

建物における開口部の開放が 夏期の室温と冷房負荷に及ぼす影響

源城かほり*

Effect of Opening Openings in Buildings on Room Temperature and Cooling Load in Summer

by

Kahori GENJO*

The objective of this study is to clarify the effect of opening openings in buildings on room temperature and cooling load in summer with numerical calculation method. Numerical simulation was carried out for two rest rooms with different opening conditions of a western-style building in Nagasaki City using multi-zone heat calculation program TRNSYS. In addition, by examining the western-style building located in Nagasaki City where the passive design methods are adopted, the effects of passive cooling methods such as window opening were clarified.

Key words : *building, opening, room temperature, cooling load, decarbonization*

1. 目的

地球温暖化問題の深刻化を背景として、日本でも2021年5月26日に改正地球温暖化対策推進法が成立し、2050年までの脱炭素化社会の実現に向けて、再生可能エネルギーなど脱炭素電源の最大限の活用が不可欠となっている。これに先だって、2021年4月には2050年にカーボンニュートラルを実現するために、2030年度における温室効果ガス排出量を2013年度比46%削減するという目標が掲げられた。既報のとおり¹⁾、地域の気候風土に合わせて建物をデザインし、利用可能な自然エネルギーを活用して、建物のエネルギー消費量を最小化していくことが重要である。そのためには、庇による日射制御や高低差のある開口による換気や通風といったパッシブデザイン手法を活かした住まい方の工夫が重要であり、その一つとして開口部の開放が挙げられる。本研究では、建物における開口部の開放が夏期の室温と冷房負荷に及ぼす影響について、数値計算を用いて明らかにすることを目的

とする。計算では、建物の窓ガラスや断熱材の仕様を変更し、それらが室温と冷房負荷に及ぼす影響についても検討する。

2. 数値計算の概要

実測を通じて対象建物の室温や負荷を検討する場合、実測時の外気条件のほか、対象建物の断熱気密性能や建物内部の開口部の開閉状況や空調設備の使用状況、在室状況に左右される。数値計算を用いると、建物仕様を変更することができ、標準的な気象条件の下、本研究の目的である開口部の開放が夏期の室温と冷房負荷に及ぼす影響を定量的に評価することが可能である。

2.1 計算プログラム

計算には多数室熱計算プログラム TRNSYS Ver. 16²⁾を用いる。TRNSYSはアメリカWisconsin大学の太陽エネルギー研究所(1975年3月)で開発された、モジュール方式を持つ構造的なシミュレーションプログラムで

令和3年6月29日受理

* システム科学部門 (Division of System Science)

あり、空調システムの動的挙動を精密に計算、分析する際に用いられ、現在世界中で最も利用されている動的シミュレーションプログラムである。モジュール方式とは、シミュレーション対象システムの各要素機器をモジュール化し、それらを「TYPE」と定義される基本的なモジュールの入出力関係を記述することにより、空調システムのシミュレーションモデルを構築する方法である。TRNSYS LIBRARYには、様々な機器のモジュールがあらかじめ用意されており、ユーザはこれらの入出力をTRNSYSに規定されたフォーマットで接続するだけで、さまざまなシステムをシミュレートすることができる。

2.2 計算対象建物

長崎市に現存する洋館の一つである南山手レストハウス(延床面積 178 m²)を計算対象建物とした。既報のとおり³⁾、この建物を対象とした熱空気環境に関する実測を2018年9月25日から10月5日までに実施している。しかし、実測では外気温度や外部風速といった外気的气象条件に左右されたため、ここでは数値計算を用いて検討する。

計算では、対象建物の一部である休憩室2室(休憩室1, 休憩室2)及び隣接する廊下の3室を対象として計算建物モデルを作成する。Fig. 1に計算モデルの平面構成(1階部分)を、Fig. 2に3D化した計算モデルをそれぞれ示す。計算モデルにおいて、room 1が休憩室1, room 2が休憩室2, room 3が廊下をそれぞれ表している。計算モデルでは、計算をシンプルに行うために、実際の平面構成とはやや異なる部分があり、実測していない別の2つの休憩室や事務室等は省略している。また、計算モデルにて対象建物を再現する際の仕様として、屋根裏空間を2階部分として作成している。計算モデルでは、実在する建物の寸法を使用している。

