

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2025-511959  
(P2025-511959A)

(43)公表日 令和7年4月16日(2025.4.16)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード(参考)	
<b>B 0 1 D</b>	<b>39/16 (2006.01)</b>	B 0 1 D	39/16	E	4 D 0 1 9
<b>B 0 1 D</b>	<b>46/52 (2006.01)</b>	B 0 1 D	46/52	A	4 D 0 5 8
<b>B 0 1 D</b>	<b>39/20 (2006.01)</b>	B 0 1 D	39/16	A	4 D 1 1 6
<b>B 0 1 D</b>	<b>29/07 (2006.01)</b>	B 0 1 D	39/20	C	4 L 0 4 7
<b>B 0 1 D</b>	<b>29/01 (2006.01)</b>	B 0 1 D	39/20	B	
		審査請求	未請求	予備審査請求	未請求 (全53頁) 最終頁に続く

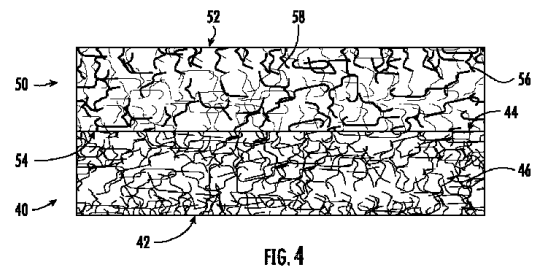
(21)出願番号	特願2024-559661(P2024-559661)	(71)出願人	524351349 マティヴ ルクセンブルク ルクセンブルク 5 3 2 6 コンターン リュウ エドモン ルテ 1 7
(86)(22)出願日	令和5年4月7日(2023.4.7)	(71)出願人	514065151 エルエムエス・テクノロジーズ・インコーポレイテッド LMS Technologies, Inc. アメリカ合衆国5 5 4 3 9ミネソタ州ブルーミントン、セシリア・サークル6 4 2 3 番
(85)翻訳文提出日	令和6年12月9日(2024.12.9)	(74)代理人	100103610 弁理士 吉 田 和彦
(86)国際出願番号	PCT/US2023/017937	(74)代理人	100109070
(87)国際公開番号	WO2023/196628		
(87)国際公開日	令和5年10月12日(2023.10.12)		
(31)優先権主張番号	63/328,998		
(32)優先日	令和4年4月8日(2022.4.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV)		

(54)【発明の名称】 ナノ粒子を含む濾過媒体及びフィルター

(57)【要約】

フィルター媒体の少なくとも一部分の全体に分散されたナノ粒子を含む、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。フィルター媒体は、第1の表面と反対側の第2の表面とを有する繊維基材を備える。フィルター媒体は、ナノ粒子の面積密度が第1の表面から第2の表面へ向かって減少するように、繊維基材内に、少なくとも第1の表面と第2の表面との間に配置されたナノ粒子を含む。基材の少なくとも一部分を通してナノ粒子によって形成される密度勾配は、フィルターの性能特性を改善する。ナノ粒子は、繊維基材内の表面積全体を増加させ、それは濾過効率を高める場合があり、その他の要素、例えば、フィルター通過による圧力損失又は空気流を著しく損なうことなくサブミクロン汚染物質を捕獲することを可能にする。

【選択図】図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の表面と反対側の第 2 の表面とを有する繊維基材と、  
前記繊維基材内に、少なくとも前記第 1 の表面と第 2 の表面との間に配置されたナノ粒子であって、少なくとも 1 つの次元が 1 ミクロン未満であり、面積密度が前記第 1 の表面から前記第 2 の表面へ向かって減少する、ナノ粒子と、  
を含む、フィルター媒体。

## 【請求項 2】

前記不織布繊維基材内に約  $0.1 \text{ g/m}^2 (\text{gsm}) \sim 20 \text{ g/m}^2 (\text{gsm})$  のアドオン量のナノ粒子を更に含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

10

## 【請求項 3】

前記アドオン量が、 $2 \text{ g/m}^2 (\text{gsm})$  以上である、請求項 2 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 4】

前記第 1 の表面の近傍又は付近に配置されたナノ粒子は、前記第 2 の表面の近傍又は付近に配置されたナノ粒子よりも数が多い、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 5】

前記ナノ粒子が、前記基材内に、前記第 1 の表面から少なくとも前記第 1 の表面と前記第 2 の表面との間の中間点まで配置されている、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 6】

前記ナノ粒子が、前記基材内に、前記第 1 の表面から前記第 2 の表面まで配置されている、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

20

## 【請求項 7】

前記中間点における前記ナノ粒子の面積密度が、前記第 1 の表面における前記ナノ粒子の面積密度の約 25% である、請求項 5 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 8】

前記第 2 の表面における前記ナノ粒子の密度が、前記第 1 の表面における前記ナノ粒子の面積密度の約 50% である、請求項 6 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 9】

前記基材が、約 3 デニール以上の線密度を有する繊維を含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

30

## 【請求項 10】

前記繊維が、少なくとも約 5 デニールの線密度を有する、請求項 9 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 11】

前記繊維が、コアとシースとを有するバイオコンポーネント繊維である、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 12】

前記コアが、前記シースから偏心している、請求項 11 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 13】

前記フィルター媒体に結合された実質的に硬質の支持層を更に含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

40

## 【請求項 14】

前記繊維基材が、その中を液体が流れるための 1 つ以上の開孔部を含む押出フィルムを含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 15】

前記開孔部が、六角形、円形、正方形又は菱形である、請求項 14 に記載のフィルター媒体。

## 【請求項 16】

前記繊維基材が、前記基材内にひだを形成するための少なくとも 1 つの折り目を含む、

50

請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 17】

前記繊維基材の表面を横切って延びる複数のひだを更に含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 18】

前記繊維基材が、ひだなしである、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 19】

前記繊維基材が、メッシュ、ネット、布、編物、又は織物を含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 20】

前記繊維基材が、ポリプロピレンフィルム、高密度ポリエチレンフィルム、及びポリ乳酸フィルムからなる群から選択される、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 21】

前記繊維基材が、フェイスマスクのための柔軟な表面層である、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 22】

前記ナノ粒子が、生体溶解性ガラスナノファイバーであり、前記繊維基材が、ポリエステル及びポリエチレンからなる群から選択されるマイクロファイバーを有する、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 23】

前記ナノ粒子が、気体内に取り込まれ、個別化され、かつ前記繊維質基材の前記第 1 の表面を通して分散される、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 24】

前記繊維基材、前記ナノ粒子、又はその両方が、静電荷を有する、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 25】

前記ナノ粒子が、炭素繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ナイロン繊維、ポリ乳酸繊維、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 26】

前記フィルター媒体は、MERV 評価が約 10 超であり、圧力損失が約 1.27 水柱 cm (約 0.5 水柱インチ) 未満である、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 27】

前記 MERV 評価が約 13 であり、前記圧力損失が約 0.91 水柱 cm (約 0.36 水柱インチ) 以下である、請求項 26 に記載のフィルター媒体。

【請求項 28】

前記 MERV 評価が約 14 であり、前記圧力損失が約 1.27 水柱 cm (約 0.5 水柱インチ) 以下である、請求項 26 に記載のフィルター媒体。

【請求項 29】

前記ナノ粒子を前記基材内に保持する結合剤を前記不織布繊維基材内に更に含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体。

【請求項 30】

前記結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、PVOH 及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、請求項 29 に記載のフィルター媒体。

【請求項 31】

前記結合剤が、ポリマー接着剤である、請求項 29 に記載のフィルター媒体。

【請求項 32】

1 ミクロン超の直径を有する繊維と、第 1 の表面と、第 1 の表面の反対側の第 2 の表面とを含む基材を含むフィルター媒体と、

前記基材の内部構造内に配置された複数のナノ粒子であって、少なくとも 1 つの次元が

10

20

30

40

50

1 ミクロン未満であり、アドオン量が前記第 1 の表面から前記第 2 の表面へ向かって減少する、ナノ粒子と、  
を含む、フィルター。

【請求項 3 3】

前記不織布繊維基材内の前記ナノ粒子の前記アドオン量が、約  $0.1 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) ~ 約  $20 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) である、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 3 4】

前記アドオン量が、 $2 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) 以上である、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 3 5】

前記基材中の前記繊維が、 $\text{g/m}^2$  単位の第 1 の面積密度を有し、前記ナノ粒子が、 $\text{g/m}^2$  単位の第 2 の面積密度を有し、前記第 1 の面積密度の前記第 2 の面積密度に対する比が、約 100 以下である、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 3 6】

前記比が、約 67 以下である、請求項 3 5 に記載のフィルター。

【請求項 3 7】

前記比が、約 33.5 以下である、請求項 3 5 に記載のフィルター。

【請求項 3 8】

前記比が、約 22.3 以下である、請求項 3 5 に記載のフィルター。

【請求項 3 9】

前記ナノ粒子が、前記基材内で前記第 1 の表面と第 2 の表面との間に勾配状に配置されている、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 0】

前記フィルター媒体に結合された実質的に硬質の支持層を更に含む、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 1】

その中を液体が流れるための 1 つ以上の開孔部を含む押出フィルムを更に含む、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 2】

前記開孔部が、六角形、円形、正方形、又は菱形である、請求項 4 1 に記載のフィルター。

【請求項 4 3】

前記繊維基材が、前記基材内にひだを形成するための少なくとも 1 つの折り目を含む、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 4】

前記基材の表面を横切って延びる複数のひだを更に含む、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 5】

前記基材が、メッシュ、ネット、布、編物、又は織物を含む、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 6】

前記基材が、フェイスマスクのための柔軟な表面層である、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 7】

前記フィルター媒体は、MERV 評価が約 10 超であり、圧力損失が約 1.27 水柱  $\text{cm}$  (約 0.5 水柱インチ) 未満である、請求項 3 2 に記載のフィルター。

【請求項 4 8】

前記 MERV 評価が約 13 であり、前記圧力損失が約 0.91 水柱  $\text{cm}$  (約 0.36 水柱インチ) 以下である、請求項 4 7 に記載のフィルター。

【請求項 4 9】

10

20

30

40

50

前記MERV評価が約1.4であり、前記圧力損失が約1.27水柱cm(約0.5水柱インチ)以下である、請求項47に記載のフィルター。

【請求項50】

前記ナノ粒子を前記基材内に保持する結合剤を前記基材内に更に含む、請求項32に記載のフィルター。

【請求項51】

前記結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、PVOH及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、請求項50に記載のフィルター。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

(関連出願の相互参照)本出願は、2022年4月8日に出願された米国仮特許出願第63/328,998号の利益を主張するものであり、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。本出願は、本発明の譲受人に譲渡され、全て2022年4月8日に出願された、同時係属米国仮特許出願第63/328,983号、同第63/328,970号、同第63/328,959号、同第63/329,009号、同第63/329,018号、同第63/329,137号、同第63/329,146号、同第63/329,155号、同第63/329,158号、同第63/329,161号、及び同第63/329,162号にも関連し、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

20

【0002】

本記載は、概して、繊維と、濾過媒体全体に分散されたナノ粒子とを含む濾過媒体及び液体フィルター又はガスフィルターに関する。

【背景技術】

【0003】

液体フィルター及びガスフィルターは、多種多様な汚染物質を捕捉して、空気、水等から汚染物質を除去する。例えば、空気フィルターは、通常は、粉塵、花粉、カビ及び細菌などの固体粒子状物質を空気から除去する繊維質又は多孔質材料を含む濾過媒体を備える。

濾過デバイスには、主に表面フィルターとデプスフィルターの2種類がある。膜やフィルム等の表面フィルターは、汚染物質のバリアとして機能し、汚染物質は媒体構造に入る前に捕獲される。上記の表面フィルターは、典型的には、サブミクロンの細孔径と、狭い細孔径分布とを有する。表面フィルターは、比較的高い粒子捕獲効率を有する傾向がある。しかし、表面フィルターは、比較的高い圧力損失と、低い粉塵負荷容量も有する。高い圧力損失は、フィルターを通る空気流の減少を招く。低い粉塵負荷容量は、フィルターの寿命を大幅に短縮する。そのため、表面フィルターは、空気濾過産業において、限られた数の用途で使用されてきた。

30

デプスフィルターは、一般的に、中～高効率、低圧力損失、及び比較的高い粉塵負荷容量を有する空気濾過デバイスに使用される。HEPAフィルターのような、従来の住宅用及び商用空気フィルターは、典型的には、フィルターが約0.3～10ミクロンの粒子を捕獲する能力によって評価される。この評価は、最小効率報告値又はMERVと呼ばれ、ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)によって策定されている。MERV評価は1～16の範囲で、値が高い方が特定の種類の粒子の捕獲効率が高いことを示す。

40

【0004】

汚染物質は、広範なサイズを有する。しかし、1ミクロン未満の汚染物質は、人体にとって最も有害な粒子であり、濾過が比較的困難である。例えば、従来の機械式空気フィルターは、典型的には、不織布濾過材料について約8～10のMERV評価を報告している。従って、これらのフィルター媒体は、典型的には、ウイルスや他の有害な病原体のよう

50

なサブミクロン粒子を捕獲しない。

濾過産業は、これらのサブミクロン粒子を捕獲するための2つの異なる方法として、静電力と、フィルター媒体内のナノ粒子の利用に焦点を当ててきた。静電式フィルターは、摩擦電気法、コロナ放電、ハイドロチャージング、静電紡糸等の既知の方法を使用して、不織布材料内の繊維を静電帯電させることで形成される。静電式フィルターは、サブミクロン粒子の捕獲に最も効果的であり、1～3ミクロンの粒径の捕獲に十分に効果的であり、3～10ミクロンの大きな粒子の捕獲にはわずかな効果しかない。静電繊維は、フェイスマスク及び高効率フィルター等の多数の濾過用途で、ウイルス等のサブミクロン汚染物質を濾過するために一般的に使用されている。

静電式フィルターの1つの欠点は、時間の経過及びフィルターの使用とともに静電荷が減衰することである。そのため、フィルターの効率は比較的速く低下し、フィルターの寿命が短くなる。例えば、初期MERV評価が13の静電式フィルターは、静電力が減衰した後、MERV評価を少なくとも2～3ポイント失う場合がある。これはフィルターの完全性を損ない、サブミクロン粒子捕獲能力を部分的又は完全に阻害し得る。

10

#### 【0005】

サブミクロンの汚染物質を捕獲するための別の方法は、繊維と共にナノ粒子を使用することである。濾過システムは、マイクロメートル単位で測定される直径を有する比較的大きな繊維と比較的小さいナノ粒子とを含むフィルター媒体を使用し得る。ナノ粒子は、媒体内の全体的な繊維サイズを低減させることによって、粒子を捕獲するための媒体内の表面積を増加させる。ナノ粒子は、互いの上で崩壊し、フィルター媒体内の充填密度を増加させる傾向もある。マイクロファイバー材料上の層内に形成された少量のナノメートルサイズの繊維でも、当該材料の濾過特性を改善できることが示されている。

20

ナノ粒子をフィルター媒体に組み込むための最も一般的な方法は、エレクトロスピニングによって、連続ナノファイバーの薄層を不織布基材上に適用することである。ナノ粒子は、典型的には、バルクフィルター媒体層の面に水平又は垂直に延び、粗目フィルター媒体によって提供される大きな粒子の濾過に加え、小粒子の高効率濾過を提供する。例えば、米国特許第6,743,273号明細書は、連続ナノファイバー層が基材の表面上に堆積されたフィルター媒体を開示している。米国特許第10,799,820号明細書も、フィルター媒体の表面上に連続ナノファイバー層を備える空気濾過媒体を開示している。

ナノ粒子を組み込んだ既存のフィルター媒体の場合、フィルターの相対的効率は改善されるが、ナノ粒子が概して不織布材料の表面上に分散されることから、フィルターの商業的利用可能性は限られてきた。このフィルター表面上のナノ粒子の比較的薄い層は、限られた粒子濾過しか提供せず、粉塵保持容量が比較的低い。

30

ナノ材料を濾過媒体に組み込んで全体的な濾過効率を向上する試みは多数行われてきたが、これらの試みは、いわゆる「ウェットレイド」法に限られている。これらウェットレイド法は、ショートカットナノファイバーを液体スラリーに組み込んで、絡み合ったナノファイバーを、界面活性剤の助けを借りて分離することを含む。例えば、米国特許第10,252,201号明細書は、ウェットレイド法で形成された、ショートカットナノファイバーとショートカット粗大繊維との混合物で作製されたフィルター媒体を開示している。同様に、米国特許出願公開第2021/0023813号明細書は、カーボンナノファイバーのような不連続繊維を有する連続繊維不織布基材からなる複合構造の製造方法を開示している。この方法は、ナノ材料が不織布基材に埋め込まれた不連続繊維のスラリーを通して連続繊維不織布基材を引き抜くことを含む。

40

これらの構造は効率向上が実証されているが、媒体が通常の使用条件にさらされることから、寿命及び/又は効率の低下等の他の問題に悩まされる。更に、これらのウェットレイド法は、不織布材料全体にナノ粒子を均一に組み込むことに成功しておらず、その結果ナノ粒子が材料内に凝集し、それにより更にその効率及び全体的な粉塵保持容量が低下する。

#### 【0006】

従って、必要なのは、液体及び/又はガスフィルターのための改善された濾過媒体であ

50

る。汚染物質、特にサブミクロン汚染物質の捕獲において、寿命、粉塵保持容量、及び圧力損失又はフィルターを通る空気流等、フィルターの他の重要な特性を損なうことなく、かかるフィルターの効率を向上させることが望ましい。

【発明の概要】

【0007】

以下に、特許請求される主題のいくつかの態様の基本的理解を提供するために、特許請求される主題の簡略化した概要を示す。この概要は、特許請求される主題の広範な概略ではない。また、特許請求される主題の重要又は不可欠な要素を特定すること、又は特許請求される主題の範囲を明確化することを意図するものではない。唯一の目的は、特許請求される主題のいくつかの概念を、後で示される、より詳細な説明の前置きとして示すこと

10

である。  
フィルター媒体の少なくとも一部分の全体に分散されたナノ粒子を含む、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。いくつかの実施形態では、フィルターは、フィルター媒体に結合された1つ以上の支持層を含む。支持層及び/又はフィルター媒体は、層(1つ又は複数)内に深く分散されたナノ粒子を含み得る。いくつかの実施形態では、ポリマー層内に深く配置されたナノ粒子を有し、その中を気体又は液体が流れるための1つ以上の開孔部を含むポリマー層、膜又はフィルムが提供される。

【0008】

一態様において、第1の表面と反対側の第2の表面とを有する繊維基材を備えるフィルター媒体を含む、フィルターが提供される。フィルター媒体は、ナノ粒子の面積密度が第1の表面から第2の表面へ向かって減少するように、又は基材の中央部と比べて高い面積密度のナノ粒子が2つの表面上に配置されるように、繊維基材内に、少なくとも第1の表面と第2の表面との間に配置されたナノ粒子を含む。

20

基材の少なくとも一部分を通してナノ粒子によって形成される密度勾配は、フィルターの性能特性を改善する。例えば、ナノ粒子は、繊維基材内の表面積全体を増加させ、それは濾過効率を高める場合があり、その他の要素、例えば、フィルター通過による圧力損失(すなわち、空気流)を著しく損なうことなくサブミクロン汚染物質を捕獲することを可能にする。更に、本明細書に開示されているフィルターは、厳しい条件に耐えることができ、これは、フィルターが、フィルターの寿命を通して同じレベルの濾過性能を達成する

30

ことを可能にする。  
特定の実施形態では、第1の表面に位置するナノ粒子の密度は、2つの表面の間の基材の中央部分又は中間点内に分散されたナノ粒子の密度との差異が約50%未満である。いくつかの実施形態では、この差異は25%未満、好ましくは10%未満である。特定の実施形態では、基材の中央部分内に分散された個別ナノ粒子の量又は数は、第1の表面又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量の少なくとも約50%であり、好ましくは少なくとも約75%、より好ましくは少なくとも約90%である。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、第1の表面と第2の表面の両方から基材内に添加されてもよい。これらの実施形態では、第1及び第2の表面における面積密度又は「アドオン量」は、実質的に互いに等しくてもよく、又は用途に応じて異なってもよい。これらの実施形態では、基材の中央に存在する面積密度又は「アドオン量」は、外表面よりも低い。例えば、基材の中央の面積密度は、外表面の面積密度の約75%であってもよく、又は約50%、40%、若しくは25%であってもよい。

40

特定の実施形態では、ナノ粒子は、約 $0.1 \text{ g/m}^2$  ~ 約 $20 \text{ g/m}^2$ 、好ましくは少なくとも約 $2.0 \text{ g/m}^2$ のアドオン量を含み得る。具体的なアドオン量又は面積密度は用途に応じて異なり得る。例えば、出願人は、面積密度又はアドオン量が高いほど、汚染物質の濾過除去における不織布材料の効率が高くなることを見出した。

【0009】

特定の実施形態では、ナノ粒子は、フィルター媒体内に「深く」(in depth)分散される。本明細書で使用するとき、用語「深く」は、ナノ粒子がフィルター媒体の第

50

1の表面を越えて分散され、ナノ粒子の少なくとも一部が、媒体の内部構造において第1の表面と第2の反対側の表面との間に配置されることを意味する。特定の実施形態では、ナノ粒子は、第1の表面から反対側の第2の表面までの実質的に全媒体にわたって分散される。他の実施形態では、ナノ粒子は、第1の表面から第1の表面と第2の表面との間の位置までの部分全体に分散される。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、支持繊維に対して空間に三次元的に分布しており、これは繊維表面積と不織布材料内の微小体積とを増加させ得る。三次元分布は、不織布材料の特定部分の完全な閉塞に対する抵抗ももたらし、これは、流体（例えば、空気等の気体）がフィルターを通ることを可能にし、それによりフィルター前後での全体的な圧力損失を低減することから、フィルター媒体において特に有用である。

特定の実施形態では、基材は第1の表面から第2の表面までのある厚さを有し、ナノ粒子は、第1の表面から第2の表面までの幅の少なくとも70%において基材内に配置される。例において、ナノ粒子は、第1の表面から第2の表面までの厚さの少なくとも90%において基材内に配置される。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、流体内で孤立化（isolate）されており、基材の第1の表面を通して分散される。流体は、例えば、空気、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素等の気体媒体であり得る。ナノ粒子は、気流、エアロゾル、気化器、スプレー等の好適な送達機構を介してこの気体媒体から分散されてもよい。

