

潜熱蓄熱建材普及に向けた取り組み

Initiatives to spread of Phase Change Material for Buildings

横山昌弘*

1. PCM 建材とは

1.1 社会的背景

近年、住宅・建築物において構造や工法、建材等の工夫によって高断熱化・高气密化が進むとともに、より少ないエネルギーで暖冷房を行うことや、日射熱などの再生可能エネルギーの有効活用や、太陽光発電で得られた電力の積極的な自立利用などが求められている。

具体的には 2014 年に閣議決定されたエネルギー基本計画に基づいて検討・作成された経済産業省の「ZEH ロードマップ」において、2020 年には新築戸建て住宅の過半を ZEH とする目標が掲げられ、ZEH 支援事業が実施されている他、資源エネルギー庁が NEDO とともに策定した「省エネルギー技術戦略 2016」においても家庭・業務部門の重要技術として ZEH およびパッシブ技術が特定されている。なお、平成 30 年度からは経済産業省、国土交通省、環境省の 3 省合同で ZEH 支援事業が開始されている。

ZEH の実現手法としては、断熱性・遮熱性等の外皮性能の強化や高効率な冷暖房設備による消費エネルギー削減と太陽光発電によるエネルギー取得を組み合わせた方法が普及しつつある。そのような中、2009 年度より太陽光発電等の再生可能エネルギーから作られた電力の固定価格買い取り制度（FIT 制度）が始まった。ただ、現在の FIT 制度は買い取り価格が系統電力並みに引き下げられている上に、2019 年からは契約期間を終了する物件が出始めている（いわゆるアフター FIT、卒 FIT）。そのような状況から、太陽光発電余剰電力の自家消費率／自立利用率の向上が今後の課題とされており、さらなる ZEH 政策推進のための一つの要素となっている。

潜熱蓄熱材を使用した建築材料（以下、PCM 建材）

を使用することで、蓄熱性能向上により冬季昼間の日射等の再生可能エネルギーを高断熱な建物内部に熱として取り込み、それを直接空調負荷低減に利用することができる。また、夏季において PCM 建材と高効率機器との組合せを検討、技術成熟させることで太陽光発電の系統負担をかけづらい自立的な使用の可能性も考えられ、蓄えた熱エネルギーを利用することで、電力需要のピークシフト効果もあることから、「省エネルギー技術戦略 2016」において重要課題に位置付けられている。電力需給の平準化にも効果が期待できる。さらに、同戦略では、快適性を犠牲にしない省エネルギーの実現が目標とされており、PCM 建材は、室温を一定範囲に維持する効果があることから、同戦略の推進に寄与する技術であるといえる。

1.2 産業界の動向

PCM 建材は主に建築物の床・壁・天井等の内装材として躯体蓄熱利用される。PCM 建材が蓄えた熱エネルギーを室温の安定に寄与させることで住宅の暖冷房負荷削減効果や快適性向上への効果がある事が確認されており、住宅・建築分野における省エネルギーの促進と温熱環境向上による快適な暮らしへの貢献が期待されている。2018 年度には経済産業省所管での補助金（次世代省エネ建材支援事業）対象に PCM 建材が選ばれるなど、確実にその有用性について認知が広がってきている。現在、PCM 建材については、①その省エネルギー効果、快適性向上効果を定量的に評価できていない、②様々な PCM 建材の蓄熱特性試験を行えない、という課題がある。PCM 建材の活用による住宅・建築分野における省エネルギーの促進及び温熱環境向上による快適性の向上に寄与する為に PCM 建材等を扱う

*一般社団法人日本潜熱蓄熱建材協会

分類	実施内容	2018年	2019年	2020年	2021年
標準化部会	潜熱蓄熱建材の調査研究				
	既存測定法の課題抽出と検討				
	蓄熱応答性の測定法検討(有効性)				
	性能表示方法・製品規格の検討				
利用促進部会	測定法 JIS規格				
	ヒステリシスモデル検証				
	ヒステリシスホームズ検証				
	精度検証				
	シミュレーション入力データの検証				
	アクティブ利用検証				
広報部会	蓄熱利用ガイドライン作成				
	建材補助金(既築)				
	建材補助金(新築)				
	シンポジウム(年一回)				
調査部会	各種広報活動				
	決定事項 市場調査、業界調査				

図1 (一社)日本潜熱蓄熱建材協会活動ロードマップ

メーカー、学術機関、評価機関が参加し設立された一般社団法人日本潜熱蓄熱建材協会(会長 大道正人)が、これらの課題解決に向けた取り組みを進めている。後程詳細は説明するが、主に①については、PCM建材が住宅に施工されたときの温熱環境を計算できる独自のシミュレーションソフトを開発。②についてはPCM建材の蓄熱特性試験として2018年に『建材試験センター規格(JSTM規格)』JSTM O 6101を完成させ、現在は2021年度公示を目標にJIS化に向けた取り組み、となっている。なお、②で得られた蓄熱挙動のデータはそのまま独自のシミュレーションソフトに入力できる仕様となっている。

同協会ではPCM建材を普及させるために前述以外にも様々な活動を行っており、ホームページ(<https://jpcm.jp/>)に最新の情報を掲載している。

1.3 潜熱蓄熱建材とは

PCM建材とは現在一般的に蓄熱建材として使用されている顕熱を主として使う建材(コンクリートやレンガ、石など)とは違い、物質が相変化する際に吸収・放出する潜熱を使用することを特徴としている。その相転移点付近で多量の熱エネルギーを吸収・放出する作用により、顕熱による蓄熱建材に比べて、特定の温度範囲において少量で大容量の蓄熱が可能である。潜熱利用の場合は目的の温度範囲を

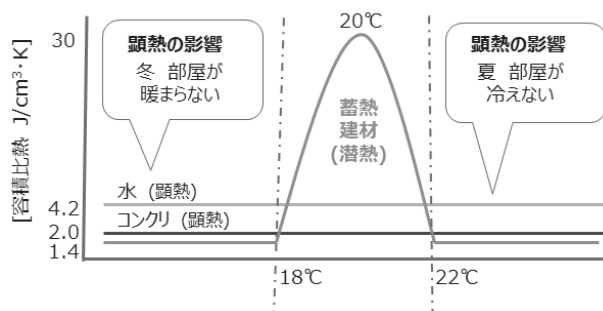


図2 PCM建材と顕熱蓄熱建材利用イメージ

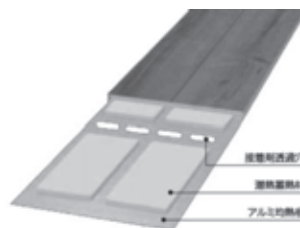


写真1 複合型蓄熱建材例



写真2 ボード・シート型蓄熱建材例



写真3 容器内蔵型蓄熱建材例

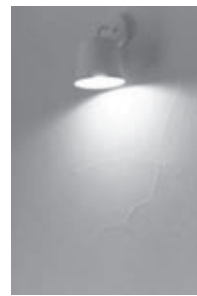


写真4 塗り壁型建材例

相転移付近に設定すれば効率よく熱エネルギーを利用できるが、顕熱利用の場合はせっかく蓄熱をしても冬に暖まらない、夏に冷えない状況になる場合がある。

PCM建材は製品の形態も近年の各メーカーによる開発で、多くのラインナップ(複合建材型、ボード・シート型、容器内蔵型、塗り壁型など)が揃いつつあり、建築物における要求能力・納まりなどの様々な条件に合った、適切な製品を選択することができるようになっている。

1.4 PCM建材の利用方法

PCM建材を用いて再生可能エネルギー等を躯体に蓄熱することで、向上した外皮性能、高効率暖冷房設備を有した住宅を更に省エネ化することができる。また、PCM建材を目的の効果温度に調整することで室温の安定化を図ることができ、ノン・エナジー・ベネフィット(NEB)への寄与も期待される。

