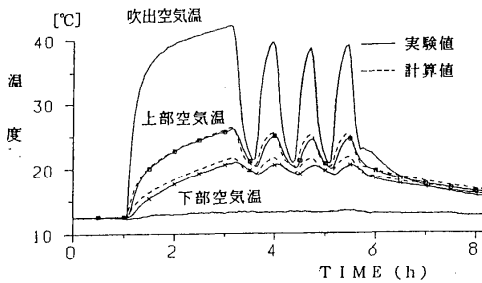
これに対し断熱壁側は、ブロック空気と壁面の温度差が小さいため上下方向に卓越した流れは生じていない。このように、垂直壁面の熱的特性の差を、上下ブロック間の流れの差として表現するところに、『壁面流モデル』の特徴がある。

図-5に、室内表面の対流及び放射熱流の計算結果を示す。

3. 2 温風吹出で吹出温度制御を行った場合 [実験ケース: SY-2]

周囲を13℃に保ち、温風吹出を開始し、吸込温度が20℃になるように供給熱量を制御した。ここでは、最も変化の大きいON-OFF型制御の場合の結果を示す。

図-6, 7に、測定値と計算値の比較を示すが、室温及び上下温度分布の時間的変化が概ね良く再現されている。



(実験 SY-2, $C_a = 2$ の場合)

図-6 室温変動についての実測値と計算値の比較

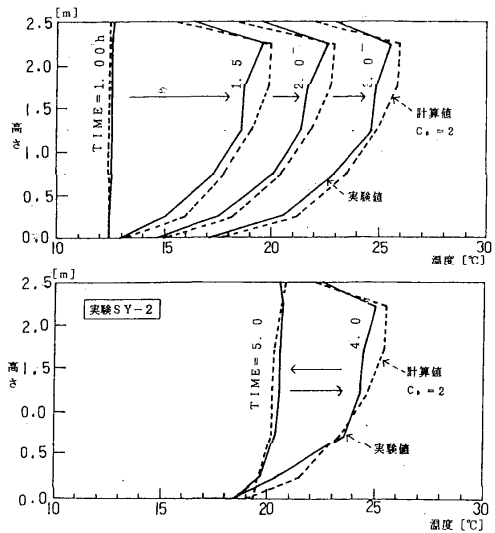
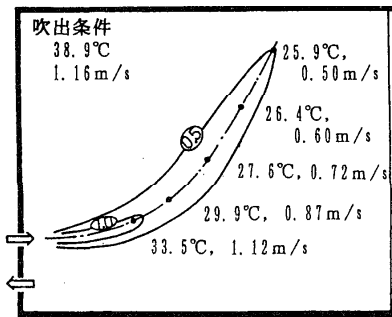
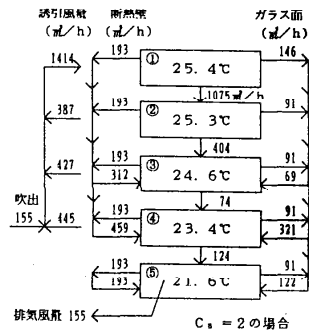


図-7 上下温度分布の時間変化



(a) 非等温噴流モデルの計算結果



(b) ブロックモデルの計算結果

図-8 吹出温度差が大きい場合の計算結果 (実験 SY-2, TIME = 4)

図-8は吹山温が高温の場合のブロックモデルの計算結果である。ブロック4の位置から吹き出された温風は、浮力により上昇し最終的にブロック1に流れ込む。この時、各ブロックから各々400 m³/h程度の空気が誘引され、ブロック1には、吹き出し風量と合わせて1400 m³/h強が流入する。この流れが上下温度分布を特徴づけている。

この場合、温風の当る天井面では、室内空気から熱を受けとり、放射の形で他の壁面に熱を渡すというように、放射と対流の熱の流れの向きは逆となる²⁾。

4. おわりに

大空間の空調・熱環境を合理的に計画するための手法として開発してきた上下温度分布予測のための非定常計算モデルの概要を述べた。冷房実験についても良い結果を得ているが、こうしたマクロモデルは、適用限界を明らかにすることが重要と考えており、今後の課題である。実際の大会空間やアトリウムの計画については触れられなかったが、興味のある方は文献4～6を参照して頂ければ幸いである。

参考文献

- 1) 戸河里, 荒井, 三浦: 大会空間の空調・熱環境計画手法の研究(その1) 大会空間における上下温度分布の予測モデル, 日本建築学会計画系論文報告集, 第427号(1991年9月)。
- 2) 荒井, 三浦, 戸河里: 大会空間・アトリウムの熱環境計画手法の研究(その5,6) 大会空間の上下温度分布に関する非定常計算モデル他, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 217-224 (1989年10月)。
- 3) 甲藤好郎: 伝熱概論, pp. 136-139, 養賢堂(1966年)。
- 4) 戸河里, 荒井, 長谷川, 佐藤: オープンタイプアトリウムの熱環境, 日本建築学会学術講演梗概集, (1991年9月)。
- 5) 戸河里 敏: 大会空間の空調・熱環境計画, エネルギー・資源Vol. 11, No. 4 (1990年)
- 6) 戸河里, 荒井, 三浦: 大会空間の空調・熱環境計画手法の研究, 鹿島技術研究所年報, 第39号(1991年10月)。

Appendix

壁面Kについての下降流の平均的な温度 T_D (l, K) の算出は以下のように行う。

大会空間の垂直壁面に沿う流れについては、垂直平板の乱流境界層(自然対流)を表わす次式(甲藤, 文献3)が近似的に成り立つものと仮定する。

$$\frac{u}{u_1} = \left(\frac{v}{\delta_1} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \frac{v}{\delta_1} \right)^4 \quad \dots (7)$$

$$\frac{\theta - \theta_w}{\theta_w - \theta_\infty} = 1 - \left(\frac{y}{\delta_1} \right)^{1/7} \quad \dots (8)$$

但し, y : 壁面からの垂直距離

u, θ : 壁面から y の距離の速度及び温度

δ_1 : 境界層厚さ(温度, 速度とも同じとする)

u_1 : 境界層中の最大速度

θ_w, θ_∞ : 壁面温度, 周囲温度

壁面に沿う流れの平均温度 T_D を $C \cdot \gamma$ はほぼ一定値とみなして, 次式で表わす。

$$T_D = \int_0^{\delta_1} u \cdot \theta \, dy / \int_0^{\delta_1} u \, dy \quad \dots (9)$$

(9)式に(7)～(8)式を代入すると, 次の関係が得られる。

$$T_D \approx 0.75 \cdot \theta_w + 0.25 \cdot \theta_\infty \quad \dots (10)$$

道路トンネル内の火災時換気における熱・煙・気流解析

古藤 悟（三菱電機中研）

1 まえがき 熱流体現象をリアルタイムに予測する事ができれば、熱流体数値予測を実ハートの制御へ反映させる事が実現できる。ここで取り上げるのは、東名自動車道・日本坂トンネルの火災大惨事に端を発し重要性が認識された長大道路トンネルの火災時換気に、煙の数値予測による排煙換気機のフィード・フォワード制御を導入した災害時の安全性向上に纏わる話題である。平常時のトンネル換気方式は、換気流を流す方向により横流式(トンネルの天井部に吸気ダクト、床下に排気ダクトを設けトンネル横断方向に換気流を流す)と縦流式(トンネル軸方向に換気流を流す)に大きく分ける事ができる。最近の長大トンネルでは、建設コストや換気運用コストの面から縦流換気方式を採用するケースが多いが、本方式は火災時に煙が換気風と共にトンネル内に広く拡散して避難環境が確保できなくなる恐れがある。このため、煙の数値予測による排煙換気機のフィード・フォワード制御を開発・導入し、煙の拡散・流動を動的に抑制して避難環境を確保する施策が必要である。ここでは、まず縦流換気方式道路トンネル内火災における煙流動状況を示し、次にこれらの流動状況をふまえ、排煙換気機の制御に必要な煙層の高さと煙の先端位置を予測し得る、計算時間と記憶容量の面で実用的なフィード・フォワード制御のためのシミュラを得るため、発熱を考慮しない一次元煙流動モデル、二次元無限平行平板モデル、及び三次元長方形断面モデルの等の簡易解析モデルの予測精度について検討した。

2 縦流換気方式道路トンネル内火災における煙の流動状況 まず、縦流換気方式道路トンネル内火災における煙流動状況を、三次元数値解析により解明した結果⁽¹⁾⁻⁽³⁾について示す。図1は、検討の対象とした模型自動車トンネルのモデルの図である。トンネルの断面は、半径R=85.5mmの水平円筒の下端を切断した形状になっている。トンネル

内には、ガソリン火皿火災を想定した火皿(150mm×96mm)が設けられている。換気風は矢印方向に一定速度(0.7m/s)で流れている。座標系は直角座標系とし、図1に示す様に原点をOとし、トンネル軸方向にx軸、x軸と垂直で水平方向にy軸、鉛直方向にz軸を各々定める。

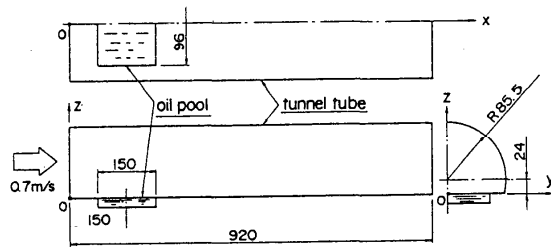


図1 モデル道路トンネル

火災モデルは、条件設定が容易な火皿火災モデルを採用する。火災により発生する煙濃度の分布は、煙濃度の保存式を解いて煙の発生・対流拡散移動を予測し求める。火災における燃焼は、火皿表面の1メッシュ空気側の格子点に対してのみ燃焼による発熱と発煙を仮定して、1セル保存式及び煙濃度

保存式の生成項を与える事により模擬した。火皿表面における単位面積当りのガソリン燃焼量を V_G ($m^3/s \cdot 1/m^2$)とし、ガソリンを無鉛ガソリン(密度 $\rho_G=7 \times 10^2 kg/m^3$)とする。燃料 1 kg 当たりの煙の発生係数を $D_c(kg/kg)$ とすれば、微小面積($\Delta x \cdot \Delta y$)からの煙発生量 $C V$ (kg/s)は式(1)のようになる。

$$C V = \rho_G \cdot V_G \cdot D_c \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad \dots\dots\dots(1)$$

更に、燃料の単位質量当りの発熱量を $H_G(kJ/kg)$ とすれば、微小面積からの発熱量 Q (kJ/s)は式(2)のようになる。

$$Q = \rho_G \cdot V_G \cdot H_G \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad \dots\dots\dots(2)$$

解析は差分法を用いて実施し、格子分割は、 x, y, z 方向に $N_x \times N_y \times N_z = 23 \times 15 \times 18$ とした。計算は、換気風速 V_{in} を $0.7m/s$ 、燃料を無鉛ガソリンであるとして発熱量 H_G を $48600kJ/kg$ 、自動車火災であるとして煙の発生係数 D_c を $0.240(kg/kg)$ とし、火皿表面におけるガソリンの単位面積当りの燃焼量 V_G を4種類に変化させた。火皿火災行方に関する条件を、表1に示す。なお、 V_G は円形火皿の直径 d に対して $Blinov$ ら(4)により与えられており、同一火皿面積を持つ円形火皿では $2.5 \times 10^{-5}(m^2/s \cdot 1/m^2)$ であるとされているが、ここでは表1のような範囲に選んだ。また、表1中には火皿全体に対する総発熱量 Q_{total} 及び煙の総発生量 $C V_{total}$ も併記した。

火皿に着火後ステップ状に表1に示した条件の発熱・発煙が開始されるとし、流れが定常になった時刻($t=84.3s$)の各条件の等煙濃度線図を図2~図5に示す。発熱量が大きい場合(Case3, 4)には、火皿上に高煙濃度の領域が

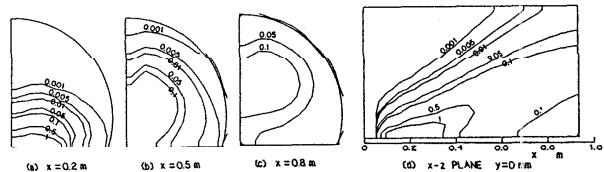


図2 三次元数値解析による等煙濃度線図
(Case1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} kg/m^3$)

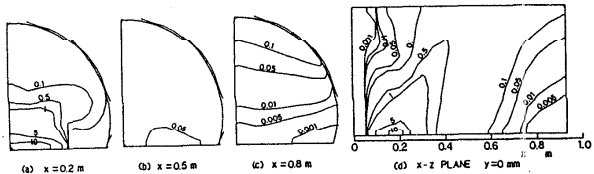


図3 三次元数値解析による等煙濃度線図
(Case2, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} kg/m^3$)

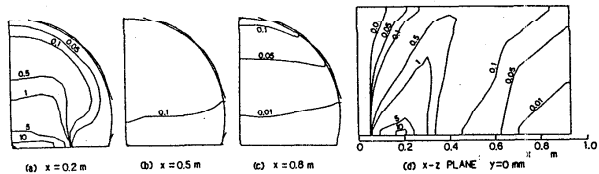


図4 三次元数値解析による等煙濃度線図
(Case3, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} kg/m^3$)

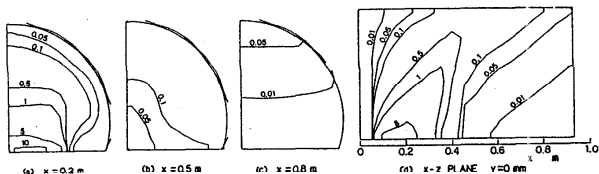


図5 三次元数値解析による等煙濃度線図
(Case4, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} kg/m^3$)

表1 計算条件

Case	1	2	3	4
V_G ($m^3/s \cdot l/m^2$)	1.25×10^{-7}	1.25×10^{-5}	2.50×10^{-5}	3.74×10^{-5}
Q_{TOTAL} (kW)	0.061	6.163	12.240	18.328
CV_{TOTAL} (kg/s)	2.93×10^{-7}	3.05×10^{-5}	6.07×10^{-5}	9.08×10^{-5}

形成され(図4(a),(d)及び図5(a),(d)), $x = 0.5 \sim 0.65m$ では上昇流が天井に衝突後分離してできた渦領域に高濃度の煙が滞留して流れ(図4(b)及び図5(b)), $x = 0.8m$ では成層流となっている(図4(c)及び図5(c)). 発熱量が小さい場合(Case 1), 煙濃度分布はトコ内壁上に沿って広がる一様拡散的流動となっている(図2). Case 2では, $x = 0.1 \sim 0.5m$ において成層状態と一様拡散状態の間の不安定状態にあり, 遷移状態と位置付けることができる(図3).

従ってこれらの現象は, 火皿の発熱量の大きさによって(1)層状流動, (2)一様拡散的流動の二つのパターンに大別できる.

3 簡易数値解析モデルによる煙流動予測⁽³⁾

3・1 一次元煙流動モデル 発熱を考慮しない一次元対流数値計算法⁽⁵⁾に沿って計算した結果を前述の三次元数値解析による結果と比較した. 従来用いられている発熱を考慮しない一次元煙濃度保存式を式(3)に示す.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + q \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで, \bar{u} は換気風のトコ軸方向流速, C は煙濃度(kg/m^3), D は軸方向拡散係数(m^2/s)であり本論文では交通換気(自動車の通行による換気の促進)がないので零である⁽⁵⁾. また, q は煙の生成項(kg/m^3s)であり, 次式で定義される値を火皿の存在するトコ内壁上に対してのみ与える.

$$q = \frac{CV_{TOTAL}}{Ar \cdot (\Delta x)_i} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで, CV_{TOTAL} は煙の発生量(kg/s)であり, 表1により与えられる. また, Ar はトコ断面積(m^2), $(\Delta x)_i$ は一次元格子きざみ幅である.

更に, 前述の三次元数値解析によって得られた煙濃度分布は, 式(5)により $y-z$ 面内で面積加重平均操作を施して一次元化した.

$$C_i = \frac{\sum_j \sum_k C_{i,j,k} \cdot (\Delta y)_j \cdot (\Delta z)_k}{\sum_j \sum_k (\Delta y)_j \cdot (\Delta z)_k} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで, i, j, k は各々 x, y, z 方向の格子点番号であり, 格子点(i, j, k)における煙濃度は $C_{i,j,k}$, $(\Delta y)_j$, $(\Delta z)_k$ は各々トコ内壁上の y, z 方向長さである. また C_i は一次元化した煙濃度である.

表2 C_{max} の値

Case	V_0 ($m^3/s \cdot 1/m^2$)	C_{max} (kg/m^3)
1	1.25×10^{-7}	2.67×10^{-5}
2	1.25×10^{-5}	2.77×10^{-3}
3	2.50×10^{-5}	5.52×10^{-3}
4	3.74×10^{-5}	8.26×10^{-3}

式(3)の一次元数値計算による煙濃度分布は、
 がツソの燃焼速度 V_0 の大きさによらず図6に示す
 同一形状となり、図中の C_{max} の値を表2に示す。
 また、式(5)の操作により一次元化した三次元数
 値計算による煙濃度分布を図7に示した。

次元煙流動モデルによる煙濃度分布(図6)は、
 発熱による換気流の膨脹や断面内二次流れが考慮
 されていないためがツソ燃焼量 V_0 に依存せず同一
 形状になり、濃度の絶対値のみがツソ燃焼量に比例

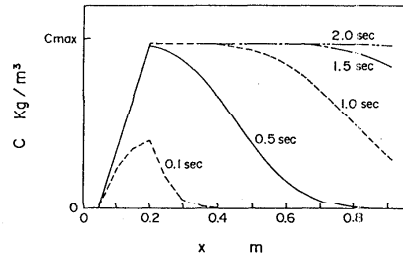


図6 一次元数値解析による等煙濃度線図

して増加している。定常状態における $x=0.2m$ 以降では、煙濃度が一定になっているが、このモデル
 は煙が断面内で完全に一樣拡散された状況を扱っている事による。

発熱量が小さく一樣拡散的流動である場合(Case 1)では、一次元化した三次元数値計算結果(図
 7(a))を一次元数値計算結果(図6)と比較すると、時間のオ-ダが異なるが $x=0.2m$ 以降の煙濃度

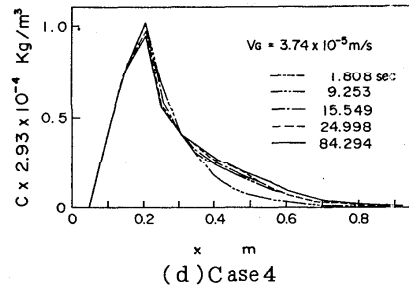
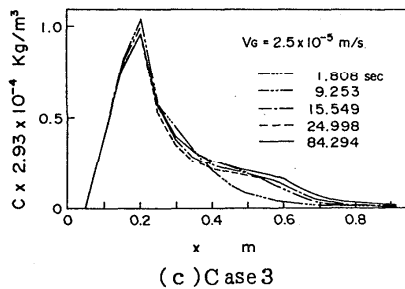
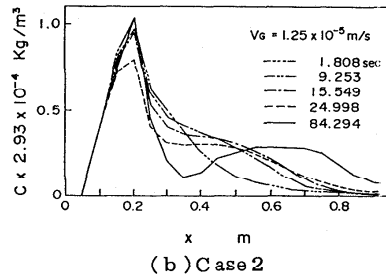
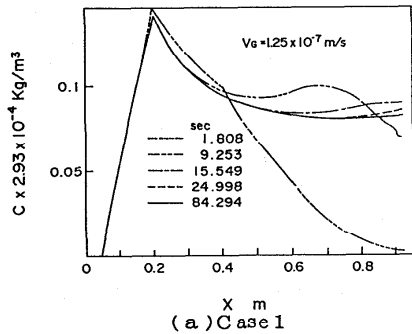


図7 一次元化した三次元数値解析による等煙濃度線図

値や分布形状はほぼ同じである。時間のオダが異なる原因は、三次元数値計算では火災が生じてから温度上昇を経て流れが定常になるまでに時間を要するためと考えられる。これに対して発熱量が大きく層状流動である場合(Case3及び4)では、一次元化した三次元数値計算結果(図7(c)及び(d))を一次元数値計算結果(図6)と比較すると、煙濃度の値が低く、分布形状は後流になる程減衰している。三次元数値計算では、煙が火皿上に形成された上昇流により高速で上昇した後、天井付近で濃度の高い層状流動となり、その高濃度煙層のトソ軸方向対流速度が下層の領域に比較して非常に大きいため、煙濃度を断面内で面積荷重平均すると一次元数値計算結果より低い値になったと考えられる。

従って一次元煙流動モデルによれば、火災現場の発熱量が非常に小さい場合にのみ予測が可能であり、一般の火災時の予測は困難である。

3・2 二次元無限平行平板モデル 二次元無限平行平板モデルは、トソ壁との摩擦により生じる圧損と、火災による発熱がトソ壁に吸熱される際の伝熱面積を等価的に扱う為、トソの等価直径と無限平行平板の等価直径を合わせ、平板間距離を65mmとした。基礎式は、三次元数値解析に用いたものを二次元化して用いた。格子分割は、三次元数値計算とx方向に同一、z方向に同程度の格子間隔を持つ等間隔刻みとした。格子分割数はx、z方向に各々 $N_x \times N_z = 23 \times 15$ とした。

更に、比較の為に前述の三次元数値解析によって得られた煙濃度分布は、式(6)によりy軸方向にトソ壁からトソ壁方向まで荷重平均を施して二次元化した。

$$C_{i,k} = \frac{\sum C_{i,j,k} \cdot (\Delta y)_j}{\sum (\Delta y)_j} \quad \dots\dots\dots(6)$$

二次元無限平行平板モデルによる煙濃度分布の時間変化を、図8(Case1)及び図9(Case3)に示した。発熱量が小さく一様拡散的流動である場合(Case1)では、二次元無限平行平板モデルによる煙濃度分布(図8)は二次元化した三次元数値計算結果(図10)と良く一致している。これに対し、発熱量が大きく層状流動である場合(Case3)では、二次元無限平行平板モデルによる煙濃度分布(図9)は二次元化した三次元数値計算結果(図11)において見られた層状流動には至らず、トソ床面程濃度の高い逆層状流動になっている。

この原因を図12に示した概念図により

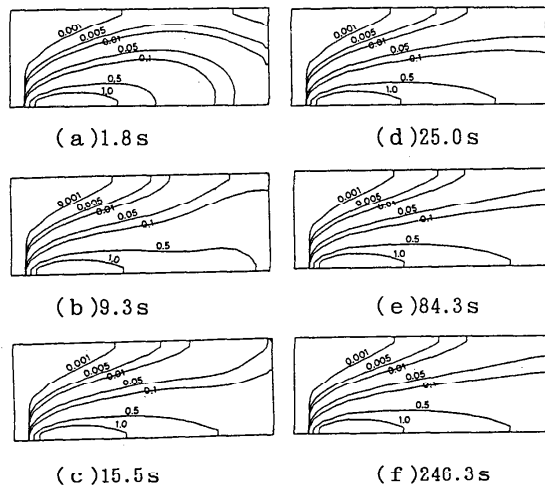


図8 二次元数値解析による等煙濃度線図
(Case1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

説明する。即ち火皿上での発熱による自然対流により高濃度領域(図中A)が上昇する(a)。その上流側は換気風の慣性力により加圧されるのに対して、下流側は負圧(図中B)になって更に下流の空気を巻き込もうとするが、換気風に逆らって十分な空気の供給が行えないため、高濃度領域は床面に付着する(b)。更に高濃度領域が下流へ広がる際、この領域が高温である間は自然対流による上昇が生じ(c)、同様の原因で床面に付着する。結局、これらの現象が繰り返されて定常状態(d)となる。

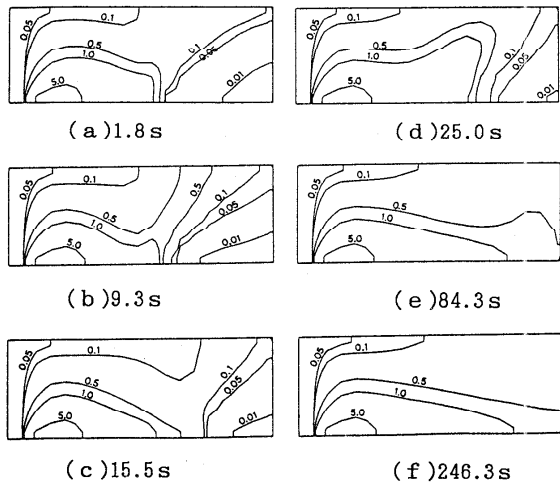


図9 二次元数値解析による等煙濃度線図

(Case 3, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

即ち、図11の様な層状流動状態となるには、断面内二次流れによる下流側の負圧領域への空気の供給が必要であり、三次元的な流動を考慮しなければならないと思われる。

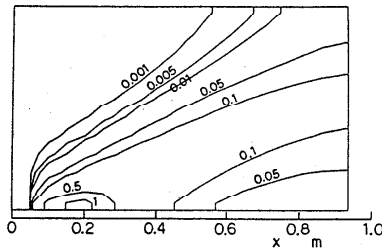


図10 二次元化した三次元数値解析による等煙濃度線図

(Case 1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

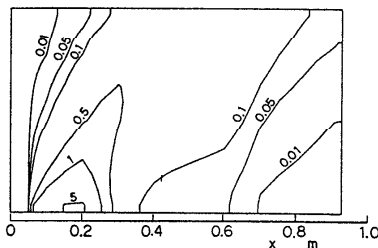


図11 二次元化した三次元数値解析による等煙濃度線図

(Case 3, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

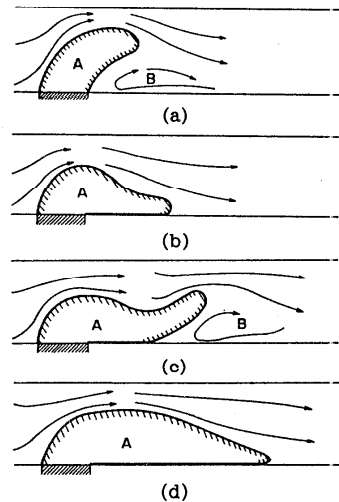


図12 二次元無限平行平板モデル

における高煙濃度の時間推移の概念図

(A: 高煙濃度領域, B: 低圧力領域)

3-3 三次元長方形断面モデル 簡易三次元モデルとして形状の簡易な長方形断面モデルを用い

る。ここでも、円筒の等価直径と長方形管の等価直径を合わせている。図13にその解析メッシュを示すが、Type 1～3は総格子数を36に固定してy、z方向の分割数の比を変えた場合、Type 4はType 3のz方向分割数を増加した場合である。x方向の分割数は4×17共三次元計算と同じく23とした。なお、ここでは層状流動化する条件について検討する。

三次元長方形断面メッシュによる定常状態における煙濃度の分布を図14～図17(各々Type 1～4)に示す。格子分割数を増加すれば、予測精度が向上することは言うまでもない。しかし、解析メッシュとして三次元的流動を考慮する必要性が明らかになった今、総格子数をいかに削減できるかが実用的なシミュレーションのポイントである。

Type 1～3は、総メッシュ数を固定してy、z方向の分割数比を変えた場合であり、特にType 3はy方向格子数を最大限減少させて、煙の上昇パスと下降パスの二経路のみを設けた場合である。Type 1～3はいずれも層状流動が予測できており、y方向格子数を4本、y方向にコントロールボリュームを2個設けるだけで良いことが分かる。更に、Type 1～4は順にz方向格子数を増加させた結果であるが、z方向格子数の増加に伴い火皿直上の煙濃度、下流における煙濃度の減衰、層状化するx方向位置などが三次元数値計算結果(図15)に近づき、予測精度が向上している。

即ち、層状流動を予測するには三次元的な流動を考慮しなければならないが、y軸方向には格子数を4本、コントロールボリュームを2個設ければ三次元的流動を予測でき、煙濃度の予測精度との兼ね合いでz方向格子数を決定すれば良いことが分かる。

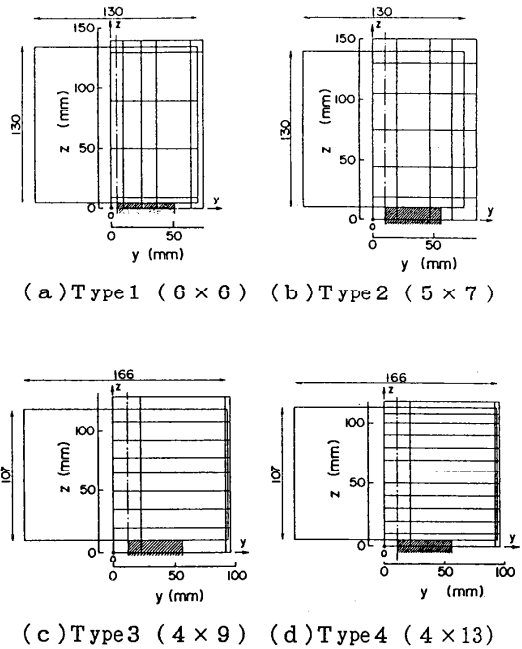


図13 長方形断面メッシュにおけるメッシュ分割

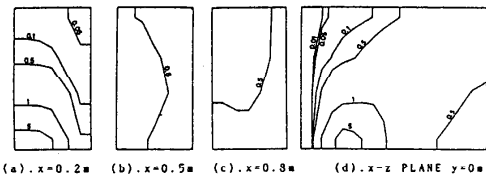


図14 三次元長方形断面メッシュによる等煙濃度線図 (Type 1, Case 1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

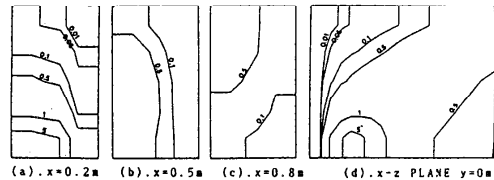


図15 三次元長方形断面メッシュによる等煙濃度線図 (Type 2, Case 1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

4 結び 火災時の煙流動状況を予測し得る、計算時間と記憶容量の点で実用的なフィードフォワード制御のためのシミュラを得るため、簡易解析モデルの予測精度について検討した結果、次の結論が得られた。

(1) 発熱を考慮しない一次元煙流動モデルによれば、火災現場の発熱量が非常に小さい場合の一樣拡散的流動のみ予測が可能であり、発熱を伴う一般の火災時の層状流動及び一樣拡散的流動の予測が困難であり、特に断面内に高煙濃度領域が偏在する層状流動においては現実の煙流動とはかなり異なることが明らかになった。

(2) 二次元平行平板モデルによれば、一樣拡散的流動する様子は精度良く予測できるが、層状流動する様子は予測できない。

(3) 層状流動を予測するには三次元的な断面内二次流れを考慮することが必要で、その為には断面内のy軸方向に上昇と下降の二経路の差分要素を設けるだけで大幅な改良ができる。更に、断面内に $N_y \times N_z = 4 \times 9$ の差分格子を設けた等価直径を有する長方形断面モデルによれば、一樣拡散流動と層状流動の精度の良い予測が可能となり、それに要する計算時間はCPU時間は三次元数値計算の約1/10となった。

5 参考文献

- (1) 古藤・山中, 機論, 53-494, B (昭62), 2937.
- (2) 古藤・山中, 機論, 53-494, B (昭62), 2944.
- (3) S. Kotoh and G. Yamanaka, Proc. ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conf. Vol.5 (1991), 347.
- (4) V.I. Blinov and G.K. Kudryakov, Dokl. Akad. Nauk SSSR, 113 (1957), 1094.
- (5) 大橋・市川・榎本, 機論, 50-449, B (昭59), 237.

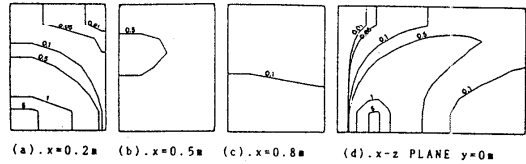


図16 三次元長方形断面モデルによる等煙濃度線図 (Type3, Case1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

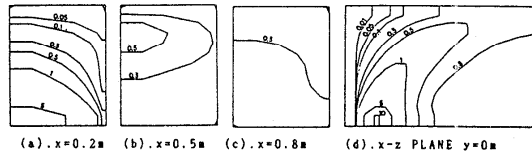


図17 三次元長方形断面モデルによる等煙濃度線図 (Type4, Case1, 単位: $\times 2.93 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$)

<故西脇仁一先生を偲んで>

西脇仁一先生を偲んで

一色 尚次 (日大工)

それは昭和19年晩秋、B29による東京爆撃が開始された頃である。我々が動員されている立川の陸軍航技研の飛行場で、当時夜に日をついで研究されていたスーパーチャージャーの重要部品であるインタークーラーを実機の双発戦闘機（あるいは軽爆か）でテストしている所へがっちりした簡易軍装の軍属姿の方がこられて色々指導された。その方が西脇先生であった。私は第二工学部であったのでそれまで直接授業はなかったが名前はよく知っており大へん感激したものである。そしてインタークーラーなる当時としてはモダンな名前にあこがれて、私は熱伝達を勉強したいとひそかに志したものである。

ついで昭和20年初夏、廢墟となった東京の街の西に残る東大航空技研のV1号パルスジェットエンジン、それは我々がバタバタロケットと呼んでいたものであるが、その前で我々数人の学生にその原理と弁の最適自己振動数について青空講義をしていただいたのが西脇先生であった。西脇先生の思い出は常に生きた実物のハードウェアの前であり、青空か実験室の中であり、理論よりも実験、傍観より実践が技術研究者の生きざまであることを私は先生から身をもって教えていただいた。

それから約10年後、西脇先生と私はアメリカのボストンMITのガスタービン研究室で約半年間を一緒に過ごすチャンスを得ることができた。当時先生は内部空冷ガスタービン翼を研究されており、研究室のC. F. テーラー博士と先生は事あらばそれを論じておられ、先生はアメリカ人がなぜすぐに研究を始めないかと盛んに残念がっておられたものである。しかしその後10年してガスタービン翼の研究の主流はその内部空冷翼となり、現在まで続いていることを見ると、いかに先生に先見の明があったかがわかる。

その後私は西脇先生に色々師事すると同時に、年は違うが肝胆相照らす友情を交えることができたこと、そしてとくに伝熱研究会や日本船用機関学会を通じて多くの研究やプロジェクトに加えて頂いたことに深く感謝するものである。

また最近になってようやく実験航海が終了した原子力船「むつ」の計画段階で西脇先生が当時の多くの青年学者を集められてその中心となられ、色々のディスカッションをさせて頂いたことも深い思い出の一つである。

考えてみると西脇先生は多くの技術的国際的事業を始め、その芽を育てることにすばらしい才能があられた方であると思う。それにはまたどのような人にもなごやかに話を交わされる広い心を持たれた方であり、その中から技術的世界の進むべき方向を優れたカンで

発掘されたと思う。

昨年の暮れに先生が入院されておられることを奥様から聞き、今年の1月始めに私は病床にお見舞いをした。先生はベッドに座っておられ遠くから私達夫婦を見つけると手を振って合図された。かなりやせておられはいたが、大へん元気で色々面白い話をされ、別れるときもニコニコと手を振っていただいた。

それから僅か10日程で先生が急逝されたのを聞き全くおどろいたものである。まだいくらかでも仕事をされる力がおりであったのにここで途中で逝かれたのはほんとうに残念であった。

先生が熱機関、熱伝達等に残された大きな業績と大勢の弟子を育てられた偉業に深く敬意を表すとともに先生のみたまの安かれと祈るものである。

西脇仁一先生の御逝去を悼む

平田 賢（東大工）

西脇仁一先生は平成4年1月25日、肺炎のため逝去された。満81才であられたが、昨年末に入院される直前まで、（株）西脇研究所の所長としてガスタービン翼のミストクーリングやアクティブ消音器の研究に御熱心であった。

思えば昭和28年の春卒業論文・実験のために先生の研究室の門を叩いてからもう40年になる。古い赤煉瓦の建物の中二階にあった研究室は、天井の低い物置のような部屋で、裸の配電線がはりめぐらされていた。与えられたテーマは「液滴の燃焼」であったが、燃料の粒を一滴ずつ炉の中で燃やせば、最少の研究費で実験が出来る先生が考えられたものであろう。やる気さえあればどんな条件の下でも研究はできるものだとすることをまず以て教えられた。度肝を抜かれたのは「文献を読むな」といわれたことである。机の前に坐っていると御機嫌が悪く、体を動かして実験さえしていれば御機嫌がよかった。

「現象をよく見よ。新しい現象を作り出せ」、「問題はできる限り简单化して解け」、「現象を8割支配するファーストタームを追え。セカンドタームは誰かがやってくれる」、「人のやったことはやるな」、「自分の頭で考えよ」、「完璧を求めず55点主義で行け」。コンピュータ全盛時代の今日、すべてのパラメータをとり入れ大型計算機を用いて力づくで計算するような研究が目立つ中で、先生から叩きこまれた研究に対する基本姿勢は、貴重なものであった。

先生は旺盛な好奇心と凝り性を以て、音楽やグルメ、更にはスポーツなどそれぞれの道で一流の域に達しておられた。ハイファイのピックアップの改良に始まった音響研究は、後に低周波騒音の研究に発展し、この分野でも日本の第一人者となられた。オーストリアスキーのウェーデルンの前傾姿勢が流行した頃、スキーのパッケンの裏に板パネをとりつけて力をはかり、体は前傾でもカカトの内側のキックで回転のきっかけを与えていることを実証したスキーの研究や、東大のボート部をオリンピックへ送ろうとオールにかかる力の測定なども手伝われたが、今日のスポーツ力学の草分けであった。最後までNHK交響楽団の会員であられたが研究室は大きなスピーカーがモーツァルトをかきこみ、コーヒーの香りに充ちた音楽喫茶の趣であった。「お酒は平田くんにおぼせました」というのが先生の口癖であったが、とうとう不肖の弟子を措いて「酒仙の会」の重鎮になってしまわれたし、パリのレストランに通じておられることは舌を巻くばかりであった。何事にも徹底しなげ

れば気がすまなかったのであろう。

先生は故橘藤雄先生とともに日本伝熱研究会（当学会の前身）の創設に尽力され、1966年度第5期会長をつとめられた。1974年には第3回国際伝熱会議組織委員長として、わが国最初の国際伝熱会議を東京で開催、今日のわが国伝熱研究の礎を築かれた。1970～1978年の間は伝熱会議国際アセンブリーの日本代表として、化学工学の故水科篤郎先生とともに日本の伝熱研究の国際化に注力された。日本における伝熱研究の育ての親といっても過言ではなからう。先生の多年にわたる御努力に心からの敬意と謝意を表し、安らかにお休み下さることを祈ります。

恩師 西脇仁一先生

鳥居 薫（横浜国大）

平成4年1月25日、東京大学の平田・笠木研究室から「西脇先生が今朝、肺炎のためお亡くなりになられた」との知らせを受け愕然としました。と申しますのも、つい数日前に西脇研究所から「プレートフィンの設置角によるミスト冷却効率の変化」と題した報告書を戴いたばかりで、それも12月5日と6日に先生自らが先頭に立たれて実験された研究報告であったからです。思えば、昨年の伝熱シンポジウムで西脇先生は82才の御高齢にもかかわらず、自ら論文「ミストによる噴流熱伝達」を執筆され、自ら講演発表された夜、博多の中州でとても美味しい「おこせ」料理を御馳走になったのが最後になってしまいました。

西脇先生の御尊顔を初めて拝したのは、船用機関工学という4年生の授業の時で、今では、何を教わったのかはすっかり忘れてしまいましたが、授業の途中に「一服させてくれ」とおっしゃって、タバコを吸われたり、自室に戻られてコーヒーを飲まれていたのが印象的で、飾らない、とても人間味溢れる先生だなあと考えたことを今でもはっきりと覚えています。レコード鑑賞会を教室で開いたり、研究室のダンスパーティを催したり、中二階の研究室は天井が低く、通称「鰻の寝床」と呼ばれていましたが、30年前当時、発売されたばかりのステレオ装置とクーラのある部屋でした。少ない校費でクーラを、ましてそれを研究室に付けるなどとはもってのほかと白眼視される時代でしたが、「コンピュータなどよりも君たちの方が大切だ、研究はお金をかけなくても頭を使えばできる」と研究環境を整備して下さいました。クーラはGE製のウィンドウ設置形で、試験管洗いのタワシのようなアルミリボンフィン付き管を用いてコンパクト化を図ったもので、国産のものは4倍以上の大きさを室内設置形しかなく、GEの高い技術に大いに啓発させられました。

西脇先生はまさに「仁」の人で、主任教授をされていたときに機械工学科の建物に初めて女子専用トイレを作られたことにも見られるように、「他人の立場に立って考える」心を持っておられました。先生は我々学生一人一人に対しても、対等な一人の人間として遇して下さい、「共に学び共に人生を楽しむ」姿勢を貫かれました。このような人生観から、学科内の他の研究室は無論のこと、他学科の橋・秋山研（原子力）や八木・国井研（化工）や岡崎研（航空）、京人の佐藤研や水科研、九人の西川研などと野球をやったりお酒を飲んだり、楽しく交流することを奨励されました。伝熱学界の前身である伝熱研究会や国際伝熱会議の創立に御尽力なされたのも同じお考えによるものであったと思われる。

西脇先生の口癖は「現象をよく見よ」、「人真似はするな」、「Secondary Termを追いかけて

るな」ということでした。先生は早朝4時にはお起きになり、ヘッドホーンでクラシックをお聴きになりながら、いろいろと頭の中で思考実験をされ、その結果が正しいかどうかを確かめるために、研究室に朝、来られると我々に「今日中に装置を作って、実験して見てくれ」とよく言われたものでした。ボール紙やブリキ板、ストロ、掃除機やヘアドライヤを使って風胴を作ったり、はんだ小手で伝熱面を作ったりして、有り合わせの物で実験するこの修練はとても勉強になりました。「大きな実験装置はお金も人手も時間もかかり、その割には得られるものが少ない」、小回りの利く小さな装置でよく現象を観察し、お金をかけるなら、むしろ計測器にかけた方が良いとお考えでした。「文献は読むな」ともよく言っておられました。これは「文献に読まれるな」ということであつたようで、研究室には多数の新刊洋書、洋雑誌が購入されていました。

昨年の伝熱シンポジウムで西脇先生が発表された前述の論文の実験装置は、掃除機と加湿機でミスト噴流を作り鉄板の上面に衝突させ、裏面をガスバーナで加熱し、鉄板の中央に熱電対をビス止めして温度を計り、空気流の場合とミスト流の場合の温度比から伝熱促進率を求めており、簡便にして且、必要十分な精度を有する実験手法のすばらしさに、改めて敬服した次第です。

胸膜炎で喘ぎながら階段を昇られながらも御自身で実験され、入口温度3000℃のガスタービンの夢を熱っぽく語っておられた西脇先生の研究への飽く無き情熱の万分の一でも受け継いで、私もミストクーリングの研究を今後、行なっていきたいと思ひます。

西脇仁一先生の御冥福をお祈り致します。

人はこの世に生をうけ、他界するまでに会おうひとの数はいったい何人位になるのか時々考えてみる事が私のひとつの習慣のようになっている。例えば地下鉄に乗っている時でもたまたま同じ車両にいる人達とは多分面識はないが、この人達と過去に会ったり、将来会う確率がどれくらいになるのを考えてみたり、飛行機の場合などでは、もし事故でも起きれば運命を共にするかもしれないなどとりとめもないことが多いが、たまには深く人生哲学にまで思惟をめぐらす。

人と人の出会いはさまざまで、一つ一つがすべて異なっている。両親、兄弟など家族にはじまり、学び舎の友、同僚、先輩、後輩など年を重ねるにつれ人の輪は広がり変形していく。これらのなかには竹馬の友とか刎頸の交わりとよばれる関係から殆ど言葉も交わさないまま疎遠になってしまうものまでさまざまであるが、自分の意識によってある程度選べるものが多い。

ひとりの人間の生涯において決定的な人との出会いと云える機会は何度かある。そのうち恩師との関係はいつの世においてもまた誰にとっても重要な節目になっていることは多いが、高等学校までは少なくとも選択の自由はほとんどない。いまの大学では逆に学生のほうには自由度はあるが、教師の側にはない。このような意味において最終学歴の恩師は誰にとっても特別な意味があるのかも知れない。

私にとって西脇先生は自分の意志で選んだ恩師である。学部、修士の指導教官であった東京工大の川下研介先生の紹介状を携えて教授室にお訪ねした。1962年の秋頃であったと記憶しているが、考えてみると先生はいまの私よりも2,3才お若い52才だったことになる。とても信じられない気持ちで、何度となく繰り返し記憶を確かめてみても頭は空転するのみである。当時の先生は頭にはすでに白髪をたくわえておられ、目もとはやさしく笑っておられたが、なんとなく近づきがたく、ソファの片隅で縮みあがっていたのを思い出す。そのような緊張状態のなかで熱と燃焼に関連する研究を先生のご指導を得て取り組みたい旨説明した。最近の若い人たちには信じがたいことかもしれないが、当時、日本人の論文が世界的に権威のある出版物に掲載されることは希な時代で、先生は液滴燃焼の先駆的な研究を Symposium (International) on Combustion に公表されていた。極度に緊張していた私に対するいたわりからだったと思うが、先生は君くらいの年の者にいまさらペーパー・テストでもないと思うから面接の試問にはしっかりと答えられるようにと云われた。そのころの博士課程は入試制度もはっきりしていなかったこともあったのもう大丈夫だと信じ、天にも昇る思いで気持ちははや将来の研究へと想いを馳せながら、これが後日パニックのもとになるうとはつゆとも知らず教授室を辞した。

西脇先生の風貌はあまり穏当な表現ではないが、ご表情とは違いいわゆるこわもてのするタイプ

であることは多くの人の認めるところである。先生は研究室にはたびたび来られたが、その都度研究室の空気は一瞬凍てつくように停止した。大学院生の研究環境には特段の気配りをされ、外国に留学をしているかのような錯覚をおぼえた。後に外国へ行ってみて判ったことは当時の先進国にも類例のないまさに西脇流研究室であった。そんな雰囲気の中夜は大勢の職員、学生に出前をとって度々そばなどをふるまわれた。30年近くたったいまでもその温もりが体感として残っている。

察するに先生はいわゆる社交術にたけた方ではなく、人と接するのにもむしろ不器用でさえあられたように思う。そばをふるまわれる時などでさえ、突然研究室に来られてやはにかみながら「そはの出前をたのむけど誰か一緒にたのむか」と全員に声をかけられた。先生はまた人のお世話をよくされた。とことん面倒を見られるので、たまには引っ込みのつかないこともあったのではないかと想像する。私の博士課程編入試験の件もその後学科で筆記試験を実施することが決まっていたようで数カ月後なんの前触れもなく主任教授から書面を受け取ることとなった。なかには2日間にわたる日程がこと細かくずり書き並べられていて、まさに晴天の霹靂であった。機械工学の全主要科目に英語と独語の学習が一週間ほど間断なく続いた。私の生涯にとって一つ余計に受験勉強をしたことになる。

子が親に似てくるのは当たり前の話であるが、弟子が恩師に不思議と似てくることもある。少々おこがましく、いささかのためらいもあるが敢えて書くと、最近ある知人から西脇先生に似てきたと言われたことがあった。どこが似てきたのか知る由もないが、文句なしに嬉しかった。昨年3月に西脇先生が私の研究室に来られ、半日ほど過ごされたことがあった。私の研究室のスタッフをまえにコーヒをのみながら高温ガスタービンの開発にかけられた先生の夢を熱っぽく、とめどもなく話され、かつての西脇研究室を彷彿とさせた。お話を一緒に伺いながらふと不思議な気持ちにしたのは無意識のうちに日頃から先生を真似ている自分に気付いたからである。

なにはともあれ先生の間人関係はご自身の手づくりで、私も西脇研究室の一員として加えていただいたおかげで、貴重な人とのつながりができ、かけがえのないものを得た。私が院生として過ごした最後の年の瀬もおしつまったある日、研究室へこられて年賀状を書くのが大変だとむしろ楽しげに話しておられたのを思い出す。誰かが尋ねたところ千枚くらいと目を細めておられたのが、なぜか後々まで印象に残っている。多分そのあとに呟くようにいわれた「人とつきあって覚えられるのはせいぜいこれくらいかな」という一言のせいだったと思う。冒頭のところに書いたような習慣が身についたのもこの時からである。人との出会いの数には限りがある。数が多ければ良いというものでもない、むしろその限られた数の人たちとの関係の中身が大切なように思う。

1月29日東京信濃町千日谷会堂は大勢の人であふれた。先生の云われた千人になんなんとする人波であった。まさに西脇先生をとりまく人垣であった。参列者の献花のさかりもとうに過ぎた頃、わたしも菊花を一輪遺影にそえた。先生との最期の対話はみじかかった。一瞬身体を疾風がさむく吹さぬけた。

西脇先生のご冥福を祈り、ご遺族に対し衷心よりお悔やみ申し上げます。

故西脇仁一先生を偲んで

柘植 綾夫（三菱重工業）

西脇先生の訃報を聞き、松原のお宅に急ぐ暗い道すがら、昔の西脇・平田研究室の賑やかさと、常にその中心におられた先生の銜煙草のお姿を思い浮かべました。優しい微笑のお顔ながら、その眼光は飽くなき学究心で輝いておられました。

昨年6月に高砂にお越しになった折、御病気が良くなった時期とは言え、遠路の旅の後に加え、暑い現場を視察された疲れも見せず、変わらぬお顔をされ、私に「柘植君、美浜2号機では大変だろう。身体を大切に下さいよ。」と労りのお言葉を下さいました。いつになっても、先生は私の父親の様に接していただきました。

松原のお宅で、御家族の皆様と教え子に囲まれた先生にお別れの挨拶を申し上げましたら、先生は「柘植君、良く来たね。メシでも食べていきなさい。」と語りかけてくれました。たちまち、20余年前の先生のお宅に戻りました。大きなストーブと、天井まで立上って曲り、壁から外へ出るブリキ製の煙突。中村屋のカレーと同じ位美味しい奥様手作りのカレーライス……。

学者である以上に先生は教育者でありました。先生の「30分実験」に月曜日の朝からお伴した研究室のメンバーは、物理現象の本質を短期間で把握する感覚を磨きました。また、1人の論文は、自分の物理的イメージを持ってから読む様に。」とも教えられました。西脇先生、平田賢先生、そして惜しくも早世された田中宏明先生と一緒に受賞した、「臨界点付近の流体の管内強制対流熱伝達に関する研究」（機論 Vol. 40 第 333号、昭和49年5月）に対する日本機械学会論文賞（昭和51年）は、その教えの賜物と思います。その後20余年の私の原子力自主技術開発のバックボーンとして今も生きております。

先生はお酒もこよなく愛されました。五時半過ぎの教授室に我々は、いそいそとして熱電対零接点用の氷を持って御相伴したものです。時には南極からの氷のオンザロックを、悠久の昔に閉じ込められた空気のはじける音に耳を傾けながら楽しませていただきました。

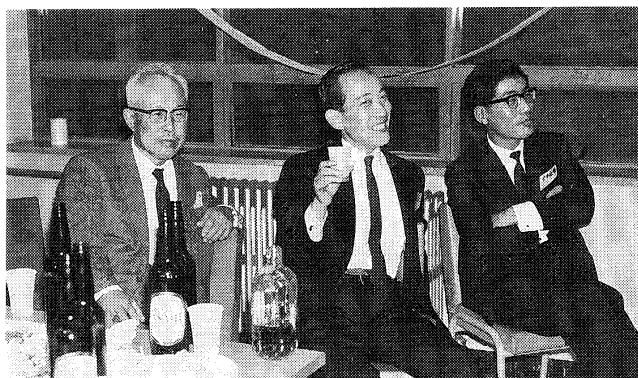
毎年恒例のクリスマスパーティーには、美しい奥様とお嬢様の千鶴子さんをお伴して来られました。家族有っての研究者を、自らをお手本にして示されました。

ここに1969年12月17日のクリスマスパーティーの折のスナップ写真が有ります。先生の薫陶を受けた教え子はこの写真以外にも大勢おります。皆、それぞれの心の内で楽しかった西脇・平田研の思い出の灯を大切にしております。先生の教えは、教え子一人一人の心の内で生き続けています。

先生、安らかにお眠り下さい。“さようなら”，そして毎日，“今日は！”を。



西脇先生と奥様を囲んで 西脇・平田研のメンバー



西脇先生 平田先生 田中先生

1969年12月7日 西脇・平田研究室クリスマスパーティー

< 受賞 >

[ASME, 1991年メルビル・メダル受賞]

12月1日から6日迄アメリカ・ジョージア州アトランタで開催されたアメリカ機械学会年会で、同学会の論文誌 (Journal of Heat Transfer) に昨年公表された京都大学・原子エネルギー研究所、櫻井 彰 名誉教授、塩津 正博 助教授、畑 幸一 助手等の下記の研究論文

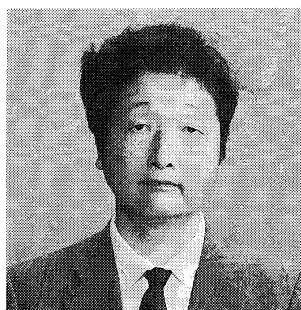
"A General Correlation for Pool Film Boiling Heat Transfer from a Horizontal Cylinders to Subcooled Liquid: Part 1 - A Theoretical Pool Film Boiling Heat Transfer Model including Radiation Contributions and Its Analytical Solution, Part 2- Experimental Data for Various Liquids and Its Correlation", by A. Sakurai M. Shiotsu and K. Hata, Journal of Heat Transfer Vol.112, No.2, May 1990, pp.430-450.

