

弾性編地の開発と評価に関する研究

Research on development and evaluation of elastic knitted fabric

福島県ハイテクプラザ 繊維・高分子科 中村和由 小林慶祐 石井瑞樹 東瀬慎

スーパー繊維^{注1)}の中でも超高分子量ポリエチレン^{注2)}(以下、PE)は、高強度、高弾性、低比重であるものの耐熱性に劣るため、これまで熱可塑性を利用した伸縮性の付与が困難であった。本研究では過度な熱セットを必要としない、合撚構造とリリヤーン構造を複合化した新たな弾性加工系を開発した。開発した弾性加工系により編地を試作し評価した。その結果、密着性があり型崩れのない編地となり、衣料を含む産業・資材分野での幅広い利活用が期待される。

Key words: スーパー繊維、超高分子量ポリエチレン繊維、弾性繊維^{注3)}、弾性編地、伸度

1. 緒言

高強度と高弾性を併せ持つスーパー繊維は、スポーツ、航空、自動車、医療等の繊維材料の分野において重要な役割を果たしている。

しかし、スーパー繊維の中でもPEは、高強度、高弾性、低比重ではあるが、低伸度で分繊し易いため、加工時の取り扱いが難しい。また高強度の分繊した糸が加工機を破損させる等のリスクがあることから、現場での加工難易度が高い繊維材料と言える。仮にPEに伸縮性(高伸度化)が付与できれば、大幅に加工難易度が下がり、衣料を含むより多くの産業・資材分野での利活用が期待される。

スーパー繊維に伸度を付与する方法は、これまでに複数の技術が提案^{1,2,3)}されているが、加工の段階で高温の熱処理が必要であり、耐熱性が低いPEの場合、熱収縮や熔融等が発生する恐れがある。

そこで本研究では、従来の過度な熱セットを必要としない、合撚構造とリリヤーン構造を複合化した、新たな弾性加工系を開発と弾性編地の試作評価に取り組んだ。

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。①及び②については、弾性編地に必要な伸縮性発現及び編地編成に必要な伸縮性を基に設定した。

表1 研究目的と目標値

項目	目的	目標値
①	スーパー繊維の伸縮性付与	伸度 $\geq 150\%$ (0.49[N])
②	弾性編地の作製と性能評価	編地収縮率 $\geq 50\%$

3. 試験方法と加工・評価機器

3. 1. 試料作製

表2に示す原料を使用し、加工糸を作製した。以下、

超高分子量ポリエチレンをPE、弾性繊維であるポリウレタンをPUと表記する。また加工糸の名称については、合撚糸をTY、芯鞘糸(カバーリング糸)をCY、リリヤーン糸をLYと表記する。

表2 原料

呼名	織度[D]	備考
PE	200	超高分子量ポリエチレン 商標名: イザナス(株)東洋紡
	100	
	30	
PU	105	ポリウレタン 商標名: オペロン (株)東レ・オペロンテックス
	70	
	30	

3. 2. 加工・評価機器

加工・評価に使用した機器類を表3に示す。試験環境は、JIS L0105に準拠した。

表3 使用機器一覧

	用途	機器名
自動横編機	編地試作(7G)	SWG183-V((株)島精機製作所)
精密万能試験機	荷重、伸度の評価	AGX-20kN((株)島津製作所)
合撚機		KF5型((株)須賀機械)
カバーリング機	比較用加工糸の試作	KO-U-HT(合資会社荏金機械製作所)
リリヤーン加工機		KT-8(有限会社小塚)
圧縮試験機	試作編地の圧縮評価	KES風合い試験機G-3((株)カトーテック)

3. 3. 試作条件

3. 3. 1. 加工糸の作製方法

各加工糸の構造と特徴を表4に示す。

表4 加工糸の構造と表記及び特徴

加工糸	呼名	構造	特徴
合撚糸	TY		複数本の糸を同時に撚り合わせる
芯鞘糸 カバーリング糸	CY		芯糸を中心にして右巻き、左巻きに鞘糸を巻き付ける
リリヤーン糸	LY		対応する2本の針でらせん状の連続するループ結節をつくる

3. 3. 2. TYの作製条件

TY(合撚糸)の作製条件を表5に示す。

表5 TY(合撚糸)の作製条件

加工系TY	原料系		撚数[T/m]
	PE[D]	PU[D]	
TY①	30	-	320
TY②		-	640
TY③		30	320
TY④		30	640
TY⑤		30	1280
TY⑥	100	-	0
TY⑦		-	320
TY⑧		-	640
TY⑨		30	
TY⑩		70	
TY⑪		105	

3. 3. 3. CYの作製条件

芯鞘糸(カバーリング糸)の作製条件を表6に示す。

表6 CY(芯鞘糸・カバーリング糸)の作製条件

	構成	素材	織度[D]	撚数[T/m]	下撚[T/m]
CY	芯糸	PU	70	-	-
	鞘糸	PE	100	Z950 S1000	Z199 S199
CY-PE	芯糸	PE	100	無撚	
	鞘糸	PE	100	無撚	

3. 3. 4. LYの作製条件

LY(リリヤーン糸)の作製条件を表7に示す。

表7 LY(リリヤーン糸)の作製条件

加工系LY	原料系		針本数[n]
	TYorPE[D]	PU[D]	
LY①	TY⑧	-	2
LY②	TY①	70	
LY③	TY②		
LY④	TY③		
LY⑤	TY④		
LY⑥	TY⑤		
LY⑦	TY⑧		
LY⑧	TY⑨		
LY⑨	TY⑩		
LY⑩	TY⑪		
LY⑫	100		-
LY⑬	200	-	

3. 3. 5. 評価用編地の作製条件

試作用編地の作製条件を表8に示す。

表8 試作用編地の作製条件

編機ゲージ(G)	編組織	ループ長[mm]	目数[目]
7	インターロック編み	12	タテ65 ヨコ108

3. 3. 6. リリヤーン糸(LY)用原料系の分類

LYに使用する原料系の分類を表9に示す。単独型とは、PUを含まずPE単独をLY加工したもの。撚糸型は、PEとPUを予め合撚(TY)した後、LY加工したもの。分離型は、PEとPUを予め合撚(TY)せずに、PEとPUを個別に投入しLY加工したもの。複合型は、撚糸型とPUを分離型で投入し、二段階でPUを使いLY加工したものを表す。

表9 LY用原料系の分類

	加工系	原料系	PE[D]	PU[D]
単独型	LY①	TY⑧	100	-
	LY⑫	PE100	100	-
	LY⑬	PE200	200	-
撚糸型	LY⑩	TY⑩	100	70
分離型	LY⑦	TY⑧	100	70
複合型	LY⑨	TY⑩	100	140

3. 4. 試作した加工糸の評価

3. 4. 1. 低荷重域の平均伸度

試作した加工糸に0.01[N]の初期荷重を加え、長さ30[cm]を標準長さTとした。次に所定荷重(0.1、0.29、0.49[N])の重りを吊り下げた際の繊維長を T_L とし、各荷重での伸度から平均値を求め、低荷重域の平均伸度と定義した。

$$\text{平均伸度[\%]} = (T_L - T) / T \times 100$$

3. 4. 2. 加工糸内部のPE糸長評価

各加工糸に0.01[N]の初期荷重を加え、長さ20[cm]を標準長さTとした。Tを解いた際に、T内部に含まれるPEの糸長を T_r とし、下記の式より T_r をTで除した際の商をPE糸長と定義した。

$$\text{PE糸長[倍]} = T_r / T$$

3. 4. 3. 加工糸の強伸度評価

精密万能試験機を使用し、つかみ間隔100[mm]、初期荷重0.05[N]、引張速度100[cm/min]の条件下で強伸度試験を行った。その際の破断強度と破断伸度を5回測定しその平均値を求めた。

