大型複合施設における外部空間のヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究
（その 3）　建物および樹木による日射遮蔽効果の分析

Study on performance evaluation of the outdoor Heat Island measures technology in large composite facilities
(Part3)Analysis of solar shading effects by buildings and trees

○中 山　晋太朗　（神戸大学）　竹 林　英 樹　（神戸大学）　石 井　悦 子　（神戸大学）
笠 原　万起子　（日建設計）　田 辺　慎 吾　（日建設計）　髙 山　眞　（日建設計）

Shintaro NAKAYAMA*[1]　Hideki TAKEBAYASHI*[1]　Etsuko ISHII*[1]
Makiko KASAHARA*[2]　Shingo TANABE*[2]　Makoto KOUYAMA*[2]
*[1] Kobe University　*[2] Nikken Sekkei Ltd.

The heat island phenomenon has become a problem. For thermal environment improvement, solar shading is effective. Planning combined adequately with solar shading effects by buildings and trees leads to positive use of outdoor space.

In this study, we analyzed the way of trees layout leading to positive use of outdoor space at open plaza and sunken garden in large composite facilities. We found that for effective solar shading, it is better to arrange trees distancing from south side building over 10m and from east and west side building over 6m.

1. はじめに

関西最大規模の複合施設では緑化や水盤などのヒートアイランド対策として実効性の高い技術が導入されている．

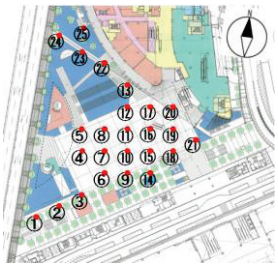
青山ら[1)]は大型複合施設内のヒートアイランド対策が施された 3 エリアにおいて，実測調査に基づき温熱環境を比較分析した．本研究は同施設の 3 エリア内を対象として日射遮蔽，表面温度低減，風通し改善のいずれが効果的であり，優先的に対策されるべきかについて数値計算モデルを用い温熱環境を評価する．

本報では，大型複合施設内の広場，高層建物に囲まれ緑化された空間を対象として，日射遮蔽効果による屋外環境の緩和を目的に樹木の配置方法について検討した．実測調査及び数値計算により日射遮蔽量分布を算出し，建物からの距離，建物高さ，方位を指標として分析した．

2. 大型複合施設における実測調査

2.1 測定方法

大型複合施設の広場，緑化空間において，2013 年 7 月 22 日（月）～7 月 26 日（金）に，日射量の計算に用いる魚眼写真を撮影した．広場は南側，北東側に高層建物がある開放的な空間であり，植栽は少ない．緑化空間は高層ビルに挟まれた庭園であり，植栽が多い点が特徴である．広場，緑化空間の測定点を図 1，図 2 に示す．歩行空間，休憩スペースを対象に約 5m間隔で広場 25 点，緑化空間 32 点を設定し，地上高さ 1.5mで魚眼写真を撮影した．



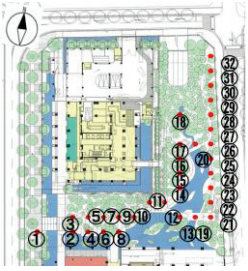


Figure.1 Measurement point at Open plaza (left)

Figure.2 Measurement point at Sunken garden(right)

2.2 測定結果

測定期間中，晴天日であった 7 月 25 日の魚眼写真と太陽軌道図を重ね合せて建物および樹木が直達日射を遮蔽する時刻を確認し，日積算直達日射遮蔽量を算出した．広場と緑化空間の各測定点における，建物および樹木による日積算直達日射遮蔽量を図 3，図 4 に示す．

広場では直達日射の入射する時刻が多く，直達日射は樹木の背後の南側建物によって遮蔽されていた．西側の低層建物による西日の遮蔽により，測定点 5 の日積算直達日射遮蔽量が大きい．その効果は広場中心付近の測定点 7 でも若干確認される．緑化空間では，南側建物の日射遮蔽により，測定点 2，測定点 4，測定点 6，測定点 8

の日積算直達日射遮蔽量が大きい．しかし，南側建物から少し離れた測定点 3，測定点 5，測定点 7，測定点 9 では小さく，南側建物による直達日射の遮蔽範囲は建物近傍に限定される．西側建物による西日の遮蔽により，測定点 16～測定点 18 の日積算直達日射遮蔽量が大きい．その効果は少し離れた測定点 26～測定点 28 でも若干確認される．緑化空間では樹木により直達日射の遮蔽される時刻が多いと推測されたが，樹木による日積算直達日射遮蔽量は建物によるものより小さい測定点が多い．建物と樹木による日射遮蔽効果が混在しており，直達日射の遮蔽状況は広場よりも複雑である．

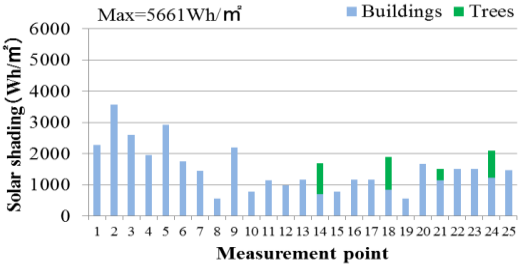


Figure.3 A day's integrated value of solar shading by building and trees at Open plaza

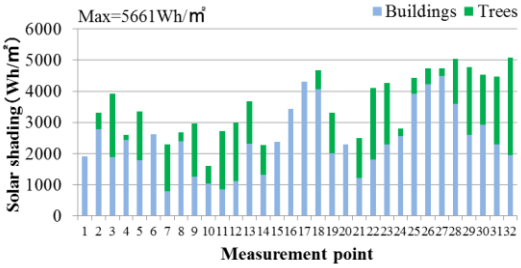


Figure.4 A day's integrated value of solar shading by buildings and trees at Sunken garden

3. 建物からの距離と直達日射遮蔽量の関係分析

3. 1 概要

直達日射の遮蔽状況が複雑であった緑化空間において，建物による日射遮蔽効果を考察するために，GIS を用いて 7 月 25 日の直達日射受熱量を計算し，建物からの距離と直達日射遮蔽量の関係を分析する．建物による日射遮蔽効果が及ばない範囲に対して，樹木を積極的に配置することで温熱環境の改善を図る．直達日射量は時刻とともに変化するが，対象施設は一日中利用されるため，日積算値を評価指標とする．初めに時刻別の直達日射遮蔽量について分析を行い，次に日積算直達日射遮蔽量を分析する．時刻別の分析では，午前，日中，午後の代表として 10 時，13 時，17 時を対象とする．計算対象モデルの建物形状と樹木の配置図を図 5 に示す．メッシュ幅は水平方向 1m，鉛直方向 1m とした．

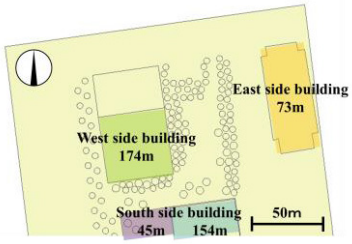


Figure.5 Layout of buildings and trees at Sunken garden

3. 2 建物からの距離と時刻別の直達日射遮蔽量

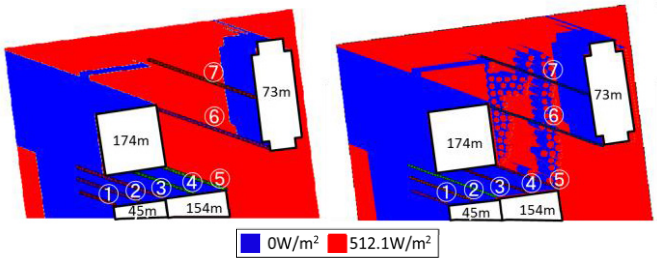
南側建物（45m，154m）の北壁面，西側建物の東壁面，東側建物の西壁面の両端と中央を始点として，各時刻の陰と平行に直達日射量を抽出し，建物からの距離と各時刻の直達日射遮蔽量の関係を分析した．

10 時，13 時，17 時における，建物のみにより遮蔽された場合，及び，建物と樹木により遮蔽された場合の直達日射量分布と抽出した評価点を図 6 に示す．10 時，13 時，17 時における各建物からの距離と建物及び樹木による直達日射遮蔽量の関係を図 7～図 9 に示す．

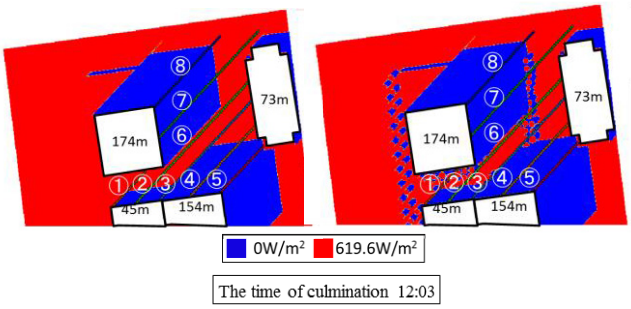
10 時には，南側建物近傍では建物により日射が遮蔽されている．東側建物は高さが低いために日射遮蔽効果を及ぼす範囲が狭い．緑化空間中心部では東側建物の日射遮蔽効果が及ばない範囲において樹木により日射が遮蔽されている．

13 時には，緑化空間中心部では南側建物（154m）と西側建物により日射がほぼ遮蔽されている．南側建物（45m）は高さが低いため，少し離れた範囲には日射遮蔽効果は及ばない．

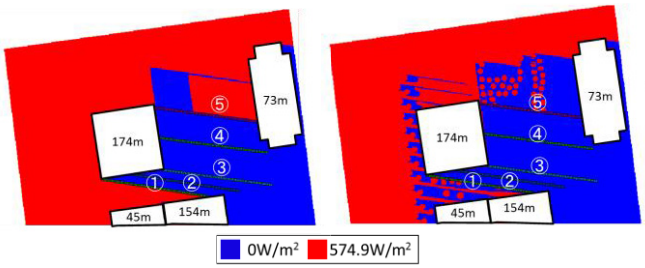
17 時には，緑化空間中心部は西側建物により日射がほぼ遮蔽され，西側建物の日射遮蔽効果が及ばない範囲では樹木が日射を遮蔽しており緑化空間全体において効果的に日射が遮蔽されている



10 o'clock　Buildings(left),Buildings and Trees(right)



13 o'clock　Buildings(left),Buildings and Trees(right)



17 o'clock　Buildings(left),Buildings and Trees(right)

Figure.6 Distribution map of direct solar shading of 3 times

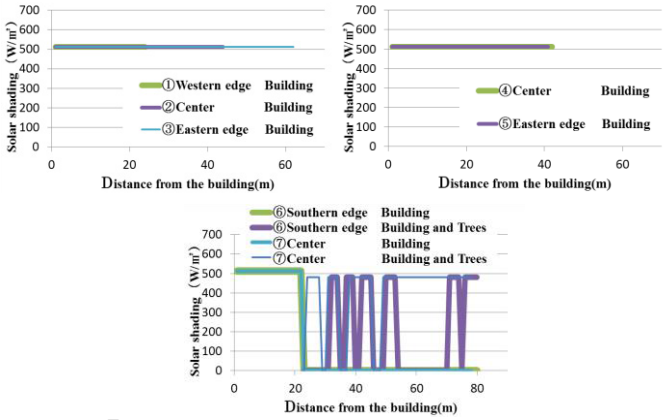


Figure.7 Distance from the building and solar shading of 10 o'clock

South side building(45m)(upper left), South side

building(154m)(upper right), East side building(bottom)

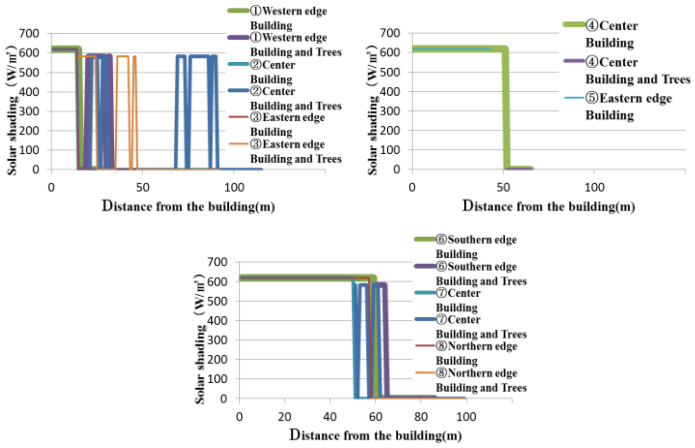


Figure.8 Distance from the building and solar shading of 13 o'clock

South side building(45m)(upper left), South side

building(154m)(upper right), West side building(bottom)

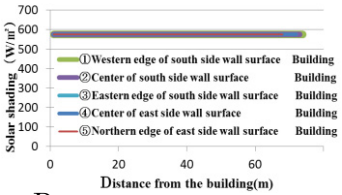


Figure.9 Distance from the west side building

and solar shading of 17 o'clock

3.3　建物からの距離と日積算直達日射遮蔽量

南側建物（45m，154m），西側建物，東側建物の緑化空間に面した各壁面の角から 5m 間隔で始点を取り，各壁面の法線方向の直達日射量を抽出した．日積算直達日射量分布と評価点を図 10 に，各建物からの距離と日積算直達日射遮蔽量の関係を図 11，図 12 に示す．

建物の角の影響が及ぶ範囲を分析するために，幅 40m の簡易モデル（図 13）を用いて，壁面の角から中心まで 5m 間隔で始点を取り法線方向に直達日射量を抽出した．このとき建物高さを 20m，40m，160m と変化させた．（図 14，図 15）

南側建物（45m，154m）からの距離と日積算直達日射遮蔽量の関係において，建物の角近傍では直達日射遮蔽量が小さく，その影響は建物の角から 15m 程度まで及ぶ．簡易モデルではそれ以上角から離れると，日射遮蔽量はモデルからの距離に応じて減少し，高さ 20m では 6m，40m では 12m，160m では 45m 離れると 0 になる．ただし，いずれの高さの場合においても，モデルからの距離が 10m 以上離れると日射遮蔽量は 2000W/m^2 以下（日積算直達日射量の半分以下）となるため，樹木による日射遮蔽効果は，南側建物から 10m 以上離れた範囲を目安とすることが適当である．

東西建物からの距離と日積算直達日射遮蔽量の関係においても，建物の角近傍では直達日射遮蔽量が小さく，その影響は建物の角から 10m 程度まで及ぶ．また，建物高さが高い場合には若干影響が続き，その影響は角から 20m 程度まで及ぶ．簡易モデルでは角から離れると，日射遮蔽量はモデルからの距離に応じて減少するが，高さが 20m，40m と低い場合でも 50m 程度，高さが 160m と高い場合には 100m 以上離れないと 0 にはならず，かなり遠くまで遮蔽効果が及んでいる．日射遮蔽量が 2000W/m^2 以下となるのは高さが 20m においてモデルからの距離が 6m 程度のため，樹木による日射遮蔽効果は，東西建物から 6m 以上離れた範囲を目安とすることが適当であると考えられる．ただし，東西建物は南側建物とは異なり，日射遮蔽量は最大でも日積算直達日射量の半分であるため，樹木による日射遮蔽効果が必要な範囲は 6m よりも小さくなる可能性がある．

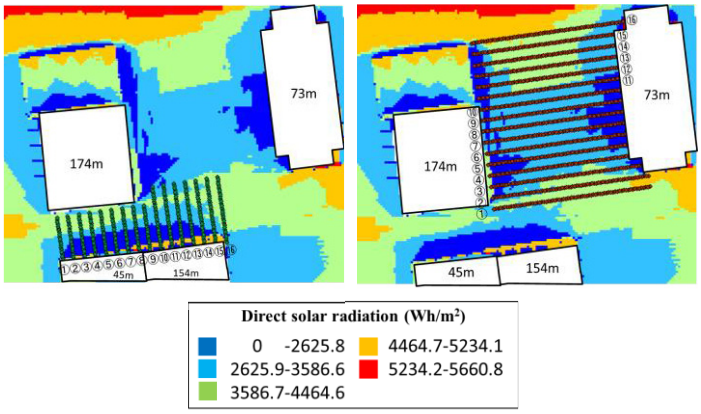


Figure.10 Distribution map of a day's integrated value of solar shading

and evaluation point

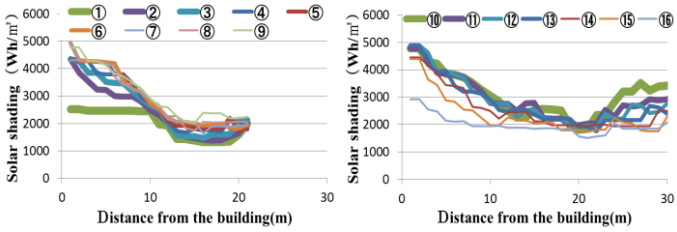


Figure.11 Distance from the south side building

and a day's integrated value of solar shading

45m in height(left), 154m in height(right)

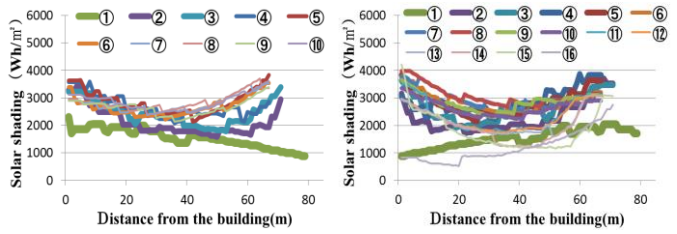


Figure.12 Distance from the east and west side building

and a day's integrated value of solar shading

West side building(left), East side building(right)

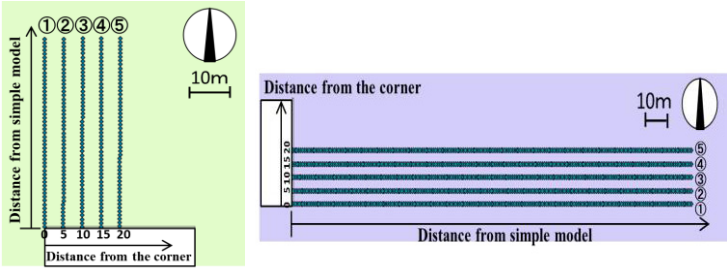
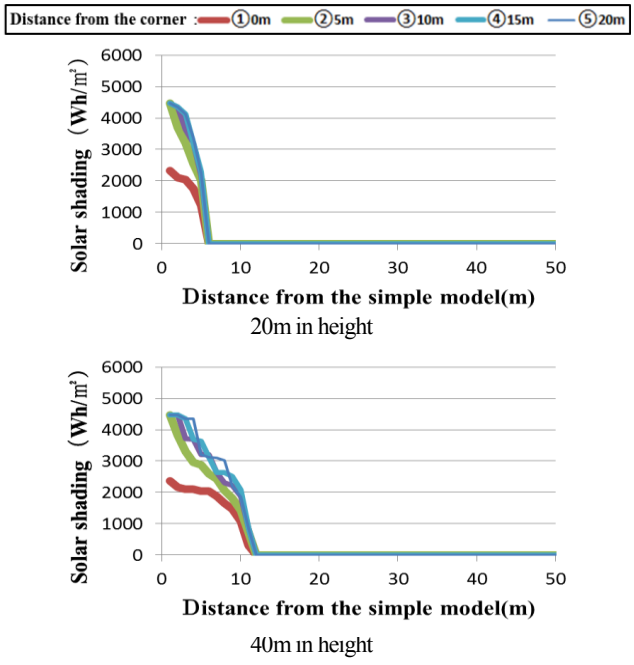


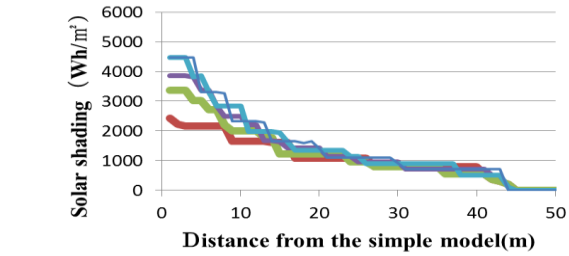
Figure.13 Simple model and evaluation point

South side simple model(left), West side simple model(right)



20m in height

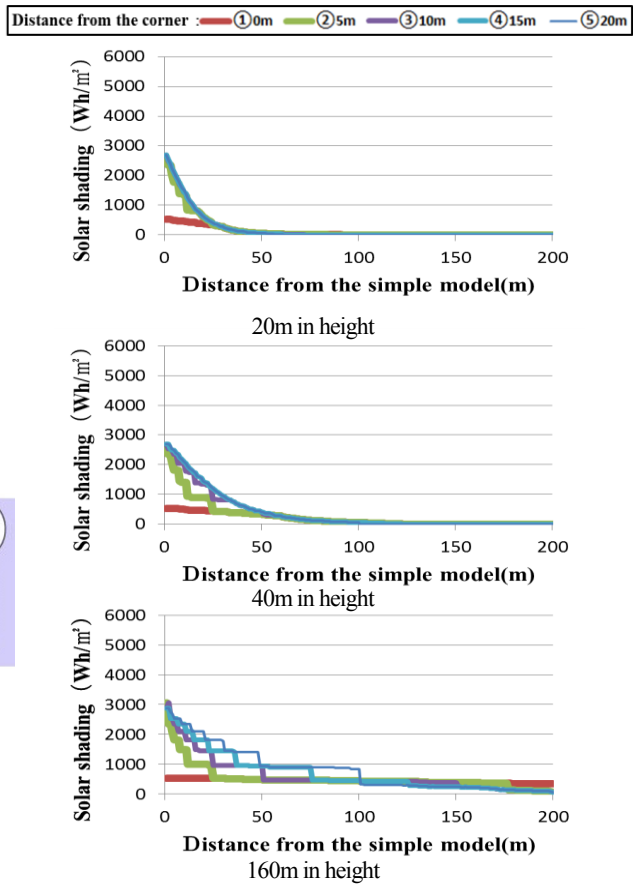
40m in height



160m in height

Figure.14 Distance from the south side simple model

and a day's integrated value of solar shading



20m in height

40m in height

160m in height

Figure.15 Distance from the west side simple model

and a day's integrated value of solar shading

4. 結論

本研究では，大型複合施設の広場，高層建物に囲まれ緑化された空間を対象として，屋外空間の積極的な利用を目的とした樹木の配置方法について検討した．

建物からの距離と日射遮蔽量の関係分析より，南側建物からの距離が 10m 以上，東西建物からの距離が 6m 以上離れると樹木による日射遮蔽が必要になると考察された．

参考文献

1) 青山健太郎他，大型複合施設におけるヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究:その 1 実測に基づく外部空間の温熱快適性の評価，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，1-2，2014-3

大型複合施設における外部空間のヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究
（その 4）被覆材料改善及び日射遮蔽が放射環境に与える影響

Study on performance evaluation of the outdoor Heat Island measures technology in large composite facilities
(Part4) Effects of ground covering materials and shading on radiation environment

○京 極　沙 絵　（神戸大学）　竹 林　英 樹（神戸大学）　石 井　悦 子（神戸大学）
笠 原　万起子（日建設計）　田 辺　慎 吾（日建設計）　髙 山　眞　（日建設計）

Sae KYOGOKU*[1]　Hideki TAKEBAYASHI*[1]　Etsuko ISHII*[1]
Makiko KASAHARA*[2]　Shingo TANABE*[2]　Makoto KOUYAMA*[2]
*[1] Kobe University　*[2] Nikken Sekkei Ltd.

Urban heat island measure technologies are adopted in large composite facilities. In this study, we evaluated effects of improving ground surface materials and shading on radiation environment, and studied appropriate selection of those measure technologies. Improving covering materials is effective for mitigation urban heat island, while from the point of view of evaluating thermal environment, shading by trees or buildings is appropriate. For providing thermal comfort in middle of summer, in addition to shading and improvement of ground covering materials, it is necessary to lower local temperature for example by spraying mist.

1. はじめに

前報では，樹木の日射遮蔽効果と配置方法の関係について述べた．本報では，日射遮蔽及び被覆材料の改善が放射環境に与える影響を評価し，適材適所のヒートアイランド対策導入に向けて考察を行う．

2. 放射伝熱モデル

日射受熱量の計算には，GIS の日射量解析ツールを使用し，天空の可視領域，太陽軌道図，全天分割図を算出する．これらの図を重ね合わせ，対象地表面及び屋上面での直達日射量と散乱日射量を計算し，両者を合せて全天日射量を求める．表面熱収支式に基づき蓄熱の影響を考慮して地表面及び壁面の温度を算出する．MRT の計算では，日射と長波長放射を考慮して計算を行う．人体を球と仮定し，相対的に壁面よりも地面からの長波長の影響を受けやすい設定とした．木の透過率は 0.06，人体の日射吸収率は 0.5 とした．

3. 放射熱環境の計算条件及び計算結果と考察

表面温度，MRT の計算結果を分析し，建物や植栽による日射遮蔽及び被覆材料の影響を考察した．計算対象日は，2013 年の夏至（6 月 21 日），夏期代表日（8 月 11 日），秋分の日（9 月 23 日）とした．

3.1 計算対象領域と計算条件

計算対象領域全体及びエリア別の建物形状，植栽，被覆材料の配置と被覆の割合を図 1～4 に示す．計算対象領域を 2m メッシュで分割し，計算を行った．気温・湿度は大阪管区気象台の測定結果を用い，熱伝達率は風速の実測調査を基に設定した [1)]．被覆材料は，コンクリート，ウッドデッキ，芝生，水盤，アスファルトの 5 種類とした．各表面被覆材料の物性値を表 1 に示す．水盤の反射率は，波がない状態と仮定し，光の入射角度依存性を考慮して算出した．

計算対象領域全体では，コンクリートの被覆が最も多い．広場では，コンクリートの割合が多く，水盤の割合は 10%である．屋上庭園は，コンクリート，芝生，ウッドデッキが同じくらいの割合である．樹冠面積率は広場で 6%，屋上庭園で 9%，緑化空間で 20%となり，緑化空間で最も大きい．

Table.1 Physical property of ground covering materials

	Albedo (-)	evaporation Rate (-)	thermal conductivity (W/m・K)	Emissivity (-)	Volumetric specific heat (KJ/m3・K)
concrete	0.35	0	1.7	0.95	1934
wood deck	0.15	0	0.5	1	1130
grass	0.3	0.3	3	0.9	3000
water surface	※	1	7	1	9000
asphalt	0.15	0	0.74	1	2055.8
ground	-	0	0.62	-	1582.3

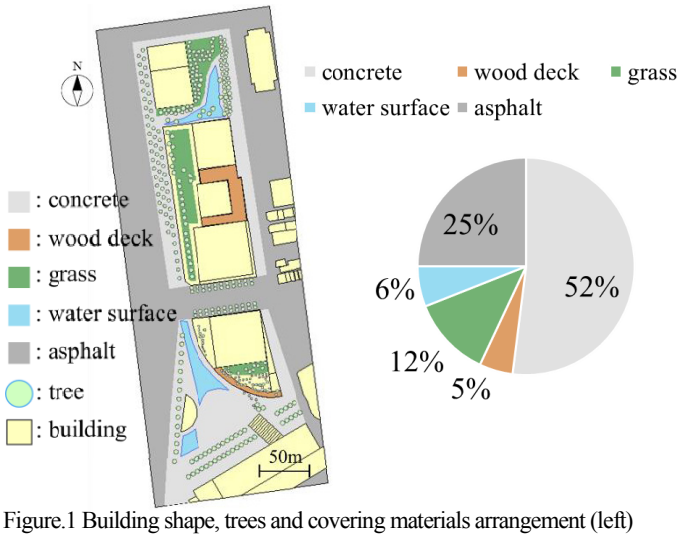


Figure.1 Building shape, trees and covering materials arrangement (left)

Area ratio of each ground cover materials (right)

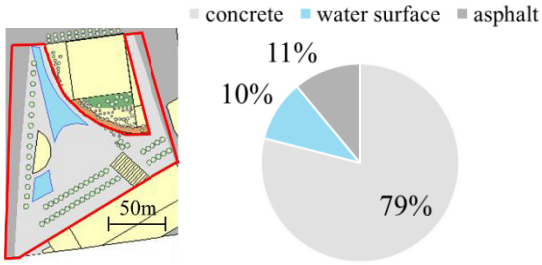


Figure.2 Range of open plaza (left)

Area ratio of each ground cover materials in open plaza (right)

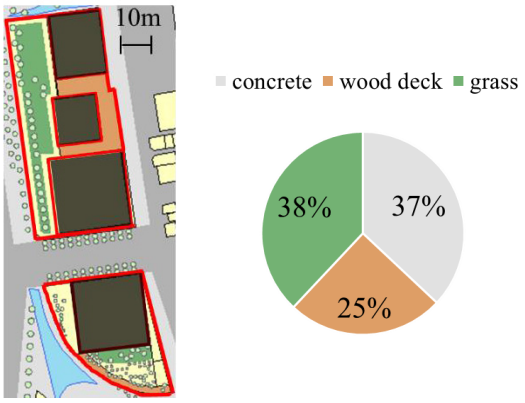


Figure.3 Range of rooftop garden (left)

Area ratio of each ground cover materials in rooftop garden (right)

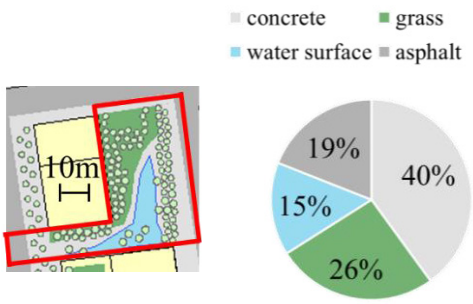


Figure.4 Range of sunken garden (left)

Area ratio of each ground cover materials in sunken garden (right)

3.2 放射環境の考察

温熱環境評価とヒートアイランド緩和策の観点から，被覆の改善及び日射遮蔽の効果について比較分析する．

3.2.1 表面温度及び MRT の分布

図 5 に夏期代表日 13 時における表面温度と MRT の分布図を示す．表面温度，MRT どちらも日向のウッドデッキの地点で特に高温となった．

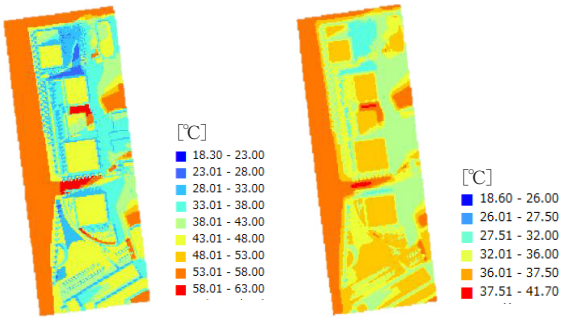


Figure.5 distribution map of surface temperature (left), distribution map of MRT (right) at 13:00 on August 11, 2013

3.2.2 SET*の感度解析に基づく温熱環境評価基準

計算対象領域全体における，日陰，日向別の被覆ごとの MRT 時刻変化を図 6～8 に示す．当該被覆材料上の平均値と標準偏差を示している．

青山ら[1]は，風速と MRT の SET*に対する感度解析を 10 時，13 時，17 時，20 時を対象に行った．感度解析図上で，風速を固定し（測定結果の平均風速，もしくは，大阪管区気象台の測定データから求めた地上面からの高さ 1.5m の風速で固定），快適と感じる範囲の境界温度である 26.5℃以下の SET*を目標とした場合の MRT を，感度解析図から読み取って図 6～8 に赤線で示す．同様にして，不快，どちらでもないと感じる範囲の SET*を目標とした場合の MRT を併せて示す．なお，SET*と快適性の関係は石井ら[2]の研究を参考にした．

3.2.3 MRT の時刻変化の考察

夏至と秋分の日の傾向は類似している．昼間の数時間のウッドデッキとアスファルトを除けば，日向を含めた全ての地点で快適範囲になる．

夏期代表日である 8 月 11 日は，日陰においてもほぼ終日厳しい温熱環境である．14～16 時には極端に低い MRT でないと快適にならない．午後に快適な温熱環境を実現するには，日射遮蔽と被覆の改善だけでなく，ミストや打ち水などによる気温上昇の抑制も必要であると考察される．日陰の水盤や芝生であれば，非常に不快な状況は緩和される．

以上より，気温の高い真夏に屋外空間で快適な温熱環境を実現することは困難であるが，気温が若干低い夏至や秋分の日には，ピークの時間を除いてほぼ全ての地点で実現可能である．

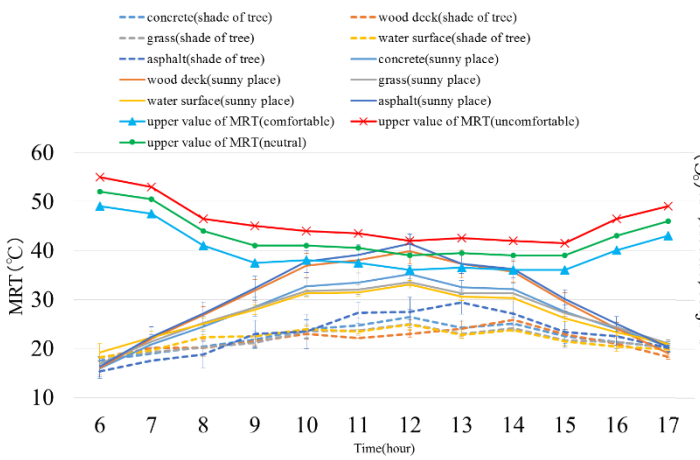


Figure.6 Diurnal variation of MRT on June 21, 2013

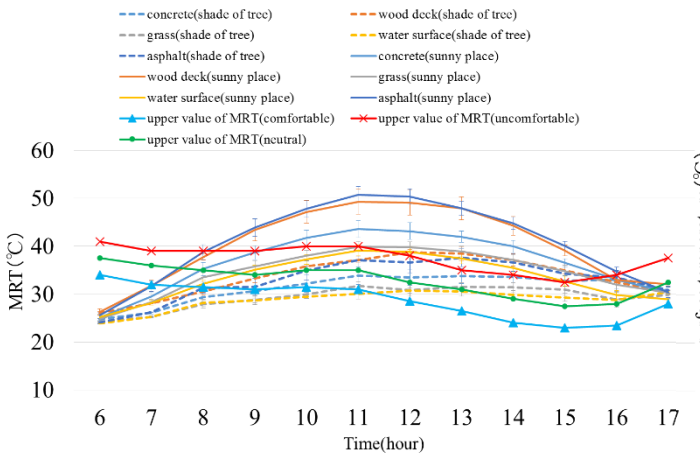


Figure.7 Diurnal variation of MRT on August 11, 2013

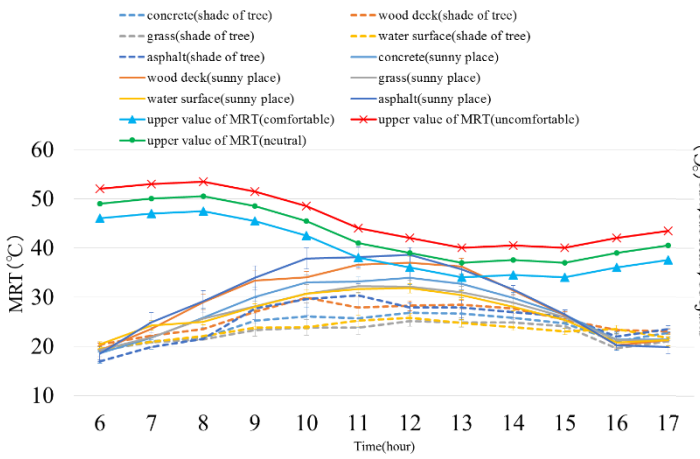


Figure.8 Diurnal variation of MRT on September 23, 2013

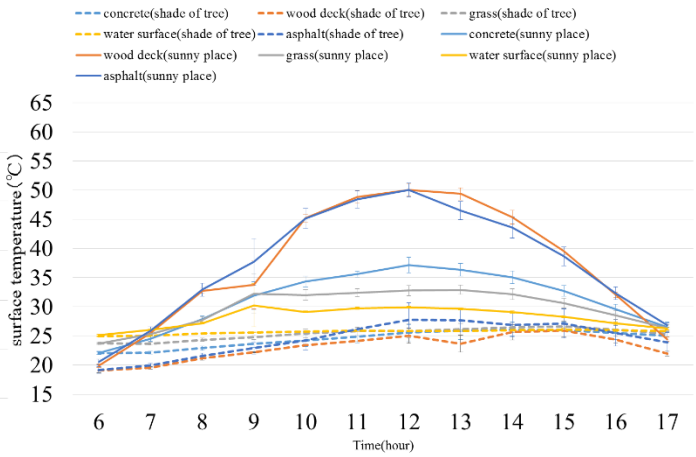


Figure.9 Diurnal variation of surface temperature on June 21, 2013

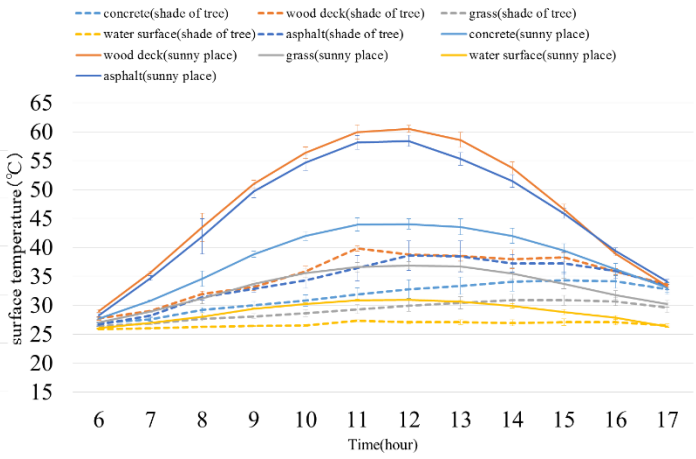


Figure.10 Diurnal variation of surface temperature on August 11, 2013

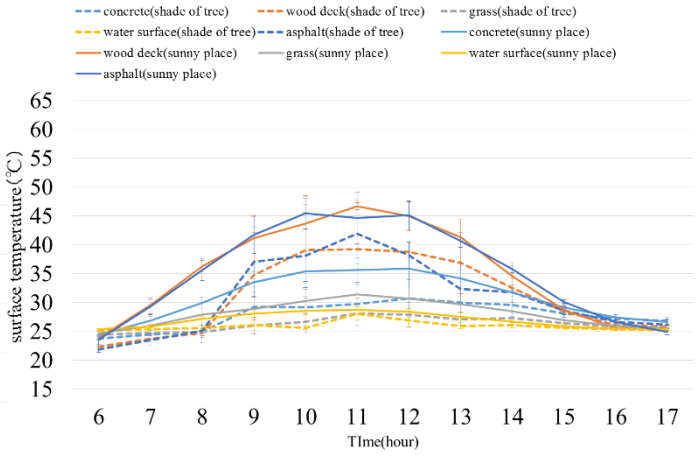


Figure.11 Diurnal variation of surface temperature on September 23, 2013

Table.2 upper value of MRT read from sensitivity analysis of SET*at 10:00, 13:00, 17:00 on August 11, 2013

	10					13					17				
	comfortable under SET*=26.5℃	a little comfortable under SET*=27.5℃	neutral under SET*=29.5℃	a little uncomfortable under SET*=31.5℃	uncomfortable under SET*=32.5℃	comfortable under SET*=26.5℃	a little comfortable under SET*=27.5℃	neutral under SET*=29.5℃	a little uncomfortable under SET*=31.5℃	uncomfortable under SET*=32.5℃	comfortable under SET*=26.5℃	a little comfortable under SET*=27.5℃	neutral under SET*=29.5℃	a little uncomfortable under SET*=31.5℃	uncomfortable under SET*=32.5℃
Open plaza	32℃	33℃	37℃	40℃	42℃	26℃	27.5℃	32℃	36℃	37.5℃	27.5℃	29℃	32℃	35℃	36℃
Rooftop garden	32℃	34℃	37.5℃	42℃	43.5℃	26℃	27.5℃	32℃	36℃	37.5℃	27.5℃	29℃	32.5℃	37℃	38℃
Sunken garden	30℃	32℃	35℃	37.5℃	39℃	27℃	28℃	31℃	34℃	36℃	27.5℃	29℃	32.5℃	36.5℃	37.5℃

3.2.4 表面温度の時刻変化の考察

表面温度の時刻変化を図 9～11 に示す．夏至は，日射の有無が支配的であり，日向であれば水盤であっても，日陰のアスファルトより高温となる．

夏期代表日は，被覆の改善も有効であり，日向の芝生は，日陰のアスファルトやウッドデッキと同程度となる．

秋分の日は，夏期代表日と同様に，日向のコンクリートは，日陰のアスファルトやウッドデッキより低温である．日向の芝生は，日陰のコンクリートと同様の時刻変化である．

ヒートアイランド緩和策の観点からは，最も表面温度の高い夏期代表日が対象となる．このとき，樹木による日射遮蔽効果は時間が限定されるため，芝生や水盤への被覆の変更が望ましい．

3.3 考察対象領域別の考察

考察対象領域別に温熱環境の空間分布を考察する．対象とする日時は，ヒートアイランド緩和策が必要となる夏期代表日の，10 時，13 時，17 時とする．

3.2.1 と同様の方法で感度解析図から考察対象領域別に読み取った夏期代表日の MRT を表 2 に示す．風速は，考察対象領域別に測定結果の平均値を設定した．図 12 に表 2 に対応する MRT の割合を示す．図 13 に日向日陰の面積割合を示す．　図 14 に日陰における被覆の面積割合を示す．

10 時，13 時には全ての考察対象領域において日陰の地点で非常に不快な状況が緩和されている．屋上庭園と緑化空間では，日陰の芝生や水盤の面積が大きく，不快とは感じない地点が多くなる．17 時にはほぼ全ての地点で不快と感じなくなり，日陰の芝生や水盤では快適な温熱環境となる．

4. 結論

本研究では，様々な特徴を有する大型複合施設の外部空間を対象として，日射遮蔽及び被覆材料の改善が放射熱環境に与える影響を分析した．

温熱環境改善には，日射遮蔽が有効である．夏至と秋分の日は，ピークの時間を除いて，日向を含めたすべての時間で快適となる．夏期代表日は，日陰でも厳しい温熱環境となる．日射遮蔽，被覆材料の改善だけでなく，ミストによる気温上昇の抑制なども必要である．

ヒートアイランド緩和策には，被覆材料の改善が有効である．樹木による日射遮蔽効果は時間が限定されるため，芝生や水盤へ被覆を変更することが望ましい．

大型複合施設における温熱環境評価としては，夏期代表日には，日射遮蔽と被覆の改善両方が行われている地点で不快な状況が緩和される．夕方には日陰の水盤や芝生で快適な温熱環境を実現することができる．

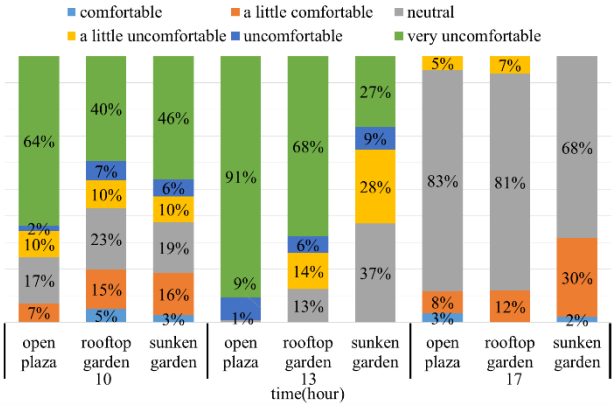


Figure.12 Area ratio of thermal amenity at 10:00, 13:00, 17:00 on August 11, 2013

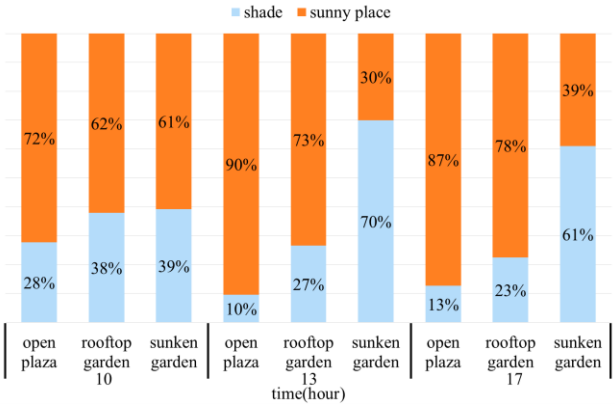


Figure.13 Area ratio of shadow and sunny place at 10:00, 13:00, 17:00 on August 11, 2013

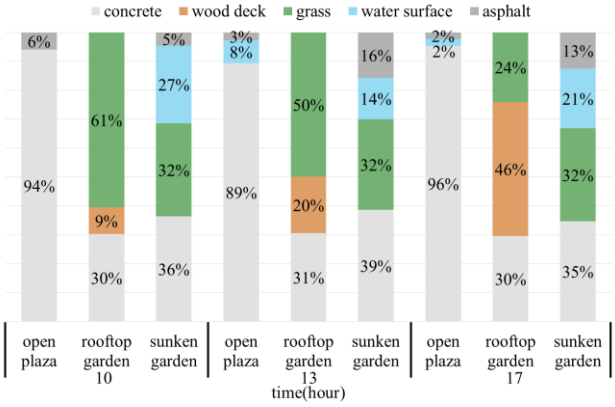


Figure.14 Area ratio of ground covering materials in shade at 10:00, 13:00, 17:00 on August 11, 2013

参考文献

1） 青山健太郎他，大型複合施設におけるヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究:その 1 実測に基づく外部空間の温熱快適性の評価，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，1-2, 2014-3

2） 石井昭夫他：屋外気候環境における快適感に関する実験，人間-熱環境系シンポジウム報告集 11，pp.134-137，1987

大型複合施設における外部空間のヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究
（その 5）樹木及び障害物が風環境に与える影響

Study on performance evaluation of the outdoor Heat Island measures technology in large composite facilities
(Part5) Effects of trees and obstacles on wind environment

○青 山　健太郎（神戸大学）　竹 林　英 樹（神戸大学）　石 井　悦 子（神戸大学）
笠 原　万起子（日建設計）　田 辺　慎 吾（日建設計）　髙 山　眞　（日建設計）

Kentaro AOYAMA*[1]　Hideki TAKEBAYASHI*[1]　Etsuko ISHII*[1]
Makiko KASAHARA*[2]　Shingo TANABE*[2]　Makoto KOUYAMA*[2]
*[1] Kobe University　*[2] Nikken Sekkei Ltd.

Several technologies used as countermeasures against urban heat islands are being applied to redevelopment buildings. In this study, we evaluated the outdoor wind environment by focusing on the effects of buildings, obstacles and plants in an open plaza, a rooftop garden, and a sunken garden placed. In the open plaza, frequency of low wind velocity is high due to wind residence offered by obstacles. In the rooftop garden, frequency of low wind velocity is high due to plants. In the sunken garden, wind velocity is slightly low on the leeward side of high-rise building and further low by many plants.

１．はじめに

本報では, 風通し改善を目的とした風環境評価を行う. 実測結果に基づき，風速の SET*に対する感度解析を行ったところ，夏季の日中では風速を上げることが快適性向上につながると考察された.[1)]そこで，実測結果に基づき，建物形状，障害物，樹木が風速低減に与える影響を数値計算により明確にする.

２．複合施設における実測概要及び結果考察

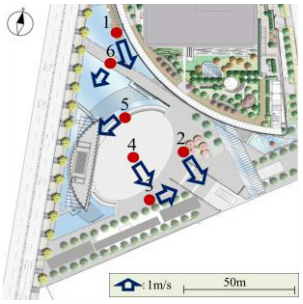
2.1　実測概要

2013 年 7 月 22 日～26 日の 5 日間, 水盤が特徴的で開放的な広場，地上 45m に位置し緑化された屋上庭園，高層建物に囲まれ植栽が多い緑化空間において風向，風速を 10 時，13 時，17 時，20 時の 1 日 4 回，各エリア内の 5，6 地点で移動測定を実施した．各測定点で風速は 1 秒間隔で瞬間風速 30 回分の平均, 風向は風速測定中に最も頻度の多い方位を測定した.

2.2　測定結果及び考察

2013 年 7 月 22～26 日の 13 時の各エリア，各測定点での最多風向を図 1～図 3 に，平均風速と標準偏差を図 4～図 6 に示す.

広場では全体的に風速が大きい，付近に樹木，障害物のある測定点で風速が若干小さい．測定点 3 は樹木，測定点 5, 6 は障害物の影響を受けるためと考えられる.



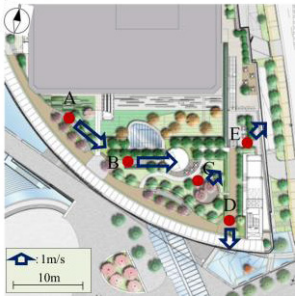


Figure.1 Wind vectors in the Open plaza (left)
Figure.2 Wind vectors in the Roof garden (right)

Figure.3 Wind vectors in the Sunken garden

また,測定点 5 で西側建物の影響のため,風向が乱れる.

屋上庭園では西風となり，風上の測定点 A,B で風速が大きく，風下の測定点 C,D,E で小さい．測定点 C では樹木，測定点 D,E では障害物の影響を受けるためと考えられる.測定点 D で東側障害物の影響により風向が乱れる.緑化空間では全体的に風速が小さい．建物と密集している樹木の影響と考えられる．また，測定点 d で示した風向となるのは 7 月 22 日～26 日，10 時，13 時，17 時，20 時に測定した 20 測定値の内 8 測定値であり他の風向になることが多い.

測定結果より，風速が小さい測定点では建物形状，障害物，植栽が影響していると考察された．しかし，限られた測定点のみでは測定点間の風向，風速が明確ではなく，エリア全体での原因分析ができない．建物形状，障害物，植栽のどの要素が風速低減の要因となっているのかに注目し，数値計算によりエリア内全体の風環境を評価する.

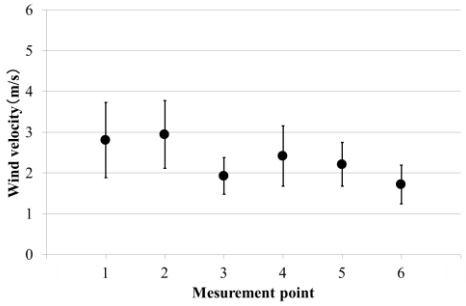


Figure.4 Averaged wind velocity in the Open plaza

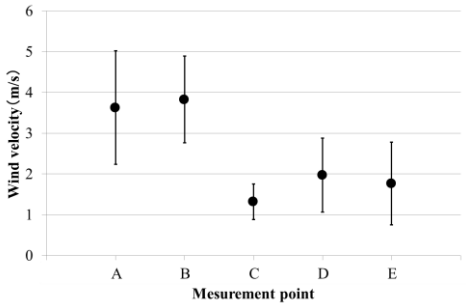


Figure.5 Averaged wind velocity in the Rooftop garden

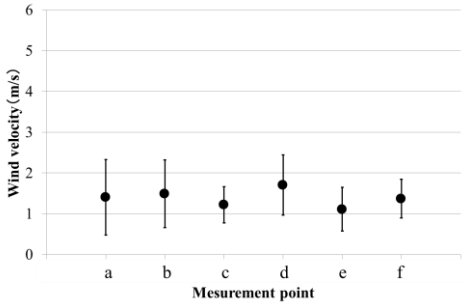


Figure.6 Averaged wind velocity in the Sunken garden

３．数値計算による風環境評価

3.1　計算概要

計算条件を表 1 に示す．大型複合施設を中心とする 1.2km 四方の市街地モデルの計算対象領域を図 7 に示し，解析対象領域である広場，屋上庭園，緑化空間の詳細図を図 8 に示す．気象条件として 2013 年 7 月 22～26 日の 13 時の平均風速 3.9m/s,最多風向西南西を初期条件及び流入境界に設定した．解析には，RANS モデル系の k-ε 型 2 方程式乱流モデルを用いた.障害物は開口率を 0 とし，樹木モデルは樹高 6m，樹冠を直径 4m の球形とし，樹冠の中心高さを 6m とし,[2] 抵抗値を葉抵抗係数 0.55，葉面積密度 5.34(1/m)，ε の式で Cpε4.0 とした.[3] 格子間隔は，解析対象領域内を 0.5m，計算対象領域内を 5m，それ以外を徐々に広がる不等間隔とした.

建物のみ，障害物追加，障害物と植栽追加の 3 ケースで数値計算を行う．広場，南棟屋上庭園，緑化空間の 3 エリアを対象として分析する．3 エリアの解析領域内のモデルを図 9 に示す.

Table1.CFD calculation condition

Simulation software		STREAM ver.9
Turbulence model		Standard k-ε model
Boundary condition	Inset	Power low (reference height 50.9m, wind speed 3.9m/s)
	Outset	Natural inflow and outflow
	Lateral	free-slip
	Upper	
	Ground surface	Generalized log low
	Wall	
Flat terrain categories		Ⅳ (power low index a=0.27)
Convergence criterion		10^{-5}
Wind direction		WSW

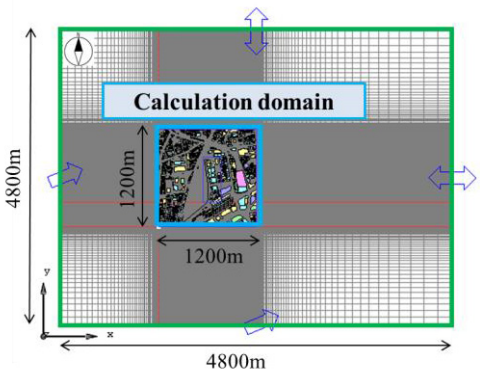


Figure7. Calculation domain

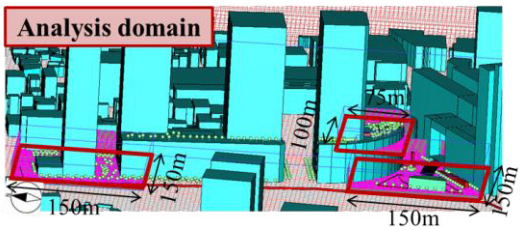


Figure8. Analysis domain

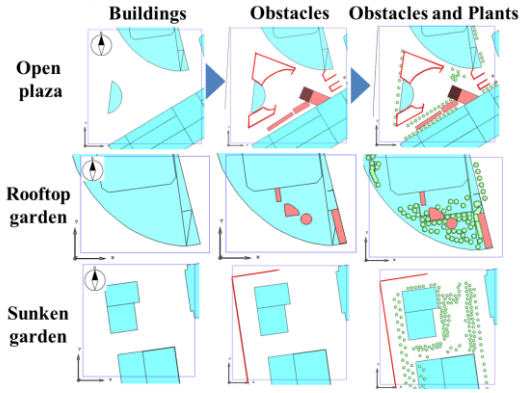


Figure9. Analysis models in three areas
(buildings, obstacles, obstacles and plants)

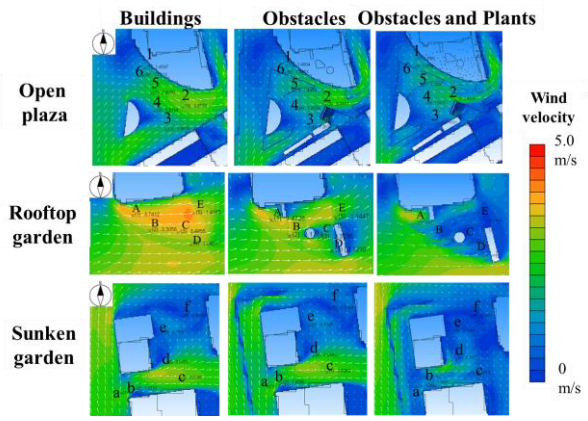


Figure10. Calculation results of wind velocity in three areas
(buildings, obstacles, obstacles and plants)

3.2　各エリア各測定点での計算結果

3 エリアの建物のみ，障害物追加，障害物と植栽追加の 3 ケースの地上 1.5m での計算結果を図 10 に示す．広場では障害物追加により，屋上庭園，緑化空間では植栽追加により風速低減箇所が増えていることが分かる．

広場の 3 ケースの各測定点風速を図 11 に示す．測定点 3 では植栽だけでなく障害物による風速低減が同程度ある．また測定点 5, 6 で障害物による風速低減が確認された．

屋上庭園の 3 ケースの各測定点風速を図 12 に示す．測定点 C, E では植栽の影響が大きく，測定点 D では障害物の影響が確認される．風上となる測定点 A, B でも植栽の影響を受ける．

緑化空間の 3 ケースの各測定点風速を図 13 に示す．測定点 a, b, c, d は植栽の影響で風速が小さくなり，測定点 e, f では主風向に対して高層建物の風下側に位置するため，建物形状の影響で風速が小さくなっている．

実測に基づく風速低減要因の考察を元に，数値計算により建物形状，障害物，植栽による風速低減を再現できた．各エリア各測定点を通して，計算値が実測値よりも 0.5～1m/s 小さくなっている．これは一時的な風をとらえた実測結果に対して計算により算出された風速は平均流であるためであると考えられる．計算値と実測値にずれはあるが，実測に基づく風速低減要因を計算により再現できていることから実測による限られた測定点での結果を面的に拡張できたと言える．風速低減箇所し注目し，これ以降計算結果に基づき考察を行う．

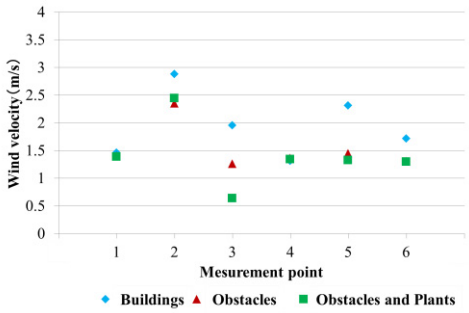


Figure.11 Wind velocity in the Open plaza
(buildings, obstacles, obstacles and plants)

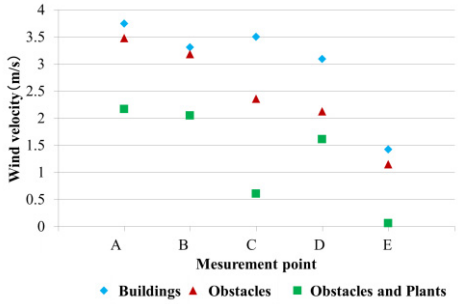


Figure.12 Wind velocity in the Rooftop garden
(buildings, obstacles, obstacles and plants)

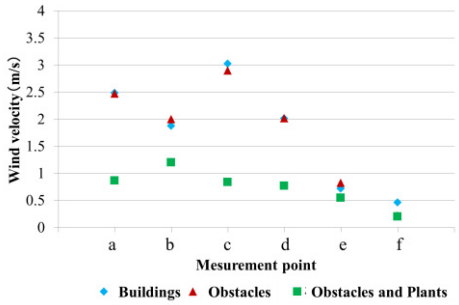


Figure.13 Wind velocity in the Sunken garden
(buildings, obstacles, obstacles and plants)

3.3　各エリアでの風速頻度分布

各エリアで 3 ケースの風速出現頻度を算出し，建物のみ，障害物追加，障害物と植栽追加のどの段階で弱風域の頻度が高くなっているかに注目する．

風環境指標としてビューフォート風力階級[3] をべき指数 0.27 で地上 1.5m での風速に変換したものを用いる．目安として，人体への影響で「ようやく肌に感じる」

0m/s≦V＜1m/s を弱風域，「顔面に風を感じる」「髪が乱され，着物がひらひら動く」1m/s≦V＜3.3m/s を許容風速域，「砂埃が立ち，髪が激しく乱れる」3.3m/s≦V を強風域とし，弱風域に注目して評価する．

広場の図９の枠内に示す解析領域全体での３ケースの風速頻度分布を図 14 に示す．障害物追加により弱風域の頻度が高くなる．また，植栽の追加でも弱風域の頻度が若干高くなる．

屋上庭園の図９の枠内に示す解析領域全体での３ケースの風速頻度分布を図 15 に示す．植栽追加により弱風域の頻度は大きく上がる．建物のみで強風頻度が高く出ているため，障害物追加，植栽追加で強風を低減する効果が確認される．

緑化空間の図９の枠内に示す解析領域全体での３ケースの風速頻度分布を図 16 に示す．周囲が建物に囲まれた空間のため，建物のみの時点で弱風域の頻度が高い．障害物追加の影響は少ない．また，植栽の追加により更に頻度が高くなる．

3.4　風速域割合

３エリアの風速域割合を図 17 に示す．屋上庭園の障害物追加で許容風速域エリアが最も高くなり，緑化空間の障害物と植栽追加で最も低くなる．また，広場では障害物，屋上庭園と緑化空間では植栽が弱風域エリアの増加の原因となっていることが分かる．

４．結論

数値計算により建物形状，障害物，植栽による風速低減を再現できた．計算により算出された風速が全体的に実測値より 0.5m/s～1m/s 小さい結果となった．

広場の様な開放的な空間でも障害物が多いと弱風域エリアが占める割合は多くなる．屋上庭園では植栽追加により弱風域エリアが増えるが強風を低減する効果も確認される．緑化空間の様な高層建物に挟まれた空間では高層建物の風下側で弱風域エリアが多く，植栽が更に弱風域エリアを増加させる．

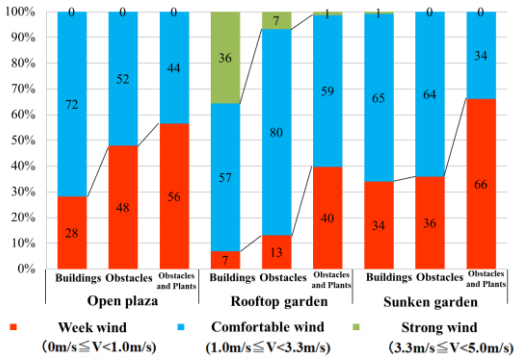


Figure.17 Percentage of wind area in 3 areas (buildings, obstacles, obstacle and plants)

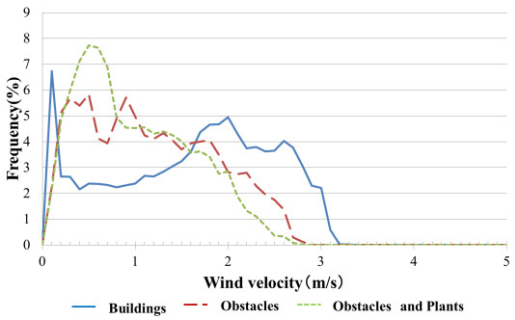


Figure.14 Frequency distribution of wind velocity in the Open plaza (buildings,obstacles, obstacles and plants)

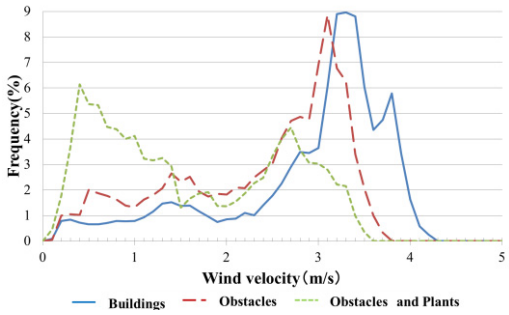


Figure.15 Frequency distribution of wind velocity in the Rooftop garden　(buildings, obstacle, obstacles and plants)

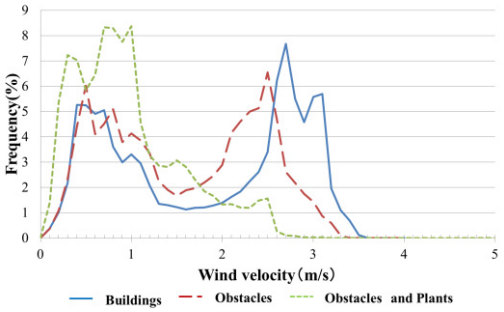


Figure.16 Frequency distribution of wind velocity in the Sunken garden (buildings, obstacles, obstacles and plants)

参 考 文 献

1) 青山健太郎他，大型複合施設におけるヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究:その 1 実測に基づく外部空間の温熱快適性の評価，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，1-2，2014-3

2) 吉田伸治，大岡龍三，持田灯，村上周三，樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋上温熱環境緩和効果の検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 536 号, 87-94, 2000-10

3) 神山健二，成田健一，大橋征幹，樹木の抵抗係数に関する風洞実験:その 2 抵抗係数の算出と数値シミュレーション，日本建築学会大会学術講演梗概集，523-524，1999-9

4) 日本建築学会，市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック, 2007

大型複合施設における外部空間のヒートアイランド対策技術の性能評価に関する研究
（その６）空調排熱の潜熱化と排熱高さが周囲の温湿度環境に与える影響

Study on performance evaluation of the outdoor Heat Island measures technology in large composite facilities (Part6) the surrounding temperature and humidity environment by latent heat and waste heat height of air conditioning

○木 山　裕 貴　（神戸大学）　竹 林　英 樹（神戸大学）　石 井　悦 子（神戸大学）
笠 原　万起子　（日建設計）　田 辺　慎 吾（日建設計）　髙 山　眞　（日建設計）
Yuuki KIYAMA*1　Hideki TAKEBAYASHI*1　Etsuko ISHII*1
Makiko KASAHARA*2　Shingo TANABE*2　Makoto TAKAYAMA*2
*1 Kobe University　*2 Nikken Sekkei Ltd.

In this study, we focus on the latent heat of the cooling tower exhaust heat and the height. To quantitatively compare the temperature and humidity distribution around, the simulation is performed in the case of changing the cooling tower to the air-cooled outdoor unit and of changing the height. Effect on the space for the use of people, is observed in both cases when the waste heat from the foundation part. In addition, the effect of exhaust heat air stagnation tends to be larger is confirmed in space where there are high buildings or walls on the leeward side.

１．はじめに

近年，都市部における夏期の高温化に伴い熱中症患者の増加・不快感の拡大・冷房用消費エネルギーの増大などが問題となっている．

人工排熱に関するヒートアイランド対策には，顕熱の潜熱化と高所排出の主に２つの方法がある．しかし、この二つの方法を適切に採用する基準はまだ設けられておらず，周辺空間の温湿度環境へのより実効性の高いヒートアイランド対策効果を実現するには，これらの効果を特定して，定量的に評価する必要がある．

吉田ら [1)]は実測により冷却塔の排熱の潜熱比の実態を分析し,冷房負荷･気象条件と潜熱比の関係を分析した．石原ら [2)]は実測により空調用屋外機の排熱が建築外部空間に及ぼす影響を明らかにし，ヒートアイランド対策効果を検討した．これらの研究はどちらも排熱の実態を分析し考察したものであるが，潜熱化と排熱高さによるヒートアイランド対策効果を評価するところまでは至っていない．

そこで本研究では，冷却塔排熱の潜熱化と排熱高さに注目して周囲の温湿度環境に与える影響を分析する．具体的には冷却塔および室外機のモデルを作成し，熱流体解析ソフトによるシミュレーションを行う．冷却塔で処理する熱源機の負荷を空冷式室外機で処理すると想定した場合と，排熱高さを変えた場合のシミュレーションを行い，周囲の温湿度分布を定量的に比較する．

２．温湿度分布の計算

汎用数値流体解析ソフト STREAM version9（株式会社ソフトウェアクレイドル）を用いて，大型複合施設において，冷却塔及び室外機が周囲の温湿度環境に及ぼす影響を計算する．

2．1　吹き出し温湿度の設定方法

冷却塔及び室外機からの吹き出し温度と湿度の設定方法について説明する．吹き出し温度は冷却塔及び室外機での顕熱交換量と吹き出し風量を用いて，以下の式より算出する．文献 [1)]より,顕熱比を 14%として全熱交換量（総計 68523kW）より冷却塔の顕熱交換量(総計 9593kW)を算出した．また室外機の冷房能力は総計 60600kW とした．なお，負荷率は 90%を想定した．

$$T_{aout} = \frac{Q_s}{\rho_a \times C_a \times G} + T_{ain} \qquad (1)$$

$T_{a\,out}$：空気の吹き出し温度[℃]，Q_s：顕熱交換量[kw]，ρ_a：空気密度(=1.2[kg/m³])，C_a：空気の低圧比熱(=1.005[kJ/(kg・K)])，G：吹き出し風量[m³/s]，T_{ain}：外気温[℃]

吹き出し湿度は冷却塔での潜熱交換量と吹き出し風量を用いて，以下の式より算出する．文献[1]より，潜熱比を86%として全熱交換量（総計68523kW）より冷却塔の潜熱交換量(総計58929kW)を算出した．負荷率は90%を想定した．

$$X_{aout} = \frac{Q_l}{\rho_a \times L_0 \times G} + X_{ain} \qquad (2)$$

X_{aout}：空気の吹き出し絶対湿度[kg/m³]，L_0：0℃の水の蒸発潜熱(=2500.3[kJ/kg])，X_{ain}：外気絶対湿度[kg/m³]，Q_l：潜熱交換量[kW]

2.2　計算概要

大型複合施設における実在の冷却塔の配置に基づき，冷却塔屋上配置（現状），同基壇部（屋上庭園部分）配置，空冷式室外機屋上配置，同基壇部配置の4ケースを対象として数値計算を行った．冷却塔と室外機の吹き出し温湿度を表1に示す．冷却塔には種類が複数あるため若干値が異なるがおおよそ近い値となっている．屋上と基壇部の位置を図1に示す．上空風向，風速，気温，相対湿度の境界条件は，大阪管区気象台における2013年8月の昼間(9~18時)の平均値(気温32.4℃，絶対湿度0.0163kg/m³，風速 3.3m/s，風向西)を初期条件及び流入境界に設定し，流出境界は自然流入流出条件，地面及び壁面境界は一般化対数則条件を設定した．なお，室外機は冷却塔の配置を可能な限り踏襲して配置した．計算領域は周辺領域と詳細領域に分けて設定した．周辺領域と詳細領域の配置図および断面図を図2に示す．詳細領域内の流れが周辺領域の設定による影響を受けないように，詳細領域よりも十分広い周辺領域を設定した．周辺領域の大きさは，1,200m×2,400m×400mである．メッシュ間隔は詳細領域では0.5m，周辺領域では2mを基準に徐々に広がる不等間隔とした．詳細領域は排熱位置に応じて鉛直方向に2箇所設定した．

数値解析において，今回の計算では，収束判定条件を10^{-5}と設定し，その値を下回った時に収束に達したとして計算を終了した．

Table.1　Setting temperature and humidity

Equipment	Number (台)	temperature(℃)	humidity(kg/m³)
Cooling Tower	24	35.5～37	0.0240～0.0273
Outdoor Unit	417	40.7	
Air		32.4	0.0163

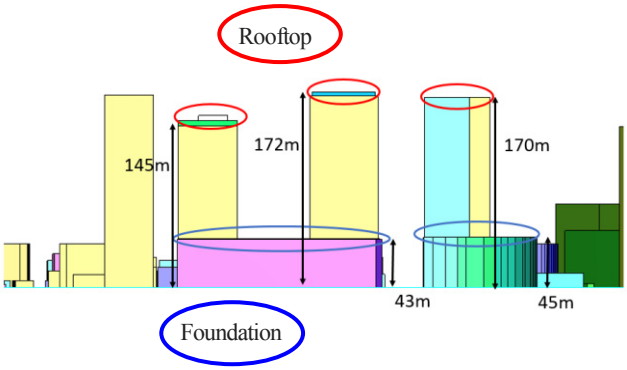


Figure.1 (a)　Position of the equipment(Vertical)

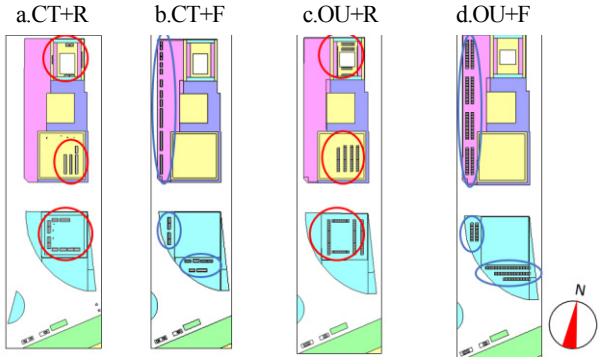


Figure.1 (b)　Position of the equipment(Horizontal)

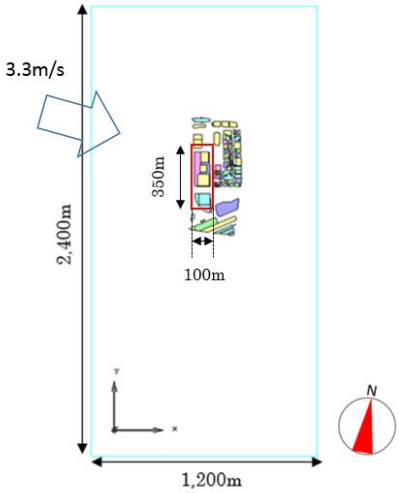


Figure.2 (a)　Layout drawing

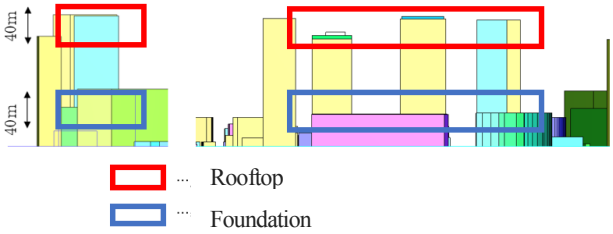


Figure.2(b)　Sectional view

2．3　評価対象領域

本研究では，人が利用する空間に対する影響を評価する．具体的には，図 3 に示す風下側の地上と屋上(37m，43m，45m)を想定する．それぞれ高さ 1.5mの気温，湿度分布を評価する．

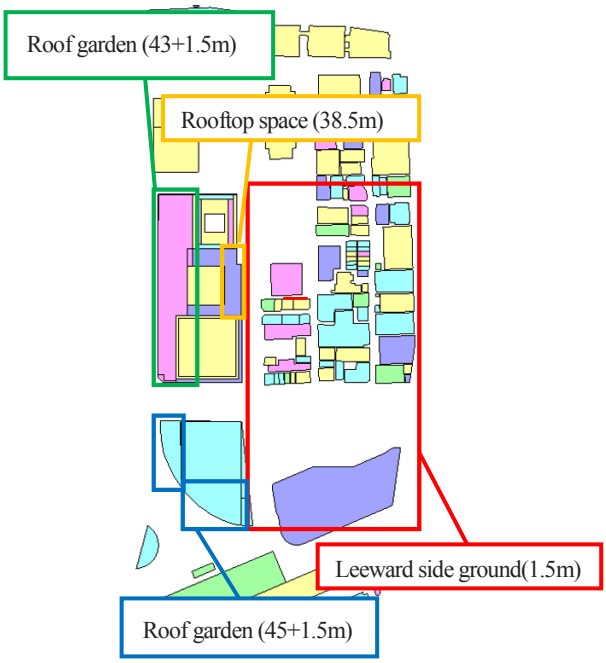


Figure.3　Evaluation area

3．計算結果と考察

計算結果の例を図 4 に示す．屋上に配置した場合はどちらで排出してもどの高さにも分布に変化はなく，現状の屋上高さから排熱すれば人が利用する空間に対する影響は生じていない．一方，基壇部配置の場合は分布に変化がみられ，周辺の温湿度環境に影響を与えている．特に基壇部に室外機を配置した場合には，風下側の 200m 程度離れた道路にまで温度の影響が及んでいる．

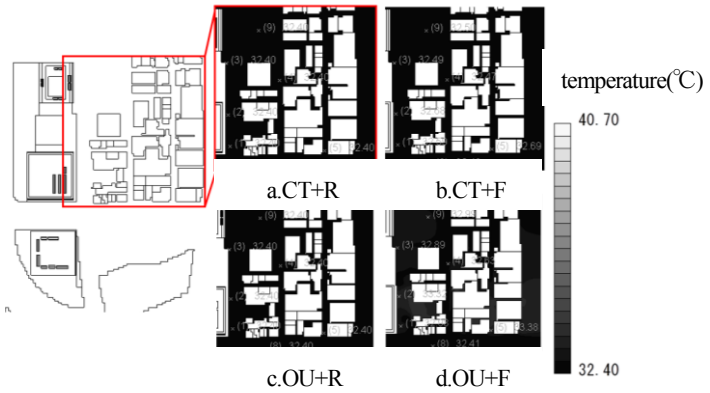


Figure.4(a)　Calculation result（Leeward side ground (1.5m) temperature）

Figure.4(b)　Calculation result（Leeward side ground (1.5m) humidity）

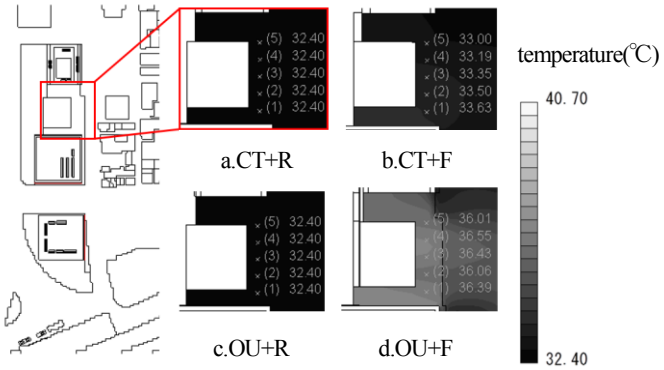


Figure.4(c)　Calculation result（Rooftop space (38.5m) temperature）

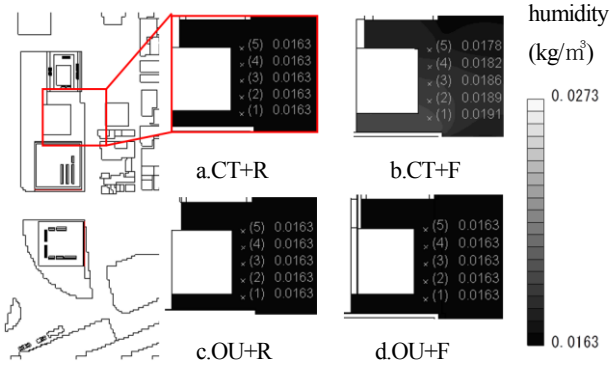


Figure.4(d)　Calculation result（Rooftop space (38.5m) temperature）

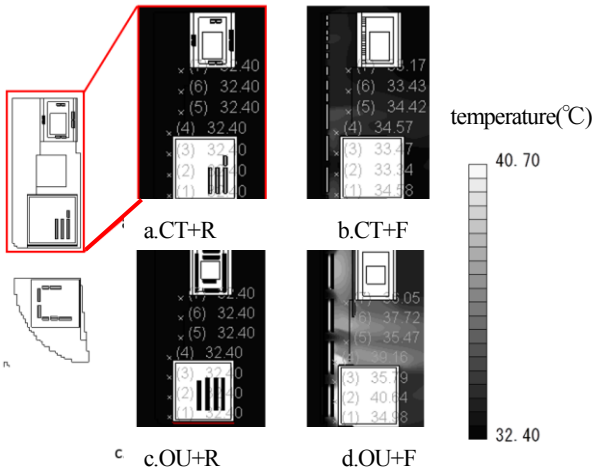


Figure.4(e)　Calculation result（Roof garden (44.5m) temperature）

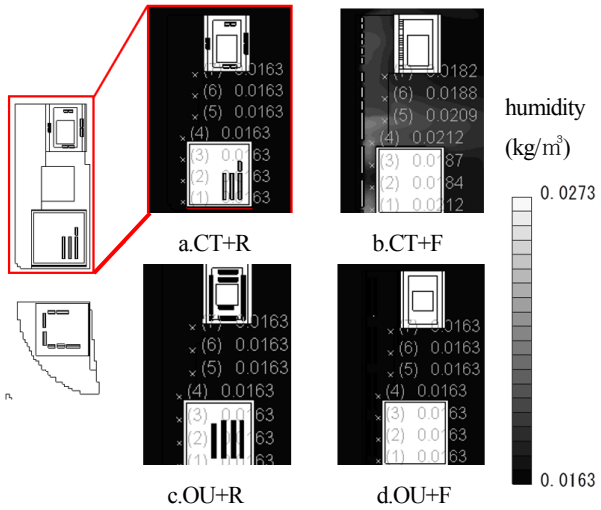


Figure.4(f)　Calculation result（Roof garden (44.5m) temperature）

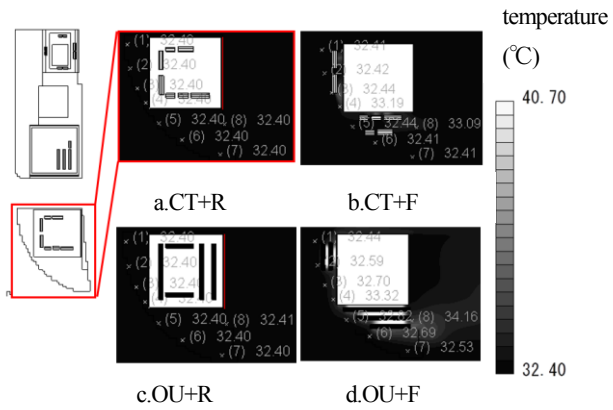


Figure.4(g)　Calculation result（Roof garden (46.5m) temperature）

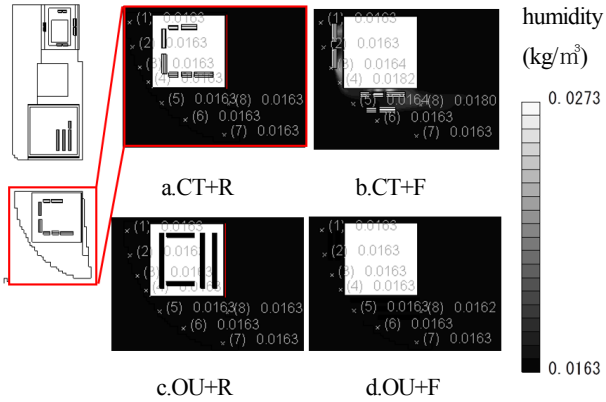


Figure.4(h)　Calculation result（Roof garden (46.5m) temperature）

４．結論

機器の配置の方法による結果のばらつきを平均化するため各ケースの評価範囲の値を平均し初期温湿度との差をとり，潜熱化による効果と排熱高さによる効果を配置ケースごとにまとめたものを表２に示す．屋上から排熱した場合には人の利用する空間への影響は生じなかった．基壇部から冷却塔により排熱すると，風下側の地上１.５m の空間にもわずかに影響が生じ，室外機により排熱すると影響が最も大きくなる．また，排熱位置に近い屋上空間及び屋上庭園ではその影響がより顕著に表れた．絶対湿度は冷却塔基壇部配置のときに気温が上がったところで若干上がることが確認された．

室外機を基壇部に配置した場合に，影響が大きく表れたと思われる領域を図５に示す．風下側に高い建物や壁がある空間で空気が滞り排熱の影響が大きくなる傾向が確認された．特に，屋上庭園では，風下側の壁と風上側の機器との位置関係で影響が大きく異なる状況が確認された．本研究を元に，今後は異なる条件でのシミュレーションを行い，より一般的な人工排熱対策の指針作成に向けて検討を進める予定である．

Table.2　Summary of the effect

Case	Evaluation area	temperature(℃) degree of rise	humidity(kg/m³) degree of rise
a	Ground	0	0
	Roof area	0	0
b	Ground	0.2	0.0004
	Roof area	1.3	0.0031
c	Ground	0	
	Roof area	0	
d	Ground	0.6	
	Roof area	3.1	

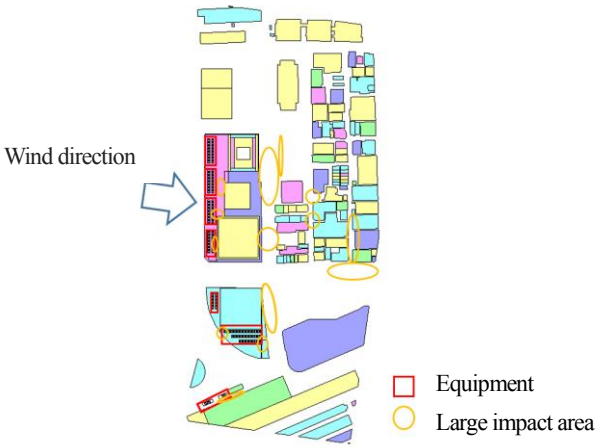


Figure.5　The area impact is thought to have appeared larger

５．参考文献

1)　吉田尚人，実測に基づく冷却塔排熱の潜熱化の評価に関する研究，神戸大学大学院修士論文，2014. 3

2)　石原修，久保隆太郎，酒井孝司：空調排熱が建築外部空間及びエネルギー効率に及ぼす影響に関する研究（第 1 報）平面設置型，重層設置型屋外機の熱環境・エネルギー効率の実測，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2345-2348，2007. 9

日射を受ける模擬植物葉面の熱収支と表面温度

Heat Balance and Surface Temperature of Imitation Plant Leaves Heated by Solar Radiation

○佐土谷　圭佑（大阪市立大学）　西岡　真稔　（大阪市立大学）　鍋島　美奈子（大阪市立大学）
Keisuke SADOYA*[1]　Masatoshi NISHIOKA *[1]　Minako NABESHIMA *[1]
*[1] Osaka city University

Building greening has been studied as a countermeasure of the heat island phenomenon but building greening has a problem for maintenance costs etc. Our research proposes adaptation of the heat island phenomenon as building greening by imitation plant and considers lowering effect of the surface temperature of them. As the method, heat transfer coefficient of imitation plant and flat plate were calculated by using a moisture transfer coefficient and the heat balance. As the result, surface temperature of imitation plant was 6.6~7.5 degree lower and heat transfer coefficient of them was 2.03 times greater compared with flat plate.

１．研究の背景・目的

酒井・中村らによって植物の葉を模した構造であるフラクタル日除けが提案されている。フラクタル日除けにおいては、一般的建物壁面等が持つ空気力学的代表寸法と比べ、フラクタル日除けの代表寸法がかなり小さく、これによって対流熱伝達率が大きくなる効果を持つことが示されている。また、対流熱伝達率が大きいために、日射を受熱しても日除けの表面温度が高くならず、日除け下の熱環境が良好であることが示されている。[1)2)]フラクタル日除けは顕熱放散を減じるものでは無いのでヒートアイランド抑制策には該当しないが、夏季の日射環境下における暑熱緩和対策として大きな効果を発揮する技術と言えよう。本研究ではこの研究に倣い市販された模擬植物を用いた場合に、フラクタル日除けと類似の効果を持つかどうかについて研究する。

以下の検討では、市販の模擬植物を用いた葉群と平板を対照しつつ、対流熱伝達率と表面温度の測定結果を分析する。

２．実験供試体の概要

実験で使用する平板供試体と模擬植物供試体を図 1、図 2 に示す。供試体は、図 1 のように箱形フレームを用いており、メッシュ状の天板の上に塩化ビニル板（平板供試体の場合）または模擬植物（模擬植物供試体の場合）を設置している。模擬植物の葉の形状は、厚さ 0.2mm、平面寸法約 70mm×55mm の楕円形であり、模擬植物供試体の表面には約 250 枚の単葉が存在する。模擬植物及と平板はともに、素材の違いで生じる日射吸収率の影響を無くすために黒色塗料で塗装した。

３，供試体の湿気伝達率計測実験

作成した実験供試体について、ろ紙法により対流熱伝達率を計測する。ろ紙の水分蒸発をより求めた湿気伝達率から対流熱伝達率に変換する。湿気伝達率は式(1) で求め、対流熱伝達率は式(2)より求める。

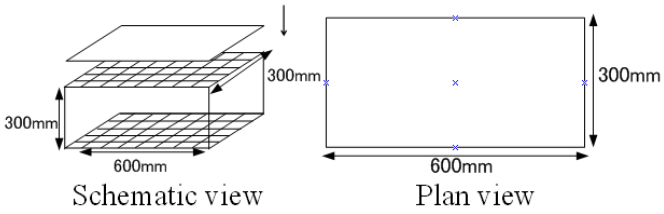


Figure.1　Schematic view of test specimen of flat plate

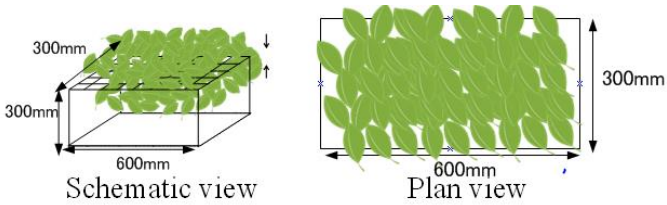


Figure.2　Schematic view of test specimen of imitation plant

$E=k(X_{sat}-X_a)$　(1)

$h_f=Lekc$　(2)

E	Evaporation of filter paper	[kg/ (m^2・s)]
k	Moisture transfer coefficient	[kg/(m^2・s・kg/kgDA)]
X_{sat}	Specific humidity at saturation of filter paper	[kg/kgDA]
X_a	Specific humiditypiof air	[kg/kgDA]
h_f	Heat transfer coefficient	[W/(m^2・K)]
Le	Lewis number＝0.83	[-]
c	Humid air specific heat	[kJ/(kgDA・K)]

ろ紙法により平板供試体、模擬植物供試体の葉群、及び葉群から取り出した単葉の 3 種類の対流熱伝達率の計測を行う。単葉のみと葉群の比較は周囲に葉があることの影響を検討するためである。

また対流熱伝達率は、文献（長谷場）によって示された強制対流時の平均熱伝達率(Eckert と Drake の式)の理論式を使用した。(Eckert と Drake の式)を式(3)に示す。[3)4)]

$$h_f = 0.664 Pr^{\frac{1}{3}} \nu^{-\frac{1}{2}} \lambda l^{-\frac{1}{2}} u^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

h_f	Heat transfer coefficient	[W/(m^2・K)]
Pr	Prandtl number	[－]
ν	Coefficient of kinematic viscosity	[m^2/s]
λ	Thermal conductivity	[W/(m・K)]
l	Characteristic length	[m]
u	Wind velocity	[m/s]

３．１　単葉と葉群の対流熱伝達率の比較

恒温槽内に供試体を設置し、ろ紙法により対流熱伝達率の計測を行った。表 1 に実験条件を示す。気温と相対湿度はアスマン通風計にシース型熱電対を取り付けて計測した乾球温度と湿球温度より算出した。恒温槽内の風の条件はファンにより空気が攪拌される状態のままとし、供試体近傍の風速を熱線風速計にて計測した。ろ紙設置部分及び計測箇所を図 3 と図 4 に示す。平板型供試体には 250mm×500mm のろ紙を取付け、中央部の 50mm 角を切り離して蒸発量を測定することにした。ろ紙の裏面にはプラスチックフィルムを置き、ろ紙とプラスチックフィルムを一体として秤量した。模擬植物供試体は、中央付近の葉の 2 枚を測定対象とし、葉と同じ形状にろ紙を切り取り、葉に貼り付けて測定した。模擬植物の葉は水分を通す材料であったため、葉の裏面にプラスチックフィルムを貼り付け、裏面からの蒸発を遮断した。ろ紙の表面温度は、0.5mmφ のシース型熱電対を差し込み計測した。

ろ紙の秤量は 3 回行い、その平均値から求めた対流熱伝達率を図 5 に示す。図 5 の結果より、葉群の対流熱伝達率は 20.6(W/m^2・K)であり、単葉では 21.1(W/m^2・K)であり、両者の差は小さい結果となった。

３．２　対流熱伝達率の理論値と実験値の比較

恒温槽とは異なる風速条件における実験値を追加するため、供試体を実験用ダクト（断面 450mm×450mm）に設置して、恒温槽と同様の方法で対流熱伝達率を測定した。測定条件は表 1 に示す。恒温槽とダクトでは気流の乱れなど異なる点が多いが、ここでは風速の違いのみに注目して分析を行う。図 6 において、対流熱伝達率の理論式（式３）から計算される理論値と、恒温槽内及びダクト内で測定した対流熱伝達率を比較する。理論式に使用する代表長さの値は表 1 を使用する。恒温槽内では、風向が一定ではないため、長さと幅の平均値を代表長さとして使用し、ダクト内は強制対流のため、気流方向に設置した平板と葉の気流方向の長さを代表長さとした。

図 6 より、各実験値の平均値と実験式で求めた値を比べると、実験値の方が大きくなっていることがわかった。一方、実験値の回帰直線の傾きは 0.968 とほぼ 1 と近い値になった。理論式の前提とする気流条件が実験条件と

Table.1 Experimental condition

	Thermostatic bath	Duct
Temperature	25.1℃	19.4℃
Relative humidity	39.4%	39.4%
Test duration	30 minutes	
Wind velocity (flat plate) (imitation plant)	 0.68m/s 0.62m/s	 1.73m/s 1.68m/s
Number of experiment	flat plate 3 imitation plant2×3 simple leaf 2×3	flat plate 3 imitation plant2×3
Characteristic length (flat plate) (imitation plant)	 0.063m 0.45m	 0.070m 0.60m

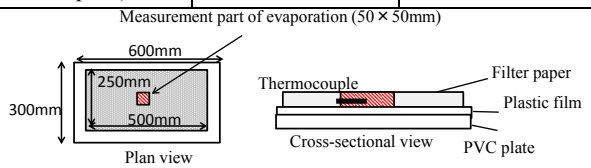


Figure.3　Filter paper over flat plate cross-sectional view

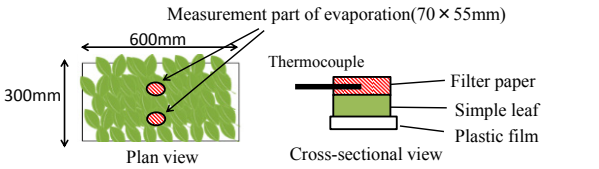


Figure.4　Filter paper over imitation plant cross-sectional view

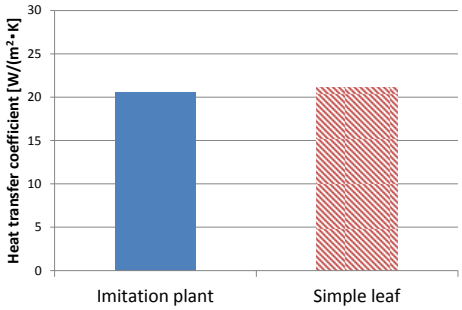


Figure.5 Comparison of imitation plant and simple leaf

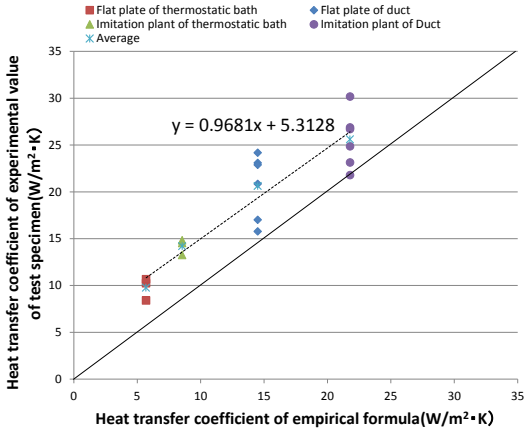


Figure.6　Comparison of experimental value of test specimen and empirical formula

どの程度共通するかは不明であるが、回帰直線の傾きがほぼ 1 となったことにより、代表寸法と対流熱伝達率との間の関係は理論式の通りに現れたことになる。

４　供試体の表面温度と熱収支の分析

以上より、模擬植物の対流熱伝達率が平板より大きいことが検証されたが、本節では、日射環境下で模擬植物と平板の表面温度を比較する。供試体を日射の当たる屋外環境下に設置した場合の供試体表面温度を熱画像より計測し、供試体の平均表面温度を算出する。

４．１　実験期間・場所

2014 年 12 月 24 日(晴天日)に、大阪市立大学の学舎屋上にて実験を行った。熱画像の撮影は、13:17~13:20、13:26~13:29、13:47~13:49 の 3 時刻で行った。ここでは、13:17~13:20 を「撮影時間 1」とし以下時系列順に「撮影時間 2」「撮影時間 3」と称する。熱画像の空間平均を計算し、葉の平均表面温度とする。

４．２　実験方法

模擬植物供試体と平板供試体を地面と水平に設置し、供試体を中心とし、東西南北の正方位方向から下方へ 45°の傾斜させた角度で熱画像を撮影した（図 7 参照）。直達日射のある条件で葉群の熱画像を撮影すると、カメラの位置によって、葉の表面温度が違って撮影されるので[注]、本研究では各方位から撮影した熱画像から得た平均表面温度について、さらに方位の平均化操作を行ったものを当該時刻の平均表面温度とみなすことにした。

４．３　表面温度計測結果

模擬植物供試体と平板供試体における各撮影時間における熱画像の平均表面温度計測結果を、図 8 に示す。図 8 より、各撮影時刻について模擬植物供試体の方が平板供試体よりも平均表面温度は約 6.6~7.5℃程度低くなることがわかった。これより、模擬植物供試体の表面温度上昇抑制効果を確認できた。

４．４　熱収支式における分析

実験供試体表面の熱収支式を図 9 のように考えて、熱収支式を**式 4～式 9** に示す。日射量は上下の水平面全天日射量の計測値を使用する。長波放射量は実験供試体表面と地表面との温度差がないものとしL_2＝0 とし、L_1は熱画像の平均表面温度を使用し算出する。対流は日射量と長波放射量の残差より求める。続いて各撮影時間における熱画像の平均表面温度計測結果と撮影時間中に計測した気象条件の時間平均を使用して、熱収支式より計測した熱流成分と対流熱伝達率の計測結果を図 10、図 11 に示す。

図 10 より、対流成分は模擬植物供試体の方が平板供試体よりも約 31.5~36.0(W/m^2)大きくなることがわかり、模擬植物供試体の対流成分の増加による表面温度上昇抑制効果が確認できた。図 11 より熱収支式より算出した

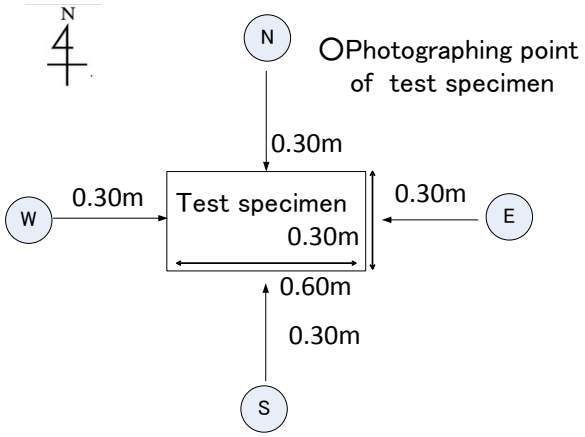


Figure.7 Photographing point of thermal image of test specimen

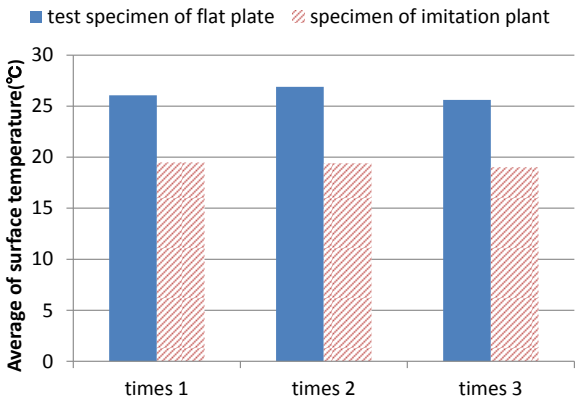


Figure.8 Comparison of average surface temperature of test specimen

$$K - L - H = 0 \quad (4)$$

$$K = K_1 + K_2$$

$$L = L_1 + L_2$$

$$H = H_1 + H_2$$

$$K_1 = aJ_s \quad (5)$$

$$L_1 = \varepsilon_s F_{sky}(\sigma {T_s}^4 - J_a) \quad (6)$$

$$J_a = \varepsilon_a \sigma {T_a}^4 \quad (7)$$

$$\varepsilon_a = 0.51 + 0.066\sqrt{f} \quad (8)$$

$$H_1 = \alpha_c(T_s - T_a) \quad (9)$$

a	Solar Absorptivity	[－]
J_s	Solar radiation	[W/m^2]
ε_s	Longwave emissivity	[－]
T_s	Surface temperature	[K]
J_a	Atmospheric radiation	[W/(m^2・K^4)]
σ	Stefan-Boltzmann factor＝(5.67×10^{-8})	[－]
F_{sky}	Sky factor	[－]
ε_a	Atmospheric emissivity	[－]
f	Water vapor pressure	[hPa]
α_c	Heat transfer coefficient	[W/(m^2・K)]
T_a	Temperature	[K]

対流熱伝達率の平均値は平板供試体が約 9.95(W/m^2・K)で模擬植物供試体が約 20.2(W/m^2・K)であり、模擬植物供試体の方がより大きくなることがわかった。またこの対流熱伝達率の値は、恒温槽での実験値と平板供試体、模擬植物供試体ともにほぼ一致し、両実験の対流熱伝達率計測の妥当性も確認できたと考えられた。

５　まとめ

(1) 模擬植物供試体と平板供試体の空気力学的代表長さの異なる２種の供試体について対流熱伝達率を測定した。風速の異なる２種の条件下で測定した対流熱伝達率の実験結果から、代表寸法が及ぼす対流熱伝達率への影響について、実験値と理論値が概ね一致する結果を得た。

(2) 供試体の表面温度計測と熱収支の分析結果として模擬植物供試体及び平板供試体について、赤外線放射カメラ用いて平均表面温度を比較した。その結果、冬季の気象条件下で、模擬植物の表面温度は平板と比べて約 6.6～7.5℃低くなる結果を得た。計測した表面温度を用いて熱収支式より対流熱伝達率を算出した結果、模擬植物の方が大きくなることがわかり、対流熱伝達率の値は恒温槽での実験値と平板供試体、模擬植物供試体ともにほぼ一致し、両実験の対流熱伝達率計測の妥当性も確認できたと考えられた。

Table.2 Experimental condition

	Time 1	Time 2	Time 3
Temperature	9.9℃	10.5℃	10.8℃
Solar (K_1)	434[W/m^2]	418[W/m^2]	384[W/m^2]
Solar (K_2)	77.2[W/m^2]	72.0[W/m^2]	61.4[W/m^2]
Longwave(L_1) Flat plate Imitation plant	 169[W/m^2] 137[W/m^2]	 171[W/m^2] 135[W/m^2]	 163[W/m^2] 132[W/m^2]

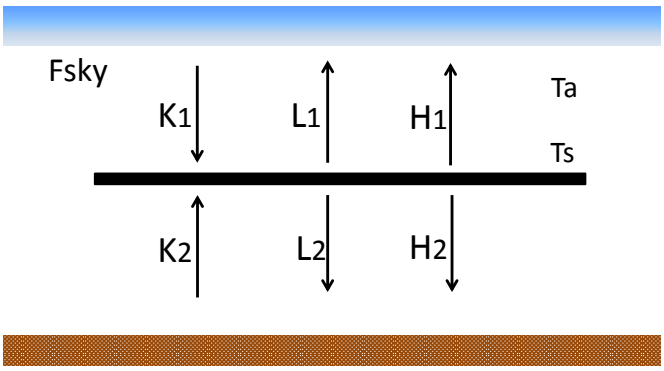


Figure.9 The heat balance of test specimen

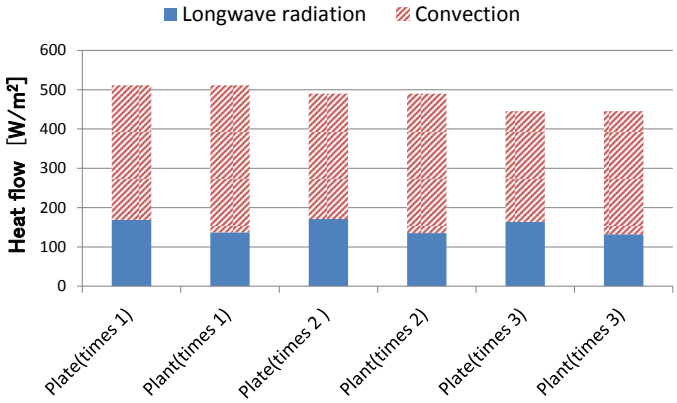


Figure.10 Calculation results of heat flow

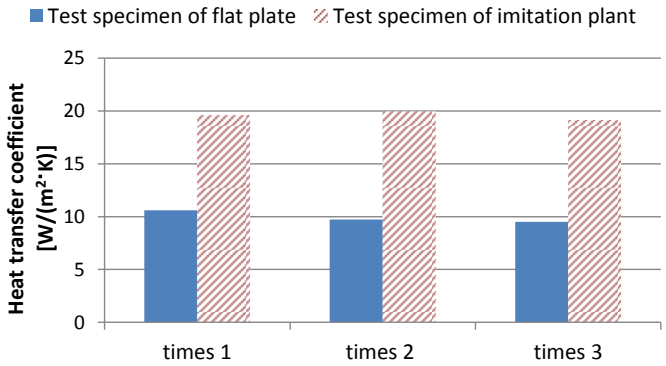


Figure.11 Calculation results of heat transfer coefficient

注）模擬植物を構成する個々の葉について考えると、葉面の法線が太陽方向を向くときに葉面温度は最も高くなるであろう。一方撮影される熱画像において、葉面の法線がカメラの方向を向くときに、葉の見掛けの面積が画像上で最大になる、したがって、葉から見た方位が太陽と一致する位置にカメラを置いて撮影するときに、熱画像において高温の葉の占める面積が大きくなるであろう。このようにして、葉群を撮影した熱画像には、撮影方向によって表面温度の違いが生じる。

参考文献】

1)酒井　敏,　中村　美紀：フラクタル日除けの基本原理　都市表面の形状と表面温度について，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.581-582 ,　2012

2)酒井　敏,　中村　美紀, 成田　健一, 三坂　育成：フラクタル日除けによる都市表面温度抑制効果　都市模型実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.475-476 , 2013

3)長谷場　徹：植物の葉面境界層輸送係数，農業気象学 40 巻・1 号　pp.63-72,　1984

4)Eckert, E.R.G. and Drake, R.M., Jr. :　Heat　and　Mass Transfer. McGraw-Hill, New York pp.530,　1959

集合住宅の外断熱改修による熱・湿気性状改善効果に関する研究
－ Wufi Plus 2.5 による多数室性状の数値予測 －
Study on improvement effects of hygrothermal performances for EIFS retrofitted condominium
- Numerical evaluations with multi-zone models by Wufi Plus 2.5 and monitored IAQ -

芝 池　英 樹（京都工芸繊維大学）　　脇　日出海（京都工芸繊維大学大学院）
○坂 根　悠 美（京都工芸繊維大学）
Hideki SHIBAIKE　Hideumi WAKI　Yumi SAKANE
Kyoto Institute of Technology

One of the most awaited and urgent measures is the energy retrofitting of existing condominiums built in few decades ago. The EIFS renovation is the one of the important feasible solutions for the energy retrofitting of existing condominiums with the weaker thermal performance. However it could induce overheating in summer in the hot and humid climates. In this study, by using WUFI Plus Ver.2.5, multi- zone hygrothermal simulation results are presented for an existing condominium in order to evaluate the performance improvements introduced by an EIFS renovation. It also evaluates influences of higher performance windows and internal heat and moisture sources.

１．はじめに

資源とエネルギーは，日常生活には必要不可欠であるが，これらの大量消費に伴い環境への負荷も急速に増大している．そのためあらゆる分野において，エネルギーの有効利用が求められ，中でも住宅における省エネルギー性能の向上に関しては市場の関心も需要も高い状況にある．住宅におけるエネルギー消費量の実に約 30%が暖房負荷によるものであり，建物の高断熱・高気密化が重要性を増している．しかし，蒸暑気候での安直な高断熱化は，夏場のオーバーヒートを誘発する可能性がある．断熱性能の低い既存集合住宅のエネルギー改修に関して EIFS 外断熱改修は数少ない実行可能な方策である．

本研究では，計算プログラム WUFI Plus Ver.2.5 を用いて，住宅の中でも窓や採光などに制限のある集合住宅の EIFS 外断熱改修による高断熱化の効果を，京都市内で実施された分譲集合住宅の改修事例を多数室としてモデル化して数値的に検討する．

２．モデル住宅の概要

検証対象とした集合住宅(Table.1,figure.1)は，京都市右京区にある EIFS 外断越改修済みマンションである．窓ガラスは保温性の高い真空ペアガラスに交換され，EIFS 外断熱工法（ビーズ法ポリスチレンフォーム（EPS）厚さ：外壁面 75mm／共用廊下壁 40mm）による外断熱改修が行われ 2014 年 6 月に竣工している．建築概要を Table.1 に示す．なお，計算条件としての居住者数は計４名（夫婦二人と子供二名）で， Figure.2 に示す日常生活習慣を想定し，住戸は計 5 ゾーン（Zone1:ENT，Zone2:BATH，Zone3:LDK，Zone4:MB，Zone 5:CB）で構成されるものとする．改修前と外断熱改修後における外壁を，各々Figure.3，Figure.4 に示す．ただし，貼付する EPS 断熱材は，外壁面は 75mm となるが，共用廊下壁面は通路幅を確保するために 40mm に抑えられる．

３．プログラム計算値の比較

本研究では，シミュレーションプログラムとして WUFI Plus Ver.2.5.4.0 を使用し，建物の仕様，気象データ，及び室内負荷に関する諸データを用いて，シミュ

Table.1 Summary of the investigated condominium

Construction site	Kyoto Prefecture Kyoto City
Completion	Build in 1976
Structure	ReinforcedConcreteConstruction
Building Scale	7 storied building 191 units
Floor area/1 unit	57[m³]

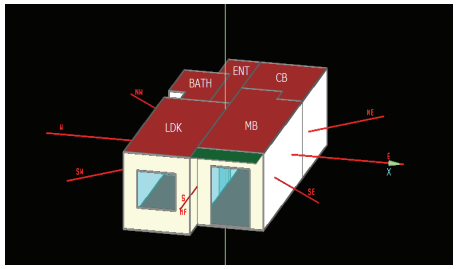


Figure 1 Model of the condominium unit in WUFI Plus

レーションを行い，室内 5 ゾーンの温度，湿度，CO_2 濃度，建築外皮の熱・湿気性状や結露発生等の長期間にわたる非定常変動を計算評価する．

3.1　夏期冷房・除湿負荷と室温変動

人間・家電設備等による発熱と冷暖房を除き，換気のみ有効とした場合の各ゾーンの夏の室空気乾球温度を Figure.5（改修前），Figure.6（改修後）に示す．改修後は改修前と比べ，より温度が高いことがわかる．LDK の 8 月の平均温度を比較しても，改修前が 29.8（K）に対し改修後は 30.1（K）であり，夏期は平均して自然温度が僅かに高くなる．室内発熱が加わると，室温はさらに上昇し，冷暖房負荷も増加する．Figure.7（改修前），Figure.8（改修後）に示す室内発熱がある場合の毎月の冷暖房負荷は，中間住戸の想定もあり冷房負荷が大きく暖房負荷は小さい．この傾向は外断熱改修でより顕著となり，通年で温度上昇し暖房が粗不要となるが，初夏・秋に冷房の使用期間が増加して冷房負荷が増える．また，Figure.9 に示した改修後の除湿負荷には，改修前との大差は見られない．

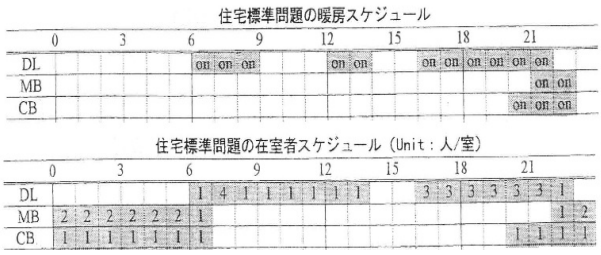
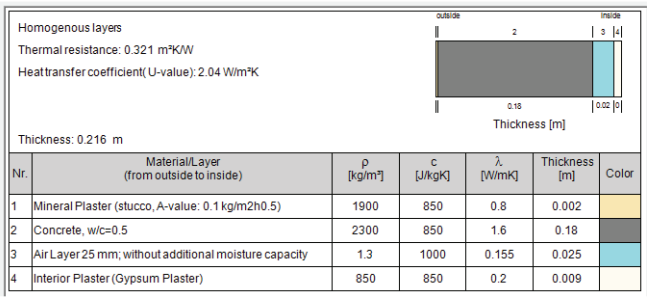
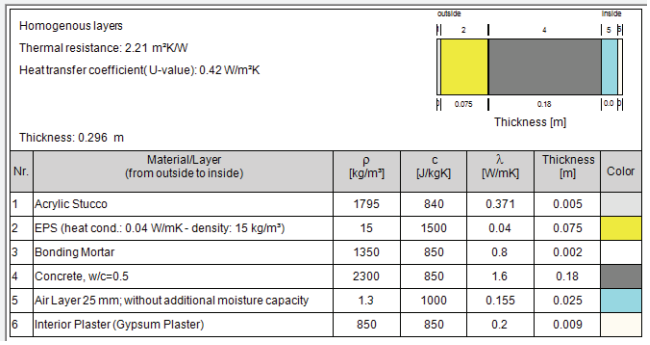


Figure.2 Occupancy Conditions for the model Family



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m2h0.5)	1900	850	0.8	0.002	
2	Concrete, w/c=0.5	2300	850	1.6	0.18	
3	Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity	1.3	1000	0.155	0.025	
4	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.009	

Figure.3 Wall assembly w/o insulation



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Acrylic Stucco	1795	840	0.371	0.005	
2	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m³)	15	1500	0.04	0.075	
3	Bonding Mortar	1350	850	0.8	0.002	
4	Concrete, w/c=0.5	2300	850	1.6	0.18	
5	Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity	1.3	1000	0.155	0.025	
6	Interior Plaster (Gypsum Plaster)	850	850	0.2	0.009	

Figure.4 EIFS wall assembly

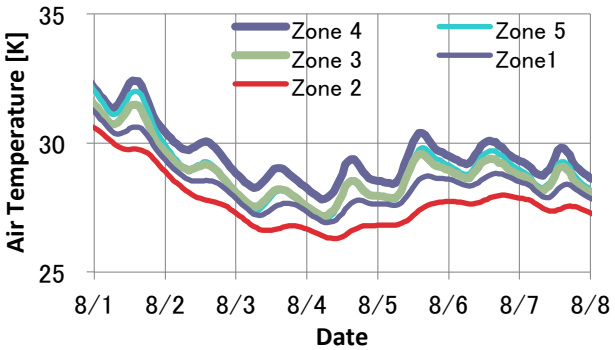


Figure.5 No AC temperature profiles w/o insulation

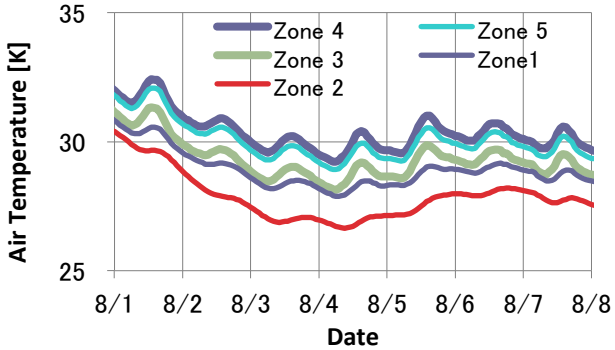


Figure.6 No AC temperature profiles w/ EIFS

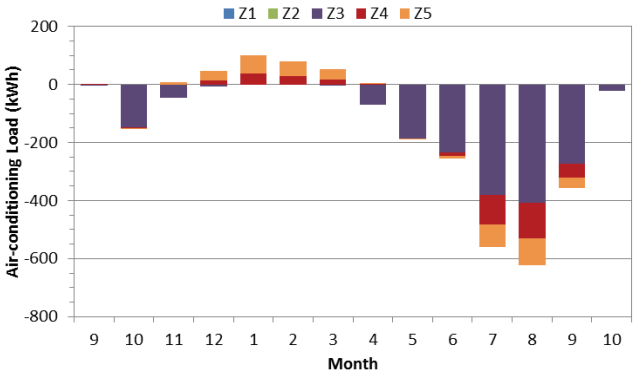


Figure.7 Monthly cooling and heating loads w/o insulation

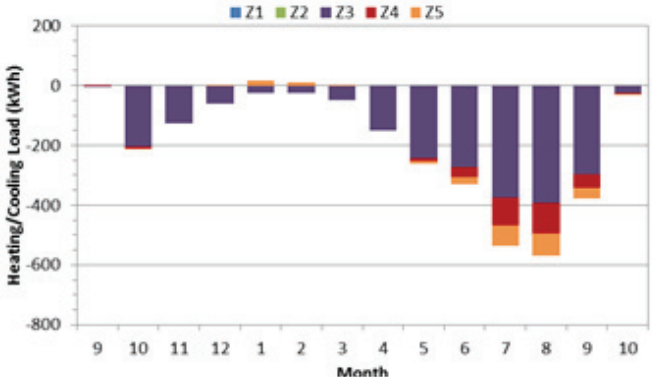


Figure.8 Monthly cooling and heating loads w/ EIFS

3.2　冬期暖房負荷と室温・湿度変動

冬期の人間・家電設備等による発熱と空調効果を考慮した改修前と改修後の室内乾球温度を，各々Figure.10, Figure.11 に示す．改修前と比較すると，改修後は室温が上昇し，高断熱化の保温効果が表れている．

また，これに対応する改修前と改修後の室内絶対湿度を，各々Figure.12，Figure.13 に示す．改修後の絶対

湿度ピーク値はBath(Zone 2)やLDK（Zone 3）では改修前より下降している．炊事や入浴等のよるスパイク状の水蒸気発生は，高い換気回数が設定されているゾーンに関しては，高温の湿潤空気として改修住戸の方が換気でより多く排除されるためである．一方で居住者の呼気による緩やかな水蒸気発生がある居室系のMB(Zone 4)やCM（Zone 5）では，換気回数の割増を設定していないので，外皮の吸湿の影響がより顕著になり，外断熱改修され保温された外皮の吸湿量が抑えられるので，改修住戸の絶対湿度は高くなる．Figure.14はLDKの南側外壁RC層の平均含水率である．未回収住戸のRC層は温度が低く室内で発生した水蒸気をより多く吸湿するため含水率が高くなるが，外断熱で保温されたRC層はより室温に近い高い温度に保たれるので吸湿量が抑えられRC層の含水率は抑制される．

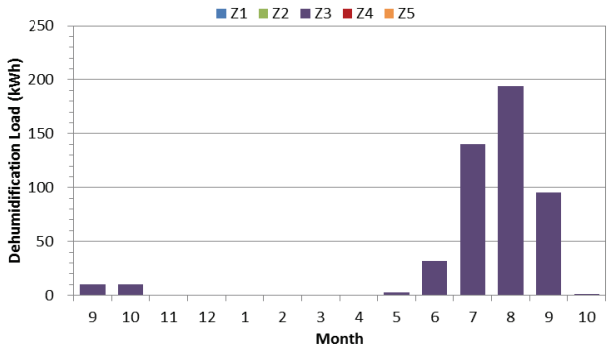


Figure.9 Monthly dehumidification loads w/ EIFS

4．改修住戸内での実測温・湿度の概要

大規模外断熱改修を実施した集合住宅の屋内温・湿度の改善状況を知るために，LDK方位の異なる５階３住戸（何れも上下左右共に隣接住戸のある中間住戸）のLDKと24時間排気が作動する洗面室（ST）の温・湿度を長期モニターしている．計測には湿度の測定精度が高い静電容量型高分子センサーを付けた温湿度ロガー3670（日置電機製，温度-40～85K，湿度0～100%）を用い毎10分間隔で記録している．

寒波により外気温が下がった年末年始の1週間における，LDK西面住戸，LDK南面住戸，LDK東面住戸の測定空気温度の時間変動を，各々Figure.15～Figure.17に示す．また，同期間のLDK南面住戸，LDK東面住戸の測定空気絶対湿度を，各々Figure.18～Figure.19に示す．

対象住戸の居住者は，何れも健康な高齢者であるが，西面住戸は男性の喫煙･独居世帯，南面住戸は夫婦世帯，東面住戸は女性の独居世帯と生活習慣も多様で，実測値は各々異なった変動を示している．西面住戸居住者には，喫煙習慣があり換気回数が多く，室間温度差が殆ど見られず，室温変動も乏しいので，表示期間中は不在だったと推測できる．南面住戸は，夫婦世帯でもあり室温は最

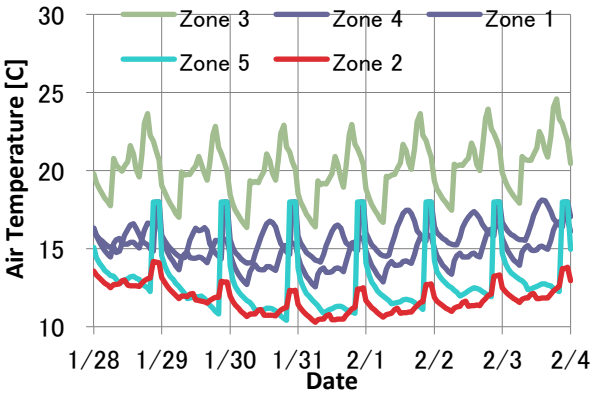


Figure.10 Humidity ratio profiles w/o insulation

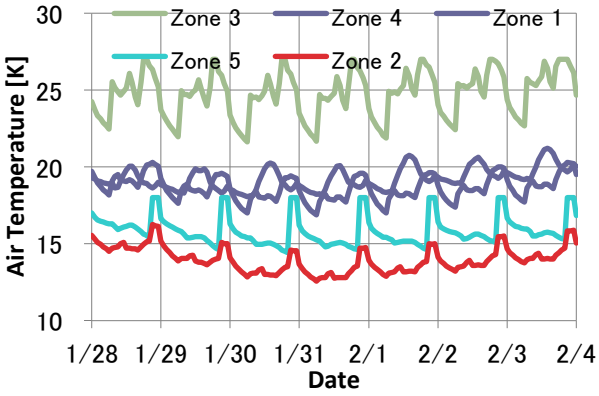


Figure.11 Humidity ratio profiles w/o EIFS

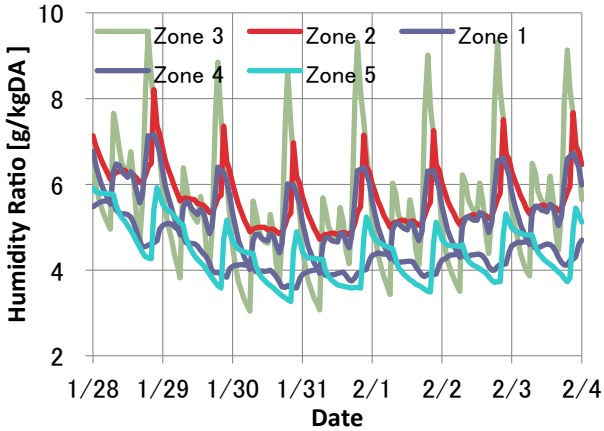


Figure.12 Humidity ratio profiles w/o insulation

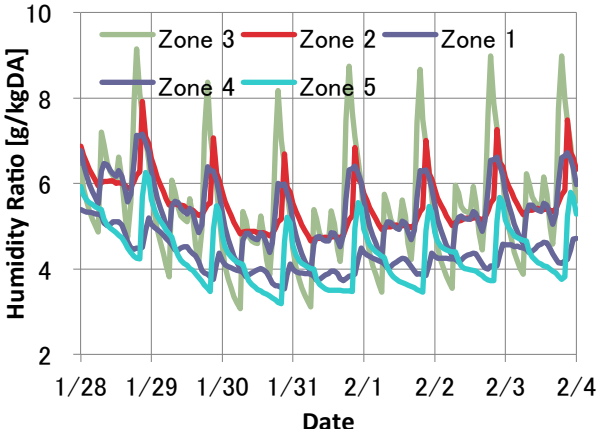


Figure.13 Humidity ratio profiles w/o EIFS

も高く維持されている．南面住戸と東面住戸では，調理や入浴等に起因する一時的なスパイク状の絶対湿度上昇が記録され，顕著な絶対湿度変動が表れている．夫婦世帯である南面住戸の絶対湿度が，より高くなっている．

5．まとめ

集合住宅の EIFS 外断熱改修効果を，京都市内で実現した大規模改修事例を，WUFI Plus Ver.2.5 を用いて多数室でモデル化して計算し，室温，月毎冷暖房負荷，絶対湿度の改修後の変化を検討した．また中間住戸３世帯の協力により住戸内温・湿度変動測定値を示した．

改修工事後，80%の居住世帯で電気料金が安くなり，各住戸で顕著な室温上昇を感じるという回答も寄せられている一方，外皮の高断熱化には夏のオーバーヒートの危険性が潜んでおり，注意深く検討を進める必要がある．

【謝辞】改修住戸内での温・湿度モニタリングの実施に当たり，労を厭わずご協力頂いた関係各位に深く感謝します．

参 考 文 献

1）資源エネルギー庁「平成 24 年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書 2013) 第 2 部 エネルギー動向 第 1 章 国内エネルギー動向 第 2 節 部門別エネルギー消費の動向

2）企画・標準化の検討課題(その２)－ベンチマークテスト－第 15 回熱シンポジウム(1985 年)における住宅用標準問題

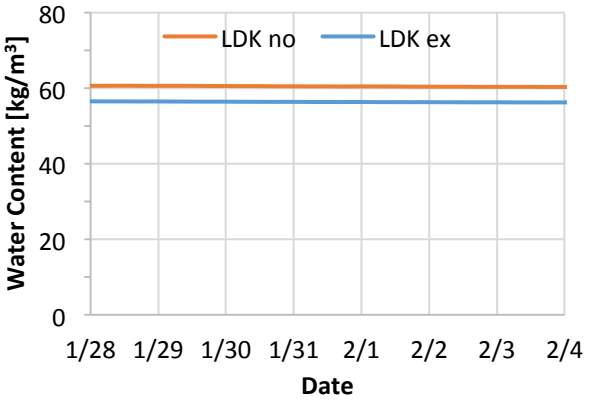


Figure.14 Mean Water Content of Concrete

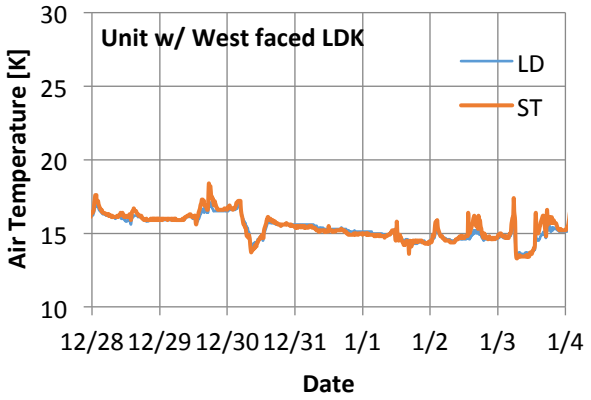


Figure.15 Monitored temperature profiles in the West unit

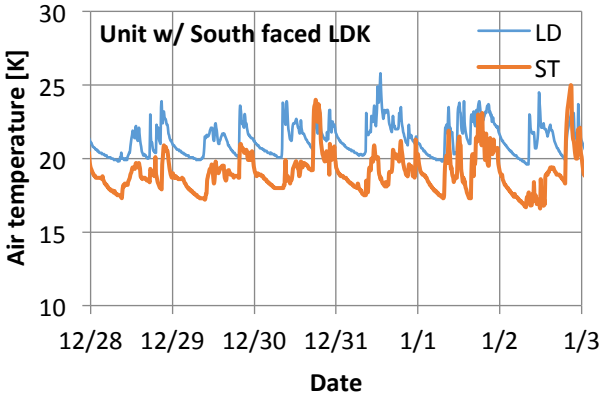


Figure.16 Monitored temperature profiles in the South unit

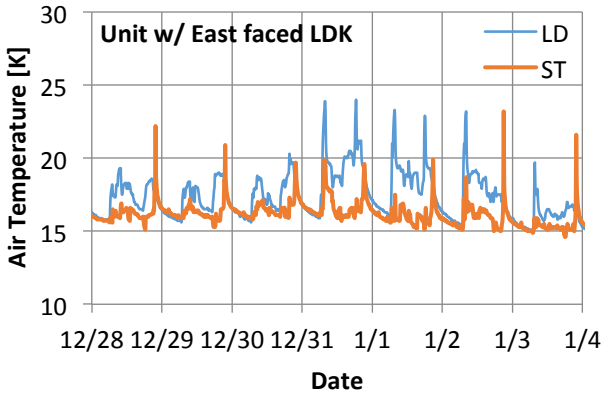


Figure.17 Monitored temperature profiles in the East unit

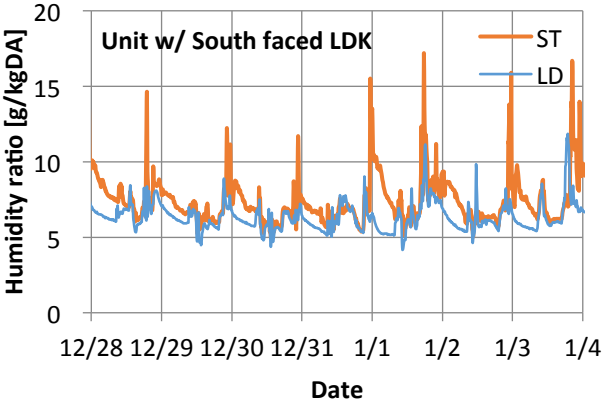


Figure.18 Monitored humidity ratio profiles in the South unit

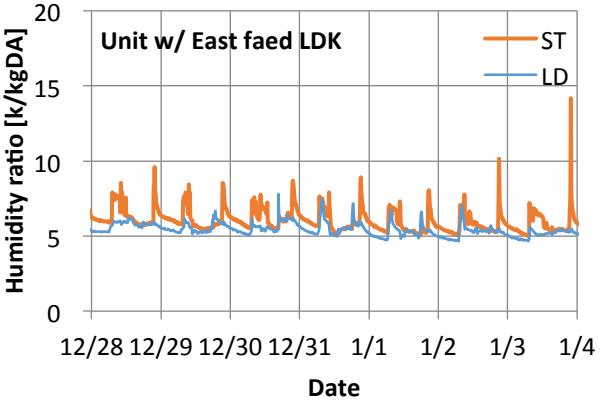


Figure.19 Monitored humidity ratio profiles in the East unit

潜熱蓄熱材と除湿材を併用したデシカントシステムの熱・湿気特性に関する研究
（その６）PCM 併用時の充填槽における温湿度及び含水率変化
Study on Heat and Moisture Properties of Desiccant Cooling System with Phase Change Materials and Desiccant Materials
(Part6) Time Variation of Moisture Content, Temperature Distribution and Humidity of Packed Bed with Silica Gel and PCM

○田中　俊祐　（大阪大学）　　桃井　良尚　（大阪大学）
相良　和伸　（大阪大学）　　山中　俊夫　（大阪大学）
甲谷　寿史　（大阪大学）

Shunsuke TANAKA[*1]　Yoshihisa MOMOI [*1]　Kazunobu SAGARA[*1]
Toshio YAMANAKA[*1]　Hisashi KOTANI[*1]
[*1] Osaka University

Recently, desiccant cooling system has attracted our attention, from the point of view of global warming and in order to improve indoor thermal environment. However, the temperature of the dehumidified air rises. The purpose of this study is to verify the reduction of the temperature rise by using desiccant cooling system with phase change materials and desiccant materials by experiments and numerical simulation. In this paper, the results of measurements and calculation of moisture content, temperature distribution and humidity of a PCM and silica gel packed bed are reported.

1. はじめに

近年､地球温暖化防止や室内温熱環境改善の観点から、シリカゲル等を吸湿材として用いたデシカント空調[1)]が注目されている。本研究では、通常のデシカント空調に潜熱蓄熱材（PCM：Phase Change Materials）を組み込むことにより、デシカント空調の欠点を補った新しい除湿空調方式を提案する。具体的には、吸着熱を PCM に吸収させることで除湿された空気の温度上昇を抑えることができ、理想的には除湿量も増加するため、装置の小型化も同時に期待できる。PCM デシカントシステムの構築の第一段階として、通気実験と数値計算シミュレーションにより、その有効性を検証する。本報では、物性値測定の結果と、シリカゲル充填槽及び PCM シリカゲル併用充填槽を用いた通気実験の結果を報告し、PCM の併用による効果を検証する。

2. 測定方法

2.1. シリカゲル平衡含水率測定

Figure 1 に示す分流式湿度発生装置（アドテック製）を用いた通気実験により、シリカゲルの平衡含水率の測定を行う。得られた平衡含水率曲線の式は、数値計算シミュレーションに用いる。シリカゲル（WAKO 製，190-00471， A 型・中粒）を充填した φ100mm の金属性の円筒容器に、10L/min で一定温湿度の空気を供給し、適宜電子天秤（A&D 製， GX-8000）に載せて重量を測定し、重量が変化しなくなった時の重量を記録した。実験中の重量の平衡判定には、日本建築学会の基準[2)]を用いた。通気中、充填槽は供給空気と同様の温度に設定した小型恒温装置（ESPEC 製 , SH-221）内に設置した。供給空気の温度は 25℃一定とし、絶乾状態から、相対湿度 20％、50％、80％、93％と増加させていった。なお､試料の絶乾質量は 376.4g であった。

2.2. PCM 相変化温度測定

使用する PCM の相変化温度測定のため、Figure 2 に示す装置を用いて通気実験を行った。ペレット状 PCM (JSR 製 , GP011) を充填した φ60mm の金属製円筒容器に、10L/min の流量で一定温度の空気を供給し、通気中に槽内温度分布を測定した。PCM の公称物性データを Table 1 に示す。温度測定は、充填高さ 200mm の充填槽の側面から流れ方向に 40mm 間隔で挿入された 5 点の K 型シース熱電対によった。上流側より測定点を (1) ～ (5) とし、

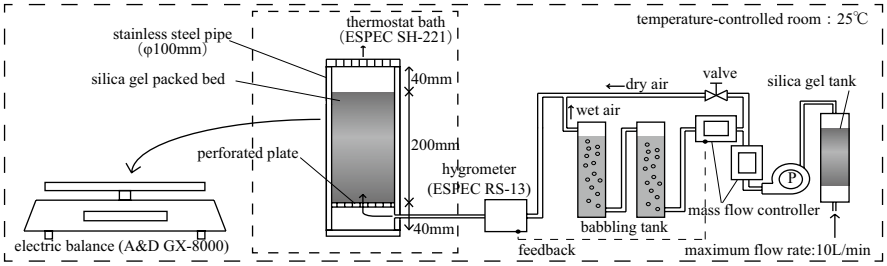


Figure 1 : Measurement Device
(Moisture Content Measurement)

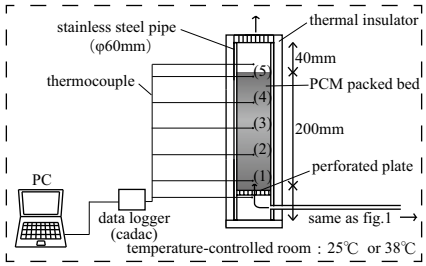


Figure 2 : Measurement Device
(Phase Change Temperature Measurement)

Table 1 : Property of PCM

name
CALGRIP® PM507
product part number
GP001
material part number
PM507
melting point [℃]
32
freezing point [℃]
33
latent heat of melting [J/g]
200

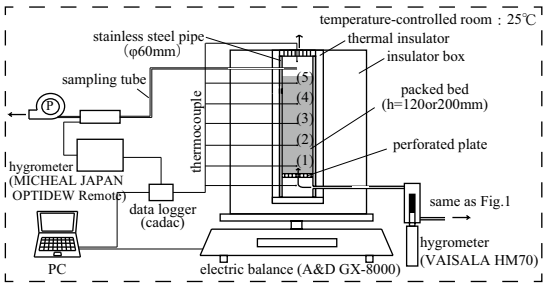


Figure 3 : Measurement Device

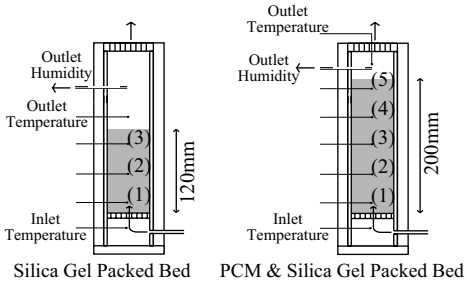


Figure 4 : Measurement Points

Table 2 : Measurement Condition

	process air			regenerative air (initial condition)			flow rate [L/min]	face velocity [cm/s]
	temperature [℃]	relative humidity [%]	humidity ratio [g/kgDA]	temperature [℃]	relative humidity [%]	humidity ratio [g/kgDA]		
Silica Gel Only	25	70	14.0	70	30	65.1	5.0	2.94
PCM & Silica Gel	25	70	14.0	70	30	65.1	5.0	2.94

流入点、流出点においても熱電対により温度測定を行った。冷却側はまずは37℃での通気を行って槽内のPCMを完全に融解させた後、25℃の通気により凝固させた。加熱側は、完全に凝固した状態から38℃の通気によって融解させた。通気湿度の制御は行わなかった。

2. 3. PCM シリカゲル併用充填槽通気実験

シリカゲル充填槽及びPCMシリカゲル併用充填槽に通気を行い、PCMの付加が除湿性状に及ぼす影響を検討する。実験条件をTable 2に、分流式湿度発生装置（アドテック製）を用いた実験装置の概略図をFigure 3に、充填槽における測定点をFigure 4に示す。シリカゲル充填槽とPCMシリカゲル併用充填槽でシリカゲルの充填重量は同一とし、シリカゲル充填槽の充填高さは12cm、PCMシリカゲル併用充填槽の充填高さは20cmとした。シリカゲル、PCMともふるいにより粒径を2.8mm～4.0mmの範囲に揃えた。流入空気の温湿度はハンディタイプ温湿度計（vaisala製，HM70）、充填槽出口空気の湿度は鏡面冷却式露点計（MICHEAL JAPAN製，OPTIDEW Remote）によって測定した。鏡面冷却式露点計は、内蔵のミラー面で気体中の水分を結露させ、結露時のミラー面温度を露点として出力するものであり、高い精度と応答性で湿度測定が出来る。以下に通気実験の手順を示す。

1) シリカゲルを重量が平衡となるまで小型恒温装置内で110℃の高温空気に3時間程度曝露させ、絶乾状態とし、重量を測定する。本実験において、絶乾重量は201.9gであった。
2) 絶乾状態にしたシリカゲル粒子をトレーに入れ、小型恒温装置内でシリカゲルの初期状態を雰囲気温度70℃、湿度30%に平衡した状態に設定する。適宜トレーを装置から取り出し、重量の確認を行う。
3) 初期状態となったシリカゲル粒子と、PCM（本実験では86.4g）をそれぞれ別々に密閉式の袋に詰め、25℃に設定した小型恒温装置内で冷却し、温度の平衡を確認した後、PCMとシリカゲル（もしくはシリカゲルのみ）を充填槽に充填する。
4) 実験室の温度を25℃、分流式湿度発生装置の設定湿度を70%に設定し、充填槽に通気を行う。
5) 通気中、充填槽内温度分布をK型シース熱電対により、湿度変化を鏡面冷却式露点計により、重量変化を電子天秤によりそれぞれ同時に測定する。
6) 重量の平衡が確認できた時点で通気を終了する。

3. 測定結果

3. 1. シリカゲル平衡含水率測定

各湿度条件において測定された平衡時のシリカゲル重量から式(1)を用いて質量含水率を算出し、相対湿度を横軸にしてプロットした平衡含水率曲線及び4次式の近似曲線をFigure 5に示す。実験から得られた平衡含水率曲線は、A型シリカゲルの特性である低湿域で高い吸湿性を示す傾向が見られた。

$$w = \frac{W - W_0}{W_0} \quad \cdots (1)$$

w : moisture content [g/kgDA]
W : weight of silica gel [g]
W_0 : absolute dry weight of silica gel [g]

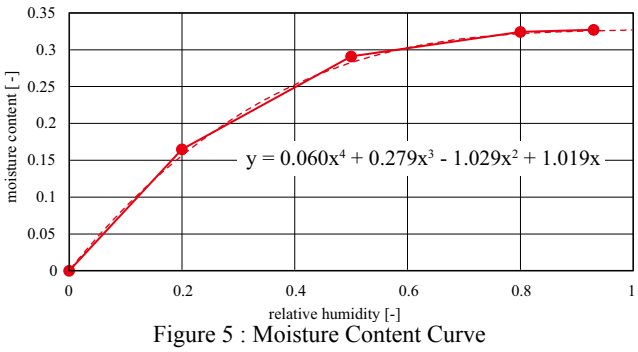


Figure 5 : Moisture Content Curve

3. 2. PCM 相変化温度測定

PCM充填槽の温度分布測定結果をFigure 6,7に示す。流入空気に対して下流側ほど温度変化に遅れが生じており、加熱側の融解開始温度は約31℃、冷却側の凝固開始温度は約35℃と推察される。Table 1に示した公称値と比較しても大きな差はなく、妥当性が確認できる。得られた相変化温度幅は計算シミュレーションに用いる。

3. 3. PCM シリカゲル併用充填槽通気実験

各流量条件でのシリカゲル充填槽内温度分布をFigure 8,9に示す。槽全体の平衡に要した時間は、シリカゲル充填槽、PCMシリカゲル併用充填槽ともに約48時間であった。吸着帯が充填槽の最下流まで到達するのに要

した時間は、シリカゲル充填槽で約 90 分、PCM シリカゲル併用充填槽で約 180 分であった。シリカゲル充填槽では通気開始後約 15 分で流出空気温度が急激に上昇し始めたが、PCM シリカゲル併用充填槽では通気開始後約 30 分ほどで流出空気温度がなだらかに上昇した。また、PCM の併用により流出空気の最高到達温度にして約 2.5℃下がる結果となった。温度分布測定から、PCM の併用により吸着初期の温度上昇を遅らせること、最高到達温度を低下させること、の二点が確認できた。

各条件における吸着量（質量含水率）の時間変化を Figure 10 に、同様のデータを式 (2) に代入し、初期含水率を 0、平衡時の含水率を 1 とした平衡到達率[3] で表したものを Figure 11 に示す。吸着量及び平衡到達率の変化を比較すると、吸着開始直後（約 180 分）はわずかに PCM シリカゲル併用充填槽のほうが勾配が大きくなっている。前述の温度分布と同様に、PCM の併用により吸着開始直後の除湿性能が向上しているといえる。

$$\varphi = \frac{w - w_0}{w_s - w_0} \quad \cdots (2)$$

φ : equilibrium achivement ratio [-]
w : moisture content[-]
w_s : saturation moisture content[-]
w_0 : initial moisture content[-]

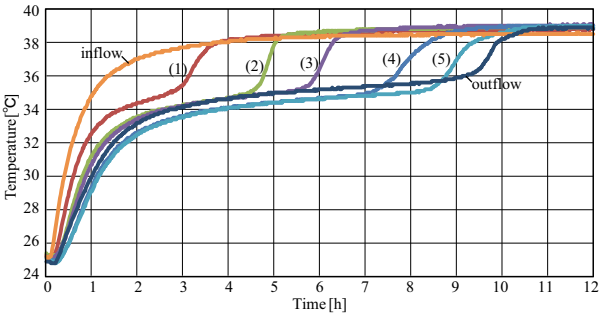


Figure 6 : Air Temperature in PCM Packed Bed (Heating Process)

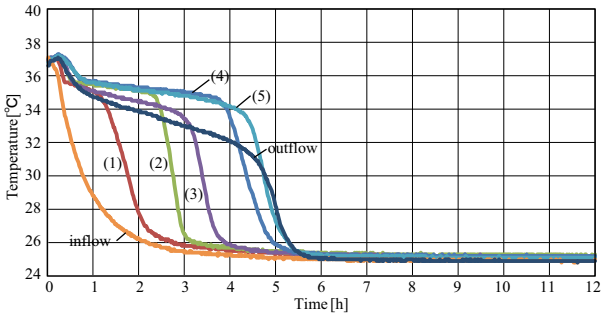


Figure 7 : Air Temperature in PCM Packed Bed (Cooling Process)

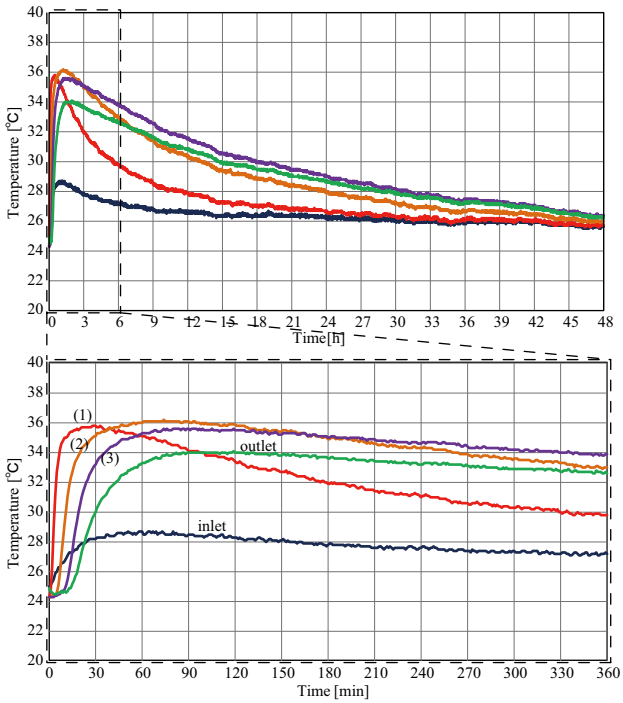


Figure 8 : Temperature Distribution
(Silica Gel, Upper:48h, Lower:6h)

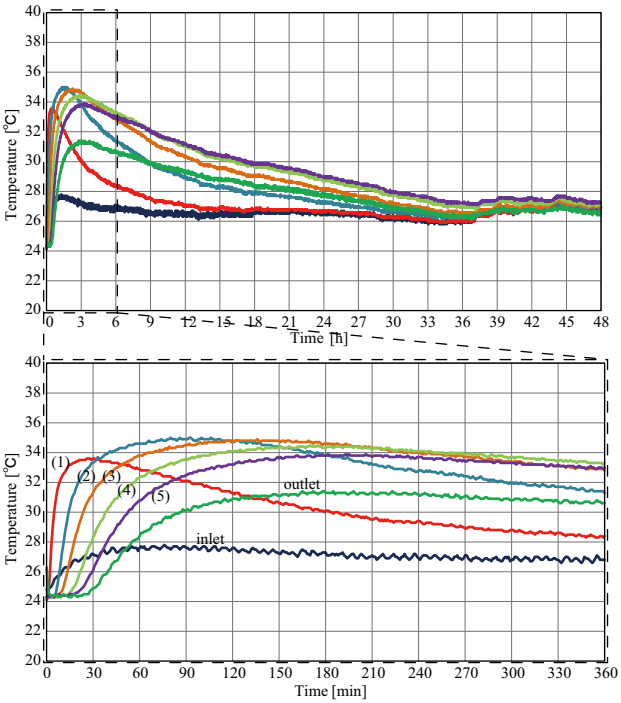


Figure 9 : Temperature Distribution
(PCM & Silica Gel, Upper:48h, Lower:6h)

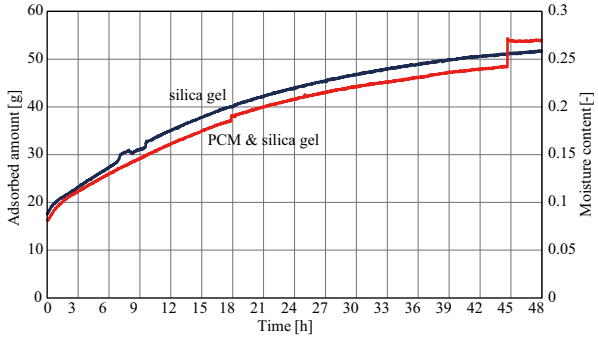


Figure 10 : Adsorbed Amount and Moisture Content

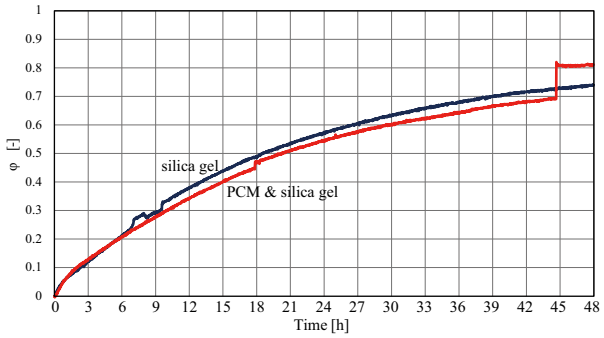


Figure 11 : Equilibrium Achivement Ratio

充填槽出口空気の絶対湿度変化を Figure 12 に示す。いずれの条件においても吸着開始直後に大きく絶対湿度が低下し、その後充填槽内吸着材の細孔内での表面拡散が終了して初期の吸着が終了するのに伴い、急激に絶対湿度が上昇している。最も出口絶対湿度が低い点を比較すると、シリカゲル充填槽で約 7g/kgDA であったのに対し、PCM シリカゲル併用充填槽で約 4.5g/kgDA と、PCM の併用による直接的な除湿性能の向上が確認できた。また、シリカゲル充填槽は約 90 分で急激な出口湿度の上昇が終了し、その後なだらかに絶対湿度が平衡に向かうのに対し、PCM シリカゲル併用充填槽は約 180 分程度まで出口湿度が低い状態を維持した。このことから、PCM の併用により除湿可能時間を長くすることが出来ることがわかる。両条件とも約 36 時間で出口湿度が流入空気湿度と同様の約 14g/kgDA で平衡した。

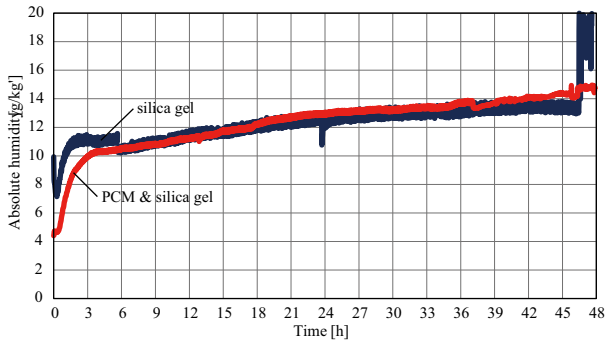


Figure 12 : Humidity Ratio (Outlet)

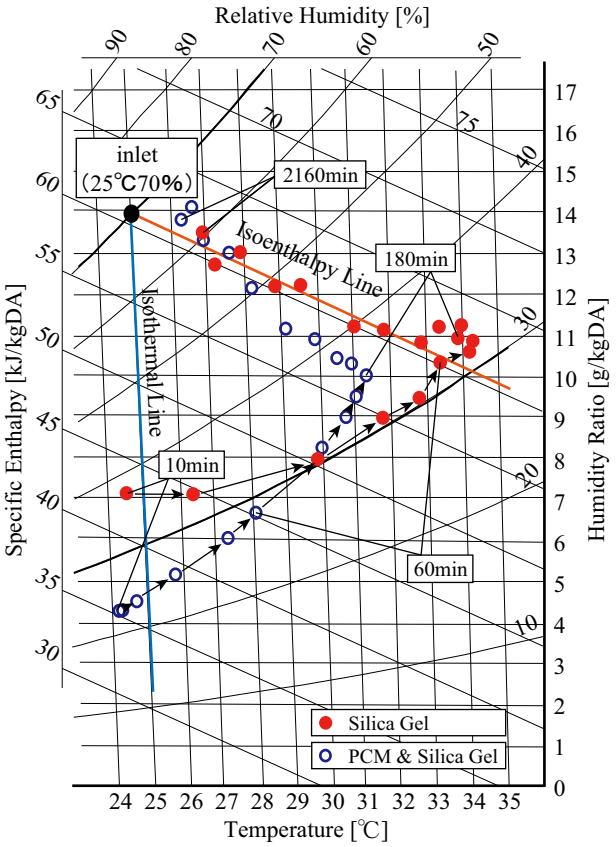


Figure 13 : Psychrometric Chart

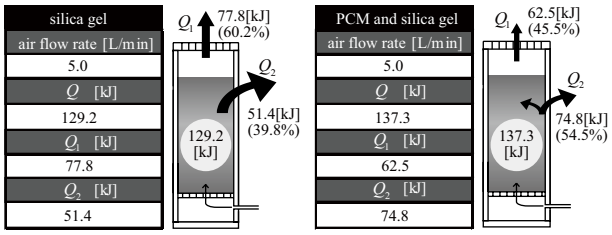


Figure 14 : Heat Loss of Packed Bed

両条件の出口空気温湿度を時間ごとに湿り空気線図にプロットしたものを Figure 13 に示す。両条件とも吸着開始直後に等温で大きく除湿されている。雰囲気空気の湿度が低かったため、両条件とも理想より低湿度であったが、相対的に PCM シリカゲル併用充填槽の方が除湿量が大きくなっている。シリカゲル充填槽の出口空気については、約 3 時間程度まで相対湿度を保ち温度が上昇していく。そこから等エンタルピを保ちながら流入空気の温湿度に近づいていく。PCM シリカゲル併用充填槽の出口空気は、より温度が低い状態で流入空気温湿度に近づいていく。ここから PCM の吸熱効果が見て取れる。

通気実験から得られた吸着量と充填槽入口及び出口温度変化を用いて、式 (3),(4),(5) から求めた充填槽全体の熱損失を、模式図として Figure 14 に示す。シリカゲル充填槽では、吸着により 129.2kJ の吸着熱が発生しており、そのうちの 60.2% にあたる 77.8kJ が充填槽を通過している。PCM シリカゲル併用充填槽では、137.3kJ の吸着熱が発生しており、そのうちの 45.5% にあたる 62.5kJ が充填槽を通過している。PCM の吸熱効果により、充填槽を通過する熱量を低減できることが確認できた。

$$Q_0 = Mq \quad \cdots (3)$$

$$Q_1 = \int_0^{2880} C_p \rho V (T_{in} - T_{out}) dt \quad \cdots (4)$$

$$Q_2 = Q - Q_1 \quad \cdots (5)$$

Q_0 : adsorption heat amount [kJ]
Q_1 : heat amount passing through packed bed [kJ]
Q_2 : heat loss and heat absorption of PCM [kJ]
M : adsorption amount [kg]
q : adsorption heat per unit weight (=2.5MJ/kg)

C_p : specific heat of air (=1005J/(kg・K))
ρ : density of air (=1.165kg/m^3)
V : air flow rate (=0.005m^3/min)
T_{in} : inflow temperature [℃]
T_{out} : outflow temperature [℃]

4. まとめ

本報では、PCM と除湿材を併用した空調方式の提案のため、PCM シリカゲル充填槽性能把握のための通気実験を行った。今後は数値計算シミュレーションによるパラメータの最適化検討が必要である。

【謝辞】
本研究を進めるに当たり、実験に用いた小型恒温装置を貸与いただいた羽原宏美氏（大阪大学大学院工学研究科附属高度人材育成センター助教）に深く感謝いたします。
また、本研究中の実験に用いた潜熱蓄熱材は JSR 株式会社より御提供いただいた。記して感謝いたします。

【参考文献】

1) 財団法人ヒートポンプ･蓄熱センター:デシカント空調システム, 日本工業出版, 2006
2) 日本建築学会環境基準 AIJES-H001-2006：湿気物性に関する測定基準・同解説 , p.2, 2006
3) 義江龍一郎他：ロータ式デシカント空調機の除湿性能予測を目的とした数値シミュレーション手法の開発 , 日本建築学会環境系論文集 , Vol 78, No.686, pp.341-349, 2013.4

粒状保水性材料の蒸発特性に及ぼす粒子内部および粒子間空隙構造の影響

Influence of the cavity structure between the particle inside that gives it to evaporation properties of granular water-holding materials and the particle

○安 井 頼 一（大阪府立大学） 木 下 進 一（大阪府立大学） 吉 田 篤 正（大阪府立大学）

Yorikazu YASUI[*1] Atsumasa YOSHIDA[*1] Shinichi KINOSHITA[*1]

[*1] Osaka Prefecture University

The water retentive pavement by porous materials is proposed as one of the mitigation measures for urban heat island. For the deterioration of evaporation performance of the materials in the drying process, performance improvement by means of granular porous media is considered. The effect of internal pore structure and particle size related to the inter-particle void structure on the evaporation performance of granular water retentive material are experimentally evaluated by drying tests with thermostat and wind channel.

1. 緒言

近年，日本各地の都市部において建物や道路への蓄熱や人工排熱の増加によってヒートアイランド現象が顕著になっている．この緩和策の１つとして，多孔質の保水性材料を舗装し，その内部水分の蒸発を利用して，気温上昇に関わる大気への顕熱輸送を抑えることが狙いである．舗装材として利用される保水性材料はブロック形状であるが，蒸発が進むにつれその速度が低下する問題がある．この蒸発性能を改善するために，材料を粒状化し，直接外気に触れる面積を増加させ，水分利用効率を向上させることが考えられている．本研究では粒状多孔質の蒸発性能を高めていくため，粒状多孔質の蒸発特性に影響する因子を調査し，さらに評価していく必要がある．

本研究では粒径や粒子内の空隙構造の異なる粒状多孔質を対象として，その熱・水分移動特性を実験的に評価する．風速，温度，湿度が制御できる小型風洞を用いて，異なる構造を持った試料に対する蒸発特性を評価した．

2. 試料および熱・水分移動特性評価

内部構造を制御した多孔質試料を次のとおり作成した．白信楽粘土に粒径100μｍと粒径6μｍの活性炭を空隙構造だけを変化させるために重量比で 10:1 にて配合し，φ15 や直径，高さ３mm の大きさで成形する．また，ブロック状や円盤状の試料も作成し，各物性値を測定する実験に使用する．測定する項目は乾燥という現象に関係する，透水係数，湿気伝導率，熱伝導率，比熱，の４つであり，透水係数は変水位透水試験 [1]，湿気伝導率はカップ法 [2]，熱伝導率は非定常熱線法 [3]，比熱は熱湯の中に試料を投入しその温度低下から測定する．

測定の結果を表１に示す．また，熱伝導率の各試料における含水率依存性の結果を図１に示す．熱伝導率の含水率依存性や湿気伝導率，比熱，に大きな差異は認められず，透水係数においては粒径 100μm 活性炭を配合した試料の方が大きい値を示した．

Table.1 Physical properties of porous media samples

Carbon particle size [μm]	Specific heat [kJ/(kg･K)]	Moisture conductivity [$\times 10^{-10}$m/s]	Permeability [$\times 10^{-9}$m/s]	Thermal conductivity (Dry condition) [W/(m･K)]
100	1.45	7.06	3.49	0.260
6	1.94	7.04	2.53	0.244

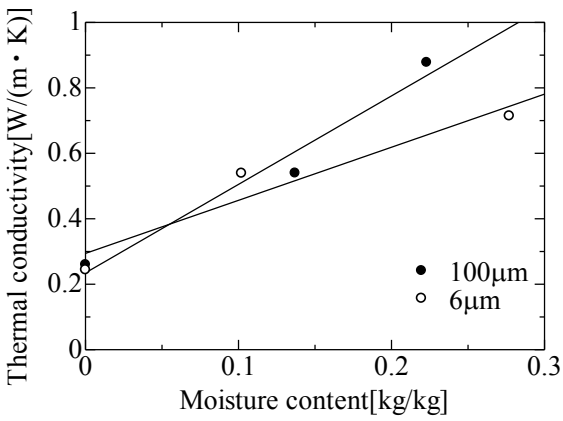


Fig.1 Moisture dependence of thermal conductivity

3.　風洞を用いた乾燥実験

風速が一定の条件で乾燥実験を行い，粒径および空隙の違いによる蒸発性能への影響を評価する．蒸発性能は乾燥速度，含水量，表面温度および内部温度の時間変化を測定することにより評価した．

3.1　測定方法

測定装置の概略を図 2 に示す．右側からヒーターダクト，ノズル，テストセクション，吸い込みファンである．風洞は下流側に設置された誘引式である．主流部の流路断面は 180×80mm の長方形で，二つの吸い込みファンにより風速を 2～4[m/s]の範囲で調節することができる．乾燥室の出入口の相対湿度を測定し，試料の温度変化をK型熱電対，重量変化はロードセルを用いた天秤で測定をし，乾燥速度を求める．ヒータ部では抵抗が 60Ω の抵抗線を用いて熱源を作成している．ヒータにより空気温度を，超音波霧化ユニットによるミストをダクト入口より吹き込むことで湿度を調節する．断熱のために試料底面に厚さ 30mm，試料側面部に 20mm の発泡スチロールを貼り付けた．測定試料は図 3 に示す．測定試料は直径 15mm の球状試料と，直径・高さ 3mm の円柱状試料を作成し，球状試料については，100μm 活性炭配合，6μm 活性炭配合，活性炭配合なしの 3 種類作成した．円柱状試料は 100μm 活性炭配合の 1 種類作成した．それぞれ試料 a，b，d，c とする．

測定条件は温度 25℃，相対湿度 30%，風速 2m/s の条件を基本とし，湿度または風速を増した状態でも測定を行う．深さ方向の温度を測定するために，K 型熱電対を表面から 45mm まで 7.5mm 間隔に 5 ヶ所設置した．また，充填層底部において流出・流入する熱流束を熱流板にて測定する．初期において試料充填層内部の温度が均一になるまで，容器上部をラップで覆い，テストセクション入口が所定の温度湿度になるようにヒータ電圧，ミスト発生量を調整し定常になるまで約 6 時間放置した．温度が定常になった時点でラップを除去した．各データはデータロガーで測定を行い，測定間隔は 5 秒とした．

3.2　測定結果

試料 a から d の充填層内部温度の推移をそれぞれ図 4 から 7 に示す．

活性炭粒径配合の異なる試料 a，b を比較すると，試料 b の方が初期で温度変動の小さい定率乾燥期間が長く，乾燥終了までに長い時間を要しているのが分かる．試料粒径の異なる試料 a，c を比較すると，試料 c の方が定率乾燥が長く，試料 a と比べて乾燥に倍近い時間を要している．これらのことから，試料内部の空隙構造や試料と試料の隙間にできる空隙構造がより細かいほど，定率乾燥や乾燥が完了するまで長くなることが分かる．これは 100μm 活性炭配合粒径 15mm の試料 a と活性炭なし粒径 15mm 試料 d の比較からも同じことが言える．

次に測定条件で湿度を 30%から 50%まで上昇させた場合の結果について，100μm 活性炭配合粒径 15mm 試料 a と活性炭なし粒径 15mm 試料 d の内部温度推移を図 8，9 に示す．また，風速を 2m/s から 4m/s に増加させた場合の 100μm 活性炭配合粒径 15mm 試料 a と活性炭なし粒径 15mm 試料 d の内部温度推移を図 10，11 に示す．各条件で試料 a と試料 d の内部温度推移の比較を行うと，増加させない場合と同じ傾向が見て取れる．このことから，上記の内部構造と乾燥終了までの長さの関係は湿度や風速に依存しない傾向であることが確認できた．

次に含水量についての比較を行う．100μm 活性炭配合と 6μm 活性炭配合粒径 15mm 試料 b と活性炭なし粒径 15mm 試料 d の乾燥実験含水量推移を図 12 に示す．

試料 a，b，d の初期含水率はそれぞれ 0.3，0.34，0.19 である．含水量のグラフの傾き，つまり乾燥速度は三種類の試料全てほぼ同じである．しかし 6μm 活性炭配合試料の方が長く乾燥し，含水量も 100μm 活性炭配合より低い値になるまで乾燥している．この結果から，空隙構造は乾燥速度に影響を及ぼさないが，最終的な含水率には及ぼし，その値は空隙構造がより微細である方が小さくなる．

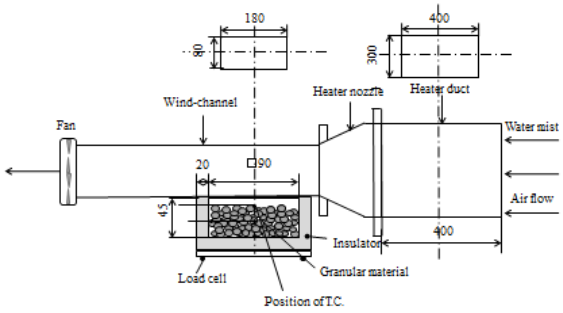


Fig.2　Direct picture of wind channel duct

(a) 100μm φ15　　(b) 6μm φ15

(c) 100μm φ3　　(d) Non-carbon　φ15

Fig.3　Porous clay ball samples

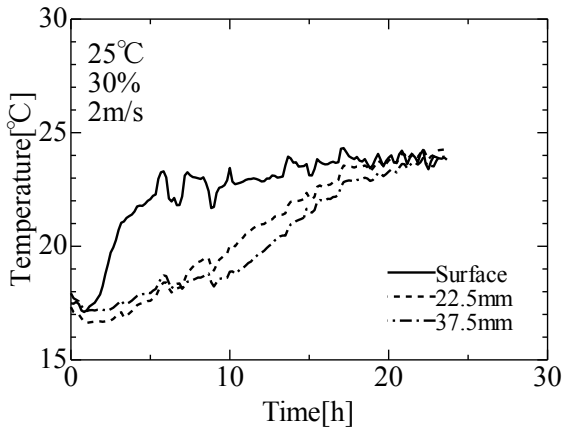


Fig.4 100μm carbon mixed sample (a) temperature transition

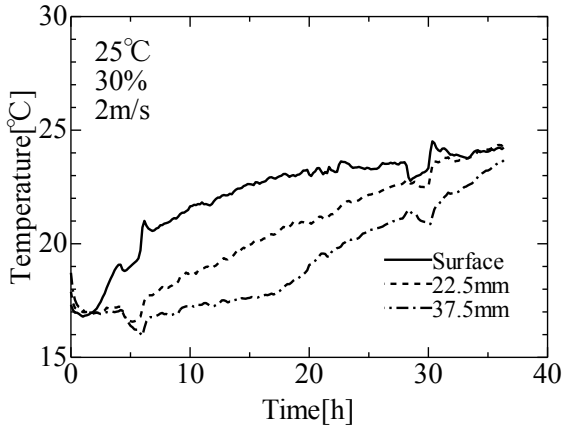


Fig.5 6μm carbon mixed sample (b) temperature transition

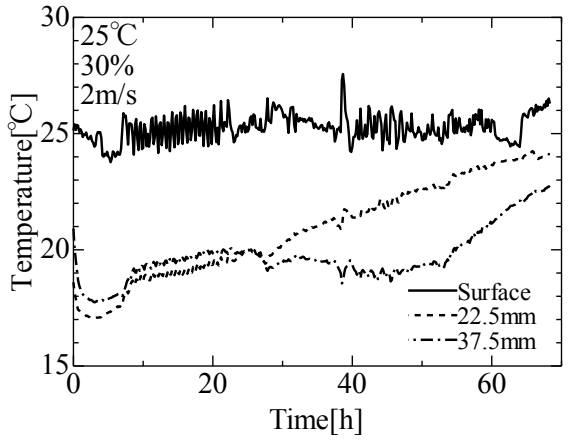


Fig.6 100μm carbon mixed ϕ3 sample (c) temperature transition

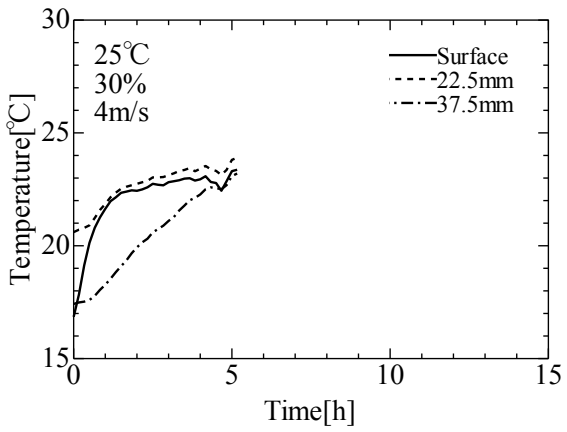


Fig.7 Non-carbon sample temperature transition

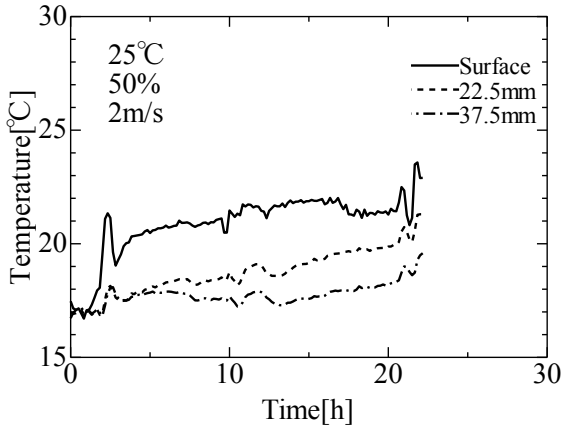


Fig.8 100μm carbon mixed sample (a) temperature transition in higher humidity

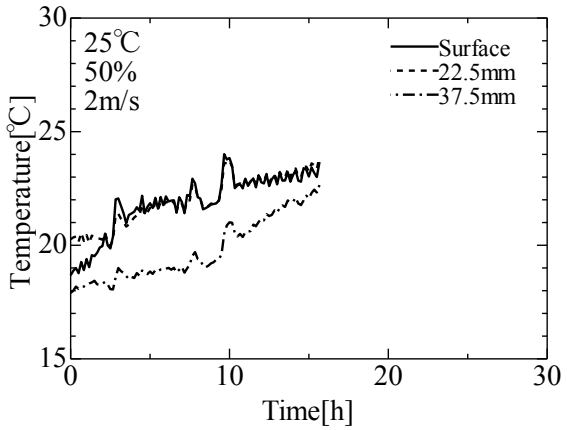


Fig.9 Non-carbon sample (d) temperature transition in higher humidity

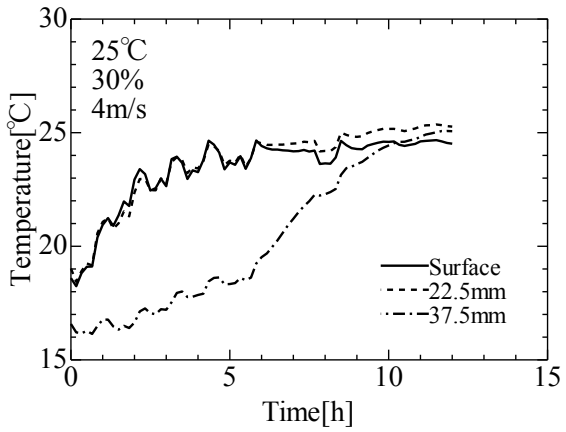


Fig.10　100μm carbon mixed sample (a) temperature transition in higher wind speed

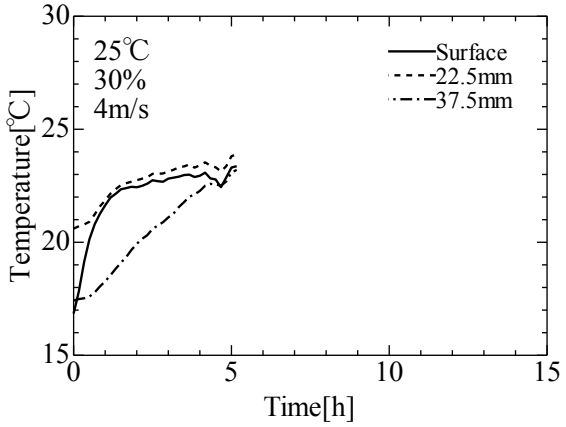


Fig.11　No carbon sample (d) temperature transition in higher wind speed

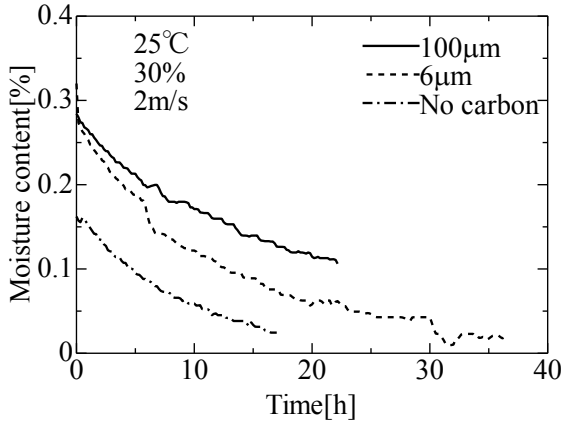


Fig.12　Moisture content transition

4.　結言

風洞を用いた乾燥実験を行い，以下の知見を得た．

・一定の風速が流れている条件で，内部空隙構造がより細かい方が乾燥期間は長く，材料内部の水分を十分に利用できる．一方で乾燥速度はほぼ同じであり，内部空隙構造が荒い方が透水係数が高いということは，乾燥速度に影響を及ぼさないことが分かった．

・粒径や内部空隙構造を操作し，空隙構造が細かくなった場合，定率乾燥期間や乾燥終了までの期間が長くなる．これは表面積が増えたことに起因すると考えられる．

謝辞

本研究は JSPS 科研費（平成 26 年度基盤研究(B)，14503212，研究代表　吉田篤正）の助成を受けたものである．

参考文献

1) JIS A 1218:2009 土の透水試験方法 .
2) JIS A 1324:1995 建築材料の透湿性測定方法.
3) JIS R 2616:2001 耐火断熱れんがの熱伝導率の試験方法.

未舗装街路を有する街区の夏季における温熱環境の予測

Simulation of thermal environment in districts with unpaved alleys during summer

○野口　裕一郎（大阪市立大学）　　梅宮　典子（大阪市立大学）
小林　知広（大阪市立大学）
Yuichiro NOGUCHI*[1]　Noriko UMEMIYA*[1]　Tomohiro KOBAYASHI*[1]
*[1]Osaka City University

To ascertain unpaved alley effects on heat island mitigation, a survey was administered in Osaka during summer 2012. In this study, using CFD, the predicted values of temperature were compared. Furthermore, the temperature distribution and SET* distribution were analyzed. Major findings are presented below. 1) For the directions of unpaved alleys that parallel the wind direction, the mitigation is greater than when they cross the wind direction. 2) In the case of high wind speed, SET* is mitigated up to 0.6 K, but temperature is not mitigated. 3) In case of rainfall, temperature is mitigated up to 0.3 K; SET* is mitigated up to 0.4 K.

1. はじめに

舗装材による熱環境改善に関する実験的研究として,赤川ら [1]は湿潤舗装と遮熱舗装の熱環境改善効果を比較し,地上高さ 50cm における SET*は遮熱舗装が湿潤舗装よりも最大で 2.5～3.0K 高いことを示し,重田ら [2]は現場の保水性舗装面とアスファルト面を比較評価し,散水を行った場合の地表面温度は,保水性舗装面の方が低温に保たれる傾向があり,効果は夜間において明瞭であると示している。しかし,未舗装街路を有する街区の温熱環境を街区規模で検討した例は少ない。

大阪市阿倍野区に大正 15 年に建設された北畠住宅(南北 200m,東西 100m)は,下見板張りの木造住宅の当初の状態が比較的よく維持されており,南北方向を通る道路は住民の意向もあり現在も舗装されずに残されている。

本報では,北畠住宅において街路の温熱環境の実測 [3]を行った結果を基に,CFD 解析を用いたシミュレーションを行い,未舗装街路の暑熱環境緩和効果について分析したので報告する。

2. シミュレーション概要

2.1　実測調査

図 1 に示す未舗装街路を有する街区で温熱環境の実測を行った。測定は 2012 年 7 月 24～25 日 16:00～6:00,8 月 23～24 日 16:00～6:00,9 月 13～14 日 16:00～7:00 に実施した。その結果をもとに,シミュレーションは夏季晴天日で雲も少なく最も気候が安定していた 9 月 13 日の 16:00～9 月 14 日 4:00 を対象とする。

2.2　数値計算概要

(1)　計算領域と格子間隔

図 2 に示す対象領域において,CFD 解析による数値計算を行う。建物高さは階数に基づき,1 階高さを 3m として算出する。詳細解析領域を含む長方形領域(1556m×785m)を計算対象領域とする。水平方向の格子間隔については,詳細解析領域(117m×167m)を 0.5m,解析領域(778m×392m)を 2m,さらに外側は徐々に広がる不均等間隔とする。鉛直方向の格子間隔については,詳細解析領域内では最高建物高さまでを 0.5m,解析領域内では最高建物高さまでを 1.0m,さらに外側は徐々に広がる不均等間隔とする。

(2)　計算条件

乱流モデルには標準 k-ε モデルを用い,定常解析を行う。対象地区から南へ約 3.5km,西へ約 0.5km に位置する大学キャンパス屋上の気象観測所の観測値を上空風とみなし,風速計高さ 11m を流入条件(1/5 べき乗則)とする。流出条件は自然流入流出条件,上空境界と

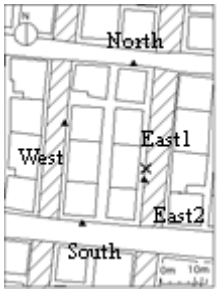


Fig.1 Measurement Point

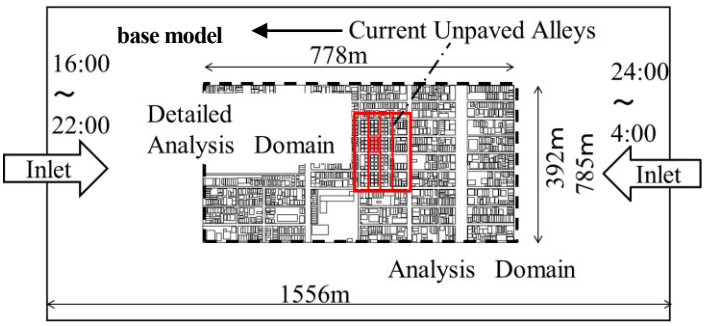


Fig.2　CFD Calculation Domain

側面境界を free-slip 条件,地面境界を一般化対数則,また,壁面,路面は表面温度測定値を設定する。

2.3　実測調査結果と予測値の比較（図 3, 図 4）

予測値の精度検証のため,気温,風速の実測値との比較を行う。なお,22 時の予測値は上空風の風向が西から東に変わる不安定な時間帯で解が収束しなかったため,除外する。精度検証は図 1 における測定位置と同位置で、気温は時刻補正後の東 1,南,西,北で比較し,風速は移動観測による時間差があることから東 1 においてのみ比較する。気温では,実測調査での気温センサー(熱電対)の精度の±0.5℃の範囲に近い 18:00、20:00、0:00 において,どの測定位置でも予測値と実測値が概ね一致している。風速では,18:00,0:00,2:00,4:00 において,予測値と実測値が概ね一致している。後述の温熱環境を SET*で評価する際には気温と風速の精度が良いことが必要であるため,以降のケーススタディでは 18:00 と 0:00 を対象に行う。精度検証を行った 18:00 と 20:00 を base モデルとする。

2.4　ケーススタディのモデル概要（図 5～7）

片側 2 車線計 4 車線の街路を除き、街路の方向の違いで、未舗装化のパターンを変更し, base モデルとの比較分析を行う。

case1:主風向と直交する街路を未舗装とする場合
case2:主風向と平行な街路を未舗装とする場合
case3:case1 と case2 を合わせた場合

さらに,これらの 3 ケースの舗装パターンで,風速が大きい場合と降雨後の場合についても分析する。

v_case:3 年間の 9 月の風速の上位 5%値
r_case:降雨後に未舗装と舗路の路面温度差が最大

風速が大きい場合とは、特異な気象は除くため、大阪管区気象台により暴風警報が発令された時間帯を除き,2012 年～2014 年の 3 年分の上空風のデータを用い,上位 5 パーセンタイル値,18:00 は西風で 3.0m/s、0:00 は東風で 2.9m/s とする。ここでは,base に代わり,風速値変更後の v_base との比較を行う。降雨後の場合とは,実測調査に基づき,2012 年 8 月 23 日 20:00 の降雨後,3:00 に未舗装と舗装の間で最大となった路面温度差 3.8K を適用する。シミュレーションでは時間帯が近い 0:00 において評価を行う。

3. シミュレーション結果

気温と SET*によって,シミュレーションの結果を考察する。SET*は、建物表面や路面の輻射率を 0.90 と設定し,モンテカルロ法により形態係数を求め,各面間の反射吸収を考慮して算出した MRT を用いて,計算する。

3.1　base（図 8, 図 9）

18:00：気温,SET*においてモデル全体の空間平均値はそれぞれ 29.6℃,27.2℃であり,路面温度の高い駐車場で高い傾向が見られる。**0:00**：気温,SET*においてモデル全体の空間平均値はそれぞれ 27.4℃,25.4℃であり,空間分布の差は、18:00 ほどは見られない。

3.2　case1（図 10）

18:00：case1 は base モデルに比べて,気温は最大で 1.0K(base:30.7℃,case1:29.7℃）低下し,モデル全体の空間平均では変化はない(base:29.6℃,case1:29.6℃)。

case1 は base に比べて,SET* は最大で 3.4K(base:30.7℃,case1:27.3℃)低下し、モデル全体の空

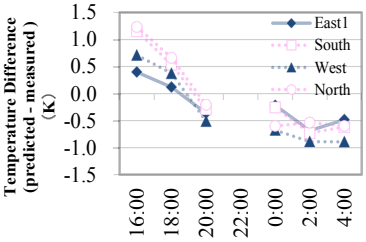


Fig.3 Temperature Difference

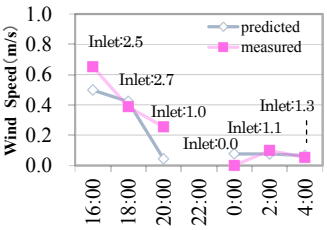


Fig.4 Accuracy Verification(WS)

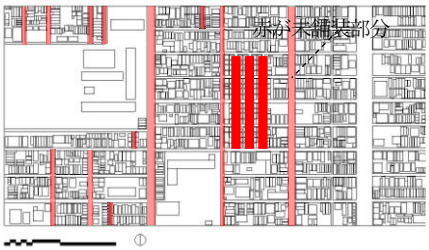


Fig.5　case1

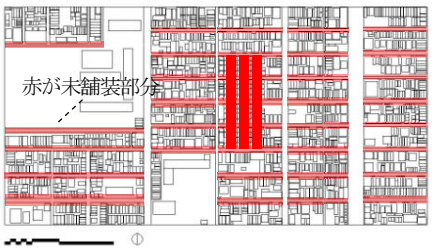


Fig.6　case2

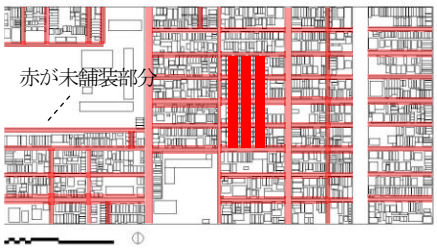


Fig.7　case3

Fig.8　base model:temperature distribution(18:00)

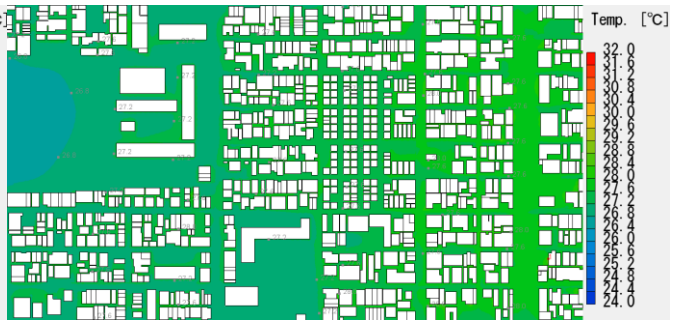


Fig.9 base model:temperature distribution(0:00)

間平均では変化はない(base:27.2℃,case1:27.2℃)。気温の差が最大となる地点は図の(A)点である。**0:00**：case1は base に比べて，気温は最大で0.9K(base:28.2℃,case1:27.3℃）低下し,モデル全体の空間平均では0.1K(base:27.4℃,case1:27.3℃）,低下している。case1 は base に比べて、SET*は最大で2.2K(base:27.7℃,case1:25.5℃）低下し,モデル全体の空間平均では0.1K(base:25.5℃,case1:25.4℃）,低下している。気温の差が最大となる地点は図の(B)点である。

3.3　case2（図11）

18:00：case2 は base に比べて、気温は最大で1.4K(base:30.6℃,case2:29.2℃）低下し,モデル全体の空間平均では0.1K(base:29.6℃,case2:29.5℃）,低下している。case2 は base に比べて,SET*は最大で3.8K(base:30.6℃,case2:26.8℃）低下し,モデル全体の空間平均では変化はない(base:27.2℃,case2:27.2℃)。気温において差が最大となる地点は図の(C)点である。

0:00：case2 は base に比べて、気温は最大で1.0K(base:27.9℃,case2:26.9℃）低下し,モデル全体の空間平均では0.1K(base:27.4℃,case2:27.3℃）,低下している。case2 は base に比べて,SET*は最大で2.3K(base:27.3℃,case2:25.0℃）低下し,モデル全体の平均では0.2K(base:25.5℃,case2:25.3℃）,低下している。気温において差が最大となる地点は図の(D)点である。

3.4　case3（図12）

18:00:case3 は base に比べて,気温は最大で1.4K(base:30.6℃,case3:29.2℃）低下し,モデル全体の平均では0.1K(base:29.6℃,case3:29.5℃）,低下している。case3 は base に比べて,SET*は最大で3.9K(base:30.6℃,case3:26.7℃）低下し,モデル全体の平均では0.1K(base:27.2℃,case3:27.1℃),低下している。気温において差が最大となる地点は図の(E)点である。

0:00：case3 は base に比べて、気温は最大で1.0K(base:27.4℃,case3:27.3℃）低下し,モデル全体の平均では0.1K(base:27.4℃,case3:27.3℃）,低下している。case3 は base に比べて,SET*は最大で2.3K 低下し,モデル全体の平均では0.2K(base:25.5℃,case3:25.3℃）,低下している。気温において差が最大となる地点は図の(F)点である。

空間平均値ではどのケースの差はほとんどないが,差

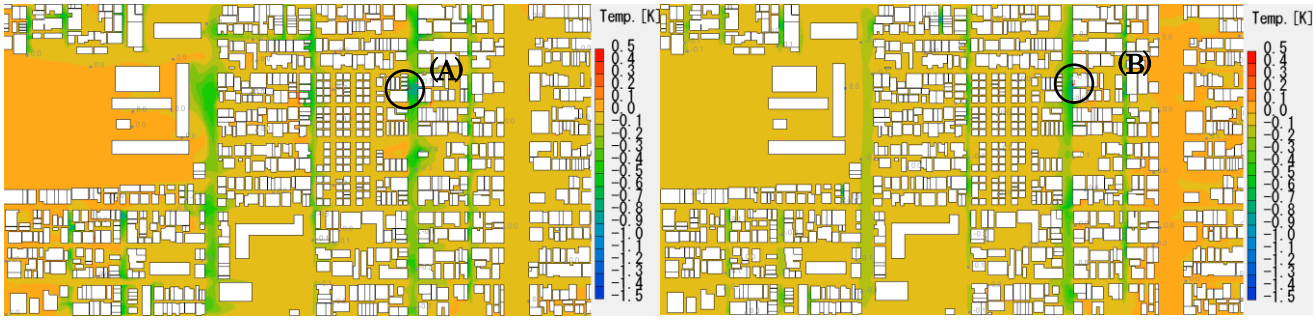


Fig.10　Temperature Difference(=case1－base）(left:18:00　right:0:00)

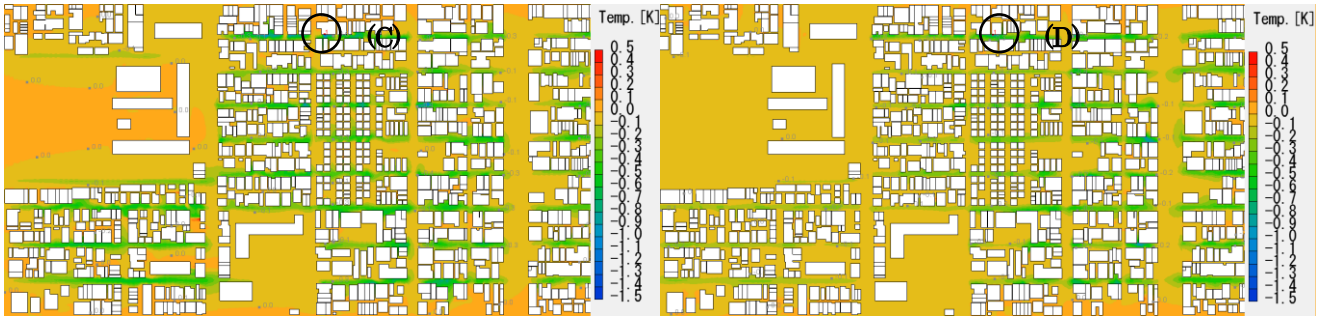


Fig.11 Temperature Difference(=case2－base）(left:18:00　right:0:00)

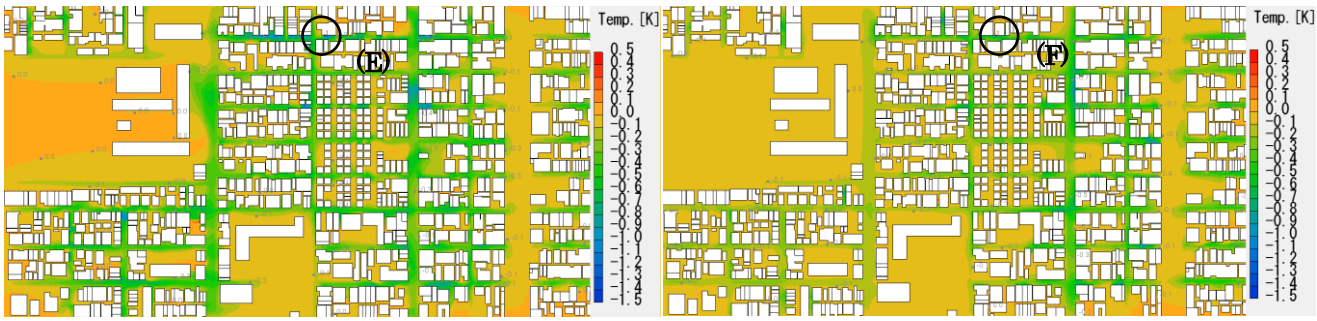


Fig.12　Temperature Difference(=case3－base）(left:18:00　right:0:00)

が最大となる地点では,case1 よりも case2 の方が効果が大きく,case2 と case3 は同地点で効果は同程度である。

3.5　未舗装面積増加率と全ケースの比較（図 15～17）

全ケースと base との空間平均値の差と差が最大となる地点を未舗装面積増加率（=未舗装街路面積/モデル範囲の全街路面積）とともに評価する。base に比べ,case1 は 31.0%,case2 は 44.5%,case3 は 75.5%増加する。

気温：18:00 において,空間平均値ではどのケースも差が見られない。差が最大となる地点では case3 の方が case2 より未舗装面積増加率が大きいが,効果は case2 と同程度である。風速が大きい場合についても同様である。0:00 において,18:00 と同様,差が最大となる地点では case3 の方が case2 より未舗装面積増加率が大きいが,効果は case2 と同程度である。風速が大きくても気温差は大きくならないが,降雨の影響では r_case2 および r_case3 と base の間では最大 0.3K 差が大きくなる。

SET*： 18:00 において,空間平均値ではどのケースも差が見られない。風速が大きくても,各ケースでほとんど差が見られないのは,上空風の風速の変化が小さいからである(base:2.7m/s,v_base:3.0m/s)。0:00 において,風速が大きい場合(図 13:base→図 14:v_base へは主風向と平行な街路やオープンスペースで風速が大きくなる),未舗装面積が大きいほど,差が大きくなり,v_case3 と v_base の間では最大 2.9K 差が大きくなり,降雨の影響では最大 0.4K 差が大きくなる。さらに,降雨があり,風速が大きい場合(base:1.5m/s,v_base:2.9m/s) ,未舗装面積が大きいほど,差が大きくなり,v_r_case3 と v_base の間では最大 3.2K 差が大きくなる。気温では風速が大きくても,気温の低下は見られなかったが,降雨があった場合には,気温の低下が見られた。SET*では,降雨と風速の影響で各ケースに低下が見られ,未舗装の面積が大きいほど,差が最大となる地点では,風速の影響を強く受け,低下効果が大きくなる。

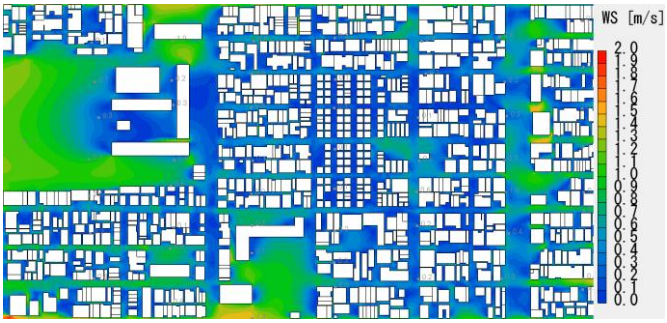


Fig.13　Wind Distribution（base：0:00）

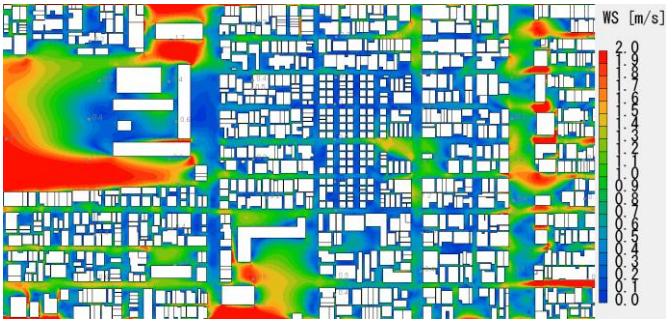


Fig.14　Wind Distribution（v_base：0:00）

4. まとめ

未舗装街路を有する街区のある大阪市北畠住宅を対象として,CFD を用いたシミュレーションによる街路の未舗装パターンのケースに関するケーススタディを行い,さらに,風速および降雨を考慮したケースによる暑熱環境緩和効果も定量的に明らかにした。1)どのケースも気温,SET*分布の空間平均値には差がない,2)差が最大となる地点での熱環境は,主風向と直行する街路を未舗装化するよりも,主風向と平行な街路を未舗装化する方が効果がある。3) case3 の方が case2 より未舗装面積増加率が大きいが,風速が大きい場合を除けば,効果は case2 と同程度である。4)風速が大きい場合には,気温は変化しないが,SET*は未舗装面積が大きいほど効果があり,最大 0.6K 低下する。5)降雨があった場合,気温は最大 0.3K 低下し,SET*は最大 0.4K 低下する。

参考文献

1)赤川ほか：湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善に関する実験的研究，建・論文集，623，85-91，2008 年 2)重田ほか：埼玉県熊谷市の駅前通りに施工された保水性舗装の熱的性能評価，日生気誌，49(3)，2012 年 3) 野口ほか：夏季における未舗装街路の温熱環境の実測，空衛･近畿支部，257-260，2013 年

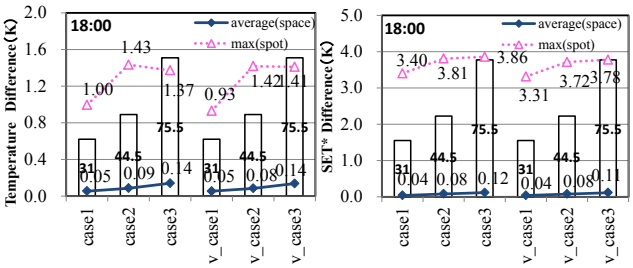


Fig.15　Temperature Difference and SET* Difference（18:00）

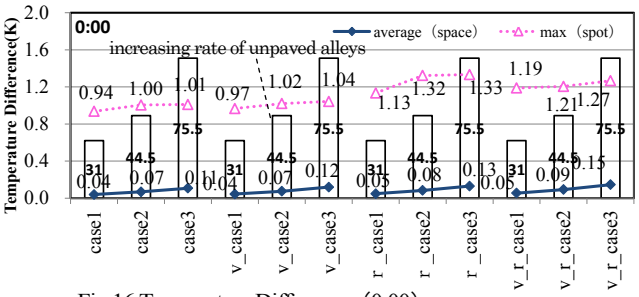


Fig.16 Temperature Difference（0:00）

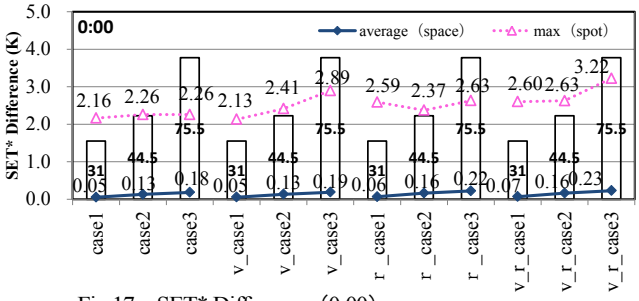


Fig.17　SET* Difference（0:00）

大阪地域における夏季夜間の海陸風が気温に及ぼす影響
Influence of Sea-Land Breezes on Air Temperature in Summer Nights in Osaka Area

○肖　新 博（大阪府立大学）　安 田　龍 介（大阪府立大学）　吉 田　篤 正（大阪府立大学）
Xinbo XIAO*[1]　Ryusuke YASUDA*[1]　Atsumasa YOSHIDA*[1]
*[1] Osaka Prefecture University

Heat island effects on land breezes and temperature at night in Osaka area was investigated ~~by~~ using observational data and a numerical model. The observational data analysis using the AMeDAS data in July and August from 1988 to 2010 showed that the air temperature increased over the years, and the difference of air temperature between Osaka and neighboring area of Osaka decreased. The vector mean wind speed in nighttime (1-5 h) also reduced in the period and the alternation from sea breezes to land breezes gets late in Osaka. The numerical simulations were executed by a numerical model using the land use data in 1987, 1997 and 2009. The results show that the land use change makes the arrival time of land breezes in Osaka central area to delay 30 min-1 hour, and the mean wind speed of land breeze between Osaka and Hirakata to be small.

1.はじめに

都市化の発展に伴い生じるヒートアイランド現象は，気温の上昇や熱帯夜の増加によって生活上の不快さを増加させる．近年は，人の健康への影響も顕著となっており，健康で快適な都市づくりの観点から早急な対策が必要である．大阪市は平成 23 年に「風の道」ビジョン [1] を策定した．この中では，大阪湾から吹き込む海風が本来持つ気温の低減効果を最大限発揮させるために，街の風通しを良くすることや，涼しい風を保つための緑化の推進など，長期的なまちづくりの視点に立った方策がまとめられている．大阪地域における海風に関しては，これまで多くの調査・研究がなされているが，夜間の風に関する研究はこれに比べ少ない．大阪では夜間に陸域で気温が下がらないため，陸風が吹きにくくなっている傾向にある [2] ことが指摘されている．

以上を踏まえ，本研究では大阪地域のヒートアイランドと夜間の海陸風循環の関係に注目し，観測データを用いて近年における夜間の風系および気温の経年変化を調べた．さらに，大阪近郊の土地利用の変化がこれらに及ぼした影響について，数値モデルを用いた解析に基づき検証を行った．

2. 観測データに基づく夜間の海陸風および気温の経年変化の解析

2.1 解析方法

ヒートアイランドが夜間の海陸風および気温にどのような影響を与えているのか，大阪府内の気象データを用いて風向風速と気温の経年変化を調べた．対象期間は 1988-2010 年の 7, 8 月とした．まず大阪管区気象台において日積算日射量が 18 MJ/m^2/日以上，かつ，日降水量が 0.5 mm 以下で，日平均雲量が 6 未満の日を晴天日として抽出した．次に，その中から，9～13 時の間に風向が東寄り(N～S；時計回り)から西寄り(SSW～NNW；同上)に変化し，かつ，14～18 時で風向の 8 割以上が西寄りの日を海陸風日として抽出し，この日のデータを用いて解析を行った．解析にあたっては, 1988 年から 2010 年までを 5 年毎（2008-2010 年は 3 年間）に区切り，各期間について時刻別の平均風ベクトルと平均気温を求めた．

2.2 夜間の風速の経年変化

大阪平野中心部における主な海陸風の経路は淀川沿いであることから，この方向に沿った都心部の大阪と内陸部の枚方の 2 箇所を代表点とした．ベクトル平均風速の経年変化を図 1 に示す.大阪と枚方のベクトル平均風速は経年的に小さくなる傾向がある.

2.3 陸風の開始終了時刻の経年変化

平均風ベクトルの風向変化より，陸風の開始・終了時刻を調べた．各期間における大阪と枚方の変化を表 1 に示す．大阪における陸風の開始時刻は 1988-1992 年から経年的に遅くなっており，2003-2007 年では 3 時間ほど遅くなっている.大阪と比べて枚方の変化は顕著ではない.

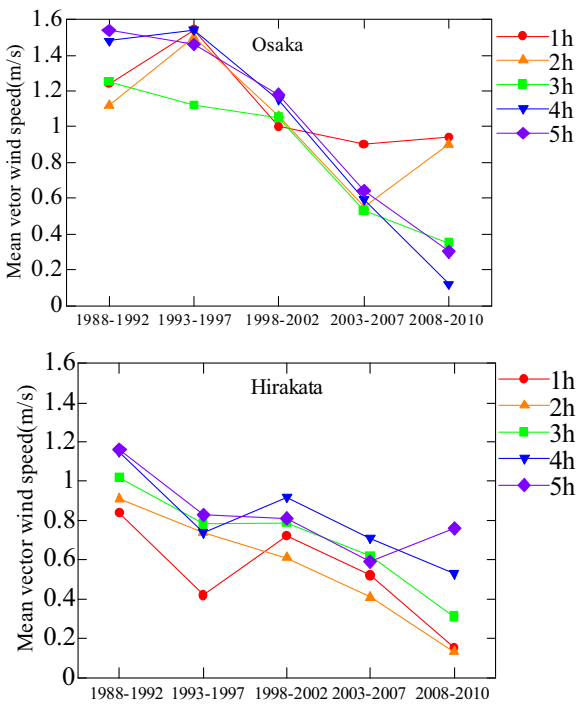


Fig.1 Change of vector mean wind speed over the years

Table 1 The start and end time of land breezes at Osaka and Hirakata

	Term	1988-92	1993-97	1998-02	2003-07
Osaka	Start time	24	2	1	3
	End time	10	10	9	9
Hirakata	Start time	23	23	23	24
	End time	10	10	10	10

2.4 夜間の気温の経年変化

大阪府下の主なアメダス観測点における夜間（ 1-5 時と 18-24 時）と日中（6-17 時）の平均気温の経年変化を図 2 に示す．解析期間内において，大阪地域の観測点の気温は全体的に経年上昇の傾向を示している．大阪アメダスの気温は他の地点より概ね高いが，日中に比べ夜間の気温差が大きいのはヒートアイランドが夜間に顕著であることを示している．

図 3 は，枚方・豊中・堺の各観測点における大阪との夜間の気温差の経年変化を示したものである．大阪とこれらの地点との夜間の気温差はいずれも経年的に縮小する傾向が認められる．ただし，各期間における縮小の度合いは地点により異なっている．これは周辺部の各地点では，この期間にそれぞれ独自の経過で都市化に伴うヒートアイランドが進行しており，一方，都心部の大阪では都市化が既に飽和して変化が小さいため，両者の差が小さくなったことを示していると考えられる．

2.5 まとめ

解析期間において，枚方における陸風の開始時刻はあ

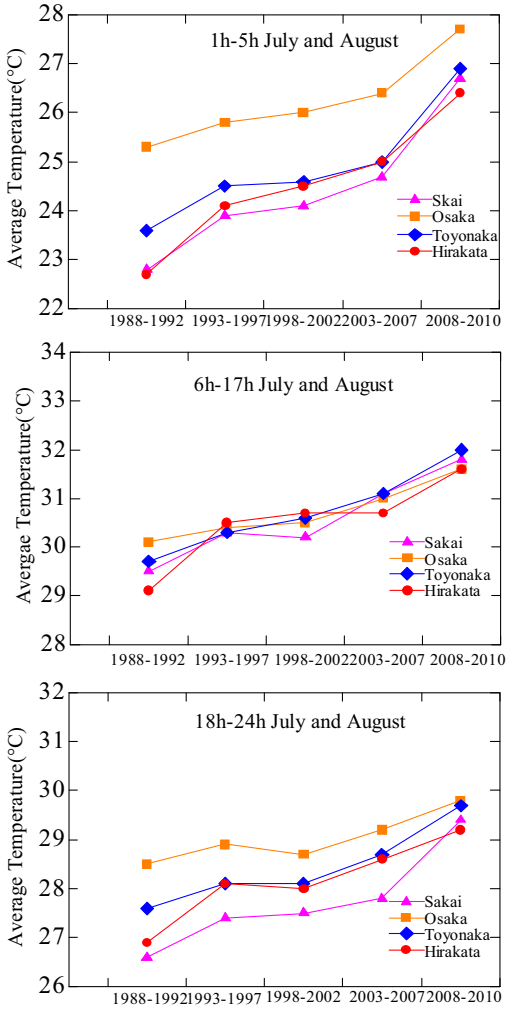


Fig.2 Change of mean temperature in daytime and nighttime over the years

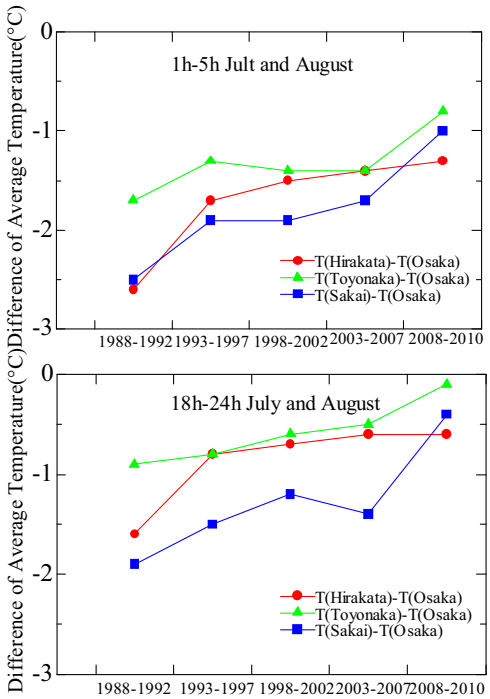


Fig.3 Difference of mean temperature between Osaka and Hirakata /Toyonaka /Sakai

まり変化していないのに対し，陸風が大阪に到達する時刻が遅くなる理由は，夜間枚方から大阪に向かう陸風の風速が小さくなることによると考えられる．すなわち，枚方の都市化に伴う高温化により大阪と枚方の気温差が小さくなり，両地点における夜間の気圧傾度が小さくなったことが，この地点間を吹く陸風の弱化の原因となっている可能性がある．土地利用の変化がヒートアイランドに与える影響について第 4 節で数値モデルを用いた検討を行う．

3. 数値シミュレーション

3.1 数値モデル

大阪地域の土地利用変化に伴う海陸風循環の変化を調べるため，気象モデル WRF ver.3.2.1 を用いて数値シミュレーションを行った．初期・境界条件は NCEP の 6 時間毎の気象データ，標高・土地利用データは国土地理院の国土数値情報を用いた．

3.2 計算条件

海陸風日として抽出した日の中で 2006 年 8 月 4 日～6 日をシミュレーション対象日とした．計算領域を図 4 に示す．関西地域とその周辺領域を Grid 1 (格子間隔 3 km, 計算領域 360 km x 360 km, 3 km メッシュ)，大阪地域とその周辺領域を Grid 2 (103 km x 103 km, 1 km メッシュ)とした．解析にはこの Grid 2 の計算結果を用いた．

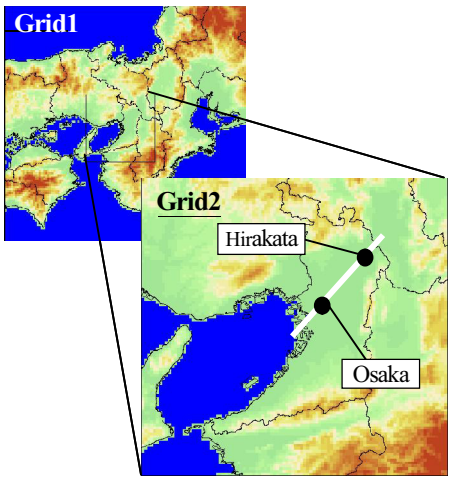


Fig.4 Calculation domain

3.2 再現性の評価

気象モデルの再現精度を検証するため，計算値をアメダスの毎時値と比較し，統計指標を算出した（表 2）．気温の MBE (Mean Bias Error)と MAE（Mean Absolute Error），風速の MBE と RMSE (Root Mean Square Error）はいずれも Emery et al.[3] の推奨値を満足しており再現性は良好である．

Table 2 The validation of calculation result

2006/8/6	MBE	MAE	RMSE
Benchmark[2]	<=±0.5 (m/s, ℃)	<=2 (℃)	<=2 (m/s)
Wind speed（m/s）	-0.20	-	1.27
Temperature （℃）	-0.06	1.16	-

4. 土地利用の変化が夜間の海陸風および気温に与える影響

第 2 節の結果より，ここでは大阪の周辺地域における土地利用の変化を調べ，ヒートアイランドを通じて夜間の海陸風循環に与える影響を数値モデルにより検証する．

4.1 土地利用の経年変化

国土数値情報の土地利用細分メッシュ (解像度 100m) を元に土地利用の経年変化を調べた．対象年は第 2 節の解析期間に合わせて細分メッシュの作成年度から 1987 年，1997 年，2009 年（以後，87 年，97 年，09 年と呼ぶ）を選んだ．

図 5 に 1 km メッシュ内の都市カテゴリー（建物用地＋幹線交通用地）比率の増加分を示す．大阪都心部は 87 年時点で既に十分都市化されているため変化はないが，周辺部を見ると 87 年から 97 年にかけての変化より，97 年から 09 年の変化の方が大きいことがわかる．

4.2 計算条件

第 3 節と同じ対象日と計算領域で，土地利用データを 87，97，09 年の各ケースに変化させ数値気象モデルで計算を行った．Grid 2 内の各土地利用カテゴリーの比率を図 6 に示す．植生カテゴリーが減少する一方，都市カテゴリーが増加している．

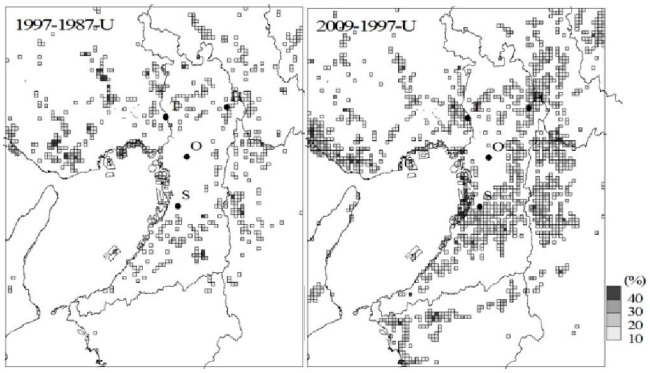


Fig.5 The increment of urban ratio (left : from1987 to1997, right : from 1997 to 2009）O:Osaka, H:Hirakata, T:Yoyonaka, S:Sakai.

4.3 海陸風の交替時刻の変化

計算最終日である 8 月 6 日の結果について述べる．陸風成分（図 4 に示した白線方向への地上 10 m の風速の

射影）の経時変化から陸風の開始・終了時刻を求めた(図7). 枚方で陸風になる時刻はどのパターンでもほぼ同じであるが，大阪まで到達する時刻は 87 年では 5 時頃，97 年と 09 年では 6 時頃で 87 年より 1 時間遅くなる．6～9 時の大阪と枚方の間の陸風成分風速は 87 年より 97 年や 09 年の方が小さくなっている(図 8).

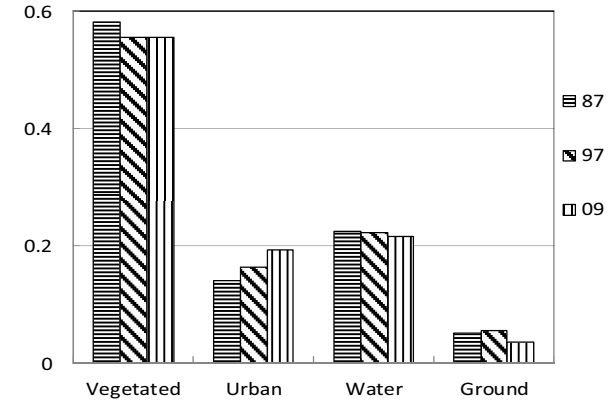


Fig.6 The ratio of land use categories

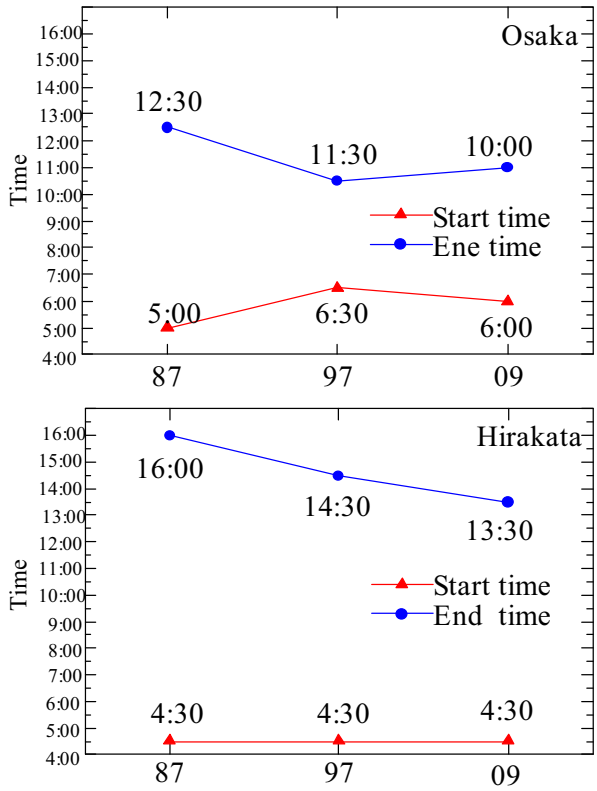


Fig.7 The start and end time of land breeze at Osaka and Hirakata

4.3 海陸風進入経路上の気温差の変化

図　4 の白線上における地上 2 m の気温差(97 年-87 年と 09 年-87 年)を図 9 に示す．大阪と枚方の間において，97 年と 09 年はいずれも 87 年より気温が高い．87 年との気温差をみると，97 年より 09 年の方がより高温化していることがわかる.

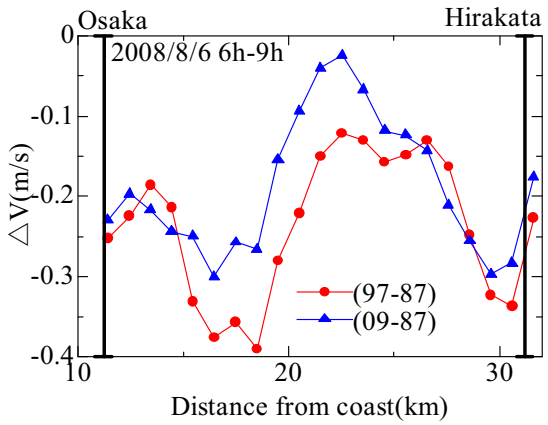


Fig.8 Difference of mean wind speed on the line between Osaka and Hirakata

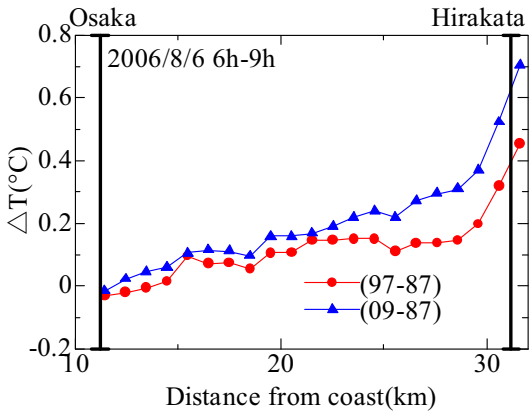


Fig.9 Difference of mean temperature on the line between Osaka and Hirakata

5. 結言

1988 年から 2010 年までの夏季晴天日の海陸風日を対象に観測データを解析した結果，以下のことがわかった.

・日中と夜間ともに大阪地域の気温は全体的に経年上昇している.

・大阪の都心部と近郊の枚方の夜間のベクトル平均風速は共に経年的に弱くなっている.

・夜間の陸風が大阪に到達する時刻は経年的に遅くなっているが，枚方における陸風開始時刻にはほとんど変化がない.

また，上記期間の土地利用の変化が夜間の陸風に与える影響について気象モデルを用いて調べた結果，周辺地域の都市化に伴い，大阪と枚方の間では，夜間の気温が上昇し陸風成分が弱められること，また，陸風が大阪に到達する時間が遅くなることがわかった.

参考文献

1) 大阪市,「風の道」ビジョン〔基本方針〕, 2011.

2) 森山正和編，ヒートアイランドの対策と技術，学芸出版社, 2004

3) Emery, C. et al., Report to the TNRCC, ENVIRON International Corp., 2001.

電力気温感応度における地域間比較手法の検討

Study of techniques for inter-regional comparison about air temperature sensitivity of electric power supply

○箕 作　敬 大（関西大学）　　宮 崎　ひ ろ 志（関西大学）　　橘 高　康 介（関西大学）
Talahiro MITSUKURI*[1]　Hiroshi MIYAZAKI*[1]　Kosuke KITTAKA*[1]
*[1] Kansai University

The purpose of this research is to find regional features of air temperature sensitivity of electric power consumption in wide area. Because of the large difference in power consumption and business scale by region, we can't compare them. So,we approach four techniques to correct it, and consider the effects of it.

As the result, we recognized as follows: the correction technique that the ratio of power consumption to maximum power is the best in the four correction techniques. In 2010 summer(June to September), air temperature sensitivity in jurisdiction of TEPCO recorded larger than it in jurisdiction of HEPCO.

１．背景と目的

昨今、持続可能な社会の構築に向けて取り組まれている。そのひとつに省エネルギー化の推進が挙げられるが、地球温暖化や都市ヒートアイランド（以下 UHI）による昇温は、エネルギー消費、特に空調利用によるエネルギー消費の増大を招くと考えられる。

UHI 対策の評価として、しばしばエネルギー消費の気温に対する感応度（気温感応度：気温 1℃の温度差で増減する電力需要量の指標）が用いられる。平野 [1] は、東京 23 区全域を例に、UHI 対策効果の評価として、気温感応度を用いたエネルギー消費での評価について報告している。鳴海らの一連の研究 [2)3)4)] では、大阪府域の業務地区、住宅地区、業務住宅混合地区において、気温変化がエネルギー消費に及ぼす影響を明らかにしている。

これらのように、小さいスケールでの気温とエネルギー消費に関する研究は進められてきたが、広域スケールでの研究は、ほとんど取り組まれていないのが現状である。

橘高ら [5] は、広域における消費電力の気温感応度に関して、東京電力管区を例に人口重み付け平均気温と消費電力の関係について、考察している。

広域の気温感応度について、地域間比較を行うことにより、UHI 対策の評価において、断熱性能などの地域的特徴を反映した評価や予測が行えると考えられる。しかし、これまでに地域間比較を行った研究は、ほとんど行われていない。その理由の一つとして、気温感応度の指標が統一されておらず、単純に比較出来ないことが考えられる。そこで、本研究では気温感応度の地域間比較を目的として、新たな気温感応度指標を検討する。

２．人口重み付け平均気温を用いた気温感応度

2.1　人口重み付け平均気温

本研究では、広域における気温感応度を考えることから、そのエリアを代表する気温を検討する必要がある。先行研究 [5] では、人口重み付け平均気温について、市区町村単位による気温を検討している。本研究においては、より精度の高い人口重み付け平均気温を目指して、新たに町丁目単位による人口重み付け平均気温を作成し、検討を行ったうこととした。人口データは、町丁目を集計単位とした 2010 年の国勢調査データを用いた。また、気温データは AMeDAS 観測点の時刻別気温 (1 時間値) を用いた。

2.2　対象範囲と期間

研究対象地域は、東京電力管内（群馬県、栃木県、茨城県、埼玉県、東京都、千葉県、神奈川県、山梨県、静岡県の一部）と、北海道電力管内（北海道全域）とした。研究対象期間は 2010 年 6 月 1 日から 2010 年 9 月 30 日とした。なお、夏（6−8 月）の天候に関する気象庁記者発表資料によると、関東地方では、2010 年夏は猛暑（平年＋ 1.9℃）、北海道地方では、2010 年夏は猛暑（平年＋ 2.3℃）であった。

2.3　人口重み付け平均気温の評価

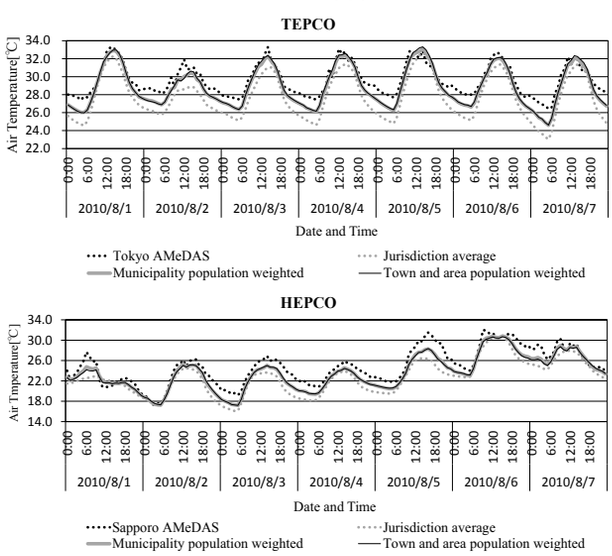


Fig.1　Variation of air temperature

Fig.1 に 2.1 節で作成した人口重み付け平均気温、各電力管内 AMeDAS 全観測点平均気温（山岳、離島等を除く)、東京（東京電力管区）又は札幌（北海道電力管区）AMeDAS 気温の、それぞれ 2010 年 8 月 1 日から 8 月 7 日の時刻別気温を示す。

Fig.1 より、両電力管区とも「市区町村単位重み付け」と「町丁目単位重み付け」気温の差は小さく、おおよそ東京又は札幌 AMeDAS 気温と全観測点平均気温の間の値となった。この原因として、重み付け人口の精度向上に対する、気温観測点数が十分ではないことが考えられる。また、特に午前中は各種時刻別気温の差は比較的小さく、順位にも目立った変化はなかった。これらの結果を踏まえ、以下の考察では、気温指標に市区町村単位による人口重み付け平均気温を用いた。

３．電力供給気温感応度の地域間比較における手法

Fig.2 に、東京電力管区 (Jurisdiction of Tokyo Electric Power Company : 以下 TEPCO）と北海道電力管区（Jurisdiction of Hokkaido Electric Power Company : 以下 HEPCO）の、電力供給量－市区町村別人口重み付け平均気温の散布図について示す。Fig.2 において、TEPCO で最小約 3,500 万 kW ～最大約 6,000 万 kW の電力供給量が記録されているのに対し、HEPCO では、最小約 380 万 kw ～最大約 500 万 kw と、最大値においては約 12 倍の電力供給量差が観測されており、それらが大きく異ることがわかる。電力供給気温感応度の地域間比較を行うにあたり、各電力管区ごとに、電力供給量や事業規模に大きな差があることから、それぞれの電力供給量を、比較可能な新たな指標に補正する必要があると考えられる。そこで、以下では四つの手法について、電力供給量の補正による、気温感応度への影響について考察した。

3.1　対象範囲と期間

研究対象地域は前章と同様の地域を選んだ。また、研究期間は前章と同様の期間のうち、オフィスアワー時間帯（平日 9 時～ 18 時、お盆期間（8/12、13）を除く）を選んだ。電力供給量については、各電力会社が公開している電力使用実績データ（1 時間値）を用いた。

3.2　電力供給ー市区町村別人口重み付け平均気温散布図における近似線について

鳴海らの一連の研究 [2)3)4)] では、消費電力と気温における感応度について、低温側と高温側で異なる感応度を取ることが指摘されている。本研究においても、Fig.2 において低温側と高温側に異なる傾きのデータ分布が見られることから、以下ではそれぞれについて近似直線を求め、考察することとした。

3.3　電力供給量正規化法

Fig.3 に、TEPCO と HEPCO の、正規化電力供給量と市区町村別人口重み付け平均気温との散布図について示す。正規化電力供給量とは、各電力供給量と期間内最小電力供給量の差を、期間内最大電力供給量と最小電力供給量の差で除し、電力供給量を正規化したものである。

電力供給量の正規化を行うことで、両電力管区の数値範囲が 0.0 から 1.0 の間になり、同じ電力供給量指標で比較することが出来るようになると考えられる。

気温感応度について、Fig.2 においては、高温側で TEPCO は 178.65［万 kW/℃］、HEPCO は 7.4778［万 kW/℃］と約 0.042 倍の感応度比と小さい値であった一方、Fig.3 においては、高温側で TEPCO は 0.0826［/℃］、HEPCO は 0.0574［/℃］と約 0.69 倍の感応度比となった。

散布図の近似直線における決定係数は、Fig.2 と比較すると、高温側で TEPCO は R^2=0.6836、HEPCO は R^2=0.4309 と両者とも相関性が低下する結果となった。

3.4　電力供給量無次元化法

Fig.4 に、TEPCO と HEPCO の、無次元化電力供給量と市区町村別人口重み付け平均気温との散布図について示す。無次元化電力供給量とは、各電力供給量と期間内平均電力供給量の差を、電力供給量の偏差値で除し、電力供給量を無次元化したしたものである。

気温感応度について、高温側で TEPCO は 0.2620［/℃］、HEPCO は 0.2427［/℃］と、約 0.93 倍の感応度比となった。

また、散布図の近似直線における決定係数は Fig.2 と比較すると、高温側で TEPCO においては R^2=0.8641、HEPCO においては R^2=0.4933 と両者とも相関性が向上する結果となった。

3.5　対最大供給量比法

Fig.5 に、TEPCO と HEPCO の、対最大供給量比電力供給量と市区町村別人口重み付け平均気温との散布図について示す。対最大供給量比電力供給量とは、期間内最大電力供給量に対する電力供給量の比率のことを指す。

対最大供給量比法により、データの上限値が 1.0 となる一方、下限値はそれぞれの管区による最小電力供給量の違いにより、異なる値を示す結果となった。

気温感応度について、高温側は TEPCO は 0.0340［/℃］、HEPCO では 0.0146［/℃］と、約 0.43 倍の感応度比となった。

また、散布図の近似直線における決定係数は Fig.2 と比較すると、高温側で TEPCO においては R^2=0.6428、HEPCO においては R^2=0.4328 と両者とも相関性が低下する結果となった。

3.6　対人口比法

Fig.6 に、TEPCO と HEPCO の、対人口比電力供給量と市区町村別人口重み付け平均気温との散布図について示す。対人口比電力供給量とは、各電力管内の人口千人あたりの電力供給量のことを指す。

対人口比法により、指標基準の統一は出来るものの、その数値範囲は統一出来ない。これは、両電力管区にお

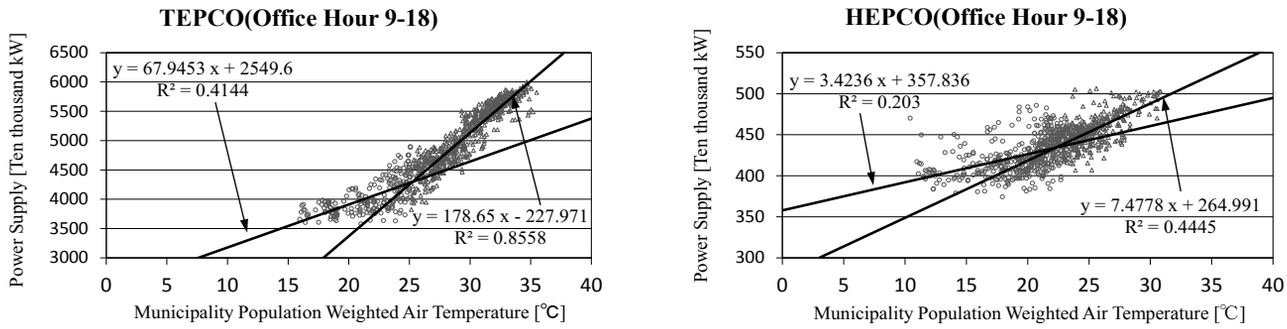


Fig. 2 Air temperature sensitivity using power supply (in 2010, summer)

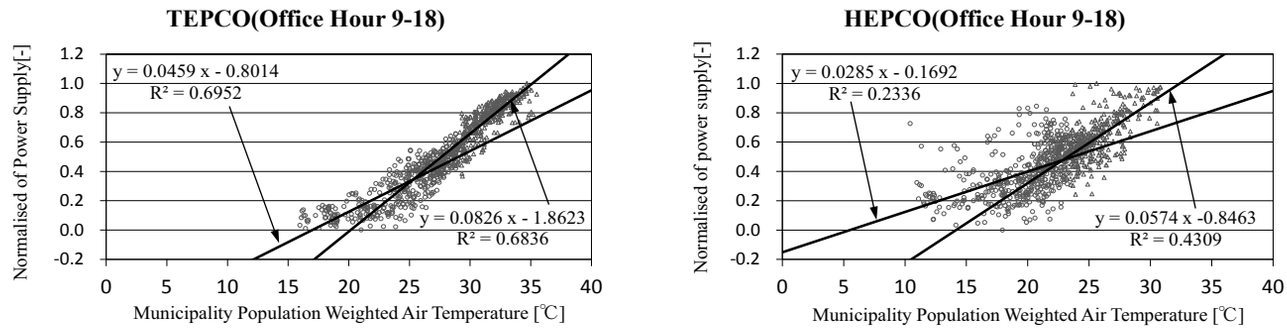


Fig. 3 Air temperature sensitivity using normalised of power supply (in 2010, summer)

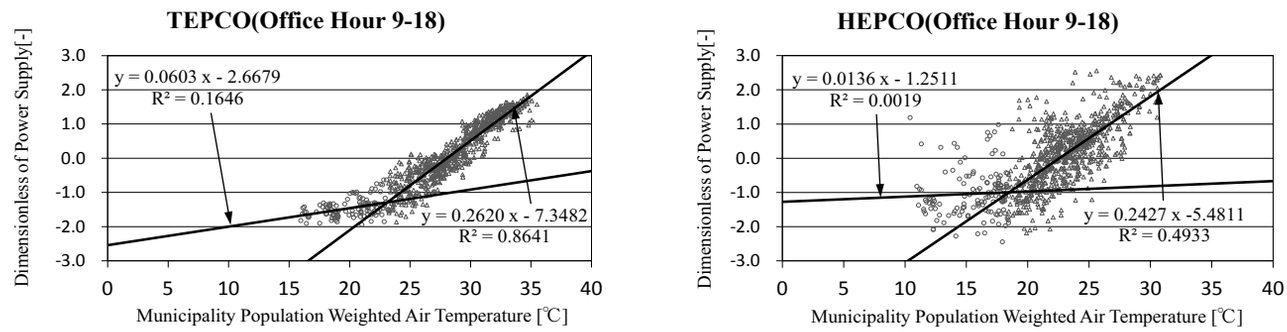


Fig. 4 Air temperature sensitivity using dimensionless of power supply (in 2010, summer)

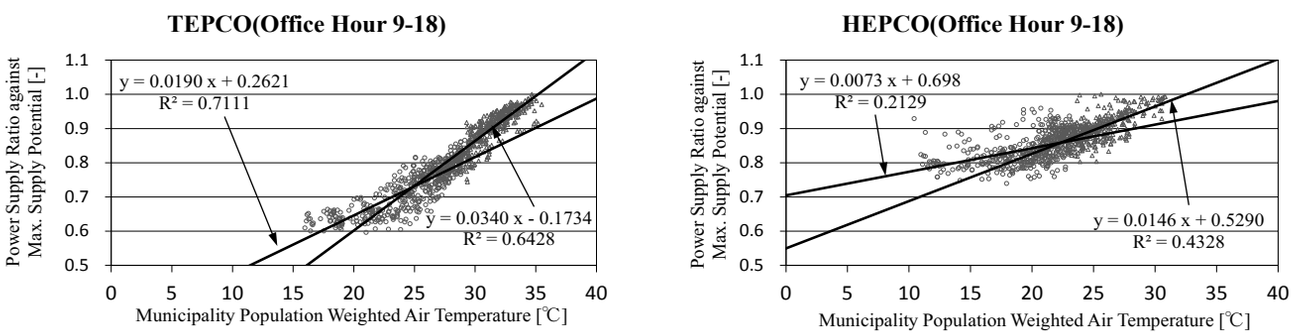


Fig. 5 Air temperature sensitivity using power supply ratio against max. supply potential (in 2010, summer)

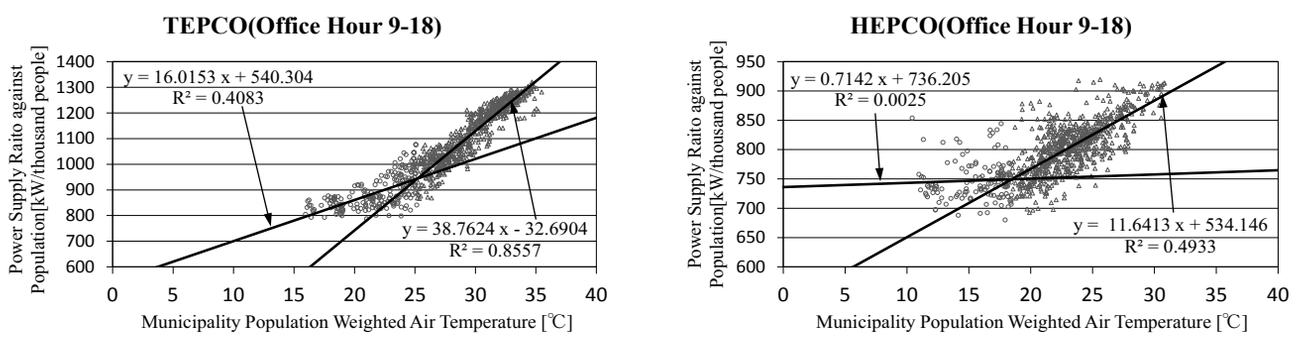


Fig. 6 Air Temperature Sensitivity using power supply raito against population (in 2010, summer)

いて、電力供給量と同様に人口規模も異なることが原因だと考えられる。

気温感応度について、高温側でTEPCOは38.7624［kW/℃］、HEPCOでは11.6413［kW/℃］と、約0.30倍の感応度比となった。

散布図における近似直値の決定係数は、Fig.2と比較すると、高温側でTEPCOにおいてはR ^{2}=0.8557とほとんど同じ値になった一方、HEPCOにおいてはR ^{2}=0.4933と相関性がやや向上した。

3.7 各補正手法の評価

Table 1 Numerical value of each technique

Correction technique			Original	Normalised	Dimensionless	Ratio against max.supply potential	Raito against population
TEPCO	Low temretature side	Air temperature sensitivity	67.9453	0.0459	0.0603	0.0190	16.0153
		Coefficient of determination	0.4144	0.6952	0.1646	0.7111	0.4083
	High temperature side	Air temperature sensitivity	178.6500	0.0826	0.2620	0.0340	38.7624
		Coefficient of determination	0.8558	0.6836	0.8641	0.6428	0.8557
HEPCO	Low temretature side	Air temperature sensitivity	3.4236	0.0285	0.0136	0.0073	0.7142
		Coefficient of determination	0.2030	0.2336	0.0019	0.2129	0.0025
	High temperature side	Air temperature sensitivity	7.4778	0.0574	0.2427	0.0146	11.6413
		Coefficient of determination	0.4445	0.4309	0.4933	0.4328	0.4933
Raito of air temperature sensitivity	Low temretature side	HEPCO/TEPCO	0.0504	0.6209	0.2255	0.3842	0.0446
	High temperature side		0.0419	0.6949	0.9263	0.4294	0.3003

Table 1に、オリジナルデータと本章で扱った四つの手法について、電力供給量－市区町村別人口重み付け平均気温の散布図における各種数値を示す。

決定係数について、オリジナルデータと比較すると、低温側ではTEPCOでその差は最大0.2967、HEPCOでその差は最大0.2011、高温側ではTEPCOでその差は最大0.2113、HEPCOでその差は最大0.0488と、今回検討した四つの補正手法や低温側・高温側により相関性に差が表れる結果となった。また、HEPCOでは、期間内の市区町村人口重み付け気温が10℃前後になることもあり、一部冬季の気温感応度が見られたことから、HEPCOにおける低温側近似直線の決定係数が小さくなることの要因の一つと考えられる。

気温感応度について、オリジナルデータでは、TEPCOに比べ、HEPCOにおける気温感応度が、低温側で5.0%、高温側で4.1%とほとんど表れていなかった。補正を行うことで、TEPCOと比較して、低温側で最小4.4%から最大62%程度、高温側で最小30%から最大92%の気温感応度が表れる結果となった。

低温側について、オリジナルデータや対人口比法など、それぞれの地域の電力供給事情が反映されているデータの場合、感応度比がほとんど表れなくなる一方、それ以外の補正データでは、ある程度の感応度比を見ることが出来た。

今回取り組んだ四つの手法について、電力供給量正規化法と無次元化法は、補正過程においてデータの分布形状を変化させてしまうことから、補正後の近似直線の傾きを気温感応度として考えることに疑念が生じること、また、対人口比法は、それぞれの地域の産業構造や経済活動に大きく影響を受けることが、問題点として考えられる。逆に対最大供給比法は、各電力管区の電力供給状況を反映した補正が行えることから、四つの補正手法の中では、対最大供給比法を用いた地域間比較が適切だと考えられる。

対最大供給比法によると、6月～9月の夏季期間における気温感応度について、TEPCOでは低温側で約0.0190高温側で約0.0340、HEPCOでは低温側で約0.0073、高温側で約0.0146となり、低温側・高温側とも東京電力管区の方がより大きい気温感応度を記録した。この要因としては、気候などの気象条件の違いや、建物の断熱性能の違いなどが考えられる。

4. まとめ

本研究では人口重み付け平均による気温を作成し、夏季の広域気温感応度を求め、異なる電力管区同士の比較を行う為に、電力供給量の補正方法について検討した。得られた知見を以下にまとめる。

・市区町村単位での人口重み付け平均気温と、町丁目単位での人口重み付け平均気温の間には、東京と北海道の両電力管区とも大きな差は見られなかった。

・各補正データの決定係数について、TEPCOの低温側・高温側とHEPCOの低温側では、補正手法により差が表れた一方、HEPCOの高温側では、約0.43から0.49程度の値を取る結果となった。

・補正過程におけるデータへの影響を考慮すると、本研究で取り組んだ四つの補正手法の中では、対最大供給量比法が異なる地域の気温感応度を比較する上で、適切な手法であると考えられる。

・対最大供給量比法によると、HEPCOよりTEPCOの方がより大きい気温感応度を記録した。これは、気候や建築性能の違いなどの地域的特徴が要因と考えられる。

参考文献

1) 平野勇次郎：ヒートアイランド緩和策の気温低下効果とそのエネルギー消費量への影響、日本建築学会環境系論文集、No.591、pp.75-82、2005.5

2) 鳴海大典・二浦尾友佳子・下田吉之・水野稔：昇温が大阪府域のエネルギー消費に及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集、No.613、pp.71-78、2007.3

3) 岸本拓也他：電力消費に関する気温感応度の地域特性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集.D-1、pp.517-518、2003.9

4) 橋本早紀他：民生部門エネルギー消費に対する気温影響の地域特性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集.D-1、pp.575-576、2006.9

5) 橘高康介・宮崎ひろ志：広域における消費電力の気温感応度 －東日本大震災前後の経年変化－、日本建築学会環境系論文集、Vol.79、No.704、p.891-899、2014

関西地域の電源構成の変化が大気汚染に与える影響
Impact of Changes in Power Generation Mix on Air Pollution in Kansai Region

○小川 貴史(大阪府立大学)　安田 龍介(大阪府立大学大学院)　吉田 篤正(大阪府立大学大学院)
Takashi OGAWA*[1]　Ryusuke YASUDA*[1]　Atsumasa YOSHIDA*[1]
*[1]　Osaka Prefecture University

We estimated the emission from thermal power plants in Kansai region when all nuclear power plants were shut down, and evaluated the influence on air pollution in Osaka region using WRF/Chem model under a typical mid-summer condition. The results show that when all nuclear power plants were shut down the emission from thermal power plants of general electricity utilities in Kansai region which has highly depended on nuclear power generation became about twice. O_3 concentration decreases near the emission sources while increases in remote area.

1.はじめに

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に伴って発生した福島第一原子力発電所事故を受けて日本国内の原子力発電所は安全審査のため運転を停止し，2013 年 9 月 15 日より全ての原子力発電所が運転を停止している状況が続いている．2010 年度では日本における電力量の約 29%を原子力発電が担っていたが，原発停止後は不足する電力を補うために火力発電所の稼働率が上昇した．火力発電では化石燃料の燃焼により NO_x，SO_x および CO_2 等を排出するため，関西電力管内の排出量は大きく増加した．図 1 に関西電力の年間 NOx 排出量推移[1]を示す．2010 年から 2013 年にかけて，NO_x 排出量は約 2 倍になっている．NO_x は NMVOC との光化学反応を経て O_3 を主成分とする光化学オキシダントを生成し，光化学スモッグを発生させる．火力発電所の稼働率上昇による NO_x 排出量の増加が大気汚染に与える影響を把握するために，本研究では原子力発電所が停止した場合の火力発電所の排出量を推計し，関西地域の電源構成の変化が大気汚染に与える影響をシミュレーションにより評価した．

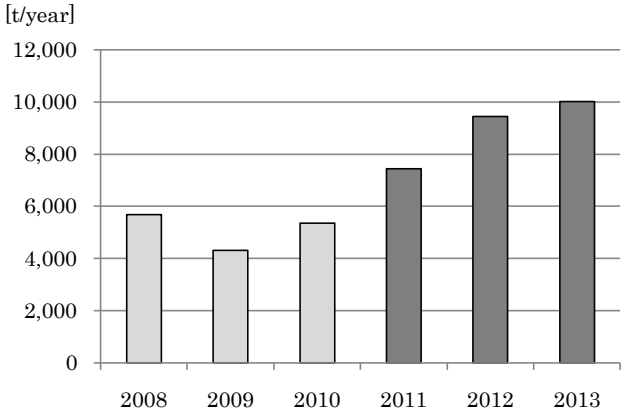


Fig.1 Annual NOx emission of KEPCO[1]

2.排出量推計

2.1 計算ケース

原発停止による変化および節電による変化を比較によって調べるために，2010 年度をベースとして 1)原子力発電所が稼働している場合 (ベースケース)，2)原子力発電所が停止している場合(原発停止ケース)，3) 原子力発電所が停止し，節電などにより電力需要が 8.5%低下している場合(節電ケース)の 3 ケースについて火力発電所の排出量を推計した．

シミュレーションにおいて人為起源排出源データとして使用した EAgrid2010-Japan には発電所の排出量も収録されているが，2000 年度以降に火力発電所が新設および廃止されたことによるグリッド分布の変化が反映されていないため，関西地域において 2010 年時点で稼働している各火力発電所の排出量を推計した．

原発停止ケースと節電ケースでは原子力発電と揚水発電による発電量はゼロとし，それによって不足する電力量を一般電気事業者(一般需要に対して電気を供給する事業者)が火力発電所の稼働率を上昇させることによって代替するものとした．また，融通(一般電気事業者間の送受電)電力量とその他の電気事業者(IPP・PPS)からの受電量および火力発電の燃料構成比は変わらないものとした．

2.2 各ケースの排出量推計

2010 年度の年間発受電電力量[2]から一般電気事業者ごとの火力増産率を式(1)のように算出し，その事業者の火力発電所の年間排出量を一律にスケールアップさせた．節電ケースでは関西電力の 2014 年度の電力受給見通し[3]を参考にして 2010 年度の夏季最大電力比で電力需要を 8.5%カットして推計した．

$$K = \frac{W_{ff} + W_{short}}{W_{ff}} \quad (1)$$

ただし

W_{ff}：火力発電による発電電力量[kJ]

W_{short}：原発停止によって不足する電力量[kJ]

ベースケース，原発停止ケースおよび節電ケースにおける関西地域とその周辺地域の一般電気事業者の年間 NO_x 排出量を図 2 に示す．原発停止ケースでは，電源構成に占める原子力発電の割合が大きかった関西電力，北陸電力，四国電力の年間排出量はベースケースの 2 倍程度となった．原子力発電の割合が小さかった中部電力と中国電力の年間排出量は 2 割以下の増加に留まった．節電ケースでは，中国電力の年間排出量はベースケースの排出量を下回った．

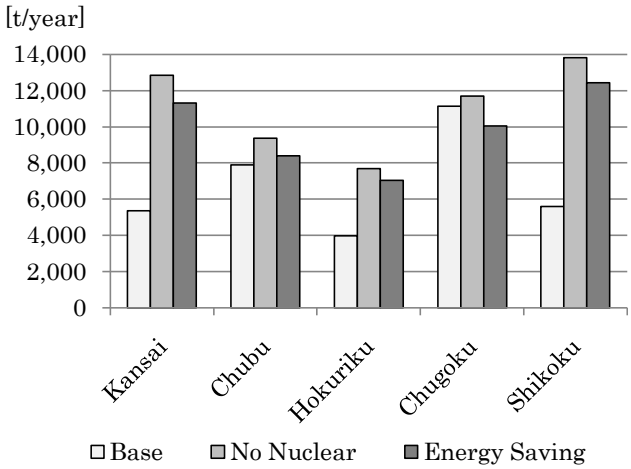


Fig.2 Annual NOx emissions from each GEU in each case

3.大気汚染への影響の評価

3.1 計算条件

火力発電所の排出量変化が大気汚染に与える影響を評価するために，数値モデルを用いてシミュレーションを行った．数値モデルには WRF/Chem v.3.2.1，人為起源排出源データには EAgrid2010-Japan，植物起源排出源データには MEGAN v.2.0 を使用した．

評価期間は夏季に大阪地域において光化学スモッグ注意報が多く発令された 2010 年 8 月 19 日～23 日とし，2 日間の助走期間を含めた 8 月 17 日～8 月 23 日を計算期間とした．計算条件を表 1 に，計算領域と火力発電所所在地を図 3 に示す．計算領域は関西地域とその周辺地域(Grid1)，評価領域は大阪地域とその周辺地域(Grid2)を対象としている．Grid1 の境界条件は米国環境予測センターの FNL 気象データより与えられているが，Grid2 の境界条件は Grid1 の計算結果より与えられる．

Table 1 Calculation condition

	Grid1	Grid2
Grid Interval (km)	6	2
Number of Grids	60×60	52×52
Central Coordinate (lat., lon.)	34.672，135.480	
Number of Vertical Grids	28	
Vertical Grid Interval (m)	Lowest Layer　57	

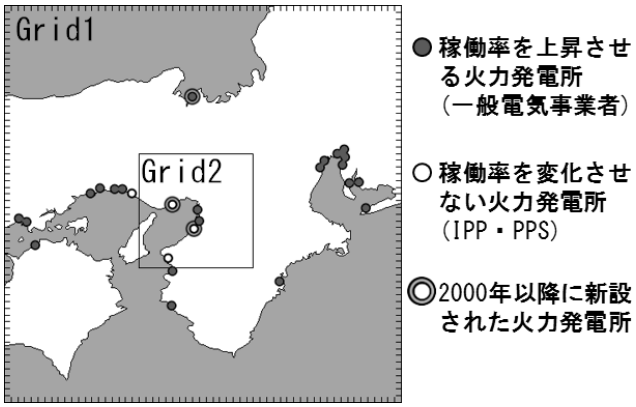


Fig.3 Thermal power plants in calculation area

3.2 ベースケースと原発停止ケースの比較

2010 年 8 月 23 日 13 時におけるベースケースの NO_x 濃度分布(Grid2)を図 4 に示す．この日は大阪地域では最高気温 36.8℃の晴天日であり，夏季における光化学オキシダント高濃度日の典型日である．NO_x は臨海地域および海上で高濃度となっており，内陸のほとんどの地域では 10ppb 未満であった．

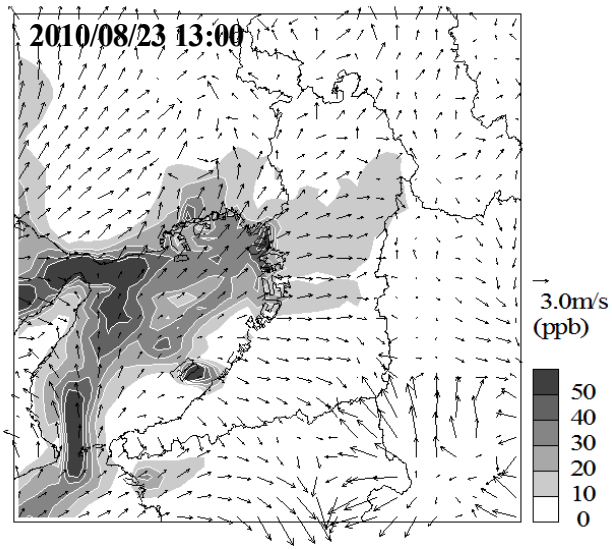


Fig.4 NO_x concentration in Base Case (Grid2)

同時刻におけるベースケースと原発停止ケースの NO_x 濃度差分布(Grid2)を図 5 に示す．火力発電所の稼働率上昇による NO_x 濃度上昇は発電所付近の臨海地域に見られた．南港発電所および堺港発電所から排出された NO_x は海風によって東に移流しており，排出源から東大阪地域にかけて NO_x 濃度が上昇した．

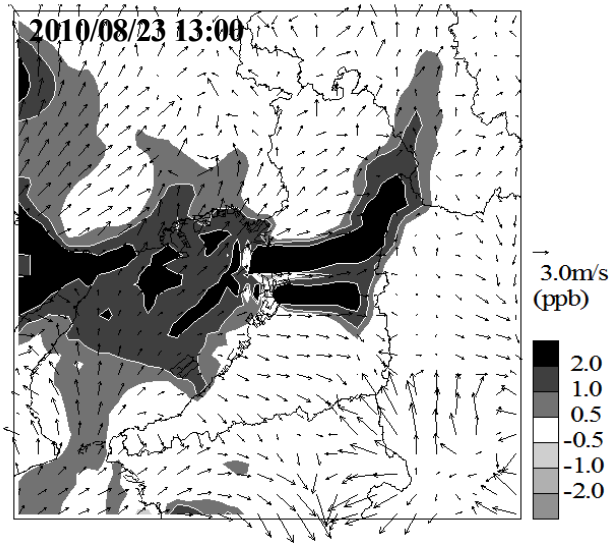


Fig.5 Difference of NO_x concentration (No Nuclear Case – Base Case) (Grid2)

同時刻におけるベースケースの O_3 濃度分布(Grid2)を図 6 に示す. 光化学スモッグ予報の発令基準である 80ppb を超える地域が多く，また，京都府の南部では 100ppb を超える地域も見られる．

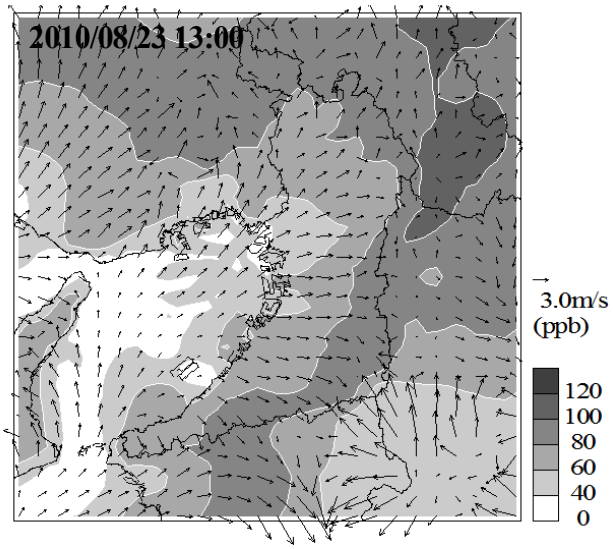


Fig.6 O_3 concentration in Base Case (Grid2)

同時刻におけるベースケースと原発停止ケースの O_3 濃度差分布(Grid2)を図 7 に示す．火力発電所の風下では排出された NO_x の移流中に光化学反応が進み，広範にわたって O_3 濃度が上昇したが, 火力発電所付近の臨海地域ではタイトレーション効果(NO と反応することにより O_3 が減少する効果)により O_3 濃度が低下した．和歌山県の北部では O_3 濃度が大きく増加し, NO_x とは対照的に南港発電所および堺港発電所付近，そして東大阪地域ではオゾン濃度が大きく低下した．Grid2 内における O_3 濃度の最大変化幅は-13.3～6.58ppb であった．

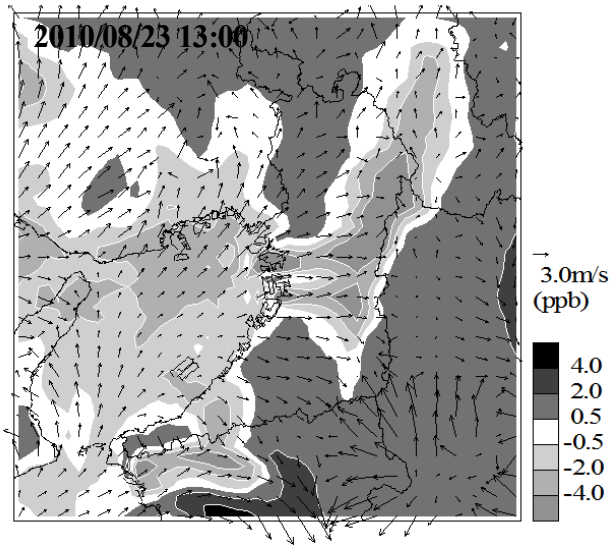


Fig.7 Difference of O_3 concentration (No Nuclear Case – Base Case) (Grid2)

3.3 環境への影響の評価

オゾンの環境基準は 1 時間値が 60ppb 以下であることから, AOT60(閾値である 60ppb を超える 1 時間値の閾値超過分の累積濃度[ppb･h])を評価指標としてベースケース，原発停止ケースおよび節電ケースを比較した．図 8 にベースケースにおける 2010 年 8 月 23 日の AOT60 の分布を示す．海面はマスク処理により白抜きのエリアになっている．累積濃度は内陸部で高く，海に近い地域では低くなっていた．

図 9 にベースケースと原発停止ケースの AOT60 の差を示す．原発停止によって AOT60 は火力発電所の遠方では増加し，大阪地域の大部分ではほとんど変化がなかった．一方，東大阪地域では減少した．

図 10 に原発停止ケースと節電ケースの AOT60 の差を示す．節電による AOT60 の変化は原発停止による変化に比べて非常に小さく，節電による光化学汚染の低減効果はほとんどないと考えられる．

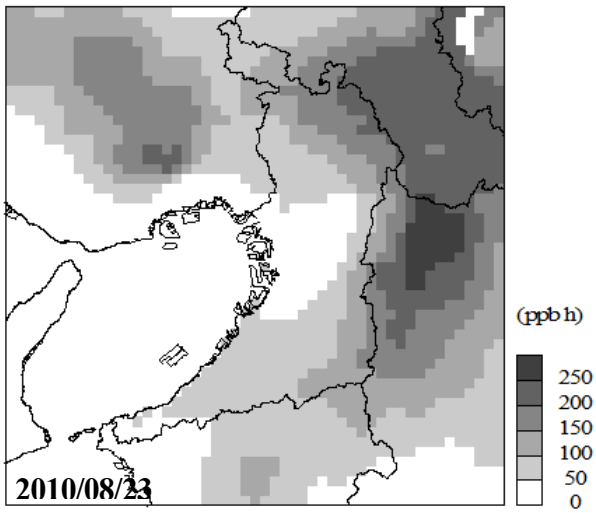


Fig.8 AOT60 in Base Case (Grid2)

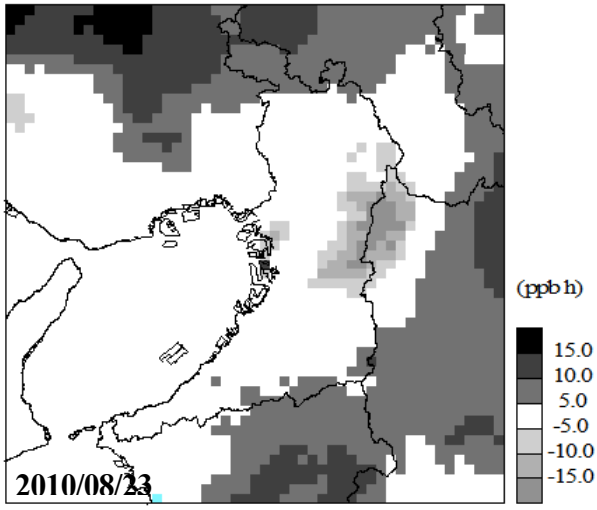


Fig.9 Difference of AOT60 (No Nuclear Case – Base Case) (Grid2)

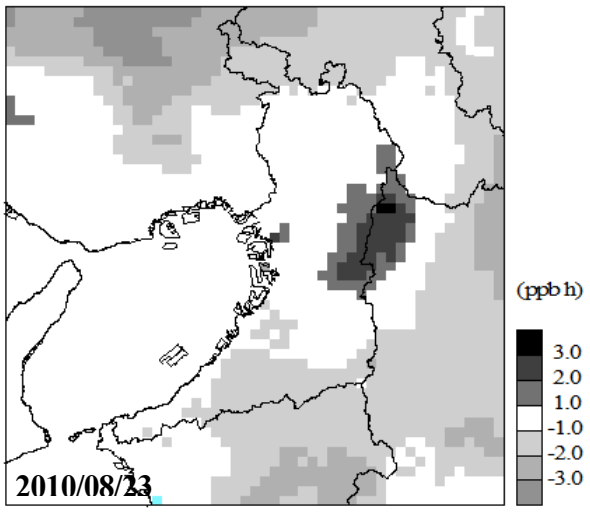


Fig.10 Difference of AOT60 (Energy Saving Case – No Nuclear Case) (Grid2)

各ケースにおける累積濃度別のグリッド数を表 2 に示す．ベースケースと原発停止ケースを比較すると，50-100ppb･h のグリッド数は 5.4%減少，100-150ppb･h のグリッド数は 6.5%増加，150-200ppb･h のグリッド数は 1.0%減少，200-250ppb･h のグリッド数は 17.0%増加，250-300ppb･h のグリッド数は 5.3%増加した．

Table 2 Number of grids by accumulated concentration

[ppb･h]	50-100	100-150	150-200	200-250	250<
Base	635	387	298	242	38
No Nuclear	601	412	295	283	40
Energy Saving	600	407	294	278	40

4. まとめ

大阪を中心とする約 100km 四方の領域を対象に，原発停止時の火力発電所の稼働率上昇による NO_x 排出量変化を推計し，数値モデルによって夏季高濃度時の O_3 濃度の変化を評価した．

・原発停止時の排出量に関して

関西電力，北陸電力，四国電力の NO_x 排出量はベースケースの約 2 倍程度，中部電力と中国電力の排出量は 2 割以下の増加となった．

・NO_x および O_3 濃度分布の変化に関して

火力発電所の稼働率上昇による NO_x 濃度上昇は発電所周辺に見られ，海風によって南港および堺港発電所から東大阪地域にかけて NO_x 濃度が上昇した．

火力発電所の風下では排出された NO_x の移流中に光化学反応が進み，広範に O_3 濃度が大きく上昇した．一方，火力発電所付近の地域ではタイトレーション効果によって O_3 濃度が低下した．

・環境に与える影響に関して

原発停止に伴う火力発電所の稼働率上昇によって，AOT60 は火力発電所の遠方では増加し，大阪地域の大部分では変化が小さかった．一方，東大阪地域では減少した．節電による AOT60 の変化は原発停止による変化に比べて非常に小さく，節電による光化学汚染の低減効果はほとんどないと考えられる．

参考文献

1) 関西電力 HP；環境レポート(2014)
2) 電気事業連合会 HP；電力統計情報(2014)
3) 関西電力 HP；今夏の電力需給見通しについて(2014)

内モンゴルにおける大気質モデルの妥当性評価

Validity assessment of air quality model in Inner Mongolia

○菅澤　想（大阪大学）　児島　達也（大阪大学）
嶋寺　光（大阪大学）　近藤　明（大阪大学）
井上　義雄（大阪大学）　包　海（内蒙古師範大学）
So SUGASAWA*[1]　Tatsuya KOJIMA*[1]　Hikari SHIMADERA*[1]　Akira KONDO*[1]　Yoshio INOUE*[1]　Hai BAO*[2]
*[1] Osaka University　*[2] Inner Mongolia Normal University

The fast economic growth of China caused significant increase in air pollution emissions. During 2000-2009, IMAR had the best economic growth rate in China. In this study, the Community Multiscale Air Quality model (CMAQ) driven by the Weather Research and Forecasting model (WRF) was used to evaluate the air pollution in IMAR. The validity assessment of the model was showed that it reasonably captured the observed meteorological variables and $PM_{2.5}$ concentration. In addition, the backward trajectory analysis indicated that IMAR's high concentration days were caused by large anthropogenic emissions in Central China and the dust from deserts.

１．はじめに

内モンゴル自治区は中国初の自治区であり，人口は2471 万人，面積は 118.3 万 km^2 で中国全土の 1/8 を占める．省都は呼和浩特である．かつて内モンゴルの伝統的産業は牧畜業であったが，近年，内モンゴルに莫大な鉱産資源が埋蔵されていると判明してからは，エネルギー・素材産業に産業構造が偏在している．石炭資源・希土類の生産量は中国一であり，2000 年～2009 年の間，9 年連続で中国国内で経済成長率第一位であった．

また内モンゴルは気候が寒冷であるため，冬季には多くの暖房需要が存在する．主な暖房機器である石炭ストーブは多くの大気汚染物質を排出するため，夏季に比べて冬季の方が，大気汚染問題が深刻である．

環境問題が悪化していると考えられる内モンゴルであるが，内モンゴルを対象とした大気質に関する研究は事例が少ない．そのため，本研究では，内モンゴルを対象に，大気質のシミュレーションを実施し，モデルの妥当性および大気汚染状況の評価を行うことを目的とする．

２．計算条件

2.1　本研究で用いたモデル

米国環境保護庁（United States Environment Protection Agency: US EPA）によって開発された大気質モデル，Community Multiscale Air Quality system（CMAQ）を用いて，大気汚染物質濃度の計算を行った．CMAQ の入力データとして，米国大気研究センターによって開発された Weather Research Forecasting model（WRF）により気象場を作成した．排出量データは，各種の排出インベントリと排出量推計モデルの計算結果を組み合わせて作成した．CMAQ の初期条件と境界条件は全球化学輸送モデル Model for Ozone and Related Chemical Tracers version 4（MOZART-4）の計算結果を使用して作成した．

2.2　計算期間・計算領域

計算期間は2013 年 12 月 27 日～2014 年 8 月 31 日とし，2014 年 12 月 27 日～12 月 31 日の 5 日間は助走期間とし，2014 年 1 月 1 日～2014 年 8 月 31 日を評価対象期間とした．水平計算領域は東アジアを対象とした 45 km 格子領域を設定した. WRF では 140×100 格子であるが, CMAQ では 128×88 格子となっている．鉛直層は地表面から上空 100 hPa までを 30 層に分割して計算を行った．

気象と $PM_{2.5}$ 濃度について，計算値の妥当性評価を行った．気象は中国 4 地点と日本 1 地点について，$PM_{2.5}$ 濃度は中国 6 地点と日本 1 地点について観測値と比較した．CMAQ の計算領域ならびに，本研究で計算値の評価に用いた観測地点を Figure.1 に示す．

2.3　WRF 計算条件

WRF は非静水圧･完全圧縮性の 3 次元メソスケールモデルであり，本研究ではバージョン 3.5.1 を使用した．WRF は地形･土地利用データと気象の客観解析データから初期条件・境界条件・4 次元データ同化用ファイルを作成し，それらをもとに移流・雲微物理・積雲過程・大気境界層（Planetary Boundary Layer: PBL）過程・地表面過程・放射過程などについて計算が行われる．本研究で使用した WRF の設定を Table.1 に示す．

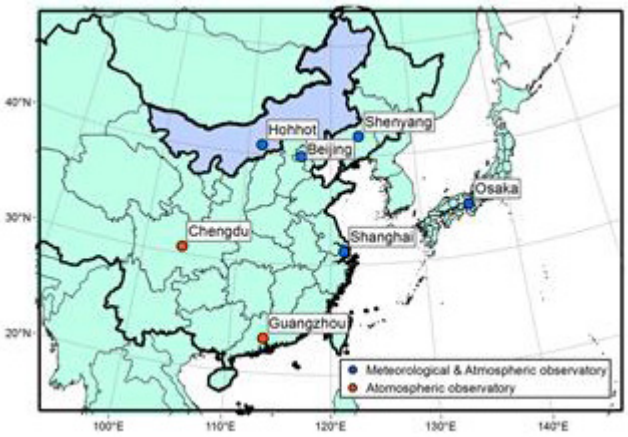


Figure.1 Calculation domain and observatory

Table.1 WRF configurations

	configuration
Version	ARW 3.5.1
Initial and boundary	NCEP FNL, MSM-GPV, RTG-SST-HR
Land use	USGS 24-category data
Horizontal grid number	140×100
Vertical grid number	30（surface -100 hPa layer）
Explicit moisture	WSM-6
Cumulus	Kain-Fritsch
PBL	YSU scheme
Surface layer	Noah land-surface model
Radiation	RRTM and Dudhia
FDDA	3.0×10^{-4} s^{-1}

2.4　CMAQ 計算条件

CMAQ はオイラー型の 3 次元大気質モデルであり，本研究ではバージョン 5.0.1 を使用した. CMAQ は気象場，排出量，初期・境界濃度といった入力データをもとに，大気汚染物質ならびに前駆物質の移流・拡散・化学変化・沈着等を計算し，大気中の濃度分布を出力する．本研究で使用した CMAQ の設定を Table.2 に示す.

CMAQ には NO_X，SO_2，CO，NH_3，VOC，$PM_{2.5}$，Coarse Particle の排出量を入力した．その中で，NO_X，$PM_{2.5}$，VOC については組成分解して CMAQ に入力する必要がある．本研究では Shimadera ら [1)]の手法に沿って組成分解，計算格子への配分を行った.

人為起源排出量は，東アジア域（中国等）については INTEX-B Version1.2 と REAS Version1.11 を使用した.

日本域については，JATOP Emission Inventory-Data Base 2011 Automobile Source（JEI-DB2011-AS），船舶排出インベントリと EAGrid2010-Japan を使用した.

以上の排出インベントリの集計対象地域外は，Arctic Research of the Composition of the Troposphere from Aircraft and Satellites（ARCTAS）のために用意された排出インベントリを使用した.

Table.2 CMAQ configurations

	configuration
Version	5.0.1
Horizontal grid number	128×88
Initial and boundary	Made from MOZART-4
Honrizontal/vertical advection	Yamartino/WRF-based scheme
Horizontal/vertical diffusion	Multiscale/ACM2
Photolysis calculation	CCTM in-line calculation
Gas phase chemistry	SAPRC-99
Aerosol	AERO 5

自然起源排出量は，Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature（MEGAN）のバージョン 2.04 により推計した植生起源排出量と，気象庁の火山活動解説資料等をもとにした火山起源排出量を使用した.

３．計算結果

3.1　計算値と観測値の比較方法

WRF と CMAQ による計算値を観測値と比較した．モデルの再現性の評価には，統計指標として相関係数 (R)，Mean Bias Error (MBE)，Root Mean Square Error (RMSE)，Index of Agreement（IA）を用いた.

Emeryら[2)] は，大気質モデルに統合するための気象モデルの精度評価のために，次のようなベンチマークを設定しており，気温についてはMBE ≤ ±0.5 ℃，IA ≥ 0.8，湿度についてはMBE ≤ ±1 g /kg, IA ≥ 0.6, 風速についてはMBE ≤ ±0.5 m /s，RMSE ≤ 2 m /s，IA ≥ 0.6 となっている．本研究では, 用いた風速の観測値がknot単位で表されているため，風速のベンチマークによる評価は行わない.

3.2　気象における計算値と観測値の比較

中国について，気象データはワイオミング大学大気科学科が公開しているラジオゾンデデータより得た．UTC 0 時と 12 時のラジオゾンデ観測データが整備されており，本節の比較では地表面における観測値を利用した．$PM_{2.5}$ 質量濃度比較を行う中国 6 地点のうち，ワイオミング大学のゾンデデータが入手可能な，中国 4 地点（北京，上海，瀋陽，呼和浩特）において気象の比較を行った.

日本国内における気象の比較は大阪で行い，気象データは一般財団法人　気象業務支援センターが刊行している気象観測月報より得た.

計算値について，気温および混合比は地上 2m，風速は地上 10m の結果を用いた．精度検証は，中国 4 地点では 2014 年の 1 月 1 日 0 時から 8 月 31 日 23 時（UTC）の期間の 12 時間毎の瞬時値を対象とし，大阪では 2014 年の 1 月 1 日 0 時から 7 月 31 日 23 時（UTC+9）の期間における日平均値を対象とした．Table.3 に気象比較の統計指標値と，計算値と観測値のそれぞれの平均値を示す.

Table.3 Meteorological variables and statistical indicator

	Obs	Sim	R	MBE	RMSE	IA
Beijing						
Temperature[℃]	15.53	15.80	0.98	0.27	2.20	0.99
Mixing ratio[g/kg]	7.20	6.13	0.96	-1.07	1.97	0.96
Shanghai						
Temperature[℃]	16.80	16.76	0.96	-0.04	2.72	0.98
Mixing ratio[g/kg]	10.70	10.42	0.98	-0.27	1.23	0.99
Shenyang						
Temperature[℃]	10.99	10.77	0.98	-0.22	2.65	0.99
Mixing ratio[g/kg]	6.89	6.68	0.97	-0.21	1.40	0.98
Hohhot						
Temperature[℃]	9.43	8.78	0.98	-0.66	2.46	0.99
Mixing ratio[g/kg]	4.60	4.19	0.93	-0.40	1.47	0.96
Osaka						
Temperature[℃]	15.51	14.00	1.00	-1.51	1.80	0.99
Mixing ratio[g/kg]	8.00	7.13	0.99	-0.87	1.18	0.98

Emery らのベンチマークによる評価を気温と混合比の MBE と IA に実施した結果，20 項目中 17 項目が評価基準を満たした. 北京における混合比の MBE と呼和浩特・大阪における気温の MBE の 3 項目で評価基準を満たさなかった．気温と混合比に関して，多くの地点でベンチマークを満たし，R と RMSE に関しても良好な値を示しており，計算値はすべての地点で概ね良く観測値と一致しているといえる．気温は北京で過大評価，それ以外の都市で過小評価となった．混合比は全都市で過小評価となった．風速は呼和浩特で過小評価，それ以外の都市で過大評価となった.

呼和浩特以外の各地点において風速を過大評価している理由として，気象モデルは 45km 格子で計算を行っており，同一格子内の標高は一定であるため，実際の土地起伏を考慮できず，風速の土地起伏による減衰を再現できなかったと考えられる．風速の再現には地形の再現が重要であることが考えられる．風速を再現するにはより解像度の高いシミュレーションが必要であると考えられる.

風速に関して，ワイオミング大学大気化学科が公開している観測値が 1knot 単位で非常に粗く, m/s 単位に変換すると，約 0.514 の倍数となってしまう．そのため，風速の比較結果は参考程度とした.

また，より正確な CMAQ の計算を行うためには，詳細な気象観測データを用いて WRF の計算値を検証・改善していく必要がある．そのためには，気象データをより詳細に収集し，提供するシステムやツールの作成が必要であると考える.

3.3 $PM_{2.5}$ における計算値と観測値の比較

中国について，濃度観測データは北京のアメリカ大使館が公開している U.S. Department of State Air Quality Monitoring Program より得た．北京，上海，広州，成都，瀋陽の 5 都市の UTC+8 における 1 時間ごとの $PM_{2.5}$ 濃度が整備されている．呼和浩特における濃度データは市内の複数の観測所平均の日平均データを使用した.

Table.4 $PM_{2.5}$ concentration and statistical indicator

$PM_{2.5}$ [μg/m^3]	Obs	Sim	MBE	RMSE	IA	R
Beijing	97.00	128.06	31.07	49.74	0.90	0.88
Chengdu	84.43	100.08	15.65	37.58	0.84	0.76
Guangzhou	49.53	75.11	25.58	38.63	0.69	0.68
Hohhot	40.00	33.23	-6.77	21.56	0.79	0.70
Shanghai	49.94	79.11	29.17	37.58	0.77	0.88
Shenyang	69.74	70.86	1.12	25.29	0.87	0.78
Osaka	19.83	16.55	-3.28	7.10	0.90	0.86

日本国内における気象データは，大阪府大気環境常時監視システムより入手し，濃度比較を実施した.

中国 6 地点では 2014 年の 1 月 1 日 0 時から 8 月 31 日 23 時（UTC+8）の期間の日平均値を対象とし, 大阪では 2014 年の 1 月 1 日 0 時から 8 月 31 日 23 時（UTC+9）の期間における日平均値を対象とした．Table.4 に，$PM_{2.5}$ 濃度比較における統計指標値と，計算値と観測値のそれぞれの平均値を示す．Figure.2 に北京と大阪における $PM_{2.5}$ 濃度の時系列変化を，Figure.3 に呼和浩特における $PM_{2.5}$ 濃度の時系列変化と高濃度となった日付を示す.

$PM_{2.5}$ 濃度は北京, 成都, 広州, 上海, 瀋陽で過大評価, 呼和浩特，大阪で過小評価となった．多くの地点で誤差が大きくなったが，この理由としては，シミュレーションの解像度が低かったことと，排出量データが最新のものではなかったことが挙げられる．より正確に濃度を再現するためには，高解像度のシミュレーションと正確な排出量データが必要であるといえる．しかし，Zhao ら[3] によると，中国は広範で法規制も十分でないため，各汚染物質の排出セクターごとの排出係数や稼働率や工場の分布などのデータが不完全であるため，正確な排出量データを作成することは難しいとされている．正確な排出データを作成することが今後の第一の課題であると言える.

3.4 後方流跡線解析

中国の呼和浩特において, $PM_{2.5}$ 濃度が特に高い 3 日間について，米国海洋大気庁の Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory version.4（HYSPLIT4）を用いて後方流跡線解析を実施した．後方流跡線は，ある地点までの空気塊の到達経路を表している．本研究では呼和浩特に到達した空気塊を対象として，出力ステップを 1 時間とし，対象空気塊の 5 日前からの経路を線で繋ぎ，1 日ごとに点をプロットした．3 日間それぞれにおける後方流跡線と $PM_{2.5}$ 濃度分布を Figure.4 に示す.

Figure.3 によると，2 月 24 日において計算値は観測値

と良く一致しているが，1 月 31 日と 4 月 22 日において計算値と観測値は一致していない．後方流跡線解析によると，Figure.4(a)において $PM_{2.5}$ はタクラマカン砂漠付近から輸送されており，Figure.4(b)において $PM_{2.5}$ は中国中部から輸送されており，Figure.4(c)において $PM_{2.5}$ はゴビ砂漠付近から輸送されていると考えられる．中国国内からの汚染は良く再現できているが，砂漠からのダスト輸送は上手く再現できていないと考えられる．これは，本研究ではダストを考慮するためのダストモデルを使用していないためだと考えられる．また，中国国内からの輸送汚染に関して，Zhang ら[4]によると，中国中部の四川盆地付近や中国北東部は $PM_{2.5}$ 濃度が高くなり易いと言われており，その高濃度が内モンゴルに輸送された結果が本研究でも表れていると考えられる．後方流跡線解析によると，中国国内で空気塊が滞留することが幾度かあり，その度に汚染濃度が高くなっていることが伺える．

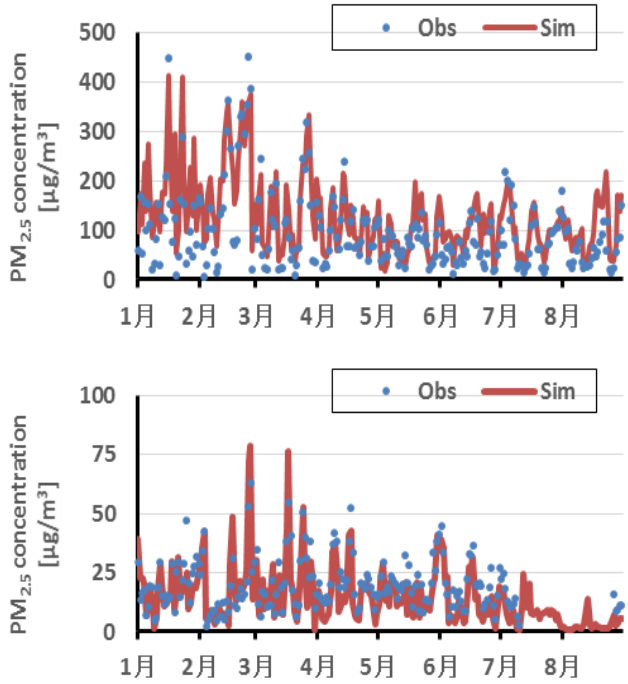


Figure.2 Time series of $PM_{2.5}$ concentration in (a)Beijing, (b)Osaka

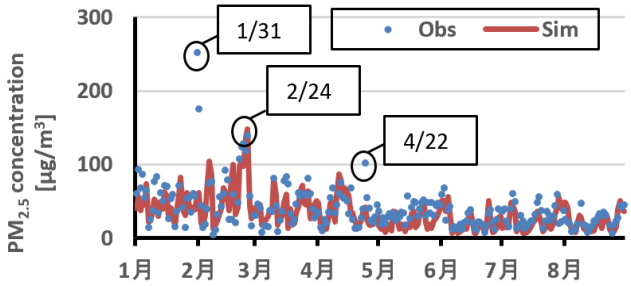


Figure.3 Time series of $PM_{2.5}$ concentration in Hohhot and high concentration days

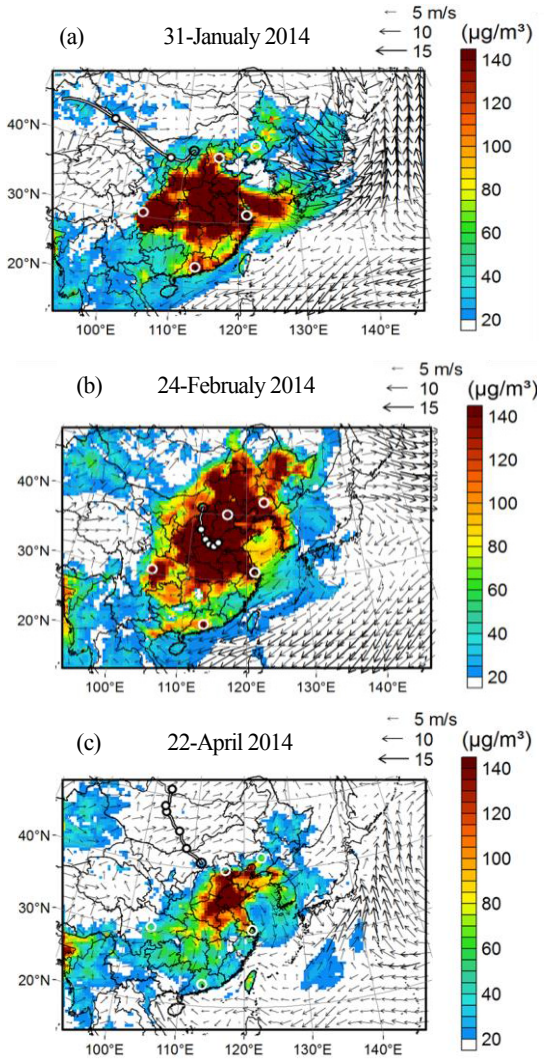


Figure.4 $PM_{2.5}$ concentration distribution and Backward trajectory analysis on (a)31-Janualy, (b)24-Februaly, (c)22-April

参 考 文 献

1）Shimadera H., Hayami H., Ohara T., Morino Y., Takami A. and Irei S.: Numerical simulation of extreme air pollution by fine particulate matter in China in winter 2013, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, vol.8, No.1, 2014, pp.25-34

2）Emery C., Tai E, Yarwood G: Enhanced meteorological modeling and performance evaluation for two texas ozone episodes. Prepared for The Texas Natural Resource Conservation Commission 12118 Park 35 Circle Austin, Texas 78753, 2001

3）Y. Zhao, C. P. Nielsen, Y. Lei1,3, M. B. McElroy, J. Hao: Quantifying the uncertainties of a bottom-up emission inventory of anthropogenic atmospheric pollutants in China, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol.11, 2011, pp.2295–2308

4）H. Zhang, J. Li, Qi Ying, J. Zhen Yu, Dui Wu, Y. Cheng, Kebin-He, J. Jiang: Source apportionment of $PM_{2.5}$ nitrate and sulfate in China using a source-oriented chemical transport model, *Atmospheric Environment*, vol.62 2012, pp.228-242

大規模複合施設における詳細エネルギー消費実態分析(第 2 報)

Analysis on detailed energy consumption structure in the large composite facility

○大久保　宏美（大阪大学）　宅　康平（大阪大学）
三田村　和樹（大阪大学）　下田　吉之（大阪大学）
田中　宏昌（日建設計）　田辺　慎吾（日建設計）
Hiromi OKUBO*[1]　Kohei TAKU*[1]　Kazuki MITAMURA*[1]　Yoshiyuki SHIMODA*[1]
Hiromasa TANAKA*[2]　Shingo TANABE*[2]
*[1]Osaka University　*[2]Nikken Sekkei Ltd.

In this study, the detailed energy consumption in the large composite facility is analyzed. The results are as follows. : 1) The primary energy consumption of heat demand accounts for a large percentage and that is influenced by the outdoor temperature. 2) The energy consumption of kitchen equipment and city gas has a high correlational relationship with number of visitors. 3) There is cold water demand on Fan coil unit (FCU) in winter because of excessive heating by the Outdoor-Air Processing Unit (OPU). 4) There is slightly hot water demand on FCU in summer because of the hunting phenomenon.

はじめに

業務部門において、省エネルギー対策の導入による地球温暖化緩和への貢献は重要な社会的要請であるが、そのためには、まずエネルギー消費実態を正確に把握することが重要である。業務部門のエネルギー消費に関して多数の建築を対象とする研究 [1)]や、事務所を対象とする BEMS を用いた研究 [2)]は多いが、商業施設におけるテナント毎の詳細な時刻別エネルギー消費データを用いた分析は少ない。

本報では、前報 [3)]で 2013 年 9 月のエネルギー消費実態を明らかにした大規模複合施設における 2013 年 7 月～2014 年 6 月までの年間のデータを用いて、エネルギー消費実態を明らかにし、省エネルギー性能評価を行った。

1　対象建物概要

分析対象建物概要を Table 1 に示す。主要用途としてオフィス、商業施設などが存在するが、今回対象とするのは商業施設である。商業施設の面積は約 127,000 ㎡である。そのうち分析対象としているテナント専有部(以下専有部)の面積は約 56,000 ㎡であり、商業施設全体の 44%を占める。また、対象建物は省エネルギー性能の高い建物であり、特徴として可変風量制御装置（以下 VAV）が各テナントに設置されており、テナント毎で風量調整が可能である。今回は前報 [3)]で分析を行った A 館に加え、B 館を合わせた計 249 店舗について年間分析を行なった。

2　商業施設におけるエネルギー消費

商業施設専有部全体の年間一次エネルギー消費量[注 1)]

Table 1　Information of the building

Information	A building	B building
Location	Osaka City, Osaka Prefecture	
Floor number	38 floors above ground/3 floors under ground	
Total floor area	About 300,000m^2	About 200,000m^2
Main use	Office, Hotel, Serviced residences Convention, Commercial facility	
Heat source equipment	Central heat source system (gas and electricity)	
Air conditioning system	Fun coil unit (the load of internal processing) Outside air treating air conditioner	
Commercial facility The hours of operation*	Retail:9:00～21:00	Retail:9:00～21:00
	Restaurants: 11:00～28:00	Restaurants: 11:00～23:00
	Restaurants(Sunday and national holiday before weekdays): 11:00～23:00	*There is exceptions by stores.
Tenant	75 stores	174 stores
Tenant area	About 30,000m^2	About 26,000m^2
Period for Investigation	July 1,2013～June 30,2014	

の割合を Figure 1 に示す。本報告での一次エネルギー消費量には、照明、コンセント、外調機(一般)ファン、外調機(厨房)ファン、排気ファン、厨房用コンセント、ガス (厨房・給湯用)、外調機および FCU の空調熱源用エネルギー消費量[注 2)] (冷水、温水含む)を表す。照明は約 64(TJ/年)で 21%と最も割合が大きいが、空調熱源用エネルギー消費量は全て合わせて約 98(TJ/年)で 31%と 3 割以上を占め、年間一次エネルギー消費量への影響が大きいと考えられる。次に、用途別一次エネルギー消費量の変動について Figure 2 に示す。全体の一次エネルギー消費量は、空調熱源用エネルギー消費量の影響から夏期と冬

期の値が大きくなる傾向がある。中でも、外調機(一般)での冷温水消費による影響が大きく、特に冬期において顕著である。一方、FCU での冷温水は季節による変動があるものの年間を通じて消費されており、特に FCU での冷水消費が多い。空調熱源用途以外では年間を通じて変動が見られず、季節による影響をほとんど受けていない。

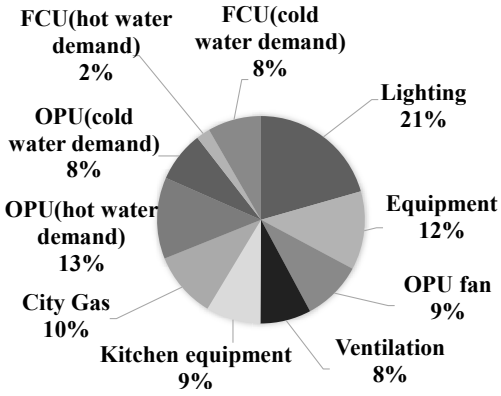


Figure 1　Breakdown of Primary energy consumption in each usage

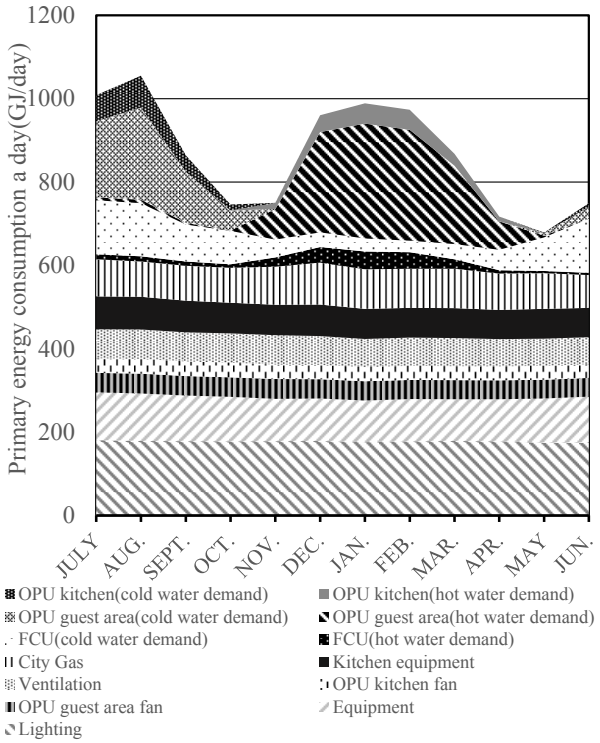


Figure 2　Changes of primary energy consumption per day

3　業種別エネルギー消費量

商業施設のテナントを物販(165 店舗)、軽飲食(11 店舗)、重飲食(55 店舗)、その他(18 店舗)に大別し、年間一次エネルギー消費量および延床面積の業種別割合を Figure 3 に示す。重飲食店舗が全体の延床面積を占める割合は 17%と小さいが、全体のエネルギー消費量のうち約 50%を占め、エネルギー消費密度が大きいことがわかる。

Figure 4 には業種別の用途積み上げ年間一次エネルギー消費量原単位を示す。物販は 3,054MJ/㎡、軽飲食は 6,274MJ/㎡、重飲食は 15,800MJ/㎡、その他は 4,084MJ/㎡であった。重飲食が他用途に比べ多い結果となったが、これは重飲食に営業時間の長いテナントが含まれることや、本建物では共用部に客席がある場合が多く、厨房面積の占める割合が高いことなどの影響が考えられる。また、用途内訳を見ると、物販では照明が 38%、空調熱源用エネルギー消費量が 38%と照明と空調熱源用途で約 8 割が占められている。また、軽飲食、その他においても空調熱源用途は約 4 割を占める。一方、重飲食では外調機ファンおよび排気ファンで約 25%、厨房・給湯用ガスで 20%、厨房用コンセントで 15%、空調熱源用途では 23%と他業種と異なり、排気ファン、外調機ファン、ガス(給湯・厨房用)、厨房用コンセントでの消費割合が半分を占め、空調熱源用途の割合が小さい。

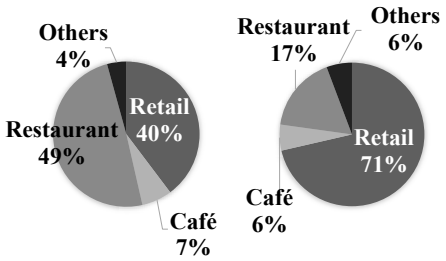


Figure 3　Breakdown by industry group (Left: primary energy consumption, Right: floor area)

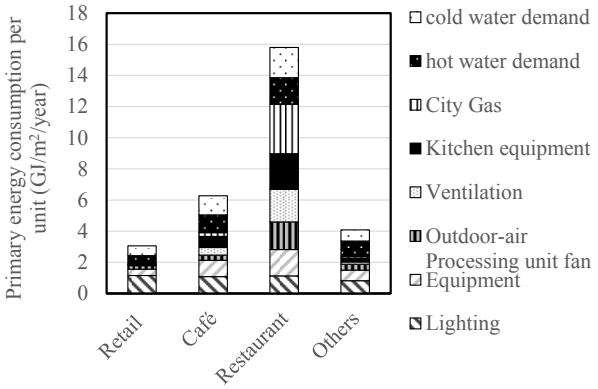


Figure 4　Primary energy consumption per unit

4　業種別エネルギー消費量の変動

業種別の空調熱源用途以外のエネルギー消費量原単位と月来館客数比率[注3)] を Figure 5 に示す。なお、この分析では全館の来館者数を用いており、施設を利用せずエネルギー消費に関係しないと考えられる人数もカウントされていることに留意する必要がある。物販、軽飲食、その他におけるエネルギー消費は各月で一定であるが、重飲食のエネルギー消費は来館客数の変動により影響を受け増減している傾向が見られる。

次に、変動が見られた重飲食について、用途別エネルギー消費量原単位と日来館客数比率[注 4)] との関係について Figure 6 に示す。相関係数は照明で 0.26、外調機(一般)ファンで 0.09、外調機(厨房)ファンで 0.08、排気ファン

で 0.07 と相関は低くなっているが、ガス(給湯・厨房用)では 0.80、厨房用コンセントでは 0.45、コンセントでは 0.44 となっており、他の用途と比較して相関が高いことが分かった。また、ガス(給湯・厨房用)、厨房用コンセント、コンセントについて、傾きもそれぞれ、2.97、2.20、0.99 と他用途と比較して大きく、エネルギー消費量に対する来館客 1 人あたりの影響が大きい。これらの用途が Figure 5 における変動の要因と考えられ、高い相関、傾きは、客数の増加に伴い、電気調理器、ガス調理器などの稼動回数が増加することに起因すると考えられる。

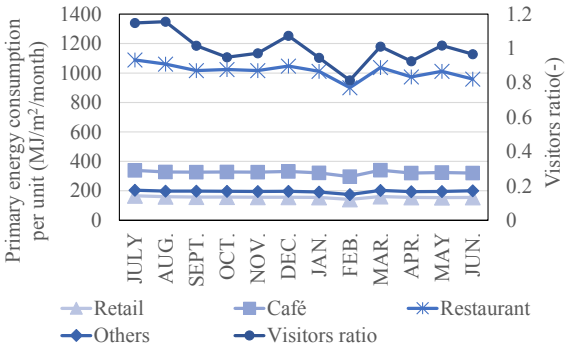


Figure 5　Primary energy consumption per unit (except for heat demand) and Visitors ratio

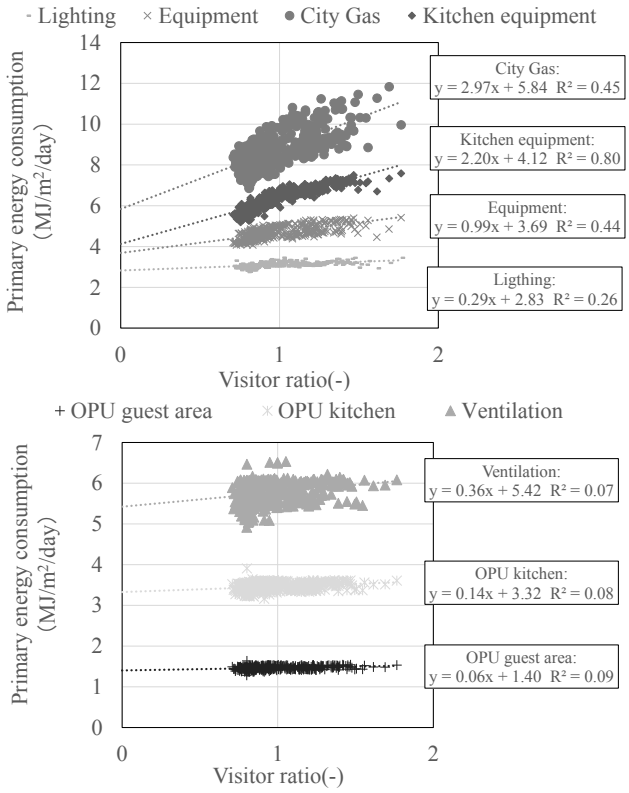


Figure 6　Relation between primary energy consumption per unit & visitors ratio (Restaurant)

5　商業エリア全体のエネルギー消費量の評価

対象施設の省エネルギー性能について考察する。対象施設の商業エリア全体における、年間一次エネルギー消費量と延床面積あたりの年間一次エネルギー消費量原単位を Table 2 に示す。ただし、対象施設には営業時間が 11：00～翌 4：00 までという営業時間の長い飲食店（他の飲食店舗の営業時間 11：00～23：00）が含まれているため、それらの店舗を除外した値も示している。また、Table 3 に山口らによる研究[4]より得られた業態区分別一次エネルギー消費量原単位を示す。

対象施設の全店舗を含めた一次エネルギー消費量原単位は 3.36 GJ/m² であるが、営業時間の長い店舗を除いた一次エネルギー消費量原単位は 3.16 GJ/m² となり、Table 3 の一次エネルギー消費量原単位を比較すると、百貨店の平均値である 3.26GJ/m² や、ショッピングセンターの平均値である 3.59GJ/m² より少し小さい。また、財団法人省エネルギーセンター[5]によると百貨店において飲食店の占める面積割合は専有部で 4.4%であるが、対象施設の専有部において、エネルギー消費密度の大きい飲食店が占める面積割合は 23%と大きい。このような観点からも、対象施設は省エネルギー性の高い施設であると考えられる。

Table 2　Primary energy consumption of Commercial facility

	Total (TJ/year)	Energy Intensity (GJ/m²/year)
An entire Commercial facility	428.8	3.36
Except for log hours of operation stores	394.8	3.16

Table 3　Primary energy consumption by business type (DECC Data base)

Business type	Sample size	Floor area(m²)		Primary energy consumption per unit (MJ/m²/year)	
		Average	standard deviation	Average	standard deviation
Department Store	92	3.26×10^4	2.5×10^3	3.26×10^3	8.4×10^2
Shopping center	245	3.4×10^4	3.56×10^4	3.59×10^3	1.77×10^3

6　運用による省エネルギーの可能性

Figure 2 において、冬期に FCU で冷水が消費されていた要因について分析を行なった。代表店舗の冬期代表日における時刻別冷温水消費量原単位を Figure 7 に示す。代表店舗の営業時間は 10 時~21 時である。営業開始の 1 時間前に外調機および FCU において温水が消費され始め、営業開始後 FCU での温水消費が減少し、冷水が消費され始める。外皮負荷が小さく、室内発熱が大きいため、冬期においても冷房需要があり、外調機の設定温度を低くすることで省エネルギーの可能性があると考えられる。

次に、冬期(12 月～2 月)における B 館フロア別 FCU 冷温水消費量原単位について Figure 8 に示す。外部との出入り口のある B1F～2F で温水消費が多く、3F～5F では上階につれて冷水消費量の割合が大きくなっている。この要因として、出入り口のあるフロアではすきま風負荷により温水消費が多く、上層階では室内負荷の割合が大きく熱溜まりもあることにより冷水消費が多いと考えら

れる。このようなフロア特性や時刻別特性を考慮し、設定温度を変更して FCU と外調機がそれぞれ処理する負荷の最適化を図ることで、空調熱源用エネルギー消費の削減に繋がると考えられる。また、Figure 2 において夏期に FCU で温水が消費されていた要因について、代表店舗の夏期代表日における時刻別冷温水消費量原単位を Figure 9 に示す。常に冷温水が消費されていることから、室温が設定温度に安定せず加熱と冷却を繰り返すハンチング現象が起こっていることによるものと考えられる。夏期には温水の供給を停止する等の対策が考えられる。

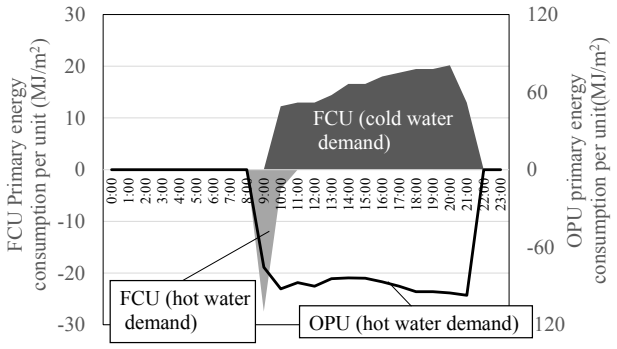


Figure 7　Hourly cold and hot water demand (winter)

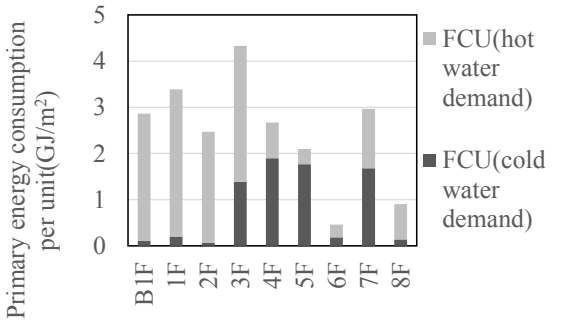


Figure 8　Primary energy consumption on FCU for every floor (B building)

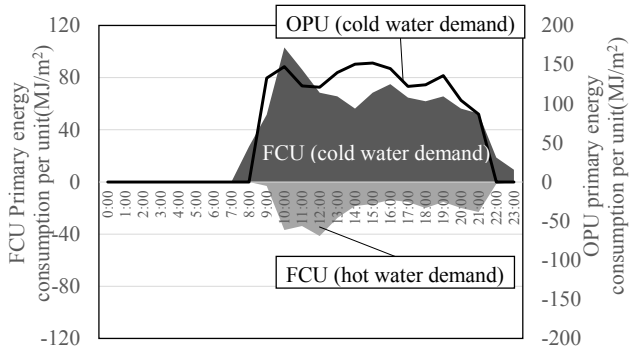


Figure 9　Hourly cold and hot water demand (summer)

また、Figure 2 において外調機(一般)ファン、外調機(厨房)ファン、排気ファンのエネルギー消費量に日による変動が見られず、重飲食における各用途のエネルギー消費量原単位と来館客数比率との関係を見ても、相関が見られなかったことから、換気に関する用途のエネルギー消費量は来館客数による影響は小さいと考えられる。本施設では、VAV が各テナントに設置されており、各テナントで強・弱の風量設定が可能であるが、現状では常に強設定で運用されている店舗が多い。平日や休日などで来館客数に応じて調整を行うことで、省エネルギー化の可能性があると考えられる。

7　まとめ

2013 年 3 月に竣工された大規模複合施設の商業エリアにおけるエネルギー消費の実態について分析を行い、以下の知見を得た。

- 空調熱源用途におけるエネルギー消費量の割合が大きく、外気温の影響を強く受ける。
- 冬期において FCU で冷水が消費されていることが分かった。外調機の設定温度を変更するなど、FCU と外調機の最適化を図る必要があると考えられる。
- 対象施設には VAV が設置されているが、強設定で運用されている店舗が多いため、平日と休日などで来館客数に応じてテナント毎に風量調整を行なうことで、更なる省エネルギー効果が見込まれる。

注

注1)　本文中に示す一次エネルギー換算係数は、電力：9.76[MJ/kWh]、都市ガス：45[MJ/Nm3]で算出している。

注2)　冷水・温水を製造するために熱源で消費した一次エネルギー消費量を表す。算出の際には、外調機・FCU で消費された冷水と温水をそれぞれ月間冷水・温水熱源システム COP で割り戻して、算出を行なった。

注3)　月来館客数比率[-]=来館客数[人/月]÷年間平均来館客数[人/月]

注4)　日来館客数比率[-]=来館客数[人/日]÷年間平均来館客数[人/日]

参 考 文 献

1)　高口洋人、他：非住宅建築物の環境関連データベース構築に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.649-652,2008.8

2)　吉澤望、他：業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する調査研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1767-1770,2010,8

3)　宅康平、他：大規模複合施設における詳細エネルギー消費実態分析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.73-76,2014.9, CD-ROM

4)　山口容平、他：非住宅建築物の環境関連データベースに基づく小売業態分類別商業施設一次エネルギー消費量原単位の比較、日本建築学会環境系論文集、第 77 巻-第 68 号(2012 年-11 月)pp889-897

5)　財団法人省エネルギーセンター：商業施設の省エネルギー

介護付有料老人ホームにおける転倒事故の発生率と外気温熱環境の関係

Relation between Outdoor Thermal Environment and Fall Accidents Incidence in a Home for Elderly People Receiving Care

○東　雄也（大阪市立大学）　梅 宮　典 子（大阪市立大学）
小 林　知 広（大阪市立大学）　高木　舞人（大阪市立大学）
中山　裕介（大阪市立大学）

Yuya AZUMA*[1]　Noriko UMEMIYA*[1]　Tomohiro KOBAYASHI*[1]　Maito TAKAGI*[1]　Yusuke NAKAYAMA*[1]
*[1] Osaka City University

This study analyzed the relation between the outdoor thermal environment and fall accident incidence in a homes for elderly people receiving care during the past three years. Fall accidents account for most accidents of elderly people. After analyzing 1) temperature, 2) relative humidity, 3)PMV, and 4) air pressure as outdoor environment, results showed that temperature, relative humidity, and PMV are affected strongly by differences among seasons. However air pressure has no relation. Results demonstrate the possibility of reducing fall accidents through adjustment of air-conditioning.

1. 背景と目的

我が国は他の先進国に比べて高齢化のスピードが速く、1970 年に高齢化社会に、24 年後に高齢社会となっている。2060 年には超高齢社会に突入して約 2.5 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者になると予想されている。高齢者の事故には、さまざまな種類があるが、なかでも転倒事故は事故の過半数を占め[文1)]、寝たきりにつながりやすく QOL を著しく低下させる。転倒事故の防止は、高齢社会の課題の 1 つだと言える。転倒事故と加齢に伴う運動機能との関係性は医療福祉分野の研究によって明らかとなっている[文2)]。これは人体側の要因であるが、転倒には環境要因もある。環境要因についてはこれまでに綱村ら（2013）が高齢者施設における空間への色彩導入による心象変化の検証に関する研究[文3)]や岩本ら（2007）による住宅階段の安全性確保に有効な視環境設計に関する研究[文4)]などが挙げられる。

病院や介護施設等入所高齢者の転倒事故の発生率は、在宅の場合に比べ約 2～3 倍であるとされている[文4)]。本研究は建築環境工学的に転倒事故をとらえ、外気象条件と介護施設における転倒事故の関係を分析する。外気象条件としてはまず温熱環境に着目する。具体的な目的は、1）外気温熱環境と転倒事故発生には関係があるのか、2）外気の気温、3）外気の湿度、4）温熱環境総合指標、5）外気の気圧、と転倒事故の発生率との通年および季節別の関係を明らかにすることである。

2. 使用するデータ

対象施設は、兵庫県に立地する 5 階建て面積約 6,000 ㎡の介護付有料老人ホームである。入居者最大人数 146 名、平均年齢 87.3 歳、平均介護度 2.1 で、男女比は、3.5 : 6.5 となっている。施設が月ごとに収集した介護度、年齢、発生時間帯、発生場所、事故種類、対策ほかのデータから、転倒事故を抽出し分析を行う。入手できた平成 22～25 のうち、平成 24 年に関しては、データ欠損期間があったため分析から省く。外気象データには施設に最も近い観測所である大阪管区気象台における 10 分間隔データを使用する。

3. 転倒事故の定義

転倒は、転倒、転落、墜落の 3 種類に分類される。定義は、「転倒 : 同一平面上でバランスを失い倒れて受傷したもの (押され、突き飛ばされ、スリップ、つまずき等)」、「転落：高低差のある場所から地表面または静止位置までのスロープなどに接触しながら転がり落ち受傷したもの」、「墜落：高所から地表または静止状態まで落下し受傷したもの（転落に起因し墜落したもの、および墜落に起因し転落したものを含む)」である。本研究では、転倒と転落を転倒事故とみなし、墜落は対象外とする。

4. 転倒事故の発生状況

転倒事故の件数は、3 年で 1090 件である。

4.1 介護度　Fig.1 に介護度の割合を月別に示す。介護度は要支援 2、要介護 1～5 に分類され、例えば要支援 1 は日常活動動作をほぼ自分で行うことができるが手段的日常活動作、例えば電話、買い物、家事などに何らかの支援が必要な状態、要介護 1 は身のまわりの世話に何らかの介護を必要とし、移動に何らかの支えを必要とする、あるいは、問題行動や理解の低下が見られることがある状態、要介護 5 は介護なし日常生活を行うことがほぼ不可能な状態である。介護度と転倒事故の関係は月ごとにあまり差がなく、すべての月で要介護 1 と 2 の割合

が高い。これは入居者に要介護１と２が多いことを反映しているが、要介護１と２は比較的自力で動けるが自分の身体機能の限界を把握できず、無理な立ち上がり時や移動時に事故が発生すると考えられる。季節によって介護度の割合に差はあるが順番は大きく逆転しない(図略)。

4.2 年齢 月別の年齢は、80 代と 90 代の割合が高い。介護度と同様に月ごとに差はない。また季節によって介護度の割合に差はあるが順番は大きく逆転しない(図略)。

4.3 季節 Fig.2 は夏に事故がやや減少し、冬に増加する傾向を示している。月に２回以上転倒した高齢者による事故件数が全事故件数の約３割程度を占めるが、これらの事故は人体要因が大きいと判断し、複数回転倒者は月に１回のみ転倒したと数える。

4.4 時間帯 施設が集約したデータでは時間帯は食事など施設の生活時間によって区分されていたが Fig.3 は１時間あたりの発生数に換算して示す。事故が発生しやすいのは 9：00～11：45 で、活動時間帯である日中に多い。季節や時間帯によって事故の発生頻度が異なることから温熱環境と事故の発生は関係する可能性がある。

4.5 発生場所 Fig4 に、事故の発生場所を月別に示す。発生場所は圧倒的に居室が多い。居室で過ごす時間が長いことが関係しているといえるが、介護者がつかず高齢者が単独で行動するため居室で事故が発生している可能性もある。施設へのヒアリングでは、介護者のついている際の転倒事故はほとんどないと話されていた。居室の割合はすべての月で高く、季節差はほぼない。居室以外には、食堂と談話室、次いで廊下の順で多い。

年齢や介護度などの人体要因や発生場所は、季節による傾向が弱い。年別も目立った傾向はない（図略）。

5. 外気温熱環境と転倒事故発生率

Fig5～Fig8 に、外気の気温、湿度、PMV、気圧の出現率と転倒事故発生率の関係を示す。図の縦軸は、実線が転倒事故発生率（各階級の事故件数を全事故件数で除した割合%）、点線が気象条件出現率（各階級の出現度数を全出現度数で除した割合%）を表す。図を見やすくするため事故発生率から気象条件出現率を引いて棒グラフで示す。＋値だとその階級で事故が発生しやすく、－値だと発生しにくいことがわかる。季節別の図は３年合計である。

5.1 気温 Fig.5 に示す。３年合計では、低温で事故が多く高温で少ないという傾向がある。年別でも同じような傾向がみられる。季節別では、春のうち気温が低い部分で事故が多く、秋のうち気温が低い部分で事故が少ない。春に急に寒さが戻って十分に暖房されていない日

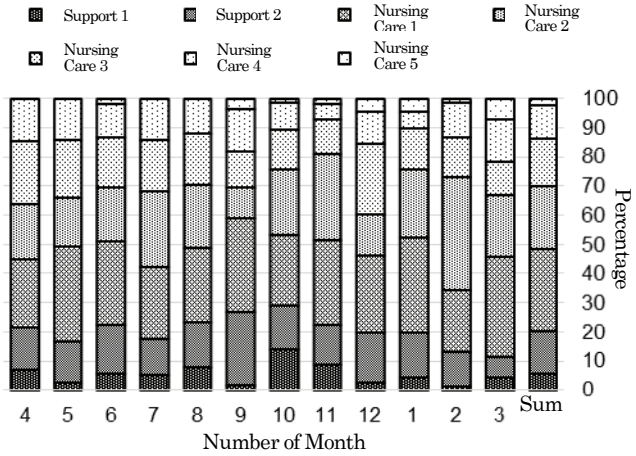


Fig.1 Nursing Care Level and Fall Accident

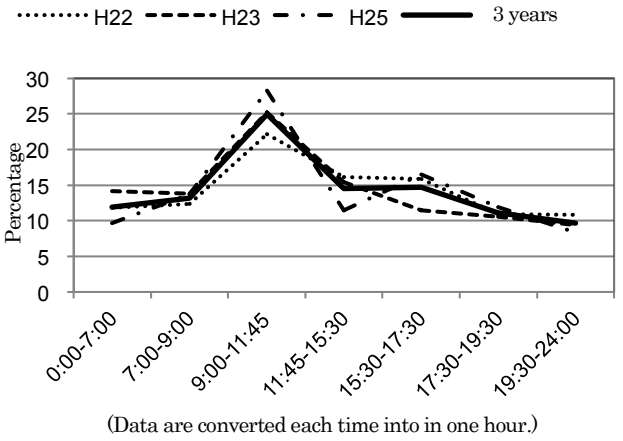


Fig.3 Time when Fall Accident occurs

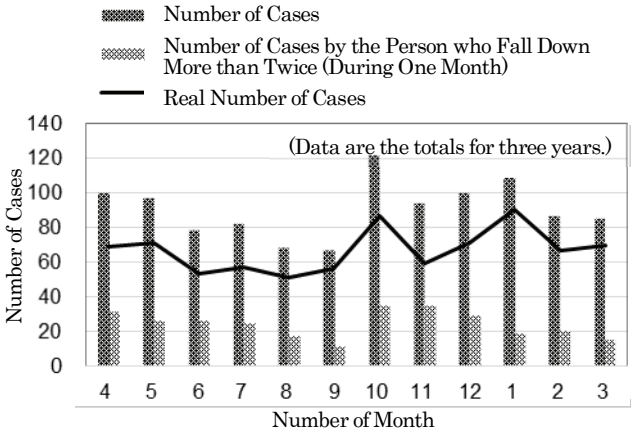


Fig.2 Number of Fall Accident according to the Month

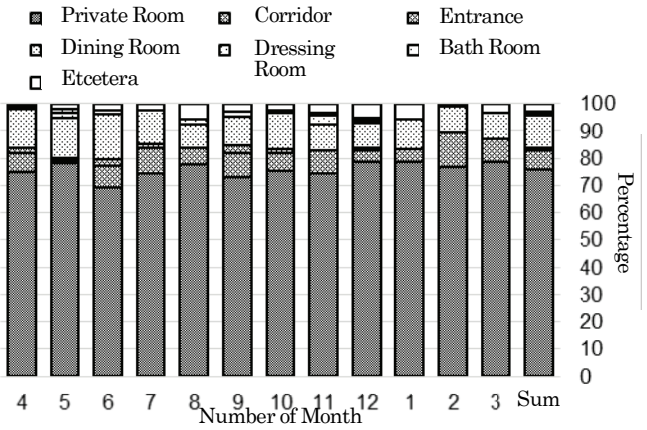


Fig.4 Location where Fall Accident occurs

に事故が多く、秋に涼しくなった日に事故が少ないと推測され、季節の変わり目の気候不順と事故が関係している可能性がある。一方夏は、春ほど顕著ではないが低温で事故が多く高温で少ない。夏に涼しく冷房が使用されない日に事故が多く、外気温が高い盛夏は冷房された室内で過ごすために事故は少ないと推測される。冬は、暖房や着衣量の調整によって入居者が外気温の影響を受けにくくなるため、気温と事故とのあいだに一貫した関係がみられないと推測される。

5.2 湿度　**Fig.6** に、湿度の出現率と事故発生率を示す。冬季の過剰暖房によって室内が極端に低湿度になり感染症が発生しやすくなることが言われており、湿度と転倒事故との関係についても分析する。3 年合計では、湿度の出現率と事故発生率はほぼ一致しており、年間を通してみると湿度と事故発生率にはほとんど関係がないといえる。しかし季節別に見ると事故は、春は低湿度で多く、高湿度で少ない。秋は逆に、高湿度で多く、低湿度で少ない。夏は、高湿度で多い。冬は秋と同様に高湿度で多く、低湿度で少ない、など、湿度と転倒事故には関係がある。なお年別にみると平成 22 と平成 23 は共通して湿度 60%付近で事故が少ない。その原因は不明である。

5.3 PMV　**Fig.7** に、PMV 出現頻度と事故発生率を示す。気温や湿度など単独の気象条件ではなく、日射量や着衣量や代謝量も考慮できる温熱環境の総合的な指標と事故発生率との関係をみる。着衣量は既往の屋外における観察調査にもとづく季節別着衣量の値[文5)]を入居者の男女比(3.5：6.5)で重みづけて、春 1.00clo、夏 0.58clo、秋 0.92clo、冬 1.53clo とする。MRT は気温、風速、グローブ温度から(**式 1**)により求め、グローブ温度は(**式 2**)により日射量から推定する[文6)]。

$$\mathbf{MRT} = T_g + 2.35\sqrt{v}(T_g - T_c) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{式 1})$$

$$T_g = T_a + 12.1 + 0.0067S' - 2.40\sqrt{U} \ (S' > 400)$$
$$T_g = T_a - 0.30 + 0.0256S' - 0.18\sqrt{U} \ (S' \leq 400) \quad \cdots (\text{式 2})$$

3 年合計では事故は PMV2 以上で少なく PMV1 以下で多い。年別でも PMV が低いとき事故が多く、高いとき事故が少なくなる傾向は一致している。季節別では、春の低い PMV で事故が少なく、秋の低い PMV で多い。また夏、冬では傾向がない。事故発生率との関係は気温と似ており、気温同様に春と秋で逆の傾向がみられる。

5.1 と **5.3** より、気温と PMV はともに、室内が冷暖房されていない春や秋に事故発生率と関係があり、夏や冬は事故発生率と関係があまりないといえる。

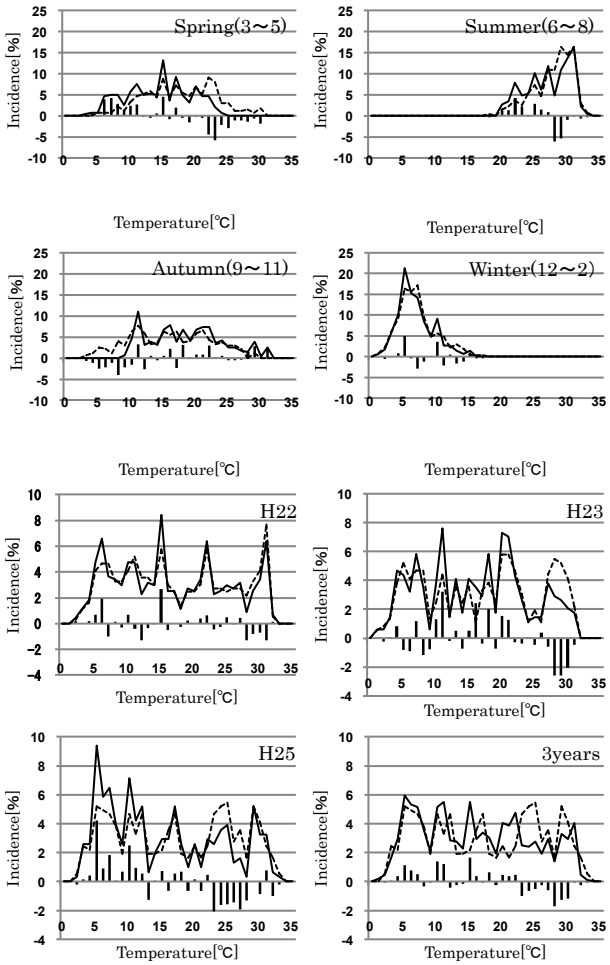


Fig.5　Temperature and Fall Accident

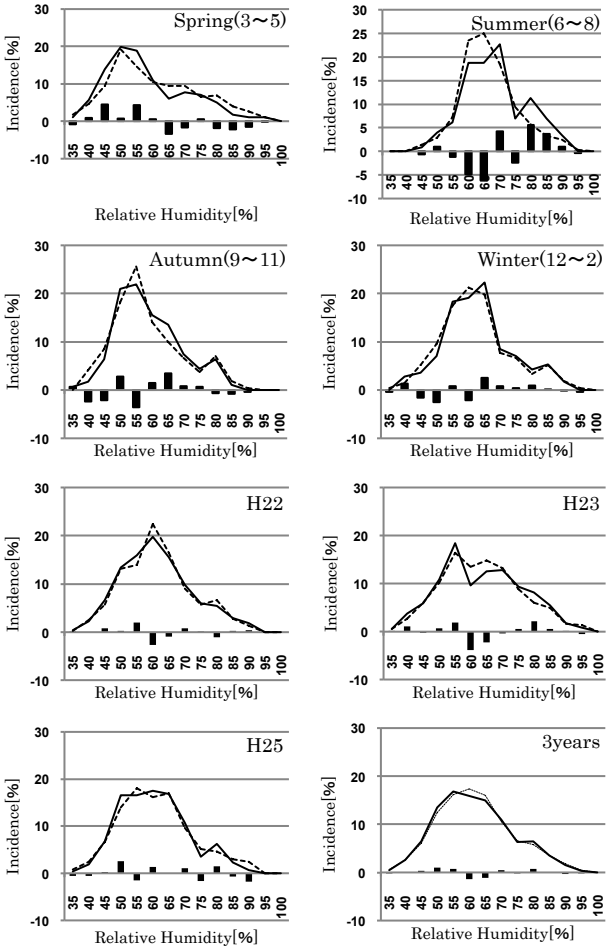


Fig.6　Relative Humidity and Fall

5.4 気圧　Fig.8 に気圧の出現頻度と事故発生率を示す。低気圧の前に関節痛が起きるなど経験的にも言われるが、気象医学の分野では気圧と疾病の関係が明らかにされているので気圧についても検討する。3 年合計でも年別でも傾向は弱い。季節別にみると、夏と冬の高気圧でやや事故が減少している。しかし総じて傾向が弱いことから気圧と転倒事故には関係がないといえる。ただし本報は事故発生の気象条件との関係を分析している。事故当日の気圧が直接的に転倒事故につながるというわけではないことが明確となったが、より長期間の気圧が事故に影響する可能性は残っている。

6. まとめ

介護付き有料老人ホームにおける 3 年間の転倒事故について、事故発生率と事故発生時の外気温熱環境との関係を分析した。その結果、1) 発生率は気象条件と関係がある。転倒事故は、2) 年間を通して高気温で少なく、低気温で多い。夏や冬は気温と関係がなく、春の低温の日に多く秋の低温の日に少ない。3) 湿度とは、通年では関係がないが、春は低湿度で多く夏は高湿度で多く秋は低湿度で少ない。4) 年間を通して PMV が高いとき少なく、低いとき多い。PMV と事故発生の関係は気温と事故発生の関係に類似、5)気圧と事故発生は関係がない、ことを明らかにした。

転倒事故と外気温熱環境は、冷暖房があまり調整されていないと考えられる春と秋で関係がみられたことから、施設内の冷暖房の調整によって事故を減らせる可能性が示された。今後は、室内温熱環境、特に転倒事故の多い居室内の温熱環境と転倒事故の関係を分析する。また、光環境と転倒事故発生との関係についても分析する。

[謝辞]

本研究は一般財団法人古川医療福祉設備振興財団の研究助成を受けた。記して謝意を表す。

[参考文献]

文 1)河野禎之ほか：施設入所高齢者における転倒・転落事故の発生状況に関する調査研究、老年社会科学、第 34 巻第 1 号、3-15、2012 年
文 2)平野康之ほか：デイサービス利用高齢者の運動能力に関する自己認識と転落の関連について、理学療法科学、25 巻、705-710、 2010 年
文 3)綱村眞弓ほか：高齢者福祉施設における色彩介入の効果、日本色彩学会誌、第 35 巻、84-85、2011 年
文 4)岩本朋子ほか：住宅階段の安全性確保に有効な視環境設計、日本建築学会学術講演梗概集、483-486、2007 年
文 5)丸田直美ほか：歩行者の外観に基づく clo 値推定の試み、日生気誌、第 46 巻第 4 号、149-158、2009 年
文 6)登内道彦ほか：熱中症危険度の地域特性と HWDI、日生気誌、第 45 巻第 3、62、2008 年

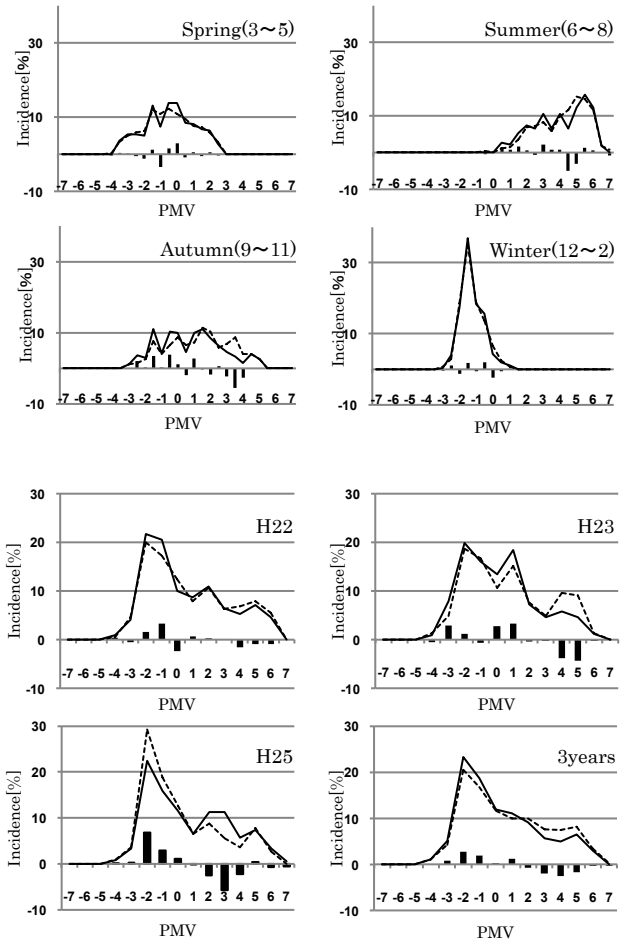


Fig.7 PMV and Fall Accident

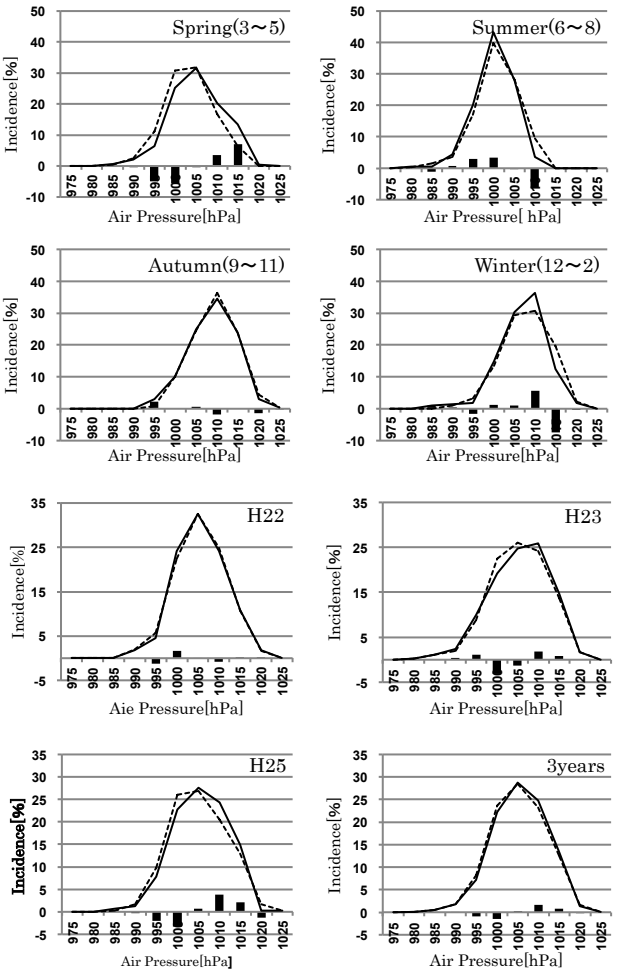


Fig.8 Air Pressure and Fall Accident

学校建築におけるコミュニティスペースの設計手法に関する研究
中高一貫校における中庭及び隣接屋内空間の利用実態に関する調査事例
Design Methods of Community Space in School Building
Field Survey on Actual Usage of Countryard and Adjacement Indoor Space in Junior and Senior High School

○花田　潤　（大阪大学）　坂口　武司　（竹中工務店）
山中　俊夫　（大阪大学）　甲谷　寿史　（大阪大学）
桃井　良尚　（大阪大学）　相良　和伸　（大阪大学）
張　成　（大阪大学）

Jun HANADA*[1] Takeshi SAKAGUCHI *[2] Toshio YAMANAKA*[1] Hisashi KOTANI*[1]
Yoshihisa MOMOI*[1] Kazunobu SAGARA*[1] Cheng ZHANG*[1]
*[1]Osaka University *[2]Takenaka Corporation

In this study, design method of community space in school is proposed. Recently the community space in school have been important factor when students choose new school. Environment elements(such as temperature, globe temperature, relative humidity, wind velocity, illuminance and solar radiation), questionnaire and visual survey in court and indoor space to comprehend feature of the place were investigated. In this paper, the result of the research in spring.