に対して1990年中にJournal of Heat Transfer誌及び同学会熱伝達部門の後援するシンポジウム論文誌に刊行された論文の中から1編の論文が選ばれる熱伝達部門最優秀論文賞(1990 HeatTransfer Division Best Paper Award)を受賞すると共に、17分野の同学会誌並びに同学会36部門が主催するシンポジウム論文集(年30回以上開催)に、1990年中に公表された論文から各部門が選考した1990年各部門最優秀論文賞を受賞した論文の中より"機械工学に関する最も独創的な研究論文"1編に対して与えられる、同学会の最高論文賞である1991年 Melville Medal (The Melville Medal is the heighest ASME honor for the best current original paper) を併せて受賞した。熱伝達部門最優秀論文賞は、1980年、東京工業大学工学部、中山 恒 教授が受賞以来、日本人の受賞は2度目である。Melville Medal は1914年制定されて以来、日本人としての受賞は今回が初めてである。

(文責 櫻井 彰)



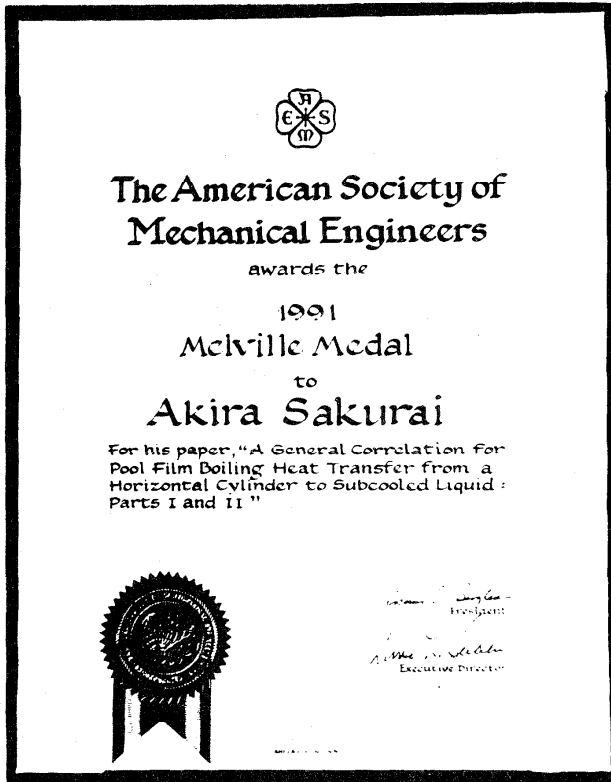
櫻井 彰 名誉教授



塩津正博 助教授



畑 幸一 助手



Melville Medal の Citation



Melville Medal

<地方研究グループ活動報告>

関西研究グループ

関西研究グループは、セミナー小委員会、企画小委員会並びに伝熱技術フォーラム小委員会の企画のもと、以下の諸活動を行った。（関西地方連絡幹事：坂口忠司）

(1) 第2回関西研究グループ伝熱セミナー

芦屋・奥池セミナー「New Phase に挑む伝熱工学」

東六甲山中腹にある大阪ガス・奥池ロッジを会場として、平成3年8月3日（土）、4日（日）に、第2回関西伝熱セミナーを開催した。一般60名（講演者含む）、大学院生12名、計72名の参加者があり、8月3日午後には「環境・エネルギーと伝熱工学」、「音と光とビームの技術」、「無重力の世界」の3セッション計10講演、4日午前には「極限状態の伝熱現象」、「汎用小型熱交換器のInnovation」の2セッション計6講演を行った。講演資料は108ページ、1件あたり8ページであり、各講演とも密度の濃い先端的な内容であった。以下に講演概要をまとめる。

セッションA「環境・エネルギーと伝熱工学」

A1「未来型実験住宅「NEXT21」の概要」 岩崎保孝氏（大阪ガス㈱）

ゆとりある生活と省エネルギー・環境保全の両立をコンセプトに大阪ガス㈱が提案した未来型実験集合住宅「NEXT21」の紹介。コジェネレーションを考慮して導入された50KW燃料電池を核とする集合住宅用エネルギーシステムや自然の生体系に近いエコロジーガーデンの構想が説明された。

A2「スーパーヒートポンプ化学蓄熱反応器のシミュレーション」 安田俊彦氏（日立造船㈱）

通産省「スーパーヒートポンプエネルギー集積システム」の研究開発の一部として日立造船㈱が担当している「水和反応を利用した化学蓄熱技術」の概要と熱伝導解析に基づいたプレートフィン型反応器のシミュレーション結果が紹介された。

A3「地域大気環境の数値予測」 山口克人氏（大阪大学・工学部）

気象場予測モデルと濃度場予測モデルから構成される地域大気シミュレータ（OASIS）の概要とそれを大阪平野に適用して得られたシミュレーション結果が紹介された。六甲山・金剛山を含む大阪平野の風系の変化ならびにSO₂、NO₂、NOの計算結果と実測値の比較が示された。

セッションB「音と光とビームの技術」

B1「波動冷凍の基礎と研究の現状」 小澤 守氏（関西大学・工学部）

低温工学や音響工学の分野で研究開発が行われている波動冷凍の原理ならびに機器（レゾナンスチューブ冷凍器機、Basic pulse-tube冷凍機、Orifice pulse-tube冷凍機、ドリームパイプ）の構

成とその輸送特性に関する現象面からの解説が行われた。

B2「電磁超音波を用いた鉄鋼スラブ内温度の測定」 平本祐二氏（新日本製鐵㈱）

鋼片内部の超音波透過速度の温度依存性を利用した鋼片温度測定技術の紹介。自然冷却鋼片に対して間欠的に超音波の発信・受信を行って測定を行い、鋼材厚み方向の温度分布、その平均温度と厚みとの関係や超音波透過特性に与える表面酸化スケールの影響などの実験結果が述べられた。

B3「赤外線計測技術とその応用」 青山 聡氏（ミノルタカメラ㈱）

赤外線計測技術の原理と糖・酸などの赤外線吸収特性を利用した食品や青果物の品質の非破壊測定法の概説があった後、ミニトマトの吸収スペクトル、糖含量と近赤外分析値の相関、葉緑素濃度の測定、新生児の黄疸進行の計測事例が紹介された。

B4「レーザー蛍光法による液体の温度測定」 池田裕二氏（神戸大学・工学部）

溶液系レーザー誘起蛍光法の原理、ローダミンB水溶液を用いた計測システムおよび背景光の影響、蛍光-温度の関係などの基本事項の解説の後、速度と温度の同時測定結果が紹介され、LDV-熱電対のシステムに比べてLDV-蛍光法はより正確な温度速度相関を与えることが示された。

B5「希薄気体流のLIFによる可視化と計測」 新美智秀氏（名古屋大学・工学部）

原理、超音速自由噴流の可視化装置の説明の後、可視化写真より密度変化の大きな流れ場の構造解析にLIFが有効であることが示された。また、異波長レーザー光をによる2次元温度分布の測定、圧力、密度やドップラーシフトを利用した蛍光分子の速度などの各種測定法が紹介された。

セッションC「無重力の世界」(ビデオセッション)

C1「低重力場の二相流と等密度液・液二相流」 太田淳一氏（神戸大学・工学部）

宇宙における各種排熱技術が概説された後、落下塔および飛行機を用いた低重力下での2相流の流動様式が紹介された。また、低速の等密度液液2相流（シリコンオイル-水）の流動様式、ボイド率、圧力損失の実験結果をもとに、これらの実験方法が低重力場の模擬実験として有効であることが示された。

C2「微小重力を体験して」 村上政明氏（三菱電機㈱）

平板形ヒートパイプと宇宙用ヒートパイプ用平板蒸発器の実験をNASAのジェット機を利用して行い、微小重力下における世界初のデータを収録したときの体験談（地上では予測できなかったトラブルやそのシューティングなど）と表面張力が支配的となる流動現象のビデオが紹介された。

セッションD「極限状態の伝熱現象」

D1「多層薄膜構造のレーザー加工における熱伝導解析及びその応用」 木山精一氏（三洋電機㈱）

多層薄膜の光干渉効果、熱伝導係数・比熱の温度依存性、相変化に伴う潜熱ならびに光反射率の変化を考慮した3次元熱伝導式の数値解と実験結果との比較ならびに集積型 a-Si 太陽電池のレーザーパターニング技術やレーザーアニールによるpoly-Si薄膜の低温形成技術への応用例が紹介された。

D2「超伝導コイルのクエンチ現象と伝熱」 藤原 誠氏（三菱重工業㈱）

運転中の超伝導コイルが瞬間的に常伝導状態に移るクエンチ現象の発生要因と超伝導コイルの安定性を増大させる冷却法の説明があった後、マクスウェル方程式に基づいてクエンチ現象の発生による常伝導転移時の安定化材中での電流密度の変化を解析した結果が紹介された。

D3「急冷凝固法による新材料の創製と伝熱」 大中逸雄氏（大阪大学・工学部）

急速凝固法と準安定相生成の関係が述べられた後、単ロール法・双ロール法、メルトエクストラクション法、噴霧法、スプレー成形法、回転液中紡糸法によるアモルファス細線など新材料の創製例と液中焼き入れ時の伝熱問題として細線周りの気泡膜の挙動と熱流束の関係が紹介された。

セッションE「汎用小型熱交換器のInnovation」

E1「ルームエアコン用熱交換器の高性能化」 茂木 仁氏（松下電器産業㈱）

ルームエアコン用熱交換器の概要とその高性能化の要点が説明された後、室内側熱交換器についてはフィン形状と熱通過率の向上や騒音との関係、また室外側熱交換器については着霜現象と閉塞の関係、均一着霜・無着霜化を目指したフィンの表面処理など事例が紹介された。

E2「自動車用熱交換器の高性能化技術」 青木博史氏（トヨタ中央研究所）

種々の制約を受ける自動車用熱交換器の高性能化への対応技術が紹介され、コルゲート形ルーバーフィンの熱伝達率分布、流れの可視化、フィン周りの流れの解析例が示された。また、ラジエーター、コンデンサ、エバポレータ、ヒータに使われている熱交換器の開発状況が紹介された。

E3「フィン伝熱の限界とBreakthrough」 鈴木健二郎氏（京都大学・工学部）

オフセットフィンの局所ヌッセルト数分布、熱伝達率と出口圧力係数、フィン系内の流れ場と温度場に関する数値解析および実験結果が紹介され、フィンの流動・伝熱機構が説明された。また、流れの非定常化、角柱・円柱挿入によるフィン伝熱特性の向上策が述べられた。

初日の午後開始、翌日の正午終了のトータル1日のスケジュールとしたために過密スケジュールとなり、講演時間ならびに質疑応答時間が充分にとれなかったことが残念である。また、初日の午後9時から懇親会を開き、学生も交えた懇談が深夜まで続いた。

（セミナー小委員会委員長：平田雄志）

(2) 関西研究グループ講演会

日時：平成4年3月25日（水） 13:00～17:00

場所：京都大学工学部化学工学科（4階）第1講義室

講演題目：

(1) 垂直流体層における内部発熱流体の自然対流

河原全作（京大工）

- (2) 電磁波の照射を受ける原子層の融解と凝固
 - *若林英信(京大院) 島津裕輔(京大)
 - 古田智寛(京大院) 牧野俊郎(京大工)
- (3) 電子機器冷却用プレートフィンの熱伝達に関する研究
 - *松原幸治(京大工) 鈴木健二郎(京大工)
- (4) 共軸の円板と円筒間の回転流における伝熱
 - *河合一穂(京大工) 荻野文丸(京大工)
- (5) プラフボディのある軸対称管内噴流の熱伝達
 - *千田 衛(同大工) 小田耕嗣(同大院)
 - 吉川進三(同大工)

*: 講演者

講演要旨

講演(1): 側壁から加熱・冷却を受ける垂直流体層内の内部発熱体の自然対流熱伝達について、流動のパターンを可視化した。内部発熱率と左右側壁の温度差によりさまざまな流動パターンをとるので、両者を無次元化したパラメータで分類した。また、温度分布・熱伝達係数の測定を行い、これらが流動パターンと非常に密接な関係にあることを明らかにした。数値計算により流動パターンを再現するためには、内部発熱のない場合に比べかなりの高精度計算が要求される。なお、側壁間の距離の小さい条件では、内部発熱率が大きくなると周期的な流れが生じ、流体相中央の上昇流に振動が生じた。

講演(2): 熱ふく射(電磁波)の照射を受ける二次元原子層の融解挙動に関する数値実験を行った。原子層は二体間ポテンシャル関係で結合される1000個の原子からなるものとした。この原子層を熱平衡状態としてから電磁波を照射するが、そのエネルギーが体積的に吸収されて原子の運動エネルギーに変換され、原子層の温度が増加する。数値実験の結果、この過程では原子の配列・運動の秩序性が固相のそれと異なる相が生じることが見いだされ、これが融解現象に擬せられた。固液界面は原子層を明瞭に不連続に二分する形で表面から内部に進行する。この非定常相転移挙動を、原子層の温度、密度、秩序性、個別原子の運動について微視的に可視化した。

講演(3): 近年の電子機器の高性能化・小型化はLSIチップの発熱量ないし機器単位面積あたりの発熱量の飛躍的増大を伴い、そのため電子機器設計において冷却技術が重要な課題となっているが、本研究では強制空冷方式で用いられるマイクロフィンの熱伝達特性の検討を目的として、平行平板流路の下壁面上に取り付けられたチップにプレートフィンを装着した系に関する三次元数値計算および実験を行った。そして、プレートフィンのフィン底面のヌセルト数 Nur はプレートピッチ/プレート厚さ比 p/t に対し極大値を持つことなどの結果が得られた。

講演(4): チョクラフスキー法による結晶成長において、結晶径の制御には融液と結晶との間の伝熱速度の知見が、また融液の温度の制御には融液と容器壁との間の伝熱速度に関する知見が必

要であるが、これらについて系統的な実験的研究はほとんどなされていない。本研究では装置をモデル化して、回転円筒に液を入れてるつば内の融液を、それと共軸の円板で結晶を模擬した実験を可視化も並用して行った。測定は流体と円板および流体と円筒壁間の熱伝達について、円板と円筒壁間の温度差、円筒の回転速度を変えて行われ、これらのパラメータに対する熱伝達率の依存性が報告された。

講演(5)：噴流ノズルと同軸に円環状リングまたは円板状ディスクを設けた管内噴流において、噴流と周囲流の速度比を変えて熱伝達率を測定した。壁面熱伝達率の分布にはブラフボディ下流に極大値が現れ、速度比とともにその値は大きくなり、また極大値をとる位置は上流側へ移行する。この熱伝達率の増大は、ブラフボディから周期的に放出された渦が管壁に付着し、壁面近くの乱れ強さが大きくなった結果であることを、流れの可視化と速度変動のスペクトル解析によって明らかにした。また、リングの場合には軸対象的な渦輪が放出されるのに対し、ディスクの場合には背面に形成された渦は時間とともに軸対称性が崩れて後流のゆらぎが生じて渦が放出されることが観測された。

(企画小委員会委員長：中西重康、本講演会担当委員：荻野文丸)

(3) 伝熱技術フォーラム

本年度3回の例会を持った。ここには前年度の未報告例会の報告も併せて行います。
平成2年度第3回例会

日 時：平成2年12月20日(木) 14:00～17:00

特別懇談会 17:30～19:30

場 所：神戸大学工学部視聴覚教室(104号室)

話題提供：

1) CASTIG Cycle (Cascaded Steam Injection Gas Turbine Cycle)

についての提案 大岡五三實(大阪ガスエンジニアリング(株))

2) 混相流――特に固気液三相流をめぐって

坂口 忠司(神戸大学工学部)

見学会：神戸大学工学部生産機械工学科熱流体機器工学研究室

<講演概要>

話題提供1) 地球規模のエネルギーと環境の問題に対する同氏の考えと工業生産でのCO₂の放出の抑制の問題について言及された。その後、発電用ガスタービンの出力効率とNO_x発生問題に的を絞られ、Combined Cycle (NO_x発生量多い)、NO_x対策としてのSTIG(Steam Injection Gas Turbine)の長所と短所を論じられた。STIGはCombined Cycleより少し効率は劣るが、NO_x発生量少なく、比出力大、設備費安い、大量のボイラー給水を確保する必要があること、これに対

処するための CASTIG を提案された。同氏の試算により、Combined Cycle, Full STIG, CASTIG を比較された結果、CASTIG が効率、比出力、空気圧縮比、NOX排出量の4点において利点があることを指摘された。

話題提供2) 伝熱研究会における混相流研究の足跡を辿られて、混相流学会の発足に至る過程を同氏の研究の道と対比しながら話された。その後、二相流から三相流への転向の動機と研究対象について具体的問題を挙げられた。その例として、マンガング塊探鉱システム、石炭液化プロセス、ジェットポンプ、流体輸送式トンネル掘進機などの三相流の問題について説明された。

例会には49名の参加があり、その後の見学会を含め、活発な質問と討論が行われ盛会であった。例会終了後、神戸大学 LANS BOX で特別懇談会を持ち、31名が出席された。

(伝熱技術フォーラム幹事：片岡 邦夫、関西地方連絡幹事：芹沢 昭示)

平成3年度第1回例会

日 時：平成3年4月26日(金) 14:00~17:00

特別懇談会 17:30~19:30

場 所：姫路工業大学一般教育部AV教室

話題提供：

1) 企業における研究開発マネジメント

山中 晤郎(三菱電機(株))

2) 連結現象における相反関係の起源とその応用

神吉 達夫(姫路工業大学)

見学会：姫路工業大学産業機械工学科移動現象研究室、拡散・反応工学研究室

<講演概要>

話題提供1) 研究開発マネジメントの目的を事業への貢献と個人の幸せとのリンケージと定義した時、マネージャーは昨今の価値観の多様化(会社生活/個人生活のバランス)と研究者への要求の変化(高品質→差別化機能)に対する対応を配慮しなければならないこと、すなわち事業貢献度と個人的満足度がバランスするように、研究開発の進め方をマネジメントするのがよいと説かれた。若手技術者、研究者の時に要素技術の拡充などで基礎的技術を習得するが、技術・研究開発のリーダになると技術の統合化、研究シナリオの作成などトータルシステム的な仕事へジャンプしなければならないが、この不連続領域をどのように乗り越えて行くかが望まれる研究者の成長像に重要な要素である。そのためには、(1)真のシンセンス、(2)マクロの両方が必要であることを指摘されて話しを閉じられた。

話題提供 2) 平衡熱力学は第1法則と第2法則からなるが、非可逆過程では第2法則がエントロピーの増大、すなわち $dS > 0$ と不等号である。このような平衡熱力学の非可逆過程（例えば熱の輸送現象）への適用が可能であるかについて、例を挙げて説明された。次に、線形連結現象に対する Onsager の相反定理の起源である互変異反応系の異性体間の反応速度の拘束条件を説明された。微視的可逆性（局所平衡）の原理（相反定理）を補助原理として加えれば、平衡熱力学の適用を、平衡からのずれが小さい範囲内であれば、非平衡定常系へ拡張できることを述べられて話しを閉じられた。

例会および見学会は55名の参加者で活発な質問、討論がなされた。その後の大学会館で開かれた特別懇談会には35名が出席された。

平成3年度第2回例会

日 時：平成3年9月26日（木）14:00～17:00

特別懇談会 18:00～19:30

場 所：京都大学工学部化学工学科第1講義室

話題提供：

1) 合成樹脂重合槽の開発話し

井上 一夫（神鋼パワテック(株)）

2) エネルギー・環境・移動現象

荻野 文丸（京都大学工学部）

見学会：京都大学工学部化学工学科輸送現象論研究室

<講演概要>

話題提供 1) 化学工学会の技術賞を受賞された塩化ビニール樹脂用の新型重合装置の開発に関して、次のような技術問題について話された：(1) 100 μm 程度のモノマー液滴径を揃えるための攪拌技術、(2) スケール付着と高圧水による洗浄技術、(3) スケールメリットのための大型化、(4) 伝熱律速のための伝熱部板厚さを薄くし、内壁はスケールが着きにくくし、ジャケット側は防食処理、(5) 圧力容器のため外面側で圧力を支える構造など。これらの問題を解決することにより従来型よりずっと重合時間を短縮でき、8時間程度になった上、総括伝熱係数の経時変化もほとんどない状態に改善されたことを述べて話しを終えられた。

話題提供 2) 工学はモノを作ることを目的にしており、モノの作り方を設計と考えるならば、分子設計、材料設計、機器・装置設計、システム設計、マクロシステム設計に分類できる。これらに対する移動現象学の貢献すべき方向については縦割の分析ができ、乱流をメインテーマとする非

線形現象や数値移動現象が重要な分野であると指摘された。その後、主題であるエネルギー・環境、生物、生体システムなどについて、横割の分析により移動現象学の貢献すべき方向と研究課題について述べられた。エネルギーの供給・消費のフローチャートにより、いかに損失エネルギーが多いかを指摘して、いかに石油使用を減らすかがエネルギー・環境両問題の最重要テーマであることを具体的に話された。それらの現状の分析の結果と同氏の研究テーマとの位置づけをしながらエネルギー損失の低減方法の真剣な取り組みが大事であることを強調されてはなしを終えられた。

例会および見学会は30名の参加者で活発な質問、討論がなされた。その後の京大会館で開かれた特別懇談会には18名が出席された。

平成3年度第3回例会（記念見学会）

日 時：平成3年12月 6日（金）14:00～17:00

特別懇談会 17:30～19:30

場 所：神戸市東灘区六甲アイランド

見学会：

1) 関西電力六甲新エネルギー実験センター

「太陽光発電と燃料電池の研究設備とそれによる配電システム」

一般家庭180軒分の太陽電池パネルと15軒分の家庭電力消費設備、165軒分の模擬負荷装置と模擬配電線、都市ガス（天然ガス）を水素源とするオンサイト型燃料電池システム、風力発電設備を見学した。

2) 大阪ガス六甲アイランドエネルギーセンター

「地域冷暖房実験施設」

海上文化都市として計画された人工島「六甲アイランド」の中央部に位置する都市機能用地”六甲アイランドCITY”の業務・商業ゾーンのために建設された冷暖房実験設備（熱供給配管システム、エネルギープラント）を見学した。

上記二社のエネルギー実験設備施設を見学させていただき、見学討論会が行われた。35名が出席され、盛会で好評であった。特別懇談会は蘇州園で開催され19名が参加された。

（伝熱技術フォーラム幹事：片岡邦夫、関西地方連絡幹事：坂口忠司）

以上

<地方研究グループ活動報告>

九州研究グループ講演会

日 時： 平成4年1月31日（金）13:30～17:30
場 所： 九州大学工学部生産機械工学科講義室
出席者： 大学・高専 47名、企業 6名、学生 7名
講 演：

1. 熱交換器の新しい防汚技術
池上 康之（佐賀大学理工学部）
2. 水平蒸発管内における特徴的な伝熱現象について
吉田 駿（九州大学工学部）
3. 固・液相変化を含む系の熱伝達に関する最近の研究
笹口 健吾（熊本大学工学部）
4. 欧州における石炭ガス化複合発電施設の調査報告
西川 兼康（九州電力）

<講演概要>

講演1： 防汚技術は、熱交換器を用いて海洋の熱エネルギーを利用している動力プラントにおいて極めて重要である。従来防汚技術は、環境保全、二次汚損など残された課題も多い。そこで、環境にやさしく、防汚効果の優れた防汚技術を選定するために、従来問題点を整理するとともに新しい防汚技術のスクリーニングを行った。その結果、オゾンーションが新しい技術として有望であることを示した。さらに、防汚技術としてのオゾンについて物理的・化学的特性などを解説し、プレート式熱交換器を用いて行ったオゾンーションの実験結果を示した。この結果から、オゾンーションの有効性が明らかになった。

講演2： 水平蒸発管内では、重力の作用によって、気液が上下に分離した層状流や波状流になったり、環状流であっても液膜厚さが管周上で不均一になったりしている。このために、その伝熱特性は、管軸に対称な気液の分布になっているとみなせる垂直蒸発管の場合とは異なったものになる。各種パラメータの伝熱に及ぼす影響、伝熱促進、二成分混合液体の伝熱などについて、水平蒸発管で認められる特有の現象が解説された。

講演3： 固-液相変化を含む系の熱伝達に関する最近の多岐にわたる研究について概観し、今後の研究課題を示した。特に、最近活発に研究が行われている二成分系（水溶液）の凝固・融解問題について少し詳しく解説を行った。この系では、温度分布だけでなく濃度分布によっても凝固・融解形態が異なるため、場合によっては、極めて特徴的で複雑な凝固・融解形態を生じることを示した。また、これまで数値シミュレーションが行われ

ている問題の計算例を紹介した。この系の解析では種の方程式（濃度方程式）が支配方程式に加わるため、数値計算の計算時間が一般に膨大になり、高速の新しいアルゴリズムの開発など何らかの対策が必要であることも指摘した。

