

温度調整機能シートの開発(第2報)

神山真一、大平武俊

Development of the paper with a temperature regulating function (II)

Shinichi KOYAMA, Taketoshi OHIRA

製紙関連企業において、新たな機能紙の開発が求められている。そこで、寝具や衣服のベストに利用され、また、住建分野で省エネパッシブ住宅の材料として利用検討がされている潜熱蓄熱機能を有する相変化物質(PCM 材)を製紙分野に適用することを検討し、温度調整能力のある機能性シートや紙素材の開発を行った。

昨年度の研究において、32℃タイプの PCM 材を配合した内添紙、塗工紙、加工段ボールの3種の PCM シートを作製し、温度特性に関する評価を行った結果、外気温より温度上昇を抑制する効果がみられ、配合量の多い条件において、より効果が大きいことが分かった。評価法の検討から、短時間で昇温する条件で効果が分かりやすく現れることが確認できた。

今年度は、25℃タイプの PCM 材を多量に配合したシート以外の紙製品として、パルプモールド製の箱や肉厚な成形体を作製して検討を行った結果、昇降温する環境条件下で、PCM 紙製品が外気温との温度差を緩和し、調温する機能が昨年より大きくみられることが分かった。

1. はじめに

製紙関連企業では、新たな機能紙の開発が望まれている。多様な機能紙が存在する中で、保温や耐熱等の温度に関連した機能性シートがある。紙基材にアルミ素材や発泡シートを貼り付けられたものや耐熱性繊維がシート化されたものが殆どである。

一方、繊維分野において、衣服や寝具内の温度を快適温度域に保つことを目的に相変化物質である PCM(Phase Change Material)材が混入されたベストやシートが販売されている。物質が固体から液体、または液体から固体等の相転移をする時に生じる潜熱を利用するもので、所定温度に保とうとする調温の性質を利用した製品である。

また、PCM 材は蓄熱や蓄冷特性があり、可逆性の材料であることから、住建分野で注目をされている。家の建材や床材等に利用をして、日中の熱を蓄熱し夜間に放熱することで、快適な温度域に保とうとするものであり、冷暖房に対する負荷を低減して省エネ化を試みるパッシブ住宅の実証試験が行われている¹⁾。

そこで、PCM 材を配合したシートや紙製品を作製し、外気温との温度差が大きく生じるような条件下で、温度差の影響を緩和し調温する機能を有する紙素材の開発を行う。

昨年度は、32℃タイプの PCM 材を配合した3種類の PCM シートを作製し、昇温抑制機能に注目して温度特性に関するデータを採取したところ、内添シートや塗工紙において抑制機能がみられたが、配合量の多い PCM 段ボールが最も効果的であることが分かった²⁾。

今回は、段ボールシートを小型パルパーで離解した古紙原料に25℃タイプの PCM 材を内添した紙料を使用して、パルプモールド製の箱(以下、モールド箱)や成形体を作製して PCM シートと多様な形状の紙製品における比較検討を行った。

2. 実験

2.1 PCMシートの作製

段ボールを小型パルパーで離解したスラリーに、25℃タイプの PCM 材を全体重量に対し20%内添させた紙料を原料として調整して、角形シートマシンにより湿紙を成形した。簡易プレス乾燥装置((株)ハシマ製)により105℃で乾燥を行い、成紙を比較用の PCM シートとした。想定坪量は210 g/m²とした。

また、比較用の PCM 段ボールは、片面段ボールに25℃タイプの PCM 材を封入(1.35 g/5 cm²)して、上と横を蓋する昨年同様の作り方で供試品を作製した。

2.2 パルプモールド製の箱の作製

PCM 材を20%内添した先述の原料を使用して、真空湿紙製造装置により容器形状のパルプモールドを作製し、80℃の熱風乾燥機中に24時間放置して乾燥をさせた。パルプモールド容器を図1のように上下重ねて箱形状にして、図2のように横から空気が出入りしないよう側面をクリップで閉じて供試サンプルとした。また、配合量を40%に増やした条件と、25℃タイプの PCM 材20%と32℃タイプ20%を混合した材料を配合したモールド箱についても同様の方法で作製をした。また、モールド箱は底面の大きさが1辺5 cmの正方形で、高さが上下重ねて約4 cm、側面の厚みが2~3 mm程度、上下2個重ねた状態での重量が30~32 gになるように調整した。

