

# 自動開閉窓の通風による快適性および省エネルギー効果に関する研究

真方 翔

## 1. はじめに

近年、家庭部門のエネルギー消費量の増加および割合の拡大が問題とされ、低炭素社会の実現に向けて省エネルギー基準が改正されている。住宅の省エネルギー性能の向上だけでなく、消費者・住宅事業者の問題意識を高め、省エネルギー対策・エネルギー管理の徹底や自然エネルギーの導入等を促進する必要がある。自然エネルギー導入の一例として通風があげられる。外気冷房やナイトページを目的として通風を行うことにより、冷房負荷を削減できることが分かっている。また、外気温湿度・室内温湿度・雨センサー等を兼ね備えた自動開閉窓を用いることにより、通風を制御することが可能である。既往研究では、高断熱土壁住宅を対象として、自動開閉窓の省エネルギー性と室内環境改善効果に関する研究<sup>1)</sup>や、最適制御方法に関する研究<sup>2)</sup>が行われている。

本研究では自動開閉窓に関する数値シミュレーションを行い、省エネルギー効果や快適性を十分に得られるための必要な通風量や開口面積の検討を行う。また将来的な展望として多様な住宅に対応できる必要開口面積の指標作成のために、その一環として簡易的な建物モデルから様々な条件を加えていき、パラメータ感度解析により検討を行う。

## 2. 自動開閉窓に関する数値シミュレーション

### 2.1 自動開閉窓システム

自動開閉窓システムとは、室内外の温湿度センサー・雨センサー等を兼ね備え、その値を閾値としてエアコンと連動して通風を制御するシステムである。外気が通風に適していると制御部が判断した場合に電動ユニットにより自動で窓が開き、外気が通風に適していないと判断した場合には自動で窓が閉まり、必要に応じてエアコンを稼働させる。本研究で用いた自動開閉窓の温度制御図を図1に、湿度制御図を図2に示す。湿度制御を加え高湿外気の流入を防ぐことで、通風を行いつつ室内環境を快適に維持する。

### 2.2 THERB for HAM の概要

本研究では熱・水分・空気連成を考慮した建築全体の温湿度予測ツール THERB for HAM<sup>3)</sup>により、自動開閉

窓による通風について分析を行う。THERB for HAMは、多居室を対象とした空間温湿度・躯体温湿度・体感指標 (PMV)・暖冷房熱負荷の動的計算ソフトである。自然通風量はネットワークエアフローモデルにより算出する。

## 3. 簡易的なモデルを対象とした通風効果解析

### 3.1 単居室モデルの概要

本章で数値シミュレーションに用いる単居室モデルの詳細を図3に示す。床面積 63 m<sup>2</sup>、天井高 2.4mの単純直方体型の居室をもち、4面の各外壁の中心に窓が設置されている。その一部分を通風用の自動開閉窓として計算を行う。断熱性能はUa値=0.4とする。

