

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月1日(01.09.2016)



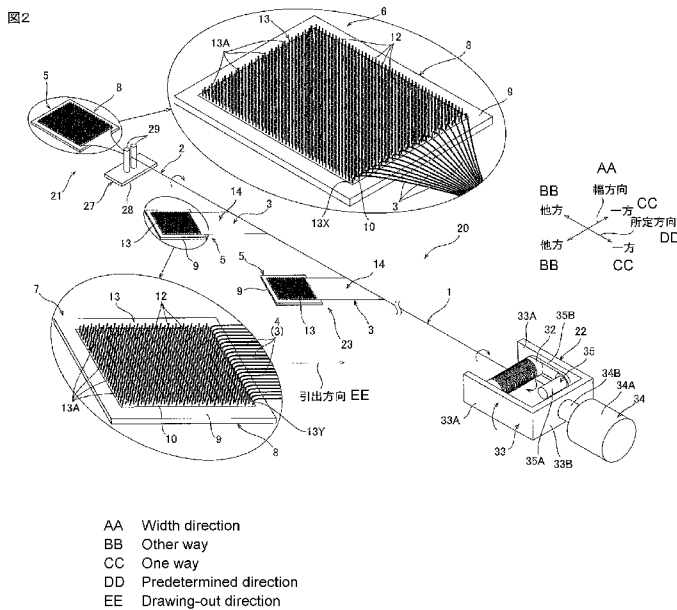
(10) 国際公開番号
WO 2016/136824 A1

- (51) 国際特許分類:
D02G 3/38 (2006.01) D02G 3/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/055479
- (22) 国際出願日: 2016年2月24日(24.02.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-038368 2015年2月27日(27.02.2015) JP
特願 2015-038371 2015年2月27日(27.02.2015) JP
- (71) 出願人: 日立造船株式会社(HITACHI ZOSEN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 井上 鉄也(INOUE, Tetsuya); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 日立造船株式会社内 Osaka (JP). 森原 典史(MORIHARA, Norifumi); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 日立造船株式会社内 Osaka (JP). 山下 智也(YAMASHITA, Tomoya); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 日立造船株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 岡本 寛之(OKAMOTO, Hiroyuki); 〒5320003 大阪府大阪市淀川区宮原4丁目5番36号 セントラル新大阪ビル3階 いくみ特許事務所内 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING CARBON NANOTUBE FIBER, DEVICE FOR MANUFACTURING CARBON NANOTUBE FIBER, AND CARBON NANOTUBE FIBER

(54) 発明の名称: カーボンナノチューブ繊維の製造方法、カーボンナノチューブ繊維の製造装置およびカーボンナノチューブ繊維



(57) Abstract: A method for manufacturing a carbon nanotube fiber (1), includes: a step for readying a core material (2) extending in a predetermined direction; a step for readying a carbon nanotube assembly (13) disposed on a substrate (8) and provided with a plurality of carbon nanotubes (12) oriented perpendicularly with respect to the substrate (8); a step for preparing a carbon nanotube non-twist yarn (3) in which a plurality of carbon nanotubes (12) are continuously linked, by drawing out the carbon nanotube non-twist yarn (3) from the carbon nanotube assembly (13); and a step for winding the carbon nanotube non-twist yarn (3) around the core material (2).

(57) 要約: カーボンナノチューブ繊維(1)の製造方法は、所定方向に延びる芯材(2)を準備する工程と、基板(8)上に配置され、基板(8)に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブ(12)を備えるカーボンナノチューブ集合体(13)を準備する工程と、カーボンナノチューブ集合体(13)から、複数のカーボンナノチューブ(12)が連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸(3)を引き出して調製する工程と、カーボンナノチューブ無撚糸(3)を芯材(2)に巻き付ける工程と、を含む。

WO 2016/136824 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

カーボンナノチューブ繊維の製造方法、カーボンナノチューブ繊維の製造装置およびカーボンナノチューブ繊維

技術分野

[0001] 本発明は、カーボンナノチューブ繊維の製造方法、カーボンナノチューブ繊維の製造装置およびカーボンナノチューブ繊維に関する。

背景技術

[0002] 複数のカーボンナノチューブが連続するカーボンナノチューブ糸を、織物や導電線材などとして、各種産業製品に利用することが検討されている。

[0003] このようなカーボンナノチューブ糸の製造方法として、例えば、基板上に成長させたカーボンナノチューブの集合体から、カーボンナノチューブが一方方向に配列して連続的につながるシート状態のカーボンナノチューブシートを複数引き出し、その複数のカーボンナノチューブシートを重ね合わせた後、撚り掛けおよび引き延ばして、カーボンナノチューブ撚糸を形成するカーボンナノチューブ撚糸の製造方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

[0004] また、このようなカーボンナノチューブ糸には、用途に応じた機械特性や電気特性などが要求される。

[0005] しかし、カーボンナノチューブ糸単独では、要求される機械特性や電気特性などを十分に確保できない場合がある。そこで、カーボンナノチューブ糸に、必要な特性を付与すべく、他の材料を複合することが検討されている。

[0006] 例えば、中心部に糸状部材が挿通されるカーボンナノチューブ繊維が提案されている（例えば、特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2011-208296号公報

特許文献2：特開2014-169521号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] しかし、特許文献1に記載のカーボンナノチューブ撚糸の製造方法では、多数のカーボンナノチューブが一括して撚り掛けおよび引き延ばされるので、カーボンナノチューブ撚糸の密度の向上を図るには限度がある。そのため、このようなカーボンナノチューブ撚糸では、用途に応じた機械特性を十分に確保できない場合がある。
- [0009] また、特許文献2に記載のカーボンナノチューブ繊維では、中心部に糸状部材が挿通されているのみであり、機械的特性の向上を十分に確保することができない。
- [0010] また、特許文献2に記載のカーボンナノチューブ繊維は、細孔を有するダイスを複数準備し、カーボンナノチューブおよび糸状部材とともに、複数のダイスの細孔を順次通過させることにより調製されるが、カーボンナノチューブおよび糸状部材とともに、ダイスの細孔に通過させることは非常に煩雑である。
- [0011] また、このような方法では、カーボンナノチューブ繊維に対して、糸状部材を精度よく中心部に配置することが困難であり、糸状部材とカーボンナノチューブとのバランスの良い特性を得ることができない。
- [0012] そこで、本発明の目的は、簡易な方法でありながら、機械特性の向上を図ることができるカーボンナノチューブ繊維、カーボンナノチューブ繊維の製造方法およびカーボンナノチューブ繊維の製造装置を提供することにある。
- [0013] また、本発明の目的は、簡易な方法でありながら、機械特性の向上を図ることができ、かつ、芯材およびカーボンナノチューブ糸のバランスの良い特性を得ることができるカーボンナノチューブ複合繊維、カーボンナノチューブ複合繊維の製造方法およびカーボンナノチューブ複合繊維の製造装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明 [1] は、所定方向に延びる芯材を準備する工程と、基板上に配置され、前記基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを備えるカーボンナノチューブ集合体を準備する工程と、前記カーボンナノチューブ集合体から、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を引き出して調製する工程と、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記芯材に巻き付ける工程と、を含む、カーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。
- [0015] このような方法によれば、芯材にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられるので、簡易な方法でありながら、カーボンナノチューブ繊維の機械特性の向上を図ることができる。
- [0016] また、カーボンナノチューブ繊維において、芯材は確実に中心部に配置され、カーボンナノチューブ無撚糸は芯材の周囲に配置される。そのため、カーボンナノチューブ繊維において、芯材およびカーボンナノチューブ無撚糸をバランス良く配置できる。
- [0017] その結果、カーボンナノチューブ繊維の機械特性のさらなる向上を図ることができながら、カーボンナノチューブ繊維において、芯材およびカーボンナノチューブ無撚糸のバランスの良い特性を得ることができる。
- [0018] 本発明 [2] は、基板上に配置され、前記基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを備えるカーボンナノチューブ集合体を複数準備する工程と、複数の前記カーボンナノチューブ集合体のうち、少なくとも1つのカーボンナノチューブ集合体から、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を複数引き出した後、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を束ねてカーボンナノチューブ中心糸を調製する工程と、複数の前記カーボンナノチューブ集合体のうち、少なくとも1つのカーボンナノチューブ集合体から、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を引き出した後、前記カーボンナノチューブ無撚糸を、前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程とを含む、カーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

- [0019] このような方法によれば、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を束ねてカーボンナノチューブ中心糸を調製した後、そのカーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられる。そのため、簡易な方法でありながら、カーボンナノチューブ繊維の密度の向上を容易に図ることができる。
- [0020] また、カーボンナノチューブ繊維において、カーボンナノチューブ中心糸は確実に中心部に配置され、カーボンナノチューブ無撚糸はカーボンナノチューブ中心糸の周囲に配置される。そのため、カーボンナノチューブ繊維において、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸をバランス良く配置できる。
- [0021] つまり、カーボンナノチューブ繊維の密度の向上を図ることができながら、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸をバランス良く配置できるので、カーボンナノチューブ繊維の機械特性の向上を確実に図ることができる。
- [0022] また、カーボンナノチューブ無撚糸は、基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブから引き出されるので、カーボンナノチューブ無撚糸において、複数のカーボンナノチューブのそれぞれが、カーボンナノチューブ無撚糸の延びる方向に沿うように配向される。
- [0023] そのため、複数のカーボンナノチューブ無撚糸が束ねられるカーボンナノチューブ中心糸、および、カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれにおいて、カーボンナノチューブの配向性を確実に確保することができ、カーボンナノチューブ繊維において、カーボンナノチューブの配向性を確実に確保することができる。
- [0024] 本発明 [3] は、前記カーボンナノチューブ中心糸を調製する工程において、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を撚り合わせて、前記カーボンナノチューブ中心糸を撚糸として調製する、上記 [2] に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。
- [0025] このような方法によれば、カーボンナノチューブ中心糸が撚糸として調製

されるので、カーボンナノチューブ中心糸の密度の向上を確実に図ることができ、ひいては、カーボンナノチューブ繊維の密度の向上を確実に図ることができる。

[0026] 本発明 [4] は、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を、前記カーボンナノチューブ中心糸の撚り方向に沿うように、前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける、上記 [3] に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0027] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸が、カーボンナノチューブ中心糸の撚り方向に沿うように、カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられるので、カーボンナノチューブ中心糸を構成するカーボンナノチューブ無撚糸の撚り方向と、カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸の巻付方向とを揃えることができる。

[0028] そのため、カーボンナノチューブ中心糸のカーボンナノチューブの配向方向と、カーボンナノチューブ無撚糸のカーボンナノチューブの配向方向とを揃えることができ、カーボンナノチューブ繊維において、カーボンナノチューブの配向性をより確実に確保することができる。

[0029] 本発明 [5] は、前記カーボンナノチューブ集合体を複数準備する工程は、前記基板上に触媒層を配置する工程と、前記基板に原料ガスを供給することにより、前記触媒層を起点として、前記複数のカーボンナノチューブを成長させる工程とを含んでいる、上記 [2] ~ [4] のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0030] このような方法によれば、基板上に配置される触媒層を起点として、複数のカーボンナノチューブが成長するので、複数のカーボンナノチューブを確実に基板に対して垂直に配向することができ、カーボンナノチューブ集合体を確実に準備することができる。

