

# ニット用超高分子量ポリエチレン糸の集束条件と接触冷感の検討

Consideration of bundling conditions of UHMWPE fiber for knit and relationship with cool touch (Q-max)

福島技術支援センター 繊維・材料科 中村和由、東瀬 慎  
応募企業：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 繊維)編地の接触冷感(Q-max 値)の向上のため、3つの集束条件(総繊度、フィラメント繊度、破断応力)とQ-max 値の関係を検証した。その結果、3つの集束条件はQ-max 値の向上に影響を及ぼし、その中でもフィラメント繊度の影響が大きいと考えられる。

Key words: Q-max 値、超高分子量ポリエチレン繊維

## 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 繊維、以下 PE 繊維)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。

応募企業は独自の糸加工技術により、高強度の 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 繊維の高強度化は、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。

応募企業ではこれまでの研究開発から、PE 繊維が、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いる。

衣料用素材として展開するためには、複数の機能性(Q-max 値、通気性、吸放湿性等)を確保することが必要とされ、応募企業では現在、差別化された、より付加価値の高い Q-max 値( $\geq 0.4\text{W}/\text{m}^2$ )の確保に取り組んでおり、この高い Q-max 値を確保するためには、PE 繊維の集束条件(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(分子鎖の配向性))と Q-max 値の関係を検証する必要がある。

なお、分子鎖の配向性は応募企業の固有技術に関わる部分であるため、本研究では破断応力を使用し、比較を行った。

## 2. 研究目的と目標値

本研究における目的と目標は表1のとおりである。

表1 目的と目標値

項目	内容
目的	PE 繊維の集束条件について、①総繊度、②フィラメント繊度、③破断応力と Q-max 値の関係を求めること。
目標値	Q-max 値 $\geq 0.4\text{W}/\text{cm}^2$

## 3. 実験

### 3. 1. 実験試料

本研究では糸加工用の PE 繊維原糸、およびフィラメント繊度の影響を検証するため比較用 PE 繊維を使用した(表2)。

	繊度(D)	備考
原糸1	100	糸加工用
原糸2	200	
原糸3	300	
比較用	200	フィラメント繊度比較用

表2 PE 繊維原糸

### 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℃、65±10%RH)において行った。

表3 使用機器一覧

	用途	機器名
自動丸編み機	編地試作(総針本数: 190針、シリンダー径: 3インチ)	TN-21 (小池機械)
引張試験機	引張試験	テンシロン RTE-1210((株)オリエンテック)
サーモラボII型試験機	接触冷感(Q-max値)測定	KT-100 (カトーテック(株))
織度測定機	織度測定用	DC-11A (サーチ(株))
実体顕微鏡測定システム	編地表面観察用	顕微鏡: SZX7(オリンパス(株))、 カメラ: EOS Kiss X5(CANON(株))

### 3. 3. 実験方法

#### 3. 3. 1. 評価用サンプル作製方法

評価用サンプルは、表2の糸およびPE加工糸を使用し、撚糸加工後(約300T/M)、表3の自動丸編み機を用いて試作し、Q-max値を測定した。

#### 3. 3. 2. フィラメント織度測定方法

PE繊維のフィラメント織度は、表3の織度測定機を使用し、任意に5点測定、その平均値をフィラメント織度として使用した。ただし、応募企業の要請により、本報告書では測定値の記載は行っていない。

#### 3. 3. 3. 破断応力測定方法

破断応力は、JIS L 1015 引張強さおよび伸び率に準拠し、表3の引張試験機を用いて、任意に5点測定(つかみ間隔: 200mm、引張速度: 100mm/min)し、その平均値を破断応力とした。

#### 3. 3. 4. 接触面積測定方法

PE繊維の接触面積は、表3の実体顕微鏡測定システムを用いて、編地表面を撮影し、撮影した画像について画像解析ソフト(imageJ)を使用し、PE繊維接触面積(測定範囲: 25cm<sup>2</sup> (5cm×5cm))を求めた。

#### 3. 3. 5. 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: 9cm<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、熱流束を下記の計算式を用いて、Q-max値(W/cm<sup>2</sup>)とした<sup>参考1)</sup>(図1)。

$$T(t) = T_{p0} - T_p(t)$$

$$q(t) = \frac{M \cdot C}{A} \cdot \frac{dT(t)}{dt}$$

q(t): 熱流速(W/cm<sup>2</sup>)、A: 熱源板の面積(cm<sup>2</sup>)  
M: 熱源板の質量(kg)、C: 熱源板の比熱(J/(kg・K))  
T<sub>p0</sub>: 熱源板の初期温度(°C)  
T<sub>p</sub>(t): 接触t秒後の熱源板の温度(°C)  
T(t): 熱源板の低下温度(°C)

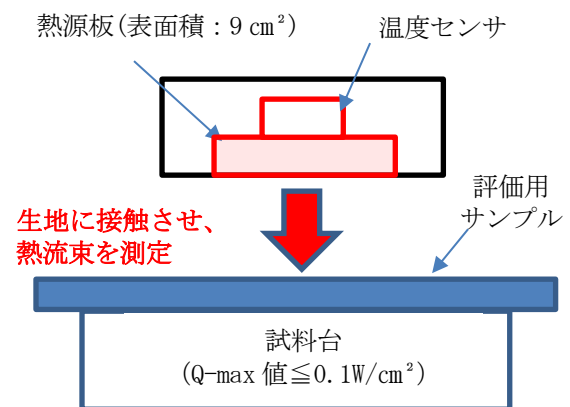


図1 Q-max値測定の概要

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3点測定し、その平均値を評価に用いた。

### 3. 4. 検証方法に関わる繊維の構造について

Q-max値との関係を検証するために、①総織度、②フィラメント織度、③PE繊維の破断応力に着目(図2)し、図3のとおり検証を行った。

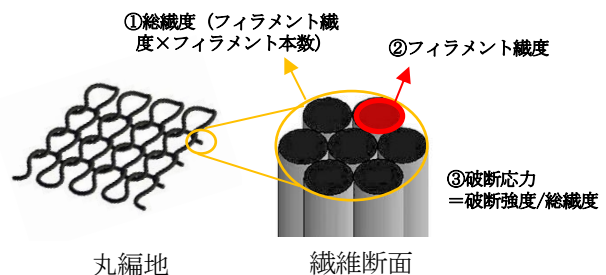


図2 Q-max値との比較項目

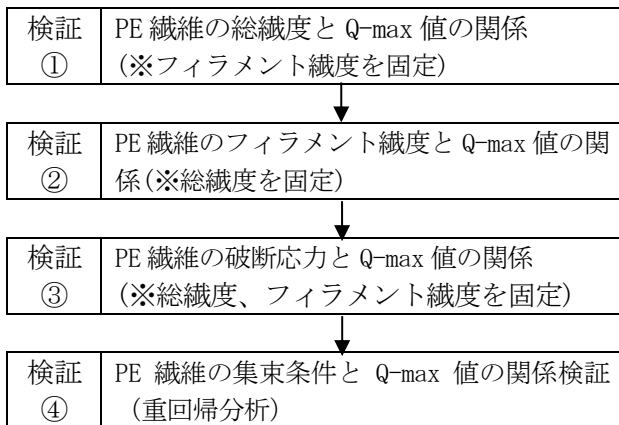


図3 検証方法の流れ

## 4. 結果と考察

### 4. 1. 応募企業の糸加工技術について

3 種類の PE 繊維原糸(表 2 の原糸 1、原糸 2、原糸 3)を使用し、応募企業で加工条件を 3 条件(A、B、C)で変えて、計 9 種類の PE 加工糸を試作した(表 4)。

破断応力については、応募企業の要望により、各破断応力を X として、標準化  $((X - \text{平均値}) / \text{標準偏差})$  した数値を記載している。

	加工用原糸	破断応力 (標準化)
A1	原糸 1	0.05
B1		0.97
C1		1.72
A2	原糸 2	-0.54
B2		0.29
C2		0.90
A3	原糸 3	-0.39
B3		0.31
C3		1.40
原糸 1		-1.18
原糸 2		-1.56
原糸 3		-1.53
比較用		0.25

表 4 PE 加工糸の試作と破断応力の測定結果

その結果、加工前と比較して PE 繊維の破断応力が増加している。

本研究では、この加工条件による PE 繊維の集束条件の変化が、PE 編地の Q-max 値にどのように影響するか検証した。

### 4. 2. 評価用サンプルの試作と Q-max 測定結果

表 2 および表 4 の糸を使用し、13 種類の評価用サンプルを作製した。評価用サンプルの Q-max 値測定結果を表 5 に示す。

目標値の  $0.4 \text{ W/cm}^2$  を達成した編地は、編地 3、編地 5、編地 6、編地 7、編地 9、編地 11、編地 12、編地 13 であった。

この表 5 の結果を基に、PE 繊維の集束条件と Q-max 値との関係を検証した。

表 5 評価用サンプルの Q-max 値測定結果

	使用繊維	Q-max 値 ( $\text{W/m}^2$ )	破断応力 (標準化)	総繊度 (D)
編地1	原糸 1	0.23	-1.18	100
編地2	原糸 2	0.34	-1.56	200
編地3	原糸 3	0.45	-1.53	300
編地4	A1	0.38	0.05	200
編地5	B1	0.43	0.97	200
編地6	C1	0.44	1.72	200
編地7	A2	0.44	-0.54	267
編地8	B2	0.39	0.29	200
編地9	C2	0.40	0.90	200
編地10	A3	0.39	-0.39	200
編地11	B3	0.44	0.31	300
編地12	C3	0.42	1.40	200
編地13	比較用	0.47	0.25	200

### 4. 3. Q-max 値との関係検証

#### 4. 3. 1. PE 繊維の総繊度と Q-max 値の関係

フィラメント繊度を固定し、総繊度の異なる 3 種類の PE 繊維(表 5 の編地 1、編地 2、編地 3)について、Q-max 値との関係を検証した(図 4)。

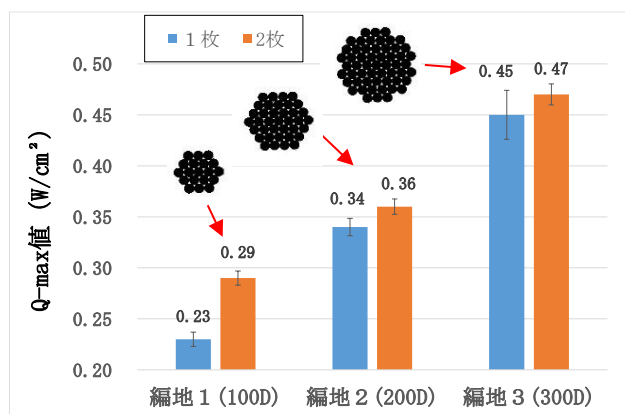


図 4 繊度の異なる PE 繊維の Q-max 値比較

※グラフ中の数値は平均値、棒グラフのバーは標準偏差の範囲を示している。

その結果、総繊度が増加することによって、Q-max 値が向上する傾向を示した。

次に、1枚時と2枚時のQ-max 値を比較すると、1枚時の編地1は、他の編地と比較してQ-max 値が小さいことが分かった。

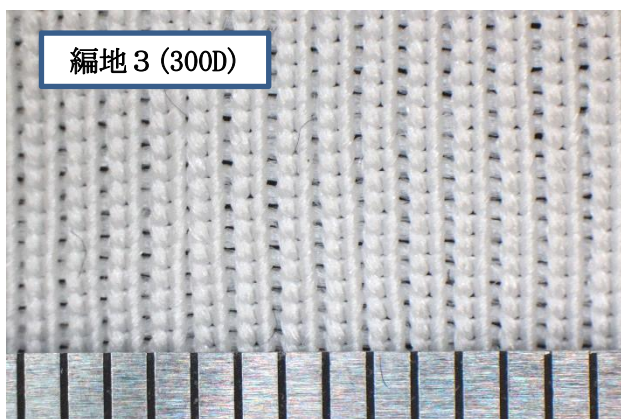
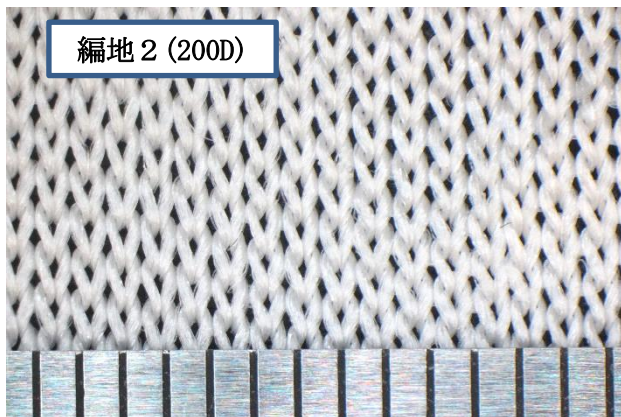
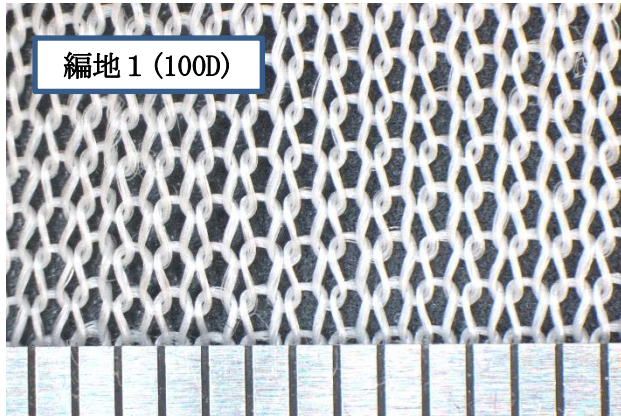


図5 総繊度の異なる PE 繊維編地 (1枚) の表面比較

この理由は、図5および表6のように、編地2、編地3と比べて編地1は、編地の空隙が大きく接触面積が小さいため、他の編地と比べて低いQ-max 値になったと考えられる。

表6 PE 繊維の接触面積とカバー率

	接触面積 (cm <sup>2</sup> )	カバー率 (%)
編地1	15.0	60
編地2	21.4	86
編地3	22.9	92

#### 4. 3. 2. PE 繊維のフィラメント繊度と Q-max 値の関係

総繊度を固定し、破断応力 (表5の (編地8 : 0.29、編地13 : 0.25)) が近い PE 繊維の Q-max 値を比較し、フィラメント繊度の影響を検証した (図6)。

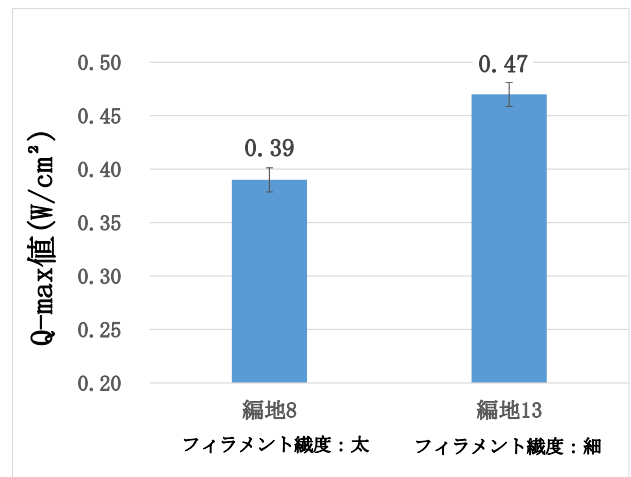


図6 フィラメント繊度と Q-max 値の関係

※グラフ中の数値は平均値、棒グラフのバーは標準誤差の範囲を示している。

図6より、フィラメント繊度が細い編地13のほうが、高いQ-max 値が得られることが分かった。

このことから、フィラメント繊度の減少が、Q-max 値向上につながるということが分かった。

#### 4. 3. 3. PE 繊維の分子鎖の配向性と Q-max 値の関係

総繊度および、フィラメント繊度、フィラメント本数を固定し、PE 繊維の破断応力が異なる PE 繊維の Q-max 値 (表5の編地6、編地9、編地12) を比較した (図7)。

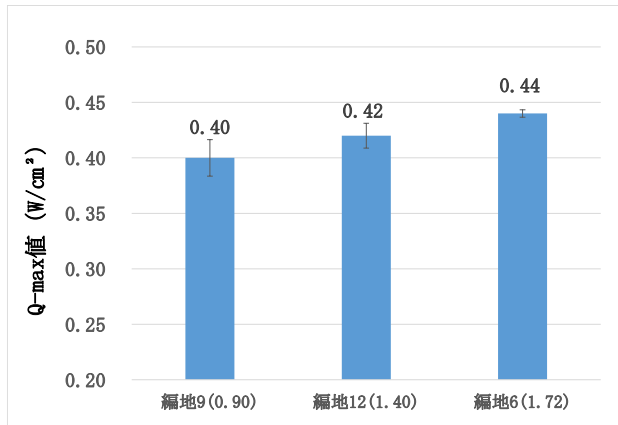


図7 編地の破断応力と Q-max 値の関係

※グラフ中の数値は平均値、棒グラフのバーは標準誤差の範囲を示している。

その結果、破断応力が増加することによって、Q-max 値が向上する傾向が見られた。

この理由については先行研究より、配向性（破断応力）が向上することによって、繊維の軸方向へのフォノン<sup>注2)</sup>による熱伝導性が向上すると考えられている。<sup>参考2)</sup>

#### 4. 4. PE 繊維の集束条件と Q-max 値の関係検証（重回帰分析）

表5の13種類の編地について、集束条件（破断応力、フィラメント繊維度、総繊維度）と Q-max 値の関係を重回帰分析にて検証した（表7）。

重回帰分析（P 値：0.0003、R2：0.819）は、統計ソフトの EZR を使用して行った。

表7 重回帰分析結果

	回帰係数推定値	標準誤差	t統計量	P値
破断応力	-0.0001	0.0021	0.067	0.9480
フィラメント繊維度	-0.0224	0.0098	-2.293	0.0475
総繊維度	0.0009	0.0002	5.736	0.0003
切片	0.2910	0.1174	2.479	0.0350

その結果、下記の Q-max 値の予測式を求めることができた。

Q-max 値

$$= -0.0001 \times \text{破断応力} - 0.0224 \times \text{フィラメント繊維度} + 0.0009 \times \text{総繊維度} + 0.291$$

条件範囲：

Q-max 値 (0.25-0.45W/cm<sup>2</sup>)、組織（平組織（丸編地））、総繊維度（100D-300D）

表7より、回帰係数推定値の大きさ（絶対値）を比較すると、フィラメント繊維度が他の条件よりも高い値を示しており、集束条件の中でフィラメント繊維度の影響が大きいと考えられる。

## 5. 結言

①PE 繊維の3つの集束条件（総繊維度、フィラメント繊維度、破断応力）に着目し検証した結果、目標値（Q-max 値 $\geq$ 0.4W/cm<sup>2</sup>）を満たすPE 編地が得られた。

②検証した3つの集束条件について、総繊維度および破断応力は増加、フィラメント繊維度は減少することによって、PE 編地の Q-max 値が向上することが分かった。

③PE 繊維の集束条件について、Q-max 値の予測式（平組織（丸編地））が得られた。

④重回帰分析から得られた回帰係数推定値を比較した結果、フィラメント繊維度が、他の2つの条件よりも Q-max 値への影響が大きいと考えられる。

## 6. 今後の予定

衣料素材に必要な他の機能性（通気性、吸放湿性など）の検証、及び湿潤状態での機能性評価（Q-max 値）を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 繊維機械学会誌, 2003年, 56巻5号, pp.225-230「高強度ポリエチレン繊維とゲル紡糸法」、大田 康雄

## 用語解説

注1) 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

注2) 固体における原子振動を量子化することで現われるエネルギー量子。比熱や熱伝導はフォノン間の相互作用として説明される。