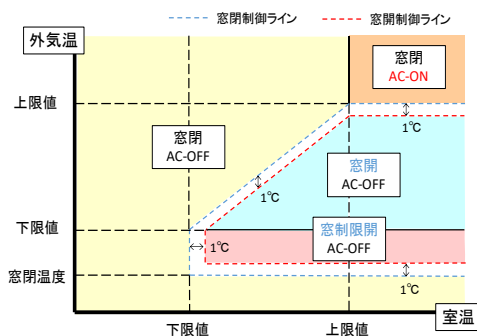


図 1. 温度制御図

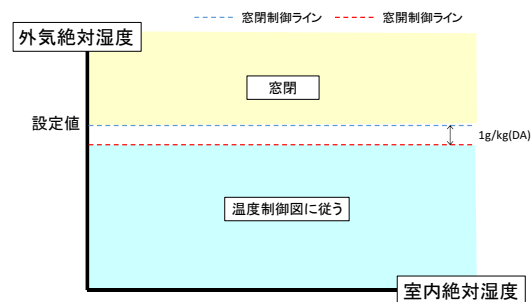


図 2. 湿度制御図

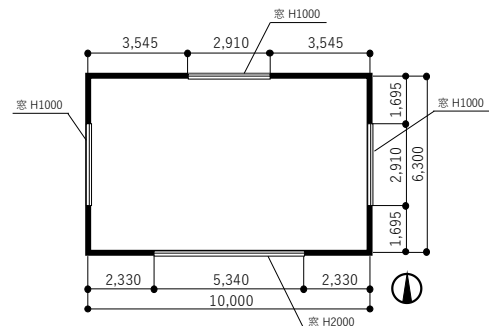


図 3. 単居室モデルの詳細

### 3.2 窓配置による通風量の傾向分析

#### 3.2.1 計算内容および条件

通風効率に関わる重要な要因の1つとして窓配置があげられる。通風効率の良い窓配置と悪い窓配置を把握するため以下のような解析を行った。

単数室モデルの四方の窓に同面積の自動開閉窓を設置し、0(閉)・1(0.5 m<sup>2</sup>開)・2(1 m<sup>2</sup>開)・3(1.5 m<sup>2</sup>開)・4(2 m<sup>2</sup>開)の窓開段階を設定する。四方の窓が合計で8段階となるように組み合わせ、16方位から風を与え、16方位分の風から得られた合計通風量を算出する。

#### 3.2.2 計算結果

表1に解析結果を示す。結果から表2に示すように通風効率の良い窓配置をModel-A, Model-Bとし、悪い窓配置をModel-D, Model-Eとした。また四方に均等に窓を配置するModel-Cを比較対象とし、5種類の窓配置モデルを次節の通風効果解析に用いる。

表1. 窓配置と通風量の解析結果

窓開段階		通風量	窓開段階		通風量	窓開段階		通風量	窓開段階		通風量	窓開段階		通風量	
南	西	北	東	南	西	北	東	南	西	北	東	南	西	北	東
0	4	4	4	0	4	3	13832	0	4	2	14624	0	4	1	15881
1	4	3	13243	0	3	4	13091	0	3	3	14069	0	3	2	15486
3	4	13141	0	4	2	13757	0	2	4	12549	0	2	3	14084	
4	2	13206	1	3	3	14180	0	4	1	15181	0	1	4	13118	
2	3	13379	2	4	13168	1	2	2	15444	0	4	0	15881		
2	4	13216	4	1	13757	1	2	3	14333	0	3	1	16249		
4	1	13243	2	3	2	14693	1	4	1	13172	1	2	2	15456	
3	2	13379	2	3	2	14659	4	0	14624	1	1	3	14198		
2	3	13626	1	4	13872	3	1	1	15444	0	14	13169	0	3	13233
1	4	13719	4	0	13832	2	2	2	15363	3	0	0	15486		
4	0	13364	3	1	14180	1	1	3	14659	2	2	1	15456		
3	1	13141	3	2	2	14659	0	4	13223	1	1	2	14704		
2	2	13216	1	3	14903	3	0	1	14069	0	3	3	13393		
1	3	13719	0	4	13722	3	2	1	14333	2	0	1	14084		
0	4	13438	3	0	13091	3	1	2	14659	3	1	1	14198		
			4	2	1	13168	0	3	13630	0	2	3	13393		
			4	1	2	13872	2	0	15444	4	1	0	13118		
			0	3	13722	4	1	1	13172	4	0	1	13169		
						0	2	13223	0	2	13223				

表2. 検討窓配置モデルと基準自動開閉窓面積

	自動開閉窓配置比				基準自動開閉窓面積 [m <sup>2</sup> ]				計
	南	西	北	東	南	西	北	東	
Model-A	③	①	③	①	0.54	0.18	0.54	0.18	1.44
Model-B	①	-	①	-	0.72	-	0.72	-	
Model-C	①	①	①	①	0.36	0.36	0.36	0.36	
Model-D	-	①	②	①	-	0.36	0.72	0.36	
Model-E	②	①	-	①	0.72	0.36	-	0.36	

