

1. はじめに

人々は居住や仕事、レクリエーションなど様々な場面で快適な生活環境を求めており、快適な温熱環境の実現は生活の質や生産性、健康を向上につながる。パッシブ手法による快適な温熱環境の形成には気候や自然条件、心理・生理的な人間の多様性など様々な条件に適応していく必要があり、各要素の調整には未だ改善の余地がある。

熱帯地域の自然換気による建物の熱的快適性の研究は、比較的少ないのが現状である。また、すべての温熱快適性研究は、居住者にとって重要であることは間違いないが、熱帯地域で自然換気を行っている建物にとってはその建物の温熱快適性の基準の目安とはなりにくい。これまでの熱的快適性研究の中で、エアコンを使用した建物の熱的快適性の基準が、自然換気を使用した建物では適切でないことが概観されてきた。¹⁾

そこで本研究ではパッシブ手法による環境制御が未だに大半を占めるインドネシアの住宅について通風と断熱、日射遮蔽による室内熱環境の改善について THERB for HAM を用いて検証・評価を行う。

2. インドネシアの気候と建築

2.1 気象条件

インドネシアは18,000以上の島々を持ち、赤道直下の中心に位置しているため、世界最大の熱帯国であり、気候条件はモンスーンに左右される。気候はケッペンの気候区分ではほとんどが熱帯の気候区分である Af、Am、Aw に該当する。

本研究では、LHOKSEUMAWE-MALIKUS の気象データを使用する。LHOKSEUMAWE-MALIKUS は図1の場所に位置しており、緯度 5.185°、経度 97.113° の地点にある。この場所の気候は年間を通じて雲が多く、降水量が多い温暖な地域にある。

THER for HAM におけるインドネシアの気象データについては IWEC2 の気象データを使用する。

2.2 対象地域の住宅の現状

現在、インドネシアの人々の大半は自然換気を利用した住宅に住んでいる。インドネシアの通常のローコスト住宅では、快適性、特に熱的快適性が無視される傾向にあ

り、エアコンの使用は稀である。一般にローコスト住宅は約 36m²~60m²程度の大きさで、使用する家族構成は3~6人である。

3. 既存建物における熱環境評価

3.1 既存住宅モデルの説明

対象建物の計算モデルの断面図と1階平面図を図2、図3に示す。実際の建物では複数の室があるが、本研究では計算を簡易的にするため1階は8m×6m×3mの直方体の居住スペースと2階部分にあたる8m×6m×1.3m直方体の小屋裏部分に分けるものとする。

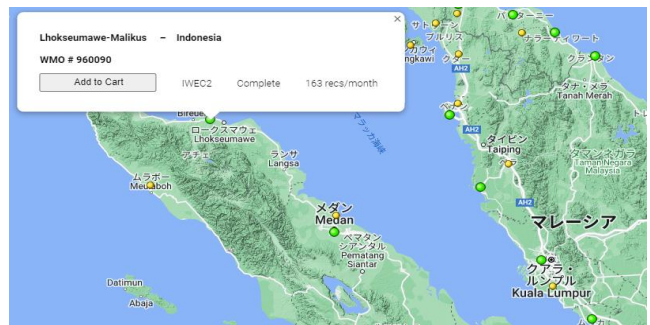


図1 LHOKSEUMAWE-MALIKUS

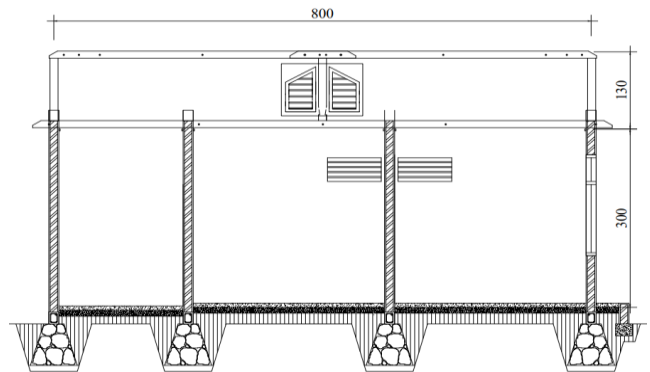


図2 計算モデル断面図

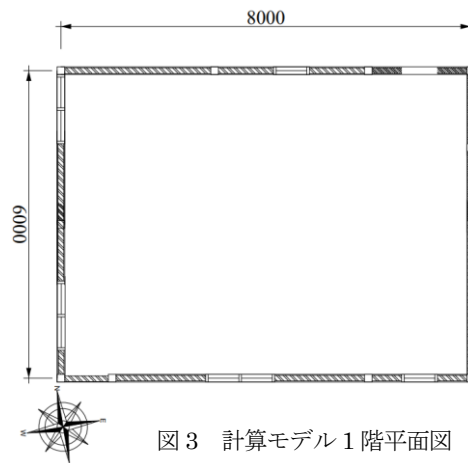


図3 計算モデル1階平面図

3.2 計算方法

THERB for HAM により気温と室内温度と平均放射温度を求め、気温は当該日の前の連続した7日の平均値をとり、平均外気温度とする。

対流熱伝達 h_c [W/m²・°C]を室内風速が0.2m/s以下の時は $h_c=3.1$ 、室内風速が0.2m/s以上の時は $h_c=(8.3 \times \text{室内風速})^{0.6}$ として計算する。さらに、放射熱伝達を4.7[W/m²・°C]としてTHERBで求めた室内温度および平均放射温度を元に作用温度を求める。

作用温度の計算方法は以下の式で求められる。

$$t_0 = \frac{h_c t_a + h_r t_r}{h_c + h_r}$$

t_0 : 作用温度[°C], t_a : 気温[°C], t_r : 平均放射温度[°C],

h_c : 対流熱伝達[W/m²・°C], h_r : 放射熱伝達[W/m²・°C]

換気回数を0回、1回、10回、20回、30回、40回、50回の7パターンで検討した。

各室の換気量、室内風速は表2に示す。

3.3 評価方法

計算して求めた作用温度が Adaptive model²⁾ (適応モデル) の快適範囲に収まっている時間の割合を快適時間率とする。

Adaptive model とは人間の行動的・生理的適応を考慮し、自然喚起下における室内快適温度の範囲が外気平均温度に比例するとしてASHRE55により定義されたモデルである。Adaptive model は表1の基準a~dを全て満たす、居住者が管理する自然空調の空間についてのみ適用することが出来る。また、表1に示すように室内風速により上限値は変化する。

また、28°Cを基準温度として1階の居住スペースの室内温度と差をとり、冷房デGREEデイでも検証する。THERB for HAM では1時間毎に温度を求めるため、基準温度28°Cとの差を積算した値を24で割ることで冷房デGREEデイの値とする。

また、adaptive model に基づいた快適時間率に似た時間率として、室内温度が28°C以下の時間の割合を求める。この割合を本研究では基準時間率と呼ぶ。Adaptive model は外気温によって作用温度の適応範囲が変化するが、この時間率は基準を28°Cで固定するという違いがある。

3.4 計算結果および考察

快適時間率と冷房デGREEデイ、5/17~5/19の室内温度

の経時変化の結果を図5、図6に示す。換気回数が増えれば増えるほど快適時間率が上がりデGREEデイが下がっていることが分かった。既存建物の性能では、換気回数を上昇させると快適時間率は10%程度上がり、冷房デGREEデイは200°C程度下がった。室内温度は下がっているが、大きいところでも1°C程度しか下がらなかった。

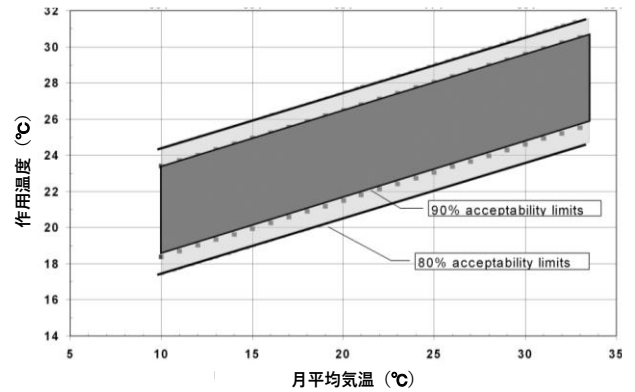


図4 Adaptive Model

表1 基準と補正值

基準a	冷房設備がないこと		
基準b	居住者の代謝量が1.0~1.5metである		
基準c	居住者は着衣を自由に調節できる		
基準d	平均外気温が10°C以上33.5°C未満であること。なお、平均外気温度は当該日の前の7日以上30日以下の連続した日に基づくものとする		
80%許容上限値[°C]	0.31×ta+21.3		
80%許容下限値[°C]	0.31×ta+14.3		
平均風速 [m/s]	0.6	0.9	1.2
補正值 [°C]	+1.2	+1.8	+2.2
備考	局所熱不快感、衣服の断熱性、代謝率、湿度、風速の効果は上限温度の式ですべてに考慮されているため、個別に評価する必要はない。		

表2 換気回数と各室の換気量

換気回数 [回/h]	0回	1回	10回	20回	30回	40回	50回
1階換気量[m ³ /h]	0	144	1440	2880	4320	5760	7200
2階換気量[m ³ /h]	0	62	624	1248	1872	2496	3120

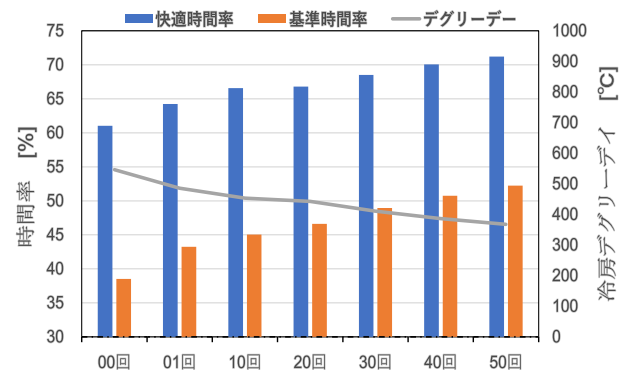


図5 換気回数別の結果

4. 断熱と通風と日射遮蔽による室内熱環境の改善

4.1 計算内容および条件

快適時間率等の評価方法については3.3と同様に行う。

既存住宅に断熱材と日射遮蔽を加えて室内熱環境の改善を目指す。断熱材はフォームポリスチレン断熱材を50mm、100mm、150mmの3パターンを、日射遮蔽は西側の窓をブラインドにして南側の窓に庇を設ける1パターンを加えて検討する。

ここで換気回数0回、1回、10回、20回、30回、40回、50回の7パターンを1~7、断熱材0mm、50mm、100mm、150mmの4パターンを1~4、日射遮蔽の無し、有りの2パターンを1,2と番号付けする。そしてそれぞれのパターンをCase〇-〇-〇とする。例えば換気回数1回、断熱材0mm、日射遮蔽無しの場合はCase2-1-1とし、換気回数50回、断熱材150mm、日射遮蔽有りの場合はCase7-4-2とする。

4.2 計算結果および考察

Case1-1-1、Case1-4-1、Case7-1-1、Case7-4-1の快適時間率と冷房デGREEデイの結果と5/17~5/19の室内温度の経時変化を図7、図8に示す。換気回数が0回の場合は断熱材を増やすと快適時間率が下がっている。換気回数と断熱材をともに増やすと快適時間率が約25%上昇することが分かる。また、Case1-4-1より室内温度が常に高いままで下がらないことが分かる。

Case1-1-1とCase1-4-1を比較すると、断熱材を入れると快適時間率が非常に大きく下がったが、これは室内が換気されないため室内に熱がこもり、温度が下がらなかったためであると考えられる。これは図8でも確認できる。

一方でCase7-1-1とCase7-4-1を比較すると断熱材を入れたほうが快適であるという結果になった。これは換気回数が十分に取れているおかげであると考えられる。

Case7-1-1、Case7-4-1、Case7-1-2、Case7-4-2の快適時間率と冷房デGREEデイの結果と5/17~5/19の室内温度の経時変化を図8、図9に示す。日射遮蔽があるほうが快適であることが分かり、断熱材を入れたほうがより効果が出ていることが分かる。また、断熱材を入れたり日射遮蔽を行ったりすることで室内温度が変化しにくくなり、朝方は暖かく、昼過ぎは涼しくなることが分かった。

換気回数が20回の際は断熱材を増やすほど快適時間率は上がっているが、換気回数が10回の時と比べると換

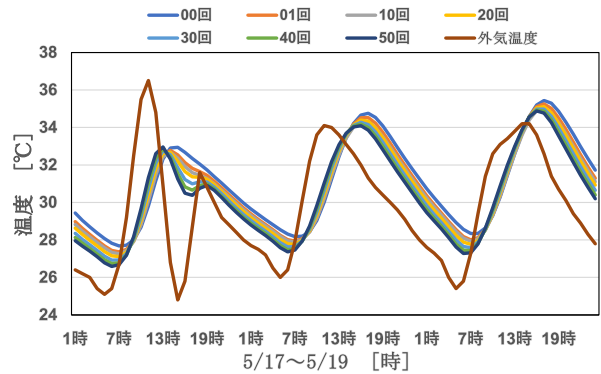


図6 室内温度の経時変化

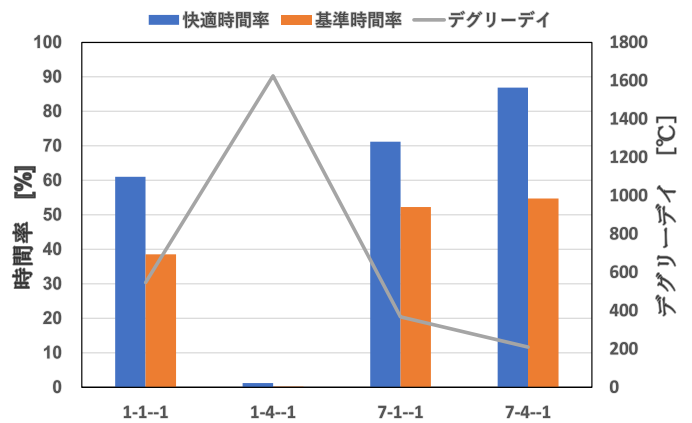


図7 快適率とデGREEデイ

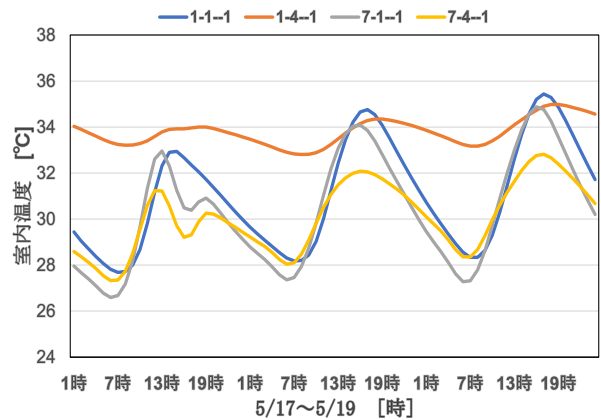


図8 室内温度の経時変化

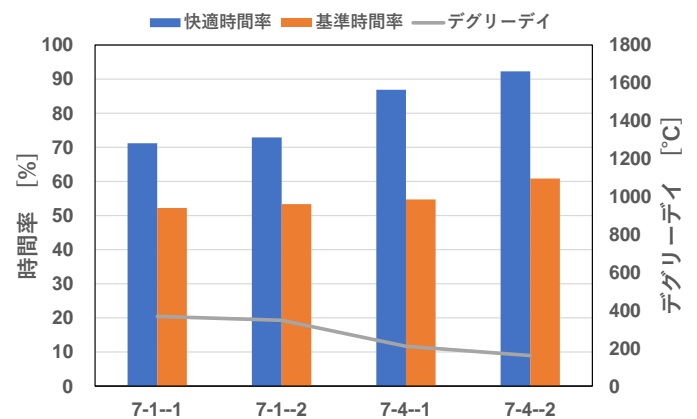


図9 時間率とデGREEデイ

気回数が 20 回の時は快適時間率が下がっている。これは 3.2 で述べた対流熱伝達の計算方法が変わったからであると考えられる。

断熱材を入れたり換気回数を増やしたりするよりも日射遮蔽を設けるほうがより大きな効果が得られているが、インドネシアは赤道直下に位置しているため、日射が強く庇やブラインドを設けることで室内温度の上昇を抑制することが出来たからだと思う。

換気回数が 10 回以上の場合、断熱材が 0mm の時と 50mm の時を比較すると快適時間率が大きく上がっているが、50mm と 100mm、100mm と 150mm を 0mm と 50mm の時と比較すると快適時間率が大きく上がってはいない。50mm の断熱材と日射遮蔽を設けるだけで十分だと感じる人もいると思われるので必ずしも 150mm のほうが良いとは言えない。

4.3 まとめ

全 Case の快適時間率、基準時間率、冷房デGREEデイを表 3 に示す。Case1-1-1 で快適時間率が 61%、基準時間率が 38%、デGREEデイが 547°Cであり、Case2-1-1 で快適時間率が 64%、時間率が 40%、デGREEデイが 510°Cであった。現状でも快適時間率が 60%を超え、デGREEデイが 550°Cを下回る生活環境であることが分かった。開口部の面積を大きくすることで換気量が増え、より快適な生活が出来る。

全 56Case の内、快適時間率が 80%を超えるのが 21Case あり、90%を超えるのが 3Case あった。時間率は 50%を超えるものが 19Case あり、60%を超えるものが 2Case あった。その中でもすべてにおいて一番良い数値となった Case7-4-2 が一番良い Case であると判断できる。また、外部風速が 1m/s の時、1階換気量が約 4800m³/h になり換気回数と比較すると 30 回が一番近く、Case5-2-2 や Case5-3-2 が現実的な Case であると考えられる。

日射遮蔽の影響は換気回数が小さい場合や、断熱材が厚いほうがより差が出る事が分かった。

5. 総括

本研究ではインドネシアの建物において通風・断熱・日射遮蔽により室内熱環境の改善を検討した。換気回数が増えれば室内換気量が増え、快適時間率が増えることが分かった。また、日射遮蔽を行うことでより大きな効果を得られることも分かった。

今後は既存住宅モデルのように複数の室がある建物に

おいて検証を行い、より正確な値を求める必要がある。また、インドネシアにおいて汎用性を高めるためには、8 つの統合的気候ゾーンの内、本研究で行った 1A 以外の 7 つの気候ゾーンで行う必要がある。

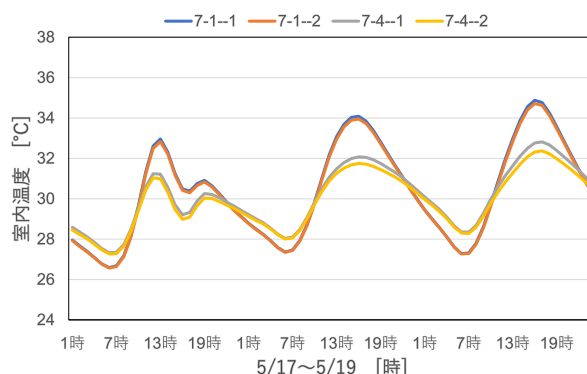


図 9 室内温度の経時変化

表 3 全 Case の結果

パターン	快適時間率 [%]	基準時間率 [%]	デGREEデイ [°C]	パターン	快適時間率 [%]	基準時間率 [%]	デGREEデイ [°C]
1-1--1	61.04	38.53	547	1-1--2	63.09	40.24	510
1-2--1	25.62	3.10	973	1-2--2	38.60	6.62	764
1-3--1	6.61	0.51	1351	1-3--2	18.27	1.30	1042
1-4--1	1.26	0.25	1625	1-4--2	6.73	0.42	1273
2-1--1	64.24	43.25	485	2-1--2	66.25	44.82	454
2-2--1	56.06	20.49	523	2-2--2	68.33	28.02	394
2-3--1	50.98	14.90	575	2-3--2	68.34	24.62	403
2-4--1	47.46	11.96	608	2-4--2	67.71	22.60	414
3-1--1	66.56	45.03	453	3-1--2	68.59	46.52	423
3-2--1	73.62	36.77	339	3-2--2	81.69	44.80	253
3-3--1	75.96	36.38	321	3-3--2	85.85	46.76	224
3-4--1	76.87	36.26	314	3-4--2	87.62	47.56	212
4-1--1	66.81	46.62	442	4-1--2	68.52	48.02	415
4-2--1	69.73	34.61	363	4-2--2	78.46	42.04	276
4-3--1	71.20	32.71	357	4-3--2	81.95	42.80	252
4-4--1	71.76	31.75	356	4-4--2	83.48	43.12	244
5-1--1	68.50	48.94	411	5-1--2	70.33	50.25	386
5-2--1	76.60	43.90	293	5-2--2	83.67	50.22	227
5-3--1	79.16	43.69	274	5-3--2	87.58	52.23	201
5-4--1	80.30	43.90	267	5-4--2	89.16	53.06	190
6-1--1	70.05	50.74	387	6-1--2	71.82	51.90	364
6-2--1	80.44	49.48	258	6-2--2	86.42	54.86	205
6-3--1	83.36	50.47	237	6-3--2	89.89	57.21	180
6-4--1	84.76	50.91	229	6-4--2	91.58	58.10	170
7-1--1	71.21	52.25	368	7-1--2	72.94	53.37	347
7-2--1	82.71	53.25	239	7-2--2	87.84	57.60	194
7-3--1	85.71	51.19	219	7-3--2	91.06	60.02	171
7-4--1	86.89	54.71	210	7-4--2	92.28	60.87	162

【参考文献】

- 1) Muhammad Iqbal, STUDY OF ADAPTIVE THERMAL COMFORT PERFORMANCE ON RESIDENTIAL BUILDINGS IN THE TROPICAL CLIMATE CASE STUDY: HOUSES IN INDONESIA
- 2) ANSI/ASHRAE Standard 55-2020, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy