

# 熱と換気の性能の現場測定法 Methods for field measurement of thermal and ventilation performance of buildings

奥山 博康<sup>1)</sup>, 吉浦 温雅<sup>2)</sup>  
Hiroyasu OKUYAMA<sup>1)</sup>, Atsumasa YOSHIURA<sup>2)</sup>

1) 神奈川大学, 教授, 工博 (〒221 - 8686 横浜市神奈川区六角橋3丁目27番1号, okuyama@kanagawa-u.ac.jp)

1) Kanagawa University, Professor, Doctor of Engineering

2) 神奈川大学, 特別助教, 博士(工学) (〒221 - 8686 横浜市神奈川区六角橋3丁目27番1号, yoshiura@kanagawa-u.ac.jp)

2) Kanagawa University, Assistant Professor, Doctor of Engineering

English Summary: We have been developing measurement methods based on least squares to estimate heat loss, equivalent heat capacity, and solar heat gain coefficients for heat transfer systems of buildings. These methods can also be applied to analysis of tracer-gas transfer systems, infiltration rate, and effective mixing volume. We found that the intermittent sinusoidal excitation is suitable for both heat and carbon dioxide tracer-gas transfer systems. A shorter moving average term is useful to evaluate measurement uncertainty, and a longer term moving average is necessary as a low-pass filter for system identification of models with one node per room. We have manufactured trial devices to generate excitations aiming at practical use, developed a spreadsheet for our system identification method, and carried out experiments in a single-room model

キーワード: システム同定, 最小二乗法, 移動平均, 低周波濾波, 測定不確かさ推定, 間欠的正弦波励振発生装置  
Keywords: system identification; least squares; moving average; low-pass filter; measurement uncertainty estimation; intermittent sine-excitation generating devices

## 1. 本研究の経緯

住宅等の伝熱系の性能を表す熱損失係数, 相当熱容量, 日射熱取得係数に加え, 換気系では隙間風等の換気量と有効混合容積等の複数のシステム・パラメータを現場測定するには幾つかの条件と問題がある. これらは, 各室で1節点のモデルを用いること, 熱容量と室の容積による動特性を考慮する必要があること, さらに変動する外気温, 室温, 日射量と外風圧に曝されていること等である. そこで室温やトレーサガス濃度変化の常微分方程式を基礎式とする回帰式に最小二乗法を適用する方法を多数室系<sup>1)</sup>と単室系<sup>2)</sup>で展開している. これらの研究<sup>12)</sup>では, 初期の研究<sup>3)</sup>で用いていた間欠的な矩形励振よりも, 間欠的な正弦波励振が良いことが分かった. しかし実際に間欠的な正弦発熱と, 炭酸ガスの間欠的な正弦発生を行う実用的な装置を工夫する必要がある. 本論では試作した励振発生装置による実験結果を述べる.

また前述の近年の研究<sup>1)</sup>によれば, 測定不確かさ平滑化と低周波濾波のために, 励振と応答と外乱の時系列測定値に移動平均を施すことが必要である. 本システム同定の多数室モデルは, 各室で室空間に関与する躯体熱容量や天井裏等の付属空間も含めて1節点に近似している. こうした空間離散化的に粗いモデルでは, 高周波の励振と外乱への応答は正確ではないので, ゆっくりで滑らかな低周波の励振を与える必要がある. また時系列の測定値に対しても, 移動平均による低周波濾波の処理が必要になる. 計算機実験<sup>1)</sup>により, 普通の住宅の伝熱系では72時間程度の周期の間欠的な正弦波励振発熱と, 8時間程度の移動平均が適していることが分かった. ガス移動系では1時間半程度の周期の正弦ガス発生と6時間の停止

時間そして1時間の移動平均を施すのが適していることが分かった. 本論では, 計算機実験ではなく, 実際の実験によって, これらの最適励振周期や移動平均期間を確認する.

なお隙間風は時間的に変化するが, 瞬間々の変化を追うことは難しい. しかし数時間の平均値の変化であれば追跡可能である. これは数時間のシステム同定期間を測定時間間隔  $\Delta t$  ずつ移動して行くことによってなされることを実際の多数室換気測定により既報<sup>4)</sup>に示した.

また推定されたパラメータの不確かさ評価だけでなく, 信頼性の評価も重要である. 例えば, 室温やトレーサガス濃度の一樣性や, 推定されるパラメータの時間変化が小さいこと等の前提が, 十分に成立しているか否かの指標としてシステム同定の前提の不適合率  $\beta$  を定義し検討を行っている<sup>12)</sup>. 測定不確かさだけでなく, 前提の不成立も含めて, 結局は回帰式残差に表れる. ここに測定不確かさだけでなく伝播したパラメータ推定不確かさ標準偏差に対して, 回帰式残差から伝播したパラメータ不確かさの標準偏差の比率をとったものが  $\beta$  である. この  $\beta$  は従来の最小二乗法における決定係数等よりも適切な判断を可能にすることが分かった<sup>12)</sup>.

本論ではまず熱移動系と換気測定のためのトレーサガス移動系は, 同様な数式モデルで表すことができ, 同様なシステム同定理論が適用できることを述べる. 次に励振と応答の様子等の物理的な側面について述べる. さらに単室のトレーサガス移動系の同定理論については既報<sup>2)</sup>に譲り, 熱移動系の理論について述べる. さらに経済的な熱とトレーサガスの励振発生装置を試作したので, 本システム同定理論と不確かさと信頼性のデータ分析も

含めて、単室建物で実験した結果を述べる。

## 2. 熱とガスの移動系の同様なシステム同定の概要

通常、建築の伝熱系と換気系の其々の研究は別の分野として行われ、其々の測定法の基礎式も異なるものと思われている。しかし本同定理論<sup>1)</sup>では、建築における熱やガスの移動は、共通の一般的な多節点系のモデルでとらえ、同様な方程式で扱える。そして隙間風換気量等の測定と熱損失係数等の両方の測定に同様な同定理論が適用できる。両者の違いは間欠的な励振の周期と休止時間の違い、および低周波濾波のために測定値に施す移動平均の時間の長さの違いだけである。

多数室モデル用のFORTRANによるシステム同定プログラム以外に、実用的な励振発生装置の試作も含めた実験は単室モデルで行うために単室の場合に特化した理論と表計算プログラムも展開している。

### 2.1 ガス移動系の基礎式と励振と応答

隙間風等の換気量測定に用いた同定モデルの基礎式はトレーサガスの濃度変化を表す次の常微分方程式であった<sup>2)</sup>。

$$v \cdot \dot{x}(t) = q \cdot (x_0(t) - x(t)) + g(t) \quad (1)$$

この場合の $x$ は室の濃度[mg/m<sup>3</sup>]であり、頭に付けたドットは時間微分を表す。また $x_0$ は外気濃度を表し、 $g$ はトレーサガス供給量[mg/h]を表す。さらに $v$ は室の有効混合容積[m<sup>3</sup>]を表し、 $q$ は換気量[m<sup>3</sup>/h]を表す。

この式を測定時間間隔 $\Delta t$ の離散時間系に変形して最小二乗法の回帰式にする。トレーサガスの供給量を時間変化させて室の濃度変化をつくり、これらの時系列測定値から、最小二乗法により、システムパラメータ $v$ と $q$ を求め、不確かさと信頼性評価をする理論と計算機実験例を前報<sup>2)</sup>で述べた。

高气密の建物の場合には、連続的に正弦波のガス供給を続けるとガス濃度が測定可能範囲を超えてしまう場合は、ガス供給停止期間を設ける。前報<sup>2)</sup>で述べた最適ガス濃度の減衰期間の決定法を参考にして、適切なガス供給停止期間を設ける。

その事例検討<sup>2)</sup>により、図1の模式図には1~2時間の正弦波供給を行い、1~2時間の停止期間をおく例を示す。

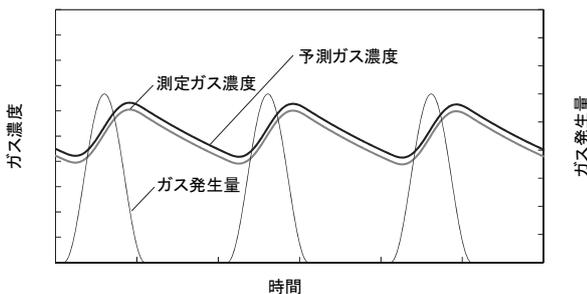


図1 トレーサガスの供給とガス濃度変化

多数室系の場合は、隣りあう室の間では、離れた室の間に比べて、ガス濃度の差が大きくなる様にガス発生時のピーク時間をずらす。励振周期の半分以上の時間ずれていけば十分である。

さらに2~4時間の最小二乗の期間を、1分程度の測定時間間隔 $\Delta t$ で移動していけば、既報<sup>4)</sup>で示した様に時間平均的な換気量の変化を推定することが可能となる。ゆっくりとした室内外温度差の変化等による換気量変化などは把握可能である。

### 2.2 熱移動系の基礎式と励振と応答

熱損失係数等の同定に用いる基礎式は、室温の変化を記述する次の常微分方程式である。

$$m \cdot \dot{x}(t) = c \cdot (x_0(t) - x(t)) + r \cdot s(t) + h(t) \quad (2)$$

この場合の $x$ は室温であり、 $x_0$ は外気温度を表す。推定すべきシステム・パラメータは、隙間風と壁貫流を含む総合熱損失係数の $c$ 、相当熱容量の $m$ 、日射熱取得係数の $r$ 等である。相当熱容量 $m$ とは、室空気に接する壁体等の熱容量の効果を、室空気の熱容量をどの分だけ大きく見なすことで考慮するものである。日射熱取得係数 $r$ は、水平面全日射量 $s$ [W/m<sup>2</sup>]から室温に与える影響を表す係数なので、単位は、面積[m<sup>2</sup>]に吸収率[-]などを乗じた面積[m<sup>2</sup>]となる。電熱発熱量は $h$ [W]である。同定で考慮される日射量の影響は、窓透過日射だけでなく、屋根や壁体の貫流も含まれる。最小二乗法の回帰式にするためには、少なくとも一つの項は未定係数が含まれてはならないから、(1)式ではガス発生量の $g$ が、(2)式では電熱発熱の $h$ の項が必要である。

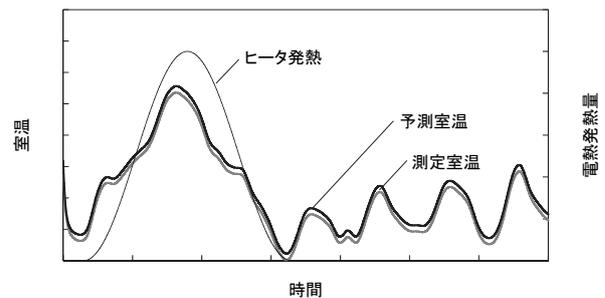


図2 電熱ヒータ加熱と室温変化

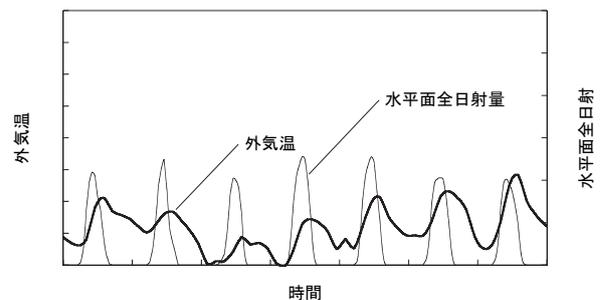


図3 外気温と水平面全日射量

多数室系の場合は、ガス移動系と同様に、離れた室の

間に比べて、隣室間では室温の差が大きくなる様に、電熱発熱のピーク時間をずらす。

### 3. 熱性能パラメータのシステム同定と不確かさ評価法

既報<sup>2)</sup>の単室モデルの換気量と有効混合容積の同定理論と本質は同様であるが、熱性能のシステム・パラメータ同定理論と不確かさと信頼性評価方法を述べる。

#### 3.1 システム・パラメータの回帰式

室温変化を表す(2)式を変形して回帰式にする。これはマトリックス記号を次式で定義し表示する。各変数とシステムパラメータの意味は前節で述べた。

$$h = \begin{bmatrix} \dot{x} & (x - x_0) & -s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m \\ c \\ r \end{bmatrix} \triangleq \mathbf{Z} \cdot \mathbf{a} \quad (3)$$

ここに $\mathbf{Z}$ は測定値マトリックス、 $\mathbf{a}$ はシステムパラメータベクトルと呼ぶ。全測定期間の総測定点数は $nt$ として測定時刻番号を $k=1, 2, \dots, nt$ とする。式(3)に含まれる電熱発熱量 $h$ 、室温 $x$ の微分値、内外温度差 $(x-x_0)$ 、また水平面全日射量の $-s$ を、 $(k-1)\Delta t$ から $k\Delta t$ で積分した値を(3)式に代入した時の両辺の誤差を $e_k$ として定義する。この回帰式誤差 $e_k$ の二乗を総測定点数 $nt$ 分だけ合計した値を最小にする最小二乗法の解式を導く。

#### 3.2 発熱量と室温等の測定時間間隔での積分

発熱量の $\Delta t$ 区間での積分は次式で定義し、台形近似して計算する。

$$h_k \triangleq \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} h(t) dt = \{h(k\Delta t) + h((k-1)\Delta t)\} \Delta t / 2 \quad (4)$$

室温 $x$ の微分値の $\Delta t$ 区間での積分は次式で定義し計算される。

$$d_k \triangleq \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} \dot{x}(t) dt = x(k\Delta t) - x((k-1)\Delta t) \quad (5)$$

内外温度差 $(x-x_0)$ の $\Delta t$ 区間での積分は次式で定義し計算される。

$$x_k \triangleq \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} \{x(t) - x_0(t)\} dt = \{x(k\Delta t) + x((k-1)\Delta t)\} \Delta t / 2 - \{x_0(k\Delta t) + x_0((k-1)\Delta t)\} \Delta t / 2 \quad (6)$$

