

炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法と噴霧法によるナノファイバーシートとナノ粒子作製

◎巻取型炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸装置で作製したPETナノファイバーシートについて2

(山梨大院医工) 細井和也、○鈴木章泰 [1PC25]

◎炭酸ガスレーザー超音速噴霧法で作製したPET微粒子について2 (山梨大院医工) 鳩克明・○鈴木章泰 [1PC26]

(Tel : 055-220-8556)

1. 炭酸ガスレーザー超音速延伸法と噴霧法

山梨大学大学院医学工学総合研究部鈴木章泰教授らのグループは、トップダウン型のナノファイバーおよびナノ粒子作製法である炭酸ガスレーザー超音速延伸法と炭酸ガスレーザー超音速噴霧法を独自に開発した。炭酸ガスレーザー超音速延伸法は、亜音速から超音速領域の空気の流れの中で、纖維に炭酸ガスレーザーを照射して部分融解させ、溶融した纖維を数十万倍まで超延伸して、ナノファイバー(図1)を作製する方法である。炭酸ガスレーザー超音速噴霧法は、延伸法と同様に超音速中で高出力レーザーを照射し、瞬時に融解した纖維を吹き飛ばす(噴霧)することで、微粒子(図2)を作製できる。本方法は、熱で融ける高分子材料(熱可塑性高分子)であれば適用でき、ポリエチレンテレフタレート(PET)やポリエチレン2,6ナフタレートなどのポリエステル、ポリ乳酸(PLLA)やポリグリコール酸(PGA)などの生分解性ポリマー、ポリプロピレンなどのポリオレフィンやフッ素系樹脂などの難溶性ポリマーおよびスーパーエンジニアリングプラスチックなど、様々な高分子材料のナノファイバー化や微粒子化が可能である。

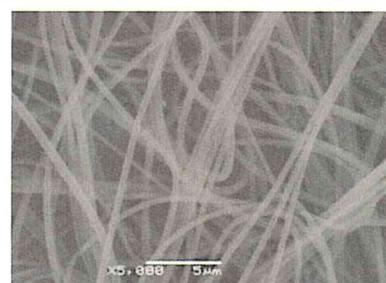


図1 ポリエチレンテレフタレートナノファイバーの走査電子顕微鏡写真(x5,000)

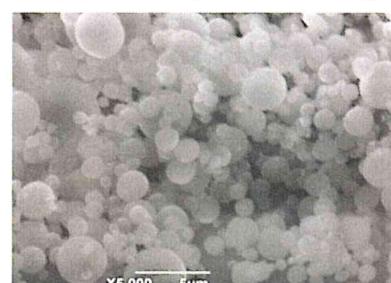


図2 ポリエチレンテレフタレート微粒子の走査電子顕微鏡写真(x5,000)

2. 炭酸ガスレーザー超音速延伸法

2.1 炭酸ガスレーザー超音速延伸法の原理 本方法に用いる基本的な装置の構造(図3a)は、纖維供給リール、連続発振炭酸ガスレーザー発振器(波長: $10.6 \mu\text{m}$)、纖維供給オリフィスとZn-Se窓を備えた真空ボックス、パワーーメーターなどから構成される。本方法では真空ボックス内を減圧すると、纖維供給オリフィスから空気が真空ボックス内に噴射する。このとき、纖維供給リールから一定速度で送り出された纖維はオリフィスから真空ボックス内に吸い込まれる。真空ボックス内に導入された纖維は、レーザー照射により融解し、超音速流中で超延伸される(図3b)。纖維供給速度、レーザー出力や真空ボックスの圧力などの延伸条件を変えることで纖維径を容易に制御できる。

2.2 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法によるナノファイバーシートの作製 幅広い長尺ナノファイバーシートを作製することを目的として、複数本の纖維を同時にナノファイバー化でき、捕集したナノファイバーシートを連続的に巻き取れる装置を新たに開発した。この装置(図4)では、ネットコンベアー上に捕集したナノファイバーシートをPETフィルムなどの層間紙に移すこ

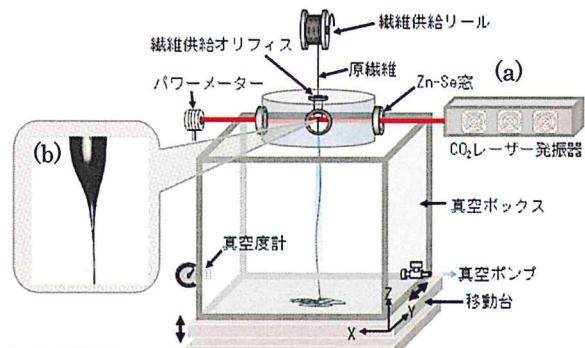


図3 (a) 炭酸ガスレーザー超音速延伸装置の概略図と(b) レーザー照射により融解した纖維のネック

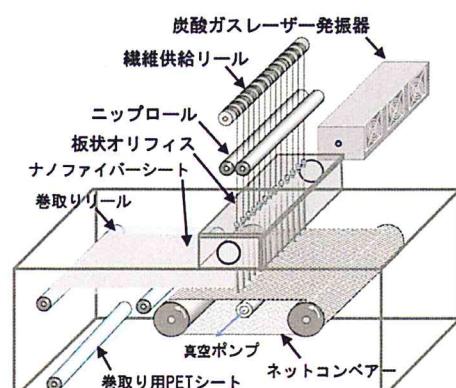


図4 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸装置(量産型)の概略図

とで連続的な巻取りが可能となる。例えば、80本の纖維を均一にナノファイバー化するための板状オリフィスを装着した巻取型マルチ延伸装置により、幅約40cmの長尺ナノファイバーシートを作製することができ、本方法によるナノファイバーシートの量産化が可能であることが示された。現在、量産型装置の開発を行っている。

2.3 炭酸ガスレーザー超音速延伸法の特徴 炭酸ガスレーザー超音速マルチ延伸法は、現行の方法とは全く異なる原理でナノファイバーを作製する方法であり、本方法の特徴は以下の様にまとめられる。

①ほとんどの熱可塑性高分子材料に適用でき、得られるナノファイバーは配向性の高い長纖維である。
②チャンバー圧やレーザー出力などの延伸条件を変えることで纖維径を容易に制御できる。
③性質の異なる高分子材料を複合化でき、新たな機能・性能を備えたナノファイバーシートの作製が可能である。
④幅広い長尺ナノファイバーシートを作製できる。
⑤装置が小型であるため、設置場所を選ばず、特別な付帯設備を必要としない。
⑥全ての工程を減圧密閉容器内で行うため、ナノファイバーの飛散を防止でき、作業環境の安全性は高く、シートへの不純物の混入は極めて少ない。
⑦局所的なレーザー加熱のために使用するエネルギー量は少ない。
⑧低温気流中での加熱・延伸のため、冷却工程が不要である。
⑨装置の減圧度は低真空領域であるため、高度な真空技術は不要である。

2.4 現行技術との比較 現行のナノファイバーの作製法には、トップダウン型の複合紡糸法とボトムアップ型のエレクトロスピニング(ES)法がある。現在、ES法がナノファイバー作製法の主流であり、溶剤に可溶な高分子であれば、ナノファイバーを作製できる。しかし、複合紡糸法は高度な紡糸設備と技術を必要とし、ES法は溶剤を使用するために得られるナノファイバーや作業環境の安全性に問題があり、両者とも適用できる材料が限定される。以上、炭酸ガスレーザー超音速延伸法は、現行の技術に比べて優れた特徴を多く有し、小規模な設備で多種のナノファイバーを量産できるトップダウン型ナノファイバー作製法として期待できる。

2.5 ナノファイバーの適用分野 ナノファイバーは精密フィルター、電池用セパレーター、組織再生用足場など幅広い分野での利用が期待されている。本方法は、他の方法では作製できないポリオレフィンやフッ素系樹脂などの難溶性ポリマーもナノファイバー化でき、また、溶剤を使用しないために医療材料として適している。

3. 炭酸ガスレーザー超音速噴霧法

微粒子の製造方法としては大別して2つの方法がある、その一つは、形の小さいもの、または溶液などの形のないものから、一定の大きさの微粒子を形成するボトムアップ法である。代表的なものとして、乳化重合や懸濁重合のようにポリマーの重合によって形成される方法である。しかし、溶剤や添加剤を使用するので、生成された微粒子から溶剤等を完全に除くことが困難である。他方、ブレイクダウン法は、形の大きいものから、一定の大きさの微粒子を形成させるもので、粉碎法が代表的である。粉碎法は媒体ミル、ジェットミル、圧縮せん断型ミルやローラーミルなどを用いて、微細粒子を作製できる。しかし、大きな機械エネルギーを使用するわりには、微粒子の生成効率が悪く、真球度の低い微粒子しか生成できないなどの問題点がある。一方、炭酸ガスレーザー超音速噴霧法は、現行の粉碎法やポリマー重合では作製できない添加剤や溶剤を含まない真球度の高いポリマー微粒子を作製できるブレイクダウン型の新規な方法である。

3.1 ナノ粒子の適用分野 炭酸ガスレーザー超音速噴霧法は、造粒過程で溶剤や添加剤を使用しないため、ポリマー微粒子の安全性は高く、また、様々なポリマーの微粒子化に適用できる。得られるポリマー微粒子は安全な微粒子として使用でき、薬物送達システム(DDS)や検査・診断などの医療材料、化粧品および電子・情報産業分野での利用が考えられる。