

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 5月 11日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350121

研究課題名（和文）炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法によるナノシート作製とその応用

研究課題名（英文）Preparation of nanosheet by CO₂ laser supersonic multi-drawing method and its application

研究代表者

鈴木 章泰（SUZUKI AKIHIRO）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授

研究者番号：70216357

研究成果の概要（和文）：本研究では、トップダウン型のナノファイバー作製法である「炭酸ガスレーザー超音速延伸法」を発展させ、ナノファイバーから成るシートの量産化が可能な装置を開発することを目指した。80本の繊維をナノファイバー化できるオリフィス配列について検討し、1列が25本のオリフィスを2列設けることで、80本の繊維が同時にナノファイバー化できることが分かった。また、ネットコンベアー上に捕集したナノファイバーを巻き取る機構では、層間紙として用いたPETフィルム上のナノファイバーシートを移して、連続的に巻き取ることが可能になった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we developed the CO₂ laser supersonic drawing method, which is a top-down type, to produce the nanofibers sheet. The multi-orifice to draw many fibers at the same time is necessary to make the nanofiber sheet. The multi-orifice plate that 80 fibers can be drawn was designed, and was attaching to the apparatus. The continuous CO₂ laser supersonic multi-drawing apparatus equipped with the multi-orifice plate can produce the nanofiber sheet by winding the nanofibers collected on the net conveyer on the spool.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2010年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・高分子・繊維材料

キーワード：繊維材料、ナノファイバー

1. 研究開始当初の背景

ナノファイバーは精密フィルターや電池セパレーターなどの産業用材料、組織充填剤や組織再生用足場などの先端的な再生医療用材料として注目されている。特に、生分解性高分子である PLLA や生体吸収性高分子である PGA に関連する研究は工学的および医学的

な立場から活発に行われている。現在、トップダウン型でナノファイバーを工業的に作製する技術はなく、唯一、実験室レベルの複合紡糸法で 100nm の PET ナノファイバーが得られている。この複合紡糸法では PET（島成分）とナイロン（海成分）から構成される海島構造型繊維を作製し、海成分であるナイロ

ンを溶解除去するとPETナノファイバーが得られる。しかし、海成分を溶剤で除去するために、原料利用効率はきわめて低い。また、ボトムアップ型のナノファイバー作製法としてエレクトロスピンング法が盛んに研究され、ナノファイバー作製の主流となっている。この方法は、ポリマー溶液を入れたキャピラリーと導電性基板間に高電圧を印加し、キャピラリーから対電極である導電性基板に向かって、溶液がスプレーされ、基板上にナノファイバーが得られる。

一方、我々が開発した炭酸ガスレーザー超音速延伸法は複合紡糸法やエレクトロスピンング法とは異なり、ほとんど全ての熱可塑性高分子材料に適用でき、高い原料利用効率で溶剤を使用せず、連続したモノフィラメントのナノファイバーが得られる。特に、精密フィルターや電池セパレータなどへの応用が期待されているフッ素系繊維（溶剤に難溶）をナノファイバー化する方法は、現段階では、国内外で炭酸ガスレーザー超音速延伸法以外に無い。

2. 研究の目的

本研究では、現行の炭酸ガスレーザー超音速延伸法を発展させ、複数本の繊維を同時にナノファイバー化できる「炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法」を確立し、実用化可能なナノシート作製法の基礎的な知見を得ることを目的とする。さらに、本成果を基にナノシートの大型量産装置の開発につなげる。

本研究の目的を達成するために、以下の項目について検討し、明らかにする。

(1) レーザー超音速マルチ延伸装置の設計開発

1.1. CO₂レーザー光の光学系の検討

1.2. オリフィスおよびナノファイバー捕集法の検討

(2) CO₂レーザー超音速マルチ延伸装置におけるナノシート作製条件の最適化

(3) 有限要素法によるナノファイバー化のメカニズムの解明

(4) ナノシートの熱処理法の検討および高次構造解析

(5) ナノシートの基本特性の評価

(6) 精密フィルター、電池用セパレータおよび医用材料としてナノシートの基礎的な物性評価

3. 研究の方法

本研究課題は、平成21年度から平成23年度の3年間に下記の項目に従って実施された。

(1) CO₂レーザー超音速マルチ延伸装置の開発

1.1. レーザー光の光学系の検討

1.2. オリフィスおよびナノファイバー捕集

法の検討

(2) CO₂レーザー超音速

マルチ延伸

装置における

作製条件

の最適化

(3) 有限要素

法によるナ

ノファイバ

ー化のメカ

ニズムの解

明

(4) ナノシートの熱処理法の検討および高次

構造解析

(5) ナノシートの基本特性の評価

(6) 精密フィルター、電池用セパレータおよ

び医用材料としてのナノシートの基礎的な

物性評価

4. 研究成果

本研究では、

トップダウン型のナノファイ

バー作製法である「炭酸ガスレーザー超音速

延伸法」を

発展させ、

ナノファイバーから成

るシートの量産化が可能な装置を開発する

ことを目標とした。

80本の繊維をナノファイ

バー化できるオリフィス配列について検討

し、1列が40本のオリフィスを2列設けるこ

とで、80本の繊維が同時にナノファイバー化

できることが分かった。

また、ネットコンベ

アー上に捕集したナノファイバーを巻き取

る機構では、層間紙として用いたPETフィ

ルム上のナノファイバーシートを移して、連

続的に巻き取ることが可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

① A. Suzuki, K. Arino, Polypropylene

Nanofiber sheets Prepared by CO₂ Laser

Supersonic Multi-drawing, Euro. Polym.

J., 査読有、In press.

② 鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速延伸

法で作製したナノファイバー、化学工業、

査読無、印刷中

③ A. Suzuki, Rio Shimizu, Biodegradable

Poly(glycolic acid) Nanofiber Prepared by

CO₂ Laser Supersonic Drawing, J. Appl.

Polym. Sci., 査読有、121、2011、

3078-3084.

④ A. Suzuki, K. Arino, Poly(ethylene

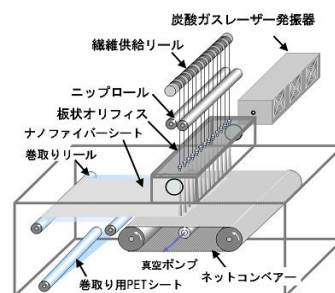
terephthalate) nanosheets prepared by

CO₂-laser supersonic multi-drawing、

Polymer, 査読有、51、2010、1830-1836.

⑤ 鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速延伸

法で作製したナノファイバー、繊維機械



学会誌、査読無、63、2010、676-684.

- ⑥ A. Suzuki, K. Arin、Poly(ethylene terephthalate) nanosheets prepared by CO₂-laser supersonic multi-drawing、Polymer、査読有、51、2010、1830-1836.
- ⑦ A. Suzuki, Y. Yamada、Poly (ethylene-2,6-naphthalate) nanofiber prepared by carbon dioxide laser supersonic drawing J. Appl. Polym. Sci., 査読有、116、2010、1913-1919.
- ⑧ A. Suzuki, Y. Akaoka、Poly(L-lactic acid) nonwoven fabric prepared by carbon dioxide laser-thinning method、Euro. Polym. J. 査読有、45、2009、278-283.

〔学会発表〕(計34件)

- ① 細井和也、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した複合(PLLA/PET)ナノファイバーシートⅢ、第60回高分子討論会、2011年9月28日、岡山大学
- ② 河野祐貴、鈴木章泰、豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸PPナノファイバーシートの特性と作製条件Ⅲ、第60回高分子討論会2011年9月28日、岡山大学
- ③ 嶋 克明、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速延伸PETナノファイバーの作製条件と高次構造Ⅲ、第60回高分子討論会、2011年9月28日、岡山大学
- ④ 林寛之、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製したETFEナノファイバーシートⅡ、第60回高分子討論会、2011年9月28日、岡山大学
- ⑤ 細井和也、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した複合(PLLA/PET)ナノファイバーシートⅡ、平成23年繊維学会年次大会、2011年6月8日、東京・タワーホール船堀
- ⑥ 河野祐貴、鈴木章泰、豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸PPナノファイバーシートの特性と作製条件Ⅱ、平成23年度繊維学会年次大会、2011年6月8日、東京・タワーホール船堀
- ⑦ 嶋 克明、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速延伸PETナノファイバーの作製条件と高次構造Ⅱ、平成23年度繊維学会年次大会、2011年6月8日、東京・タワーホール船堀
- ⑧ 山田 健心、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製したPFAナノファイバーシート、第60回高分子学会年次大会、2011年5月26日、大阪国際会議場
- ⑨ 細井和也、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した複合(PLLA/PET)ナノファイバーシートⅠ、第60回高分子学会年次大会、2011年5月25日、

大阪国際会議場

- ⑩ 河野祐貴、鈴木章泰、豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸PPナノファイバーシートの特性と作製条件Ⅰ、第60回高分子学会年次大会、2011年5月25日、大阪国際会議場
- ⑪ 嶋 克明、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速延伸PETナノファイバーの作製条件と高次構造Ⅰ、第60回高分子学会年次大会、2011年5月25日、大阪国際会議場
- ⑫ 林寛之、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製したETFEナノファイバーシートⅠ、第60回高分子学会年次大会、2011年5月25日、大阪国際会議場
- ⑬ Akihiro Suzuki, Kyouhei Arino、Poly(ethylene terephthalate) nanosheet prepared by CO₂ laser supersonic multi-drawing、2010 環太平洋国際化学会議(Pacificchem2010)、2010年12月17日、ハワイ(ホノルル)
- ⑭ 吉岡祐樹、榊原賢士、松原寛知、進藤俊哉、松本雅彦、窪田健司、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PLLA ナノファイバーシートでの細胞培養Ⅱ、第19回ポリマー材料フォーラム、2010年12月3日、名古屋国際会議場
- ⑮ 福原慶、山田健心、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PFA ナノファイバーシートⅡ、第19回ポリマー材料フォーラム、2010年12月2日、名古屋国際会議場
- ⑯ 有野恭平、鈴木章泰、豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した iPP ナノファイバーシートⅡ、第19回ポリマー材料フォーラム、2010年12月2日、名古屋国際会議場
- ⑰ 山田健心、福原慶、鈴木章泰、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PFA ナノファイバーシート、第59回高分子討論会、2010年9月17日、北海道大学
- ⑱ 有野恭平、鈴木章泰、豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した iPP ナノファイバーシート、第59回高分子討論会、2010年9月17日、北海道大学
- ⑲ 有野恭平・鈴木章泰・豊岡武裕、炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製したPPナノシートⅡ、日本化学会第4回関東支部大会、2010年8月31日、筑波大学
- ⑳ 鈴木章泰、(依頼講演)炭酸ガスレーザー超音速延伸法で作製したナノファイバー、日本繊維機械学会ナノファイバー研究会、2010年6月28日、大阪科学技

- 術センター
- ⑳ 吉岡祐樹, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速延伸法で作製した PLLA ナノシートⅡ、平成 22 年度繊維学会年次大会、2010 年 6 月 16 日、東京・タワーホール船堀
- ㉑ 福原慶, 山田健心, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PFA ナノシートⅡ、平成 22 年度繊維学会年次大会、2010 年 6 月 16 日、東京・タワーホール船堀
- ㉒ 新津正大, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速延伸法で作製した PEN ナノファイバー、第 59 回高分子学会年次大会、2010 年 5 月 26 日、パシフィコ横浜
- ㉓ 山田健心, 福原慶, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PFA ナノシート、第 59 回高分子学会年次大会、2010 年 5 月 26 日、パシフィコ横浜
- ㉔ 有野恭平, 鈴木章泰, 豊岡武裕, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PP ナノシート、第 59 回高分子学会年次大会、2010 年 5 月 26 日、パシフィコ横浜
- ㉕ 吉岡祐樹, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法による PLLA ナノシートの作製、ポリマー材料フォーラム、2009 年 11 月 26 日、東京・タワーホール船堀
- ㉖ 有野恭平, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法による PET ナノシートの作製、ポリマー材料フォーラム、2009 年 11 月 26 日、東京・タワーホール船堀
- ㉗ 三浦ちさき, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速延伸法による ETFE 繊維のナノファイバー化Ⅱ、第 58 回高分子討論会、2009 年 9 月 16 日、熊本大学
- ㉘ 有野恭平, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PET ナノシートⅡ、第 58 回高分子討論会、2009 年 9 月 16 日、熊本大学
- ㉙ 吉岡祐樹, 鈴木章泰, CO₂ レーザー超音速マルチ延伸法で作製した PLLA ナノシートでの細胞培養、第 58 回高分子討論会、2009 年 9 月 16 日、熊本大学
- ㊀ 有野恭平, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PET ナノシート、第 3 回関東支部大会、2009 年 9 月 4 日、早稲田大学
- ㊁ 鈴木章泰, (招待講演) 炭酸ガスレーザー超音速延伸法を用いたナノファイバーの作製、第 3 回関東支部大会、2009 年 9 月 4 日、早稲田大学
- ㊂ 吉岡祐樹, 鈴木章泰, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PLLA

ナノシート、平成 21 年度繊維学会年次大会、2009 年 6 月 10 日、東京・タワーホール船堀

- ㊃ 鈴木章泰, 有野恭平, 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法で作製した PET ナノシート、平成 21 年度繊維学会年次大会、2009 年 6 月 10 日、東京・タワーホール船堀

〔図書〕(計 1 件)

- ① 鈴木章泰(分担)、(株)シーエムシー出版、ナノファイバーの実用化技術と用途展開の最前線、印刷中

〔産業財産権〕

○出願状況(計 4 件)

- ①名称: 熱可塑性ポリマー微粒子からなるマイクロビーズの製造手段
発明者: 鈴木章泰
権利者: 山梨大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-177370
出願年月日: 2011 年 8 月 15 日
国内外の別: 国内

- ②名称: 異種フィラメントからなるシート及びその製造手段
発明者: 鈴木章泰
権利者: 山梨大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-039266
出願年月日: 2011 年 2 月 25 日
国内外の別: 国内

- ③名称: PFA 多孔質シート
発明者: 鈴木章泰, 黒田幸司
権利者: 山梨大学、グンゼ
種類: PCT
番号: PCT/JP2011/053944
出願年月日: 2011 年 2 月 23 日
国内外の別: 外国

- ④名称: PFA 多孔質シート
発明者: 鈴木章泰, 黒田幸司
権利者: 山梨大学、グンゼ
種類: 特許
番号: 特願 2010-041228
出願年月日: 2010 年 2 月 26 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

新聞掲載
日刊工業新聞、2012 年 1 月 26 日掲載

ホームページ等

http://erdb.yamanashi.ac.jp/rdb/A_DispatchInfo.Sch

olar?ID=B71EBA8165EE7DCE

<http://sangaku.yamanashi.ac.jp/SearchResearch/contents/B71EBA8165EE7DCE.html>

6. 研究組織

(1) 代表研究者

鈴木 章泰 (SUZUKI AKIHIRO)
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・
教授
研究者番号：70216357

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし