

# 伝 熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

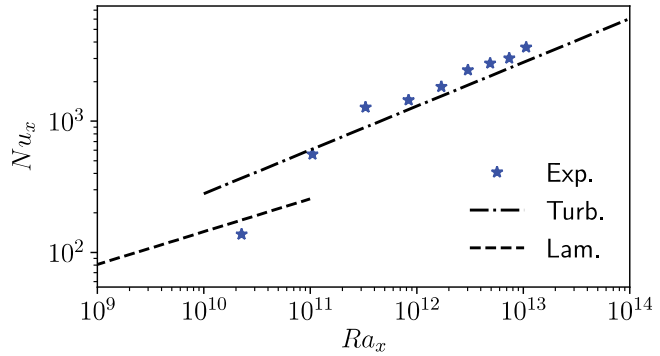
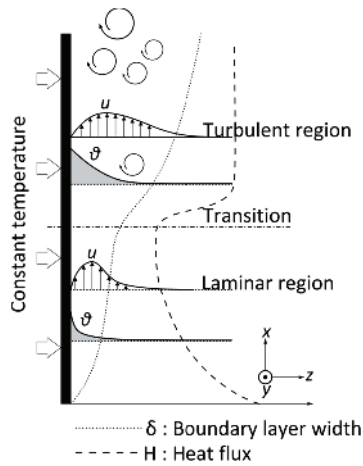
ISSN 1344-8692 Vol. 58, No. 243  
2019. 4

*Thermal Science and Engineering*

ISSN 0918-9963 Vol. 27, No. 2  
2019. 4

*HETSJ*

◆特集：居住環境とエネルギー利用



左：鉛直加熱壁の自然対流境界層の模式図。浮力上昇流に伴う熱輸送特性の把握は、居室空間の温熱環境評価に資する。

右：水風洞実験により実現した高いレイリー数環境における壁面熱伝達率（図中 Exp.）。既往の実験（記事中文献[29]）で示された層流状態（図中 Lam.）、乱流状態（図中 Turb.）での近似線を併記する。

（特集記事「居住空間の壁面熱伝達（中尾 圭佑）」より）



写真 1：ずだじこども園（西面外観）

写真 2：ずだじこども園（中庭からの夜景）

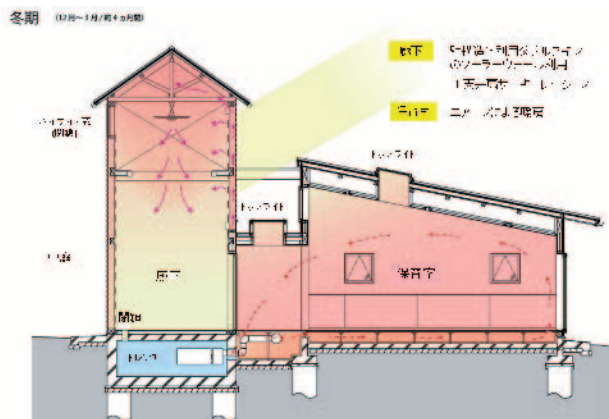


図 1：ずだじこども園の暖房モード

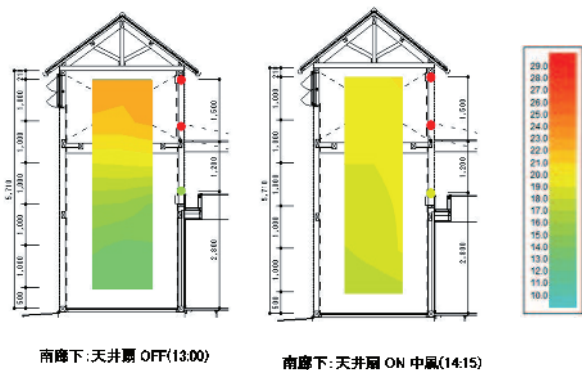


図 2：南廊下の垂直温度分布（冬期実測）

温暖地域に建つ保育施設（ずだじこども園：写真 1，写真 2）では、透明ポリカーボネート性の中空外壁構造や地下ピットを利用し、非空調となる廊下空間の熱的な快適性向上を図っている。冬期は、外壁をソーラウォールとして太陽集熱し（図 1）、天井付近に蓄えた温熱を天井扇で吹き降ろして補助暖房を行っている（図 2）。

（特集記事「建築物の低炭素化技術と伝熱（田中 英紀）」より）

# 伝 熱

## 目 次

### 〈巻頭グラビア〉

中尾 圭佑（電力中央研究所），田中 英紀（名古屋大学）……………表紙裏

### 〈特集：居住環境とエネルギー利用〉

居住空間の壁面熱伝達……………	中尾 圭佑（電力中央研究所）……………	1
自動車内温熱環境の数値解析		
……………永野 秀明，小野 太朗，郡 逸平，白鳥 英，島野 健仁郎（東京都市大学）……………		7
商店におけるドア開けっ放し営業による店内温熱環境……………	李 時桓（信州大学）……………	12
建築物の低炭素化技術と伝熱……………	田中 英紀（名古屋大学）……………	18
住宅における自然循環／強制循環太陽熱利用システムの最新動向		
……………	吉永 美香（名城大学）……………	24
地中熱利用ヒートポンプを用いる空調システムのエネルギーシミュレーション		
……………	尹 奎英（名古屋市立大学）……………	30

### 〈ヒストリーQ〉

人と熱の関わりの足跡（その4）－冷たさを届ける：天然氷の採取と輸送－		
……………藤岡 恵子（ファンクショナル・フルイッド），野村 祐一（函館市教育委員会）……………		36

### 〈報告〉

Int. J. Heat and Mass Transfer と Int. Centre for Heat and Mass Transfer に関する報告		
……………	吉田 英生（京都大学）……………	42

〈行事カレンダー〉…………… 47

### 〈お知らせ〉

第56回日本伝熱シンポジウムのご案内……………		48
第56回日本伝熱シンポジウムプログラム（暫定版）……………		53
・事務局からの連絡……………		66

〈編集出版部会ノート〉…………… 70

**Vol.58, No. 243, April 2019**

**CONTENTS**

**< Opening-page Gravure:heat-page >**

Keisuke NAKAO (Central Research Institute of Electric Power Industry),  
Hideki TANAKA (Nagoya University) ..... Opening Page

**< Special Issue: Living Environment and Energy Utilization >**

Heat Transfer on The Envelope of The Residential Area  
Keisuke NAKAO (Central Research Institute of Electric Power Industry) ..... 1

Numerical Analysis of In-vehicle Environment  
Hideaki NAGANO, Taro ONO, Itsuhei KOHRI,  
Suguru SHIRATORI, Kenjiro SHIMANO (Tokyo City University) ..... 7

Thermal Environment and Energy Loss through Door Open while Air Conditioner Running in Commercial Store  
Sihwan LEE (Shinshu University) ..... 12

Low-carbon Technology of Buildings and Heat Transfer  
Hideki TANAKA (Nagoya University) ..... 18

Domestic Solar Thermal Heating Systems for Hot Water Supply  
Mika YOSHINAGA (Meijo University) ..... 24

Energy Simulation for HVAC System consisting of Ground Source Heat Pump  
Gyuyoung YOON (Nagoya City University) ..... 30

**< History Q >**

Footprints of the relationship between humans and heat (Part 4)  
-Delivery of the Coldness: Harvest and Transport of Natural Ice-  
Keiko FUJIOKA (Functional Fluids) and  
Yuichi NOMURA (Hakodate City, Board of Education) ..... 36

**< Report >**

Report on Int. J. Heat and Mass Transfer and Int. Centre for Heat and Mass Transfer  
Hideo Yoshida (Kyoto University) ..... 42

**< Calendar >** ..... 47

**< Announcements >** ..... 48

**< Note from the JHTSJ Editorial Board >** ..... 70

## 居住空間の壁面熱伝達

*Heat transfer on the envelope of the residential area*

中尾 圭佑 (電力中央研究所)

*Keisuke NAKAO (Central Research Institute of Electric Power Industry)*

*e-mail: nakao@criepi.denken.or.jp*

### 1. はじめに

建築環境工学分野における居住空間の省エネ化には、伝熱工学に関する知見が必要不可欠である。流体力学を基礎とした研究では、伝熱工学と建築環境工学のトピックに関連性が見られる。執筆者は、大学在籍時は建築環境分野にて都市大気環境におけるガス拡散性状を研究し、現職では浮力を伴う熱流動現象の熱伝達などに関する研究を行ってきた。そのため、特集に見合う内容紹介については力及ばず心苦しいが、伝熱工学分野と親和性の高い壁面熱伝達の研究を、建築屋内外空間の着眼点から紹介する。

居住空間の熱伝達は、人体スケールの快適性評価から、都市化に伴う大気環境への人工排熱まで幅広いテーマを含む[1][2][3]。ここでは特に自然対流による熱伝達に着目する。低い通風環境下の室内居室では壁面熱伝達が自然対流により支配される。また、屋外空間でも、夜間静穏時や建物遮蔽効果により低風速環境が生じることから、建物被覆における熱伝達を自然対流現象と関連して考察する報告もある[4]。居住空間を代表する体系としてよく取り扱われるのは、加熱/除熱される面が浮力に対して直交する条件で、それにより生じる壁面近傍の自然対流現象に関連する事項を紹介する。

以下の2章では、自然対流に関する実験・数値計算・観測についてレビューし、3章は屋外の研究および大きなレイリー数環境下における研究紹介で構成する。

### 2. 壁面熱伝達の実験・数値計算・観測

空調時の室内温熱環境予測を目的として、数値流体計算手法 (Computational Fluid Dynamics, CFD) の開発や、その予測精度検証が行われてきた。もっともシンプルな体系として、矩形2次元キャビティが挙げられる。対向する壁面の加熱/除熱により生じる自然対流・室内循環を精度よく再現する

ための CFD モデルの開発や検証が行われてきた。一例として先行実験例[5]の低  $Re$  数  $k - \epsilon$  モデルによる再現の試み[2]や、Large eddy simulation (LES) などの境界条件・格子条件などに関する感度解析事例[6][7]が挙げられる。

大空間や開放空間を模擬した体系として、加熱(冷却)壁面以外に流れの制約のない自然対流条件についても検討がなされてきた。これらの自然対流境界層の熱伝達特性は、Cheesewright, 1968[8], Cheesewright et al., 1978[9], Pirovano et al., 1970[10] などにより報告された。本境界層の体系として特徴的なことは、a. 加熱壁面遠方の環境場は無速度に近いこと、b. 壁面において熱流束があるとともに速度0の制約があること、c. 密度差以外に駆動力がないため、加熱壁面下端近傍では層流だが、ある高さで乱流遷移すること、などである。

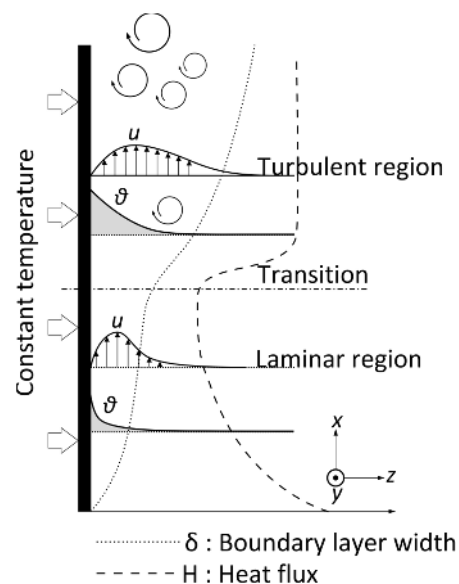


図1 自然対流境界層の特性

$u$  : 平均上昇流,  $\theta$  : 環境場からの平均温度差, 破線: 熱流束の傾向, 点線: 境界層厚さ  $\delta$

特に、加熱壁面を一定温度とすると、環境場への熱流束の傾向が乱流遷移とともに変化することは、乱流モデルによる再現性においても注目される。また、空間発達を伴う外部流れであることも特徴である(図1)。

環境場へは一定熱流束条件とするか、一定温度条件とするかの選択肢があるものの、壁面が上に続けば続くほど、系に投入される熱量は増え、対流スケールも大きくなる。したがって、既往の試験で得られたヌッセルト数や摩擦速度の傾向が、さらに大きいレイリー数環境でも成立するかに関する知見は限られている。

特に乱流熱伝達とそれに関連した乱流統計量の堅牢なデータは Tsuji and Nagano, 1988a [11], b [12] による、熱線流速計を用いた一連の実験に基づき報告された。論文ではヌッセルト数、壁面摩擦応力が以下の経験式に適合することを示した。層流状態において

$$Nu_x = 0.387 (Gr_x Pr)^{1/4},$$

$$\tau_w / \rho U_b^2 = 0.953 Gr_x^{-1/12}.$$

一方、乱流状態において

$$Nu_x = 0.120 (Gr_x Pr)^{1/3},$$

$$\tau_w / \rho U_b^2 = 0.684 Gr_x^{-1/11.9}.$$

ただし、ヌッセルト数  $Nu_x = hx/\lambda$ 、壁面せん断応力  $\tau_w$ 、グラスホフ数  $Gr_x = g\beta\Delta T x^3/\nu^2$ 、レイリー数  $Ra_x = Gr_x Pr$ 、速度スケール  $U_b = (g\beta\Delta T\nu)^{1/3}$  である。また、 $\lambda$ : 熱伝導率、 $h$ : 熱伝達係数、 $x$ : 加熱面下端からの高さ、 $g$ : 重力加速度、 $\beta$ : 体積膨張率、 $\Delta T$ : 壁面と遠方環境場との温度差、 $\nu$ : 動粘性係数、 $Pr$ : プラントル数である。 $Gr_x Pr \sim 8 \times 10^8$  近傍において層流状態から乖離することが実験により示された。また、乱流状態となる高さでは壁面熱流束が高さ  $x$  に依存しない性質を有することが式の次元からわかる。

建築環境工学分野では、これらに類する現象が火災による高温環境への応用として検討されている。義江ら, 1994 [13] は 400K の温度差を実現した実験計測により、先行研究を追試した。

これらの現象を精度良く解析する乱流モデルについても検討がなされている。Reynolds Averaged Navier-Stokes equation model (RANS model) に関しては To&Humphrey, 1986 [14] により低レイノルズ数乱流モデルによる自然対流の再現が報告された。これらのモデルは密度変動-速度変動相関項を有

するが、建築環境工学分野では低マッハ数近似に基づく簡易圧縮性モデルや非圧縮性ブシネ近似モデルの適用性が検討された [15][16]。

自然対流境界層を対象として LES や Direct numerical simulation (DNS) を用いた検討も行われている。数値計算の問題点として、乱流遷移および外部境界条件の設定が挙げられる。前者は格子解像度依存性が強いものと考えられ、境界条件が領域内部に影響する可能性がある [17]。解決策として噴流などにおいて見られる、空間発達を時間発達に置き換える方法が挙げられる。DNS を用いてこの手法を適用した Abedin et al., 2009 [18] により、諸統計量と実験との整合性が確認された。空間発達を考慮する試みもなされ、Barhaghi et al., 2006 [19] により鉛直円筒面に生じる自然対流境界層の数値的再現が試みられた。また、高温環境下の DNS として Li et al., 2015 [20] による成果が挙げられる。執筆者らも鉛直加熱平板を対象として LES を試み、壁面近傍の熱流束、摩擦速度、上昇流速分布などの実験 [11][12] との整合性を確認した。

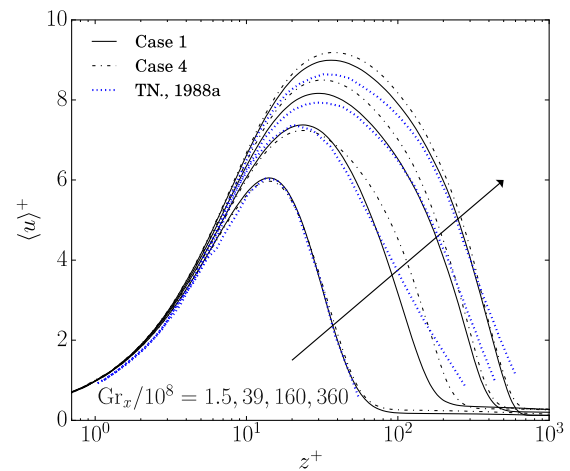


図2 複数の位置での平均上昇流の壁法線方向分布 壁座標系による表現で Case x は相対的な格子解像度を変化させた結果。TN., 1988a は実験結果 [11]。矢印方向に  $Gr_x$  が増加する。( [21] より )

屋外環境においては、ヒートアイランドなどの都市気候を問題背景とした観測事例が存在する。これらの場合、壁面熱伝達は大気環境への熱源となる。熱伝達率は、気象予報モデルなどでは都市キャノピーモデルの中で考慮される (例えば Kusaka et al., 2001 [22])。気象予報モデルの格子解

像度を考えると、都市形態を考慮することは難しいことから、簡易的な表現が目標となる。このような背景から、実大気環境における建物外壁の熱伝達係数の定式化には関心が高く（例えば萩島ら[23]）、ダウンスケールした都市物理モデル（Comprehensive Outdoor Scale MOdel experiment for urban climate; COSMO, Inagaki and Kanda, 2008[24]）における実測により、弱風環境時には自然対流境界層の特性が示されている[4]。

### 3. 高レイリー数環境における試み

レイリー数が加熱継続高さの3乗に比例することを考えると、日射を受ける高層マンションの被覆や、氷山の水面下部などのような大きな鉛直面は、既存の知見外の条件となりうる。このような大規模な対流について理論的な研究が Wells and Worster, 2008 [25]により行われている。彼らの主張では、高いレイリー数環境では、浮力が流れを駆動する領域が壁面から遠くにも及ぶことで、壁面からの熱流束が先に記した漸近から逸脱する。層流-乱流の遷移に続く2回目の遷移が、レイリー数  $10^{15}$  程度で起きることを、ブリューム理論、境界層理論、実験結果の組み合わせにより予測した。

遷移後の熱伝達特性は以下のように予測された。

$$Nu_x \propto Ra_x^{1/2}$$

このことは、より大規模な自然対流境界層において熱流束が高さ依存性を有し、増加傾向を示すことを意味する。この規模のレイリー数環境を実現するのは難しいが、執筆者らは空気に比べて粘性係数およびプラントル数が1桁異なる水を作動流体とすることでより大きなレイリー数環境における実験を行なった。電力中央研究所・我孫子研究所に設置された大型水風洞実験施設は、幅 2m × 2m、高さ 13.0m の鉛直洞を有する重力落下式流体実験設備である（図3）。風工学の分野で頻繁に用いられる風洞実験装置を水で代替したことに由来するネーミングで、本来は構造物への耐風圧荷重が測定の対象となる。実大気を考えるとレイノルズ数は  $10^6$  かそれ以上となり、実験でもそれへの肉薄が望ましいが、上記の通りの水の物性を利用することで、従来の方法では大規模化が免れない装置を低動力で実現したことが特徴である[26]。

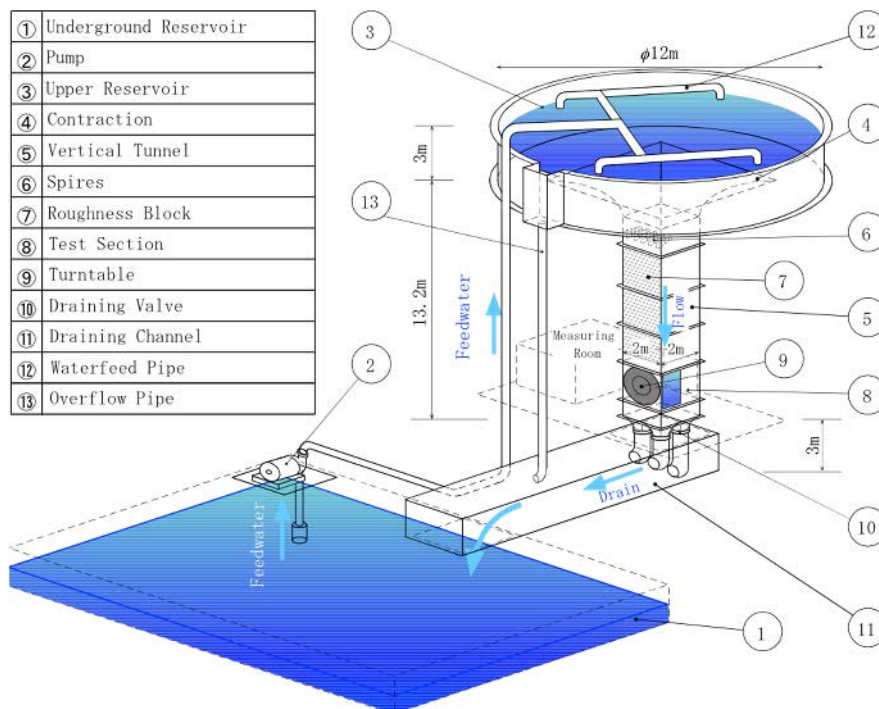


図3 大型水風洞実験装置の概要

3: 落下用貯水槽, 5: 垂直水流洞, 8: 測定洞, 9: 模型設定用ターンテーブル

本試験装置に貯水し、約 5m の等温加熱面を設置することで、 $Ra_x \sim 10^{13}$  の環境を実現した。この規模の対流スケールを実験により実現した前例は Kitamura et al., 1985[27] が挙げられる（一定熱流束  $q$  条件でレイリー数  $Ra_x^* = Pr g \beta q x^4 / \lambda v^2 \sim 10^{16}$ ）速報として図 4 に  $Ra_x$  vs.  $Nu_x$  を示す[28]。梶谷ら、2007[29] による先行研究で示された漸近線から乖離が見られるが、レイリー数が  $10^{13}$  程度において既往の知見に近似する勾配 ( $Nu_x \propto Ra_x^{1/3}$ ) をとった。

さらに大きな対流スケールの評価となると、実験よりも実測の方が親和性の高い面もある。その一例として、実在の建物における壁面の観測が報告されている[30][31]。Nottrott et al., 2011[4] や萩島ら、2008[23] の示唆するように、実環境の多様な風速条件や熱収支の日周期性などの中で、自然対流とみなせる条件の選別に苦慮することがうかがえるが、Wells and Worster, 2008[25] の指摘を補強する結果を報告している。今後の知見の精緻化や都市スケールで見た熱伝達の簡易表現法の開発が期待される。

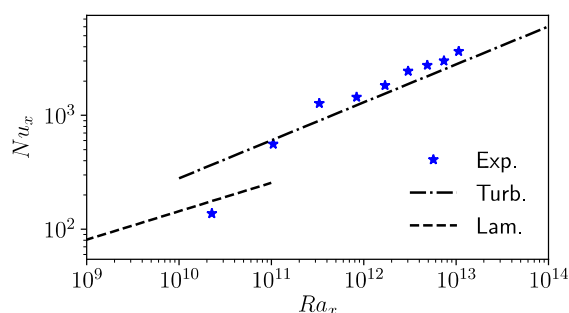


図 4 水風洞実験により得られた  $Ra_x$  vs.  $Nu_x$  破線、一点鎖線がそれぞれ文献[29]により示される層流状態、乱流状態の漸近線を示す。

#### 4. まとめ

建築・都市環境工学において頻繁に取り扱われる熱伝達現象として、加熱壁面における自然対流の実験・観測・数値実験をレビューした。住環境の幅広いスケールで本体系による熱伝達が観察され、時には居室空間の温熱環境に結び付けられ、また時には都市大気環境の局所スケールの熱伝達現象として観察されている。本紹介は、タイトル

で示した問題のごく一部の限られた条件のみに着眼しており、工学的応用へ向けた取り組みについては、さらに多様な研究の動機が見受けられることは、本特集の内容や2017年4月号における特集「建築分野における熱利用と温熱環境に関する最新研究」の通りである。今後、学術分野を横断した研究実施が期待される。

#### 参考文献

- [1] Murakami, S. et al., Flow and temperature fields around human body with various room air distribution – CFD study on computational thermal manikin: Part1. ASHRAE Transactions, **103-1** 3-15 (1997).
- [2] 村上 周三, 加藤信介, 近本智行, 低 Re 数領域にも適用可能な新しい k- $\epsilon$  モデル: 温度成層した室内気流の数値解析に関する研究(その1), 日本建築学計画系論文集, **60-476** 9-17 (1995).
- [3] Takane, Y. et al., A climatological validation of urban air temperature and electricity demand simulated by a regional climate model coupled with an urban canopy model and building energy model in Asian megacity, Int. J. Clim., **37** 1035-1052 (2017).
- [4] Nottrott, A. et al., Convective heat transfer on leeward building walls in an urban environment: Measurements in an outdoor scale model, Int. J. Heat Mass Transf., **54** 3128-3138 (2011).
- [5] Cheesewright, R. et al., Experimental data for validation of computer codes for the prediction of two-dimensional buoyant cavity flows, ASME Winter Annual Meeting, 75-81 (1986).
- [6] 酒井孝司, 小野浩己, 加治屋亮一, 久保隆太郎, 岩本静男, 弱い自然対流流れ場における CFD の対流熱伝達予測精度の検証, 空気調和・衛生工学会論文集, **148** 25-33 (2009).
- [7] 小野浩己, 酒井孝司, 加治屋亮一, Dynamic LES モデルを用いた弱い自然対流流れ場の数値計算 各種 LES モデルの精度検証と格子依存性の検討, 空気調和・衛生工学論文集, **189** 29-38 (2012).
- [8] Cheesewright, R., Turbulent natural convection



- from a vertical plane surface, *J. Heat Transf.*, **90**-1-6 (1968).
- [9] Cheesewright, R. et al., Space-time correlation measurements in a turbulent natural convection boundary layer, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **21**-7 911-921 (1978).
- [10] Pirovano, A. et al., Convection naturelle en regime turbulent le long d'une plaque plane verticale, *Proc. 9<sup>th</sup> Int. Heat Transf. Conf. Natural Convection*, 4 NC1.8 Elsevier (1970).
- [11] Tsuji, T., Nagano, Y., Characteristics of a turbulent natural convection boundary layer along a vertical flat plate, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **31**-8 1723-1734 (1988).
- [12] Tsuji, T., Nagano, Y., Turbulence measurements in a natural convection boundary layer along a vertical flat plate, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **31**-10 2101-2111 (1988).
- [13] 義江龍一郎, 村上周三, 加藤信介, 密度変化を伴う高浮力流れの数値シミュレーションに関する研究 第2報 高温鉛直加熱壁近傍の自然対流に関する実験, *日本建築学会計画系論文報告集* **461** 61-68 (1994).
- [14] To, W. M. et al., Numerical simulation of buoyant, turbulent flow -1. Free convection along a heated, vertical flat plate, *Int. J. Heat Mass Transf.* **29** 573-592 (1986).
- [15] 加藤信介, 村上周三, 義江龍一郎, 密度変化を伴う高浮力流れの数値シミュレーションに関する研究 第1報 鉛直加熱壁近傍の2次元層流解析, *日本建築学会計画系論文報告集* **449** 19-27 (1993).
- [16] 村上周三, 加藤信介, 義江龍一郎, 密度変化を伴う高浮力流れの数値シミュレーションに関する研究 第3報 高温鉛直加熱壁近傍の自然対流に関する乱流解析, *日本建築学会計画系論文報告集* **472** 45-54 (1995).
- [17] Craske, J., van Reeuwijk, M., Robust and accurate open boundary conditions for incompressible turbulent jets and plumes. *Comp. Fluids*, **86** 287-297 (2013).
- [18] Abedin, M. Z., Direct numerical simulation for a time-developing natural-convection boundary layer along a vertical flat plate, *Int. J. Heat Mass Transf.* **52** 4525-4534 (2009).
- [19] Barhaghi, D. G. et al., Large-eddy simulation of natural convection boundary layer on a vertical cylinder, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **27**-5 811-820 (2006).
- [20] Li, C. G. et al., Compressible direct numerical simulation with a hybrid boundary condition of transitional phenomena in natural convection, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **90** 654-664 (2015).
- [21] Nakao, K. et al., Numerical investigation of a spatially developing turbulent natural convection boundary layer along a vertical heated plate, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **63** 128-138 (2017).
- [22] Kusaka, H. et al., A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models, *Bound. Lay. Meteorol.*, **101** 329-358 (2001).
- [23] 萩島 理, 成田健一, 菅原広史, 谷本 潤, 実大スケール都市キャノピーの表面对流熱伝達率分布に関する観測, *日本建築学会環境系論文集*, **73** 511-518 (2008).
- [24] Inagaki, A., Kanda, M., Turbulent flow similarity over an array of cubes in near-neutrally stratified atmospheric flow, *J. Fluid Mech.*, **615** 101-120 (2008).
- [25] Wells, A. J., Worster, M. G., A geophysical-scale model of vertical natural convection boundary layers, *J. Fluid Mech.*, **609** 111-137 (2008).
- [26] 西原 崇, 江口 譲, 服部康男, (財) 電力中央研究所における大型水風洞設備の建造とその概要, *日本風工学会誌* **77** 23-28 (1998).
- [27] Kitamura, K. et al., Large eddy structure and heat transfer of turbulent natural convection along a vertical flat plate, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **28**-4 837-850 (1985).
- [28] Nakao, K. et al., Experiment on turbulent heat transfer at very high Rayleigh number building envelope, *10<sup>th</sup> Int. Conf. Urban Clim.* (2018).
- [29] 梶谷 剛, 辻 俊博, 小島芳史, 佐々木和敬, 水を作動流体とした自然対流境界層における乱流統計量の計測, *日本機械学会論文集 (B編)* **73-729** 1229-1235 (2007).
- [30] Fan, Y. et al., Natural convection flows along a 16-storey high-rise building, *Build. Env.*, **107**

- 215-225 (2016).  
[31] Fan, Y. et al., Diurnal variation of natural convective wall flows and the resulting air change rate in a homogeneous urban canopy layer, *Energy Build.*, **153** 201-208 (2017).
-

## 自動車内温熱環境の数値解析 Numerical Analysis of In-vehicle Environment

永野 秀明, 小野 太朗, 郡 逸平, 白鳥 英, 島野 健仁郎 (東京都市大学)  
Hideaki NAGANO, Taro ONO, Itsuhei KOHRI, Suguru SHIRATORI, Kenjiro SHIMANO (Tokyo City University)  
e-mail: hnagano@tcu.ac.jp

### 1. はじめに

近年では環境負荷低減を目的としてハイブリッド車 (Hybrid vehicle, HV) や電気自動車 (Electric vehicle, EV) の普及が推進されている。従来のガソリン車とは異なり, HV や EV には走行のための動力源としてバッテリーとモーターが搭載されており, 排出ガスの低減を図っている一方, バッテリーは車載の空調機器 (カーエアコン) の動力源も兼ねるため, カーエアコンを使用することで, 走行可能な航続距離が低下してしまうという問題がある。特に冬季にはその影響が著しく, 暖房使用時には航続距離が半分近くまで低下してしまう [1]。またガソリン車であっても, 近年ではエンジンの高効率化が進み, 従来よりも排熱が少なくなっている。そのため, 暖房の吹出空気温度を確保するためにエンジンを余計に回す必要があるような状況もある。そのような背景から, 車内環境の改善やカーエアコンの高効率化の必要性が高まっているのが現状である。

そこで本記事では, 筆者がこれまでに行ってきた解析事例を中心に, 車室内環境とカーエアコンの省エネ化に向けた取り組みを紹介する。

### 2. 冬季暖房時の熱負荷

図1に冬季暖房時の諸条件の一例を示す。車内を快適に保つためには空気温度を 25 °C程度で維持する必要がある。これは建築物の一般居室と比較するとやや高めの水準であるが, ボデーやガラスからの冷輻射を考慮すると, 目標値として現実的な値であろう。車内環境の温熱快適性は等価温度で評価することが一般的であり, その評価法は ISO14505 によって規定されている。等価温度とは, 評価対象の実環境下における人体が生じる放熱量と等しい放熱量を生じるような, 均一で静穏な環境 (=標準環境) の温度と定義される (図2)。これは, 周囲の温度が低いほど人体からの放熱量が多いことになり, 人体は寒く感じるという関係に基づいている。この冬季暖房時の例の場合, 空気

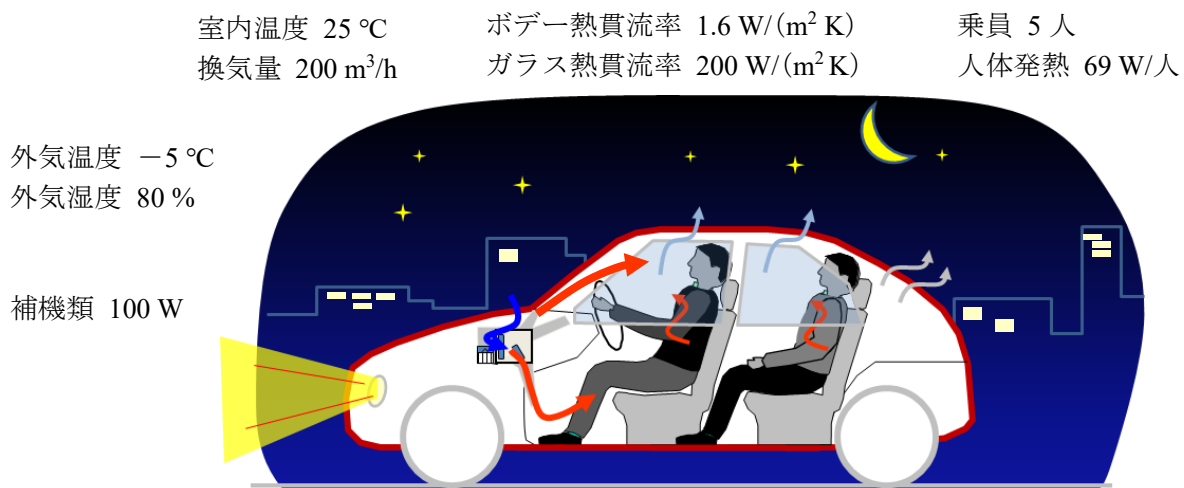


図1 冬季暖房時の諸条件の一例

温度が 25 °C であっても放射温度が 15 °C であれば、等価温度はおよそ 20 °C 程度となるだろう。図 3 にこの条件時の車両の主要なエネルギー負荷の内訳を示す[2]。車両が走行するために必要な動力以外にも、車内外の温度差によってボデーやガラスから逃げる熱や、換気によって低温外気を取り込むことで生じる換気負荷などがあることがわかる。図を見ると、換気負荷が最も大きな割合を占めており、2000 W にも達している。これはガラスの曇り防止のために、絶対湿度の低い外気を導入する必要があるためである。車内には乗員の呼気や不感蒸泄によって水蒸気が発生しており、さらに車外温度が低いためにガラスの車内側表面温度が低く、そのために結露すなわち曇りが生じてしまう。これを防ぐために湿度の低い外気を導入すると、この外気を昇温するために必要なエネルギーが多くなってしまふのである。なお、曇りが発生しない限りにおいては車内の空気を循環させる内気循環モードで動作させ、熱負荷を低減することは可能であるが、その場合には人体呼気によって車内の二酸化炭素濃度が危険域にまで上昇しないよう配慮が必要となる。

### 3. ガラスの断熱性向上による航続距離向上

建築物と比較すると自動車のボデーやガラスの断熱性能は低く、そのために熱貫流による熱負荷が占める割合も高い。しかし断熱性能を向上させることを企図すると、部材の厚み増加や断熱材の充填によって車両重量が増加してしまうため望ましくない。それを踏まえたうえで、ガラスの断熱性を向上させることを考えてみよう。断熱性を向上させることができれば、ガラスの内側表面温度を高く保つことができるため、乗員にとって放射環境が改善するのみならず、ガラス表面の曇りも発生しにくくなることになる。

まず、乗員の放射環境を考えてみる。図 4 に示す、乗員頭部から前方への形態係数を見ると、ガラス面の占める形態係数は合計でおよそ 0.3 近くになることがわかる。前述の等価温度の定義を踏まえると、人体の温冷感を改善するためには人体からの放熱量を抑制することが効果的であり、特に顔面は温感に敏感であるため、ガラス表面の温度を上昇させることによる放射場の改善は効果的であるといえよう。

次に曇りの抑制効果について考える。ガラスの表面温度上昇に伴い、曇りが発生する露点温度ギリギリまで外気導入量を削減したとすると、空調機が昇温しなければならない空気量を低減できるため、エネルギーを節約できる。簡便のため、窓ガラス内表面の相対湿度が 90 % を超えないように外気導入量を制御する（防曇制御）ことを考えてみる。その場合、必要な外気導入量は 180 m<sup>3</sup>/h となり、20 m<sup>3</sup>/h は内気循環で良いことになる。

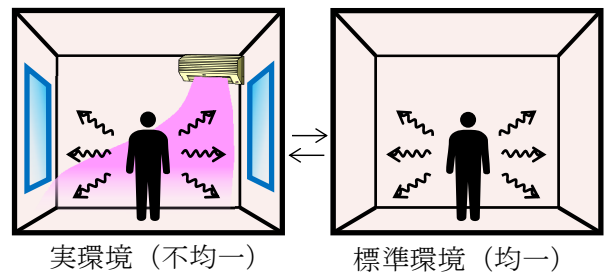


図 2 等価温度の概念

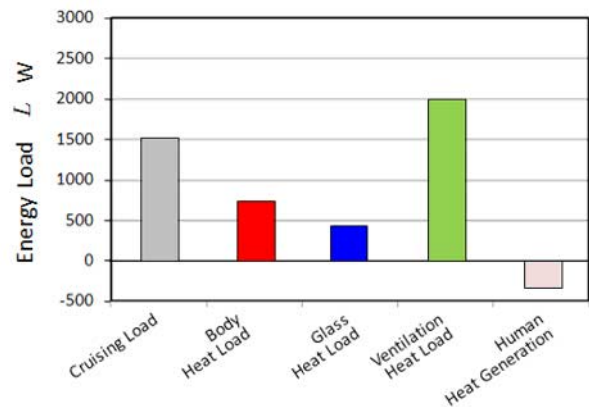


図 3 冬季暖房時の車両のエネルギー負荷

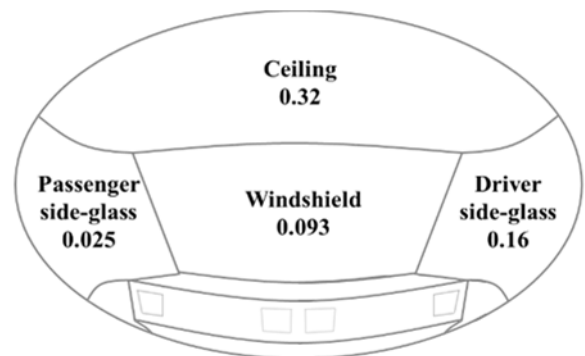


図 4 乗員頭部前方の形態係数

著者らは、公開されている自動車の諸元のみを用いて内部の動力伝達を推定し、航続距離を予測するモデルを開発した[2]。その結果、某社の電気

自動車の諸元において、仮にガラスの断熱性能を従来の10倍（熱通過率を従来比10%）にしたとしても航続距離は109 kmから115 kmとしかならず、わずか6 kmしか向上しなかった。これは前掲図3においてガラスからの熱の逃げが車両全体のエネルギー負荷に占める比率がさほど高くないことから理解できる。そこで、比率の高い換気負荷を削減するため、ガラスの断熱性能を向上すると同時に防曇制御を行った場合を試算すると、航続距離は130 kmとなり、21 km向上した。このことは、車両全体のエネルギー負荷に占める割合が高い換気負荷を減らすことが重要であり、ガラス断熱性能の向上と防曇制御とを組み合わせることが有効であることを示している。