[0031] 本発明 [6] は、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ集合体

から、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を引き出し、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸のうち、少なくとも2つの前記カーボンナノチューブ無撚糸を、巻き方向が互いに異なるように、前記カーボンナノチューブ中心糸に螺旋状に巻き付ける、上記〔2〕～〔5〕のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0032] このような方法によれば、複数のカーボンナノチューブ無撚糸のうち、少なくとも2つのカーボンナノチューブ無撚糸が、巻き方向が互いに異なるように、カーボンナノチューブ中心糸に螺旋状に巻き付けられる。そのため、カーボンナノチューブ繊維において、カーボンナノチューブ無撚糸のカーボンナノチューブを、少なくとも2つの方向に配向させることができる。その結果、カーボンナノチューブ繊維の電気特性を適宜調整することができる。

[0033] 本発明〔7〕は、前記カーボンナノチューブ中心糸を調製する工程において、前記カーボンナノチューブ中心糸に揮発性有機溶媒を付着させる、上記〔2〕～〔6〕のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0034] このような方法によれば、カーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられる前に、揮発性有機溶媒が付着される。そして、揮発性有機溶媒が付着されたカーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられる。

[0035] その後、揮発性有機溶媒が気化することにより、カーボンナノチューブ中心糸の複数のカーボンナノチューブ無撚糸、および、カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれが、互いに凝集する。

[0036] そのため、カーボンナノチューブ繊維の密度のさらなる向上を図ることができ、カーボンナノチューブ繊維の機械特性の向上をより一層確実に図ることができる。

[0037] 本発明〔8〕は、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸

を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させるか、または、前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、金属を蒸着させる、上記〔2〕～〔7〕のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0038] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれが、金属含有液に浸漬され金属を担持するか、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、金属が蒸着され金属膜が形成される。

[0039] そのため、カーボンナノチューブ繊維に金属の特性を付与できるとともに、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に巻き付けたときに、カーボンナノチューブ中心糸とカーボンナノチューブ無撚糸とを確実に密着させることができる。

[0040] 本発明〔9〕は、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、高分子材料からなるフィルムに重ねるか、または、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させるか、あるいは、前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピニングする、上記〔2〕～〔7〕のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0041] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸がカーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、高分子材料からなるフィルムが重ねられるか、高分子溶液がエレクトロスピニングされるか、カーボンナノチューブ

ブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれが、高分子含有液に浸漬され高分子材料を担持する。

[0042] そのため、カーボンナノチューブ繊維に高分子材料の特性を付与することができるとともに、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に巻き付けたときに、カーボンナノチューブ中心糸とカーボンナノチューブ無撚糸とを確実に密着させることができる。

[0043] 本発明 [10] は、前記カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた前記カーボンナノチューブ中心糸を加熱処理する工程をさらに含む、上記 [8] または [9] に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0044] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸を加熱処理するときに、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれが有する金属または高分子材料が互いに溶融するので、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれのカーボンナノチューブと、金属または高分子材料とを確実に複合化することができる。

[0045] 本発明 [11] は、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、UV処理またはプラズマ処理により表面処理する、上記 [2] ~ [10] のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法を含んでいる。

[0046] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれが、UV処理またはプラズマ処理により表面処理されるので、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に巻き付けたときに、カーボンナノチューブ中心糸とカーボンナノチューブ無撚糸とを確実に密着させることができる。

[0047] 本発明 [12] は、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を束ねて、所定方向に延びるカーボンナノチューブ中心糸を供給する第1供給部と、前記第1供給部に対して前記所定方向に間隔を空けて配置され、前記第1供給部から供給される前記カーボンナノチューブ中心糸を回収するように構成される回収部と、前記第1供給部と前記回収部との間に配置される前記カーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸を供給する第2供給部とを備え、前記第1供給部および前記回収部のいずれか一方は、前記所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能である、カーボンナノチューブ繊維の製造装置を含んでいる。

[0048] このような構成によれば、第1供給部が、複数のカーボンナノチューブ無撚糸が束ねて、カーボンナノチューブ中心糸を供給でき、第2供給部が、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸に供給できる。そして、第1供給部および回収部のいずれか一方が回転することにより、カーボンナノチューブ中心糸にカーボンナノチューブ無撚糸を巻き付けることができる。

[0049] そのため、カーボンナノチューブ中心糸にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられるカーボンナノチューブ繊維を、効率よく製造することができる。

[0050] 本発明 [13] は、複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸が複数束ねられるカーボンナノチューブ中心糸と、前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられる前記カーボンナノチューブ無撚糸とを備える、カーボンナノチューブ繊維を含んでいる。

[0051] このような構成によれば、複数のカーボンナノチューブ無撚糸が束ねられるカーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられているので、カーボンナノチューブ繊維の密度の向上を容易に図ることができながら、カーボンナノチューブ中心糸を中心部に配置でき、カーボンナノチューブ無撚糸をカーボンナノチューブ中心糸の周囲に配置できる。

[0052] つまり、カーボンナノチューブ繊維の密度の向上を図ることができながら

、カーボンナノチューブ中心糸およびカーボンナノチューブ無撚糸をバランス良く配置できるので、機械特性の向上を確実に図ることができる。

[0053] 本発明 [14] は、所定方向に延びる芯材を準備する工程と、基板上に配置され、前記基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを準備する工程と、前記基板上的前記複数のカーボンナノチューブから、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を引き出して調製する工程と、前記カーボンナノチューブ無撚糸を、前記芯材に巻き付けて、複合繊維前駆体を調製する工程と、前記複合繊維前駆体を加熱処理する工程とを含む、カーボンナノチューブ複合繊維の製造方法を含んでいる。

[0054] このような方法によれば、芯材にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた複合繊維前駆体を加熱処理するので、芯材とカーボンナノチューブ無撚糸とを複合化させることができる。そのため、カーボンナノチューブ複合繊維の機械特性の向上を確実に図ることができる。

[0055] また、複合繊維前駆体は、カーボンナノチューブ無撚糸を、芯材に巻き付けるという簡易な方法で調製することができる。そして、複合繊維前駆体において、芯材は確実に中心部に配置され、カーボンナノチューブ無撚糸は芯材の周囲に配置される。そのため、カーボンナノチューブ複合繊維において、芯材を確実に中心部に配置でき、かつ、カーボンナノチューブ無撚糸を芯材の周囲に配置できる。その結果、カーボンナノチューブ複合繊維の機械特性のさらなる向上を図ることができながら、カーボンナノチューブ複合繊維において、芯材およびカーボンナノチューブ無撚糸のバランスの良い特性を得ることができる。

[0056] また、カーボンナノチューブ無撚糸は、基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブから引き出されるので、カーボンナノチューブ無撚糸において、複数のカーボンナノチューブのそれぞれが、カーボンナノチューブ無撚糸の延びる方向に沿うように配向される。

[0057] そのため、カーボンナノチューブ無撚糸が芯材に巻き付けられた状態にお

いても、カーボンナノチューブの配向性を確実に確保することができ、カーボンナノチューブ複合繊維において、カーボンナノチューブ無撚糸に基づく特性を確実に発現させることができる。

[0058] 本発明 [15] は、前記複数のカーボンナノチューブを準備する工程は、基板上に触媒層を配置する工程と、前記基板に原料ガスを供給することにより、前記触媒層を起点として、複数のカーボンナノチューブを成長させる工程とを含んでいる、上記 [14] に記載のカーボンナノチューブ複合繊維の製造方法を含んでいる。

[0059] このような方法によれば、基板上に配置される触媒層を起点として、複数のカーボンナノチューブが成長するので、基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを確実に準備することができる。

[0060] 本発明 [16] は、前記芯材は、金属からなり、前記カーボンナノチューブ無撚糸を調製する工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させるか、または、前記カーボンナノチューブ無撚糸に、金属を蒸着させる、上記 [14] または [15] に記載のカーボンナノチューブ複合繊維の製造方法を含んでいる。

[0061] このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸が芯材に巻き付けられる前に、カーボンナノチューブ無撚糸が、金属含有液に浸漬され金属を担持するか、カーボンナノチューブ無撚糸に、金属が蒸着され金属膜が形成される。

[0062] そのため、金属からなる芯材に、そのようなカーボンナノチューブ無撚糸を巻き付けたときに、芯材とカーボンナノチューブ無撚糸とを確実に密着させることができる。さらに、複合繊維前駆体を加熱処理するとき、芯材と、カーボンナノチューブが有する金属（金属膜）とが互いに溶融するので、芯材とカーボンナノチューブとを確実に複合化することができる。

[0063] 本発明 [17] は、前記芯材は、高分子材料からなり、前記カーボンナノチューブ無撚糸を調製する工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を高分子材料からなるフィルムに重ねるか、または、前記カーボンナノチュ

ーブ無撚糸を、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させるか、あるいは、前記カーボンナノチューブ無撚糸に、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピニングする、上記〔14〕または〔15〕に記載のカーボンナノチューブ複合繊維の製造方法を含んでいる。このような方法によれば、カーボンナノチューブ無撚糸が芯材に巻き付けられる前に、カーボンナノチューブ無撚糸に高分子材料からなるフィルムが重ねられるか、カーボンナノチューブ無撚糸が、高分子含有液に浸漬され高分子材料を担持するか、カーボンナノチューブ無撚糸に高分子溶液がエレクトロスピニングされる。

[0064] そのため、高分子材料からなる芯材に、そのようなカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けたときに、芯材とカーボンナノチューブ無撚糸とを確実に密着させることができる。さらに、複合繊維前駆体を加熱処理するとき、芯材と、カーボンナノチューブが有する高分子材料とが互いに溶融するので、芯材とカーボンナノチューブとを確実に複合化することができる。

[0065] 本発明〔18〕は、芯材を所定方向に向かって送り出すように構成され、前記所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能な送出部と、前記送出部に対して前記所定方向に間隔を空けて配置され、前記送出部から送り出される前記芯材を回収するように構成され、前記所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能な回収部と、前記送出部と前記回収部との間に配置される前記芯材に、カーボンナノチューブ無撚糸を供給する供給部と、前記送出部および前記回収部のそれぞれが回転することにより、前記カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた前記芯材を加熱するように構成される加熱部とを備えている、カーボンナノチューブ複合繊維の製造装置を含んでいる。

[0066] このような構成によれば、簡易な構成でありながら、送出部および回収部のそれぞれが回転することにより、芯材にカーボンナノチューブ無撚糸を巻き付けることができ、その後、加熱部により、カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた芯材を加熱することができる。

[0067] そのため、芯材にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられ、かつ、芯

材とカーボンナノチューブ無撚糸とが複合化したカーボンナノチューブ複合繊維を、効率よく製造することができる。

[0068] 本発明 [19] は、所定方向に延びる芯材と、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸であって、前記芯材に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸とを備えている、カーボンナノチューブ複合繊維を含んでいる。

[0069] このような構成によれば、カーボンナノチューブ無撚糸が、芯材に巻き付けられているので、カーボンナノチューブ複合繊維において、芯材を確実に中心部に配置でき、カーボンナノチューブ無撚糸を芯材の周囲に配置できる。そのため、機械特性の向上を図ることができながら、芯材およびカーボンナノチューブ無撚糸のバランスの良い特性を得ることができる。

発明の効果

[0070] 本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法は、簡易な方法でありながら、機械特性の向上を図ることができるカーボンナノチューブ繊維を製造することができる。

[0071] また、本発明のカーボンナノチューブ複合繊維の製造方法は、簡易な方法でありながら、機械特性の向上を図ることができ、かつ、芯材およびカーボンナノチューブ無撚糸のバランスの良い特性を得ることができるカーボンナノチューブ繊維を製造することができる。

[0072] また、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置は、カーボンナノチューブ中心系にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられるカーボンナノチューブ繊維を、効率よく製造することができる。

[0073] また、本発明のカーボンナノチューブ複合繊維の製造装置は、芯材にカーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられ、かつ、芯材とカーボンナノチューブ無撚糸とが複合化したカーボンナノチューブ繊維を、効率よく製造することができる。

[0074] また、本発明のカーボンナノチューブ繊維は、機械特性の向上を確実に図ることができる。

[0075] また、本発明のカーボンナノチューブ複合繊維は、機械特性の向上を図ることができ、かつ、芯材およびカーボンナノチューブ無燃糸のバランスの良い特性を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0076] [図1]図1 Aは、本発明に係るカーボンナノチューブ無燃糸の調製工程の一実施形態を説明するための説明図であって、基板上に触媒層を形成する工程を示す。図1 Bは、図1 Aに続いて、基板を加熱して、触媒層を複数の粒状体に凝集させる工程を示す。図1 Cは、図1 Bに続いて、複数の粒状体に原料ガスを供給して、複数のカーボンナノチューブを成長させる工程を示す。図1 Dは、図1 Cに続いて、複数のカーボンナノチューブを引き出して、カーボンナノチューブ無燃糸を調製する工程を示す。

[図2]図2は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第1実施形態としての繊維製造装置の斜視図である。

[図3]図3 Aは、図2に示す繊維製造装置の概略構成図である。図3 Bは、図3 Aに示すカーボンナノチューブ繊維の断面図である。

[図4]図4は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第2実施形態の平面図である。

[図5]図5は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第3実施形態の概略構成図である。

[図6]図6は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第4実施形態および第8実施形態の概略構成図である。

[図7]図7は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第5実施形態の概略構成図である。

[図8]図8は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第6実施形態の概略構成図である。

[図9]図9は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第7実施形態の概略構成図である。

[図10]図10は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の第9実施

形態の斜視図である。

[図11]図11は、図10に示すカーボンナノチューブ繊維の製造装置の概略構成図である。

[図12]図12は、図11に示すカーボンナノチューブ複合繊維の断面図である。

[図13]図13は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の他の実施形態（浸漬部をさらに備える構成）の概略構成図である。

[図14]図14は、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造装置の他の実施形態（蒸着部をさらに備える構成）の概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0077] 1. 第1実施形態

本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法は、例えば、図2および図3Aに示すように、芯材を準備する工程と、カーボンナノチューブ集合体13を有するカーボンナノチューブ支持体5を準備する工程と、カーボンナノチューブ集合体13からカーボンナノチューブ無撚糸3を引き出して調製する工程と、カーボンナノチューブ無撚糸3を芯材に巻き付ける工程と、を含んでいる。

[0078] なお、第1実施形態では、芯材が、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が束ねられて調製されるカーボンナノチューブ中心糸2である場合について詳述する。

[0079] 第1実施形態では、例えば、カーボンナノチューブ集合体13を有するカーボンナノチューブ支持体5を複数準備する工程と、カーボンナノチューブ集合体13から複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を引き出し束ねて、カーボンナノチューブ中心糸2を調製する工程と、カーボンナノチューブ集合体13からカーボンナノチューブ無撚糸3を引き出し、カーボンナノチューブ中心糸2に巻き付ける工程とを含んでいる。

[0080] このような製造方法では、まず、カーボンナノチューブ支持体5を複数準備する。

- [0081] カーボンナノチューブ支持体 5 は、基板 8 と、基板 8 上に配置されるカーボンナノチューブ集合体 1 3 とを備えている。
- [0082] 基板 8 は、平面視略矩形形状の板状を有しており、具体的には、所定の厚みを有し、厚み方向と直交する所定方向に延び、平坦な表面および平坦な裏面を有している。
- [0083] カーボンナノチューブ集合体 1 3 は、基板 8 に対して直交するように配向（垂直に配向）される複数のカーボンナノチューブ 1 2 を備えている。
- [0084] このようなカーボンナノチューブ支持体 5 を調製（準備）するには、例えば、化学気相成長法（CVD法）により、基板 8 上に複数のカーボンナノチューブ 1 2 を成長させる。
- [0085] この方法では、まず、図 1 A に示すように、基板 8 を準備する。
- [0086] 基板 8 は、特に限定されず、例えば、CVD法に用いられる公知の基板が挙げられ、市販品を用いることができる。
- [0087] 基板 8 として、具体的には、シリコン基板や、二酸化ケイ素膜 1 0 が積層されるステンレス基板 9 などが挙げられ、好ましくは、二酸化ケイ素膜 1 0 が積層されるステンレス基板 9 が挙げられる。なお、図 1 A～図 1 D および図 2 では、基板 8 が、二酸化ケイ素膜 1 0 が積層されるステンレス基板 9 である場合を示す。
- [0088] そして、図 1 A に示すように、基板 8 上、好ましくは、二酸化ケイ素膜 1 0 上に触媒層 1 1 を形成する。
- [0089] 基板 8 上に触媒層 1 1 を形成するには、金属触媒を、公知の成膜方法により、基板 8（好ましくは、二酸化ケイ素膜 1 0）上に成膜する。
- [0090] 金属触媒としては、例えば、鉄、コバルト、ニッケルなどが挙げられ、好ましくは、鉄が挙げられる。このような金属触媒は、単独使用または 2 種類以上併用することができる。
- [0091] 成膜方法としては、例えば、真空蒸着およびスパッタリングが挙げられ、好ましくは、真空蒸着が挙げられる。
- [0092] これによって、基板 8 上に触媒層 1 1 が配置される。

- [0093] なお、基板 8 が、二酸化ケイ素膜 10 が積層されるステンレス基板 9 である場合、二酸化ケイ素膜 10 および触媒層 11 は、例えば、特開 2014-94856 号公報に記載されるように、二酸化ケイ素前駆体溶液と金属触媒前駆体溶液とが混合される混合溶液を、ステンレス基板 9 に塗布した後、その混合液を相分離させ、次いで、乾燥することにより、同時に形成することもできる。
- [0094] 次いで、触媒層 11 が配置される基板 8 を、図 1 B に示すように、例えば、700℃以上900℃以下に加熱する。これにより、触媒層 11 が、凝集して、複数の粒状体 11 A となる。
- [0095] そして、加熱された基板 8 に、図 1 C に示すように、原料ガスを供給する。
- [0096] 原料ガスは、炭素数 1～4 の炭化水素ガス（低級炭化水素ガス）を含んでいる。
- [0097] 炭素数 1～4 の炭化水素ガスとしては、例えば、メタンガス、エタンガス、プロパンガス、ブタンガス、エチレンガス、アセチレンガスなどが挙げられ、好ましくは、アセチレンガスが挙げられる。
- [0098] また、原料ガスは、必要により、水素ガスや、不活性ガス（例えば、ヘリウム、アルゴンなど）、水蒸気などを含むこともできる。
- [0099] 原料ガスが水素ガスや不活性ガスを含む場合、原料ガスにおける炭化水素ガスの濃度は、例えば、1 体積%以上、好ましくは、30 体積%以上、例えば、90 体積%以下、好ましくは、50 体積%以下である。
- [0100] 原料ガスの供給時間としては、例えば、1 分以上、好ましくは、5 分以上、例えば、60 分以下、好ましくは、30 分以下である。
- [0101] これによって、複数の粒状体 11 A のそれぞれを起点として、複数のカーボンナノチューブ 12 が成長する。なお、図 1 C では、便宜上、1 つの粒状体 11 A から、1 つのカーボンナノチューブ 12 が成長するように記載されているが、これに限定されず、1 つの粒状体 11 A から、複数のカーボンナノチューブ 12 が成長してもよい。

- [0102] このような複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれは、基板8上において、互いに略平行となるように、基板8の厚み方向に延びている。つまり、複数のカーボンナノチューブ12は、基板8に対して直交するように配向（垂直に配向）されている。
- [0103] 複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれは、単層カーボンナノチューブ、二層カーボンナノチューブおよび多層カーボンナノチューブのいずれであってもよく、好ましくは、多層カーボンナノチューブである。これらカーボンナノチューブ12は、単独使用または2種類以上併用することができる。
- [0104] 複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれの平均外径は、例えば、1 nm以上、好ましくは、5 nm以上、例えば、100 nm以下、好ましくは、50 nm以下、さらに好ましくは、20 nm以下である。
- [0105] また、複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれの平均長さ（平均軸線方向寸法）は、例えば、1 μm 以上、好ましくは、100 μm 以上、さらに好ましくは、200 μm 以上、例えば、1000 μm 以下、好ましくは、500 μm 以下、さらに好ましくは、400 μm 以下である。なお、カーボンナノチューブ12の平均外径および平均長さは、例えば、ラマン分光分析や、電子顕微鏡観察などの公知の方法により測定される。
- [0106] これによって、複数のカーボンナノチューブ12を備えるカーボンナノチューブ集合体13が、基板8上に形成される。
- [0107] このようなカーボンナノチューブ集合体13は、図2に示すように、複数のカーボンナノチューブ12が直線的に並ぶように配置される列13Aを、列13Aの延びる方向と直交する方向に複数備えている。これによって、カーボンナノチューブ集合体13は、略シート形状に形成されている。
- [0108] カーボンナノチューブ集合体13において、複数のカーボンナノチューブ12の嵩密度は、例えば、10 mg/cm^3 以上、好ましくは、20 mg/cm^3 以上、例えば、60 mg/cm^3 以下、好ましくは、50 mg/cm^3 以下である。なお、カーボンナノチューブ12の嵩密度は、例えば、単位面積当

たり質量（目付量：単位 mg/cm^2 ）と、カーボンナノチューブの長さ（SEM（日本電子社製）または非接触膜厚計（キーエンス社製）により測定）とから算出される。

[01109] そして、このような基板 8 およびカーボンナノチューブ集合体 13 を備えるカーボンナノチューブ支持体 5 を、複数準備する。つまり、カーボンナノチューブ集合体 13 を複数準備する。

[01110] より具体的には、複数のカーボンナノチューブ支持体 5 は、第 1 カーボンナノチューブ支持体 6 と、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 とを備えている。

[01111] 第 1 カーボンナノチューブ支持体 6 は、カーボンナノチューブ中心糸 2 を調製するための複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3 を引き出すものである。第 1 カーボンナノチューブ支持体 6 は、1 つであってもよく、複数であってもよいが、好ましくは、1 つである。

[01112] 第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 は、カーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付けるためのカーボンナノチューブ無撚糸 3 を引き出すものである。第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 は、1 つであってもよく、複数であってもよいが、好ましくは、複数である。

[01113] なお、図 2 では、第 1 カーボンナノチューブ支持体 6 が 1 つであり、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 が 2 つである態様を示している。

[01114] 次いで、図 1 D に示すように、第 1 カーボンナノチューブ支持体 6 のカーボンナノチューブ集合体 13 から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3 を引き出す。

[01115] カーボンナノチューブ集合体 13 からカーボンナノチューブ無撚糸 3 を引き出すには、例えば、カーボンナノチューブ集合体 13 のうち、一部のカーボンナノチューブ 12 を、図示しない引出具により、基板 8 の厚み方向と交差する方向、好ましくは、列 13 A が延びる方向に引っ張る。

[01116] すると、引っ張られたカーボンナノチューブ 12 は、対応する粒状体 11 A から引き抜かれる。このとき、引き抜かれるカーボンナノチューブ 12 に

隣接するカーボンナノチューブ12は、引き抜かれるカーボンナノチューブ12との摩擦力およびファンデルワールス力などにより、そのカーボンナノチューブ12の一端（上端または下端）が、引き抜かれるカーボンナノチューブ12の一端（上端または下端）に付着され、対応する粒状体11Aから引き抜かれる。

[0117] これによって、複数のカーボンナノチューブ12が、順次連続して、カーボンナノチューブ集合体13から引き出され、複数のカーボンナノチューブ12が連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸3を形成する。

[0118] より詳しくは、カーボンナノチューブ無撚糸3において、連続するカーボンナノチューブ12は、それらカーボンナノチューブ12の下端同士または上端同士が付着されている。

[0119] また、カーボンナノチューブ集合体13は、図2に示すように、複数のカーボンナノチューブ12からなる列13Aを複数備えているので、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を一括して引き出すことができる。この場合には、複数の列13Aのカーボンナノチューブ12を同時に引き出す（図2の拡大図参照）。これにより、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13から一括して引き出される。

[0120] カーボンナノチューブ無撚糸3の引き出し速度としては、例えば、10mm/分以上、好ましくは、30mm/分以上、例えば、100mm/分以下、好ましくは、70mm/分以下である。

[0121] 以上によって、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が引き出される。

[0122] 複数のカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれは、撚り合わされていない無撚糸であって、糸形状（線形状）を有している。つまり、カーボンナノチューブ無撚糸3の撚り角度は、略0°である。そして、複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれは、カーボンナノチューブ無撚糸3において、直

線状に連続しており、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向に沿うように配向されている。

[0123] 複数のカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれの径（複数のカーボンナノチューブ無撚糸3からなるカーボンナノチューブシートの厚み）は、例えば、30nm以上、好ましくは、60nm以上、例えば、100nm以下、好ましくは、80nm以下である。

[0124] 次に、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を束ねてカーボンナノチューブ中心糸2を調製する。

[0125] 複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を束ねる方法としては、特に制限されず、例えば、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を、穴部を有するダイを通過させる方法（例えば、特開2014-169521号公報に記載の方法など）、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を、複数のローラにより挟む方法（例えば、特開2011-208296号公報に記載の方法など）、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を、僅かな間隔を隔てて配置される1対の軸部の間を通過させる方法などが挙げられる。

[0126] このような方法の中では、好ましくは、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を、僅かな間隔を隔てて配置される1対の軸部29の間を通過させる方法が挙げられる。

[0127] 1対の軸部29のそれぞれは、詳しくは後述するが、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向と直交する方向に延びており、軸線を中心として回転可能に構成されている。

[0128] そして、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が束ねられることにより、所定方向に延びるカーボンナノチューブ中心糸2（芯材）が調製（準備）される。

[0129] つまり、芯材を準備する工程は、基板8上に配置されるカーボンナノチューブ集合体13（第1カーボンナノチューブ支持体6）を準備する工程と、カーボンナノチューブ集合体13から、カーボンナノチューブ無撚糸3を複数引き出した後、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を束ねて、カーボン

ナノチューブ中心糸2を調製する工程と、を含んでいる。

- [0130] カーボンナノチューブ中心糸2は、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が撚り合わされていない無撚糸であってもよいが、好ましくは、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が撚り合わされる撚糸である。
- [0131] カーボンナノチューブ中心糸2が撚糸である場合、カーボンナノチューブ中心糸2の撚角度 $\theta 1$ は、図3Aに示すように、例えば、 40° 以上 85° 以下、好ましくは、 50° 以上 75° 以下である。
- [0132] カーボンナノチューブ中心糸2の径は、例えば、 $5\mu\text{m}$ 以上、好ましくは、 $10\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $50\mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $45\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは、 $30\mu\text{m}$ 以下である。
- [0133] カーボンナノチューブ中心糸2の径が、上記下限以上であれば、カーボンナノチューブ中心糸2の機械強度を確実に確保することができ、上記上限以下であれば、カーボンナノチューブ中心糸2の密度の向上（つまり、カーボンナノチューブ中心糸2の空隙率の低下）を確実に図ることができる。
- [0134] より具体的には、カーボンナノチューブ中心糸2の嵩密度は、例えば、 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 以上、好ましくは、 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 以上、例えば、 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以下である。なお、カーボンナノチューブ中心糸2が撚糸である場合、カーボンナノチューブ中心糸2の嵩密度は、例えば、 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ を超過する。
- [0135] 次に、第2カーボンナノチューブ支持体7のカーボンナノチューブ集合体13から、上記と同様にして、カーボンナノチューブ無撚糸3を引き出す。
- [0136] また、好ましくは、第2カーボンナノチューブ支持体7のカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を一括して引き出す。この場合、複数の列13Aのカーボンナノチューブ12を同時かつ平行に引き出す（図2の拡大図参照）。これにより、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3は、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向と交差する方向に並列配置される。このように並列配置される複数のカーボンナノチュ

ーブ無撚糸3は、略シート形状を有しており、カーボンナノチューブシート14として構成される。

[0137] また、第1実施形態では、複数の第2カーボンナノチューブ支持体7のそれぞれのカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3（カーボンナノチューブシート14）が引き出されている。

[0138] なお、以下において、第2カーボンナノチューブ支持体7から引き出されるカーボンナノチューブ無撚糸3を、カーボンナノチューブ巻付糸4とする。

[0139] 次いで、カーボンナノチューブ巻付糸4（カーボンナノチューブシート14）を、カーボンナノチューブ中心糸2（芯材）の周面に巻き付ける。

[0140] カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けるには、例えば、カーボンナノチューブ巻付糸4の一端部をカーボンナノチューブ中心糸2（または、カーボンナノチューブ中心糸2の周りに巻き付けられたカーボンナノチューブ無撚糸3）に固定した後、カーボンナノチューブ中心糸2を、カーボンナノチューブ中心糸2の軸線を中心として回転させる。

[0141] なお、カーボンナノチューブ中心糸2が一方に延びる方向と、カーボンナノチューブ巻付糸4が一方に延びる方向とがなす角 $\theta 2$ は、図3Aに示しように、鋭角であって、その角の角度は、例えば、 5° 以上 50° 以下、好ましくは、 15° 以上 40° 以下である。

[0142] また、カーボンナノチューブ巻付糸4は、好ましくは、カーボンナノチューブ中心糸2に対して螺旋状に巻き付けられる。このような場合、カーボンナノチューブ巻付糸4の一端部（カーボンナノチューブ12の一端）をカーボンナノチューブ中心糸2に固定した後、カーボンナノチューブ中心糸2を、カーボンナノチューブ中心糸2の軸線を中心として回転させるとともに、所定方向の一方に向かって移動させる。

[0143] また、カーボンナノチューブ中心糸2が撚糸である場合、カーボンナノチューブ巻付糸4は、好ましくは、カーボンナノチューブ中心糸2の撚り方向

に沿うように、カーボンナノチューブ中心糸2に対して螺旋状に巻き付けられる。

[0144] この場合、カーボンナノチューブ巻付糸4の一端部は、巻付角 θ_3 （角 θ_2 の余角）の角度が、カーボンナノチューブ中心糸2の撚角度 θ_1 と略同じとなるように、カーボンナノチューブ中心糸2に固定される。より具体的には、カーボンナノチューブ巻付糸4の巻付角 θ_3 は、カーボンナノチューブ中心糸2の撚角度 θ_1 に対して、例えば、 $\pm 5^\circ$ 以内、好ましくは、 $\pm 3^\circ$ 以内である。

[0145] これによって、カーボンナノチューブ巻付糸4は、少なくとも1周、好ましくは、複数周、カーボンナノチューブ中心糸2の周面に巻き付けられる。

[0146] カーボンナノチューブ巻付糸4がカーボンナノチューブ中心糸2の周面に複数周巻き付けられる場合、カーボンナノチューブ中心糸2の周りには、図3Bに示すように、カーボンナノチューブ巻付糸4が、カーボンナノチューブ中心糸2の全周にわたって複数積層される。

[0147] カーボンナノチューブ巻付糸4の積層数としては、例えば、20層以上、好ましくは、50層以上、さらに好ましくは、80層以上、例えば、200層以下、好ましくは、150層以下、より好ましくは、120層以下である。

[0148] 以上によって、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が束ねられるカーボンナノチューブ中心糸2と、カーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けられるカーボンナノチューブ巻付糸4とを備えるカーボンナノチューブ繊維1が調製される。

[0149] カーボンナノチューブ繊維1において、カーボンナノチューブ中心糸2は、カーボンナノチューブ繊維1の略中央に配置されており、カーボンナノチューブ巻付糸4は、カーボンナノチューブ中心糸2の全周にわたって、カーボンナノチューブ中心糸2の周面に略一定の厚み（径方向寸法）で積層されている。

[0150] このようなカーボンナノチューブ繊維1の径は、例えば、 $2\mu\text{m}$ 以上、好

ましくは、 $5\ \mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは、 $10\ \mu\text{m}$ 以上、例えば、 $70\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $60\ \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは、 $40\ \mu\text{m}$ 以下、とりわけ好ましくは、 $20\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0151] カーボンナノチューブ繊維1の径が、上記下限以上であれば、カーボンナノチューブ繊維1の機械強度を確実に確保することができ、上記上限以下であれば、カーボンナノチューブ繊維1の密度の向上を確実に図ることができる。

[0152] より具体的には、カーボンナノチューブ繊維1の嵩密度は、例えば、 $0.6\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上、好ましくは、 $0.8\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上、例えば、 $2.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下である。なお、カーボンナノチューブ中心糸2が撚糸である場合、カーボンナノチューブ繊維1の嵩密度は、例えば、 $0.6\ \text{g}/\text{cm}^3$ を超過する。

[0153] このようなカーボンナノチューブ繊維1の破断強度は、例えば、 $200\ \text{mN}$ 以上、好ましくは、 $300\ \text{mN}$ 以上、例えば、 $800\ \text{mN}$ 以下、好ましくは、 $700\ \text{mN}$ 以下である。

[0154] なお、カーボンナノチューブ繊維1の破断強度は、一軸引張強度試験機により測定される。

[0155] このようなカーボンナノチューブ繊維1は、例えば、炭素繊維が用いられる織物（シート）、電気機器（例えば、モータ、トランス、センサーなど）の導電線材など各種産業製品に利用される。

[0156] このようなカーボンナノチューブ繊維の製造方法は、図2に示すように、例えば、カーボンナノチューブ繊維の製造装置の一例としての繊維製造装置20により、連続的に実施される。

[0157] 繊維製造装置20は、第1供給部の一例としての中心糸供給部21と、回収部22と、第2供給部の一例としての巻付糸供給部23とを備えている。

[0158] 中心糸供給部21は、カーボンナノチューブ中心糸2を所定方向一方に向かって送り出すように構成されており、第1カーボンナノチューブ支持体6と、図示しない引出具と、収束部27とを備えている。

- [0159] 第1カーボンナノチューブ支持体6は、上記したように、基板8と、カーボンナノチューブ集合体13とを備えている。
- [0160] そして、第1カーボンナノチューブ支持体6は、カーボンナノチューブ集合体13の列13Aの延びる方向が所定方向に沿うように配置されている。
- [0161] また、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13は、平面視において略矩形形状を有している。そして、複数の列13Aのそれぞれにおいて、最も所定方向一方に位置するカーボンナノチューブ12は、所定方向と直交する幅方向に直線的に並んでおり、カーボンナノチューブ集合体13の所定方向一端部13Xを構成している。
- [0162] 収束部27は、第1カーボンナノチューブ支持体6に対して、所定方向の一方に間隔を空けて配置されている。収束部27は、支持板28と、1対の軸部29とを備えている。
- [0163] 支持板28は、幅方向に延びる平面視略矩形形状の板状を有している。
- [0164] 1対の軸部29は、支持板28の上面の略中央部分において、互いに僅かな間隔を隔てて配置されている。1対の軸部29のそれぞれは、垂直方向に延びる略円柱形状を有しており、支持板28に、軸芯周りに相對回轉可能に支持されている。
- [0165] 回収部22は、中心系供給部21から送り出されたカーボンナノチューブ中心系2を回収するように構成されており、中心系供給部21に対して、所定方向の一方に間隔を空けて配置されている。回収部22は、回轉部33と、回収軸32と、軸駆動部35と、回轉駆動部34とを備えている。
- [0166] 回轉部33は、所定方向の他方に向かって開放される平面視略コ字状を有しており、1対の軸支持部33Aと、連結部33Bとを一体に有している。
- [0167] 1対の軸支持部33Aは、幅方向に互いに間隔を空けて配置されている。1対の軸支持部33Aのそれぞれは、所定方向に延びる略板形状を有している。
- [0168] 連結部33Bは、1対の軸支持部33Aの所定方向の一端部間に架設されている。連結部33Bは、幅方向に延びる略板形状を有している。

- [0169] 回収軸 3 2 は、1 対の軸支持部 3 3 A の所定方向の他端部間に配置されている。回収軸 3 2 は、幅方向に延びる略円柱形状を有しており、その両端部のそれぞれが、対応する軸支持部 3 3 A に回転可能に支持されている。
- [0170] 軸駆動部 3 5 は、外部から電力が供給されることにより、回収軸 3 2 に駆動力を供給するように構成されている。軸駆動部 3 5 は、幅方向において 1 対の軸支持部 3 3 A の間に配置され、所定方向において回収軸 3 2 と連結部 3 3 B との間に配置されている。
- [0171] 軸駆動部 3 5 は、モータ軸 3 5 A と、駆動伝達ベルト 3 5 B とを備えている。
- [0172] モータ軸 3 5 A は、1 対の軸支持部 3 3 A のうち一方の軸支持部 3 3 A に回転可能に支持されており、図示しないモータ本体から駆動力が入力されることで回転する。
- [0173] 駆動伝達ベルト 3 5 B は、公知の無端ベルトであって、モータ軸 3 5 A の幅方向一端部と、回収軸 3 2 の幅方向一端部とに架け渡されている。
- [0174] 回転駆動部 3 4 は、外部から電力が供給されることにより、回転部 3 3 に駆動力を供給するように構成されている。回転駆動部 3 4 は、回転部 3 3 に対して、所定方向の一方に配置されている。
- [0175] 回転駆動部 3 4 は、例えば、公知のモータからなり、モータ本体 3 4 A と、モータ本体 3 4 A に回転可能に支持されるモータ軸 3 4 B とを備えている。そして、モータ軸 3 4 B の所定方向他端部は、回転部 3 3 の連結部 3 3 B の幅方向中央に固定されている。これによって、回転部 3 3 は、モータ軸 3 4 B、つまり、所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能である。
- [0176] 巻付系供給部 2 3 は、詳しくは後述するが、中心系供給部 2 1 と回収部 2 2 との間に配置されるカーボンナノチューブ中心系 2 に対して、カーボンナノチューブ無撚系 3（カーボンナノチューブ巻付系 4）を供給するように構成されている。
- [0177] 巻付系供給部 2 3 は、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 と、図示しない引出具とを備えている。

- [0178] 第2カーボンナノチューブ支持体7は、収束部27と回収部22との間に複数配置されており、具体的には、2つの第2カーボンナノチューブ支持体7である。
- [0179] 複数の第2カーボンナノチューブ支持体7のそれぞれは、上記したように、基板8と、カーボンナノチューブ集合体13とを備えている。
- [0180] そして、複数の第2カーボンナノチューブ支持体7のそれぞれは、カーボンナノチューブ集合体13の列13Aの延びる方向が、所定方向および幅方向の両方向と交差するように配置されている。また、複数の第2カーボンナノチューブ支持体7は、カーボンナノチューブ集合体13の列13Aの延びる方向が互いに略平行となるように、所定方向に間隔を空けて配置されている。
- [0181] また、第2カーボンナノチューブ支持体7のカーボンナノチューブ集合体13は、平面視において略矩形形状を有している。そして、複数の列13Aのそれぞれにおいて、最もカーボンナノチューブ中心糸2側に位置するカーボンナノチューブ12は、列13Aの延びる方向と直交する方向に直線的に並んでおり、カーボンナノチューブ集合体13の引出方向下流端部13Yを構成している。
- [0182] このような繊維製造装置20では、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13から、図示しない引出具により、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を引き出す。
- [0183] より詳しくは、カーボンナノチューブ集合体13の所定方向一端部13Xを、図示しない引出具により、一括して保持し、所定方向一方に向かって引っ張る。
- [0184] すると、複数の列13Aのそれぞれにおいて、複数のカーボンナノチューブ12が連続するように引き出され、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が形成される。
- [0185] そして、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を、1対の軸部29の間に通過させる。このとき、1対の軸部29のそれぞれは、複数のカーボンナノ

チューブ無撚糸 3 と摺擦することにより、従動回転する。

[0186] これによって、複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3 が束ねられて、1本のカーボンナノチューブ中心糸 2 が調製される。

[0187] そして、カーボンナノチューブ中心糸 2 を、巻付糸供給部 2 3 に対して、幅方向の一方を通過するように、さらに所定方向の一方に向かって引き出して、カーボンナノチューブ中心糸 2 の所定方向一端部を、回収部 2 2 の回収軸 3 2 に固定する。これにより、カーボンナノチューブ中心糸 2 が、中心糸供給部 2 1 から回収部 2 2 にわたって架け渡される。

[0188] なお、この状態において、カーボンナノチューブ中心糸 2 は、複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3 が撚り合わされていない無撚糸である。

[0189] 次に、複数の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のそれぞれのカーボンナノチューブ集合体 1 3 から、図示しない引出具により、複数のカーボンナノチューブ巻付糸 4（複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3）を引き出す。

[0190] より詳しくは、カーボンナノチューブ集合体 1 3 の引出方向下流端部 1 3 Y を、図示しない引出具により、一括して保持し、カーボンナノチューブ中心糸 2 に向かって引っ張る。

[0191] すると、複数の列 1 3 A のそれぞれにおいて、複数のカーボンナノチューブ 1 2 が連続するように引き出され、複数のカーボンナノチューブ巻付糸 4 が形成される。このとき、複数のカーボンナノチューブ巻付糸 4 は、引出方向と直交する方向に並列配置され、略シート形状となり、カーボンナノチューブシート 1 4 を構成する。

[0192] そして、複数のカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれの一端部（カーボンナノチューブシート 1 4 の一端部）を、収束部 2 7 と回収部 2 2 との間に配置されるカーボンナノチューブ中心糸 2 に固定する。

[0193] 次に、回収部 2 2 の回転駆動部 3 4 に電力を供給するとともに、軸駆動部 3 5 に電力を供給する。

[0194] すると、回転駆動部 3 4 のモータ軸 3 4 B のそれぞれが、所定方向一方から見て時計回り方向に回転し、それに伴って、回転部 3 3 が、所定方向一方

から見て時計回り方向に回転する。また、軸駆動部35のモータ軸35Aが、幅方向他方から見て時計回り方向に回転し、それに伴って、回収軸32が幅方向他方から見て時計回り方向に回転する。

[0195] これによって、カーボンナノチューブ中心系2が、所定方向一方から見て時計回り方向に回転し撚り合わされるとともに、回収軸32に巻き取られる。

[0196] より詳しくは、カーボンナノチューブ中心系2は、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が、第1カーボンナノチューブ支持体6のカーボンナノチューブ集合体13から連続的に引き出され、収束部27に束ねられることにより、中心系供給部21から送り出され、回転しながら、所定方向一方に向かって移動した後、回収軸32に巻き取られる。つまり、カーボンナノチューブ中心系2は、回転しながら、中心系供給部21から回収部22に向かって連続的に移動する。

[0197] このとき、カーボンナノチューブ中心系2の回転速度（周速度）は、例えば、 0.1 m/min 以上、好ましくは、 0.5 m/min 以上、例えば、 10 m/min 以下、好ましくは、 6.0 m/min 以下、さらに好ましくは、 3.0 m/min 以下である。

[0198] また、カーボンナノチューブ中心系2の移動速度は、例えば、 0.1 m/min 以上、好ましくは、 0.5 m/min 以上、例えば、 10 m/min 以下、好ましくは、 6.0 m/min 以下、さらに好ましくは、 3.0 m/min 以下である。

[0199] そして、カーボンナノチューブ中心系2に一端部が固定されたカーボンナノチューブ巻付系4は、カーボンナノチューブ中心系2の回転および移動に伴って、カーボンナノチューブ中心系2の撚り方向に沿うように、カーボンナノチューブ中心系2の周りに螺旋状に巻き付けられる。これにより、複数のカーボンナノチューブ巻付系4は、第2カーボンナノチューブ支持体7のカーボンナノチューブ集合体13からさらに引き出され、カーボンナノチューブ中心系2に連続的に供給され、順次巻き付けられる。このとき、複数の

カーボンナノチューブ巻付糸4は、巻き方向が互いに同一である。

[0200] これにより、カーボンナノチューブ中心糸2の周りにカーボンナノチューブ巻付糸4が複数積層されるカーボンナノチューブ繊維1が調製される。

[0201] その後、カーボンナノチューブ繊維1は、回収軸32の回転により、回収軸32に巻き取られる。

[0202] 以上によって、繊維製造装置20による、カーボンナノチューブ繊維1の製造が完了する。

[0203] このような第1実施形態では、図2に示すように、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を束ねてカーボンナノチューブ中心糸2を調製した後、そのカーボンナノチューブ中心糸2に、カーボンナノチューブ巻付糸4（カーボンナノチューブ無撚糸3）が巻き付けられる。そのため、簡易な方法でありながら、カーボンナノチューブ繊維1の密度の向上を容易に図ることができる。

[0204] また、図3Bに示すように、カーボンナノチューブ繊維1において、カーボンナノチューブ中心糸2は確実に中心部に配置され、カーボンナノチューブ巻付糸4はカーボンナノチューブ中心糸2の周囲に配置される。そのため、カーボンナノチューブ繊維1において、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4をバランス良く配置できる。

[0205] つまり、カーボンナノチューブ繊維1の密度の向上を図ることができながら、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4をバランス良く配置できるので、カーボンナノチューブ繊維1の機械特性の向上を確実に図ることができる。

[0206] また、カーボンナノチューブ中心糸2は、図3Aに示すように、撚糸として調製される。そのため、カーボンナノチューブ中心糸2の密度の向上を確実に図ることができ、ひいては、カーボンナノチューブ繊維1の密度の向上を確実に図ることができる。

[0207] また、カーボンナノチューブ巻付糸4は、図3Aに示すように、カーボンナノチューブ中心糸2の撚り方向に沿うように、カーボンナノチューブ中心

糸2に巻き付けられる。そのため、カーボンナノチューブ中心糸2を構成するカーボンナノチューブ無撚糸3の撚り方向と、カーボンナノチューブ巻付糸4の巻付方向とを揃えることができる。

[0208] そのため、カーボンナノチューブ繊維1において、カーボンナノチューブ12の配向性をより確実に確保することができる。

[0209] また、カーボンナノチューブ無撚糸3は、図1Dに示すように、基板8に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブ12から引き出されるので、カーボンナノチューブ無撚糸3において、複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれが、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向に沿うように配向される。

[0210] そのため、図3Bに示すように、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3が束ねられるカーボンナノチューブ中心糸2、および、カーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれにおいて、カーボンナノチューブ12の配向性を確実に確保することができ、カーボンナノチューブ繊維1において、カーボンナノチューブ12の配向性を確実に確保することができる。

[0211] また、図1Cに示すように、カーボンナノチューブ集合体13を複数準備する工程は、触媒層11が配置される基板8に原料ガスを供給することにより、触媒層11を起点として、複数のカーボンナノチューブ12が成長する。

[0212] そのため、複数のカーボンナノチューブ12を確実に基板8に対して垂直に配向することができ、カーボンナノチューブ集合体13を確実に準備することができる。

[0213] また、繊維製造装置20では、図2に示すように、中心糸供給部21が、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を束ねて、カーボンナノチューブ中心糸2を供給でき、巻付糸供給部23が、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に供給できる。そして、回収部22が回転することにより、カーボンナノチューブ中心糸2にカーボンナノチューブ巻付糸4を巻き付けることができる。

- [0214] そのため、カーボンナノチューブ中心糸2にカーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられるカーボンナノチューブ繊維1を、効率よく製造することができる。
- [0215] また、カーボンナノチューブ中心糸2にカーボンナノチューブ巻付糸4を巻き付ける工程において、巻付糸供給部23の回収軸32が、幅方向に沿う軸線を中心として回転するとともに、回転部33が、所定方向に沿う軸線を中心として回転する。
- [0216] これによって、カーボンナノチューブ中心糸2が撚り合わされるとともに、カーボンナノチューブ巻付糸4がカーボンナノチューブ中心糸2に螺旋状に巻き付けられる。
- [0217] つまり、カーボンナノチューブ中心糸2の撚り合わせと、カーボンナノチューブ巻付糸4の巻き付けとを同時に実施することができる。そのため、カーボンナノチューブ繊維1の生産効率の向上を図ることができる。
- [0218] なお、第1実施形態の繊維製造装置20では、巻付糸供給部23の回転部33が、所定方向に沿う軸線を中心として回転するが、これに限定されず、中心糸供給部21の第1カーボンナノチューブ支持体6が、所定方向に沿う軸線を中心として回転するように構成することもできる。
- [0219] これによっても、第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

2. 第2実施形態

次に、図4を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第2実施形態について説明する。なお、第2実施形態では、上記した第1実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

- [0220] 第1実施形態では、図2に示すように、複数のカーボンナノチューブ巻付糸4が、カーボンナノチューブ中心糸2に対して、互いに巻き方向が同一となるように螺旋状に巻き付けられているが、これに限定されない。
- [0221] 第2実施形態では、図4に示すように、複数のカーボンナノチューブ巻付糸4のうち、少なくとも2つのカーボンナノチューブ巻付糸4が、カーボンナノチューブ中心糸2に対して、巻き方向が互いに異なるように螺旋状に巻

き付けられている。

[0222] このような場合、例えば、繊維製造装置 20 の巻付糸供給部 23 において、複数 (2 つ) の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 は、カーボンナノチューブ集合体 13 の列 13A の延びる方向が互いに交差するように、所定方向に間隔を空けて配置されている。

[0223] より具体的には、2 つの第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のうち、所定方向の他方の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 は、列 13A の延びる方向が、幅方向の他方から一方に向かうにつれて、所定方向の他方から一方に傾斜するように配置される。また、所定方向の一方の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 は、列 13A の延びる方向が、幅方向の他方から一方に向かうにつれて、所定方向の一方から他方に傾斜するように配置される。

[0224] そして、カーボンナノチューブ巻付糸 4 をカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付ける工程において、所定方向の他方の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のカーボンナノチューブ集合体 13 から、引き出される第 1 のカーボンナノチューブ巻付糸 4A は、カーボンナノチューブ中心糸 2 に対して、左巻き (S 巻き) となるように螺旋状に巻き付けられる。

[0225] なお、カーボンナノチューブ中心糸 2 が一方に延びる方向と、第 1 のカーボンナノチューブ巻付糸 4A が一方に延びる方向とがなす角 $\theta 2$ は、鋭角であって、角 $\theta 2$ の角度は、例えば、 20° 以上 80° 以下である。

[0226] また、所定方向の一方の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のカーボンナノチューブ集合体 13 から、引き出される第 2 のカーボンナノチューブ巻付糸 4B は、第 1 のカーボンナノチューブ巻付糸 4A が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸 2 に対して、右巻き (Z 巻き) となるように螺旋状に巻き付けられる。

[0227] なお、カーボンナノチューブ中心糸 2 が一方に延びる方向と、第 2 のカーボンナノチューブ巻付糸 4B が一方に延びる方向とがなす角 $\theta 4$ は、鈍角であって、角 $\theta 4$ の角度は、例えば、 110° 以上 170° 以下である。

[0228] このような第 2 実施形態では、第 1 のカーボンナノチューブ巻付糸 4A お

よび第2のカーボンナノチューブ巻付糸4Bが、巻き方向が互いに異なるように、カーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けられる。

[0229] そのため、カーボンナノチューブ繊維1において、第1のカーボンナノチューブ巻付糸4Aのカーボンナノチューブ12と、第2のカーボンナノチューブ巻付糸4Bのカーボンナノチューブ12とを互いに異なる方向に配向させることができる。その結果、カーボンナノチューブ繊維1の電気特性を適宜調整することができる。

[0230] このような第2実施形態によっても、第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

3. 第3実施形態

次に、図5を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第3実施形態について説明する。なお、第3実施形態では、上記した第1実施形態および第2実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

[0231] 第3実施形態では、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を凝集させるために、カーボンナノチューブ中心糸2に、カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられる前に、揮発性有機溶媒を付着させる。

[0232] 揮発性有機溶媒は、沸点(at 1 atm)が、100℃未満の有機溶媒であって、例えば、アルコール類(例えば、メタノール(沸点: 64.7℃)、エタノール(沸点: 78.4℃)、プロパノール(沸点: 98℃)など)、ケトン類(例えば、アセトン(沸点: 56.5℃)など)、エーテル類(例えば、ジエチルエーテル(沸点: 35℃)、テトラヒドロフラン(沸点: 66℃)など)、アルキルエステル類(例えば、酢酸エチル(沸点: 77.1℃)など)、ハロゲン化脂肪族炭化水素類(例えば、クロロホルム(沸点: 61.2℃)、ジクロロメタン(沸点: 40℃)など)などが挙げられる。

[0233] このような揮発性有機溶媒のなかでは、好ましくは、沸点(at 1 atm)が80℃以下の有機溶媒、さらに好ましくは、アルコール類、とりわけ

好ましくは、エタノールが挙げられる。

[0234] このような揮発性有機溶媒は、単独使用または２種類以上併用することができる。

[0235] そして、カーボンナノチューブ中心糸２に、揮発性有機溶媒を付着させるには、例えば、揮発性有機溶媒を、カーボンナノチューブ中心糸２に向けて霧状に吹き付ける。

[0236] このような場合、繊維製造装置２０の中心糸供給部２１は、噴霧部３７を備えている。

[0237] 噴霧部３７は、収束部２７と巻付糸供給部２３との間において、カーボンナノチューブ中心糸２に対して間隔を空けて配置されている。

[0238] 噴霧部３７は、内部に揮発性有機溶媒が貯留されており、揮発性有機溶媒をカーボンナノチューブ中心糸２に向かって噴霧可能に構成されている。

[0239] これによって、中心糸供給部２１から供給されるカーボンナノチューブ中心糸２は、カーボンナノチューブ巻付糸４が巻き付けられる前に、噴霧部３７により、揮発性有機溶媒が付着される。

[0240] また、繊維製造装置２０は、必要により、乾燥部３６を備えている。

[0241] 乾燥部３６は、巻付糸供給部２３と回収部２２との間に配置されている。乾燥部３６は、公知の乾燥装置であって、内部に、カーボンナノチューブ巻付糸４が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸２（カーボンナノチューブ繊維１）が通過するように構成されている。

[0242] そのため、カーボンナノチューブ中心糸２は、揮発性有機溶媒が付着され、次いで、カーボンナノチューブ巻付糸４が巻き付けられた後、乾燥部３６を通過し、乾燥される。

[0243] これらによって、揮発性有機溶媒が気化して、カーボンナノチューブ中心糸２の複数のカーボンナノチューブ無撚糸３、および、カーボンナノチューブ中心糸２に巻き付けられるカーボンナノチューブ巻付糸４（カーボンナノチューブ無撚糸３）のそれぞれが、互いに凝集する。

[0244] そのため、カーボンナノチューブ繊維１の密度のさらなる向上を図ること

ができる。より具体的には、カーボンナノチューブ繊維 1 の嵩密度は、例えば、 0.6 g/cm^3 以上、好ましくは、 0.8 g/cm^3 以上、例えば、 2.0 g/cm^3 以下である。

[0245] その結果、カーボンナノチューブ繊維 1 の機械特性の向上をより一層確実に図ることができる。

[0246] このような第 3 実施形態によっても、第 1 実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

4. 第 4 実施形態

次に、図 6 を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第 4 実施形態について説明する。なお、第 4 実施形態では、上記した第 1 実施形態～第 3 実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

[0247] 第 4 実施形態では、カーボンナノチューブ巻付糸 4 が、カーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付けられる前に、上記の揮発性有機溶媒に浸漬される。

[0248] このような場合、繊維製造装置 20 の巻付糸供給部 23 は、浸漬部 38 を備えている。

[0249] 浸漬部 38 は、複数の第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のそれぞれに 1 つずつ対応しており、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 と、カーボンナノチューブ中心糸 2 との間に配置されている。

[0250] 浸漬部 38 のそれぞれは、浸漬槽 40 と、複数のローラ 39 とを備えている。

[0251] 浸漬槽 40 は、上方に向かって開放される略ボックス形状を有しており、その内部に、揮発性有機溶媒が貯留されている。

[0252] 複数のローラ 39 のそれぞれは、カーボンナノチューブ巻付糸 4 が、浸漬槽 40 内の揮発性有機溶媒に浸漬されるように、所定の位置に適宜配置されている。

[0253] これによって、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 のカーボンナノチューブ集合体 13 から引き出されたカーボンナノチューブ巻付糸 4 は、浸漬槽 4

0内の揮発性有機溶媒に浸漬された後、カーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けられる。

[0254] その後、カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2は、必要により、乾燥部36を通過するときに乾燥される。

[0255] そのため、カーボンナノチューブ繊維1の密度のさらなる向上を図ることができ、カーボンナノチューブ繊維1の機械特性の向上をより一層確実に図ることができる。

[0256] このような第4実施形態によっても、第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

5. 第5実施形態

次に、図7を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第5実施形態について説明する。なお、第5実施形態では、上記した第1実施形態～第4実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

[0257] 第5実施形態では、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれを、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付ける前に、表面処理する。

[0258] 表面処理としては、UV処理またはプラズマ処理が挙げられる。なお、表面処理は、好ましくは、真空下または不活性ガス雰囲気下において実施される。

[0259] 例えば、表面処理がUV処理により実施される場合、繊維製造装置20の中心糸供給部21および巻付糸供給部23のそれぞれは、UV装置43を備えている。

[0260] 中心糸供給部21のUV装置43は、収束部27と巻付糸供給部23との間に配置されており、内部にカーボンナノチューブ中心糸2が通過するように構成されている。

[0261] UV装置43としては、特に制限されず、表面処理に用いられる公知のUV照射装置が挙げられる。

- [0262] 巻付糸供給部23のUV装置43は、複数の第2カーボンナノチューブ支持体7のそれぞれに1つずつ対応しており、第2カーボンナノチューブ支持体7と、カーボンナノチューブ中心糸2との間に配置されている。また、巻付糸供給部23のUV装置43は、内部にカーボンナノチューブ巻付糸4が通過するように構成されている。
- [0263] そして、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれは、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付ける前に、UV装置43により表面処理される。
- [0264] そのため、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれの表面が改質されて、それらの密着性が向上する。
- [0265] また、表面処理がプラズマ処理により実施される場合、繊維製造装置20の中心糸供給部21および巻付糸供給部23のそれぞれは、UV装置43に代えて、プラズマ装置44を備える。
- [0266] プラズマ装置44としては、特に制限されず、表面処理に用いられる公知のプラズマ発生装置が挙げられる。
- [0267] このような第5実施形態によっても、第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

6. 第6実施形態

次に、図8を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第6実施形態について説明する。なお、第6実施形態では、上記した第1実施形態～第5実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

- [0268] 第6実施形態では、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けて、カーボンナノチューブ繊維1を調製した後、カーボンナノチューブ繊維1をプレスする。
- [0269] このような場合、繊維製造装置20は、1対の加圧ローラ46を備えている。
- [0270] 1対の加圧ローラ46は、所定方向において、巻付糸供給部23と回収部

2 2 との間に配置されている。1 対の加圧ローラ 4 6 のそれぞれは、幅方向に延びている。そして、1 対の加圧ローラ 4 6 は、カーボンナノチューブ繊維 1 を挟むように、所定方向および幅方向の両方向と交差する方向に互いに向かい合っている。

[0271] これによって、カーボンナノチューブ中心糸 2 にカーボンナノチューブ巻付糸 4 が巻き付けられたカーボンナノチューブ繊維 1 は、1 対の加圧ローラ 4 6 の間を通過するときに、プレスされる。

[0272] そのため、カーボンナノチューブ中心糸 2 とカーボンナノチューブ巻付糸 4 とがより一層密着するとともに、カーボンナノチューブ中心糸 2 におけるカーボンナノチューブ無撚糸 3 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれにおいて、複数のカーボンナノチューブ 1 2 が互いに凝集する。

[0273] その結果、カーボンナノチューブ繊維 1 の機械特性のさらなる向上を確実に図ることができる。

[0274] また、このような第 6 実施形態によっても、第 1 実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

7. 第 7 実施形態

次に、図 6 および図 9 を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第 7 実施形態について説明する。なお、第 7 実施形態では、上記した第 1 実施形態～第 6 実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

[0275] 第 7 実施形態では、カーボンナノチューブ巻付糸 4 をカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれを、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させる。

[0276] 金属としては、特に制限されず、例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、銀、スズ、白金、金、および、それらを含む合金などが挙げられる。このような金属のなかでは、好ましくは、アルミニウム、チタン、銅、銀、金、および、それらを含む合金が挙げられ

、さらに好ましくは、銅が挙げられる。

[0277] また、金属含有液としては、例えば、金属粒子が分散される金属分散液や、金属アルコキシドが溶解される金属アルコキシド溶液などが挙げられる。

[0278] このような場合、繊維製造装置 20 の中心系供給部 21 および巻付系供給部 23 のそれぞれは、図 6 に示すように、浸漬部 38 を備えている。

[0279] なお、中心系供給部 21 の浸漬部 38 は、図 6 において仮想線で示されており、収束部 27 と巻付系供給部 23 との間に配置されている。

[0280] また、複数の浸漬部 38 の浸漬槽 40 のそれぞれは、その内部に、金属含有液が貯留されている。

[0281] そして、カーボンナノチューブ中心系 2 およびカーボンナノチューブ巻付系 4 のそれぞれは、ローラ 39 により、対応する浸漬槽 40 内の金属含有液に浸漬される。

[0282] これによって、カーボンナノチューブ中心系 2 およびカーボンナノチューブ巻付系 4 のそれぞれは、カーボンナノチューブ巻付系 4 がカーボンナノチューブ中心系 2 に巻き付けられる前に、対応する浸漬槽 40 内の金属含有液に浸漬された後、乾燥され、金属を担持する。

[0283] その後、金属を担持するカーボンナノチューブ巻付系 4 が、金属を担持するカーボンナノチューブ中心系 2 に巻き付けられる。

[0284] また、カーボンナノチューブ巻付系 4 をカーボンナノチューブ中心系 2 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心系 2 およびカーボンナノチューブ巻付系 4 のそれぞれに、金属を蒸着させることもできる。

[0285] このような場合、繊維製造装置 20 の中心系供給部 21 および巻付系供給部 23 のそれぞれは、図 9 に示すように、蒸着部 47 を備えている。

[0286] 中心系供給部 21 の蒸着部 47 は、収束部 27 と巻付系供給部 23 との間に配置されており、巻付系供給部 23 の蒸着部 47 は、第 2 カーボンナノチューブ支持体 7 と、カーボンナノチューブ中心系 2 との間に 1 つずつ配置されている。

[0287] 蒸着部 47 は、金属蒸着に用いられる公知の装置であって、特に制限され

ない。

- [0288] これによって、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれは、カーボンナノチューブ巻付糸4がカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けられる前に、対応する蒸着部47によって金属が蒸着され、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれに金属膜が形成される。
- [0289] その後、金属膜が形成されたカーボンナノチューブ巻付糸4が、金属膜が形成されたカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けられる。
- [0290] そのため、カーボンナノチューブ繊維1に金属の特性を付与することができるとともに、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けたときに、カーボンナノチューブ中心糸2とカーボンナノチューブ巻付糸4とを確実に密着させることができる。
- [0291] また、図6および図9に示すように、第7実施形態では、好ましくは、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けた後、それらを加熱処理する。
- [0292] カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2を加熱処理するには、例えば、それら全体を加熱してもよく、それらのうち、カーボンナノチューブ巻付糸4のみを局所加熱してもよい。
- [0293] カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2全体を加熱する場合、例えば、それらを公知の加熱炉によって加熱する。また、カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2のうち、カーボンナノチューブ巻付糸4のみを局所加熱する場合、例えば、高周波誘導加熱により、カーボンナノチューブ巻付糸4を加熱する。
- [0294] 加熱温度としては、例えば、例えば、800℃以上、好ましくは、1000℃以上、例えば、1500℃以下、好ましくは、1300℃以下である。
- [0295] なお、加熱処理は、好ましくは、真空下または不活性ガス雰囲気下において実施される。

- [0296] このような場合、繊維製造装置 20 は、加熱部 48 をさらに備えている。
- [0297] 加熱部 24 は、巻付糸供給部 23 と回収部 22 との間に配置されている。加熱部 24 は、公知の加熱炉であって、内部に、カーボンナノチューブ巻付糸 4 が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸 2 が通過するように構成されている。
- [0298] そして、カーボンナノチューブ巻付糸 4 が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸 2 が加熱処理されると、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれが有する金属が互いに熔融する。
- [0299] そのため、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれのカーボンナノチューブ 12 と、金属とを確実に複合化することができる。
- [0300] また、このような第 7 実施形態によっても、第 1 実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

8. 第 8 実施形態

次に、図 6 を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第 8 実施形態について説明する。なお、第 8 実施形態では、上記した第 1 実施形態～第 7 実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

- [0301] 第 8 実施形態では、カーボンナノチューブ巻付糸 4 をカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれを、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させる。
- [0302] 高分子材料としては、特に制限されず、例えば、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂などが挙げられ、好ましくは、熱可塑性樹脂が挙げられる。
- [0303] 熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリエステル（例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET））、ポリアミド、ポリオレフィン（例えば、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP））、ポリスチレン、ポリ塩化ビニル、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニリデン、ポリアクリロニトリル、

ポリウレタンなどが挙げられる。このような熱可塑性樹脂のなかでは、好ましくは、ポリエステルが挙げられる。

[0304] また、高分子材料として、ポリアニリンやポリピロールなどの導電性高分子を用いることもできる。

[0305] 高分子含有液としては、例えば、高分子材料が溶解される高分子材料溶液などが挙げられる。

[0306] このような場合、繊維製造装置 20 の中心糸供給部 21 および巻付糸供給部 23 のそれぞれは、図 6 に示すように、浸漬部 38 を備えており、浸漬部 38 の浸漬槽 40 には、高分子含有液が貯留されている。

[0307] そして、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれは、ローラ 39 により、対応する浸漬槽 40 内の高分子含有液に浸漬される。

[0308] これによって、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれは、カーボンナノチューブ巻付糸 4 がカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付けられる前に、対応する浸漬槽 40 内の高分子含有液に浸漬された後、乾燥され、高分子材料を担持する。

[0309] その後、高分子材料を担持するカーボンナノチューブ巻付糸 4 が、高分子材料を担持するカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付けられる。

[0310] そのため、カーボンナノチューブ繊維 1 に高分子材料の特性を付与することができるとともに、カーボンナノチューブ巻付糸 4 をカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付けたときに、カーボンナノチューブ中心糸 2 とカーボンナノチューブ巻付糸 4 とを確実に密着させることができる。

[0311] また、カーボンナノチューブ巻付糸 4 をカーボンナノチューブ中心糸 2 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれを、高分子材料からなるフィルムに重ねるか、カーボンナノチューブ中心糸 2 およびカーボンナノチューブ巻付糸 4 のそれぞれに、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピンニングすることもできる。

- [0312] また、第8実施形態では、好ましくは、カーボンナノチューブ巻付糸4をカーボンナノチューブ中心糸2に巻き付けた後、それらを加熱処理する。
- [0313] カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2を加熱処理するには、例えば、上記した方法が挙げられる。
- [0314] 加熱温度としては、例えば、200℃以上、好ましくは、250℃以上、例えば、600℃以下、好ましくは、400℃以下である。
- [0315] このような場合、繊維製造装置20は、加熱部48をさらに備えている。
- [0316] そして、カーボンナノチューブ巻付糸4が巻き付けられたカーボンナノチューブ中心糸2が加熱処理されると、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれが有する高分子材料が互いに熔融する。
- [0317] そのため、カーボンナノチューブ中心糸2およびカーボンナノチューブ巻付糸4のそれぞれのカーボンナノチューブ12と、高分子材料とを確実に複合化することができる。
- [0318] また、このような第8実施形態によっても、第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。
- [0319] これら第1実施形態～第8実施形態は、適宜組み合わせることができる。

