

床面に敷設したシート状潜熱蓄熱材の日射熱利用に関する研究

EXPERIMENTAL STUDY OF THE UTILIZATION OF SOLAR HEAT BY LAMINATED PHASE CHANGE MATERIALS LAID ON FLOORS

高村研究室 17T5009J 太田修平

Takamura Lab. 17T5009J Shuhei OHTA

キーワード：
潜熱蓄熱材 シート状 日射熱 床

Keywords:
Phase Change Materials Sheet-shaped Solar Heat Floors

省エネルギー対策の一つとして、潜熱蓄熱材の活用が考えられる。しかし、施工面で優位性のあるシート状PCMについての研究事例は少ない。また、日射熱を積極的に利用した場合における床部PCM表面温度の水平・垂直分布を把握している事例が十分ではない。そこで、室内温度、PCMの表面温度、床表面温度や床面熱流量などを計測し、これらのデータから、床面への日射の取得状況、PCMの表面温度分布、室内温度や床面熱流量を分析し、PCMを敷設し、日射熱を利用した場合における室内温熱環境について検討を行う。

1. はじめに

経済産業省の省エネルギー庁は、2030年度の長期エネルギー需給の見通し¹⁾を策定した。その中の省エネルギー対策において家庭部門の最終エネルギー需要を2013年度比で原油換算1160万kl程度の削減を目標としており、家庭部門において省エネルギー対策を講じることが急務である。

本研究で対象とした潜熱蓄熱材(Phase Change Material、以下PCMとする)は、水やコンクリートと比べ単位容積当たりの蓄熱性能が優れており、また相変化温度を任意に設定できるため、室温に近い相変化温度域で潜熱蓄熱が可能な材料である。その特性から、前述の課題を解決する目的で多くの研究が行われている。茂原、福島ら²⁾³⁾によって、試験箱内でシート状PCMを断熱材中央に設置することで流入熱の遅延効果が実測により見られた。さらに、実験棟においてPCMを天井面と壁面断熱材中間部に設置することで夏期の流入熱量抑制及び遅延効果が実測により確認された。また、夏期の流入熱抑制を目的として相変化温度を設定したPCMが、冬期において悪影響を及ぼさないことが確認された。また、中村ら⁴⁾によって、床面に板状PCMを用いて、実験棟において日射取得の大きい部位にPCMを敷設することで暖房負荷削減効果が確認された。これまで、様々な形状のPCMについての研究が行われていたが、施工面で優位性のあるシート状PCMを用いた事例は少ない。また、床部にシート状PCMを敷設した際の、冬期におけるPCM特性の把握や、室内温熱環境への影響を分析している事例も十分ではない。

そこで本研究では、シート状PCMを床部へ敷設し日射熱利用した場合のPCM特性把握を行うため、自然室温時において床面の日射熱取得領域の検討を行った。また、その後暖房時におけるPCMの特性把握及びPCM敷設による床表面温度、床面熱流量に及ぼす影響の分析を行った。

2. 計測概要

2.1 対象建物概要

本実験は長野県中野市に立地する延べ床面積3.31m²の屋外実験棟を対象としている。表1に実験棟概要を、図1に実験棟の外観を、図2に実験棟配置図を示す。同一敷地内に同一仕様の実験棟が二棟立地している。本研究では、敷地の南側に位置する棟を分析対象とした。

表1 実験棟概要

所在地	長野県中野市		
延床面積	3.31 m ²		
階数	1階		
断熱仕様	天井	押出法ポリスチレンフォーム 3種	200mm
	外壁	押出法ポリスチレンフォーム 3種	150mm
	基礎	押出法ポリスチレンフォーム 3種	100mm
	床	押出法ポリスチレンフォーム 3種	50mm
U _a 値	0.48[W/m ² ・K]		



図1 実験棟外観

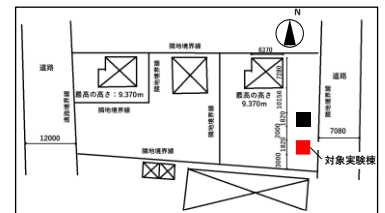


図2 配置図

表2 PCM仕様

	天井面	壁面		床面
		25タイプ	30℃タイプ	
相変化温度	35℃	30℃	25℃	25℃
寸法	3310[mm]×3310[mm]	2000[mm]×970[mm]	2000[mm]×6740[mm]	1700[mm]×1700[mm]
厚さ	1.5[mm]	1.5[mm]	1.5[mm]	18[mm]
設置量	15.1kg	2.7kg	18.6kg	47.7kg
総潜熱量	1111.7kJ	190.1kJ	1311.5kJ	3363.4kJ

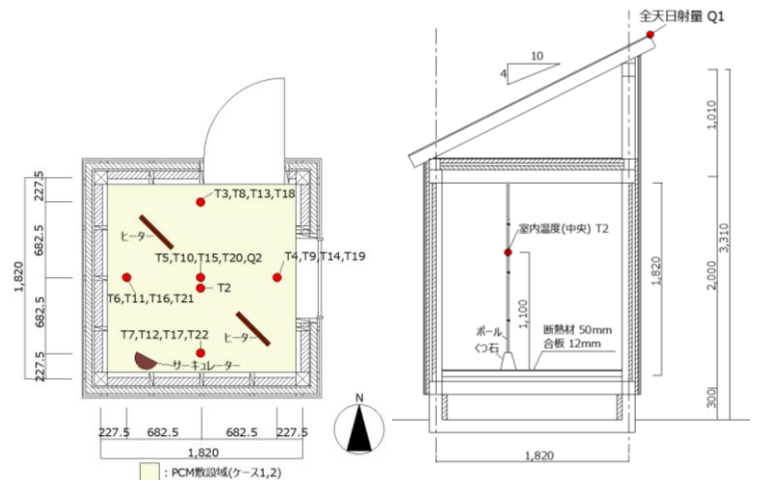


図3 計測点位置(平面図)

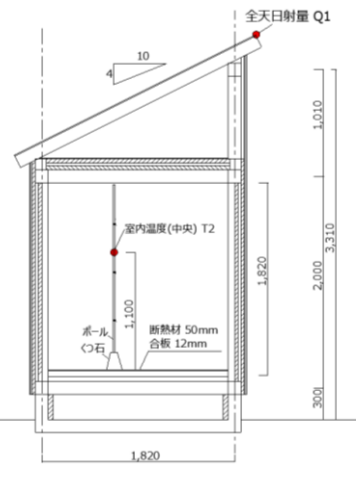


図4 計測点位置(断面図)

対象実験棟には、夏期流入熱量抑制効果を目的として、天井面と壁面の断熱材の中間部にシート状 PCM が設置された。また、本研究において床部に PCM を設置する実測ケースについては、床仕上げ材(合板 12mm)の下にシート状 PCM を敷設した。PCM の相変化温度は、天井面が 35℃、壁面が 25℃と 30℃、床部が 25℃である。表 2 に設置した PCM の仕様を示す。また、50mm の断熱材を PCM の下に敷設した。

図 3、4 に計測点位置を、表 3 に計測点一覧を示す。また、日射熱取得のための開口部は東面に位置している。

2.2 実測条件

表 4 に計測条件及び計測期間を示す。ケース 1 では日射取得状況の把握を目的として、床部に PCM を 18mm 敷設し、自然室温時において計測を行った。ケース 2 では暖房時の PCM の特性把握を目的として、床部に PCM を 18mm 敷設し、24 時間連続暖房を行った。暖房は、消費電力 160W のヒーターを室内に 2 台設置した。1 台は 24 時間連続稼働させ、1 台はサーモスタットによって室内温度が 22~26℃ に維持されるように運転制御を行った。また、サーキュレーターを左右首振り運転で室内温度の均一化を図った。ケース 3 では PCM 敷設の有無による比較を行うため、床部への PCM 敷設は行わず、暖房の稼働をケース 2 と同様に行った。

3. 日射熱取得状況の把握

3.1 自然室温における床表面温度の水平分布

床面に敷設した PCM に対する日射熱取得の影響を分析するにあたり、PCM の上層に位置する合板の表面温度分布より、方位別の日射熱取得状況を把握した。また、日射熱取得領域を把握するため、シミュレーションを用いて室内の日射熱取得域を検討した。シミュレーションソフトは住宅性能診断士ホームズ君「省エネ診断」エキスパート^{注1)}を使用した。建物の仕様、建設地の気象データ、暖冷房や換気等の設定に基づき、室温の推移や暖冷房負荷を算出する解析ソフトである。日射熱取得域の検討については、建物が窓から取得する日射熱の熱量を計算する日射熱シミュレーションを用いた。また、気象データは長野県中野市の最寄りの観測地である長野県信濃町の信濃町標準年の拡張アメダス気象データ^{注2)}を用いた。

図 5 に日射熱シミュレーションにより計算した日射熱取得域を示す。暖房期である 11 月~3 月における日積算日射取得熱の最小日及び最大日の計 10 日間の平均値を図 5 中に記載した。色の濃さは日射熱取得が多いことを示している。シミュレーションを用いた日射熱取得域の検討では、東側、北側、中央、西側の順で日射熱取得が見込まれることが分かった。

実測値の分析対象日は、ケース 1 の計測期間において日積算日射量が最も多い日(2021 年 1 月 4 日)とした。表 5 に対象日とその前日の外気条件を、図 6 に PCM 棟における床表面温度の水平分布を示す。図 6 より、11 時頃に南側床表面温度に比べて、東側床表面温度が約 1℃高くなった。また、図 6 より、8 時から 12 時の間の東側床表面温度の温度上昇について、各方位の床表面温度計測点の中で最大である 3.7℃の上昇が確認された。これは、東側は開口部からの日射熱取得が最大となる位置にあり、南側は日射の到達しない位置にあることが原因として考えられる。また、北側は事前のシミュレーションによる検討では、日射熱取得量が東側の次に多い結果だったが、実測に

表 3 計測点一覧

計測点	計測番号					計測間隔	計測器
日射量	Q ₁					W/m ²	日射計 CMP3
外気温度	T ₁					℃	1分
室内温度	T ₂						
床表面温度	FL±0mm	北側	東側	中央	西側		
		T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	熱電対 VT3 クラス1
PCM表面温度	FL-12mm	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	熱流計 L33A
	FL-21mm	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	
	FL-28.5mm	T ₁₈	T ₁₉	T ₂₀	T ₂₁	T ₂₂	
床面熱流	Q ₂					W/m ²	電力測定器 KNS-WP
ヒーター消費電力	E ₁					Wh	

表 4 計測条件及び計測期間

	床面 PCM	ヒーター稼働	計測期間
ケース 1	18mm 敷設	—	2020/12/30~2021/1/5
ケース 2		連続運転	2020/12/25~2020/12/27
ケース 3	—	—	2021/1/8~2021/1/14

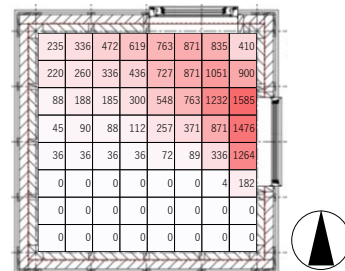


図 5 シミュレーション計算による日射熱取得域検討[kJ/m²・日]

表 5 外気条件(ケース 1)

	外気温度[℃]			日積算日射量 [MJ/m ²]	日最大日射量 [W/m ²]
	最高	最低	平均		
2021/1/3	1.4	-9.7	-3.8	6.1	518.3
2021/1/4	2.9	-10.6	-3.4	9.5	741.6

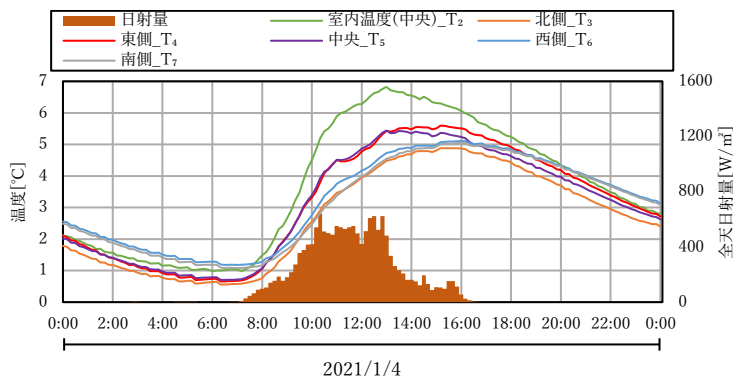


図 6 床表面温度の水平分布(ケース 1 : 1/4)

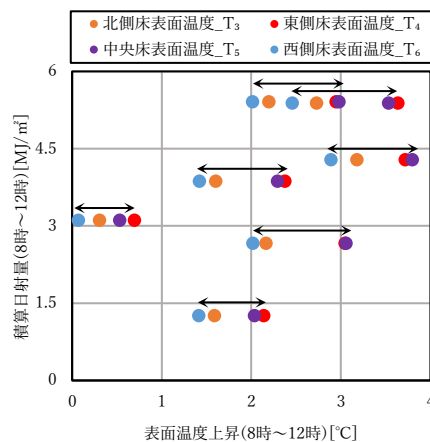


図 7 床表面温度の温度上昇と積算日射量(ケース 1)

においては常に他の計測位置よりも低い温度を推移している。これは、北側計測点の近傍に外壁に比べ熱貫流率の大きい開口部(扉)が位置しており、開口部からの熱の流出が生じたため、日射による温度上昇が僅かであったと考えられる。これより、PCMの敷設・増設位置の検討の際には開口部位置を考慮する必要がある。

3.2 床表面温度の温度上昇と積算日射量の関係

図7にケース1における、日射取得の見込まれる北側、東側、中央、西側の日中の床表面温度上昇とその時間帯における積算日射量との関係を示す。対象期間は7日間(2020年12月30日～2021年1月5日)とした。ただし、温度上昇については室内への日射熱取得が考えられる8時から12時に上昇した温度とした。また、積算日射量については各日の8時から12時の日射量の積算値とした。

図7より、いずれの計測点において、積算日射量の多い日ほど温度上昇することが確認された。また、図5と図7より、積算日射量の違いによらず、シミュレーションによる日射熱取得領域の検討と同様に、東側、北側、中央、西側の順で温度上昇が大きくなる傾向が確認された。

4. 暖房時におけるPCM表面温度分布

4.1 垂直温度分布

表6にケース2における代表日と前日の外気条件を、図8に代表日における東側のPCM表面温度の垂直分布を示す。ただし、代表日はケース2の計測期間の中で日積算日射量が最大の日である2020年12月27日とした。図8より、日射熱取得の見込まれる日中において最表面と最底面で日最大約1℃の温度差が確認された。また、最底面温度は代表日において、常に最も低い温度を推移していることが分かった。これより、PCMの下層部ほど蓄熱がされにくいことが推察される。

4.2 暖房稼働時におけるPCM表面温度の推移領域と潜熱特性

図9にケース2の代表日におけるPCM最表面及び最底面温度の推移領域と潜熱特性を示す。ただし、東側の計測位置を代表として示す。最表面では最低温度が21.8℃、最高温度が24.3℃となり、最底面では最低温度が21.2℃、最高温度23.2℃となった。また、4.1節で下層部ほど温度が低くなることを確認されたが、図9より最底面においても比熱の高い温度域を推移している。また、PCMの下層部においても最表面同様に、日中の日射熱取得による温度上昇が確認された。これより、PCMを18mm敷設する場合に、下層部においても蓄熱が十分に行われると考えられる。

5. 日射量の違いによる床表面及びPCM表面温度の比較

PCMを18mm敷設した場合の日射量の違いによる床表面及びPCM表面温度推移の比較を行った。図10に各代表日の外気条件を、図11に床表面及びPCM表面温度と室内温度の推移を示す。代表日はケース2における晴天日の2020年12月27日と曇天日の2020年12月25日とした。

図11より、晴天日において、1台のヒーターが停止したにも関わらず、日射熱取得したと考えられる8時から12時の間にPCM表面温度が約1℃上昇し相変化ピーク温度の25℃に近づいた。一方、曇天日では日中の日射量が僅かであり、PCM表面温度の上昇は約0.2℃と僅かであった。また、晴天日ではヒーターが1台停止している時

表6 外気条件(ケース2)

	外気温度[℃]			日積算日射量 [MJ/m ²]	日最大日射量 [W/m ²]
	最高	最低	平均		
2020/12/26	1.4	-9.7	-3.8	6.1	518.3
2020/12/27	2.9	-10.6	-3.4	9.5	741.6

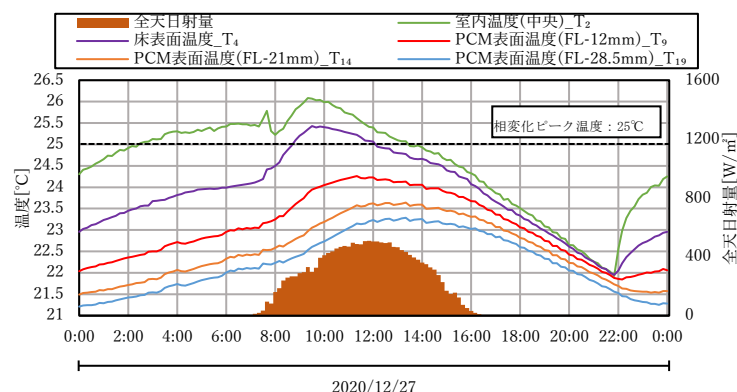


図8 PCM表面温度(東側)の垂直分布(ケース2:12/27)

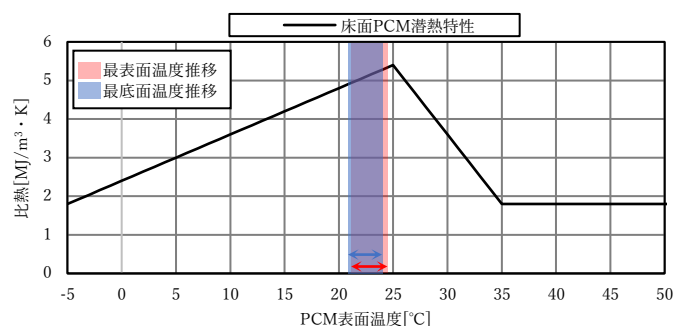


図9 PCM表面温度(東側)の推移領域と潜熱特性(ケース2)

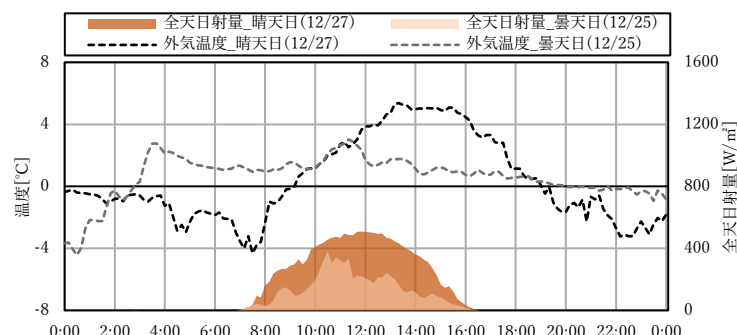


図10 外気条件(ケース2:晴天日と曇天日)

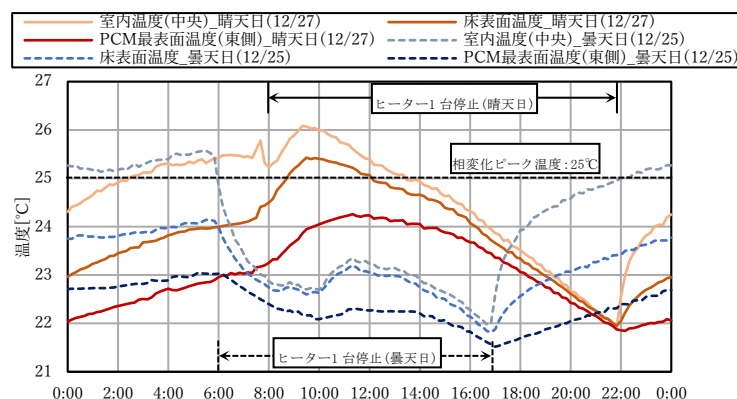


図11 床及びPCM表面温度と室内温度(ケース2:晴天日と曇天日)

間において、室内温度と床表面温度の温度差は、徐々に小さくなっていく。一方、曇天日では室内温度と床表面温度は同様な勾配で低下している。これは、日射熱取得の大きい晴天日の方が曇天日に比べ、PCM によって上層の床表面温度の低下を抑制していると考えられる。これより、PCM 敷設時に日射熱を活用することで、室内温度と床表面温度の温度差が小さくなり、室内から床下空間への流出熱抑制効果が期待される。

6. PCM の有無による床表面温度と床面熱流量の比較

PCM 敷設の有無による床表面温度と床面熱流量の推移を比較するため、積算日射量が多く、かつ同等な日を選定し比較を行った。図 12 に各代表日の外気条件を、図 13 に PCM 敷設を行わない場合(ケース 3)の室内温度、床表面及び PCM 表面温度と床面熱流量の推移を、図 14 に PCM 敷設時(ケース 2)の室内温度、床表面温度と床面熱流量の推移を示す。ただし、床表面及び PCM 表面温度は東側の計測位置を代表として示す。また、床面熱流の向きについては、室内への流入の向きを正、室内から流出する向きを負とした。

図 14 より、PCM 日射熱取得による PCM の温度上昇が見られ、相変化ピーク温度に近づいており、流出熱が確認されていることから蓄熱が十分に行われていると考えられる。

図 13 より、PCM 敷設を行っていないケース 3 の代表日では、ヒーターが 1 台停止している 8 時から 18 時において、床表面温度と室内温度は同様な温度低下の勾配が見られ、床表面温度と室内温度の温度差は縮まらなかった。一方で、図 14 より、PCM を敷設した場合は、ヒーターが 1 台停止している 8 時から 22 時の間において、床表面温度と室内温度の温度差が縮まり、床表面温度低下の抑制が確認された。また、床面熱流の推移から、流出熱が抑制される傾向が確認され、日中に蓄熱した熱を放熱していることが推察される。さらに、8 時から 18 時の積算流出熱量は、PCM を敷設したケース 2 では 165.8kJ/m^2 、PCM を敷設していないケース 3 では 222.6kJ/m^2 となり、PCM を敷設することで、流出熱の抑制効果が期待できる可能性が見出せた。しかし、本研究では計測期間が短いため、今後は長期的な計測を行い、長期的な傾向の分析を行う必要がある。

7. まとめ

本研究では、実験棟の床仕上げ材の下にシート状 PCM を敷設し、日射熱を積極的に利用した際の PCM の特性把握を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1)日射熱取得域の検討において、シミュレーションの計算結果は実測結果と同様な傾向が確認された。
- (2)暖房時において、PCM 表面温度の垂直分布について、下層部ほど温度が低下するが、相変化温度域を推移したため、PCM を 18mm 敷設した場合でも下層部において十分な蓄熱が見込まれる。
- (3)暖房時において、日射熱取得により、PCM 表面温度は上昇し、相変化ピーク温度に近づくことが確認された。
- (4)暖房時において、床面に PCM を敷設し、日射熱を積極的に利用することで、上層の床表面温度の温度低下を抑制する傾向が確認された。これより、床部に PCM を敷設することで、室内温度と床表面温度の温度差が小さくなり、室内から床下空間への流出熱抑制効果が期待される。

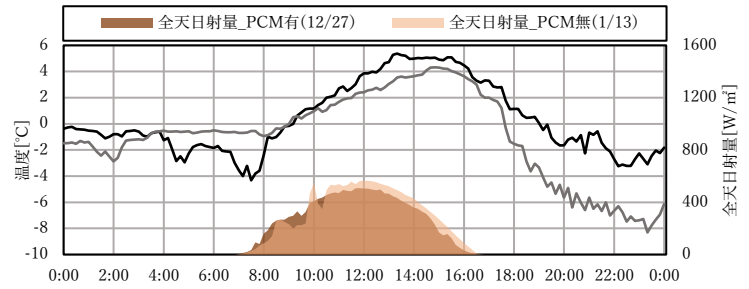


図 12 外気条件(PCM 有無の比較)

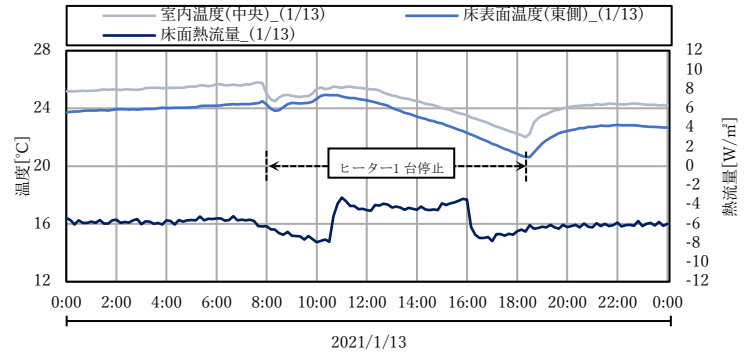


図 13 室内温度、表面温度と床面熱流量(PCM 無：ケース 3)

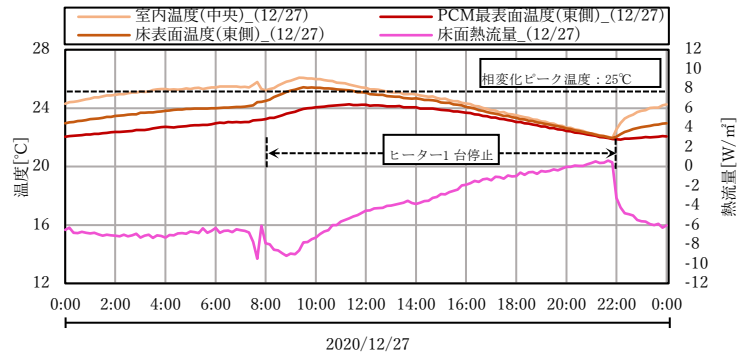


図 14 室内温度、表面温度と床面熱流量(PCM 有：ケース 2)

謝辞

研究を進めるにあたりご協力いただいた株式会社カネカ、株式会社住友化学、ホクシンハウス株式会社の関係者各位に深く感謝申し上げます。

注釈

- 注 1) 住宅性能診断士 ホームズ君.com
<https://homeskun.com/homes/products/hm-ene/> (アクセス日 2021.1.27)
- 注 2) 拡張アメダス気象データ 標準年気象データ
 1991年～2000年の拡張アメダス気象データから作成⁵⁾

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：長期エネルギー需給見通し,7(2015)
- 2) 茂原博明,高村秀紀,福島満里奈:住宅を対象とした PCM による遮熱効果の検討(第 2 報) PCM と断熱材の位置関係による流入熱量抑制効果に関する研究,空気調和・衛生工学会大会学術論文集,9(2017),pp.265-268
- 3) 福島満里奈:潜熱蓄熱材の流入熱量抑制に関する研究-実測による通年評価とシミュレーションによる最適仕様の検討-,令和元年度 信州大学大学院総合理工学研究科修士学位论文
- 4) 中村哲己,尾崎明仁,佐藤友紀,林禎彦,石黒成紀：潜熱蓄熱建材の効果に関する研究(その 10)屋外実験棟における暖房負荷削減効果の検証,日本建築学会大会学術講演梗概集,8(2013),pp.51-52
- 5) 日本建築学会:拡張アメダス気象データ 1981-2000,第 1 版,株式会社 鹿児島 TLO,2005,223p