

ナノファイバー膜の機能創出と分離プロセスへの応用

名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻
向井 康人

1. テーマ設定の背景

近年、ナノファイバーが世界的に脚光を浴び、ここ10年間で製造・量産技術が格段に進歩した。その一方で、環境、電気・エネルギー、エレクトロニクス、医療・バイオなど多岐にわたる産業分野で用途開発が急速に進められているが、実用化に至った事例は極めて少なく、広範な産業分野での早期実用化が急務とされている。ナノファイバーを積層させて薄膜状にすれば、複雑な三次元ネットワーク構造と広大な表面積をもった不織布が容易に製造でき、汚染物質の除去に利用できると考えられる。しかし、こうしたフィルターとしての利用はエア系の処理が主体であり、液体系の処理に関してはほとんど開発が進んでいない。一方、織布や不織布などの濾布も水処理分野において欠かせないフィルターであるが、比較的粗大な粒子の処理が主な用途であり、膜で行われるような精密な分離には適さない。

そこで本研究開発では、ナノファイバーを積層させて微細な空孔を有する不織布を製造し、従来の膜の代替となる新規水処理フィルターの開発を目指した。また、ナノファイバーの大きな特色の一つである超比表面積効果に着眼し、表面修飾によりナノファイバー表面に吸着・イオン交換機能を付与して、高性能吸着・イオン交換フィルターの開発も目指した。

2. 素形材分野との関連性

繊維分野の新素材を対象とし、高分子加工による成形技術を駆使しつつ表面処理による機能化・複合化を施すことで、従来にない高性能で高機能な膜を創り上げた。この新規な膜は湿式分離プロセスに活用することができ、素形材分野と化学工学分野との有意義な学際的融和を果たすテーマと

いえる。

3. 研究開発の成果

図1に電界紡糸法の概略を示す。電界紡糸法を駆使してナノファイバー膜を製造し、種々の湿式分離プロセスへの応用を試みた。

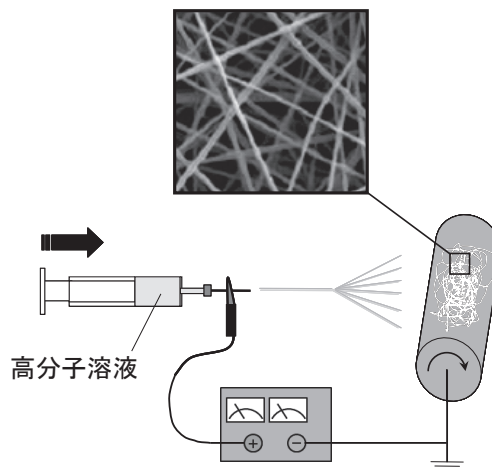


図1 電界紡糸法の概略図

主に精密濾過、吸着・イオン交換、油水分離（油滴合一）に応用し、いずれも高い分離性能を得た。微粒子の分離では、複雑な三次元ネットワーク構造により従来膜と同等の分離性能を維持しつつ、ナノファイバー膜特有の高空隙率により従来膜を凌駕する高い処理量を達成することができた。溶質・イオンの分離では、ナノファイバー特有の超比表面積により従来膜では成し得ない特異的な分離機能を発現させることができた。

以下に、主な研究開発成果をまとめる。

3.1 精密濾過への応用

従来の精密濾過膜に匹敵する高精度の粒子捕捉性能を発揮しつつ、従来の精密濾過膜よりも著しく大きな処理量を維持することに成功した。ま

た、繊維径の調整により目的に応じた分離性能の制御が可能になることを明らかにした¹⁾。

3.2 吸着・イオン交換への応用

図2のように、製造したナノファイバー膜に表面修飾を施してさまざまな機能創出を図り、吸着・イオン交換プロセスに応用した²⁻⁴など)。

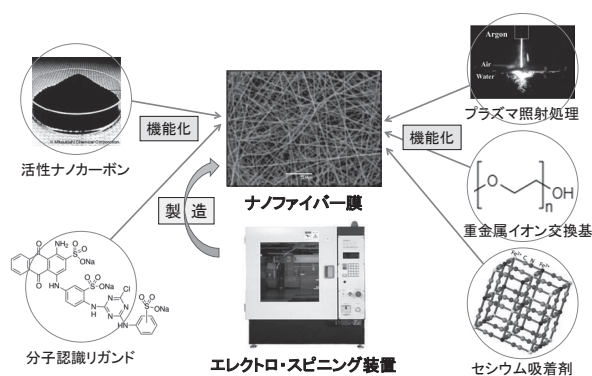


図2 繊維表面への吸着・イオン交換機能創出

- (1) ナノファイバー表面に活性炭ナノカーボンを担持することにより、もしくは、ナノファイバー膜自体を焼成して炭素化することにより、濾過と吸着が同時に行えるハイブリッドフィルターを開発し、染色排水の脱色処理や水道原水の色度成分除去などに応用した。
- (2) キトサンで修飾されたセルロースナノファイバー膜を開発し、重金属イオンの除去に応用することができた。
- (3) ナノファイバー表面にセシウムイオンを選択的に吸着するフェロシアン化鉄を担持し、セシウム除去フィルターを開発した。
- (4) ナイロンが金イオンを特異的に吸着する機能をもつことを発見し、廃電子部材を酸で溶解した液から金イオンのみを選択的かつ高い収率で分離・回収することに成功した。
- (5) タンパク質リガンドとしての機能をもつシバクロンブルーをPVAナノファイバー上に共有結合させ、血中タンパク質の分離・精製に応用した。

3.3 油水分離への応用

繊維表面を超親油性に機能化したナノファイバー膜を用いることで、従来のコアレスナーでは不可能な10 μm以下のマイクロ油滴の合一分離を可能にした⁵⁾。

4. 訴求点

筆者はこれまで一貫して膜分離に関する研究に従事し、分離機構の解明や高精度・高効率分離法の開発に取り組んできた。その中で、ナノファイバー膜のポテンシャルの高さにいち早く注目し、これを基盤とした新規分離手法の創出に着手した。当時、ナノファイバー膜による液体系の分離特性については国内外を通じてまったく知見が得られていなかったが、一連の研究により、ナノファイバー膜の液体透過および粒子捕捉メカニズムを解明し、ナノファイバー表面の物理化学や界面化学に立脚した表面修飾法を確立し、さらにナノファイバー表面での溶質の吸着メカニズムや油滴の合一メカニズムを解明するなど、数多くの有益な知見を導いてきた。この研究成果は繊維メーカーを中心とする多くの関連企業の注目を集めており、次世代繊維産業の発展に貢献するものである。

参考文献

- 1) Y. Mukai, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.65, No.8, pp. 30-34 (2012)
- 2) Y. Mukai, S. Liu and E. Amano, Journal of Textile Engineering, Vol.66, No.1, pp. 7-15 (2020)
- 3) D.-N. Phan, H. Lee, B. Huang, Y. Mukai and I.-S. Kim, Cellulose, Vol.26, No.3, pp. 1781-1793 (2019)
- 4) S. Liu, T. Sumi and Y. Mukai, Journal of Fiber Science and Technology, Vol.76, No.10, pp. 327-334 (2020)
- 5) Y. Mukai and M. Hara, Journal of Textile Engineering, Vol.66, No.5, pp. 87-91 (2020)