

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18600

研究課題名(和文) シェルター用衣服への応用を目指した超軽量・高強度ナノテキスタイルの創製

研究課題名(英文) Preparation of ultra-lightweight and high-strength nanotextiles for application to shelter clothing

研究代表者

高崎 緑 (Takasaki, Midori)

京都工芸繊維大学・材料化学系・准教授

研究者番号：00402149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：レーザーエレクトロスピニング(LES)で得られたpoly(ethylene terephthalate)(PET)ウェブについて、幅拘束一軸伸長あるいは同時等二軸伸長を加えた結果、伸長倍率の増加にともない、ウェブ中の繊維径は減少傾向を示し、伸長倍率3倍以上で平均繊維径1 μ m以下のナノファイバーウェブを作製できた。

WAXD測定の結果から、LES後に幅拘束一軸伸長あるいは同時等二軸伸長を施すことで結晶化が促進されることを確認した。繊維配向解析および引張試験の結果、幅拘束一軸伸長試料については、伸長方向に繊維が配向し、繊維配向の割合が高い方向でヤング率および引張強度も高くなる傾向を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果から、LES後のウェブについて一軸または二軸伸長と熱処理を施すことにより、ウェブの繊維径、結晶性、結晶配向性、ヤング率等の諸物性を制御することができ、超軽量・高強度ナノテキスタイルのシェルター用衣服への応用化のための指針が得られた。したがって、ナノファイバー材料を利用した新規衣服材料に関する衣服学分野の発展において学術・社会的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：Poly(ethylene terephthalate)(PET) fiber webs were prepared through the laser-heated electrospinning (LES) and subsequent planar or equi-biaxial stretching process. For both planarly and equi-biaxially stretched web samples, the average fiber diameter decreased with an increase in the stretch ratio. When the stretch ratio exceeded stretch ratio of 3 times, nanofiber webs with the average fiber diameter of about 1 μ m and were obtained.

From the results of WAXD measurement, it was confirmed that crystallization was promoted by applying planarly or biaxial stretching after LES. As a result of the fiber orientation analysis and the tensile test, in the planarly stretched sample, the fibers were oriented in the stretching direction, and the Young's modulus and the tensile strength tended to increase in the direction in which the ratio of the fiber orientation was high.

研究分野：衣・住生活学、高分子・繊維材料

キーワード：ナノファイバー

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでに申請者らは、溶媒不要のナノファイバー製造法であるレーザーエレクトロスピニング法(Laser Electro Spinning: LES)を新規に開発した。実際、これまでにナイロン6, ポリ乳酸およびその共重合体などの各種高分子について、直径 $1\ \mu\text{m}$ 以下(直径変動係数 20%以下)の太さが均一なシート状ナノウェブの作製に成功している。一方、予備実験として、LES で得られたシート状 poly(ethylene terephthalate) (PET)ウェブについて、同時二軸伸長後熱処理を行ったところ、結晶化と細径化が促進されることが確認できた。これらの事実に着眼し、分子配向・結晶化、細径・多孔化を自在に制御した超軽量かつ高強度・高弾性率なナノテキスタイルの創製を目指すに至った。

2. 研究の目的

本研究では、申請者らが開発した独自技術である「溶媒不要のレーザーエレクトロスピニング法(LES)」を応用し、LES に伸長を加えた新規プロセスによって、分子配向および結晶化を自在に制御した超軽量かつ高強度・高弾性率なナノテキスタイルを創製する。最終的には有害な外的刺激から身体を防護・避難するための類例の無いシェルター用衣服への応用法を探索・構築することを目的とする。

3. 研究の方法

溶融紡糸によって作製した PET 繊維(繊維径 $151 \pm 8\ \mu\text{m}$)を供給繊維とし、LES を行った。LES によって得られた PET ウェブを PET フィルムに固定し、幅拘束一軸伸長(平面伸長, 延伸倍率 $1 \times 1 \sim 1 \times 4$)および同時等二軸伸長(延伸倍率 $1 \times 1 \sim 4 \times 4$)を行った。具体的には、チャック間距離 30 mm, 延伸速度 10 mm/min, 延伸温度 $90\ ^\circ\text{C}$ で所定の倍率に延伸後、 $116\ ^\circ\text{C}$ で 5 分間熱処理した。さらに、作製した各試料について、走査型電子顕微鏡(SEM)観察、広角 X 線回折(WAXD)測定、示差走査熱量測定(DSC)等によって構造・性能評価を行った。

4. 研究成果

LES で得られた PET ウェブについて、一軸あるいは二軸伸長を加えた結果、伸長倍率の増加にともない、ウェブ中の繊維径は減少傾向を示し、伸長倍率 3 倍以上で平均繊維径 $1\ \mu\text{m}$ 以下のナノファイバーウェブを作製できた。

PET ウェブ試料と比較のため PET フィルム試料の WAXD 写真(Through view)を Fig. 1 に示す。未延伸試料では、ウェブ・フィルムともに非晶ハローが確認できる。幅拘束一軸伸長試料(延伸倍率 1×4)において、幅拘束の方向を TD, 伸長方向を MD とすると、TD 方向に、結晶配向に対応する集中反射がみられ、ウェブよりフィルムの方が反射が明瞭であることがわかる。一方、等二軸伸長試料(延伸倍率 4×4)では、等方的なリング状の結晶反射が示された。各結晶面からの反射強度の比較から、フィルムの場合、ベンゼン環を含む(100)面がフィルム面に平行に配向する反射強度変化が観測され、幅拘束一軸伸長では一面軸配向、同時等二軸伸長では一面配向が確認できた。一方、ウェブの場合、このような結晶面の配向は確認できなかった。

SEM 画像から解析した PET ウェブ中の繊維の配向角分布を Fig. 2 に示す。幅拘束一軸伸長試料(伸長倍率 MD \times TD = 4×1)において、MD 方向(配向角 90°)の方向に繊維が配向していることが確認でき、伸長倍率の増加にともない明瞭となった。一方、等二軸伸長試料

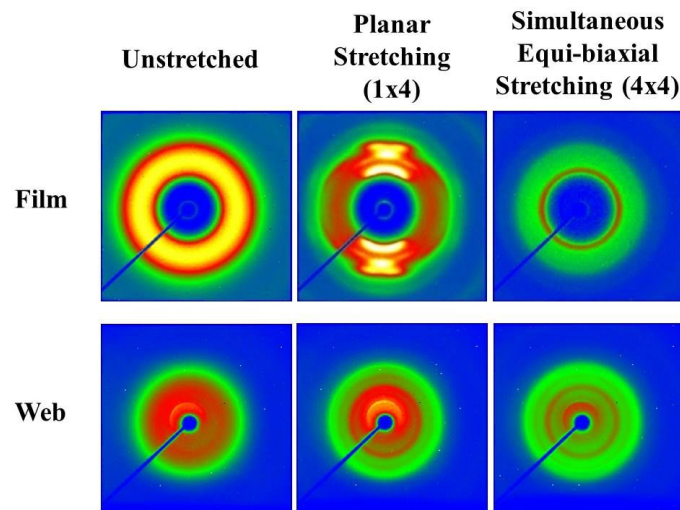


Fig. 1 WAXD patterns of PET film and web samples.

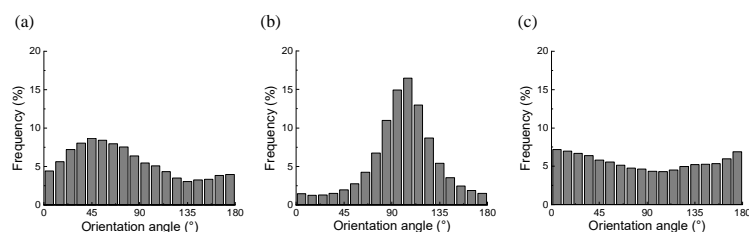


Fig. 2 Distribution of orientation angle of fibers in the web stretched at stretch ratio of (a) MD \times TD = 1×1 , (b) MD \times TD = 4×1 , (c) MD \times TD = 4×4 .

が配向していることが確認でき、伸長倍率の増加にともない明瞭となった。一方、等二軸伸長試料

(伸長倍率 MD × TD = 4 × 4)では、繊維の配向性はみられず、ウェブの面方向において等方性を示した。

また、ウェブについて引張試験をおこなった結果、繊維配向の割合が高い方向でヤング率および引張強度も高くなる傾向を示した。

本成果から、LES後のウェブについて一軸または二軸伸長と熱処理を施すことにより、ウェブの繊維径、結晶性、結晶配向性、ヤング率等の諸物性を制御することができ、超軽量・高強度ナノテキスタイルのシェルター用衣服への応用化のための指針が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 高崎緑, 徳田智己, 原拓也, 伊藤宰, 南部壮太郎, 小林治樹, 田中克史, 宝田亘, 鞠谷雄士
2. 発表標題 レーザーエレクトロスピンングと二軸伸長プロセスによって作製したPET繊維ウェブの構造と物性
3. 学会等名 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Midori Takasaki, Tomoki Tokuda, Takuya Hara, Tsukasa Ito, Sotaro Nanbu, Haruki Kobayashi, Katsufumi Tanaka, Wataru Takarada,
2. 発表標題 STRUCTURE AND PROPERTIES OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) FIBER WEBS PREPARED THROUGH LASER-HEATED ELECTROSPINNING AND BIAxIAL STRETCHING PROCESSES
3. 学会等名 The 17th Asian Workshop on Polymer Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Midori Takasaki, Tomoki Tokuda, Haruki Kobayashi, Katsufumi Tanaka, Wataru Takarada, and Takeshi Kikutani
2. 発表標題 Structure and Properties of Poly(ethylene terephthalate) Fiber Webs Prepared through Laser-Electrospinning and Subsequent Planar or Biaxial Stretching Process
3. 学会等名 The Fiber Society Fall 2019 Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高崎緑, 徳田智己, 小林治樹, 田中克史, 宝田亘, 鞠谷雄士
2. 発表標題 レーザーエレクトロスピンングおよび一軸・二軸伸長プロセスによって作製したPETナノ繊維ウェブ中の繊維配向
3. 学会等名 2020年繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高崎緑, 田中克史, 小林治樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社情報技術協会	5. 総ページ数 6
3. 書名 ナノファイバーの製造・加工技術と応用事例 第2章 エレクトロスピンニング法によるナノファイバー不織布の製造技術 第2節 溶媒フリーなエレクトロスピンニング法によるナノファイバーの製造	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----