#### 4. 曇り防止のための空調

走行開始時および走行中においてガラス面に曇りが発生した場合、走行視界を確保するためには迅速にその曇りを取り除く必要がある。この「除」曇性能は、走行安全性の観点から一定の性能が求められているため[3]、デフロスタからの吹出しに関する設計パラメータについては各社で吟味されている。一方、視界が確保された安定走行中における曇りの（再）発生を防ぎ、有効な視界を維持するための「防」曇性能を考えてみよう。すなわち、生じた曇りを迅速に晴らすために最大能力を費やすのではなく、走行中に曇りが生じないように維持するための最低限の空調条件として、現状の除曇性能を損なわないような形で実現する手法を模索する[4]。それにより、ガラスの断熱性向上が外気導入量の削減と両立させることで効果を発揮したように、カーエアコンの工夫によっても外気導入量を削減できる可能性がある。

とはいえ、既存車両では除曇性能を満足するために吹出口のダクト形状や風速分布の最適化などの工夫が為されているため、検討の余地は多くない。そこで、車室内全体の流れ場を考える。曇りを発生させる要因は人体からの水蒸気発生であるため、重要となるのは発生した水蒸気をいかに迅速かつ混合させずに排気させるかである。そこで、従来の排気口位置A, Bに加え、実現可能性はさておき、位置CおよびD（図5）に排気口を設置した場合の流体解析を行った。

対象車両は、インパネ上面にデフロスタ吹出口、インパネ中央部にベント（フェイス）吹出口、前

席足元にフット吹出口を持つ。今回はデフロスタ吹出しとフット吹出しのみを使用し、その流量比は7:3とした。また人体の口相当の箇所から発生させる水蒸気はパンプスカラーとした。

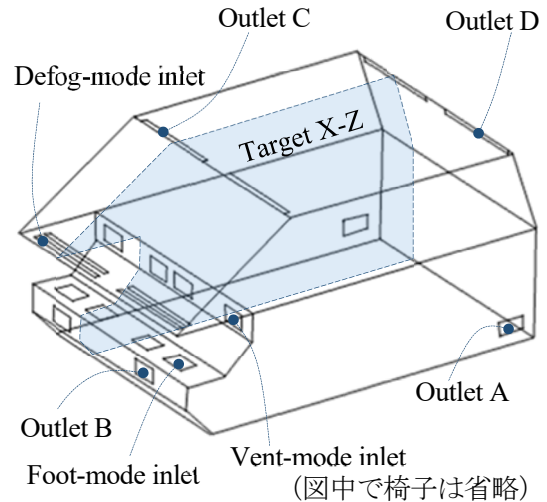


図5 対象モデルと排気口位置

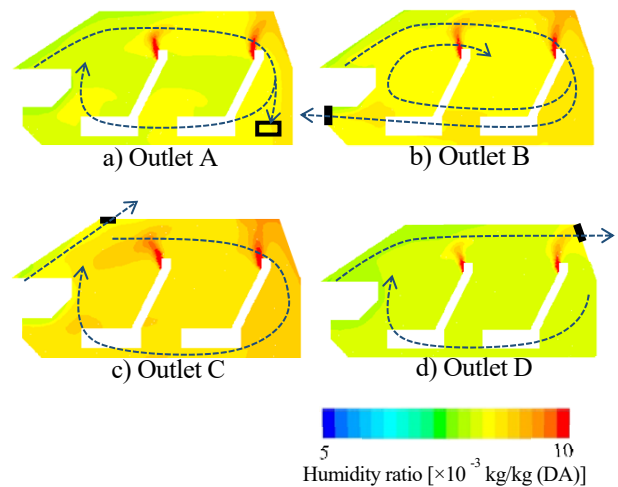


図6 絶対湿度分布

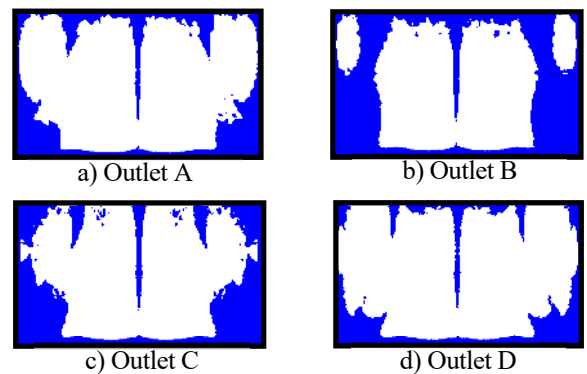


図7 曇り分布

図6に、車室内の絶対湿度の分布を示す。また図中の矢印は流線から読み取った全体の流れ場を表す。排気口が位置AやDの場合、車内の空気はあまり混合せず後方から排気されているのに対し、排気口BやCの場合には室内に水蒸気が留まってしまっている。図7に、フロントガラス内側表面における曇り分布を示す。排気口Dの場合に曇り面積が小さくなっていることがわかる。これは人体から発生した呼気が浮力によって上昇し、流れによって後方に輸送された後に効率的に排気されているためだと考えられる。

このように、曇りの発生防止を考える場合には、フロントガラス近傍の流れ場を考えるだけでなく、車内全体の流れ場において水蒸気をいかに迅速に排気するかを考えることが効果的であり、そのことが外気導入量を削減することにつながるといえる。

### 5. ドアの開閉に伴う空気交換

自動車に乗り降りする際にはドアを開け閉めするため、車内外の空気の交換が起こる。開け閉めが頻繁であるほど、せっかく暖めた車内空気が逃げてしまうため、カーエアコンへの負荷も大きくなる。特に住宅地域の宅配業に用いられるトラックの場合には乗降頻度も高いため、その影響が無視できない可能性がある。そこで、ドア開閉を再現した非定常解析を行い、車内外の空気の流入出を解析した事例を紹介する[5]。

非定常解析の初期条件は、暖房を使用していた状態を想定し車室内気温 25 °C、外気温は冬季の夜を想定し-5 °Cとした。ドアが開いてから閉じるまでの時間を 6 s、最大開閉角度 57°、開閉速度 1 rad/s を基準とした。対象モデルを図8に示す。ドアの移動は構造格子の移動変形メッシュで再現し、クーラン数が 0.1 程度になるようにタイムステップを 0.001 s に設定した。

計算時間にわたる車室内の空気温度の時間変化を図9に示す。車室内平均気温はほぼ一定のペースで低下しているのに対し、足元付近の空気温度は 2 s 経過あたりで急激に低下し、3 s 経過後には 0 °C に達していた。一方で頭部近傍の気温はほぼ低下することなく推移していた。図10に 2.5 s 経過時点に流入出する温度の等値マップを示す。足元から屋外の冷気が流入すると同時に、上方へ暖

気が逃げていることがわかる。

追加検討として、浮力項を考慮しない解析を行った。基準とする浮力ありの解析(図11(a))の流出熱量 68 kJ を 100 % とすると、浮力を考慮しない解析(図11(b))では 26 kJ であり、39 % まで流出熱量が減った。このことから、浮力が流出熱量に与える影響は 6 割程度であることがわかった。

このように、冬季は車内外の温度差が大きいため、ドア開閉時のわずかな時間であっても車内外の空気の交換が生じ、その影響は大きいといえる。

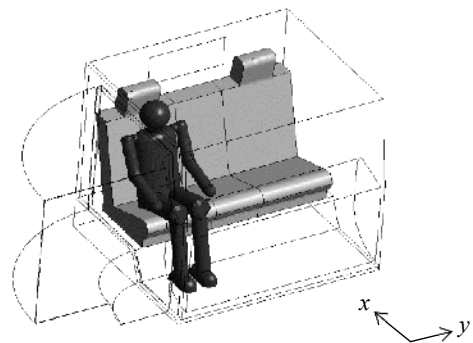


図8 トラックキャビンモデル

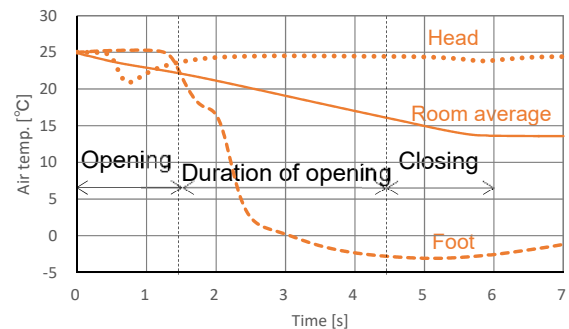


図9 空気温度の時間変化

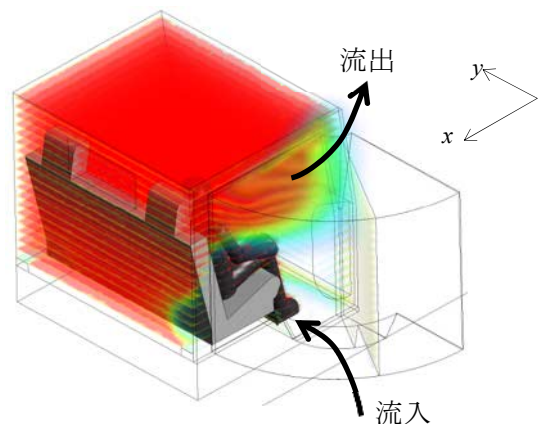


図10 車内外の空気交換の様子

## 6. まとめ

図 12 に、冬季暖房時の車室内解析の一例を示す [6]。これは外気 4℃、吹出空気温度 50℃、風量 240 m<sup>3</sup>/h の際の車室内表面温度分布であるが、車室内の温度差が著しいことがわかる。ガラス面の表面温度は 10℃以下と低く、空気温度と差があることに加え、車内は鉛直方向にも前後方向にも 10℃以上の温度差を生じている。一般に、温熱環境は均一であるほうが望ましいとされるが、自動車室内は均一からは程遠いのが現状である。そのような環境を少しでも改善するため、産学で研究開発が進められている。本記事では紹介しなかったが、最近では座席を暖めるシートヒーターの普及が進んでいる。また、シートのヘッドレスト部から温風を吹き出す技術やステアリングを加熱するステアリングヒーターも開発されている。

近年、制御分野では自動運転の実現に向けた取り組みが進められているが、乗員が完全に運転から開放されたのなら、乗員は車両前方を向く必然性がなくなるうえに、視界確保のためのガラス面も不要となるかもしれない。そのとき、カーエアコンの在り方も従来とは大きく異なってくるだろう。

### 参考文献

- [1] 自動車技術会編，自動車技術ハンドブック 設計 (EV・ハイブリッド) 編 <第 7 分冊>，(2016) 303.
- [2] 尾関義一 他，ガラス及びボデーの伝熱特性が EV の電費・航続距離に与える影響，Res. Reports Asahi Glass Co., Ltd., **65** (2014).
- [3] 栗林正巳，デフロスタの現状と規格・法規動向，自動車技術，**48** (2)，(1994) 88-90.
- [4] Nagano, H., et al., Analysis of Defogging Pattern on Windshield and Ventilation Load Reduction based on Humidity Distribution Control, SAE Technical Paper 2016-01-0256, (2016).
- [5] Nagano, H., et al., Effect of Air Exchange due to

Door Opening on the Transient Thermal Environment in a Vehicle, Journal of the Human-Environment System, **19** (1), (2016) 023-030.

- [6] 小野太朗 他，冬季暖房最適化に向けた防曇性能・快適性・省エネ性の検討 (第 1 報)，2018 年春季大会 学術講演会 講演予稿集，**14** (18)，(2018).

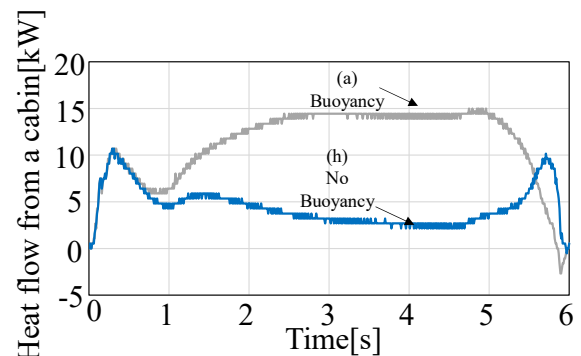


図 11 車外へ流出する熱量の推移

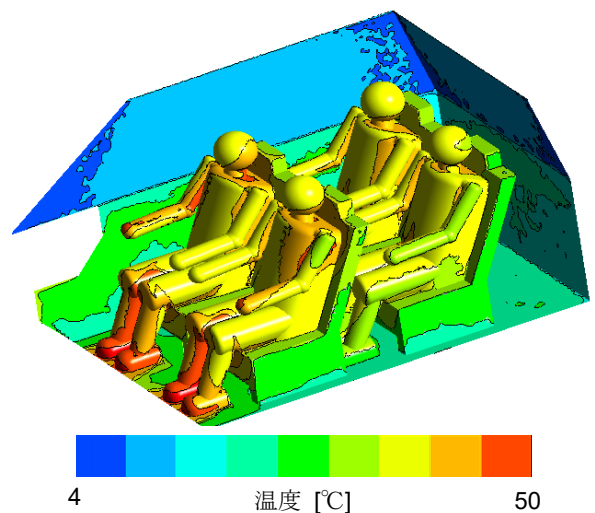


図 12 冬季暖房時の車室内表面温度分布

## 商店におけるドア開けっ放し営業による店内温熱環境

*Thermal Environment and Energy Loss through Door Open while Air Conditioner Running in Commercial Store*

李 時桓 (信州大学)

Sihwan LEE (Shinshu University)

e-mail: shany@shinshu-u.ac.jp

### 1. はじめに

一般商店、百貨店、コンビニエンスストア、ドラッグストアなどの商業施設は入店顧客を増やすため、店内空調を行っていることにも関わらず、ドアを開けっ放しで営業を行う（開門冷房、それとも開門暖房）ことが多い。特に都心部の繁華街にはドアさえない店舗（シャッター式）も多く、省エネ社会の実現に逆行することとなっている。ドアを開放状態で空調を行うと室内外温度差によって発生する漏気（図1参照）による冷暖房負荷が増加すると共に、室内冷暖房装置の効率が下がる原因となる。建築的にアーケード、風除室、回転・自動ドア、エアカーテン等の設置による対策が考えられるが、それらの改善効果を検討するためには事前に開口部における熱損失特性を把握しておく必要がある。

そこで本稿では開門冷房による熱損失特性を把握することを目的とし、ドアなどの単一開口から流出・流入される換気量の定常状態計算法を纏めた上、非定常数値解析を用いて時々刻々変化する換気量の経時的変化を定量的に評価する。また、開門冷房を行っている店舗を対象とし、夏期において店内温度、漏気量などの現場測定を行った結果を報告する。

### 2. 単一開口における換気量計算法

単一開口における自然対流は図2(a)に示すように冬期の場合、下部から冷たい外気が室内に流入し、上部から暖かい室内空気が外部へ流出され、熱損失を発生させる。単一開口における自然対流はEmswiler [1]により異なる密度を持つ流体からの自然対流の基本原則と中性帯の原理が提案された以来、様々な研究が行っている。1962年、Brown [2]は単一開口における自然対流による換気量の計算に理想気体を基とし、下記の式(1)を提案した。

$$Q = \frac{C_d}{3} A \sqrt{\frac{gH\Delta T}{T}} \quad (1)$$

ここで、 $Q$  [m<sup>3</sup>/s]は換気量、 $C_d$  [-]は流量係数、 $A$  [m<sup>2</sup>]は開口部面積、 $g$  [m/s<sup>2</sup>]は重力加速度、 $H$  [m]は開口部の高さ、 $T$  [°C]は流体温度である。

その後、流体の粘性と熱の効果を考慮した数多くの実験、数値的研究が行われ、定常状態での換気量計算法が改善されている。Brown [3]は室内外圧力が同一で、中性帯が開口部の中央に位置されると仮定した下記の式(2)の数学モデルを提案した。

$$Q = 0.343A(gH)^{0.5} \left[ \frac{\rho_i \rho_o}{\rho_{avg}} \right]^{0.5} \left[ 1 - 0.498 \left( \frac{b}{H} \right) \right] \quad (2)$$

ここで、 $b$  [m]は開口部の幅である。また、下付き文字  $i$  は室内、 $o$  は室外、 $avg$  は平均を意味する。

Tamm [4]は中性帯の高さを再計算し、式(2)のを改善した下記の式(3)の数学モデルを提案した。

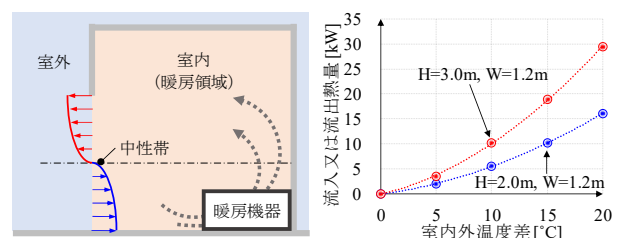
$$Q = 0.333A(gH)^{0.5} \left[ \frac{\rho_i \rho_o}{\rho_i} \right]^{0.5} \left[ \frac{2}{1 + (\rho_o/\rho_i)^{0.333}} \right]^{1.5} \quad (3)$$



(a) 可視画像

(b) 熱画像

図1 ドア開けっ放し営業による室内外温度差



(a) 開口における自然対流

(b) 損失熱量

図2 開口における自然対流と熱損失



Fritzsche と Lilienblum [5]はベイン風速計 (vane anemometer) を用いた実測により, 式(4)に示す補正係数  $K_{f,L}$  を追加し, Tamm が提案したモデルを改善した.

$$Q = 0.333K_{f,L}A(gH)^{0.5} \left[ \frac{\rho_i \rho_o}{\rho_i} \right]^{0.5} \left[ \frac{2}{1+(\rho_o/\rho_i)^{0.333}} \right]^{1.5} \quad (4)$$

$$K_{f,L} = 0.48 + 0.004(T_o - T_i) \quad (5)$$

Gosney と Olama [6]は質量流量に関する係数を使ってモデルの係数を改良した.

$$Q = 0.221K_{f,L}A(gH)^{0.5} \left[ \frac{\rho_i \rho_o}{\rho_i} \right]^{0.5} \left[ \frac{2}{1+(\rho_o/\rho_i)^{0.333}} \right]^{1.5} \quad (6)$$

Pham と Oliver [7]は換気量に修正係数を考慮することで式 (7) に示すモデルを提案した.

$$Q = 0.226 A(gH)^{0.5} \left[ \frac{\rho_i \rho_o}{\rho_i} \right]^{0.5} \left[ \frac{2}{1+(\rho_o/\rho_i)^{0.333}} \right]^{0.5} \quad (7)$$

以上のことより, 自然対流により発生する換気量は室内外温度差, 開口部の高さと幅により変化し, Pham と Oliver が提案した式(7)のモデルで単一開口の換気量を計算すると, 開口からの熱損失は図 2(b) となる. これは室内外温度差が  $10^\circ\text{C}$  の場合, 高さ  $3.0\text{ m}$ , 幅  $1.2\text{ m}$  の開口における損失熱量は約  $10\text{ kW}$  となることを意味する.

### 3. 非定常解析による単一開口からの換気量変化

室内の流体挙動は時々刻々変化するため, 2章の定常状態で換気量計算法は計算誤差が発生する恐れがある. 本章では非定常数値解析により, 室内外温度差によって発生する熱損失がどのように変化するか, 定常状態換気量計算法とどの程度誤差があるのか定量的に検討する.

#### 3.1 検討概要

図 3 に検討対象の数値解析モデル, 表 1 に数値境界条件と検討ケースを示す. 数値解析モデルは  $2.5(x) \times 2.5(y) \times 2.5(z)\text{ m}$  の室内空間と  $10.0(x) \times 10.0(y) \times 10.0(z)\text{ m}$  の室外空間で構成され,  $2.1(y) \times 0.8(z)\text{ m}$  の開口部から流出される流出流量を計算する. 室内での解析格子は  $125,000$  個, 室外は  $480,000$  個であり,

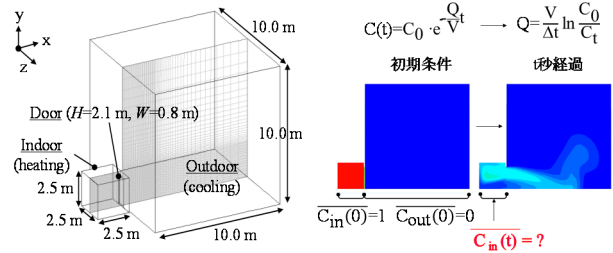
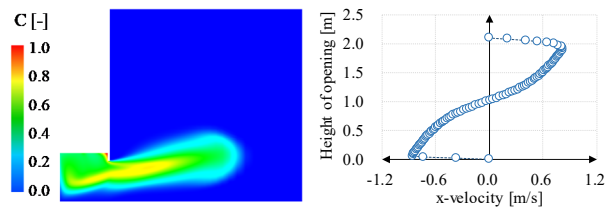


図 3 検討対象モデル

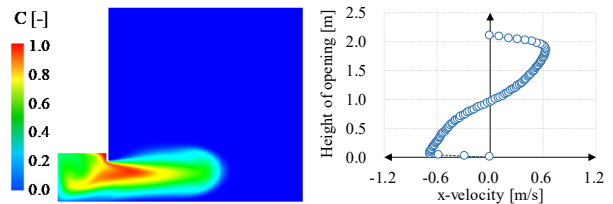
図 4 濃度減衰法

表 1 数値境界条件

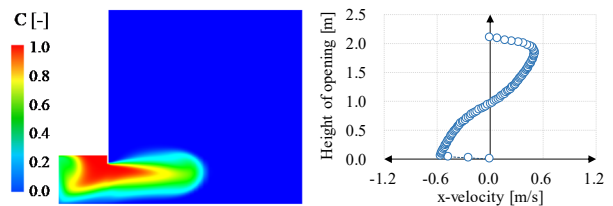
項目	条件
解析モデル	室内: $2.5(x) \times 2.5(y) \times 2.5(z)\text{ m}$ 室外: $10.0(x) \times 10.0(y) \times 10.0(z)\text{ m}$
解析格子	室内: $50(x) \times 50(y) \times 50(z)\text{ ea}$ 室外: $80(x) \times 75(y) \times 80(z)\text{ ea}$
乱流モデル	Standard $k-\epsilon$ turbulence model
時間	非定常100秒間 (Courant number < 1)
浮力	Boussinesq approximation
分子拡散	$1.6 \times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$
温度条件	室内: $20^\circ\text{C}$ , 室外: $0, 5, 10, 15^\circ\text{C}$
乱流強度	乱流強度: 2%, Length scale: $0.07 \cdot b\text{ m}$



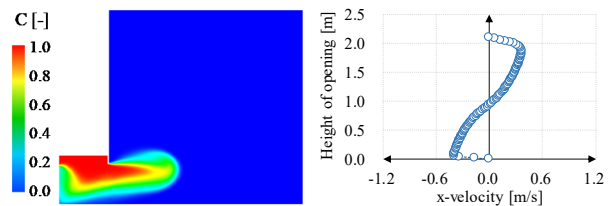
(d) CFD 解析結果 ( $\Delta T=20^\circ\text{C}$ ,  $t=20\text{ sec}$ )



(d) CFD 解析結果 ( $\Delta T=15^\circ\text{C}$ ,  $t=20\text{ sec}$ )



(d) CFD 解析結果 ( $\Delta T=10^\circ\text{C}$ ,  $t=20\text{ sec}$ )



(d) CFD 解析結果 ( $\Delta T=5^\circ\text{C}$ ,  $t=20\text{ sec}$ )

図 5 濃度分布とドア部における風速プロファイル

計 605,000 個を使用する。乱流モデルは高レイノルズ数形  $k-\epsilon$  モデル，浮力はブシネスク近似 (Boussinesq approximation) を適用する。解析時間については非定常数値解析を基に，開口部が開いた状態で 100 秒間の換気量変化を計算する。換気量の計算には室内初期濃度を 1 とし，濃度減衰法 (式(8)，図 4 参照) で計算し，その結果を Pham と Oliver が提案した定常状態計算法と比較する。検討ケースとしては室内温度を 20 °C に固定した上，室内温度差が 5, 10, 15, 20 °C となる計 4 ケースの検討を行う。

$$Q = \frac{V}{t} \ln \left( \frac{C_0}{C_t} \right) \quad (8)$$

ここで， $t$  [s] は経過時間， $V$  [m<sup>3</sup>] は室内体積， $C_0$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] は初期室内濃度， $C_t$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] は  $t$  秒後の室内濃度である。

### 3.2 検討結果

図 5 に室内外温度差による濃度分布 (20 秒後) とドア垂直中心線における速度プロファイルを示す。結果によるとドア部における流入と流出は中性帯で分離され，その高さはおよそ 0.9 から 1.1 m と計算された。また，室内外温度差が大きくなると室内濃度は急速に室外へ漏洩し，ドア垂直中心線における最大速度も増加された。

図 6 に室内外温度差による換気量の検討結果を示す。室内外温度差が 20 °C の場合 (図 6(a)) に注目して見ると，換気量は初期状態から約 2~3 秒間急激に増加し，約 16~17 秒まで上昇する。その後，急激に減衰された上，約 20 秒から定常状態換気量計算法の結果に従う。これは室内外の初期乱れ特性により違いが生じるが，外部から流入された気流により室内流動が定常状態になるまで急激な熱損失を起ることを意味する。室内外の温度差が小さくなるとその傾向は弱くなるが，単一開口からの熱損失は初期状態に大きく増加し，その後一定に維持されることが分かる。

図 7 に定常状態計算法と非定常計算の整合性を確認した結果を示す。定常状態での換気量計算値と 100 秒間の非定常数値解析で計算された換気量は誤差が少ないことが分かる。以上のことより，時々刻々変動する気流特性，換気量の変化を検討する時には非定常数値解析が適当であるし，年間熱負荷計算など長時間に渡る検討では定常計算法でも大きな違いは見られないと考えられる。

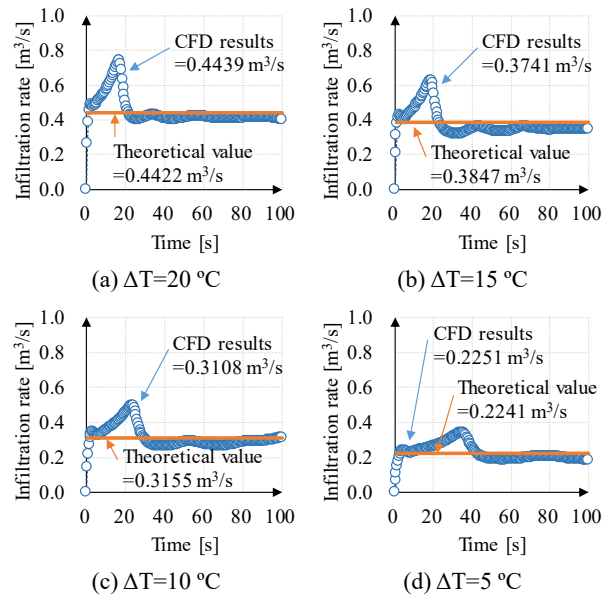


図 6 非定常解析による単一開口からの換気量

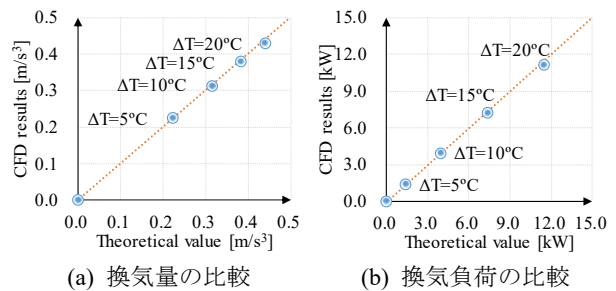


図 7 定常計算法と非定常計算の整合性

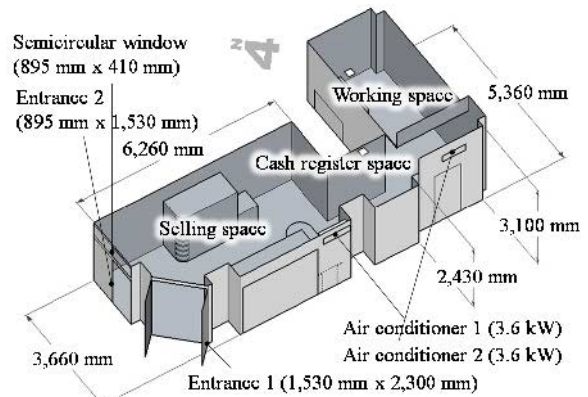


図 8 検討対象である店舗の 3 次元モデル



(a) 店舗入口 (b) 室内

図 9 実測全景

#### 4. 実測による熱損失特性と温熱環境

本章では開門冷房を行っている店舗を対象とし、夏期において店内温度、漏気量、電力消費量などの現場実測を行った結果を報告する。

##### 4.1 実測概要

検討対象とした店舗は長野県長野市南千歳 1-19-2, 1F に位置した花屋であり、図 8 に店舗の 3 次元モデル、図 9 に店内外の写真を示す。店舗は床面積 36.3 m<sup>2</sup>、容積 89.6 m<sup>3</sup>（実際容積：55.0 m<sup>3</sup>（家具、設備機器など除く））のものであり、販売スペース（selling space）とレジ（cash register space）、作業スペース（working space）に区分されて 1 室となっている。販売スペースでの開口部は 2 ヶ所であり、西側にはメイン入口（3.52 m<sup>2</sup>）、北西側にはサブ入口（1.37 m<sup>2</sup>）と欄間（0.37 m<sup>2</sup>）である。

開門冷房による熱損失特性を把握するため、表 2 に検討条件を示す。開門冷房と閉門冷房にそれぞれ分け、2018 年 7 月 18 日、19 日の両日間、店舗の営業時間である 10:00～19:00 に実測を行った。店内の冷房は冷房能力 3.6kW（定格消費電力：0.74kW）の壁かけエアコン 2 台で行い、設定温度として 26℃とした。実測項目は一定濃度法による漏気量、室内外温湿度、外皮表面温度、電力消費量の計測である。

##### 4.2 実測結果

図 10 に店舗のドア周りの熱画像を示す。開門冷房の場合、店内の壁表面温度と店舗の外壁温度の温度差が高くなり、開門冷房を行うことで熱損失が高くなるのが定性的に分かる。

図 11 に店内外温度の時系列変化を示す。両ケースとも店内温度が設定温度である 26℃には達していないが、開門冷房は閉門冷房と比べ店内の温度が高くなっていることが分かる。また、図 12 に 11:00、13:00、15:00、17:00 における店内温度分布を示す。開門冷房では販売スペースが約 33～35℃の温度で維持される反面、閉門冷房では約 28～30℃の温度で維持されることが分かる。これは漏気量の増加に伴い、店内の温熱環境が悪化されるのがその原因であると考えられる。

図 13 に一定濃度法で計測した漏気量の実測結果を示す。閉門冷房での漏気量は約 66.5 m<sup>3</sup>/h、開門冷房での漏気量は約 1414.6 m<sup>3</sup>/h と測定され、開門冷房は閉門冷房と比べ約 21.3 倍の漏気量増加が見ら

表 2 実測条件

項目	内容
検討条件	開門冷房（10:00～19:00, 18. July 2018） 閉門冷房（10:00～19:00, 19. July 2018）
冷房	壁掛けエアコン（冷房能力 3.6kW x 2 台） 室内設定温度：26℃
測定項目	SF <sub>6</sub> 濃度、熱画像、温度、湿度

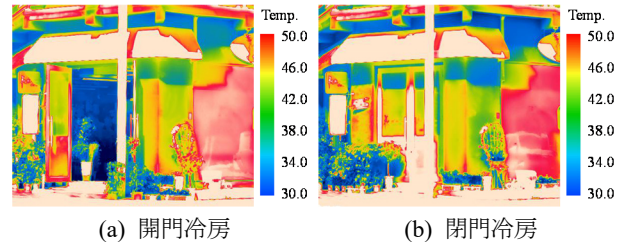


図 10 熱画像による表面温度分布（時刻：15:00）

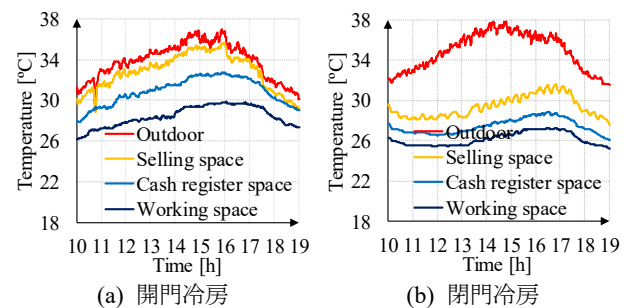


図 11 店内外温度の時系列変化

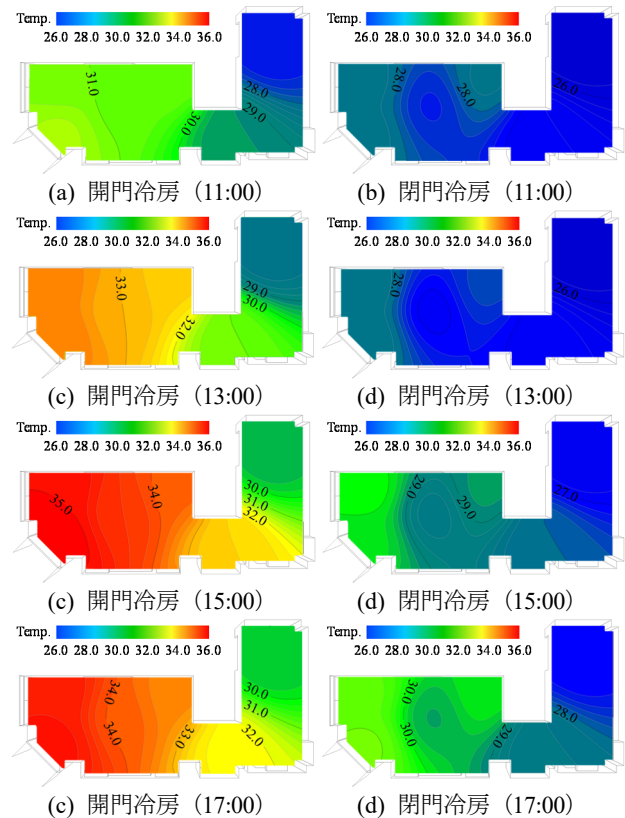


図 12 室内温度分布

れた。ここで示した閉門冷房での漏気量は隙間による自然漏気量であり、換気回数として1.2回/hであることを意味する。また、計測された開門冷房での漏気量を定常換気量計算法(式(7))を用いて計算と比較した結果を図14に示す。定常計算法で計算される換気量は自然対流のみ検討であり、外部からの風圧変動による影響は反映されないため、実測値と比べて小さい結果となる。平均値で比べると計算値は1148.2 m<sup>3</sup>/hであり、実測値の81.1%であった。

図15に各ケースによる消費電力を示す。両ケースとも消費電力の違いは見られなかった。この原因は室内空調機の冷房能力が足りなく、両ケースとも最大運転になっていることである。しかし店内の温熱環境を保つために冷房能力が十分である空調機が稼働されると消費電力の違いは大きくなると予想される。

### 5. おわりに

本研究では、開門冷房による熱損失特性を把握することを目的とし、ドアなどの単一開口から流出・流入される換気量の定常状態計算法を纏めた上、非定常数値解析を用いて時々刻々変化する換気量の経時変化を定量的に評価した。また、開門冷房を行っている店舗を対象とし、夏期において店内温度、漏気量などの現場測定を行い、以下の知見を得た。

- (1) 単一開口から流出・流入される換気量の定常状態計算法は実測と、数学モデルのより改善され、開口部を持つ様々な建築物の熱損失計算に活用可能性が高いと考える。
- (2) 単一開口から流出・流入される熱損失について非定常状態検討を行った結果、ドアを開けた初期状態に大きく増加し、その後一定に維持されることが分かった。また、非定常数値解析で計算された換気量は定常状態での換気量計算との誤差が少なく、時々刻々変動する気流特性、換気量の変化を検討する時には非定常数値解析、年間熱負荷計算などでは定常計算法が適当であると考えられる。
- (3) 実測対象とした建物に対して現場実測を行った結果、開門冷房は閉門冷房と比べ約21.3倍の漏気量増加が見られた。
- (4) 実測では開門冷房での電力消費量の増加は見られなかったが室内温熱環境が悪くなった。設定温度を維持させる空調機の設置により室内温熱環境は改善されるが、消費電力が増加される原因になると考えられる。

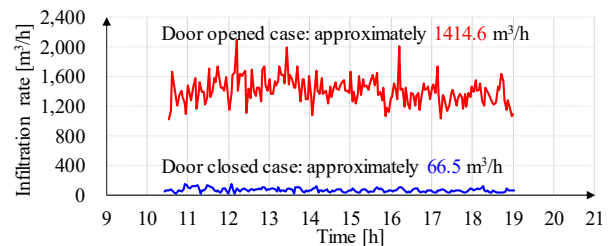


図13 一定濃度法による換気量の実測結果

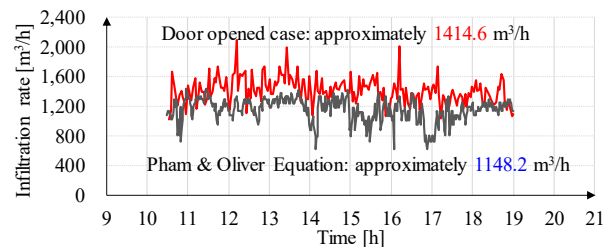


図14 実測結果と定常計算法での比較

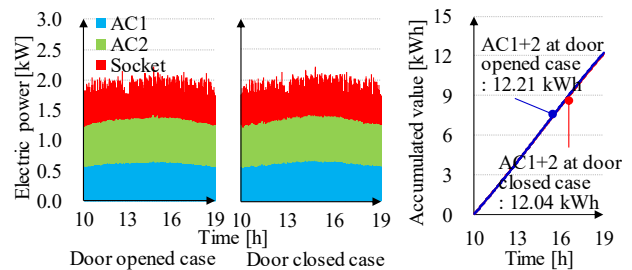


図15 電力消費量

以上のことより、商業施設が入店顧客を増やすために行なうドア開けっ放し営業は店内の温熱環境を悪化させることが分かる。建築設備設計の観点からは室内熱負荷に対応する空調機を設計するべきであるが、ドア開けっ放し営業で発生する漏気負荷を考えるべきであるのかはイニシャルコストとランニングコスト、更に省エネの観点から論議が必要であると考えられる。

今後、様々な商業施設のドア開閉状況を調べた上、その対策として導入されるアーケード、風除室、回転・自動ドア、エアカーテン等の効果についても定量的に評価し、省エネ設計・評価のための熱遮断効率、温熱環境改善効率に関して纏めたい。

### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(17K14770, 代表：李時桓)の助成を受けたものである。また、本研究の第4章の現場実測では有限会社アート・スペース・花ボケーOZIZI代表取締役の返町とも子様の実測スペースを提供して戴き、有益な研究成果が得られた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Emswiler J. E., The Neutral Zone in Ventilation, ASHRAE Transactions 32, **1-16** (1926).
- [2] Brown, W. G. and Solvason, K. R., Natural convection through rectangular opening in partitions - 1 Vertical partitions, International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 5, **859-868** (1962).
- [3] W. G. Brown, A. G. Wilson and K. R. Solvason, Heat and moisture flow through openings by convection, Journal of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 5, **49-54** (1963).
- [4] Tamm W., Kalterverluste durch kuhlraumoffnungen, Kaltetechnik-Klimatisierung 18, **142-144** (1996).
- [5] Fritzsche C. and Lilienblum W., Neue messungen zur bestimmung der kalterluste an kuhlraumturen, Kaltetechnik-Klimatisierung 20, **279-286** (1968).
- [6] Gosney W.B. and Olama H.A.L., Heat and enthalpy gains through cold room doorways, Proc. Inst. of Refrig 72, **31-41** (1975).
- [7] Pham Q.T., and Oliver D.W., Infiltration of air into cold stores. Proc. 16th Int. Cons. Refrig. 4, **67-72** (1983).
-

## 建築物の低炭素化技術と伝熱

*Low-carbon Technology of Buildings and Heat Transfer*

田中 英紀 (名古屋大学)  
 Hideki TANAKA (Nagoya University)  
 e-mail: tanaka@nagoya-u.jp

### 1. はじめに

2020年以降の地球温暖化対策の国際枠組みである「パリ協定」の採択を受け、超低炭素社会の構築に向けた取り組みが世界的に活発化している。また、わが国では東日本大震災が大きな契機となって、節電と省エネルギー、災害時のエネルギー確保を含む、事業・生活持続性の重要性が一層強く認識されるものとなった。

これまで建築物の環境配慮に対する取り組みは、グリーンビルや環境共生建築、自立循環型建築、サステナブル建築など、時代を経て遷移し、近年は建物のネット・ゼロ・エネルギー化 (ZEH/ZEB)、カーボン・マイナス化、再生可能エネルギー利用と災害対策を絡めたスマート・エネルギー化へとその目的が移行している。これらは、建物を計画する際の具体的な数値目標や有事の際の備えに関する考え方を示しているが、この根幹には建築物における省エネルギー化の追求がある。

さらに近年は、米国の WELL Building Standard (WELL 認証) や国内の CASBEE-ウェルネスオフィスに見られるように、建物における健康増進に資する環境整備、知的生産性の向上など品質向上に対する格付け評価の取り組みが活発化している。これらの達成には、建物あるいは建築設備を取り巻く気象・伝熱が大きく関係している。

ここでは、筆者が設計・検証に携わった事例を紹介しながら、今後の建築物における伝熱の重要性について考えてみたい。

### 2. 「松河戸の家」の取り組み

#### 2.1 環境設備計画の概要

「松河戸の家」(図1)は、愛知県に建ち4人家族の住む、延べ床面積140㎡の木造2階建て住宅である。この住宅では、建物形状やプランの工夫、或いは建物の構造体や建材と建築設備を連携させて「季節順応する住宅」の具現化を目指し、次の



図1 「松河戸の家」の外観

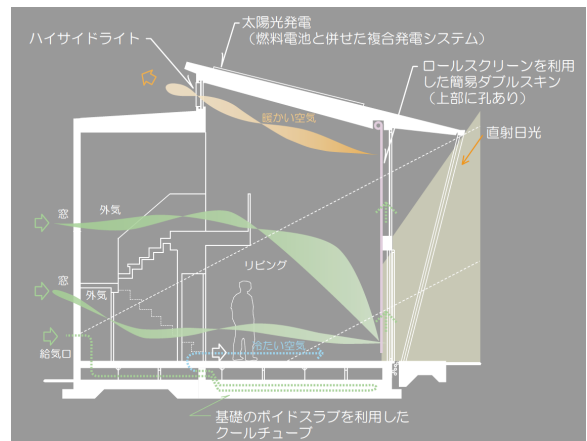


図2 「松河戸の家」の断面コンセプト

5つの特筆すべき項目に取り組んでいる[1][2].

