

2.3 実住宅

実際の住宅規模における性能評価を目的として、京都府南丹市に存在するウレタン遮熱工法を施した住宅と、一般住宅において測定を実施した。実住宅の概要を表3に、図4、図5にそれぞれの平面図、測定機器設置場所を示す。屋外環境の影響を受けやすい2階を対象として測定を行った。開口部からの日射の影響を少なくするために、すべての窓に内側からアルミ反射材を設置した。

3. 屋外実験棟における夏期実測

屋外実験棟において実測調査を行った。測定期間は、2012年7月23日～2013年9月31日とした。実験棟の改修工事を2013年5月27日～31日に実施した。

3.1 実測結果

図6に通気層内温度比較、図7に断熱材通気層側表面温度、図8に夏期室内温熱環境を示す^{注2)}。図6、7、8は日射量が十分な快晴日を対象としている。改修前後での比較では、外気温度変化と日射量が近似している日を選んだ。

図6より、通気層幅を15mmから24mmに広げたため、通気層内部が外気温度の影響を受けやすくなり、改修前後で比較すると、通気層内温度がピーク時において15°C程度低下している。改修前はA棟の通気層内温度が高く排熱効果の促進が見られたが、改修後は通気層幅が広がったため、両棟における差はあまり見られなかった。

図7より、A棟は外装材通気層面からアルミ反射材への放射熱伝達量を抑制しており、日中ピーク時においてB棟よりも約3°C低い温度を示している。

図8より、A棟ピーク時の温度に比べ、B棟ピーク時では室内温度が約1°C高い温度を示していた。A棟ではアルミ反射材が放射熱伝達を抑制し、室内への熱移動を減少させ、ピークの温度上昇を抑えていることがわかる。

3.2 夏期電力消費量比較

表4、図9に測定日屋外環境概要、エアコン電力消費量を示す。エアコンの設定温度を28°Cとし、風量は自動、風向は上向き固定とした。エアコン稼働時間は9時～18時として測定をした。

A棟のエアコン電力消費量は総じてB棟よりも抑えられており、最大でB棟より14%削減されていた。

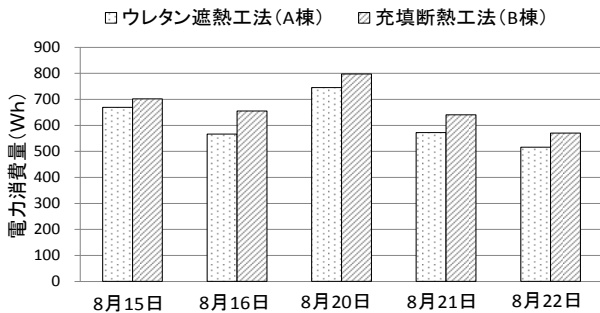


図9 電力消費量調査

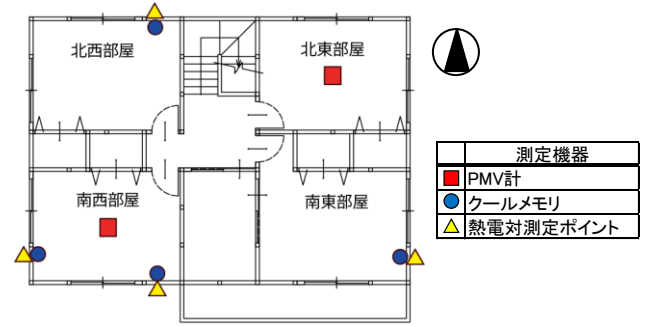


図4 ウレタン遮熱工法住宅2階平面図

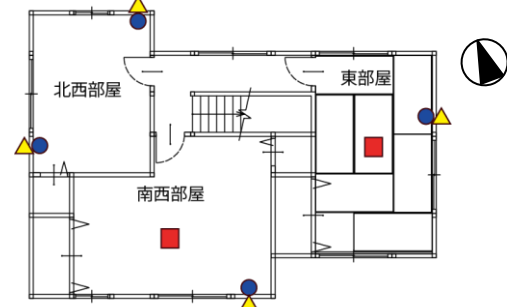


図5 一般工法住宅2階平面図

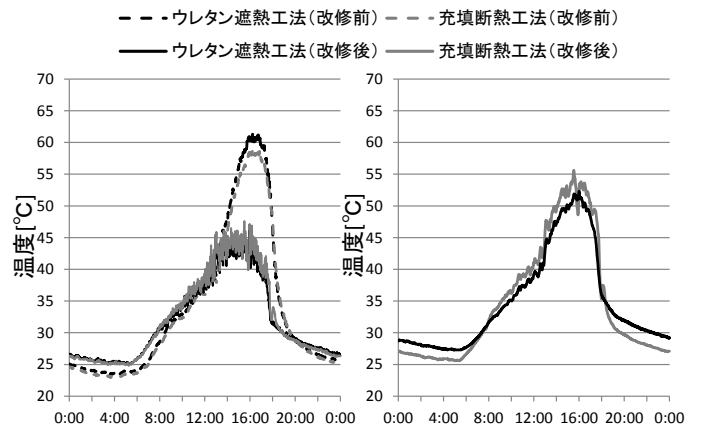


図6 通気層内温度

図7 断熱材表面温度

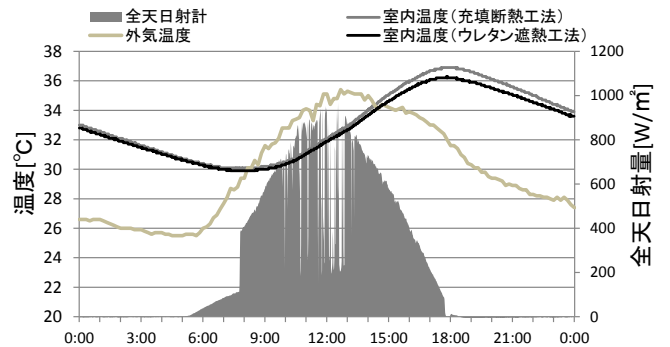


図8 夏期室内温熱環境 (2013/8/11)

表4 測定日屋外環境概要、電力消費量

	気温(°C)		電気使用量(Wh)		日照時間(h)
	最高	最低	A棟※	B棟	
8月15日	36.4	24.8	669.2(95.3%)	701.7	11.0
8月16日	35.3	26.3	565.9(86.3%)	655.0	9.2
8月20日	37.3	26.6	745.2(93.4%)	797.1	9.9
8月21日	35.1	27.0	571.7(89.3%)	640.0	4.3
8月22日	36.4	26.5	515.7(90.5%)	569.7	4.3

※括弧内はB棟の電力消費量を100%とした時のA棟の値を示す

4. 実住宅における夏期実測

京都府南丹市に存在するウレタン遮熱工法を施した住宅と一般工法の住宅において実測を行った。2013年9月10日～9月16日にかけて測定を行った。測定期間は居住者はおらず、温熱環境のみの測定としている。

図10に南西部屋温熱環境、図11に各部屋 SET*を示す。対象日は、雨天を除く9月11日～13日とする。

図10より、一般工法では一日の室内温度差が最大7.6℃あったが、ウレタン遮熱工法では最大4.7℃に抑えられていることがわかる。日中の最高温度もウレタン遮熱工法のほうが1℃低い値を示している。また南面内壁表面温度についても、一般工法では温度差が9.5℃、ウレタン遮熱工法では5℃と外壁の断熱、遮熱性能が見られる。アルミが放射熱を抑制し、通気層からの排熱により、温度の上昇を抑えることに加え、ウレタン遮熱工法の気密性能の高さ^{文2)}が室内温度を安定させていると考えられる。

図11より、SET*では室内温度よりも、温度差が大きくでており、一般工法では10.4℃差であったが、ウレタン遮熱工法住宅では5.4℃に抑えられていた。室内温度に加えて、室内壁表面の温度差によって体感温度にも大きな差が生じていることがわかる。

5. 屋内実験棟による定常状態実験

5.1 実験概要

表5に測定ケースを示す。夏期の想定として、日射を再現するため、各実験棟の外壁1面を面状発熱体、屋根裏空間は白熱灯で約45℃に発熱させた。また、屋外温度は温度差を持たせるために、35℃と30℃のケースを設けた。充填断熱工法の通気層上下をスタイロフォームにより密閉させて空気層とするケースも設けた。

5.2 部材間温度分布比較

実測値と物性値から算出した計算値の各部材温度の比較を行った。実測値は、外壁の中心点の熱電対の値を用いた。図中の括弧なしの値を実測値、括弧ありの数値を計算値とする。

図12に夏期実測における壁面70℃時の部材間温度分布を示す。CaseIIIの断熱材通気層側表面温度では、計算値よりも実測値が12.5℃低い温度を示しており、アルミ反射材による放射熱抑制が行われていることがわかる。また、室内表面温度を比較すると、case I・case II・case IIIと順番に低い温度を示しており、通気層による排熱とアルミ反射材による遮熱によって、定常状態時においても室内の放射熱環境の改善が見られた。

5.3 通気層内風速・排熱量特性

通気層内の熱特性の把握として、通気層内上下温度差から上下圧力差を算出した。通気層の通気による排熱量 q_{cv} は単位横幅(1m)あたりの通気量 $Q[m^2/s]$ を用いた次式より算出した^{文3)}。図13に通気層内風速^{注3)}、図14に圧力差と排熱量の相関を示す。

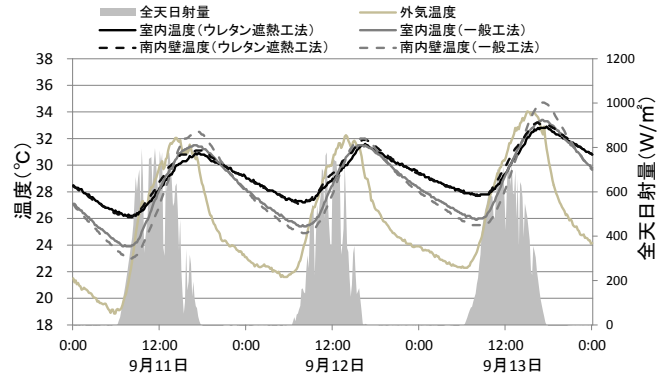


図10 実住宅南西部屋温熱環境

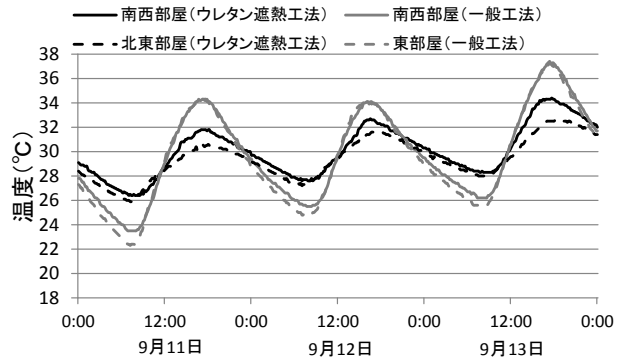


図11 実住宅各部屋 SET*

表5 測定ケース

Case	壁体工法	面状発熱体温度	室内側温度	屋外温度
I-50	充填断熱工法(空気層)	50℃	冷房28℃	case1 35℃ case2 30℃
I-60		60℃		
I-70		70℃		
II-50	充填断熱工法(通気層)	50℃		
II-60		60℃		
II-70		70℃		
III-50	ウレタン遮熱工法	50℃		
III-60		60℃		
III-70		70℃		

— 実測値 ■ 計算値 実測値温度(計算値温度)

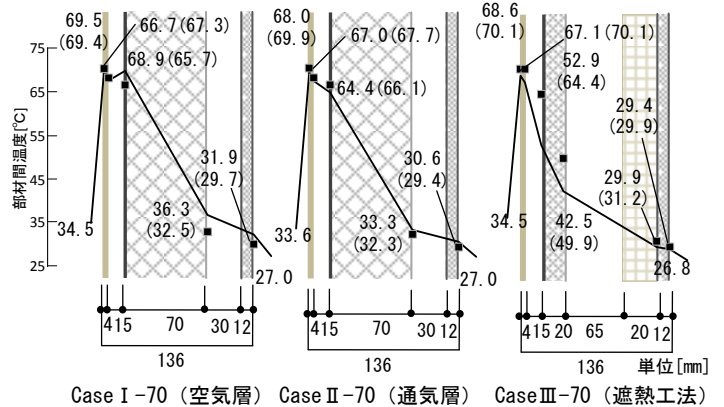


図12 部材間温度分布(面状発熱体70℃)

$$\text{圧力差: } \Delta P = 273.15 \cdot g \cdot \rho \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_{out}} - \frac{1}{T_{in}} \right)$$

$$\text{排熱量: } q_{cv} = c_p \cdot \rho \cdot Q (T_{out} - T_{in}) / h \quad Q = d \cdot v$$

$$\left(\begin{array}{l} T_{out}: \text{通気層出口絶対温度 [K]} \quad \rho: \text{空気密度 [kg/m}^3 \text{]} (=1.2) \\ T_{in}: \text{通気層入口絶対温度 [K]} \quad g: \text{重力加速度 [m/s}^2 \text{]} (=9.8) \\ h: \text{通気層の長さ [m]} \quad d: \text{通気層の厚さ [m]} \quad v: \text{通気層風速 [m/s]} \\ c_p: \text{空気の定圧比熱 [J/kg} \cdot \text{K]} \end{array} \right)$$

図13より、通気層下部においては、外気と通気層内で温度差が大きく、高い風速を示していたが、上部では通気層内で温度差が小さくなるので、低い風速を示していることがわかる。図14より、通気層内圧力差が大きくなるほど排熱量も増加しており、相関関係が見られた。工法別でみると、A棟のほうがB棟の場合よりも大きな排熱量が生じていることがわかる。

図15に通気層内の熱伝達現象の内訳を示す^{※1)}。図15の式より算出した、通気層内の高さ方向における q_{cv} の内訳を図16に示す。図16より、下部から上部へ向かうほど排熱の割合が低下していることがわかる。B棟に比べA棟では、通気層高さが高くなるほど、対流による排熱が減少する割合が小さいことがわかる。

これは、アルミによる放射熱抑制によって、放射熱伝達量が小さくなり、対流熱伝達量が増えるからである。このため、通気層内の温度が上昇し、自然対流の上昇流による排熱が促進されている。

5.4 相当熱貫流率の算出

実測より求めた実際の熱貫流率（以下、相当熱貫流率）算出の方法を示す。

$$q_2 = \lambda_2 (\theta_2 - \theta_3) / \delta_2 \quad K_0 = q_2 / (\theta_{so} - \theta_3)$$

図17に排熱量と相当熱貫流率の相関を示す。排熱量が増加するほど、相当熱貫流率値が低下しており、断熱性能が向上していることがわかる。B棟よりもA棟の相当貫流率値が優れた値を示していた。

6. まとめ

本研究は、実験住宅・実住宅においてウレタン遮熱工法の性能評価を行い、通気層内熱特性の分析を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 屋外実験棟では、通気層幅の拡大により、通気層温度差が見られなかったが、室内温度はピーク時においてウレタン遮熱工法が良好であった。
- 2) 実住宅では、室内環境・体感温度ともにウレタン遮熱工法住宅が安定した温度を示していた。
- 3) 熱特性分析により、差圧と排熱量の相関、排熱量と相当熱貫流率の相関が見られた。相当熱貫流率もアルミと通気層によって計算値以上の値を示した。

注釈

注1) 扉からの熱の移動を少なくするため、室内側にウレタン、屋外側にアルミを貼る仕様とした。注2) 外気温度は、大津市のアメダスを使用した。注3) 風速は、通気層上下端部から150m、水平方向に200mm間隔、計24点で測定し、平均値を使用した。

参考文献

- 1) 近本智行、田嶋圭一ら：通気層とアルミ反射材の複合法による熱負荷低減効果の検証(その1～3)、日本建築学会大会学術講演梗概集D-2,p107-108,2012.09 ほか
- 2) 田嶋圭一、近本智行：CO₂削減に向けた省エネ住宅の研究(その2)住宅の新築及び既存改修における断熱範囲の設定と居住環境における省エネ効果の検証、空気調和衛生工学会学術論文集、pp.1821-1824、2011年9月
- 3) 赤坂裕ら：通気層を有する外壁、屋根の遮熱・断熱効果の計算法、日本建築学会論文集NO.595,p33-40,2005.09

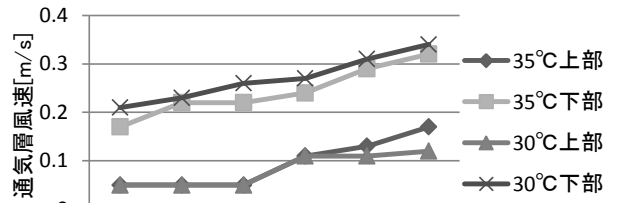


図13 通気層内入口出口風速

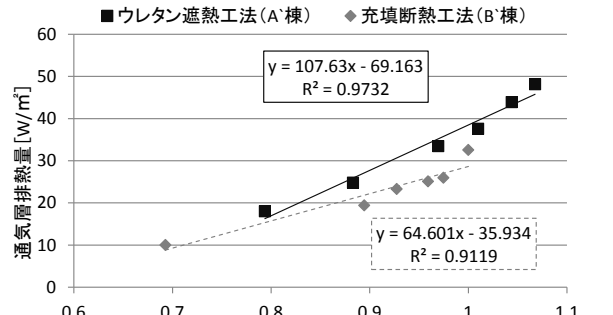


図14 通気層内圧力差と排熱量の相関

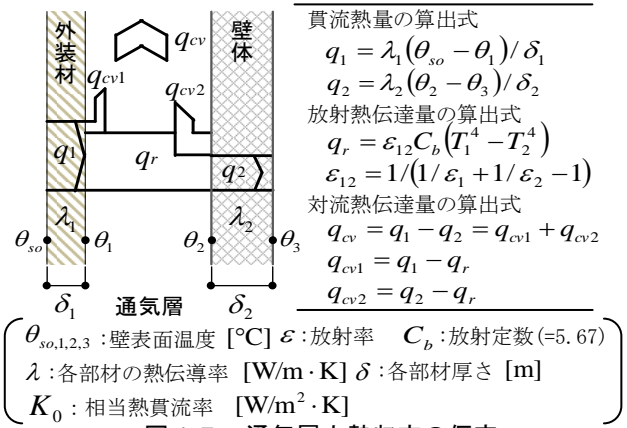


図15 通気層内熱収支の仮定

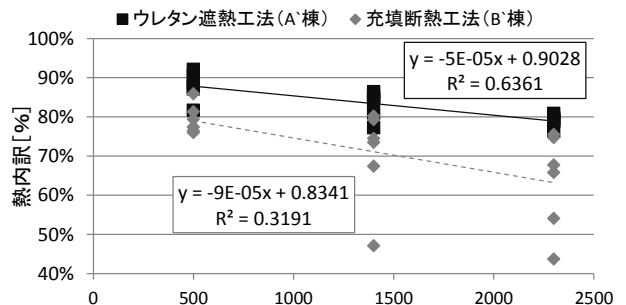


図16 高さ方向の対流熱伝達量内訳

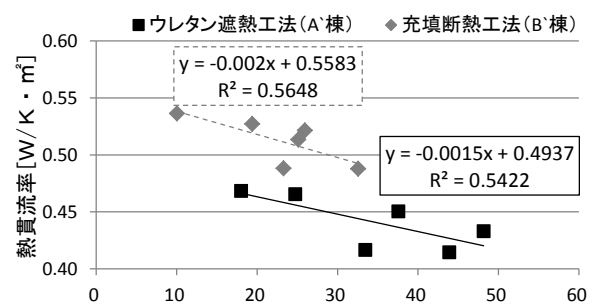


図17 排熱量と熱貫流率の相関