

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月22日現在

機関番号：83205

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360074

研究課題名（和文）ナノファイバー/ウェブのトライボロジー評価に関する研究

研究課題名（英文）Study of tribological evaluation of nanofibers/webs

研究代表者

榎本 祐嗣 (Yuji, Enomoto) 富山県工業技術センター・所長

研究者番号：30362106

研究成果の概要（和文）：

単軸引張、応力緩和、3点引張などの多項目試験が可能なナノファイバー力学強度試験機を開発した。引張強度のファイバー径や環境依存性などを明らかにするとともに、サンプルの採取やホルダー形状についても最適な方法を確認できた。さらにポリウレタン（PU）、ナイロン-6、ポリプロピレンなどのナノウェブの作製条件、メタライズなど高次加工の効果、すべり摩擦特性、帯電効果などを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A versatile tester has been developed for evaluation of mechanical strength, stress relaxation, three point tensile strength and etc. of a nano/micron size fiber. Effects of diameter, environment and etc. on the mechanical properties of various fibers are clarified as well as optimization of sample holding method and the configuration. The optimum synthesis of polyurethane, nylon-6, polypropylene etc. and their post treatment method such as metallization were established. Their tribological and tribo-electrical properties were also investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 6,600,000  | 1,980,000 | 8,580,000  |
| 2010年度 | 6,400,000  | 1,920,000 | 8,320,000  |
| 2011年度 | 1,900,000  | 570,000   | 2,470,000  |
|        |            |           |            |
| 総計     | 14,900,000 | 4,470,000 | 19,370,000 |

研究分野：工学系

科研費の分科・細目：機械工学・トライボロジー

キーワード：トライボロジー、ナノ材料、複合材料・物性、ナノファイバー、ナノウェブ（不織布）

## 1. 研究開始当初の背景

エレクトロスピンニング法によるナノファイバーウェブ（不織布）製造に関する関心が高まり、半導体産業や医療・公衆衛生・衣料産業用途にナノファイバーの強度評価やナノウェブのトライボロジー

特性の評価研究が不可欠になっていた。

## 2. 研究の目的

1) ナノファイバー/ウェブの摩擦ならびに強度評価試験法として、ナノファイバー用ならびにナノウェブ用の2種類のトライボロジー特性試験法を開発して、標準的な

手法を確立する。その評価技術の構築により、エレクトロスピニング法を駆使して高機能ファイバー創成技術の応用展開を支援する。

- 2) ナノファイバー強度試験は、摩擦特性のみならず破断強度、弾性率、応力緩和、濡れ性など多項目の試験評価を可能にする。
- 3) ナノウエッジのトライボロジー試験は、摩擦触感や損傷評価、帯電性・拭浄性など多項目の評価を行える試験法の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

- 1) 本研究は富山工業技術センターと信州大学とが協働して行う。前者は、ナノファイバー/ウエッジの強度特性・トライボロジー特性の評価を担当し、後者は機能性に優れたファイバー創製法を主として担当する。
- 2) 評価方法としてナノファイバー強度試験機の開発と評価法の確立ならびにナノウエッジのすべり摩擦特性試験法の確立を目指す。

### 4. 研究成果

#### ○ナノファイバーの力学試験評価

- ・ ナノ/マイクロファイバー強度評価試験機を試作した(図1)。さらにナノファイバーのサンプルの採取方法や適正な試験長についても知見を得て、把持法を最適化できた(図2, 3)。
- ・ 液体中のナノウエッジ濡れ性評価も可能であることを確かめた。



図1 試作したナノファイバー力学強度試験機：協働企業：(株)レスカから製品化された。

- ・ 300nmから数ミクロン径の各種ファイバーの単軸引張、クリープ、3点引張試験を行った。引張り強度のファイバー径依存性、環境依存性などが明らかにできた(図4)。