3. 4. 4. 試作編地の圧縮性評価

圧縮試験機を使用し、50[mm]×50[mm]以上の評価用編地を採取し、面積3.14[cm²]の円柱状の接触子を速度0.002[cm/min]で荷重0.49[N]まで圧縮した際のLC(圧縮特性の直線性)、WC(圧縮仕事量[$\text{gf} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$])、RC(圧縮に対する回復性[%])、 T_m (圧力0.49[N]時における試料厚さ[cm])、 T_0 (圧力0.049[N]時における試料厚さ

[cm])を測定し圧縮特性を評価した。

4. 結果と考察

4. 1. PE の撚糸回数と破断強伸度の関係

図1はPE繊維(200[D])を使用し、撚糸加工を行い撚り縮み率と破断強伸度の関係を調べた結果を示す。ラベル脇の数値は撚糸回数を示しkは $\times 10^3$ を表す。撚り縮み率の増加と共に破断伸度と撚糸回数は増加している。よってPEとの合撚糸であるTYは撚り縮みが発生することで、PEの破断伸度が向上していると考えられる。

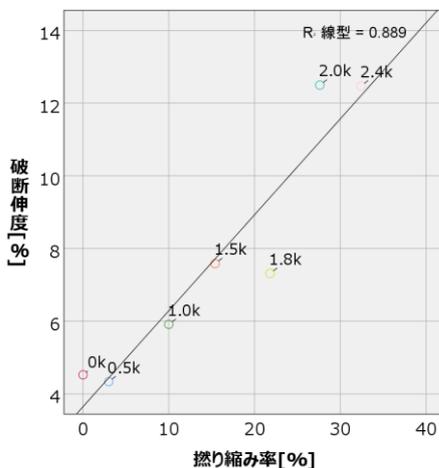


図1 PE の撚糸回数と破断強伸度及び撚り縮み率の関係

4. 2. PU を含まない伸度の機構

次に加工糸の糸構造と伸度の機構を検討した。

図1の結果から、合撚加工によるTYの伸度は、撚糸回数(撚数)による撚り縮み率の発生に起因している。

一方、芯鞘構造によるCYは、芯糸に鞘糸を巻き付けた糸量と、芯糸にPU等の弾性糸を使用した際は、芯糸(PU)のドラフト(伸長倍率)^{註4)}がCY全体の伸度を左右する要因と考えられる。

それに対しLYは、TYやCYのような撚り縮みや鞘糸の糸量が無く、ループ結節のたわみがあるのみで、極めて伸度が発生しにくい糸構造と言える。

一般的に、弾性編地に使用される弾性加工糸は、図1に示すTYや、芯鞘構造によるCYが多く使用されている。

CYの場合、伸縮性を上げるため、芯糸のPU等の弾性糸にドラフト(伸長倍率)を掛ける方法が広く知られている。CYの伸度は、PUのドラフトと鞘糸を巻き付けた糸量に左右され、ドラフトを上げると鞘糸が芯糸からぶかつき、ぶかつきを抑えようと撚糸回数を上げると、鞘糸の撚り数によって芯糸の伸度が抑えられ、でき上がった弾性糸は硬く伸縮性が低いものになってし

まう問題がある。

4. 3. PU を含まないPE糸長の関係

次にPUを含まない加工糸の糸構造と、加工糸の内部に集約されているPE糸長について検討した。

表5、6、7からPUを含まないTY⑧、CY-PE、LY⑬を選定し、PEの糸長を計測した結果を図2に示す。

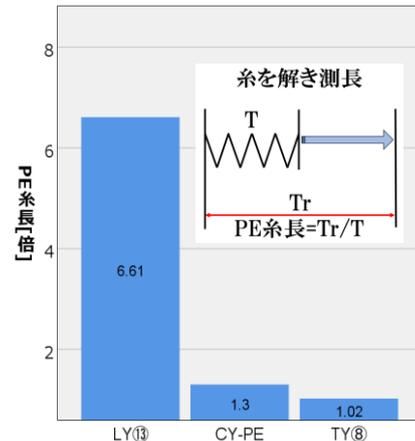


図2 PUを含まないLYのPE糸長

TY⑧に対し、CY-PEは約1.3倍、LY⑬は約6.5倍のPE糸長を加工糸の内部に集約している。LY⑬は撚り縮みや鞘糸の巻き量が無いものの、TY⑧やCY-PEに比べて極めて多くのPEを加工糸の内部に蓄える糸構造と言える。

本研究では、このLY⑬が加工糸の内部に集約しているPE糸長を、PEを高伸度化するための糸の供給源とした新たな糸構造が形成できないか検討を進めた。

4. 4. PU を含むPE糸長の関係

次にPUを含む加工糸の糸構造と、加工糸の内部に集約されているPE糸長について検討した。

表5のTY⑩、表6のCY、表7のLY⑦、LY⑨、LY⑪を選定し、PE糸長を計測した結果を図3に示す。

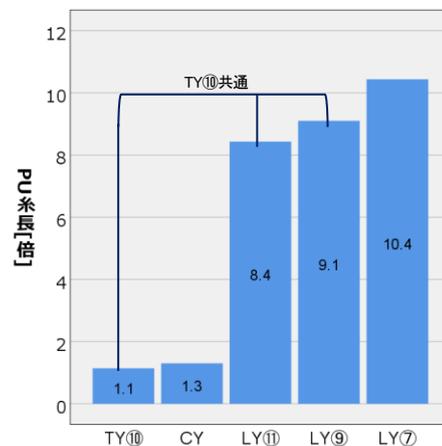


図3 PUを含む各加工糸のPE糸長

TY⑩とCYのPU糸長に大差は見られない。LY群はTY⑩の約8.5倍のPEを加工糸内部に集約していることが分かった。

LY⑪は、TY⑩を原料糸とし、LY加工時にPUを投入していない。LY⑨は、TY⑩を原料糸として、LY加工時にPUを投入した。一方、LY⑦はPUなしのTY⑧を原料糸とし、LY加工時にPUを投入している。

4. 5. PUを含む加工糸の平均伸度

次にPUを含む加工糸の糸構造と平均伸度について検討した。LY原料糸の違いによる平均伸度の計測結果を図4に示す。

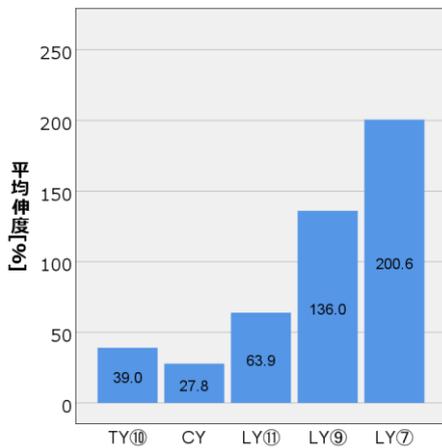


図4 LY原料糸と平均伸度の関係

TY⑩とCYは図3のPU糸長では大差ないが、平均伸度では、TY⑩はCYに比べ約1.4倍の伸度を示した。また、図3に示すLY群のPE糸長の差に比べ、図4に示す平均伸度の差が大きいことが分かる。原料糸とPUの組み合わせに平均伸度を左右する大きな要因があると推察される。LY⑪とLY⑦の平均伸度の差分は、PE糸長の個体差のみでは推測し難いと言える。

4. 6. PUを含むLYの側面観察

PUを含むLYの側面画像を図5に示す。(PEとPUは共に表面色が白系であり、視認性を上げるためPEを有色のPETに差し替え観察した。)

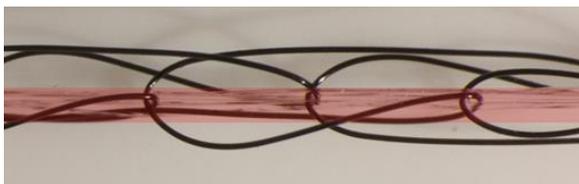


図5 PUを含むLYの側面画像
PU(赤色)、PET(黒色)

図5からPUは中心部分で収縮したループ結節を形

成し、外側の糸形状とは明らかに異なる立体構造を示している。外観上はCYの芯鞘構造に類似した立体構造をしているが、中心のPUと外側の糸形状がループ結節で結合している点が、CYの芯鞘構造と大きく異なる点と言える。このLY内の芯鞘構造の有無が、PE糸長では推測しがたい、図5に示すLY⑪(芯鞘構造無し)とLY⑦(芯鞘構造有り)の平均伸度の差分となって計測された可能性が示唆される。

4. 7. PE糸長と平均伸度の関係

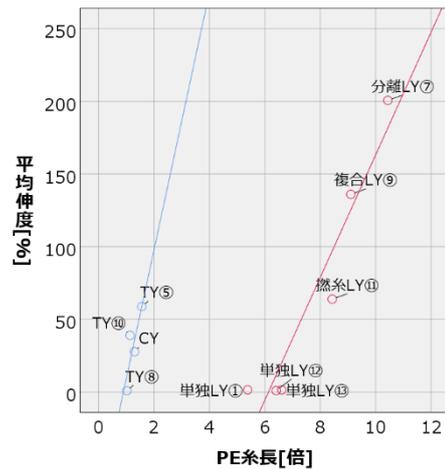


図6 PE糸長と平均伸度の関係

LY内部に集約できるPE糸長と平均伸度の関係を検討した。表9に示す単独型、撚糸型、分離型、複合型に分類したPE糸長と平均伸度の関係を図6に示す。

LY内部のPE糸長を比較すると、分離型は約10.4倍、複合型は約9.1倍、撚糸型は約8.4倍、単独型は平均約6.1倍のPE糸長であった。平均伸度はPE糸長に正の相関をとる値を示した。

単独型のLY①、LY②、LY③は、PUを含まないため、平均伸度は向上していない。また単独型のLYの結果より、原料糸の撚糸回数、PE織度は平均伸度には影響を与えない結果を示した。

一方、複合型のLY⑨は、分離型の二倍のPU糸量を含むが、平均伸度は分離型より低い結果を示した。このことから平均伸度は、単純にLY内部のPU糸量には依存しない可能性が考えられる。

しかし、本研究では、平均伸度の計測を低荷重域(≤0.05[N])に限定している。今後はLY⑨を中荷重域(5~10[N])から破断伸度の領域で計測し、平均伸度がPU糸量に依存するか再検証する必要がある。

また、撚糸型LY⑪の平均伸度は分離型LY⑦、複合型LY⑨より低い。これは、原料糸TY⑩が、PEとPUの合撚糸であるため、PU本来の伸縮性が密着するPEにより制限されること。またLY加工時にPUを使用していないため、結節点間隔が伸びにくくなり、結果として、

平均伸度が分離型、複合型より低い値を示したと考えられる。

したがって、高伸度化に好適な加工条件の選定には、原料糸をPU無しのTYで作製し、LY加工時にTYとPUを分離型で条件を選定することが、有効であると示唆される。

4. 8. TY(原料糸)とLY(平均伸度)の関係

次に、TY(原料糸)とLY(平均伸度)の関係を図7、図8、図9に示す。TYの因子(PE織度、PU糸量、撚糸数)と水準に対し数値目標を満たすLYを赤の領域で表示している。PE織度と平均伸度の関係を図7に示す。

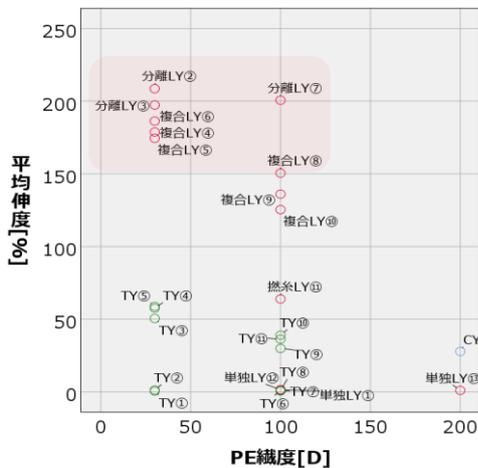


図7 PE 織度と平均伸度の関係

PE織度30[D]は100[D]よりも平均伸度が高いと言える。中でもLY②、LY③、LY⑦は200[%]を超える平均伸度を示し、LYの投入方法はすべて分離型である。

次にPU織度と平均伸度の関係を図8に示す。

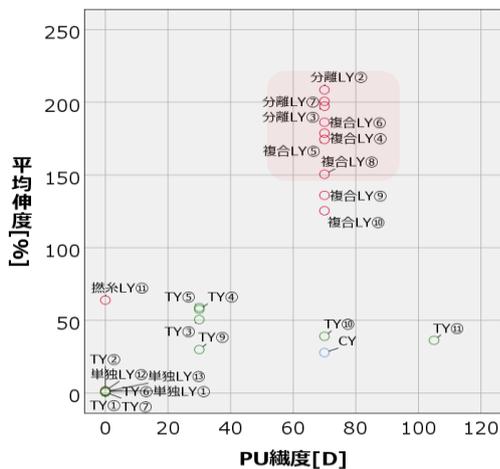


図8 PU 織度と平均伸度の関係

LY④、LY⑤、LY⑥は複合型である。複合型はTYでPU織度30[D]、LYでPU織度70[D]のPUを加工糸に内在しているが、平均伸度は分離型により低い。このこと

から平均伸度はPU織度に依存しない可能性が考えられる。

次に撚糸回数と平均伸度の関係を図9に示す。同じ分離型LY②、LY⑦、LY③または複合型LY④、LY⑤、LY⑥において、撚糸回数が最大4倍程度異なっても平均伸度に大差は見当たらない。

以上のことから、分離型のLY(リリヤーン加工)が単独型、撚糸型、複合型よりも、低伸度のスーパー繊維を高伸度化する弾性糸の構造として有効であると言える。

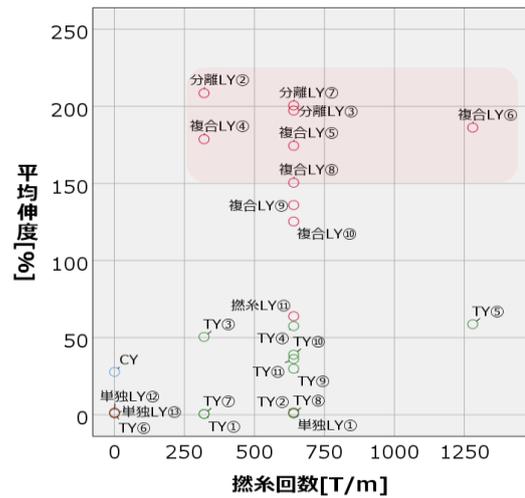


図9 撚糸回数と平均伸度の関係

4. 9. 弾性編地の作製と性能評価

表8の条件でTY⑬、LY⑥、CYの試験用編地を作製し、圧縮試験を行った結果を表10に示す。WEはTY⑬を使用した平織物を比較用として表記した。

表10 試作用編地の圧縮試験特性

比較用加工系	PU有無	織度	編地重量	編地目付	編地厚	面積	体積	見掛密度
		[D]	[g]	[g/cm ²]	[mm]	[cm ²]	[cm ³]	[g/cm ³]
WE	-	400	6.8	0.02	0.5	440.6	233.5	0.03
TY⑬	-	400	41.2	0.09	1.2	480.6	586.9	0.07
CY	○	540	51.6	0.35	2.7	149.4	406.8	0.13
LY⑥	○	650	44.8	0.44	2.4	101.3	240.3	0.19

比較用加工系	LC	WC	RC	TO	TM	TM/TO	(TO-TM)/TO	WC/TO
	-	[g ^{1/2} ・cm ^{1/2} /c ^{1/2}]	[%]	[mm]	[mm]	-	-	-
WE	0.22	0.07	55.2	0.5	0.4	0.76	0.17	0.12
TY⑬	0.32	0.38	42.8	1.2	0.7	0.59	0.86	0.31
CY	0.38	0.25	37.6	2.7	2.5	0.90	0.29	0.09
LY⑥	0.43	0.22	48.3	2.4	2.2	0.91	0.23	0.09

編地目付(単位面積当たりの重量)は、織物WEに比べてCYが約18倍、LY⑥は約22倍を示した。また見掛密度は、織物WEに比べてCYが約4.3倍、LY⑥は約6.3倍を示した。

圧縮の直線性LCは、値が高いほど圧縮の初期特性の硬さを表し、LY⑥が最も高い値であった。

圧縮仕事量 WC は、値が小さいほどハード感、密度感の高さを表し、LY⑥が最も低い値であった。

圧縮の弾性 RC は、荷重除去後の回復性を表し、LY⑥が最も高い値であった。

(TM/T0)/T0 は、単位厚みあたりの圧縮率を表し、値が小さいほど変形量が小さいためハード感が高く、比較用編地の中では LY⑥が最も低い値であった。

WC/T0 は、単位厚み当たりの圧縮仕事量を表し、値が小さいほどハード感、密度感が高く、CY、LY⑥が低い値であった。

LY⑥で編成した編地は密着性があり、保形性も高い編地となった。

5. 結言

本研究は県内企業が固有技術を活用し、新分野で新規性と独創性がどの程度創造できるか、技術的視点から事業可能性の検証(FS 研究)を行った。

スーパー繊維は、その優れた物性から各分野で様々な新材料として期待されている。しかし、加工現場での取り扱いや、性能向上への前処理にはクリアすべき多くの課題がある。弾性繊維体(テキスタイル、ゲーム)の性能を決定付ける弾性加工糸について、既存技術を複合した新しい製造方法の提案を行った。

①開発した弾性糸は、リリヤーン構造の内部に PU の芯部と PE の鞘部がループ結節で一体化した芯鞘構造を形成する。

②TY や CY のように撚糸回数による強度低下や伸度低下の制約がなく、芯糸の PU と鞘糸の PE は常に定間隔でループ結節されているため、ぶかつきのトラブルが発生しにくい利点がある。

③本研究では、平均伸度の計測を低荷重域($\leq 0.05N$)の限定しているため、今後は中荷重域(5~10N)から破断伸度の領域で計測し、平均伸度が PU 糸量に依存するか再検証する必要がある。

④開発した弾性糸(LY⑥)を活用し、編地の試作と評価(圧縮特性)を行った結果、密着性があり保形性も高い編地となった。

6. 用語解説

注1) 強度 20[g/d]以上、弾性率 500[g/d]以上の優れた強度、弾性率を持つ機能性繊維。炭素繊維、アラミド繊維、PBO 繊維などが該当する。

注2) 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。軽量性、高強度、高耐薬品性、高熱伝導性などの特徴を持つ。

注3) ゴム状弾性をもっている繊維。

注4) カバーリング加工における、芯糸の伸長倍率のこと。PU のドラフト率を増加させることによって、カバーリング糸の伸縮性が向上する。

7. 参考文献

- 1) 特許 4025012 「耐熱性捲縮糸」
- 2) 特開 2019-183299 「布帛および繊維製品」
- 3) 特許 7105025 「ダブルカバーリング糸およびそれを用いた布帛」