

屋根形状の違いが小屋裏の自然換気量に及ぼす影響と夏期の排熱効果

準会員○楠元秀規*1 正会員 尾崎明仁*2
 正会員 芳谷忠治*3 同 岩崎祐加*4

4.環境工学—8.熱 環境工学

住宅，小屋裏換気，熱環境，実験住宅，数値シミュレーション

1. はじめに

近年，ストック住宅の活用が重視され断熱改修が進められているが，天井断熱は気密性を保つことが難しく，改修後に予期せぬ結露が発生することがある。そこで，天井断熱では断熱材の適切な施工と共に小屋裏の換気量の確保が重要である。しかし，既往研究¹⁾²⁾において実験や数値シミュレーションを用いた小屋裏換気の性能評価が行われているが，換気方式や屋根形状の違いによる小屋裏の自然換気量の違いや，夏期の排熱効果について体系的に論じられているものは少ない。本研究では，夏期の小屋裏熱環境について，実験棟を用いて自然換気と強制換気における小屋裏熱環境の測定を行い，数値シミュレーションにて屋根形状と換気方式の違いによる小屋裏熱環境の評価を試みた。

2. 実験棟を用いた実測実験

2.1 実測の概要

図1に実験棟の外観，図2~4に立面図と平面図および矩計図を示す。実験は福岡県大野城市に建設された2棟（A棟・B棟）を使用して，小屋裏と室内の空間温度と屋根・天井・壁体の表面温度を実測した。両棟とも延べ床面積70m²の木造1階建て，寄棟屋根である。両棟はA棟の西面とB棟の東面が隣接している。また，小屋裏換気が室内に及ぼす影響を測定するため天井と屋根は無断熱である。表1に実測条件を示す。軒天に有孔ボードを設置し，有効開口面積は約0.4m²確保している。A棟は小屋裏にファンを設置し8時~22時の間480m³/hの換気を行った。

2.2 実測結果

図5に2014年9月8日~9日における両棟の小屋裏と室内の空間温度を示す。9日の小屋裏温度について，最高温度は14時ごろにA棟が46.4℃，B棟が47.6℃



図1 実験棟外観

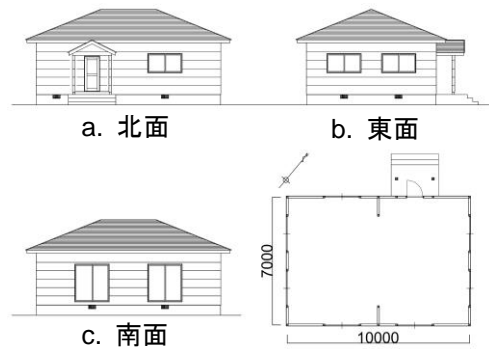


図2 立面図

図3 平面図

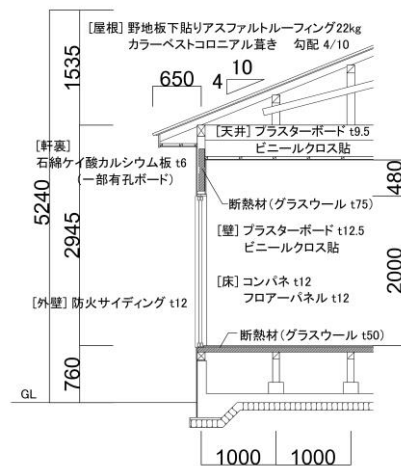


図4 矩計図

表1 実測条件

測定日	2014年7月31日~10月9日	
測定場所	福岡県大野城市	
換気方式	A棟	B棟
	強制換気 ・480m ³ /h(約7回) ・動作時間8時~22時	自然換気
冷房期間	9月18日~10月9日	
空調設定	25℃ (終日空調)	

となり約 1°C の温度差が生じた。A 棟と B 棟で小屋裏の最大温度差はピークから遅れて 16 時頃に約 1.9°C になった。室温の最高温度は 15 時ごろに A 棟が 33.6°C、B 棟が 35.5°C となり温度差 1.9°C を生じた。小屋裏の温度差がピークから遅れて最大になったのは、日射により温められた小屋裏内の空気が強制換気によって早く排出されたため、A 棟の小屋裏温度が早く低下したからである。強制換気による熱気の排出により、室内温度の上昇が抑えられている。

3. 数値シミュレーションの概要

3.1 THERB for HAM の概要

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 HAM³⁾ を使用した数値シミュレーションにより、小屋裏の換気量と温度の関係および自然換気量、小屋裏の冷房負荷への影響について検討を行った。THERB for HAM (Simulation Software of the Thermal Environment of Residential Building for Heat and Mass Transfer) は、多数室を対象とした建築温湿度 (空間と躯体の温湿度)、および暖冷房熱負荷の動的計算ソフトである。

3.2 数値シミュレーションの精度検証

実験棟を対象として、実測値と計算値を比較して、数値シミュレーションの精度を検証した。図 6 に A 棟 B 棟の小屋裏、天井表面の温度を示す。計算値は、高い精度で実測値を捕捉している。

4. 小屋裏の換気量と温度のシミュレーション

4.1 計算内容および条件

表 2 に計算条件、表 3 に換気方式と換気孔面積、表 4 に計算内容を示す。建物モデルはセイホーテストハウスをもとに屋根形状を変更したものをを用いた。前述の実験棟では建物の北面が西に 40 度回転して配置されていたが、今回の数値シミュレーションでは北面が真北に向くようにした。屋根形状を変更する際には、すべて屋根の高さを同じにしているため、小屋裏容積は切妻と片流れはそれぞれ 53.8m³ で寄棟は 39.4m³ となる。各種の吸排気のための換気口の面積は住宅金融支援機構基準に依拠している。なお、妻面換気にはガラリ (流量係数 0.20)、軒天換気には有孔ボード (流量係数 0.15) を想定している。小屋裏の自然換気量算

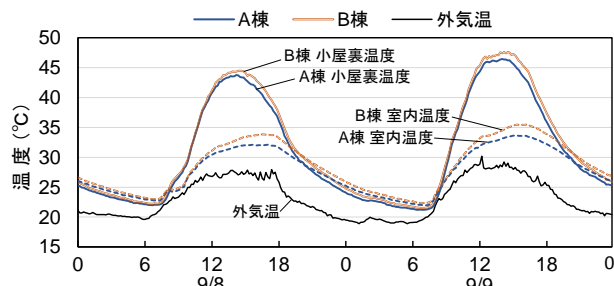
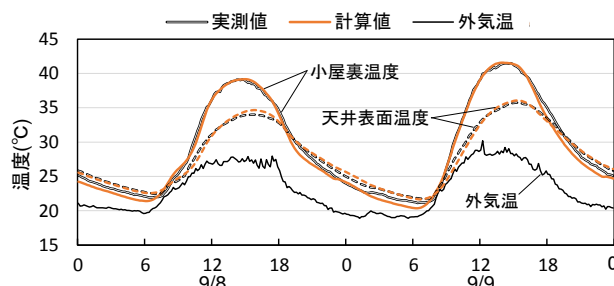
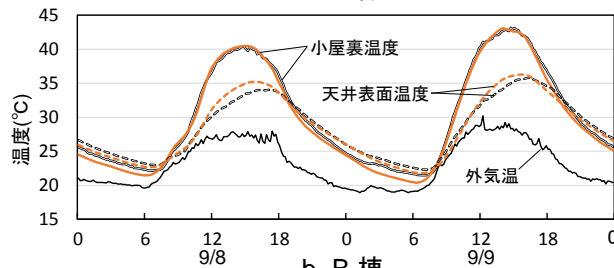


図 5 実測結果の温度経時変化



a. A 棟



b. B 棟

図 6 精度検証

表 2 計算条件

計算期間	6月1日～9月30日
計算対象	セイホーテストハウスを基に作成
計算地域	福岡(6地域)
気象条件	拡張アメダス気象データ(標準年)
冷房設定	27°C (終日空調)

表 3 小屋裏換気口面積

換気方式	天井見付面積に対する小屋裏換気口の面積	
	吸気口	排気口
軒天換気	1/250 (吸排気両用)	
妻面換気	1/250 (吸排気両用)	
複合換気	1/900	1/900

表 4 計算パターン

屋根形状(容積)	換気方式	居室の空調
切妻 (53.8m ³)	妻面換気	あり
		なし
	軒天換気	あり
		なし
	複合換気	あり
		なし
寄棟 (39.4m ³)	軒天換気	あり なし
南側片流れ (53.8m ³)	複合換気	あり なし
北側片流れ (53.8m ³)	複合換気	あり なし

出のための風圧係数を求める際の周辺環境としては、郊外、市街地の2ケースを想定し、郊外は対象建物の周辺に他の建物がない状況、市街地は図7のように住宅が密集した状況を想定した。郊外と市街の自然換気に回数は風圧係数から、気象データを基に随時算出した。強制換気は0回/h、5回/h、10回/hを設定した。自然換気量の算出に使用した6月～9月の風向の頻度と平均風速を図8に示す。顕熱負荷を求めるための空調設定温度は27℃一定で終日空調とした。

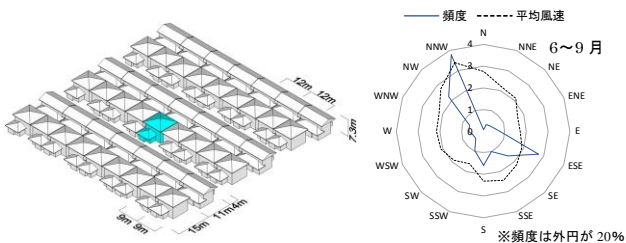


図7 市街地 図8 風向頻度と平均風速

4.2 郊外と市街地の自然換気量

図9に、6月～9月の風速と換気回数の相関を示す。風速の頻度分布の風速は横軸の値が風速 (m/s) を示し、郊外と市街地の換気回数は横軸が換気回数 (回/h) を示している。郊外における風速に対する換気回数について、d.寄棟(軒天)が最も大きく最大約10回であり、次いでa.切妻(妻面)、b.切妻(軒天)が最大約8回、そのほかのc.切妻(複合)、e.南側片流れ(複合)、f.北側片流れ(複合)は最大約4回となっている。寄棟の換気回数が多いのは小屋裏容積が小さいためであるが、平均換気量は100m³/hで切妻の妻面、軒天換気と

同様の値である。複合換気の換気回数が少ないのは、有効開口面積が約0.16m²であり、その他の約0.3m²とより小さいためである。市街地の換気回数は、a.切妻(妻面)は最大約4回であるが、その他はいずれの屋根形状でも最大約2回である。切妻の換気回数が大きいのは、今回の市街地モデルは東西が隣棟であることから、切妻の妻面の風圧係数が軒天に比べ有利になったためである。頻度分布を見ると、郊外では妻面換気と軒天換気は1～4回/hにかけて比較的一様にあるが、複合換気は1回/hの頻度が特に高く、それ以上の換気回数の頻度が低くなっている。市街地の頻度分布ではいずれの換気方式でも0.5回/hの頻度が高く、特に複合換気では0.5回/hの頻度が約60%を占めている。図10に平均換気量を示す。いずれの換気方式でも風速に対する換気回数の相関と同様の優劣を示している。

4.3 小屋裏温度

図11に7月30日～31日の小屋裏温度の経時変化を、表5に小屋裏温度と天井表面温度のピーク時の温度および強制換気と自然換気の温度差を示す。自然換気の場合市街地ではピーク時の温度はどれも0回換気に近い

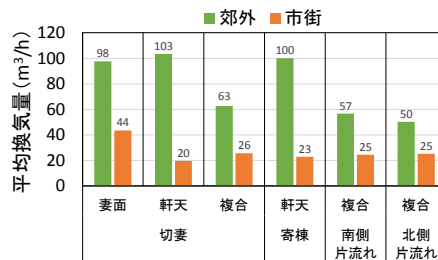


図10 平均換気量

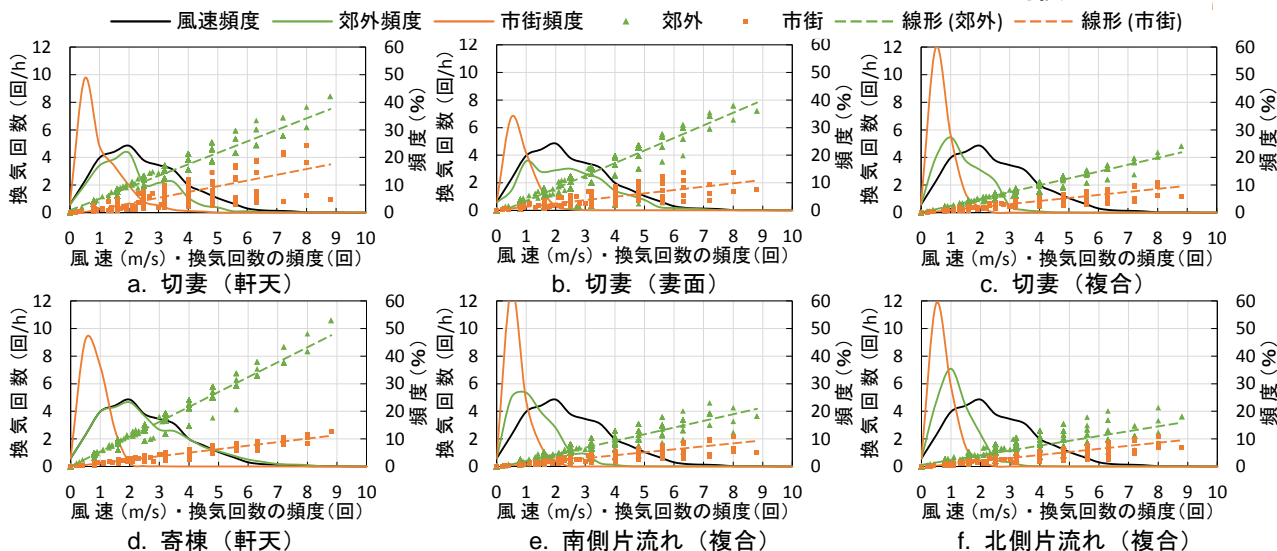


図9 風速と換気回数の相関図

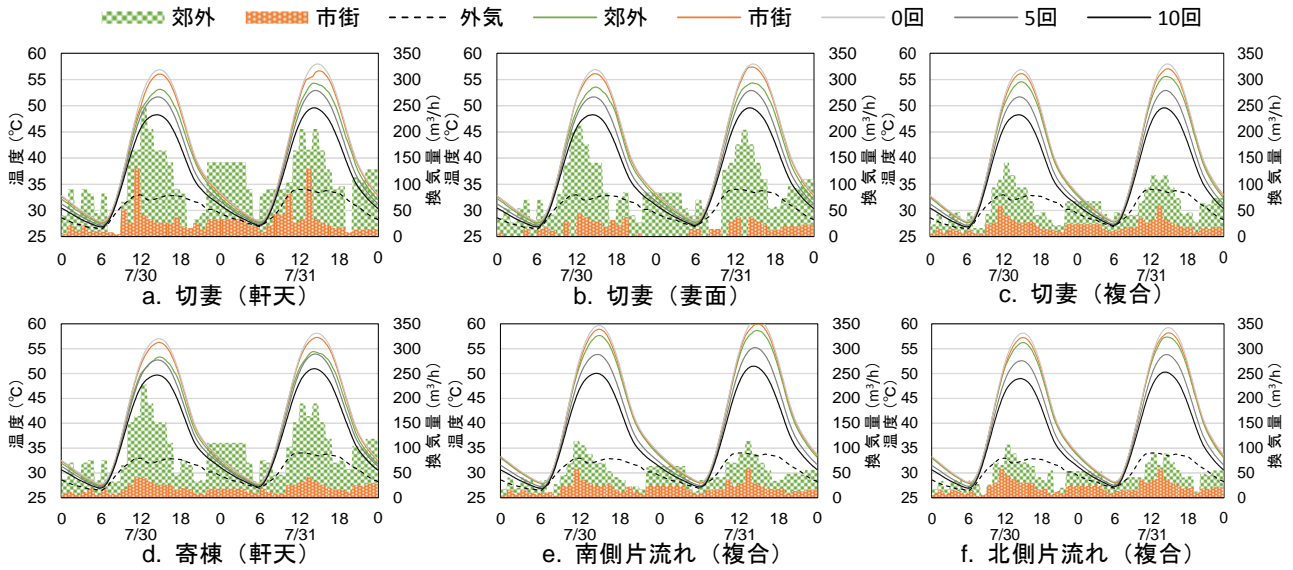


図 11 小屋裏温度の経時変化

く、換気による排熱の効果は少ない。郊外では換気回数
の大きい寄棟の排熱効果が最も大きく、5 回換気の
経時変化に近い。妻面換気と軒天換気の郊外における
排熱効果は著しく、0 回換気と比較してピーク温度は
約 4℃も低い。複合換気（郊外）でも 0 回換気と比べ
2℃ほどの排熱効果がある。なお、全ての屋根形状・
換気方式が強制換気の 10 回換気には及ばない。寄棟を
除き強制換気は自然換気（市街地）と比べて 8℃前後
も温度低下している。自然換気（郊外）と比較しても、
強制換気は寄棟換気を除き 5℃～7℃の温度低下が認め
られる。

表 5 小屋裏温度のピーク温度（7/31 14:50）

屋根形状	換気方式	小屋裏温度(℃)				温度差	
		自然(郊外)	自然(市街)	換気無(0回/h)	強制(10回/h)	郊外	市街
		切妻	妻面	54.0	56.6	58.0	49.4
軒天	54.3	57.3	4.9	7.9			
複合	55.5	57.0	6.1	7.7			
寄棟	軒天	54.1	57.2	58.1	50.8	3.4	6.5
南片流れ	複合	58.6	60.0	61.0	51.3	7.4	8.7
北片流れ	複合	57.3	58.2	59.2	50.1	7.2	8.1

4.4 省エネルギー効果

表 6 に、8 月の顕熱負荷と 0 回/h 換気に対する比率
を示す。郊外の自然換気の換気無に対する削減効果は
3～5%で、寄棟において最も効果があった。市街の自然
換気では 2%程度である。強制換気（10 回/h）は、
換気無に対して寄棟は 9%、そのほかは 12～13%の削

表 6 顕熱負荷（8月）

屋根	方式	単位: MJ/month				
		0回/h	5回/h	10回/h	郊外	市街
切妻	妻面	5294	4956	4730	5056	5164
		1.00	1.07	1.12	1.05	1.03
	軒天	5294	4956	4730	5052	5227
		1.00	1.07	1.12	1.05	1.01
	複合	5294	4956	4730	5127	5206
		1.00	1.07	1.12	1.03	1.02
寄棟	軒天	5344	5075	4881	5106	5265
		1.00	1.05	1.09	1.05	1.02
南側片流れ	複合	5601	5213	4956	5430	5512
		1.00	1.07	1.13	1.03	1.02
北側片流れ	複合	5375	5016	4778	5234	5283
		1.00	1.07	1.12	1.03	1.02

※下段は0回/h換気の顕熱負荷に対する比率

減効果があり、自然換気（郊外）と比べても寄棟を除
き 1 割弱の削減効果がある。特に、南側片流れでは強
制換気による顕熱負荷削減効果が大きい。

5. まとめ

本報告では、夏期の小屋裏熱環境と自然換気と強制
換気の排熱効果について、屋外実験と数値シミュレー
ションにより明らかにした。また、屋根形状と換気方
式の違いによる小屋裏熱環境への影響について検討し
た。その結果、①小屋裏強制換気による排熱で温度低下、
②小屋裏形状が自然換気量に及ぼす影響、③市街と郊
外の小屋裏自然換気量の違い、④強制換気による省エ
ネルギー効果などについて明らかにした。

参考文献

- 1) 須貝高他：夏季の小屋裏排熱に及ぼす換気の効果，日本建築学会研究報告九州支部，第 34 号・2，pp.213-216，1994.3
- 2) 松岡大介他：軒裏換気方式における冬季の小屋裏温湿度性状に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集，Vol. 79 No. 704，pp.849-856，2014
- 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

*1 九州大学工学部建築学科 学生・学部生
*2 九州大学大学院人間環境学府 教授・工博
*3 セイホプロダクツ株式会社 技術開発本部長
*4 九州大学大学院人間環境学府 学生・修士

Student, Department of Architecture, School of Engineering, Kyushu University
Prof., Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University, Dr. Eng.
Technical Development Division, SEIHO PRODUCTS Co., Ltd
Student, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University