太陽エネルギーの取得に関しては、開口部からの侵入日射熱を蓄熱するパッシブ利用、太陽熱集熱器や太陽光発電等の設備を用いて蓄熱するアクティブ利用などがある。

1.4.1 パッシブ利用による冬季暖房負荷低減、室温安定化

冬季においてPCM建材を使用して躯体蓄熱する事で昼間の日射による室温の温度上昇(オーバーヒート)を抑え、夕方以降の外気温低下時に放熱する事で夜の暖房時間帯の暖房負荷低減と室温の安定化が可能になる。

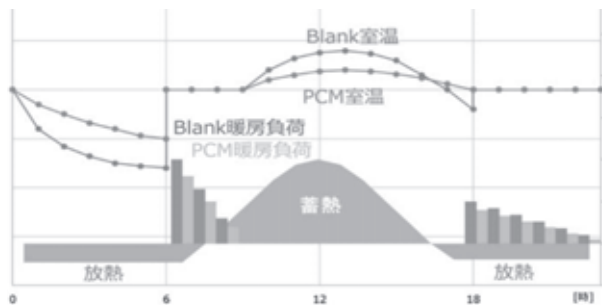


図3 PCM 建材を用いた冬季暖房負荷低減、室温安定化モデル

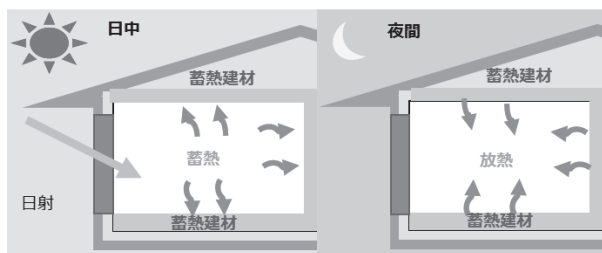


図4 PCM 建材を用いたパッシブ躯体蓄熱による冬季暖房負荷低減、室温安定化イメージ

1.4.2 アクティブ利用による冬季暖房負荷低減

冬季昼間の太陽熱、太陽光等の再生可能エネルギーを太陽熱集熱器や太陽光発電等を用いて積極的に熱エネルギーとして住宅内に入れ、夜間の暖房負荷の低減を行う。パッシブと違い、設備機器（床暖房、エアコン、放射パネルなど）等を用いて積極的

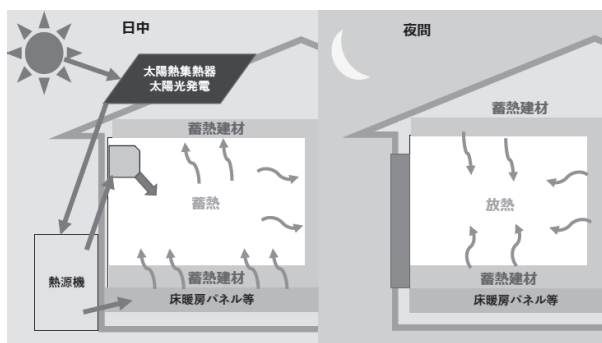


図5 PCM 建材を用いたアクティブ躯体蓄熱による冬季暖房負荷低減、室温安定化イメージ

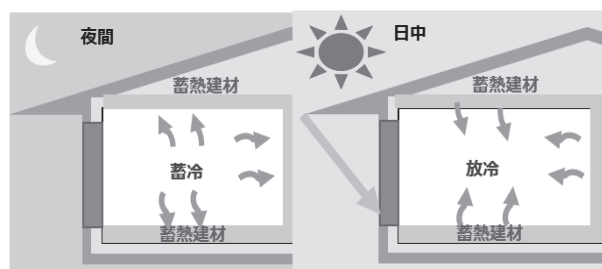


図6 PCM 建材を用いたパッシブ躯体蓄冷による夏季中間期の冷房負荷低減、室温安定化イメージ

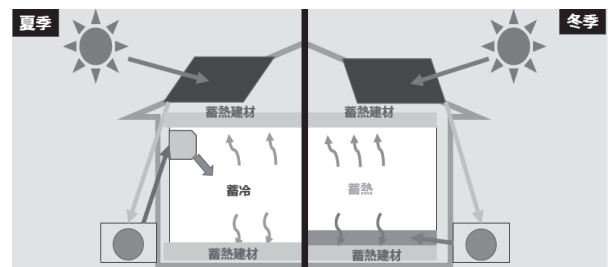


図7 PCM 建材を用いた躯体蓄熱による電力自立利用イメージ

に再生可能エネルギーを活用することが特徴である。

1.4.3 夏季、中間期冷房負荷低減、室温安定化

夏季及び中間期において、日中は温度が高いが夜間の温度が下がる日較差が大きい地域では、PCM 建材を用いて夜間に躯体蓄冷し昼に放冷する事で、昼の冷房負荷低減と室温の安定化が可能になる。

1.4.4 太陽光発電電力の自立利用

高断熱高気密住宅において、太陽光発電の余剰電力を用いてヒートポンプや電気ヒーターなどの電気式空調設備を熱源として稼働させ、PCM 建材にアクティブ利用蓄熱をすることで、冬は躯体蓄熱、夏は躯体蓄冷し蓄熱・蓄冷したエネルギーを夜間に有効利用する（PCM 建材のアクティブ利用）。これにより、電力需要がピークを迎える日中の時間帯に、電力ピークシフト（自家消費）が可能になり電力系統負荷低減が期待できる。

2. PCM 建材の評価

（一社）日本潜熱蓄熱建材協会では、様々な形状の PCM 建材の蓄熱特性を知るための試験方法の確立、PCM 建材の躯体蓄熱効果の可能性を検討するための環境試験室試験・実証試験等を実施、PCM 建材の効果予測を行うための計算ツールの開発を行っている。

2.1 PCM 建材の蓄熱特性試験法

2019 年 3 月に（一財）建材試験センター規格である、JSTM O 6101：2018『PCM 建材の蓄熱特性試験方法（熱流計法）』が確立されており、さらには 2021 年中を目指して PCM 建材の蓄熱特性試験方法の JIS 制定も進めている。これらの評価規格制定により、様々な形態の PCM 建材を同じ試験規格で性能評価・比較することができるようになる。また、この製品個別の試験結果は後述の効果予測計算ツールに活用することができる。

2.2 環境試験と温熱環境シミュレーション①

(1) 試験目的

日中のオーバーヒートによる熱エネルギーや、太陽光発電によって日中に得られる電気エネルギーから変換された余剰熱エネルギーをPCM建材で住宅内に貯蔵、夜間活用することによる、建物の温熱環境平準化ならびに余剰電力自立利用の可能性を確認することを目的として、屋内環境における蓄熱材の吸熱放熱挙動、および室内温熱環境の変化を計測している。

(2) 環境試験室試験

東京大学工学系研究科所有の環境試験室を用いて、室内にPCM建材プレート（サイズ：300mm × 300mm × 8mmt, 200J/g）40枚を縦置きに設置した。なお、室外環境は10℃に維持した。室内には1200Wのセラミックヒーターを設置し、タイマーにより入り切りを制御した。PCM建材有無での室内の温度変化を計測した。

実験結果を図12に示す。図に示す通り、蓄熱建材を室内に設置することによって、ヒーターON時の室内温度上昇が抑制される一方で、ヒーター

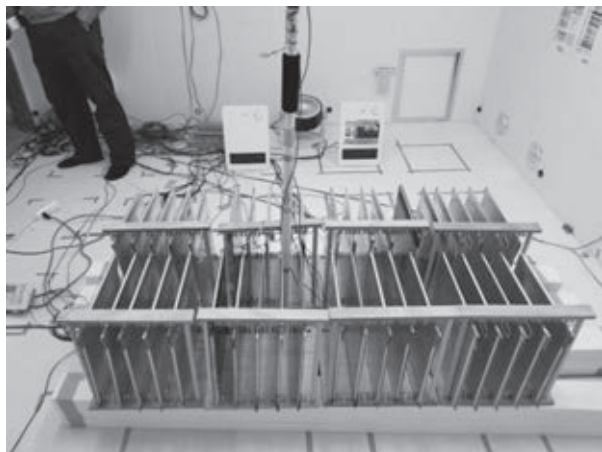


図8 試験状況

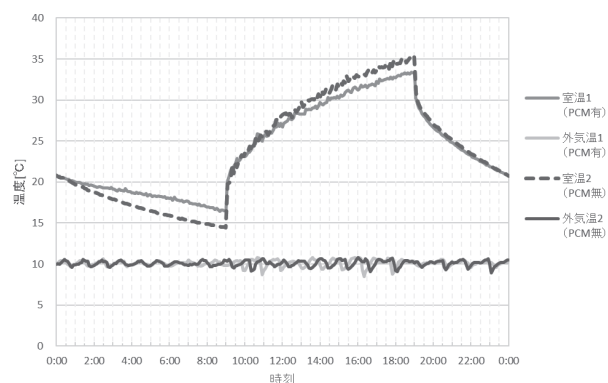


図9 環境試験室内の温度変動と室外気温の挙動

OFF時の室内温度低下も抑制され、室内温熱環境の平準化効果を確認できた。蓄熱プレート有の時の室内温度挙動（点線：室温1（PCM有））と室外温度挙動、蓄熱プレート無の時の室内温度挙動（実線：室温2（PCM無））と室外温度挙動を示す。室外温度挙動（外気温1, 外気温2）は、いずれの日も10℃に保持されており条件が同等であることが確認できる。

(3) シミュレーションによる実験結果の再現性可否検証

実験で得られた結果をシミュレーションで再現できるかの確認を行った。開発中のPCM建材計算アルゴリズムを導入したシミュレーションソフト上で図10のような間取りモデルを作成した。PCM建材を高さの低い間仕切り壁内に導入し、室内のPCM建材導入量は実験値に合わせた。

※試験用に縦型短冊状に室内配置したPCM建材は、シミュレーション上では潜熱蓄熱材が配置された間仕切りを短冊形状で表現することによりモデル化した。実住宅での配置は床壁天井の層構成内に組み込まれることが多い。

