

小屋裏換気による住環境の改善と省エネルギー効果

京都府立大学大学院
生命環境科学研究科
教授 尾崎明仁

1. はじめに

地球温暖化対策（省エネルギーや長寿命化による CO₂ 排出量の削減）が喫緊の課題である現在は、環境負荷の軽減および持続可能な都市造りなどの必要性から、ライフサイクルアセスメント（LCA）を基にしたストック住宅の活用が重要な施策である。LCA とは、建築が生涯期間（材料生産、建設、運用、廃棄）を通じて環境に与える負荷の総量を予測する手法であり、ライフサイクルエネルギー（LCE：一生涯に消費したエネルギー消費量）、ライフサイクル CO₂（LCCO₂：一生涯に排出した CO₂ 排出量）などが提案されている。

本研究では、建築運用時の省エネルギーおよび住環境の改善を目的として、各種戸建住宅（新築およびストック住宅のリフォーム）を対象に、数値シミュレーションにより小屋裏換気による夏季の建築熱環境（室温、快適性、省エネルギー）の改善効果について解析する。

2. 数値シミュレーションの方法

2.1 建築熱環境の解析ソフト

数値シミュレーションには、多数室を対象とした室温（空気温度と躯体温度）・体感指標（PMV）・熱負荷の動的計算ソフト THERB（Simulation Software of the Thermal Environment of Residential Buildings）を使用した^{1)・2)}。THERB は、詳細な伝熱理論に基づいて開発された建築熱環境解析のための精緻な数値計算ソフトである。