ナノ粒子は、任意の好適な材料、例えば、ガラス、生体溶解性ガラス、セラミック材料、アクリル、カーボン、アルミナ等の金属、ポリマー（例えば、ナイロン、ポリエチレンテレフタレート等）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリオレフィン、ポリアセタール、ポリエステル、セルロースエーテル、ポリアルキレンスルフィド、ポリ（アリーレンオキシド）、ポリスルホン、変性ポリスルホンポリマー及びポリビニルアルコール、ポリアミド、ポリスチレン、ポリアクリロニトリル、ポリ塩化ビニリデン、ポリメタクリル酸メチル、ポリフッ化ビニリデン及びこれらの任意の組み合わせを含み得る。

基材の繊維は、エアレイド法、スピナレット、ゲル紡糸、熔融紡糸、湿式紡糸、乾式紡糸、海島型ステープル又はスパンボンド、セグメントパイ型ステープル又はスパンボンド等が挙げられるがこれらに限定されない、任意の方法によって製造できる。想到される繊維は、円形、インゲン豆形、ドッグボーン形、三つ葉、パーベル、蝶ネクタイ、星、Y字形等が挙げられるがこれらに限定されない、多数の形状の断面を有し得る。

繊維は人工繊維でも天然繊維でもよい。繊維に好適な材料としては、限定するものではないが、ポリプロピレン、ポリエステル（PET）、PENポリエステル、PCTポリエステル、ポリプロピレン、PBTポリエステル、co-ポリアミド、ポリエチレン、高密度ポリエチレン（「HDPE」）、LLDPE、架橋ポリエチレン、ポリカーボネート、ポリアクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリフマロニトリル、ポリスチレン、スチレン無水マレイン酸、ポリメチルペンテン、環状オレフィン系コポリマー又はフッ素化ポリマー、ポリテトラフルオロエチレン、全フッ素化エチレン及びヘキサフルオロプロピレン又はP(VDF-TrFE)のようなPVDFとのコポリマー又はP(VDF-TrFE-CFE)のようなターポリマー、プロピレン、ポリイミド、ポリエーテルケトン、セルロースエステル、ナイロン及びポリアミド、ポリメタクリル、ポリ（メチルメタクリレート）、ポリオキシメチレン、ポリスルホネート、アクリル、スチレン化アクリル、予備酸化アクリル、フッ素化アクリル、酢酸ビニル、ビニルアクリル、エチレン酢酸ビニル、スチレン-ブタジエン、エチレン/塩化ビニル、酢酸ビニルコポリマー、ラテックス、ポリエステルコポリマー、カルボキシル化スチレンアクリル又は酢酸ビニル、エポキシ、アクリル系マルチポリマー、フェノール系、ポリウレタン、セルロース、スチレン又はこれらの任意の組み合わせが挙げられる。他の従来繊維材料が想到される。

#### 【0010】

繊維は、異なるサイズの繊維を含んでもよく、一般的には繊維は約1～約1000ミクロンの範囲の直径と、約1/2～3インチの範囲の長さとを有する。繊維は、捕獲効率と粉塵保持容量を向上させるため、フィルターの上面（上流）から下面（下流）へ細孔径が

10

20

30

40

50

減少する勾配密度媒体として構成されてもよい。この構成は、異なる量のナノ粒子がフィルター媒体に異なる深さで分散することも可能にする。例えば、フィルター媒体の上流側は、繊維サイズが最も大きいことで、より多くの空隙とより大きなナノ粒子密度を可能にし、一方で、フィルター媒体の下流側は、繊維サイズが小さく、より低密度のナノ粒子を提供する。あるいは、この構造を逆にして、フィルター媒体の下流部分でより大きな密度のナノ粒子を提供することもできる。

いくつかの実施形態では、基材は、スパンボンド又はエアスルーボンドしたカード式不織布繊維を含む「ハイロフト」不織布材料を含み得る。本明細書で使用する時、用語「ハイロフト」は、空隙の体積が、全固体体積よりも大きいことを意味する。エアスルーボンドしたカード式不織布繊維において、基材のロフト性は、当業者に公知の種々の手段によって制御できる。

10

#### 【0011】

特定の実施形態では、繊維は、約3デニール超の線密度を有し得る。空気フィルター内の繊維は、通常、繊維がフィルターを通過する汚染物質を捕獲するのに十分に小さいことを確実にするために、約3デニール以下の線密度を有する。出願人は、驚くべきことに、フィルター媒体を通して分散されたナノ粒子の使用により、繊維がより大きな線密度、例えば3デニール超を有し得ることを見出した。これは、ナノ粒子が大きな濾過能力を提供するからである。場合によっては、繊維は、3デニール超、5デニール以上、6デニール以上又は7~10デニールもの線密度を有し得る。

出願人は、一部の用途において、従来のフィルターに使用される繊維よりも大きな線密度を有する繊維（例えば、約3デニール超）は、より多くの開放空間又は細孔をフィルター媒体中に提供し、これはより大きな密度のナノ粒子がその中に分散されることを可能にすることも見出した。これは、当業者にとって反直感的かもしれないが、出願人は、ナノ粒子を組み込む繊維の線密度が大きくなると、実際にフィルターの全体的な効率を改善することを見出した。

20

特定の実施形態では、繊維は、コアとシースとを有するバイオコンポーネント（biocomponent）繊維である。複数の実施形態において、コアは、シースから偏心している。他の実施形態において、コアは、シースと同心である。

特定の実施形態では、フィルター媒体（すなわち、繊維及び/又はナノ粒子）は、静電帯電され、その結果、例えば、汚染物質は機械式濾過と静電式濾過の両方で捕獲される。繊維とナノ粒子との間の結合は、ナノ粒子、繊維、又はその両方を静電帯電させることで増強され得る。例えば、特定の実施形態では、繊維は、機械式濾過がナノ粒子によって達成でき、静電式濾過がエレクトレット基材によって達成できるように、静電帯電される。静電又はエレクトレット基材は、カード加工及びニードル加工によって作製されるハイロフト摩擦電気式フィルター媒体であり得る。実施形態の1つでは、ナノ粒子は、好ましくはニードル加工の前に基材の中に配置され、その後静電繊維とナノ粒子とが一緒にニードル加工される。

30

#### 【0012】

特定の実施形態では、フィルター媒体は、ナノ粒子を基材内に保持する結合剤を基材内に更に含む。例えば、結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム、PVOH及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含み得る。例において、結合剤はポリマー接着剤である。

40

実施形態では、フィルターは、フィルター媒体に結合された実質的に硬質の支持層を更に備える。不織布繊維基材は、その中を液体が流れるための（flow of or liquid）1つ以上の開孔部を含む押出フィルムを備え得る。例えば、開孔部は、六角形、円形、正方形又は菱形であり得る。

フィルターは、ひだを含み得る。例えば、繊維基材は、基材内にひだを形成するための少なくとも1つの折り目を含み得る。別の例では、フィルターは、繊維基材の表面を横切って延びる複数のひだを更に含む。繊維基材は、ひだなしであることもできる。

特定の実施形態では、繊維基材は、メッシュ、ネット、布、編物、又は織物を含む。不

50

織布繊維基材は、ポリプロピレンフィルム、高密度ポリエチレンフィルム、及びポリ乳酸フィルムからなる群から選択される。実施形態において、繊維基材は、フェイスマスクのための柔軟な表面層である。

#### 【0013】

特定の実施形態では、フィルター媒体は、MERV評価が約10超であり、圧力損失が約0.5水柱インチ未満である。更なる実施形態では、MERV評価は約13であり、圧力損失は約0.36水柱インチ以下である。実施形態では、MERV評価は約14であり、圧力損失は約0.5水柱インチ以下である。

別の態様では、1ミクロン超の直径を有する繊維と、第1の表面と、第1の表面の反対側の第2の表面とを含む繊維基材を備えるフィルター媒体を含むフィルターが提供される。繊維基材は、ナノ粒子のアドオン量が第1の表面から第2の表面へ向かって減少するように、基材の内部構造内に配置された複数のナノ粒子を更に含む。

特定の実施形態では、ナノ粒子の面積密度は第1の表面から第2の表面へ向かって減少する。基材中の繊維は、グラム毎平方メートル(gsm)単位の第1の面積密度を有し、ナノ粒子は、gsm単位の第2の面積密度を有する。第1の面積密度の第2の面積密度に対する比は、約100以下である。特定の実施形態では、比は、約67以下である。更なる実施形態では、比は、約33.5以下である。実施形態では、比は、約22.3以下である。

フィルターの効率又はMERV評価は、ナノ粒子のアドオン量が高いほど上昇する。特に、出願人は、例えば、アドオン量が少なくとも $2\text{ g/m}^2$ の場合、MERV評価が約10のフィルターを実現し得ることを発見した。アドオン量が4又は $6\text{ g/m}^2$ の場合、MERV評価がそれぞれ約12及び13のフィルターが得られる。アドオン量が $10\text{ g/m}^2$ 以上の場合、MERV評価が15以上のフィルターが得られる。

出願人は、厚さ又は線密度が大きい繊維を含むと、細孔径が大きくなり、その結果細孔体積が大きくなり、それにより基材内のナノ粒子の密度が高くなり得ることも発見した。これは、より高いMERV評価と圧力損失を生じる。例えば、出願人は、MERV評価が14で圧力損失が0.5水柱インチの空気フィルターを、5デニールバイオコンポーネント繊維を用いて製造できた。同様に、出願人は、MERV評価が13で圧力損失がわずかに約0.29水柱インチのフィルターを、5デニールバイオコンポーネント繊維を用いて製造することもできた。

本記述の種々の実施形態によって達成される望ましい対象の本明細書における言及は、記述の最も一般的な実施形態において、又はより具体的な実施形態のいずれかにおいて、これらの対象のいずれか又は全てが、個別又は集合的のいずれかで、不可欠な特徴として存在することを暗示又は示唆することを意味するものではない。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】材料の一部にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図2】材料全体にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図3】材料全体に勾配状にナノ粒子が分散された、不織布材料の側面図である。

【図4】二重層フィルター媒体を示す。

【図5A】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図5B】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図5C】不織布材料に組み込まれたバイオコンポーネント繊維を示す。

【図6】ひだ付きの不織布フィルター媒体を示す。

【図7】代表的な空気フィルターを示す。

【図8】第1及び第2の支持膜とフィルター媒体とを有するガスフィルターを示す。

【図9A】支持膜として使用するための開孔フィルムを示す。

【図9B】支持膜として使用するための開孔フィルムを示す。

【図10A】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

【図10B】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。

- 【図 1 0 C】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。
- 【図 1 0 D】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。
- 【図 1 0 E】ナノ粒子がフィルム内に組み込まれた開孔フィルムの実施形態を示す。
- 【図 1 1】ガスフィルターを示す。
- 【図 1 2】基材内の不織布材料を製造するシステムを概略的に示す。
- 【図 1 3】ナノファイバーのクラスタを個別ナノ粒子に変換するためのシステムを概略的に示す。
- 【図 1 4 A】ナノファイバーのマクロクラスタの写真である。
- 【図 1 4 B】ナノファイバーの小さいクラスタの写真である。
- 【図 1 4 C】個別化されたナノ粒子の写真である。 10
- 【図 1 5】図 1 3 のシステムのエダクタを示す。
- 【図 1 6】図 1 3 のシステムの反応器を示す。
- 【図 1 7】ナノファイバーのクラスタを個別ナノ粒子に変換するためのシステムの別の実施形態を示す。
- 【図 1 8】二重層不織布材料を製造するためのシステムを示す。
- 【図 1 9】ナノ粒子が材料の深部全体に分散された、不織布材料を示す。
- 【図 2 0】ナノ粒子が材料の深部全体に分散され、スクリム層がナノ粒子を覆っている、不織布材料を示す。
- 【図 2 1】ナノ粒子が 2 層の内面上に分散された二重層不織布材料を示す。
- 【図 2 2】流体の流れの中で不織布材料を製造するためのシステムの代替的实施形態を示す。 20
- 【図 2 3 A】結合剤を使用していない不織布材料の写真である。
- 【図 2 3 B】結合剤を使用した不織布材料の写真である。
- 【図 2 4 A】ナノ粒子が凝集塊又はクラスタ状で材料全体に分散された不織布材料の写真である。
- 【図 2 4 B】ナノ粒子が実質的に均一に材料全体に分散された不織布材料の写真である。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0 0 1 5】
- この記述及び添付の図面は、例示的实施形態を示しており、限定するものにとらえるべきではなく、特許請求の範囲は本記載の範囲を、等価物を含めて定義する。種々の機械的、組成的、構造的、及び操作的な変化は、等価物を含めて、この記述及び特許請求の範囲から逸脱することなく実施され得る。場合によっては、記載を不明瞭にしないように、周知の構造及び手法は、詳細に表示又は説明されていない。2 つ以上の図面における同様の数字は、同じ又は類似の要素を表わす。更に、1 つの実施形態を参照して詳述されている要素及びその関連態様は、実際である場合は常に、具体的に表示又は説明されていない他の実施形態に含まれ得る。例えば、ある要素が、1 つの実施形態を参照して詳述され、第 2 の実施形態を参照して記載されていない場合でも、その要素は第 2 の実施形態に含まれると主張され得る。更に、本明細書の描写は例示のみを目的としており、システム又は図示されたコンポーネントの実際の形状、サイズ、又は寸法を必ずしも反映するわけではない。 30
- 本明細書及び添付の特許請求の範囲で使用されるとき、単数形の「1 つの」、「ある」、「当該」(「a」、「an」及び「the」)、及び任意の単語の任意の単数形の使用は、明示的かつ明確に 1 つの参照先に限定されない限り、複数の参照先を含むことに注意されたい。本明細書で使用するとき、用語「含む」とその文法的変形は、非限定的であることを意図し、あるリスト内の項目の記載は、リスト内の項目に置換又は追加され得る他の類似項目を除外しない。 40
- 特記のない限り、任意の定量的な値は、「約」又は「おおよそ」等の語が記載されているか否かにかかわらず近似値である。本明細書に記載の材料、方法、及び例は、例示のみを目的とし、限定することを意図するものではない。
- 【0 0 1 6】 50

フィルター媒体内に深く分散されたナノ粒子を含む、フィルター媒体及びフィルター、例えば、空気フィルター、フェイスマスク、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等が提供される。いくつかの実施形態では、フィルターは、フィルター媒体に結合された1つ以上の支持層を含む。支持層及び/又はフィルター媒体は、層(1つ又は複数)内に深く分散されたナノ粒子を含み得る。いくつかの実施形態では、ポリマー層内に深く配置されたナノ粒子を有し、その中を気体又は液体が流れるための1つ以上の開孔部を含むポリマー層、膜又はフィルムが提供される。他の実施形態では、材料は、絆創膏、フェイスマスク等のための柔軟な表面層を備える。

特定の実施形態では、濾過媒体は、繊維と、繊維に結合され、かつ基材の少なくとも一部分に組み込まれたナノ粒子とを含む、基材、シート、層、フィルム、開孔フィルム、メッシュ又はその他の媒体を含む、不織布材料を備える。本明細書で使用するとき、用語「ナノ粒子」は、少なくとも1つの軸又は次元において1ミクロン未満の大きさを有する任意の粒子を意味する。例えば、直径又は幅が1 $\mu$ m未満であり、長さが1 $\mu$ m超の繊維は、本明細書で使用されるとき、ナノ粒子である。

特定の実施形態では、個別ナノ粒子はそれぞれ、サイズが約1~約1000nm、好ましくは約1~約650nmの範囲の小さな粒子であり得る。数粒子サイズ分布において、粒子の少なくとも2分の1の粒径の測定値は100nm以下であり得る。ナノ粒子の大部分は、通常、わずかに数百個の原子で構成される。ナノ粒子のサイズが原子スケールに近づくとつれて、材料特性は変化する。これは、表面積対体積比が増加し、その結果材料の表面原子が材料性能を支配することによる。ナノ粒子はサイズが非常に小さいため、粉末、板、シート、又はより大きな繊維のようなバルク材料と比較して非常に大きな表面積対体積比を有する。この特徴により、ナノ粒子は、電子を閉じ込めて量子効果を生じるのに十分に小さいことから、予想外の光学的、物理的及び化学的特性を有することができる。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、少なくとも1つの寸法が1ミクロン未満(すなわち、繊維の断面形状に応じて、直径、幅、高さ等)であるナノファイバーを含む。ナノファイバーは、連続的な長さを有してもよく、又はナノファイバーは1~100,000ミクロン、好ましくは約100~10,000ミクロン等の別個の長さを有してもよい。

#### 【0017】

本明細書で論じる不織布基材は、間に差し込まれた、絡み合った、又は一つに結合された、個別の繊維又は糸の構造を有し得る。不織布は、繊維又はフィラメントを交絡することによって(及びフィルムを穿孔することによって)機械的、熱的、又は化学的に接着されたシート又はウェブ構造を含み得る。不織布は、実質的に平坦な多孔質シートで、分離した繊維から、又は溶融プラスチック若しくはプラスチックフィルムから、直接作製される。好適な不織布材料の例としては、メルトブローン、スパンボンド又はスパンレース、熱結合、ボンドカード、エアレイド、ウェットレイド、共形成、ニードルパンチ、ステッチ、水圧交絡等がなされた繊維、層、又はウェブが挙げられるが、これらに限定されない。

特定の実施形態では、基材は編物及び/又は織物材料を含み得る。編物材料は、所望の用途に適した任意の編みパターンを含み得る。フィルター用途に適した編物材料には、横編物、縦編物、ニットメッシュパネル、圧縮ニットメッシュ等がある。フィルター用途に適した織物材料には、モノフィラメントファブリック、マルチフィラメントファブリック、ナイロンメッシュ、ポリエステルメッシュ、ポリプロピレンメッシュ等の繊維フィルター媒体がある。織布は、例えば、メッシュフィルタープレス布、織フィルターパッド及び他のダイカットピース、遠心フィルターバッグ、液体フィルターバッグ、集塵機バッグ、ベッドライヤーバッグ、回転ドラムフィルター、フィルターベルト、葉状フィルター、ロール媒体等で使用することができる。

いくつかの実施形態では、不織布材料は、混ざり合った又は交絡したショートカット繊維及び/又はフィラメントを含む構造を含み得る。ショートカット繊維は、本明細書で使用するとき、有限長の繊維を意味する。フィラメントは、本明細書で使用するとき、実質的に連続長を有する繊維を意味する。いくつかの実施形態では、基材は、ショートカット

10

20

30

40

50

粗大、マイクロファイバー及びノ又は微細繊維を含み得る。本明細書で使用する時、「微細繊維」は、直径1ミクロン未満を有する繊維を意味し、「粗大繊維」は、直径10ミクロン超を有する繊維を意味し、マイクロファイバーは、10ミクロン未満の直径を有する合成繊維である。

#### 【0018】

特定の実施形態では、ナノ粒子は、基材中に「深く」分散される。本明細書で使用する時、用語「深く」は、ナノ粒子が基材の第1の表面を越えて分散され、ナノ粒子の少なくとも一部が、基材又は媒体の内部構造において第1の表面と第2の反対側の面との間に配置されることを意味する。特定の実施形態では、ナノ粒子は、第1の表面から反対側の第2の表面までの実質的に全媒体にわたって分散される。他の実施形態では、ナノ粒子は、第1の表面から第1の表面と第2の表面との間の位置までの部分全体に分散される。

10

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、支持繊維に対して空間に三次元的に分布しており、これは繊維表面積と不織布材料内の微小体積とを増加させ得る。三次元分布は、不織布材料の特定部分の完全な閉塞に対する抵抗ももたらし、これは、流体（例えば、空気等の気体）がフィルターを通ることを可能にし、それによりフィルター前後での全体的な圧力損失を低減することから、フィルター媒体において特に有用である。

他の実施形態では、ナノ粒子は、1つの表面付近に、反対面よりも高密度のナノ粒子が配置されるように、又は基材の中央部と比べて高密度のナノ粒子が表面上に配置されるように、基材の厚さ方向に密度勾配で配置される。示される密度勾配は実質的に線形であってもよく、一連の別個の段階で減少してもよく、又は勾配はランダム（すなわち、線形又は段階的ではない、密度の全体的な減少）であってもよい。この密度勾配は、フィルター等の特定の用途に有利な多数の特徴を提供する（下記のように）。

20

#### 【0019】

ナノ粒子は、任意の好適な材料、例えば、ガラス、生体溶解性ガラス、セラミック材料、アクリル、カーボン、アルミナ等の金属、ポリマー（例えば、ナイロン、ポリエチレンテレフタレート等）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリオレフィン、ポリアセタール、ポリエステル、セルロースエーテル、ポリアルキレンスルフィド、ポリ（アリーレンオキシド）、ポリスルホン、変性ポリスルホンポリマー及びポリビニルアルコール、ポリアミド、ポリスチレン、ポリアクリロニトリル、ポリ塩化ビニリデン、ポリメタクリル酸メチル、ポリフッ化ビニリデン及びこれらの任意の組み合わせを含み得る。

30

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、二成分（b i c o m p o n e n t）セグメントパイ型及び海島型として製造されてもよい。次いで、フィラメントを十分に引き抜いて、サブミクロンフィラメントが得られる。連続フィラメントナノファイバーを、所望の長さに従って、好ましくは約100～約10000ミクロンに切断する。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、吸収剤かつ吸着剤である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、活性炭繊維又は活性炭粉末である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、触媒粒子又は触媒繊維である。いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、サブミクロン繊維の不織布をシュレッダー又は粉碎機又はエッジトリマー機に供給し、結合した不織布が入ってショートカット繊維が出てくることで、得ることができる。例えば、低質量バイオコンポーネントメルトブローン又はナノメルトブローン布をシュレッダーに供給でき、サブミクロンナノ粒子を得ることができる。

40

#### 【0020】

いくつかの実施形態では、異なるナノ粒子を混合してもよい。例えば、ナノファイバーとナノビーズとを混合できる。融点の異なる2種のナノファイバーを混合することができる。その結果、より低融点のナノ粒子が、高融点のナノファイバーのバインダーとして作用できる。異なる直径と異なる長さを有するナノ粒子を混合することもできる。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、環境的に持続可能な原料から選択される。ナノ粒子は、生体溶解性ガラスナノファイバー、生分解性ナノ粒子、堆肥化可能なナノ粒子、又はリサイクル可能な組成物を含み（c o m p r o m i s e）得る。

異なる種類のナノ粒子を組み合わせてもよい。ナノ粒子の一部は、機能性ナノ粒子であ

50

り得る。例えば、機能性ナノ粒子は、不織布材料中の繊維上に堆積した、及び/又は当該繊維に付着した、活性炭及び/又は抗菌材料を含み得る。これは、繊維のガス吸収効率と、殺菌効果とを改善し得る。更に、ガラス及び炭素のナノ粒子がその中に堆積したマイクロファイバー不織布の不織布製品は、フィルター媒体として濾過及び脱臭機能を提供する。

いくつかの実施形態では、ナノ粒子は、機械的交絡によって繊維に結合される。この機械的結合は、以下に詳述するように、接着剤又は結合剤で補足できる。特定の実施形態では、ナノ粒子は、圧着されていない(すなわち、弛緩状態のナノ粒子に関連する、大きな波状、屈曲、渦巻状、コイル状鋸刃等の形状を有さない。他の実施形態では、ナノ粒子は、圧着体構造を、ある離散長さで有し得る。例えば、ある離散長さを有するこれらの圧着されたナノファイバーが繊維に付着すると、当該ナノファイバーは、それ自体の間で絡み合い、更に当該ファイバー、その上及び周囲としっかりと付着して、修飾された繊維を形成する。他の実施形態では、ナノファイバーのマイクロファイバーへの付着は、繊維とナノ粒子との間の静電引力及び/又はファンデルワールス力によって達成される。

不織布材料及び不織布材料含有製品(例えば、ガスフィルター)を製造するためのシステム、デバイス、及び方法が本明細書に提供される。空気、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素等の気体媒体中(液体ではなく)の個別ナノ粒子を孤立化させるためのシステム及び方法も提供され、気流、エアロゾル、気化器、スプレー又は他の適切な送達機構を介して別の製品、フィルム、層又は基材中に分散させることができる。

#### 【0021】

以下の記述は主に不織布材料及びフィルター媒体に関して提示されているが、本明細書に開示されるデバイス及び方法は、他の様々な用途に容易に適応できることは理解されるべきである。例えば、本明細書に開示される不織布材料は、家庭用洗剤、屋根ふき材及び床張り材製品、自動車の内装及び天井内張り、再利用可能なバッグ、壁紙、濾過デバイス、絶縁等に有用となり得る。更に、本明細書に記載されているプロセスで孤立化及び生成された個別ナノ粒子は、種々のコーティング、複合材及び/又は添加剤に、例えば、ポリマー、食品包装、難燃剤、燃料電池、電池、キャパシタ、ナノセラミックス、照明、材料製造、製造法、複合材やセメント等の材料、医療診断用途、医療用治療デバイス又は治療、骨又は組織修復用スキャフォールド等の組織工学、飲料水、工業用プロセス流体、食品及び飲料製品、薬剤及び生物剤、組織撮像、医療用治療送達、生分解性化合物等の環境用途等に利用できる。

#### 【0022】

図1は、複数の繊維12とナノ粒子14とを含む不織布材料又は基材10を示す。基材10は、第1の表面16と、第1の表面16の反対側の第2の表面18と、第1の表面16と第2の表面18との間に定められた幅又は厚さを有する。ナノ粒子14は、第1の表面16を通して基材中に堆積されている。図示のように、ナノ粒子14は、第1の表面16を通過して第1の表面と第2の表面16、18の間の基材10の「深部」内に浸透する。いくつかの実施形態では、ナノ粒子14は、第1の表面から、第1の表面と第2の表面16、18の間の幅又は厚さの少なくとも25%、又はより好ましくは厚さの少なくとも約50%浸透する。他の実施形態では、ナノ粒子14は、第1の表面16から第2の表面18まで、実質的に基材10全体に浸透する。

ナノ粒子14は、好ましくは基材10への分散の前に、分解され、互いに分離及び孤立化された個別ナノ粒子を含む(図24Bに示すように)。従って、ナノ粒子14は、不織布製品内に層では存在せず、ナノファイバーの大きな凝集又は束を有さない(図24Aに示すように)。これは、基材全体へのナノ粒子の分散を大きくし、ガスフィルター等のいくつかの用途では、汚染物質を濾過除去するための、より効率的な濾過容量をもたらす。更に、これは、材料内のナノ粒子のグラム毎平方メートル(gsm)単位での面積密度又は「アドオン量」(add-on amount)がより大きい不織布材料を提供する。「アドオン量」という用語は、本明細書において、材料の薄層、シート、又はフィルム内の材料、繊維又は粒子の面積密度(gsm)を意味するために使用される。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、約  $0.1 \text{ g/m}^2 \sim 20 \text{ g/m}^2$ 、好ましくは少なくとも約  $2.0 \text{ g/m}^2$  のアドオン量を含み得る。具体的なアドオン量又は面積密度は用途に応じて異なり得る。例えば、出願人は、面積密度又はアドオン量が高いほど、汚染物質の濾過除去における不織布材料の効率が高くなることを見出した。従って、ナノ粒子の具体的なアドオン量は、フィルター媒体の所望の効率に依存し得る。

図 2 は、複数の繊維 12 とナノ粒子 14 とを含む不織布材料又は基材 20 を示す。図示のように、ナノ粒子 14 は、第 1 の表面 16 から第 2 の表面 18 までの基材 20 の幅全体に浸透する。図 2 に示すように、特定の実施形態では、ナノ粒子 14 は、実質的に基材の繊維 12 全体に分散される。特定の実施形態では、第 1 の表面 16 に位置するナノ粒子の密度は、表面 16、18 の間の基材 20 の中央部分内に分散されたナノ粒子の密度との差異が約 50% 未満である。いくつかの実施形態では、この差異は 25% 未満、好ましくは 10% 未満である。特定の実施形態では、基材 20 の中央部分内に分散された個別ナノ粒子の量又は数は、第 1 の表面 16 又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量の少なくとも約 50% であり、好ましくは少なくとも約 75%、より好ましくは少なくとも約 90% である。

10

他の実施形態では、ナノ粒子 14 は、第 1 の表面 16 から第 2 の表面 18 まで、密度勾配で配置される。例えば、図 3 は、第 1 の表面 16 付近に配置されたナノ粒子 14 の方が第 2 の表面 18 よりも高密度である密度勾配をナノ粒子 14 が形成する基材 30 を示す。特定の実施形態では、第 1 の表面 16 に位置するナノ粒子の密度は、第 2 の表面 18 に分散されたナノ粒子の密度との差異が約 75% 超である。いくつかの実施形態では、この差異は 50% 超である。いくつかの実施形態では、差異は 25% 超である。特定の実施形態では、第 2 の表面 18 又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量又は数は、第 1 の表面 16 又はその付近に分散された個別ナノ粒子の量の約 50% 未満、好ましくは約 25% 未満であり、より好ましくは約 10% 未満である。

20

#### 【0023】

図 3 に示す密度勾配は、第 1 の表面 16 から第 2 の表面 18 まで実質的に線形であり得る。あるいは、ナノ粒子 14 の密度は、第 1 の表面 16 から第 2 の表面 18 まで一連の別個の段階で減少してもよく、又は勾配はランダム（すなわち、線形又は段階的ではない、密度の全体的な減少）であってもよい。

他の実施形態では、ナノ粒子は、第 1 の表面及び第 2 の表面 16、18 の両方から基材に添加されてもよい。これらの実施形態では、第 1 及び第 2 の表面 16、18 における面積密度又は「アドオン量」は、実質的に互いに等しくてもよく、又は用途に応じて異なってもよい。これらの実施形態では、基材の中央に存在する面積密度又は「アドオン量」は、表面 16、18 よりも低い。例えば、基材の中央の面積密度は表面 16、18 の面積密度の約 75% であってもよく、又は約 50%、40% 又は 25% であってもよい。

30

不織布材料の厚さ方向のナノ粒子の分布は、例えば、撮像技術を用いて測定できる。電子顕微鏡等の技術を用いて、製品の厚さの中央において、製品の水平断面を撮影した不織布製品の拡大図を、製品の上面又は下面で撮影した画像と比較することができ、又は 3 つの画像全てを比較して、堆積されたナノ粒子の量がどの程度変化するかを判定できる。コンピュータによる画像解析処理を使用できる。例えば、図 3 において、1 つの断面を線 A - A でとることができ、1 つの断面を B - B でとることができ、各断面の上面図を、電子顕微鏡、走査電子顕微鏡等の顕微鏡で撮影することができる。例えば、断面 A - A で撮影した断面の上面図画像を、断面 B - B で撮影した上面図画像と比較できる。同じ二次元サイズの試料中のマイクロファイバーの数、ナノ粒子の数、又はその両方を評価及び比較することができる。更に、撮像技術を、三次元試料に使用することができる。これらの技術を使用して、繊維の配向等の特性を評価できる。これらの技術を使用して、ナノ粒子が基材の深部に堆積されていること、基材の実質的にかなりの部分にわたって、実質的に深さ全体に、又は基材の深さの一部に堆積されていることを判定できる。

40

#### 【0024】

想到される基材の繊維は、エアレイド法、スピナレット、ゲル紡糸、熔融紡糸、湿式紡

50

系、乾式紡糸、海島型ステーブル又はスパンボンド、セグメントパイ型ステーブル又はスパンボンド等が挙げられるがこれらに限定されない、任意の方法によって製造できる。そのような方法は、米国特許第4,406,950号明細書、同第6,338,814号明細書、同第6,616,435号明細書、同第6,861,142号明細書、同第7,252,493号明細書、同第7,300,272号明細書、同第7,309,430号明細書、同第7,422,071号明細書、同第7,431,869号明細書、同第7,504,348号明細書、同第7,774,077号明細書、同第9,522,357号明細書、同第9,993,761号明細書、及び米国特許出願公開第2009/266,759号明細書に記載されており、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

10

想到される繊維は、円形、インゲン豆形、ドッグボーン形、三つ葉、バーベル、蝶ネクタイ、星、Y字形等が挙げられるがこれらに限定されない、多数の形状の断面を有し得る。これらの形状及び/又は他の従来形状は、実施形態と一緒に使用して、所望の性能特性を得ることができる。基材中の繊維は、熱的接着、化学的接着、相互交絡、接着剤等の結合剤の使用によって、互いに接続された状態を保つ。

繊維は人工繊維でも天然繊維でもよい。繊維に好適な材料としては、限定するものではないが、ポリプロピレン、ポリエステル(PET)、PENポリエステル、PCTポリエステル、ポリプロピレン、PBTポリエステル、co-ポリアミド、ポリエチレン、高密度ポリエチレン(「HDPE」)、LLDPE、架橋ポリエチレン、ポリカーボネート、ポリアクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリマロニトリル、ポリスチレン、スチレン無水マレイン酸、ポリメチルペンテン、環状オレフィン系コポリマー又はフッ素化ポリマー、ポリテトラフルオロエチレン、全フッ素化エチレン及びヘキサフルオロプロピレン又はP(VDF-TrFE)のようなPVDFとのコポリマー又はP(VDF-TrFE-CFE)のようなターポリマー、プロピレン、ポリイミド、ポリエーテルケトン、セルロースエステル、ナイロン及びポリアミド、ポリメタクリル、ポリ(メチルメタクリレート)、ポリオキシメチレン、ポリスルホネート、アクリル、スチレン化アクリル、予備酸化アクリル、フッ素化アクリル、酢酸ビニル、ビニルアクリル、エチレン酢酸ビニル、スチレン-ブタジエン、エチレン/塩化ビニル、酢酸ビニルコポリマー、ラテックス、ポリエステルコポリマー、カルボキシル化スチレンアクリル又は酢酸ビニル、エポキシ、アクリル系マルチポリマー、フェノール系、ポリウレタン、セルロース、スチレン又はこれらの任意の組み合わせが挙げられる。その他の従来繊維材料が想到される。

20

30

繊維は、異なるサイズの繊維を含んでもよく、一般的には繊維は約1~約1000ミクロンの範囲の直径と、約1/2~3インチの範囲の長さとを有する。繊維は、捕獲効率と粉塵保持容量を向上させるため、フィルターの上面(上流)から下面(下流)へ細孔径が減少する勾配密度媒体として構成されてもよい。この構成は、異なる量のナノ粒子がフィルター媒体に異なる深さで分散することも可能にする。例えば、フィルター媒体の上流側は、繊維サイズが最も大きいことで、より多くの空隙とより大きなナノ粒子密度を可能にし、一方で、フィルター媒体の下流側は、繊維サイズが小さく、より低密度のナノ粒子を提供する。あるいは、この構造を逆にして、フィルター媒体の下流部分でより大きな密度のナノ粒子を提供することもできる。

40

媒体中の繊維は、熱的接着、化学的接着、又は相互交絡により、他の繊維と接続した状態を保ち得る。二成分繊維は、特に機械的濾過に使用でき、2種のポリマーを、両方のポリマーが同一フィラメント内に含まれた状態で同じスピナレットから押し出すことで形成される。二成分繊維に好適な材料としては、ポリプロピレン(PP)/ポリエチレン(PE)、ポリエチレンテレフタレート(PET)/ポリプロピレン(PP)等が挙げられるがこれらに限定されない。

#### 【0025】

いくつかの実施形態では、基材は、スパンボンド又はエアスルーボンドしたカード式不織布繊維を含む「ハイロフト」不織布材料を含み得る。本明細書で使用するとき、用語「ハイロフト」は、空隙の体積が、全固体体積よりも大きいことを意味する。エアスルーボ

50

ンドされたカード式不織布繊維において、基材のロフト性は、当業者に公知の種々の手段によって制御できる。例えば、結合中に媒体に加える圧縮力を小さくすることで、ロフト性を向上できる。別の例では、ハイロフト不織布材料は、厚さ3デニール超、例えば、5デニール以上、6デニール以上（以下に詳述する）等、厚さが大きい繊維を用いて製造できる。他の実施形態では、図5Cに示し、以下に詳述するように、偏心バイオコンポジット繊維を使用することで、ロフト性が向上し得る。

特定の実施形態では、繊維は、汚染物質、特にE2及びE3の粒子群範囲の汚染物質の捕獲におけるフィルター媒体の効率を改善するため、シリコン系コーティングを含み得る。シリコン系コーティングは、反応性シリコンマクロエマルジョンを含み得る。シリコンエマルジョンは、例えば、ジメチルシリコンエマルジョン、アミノ型シリコンエマルジョン、有機官能性シリコンエマルジョン、樹脂型シリコンエマルジョン、皮膜形成シリコンエマルジョン等を含み得る。一実施形態では、反応性シリコンマクロエマルジョンは、アミノ官能性ポリジメチルシロキサン及び/又はポリエチレングリコールモノトリデシルエーテルを含む。好適なシリコンコーティングは、本発明の譲受人に譲渡され、2022年9月14日に出願された米国仮特許出願第63/406,686号明細書に記載されており、その全開示を参照により本明細書に援用する。

濾過媒体は、繊維の摩擦帯電を修正し、フィルターにおける摩擦帯電の安定性及び/又は持続性を増大するための電荷添加剤を含み得る。これは、寿命、粉塵保持容量、及び圧力損失又はフィルターを通る空気流等、フィルターの他の重要な特性を損なうことなく、フィルターの全体的な濾過効率を向上する。摩擦電気帯電に好適な電荷添加剤は、本発明の譲受人に譲渡され、2022年9月28日に出願された米国仮特許出願第63/410,731号明細書に記載されており、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

繊維は、用途に適した厚さを有し得る。いくつかの実施形態では、繊維は、少なくとも1つの次元が約1~約10,000 $\mu\text{m}$ 又は約1~約1,000 $\mu\text{m}$ 又は約10~100 $\mu\text{m}$ の範囲である。繊維の厚さは、繊維の線形質量密度の測定単位であるデニールでも測定できる。いくつかの実施形態では、繊維は、約1デニール~約10デニールの線密度を有し得る。ナノ粒子は、少なくとも1つの次元が約1~約1,000nm又は約1~約100nmの範囲である繊維である。上記の繊維及びナノ粒子の次元は、繊維又はナノ粒子の形状に応じて、直径又は幅であり得る。

ひだ付き又はひだなし空気フィルター等のガスフィルターについては、繊維は約1デニール~約10デニールの範囲の線密度を有し得る。フィルター媒体は、同じ又は異なる線密度の繊維を含み得る。

空気フィルター中の繊維は、典型的には、約3デニール以下の線密度を有し、繊維がフィルターを通る汚染物質を捕獲するのに十分に小さいことを確実にする。出願人は、驚くべきことに、フィルター媒体を通して分散されたナノ粒子の使用により、繊維がより大きな線密度、例えば3デニール超を有し得ることを見出した。これは、ナノ粒子が大きな濾過能力を提供するからである。場合によっては、繊維は、3デニール超、5デニール以上、6デニール以上又は7~10デニールもの線密度を有し得る。

出願人は、一部の用途において、従来のフィルターに使用される繊維よりも大きな線密度を有する繊維（例えば、約3デニール超）は、より多くの開放空間又は細孔をフィルター媒体中に提供し、これはより大きな密度のナノ粒子がその中に分散されることを可能にすることも見出した。これは、当業者にとって反直感的かもしれないが、出願人は、ナノ粒子を組み込む繊維の線密度が大きくなると、実際にフィルターの全体的な効率を改善することを見出した。

特定の実施形態では、フィルター媒体は、少なくとも2種の異なる繊維厚さ又は線密度を含み、同じフィルター媒体内に少なくとも2つの異なる層を提供し得る。例えば、場合によっては、フィルター媒体の一部分は、3デニール超、例えば、5デニール以上又は6デニール以上の線密度の繊維を含むであろう。フィルター媒体の他の部分は、3デニール以下の、より標準的な線密度を有する繊維を含み得る。この二重層フィルター媒体は、主

10

20

30

40

50

に、より大きい厚さの繊維内の高密度ナノ粒子で汚染物質を濾過する第1のフィルター部分と、より低い線密度を有する繊維で汚染物質を濾過する第2のフィルター部分とを生じるが、両部分とも、繊維全体に分散されたナノ粒子を含み得る。特定の実施形態では、フィルター媒体は、各部分内のデニール繊維範囲が異なる3つ以上の別々の部分又は層を含み得る。

#### 【0026】

図4は、第1の表面42と、第1の表面の反対側の第2の表面44とを有する第1の基材40；及び第1の表面52と第1の表面の反対側の第2の表面54とを有する第2の基材50を含む二重層フィルター媒体を示す。基材40の第2の表面44は、当業者に公知の任意の方法で、第1の基材の第2の表面54に結合される。第1の基材40は、比較的小さい線密度、例えば、3デニール以下のオーダーの繊維46を含有する。第2の基材50は、線密度が比較的大きい、例えば、5デニール、6デニール以上等3デニール以上のオーダーの繊維56を含有する。第2の基材50は、繊維56全体に分散及び結合された、並びに/又は第2の基材50によって保持された、個別ナノ粒子58も含む。第1の基材40も、ナノ粒子を含んでも含まなくてもよい。

10

第1の基材40は、主に繊維46で汚染物質を濾過するように構成されているが、前述のように、第1の基材40はナノ粒子も含み得る。第2の基材50は、繊維56とナノ粒子58との両方で汚染物質を濾過するように構成されている。

いくつかの実施形態では、基材は、抗菌性物質及び/又は抗ウイルス組成物、例えば、銀、亜鉛、銅、オルガノシリコン、トリブチルスズ、塩素、臭素、又はフッ素化合物を含有する有機化合物等の添加剤を含み ( c o m p r o m i s e ) 得る。

20

#### 【0027】

繊維は、互いに結合した2種以上の異なる繊維を含むバイオコンポーネント繊維を含み得る。繊維は、同じ材料を含んでも、異なる材料を含んでもよい。

図5A～図5Cは、本明細書に開示される不織布材と共に使用できるバイオコンポーネント繊維の種々の例を示す。図5Aは、コア繊維62と周囲のシース繊維64とを有する繊維60を示す。この実施形態では、コア62は、シースと実質的に同心である。図5Bは、互いに並んで配置された第1及び第2の繊維72、74を有するバイオコンポーネント繊維70を示す。図5Cは、コア繊維82とシース繊維84とを有するバイオコンポーネント繊維80を示す。この実施形態では、コア82はシース84の長手方向軸に対して偏心しており、これはバイオコンポーネント繊維の全体的なロフト性を増加させる。当然、他の構成が可能である。例えば、コアは、円形以外、例えばドッグボーン形、正方形、三角形、菱形等の形を有し得る。あるいは、繊維は、複数のコアを備えてもよく、又は3つ、4つ、又はそれ以上の象限に分割されてもよい。

30

特定の実施形態では、不織布材料(すなわち、繊維及び/又はナノ粒子)は、静電帯電され、その結果、例えば、汚染物質は機械式濾過と静電式濾過の両方で捕獲される。繊維とナノ粒子との間の結合は、ナノ粒子、繊維、又はその両方を静電帯電させることでも増強され得る。例えば、特定の実施形態では、繊維は、機械式濾過がナノ粒子によって達成でき、静電式濾過がエレクトレット基材によって達成できるように、静電帯電される。静電又はエレクトレット基材は、カード加工及びニードル加工によって作製されるハイロフト摩擦電気式フィルター媒体であり得る。実施形態の1つでは、ナノ粒子は、好ましくはニードル加工の前に基材の中に配置され、その後静電繊維とナノ粒子とが一緒にニードル加工される。

40

#### 【0028】

基材、ナノ粒子、又はその両方は、摩擦電気法、コロナ放電、静電紡糸、ハイドロチャージング、充電バー等の既知の方法を使用して、静電帯電できる。コロナ帯電は、モノポリマー繊維又は繊維ブレンド、又は布地の帯電に好適である。摩擦帯電は、異なる電気陰性度をもつ繊維を帯電するのに好適となり得る。静電紡糸は、ポリマーの帯電と繊維の紡糸を1段階プロセスとして組み合わせたものである。摩擦電気帯電の好適な方法は、本発明の譲受人に譲渡され、2022年9月28日に出願された米国仮特許出願第63/41

50

0, 729号明細書及び米国特許第9, 074, 301号明細書に記載されており、その全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

摩擦電気効果を使用して粒子除去を強化するために、繊維に対して異なる摩擦電気特性を有するナノ粒子を選択できる。この方法では、生成されたナノ粒子は電場で形成され、摩擦電気効果を弱める可能性のある化学物質による汚染の影響を受けにくい。粗大繊維とは異なる吸着特性又は表面電荷特性を有するナノ粒子も、例えば、油又は水の濾過に使用できる。この差異を使用して、フィルター媒体内の局所的な電界勾配を増進又は生成し、粒子除去を強化できる。ナノ粒子と粗大繊維は、異なる湿潤特性を有し得る。

#### 【0029】

不織布材料は、繊維間の結合及び/又は基材中のナノ粒子の保持を促進して、繊維に付着し、又は他の方法で繊維に保持されて、基材内で安定なマトリックスを形成できるように、結合剤、又は接着剤若しくはバインダー等の結合材料を含んでもよい。結合剤又は結合材料は、個別ナノ粒子が基材全体を通して繊維に結合するために比較的少量で存在することが好ましい。

結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム等の天然系材料、又はEVA、PVA、PVOH、SBR、ポリグリコリド等の合成樹脂等の、種々の従来材料を含み得る。特定の実施形態では、溶媒蒸発時に結合が起こる溶媒系接着剤が使用される。

1つの好ましい実施形態では、結合剤又は結合材料はデキストリンを含む。更に別の実施形態では、結合剤は、水、2-ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド及び水酸化アンモニウム等の種々の物質の組成物を含む。更に別の実施形態では、結合剤は、少なくともPVOHを含む。結合剤は、溶液、エマルジョン、懸濁液、ホットメルト、硬化性、ニート及び/又は組み合わせであり得る。

いくつかの実施形態では、接着剤樹脂が使用され、接着剤樹脂は、接着剤を基材にコーティングした後で架橋され得る。接着(耐水/耐溶媒性)は、接着剤配合物中の溶媒が蒸発したときの自己架橋によって、又は乾燥プロセス中の熱活性化によって促進され得る。特定の接着剤の場合、架橋は、RF、UV、eビームが挙げられるがこれらに限定されない、電磁放射の高エネルギー波長により達成され得る。接着剤の量は、スプレーコーター140のノズルサイズを調整すること、又は接着剤組成物の流量を制御することによって制御できる。結合剤は、スプレーノズル、ディップコーティング等の方法を使用して適用

いくつかの実施形態では、結合剤又は結合材料は、結合剤の表面又は界面張力を低下させ、それによってその分散及び湿潤特性を増加させ、結合剤が基材の深部により容易に浸透できるようにするための界面活性剤を含んでもよい。本明細書に開示される接着剤と共に使用するのに好適な界面活性剤としては、非イオン性、アニオン性、カチオン性及び両性界面活性剤、例えばステアリン酸ナトリウム、4-(5-ドデシル)ベンゼンスルホネート、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム湿潤剤、ドクサート(ジオクチルスルホコハク酸ナトリウム)、アルキルエーテルリン酸、塩化ベンザルコニウム(BAC)、ペルフルオロオクタンスルホネート(PFOS)等が挙げられる。

いくつかの実施形態では、基材はそれ自体のバインダー組成物を含む。これらの実施形態では、結合剤又は結合材料は、基材に添加されてもされなくてもよい。そのような1つの実施形態では、基材はバイオコンポーネント繊維を含み、成分の1つは、内部コアを少なくとも部分的に囲む外部シースを含む(図5A及び図5C参照)。

シースはナノ粒子に結合する材料を含み得る。例えば、シースは、加熱及び/又は乾燥すると粘着性及び/又は流体になる材料を含み得る。加熱/乾燥工程(後述)では、繊維のシース部分は、融点まで加熱され、粘着性及び/又は流体になってナノ粒子を基材に結合するに至る。好ましい実施形態では、結合と乾燥とは同時に起こる。

#### 【0030】

図23Aは、バインダー材料を使用せずに、その中にナノ粒子が堆積した不織布製品の拡大画像である。図23Bは、デキストリンのバインダー材料と水とを用いてナノ粒子を

繊維に付着した、不織布製品の拡大画像である。図示のように、ナノ粒子は、結合剤を使用すると、繊維により均一に接着する。

図 2 3 A 及び図 2 3 B の例では、内側部分がポリエステルで外側部分が高密度ポリエチレン（「HDPE」）の二成分マイクロファイバーを有する基材を使用した。図 2 3 A は、生体溶解性ガラスナノファイバーが基材の表面のみの上の層内に堆積されており、ナノファイバーの保持を静電力に頼っている、二成分マイクロファイバー基材を有するマイクロファイバー不織布製品を示す。ナノファイバーの凝集及びナノファイバーの保持力低下は、図 2 3 A に見ることができる。基材は、メルトブローン、スパンボンド、又は本明細書に記載されている他の方法を使用して製造できる。

図 2 3 B の例では、バインダー材料を使用した。基材に、デキストリンと水との混合物が噴霧され、ナノ粒子は、より大きな均一性とより大きなナノファイバー保持力で、基材に適用された。更なる例では、本明細書に開示されているバインダー材料のいずれかを使用できる。更に、生体溶解性ガラスのナノ粒子が、基材の深部に堆積されている。この例では、二成分マイクロファイバー基材自体はMERV評価が4～10であり、これは、本明細書に記載の方法のいずれかを用いて達成できる。一例では、基材の深部に堆積され、静電荷を有するナノ粒子の場合、当初のMERVが8のマイクロファイバー基材を使用して、MERVが13の不織布製品を製造した。別の例では、当初のMERVが6のマイクロファイバー基材を使用して、MERV15の不織布製品を製造した。基材はロール上に提供され、本明細書に記載されているプロセス及び方法のいずれかのようなロールtoロール連続プロセスにおいて、不織布製品を商業規模で製造することができる。一例では、

#### 【0031】

特定の実施形態では、本明細書に記載の不織布材料は、液体フィルター、家庭用及び商用空気濾過のためのガスフィルター、外科用マスク等のフェイスカバーといった、汚染物質を捕獲又は吸収するフィルターデバイスの一部として含まれてもよい。フィルターデバイスは、機械式フィルター、吸収フィルター、隔離フィルター、イオン交換フィルター、逆浸透フィルター、表面フィルター、デブスフィルター等であってもよく、多数の異なる種類の汚染物質を空気、水等から除去するように設計され得る。

1つのそのような実施形態では、不織布材料は、空気から粒子及び汚染物質を除去する空気フィルター、例えばHEPAフィルター（すなわち、ひだ付き機械式空気フィルター）、UV光フィルター、静電式フィルター、ウォッシュブルフィルター、メディアフィルター、スパンガラスフィルター、ひだ付き又はひだなし空気フィルター、活性炭フィルター、ポケットフィルター、V-bankコンパクトフィルター、フィルターシート、フラットセルフィルター、フィルターカートリッジ等に組み込まれる。不織布材料は、空気フィルター用フィルター媒体を含んでもよく、支持層、スクリム層によって支持されてもよく、又は他の層又は材料に含まれてもよい。出願人は、本明細書に記載のようにナノ粒子を不織布材に深く組み込むことで、フィルター通過による圧力損失（すなわち、空気流）等の他の要因を損なうことなく、空気フィルターの効率が実質的に向上することを発見した。更に、これらの材料は、特に効率向上を静電効果のみに頼る、又は主に静電効果に頼るフィルターと比べて全体的な粉塵保持容量を増加させ、その結果、フィルターの寿命を伸ばす。

HEPAフィルターのような、従来の家庭用及び商用空気フィルターは、典型的には、フィルターが約0.3～10ミクロンの粒子を捕獲する能力によって評価される。この評価は、最小効率報告値又はMERVと呼ばれ、ASHRAE（American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers）によって策定されている。MERV評価は1～16の範囲で、値が高い方が特定の種類の粒子の捕獲効率が高いことを示す。従来の機械式空気フィルターは、典型的には、不織布濾過材料について、約8のMERV評価を報告している。

空気フィルターは、典型的には、その初期効率（すなわち、使用前の空気フィルターの

効率)と、時間及び使用の経過に伴う効率に基づいて評価される。後者の効率は、典型的には、ASHRAE規格52.2 Appendix Jと呼ばれる調整工程により試験される。

本明細書で提供される空気フィルターは、初期MERV評価が約10超であり、圧力損失が約0.5水柱インチ未満である。場合によっては、初期MERV評価は約11で、圧力損失は約0.17水柱インチ以下、又は約13で、圧力損失は約0.36水柱インチ以下、又は約14で、圧力損失は約0.5水柱インチ以下である。

本明細書で提供されるガスフィルターは、ガスフィルターがASHRAE規格52.2 Appendix Jで調整された後に、10以上のMERV評価を有する。いくつかの実施形態では、ガスフィルターがASHRAE規格52.2、ISO規格16890、又は業界で許容される任意の他の規格で調整された後、MERV評価は13以上である。

10

#### 【0032】

本明細書に記載の不織布フィルター媒体のMERV評価は、フィルター媒体に使用される繊維の種類とサイズ、フィルター媒体内の個別ナノ粒子の密度、フィルター媒体の幅、ひだの数とサイズ(存在する場合)等、多くの要因に基づいて変動する。MERV評価は、不織布製品のシート、並びにひだ付きフィルター媒体として形成された不織布製品について測定でき、各々の圧力損失は変動し得る。同様に、フィルター媒体の前後での圧力損失もまた、上記を含む多くの要因に依存するであろう。

MERV評価と圧力損失の両方に影響する1つの要因は、基材中の繊維の密度に対する、基材中のナノ粒子の密度又はアドオン量である。出願人は、基材密度とナノ粒子密度との間の比が低いほど、フィルターのMERV評価が高く、圧力損失が大きいことを発見した。特定の実施形態では、本明細書に記載のフィルター媒体は、約 $0.1 \text{ g/m}^2$  ~ 約 $20 \text{ g/m}^2$ 、好ましくは少なくとも約 $2 \text{ g/m}^2$ のナノ粒子面積密度を有する。

20

場合によっては、ナノ粒子の密度は、実際のフィルター媒体の密度(すなわち、粗大繊維の密度)にも依存する。以下に表2を参照して詳述するように、約67の密度比(基材 $\text{gsm}$ をアドオンナノ粒子 $\text{gsm}$ で除算したもの)では、圧力損失は約0.14水柱インチとなり、初期MERV評価は10となる。密度比が約33.4の場合、MERV評価は10に上昇したが、圧力損失は約0.17にしか増加しなかった。密度比が約22.3の場合、初期MERV評価が約12に上昇し、圧力損失は約0.24水柱インチであった。

このように、フィルターの効率又はMERV評価は、ナノ粒子のアドオン量が高いほど上昇し得る。特に、出願人は、例えば、アドオン量が少なくとも $2 \text{ g/m}^2$ の場合、MERV評価が約10のフィルターが得られることを発見した。アドオン量が4又は $6 \text{ g/m}^2$ の場合、MERV評価がそれぞれ約12及び13のフィルターが得られる。アドオン量が $10 \text{ g/m}^2$ 以上の場合、MERV評価が15以上のフィルターが得られる。

30

出願人は、厚さ又は線密度が大きい繊維を含むと、細孔径が大きくなり、その結果細孔体積が大きくなり、それにより基材内のナノ粒子の密度が高くなり得ることも発見した。これはMERV評価及び圧力損失の上昇をもたらす(以下に表2を参照して述べるように)。例えば、出願人はMERV評価が14で圧力損失が0.5水柱インチの空気フィルターを、5デニールバイオコンポネント繊維を用いて製造できた。同様に、出願人は、MERV評価が13で圧力損失がわずかに約0.29水柱インチのフィルターを、5デニールバイオコンポネント繊維を用いて製造することもできた。

40

ひだ付きフィルター媒体90の例を図6に示す。フィルター90は、用途に応じて約0~10個/インチのひだを含み得る。フィルター媒体は、段ボール又は金属フレームに取り付けて、容易に交換可能なフィルター製品として使用できる(図7)。図示のように、ガスフィルター94は本明細書に記載の不織布材料で製造された。図示のように、フィルター94は、ひだ付き不織布フィルター媒体96と、フィルター媒体96に剛性と構造を提供する支持層98とを含む。

#### 【0033】

図11は、本明細書に記載の不織布材料で製造されたガスフィルター109を示す。ガスフィルター109は、基材の深部に分散された繊維とナノ粒子とを有する不織布基材を

50

含む。その後、基材を円筒形、円錐形等の好適な形状に圧延し、ガスタービン及びコンプレッサーの吸気フィルター、パネルフィルター等の用途に使用できる。

本明細書に開示されている不織布材料を用いて開発される可能性のある他のタイプのフィルターには、コニカルフィルターカートリッジ、スクエアエンドキャップフィルターカートリッジ、ポケットフィルター、V-bankコンパクトフィルター、パネルフィルター、フラットセルフィルター、ひだ付き又はひだなしバッグカートリッジフィルター等がある。

本明細書に開示されている不織布製品は、医療用マスク、又は人工呼吸器のカートリッジ等のその他の医療用途に使用され得る。医療用マスクは、医療従事者及び/又は患者を微生物等の物質から保護するために設計されている。例えば、医療用マスクは、例えば約3ミクロンの次元を有し得る細菌、並びに例えば約0.1ミクロンの次元を有し得るウイルスを遮断することができる。マスクは、複数の層に不織布材料を使用して作製され、マスクを個人の顔に付けるための耳かけ、タイ等の構造を有する。マスクの少なくとも上部部分にワイヤーを組み込むことで、その部分が人の顔に適合にするようにしてもよい。マスクは、多層不織布材料を人の顔の前に保持するように設計された硬質ポリマー構造を含むことができる。一例では、マスクは3層を有する。外層と内層とは、通気性を提供するスパンボンドポリプロピレン等の不織布材料を含むが、本明細書で述べた材料のいずれも使用できる。中間層は内層と外層との間に配置され、基材の深部に堆積されたナノ粒子を有するマイクロファイバー基材を有し、8超の初期MERV、好ましくは10超のMERV、より好ましくは13以上のMERVを提供する。通気性のためには、マスクの圧力損失は、3~6水柱mm、より好ましくは4水柱mmである。マスクは、効率が約95%であることが望ましい。マスクの他の例は、4層以上の層を有する。不織布製品の複数の層を1つのマスクに組み合わせることができる。

特定の実施形態では、不織布材料は、開孔部、細孔又は穿孔を含む薄膜又は層に含まれ得る。開孔部は、パターン(円形、菱形、六角形、長円形、三角形、長方形等)でエンボス加工され、その後エンボス加工によって生じた薄くなった領域に開孔部が形成されるまで伸ばしてもよい。このような開孔基材は、ポリプロピレン、ポリエチレン、高密度ポリエチレン(「HDPE」)等の多くのポリマーから形成できる。例えば、ポリマー層は押出フィルムを含み得る。開孔フィルムは、市販されており、Deline(登録商標)の商標で販売されている。基材はロール状に提供され、ナノファイバーはロールtoロールプロセスで基材に堆積される。図10A~図10Eは、本明細書に記載の方法で形成され得る開孔フィルムの例を示す。

他の実施形態では、ガスフィルターは、フィルター媒体と、フィルター媒体に結合した実質的に硬質の支持層とを含む。支持層は、層内に深く分散された繊維とナノ粒子とを含む。ナノ粒子は、支持層を通過する汚染物質を濾過するように構成される。

#### 【0034】

図8を参照すると、複合フィルター部材814は内部フィルター基材812と1つ以上のフィルター支持部材又は膜810とを含む。支持部材810は、ポリマーの押出シート、例えばポリプロピレンフィルム、高密度ポリエチレンフィルム、ポリ乳酸フィルム、又は押出可能なフルオロプラスチック材料等の熱可塑性ポリマー材料から形成されてもよく、実施形態において、モノマーのポリテトラフルオロエチレンとペルフルオロアルキルビニルエーテルから生成したペルフルオロアルカン(PFA)コポリマーから形成されてもよい。しかし、フッ素樹脂のような他のポリマー材料、例えば、エチレンクロロトリフルオロエチレン(ethylenechlorotrifluoroethylene)(ECTFE); ポリフッ化ビニリデン(PVDF)のエチレンテトラフルオロエチレン(ETFE)を使用してもよい。

特定の実施形態では、上述のように、支持膜810は、膜810内に深く分散された個別ナノ粒子を含む。ナノ粒子は、支持膜が、フィルター膜814を通過する汚染物質の少なくとも一部を濾過することを可能にする(すなわち、内部フィルター基材812によって提供される濾過に加えて)。他の実施形態では、フィルター基材812及び/又は支持

10

20

30

40

50

膜 810 は、そのようなナノ粒子を含む。

PFA のようなフッ素樹脂材料は、半導体部品を洗浄することを目的としたフィルターにおける使用、及び極端な清浄度が要求され、汚染の可能性が最小限に抑えられるその他の環境での使用に非常に望ましい。このような支持膜は、流体が表面に沿って濾過されるように方向付けるとともに、望ましくない粒子を濾液から除去するために、流体が構造を通過して下にあるフィルター基材に入るように方向づけるようにも設計されている。

#### 【0035】

図 9A 及び図 9B に示すように、支持膜 810 は複数の開孔部 828 を含み得る。開孔部は、円形が好ましいが、正方形、長方形、三角形等の他の形状が可能であることは認識されるであろう。基材は、ロール状に巻き取られた後、巻き出しされ、パンチプレスを通して方向づけられて、望ましい、所定のパターンで Z 方向に通る開孔部 828 を形成し得る (図 9A)。あるいは、シートは、セットされた後、パンチプレスを介した連続操作へと向けられ、そこで所定の開孔部 828 のパターンを形成することができる。

図 9B を参照すると、開孔後に、両矢印 940 で示すように、フィルター支持部材を機械方向に伸張することで、開孔部 828 を伸ばして、フィルター媒体又は基材 812 によって濾過される流体が通過するための開口面積を大きくすることができる。

別の実施形態では、支持膜 810 は多孔質でもよい (すなわち、開孔部 828 ではなく、又は開孔部 828 に加えて)。この実施形態では、追加の流体流は、実質的に多孔質の支持膜によって達成できる。例示的な実施形態では、支持膜は少なくとも 0.5 又は 50%、好ましくは少なくとも 0.8 又は 80%、より好ましくは約 0.86 又は 86% の多孔度の値を有する。多孔度の値は、材料の総体積のうち非固体又は細孔体積の分率として定義される。かかる複合フィルター媒体の更に完全な説明は、PCT 出願第 US 2020/040941 号に見ることができ、この全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

本発明のフィルター用支持膜は、当業者に既知の任意の方法によって調製され得る。図 9A 及び図 9B に示す 1 つの例では、支持膜はリブを含む。例えば、支持膜はポリマー材料を押し出してシートを形成し、その後反対側のローラーによって提供されるニップ領域に上記シートを通過させることによって作製されてもよく、上記ローラーの少なくとも 1 つは皿穴溝のついた外面を有する。1 つのローラーの皿穴溝は、ニップ領域において、もう一方のローラーの外面又は皿穴溝と揃っており、シートの少なくとも 1 つの表面から立ち上がったリブを有するリブ付きシートを形成する。あるいは、リブは、押し出しプロセス又は既知のエンボス加工方法により形成され得る。リブが形成されると、支持膜がロール状に巻き取られ、その後巻き出しされて、プレスを通して方向づけられて、望ましい、所定のパターンでその Z 方向に通る開孔部を形成し得る。あるいは、図 9A に最もよく示されるように、支持膜は、セットされた後、パンチプレスを介した連続操作へと向けられ、そこで所定の開孔部のパターンを形成することができる。任意選択で、支持膜を機械方向 (図 9B に両矢印で表示) に伸張することで、開孔部を伸ばして、例えば、フィルター層又は基材によって濾過される流体が通過するための開口面積を大きくすることができる。

#### 【0036】

図 12 は、不織布材料及び上記の他の材料を製造するためのシステム全体 110 を概略的に示す。図示のように、システム 110 は、不織布繊維の基材 130 等の材料を製造プロセスを通して前進させるためのフィーダー 120 を含む。システム 100 は、コーター 140、繊維化システム 150、並びに加熱及び/又は乾燥デバイス 160 を更に含む。特定の実施形態では、システム 100 は、繊維化システム 150 の反対側の基材 130 の下に、真空又はその他の負圧源 170 を更に含む。

一実施形態では、フィーダー 120 は、プロセスの下流端の巻取機 122 と、システム 100 を通して基材 130 を連続的に巻き取る上流端の巻出機 124 とを含む。特定の実施形態では、フィーダー 120 は、基材 130 がシステム 100 を下流へ移動する際に基材を支持するため、巻取機間に延びる支持面 (図示せず) を更に含み得る。他の実施形態では、基材は、別の支持面なしで、巻出機 124 から巻取機 122 へと直接巻き出しされ

る。

コーター 140 は、結合剤又は結合材料、例えば接着剤又はバインダーの液滴を基材 130 上に噴霧して、ナノ粒子が基材 130 内の繊維に結合して安定なマトリックスを形成できるように構成される。結合剤は、個別ナノ粒子が基材 130 全体を通して繊維に結合するために比較的少量で存在することが好ましい。好ましい実施形態では、コーター 140 は、接着剤の基材 130 への浸透深さを増加させるために約 20 ~ 30 ミクロンの直径を有する接着剤液滴を生じるようなサイズのスプレーノズルを含む。当然、液滴サイズは、空気圧、空気の体積、空気の温度、湿度、スプレーホーンの設計、接着剤のレオロジー / 粘度、担体等の多数の他のパラメータによって影響され得る。

当然、結合剤又は結合材料で基材をコーティングすることは、他のコーティング法で達成されてもよく、当該方法には、超音波スプレー、ディップコーティング、スピンドコーティング、グラビアコーティング、キスロールコーティング、スクリーンコーティング、粉体コーティング、静電、スパッタコーティング等のコーティングが含まれることは認識されるであろう。

#### 【0037】

上記のように、結合剤は、デンプン、デキストリン、グアーガム等の天然系材料、又は EVA、PVA、PVOH、SBR 等の合成樹脂等、種々の従来材料を含み得る。特定の実施形態では、溶媒蒸発時に結合が起こる溶媒系接着剤が使用される。

1 つの好ましい実施形態では、結合剤はデキストリンを含む。別の実施形態では、結合剤は、水、2 - ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド及び水酸化アンモニウム等の種々の物質の組成物を含む。更に別の実施形態では、結合剤は PVOH を含む。結合剤は、溶液、エマルジョン、懸濁液、ホットメルト、硬化性、ニート及び / 又は組み合わせであり得る。

いくつかの実施形態では、接着剤樹脂が使用され、接着剤樹脂は、接着剤を基材 130 にコーティングした後で架橋され得る。接着（耐水 / 耐溶媒性）は、接着剤配合物中の溶媒が蒸発したときの自己架橋によって、又は乾燥プロセス中の熱活性化によって促進され得る。特定の接着剤の場合、架橋は、RF、UV、e ビームが挙げられるがこれらに限定されない、電磁放射の高いエネルギー波長により達成され得る。接着剤の量は、スプレーコーター 140 のノズルサイズを調整すること、又は接着剤組成物の流量を制御することによって制御できる。

いくつかの実施形態では、結合剤は、結合剤の表面又は界面張力を低下させ、それによってその分散及び湿潤特性を増加させ、結合剤が基材の深部により容易に浸透することを可能にするための界面活性剤を含んでもよい。本明細書に開示される結合剤と共に使用するのに好適な界面活性剤としては、非イオン性、アニオン性、カチオン性及び両性界面活性剤、例えばステアリン酸ナトリウム、4 - (5 - ドデシル) ベンゼンスルホネート、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム湿潤剤、ドクサート（ジオクチルスルホコハク酸ナトリウム）、アルキルエーテルリン酸、塩化ベンザルコニウム（BAC）、ペルフルオロオクタンスルホネート（PFOS）等が挙げられる。

#### 【0038】

いくつかの実施形態では、スプレーコーター 140 は繊維化システム 150 の上流に位置し、その結果、結合剤はナノ粒子が堆積される前に噴霧される。他の実施形態では、スプレーコーター 140 は繊維化システム 150 の下流に位置し、その結果、結合剤をナノ粒子堆積後に噴霧できる。他の実施形態では、システム 100 は 2 種類のスプレーコーティングを含む；1 つは繊維化システム 150 の上流に位置し、もう 1 つは繊維化システム 150 の下流に位置し、ナノ粒子の堆積後に基材 130 に二次結合剤をコーティングするスプレーコーターである（図示せず）。

いくつかの実施形態では、各スプレーコーター 140 に複数のノズルヘッドがある。ノズルヘッドは、例えば、均一性向上のため、又は繊維の噴霧幅を増やすために、直列に配置されてもよい。あるいは、ノズルヘッドは、平行に、すなわち基材の幅全体にわたって位置し、結合剤が基材の幅全体にわたってコーティングされることを確実にしてもよい。

好ましい実施形態では、負圧源又は真空源（図示せず）はスプレーコーター 140 の反対側の 130 基材の下に配置され、結合剤の浸透深さと均一性とを高める。負圧源は、吸引ポンプ等のような、基材を通して結合剤を引き込む任意の適切な吸引デバイスであり得る。

#### 【0039】

いくつかの実施形態では、基材はそれ自体のバインダー組成物を含む。これらの実施形態では、結合剤は、基材に添加されてもされなくてもよい。そのような 1 つの実施形態では、基材はバイオコンポーネント繊維 600 を含み、成分の 1 つは、内部コア 62 を少なくとも部分的に囲む外部シース 64 を含む。特定の実施形態では、シース 64 とコア 62 とは、互いに実質的に同心であり得る（図 5 A）。他の実施形態では、コア 84 は、シース 82 から偏心し得る（図 5 C）。他の実施形態では、コア 72 とシース 74 とは、互いに並んでいる（図 5 B）。当然、他の構成が可能である。例えば、コア 184 は、円形以外、例えばドッグボーン形、正方形、三角形、菱形等の形を有し得る。あるいは、繊維 180 は、複数のコアを備えてもよく、又は 3 つ、4 つ、又はそれ以上の象限に分割されてもよい。

シース 64 はナノ粒子に結合する材料を含み得る。例えば、シース 64 は、加熱及び/又は乾燥すると粘着性及び/又は流体になる材料を含み得る。加熱/乾燥工程の間、繊維のシース 64 部分はその融点まで加熱され、粘着性及び/又は流体になってナノ粒子を基材に結合するに至る。好ましい実施形態では、結合と乾燥とは乾燥デバイス 160 内で同時に起こる。

#### 【0040】

図 13 は、ナノファイバーの群を個別ナノ粒子に変換するための繊維化システム 150 を概略的に示す。用語「繊維化」は、本明細書で使用するとき、ナノ粒子のクラスタ、凝集等のグループ（互いに交絡している場合もしていない場合もある）を、少なくとも 1 つの次元が 1 ミクロン未満の個別ナノ粒子へと変換（例えば、開放、分離、孤立化及び/又は個別化）することを意味する。図 14 A ~ 図 14 C は、交絡したナノファイバーのマクロクラスタ（図 14 A）、交絡したナノファイバーの小さなクラスタ（図 14 B）、及び個別ナノ粒子（図 14 C）の例を示す。

図示のように、繊維化システム 150 は、ナノ粒子のより大きな又はマクロクラスタ/凝集（図 14 A 参照）をシステム 150 に導入するための、ホッパー等のフィーダー 200 を含む。フィーダー 200 は、当業者に既知の任意の好適なホッパーデバイスを備えてもよく、好ましくは、下流の繊維化速度に依存する特定の速度で粒子のマクロクラスタをプロセスに導入するように構成されている。ナノ粒子は、指定された速度で連続的に、又は特定の速度で間隔をあけて、導入されてもよい。束状のナノ粒子のマクロクラスタは、フィーダー 200 に導入する前に分解され得る。

ナノ粒子は、多くの異なる形態で繊維化デバイス 150 に導入され得ることを認識すべきである。例えば、未加工ナノファイバーは、長い分離した繊維として製造され得る。この形態では、ナノファイバーを切断して、所望の長さ対直径比を得ることができる。

システム 150 は更に、ナノ粒子のマクロクラスタ/凝集を、ナノ粒子のより小さなクラスタ/凝集に分離又は分解するための、ブレンダー等のセパレータ 210 を含む（図 14 B 参照）。フィーダー 200 は、ナノファイバーを、任意の機械的手段によって、安定した連続状態でセパレータ 210 に移送する。移送速度は、フィーダー 120 に沿った基材 130 の速度、ナノ粒子の繊維化速度等、様々な要因に依存する。セパレータ 210 に落下するナノ粒子の量を制御することにより、基材に分散するナノ粒子の量を制御して連続製造プロセスを作成することができる。

一実施形態では、セパレータ 210 は、フィーダー 200 に連結した第 1 の開口部 214 と、下流プロセスに連結した第 2 の開口部 216 とを有するハウジング 212 を含む。第 2 の開口部 216 は、好ましくは、特定のサイズを有するナノファイバーのクラスタのみが通過できるようなサイズになっている。セパレータ 210 は、ハウジング 212 内で垂直軸を中心に回転して粗大ナノファイバーのクラスタを分離及び開放（open）する

ように設計された複数の回転可能なブレード（図示せず）を含み得る。ブレードは、交絡繊維が第1の開口部214から第2の開口部216へと通過するとき、当該繊維の連続的な破壊又は「開放」を可能にするために、同じ又は異なるピッチとキャンバとを有し得る。

繊維化システム150は、更に、セパレータ210からノズル220（以下に詳述する）までのシステム全体に延びる気体の流れを含む。気体の流れは（後述する一連のポンプとともに）、システム150を通るナノファイバーを動かす原動力となる。一実施形態では、圧縮空気をシステムに供給するように構成された空気コンプレッサー230で気体の流れが作成されるが、システム150を介してナノファイバーを移送するために他の形態の気体を使用してもよいことは認識されるであろう。

システム150は、ナノファイバーのクラスタを動かし、最終的にはシステム全体で個別ナノ粒子を動かすための1つ以上のポンプを備える。ポンプは、容積式、遠心式、軸流式等、任意の好適なポンプを含み得る。一実施形態では、第1のポンプ240は、第1の通路242によって空気コンプレッサー230に流体連結した第1の入口と、第2の通路244によってセパレータ210に流体連結した第2の入口とを含む。圧縮空気は第1のポンプ240に引き込まれ、当該ポンプは負圧（例えば、真空）を発生して、ナノファイバーのクラスタをセパレータ210からポンプ（以下に詳述する）に引き込む。システム150は、第1のポンプ240の出口に流体連結されている第2及び第3のポンプ250、260を更に含んでもよい。同様に、第2及び第3ポンプ250、260は負圧を発生し、第3の通路252を通してナノファイバーのクラスタを引き込む。

#### 【0041】

特定の実施形態では、ポンプ240はエダクタ300を含む。図15に示すように、エダクタ300はそれぞれ、通路308を介して出口306に連結した駆動流体入口302とナノファイバー入口304とを備える。流体通路308は、収束する入口ノズル310、ディフューザースロート312及び発散する出口ディフューザースロート314を含む。高圧低速の空気は、低圧高速の空気に変換され、その結果吸引に必要な圧力差を生じる。ベンチュリ効果とベルヌーイの原理に基づいて、一次流体媒体（例えば、圧縮空気）を用いて真空を作り出し、ナノファイバーをエダクタ300に引き込んで、出口306から排出する。エダクタ300の直径は、圧縮空気の体積流量、吸引要件、圧力損失、及び圧縮空気の流体圧力に依存する。

#### 【0042】

図13に戻って参照すると、第3の通路252は、第3の通路252をそれぞれが第2及び第3のポンプ250、260へと繋がる2つの別々の通路へと分割する分岐254を含む。分岐254は、好ましくは、第3の通路252に対して実質的に垂直に配置された表面又は壁を含み、T字形の交差点を形成する。表面は、通路を通るナノファイバーの流れに相対する任意の表面であってもよく、例えば分岐点における通路の内壁、又はその他の内壁の方向変化、例えば、曲面、垂直面等であってもよい。あるいは、通路は、通路内に配置された、又は他流路内の通路に突出した、壁又はその他の表面を含んでもよい。一実施形態では、通路は、分岐から延びる2つの別々の通路を含む実質的にT字形の分岐へと延びてもよい。第2のエダクタは、ナノファイバーの少なくとも一部を分裂するのに十分な速度でナノファイバーをT字形分岐内に引き込むように構成される。

ナノファイバーのクラスタが第3の通路252を通過するとき、第2及び第3のポンプ250、260によって加えられた負圧によって、当該クラスタがこの表面又は壁に向かって推進される。分岐254に対するナノファイバーの速度は、ナノファイバーのクラスタの少なくとも一部を、より小さなクラスタのナノファイバーへ、及び/又は少なくとも1つの次元が1ミクロン未満である個別のナノ粒子へと崩壊させるのに十分な運動エネルギーでの衝突を引き起こす。

ナノファイバーのクラスタを分解するために必要な運動エネルギーを生じるために、空気を約500フィート/分（fpm）～約10,000フィート/分、好ましくは約2,000fpm～約6,000fpmの速度でシステム150全体に推進する。システム1

10

20

30

40

50

50は、十分な量の吸引圧力、好ましくは少なくとも約20psiの吸引圧力を含む。この吸引圧力により、システム全体で少なくとも約100psiの全体的な圧力が生成される。

#### 【0043】

特定の実施形態では、システム150は更に、第2及び第3のポンプ250、260の出口を反応器270と連結する第4及び第5の流体通路262、264を含む。図16に示すように、反応器270は、上面272、底面274、及び上面272から底面274に延びる内部環状チャンバ276を含む。反応器270は更に、開口した上部入口278と出口280とを有する中央管275を含む。反応器270は更に、1つ以上の上部出口282を含み得る。反応器270は、環状チャンバ276内に旋回気体の渦を作るように構成されたエネルギー源（図示せず）に連結されてもよい。エネルギー源は、ポンプ、コンプレッサー、発電機等の任意の好適なエネルギー源を含み得る。旋回気体は、好ましくは中央管275の周りを反応器270の底から最上部へと流れて、ナノファイバーのクラスタ及び個別ナノ粒子を底面275から上面272へと上向きに移動させる。

別の実施形態では、渦は別のエネルギー源なしで生じる。この実施形態では、ナノファイバー290のクラスタ及び個別ナノ粒子292は、底部入口284、285、286、287を通過して反応器270に入る。入口284、285、286、287は中央管275の周りのナノファイバーとナノ粒子との動きを容易にするために上向きに角度がつけられている。好ましい実施形態では、入口284、285、286、287のうちの少なくとも1つ以上は、ナノファイバーとナノ粒子が、中央管275に対して実質的に接線方向となるように反応器270に入るように、角度が付けられている。環状チャンバ276に入ると、ナノファイバーとナノ粒子の速度ベクトル（速度と方向）が反応器270内に渦を生じ、それによりナノファイバーとナノ粒子は中央管275の周りを旋回してチャンバ276の上方部分まで上昇する。旋回気体は、好ましくは中央管275の周りを反応器270の底から最上部へと流れて、ナノファイバーのクラスタ及び個別ナノ粒子を底面275から上面272へと上向きに移動させる。いかなる妨害もなく、ナノファイバー290とナノ粒子292とは、反応器の底から最上部まで吹き飛ばされる。チャンバ276内の渦は、反応器270を通過する際に、ナノファイバー290のクラスタを更に分解（例えば、開放、分離、及び/又は個別化）する可能性がある。

いくつかの実施形態では、反応器270はまた、環状チャンバ276内に旋回気体の渦を作るように構成されたエネルギー源（図示せず）に連結されてもよい。エネルギー源は、ポンプ、コンプレッサー、発電機等の任意の好適なエネルギー源を含み得る。

システム100は更に、上方出口282に連結された別のポンプ又は負圧源（例えば図17を参照）を含み得る。この負圧は、繊維を出口282から引き出し、その結果繊維290は反応器270を出る。個別ナノ粒子292は、まだクラスタ化している交絡したナノファイバー290よりもかなり軽いため、これらの個別ナノ粒子292は中央管275の上方入口278に引き込まれる。一方で、まだ分解されていないナノファイバー290の大きく重いクラスタは、上方出口284から引き出される。上方出口284は、他のポンプ（図示せず）、又は第1のポンプ240に連結されてもよい。このようにして、ナノファイバー290のクラスタは再度プロセスを通して送られて更に分解され、残りのナノファイバーのクラスタを更に分解するための再供給システムが作られる。

中央管275の出口280はノズル220に連結されている（図13参照）。個別ナノ粒子292はノズル220に引き込まれ、そこで基材の表面上、又は繊維の流れの中に分散される（後述）。ノズル220は、当業者に既知の任意の適切なノズルから構成されてもよい。一実施形態では、ノズル220は、ノズル220の下を通過する基材のサイズ（すなわち面積）に合わせて調整された外形寸法を有する複数の出口を有する。ノズル220は、システム全体の圧力によって駆動される速度でナノ粒子を基材上に分散させる。

特定の実施形態では、システム100は、反応器270の出口280に連結した複数のノズルを備える。ノズルは、任意の好適な形式、例えば、並列、直列、平行等で、基材上に配置されてもよい。

10

20

30

40

50

ポンプ 240、又はポンプ 250、260は、ナノファイバー/空気混合物の流れをノズル 220に直接供給(すなわち、反応器 270をバイパス)してもよいことは認識されるであろう。この実施形態では、システム内の圧力は、実質的に全てのナノファイバーを個別ナノ粒子に分解又は開放するのに十分な運動エネルギーを生じるように設計されており、反応器 270は、繊維の大きなクラスタからナノ粒子を分離する必要がない。

#### 【0044】

ここで図 17を参照して、繊維化システム 320の別の実施形態を説明する。図示のように、繊維化システム 320は、ナノファイバーの大きなクラスタ又はマクロクラスタを、システム 320を通過するナノファイバーの小さなクラスタへと分離するためのセパレータ 325を含む。第 1のエダクタ 326はセパレータ 325の出口と連結され、セパレータ 325からシステム 320へ、ナノファイバーを引き込む役割を果たす。上述のように、空気コンプレッサー(図示せず)もエダクタ 326に連結されて駆動流体を提供する。

10

前述の実施形態と同様に、第 2及び第 3のエダクタ 330、340は、第 1のエダクタ 326の出口に連結される。ナノファイバーは、第 1のエダクタ 320を通過して引き抜かれ、T字形交差点 350の表面に向かって推進され、ナノファイバーの少なくとも一部がより小さなクラスタ又は個別ナノ粒子に分解される。

第 2及び第 3のエダクタ 330、340のそれぞれは、追加のT字形交差点 360、370に連結された出口を有する。前述のように、ナノファイバーはT字形交差点 360、370の表面に対して推進され、更に分解される。T字形交差点 360、370はそれぞれ、反応器の底部分 380に入る 2つの流体通路に連結されている。従って、反応器の底部分 380は、ナノファイバーの通過のための別々の 4つの入口 382、384、386、388を有する。これらの入口のそれぞれは、好ましくは上向きに角度がつけられており、反応器の反対側の角に配置されている。これにより、ナノファイバーは反応器の渦に入り、反応器の上方部分 390まで旋回できる。

20

#### 【0045】

図 16を参照して前述したように、反応器は、ノズルに連結されている開口した上端及び下端を有する中央管を有する環状チャンバを含む。個別ナノ粒子へと十分に分解されたナノファイバーは、この開口した上端を通過して中央管に流れ、ノズルを通過して分散する。まだ分解されていない重いナノ粒子のクラスタは、4つの別々の出口 392、394、396、398のうちの一つを通過して反応器から出る。エダクタ 410、420は、上記のように、ナノファイバーを反応器 400から引き込むための駆動力を提供する。出口 392、394はそれぞれ、T字形交差点 412を介してエダクタ 410に連結されており、出口 396、398はそれぞれ、T字形交差点 422を介してエダクタ 420に連結されている。この場合、ナノファイバーは、交差点 412、422を通過する際に 2つの通路から 1つの通路へと流れる。

30

エダクタ 410、420はそれぞれ、T字形交差点 430、440に連結されている。前述のように、ナノファイバーはT字形交差点 430、440へと推進され、更に個別ナノ粒子に分解される。次いで、T字形交差点 430、440はそれぞれ、反応器 400の底部分 380に連結されている(入口 432、434、442、444を介して)。これにより、ナノファイバーは更なる処理のために反応器 400に戻ることができる。このプロセスは、ナノファイバーの各クラスタが全てナノ粒子へと分解され、中央管を通過してノズルに送られるまで、各クラスタについて継続される。最後の工程として、個別化されたナノファイバーはノズルから任意の基材上にエアスプレーされるか、任意の繊維紡糸流と混合される。このプロセスにおいて、吸引力は最大 20 psi、圧力は最大 100 psi である。

40

特定の実施形態では、繊維化システム 150は、ナノファイバーがノズルを通過するのに適した個別ナノ粒子へと分解された時点を判断するためにナノファイバーを監視する独立した制御システムを含み得る。制御システムは、例えば、ナノファイバーをナノ粒子へと分解するのに十分な圧力がナノファイバーに加えられていることを確認するために、シ

50

ステム全体の圧力を単純に監視してもよい。あるいは、この制御システムは、ナノ粒子の質量又はサイズ等の特性を検出するためにシステムを介して配置されたさまざまなセンサーで構成されてもよい。センサーは、例えば反応器400内に配置され、反応器400の種々のパラメータ、例えば出口392、394、396、398に適用される負圧、環状チャンバを通過する渦の速度、ナノ粒子をノズルに引き込む中央管に適用される圧力等を制御システムが制御できるようにする。

#### 【0046】

図18は、不織布材料の複数の層を製造するためのシステム500の別の実施形態を示す。図示のように、システム500は、第1及び第2の巻出機502、504と、システム500を下流へ通る第1及び第2の基材510、512を巻き取るための単一の巻取機506とを備える。前述の実施形態と同様に、システム500は更に、基材510、512のそれぞれについて支持面(図示せず)を含み得る。後述するように、第1及び第2の巻出機502、504は、第1及び第2の基材510、512をプロセスへと進める役割を果たし、基材は当該プロセスでひとつに合わされ、単一の巻取機506で巻き取られる。

10

システム500は、結合剤を第1及び第2の基材510、512に適用するための、それぞれ第1及び第2の巻出機502、504の下流に位置づけられた第1及び第2のスプレーコーター520、522を含む。システム500は更に、スプレーガン520、522のそれぞれの下流に位置する1及び第2の繊維化システム/デバイス530、532を含む。前述のように、繊維化デバイス530、532は個別ナノ粒子を生成し、それらのナノ粒子を基材510、512上に分散する。

20

ナノ粒子が基材510、512内に分散された後、上記2つの基材は分岐点540でひとつに合わされ、一緒に下流へと進められる。上記2つの基材は、この点で互いに結合されてもよく、又は単に一方が他方の上に置かれてもよい。

システム500は更に、IRオープン等のヒーター/乾燥デバイス550を、2つの基材の分岐点540の下流に含む。加熱/乾燥デバイスは、2つの基材を加熱・乾燥して互いに結合し、ナノ粒子を基材内の繊維に結合させる。基材は、例えば、互いに積層されてもよい。

特定の実施形態では、ナノ粒子は、基材510、512の両方に分散される。1つのそのような実施形態では、システム500は、ナノ粒子が基材のそれぞれの第1の表面を通して分散されるように設計される。基材は、第1の表面が互いに向かい合うように接合できる。あるいは、第1の表面は互いに向かい合っていない(すなわち、各基材の第2の反対側の表面で基材を接合している)場合がある。更に別の実施形態では、第1の基材の第1の表面は第2の基材の第2の表面に接合されている。

30

#### 【0047】

図19は、フィルター媒体710の少なくとも一部分に分散された繊維722とナノ粒子720とを含む不織布材料のフィルター媒体710を含むフィルター製品700を示す。図示のように、フィルター媒体710は、第1の上面712と第2の下面714とを有する。ナノ粒子は、上面712を通過して分散され、上記のように、上面712を超えて、フィルター媒体710の深部まで広がる。フィルター製品700は更に支持層730を含み、支持層は、フィルター媒体710への支持を提供する実質的に硬質のポリマー、又は中を通過する気体又は流体のための複数の開孔を有する開孔フィルム(上述)等、当該技術分野で既知の任意の好適な支持層であってもよい。

40

#### 【0048】

図20は、フィルター媒体710の一部を通して分散された繊維722とナノ粒子720とを含む不織布材料のフィルター媒体710を含む別のフィルター製品740を示す。この実施形態では、製品740は、支持層730に結合されたスクリム層750を含む。

#### 【0049】

図21は、互いに結合した第1及び第2のフィルター媒体762、764を含む二層フ

50

フィルター製品 760 を示す。図示のように、ナノ粒子 720 は、各フィルター媒体 762、764 の深部全体に分散されている。この実施形態では、ナノ粒子 720 は、フィルター媒体 762、764 の内面 766、768 を通して分散されている。別の実施形態（図示せず）では、ナノ粒子は、フィルター媒体 762、764 の外表面 770、772 を通して分散される。更に別の実施形態では、ナノ粒子 720 は、媒体 762 の内表面 766 及び媒体 764 の外表面 772 上に堆積され得る。

#### 【0050】

別の態様では、不織布材料を製造するシステムは、1つ以上の繊維の流れを生成するための第1のデバイスと、気体媒体内のナノ粒子を孤立化するための第2のデバイスとを含む。第2のデバイスは、ナノ粒子を流れの中に分散し、この流れを繊維の流れに供給して不織布材料を形成する。システムは更に、第2のデバイスに連結され、ナノ粒子を繊維の流れに実質的に均一に供給するように構成された、ノズル等の分散デバイスを含み得る。繊維の流れは、当該技術分野で既知の任意の好適な機構、例えば、メルトブローン、スパンボンド又はスパンレース、熱結合、カード、エアレイド、ウェットレイド、押出、共形成、ニードルパンチ、ステッチ、水圧交絡等によって生成され得る。

一例では、システムはスパンボンドラインを含んでもよく、当該ラインでは、熔融ポリマーを紡糸し、熔融フィラメントを伸張することでフィラメントが形成される。フィラメントの繊維束を分離して広げ、網の上に重ねてウェブを形成する。繊維は、熱的接着及びエンボス加工によってシート形態で結合される。例えば、第1の流れ 630 は、減衰ゾーンの前又は結合（圧密）プロセスの前に導入されてもよい。

別の実施形態では、システムは互いに直列に配置された2つのカード機を備え得る。第1の流れ 630 は、ナノ粒子が2つのカード繊維ウェブに挟まれるように、第1のカード加工ラインの後、かつ第2のカード加工ラインの前の任意の時点で導入され得る。その後、ナノ粒子を含む繊維の全てが、エアスルーボンド用オープン内で結合される（ナノ粒子は、熱的に絡み合う）。

#### 【0051】

1つ以上の繊維流れを生成するための別の実施形態を図22に示す。この実施形態では、ナノ粒子は2つのメルトブローダイの間に分散され、当該ダイでは熔融ポリマーを小さな穴に押し通して熔融繊維を生成する。ナノ粒子が粘着性のままの状態の繊維と接触すると、ナノ粒子は機械的に繊維と交絡し、繊維に熱的に接着される。従って、いくつかの実施形態では、追加の結合プロセスを必要としない。

図22に示すように、繊維質不織布構造を形成するための装置 600 は、上記のシステム及びデバイスのうちの1つに類似した繊維化システム 610 を備える。繊維化システム 610 は、個別ナノ粒子を第1の流れ 630 に分散させるためのノズル 620 又は類似のデバイスを含む。装置 600 は更に、個別ナノ粒子の流れ 630 と組み合わせられる繊維の1つ以上の流れを生成するためのシステムを含む。このシステムは、スパンボンド、カード加工、押出等のような当該技術分野で既知のシステムを含み得る。

別の実施形態では、装置は、第1及び第2の押出機 650、652 に連結されている第1及び第2のフィーダー、例えば、ホッパー 640、642 を備える。各押出機は、例えば、従来の駆動モーター（図示せず）で駆動する押出スクリュウ（図示せず）を備え得る。ポリマーが押出機 650、652 を通って進むにつれて、駆動モーターによる押出スクリュウの回転により、ポリマーは熔融状態へと徐々に加熱される。熱可塑性ポリマーを熔融状態まで加熱することは、複数の別個の段階で達成されてよく、温度は、押出機 650、652 の別個の加熱ゾーンを通して2つのメルトブローダイ 660、662 にそれぞれ進むにつれて徐々に上昇される。メルトブローダイ 660、662 は、熱可塑性樹脂の温度が押出のために高いレベルに維持される更に別の加熱ゾーンであってもよい。

各メルトブローダイ 660、662 は、メルトブローダイの中の小さな穴又はオリフィス 672 から糸が出るときに、1つのダイにつき2つの減衰気体の流れが収束して熔融糸を同伴及び減衰する単一の気体の流れを形成するように構成される。熔融糸 20 は、減衰されて繊維となるか、又は減衰の程度によってはマイクロファイバーとなり、その小径は

通常オリフィス 672 の直径より小さい。従って、各メルトブローダイ 660、662 は、同伴された減衰ポリマー繊維を含有する気体の対応する単一の一次空気の流れ 680、690 を有する。

ポリマー繊維を含有する一次空気の流れ 680、690 は、形成ゾーン 700 で収束するように配列されている。更に、個別ナノ粒子の第 1 の流れ 630 は、形成ゾーン 30 で熱可塑性ポリマー繊維又はマイクロファイバーの 2 つの一次空気の流れ 680、690 に追加される。繊維の 2 つの一次空気の流れ 680、690 への個別ナノ粒子の導入は、繊維の一次空気の流れ 680、690 の組み合わせの中で二次繊維質材料 32 の分布を生じるように設計されている。これは、個別ナノファイバーの第 1 の流れ 630 を 2 つの一次空気の流れ 680、690 の間で合流し、3 つの気体の流れ全てが制御された方式で収束

10

するようにすることで達成できる。

不織布材料の製造に利用できる好適なメルトブローダイの例は、米国特許第 6,972,104 号明細書、米国特許第 8,017,534 号明細書、及び米国特許第 7,772,456 号明細書、並びに米国特許出願公開第 20200216979 号 (A1) 明細書に更に詳述されており、これらの全開示を参照によりあらゆる目的で本明細書に援用する。

#### 【0052】

実施形態 1 は、第 1 の表面と反対側の第 2 の表面とを有する繊維基材と、基材内に、少なくとも第 1 の表面と第 2 の表面との間に配置されたナノ粒子と、を含むフィルター媒体であって、ナノ粒子は少なくとも 1 つの次元が 1 ミクロン未満であり、ナノ粒子の面積密度は、第 1 の表面から第 2 の表面へ向かって減少する、フィルター媒体である。実施形態 2 は、不織布繊維基材に約 0.1 g/m<sup>2</sup> (gsm) ~ 約 20 g/m<sup>2</sup> (gsm) のアドオン量のナノ粒子を更に含む、実施形態 1 に記載のフィルター媒体である。実施形態 3 は、アドオン量が 2 g/m<sup>2</sup> (gsm) 以上である、実施形態 1 又は 2 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

20

実施形態 4 は、第 1 の表面の近傍又は付近に配置されたナノ粒子は、第 2 の表面の近傍又は付近に配置されたナノ粒子よりも数が多い、実施形態 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 5 は、ナノ粒子が、基材内に、第 1 の表面から少なくとも第 1 の表面と第 2 の表面との間の中間点まで配置されている、実施形態 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 6 は、ナノ粒子が、基材内に、第 1 の表面から第 2 の表面まで配置されている、実施形態 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

30

実施形態 7 は、中間点におけるナノ粒子の面積密度が、第 1 の表面におけるナノ粒子の面積密度の約 25% である、実施形態 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 8 は、第 2 の表面におけるナノ粒子の密度が、第 1 の表面におけるナノ粒子の面積密度の約 50% である、実施形態 1 ~ 7 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 9 は、基材が、約 3 デニール以上の線密度を有する繊維を含む、実施形態 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 10 は、繊維が少なくとも約 5 デニールの線密度を有する、実施形態 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

40

実施形態 11 は、繊維が、コアとシースとを有するバイオコンポーネント繊維である、実施形態 1 ~ 10 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 12 は、繊維がコアとシースとを有するバイオコンポーネント繊維であり、更に、コアはシースから偏心している、実施形態 1 ~ 11 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 13 は、フィルター媒体に結合された実質的に硬質の支持層を更に含む、実施形態 1 ~ 12 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 14 は、繊維基材が、その中を液体が流れるための (flow of or liquid) 1 つ以上の開孔部を含む押出フィルムを備える、実施形態 1 ~ 13 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 15 は、開孔部が、六角形、円形、正方形又は菱形である、実施形態 14 に記載のフィルター媒体である。

50

実施形態 16 は、繊維基材が、基材内にひだを形成するための少なくとも 1 つの折り目を備える、実施形態 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 17 は、繊維基材の表面を横切って延びる複数のひだを更に含む、実施形態 1 ~ 16 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 18 は、繊維基材が、ひだなしである、実施形態 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 19 は、基材がメッシュ、ネット、布、編物、又は織物を含む、実施形態 1 ~ 18 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 20 は、繊維基材が、ポリプロピレンフィルム、高密度ポリエチレンフィルム、及びポリ乳酸フィルムからなる群から選択される、実施形態 1 ~ 19 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。 10

実施形態 21 は、繊維基材が、フェイスマスクのための柔軟な表面層である、実施形態 1 ~ 20 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 22 は、ナノ粒子が、生体溶解性ガラスナノファイバーであり、繊維基材が、ポリエステル及びポリエチレンからなる群から選択されるマイクロファイバーを有する、実施形態 1 ~ 21 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 23 は、ナノ粒子が、気体内に取り込まれ、個別化され、かつ繊維質基材の第 1 の表面を通して分散される、実施形態 1 ~ 22 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 24 は、繊維基材、ナノ粒子、又はその両方が静電荷を有する、実施形態 1 ~ 23 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。 20

実施形態 25 は、ナノ粒子が、炭素繊維、ガラス繊維、ポリプロピレン繊維、ナイロン繊維、ポリ乳酸繊維、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される、実施形態 1 ~ 24 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。

実施形態 26 は、フィルター媒体が、MERV 評価が約 10 超であり、圧力損失が約 0.5 水柱インチ未満である、実施形態 1 ~ 25 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 27 は、MERV 評価が約 13 であり、圧力損失が約 0.36 水柱インチ以下である、実施形態 1 ~ 26 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。実施形態 28 は、MERV 評価が約 14 であり、圧力損失が約 0.5 水柱インチ以下である、実施形態 1 ~ 27 のいずれか 1 つに記載のフィルター媒体である。 30

実施形態 29 は、ナノ粒子を基材内に保持する結合剤を不織布繊維基材内に更に含む、請求項 1 に記載のフィルター媒体である。実施形態 30 は、結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、PVOH 及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、実施形態 29 に記載のフィルター媒体である。実施形態 31 は、結合剤がポリマー接着剤である、実施形態 29 に記載のフィルター媒体である。

#### 【0053】

実施形態 32 は、1 ミクロン超の直径を有する繊維と、第 1 の表面と第 1 の表面の反対側の第 2 の表面とを含む基材と；基材の内部構造内に配置された複数のナノ粒子とを含むフィルター媒体を備えるフィルターであって、ナノ粒子は少なくとも 1 つの次元が 1 ミクロン未満であり、ナノ粒子のアドオン量は第 1 の表面から第 2 の表面へ向かって減少する、フィルターである。 40

実施形態 33 は、不織布繊維基材内のナノ粒子のアドオン量が約  $0.1 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) ~ 約  $20 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) である、実施形態 32 に記載のフィルターである。実施形態 34 は、アドオン量が  $2 \text{ g/m}^2$  ( $\text{g s m}$ ) 以上である、実施形態 32 又は 33 のいずれか 1 つに記載のフィルターである。

実施形態 35 は、基材中の繊維が、 $\text{g/m}^2$  単位の第 1 の面積密度を有し、ナノ粒子が、 $\text{g/m}^2$  単位の第 2 の面積密度を有し、第 1 の面積密度の第 2 の面積密度に対する比が約 100 以下である、実施形態 32 ~ 34 のいずれか 1 つに記載のフィルターである。実施形態 36 は、上記比が約 67 以下である、実施形態 32 ~ 35 のいずれか 1 つに記載のフィルターである。実施形態 37 は、上記比が約 33.5 以下である、実施形態 32 ~ 3 50

6のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態38は、上記比が約22.3以下である、実施形態32~37のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態39は、ナノ粒子が、基材内で第1の表面と第2の表面との間に勾配状に配置されている、実施形態32~38のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態40は、フィルター媒体に結合された実質的に硬質の支持層を更に含む、実施形態32~39のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態41は、繊維基材が、その中を液体が流れるための(flow of or liquid)1つ以上の開孔部を含む押出フィルムを更に含む、実施形態32~40のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態42は、開孔部が、六角形、円形、正方形又は菱形である、実施形態41に記載のフィルターである。

実施形態43は、繊維基材が、基材内にひだを形成するための少なくとも1つの折り目を備える、実施形態32~42のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態44は、基材の表面を横切って延びる複数のひだを更に含む、実施形態32~43のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態45は、基材がメッシュ、ネット、布、編物、又は織物を含む、実施形態32~44のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態46は、基材が、フェイスマスクのための柔軟な表面層である、実施形態32~45のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態47は、フィルター媒体は、MERV評価が約10超であり、圧力損失が約0.5水柱インチ未満である、実施形態32~46のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態48は、MERV評価が約13であり、圧力損失が約0.36水柱インチ以下である、実施形態32~47のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態49は、MERV評価が約14であり、圧力損失が約0.5水柱インチ以下である、実施形態32~47のいずれか1つに記載のフィルターである。

実施形態50は、ナノ粒子を基材内に保持する結合剤を基材内に更に含む、実施形態32~49のいずれか1つに記載のフィルターである。実施形態51は、結合剤が、デンプン、デキストリン、グアーガム、PVOH及び合成樹脂からなる群から選択される材料を含む、実施形態50に記載のフィルターである。

#### 【0054】

##### 実施例1

内側のポリエステル製の円形部分と、外側のHDPEの同心円部分とを有する二成分繊維のマイクロファイバー基材をロール状で提供した。ロールtoロールプロセスでは、基材に接着剤を噴霧し、生体溶解性ガラス繊維のナノファイバー又はナノ粒子を堆積させた。次いで、不織布製品をオープン内で加熱して、冷却した不織布製品を別のロール上に集めた。

ナノ粒子は、下の図12~図16に記載のプロセスに従って堆積される。実験では、生体溶解性ガラスナノファイバーを使用する。ナノファイバーの直径は約700nmであり、長さは約500ミクロンである。二成分繊維で作製されたカード式エアスルーボンド不織布を、以下の実施例において基材として使用する。

フラットシートフィルター媒体試料を110fpmの濾過速度で試験した。試料サイズは12"×12"であった。0.3~10ミクロンの範囲のNaCl塩粒子を汚染物質として使用した。

#### 【0055】

##### 実施例2

3デニールのPET/PE二成分繊維で作製したカード式不織布を基材として使用する。水、2-ヘキソキシエタノール、イソプロパノールアミン、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ラウラミンオキシド、水酸化アンモニウムを含む組成物を、バインダーとして使用する。異なるナノファイバーアドオン量は、ライン速度を調節することによって制御される。

10

20

30

40

50

【表 1】

試料	gsm	ナノ粒子アドオン gsm	圧力損失 ” H2O	粒子群			MERV 評価
				E1	E2	E3	
基材	54.9		0.07	0	17	58	7
A1	55.7	0.82	0.14	23	62	94	10
A2	56.5	1.64	0.17	32	73	97	11
A3	57.4	2.46	0.24	47	86	98	12

10

この例は、ナノ粒子のアドオン量を制御することで、MERV評価がMERV7からMERV13まで上昇することを示す。

## 【0056】

## 実施例 3

5デニールの二成分繊維を有するハイロフトのエアスルーカード式不織布を基材として使用する。ナノファイバー分散の前に、典型的なデンプンバインダーを希釈し、噴霧する。IRヒーターの下で溶媒が蒸発し、乾燥が起こるにつれて、デンプンがナノファイバーを十分に結合する。

20

【表 2】

試料	圧力損失 ” H2O	粒子群			MERV 評価
		E1	E2	E3	
B1	0.1	24%	58%	88%	10
B2	0.17	34%	71%	90%	11
B3	0.26	47%	85%	98%	12
B4	0.29	59%	91%	99%	13
B5	0.5	76%	97%	100%	14

30

## 【0057】

## 実施例 4

スパンボンド又はメルトブローン媒体を基材として使用し、ナノ粒子を、IPA放出後に本明細書に記載のように基材に組み込んだ。スパンボンド繊維は、熔融ポリマーを紡いで引き抜いてフィラメントを形成することで作製した。基材の平均坪量は約90gsmであり、平均厚さは約0.57mmであった。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を含む4つの別々の試料を調製した。試料2では、IPA放出後にメルトブローン繊維にナノ粒子を組み込んだ。試料1、3及び4では、IPA放出後にナノ粒子をスパンボンド繊維に組み込んだ。この試験の結果を下の表3にまとめる。

40

50

【表 3】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
1	CAB81 (スパンボンド)	0.41	96%	100%	100%	16
2	CAB81 (メルトブローン)	0.24	75%	98%	100%	14
3	CAB81 (スパンボンド)	0.40	92%	100%	100%	15
4	CAB81 (スパンボンド)	0.17	48%	87%	99%	12
基本	CAB81 (スパンボンド)	0.07	9%	46%	90%	9

10

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだフィルター媒体試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも増加し、E2及びE3粒子群で有意に増加した。試料の全体的なMERV評価は、MERV7（基本試料）からMERV12～MERV16（ナノ粒子あり）まで上昇した。ナノ粒子を含まない基本試料は、0.07水柱インチの圧力損失を示した。試料1～4は、0.17～0.41水柱インチの範囲のわずかに増加した圧力損失を有した。試料2では、ナノ粒子がメルトブローン繊維に組み込まれ、MERV評価は14で圧力損失は0.24水柱インチであった。

20

## 【0058】

## 実施例5

5デニールのエアスルーカード繊維を基材（*substrate*）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を含む2つの別々の試料を調製した。この試験の結果を下の表4にまとめる。

【表 4】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.31	57%	90%	98%	13
2	5Dカード繊維	0.33	61%	92%	98%	13

30

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだフィルター媒体試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した。試料の全体的なMERV評価は、MERV6（基本試料）からMERV13（ナノ粒子あり）まで上昇した。ナノ粒子を含まない基本試料は、0.03水柱インチの圧力損失を示した。試料1は、0.31～0.33水柱インチの範囲のわずかに増加した圧力損失を有した。

40

## 【0059】

## 実施例6

メルトブローン繊維を基材として使用した。基材は、平均坪量が24gsmで、平均厚さが約0.4mmであった。ナノ粒子、又はPVOH等の接着剤を組み込んでいない基本試料を使用した。試料1は、ベルトを上にしたメルトブローン繊維を含んだ。PVOHを繊維に噴霧したが、ナノ粒子はそこに組み込まれなかった。試料2は、毛羽立ち側を上にしたメルトブローン繊維を含んだ。PVOHを繊維に噴霧したが、ナノ粒子はそこに組み込まれなかった。試料3は、上にPVOHが噴霧されたメルトブローン繊維と、本明細書に記載のように繊維に組み込まれたナノ粒子とを含んだ。この試験の結果を下の表5にまとめる。

50

【表 5】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	メルトブローン	0.35	82%	96%	99%	14
1	メルトブローン	0.38	68%	88%	93%	13
2	メルトブローン	0.41	78%	95%	97%	14
3	メルトブローン	1.02	92%	99%	99%	15

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ試料3の効率は、3つの粒子群全てにおいて他の3つの基本試料よりも増加し、特にE1粒子群で増加した。試料3の全体的なMERV評価は、MERV13又は14（基本試料）からMERV15（ナノ粒子あり）まで上昇した。試料2及び3に添加したPVOHは圧力損失を実質的に増加しなかった（すなわち、基本試料において0.35、試料1及び2において0.38及び0.41。試料3の圧力損失は、約0.40水柱インチから約1水柱インチへと増加した。試料3では、ナノ粒子がメルトブローン繊維に組み込まれ、MERV評価は15、圧力損失は1.02水柱インチであった。

10

## 【0060】

## 実施例7

5デニールのエアスルーカード繊維を基材（*substrate*）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を有する5デニールのカード繊維を含む追加の7つの試料を調製した。この試験の結果を下の表6にまとめる。

20

【表 6】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.07	7%	31%	69%	7
2	5Dカード繊維	0.09	5%	36%	69%	7
3	5Dカード繊維	0.15	16%	51%	77%	9
4	5Dカード繊維	0.16	21%	58%	81%	10
5	5Dカード繊維	0.17	31%	70%	90%	11
6	5Dカード繊維	0.28	46%	85%	96%	12
7	5Dカード繊維	0.32	58%	91%	97%	13

30

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ7つの試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも増加し、特にE2及びE3粒子群で増加した。全体的なMERV評価は、MERV6（基本試料）からMERV7～MERV13（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、0.03水柱インチから、最大で0.32 in H<sub>2</sub>Oまでしか増加しなかった。

40

## 【0061】

## 実施例8

ハイロフトスパンボンド繊維を、連続繊維ラインにおいて基材（*substrate*）として使用した。この試験は、2つの異なるバージョンを含んだ：異なる質量及び厚さの2つの基材を製造するために、連続繊維ラインの設定を変更した205-6と205-2。各バージョン（205-6及び205-2）について、ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように基材に組み込まれたナノ粒子を有する205-6及び205-2の繊維を含む追加の6つの試料を調製した。この試験の結果を下の表7にまとめる。

50

【表 7】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	205-6	0.04	0%	9%	43%	6
基本	205-2	0.04	0%	8%	37%	6
1	205-6	0.86	88%	98%	99%	15
2	205-2	0.48	79%	96%	99%	14
3	205-6	0.87	82%	97%	99%	14
4	205-2	0.42	61%	90%	98%	13
5	205-6	0.78	79%	97%	99%	14
6	205-2	0.23	44%	79%	96%	11

10

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ6つの試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なMERV評価は、MERV6（基本試料）からMERV11～MERV14（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、0.04水柱インチから、最大で0.87水柱インチまでしか増加しなかった。205-2試料の圧力損失は、最大0.48inH<sub>2</sub>Oまでしか増加しなかった。

## 【0062】

## 実施例9

20

スパンボンド繊維及びメルトブローン繊維を基材として使用した。基材の平均坪量はスパンボンド繊維で約70gsm、メルトブローン繊維で約24gsmであり、基材の平均厚さは約0.75mmであった。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。本明細書に記載のように繊維内にナノ粒子を有するスパンボンド+メルトブローン繊維を含む、追加の5つの試料を調製した。試料1～3では、ナノ粒子をメルトブローン繊維に噴霧した。試料4及び5では、ナノ粒子をスパンボンド繊維に噴霧した。また、試料1及び2では、接着剤PVOHを基材に噴霧しなかった。PVOHは、試料3～5に噴霧した。この試験の結果を下の表8にまとめる。

【表 8】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	スパンボンド+MB	0.07	2%	17%	29%	5
1	スパンボンド+MB	0.41	100%	100%	100%	16
2	スパンボンド+MB	0.56	100%	100%	100%	16
3	スパンボンド+MB	0.26	99%	100%	100%	16
4	スパンボンド+MB	0.4	100%	100%	100%	16
5	スパンボンド+MB	0.17	97%	100%	100%	16

30

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ5つの試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なMERV定格は、MERV5（基本試料）からMERV16（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、0.07水柱インチから、最大で0.56水柱インチまでしか増加しなかった。試料3～5（PVOHが基材に噴霧されている）では、圧力損失は最大で0.4水柱インチまでしか増加しなかった。

40

## 【0063】

## 実施例10

5デニールのエアスルーカードガラス繊維を基材（substrate）として使用した。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。ナノ粒子を組み込んだ5デニールのカードガラス繊維を含む、追加の3つの試料を調製した。この試験の結果を下の表9にま

50

とめる。

【表 9】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5Dカード繊維	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5Dカード繊維	0.27	59%	91%	99%	13
2	5Dカード繊維	0.18	45%	83%	98%	12
3	5Dカード繊維	0.24	54%	89%	99%	13

10

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ3つの試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なMERV評価は、MERV6（基本試料）からMERV12～MERV13（ナノ粒子あり）まで上昇した。圧力損失は、0.03水柱インチから、最大で0.27水柱インチまでしか増加しなかった。

【0064】

実施例11

5デニール及び7デニールのエアスルーカードガラス繊維の繊維ブレンドを基材（substate）として使用した。媒体は、エアスルーポンドした。ナノ粒子を組み込んでいない基本試料を使用した。中にナノ粒子を組み込んだ5デニールと7デニールのカードガラス繊維の繊維ブレンドを含む、追加の19の試料を調製した。この試験の結果を下

20

【表 10】

試料番号	基材	PD	E1	E2	E3	MERV
基本	5D/7D カード	0.03	-1%	2%	38%	6
1	5D/7D カード	0.15	37%	64%	95%	10
2	5D/7D カード	0.21	33%	70%	92%	11
3	5D/7D カード	0.17	42%	80%	98%	11
4	5D/7D カード	0.25	47%	82%	96%	12
5	5D/7D カード	0.20	48%	84%	98%	12
6	5D/7D カード	0.22	49%	84%	98%	12
7	5D/7D カード	0.23	53%	85%	97%	13
8	5D/7D カード	0.23	53%	87%	98%	13
9	5D/7D カード	0.23	54%	88%	98%	13
10	5D/7D カード	0.27	54%	88%	98%	13
11	5D/7D カード	0.28	54%	87%	98%	13
12	5D/7D カード	0.24	56%	89%	98%	13
13	5D/7D カード	0.26	56%	88%	98%	13
14	5D/7D カード	0.25	57%	90%	98%	13
15	5D/7D カード	0.27	57%	89%	98%	13
16	5D/7D カード	0.28	57%	89%	98%	13
17	5D/7D カード	0.28	58%	90%	98%	13
18	5D/7D カード	0.30	58%	90%	98%	13
19	5D/7D カード	0.29	59%	89%	98%	13
20	5D/7D カード	0.31	65%	94%	99%	13

30

40

表示のとおり、ナノ粒子を組み込んだ全19の試料の効率は、3つの粒子群全てにおいて基本試料よりも実質的に増加した効率を示した。全体的なMERV評価は、MERV6

50

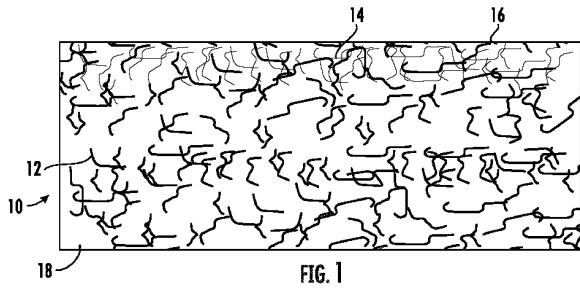
(基本試料)からMERV10~MERV13(ナノ粒子あり)まで上昇した(試料の大部分はMERV13と評価された)。圧力損失は、0.03水柱インチから、最大で0.31水柱インチまでしか増加しなかった。

【0065】

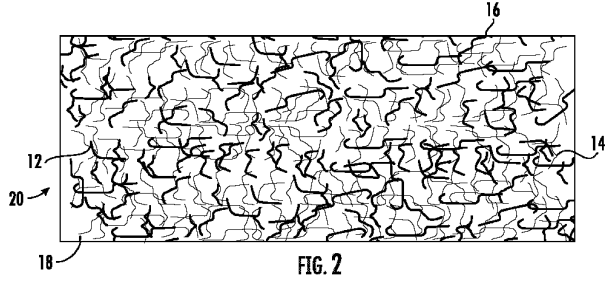
デバイス、システム、及び方法を、それらの特定の好ましい実施形態に従って本明細書に詳細に記載したが、多数の修正及び変更が当業者によって実施されてもよい。従って、上記記載は、それによって限定されるものと解釈すべきではなく、上記の明らかな変形を含むものと解釈すべきであり、以下の特許請求の範囲の精神と範囲によってのみ限定されるべきである。