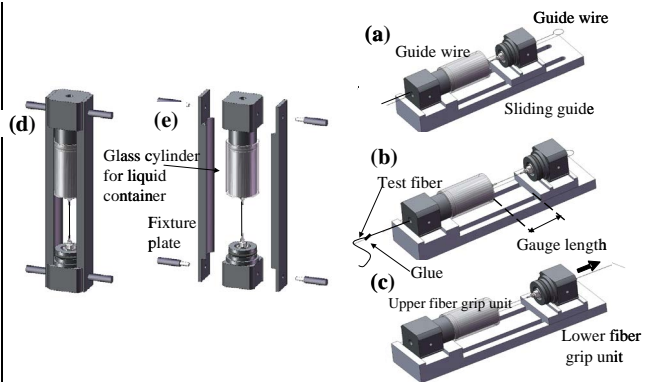


図2 極細ファイバーの把持方法。くせのあるファイバのセッティングが容易。

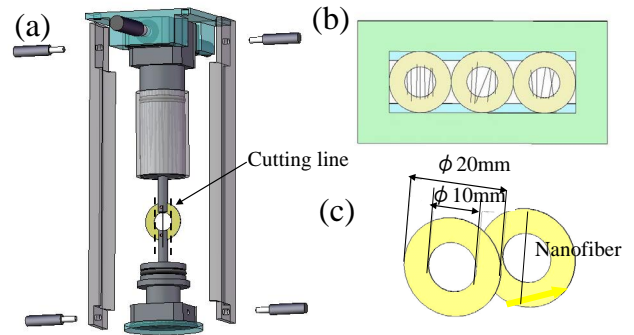


図3 ナノファイバーのサンプリングと把持法

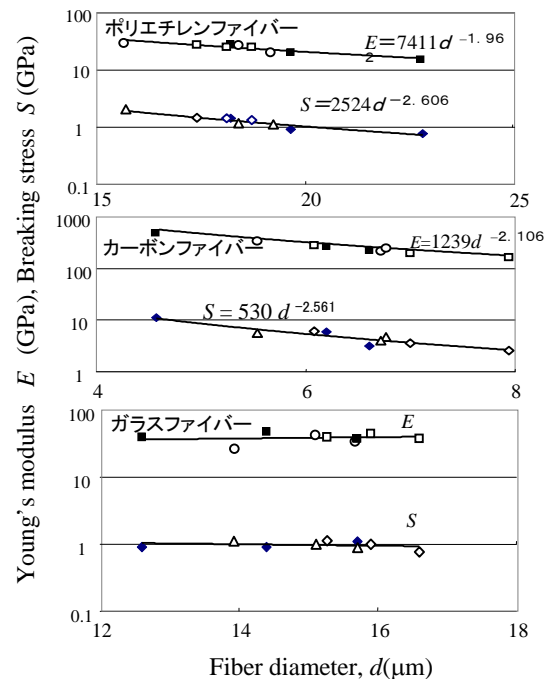


図4 各種極細ファイバーのヤング率 ( $E$ ) と破断強度 ( $S$ ) のファイバー径依存性  
白抜き：大気中、黒塗り潰し：水中。

- ・ インプロセス帯電除去によりポリエステルのような絶縁性基材にもナノコートできることを示した (図5)。

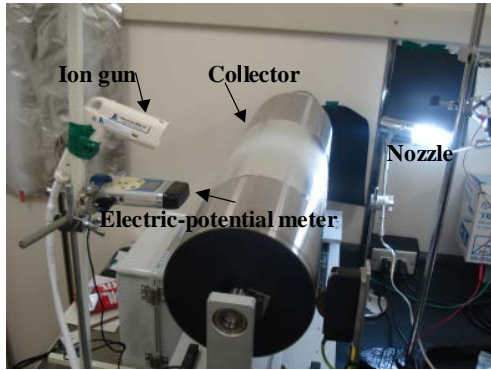


図5 エレクトロスピンニング法の帯電除去実験設備

- ナノファイバーウェブの創製とトライボロジー評価
- ・ クリーン環境でのナノウェブの拭き取り摩擦試験・摩擦帯電試験を実施、ナノウェブの押し付け力の増加とともに摩擦係数が減少する効果やナノウェブの粘弾性的性質によるスティックスリップ現象などトライボロジー特性を明らかにした (図6)。

