

エレクトロスピンニング法による ナノファイバークューブ自動成形機構の開発

吉川 毅

Development of Automatic Nanofiber Tube Molding Mechanism by Electrospinning Process

Takeshi KIKKAWA

キーワード：エレクトロスピンニング，ナノファイバークューブ，自動成形

1. はじめに

エレクトロスピンニング（ES）法は、高分子溶液などに高電圧を印加することでサブミクロンからナノオーダーの直径を持つ微細ファイバーを作製する紡糸技術¹⁾（図1）であり、作製される構造体は再生医療材料、バイオセンサ、環境浄化用の各種フィルタ等の有用な素材として期待されている。これまでに筆者らは、海洋由来のキトサンを用いて、ES法により神経再生チューブや細胞培養基材の研究開発を行い、円筒型回転電極を用いてキトサン・ナノファイバースシートを容易に作製可能にした²⁻³⁾（図2）。

一方で、神経再生チューブへの使用を目指す小径チューブの作製については、成形軸にナノファイバーを捕集して成形する作業、および成形されたナノファイバークューブ（以下、チューブと呼ぶ）を成形軸から取り外す作業を行っていたため、多くの時間を要していた。また、ナノファイバーが成形軸の周囲に密着するため、取り外し時にチューブ形状が歪むなど、形状の維持は困難であった。

本開発では、将来の実用化に向けてこれらの課題を解決するために、小径ナノファイバークューブを容易に作製可能な自動成形機構の検討を行ったので、その結果について報告する。

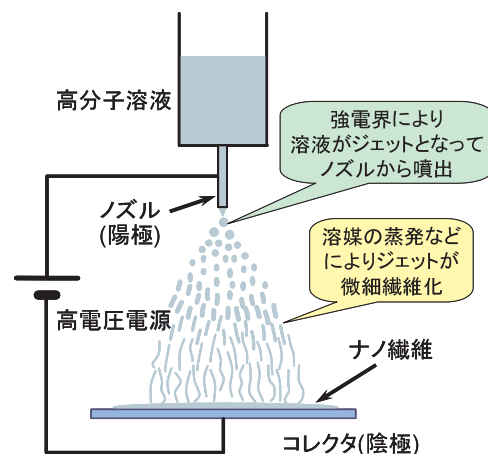


図1 エレクトロスピンニングの原理

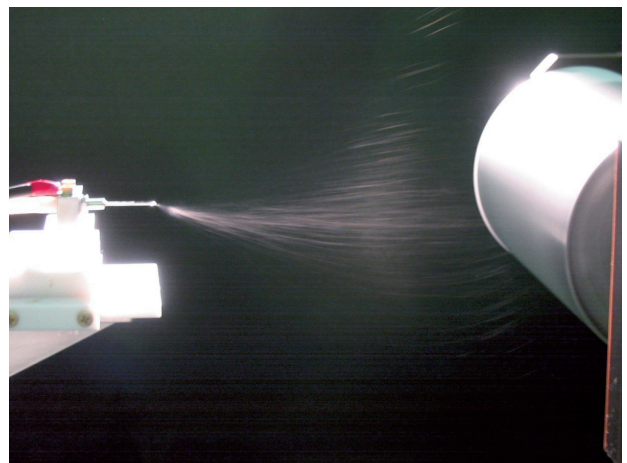


図2 エレクトロスピンニングの様子（回転電極使用）

事業名：外部資金活用研究

課題名：エレクトロスピンニング法によるナノファイバークューブ
自動成形機構の開発

2. チューブ自動成形機構の設計・試作

2.1 開発目標の設定

前述の課題解決のため、チューブ自動成形機構の目標仕様を以下の通り設定して開発を進めた。

- (1) チューブ内径： ϕ 4 mmおよび ϕ 2 mm
神経再生チューブ等の実用化を視野に入れて、 ϕ 4 mmから ϕ 2 mmに段階的に取り組む。
- (2) 成形軸からの取り外し作業により、チューブ形状を損なうことが無いこと。
成形軸の取り外しが容易で、かつ、作製されたナノファイバーに極力触れない機構とする。
- (3) 複数のチューブを同時に自動成形する。
ナノファイバー捕集効率向上、かつ、作製効率向上のため、複数個を同時作製可能な機構とする。
- (4) PVA（ポリビニルアルコール）とキトサン溶液の2種類の高分子溶液について検討する。

2.2 機構の設計・試作

チューブの取り外しを容易にするため、チューブ成形軸を割型構造にすると共に、8本同時に自動成形する機構を設計し、試作機を製作した。図3に本機構の構造を、図4に成形軸の断面構造を示す。

成形軸は複数の丸棒（中実、中空の何れでも良い）の組み合わせで構成され、それらの外径の包絡線による疑似円の直径がチューブ内径と同等になるように設計した。本試作のチューブ内径 ϕ 2 mm用の場合、中央に ϕ 1 mmのパイプを1本、その外周に ϕ 0.5 mmのパイプを9本配置することで、外径 ϕ 2 mm相当の成形軸を製作した。なお、これらのパイプは、樹脂チューブとステンレスカラー（パイプ）を両端部に被せて固定し、その有効長（陰極として露出する部分）は90 mmとした。

チューブ成形機構本体は、成形軸8本を回転シャフト外周に配置し、成形機構全体が回転（公転）すると共に、各成形軸も回転（自転）するように設計した。また、回転シャフトと成形軸の間隙を少なくすることで、コンパクトで、且つ、ナノファイバー捕集効率が向上することを狙った。図5に ϕ 2 mm用試作機構を、図6にES試験装置に取り付けた様子を示す。なお、ES試験装置は高圧直流安定化電源（日本スタビライザー工業㈱製HSP-30K-2）等で構成された装置である。

3. チューブ作製試験

本試作機構をES試験装置に取り付け、ES法によるチューブ作製試験を行った。最初に内径 ϕ 4 mmチューブの開発に取り組む、その結果を基にして、より小径の ϕ 2 mmチューブの作製を試みた。また、両者共に2種類の高分子溶液に対してチューブ作製試験を行った。

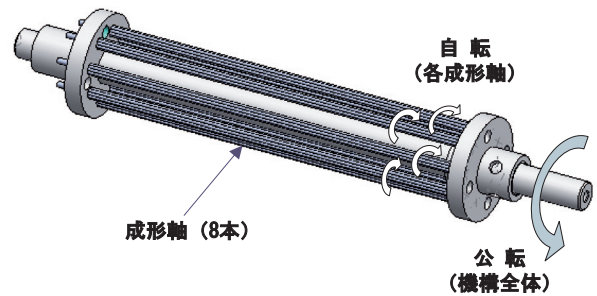


図3 チューブ成形機構の構造

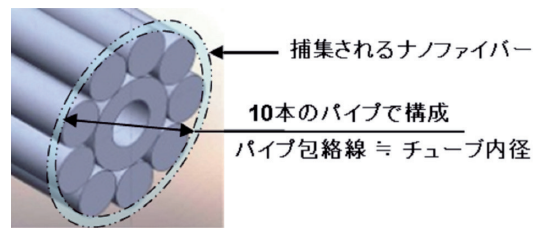


図4 成形軸の断面

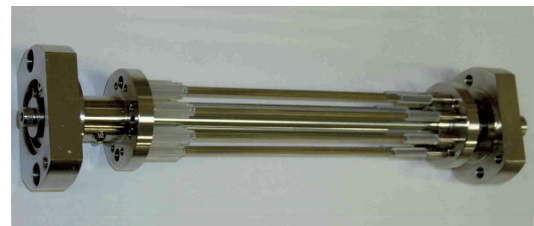


図5 ϕ 2 mm用成形機構

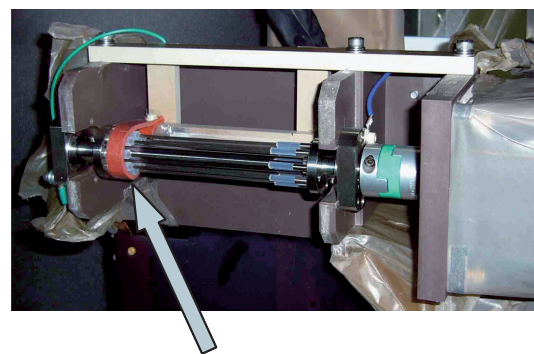


図6 ES試験装置に取り付けた様子

3.1 ES法によるチューブ作製

試験項目および主な試験条件（表1）を示す。また、作製試験の様子を図7に、作製されたナノファイバーの顕微鏡観察結果を図8に示す。図8からは、直径が概ね100~500 nmの良好なナノファイバーが作製されていることが分かる。

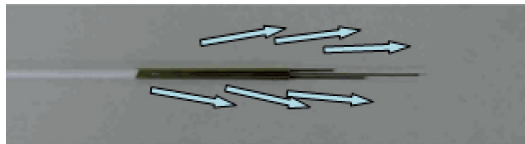
○試験項目

- ・チューブ内径： ϕ 2 mm, ϕ 4 mm
- ・高分子溶液：2種類

した。チューブ作製後は、内径より若干小さい径を有するガイド棒を挿入することでチューブ形状を長期維持することができる(図12-(2))。



STEP_1 : 中央のパイプを抜き取る



STEP_2 : 周囲のパイプを順次抜き取る

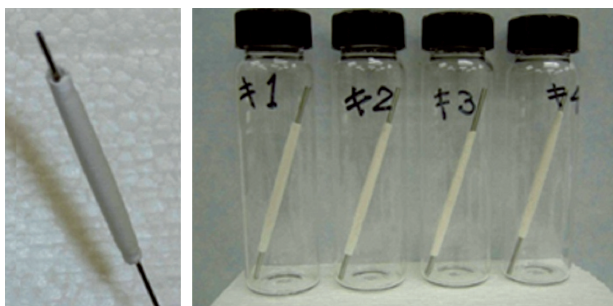
図11 成形軸からの取り外し作業手順 (PVA : ϕ 2 mm)

表2 作製したチューブのサイズ, 密度
*チューブ外径および厚さは中央部の最大値を示す

	PVA		キトサン	
	ϕ 4	ϕ 2	ϕ 4	ϕ 2
チューブ内径 (mm)	ϕ 4	ϕ 2	ϕ 4	ϕ 2
チューブ長さ (cm)	9	9	4, 5 または 6	5
平均密度 (g/cm)	-	0.0019	0.0076	0.0103
チューブ外径 (mm)	-	2.20	-	4.22
チューブ厚さ (mm)	-	0.10	-	1.11



(1) PVA ϕ 2 mm



(2) キトサン ϕ 2 mm

図12 作製されたチューブ

4. まとめ

小径ナノファイバータューブを容易に作製可能な自動成形機構を開発し、チューブ作製試験を実施した。その結果、以下の成果が得られた。

- チューブ成形軸を割型構造とした自動成形機構を考案し、内径 ϕ 2と ϕ 4のチューブを8本同時に自動成形する試作機を設計、製作した。
- ES法によりナノファイバータューブ作製試験を行い、良好にチューブが作製できることを確認した。
- PVAとキトサン-TFA溶液の2種類の高分子溶液について、チューブ作製試験および成形軸からの取り外し作業を行い、両者共に形状を維持したナノファイバータューブが得られることを確認した。

一方で、チューブを成形軸から取り外す作業は手作業で行ったものであり、複数の小径パイプで構成される成形軸を分離解体する作業、およびチューブ形状の維持には慎重な作業を要した。また、今回は2種類の溶液について適用可能であることを確認したが、キトサン-TFA溶液のようにES中にチューブ整形を要するものもある。実用化に際しては、使用する溶液毎に自動化への適用を検討する必要がある。

謝辞

本開発は、(独)科学技術振興機構「平成21年度シーズ発掘試験」により実施しました。また、本開発を進めるにあたり、北海道曹達(株)研究開発部主席研究員の境勝義氏、当試験場材料技術部主任研究員の金野克美氏には多くのご助言、ご協力を頂きました。この場を借りて深く感謝致します。

引用文献

- 1) A. Formhals, "Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads", U.S. Patent 1, 975, 504, 1934
- 2) 吉川毅・金野克美・三田村智行・大市貴志・澤山一博・長尾信一・他：エレクトロスピンニングによるキトサン・ナノ繊維の製造, 北海道立工業試験場報告, No.306, pp9-16, (2007)
- 3) 金野克美・吉川毅・三田村智行・大市貴志・澤山一博・長尾信一・他：エレクトロスピンニングによるキトサン・ナノ繊維の配向化, 北海道立工業試験場報告, No.306, pp159-163, (2007)