水平面全日射量 $s$ の $\Delta t$ 区間での積分は次式で定義する。

$$s_k \triangleq \int_{(k-1)\Delta t}^{k\Delta t} -s(t) dt = -\{s(k\Delta t) + s((k-1)\Delta t)\} \Delta t / 2 \quad (7)$$

#### 3.3 回帰式と最小二乗解

測定値マトリックス $\mathbf{Z}_k$ は前述の要素を用いて次式で定義される。

$$\mathbf{Z}_k \triangleq [d_k \quad x_k \quad s_k] \quad (8)$$

システム・パラメータ $\mathbf{a}$ に関する回帰式は(3)式から次式で表される。

$$h_k = \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{a} \quad (9)$$

この方程式誤差を次式で定義する。

$$e_k \triangleq h_k - \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{a} \quad (10)$$

そして最小二乗法の評価関数を次式で定義する。

$$J \triangleq \sum_{k=1}^{nt} {}^t e_k \cdot e_k \quad (11)$$

$J$ を $\mathbf{a}$ で微分して0と置くことでシステム・パラメータの推定式が得られる。

$$\hat{\mathbf{a}} = \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot h_k \right] \quad (12)$$

#### 3.4 決定係数

回帰式の残差を次式で定義する。

$$v_k \triangleq h_k - \mathbf{Z}_k \cdot \hat{\mathbf{a}} \quad (13)$$

推定結果の信頼性評価の従来の指標には決定係数がある。この計算に必要な残差二乗和は次式で計算される。

$$s(\hat{\mathbf{a}}) = \sum_{k=1}^{nt} {}^t v_k \cdot v_k = \sum_{k=1}^{nt} {}^t (h_k - {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \hat{\mathbf{a}}) \cdot (h_k - {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \hat{\mathbf{a}}) \quad (14)$$

また総変動は次式で計算される

$$s_h = \sum_{k=1}^{nt} {}^t (h_k - \bar{h}) \cdot (h_k - \bar{h}) = \sum_{k=1}^{nt} h_k^2 - \frac{1}{nt} \left( \sum_{k=1}^{nt} h_k \right)^2 \quad (15)$$

これらの(14)と(15)式から、決定係数 $COD$ は次式で計算される。

$$COD = 1 - s(\hat{\mathbf{a}}) / s_h \quad (16)$$

#### 3.5 分散共分散マトリックスと同定前提の不適合率

次に推定パラメータの不確かさ評価のために、これらの分散・共分散マトリックスを求める。まず $\mathbf{a}$ の不確かさは $\mathbf{a}$ の期待値からの差として次式で記述できる。

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{a}} - E(\hat{\mathbf{a}}) &= \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot h_k \right] \\ &\quad - E \left\{ \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot (\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{a} + e_k) \right] \right\} \\ &= \hat{\mathbf{a}} - \hat{\mathbf{a}} - \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot e_k \right] \\ &= - \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{k=1}^{nt} {}^t \mathbf{Z}_k \cdot e_k \right] \quad (17) \end{aligned}$$

これから分散共分散マトリックスは次式で記述される。

$$\begin{aligned}\Lambda_a &= E\left[(\hat{\mathbf{a}} - E(\hat{\mathbf{a}})) \cdot (\hat{\mathbf{a}} - E(\hat{\mathbf{a}}))'\right] \\ &= E\left[\left[\sum_{k=1}^m {}^t\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k\right]^{-1} \cdot \left[\sum_{k=1}^m {}^t\mathbf{Z}_k \cdot E(e_k \cdot {}^t e_k) \cdot \mathbf{Z}_k\right]\right] \\ &= E\left(e_k \cdot {}^t e_k\right) \cdot \left[\sum_{k=1}^m {}^t\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k\right]^{-1} \triangleq \begin{bmatrix} \sigma_m^2 & S_{m,c} & S_{m,r} \\ S_{c,m} & \sigma_c^2 & S_{c,r} \\ S_{r,m} & S_{r,c} & \sigma_r^2 \end{bmatrix} \quad (18)\end{aligned}$$

この右辺の回帰式誤差の期待値  $E(e_k \cdot {}^t e_k)$  は 2 通りの取り方がある。一つは回帰式残差の平均とするものである。ただしパラメータの個数 3 の分だけ自由度が下がるので  $(nt-3)$  で除して平均をとる。こうした残差には、測定不確かさだけでなく、システム同定の前提が十分に成立しない実際的な影響も表れている。

$$E_r(e_k \cdot {}^t e_k) \triangleq \frac{1}{nt-3} \sum_{k=1}^{nt} v_k \cdot {}^t v_k \quad (19)$$

一方、測定不確かさだけが誤差の原因と見なして、これからの伝播として  $E_m(e_k \cdot {}^t e_k)$  を計算することもできる。電熱発熱の測定不確かさ標準偏差を  $\sigma_h$ 、温度の測定不確かさ標準偏差を  $\sigma_x$ 、水平面全日射量の測定不確かさ標準偏差を  $\sigma_s$  とする。このとき 4 種の  $\Delta t$  区間の積分値  $h_k$ 、 $d_k$ 、 $x_k$ 、 $s_k$  の持つ不確かさ分散  ${}_s\sigma_h$ 、 ${}_d\sigma_x$ 、 ${}_s\sigma_x$ 、 ${}_s\sigma_s$  は、誤差伝播則を(4)から(7)式に適用して、次からの式で計算される。

$${}_s\sigma_h^2 = \Delta t^2 \cdot \sigma_h^2 / 2 \quad (20)$$

$${}_d\sigma_x^2 = 2\sigma_x^2 \quad (21)$$

$${}_s\sigma_x^2 = \Delta t^2 \sigma_x^2 \quad (22)$$

$${}_s\sigma_s^2 = \Delta t^2 \cdot \sigma_s^2 / 2 \quad (23)$$

これらの記号定義を用いて、測定不確かさだけによる回帰式誤差の不確かさ分散の期待値  $E_m(e_k \cdot {}^t e_k)$  は、誤差伝播則により次式で計算される。これが回帰式誤差の期待値のもう一つの取り方である。

$$E_m(e_k \cdot {}^t e_k) = {}_s\sigma_h^2 + m^2 \cdot {}_d\sigma_x^2 + c^2 \cdot {}_s\sigma_x^2 + r^2 \cdot {}_s\sigma_s^2 \quad (24)$$

前述の 2 種類の期待値  $E(e_k \cdot {}^t e_k)$  の其々から (18)式を用いてシステム・パラメータの 2 通りの不確かさ標準偏差が計算できる。回帰式残差に起因する不確かさ標準偏差は、(25)式に示す様に、 $\sigma$  の左下添え字に残差の  $r$  を付けて、右下にはパラメータ  $m, c, r$  対応して、それぞれ  ${}_r\sigma_m$ 、

${}_r\sigma_c$ 、 ${}_r\sigma_r$  と表す。一方、測定不確かさだけに起因するものは、(26)式に示す様に、左下添え字に測定の  $m$  を付けてそれぞれ  ${}_m\sigma_m$ 、 ${}_m\sigma_c$ 、 ${}_m\sigma_r$  と表す。ここに分散の記号には  $\sigma^2$ 、共分散には  $s$  を用いた。本論の段階では非対角要素の共分散は利用せず、対角要素の分散だけを利用する。

$${}_r\Lambda_a \triangleq E_r(e_k \cdot {}^t e_k) \cdot \left[\sum_{k=1}^m {}^t\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k\right]^{-1} \triangleq \begin{bmatrix} {}_r\sigma_m^2 & {}_rS_{m,c} & {}_rS_{m,r} \\ {}_rS_{c,m} & {}_r\sigma_c^2 & {}_rS_{c,r} \\ {}_rS_{r,m} & {}_rS_{r,c} & {}_r\sigma_r^2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$${}_m\Lambda_a \triangleq E_m(e_k \cdot {}^t e_k) \cdot \left[\sum_{k=1}^m {}^t\mathbf{Z}_k \cdot \mathbf{Z}_k\right]^{-1} \triangleq \begin{bmatrix} {}_m\sigma_m^2 & {}_mS_{m,c} & {}_mS_{m,r} \\ {}_mS_{c,m} & {}_m\sigma_c^2 & {}_mS_{c,r} \\ {}_mS_{r,m} & {}_mS_{r,c} & {}_m\sigma_r^2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

(25)式の  $\sigma$  の、(26)式の  $\sigma$  に対する比率をとり、システム同定前提の不適合率  $\beta_m$ 、 $\beta_c$ 、 $\beta_r$  も計算できる。しかし(25)式と(26)式の比較観察によれば、これら 3 種の不適合率は、次式の様に、結局は一つの  $\beta$  と見なせる。

$$\frac{{}_r\sigma_m}{{}_m\sigma_m} = \frac{{}_r\sigma_c}{{}_m\sigma_c} = \frac{{}_r\sigma_r}{{}_m\sigma_r} = \sqrt{\frac{E_r(e_k \cdot {}^t e_k)}{E_m(e_k \cdot {}^t e_k)}} \triangleq \beta \quad (27)$$

もし不適合率  $\beta$  が 1 よりも著しく大きい場合には、同定モデルの不合理的や、測定過程で前提が成立しなかった可能性があるため、それが許容できるものか、やり直しかの検討が必要である。

#### 4. 測定不確かさの推定法

前節で述べたシステム同定の前提の不適合率  $\beta$  を計算するためには、電熱発熱、室温と水平面全日射量の測定不確かさ標準偏差として其々、 $\sigma_h$ 、 $\sigma_x$ 、 $\sigma_s$  が必要である。従来の我々の研究<sup>1)2)</sup>では、測定機器の精度表示として、よく見られる  $\pm X[\%]$ 等の情報を利用して決めていた。

しかし実際に起こる測定誤差は、測定器の経年変化や、測定現場の状況と条件に影響されるゆらぎもあるだろう。従って望ましいのは、実際の測定現場での沢山の測定値から測定不確かさを推定することである。

ここで本来の測定不確かさの定義では、同じ測定値になるはずの同じ条件と環境で、何度も沢山の測定を繰り返して得られた測定値の平均からの偏差を統計処理したものとしている。

一方、本測定法でとらえようとしている室温やガス濃度の時間変動は、不確かさが原因の変動ではなく、測定可能な励振や外乱の影響による変動である。もし長い期間の平均値からの偏差をとって測定不確かさとするれば、有意な変動を測定誤差と見なしてしまうことになる。

そこで1分程度の短い間隔で温度やガス濃度の測定値を得ていき、5分(6個)から9分(10個)程度の比較的に短い期間の移動平均をとり、これを1分ずつ移動していけば、測定不確かさによるばらつきが平滑化された曲線が得られる。この曲線を測定不確かさ平滑化曲線と呼ぶことにする。ここに偶数個をとる理由は、測定誤差と見なすところの平滑化曲線からの偏差は、平均値を挟んで交互に発生する確率が大きいと考えられるからである。この測定不確かさ平滑化曲線を数日間ぐらいの長い期間で作る、この曲線からの各測定値の偏差を、統計処理すれば、測定不確かさ標準偏差が得られると考えられる。

なお移動平均をとる測定値の個数は、有意な変化も均してしまわないように、必要最小限にする必要がある。幾つかの測定値の個数で測定不確かさ標準偏差を計算してみると、今までの実験の条件では、ガス濃度の場合には6個、温度の場合には10個よりも増やしても大きな変化はなくなることが分かった。

本実験での室温の測定値を例にとり図4に描いた。1分間隔の測定で、部分的な10分間の測定値と、10個の測定値による移動平均曲線すなわち測定不確かさ平滑化曲線を示している。この10分間の前後には長い測定期間がある。この曲線と測定点の偏差を統計処理する。

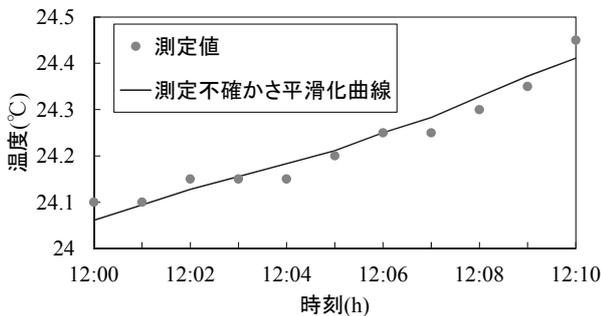


図4 測定不確かさ平滑化曲線と測定値

## 5. 正弦波励振の周期と低周波濾波の移動平均期間

各室で1節点のトレーサガス移動系モデルについて、室容積だけでなく付属する天井裏や押入れの容積もある程度含めた有効混合容積と隙間風をシステム同定するためには、与えるトレーサガスの正弦波励振の周期は長めにしなければならないことが分かっている<sup>2)</sup>。また多数室系での計算機実験例<sup>1)</sup>では、間欠的な正弦波励振の周期は1.5h、停止期間は6h、低周波濾波の移動平均期間は1hが最適であることが分かった。

一方、同じく各室で1節点の熱移動系のモデルについては、壁、床や屋根の熱容量も部分的に含めた室の相当熱容量と総合熱損失係数をシステム同定するための最適な励振の周期は72時間と長くなる<sup>1)</sup>。また低周波濾波として機能する移動平均の期間も8時間と長くなった<sup>1)</sup>。

この様に各室1節点のモデルの同定では、1節点の周

りの各種の容積や熱容量も含めなければならないので、ゆっくり変化する長い周期の励振が適している。

また全ての励振、応答と外乱の時系列の測定値についても、低周波の主成分を取り出すために、フィルタをかけることが必要である。すなわち低周波濾波が必要である。そしてこのフィルタとして移動平均は有効である。

各室1節点モデルでは高周波の励振に対する実際の応答が表現できにくい。初期の研究<sup>3)</sup>で用いていた矩形波励振はフーリエ級数展開をすれば高周波の正弦波も含む。室内空間のガス流動を数値流体解析の様な沢山の節点で細かいモデルで表すならば、高周波のガス発生励振であっても、応答としての空間の濃度分布の変化は表現できる。しかし室空間の濃度を平均した1節点モデルでは表現が難しい。ただし室内に攪拌ファンが稼働していれば、実際の現象も1節点モデルに近いものとなる。従って初期の矩形波励振では大きな不都合は生じなかった。

しかし熱移動系で各室1節点モデルとした場合は、壁、床、屋根の等と室空気の相互熱流を攪拌ファンで促進し混合できるわけではない。その代わりにゆっくりした変化の長い周期の励振を与え、また時系列の測定値には移動平均を施すことで、高周波成分は均してしまい、低周波成分が有効になる様にする必要がある。

ただし低周波濾波の移動平均の長さには上限がある。トレーサガスの60分周期の間欠的な正弦波励振を図5に示す。これに5分、10分、30分、60分と120分の移動平均を施した結果の曲線を描いた。いずれも時間積分した総量は0.032[m<sup>3</sup>]で等しい。また周期60分以下の移動平均期間であれば曲線は正弦波形を縦横に伸縮した相似形であるが、周期を超えるとピークが平たくなり相似形ではなくなる。これは移動平均期間が進行しても平均値が変化しない時間帯が生じるからである。この例からも移動平均期間は正弦波周期を超えてはならないことが分かる。

またこれらの最適の移動平均期間と正弦波周期を決めるのに役立つのがシステム同定前提の不適合率 $\beta$ であることがこれまでの研究<sup>12)</sup>と本実験でも確認されている。

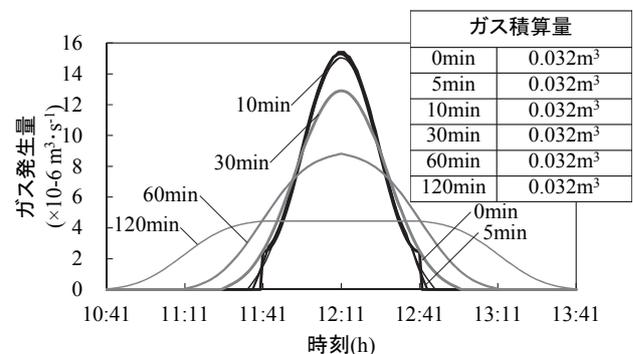


図5 ガス発生量の移動平均期間別の形状

## 6. システム同定の励振発生装置の開発経緯

多数室換気測定システムは第2世代までを開発した。第1世代<sup>3)</sup>は、マスフローコントローラーのコンピュータ制御で炭酸ガスボンベからのガスを流量制御した。またガスを放出する室と、ガス濃度を計る室を電磁弁で切り替える装置を試作した。しかし非常に大きく扱い難かった。各室のガス放出とガス濃度測定を行う装置は一ヶ所に置き、これと各室は細く長い樹脂チューブでつなぐセントラル方式だった。

第2世代の測定システム<sup>4)</sup>では六フッ化硫黄ガスを用いた。また既製品の多点ガス注入・空気サンプリング装置とガス濃度分析計を用いた。測定システムは比較的コンパクトになったが、やはりセントラル方式であり、長いチューブを必要とし、測定に際してはチューブを配置する手間が実用性を妨げていた。また1個のガス濃度計で切り替えながら多数室を計るので、全室を同時並行的に1分程度の間隔で計るのは難しく、もしも十数室あれば、各室の濃度は、十数分間隔の測定値を直線補間近似して1分間隔の測定値を得なければならなかった。

こうした実用性と測定精度の問題に加えて装置類のコストが高かった。またガスボンベを用いることは一般人に警戒感を与える。しかし今日では、炭酸ガス濃度測定と記録の装置であれば、小型で安価なものが普及している。多数室で各室に1個ずつ置いたとしても大したコストはかからない。そこで炭酸ガス発生を実用的に行う方法を工夫した。アルコール燃焼を利用すれば、発生するのは殆どが炭酸ガスと水蒸気であるので、アルコール流量から炭酸ガス発生量はかなり正確に推定できる。アルコール流量の正弦波の制御は、シリンジポンプをPC制御により行う写真1に示す装置を試作した。



写真1 間欠的炭酸ガス正弦波発生装置

燃焼皿の中央部からニードルを約6[mm]突出し円錐状に岩綿を被せアルコールを浸潤させることで、炎の大きさはアルコール流量[ml/min]に応じ自然に変化するようにした。アルコールから炭酸ガス発生量[l/min]への換算は燃焼の化学反応式より0.60[l/ml]とした。最小流量は0.135[ml/min]で、最大流量は1.5[ml/min]である。

多数室ではなく単室での可能性実験なので、ガス発生

は1山で間に合う。また気密性が高く減衰期間が長い。最適減衰期間の決定法<sup>2)</sup>によれば、ガス発生停止後に15時間ではあるが、長めに1日分程の期間まで測定データを用いた。

写真2の様な正弦波の電熱加熱器も試作した。PWM(Pulse Width Modulator)のPC制御方式である。実験に先立ち、箱状のものにPCから各種の設定値を送信して記憶させておくので、実験中はPCの接続は不要である。今回は正弦波の周期は72[h]、最大1008[W]を1周期発生させた。



写真2 間欠的正弦波発熱装置

## 7. 熱・換気性能の測定法の実験建物

写真3の測定対象のプレファブ建物は、神奈川大学横浜キャンパス内に設置した。3階建ての2つの校舎の間の狭い敷地にあるので日当たりが悪く、正午近くしか直達日射が当たらない。窓と出入り口は東面だけにある。床面積は3.79×2.15mで8.1m<sup>2</sup>ある。天井高さは2.2m、室の幾何的容積は17.8m<sup>3</sup>である。壁は硬質ポリウレタンフォーム40mmの両側を0.35mmのガルバリウム鋼板で挟んだものである。屋根は、0.6mmのガルバリウム鋼板折板と室内側に75mmのグラスウールと4mm厚の合板からなる。床は24mmの合板の外側に25mmのスタイロフォームを貼り付けたものである。窓は幅1727mm×高877mmで単板3mmガラスのアルミサッシ窓枠である。引き違い戸は、外形が幅1727mm×高2000mmで、この上半分は幅780mm×高900mmのアルミサッシに入った3mm厚のガラス窓であり、下半分はアルミ板である。設計段階の計算上の総合熱損失係数は、隙間風を0.1[回/時]として、53.1[WK<sup>-1</sup>]である。ただし設置当初は気密性が悪かったので、隙間はシールして気密性を高めた。今回の隙間風測定では約0.07[回/時]であった。

この建物で熱性能と隙間風の測定法の実験の他に気密性能試験方法の実験も行っている。図6に、この平面図とシステム同定モデル、温度とガス濃度等の超小型デー

タロガーとアルコール燃焼による炭酸ガスの励振発生装置と電熱ヒータの励振発生装置の配置を示す。



写真3 実験建物の外観

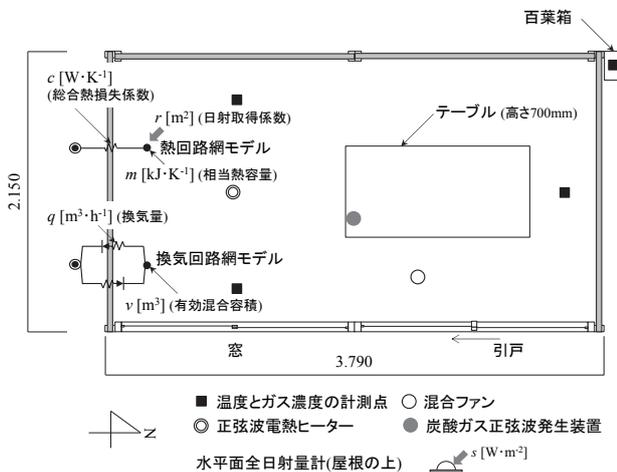


図6 実験建物平面図と同定モデル

### 8. 熱性能測定法の実験

測定期間と同定期間は12月4日4時～12月8日4時までとし、測定時間間隔も同定間隔も $\Delta t=1[\text{min}]$ とした。室内温湿度、外気温湿度、水平面全日射量、室内電力消費量を測定した。電力消費量は他の電気機器も含めパルス出力電力センサで計測し、記録は他の測定量についても主に超小型データロガーを用いた。

図7には6日分の水平面日射量と外気温の変化を示す。また、図8には電熱器を含め室内にある全ての電気機器の消費電力を示す。

図9は、同定されたモデルのパラメータで構成される常微分方程式を、外気温度や各種発熱の時間変化を与えて時間積分をして、予測室温を計算していき、測定された室温と比較して描いたものである。

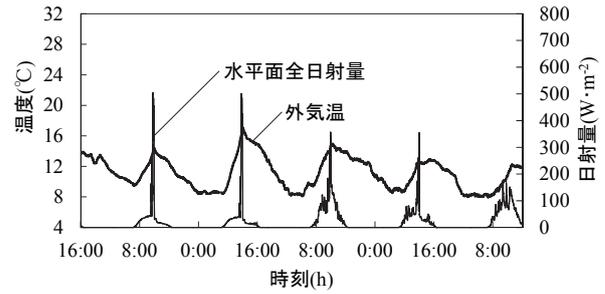


図7 水平面全日射量と外気温度

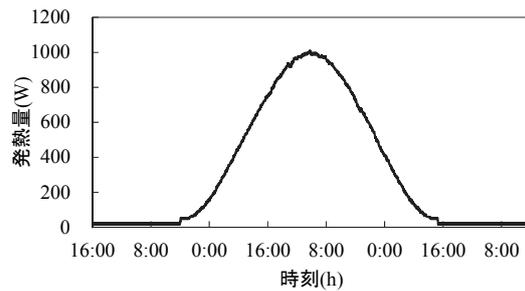


図8 電熱ヒータ等の発熱量

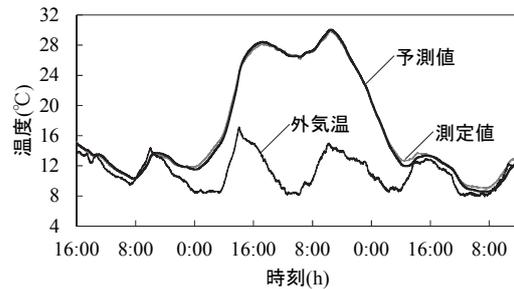


図9 内外気温変化の実験値と予測値の比較

### 9. 換気性能測定法の実験

本測定法ではトレーサガスの炭酸ガスをアルコール燃焼で発生させる。同定期間は炭酸ガスを発生させた後の減衰期間を含めて、11月9日10時41分～11月10日15時40分、測定時間間隔も同定間隔も $\Delta t=1[\text{min}]$ とした。

ただし本測定法は、ガス濃度減衰過程だけの測定値を用いる減衰法とは異なり、ガス発生中におけるガス濃度上昇過程の測定値も用いるので、有効混合容積も求められる。今回は減衰過程の状況を調べるために図10の様な長い減衰期間を測定したが、単に換気量と有効混合容積を求めるのであれば、1時間のガス放出期間を含めても、2時間から3時間の測定期間で十分である。

なおこの測定期間の内外温度差は平均1[°C]程度あった。アルコール流量の正弦波は、周期60[min]、最大流量1.5[ml/min]の1周期を試した。室内と外気の炭酸ガス濃度は超小型データロガーで測定記録した。

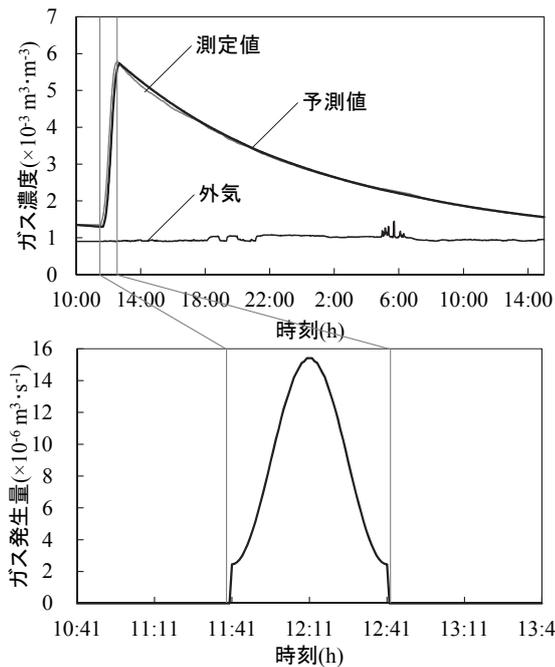


図10 ガス濃度変化の予測値と実験値およびガス発生量

表1 熱性能測定法の実験の結果

| $Tmt$<br>[min] | $m$<br>[kJ·K <sup>-1</sup> ] | $c$<br>[W·K <sup>-1</sup> ] | $r$<br>[m <sup>2</sup> ] | $COD$ | $\sigma_m$<br>[kJ·K <sup>-1</sup> ] | $\sigma_c$<br>[W·K <sup>-1</sup> ] | $\sigma_r$<br>[m <sup>2</sup> ] | $\beta$ |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------|
| 0              | 33.9                         | 53.8                        | -0.39                    | 0.976 | 0.42                                | 0.080                              | 0.015                           | 3.3124  |
| 5              | 226.7                        | 54.5                        | -0.10                    | 0.893 | 2.75                                | 0.167                              | 0.030                           | 1.0525  |
| 10             | 274.8                        | 54.7                        | -0.03                    | 0.847 | 3.33                                | 0.200                              | 0.036                           | 1.0394  |
| 30             | 307.0                        | 54.8                        | 0.02                     | 0.810 | 3.72                                | 0.223                              | 0.041                           | 1.0360  |
| 60             | 316.7                        | 54.8                        | 0.05                     | 0.798 | 3.84                                | 0.230                              | 0.042                           | 1.0354  |
| 120            | 322.2                        | 54.8                        | 0.06                     | 0.791 | 3.91                                | 0.234                              | 0.043                           | 1.0352  |
| 480            | 332.6                        | 54.9                        | 0.11                     | 0.777 | 4.03                                | 0.241                              | 0.044                           | 1.0349  |
| 960            | 336.3                        | 55.2                        | 0.27                     | 0.772 | 4.08                                | 0.244                              | 0.045                           | 1.0367  |
| 1440           | 322.8                        | 56.1                        | 0.79                     | 0.779 | 3.91                                | 0.240                              | 0.044                           | 1.0622  |

