

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	エレクトロスピンニング法により作製したナノファイバ膜の機能設計に関する研究
Title(English)	A Study on the Functional Design of Electrospun Nanofiber Membranes
著者(和文)	植松育生
Author(English)	Ikuo Uematsu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10449号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松本 英俊,鞠谷 雄士,扇澤 敏明,塩谷 正俊,浅井 茂雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10449号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	植松 育生	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	松本 英俊	准教授	浅井 茂雄	准教授
	審査員	鞠谷 雄士	教授		
		扇澤 敏明	教授		
		塩谷 正俊	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「エレクトロスピンニング法により作製したナノファイバ膜の機能設計に関する研究」と題し、以下の6章から構成されている。

第1章「序論」では、エレクトロスピンニング法により作製されたナノファイバ膜の研究動向を概観し、ナノファイバ膜の機能設計には、エレクトロスピンニングにおける繊維形成現象の定量的な理解に基づく設計指針の確立が重要であることを指摘している。

第2章「ナノファイバ膜の光学式バイオセンサへの応用」では、光導波路を利用したバイオセンサにおいてナノファイバ膜の有用性を検証している。エレクトロスピンニング法を用いて作製した、生理活性を維持した酵素を含むナノファイバからなる多孔性センシング膜では、同組成の非多孔性膜と比べて検出感度が40%向上することを見出し、分析液の浸透性の向上が検出感度の向上と検出時間の短縮に大きく影響することを明らかにしている。

第3章「ナノファイバ膜における液体浸透現象の解析」では、ナノファイバ膜の液体浸透性に関係する膜構造因子を明らかにするために、有機溶媒（メチルエチルカーボネート）に対して濡れ性の良いポリフッ化ビニリデン (PVDF) とポリアミドイミドの2種類の高分子から作製したナノファイバ膜における液体浸透速度を接触角の時間変化から評価し、ナノファイバ膜の三次元構造モデルに対して拡張した Kozeny-Carman の式に基づく計算結果との比較を行うことで、膜の空孔率  $\epsilon$  および平均繊維径  $\delta_0$  に加えて、繊維径分布、特に繊維径の細いファイバの存在が膜全体の浸透速度に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。さらに、空孔率  $\epsilon$ 、平均繊維径  $\delta_0$ 、繊維径のばらつき（標準偏差） $\sigma$  の3つの膜構造因子が浸透速度に与える影響について多変量解析から関係式を導いている。この関係式から、既存研究では液体浸透性が悪いとされてきた平均繊維径が100 nm以下のナノファイバ膜においても、繊維径分布を狭くすることで浸透速度の向上が可能であることを明らかにしている。

第4章「ナノファイバ形成過程の解析」では、3章の結果を踏まえて、ナノファイバ膜の液体浸透性向上の基本となる繊維径の高精度制御を目的として、ハイスピードカメラを用いたエレクトロスピンニングにおける繊維形成過程の直接撮像を行い、画像解析および理論解析によって飛翔中の電気流体（紡糸線）における飛翔速度、電荷密度および直径の定量化を試みている。ここでは特に紡糸線の bending instability 部分に注目し、飛翔速度の実測値、有限要素法を用いた静電場解析から求めた飛翔中の電気流体にはたらく電場強度、基板上に堆積した繊維径の実測値を用いて、電気流体の運動方程式を解くことで基板近傍における電気流体の帯電量  $Q$  を求め、さらに帯電量  $Q$  一定の条件下で電気流体の運動方程式を解くことで、飛翔中の直径を求めている。この解析法を用いて、印加電圧の大きさと紡糸液の電気伝導度を変化させた場合の紡糸線の解析を行い、これらのプロセス因子が飛翔中の電気流体の速度、電荷密度および直径に与える影響をはじめ定量的に明らかにしている。

第5章「繊維径のばらつきを抑えたナノファイバ膜の作製とバッテリーセパレータへの応用」では、先ず、4章で検討した紡糸線解析法を用いて電気流体の電荷密度を調べ、エレクトロスピンニングにおいて不安定性の要因となる紡糸過程における電荷密度の変化量を低減することによって、繊維径分布が狭く液体浸透性に優れた PVDF ナノファイバ膜を作製できることを見出している。さらに、この膜を電極上に直接形成することによって電極一体型セパレータを作製し、空孔率の増大 (90%以上) と厚さ 10  $\mu\text{m}$  以下の薄膜化を同時に達成することによって、リチウムイオン二次電池のレート特性の向上が可能であることを明らかにしている。

第6章「総括と展望」では、研究成果を総括し、今後の展望について述べている。これを要するに本論文は、液体浸透性に優れたナノファイバ膜の設計には繊維径の高精度制御が重要であることを明らかにし、エレクトロスピンニング法における繊維形成現象の詳細な解析から電気流体パラメータを求めることによって、繊維径の高精度制御に基づくナノファイバ膜の設計が可能であることを示している。バッテリーセパレータにおける応用についても検討しており、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。