主な特徴を以下に列挙する。

対流熱伝達の時変性

放射熱伝達の非線形性

建築内外表面における日照・日影部位の時間毎の幾何学計算

内表面における長波・短波放射の多重反射
ガラス間（日射遮蔽物を含む）の日射多重反射を考慮した正味の透過日射計算

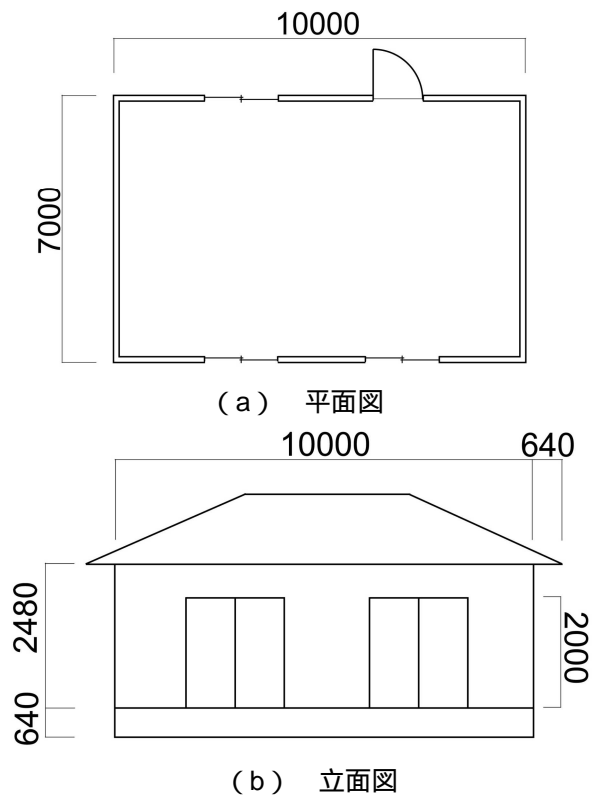


図1 建物モデル

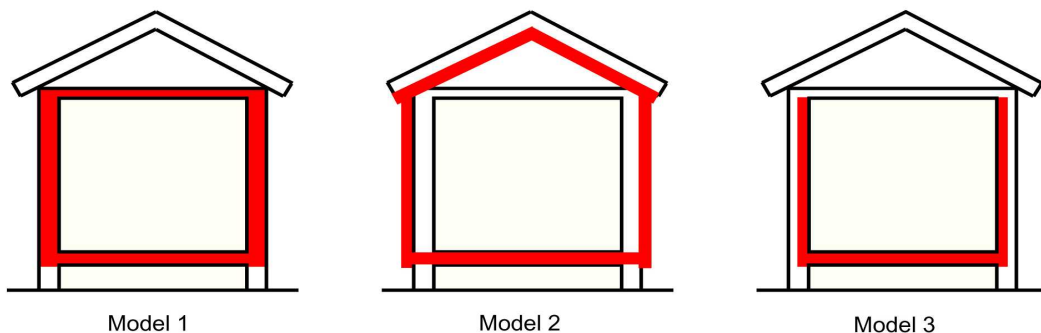


図2 建物モデルの断熱仕様

圧力差にともなう室間換気計算

なお、THERB は国土交通省の認定ソフト^{注1)}である。

2.2 建築モデル

図 1 と図 2 に、解析に使用した建築モデル (Model 1~3) を示す。建築モデルは平屋で、充填断熱あるいは外断熱された最近の住宅仕様 (Model 1, 2) と、断熱が不十分なストック住宅仕様 (Model 3: 屋根・天井断熱なし) である。

2.3 計算内容および条件

表 1 に、数値シミュレーションの内容を示す。建築モデル (Model 1~3) を対象として、小屋裏換気方法の違いが室温、快適性、冷房負荷へ及ぼす影響について検討した。小屋裏の換気方法は、自然換気と機械換気 (終日運転) である。自然換気の流量は、小屋裏容積に対して換気回数 1 回/h とした。機械換気は、基準換気流量を 480m³/h (換気回数 6.7 回/h) とし、そのほか 120m³/h ~ 840m³/h の範囲で変更した。

3. 数値シミュレーションの結果

3.1 非空調時の住環境

図 3~図 20 に、自然換気あるいは終日機械換気 (換気流量 240m³/h, 480m³/h, 720m³/h) した場合の Model 1~3 の夏季の小屋裏温度、室温、快適指標 PMV^{注2)}、不満足者率 PPD^{注3)} の経時変化 (8 月 4 日)、および PMV と不満足者率の時間累積率 (8 月全期間の 17:00~6:00) を示す。機械換気については、基準流量 480m³/h の他、240m³/h と 720m³/h の結果も併記している。いずれの建築モデルも、小屋裏換気量の増加にともない小屋裏温度と室温が低下している。例えば、自然換気と機械換気 (480m³/h) を比較すると、小屋裏温度と室温のそれぞれに Model 1 (天井断熱) では最大で 8.5 と 0.8, Model 2 (外断熱) では 4.2 と 2.1, Model 3 (屋根・天井の断熱なし) では 5.8 と 2.4 の温度差が生じている。小屋裏換気により PMV と不満足者率も減少し、その効果は夜間まで持続している。例えば、24:00 の PMV と不満足者率は、自然換気と機械換気 (480m³/h) において、Model 1 では 0.1 と 8.6%, Model 2 では 0.5 と 27%, Model 3 では 0.3 と 13% の差が生じている。

表 1 数値シミュレーションの条件

項目	内容		
建物仕様	Model 1 (充填断熱)	Model 2 (外断熱)	Model 3 (屋根・天井断熱なし)
小屋裏換気	1) 自然換気 (小屋裏容積に対して 1 回/h の換気量) 2) 機械換気 (換気流量 120m ³ /h ~ 840m ³ /h) ・終日換気 ・時間制御 ・温度制御		
空調	なし	終日冷房 (26 一定)	
計算期間	夏季		
地域	地域 (福岡県)		
気象条件	拡張アメダス気象データ ³⁾		

また、PMV 1.5 と不満足者率 50% の時間累積率を比較すると、自然換気に比べて機械換気 (480m³/h) は Model 1 では 5.7% と 5.8%, Model 2 では 15.0% と 15.1%, Model 3 では 6.3% と 6.2% 減少している。いずれの建築モデルでも小屋裏換気の効果は見られるが、外断熱した Model 2 と断熱性能に劣る Model 3 において効果が著しい。特に、外断熱のため小屋裏からの放熱が困難な Model 2 は、機械換気により排熱が促進されてその効果が夜間の PMV と不満足者率に顕著に現れている。断熱性に優れる Model 1 は、Model 2 と Model 3 に比べると機械換気の効果がいまいち、自然換気よりは住環境の改善が期待できる。

図 21 に、小屋裏の換気流量を 120m³/h ~ 840m³/h とした場合の PMV (1.0, 1.5, 2.0) の時間累積率 (PMV がその値以上となる 8 月の時間率) を示す。換気流量の増加にともない PMV の時間累積率は低下している。特に、Model 2 と Model 3 においてその低下が著しい。なお、時間累積率の低下する割合は換気流量の増加にともない減少している。建築モデルにより違いはあるものの換気流量 600m³/h 以上ではその差が小さくなるため、小屋裏の機械換気流量は 480m³/h (換気回数 6.7 回/h) 程度までが妥当と考えられる。