1. はじめに

生徒や保護者にとって学校選択の重要な要素として、キャンパス空間の魅力が挙げられる。そこで本研究では、改修後の学校建築におけるコミュニティスペースに着目する。コミュニティスペースといってもその利用のしかたは多様であり、利用目的やその場の滞在時間によって変化する。対象とする中庭及び隣接する屋内空間が生徒たちによってどのように使われているのかを温熱、光、音の物理的要素測定 (以下これらを環境特性とよぶ)、目視定点観測及びアンケートにより包括的に調査し、総合的な視点から学校の中庭及び隣接屋内空間における設計手法の検討を行う。また中庭は常に外気に曝されており、環境は 1 年を通して変化し、それに伴い環境特性をはじめ、環境評価、利用実態も異なると考えられる。そこでまず本報では、春期のみを対象とし、中庭及び隣接屋内空間における実測調査、目視調査、アンケート調査の結果について比較、考察を行う。

2. 調査概要

2.1 対象空間 (Fig. 1 - Fig. 2)

対象は兵庫県神戸市に位置する中高一貫校における中庭及び隣接する屋内空間 (Fig.2) である。それぞれにテーブルとイスが配置されており、昼休みや放課後に利用する生徒が多数存在する。中庭の北側には生徒のロッカーがあり、部活終了後この空間で休憩する生徒もいる。目視対象空間は、中庭のベンチ周り及び屋内空間全体 (ホール) で、目視調査員は図の■印に位置する。中庭、ホールそれぞれに 2 点ずつある図の●印の位置に、温度、グローブ温度、湿度、照度、日射量、風速の計測機器を配置した。測定機器一覧を Table 1 に示す。

2.2 目視定点観測

Fig. 2 の平面図の■印のあるロッカー上 1 点、ホール内の 1 点の計 2 点に調査員 2 人を調査時間中配置した。記録間隔は 10 分で、記録内容は場所、人数、行動、日陰位置の 4 項目である。

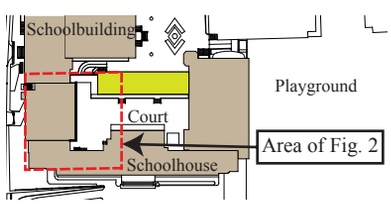


Fig.1 Layout Drawing

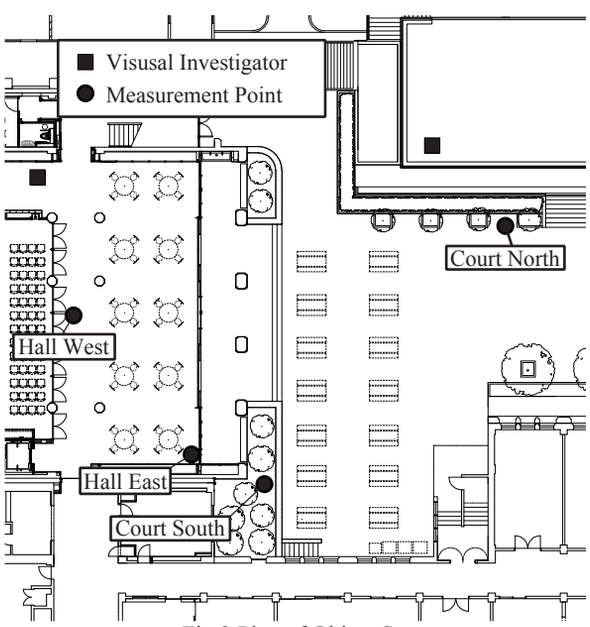


Fig.2 Plan of Object Space

Table.1 Measuring Equipment

Measuring item	Measuring Equipment	point of height(mm)
Temperature	T&D RTR53	500
Globe Temperature	CLIMATEC C-BB-7.5cm	800
Relative Humidity	T&D RTR53	500
Wind Volocity	Field Pro 200-WS01B-5	1100
Illuminance	T&D TR-74Ui	650
Solar Radiation	Field Pro SP110B-L3	650

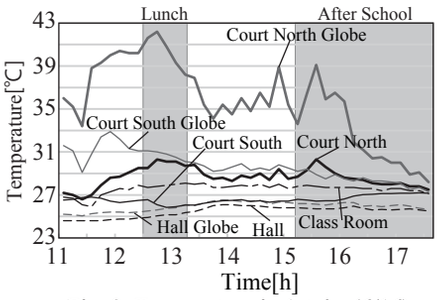


Fig. 3 Temperature in 1st day(6/16)

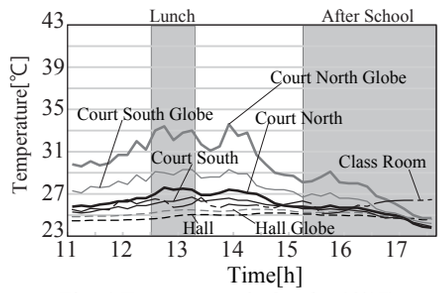


Fig. 4 Temperature in 2st day(6/17)

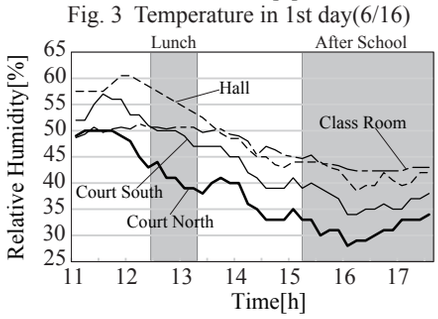


Fig. 5 Relative Humidity in 1st day(6/16)

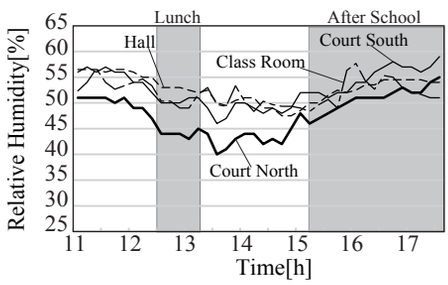


Fig. 6 Relative Humidity in 2nd day(6/17)

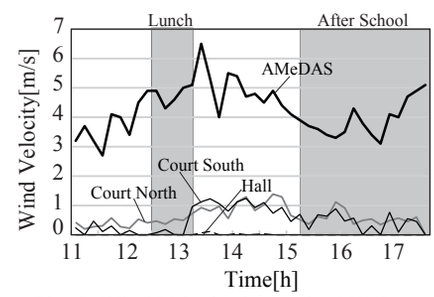


Fig. 7 Wind Velocity in 1st day(6/16)

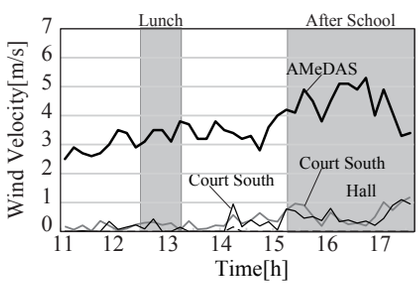


Fig. 8 Wind Velocity in 2st day(6/17)

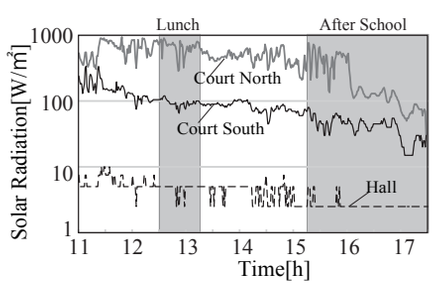


Fig. 9 Solar Radiation in 1st day(6/16)

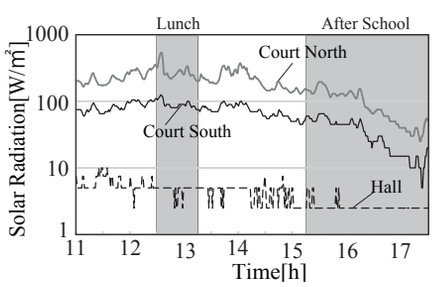


Fig. 10 Solar Radiation in 2st day(6/17)

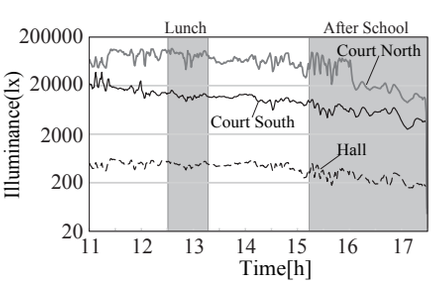


Fig. 11 Illuminance in 1st day(6/16)

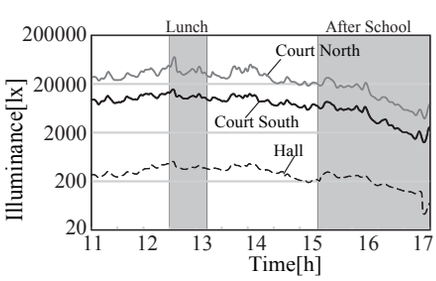


Fig. 12 Illuminance in 2st day(6/17)

2.3 アンケート

各調査毎回、対象空間に対する利用実態及び感覚、印象を中高全学年に行った。項目は大きく分けて2つのカテゴリーがあり、1つは利用頻度、滞在位置などの利用実態、もう1つは温冷感や快適感など対象空間に対する印象を調査するものである。これらを調査することによって、生徒が感じる対象空間の魅力や、利用していない理由を探ることができるアンケート用紙を作成した。

3. 環境測定 (Fig. 3- Fig. 12)

2014年6月16、17日に環境測定を行った。考察については昼休みが始まる少し前の11時から完全下校時間の17時半までの時間帯とした。なおグラフの網掛けの部分はそれぞれ昼休み (Lunch : 12時半から13時15分) と放課後 (Afte School : 15時15分から17時半) の時間帯を示している。ホール、教室に関しては平均値で示している。中庭の測定点2点はそれぞれが昼休みの時間帯に日陰と日向にあるので分けて示し、North, South とした。

3.1 温度測定 (Fig. 3- Fig. 4)

が庭北グローブが日向のため、両日とも一番値が大きく、1日目の昼休みの時間帯に、中庭南グローブよりも10℃以上高く、かなり暑いと感じる環境となっていることがわかる。両日ともにホールの気温は観測点中最も低いことがわかる。昼休みの時間帯は中庭、教室、ホールの順で気温が高く、放課後になると差が小さくなっている。

3.2 相対湿度測定 (Fig. 5- Fig. 6)

1日目に関しては、全時間帯において中庭北の値が一番低くなっており、時間が経つに連れて、すべての値が小さくなっており、放課後は30%から45%の間に収まっている。2日目は日向の中庭北の値が一番小さいが、1日目と比べて差がなくホール、教室、中庭南はほぼ差がない。ホールが両日の全時間帯において常に高い傾向にある。

3.3 風速測定 (Fig. 7- Fig. 8)

1 日目の昼休みの時間帯は日向の中庭北が平均 0.5m/s の風が吹いており、他の地点ではほぼ吹いていなかった。放課後では、中庭においてのみ 0 ～ 1 m/s の風速があった。2 日目は、昼休みの時間帯に風はなく、放課後の時間帯に 1 日目と同様の風が見られる。

3.4 日射量測定 (Fig. 9- Fig. 10)

両日で昼休みの時間帯では、日向の中庭北の値が日陰中庭南の 2 から 4 倍となっている。ホールに直達日射は当たらないので値がかなり低い。16 時頃になると、中庭が日陰となり、中庭北の値も下がっている。

3.5 照度測定 (Fig. 11- Fig. 12)

日射量と同様の傾向が見られる。ホールでは照度が 200 ～ 650lx であったが、中庭の照度が非常に高いため、総体的に暗く感じているかも知れない。

3.6 まとめ

中庭は日向と日陰で温度、湿度において昼間はかなり差があるが、夕方になるにつれて小さくなっていく。場所間の差も同様に昼間は大きいが夕方は差がなくなっていく。ホールは気温も低く、照度も中庭との対比でより小さく感じ、中庭より涼しく感じていると考えられる。

4. アンケート結果

実測日前後で学校の任意の日程でアンケートを行った結果についての考察を記す。今回は中庭・ホールを利用した理由と同場所における心地よいと感じる要因についてのアンケート結果のみ報告する。

4.1 中庭・ホールを利用した理由 (Fig. 13)

Fig.13 に中庭 (Court)・ホール (Hall) を利用した理由のアンケート結果をグラフに示す。中庭に関しては、最も高かったのは「ベンチやイスがある (Court)」、二番目は「自販機がある (Court)」と「机、テーブルがある (Court)」がほぼ同程度になっている。そこから考えられるのは、中庭を選択するときに温冷感よりも利便性を重視していると考えられる。その場所に滞在するときにすぐに飲み物を買うことができることは、重要な要素となり得ると考えられる。

ホールに関しては、「ベンチ・イスがある (Hall)」「机・テーブルがある (Hall)」が同程度で一番高い。その次に「涼しいから (Hall)」の回答が多く、ホールから自販機はそれほど離れていないにも関わらず回答数が多いことから、少なくとも日陰の中庭よりもホールのほうが涼しいと感じている生徒が多いということが考えられる。さらにそれに次いで「全体的なデザインが気に入っている (Hall)」の回答が多い。

4.2 心地よいと感じる要因 (Fig. 14)

Fig. 14 を見ると、中庭の心地よいと感じている要因は上から順に「座れる (Court)」「開放的 (Court)」「のんびりできる (Court)」「落ち着く (Court)」となっている。選んだ理由で「ベンチ・イスがある (Court)」が 1 番高かったことから、座ることができるのは生徒にとって重要と考えられる。さらに、次いでその空間に対して良いように捉えている傾向が見られた。風の割合も比較的高く、弱い風を心地よいと感じている人もいると考えられる。

ホールでも、中庭と全く同じように回答数の多い順に「座れる (Hall)」「開放的 (Hall)」「のんびりできる (Hall)」「落ち着く (Hall)」となっている。中庭と違うのはその次に「涼しさ」が多い点である。選んだ理由にも見られたようにホールを涼しく感じている人は多いと考えられる。

4.3 まとめ

アンケートから、その空間を利用する際に生徒が座ることができることを重要視していた。さらに中庭よりもホールを涼しく感じている生徒が多く、気温の差を生徒は感じていた。どちらも教室よりも広い開放的な空間であるため、その要因も読み取ることができた。

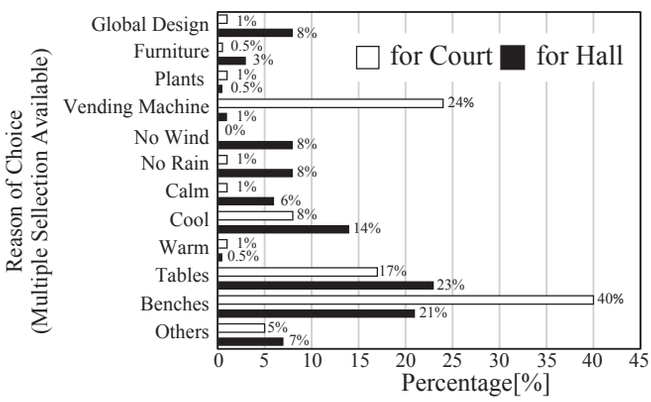


FIg. 13 Questionnaire:Reason of Choosing Court or Hall

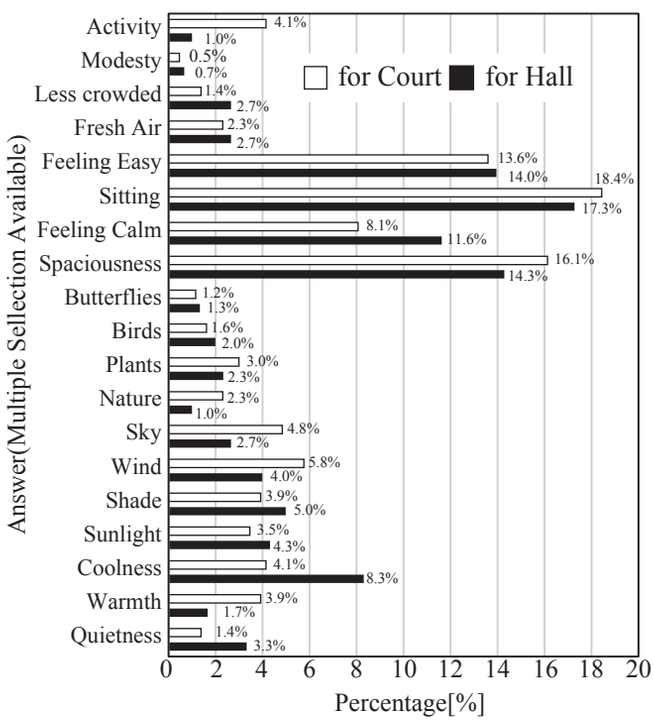
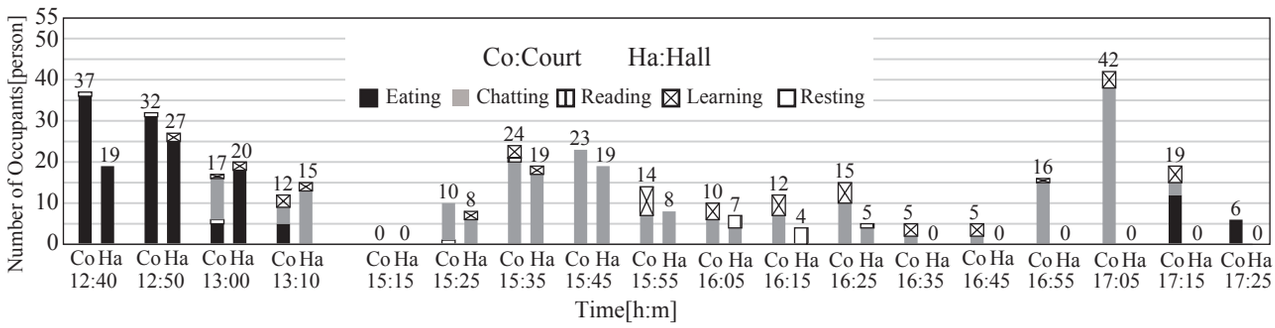
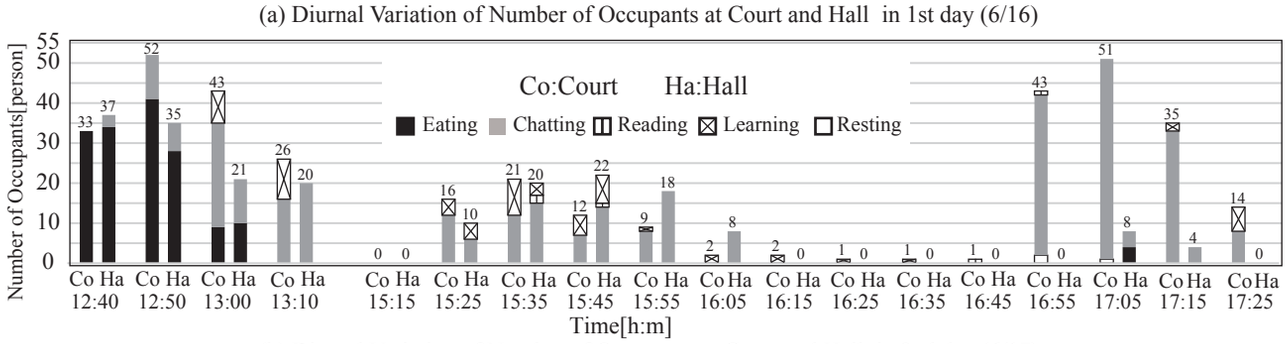


FIg. 14 Questionnaire:Reason of Pleasant at Court and Hall



(a) Diurnal Variation of Number of Occupants at Court and Hall in 1st day (6/16)



(b) Diurnal Variation of Number of Occupants at Court and Hall in 2nd day (6/17)

Fig.15 Visual Investigation of Diurnal Variation of Number of Occupants

5. 定点目視調査結果

6 月 16、17 日の二日間のそれぞれ昼休みと放課後の時間帯に中庭・ホールの利用実態を調査するために定点目視調査を行った。Fig. 15 に昼休み及び放課後における中庭・ホールの利用人数の時間変化を、Fig. 16 に昼休みにおける中庭、ホールの満席率の時間変化をそれぞれ示す。

5.1 利用人数の考察

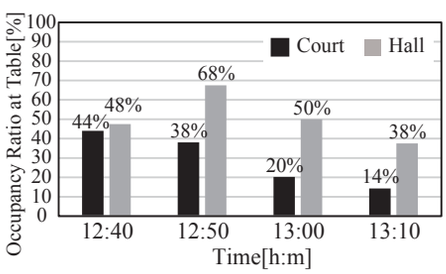
Fig. 15 から、全体的に見ると、中庭を利用している生徒の方がホールを利用している生徒より多かった。その差は、放課後により顕著に表れていた。その理由として、放課後になると直射日光が当たらなくなり、中庭全体が日陰になるためより過ごしやすい環境になっていると考えられる。ホールに人が全くいない時間帯があるが、中庭には常時人がいた。放課後の部活後に利用する生徒でホールの中まで入る生徒は少なく、ほとんどの生徒が中庭でおしゃべりをして帰宅していた。両日ともに授業後すぐの時間帯に同程度の人数が中庭、ホールをそれぞれ利用しており、同じ生徒が日常的に使用している可能性が高いと考えられる。

5.2 昼休みの満席率の比較

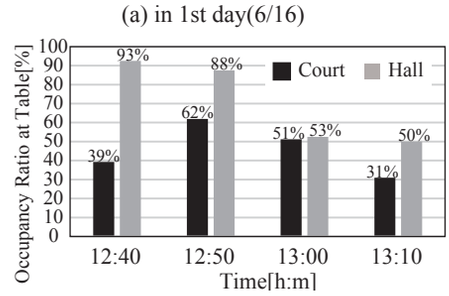
Fig. 16 から昼休みにおける中庭とホールの満席率を比べると、ホールの方が高い。利用人数の結果と満席率の結果では、中庭とホールで大小関係が逆転している。この結果から、昼休みにおいてはホールの人気の方があり、ホールを利用したいができない生徒がいる可能性もある。

5.3 まとめ

昼休みはホール、放課後は中庭の人気が高かった。放課後はそれが顕著で、中庭には絶えず人がいたが、ホールに人がいない時間帯があった。何か要因があり、それぞれの時間帯によって場所の適性があると考えられる。



(a) in 1st day(6/16)



(b) in 2nd day(6/17)

Fig. 16 Visual Investigation of Table Occupancy Ratio's Variation in Lunch Time

6 結論

本報では、研究概要及び春期実測結果について記した。それぞれの結果から考えられる中庭及びホールの特徴について述べた。今後は、環境要素、アンケート、目視調査結果それぞれの相関及びその他季節の結果、さらに季節間比較の考察を行う予定である。

謝辞

現地調査にご協力頂いた本中高一貫校の関係各位に深く感謝致します。また、環境特性調査について、竹中工務店技術研究所にご協力頂きました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献）

1) 野口真史，中野淳太，藤井浩史，下田利崇，森井健志，田辺新一：半屋外空間における熱的快適性実測調査（その 8）室内併設空間における環境適応実測調査概要， 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 527-528, D-1 2003. 9

2) 樫原未知，相良和伸，山中俊夫，甲谷寿史，窪内佑子：都市のオープンスペースにおける利用者の環境評価に関する研究（その 4）利用者の心理評価と快適感に関する検討．日本建築学会学術講演梗概集 pp. 875-876, D-1 2004. 8

Ｈ事務所省エネ技術の効果検証
（その１）人数把握が可能な在室検知センサを用いた照明・空調制御の有効性に関して
Verification of the Effects on Energy-saving Technique in an H-Office
Part 1 Effectiveness of Lighting and Air Conditioning Control System by Detection Sensor that can count the Number of Human

○太田 涼平（立命館大学）　近本 智行（立命館大学）　岡 克己（大阪ガス株式会社）
中嶋 俊介（大阪ガス株式会社）　李　明 香（立命館大学）
Ryohei OTA [*1] Tomoyuki CHIKAMOTO [*1] Katsumi OKA [*2] Syunsuke NAKAJIMA [*2] Myonghyang LEE [*1]
[*1] Ritsumeikan University, [*2] Osaka Gas Co., LTD.

The purpose of this study is inspecting effectiveness of lighting and air conditioning control using detection sensor that can count the number of human. Measurement and questionnaire survey were conducted in the office having the sensor control in summer. With the control, electric energy of lighting was reduced. Furthermore, the result shows that the air conditioning control is some possibility of reducing GHP gas consumption when there are few workers in the office. It improved the comfort of workers by controlling range of room temperature.

はじめに

近年、オフィスにおける省エネが重要視されており、積極的に環境配慮技術が導入される傾向にある。しかし、空調の設定温度緩和などの取り組みでは、省エネを優先するあまり温熱環境の悪化、執務者の快適性や知的生産性の欠如を引き起こす可能性がある。したがって、オフィスの省エネ性と執務者の快適性を両立可能な環境制御手法が求められる。

神戸市中央区に位置するＨ事務所では、省エネ性・快適性の実現を目指し、在室検知センサを活用した照明・空調制御システム、クーリングルームなど様々な技術が導入されている。昨年度はその計画概要が報告され[文1)]、今年度は各システムの省エネ効果や執務者の快適性への影響について検証を行ってきた。

そこで本報ではシステムの１つである人数把握が可能な在室検知センサを用いた照明・空調制御システムの検証結果を報告する。一般的なオフィスでは、照明は常時点灯状態になることが多く、空調においても設定温度は一部の執務者の好みで変更されるため、省エネ性・快適性が満たされているとは言い難い。また、外勤者が多いオフィスでは人数の増減により室温が設定温度を外れて大きく変動する可能性もある。それに対し、本制御は執務者の人数変動に伴って自動的に照明の点灯・消灯、空調設定温度の変更を行うため、省エネ性と快適性の両立を実現できると考えられる。本研究ではＨ事務所での実測および執務者へのアンケート調査を行うことで、省エネ性及び快適性の観点から本制御の有効性を確認する。

１．研究概要

1.1　対象建物概要

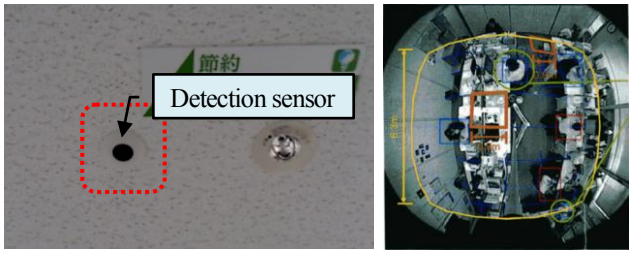
Tab.1 に対象となるＨ事務所の概要を示す。1 階は作業場、2・3 階は事務所フロアであり、外勤部署が所属するため日中は執務者の出入りが多い特徴を持っている。

Tab.1 Building outline

Location	Kobe City, Hyogo
Total floor space	Approximately 2100 ㎡
Building area	Approximately 700 ㎡
Number of floors	3 floors
Building use	Office
Construction	Steel construction
Office workers	Approximately 200
Completion year	November, 2013

1.2　在室検知センサ

Ｈ事務所にはエリアごとに在室検知センサが設置されており、2 階には 8 台、3 階には 14 台（北側：6 台、南側：8 台）設置されている。在室検知センサにはそれぞれ感知する範囲が設定されており、その範囲内の人数を自動認識して、1 分単位の計測値をデータベースに記録している。在室検知センサ及び撮影画像を Figs.1 に示す。



Figs.1 Detection sensor and photography image

対象建物ではこのシステムを用いて、照明の ON・OFF と空調設定温度の制御をしている。以下に詳細な制御方法を示す。

1.3　照明制御システム

照明制御では在室検知センサで計測されている在室人数を基に、撮影エリアの在室者が居ない状態（0 人）になると 1 分後にエリアの照明が自動的に OFF に切り替わる。また、照明 OFF のエリアに在室者が進入した場合は即座に照明が ON に切り替わる。制御フローを Fig.2 に示す。外勤者が多いオフィスでは執務者の出入りが頻繁に行われるため、在室者の有無により照明の小まめな消灯を行える本制御は省エネ面で有効だと考えられる。

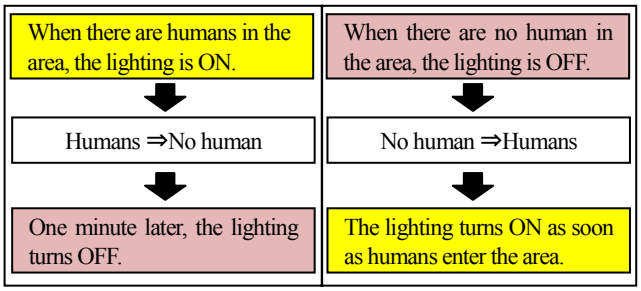


Fig.2 Lighting control flow chart

1.4　空調制御システム

空調制御では在室検知センサの人数情報から算出した人数変化と室内温度を基に空調設定温度を変更する。人数変化は Fig.3 のように 1 分単位で取得される人数情報の25分間平均値とその後の5分間平均値の差から算出し、管理者側で設定した空調設定温度テーブルに従って 30 分おきに空調設定温度を変更する[注1)]。夏期に用いた空調設定温度テーブルを Tab.2 に示す。外勤者が多いオフィスでは在室人数の変動が大きく、一般的な空調制御では人数に左右されて室温が上下するため常に快適な環境を維持することは容易ではない。しかし、本システムであれば人数変化から将来の環境変化を予測し、環境が悪化する前に設定温度を変更することで室内を快適な温度に維持することが可能になるため、快適性の向上に繋がると考えられる。

2．実測概要

2.1　実測期間・実測環境

夏期実測はプレ試験・本試験①（7 月 28 日～8 月 10 日）・本試験②（9 月 1 日～9 月 14 日）の 3 回実施した。プレ試験は計測機器の確認や適切な空調設定温度の検討を意図して行われ、分析には外気温度が高い本試験のデータを用いた。また、在室検知制御時と手動運用時の比較を行うため、各試験で 1 週目は在室検知制御での運用、2 週目は手動運用で実測を行った。実測期間中、執務室では全熱交換機による換気を行っており、シーリングファンを執務者に自由に操作・運用させた。

2.2　実測項目・測定個所

実測は 2 階・3 階の執務室で実施した。Tab.3 に測定項目、Fig.4 に執務室平面図と測定個所を示す。PMV 計を 2 階・3 階北側／南側にそれぞれ 1 台設置し、PMV[注2)]・空気温度・湿度・放射温度・風速の計測を行った。また、対象建物にはクラウド型 BEMS が導入されており、消費エネルギー[注3)]、在室人数、エリアの温湿度、外気温度等を測定しているため、分析にはそのデータも用いた。

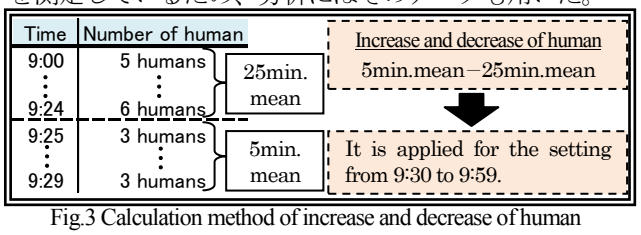


Fig.3 Calculation method of increase and decrease of human

Tab.2 Preset temperature table of the air conditioning in summer

Increase and decrease of human	Indoor temperature				
	～24℃	24～25℃	25～26℃	26～27℃	27℃～
+1.5≪	26	26	26	27	27
+0.5≪　≪+1.5	26	26	27	27	27
±0.5	Continue the last setting temperature				
-1.5≪　≪-0.5	26	27	27	27	28
≪-1.5	27	28	28	28	28

Tab.3 Measurement items

Mark	Measuring equipments	Measurement items	Interval	Points
●	Detection sensor	Number of human	1 min.	1 point in each area
□	Sensing range	-	-	-
☆	PMV meter	PMV,Air temperature, Humidity,Radiation temperature,Velocity	10 min.	2F : 1point 3F : 2 points
▲	Thermometer and Hygrometer	Air temperature, Humidity	1 min.	1 point in each area

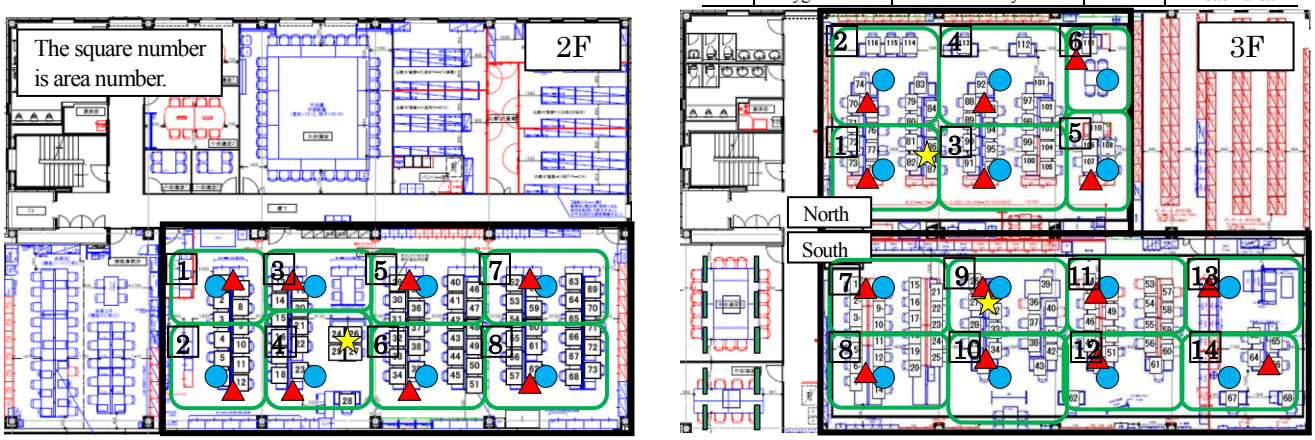


Fig.4 Plan and measurement position

2.3　アンケート

主なアンケート項目を Tab.4 に示す。アンケートは各試験の在室検知制御時と手動運用時でそれぞれ一回ずつ実施した。また、アンケートは WEB 形式で行い、回答時間は指定せず、自由な時間に PC 上で回答させた。

Tab.4 Questionnaires

Seated place／Gender／Age／Occupation／Clothes／Return time／Dwell time／Cooling room use or not／Ceiling fan use or not／Thermal sensation vote／Humidity sensation／Air current sensation／Comfortable sensation

3．照明制御の有効性の確認

計測された消費電力量と在室人数を用いて、在室検知制御時と手動運用時の照明電力量を比較した。Fig.5 に本試験①における各日の照明電力と平均在室人数、Tab.5 に各運用における平日総消費電力量、Fig.6 に代表日[注4)]の照明電力量・在室人数の推移を示す。

Fig.5 から平均在室人数の近い日において、在室検知制御時の照明電力量は手動運用時と比べて低いことが確認できた。また、Tab.5 から平日全体を通しても全てのエリアで在室検知制御時の消費電力は低くなっており、2 階では最大 21%の節電効果が確認できた。Fig.6 から手動運用時では人数変化に関わらず、照明が日中点灯継続状態になるため、常に一定の電力を消費しているが、在室検知制御時は在・不在を検知して照明が OFF になるため、消費電力を削減できており、在室検知が外勤者を多く有するオフィスにおいて有効であることが確認できた。

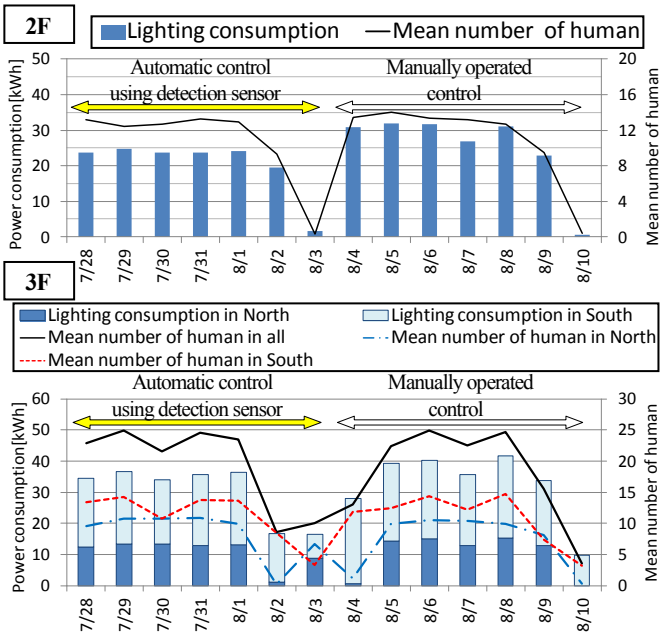


Fig.5 Integrated quantity of lighting consumption and mean number of human

Tab.5 Weekday total electric energy of lighting

Area	Automatic control using detection sensor	Manually operated control	Reduction of electric energy
2F	121[kWh]	153[kWh]	32[kWh]（−21%）
3F North	53[kWh]	58[kWh]	5[kWh]（−9%）
3F South	112[kWh]	128[kWh]	16[kWh]（−13%）

また、外勤者が少ない 2 階エリアでは 3 階と比べ在室検知制御による日中の電力削減効果は少なかったが、出・退社時は人数変化に伴って徐々に照明が点灯・消灯するため、無駄な照明の点灯を防止することが可能であった。

4．空調制御の有効性の確認

4.1　空調制御の省エネ性

Fig.7 に代表日[注4)]のガス消費量・在室人数の推移、Fig.8 に本試験①の在室人数と室外機ガス量の関係を示す。在室人数及び外気温度推移が近い代表日でガス消費量を比較すると、ガス日積算量は在室検知制御時の方が少なくなっており、在室検知制御の空調設定温度緩和による省エネ効果が確認できた。また、Fig.8 では在室検知制御時の回帰線は手動運用時の回帰線より常に下側にあり、傾きも大きい。特に外気温度が 33℃以下の在室検知制御時のプロットでは人数に応じてガス量が変化する傾向が見られ、決定係数も高い。以上から在室人数が少ない状況下においてガス消費量を大きく削減できると考えられる。

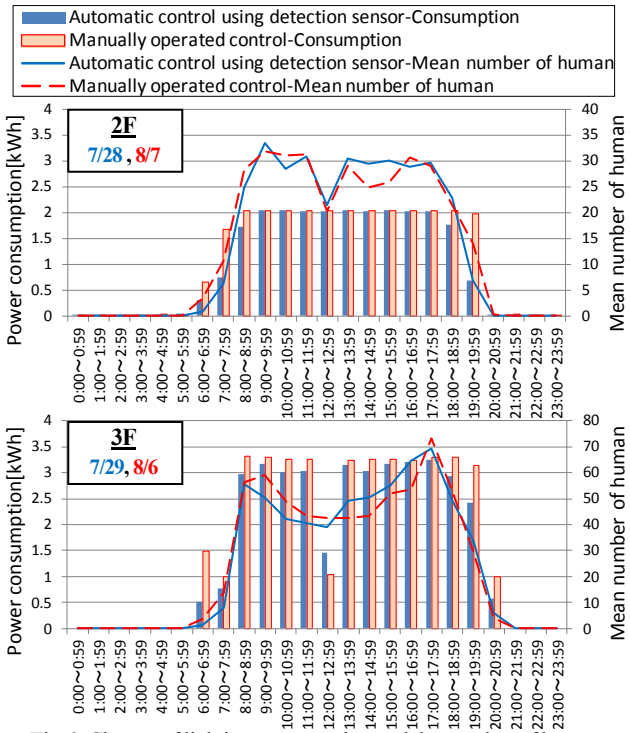


Fig.6 Change of lighting consumption and the number of human in representative day

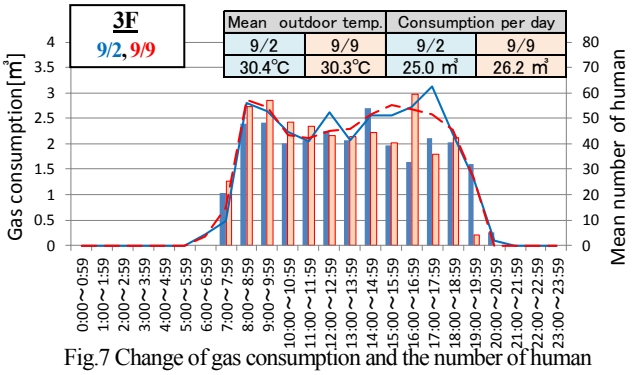


Fig.7 Change of gas consumption and the number of human in representative day

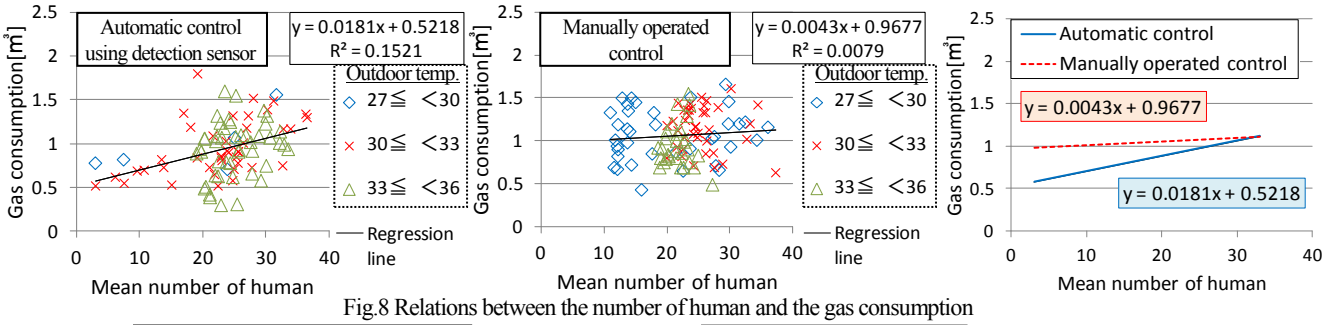


Fig.8 Relations between the number of human and the gas consumption

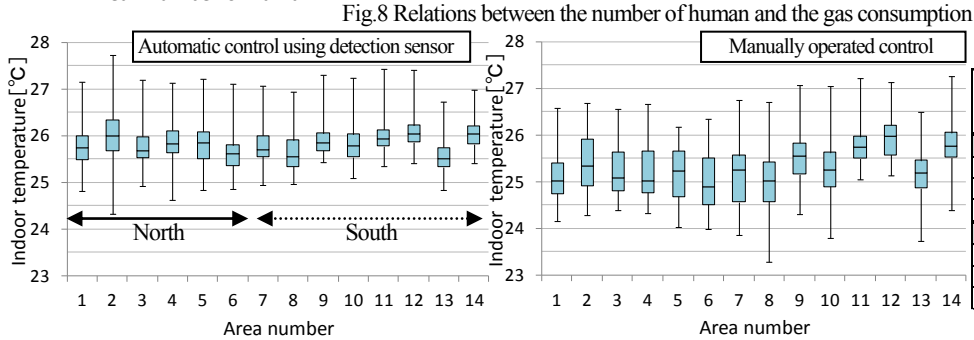


Fig.9 Indoor temperature of each area on third floor

Tab.6 PMV in each day

	Automatic control using detection sensor	Manually operated control
Examination①	7/30	8/6
2F	0.12	0.36
3F North	0.17	−0.11
3F South	0.43	−0.02
Examination②	9/3	9/10
2F	−0.03	0.44
3F North	0.68	−0.31
3F South	0.27	0.23

4. 2　室内環境実測結果

Fig.9 に本試験①の３階各エリアの室内温度を示す。夏期の冷房設定温度は省エネ基準で 28℃が推奨されているが、手動運用時では一部の執務者の好みで温度を低く設定する傾向があるため、在室検知制御時と比べて室温が全エリアで低くなっている。また、手動運用時ではエリアでの温度変動が大きく、エリアごとの温度差も大きい。一方で在室検知制御時には温度変動は 0.5℃程度に抑えられており、エリアごとの温度差も小さいため、執務者に安定した温熱環境を提供することが可能であった。また、Tab.6 に示した 8:00～20:00 の平均 PMV や Fig.10 に示した PMV 推移においても、在室検知制御時の PMV が比較的快適範囲で推移することが確認できる。

4. 3　空調制御の快適性

Fig.11 に温冷感申告、Fig.12 に快適感申告の結果を示す。在室検知制御時の温冷感申告は手動運用時と同等であり、快適感申告に至っては快適側の申告が多くなっている。これは在室検知制御によって室温の揺れ幅が小さくなったことで、執務者にとって快適な温度が長く維持されていたためだと考えられる。

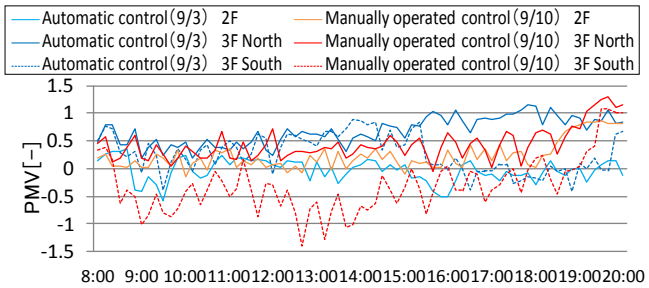


Fig.10 Change of PMV in representative day

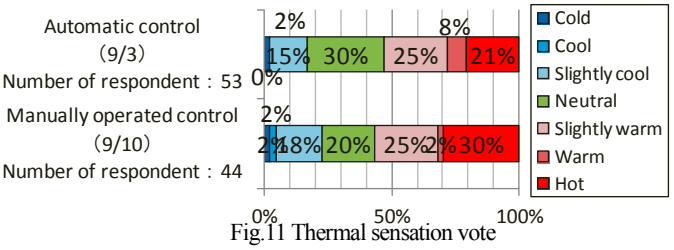


Fig.11 Thermal sensation vote

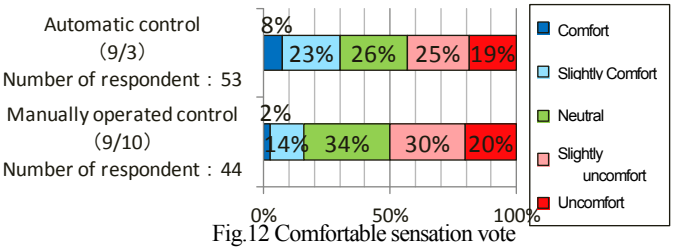


Fig.12 Comfortable sensation vote

5．まとめ

・在室検知センサの照明制御により在室人数変化に伴う日中の照明電力量の削減が確認できた。また、出社時や退社時における節電効果も得られた。

・在室検知センサの空調制御を用いると在室人数の増減に伴う設定温度変更や空調の OFF による室外機のガス消費量の削減が期待できる。また、設定温度緩和することで室温は手動運用時より高くなるが、室温変動を抑制し、人数状況に関わらず快適な室温を維持できるため、快適性についても向上が見込める。

注釈

注１）在室者が 0 人になった場合、空調は OFF になる。

注２）照明電力量、コンセント電力量、空調室内機電力量、シーリングファン電力量、室外機ガス量を計測している。

注３）着衣量：0.6clo、代謝量：1.0met で PMV を算出した。

注４）照明電力量の代表日は在室人数推移が近い日を選定し、ガス量や PMV 評価については外気温度が影響するため、在室人数に加えて外気温度推移が近い日を選定した。

参 考 文 献

1）中嶋 他：小規模業務ビルにおける省エネ・BCP 対策（第１報）葺合事務所の計画概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.85-88、2014 年 9 月

H事務所省エネ技術の効果検証
（その 2）アンケートによるクーリングルームの快適温度・においの影響調査
Verification of the Effects on Energy-saving Technique in H-office
Part 2 Influence Investigation of Optimum Temperature and Perfume in Cooling-room

○李 明香（立命館大学）　近本 智行（立命館大学）　太田 涼平（立命館大学）
岡 克己（大阪ガス株式会社）　中嶋 俊介（大阪ガス株式会社）

Myonghyang LEE *1　Tomoyuki CHIKAMOTO *1　Ryohei OTA *1　Katsumi OKA *2　Shunsuke NAKAJIMA *2
*1 Ritsumeikan University, *2 Osaka Gas Co., LTD.

Cooling-room is the air-conditioning space that can provide feeling of coolness by turn down air-conditioning or the airflow by fan to remove the outside worker's thermal storage in summer. It is assumed that outside worker want to turn down air-conditioning temperature if the outside workers enter the work room soon after return to office. However, the desk worker may feel cold at that temperature because metabolic rate is low. Also, the cooling load is increased to turn down air-conditioning of the work room. In this study, the influences of temperature, stay time, airflow and perfume in the Cooling-room are verified by questionnaire survey. Furthermore, optimum temperature in the Cooling-room is calculated from hot/cold sense declaration value of questionnaire survey.

1. はじめに

オフィスの省エネルギー対策として，政府は夏季の冷房設定温度 28℃を推奨している[文1)]。しかし，夏季において外勤者の多いオフィスでは，帰社直後に 28℃の執務室に入室した場合，体内の蓄熱により発汗が促進され，不快感を伴い生産性の低下が見込まれる。そこで，帰社時の人体蓄熱を除去する手段としてクーリングルームなどの採涼空間を導入する事例が登場している[文2)]。筆者らは，これまでに実験室における被験者実験，人体熱モデルを使用した検証により温度，滞在時間，気流などの最適条件を導き出し，現地アンケート調査によりその使用実態について検討している[文3)]。しかし，実運用下における温度，滞在時間，気流の違いによる温熱感の影響は検討していない。

本報では，クーリングルームが設置されている H 事務所において環境測定およびアンケート調査することにより使用実態を把握するとともに，温度，滞在時間，気流，においが利用者の温熱感と快適感に及ぼす影響について検証する。さらに，温冷感申告値から滞在時間とにおいの違いによるクーリングルームの快適温度を検討する。

2. 実測概要

2.1 対象建物およびクーリングルームの概要

実測は，兵庫県神戸市に建設された延べ床面積が約 2,100m^2 の 3 階建て事務所ビルで行った。図 1 に，1 階平面図を示す。外勤者は，1 階入口付近にあるクーリングルームで採涼した後，エレベータあるいは階段で 2，3 階の執務室に向かう。図 2 と写真 1，表 1 に，クーリングルームの平面図と外観および概要を示す。クーリング

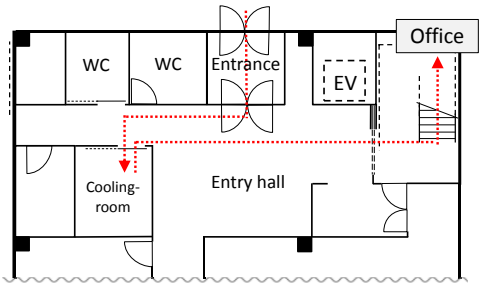


Fig. 1　First floor plan

Photo 1　Cooling-room appearance

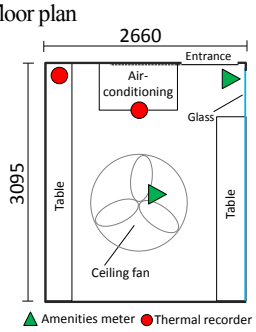


Fig. 2　Cooling-room plan

Tab. 1　Outline of Cooling-room

Installation location	Near the first floor entrance
Total floor area	About 82 m^2
Dimension	Width 2,660 mm×Depth 3,095 mm ×Height 2,610 mm
Equipment	Air-conditioning, Ceiling fan

Tab. 2　Measurement summary

Object persons		Field workers
Questionnaire survey days		Jul. 28　Jul. 29 Aug. 25　Sep. 2
Set point temperature of air conditioning.	Office	27 deg.
	Cooling-room	25 deg.
Ceiling fan		User selectable
Perfume		Peppermint or Vanilla

Tab. 3　Questionnaires

Age / Gender / Job description / Clothes / Sensitive to heat or cold before entering the Cooling-room/ Posture / Stay position / Stay time / Return to office time / Ceiling fan use or not / Air current sensation / Comfortable sensation / Thermal sensation / feeling of coolness

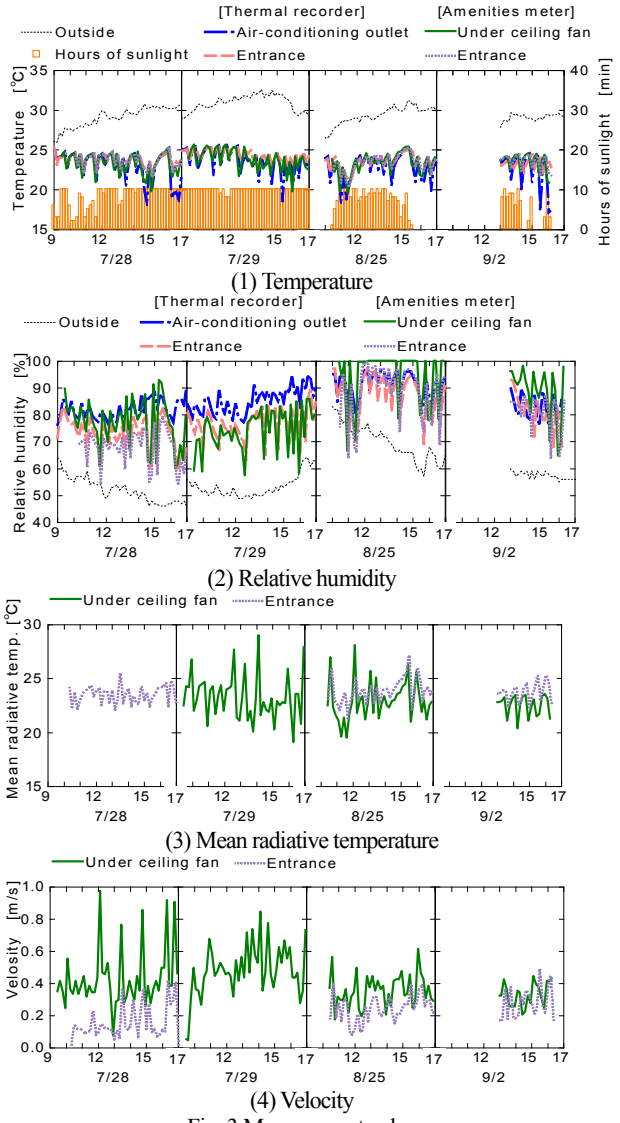


Fig. 3 Measurement value

ルームは，幅 2,660mm×奥行 3,095mm×高さ 2,610mm であり，壁面 1 面はガラス張りとしている。室内には壁側とガラス側にテーブル 2 台, 椅子 10 脚が据え付けられている。入口付近天井に設置されたエアコンと室中央天井にあるシーリングファンにより室内を空調している。

2.2　実測内容および条件

表 2 に，実測概要を示す。クーリングルームに，アメニティメータ 2 台，おんどとり 2 台を設置し，室内とエアコン吹出しの温湿度，グローブ温度，風速を測定している。図 2 の平面図に測定機器の設置位置を示す。執務室についてもおんどとりを設置して室内温湿度を測定している。クーリングルーム利用者に対して，クーリングルーム滞在後と執務室入室後にアンケート記入をお願いした。表 3 にアンケートの主な質問項目を示す。アンケートは，利用者の属性（年齢，性別，服装，滞在時姿勢，滞在時間）と温冷感，快適感，満足感（各 7 段階評価）などについての設問を設けた。実測日は 7 月 28 日，7 月 29 日, 8 月 25 日, 9 月 2 日の 4 日間である。設定温度は，執務室を 27℃，クーリングルームを 25℃とし，シーリングファンの使用は任意とした。クーリングルーム内にペパーミントあるいはバニラの芳香剤を設置し，においによる影響も検討する[文4)]。

3.　環境測定の結果

図 3 に，7 月 28 日，7 月 29 日，8 月 25 日，9 月 2 日の兵庫県神戸市の外気温湿度と日照時間およびクーリングルームの温湿度, 平均輻射温度, 風速を示す。7 月 28 日，7 月 29 日は晴天日であり，8 月 25 日，9 月 2 日は日照時間が少なく外気温度も 7 月と比較すると低い。測定は日射がある時間帯に行い, 7 月 28 日と 7 月 29 日は 9:00-17:00, 8 月 25 日は 10:00-17:00，9 月 2 日は 13:00-16:00 とした。

空調の設定温度は 25℃であるため，クーリングルームの温度は 25℃以下に制御されている。温湿度が上昇と下降を繰り返しているのは，空気温度が設定温度を超えると空調機がサーモ ON になり，十分に冷却されるとサーモ OFF となるためである。平均放射温度は概ね空気温度と同等程度になるが，空気温度より上昇している時間は利用者が測定機器付近にいたためだと考えられる。シーリングファンを利用している場合には風速が急激に上昇している。

4.　アンケートによる温冷感と快適感申告

利用者アンケートの回答者数は，7 月 28 日に 8 名，7 月 29 日に 24 名，8 月 25 日に 21 名，9 月 2 日に 11 名の合計 64 名となった。表 4 に，アンケート結果の分析条件を示す。温度による影響，滞在時間による影響，気流による影響，においによる影響について検討するために，クーリングルーム温度を Case1：24℃未満，Case2：24℃以上，滞在時間を Case3：1～3 分，Case4：3～5 分，Case5：5～10 分，Case6：10 分以上，シーリングファンを Case7：あり，Case8：なし，においを Case9：ペパーミント，Case10：バニラとした。

4.1　室内温湿度，PMV と温冷感申告の関係

図 4 に，クーリングルームの PMV およびアンケートの温冷感申告値を示す。測定値とアンケート申告値は概ね同様の挙動を示すが，PMV が低い場合でも申告値が“どちらでもない”や“やや暑い”を申告する場合がある。

Tab. 4　Analyzing conditions

	Parameters	Conditions
Case 1	Temperature of Cooling-room	Under 24 deg.
Case 2		Above 24 deg.
Case 3	Stay time	1 to 3 minutes
Case 4		3 to 5 minutes
Case 5		5 to10 minutes
Case 6		Above 10 minutes
Case 7	Airflow	With ceiling fan
Case 8		Without ceiling fan
Case 9	Perfume	Peppermint
Case 10		Vanilla

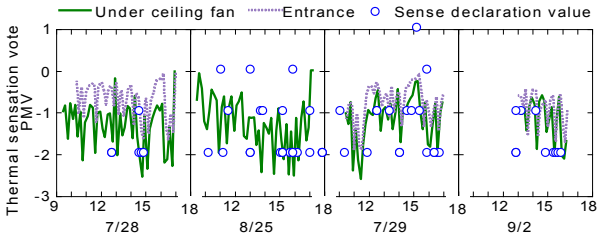
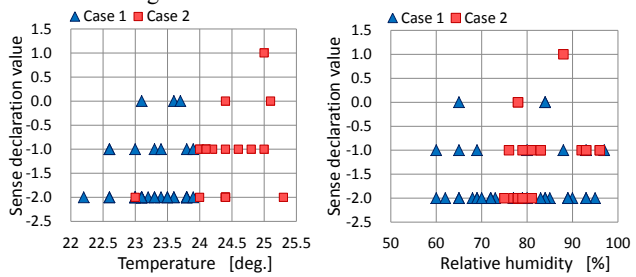


Fig. 4　PMV and thermal sensation vote



(1) Temperature　(2) Relative humidity

Fig. 5　The influence of temperature and humidity on sense declaration value

室内が快適な状態であっても外勤者の蓄熱状態と代謝量などの違いにより，クーリングルームでの温冷感が異なる場合がある。

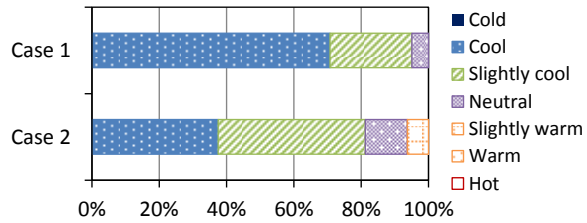
図 5 に，温湿度と温冷感申告の相関を示す。温冷感申告値は，室内温度が低温であれば低く高温になると高くなり，室内湿度の影響はあまり見られない。しかし，高温高湿域の場合（Case2）は高く，高湿ではあるが低温の場合（Case1）は低くなる傾向にある。

4.2　クーリングルーム温度の影響

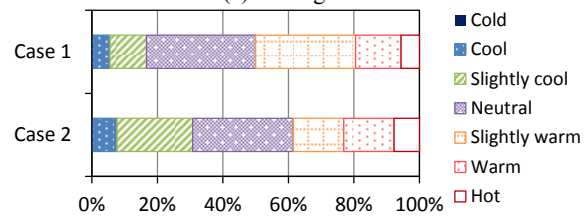
図 6 に，クーリングルーム滞在中の温冷感と執務室入室時の温冷感を示す。クーリングルーム滞在中の温冷感は, 温度の高い Case2 よりも温度の低い Case1 の方が“涼しい”側の申告が多いが, 執務室入室後の温冷感は Case1 より Case2 の方が “涼しい” 側の申告が多く，Case1 の” 暖かい” 側の申告が増加した。クーリングルームと執務室との平均温度差は Case1 が 2.4℃，Case2 が 0.9℃となり，Case1 の方が執務室の温度が相対的に高くなる。また，Case1 の場合はクーリングルーム温度が低く，人体が過剰冷却されたと考えられる。外から持ち込んだ蓄熱を緩やかに除去していく方法としては，クーリングルームの温度が 24℃以上であり執務室との温度差が小さい Case2 の方が効果的であると推測される。

4.3　滞在時間の影響

図 7 に，クーリングルーム滞在時間別の執務室入室時の温冷感と快適感を示す。5～10 分滞在の Case5 は，短時間滞在の Case3，Case4 より執務室の熱環境について “涼しい” 側，“快適” 側の申告が多くなる。クーリングルーム滞在中に時間をかけて帰社時の蓄熱が十分に除去されているため，執務室での温冷感と快適感が向上したと考えられる。一方，10 分以上滞在の Case6 では，過剰冷却されるため，Case5 より執務室の温冷感，快適感が低下している。

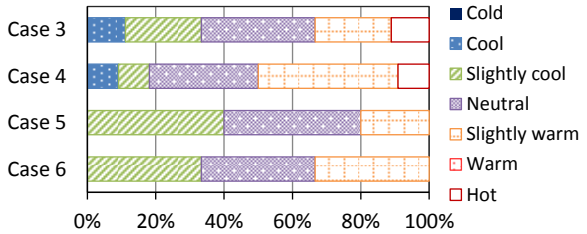


(1) Cooling-room

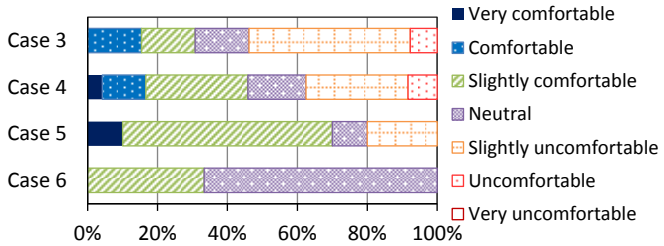


(2) Work-room

Fig. 6　The influence of Temperature (Thermal sensation)



(1) Thermal sensation



(2) Comfortable sensation

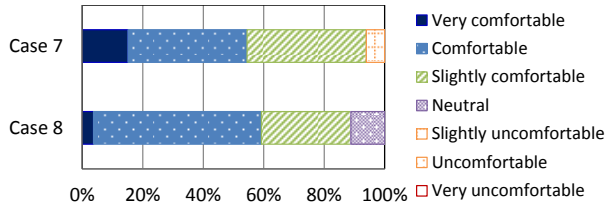
Fig. 7　The influence of stay time in work-room

4.4　シーリングファンの気流による影響

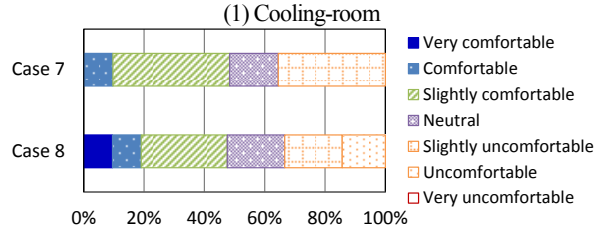
図 8 に，シーリングファンによる気流の影響を示す。シーリングファンを利用した Case7 の方が“非常に快適”との申告が多い一方で，“不快” の申告も見られる。執務室においては，シーリングファンの利用の有無に係わらず “快適” 側の申告の割合が同程度となった。しかし，Case8 のみ “不快” の申告がみられ，シーリングファンの気流による体内の蓄熱除去効果が示唆された。

4.5　においによる影響

図 9 に，においの違いによる快適感と涼感を示す。においによる快適感は, バニラの Case10 よりペパーミント

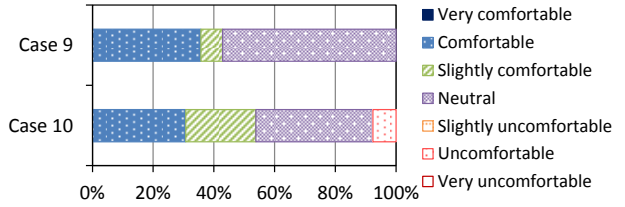


(1) Cooling-room

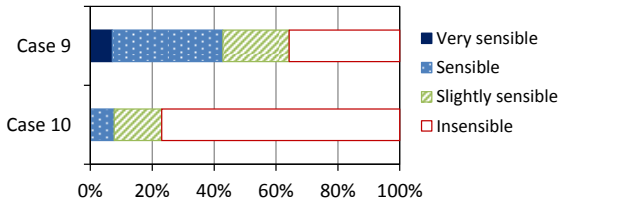


(2) Office

Fig. 8　The influence of ceiling fan (Comfortable sensation)



(1) Comfortable sensation



(2) Feeling of coolness

Fig. 9　Influence of perfume

の Case9 の方が優位である。また，においにより“涼しさを感じる”との申告は Case10 では 23%に留まっているのに対し，Case9 は 64%と半数以上の利用者が涼しさを感じている。Case10 のバニラは”不快”の申告があることから，においの嗜好による影響も考えられる。

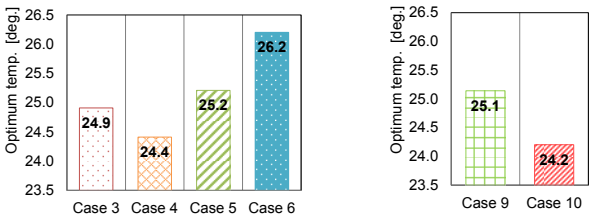
5.　クーリングルームの快適温度の算出

快適温度の算出には Griffiths 法[文5)]を用いる。Griffiths 法による快適温度は，アンケート時の室温に温冷感申告値と中立温冷感の差分を重みづけした温度としている。快適温度は（1）式を用いて算出する。

$$T_c = T_i + (o - C)/a \qquad (1)$$

ここで，T_c：Griffiths 法による快適温度[℃]，T_i：室温[℃]，o：中立温冷感，C：温冷感申告，a:回帰係数である。回帰係数aは，既往研究において一般的に仮定している 0.5 とした[文6)]。また，中立温冷感はクーリングルームを想定しているため，「やや涼しい」に値する“-1”とする。室温T_iは，滞在時間のクーリングルーム平均温度とした。

図 10 に，滞在時間およびにおいの違いによる快適温度を示す。滞在時間は，長いほど快適温度が高くなる。帰社時の蓄熱が時間をかけて除去されるため，快適温度は



(1) Stay time　　(2) Perfume

Fig. 10　Optimum temperature

高くなる。一方，Case3，4 の短時間の滞在では，低温度で急速な冷却を求めるため，快適温度が低くなったと推測される。においによる快適温度はバニラの Case10 よりペパーミントの Case9 の方が 0.9℃高くなる。ペパーミントは，においによる心理的な涼感が得られるとされているため，室温が約 1.0℃高くてもバニラと同等の快適感が得られると考えられる。

6.　むすび

本研究では，クーリングルームの環境形成要素の違いによる冷却効果を現地での実測と利用者アンケートにより検証した。以下に結果を示す。

1) クーリングルームの温度は，24℃未満とした場合より 24℃以上とした場合の方が執務室入室時の温冷感緩和に効果が得られた。
2) クーリングルームの温度を 24℃未満とした場合には，人体の過剰冷却となる場合がある。
3) クーリングルーム滞在時間が長いほど快適温度は高くなるが，執務室入室後の比較では 5～10 分の滞在が最も快適である。
4) シーリングファンを使用して気流感を得ることで快適性が向上した。
5) ペパーミントのにおいはバニラより涼しさを“感じる”側の申告が多く，クーリングルーム温度を 0.9℃低くしてもバニラと同程度の温冷感を確保できる可能性を示した。

参考文献

文1)　一般財団法人　省エネルギーセンター：オフィスビルの省エネルギー　オフィスビルの省エネのポイントと対策および事例を紹介，p.12，2009
文2)　岩田香織，松原祐子，齋藤輝幸，久野覚：夏期屋外から入室後における採涼空間利用に関する研究（第 2 報）屋外歩行後の採涼空間利用効果と設計手法の検討，空気調和・衛生工学会論文集，No.200，pp.1-9，2013
文3)　福嶋康旗，近本智行，川上貴保，中嶋俊介，高山眞，宮崎亜由美：H 事業所低炭素化改修の運用効果の検証（その 6）気流暴露を考慮した人体熱モデルによるクーリングルームの最適化検証，日本建築学会大会　学術講演梗概集　環境工学 II，pp.2388-278，2014
文4)　庄司健：香りが感覚・使用感に及ぼす影響，日本色彩学会誌　第 34 巻，第 4 号，pp354-358，2010
文5)　リジャル　ホム　バハドゥル，吉田治典，梅宮典子：住宅におけるネパール人の夏と冬の温熱感覚，日本建築学会計画系論文集，No.563，pp.17-24，2013
文6)　Humphreys M.A., Nicol J.F., Rijal H.B.: Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors;new insights and an extended database, building and Enviloment 63, pp.40-55, 2013

謝辞

本研究においては，大阪ガス(株)葺合事務所の皆様に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究
（その９）一流体ノズルによる下向き噴霧流における水ミスト挙動

Deodorizing Effect of Deodorant Mist Sprayed with a Misting Nozzle
(Part 9) Behavior of Water Mist in case of One-fluid Nozzle Spraying Downwards

○西田　敏宏　（大阪大学）　　山中　俊夫　（大阪大学）
甲谷　寿史　（大阪大学）　　桃井　良尚　（大阪大学）
相良　和伸　（大阪大学）　　粟村　祐太　（大阪大学）

Toshihiro NISHIDA*[1] Toshio YAMANAKA*[1] Hisashi KOTANI*[1]
Yoshihisa MOMOI*[1] Kazunobu SAGARA*[1] Yuta AWAMURA*[1]
*[1] Osaka University

In a room where odor is a big issue to keep the indoor air quality good, odor is basically reduced by increasing air change rate. If it is possible to decrease odor by using deodorant, air change rate can be decreased, which makes a contribution to energy conservation and decrease of running cost. This study focuses on prediction of the deodorizing effect for mist sprayed with a nozzle. In this paper, to make an analytical basis on a one-fluid nozzle, it is reported that mist velocity and mist mass flow rate distribution with one-fluid nozzle spraying downwards are measured.

1.　はじめに

病院や老人保健施設などでは、悪臭を低減するために換気回数を増加させ、空調負荷を大きくしてしまっている。その対策の一つが、空気への消・脱臭剤の噴霧であるが、効率的な運用には噴霧ミスト挙動の把握が不可欠である。

既報[1]で一流体ノズルの解析モデルについて報告を行っているが、本報では、既報[2]の測定で不十分であったミスト流量と測定点が少なかったミスト速度について報告する。

2.　測定対象ノズル

既報[3]では、消臭用途に一般的に用いられる二流体ノズルについての測定を行い、数値解析モデルの構築・改良を行った。本報では、低価格・省エネルギーなどの側面から広く用いられている一流体ノズルに焦点を当てる。一流体ノズルの中でも、中実な噴霧形状を成す「充円錐型」ではなく、中空の噴霧形状を成し、より高度な微粒化が可能な「空円錐型」一流体ノズルを用いた。測定対象とした一流体ノズルの仕様を Table 1 に示す。実験では、液圧を 0.70Mpa として噴霧を行っている。

Table 1　One-Fluid Nozzle Specification

Manufacture	H.Ikeuchi&Co,Ltd
Model Number	1/4M KB 80063N S303-RW
Spray Pattern	Hollow Cone
Nozzle Hole Diameter[mm]	0.22
Fluid Pressure[MPa]	0.70
Spray Angle[°]	80
Initial Mass Flow Rate of Mist[L/hr]	2.00

Table 2　Spray Time at Each Vertical Position [s]

100mm	200mm	300mm	400mm	500mm	600mm	700mm
80	120	300	360	900	900	900

3.　下方噴霧時における水ミストの流量分布

3.1　測定概要

測定機器配置の平面図・立面図及びプラスチック製組立ブロック (以降ブロックと記す) を用いて自作した十字型流量分布測定器の詳細を Fig. 1 にそれぞれ示す。流量測定器をノズル中心軸上に設置した状態で、ノズル下 100mm から 700mm まで、100mm ごとの高さで Table 2 に示す噴霧時間で噴霧を行う。噴霧前後のブロックの質量差を電子天秤を用いて 1mg 単位で量り、測定孔に流入した液体の重量を測定する。そして、測定した重量を噴霧時間で除すことで、流量分布を算出する。また、流量測定器を各高さにおいて Fig. 2 に示すように 0°,30°,60° 回転させて測定を行うことで、噴霧流の水平断面における流量分布の把握を試みる。

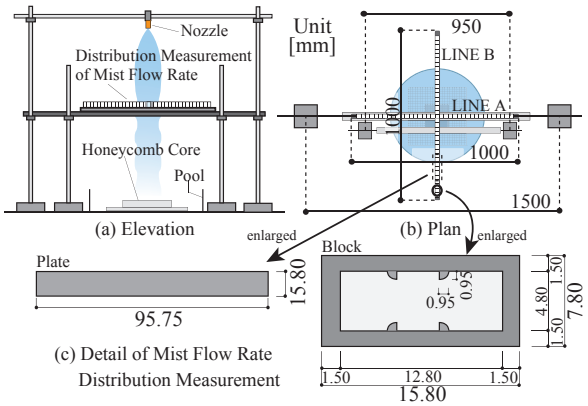


Fig. 1　Layout of Instruments for Mist Flow Rate Measurement

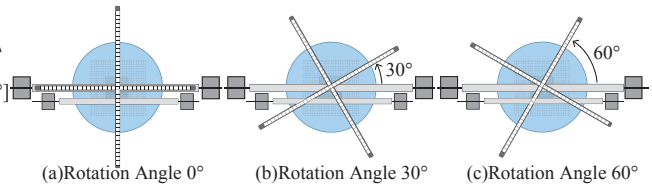


Fig. 2　Rotation Angle for Measurement
of Mist Flow Rate Distribution

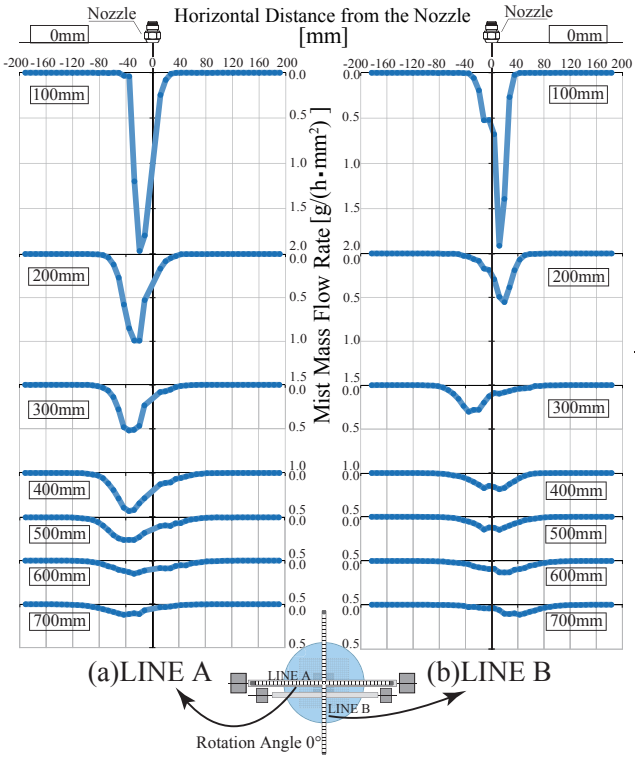


Fig. 3 Change of Mist Flow Rate Distribution in Vertical Position in case of Ratation Angle 0°

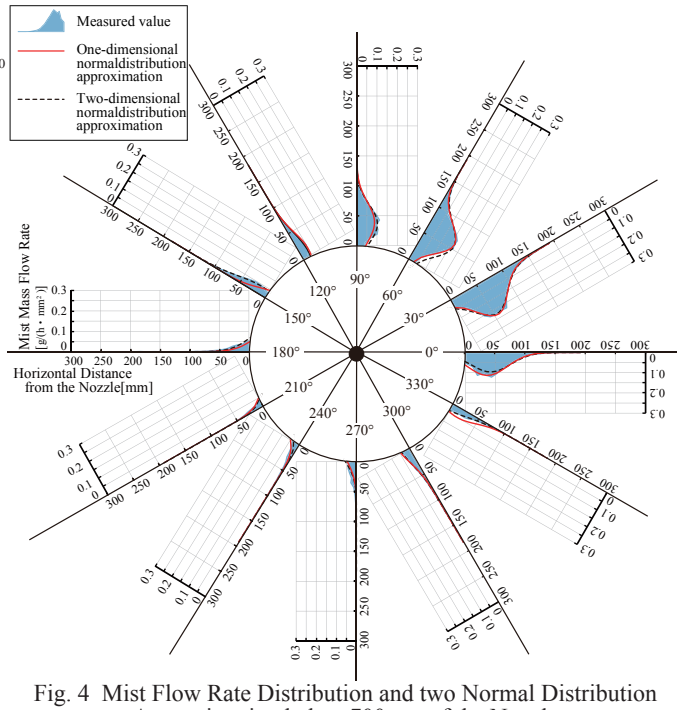


Fig. 4 Mist Flow Rate Distribution and two Normal Distribution Approximation below 700mm of the Nozzle

3.2 測定結果

回転角 0° における各高さのミスト流量分布を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、LINE A と LINE B の両列において、流量分布の偏りがみられ、噴霧中心がずれていることが分かる。回転角 30°,60° のときも同様に偏りが生じており、ノズル口の特性や、ミスト速度が小さいために周囲の僅かな気流によって流されることが影響していると考えられる。

3.3 ミスト流量分布の正規分布近似

噴霧流中の水ミスト流量を算出するため、流量分布を数学的に扱いやすい関数に近似する。Fig. 3 より、ミスト流量はおおよそ正規分布していると分かるので、流量分布を式 (1) を用いて正規分布近似する。

$$q(x,y) = q_m \exp\left[-\left\{\frac{(x-x_c)^2}{b_{wx}^2} + \frac{(y-y_c)^2}{b_{wy}^2}\right\}\right] \tag{1}$$

q :mass flow rate of mist [kg/(s·m²)]
q_m :maximum mass flow rate of mist [kg/(s·m²)]
x, y :position [m]
x_c, y_c :shift of spray center [m]
b_w :characteristic length [m]

一変数の一次元正規分布近似と二変数の二次元正規分布近似の両方を行い、結果を比較・検証する。一次元正規分布近似においては、各 LINE（各高さにつき 6 LINE）ごとに平行に x 軸を設定し、y=0 の断面で y 方向のずれが y_c=0 であるとする。また、噴霧流ミストは円錐で均等に広がると考え、一次元・二次元正規分布近似ともに $b_{wx}=b_{wy}=b_w$ とする。特性長 b_w とは、最大値の 1/e の値の流量となる位置までの距離を示す。

一次元正規分布近似では q_m, x_c, b_w を、二次元正規分布近似では q_m, x_c, y_c, b_w を測定結果から最小二乗法により同定した。

Fig. 4 にノズル下 700mm におけるミスト流量分布とそれを一次元・二次元正規分布近似した結果を示す。Fig. 4 から両者の近似曲線に大きな差異は見られなかった。100mm ~ 600mm についても断面によって大小はあるが同様であった。

3.5 ミスト総流量

式 (1) において、中心のずれを 0 として断面積で無限積分すると、ノズル下各高さごとのミスト総流量 Q_w[kg/s] は式 (2) で表される。

$$Q_w = \pi b_w^2 q_m \tag{2}$$

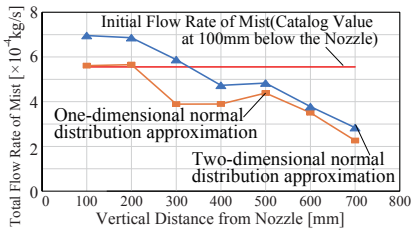


Fig. 5 Total Flow Rate of Mist

Fig. 5 に、2 つの正規分布近似による総流量とカタログ値との比較を示す。一次元正規分布近似のノズル下 100mm における結果がカタログ値と良く一致している。また、ノズルから離れるほど総流量が少なくなっており、蒸発に伴う流量の減少傾向によるものと考えられる。

3.6 蒸発量

噴霧後から計測完了までの約 30 分間に、ブロックから水が蒸発し、総流量等に影響している可能性がある。

Table 3 Evaporation

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (3) \qquad h = \frac{\lambda\, Nu}{L} \quad (4)$$

$$Nu = 0.332 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (Pr=0.71) \quad (5)$$

$$C_{pm} = C_{pa} + C_{pv} x \quad (6)$$

$$k_x = \frac{h}{C_{pm}} \quad (Le=1) \quad (7)$$

$$M = k_x (x_1 - x_0) \quad (8)$$

Re	:Reynolds number [-]	k_x	:mass transfer coefficient [kg/{m^2·s (kg/kgDA)}]
V	:indoor velocity [m/s]	C_{pm}	:specific heat of humid air [J/(kgDA·K)]
L	:distance from leading edge [m]	C_{pa}	:specific heat of dry air at constant pressure =1004.6 [J/(kgDA·K)]
ν	:kinematic viscosity of air [m^2/s]	C_{pv}	:specific heat of water vapor at constant pressure =1846.0 [J/(kg·K)]
h	:convective heat transfer coefficient [W/(m^2·K)]	M	:mass transfer rate [kg/(m^2·s)]
λ	:thermal conductivity of air [W/(m·K)]		
Nu	:Nusselt number [-]		
Pr	:Prandtl number [-]		
x	:humidity ratio [kg/kgDA]		
Le	:Lewis number [-]		

そこで、ブロック内の液体の蒸発に伴う熱移動が、水平平板に沿う気流の強制対流層流熱伝達により起こると考え、Table 3 に示す式を用いて蒸発量を考える[4), 5)]。まず、式 (3) から式 (5) を用いて対流熱伝達率を算出し、式 (6) と式 (7) から式 (8) の物質移動量を求める。次に、物質移動量にブロックの表面積 [m] と測定時間 [s] を掛けることで蒸発量 [kg/(m^2·s)] が分かる。

ここで、測定中の条件を、室温を 18℃、室内相対湿度を 45%、室内風速を 0.5[m/s]、ブロックの温度を 17℃、測定に要した時間を 30 分として計算を行う 。

結果は約 3.6mg となり、ブロック 1 つにつき約 3.6mg だけ水が蒸発している。ブロック 1 つには水が最大で約 2.5g 入るので、影響は小さい。ミスト総量やミスト最大流量には約 0.14% 程度の影響がある。したがって、測定中の蒸発量は無視できると考えられる。

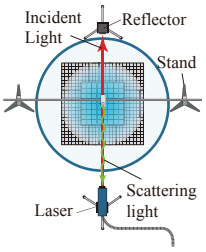
4. 下方噴霧時における水ミストの速度分布

4.1 測定概要

レーザードップラー法（LDV）を用いて水ミストの速度を測定した。測定機器配置の平面図及び立面図を Fig. 6 に示す。

LDV では、平行平面波である 2 本のレーザー光を交差させた領域に干渉縞が形成される。この交差領域に粒子が通過すると、干渉縞の明暗に応じた強度の散乱光が発生し、受光部でドップラー信号が得られる。この信号の高周波成分の周期は、粒子が干渉縞間隔を通過する時間を表し、干渉縞間隔が分かれば粒子の速度を求めることができる。

本実験で用いた装置ではレーザー発振部と受光部が同位置となっており、後方散乱光を測定する。しかし、レーザーの波長よりも小さな粒子径の粒子の散乱光はミー散乱によるものであるため、その散乱光は後方散乱光よりも前方散乱光の方が大きい。そこで、高強度の散乱光を測定するために、リフレクタ (高 SNR リトロリフレクタミラー) と呼ばれる装置をレーザーと対面におき、前方散乱光を受光部方向に再帰性反射させる。



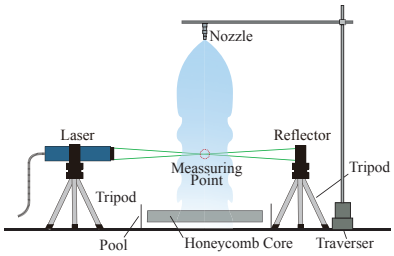


Fig. 6 LDV Instrument Layout Plan & Elevation

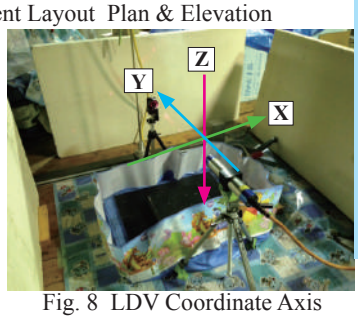


Fig. 8 LDV Coordinate Axis

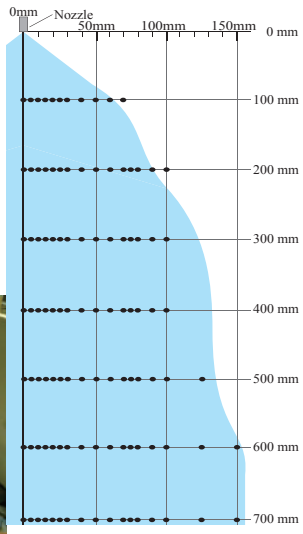


Fig. 7 Measuring Point of Mist Velocity

本測定では、Fig. 7 に示す測定点でのミスト速度の鉛直方向 (Z 方向)、水平方向（X 方向および Y 方向）成分について測定を行ったが、このうち Z 成分についてはリフレクタ有り、リフレクタ無しの 2 条件で、水平成分はリフレクタ有りの状態で測定を行った。各方向成分の向きを Fig. 8 に示しており、矢印の向きが正の向きを示している。なお、実験時の室内温湿度は概ね温度 7 ～ 12℃、湿度 20 ～ 50 % であった。

4.2 測定結果

(1) 鉛直方向（Z 方向）の速度成分

リフレクタの有無で測定した際のデータレート（ノズル下 100mm）とミスト速度をそれぞれ Fig. 9 と Fig. 10 に示す。Fig. 10 より、ミスト速度はノズル下 100mm では歪な分布をしているが、ノズル下 200mm 以降ではおおよそ正規分布しているとみられる滑らかな分布をしている。ミスト速度はリフレクタの有無による大きな差異はないが、リフレクタ有りの方が全体的にやや小さな値となっている。これは Fig. 9 から、リフレクタの有無でデータレート（1 秒あたりのサンプリング個数）に大きな差があり、測定結果に影響を及ぼしていたからと考えられる。リフレクタを用いたことでより微細で低速な粒子の速度を計測することができるようになったため、平均値が小さくなったものと推測される。

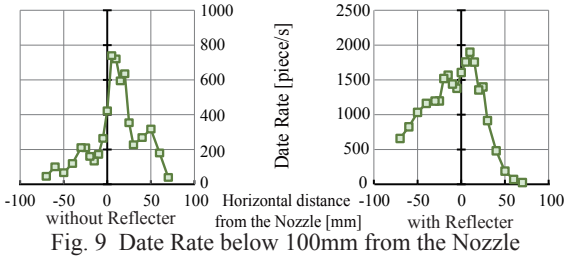


Fig. 9 Date Rate below 100mm from the Nozzle

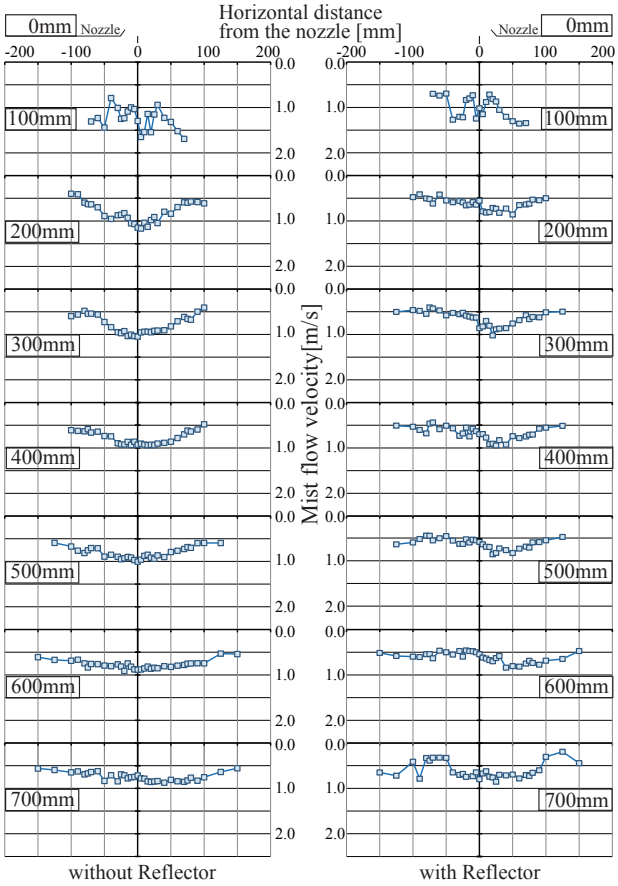


Fig. 10 Z-Mist Flow Velocity Distribution

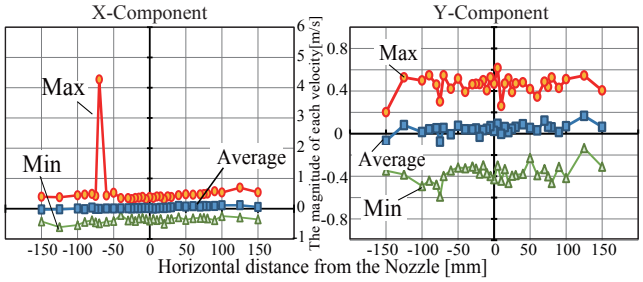


Fig. 11 XY-Mist Flow Velocity Distribution below 700mm from the Nozzle

(2) 水平方向（X, Y 方向）の速度成分

ノズル下 700mm における X,Y 方向の速度成分を Fig. 11 に示す。Fig. 11 より、ミスト速度は平均 -0.1 ～ 0.1[m/s] 程度の非常に小さな速度を持っていた。また、最大値は 0.2 ～ 0.6[m/s]、最小値は -0.6 ～ -0.2 程度であることが多いが、時折大きな変動が見られた。また、生データを確認したところ、ミスト速度の水平成分は値の正負は一定でなく、正負に変動する様子が見られた。従って、ミスト速度の XY 成分は鉛直成分のように一定の方向に速度を持っていないことがわかる。この変動の要因としては、周辺気流や時々刻々噴霧されるミストによる噴霧流の乱れが考えられる。

4. 3　気相速度との比較

既報 [2] で測定した気相速度の結果と鉛直方向のミスト速度の結果を比較した図を Fig. 12 に示す。リフレクタ無しでは、中心付近の速度がおおよそ一致しているが、端になるほどミスト速度の方が速くなっている。気相及びミスト速度を測定した実験室が異なり、同時性がないことから、より詳細な測定が必要と考えられる。また、リフレクタ有りについては気相速度よりもミスト速度が小さくなっているため、やはり速度が全体的に小さく測定されていたと確認できる。

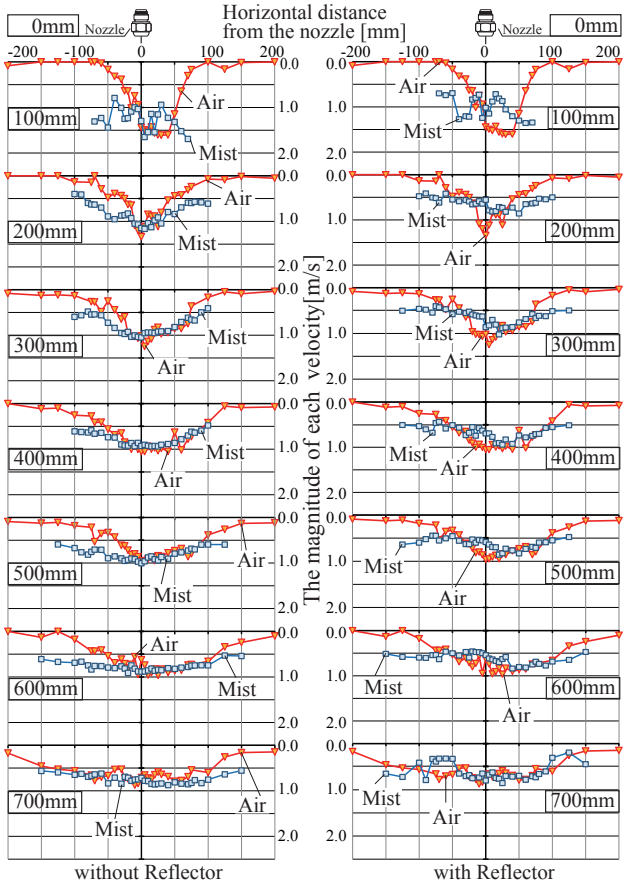


Fig. 12 Comparison of Air and Mist Flow Velocity

5.　まとめ

本報では一流体ノズルの下方噴霧時におけるミストの流量分布及び速度分布の測定を行った。その結果、流量分布及び速度分布がおおよそ正規分布に従うことが分かり、既報 [1] で不十分であった水平方向のミスト流量分布の把握、測定点を増やしたより詳細なミスト速度の測定を行えた。次報で、これらの結果を用いて解析モデルの更なる改善を行った結果を報告する。

参考文献

1) 粟村祐太，山中俊夫，甲谷寿史，桃井良尚，相良和伸：消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究（その 8）一流体ノズルを用いた下向き噴霧流性状の解析手法，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp.69-72，2014.9
2) 粟村祐太，山中俊夫，甲谷寿史，桃井良尚，相良和伸，水野毅男：上記同題（その 7）一流体ノズルを用いた下向き噴霧流の特性，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp.229-232，2014.3
3) 大森啓充，山中俊夫，相良和伸，甲谷寿史，桃井良尚，安井さおり：上記同題（その 1）二流体ノズルによる下方噴霧時の水ミスト・気相速度分布，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp.95-98，2012.3
4) 木村健一：建築環境学 2，pp.183-186，丸善株式会社，1993.5
5) 空気調和・衛生工学便覧第 14 版 I 巻, pp.76, 空気調和・衛生工学会，2010. 2

消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究
（その１０）一流体ノズルによる下向き噴霧流測定に基づくミスト挙動の数値解析
Deodorizing Effect of Deodorant Mist Sprayed with a Misting Nozzle
(Part 10) Behavior Analysis Method of Downward Spray Flowfrom One-fluid Nozzle based on measurements

○粟村　祐太　（大阪大学）　　山中　俊夫　（大阪大学）
相良　和伸　（大阪大学）　　甲谷　寿史　（大阪大学）
桃井　良尚　（大阪大学）　　西田　敏宏　（大阪大学）

Yuta AWAMURA[1]　Toshio YAMANAKA[*1]　Kazunobu SAGARA[*1]
Hisashi KOTANI[*1]　Yoshihisa MOMOI [*1]　Toshihiro NISHIDA [*1]
[*1] Osaka University

Predicting the behavior of spray from the nozzle is necessary to establish the design method of spray deodorant system. Therefore, this study focuses on predicting the behavior of spray from a one-fluid nozzle. In this paper, the characteristic length ratio of mist flow to airflow is determined from measured value, and the impacts to analysis results given by two unknown characteristic values are examined by parametric analysis.

１．はじめに

筆者らは既報[1)]で、現在広く用いられている空円錐型一流体ノズルについて、噴霧流中の気相速度分布測定などを行い、測定結果から噴霧流性状の数値解析モデルを構築した。しかし、ミスト速度やミスト流量の把握が十分にはなされていなかったため、前報[2)]ではそれらミスト粒子の挙動に関する測定を行った。

本報では、既報[1)]で構築した解析モデルに対し、前報[2)]の測定結果をふまえ、数値解析を行った結果を報告する。

２．数値解析モデルの概要

Table 1 に一流体ノズル噴霧流の性状解析に用いた式を示す。本モデルは Fig. 1 に解析モデルの概念図を示し

Table 1 Analysis model of one-fluid spray flow

Flow Rate and Momentum of Air and Mist in Spray Flow

$$v(x,y)=v_m\exp\left\{-\frac{x^2+y^2}{b_a^{\,2}}\right\} \quad \cdots(1)$$

$$Q_a=\pi b_a^{\,2}v_m \quad \cdots(2)$$

$$M_a=\frac{1}{2}\rho_a\pi b_a^{\,2}v_m^{\,2} \quad \cdots(3)$$

$$b_a=\mathrm{a_n}\times(z+\mathrm{z_o}) \quad \cdots(4)$$

$$q_w(x,y)=q_{wm}\exp\left\{-\frac{x^2+y^2}{(\eta_{b_w}b_a)^2}\right\} \quad \cdots(5)$$

$$Q_w=\pi(\eta_{b_w}b_a)^2q_{wm} \quad \cdots(6)$$

$$m_w=\rho_w\pi(\eta_{b_w}b_a)^2q_{wm} \quad \cdots(7)$$

$$M_w=\frac{\pi\eta_{b_w}^{\,2}b_a^{\,2}}{1+\eta_{b_w}^{\,2}}\rho_w q_{wm}v_m=\frac{1}{1+\eta_{b_w}^{\,2}}m_w v_m \quad \cdots(8)$$

Mass Flow Rate and Temperature of Mist

$$\frac{dm_w}{dz}=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left\{-q_w(x,y)\frac{4\pi\left(\frac{d_{32}}{2}\right)^2}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d_{32}}{2}\right)^3}k_w\rho_a\ln\left(1+\frac{Y^*-Y}{1-Y^*}\right)\frac{1}{v(x,y)}\right\}dxdy$$

$$=-S_{total}k_w\rho_a\ln\left(1+\frac{Y^*-Y}{1-Y^*}\right)\frac{1}{v_m\left(1-\eta_{b_w}^{\,2}\right)} \quad \cdots(9)$$

$$S_{total}=\frac{6Q_w}{d_{32}}=\frac{6m_w}{\rho_w d_{32}} \quad \cdots(10)$$

$$Y=\frac{W_{H_2O}}{W_{H_2O}+W_a\left(\frac{p}{p_w}-1\right)} \quad \cdots(11)$$

$$d_{32}=r_{d_{32}}\times z+d_{32\,(z=0)} \quad \cdots(12)$$

$$\alpha=\frac{\mathrm{Nu}\lambda}{d_{32}}=\frac{2\lambda}{d_{32}} \quad \cdots(14)$$

$$k_w=\frac{\mathrm{Sh}D}{d_{32}}=\frac{2D}{d_{32}} \quad \cdots(13)$$

$$c_{pw}\frac{d(m_w\theta_w)}{dz}=S_{total}\alpha(\theta_a-\theta_w)\frac{1}{v_m\left(1-\eta_{b_w}^{\,2}\right)}+L\frac{dm_w}{dz}+c_{pw}\frac{dm_w}{dz}\theta_w \quad \cdots(15)$$

Conservation of Momentum and Spray Flow Velocity

$$M_{total}=\frac{1}{2}\rho_a\pi b_a^{\,2}v_m^{\,2}+\frac{1}{1+\eta_{b_w}^{\,2}}m_w v_m \quad \cdots(16)$$

$$\frac{dM_{total}}{dz}=\frac{m_w g}{v_m\left(1-\eta_{b_w}^{\,2}\right)} \quad \cdots(17)$$

$$M_{total0}=\rho_a Q_{a0}v_{a0}+m_{w0}v_{w0}=\rho_a\frac{Q_{a0}^{\,2}}{A_{na}}+\frac{m_{w0}^{\,2}}{\rho_w(\eta_{dw}A_{na})} \quad \cdots(18)$$

$$\eta_{Aw}=\frac{A_{nw}}{A_{na}},\quad A_{na}+A_{nw}=\frac{1}{4}\pi d_n^{\,2} \quad \cdots(19)$$

Temperature and Humidity of Air in Spray Flow

$$\frac{d(c_{pa}\rho_a\theta_a Q_a)}{dz}=-S_{total}\alpha(\theta_a-\theta_w)\frac{1}{v_m\left(1-\eta_{bw}^{\,2}\right)}+c_{pE}\rho_E\theta_E\times\left(\frac{dQ_a}{dz}-\frac{dm_w}{dz}\cdot\frac{1}{\rho_S}\right)-c_{ps}\frac{dm_w}{dz}\theta_w \quad \cdots(20)$$

$$\frac{d(\sigma_a Q_a)}{dz}=-\frac{dm_w}{dz}+\sigma_E\frac{dQ_a}{dz} \quad \cdots(21)$$

Vertical Distance below the Nozzle and Airflow Velocity in the End Edge of Initial Area

※ *Changed Expression*

$$z_{c0}=-z_0+\frac{1}{\mathrm{a}_n}\times\sqrt{\frac{\rho_w\cdot d_n^{\,2}\cdot\eta_{A_w}}{2\cdot\rho_{a(0)}\cdot\eta_{v_m}^{\,2}}\times\left(1-\frac{\eta_{vm}}{1+\eta_{b_w}^{\,2}}\right)} \quad \cdots(22)$$

※ *Added Expression*

$$v_{m(z_{c0})}=\eta_{v_m}\cdot v_{w0} \quad \cdots(23)$$

Nomenclature

v	: spray flow velocity [m/s]
x,y,z	: position [m]
b	: characteristic length [m]
a_n	: change rate of air flow velocity characteristic length（= 0.1907 [-]）
z_o	: distance of imaginary origin point（= 67.97×10⁻³ [m]）
Q	: volume flow rate [m³/s]
M	: momentum per second [N･s/s]
ρ	: density [kg/m³]
q_w	: volume flux of mist [m³/(m²･s)]
m_w	: mass flow rate of mist [kg/s]
S	: surface area of mist per second [m²/s]
k	: mass transfer coefficient [m/s]
Y	: mass fraction of water vapor [-]
Y^*	: mass fraction of water vapor on mist surface [-]
W	: molar mass [g/mol]
p	: atmospheric pressure [Pa]
p_w	: water vapor pressure [Pa]
d_{32}	: sauter mean diameter [m]
r_{d32}	: change rate of sauter mean diameter（= 3.389×10⁻⁶[m]）
d_n	: nozzle hole diameter [m]
$d_{32(z=0)}$	: initial sauter mean diameter（= 3.123×10⁻⁶ [m]）
Sh	: Sherwood number [-]
D	: mass diffusivity [m²/s]
c_p	: specific heat [J/(kg･K)]
θ	: temperature [deg.C]
α	: heat transfer rate [W/(m²･K)]
Nu	: Nusselt number [-]
λ	: thermal conductivity [W/(m･K)]
g	: acceleration of gravity [m/s²]
A_n	: pass area in nozzle hole [m²]
L	: Latent heat [J/kg]
η_{Aw}	: pass area ratio of mist to air in nozzle hole [-]
η_{bw}	: characteristic length ratio of mist mass flow rate to air flow velocity[-]

※ *Added Nomenclature*

η_{vm}	: velocity ratio of spray velocity at the end of initial area to initial mist velocity [-]

Subscripts

a	: air in spray flow	*total*	: total
w	: mist	0	: initial
E	: entrainment	H_2O	: water
m	: maximum	S	: steam

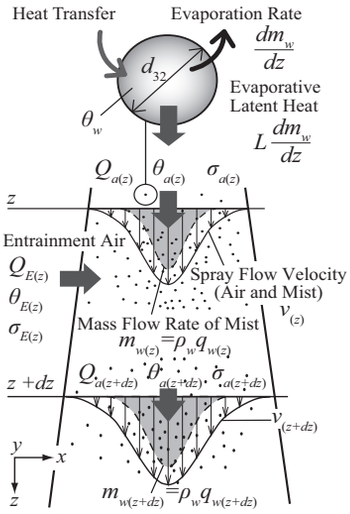


Fig. 1 Modeling concept of one-fluid spray flow

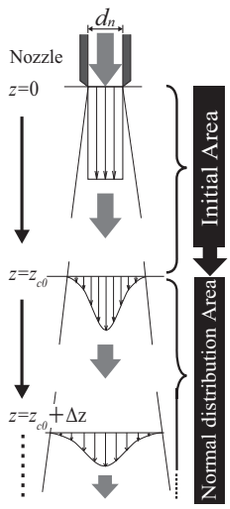


Fig. 2 Distribution of air velocity and mist flow rate

ている安井ら[3]が提案した二流体ノズル解析モデルを基礎としており、測定結果からノズル下 100mm 以降では気相速度とミスト速度は正規分布し、かつ一致するという仮定に基づく。前報の測定結果から気相速度とミスト速度の速度分布は概ね一致しており、一流体ノズルについてもこの仮定をしてよいと考えられる。したがって、この仮定に基づいて噴霧流速度、温湿度等の主流方向 (鉛直下方) の変化を解析する。

また、本モデルは Fig. 2 に概念図を示すように噴霧後、一様分布から正規分布に移行する間の領域を下記 1) ～ 4) の様に仮定される初期領域、それ以降の領域を正規分布領域と区分することで、ノズル近傍における複雑な挙動を簡易化している。

1) 吹き出し空気量は 0
2) ミストと気相の運動量の和は保存される
3) 温湿度、密度変化、ミストの蒸発、熱伝達は生じない
4) ノズル中心軸上で、初期領域終端での気相速度はミスト初速度の η_{vm} 倍。(η_{vm} は以降、初期領域終端速度比と呼ぶ)

これらの仮定より、ノズル口から初期領域終端までの距離 z_{c0} は式 (22) から算出できる。式 (22) より、z_{c0} は液体のノズル口通過面積率 η_{A_w}, 気相速度分布の特性長に対するミスト流量分布の特性長の比 η_{b_w}(以降、ミスト流量 - 気相速度特性長比と呼ぶ)、初期領域終端速度比 η_{v_m} によって変化することが分かる。

ここで、粒径分布を与える式 (12) は、株式会社いけうちによる位相ドップラー法 (PDA) を用いた水ミストの粒径・速度測定の結果から求めた式である。測定値と求めた近似直線を Fig. 3 に示す。近似にあたっては、ノズル下 30mm,50mm の測定値が以降の高さと異なる傾向を示していたため除外し、ノズル下 100mm ～ 700mm の測定値との誤差の二乗和が最小となる直線を求めた。なお、二流体ノズルモデルを一流体ノズルに適用するにあたり追加・変更した式と記号は Table 1 に※付きで記しており、a_n, z_0, r_{d32}, $d_{32(z=0)}$ に与えている値も Fig. 3 や既報[1]の測定結果から変更したものである。

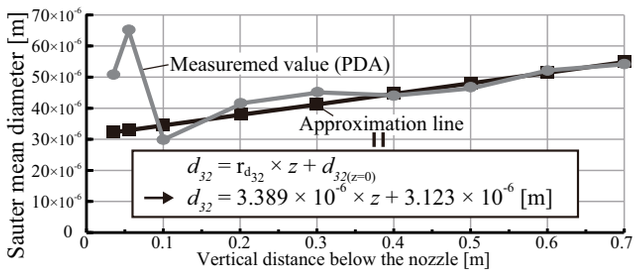


Fig. 3 Measured Value of Sauter Mean Diameter

3. ミスト流量 - 気相速度特性長比 η_{bw} の決定

既報[1]では、ミスト流量分布の把握が不十分であったため、ミスト流量分布特性長 b_w の気相速度分布特性長 b_a に対する比 η_{bw} を未知数としていた。

そこで、本報では前報[2]におけるプラスチック製組み立ブロック流量計を用いたミスト流量の測定結果と、既報[1]におけるピトー管を用いた気相速度の測定結果から、ミスト流量 - 気相速度特性長比 η_{bw} を同定する。Fig. 4 にミスト流量と気相速度の特性長、Table 2 にミスト流量 - 気相速度特性長比 η_{bw} の測定結果を示す。Table 2 に示す平均値これより、η_{bw}= 0.45 とした。

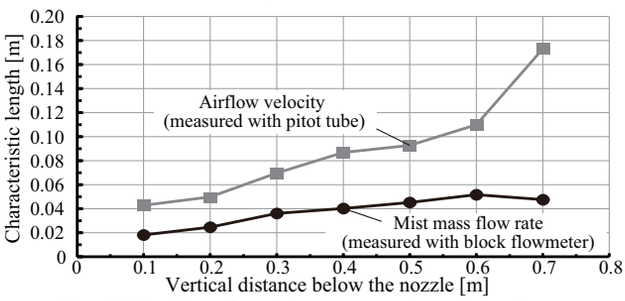


Fig. 4 Mist Flow Rate Measurement Insturment Layout

Table 2 Uncertain Parameter of Analysis

	Vertical distance below the nozzle [m]							Average
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
η_{bw}	0.424	0.494	0.517	0.463	0.487	0.470	0.274	0.447

4. 未知の特性値に関する感度解析

前章では、既報[1]の測定結果から未知数としていたミスト流量 - 気相速度特性長比 η_{b_w} を決定した。しかし、測定が困難な液体のノズル口通過面積率 η_{A_w}、及び本モデルの構築にあたり設定した初期領域終端における気相速度のミスト初速度に対する比 η_{v_m} は、未知の定数である。そこで、本章ではこれら 2 項目についての感度解析を行い、気相流量及びミスト流量の測定値から噴霧流の性状解析に適切な値を同定する。

4.1 検討方法

Table 3 に検討パターン、Table 4 に解析条件を示す。

Table 3 Uncertain Parameter of Analysis

Basic condition		Examination condition
η_{Aw}	1.0	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
η_{Vm}	0.1	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25

Table 4 Spray Condition

Spray Condition	Symbol	Unit	Value
Nozzle Hole Diameter	d_n	m	0.22×10^{-3}
Inflow Mist Mass Flow Rate at the Nozzle	m_{w0}	kg/s	5.6×10^{-4}
Inflow Mist Temperature at the Nozzle	θ_{w0}	℃	20
Temperature of Entrainment Air	θ_E	℃	20
Relative Humidity of Entrainment Air	RH_E	%	50

前述した2項目のうち一方を基本条件に固定した状態で、他方を検討条件に変化させて解析を行う。

4.2 解析結果

Fig. 5, Fig. 6 の表記などについての特記事項を記す。

(a) に示す気相流量の測定値は、既報[1]においてピトー管を用いて測定した気相速度の正規分布近似式を無限積分して算出した値である。

(c) では気相温度を実線、ミスト温度を破線で示す。測定値は前報[2]でミスト流量測定値の正規分布近似式を無限積分して算出した値である。また、各ケースの η_{A_w} や η_{V_m} の値を Mist (1.0) などの様に ( ) 内に示している。

4.2.1 液体のノズル口通過面積率 η_{A_w}

(a) 気相流量

Fig. 5に、η_{A_w} の値を変化させた場合の解析結果を示す。Fig. 5 (a) より、気相流量は η_{A_w} が小さいほど大きくなった。これは、η_{A_w} が小さいほどミスト初速度が大きく、初期ミスト運動量が大きいためと考えられる。気相流量の測定値とは η_{A_w} = 0.6~1.0 でよく一致している。

(b) ミスト流量

Fig. 5 (b) より、ミスト流量はノズル下 0.2m 付近までは η_{A_w} が小さいほど減少量が大きい。これは、η_{A_w} が小さいほど蒸発を無視する初期領域終端距離が小さくなり、ミストの蒸発がよりノズル付近で始まるためと考えられる。ただし、その違いは非常に小さい。

そして、ノズル下 0.2m 以降では、次第に η_{A_w} によるミスト流量の違いが小さくなっている。これは、η_{A_w} が小さいほど噴霧流速度が大きいため鉛直下方へ進むために要する時間が短く、鉛直距離あたりの蒸発量が小さいからと考えられる。また、測定値と比べると、解析結果はミスト流量の減少が緩やかであることが分かる。従って、実際よりも蒸発量を小さく予測しており、今後は粒子径や温湿度といった蒸発に関わる性状についての把握を進め、解析精度の向上を図る必要がある。

(c) 気相温度・ミスト温度

Fig. 5 (c) より、気相温度は噴霧初期は η_{A_w} が小さいほど低いが、しだいに η_{A_w} が小さいほど高くなる。ミスト温度は η_{A_w} が小さいほど低くなっているが、η_{A_w} の値による違いは気相温度に比べて非常に小さい。これは、水の比熱が空気の比熱に比べて大きいため、その影響が顕著に見られるものと考えられる。

(d) 相対湿度

Fig. 5 (d) より、相対湿度は噴霧初期は η_{A_w} が小さいほど高いが、次第に η_{A_w} が小さいほど低くなっており、気相温度の傾向と類似している。ミスト流量についての考察と同様に蒸発量の変化も原因の一つと考えられるが、Fig. 5 (c) に示す気相温度の増減と類似しているため、飽和水蒸気量の変化が及ぼす影響が大きいと考えられる。

(e) まとめ

本解析で用いる η_{A_w} の適当な値について考察すると、ミスト流量の測定値の再現性はいずれの高さにおいてもあまり良くないが、気相流量は η_{A_w} = 0.6~1.0 の範囲ではよく再現できている。

したがって、液体のノズル口通過面積率 η_{A_w} は η_{A_w} = 0.6~1.0 が適当と考えられる。

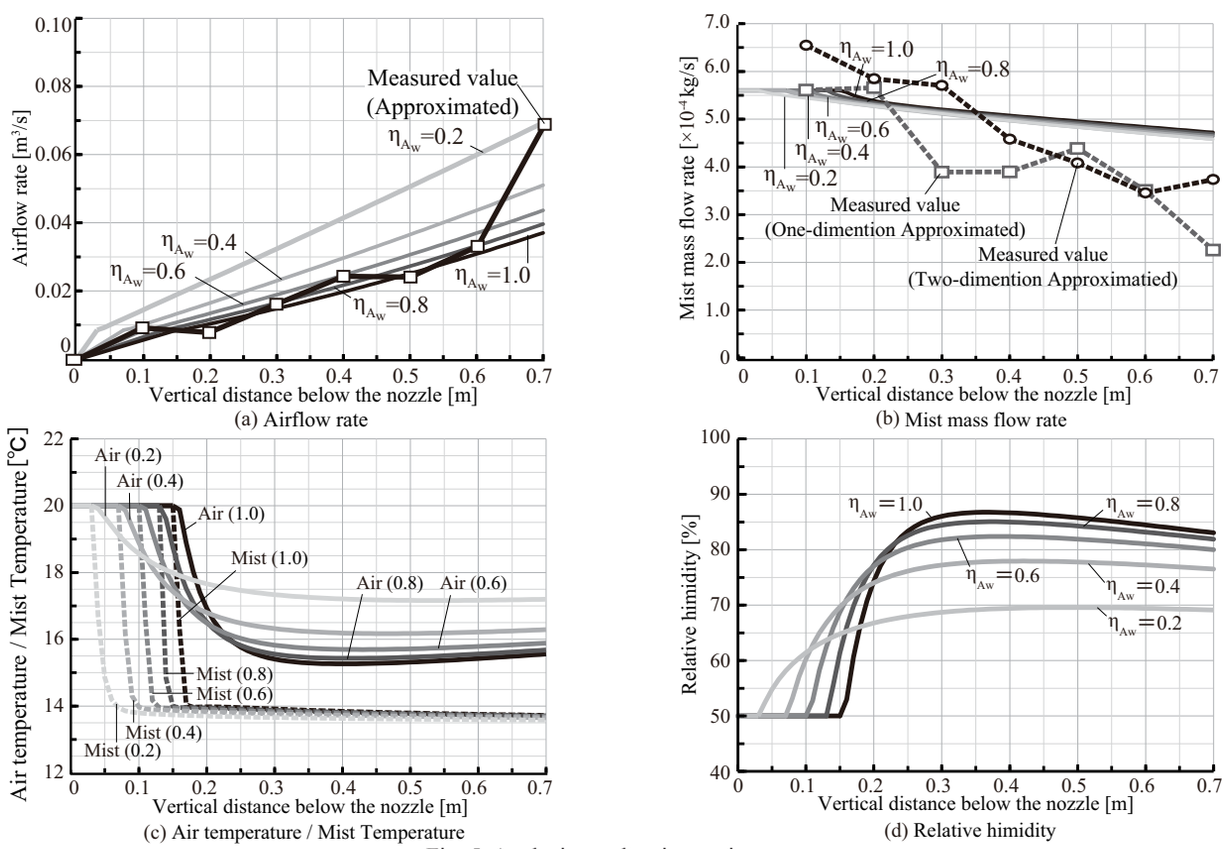


Fig. 5 Analysis result using various η_{A_w}

4.2.2 初期領域終端速度比 η_{V_m}

(a) 気相流量

Fig. 6 に、η_{V_m} の値を変化させた場合の解析結果を示す。Fig. 6 (a) より、気相流量は η_{V_m} が大きいほど僅かだが増大しており、これは η_{V_m} が大きいほど初期領域が短く、初期領域では無視しているミストの重力による気相運動量の増加量が大きくなるためと考えられる。

(b) ミスト流量

Fig. 6 (b) より、噴霧初期は η_{V_m} が大きいほど小さいが、ノズル下 0.7m にもなると η_{V_m} によるミスト流量の違いがほとんど無くなっている。これは η_{V_m} が大きいほど蒸発を考慮しない初期領域終端距離が大きくなるが、η_{V_m} はミスト初速度などの初期条件に影響を及ぼさないためと考えられる。また、4.2.1 の η_{A_w} の結果と同様に測定値と比べて解析結果は減少が緩やかであった。

(c) 気相温度・ミスト温度・相対湿度

ミスト流量の変化と同様に η_{V_m} は初期領域終端距離の大きさに及ぼす影響が大きいため、蒸発現象に関係するミスト流量、気相・ミスト温度、相対湿度は η_{V_m} が大きいほど始めは温度は減少し、湿度の上昇量が大きいが、いずれの条件も次第に一致している。

(e) まとめ

比較を行ったいずれの結果においても、正規分布領域に移行した後しばらくは η_{V_m} による違いが見られたが、次第に違いは見られなくなる。また、既報[1] の気相速度測定の結果から、気相速度やミスト流量の分布が正規分布に移行したと思われる位置はノズル下 100mm～200mm であるため、η_{V_m} の値は 0.10 が適当であると考える。

5．今後の課題

本報では、測定結果から未知としていた η_{bw} を決定し、残る任意の数 η_{A_w}, η_{V_m} の感度特性を検討した。それぞれ適当な値で気相流量は精度よく予測することが出来ているが、ミスト流量や温湿度の解析精度に課題が残ると考える。今後は、温湿度やミスト粒径の更なる把握とともに、解析モデルを改良、精度の向上を図る必要がある。

【 謝 辞 】

ミスト粒径に関するデータの提供をして頂きました、(株) いけうちの関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

【参考文献】

1) 栗村祐太， 山中俊夫， 甲谷寿史， 桃井良尚， 相良和伸 : 消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究（その8）一流体ノズルを用いた下向き噴霧流性状の解析手法，平成 26 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 第 7 巻 , pp.69-72, 2014.9

2) 西田敏宏， 山中俊夫， 甲谷寿史， 桃井良尚， 相良和伸， 栗村祐太 : 消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究（その9） 一流体ノズルを用いた下向き噴霧流性状の解析手法，平成 27 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 , 2015.3 掲載予定

3) 安井さおり， 山中俊夫， 相良和伸 , 甲谷寿史， 桃井良尚 , 大森啓充: 消･脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究（その 2） 粒子内瞬時反応を仮定した消・脱臭性能予測， 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 ,pp.99-102,2012.3

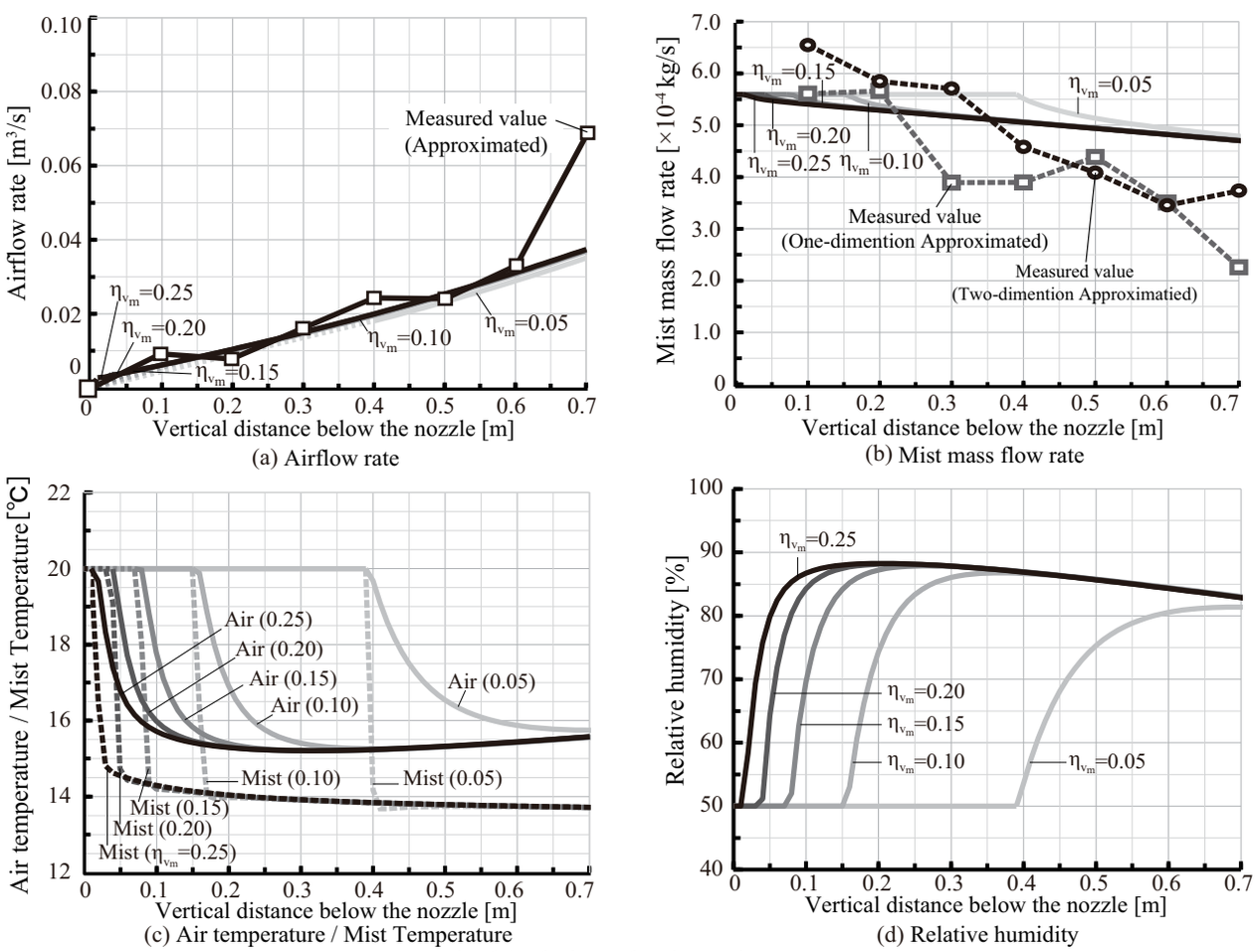


Fig. 6 Analysis result using various η_{V_m}

嗅覚の非定常応答に関する基礎的研究
（その 14）クロスモダリティ・マッチングを用いた臭気強度評価手法の検討
Basic Study on Unsteady Olfactory Response
(Part 14) Evaluation Method of Odor Intensity by Cross Modarity Matching

○高橋　亮太　（大阪大学）　　山中　俊夫　（大阪大学）
竹村　明久　（摂南大学）　　甲谷　寿史　（大阪大学）
桃井　良尚　（大阪大学）　　相良　和伸　（大阪大学）

Ryota TAKAHASHI[*1] Toshio YAMANAKA[*1] Akihisa TAKEMURA[*2]
Hisashi KOTANI[*1] Yoshihisa MOMOI[*1] Kazunobu SAGARA[*1]
[*1] Osaka University [*2] Setsunan University

It is necessary to investigate into response olfactory in order to realize suitable environment. But it there are no method to evaluate adequately variation in olfactory response affected by adaptation. In this study, the subjects were exposed to odor and they evaluate odor intensity with cross modarity matching because we find a better evaluation method of odor intensity. They mathed odor intensity to A-weighted sound pressure level. We understood it is necessary to study on subject's difference of sence of sound volume and the possibility to evaluate odor intensity by A-weighted sound pressure level.

1. はじめに

室内の建材由来の VOC や体臭といったにおいの除去を目的として換気量を決定する際、順応による嗅覚応答の変化を考慮しなければ、換気量が過剰になってしまう。したがって、建築物のにおい環境設計にとって、順応による嗅覚応答の変化を把握することは不可欠である。既報[1)2)]では、酢酸エチルの濃度をパラメータとして曝露実験を行い、順応特性について報告した。しかし、いずれの曝露実験の結果も被験者間で臭気強度の評価値に大きなばらつきが生じた。これは、臭気強度の評価方法として用いた言語評定尺度の示性語に対して、個人的解釈の差異が影響したことが原因と考えられる。そこで、個人的解釈の差異が小さいと考えられるクロスモダリティ･マッチングに着目した。クロスモダリティ･マッチングとは、音の大きさや明るさのように異なるモダリティ間を合致させる評価手法であり、既往研究では、KING[3)]が、臭気強度の評価手法として、音の周波数を臭気強度の評価値としたクロスモダリティ・マッチングの検討を行っている。本報では、個人間のばらつきが小さい臭気強度の評価手法の検討を目的として、酢酸エチルの曝露実験を行い、言語評定尺度を用いて臭気強度を評価した結果及び、騒音レベルを臭気強度の評価値として検討した結果について報告する。

2. 言語評定尺度を用いた臭気の連続曝露実験

2.1 実験概要

実験は 2014 年 12 月 8 日～ 12 月 18 日にかけて、Fig. 1 に示す大阪大学内の実験室にて実施した。パネルは、T&T オルファクトメータ試験に合格し、正常な嗅覚を有すると認められた 22 歳の学生４名（男子３名、女子１名) を採用した。なお､パネルには適切な報酬を支払った。試料臭気は、酢酸エチルを用いた。臭気の提示方法は Fig. 2 で示す。評価方法は Fig. 3 で示される連続カテゴリー尺度を用いて、臭気強度を自由に記入させた。実験は、酢酸エチルを 1.2 , 2.8 , 8.4 ppm の３つの濃度条件で 15 分間連続曝露した。全３条件を各パネルに対して１回ずつ実施した。各パネルの実験順序を Table 1 に示す。実験順序は、パネル１～３は、ラテン方格で決定し、パネル４については、無作為に実験条件を決定し実験を行った。

実験は、Fig. 4 に示すタイムスケジュールにしたがって行った。最初に、インストラクションを行い、検臭・評価方法、注意事項、試料臭気の安全性について説明した。また、酢酸エチルの臭気質を教示するため 10 L のサンプリングバッグを用いて、9.0 ppm の酢酸エチルを嗅がせた（Fig. 4 (1)）。次に、無臭空気を５分間連続曝

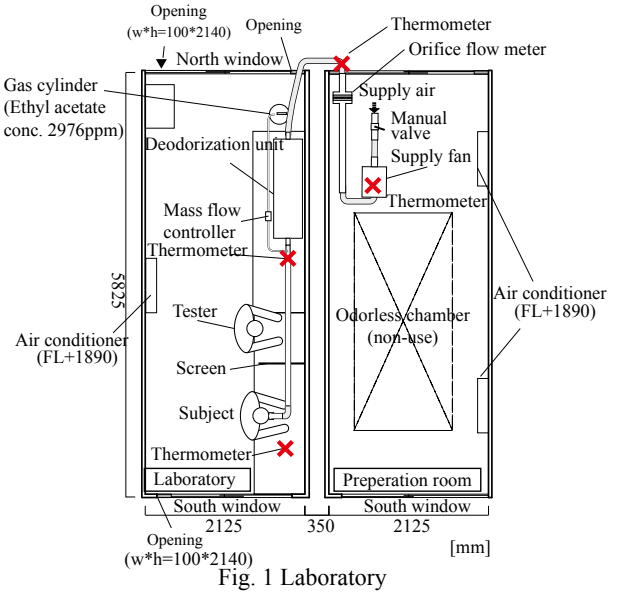


Fig. 1 Laboratory

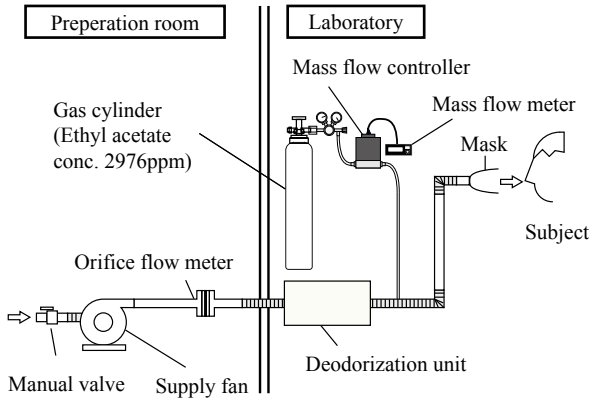


Fig. 2 Sniffing apparatus

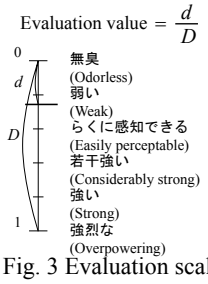


Fig. 3 Evaluation scale

Table 1 Exposure term

Panel	Exposure concentration		
	First	Second	Third
Panel 1	1.2 ppm	2.8 ppm	8.4 ppm
Panel 2	2.8 ppm	8.4 ppm	1.2 ppm
Panel 3	8.4 ppm	1.2 ppm	2.8 ppm
Panel 4	1.2 ppm	8.4 ppm	2.8 ppm

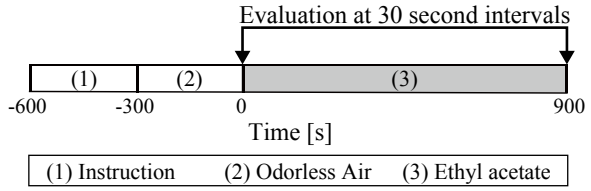


Fig. 4 Time schedule

露させた。無臭空気は活性炭脱臭装置を通して作成した(Fig. 4 (2))。その後、マスフローコントローラーを制御して、条件にしたがって酢酸エチルを 15 分間連続曝露させた。なお、流量制御の間、パネルには呼吸を止めさせ、約 10 秒後に呼吸を開始するように指示した。これは、ボンベからパネルへ酢酸エチルが到達するまで時間がかかるためである。呼吸再開と同時に、30 秒おきに評価させた（Fig. 4 (3))。

2. 2 結果と考察

2. 2. 1 酢酸エチルの連続的な曝露による臭気強度変化

各パネルと平均値の臭気強度評価値の経時変化及び、各パネルとパネル平均値の曝露開始直後の曝露濃度 - 臭気強度との関係とその回帰直線を Fig. 5 に示す。なお、曝露濃度と臭気強度の関係のグラフの横軸は対数軸である。臭気強度評価値の経時変化を見ると、8.4 ppm の条件ではばらつきはあるが、曝露開始から時間が経過するにつれて臭気強度は徐々に下がっており、嗅覚が順応していることが分かる。2.8 ppm や 1.2 ppm の条件では、曝露されてから時間が経過しても臭気強度が低下せずに上昇と下降を繰り返しているパネルもいるが、時間が経過するにつれてどの条件も臭気強度評価値が一定値に近づいている。

2. 2. 2 Weber-Fechner 則を用いた閾値算出

Fig. 5 の曝露開始直後の曝露濃度 - 臭気強度との関係を見ると、全パネルで曝露濃度が上がると臭気強度が上がっており、濃度に応じた評価ができている。ここで、非順応状態において Weber-Fechner 則を適用し、曝露開始直後の閾値 $C_{th(0)}$ を算出する。本実験で得られた応答は臭気強度であり、刺激とは曝露濃度である。臭気強度と曝露刺激及び嗅覚閾値の関係は Weber-Fechner 則より (Eq. 1) で表される。

$$I_{(t)} = k_c \log_{10} \frac{C_{(t)}}{C_{th(t)}} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

ここで、$I_{(t)}$ は時刻 t での臭気強度、k_c は比例定数、$C_{(t)}$ は時刻 t での曝露濃度、$C_{th(t)}$ は時刻 t の閾値である。Weber-Fechner 則中の k_c は感覚の種類により決定される定数であり、本報では実験結果を用いて比例定数 k_c の値を決定する。(Eq.1) を変形すると (Eq.2) となる。

$$I_{(t)} = k_c \log C_{(t)} - k_c \log C_{th(t)} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

曝露濃度の対数に対する臭気強度の傾きが比例定

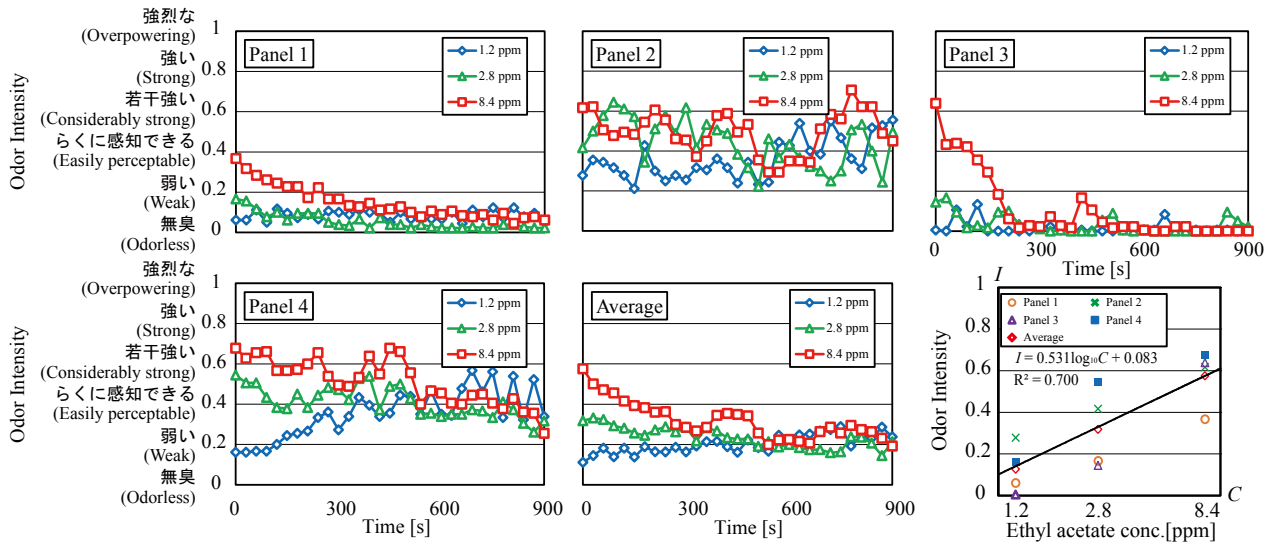


Fig. 5 Intensity variation and relation between odor intensity and ethyl acetate concentration at first evaluation

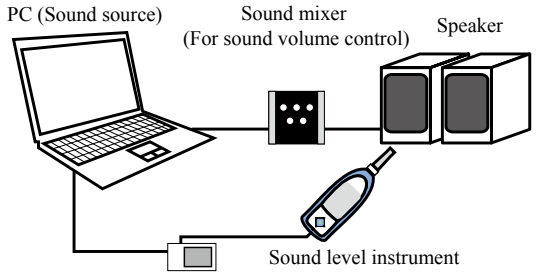


Fig. 6 Evaluating apparatus

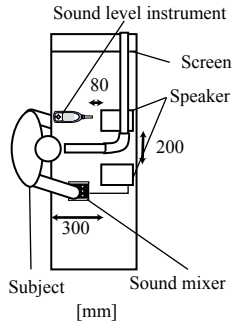


Fig. 7 Arrangement of evaluating apparatus

Table 2 Exposure term

Panel	Exposure concentration		
	First	Second	Third
Panel 1	2.8 ppm	8.4 ppm	1.2 ppm
Panel 2	8.4 ppm	1.2 ppm	2.8 ppm
Panel 3	1.2 ppm	2.8 ppm	8.4 ppm
Panel 4	1.2 ppm	8.4 ppm	2.8 ppm

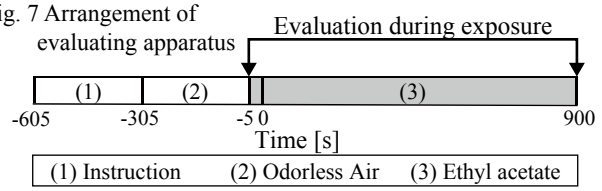


Fig. 8 Time schedule

数 k_c と同義であることが分かる。Fig. 5 の曝露濃度 - 臭気強度の回帰式と (Eq. 2) を比較することで、k_c=0.531, $C_{th(0)}$=0.698 [ppm] が得られる。既報[2] の実験で算出した k_c, C_{th0} は、k_c=321, $C_{th(0)}$=0.411 [ppm], k_c=342, $C_{th(0)}$=0.042 [ppm] であった。これらの数値が異なるのは、パネル群の違いと考えられるが、本実験の曝露開始直後の閾値 C_{th0} は比較的大きく、においを感じにくいパネル群であると考えられる。

3. 騒音レベルを評価方法に用いた臭気の連続曝露実験

3. 1 実験概要

実験は 2015 年 1 月 19 日～1 月 30 日にかけて行った。パネル、実験室、試料臭気、臭気提示装置、実験条件に関しては、第 2 章の評定尺度法を用いた酢酸エチルの連続曝露実験と同様に実験を行った。評価方法に用いた装置を Fig. 6 に示す。臭気強度の評価は、PC から出力された 440 Hz の周波数の純音をミキサー（TASCAM 製 US-14MK Ⅱ）で操作させ、曝露されている臭気の強度に相当する音量をスピーカー（ONKYO 製 GX-70HD）から出させて評価させた。そして、騒音レベルを騒音計（Rion 製 NL-42）で計測し、出力電圧をデータロガー（KEYENCE 製 NR-2000) で曝露開始から 10 Hz で 905 秒間計測した。装置の配置を Fig. 7 で示す。パネルの前方､約 30 cm の位置にスピーカーを 20 cm 間隔で 2 台設置し、ノズルの中心をスピーカー間の中間に一致させた。また、騒音計の位置はパネルから向かって、左側のスピーカーから 8 cm の位置に設置した。実験順序を Table 2 に示す。パネル 1 ～ 3 は、ラテン方格で決定し、パネル 4 については、無作為に実験条件を決定し実験を行った。なお、第 2 章とは実験順序は異なる。

実験は､Fig. 8 に示すタイムスケジュールにしたがって行った。最初にインストラクションを行い、検臭・評価方法、注意事項、試料臭気の安全性について説明した。評価については、ミキサーのつまみを見ないように注意を促し、音量だけで評価するように指示した。また、酢酸エチルの臭気質を教示するため 10 L のサンプリングバッグを用いて、9.0 ppm の酢酸エチルを嗅がせた（Fig. 8 (1)）。次に第 2 章の実験と同様に無臭空気を 5 分間連続曝露させた。(Fig. 8 (2))。その後、マスフローコントローラーを制御して、条件にしたがって酢酸エチルを 905 秒間連続曝露させた。なお、流量制御の間、パネルには呼吸を止めさせ、約 10 秒後に呼吸を開始するように指示した。呼吸再開と同時に、実験が終わるまでの 905 秒間、連続的にミキサーを操作させ、評価させた。曝露開始直後は、スピーカーから出力されないようにミキサーのひねりの位置を設定し

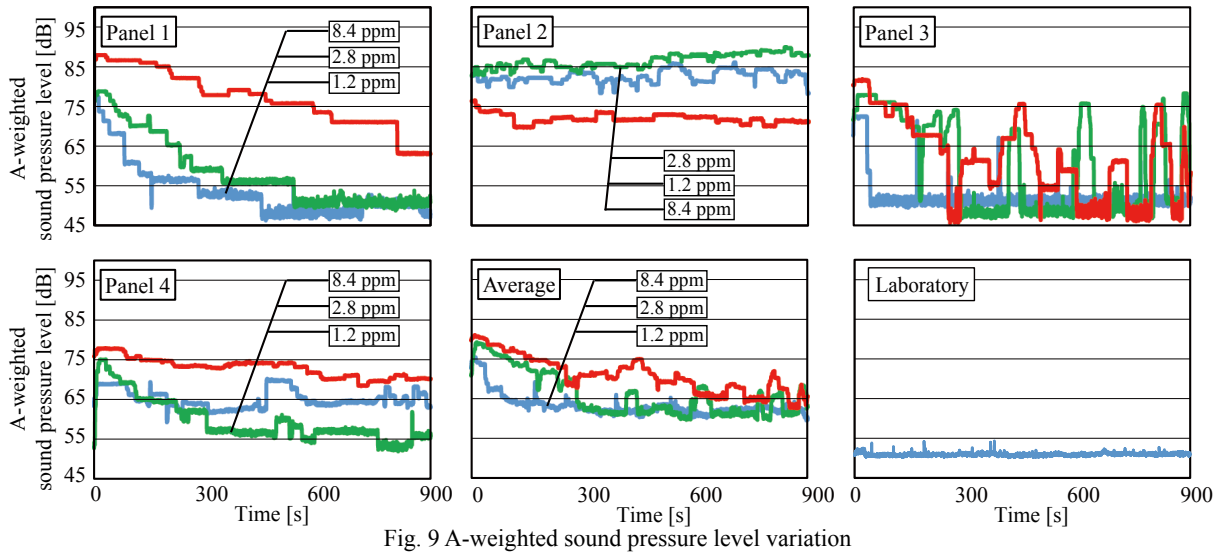


Fig. 9 A-weighted sound pressure level variation

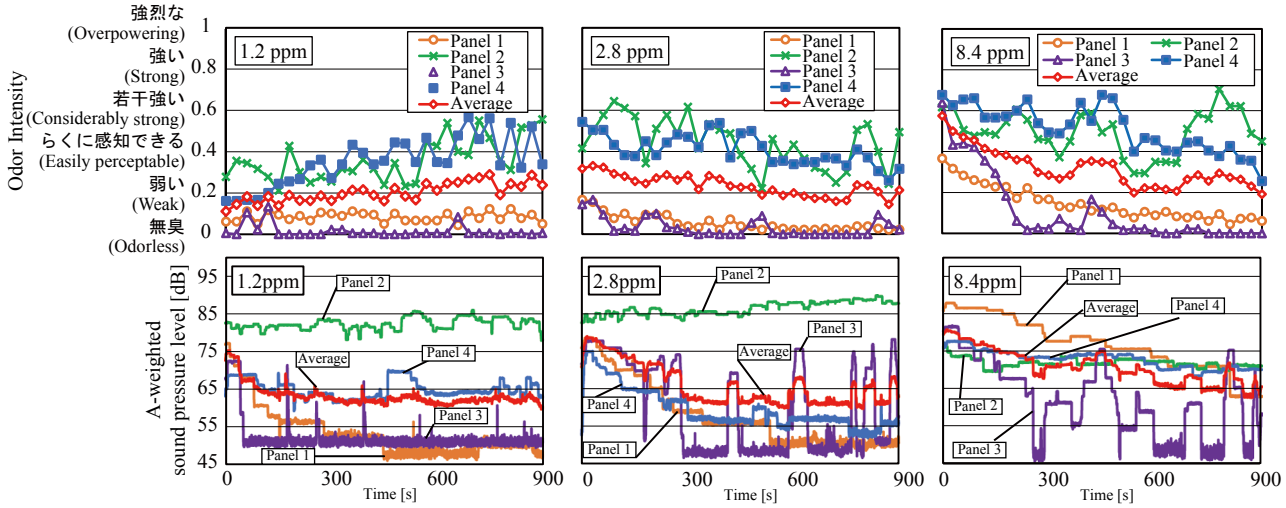


Fig. 10 Intensity variation and A-weighted sound pressure level variation

ているので、評価値としては、曝露開始直後から５秒後からの騒音レベルの値を評価値とした（Fig. 8 (3)）。

3. 2 結果と考察

3. 2. 1 音量感覚による臭気強度評価

Fig. 9 にパネル別の騒音レベルの経時変化及び、実験室の騒音レベルの経時変化を示す。ただし、実験室の騒音レベルは各実験日に１度 15 分間計測し、全実験日における計測値を平均したものである。全体的に一貫した傾向は見られないが、平均値を見ると時間経過に伴って指数的に騒音レベルが変化し順応していることが分かる。パネル１，４は時間経過に伴って騒音レベルが下がっており順応が確認されたが、パネル２はあまり変化が見られない。パネル３は 2.8 ppm, 8.4 ppm の条件で、曝露開始後 200 秒あたりまでは、下がっているが、その後上昇と下降を繰り返している。瞬間的な騒音のレベルの上昇は、実験室外の暗騒音の影響であると考えられるが、パネル３の評価にいたっては数秒間にわたって評価値が上昇と下降を繰り返しているので、これは実験室外の騒音によるものではなくにおいを感じていることによって、音量を上げたと考えられる。また、酢酸エチルのにおいではなく、ノズルのにおいを評価した可能性もある。

4. 異なる評価手法による評価手法の検討

Fig. 10 に曝露濃度別の第２章、第３章の臭気強度と騒音レベルの経時変化を示す。どちらの実験結果も大きなばらつきがあることが分かる。言語評定尺度を見ると、パネル１，３とパネル２，４という組合わせで類似した評価傾向が見られる。いずれの濃度条件でもパネル１，３は曝露開始後に比較的早く臭気強度が下がり、曝露濃度が高い条件になるほど、その傾向が顕著に見られた。パネル２，４は、時間が経過しても臭気強度評価が上昇下降を繰り返している。騒音レベルの経時変化を見ると、パネル２，４は言語評定尺度の評価傾向とは異なり、類似した傾向は見られなかった。言語評定尺度で類似した評価傾向が見られたのは、パネル１，３の組み合わせとパネル２，４の組み合わせがそれぞれ、評定尺度の示性語に対する解釈が類似しており、騒音レベルで評価傾向が異なったのは、パネル間の音量の感覚が異なるためであると考えられる。また、騒音レベルでの評価値は実験室外の暗騒音の影響が含まれており、そのためにばらつきが生じた可能性もある。

したがって、臭気強度評価として音の感覚を用いるためには、スピーカーからの出力やボリュームをデータとして取り出せることができる装置を開発するべきであると考える。

5. おわりに

本報では、酢酸エチルの連続曝露実験を行い、臭気強度の評価手法として、言語評定尺度を用いた評価手法と臭気強度と騒音レベルとのクロスモダリティ・マッチングを用いた評価手法について検討を行った。今後は、臭気強度と他のモダリティーについても実験を行い、データを蓄積していき、パネル間の臭気強度評価のばらつきが小さい評価手法について検討していく所存である。

【謝辞】

本研究の一部は日本学術振興会平成 26 年度学術研究助成基金助成金 (挑戦的萌芽研究 , 課題番号 : 24656336, 研究代表 : 山中俊夫) によった。

【参考文献】

1) 山中 , 竹村 , 相良， 甲谷， 桃井， 永井 , 山田 : 応答係数に基づく嗅覚反応モデルを用いた換気量制御手法 , 日本建築学会大会学術講演梗概集 ,pp.821-824, 2013.9
2) 永井 , 山中 , 竹村 , 甲谷 , 桃井 , 相良 , 高橋 , 山田 : 嗅覚の非定常応答に関する基礎的研究 (その１１) 回復・再順応過程への嗅覚反応モデルの適用性 , 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会 , pp.225-228, 2014. 3
3) BONNIE M .KING : Odor intensity mesured by an audio method , JOURNAL OF FOOD SCIENCE , Volume 51 , No , 5 , 1986

在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究
（その１）入室法による臭気の主観評価と在室者評価
Evaluation Method for Perceived Air Pollution Caused by Human Bioeffluents
(Part 1) Perceived Air Quality Evaluation by Visitors and Occupants by Odor Free Room Method

○山田　響子　（大阪大学）　山中　俊夫　（大阪大学）
竹村　明久　（摂南大学）　桃井　良尚　（大阪大学）
甲谷　寿史　（大阪大学）　相良　和伸　（大阪大学）
池田　馨　（大阪大学）

Kyoko YAMADA[*1] Toshio YAMANAKA[*1] Akihisa TAKEMURA[*2]
Hisashi KOTANI[*1] Yoshihisa MOMOI[*1] Kazunobu SAGARA[*1] Kaoru IKEDA[*1]
[*1] Osaka University [*2] Setsunan University

Ventilation requirements in buildings are defined by dissatisfied rate of “visitors”. But occupants are exposed to their body odor composed of VOC for a longer time, so they can feel irritation of eyes, nose and throat, etc. Therefore, we measured the perceived air pollution level of occupants and visitors by odor free room method.

It was found that acceptability shows poor correlation between odor intensity in some cases. Furthermore, there is difference among individuals whether or not to feel irritation.

はじめに

我が国では建築物における衛生的環境の確保に関する法律において、呼気によって増加する CO_2 濃度を室内空気汚染の指標とし CO_2 濃度を 1000 ppm 以下に保つよう規定している。しかし、低濃度の CO_2 であっても執務空間の CO_2 濃度が高いほど意思決定能力が低下するという研究成果[1)] が報告されていることから、使用者や室の用途によって求められる知覚空気質が異なる場合、よりきめ細かい換気量基準の設定が必要となる。

1000 ppm は外来者が入室した際に体臭を不快に感じない空気質を要求するものであるが、在室者は様々な VOC（揮発性有機化合物）から成る体臭に曝露され続けており、臭気強度だけでなく目、鼻、喉等への刺激感や、気分の変化等の自覚症状に関する調査が求められる。

在室者からの空気汚染質を測定するにあたり、既報[2)] ではノズルからパネルに臭気を連続曝露させ体臭強度を評価させた。本実験では入室法を用いた体全体への臭気曝露により、在室者及び入室時を想定した外来者パネルに知覚空気質を評価させる。また、同時に体臭に関する三点比較式臭袋法による閾値測定から、CO_2 濃度と体臭の臭気濃度の関係を求める。

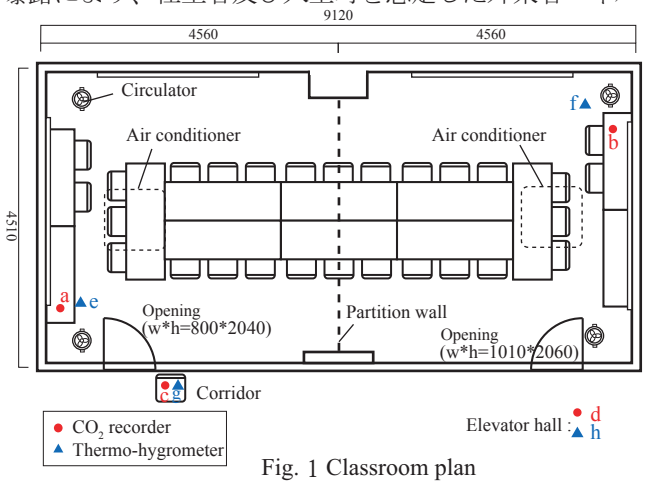


Fig. 1 Classroom plan

本研究は、在室者を汚染源とする空間の知覚空気質を様々な評価尺度により測定することで、在室者からの空気汚染質を定量的に把握する手法の確立を目的とする。

本報では入室法による知覚空気質測定結果及び体臭閾値測定の結果と考察について報告する。

1. 在室者を汚染源とした知覚空気質評価と在室者の自覚症状申告

1.1 実験概要

入室法による実験は 2015 年 1 月 6, 13, 20 日の 3 日間に、不特定多数の在室者を汚染源として空気質の評価を行うため本学学内で行われたゼミ中の教室で行った。教室の平面図及び CO_2 濃度、温湿度の測定点を Fig. 1 に示す。教室は間仕切り壁により半分に仕切ることができる。1 月 6 日のゼミ後半及び 13, 20 日のゼミは参加人数が少なかったため、教室を仕切って部屋の半分を使ってゼミを行った。間仕切り壁の隙間等は養生テープで目張りした。室内の CO_2 濃度が一様となるよう、教室の四隅にサーキュレータを配置した。また、実験中は教室の換気装置は切った状態とした。外来者パネル（以下外来者）は、T&T オルファクトメータ試験に合格し、正常な嗅覚を有すると認められた 22 ～ 25 歳の本学の学生 6 名（男性

Table 1 Occupants for odor source

Day	Number of Occupants		Remarks column
	Man*	Woman*	
2015/1/6	12(3)	10(0)	During the experiment: One man and one woman entered the room. Two men and two women exited the room.
2015/1/13	10(3)	8(0)	During the experiment: One man entered the room. Two men exited the room.
2015/1/20	11(3)	8(0)	During the experiment: One man exited the room.

* ( ):Number of Smokers

4 名、女性 2 名) を採用した。在室者パネル（以下在室者）は 20 ～ 60 代の本研究室在籍者であり、食事や服装等のにおいの制限は設けなかった。実験時の臭気源である在室者数は Table 1 の通りである。通常通りゼミを行い、外来者は CO_2 濃度が所定の濃度に達する前に一時退出させ、窓を開けた EV ホールで外気に順応させた。その後所定の濃度に達してから、教室に再び入室させ、在室者と外来者に同時に評価を行わせた。評価時の CO_2 濃度は既報 [2] と同じく、1500, 2650, 5000 ppm とした。外来者の嗅がせ方は、自然な呼吸を 2 回するように指示した。本実験では評価項目としてにおいの強さ、快・不快度、受容度、目・鼻・喉への刺激度、乾湿度、汚染度、自覚症状申告を用いて評価させた。ただし、外来者は自覚症状申告を除く 6 項目に回答させた。質問項目は Wargocki らの研究 [3] で用いたものを和訳し、若干の修正を加えたものである。評価用紙を Fig. 2 に示す。また、実験スケジュールを Fig. 3 に示す。

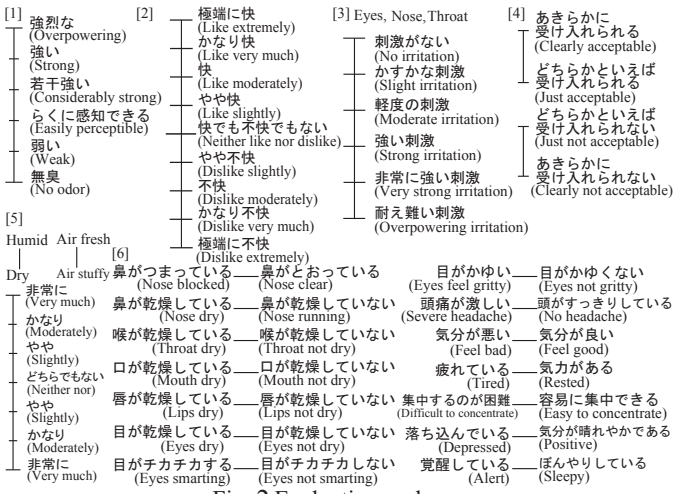


Fig. 2 Evaluation scale

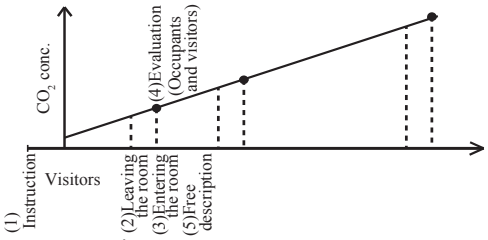


Fig. 3 Experimental schedule

以下に実験手順を示す。

(1) インストラクション

教室に入室した在室者・外来者に呼吸の仕方、評価の仕方等の指示を行った。

(2) 外来者退室

CO_2 濃度が所定の濃度に達する前に、実験者とともに外来者を教室から退室させ、窓を開放した EV ホールに待機させた。待機時間は、嗅覚が順応から回復するのに十分な時間（平均 11.2 分）を確保した。

(3) 外来者入室

CO_2 濃度が所定の濃度に達すると、外来者に再び教室に入室させた。

(4) 在室者・外来者の空気質評価

教室内の空気質について在室者・外来者ともに評価させた。外来者は入室した後すぐに評価させた。

(5) 外来者による空気質についての自由記述

外来者には検臭後、自席に着席し教室内の空気質について自由に記述するよう指示した。

1. 2. 結果と考察

■臭気強度

臭気強度と CO_2 濃度の関係を Fig. 4 に示す。臭気強度には在室者と外来者の評価の差がはっきりと表れた。在室者の評価値と外来者の評価値について、入室法では 1 月 6 日 1 回目、13 日、20 日 3 回目で $p < 0.05$、1 月 6 日 2, 3 回目、20 日 2 回目の評価で $p < 0.01$ の有意差を得た。また、各実験日の最初の評価（1 回目）と最後の評価（3 回目）について、1 月 6 日 , 20 日の外来者の評価、1 月 6 日の在室者の評価で有意差 ($p < 0.05$) を得た。外来者の全実験の平均値を見ると、CO_2 濃度の上昇に伴い臭気強度が上がり、最終的に一段階臭気強度は上昇した。それに対し在室者は、6 日は有意差が出たものの、他の 2 日や 3 日間の平均値を見ても評価はほぼ横這いである。

■受容度

受容度と CO_2 濃度の関係を Fig. 5 に示す。在室者と

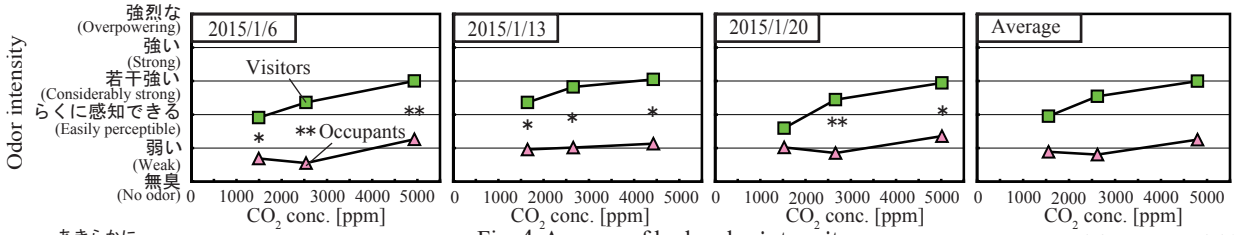


Fig. 4 Average of body odor intensity

＊ $p < 0.05$ ＊＊$p < 0.01$

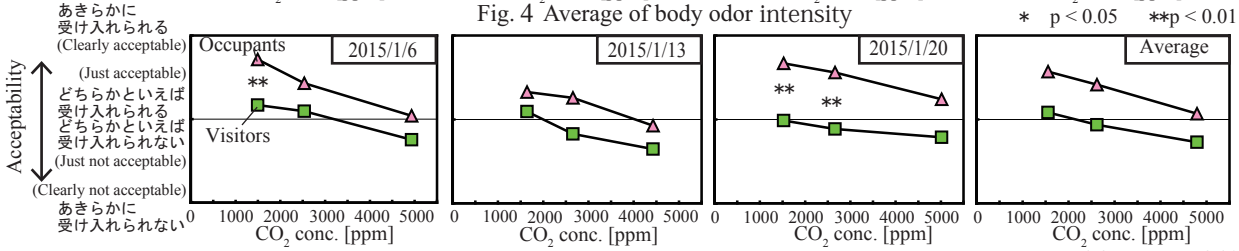


Fig. 5 Average of acceptability

＊ $p < 0.05$ ＊＊$p < 0.01$

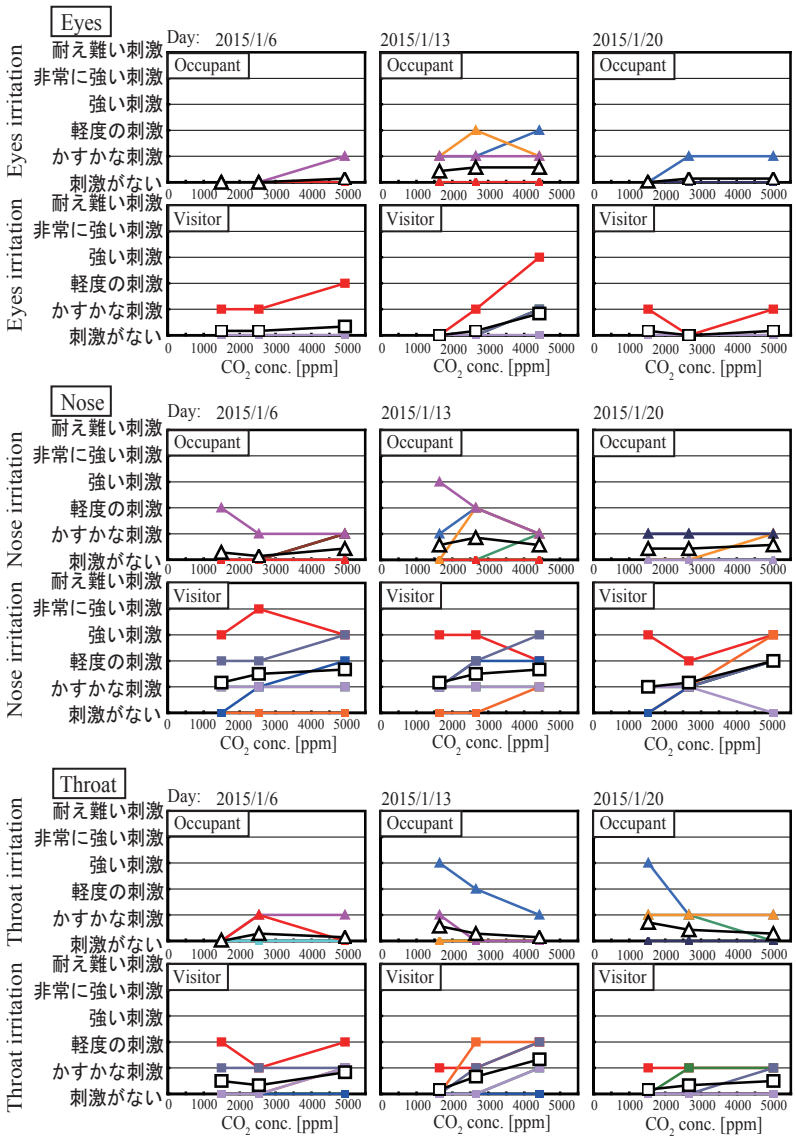


Fig. 6 Irritation of eyes, nose and throat in each panel

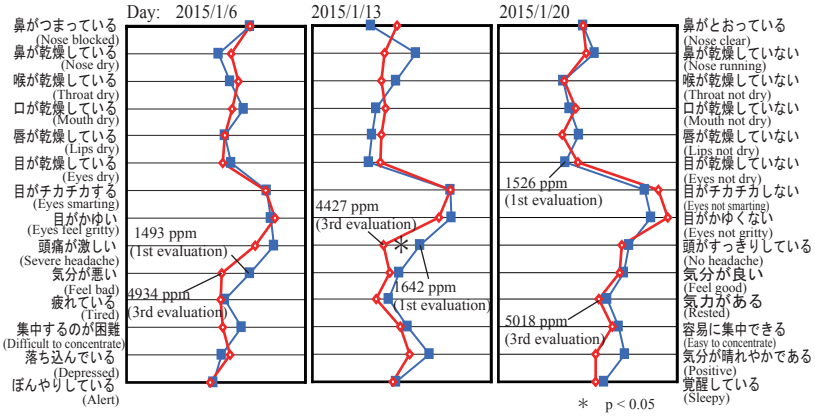


Fig. 7 Occupants' subjective symptom

外来者の評価値の差が大きく表れ、1 月 6 日 1 回目、1 月 20 日 1, 2 回目で在室者と外来者の評価に有意差 ($p < 0.01$) を得た。また、CO_2 濃度の上昇による在室者の受容度の変化勾配が大きく、1 月 6 日 ,20 日において最初の評価と最後の評価に有意差 ($p < 0.05$) を得た。外来者の評価に関しては、臭気強度との相関が見られた。しかし、1 月 13 日の在室者の臭気強度は実験を通してほぼ横這いで変化が無かったが、受容度は明らかに受け入れられない側へ移行している。パネル別に見ても、CO_2 濃度と臭気強度には相関が見られなかったが受容度は実験を通して下がったパネルが複数存在した。在室者の受容度に関してにおい以外の要素が影響した可能性がある。

■刺激度

各実験日及び全実験の CO_2 濃度と、目、鼻、喉の刺激度の平均値との関係を Fig. 6 に示す。鼻の刺激で在室者と外来者の評価値に差が表れたが、いずれの実験日においても外来者の方が体臭に連続曝露されていた在室者よりも刺激を感じていたという結果であった。知覚空気質の評価手法に関する論文[4] では、被験者が「鼻の刺激」と「臭気強度」を混同して評価しており、本実験においても外来者パネルが臭気強度と混同して評価をした可能性がある。在室者と外来者の鼻の刺激の評価の平均値は 1 月 6 日 2, 3 回目、13 日 3 回目、20 日 2, 3 回目で有意差 ($p < 0.05$) を得た。

また、喉の刺激に関して、1 月 13 日 3 回目の評価で在室者と外来者の評価に有意差 ($p < 0.01$) を確認し、さらに同日の外来者の最初と最後の評価で有意差 ($p < 0.05$) を得た。

本実験で、在室者が外来者よりも生体発散物質中の VOC による刺激を感じていたかは定かではない。しかし、刺激を感じるパネルと全く感じないパネルが存在し、刺激度の個人差を確認した。空気中の化学物質に対する感度は様々であると考えられ、今後も多くのパネルのデータを蓄積する必要がある。

■自覚症状申告値

各実験日の最初 (CO_2 濃度 :1500 ppm) の評価と最後 (CO_2 濃度 :5000 ppm) の評価における、在室者の自覚症状申告値の平均値の比較について Fig. 7 に示す。1 月 13 日の「頭痛」の項目において、有意差 ($p < 0.05$) を得た。

2．体臭の閾値測定

2.1 実験概要

実験は 2015 年 1 月 6, 13, 20 日の 3 日間に学内の実験室にて実施した。22 ～ 25 歳（男性 3 名、女性 3 名) の本学学生 6 名をパネルとして採用した。試料は 1 章

の入室法実験中にサンプリングバッグ（近江オドエアーサービス（株））に捕集した。設定濃度 1500, 2650, 5000 ppm をそれぞれ低、中、高濃度条件と表記する。

実験室は常に窓を開けて換気を行っていたが、実験室における体臭の嗅覚順応の影響を考慮し、におい袋のにおいを嗅ぐ前にパネルには Fig. 8 の実験室の右下付近で引き戸から外に顔を出させ、外気で約 30 秒深呼吸させた。実験は希釈倍数 10 倍から始め、下降法より 30, 100, 300 倍と希釈倍数を上げていった。

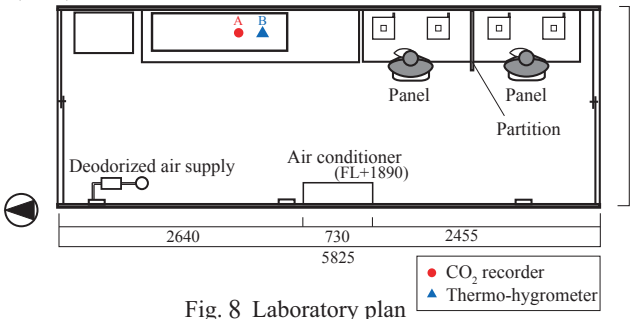


Fig. 8 Laboratory plan

2.2 結果と考察

Table 2 に実験結果を示す。なお、1 月 6 日の高濃度条件と 1 月 20 日の低濃度条件では最初の検臭（希釈倍数 10）で不正解になったパネルが 2 名以上いたため、臭気濃度と臭気指数を算出することができなかった。1 月 20 日の低濃度条件では 3 名のパネルが希釈倍数 10 で不正解を出した。他の実験日の低濃度条件では最初に不正解を出したパネルは 0 ないし 1 名であったため、20 日の低濃度条件では発生した体臭の濃度が薄かった可能性が考えられる。ただし在室者数は 13 日と大差無く、また、1500 ppm に達するまでの時間は 13 日と 20 日でそれぞれ 10 分と 7 分であり差はわずかであったため、壁や床への臭気の吸着量に差が生じた可能性も少ない。体臭に影響を与え得る他の要素としては、在室者の構成が若干異なることや、今回の実験では在室者の入浴や食事等に制限を設けていないことから、実験日によって臭気質が異なった可能性がある。しかしながら、本実験は実用に供する体臭の閾値を求めることを目的としており、在室者の状態や場所によって臭気の内容が異なることが予測される。今後はより多くの条件下でのデータの蓄積が求められる。

実験結果より、CO_2 濃度を指標とした体臭閾値［ppm］を算出する。算出式は以下の通りである。また、算出結果を Table 3 に示す。

Table 2 Odor concentration and odor index

2015/1/6	CO_2 conc. [ppm]	1512	2552	4917
	Odor concentration	55	31	−
	Odor index	17	15	−
2015/1/13	CO_2 conc. [ppm]	1683	2663	4414
	Odor concentration	98	31	98
	Odor index	20	15	20
2015/1/20	CO_2 conc. [ppm]	1552	2713	5011
	Odor concentration	−	31	74
	Odor index	−	15	19

$$\Delta C_{CO_2} = C_i - C_o$$

ΔC_{CO2} ： 人間の呼気による CO_2 増加量［ppm］

C_i ：体臭採取時の室内 CO_2 濃度［ppm］

C_o ： 外気 CO_2 濃度［ppm］

$$C_{th} = \frac{\Delta C_{co_2}}{Y}$$

C_{th} ： 体臭閾値［ppm］

Y ：臭気濃度

Table 3 Olfactory threshold

2015/1/6	⊿CO_2 [ppm]	1028	2068	4433
	Olfactory threshold[ppm]	19	67	−
2015/1/13	⊿CO_2 [ppm]	1206	2186	3937
	Olfactory threshold[ppm]	12	71	40
2015/1/20	⊿CO_2 [ppm]	1074	2235	4533
	Olfactory threshold[ppm]	−	72	61

Table 3 の通り、今回算出した体臭の閾値は非常に小さい値となった。外気濃度＋ 12 ～ 72 ppm が閾値のときの実際の CO_2 濃度［ppm］となるが、値が小さすぎるため信頼性は低い。しかし、1 章の実験結果からも言えるとおり、体臭を知覚するときににおいだけでなく、刺激感等他の感覚要素も働いている可能性がある。

おわりに

入室法により在室者からの空気汚染質を外来者、在室者に評価させ、臭気強度や受容度で外来者と在室者の評価値の差を確認した。しかし、実験日によっては在室者の受容度に関して臭気強度と相関が見られず、受容度ににおい以外の要素が影響している可能性がある。在室者の刺激度は、感じるパネルと全く感じないパネルが存在し、個人差を確認した。

体臭の閾値を 3 種類の濃度において測定したところ、CO_2 濃度との相関は得られず、小さな値となった。信頼性のある結果を得るためにはさらなるデータの蓄積が必要である。

【謝辞】

本研究の一部は日本学術振興会平成 26 年度学術研究助成基金助成金（挑戦的萌芽研究，課題番号：24656336，研究代表：山中俊夫）によった。

【参考文献】

1) Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert and William J. Fisk : “Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance”, Environmental Health Perspectives, Vol.120, No.12, December, 2012

2) 山田，山中，竹村，甲谷，桃井，相良，永井：嗅覚の非定常応答に関する基礎的研究（その8）体臭連続曝露時における嗅覚の順応特性，空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集，第 7 巻，pp.101-104，2013.9

3) P.Wargocki, D.P.Wyon, Y.K.Baik, G.Clausen and P.O.Fanger : Perceived air quality, Sick Building Syndrome(SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads, Indoor Air, 9, pp.165-179, 1999

4) 岩下剛：知覚空気質の評価法に関する研究　臭気強度、刺激度、許容度の評価法に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）D-2，pp.815-816，2000.9

在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究
（その２）嗅ぎ穴を用いた無臭室法による評価
Evaluation Method for Perceived Air Pollution Caused by Human Bioeffluents
(Part 2) Perceived Air Quality Evaluation by the Window Type Odor Free Room Method

○池田　馨　（大阪大学）　山中　俊夫　（大阪大学）　竹村　明久　（摂南大学）
甲谷　寿史　（大阪大学）　桃井　良尚　（大阪大学）　相良　和伸　（大阪大学）
山田　響子　（大阪大学）

Kaoru IKEDA[*1] Toshio YAMANAKA[*1] Akihisa TAKEMURA[*2]
Hisashi KOTANI[*1] Yoshihisa MOMOI [*1] Kazunobu SAGARA[*1] Kyoko YAMADA[*1]
[*1] Osaka University [*2] Setsunan University

There is a CO_2 concentration standard to keep indoor environment good. CO_2 concentration is an index of perceived air pollution caused by human bioeffluents. However, we call for different perceived air quality in each case. Accordingly, we should examine the method of perceived air quality evaluation. This paper shows the results of the exposure experiment of human bioeffluents and we consider to the scale for evaluation and the difference between occupants and visitors.

はじめに

現在、日本の建物の室内環境は、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（通称：建築物衛生法）に基づき、CO_2 濃度を 1000 ppm に保つことで維持されている。人間の呼気由来の CO_2 は体臭強度の指標とされることから、CO_2 濃度基準は外来者が入室した際に、体臭を不快に感じない程度の換気量を要求するものである [1)]。しかし、建物用途によって求められる知覚空気質は異なるため規定する空気質にカテゴリーを設けるべきであり [2)]、生体発散物質による空気汚染に関する空気質評価手法を各尺度から検討することは有意義である。

本研究では評価尺度に注目し、在室者から発生する空気汚染質評価手法の検討を行うことを目的としている。既報 [3)] では、人間が実生活で曝露されている臭気である体臭を対象とした臭気強度測定実験を行い、臭気強度の経時変化を明らかにした。しかし、臭気強度と CO_2 濃度の明確な相関は見られなかったことから、体臭評価に関して臭気強度以外の指標の必要性が考えられる。

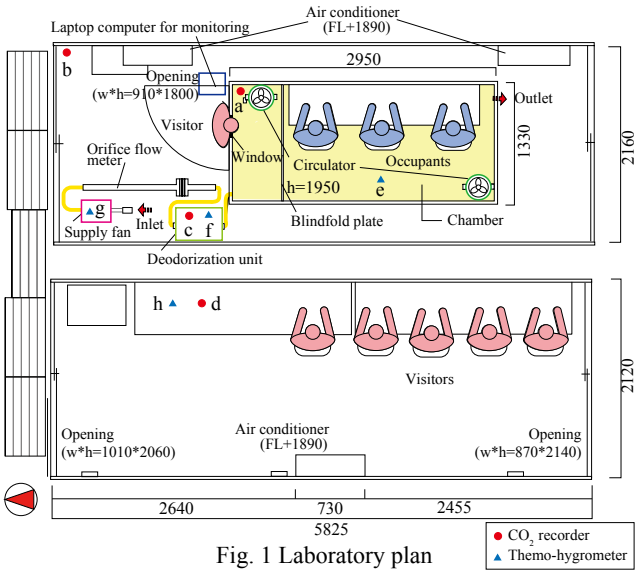


Fig. 1 Laboratory plan

本報では、嗅感覚応答を把握するために在室者から発生する空気汚染質の曝露実験を行い、濃度と各尺度の相関、在室者・外来者の評価の相違に関する考察を行った。

１．実験概要

実験は 2014 年 12 月 5 日から 12 月 19 日にかけて実施した。実験を行う前に、T&T オルファクトメーター試験を行い、正常な嗅覚を有すると認められた 19 ～ 22 歳の本学学生 9 名（男子 8 名、女子 1 名）を被験者として採用した。そのうち 6 名（男子 5 名、女子 1 名）を入室直後の室内空気質を評価する外来者とし、3 名（全員男子、非喫煙者）を生体発散物質の汚染源である在室者とした。なお、被験者には適切な報酬を支払った。体臭以外のにおいの影響をなくすために、在室者には、実験の前日ににおいの強い食事をとらない、支給したシャンプー・ボディウォッシュを用いて入浴する等、一定の制限を設けた。また、実験時には綿が主材の衣服・部屋履き（支給品）を着用させた。

場所は本学学内の、隣接する 2 つの実験室を使用した。一方の実験室内にある容積 7.65 m^3 の臭気作成室に、生体発散物質発生源として在室者 3 名を入室させ、資料を黙読させた。空気汚染質のレベルを表す指標として CO_2 濃度を用いる。臭気作成室には、CO_2 濃度が均一になるようにサーキュレーターを配置した。温湿度及び CO_2 濃度は、小型温湿度計（T&D, RTR-53A）、小型 CO_2 濃度計（T&D, TR-76Ui）を用いて連続測定を行った。各測定位置を Fig. 1 に示す。在室者が発汗しないよう室温は 20 ～ 25℃とした。

CO_2 濃度上昇の過程で、臭気作成室内空気について在室者に評価させた。外来者には、まず控室の空気質を評価させてから、1 人ずつ隣室に移動させて、嗅ぎ穴から

臭気作成室内に顔を入れて検臭を行わせた後に評価させた。実験中は控室内の CO_2 濃度が上昇しないように、常時窓を開放して換気を行った。外来者が評価する CO_2 濃度はファンを回して定常状態とした 1500, 2650, 5000 ppm の 3 通りとした。これは、外気の CO_2 濃度を 400 ppm として各濃度条件から差し引いた値（1100, 2250, 4600 ppm）が対数軸上で等間隔となるよう設定したものである。在室者には上記 3 濃度に加えて 1080, 1270, 1800, 2170, 3260, 4030 ppm においても評価させた。評価は Fig. 2 に示す評価尺度に記入させた。Fig. 2 の質問項目は Wargocki らの研究[4] で用いたものを和訳し、若干の修正を加えたものである。なお、外来者には Fig. 2 中 [6] の項目は評価させない。

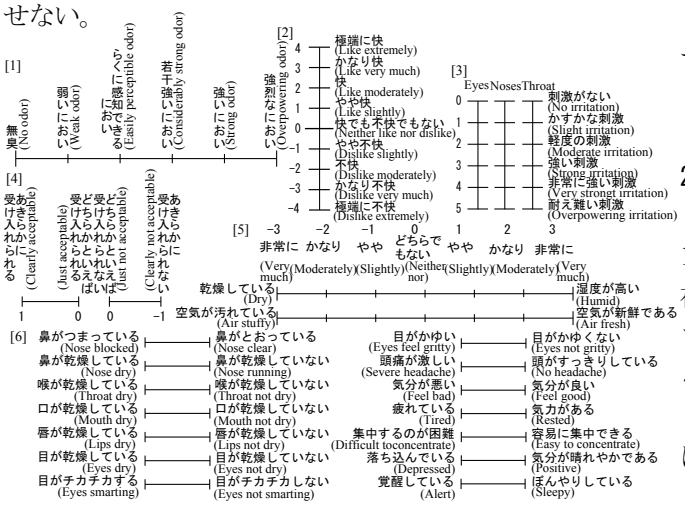


Fig. 2 Evaluation scale

Fig. 3 Method of exposing to odor

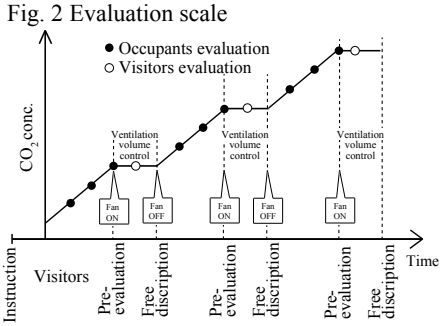


Fig. 4 Time schedule image

■実験手順

(1) 臭気の作成

在室者の入室後、Fig. 1 の測定点 a における CO_2 濃度が所定の濃度に達するとファンを動作させ手動バルブの調整によって臭気作成室内の CO_2 濃度を定常化させた。

(2) インストラクション

外来者には嗅ぎ穴から臭気作成室内に顔を入れ自然な呼吸を 2 回する等、検臭方法に関して指示を与えた。また、臭気は健康な男子数名が滞在する室の空気のにおいであることも告知した。これは実験の途中で人のにおいだと気付かれることにより、評価に影響が出るのを防ぐためである。在室者・外来者ともに評価の仕方・タイミング等、評価に関する指示も行った。

(3)CO_2 濃度上昇過程における在室者による空気質評価

在室者には CO_2 濃度上昇の過程で臭気作成室内の空気質について評価させた。

(4) 外来者による控室内の空気質評価

CO_2 濃度が所定の濃度に達すると、外来者に待機している控室内の空気質について評価させた。

(5)CO_2 濃度定常状態での空気質評価

ファンを動作させ所定の濃度で CO_2 濃度を定常化した臭気作成室内の空気質について在室者・外来者に評価させた。外来者には、外来者側コンテナから在室者側コンテナへの移動途中に外気で数回深呼吸させた。外来者には Fig. 3 に示すように嗅ぎ穴から臭気作成室内に顔を十分に入れて検臭を行わせた後、すぐに評価させた。

(6) 外来者による空気質についての自由記述

外来者は検臭後、控室に戻り臭気作成室内の空気質について自由に記述した。

タイムスケジュールイメージを Fig.4 に示す。

２．結果と考察

2. 1 CO_2 濃度制御

Fig. 1 の測定点 a における CO_2 濃度変化の一例として、12 月 19 日の実験時の CO_2 濃度測定結果を Fig. 5 に示す。在室者が入室を完了した時点から CO_2 濃度は上昇し、ファンの発停によって所定濃度に維持できたことが分かる。当初意図した濃度への調整は成功したといえる。

各実験の測定点 a, d における CO_2 濃度測定結果を Fig. 6 に示す。

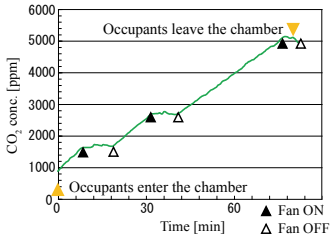


Fig. 5 Example of CO_2 conc. change

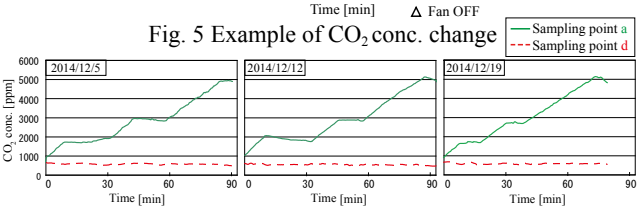


Fig. 6 CO_2 conc. at "a" and "d" in Fig. 1 in each day

2. 2 CO_2 濃度と臭気強度との関係

CO_2 濃度と各実験日の臭気強度の平均値との関係を Fig. 7 に示す。横軸は CO_2 濃度 [ppm]、縦軸は臭気強度である。

3 日間の平均値を見ると、在室者･外来者の評価は「らくに感知できる」を境に差が見られた。また、外来者の評価を在室者が上回ったのは 12 月 5 日の実験中盤のみで、その他全ての評価値は外来者の臭気強度が在室者を上回っており、在室者の評価には順応の影響が見られた。

2. 3 CO_2 濃度と受容度との関係

CO_2 濃度と各実験日の受容度の平均値との関係を Fig. 8 に示す。横軸は CO_2 濃度 [ppm]、縦軸は受容度である。

CO_2 濃度が上昇するにつれて外来者は受け入れられない側に移行する傾向が見られた。特に 12 月 19 日の外来

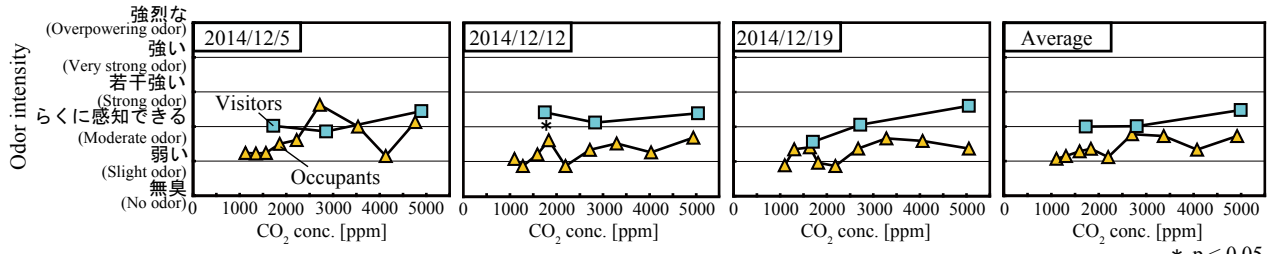


Fig. 7 Evaluation of odor intensity in each day

＊ $p < 0.05$

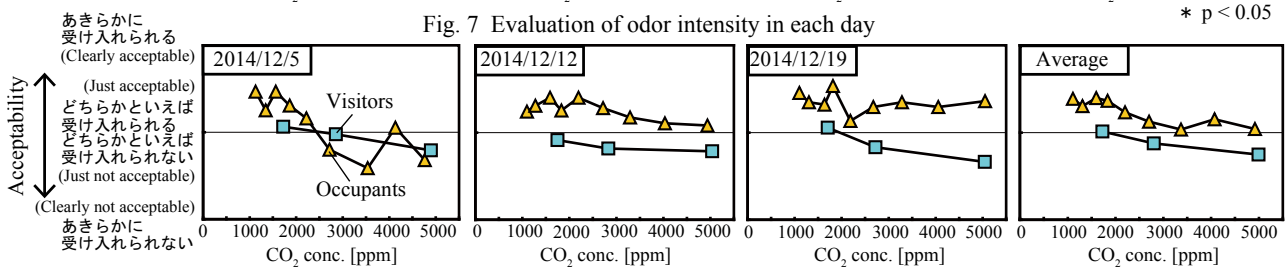


Fig. 8 Evaluation of acceptability in each day

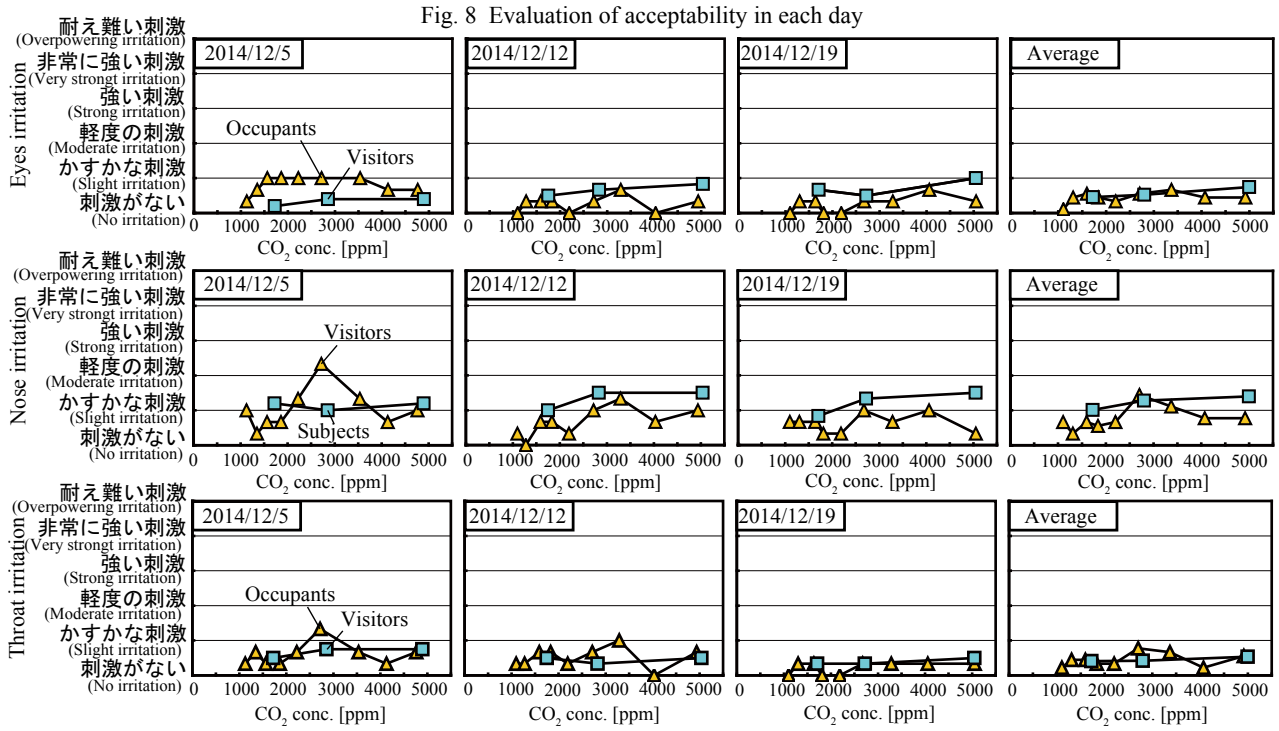


Fig. 9 Evaluation of irritation in each day

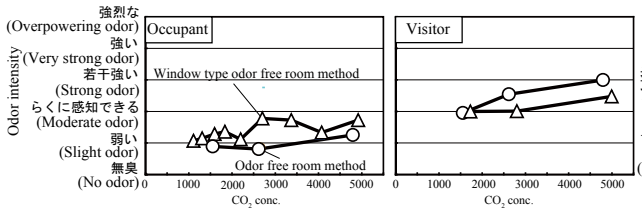


Fig. 10 Evaluation of odor intensity in each method

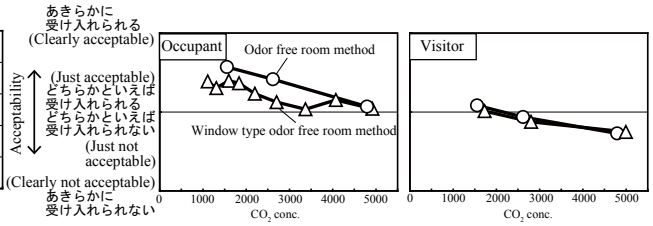


Fig. 11 Evaluation of acceptability in each method

者の最初と最後の評価で有意差 ($p < 0.05$) を得た。12 月 5 日の中盤と最後では外来者よりも在室者の方が受け入れられない側に評価したが、他 2 日では在室者が受け入れられる側、外来者が受け入れられない側の評価に分かれた。

臭気強度の測定結果では、CO_2 濃度の上昇による変化がわずかしか見られなかったのに対し、受容度には CO_2 濃度との相関が見られた。12 月 12 日の外来者の臭気強度は CO_2 濃度との間に正の相関が見られなかった一方で、受容度には負の相関が見られたことから受容度ににおい以外の要素が影響を与えた可能性がある。

2.4 CO_2 濃度と刺激度との関係

CO_2 濃度と各実験日の目・鼻・喉の刺激度の平均値との関係を Fig. 9 に示す。横軸は CO_2 濃度 [ppm]、縦軸は刺激度である。

入室後、嗅覚の順応により臭気強度が下がるのに対し、刺激感覚は鋭敏になっていくと考えられている [5)]。そのため、在室者は CO_2 濃度が上昇するにつれて刺激度が上昇すると予想された。しかし、目・鼻・喉のいずれの項目に関しても在室者と外来者の評価に有意差

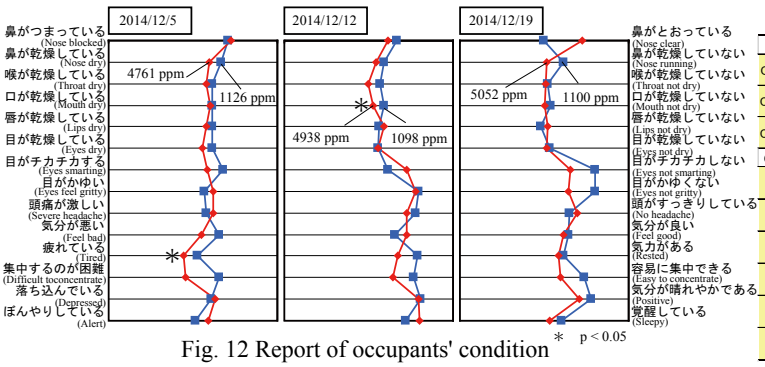


Fig. 12 Report of occupants' condition

Table 1 Results of questionnaire about odor quality

Day	2014/12/12		
Occupant A	最初は塩素系のにおい、 途中1回だけ少しアンモニアのような臭気を感じた		
Occupant B	病院っぽいにおい		
Occupant C	深く吸うと少しだが鼻にツンとくる		
CO_2 conc.	1750ppm	2830ppm	5040ppm
Visitor 1	ややすっぱいにおい、 汗のにおい	ややすっぱいにおい、 汗のにおい	すっぱいにおい
Visitor 2	少しツンとしたにおい	家のにおい	すっぱいにおい
Visitor 3	塩素みたいなきついにおい	何のにおいかわからないが、 鼻にくる強烈なにおい	2回目よりもましだが、 塩素のようなくさいにおい
Visitor 4	若干こもったようなにおい	どんよりしたこもったにおい	湿気がこもった少しくさいにおい
Visitor 5	少し鉄くさいようなにおい	少しむさくるしいにおい、 最初の鉄くささが少しなくなった	ものすごくむさくるしいにおい
Visitor 6	長い時間換気をしていない部屋 のようなにおい	病院のようなにおい	もやっとした、 生暖かいにおい

は確認できず、在室者評価の上昇傾向も顕著には見られなかった。12 月 19 日の鼻の刺激度では、外来者の最初と最後の評価に有意差 ($p < 0.05$) を確認した。鼻の刺激度の 3 日間の平均値は、目・喉の刺激度と比べると CO_2 濃度の上昇に伴う変化がわずかに見て取れる。

2.5 嗅ぎ穴を用いた無臭室法と入室法との比較

前報[6] で述べた入室法との比較検討を行う。各実験手法の臭気強度の平均値のグラフを Fig. 10 に、受容度の平均値のグラフを Fig. 11 に示す。在室者について嗅ぎ穴を用いた無臭室法は、パネルの人数が 3 人と少なかったこともあり個人差が反映されやすく、特に 1 日目の実験中盤あたりの臭気強度の評価が高くなった。しかし、嗅ぎ穴を用いた無臭室法と入室法を比較すると、全項目で大きな差異は見られなかった。その一方で、全体として本報の在室者の方が生体発散物質の影響に敏感であり、外来者が臭気に寛容であるという傾向がわずかに見られた。在室者について嗅ぎ穴を用いた無臭室法では衣服、シャンプー・ボディウォッシュ等実験上の制限を設けたのに対し、入室法では衣服、入浴などの制限をしなかった。この違いから、本報の実験では臭気作成室内に衣服やシャンプーなどから何らかの化学物質が揮発し、影響を与えた可能性がある。

2.6 CO_2 濃度と在室者の自覚症状申告値との関係

各実験日の最初の評価と最後の評価（9 回目）における、在室者の自覚症状申告値の平均値の比較について Fig. 12 に示す。最初の評価と最後の評価の平均値について、母平均の差の検定も行った。

在室者自覚症状申告の結果を見ると、実験開始時と実験終了時で目立った差は見られなかった。しかし、12 月 5 日の「疲労感」、12 月 12 日の「口の乾燥」の項目において、有意差（$p < 0.05$）を得た。ただし、嗅ぎ穴を用いた無臭室法の結果は、在室者が 3 名とパネル数としては少なく個人差が反映されやすいため注意を要する。

2.7 臭気質に関するアンケート結果

臭気質に関するアンケートの例として 12 月 12 日における結果を Table 1 に示す。パネル別に見ると、在室者 A は「塩素のにおい」と回答しているが、刺激度の結果を見ると喉の刺激度以外に、目や鼻に刺激を感じていた様子はない。在室者 B にも「病院のにおい」との記述があり、臭気作成室内には衣服などから揮発した化学物質が存在していた可能性がある。在室者 C は「鼻にツンとくる」と回答したが、鼻の刺激度で「かすかな刺激」と評価していた。外来者 1 の結果からは、「汗のにおい」との記述から臭気を人のにおいと認識していたことがうかがえる。インストラクションにて臭気作成室内に人が在室すると告知していた影響が考えられる。外来者 2 も「家のにおい」と記述しており、同様の傾向が見られる。

多くのパネルが CO_2 濃度によって異なる臭気質を回答しており、生体発散物質の濃度の変化が臭気質に影響を与えたと考えられる。

おわりに

本報では嗅ぎ穴を用いた無臭室法による在室者から発生する汚染質についての主観評価実験を行った。パネルの受容度は必ずしも臭気強度と相関が見られるものではなく、臭気強度以外の評価尺度を用いた本実験は今後の臭気評価実験手法の検討に供するものであると考えられる。

【謝辞】
本研究の一部は日本学術振興会平成 26 年度学術研究助成基金助成金（挑戦的萌芽研究，課題番号：24656336, 研究代表：山中俊夫）によった。

【参考文献】

1) 楢崎正也：におい－基礎知識と不快対策・香りの活用－, オーム社，pp.3, 2010
2) 山中俊夫：室内空気環境の現状と今後の展望，平成 26 年室内環境学会学術大会講演要旨集 ,pp.48-49, 2014. 12
3) 山田，山中，竹村，相良，甲谷，桃井，永井：嗅覚の非定常応答に関する基礎的研究（その5）連続カテゴリー尺度を用いた主観評価に基づく体臭強度の経時変化，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp. 205- 208, 2013. 3
4) P.Wargocki, D.P.Wyon, Y.K.Baik, G.Clausen and P.O.Fanger : Perceived air quality, Sick Building Syndrome(SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads, Indoor Air, 9, pp.165-179, 1999
5) Aizlewood, C.E., Raw, G.J., and Oseland, N.A., Decipols: Should We Use Them?, Indoor+Built Environment, Vol. 5, pp.263-269, 1996
6) 山田，山中，竹村，相良，甲谷，桃井，池田：在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究（その 1）入室法による臭気の主観評価と在室者評価，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2015. 3（掲載予定）

エアコン室外機据付間隔の省エネ性評価研究

Study on Energy Conservation by the Installation Interval of Air Conditioner Compressor Unit

○大類　正洋（関西電力）　　北原　博幸（トータルシステム研究所）

Masahiro ORUI*[1]　Hiroyuki KITAHARA*[2]

*1　The Kansai Electric Power Co., INC　*2　Total System Lab.

The purpose of this study is the verification for Energy Conservation by the Installation Interval of Air Conditioner Compressor Unit. If the interval at the back is small, there is a concern of stopping air conditioning by the high pressure breakdown. And if the interval at the front is small, there is a possibility that air conditioning capacity and overall efficiency is reduced by a short circuiting of the exhaust air. A result of examining the appropriate the intervals, at the back was found to be 10cm or more, at the front was found to be able to open as much as possible.

はじめに

エアコン室外機は，通風抵抗が増加すると熱交換器の通風量が低下し，蒸発温度の低下または凝縮温度の上昇を招いて消費電力が増加する懸念がある。メーカーの据付要領書には，室外機と壁との最小間隔などが記載されており，メーカー毎に推奨値が異なっているのが現状である。ある一部のメーカーを除いて，室外機の背面間隔は5cm 以上が基準だが，その基準はルームエアコンがインバータ化する以前から採用されているものであり，高圧カット [1]によるエアコンの停止を防止する目的があった（前面間隔もメーカー毎に基準が異なる）。

一方，運転能力の低下や消費電力の増大を防ぐことを目的に，据付間隔を広くとる例がある。据付間隔を広くとることで室外機の通風抵抗を減じ，エアコンの消費電力を抑えることができれば，従来の冷房時の高めの温度設定や暖房時の低め設定のような利用者の快適性を犠牲にする方法ではなく，省エネを実現でき，ピークカットにも貢献できると考えられる。そこで，エアコンの暖冷房運転時に据付間隔を変えることによる消費電力の差異を実験し評価した。

１．実験環境および運転条件

1.1　実験室概要

人工気候室内に建設された木造戸建ての実験住宅において，実験を行った。実験用エアコンの仕様を表 1 に，平面図および実験環境を図 1 に示す。人工気候室は，任意の外気変動を再現することができる。実験住宅は，基礎下が人工気候室の床パネルに接している以外，実際の住宅と同じ構法で建設されている。この住宅は平屋建ての小規模住宅であるが，平成 11 年度基準Ⅳ地域に適合する断熱性能を有している。なお，本実験では，図 1 に示すように，室外機吹出側の影響をできるだけ少なくして，吸込側（背面間隔と密接に関係）の影響を検討できるように冷媒配管を延長し，実験住宅の壁から離して室外機を設置している。

Table.1 Specifications of the air-conditioner for experiments

annual electricity consumption (kWh)		2,338
AFP		5.4
air-conditioning	The rating ability　(kW)	6.3
	The rated power consumption（W)	2,200
heating	The rating ability　(kW)	7.1
	The rated power consumption（W)	1,850
air-conditioning	Air blowing amount of Compressor Unit（Rapidly）(m^3/h)	2,490
	Air blowing amount of Air-conditioner indoor unit (Strong wind) (m^3/h)	760
heating	Air blowing amount of Compressor Unit（Rapidly）(m^3/h)	2,340
	Air blowing amount of Air-conditioner indoor unit (Strong wind) (m^3/h)	780

1.2　エアコン運転条件

エアコン運転は，JIS 条件（暖房時外気：DB7℃/WB6℃，冷房時外気：DB35℃/WB24℃）で運転した。運転時は，定格に近い負荷を与え，室温や能力が安定した状態となるように，以下のとおりとした。

暖房実験では，エアコン設定温度を 25℃とし，同じ LDK 室に設置している別のエアコンを冷房運転（風量：静か，エアコン設定温度 18℃，エアコン吹出口に簡易

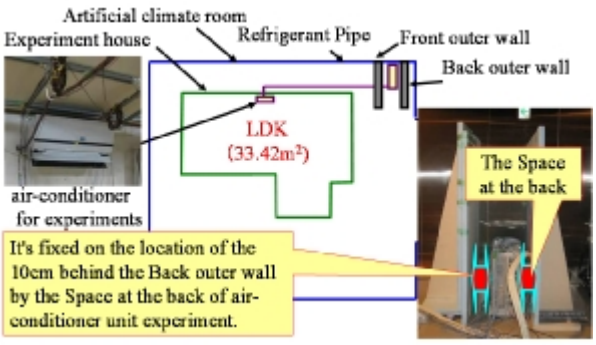


Figure.1 Experiment house in artificial climate room

ダクトを取り付け，床面に冷気を送る）することで，暖房負荷を高めた。冷房運転では，エアコン設定温度を 23℃とし，電気ファンヒーターで室内を加熱し，かつサーキュレーターを用いて空気循環を行い，室内の発熱負荷を大きくした。背面間隔は，室外機との外壁間隔を 20cm・10cm・5cm・2cm と変化させた。前面間隔は，背面間隔を 10cm に固定し，壁（衝立）なし，40cm，20cm と変化させた。

２．エアコン運転能力の推定

室内機や室外機周辺の温湿度が同じ場合でもエアコンの運転能力が異なると消費電力も違ってくるため，エアコン運転能力が同程度な条件で，室外機背面の間隔と消費電力との関係を求める必要がある。

そこでまず，実験時のエアコン運転能力の推定を行った。エアコンメーカーの仕様書掲載データを測定する場合，室型熱量計試験法[2)]によるが，今回は，室内機の吸込口における風量と空気の温湿度差から算出する空気エンタルピー法（具体的には現場測定に多く用いられる簡易計測法）を採用した。風量は，室内機吸込口に取り付けた風速センサの最大値が，仕様書掲載風量に相当するとして，比例計算して求める方法を採用した。具体的には，リモコン設定で「強風」運転していたため，記載されている「強風」時の風量が測定風速の最大値に対応するとした。

実験結果には，暖房運転においては各背面間隔における室内機風速，室内機吸込－吹出温度差，室内機吸込湿度からエアコン運転能力を推定し，計測した消費電力から COP を算出した。冷房運転においては，潜熱負荷を算出するため，室内機吸込-吹出湿度差を計測した。

本稿では，室外機吹出風速はエアコン運転能力の推定には用いなかったが，据付間隔の影響を示す目的で掲載することとした。

３．背面間隔実験

3.1　暖房実験結果

背面間隔を狭めることで消費電力の増加および室外機吹出風速の増加が見られた（図 2）。これは背面間隔が

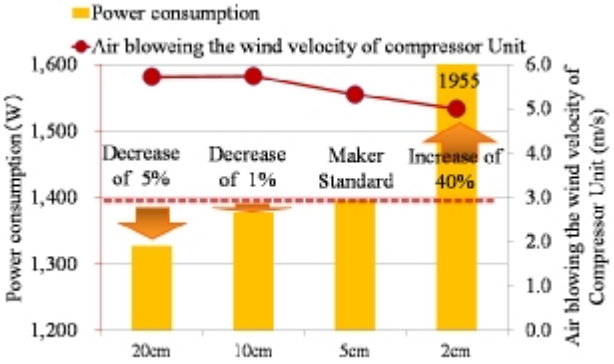


Figure.2 Relation between Power consumption and Air blowing the wind velocity of compressor Unit (heating)

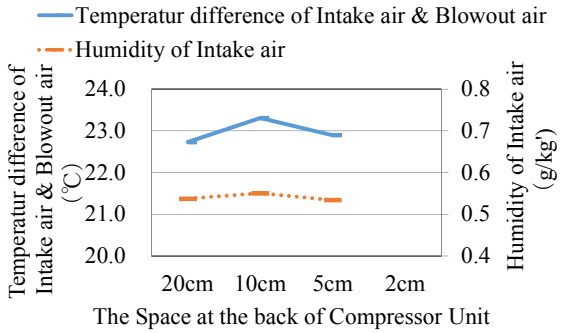


Figure.3 Relation between Temperature difference of Suction – Blowout air and Humidity of Intake air for Air-conditioner indoor unit (heating)

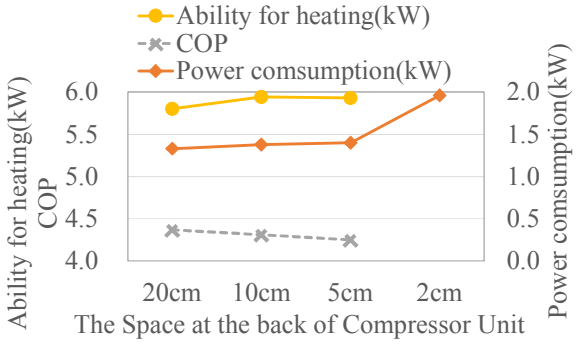


Figure.4 Relation between Ability and COP (heating)

狭くなると室外機吹出口における送風抵抗が増加するためと考えられる。背面間隔 20cm と 10cm で吹出風速に差が少ないにも係わらず消費電力に差がでているが，背面間隔 20cm と比べ，10cm の室外機吸込温度が 0.3℃程低下していたことがわかった。このことから，間隔を狭めた際に，必要とする風量を補うために横側の吸込み口から前面の冷気をより多く吸ったために，冷媒蒸発温度が低下し，消費電力が増加したと考えられる。

室内機吸込－吹出温度差と室内機吸込空気湿度については，背面間隔の違いにおいてはあまり見られなかった。（図 3）なお，背面間隔 2cm は欠損であった。

運転能力の推定・COP の計算結果から，背面間隔を狭めることで，暖房能力に変化は見られず COP は減少傾向

が見られた（図 4）。背面間隔 2cm において，他の背面間隔と同程度の暖房能力を得られたと仮定すると，当該間隔における消費電力から COP は 3.0 程度となり，他の背面間隔と比較してかなり低下すると思われる。

3.2　冷房実験の結果

(1)　消費電力と室外機吹出風速関係

消費電力・室外機吹出風速は暖房運転時同様，背面間隔を狭めることにより，増加傾向が見られた（図 5）。背面間隔の狭まりによる室外機吹出風速の低下は，室外機吹出口における送風抵抗が増加するためと考えられる。

室内機吸込－吹出温度・湿度差については，減少傾向が見られた。背面間隔が狭くなるにつれて，冷房能力が抑制されたことが原因と考えられる（図 6）。

運転能力の推定・COP の計算結果から，背面間隔を狭めることで，冷房能力および COP の減少傾向が見られた（図 7）。特に背面間隔 2cm では，送風抵抗の増加以外の要因として，高圧垂下による圧縮機周波数の低下が考えられる。

4．前面間隔実験

4.1　暖房実験結果

前面間隔を狭めることにより，消費電力の増加が見られ，室外機吸込温度は，壁なしと前面間隔 40cm を比べると，大きく下降していた（図 8）。このことから，室外機で熱交換した低温の空気をショートカット現象により室外機が吸い込むことで，冷媒蒸発温度が低下し，消費電力が増加したと考えられる。室外機吹出風速は，殆ど差が見られなかった。

室内機吸込－吹出温度差と室内機吸込空気湿度については減少傾向が見られ，壁なしの状態と比べて必要する暖房能力値が増加したと思われる（図 9）。

運転能力の推定・COP の計算結果については（図 10），前面間隔が狭まるにつれて，COP の減少傾向が見られた。暖房能力においては，前面間隔 20cm で上昇が見られ，ショートカット現象により能力が抑制されたと思われる。

4.2　冷房実験結果

消費電力は，暖房運転時同様，前面間隔を狭めることによる増加が見られた。室外機吹出温度が上昇していることから，室外機で熱交換した高温の空気をショートカット現象により室外機が吸い込むことで冷媒凝縮温度が増加し，消費電力が増加したと考えられる。室外機吹出風速においては，前面間隔を狭めることで増加する傾向が見られた（図 11）。

室内機吸込－吹出温度差・湿度差については，前面間隔が狭まるにつれて減少傾向が見られ，冷房能力が抑制されていると思われる（図 12）。COP の計算結果については，暖房運転時と比べ，前面間隔が狭まるにつれて，減少傾向が見られた。冷房能力は壁なしと 40cm では

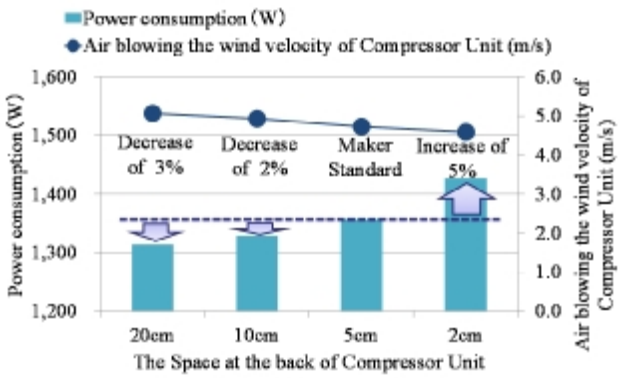


Figure.5 Relation between Power consumption and Air blowing the wind velocity of compressor Unit (air-conditioning)

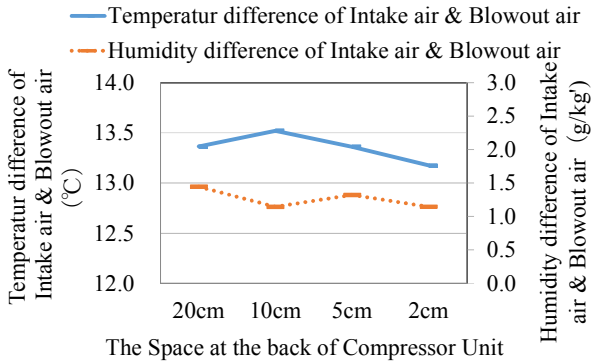


Figure.6 Relation between Temperature difference of Suction – Blowout air and Humidity of Intake air for Air-conditioner indoor unit (air-conditioning)

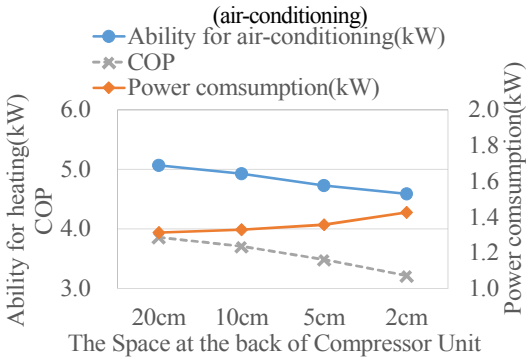


Figure.7 Relation between Ability and COP (air-conditioning)

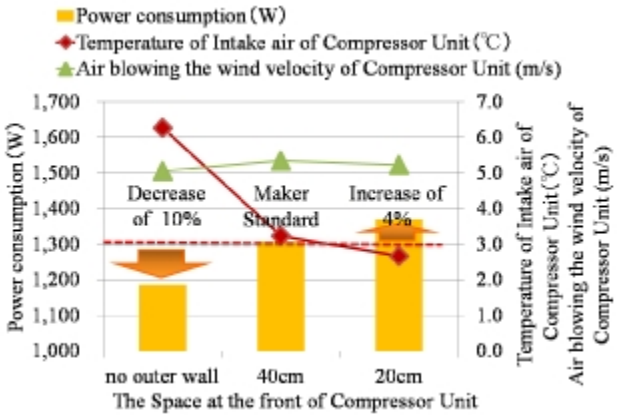


Figure.8 Relation between Power consumption and Temperature of Intake air ,Air blowing the wind velocity of compressor Unit (heating)

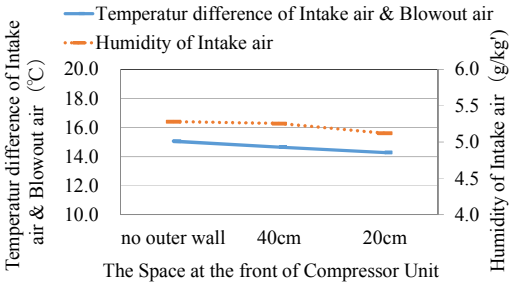


Figure.9 Relation between Temperature difference of Suction – Blowout air and Humidity of Intake air for Air-conditioner indoor unit (heating)

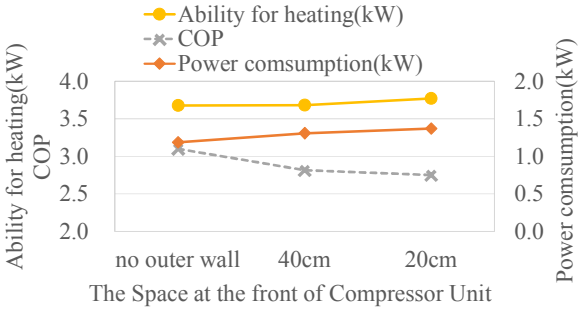


Figure.10 Relation between Ability for heating and COP (heating)

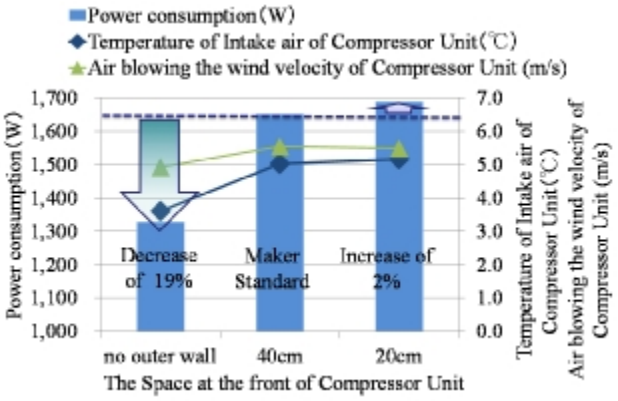


Figure.11 Relation between Power consumption and Temperature of Intake air ,Air blowing the wind velocity of compressor Unit (air-conditioning)

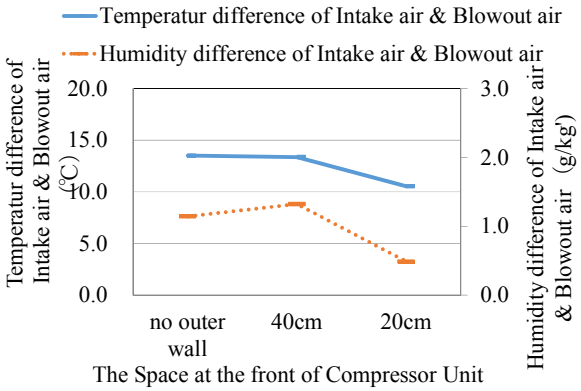


Figure.12 Relation between Difference of temperature of Suction – Blowout air and Humidity of Intake air for Air-conditioner indoor unit (air-conditioning)

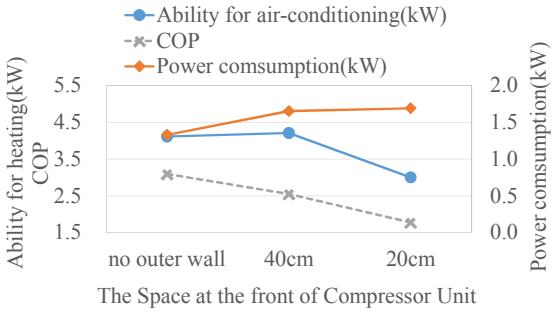


Figure.13 Relation between Ability and COP (air-conditioning)

差がないものの，20cm 時には減少した。図 8 において室外機吹出風速が前面間隔を狭めることで増加する傾向が見られたことから，20cm の実験時には高圧垂下の発生による圧縮機周波数の低下があったと考えられる（図 13）。

5．まとめ

本稿では，エアコン室外機の据付間隔について評価した。据付間隔を狭めることで消費電力が増加する原因については，以下の通りと推察する。

1)暖房運転時においては，背面間隔を狭めると室外機が冷媒を蒸発させるために吸込む空気量が送風抵抗の増加により低下し，外から奪う熱が少なくなる。そのため，冷媒蒸発温度が低くなり，室内機側の冷媒凝縮温度の差が大きくなると，冷凍機の理論効率から，消費電力は増加する。前面間隔を狭めると，室外機で放熱した冷風が壁に当り，戻ってくるショートカット現象により，室外機吸込温度が低下し，冷媒蒸発温度がさらに低くなる。

2)冷房運転時においては，背面間隔を狭めると室外機吸込風量が低下し，室外機吹出温度が高くなり，冷媒凝縮温度も高くなる。冷媒凝縮温度と冷媒蒸発温度の差が大きくなると消費電力は増加する。前面間隔を狭めると，ショートカット現象により室外機吸込温度が上昇し，冷媒凝縮温度がさらに高くなる。

実験の結果から，原因推定のとおりの事象が発生しており，据付間隔は出来るだけ広げて，送風抵抗を増加させないことが省エネに繋がることが分かった。多くのメーカーが背面間隔 5cm 以上を推奨しているが，10cm 以上に広げることにより，消費電力の削減が見込まれる。前面間隔についても同様に間隔を広げるほど省エネとなることが分かり，室外機の最適配置について，今後，実験データなどから検証を行う予定である。

参 考 文 献

1) 福光超他；空冷パッケージ空調機の高圧カットと垂下制御の効果, 環境の管理，第 20 号(97. 10)，53-56
2) 財団法人日本規格協会：エアコンディショナー第 1 部：直吹き形エアコンディショナ及びヒートポンプー定格性能及び運転性能試験法（JISB8615-1）（2013）

真空集熱管を用いた建物透過日射熱負荷削減対策の検討
—外皮の熱収支と太陽熱利用空調の効果—

Resduction of Transmitted Solar Gain Using Evacuated Tubular Collectors on Building Façade
—Heat Balance of Building Skin and Effects of Solar Heat Utilization for Air Conditioning—

○横田　友和（大阪市立大学）　西岡　真稔（大阪市立大学）　鍋島　美奈子（大阪市立大学）
Tomokazu YOKOTA*[1]　Masatoshi NISHIOKA　Minako NABESHIMA*[1]
*[1] Osaka city University

Since transparent solar radiation contributes to the cooling load increases, the thermal barrier technology is required. In this study, we propose a thermal barrier・heat collection mechanism to reduce cooling load and heat dissipation. Based on condensing experiments, it was studied effect of solar heat utilization for air conditioning by LCEM tool. At oblique incidence, condensing magnification decreased with increasing of focal line width. Result of estimation, direct solar radiation reaching windows of 40-50[%] in Case1 is heat collection amount in sunny day. Case1 using solar heat is 2.3 [MWh] accumulated energy is smaller than Case4 that isn't utilized.

はじめに

1980 年以降，建物壁面として増加傾向にあるガラスであるが[1]，夏季・中間期は透過日射が熱負荷となるためダブルスキンファサード等の遮熱技術が必要とされる．ダブルスキンは 2 枚のガラス間に設けたブラインドで日射を遮蔽し，吸収熱が空気へ放散されるため高い遮熱性能が期待される．一方，夏季の窓面日射量に対して流出顕熱（換気+外部対流）は 60 [%]程度となる[2]（Figure 1）．

高津ら[3]は，ダブルスキン内に真空集熱管と日射集光装置を設けた機構により，室内透過日射熱負荷の低減と同時に，熱を水に移すことで大気への熱放散を低減する技術を提案した（Figure 2）．これは採光を確保できるため窓面への導入が期待される．以下，この機構を遮熱・集熱機構と呼ぶ．

遮熱・集熱機構の検討として，高津ら[3]はリニアフレネルレンズを用いて，太陽を手動追尾した条件で集光・集熱する実験を行っている．真空集熱管を遮熱用途に用いた研究は他になく，依然集光状況の詳細は明らかでない．よって本研究では，遮熱・太陽熱利用機構の実用化に向け，太陽移動に伴う日射集光位置や日射集光倍率の変化について実験での検討を目的とする．

ところで遮熱・集熱機構で得られる太陽熱の空調利用では，暖房時の直接利用および冷房時の熱駆動型冷凍機の熱源利用が挙げられる．設備の稼働率を高めるには冬季・夏季を通じた太陽熱の利用が求められる，本研究では，遮熱機構で得られる太陽熱利用空調について夏季冷房利用時を対象とした効果試算を行う．

1．リニアフレネルレンズ集光実験

遮熱機構の実用時には幅を持つ真空集熱管に対して線状の集光が有効だといえる．線状集光の分布特性把握を目的に小型装置を用いた実験を行う．

1.1　リニアフレネルレンズ

フレネルレンズは，プリズム形状の複数枚のレンズを組み合わせ 1 枚のレンズと同じ性能を出せるものである（Figure 3）．中でもリニアフレネルレンズは垂直入射した光を一方向に集光し，直線状の焦点パターン（焦線）を持つ（Figure 4）．

1.2　実験概要

実験は 2014 年 12 月～2015 年 1 月の晴天日に，大阪市立大学 G 棟屋上にて行った．

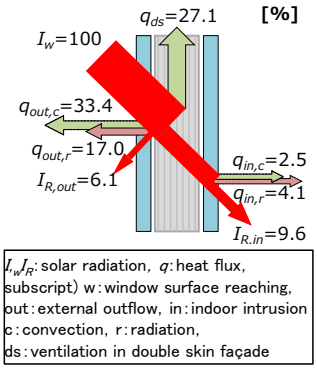


Figure 1　Double skin heat balance in the summer [2]

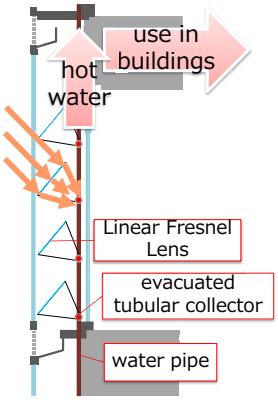


Figure 2　A thermal barrier・heat collection mechanism

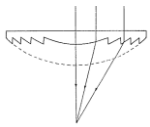


Figure 3　Cross-sectional view of a Fresnel lens

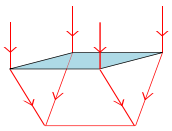


Figure 4　Condensing of linear Fresnel lens

1.3　実験装置

集光実験装置の平面図および側面図を Figure 5 に示し，原点と XYZ 軸を定義する．原点はレンズの中心から焦点距離だけ離れた位置である．図中の丸囲い数字は Table 1 に示す構成物を意味する．日射センサー②③⑤は同一のもので受感部径 8 [mm]を有する．

実験装置は赤道儀上に設置し，①の器具により Figure 5 左側を太陽に正対させる．②の日射センサーは遮光筒内にあり直達日射量を測定する．③は全天日射量を測定する．④にリニアフレネルレンズ（150×150 [mm]．焦点距離 150 [mm]）を設置する．⑤は集光日射量を測定するもので，XYZ ステージにより上下前後左右に移動可能である（Table 2）．

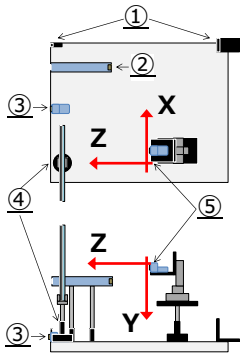


Figure 5　Experimental apparatus(Above: plan view, below: side view)

Table 1　Experimental apparatus constructs

名称
1.optical axis alignment device
2.solar radiation sensor
3.solar radiation sensor
4.installation base
5.solar radiation sensor

Table 2　XYZ stage

	measurement range[mm]
X-axis	0～50
Y-axis	0～50
Z-axis	－30～+28

1.4 集光日射分布の測定

(1)　集光日射の減衰

レンズを通過した集光日射が日射センサーの動作範囲内となるように日射を減衰する．日射減衰板として樹脂製パンチング板を用いた．開孔は径 2 [mm]・ピッチ 8 [mm]が 60°千鳥配置されており，開孔率 5.7 [%]（メーカー値）である．

(2)　天空日射量と正味の集光日射量

集光日射量測定値には天空日射量が含まれる．測定される集光日射量から天空日射量を差し引いた値を正味の集光日射量と定義する（式 (1)）．

$$IC_{net} = IC_m - IS_m \qquad 式\ (1)$$

$$r_C = \frac{IC_{net}/F}{ID_N} \qquad 式\ (2)$$

IC : condensing solar radiation [W/m^2], IS : sky solar radiation [W/m^2], r_C : condensing magnification [-], ID : direct solar radiation [W/m^2], F : opening ratio [-].
subscript) net : net, m : measurement point, N: normal surfacfe

(3)　集光倍率

集光成分が光軸に平行な直達日射のみと仮定すれば，正味の集光日射量は法線面直達日射が増幅されたものである．よって，正味の集光日射量を日射減衰板の開孔率で除して得る減衰前の日射量と直達日射量の比を集光倍率として扱う（式 (2)）．

(4)　実験方法

焦線が X 軸上に生じるようレンズを設置し，太陽側に日射減衰板を設置する（Figure 6）．装置を太陽に正対させ，各点で 60 秒間日射量を測定する．

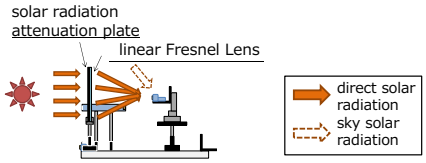


Figure 6　Measurement of condensing solar radiation

(5)　実験結果

XYZ 軸の集光日射分布について述べる．なお実験期間中の各測定点における日射環境はほぼ一様であることを確認している．Figure 7 に XYZ 軸の集光倍率分布を示す．

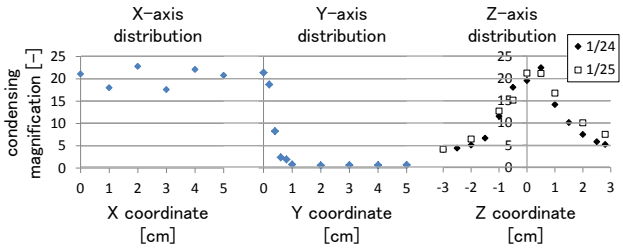


Figure 7　Condensing magnification on the XYZ axis

a　X 軸分布

焦線は X 軸上に生じるため，集光倍率はほぼ一定となった．数値上下変動の原因はパンチング板による日射遮蔽と考えられる．遮蔽の影響を除けば X 軸上の集光倍率は 21.7 [-]程度になる．

b　Y 軸分布

Y 軸は焦線と直交している．Y=0 でピーク値 21.4 [-]となり，Y=1 以上で集光倍率 1 [-]を下回る．

c　Z 軸分布

Z 軸上は最大 22.4 [-]の集光倍率であった．理論上の焦点位置 Z=0 の前後で集光倍率が高く維持されるのは日射センサーが受感部径 8 [mm]を有する影響と考えられ，計算上のピーク範囲 Z=－7.6～7.6 [mm]に対応している．

1.5 レンズ回転条件での Z 軸上集光分布

遮熱機構の実用化を想定すれば，固定されたレンズに対して太陽高度の変化に伴い日射入射角が変化する．以下ではレンズへの入射角 10～30°を想定し，同回転角度にレンズを設置して集光分布特性を把握する．

(1) 斜め入射の集光理論

Hecht[4]によると，光軸付近に限定すれば凸レンズはすべての平行な光線束を後側焦平面と呼ばれる平面に集める（Figure 8）．つまりレンズに斜め入射した平行光はレンズ中心から焦点距離 f 離れた焦面上へ集光する．フレネルレンズは凸レンズが平面化されたもので，同様の集光が想定される．よって理論上の焦点位置は，レンズ回転時において Z 軸上に生じる．レンズ中心から焦点までの計算上の距離は Table 3 の通りである．

(2) 実験結果

1/24 の集光倍率の分布を Figure 9 に示す．

a 10° 回転

集光倍率の最大値は Z=0.2[cm]で 9.8 [-]である．ピーク座標は Table 3 の理論値とは一致しておらず，集光倍率は垂直入射時の半分以下である．

b 20° 回転

集光倍率の最大値は Z=0[cm]で 9.2 [-]である．10° 同様に，ピーク座標は Table 3 の理論値と一致しておらず集光倍率は 10° よりも低下している．

c 30° 回転

Z 座標正側で集光倍率が大きくなる傾向は 10・20° と同じだが，Z=－3～2.8 でピーク値は現れない．測定範囲内では Z=2.8 で最大 8.5 [-]である．

d レンズ回転条件のまとめ

集光倍率が日射垂直入射より小さい結果から，日射がレンズ面へ斜め 10～30° で入射する場合，Figure 10 のように集光日射は Y 軸方向に日射センサー受感部以上の幅を有すると思われる．またレンズ回転角度が大きいほど集光倍率が小さい傾向から，入射角が大きくなるにつれて焦線幅が広がると考えられる．

1.6 実験から得る集光パラメータ

実験結果から集光パラメータを定める．

a レンズ透過率 r_{trans}

レンズ到達前後の日射エネルギーの比率をレンズ透過率と定め，実験値から 0.949 [-]とした．

b 集熱面到達率 $r_{collect}$

集光エネルギーのうち，真空集熱管で集熱される割合を集熱面到達率と定める．集熱面幅 B_{Pipe} が焦線幅 B_{Line} 以上の場合（Figure 11(a)），$r_{collect}$ は 1 [-]となり，$B_{Pipe}<B_{Line}$ の場合（Figure 11(b)）$r_{collect}$ は 1 を下回るものとする（式 (4)）．

c 焦線幅の近似式

レンズ回転条件で測定した集光倍率から焦線幅を式 (5) より推定する．この式では実験値の集光倍率に含まれるレンズ透過率の影響を除去して焦線幅を求める．高津[3]が実験で用いたレンズ幅 500 [mm]，集熱面幅 φ47 [mm]を想定した場合の集熱面到達率は Figure 12 の通りである．入射角 0～8.4° では焦線幅が 47 [mm]以下となり，集熱面到達率は 1 [-]となる．

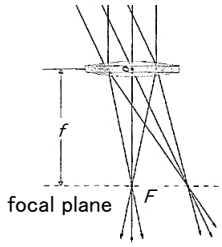


Figure 8 The focal plane of the lens [4]

Table 3 The focal point of the theoretical

Lens rotation angle	10°	20°	30°
Distance from the lens center [mm]	152.3	159.6	173.2
Z 座標 [cm]	－0.23	－0.96	－2.32

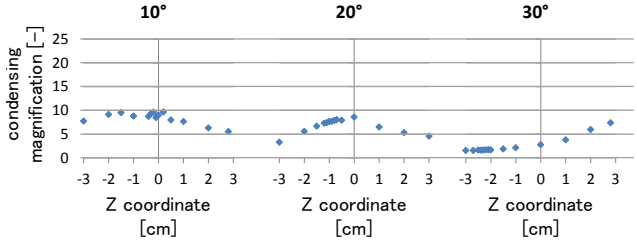


Figure 9 Condensing distribution on Z-axis when the lens rotation

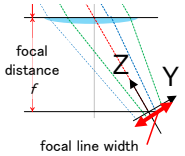
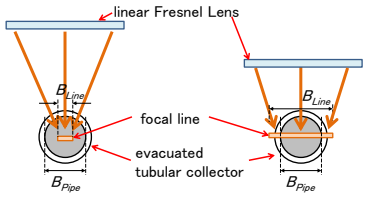


Figure 10 The focal line width at the oblique incidence



(a) $B_{Pipe} \geqq B_{Line}$ (b) $B_{Pipe} < B_{Liine}$

Figure 11 Heat collection situation

$$r_{trans}[-] = \frac{IC/F \times A_s}{ID \times A_l} \quad \text{式 (3)}$$

IC : condensing solar radiation [W/m^2], ID : direct solar radiation [W/m^2]
A_l : lens area for condensing solar radiation reaches the sensing part [m^2],
A_s : Sensor sensing part area [m^2], F : opening ratio（5.7[%]）

$$r_{collect} = \begin{cases} 1 & (B_{Pipe} \geqq B_{Line}) \\ B_{Pipe}/B_{Line} & (B_{Pipe} < B_{Line}) \end{cases} \quad \text{式 (4)}$$

$$B_{Line} = B_l / r'_c \quad \text{式 (5)}$$

$r_{collect}$: heat collection surface arrival rate [-], B_{pipe} : heat collection surface width [m], B_{Line} : Focal line width [m], B_l : Lens width [m], r'_c : Light collection efficiency that was transparent lens correction [-]

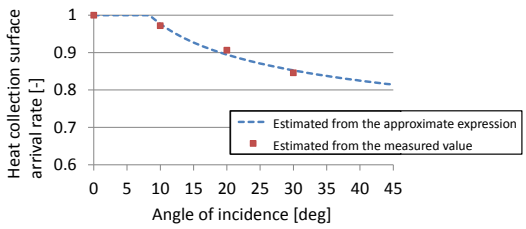


Figure 12 Incident angle and the heat collection surface arrival rate

２．太陽熱利用空調の効果試算

遮熱機構で得られる温水を利用した太陽熱空調について検討する．シミュレーションは LCEM ツールで対象空調システムを構築することで行う．

2.1 対象システム

集熱器は日射により 3 [K]以上昇温可能な場合に集熱を行う制御である．太陽熱利用デシカント空調システムは集熱器で得る温水により再生コイルを運転するもので，温水温度が低い場合は補助熱源を稼働する．デシカント空調機では外気負荷を処理するものとして扱い，室負荷は冷却除湿空調機によって処理する．

2.2 計算条件

計算対象は滝沢[5]の標準問題オフィスを基に，室負荷を設定した．試算条件は Table 4 に示す計 4 条件である．集光面積は，壁面設置時は壁面積と同じ 87.4 [m^2]，レンズは斜め 30° 設置を想定し 174.7 [m^2]とする．なお壁面想定の平板型は全天日射を集熱するのに対し，レンズ集光される日射は直達光のみとして，天空光は集光対象としない．

2.3 試算結果

拡張アメダス気象データより東京の標準年気象条件を入力値とする．晴天代表日として 8/10 を抜き出し，また 6/1～9/30 の冷房期間の計算を行う．

a 集熱量

Case1～3 で 8/10 の集熱量を比較する．集熱量を Figure 13 に示す．Case1 と Case2 は太陽高度が 60° 近く入射角が小さいときに同程度の集熱量となる．Case1 の集熱効率は約 40～50 [%]であり，到達日射の半分近くは水の昇温に寄与する潜熱となる．

b 冷房期間中の積算消費電力

6/1 から 9/30 まで 122 日間について各条件の積算消費電力量を Figure 14 に示す．Case1 の消費電療量が最小であり集熱量が大きい影響といえる．Case4 の熱源消費電力が大きい理由は，夏季の高温高湿な外気を冷却除湿して給気するためと考えられ，夏季外気はデシカント空調機による除湿が有利であるといえる．ただし Case4 は積算発電量 1.48 [MWh]を差し引けば，積算消費電力が 41.5 [MWh]と Case3 と同程度になる．

３．まとめ

- ◆ リニアフレネルレンズの集光実験を行った．斜め入射時は垂直時に比べ倍率が低くなり，焦線幅増大による影響と推測される．
- ◆ 遮熱機構で得られる温水の夏期空調利用効果を試算した．晴天日において Case1 では窓面直達日射の 40～50 [%]が集熱される．また冷房期間の積算消費電力は，太陽熱を利用した Case1 が利用しない Case4 に比べて 2.3 [MWh]だけ小さい．

Table 4　Estimates conditions

Conditions	Solar energy utilization form	Outside air processing	Room load processing
Case1	Linear Fresnel lens (rotation tracking) + Evacuated Tubular Collectors (fixed)	Desiccant air conditioner	cooling dehumidification air conditioner
Case2	Linear Fresnel lens (fixed) + Evacuated Tubular Collectors (movement tracking)	Desiccant air conditioner	cooling dehumidification air conditioner
Case3	Plate type heat collector (wall fixed)	Desiccant air conditioner	cooling dehumidification air conditioner
Case4	Solar power panel (wall fixed)	Desiccant air conditioner	cooling dehumidification air conditioner

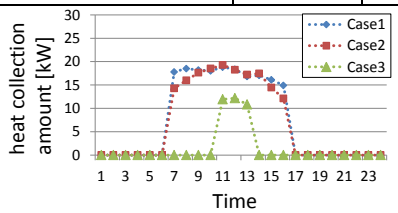


Figure 13　Comparison of the heat collection amount (Tokyo standard years 8/10)

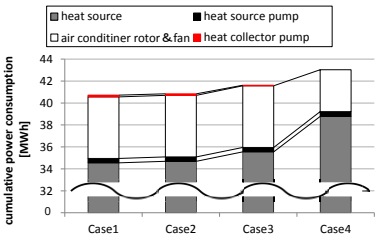


Figure 14　Cumulative power consumption of the cooling period

参考文献

[1] 水野知明ほか，現代建築の外壁面における<ガラス率>，日本建築学会学術講演梗概集，F-2，建築歴史・意匠，(2006)，pp.715-716.

[2] 山本佳嗣ほか，寒冷地に建つアトリウムとダブルスキンファサードを持つ複合施設の環境性能評価 第 2 報　ダブルスキンファサードの日射遮蔽性能・熱収支，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，（2007），pp.2253-2256

[3] 高津竜斗ほか，真空集熱管を用いた建物透過日射熱負荷削減対策の検討－小型実験装置を用いた熱収支の実験－，空気調和・衛生工学会大会学術研究発表会論文集 第 2 巻，B-37（2014），pp145-148.

[4] Eugene Hecht（訳：尾崎善治・朝倉利光），ヘクト 光学 I －基礎と幾何光学－，丸善株式会社，（2002），pp.243-246.

[5] 滝沢博，標準問題の提案（オフィス用標準問題），社団法人日本建築学会 環境工学委員会 熱分科会第 15 回熱シンポジウム，（1985）.

既存階段室型住宅における夏期の温熱環境調査に関する実居住世帯の調査及び改修による効果検証

Indoor Thermal Environment and the Verification of the Effect of Renovation in Existing Staircase Type Apartment House in Summer

○荻 野　浩 之（立命館大学）　　近 本　智 行（立命館大学）　　田 邊　陽 一（立命館大学）

Hiroyuki OGINO*[1] Tomoyuki CHIKAMOTO*[1] Yoichi TANABE*[1]

*[1] Ritsumeikan University

The purpose of this study is to examine the indoor thermal environment in the old existing staircase type apartment house by the questionnaire and the measurement, and to verify the effect of the improvement by the renovation, e.g. high insulation of the wall and window, in summer.

はじめに

現在日本全国に存在する住宅総数は約 4960 万戸存在していると言われている[文1)]。その内、共同住宅[注1)]は約 2068 万戸存在しており、膨大なストックとなっている。中でも、①3～5 階建て、②昭和 36 年～55 年に該当するものは現在約 209 万戸存在し、階段室型住宅が多く含まれている。これらは築年数が約 30 年以上経過し、今後改修工事が必要になると予想される。これらの多くは戦後復興期における住宅難の解消から始まり、高度成長期の都市部の人口急増に対し住宅を大量に供給され、特に公的賃貸住宅では当時子育て時期であった世帯が居住を継続して、高齢世帯の割合が高まっているケースが多い。これらの住宅では家賃の大幅な上昇は居住者に負担をかけるため、低コストでの改修が望まれている[文2)]。

また 65 歳以上の高齢者は全国で約 3296 万人存在しており[文3)]、全人口の約 25.9%に相当している。上記における階段室型住宅においても例外ではなく、近年高齢化に伴い、住宅居住者も高齢化が進行していると言われており、屋外のみならず、在宅中における熱中症や入浴中のヒートショックによる事故[文4)]など、住宅内における事故が増加していることからも、住宅内での高齢者対策が喫緊の課題であると示唆される。

また、住宅ストックにおいても空室率の増加が問題となっている。空室対策としては一般的に付加価値の向上が挙げられており、住宅の安全性や省エネルギー性の向上等を行うことが効果的であると考えられている[文5)]。

そこで本研究では、膨大なストックを抱えている既存階段室型住宅に着目し、現状の既存階段室型住宅の温熱環境の把握を行い、問題点に対する対策を講じることにより、安全性の向上を目指すとともに、環境性能の向上を目指すものとする。

Table 1　Outline of the apartment building

築年数	40年
対象	大阪府N市
管理	住宅供給公社
専有面積	49.23～51.19㎡
全体住戸数	380戸
構造	鉄筋五階建て
住戸	階段室型集合住宅
入口方位（室形式）[注2)]	北入住戸（3DK）
	北入住戸（LDK）
	南入住戸①（3DK）
	南入住戸（LDK）
	南入住戸②（3DK）

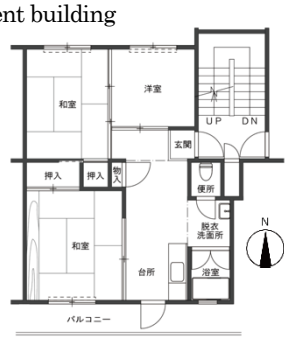


Figure 1
Plan of entering
north type apartment (3DK)

１．調査概要

本調査は大阪府 N 市に位置する住宅供給公社所有の団地(Fig. 1, Tab. 1)を対象として行った。主な調査は①実居住者を対象とした詳細調査、②非居住住宅を利用した環境測定と部分改修工事後の効果の確認の 2 点を行った。調査は 2014/8/11～2014/9/19 を対象とし、晴天日を代表日として計測を行った。

２．実居住者を対象とした生活行動調査

2.1 調査概要

実居住者に対する詳細調査に関して、調査協力者(Tab. 2)は 1 階から 5 階までに居住の 30～70 代の人を対象として行った。本調査では各協力者に出来るだけ家にいる日を選定してもらい、1 時間毎の行動記録を作成してもらうとともに、住居に温湿度計を設置することで実際の居住している環境の確認を行った。また同時に夏期の室内での体温変化を確認するために、皮膚温度（右胸、左上腕部、左腿の 3 点）を記録してもらった。本報では主に高齢被験者の中で在宅時間が長く、かつ最上階居住者である被験者 E について説明する。

2.2 タイムダイアリ結果

夏の使用(Tab. 3)としては主に間仕切、窓を開けて通気を確保して過ごしている。また、日中の暑い時のみ冷房を使用し、普段は扇風機での送風で夏の暑さを緩和させるように過ごしている事が明らかとなった。

2.3 皮膚温度・居室温湿度結果

皮膚温度(Fig. 2)では 14～16 時で皮膚温度に上昇が確認された。また 16 時で冷房を稼働させていることから、部屋温度が居住者の許容値を超えた時点で冷房の使用により対応していると思われる。居室温度状況で確認すると、16 時で約 33℃が記録されており、外気温ピークである 14 時から 3 時間程度の応答遅れがあることから、躯体の蓄熱が大きな影響を与えていると予想される。

3. 非居住空間を対象とした環境測定

3.1 実測概要

本実験では、実際には居住していない住戸を用いた非居住空間を対象とし、実測調査を行うことで夏期における温熱環境状況の把握を行った。また実態把握を行った後に 5 階住戸のみ改修工事を行い、その効果の検証をおこなった(Fig. 3, 4, Tab. 5)。実験対象(Fig. 5, Tab. 6)は熱的影響が大きいとされる同対象住宅の 4 階と 5 階を対象とし、自然換気と空調面積を変更することによる効果を確認するために実験 case は 4 項目行った(Fig. 6)。

3.2 改修工事概要

本実験では事前の環境測定後に、屋根面からの影響が大きいと考えられる 5 階住宅のみ改修工事を実施した(Fig. 3)。改修工事は窓面に日射の影響を軽減するために反射フィルムを貼り付けるとともに、冷房効果向上を目的として内壁面と天井面に断熱シートを貼りつけた。

3.3 代表室温度

改修前 case1、case2 で比較(Fig. 7, 8)すると、改修前 case1 では高い室温度が継続し、case1 では室温度の外気温ピーク時から 2 時間程度遅れが確認された。これは日射による躯体蓄熱の影響であると考えられる。改修後 case1、case2 では改修前と比較して、最高、最低温度の差が約 1deg. 程度低減された。これは朝方の温度が低下していることから夜間に蓄熱が除去されていることもあるが、改修工事を行うことで躯体から屋内への熱流入が抑制されている事が分かった。

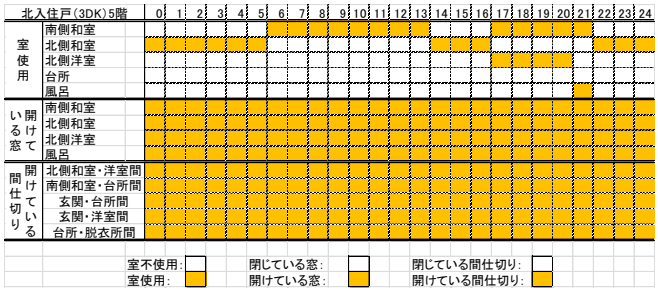
3.4 代表室湿度（重量絶対湿度）

改修前後 case1、case2(Fig. 9, 10)で確認すると case1 では外気状況に依存し、case2 では改修前後共に空調を行っているにもかかわらず、外気湿度と変化があまり確認できなかった。これは空調を稼働させているものの十分に除湿ができておらず、気密に対する改修を行っていないため、外気から常に湿度が流入しており、外部環境の影響が受けやすい状況にあると思われる。

Table 2　Outline of the subjects

	住戸形式	居住階	年齢	性別	居住人数	測定日	天気	外気温(℃) 最高	外気温(℃) 最低
A	北入住戸(LDK)	1F	35	女性	4人(内子供2名)	2014/8/13	曇時々雨	33.0	24.6
B	南入住戸①(3DK)	1F	72	女性	2人	2014/8/21	曇一時晴	32.9	28.0
C	北入住戸(3DK)	3F	64	男性	2人	2014/8/28	雨後晴	26.6	20.4
D	南入住戸②(3DK)	4F	30	女性	4人(内子供2名)	2014/8/16	曇時々雨	31.0	26.7
E	北入住戸(3DK)	5F	67	女性	2人	2014/8/18	曇後晴	33.8	26.5

Table 3　Living activities(Subject E)



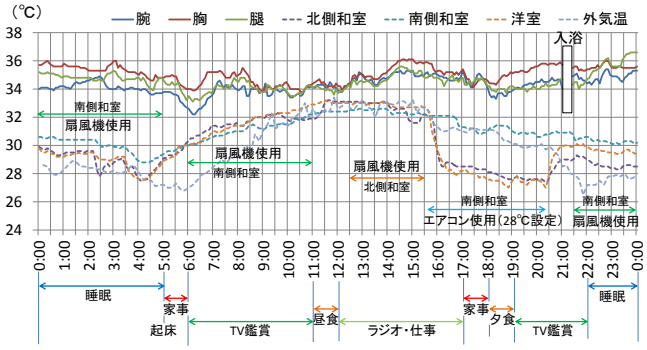


Figure2　Skin and room temperature

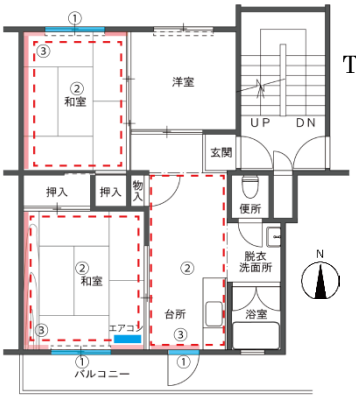


Figure3　Location of the renovation

Table5　List of the renovation

No.	改修項目	費用
①	日射遮蔽シート貼付	約4万円
②注3)	天井断熱シート貼付	約6万円
③注3)	壁面断熱シート貼付	約6万円

Figure4
Pictures of the renovation

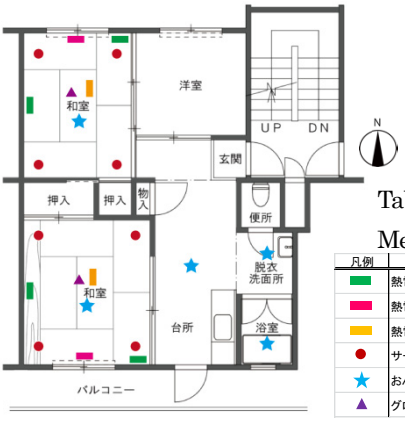


Figure5　Measurement points

Table6
Measuring instruments

凡例	機器名称	設置高さ[mm]
■	熱電対　壁面貼付	100, 500, 1200, 2200
■	熱電対　窓面貼付	1200
■	熱電対　天井・床面貼付	0, 2300
●	サーモクロン　上下温度	100, 500, 1200, 2200
★	おんどとり　代表温湿度	1200
▲	グローブ球　放射温度	1200

3.5 上下温度分布

上下温度分布(Fig. 11)では、改修前 12～15 時にかけて天井(2300mm 高さ)付近温度が上昇しており、外気温のピークから 3 時間ほど遅れが確認されていることが確認できた。また、天井付近にて時間経過とともに他高さと比べて 1deg. 程度高い温度が記録されていることから、蓄熱の影響が天井付近に熱溜まりとして影響していることが確認できた。改修後において、改修前で確認された上下での差異が緩和されていることから断熱シート貼付により蓄熱の影響が抑制されていることが確認できた。

3.6 WBGT 値評価

改修前(Fig. 12)case1 で外気温が高くなる 11～13 時にかけて熱中症指標における厳重警戒域に差し掛かっていることが確認された。また、夜間においても警戒域のままであることから換気のみでは熱中症の危険があることが確認できた。また、case2 では空調を行っている南側和室において注意域に推移していることから、長時間滞在する場合は空調の使用が熱中症緩和につながることが確認できた。

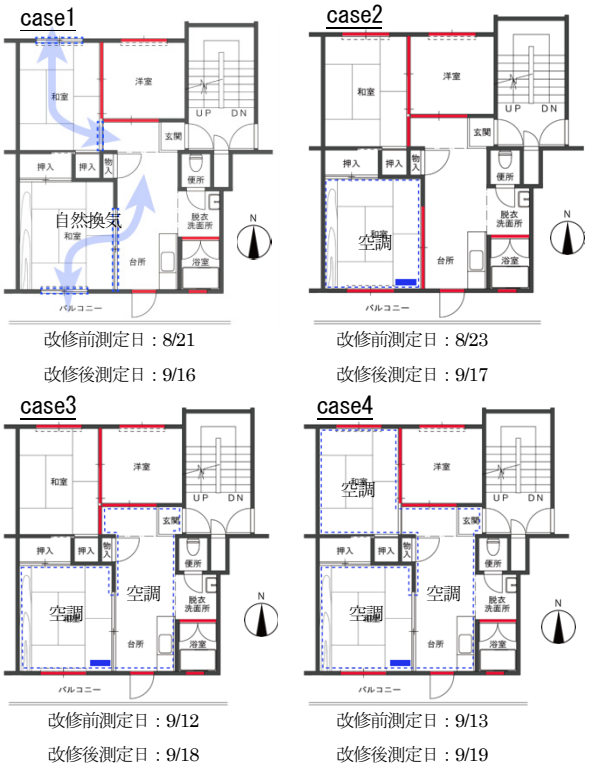


Figure6　Study case plan

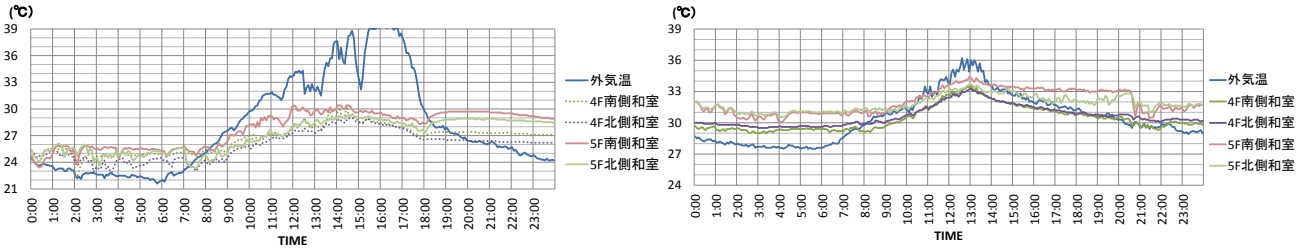


Figure7　(case1) Room temperature (left: before renovation, right: after renovation)

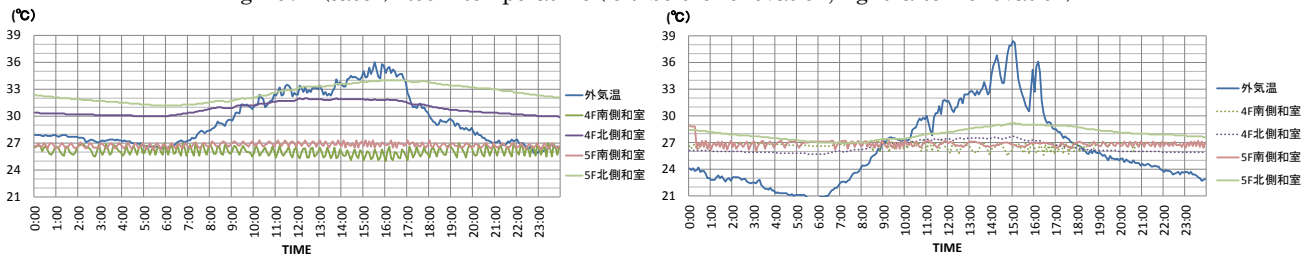


Figure8　(case2) Room temperature (left: before renovation, right: after renovation)

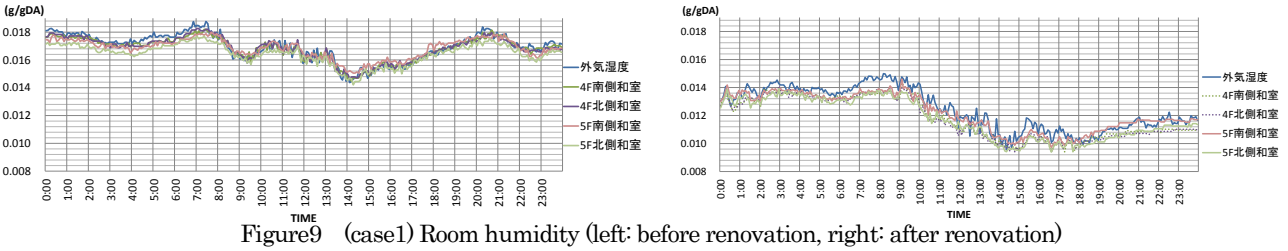


Figure9　(case1) Room humidity (left: before renovation, right: after renovation)

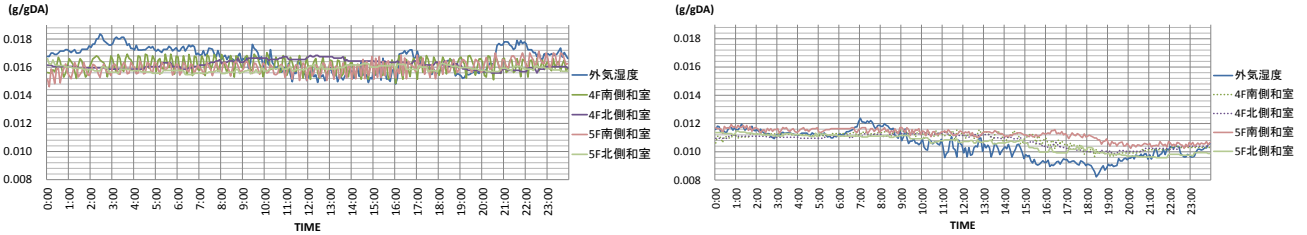


Figure10　(case2) Room humidity (left: before renovation, right: after renovation)

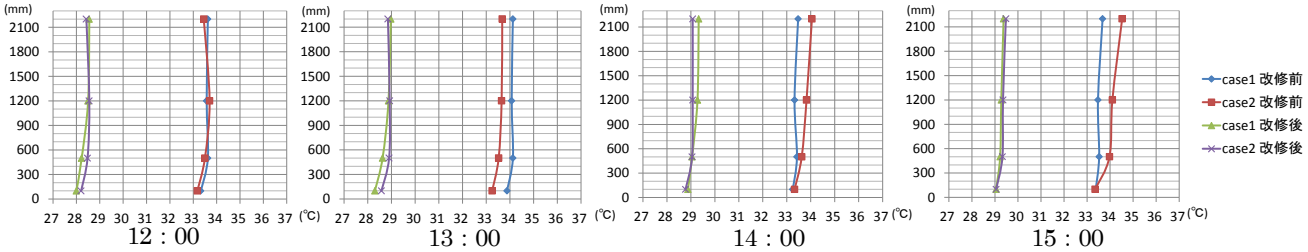


Figure11　Vertical temperature distribution in north room

3.7 放射温度

改修前 case2(Fig. 13)で比較すると放射温度では 5 階が 4 階と比較して日中約 3deg. 程度高い温度が記録されていた。また 4 階のピーク値から 5 階ピーク値は 3 時間程度遅れが確認できていることから屋根面からの影響が蓄熱に大きな影響を与えていることが予想される。また改修後 case2 では 5 階と 4 階で約 2deg. 程度差が確認できており、改修前と比較して 1deg. の緩和が確認された。さらにピーク値の遅れが約 2 時間に短縮されていることからも蓄熱の影響が緩和できていることが確認できた。

窓、天井、床面(Fig. 14)で確認すると、窓面は日射の影響が大きく 9 時から 30℃を超えており、室内に大きな影響を与えていることが予想される。また床面はあまり変化が見られなかったが、天井面は窓面のピークに比べ、3 時間ほど遅れが確認されており、5 階屋根面からの熱が天井面に蓄熱の影響として出ていることが予想される。また改修後 5 階では天井面の 4 階ピーク値に対して遅れが 2 時間に緩和されていることからも断熱シートの施工により天井部の蓄熱を抑制できると思われる。

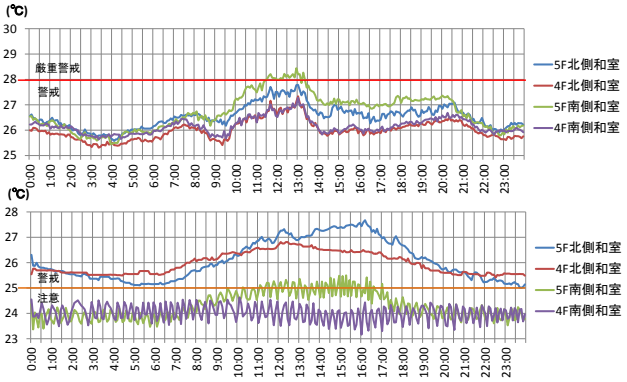


Figure12　WBGT temperature before renovation,
(up:case1,down:case2)

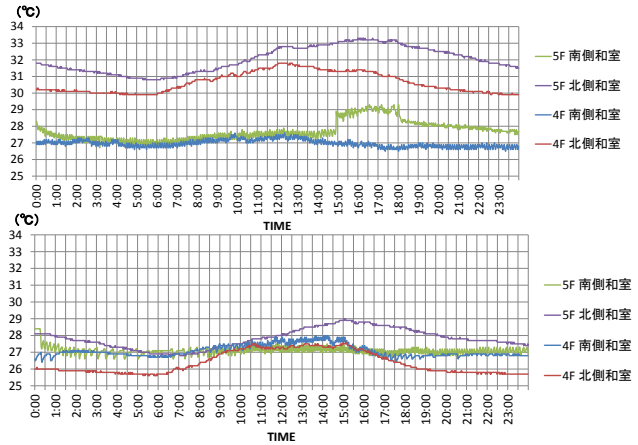


Figure13　(case2) Globe temperature
(up: before renovation ,down: after renovation)

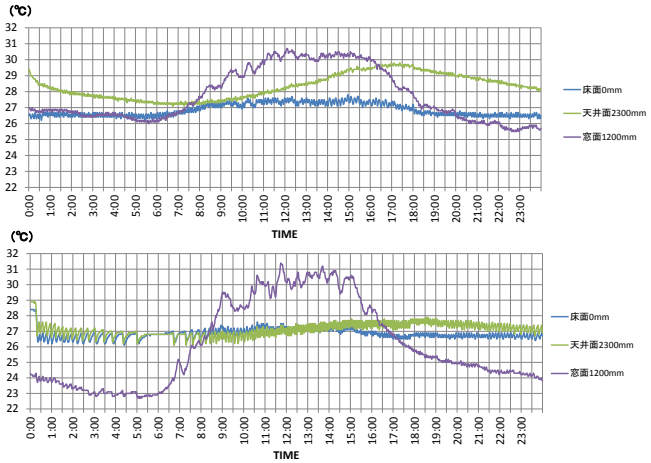


Figure14　(case2) Window & ceiling & floor temperature
(up: before renovation ,down: after renovation)

4．まとめ

本研究では夏期において実際の居住状況を把握するとともに非居住空間における温熱環境の把握を行った。夏期では蓄熱の影響が大きく、特に最上階である 5 階天井面の熱的影響が室内に大きな影響を与えていることが明らかとなった。また夏期においては日射の影響も大きく、窓面や放射温度が日中 30℃を大幅に超えている事が確認できた。これらより躯体から屋内への熱流入を抑制することが重要であることが明らかとなった。

参 考 文 献

文 1) 国土交通省,「持続可能社会における既存共同住宅ストックの再生に向けた勉強会」第 1 回資料, 2012　文 2) 国土交通省住宅局, 公的賃貸住宅等をめぐる現状と課題について, 2006　文 3) 国土交通省, 平成 20 年住宅・土地統計調査　文 4) 神戸市,「高齢者の家庭内事故を防ぐために」, 2012　文 5) 国土交通省、空き家再生等推進事業について, 2013

注 釈

注 1) 共用部分を有し、複数住戸が一体となったものを指す。
注 2) LDK 住戸は台所とそれに隣接した和室を一体化する改修を行った住戸形式とし、方位は配置により東西に最大 20° 傾きがあるが概ね方位通りである。　注 3) 工事費は全箇所の総合計費として計上した。

京町家における建具及び天井部での部分断熱改修による夏期・冬期の省エネ効果の検証

Verification of Energy Saving Efficiency through the Partial Repair of Fusuma and Ceiling for Kyo-Machiya House

○原田　和幸（立命館大学）　近本　智行（立命館大学）
髙田　光雄（京都大学）　土井　脩史（京都大学）
生川　慶一郎（京都市住宅供給公社）

Kazuyuki HARADA*[1]　Tomoyuki CHIKAMOTO*[1]　Mitsuo TAKADA*[2]　Shushi DOI*[2]　Keiichiro NARUKAWA*[3]

*[1] Ritsumeikan University　*[2] Kyoto University　*[3] Kyoto City Housing Corporation

Houses that have low energy-saving performance need to be more airtight and high insulation. Therefore, we repaired "Kyo-machiya", traditional house in Kyoto, to improve the insulation performance in this research. On the repair work, we did not insulate all over the outer wall currently in use, but repaired partially adjusting the residents' lifestyle. It’s thermal environment was analized in this paper.

はじめに

省エネ法の規制強化に伴い、新築住宅の高断熱・高気密は促進されているが、既存住宅での対応は遅れており、伝統的住宅での対策は進んでいない。更に伝統的住宅で、新築住宅と同様に建物全体の高断熱・高気密を図ろうとしても、容易でない。

本研究では京都における伝統的住宅である京町家において主要な居住空間を対象とした部分断熱改修[文1)]を実施し、夏期・冬期の実測により改修効果を定量化した。

１．対象建物概要

平面図をFig.1で示す。対象住宅は築約80年の２階建て木造京町家である。土間部分以外は伝統工法で建てられ、外部建具は在来の木製建具を使用している。土間部分と座敷２には、温水床暖房とエアコンが設置されている。なお、対象住宅では30代の共働き夫婦と小学生の子供一人の世帯が居住者として暮らしている。

２．改修設計案概要

改修は居住者が冷暖房を使用する期間、主な生活スペースとなっている座敷１、２を中心に行われた。具体的には座敷天井裏への防湿シート、断熱材の挿入と座敷周りの建具入れ替えが行われた。

2.1 天井裏改修概要

改修前に１階座敷にて行ったスモークテスターによる隙間風の可視化実験を行った。その結果、伝統工法である竿縁天井[注1)]にて気密性の低さが確認されたため、気密性を確保するよう改修した。２階の床を剥がし、１階天井裏（Fig.3）に気密性を確保するように防湿シート（Fig.4）、断熱材（Fig.5）の順に施工した。

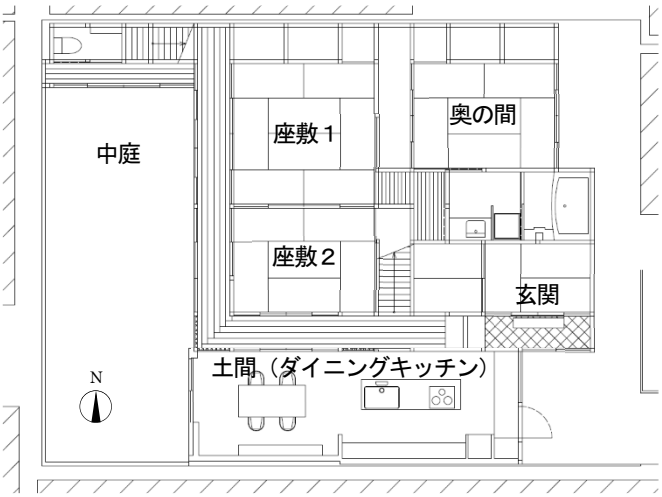


Figure.1 対象住宅平面図

Figure.2 ２階座敷

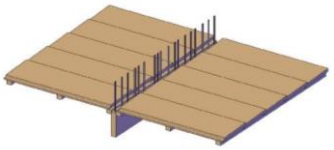


Figure.3 １階天井裏

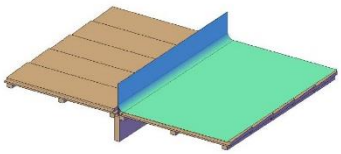


Figure.4 防湿シート施工

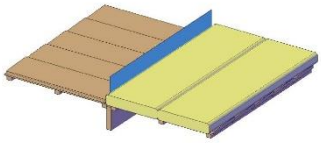


Figure.5 断熱材施工

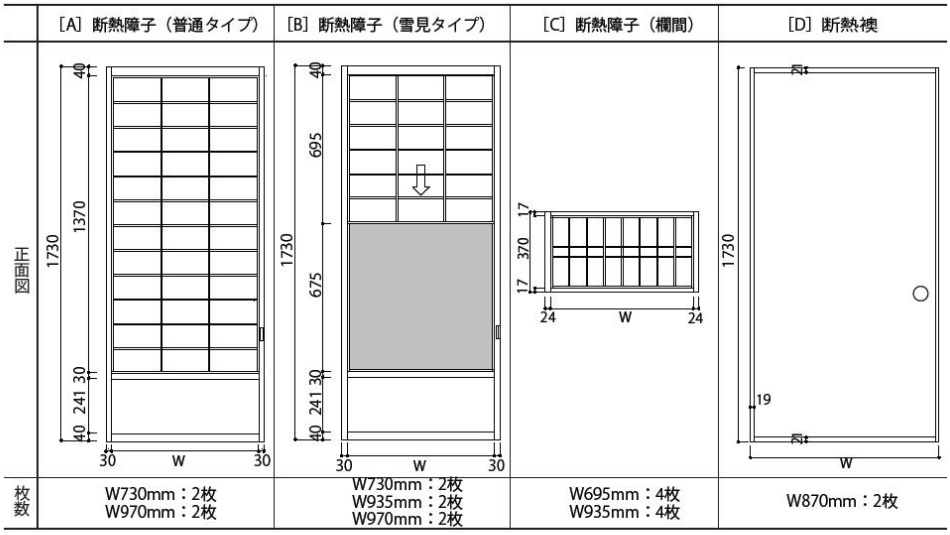


Figure. 6 改修建具姿図

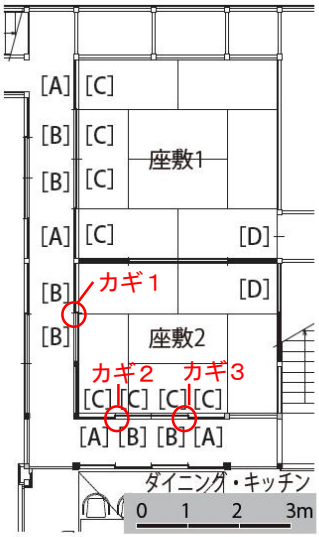


Figure. 7 改修建具設置位置

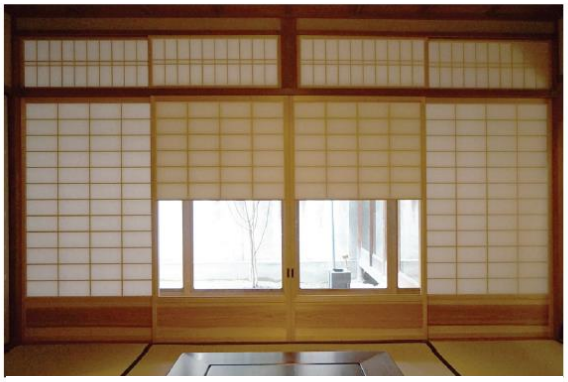


Figure. 8 断熱障子

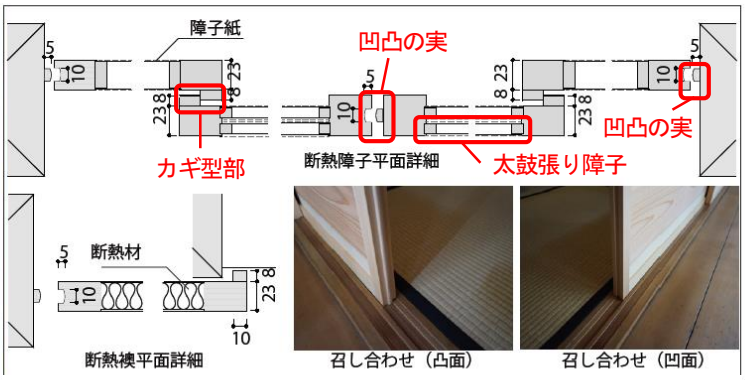


Figure. 9 断熱建具詳細

2. 2 建具の入れ替え

改修建具の概要を Fig. 6、設置位置を Fig. 7、詳細断面を Fig. 9 に示す。改修前に行った熱画像による隙間風の可視化実験で室内外での温度差がある場合、既存建具の召し合わせの部分で隙間風が確認されたため、対策として、各召し合わせの部分でカギ型のかみ合わせや、凹凸の実（さね）を設けた。また障子戸においては障子紙を太鼓張りとして空気層を形成し、断熱性能の向上を図った。

3． 改修前後夏期実測

3. 1 夏期実測概要

夏期実測では１階座敷において備え付けの空調機を使用し、室温を外気より 5℃程度下げ、空調機を停止、その後の温度勾配を測定した。実験は「既存建具」と「改修建具」の２つの実験パターンで行った。

3. 2 夏期実測結果と考察

各実験パターンでの温度勾配を Fig. 10, 11 に示す。両建具での実験で同じ冷房機器を使用したが、グラフより改修建具の方が早く気温が下がり、空調停止後も温度上昇が滑らかになっていることが分かる。しかし、外気温に２℃程度の差があり、定量的な比較が難しいため、下記の式のように相当熱貫流率Kを定義し[注2)]、算出した。

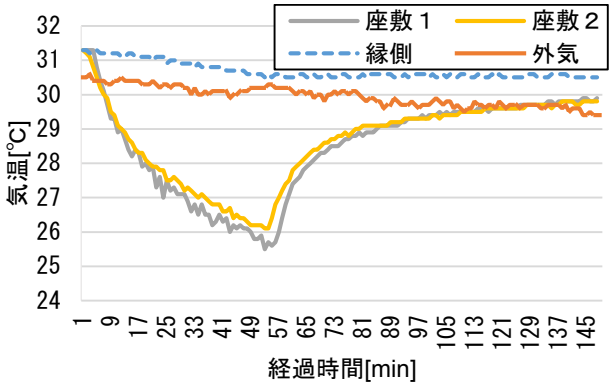


Figure. 10 既存建具での冷房停止時温度変化

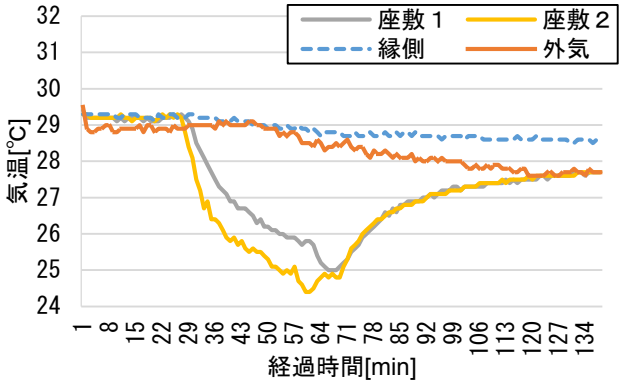


Figure. 11 改修建具での冷房停止時温度変化

$$c\rho V(\theta'_{in} - \theta_{in}) = \frac{\lambda S(\theta_{out} - \theta_{in})\Delta t}{\delta}$$

$$\lambda = \frac{c\rho V\delta(\theta'_{in} - \theta_{in})}{S(\theta_{out} - \theta_{in})\Delta t}$$

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{9} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{9}}$$

$c\rho V$：比熱・密度・室容積＝熱容量[J/K]
θ_{in}：現時刻の座敷温度[℃]
θ'_{in}：次時刻の座敷気温[℃]
θ_{out}：現時刻の縁側気温[℃]
λ：新旧建具の熱伝導率[W/m・K]
S：新旧建具の面積[m²]
δ：新旧建具の厚さ[m]
Δt：現時刻と次時刻の差[sec]
K：新旧建具の相当熱貫流率[W/m²・K]
R：新旧建具の相当熱貫流抵抗[m²・K/W]

その結果を Fig. 12 に示す。このグラフから、冷房停止後、常に改修建具が既存建具より優れた相当熱貫流率を示していることがわかる。冷房停止から 5 分程度の間の既存建具と改修建具の相当熱貫流率と、冷房停止 50 分後の既存建具の熱貫流率が大きくなっているのは、温度差換気と、外部風による換気による熱損失が熱貫流率として反映されているからだと考えられる。

4．改修前後冬期実測

4.1 冬期実測概要

冬期実測では大きく気密性能調査と温熱環境調査の２つの実験を行った。温熱環境調査としては空調停止後の温度勾配の測定、気密性能調査ではトレーサーガス減衰法による換気回数の測定、ハンディサーモによる建具の熱画像撮影、建具召し合わせの隙間空間付近の上下温度分布の測定を行った。

4.2 冬期各実測概要、結果と考察

(1) 空調停止後の温度勾配

１階座敷において備え付けの空調機を使用し、室温を外気温より 20℃程度上げ、空調機を停止、その後の温度勾配を測定した。実験は「既存建具」と「改修建具」の２パターンで行った。結果を Fig. 13, 14 に示す。

実験日の都合上、夏期同様外気温に差が出たので、相当熱貫流率による評価を行った。各パターンでの相当熱貫流率を Fig. 15 に示す。このグラフから、暖房停止後、常に改修建具が既存建具より優れた相当熱貫流率を示していることがわかる。

(2) 換気回数の測定

座敷２において改修による気密性能向上を定量化するために、天井も建具も改修前、天井は改修したが建具は既存、天井も建具も改修済みの３つのパターンで、トレーサ

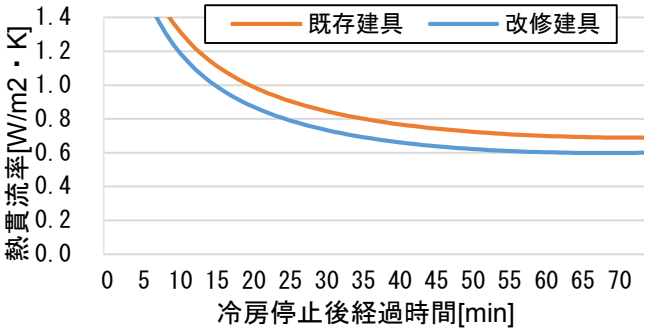


Figure. 12 夏期における各建具の相当熱貫流率

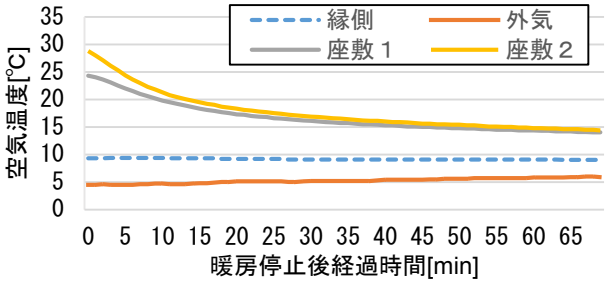


Figure. 13 既存建具での暖房停止時温度変化

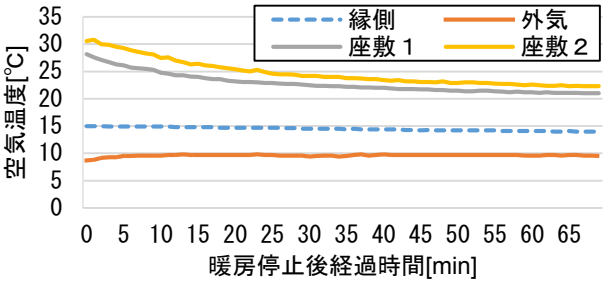


Figure. 14 改修建具での暖房停止時温度変化

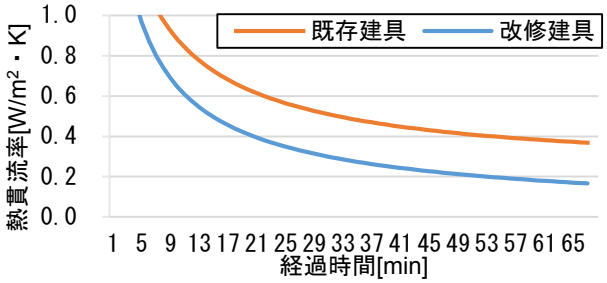


Figure. 15 各建具での相当熱貫流率

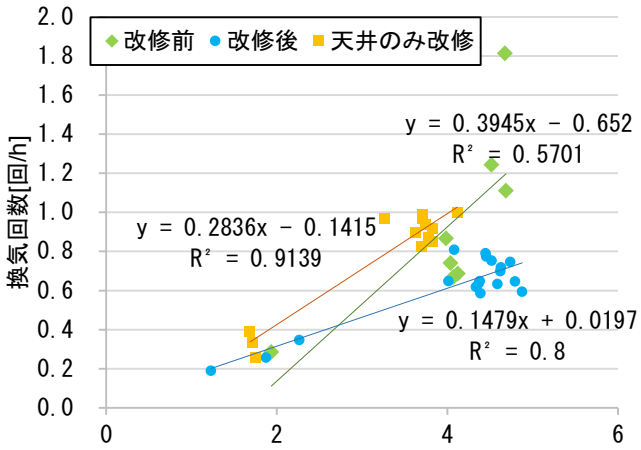


Figure. 16 換気回数と温度差の平方根の相関

ーガス実験による換気回数の測定を行った。実験は座敷２と外気で温度差を 20℃、15℃、10℃、5℃程度で行った。

各パターンの換気回数と温度差の相関をFig. 16に示す。各近似線の傾きを見ると改修前、天井のみ改修、改修後の順で小さくなっている。

(3)熱画像撮影

１階座敷において備え付けの空調機を使用し、室温が外気温より 15℃程度高い状態で、ハンディサーモによって既存建具と改修建具の熱画像の撮影を行った。座敷２南側建具の熱画像を座敷側から撮影した。

既存建具の熱画像を Fig. 17、改修建具の熱画像を Fig. 18 に示す。熱画像より、表面温度の全体的な向上が確認できる。また隙間周辺の温度分布を見ると、既存建具では隙間風により隙間の下半分程度の表面温度が下がっているが、改修建具では改善されているのが確認できる。

(4)隙間付近上下温度分布

既存建具と改修建具において、建具隙間付近座敷側と縁側側の各床上 0mm、350mm、700mm、1050mm、1400mm、1750mm で上下温度分布を測定した[注3)]。

召し合わせ凹凸の実（さね）部分の隙間付近上下温度分布を Fig. 19、カギ部分１、２、３(Fig. 7)の上下温度分布を Fig. 20, 21, 22 に示す。これを見ると実（さね）部分において、室内側の上下温度分布が既存建具は 12℃程度あるのに対し、改修建具では 6℃程度に抑えられている。また、カギ部分において改修建具は既存建具に比べ、室外側の床上 1750mm 高さの温度が低く、室内側の上下温度差も小さい。このことから、温度差による隙間風を防いでいることが分かる。しかし、カギ部分３で 3mm 程度の隙間が生じてしまうことが判明した。

５．まとめ

京都の伝統住宅において、居住者の主な生活スペースである座敷での建具入れ替えと天井裏断熱材挿入による断熱改修を実施し、夏期、冬期に改修前後実測を行った。

(1)空調停止後の温度変化から算出した相当熱貫流率は夏期・冬期共に改修建具が優れた値を示した。

(2)換気回数の測定では、改修建具がより小さい換気回数となった。

(3)建具隙間付近上下温度分布測定では、概ね改修建具がより小さい上下温度差を示した。改修建具の設計上カギ部分３において、既存建具よりも上下温度差がついたが、換気量測定実験と空調停止後の温度変化の結果から、気密性能、断熱性能への影響は小さいと考えられる。

謝 辞

本研究は、2011 年度三井物産環境基金助成研究「部分断熱改修実験を通じた地域居住文化に対応する住宅ストック再生手法の開発」における研究成果の一部です。

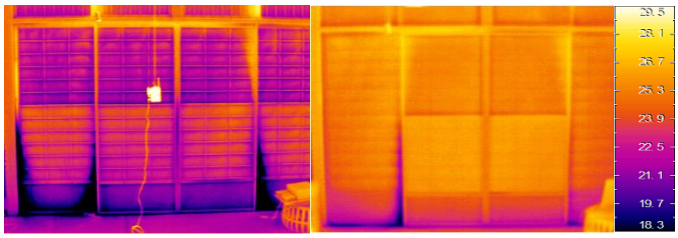


Figure. 17 既存建具熱画像　　Figure. 18 改修建具熱画像

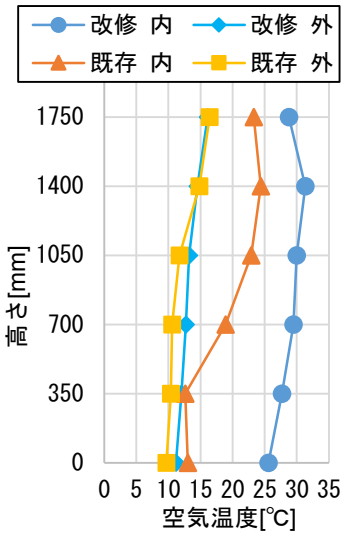


Figure. 19 実部分上下温度

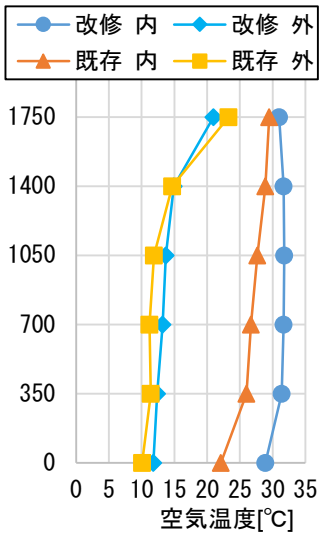


Figure. 20 カギ部分１上下温度

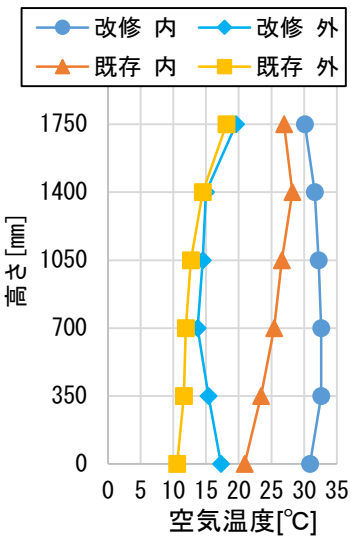


Figure. 21 カギ部分２上下温度

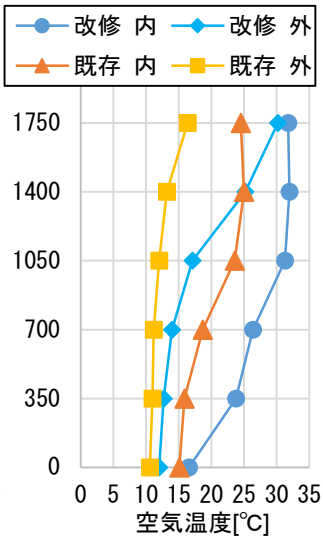


Figure. 22 カギ部分３上下温度

注 釈

注 1) 竿縁天井とは吊り木や野縁下に竿縁とよばれる構造材を取り付け、その上に天井板を張って仕上げた天井のことである。

注 2) 建具両表面における総合熱伝達率は風速が十分小さいことから、ユンゲスの式より 9 とした。

注 3) １階座敷の天井高は 2300mmである。

参 考 文 献

文 1) 生川慶一郎、髙田光雄ほか：京町家における地域居住文化に配慮した部分断熱改修その１、その２、日本建築学会大会建築デザイン発表梗概集（近畿）2014 年 9 月、pp. 4～6

フィットネスクラブの給湯システムの実態調査
Survey on Hot Water Supply System in a Fitness Club

○酒井 礁太郎（京都大学）　鉾井 修一（京都大学）
五井 努（関西電力）　土居 信一（関西電力）
Shotaro SAKAI*[1]　Shuichi HOKOI*[1]　Tsutomu GOI[2]*　Shinichi DOI[2]*
*[1] Kyoto University　*[2] Kansai Electric Power Co. INC.

In Japan, there are 1,040 fitness clubs and they have almost three million members. In a fitness club, large heat loss from a hot water supply system may be expected because a large amount of hot water is circulated almost all day long. In this study, the temperature and the hot water flowrate were measured to calculate heat loss in a fitness club in Kansai area, which has a swimming pool, four large baths, and showers.

１．はじめに

現在，日本にはフィットネスクラブが 1040 軒あり，その会員数は全国で約 300 万人に及ぶ。フィットネスクラブには通常室内温水プール，浴室，シャワー室などが完備されており [1]，多くの給湯エネルギーを消費している。しかし，プール，大型浴槽における熱負荷は設計時に略算式で算出されることが多く，実測に基づく検討は非常に少ない [2]。従って，フィットネスクラブの給湯システムにおけるエネルギー使用の実態を把握し，熱損失への対策に関する知見を得ることは，今後の給湯システムの省エネルギー化に大きく寄与するものと考えられる。

本論文では，実使用中のフィットネスクラブの給湯システムにおける各部温度・流量などの計測を行った結果とそれに基づく課題の抽出について報告する。

２．温湿度・流量測定の概要

2.1　測定対象建物

測定対象は関西に建つフィットネスクラブである。建物は南北 43m，東西 25m（延床面積 3,500 ㎡）で，地上 3 階建て，構造は RC 造である。1 階にスタッフルーム，25m×6 コースの室内温水プール，ジャグジー，設備室があり，2 階にスタジオ，託児室，男女浴室，脱衣場，3 階にトレーニングルーム，スタジオ，屋上がある。営業時間は，月曜日から金曜日は 9:30～23:00，土曜日は 9:30～22:00，日曜日と祝日は 9:30～20:00 である。

2.2　給湯システム

このフィットネスクラブの給湯システムの概要を図 1 に示す。3 階屋上にガス給湯器が 2 台設置されているが，測定期間中は 1 台のみ運転していた。ガス給湯器で作られた温水は 2 つの目的に利用されている。1 つ目は，屋上に設置されたコージェネレーションシステム（以下，コジェネ）とともに加熱した温水を貯湯槽に貯め，シャワーや風呂の補給水として利用するものである。2 つ目は，ガス給湯器で作られた温水を，1 階の設備室の熱交換器を介して，プール，風呂，ジャグジーのろ過循環水の加熱源および空調熱源として利用するものである。以下，この補給水用温水の循環を「給湯配管系統」と呼び，熱源利用温水の循環を「温水循環系統」と呼ぶ。温水循環系統の熱の供給先の一つであるジャグジーは，今回は測定対象としていない。

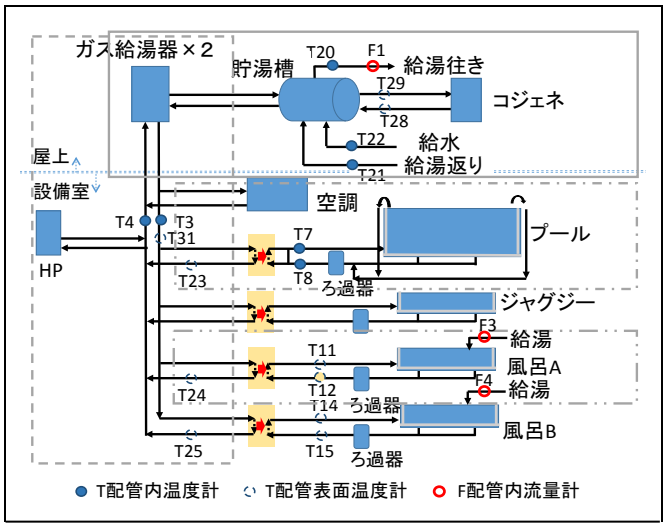


Figure 1 Hot water supply system

2.3　測定概要

給湯・温水循環配管の内部，表面の温度と流量，設備室，浴室，プール室，屋上の温湿度，および循環加温ヒートポンプ（以下，HP）やポンプの使用電力，ガス給湯器のガス使用量を測定した。測定箇所を図 1 に示す。

湯温度の測定は，シース熱電対を用いて直接管内の温度を測定するもの（図 1 の実線丸印）か，フィルム形被覆熱電対を配管表面に貼り付けて表面温度を測り，それを湯温度として代用するもの（図 1 の点線丸）で行った。どちらも 1 分間隔，0.1℃単位で測定した。

配管内流量は，流量が変動する箇所では電磁流量計を用いて継続的に測定し，ポンプで一定量を流している箇所では 2014 年 12 月 15 日に超音波流量計で測定し，その値をその場所での一定流量として用いることとした。電磁流量計での測定は 1 分間隔，0.1℃単位とした。

空気の温湿度の測定を，プール室 2 箇所，各浴室 1 箇所，設備室 3 箇所，屋上 1 箇所で行った。測定は 15 分間隔，0.1℃，0.1%単位とした。

3．目視および放射温度計による表面温度調査

3.1　屋上配管系統

屋上にはガス給湯器，貯湯槽，コジェネと各種の配管が設置されている（図 2)。屋上配管では，貯湯槽への給水管およびコジェネと貯湯槽間の配管において水漏れが見られた(図 3)。また，調査のために配管のガルバリウムカバーを外した時に，断熱材が湿って劣化（変色）している箇所が見られた(図 4)。配管継手部分からの漏水によるものと考えられる。

熱画像カメラにより熱損失箇所の特定を行った。貯湯槽に付属するセンサー，金具，脚部が高温になっていた(図 5 熱画像)。また配管に付属するバルブやフランジなどの金属部分も高温になっていた(図 6 熱画像)。

3.2　設備室

1 階の設備室には風呂とプールのろ過装置と加熱装置が設置されている。浴槽とプールのろ過装置周辺には断熱材がなく，高温部位が抽出された(図 7 熱画像)。高温の配管の弁，計測機器も多く見られた(図 8 熱画像)

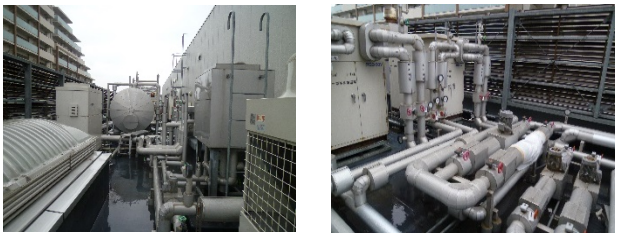


Figure 2 Hot water system on the roof floor

Figure 3 Water leakage from piping on the roof floor

Figure 4 Discoloration of pipe insulation on the roof floor

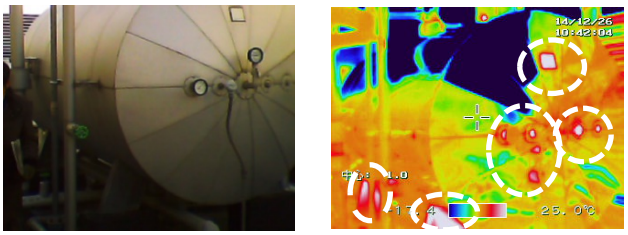


Figure 5 Heat bridges of hot water storage tank

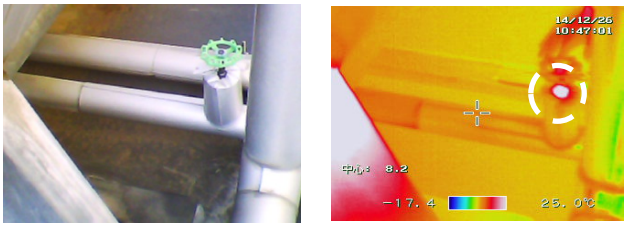


Figure 6 Heat bridges of piping on the roof floor

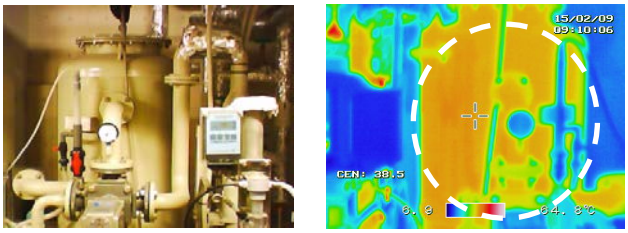


Figure 7 Thermograph around the filter unit for bath

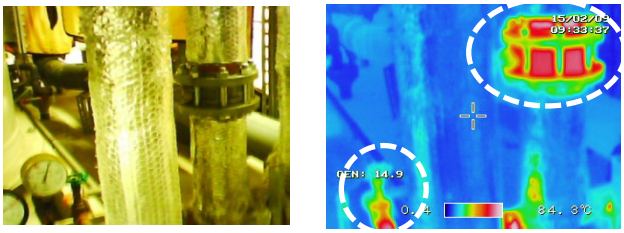


Figure 8 Hot bulb and sensors

4．各部の温度・流量の測定結果

4.1　給湯循環系統(図 1 の実線で囲んだ部分)

(1) 貯湯槽出入り口温度と流量

貯湯槽から給湯系統への出口温度(T20)，返り温度(T21)と出口の流量(F 1)の一日(12 月 19 日，平日)の推移を図 9 に示す。

一日を通して T20 は T21 よりも高いが，この差は夜間(0 時～4 時)ガス給湯器が停止している間にはほとんどないが（約 0.2℃)，運転中は 3℃ほどになる。ガス給湯器

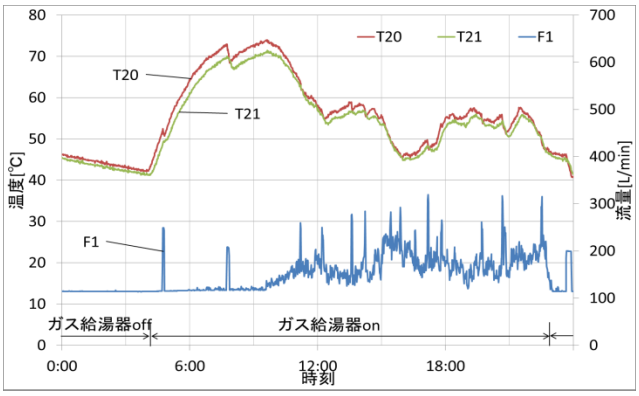


Fig. 9 Water temperatures and flowrate at inlet/outlet of hot water tank

停止中もポンプは稼動し，114L/min 一定で循環し続ける(F1)。その間に出口管内温度は 45℃から 40℃まで下がる。ガス給湯器が運転を開始する 4 時から貯湯槽に温水が供給され，それに伴い T20，T21 も上昇する。4 時には 40℃だった出入口温度は営業開始の 9 時半頃にピークを迎え 72℃となる。9 時までは営業時間前のため，給湯の利用は浴室の掃除の使用と，5 時前後の風呂への給湯に限られ，F1 は概ね 114 L/min 程度を推移する。その後，9 時半の開館時間からは，シャワー等が利用され，F1 は徐々に増加する。23 時の閉館までは風呂への給湯ごとに急激な増加があるが，全体としては 150L/min 程度を推移する。開館中は給湯利用量の増加に伴い T20，T21 は下がり続け，12 時～18 時には 45℃まで低下する。その後営業時間が終わるまでは 40℃～60℃を推移する。

(2) 貯湯槽−コジェネ間の湯温度と貯湯槽出口温度

コジェネから貯湯槽への配管温度(T28)，貯湯槽からコジェネへの返り配管温度(T29)，貯湯槽出口温度(T20)，コジェネ配管ポンプの使用電力(E1)の 一日(12 月 19 日，平日)の推移を図 10 に示す。

コジェネのポンプの運転は，11 時～22 時であり，その時間帯に貯湯槽に温水を供給している。コジェネ停止時の配管温度を見ると，T29 は 0 時の 45℃近くから T20 と平行して低下し，4 時に 40℃近くになる。その後，4 時にガス給湯器が運転を開始し，T20 が上昇し始めると，T29 もそれと同時に上昇を始め，10 時のピーク時に，65℃近くに達する。T28 もほぼ同様に，0 時の 30℃から 4 時に 20℃まで低下し，ガス給湯器の運転とともに 40℃まで 20℃程度上昇する。

0 時～11 時にはポンプは止まっており，湯は流れていない。これらの温度上昇は，貯湯槽から測定点までの配管を通しての熱伝導によるものと推測される。

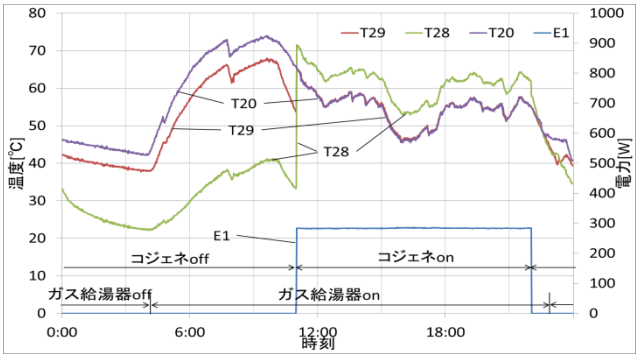


Figure 10 Hot water temperatures and electric consumption for pomp of pipes between hot water tank and cogeneration system

(3) 貯湯槽への給水管の温度と貯湯槽出口温度

貯湯槽への給水管の温度(T22)と貯湯槽出口温度(T20)，貯湯槽出口流量(F1)の一日(12 月 19 日，平日)の推移を図 11 に示す。

給湯使用があり貯湯槽から給湯系統への給湯量(F1)が増えると，貯湯槽に給水管より市水が供給される。0 時～4 時は給湯使用がなく F1 が一定なので，給水はない。その間，T22 は 5℃程度の細かい変動を繰り返しながら，15℃から徐々に上昇し，4 時に 40℃に達する。その後，5 時頃の F1 の上昇時に給水が行われと T22 は 10℃まで急激に低下し，給水停止とともに急速に上昇し 6 時には 53℃に達する。その後，6 時～8 時の浴室の掃除に給湯が使われるため貯湯槽に給水がなされ，T22 は徐々に低下し，8 時には 10℃程度になる。その後は湯が頻繁に使用され給水が続き，T22 は 10℃前後を推移する。0 時～6 時の温度上昇は配管を通しての熱伝導あるいは貯湯槽からの温水の逆流によるものと考えられる。

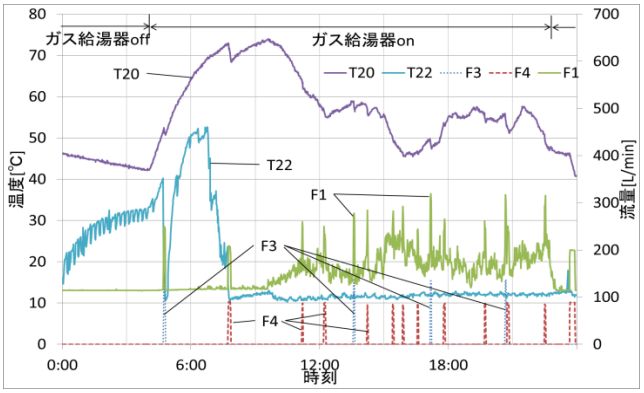


Figure 11 Temperature and flowrate of supplied water to hot water tank

4. 2 温水循環系統(図 1 の破線で囲んだ部分)

ガス給湯器からの温水の設備室内での往き温度(T3)と，返り配管内温度(T4)の一日(12 月 19 日，平日)の推移を図 12 に示す。

この温水はプール循環水，風呂循環水，ジャグジー循環水および空調の熱源として利用されており，ガス給湯器停止時も循環している。0 時～4 時はガス給湯器が停止しており，T3，T4 ともに 40℃から 35℃まで徐々に低下する。その間は T4(返り)のほうが T3(往き)より 0.5℃ほど高い。これは温水の返り配管の途中に 24 時間稼働の HP があるためと考えられる。4 時にガスガス給湯器が運転を開始すると，T3，T4 は上昇し，6 時には 80℃となる。この間の T3 と T4 の温度差分の熱量は，夜間に

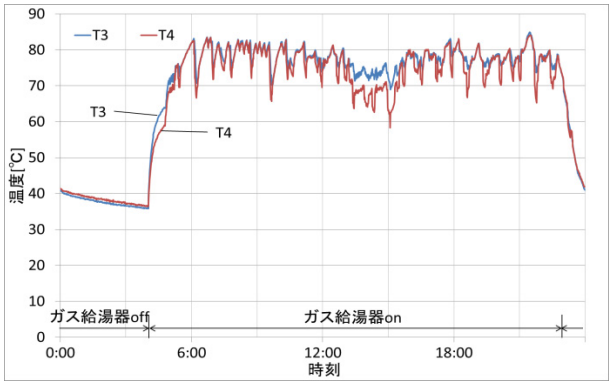


Figure 12 Temperatures of circulating hot water for heat supply

冷えた風呂の水温を上げるために使われたと考えられる。6 時からガス給湯器が運転を停止する 23 時までは 75℃前後を推移する。途中 13 時～15 時の T4 の低下は，この時間帯にプールの水温が低下し，その加熱に温水が使用されたためと考えられる。23 時にガス給湯器が停止すると，T3，T4 ともに急激に低下する。この系統における熱損失がかなり大きいためと考えられる。

4. 3 プール濾過水循環（図 1 の一点鎖線で囲んだ部分）

プールの循環水の熱交換器入口温度(T7)，熱交換器出口温度(T8)，熱供給側温水の熱交換器入口温度(T31)，熱交換器出口温度(T23)の一日（12 月 19 日，平日）の温度推移を図 13 に示す。

T7，T8 は一日を通してほぼ 30℃程度であり，T7 のほうが T8 よりも 0.1℃～0.3℃高い。13 時～15 時に T7 が 2℃程度上昇しているが，これはプールの温度低下に対して熱交換器からの熱供給があったためと考えられる。同時に T23 は 10℃ほど低下するが，これはプールの循環水量が温水循環流量に比べて多いためである。従って，プールにおける熱損失を適切に把握するためには，T7，T8 のわずかな温度変化を正確に測定する必要がある。

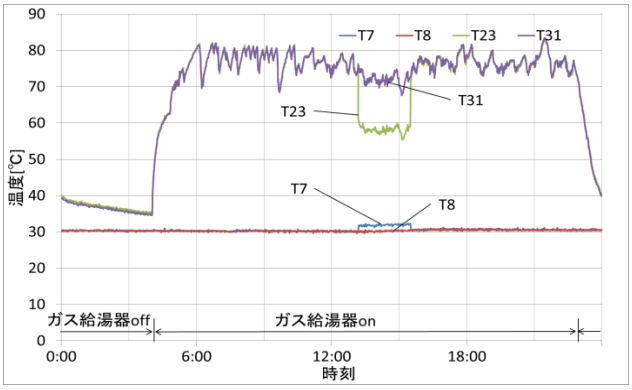


Fig. 13 Temperatures of hot water flowing in heat exchanger for pool

プール系統の温水は 24 時間循環しているが，一日を通しての温度低下は小さい。プール水温が設定値(夏は 29.5℃，冬は 30℃)を下回ると熱交換器の温水側の弁が開き，温水が熱交換器内を通り熱供給がなされることになっているが，11 月には 1 度も熱交換器は稼働せず，12 月も熱交換が作動した日は少なかった。ただ，熱交換がなされていない時でも熱交換器は高温となっている(図 14 熱画像)。プール循環水は熱交換器内を常に循環していることもあり，熱交換器が作動していないときも熱の供給がなされていると考えられる。

4. 4 風呂濾過水循環（図 1 の二点鎖線で囲んだ部分）

浴槽循環水の熱交換器入口温度(T15)，出口温度(T14)，熱供給側温水の熱交換器入口温度(T31)，出口温度(T25)の一日（12 月 19 日，平日）の推移を図 15 に示す。

ガス給湯器が停止している 0 時～4 時は，T14，T15，T25，T31 はほぼ同じ温度で，40℃から 35℃まで低下する。その後，ガス給湯器の運転の開始とともに，4 時～6 時に T31, T25 は 35℃から 80℃に上昇する。T31 と T25 の差分の熱量は浴槽循環水への熱供給に使用されたと考えられる。熱交換により T14 が上昇し，T15 も徐々に上昇する。0 時に 35℃だった T14，T15 は 5 時前には 40℃に達し，その後 23 時の閉館期間まで熱交換が定期的に繰り返され，40℃程度に維持されている。

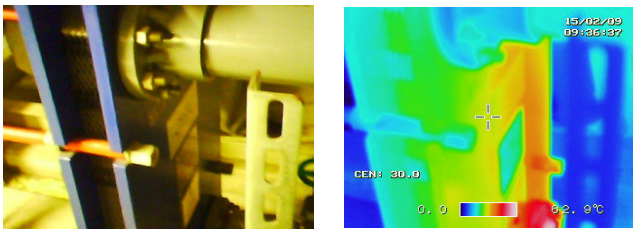


Fig. 14 Thermograph around heat exchanger for pool (not operating)

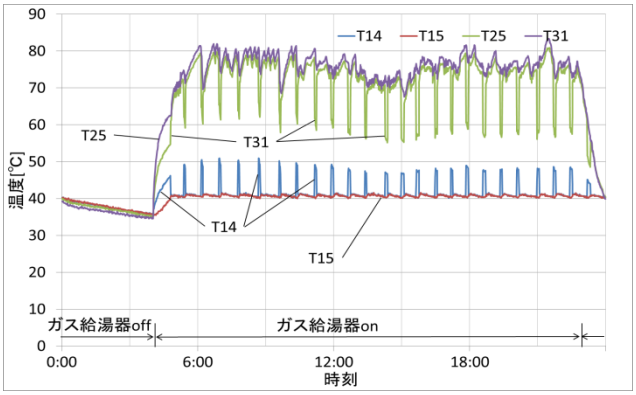


Fig. 15 Temperatures of hot water around heat exchanger for bath

5. まとめ

フィットネスクラブの給湯システムにおけるエネルギー使用の実態を把握するために，給湯システムにおける各部温度・流量の計測を行った。その結果，以下のような課題が抽出された。

(1) 屋上配管の継手部からの水漏れ
(2) 屋上，設備室の設備・配管における熱橋
(3) 屋上における配管に沿った熱伝導による熱損失
(4) プール循環水への熱交換器からの熱の漏れ

参考文献

1)経済産業省「平成 17 年特定サービス産業実態調査 フィットネスクラブ」
2)赤井仁志，蒲田元康，小川正晃：大型浴槽からの熱損失，空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集(1998)，pp53～64

謝辞

本研究を進めるにあたって，対象としたフィットネスクラブの関係者各位かから多大なご協力をいただいた。謝意を表する。