

論文の内容の要旨

論文題目 潜熱蓄熱(PCM)建材を適用した住宅の環境設計に関する研究

氏 名 草間 友花

本研究では、潜熱蓄熱材(Phase Change Material ; 以下PCM)を適用した住宅における環境設計方法の指針を提示するものである。

PCMは、融点近傍で大きな熱容量を有することから、室温近傍で相変化する物質を選定した際には、空調負荷抑制効果や冬季の過昇温抑制効果が期待できる。ただし、蓄熱建材の測定方法や住宅の断熱性能、開口部との関係から定量的な評価ができる方法は現在までのところ確立されていない。

PCM建材は、状態変化することによりその効果を発揮する物質であるという特徴から、どのようにPCMを内包し、適用するかによってその効果は異なる。よって、PCMのみの物性から評価することにとどまらず、建材全体の熱物性を測定し、評価することが必要である。

本研究では、PCM建材を総合的に評価するための一案を提案するため、まず、種々の蓄熱建材の開発を行った後、測定方法に関する検討を行い、母材を含めた建材全体での基本的熱性能試験の測定方法を提案した。

開発したPCM建材は、PCM内装左官材、ハイブリッド壁暖冷房システム、PCM窓、PCMブラインド、であり、基本的熱性能試験及び実証実験棟や実験住宅において、これらのPCM建材の熱的效果について明らかにした。

次に、基本的熱性能試験から得られたPCM建材の比熱を種々の方法で定式化して用いることを提案し、非定常熱負荷計算により、PCM建材に求められる、地域や断熱性能に応じた最適な融解挙動について明らかにした。

最後に、実居室の一室を対象に、地域、方位、暖房方法等に対するPCM建材の熱負荷削減効果を数値計算により定量的に示した。また、室内環境やダイレクトゲイン特性についても検討を加え、設計者や居住者が蓄熱建材を適用した居室において、室内設定温度や開口部に求められる要求に応じた、任意の環境設計を行うことができるような資料を提示した。

第1章では、本研究の背景と目的について述べ、PCMの概要及び本研究の位置づけを明確にし、本論文の概要を示した。

第2章では、PCM内装左官材の物性及び熱的諸性能を求めるために種々の基本的物性試験を行った。PCM内装左官材の基本的熱性能試験の測定にあたり、試験方法からの検討を行い、加熱方法に対流加熱法を採用し、昇温速度は加熱時で10min./K、冷却時で20min./Kを要する。固相域・液相域の比熱及び潜熱量の測定には5min./Kでも十分な測定結果を得ることができることを明らかにした。PCM内装左官材の比熱を調和解析法によって定式化したところ、10°C~40°Cの範囲で測定値を精度よく再現でき、多峰性状を有するPCMの固液混相域における等価的な比熱の、精度の高い定式化を可能にした。

第3章では、PCM内装左官材の冬季のパッシブ蓄熱効果について、箱型の小型サイズから実験住宅規模までそれぞれ実験的な検討を行った。PCM内装左官材の有効利用の指標として有効熱容量を提案し、断熱性能や暖房方法、PCMの施工方法による違いについて実験的に明らかにした。今回検討対象とした3室において、有効熱容量が高い程、年間積算暖房負荷は低い値を示し、自然温度差は高い値を示した。また、2棟の実験住宅にPCM内装左官材を住宅に適用してダイレクトゲインシステムを構築することにより、室内環境の実測調査を行ったところ、薪ストーブを熱源とした場合でも室温20°C程度の上下温度分布のない、快適で安定した環境が得られた。

第4章では、新規の日射遮蔽材料である高耐候性不織布(NWF)を用いて実証実験棟でPCMの有無での比較を行い、日射遮蔽を行うと日最高室内温度は4K程度抑制され、さらに外気冷房を併用することで日最高室内温度を7K程度まで抑制できることを確認した。夏期の冷房負荷は日射遮蔽と外気冷房を行わない時に比べ、外気冷房単独で10%、日射遮蔽単独で88%削減できることを確認した。さらに、日射遮蔽と外気冷房を併用することで寒冷地の北海道では冷房負荷が実質ゼロになることを確認した。高断熱・高气密住宅は、冷房負荷の大部分が日射取得熱であり、計算した17地域全てで高耐候性不織布NWFの設置による冷房負荷の削減効果が高いことを確認した。

第5章では、PCM内装左官材と毛細管暖冷房マットを組み合わせた潜熱型壁暖冷房システム(ハイブリッド壁暖冷房システム)を開発し、その基本的熱性能試験を行った。太陽熱集熱器と組み合わせたハイブリッド壁暖冷房システムはPB室と比較して期間積算値で52%の暖房量抑制効果が確認できた。また、ジオサーマルコイルによる自然エネルギーの新たな利用方法を提案し、その基本的な熱特性について検証した。2棟の実験住宅における通年での実測を行ったところ、外気温が35°Cに達するような日でも室温は26°C付近で推移したことから、本システムは北海道など冷涼な地域の夏季に必要な冷房能力を有していることを確認した。実験住宅の暖房熱量は、一般的な高断熱・高气密住宅の約4割~6割に削減され、暖房期間の短縮も確認でき、提案したシステムには断熱強化と等価な省エネルギー工法としての効果を有することが確認できた。

第6章では、開口部に蓄熱性能を付与するために新規のPCM建材であるPCM窓及び

PCMブラインドを提案し、熱的・光学的な性能評価試験を行った。ゲル状PCMは融解すると透明度が高くなり、固相域、固液相、液相域ごとに透過率を測定して、試験体全体での温度依存性を示した。PCM窓を設置した室の暖房開始時刻はblankよりも遅く、暖房時間を短縮できることを確認した。また、融点ごとのPCMブラインドの蓄熱性能を定量化し、実験にて、表面温度抑制効果、透過日射量削減効果や夜間換気駆動力の促進効果が確認された。

第7章では、非定常熱負荷計算により、PCM内装左官材の断熱性能・融解挙動による顕熱負荷抑制効果を東京・札幌・那覇の3地域において検討した。どの地域も、24時間連続運転の時には、夏季、冬季ともに省エネルギー効果がみられた。暖房負荷が支配的な東京と札幌では、冬季の設定室温と融点が近いほど通年での負荷削減効果が高いことがわかった。また、融解幅が大きくなるほど、融点が低い方が負荷削減効果は高い。夏季には冷房の設定室温を超えず、やや低い温度で融解する方が冷房負荷削減効果は高く、冷房負荷が支配的な那覇では、東京や札幌よりもやや高い融点を選定した方が年間での負荷削減効果が期待できる。それぞれの地域での年間負荷削減量は、断熱性能によらず、概ね一定となった。

第8章では、非定常熱負荷計算により、PCM窓の融解挙動による顕熱負荷抑制効果を東京・札幌・那覇の3地域において検討した。まず、外付けと内付の設置方法による違いを検討したところ、内付にした時にPCMの融解・凝固の挙動が顕著に見られ、負荷削減効果も高いことから、PCM窓は内付けに設置することが妥当であるといえる。どの地域も、夏季、冬季ともに設定温度に近いほど顕熱負荷抑制効果が高く、PCM窓の厚みが大きいほど効果的であることがわかった。

第9章では、リビング及び寝室の1室を対象に、PCM内装左官材およびPCM窓の負荷削減効果について検討を行った。また、東京・札幌・那覇の3地域における、開口部の方位を変え、地域毎、方位ごと、に整理することで、蓄熱建材を適用した住宅における顕熱負荷及び空調時間を示した。

第10章では、本論文で得られた知見をまとめ、総括とした。