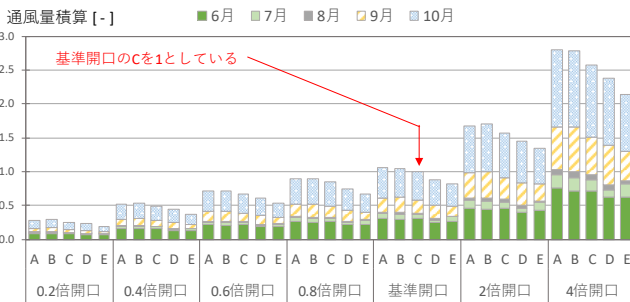


図4. 通風量積算

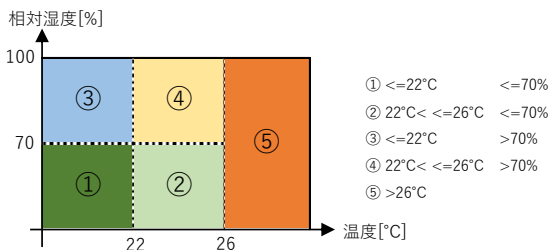


図5. 快適性評価方法

### 3.3 通風時の室内快適性および省エネルギー効果解析

#### 3.3.1 計算内容および条件

単数室モデルを用いて自動開閉窓を5種類の配置方法で導入した場合の通風効果の検証を行う。表2に5種類のモデルの自動開閉窓面積を示す。これを基準面積とし0.2倍, 0.4倍, …4倍と開口倍率を与え、段階的に窓面積を変化させて得られる通風効果の傾向を分析する。計算期間は6月~10月とし、計算地域は東京として標準年拡張アメダス気象データ(2001~2010年)を用いる。自動開閉窓は図1の温度上限値を26°C, 下限値を22°C, 窓閉温度を18°C, 図2の湿度設定値を12g/kg(DA)とする。

#### 3.3.2 計算結果

各ケースの5カ月で得られた通風量の積算を図4に示す。基準開口面積のModel-Cで得られた積算値を1としている。開口倍率が大きくなるほど通風量が得られ、また窓配置では前節の解析結果の通り、Model-AやBが多く通風量を得られていることが分かる。

本報では快適性評価方法として通風による室温低下と高湿外気の流入を考慮し室内環境を図5のように5つに分け、室内温度26°C以下かつ相対湿度70%以下に属する時間の長さを快適時間率として算出する。各ケースの室内環境の分布と快適時間率を図6に示す。開口倍率が小さい場合に①の分布が多くなり、かつ窓開時間が長い。通風量が不十分で排熱に時間を要していることが分かる。開口倍率が大きくなると①の分布が少なくなり快適時間率も上昇する。また、各ケースの期間熱負荷と負荷削減率を図7に示す。通風量が大きくなるにつれて負荷削減率が上昇していることが分かる。

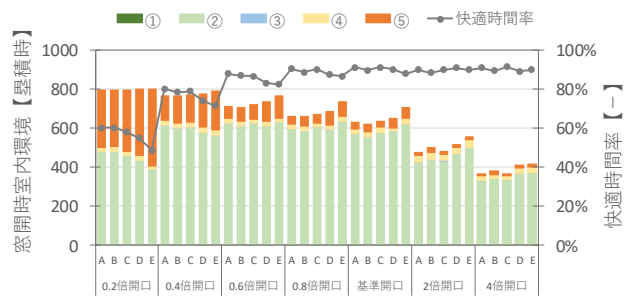


図6. 通風時の室内環境の分布

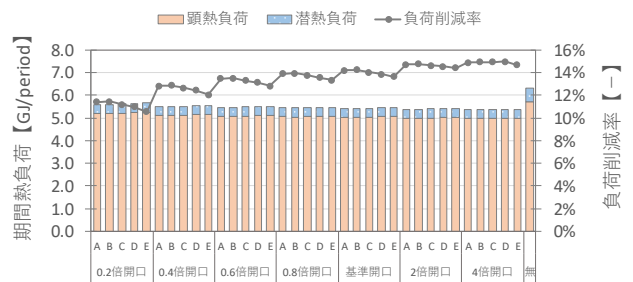


図7. 期間熱負荷と負荷削減率

表 3. 地域毎の必要開口面積と算出式

地域	地域区分	夏期 平均風速	回帰式		y=5	必要開口面積【m <sup>2</sup> 】	順位
			y:換気回数	x:開口倍率			
東京	6	1.74	y= 5.6679x-0.3924		0.951	1.370	10
秋田	4	2.49	y= 7.6146x-0.2328		0.687	0.990	4
長野	4	1.98	y= 6.8665x+0.2124		0.697	1.004	5
山形	4	1.33	y= 5.2405x-0.1013		0.973	1.402	11
新潟	5	2.51	y= 8.279 x-0.6386		0.681	0.981	3
富山	5	2.07	y= 7.3855x-0.2635		0.713	1.026	6
宇都宮	5	1.65	y= 5.8754x-0.2609		0.895	1.289	9
横浜	6	2.58	y= 7.7698x-0.9488		0.766	1.103	7
名古屋	6	2.18	y= 8.8571x-0.848		0.660	0.951	2
京都	6	1.43	y= 5.1223x-0.1659		1.008	1.452	12
久留米	6	2.43	y= 7.7585x-0.1114		0.659	0.949	1
福岡	7	1.98	y= 6.4892x-0.2357		0.807	1.162	8
高知	7	1.47	y= 4.6658x+0.0845		1.054	1.517	13