本ソフトではPCM建材の蓄熱性能モデルも自在に作ることができ、今回は先述のJSTM O 6101の評価結果を用いたモデルを図11の通り作成した。

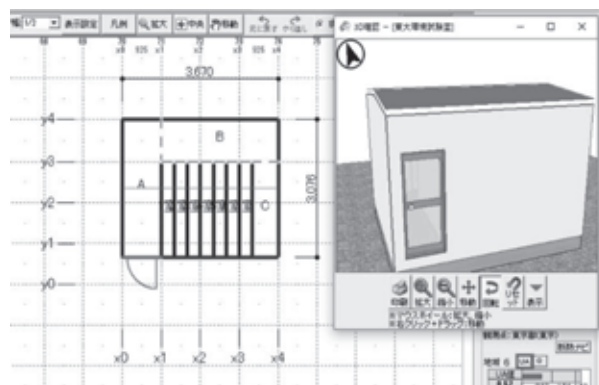


図10 シミュレーションソフト上のモデル

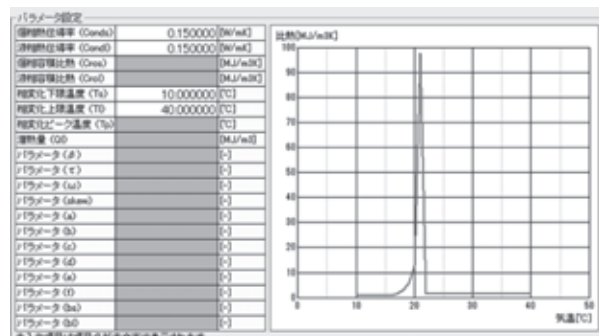


図11 PCM建材蓄熱性能モデル作成イメージ

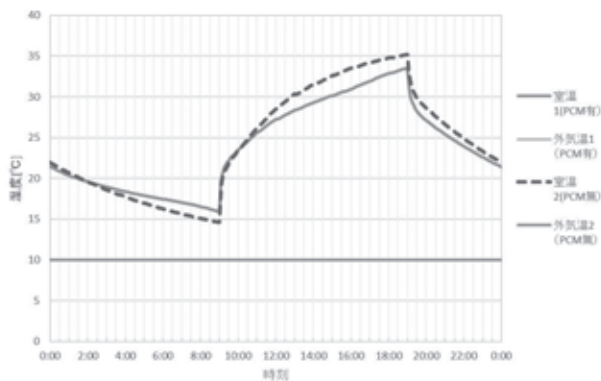


図12 温熱環境シミュレーション結果

本モデルでシミュレーションした結果を図12に示す。図9と比較すると、ヒーターOFFにしてからすぐの温度低下挙動や、OFFにしてからONにする直前の最終到達室内温度において若干の差が見られたが、概ね挙動を再現できた。不一致に関しては、実験においてヒーターOFF直前には生じていた温度差が急冷時にほぼ解消してしまっており、このタイミングでは蓄熱材の潜熱域温度に到達していないことから、実験の計測上の問題（ヒーターの風の影響を受けた可能性等）があると思われる。シミュレーションに関しては妥当な結果が得られている。

2.3 温熱環境シミュレーションを用いたPCM建材の省エネ性、快適性

(1) 目的

PCM建材がその性能を有効に発現するかは、熱容量、蓄放熱温度のような蓄熱材そのものの特性だけではなく、パッシブ設計においては開口部などの設計などが非常に重要であり、省エネの観点で有効な使用方法について前述のシミュレーションソフトを用いて探索する。

(2) シミュレーション

物件：一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 自立循環PJ「パッシブ設計 ミニ公開シンポジウム」にて公開されたパッシブ標準プランを使用した。

(http://www.jjj-design.org/wp-content/uploads/2019/01/190322tokyo_passive-2-2.zip)

住宅の仕様：断熱性能は概ね6地域におけるHEAT20 G2基準相当とした。

気象条件：拡張アメダス気象データ（東京、標準年）

潜熱蓄熱建材：潜熱量 100J/g ピーク温度 22℃（融解開始 19℃、融解完了 25℃）二等辺三角形モデル 比重 1.0 厚み 3mm

潜熱蓄熱建材施工位置：天井（石膏ボード裏）

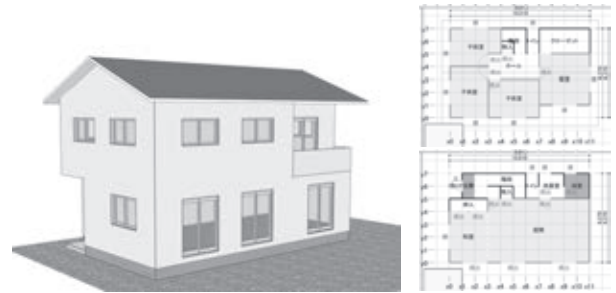


図13 パッシブ標準プランの外観および間取り

間仕切り・外壁（石膏ボード裏）、床（フローリング裏）

開口部条件：市販品の分布を踏まえ、最高性能レベルのトレードオフライン上の下記4種類を選択した。

- ・ $\eta g = 0.79$, $U_g = 2.6$ ($R_g \approx 0.38$) 透明複層ガラス（アルゴンガス入り）
- ・ $\eta g = 0.68$, $U_g = 1.1$ ($R_g \approx 0.91$) 三層ガラス（アルゴンガス入り）
- ・ $\eta g = 0.58$, $U_g = 0.75$ ($R_g \approx 1.34$) Low-E 三層ガラス（クリプトンガス入り）
- ・ $\eta g = 0.48$, $U_g = 0.55$ ($R_g \approx 1.82$) Low-E 三層ガラス（クリプトンガス入り）

各開口部の使用でシミュレーションを行った結果、各仕様における暖冷房負荷、負荷削減量、負荷削減率については表1の結果となった。 U_w 値 1.76 W/($m^2 \cdot K$)、 $\eta = 0.49$ の組み合わせで暖房負荷が最小となり、PCM導入で暖房負荷がさらに18.8%減少した。

これらのシミュレーション結果のうち、 U_w 値 1.76 W/($m^2 \cdot K$)、 $\eta = 0.49$ の開口部設計時におけるLDKゾーンの温度分布の潜熱蓄熱建材有無による差を図14に示す。

潜熱蓄熱建材がない仕様の場合、30℃以上のオーバーヒート状態の頻度が高く、ヒストグラムのピーク位置は20℃（暖房設定温度）と合致しているが、潜熱蓄熱建材が導入された仕様の場合、30℃以上のオーバーヒート状態の頻度が有意に少なくなり、ヒストグラムのピーク位置も23℃と、潜熱蓄熱建材の潜熱ピーク温度（22℃）近傍となることが分かった。

このことから、実物件でも、潜熱蓄熱建材は、室内の温度変動を抑制し、快適温度帯の頻度を高める作用をすることが確認できた。

表 1 各開口部仕様における潜熱蓄熱建材有無による暖冷房負荷及び潜熱蓄熱建材導入による暖冷房負荷削減率

断熱性能 暖冷房条件	開口部	熱交換 換気		暖房負荷 [GJ]	冷房負荷 [GJ]	暖冷房負荷 [GJ]	暖房負荷 削減率 [%]	暖冷房負荷 削減率 [%]
UA=0.55 ηAC=2.2	U=2.74 η=0.57	なし	Blank	9.7	9.4	19.1		
			PCM 床・外壁・ 間仕切・天井	8.4	9.3	17.7	1.3 13.5%	1.4 7.5%
UA=0.46 ηAC=2.2	U=1.76 η=0.49		Blank	7.3	9.5	16.8		
			PCM 床・外壁・ 間仕切・天井	5.9	9.3	15.3	1.4 18.8%	1.5 8.9%
UA=0.44 ηAC=1.9	U=1.53 η=0.42		Blank	7.4	9.2	16.7		
			PCM 床・外壁・ 間仕切・天井	6.3	9.1	15.4	1.2 15.5%	1.3 7.6%
UA=0.43 ηAC=1.7	U=1.39 η=0.35		Blank	7.9	9.1	17.0		
			PCM 床・外壁・ 間仕切・天井	6.9	9.0	16.0	0.9 11.7%	1.0 6.1%

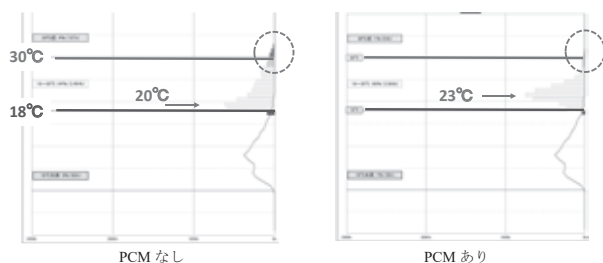


図 14 潜熱蓄熱建材なしの場合（左）とありの場合（右）の LDK ゾーンの温度分布

3. まとめ

（一社）日本潜熱蓄熱建材協会では 2021 年度を『PCM 建材普及元年』と位置づけ、2021 年 4 月までにメンバー丸となって 3 つの柱を立ち上げることを目指している。

- (1) PCM 建材の効果予測ができる温熱環境シミュレーションソフト正式版の完成。
- (2) PCM 建材の設計ガイドラインの発行。
- (3) PCM 建材評価方法の標準化となる JIS 規格制定。

これらの最新情報・動向を当協会ホームページ (<https://jpcm.jp>) やシンポジウム等で外部への発信を積極的に行っていく。多くの方々に潜熱蓄熱材を用いた躯体蓄熱を認知いただき、その適用をご検討していただければ幸いです。

著者略歴



1998 年 3 月 日本大学理工学部卒業、その後民間企業勤務、2016 年 9 月蓄熱建材コンソーシアム理事就任、2018 年 11 月一般社団法人日本潜熱蓄熱建材協会副会長就任