講演4： 平成3年11月11日から11月23日の13日間に、噴流床石炭ガス化複合発電安全設計調査委員会（火力原子力発電技術協会）の事業の一環として実施された海外調査について報告した。本講演ではBuggenum発電所〔オランダ、噴流床石炭酸ガス化複合発電所（建設中）〕、Goldenberg発電所〔ドイツ、褐炭発電所、流動床石炭ガス化複合発電（計画）〕およびVartan発電所（スウェーデン、流動床ボイラ複合発電所）の現状について述べ、VGB（ドイツの火力発電技術者協会）及びNRW（北ラインベストハーレン州経済技術局）で纏めた「将来の石炭火力発電所」の構想について解説した。

講演会には60名の参加者があり、各講演に対して活発な質問と討論が行われた。引き続き九州大学職員会館で開催された懇親会も35名の参加者をえて盛会であった。

（九州地方連絡幹事 本田 博司）

< 編集後記 >

第30期「伝熱研究」編集後記

第30期編集委員長 藤田 秀臣（名 大）

昨年7月発行の Vol.30, No.118 から数えて4冊目の Vol.31, No.121 をここに発行できる運びとなりました。これは偏に各号の編集に直接携わられた編集委員各位のご尽力と印刷から発送までをご担当下さった事務局の方々のご協力の賜と厚く御礼申し上げます。

編集委員会の申し送り事項には、全号を特集号にする必要はない旨記されていますが、今期の4号はつぎのとおりすべて特集号となりました。

第118号 <特集：第28回日本伝熱シンポジウム>

第119号 <特集：凝固・融解研究の最新動向>

第120号 <特集：中堅・若手層はかく考える>

第121号 <特集：建築・環境における伝熱問題>

118号は、その編集後記にも記させていただきましたが、「日本伝熱学会」を名乗った第一号です。つづく119号は、従来しばしば「伝熱トピックス」として組まれた特集号の流れをくむものといえます。幅広い研究分野を包含しているだけでなく、我が国内外の研究動向などの紹介もなされているところに、編集担当者の苦心がみられます。

表紙の色が水色にかわった120号は少し趣が変わって、中堅・若手層の会員諸氏より自由にご発言をいただく場としましたが、小竹会長からもご感想をお寄せ頂き興味深い特集になったと思っております。

今期担当最後のこの121号は、我々の日常生活と密接に関係し、しかも従来の本会会員の仕事とも関連が深いと思われるテーマを、主として本会の会員でない方々に執筆いただいております。本会の守備範囲を拓けようとの意識の現れと解釈頂ければ幸いです。本号では、1月25日に逝去された西脇仁一先生（第5期会長）の追悼文もご親交の厚かった先生方よりお寄せ頂きました。また、京大原子エネルギー研究所の桜井彰先生・塩津正博先生・畑幸一先生の「ASME、1991年メルビル・メダル」受賞をご紹介しました。

ご多忙にもかかわらず素晴らしい原稿をお寄せ頂き本誌を飾って下さいました執筆者各位に対し衷心より御礼申し上げます。

なお、今期の編集委員会では、学会の法人化への移行に伴う学会誌に関連する問題についてもかなりの時間をさいて検討してきました。会の財政に負担をかけずに、質の高い多くの原著論文を掲載し、会員数が増やせるような学会誌を編集・発行するにはどうすればよいのか。従前からの大きな学会の論文集とは違った特徴をいかにもたせるか。なかなかの難問です。編集・査読体制として、小回りの利くエディター制の採用なども話題に上っておりますが、名案を各地方の連絡幹事の先生方にお寄せ願えれば幸いです。

<お知らせ>

学会組織検討委員会の設立とご協力をお願い

会長 小竹 進

1991年5月30日より「日本伝熱研究会」が改名され「日本伝熱学会」が発足しましたが、その発足の「会長就任の挨拶」において述べましたように、内容ある学会の活動と運用に向けてより一層の努力が必要であります。そうした学会の活動と運用の基本的な問題として学会組織の検討があります。この組織の検討は、学会運営の単なる事務的な組織ばかりではなく学会の実質的な活動の基礎と将来像をきめる最も重要な問題であり、法人化問題を含めてかなり慎重な検討を要します。このような広い意味での学会組織の検討には年度を越えて長期間の検討が必要と思われまますので、「学会組織検討委員会」を設立してご検討していただくことにしました。非常に大変な労力をお願いすることになりますが、委員長、副委員長にはこうした組織作りではご経験の深い藤井哲先生、相原利雄先生にお願いし、実際の詳細な検討には河村洋先生を幹事として以下の諸先生にお願いすることにいたしました。会員の皆様には積極的なご協力のほどをお願い申し上げます。

委員長	藤井 哲	(九大)
副委員長	相原利雄	(東北大)
幹事	河村 洋	(東京理科大)
委員	芹沢昭示	(京大)
委員	西尾茂夫	(東大)
委員	森 康彦	(慶応大)
委員	吉田英生	(東工大)

(敬称略)

平成4年1月9日

第30期（平成3年度）総会のお知らせ

本会の第30期（平成3年度）総会が、日本伝熱シンポジウムの第2日目に下記の如く開催されますので、会員各位の御出席をお願い致します。

記

- | | | |
|-----|---|-------------|
| 日 時 | 平成4年5月28日（木） | 13:00～13:50 |
| 場 所 | 大阪国際交流センター
〒543 大阪市天王寺区上本町 8-2-6
TEL 06-772-5931 FAX 06-772-7600 | |
| 議 題 | (1) 平成3年度会務報告
(2) 平成3年度会計報告
(3) 日本伝熱学会学術賞・技術賞授与
(4) 第31期役員選出
(5) 日本伝熱学会会則の改定
(6) 旧・新会長挨拶 | |

第29回日本伝熱シンポジウム

開催 5月27日～5月29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, 化学工学会ほか

開催日 平成4年5月27日(水)～29日(金)

講演会場 大阪国際交流センター
〒543 大阪市天王寺区上本町8-2-6
TEL 06-772-5931, FAX 06-772-7600
近鉄「上本町」駅, または地下鉄「谷町九丁目」駅
(谷町線, 千日前線)③番または⑤番出入口から南へ
徒歩10分

- 1) ※印は講演者, 一般講演は10分, 討論はそれぞれ
の講演群のうちで適宜まとめて行います。
2) 連名者で所属(勤務先, 通学先)が省略されて
いる方は, 前者と同じです。

第1日 5月27日(水)

<<< A 室 >>>

シンポジウム参加費 一般(1名) 事前申込: 6000円
当日申込: 7000円
学生・院生(1名) 事前申込: 3000円
当日申込: 3500円
(いずれも講演論文集代を含みません)

講演論文集代 1セット8000円(消費税含む)
ただし, 郵送の場合は1セット8600円(送料含む)
(日本伝熱学会会員には1セット無料進呈)

懇親会 日時 5月28日(木) 18:30～20:30
会場 なにわ会館(講演会場から徒歩5分)
会費 事前申込: 6000円
当日申込: 7000円
ただし, 同伴夫人は無料です。

参加申込要領 郵便振替払込用紙を1人につき1枚ご使用になり, 通
信欄に〔(1)氏名(ふりがな), (2)勤務先または学校名,
(3)参加費(一般・学生を明記), (4)懇親会費(夫人
同伴の方はその旨を明記), (5)講演論文集冊数およ
び金額(進呈分以外), (6)合計金額〕をご記入の上,
当該費用をご送金ください。参加証は当日受付にてお
渡しします。なお, 事務の簡素化と経費節減のため原
則として領収書の発行を省略させていただきますので,
郵便局で受け取られる郵便振替払込金受領証を保存し
て下さい。

事前申込締切 平成4年5月8日(金) (消印有効)

申込先 郵便振替口座: 大阪 4-125215
第29回日本伝熱シンポジウム準備委員会

当日受付 第1日 8時40分よりシンポジウム会場で行います。

参加・講演について 問い合わせ先 〒565 吹田市山田丘2-1
大阪大学工学部 産業機械工学科内
TEL 06-877-5111 (内線5109) (平井秀一郎)
FAX 06-876-4975

- [乱流構造と伝熱] 9:20～10:40
座長 鈴木健二郎(京大), 西野耕一(横浜国大)
A111 軸対称自由噴流における組織的乱流構造
※二宮 尚(宇都宮大), 笠木伸英(東大)
A112 湾曲風洞流路における非等方性乱流の実験解析
杉山 均(宇都宮大), 秋山光庸, 二宮 尚, ※八織喜規,
平田 賢(東大)
A113 高温に加熱された壁の間の乱流エネルギーの生成と輸送過程
※I NYOMAN GEDE WARDANA(慶大), 植田利久, 溝本雅彦
A114 シアアの動く気液界面での表面更新周波数とスカラー輸送量
の評価
※小森 悟(九大), 永翁龍一, 村上泰弘

- [剥離流の流動と伝熱] 10:50～12:10
座長 長野靖尚(名工大), 廣田真史(名大)
A121 180°急激曲り部を持つ正方形断面流路内の流れと熱伝達
(局所熱伝達率の計測)
※村田 章(東京農工大), 田岡一明, 望月貞成
A122 噴流による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(第2報)
※平良哲治(琉球大), 親川兼勇, 山里栄昭
A123 剥離と再付着を伴う鈍い平板まわりの乱流熱伝達
太田照和(東北大), ※大井尚武(ゼクセル)
A124 急拡大流路内層流熱伝達の数値解析
太田照和(東北大), ※畑 孝典(小松製作所)

- [対流伝熱の促進・制御(I)] 13:00～14:20
座長 相原利雄(東北大), 千田 衛(同志社大)
A131 粗さ要素による対流伝熱促進と圧力損失の相関について
※加藤健司(大阪市大), 東 恒雄
A132 フィル状スプリングによる管内対流熱伝達促進
稲葉英男(岡山大), ※金岡伸一, 野津 滋, 尾崎公一
A133 矩形管内助走区間の伝熱促進
※廣田真史(名大), 横沢 肇, 藤田秀臣, 中山俊孝
A134 渦発生体列によるダクト内層流の伝熱促進
※中山 謙(横浜国大), 鳥居 薫, 西野耕一, 大木篤史

- [対流伝熱の促進・制御(II)] 14:30～16:10
座長 藤田秀臣(名大), 桧和田宗彦(岐阜大)
A141 リブ付きダクト内流れの流動・伝熱特性に関する研究
※前 洋介(京大), BURKE TREIDLER, 鈴木 洋(広島大),
鈴木健二郎(京大)

A142 L E B U板に付設した渦発生体による乱流境界層熱伝達の促進

※鈴木一之(京大), 林 秀之, 鈴木 洋(広島大), 福岡恭三(三菱重工), 萩原良道(京大), 鈴木健二郎

A143 ブラフボディのある軸対称管内噴流の熱伝達

※小田耕嗣(同志社大), 千田 衛, 吉川進三

A144 一様流中の正方形柱の伝熱促進

※五十嵐 保(防衛大), 神戸裕史

A145 加熱によって励起される気柱振動のシミュレーション

※石井達哉(東大), 飛原英治, 斉藤孝基

【物体まわりの流れと伝熱 (I)】 16:20~17:40

座長 太田照和(東北大), 東 恒雄(大阪市大)

A151 長方形断面柱まわりの流動と熱伝達

(断面辺長比5~9の場合)

五十嵐 保(防衛大), ※真弓康次

A152 平行平板流路におかれた角柱列まわりの流れと熱伝達

(温度場の発達および角柱配列間隙の影響)

五十嵐 保(防衛大), ※高崎博美

A153 流れのはく離と流体振動も利用した物質移動促進

※西村龍夫(山口大), 赤石 晃, 小嶋直哉

A154 中間レイノルズ数域におけるフィン列の流動・伝熱特性に関する研究

(流れ, 温度場の統計的性質)

喜 冠南(京大), ※二神俊蔵, 萩原良道, 鈴木健二郎

【物体まわりの流れと伝熱 (II)】 17:50~19:10

座長 五十嵐 保(防衛大), 西村龍夫(山口大)

A161 超音速流中に置かれた物体周りの対流熱伝達

鳥越邦和(ダイキン), 川添政宣, ※毛馬大成, 笠井一成

A162 異径2円柱の流動と熱伝達

(オフセット比と異径比の影響)

※松和田宗彦(岐阜大), 三松順治, 熊田雅彌

A163 直交三円柱よりの強制対流熱伝達

※堀部明彦(北大), 福迫尚一郎, 山田雅彦

A164 接触円柱群間隙軸方向流内の熱伝達

宮武 修(九大), ※大森広美, 栗城雄治

<<< B 室 >>>

オーガナイズセッション

《原子力発電プラントにおける熱流動問題》

オーガナイザー

芹沢昭示(京大)

柘植綾夫(三菱重工)

【軽水炉における熱流動安全研究】 9:20~11:20

座長 芹沢昭示(京大), 柘植綾夫(三菱重工)

B111 【展望講演】軽水炉に関する熱流動安全研究の拡がり

※秋山 守(東大)

B112 軽水炉事故解析コードREFLECTRACの開発

(現状と今後の課題)

秋本 肇(原研), 人貫 晃, 阿部 豊, 村尾良夫

B113 軽水炉シビアアクシデント時の熱流動

※早田邦久(原研), 杉本 純, 山野憲洋

B114 PWR炉心熱流動評価の現状

(管群熱流動試験との関連を中心として)

秋山美映(三菱原子力), 堀 慶一(三菱重工)

B115 原研における新型軽水炉の熱流動解析

(現状と今後の課題)

※村尾良夫(原研)

【軽水炉における核・熱流動現象 (I)】

11:30~12:10

座長 戸田三朗(東北大), 村瀬道雄(日立)

B121 【展望講演】BWR安定性研究の動向

※角山茂章(東芝)

【軽水炉における核・熱流動現象 (II)】

13:00~14:20

座長 戸田三朗(東北大), 村瀬道雄(日立)

B131 反応度事故時の熱流体挙動に関する基礎的研究

相田達也(東工大), 井上 晃, 松崎充男

B132 自然循環BWRの起動時の不安定流動に関する研究

(並列沸騰流路におけるガイセリングの特性)

※江 俊賢(東工大), 有富正憲, 井上竜一(芝浦工大),

森 治嗣(東京電力)

B133 PWRにおけるLOCA時のホットレグ内二相流挙動

※安濃田良成(原研), 中村秀夫, 久木田 豊

B134 PWR蒸気発生器の伝熱流動

※川西康平(三菱重工), 柘植綾夫, 中森信夫,

上野隆司

【在来炉・未来炉の熱流動】

14:30~16:30

座長 井上 晃(東工大), 村尾良夫(原研)

B141 原子炉容器加圧熱衝撃評価に係わる安全注入水とループ水

との混合挙動評価

※藤本哲郎(三菱重工), 柘植綾夫, 鶴飼 修,

桂木一行

B142 原子炉格納容器内の水素混合挙動

※緒方潤司(三菱重工), 藤本哲郎, 柘植綾夫,

鶴飼 修

B143 三菱中小型炉MS-600の熱流動

中森信夫(三菱重工), 松岡 強, 上野 隆,

岡部一治(三菱原子力)

B144 Passive Safety炉(SBWR)の特質と伝

熱流動研究

※長坂秀雄(東芝)

B145 軽水炉の自然放熱型格納容器

-放熱性能向上に関する実験的研究

※村瀬道雄(日立), 片岡良之, 藤井 正, 青山吾朗

B146 次世代BWRの熱流動研究

※横堀誠一(東芝), 角山茂章

【液体金属冷却炉の熱流動】

16:40~18:40

座長 有富正憲(東工大), 魚谷正樹(電中研)

B151 【展望講演】高速炉における熱流動問題

※二ノ方 寿(動燃)

B152 矩形容器内温度成層流の研究

※入谷陽一郎(三菱重工), 藤本哲郎, 福井 裕,

田下昌紀

B153 自然循環除熱時のプレナムから炉心への冷却材滞留現象

(基礎的水実験)

※小林 順(動燃), 上出英樹, 家田芳明

B154 LMFRの自然循環前壊熱除去における炉心部熱流動現象

(並列3集合体Na実験体系における混合対流特性の研究)

※戸田信一(動燃), 家田芳明, 上出英樹, 松田茂行,

岩崎智史, 磯崎 正

B155 片面基面用液体金属冷却炉原子炉発電システム

根井弘道(東芝), 荒木達雄, 滝塚貴和(原研),

安田秀志

<<< C 室 >>>

- オーガナイズセッション 《航空・宇宙における伝熱》
 オーガナイザー 藤井照重(神戸大)
 阿部宜之(電総研)
 大串哲朗(三菱電機)
- 【航空・宇宙における伝熱(展望)】 9:20~10:00
 座長 藤井照重(神戸大)
- C111 【展望講演】航空・宇宙における伝熱
 ※新野正之(航技研)
- 【微小重力下の伝熱・流動】 10:10~12:10
 座長 大串哲朗(三菱電機), 石塚 勝(東芝)
- C121 毛細管力により駆動される管内流れのダイナミクス
 ※市川直樹(機械技研), 里田洋子(筑波大)
- C122 微小重力下における気液二相流の挙動について
 (落下塔実験)
 藤井照重(神戸大), 中澤 武(神戸商船大),
 ※伊藤哲也(神戸大), 村岸 治(川崎重工)
- C123 水平等密度液-液二相流に関する研究
 藤井照重(神戸大), 太田淳一, ※坂本秀行, 岡本光博
- C124 地上および微小重力環境下における液柱内マランゴニ対流
 現象
 ※西澤伸一(早大), 平田 彰, 今石宣之(九大),
 M. ZIAD SAGHIR(カナダ宇宙局)
- C125 液滴冷却器の放熱特性
 (過渡マランゴニ対流の効果)
 工藤一彦(北大), 谷口 博, 黒田明慈, 多田雅彦
- C126 微小重力下のブル沸騰
 (小型ロケット実験結果)
 ※阿部宜之(電総研), 岩崎 晃
- 【航空・宇宙における排熱システム】 13:00~14:40
 座長 工藤一彦(北大), 小澤 守(関西大)
- C131 キャピラリーポンプループの開発
 ※渡部正治(三菱重工), 藤原 誠, 水落道明
- C132 二相流体排熱ループのシステム試験
 味村一樹(東芝), 宮地 威,
 古川正夫(宇宙開発事業団), 石井康夫
- C133 二相流体排熱ループのシステム特性
 ※川本浩一(東芝), 古浜功吉,
 石井康夫(宇宙開発事業団), 古川正夫
- C134 二相流体排熱システムの動特性に関する研究
 ※藤井照重(神戸大), 小林則章,
 中澤 武(神戸商船大), 味村一樹(東芝)
- C135 並列二相流体ループの流動安定性に関する研究
 藤井照重(神戸大), 竹中信幸,
 ※中澤 武(神戸商船大), 味村一樹(東芝)
- 【航空・宇宙での伝熱機器(I)】 14:50~16:10
 座長 滝本 昭(金沢大), 中村達三郎(川崎重工)
- C141 宇宙用コールドプレートにおける接触熱抵抗
 (低接触圧力での測定)
 ※秋吉 亮(石播), 堀 政義, 鳥居 薫(横浜国大)
- C142 低荷重条件における真空中の接触熱抵抗に関する研究
 西野耕一(横浜国大), ※山下重正, 鳥居 薫
- C143 うねりを有する面の接触熱抵抗に対する介在金属箔の効果
 に関する研究
 山下重正(横浜国大), ※鳥居 薫, 西野耕一,
 佐々木英二

- C144 宇宙基地熱制御用熱交換器の低レイノルズ数域における伝熱・流動特性
 ※水野昌幸(石播), 堀 政義, 塩谷隆太郎
- 【航空・宇宙での伝熱機器(II)】 16:20~17:40
 座長 鳥居 薫(横浜国大), 藤原 誠(三菱重工)
- C151 過熱液のフッシュと微粒化の機構
 ※PETER ERASMUS MHINA(金沢大), 滝本 昭,
 林 勇二郎
- C152 AN EXPERIMENTAL STUDY OF NOZZLE SHAPE IN LOW
 PRESSURE RATIO EJECTOR SYSTEMS
 ZHANG JINGZHOU(Nanjing Aeronaut. Inst.), LI LIGUO
 YANG ZHIMING
- C153 宇宙往還機用熱シンク装置の研究開発(その1)
 (水フラッシュ蒸発冷却基礎試験)
 ※中村達三郎(川崎重工), 竹村 正, 高木完造
- C154 宇宙往還機用熱シンク装置の研究開発(その2)
 (水フラッシュ蒸発器部分モデル試験)
 ※竹村 正(川崎重工), 中村達三郎, 高木完造
- 【航空・宇宙での伝熱機器(III)】 17:50~19:30
 座長 阿部宜之(電総研), 宮崎芳郎(東芝)
- C161 HEAT TRANSFER ON THE ENDWALL SURFACE OF CASCADE
 NOZZLE OF THE GAS TURBINE
 A. A. KHALATOV(Inst. Eng. Thermophysics),
 S. A. KHALATOV(Kiev Polytech. Inst.)
- C162 宇宙に露出する推進薬配管の断熱方法
 ※橋本芳廣(石播), 市川雅明
- C163 二相流体ループ方式熱制御システム用コールドプレートの
 研究開発
 ※山田浩之(川崎重工), 中村達三郎
- C164 分散熱源ヒートパイプにおける液体スラッグの形成
 (満形ウィックヒートパイプ微小重力実験)
 ※大串哲朗(三菱電機), 村上政明, 桜井也志,
 川路正裕(トロント大)
- C165 複合チャネルヒートパイプ微小重力実験
 ※村上政明(三菱電機), 大串哲朗, 矢尾 彰,
 川路正裕(トロント大)

<<< D 室 >>>

- オーガナイズセッション 《鉄鋼業における伝熱》
 オーガナイザー 坂本雄二郎(神戸製鋼所)
 鈴木孟文(新日鐵)
 高島啓行(住友金属)
- 【鉄鋼業における伝熱(展望)】 9:20~10:00
 座長 坂本雄二郎(神戸製鋼所)
- D111 【展望講演】鉄鋼業における伝熱の諸問題
 ※篠原度章(川崎製鉄)
- 【鉄鋼業における伝熱(冷却技術)】 10:10~12:10
 座長 坂本雄二郎(神戸製鋼所), 鈴木孟文(新日鐵)
- D121 高温垂直面スプレー冷却時の熱伝達率に及ぼす諸因子の影
 響
 ※橋本道春(住友金属), 森田昌孝
- D122 高温面の水冷却に関する研究
 (第5報 膜沸騰相当領域におけるスプレー冷却の理論解
 析)
 伊藤猛宏(九大), 高田保之, ※M. M. MOUSA

- D123 鋼帯のロール冷却におけるサクシヨンの効果
柳 謙一(三菱重工), 三原一正, 橋本律男, ※水田桂司
- D124 回転ロールの高性能冷却に関する基礎研究
(第4報, バット冷却の強制対流領域の冷却特性)
※劉 振華(大分大), 石橋英一, 上尾英孝(新日鐵)
- D125 泡沫流体の高温熱伝達特性
斎藤 図(室蘭工大), 岸浪純機, 安沢典男(新日鐵),
※水戸 寛(清水建設)
- D126 鑄造プロセスにおける凝固解析
※中川知和(神戸製鋼所), 仲山公規
- 【鉄鋼業における伝熱(加熱技術)】 13:00~15:00
座長 高島啓行(住友金属), 橋本律男(三菱重工)
- D131 高炉下部燃焼帯の数値解析
※柘植英夫(東北大), 荻上 洋, 三浦隆利
- D132 湯流れ・伝熱解析による高炉炉床損耗パターンを検討
※栗田興一(住友金属)
- D133 コークス変形挙動の粘弾性解析
※上野明則(東北大), 佐藤洋史, 青木秀之, 三浦隆利
- D134 取鍋内に吹き込まれた粒子の二次元混合特性
WEN-JEI YANG(ミンガン大), ※稲田茂昭(群馬大)
- D135 精錬プロセスにおける気泡と液の熱伝達
井口 学(阪大), 森田善一郎,
※高木茂男(神戸製鋼所), 徳永宏彦
- D136 鋼片加熱炉における伝熱特性とその促進技術
※鈴木敏英(神戸製鋼所), 立道英夫, 峯 隆夫

- オーガナイズセッション 《環境伝熱-大気・都市環境-》
オーガナイザー 山口克人(阪大), 植田洋匡(九大)
- 【都市環境における伝熱】 15:10~16:30
座長 山口克人(阪大), 福井啓介(姫路工大)
- D141 都市環境制御のための植物群落内放射伝達モデルに関する研究
(Rossのモデルの実験による検証)
※平岡久司(京大), 中村泰人
- D142 地域熱環境に及ぼす二酸化炭素の増加の影響
※吉田篤正(岡山大), 中川健司, 鷲尾誠一
- D143 東京における都市温暖化の3次元シミュレーション
※島田達哉(東北大), 斎藤武雄
- D144 土地利用の変化が地域規模の気温分布に与えた影響
(濃尾平野を対象としたデータ解析と数値計算)
北田敏廣(豊橋技科大), 久保田庄三, 国井克彦
- 【環境伝熱(展望)】 16:40~17:20
座長 植田洋匡(九大)
- D151 【展望講演】乾燥地地表面の熱収支
※光田 肇(京大)
- 【大気環境における伝熱】 17:30~19:10
座長 中村泰人(京大), 北田敏廣(豊橋技科大)
- D161 2次元大気循環モデルに基づく地球温暖化のシミュレーション
※久田哲弥(東北大), 斎藤武雄
- D162 一般風場での積雲対流の数値シミュレーション
※近藤 明(阪大), 山口克人
- D163 海陸風循環中の重力流構造
(K-H不安定, 内部ボアと孤立渦)
植田洋匡(九大), 余 偉明(計算流体力研)
- D164 平行平板間における共存密度成層乱流の発達過程
福井啓介(姫路工大), 勝屋 訓