表 4. 建物モデル毎の必要開口面積と算出式

建物モデル	回帰式		y=5	必要開口面積【m <sup>2</sup> 】	
	y:換気回数	x:開口倍率			
単数室モデル		y= 5.6679x-0.3924	0.951	1.370	
多数室 モデル	2室-A	内扉を 閉める	y= 5.0168x+0.0206	0.993	1.429
	2室-B	内扉を 開ける	y= 5.1272x-0.003	0.976	1.405
	4室	内扉を 開ける	y= 5.054 x+0.2044	0.949	1.366
	2室-A	内扉を 閉める	y= 4.1749x-0.0134	1.201	1.729
	2室-B	内扉を 閉める	y= 4.2712x+0.002	1.170	1.685
	4室	内扉を 閉める	y= 4.367 x+0.0084	1.143	1.646

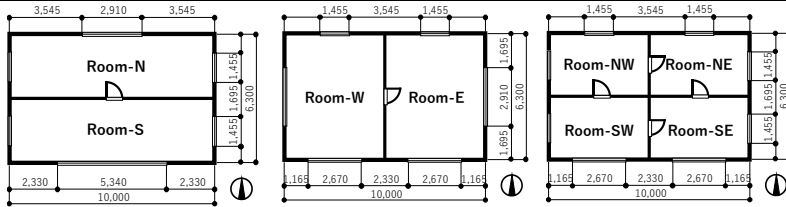


図 11. 多数室モデル(左:2室-A 中:2室-B 右:4室)

### 3.4 必要通風量および必要開口面積の検討

窓配置ごとに開口倍率を段階的に変化させた場合の快適時間率および負荷削減率とその時の換気回数の相関を図 8, 図 9 に示す。窓配置ごとに得られる換気回数は異なるが、快適時間率や負荷削減率はおおむね 5 回/h の換気量を超えると上昇が緩やかになる傾向が見られるため、必要通風量は 5 回/h であると言える。

次に窓配置ごとの開口倍率と換気回数の相関を図 10 に示す。窓配置ごとに線形近似式(y:換気回数, x:開口倍率)を得ると相関係数 R<sup>2</sup>>0.99 となり強い正の相関が確認できる。これより y=5 を解くことで換気量が 5 回/h となるための必要開口面積を算出できる。表 3 に窓配置 Model-C の東京の必要開口面積および他の 12 地域を同様の手順で検討した場合の必要開口面積を示す。地域による傾向として、夏期平均風速が大きい地域は少ない開口面積で通風効果を得られることが分かる。

## 4. 多数室モデルを対象とした通風効果解析

### 4.1 多数室モデルの概要

本章では単数室モデルを内壁や内扉で分割し、内部通気抵抗を生じさせた多数室モデルで前章同様の分析を行う。3種類の多数室モデルの平面図を図 11 に示す。室容積や躯体構成、外皮性能は単数モデルと同様で、内壁がある場合は窓も等分割している。