【図面】

【図1】



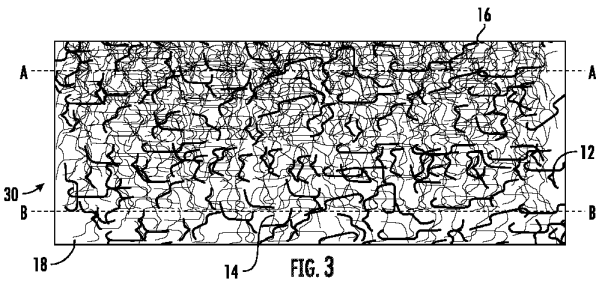
【図2】



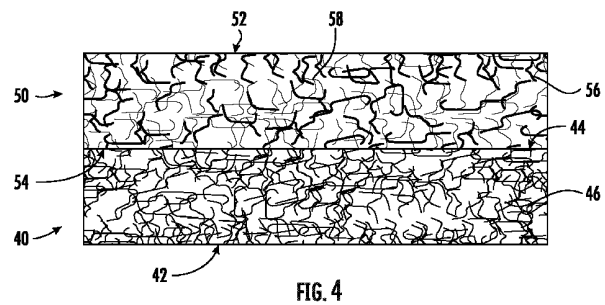
10

20

【図3】



【図4】



30

40

50

【 5 A 】

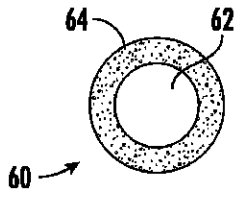


FIG. 5A

【 5 B 】

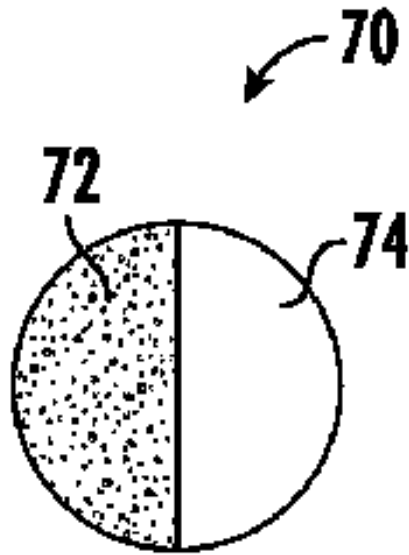


FIG. 5B

10

20

【 5 C 】

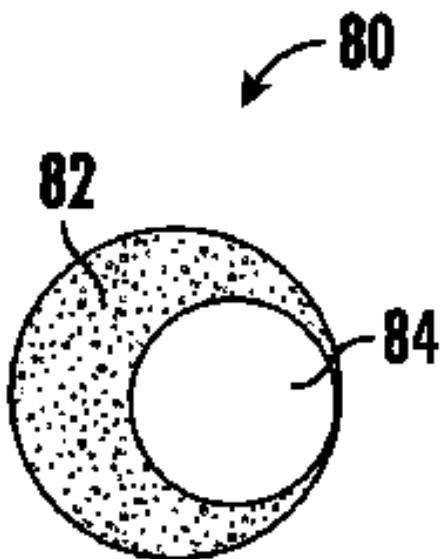


FIG. 5C

【 6 】

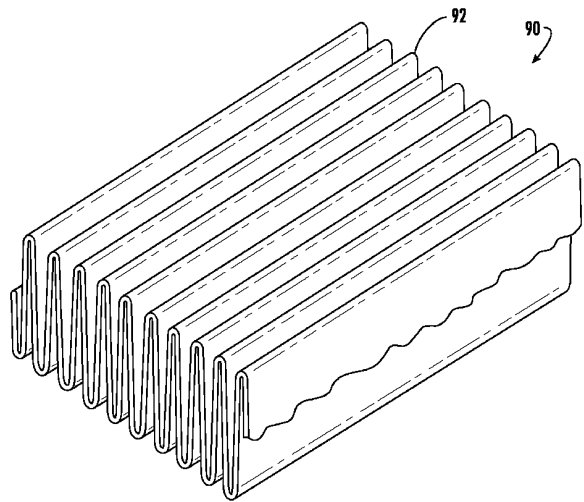


FIG. 6

30

40

50

【 図 7 】

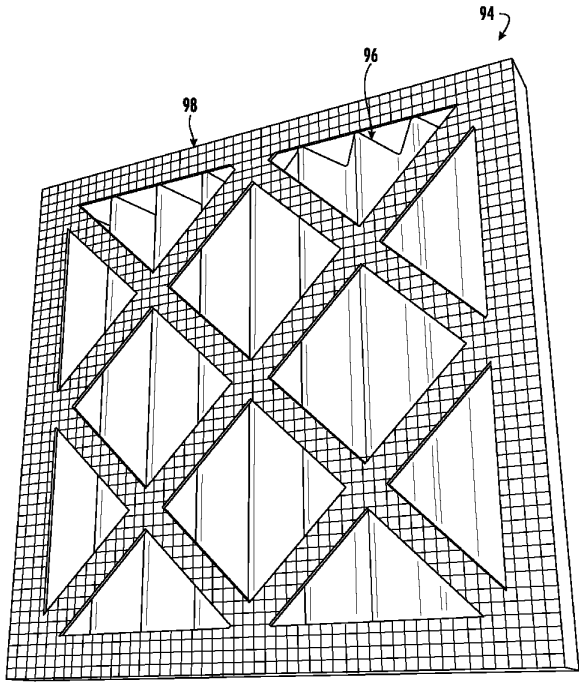


FIG. 7

【 図 8 】

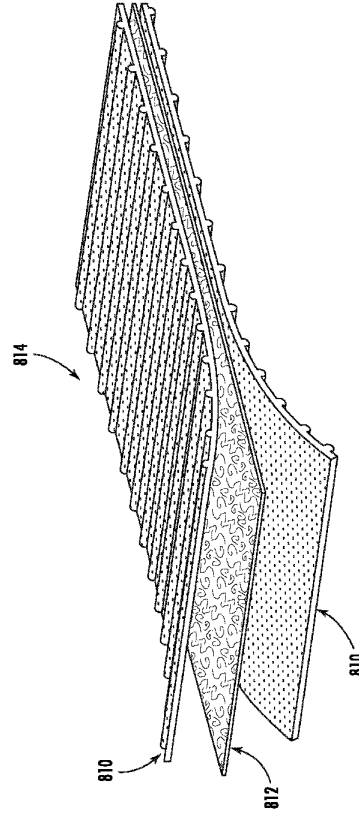


FIG. 8

10

20

【 図 9 A 】

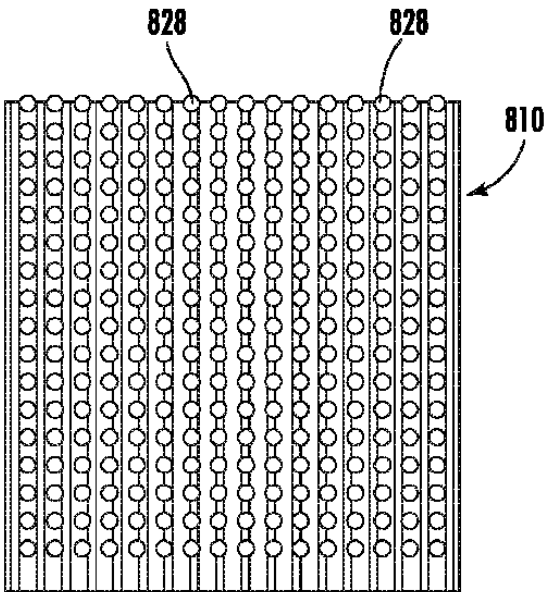


FIG. 9A

【 図 9 B 】

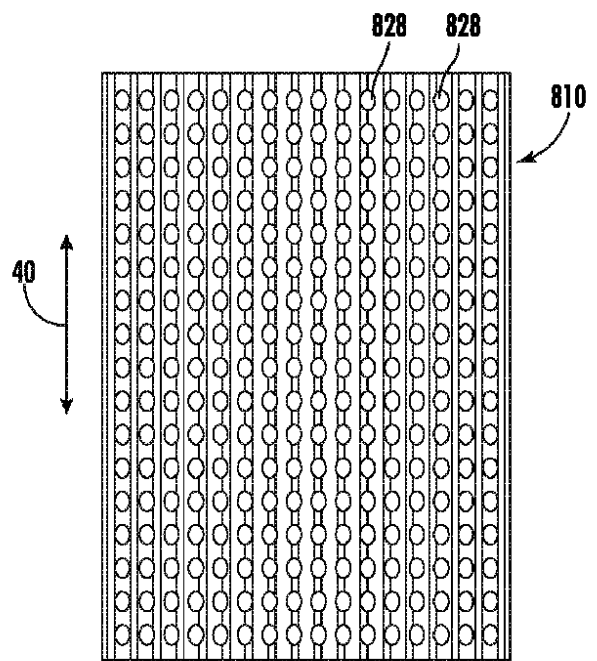


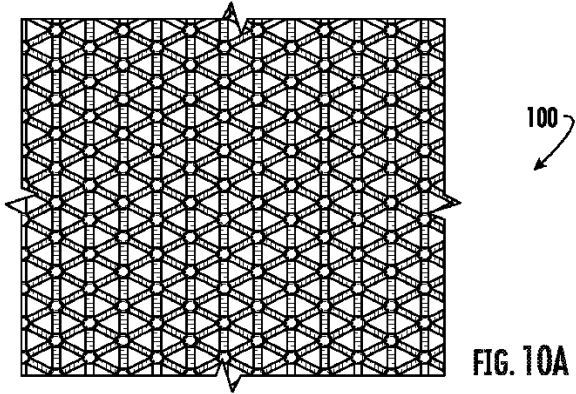
FIG. 9B

30

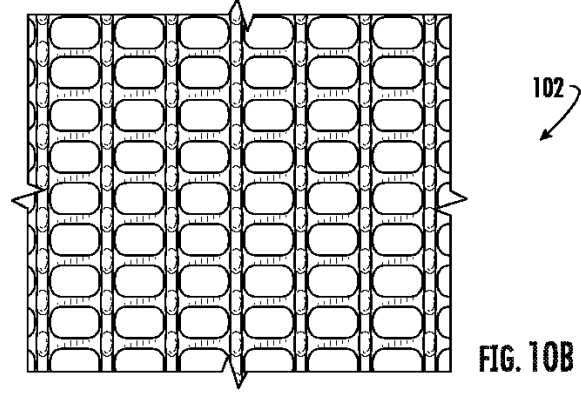
40

50

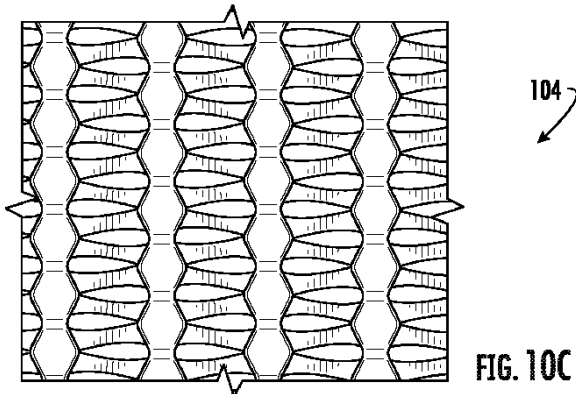
【 10 A 】



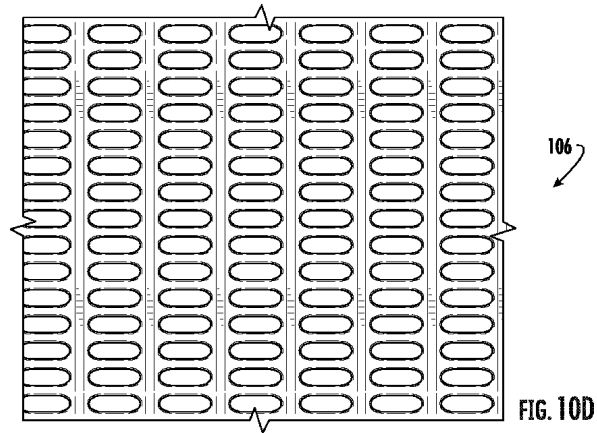
【 10 B 】



【 10 C 】



【 10 D 】



10

20

30

40

50

【 10 E 】

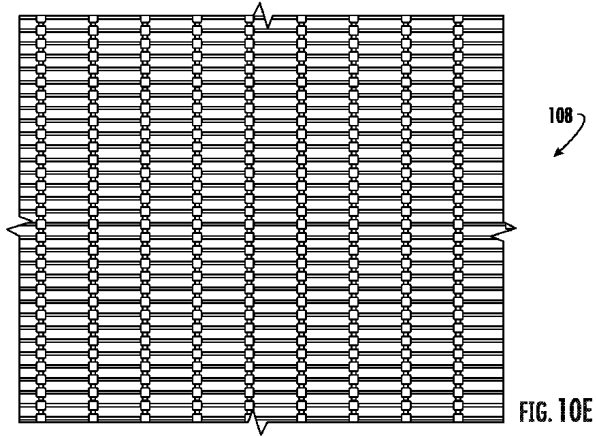


FIG. 10E

【 11 】

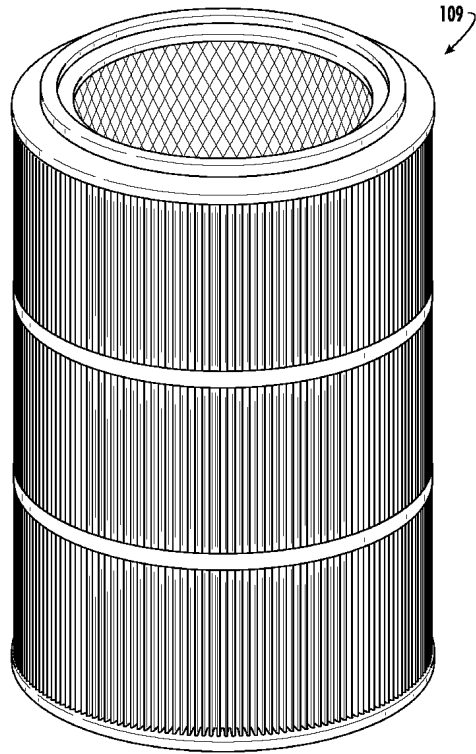


FIG. 11

10

20

【 12 】

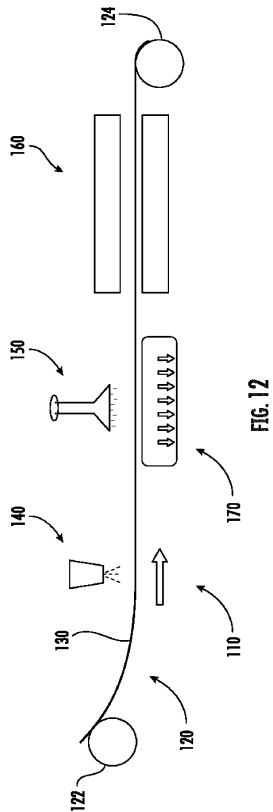


FIG. 12

【 13 】

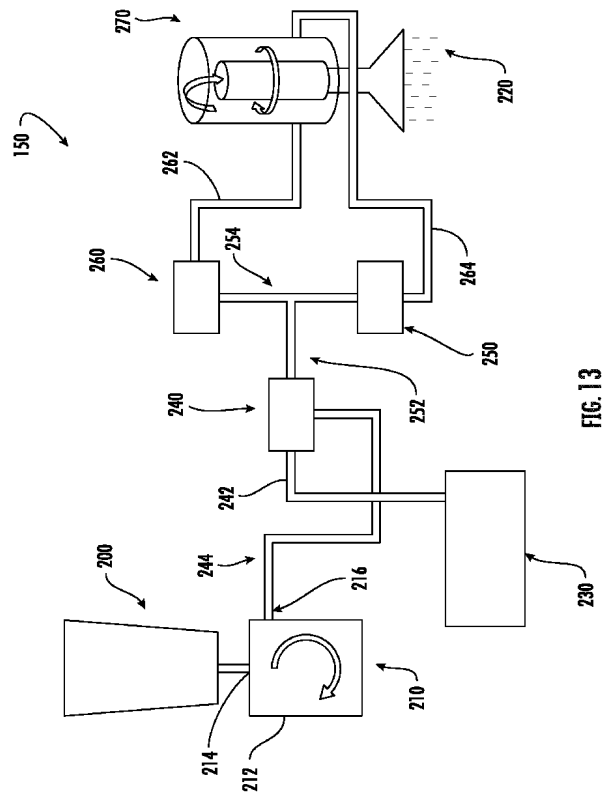


FIG. 13

30

40

50

【 14 A 】

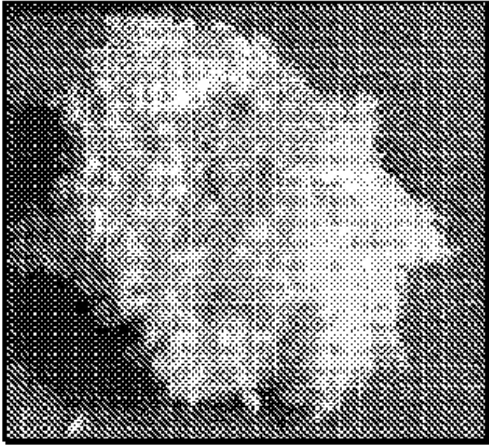


FIG. 14A

【 14 B 】

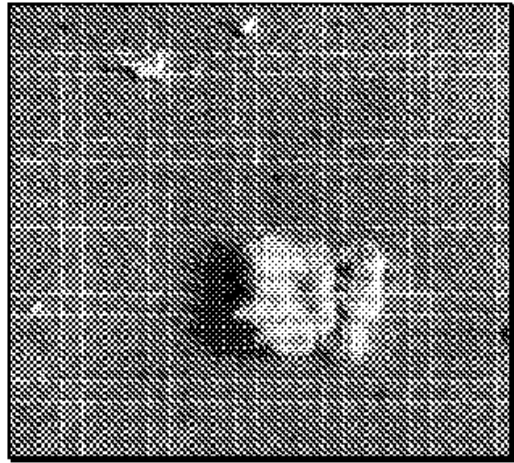


FIG. 14B

10

20

【 14 C 】

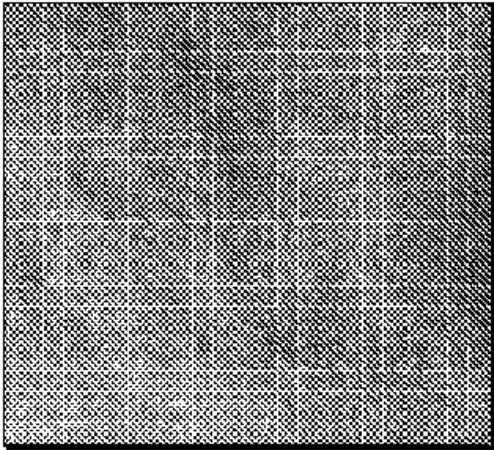


FIG. 14C

【 15 】

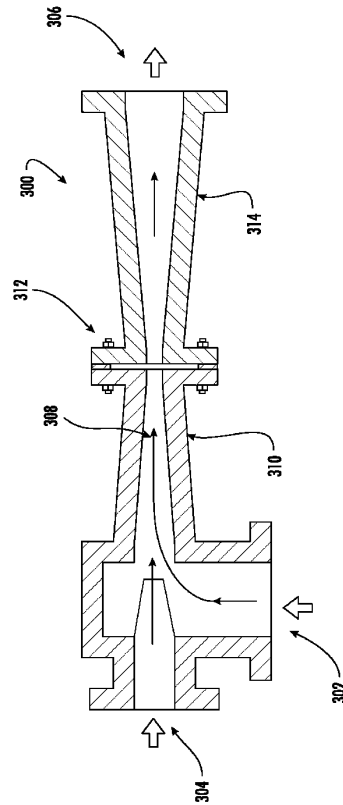


FIG. 15

30

40

50

【 図 1 6 】

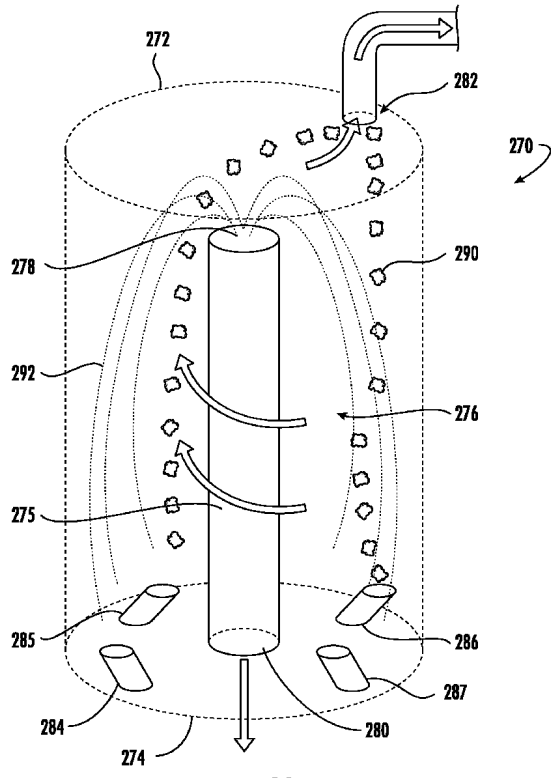


FIG. 16

【 図 1 7 】

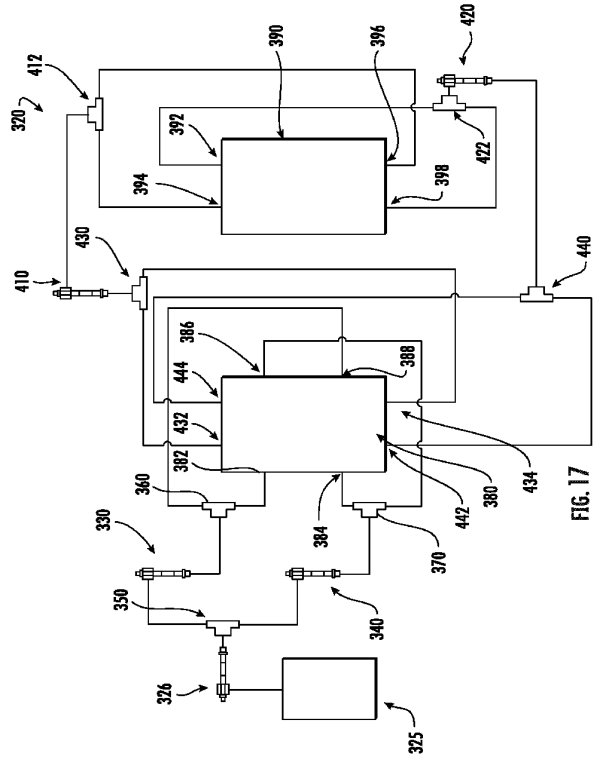


FIG. 17

10

20

【 図 1 8 】

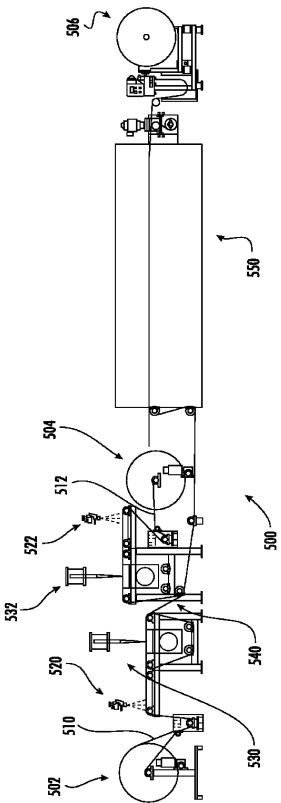


FIG. 18

【 図 1 9 】

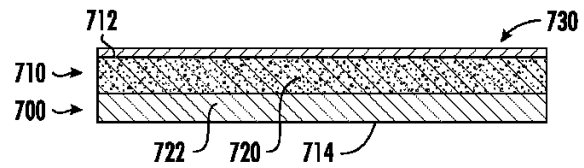


FIG. 19

30

40

50

【 図 2 0 】

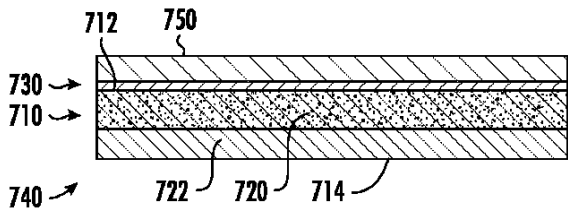


FIG. 20

【 図 2 1 】

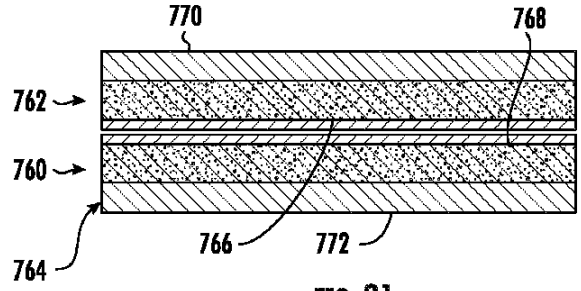


FIG. 21

10

【 図 2 2 】

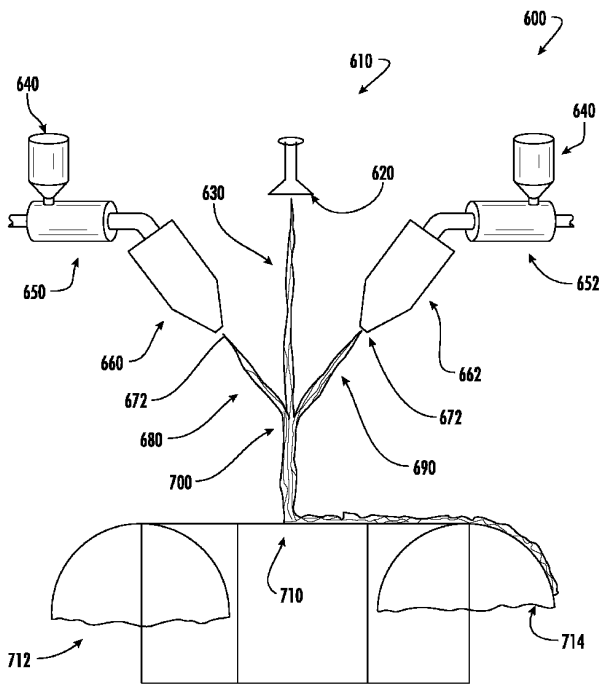


FIG. 22

【 図 2 3 A 】

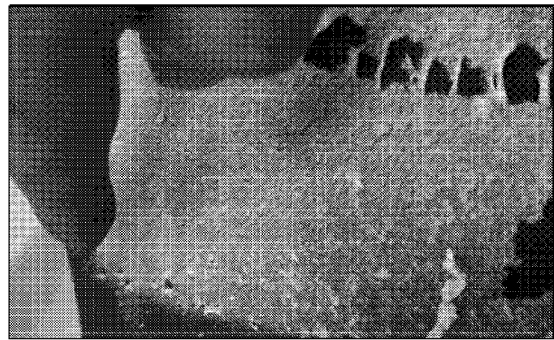


FIG. 23A

20

30

40

50

【 2 3 B 】

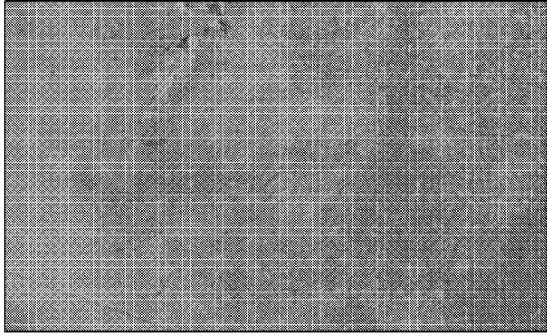


FIG. 23B

【 2 4 A 】

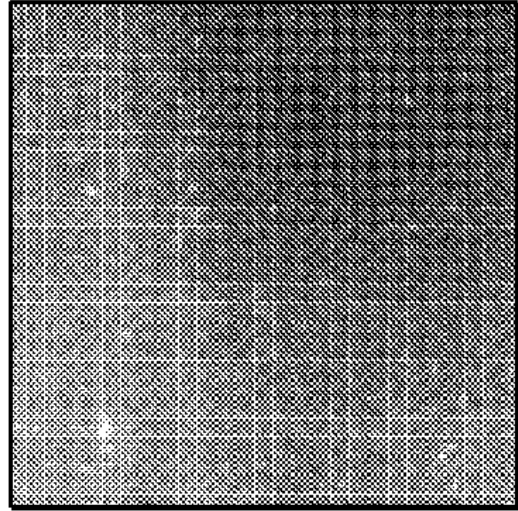


FIG. 24A

10

20

【 2 4 B 】

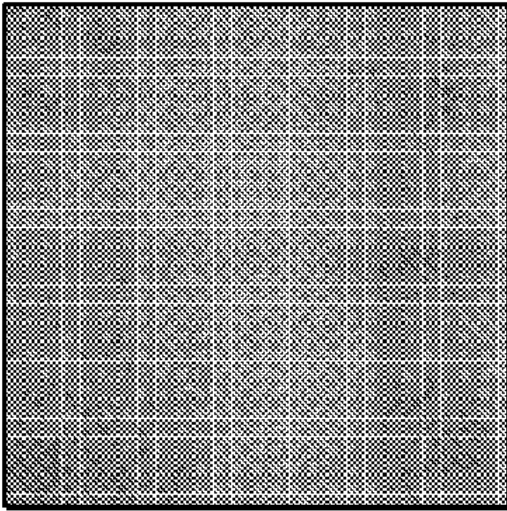


FIG. 24B

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US 23/17937

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC - INV. B01D 39/02, D04H 3/005, B01D 71/06, D01F 8/04, D01F 8/06, A41D 13/11, B29C 48/25  
ADD. B01D 39/00 (2023.01)

CPC - INV. B01D 39/02, D04H 3/005, B01D 71/06, B01D 39/1623, B01D 39/1607, D01F 8/04, D01F 8/06, A41D 13/11, B29C 48/25, A62B 23/025, B01D 39/2024, B01D 46/0032  
ADD. B01D 39/00, B01D 2239/06, Y10T 428/2929, Y10T 428/2931, B01D 2239/025

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

10

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2021/0387123 A1 (FUJIFILM CORPORATION) 16 December 2021 (16.12.2021); the entire document, and more specifically: para [0002], [0007], [0009]-[0010], [0018], [0020], [0027]-[0030], [0039], [0043], [0049], [0064]-[0065], [0069], [0071], [0074], [0076], [0079]-[0080], [0083]-[0084], [0100], [0108], [0124], [0147]-[0148], [0211], [0243], [0257]-[0258]; comparative example 1; figures 2 and 7-10; abstract; title	1, 4-8, 13, 18-20, 23 and 25-28
Y		2-3, 9-12, 14-17, 21-22, 24 and 29-31
Y	LIU et al., "Study on Stabilized of Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibers Based Sandwich Structure Purification Material"; Advanced Materials Research, Volumes 535-537 (June 2012), pg 473-476 (the entire document, and more specifically: pg 476, para 2; figures 6a-6b; abstract; title)	2-3
Y	US 2008/0213561 A1 (KRINS et al.) 4 September 2008 (04.09.2008); the entire document, and more specifically: para [0002], [0016], [0039], [0044]; abstract; title	9-10
Y	US 6,169,045 B1 (PIKE et al.) 2 January 2001 (02.01.2001); the entire document, and more specifically: col 1, in 8-9; col 2, in 24-27; col 3, in 1-9 and in 64-67; col 4, in 38-45; col 6, in 30-33; abstract; title	11-12
Y	US 2012/0152821 A1 (COX et al.) 21 June 2012 (21.06.2012); para [0008], [0077]; abstract	14-15
Y	US 2002/0144942 A1 (DENTON et al.) 10 October 2002 (10.10.2002); the entire document, and more specifically: para [0001], [0005]-[0006], [0009]-[0011], [0027]; figures 1-2; abstract; title	16-17

20

30

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"D" document cited by the applicant in the international application

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
24 July 2023

Date of mailing of the international search report  
**AUG 15 2023**

Name and mailing address of the ISA/US  
Mall Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450  
Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer  
Kari Rodriguez  
Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US 23/17937

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2016/0015098 A1 (MATTHEW CONLON et al.) 21 January 2016 (21.01.2016); the entire document, and more specifically: para [0001]-[0002], [0011], [0014], [0078]; abstract; title	21
Y	US 5,401,693 A (BAUER et al.) 28 March 1995 (28.03.1995); col 1, ln 7-8 and ln 49-51; abstract; title	22
Y	US 2006/0079145 A1 (COX et al.) 13 April 2006 (13.04.2006); para [0003], [0008]-[0010]; claim 1; abstract; title	24
Y	US 2021/0070976 A1 (NEENAH GESSNER GMBH) 11 March 2021 (11.03.2021); para [0004], [0081]-[0086], [0091], [0099]-[0104]; abstract; title	29-31
A	US 2007/0190880 A1 (DUBROW et al.) 16 August 2007 (16.08.2007); the entire document, and more specifically: para [0007], [0034], [0044], [0047], [0052], [0075]-[0078]; figures 2A and 2B; abstract; title	1-31

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US 23/17937

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

20

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:  
This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be searched, the appropriate additional search fees must be paid.

Group I: claims 1-31, directed to a filter media, comprising nanoparticles, wherein an area density of the nanoparticles decreases from the first surface towards the second surface.

Group II: claims 32-51, directed to a filter media, comprising nanoparticles, wherein an add-on amount of the nanoparticles decreases from the first surface towards the second surface.

The inventions listed as Groups I-II do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

\*\*please see the continuation at the end of this form\*\*

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
1-31

30

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

40

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

PCT/US 23/17937

\*\*continuation of IPC and CPC codes from page 5\*\*

IPC -

INV. B01D 39/16, B01D 39/20 (2023.01)

CPC -

ADD. B01D 2239/0618, Y10T 442/60, B01D 2239/1233, B01D 2239/1291, D10B 2505/04, Y10T 442/623, Y10T 442/626, Y10T 442/641, B01D 2239/086, C03C 2213/02, Y10T 442/696

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US 23/17937

\*\*Continuation of Box III (Lack of Unity)\*\*

Special Technical Features:

Group I requires an area density of the nanoparticles decreases from the first surface towards the second surface, not required by group II.

Group II requires the fibers having a diameter greater than 1 micron; and an add-on amount of the nanoparticles decreases from the first surface towards the second surface, not required by group I.

Common Technical Features:

Groups I and II share the technical feature a filter media; a fiber-substrate/fiber-containing-substrate with a first surface and an opposing second surface; nanoparticles disposed within the substrate; wherein the nanoparticles have at least one dimension less than 1 micron.

However, these shared technical features do not represent a contribution over prior art, because the shared technical feature is being anticipated by US 2007/0190880 A1 to Dubrow et al. (hereinafter Dubrow).

Dubrow teaches a filter media (title; para [0007]; Porous substrates, articles, systems and compositions comprising nanofibers and methods of their use and production. The articles of the invention may be employed as filtration media.); a fiber-containing-substrate with a first surface and an opposing second surface; nanoparticles disposed within the substrate (para [0044]; figures 2A and 2B; Figures 2A and 2B schematically illustrate the case where nanofibers (nanoparticles) are primarily disposed only on the interior wall portions of the apertures that define the pores. As shown, a perforated substrate 202 forms the underlying porous substrate. A plurality of apertures 208 are fabricated through the substrate 202, e.g., by punching etching or other known fabrication methods. As shown in figure 2B, an expanded view of the aperture 208 is provided that details the presence of nanofibers 204 attached to the interior wall portions 206 of the aperture.); wherein the nanoparticles have at least one dimension less than 1 micron (para [0034]; These nanofibers typically have a cross sectional dimension, e.g., a diameter that is less than 500 nm and preferably less than 100 nm and in many cases, less than 50 nm or 20 nm.).

As the shared technical features were known in the art at the time of the invention, they cannot be considered common technical features that would otherwise unify the groups. Therefore, Groups I-II lack unity under PCT Rule 13.

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類

**D 0 4 H 1/413(2012.01)**

F I

B 0 1 D	29/06	5 1 0 Z
B 0 1 D	29/04	5 1 0 F
D 0 4 H	1/413	

テーマコード (参考)

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100119013

弁理士 山崎 一夫

(74)代理人 100111796

弁理士 服部 博信

(74)代理人 100123766

弁理士 松田 七重

(74)代理人 100183379

弁理士 藤代 昌彦

(72)発明者 プラット アンドリュー ジー

アメリカ合衆国 デラウェア州 1 9 7 0 9 ミドルタウン リーディング レーン 4 1 2

(72)発明者 ボンペオ レニー

アメリカ合衆国 デラウェア州 1 9 7 0 9 ミドルタウン インダストリアル ドライヴ 6 0 1 デルスター テクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 キヤク ヤサール

アメリカ合衆国 デラウェア州 1 9 7 0 9 ミドルタウン インダストリアル ドライヴ 6 0 1 デルスター テクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 スカーフ アンドリュー

アメリカ合衆国 デラウェア州 1 9 7 0 9 ミドルタウン インダストリアル ドライヴ 6 0 1 デルスター テクノロジーズ インコーポレイテッド内

F ターム (参考) 4D019 AA01 AA02 BA03 BA04 BA05 BB04 BB08 BB10 BB12 BB13

BB18 BC01 BC05 BC06 BD01 CA02 CA03 CB06 CB07 DA02 DA03

DA06

4D058 JA10 JA13 JB04 JB05 JB14 JB24 JB25 JB32 JB39 SA20

TA02 TA03 TA08

4D116 BB01 BB11 BB15 BC03 BC13 BC17 BC27 BC61 BC71 EE04

FF12B FF14B FF15B FF18B GG01 GG03 GG08 GG12 GG13 HH12B HH14B

HH17B KK04 KK07

4L047 AA27 AA29 AB07 AB08 AB09 BC00 BC01 BC05 CA01 CA04

CA05 CA06 CA10 CB08 CC12