計算モデルの建物外皮及び躯体に用いた材料と物性値をTable 1に示す。壁体構成には対象建物と同様、外壁を石造とし、床はコンクリート造、屋根は瓦とした。なお、この計算モデルでは建物の状況を反映させ、無断熱としている。

2.3 計算因子

(1) 換気

開口部を開放しているか、閉鎖しているかにかかわらず、建物全体に分布している微小な隙間から自然換気が行われているため、計算対象の全室(廊下を除く)で常時換気が行われているものとする。各室の換気回数は建築基準法に倣って0.5回/hと設定する。なお、

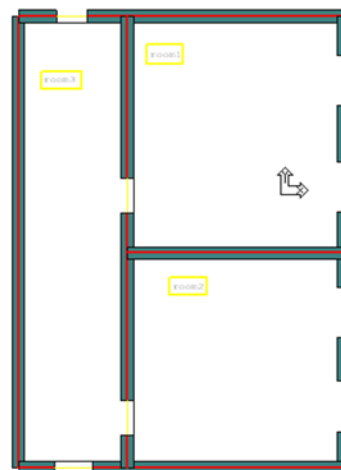


Fig. 1 計算モデルの平面構成(1階部分)

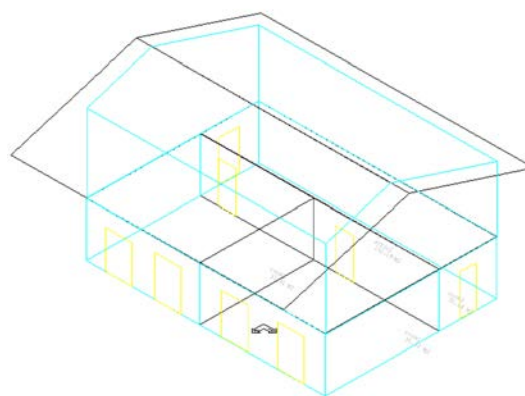


Fig. 2 3D化した計算モデル

Table 1 建物外皮及び躯体に用いた材料と物性値

部位	材料名	厚さ(mm)	熱伝導率(kJ/h・m・K)	比熱(kJ/kg・K)	密度(kg/m ³)
外壁	石膏ボード	10	2.62	0.84	1600
	花崗岩	100	7.82	3.08	2750
	空気層	1	—	—	—
	花崗岩	100	7.82	3.08	2750
屋根	石膏ボード	10	2.62	0.84	1600
	コンクリート	100	4.8	0.92	2002
	モルタル	6	5.04	1	2000
	瓦	50	3.37	0.92	2010
床	合板	20	0.54	1.2	800
	コンクリート	100	4.8	0.92	2002
間仕切り壁	石膏ボード	50	2.62	0.84	1600
	石膏ボード	50	2.62	0.84	1600

休憩室2においては10:00~17:00の在室者がいる時間帯のみ窓を開放している条件としているため、その時間帯のみ休憩室2の換気回数は5回/hに設定し、それ以外の時間帯は0.5回/hと設定する。

(2) 空調

冷暖房は廊下では非運転(OFF)とし、休憩室2室のみで一年を通して運転(ON)するものとし、設定温度は暖房20℃、冷房28℃とする。暖房は室内温度が20℃を下回った時に作動し、冷房は室内温度が28℃を上回っ

た時に作動する。但し、冷暖房の設定を行うと室内温度が 20℃、28℃に統一されてしまうため、自然室温の計算を行う場合には冷暖房は非運転(OFF)とする。

(3) 内部発熱スケジュール

照明、在室者による内部発熱条件を休憩室 2 室に設定する。対象建物は 10:00～17:00 の間は外部に開放されているため、照明と常駐管理人あるいは来館者 1 人分の発熱が同時間帯に発生しているものを仮定した。時刻別の内部発熱スケジュールを Fig. 3 に示す。図に示すとおり、TRNSYS における発熱量の単位は kJ/h である。なお、内部発熱スケジュールは 1 年を通じて同一とした。

(4) 計算対象地点と対象年

計算対象地域は長崎である。気象データには、拡張アメダス気象データの標準年(2000年)を用いる⁴⁾。計算対象地点の緯度は 32.73°、経度は 129.87°、標準時(明石)との差は 4.72° である。

(5) 断熱仕様

先に示した通り、現状の建物は無断熱と考えられるが、対象建物の外壁に断熱材を施した場合についても計算する。いうまでもないが、断熱材を施すことで、室内温熱環境の改善を図ることができる。断熱材の種類はグラスウール(GW)とし、外壁及び床に内断熱工法にて設置する。断熱性能については平成 28 年省エネルギー基準⁵⁾に準拠することとする。長崎は当該省エネルギー基準の地域区分で 6 地域に該当している。外壁及び床断熱時の躯体の設定条件を Table 2 に示す。なお、断熱なしの条件ではグラスウールがなくなるだけで、他の壁体構成は同じである。

(6) 開口部(窓ガラス)仕様

Low-E 複層ガラスは遮熱性に優れた夏期向けのものと同断熱性に優れた冬期向けのものがある⁶⁾。開口部は 2 室共に方位は東にある。窓ガラスの枚数と種類は基本モデルでは単板、普通ガラスとするが、省エネルギーを図る条件では Low-E 複層ガラスとする。本計算で用いる Low-E 複層ガラスは熱貫流率 $U = 2.53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、日射熱取得率 $\eta = 0.567$ であるが、これは TRNSYS の中で選択できる Low-E 複層ガラスの中でも、最も遮熱性の高いものである。

2.4 計算条件

Table 3 に示すとおり、断熱と Low-E 複層ガラスの有無の異なる 3 つの計算条件を設定した。自然室温条件を条件 1、外壁・床に断熱材を施した条件を条件 2、条件 2 に加えて窓ガラスを Low-E 複層ガラスに変更した条件を条件 3 とする。なお、断熱材、Low-E 複層ガ

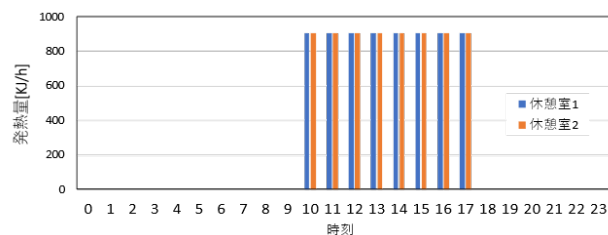


Fig. 3 照明、在室者による時刻別内部発熱スケジュール

Table 2 外壁及び床断熱時の躯体の設定条件

部位	材料名	厚(mm)	熱伝導率(kJ/h・m・K)	比熱(kJ/kg・K)	密度(kg/m ³)
外壁	石膏ボード	10	2.62	0.84	1600
	グラスウール	450	0.60	0.87	16
	花崗岩	100	7.82	3.08	2750
	空気層	1	—	—	—
	花崗岩	100	7.82	3.08	2750
床	合板	20	0.54	1.20	800
	グラスウール	450	0.60	0.87	16
	コンクリート	100	4.80	0.92	2002

Table 3 計算条件

	断熱	Low-E複層ガラス
条件1	なし	なし
条件2	あり	なし
条件3	あり	あり

ラスの設定については前項で述べたとおりである。

条件 1 は、断熱材がなく、Low-E 複層ガラスも設置されていない、現状の建物に近い条件となっている。それに対し、条件 2 では対象建物の断熱性能が平成 28 年省エネルギー基準の 6 地域に準拠した性能であった場合を想定している。さらに、条件 3 では条件 2 で想定した断熱性能に加え、窓ガラスを Low-E 複層ガラスに変更して開口部の遮熱性能を向上させた場合を想定している。

開口部の開閉条件は、休憩室 2 の開口部は 10:00～17:00 の間開放し、休憩室 1 の開口部は閉鎖して、開口部の開放が室内温熱環境に及ぼす影響を調査する。なお、各室と廊下の扉は終日閉鎖した。

3. 計算結果

室温は夏期 10 日間(8月1日～8月10日)を対象として計算し、条件ごとに比較する。また、冷房負荷は夏期 1 週間(8月1日～8月7日)を対象として計算された冷房負荷を、エアコンの成績係数(3.0)で除した週当たりのエネルギー消費量を条件ごとに比較する。

3.1 夏期の室温

各条件下での夏期における 2 室の温度及び外気温度

の時刻別変動を Fig. 4 から Fig. 6 に示す。条件 1 において、Fig. 4 より、開口部開放時間帯である 10:00～17:00 において、2 室の温度にはほとんど差がないが、外気温度が日中より涼しい午前中は、休憩室 2 の室温が僅かに低くなっている。Fig. 5 より、条件 2 においては開口部開放時間帯における休憩室 2 の温度低下の幅が Fig. 4 に示した条件 1 のそれより大きいことがわかる。この理由として、条件 2 では条件 1 に比べ建物の断熱性能が向上しているため、開口部開放時間帯における室温と開口部を開放していない時間帯における室温の差がよりはっきりと表れるようになったと考えられる。条件 3 においては、Fig. 6 より、条件 2 よりも開口部開放時間帯の 2 室の温度差が大きくなっている。また、条件 2 よりも 2 室とも一日を通じて温度は上昇しているが、休憩室 2 の方が休憩室 1 に比べ、開放時間帯における室温が 0.2℃ほどではあるが低いことがわかる。このことから、断熱及び遮熱性能を向上させた条件の下では、開口部の開放は、非空調時、夏の室温を僅かながら低下させる効果があることがわかった。したがって、内部風速をある程度得られればパッシブクーリング手法として有効である可能性がある。

3.2 冷房負荷

条件 1 での冷房負荷を 100.0%としたときの条件別の冷房負荷の比較を Table 4 に、週当たりの冷房エネルギー消費量を Fig. 7 に示す。

Table 4 より、条件 1 の冷房負荷を 100%とした場合に、条件 2、条件 3 となるにつれて冷房負荷の割合が減少していることがわかる。条件 3 では条件 1 と比較して休憩室 1 では 39.0%、休憩室 2 では 14.6%ずつ、それぞれ冷房負荷が減少している。このように、開口部を開放した休憩室 2 に比べ、開口部を閉鎖した休憩室 1 の方が冷房負荷の削減率が大きくなっている。

Fig. 7 より、夏期における週当たりの冷房エネルギー消費量は、開口部を閉鎖していた休憩室 1 においては、条件 1 では 28.6 MJ/week であったが、条件 2 の断熱性能を向上させた場合には 21.2 MJ/week に、条件 3 の断熱・遮熱性能を向上させた場合には 17.5 MJ/week に減少しており、条件 3 の場合、条件 1 に比べて 1 週間で 11.2 MJ/week 削減されている。一方、開口部を開放していた休憩室 2 においては、条件 1 では 39.1 MJ/week であったが、条件 2 の断熱性能を向上させた場合には 38.2 MJ/week に、条件 3 の断熱・遮熱性能を向上させた場合には 33.5 MJ/week に減少しているが、条件 3 の場合、条件 1 に比べて 1 週間で 5.6

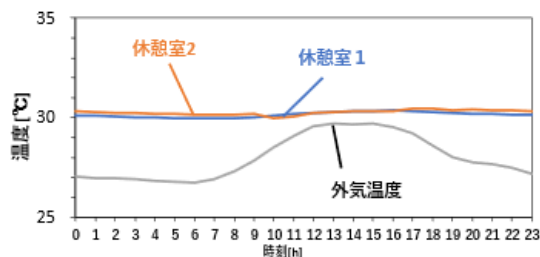


Fig. 4 室内及び外気温度の時刻別変動(条件 1)

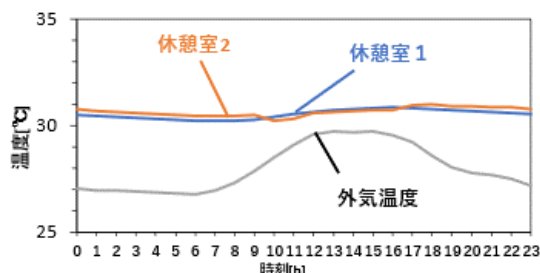


Fig. 5 室内及び外気温度の時刻別変動(条件 2)

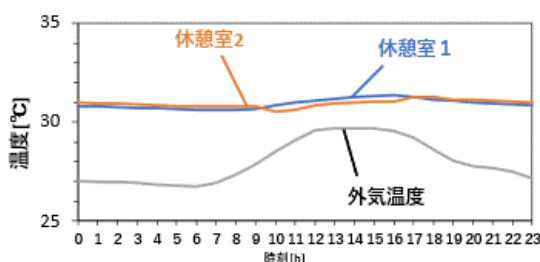


Fig. 6 室内及び外気温度の時刻別変動(条件 3)

Table 4 夏期の休憩室 2 室における条件別冷房負荷

	条件1	条件2	条件3
休憩室1	100.0	74.1	61.0
休憩室2	100.0	97.9	85.7

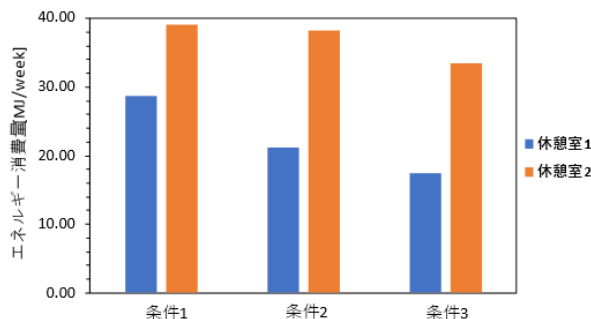


Fig. 7 夏期の休憩室 2 室における条件別冷房エネルギー消費量

MJ/week しか削減されておらず、断熱・遮熱による冷房エネルギー削減効果は開口部を閉鎖した休憩室 1 に

比べ半減している。このように、開口部を開放した休憩室2では、開口部を閉鎖した休憩室1に比べ、断熱による冷房エネルギー消費量の削減効果が小さい。逆の見方をすれば、開口部を開放した場合、条件1の断熱なしでは10.5 MJ/week、条件2の断熱ありでは17.1 MJ/week、条件3の断熱・遮熱ありでは16.0 MJ/weekも冷房エネルギー消費量が増加している。

コロナ禍において、窓開放により換気しながら冷房運転される住まい方がニューノーマルとなっているが、開口部を開放した休憩室2の方が換気は確保されるものの、その冷房エネルギー消費量は開口部を開放していない休憩室1に比べ37~92ポイント増加が見られたため、開口部開放等のパッシブクーリング手法を取り入れる際の冷房使用においては冷房エネルギーの増大に注意が必要である。

4. まとめ

建物における開口部の開放が夏期の室温と冷房負荷に及ぼす影響について、長崎市内の洋館を対象として、数値計算手法を用いて断熱・遮熱性能を変更させることによって検討した。

その結果、開口部を閉鎖した休憩室1と休憩室2を比較すると、夏期における室温は2室とも大差ない結果となったが、開口部を開放した休憩室2の室温は外気温度に左右されるため、外気温度や外部風速等の外気条件次第では休憩室2の方が室温の観点から見て快適性が高くなる可能性があることがわかった。

一方、冷房負荷については、開口部の開放により外

気を取り込む休憩室2の方が休憩室1よりも大きい結果となり、開口部の開放と冷房運転を組み合わせた場合には冷房エネルギー消費量を増加させてしまうことが明らかになった。したがって、開口部開放によるパッシブクーリングにより、冷房エネルギーの増大につながる可能性があるため、冷房運転と開口部開放による換気は組み合わせる場合には注意を要する。

謝辞：本研究は元工学研究科博士前期課程2年岡田和也君の労を多とした。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 岡田和也, 源城かほり: 長崎市の気候特性と洋館におけるパッシブデザイン手法の効果, 長崎大学大学院工学研究科研究報告, 第49巻, 第93号, pp. 72-77, 2019.
- 2) 株式会社クアトロ: TRNSYS日本語マニュアル, 2003.
- 3) 源城かほり, 岡田和也: 長崎市における洋館のパッシブデザイン手法とその効果に関する検討, 日本建築学会九州支部研究報告, 第58号, pp. 405-408, 2019.
- 4) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ, 2000.
- 5) 建築環境・省エネルギー機構: 住宅の平成25年省エネルギー基準の解説, pp. 154-170, 2015.
- 6) 株式会社 井上書院: 最新建築設備工学(改訂版), p. 49, p. 99, 2016.