

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月1日現在

機関番号：12608
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23656347
 研究課題名（和文） ナノファイバーを利用した多孔質薄膜シート吸音材の創製
 研究課題名（英文） Creation of nanofiber-based porous thin-film acoustic materials

 研究代表者
 松本 英俊 （Matsumoto Hidetoshi）
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：40345393

研究成果の概要（和文）：

エレクトロスピンニング法を用いてナノファイバー積層シートを作製し、構造因子・各種物性パラメーターと吸音特性の関係を調べた。ナノファイバー積層シートは繊維径を細くするほど優れた吸音特性を示した。本研究で作製された直径 $1\mu\text{m}$ 以下のナノファイバー積層シートは、「小型・薄型・軽量」吸音材への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：

Nanofibrous nonwoven sheets were prepared by electrospinning from polymeric materials and sol-gel precursors; and the influences of their structural morphologies and physical properties on the acoustic properties were investigated. The nanofiber-based nonwoven sheets with a smaller diameter showed better acoustic absorbency. The prepared nanofibrous nonwoven sheets with an average diameter less than $1\mu\text{m}$ are promising acoustic materials with the characteristics: small, thin, and light weight.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：音・振動環境・吸音材料

1. 研究開始当初の背景

エレクトロスピンニング法によって作製されるナノファイバー積層シートは、高い精度で繊維径と空孔サイズを制御することが可能であり、フィルター、吸着材、触媒、電極、再生医療、薬物徐放など様々な分野で活発に研究が行われている。しかしながら、ナノファイバーの吸音材料への応用に関する研究はきわめて少なく、その音響特性は明らかになっていない。

本研究では、ナノファイバー積層シート材料における吸音メカニズムを解明し、新規な多孔質薄膜シート吸音材の創製を目指す。ナノファイバー積層シートでは、ナノファイバーに特有の流体力学現象（スリップフロー効

果）や比表面積の大きさから、サンプル内の空気粘性によるエネルギー損失と、ナノファイバー／空気界面における熱的なエネルギー損失に関してサイズ効果の発現が期待される。

本研究では、ナノファイバー繊維径の制御を精密に行うことにより、繊維径サイズに対するナノファイバーに特有の吸音現象の有無を明らかにする。

応用面でも、薄くて軽いシート型の吸音材の創製は、吸音材の小型化を可能にする。「小型・薄型・軽量」の吸音材は、近年小型化の進展が著しい電子デバイスなど、これまで騒音対策が十分でなかった対象への応用が期待される。

2. 研究の目的

グラスウールやウレタンフォームなどの多孔質型吸音材料は、周波数帯域が広く、中高音域で高い吸音性能を示すことから、幅広い分野で利用されている。一般にサンプルが厚くなると、低周波数域の吸音率も向上するが[1]、サンプル厚の増加は、装置の小型化や室内空間の確保、輸送の面で望ましくない。そのため、薄く、軽量でより幅広い周波数域で吸音可能な材料の創製が望まれている。

ナノファイバーは、繊維径が $1\mu\text{m}$ 以下の繊維であり、積層することにより、大きな空孔率 (90%以上)、連続した空孔構造をもつ不織布状のシートが得られるが、その吸音特性は明らかになっていない。

本研究では、ナノファイバー積層シートを作成し、構造因子・各種物性パラメータと吸音特性との関係から吸音メカニズムを解明し、新規な薄膜シート状の多孔質吸音材を創製することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ナノファイバー積層シートの作製

エレクトロスピンニング (電界紡糸) 法を用いてゾル-ゲル前駆体と高分子からナノファイバー積層シートを作製した。繊維径制御のために紡糸液物性 (粘度、電気伝導度) と紡糸条件 (印加電圧、紡糸液供給流速、ノズル-コレクタ間距離) の検討を行った。

(2) 構造と物性の評価

作製したナノファイバーの繊維径を走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察により測定した。ナノファイバー積層シートの空孔率と平均空孔径は、バブルポイント法により評価した。垂直入射吸音率は、インピーダンスチューブ (Brüel&Kjær 製) を用いて、伝達関数法により算出した。サンプルの厚さは約 3.0 mm とした。単位厚さ流れ抵抗は、空気流れ抵抗測定システム (日東紡音響エンジニアリング製) を用いて測定した。

4. 研究成果

(1) 繊維径と吸音特性の関係

エレクトロスピンニングにより、繊維径の異なるナノファイバー積層シートを作製し、その吸音特性を調べた。

以下に例としてシリカナノファイバー積層シートの繊維径依存性に関する結果を示す。図 1 に作製したシリカファイバー積層シート (SF1-4) と比較サンプルとして用いた 48 kg/m^3 のグラスウール (GW) の電子顕微鏡写真を示す。また表 1 に電子顕微鏡写真から測定した平均繊維径を示す。GW の平均繊維径が $8.24\mu\text{m}$ なのに対して、平均繊維径が $0.52\sim 3.48\mu\text{m}$ のシリカファイバー積層シートが得られた。

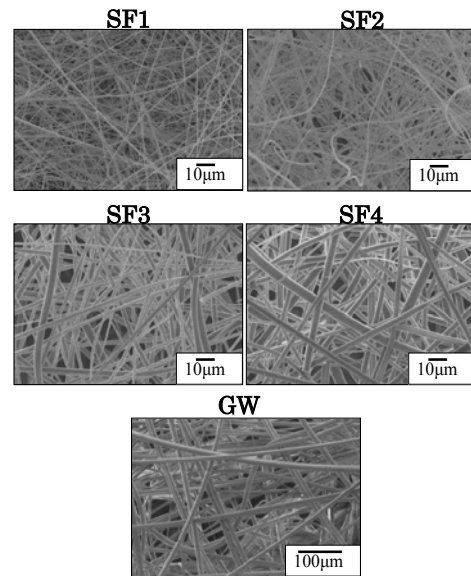


図 1 シリカナノファイバー積層シート (SF1-4) とグラスウール (GW) の電子顕微鏡写真

表 1 シリカナノファイバー積層シート (SF1-4) とグラスウール (GW) の平均繊維径

	SF1	SF2	SF3	SF4	GW
Average fiber diameter (mm)	0.52	0.67	2.01	3.48	8.24

図 2 に 3 mm 厚のシリカファイバー積層シートとグラスウールの垂直入射吸音率を示す。グラスウールは、一般的に高い吸音率を示すが、厚さ 3 mm では測定周波数域において吸音率は 0.2 以下だった。一方、シリカファイバー積層シートは 3 mm 厚でも高い吸音率を示した。この結果は、ナノファイバー積層シート材料は薄くても優れた吸音特性を持つことを示している。また、繊維径の減少に伴って、ピークは低周波数側にシフトすることを見出した。

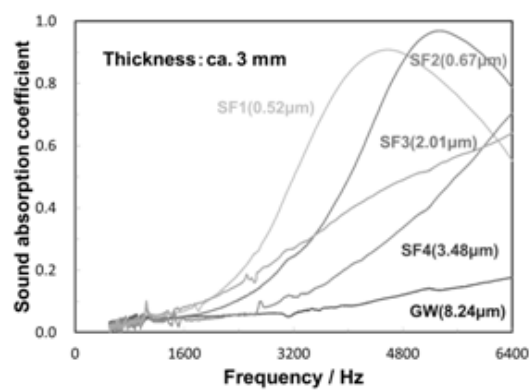


図 2 シリカナノファイバー積層シート (SF1-4) とグラスウール (GW) の垂直入射吸音率の周波数依存性。

図 3, 4 にそれぞれ空気流れ抵抗と空孔径・空孔率の平均繊維径依存性を示す。空気流れ抵抗は、繊維径の減少とともに増加した。また、空孔率はすべてのサンプルでほぼ一定となり高い値を示したが、空孔径は繊維径の減少とともに減少した。繊維径の減少に伴って、空孔率は変化せず、空孔径のみが減少した結果、ファイバーの表面積が増加し、空気流れ抵抗が増加した。また、繊維の剛性が低下したため、サンプルが振動し、吸音率が向上したと考えられる。

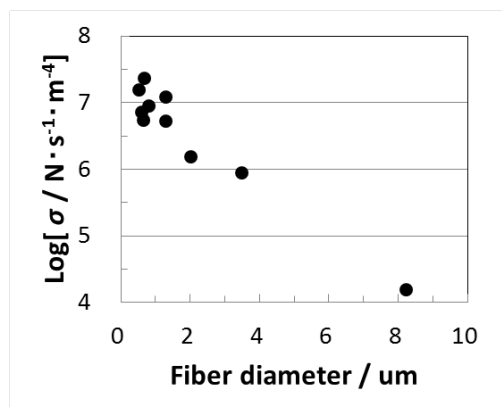


図 3 シリカナノファイバー積層シートの空気流れ抵抗(σ)の平均繊維径依存性.

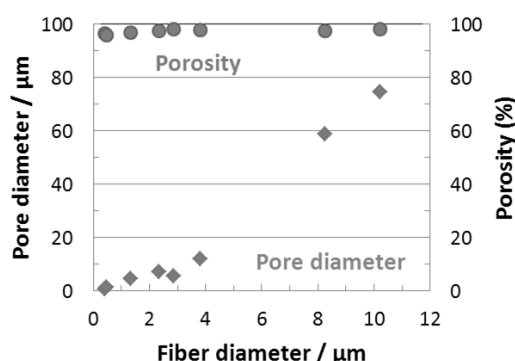


図 4 シリカナノファイバー積層シートの空孔径・空孔率の平均繊維径依存性.

(2) 理論解析による吸音メカニズムの解明
Delany-Bazley-Miki model [2] を用いて、得られた空気流れ抵抗から、吸音率を算出した。図 5(a), (b) に SF1 と SF4 の結果を示す。GW や繊維径の太い SF4 では測定値と計算値が一致したが、SF1-3 では計算値と一致せず、計算値よりも高い吸音率を示した。前述のように、繊維径の減少とともに流れ抵抗が大きくなった結果、母材（繊維）の振動の影響が表れたためと考えられる。

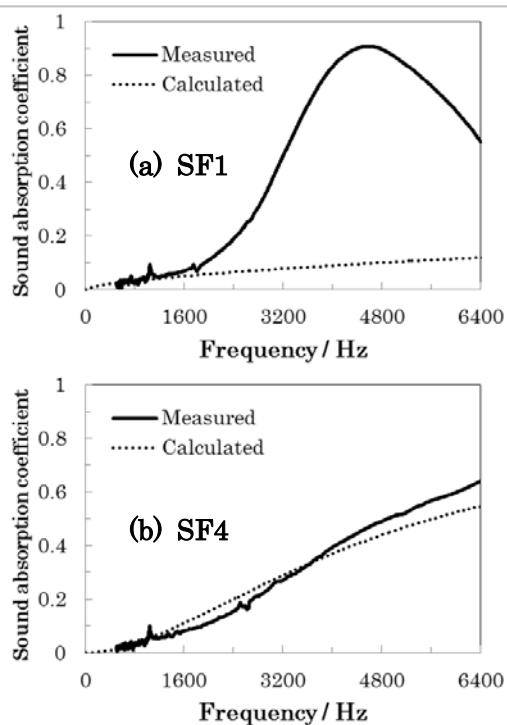


図 5 SF1 と SF4 の垂直入射吸音率の測定値と Delany-Bazley-Miki モデルによる計算値

参考文献

- [1] Y. Imai and T. Asano, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 183, 1982.
- [2] Y. Miki, *J. Acoust. Soc. Jpn (E)*, **11**, 1, 1990.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 赤坂修二：新規吸音材料の創製を目指して、*繊維学会誌(繊維と工業)*, **68** (11) 334-337 (2012) (査読無)

[学会発表] (計 5 件)

1. 赤坂修二, 加藤高久, 東啓介, 鴻巣裕一, 松本英俊, 浅井茂雄, 皆川美江, 谷岡明彦: シリカナノファイバー積層体の吸音特性に及ぼす繊維径の影響, 平成 24 年度繊維学会秋季研究発表会, 福井大学, 2012 年 9 月 25-26 日
2. 赤坂修二, 吸音材料の基礎とナノファイバー吸音材料の展望, 第 4 回ナノテク高機能テキスタイル基盤技術研究会, 信州大学, 平成 24 年 10 月 26 日
3. 加藤高久, 赤坂修二, 東啓介, 鴻巣裕一, 松本英俊, 浅井茂雄, 皆川美江, 谷岡明彦

彦：シリカナノファイバーを用いた多孔質型吸音材料の吸音特性に及ぼす繊維径の影響，第24回エラストマー討論会，東京理科大学森戸記念館，平成24年11月29-30日

4. 加藤高久，赤坂修一，東啓介，鴻巣裕一，松本英俊，浅井茂雄，皆川美江，谷岡明彦：ナノファイバー積層体の吸音特性に及ぼす繊維径の影響，制振工学研究会設立25周年記念技術交流会，東京都立産業技術研究センター，平成24年12月14日
5. 赤坂修一，加藤高久，東啓介，鴻巣裕一，松本英俊，浅井茂雄，皆川美江，谷岡明彦：シリカナノファイバー積層体の吸音特性と繊維径の影響，日本音響学会2013年春季研究発表会，東京工科大学八王子キャンパス，平成25年3月13-15日

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 英俊 (Matsumoto Hidetoshi)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：40345393

(2) 研究分担者

赤坂 修一 (Akasaka Shuich)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：00501066