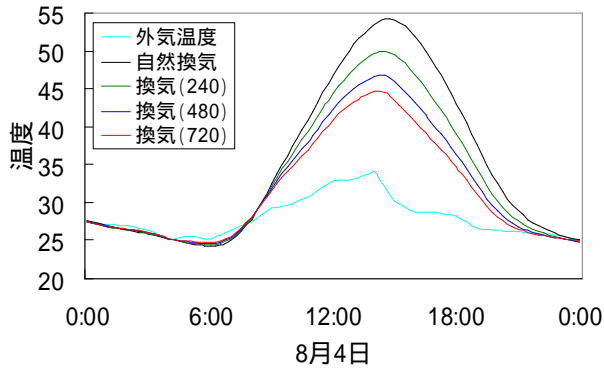


図3 Model 1 の小屋裏空気温度

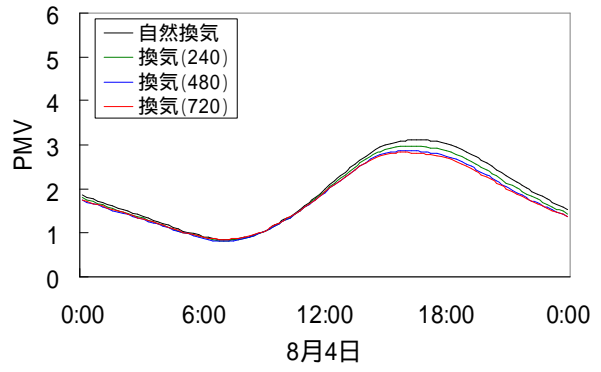


図5 Model 1 のPMV

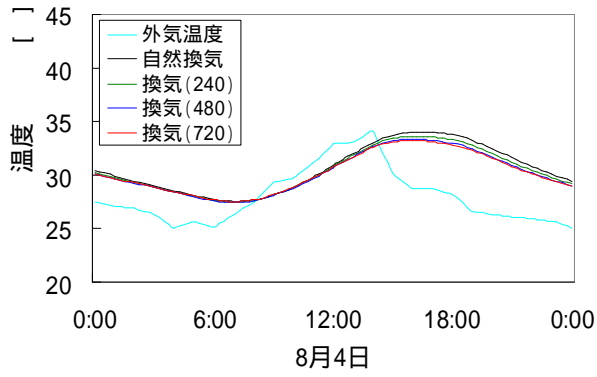


図4 Model 1 の室内空気温度

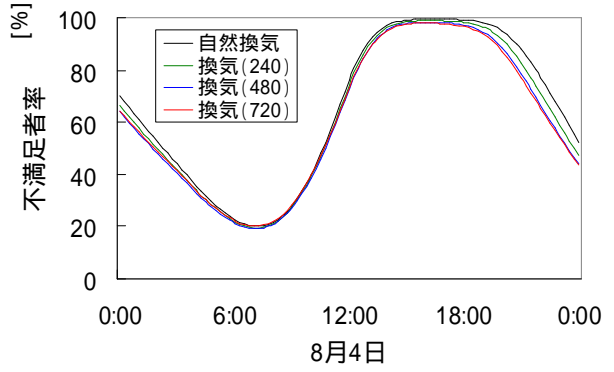


図6 Model 1 の不満足者率

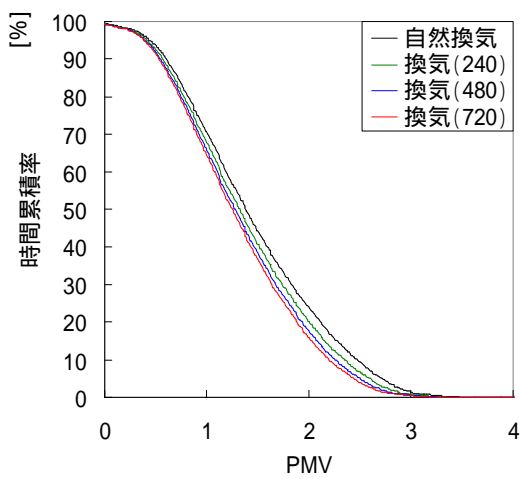


図7 Model 1 のPMVの時間累積率
(8月の17:00~6:00)

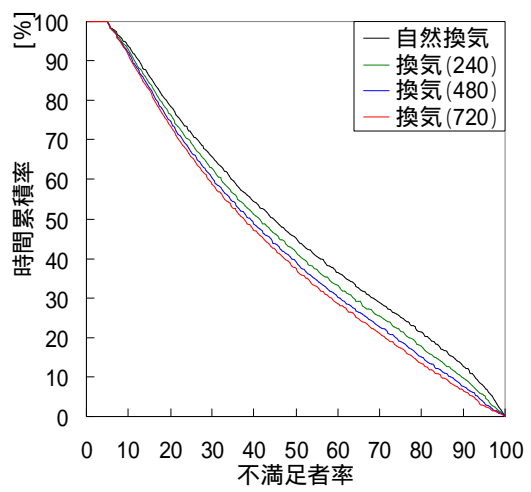


図8 Model 1 の不満足者率の時間累積率
(8月の17:00~6:00)

