

学位論文の要旨

氏名	福留 伸高
学位論文題目	外壁・屋根に遮熱技術を導入した住宅における室内温熱環境とエネルギー消費に関する研究

室内温熱環境の快適性に影響を与える要因の一つとして、開口部・壁面からの日射熱取得があげられる。日射熱取得は、夏季の冷房消費エネルギーに大きな影響を与えるため、従来からの断熱技術だけでなく、遮熱技術を組み合わせることが重要である。本論文は、同型実大住宅2棟での比較測定を通し、遮熱技術導入による室内温熱環境やエネルギー消費の定量的な評価と、その評価法の実用性についてまとめたものである。

第1章では、本研究の背景と目的、遮熱技術の既往の研究動向を概説し、本研究の位置づけについて述べた。

第2章では、工法面・コスト面から比較的導入が容易な3つの遮熱技術を外壁・屋根に導入した実証棟2棟(A棟・B棟)の仕様・空調システム・測定内容をまとめた。

第3章では、実証棟2棟における2005年~2008年の比較測定を通して、室内温熱環境・エネルギー消費への影響を明らかにし、導入した遮熱技術の評価を行った。結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 夏季では、次世代省エネルギー基準に合致するA棟でも天井裏には熱が籠りやすく、温熱環境改善やエネルギー消費抑制のために遮熱技術の導入が有効であることが示された。
- (2) 冬季では、遮熱技術の導入により昼間のパッシブヒーティング効果が小さくなるが、特に夜間の熱損失が少なくなり、室内温熱環境の著しい悪化やエネルギー消費の著しい増大を招いていない。

(3) 夏季・冬季に、室内表面温度分布や各平均表面温度での温度比較を行った結果、A棟に比べB棟の方が天井面と各壁面のばらつきが少なく均一な表面温度分布となること、さらに天井面の温度むらが少なく、安定した室内温熱環境が維持されることが示された。

(4) 測定した室内グローブ温度と理論式で算出されたグローブ温度を比較した結果、両者は高い相関性を有し、測定データの信頼性が確認された。また測定したグローブ温度とSET*にも高い相関が確認された。

第4章では、室内温熱環境の快適性に大きな影響を与える室内の放射熱環境を把握するうえで重要な室内表面温度の推定精度の検証を行った。通気層を有する多層壁での熱平衡を考慮した後退差分型の計算法を用いた外壁室内側表面温度の計算値と測定値を比較した結果、夏季・冬季とも計算値は測定値とほぼ同じ値で推移することが分かり、推定に用いた計算法が遮熱技術を導入した住宅の室内表面温度の予測にあたって、十分な計算精度を有することが示された。

第5章では、外壁・屋根への遮熱技術の全国的な普及を図る上での課題を考慮したうえで、全国10都市の気候条件下において、今回導入した遮熱技術が室内温熱環境や熱負荷へ与える影響を確認するため、第4章で用いた壁の遮熱・断熱計算法や第3章で用いた理論グローブ温度算出式を利用して非定常熱負荷計算プログラムを作成し、プログラムの算出結果から遮熱技術の全国展開の可能性と導入した技術の個別評価を実施した。その結果、遮熱技術導入により、すべての都市で冷房負荷を低減させる効果を確認した。また今回導入した3つの遮熱技術のうち、最も導入効果が高いのは、外表面の日射反射率の増大であることを確認した。

第6章では、第1章から第5章の総括を行い、今後の住宅における遮熱技術普及の展望について述べた。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第321号	氏名	福留 伸高
審査委員	主査	二宮 秀興	
	副査	本間 俊雄	曾我 和弘
		赤坂 裕	
<p>学位論文題目 外壁・屋根に遮熱技術を導入した住宅における室内温熱環境とエネルギー消費に関する研究 (Study on Thermal Performance and Energy Consumption of the Residence with Sunshading Techniques introduced to Walls and Roofs)</p> <p>審査要旨 提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、同型実大住宅2棟での比較測定を通し、遮熱技術導入による効果を室内温熱環境やエネルギー消費量、および適用地域の観点から評価したものである。論文は全文6章より構成されている。</p> <p>第1章は(序章)であり、本研究の背景と目的、遮熱技術の既往の研究動向を概説し、本研究の位置づけについて述べている。</p> <p>第2章では、工法面・コスト面から比較的導入が容易な3つの遮熱技術を外壁・屋根に導入した実証棟2棟の仕様・空調システム・測定内容をまとめている。</p> <p>第3章では、実証棟2棟における2005年~2008年の比較測定を通して、室内温熱環境・エネルギー消費への影響を明らかにし、導入した遮熱技術に関して次の知見を得ている。(1)夏季では、次世代省エネルギー基準に合致する基準棟でも天井裏には熱が籠りやすく、温熱環境改善やエネルギー消費抑制のために遮熱技術の導入が有効である。(2)冬季では、遮熱技術の導入により昼間のパッシブヒーティング効果は小さくなるものの、夜間の熱損失も少なくなり、室内温熱環境の悪化やエネルギー消費の顕著な増大は招いていない。(3)室内表面温度分布や平均表面温度は、冬季・夏季ともに遮熱型の方がばらつきが少なく均一になる。</p> <p>第4章では、室内温熱環境の快適性に影響する室内表面温度の推定精度の検証を行っている。通気層を有する多層壁での熱平衡を考慮した後退差分型の計算法を適用し、夏季・冬季ともに計算値と測定値がほぼ一致することを示している。このことから提案する計算法が遮熱技術を導入した住宅の室内表面温度の予測に十分な計算精度を有することを明らかにした。</p> <p>第5章では、本研究で対象とした遮熱技術が他地域でも有効か検証するために、全国10都市を対象として建物全体をモデルとするシミュレーションを行っている。その結果、遮熱技術導入により、すべての都市で冷房負荷を低減させる効果を確認するとともに、外表面の日射反射率が大きく寄与することを明らかにしている。</p> <p>第6章は結論である。全体を総括し、今後の住宅における遮熱技術普及の展望について述べている。</p> <p>以上、本論文は住宅における遮熱技術導入による効果を室内温熱環境やエネルギー消費の観点から考察したものであり、2棟の実証棟による実測データから遮熱技術の効果を定量的に評価するとともに、シミュレーションにより壁表面温度を精度良く推定できることを明らかにした。これは住宅における遮熱技術の確立と評価に大きく寄与する。</p> <p>よって、審査委員会は博士(工学)の学位論文として合格と判定する。</p>			

最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第321号	氏名	福留 伸高
審査委員	主査	二宮 秀典	
	副査	本間 俊雄	曾我 和弘
		赤坂 裕	
<p>平成22年2月3日に論文発表会を開催し、1時間の説明の後、30分間の活発な質疑応答がなされ、いずれに対しても的確な回答が得られた。主な質疑応答を以下に記す。</p> <p>[質問1] 第5章で扱われた内容は、第4章までの内容とどのようにつながるのか。第5章の位置づけについて説明してもらいたい。</p> <p>[回答1] 第4章までは、遮熱技術を鹿児島市に建設した実証棟に導入し、実証測定から得られた夏季・冬季における室内温熱環境やエネルギー消費への影響についてまとめ、鹿児島において遮熱技術を導入する意義は大きいことを示した。第5章では、全国10都市を対象としてシミュレーションすることで、より一般性のある遮熱技術の評価を目的とした。つまり、第4章までの内容を基盤に、より汎用性・発展性のあるシミュレーション手法を検討し、その計算結果を考察したのが第5章である。</p> <p>[質問2] 第5章の結果から、今回導入した遮熱技術のうち、外表面の日射反射率の増大が最も導入効果が高いとのことだが、日射反射率は経年劣化の問題があり、こうした問題についても今後考慮すべきではないのか。</p> <p>[回答2] 今回の計算では、JIS規格に基づいて実際に測定した日射反射率を使用できたことが大きいと考えている。指摘のように経年劣化の考慮は、今後のシミュレーション精度を向上させる上で重要な部分であるため、検討対象としたい。</p> <p>[質問3] 第5章では、低放射層の設置に伴う冬季での導入効果が小さい結果となったが、内部発熱の設定をもう少し考慮すれば、低放射層の設置効果も現状より大きくなるのではないのか。</p> <p>[回答3] 今回の熱負荷計算では、建物単体の熱性能をみるため内部発熱は設定しなかった。よって指摘の通り、冬季の室外への熱流出が著しい結果とならず、低放射層の設置した効果が小さかった。今後の計算精度の向上のため、考慮すべき点としたい。</p> <p>[質問4] 第6章の「今後の課題と展望」の部分において、「低放射層の設置や通気層厚さ・出入口開口率を考慮することは、施工の制約によって大きな導入効果とはならない」とのことであったが、外表面においても外装色の選択をする際、反射率の高い色は好まれない傾向があり、施工上の制約は発生する。この点はどうか考えるか。</p> <p>[回答4] 色については嗜好も関係するので制約とは考えなかった。今回の実証測定及びシミュレーション結果に基づいた知見として考えると、「施工の制約」という表現は削除することとしたい。</p> <p>[質問5] 第5章において、建物を想定した熱負荷の計算では、一般的にすべての壁で熱流量算出を行ってから内部発熱等と合算する。今回のように空気温度と設定温度との差から熱負荷を求める算出法を選んだのはどうしてか。</p> <p>[回答5] 指摘された算出方法が一般的ではあるが、より実際的な負荷は、貫流してきた熱が対流によって空気に伝達し、エアコンがその熱を処理する流れとなる。この視点から今回熱負荷を算出した。実証測定結果より自然状態ではグローブ温度と空気温度に大きな違いがないことから、室内表面温度を求めた後、各表面温度からグローブ温度を計算し、そのグローブ温度を室温と同等とみなし、室温と基準温度との差から求めた熱量をその時間における熱負荷とした。これは第3章や第4章で用いた計算手法を応用したものであり、論文として各章の関連性を持たせる上で採用した熱負荷の計算方法である。</p> <p>以上の結果を受け、上記審査委員会は全員一致で、学位申請者は大学院博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を十分に有するものと判断し、博士(工学)の学位を与えるに足る資格を持つと認めた。</p>			