

接触冷感紙の開発およびその用途開発（第2報）

－接触冷感紙系の試作と織機への適用－

高橋雅樹 橋田 充 中村健治 續木康広 藤本真人 平山和子 井上寛之

Development of contact cooling paper and considering its application case
- Preparing contact cooling paper and applying to produce textile -

TAKAHASHI Masaki, HASHIDA Mitsuru, NAKAMURA Kenji, TUZUKI Yasuhiro, FUJIMOTO Manato,
HIRAYAMA Kazuko and INOUE Hiroyuki

昨今のペーパーレス化（DX）により、日本国内における紙の需要は減少しており、紙産業界においては、新たな市場開拓が課題となっている。そこで、新たな市場として、冷感製品市場への紙製品の展開をめざし、冷感機能及び吸水性に優れた紙素材の開発を行った。

2種類のポリエチレン繊維とパルプ繊維を混合抄紙して、冷感繊維配合紙を試作し、さらに熱カレンダー処理を行うことで、冷感性と吸水性を両立する紙基材が作製できた。

また、この紙基材から紙糸を作製し、織物に適用した。試作した生地は接触冷感性に加えて、紙糸を利用したことによる通気性が良好であり、寝具への適用が期待できる。

キーワード：接触冷感、紙、紙糸、織物

はじめに

DX（ペーパーレス化）により、紙の需要は減少しており、新たな市場開拓が課題となっている。そこで、昨今の地球温暖化の影響で成長市場と見込まれる冷感製品市場への紙製品の展開を目的とし、冷感機能及び吸水性に優れた新規紙素材の開発を行った。冷感機能を持つ紙素材の開発では、冷感繊維とパルプ繊維を混抄することで、冷感性と吸水性の両立に取り組んだ。

また、試作した冷感繊維配合紙（冷感紙）について、織物分野への適用をめざし、糸加工及び織物加工を行った。前報¹⁾では、市販の紙糸に接触冷感繊維をカバーリングし、綿織物のよこ糸として用いた際に接触冷感性が発現することを報告した。今回は、より製品化に近い検討を実施するために、のり抜き処理の影響と試作した生地の通気性を評価した。これらの検討により、従来の接触冷感製品とは異なる、寝具・枕カバーなど、接触冷感性とともに通気性が要求される用途に適用できる可能性を見出したので報告する。

実験方法

1. 原料

パルプ繊維としてマニラ麻を用い、接触冷感繊維は、繊維長3mmの超高密度ポリエチレン繊維及び高密度ポリエチレン繊維を用いた。

2. 冷感繊維配合紙の試作

(1) シートマシンによる試作

パルプ繊維を水で離解した後、PFIミル（熊谷理機工業(株)製 No.2511-B）を用いて叩解処理を行った。濾水度をJIS P 8121²⁾に基づき、カナディアン型濾水度試験機（(株)東洋精機製作所製）で測定して濾水度（CSF）約450mlに調製した。

叩解したパルプ繊維と冷感繊維を表1に示す割合で混合し、シートマシン抄紙機（熊谷理機工業(株)製 KRK2558）を用いて湿紙を作製し、120℃の回転型乾燥機で約2分間乾燥し、坪量約60g/m²のシー

この研究は、「冷感紙関連技術創出事業」の予算で実施した。

トを試作した。試作した冷感繊維配合紙は、熱カレンダー（㈱大昌鉄工所製 D22LACA-00-001）を用いて、表 2 の条件で処理を行った後、室温 23℃、湿度 50%で一晩静置し、物性試験に供した。物性試験は、JIS P 8113³⁾引張試験に準拠し、横型引張試験機（熊谷理機工業㈱製 No.2000-C）を用いて実施した。

表 1 繊維組成

No.	パルプ繊維 (%)	超高密度ポリエチレン繊維 (%)	高密度ポリエチレン繊維 (%)
1	40	60	—
2	40	20	40

表 2 熱カレンダー条件

処理速度 (m/min)	温度 (℃)	圧力 (MPa)
5	120～140	10

(2)抄紙機による試作

パルプ繊維は試験用ビーター（㈱大昌鉄工所製）を用いて、CSF が約 450ml になるよう叩解した。各ポリエチレン繊維は試験用パルパー（熊谷理機工業㈱製 No.2534-II）で離解後、叩解したパルプとともに表 1 中の No.2 の繊維配合比になるようにチェストへ移送して混合し、水を加えて希釈し紙料とした。調成した紙料を多目的テスト抄紙機（川之江造機㈱製）の円網パートにて脱水した後、ヤンキードライヤー（120℃）で乾燥し、坪量 20g/m² の冷感繊維配合紙を作製した。

作製した冷感繊維配合紙は、熱カレンダーを用いて、表 2 の条件で処理を行った。

3. 冷感繊維配合紙の物性評価

(1)吸水度評価

試作した冷感繊維配合紙について、JIS P 8141⁴⁾に準拠し、クレム式吸水度測定器（テスター産業㈱製 PU-802）を用いて、クレム吸水度を測定した。

(2)熱伝導率測定

試作した冷感繊維配合紙について、迅速熱伝導率計（京都電子工業㈱製 QTM-500）を用い、薄膜法にて熱伝導率を測定した。

(3)表面観察

表面観察は、走査型電子顕微鏡（日本電子㈱社製 JSM- IT300LA）を用いて実施した。試料は、白金蒸着し、加速電圧 5 kVで観察した。

4. 紙糸の試作及び接触冷感性の付与

(1)冷感紙糸の試作

上述の冷感繊維配合紙を 4mm 幅でスリットし、表 3 の条件でダブルツイスター式撚糸機（村田機械㈱製 No.36M）を用いて撚糸加工を行うことで紙糸（以下、冷感紙糸）を得た。

表 3 スリット紙の撚糸条件

撚方向と回数 (回/2.54cm)	スピンドル 回転数(rpm)	撚糸素材
Z12	2,100	冷感繊維配合紙 4mm 幅スリット
Z18	3,100	

(2)冷感紙糸と冷感繊維との撚糸加工

次にカバーリングマシン（㈱カキノキインターナショナル製 KE-2）を用いて紙糸を芯糸とし、市販の冷感繊維（帝人フロンティア㈱製 ポリエチレンフィラメント）110dtex（綿番手 53.1S 相当）を周囲に巻き付ける、カバーリング撚糸加工を行った（以下、複合冷感紙加工糸）。カバーリング条件は前報で試作した糸の強さと撚りムラの少なさにバランスの取れた撚り回数 Z12/S12、スピンドル回転数 6,000rpm でダブルカバーリング撚糸を行った。また、比較のために市販の紙糸（OJO+: 王子ファイバー㈱製）も使用した。使用した番手は綿番手換算 24.2S である。

(3)冷感紙糸及び複合冷感加工糸の引張試験

接触冷感紙糸及び各撚糸複合接触冷感糸加工糸について、JIS L 1095⁵⁾に準拠し、引張試験を行った。つかみ間隔 50cm、引張速度 25cm/分で、単糸引張強さ及び伸び率を測定した。

(4)撚糸加工糸の製織試験

カバーリング撚糸加工糸を用いた製織試験を表 4 に示す条件で行った。前報と同様に、たて糸を綿糸、よこ糸に比較目的として標準的な綿糸、冷感紙糸及び複合冷感紙加工糸を用いた。織組織（織り方）は前報で接触冷感性が良好であった 8 枚よこ朱子織を用いた。また、今回の製織試験はより実用性の高い広幅織機で実施した。

表 4 撚糸加工糸の製織試験条件

織機仕様	ルーティ社製レピア織機 G6200 型、織機幅約 160cm
筈	46 羽/3.79cm
打込み本数	48 本/2.54cm
上経糸	綿糸 20/1 ^S
下経糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 16/1 ^S ほか 冷感紙糸 Z12 複合冷感紙糸（冷感紙糸 Z12+冷感繊維ダブルカバーリング糸 Z12/S12）
筈引き込み	GP GP P : 上経糸、G : 下経糸
組織	8 枚よこ朱子織

(5)撚糸加工糸の製織試験

製織したのち、たて糸に付着している油剤や糊剤などを除去するため、以下の条件で糊抜き加工を行った。これは今治産地における通常の製法を再現し、製織した生地特性の変化を調べるためである。

糊抜き加工：酵素糊抜き 90℃×60 分

乾燥：タンブル乾燥 約 20 分

(6)通気性

糊抜き後の生地について、JIS L 1096⁶⁾に準拠し、通気性 A 法（フラジール形法）により通気性の評価を行った。

(7)接触冷感性の測定

サーモラボⅡ試験機（カトーテック(株)製 KES-F7）で qmax 値を測定した。

結果と考察

1. 冷感繊維配合紙の試作

(1)冷感繊維配合組成の検討

ポリエチレン繊維は、熱伝導率が比較的高い素材であり、製造方法により物性が変化することが知られており、重合度が高く高密度になるにつれ、強度や熱伝導特性が向上することが報告^{7),8)}されている。そこで、紙素材への冷感性付与のため、超高密度ポリエチレン繊維をパルプ繊維と混合抄紙し、坪量 60g/m²のシートを試作した。また、超高密度ポリエチレンは、繊維が剛直でありシート強度の低下が懸念されたため、130℃付近に融点を持つ、高密度ポリエチレン繊維を配合し、シート物性の向上を検討した。試作冷感繊維配合紙の引張試験の結果を図 1 に示す。この結果から、超高密度ポリエチレン繊維とパルプのみのシートと比較し、高密度ポリエチレン繊維を配合することでシート強度の向上が認められた。さらに、熱カレンダー処理を実施した結果、高密度ポリエチレン繊維を配合した組成では、熱カレンダー処理を行うことで強度が向上し、130℃以上でシート強度が大きく向上した。これは、高密度ポリエチレン繊維の一部が熔融し、パルプ繊維と超高密度ポリエチレン繊維を接着したことが要因と考えられる。

また、処理温度が 140℃以上では、超高密度ポリエチレン繊維の熔融が始まり、カレンダーロール

へ貼り付くとともに、シートが加圧部で破断したため、処理温度は 140℃を上限にすることとした。

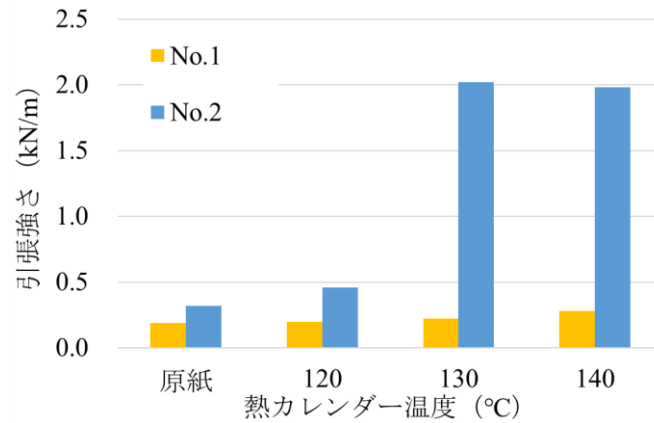


図1 引張強度と熱カレンダー温度の関係

(2)抄紙機による冷感繊維配合紙の試作

前述の強度試験の結果を踏まえて、冷感繊維配合紙の糸加工を行うために、表1のNo.2の配合で抄紙機による連続抄紙を実施し、クレム吸水度及び熱伝導率を評価した。図2に示すクレム吸水度の結果から、熱カレンダー処理の温度が高くなるにつれて、吸水度の低減が認められた。一方で、図3に示す熱伝導率の測定結果からは、熱カレンダー処理の温度が高くなるにつれ熱伝導率が向上する傾向が認められ、140℃の熱カレンダー処理では、未処理の冷感繊維配合紙と比較し、吸水度が約1/7、熱伝導率が約2.5倍となった。

また、図4に示す冷感繊維配合紙表面の電子顕微鏡画像からは、熱カレンダー処理の温度が高くなるにつれ、高密度ポリエチレン繊維の一部が熔融している様子が認められた。これにより、断熱層となる空隙が減少し、熱伝導率が向上したものと推測される。一方で、熔融したポリエチレンが紙の表面に膜となって広がったため、吸水性が低下したものと考えられる。

これらの結果から、冷感繊維配合紙に対して、120～130℃範囲で熱カレンダー処理を行うことで、冷感性と吸水性を両立できることが分かった。

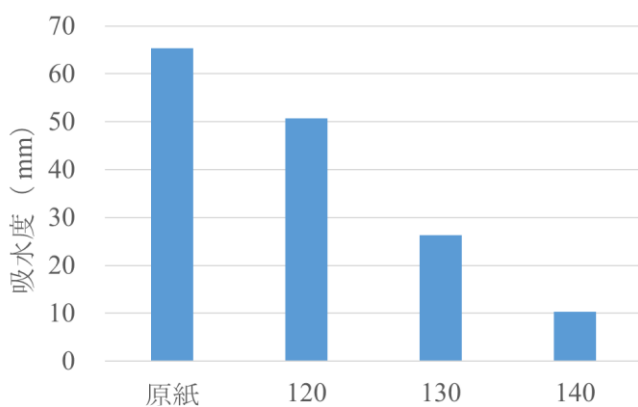


図2 吸水度と熱カレンダー温度の関係

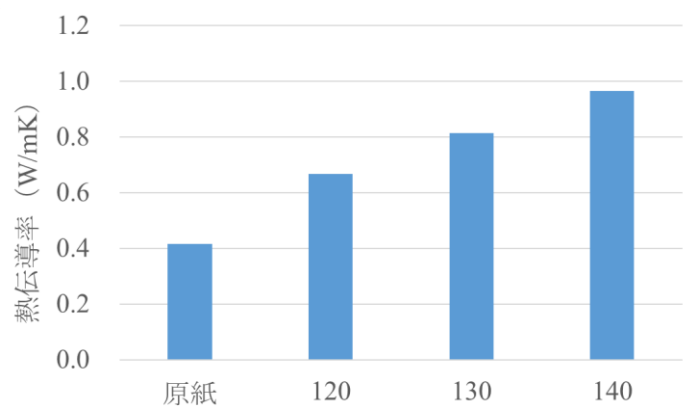


図3 熱伝導率と熱カレンダー温度の関係

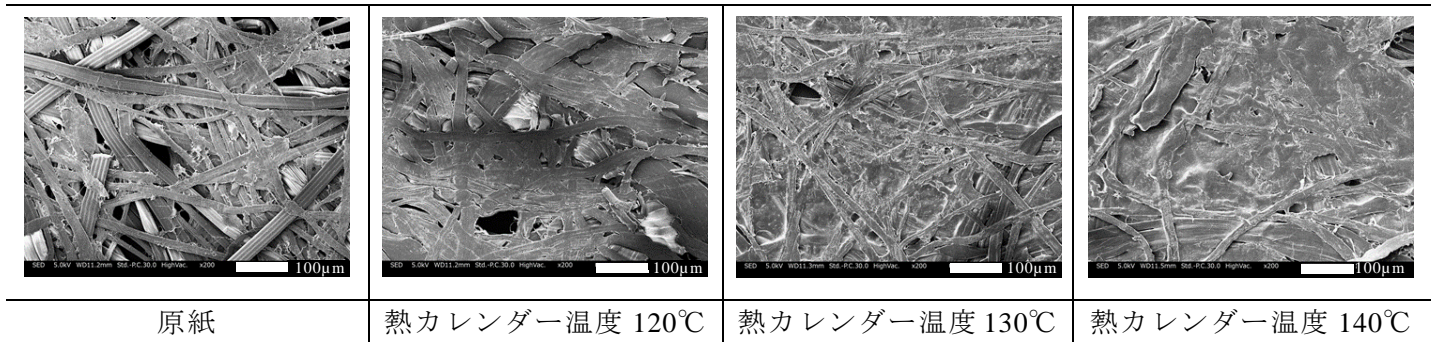


図4 冷感繊維配合紙表面の電子顕微鏡画像

2. 冷感紙糸の試作及び冷感性の付与

(1)冷感紙糸の試作

スリット紙の紙糸への撚糸工程は、スリット紙がタオルなど一般的に使われる番手の綿糸と異なり、撚糸時に発生する素材の回転（バルーニング）の空気抵抗が大きく、標準的な撚糸条件では糸切れが多発したが、表3の条件で撚糸することにより、安定した撚糸が可能であることが分かった。

(2)冷感紙糸と冷感繊維との撚糸加工

芯糸に冷感紙糸を用いたカバーリング撚糸素材の一部で、冷感紙糸がボビンから解舒されにくく糸切れが発生することがあったが、冷感紙糸のボビンへの巻硬さを強く調整することで糸切れを解消でき、カバーリング撚糸による複合冷感紙加工糸が作製できた。

(3)冷感紙糸及び複合冷感紙加工糸の引張試験

試作した各糸素材の引張試験結果について、冷感紙糸を表5、複合冷感紙加工糸及び芯糸を表6に示す。

表5 冷感紙糸の引張試験結果

撚方向と回数 (回/2.54cm)	撚糸素材	引張強さ (cN)	伸び率 (%)
スリット状態	冷感紙 4mm 幅スリット	474	1.2
Z12	冷感紙糸	464	17.3
Z18	冷感紙糸	496	15.5

冷感紙は、撚糸前のスリット状態では伸び率が極端に低く製織に適さないが、撚糸加工を行うことで伸び率が増加し、織機に使用する糸素材として適用の可能性が高くなることが分かった。しかしながら、撚り回数を18回/2.54cmに増やすと、脆化することや、撚りが戻ろうとするスナールが強く発生し、扱いにくい糸となることから、本開発の冷感紙は12回/2.54cm程度の撚り回数が適切であることが分かった。

表6 複合冷感紙加工糸及び芯糸の引張試験結果

撚方向と回数 (回/2.54cm)	素材及びカバーリング方法	引張強さ (cN)	伸び率 (%)
Z12/S12	冷感紙糸芯×冷感繊維ダブルカバーリング	520	8.2
—	市販紙糸 24.2s	340	4.1
Z12/S12	市販紙糸 24.2s 芯×冷感繊維ダブルカバーリング	585	9.3
(参考)	冷感繊維 (カバーリング糸)	355	17.5

複合冷感紙加工糸については、冷感繊維をダブルカバーリングすることで引張強さが向上したが、伸び率は低減した。これはカバーリング糸素材である冷感繊維の伸び率がカバーリングすることで撚りが加わり、冷感紙糸の伸び率より低くなることが原因と考えられるが、冷感紙糸の伸び率は織物用素材としては大きすぎることから、冷感紙糸が伸びすぎないように安定化させる効果が期待できる。

(4)撚糸加工糸の製織試験

製織試験を実用性の高い広幅織機で実施した。前報¹⁾の小幅シャトル織機の試織で得た知見から、

よこ糸の張力調整や織耳組織の考案など、広幅レピア織機であっても適切な織機調整と糸素材の選定を行うことで冷感紙糸素材が製織可能であることが分かった。

3. 冷感紙糸織物の通気性評価

試作した織物について、のり抜き前後の通気性の測定結果を表7に示す。冷感紙糸（カバーリングなし）を使用した場合には、のり抜きにより通気性が低減したが、複合冷感紙糸（カバーリングあり）を使用した場合は通気性が向上した。これは、カバーリングしていない場合、のり抜きによって冷感紙糸が変形し、織物の通気性を阻害するが、カバーリングした場合には、カバーリングした冷感繊維が冷感紙糸の変形を抑制したためであると考えられる。

表7 冷感紙糸及び複合冷感紙加工糸をよこ糸とした織物の通気性

	のり抜き前 ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)	のり抜き後 ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)	変化量 (%)
よこ糸：冷感紙糸	104.1	65.6	- 37.0
よこ糸：複合冷感紙加工糸	36.7	54.9	+ 50.0

4. 冷感紙糸織物の接触冷感性評価

試作した織物について、のり抜き前後の冷感面の接触冷感性 q_{max} 値の測定結果を表8に示す。いずれの場合も q_{max} 値は増加したが、カバーリングした場合は増加量は、カバーリングなしの場合よりも少なかった。この q_{max} 値の増加は、織物が q_{max} 値の測定センサーに接触した面積が増加したことが理由と考えられる。

上述したように、のり抜きによる通気性の変化の程度は、カバーリングを実施しない場合の方が大きく、これは紙糸の変形の程度が大きいためと考えている。 q_{max} 値の変化量は、このことを裏付けている。つまり、カバーリングを実施しない場合は紙糸の変形が大きくなり、 q_{max} 値の測定センサーに接触する面積が増加し、 q_{max} 値が増加したものと考えられる。

表8 冷感紙糸及び複合冷感紙加工糸をよこ糸とした織物の接触冷感性 q_{max} 値

	のり抜き前 (W/cm^2)	のり抜き後 (W/cm^2)	変化量 (%)
よこ糸：冷感紙糸	0.171	0.187	+ 9.3
よこ糸：複合冷感紙加工糸	0.187	0.190	+ 1.6

ま と め

接触冷感繊維を配合した紙の試作、及び紙糸に冷感性を付与した織物の作製を検討した結果、以下の知見が得られた。

1. 超高密度ポリエチレン繊維と高密度ポリエチレン繊維をパルプと混合抄紙し、熱カレンダー処理することで、冷感繊維配合紙が試作できた。
2. ポリエチレン繊維を用いた冷感繊維配合紙に対して、 $120\sim 130^\circ\text{C}$ の熱カレンダー処理を行うことで、冷感性と吸水性を両立することができた。
3. スリット紙の紙糸への撚糸工程は、標準的な撚糸条件では糸切れが多発したが、冷感紙糸のボビンへの巻硬さを強く調整することで糸切れを解消でき、カバーリング撚糸による複合冷感紙加工糸が作製できた。
4. 試作したスリットから紙糸を試作する際に、脆化やスナール（撚り戻り）を防止する撚り条件（12回/2.54 cm 程度）を明らかにした。
5. 冷感紙糸を冷感繊維でカバーリングすることで、製織の際に冷感紙糸が伸びすぎないよう安定化させる効果を見出した。
6. 実用性の高い広幅レピア織機を使用したところ、よこ糸の張力調整や織耳組織の考案など、適切な織機調整と糸素材の選定を行うことで製織可能であることが分かった。
7. のり抜きにより冷感紙糸が変形し、織物の通気性が減少することが分かったが、カバーリングにより変形を低減できることが分かった。

文 献

- 1) 高橋雅樹,橋田充,中村健治, 續木康広,藤本真人,安達春樹,井上寛之: 接触冷感紙の開発およびその用途開発 (第 1 報),愛媛県産業技術研究所研究報告,**62**,101-107 (2024).
- 2) JIS P 8121,パルプーカナダ標準ろ水度方法(2012).
- 3) JIS P 8113,紙及び板紙ー引張特性の試験方法(2006).
- 4) JIS P 8141,紙及び板紙ー吸水度試験方法ークレム法(2004).
- 5) JIS L 1095, 一般紡績糸試験方法(2010).
- 6) JIS L 1096, 織物及び編物の生地試験方法(2020).
- 7) 牧員生:ポリエチレン,日本機械学会誌,**63**-497,859-863 (1960).
- 8) 小沢丈夫,金成克彦:高分子物質の熱伝導率,応用物理, **40**-8,824-837 (1971).