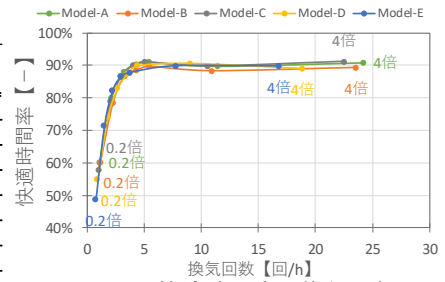


図 8. 快適時間率と換気回数

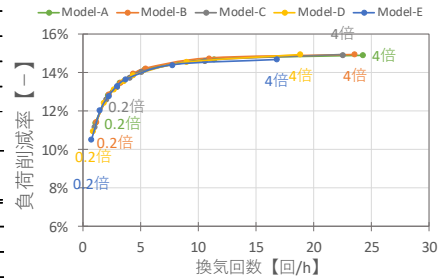


図 9. 負荷削減率と換気回数

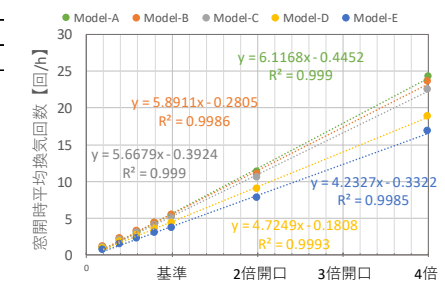


図 10. 開口倍率と換気回数

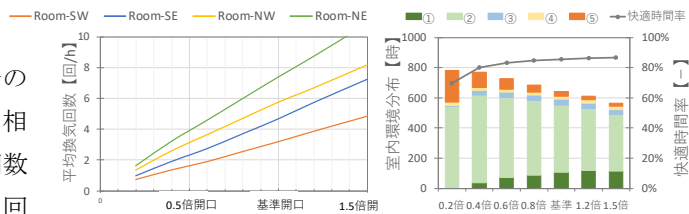


図 12. 開口倍率と換気回数 (部屋別)

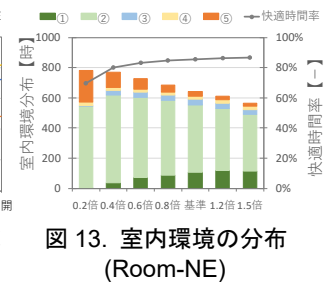


図 13. 室内環境の分布 (Room-NE)

### 4.2 必要開口面積の検討

前章と同様の手順で算出した必要開口面積を表 4 に示す。計算地域は東京で、窓配置は Model-C の結果である。内壁等の影響で通風効率の低下が懸念されるが、内扉を開放している場合は単数室モデルとおおむね同等の必要開口面積となった。しかし、内扉を閉める場合は通風効率が下がり開口面積を増やす必要がある。

また、4室モデルにおける開口倍率と換気回数の部屋ごとの相関を図 12 に、北東の部屋の室内環境分布を図 13 に示す。卓越風や部屋位置等の影響で得られる換気量に大きく差があり、通風量の多い北東の部屋では①や③の占める割合が大きくなり、過冷却が起きていることが分かる。これらより多数室モデルでは卓越風等の地域特性や部屋位置を考慮しながら、部屋別に窓開閉制御を行うことや、開口面積の再検討を行う必要があると言える。

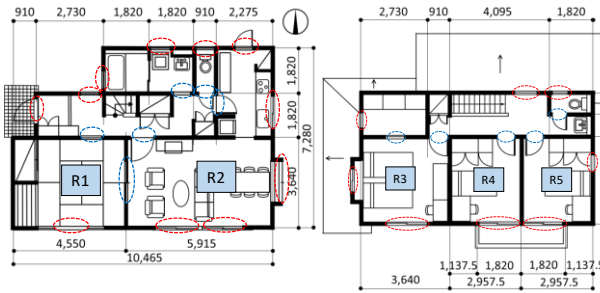


図 14. 標準住宅モデル(左:1階 右2階)

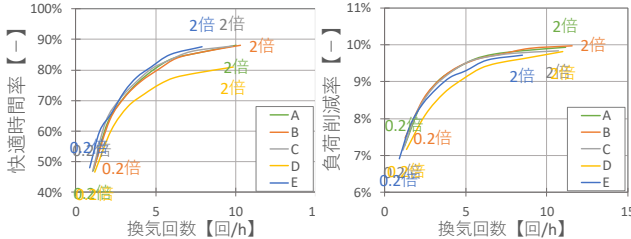


図 15. 換気回数相関(左:快適時間率 右:負荷削減率)

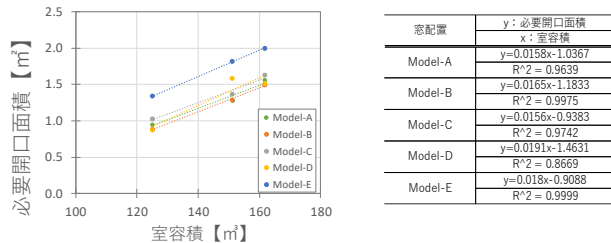


図 16. 室容積と必要開口面積(左:相関図 右:算出式)

## 5 標準住宅モデルを対象とした制御方法の提案

### 5.1 建物モデルの概要

前章では多数室モデルにおいて、内扉を開けていれば単数室モデルとおおむね同様の必要開口面積であることが分かった。本章ではより実在的な建物において分析を行い、その効果を確認する。本章で用いる標準住宅モデルを図 14 に示す。赤丸で示す箇所に自動開閉窓を設置し、青丸で示す箇所には内扉を設置する。

