

温度調整機能シートの開発(第1報)

神山真一、関範雄

Development of the paper with a temperature regulating function

Shinichi KOHYAMA and Norio SEKI

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、住建分野で研究や検討がされている潜熱蓄熱材である相変化物質(PCM)の製紙分野への適用を検討し、温度調整機能を有する機能性シートの開発を行う。

今回は、紙料中で PCM 材を添着させる内添紙と樹脂にブレンドして塗工を行う塗工紙、段ボールに封入する加工段ボールの3種類のPCM配合シートを作製し、温度特性に関するデータを採取した。また、併せて評価法の検討も行った。

その結果、マイクロカプセル型のPCM材を配合した3種のPCMシートを作製することが出来、評価試験を行った結果、周囲の外気温より温度上昇を抑制する効果がみられた。一方、評価方法については、短時間で昇温を行う条件の方が長時間で緩やかに昇温を行う条件より抑制効果が大きく現れることが分かった。

1. はじめに

製紙関連業界において、新たな機能紙の開発が望まれている。耐水や撥水、水解や調湿等の特性を有す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製品もある。これらは、紙基材にアルミや発泡シートを貼り付けたものや耐熱性繊維をシート化したものである。

物質が固体から液体、液体から固体に相転移をする時、放出もしくは吸収する熱エネルギーを潜熱という。夏季に行う打ち水は撒いた水が気化していく時に熱を奪う現象であり、潜熱を利用したものである。相転移時の潜熱が活用出来る材料をPCM(Phase Change Material)材といい、可逆性の特性を示している。

蓄熱蓄冷の特性を有するPCM材を使用した製品として、夏季の猛暑時に体温上昇を抑制し睡眠への導入を緩和するための敷きもの(寝具)や熱の上昇を和らげる衣服のベスト等が市販されている。また、所定の温度に保とうとする性質を利用して、住宅の建材や床材に利用することで、冷暖房の負荷を低減し省エネ化するパッシブ住宅を開発するための実証研究やシミュレーション等も実証されている。

そこで、外気温との温度差が大きく生じるような条件において、温度差の影響を緩和し調湿する機能を有する機能性シートの開発を行う。今回は、PCM材を芯物質としたマイクロカプセル型の材料を使用して、紙料中で添着を行う内添紙、水系樹脂にブレンドして塗工を行う塗工紙、段ボールに封入させる加工段ボールの3種類のPCMシートを作製して、温度特性に関するデータを採取して検討を行った。

2. 実験

2.1 PCMシートの作製

紙料中で添着をさせた内添紙とコーティングをした塗工紙、段ボールに封入した加工段ボールの3種類のPCMシートを作製した。

内添紙は、ロールビーターでマニラ麻パルプを濾水度500mlCSFに叩解して調製した紙料の中に、マイクロカプセル型のPCM材(32℃タイプ)を添加して、硫酸バンドと製紙薬品で添着を行う方法により、想定坪量(PCM材含む)120~130g/m²のPCM内添紙を作製した。なお、パルプの歩留を100%と仮定をして、投入した全材料の重量とPCMシートの重量から、シート中に含まれるPCM量を計算して割合を求め、配合量(配合:20wt%、50wt%)とした。また、2枚貼り付けたサンプルも作製し供試体とした。

次に、PCM材と水系の防湿塗工剤(星光PMC(株)XP8812)をブレンドし、濃度調整した塗工液を疎水性ライナー原紙にバーコーター(ウェット膜厚:100μm、200μm)で塗工を行い、熱風乾燥機により乾燥しPCM塗工紙を作製した。

また、5cm角の片面段ボールシートの凹部にPCM粉末を1.35g封入し、上面と側面は粉が漏れるのを防ぐため、ライナー原紙で蓋をするよう接着をすることでPCM段ボールを作製した。

2.2 PCMシートの昇温抑制評価(赤外線ランプ照射)

密閉の亚克力箱の中で赤外線ランプを供試品に照射する図1のような簡易装置を作製し、温度特性に関するデータを採取して評価を行った。ランプの先端から供試品までの距離は約30cmとした。



図1 赤外線ランプ照射による評価装置

サンプルをセットする測定部は、直径 25mm の円柱形の穴をあけたシリコンラバーをもう 1 枚のシリコンラバー上に置き、穴の壁に触れないようボタン型温度ロガーをセットし、穴の上を供試体のシートで覆い図 2 に示すような構成とした。なお、覆わずに温度ロガーに直接ランプ照射される条件を雰囲気とした。30 分間照射した時の昇温時の温度変化と電源を切ったからの降温時の温度変化を測定した。

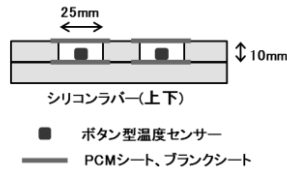


図 2 測定部(断面)

2. 3 PCM シートの昇温抑制評価 (恒温恒湿機)

任意条件で昇温や降温をさせた時の PCM シートの抑制効果をみるため、恒温恒湿機内で実験を試みた。風の影響を排除した評価系とするため、図 2 の測定部をデシケーター中にに入れて温度変化を測定した。

温度の設定条件は、短時間で昇温させる①と夏季の温度変化を想定して長時間で昇温を行う②の 2 条件について検討を行った。室温から昇温開始温度になってから、庫内の雰囲気安定させるため 30 分保温調製をした後に昇温を開始した。なお、供試サンプルは内添紙と PCM 段ボールに対して測定を行った。

《昇降温条件》

①短時間試験

調製 22°C/30min ⇒昇温 [22°C→44°C]/30min
⇒保温 44°C/30min ⇒降温 [44°C→22°C]/30min

②長時間試験

調製 24°C/30min ⇒昇温 [24°C→39°C]/3h
⇒保温 39°C/1h ⇒降温 [39°C→24°C]/3h



図 3 恒温恒湿機内にデシケーターを設置した評価装置

3. 結果及び考察

3. 1 PCM 内添紙の昇温抑制

3. 1. 1 赤外線ランプ照射による試験

PCM 内添紙において、PCM 材の付着の様子を確認するため、電子顕微鏡により表面形態観察を行った。配合割合 20wt% の場合を図 4、50wt% の場合を図 5 に示した。パルプ繊維に付着したり繊維間で凝集している様子が確認出来る。

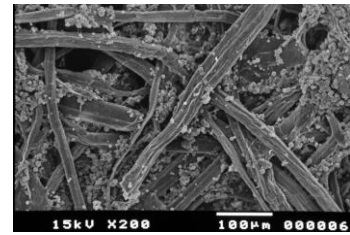


図 4 内添紙の SEM 画像 (20wt%)

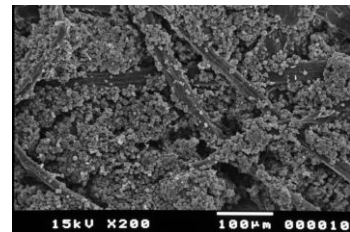


図 5 内添紙の SEM 画像 (50wt%)

PCM 内添紙や未添加のブランク紙に対して、赤外線ランプを照射した時の温度変化を図 6 に、昇温部を拡大したグラフを図 7 に示した。人の体温に近い 37°C に到達する時間で比較をした場合、配合率が 20wt% と 50wt% の両条件の 2 枚重ね PCM 内添紙は、ブランク紙に比べて到達時間が 6 分遅くなった。これは、PCM 内添紙が昇温抑制をしたためと考えられる。20wt% PCM 内添紙 1 枚の到達時間が 3 分であったことから、坪量の大きい条件や PCM 材の配合量が多いサンプルの方が効果は大きくなることが分かった。また、赤外線ランプの熱線により急激に昇温をする雰囲気とのデータと比較すると、17 分遅くなる結果であった。この結果から、検討した PCM 内添紙は夏季の炎天下の急激に温度上昇が起こるような条件で使用するのが適当ではないかと思われる。ブランク紙と内添紙の最大温度差は 3°C であった。

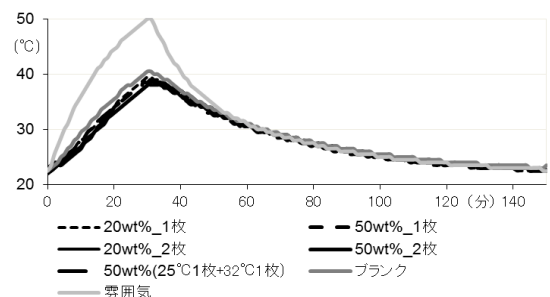


図 6 PCM 内添紙への赤外線照射(30min)

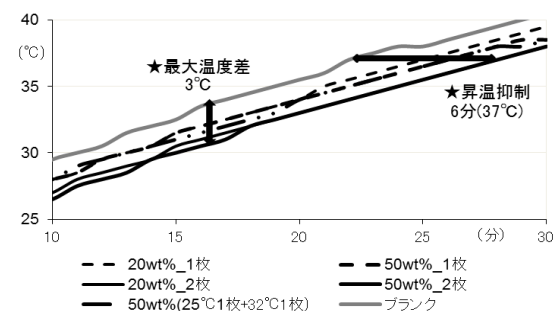


図 7 PCM 内添紙への赤外線照射(昇温部拡大)

3. 1. 2 恒温恒湿機を使用した短時間試験

恒温恒湿機内で30分間に22℃昇温する条件で測定を行った短時間試験の結果を図8に示し、昇温部の拡大したグラフを図9に示した。また、37℃への到達時間を表1にまとめた。

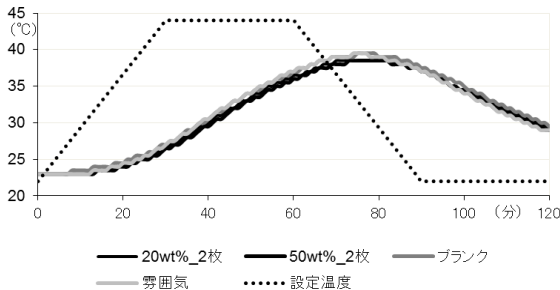


図8 PCM内添紙への短時間試験(恒温恒湿機)

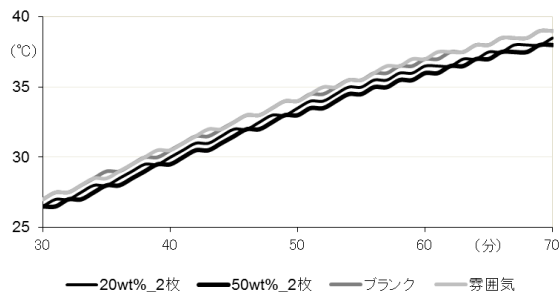


図9 PCM内添紙への短時間試験(昇温部拡大)

表1 内添紙の37℃への到達時間(短時間・恒温恒湿機)

内添条件	雰囲気	ブランク	20%2枚	50%2枚
到達時間	59分	60分	63分	64分
雰囲気との差		1分	4分	5分

デシケーター内の温度である雰囲気とブランクの紙を試した場合の差が1分であったのに対し、20wt%の内添紙で4分、50wt%の場合には5分の昇温抑制効果が見られた。また、前節で記した赤外線ランプ照射より効果が確認出来なかったのは、ランプ照射より昇温が遅くなったことで、PCM物質が熔融し機能の出現している時間が間延びされたことにより、効果が分かりにくくなったためと推測する。

3. 1. 3 恒温恒湿機を使用した長時間試験

夏季の朝から昼頃までの温度上昇を想定した条件として、24℃から39℃までの15℃を3時間かけてゆっくりと昇温して測定を行った結果を図10に示し、37℃への到達時間を表2にまとめた。

前項までに記載した各条件のグラフと今回の長時間のグラフは、時間軸が揃っていないため比較検討をすることは出来ないが、約200分という長時間が経過した頃に3、4分の差が生じたばかりであった。また、PCM物質の融点である32℃付近の通過時間帯でも特に差が認められなかったことから、内添紙2枚(坪量250g/cm²相当)では、効果があまり得られな

いことが分かった。なお、長時間試験の場合も昇温に要する時間と効果の現れ方に対する前節の考察が当てはまる。

この結果から、長時間に渡って使用するような用途では、薄いシートよりPCM材の配合量が多いボードや肉厚のモールド等で展開するのが適している。

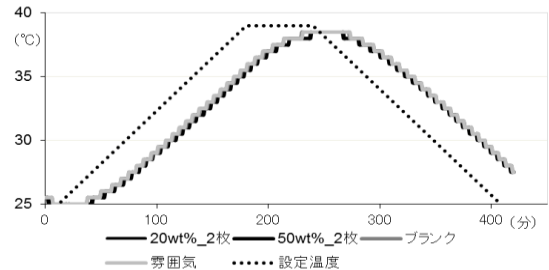


図10 PCM内添紙への長時間試験(恒温恒湿機)

表2 内添紙の37℃への到達時間(長時間・恒温恒湿機)

内添条件	雰囲気	ブランク紙	20%2枚	50%2枚
到達時間	195分	196分	198分	199分
雰囲気との差		1分	3分	4分

3. 2 PCM塗工紙の昇温抑制(恒温恒湿機・短時間)

バーコーターで塗工をしたPCM塗工紙の電子顕微鏡写真を図11に示した。多くのマイクロカプセルと樹脂で覆われている様子が確認出来る。

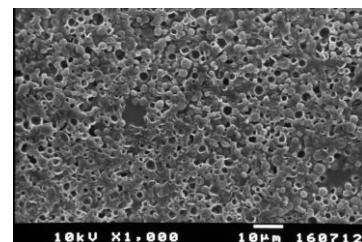


図11 PCM塗工紙のSEM画像(7:3_100µm)

PCM塗工紙に対して恒温恒湿機を使用した短時間試験の結果のうち昇温部を拡大したグラフを図12に示し、37℃への到達時間を表3にまとめた。

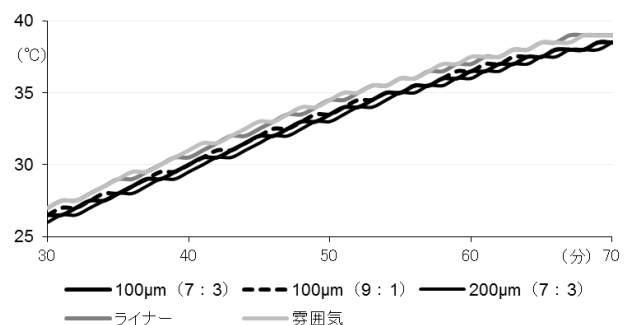


図12 PCM塗工紙への短時間試験(昇温部拡大)

表 3 塗工紙の 37℃への到達時間(短時間・恒温恒湿機)

塗工条件	雰囲気	ライナー 原紙	7:3 100 μm	9:1 100 μm	7:3 200 μm
到達時間	58 分	59 分	62 分	61 分	63 分
雰囲気との差		1 分	4 分	3 分	5 分

PCM材の割合が9割でバーコーターのウェット膜厚が100 μmの塗工条件と7割で200 μmの塗工条件で抑制効果が見られた。先述の内添紙に対する恒温恒湿機を使用した短時間試験の到達時間とほぼ同じ時間を示す結果であった。また、内添紙の場合と同様に、昇温抑制の機能は PCM の量に依存することが判明した。

3. 3 PCM 段ボールの昇温抑制 (恒温恒湿機・短時間)