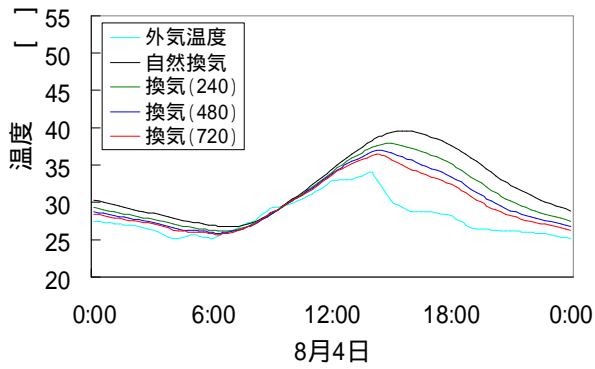


図 9 Model 2 の小屋裏空気温度

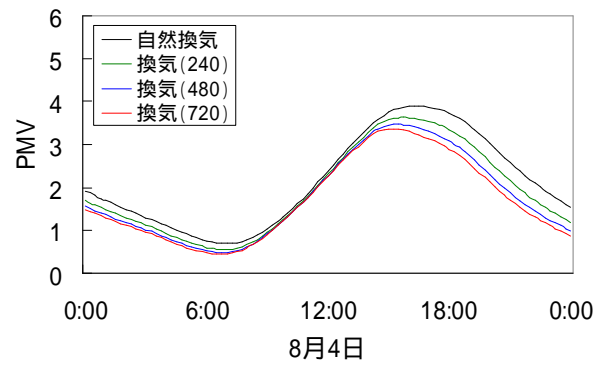


図 11 Model 2 の PMV

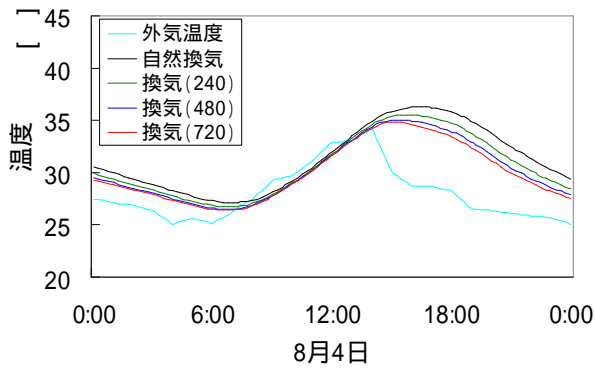


図 10 Model 2 の室内空気温度

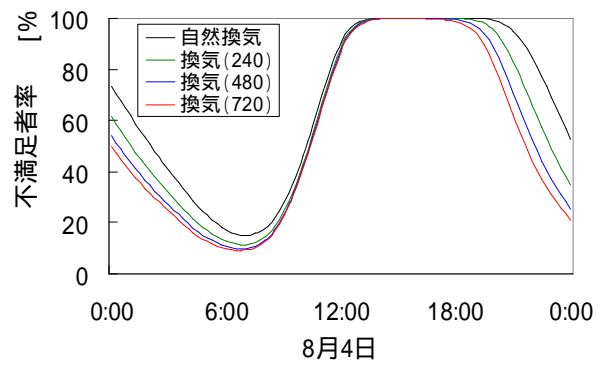


図 12 Model 2 の不満足者率

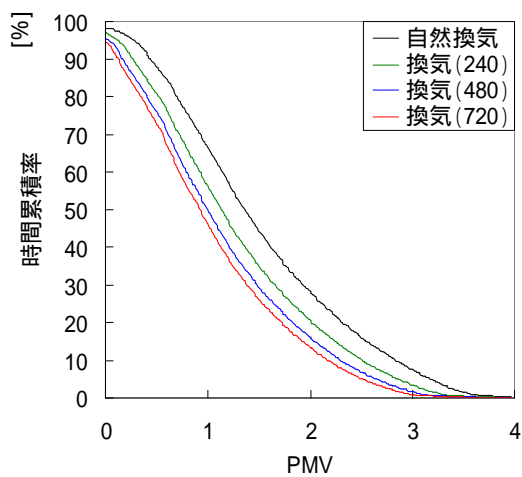


図 13 Model 2 の PMV の時間累積率
(8月の17:00~6:00)

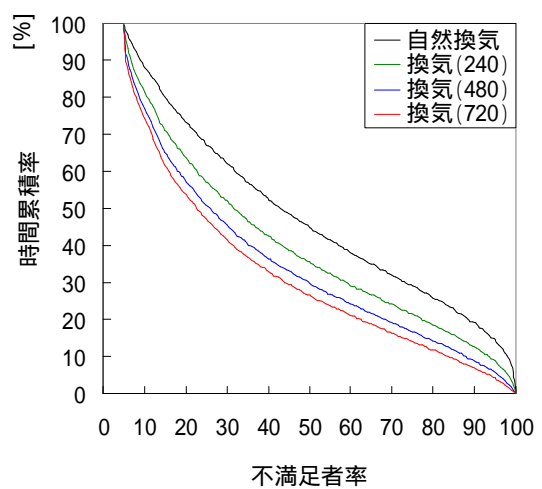


図 14 Model 2 の不満足者率の時間累積率
(8月の17:00~6:00)

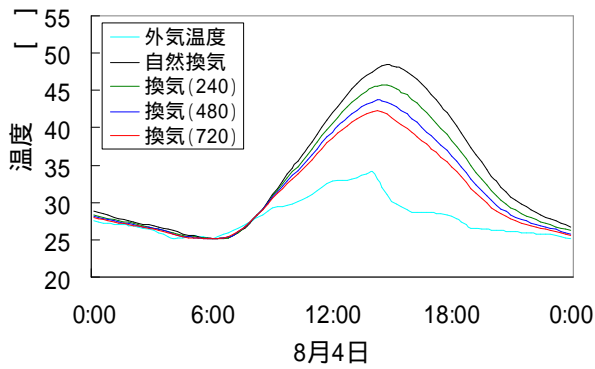


図 15 Model 3 の小屋裏空気温度

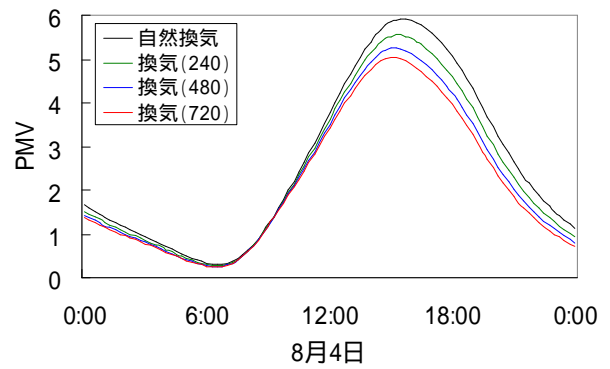


図 17 Model 3 の PMV

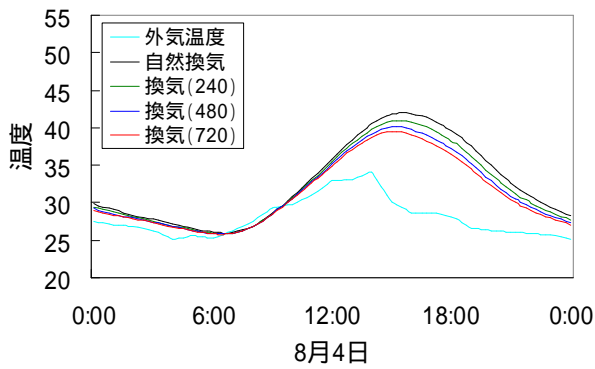


図 16 Model 3 の室内空気温度

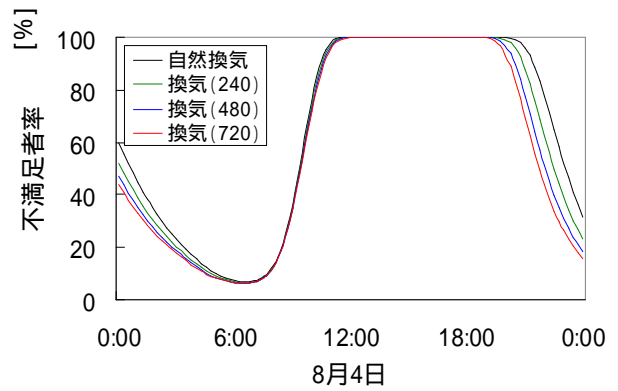


図 18 Model 3 の不満足者率

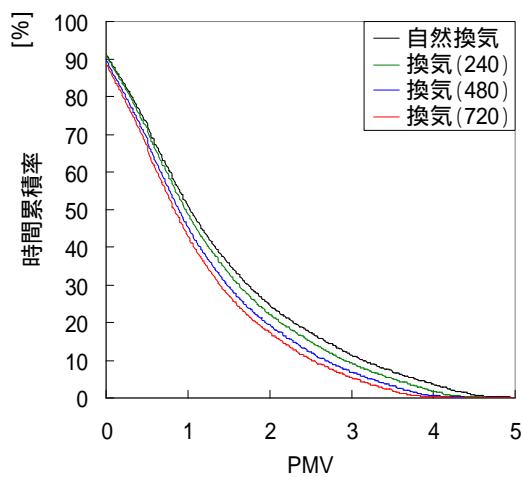


図 19 Model 3 の PMV の時間累積率
(8月の17:00~6:00)

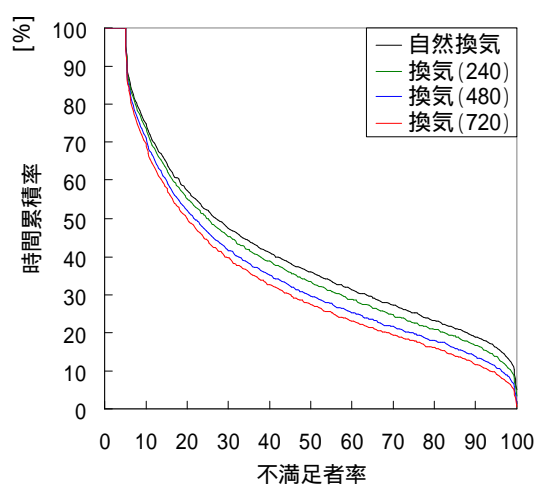


図 20 Model 3 の不満足者率の時間累積率
(8月の17:00~6:00)

3.2 冷房負荷

表 2 に、Model 1~3 において終日冷房条件で小屋裏を自然換気あるいは機械換気（換気流量 240m³/h, 480m³/h, 720m³/h）した場合の冷房負荷（顕熱負荷）を示す。Model 1~3 のいずれも冷房負荷は換気流量の増加にともない減少している。自然換気と比較して機械換気（480m³/h）の期間冷房負荷は、Model 1（充填断熱）では 10.1%，Model 2（外断熱）では 4.3%，Model 3（屋根・天井断熱なし）では 10.5%削減されている。Model 3 は、期間冷房負荷の削減量が 257.8kWh にもなる。

4. むすび

本研究では、戸建住宅を対象とした数値シミュレーションにより、小屋裏の機械換気が夏季の住環境（室温、快適性）および省エネルギー（冷房負荷）へ及ぼす影響について解析した。得られた主な結果を以下に列記する。

- 1) 小屋裏機械換気の効果は、外断熱住宅と断熱の不十分な住宅（屋根・天井断熱なし）において著しく、換気回数 6.7 回/h の場合は最大 2 程度の室温低下が期待できる。

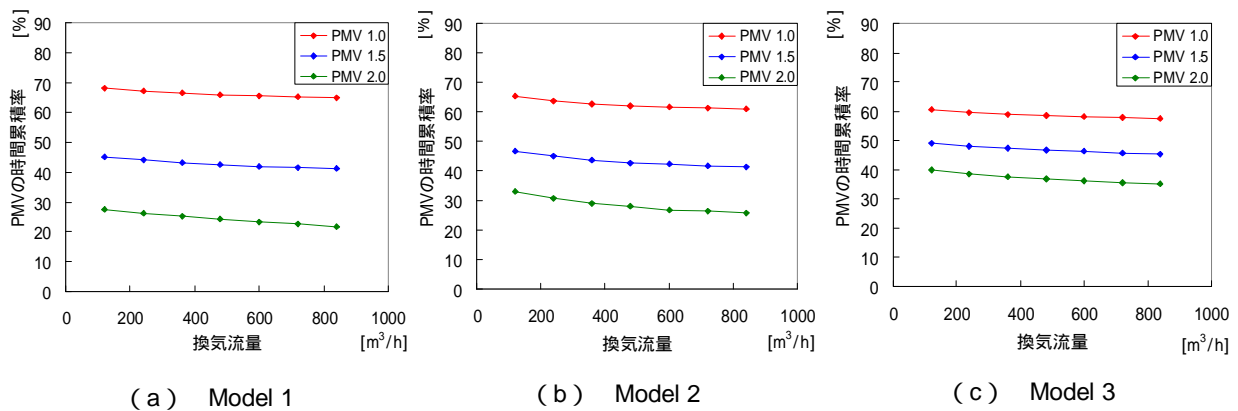


図 21 PMV 累積率と換気量の関係（8月）

表 2 期間冷房負荷（自然換気と終日機械換気の違い）

	Model 1			Model 2			Model 3					
	自然換気	換気量 (小)	換気量 (中)	換気量 (大)	自然換気	換気量 (小)	換気量 (中)	換気量 (大)	自然換気	換気量 (小)	換気量 (中)	換気量 (大)
6月	33.04	25.01 (75.7)	19.81 (60.0)	16.81 (50.9)	115.26	94.74 (82.2)	80.82 (70.1)	71.81 (62.3)	351.28	308.92 (87.9)	274.72 (78.2)	253.38 (72.1)
7月	269.66	257.17 (95.4)	248.20 (92.0)	242.33 (89.9)	470.96	478.20 (101.5)	478.33 (101.6)	480.84 (102.1)	779.59	748.74 (96.0)	723.68 (92.8)	705.52 (90.5)
8月	348.48	332.75 (95.5)	321.40 (92.2)	313.87 (90.1)	580.52	574.25 (98.9)	575.76 (99.2)	571.15 (98.4)	926.91	888.10 (95.8)	859.76 (92.8)	833.19 (89.9)
9月	109.21	100.44 (92.0)	93.95 (86.0)	89.61 (82.1)	200.44	184.32 (92.0)	173.02 (86.3)	165.48 (82.6)	396.94	364.88 (91.9)	338.78 (85.3)	319.82 (80.6)
合計	760.39	715.38 (94.1)	683.37 (89.9)	662.62 (87.1)	1367.18	1331.51 (97.4)	1307.93 (95.7)	1289.29 (94.3)	2454.72	2310.65 (94.1)	2196.95 (89.5)	2111.91 (86.0)

単位: kWh

()内は自然換気に対する割合

換気量 (小): 240m³/h, (中): 480m³/h, (大): 720m³/h

- 2) 最近の充填断熱住宅でも，小屋裏の機械換気により住環境が改善される。
- 3) 小屋裏からの放熱が困難な外断熱住宅は，小屋裏機械換気により排熱が促進されるため，自然換気に比べて夜間でも PMV と不満足者率がそれぞれ 0.5 以上，20% 以上も低下する。
- 4) 住環境は小屋裏の換気流量が増加するにつれて改善されるが，換気流量がある程度以上になるとその効果は大差なくなる。実際の換気流量は，換気回数換算で 6.7 回/h 程度までと考えられる。
- 5) 換気回数 6.7 回/h 程度の小屋裏機械換気により，冷房負荷は 5～10% 程度削減される。小屋裏機械換気による省エネルギー効果は，特に断熱性能の乏しい建物で顕著である。

注釈

- 注 1) 住宅の品質確保の促進等に関する法律第 53 条 4 項の年間暖冷房負荷計算方法による特別評価方法・「動的熱負荷計算ソフト THERB」の認定取得（国土交通省認定番号 141）
- 注 2) 快適指標 PMV とは，人間の平均的な温冷感を示す指標（Predicted Mean Vote of Thermal sensation）のことである。表 5 に温冷感と PMV のカテゴリースケールを示す。

表 3 温冷感のカテゴリースケール「PMV」

PMV 値	温冷感
3	とても暑い
2	暑い
1	少し暑い
0	どちらでもない
- 1	少し寒い
- 2	寒い
- 3	とても寒い

注 3) 不満足者率 PPD とは，ある温冷感（PMV）を不満足と感じる人の割合（Predicted Percentage of dissatisfied）ことのである。

参考文献

- 1) Ozaki A., Tsujimaru T.: Prediction of Hygrothermal Environment of Buildings Based upon Combined Simulation of Heat and Moisture Transfer and Airflow, The Journal of the International Building Performance Simulation Association, Vol.16, No.2, pp.30-37, 2006
- 2) 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, International Building Performance Simulation Association, pp.19-26, 2005
- 3) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ，丸善，2000