### 5.2 必要開口面積の検討および今後の展望

3章と同様の手順で必要開口面積を算出する。窓配置毎に快適時間率および負荷削減率と換気回数の相関を図 15 に示す。おおむね 5 回/h の換気量が目安となり単数室モデルで得られた知見が実在的なモデルでも有効であると言える。また 1 階と 2 階それぞれで必要開口面積を算出し、単数室モデルの結果を含めて室容積との相関をとると、図 16 に示すように強い相関が見られる。必要開口面積を求める指標となり得るため、今後の展望としてさらに多様な建物において検討を行い、信頼性を高める必要がある。

### 5.3 個別制御手法の分析と提案

多数室の建物において通風時にすべての窓や内扉を開放する全室制御方法は現実的でない。また前章で論述したように、全室制御方法は部屋によっては室内環境が悪化する危険性がある。そこで、部屋毎に個別に自

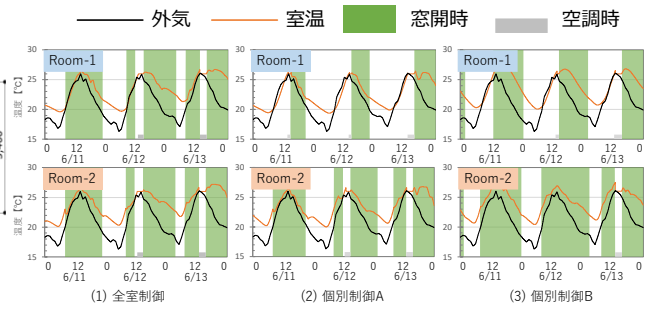


図 17. 温度の経時変化と窓開時・空調時

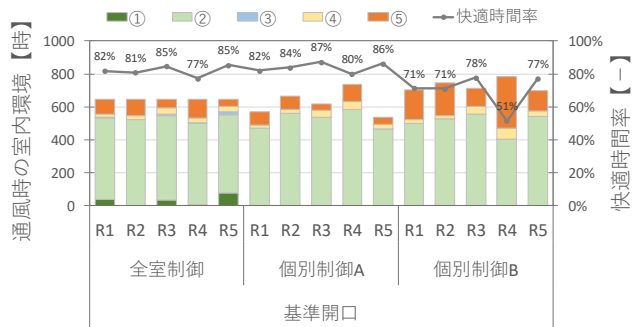


図 18. 窓開時の室内環境分布と快適時間率

動開閉窓の制御を行う手法を分析する。図 14 に示す R1~R5 のそれぞれの部屋で温湿度を測り、通風の制御を行う。また、個別制御 A は通風条件時にその部屋の内扉を開ける制御手法、個別制御 B は扉を常に閉じる制御手法として全室制御手法と比較を行う。

R1, R2 の温湿度の経時変化を図 17 に示す。個別制御ではそれぞれの部屋で必要に応じて窓開閉制御が行っている。個別 B は窓開時に室温低下が他の制御より緩やかで窓開時間が長い傾向が見られる。各部屋の窓開時の室内環境の分布を図 18 に示す。全室制御で見られた高温化や低温化を個別制御 A では防ぐことができ、快適時間率が高くなった。個別制御 B は高温域の割合が高く通風量が不十分であるため、内扉を閉じる場合は開口面積を大きくする必要がある。現状、多数室モデルにおいては個別制御 A の手法が有効であるといえる。

## 6 むすび

本研究では数値シミュレーションにより自動開閉窓の通風効果を室内快適性および省エネルギー性の観点から評価を行い、様々な条件下において通風効果を得られるための必要換気量および必要開口面積を明らかにした。また標準住宅モデルにおける個別制御手法の有効性を明らかにした。

### 参考文献

- 1) 田安未奈, 尾崎明仁, 大浦豊, 村松奈美, 李明香: 高断熱土壁住宅における温度自動開閉窓の省エネルギー最適制御に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 54 号, pp221-224, 2015 年 3 月
- 2) 田安未奈, 尾崎明仁, 李明香, 大浦豊, 村松奈美, 真方翔: 自動開閉窓の最適制御方法および室内快適性に関する研究その 1, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 56 号, pp281-284, 2017 年 3 月
- 3) 尾崎 明仁: 熱・水分・空気連成を考慮した建築の温湿度・熱負荷計算, Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan, pp.19-26, 2005