PCM 段ボールと未添加のblank段ボールに対する恒温恒湿機を使用した短時間試験の結果を図 13 に、昇温部を拡大したグラフを図 14 に示した。

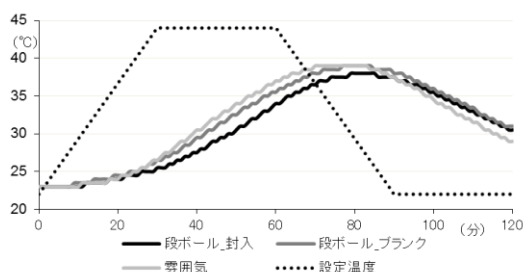


図 13 PCM 段ボールへの短時間試験(恒温恒湿機)

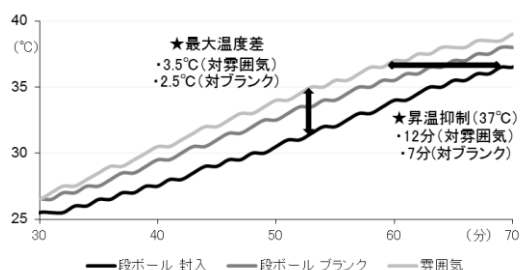


図 14 PCM 段ボールへの短時間試験(昇温部拡大)

PCM 未添加のblank段ボールにおいて少し抑制効果を示したが、PCM 材の封入により効果がより大きくなることが確認出来た。また、恒温恒湿機(短時間試験)の同一条件下で比較をした場合、配合量の多い PCM 段ボールが PCM 内添紙や PCM 塗工紙より大きい抑制効果を示した。

以上の結果から、昇温抑制の効果を大きくするには PCM

の配合量の多いシートの作製が有効であることが分かった。また、評価方法の比較において、短時間で昇温させる評価系の方が抑制効果を大きく確認出来る結果となった。PCM シートの用途展開を考えるにあたり、例えば、急激に温度上昇を伴う夏季の炎天下で被るヘルメットのインナー等へ使用が良いのではないかと考える。

PCM 材を活用した他の研究事例として、佐藤らは昼間の太陽照射熱を蓄熱し夜間に放熱することで暖房費を削減するパッシブハウスに使用する試験¹⁾を実施している。また、橘高らは省エネルギー効果を狙った温室ビニールハウスへの設置を検討しており、日照条件や数百枚使用するという点があるものの重油削減効果があることを報告²⁾している。さらに、蓄熱性の測定方法について、佐伯が装置を組んで熱量を熱流計で測定する手法により検討³⁾を行っている。

今回検討した一連の PCM シートの評価は、測定部として約 5 cm³の小さい断熱スペースの中に温度ロガーを置き、上部のシートと温度ロガーが非接触の形で測定をしてきた。居住空間や大きな箱等で利活用を考えるのであれば、容積を大きくして実際の使用を想定した再現試験に近い条件下で検討をするのが望ましい。

4. まとめ

32℃タイプの PCM 材を配合した 3 種の PCM シートを作製し、昇温抑制に関する温度特性データを採取した結果、以下のことが明らかになった。

- ・内添や塗工や段ボールへの封入により、各種 PCM シートを作製することが出来、昇温抑制効果を確認した。
- ・昇温抑制の効果を大きくするには、PCM 配合量の多いシートが優位であることが分かった。
- ・評価方法を比較検討した結果、昇温を短時間で行う条件が、長時間の場合より抑制効果を大きく示す傾向であった。

今回検討した PCM シートはいずれも抑制効果が見られたが、配合量の多いシートの方がより優位であったことから、配合量の多い紙製ボードやパルプモールド等への適用が有望だと思われる。

【参考文献】

- 1) 佐藤ら、日本建築学会環境系論文集,第 77 卷,第 678 号, pp. 651-659, 2012
- 2) 第 6 回潜熱工学シンポジウム講演集, pp. 25-26, 2016
- 3) 佐伯、建材試験センター建材試験情報, 50, pp. 10-14, 2014