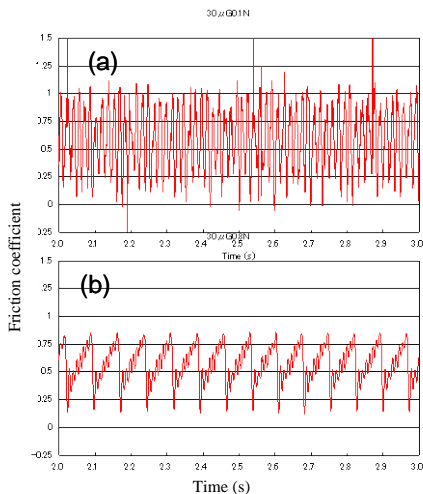


図6 PU ナノウェブの摩擦; (a) 荷重0.1N, (b)0.59N。臨界荷重以上でスティックスリップが発生。

- ・ 溶媒を使わないハンドスピニング法の基礎実験を行い、実用に目途をつけた。
- ・ 親水性PUならびに疎水性PUナノウェブ

を作製し、ガラスならびにシリコンに対して拭き取り摩擦試験を行った(図7:論文作成中)。

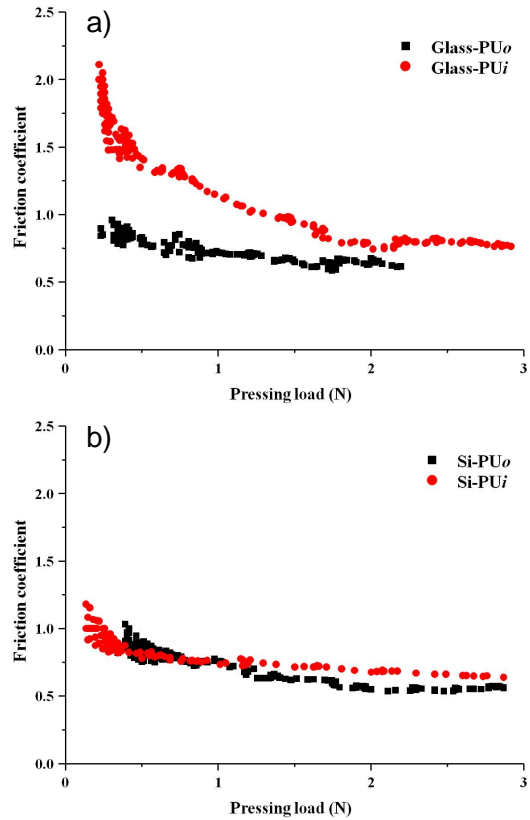


図7 親水性ならびに疎水性PUナノウェブ(それぞれPUiとPUo)の(a)ガラス基板、(b)シリコン基板に対する摩擦係数と押し付け荷重の関係。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

- 1) 金 翼水、榎本祐嗣、高橋 徹, 超極細ファイバーの力学特性評価試験, 繊維学会誌 65 (2009) 325-327.
- 2) H. R. Kim, H. S. Bang, B. S. Kim, Y. Watanabe, Y. Enomoto, I. S. Kim, Morphologies and tensile strength of metallized hybrid nanofiber, *NSTI-Nanotech* 2010, 2 (2010)14
- 3) Y. Enomoto, I. S. Kim et al., Development of a Versatile Tester for Ultra-fine Fibers, *Journal of Textile Engineering*, 57 (2010) 15-29.
- 4) 大澤義征, 榎本祐嗣, 金 翼水, ナノファイバー力学的特性評価—ナノファイバーの把持および引張試験—, *WEB Journal*, No.111 (2010) 22-24.

- 5)H. Sato, H. K. Kim, B. S. Kim, Y. Enomoto, I.S. Kim, Fabrication of PVA-BaSO<sub>4</sub> Hybrid Nanofibers and Dispersion of BaSO<sub>4</sub> Particles via Ultrasonic Electrospinning, *Fibers & Polymers* 11 (2010) 1123-1127.
- 6)S. Lee, M. Furuichi, Y.Enomoto, B.S. Kim, B.K. Behera, I.S. Kim, Effect of Nanorough Surface in Evaluating the Handle of Nanofiber Web, *J. Nanoscience and Nanotechnology*, 10 (2010) 1-6.
- 7)T. Sudo, T. Yamabe, I.S. Kim and Y. Enomoto, Tribological Properties of Electrospun Polyurethane Nanofiber Web, *Tribology Online* 5(2010) 262-265.
- 8) K.Watanabe, B.S.Kim,Y. Enomoto, I.S.Kim, Fabrication of Uniaxially Aligned Polypropylene Nanofibers via a Novel Hand-spinning, *Macromoleculr Materi. and Eng.*,296 (2011) 568-573.
- 9)Y. Yang, T. Yamabe, B.S. Kim, I.S. Kim, Y. Enomoto, Lubricating characteristic of grease composites with CNT additive, *Tribolgy Online*, 6 (2011) 247-250.
- 10) Enomoto,Y. & Kim I.S., Mechanical Properties evaluation of Nanofiber/web, *Fundamental Manufacturing Technologies & Cee usro II*, *Key Eng. Materi.*464 (2011) 20-23.

[学会発表] (計8件)

- 1)M.Nagase, I.S.Kim, Y.Enomoto et al., Mechanical Property Measurements of Nano/Micro-Size Fibers, Proc. 10th Asian Textile Conf., ATC-10, 2009.9.8, Shinshu Univ.
- 2)Y.Yang, T.Yamabe, I.S. Kim and Y. Enomoto, Lubricating characteristic of composite grease with carbon nanotube additive, World Tribology Congress, C2-311, 2009.9.10, Kyoto.
- 3)T.Sudo, T.Yamabe, I.S.Kim, Y.Endomoto, Tribological Tests of Nanofiber Web Fabricated by Electrospinning, Method Proc. 10th Asian Textile Conf., ATC- 10, 2009. 9. 8, Shinshu Univ.
- 4)Y.Enomoto, I.S.Kim, Mechanical properties evaluation of nanofiber/webs, 第6回中日メカトロニクス会議(招待講演)2010.9.10,於:江蘇大学(中国)
- 5)N.Kimura, B.S. Kim, Y.Enomoto & I.S.Kim, Preparation and properties of electrospun nylon 6 nanofibers induced by the effect of additive salt, NanoTech 2011, 2011.6.14 Boston, U.S.A.
- 6)K.Watanabe, T.Nakamura, B.S. Kim, Y.Enomoto, I.S.Kim, Development of polypropylene nanofiber production system via electrospinning, melt blown electrospinning

and novel handspinning, 2011.6.14,NanoTech 2011, Boston, U.S.A..

- 7) K.Watanabe, B.S.Kim, Y. Enomoto & I.S.Kim, Fabrication of uniaxially aligned nanofibers via a novel handspinning, 2nd Nano-Today Conference, Dec.12,2011, Hawaii, U.S.A.ほか

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称: なし

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計1件)

名称: ナノファイバー力学強度評価試験機

発明者: 榎本祐嗣、高柳良太

権利者: 信州大学

種類:

番号: 4660762

取得年月日: 2011年1月14日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等(関連情報)

富山工業技術センター刊行物

<http://www.itc.pref.toyama.jp/publication/publication00.html>

信州大学繊維学部機能機械 金翼水準教授

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.jNyCjFkV.html?lng=ja&id=jNyCjFkV>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎本祐嗣(富山県工業技術センター)

研究者番号: 30362106

(2) 研究分担者

金翼水(信州大学繊維学部)

研究者番号: 40397302

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号: