

# スーパー繊維を活用した熱中症対策用アンダーウェアの開発

## Development of new UHMWPE underwear for prevention of heat stroke

材料技術部 繊維・高分子科 中村和由 東瀬 慎  
委託企業 株式会社シラカワ二本松工場

超高分子量ポリエチレン(UHMWPE)編地を活用したアンダーウェアを開発するため、吸水状態での機能性比較を行った。その結果、吸水状態において、高いQ-max値、放熱性、速乾性が得られることが分かった。そのPE編地を使用し、ウェアを試作、着用試験を実施し、機能性試験で得られた効果を確認した。

Key words: Q-max 値、超高分子量ポリエチレン繊維、通気性、速乾性、放熱性

### 1. 緒言

スーパー繊維の一種である超高分子量ポリエチレン繊維<sup>注1)</sup>(UHMWPE、以下PE)は、高強度、高弾性、超軽量、高熱伝導性等の特徴を有し、主に産業資材分野(防刃、ロープ、釣り糸等)で使用されている。

委託企業は独自の糸加工技術(PEの高配向化)により、高強度、低伸度(伸び切り鎖にすることによって、伸びにくくする)のPE加工糸を製造し、高級釣り糸として製品化している。このPEの高配向化は、高強度化、低伸度化だけでなく、接触冷感性(以下Q-max値)の向上につながる事が分かっている。

このQ-max値(JIS L 1927:2020 繊維製品の接触冷感性評価方法)とは、人の皮膚が生地に接触したときに感じる“冷たい”という感覚の度合いであり、繊維製品の快適性を評価する一つの指標として、国内外で使われている。

委託企業では、PEが汎用繊維のQ-max値(ポリエステル:0.17、綿:0.15)と比べて、2倍以上の高いQ-max値を示すことに着目し、衣料用素材として製品化を目指しており、これまでに高いQ-max値( $\geq 0.4[W/cm^2]$ )を確保できる条件を検証した結果、PEの集束条件(①総繊度、②フィラメント繊度(1フィラメント当りの繊度)、③破断応力)のうち、フィラメント繊度が細く、総繊度当たりのフィラメント本数が多いほど、Q-max値が向上することが判明している。

本研究では、熱中症対策用インナーとして着用することを想定し、3種類の評価用編地サンプル(PEと比較用繊維(綿、PET))を試作し、機能性(吸水状態(WET環境)のQ-max値、通気度、速乾性)の比較、及び試作PE編地を使用したウェアによる着用試験を行った。

また、熱源に接触した直後の熱移動量(熱流束)を評価するQ-max値だけでなく、発汗時の放熱性を比較するため、吸水状態の評価用サンプルが乾燥するまでの放熱性の評価を行った。

### 2. 研究目的と目標値

本研究における目的と目標値は表1のとおりである。

表1 研究目的と目標値

項目	目的	目標値
①	多層横編地のWET環境における速乾性と機能性(接触冷感Q-max値及び通気性)の比較。 比較サンプルとの速乾性と放熱性の比較検証	・Q-max値(Wet) $\geq 0.4[W/cm^2]$ ・通気度 $\geq 300[cm^3/(cm^2 \cdot s)]$
②	試作PEウェアによる着用試験	機能性(接触冷感Q-max値及び通気性)を被験者テスト(官能試験)で検証

### 3. 実験

#### 3.1. 試作用繊維

本研究では、表2の試作用繊維を使用し、評価用編地サンプルを試作した。

表2 試作用繊維

	総繊度 [D]	備考
PE	200	マルチフィラメント糸 ※200フィラメント(1.0[D/f])
PET	180	マルチフィラメント糸 ※48フィラメント(3.8[D/f])
綿	265	紡績糸
PE+ウレタン	50	編地結節用(PE) (PE30[D]+ウレタン20[D])
ナイロン+ウレタン		編地結節用(PET、綿) (ナイロン30[D]+ウレタン20[D])

### 3. 2. 実験機器

本研究で使用した機器（試作および評価）は、表3のとおりである。測定環境は、JIS L 0105に準拠し、標準状態(20±1[°C]、65±10[%RH])において行った。

表3 使用機器一覧

	用途	機器名
自動横編機	評価用サンプルの試作 (12G)	First-183S-12G ( (株) 島精機製作所)
接触冷感測定機	接触冷感 (Q-max 値) 測定	サーモラボ II 型試験機 KT-100 (カトーテック (株))
通気度試験機	通気度測定	N0869 (東洋精機)
保温性試験機	放熱性 (恒温版を加熱するための消費電力) の評価	保温性試験機 (東洋精機)

### 3. 3. 実験方法

#### 3. 3. 1. 評価用サンプル試作方法

表2の試作用繊維を使用し、表3の自動横編機を用いて、表4の条件で評価用サンプルを試作した。

表4 評価用サンプル試作条件

編機ゲージ[G]	編組織	ループ長[mm]
12	袋天竺+ 結節糸 (図1)	6.0

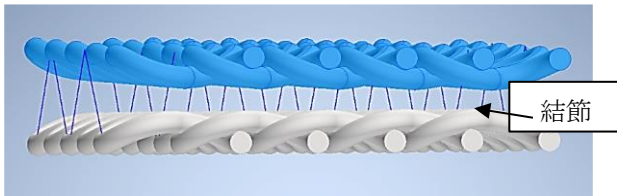


図1 試作編地の構造

評価用サンプルは、Q-max 値と通気度のトレードオフの問題を解決<sup>1)</sup>するため、図1に示す多層構造の編成組織にて試作した。また、Q-max 値の向上のため、委託元企業にて PE フィラメントの細繊維化 (6[D/f]→1[D/f]) を行い、その PE を使用した。図1では、簡略化のため、結節糸を細く表示しているが、PE の織度 (200[D]) に対して、結節糸の織度は 50[D] である。

#### 3. 3. 2. 最大吸水率測定方法

標準状態の室内において、評価用サンプルを蒸留水に 12 時間以上浸漬させ、引き上げ後、絞らずに約 30 分間、吸水状態の評価用サンプルをつるし、下記の式から最大吸水率を求めた。

最大吸水率[%] =

$$\frac{\text{吸水後重量[g]} - \text{絶乾重量[g]}}{\text{絶乾重量[g]}} \times 100$$

#### 3. 3. 3. 接触冷感値 (Q-max 値) 測定方法

測定方法としては、測定環境温度に対して、+20[°C] (ΔT=20[°C]) に設定した熱源板 (熱板面積: 9[cm<sup>2</sup>]) を評価用サンプルに接触させ、熱源板から評価用サンプルに熱量が移動したときの、熱流束を Q-max 値[W/cm<sup>2</sup>] として評価する<sup>2)</sup> (図2)。

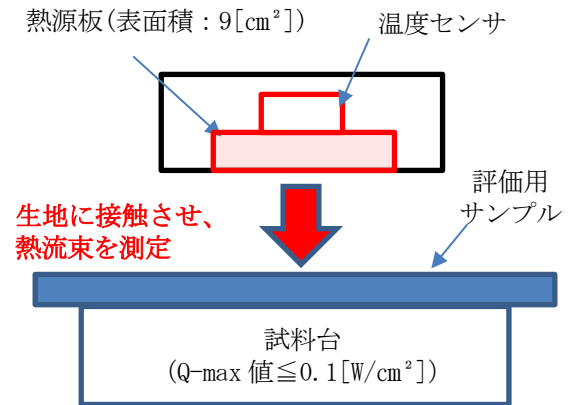


図2 Q-max 値測定の概要

生地 の Q-max 値が高いほど、熱量が移動しやすいことを示しており、人の皮膚が感じる冷たさが、より大きいことを表している。

本研究においては、表3のサーモラボ II 型試験機を使用し、1 サンプルごとに、任意に 5 点測定し、その平均値を評価に用いた。

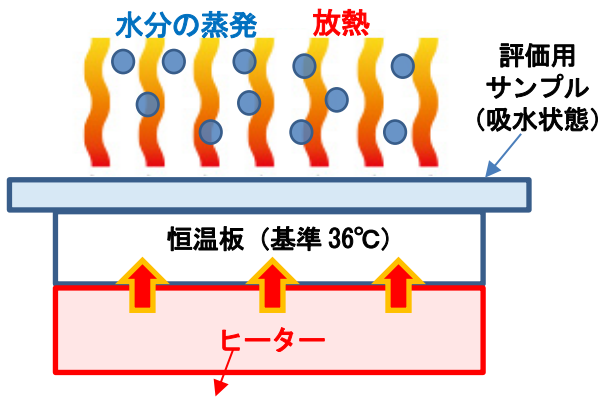
#### 3. 3. 4. 通気度測定方法

JIS L 1096 A 法 (フラジール法) に基づき、通気度測定 [cm<sup>3</sup> / (cm<sup>2</sup> · s)] し、2 回の平均値を評価に用いた。

#### 3. 3. 5. 速乾性と放熱性評価方法

評価用サンプルの速乾性を比較するため、図3のように吸水状態の評価用サンプルを、36[°C] の恒温板の表面に接触させ、乾燥するまでの時間を速乾性として評価した。

また同時に恒温板の表面温度 (36[°C]) を、一定に保つために必要なヒーターの消費電力量[W] (放熱量) を測定した。放熱量が大きいほど、より多くの熱がサンプル表面から外界に放出されているため、放熱性が高いことを示している。



**ヒーターの消費電力(放熱量) = 放熱性と定義**

図3 速乾性と放熱性評価方法

## 4. 結果と考察

### 4. 1. 評価用サンプルの機能性比較結果

PE と比較用繊維（綿、PET）の機能性を比較した（図4）。

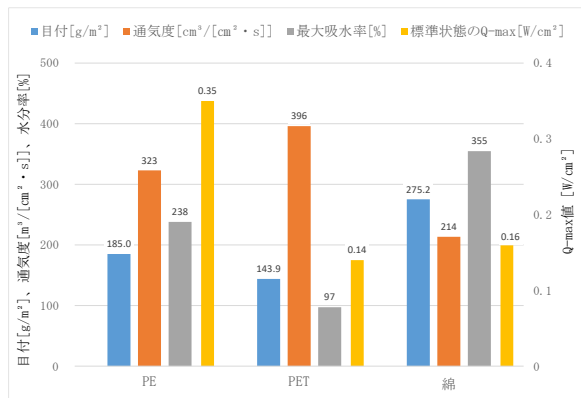


図4 評価用サンプルの機能性比較

図4より、PE 編地の通気度の目標値（通気度  $\geq 300$  [cm<sup>3</sup>/(cm<sup>2</sup>・s)] を満たした (323 [cm<sup>3</sup>/(cm<sup>2</sup>・s)]。

また、PE の最大吸水率 (238 [%]) は同じ合成繊維の PET (97 [%])、と比べて 2 倍以上の高い吸水率を示した。

PE の織度 (200 [D]) 当たりのフィラメント本数 (200 [本]) は、PET の織度 (180 [D]) 当たりの (48 [本]) と比較して、多い。そのため、PE は繊維中の表面積がより大きく、毛細管現象による吸水性が高いと考えられる。

### 4. 2. 評価サンプルの水分率と Q-max 値の関係

水分率を最大 100 [%] まで変えて、吸水状態の Q-max 値の変化を評価した（図5）。

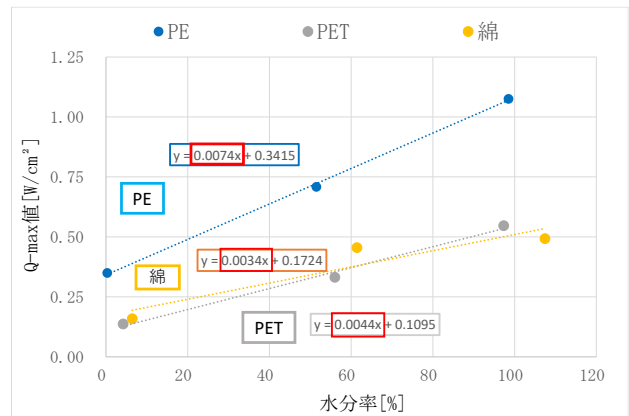


図5 評価用サンプルの水分率と Q-max 値の関係

その結果、図5のPEの近似式より、PEが水分を約10 [%] 吸水することによって、目標値 (Q-max 値 (Wet)  $\geq 0.4$  [W/cm<sup>2</sup>]) を達成することが分かった。

評価用サンプルの素材に関わらず、水分率に比例して、Q-max 値が増加している。中でもPEは、生地同重量と同じ100 [%] まで水を吸収することによって、同じ水分率の比較用繊維の2倍以上の約1.1 [W/cm<sup>2</sup>] という高いQ-max 値が得られる。また、水分率に対するQ-max 値向上率（図5のQ-max 値と水分率の直線の傾き。数値が大きいほど、吸水時のQ-max 値の向上が大きい。）を比較すると、PEは比較用繊維の約1.7~2.2倍高い。

このことからPEは吸水するほど、Q-max 値が高まり、夏用インナーとして着用した場合に、体温の放熱性の向上が期待できる。その検証のため、次に吸水状態の放熱性の検証を行った。

### 4. 3. 評価用サンプルの速乾性と放熱性比較結果

#### 4. 3. 1. 評価用サンプルの速乾性と放熱性の比較

評価用サンプルの水分率を約50 [%] に設定し、速乾性と、放熱量（ヒーターの消費電力量）を比較した（図6）。

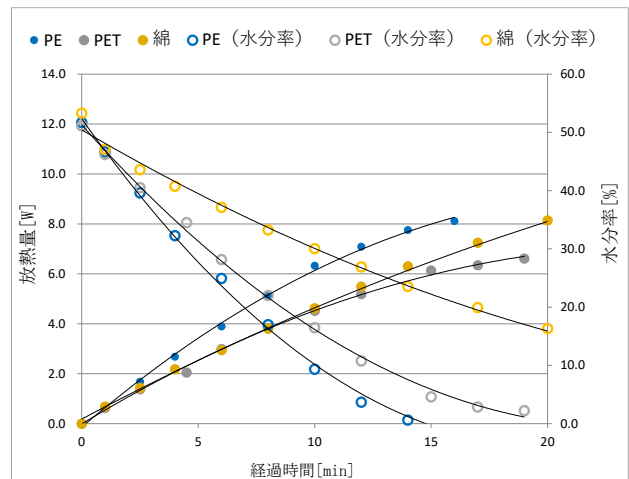


図6 速乾性と放熱性の比較

その結果、図6よりPEは約15[ $\text{min}$ ]で水分率は0[%]となり、同じ合成繊維のPETと同等の乾燥時間であった。

また放熱性について、15[ $\text{min}$ ]の放熱量を比較すると、PEは比較用繊維と比べて約33[%]高い結果となり、放熱性がより高いと考えられる。

#### 4. 3. 2. 吸水状態と標準状態の放熱性比較結果

放熱性について、吸水状態と標準状態で違いがあるのか比較を行った。(図7)

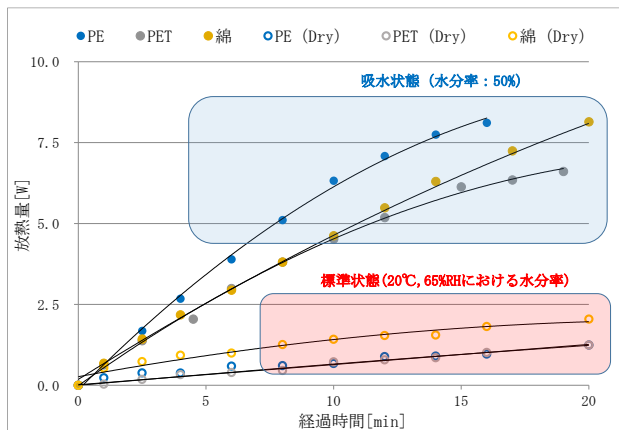


図7 吸水状態と標準状態の比較

その結果、図7より標準状態の評価用サンプルの放熱量は吸水状態と比べて、小さい。

また、標準状態のPEの放熱量はPETとほぼ同等であった。その理由は水分が少ない状態では、短時間で恒温板と熱的平衡に達し、放熱量が低下したと考えられる。

#### 4. 4. PEウェアの試作と、着用性の課題抽出

PE編地を使用し、試験用PEウェアを試作(図8)した。

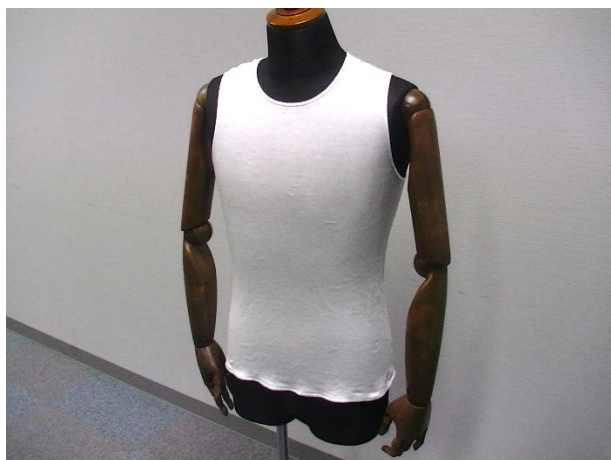


図8 試作用PEウェア

図8のウェアを着用し、機能性試験結果との関係性検証及び、着用試験(動きやすさ、フィット性、肌ざわり等)を行った。

試験条件(表5)については、基準値を5.5点とし、設定した比較項目(10件)にて評価を行った。点数は1点(不良)~10点(良)とし、点数が高いほど良好であることを示している。

表5 着用試験条件

期間	温度(°C)	湿度(%RH)	着用場所	被験者数	比較項目
2022/10/3~2022/10/28	20~27	44~65	自宅、作業場(屋内、屋外)等	3	①冷たさ、②蒸れ感、③べたつき、④発汗量、⑤重量感、⑥生地ハリ、⑦動きやすさ、⑧フィット性、⑨肌触り、⑩全体評価

表6 課題抽出結果

冷たさ	蒸れ感	べたつき	発汗量	重量感	生地ハリ	動きやすさ	フィット性	肌ざわり	全体評価
8.2	8.1	7.3	6.1	5.5	5.8	6.8	7.5	4.4	7.9

着用試験の結果、表6の課題抽出結果が得られた。項目ごとに比較すると、冷たさ、蒸れ感、フィット性が良好であったが、一方で、重量感、生地ハリ(硬さ)、肌触りが他の項目と比べて低い結果となった。

評価用サンプルの機能性試験結果と課題抽出結果を比較すると、PEの高いQ-max値、通気性、速乾性、放熱性が、被験者の体感として結果(冷たさ、蒸れ感)に反映したと考えられる。また、フィット性については、試作編地の結節糸に、ストレッチ性のある糸(PE+ウレタン)を使用していたため、フィット性の結果につながったと考えられる。今後、市販インナー素材とのストレッチ性比較を新たに行う予定である。

現在、点数の低い3項目(重量感、生地ハリ(硬さ)、肌触り)のうち、基準値(5.5点)を下回った肌触りについて、委託企業と原因究明を行っている。

## 5. 結言

PE編地を熱中症対策用インナー素材として開発するため、吸水状態における比較用繊維(綿、PET)との機能性比較を行い、その後、PEウェアの試作と、着用性について課題抽出を行った。

その結果は下記のとおりである。

- PEフィラメントの細繊維化と編成組織の多層化によって、目標値(Q-max(wet)  $\geq 0.4[\text{W}/\text{cm}^2]$ 、通気度  $\geq 300[\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})]$ )を満たすPE編地を試作することができた。

- 水分率に対するQ-max値の向上率(Q-max値と水分率の直線の傾き。数値が大きいくほど、吸水時のQ-max値の向上が大きい)を比較した結果、比較用繊維素材

と比べて、PE は約 1.7～2.2 倍高い。

- ・速乾性を比較した結果、乾燥時間は綿と比べて速く、PET とほぼ同等であった。
- ・放熱性を比較した結果、水分率 50[%]の条件で同じ経過時間当たりの PE の消費電力量は、比較用繊維と比べて多く、水分率約 0[%]になる 15[min]の消費電力量は比較用繊維と比べて約 33[%]多い。
- ・PE ウェアの試作と着用性の課題抽出の結果、試作 PE ウェアは、冷たさ、蒸れ感、フィット性が良好であったが、一方で、重量感、生地ハリ(硬さ)、肌触りが他の項目と比較して低い結果となった。

## 6. 用語解説

### 1) 超高分子量ポリエチレン繊維

分子量が 100 万を超え、ゲル紡糸という方法により製造されるポリエチレン繊維

## 7. 参考文献

1) 令和 2 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2020 年, 「接触冷感性と快適性に優れた多層横編地の開発」、中村和由、東瀬慎

2) 繊維学会誌, 2018 年, 74 巻 9 号, pp.435-436 「快適性の追求② GB 規格化された接触冷感試験」、勝間田 晋治