

燃烧型暖房器を使用している住宅の室内環境に関する評価

高知工科大学

システム工学群 建築都市デザイン専攻 建築環境工学研究室

住宅 開放型燃焼器具 実測調査
 空気質 二酸化炭素濃度 温熱環境

学籍番号：1180049 氏名：鎌倉秀輝
 指導教員：田島昌樹

1. はじめに

冬期における住宅の室内温熱環境は外壁等の断熱性能以外に、使用されている暖房器具にも大きく影響を受ける。図 1-1 に使用暖房器具の調査^[1]の結果を示す。冬期に使用される暖房器具はエアコンが最も多い。また開放型燃焼器具も 3 割を超える住宅で使用されている。

先行研究^[2]では高知県内の中山間地域に建てられた住宅で室内環境の実測調査を行い、開放型燃焼器具を使用している住宅において表 1-1^[3]に示す空気温度の基準適合割合が低くなる傾向を確認した。先行研究では室内における代表点の空気温度は観測できているが、開放型燃焼器具により生じる放射環境の分布の観測には至っていない。また開放型燃焼器具は使用時に CO、NO_x 等の有害物質を発生させ空気質への悪影響が考えられる。宮崎ら^[4]が行った各種暖房器具から発生する有害物質濃度の実測調査では、開放型燃焼器具を使用している室内において 1~2.5 回/h 程度の換気を行っていても、測定開始より 2 時間経過した時点で CO 濃度が衛生管理基準値の 10ppm を超えるという結果を明らかにしている。

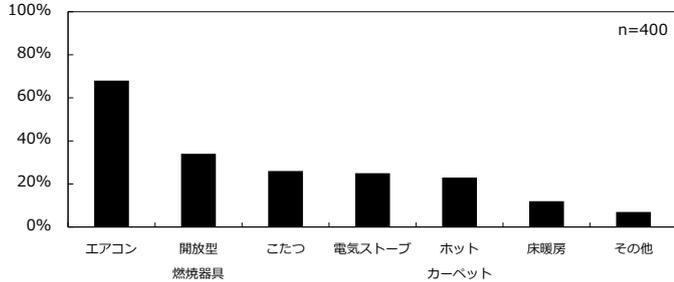


図 1-1 住宅における使用暖房器具割合 (2016 年調査^[1] 複数回答)

表 1-1 建築物衛生法の衛生管理基準値^[3]

項目*	衛生管理基準
空気温度	17~28℃
二酸化炭素濃度	1000ppm 以下
一酸化炭素濃度	10ppm 以下

*開放型燃焼器具を使用している室内環境の評価に必要な項目のみを抜粋

2. 研究概要

空気温度、グローブ温度、二酸化炭素濃度に加えて放射環境も含めた評価を行うことを目的として、方向別に温度を測定できる 6 面放射測定器を作成した。6 面放射測定器の精度検証および暖房器具のうち特に開放型燃焼器具を使用している住宅を対象とした実測調査を行い、室内の温熱環境と空気質について分析した。

本研究の手順を以下に示す。

- ① 6 面放射測定器の作成
- ② 6 面放射測定器の精度検証を目的とした実験
- ③ 実住宅での室内環境実態調査
- ④ 開放型燃焼器具使用時の室内環境に関する分析

3. 6 面放射測定器の作成と精度検証

3.1 6 面放射測定器の作成

片山^[5]が作成したベクトル放射温度計を参考に 6 面放射測定器の作成を行った。図 3-1 に作成した 6 面放射測定器の見取り図と実器の写真を示す。立方体本体の材質には各銅板の熱移動を少なくするために熱伝導率が小さいスタイロフォーム (100mm×100mm×100mm) を使用している。ただし測定時の都合上、床方向のみ別のスタイロフォーム (100mm×100mm×20mm) の本体とした。立方体各面の中央に接着した銅板 (50mm×50mm×0.1mm) は放射率を大きくするために艶消し黒色塗装し、裏面には熱電対をアルミテープで固定した。6 面放射測定器は天井方向、床方向、各壁方向の計 6 方向における放射温度を銅板で拾い測定器周辺の放射温度を観測する。測定時は立方体を三脚に載せ養生テープで固定し、床方向のみ立方体本体から切り離して三脚の下に固定し測定を行った。

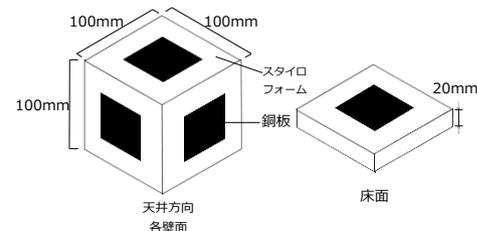


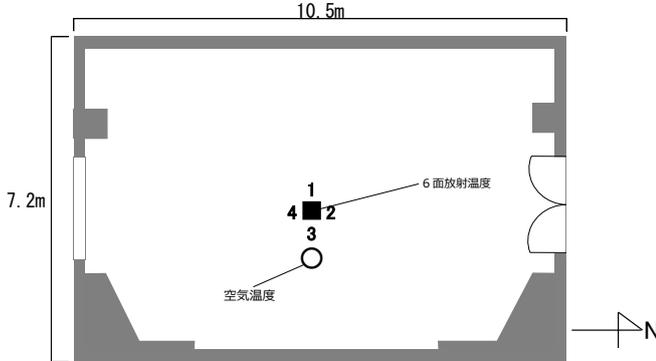
図 3-1 作成した 6 面放射測定器 (左:見取り図、右:実器)

3.2 精度検証を目的とした実験の概要

作成した 6 面放射測定器の精度検証を目的に大学内の講義室にて実験を行った。表 3-1 に測定項目を、図 3-2 に講義室の平面図と 6 面放射温度、空気温度の測定点を示す。また西壁面、南壁面、床面、天井面の各表面温度は各面から 70cm 離れた位置で放射温度計により測定した。6 面放射測定器、温湿度計、グローブ温度計、西面・南面の放射温度計 (壁表面温度) の測定高さはそれぞれ 1m とした。空調設定温度は 25℃とし、11:00-17:00 の計 6 時間、各項目 30 秒間隔で連続測定を行った。

表 3-1 実験における測定項目

測定項目	測定機器	測定間隔
6面放射温度	THERMIC 2300A	30秒
空気温度	RTR-53A	30秒
グローブ温度	HI-2000SD	30秒
天井・床・壁表面温度	KNS-RTM	30秒



※図中の1-4の数字は上から見たときの6面放射測定器の横面方向を表す
図 3-2 講義室の平面図

3.2.1 測定結果

図 3-3 に 6 面放射測定器により測定した各面における放射温度の測定結果を示す。以降床方向を下面、天井方向を上面、各壁方向を横面と表記する。また横面は測定器を上から見て時計回りに 1 から 4 の数字で表す。全時間で上面の放射温度が最も高く、下面の放射温度が低い結果となった。エアコンの温度調節機能が作動したため、14:30 頃からは下面を除く温度に大きな変動がみられる。

図 3-4 に空気温度、グローブ温度、天井面・床面・西面・南面の各表面温度の実測結果を示す。南面（ガラス面）は熱的に薄く外気と日射の影響を受け変動している。

3.2.2 6面放射測定器の精度検証

6 面放射測定器により測定した面放射温度の実測値と、測定した天井、床、各壁の表面温度および形態係数を式 3-1^[6]に代入して算出した面放射温度の計算値を比較し、両者の偏差を求めることで測定器の精度検証を行った。各壁の表面温度は日射等の影響を受けなかった西壁の値を用いて計算を行った。

表 3-2 に 6 面放射測定器銅板の表面から見た壁面の各形態係数を示す。形態係数は正射影型魚眼レンズを装着したカメラにより各銅板面の位置から撮影し、画像の全面積のうち、所定の壁が占める面積比から求めた。

図 3-5 に上面、下面、横面 1 の面放射温度の実測値と計算値の時系列グラフを、図 3-6 に上面、下面、横面 1 の面放射温度の実測値と計算値を比較した散布図および測定値を真値とした場合の計算値の RMSE を示す。上面、下面、横面 1 の順に実測値と計算値の誤差が小さい結果となった。面放射温度における実測値と計算値は 14:30 頃の空気温度の変化が大きい時間帯で瞬時的な乖離はみられ両者の値に前後 1.5℃程度の誤差はあるが、概ね一致していることを確認した。

$$T_{ri} = F_{i1}T_{W1} + F_{i2}T_{W2} + F_{i3}T_{W3} + F_{i4}T_{W4} + F_{i5}T_{W5} + F_{i6}T_{W6} \quad (3-1)$$

T_{ri} は立方体第*i*面 ($i=1, 2, \dots, 6$) の面放射温度[K]、 F_{ij} は立方体の第*i*面から周壁の第*j*面 ($j=1, 2, \dots, 6$) を見た時の形態係数[-]、 T_{Wj} は第*j*面の壁表面温度を表す。壁表面温度は西壁面温度を代表として使用し $T_{W2} = T_{W3} = T_{W4} = T_{W6}$ とした

表 3-2 銅板表面から見た壁面の形態係数 F_{ij}

面	床面	南面	東面	北面	天井面	西面	合計
下面	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
横4面	0.394	0.174	0.092	0.000	0.229	0.111	1.000
横3面	0.378	0.049	0.316	0.060	0.197	0.000	1.000
横2面	0.375	0.000	0.092	0.218	0.232	0.083	1.000
上面	0.000	0.045	0.097	0.038	0.724	0.097	1.000
横1面	0.385	0.023	0.000	0.034	0.186	0.372	1.000

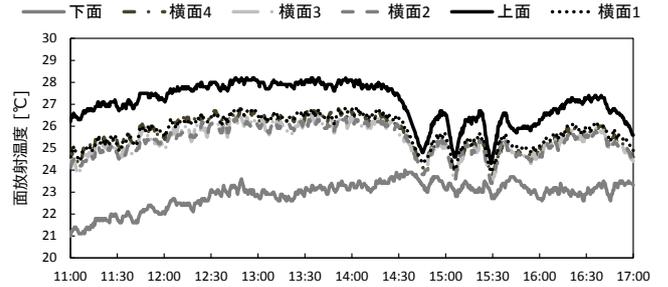


図 3-3 6面放射測定器による各面放射温度の実測値

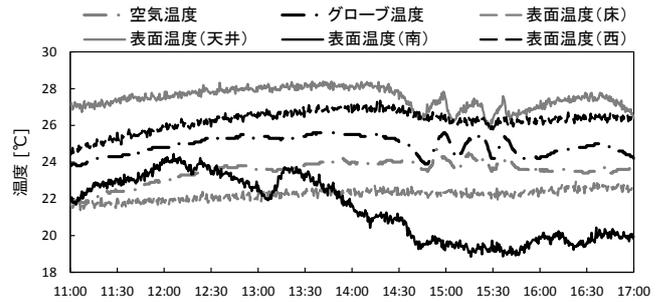


図 3-4 空気温度、グローブ温度、表面温度の実測値

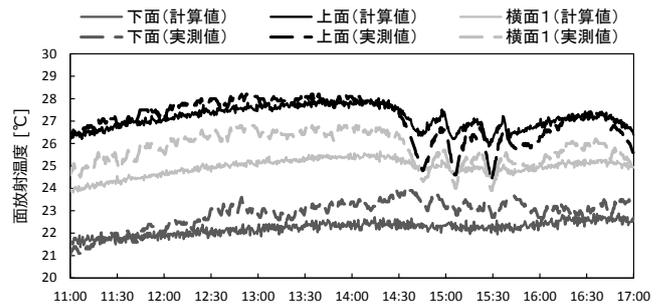


図 3-5 面放射温度の実測値と計算値 (時系列)

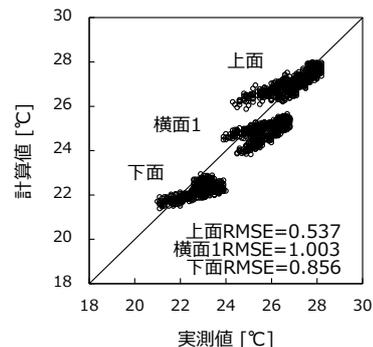


図 3-6 面放射温度の実測値と計算値 (散布図)

4. 冬期の室内環境実態調査

4.1 調査概要

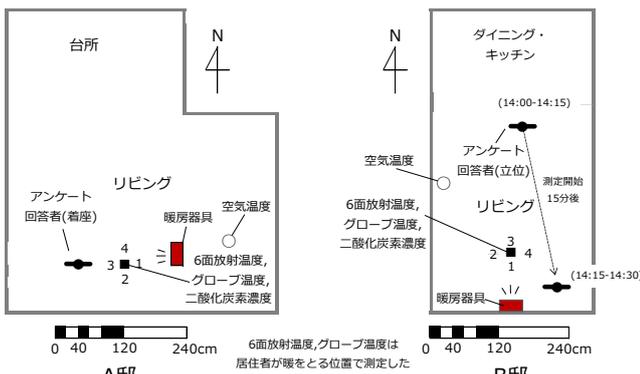
実際に開放型燃焼器具を使用している住宅の室内環境の実態把握を目的とし、冬期に高知県内の2件の住宅で室内環境の実測調査を行った。表4-1に測定対象住宅の概要を、表4-2に測定項目を示す。A邸では開放型燃焼器具の前方に6面放射測定器を60cm離して設置し、測定器本体の測定高さを60cm、下面の測定高さを40cmとした。B邸では開放型燃焼器具の前方に6面放射測定器を100cm離して設置し、測定器本体の測定高さを100cm、下面の測定高さを70cmとした。また室内の空気温度は開放型燃焼器具から十分に距離をおくことで放射の影響を受けないように観測した。開放型燃焼器具は測定開始10分前に作動させ、使用時の居住者の快適感の把握を目的としたアンケート調査も併せて行った。図4-1に測定対象室における開放型燃焼器具、各測定点、アンケート回答者の位置関係を示す。

表4-1 測定対象住宅の概要

	A邸	B邸
測定日	2018/1/16	2018/1/30
測定時間	14:20-15:00	14:00-14:30
築年数	120年	45年
構造	木造	木造
使用暖房器具	石油ストーブ	石油ファンヒーター

表4-2 測定項目

測定項目	測定機器	測定間隔
空気温度	RTR-503A	30秒
6面放射温度	THERMIC 2300A	30秒
グローブ温度	HI-2000SD	30秒
二酸化炭素濃度	KNS-C02S	30秒



※図中の1-4の数字は上から見たときの6面放射測定器の横断面方向を表す

図4-1 測定を行った室内の平面図

4.2 調査結果と考察

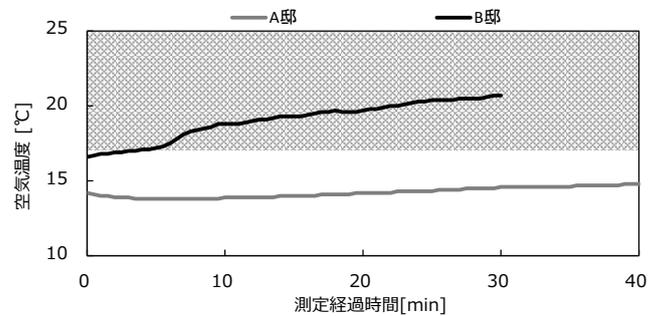
4.2.1 温熱環境

図4-2に各邸の空気温度の測定結果を示す。A邸の空気温度は15℃前後であり衛生管理基準である17℃を下回る結果となった。B邸の空気温度は測定開始後、次第に上昇し測定開始30分で20℃まで上昇した。

6面放射測定器により測定した6面放射温度とグローブ温度の測定結果を図4-3(A邸)、図4-4(B邸)に示す。

A邸における面放射温度は全測定時間を通して暖房器具正面の横面1の放射温度が最も高く28℃付近の温度を観測し、下面は最も低い約15℃となった。横面1と下面の面放射温度に10℃以上の温度差があり、グローブ温度は上面と下面のほぼ中間の20℃付近を記録した。

B邸における面放射温度は全測定時間を通して下面の放射温度が最も高く40℃付近の温度を観測し、上面は最も低い25℃付近の温度を観測した。B邸におけるグローブ温度は常時20℃付近の温度を観測した。B邸ではファンヒーターを使用しているため温風の室内分布が生じ、直近に設置した6面放射測定器の全面の放射温度がグローブ温度の値よりも高く、局所的な温熱環境が形成されていることを示す結果となった。



※図中のハッチングは衛生管理基準値の範囲を表す

図4-2 両邸における空気温度の測定結果

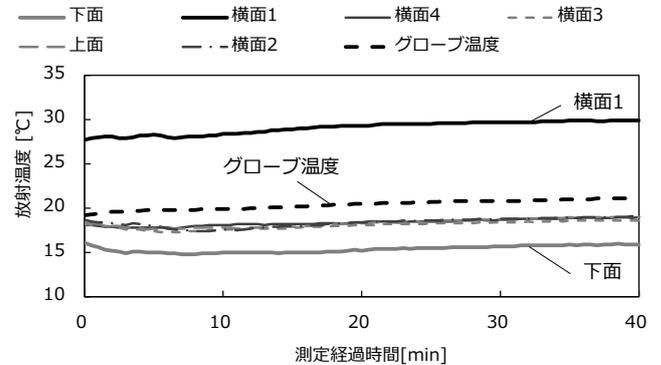


図4-3 A邸における6面放射温度およびグローブ温度の測定結果

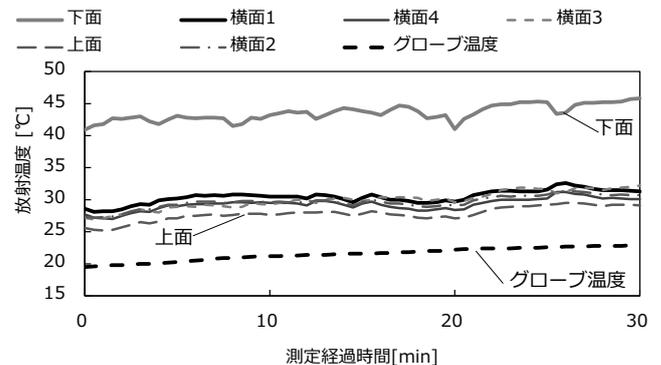
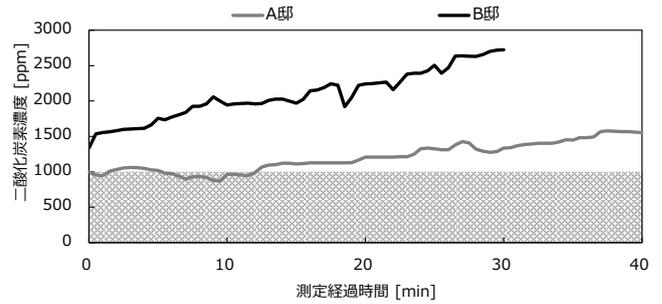


図4-4 B邸における6面放射温度およびグローブ温度の測定結果

4.2.2 空気質

図 4-5 に各邸の二酸化炭素濃度の測定結果を示す。二酸化炭素濃度は A 邸、B 邸ともに測定開始（開放型燃焼器具使用後 10 分）時点で衛生管理基準である 1000ppm を上回っており、時間経過とともに濃度はさらに上昇した。両邸の濃度を比較すると B 邸の方が全体的に高く、A 邸の気密性能が低いことや、B 邸では測定時室内を閉めきっており換気を行っていなかったことなどが原因として考えられる。



※図中のハッチングは衛生管理基準値の範囲を表す
図 4-5 二酸化炭素濃度の測定結果

4.2.3 アンケート調査結果と快適感

快適感に関するアンケート調査は居住者に対して測定開始時から 10 分間隔で実施した。表 4-3 にアンケートの選択肢と評価点を、図 4-6 にアンケート調査による居住者の快適感の申告結果を示す。A 邸の居住者は全測定時間を通して中立の結果となった。B 邸の居住者は測定開始 15 分頃にダイニングからリビングに移動し石油ファンヒーターとの距離が近くなったこともあり熱授受が増え快適さが高まる結果となった。

選択項目	評価点
非常に快適	3
快適	2
やや快適	1
中立	0
やや不快	-1
不快	-2
非常に不快	-3

図 4-7 に式 4-1^[7]、式 4-2^[8]より算出した A 邸、B 邸の作用温度を示す。作用温度の快適範囲^[8]である 18.3℃～24.0℃の適合割合は A 邸で 8.6%、B 邸で 98.0%であった。B 邸の作用温度はほぼ快適範囲内にはあるが、前述の通り放射環境や空気温度の分布にムラがあるため室全体ではなく局所的な快適感に留まっていると考えられる。

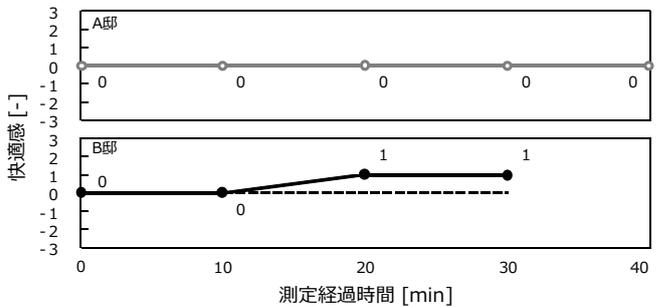


図 4-6 アンケート調査による快適感

$$MRT = \theta_g + 2.44\sqrt{v}(\theta_g - \theta) \quad (4-1)$$

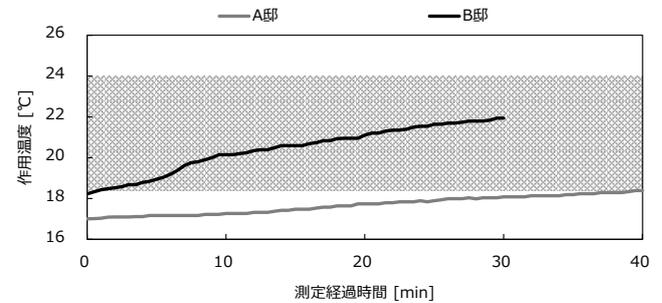
MRTは平均放射温度[℃]、 θ_g はグローブ温度[℃]、 v は風速[m/s]（本論文では実測を行った室内を無風状態と仮定し一般的に無風状態として用いられる $v=0.15$ [m/s]^[9]を参考とした）、 θ は室内空気温度[℃]を表す

$$OT = (\theta + MRT)/2 \quad (4-2)$$

OTは作用温度[℃]、MRTは平均放射温度[℃]、 θ は室内空気温度[℃]を表す

5. おわりに

本研究では 6 面放射測定器の作成と精度検証を行い、また開放型燃焼器具を使用している住宅を対象とし空気温度、グローブ温度、二酸化炭素濃度に加えて、作成した 6 面放射測定器を用いて温熱放射環境に関する実測調査を行い以下の知見を得た。



※図中のハッチングは快適範囲を表す
図 4-7 作用温度の算出結果

- ① 6 面放射測定器の精度検証では室内の温度変化が大きい時間帯を除いて面放射温度の実測値と計算値が概ね一致した
- ② 実測調査では 6 面放射測定器を用いて開放型燃焼器具を使用している室内に局所的な温熱環境が形成されていることを把握した
- ③ 実測調査では開放型燃焼器具の使用により室内の二酸化炭素濃度は使用開始後 30 分程で最大で 2723ppm を観測した
- ④ 開放型燃焼器具は室内を局所的に暖めるため、放射環境や空気温度が不均一に分布しており、利用時の快適感は局所的であると考えられる

<参考・引用文献>

[1] Rinnai:「冬場の冷えと暖房事情」に関する意識調査, <http://www.rinnai.co.jp/releases/2017/0116/>, 2018.1 取得 [2] 市川 榛子 市原亮 河田浩太郎 田島昌樹: S 地区における住宅の室内環境とエネルギー消費量の分析 その 2 夏期と冬期の室内環境, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第 16 号, pp41-42, 2016.5 [3] 厚生労働省: 建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bun/ya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 2018.1 取得 [4] 宮崎竹二: 暖房による室内空気汚染の変遷-研究所 100 年の歴史から-, Vol. 49 No. 6, 生活衛生, pp343-350, 2005 [5] 片山秀策: 畜舎の放射熱環境の評価(Ⅰ)-ベクトル放射温度計の開発-, 農業施設, 第 15 巻 第 2 号, pp17-23, 1984.1 [6] 天川章史 百家裕季 岡本孝美 中村泰人: 立方体正味放射計を用いた測定に基づく室内各壁の面積平均表面温度の算定の信頼度, 日本建築学会環境系論文集, 第 615 号, pp21-27, 2007.5 [7] 社団法人 空気調和・衛生工学会: 空気調和衛生工学便覧(第 14 版) 1 基礎編, p221, 2010.2 [8] 最新建築環境工学(改訂 3 版), p57, 2012.2 [9] 初学者の建築講座 建築環境工学(第 2 版), p145, 2011.10