- 1) 環境工学的な合理性を持った外皮デザイン
  - 2) ロールスクリーンを活用した自然排熱換気
  - 3) ボイドスラブ基礎を利用した換気システム
  - 4) 屋根一体型のパネル裏面通気式太陽光発電
  - 5) 太陽電池・燃料電池による複合発電システム
- 建物の断熱性は、IV地域の次世代省エネ基準を満たし、ボイドスラブに外気導入するため、基礎断熱と床下断熱の二重断熱構造を採用している。
- 屋根は、太陽光発電パネル設置のために適切に傾け、南面に大きな軒庇を形成するとともに、サイドフィンを立てて夏の日射遮蔽をする。また、

この大庇とサイドフィン、夏季の季節風を集めるウインドキャッチャーとしても機能し、風力換気を促進する。さらに、北面上部に連窓ハイサイドライトを設け、大きな自然採光を得ながら、これを必要に応じて開閉して温度差による自然換気を促進している。冬季は、南面の大きな窓からの入射日射を暖房に利用する（ダイレクトゲイン）。

これらの配慮等により、一般世帯の一次エネルギー消費量(83.1GJ)に比べ71%削減の実績を誇る。

## 2.2 住宅の簡易式ダブルスキン

「松河戸の家」では、大きな南窓面から侵入する日射を、夏季は約2mの軒庇で遮蔽するが、太陽高度が低くなる春季・秋季は、高断熱住宅で生じる室内のオーバーヒート対策として、ハイサイド窓を開放して、室内空気上下温度差と風力を利用した自然換気を行っている（図2）。

吹き抜けリビングの大きな南窓面は、複層ガラスとロールスクリーンによる簡易ダブルスキン構造とし、スクリーン上部には空気流通口（36穴：0.22 m<sup>2</sup>）を設けて、日射遮蔽時に窓開け換気の促進と入射日射熱の排熱を自然換気によって行う機能を持たせている（図3）。ロールスクリーンに当たった日射は、スクリーン表裏の空気を暖めて上昇気流を生み、この空気が開放したハイサイドライトを介して速やかに排熱される。同時にこの排気が北低所窓からの外気流入を促し、自然換気が促進され室内居住域の気温が快適に保たれる。

秋季・晴天日（11月2日）に、ロールスクリーンを降ろして窓を全閉とした場合と、北面窓とハイサイド窓を開け排熱換気を行った場合のリビング吹き抜け空間の断面温度分布の実測値を示す（図4）。窓全閉条件では、居住域空間の気温が約30℃に達しているが、排熱換気を行うことで26℃程度に低下する。窓ガラスとスクリーン間の通風量は、窓全閉時：262m<sup>3</sup>/h、排熱換気時：523m<sup>3</sup>/hと倍増しており、ダブルスキン構造が排熱換気の駆動力として有効に作用したことを裏付けている。

ダブルスキン構造による熱負荷低減や室内環境改善は、一般には業務用ビルで用いられる手法であるが、これを住宅の汎用モデルとして提案している点に意義がある。数値解析モデル化においては、入射する直達日射に対し、ガラスと日よけ間の相互反射を考慮して総合透過率、総合吸収率を



図3 穴あきロールスクリーンと北面の窓位置

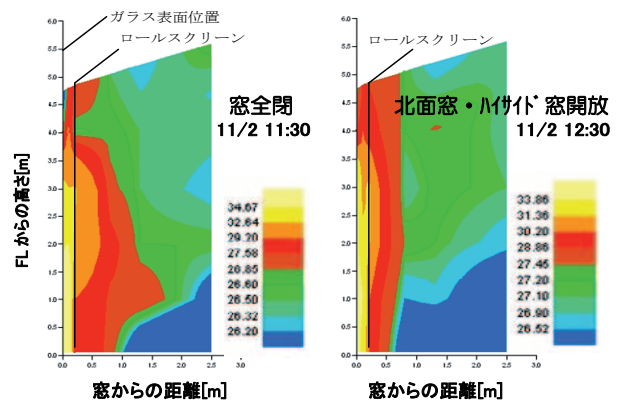


図4 リビング垂直温度分布（スクリーン高さ約5m）

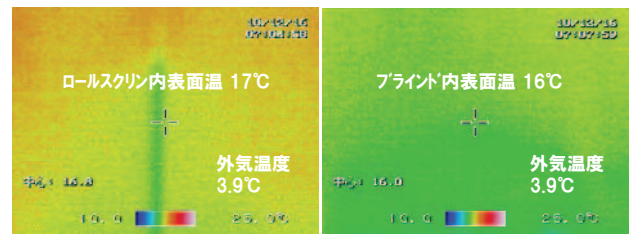


図5 南面開口部の三重構造と冬期表面温度

求める必要がある。ダブルスキンの熱収支に関する数値解析モデル化については、筆者らが業務用ビルに対して検討した事例等がある[3]。

また、リビング南窓面下部は、ガラス窓・ブラインド・ロールスクリーンの三重構造となっており、窓面の断熱性が向上するため、冬期の窓面コールドドラフト抑止や窓面放射の緩和、冷暖房効率の向上に効果を発揮する。冬期の実測では、外気温度 3.9℃において金属製ブラインドのみを降した場合の開口面放射温度 16℃以下に対し、スクリーンを更に降ろすことで 17℃以上に緩和され、室内居住者への放射冷却を緩和している。

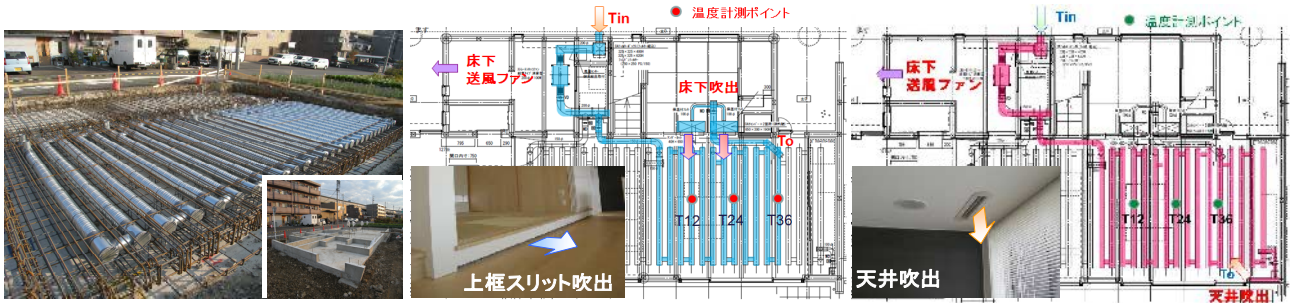


図6 ボイドスラブ基礎の外観（左）とボイド内通風ルートおよび吹出位置（夏季:中央，冬季:右）

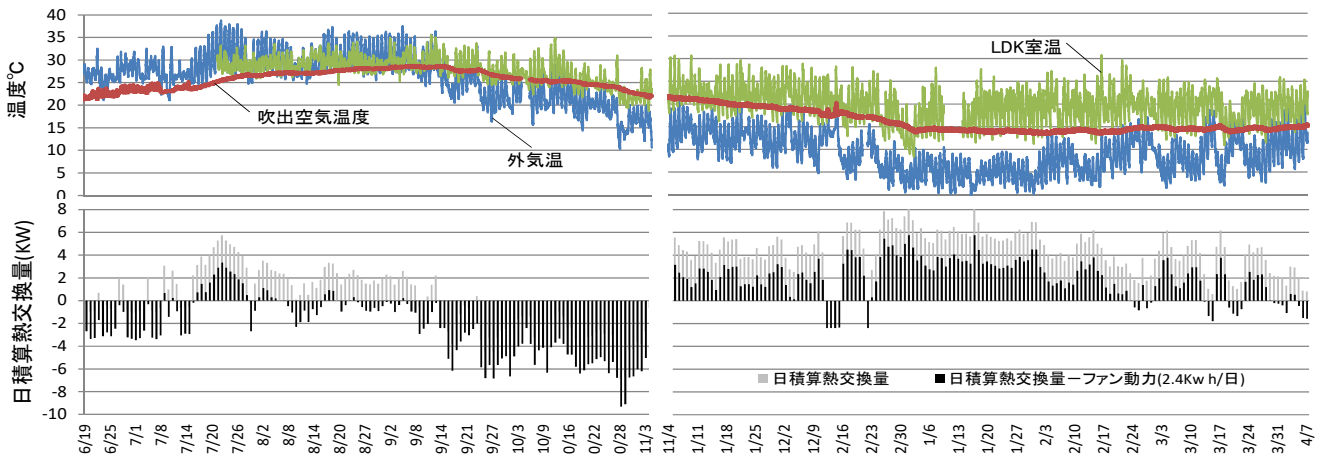


図7 クール/ヒートチューブの吹出空気温度（上段）と日積算熱交換量（下段）

### 2.3 ボイドスラブ型クール/ヒートチューブ

「松河戸の家」では、地盤改良に用いる柱状改良体（掘削孔を土砂とセメントの混合土で埋戻し、土中に構造柱を造る工法）の本数を減らす目的で、住宅基礎に中空ボイドスラブを採用した。このボイドスラブにおいて、構造体として必要な埋込みダクト群を連結し、クール/ヒートチューブを形成した。この目的は、24時間換気に伴う外気負荷を地盤との熱交換により低減することにある。

図6に、夏季・冬季の空気の流通経路と吹出位置を示す。夏季は、吹き出し空気による涼房効果（スポットクーリング）を期待して、スリットにより床表面近傍から吹き出し、冬季は天井吹き出しに切り替えて居住者の快適性（コールドドラフト抑制）に配慮している。導入外気の基礎通過長さは、夏は約40m、冬は約53mである（ダクト埋設深さ：ダクト中心で約20cm、風量：約90m<sup>3</sup>/h）。

図7に、夏季のクールチューブ吹出空気と外気温・室温の比較を示す。盛夏期の吹出空気温度は25℃前後となり、吹出口近傍で涼房効果を得た。冬季は、降雪のあった年末年始期であっても1階LDKの気温は15℃程度であり、ヒートチューブ

吹出空気も厳冬期を通じて約15℃を維持した。床暖房使用時には、床から基礎コンクリートに熱損失が生じるものの、この熱が基礎内ダクトを通過する取入外気に熱回収され、吹出空気温度の昇温効果を生み、居住者の不快感緩和に繋がっている。

また、クールチューブでは管内結露がもたらす衛生面への懸念がよく指摘される。本件のチューブ埋設深さは一般のものに比べてかなり浅く、交換熱量は比較的小さくなるが、上述のような冬季の熱回収効果や管内結露対策としては、功を奏すかたちとなっている。さらに、夏季にクールチューブ換気と上部の窓開けを連携させることで留守中の室内温度上昇を抑えると、帰宅時の一時的な不快感が緩和されて、冷房使用を控える行動を促す効果も得られている。

このような蛇行流路の躯体-空気熱交換器の数値解析モデルは、筆者らで提案を行っている [4]。

## 3. 「ずだじこども園」の取り組み

### 3.1 環境設備計画の概要

ずだじこども園は、浜松市に建つ延床面積約1,000 m<sup>2</sup>の児童福祉施設（保育所）である（図8）。



本施設では、温暖で日照および通風条件が良好な地域環境を生かし、建築の計画・構造・設備を連携させることで、素朴で合理的な手法を組み合わせた省エネルギー方策と室内環境向上の提案を行っている。施設の周回廊下（図 8）は、外部と内部をつなぐ半屋外空間と位置づけ、高断熱仕様の保育室と外部の間の熱的バッファ空間としている。廊下の地下ピットは、夏季の涼房と外気熱負荷低減を目的に、アースチューブとして利用している。

周回廊下の外壁は、外部を透明ポリカーボネイト仕上げとし、壁体内は詰め物をせず、内部は不燃シート貼の上に隙間をあけて羽目板を配置している（図 9）。この中空外壁は、室内に対しては柔らかな壁面透過採光を実現し、日没後には内部照明が外部に漏れて光壁となる。この中空外壁を季節毎に使い分けて、廊下空間の熱的快適性向上に配慮している。この運転モードを図 10 に示す。

### 3.2 ハイサイド窓利用の自然排熱換気

中空外壁には空気流通のための隙間を上下に設けており、春・夏・秋季は、外壁内で遮蔽した日射熱を壁内の上昇流によって天井付近に誘導する。この暖気をハイサイド窓から自然排熱するとともに、下階の窓開けや床面からのアースチューブ空気の吹出により、廊下空間の自然換気を促進する。

盛夏期の晴天日（7/28）における、南側廊下空間の垂直温度分布（実測値）を図 11 に示す（実測日は 14:30 を境にハイサイド窓を開閉する）。図より、ハイサイド窓を開放後に、壁体通過空気温が低下する様子が確認でき、壁体内出入口空気平均温度差は窓開放前で約 5℃、窓開放後に約 7℃、外壁の長さ方向 1m あたりの壁体通過風量は、窓開放前 48 m<sup>3</sup>/mh、開放後 78 m<sup>3</sup>/mh と壁体集熱量が倍程度に増加した。ハイサイド窓の開放により自然排熱換気が促進され、中空外壁を介して入射日射熱が効率的に排出される状況がわかる。

北側廊下の居住域の空気温度は、ハイサイド窓の解放後に 1℃余り低下している。この時、廊下の居住域（床上 1.5m）の空気温度は 30～33℃、この日のアースチューブや吹出温度（入口から 30m 地点）は平均 29.6℃である。アースチューブ吹出空気温と廊下居住域の温度差は総じて約 2℃あり、僅かながら半屋外ゾーンとしての廊下活動領域の温熱環境改善に貢献している。

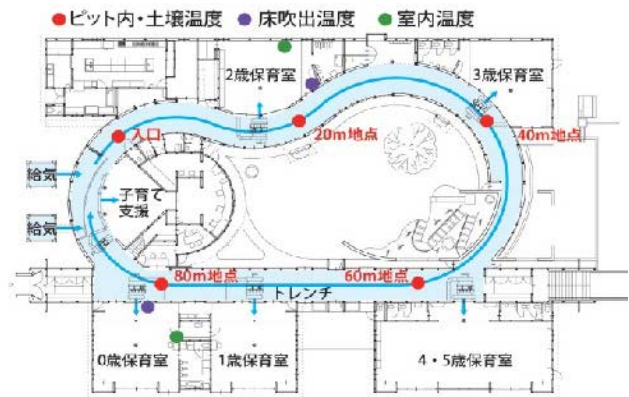


図 8 建物の平面図



図 9 木造中空外壁（左：内側、右：外側）

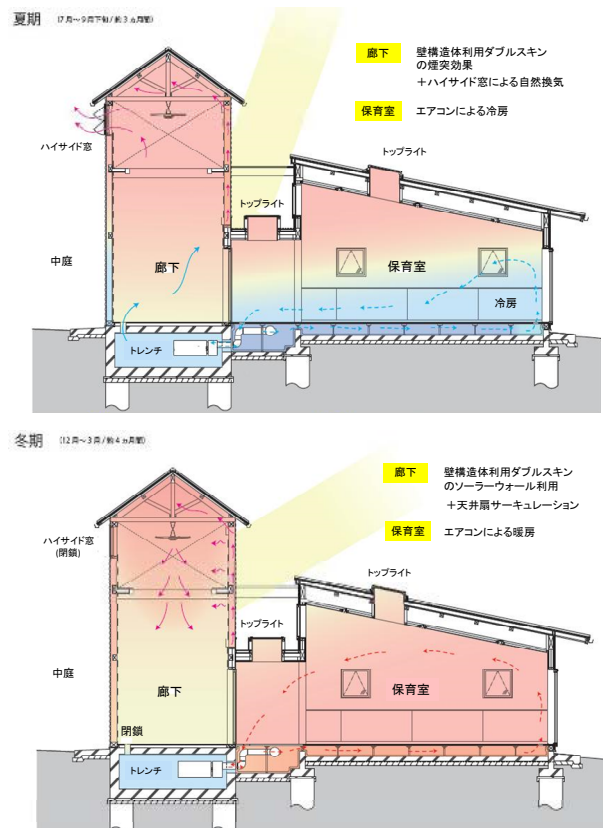


図 10 各季の自然換気・冷暖房モード

### 3.3 天井扇併用ソーラーウォール暖房

冬季は、中空外壁をソーラーウォールとして機能させ、壁面で集熱した太陽熱を廊下天井部に溜め、この集熱空気を天井扇によって床方向に攪拌することで廊下空間の補助暖房として利用する。また、受熱面となる中空外壁面は、放射暖房効果と壁面のコールドドラフト抑止効果も期待できる。

厳寒期の晴天日(1/12)における北側廊下空間の温度とPMVの推移を図12に示す。人体の熱的快適性指標であるPMV(予測温冷感申告)は、-3~+3の7段階尺度を持ち、±0.5以内が快適とされる。温度・湿度・放射・気流の物理環境要素と活動量・着衣量の状態値から決まるため、建築の伝熱性能と人体の生理・心理に大きく影響を受ける。

図12より、実測日には、13:30から天井扇を稼働させたことで、廊下上部に溜まった暖気が床方向に攪排され、居住域の空気温度が2℃上昇(天井付近の空気温度は3℃低下)し、廊下の温熱環境が改善されたことが確認できる。

また、北側廊下のPMVは±0.5以内となり快適域にあった。同日は内装材シートと羽目板の表面温度は、床上0.5m地点の廊下気温より約6℃高く、この影響から廊下の平均放射温度は廊下気温に比べて約3℃高くなっていた。これは、壁面が集熱体となり、室内への放射板として機能して、廊下空間に壁面放射暖房効果を与え、冬期の外壁内表面におけるコールドドラフト抑止に貢献していることを示唆する。

### 3.4 保育室の床放射・対流式冷暖房

保育室には、マルチ型エアコンの隠蔽型室内機を用い、床下チャンバー給気方式の床放射・対流式冷暖房を構築している。空調空気は、建築躯体にウレタン吹付断熱を施した床下内に給気され、室内の外壁付近中心に設けた床面吹出口から室内へ吹出される。床下給気の際に床面が冷却・加熱されて、やわらかな床放射冷暖房効果が得られる。

保育室の冷房時・暖房時の保育室におけるサーモ画像を図13に示す。南・北保育室とも、冷房時間帯のPMVは0(中立)程度、空調床吹出温度が約20℃で床表面温は26~27℃程度であった。暖房時(2/14)の空調床吹出温度は35℃で床表面温度は約25℃、室内PMVは0.5(9:00)程度となり、冷房時に快適な温熱環境を実現した。

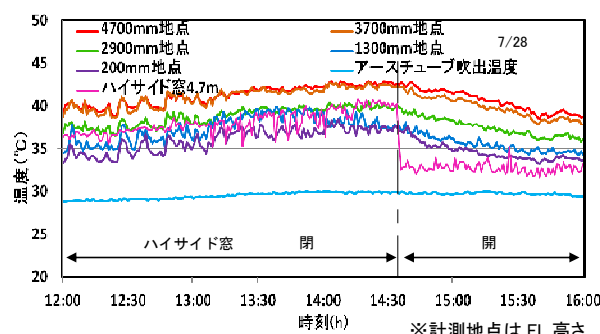


図11 南廊下の空気温度の推移(夏季)

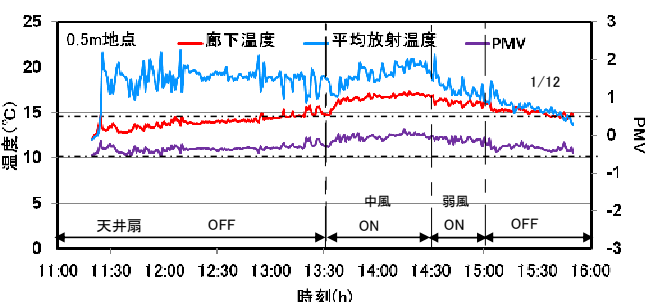
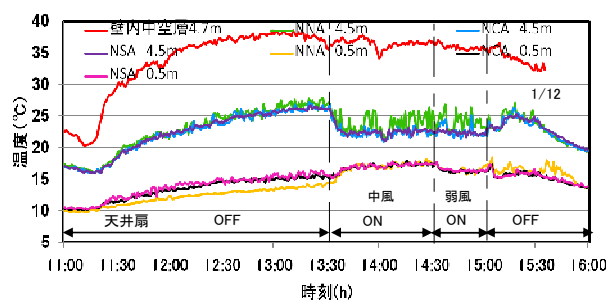


図12 北廊下の空気温度とPMV関連データ(冬季)

## 4. 「玉野台の家」の取り組み

「玉野台の家」は、建物の排熱エネルギーと自然エネルギーを積極的に活用する次世代のエネルギー循環型建築である。この建物では、夏期の冷房排熱(温熱)と冬期の暖房および給湯排熱(冷熱)を土中の季節間水蓄熱水槽に蓄え、半期シフトして冷暖房・給湯の熱源として再利用するコンセプトを具現化するとともに、省エネルギーと創エネルギーを両立しながら、日常生活をより快活・快適に過ごすための建築環境計画的な工夫を、随所に散りばめた次世代住宅を提案している[5]。

このうち最も独創的な取り組みである冷暖房・給湯システム(図14)では、エアコンならびに給湯・床暖房加熱用のヒートポンプとして、水熱源方式を採用している。このヒートポンプの熱源(ヒートソース/シンク)を季節間水蓄熱槽として、

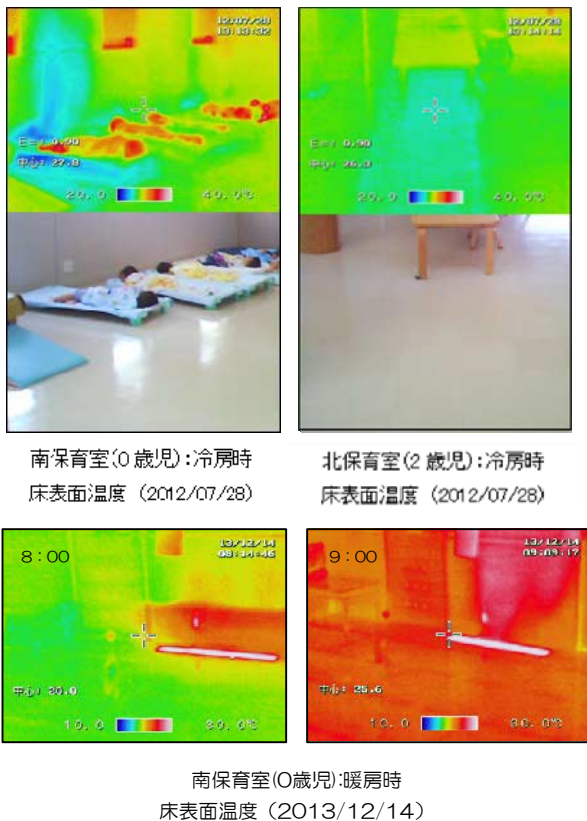


図 13 冷暖房時の保育室におけるサーモ画像

夏期・冬期の排熱シフトを実現する。年間スパンでは、季節水槽に投入される温熱が不足してシステムの年間サイクルが不均衡となるため、太陽集熱器を追加して夏・秋の太陽熱を季節水槽に補填し、季節水槽の蓄放熱量の年間バランスを保つ。

季節水槽が土中に埋設されるため、システムの設計時やエネルギー性能の向上策を講じる際には、季節水槽から周囲土壌や上部空間への蓄放熱の影響予測が重要となる。容量設計では、季節水槽へシステム的な熱収支と槽-土壌間の蓄放熱を数値解析で予測して、集熱器と蓄熱槽容量を決定する。

### 5. おわりに

今後の建物における低炭素化技術として、建築を一体として考えたパッシブデザイン事例を主に紹介した。今後の建築設計では、建築計画的な工夫に対する物理現象の予測や理解、熱環境やエネルギー性能予測等に対して、建築伝熱の知識の必要性が高まるとともに、実務者についても、この知識・スキルの高度化が求められると考えられる。

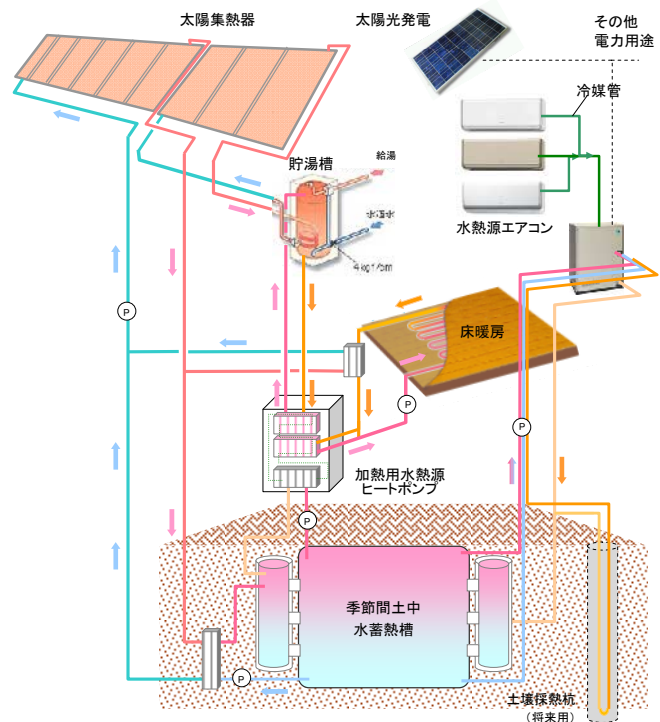


図 14 季節間蓄熱システムのダイアグラム

### 参考文献

- [1] 田中英紀, 「第4回サステナブル建築賞」受賞作品紹介, 国土交通大臣賞<新築部門>松河戸の家, IBEC., No.184 Vol.32-1, **12-17** (2011)5.
- [2] 田中英紀, 松河戸の家のダブルスキン, 建築技術, No.744, **144-147** (2012) 1.
- [3] Hiroaki and Hideki Tanaka et al., Thermal characteristics of a double-glazed external wall system with roll screen in cooling season, Bldg. and Environment, 44(7), **1509-1516** (2009) .
- [4] 一木 翔, 尹 奎英, 田中 英紀, ボイドスラブ基礎によるクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究(第3報) システム熱交換特性の分析と設計手法の確立, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, **181-184** (2013)9.
- [5] 市川貴之, 田中 英紀, 太陽熱と冷暖房・給湯排熱を用いた家庭用季節間蓄熱システムに関する研究, (第3報) 季節間水蓄熱槽の温度分布とシステムエネルギー性能評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, **169-172** (2016)9.

## 住宅における自然循環／強制循環太陽熱利用システムの最新動向 Domestic Solar Thermal Heating Systems for Hot Water Supply

吉永 美香 (名城大学)  
Mika YOSHINAGA (Meijo University)  
e-mail: yoshi@meijo-u.ac.jp

### 1. はじめに

太陽熱利用システムは、太陽放射である電磁波のエネルギーを集熱媒体に吸熱させ、熱として利用するエネルギーシステムの総称である。水に熱交換すればそのまま給湯に、空気に熱交換すれば暖房用途に利用できる。さらに高温にすれば冷房も、もっと高温にすれば熱発電も可能である。

図1は、世界における稼働中の太陽熱エネルギー利用システムの設備容量と太陽熱の年間生産量の推移を示している[1]。気候変動が深刻さを増すなか、太陽熱利用は堅調に拡大を続けていることがわかる。なお、後述するとおり、太陽熱利用システムは負荷条件によって得られる熱エネルギーが変動するため、他エネルギーとの設備容量の比較に際しては、集熱器1m<sup>2</sup>あたりを0.7kWth(キロワットサーマル)という設備容量として換算することが国際的に定められている。図2は、2017年における、世界の主要な再生可能エネルギーの稼働中設備容量と年間エネルギー供給量とを表している[1]。日本では、太陽エネルギーと聞くと太陽光発電をイメージする人が多いかもしれないが、世界的にみると、太陽熱利用と太陽光発電とは同程度の設備容量・供給量であり、風力発電も含めて、再生可能エネルギーの重要な三本柱であることがわかる。

さて、図3は日本における太陽熱エネルギーの稼働中設備容量の推移を示している。なお、本データは、ソーラーシステム振興協会による単年度の新規導入面積データ[2]から、図1に類似した稼働中設備容量となるよう、筆者が推計を行ったものである。日本は、1970年代の石油危機をきっかけに、自然循環型太陽熱温水器が脚光をあび、世界に先がけて太陽熱利用大国となった。しかし、その後の経済発展が、結果として太陽熱利用を縮小させてしまったことはたいへん残念なことである。この背景として、エネルギー政策が原子力に

傾いたことで供給が不安定な自然エネルギーが支援されなかったこと、大量生産・大量廃棄を経済発展の基礎とした社会背景が省エネルギーで節約・長持ち型の太陽熱システムとマッチしなかったことなど、が挙げられるだろう。

本稿の前半では、太陽熱利用システムの基本構造と種類について概観する。後半では住宅用の給湯システムに焦点を絞り、古いシステムから最新のシステムまでその特徴と性能を紹介していく。

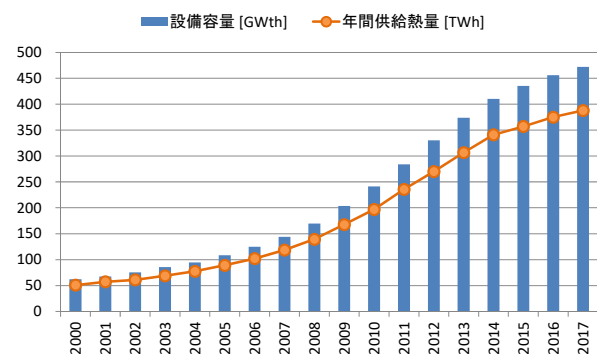


図1 世界の太陽熱システムの設備容量推移

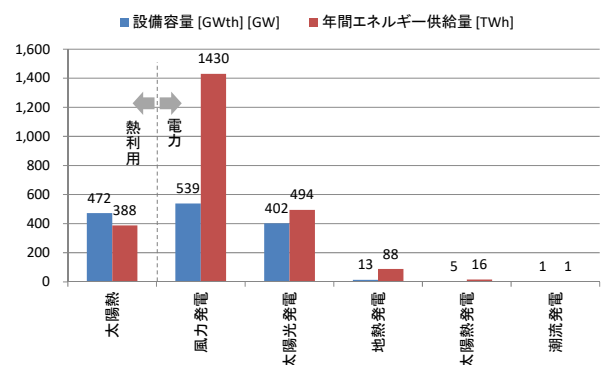


図2 世界の再生可能エネルギー導入規模(2017)

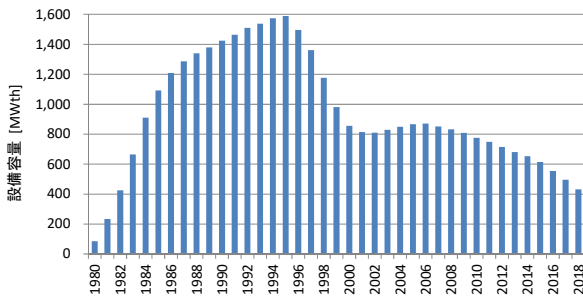


図3 日本の太陽熱システムの設備容量推移

表1 太陽熱利用システムの分類

分類方法	種類
集熱媒体	液体集熱式 (水または不凍液) 空気集熱式
集熱器形状	平板型 (ガラスカバーあり・なし) 真空管型 (ヒートパイプ式等)
集熱媒体の循環動力	自然循環型 強制循環型 (循環ポンプ使用)
集熱媒体と蓄熱媒体との関係	直接集熱 (蓄熱媒体を集熱器へ循環) 間接集熱 (蓄熱媒体と集熱媒体は別)
用途	給湯 暖房 (給湯兼暖房が多い) 冷房 (吸収式冷凍機等へ) 除湿 (デシカントの再生熱へ)
補助熱源	ガス, 電気, 灯油など

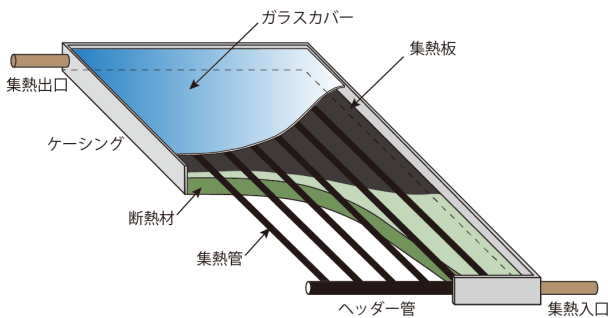


図4 平板型集熱器の断面構造例



図5 集合住宅に設置された平板型集熱器

## 2. 太陽熱利用システム

### 2.1 基本構造と分類

もっとも基本的な太陽熱利用システムは、太陽熱を集める部分、集めた熱を溜めておく部分、太陽熱で足りない熱を補う部分、の三つで構成される。一般的な分類方法を表1に示す。

太陽熱を集める部分は、太陽熱集熱器（以降、集熱器）と呼ばれる装置が担う。図4に平板型集熱器のしくみを、図5に愛知県内の集合住宅に設置された平板型集熱器の外観を示す。平板型集熱器の内部には、日射の吸収率を高めた金属の板（集熱板）と集熱媒体が通る集熱管が一体となって断熱材上に配置されており、上方への放熱を防ぐため強化ガラス製のカバーで覆われている。より高温の集熱用途には真空管型集熱器が用いられる。これは二重ガラスのシリンダー型をしており、二重管の間は熱損失を抑制するため真空層となっている。背面に反射（集光）板を設置して、集光率を上げることで100℃以上の集熱も比較的容易に実現できる。冷房用途には真空管型集熱器が適すが[3]、住宅用給湯・暖房用途であれば平板型集熱器で十分である。集熱媒体には液体（水または不凍液）または空気が用いられる。

集めた熱を溜めておく部分は蓄熱槽と呼ばれ、蓄熱媒体は、水（いわゆる貯湯タンク）、砕石やコンクリート（ロックベッドや蓄熱コンクリート）などが利用される。蓄熱のためには、集熱媒体を集熱器と蓄熱槽との間で循環させる必要があり、循環の駆動力による分類として、温度に起因する熱媒の密度差を利用する自然循環式と、電力でポンプを動かす強制循環式とがある。

太陽熱のみで一年中給湯できれば理想的なのだが、曇りや雨の日の対応として、補助熱源が必要となる。一般的な補助熱源は都市ガスやLPガスによるボイラだが、電気でも可能である。とても大きな集熱器・蓄熱槽を設置すれば、何日間か雨の日が続いても太陽熱で賄えるのでは？と思うかもしれないが、タンク内の水の衛生面や、設備の稼働率を考慮すると、過剰設備は避けるべきである。

### 2.2 補助熱源にガスを利用するシステム

1970～80年代に多く流通した「太陽熱温水器」を図6に示す。古いシステムと侮るなかれ、現在でも多くのリピーターに支えられているロングセ

ラー商品である。これは 200 リットル程度の横長のタンクと 4m<sup>2</sup> 程度の平板型集熱器を一体とし、屋根の上に乗せた自然循環型システムである。ほとんどの太陽熱温水器は水を熱媒とする直接集熱式で、タンクから給湯水栓までは重力による出湯のため、水圧は低く、また水道法上、上水栓と直接接続できない（クロス接続の禁止）ことなどから、用途は風呂の湯はりにほぼ限定される。数は多くはないが、間接集熱式の太陽熱温水器も市販されており、この場合は太陽熱の温水を台所の水栓や風呂のシャワーなどにも使用できる。図 7 のように、ガスボイラをタンクからの出湯側となる下流に配置することで、太陽熱の不足分のみをガスで沸かすことができ、合理的である。

重量感のあるタンクを地表面に、集熱器を日射のよく当たる屋根におこうとすると、集熱媒体をポンプで強制的に循環させる必要がある。このような強制循環型太陽熱利用システムはしばしば「ソーラーシステム」と呼ばれる。（この名称そのものからは、太陽光発電か熱利用かも区別できないため、筆者は好んでは使用しない。補助金制度上で、自然循環型である太陽熱温水器に対応させて、強制循環型の一般名称として使用されたのが発端のようである）

### 2.3 補助熱源に電気を利用するシステム

電気を補助熱源に使う場合は少し話が複雑だ。かつて主流であった電気式温水器は、膨大なエネルギーを消費し、きわめてエネルギー性能が低い（しかしランニングコストが安価なので、消費者は環境破壊に貢献していることを知らずに使っていることも多い）ため、電気式給湯器はもっとエネルギー効率の高い、ヒートポンプを用いたものになってきた。現在「エコキュート」と称して販売されている夜間電力利用 CO<sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプ式給湯器が、太陽熱利用システムと組み合わせる電気補助熱源の主たる選択肢といえる。ここではエコキュートソーラーと呼ぶ。

しかし、安価な深夜電力のコストメリットを確保しようとする以上、「補助」熱源であるヒートポンプが、「主」熱源である太陽熱に先んじて働かなくてはならないという問題が生じる。給湯需要のある前日の深夜に、ヒートポンプはある程度の湯を沸かしてタンクに溜めておき、翌日の昼間に太陽熱で残りの熱を賄う。太陽熱が何時にどれだけ

集められるか、また何時にどれだけの給湯需要があるか、は補助熱源が稼働するときにはわからない。開発者にとってはたいへん悩ましいシステムともいえる。図 9 にエコキュートソーラーのシステム例を示す。



図 6 架台設置された太陽熱温水器三種

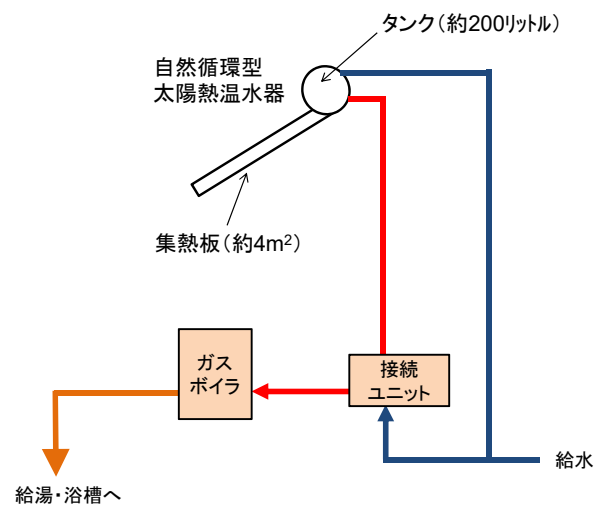


図 7 太陽熱温水器のシステム例

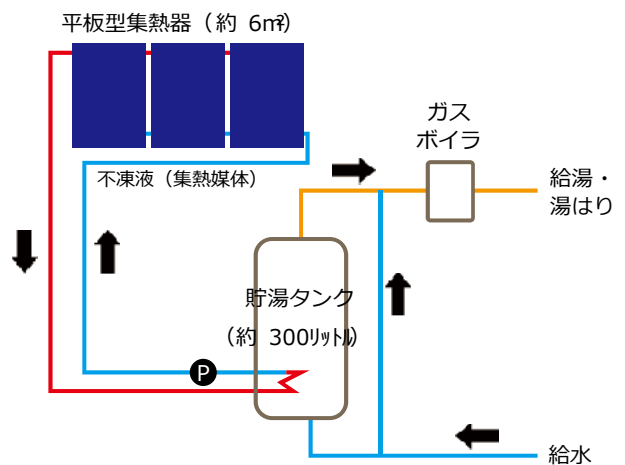


図 8 ソーラーシステム（ガス補助）の例

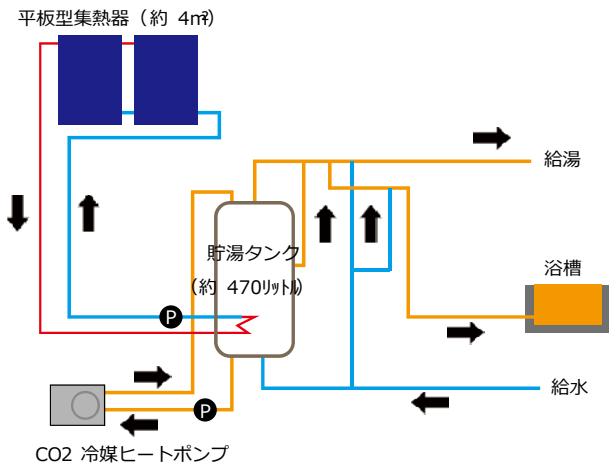


図 9 エコキュートソーラーのシステム例

### 3. 太陽熱利用給湯システムの性能

#### 3.1 前提条件

太陽熱利用システムは、同じ機種でも、外気温度、日射量、給水温度、給湯条件などにより、利用できる太陽熱の量が変わる。簡単な例を挙げよう。正午までに 200 リットルの貯湯タンクが 50℃を超える十分な蓄熱状態になったとする。そのまま夕方まで出湯がなければ、もうタンクはいっぱいなので、午後の日射は集熱されない。しかし正午すぎに太陽熱で風呂を沸かした場合、タンクの温度が下がり、午後には再び集熱が可能となる。そのため、太陽熱システムと非太陽熱システムの、あるいは太陽熱システム同士の性能を比較しようとする際には、前提条件を適切に決めてやる必要がある。

#### 3.2 シミュレーションの概要

筆者はこれまでに、経産省や NEDO 等の支援を得て、複数の、太陽熱温水器、ガスボイラを補助熱源とするソーラーシステム、また電気ヒートポンプを補助熱源とするソーラーシステムの長期実証試験プロジェクトに携わってきた。また、これらのプロジェクトの中では、長期間の実証試験データをもとに、各システムを高い精度で再現できる詳細なシミュレーションモデルの構築を進めてきた[4][5]。

そこで本稿では、過去に実証試験との比較により精度検証がなされた太陽熱利用システムの計算モデル群から代表的な機種を取り上げ、これらの年間シミュレーション結果をもとに各性能を紹介することとした。

表 2 に対象とするシステムを示す。計算条件は以下のとおりである。ただし、太陽熱温水器では、接続ユニットを併用し、風呂の湯張り以外の全給湯にも利用できることとする。従来型の都市ガスボイラについては平均効率 0.8、潜熱回収型の都市ガスボイラについては平均効率 0.93 とし、エコキュートとエコキュートソーラーのヒートポンプ性能は同じとした。なお、エコキュートおよびエコキュートソーラーの学習機能については、それぞれデフォルト設定（おまかせモード等）の挙動が再現されている。

- ・ シミュレーションツール：TRNSYS18
- ・ 計算時間間隔：1 分
- ・ 気象条件：拡張アメダス標準気象データ（1995 年）・東京
- ・ 給湯条件：4 人世帯におけるエネルギー消費性能計算プログラム[6]に従い、1 分間隔のデータに補正。給湯温度は 40℃。
- ・ 集熱器設置条件：真南方位に傾斜 30°

#### 3.3 評価指標

ここではガスと電気といった異なる形態の 2 次エネルギーを対象とし、相互の省エネルギー性を比較したいので、1 次エネルギーの消費量を用いる。さらに、系全体でのエネルギー効率を評価するために、システム COP (SCOP) を用いる。SCOP は、冷凍サイクルの性能を表すために用いられる成績係数 (COP) を、系全体に対して適用したもので、系全体へのエネルギー入力に対する、最終的に有効利用されたエネルギー量の比として定義される。分子は負荷熱量（ここでは給湯熱負荷）で、本検討では比較システムのすべてで等しく 16.6GJ/年である。

太陽熱利用の一般的な指標として、太陽熱依存率と太陽熱利用率を用いる。前者は、負荷熱量に対する太陽熱利用熱量の比である。つまり、太陽熱が負荷のどれだけの割合を賄ったかを表す。太陽熱利用率は、集熱器が受けた全日射量に対する太陽熱利用熱量の比である。これはシステムの太陽エネルギーの最終変換効率に相当する。なお、類似の指標として集熱効率があるが、集熱効率は集熱器単体での変換効率であるのに対し、太陽熱利用率は集熱（一次側）配管、蓄熱槽、及び二次側出湯配管の各段階で発生する熱損失を差し引いて、最終的に有効利用できた割合を表している。

SCOP = 負荷熱量/1次エネルギー消費量 [-]

太陽熱依存率 = 太陽熱利用熱量/負荷熱量×100 [%]

太陽熱利用率 = 太陽熱利用熱量/日射量×100 [%]

### 3.4 シミュレーション結果

図10に各システムの年間の1次エネルギー消費量を、図11に従来型の都市ガスボイラ(GB)を基準とした場合の1次エネルギー消費量の削減率を示す。

もっとも古典的な太陽熱給湯システムである太陽熱温水器(SWH)を用いても28%の削減に、また補助熱源を潜熱回収型のガスボイラとすることで、38%の削減となる。ソーラーシステムでは、削減量は44%~49%となる。なお、ここでは4人家族に対し、十分な容量のシステム(集熱器面積6m<sup>2</sup>、貯湯タンク容量300リットル)としているが、太陽熱温水器と同程度の4m<sup>2</sup>・200リットルとすると40%程度となる。太陽熱温水器とソーラーシステムとで、それぞれの集熱面積とタンク容量が同じであっても、後者の方が集熱器の集熱性能やタンクの断熱性能に秀でているため、1次エネルギー消費量削減率が大きくなる。

エコキュートソーラー(ES)は43%の削減率である。エコキュート単独(EC)では26%なので、ESとECとの差は17ポイントである。ガス熱源の場合に比べ、太陽熱の貢献程度が小さいのは(タンク容量が大きいにも関わらず)、前述のとおり、補助熱源が先に動くことによる制御の最適化の困難さに起因するところが多い。

1次エネルギー基準のSCOP(図12)で見ると、太陽熱利用は軒並み1.0を超え、潜熱回収型ガスボイラを補助熱源とするソーラーシステム(SS\_EJ)で1.55と非常に高い効率となる。

さて、エコキュートやエコキュートソーラーはエネルギー効率の最大化を諦めてまで、夜間電力によるコストメリットを追及しようとしたわけだから、ここで燃料費のことについても触れておくべきかもしれない。図13は2次エネルギー消費量の計算結果から、燃料コストを算出した結果である。ECとESに対し、23~7時を夜間電力料金(12.25円/kWh)、7~23時を昼間電力料金(31.84円/kWh)[7]とした。電力会社や契約形態等により単価は大きく変動するため、あくまでも試算結果

としてご覧いただきたい。確かにECとESが群を抜いて低い値となっていることがわかる。もっとも、夜間電力のコストメリットは今後小さくなっていくと考えられており、太陽熱が「主」でヒートポンプが「補助」となれば、熱源運転制御の最適化のみならず、外気温度が高い時間帯でのヒートポンプの高効率運転、蓄熱時間の短縮による放熱ロス抑制、さらにタンク小型化も実現できる。エコキュートソーラーはもっと高い性能を打ち出せることに間違いはない。

表2 性能検証対象システム

太陽熱有無	記号	システム概要	商品名・通称	集熱面積 [m <sup>2</sup> ]	タンク容量 [L]
×	GB	都市ガスボイラ(従来型)	都市ガス給湯器	-	-
×	EJ	都市ガスボイラ(潜熱回収型)	エコジョーズ	-	-
×	EC	強制循環・間接集熱	エコキュート	-	420
○	SWH_GB	自然循環・直接集熱	太陽熱温水器	4	200
○	SWH_EJ	自然循環・直接集熱	太陽熱温水器	4	200
○	SS_GB	強制循環・間接集熱・GB補助	ソーラーシステム	6	300
○	SS_EJ	強制循環・間接集熱・EJ補助	ソーラーシステム	6	300
○	ES	強制循環・間接集熱・EC補助	エコキュートソーラー	4	420

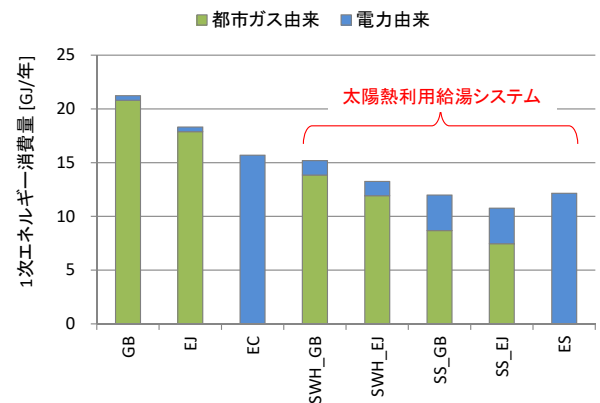


図10 年間1次エネルギー消費量

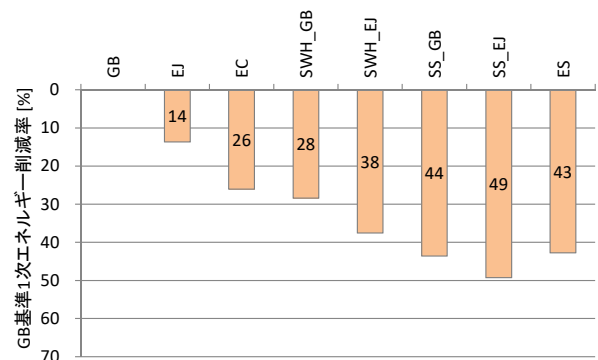


図11 従来型ガスボイラ(GB)を基準とした1次エネルギー消費量削減率



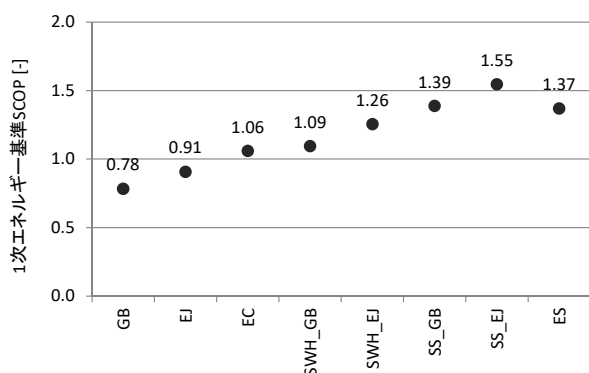


図 12 1次エネルギー基準 SCOP

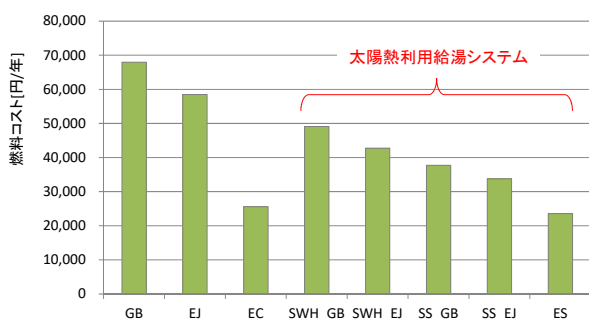


図 13 年間の燃料コスト

#### 4. おわりに

太陽熱は、安全で、使いやすく、コストメリットも大きい、日本で有望な再生可能エネルギーである。消費者や住宅産業に携わる方への情報提供が不足している現状を鑑み、本稿で一部紹介した性能比較については、近い将来、より多くの地域で、2~4人の世帯人数条件下での計算結果をまとめ、インターネット上で公開する予定である。

本稿では、精度の高いシミュレーション結果を示す目的で、筆者の研究成果を引用したが、導入検討のために自らシミュレーションを行ってみたいというニーズもあるだろう。海外では多くのソーラーシステムシミュレーションツールがあり、POLYSUNやTRANSOLなどは太陽熱にさほど詳

しくなくても容易に操作できる優れた GUI を備えている。これらについては文献で紹介しているため、興味のある方はぜひ参照されたい[8]。

#### 参考文献

- [1] Weiss, W. and Spork-Dur, M., *SOLAR HEAT WORLDWIDE 2018*, IEA Heating & Cooling Programme (2018)
- [2] (一社)ソーラーシステム振興協会ホームページ (太陽熱温水器・ソーラーシステム設置実績) <http://www.ssda.or.jp/energy/result/> (アクセス日: 2018年5月30日)
- [3] 鶴飼真貴子, 篠田拓也, 加藤和幸, 田中英紀, 吉永美香, 奥宮正哉, 事務所ビルにおける太陽熱冷暖房システムの実証試験-冷暖房運転の解析と年間性能評価, 空気調和・衛生工学会論文集, **187** (2012) 1-10
- [4] 吉永美香, 須田礼二, 宇田川光弘, 奥宮正哉, 坊垣和明, 住宅用太陽熱利用給湯システムにおける太陽熱の環境価値化手法に関する研究第1報 修正 M1 モード4人負荷に対する TRNSYS と EESLISM の計算精度検証, 太陽エネルギー, **4-40** (2014) 61-68
- [5] 吉永美香, 城出浩作, 桑沢保夫, 浅井俊二, 住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究第5報 太陽熱温水器とソーラーシステムの年間性能の計算と地域特性の分析, 太陽/風力エネルギー講演論文集, (2018) 327-330
- [6] エネルギー消費性能計算プログラム (住宅版) Ver. 2.1.2, 国立研究開発法人建築研究所
- [7] 東京電力エナジーパートナーホームページ <http://www.tepco.co.jp/ep/private/plan2/old04.htm> 1 (アクセス日: 2019年2月25日)
- [8] 吉永美香, 世界における太陽熱利用システムシミュレーションツールの比較と日本における一般的システムの再現性の検討, 太陽/風力エネルギー講演論文集, (2014) 357-360

## 地中熱利用ヒートポンプを用いる空調システムのエネルギーシミュレーション Energy Simulation for HVAC System consisting of Ground Source Heat Pump

尹 奎英 (名古屋市立大学)

Gyuyoung YOON (Nagoya City University)

e-mail: yoon@yoonlab.net

### 1. はじめに

近年、省エネルギーや省 CO<sub>2</sub> への要求の高まりによって地中熱利用ヒートポンプへの注目が集まっている。国は、再生可能エネルギー熱利用にも取り組みを強化[1]しており、地中熱利用の拡大は今後も続くと予想される。

地中熱利用ヒートポンプは、地中熱をそのヒートシンク・ヒートソースとして駆動するヒートポンプのことである(図1参照)。ここでいう地中熱とは、深度約 100m までの地中と大気との温度差を有効に利用できる熱エネルギーを指している。一般に深度 5m 以下の温度はその地域の年平均気温に等しい温度で年中維持されており、大気温度に比べて夏場には低く冬場には高くなる。

このような地中温度の年周期特性を有効利用して、ヒートポンプを高い効率で運転できる。これが地中熱利用ヒートポンプ利用の主なメリットである。これに加えて、夏場の空調廃熱を大気に出さないことから、都心における暑熱環境の緩和も期待できる。

一方で、地中熱利用ヒートポンプの採用は決して容易な状況ではない。その理由として、インシヤルコストの高さは然ることながら、地中熱利用ヒートポンプにおける設計・運用の難しさがあげられる。前述のように、地中熱を用いることから周囲地盤の熱物性並びに長期にわたる熱的挙動を把握する必要があるからである。この問題に対して、シミュレーションの利用は有効策といえるが、その利用実績はまだ多くないのが現状である。

また、地中熱利用ヒートポンプは、地中熱交換器の設置スペースを必要とするため、建築物の空調熱源機器をすべて地中熱により駆動させることは広い敷地を有するケースを除いて難しい。既往の研究では、東京における建築物の平均的な建ぺい率と容積率はそれぞれ 60%、200%であり、建築物全体の空調熱源機器の約 3 割しか地中熱利用ヒ

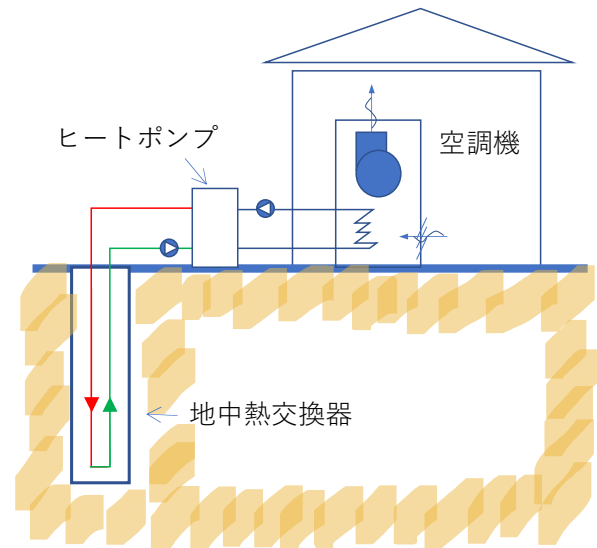


図1 地中熱利用ヒートポンプの概念図

ートポンプを採用できないことが指摘されている[2]。このように、地中熱利用ヒートポンプと他の熱源、例えば空気熱源、河川水熱源などと併用する空調熱源システムの構築がより一般的な導入形態といえる。

これに対して、地中熱利用ヒートポンプをシミュレートできる既往ツールは、Energy+, TRNSYS, LCEM ツール、Ground Club などがあるが、ユーザーのカスタマイズが必要、対応機器数が限られる、他の熱源と併用するシステムの構築に対応できていないなど、シミュレーションツールの利用は決して容易な状況ではない。このことこそが、前述の地中熱利用ヒートポンプの設計・運用に際して、シミュレーションツールの利用が多くない理由のひとつであると考えられる。

そこで、NEDO の「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業の支援を受けて、地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発を、日建設計総合研究所、名古屋市立大学、北海道大学の 3 者共同で 2016 年度より 3

年間行った。ツール開発は国交省官庁営繕部が主導で開発したLCEMツールVer3.1[3]を基盤として、機器オブジェクトとモデル構築支援機能の開発・追加を行った。その開発内容のうち、地中熱利用ヒートポンプと地中熱交換器オブジェクトの開発状況について紹介する。

## 2. 地中熱利用ヒートポンプのシミュレーション

### 2.1 ヒートポンプのシミュレーション

地中熱利用ヒートポンプのエネルギー消費量は、冷媒の圧縮・凝縮サイクルをモデル化することなく、一般的に以下の5つの運転パラメーターに対する電力消費特性を用いてシミュレーションする。また、電力消費特性は、各運転パラメーターを説明変数とする多項式となっており、熱源機器の製造社からの運転データを用いて作成される。

- ①熱源水温度特性
- ②冷温水温度特性
- ③部分負荷特性
- ④冷温水流量特性
- ⑤熱源水流量特性

図2に熱源水温度特性の一例を示す。熱源水のヒートポンプ入口温度の変動に従って冷却能力と電力消費量が変化することが分かる。このような特性をもとに、線形近似式を導き、表計算シート上でヒートポンプの電力消費量などを演算する。また、ヒートポンプの部分負荷特性、熱源水・冷温水流量特性も上記同様に線形近似式に置き換えて演算に用いられる。

今回のツール開発のために、国内における地中熱ヒートポンプ製造各社の協力のもと、機器特性の調査を行った。調査の結果、計9社から延べ76機種種の運転特性データが収集され、その機器特性を用いて計73機種種の地中熱利用ヒートポンプのオブジェクトを作成した。

図3に地中熱利用ヒートポンプオブジェクトの作成例を示す。図中の中央部が地中熱ヒートポンプのオブジェクトであり、シート上のセルには各運転特性における線形近似式が書き込まれている。オブジェクトは左側の熱源水ポンプから熱源水温度をうけとり、ヒートポンプの電力消費量などを演算して求める。

### 2.2 地中熱交換器のシミュレーション

ヒートポンプに接続する地中熱交換器にはいく

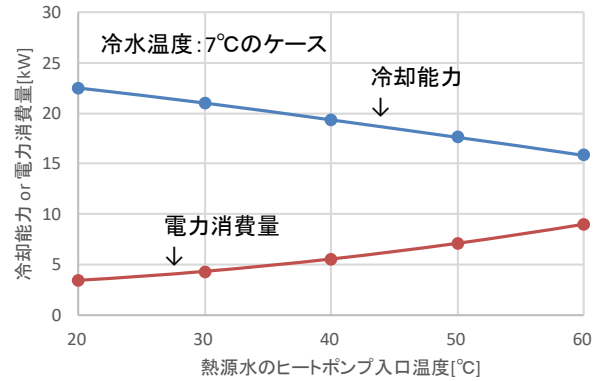


図2 熱源水温度特性の一例

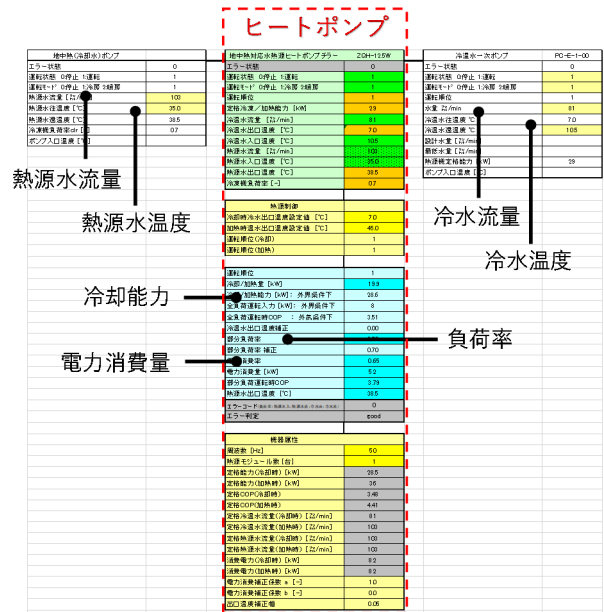


図3 地中熱利用ヒートポンプオブジェクト

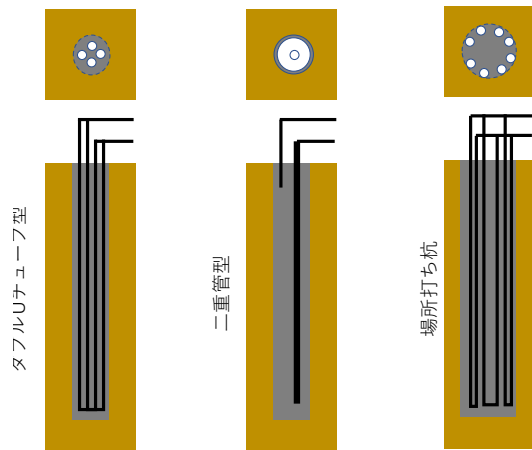


図4 垂直型地中熱交換器の概念図

つかタイプがある。設置形態によって垂直型と水平型に大別できるが、国内には、設置に必要なスペースが比較的少ない垂直型の普及が進んでいる。

図4に垂直型地中熱交換器の代表例を示す。左から、ダブルUチューブ型、二重管型、場所打ち杭型である。図示のように垂直型地中熱交換器は、ヒートポンプの熱源水配管、地中縦穴で構成されている。熱源水配管は樹脂製のU字管、鋼管などが用いられている。また、地中縦穴はボアホール、地中杭などが用いられており、掘削コスト低減をねらった場所打ち杭利用型も提案されている。

このような地中熱交換器に対して、周囲地盤と熱源水との熱解析手法について長年多くの研究が行われている。ここでは、今回開発したツールを中心にシミュレーションの概要を紹介する。

図5に地中熱交換器と周囲地盤の計算領域を示す。計算負荷を抑えながら地中熱交換器周囲地盤の熱挙動を充実に再現するために円筒座標系を採用した。周囲地盤内は3次元の非定常熱伝導方程式を解き温度分布を計算している。また、図6に示す周囲地盤と熱源水配管との間には熱抵抗のみの定常熱伝達を考慮している。

以下に地中熱交換器に関する熱収支式を示す。

- ・周囲地盤の熱収支

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial T}{r\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

- ・地表面の熱収支

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = \alpha(T - T_{air}) + aJ$$

- ・熱源水温度計算部との境界[4]

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=Db} = \frac{1}{R} (T_{t1} + T_{t2} + T_{t3} + T_{t4} - 4T_b)$$

上記のエネルギー収支式を表計算シート上に展開して地中熱交換器のシミュレーションツールを構築した。図7にシート構成図を示す。図中の通信部にて前述の地中熱源利用ヒートポンプオブジェクトから熱源水のヒートポンプ出口温度をうけとる。また、図中の熱源水計算部にて土壌温度との熱交換を考慮して熱源水温度を計算する。計算された熱源水温度は通信部を通してヒートポンプへ返される。このような構成にもとづいてここで紹介しているダブルUチューブ型以外に8タイプの地中熱交換器オブジェクトを作成した。

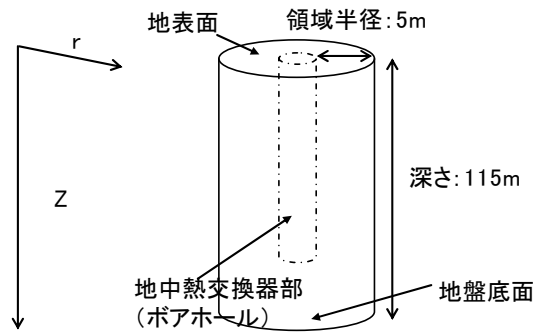


図5 地中熱交換器周囲地盤の計算領域

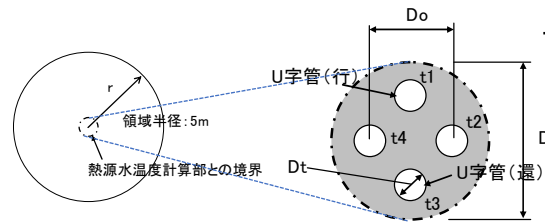


図6 地中熱交換器の水平断面図

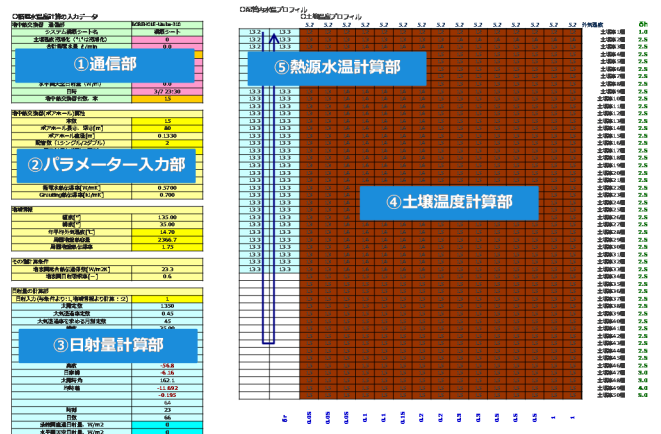


図7 地中熱交換器計算シートの構成図

### 3. 開発ツールを用いたケーススタディ

ここからは、モデル建物と地中熱源ヒートポンプを有する空調システムを想定し、設計段階のツール活用シーンを想定して行ったケーススタディを紹介する。

#### 3.1 モデル建物概要と空調システムの想定

本ケーススタディを行うために、モデル建物を設定した。モデル建物は東京所在の事務所ビルとし、地上10階、延床面積5734m<sup>2</sup>、56m×30m(=1680m<sup>2</sup>)の敷地を有すると想定した。冷房期間は6月～10月、暖房期間は12月～翌年3月までとし、中間期は空調なしとした。冷房と暖房運転期間中の設定温湿度はそれぞれ26°C/50%、22°C/40%とし、ほかの条件は一般的な事務所ビル

に準じて設定した。

モデル建物の最大熱源負荷は熱負荷計算結果により、冷却負荷 812.2kW，加熱負荷 118.6kW と設定した。また、敷地内に設置可能な地中熱交換器はダブル U チューブ型とし敷地内に 48 カ所設定可能とし、接続可能な地中熱利用ヒートポンプの容量は 172.9kW と設定した。

以上の条件下で、モデル建物の熱源機器選定を行った。その結果を図 8 に示す。地中熱利用ヒートポンプの装置容量は 159kW とし、従来の熱源機器は空気熱源ヒートポンプ 2 台と空気熱源チラー（冷房専用機）1 台とした。詳細は表 1 に示す。図 9 にシステム系統図を示す。空調一次側システムは単式ポンプ方式採用し、空調二次側システムは単一ダクト変風量・ファンコイルユニットとした。

### 3.2 モデル構築とケーススタディー

図 10 にシステムを再現して構築した、シミュレーションモデル構成図を示す。図中の左側に熱源機器（上から 4 番目が地中熱ヒートポンプ）、のオブジェクトが確認できる。地中熱交換器モジュールは別シートにあるため図中には表れないが、ヒートポンプと地中熱交換器との間で熱源水温度を受しながらシステム全体のエネルギー計算が進む。

今回のケーススタディーにおいて、表 2 に示す通り、地中熱利用ヒートポンプを含む複数台の熱源機器の運転優先順位を変化させた。シミュレーション期間は 2 年間とし、2 年目の計算結果を本検討に用いた。

表 1 主要機器リスト（熱源システムのみ）

空冷ヒートポンプチラー ASHP1,2	冷却能力：265 kW 消費電力量 91.0kW 加熱能力：300kW 消費電力量 94.0kW	2台
空冷チラー CU	冷却能力：212kW 消費電力量 75.7kW 冷水水量 608 ℓ/min (7-12℃)	1台
地中熱利用ヒートポンプ GSHP	冷却能力：159kW 消費電力量 32.4kW 加熱能力：183kW 消費電力量 45.6kW	1台
冷温水ポンプ	860 ℓ/min×470kPa 608 ℓ/min×470kPa 459 ℓ/min×167kPa	2台 1台 1台
熱源水ポンプ	549 ℓ/min×278kPa	1台

表 2 検討した熱源機器の運転順序

ケース	熱源機器運転順位
Case-1	ASHP1→ ASHP2→ CU → GSHP
Case-2	ASHP1→ ASHP2→ GSHP → CU
Case-3	ASHP1→ GSHP → ASHP2→ CU
Case-4	GSHP → ASHP1→ ASHP2→ CU
Case-5	冷房運転時 Case-2 同様 暖房運転時 Case-4 同様

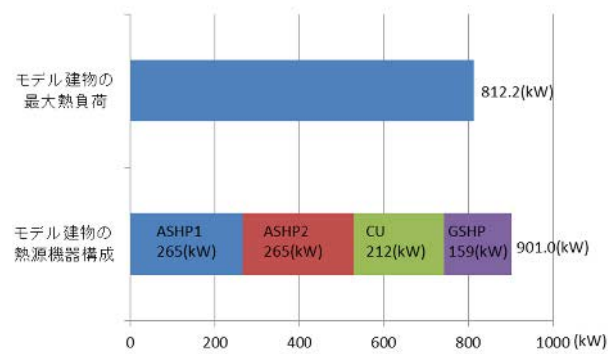


図 8 モデル建物の熱源負荷と選定熱源容量

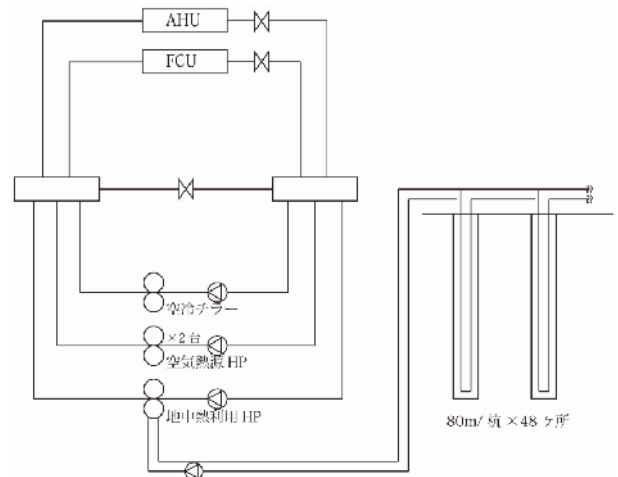


図 9 モデル建物の空調システム系統図

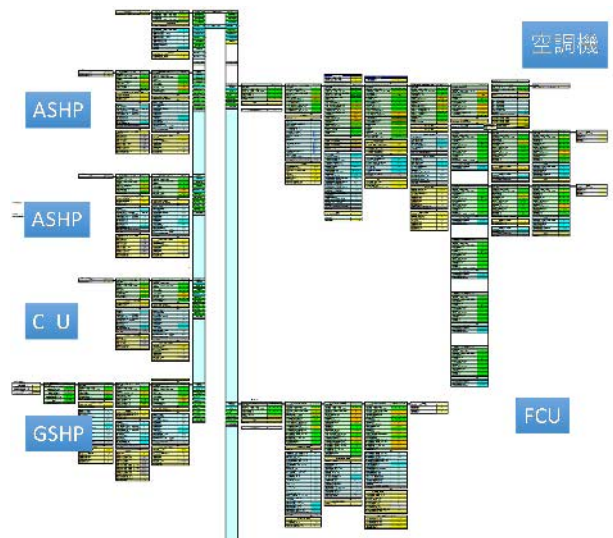


図 10 空調システムにおけるシミュレーションモデル構築

図 11 に各ケースにおける年間一次エネルギー消費量比較を示す。ケース 1 の一次エネルギー消費量は約 268MWh，ケース 2 では約 261MWh となりケース 1 に比して約 2.6%減となった。これは、

ほかの熱源機器より運転効率の高い地中熱利用ヒートポンプの稼働時間が長くなったためといえる。

これに対して、ケース3においては、地中熱利用ヒートポンプの稼働時間がさらに長くなったにもかかわらず、一次エネルギー消費量はわずかに増えた。各ケースにおけるシステム全体の運転効率はケース1の0.78に対して、地中熱利用ヒートポンプの運転時間が増えるケース2,3の順に効率向上がみられた。これは、地中への放熱量増大に伴い熱源水温度が上昇し(図12参照)、地中熱ヒートポンプの運転効率が低下したことが主な原因である。図13からもわかるように、ケース2における地中熱利用ヒートポンプの運転効率(COP)は比較的高く推移し冷房運転期間平均で約6.5となった。これに対してケース3の地中熱利用ヒートポンプのCOPは同期間平均で約4.3となった。

また、地中熱利用ヒートポンプの暖房時運転が加わるケース4,5ではより大きい効率向上が期待できる結果となった。ケース5のシステム全体の運転効率は0.90と最も高い運転効率となった。

#### 4. まとめ

地中熱利用ヒートポンプは、省エネルギー・低炭素技術として注目が集まっており、再生可能エネルギー熱利用促進の観点からも今後の利用拡大に期待が高まる。そんな中、地中熱を利用するゆえに地盤の熱物性や長期的な熱的挙動を把握することは容易なことではなく、シミュレーション技術の活用は不可欠である。また、十分に広い敷地を有する建築物でない限り、地中熱源に加えて他の熱源との併用による空調熱源システムの構築が一般的な導入形態となることから、これに対応できるシミュレーションツールの整備が必要といえる。

ここではNEDOの「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業の支援を受けて行った、地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発について、概要を紹介した。特に、ヒートポンプのエネルギー消費量のシミュレーション手法、地中熱交換器の伝熱解析方法の概要について述べた。

最後に、開発したツールを用いたケーススタディを行った。今回のケーススタディを通して、開発ツールが、地中熱利用ヒートポンプの諸特性を考慮しながら、周囲地盤の熱物性及び長期的な

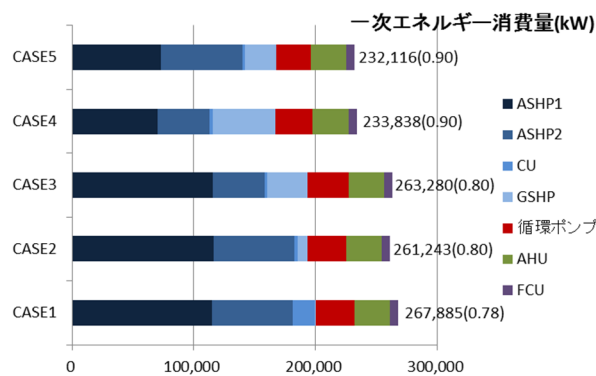


図11 ケーススタディ結果

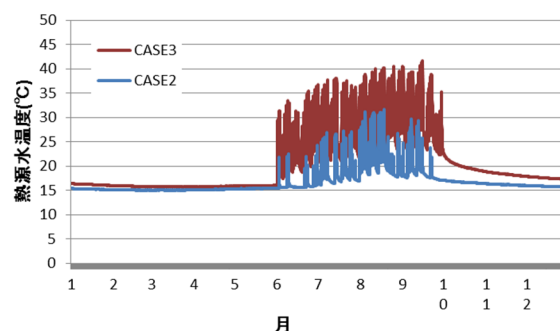


図12 ケース2,3における熱源水温度経時変化

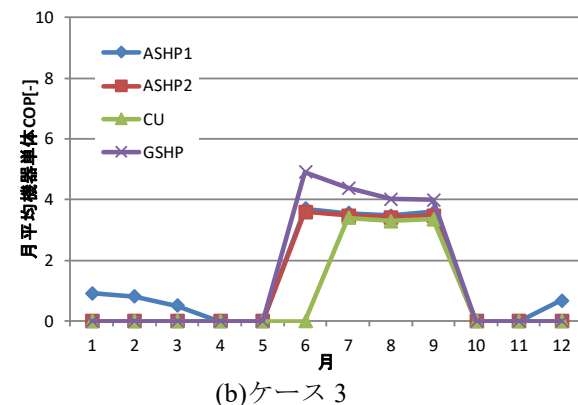
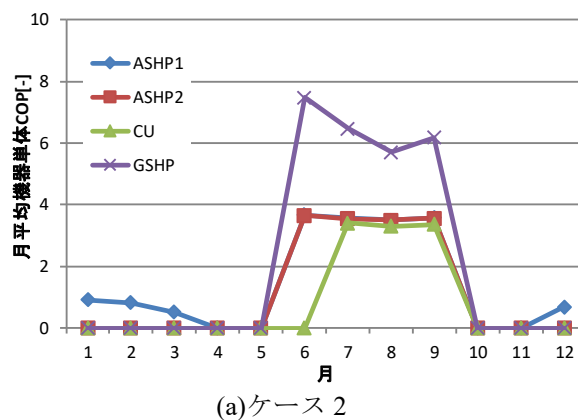


図13 ケース2,3における月平均の機器単体COP

熱的挙動を反映した空調熱源システム全体のエネルギーシミュレーションを可能にすることを示した。

今後は、開発ツールを実地設計・運用に適用し、信頼性とユーザービリティ向上を図っていく予定である。

#### 記号

$c$  : 比熱[kJ/kgK],  $\rho$  : 密度[kg/m<sup>3</sup>],  $T$  : 土壌温度[°C],  $t$  : 時間[hr],  $\lambda$  : 熱伝導係数[W/mK],  $\alpha$  : 地表面熱伝達係数[W/m<sup>2</sup>K],  $a$  : 地面日射吸収率[-],  $J$  : 日射量[W/m<sup>2</sup>],  $R$  : 熱コンダクタンス[mK/W],  $A$  : 配管断面積[m<sup>2</sup>],  $2D$  : U字管の配管中心距離[m],  $v$  : 配管内流速[m/s]

添え字- $b$  : ボアホール,  $p$  : 配管,  $s$  : 土壌,  $t1 \sim t4$  : U字管型の各配管,  $to, ti$  : 二重管型の外付け管, 内挿管

#### 参考文献

- [1] NEDO・新エネルギー部, 「再生可能エネルギー熱利用技術開発」基本計画, [http://www.-nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100067.html](http://www.-nedo.go.jp/activities/ZZJP_100067.html) (2019.1 閲覧)
- [2] Gyuyoung Yoon, Haruki Mizuno, STUDY ON HYBRID HEAT PUMP SYSTEM COUPLING

AIR-SOURCE AND GROUND SOURCE FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM ESTIMATION FOR CAPACITY BALANCE OF HEAT-SOURCE IN EARLY DESIGN PHASE, *Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition Proc.* 1-4 Jun 2018

- [3] 国土交通省官庁営繕部, ライフサイクルマネジメント (LCEM), LCEM ツールについて [http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku\\_lcem\\_lcem.html](http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcem.html) (2019.2 閲覧)
- [4] Heyi Zeng, Nairen Diao, Zhaohong Fang, Heat transfer analysis of boreholes in vertical ground heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46, 4467-4481(2003)

#### 謝辞

本研究の一部は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「再生可能エネルギー熱利用技術開発/地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化/地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発」によるものである。関係各位に謝意を表す。

人と熱との関わりの足跡（その4）  
 ー冷たさを届ける：天然氷の採取と輸送ー

*Footprints of the relationship between humans and heat (Part 4)*  
*-Delivery of the Coldness: Harvest and Transport of Natural Ice-*

藤岡 恵子 (ファンクショナル・フルイッド), 野村 祐一 (函館市教育委員会)  
 Keiko FUJIOKA (Functional Fluids) and Yuichi NOMURA (Hakodate City, Board of Education)  
 e-mail: kfujioaka@functional-fluids.co.jp

1. はじめに

人類が最初に利用した冷熱は天然の氷雪によるもので、記録に残る最古の貯氷庫は約 4000 年前、メソポタミアのユーフラテス河畔（現在のシリア）にあった[1]。天然の氷を採取・貯蔵して夏季に用いる冷熱利用は、冷凍機による機械製氷が主流となる 20 世紀初めまで続く。一方、最も早くから知られていた人工的な冷却方法は蒸発の際に奪われる潜熱による冷却で、主に砂漠地帯や温暖で氷雪が入手できない地域で発達した。たとえば素焼きの甕などにワインを入れて風を送り冷却する方法は、紀元前から行われていた。

機械製氷が始まる前にも、動力を用いずに氷を作る方法が 18~19 世紀のインドで発達していた[1]。図 1 は、この様子を伝えるスケッチとしてよく知られている。図 1 そのものの説明ではないが、1770 年頃に英国人 (Sir Robert Baker) が、インドの北東部にある Allahabad という町の近くにあった製氷施設について書き残している[2]。

それによると、この地方では毎年 12 月から 2 月にかけて氷が作られ十分夏まで保存されていた。その方法は、広い平地に約 10 m 四方、深さ約 60 cm の穴を 3~4 カ所掘り、まずその中に深さ半分くらいまで乾かしたサトウキビあるいはトウモロコシの茎を

敷いて床にした。凍らせる水を入れる容器は深さ約 3 cm の扁平な杯状のポーラスな土器 (肉厚約 6 mm) で、床の上に密に並べられた。(開口部の寸法は不明であるが 10 cm 以下であろう。)日の入り前になると、作業者はこの容器に水を入れ、日の出前には、出来ている氷を集めて廻った。

この方法で氷が得られる理由は、はっきりとは同定されていない。表 1 に Allahabad と次節で登場する Boston の気象条件を東京都も含めて比較して示す。Allahabad の気温については、氷点下になることはほとんどないと Baker[2]も言っている。彼は容器側面からの浸み出しによる蒸発冷却を重視しているが、浸み出し面は側面あるいは下面であるため主たる要因であるとは断定できず、上面開口部の表面積割合が大きいことから考えても上水面からの蒸発も要因の一つであろう。

またこの文献では言及していないが、夜間の放射冷却も主要な要因の一つと考えられる。これについて Baker[2]は、人には寒いと感じる夜でも氷が出来ないことがあるが、静かで雲のない夜は、むしろ暖かいと感じられるときでも、皿中の水がすべて凍るようであったと述べている。このことから放射冷却も氷の生成に寄与していると考えられる。

表 1 各都市の気象条件 (1 月)

事 項	Allahabad	Boston	Tokyo
日最高温度 °C	23.2	2.1	3.5
日最低温度 °C	8.9	-5.4	0.9
降水量 mm	18.3	85	52.3
月降雨日数	1.8	13	6.8
相対湿度 %	69	62	52
北緯	25.3	42.2	35.4
(日最高, 日最低温度はそれぞれの月平均)			
Boston: <a href="http://www.usclimatedata.com">www.usclimatedata.com</a> Tokyo: <a href="http://www.data.jma.go.jp">www.data.jma.go.jp</a>			
Allahabad: <a href="http://www.weather-ind.com">www.weather-ind.com</a>			



図 1 インドの製氷風景 (1850 年頃)



## 2. 天然氷の遠距離輸送

19世紀に入ると天然氷の利用が一般市民に広がって行き、天然の氷を大規模に切り出して遠隔地へ輸送・販売するビジネスが生まれた。1806年にはアメリカ・ニューイングランド地方の湖沼の氷を販売する事業が始まり、ボストン港から世界各地へ輸出された[3]。この事業はアメリカで“氷王”と呼ばれた Tudor が開始した事業として知られている。Tudor は米国ボストンの裕福な法律家の家庭に生まれたが、若いときからビジネスを志し、23才の時(1806年)、ボストン近郊の池から氷を切り出し(図2)、帆船に積んでカリブ海のマルティニーク島まで運ぶことに成功した[4]。航海には10~15日を要したが、その間の保冷技術としては、安価に入手できるタン樹皮(なめし皮を作るときに用いる樹皮の廃材)で船艙を覆っている[5]。Tudor はカリブ海の諸島にはアメリカからの多くの輸送船がほとんど空荷で来港して果物などの荷物を積み込んで帰っていくのに着目して、この事業を思いついたと言われる[5]。



図2 ボストン近郊の池における採氷風景(1850年頃)

その後、遠距離かつ大規模に行われたのは、インドのコルカタ(旧名カルカッタ)への輸送であった。とくに1833年に試験的に行われて成功した航海についての記録が残されている[5]。それによると、船艙の底には厚み約2.5cmの木材を張り、その上にタン樹皮の廃材を十分に乾かしたものを約30cmの厚さに敷き、さらに板材を置いた。側部4面も同様に工作し、その中にブロックの氷を隙間なく積み、その上には干し草をできる限り密に詰めたのちに木材で蓋をし、さらに甲板との間には再度樹皮を詰めた。

これらの方法は、現在の我々の知識からも理にかなった断熱方法であると言える。航海には約4ヶ月を要し、積み込み時に180tであった氷のうち最終的にコルカタの氷倉庫に収まったのは約100tであった。これは約55%の回収率で、周囲の予想を大きく上回るものであった。

その後天然氷の輸出量は次第に拡大し1872年のピーク時には米国全体の天然氷の生産量は、22.5万トンにのぼったと言われる[3]。図3は1856年における米国ニューイングランド地方からの氷の販路である。この図では、まだ日本までは届いていないが、1858年に日米修好通商条約が結ばれると、その後「ボストン氷」の輸入が開始され、最初は居留外国人を中心として、後に次第に日本人の間で氷の需要が広がった。



図3 1856年における米国ニューイングランド地方からの天然氷の輸出[6]

## 3. 函館五稜郭の水

### 3.1 中川嘉兵衛による採氷事業

ペリー来航(1853年)により開国された日本においても、開港地となった各都市では、居留する外国人の要求により氷の輸入が拡大していった。特に横浜では、外国人医師が使用する医療目的の氷は、在留外国人の生命に関わる重要事項で、また飲料品や食肉保存用としての需要も増大していた。

当時、日本に輸入されたのは前節に述べたボストン産出の天然氷で、アメリカ東海岸から大西洋を横断しアフリカの喜望峰を経由して約15,000kmを、半年以上をかけて海運されたものであったため、輸送中の融解による目減りは相当なもので、畢竟ビール箱大の氷が3両から5両という高額で取り引きされ、横浜の居留外国商人が市場を独占して多額の利益を得ていた[3]。



図4 中川嘉兵衛。(函館市中央図書館蔵)

そうした中で、国内産の天然氷を流通させるべく奔走し、函館・五稜郭での採氷に至ったのが、中川嘉兵衛(図4)であった。中川は、文化14年(1817)、現在の愛知県岡崎市に豪農の長男として生まれ16才で京に出て漢学を学び、その後40代に開港間もない横浜へ出て、イギリス公使館の厨丁(コック)として雇われた。中川が氷の効用について学んだとされるアメリカ人宣教師ヘボン(J.C.Hepburn)やシモンズ(D.B.Simmons)と交流があったのはこの頃である。

ヘボン式ローマ字の考案者としても知られるヘボンは、安政6年(1859)に来日して横浜に居を構え、伝道とともに医療活動を行い日本における近代医学の基礎を築いたが、中川はヘボンやシモンズから医療衛生や食料保存に氷が有用となるとの知識を得て、その後自身が採氷事業を起業する契機となった。

中川は安政6年(1859)に横浜で牛乳販売、万延元年(1860)には外国人向けの牛肉屋「中川屋」を開店するなど西洋食品販売を生業としたが、外国領事館等へ卸す食肉運搬時にその保存法について苦慮していたこともあって氷の需要の重要性を認識し、かつ当時その供給が外国商人に独占されていた状況を憂い、国産氷の製造を志した。

そのため中川は、文久元年(1861)に富士山麓の鵜沢(山梨県)で最初の採氷を行うが失敗、その後文久3年(1863)に諏訪湖(長野県)、翌元治元年(1864)には日光(栃木県)で採氷を試みるがいずれも成功には至らなかった。中川は採氷地を求めて本州を北上、慶応元年(1865)に釜石(宮城県)、慶応2年(1866)には堤川(青森県)での採氷にも失敗している。その間、赤城・榛名(群馬県)や秩父(埼玉県)、秋田県など東日本の各地でも採氷を試みたようである[3]。

中川が本州での採氷事業に成功しなかった原因は、氷そのものの出来自体にもあったが、輸送手段の不備やそれに経費がかかり過ぎて採算がとれなかったことの方が大きな要因として挙げられる。たとえば、上記の釜石からの輸送の場合は、300tの氷を採氷し帆船で横浜まで送ったが、到着したのは約1割の30tであったという[3]。これは前述のボストン氷の輸送効率に比すと、短距離であるにも拘わらず非常に低いものであった。

### 3.2 函館氷の誕生

中川はこれに諦めず、慶応3年(1867)には蝦夷地(現在の北海道)に渡り、箱館(現在の函館)近郊の有川で採氷を試みた。さらに、箱館居留のイギリス人実業家ブラキストン(T.W.Blakiston)の紹介で同国人技術者を雇い入れ、箱館周辺において幾度かの調査を行った。その後、明治維新から箱館戦争を経て古戦場となった五稜郭の外堀での採氷を試み、明治2年(1869)に500tの採氷に成功し、明治3年(1870)には五稜郭の氷を横浜へ輸送し、ヘボンから良好な品質である旨の確認を得、いよいよ氷販売への道筋がつけられた。またこの年、貯蔵にも意を払って函館港内の豊川町に氷室を建設した。

翌明治4年(1871)、函館氷は外国商船により函館港から横浜へ運ばれ、同年夏、ついに東京や横浜での販売が開始された。函館氷の販売開始当時は、ボストン氷に比して高価であったが、翌年からはより廉価となり品質的にもすぐれていたため、2年後の明治6年にはボストン氷の輸入が途絶え、函館氷が市場を席捲した[7]。五稜郭での氷生産量は明治初期の4~5年には500~1,000tであったのが、明治19年には約4,000tに達した[7]。

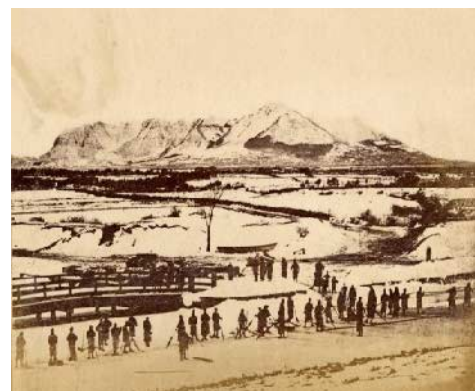


図5 五稜郭伐氷図。遠景に函館山、その手前に氷を積み出す函館湾がわずかに見える(明治10年、函館市中央図書館蔵)

また中川は、函館氷の製造販売や五稜郭外堀についての権利確保も行った。明治4年(1871)に五稜郭での採氷に成功すると、同年7月に五稜郭の外堀を拝借する旨の願書を開拓使に提出し許可を得ている。また明治6年(1873)には、道内の氷移出に関しての専売願書を提出し、5か年の専売許可を得ている(明治6年「東京上局文移録」)。さらに五稜郭の管轄権が移った陸軍省からも従来通り堀の使用権を得て、明治22年(1889)に使用権を失うまで五稜郭での採氷を続けた。

図5は明治10年(1877)に撮影された五稜郭堀における採氷の様態である。手前には作業する人々、遠景には函館山が見え、その手前の右半分にはわずかながら函館湾が見える。このように採取場所から積み出し港までが近距離かつ平坦で好条件であったことが、この写真からもよくわかる。

図6は作業の様子を示すミニチュア模型である。氷面にはまず切り出す大きさに線を引く。それに沿って長いのこぎりで氷を切る人、大きな氷砕(はさみ)で持ち上げる人(右下)、氷の上の雪をはく人(左下)、そりに乗せて運ぶ人(右の斜面は運搬用、氷面上中央は切断線を入れる罫書き(けがき)用で氷は重りと思われる)、運搬用の馬等が見え、組織的な作業が行われていたことが分かる。採氷の仕方は、図2に見る米国マサチューセッツ州の池における方法と非常に類似している点が興味深い。



図6 五稜郭氷採取の様子を示すミニチュア模型(五稜郭タワー蔵)

### 3.3 五稜郭の建設と函館氷

五稜郭は、幕末の箱館開港により設置された幕府の役所・箱館奉行所の防御施設として築造された西洋土塁で、当初は箱館山麓に置かれていた役所を、

外国船(黒船)搭載の大砲射程外に置くという防備上の理由などから、内陸に移転することとなった。新たな建設場所には、平野の中央部であってかつ近傍を流れる赤川(現在の亀田川)からの引水が容易な亀田の地が選定された。

五稜郭の築造は安政4年(1857)に着工、7年後の元治元年(1864)にほぼ完成したことから、同年6月に役所を移転し、蝦夷地の政治的中心としての役割を果たした。



図7 五稜郭建設時(1862年)の絵図(右の亀田川から取水)(函館市中央図書館蔵)

図7は、文久2年(1862)に描かれた五稜郭築造中の箱館を描いた古地図「箱館亀田一円切絵図」(部分)である。ここには、内陸の亀田の地に築造中の五稜郭が描かれており、五稜郭北側(図では右側)で大きく蛇行する赤川に取水口が設けられ、五稜郭北側の役宅内を通じて五稜郭へ引かれた導水経路が記されている。この清涼な水の供給は、後に函館氷の生産に非常に重要な役割を果たした。

また五稜郭の堀や土塁の石垣の石には、主に箱館山麓の立待岬から切り出された安山岩が使用されている。この石垣の切り石は冬季に馬そりにより五稜郭まで運ばれたが、後になってこの連絡道路を逆向きに利用して、五稜郭から切り出された氷が馬そりによって港湾近くの氷室まで運ばれることとなり、これも函館氷の生産に重要な役割を果たした。

図8は、現在の五稜郭を近くに建てられた観光用の五稜郭タワーから撮影したものである。五稜郭中央に建設された幕府の役所・箱館奉行所は、明治4年(1871)に解体されたが、平成22年(2010)に可能な限り当時の工法を用いてその約3分の1が復元されている(図8中の赤丸)。同図中の青丸の橋が図5と6に見える橋で、図5は堀の対岸からこの橋の方向にむかって撮影した写真である。

このように、五稜郭での採氷が成功した理由とし



図8 現在の五稜郭（著者 N.Y.撮影）.

て、1) 北海道の冷涼な気候で十分な厚さ（1尺3寸：約40cm）の氷が採集できたこと、2) 五稜郭の堀水が亀田川の清冽な自然水を引き入れていたことから上質の氷が採集できたこと、3) 五稜郭から港までの陸送も距離が短く、かつ道路も整備されていたこと、4) さらに開港地として開かれた函館では、東京や横浜などへの航路が発達していたため海運面での利便性が高かったことなど、生産と流通に係る条件が整っていたことが挙げられる。

### 3.4 函館氷の流通

函館氷は、はじめ東京や横浜が販売の中心であったが、その後販路が拡大され、名古屋、大阪、京都など全国の主要都市にとどまらず、清国、シンガポールなど東アジア諸国へも輸出された。また明治10年（1877）の第1回内国勸業博覧会に函館氷が出品され一等を受賞し、賞牌に付された龍の紋章にちなみ以後「龍紋氷」の名でも普及量が増大していった。

さらに、明治11年（1878）に中川の氷専売が満了すると、函館および近郊で採氷業を試みるものが続出し、氷製造が函館を代表する地場産業として急成長を遂げていった。明治10年代の新聞記事には「五稜郭外堀の氷製造は平年より寒気が厳しいため出来が良く目下採氷の最中となり、（中略）男女共に毎日800人ほど五稜郭へ出向き、豊川町の氷室まで1日平均約2,000個の氷を運搬する」（明治11年（1878）2月2日、函館新聞）など、五稜郭氷に関する記事が散見され[8]、五稜郭での採氷作業の賑わいや、この事業が冬季の雇用創出にも貢献していることが読み取れる。

このように明治初期に中川によってはじめられた日本における天然氷は、その後明治20年代から発達した機械製氷との共存が続き、その後徐々に衰退していった。しかし、五稜郭や函館周辺での氷製造

は昭和初期まで継続されていたようである。明治44年（1911）の五稜郭での採氷量は総量7,900tで、近郊生産と併せた函館からの総移出量1万493tの4分の3を占めている（明治44年9月30日・10月2日付函館日日新聞）[8]。

しかし、明治末頃からの郊外地の発展により五稜郭堀水の水質悪化が進行し、もっぱら冷蔵用のみに使用されるようになったが、ついに昭和12年（1937）には五稜郭外堀の採氷事業廃止の届け出が提出され（昭和12年2月10日付函館新聞）、五稜郭での採氷事業は終焉を迎えた。

明治初期、開港地の一つであった北海道・函館で採取された国産初の天然氷が「函館氷」・「五稜郭氷」として全国に流通し、輸入氷を駆逐したことは、文明開化の時代、多くの西洋文化が流入した日本において外国輸入を圧倒した数少ない事例であり、中川の功績は稀有なものとして、当時の新聞（明治8年9月7日付東京日日新聞）にも称賛されている[8]。このように近世までは贅沢品であった天然氷が、我が国においても中川嘉兵衛という先見性がありかつ強い意志と行動力を持った人物により、庶民が手の届く嗜好品として全国に広められたことはもちろん、西洋医療の発展や食料の保存や流通に果たした功績は高く評価されるものである。

## 4. おわりに

本稿は、快適さや質の高い食品保存を求めて古代から続いてきた冷熱生成の歴史の一段階で、新たな市場の創出、流通の改革にも寄与した天然氷について、採取と輸送という供給の面からいくつかのトピックスを取り上げたものであるが、最後に受け取り側のエピソードを紹介させていただきたい。

それは、江戸末期の蘭医で「法眼」であり西洋医学研究所（東大医学部の前身）の教授にもなった桂川甫周の娘みね（のちに今泉みね）の口述を子息が筆記・出版した「名ごりの夢」に語られている[9]。それによると、「お氷の日」には父親はいつもより早く登城し、いよいよ家族に配られる段になると「私などは重ねた両手もしびれるほどにお待ちして」、それでもやっと一寸角ほどの氷を押し頂くと、うれしくて「お廊下をかけて自分の部屋までまいりました時には、大方半分くらいになっていたのも忘れられません」と回想している。氷が如何に貴重でかつ好まれていたかが分かる。

しかしこれも当時は上流階級に限って入手できたもので、みね自身も、この時代には「氷はお城から諸大名や旗本に下りたのでございまして、一般人たちへ氷がゆきわたるようになりましたのは、明治になってからではないでしょうか。」と述べている[9]。これに関しては、同書にも東京日本橋に氷店を開業する際の広告文が掲載されており、「箱館の奥なる亀田川の源より堅氷を切り出し氷室にたくわへおきて夏日に売捌（うりさばき）…」とある。この広告は明治4年（1872年）の頒布であろうとされているので[9]、本稿で述べた函館氷が横浜や東京で販売され始めた年代とも一致する。

氷の恩恵をより一般の人々にも普及させたのは、言うまでもなく機械式冷凍である。この先駆けとなった Jacob Perkins の冷凍サイクル特許（液体の蒸発/圧縮/凝縮：イギリス）が 1834 年、A. C. Twining による商業用製氷プラントの設置（エチルエーテル圧縮）が 1853 年なので[10]、天然氷の時代は、実は機械式冷凍機の開発と並走していたことになる。1900 年以降、機械製氷技術の進展とおそらくは小氷期の終了による気温上昇の影響もあって、天然氷の利用は衰退していった。あることが隆盛を極めているとき、次の世代の萌芽が頭を持ち上げ始めているという歴史の流れを、ここにもはっきりと見ることが出来る。

本稿は、昨年（2018 年）に札幌で開催された第 55 回日本伝熱シンポジウムにおけるオーガナイズドセッション（OS）「人と熱との関わりの足跡」において、著者の一人（N.Y.）が行った講演の講演論文[11]に基づく 3 節に、第一著者（F.K.）がその他の部分を書き加えて、これに当該 OS を運営した河村洋（K.H.、公立諏訪理科大）が加筆・編集をしたものである。全体の文責は本学会員である（F.K.）と（K.H.）にある。本稿の作成に当たって、文献[1]については元龍谷大学の故中西重康氏のご遺稿から有益な示唆を受けた。

なお、共著者の野村祐一氏は、本文中にある五稜郭・箱館奉行所の復元工事に担当者として重要な役割を果たされた方である。共著者に参加して頂いたこと、また OS での講演を含めこの企画へのご協力を心から感謝したい（K.H.）。

### 参考文献

- [1] Elizabeth David, “Harvest of the Cold Months – The social history of Ice and Ices”, (1994), Penguin Group.
- [2] Robert Baker, “The process of making ice in the east Indies”, (Published in 1775), *Indian Science and Technology in the Eighteenth Century*, ed., Dharampal, <https://archive.org/details/IndianScienceAndTechnologyInTheEighteenthCentury/>.
- [3] 田口哲也, 氷の文化史—人と氷のふれあいの歴史—, 冷凍食品新聞社(1994), pp.195-201.
- [4] “Frederic Tudor”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Frederic\\_Tudor](https://en.wikipedia.org/wiki/Frederic_Tudor).
- [5] “The Ice Trade between America and India”, *The Mechanics’ Magazine*, (April 9-Sept. 24), Vol. 25, (1836), pp. 10-12. University of Oxford, Digitized on 2006/11/15 by Google.
- [6] “Ice Trade”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Ice\\_trade](https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_trade), ©Eric Gaba.
- [7] 函館市史編さん室, 函館市史 通説編 第2巻, 函館市(1990).
- [8] 函館市史編さん室, 函館市史 年表編, 函館市(2007).
- [9] 今泉みね, “名ごりの雪, 蘭医桂川家に生まれて”, 東洋文庫 9, 平凡社, (1963).
- [10] David Wilson, “Supercold; An introduction of low temperature technology”, (1979), Faber and Faber.
- [11] 野村祐一, 第 55 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, CD-ROM, E233, (2018).

## Int. J. Heat and Mass Transfer と Int. Centre for Heat and Mass Transfer に関する報告

## Report on Int. J. Heat and Mass Transfer and Int. Centre for Heat and Mass Transfer

吉田 英生 (京都大学)

Hideo Yoshida (Kyoto University)

e-mail: sakura@hideoyoshida.com

## 1. はじめに

伝熱の分野で60年近く中心的ジャーナルの役割を果たしてきたInt. J. Heat and Mass Transfer (IJHMT) [1-3]のEditorシステムが2019年1月から大きく変わりましたので、この機会に創刊からの歴史を含め近況をご紹介したいと思います。また、昨年創設50周年を迎えたInt. Centre for Heat and Mass transfer (ICHMT) [4-11]についても歴史と近況、さらに今後要検討と思われる点に触れさせていただきます。

## 2. Int. J. Heat and Mass Transfer

## 2.1 創刊から現在までの変遷

IJHMTは、1960年にCo-chairmen of Editorial Advisory BoardとしてE.R.G. Eckert (米)とO.A. Saunders (英)、EditorとしてA.J. Ede (英)、Carl Gazley, Jr. (米)、U. Grigull (独)、J.P. Hartnett (米)、A.V. Luikov (ソ)、D.B. Spalding (英)の陣容で創刊されました。図1はIJHMTの1961, vol. 4の表紙ですが、vol. 2からT. Sato (日)、vol. 4から E.A. Brun (仏)が加わっています[1]。出版社も当時はPergamon Pressでした(以上、敬称略)。

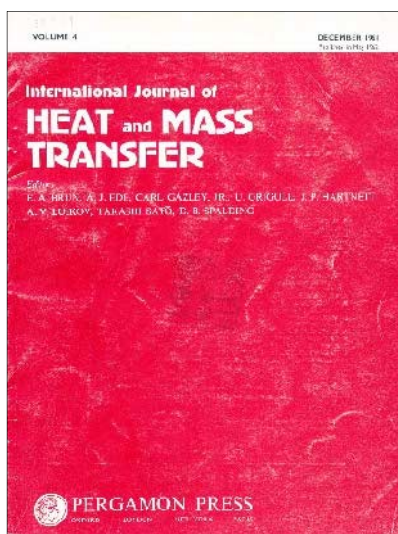


図1 IJHMTの1961, vol. 4の表紙 (vol. 4で、米、英、独、ソ、日、仏のEditor体制に)

表1 日本地区のEditorの変遷

年, vol.	Editor	
1961, vol. 2	佐藤 俊(京大)	
1973, vol. 16	森 康夫(東工大)	Associate Editor
1982, vol. 25		越後亮三(東工大)
1987, vol. 30	棚沢一郎(東大)	鈴木健二郎(京大)
1993, vol. 36		西尾茂文(東大)
1999, vol. 42	鈴木健二郎(京大)	丸山茂夫(東大)2015まで
2007, vol. 50	吉田英生(京大)	
2019, vol.131	小原 拓(東北大)	Kim, Min Soo(ソウル大)

昔は通信手段として郵便しか利用できませんでしたので自ずと地域制の編集システムがとられ、アジア地域(途中から中国とインドは独立)は表1のように日本のEditorが担当してきました。

なお、インターネットが十分に普及してからもIJHMTは変化なくずっと郵送システムが続いていたのですが、2008年ごろ筆者やA. Majumdar教授(当時UC Berkeley)がEditor-in-ChiefのW. Minkowycz教授(Illinois大)にオンライン化を強く要請し、それから3年後の2011年10月によりやく実現しました。この副次的結果として投稿数は激増し、以前は年ごとにvol.としていたのが、2013年vol. 56から、それまでのissueをvol.と読み替えるようになりました。(なお、IJHMTの姉妹誌であるInt. Communications in Heat and Mass Transferも2019年に新体制となり、たいへん遅ればせながらオンライン化もされました。)

Minkowycz教授は、Coordinating Editor (vol. 30, 1987以降) およびEditor-in-Chief (vol. 47, 2004以降)を合計31年間務めました。2019年からEditor-in-Chief Emeritusとなり、T. S. Zhao教授(香港科技大)がEditor-in-Chiefに就任したのを機に、筆者が担当してきたアジア地域は小原教授とKim教授に交代いただきました。なおアジア地域とは表現したものの、新Editorシステムでは従来の地域制を廃し、Editorの専門を考慮してボーダーレスで行われます。インターネット時代ですので当然の姿ともいえます。新しいEditorシステムのもとでIJHMTがこれからの熱科

学工学分野の発展を強力に先導してくれることを願うばかりです。

### 2.2 最近の論文投稿状況

次に、IJHMTの近況をお知らせします。表2に筆者が退任する直前の2018年末のEditorと担当地域の一覧を示します。2018年の全投稿数は約6000編、うち中国からの投稿は実に4割に迫る勢いです。このため中国は4人のEditorで計2000編以上を扱っています。一方、筆者が扱った論文数は約350編です。

2015年から2017年の3年間にacceptされた論文数は、韓国254編、台湾131編、日本129編です。世界の中で見ますと、中国1504編、米国749編に続いて韓国は世界第3位です(図2に円グラフで表示)。日本からの論文が少ないのは、熱系の他のジャーナルに広く分散している面もあるかもしれませんが、IJHMTだけを見る限り、中国より一桁少なく、韓国・台湾にも相対的に及びません(広大な中国の人口はどのように理解するか簡単ではありませんが、日本の人口に比べて、韓国は1/2以下、台湾は1/4以下です)。昨年8月の第16回国際伝熱会議では中国からは500編弱で最多、日本からは(近いこともあります)100編あまりで第2位でしたので、日本人は国際会議には多数参加するもののジャーナル論文にすることが少ないという以前からの変わらぬ傾向は顕著だと思います。もちろん、筆者のEditorとしての力不足に起因する点は反省しております。

### 2.3 元Editorとしてお詫び、お礼、そしてお願い

ここで、筆者が2006年の故鈴木教授との引継ぎを含め13年弱担当しましたEditor業務を振り返って、まず著者の方々にお詫びすべきことがあります。第一に、査読に長期間要したことが少なくないことです。基本的には、1論文につき2名の査読者を全世界から探して依頼するのですが、そもそもレスポンスをいただけないことも多いですし、即座に「時間が無い」と断られることがしょっちゅうです。5名くらいの依頼を試みるのは日常的で、中には10名程度試みても査読を受けていただけないことが少なからず発生しました。このような事情のため、やむなく1名の査読結果を基にEditor判断せざるを得ないこともしばしばでした。第二に、査読結果がpositiveな場合はホッとしますが、結果がnegativeな場合、あるいは2名の査読者の間で意見が分かれる場合など第3者査読を依頼してみても多数決で決済できるわけでもなく、しかも自分自信が個々の論文内容をとこ

表2 2018年末時点でのBoard of Editors

<u>W. Minkowycz</u>	If there is no such editor, or if special obstacles preclude to any of the <i>below</i> *, articles should be submitted to the Editor-in-Chief, who will then forward them as appropriate. (* : modified from <i>above</i> by H. Yoshida)
<b>Belarus:</b>	Bulgaria, Czech Republic, Poland, Romania, Slovenia, Ukraine, Baltic Countries, Balkan Countries
<b>China:</b> <u>P. Cheng</u> , W. Tao, <u>Y. Xuan</u> , X. Zhang	China (PR)
<b>France:</b> <u>J. Taine</u> , <u>A. Soufiani</u>	France, Israel, Middle East, North Africa, Central Africa
<b>Germany:</b> <u>B. Weigand</u> , <u>J. Köhler</u>	Germany, Austria, Benelux-Countries, Denmark, Scandinavia, Switzerland, Turkey
<b>India:</b> <u>A. R. Balakrishnan</u> , <u>T. Basak</u>	India
<b>Japan:</b> <u>H. Yoshida</u>	Japan, Korea, Taiwan, other Asian Countries
<b>Russia:</b> <u>A.I. Leontiev</u> , <u>L.A. Dombrovsky</u>	Russia, Slovak Republic
<b>United Kingdom:</b> <u>K. Sefiane</u>	U.K., Greece, Ireland, Italy, Portugal, South Africa, Spain
<b>USA:</b> <u>R. Greif</u> , <u>C.P. Grigoropoulos</u>	North-Central-South America, Australia, Korea, Taiwan, Malaysia, Indonesia, Singapore, Sri Lanka, other Asian Countries

(二重下線 : Editor-in-Chief,  
下線 : Editor, 下線なし : Assoc. Editor)

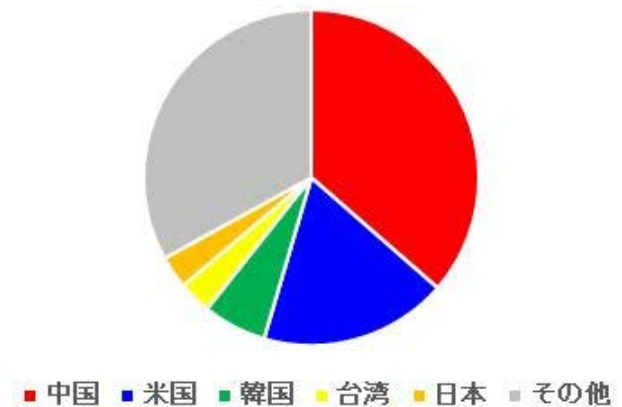


図2 IJHMTで2015-2017年の3年間に採択された論文数の国別割合 (全論文数 : 4129編)

とん読み解く時間も力も十分になく、的確な判断を下すのが困難なことがありました。筆者の不明で著者のみなさまに納得いただけなかった場合もあったことを反省し、お詫びする次第です。

次いで、たいへん感銘を受けたことをお伝えしたいと思います。それは、ものすごい査読をしていただけの方も少なくなかったことです。ものすごい意味は、ご自身の専門知識の深さは申すまでもありませんが、よくもまあ他人の論文に関して、これほど丹念かつ建設的な査読を長時間かけて下さるなという驚きです。英文の推敲に関して、本来は著者の責任で行うべきものですが、ネイティブの方が実に300か所以上のコメントをPDFファイルの上に書き込んで下さったこともありました。お世話になった何千人もの査読者の皆さま—そのほとんどは顔も存じ上げない方々ですが—に心からお礼申し上げる次第です。

最後に、今後に向けてお願いをさせていただきます。筆者が2018年に扱った約350編という数はIJHMTのEditorとして平均的な値といえます。投稿された論文の中ではscope外などの判断も含めて即座にdesk rejectする分もありますが、仮に一か月に30編の投稿があってその処理に平均4か月かかるとしますと常時120編の論文を抱えることとなります。小原教授とKim教授には今後この数を超えるような論文を扱っていただくことになると思います。そこで以下のように付記させていただきます。

著者の場合：とりわけ査読者の選出が難しそうな分野の論文では、世界中から適任の査読者候補をできるだけたくさん挙げていただければ幸いです。その際、シニアの方はなかなか査読をお受けいただけませんので、中堅の方や関連論文の第一著者の方を優先いただけると幸いです。

査読候補者の場合：手一杯で断られるときは、ぜひとも代替候補のご提案をお願いします。

なお、IJHMTに関する情報はElsevier社のサイト：  
[https://journalinsights.elsevier.com/journals/0017-9310/acceptance\\_rate](https://journalinsights.elsevier.com/journals/0017-9310/acceptance_rate)

[https://journalinsights.elsevier.com/journals/0017-9310/impact\\_factor](https://journalinsights.elsevier.com/journals/0017-9310/impact_factor)

や、さらに他の熱系ジャーナルやTributeについては  
<http://www.wattandedison.com/journal.html>

<http://www.wattandedison.com/IJHMT.html>

などもご参照下さい。

### 3. Int. Centre for Heat and Mass Transfer

#### 3.1 Founding Fathers

2018年7月に創刊した国際5機関連合のNewsletter *Thermal* ( <http://www.wattandedison.com/htsj.html> 他) に多数の写真が報告されていますが、図3にFounding

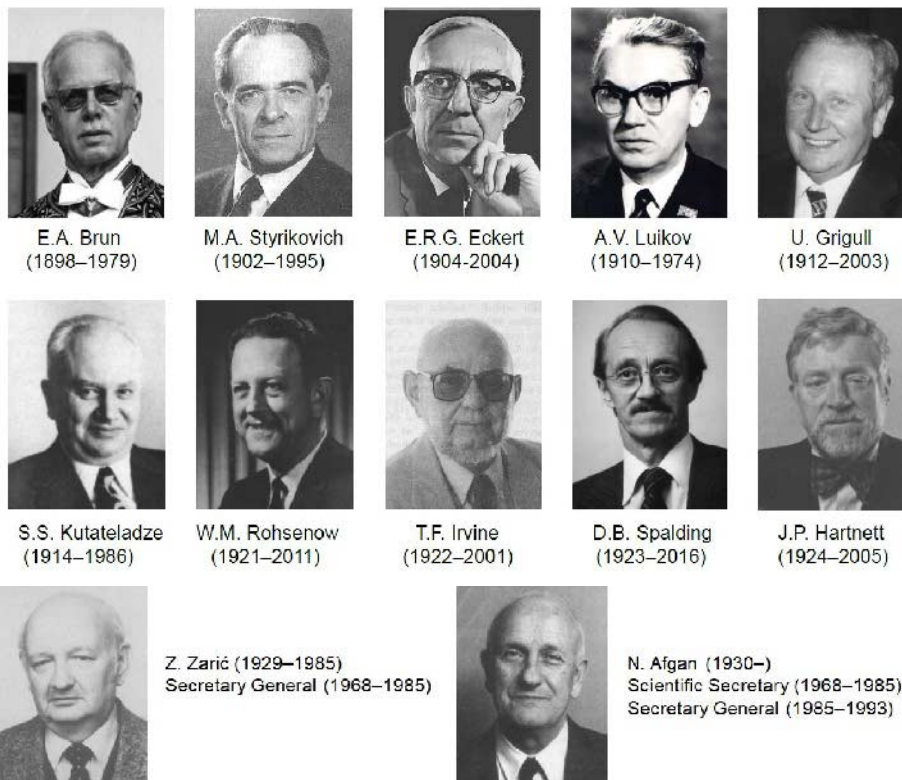


図3 ICHMTのFounding Fathers



Fathersを再掲します。現在の私たちのコミュニティーの種がこれらの先達により蒔かれ成長させていただいたことを心に留めておきたいと思います。

### 3.2 事務局とOfficer

表3から表5に歴代President, Secretary General, Chairman of Executive Committee (EC) です。これらの任期は1月1日から12月31日を基本にしています。

表3 歴代のPresident

Edmond A. Brun	France	1969-1972
Michail A. Styrikovich	Russia	1973-1976
Ernst R.G. Eckert	USA	1977-1982
Ulrich Grigull	Germany	1983-1986
Warren M. Rohsenow	USA	1987-1990
Yasuo Mori	Japan	1991-1994
Michel Combarous	France	1995-1998
Richard J. Goldstein	USA	1999-2002
Maurizio Cumo	Italy	2003-2006
Geoffrey F. Hewitt	UK	2007-2010
Graham de Vahl Davis	Australia	2011-2014
Kemal Hanjalić	Bosnia Herzegovina	2015-2018
Terrence W. Simon	USA	2019-

表4 歴代のSecretary General

Zoran Zarić	Former Yugoslavia	1968-1984
Naim Hamdia Afgan	Portugal	1985-1993
Faruk Arinç	Turkey	1994-2018
Ilker Tari	Turkey	2019-

表5 歴代のChairman of Executive Committee

Naim Hamdia Afgan	Portugal	1968-1972
Thomas F. Irvine, Jr.	USA	1973-1974
Jean J. Ginoux	Belgium	1975-1976
Daan A. de Vries	The Netherlands	1977-1978
Erich Hahne	Germany	1979-1981
Chang-Lin Tien	USA	1981-1982
Charles J. Hoogendorn	The Netherlands	1984-1985
Michel Combarous	France	1985-1988
J. Terry Rogers	Canada	1989-1990
Franz Mayinger	Germany	1991-1992
Richard J. Goldstein	USA	1993-1994
Maurizio Cumo	Italy	1995-1996
Arthur E. Bergles	USA	1997-1998
Geoffrey F. Hewitt	UK	1999-2000
L.S. "Skip" Fletcher	USA	2001-2002
Kemal Hanjalić	Bosnia Herzegovina	2003-2004
Kenjiro Suzuki	Japan	2005-2006
Eddie Leonardi	Australia	2007-2008
Jacques Padet	France	2009-2010
Terrence W. Simon	USA	2011-2012
Yildiz Bayazitoglu	USA	2013-2014
Yogesh Jaluria	USA	2015-2016
Renato M. Cotta	Brazil	2017-2018
Hideo Yoshida	Japan	2019-

1968年創設時の事務局は旧ユーゴスラビアのベオグラードでしたが1994年にトルコのアンカラに移動し現在に至っています。なお、当初ベオグラードで創設された経緯は故J.P. Hartnett教授によって以下のように説明されています。

Meanwhile, the Second and Third All-Union Heat Transfer Conferences were held at Minsk in 1964 and 1968, respectively. The Chairman of the Conferences, A.V. Luikov, continued his policy of inviting increasing numbers of foreigners to attend. The 1968 meeting in mid-May 1968 is of special importance to the International Centre for on this occasion Academician A.V. Luilov convened a special meeting to discuss the establishment of an International Summer School in Heat and Mass Transfer to be held annually in Yugoslavia. In addition to Luikov, the following were present: S.S. Kutateladze, D.B. Spalding, E.A. Brun, E. Hahne, T. Mizushina, E.R.G. Eckert, T.F. Irvine, N. Afgan, Z. Zarić, and myself. Afgan and Zarić reported that the Boris Kidric Institute of Nuclear Studies in Belgrade planned to hold a summer school in September 1968 at Herceg-Novi on the Adriatic and hoped to do this every summer. It was unanimously agreed that the concept had considerable merit and should be pursued on the occasion of the Herceg-Novi conference.

For the next few months, Afgan and Zarić prepared the necessary documents to formalize the establishment of a new international center with the secretariat to be located in Belgrade. A number of foreign visitors were invited to the summer school and participated in the constitutive meeting which was held on September 16, 1968.

*"Origins of the International Centre for Heat and Mass Transfer"*

by J.P. Hartnett <https://www.ichmt.org/p/early-days>

### 3.3 Member InstitutionとScientific Council

ICHMTの母体となるMember Institution (2018年2月現在41機関)に、わが国からは日本伝熱学会 (HTSJ)、日本機械学会熱工学部門 (JSME-TED)、化学工学会熱工学部会 (SCEJ-DTE) が登録しています。以下に抜粋しましたように、Member Institutionの各代表がGeneral Assembly (GA) を構成しScientific Council (SC) は各Member Institutionからの推薦を受けて個人メンバーとしてセンターの運営に参画します。

#### V. GENERAL ASSEMBLY

##### Article 13

13.1. The General Assembly is the highest governing body of the Centre;

13.2. The General Assembly consists of representatives of the Institutional Members.

(中略)

13.4. The functions of the General Assembly are: 13.4.1.-3.

(中略)

#### VI. SCIENTIFIC COUNCIL

##### Article 14

14.1. Members of the Scientific Council are elected by the General Assembly from nominations by the Executive Committee, Scientific Council or the Institutional Members for a period of two years and may be re-elected;

(中略)

14.4. The functions of the Scientific Council are: 14.4.1.-8.

<https://www.ichmt.org/p/statutes>

表6に、これら3機関から推薦された日本のSC 13名を示します。一方、図4は国別のSC数ですが、一見してどなたも違和感があるのではないのでしょうか。現時点で総数226名のところ米国は20%を占めることをはじめとして、国際会議や論文誌などに見る研究アクティビティーに照らすと意外なバランスになっているところもあるように思います（なお、韓国は出遅れて2014年に初めてICHMTに加盟したこともあり、現時点ではSCは不在です）。これはICHMTでのSCの決定方法が非常に曖昧であることに起因しています。以前報告しました選挙の複雑さ[11]の現れの一つでもあり、その改善がICHMTの健全な発展のために急務と考えています。（ただし現状では、このようなSCのバランスが、各種決定に直接反映することもないのですが、それはそれでSCの役割を曖昧にしているともいえます。）

表6 日本のScientific Council (2019年2月現在)

Hitoshi Asano	Kobe University
Katsunori Hanamura	Tokyo Institute of Technology
Masaru Ishizuka	Toyama Prefectural University
Yasuo Kawaguchi	Tokyo University of Science
Shigenao Maruyama	Tohoku University
Akio Miyara	Saga University
Taku Ohara	Tohoku University
Ken Okazaki	Tokyo Institute of Technology
Naoki Shikazono	The University of Tokyo
Koji Takahashi	Kyushu University
Yasuyuki Takata	Kyushu University
Yoshio Utaka	Tamagawa University
Hideo Yoshida	Kyoto University

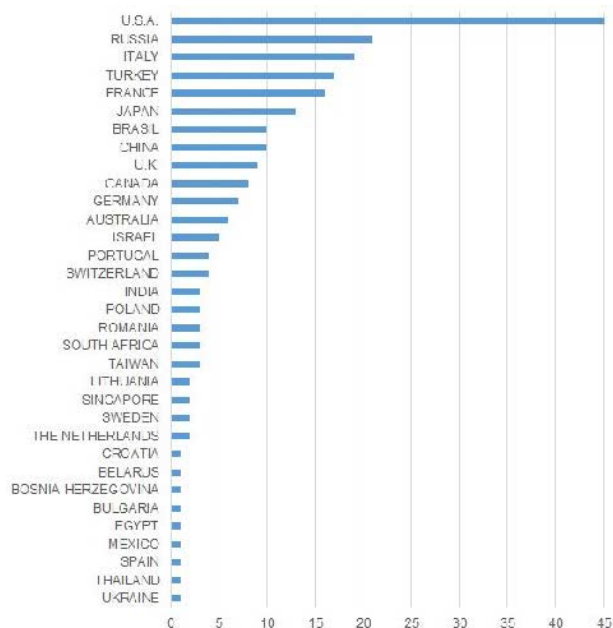


図4 国別のScientific Council数 (2019年2月現在)

### 3.4 今後に向けて

筆者は、たまたま2006年以降Assembly for International Heat Transfer Conferences (AIHTC)に関わるようになったために、その延長線上でICHMTにも関わることになり、現在にいたっております。故笠木伸英教授は2011–2014年の間Vice Presidentで、かつECメンバーでいらっしゃいましたが、ご逝去によりECには筆者一人が残されてしまいました。

熱科学工学のコミュニティーは総じて経験豊かなご長老が健在でいらっしゃいますが、ダイナミックなビジネスの世界では50歳前後のトップも少なくないことを見るにつけても、私たちのコミュニティーももっと若返る必要性を感じます。（その意味で、AIHTCの現Presidentに50代のX. Zhang教授が就任されたことは良かったと思います。）私たちにあって、やはり当面はICHMTとAIHTCを中心的な国際機関にせざるを得ないと思いますので、わが国が世界をリードするような研究展開の検討はもちろんのこと、今後の国際コミュニティーでの発言力・牽引力を強化できるよう、そして世代交代を率先して示せるよう、継続的な検討をお願いする次第です。

### 参考文献

- [1] 佐藤俊, 雑感—国際伝熱会議に参加して—, 伝熱研究, **26-100** (1987) 65.
- [2] 森康夫, 日本の伝熱研究の国際化とその経緯, 伝熱研究, **27-105** (1988) 7.
- [3] 棚沢一郎, International Journal of Heat and Mass Transfer, 伝熱研究, **27-105** (1988) 26.
- [4] 平田賢, 国際伝熱センターについて, 伝熱研究, **10-36** (1971) 1.
- [5] 森康夫, 国際熱・物質伝達センター (International Centre for Heat and Mass Transfer) について, **24-95**, (1985) 23.
- [6] 森康夫, International Centre for Heat and Mass Transferについてのニュース, **26-100**, (1987) 81.
- [7] 越後亮三, International Centre for Heat and Mass Transferについてのニュース, **29-115**, (1990) 4.
- [8] 鈴木健二郎, International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT) —その最近の活動報告と会員各位へのお願い—, 伝熱, **43-182** (2004) 3.
- [9] 笠木伸英, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の最近の活動と今後の課題, 伝熱, **50-210** (2011) 48.
- [10] 吉田英生, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の2011年以降の活動, 伝熱, **51-217** (2012) 52.
- [11] 吉田英生, 熱物質輸送国際センター (ICHMT) の現状と今後の課題, 伝熱, **55-230** (2016) 54

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2019年					
5月 29(水) ～ 31(金)	第56回日本伝熱シンポジウム (あわぎんホール 徳島県郷土文化会館)	2019.1.18	2019.3.8	第56回日本伝熱シンポジウム実行委員会 事務局 徳島大学 大学院社会産業理工学部 理工学域 機械科学系内 E-mail: symp2019@htsj-conf.org FAX: 088-656-9082 URL: <a href="http://htsj-conf.org/symp2019/index.html">http://htsj-conf.org/symp2019/index.html</a>	
9月 3(火) ～ 7(土)	The 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow – 2019 (ASCHT2019) (東京理科大学葛飾キャンパス)	2019.2.28	2019.4.30	Co-ordination Team (ASCHT2019) Email: <a href="mailto:office@ascht2019.com">office@ascht2019.com</a>	

本会共催、協賛、後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2018年					
12月 1(土)	No.18-63 第21回スターリングサイ クルシンポジウム (会場: 国士舘大学世田谷キャンパス 梅ヶ丘校舎 (34号館))	2018.7.30	2018.10.12	実行委員長: 大高敏男 (国士舘大学) Tel/Fax: (03)5481-3334 E-mail: <a href="mailto:otaka@kokushikan.ac.jp">otaka@kokushikan.ac.jp</a>	
12月 3(月) ～ 4(火)	第8回潜熱工学シンポジウム (会場: 尾張一宮駅前ビル, 愛知県)	2018.9.21	2018.10.19	幹事: 窪田光宏 (名古屋大学工学研究科) E-mail: <a href="mailto:kubota.mitsuhiro@material.nagoya-u.ac.jp">kubota.mitsuhiro@material.nagoya-u.ac.jp</a>	
12月 11(火) ～ 13(木)	第32回数値流体力学シンポジウム (会場: 機械振興会館)	2018.9.21	2018.10.22	日本流体力学会 事務局 Tel: 03-3714-0427 E-mail: <a href="mailto:jsfm@fr7.so-net.ne.jp">jsfm@fr7.so-net.ne.jp</a>	
12月 15(土)	2018年度計算力学技術者(CAE技術 者)資格認定事業 (開催場所: 慶応義塾大学理工学部矢 上キャンパス)			日本機械学会 事業企画 G: 石澤 Tel: 03-5360-3506 E-mail: <a href="mailto:caenintei@jsme.or.jp">caenintei@jsme.or.jp</a>	
12月 17(月) ～ 18(火)	第27回微粒化シンポジウム (会場: 岡山大学創立五十周年記念館)	2018.8.31	2018.10.22	日本液体微粒化学会 事務局 近藤健 Tel: 06-6466-1588 E-mail: <a href="mailto:information_atmz@ilass-japan.gr.jp">information_atmz@ilass-japan.gr.jp</a>	
12月 19(水)	広島大学エネルギー超高度利用研究拠 点水素シンポジウム「水素の地産地消 とビジネスモデル」			横溝 美穂 広島大学エネルギー超高度利用研究拠点 <a href="mailto:yokomizo@hiroshima-u.ac.jp">yokomizo@hiroshima-u.ac.jp</a>	
2019年					
1月 22(火)	FCV 課題共有フォーラム			NEDO 課題共有フォーラム運営事務局 山下尚人 <a href="mailto:yamashitanot@nedo.go.jp">yamashitanot@nedo.go.jp</a> 増田美幸 <a href="mailto:masudamyk@nedo.go.jp">masudamyk@nedo.go.jp</a>	
1月 23(水)	先端技術を支える単位操作シリーズ～ 流動・攪拌, 伝熱の基礎と最新の開発事 例～ 大阪科学技術センター 4階 405号室			化学工学会関西支部 Tel: 06-6441-5531 E-mail: <a href="mailto:apply@kansai-scej.org">apply@kansai-scej.org</a>	
1月 23(水)	第4回理論応用力学シンポジウム			高田保之 (九州大学大学院・教授) TEL: 092-802-3100 E-mail: <a href="mailto:takata@mech.kyushu-u.ac.jp">takata@mech.kyushu-u.ac.jp</a>	
1月 24(木) ～ 25(金)	第47回ガスタービンセミナー			日本ガスタービン学会 E-mail: <a href="mailto:gtsj-office@gtsj.org">gtsj-office@gtsj.org</a>	
2月 22(金)	NO.18-166 イブニングセミナー – 未来に明かりを灯すスターリングエン ジン–	2019.2.8		日本計算工学会事務局 E-mail: <a href="mailto:office@jsces.org">office@jsces.org</a>	
4月 17(水) ～ 19(金)	第53回空気調和・冷凍連合講演会	2019.1.9	2019.2.26	日本機械学会環境工学部門 遠藤貴子 03-5360-3506 E-mail: <a href="mailto:endo@jsme.or.jp">endo@jsme.or.jp</a>	
5月 17(金) ～ 19(日)	第65回理論応用力学講演会			土木学会 橋本剛志 E-mail: <a href="mailto:hashimoto@jsce.or.jp">hashimoto@jsce.or.jp</a>	
7月 1(月) ～ 5(金)	第3回アジア赤外線サーモグラフィコ ンファレンス (QIRT-Asia 2019)			日本非破壊検査協会 03-5609-4011/03-5609-4061 E-mail: <a href="mailto:sec@qirtasia2019.com">sec@qirtasia2019.com</a>	
10月 20(日) ～ 23(水)	IMPRES2019 第5回革新的エネルギー材料・プロセ ス国際会議	2019.1.15		辻口拓也 (金沢大学, Vice Chair) E-mail: <a href="mailto:impres2019@ml.kanazawa-u.ac.jp">impres2019@ml.kanazawa-u.ac.jp</a>	
11月 17(日) ～ 22(金)	International Gas Turbine Congress 2019 Tokyo (IGTC2019 Tokyo)	2019.1.31	2019.4.30	日本ガスタービン学会事務局 Tel: 03-3365-0095 E-mail: <a href="mailto:gtsj-desk@gtsj.org">gtsj-desk@gtsj.org</a>	
12月 1(日) ～ 5(木)	The 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF-2019)			内山知実 (名古屋大学未来材料・システム研究 所・教授) E-mail: <a href="mailto:uchiyama@is.nagoya-u.ac.jp">uchiyama@is.nagoya-u.ac.jp</a>	

## 第 56 回日本伝熱シンポジウムのご案内

第 56 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

委員長 出口祥啓

幹事 向笠 忍

開催日：2019年5月29日（水）～5月31日（金）

会場：あわぎんホール 徳島県郷土文化会館 (<http://www.kyoubun.or.jp/index.html>)

所在地 〒770-0835 徳島県徳島市藍場町2丁目14番地 電話 088-622-8121（代表）

アクセス JRをご利用の場合 「徳島駅」より徒歩8分

車をご利用の場合 「徳島インターチェンジ」より車で20分

飛行機をご利用の場合 「徳島空港」より車で25分／空港連絡バスで25分、徳島駅下車徒歩8分

特別講演 1：2019年5月30日（木）15:15 - 16:00（あわぎんホール 1階ホール）

講演者：清華大学 Director of Department of Energy and Power Engineering  
Jiang Peixue 教授

題目：Fluid Flow and Heat Transfer of Supercritical Pressure CO<sub>2</sub> in Low Carbon Energy Technology

特別講演 2：2019年5月30日（木）16:00 - 16:45（あわぎんホール 1階ホール）

講演者：東北大学流体科学研究所，産業技術総合研究所  
小林秀昭 教授

題目：カーボンフリーアンモニア燃焼の科学と技術

総会：2019年5月30日（木）16:50 - 18:20（あわぎんホール 1階ホール）

ホームページ URL：<http://htsj-conf.org/symp2019/index.html>

### 【シンポジウムの形式】

- 講演発表形式として
  - a) 通常的一般セッション（口頭発表）
  - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
  - c) 国際セッション（口頭発表）
  - d) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- 1講演あたりの割当時間は、一般セッションでは15分（発表10分、個別討論5分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては、オーガナイザーの指示に従って下さい。
- 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第56回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照下さい。

### 【参加費等】

- 参加費の申込時期
  - 早期申込：4月19日まで
  - 通常申込：4月20日以降（5月11日までに参加登録を完了された方には、事前に参加者キットをお送りします）

## ● シンポジウム参加費

会員一般	早期申込：12,000 円	通常申込：15,000 円
非会員一般	早期申込：15,000 円	通常申込：18,000 円
会員学生	早期申込：6,000 円	通常申込：7,000 円
非会員学生	早期申込：7,000 円	通常申込：8,000 円

※特別賛助会員は1口につき3名、賛助会員は1口につき1名、参加費が無料になります。

※会員とは、日本伝熱学会会員のほか、共催・協賛学協会の会員を含みます。

※講演論文集電子版は参加者全員に配布されます。

## ● 講演論文集電子版

講演論文集電子版のみの販売：5,000 円（シンポジウム後の販売となります。）

## 【意見交換会】

## ● 開催日：2019年5月30日（木）

● 会場：ホテルクレメント徳島 (<https://www.jrclement.co.jp/tokushima/>)

## ● 参加費：

一般 早期申込：8,000 円，通常申込：10,000 円 同伴配偶者無料

学生 早期申込：4,000 円，通常申込：5,000 円

※意見交換会にて阿波踊りの実演を行います。参加者皆様には、第56回伝熱シンポジウム法被をご用意する他、阿波踊りに参加いただき、優秀なダンサーには、HOTダンサー賞を授与します。

## 【参加登録と参加費等の支払い方法】

## ● 参加登録は本シンポジウムのウェブページから行ってください。

## ● 参加費等の支払いは、参加登録のページからのクレジットカード決済、もしくは銀行振込になります。参加費等の支払いをもって「参加登録の完了」とします。

## ● 銀行振込による早期申込みをされる場合は、4月19日までに振込をお済ませください。

## ● 銀行振込による支払では振込用紙等は用意いたしません。振込手数料は各自でご負担願います。

## ● 4月20日以降もウェブページからの参加登録が可能です。参加費は通常申込扱いとなります。

## ● 5月11日までに参加登録を完了された方には事前に参加者キット（講演論文集電子版、講演プログラム、参加票、領収書など）をお送りします。

## ● シンポジウム当日も参加登録と参加費等の支払い（クレジットカード決済、現金払い）ができます。

## ● 自治体からの支援をいただくための資料として、参加登録のページに宿泊場所と宿泊日を記入する欄を設ける予定です。参加登録後でも再度ログインして入力できますので、必ず入力するようにお願いします。この情報は自治体に提出する以外に利用することはありません。

## 【講演論文集電子版】

## ● 講演論文集電子版は、日本伝熱学会会員（2019年度会員）の皆様に対し、シンポジウムのホームページにリンクされたウェブサイトを通じて公開します。公開日は2019年5月22日（水）を予定しています。

## ● 電子版は、シンポジウムのホームページより「講演論文集」のページに入り、以下の閲覧IDとパスワードを用いてログイン後、閲覧・ダウンロードをすることができます。

講演論文集（電子版）閲覧ID：\*\*\*\*\*，パスワード：\*\*\*\*\*

## ● シンポジウムで座長をご担当される方は、この電子版を当日のセッションの参考資料として下さい。

## 【講演論文の公開日】

## ● 講演論文集（電子版）の公開日は、2019年5月22日（水）を予定しています。特許に関わる公知日もこ

の日になります。シンポジウム開催日よりも早くなりますので、ご注意ください。

**【交通】**

- 交通につきましては、本シンポジウムのホームページをご参照下さい。

**【ご注意】**

- 口頭発表用として実行委員会事務局が準備する機器は、原則としてプロジェクタのみとさせていただきます。パーソナルコンピュータは各自ご持参下さい。
- 参加費、意見交換会費等は参加取消の場合でも返金いたしません。
- 本シンポジウムに関する最新情報については、随時更新するホームページでご確認下さい。
- その他、ご不明な点がありましたら、実行委員会事務局まで Email または FAX でお問い合わせ下さい。

**【お問い合わせ先】**

第 56 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局  
徳島大学 大学院社会産業理工学部 理工学域機械科学系内  
E-mail : [symp2019@htsj-conf.org](mailto:symp2019@htsj-conf.org), FAX : 088-656-9082  
ホームページ URL: <http://htsj-conf.org/symp2019/index.html>

第56回日本伝熱シンポジウム[徳島]

タイムテーブル[第1日:5月29日(水)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A11 OS 水素・燃料電池・二次電池 1 9:00 ~ 10:40	B11 沸騰・凝縮 1 9:00 ~ 10:40	C11 多孔体内の伝熱 9:20 ~ 10:40	D11 電子機器の冷却 1 9:40 ~ 10:40	E11 ナノ・マイクロ伝熱 1 9:20 ~ 10:40	F11 強制対流 9:00 ~ 10:40	G11 計測技術 1 9:20 ~ 10:40	H11 OS 伝熱研究へのMEMSの利用 1 9:20 ~ 10:40		J11 空調・熱機器 1 9:20 ~ 10:40
A12 OS 燃焼伝熱研究の最前線 1 11:50 ~ 12:30	B12 沸騰・凝縮 2 10:50 ~ 12:30	C12 OS 水素・燃料電池・二次電池 2 10:50 ~ 12:30	D12 電子機器の冷却 2 10:50 ~ 12:30	E12 ナノ・マイクロ伝熱 2 10:50 ~ 12:30	F12 混相流 10:50 ~ 12:30	G12 計測技術 2 10:50 ~ 12:30	H12 OS 伝熱研究へのMEMSの利用 2 10:50 ~ 12:30	I12 OS 非線形熱流体现象と伝熱 1 10:50 ~ 12:30	J12 空調・熱機器 2 10:50 ~ 12:10
A13 OS ふく射輸送 1 13:30 ~ 15:10	B13 沸騰・凝縮 3 13:30 ~ 15:10	C13 OS 水素・燃料電池・二次電池 3 13:30 ~ 15:10	D13 電子機器の冷却 3 13:30 ~ 15:10	E13 ナノ・マイクロ伝熱 3 13:30 ~ 15:10	F13 OS 燃焼伝熱研究の最前線 2 13:30 ~ 15:10	G13 計測技術 3 13:30 ~ 14:50	H13 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 1 13:30 ~ 15:10	I13 OS 非線形熱流体现象と伝熱 2 13:30 ~ 15:10	J13 バイオ伝熱 13:30 ~ 15:10
<p>優秀プレゼンテーション賞セッション (K室) 15:30~17:50                      産学連携イベント(K室) 15:30~19:10                      特定推進研究特別ワークショップ (B室) 15:30~17:30</p>									

お知らせ

第56回日本伝熱シンポジウム[徳島]

タイムテーブル[第2日:5月30日(木)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
A21 国際セッション1 9:00 ~ 10:35	B21 沸騰・凝縮 4 9:00 ~ 10:40	C21 OS 水素・燃料電池・二次電池 4 9:00 ~ 10:40	D21 OS 乱流を伴う伝熱研究の進展 1 9:00 ~ 10:40	E21 ヒートパイプ 1 9:20 ~ 10:40	F21 OS 燃焼伝熱研究の最前線 3 9:20 ~ 10:40	G21 OS ふく射輸送 2 9:20 ~ 10:40	H21 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 2 9:20 ~ 10:40	企業特別セッション 9:00 ~ 12:30	J21 OS 化学プロセスにおける熱工学 1 9:15 ~ 10:40
A22 国際セッション2 10:50 ~ 12:25	B22 沸騰・凝縮 5 10:50 ~ 12:30	C22 OS 水素・燃料電池・二次電池 5 10:50 ~ 12:30	D22 OS 乱流を伴う伝熱研究の進展 2 10:50 ~ 12:30	E22 ヒートパイプ 2 10:50 ~ 12:30	F22 OS 燃焼伝熱研究の最前線 4 10:50 ~ 12:30	G22 OS ふく射輸送 3 10:50 ~ 12:30	H22 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 3 10:50 ~ 12:30		J22 OS 化学プロセスにおける熱工学 2 10:50 ~ 12:30
A23 国際セッション3 13:30 ~ 15:05	B23 沸騰・凝縮 6 13:30 ~ 15:10	C23 OS 水素・燃料電池・二次電池 6 13:30 ~ 15:10	D23 OS 乱流を伴う伝熱研究の進展 3 13:30 ~ 15:10	E23 ヒートパイプ 3 13:30 ~ 15:10	F23 OS 燃焼伝熱研究の最前線 5 13:30 ~ 15:10	G23 融解・凝固 1 13:30 ~ 15:10	H23 OS ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 4 13:30 ~ 15:10	人と熱との関わり 13:30 ~ 15:10	J23 OS 合同セッション: 熱エネルギー材料・システムおよび化学プロセスにおける伝熱工学 13:30 ~ 15:10
特別講演 ① (A室) 講演者: Jiang Peixue 教授 15:15~16:00 特別講演 ② (A室) 講演者: 小林秀昭 教授 16:00~16:45									
総会 (A室) 16:50~18:20									
意見交換会 (ホテルクレメント徳島) 19:00~21:00									

第56回日本伝熱シンポジウム[徳島]

タイムテーブル[第3日:5月31日(金)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室	J室
	B31 沸騰・凝縮 7 9:00 ~ 10:40	C31 自然エネルギー 1 9:40 ~ 10:40	D31 分子動力学 1 9:40 ~ 10:40	E31 自然対流 1 9:40 ~ 10:40	F31 物質移動 9:40 ~ 10:40	G31 融解・凝固 2 9:00 ~ 10:40	H31 ヒートパイプ 4 9:20 ~ 10:40	I31 OS 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 1 9:05 ~ 10:40	J31 熱物性 1 9:40 ~ 10:40
	B32 沸騰・凝縮 8 10:50 ~ 12:30	C32 自然エネルギー 2 10:50 ~ 11:50	D32 分子動力学 2 10:50 ~ 12:10	E32 自然対流 2 10:50 ~ 12:10	F32 熱音響 10:50 ~ 12:30	G32 融解・凝固 3 10:50 ~ 12:10	H32 ヒートパイプ 5 10:50 ~ 12:10	I32 OS 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 2 10:50 ~ 12:30	J32 熱物性 2 10:50 ~ 11:50



## 第56回日本伝熱シンポジウムプログラム（暫定版）

このプログラムは、4月8日現在の暫定版です。修正・変更する場合があります。必ず、最新版を本シンポジウムのホームページでご確認ください。

## 第1日 5月29日(水)

## &lt;A室&gt;

A11 9:00 - 10:40 OS: 水素・燃料電池・二次電池 1

A111 【OS基調講演】OS「水素・燃料電池・二次電池」における最近の講演状況

○徳増 崇 (東北大)

A112 【OS基調講演】移動体燃料電池の動向と解析技術による高性能化への貢献

○米田 雅一 (みずほ情報総研株式会社)

A113 【OS基調講演】デンソーにおけるSOFC開発への取り組みについて

○杉原 真一 (株式会社デンソー)

A12 11:50 - 12:30 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 1

A121 【OS基調講演】SIP革新的燃焼技術・熱効率50%へ向けての取り組み

○横森 剛 (慶應義塾大学)

A13 13:30 - 15:10 OS: ふく射輸送 1

座長: 宮崎 康次(九州工業大学)

A131 【OS基調講演】遠方場および近接場ふく射輸送の基礎と将来研究

○花村 克悟 (東工大)

A132 金属-半導体-金属多層膜型TPV電池の実現へ向けた表面プラズモンポラリトン共鳴モードの解析

○磯部 和真, 花村 克悟 (東工大)

A133 Highly Selective Radiative Cooling Device Design Boosted by Machine Learning Method

○Jiang M Guo, Shenghong M Ju, Junichiro M Shiomi (Univ. Tokyo)

A134 溶剤の赤外線吸収帯に放射する赤外線乾燥

○戸谷 剛 (北海道大), 櫻井 篤 (新潟大), Dao Duy Thang, 長尾 忠昭 (物材機構), 近藤 良夫 (日本ガイシ)

## &lt;B室&gt;

B11 9:00 - 10:40 沸騰・凝縮 1

B111 多層マイクロチャネル構造ヒートシンクの伝熱性能評価

○西村 祐輔 (東北大院、(株)ケーヒン), 岡島 淳之介 (東北大学), 大内 琢也 ((株)ケーヒン), 小宮 敦樹 (東北大学)

B112 水の核沸騰における広範囲の熱流束域のマイクロ液膜特性

○胡 康, 陳 志豪 (天津大), ○宇高 義郎 (天津大/玉川大)

B113 エタノールの沸騰に及ぼす表面性状の影響

○濱崎 建至, 高田 保之, 高橋 厚史, 日高 澄具, シェン ビャオ, 岩田 直樹 (九州大), 布村 順次, 深津 明弘, 戸次 洋一郎 (株式会社UACJ)

B114 プレート式熱交換器内の沸騰熱伝達特性

○河南 治, 迫田 翔矢 (兵庫県立大), 松下 稔 (日阪製作所)

B115 マイクロチャネル内相変化伝熱における液膜形成特性の解析

○岡島 淳之介 (東北大)

B12 10:50 - 12:30 沸騰・凝縮 2

B121 高温面上の落下液滴蒸発時間と蒸気生成限界との関連について -固液接触と熱流束について-

○門出 政則, 光武 雄一 (佐賀大)

B122 狭隘空間の異形態相関沸騰における水の限界熱流束への伝熱面寸法の影響

○謝 添壘, 陳 志豪 (天津大), 宇高 義郎 (天津大/玉川大)

B123 ナノ流体プール沸騰中の伝熱機構に関する検討

○大川 富雄, 渡辺 陽介, 榎木 光治 (電通大)

B124 ロータス銅を用いた自己冷却型沸騰冷却面の開発—グループサイズの影響—

○辻 利佳子, 結城 和久, 高井 貴生, 木伏 理沙子, 海野 徳幸 (山口東理大), 井手 拓哉, 大串 哲朗, 村上 政明, 沼田 富行 (ロタスサーマルソリューション), 野村 光 (大阪大)

B125 窒素バブリングがサブクールプール沸騰における限界熱流束に及ぼす影響

○海野 徳幸, 結城 和久, 木伏 理沙子 (山口東京理科大学), 鈴木 康一 (東京理科大学)

B13 13:30 - 15:10 沸騰・凝縮 3

B131 焼入れ時の熱処理歪に対する沸騰熱伝達の影響 -CAEを応用した熱処理歪予測技術-

○賀数 広海, 藤山 周秀 (光洋サーモシステム株式会社)

B132 霜層被覆面を利用した飽和沸騰熱伝達の促進

○諸隈 崇幸 (横浜国立大), 大久保 英敏, 杉野 大洋, 廣谷 俊樹 (玉川大), 宇高 義郎 (天津大/玉川大)

B133 電気流体力によって促進されたサブクール流動沸騰に及ぼす加熱面の角度による影響

○鹿野 イチロウ (山形大)

B134 Experimental Investigation on Flow Boiling Characteristics of Radial Expanding MiniChannels Heat Sink for Hybrid PV-CSP Thermal Management System

○Sihui Hong (The University of Tokyo)

B135 沸騰伝熱面での海水塩析出に対する流動の影響

○上澤 伸一郎, 小野 綾子, 小泉 安郎, 柴田 光彦, 吉田 啓之 (原子力機構)

B14 15:30 - 17:30 OS: 特定推進研究特別ワークショップ

座長: 津島 将司(大阪大学)

B141 【特別講演】モータの小型・高出力化と熱対策

○梶 信藤 (公益財団法人 永守財団)

B142 分子・原子およびナノスケール熱制御を主役としたデバイス設計へのパラダイムシフト

○花村 克悟 (東工大)

B143 熱エネルギーシステムのための化学蓄熱の高出力密度化

○加藤 之貴 (東工大)

## &lt;C室&gt;

- C11 9:20 - 10:40 多孔体内の伝熱
- C111 多孔質内部における自然対流物質輸送  
○末包 哲也 (東工大)
- C112 多孔質層の自然対流発生限界に及ぼす仕切り壁の影響-軽量化に着目した評価-  
○山口 義幸 (兵庫県大), 土居 怜史 (兵庫県大)
- C113 Pore scale modeling of melting of phase change materials in a 3D cubic Lattice Metal Frame  
○Chunyang Wang, Moghtada Mobedi, Fujio Kuwahara (Shizuoka Univ.)
- C114 金属3Dプリンターによる一方向性ポーラス銅を用いた冷却デバイスの開発  
高井 貴生, ○菅 大輝, 結城 和久, 木伏 理沙子, 海野 徳幸, 島本 公美子 (山口東理大)
- C12 10:50 - 12:30 OS: 水素・燃料電池・二次電池 2
- C121 燃料電池触媒インク劣化反応の解析  
○植村 豪, 吉田 利彦, 古賀 舞都, 松本 英俊 (東工大), 篠原 和彦 (FC-Cubic), 笹部 崇, 平井 秀一郎 (東工大)
- C122 触媒インク内におけるアイオノマー凝集構造に関する分子論的解析  
○馬淵 拓哉, 徳増 崇 (東北大)
- C123 異なる炭素材料を含むPEFC触媒インクの乾燥過程における多孔質構造形成挙動解析  
○鈴木 崇弘, 永井 辰昌, 津島 将司 (大阪大院)
- C124 PEFC触媒層内の酸素輸送抵抗評価法と構造影響解析  
○飯利 拓実, 佐竹 孝保, 壁谷 将生, 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)
- C125 酸素輸送抵抗低減を目指した白金担持グラフェンのPEFC触媒層への利用とその性能評価  
○矢田 溪佑, 飯利 拓実, 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)
- C13 13:30 - 15:10 OS: 水素・燃料電池・二次電池 3
- C131 触媒層微小流路における酸素輸送現象の分子論的解析  
○中内 将隆 (東北大), 馬淵 拓哉 (東北大フロンティア研究所), 吉本 勇太, 金子 敏宏, 杵淵 郁也 (東京大), 武内 秀樹 (高知高専), 徳増 崇 (東北大流体研)
- C132 固体高分子形燃料電池における濡れ性分布を有するガス拡散層内部の液水挙動解析  
○境田 悟志, 田中 光太郎, 金野 満 (茨城大), 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)
- C133 液水挙動X線可視化によるPEFCリブ/チャンネル幅の影響解析  
○小見山 貴弘, 笹部 崇, 河村 雄行, 内藤 弘土, 平井 秀一郎 (東京工業大学)
- C134 乳酸バイオ電池の高出力密度化に向けた多孔質炭素電極の親水化に関する検討  
○西田 耕介, 角南 翔大, 平松 郁朗 (京工繊大)

- C135 In-situ soft X-ray imaging of an operating anion exchange membrane fuel cell  
○Wei-Ting F Chen, Takahiro M Suzuki, Shohji M Tsushima (Graduate School of Engineering, Univ. Osaka), Kanji M Otsuji (Integrated Graduate School of Medicine, Engineering, and Agricultural Sciences, Univ. Yamanashi), Makoto M Uchida (Fuel Cell Nanomaterials Center, Univ. Yamanashi), Kenji M Miyatake (Clean Energy Research Center, Univ. Yamanashi)

## &lt;D室&gt;

- D11 9:40 - 10:40 電子機器の冷却 1
- D111 大きなうねりを有する固体間の接触熱抵抗の測定手法  
○篠田 卓也 (デンソー), 安井 龍太 (メイテック), Karjadi Karim, 伏信 一慶 (東工大), 富村 寿夫 (元熊本大学)
- D112 Heat dissipation measurement of electronic component by means of external heater and heat flux sensor  
○ZIDI LI, Joao Vitor Thomsen Silveira, Kazuyoshi Fushinobu (Univ. Tokyo Tech.), Ryuta Yasui (MEITEC CORPORATION), Takuya Shinoda (DENSO CORPORATION)
- D113 低接触圧力領域におけるアルミニウム合金の接触熱抵抗評価  
○兵藤 文紀, 畠山 友行 (富山県立大), 木伏 理沙子 (山口東京理科大), 石塚 勝 (富山県立大)
- D12 10:50 - 12:30 電子機器の冷却 2
- D121 高熱伝導率化した相変化材料を用いたリチウムイオン電池用冷却装置の伝熱特性評価  
○小林 大祐, 河野 智成, 畑 弘敬, 小野 直樹 (芝浦工大)
- D122 VHDL-AMS記述による自己発熱対応インダクタンスモデル-従来のDCDCコンバータシミュレーションの課題とこのモデルの必要性-  
○瀧澤 登 (ローム株式会社)
- D123 表面実装型パワー半導体パッケージのコンパクト熱モデルに関する検討  
○西 剛伺 (足利大)
- D124 3D thermal analysis on PCBs with multiple surface mounted semiconductor devices by using an FEM-based open source PDE solver  
○Joao Vitor Thomsen Silveira, Zidi Li, Kazuyoshi Fushinobu (Tokyo Institute of Technology), Ryuta Yasui (MEITEC Corporation), Takuya Shinoda (DENSO Corporation)
- D125 密集実装部品の温度上昇解析におけるCFDと実験結果の差異に関する検討  
○有賀 善紀, 平沢 浩一, 山辺 孝之, 青木 洋稔 (KOA株式会社), 畠山 友行, 中川 慎二, 石塚 勝 (富山県立大学)
- D13 13:30 - 15:10 電子機器の冷却 3
- D131 沸騰時の対流現象を利用したロータス銅フィン浸漬型熱交換器の開発  
○禰宜田 大貴, 結城 和久, 海野 徳幸, 木伏 理沙子 (山口東理大), 井手 拓哉, 大串 哲郎, 村上 政明, 沼田 富行 (ロータスサーマルソリューション), 野村 光 (大阪大)

- D132 コンパクト沸騰冷却デバイス開発のための狭空間内におけるブール沸騰熱伝達評価  
○海野 徳幸, 結城 和久, 木伏 理沙子 (山口東京理科大学), 鈴木 康一 (東京理科大学)
- D133 多孔体界面熱輸送モデルの提案に基づく平板型高熱流束ループヒートパイプの研究  
○小田切 公秀, 長野 方星 (名古屋大)
- D134 宇宙機搭載熱機器用ペーパーチャンバの蒸発面温度分布評価  
○馬場 宗明 (産総研), 澤田 健一郎, 田中 洸輔, 岡本 篤 (JAXA)
- D135 パワーMOSFETの温度分布と放熱経路に関する研究  
○木伏 理沙子 (山口東京理科大学), 畠山 友行 (富山県立大学), 海野 徳幸, 結城 和久 (山口東京理科大学), 石塚 勝 (富山県立大学)

## &lt;E 室&gt;

- E11 9:20 - 10:40 ナノ・マイクロ伝熱 1
- E111 分散低減型モンテカルロ法による多孔体表面からの蒸発の解析  
○今井 宏樹, 松本 浩史 (東京大), 堀 琢磨 (東京理科大), 吉本 勇太, 高木 周, 杵淵 郁也 (東京大)
- E112 In-plane thermal conductivity of thin films composed of single-walled carbon nanotubes coaxially coated with boron nitride nanotubes  
○Pengyingkai Wang, Yongjia Zheng, Taiki Inoue, Rong Xiang, Makoto Watanabe, Shohei Chiashi, Shigeo Maruyama (Univ. Tokyo)
- E113 高熱伝導複合材の開発に向けたダイヤモンド/銅界面の熱輸送機構の検証  
○許 斌, HUNG Shih-wei, 塩見 淳一郎 (東京大)
- E114 ヘテロ多層ナノチューブの合成と転写  
○村上 大巧, 荒井 隼人, 鄭 永嘉, 銭 洋, 井ノ上 泰輝, 項 榮, 千足 昇平, 丸山 茂夫 (東京大)
- E12 10:50 - 12:30 ナノ・マイクロ伝熱 2
- E121 グラフェンナノリボンで調べた過渡速度分散関係におけるフォノンエネルギー再分布の動力学  
○ゾロツキヒナ タチアナ, 野田 雪絵 (富山大学)
- E122 非平衡系の気液界面における反射分子の衝突挙動とエネルギー適応係数  
○徳永 敦士 (宇部高専), 鶴田 隆治 (九工大)
- E123 クラスレート化合物の熱輸送特性におけるフォノンの非調和効果  
○大西 正人 (東京大), 只野 央将 (物材研), 常行 真司, 塩見 淳一郎 (東京大)
- E124 分子配向秩序を有する発光性イオン液体の創製とその光学特性および相変化特性-新規な光アップコンバージョン材料開発の着手-  
○織茂 和也, 村上 陽一 (東京工業大学)
- E125 原子グリーン関数法に分子動力学法を組み合わせた非弾性フォノン輸送解析  
○濱川 登夢, 恒川 一晟, 塩見 淳一郎 (東京大)
- E13 13:30 - 15:10 ナノ・マイクロ伝熱 3
- E131 T字マイクロチャネルにおける温度差誘起旋回流の数値計算  
○石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)
- E132 原子間力顕微鏡による加熱前後での界面ナノバブル計測  
○中村 直斗, 手嶋 秀彰, 李 秦宜, 高田 保之, 高橋 厚史 (九州大学)

- E133 マイクロ流路内における1次元氷結現象のNIRイメージング  
○山田 格, 渡邊 佳月, 玉野 真司, 森西 洋平 (名工大)
- E134 異なるカイラリティの単層CNT成長の分子動力学  
○吉川 亮, 久間 馨, 向井 協, 橋本 翔, 千足 昇平, 丸山 茂夫 (東京大)
- E135 近赤外蛍光イメージング分光法による単層CNTの熱伝導率計測  
○千足 昇平 (東京大学), 吉野 数基, 加藤 高士, 本間 芳和 (東理大)

## &lt;F 室&gt;

- F11 9:00 - 10:40 強制対流
- F111 狭隘流路における単相流伝熱流動に関する実験的研究  
○劉 維, 守田 幸路 (九州大)
- F112 低アスペクト比におけるTaylor-Couette流れの流動構造解析  
○川口 達也, 野口 侑希, 齊藤 卓志, 佐藤 勲 (東工大)
- F113 片側を延長したリップが及ぼす二次元噴流への影響  
○元木 智崇, 安田 修平, 平田 勝哉 (同志社大)
- F114 脈動冷却流が翼後縁部フィルム冷却性能へ与える影響の三次元熱伝導を考慮した過渡応答法計測  
○山本 昌平, 村田 章, 谷口 和, 早川 洋人, 岩本 薫 (農工大)
- F115 光レオロジー流体の蛇行流路内における流動構造および伝熱特性  
○栗山 怜子 (京大), 土川 翔伍, 阪中 郁哉 (京大院), 巽 和也, 中部 主敬 (京大)
- F12 10:50 - 12:30 混相流
- F121 マイクロ流路を流れる粒子・赤血球の数密度分布計測と運動評価  
小井手 祐介 (京大院), ○巽 和也 (京大), 野口 慎之介 (京大院), 栗山 怜子, 中部 主敬 (京大)
- F122 先細末広ノズル内における炭酸ガス冷媒の可視化に関する研究  
○川村 洋介, 藤沢 拓弥, 中川 勝文 (豊橋技科大)
- F123 BWR燃料サブチャンネルのスペーサ下流域における液滴付着効果の可視観察  
○大川 理一郎, 古谷 正裕, 新井 崇洋, 滝口 広樹, 飯山 継正 (電中研)
- F124 Lubrication model for vapor absorption into hygroscopic liquid desiccant droplets  
○Zhenying WANG (Kyushu Univ.), George KARAPETSAS (Aristotle Univ. Thessaloniki), Prashant VALLURI, Adam WILLIAMS, Khellil SEFIANE (Univ. Edinburgh), Yasuyuki TAKATA (Kyushu Univ.)
- F125 扁平多孔管における流動沸騰不安定性に対する入口絞りの影響  
曹 旭發, 党 超鋸, ○飛原 英治 (東京大)
- F13 13:30 - 15:10 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 2
- F131 超希薄燃焼SIエンジンにおける筒内水噴射がノック及び冷却損失に与える影響  
○長澤 剛, 大倉 優一, 佐藤 進, 小酒 英範 (東工大)
- F132 壁面安定化冷炎を用いた冷炎着火温度の評価  
○李 敏赫, 范 勇, 鈴木 雄二 (東大)

- F133 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いた超過濃メタン燃焼における化学種計測及びモデル予測性能の向上に関する研究  
○金山 佳督, 手塚 卓也, 長谷川 進, 中村 寿 (東北大), 丸田 薫 (東北大/極東連邦大)
- F134 重力環境の違いにおける対向空気流中電線被覆上燃え拡がり火災に及ぼす周囲圧力の影響  
○永地 大志 (北海道大), CITERNE Jean-Marie, DUTILLEUL Hugo, GUIBAUD Augustin (Sorbonne Université), JOMAAS Grunde (University of Edinburgh), LEGROS Guillaume (Sorbonne Université), 橋本 望, 藤田 修 (北海道大)
- F135 GLRおよび粘性の変化が内部急速混合型油水噴霧ノズルの噴霧特性に与える影響  
○太田 善規, 細川 侑也, Arshad Aizam Shahroni, 名田 謙, 木戸 善行 (徳島大)

## &lt;G 室&gt;

- G11 9:20 - 10:40 計測技術 1
- G111 静電容量変化型無線センサを用いた可視化エンジン壁温計測  
○李 敏赫, 原 駿一郎, 森本 賢一, 鈴木 雄二 (東大)
- G112 CT半導体レーザ吸収法を用いた高温場の多断面温度計測技術に関する研究  
○李 毅, 出口 祥啓, 神本 崇博, 辻本 一真 (徳島大)
- G113 波長可変半導体レーザ吸収法による高応答温度・濃度計測技術に関する研究  
○林 侑蔵, 出口 祥啓, 神本 崇博 (徳島大)
- G114 LIBSを用いたリモート計測におけるプラズマ温度特性に関する研究  
○古川 遼, 出口 祥啓, 田中 誠也 (徳島大)
- G12 10:50 - 12:30 計測技術 2
- G121 熱分解により変形する木材内部の三次元的追跡  
○村井 晃大 (秋田県立大 大学院), 大徳 忠史, 鶴田 俊, 大上 泰寛 (秋田県立大)
- G122 伝熱逆問題の高速安定解法アルゴリズム  
○坂本 明洋, 小林 一暁 (日本製鉄)
- G123 紫外吸収法を用いたNO計測の温度特性評価  
○辻本 一真, 出口 祥啓, 神本 崇博, 生越 龍太 (徳島大)
- G124 CT半導体レーザ吸収法の局所温度・濃度分布における計測特性評価  
○神本 崇博, 出口 祥啓 (徳島大)
- G125 ロング・ショートDP-LIBSを用いた鉄鋼材料組成分析におけるプラズマ温度の熱的影響に関する研究  
○田中 誠也, 出口 祥啓, 辻本 一真, 古川 遼 (徳島大)
- G13 13:30 - 14:50 計測技術 3
- G131 間欠噴流による熱流束センサの性能評価  
○戸本 吉亮, 中別府 修, 出島 一仁, 樋口 雅晃 (明治大)
- G132 多層カーボンナノチューブ紙を用いたガスセンサーの開発  
○張 孟莉, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- G133 カーボンナノチューブ薄膜ガスセンサーの応答に対する膜厚の影響  
富田 圭裕, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)

- G134 目視角度の影響を考慮した感温液晶からの散乱光強度比を用いた温度計測法  
○鳥山 孝司 (山梨大), 多田 茂 (防衛大), 一宮 浩市, 船谷 俊平, 権 宰暈 (山梨大)

## &lt;H 室&gt;

- H11 9:20 - 10:40 OS: 伝熱研究へのMEMSの利用 1  
座長: 矢吹 智英 (九州工業大学)
- H111 MEMSセンサによる薄液膜の形成・蒸発特性の研究  
○和栗 新一郎, 中別府 修, 汰木 陸人 (明治大)
- H112 濾過機能が集積された樹脂製光学式拡散センシングデバイスの開発  
○齊藤 美佳 (慶大), 奥脇 拓也 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)
- H113 レーザ誘起誘電泳動を用いたpL液滴内拡散係数測定デバイスの開発  
○鎌田 慎 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)
- H114 MEMSセンサを用いたエンジン壁面熱流束の高分解能測定  
○出島 一仁, 中別府 修, 樋口 雅晃 (明治大)
- H12 10:50 - 12:30 OS: 伝熱研究へのMEMSの利用 2  
座長: 中別府 修 (明治大)
- H121 沸騰研究へのMEMS熱計測技術の利用  
○矢吹 智英 (九州工大)
- H122 Parylene E-based MEMS gas detector with deep electrodes and an embedded heater  
Chen-Han YEH, Takahiro MITO, Yuji SUZUKI, Kenichi MORIMOTO (Univ. Tokyo)
- H123 欠陥を有するカーボンナノファイバーのMEMSセンサによる熱計測  
○檜崎 将弘, 李 泰宜, 宮脇 仁, 生田 竜也, 高橋 厚史 (九州大)
- H124 内視鏡光パイオプシーのための熱駆動MEMSアクチュエータの開発  
○橋本 将明, 田口 良広 (慶應大)
- H125 光導電膜パターンを用いた光誘起誘電泳動によるナノスケール試料のソーティング技術の開発  
○平原 央瑛 (慶大院), 田口 良広 (慶大理工)
- H13 13:30 - 15:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 1  
座長: 小原 拓 (東北大学)
- H131 親水性ナノ細孔における水の吸着・移動現象  
黄 峻浩, 柳田 浩佑, 坂本 数貴, 徐 偉倫 (東京大), 片岡 祥, 遠藤 明 (産総研), 大宮 啓文 (東京大)
- H132 OH終端されたシリカ表面の水の濡れに関する分子動力学解析  
小田 浩太郎, 山口 康隆 (阪大), スルプリスト ナタス (東北大)
- H133 固体接合面間の液膜厚さ分布測定に関する検討  
○武田 咲希恵, 山本 憲, 元祐 昌廣 (東理大)
- H134 共有結合性有機骨格(COF)の核生成と結晶成長に及ぼす温度および濃度の影響-COFの熱応用開拓および物性計測に向けた高品質化-  
○早川 祥平, 王 晓晗, 村上 陽一 (東工大)
- H135 高品質な共有結合性有機骨格(COF)の溶媒熱合成の方法探究と生成物評価  
○王 晓晗, 早川 祥平, 村上 陽一 (東工大)

## &lt;I 室&gt;

- I12 10:50 - 12:30 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 1  
座長: 益子 岳史 (静岡大)

- I121 **【OS基調講演】** 熱電気流体力学的対流  
○Prof. Harunori N. Yoshikawa (Univ. Nice, Sophia Antipolis, France)
- I122 成層流体中を鉛直移動する球からの周期的な渦度の放出  
○安田 達哉, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京大)
- I123 回転場における内部発熱対流のセルサイズを記述するスケーリング則について  
○田坂 裕司 (北大), 柳澤 孝寿 (海洋機構)
- I124 温度差マランゴニ効果によって生起する高プラントル数高アスペクト比液柱内低ストークス数粒子集合現象  
○阪田 智樹, 齋藤 大己 (東理大院), 上野 一郎, 堀 琢磨 (東理大)
- I13 **13:30 - 15:10 OS: 非線形熱流体現象と伝熱 2**  
座長: 田坂 裕司(北大)
- I131 複雑ネットワーク理論を用いた燃焼振動抑制過程の特徴化  
○黒坂 拓也, 村山 聖悟, 後藤田 浩 (東理大)
- I132 結合させたKuramoto-Sivashinsky方程式解の同期  
○納見 祐志, 掛田 英希, 後藤田 浩 (東理大)
- I133 薄液膜内温度差マランゴニ対流の遷移に関する数値解析  
○工藤 正樹, 越智 拓郎 (都立産技高専)
- I134 自由液膜内温度差マランゴニ対流場における基本流パターン選択  
山崎 広哉, ○塚原 隆裕, 上野 一郎 (東理大)
- I135 液柱内温度差マランゴニ対流における自由表面を介した熱損失の影響に関する数値解析  
○藤本 空知 (東理大院), 大田 有純 (東理大学), 小笠原 亨, 茂木 孝介 (東理大院), 堀 琢磨, 上野 一郎 (東理大)
- <J室>  
J11 **9:20 - 10:40 空調・熱機器 1**
- J111 垂直ヘッダ型多分岐管における気液二相冷媒流の分配-ノズルによる冷媒供給の効果-  
荒木 勇人, ○廣田 真史 (三重大), 畠田 崇史, 小野 寺 亜由美 (東芝キャリア)
- J112 地中熱源+空気熱源ハイブリッド空調システムのサイクル解析  
○飯屋 圭史, 宮良 明男 (佐賀大)
- J113 浅層地中熱利用ヒートポンプ空調システムの特性把握と改善点の検討  
○永井 二郎, 菅沼 有人, 平田 将大, 宮本 重信 (福井大), 川上 岳彦 (コロナ), 橋詰 善光 (三谷セキサン)
- J114 フィンレス熱交換器における空気側性能に関する研究  
室伏 孝彦, ○東 朋寛, 党 超鋺, 飛原 英治 (東京大)
- J12 **10:50 - 12:10 空調・熱機器 2**
- J121 Evaluation of Transient Heat and Mass Transfer in Multilayer Fixed-bed Binder-free Desiccant Dehumidifier  
○Lili YU, Jubair A SHAMIM, Soumyadeep PAUL, Wei-Lun HSU, Hirofumi DAIGUJI (Univ. Tokyo)
- J122 ミスト生成と冷却除去法によるサブミクロン粒子の高効率除去に関する研究  
○姫野 修廣 (信州大), 岩田 拓実 (信州大院), 田胡 裕貴 (信州大学)
- J123 臭化リチウム水和物結晶のオストワルドライビング抑制  
○稲田 孝明, 小山 寿恵 (産総研)
- J124 微細凹凸フィンを用いたノンフロスト熱交換器に関する研究  
○矢島 健史 (東電HD), 大久保 英敏 (玉川大), 関 光雄 (NATOMICS)
- J13 **13:30 - 15:10 バイオ伝熱**
- J131 医療検体の常温乾燥保存を目的としたLDHタンパク質の長期保存における保護物質の効果  
○高野 清, 白樫 了 (東大生研)
- J132 メダカ魚卵の分化能に与えるパルス電場の影響  
○白樫 了, 青木 優武 (東京大)
- J133 魚卵の高分化能を維持した電気穿孔法  
王思凱, ○白樫 了 (東京大)
- J134 細胞内水分子の誘電分光による細胞凍結能の定量化  
柴田 泰治 (芝浦工大), ○白樫 了 (東京大)
- J135 生物由来タンパク質製剤のマイクロ波発泡乾燥の可能性  
小川 拓馬, ○藤田 琴音, 谷川 洋文, 鶴田 隆治 (九州工業大)
- <K室>  
K14 **15:30 - 17:50 優秀プレゼンテーション賞セッション**
- K1401 ナノ構造を有する固液界面の熱輸送機構に関する局所熱流束のスペクトル解析  
○中田 尚吾, 藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)
- K1402 金属酸化物界面でのフォトクロミズム発現とその分析  
○高木 秀隆, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)
- K1403 Boiling inside solid-state nanopores  
○Soumyadeep PAUL, Wei-Lun HSU, Ya-Lun HO, Hirofumi DAIGUJI (Univ. Tokyo)
- K1404 レーザー治療における皮膚内部のふく射伝熱解析  
○小川 頌央, 河野 貴裕 (芝浦工業大学), 江目 宏樹 (山形大学), 山田 純 (芝浦工業大学)
- K1405 環状電極を用いた生体ファントムの接触式不可逆エレクトロポレーション  
○内藤 大敬, 福永 鷹信, 蔵田 耕作, 高松 洋 (九州大)
- K1406 フロー熱電変換の試作セルにおける各抵抗の定量決定とセル改善に向けた指針獲得  
○池田 寛, 村上 陽一 (東工大)
- K1407 レーザマイクロテクスチャ加工を施した沸騰面を有する半導体冷却用アルミ製サーモサイフォンの高性能化  
○中尾 了, 近藤 智恵子, 本村 文孝 (長崎大)
- K1408 複雑ネットワークを用いた航空機エンジン用予混合燃焼器で発生する燃焼振動の事前検知  
○新地 悠平, 青木 知奈美, 武田 直大, 後藤田 浩 (東理大), 庄司 烈, 吉田 征二 (JAXA)
- K1409 リチウム二次電池におけるLi金属X線CT可視化  
○小宮山 翔平, 兒玉 学, 植村 豪 (東工大), 青木 敦, 小高 敏和, 須賀 創平, 高市 哲, 田淵 雄一郎 (日産自), 堀 智, 鈴木 耕太, 菅野 了次, 平井 秀一郎
- K1410 Nano-modified Materials for CaO/H<sub>2</sub>O/Ca(OH)<sub>2</sub> Thermochemical Energy Storage  
○Guo Rui, Funayama Shigehiko, Takasu Hiroki, Kato Yukitaka (Insti. Tokyo)

- K1411 リブロン表面光散乱法による微量有機物の動的センシング-ポリマーチューブからの水中溶出量評価-  
○小野 賢也 (慶大学), 豊内 哲也 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)
- K1412 マイクロリットル液体サンプルの熱伝導率測定デバイス  
○周藤 大史, 福永 鷹信, 蔵田 耕作, 高松 洋 (九州大)
- K1413 サーモリフレクタンス法を用いたスピンペルチェ効果測定  
○山崎 匠 (名古屋大), 井口 亮 (物材機構), 長野 方星 (名古屋大), 内田 健一 (物材機構, 東京大, 東北大CSRN)
- K1414 流体温度場スキャナによる加熱空気噴流の可視化計測  
○岩田 みゆう, 保浦 知也, 服部 博文, 田川 正人 (名工大)
- K1415 液中プラズマ法の水蒸気改質反応によるn-ドレカンからの水素製造  
○天野 祐希, 野村 信福, 白石 僚也, 向笠 忍 (愛媛大)
- K1416 塗布型ハロゲン化ペロブスカイト薄膜の熱伝導率  
○西尾 僚馬, 與那嶺 亮, 佐脇 卓弥, 廣谷 太佑, サイニシリカント, 早瀬 修二, 矢吹 智英, 宮崎 康次 (九州工大)
- K1417 感温磁性マイクロカプセルの合成と流れ場可視化  
○相沢 亮汰, 石井 慶子, 麓 耕二 (青学大)
- K1418 霜層表面温度に及ぼす冷却面表面温度の影響  
○横山 翔一, 安喰 春華, 大久保 英敏 (玉川大)
- K1419 メタンハイドレート界面近傍における非定常熱物質輸送その場計測とメタン解離の律速評価  
○神田 雄貴, 岡島 淳之介, 小宮 敦樹 (東北大), 圓山 重直 (八戸高専)
- K1420 格子ボルツマン法による蒸発を伴う二相流シミュレーション  
○長山 龍也, 境田 悟志, 田中 光太郎, 金野 満 (茨城大), 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)
- K1421 レドックスフロー電池における電極構造および電解液流動条件が性能に及ぼす影響  
○小山内 創太, 田部 豊, 近久 武美 (北大)
- K1422 粒子充填層における粒子間の伝熱抵抗  
○畝本 将吾, 中曾 浩一, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大)
- K1423 多孔体界面乱流の摩擦抵抗低減を実現する表面構造の探索  
○岡崎 友紀, 清水 歩実, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (大阪府大)
- K1424 ルミノール反応を利用したミリチャンネル内の局所物質伝達率の定量評価  
○指物谷 大地, 松本 亮介, 小田 豊 (関西大)
- K1425 定在波熱音響システムにおけるスタックへの外部重畳音波による熱交換促進メカニズム  
○倉田 侑弥 (同志社大), 坂本 眞一 (滋賀県立大), 白木 一希, 川島 裕斗, 渡辺 好章 (同志社大)
- K1426 電動化航空機の熱マネジメントにおける直交流型オイルクーラーと多段ヒートシンクの3次元熱回路網解析  
○神山 彩夏, 村田 章, 山本 昌平, 岩本 薫 (農工大), 大北 洋治 (IHI)
- K1427 自励振動ヒートパイプの内部流動現象の超音波可視化  
○鍋島 史花, 安田 陽介 (日立製作所)
- K1428 環状ポアズイユ乱流において大規模間欠構造がもたらす伝熱促進効果  
○福田 雄大 (東理大院), 塚原 隆裕 (東理大)
- K1429 インナーフィン型プレート式熱交換器内の性能に及ぼすアスペクト比の影響  
○福富 翔, 田中 三郎, 佐々木 直栄 (日工大)
- K1430 広温度領域における流下液膜式蒸発器の性能調査  
○黒澤 貴裕, 佐々木 直栄, 田中 三郎 (日本大)
- K1431 植物工場における環境測定とレタスの生育評価  
○岡 弘紀, 木下 進一, 吉田 篤正, 桑木 雅史 (大阪府立大学), 円城寺 歩, 山口 淳一 (大阪堺植物工場)
- K1432 平行平板間の層流振動流場における対流熱伝達の非定常特性-第2報: 主流と境界層に位相差のある場合-  
○村田 峻輔, 長坂 祥吾, 小林 健一 (明治大)

## 第2日 5月30日(木)

## &lt;A室&gt;

A21 9:00 - 10:35 国際セッション 1

座長: 高田 保之(九州大学)

A211 Introduction of International Session

○Yoshihiro Deguchi (Tokushima Univ.)

A212 【Keynote】 Effective Waste Heat Utilization: Challenges and Innovations  
○Srinivas Garimella (Georgia Institute of Technology)

A213 【Keynote】 Recent study on transcritical CO2 ejector-expansion refrigeration and heat pump systems

○Yinhai Zhu (Tsinghua University)

A214 Development of HC measurement in high-temperature field using TDLAS

○Qiming Wang, Yoshihiro Deguchi, Kamimoto Takahiro (Tokushima Univ.), Du Wen (Xi'an Jiaotong Univ.)

A215 2D and 3D temperature and concentration measurement in reaction fields using CT-tunable diode laser absorption spectroscopy  
○Yoshihiro Deguchi, Takahiro Kamimoto (Tokushima Univ.), Zhenzhen Zhenzhen (Xi'an Jiaotong Univ.)

A22 10:50 - 12:25 国際セッション 2

座長: 出口 祥啓(徳島大学)

A221 【Keynote】 Advances in film cooling used for turbine vanes and blades of gas turbines  
○Kenichiro Takeishi (Tokushima Bunri Univ.)A222 【Keynote】 Investigations of adsorption mechanism in shale nanopores  
○Ruina Xu (Tsinghua University)

A223 【Keynote】 Syngas Evolutionary Process in Biomass Pyrolysis - Air Gasification from Animal Waste

○Ryoichi AMANO (Univ. Wisconsin-Milwaukee)

A224 Three dimensional Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of a Backward-Facing Step Flow in a Rectangular Duct

○Shuai ZOU, Yuji KOHARA, Kyoji INAOKA, Mamoru SENDA (Univ. Doshisha)

A23 13:30 - 15:05 国際セッション 3

座長: 武石 健一郎(徳島文理大学)

- A231 **【Keynote】** Pressure oscillation and condensation regime of direct contact condensation of submerged steam jet under low steam mass flux  
○Daotong CHONG (Xi'an Jiaotong Univ.)
- A232 **【Keynote】** Simulation study on coal-fired power plants during transient cycling processes: Operational flexibility and irreversibilities  
○Ming LIU (Xi'an Jiaotong Univ.)
- A233 Numerical results on noise-induced thermoacoustic instability in Rijke type burner  
○Nannan Dang (Xi'an Jiaotong University), Yoshihiro DEGUCHI (Tokushima University), ZHANG Jiazhong (Xi'an Jiaotong University)
- A234 **【国際セッション・企業特別セッション・人と熱との関わりの足跡合同】**  
Advanced industrial technology in Czech Republic  
○Richard Schneider (チェコビジネス投資開発庁駐日代表)
- <B 室>**
- B21 9:00 - 10:40 沸騰・凝縮 4
- B211 垂直面上の強制流動沸騰における限界熱流束と伝熱面近傍の気液挙動  
○坂下 弘人, 山本 翼, 飯塚 玲雄 (北海道大)
- B212 二成分混合液のプール沸騰における沸騰様相の可視化測定  
○中村 宏人, 上鹿渡 諒平, 坂下 弘人 (北海道大)
- B213 機構論的モデルを応用したサブクール沸騰条件における限界熱流束予測手法の開発  
○淀 忠勝 (京都大学大学院), 伊藤 大介, 伊藤 啓, 齋藤 泰司 (京大複合研)
- B214 Flow visualization of dryout phenomena of low GWP working fluids at low mass and heat fluxes  
○An Zhao, Yong Fan, Kenichi Morimoto, Yuji Suzuki (Univ. Tokyo)
- B215 高圧域におけるプール体系垂直伝熱面上の沸騰挙動に関する研究  
○小野 綾子, 上澤 伸一郎, 柴田 光彦, 吉田 啓之, 小泉 安郎 (原子力機構)
- B22 10:50 - 12:30 沸騰・凝縮 5
- B221 マランゴニ凝縮における等温面上の持続的自発液滴移動  
範 亜茹, ○陳 志豪, 趙 彦傑 (天津大), 宇高 義郎 (天津大/玉川大)
- B222 熱源に近接して置かれた含水多孔質体に生じる相変化現象の機能  
○奥山 邦人 (横浜国大)
- B223 微細構造が凝縮発生に及ぼす影響 -ピラー形状, 高さ, 濡れ性による違い-  
○池田 僚輔 (九大院), 緒方 英彰, 喜多 由拓 (九大), オレホン ダニエル (エンジンバラ大), 福永 鷹信 (九大), 大村 峰正, 山田 明 (三菱重工業), 高橋 厚史, 高田 保之 (九大)
- B224 近接する2つの液滴の蒸発に関する基礎的検討  
○長 絵理菜, 島垣 浩樹, 山田 寛, 堀部 明彦 (岡山大)
- B225 局所加熱面上の液滴蒸発および熱流動に関する研究  
○喜多 由拓 (九大), Askounis Alexandros (イーストアングリア大), 張 華誠, 迫田 直也, 高田 保之 (九大), Sefiane Khellil (エディンバラ大)
- B23 13:30 - 15:10 沸騰・凝縮 6
- B231 高温面液体冷却時におけるリウエットングフロント近傍での熱伝達に関する研究  
○山形 圭祐, 榎木 光治 (電気通信大), 大川 富雄 (電気通信大学)
- B232 定常遷移沸騰を実現するための制御パラメータの決定  
○原村 嘉彦, 酒井 太誠, 梶川 裕登 (神奈川大)
- B233 Study on propagation model of wetting front during jet impingement quenching process -Experiment results and proposal of analysis model-  
○Yang Liu, Takeshi Goto, Yuichi Mitsutake, Koutaro Tsubaki, Masanori Monde (Saga University)
- B234 ボイラ蒸発管を対象としたドライアウト予測モデルの構築 -統計的手法による三流体 (蒸気・液膜・液滴) モデルの改良-  
○後藤 祐樹, 石川 温士, 岩城 裕樹 (株式会社IHI), 片岡 勲 (福井工業大)
- B235 毛管現象と気液流動方向分離を利用したプール沸騰限界熱流束促進  
○河野 響史郎, 植木 智隆, 宮崎 康次 (九州工大), KAVIANY Massoud (ミシガン大学), 矢吹 智英 (九州工大)
- <C 室>**
- C21 9:00 - 10:40 OS: 水素・燃料電池・二次電池 4
- C211 PEFC高電流密度運転における水蒸気輸送と熱伝導のバランス制御による酸素輸送抵抗低減  
○喜多見 祐希, 田部 豊, 近久 武美 (北海道大)
- C212 部材厚みが高温運転PEFCの各種特性に及ぼす影響の実験的解明  
○西村 颯, 神谷 悟, 岡戸 達哉, 山本 航平, 廣田 真史 (三重大院)
- C213 固体高分子形燃料電池高温運転に関する基礎特性評価  
○味元 汰樹 (東京大), 伊藤 博, 宗像 鉄雄, 染矢 聡 (産総研)
- C214 光ファイバプローブ型レーザ分光による負荷変動運転PEFC内の乾湿変動特性の評価  
○西田 耕介, 中内 峻河, 多幡 優真, 上田 直輝 (京工繊大), 梅川 豊文 ((株)プラムテック), 川崎 昌博 (地球研)
- C215 水分収支計測によるPEFC内水分移動特性評価  
石川 達也 (筑波大), ○伊藤 博, 宗像 鉄雄 (産総研), 石田 政義 (筑波大)
- C22 10:50 - 12:30 OS: 水素・燃料電池・二次電池 5
- C221 全固体電池の電気化学特性と3次元内部構造  
○兒玉 学, 山路 亮典, 植村 豪, 堀 智, 鈴木 耕太, 菅野 了次, 平井 秀一郎 (東工大)
- C222 全固体電池の超高圧下X線CT構造解析  
○松木 祐太郎, 兒玉 学, 河村 雄行, 太田 健二, 植村 豪 (東工大), 幸 琢寛 (LIBTEC), 平井 秀一郎 (東工大)
- C223 ファイバー電極における電気化学反応輸送場のLBM解析  
○土井 瑞樹, 鈴木 崇弘, 津島 将司 (大阪大)
- C224 直接ギ酸形燃料電池における拡散電極構造とCO<sub>2</sub>気泡分布の相関  
○渡邊 孝之介 (横浜国大), 望月 亮太, 辻口 拓也 (金沢大), 井上 元 (九州大), 荒木 拓人 (横浜国大)

- C225 プロトン伝導型SOFCにおける電流効率のガス濃度分布依存性に関する数値解析  
○李坤朋, 荒木 拓人, 河村 駿希 (横浜国大), 奥山 勇治 (宮崎大)
- C23 13:30 - 15:10 OS: 水素・燃料電池・二次電池 6
- C231 SOFCと溶融炭酸塩を用いたハイブリッドダイレクトカーボン燃料電池の燃料極構造と出力特性  
○合田 圭佑, 渡部 弘達, 花村 克悟 (東工大)
- C232 シンクロトロン放射光を用いたメタンを燃料とするSOFC燃料極表面のin-situ分析  
○渡部 弘達, 合田 圭佑, 花村 克悟 (東工大)
- C233 メタン内部改質固体酸化燃料電池における炭素析出に及ぼす電気化学反応と水蒸気濃度の影響  
○坂間 理, CHANTHANUMATAPORN Merika, 花村 克悟 (東京工業大学)
- C234 Extension of effective reaction region in anode-supported SOFCs using pulse laser processing  
○Haewon Seo, Hiroshi Iwai, Masashi Kishimoto, Motohiro Saito, Hideo Yoshida (Univ. Kyoto), Ruth Lahoz (Centro de Química y Materiales de Aragón, U. Zaragoza-CSIC), Miguel A Laguna-Bercero, Angel Larrea (Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, U. Zaragoza-CSIC)
- C235 SOFC用燃料極の異方性空隙構造が発電性能に及ぼす影響-相転換法による作製-  
○岸本 将史, 益山 明日登, 岩井 裕, 齋藤 元浩, 吉田 英生 (京大)
- <D 室>  
D21 9:00 - 10:40 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 1  
座長: 服部 博文(名古屋工業大学)  
D211 【OS基調講演】乱流伝熱研究の最新動向と今後の課題  
○須賀 一彦 (大阪府立大学)
- D212 構造粗さを有する多孔体界面乱流のDNS  
○西野 和希, 西山 悠大, 桑田 祐丞, 須賀 一彦 (阪府大)
- D213 多孔体壁矩形ダクトの乱流熱流動解析  
○桑田 祐丞, 津田 航志, 須賀 一彦 (阪府大)
- D214 水平貫通壁面間熱対流乱流における究極スケールリング  
○川野 晃季, 本木 慎吾, 清水 雅樹, 河原 源太 (大阪大)
- D22 10:50 - 12:30 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 2  
座長: 服部 康男(電中研)  
D221 管内流が急加速・急減速する時の熱伝達変動の応答-層流-乱流間の加減速の場合-  
○齊藤 陸, 中村 元, 山田 俊輔 (防衛大)
- D222 主流の脈動を伴う平行平板間乱流熱伝達に関するDNS-熱的境界条件の影響-  
○山崎 龍朗, 小田 豊, 松本 亮介 (関西大), 香月 正司 (阪大名誉)
- D223 Comparison of RANS, LES, and RANS/LES Hybrid Analyses of Double-Pipe Turbulent Heat Exchangers with Oblique Wavy Walls  
○Shu-Qun JIN, Junyu CHEN, Yuji SUZUKI, Kenichi MORIMOTO (Univ. Tokyo)
- D224 H型チャンネル乱流内の温度混合に関するCFD研究  
○永井 義男 (名工大), 保浦 知也 (H型流路内乱流熱伝達現象に関する研究), 田川 正人, 服部 博文 (名工大)
- D225 チャンネル乱流遷移に現れる局在乱流における熱・運動量輸送の非相似性  
石橋 知大, 河原 源太, 清水 雅樹, 本木 慎吾 (大阪大)
- D23 13:30 - 15:10 OS: 乱流を伴う伝熱研究の進展 3  
座長: 中村 元(防衛大)  
D231 PID制御とリニアフォーシングを用いて生成される外層擾乱を伴う境界層乱流の空間構造と輸送機構  
○須藤 仁, 服部 康男, 中尾 圭佑 (電中研)
- D232 微気象観測を目的とした細線熱電対による気流温度変動の高精度計測  
○保浦 知也, 竹下 恭平, 田川 正人 (名工大)
- D233 非一様熱条件円管内熱流動場のラージ・エディ・シミュレーション  
○服部 康男 (電中研), 長谷部 憂磨 (電力計算センター), 須藤 仁, 中尾 圭佑 (電中研), 石原 修二 (電力計算センター)
- D234 DNSによる傾斜加熱平板上の上昇下降共存対流乱流境界層の熱伝達構造解析  
○服部 博文, 大浦 一樹, 岡部 紘明, 保浦 知也, 田川 正人 (名工大)
- D235 高プラントル数のスカラーが形成する密度成層流体中の減衰乱流  
○沖野 真也, 花崎 秀史 (京大)
- <E 室>  
E21 9:40 - 10:40 ヒートパイプ 1  
E211 高温用ナトリウムヒートパイプの研究  
○望月 正孝 (ザ ヒートパイプス), チョイ チャーリ, セオヤン, リー キュー (サムジンテック)
- E212 L字状ループ管式ヒートパイプの伝熱特性  
○大串 哲朗 (アドバンスドナレッジ研究所), 山蔭 久明 (山蔭技術士事務所), 竹市 剛志 (悠高)
- E213 ヒートパイプ内部の蒸気相の蒸発・凝縮モデルの開発  
○中村 祐樹, 水谷 陽介, 亀山 将太郎, 山田 崇, 小野 直樹 (芝浦工大)
- E22 10:50 - 12:30 ヒートパイプ 2  
E221 画像認識に基づく自励振動型マイクロヒートパイプの流動構造の解析  
○上島 千拓, 吉本 勇太, 高木 周, 杵淵 郁也 (東京大)
- E222 自励振動ヒートパイプにおける往復振動液柱が形成する液膜に関する研究-作動流体の影響-  
○三浦 正義, 荒井 治紀, 伊東 弘行 (神奈川大)
- E223 自励振動ヒートパイプの始動特性  
○遠藤 和広 (日立製作所)
- E224 金属伝熱面を有する透明樹脂製自励振動型ヒートパイプの流動と熱輸送の相関  
○新井 崇洋 (電中研), 川路 正裕 (ニューヨーク・シティ大), 滝口 広樹 (電中研)
- E225 HFO作動液を封入した自励振動ヒートパイプの等価熱伝導率測定  
○安田 陽介, 鍋島 史花, 舟越 砂穂 (株式会社日立製作所)
- E23 13:30 - 15:10 ヒートパイプ 3  
E231 エタノール水溶液を用いた自励振動ヒートパイプの熱輸送特性に関する研究  
○増田 啓介, 長崎 孝夫, 伊藤 優 (東工大)