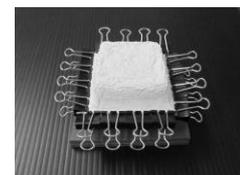
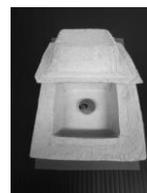


図1 パルプモールド製容器(左)

図2 モールド箱の供試体(右)

2.3 PCM成形体の作製

凹型に成形した金網の中に、先述の内添した原料を注ぎ込み、ベースとなる形状を作った後に 80℃の熱風乾燥機中で 24 時間乾燥をさせて釣鐘型の成形体を作製した。この成形体の底面を研磨してフラットにした後、ボタン型データロガーが入るように穴を開けて凹型とした。次に、ボードを作り、研磨により平らな面とした。凹型の成形体とボードの平らな面を空気の通りが無いように両面テープで接着し、図 3 に示す供試体とした。なお、成形体と蓋の重量は併せて 7.9 g で、成形体の最も薄い箇所が約 5 mm 程度の厚みであった。



図 3 成形体の供試体

2.4 機能評価試験

2 段重ねのシリコンラバー上に各供試品を置き、デシケーター内に入れて恒温恒湿機内に置き、所望の条件で温度を昇降温させ、PCM シートやシート以外の紙製品の温度特性を求めた。測定環境下のブランクの温度は、デシケーター内の温度を雰囲気とした。シート状の供試品を用いて測定をする時は、上側のシリコンラバーに円柱の穴(直径 25 mm)を開け、穴の中にボタン型温度ロガーをセットした条件で測定をした。モールド箱と比較検討を行った試験系では、温度ロガーの高さ位置を合わせるため、シリコンラバー上に置いて雰囲気を測定した。各供試体をセットした状態を図 4 に示す。

測定条件は、以下に示した短時間で昇降温させる条件と長時間で昇降温させる条件について検討を行った。

【測定条件】

◎短時間試験(デシケーター・恒温恒湿)

10→40℃/30 min ⇒keep40℃/30 min ⇒40→10℃/30 min

◎長時間試験(デシケーター・恒温恒湿)

10→40℃/3 h ⇒keep40℃/1 h ⇒40→10℃/3 h

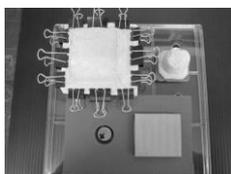


図 4 各供試サンプルをセットした状態

3. 結果及び考察

3.1 シート形状品とモールド箱の比較

段ボール原紙(ブランク)と PCM 内添紙のシート形状品とモールド箱の測定結果を比較したグラフを図 5 に示す。25℃付近の温度域において、モールド箱が内添紙に比べて、昇温を抑制し保温効果が大きくなっていることが分かる。

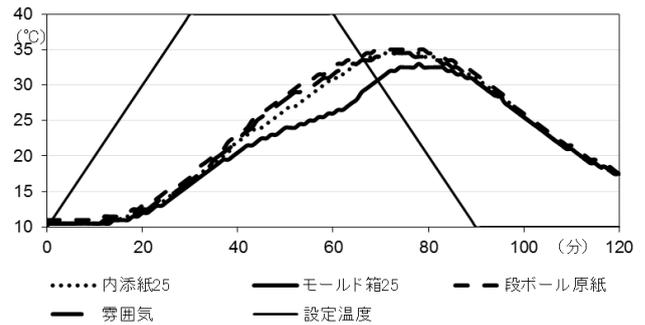


図 5 PCMシートとモールド箱の比較(短時間)

3.2 多様な形状の紙製品における比較

3.2.1 短時間で昇降温させる評価試験

PCM 材の量を多く配合したモールド箱、成形体、段ボールの各紙製品について試験を行った結果を図 6 に示す。また、27℃への到達時間を表 1 に、雰囲気と各サンプルの温度差の最大値を表 2 に示す。

昨年度の検討では、PCM 段ボールが最も効果的であったが、モールド箱と成形体は 27℃への到達時間で段ボールに対して倍近い時間を要したことから、段ボール以上に有効であることが分かった。なお、モールド箱と成形体の温度変化曲線は、ほぼ同様で殆ど差がなかった。表 2 から雰囲気と成形体を比較すると、最も大きく差の開いた温度差が 6.0℃と大きく、所定の温度に保持しようとする能力が高いことが示された。

利用用途を考えると、今回のような 1℃/min と昇温が早い環境下で使用するのが有効であると考えられる。一方、昇温時の温度上昇抑制効果は顕著にみられたが、降温時における効果がみられなかったことについては、現在のところ原因がよく分からない。

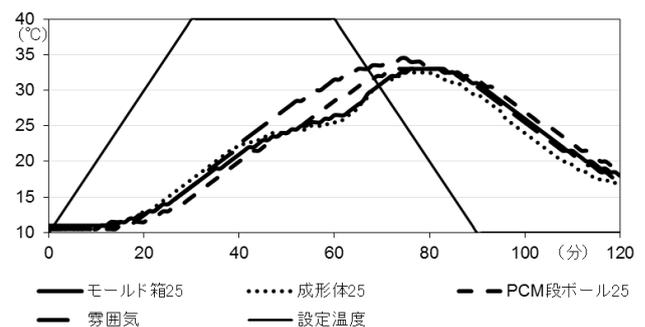


図 6 多様な形状の紙製品における比較(短時間)

表 1 27℃への到達時間

条件	雰囲気	PCM段ボール	モールド箱	成形体
到達時間	49分	57分	63分	64分
(雰囲気と差)	—	8分	14分	15分

表 2 雰囲気と各サンプルの温度差の最大値

PCM段ボール	モールド箱	成形体
3.5℃	5.5℃	6.0℃

3. 2. 2 長時間で昇降温させるサイクル評価試験

3 時間で 30℃昇降温させる条件を 3 回繰り返した長時間のサイクル試験結果を図 7 に示す。いずれの昇温時も、25℃から 30℃付近で昇温を抑制する傾向がみられた。一方、モールド箱と成形体における降温条件下の温度変化で、15℃から 10℃付近で雰囲気や PCM 段ボールと異なり温度が低下しない変化曲線を示したが、原因は不明である。

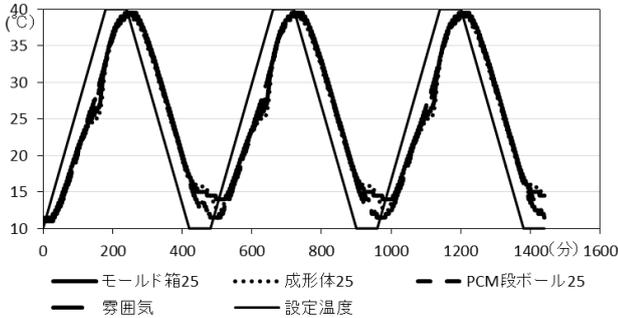


図7 多様な形状の紙製品における比較(長時間サイクル)

図7の1回目と2回目における昇温時を拡大したグラフを図8と図9に、27℃への到達時間を表3と表4に、雰囲気との温度差の最高値を表5に示す。1回目と2回目において、全ての供試品の昇温曲線がほぼ同様の変化曲線を示し、可逆性の反応であることが再認識できた。モールド箱と成形体のサンプルは、約 40 分の長い間、昇温抑制効果を示した。なお、温度差の最大値をみてみると、測定環境下の雰囲気と成形体間で 4.5℃であったことから、先述の短時間で使用する条件の方が効果的であることが分かった。

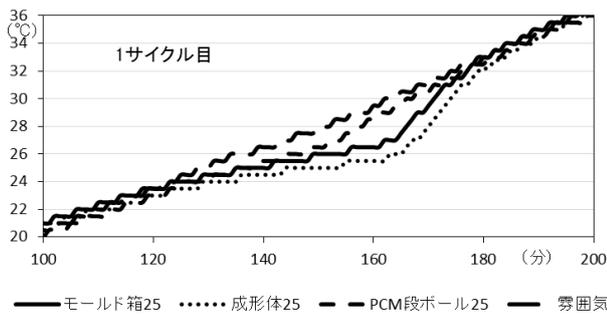


図8 多様な形状の紙製品における比較(1 サイクル目)

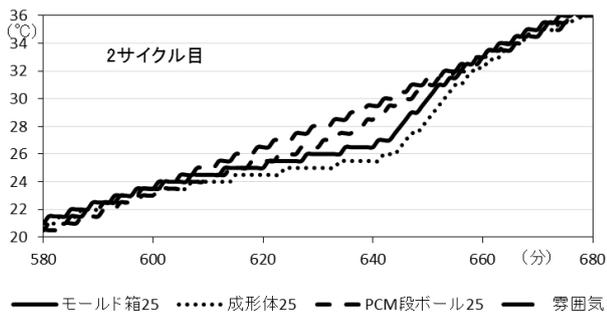


図9 多様な形状の紙製品における比較(2 サイクル目)

表3 27℃への到達時間(1 サイクル目の昇温部)

条件	雰囲気	PCM段ボール	モールド箱	成形体
到達時間	143分	152分	162分	167分
(雰囲気と差)	—	9分	19分	24分

表4 27℃への到達時間(2 サイクル目の昇温部)

条件	雰囲気	PCM段ボール	モールド箱	成形体
到達時間	622分	631分	641分	646分
(雰囲気と差)	—	9分	19分	24分

表5 雰囲気と各サンプルの温度差の最大値(1 サイクル目)

PCM段ボール	モールド箱	成形体
1.5℃	3.0℃	4.5℃

今回は 25℃タイプの PCM 材で検討を行ってきたが、所望の温度域の PCM 材を配合することで、目的とする温度域周辺で同様の効果を期待することができ、PCM 材配合のパルプモールドや紙製成形体は、外気温との温度変化を緩和し、容器内との温度変化を小さくする包装容器として利用が可能ではないかと考えられる。ただし、今回の検証はデシケーター中の狭い容器内で小さな供試体における試験結果であることから、サンプルの大きさや実際に使用が想定される温度や環境雰囲気を考慮した事前の確認試験を実施することが望ましい。

3. 3 モールド箱における比較(配合割合と混合)

モールド箱の形状において、25℃タイプの PCM を 20%、40%配合した供試体と、25℃タイプを 20%と 32℃タイプを 20%の割合で混合した供試体について、短時間で昇降温を 2 回行うサイクル試験を実施した。30 分間で 10℃から 40℃に昇降温させる条件で検討を行ったところ、最も高くなった温度でも 32℃まで到達しなかったことから、混合による効果が確認できない結果となった。そこで、10℃から 50℃に昇降温の条件を変更して再試験を行った。その結果のグラフを図 10 に、27℃への到達時間を表 6 と表 7 に、雰囲気との温度差の最高値を表 8 に示す。

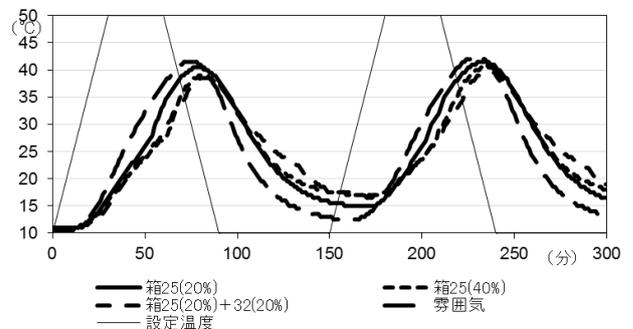


図10 モールド箱における比較(配合割合と混合、短時間)

表 6 27℃への到達時間(1 サイクル目の昇温部 10⇔50℃)

条件	雰囲気(上)	25(20%)	25(40%)	25(20%)+32(20%)
到達時間	41分	52分	58分	57分
(雰囲気と差)		11分	17分	16分

表 7 27℃への到達時間(2 サイクル目の昇温部 10⇔50℃)

条件	雰囲気(上)	25(20%)	25(40%)	25(20%)+32(20%)
到達時間	195分	202分	207分	208分
(雰囲気と差)	—	7分	12分	13分

表 8 雰囲気と各サンプルの温度差の最高値(1 サイクル目)

25(20%)	25(40%)	25(20%)+32(20%)
6.5℃	10.5℃	9.0℃

40%と混合のサンプルにおいて、昇温時は類似した曲線変化を示したが、降温時の場合は混合の条件だけで抑制効果がみられた。また、昇温時の同一経過時間における雰囲気と供試品の温度差の最高値が、40%と混合の条件で、10℃前後とかなり大きな差がみられたことから、短時間で急激に温度が上がる条件下で使用するような用途に展開することが有効ではないかと考えられる。

今回の一連の検証から、PCM 材をより多く配合することが可能な紙製ボードを作製し、パーティションや建材等に活用することが効果的だと考える。しかし、いずれの場合においても、事前に使用が想定される用途や環境等を考慮したうえで、スケールアップした条件で事前に確認試験を行うことが望ましい。

一方、PCM 材が利用されている他の事例として、昼間に太陽が照射する光熱を蓄熱し夜間に放熱することで暖房費を節減するパッシブハウスに関連した研究が多く実施されている。さらに、一般財団法人建材試験センターと東京大学や化学メーカー等が連携して、2016 年 9 月に蓄熱建材コンソーシアムを設立し³⁾、評価方法の標準化やシミュレーションに関する研究や広報活動を行っている。また、樹脂に PCM 材を混入させたフィルムシートやプラスチック容器に PCM 材を多量に入れた蓄熱ボードを販売する企業も現れており、農業分野や輸送用途をはじめ多様な用途で利用され⁴⁾、今後注目をされる素材になることが予想される。

4. まとめ

PCM 材を配合したシート形状品やシート以外の紙製品であるパルプモールドや成形体に対して、温度特性を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- ・パルプモールド製の箱と成形体は、昨年度最も効果がみられた PCM 段ボールより有効であることが分かった。長時間で昇降温させる条件や短時間で昇降温させる条件の場合も大きな抑制効果を示した。

- ・3 時間で 30℃昇降温させる長時間サイクル試験において、モールド箱と成形体は同様の温度変化曲線を示し、可逆性であることが再認識できた。また、約 40 分間の長い間、昇温抑制効果が認められた。

- ・30 分で 40℃昇降温させる短時間の試験において、モールド箱の PCM25℃40%配合と 25℃20%と 32℃20%の混合の両サンプルは、雰囲気と温度差の最大値が約 10℃と大きかった。この環境と類似した条件下で使用するような用途における利用が有効である。

今回の一連の研究で、今後の普及が予想される PCM 材を配合した紙製のシート及びパルプモールド製の箱や成形体は、昇温抑制機能や外気温との温度差を緩和し温度を調整しようとする性能があり、配合量を多くすることでより効果を示すことがあらためて確認をすることができた。

想定される使用用途に適した温度域の PCM 材を選択し、製品の形態や配合量を考慮したうえで、包装材料や建材等に展開することが有効である。また、PCM 材を配合した紙製品は多様な形の製品を作ることができ、他の機能性物質とのハイブリット化も可能であることから、今後のさらなる展開が期待される場所である。

【参考文献】

- 1) 本間、岩手県立大学盛岡短期大学部研究論集, 第 14 号, pp.41-44, 2012
- 2) 神山, 岐阜県産業技術センター研究報告 No.11, pp.45-48.
- 3) 蓄熱建材コンソーシアム, <http://www.pcmconso.jp/>
- 4) 第 6 回蓄熱工学シンポジウム講演集, pp. 25-26, 2016