- D165 オゾネーションによる熱交換器防汚技術の評価
上原春夫(佐賀大), ※池上康之, 宮良明男, 鶴 健士,
住友博之(日販製作所), 山崎起男

<<< E 室 >>>

- オーガナイズセッション 《材料プロセスにおける伝熱》
オーガナイザー 大隅正人(三洋電機), 大中逸雄(阪大)
- 【単結晶育成プロセスにおける流動・伝熱】 9:20~10:40
座長 岡崎 健(豊橋技科大), 宗像鉄雄(機械技研)
- E111 Si融液対流の3次元構造
※柿本浩一(日本電気), 渡辺匡人, 江口 実,
日比谷孟俊
- E112 Si融液対流の不安定性
※渡辺匡人(日本電気), 柿本浩一, 江口 実,
日比谷孟俊
- E113 Cz法引上時のシリコン単結晶の非定常温度解析
(準静的仮定の検討)
※安永寿夫(東芝)
- E114 高周波加熱CZ炉による酸化物単結晶育成時の総合熱解析
※塚田隆夫(東北大), 宝沢光紀, 今石宜之(九大)
- 【半導体加工における熱工学】 10:50~12:10
座長 大隅正人(三洋電機), 丸山茂夫(東大)
- E121 エネルギービームによる薄膜構造の制御
※井上剛良(九大), 中野賢二, 尾添紘之
- E122 エキシマレーザーアニール時の温度分布解析を用いた
Poly-Si薄膜の大粒径化
木山精一(三洋電機), 桑原 隆, 堂本洋一, 大隅正人
- E123 ウエハ裏面よりの抵抗加熱によるスリップフリー実現
※佐藤裕輔(東芝), 大畑俊光
- E124 電子ビーム蒸着法による薄膜の表面欠陥に及ぼす蒸発面温度の影響
※新宅秀信(松下電産), 鈴木茂夫, 田中博由
- 【材料プロセスにおける伝熱(展望)】 13:00~13:40
座長 大隅正人(三洋電機)
- E131 【展望講演】凝固プロセスにおける伝熱問題
※大中逸雄(阪大)
- 【凝固プロセスにおける熱工学・他】 13:50~15:50
座長 大中逸雄(阪大), 一宮浩市(山梨大)
- E141 急速凝固ステンレス鋼の初期凝固過程の解析
水上英夫(東大), 鈴木俊夫, 梅田高照
- E142 2成分系の凝固過程における二重拡散対流
西村龍夫(山口大), ※井本 勉, 宮下 尚(富山大)
- E143 連続鑄造機における熱・流動解析
※高谷幸司(住友金属)
- E144 材料プロセスへの誘導加熱応用
※加藤光雄(三菱重工), 鶴崎一也, 三原一正, 福島丈雄
- E145 水スプレイによる連続鑄造型の冷却
※星 要之介(三菱重工), 山本忠一, 中嶋 宏,
佐々木邦政
- E146 鋼の熱処理プロセスにおける数値シミュレーション
長坂悦敬(小松製作所), 七野勇人, 木口昭二

オーガナイズセッション 《物質変換プロセスにおける伝熱》
 オーガナイザー 片岡邦夫(神戸大)
 大岡五三実(大阪ガスエンジニアリング)

【物質変換プロセスにおける伝熱 (I)】
 16:00~16:40
 座長 大岡五三実(大阪ガスエンジニアリング)
 E151 【展望講演】反応を伴う移動層の伝熱モデル
 ※片岡邦夫(神戸大)

【物質変換プロセスにおける伝熱 (II)】
 16:50~18:50
 座長 片岡邦夫(神戸大),
 大岡五三実(大阪ガスエンジニアリング)
 E161 燃料電池用改質器の性能評価モデル
 ※藤塚正史(三菱電機), 都留 潔, 藤本路奥
 E162 触媒充填層におけるメタンの水蒸気改質反応
 ※小山由夫(東芝), 大津清一, 吉森正嗣
 E163 内部改質溶融炭酸塩型燃料電池の温度分布
 ※井出 弘(三菱電機), 岡田達典, 宮崎政行,
 大槻実治(関西電力)
 E164 3次元数学モデルによる污泥溶融炉の溶融解析
 ※橋本昌也(大阪ガス), 山田光矢, 片岡邦夫(神戸大)
 E165 HEAT TRANSFER IN FLUIDIZED CIRCULATING BED FOR
 GASIFICATION PROCESS
 ※RUN-TIAN MA(Tsinghua Univ.),
 ISAMI OHOKA(Osaka Gas Engineering)
 E166 方形波パルス無声放電によるメタンからメタノールの直接
 合成
 ※岡崎 健(豊橋技科大), 西村 諭, 水野 彰,
 土方邦夫(東工大)

<<< F 室 >>>

【沸騰のメカニズム (I)】 9:20~10:40
 座長 藤田恭伸(九大), 水上紘一(愛媛大)
 F111 沸騰気泡サイクルに伴う過渡局所熱伝達
 ※佐古光雄(広島大), 日野圭太
 F112 ブール核沸騰における水平伝熱面上のポイド率と温度の同時
 測定
 日向 滋(信州大), 姫野修廣, 桜井正幸, 岩出浩正
 F113 サブクール核沸騰時の気泡挙動と熱伝達
 ※神永文人(茨城大), 遠藤孝博, 岡本芳三
 F114 飽和ブール核沸騰の液体流動
 ※中山昭男(九産大)

【沸騰のメカニズム (II)】 10:50~12:10
 座長 日向 滋(信州大), 高橋 修(京大)
 F121 ステンレス鋼表面からの水の沸騰開始
 (続報)
 水上紘一(愛媛大), ※西川健一, 阿部文明
 F122 ステンレスチューブによるブール沸騰現象
 ※亀井秀也(東大)
 F123 気泡微細化沸騰における気泡の挙動
 ※久保 良(東北大), 島田了八(石巻専修大),
 熊谷 哲(東北大)
 F124 A MATHEMATICAL MODEL OF NUCLEAR BOILING
 JIA XIU-ZHUANG(Dalian Univ. of Tech.), ※SHEN ZI-QIU

【沸騰促進】 13:00~14:40

座長 森 英夫(九大), 亀井秀也(東大)
 F131 狭いすまの強制対流沸騰熱伝達
 藤田恭伸(九大), ※内田 悟, 松田 浩
 F132 管内強制対流沸騰熱伝達の促進に関する研究(第1報)
 藤田恭伸(九大), ※吉田敬介, ALEXANDER LOPEZ
 F133 ねじり板の管内二相流熱伝達
 ※堀 政義(石播)
 F134 R12のピンフィンパイプ内の気液二相流動沸騰
 ※童 明偉(重慶大)
 F135 伝熱面近傍に設けた海綿状金属板の沸騰熱伝達に及ぼす影響
 世古口言彦(阪大), ※加治増夫, 須山敬之,
 古川雅裕(三洋電機)

【混合媒体の沸騰】 14:50~16:10

座長 佐古光雄(広島大), 原村嘉彦(神奈川大)
 F141 R22+R114混合冷媒の水平ら旋微細溝付蒸発管内の伝
 熱特性
 ※洪 海平(九大), 吉田 駿, 森 英夫, 石丸良平
 F142 混合媒体の核沸騰熱伝達予測モデル
 ※大田治彦(九大), 藤田恭伸
 F143 リチウム塩水溶液の核沸騰熱伝達
 鴨志田隼司(芝浦工大), ※富山靖司, 一色尚次(日大),
 佐藤運男(芝浦工大), 片山功敏
 F144 EFFECT OF OIL-NONAZOTROPIC REFRIGERANT R113/R11 ON
 BOILING PERFORMANCE FROM ENHANCED TUBE
 YONG-PING GAN(Beijing Polytech. Univ.),
 SHU-RONG TIAN, CHONG-FANG MA

【各種の沸騰現象】 16:20~17:40

座長 神永文人(茨城大), 鴨志田隼司(芝浦工大)
 F151 水銀のブール沸騰熱伝達に及ぼす強磁場の影響
 ※高橋 実(東工大), 金子哲也, 井上 晃
 F152 沸騰熱伝達に及ぼす超音波の影響
 芹沢昭示(京大), 青木紀勝, 向井正勝, 高橋 修
 F153 W/O型エマルジョンの過熱限界
 北村吉朗(岡山大), ※黄 慶発, 竹本 収, 高橋照男
 F154 相互不溶解性二液体間の直接接触伝熱
 ※荻野文丸(京大), 鎌田正裕, 南 健, 川辺隆志

【遷移沸騰】 17:50~18:50

座長 吉田 駿(九大), 高橋 実(東工大)
 F161 遷移沸騰熱伝達機構の研究
 (水平加熱面上の気液挙動とマクロ液膜)
 庄可正弘(東大), ※黄 于諒, 横谷定雄, 出中敬隆
 F162 遷移沸騰熱伝達の数値シミュレーション
 ※丸山茂夫(東大), 庄司正弘, 清水 聡
 F163 定常遷移沸騰のフィードバック制御におけるパラメータの決
 定方法
 ※原村嘉彦(神奈川大), 松島直樹

<<< G 室 >>>

【物体まわりの自然対流】 9:20~10:40

座長 菊地義弘(広島大), 忽那泰章(龍谷大)
 G111 自然対流によるカルマン渦列の発生と消滅
 ※能登勝久(神戸大), 山本和司, 中島 健
 G112 水平円筒周りの自然対流熱伝達問題のベンチマーク解
 ※丸原克治(東北大), 斎藤武雄
 G113 2本の加熱円柱周りの自然対流
 ※秋野詔夫(原研), 亀岡利行(東京電機大),
 功刀資彰(原研)

G114 水平円柱列の自然対流熱伝達
※川島隆二(東京理科大), 服部直三

【密閉空間内の自然対流】 10:50~12:10

座長 藤井丕夫(九大), 吉岡啓介(大分大)

G121 密閉空間内の自然対流に及ぼす壁の熱伝導性の影響

菊地義弘(広島大), 古野 晃, ※泰井健児

G122 Hel e - S h a w環状層内自然対流の揺動

増岡隆士(九工大), ※古谷康博, 鶴田隆治

G123 スペーサを有するヘレ・ショー・セル内自然対流

※忽那泰章(龍谷大), 小澤 守(関西大),

塩見洋一(龍谷大), 赤川浩爾

G124 同心二重球内の自然対流のシミュレーション

※范 泰寅(サイバネットシステム), 久米秀樹,

綾目正朋, 増田達哉

【密閉空間・平板・フィンの自然対流】 13:00~15:00

座長 竹内正紀(福井大), 辻 俊博(名工大)

G131 振動自然対流におよぼすPr数の効果

※岡田和人(九大), 尾添紘之

G132 パッシブソーラービルにおける熱流動解析

秋山光庸(宇都宮大), 杉山 均, 二宮 尚, ※A. L. SCHMID

G133 水平加熱平板上自然対流の流動および熱伝達

※木村文義(豊橋技科大), 北村健三

G134 鉛直平行平板群の自然対流

※儀間 悟(九大), 藤井丕夫, 富村寿夫, 張 興

G135 格子状フィンによる自然対流熱伝達の促進

※北村健三(豊橋技科大), 田畑秀之,

三角利之(鹿児島高専)

G136 ラジエータの放熱特性に関する研究

小川直也(東芝), 橋詰健一

【成層場の自然対流】 15:10~16:50

座長 三田地紘史(豊橋技科大), 能登勝久(神戸大)

G141 二液層のロールオーバー現象に関する基礎的研究(第2報)

※有田哲一郎(静岡ガス), 片山佳裕, 棚澤一郎(東大),

西尾茂文

G142 二重拡散自然対流におけるロール間の境界について

※鎌倉勝善(富山高専), 尾添紘之(九大)

G143 密度逆転を伴う自然対流熱伝達

※石川正昭(信州大), 平田哲夫, 玉木忍乎

G144 過渡温度成層流の数値計算

※莫 雲(九大), 尾添紘之

G145 代数応力モデルによる安定成層流の解析

※寺坂晴大(東芝), 梶原 晃,

牧田厚士(東芝アドバンスシステム)

【自然・強制対流複合伝熱】 17:00~19:00

座長 尾添紘之(九大), 小山 繁(九大)

G151 管内温度助走域における自然・強制複合対流伝熱

(軸方向熱伝導の影響)

※王 焜(名工大), 長野靖尚, 辻 俊博

G152 不連続加熱垂直平板上の強制・自然複合対流熱伝達特性

※岸浪紘機(室蘭工大), 本間公次郎(北海道エニコム),

前田昭典(N T Tデータ通信), 鈴木 淳(室蘭工大)

G153 浮力が作用する管内層流熱伝達の基本特性

(加熱水平管と平行回転管)

石垣 博(航技研), ※望月宗和

G154 下面加熱の水平長方形管内複合対流中のベナード渦の生成制

御に関する研究

(流路下面の物質伝達)

※小泉博義(電通大), 細川 巖, 本間正行

G155 水平方向より緩やかに流入する鉛直二平板間の流れと熱伝達

※西村 基(豊橋技科大), 三田地紘史, 鈴木孝司,

石山啓一

G156 強制・自然共存対流下における水平円柱周りの熱伝達

(第2報 ブロッケージ比と脈動流の影響)

菊地義弘(広島大), 森川佳昭, ※大野良貴, 金山敏彦,

松林浩司

第2日 5月28日(木)

<<< A 室 >>>

【電磁気による伝熱促進・制御】 9:00~10:20

座長 円山重直(東北大), 吉田英生(東工大)

A211 E H D効果を用いた壁面近傍の流れの擾乱による管内強制対

流熱伝達の促進(第2報)

矢部 彰(機械技研), ※片山 隆(筑波大), 成合英樹

A212 磁性流体による管内強制対流の伝熱制御

相原利雄(東北大), 金 桂均, 小原 拓, ※奥山和之

A213 電場を利用した固気混相流の制御と伝熱促進

(金属粒子の挙動と熱伝達)

※多田幸生(金沢大), 滝本 昭, 高橋幸志, 林 勇二郎

A214 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

富永 努(慶大), ※岸沢 浩, 菱田公一, 前田昌信

【数値解析・方法】 10:30~12:10

座長 河村 洋(東京理科大), 杉山 均(宇都宮大)

A221 乱流の不規則性に関する考察

(第2報 不規則の経過)

※高橋孝富士(香川職訓短大), 千葉徳男

A222 反復計算におけるファジィ制御のフィージビリティ

※国領繁光(東工大), 高橋亮一

A223 一般曲面座標交換法(BFC)流れ場計算における取束性向

上

※長光左千男(松下電産), 友広輝彦(松下住設),

児玉 久(松下電産)

A224 流体問題におけるBi-CG STAB法の取束・分散の均衡

について

※藤野清次(計算流体研)

A225 大学間ネットワークシステムを用いた大規模伝熱解析システ

ムの開発

※小竹 進(東大), 土方邦夫(東工大), 山田雅彦(北大),

岩本光生(九大), 円山重直(東北大), 吉田英夫(東工大)

【乱流モデルと数値シミュレーション】 14:10~16:10

座長 笠木伸英(東大), 平井秀一郎(阪大)

A231 簡易形2方程式でデルによる乱流伝熱の解析

※服部博文(名工大), 長野靖尚, 田川正人

A232 壁乱流型k-εモデルの検証

※河村 洋(東京理科大), 羽田克幸

A233 はく離を伴う2次元ディフューザ内乱流の数値解析

※羽羽宏明(慶大), 小尾晋之介, 益田重明

A234 直円管内旋回乱流の数値解析

清水昭比古(九大), ※吉田啓之

A235 代数応力モデルの壁近傍への拡張

杉山 均(宇都宮大), 秋山光庸, 二宮 尚,

平田 賢(東大), ※磯部弘一(宇都宮大)

A236 楕円断面管路内の三次元乱流解析

杉山 均(宇都宮大), 秋山光庸, 二宮 尚,

平田 賢(東大), ※斉藤健一(宇都宮大)

- [LESと直接シミュレーション] 16:20~18:00
 座長 小森 悟(九大), 黒田明慈(北大)
- A241 LESによる二重円管内乱流の数値シミュレーション
 ※佐竹信一(東京理科大), 河村 洋
- A242 空間的に発達する混合層の直接数値シミュレーション
 ※平井秀一郎(阪大), 高城敏美, 佐野公昭
- A243 自由乱流における温度乱れの減衰に関する直接数値シミュレーション
 ※松本徳志(名工大), 長野靖尚, 辻 俊博, 中村 明
- A244 熱輸送を伴う一様性減衰乱流の直接数値シミュレーション
 ※飯田雄章(東大), 笠木伸英
- A245 反応性混合層の直接シミュレーション
 (低マッハ数近似)
 ※店橋 護(東工大), 宮内敏雄

<<< B 室 >>>

- [膜沸騰] 9:00~10:20
 座長 熊田俊明(北大), 石田紀久(原研)
- B211 波状界面を伴う自然対流膜沸騰熱伝達に関する研究
 (蒸気膜ユニットモデルのサブクール膜沸騰への拡張)
 ※人竹浩靖(東大), 西尾茂文
- B212 波状界面を伴う自然対流膜沸騰熱伝達に関する研究
 (熱伝達整理式)
 ※西尾茂文(東大), 大竹浩靖
- B213 膜沸騰熱伝達に於ける流れの影響(2)
 (膜沸騰理論モデルと表示式)
 ※劉 秋生(京大), 塩津正博, 桜井 彰
- B214 ホログラフィ干渉法によるサブクール膜沸騰熱伝達の研究
 (第2縦 蒸気膜厚と温度境界層厚さの測定)
 大辻友雄(神戸商船大), ※寺前哲也, 黒沢 昭

- [限界熱流束(I)] 10:30~12:10
 座長 中西重康(姫路工大), 横谷定雄(東大)
- B221 垂直線の限界熱流束
 ※坂下弘人(北大), 熊田俊明
- B222 衝突噴流沸騰系の限界熱流束
 (サブクールの影響について)
 ※門出政則(佐賀大), 三原信一, 北島健
- B223 微小加熱面のバーンアウト熱流束
 (水平上向き加熱面上の水の飽和沸騰)
 庄司正弘(東大), ※菅沼 博, 若松賢太郎
- B224 非均一加熱ねじりテープ挿入管サブクール沸騰限界熱流束
 ※成合英樹(筑波大), 稲坂富士夫(船舶技研),
 石川厚史(筑波大), 藤崎 亘
- B225 脈動を伴う沸騰流の限界熱流束
 ※小澤 守(関西大), 吉岡洋仁(神戸大), 富山明男

- [限界熱流束(II)] 14:00~16:00
 座長 大辻友雄(神戸商船大), 門出政則(佐賀大)
- B231 気液対向流形式沸騰管内の限界熱流束の解析的研究
 ※甲藤好郎(日大)
- B232 強制流動サブクール沸騰限界熱流束相関式の評価
 ※稲坂富士夫(船舶技研), 成合英樹(筑波大)
- B233 高圧領域における一様加熱垂直円管内の強制流動沸騰限界熱流束
 (流体による影響)
 ※横谷定雄(東大), 庄司正弘, 渡辺 誠, 小山武久
- B234 二相自然循環流動沸騰系のドラリアウト現象に関する研究
 小泉安郎(上学院大), ※吉成孝正, 宮下 徹, 植田辰洋
- B235 限界熱流束時のマクロ液膜の形成機構とその相関式
 ※熊田俊明(北大), 坂下弘人

- B236 マクロ液膜の構成機構に関する研究
 庄司正弘(東大), ※黒木博中, 徳増 崇

- [熱サイフォン・蒸発機器] 16:10~17:50
 座長 成合英樹(筑波大), 小泉安郎(工学院大)
- B241 ループ形二相サーモサイフォンにおける流量脈動
 ※喜多照行(関西大), 石原 勲, 小澤 守, 梅川尚嗣,
 勝田勝太郎
- B242 銅-水熱サイフオンの伝熱特性
 田中 修(九工大), 越野英和, 栗木 淳, 中川智文
- B243 船用PWR SGモデル実験
 (蒸気負荷変動時の応答特性)
 ※石田紀久(原研), 八尾敏明, 手島 登(船舶技研),
 桜井 聡(東洋建物)
- B244 カーエアコン用ラミネートエバポレータの研究(第2報)
 平尾康彦(三菱重工), 川合秀直, 伊藤明広,
 ※松波 功(三菱エンジニアリング)
- B245 A STUDY ON BOILING IN HORIZONTAL TUBE BUNDLES
 SHEN ZI-QIU(Dalian Univ. of Tech.), JIA XIU-ZHUANG,
 XU WEI-QIN, KUANG GUO-ZHU

<<< C 室 >>>

- [各種の自然対流] 9:00~10:40
 座長 北村健三(豊橋技科大), 河原全作(京大)
- C211 自然対流のオートマトン解における乱れ
 ※松隈洋介(東工大), 高橋光一
- C212 局所内部発熱による円柱体系内の自然対流
 戸田三朗(東北大), 竹内公人, 橋爪秀利
- C213 直流電場中の電気力対流に関する研究
 ※前川 透(東洋大), 芳賀正和, 棚澤一郎(東大)
- C214 矩形くぼ地内に形成された半透過性物質の放射による融解
 岡田昌志(青山学院大), 太田 勇, ※松本浩二
- C215 レーザ流速計による置換流の流量測定に関する研究
 ※又沢元雄(原研), 菱田 誠, 馬場信一

オーガナイズセッション 《家電・電子機器における伝熱》
 オーガナイザー 藤井雅雄(三菱電機)
 田中博由(松下電産)
 増田雅昭(シャープ)

- [家電・電子機器における伝熱(I)] 10:50~12:30
 座長 藤井雅雄(三菱電機), 田中博由(松下電産)
- C221 カタログデータからみた家電機器の伝熱的傾向
 ※藤井雅雄(三菱電機)
- C222 【展望講演】コードレスアイロンの開発
 (生活研究による商品開発)
 ※岩見憲一(松下電産)
- C223 炊飯器の釜内温度分布
 ※大塚信夫(三菱電機), 石原 豊, 瀧川浩良, 柿本暢子
- C224 液晶ディスプレイの液体による強制冷却システム
 ※越智 修(シャープ), 多久島 朗, 日吉孝蔵

- [家電・電子機器における伝熱(II)] 14:00~16:20
 座長 望月貞成(東京農工大), 高田潤二(三菱電機)
- C231 電子機器の熱設計とCAE化
 ※石塚 勝(東芝), 佐々木富也
- C232 太陽電池素子のホットスポットヒーティング
 ※渡辺百樹(シャープ)
- C233 節点法によるラップトップEWSの熱設計
 ※岩崎秀夫(東芝), 佐々木富也, 武田文彰, 加田隆之

- C234 相変化型光ディスク装置の情報記録媒体の熱流動解析
※平沢茂樹(日立), 岡峯成範, 寺尾元康
- C235 相変化光ディスク
(マーク形成時の熱解析)
※井上和夫(松下電産), 古川恵昭, 太田威夫
- C236 ビンフィン放熱器の数値解析
※横野泰之(東芝)
- C237 情報機器の熱設計
(家庭用ファクシミリ筐体設計への適用)
※梅林明人(松下電産), 渡辺周一, 原田佳明
- [家電・電子機器における伝熱(Ⅲ)] 16:30~18:10
座長 増田雅昭(シャープ), 平沢茂樹(日立)
- C241 サーマルヘッドの熱制御方式
※山田敬喜(三菱電機)
- C242 矩形配列ピンフィン群の伝熱特性
(流れに垂直方向のピッチが小さい場合)
※水上 浩(東京農工大), 望月貞成, 村田 章,
八木良尚(東京職訓短大)
- C243 赤外発光LEDの温度分布
※露崎典平(奥村遊機), 関谷将三(茨城大), 若島康弘,
岡本芳三
- C244 サーマイフォンによるパッケージ列の冷却
佐々木富也(東芝), 久野勝幸, 岩崎秀夫
- C245 ノートパソコンの熱設計
※小林 孝(三菱電機), 高田潤二, 木村広隆

<<< D 室 >>>

- オーガナイズセッション
《低温における伝熱-生体, 冷熱, 極低温, 超伝導-》
オーガナイザー 塩津正博(京大)
伊藤猛宏(九大)
林 勇二郎(金沢大)
- [低温における伝熱(I)] 9:00~10:40
座長 林 勇二郎(金沢大), 児山 仁(静岡大)
- D211 水の相変化のシミュレーション
斎藤彬夫(東工大), 大河誠治, ※西村 浩
- D212 過冷却液の凝固
(非一様過冷場における結晶成長速度)
※國峰寛司(明石高専), 林 勇二郎(金沢大), 清水伸昭
- D213 牛物体凍結のシミュレーション実験
林 勇二郎(金沢大), ※百生 登(富山県大),
高橋規彰(金沢大)
- D214 湿り空気鉛直低温板への熱と物質伝達
石原 勲(関西大), ※梅川尚嗣
- D215 金属間点接触における熱伝達と起電力
※パトリック・フェラン(東工大), 土方邦夫,
中別府 修, 伊藤衛平, 大森隆夫(石播),
鳥越邦和(ダイキン)
- [低温における伝熱(Ⅱ)] 10:50~12:30
座長 斎藤彬夫(東工大), 石原 勲(関西大)
- D221 円管内水溶液の凍結挙動
山田雅彦(北大), 福迫尚 郎,
※高橋 卓(千代田化工建設)
- D222 水溶液中におかれた水平円管周りの凍結熱伝達
山田雅彦(北大), 福迫尚一郎, ※船野 剛(本田技研)
- D223 流れにおかれた単一氷円柱の融解
※岡 恭彦(長岡技科大), 村井正夫, 服部 賢,
青木和夫

- D224 伝熱促進体を含んだ水の融解過程に関する研究
※平沢良男(富山大), 竹越栄俊, 濱田俊克
- D225 垂直加熱壁を有する矩形容器内リキッドアイスの融解熱伝達
福迫尚一郎(北大), 山田雅彦, ※金 明煥
- [低温における伝熱(Ⅲ)] 14:00~15:40
座長 塩津正博(京大), 尾形久直(超伝導センサ研)
- D231 【展望講演】He IIにおける定常及び非定常熱伝達
※塩津正博(京大)
- D232 液体ヘリウム中の過渡熱伝達
(ランプ電流加熱に対する過渡特性)
※ROHANA CHANDRATILLEKE(東芝), 前田秀明,
二見振一郎(東工大), 梶島成治
- D233 液体ヘリウムにおける熱伝達特性の自己誘導流効果
※小林久恭(日大)
- D234 鉛直管内における超流動ヘリウムの熱輸送特性
※岡村哲至(東工大), 鈴木隆介, 梶島成治
- [低温における伝熱(Ⅳ)] 15:50~17:30
座長 伊藤猛宏(九大), 小林久恭(日大)
- D241 高速心力場における液体ヘリウムの自然対流熱伝達
森 英明(日立), 尾形久直(超伝導センサ研)
- D242 高速回転場における液体ヘリウムの沸騰熱伝達
※石井 格(電総研), 海保勝之, 樋口 登, 大西利只
- D243 冷凍機におけるシャトル伝熱に関する研究
西尾茂文(東大), ※稲田孝明, 中込秀樹(東芝)
- D244 極低温冷凍機におけるシャトル熱損失の研究
※高橋政彦(東芝), 栗山 透, 中込秀樹,
稲田孝明(東大), 西尾茂文
- D245 液体ヘリウム温度における小型冷凍機の蓄冷器特性
※栗山 透(東芝), 高橋政彦, 中込秀樹,
瀬社冬 元(東工大), 辻田龍治, 橋本鏡州

<<< E 室 >>>

- [熱交換器・冷凍機器(I)] 9:20~10:40
座長 飛原英治(東大), 神坂光男(三菱重工)
- E211 吸収冷凍機の吸収器用各種伝熱管の伝熱性能
古川雅裕(三洋電機), 金子敏之,
※佐々木直栄(住友軽金属), 野世溪 精
- E212 メッシュフィン型空気熱交換器の伝熱性能
(第4報, 実用設計のための最適化評価)
鳥越邦和(ダイキン), ※川端克宏, 山下浩幸, 安尾兎一
- E213 全熱交換器の性能解析および性能予測
※田中宏史(福岡工大), 隈 利実(西部技研)
- E214 着霜をともなう熱交換器の評価法
(フィン付熱交換器の場合)
※青木和夫(長岡技科大), 服部 賢, 楊 文傑
- [熱交換器・冷凍機器(Ⅱ)] 10:50~12:10
座長 渡部康一(慶大), 川端克宏(ダイキン)
- E221 非共沸混合媒体用EHD蒸発器の研究(第2報)
矢部 彰(機械技研), ※高橋克行(東京理科大), 牧 博司
- E222 プレートフィン式熱交換器による混合冷媒熱交換機の性能向上
※小山 繁(九大), 藤井 哲, 屋良朝康, 戸田一美
- E223 混合冷媒を用いたヒートポンプの有効エネルギー評価
※霧島宗一郎(東大), 飛原英治, 斎藤孝基
- E224 慣性利用型フリーピストン膨張圧縮機に関する理論的研究
※今井博之(東工大), 土方邦夫, 長崎孝夫

オーガナイズセッション 《建築・空調における伝熱》
 オーガナイザー 水野 稔 (阪大)
 鳥越邦和 (ダイキン)
 唐土 宏 (松下電産)

【建築・空調における伝熱 (ふく射・快適性)】

- 14:00~15:20
- 座長 水野 稔 (阪大), 古藤 悟 (三菱電機)
- E231 空調空間におけるふく射伝熱の数値計算手法
 服部宣弘 (松下電産), 児玉 久, 長光左千男
- E232 冷媒式輻射パネル冷房の基本特性
 ※田頭 實 (松下電産), 尾関正高, 吉田健二
- E233 天井熱放射パネルが室内温熱環境に及ぼす影響
 ※瀧下 裕 (三菱電機), 中野真理子, 大西茂樹,
 丸本健二
- E234 居住者の代謝熱放散により生ずる自然対流の室内環境への影響について
 ※本間 宏 (豊橋技科大), 李 徹球, 金 仁具

【建築・空調における伝熱 (熱源機・システム)】

- 15:30~16:30
- 座長 唐土 宏 (松下電産), 松尾 陽 (東大)
- E241 内部改質を含む固体電解質燃料電池の数値計算 (SUTC) の発熱による限界と性能改善の手法について
 ※平野 光 (大阪ガス), 一本松正道
- E242 水蓄熱システムの動特性解析 (蓄冷/放冷と冷凍サイクル)
 ※井上誠司 (三菱電機), 宮本守也, 松岡文雄
- E243 プレート型吸着式ヒートポンプの伝熱実験
 ※間宮 尚 (鹿島), 二階 勲

【建築・空調における伝熱 (伝熱解析)】

- 16:40~18:00
- 座長 鳥越邦和 (ダイキン), 田中宏史 (福岡工大)
- E251 空調用熱交換器の蒸発伝熱促進に関する研究 (水平矩形流路を用いた伝熱面形状の検討)
 ※木戸長生 (松下冷機), 米田 浩, 上原春夫 (佐賀大),
 宮良明男
- E252 3次元汎用放射対流共存伝熱解析コードの開発
 工藤一彦 (北大), 谷口 博, 持田明野, ※佐古 税
- E253 建物の熱負荷と熱的特性の同定
 松尾 陽 (東大), 永田明寛, ※赤司泰義
- E254 NUMERICAL SOLUTION FOR THE HEAT TRANSFER OF UNHOMOGENEOUS COMPOUND WALL
 ※RAN CHUNYU (Jilin Arch. Civil Eng. Inst.)

<<< F 室 >>>

【充填層・流動層】

- 9:00~10:40
- 座長 三浦隆利 (東北大), 花村克悟 (岐阜大)
- F211 スーパー活性炭/エタノール系吸着ヒートポンプにおける充填層伝熱特性
 渡辺藤雄 (名大), 小塚 淳, 架谷昌信
- F212 パイプモデルに基づいた充填層熱輸送の基礎研究
 横山孝男 (山形大), ※田島大策 (日立),
 東浦将夫 (防災科学技術センター),
 桂木公平 (日本地下水開発)
- F213 流動層内水平円管群周りの粒子挙動と熱伝達特性 (界面近傍の管の場合)
 ※宮本政英 (山口大), 加藤泰生, 山井安正 (宇部興産)

- F214 画像処理を用いて可視化された流動層の空隙率分布とその伝熱促進機構への影響
 黒崎晏夫 (東工大), 佐藤 勲, 大藤正晃
- F215 高温流動層内のふく射伝播モデルとその評価
 黒崎晏夫 (東工大), 山田 純, ※島田一人, 佐藤 勲

【熱・物質伝達 (水分移動)】

- 10:50~12:30
- 座長 荻野文丸 (京大), 笹口健吾 (熊本大)
- F221 建築外壁の熱・水分移動に関する基礎研究 その1
 ※尾崎明仁 (福岡大), 須貝 高, 渡辺俊行 (九大),
 龍 有二, 井上竜一, 齊藤秀和, 山崎 繁
- F222 建築外壁の熱・水分移動に関する基礎研究 その2
 ※山崎 繁 (九大), 渡辺俊行, 龍 有二,
 須貝 高 (福岡大), 尾崎明仁, 井上竜一 (九大), 齊藤秀和
- F223 除湿機能を有する断熱材の熱および物質移動に関する研究
 河合洋明 (北海道工大), 岡垣 理, 福迫尚一郎 (北大)
- F224 セラミック乾燥による3次元熱・水分移動と粘弾性応力
 ※板谷義紀 (名大), 架谷昌信
- F225 THE PRINCIPLE OF HEAT TRANSFER AUGMENTATION BY GAS-LIQUID INTERFACIAL VAPORIZATION HEAT SINK AND ITS APPLICATIONS
 SHEN ZI-QIU (Dalian Univ. of Tech.), XU WEI-QIN,
 YANG NING-SHENG, DING JIE, YU ZHI-JIA

【熱・物質伝達 (脱気)】

- 14:00~15:00
- 座長 齊藤孝基 (東大), 森岡 齊 (徳島大)
- F231 流水柱からの溶存酸素の脱気特性に関する研究 (第1報: 実験的研究)
 ※加賀正昭 (東芝), 河野俊二
- F232 流水柱からの溶存酸素の脱気特性に関する研究 (第2報: 解析的研究)
 ※村田圭治 (東芝), 橋詰健一
- F233 排ガスからの水分回収に関する研究 (回収水の流動を伴う場合)
 ※神坂光男 (三菱重工), 横尾和俊, 時田雄次

【熱・物質伝達 (吸収)】

- 15:10~16:50
- 座長 青木和夫 (長岡技科大), 板谷義紀 (名大)
- F241 溝付管による臭化リチウム水溶液膜への水蒸気の吸収促進
 清田正徳 (徳島大), 森岡 齊, ※中尾竜二
- F242 臭化リチウム水溶液膜への水蒸気の吸収に関する数値計算法の考察
 ※清田正徳 (徳島大), 森岡 齊
- F243 界面活性剤を添加した臭化リチウム水溶液への水蒸気の吸収
 ※高原 勉 (東大), 飯塚直人, 飛原英治, 齊藤孝基,
 八橋 元 (荏原製作所)
- F244 液膜への炭酸ガス吸収の促進に関する研究
 ※長崎孝夫 (東工大), 土方邦夫, 酒井雅彦
- F245 鉛直円管内流下液膜へのガス吸収に関する数値解析
 ※柴田 豊 (京大), 萩原良道, 鈴木健二郎

【熱・物質伝達 (着霜)】

- 17:00~18:00
- 座長 福迫尚一郎 (北大), 瀧下 裕 (三菱電機)
- F251 二酸化炭素霜と水蒸気霜の複合成長について
 青木和夫 (長岡技科大), 服部 賢, ※子安 武, 古館 勲
- F252 着霜現象に対する電場の効果 (第3報: 着霜面にぬれにくい材料の場合)
 ※宗像鉄雄 (機械技研), 矢部 彰, 棚澤一郎
- F253 霜層の放射熱融解現象に関する基礎研究
 稲葉英男 (岡山大), ※大竹秀雄, 野津 滋, 宗 継隆

<<< G 室 >>>

【太陽エネルギー利用】 9:00~10:20

座長 牧野俊郎(京大), 吉田篤正(岡山大)

G211 ボアホールエネルギーシステムの3次元性能シミュレーション
※篠宮純二(東北大), 斎藤雄

G212 ソーラーヒートポンプシステムの実測による性能評価
※金山公夫(北見工大), 馬場 弘, 遠藤 登

G213 ソーラーヒートポンプシステムのシミュレーションによる性能評価
金山公夫(北見工大), 馬場 弘, 遠藤 登, ※樋口修二

G214 太陽熱真空蒸留システムの開発
千葉信一郎(慶大), ※宇田浩三, 佐藤春樹, 渡部康一

【二相流(固液・固気)】 10:30~12:10

G221 固液二相流の3次元構造に関する研究
坂口忠司(神戸大), ※金田健吾, 富山明男, 南川久人

G222 傾斜面上の液膜流れにおける固体粒子の運動に関する研究
坂口忠司(神戸大), ※奥田哲生(島津製作所), 富山明男(神戸大), 南川久人

G223 液体中への粒子吹き込みの浸透
※鳥居修一(鹿児島大), WEN-JEI YANG(ミンガン大)

G224 固体微粒子によるエロージョンに関する研究
清水昭比古(九大), ※八木良憲, 野口重信, 横峯健彦

G225 曲管内固気混相流の数値シミュレーション
※横峯健彦(九大), 清水昭比古, 金巻裕一

【ふく射物性】 14:00~15:40

G231 熱ふく射の照射を受ける原子層の融解挙動に関する数値実験
※若林英信(京大), 島津裕輔, 古田智寛, 牧野俊郎

G232 あらい表面をもつ薄板状粒子におけるふく射の散乱
※蔵田秀敏(京大), 牧野俊郎

G233 散乱光の強度分布測定による繊維素材の複素屈折率の推定
山田 純(東工大), 黒崎晏夫, ※高橋昭一朗

G234 燃焼ガス中石炭灰粒子の熱放射物性の推定
※恩田和夫(電総研)

G235 モンテカルロ法による非灰色ガス中での放射伝熱解析
(吸収係数の解析精度)
工藤一彦(北大), 谷口 博, 黒田明慈, 大高 円,
※横田 洋, スマルソノ・マルクス

【ふく射伝熱】 15:50~18:10

G241 円柱状格子による固体面からのふく射伝熱の制御
増田英俊(東北大), ※高 興

G242 鏡面・乱反射面を有する任意形状3次元物体面間の放射伝熱
※円山重直(東北大)

G243 任意形状を有する物体面間のふく射を伴う熱流動解析
※松島 均(日立)

G244 ふく射によって加熱された平板のしみ出し冷却
(空気による一様しみ出し冷却)
※吉川進三(同志社大), 岩崎英和, 千田 衛

G245 ふく射によって加熱された平板のしみ出し冷却
(空気による衝突噴流を伴う場合)
吉川進三(同志社大), ※岩崎英和, 千田 衛

G246 ふく射によって加熱された平板のしみ出し冷却
(冷却剤として水を使用の場合)
吉川進三(同志社大), ※吉村紀之, 千田 衛

G247 北見市における天空放射の測定
※馬場 弘(北見工大), 金山公夫, 遠藤 登

第3日 5月29日(金)

<<< A 室 >>>

【噴流】 9:00~10:00

座長 石垣 博(航技研), 菱田公一(慶大)

A311 軸対称噴流における渦輪の合体
※栗間諒二(山口大), 平田 賢(東大), 宮本政英(山口大)

A312 同軸噴流の混合特性の数値シミュレーション
※柳田玄一郎(名大), 山下博史, 李 倩

A313 二重円管空気噴流の熱的混合に関する研究
(噴流の構造)
※小藪 健(東京理科大), 服部直三

【衝突噴流】 10:10~11:50

座長 宮本政英(山口大), 山下博史(名大)

A321 二次元衝突噴流の淀み領域の非定常性と組織性
※片岡邦夫(神戸大), 尾西 晃, 川崎弘貴, 大村直人

A322 円柱への二次元衝突噴流に関する研究
(円柱に近接した平板の円柱熱伝達への影響)
※羽田喜昭(長野高専), 倉沢英夫, 土屋良明(信州大)

A323 円形衝突噴流の渦度・散逸率の測定
※西野耕一(横浜国大), 山根 徹, 鳥居 薫, 藤野竜介

A324 比較的狭い空間における斜め円形衝突噴流の伝熱特性
一宮浩市(山梨大), ※那須敏行

A325 ピンフィン型ヒートシンクの噴流冷却特性
※近藤義広(日立), 松島 均, 小松利広, 畑田敏夫

【電子機器の冷却】 13:00~14:20

座長 松島 均(日立), 長崎孝夫(東工大)

A331 強制空冷されるモジュール周辺部の温度分布・実験検討
中山 恒(東工大), ※朴 商熙

A332 電子機器冷却用プレートフィンの熱伝達に関する研究
※松原幸治(京大), 鈴木健二郎

A333 データシフト: ULSI上の熱・電気干渉系のモデル
※中山 恒(東工大)

A334 セミマイクロチャンネルを用いた高性能ヒートシンク
小原 拓(東北大), 相原利雄, ※上坊寺康修

【回転場の伝熱】 14:30~15:50

座長 西尾茂文(東大), 清水昭比古(九大)

A341 二次流れをともなう管内層流流動流れの相似性
(曲管と直交回転管)
※石垣 博(航技研)

A342 回転する正方形断面のUバンド内の流れと熱伝達
※田村 洋(航技研), 石垣 博

A343 水平回転二円柱間の熱伝達
(隙間の影響)
※山崎慎一郎(東京高専), 清水昭博

A344 矩形断面を有する回転サーベタン流路における熱伝達特性
※坂下智之(東京農工大), 望月貞成, 村田 章,
高村 順, 山脇栄道(石博)

<<< B 室 >>>

【二相流(ボイド率・圧力損失)】 9:00~10:20

座長 深野 徹(九大), 逢坂昭治(徳島大短)

B311 ブローブ法による気液界面積濃度の測定精度の解析
※片岡 勲(京大), 芹沢昭示

- B312 ボイド率に相当する差圧変動を利用した流動様式判別法の検証
 ※文字秀明(筑波大), 杉山隆行, 松井剛一
- B313 ノズル内一成分二相流のボイド率分布
 (中性子ラジオグラフィによる計測)
 ※竹中信幸(神戸大), 藤井照重, 小野厚夫, 園口浩(姫路独協大)
- B314 二相流合流損失の実験的検討(第1報)
 ※大橋幸夫(東芝), 橋詰健一

【二相流(液膜流れ)】 10:30~12:10

- 座長 松井剛一(筑波大), 竹中信幸(神戸大)
- B321 気相流量のステップ変化に伴う環状液膜流の挙動
 逢坂昭治(徳島大工短), 深野 徹(九大), 飯屋崎 侃(福岡大), ※前谷一樹(徳島大)
- B322 大型水平ダクトにおける水/空気二相流での波の成長過程
 ※近藤昌也(原研), 中村秀夫, 安濃田良成, 久木田 豊
- B323 流下液膜における波の速度と液膜厚さにみられる発達過程の研究
 世古口言彦(阪大), 森 幸治, 植松秀明, ※辻野向哉
- B324 流下液膜の表面形状測定と熱移動と流れの数値解析
 ※野底武浩(琉球大), 長田孝志, 糸数 昇, 方 明
- B325 放射状液膜流れの乱流遷移に伴う伝熱促進
 ※東 恒雄(大阪市大), 加藤健司, 狩野信治

【二相流(流動)】 13:00~14:40

- 座長 中川勝文(豊橋技科大), 富山明男(神戸大)
- R331 垂直下降気泡二相流における流体速度に関する研究
 世古口言彦(阪大), ※森 幸治, 小林 太, 重田正和
- B332 環状流路内フラッシングの研究
 小泉安郎(工学院大), ※宮下 徹, 植田辰彦
- B333 狭間げき内の偏平気泡の流速と分裂
 ※森山清史(東工大), 井上 晃
- B334 空気-水二相流管群内の液膜挙動に関する研究
 ※星出明彦(東芝)
- B335 らせん管内環状二相流の液膜厚さについて
 (水平らせんの場合)
 ※渡辺 修(愛知工大), 藤田秀臣(名大)

【二相流(数値解析)】 14:50~15:50

- 座長 片岡 勲(京大), 渡辺 修(愛知工大)
- B341 改良SOLA法に基づく断熱二流体モデルの数値解法
 ※平野雅司(原研), 富山明男(神戸大)
- B342 VOF法の気泡解析に対する適用性の検討
 ※宋 明良(神戸大), 富山明男, 坂口忠司
- B343 ベルトン水車をを用いたターボフローシステムの効率改善に関する研究
 中川勝文(豊橋技科大), ※須賀俊裕

<<< C 室 >>>

【凝縮(I)】 9:00~10:20

- 座長 田中 修(九工大), 曾田正浩(三菱重工)
- C311 分子線TOFによる薄膜凝縮の研究
 ※小林伸和(東大), 小竹 進
- C312 レーザ熱励起による凝縮過程制御の研究
 ※青木 功(東大), 小竹 進
- C313 EHD擬似滴状凝縮現象の基礎的研究
 (第3報:粒状化過程のシミュレーション)
 ※矢部 彰(機械技研), 砂田和美(筑波大), 吉沢能政
- C314 滴状凝縮曲線における流下凝縮波の影響
 (エチレンジオキソール蒸気の測定)
 ※宇高義郎(東工大), 石井賢一郎, 久保良一

【凝縮(II)】 10:30~12:10

- 座長 本田博司(九大), 宇高義郎(東工大)
- C321 水-エタノール2成分蒸気の凝縮特性
 土方邦夫(東工大), ※中別府 修, 深作善郎
- C322 水・エタノール混合気の自由対流凝縮
 (凝縮液の表面形状と熱伝達)
 ※長 伸明(九大), 小山 繁, 藤井 哲
- C323 二成分不溶性混合冷媒の凝縮熱伝達
 (水平円管上の凝縮実験)
 ※寺西恒宣(富山高専), 滝本 昭(金沢大), 林 勇二郎
- C324 THEORETICAL ANALYSIS ON THE CONVECTIVE FILMWISE
 CONDENSATION OF NONAZEOTROPIC BINARY MIXTURES IN A
 VERTICAL TUBE
 JIE WEI(Tianjin Univ.), SHIXUE WANG, BAOTAI WEI
- C325 LAMINAR FILM CONDENSATION OF NONAZEOTROPIC BINARY
 MIXTURE R22/R142B ON A VERTICAL PLATE
 JIE WEI(Tianjin Univ.), XINCHUAN GUO, BAOTAI WEI

【凝縮(III)】 13:00~14:20

- 座長 棚澤一郎(東大), 矢部 彰(機械技研)
- C331 遷移凝縮熱伝達に及ぼす凝縮面粗さの影響
 (滴状から膜状へ移行する場合)
 ※泉 正明(岩手大), 塚越律夫, 佐々木茂子, 大内雅樹, 山川紀夫
- C332 高圧下における炭酸ガスの鉛直円筒面上凝縮熱伝達
 ※松尾篤二(三菱重工), 菊地 洋, 土佐陽三, 北川元洋
- C333 水平フィン付き凝縮管のフィン形状最適化に関する研究
 ※本田博司(九大), 朱 重人(西北工大)
- C334 水平フィン付き凝縮管群の伝熱性能計算法
 (蒸気流速の影響を考慮したモデル)
 本田博司(九大), ※金 圭熙, 福田健彦

【ヒートパイプ】 14:30~16:30

- 座長 中山 恒(東工大), 上原春男(佐賀大)
- C341 二成分混合流体を用いたヒートパイプの変動現象に関する研究
 ※角口勝彦(九大), 深野 徹, 惠美洋一(クボタ)
- C342 熱サイフォン型ヒートパイプ内の流動に及ぼす傾斜角の効果
 ※白石正夫(機械技研), 村上正秀(筑波大), P. TERDFOON
- C343 ループ型ヒートパイプ熱輸送特性実験
 ※宮坂明宏(NTT), 角田博明
- C344 SO₂/SO₃系高温ケミカルヒートパイプに関する研究
 (フィン付き管壁反応器の伝熱特性)
 ※曾 維平(名大), 松田仁樹, 架谷昌信
- C345 電気加熱トリッジヒータを熱源にしたヒートパイプ融雪システムの研究
 田中 修(九工大), 越野英和, ※肖 昌炎, 江川尚志(江川工業), 樫沢 洋(群馬工試), 浜田秀信(藤田エンジニア)
- C346 マイクロヒートパイプの流路に関する研究
 ※吉岡啓介(大分大)

<<< D 室 >>>

【融解・凝固(I)】 9:00~11:00

- 座長 稲葉英男(岡山大), 平田 哲夫(信州大)
- D311 球カプセル内の接融/自然対流複合融解の実験的研究
 ※文 鐘勲(東北大), 斎藤武雄
- D312 潜熱エネルギー貯蔵カプセル内の複合融解に及ぼす寸法効果
 ※勝尾正秀(湘南工科大), 斎藤武雄(東北大)
- D313 2次元凍結・融解問題に対するタイムステップ法の適用
 五味達彦(東北大), 斎藤武雄

- D314 自由界面をもつ流体と固体面の溶解を伴う熱伝達
戸田三朗(東北大), ※勝村幸博, 橋爪秀利
- D315 円筒カプセル内の接触融解の数値解析
※星 朗(一関高専), 齋藤武雄(東北大)
- D316 高分子ポリマー微小粒子の融解過程の解明
(粒子外形の時間変化の画像処理による定量化)
※三松順治(岐阜大), 三矢輝章(日立), 熊田雅彌(岐阜大)

〔融解・凝固(II)〕 11:10~12:10

- 座長 宮武 修(九大), 三松順治(岐阜大)
- D321 強制対流中における氷田柱の融解の数値シミュレーション
※佐藤 稔(東北大), 齋藤武雄
- D322 塩水中に置かれた水平氷田柱の融解熱伝達
福迫尚一郎(北大), 山田雅彦, ※渡辺 力
- D323 基礎抗利用地熱融雪法の開発と数値シミュレーション
※竹内正紀(福井大), 木村照夫, 坪田論治,
宮本重信(福井県雪対策技術センター)

〔融解・凝固・蓄熱(I)〕 13:00~14:20

- 座長 服部 賢(長岡技科大), 横山孝男(山形大)
- D331 平板熱伝導体による凍結の促進と抑制
※平田哲夫(信州大), 安藤俊一(リコー),
石川正昭(信州大)
- D332 凝縮熱による粒状潜熱蓄熱材充填槽の蓄熱特性
稲葉英男(岡山大), ※松本博則, 野津 滋
- D333 管内流動水溶液の凝固に関する研究
稲葉英男(岡山大), ※武谷健吾, 野津 滋
- D334 Ca(OH)₂/CaO系ケミカルヒートポンプにおける脱水蓄熱特性
※小倉裕直(名大), 金森道人, 松田仁樹, 架谷昌信

〔融解・凝固・蓄熱(II)〕 14:30~16:30

- 座長 齋藤武雄(東北大), 竹越栄俊(富山大)
- D341 矩形容器内における溶融塩の融解・凝固挙動
福迫尚一郎(北大), 田子 真, ※平野克弥(日本電気)
- D342 2成分相変化材の凝固過程
(初期過熱度の影響)
※笹口健吾(熊本大), 森山芳生, 宮永照二
- D343 形状安定化ポリエチレン充填層内の潜熱蓄熱
宮武 修(九大), 瓜生勝嗣, ※米盛 勉, 森田拓記
- D344 環状フィン付二重管形潜熱蓄熱器の相似関数
海野敏治(豊田工大), ※東 勝彦(三機工業)
- D345 任意涵養地を対象とした蓄熱シミュレーションの開発
横山孝男(山形大), ※山崎眞司, 橋田知幸(農林省),
小林郁夫(東北農政局)
- D346 蓄熱フルスケールコードの簡素化
(流れ場の複素ポテンシャル上移動座標解析)
横山孝男(山形大), ※佐藤義一, 石田 聡(北陸農政局)

<<< E 室 >>>

〔熱伝導〕 9:00~10:20

- 座長 中山 顕(静岡大), 松田仁樹(名大)
- E311 エントロピ生成速度極小の定理について
(2つの非定常熱伝導の場合)
※長坂雄次(慶大)
- E312 熱物性値が分布する物質の非定常温度応答
荒木信幸(静岡大), 牧野 敦, ※石黒達男
- E313 ラプラス変換法による接触熱抵抗の測定法
飯田嘉宏(横浜国大), ※金崎 健, 近藤昌弘

- E314 樹脂流動を考慮した金型の熱解析
横山孝男(山形大), ※佐藤敏哉(リコー),
笠原良夫(日本フロロウェア),
川村謙一(HMTシステムエンジニアリング)

〔熱物性(I)〕 10:30~12:10

- 座長 森 康彦(慶大), 長坂雄次(慶大)
- E321 新冷媒の気体定圧比熱測定
朴 春成(慶大), 宝積 勉, ※佐藤春樹, 渡部康一
- E322 DSCによる液体の比熱測定
(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), ※宮川熱志, 西郷一浩, 増田英俊
- E323 ジュール・トムソン効果による加熱冷却現象の研究
(第一報:各種気体の簡易計算法による比較)
※三浦康宏(慶大), 松永直樹(拓殖大), 長島 昭(慶大)
- E324 溶融ポリスチレンの温度伝導率異方性とその緩和特性
※殿下恭宏(慶大), 鈴木 修, 宮本博文, 長島 昭
- E325 各種空気におけるシリカゲル系高性能断熱材の熱伝導率測定
※平井淳夫(日本インシュレーション), 柴原数雄,
松田仁樹(名大), 架谷昌信

〔熱物性(II)〕 13:00~14:40

- 座長 飯田嘉宏(横浜国大), 秋野詔夫(原研)
- E331 CFC113-空気系, CFC114-空気系およびCFC115-空気系の相互拡散係数のTaylor法による測定
※松永直樹(拓殖大), 堀 守雄, 長島 昭(慶大)
- E332 表面光散乱法による表面張力と動粘性率の同時測定の研究
(第3報:溶融塩への適用)
※松尾康之(慶大), 長坂雄次
- E333 二次元メニスカスの形状に基づく表面張力の非接触測定
※石田賢治(慶大), 木下伸二, 森 康彦
- E334 炭化水素蒸気と接する水の動的表面張力測定への振動液柱法
の応用
(装置の概要と予備的測定結果)
※高橋生和(慶大), 中村英幸, 長谷川武治(電中研),
森 康彦(慶大)
- E335 THE PRINCIPLE AND EXPERIMENT OF THE TRANSIENT
LINE-SOURCE METHOD FOR MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY
OF BLOOD
H. J. ZHANG(Chongqing Univ.), M. W. LUNG, L. CHEN,
H. S. LEI

〔測定法〕 14:50~16:30

- 座長 長島 昭(慶大), 小宮山正治(阪大)
- E341 サーマクロミズムと温度計測への応用
秋野詔夫(原研), ※久保真治(宇都宮大), 秋山光庸,
杉山 均
- E342 偏向を補償したホログラフィー干渉法による温度計測システム
加藤征三(三重大), ※丸山直樹
- E343 反応を伴う乱流場での濃度と速度の非接触同時測定と乱流拡散係数の評価
小森 悟(九大), ※神崎隆男(電中研), 村上泰弘(九大)
- E344 相関法とLIFによる速度・温度場の時系列同時計測
※神原 潤(慶大), 菱田公一, 前田昌信
- E345 火炎発光スペクトル分析法燃焼診断装置
※石田哲哉(バロ日立), 森本信夫, 山田弘二郎, 山本亮二

<<< F 室 >>>

- [蒸発 (ミスト冷却)] 9:00~10:20
座長 棚谷吉郎 (金沢工大), 松本洋一郎 (東大)
- F311 被覆層を有する高温面に衝突する液滴の挙動
*関 敬春(広島大), 松原哲也, 菊地義弘
- F312 加熱面に衝突する液滴の蒸発に対する雰囲気圧力の影響
*高野孝義(豊田工大), 小林清志
- F313 水平円管内のミストクーリングに関する研究
*北川哲也(横浜国大), 鳥居 薫, 西野耕一, 高木慈明
- F314 多段フラッシュ蒸発装置内の液流動と熱的非平衡
宮武 修(九大), *橋本俊行,
NOAM LIOR(ペンシルベニア大)

- [蒸発 (蒸発機構・促進)] 10:30~11:50
座長 岡本芳三(茨城大), 橋詰健一(東芝)
- F321 EHD流下液膜蒸発熱伝達 第一報
*山下勝也(東芝), 熊谷幹夫, 渡辺 裕,
矢部 彰(機械技研)
- F322 イオン風による蒸発促進の実験的研究
(主流空気の流れおよび相対湿度の影響)
*佐々木一夫(金沢工大), 棚谷吉郎,
大沢好玄(日産自動車)
- F323 液滴による蒸気爆発の圧力波に関する研究
*高島武雄(横浜国大), 飯田嘉宏
- F324 THE HEAT TRANSFER AND TWO-PHASE FLOW CHARACTERISTICS
OF GAS CARRYING EVAPORATION AND ITS PROSS SIMULATION
YU ZHI-JIA(Dalian Univ. of Tech.), XU WEI-QIN,
SHEN ZI-QIU

- [分子動力学 (I)] 13:00~14:40
座長 佐野妙子(東海大), 杉山憲一郎(北大)
- F331 AB INITIO STUDY ON INTERMOLECULAR POTENTIALS OF
MOLECULAR DIMERS(AB-X)
*T. ZOLOTUKBINA(Heat Mass Trans. Inst., Minsk),
小竹 進(東大)
- F332 分子動力学法によるCOの赤外線スペクトルの研究
*松本壮平(東大), 丸山茂夫, 庄司正弘, 小竹 進
- F333 解離反応の分子動力学的取扱いに関する検討
*石丸和博(岐阜高専), 岡崎 健(豊橋技科大)
- F334 固体表面における気体分子の散乱
*松井 純(東大), 松本洋一郎
- F335 微粒子沈着現象におよぼす電場効果
*平野博之(九大), 尾浜弘之

- [分子動力学 (II)] 14:50~16:10
座長 庄司正弘(東大), 井上剛良(九大)
- F341 臨界点近傍の水の分子動力学的研究
*小原 拓(東北大), 相原利雄, 小竹 進(東大)
- F342 分子クラスターの振動エネルギーに関する研究
*橋本博文(東大), 小竹 進
- F343 アルカリ金属蒸気の蒸発・凝縮界面近傍での挙動
*吉田英爾(北大), 杉山憲一郎, 石黒亮二
- F344 分子動力学法による薄膜熱伝導の研究
*渡辺章弘(東大), 小竹 進

<<< G 室 >>>

- [プラズマ・反応] 9:00~10:20
座長 中島 健(神戸大), 香月正司(阪大)
- G311 アークプラズマの熱伝達に関する研究
土方邦大(東工大), *小川邦康
- G312 CVD用高電圧極短パルスプラズマ構造の能動的制御
岡崎 健(豊橋技科大), 戸部了己, *安田真一, 水野 彰
- G313 編み込み細線を有する極細管電極を用いたオゾンナイザー
吉田草生(東工大), *三好一雄, 越後章三,
花村克悟(岐阜大)
- G314 チャー非生成の熱可塑性樹脂における物質ガス化速度の数値
解析
*金丸邦康(長崎大), 川江信治, 茂地 徹, 山田 崧

- [燃焼 (I)] 10:30~11:50
座長 宮内敏雄(東工大), 池田裕二(神戸大)
- G321 メタノール火炎内でのNOxの生成
*佐野妙子(東海大), 加藤 努
- G322 拡散火炎の数値解析
(熱および成分の選択拡散の影響)
*徐 詰(阪大), 高城敏美
- G323 工業用ガス燃焼炉内3次元伝熱シミュレーション
*松村昌彦(大阪ガス), 伊藤誠一, 谷口 博(北大),
工藤一彦
- G324 液面燃焼により生じる拡散火炎からの放射熱
(各領域における放射熱特性)
*早坂洋史(北大), 古積 博(消防研), 田城徹雄(北大)

- [燃焼 (II)] 13:00~14:20
座長 越後亮三(東工大), 早坂洋史(北大)
- G331 液滴燃焼に及ぼすふく射の効果の実験的研究
*中田悦朗(東北大), 斎藤武雄
- G332 工業加熱炉に於ける交番流加熱による伝達促進
*梅田良人(東邦ガス), 中村泰久, 内田昭典
- G333 触媒流動層燃焼の研究
(熱利用の検討)
*竹内正雄(資源環境研), 鈴木善三, 近野淳子
- G334 長大トンネル内火災に伴う熱気流のシミュレーション
薛 宏(東大), *飛原英治, 斎藤孝基

- [多孔質における流動・伝熱] 14:30~16:50
座長 増岡隆士(九工大), 佐藤 勲(東工大)
- G341 ハニカムコアで仕切られた鉛直多孔質層内の熱伝達
*山口義幸(都立大), 浅古 豊, 中村 博
- G342 多孔質体内クエット流れの理論解と粘度計への応用
中山 顕(静岡大), *金田匡規, 桑原不二朗, 児山 仁
- G343 加熱平板からの非定常・非ガダルシアン強制対流 (続報)
*浅野直幸(静岡大), 中山 顕, 桑原不二朗, 児山 仁
- G344 ガラス球充填層内の水の自然対流流速測定
張 興(九大), *尾添紘之
- G345 下面加熱矩形くぼみ内に球状粒子を一列配置した場合の共存
対流熱伝達
稲葉英男(岡山大), *尾崎公一, 野津 滋
- G346 環状多孔質層内伝導一ふく射伝熱
*上宇都幸一(大分大), 斎藤晋一, 伊東謙吾
- G347 管・断熱材間の漏洩流に関する研究
(空気による基礎実験)
戸田三朗(東北大), *許 文勝, 堀 豊, 橋爪秀利

日程表

第1日 5月27日(水)				
	A室	B室	C室	D室
9:00		<p>【オガナイズセッション】 原子力発電プラント における熱流動問題</p> <p>9:20</p>	<p>【オガナイズセッション】 航空・宇宙における 伝熱</p> <p>9:20</p>	<p>【オガナイズセッション】 鉄鋼業における伝熱</p> <p>9:20</p>
10:00	<p>9:20</p> <p>乱流構造と伝熱</p> <p>A 1 1 1 } A 1 1 4</p>	<p>軽水炉における 熱流動安全研究</p> <p>B 1 1 1 (展望講演) } B 1 1 5</p>	<p>航空・宇宙における 伝熱</p> <p>C 1 1 1 (展望講演) 10:00 10:10</p>	<p>鉄鋼業における伝熱 D 1 1 1 (展望講演)</p> <p>10:00 10:10</p>
11:00	<p>10:40</p> <p>10:50</p> <p>剥離流の流動と伝熱</p> <p>A 1 2 1 } A 1 2 4</p>	<p>11:20</p> <p>11:30</p> <p>軽水炉における核・ 熱流動現象 (I)</p> <p>B 1 2 1 (展望講演) 12:10</p>	<p>微小重力下の 伝熱・流動</p> <p>C 1 2 1 } C 1 2 6</p>	<p>鉄鋼業における伝熱 (冷却技術)</p> <p>D 1 2 1 } D 1 2 6</p>
12:00	<p>12:10</p>		<p>12:10</p>	<p>12:10</p>
13:00	<p>13:00</p> <p>対流伝熱の 促進・制御 (I)</p> <p>A 1 3 1 } A 1 3 4</p>	<p>13:00</p> <p>軽水炉における核・ 熱流動現象 (II)</p> <p>B 1 3 1 } B 1 3 4</p>	<p>13:00</p> <p>航空・宇宙における 排熱システム</p> <p>C 1 3 1 } C 1 3 5</p>	<p>13:00</p> <p>鉄鋼業における伝熱 (加熱技術)</p> <p>D 1 3 1 } D 1 3 6</p>
14:00	<p>14:20</p> <p>14:30</p>	<p>14:20</p> <p>14:30</p>	<p>14:40</p> <p>14:50</p>	<p>15:00</p>
15:00	<p>対流伝熱の 促進・制御 (II)</p> <p>A 1 4 1 } A 1 4 5</p>	<p>在来炉・未来炉の 熱流動</p> <p>B 1 4 1 } B 1 4 6</p>	<p>航空・宇宙での 伝熱機器 (I)</p> <p>C 1 4 1 } C 1 4 4</p>	<p>【オガナイズセッション】 環境伝熱 -大気・都市環境-</p> <p>15:10</p> <p>都市環境における 伝熱</p> <p>D 1 4 1 } D 1 4 4</p>
16:00	<p>16:10</p> <p>16:20</p> <p>物体まわりの流れ と伝熱 (I)</p>	<p>16:30</p> <p>16:40</p>	<p>16:10</p> <p>16:20</p> <p>航空・宇宙での 伝熱機器 (II)</p>	<p>16:30</p> <p>16:40</p> <p>環境伝熱</p>
17:00	<p>A 1 5 1 } A 1 5 4</p>	<p>液体金属冷却炉の 熱流動</p>	<p>C 1 5 1 } C 1 5 4</p>	<p>D 1 5 1 (展望講演) 17:20 17:30</p>
18:00	<p>17:40</p> <p>17:50</p> <p>物体まわりの流れ と伝熱 (II)</p> <p>A 1 6 1 } A 1 6 4</p>	<p>B 1 5 1 (展望講演) } B 1 5 5</p> <p>18:40</p>	<p>17:40</p> <p>17:50</p> <p>航空・宇宙での 伝熱機器 (III)</p> <p>C 1 6 1 } C 1 6 4</p>	<p>大気環境における 伝熱</p> <p>D 1 6 1 } D 1 6 5</p>
19:00	<p>19:10</p>		<p>19:10</p>	<p>19:10</p>

第1日 5月27日(水)

	E室	F室	G室
9:00	<p>【オーガナイズセッション】 材料プロセス における伝熱</p> <p>9:20</p>		
10:00	<p>材料プロセスにおけ る伝熱(単結晶育成 プロセスにおける 流動・伝熱)</p> <p>E 1 1 1 }</p> <p>E 1 1 4 }</p> <p>10:40 10:50</p>	<p>9:20</p> <p>沸騰のメカニズム (I)</p> <p>F 1 1 1 }</p> <p>F 1 1 4 }</p> <p>10:40 10:50</p>	<p>9:20</p> <p>物体まわりの 自然対流</p> <p>G 1 1 1 }</p> <p>G 1 1 4 }</p> <p>10:40 10:50</p>
11:00	<p>材料プロセス における伝熱 (半導体加工に おける熱工学)</p> <p>E 1 2 1 }</p> <p>E 1 2 4 }</p> <p>12:00</p>	<p>沸騰のメカニズム (II)</p> <p>F 1 2 1 }</p> <p>F 1 2 4 }</p> <p>12:10</p>	<p>密閉空間内の 自然対流</p> <p>G 1 2 1 }</p> <p>G 1 2 4 }</p> <p>12:10</p>
13:00	<p>13:00</p> <p>材料プロセス における伝熱</p> <p>E 1 3 1 (展望講演)</p> <p>13:40</p>	<p>13:00</p> <p>沸騰促進</p> <p>F 1 3 1 }</p> <p>F 1 3 5 }</p> <p>14:40 14:50</p>	<p>13:00</p> <p>密閉空間・平板・ フィン自然対流</p> <p>G 1 3 1 }</p> <p>G 1 3 6 }</p> <p>15:00 15:10</p>
14:00	<p>13:50</p> <p>材料プロセス における伝熱 (凝固プロセスにお ける熱工学・他)</p> <p>E 1 4 1 }</p> <p>E 1 4 6 }</p> <p>15:50</p>	<p>14:40</p> <p>混合媒体の沸騰</p> <p>F 1 4 1 }</p> <p>F 1 4 4 }</p> <p>16:10 16:20</p>	<p>15:00</p> <p>成層場の自然対流</p> <p>G 1 4 1 }</p> <p>G 1 4 5 }</p> <p>16:50 17:00</p>
16:00	<p>【オーガナイズセッション】 物質変換プロセス における伝熱</p> <p>16:00</p> <p>物質変換プロセス における伝熱 (I)</p> <p>E 1 5 1 (展望講演)</p> <p>16:40 16:50</p>	<p>16:10</p> <p>各種の沸騰現象</p> <p>F 1 5 1 }</p> <p>F 1 5 4 }</p> <p>17:40 17:50</p>	<p>16:50</p> <p>自然・強制対流 複合伝熱</p> <p>G 1 5 1 }</p> <p>G 1 5 6 }</p> <p>18:50</p>
17:00	<p>物質変換プロセス における伝熱 (II)</p> <p>E 1 6 1 }</p> <p>E 1 6 6 }</p> <p>18:50</p>	<p>17:40</p> <p>遷移沸騰</p> <p>F 1 6 1 }</p> <p>F 1 6 3 }</p> <p>18:50</p>	<p>18:50</p>
18:00			
19:00			

日程表

第2日 5月28日(木)				
	A室	B室	C室	D室
9:00	9:00 電磁気による 伝熱促進・制御 A 2 1 1 } A 2 1 4	9:00 騰沸騰 B 2 1 1 } B 2 1 4	9:00 各種の自然対流 C 2 1 1 } C 2 1 5	【オーガナイズセッション】 低温における伝熱 - 生体、冷熱、 極低温、超伝導 - 9:00 低温における伝熱 (I) D 2 1 1 } D 2 1 5
10:00	10:20 10:30	10:20 10:30	10:40 【オーガナイズセッション】 家電・電子機器 における伝熱 10:50	10:40 10:50
11:00	数値解析・方法 A 2 2 1 } A 2 2 5	限界熱流束 (I) B 2 2 1 } B 2 2 5	家電・電子機器 における伝熱 (I) C 2 2 1 C 2 2 2 (展望講演) } C 2 2 4	低温における伝熱 (II) D 2 2 1 } D 2 2 5
12:00	12:10	12:10	12:30	12:30
13:00	13:00 総会			
14:00	13:50			
15:00	14:10 乱流モデルと数値 シミュレーション A 2 3 1 } A 2 3 6	14:00 限界熱流束 (II) B 2 3 1 } B 2 3 6	14:00 家電・電子機器 における伝熱 (II) C 2 3 1 } C 2 3 7	14:00 低温における伝熱 (III) D 2 3 1 (展望講演) } D 2 3 4 15:40 15:50
16:00	16:10 16:20	16:00 16:10	16:20 16:30	低温における伝熱 (IV) D 2 4 1 } D 2 4 5 17:30
17:00	LESと直接 シミュレーション A 2 4 1 } A 2 4 5	熱サイフォン・ 蒸発機器 B 2 4 1 } B 2 4 5	家電・電子機器 における伝熱 (III) C 2 4 1 } C 2 4 5	
18:00	18:00	17:50	18:10	
	18:30 懇親会			
	20:30			

第2日 5月28日(木)

	E室	F室	G室
9:00	<p>9:20 熱交換器・冷凍機器 (I)</p>	<p>9:00 充填層・流動層</p>	<p>9:00 太陽エネルギー利用</p>
10:00	<p>E 2 1 1 } E 2 1 4</p>	<p>F 2 1 1 } F 2 1 5</p>	<p>G 2 1 1 } G 2 1 4</p>
11:00	<p>10:40 10:50 熱交換器・冷凍機器 (II)</p>	<p>10:40 10:50 熱・物質伝達 (水分移動)</p>	<p>10:20 10:30 相流 (固液・固気)</p>
12:00	<p>E 2 2 1 } E 2 2 4</p>	<p>F 2 2 1 } F 2 2 5</p>	<p>G 2 2 1 } G 2 2 5</p>
13:00		<p>12:10 12:30</p>	
14:00	<p>14:00 【オージェンシオン 建築・空調における 伝熱 建築・空調における 伝熱 (ふく射・対流) E 2 3 1 } E 2 3 4 15:20 15:30 建築・空調における 伝熱 (熱源機・システム) E 2 4 1 } E 2 4 3 16:30 16:40 建築・空調における 伝熱(伝熱解析)</p>	<p>14:00 熱・物質伝達 (脱気) F 2 3 1 } F 2 3 3 15:00 15:10 熱・物質伝達 (吸収) F 2 4 1 } F 2 4 5 16:50 17:00 熱・物質伝達 (着露) F 2 5 1 } F 2 5 3 18:00</p>	<p>14:00 ふく射物性 G 2 3 1 } G 2 3 5 15:40 15:50 ふく射伝熱 G 2 4 1 } G 2 4 7</p>
15:00			
16:00			
17:00			
18:00			
	<p>18:30 懇親会 20:30</p>		

日程表

第3日 5月29日(金)				
	A室	B室	C室	D室
9:00	9:00 噴流 A 3 1 1 } A 3 1 3	9:00 二相流 (ポイド率 ・圧力損失) B 3 1 1 } B 3 1 4	9:00 凝縮 (I) C 3 1 1 } C 3 1 4	9:00 融解・凝固 (I) D 3 1 1 } D 3 1 6
10:00	10:00 10:10 衝突噴流 A 3 2 1 } A 3 2 5	10:20 10:30 二相流 (液膜流れ) B 3 2 1 } B 3 2 5	10:20 10:30 凝縮 (II) C 3 2 1 } C 3 2 5	11:00 11:10 融解・凝固 (II) D 3 2 1 } D 3 2 3
12:00	11:50	12:10	12:10	12:10
13:00	13:00 電子機器の冷却 A 3 3 1 } A 3 3 4	13:00 二相流 (流動) B 3 3 1 } B 3 3 5	13:00 凝縮 (III) C 3 3 1 } C 3 3 4	13:00 融解・凝固・蓄熱 (I) D 3 3 1 } D 3 3 4
14:00	14:20 14:30	14:40 14:50	14:20 14:30	14:20 14:30
15:00	回転場の伝熱 A 3 4 1 } A 3 4 4	二相流 (数値解析) B 3 4 1 } B 3 4 3	ヒートパイプ C 3 4 1 } C 3 4 6	融解・凝固・蓄熱 (II) D 3 4 1 } D 3 4 6
16:00	15:50	15:50	16:30	16:30
17:00				
18:00				
19:00				

第3口 5月29日(金)

	E室	F室	G室
9:00	9:00 熱伝導 E 3 1 1 } E 3 1 4	9:00 蒸発 (ミスト冷却) F 3 1 1 } F 3 1 4	9:00 プラズマ・反応 G 3 1 1 } G 3 1 4
10:00	10:20 10:30	10:20 10:30	10:20 10:30
11:00	熱物性 (I) E 3 2 1 } E 3 2 5	蒸発 (蒸発機構・促進) F 3 2 1 } F 3 2 4 11:50	燃焼 (I) G 3 2 1 } G 3 2 4 11:50
12:00	12:10		
13:00	13:00 熱物性 (II) E 3 3 1 } E 3 3 5	13:00 分子動力学 (I) F 3 3 1 } F 3 3 5	13:00 燃焼 (II) G 3 3 1 } G 3 3 4
14:00	14:40 14:50	14:40 14:50	14:20 14:30
15:00	測定法 E 3 4 1 } E 3 4 5 16:30	分子動力学 (II) F 3 4 1 } F 3 4 4 16:10	多孔質における 流動・伝熱 G 3 4 1 } G 3 4 7 16:50
16:00			
17:00			
18:00			
19:00			

第13回日本熱物性シンポジウム

—御案内と参加のおすすめ—

第13回実行委員長 山田悦郎 (秋田大学)

開催日 平成4年9月28日(月)～30日(水)

会場 秋田市文化会館

〒010 秋田市山王 7 3 1

講演申込締切 平成4年5月30日

論文原稿締切 平成4年7月31日

(詳細は本誌4月号で御案内致します)

問合せ 秋田大学鉱山学部機械工学科山田研究室

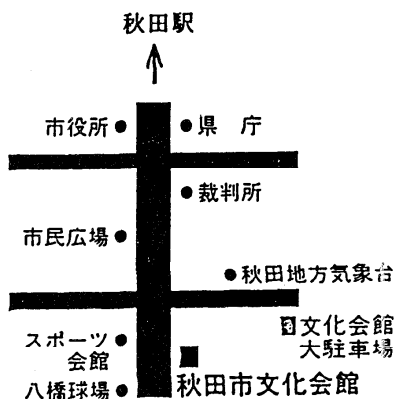
Tel. 0188-33-5261(354, 350), Fax. 0188-34-9708

日本熱物性シンポジウムは明年で第13回の開催を迎えます。会員各位が既に御承知のように、本シンポジウムは、3年に1度は東京地区で開催されますが、その他の2回は北と南に開催地を求め、参加する会員の便宜と会員の増強を目指していると言えます。明年は東北地区の順番となり、地区の多くの方々の御協力を得て、まだ開催したことのない当秋田でシンポジウムを開催することになりました。

秋田に決定して頂いたことは、秋田地区の会員にとって非常に名譽なことと考えており、現在準備を始めている状況です。ただし、明年は第3回アジア熱物性会議(ATPC)が開催される年にあたり、その日程が10月12日から北京で開催と決定されました。更に、その前に、伝熱の国際会議がやはり北京で開催されますので、日本熱物性シンポジウムは論文のオリジナリティーの関係から、ATPCの前に開催したいということになり、上記に示したように開催時期を例年よりも早めることになりました。これに伴って申込・原稿の両締切も早くなりますので、参加なさる各位にはお間違えのなきようお願い申し上げます。企画等の詳細は次号に掲載しますが、1～2セッション(論文数にして約4～10篇)単位の公募オーガナイズドセッションも行うことが実行委員会で決まりましたので計画を予定される方はぜひお問い合わせ下さい。

秋田は地理的には不便な場所に位置するようには見えませんが、自然環境に恵まれ、「なまはげ」で知られる

男鹿半島や十和田・田沢等の優美な湖の観光の足場としても好都合な場所にあります。準備委員会としてはシンポジウムの内容を充実させることはもちろんですが、秋田においでになったことの無い方々の多いことを推察し、懇親会やそれ以外の行事も期待に沿うべく努力するつもりです。会員はもちろん熱物性値および秋田に興味のある方々のおいでを心からお待ちしております。



秋田駅前から市営バスで15分
文化会館前下車

流れ数値解析の基礎と応用ーデモ付講習会

(じっくり学ぼう入門から最先端まで)

協賛予定：化学工学会関西支部、関西造船協会、日本ガスタービン学会、ターボ機械協会、
 流れの可視化学会、日本伝熱学会、日本流体力学会、日本航空宇宙学会関西支部、日本造船学会、
 日本混相流学会、自動車技術会関西支部、日本冷凍協会

日 時：平成 4 年 5 月 11 日(月、12 日(火) 9:10~17:00
 会 場：大阪科学技術センター 8階中ホール、小ホール (デモ展示)

大阪府西区榎本町1-8-4、電話 (06) 443-5321(内)
 「新大阪」駅より地下鉄・御堂筋線に「車庫」。「梅田」駅にて地下鉄・四つ橋線に乗りかえ、
 「西梅田」駅より2つ目「本町」駅下車、北へ約500m、靉(ウツボ)公園北角

趣 旨： 流体機器やエネルギー機器の設計・開発において、流れの数値解析は重要な役割を果たすようになってまいりました。パソコン、ワークステーションの高性能化や流れの数値解析技術の進歩によって、複雑な流れも解析できるようになり、多くの熱流体解析のためのソフトウェアが市販され、解析対象によって使い分けられるようになってきております。これらを使いこなすためには解析手法、アルゴリズムやソフトウェアのもっている機能を十分理解することが重要です。
 本講習会では、これから始めたいと考えておられる方も含め、流れ解析に従事する技術者を対象に、数値解析手法の基礎をはじめ、ソフトウェアについて最新の動向を紹介します。また、ソフトウェアのデモ展示ならびに実技指導も行ないますので、多くの技術者のご参加をお待ちしています。

題目・内容・講師

日 時	題 目	内 容	講 師	
5 月 11 日 (月)	9.10~10.20	差分法の基礎	神戸大学 工学部 富山 明 男	
	10.30~11.40	有限要素法の基礎	慶応義塾大学 理工学部 棚橋 隆 彦	
	12.40~13.50	パネル法の基礎	大阪府立大学 工学部 木田 輝 彦	
	14.00~15.10	乱流数値解析モデル	大阪大学 工学部 三宅 裕	
	15.20~15.50	FLOW-3D	株式会社エー・エイ 技術部 宮本 義 弘	
	15.50~16.20	FIDAP	計算力学研究センター 技術開発部 熊井 規	
	16.20~16.50	FLOTTRAN	株式会社インベネットシステム 大阪支社 范 泰 寅	
	5 月 12 日 (火)	9.10~9.40	PHOENICS	株式会社CRC総合研究所 西日本支社 松永 忠 彦
		9.40~10.10	NISA/3D-FLUID	株式会社セル CAEビジネス部 金井塚 直 行
		10.20~10.50	STREAM	株式会社ソフトウェアレイド 営業部 一坪 秀 一
		10.50~11.20	FLUENT	流体コンサルタント 毛利 昌 康
11.20~11.50		HOT FLOW II	株式会社西画研究所 設計技術部 二宮 康 志	
6 月 10 日 (水)	11.50~15.00	ソフトウェアのデモ展示	FLOW 3D, FIDAP, FLOTTRAN, PHOENICS, NISA/3D-FLUID, STREAM, FLUENT, HOT FLOW II	
	15.00~15.40	エンジンシリンダーの内部流れ解析例	豊田中央研究所 研究1部 永岡 真	
	15.40~16.20	航空機まわりの流れ解析例	三菱重工 名古屋航空宇宙システム製作所 宮川 淳 一	
	16.20~17.00	室内、室外の流れ解析例	三菱電機 中央研究所 古藤 悟	

聴 講 5 月 7 日 (木)

申込締切

定 員 120名

聴 講 料

- ・ 会 員 25,000円 (大学、官公庁関係12,500円、大学院生および学生員 6,000円)
- ・ 会 員 外 40,000円、ただし、いずれも教材 1 冊代金を含む。
- ・ 教材のみご希望の方は、1 冊につき会員 4,000円、会員外 6,000円を添えてお申し込み下さい (送料は不要)。
- ・ 協賛学協会員の方も本会会員と同じようにお取扱いたします。

申込方法

B6判用紙 (学会誌半裁) に「関西支部第189回講習会申込み」と題記し、1) 氏名・会員資格 2) 勤務先・所属部課名・住所 3) 通信先 4) 所属学会名 5) 送金内訳および送金額を記入のうえ、関西支部宛お申し込みください。

聴講料は現金書留または下記銀行口座宛ご送金ください。

住友銀行中之島支店 普通口座 110415 日本機械学会関西支部名義

申 込 先

日本機械学会関西支部

第8回混相流レクチャーシリーズ

「レーザーを用いた混相流の計測と可視化」

今日、レーザーを用いた流体計測技術は、高精度で信頼性の高い測定手段として混相流分野でもかなり広く用いられるようになってきました。今後、半導体レーザー、光ファイバーやIC等の利用により小型化、集積化、知能化がさらに進み、ユーザーから見て簡便化、ブラックボックス化が進むと思われますが、現状では、波動光学や信号処理理論の知識が要求されること、光学系の調整の煩雑さなど、まだユーザーに負担のかかる計測法であると言えます。そこで、レーザー計測法の持つ本来の高い性能を引き出し、正確な測定を行なうために必要な基礎知識と応用技術を身に付けて頂くことを目的として本講習会を企画いたしました。粒子計測に重点が置かれた内容となっておりますが、講師はいずれもこの分野の第一線で活躍中の方々であり、レーザー計測や関連技術に現在携わっている技術者・研究者はもちろん、新たにその利用を考えているの方々に対しても、有用な知識と情報を提供できると考えています。

多数の方々の参加をお待ちしています。

主催： 日本混相流学会

協賛： エアロゾル研究協議会、化学工学会、可視化情報学会、資源・素材学会、スラリ輸送研究会、土木学会、日本機械学会、日本空気清浄協会、日本空調衛生工学会、日本原子力学会、日本航空宇宙学会、日本造船学会、日本伝熱学会、日本鉄鋼協会、日本船用機関学会、日本ボイラ協会、日本流体力学会、日本冷凍協会、粉体工学会。

演題と講師：

1. 「レーザー計測技術の混相流への応用（概説）」
大場 謙 吉（関西大学工学部）
2. 「位相ドップラー法による粒子計測」
中島 健（神戸大学工学部）
池田 裕 二（神戸大学工学部）
3. 「エアロゾルの光散乱特性と光子相関LDVによるサブミクロンエアロゾル流れの計測」
伊藤 正 行（京都大学原子エネルギー研究所）
4. 「粒子追跡法による速度ベクトルの計測」
加賀 昭 和（大阪大学工学部）
5. 「光ファイバーを用いた混相流の計測機器について」
村本 龍 夫（日本科学工業㈱）

会 場： 大阪市立大学文化交流センター
（大阪駅前第3ビル16階）
Tel. 06-344-5425

日 時： 平成4年6月5日（金） 10:00 - 17:00

参加費： 会員（協賛学協会会員を含む） 10,000円
会員外 15,000円
学生 2,500円

申込方法： はがきまたはFAXにて「第8回混相流講習会申込み」と題記し、
(1)氏名、加盟学協会名、(2)勤務先・所属部課名、(3)連絡先、を明記し、
下記宛お申込み下さい。参加費は下記口座にお振込み下さい。

申込先： 〒659 芦屋市公光町9-7-202 ㈱学術出版印刷内
日本混相流学会 企画運営委員会
電話 0797-38-3390 Fax. 0797-38-3351

申込締切： 5月29日（金）

参加費振込先： 大和銀行天六支店 普通預金口座 4851193
「第8回混相流レクチャーシリーズ 大場謙吉」

問合せ先： 〒564 吹田市山手町3-3-35
関西大学工学部機械システム工学科 大場謙吉
電話 06-388-1121 Ex.5793 Fax. 06-330-3770

第5回混相流インターナショナル・レクチャーコース

「カプセル輸送技術の現状と将来」

主 催 日 本 混 相 流 学 会

協 賛 (予定)

化学工学会、 可視化情報学会、 資源・素材学会、 土木学会、
東北混相流研究会、日本エアロゾル学会、日本機械学会、 日本原子力学会、
日本航空宇宙学会、日本スラリー輸送研究会、日本造船学会、日本鉄鋼協会、
日本伝熱研究会、 日本ボイラ協会、 日本流体力学学会、 粉体工学会

カプセル輸送は、安全かつ省力化が可能な輸送手段であることから、物流ならびに都市社会環境問題を解決する環境調和型輸送システムとして見直されております。折しも、カプセル輸送の権威であるミズリー大学の H. Liu教授とCoal Log Technology の第一人者である同大学の T. Marrero教授とが、オーストラリアで開催されるフレイトパイプライン国際会議への出席に先立ち、日本におけるカプセル輸送施設の視察のため来日されます。この機会をとらえ、標記講演会の開催を企画致しました。

フレイトパイプライン学会の会長をも務められている H.Liu教授は、アスファルトをバインダーとして石炭をカプセル状に圧縮成形し、これを水力輸送するシステム、すなわちコールログパイプラインシステムの提唱者であり、また、このシステム実用化のためのファンドを国から受けられ、鋭意研究を進められている方です。一方、T. Marrero教授は、上記システム実現のため H.Liu教授の共同研究者として活躍されている方です。また、先生はフレイトパイプライン学会の事務長として学会を取り仕切っておられる方です。大学の柳井田教授は、カプセル輸送の権威の一人であり、またウォータージェットに造詣の深い方です。さらに、先生はフレイトパイプライン学会の組織委員としても活躍されている方です。住友金属工業の小杉博士は、空気カプセル輸送システムの設計実務に携わっておられ、この方面の経験豊かな方です。

上記の先生方々の講演を通じてカプセル輸送の現状と将来を見据えるまたとない機会でありますので、奮ってご参加下さい。

なお、講演会終了後、講師の先生方々囲む技術交流懇談会が開催されますので、こちらの方にも気軽に
ご参加下さい。

講師と演題：

1. 柳井田 勝哉 (九州産業大学)
「カプセルの抗力係数」
2. Henry Liu (University of Missouri)
「Present and Future Use of Freight Pipelines in the United States」
「Design and Operational Considerations of Hydraulic Capsule Pipeline」
3. Tom Marrero (University of Missouri)
「Coal Log Pipeline Concept and Technology」
4. 小杉 佐内 (住友金属工業KK)
「日本におけるカプセル輸送の現状」

講演会場： 住友金属工業株式会社本社 会議室
東京都千代田区大手町1丁目1-3 大手センタービル

日 時： 平成4年6月23日(火)
講演会 9:30-17:20 技術交流懇談会 17:30-19:00

参加費： 会 員 (日本混相流学会・協賛学協会) 20000円
学 生 5000円
非会員 25000円
(テキスト代並びに技術交流懇談会雑費含む)

中 込 先： 仙台市青葉区荒巻字青葉
東北大学工学部資源工学科 益山忠気付
【混相流レクチャーコース】実行委員会
Tel: 022-222-1800 (内 4544) Fax: 022-222-2114

参加費は予め下記にお送り下さい

銀行口座： 七十七銀行本店普通預金 【混相流レクチャーコース】
番号： 6111751

社団法人日本工学会主催

第16回 国際会議のための
準備セミナー

— 英語によるプレゼンテーションの実際 —

国際社会の中で、日本人として講演、研究発表、新規プロジェクトの説明等、英語で発表する機会が増えてきております。

このセミナーでは、外国人を前にすぐれたプレゼンテーションを行うための効果的な説得の技術と方法を講義と実際のプレゼンテーションの体験を通して習得します。

1. 対象者

- ・国際会議で発表する予定のある方
- ・英語によるプレゼンテーション能力の向上を図りたい方

2. 日 時：1992年5月 9日(土) 9:00~20:00

10日(日) 9:00~17:00

(集合：5月8日<木> 18:00現地)

3. 講 師：・社団法人日本工学会 理事

・(株)ヒューテック代表取締役 肥田良夫

・その他(国際会議参加経験者からの話題)

4. 会 場：海外職業訓練センター研修施設

千葉市ひび野1-1 電話：0472-76-0211

5. 交 通：JR京葉線 海浜幕張駅 徒歩5分

6. 参加費：80,000円(資料代、懇談会費等を含む)

7. 宿泊費：18,000円(2泊、食事付)

8. 定 員：18名

9. カリキュラム

- (1) 国際会議の概要 1) 参加の目的 2) 参加者の心掛け 3) 日本人に多い問題点の整理
- (2) 国際会議参加の準備 1) オーラルペーパーの書き方 2) 時間配分の心得 3) AVの用意と利用法
- (3) プレゼンテーションの実際 1) 話しかた(視線・発声・姿勢) 2) マイク・AVの使い方 3) 質疑応答の処理 4) 表現
- (4) プレゼンテーションの評価と練習法 1) 自己評価 2) 他者評価 3) 効果的練習法

10. 参加申込み方法

(1) 参加申込みを希望される方は下記に詳細パンフレットをご請求下さい。

(2) 申込締切は4月20日(月)日本工学会必着です。

11. パンフレット請求先：

〒107 東京都港区赤坂 9-6-41

社団法人 日本工学会

電話：03-3475-4621・5618 FAX：03-3403-1738

Preliminary Announcement and Call for Papers

The Sixth International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-6) in Thermal Engineering, Seoul, Korea, May 9-13, 1993

The conference theme is thermal engineering in the 21st century. The symposium will provide a forum for researchers and practitioners of thermal engineering to exchange information, present new developments, and discuss the future direction and priorities in the areas of transport phenomena in thermal engineering. Previous symposia: Honolulu (Rotating Machinery, 1985); Tokyo (Turbulent Flows, 1987); Taipei (Thermal Control, 1988); Sydney (Heat and Mass Transfer, 1991); Beijing (Heat Transfer, 1992). The conference language is English. Co-sponsoring organizations are: Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering, Korean Society of Mechanical Engineers, American Society of Mechanical Engineers, Canadian Society of Mechanical Engineers, Chinese Society of Mechanical Engineers, Flow Visualization Society of Japan, and Japan Society of Heat Transfer.

Scope

Papers are solicited which deal with any aspect of thermo-fluid transport phenomena (mass, momentum, heat, and energy transfer) in thermal engineering: transport phenomena in energy systems, aerospace systems, heat exchangers, environmental systems, biomedical systems, turbomachinery, electronic cooling, micro technology, materials processing, to name but a few. Modeling, theory, analysis, computational methods, design, experiments, and numerical simulations are all appropriate.

Selection of Papers

Initial screening will be based on the abstracts of approximately 500 English words. The abstract should contain: 1) paper title, 2) five keywords in the order of importance, 3) authors' names, affiliations and full addresses, and 4) name, address, phone number, and fax (telecopy) number of the author to whom subsequent correspondence should be directed. The abstract should state clearly the objectives, results, and conclusions. Inclusion of one or two supporting figures or tables in the abstract that highlight the results will be particularly helpful. Final acceptance will be based on review of the complete manuscript. All accepted papers will be published in bound volumes which will be available at the meeting.

Schedule

August 31, 1992	Four (4) copies of abstract due
September 15, 1992	Notification of abstract acceptance
November 15, 1992	Five (5) copies of full-length paper due for review
January 15, 1992	Notification of paper acceptance
February 28, 1993	Camera-ready manuscript due

Four (4) copies of abstract should be sent by August 31, 1992 to:

Professor Sung-Tack Ro
Dept. of Mechanical Engineering
Seoul National University
Shinrim-Dong, Kwanak-Ku Phone: 82-2-880-7111
Seoul 151-742, KOREA Fax: 82-2-883-0179

For further information, inquire at the above address or contact Dr. Jong H. Kim, EPRI, 3412 Hillview Avenue, P.O. Box 10412, Palo Alto, CA 94303 USA, Phone (415) 855-2671, Fax (415) 855-1026.

国際会議案内

3rd World Conference on
Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics

1. 主催 ASSEMBLY OF WORLD CONFERENCES ON EXPERIMENTAL HEAT TRANSFER,
FLUID MECHANICS AND THERMODYNAMICS
(日本代表: 東北大学流体科学研究所 相原利雄教授)
2. 開催場所 ホノルル (ハワイ)
3. 開催日 1993年10月31日~11月5日 (予定)
4. 論文募集日程 1992. 6. 1 1000語以内の英文アブストラクト (3部) 締切
1992. 7. 10 アブストラクト受理通知期限
1992. 11. 6 本論文原稿提出期限
1993. 1. 15 論文受理通知期限
1993. 2. 26 写真製版用論文原稿提出期限
本論文はA4版用紙にダブル・スペースで英文でタイプしてご提出ください。
写真製版用マットは規定の用紙で、1ページあたり約60字×70行×2列
で8ページまでです。
5. 対象分野 伝熱学、流体力(工)学、熱力(工)学の全ての問題についての実験的研究
とし、関連する理論、数値解析を含む。

4. アブストラクトおよび原稿提出先

東京大学生産技術研究所 棚沢一郎教授 (熱力学・熱工学関係)
〒106 東京都港区六本木7-22-1
TEL 03-3402-6231

大阪大学工学部 三宅 裕教授 (流体力学・流体工学関係)
〒565 吹田市山田丘2-1
TEL 06-877-5111

熱工学における輸送現象に関する 国際シンポジウム (I S T P - 6)

開催地：ソウル市（韓国）

開催日：1993年5月9日－13日

主催：Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering (PCTFE)

シンポジウムの概要

21世紀の熱工学を展望し、研究・技術の情報交換を目的とするシンポジウムです。これまでホノルル（回転機械，1985），東京（乱流，1987），台北（熱制御，1988），シドニー（熱・物質移動，1991），北京（伝熱，1992）の5回が実施（または予定）されています。主なトピックスは次のとおりです。（ただし、必ずしもこれらに限りません。）

エネルギー／動力システム	低温システム	燃焼
航空宇宙システム	電子装置冷却	環境システム
ターボ機械冷却	材料プロセス	その他の分野
装置の熱制御	マイクロテクノロジー	
熱交換器	バイオテクノロジー	

論文提出の方法

500語程度のアブストラクトにより論文提出の可否を審査します。アブストラクトには

- 1) 論文題目
- 2) 重要度の順に並べた5つのキーワード
- 3) 全著者名・所属・詳しい連絡先住所
- 4) 連絡担当の著者の氏名・住所・電話番号・ファックス番号

が必要です。アブストラクトには研究の目的・結果・結論を明瞭に記述し、論文の性格や意図がはっきり判るようにして下さい。論文の最終的な可否はフルペーパーの査読によって決めます。受理された論文は、シンポジウムで配布される論文集に収録されます。

締切日

アブストラクト（4通）提出：	1992年 8月31日
アブストラクト採否通知：	1992年 9月15日
査読用フルペーパー（5通）提出：	1992年 11月15日
論文採否通知：	1993年 1月15日
最終（オフセット用）原稿提出：	1993年 2月28日

アブストラクト（4通）提出先

Professor Sung-Tak Ro
Dept. of Mechanical Engineering
Seoul National University
Shinrim-Dong, Kwanak-ku
Seoul 151-742, KOREA
Phone: 82-2-880-7111
Fax: 82-2-883-0179

問い合わせ先

〒106 東京都港区六本木 7-22-1
東京大学生産技術研究所
棚 沢 一 郎
Phone: 03-3402-6231 ext.2235
Fax: 03-3401-6575

日本複写権センター発足と複写権委託表示について

ご存じのとおり、著作物を複写するには、著作権法によって認められた特別の場合以外は、著作権者の許可が必要です。しかし、その都度許可をえて複写することは、利用者にも著作権者にも不便です。

そこで先進18カ国では、複写権を集中的に処理するセンターが設置され、そこが著作権者から複写権の委託を受け、利用者とは利用契約を結んで、一定の料金をとり、複写を許可することによって、著作権者、利用者双方の便宜をはかっています。

日本でも、このような目的をもって「日本複写権センター」が、1991年9月30日に発足し、業務を開始しました。学協会では、このセンター設立に協力するため、かねてから日本工学会、日本農学会、日本歯科医学会、日本薬学会等の学会団体が学協会著作権協議会を組織して、傘下学協会の複写権の集中受託を行ってきました。

本会では先に会誌等の複写権を、前記協議会に委託しましたので、委託済であることを利用者が容易に識別できるように、該当する会誌等の目次ページに「複写をされる方に」という表示をすることにしました。

なお、学協会著作権協議会では、アメリカ合衆国の複写権センターであるCCC (Copyright Clearance Center) と1991年9月1日付で相互協定を結びました。本会は、前記協議会を通じてCCCにも複写権を委託しましたので、「複写をされる方に」の英文表示も併せ掲示します。

なお、日本複写権センターなどの詳細を知りたい方は、次にご連絡下さい。

学協会著作権協議会内日本複写権センター支部

〒170東京都港区赤坂9-6-42-704

電話03-3475-4621・5618

FAX03-3403-1738

事務局からの連絡

1. 事務局について

昨年10月1日から次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局	
(業務内容)	
i) 入会届、変更届、退会届の受付	
ii) 会費納入の受付、会費徴収等	
iii) 会員、非会員からの問い合わせに対する対応、連絡等	
iv) 日本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」発送、その他刊行物の発送	
v) その他必要な業務	
(所在地)	〒113 東京都文京区本郷5-25-18-501 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)

- 1) 事務局への連絡、お問い合わせには、電話によらず、できるだけ郵便振替用紙の通信覧やファックス等の書面にてお願いします。
- 2) 日本伝熱シンポジウムに関する事務は現地の準備委員会が担当しており、当学会事務局では受付事務と取り次ぎの一切を行っておりません。参加申込書、参加費、懇親会費、論文集代等は準備委員会へ直接お送り下さい。

学会事務の統括と上記以外の事務は、下記にて行なっております。

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学 原子炉工学研究所 井上 晃 TEL: 03-3726-1111 (内線3077、3059) FAX: 03-3729-1875

2. 学会案内と入会手続きについて

【目的・活動】

本会は、伝熱に関する学理技術の振興を促進すると共に、会員相互および国際的な連絡を計ることを目的とし、研究会、講演会の開催、伝熱に関する連絡等の活動を行なっています。

【事業年度】

事業年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月末日までです。(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】

本会の趣旨に賛成して入会した方を会員とします。会員の種別と会費は次の通りです。

会員種別	資 格	会 費 (年 額)
個人会員	学生会員、特別会員以外の個人	8,000円
学生会員	高専、大学学部、大学院修士過程、博士過程に在学中の学生	4,000円
維持会員	本会事業に賛成する団体で、1口につき1名以内を「特別会員」に指名	1口 30,000円

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、さらに次の特典があります。

- 1) 「伝熱研究」の郵送が受けられる。
 - ・個人会員、学生会員に1冊送付
 - ・維持会員に口数分の冊数送付
(本年度発行予定：本号、7月号、10月号、1月号)
- 2) 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」の無料郵送が受けられる。
 - ・個人会員、学生会員に1部送付
(但し、前年度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)
 - ・維持会員に口数分の部数送付

【入会手続き】

個人会員または学生会員への入会の際は、新規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。

維持会員への入会の際は、新規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。維持会員への申込みは何口でも可能です。

（注 意）

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

3. 会員の方々へ

【会費納入について】

会費納入には本誌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。会費未納状況は、「伝熱研究」郵送ラベルの累積請求額でご確認下さい。

【変更届について】

（勤務先、住所、通信先等の変更）

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

（維持会員の代表者変更）

維持会員の場合には、必要に応じて代表者（特別会員）を変更できます。

（学生会員から個人会員への変更）

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個人会員（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。また、変更事由等の予告通知は受け付けておりません。

【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。

【第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集について】

本年3月末日までに平成3年度までの会費を完納した会員に限り、伝熱シンポジウム準備委員会から講演論文集が事前送付されます。4月以降から伝熱シンポジウム開催日までに、平成3年度会費を納めても論文集は事前送付されません。

（伝熱シンポジウム終了後の取扱い）

- ・住所変更等のため事前送付された講演論文集が未着の会員はご連絡下されば再配布します。
- ・論文集申込みに対しては、準備委員会から残部が届き次第、1部8600円（送料込み）にて学会事務局が受け付けます。事前送付を受けられなかった会員で、伝熱シンポジウムの会期終了までに未納分（平成3、4年度分）を完納されない方も、有料になります。

【第29回日本伝熱シンポジウムにおける事務局開設】

伝熱シンポジウム会場に事務局を開き、下記の優先順位で会員および新規入会者への窓口サービスを行います。開設時刻は会場に掲示されます。時間帯によっては相当の混雑が予想されますが、ご協力をお願いします。また、下記以外のご依頼には対応できないこともあります。ご了承下さるようお願いいたします。

① 未着の講演論文集（事前送付分）の受取り

住所変更等のため事前送付された講演論文集が未着の会員に再配布します。本人であることを証明するものを提示してお受け取り下さい。

② 会費の納入

平成4年度分までの会費を納入できます。また、会費未納のため講演論文集の事前送付を受けなかった会員は、平成4年度分までの会費を納めれば講演論文集を受け取れます。

③ 入会申込

新規入会申込用紙に会費を添えて入会を申し込むことができ、「伝熱研究」4月号が受けられます。但し、残部が不足してお渡しできない場合があります。ご了承下さい。

④ 変更届の提出

住所、勤務先等の変更届を提出できます。

日本伝熱学会 個人・学生会員新規入会申込み・変更届用紙

(右の該当に○を記入) 1. 個人会員(正)・学生会員新規入会申込書
2. 変更届書(書面による届出のみ受付け)

0	申込年月日	H	年	月	日	(注 意) ・楷書体で明瞭に記入 ・氏名にふりがなを付す ・通信文は余白に記入 ・申込み時に郵便振替にて 会費納入
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	* 勤務先	名称				
6		〒	—			
7	所在地					
8						
9	TEL					
10						
11	FAX					共通・専用
12	自宅	〒	—			
13		住所				
14						
15	TEL					
16	通信先**	勤務先・自宅				
17	学位					
18	最終出身校					
19	卒業年次	T・S・H	年			
20	専門分野					← (下記専門分野の番号)
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: ガスタービン 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(M2, D3など)を記す。

** 郵送物発送先として通信先を必ず記入する。

*** 学生会員入会申込者は、指導教官の署名・捺印を受ける。

日本伝熱学会 維持会員新規入会申込み届用紙

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

※ご記入に際しての注意

日本伝熱学会からの郵送物は代表者に送ります。従いまして、代表者の所属に変更がありましたら、書面をもって事務局宛ご連絡の程、お願い申し上げます。

1	会員資格	維持会員
2	代表者氏名	
3	ふりがな	

4	代 表 者	名 称 (所属)	
5		〒	—
6	勤 務 先	所在地	
7		TEL	
8		FAX	共通・専用
9	口 数	口	

日本伝熱学会入会のご案内

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. 維持会員の会費は1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。
3. 会員になりますと「伝熱研究」及び「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部お送りします。
この伝熱研究は通常、年4回(4、7、10、1月号)の発行を予定しております。
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します。
尚、年度途中で入会の方には残部の都合でお送りできない場合もありますので、あらかじめご承知おき下さい。
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はご用意できますが、それ以外の場合には貴社ご指定の書式をご送付下さいますようお願いいたします。

申込書送付先：〒113 東京都文京区本郷 5-25-18-501

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 井上 晃
- (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（書）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 Clearancce Center 27 Congress St.
Salem, MA 01970
Phone (508)744-3350
Fax (508)741-2318

伝熱研究

Vol.31, No.121

1992年4月発行

発行所 日本伝熱学会

〒113 東京都文京区本郷5-25-18-501

日本伝熱学会

電話 03(5689)3401

Fax 03(5689)3401

振替 東京 6-14749

(非売品)