表2 換気性能測定法の実験の結果

| $Tmv$<br>[min] | $v$<br>[m <sup>3</sup> ] | $q$<br>[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ] | $COD$ | $\sigma_v$<br>[m <sup>3</sup> ] | $\sigma_q$<br>[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ] | $\beta$ |
|----------------|--------------------------|---|-------|---------------------------------|--|---------|
| 0              | 12.8                     | 1.06                                      | 0.942 | 0.077                           | 0.033  | 1.11864 |
| 5              | 13.4                     | 1.06                                      | 0.940 | 0.078                           | 0.034  | 1.08718 |
| 10             | 13.5                     | 1.06                                      | 0.939 | 0.078                           | 0.034  | 1.08659 |
| 30             | 13.5                     | 1.07                                      | 0.939 | 0.079                           | 0.034  | 1.08604 |
| 60             | 13.6                     | 1.08                                      | 0.938 | 0.079                           | 0.034  | 1.08602 |
| 120            | 13.7                     | 1.09                                      | 0.937 | 0.080                           | 0.034  | 1.08692 |

### 10. 熱・換気性能測定法の実験の結果と考察

熱性能測定の結果を表1に示す。低周波濾波である移動平均の期間を長くするに伴い決定係数は小さくなるが、日射熱取得係数以外は、あまり大きな変化はない。最適移動平均期間は不適合率 $\beta$ が最小になる8時間であり、既報<sup>1)</sup>の計算機実験結果と同じである。換気測定の結果を表2に示す。移動平均期間を長くする程に決定係数は小さくなる。不適合率 $\beta$ は60分で最小となっているので、本件での最適期間と考えられる。これらの最適の同定結果は、設計上の総合熱損失係数と幾何的室容積に近い値である。また同定されたパラメータで予測計算モデルを作りシミュレーションを行った。予測室温と測定室温、予測ガス濃度と測定ガス濃度の比較を図9と図10に示す。これらの予測値は実験値を良好にトレースしている。

### 11. まとめ

今回の実験と研究で得られた知見あるいは確認された知見を箇条書き的にまとめると次の様になる。

#### (a) 熱移動とトレーサガス移動モデルの共通性

熱性能は熱移動系の、換気性能はトレーサガス移動系の同様な数式モデルで表されてシステム同定でき、不確かさと信頼性評価も同様な方法で可能である。両者の違いは最適な励振の正弦波周期、低周波濾波の移動平均期間、測定不確かさを平滑化曲線のための移動平均の期間の長さの違いだけであり、何れも概ね前者の方が長い。

#### (b) 実用的な励振発生装置の試作

熱と換気のパフォーマンスを多数室モデルでシステム同定する経済的で実用的な方法の実用化をめざし、間欠的な正弦波の電熱発熱と炭酸ガス発生装置を試作し、まずは単室モデルで可能性を確かめた。

#### (c) 測定不確かさの推定法

提案している信頼性評価指標 $\beta$ を計算するために必要になる測定不確かさを標準偏差 $\sigma$ を求める方法を考案し、実験で確かめた。短い期間の移動平均による平滑化曲線と、測定値の偏差を、統計処理する方法である。

#### (d) 励振の周期と低周波濾波の移動平均期間決定法

既往の計算機実験による知見<sup>12)</sup>は、本実験によっても確認された。すなわち最適の同定パラメータであることの判断は、決定係数 $COD$ では難しく、提案している不適合率 $\beta$ が適していることを確かめた。また $\beta$ は最適の励振周期と低周波濾波のための移動平均期間を決定するためにも有効である。

#### (e) 低周波濾波の移動平均期間の上限

低周波濾波の目的の移動平均期間は、雑音や外乱と見なさない有意な励振等の変動の周期を超えてはならない。

#### 本研究に関する既発表論文

- 1) H.Okuyama, Y.Onishi, System parameter identification theory and uncertainty analysis methods for multi-zone building heat transfer and infiltration, Building and Environment, vol.54, 2012, pp39-52
- 2) H.Okuyama, Y.Onishi, Uncertainty analysis and optimum concentration decay term for air exchange rate measurements: Estimation methods for effective volume and infiltration rate, Building and Environment, vol. 49, 2012, pp182-192.
- 3) H.Okuyama, System Identification Theory of the Thermal Network Model and an Application for Multi-chamber Airflow Measurement, Building and Environment, Vol.25, No.4, pp.349-363, 1990
- 4) H.Okuyama, Recent Progress on the Multi-Chamber Airflow Measurement System, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness ISRACVE, 22-24 July 1992, Tokyo, pp351-356
- 5) 奥山, 吉浦, 菅野, 住宅の熱・換気性能現場測定法の理論と可能性実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2015.9.16 ~18 (大阪)} A-62, pp49-52, 2015年9月

# 第46回熱シンポジウム

## 新しい時代の熱環境デザイン～測定とシミュレーションによる設計・評価～

異常気象や世界規模で拡大する気候変動、東日本大震災以降のエネルギー転換、省エネルギー基準の適合義務化など、建築・都市の熱環境を取り巻く環境は変化してきている。4年後の2020年、56年ぶりに東京で開催されるオリンピックを前に、新しい時代の熱環境の在り方について、設計法、測定法、評価法の側面から伝熱小委員会及び熱環境シミュレーション小委員会の取り組みを紹介する。参加者とともに、新しい時代の熱環境デザインについて議論する場としたい。