- E232 シングルループ自励振動ヒートパイプの動作に関するシミュレーション  
○黒瀬 築(九州大院), 宮田 一司(九州大学)
- E233 往復振動流による円管内の熱輸送  
○小林 健一, 松本 昂大, 渡邊 はるか(明大)
- E234 表面特性に着目した自励振動ヒートパイプの始動特性改善  
○永井 大樹, 井上 菜生, 長澤 滉生(東北大)
- E235 小温度差の自励振動型ヒートパイプの流動及び熱輸送に関する数値解析的研究  
○大西 元(金沢大), 坂井 泰斗(金沢大院), 春木 将司, 多田 幸生(金沢大)

## &lt;F 室&gt;

- F21 9:20 - 10:40 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 3
- F211 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いた炭酸エステル着火・燃焼特性に関する研究  
○森倉 渉太, 高橋 伸太郎, 中村 寿, 手塚 卓也, 森井 雄飛, 丸田 薫(東北大), 白根 隆行, 名倉 健祐(パナソニック株式会社)
- F212 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いたフッ化物冷媒 R32(CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), R125(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>F<sub>5</sub>), R410A(CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>F<sub>5</sub>) の着火・燃焼特性に関する研究  
○高橋 伸太郎, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進(東北大), 丸田 薫(東北大/極東連邦大)
- F213 多孔質内粒子堆積層透過流れにおける反応輸送場のLBM解析  
○鈴木 修平, 鈴木 崇弘, 津島 将司(大阪大)
- F214 白金触媒を担持した平板上における炭素堆積層の酸化反応挙動  
○筒井 史朗, 鈴木 崇弘, 津島 将司(大阪大)
- F22 10:50 - 12:30 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 4  
座長: 中原 真也(愛媛大学)
- F221 深層学習を活用した乱流燃焼モデルの構築  
○中澤 凌太, 源 勇氣, 志村 祐康, 店橋 護(東工大)
- F222 高Karlovitz 数乱流予混合火炎の幾何学特性  
○中釜 雄太郎, 源 勇氣, 志村 祐康, 店橋 護(東工大)
- F223 三次元予混合火炎の不安定挙動に及ぼす未燃ガス温度と熱損失の影響  
野上 雅人, 勝身 俊之, 山崎 渉(長岡技科大), 小林 秀昭(東北大), 門脇 敏(長岡技科大)
- F224 ルイス数および選択拡散効果がTriple flameに与える影響に関する数値解析  
○石崎 智秋, 林 直樹(神奈工大)
- F225 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いたC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>がCO/H<sub>2</sub>混合気の着火特性に及ぼす影響に関する研究  
○村上 雄紀, 中村 寿, 手塚 卓也(東北大), 朝井 豪(ヤンマー株式会社), 丸田 薫(東北大/極東連邦大学)
- F23 13:30 - 15:10 OS: 燃焼伝熱研究の最前線 5
- F231 DBDプラズマアクチュエータによる旋回流予混合火炎の能動制御  
○佐々木 謙斗, 志村 祐康, 店橋 護(東工大)
- F232 振動燃焼遷移過程における旋回流希薄予混合火炎の複合光学計測  
○安宅 優季, 志村 祐康, 店橋 護(東工大)
- F233 乱流場での水素-プロパン混合気の着火特性に関する実験的研究  
○中原 真也(愛媛大), 工藤 寿悦, 木原 孝昌(愛媛大院), 阿部 文明(愛媛大), 石原 敦(埼玉工業大)

- F234 アンモニア拡散バーナー火炎の保炎/消炎機構に関する詳細反応CFD解析  
○大江 真央, 寺島 洋史(北海道大), 林 潤(京大), 赤松 史光(大阪大), 大島 伸行(北海道大)
- F235 二段燃焼によるアンモニア/空気予混合火炎からのNOおよび未燃アンモニア同時低減  
○早川 晃弘, 塚本 真章, Somarathne K.D., Kunkuma A., 工藤 琢, 小林 秀昭(東北大)

## &lt;G 室&gt;

- G21 9:20 - 10:40 OS: ふく射輸送 2  
座長: 花村 克悟(東京工業大学)
- G211 集熱面に施す表面微細構造の日射反射特性に関する研究  
○木下 進一, 吉田 篤正, 蔭山 匡平(大阪府大)
- G212 暑熱環境下における日除けが生理量・温冷感に与える影響  
○中 拓真, 吉田 篤正, 木下 進一, 千種 成尚(大阪府立大学)
- G213 都市環境における人体周りのふく射熱負荷  
○山田 純, 金森 耕一, 河野 貴裕(芝工大)
- G214 粒子クラスターのふく射特性に対する粒子鎖の影響  
○江目 宏樹(山形大)
- G22 10:50 - 12:30 OS: ふく射輸送 3  
座長: 山田 純(芝浦工業大学)
- G221 灰色体近似によるハニカムレシーバ連成熱伝達の直接シミュレーション  
○中倉 満帆(新潟大院), 落合 晃大, 川崎 耕太, 松原 幸治(新潟大)
- G222 ALD法を用いたフォトニック構造の波長選択吸収特性向上  
○清水 信, 阿久津 宏樹, 湯上 浩雄(東北大)
- G223 赤外天文衛星用V-groove式熱シールドに関する研究 - 効率的な放射冷却構造の検討と実験的検証 -  
○伊藤 健斗(慶大), 太刀川 純孝(宇宙科学研究所), 田口 良広, 長坂 雄次(慶大理工)
- G224 金属・誘電体・金属放射体を用いた波長選択近接場熱光起電力発電に関する研究  
○谷口 祐司, 花村 克悟(東工大)
- G225 ショットキーダイオードを用いた近接場熱光起電力発電に関する研究  
○井黒 拓未, Tianyi Han, 花村 克悟(東工大)
- G23 13:30 - 15:10 融解・凝固 1
- G231 減圧法によるアイススラリーの生成  
○浅岡 龍徳(信州大), 斎藤 彬夫(東工大), 岡田 昌志, 熊野 寛之(青学大)
- G232 氷の融解・凝固過程と超音波挙動の連関  
○義岡 秀晃(石川高専), 経田 僚昭(富山高専), 八賀 正司(小松大学), 寺西 恒宣(富山高専), 蓑 茉莉乃, 西谷 有瑠生(石川高専)
- G233 潜熱蓄熱エマルジョンの垂直加熱面における複合対流熱伝達  
○KIM Joungmin, 堀部 明彦, 山田 寛, 和田 尚也(岡山大)
- G234 熱を考慮した埋め込み境界-格子ボルツマン法の正方形ダクト内における氷スラリー熱流動問題への適用  
○黒岩 拓矢, 鈴木 康祐, 吉野 正人(信州大)
- G235 矩形管を流れるアイススラリーの凝固挙動の観察  
○加藤 諒, 森本 崇志, 熊野 寛之(青学大)

## &lt;H 室&gt;

H21 9:20 - 10:40 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 2  
座長: 大宮司 啓文(東京大学)

H211 フォノン熱輸送シミュレーションによる薄膜熱応答解析-周波数に依存する界面散乱の影響-  
○山下 雄一郎, 八木 貴志 (産総研)

H212 グラフェンリボンの熱伝導計測及びサイズ効果  
○李 泰宜, 高橋 厚史 (九州大)

H213 分子動力学シミュレーションによるナノダイヤモンド熱伝導率の構造依存性の研究  
○松原 裕樹, 菊川 豪太 (東北大), 別所 毅 (トヨタ自動車), 小原 拓 (東北大)

H214 光との相互作用を考慮した極薄膜の熱伝導現象  
濱村 聡希, 矢吹 智英, ○宮崎 康次 (九州工大)

H22 10:50 - 12:30 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 3

H221 【OS基調講演】ダイヤモンド表面活性化接合による高出力GaN-HEMT高放熱技術  
○岡本 直哉, 美濃浦 優一, 多木 俊裕, 尾崎 史朗, 牧山 剛三, 山田 敦史, 小谷 淳二, 中村 哲一 (富士通株式会社, 株式会社富士通研究所)

H222 SAM被覆銅ナノ材料を用いる熱界面材料の創製

○佐藤 正秀, 原田 光悦, 鈴木 昇 (宇都宮大)  
H223 ロックインサーモグラフィ式周期加熱法による界面熱伝播挙動の観察と界面熱抵抗の計測  
○石崎 拓也, 伊神 汰一 (名古屋大院), 上野 藍, 長野 方星 (名古屋大)

H224 分子動力学法を用いたセルロースナノファイバーの熱伝導解析  
○古田 蒔人 (東大院), Isfeldt Gusten (スウェーデン王立工科大), 徐 東郁, 志賀 拓磨, 塩見 淳一郎 (東大院)

H23 13:30 - 15:10 OS: ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発 4  
座長: 高橋 厚史(九州大学)

H231 熱流束スペクトル分解による自己組織化単分子膜の熱伝導特性に関する分子動力学解析  
○菊川 豪太 (東北大), 森田 修匠 (東北大工), 塩見 淳一郎 (東京大), 小原 拓 (東北大)

H232 多分散ポリマーの熱伝導特性に関する分子動力学解析  
○川越 吉晃, Surblys Donatas, 菊川 豪太, 小原 拓 (東北大)

H233 ナノスケール微細構造における熱輸送特性に関する分子動力学解析  
○SURBLYS Donatas, 川越 吉晃 (東北大), 芝原 正彦 (大阪大), 小原 拓 (東北大)

H234 HPT加工によって準安定相を導入したシリコンの熱電特性  
○河野 正道, 檜藤 瑞紀, 松田 賢亮 (九州大), SHENGHONG Ju, CHEN Hao (東京大), SIVASANKARAN Harish, 生駒 嘉史, 有田 誠 (九州大), 塩見 淳一郎 (東京大), 堀田 善治, 高田 保之 (九州大)

H235 希土類元素の共ドーブによる黄色蛍光体の合成と評価  
○飛永 健斗, 井上 修平, 松村 幸彦 (広島大)

## &lt;I 室&gt;

I21 9:00 - 12:30 OS: 企業特別セッション ~四国・中国地区企業による部品開発・技術開発の紹介  
座長: 近藤 義広(株) 日立アカデミー)

I211 JFEスチールにおける燃焼・伝熱シミュレーションの活用

○川島 知之 (JFEスチール (株))

I212 超耐熱素材『炭素』と熱

○大國 友行 (東洋炭素 (株))

I213 石炭焼きボイラにおける低品位利用拡大のため灰付着評価・抑制技術

○下郡 三紀 (三菱日立パワーシステムズ (株))

I214 まちと一体になったOMソーラー+パッシブデザイン+ゼロエネルギー住宅の家づくり

○元木 康浩 (株) セイコーハウジング)

I215 熱交換器の気液二相流の数値解析による性能予測技術の開発

○近藤 喜之 (三菱重工業 (株))

I216 アンモニアによるカーボンフリーエネルギーチェーン構築の可能性

○須田 俊之 (株) IHI)

I217 料理別専用卵における加熱調理特性と作り分け・安定供給

○小林 真作 (株) 小林ゴールドエッグ)

I23 13:30 - 15:10 OS: 人と熱との関わりの足跡  
座長: 河村 洋(公立諏訪東京理科大学)

I231 セッションの趣旨

○河村 洋 (公立諏訪東京理科大学)

I232 Indigo dyeing in Czech Republic

(チェコ共和国における藍染め)

○Richard Schneider (チェコビジネス投資開発庁駐日代表)

I233 阿波藍染の発展と藍染めにおける熱の関わり

○船井 由美子 (公益社団法人三木文庫 学芸員)

I234 阿波藍をつくる

○新居 修 (新居製藍所 藍師・現代の名工)

I235 我が国の空気調和の父: 柳町政之助氏の偉業

○高橋 惇 (高砂熱学工業株式会社)

## &lt;J 室&gt;

J21 9:15 - 10:40 OS: 化学プロセスにおける熱工学 1  
座長: 岡野 泰則(阪大基礎工)

J211 【OS基調講演】新規蒸留装置の開発における伝熱工学の役割

○外輪 健一郎 (徳島大学)

J212 静磁場重畳電磁浮遊Cu-Co液滴内のMHD対流の数値解析と相分離構造への影響評価

○庄司 衛太, 磯谷 祥世, 高橋 龍司, 多奈田 紘希, 久保 正樹, 塚田 隆夫, 福山 博之 (東北大)

J213 バイオマスのトレファクション中の熱物質移動解析

○田之上 健一郎, 日笠 謙太郎, 西村 龍夫 (山口大), 上村 芳三 (ペトロナス工科大), 秀野 晃大 (愛媛大), 谷口 美希, 笹内 謙一 (中外炉工業)

J22 10:50 - 12:30 OS: 化学プロセスにおける熱工学 2  
座長: 田之上 健一郎(山口大)

J221 湿り空気を供給した吸着式酸素濃縮器用ゼオライト充てん層内の濃度・温度分布の解析-高湿度下でのゼオライトの水分吸着量測定を考慮して-

山田 健太郎, ○小川 邦康 (慶大)

J222 乾燥過程における多孔質膜内不均質構造の形成過程に関する研究-スラリーの物性と多孔質膜構造の関係-

○弘中 秀至, 井上 元, 深井 潤 (九大)

J223 H2O/CO2雰囲気下におけるバイオチャーのガス化機構

○奥村 幸彦 (香川大)

- J224 セメントクリンカー粒子群の輻射物性  
犬飼 俊輔, 塚崎 誠也, 須網 暁, 小林 信介, 板谷 義紀 (岐阜大)
- J225 キャピティを掃引する粘弾性流体が形成するバルジ構造の生成メカニズム  
○皮田 大喜 (神戸大院), 鈴木 洋, 日出間 りり, 細川 茂雄, 林 公佑, 富山 明男 (神戸大院工)
- J23 13:30 - 15:10 OS: 合同セッション: 熱エネルギー材料・システムおよび化学プロセスにおける伝熱工学  
座長: 窪田 光宏 (名古屋大学)
- J231 微小重力環境下における結晶成長実験結果を活用した高温融液内拡散係数の決定-数値解析を用いた実験条件の設定から物性値算出まで-  
○岡野 泰則, ジン シン, 関本 敦 (大阪大), 山本 卓也 (東北大), 稲富 裕光 (JAXA), 早川 泰弘 (静岡大)
- J232 フロン系冷媒による吸着冷凍サイクル挙動の実験的解析  
○金光 聖人, 川上 隼人, 高田 信夫, Kyaw Thu, 宮崎 隆彦 (九州大学), 丸山 智弘, 前多 信之介 (カルソニックカンセイ)
- J233 潜熱蓄熱材を用いた定温保持容器の数値解析と最適化  
○山崎 舜介, 関本 敦, 岡野 泰則 (大阪大学大学院), 安部 信也, 田中 航介 (カネカ)
- J234 レドックス化学蓄熱に関する基礎研究  
○清水 琢久哉, 市瀬 篤博, 小林 敬幸, 窪田 光宏 (名大)
- J235 熱化学エネルギー貯蔵に用いる高熱伝導度水酸化カルシウム複合材料の蓄熱性能評価  
○船山 成彦, 郭 瑞, 高須 大輝, 加藤 之貴 (東工大)

## 第3日 5月31日(金)

## &lt;B 室&gt;

- B31 9:00 - 10:40 沸騰・凝縮 7
- B311 Effect of a honeycomb porous plate on quenching of a stainless-steel cylinder in artificial seawater  
○Wilton F. S. Santos, Shoji Mori (Yokohama National University)
- B312 発泡直後のナノスケール気泡成長過程  
○塘 陽子, 李 泰宜, 生田 竜也, 高田 保之, 高橋 厚史 (九州大)
- B313 空間制限による伝熱面温度変化とMEB遷移  
○川上 健大, 坂本 祥介, 谷川 洋文, 鶴田 隆治 (九州工業大)
- B314 気泡微細化沸騰における伝熱面表面粗さの影響  
○藤邨 翔人 (東理大院), 堀 琢磨, 上野 一郎 (東理大)
- B315 沸騰気泡核生成過程の高速顕微鏡観察  
○田中 孝典, 松永 拓也, 宮崎 康次, 矢吹 智英 (九州工大)
- B32 10:50 - 12:30 沸騰・凝縮 8
- B321 冷却剤中を移動する微小白金球まわりの蒸気膜崩壊挙動の高速ビデオ観察  
○島岡 三義 (奈良高専), 吉田 大志, 生田 文昭 (高周波熱錬), 池田 修啓 (大同化学工業), 中村 篤人 (Neturen)
- B322 沸騰気泡周囲の液温変動  
○竹山 真央, 切刀 資彰 (京都大学)

- B323 振動流型蒸気エンジンの数値解析  
○福島 啓悟 (福井大), 上田 祐樹 (東京農工大), 永井 二郎 (福井大)
- B324 感温性分子を用いた強制流動沸騰における局所熱伝達計測の実験的検証  
○馬場 宗明, 染矢 聡 (産総研)
- B325 マイクロバブルを用いた蒸気爆発抑制対策  
○古谷 正裕, 新井 崇洋 (電中研)

## &lt;C 室&gt;

- C31 9:40 - 10:40 自然エネルギー 1
- C311 過採熱による地中熱交換孔内の凍結  
○山口 正敏, 堀野 義人, 沼澤 喜一, 稲毛 重之 (日本地下水開発 (株))
- C312 浅層の地中熱利用ヒートポンプに適用する地中熱交換器に関する研究  
○武田 哲明 (山梨大)
- C313 水平設置Uチューブによる地中熱交換器の伝熱性能  
○椿 耕太郎, 木村 友士, 村永 知仁 (佐賀大), 原田 烈, 甲斐 夕加里 (バイオテックス), 光武 雄一 (佐賀大)
- C32 10:50 - 11:50 自然エネルギー 2
- C321 スプレーフラッシュ蒸発式海水淡水化装置用アルミニウム合金プレート式凝縮器の凝縮熱伝達  
○有馬 博史, 重永 裕大 (佐賀大), 松田 昇一 (琉球大)
- C322 小型バイナリーサイクルのための斜め波状壁プレート熱交換器における沸騰熱伝達特性  
松下 涼, 〇范 勇, 森本 賢一, 鈴木 雄二 (東京大)
- C323 固体触媒に基づく超音波照射によるBDF合成  
○朱 寧, 郭 銘騏 (静岡理工科大)

## &lt;D 室&gt;

- D31 9:40 - 10:40 分子動力学 1
- D311 氷-微細構造界面に生じる熱抵抗に関する分子動力学的研究  
○松尾 聡志, 植木 祥高, 芝原 正彦 (大阪大)
- D312 非平衡流れ場の応力分布の算出による固気液三相の動的接触角に関する分子動力学解析  
○楠戸 宏城 (阪大工院), 山口 康隆, 大森 健史 (阪大), 香川 勝, 藤村 秀夫 (大日本印刷)
- D313 応力計算を介したナノスケールの固体円筒近傍におけるキャピラリー力に関する分子動力学解析  
○今泉 優太, 今立 呼南 (阪大工院), 山口 康隆 (阪大工), 香川 勝, 藤村 秀夫 (大日本印刷)
- D32 10:50 - 12:10 分子動力学 2
- D321 2液体界面における金属クラスター層を用いてシトシンの異なるメチル化形態の振動スペクトルの比較  
○劉 建呈, ゴロツキヒナ タチアナ (富山大学)
- D322 固体結晶面とLennard-Jones流体の間の固液摩擦に関する平衡, 非平衡分子動力学解析  
○大賀 春輝, 小川 皓俊, 山口 康隆, 大森 健史 (大阪大)
- D323 1原子以下のスケールで検出される熱流に基づく固液界面熱輸送に関する分子動力学解析  
○藤原 邦夫, 芝原 正彦 (大阪大)

D324 ナノ粒子が液体のエネルギー輸送機構に与える影響に関する分子動力学的研究  
大茂 昌史, 藤原 邦夫, 植木 祥高 (大阪大), 小原 拓 (東北大), ○芝原 正彦 (大阪大)

## &lt;E 室&gt;

E31 9:40 - 10:40 自然対流 1

E311 片側加熱鉛直チャンネル内自然対流に及ぼす磁場印加効果-数値解析による検討-  
○和田 賢伍, 藤原 宏彰, 金田 昌之, 須賀 一彦 (阪府大)

E312 複数磁石を用いた鉛直ダクト内自然対流の伝熱促進/抑制効果実験  
○名里 健佑, 和田 賢伍, 藤原 宏彰, 金田 昌之, 須賀 一彦 (阪府大)

E313 ガスふく射効果を応用した自然対流乱流場制御に関する研究  
○古川 琢磨 (八戸高専), 岡島 淳之介, 小宮 敦樹 (東北大学), 円山 重直 (八戸高専)

E32 10:50 - 12:10 自然対流 2

E321 下部に隙間を有する円管状フィンを設置した水平加熱面の自然対流熱伝達  
下山 力生 (岡山工試), 堀部 明彦, 山田 寛, ○井上 拓哉 (岡山大)

E322 低・中程度のレイリー数における立方体容器内熱対流の構造遷移  
○松本 宗一郎, 児玉 理人 (同志社大), 谷川 博哉 (舞鶴高専), 野口 尚史, 平田 勝哉 (同志社大)

E323 水平密閉矩形容器内に発現する自然対流の輸送現象  
○稲垣 照美, 森下 玄基, 李 艶榮 (茨城大)

E324 水平加熱平板群まわりの自然対流熱伝達  
○木村 文義, 馬場 大介 (兵庫県大), 北村 健三 (豊橋技科大)

## &lt;F 室&gt;

F31 9:40 - 10:40 物質移動

F311 温風乾燥を利用した液膜乾燥過程における液流動と蒸発の解析  
○鈴木 大介, 渡邊 大司, Gueye ゲイ, 小野 直樹 (芝浦工業大学)

F312 Diffusiophoretic DNA Transport and Sensing in a Solid-State Nanopore  
○Wei-Lun Hsu, Soumyadeep Paul, Ya-Lun Ho, Jean-Jacques Delaunay (Univ. Tokyo), Zhen Gu, Yi-Lun Ying, Yi-Tao Long (ECUST), Hirofumi Daiguji (Univ. Tokyo)

F313 電解水による炭酸カルシウムスケール抑制効果を素反応を考慮した数値シミュレーションより探る  
○佐野 吉彦, 桑原 不二朗, 本山 英明 (静大)

F32 10:50 - 12:30 熱音響

F321 Heat Phase Adjusterを用いたループ管型熱音響システムの音場制御-エネルギー増幅量とスタック内の熱流の関係-  
○白木 一希 (同志社大), 坂本 眞一 (滋賀県立大), 倉田 侑弥, 川島 裕斗, 大西 陸, 渡辺 好章 (同志社大)

F322 定在波熱音響システムにおけるスタック内加熱によるエネルギー変換促進-スタック内部温度分布に関する検討-

○川島 裕斗 (同志社大), 坂本 眞一 (滋賀県立大), 白木 一希, 倉田 侑弥, 黒木 大地, 渡辺 好章 (同志社大)

F323 熱音響エンジンの熱交換器の性能評価  
○渡辺 健二, 岡本 拓也 (東京農工大学), 榎木 光治 (電気通信大学), 上田 祐樹 (東京農工大学)

F324 小型熱音響デバイスのスタック温度に対する入熱量の影響  
○小清水 孝夫 (北九州高専), 坂本 眞一 (滋賀県立大)

F325 マルチメッシュ型蓄熱器を用いた熱音響エンジンの発振特性

○多田 幸生, 小林 慶士郎, 齋藤 凌平, 大西 元, 春木 将司 (金沢大), 経田 僚昭 (富山高専)

## &lt;G 室&gt;

G31 9:00 - 10:40 融解・凝固 2

G311 両性界面活性剤のpHがその混合液の過冷却に及ぼす影響の検討  
○佐藤 翔, 阿部 寛生, 梅原 友理, 松本 浩二 (中央大)

G312 伸縮性膜に施す細孔加工条件などが過冷却解消装置性能に及ぼす影響  
○村田 匠, 大河 誠司, 宝積 勉 (東工大)

G313 垂直加熱冷却壁を有する矩形容器内における相変化エマルジョンの自然対流熱伝達特性  
○森本 崇志, 近間 壮太郎, 熊野 寛之 (青学大)

G314 一方凝固による氷結晶成長過程の偏光観察  
○魚尾 信吾, 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大学)

G315 冷却面に沿い一方凝固する氷結晶の成長挙動  
○寺岡 喜和, 横山 友美, 小林 北斗 (金沢大)

G32 10:50 - 12:10 融解・凝固 3

G321 O3ハイドレート生成に与えるCO2ハイドレート核生成の効果

○初谷 智美 (株) IHI, 秋吉 亮 (株) IHIプラント (株), 西塚 史郎 (株) IHIプラント, 大村 亮 (慶應義塾大学), 竹谷 敏 (産業技術総合研究所)

G322 テトラブチルアンモニウム塩水和物の核生成に及ぼす金属粒子添加の影響  
○古賀 悠起 (青学大院), 森本 崇志 (青学大), 竹谷 敏, 稲田 孝明 (産総研), 熊野 寛之 (青学大)

G323 Solidification characteristics of a two-dimensional water droplet on the horizontal cold plate surface  
○Mengjie SONG, Chaobin DANG, Eiji HIHARA (Univ. Tokyo)

G324 対向して成長する二種類のTBAB水和物結晶の光学的観察  
○田口 法道 (秋田県立大学大学院), 大徳 忠史, 鶴田 俊 (秋田県立大)

## &lt;H 室&gt;

H31 9:20 - 10:40 ヒートパイプ 4

H311 銅短繊維を用いた多孔体の作製と浸透特性評価  
○裕 俊浩, 西川 原理仁, 柳田 秀記, 横山 博史 (豊橋技科大)

H312 ヒートパイプにおけるナノ流体の伝熱性能の研究  
○王 萌蕾, 大川 富雄, 榎木 光治 (電通大)

- H313 深層学習を用いた蛇行細管型熱輸送デバイスの内部流動と壁温の非定常変化予測  
○小山 凌, 村田 章, 山本 昌平, 岩本 薫 (東京農工大), 齋藤 博史 (産技高専)
- H314 濡れ性勾配を駆動力に伴うヒートパイプの特性評価  
○澤田 健一郎 (宇宙航空研究開発機構), 馬場 宗明 (産業技術総合研究所), 田中 洗輔, 岡本 篤 (宇宙航空研究開発機構)
- H32 10:50 - 12:10 ヒートパイプ 5
- H321 垂直型受熱部を有するJEST型ループヒートパイプの熱輸送特性  
○鈴木 彩加 (パナソニック株式会社), 佐藤 郁 (パナソニックエコシステムズ株式会社), 小糸 康志 (熊本大学)
- H322 センターウィック構造を有する超薄型ヒートパイプの熱輸送特性に関する数値解析  
○小糸 康志 (熊本大), Mohammad Shahed AHAMED, 齋藤 祐士 (フジクラ), 望月 正孝 (ザヒートパイプス)
- H323 ヒートパイプ加熱部内流動の高速二相流数値シミュレーション  
○伊藤 行秀, 兒玉 学, 植村 豪, 平井 秀一郎 (東京工業大学)
- H324 マルチエバポレータ型ループヒートパイプの内部流動特性に関する研究 -熱負荷条件の影響-  
○常 新雨, 渡邊 紀志, 長野 方星 (名古屋大)

## &lt;I室&gt;

- I31 9:05 - 10:40 OS: 熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進 1  
座長: 宮崎 隆彦 (九州大学)
- I311 【OS基調講演】熱エネルギー材料・システムのための熱・物質輸送促進研究の展開  
○加藤 之貴 (東工大)
- I312 揮発性物質を用いた化学蓄熱材の空隙制御  
○春木 将司, 西口 裕輝, 齊藤 恵太, 大西 元, 多田 幸生 (金沢大)
- I313 ナノ孔マイクロカプセル内の塩化カルシウムの平衡特性  
○神崎 伊織, 鈴木 洋, 日出 間 り (神戸大), 藤岡 恵子 (株式会社ファンクショナル・フルイッド)
- I314 マイクロカプセルPCMを用いた反応熱制御技術の検討  
○能村 貴宏, 盛 楠, 坂井 浩紀, 高橋 達也, 秋山 友宏 (北海道大)
- I315 水蒸気収着用CaCl<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al複合材の熱・物質移動挙動  
○谷口 奈緒子, 渡部 悠人, 兒玉 昭雄, 東 秀憲, 瀬戸 章文, 大谷 吉生, 汲田 幹夫 (金沢大)
- I32 10:50 - 12:30 OS: 熱エネルギー材料・システム

## のための熱・物質輸送促進 2

座長: 小林 敬幸 (名古屋大学)

- I321 Effects of fabrication method on the cooling ability of heat sinks made of polyvinyl alcohol hydrogel  
○Massimiliano ZAMENGO, Junko MORIKAWA (Tokyo Tech)
- I322 植毛熱交換器の吸水蒸発時の熱交換実験  
○山下 優, 濱本 芳徳, 宮田 一司 (九州大)
- I323 サイズの異なる吸着熱交換器の蓄熱性能比較  
○安藝 雄太, 竹田 那美, 高田 信夫, Thu Kyaw, 宮崎 隆彦 (九州大), 丸山 智弘, 前多 信之介 (カルソニックカンセイ)
- I324 尿素/水系の溶解熱を利用した空気調和システムの検討  
○高橋 秀和, 中曾 浩一, 三野 泰志, 後藤 邦彰 (岡山大), 丸岡 伸洋, 埜上 洋 (東北大)
- I325 ゼオライトの水蒸気吸脱着特性による未利用熱蓄熱輸送システムの技術経済分析  
○藤井 祥万, 堀江 直之 (早稲田大), 兼松 祐一郎, 菊池 康紀 (東京大), 中垣 隆雄 (早稲田大)

## &lt;J室&gt;

J31 9:40 - 10:40 熱物性 1

- J311 高温超伝導DyBCO薄膜の周期加熱サーモリフレクタンス法による厚み方向熱伝導率測定 -膜厚(250~750 nm)依存性およびYBCO薄膜との比較-  
○高鍋 晃治 (慶大), 石川 利行 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)
- J312 CNT分散材料の熱伝導率評価  
森田 慎一 (米子高専), ○菅田 有祐 (米子高専専攻科), 早水 庸隆 (米子高専), 山田 貴延 (北見工大), 堀部 明彦 (岡山大)
- J313 繊維紙の熱伝導率測定  
○安田 菜由 (阿波製紙㈱), 石井 健登, 前田 和輝, 辻 大河, 南出 瑞穂, 田邊 大貴, 早坂 良, 大村 高弘 (和高専)
- J32 10:50 - 11:50 熱物性 2
- J321 微粒子混合による熔融塩の熱物性変化  
○植木 祥高, 福田 恭之, 芝原 正彦 (大阪大)
- J322 PWM駆動時のペルチェ特性を予測する簡易モデルの構築と実験検証  
○磯島 宣之 (日立ハイテクノロジーズ), 佐藤 航, 塚田 修大, 小川 博紀 (日立研開)
- J323 赤外ソーラー強制レイリー散乱法による水溶液系のソーラー係数測定法の開発 -妥当性確認のためのエタノール水溶液の測定-  
○松浦 弘明 (慶大院), 田口 良広, 長坂 雄次 (慶大理工)



## 編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



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

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

対象	対応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、記事を総務担当副会長補佐協議員（ML担当）、広報委員会委員長（HP担当）あるいは編集出版部会長（会誌担当）へ送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による 国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関係のある分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐協議員に送信してください。審議の結果掲載可となった場合には総務担当副会長補佐協議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載 (バナー広告のみ、有料)	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長または広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては <a href="http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf">http://www.htsj.or.jp/wp/media/36banner.pdf</a> をご参照下さい。

### 【連絡先】

- ・総務部会長：村田 章（東京農工大学）：[murata@mmlab.mech.tuat.ac.jp](mailto:murata@mmlab.mech.tuat.ac.jp)
- ・編集出版部会長：田川正人（名古屋工業大学）：[tagawa.masato@nitech.ac.jp](mailto:tagawa.masato@nitech.ac.jp)
- ・広報委員会委員長：畠山友行（富山県立大学）：[hatake@pu-toyama.ac.jp](mailto:hatake@pu-toyama.ac.jp)
- ・総務担当副会長補佐協議員：志村祐康（東京工業大学）：[general-affairs@htsj.or.jp](mailto:general-affairs@htsj.or.jp)
- ・事務局：大澤毅士・村松佳子・山田麻子：[office@htsj.or.jp](mailto:office@htsj.or.jp)

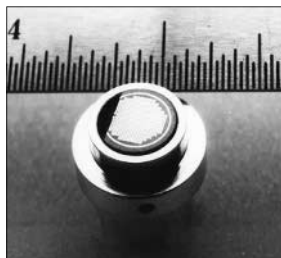
### 【注意】

- ・原稿は Word ファイルまたは Text ファイルでお願いします。
- ・HP はメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承願います。
- ・ML では、原則としてテキスト文の送信となります。pdf 等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

# 熱流束センサー

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 ( $W/cm^2$ ) に比例した直流電圧を出力します。  
弊社の製品は、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。  
特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、  
熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

## 熱流束 マイクロセンサー



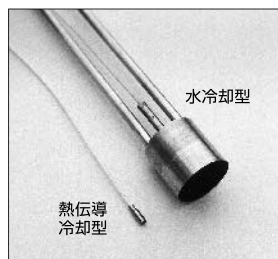
### 特徴

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

### 使用例

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

## サーモゲージ

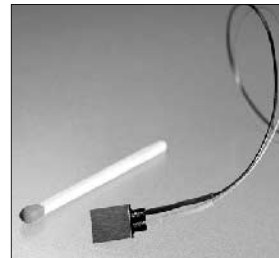


センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタントで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

### 使用例

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

## gSKIN® 熱流束センサー



「gSKIN®」熱流束センサーはセンサー自身の表面を通過する熱流束を29対の超高感度な熱電対を用いて測定します。センサーは、 $72m^2$ の広さを持ち、厚さは $0.4mm$ です。レベル-0パッケージの最適化ポリマーと1-レベルパッケージの金属の構造になっています。

### 使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定
- 暖房および換気自動システムの測定
- 熱移動/熱放出の即時応答測定

## 熱流束センサー 校正サービス

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



センサテクノ株式会社

URL

[www.senstech.jp](http://www.senstech.jp)

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

E-mail

[info@senstech.jp](mailto:info@senstech.jp)



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

### CAPTEC 社(フランス)

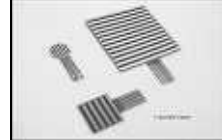
CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。  
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

#### 熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm  
厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)  
温度範囲: -200～200°C  
応答速度: 約 200ms  
オプション: 温度計測用熱電対内蔵  
形状: 正方形・長方形・円形  
特注品: 高温用・高圧用・防水加工

#### 輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm  
厚み: 0.25mm  
温度範囲: -200～250°C  
応答速度: 約 50ms  
オプション: 温度計測用熱電対内蔵  
形状: 正方形・長方形・円形  
波長領域: 赤外/可視+赤外

### MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

#### 熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft<sup>2</sup>sec(フルスケール)  
サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)  
最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)  
出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)  
直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下\*  
再現性: ±0.5%  
較正精度: ±2%  
オプション: 輻射窓・視野角指定等

\*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

#### 超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】  
表面温度及び表面熱流束計測  
風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等  
【最小プローブ径】  
0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】  
T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C  
J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C  
E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C  
K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C  
S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

### ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

#### 高温用熱流板



最高温度: 980°C  
応答速度: 0.1s  
直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

#### 水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C  
応答速度: 0.1s  
最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm<sup>2</sup>

#### 当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

#### 有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B  
TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522  
URL: <http://www.techno-office.com>



# 冷凍・空調・給湯および 関連熱工学技術の振興のために

不二科学技術振興財団は冷凍・空調及び給湯に関する技術、  
及びそれら対象に関わる諸現象の基礎研究・開発の発展振興を図り、  
人々の生活環境の向上及び省エネルギーの促進を通して、  
豊かな社会の発展に貢献することを目的とした公益財団法人です。  
次年度(2019年)の助成募集は、11月1日より1月31日までの期間となります。

公益財団法人 **不二科学技術振興財団**

理事長 横山 隆吉

〒158-0082 東京都世田谷区等々力7-17-24 TEL. 03-6744-7001

<http://www.fuji-foundation.or.jp/>

## 編集出版部会ノート

### *Note from the JHTSJ Editorial Board*

今月号の特集は、「居住環境におけるエネルギー活用」をテーマに、いずれも最前線でご活躍の研究者による6件の記事をご寄稿いただきました。ご多忙のなかご寄稿くださいました執筆者の皆様には厚くお礼申し上げます。

本誌には特集記事のほか以下のジャンルの記事があります。話題を提供くださる場合には下記連絡先までぜひご一報ください。会員皆様からのご寄稿をお待ちしています。

- ・特別寄稿：興味深い研究の紹介や提言，ミニレクチャーなど
- ・会議報告：「熱」に関する国内外の講演会，シンポジウム，セミナーなどの報告記事
- ・海外レター：海外の研究機関に滞在，赴任している会員からの現地レポート，体験記など
- ・その他：
  - (a) プロジェクト Q：「熱」に関する苦労話や秘話などの記事
  - (b) ネイチャー Q：科学や自然に関する話題
  - (c) エデュケーション Q：理論・実験・教育・技術開発に関する逸話など
  - (d) ヒストリー Q：過去の偉人や物事の歴史に関する話題
  - (e) Hea 'r' t Transfer：コーヒーブレイクのようなほっとするコラム記事
  - (f) 博物館めぐり：国内外の様々な博物館や施設への訪問記事

服部 康男（電力中央研究所）  
*Yasuo Hattori (CRIEPI)*  
*e-mail: yhattori@criepi.denken.or.jp*

青木 修一（東邦ガス）  
*Shuichi Aoki (Tohogas)*  
*e-mail: saoki@tohogas.co.jp*

企画・編集出版担当副会長 高田 保之（九州大学）

編集出版部会長 田川 正人（名古屋工業大学）

委員

（理事） 永井 二郎（福井大学），佐々木 直栄（日本大学），戸谷 剛（北海道大学）

（協議員） 青木 修一（東邦ガス），岩井 裕（京都大学），後藤田 浩（東京理科大学），

巽 和也（京都大学），長野 方星（名古屋大学），二宮 尚（宇都宮大学），

服部 康男（電力中央研究所），保浦 知也（名古屋工業大学）

TSE チーフエディター 花村 克悟（東京工業大学）

TSE 編集幹事 伏信 一慶（東京工業大学）

編集出版部会 連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学大学院電気・機械工学専攻（しくみ領域）

田川 正人

Phone & Fax: 052-735-5343 / E-mail: tagawa.masato@nitech.ac.jp