キーワード：暑熱適応、気象データ、現場測定法、熱性能評価、CFD

主催：日本建築学会 環境工学委員会 熱環境運営委員会（伝熱小委員会・熱環境シミュレーション小委員会）

開催日時：2016年10月22日（土）13:00～17:30, 18:00～懇親会（会場未定） 23日（日）9:00～16:00

開催場所：岡山理科大学 理大ホール（岡山市北区理大町1-1 25号館 8階）

### プログラム

【1日目：10月22日（土）】12:30 開場、13:00 開始

開会挨拶 柳澤康信（岡山理科大学 学長）

司会：中山哲士（岡山理科大学）

尾崎明仁（九州大学）

趣旨説明 永田明寛（首都大学東京）

特別セッション13:10～14:10（60分：30分×2）

テーマ：「中国地方から発信する熱環境への取り組み」

司会・進行：中山哲士（前掲）

・里海の資源循環の取り組み：田中丈裕（特定非営利活動法人 里海づくり研究会 理事・事務局長）

・バイオマス産業都市“真庭”の取り組み：新谷俊典（真庭市役所 真庭市産業観光部 林業・バイオマス産業課）

セッション1：14:20～15:50（90分：20分×4名+質疑10分）

テーマ：「暑熱環境への適応」

司会・進行：三坂育正（日本工業大学）

・暑熱環境下における健康リスクの評価：鳴海大典（横浜国立大学）

・暑さ対策技術（保水性建材・再帰反射技術等）の性能評価：西岡真稔（大阪市立大学）

・IT技術を活用した暑さ対策：中大窪千晶（佐賀大学）

・暑さ対策と屋外空間の活用：土屋直也（・安藤邦明）（竹中工務店）

セッション2：16:00～17:30（90分：20分×4名+質疑10分）

テーマ：「各地域の先進的事例から見た熱環境設計」

司会・進行：菊田弘輝（北海道大学）

・熱環境設計における気象データ及び気象モデル：細淵勇人（秋田県立大学）

・積雪寒冷地域における熱環境設計：菊田弘輝（前掲）

・温暖地域・季節蒸暑地域における熱環境設計：水出喜太郎（日建設計）

・アジア蒸暑地域における熱環境設計：一ノ瀬雅之（首都大学東京）

【2日目：10月23日（日）】8:30 開場、9:00 開始

セッション3：9:00～10:30（90分：20分×4名+質疑10分）

テーマ：「熱性能の現場測定法の現状」

司会・進行：奥山博康（神奈川大学）

・標準的な方法の理論と実験例：長井達夫（東京理科大学）

・北海道の中古住宅流通における住宅検査の役割：森 太郎（北海道大学）

・戸建て住宅を対象とした熱性能の測定例：長谷川兼一（秋田県立大学）

・熱と換気の性能の現場測定法：奥山博康（前掲）・吉浦温雅（神奈川大学）

セッション4：10:40～12:10（90分：20分×4名+質疑10分）

テーマ：「建材の熱性能に関する評価手法の現状」

司会・進行：萩原伸治（建材試験センター）

・潜熱蓄熱材の熱性能評価に関する検討：佐藤友紀（大建工業）

・樹脂製窓の高断熱化に関する検討：高田和規（エクセルシヤノン）

・カーテンウォールの熱性能評価に関する検討：齊藤孝一郎（YKK AP）

・窓のエネルギー性能（WEP）の評価法に関する検討：木下泰斗（日本板硝子）

昼食休憩：12:10～13:10

セッション5：13:10～14:40（90分：20分×4名+質疑10分）

テーマ：「CFDを活用した熱環境解析」

司会・進行：小野浩己（電力中央研究所）

・ブラインドの熱解析モデル：武田 仁（東京理科大学）

・グレーディング複合体近傍：PIVによる可視化とCFD解析：永田明寛（前掲）

・ドア開閉に伴う外気侵入解析：李 時桓・倉淵 隆（東京理科大学）

・自動ドアからの外気侵入解析：小野浩己（前掲）・酒井孝司（明治大学）

セッション6：14:50～15:50

パネルディスカッション「新しい時代の熱環境デザイン」

司会：永田明寛（前掲）

パネリスト：三坂育正（前掲）、菊田弘輝（前掲）、奥山博康（前掲）、萩原伸治（前掲）、小野浩己（前掲）

閉会の辞：15:50～16:00 中山哲士（前掲）

**参加費** 会員6,000円、会員外8,000円、学生2,000円（資料代含む、懇親会参加費別途、当日会場でお支払い下さい）

**定員** 150名（申し込み先着順）

**申し込み方法** Web申し込み <https://www.aij.or.jp/index/?se=sho&id=1523> よりお申し込みください。

**申込方法/問合せ** 日本建築学会事務局 事業グループ 一ノ瀬 E-mail: [ichinose@aij.or.jp](mailto:ichinose@aij.or.jp) TEL: 03-3456-2051

※懇親会の申し込み方法・参加費等の詳細はシンポジウム申し込み者に別途ご案内します。

# 第46回熱シンポジウム 新しい時代の熱環境デザイン ～測定とシミュレーションによる設計・評価～

異常気象や世界規模で拡大する気候変動、東日本大震災以降のエネルギー転換、省エネルギー基準の適合義務化など、建築・都市の熱環境を取り巻く環境は変化してきている。4年後の2020年、56年ぶりに東京で開催されるオリンピックを前に、新しい時代の熱環境の在り方について、設計法、測定法、評価法の側面から伝熱小委員会及び熱環境シミュレーション小委員会の取り組みを紹介する。参加者とともに、新しい時代の熱環境デザインについて議論する場としたい。

開催日時:2016年10月22日(土)13:00～17:30

10月23日(日) 9:00～16:00

開催場所:岡山理科大学 理大ホール(岡山市北区理大町1-1 25号館 8階)

【1日目:10月22日(土)]12:30 開場、13:00 開始

特別セッション「中国地方から発信する熱環境への取り組み」

- ・田中文裕(特定非営利活動法人 里海づくり研究会 理事・事務局長)
- ・新谷俊典(真庭市役所 真庭市産業観光部 林業・バイオマス産業課)

セッション1:「暑熱環境への適応」

- ・鳴海大典(横浜国立大学)・西岡真稔(大阪市立大学)・中大窪千晶(佐賀大学)・安藤邦明(竹中工務店)

セッション2:「各地域の先進的事例から見た熱環境設計」

- ・細淵勇人(秋田県立大学)・菊田弘輝(北海道大学)・水出喜太郎(白建設)・一ノ瀬雅之(首都大学東京)

【2日目:10月23日(日)]8:30 開場、9:00 開始

セッション3:「熱性能の現場測定法の現状」

- ・長井達夫(東京理科大学)・森 太郎(北海道大学)・長谷川兼一(秋田県立大学)・奥山博康(神奈川大学)

セッション4:「建材の熱性能に関する評価手法の現状」

- ・佐藤友紀(大建工業)・高田和規(エクセルシャノン)・齊藤孝一郎(YKK AP)・木下泰斗(日本板硝子)

セッション5:「CFD を活用した熱環境解析」

- ・武田 仁(東京理科大学)・永田明寛(首都大学東京)・李 時桓(信州大学)・倉淵 隆(東京理科大学)・小野浩己(電力中央研究所)

主催:日本建築学会 環境工学委員会 熱環境運営委員会(伝熱小委員会・熱環境シミュレーション小委員会)

参加費 会員6,000円、会員外8,000円、学生2,000円(資料代含む、当日会場でお支払い下さい)

申し込み方法 Web 申し込み <https://www.aij.or.jp/index/?se=sho&id=1523>

申込方法/問合せ 日本建築学会事務局 事業グループ 一ノ瀬 E-mail: [ichinose@aij.or.jp](mailto:ichinose@aij.or.jp) TEL:03-3456-2051