9. 第9実施形態

次に、図10～図12を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の第9実施形態について説明する。なお、第9実施形態では、上記した第1実施形態～第8実施形態と同様の部材には同様の符号を付し、その説明を省略する。

- [0320] 第1実施形態～第8実施形態では、芯材が、カーボンナノチューブ中心糸2である場合について詳述するが、芯材は、これに限定されない。
- [0321] 第9実施形態では、例えば、図10および図11に示すように、芯材102を準備する工程と、基板8上に配置されるカーボンナノチューブ集合体13（複数のカーボンナノチューブ12）を準備する工程と、基板8上のカーボンナノチューブ集合体13（複数のカーボンナノチューブ12）からカー

ボンナノチューブ無撚糸3を引き出す工程と、芯材102にカーボンナノチューブ無撚糸3を巻き付けて、複合繊維前駆体104を調製する工程と、複合繊維前駆体104を加熱処理して、カーボンナノチューブ繊維の一例としてのカーボンナノチューブ複合繊維101を調製する工程とを含んでいる。

[0322] このような製造方法では、まず、芯材102およびカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれを準備する。

[0323] 芯材102は、所定方向に延びる線形状を有している。芯材102の断面形状（芯材102を所定方向と直交する方向に切断したときの断面形状）は、特に制限されず、例えば、円形状、多角形状（例えば、四角形状、六角形状、八角形状など）などが挙げられ、中空であってもよく、中実であってもよい。このような芯材102の断面形状のなかでは、図12に示すように、好ましくは、円形形状、さらに好ましくは、中実の円形形状が挙げられる。

[0324] 芯材102の材料は、カーボンナノチューブ複合繊維101の用途により適宜選択されるが、例えば、ガラス繊維、炭素繊維、金属、高分子材料などが挙げられ、好ましくは、金属および高分子材料が挙げられる。

[0325] 金属としては、特に制限されず、例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、銀、スズ、白金、金、および、それらを含む合金などが挙げられる。このような金属のなかでは、好ましくは、アルミニウム、チタン、銅、銀、金、および、それらを含む合金が挙げられ、さらに好ましくは、銅が挙げられる。

[0326] 高分子材料としては、特に制限されず、例えば、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂などが挙げられ、好ましくは、熱可塑性樹脂が挙げられる。

[0327] 熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリエステル（例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET））、ポリアミド、ポリオレフィン（例えば、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP））、ポリスチレン、ポリ塩化ビニル、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニリデン、ポリアクリロニトリル、ポリウレタンなどが挙げられる。このような熱可塑性樹脂のなかでは、好ましくは、ポリエステルが挙げられる。

- [0328] 芯材102の断面形状が円形状である場合、芯材102の外径は、例えば、 $10\mu\text{m}$ 以上、好ましくは、 $30\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $2000\mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $1500\mu\text{m}$ 以下である。
- [0329] より具体的には、芯材102の断面形状が円形状であり、かつ、芯材102の材料が金属である場合、芯材102の外径は、例えば、 $10\mu\text{m}$ 以上、好ましくは、 $30\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $300\mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $100\mu\text{m}$ 以下である。
- [0330] 芯材102の断面形状が円形状であり、かつ、芯材102の材料が高分子材料である場合、芯材102の外径は、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上、好ましくは、 $500\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $2000\mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $1500\mu\text{m}$ 以下である。
- [0331] カーボンナノチューブ無撚糸3は、図1A～図1Dに示すように、第1実施形態と同様の無撚糸であって、第1実施形態と同様の方法により調製（準備）される。
- [0332] より具体的には、第1実施形態と同様にして、基板8上に配置され、基板8に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブ12を備えるカーボンナノチューブ集合体13を準備する。
- [0333] そして、図1Dに示すように、第1実施形態と同様にして、基板8上のカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ12が連続的に繋がるように引き出して、カーボンナノチューブ無撚糸3を形成する。
- [0334] これにより、カーボンナノチューブ無撚糸3は、複数のカーボンナノチューブ12が直線状に連続することにより形成されている。そして、複数のカーボンナノチューブ12のそれぞれは、カーボンナノチューブ無撚糸3において、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向に沿うように配向される。
- [0335] 次に、必要により、芯材102およびカーボンナノチューブ無撚糸3を、それらを互いに密着させるために、前処理する。

- [0336] 前処理としては、例えば、芯材102およびカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれの表面処理が挙げられ、具体的には、プラズマ処理、UV処理などが挙げられる。なお、表面処理は、好ましくは、真空下または不活性ガス雰囲気下において実施される。これにより、芯材102およびカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれの表面が改質されて、それらの密着性が向上する。
- [0337] 次に、図10および図12に示すように、カーボンナノチューブ無撚糸3を、芯材102の周面に巻き付けて、複合繊維前駆体104を調製する。
- [0338] カーボンナノチューブ無撚糸3を芯材102に巻き付けるには、図10に示すように、例えば、カーボンナノチューブ無撚糸3の一端部を芯材102（または、芯材102の周りに巻き付けられたカーボンナノチューブ無撚糸3）に固定した後、芯材102を、芯材102の軸線を中心として回転させる。
- [0339] また、カーボンナノチューブ無撚糸3は、好ましくは、芯材102に対して螺旋状に巻き付けられる。このような場合、カーボンナノチューブ無撚糸3の一端部（カーボンナノチューブ12の一端）を芯材102に固定した後、芯材102を、芯材102の軸線を中心として回転させるとともに、所定方向の一方に向かって移動させる。
- [0340] これによって、カーボンナノチューブ無撚糸3は、少なくとも1周、好ましくは、複数周、芯材102の周面に巻き付けられる。
- [0341] カーボンナノチューブ無撚糸3が芯材102の周面に複数周巻き付けられる場合、芯材102の回りには、図12に示すように、カーボンナノチューブ無撚糸3が、芯材102の全周にわたって複数積層される。
- [0342] カーボンナノチューブ無撚糸3の積層数としては、例えば、2層以上、好ましくは、5層以上、例えば、50層以下、好ましくは、20層以下である。
- [0343] カーボンナノチューブ無撚糸3の積層数が、上記下限以上であれば、後述するカーボンナノチューブ複合繊維101に所望する物性を確実に付与でき

、上記上限以下であれば、芯材102に対するカーボンナノチューブ無撚糸3の巻き付け作業の円滑化を図ることができる。

[0344] より具体的には、カーボンナノチューブ集合体13は、図10に示すように、カーボンナノチューブ無撚糸3の引き出し方向に沿って並ぶように配置される複数のカーボンナノチューブ12からなる列13Aを、引き出し方向と直交する方向に複数備えている。これによって、カーボンナノチューブ集合体13は、略シート形状に形成されている。

[0345] そのため、カーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を一括して引き出すことができる。この場合には、複数の列13Aのカーボンナノチューブ12を同時かつ平行に引き出す（図10の拡大図参照）。これにより、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3は、カーボンナノチューブ無撚糸3の延びる方向と交差する方向に並列配置される。このように並列配置される複数のカーボンナノチューブ無撚糸3は、略シート形状を有しており、カーボンナノチューブシート14として構成される。

[0346] そして、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3を同時に芯材102に巻き付けるには、例えば、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれの一端部（カーボンナノチューブシート14の一端）を芯材102（または、芯材102の周りに巻き付けられたカーボンナノチューブ無撚糸3）に固定し、芯材102を回転させる。

[0347] また、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3（カーボンナノチューブシート14）は、1つの基板8を準備して、それに対応する1つのカーボンナノチューブ集合体13から引き出すこともできるが、複数の基板8を準備して、それらに対応する複数のカーボンナノチューブ集合体13から引き出すこともできる。なお、図10では、2つの基板8を準備し、2つのカーボンナノチューブ集合体13から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3（2つのカーボンナノチューブシート14）を引き出す態様を示している。

[0348] これによって、図12に示すように、芯材102と、芯材102の周りに巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸3とを備える複合繊維前駆体1

04が調製される。つまり、複合繊維前駆体104は、カーボンナノチューブ無撚糸3が巻き付けられた芯材102である。

[0349] 複合繊維前駆体104において、芯材102は、複合繊維前駆体104の略中央に配置されており、カーボンナノチューブ無撚糸3は、芯材102の全周にわたって、芯材102の周面に略一定の厚み（径方向寸法）で積層されている。

[0350] 次いで、図11に示すように、複合繊維前駆体104を加熱処理する。

[0351] 複合繊維前駆体104を加熱処理するには、例えば、複合繊維前駆体104全体を加熱してもよく、複合繊維前駆体104のうち、カーボンナノチューブ無撚糸3のみを局所加熱してもよい。

[0352] 複合繊維前駆体104全体を加熱する場合、例えば、複合繊維前駆体104を公知の加熱炉によって加熱する。また、複合繊維前駆体104のうち、カーボンナノチューブ無撚糸3のみを局所加熱する場合、例えば、高周波誘導加熱により、カーボンナノチューブ無撚糸3を加熱する。

[0353] 複合繊維前駆体104（カーボンナノチューブ無撚糸3）の加熱温度としては、例えば、200℃以上、好ましくは、250℃以上、例えば、1500℃以下、好ましくは、1300℃以下である。

[0354] より詳しくは、芯材102が金属である場合、複合繊維前駆体104（カーボンナノチューブ無撚糸3）の加熱温度は、例えば、800℃以上、好ましくは、1000℃以上、例えば、1500℃以下、好ましくは、1300℃以下である。

[0355] また、芯材102が高分子材料である場合、複合繊維前駆体104（カーボンナノチューブ無撚糸3）の加熱温度は、例えば、200℃以上、好ましくは、250℃以上、例えば、600℃以下、好ましくは、400℃以下である。

[0356] なお、加熱処理は、好ましくは、真空下または不活性ガス雰囲気下において実施される。

[0357] すると、図12に示すように、芯材102とカーボンナノチューブ無撚糸

3とが複合化、すなわち、芯材102および／またはカーボンナノチューブ無撚糸3が熱溶融し、相互に強固に接着される。

- [0358] 以上によって、カーボンナノチューブ複合繊維101が調製される。
- [0359] カーボンナノチューブ複合繊維101は、芯材102と、芯材102に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸3とを備えている。
- [0360] このようなカーボンナノチューブ複合繊維101において、芯材102の体積割合（芯材102／カーボンナノチューブ複合繊維101×100）は、例えば、95.0体積%以上、好ましくは、98.0体積%以上、例えば、99.99体積%以下、好ましくは、99.98体積%以下である。
- [0361] また、カーボンナノチューブ複合繊維101において、カーボンナノチューブ無撚糸3の体積割合（カーボンナノチューブ無撚糸3／カーボンナノチューブ複合繊維101×100）は、例えば、0.01体積%以上、好ましくは、0.02体積%以上、例えば、5.0体積%以下、好ましくは、2.0体積%以下である。
- [0362] より詳しくは、芯材102が金属である場合、カーボンナノチューブ複合繊維101に対する芯材102の体積割合は、例えば、95.0体積%以上、好ましくは、98.0体積%以上、例えば、99.9体積%以下、好ましくは、99.5体積%以下であり、カーボンナノチューブ複合繊維101に対するカーボンナノチューブ無撚糸3の体積割合は、例えば、0.01体積%以上、好ましくは、0.05体積%以上、例えば、5.0体積%以下、好ましくは、2.0体積%以下である。
- [0363] また、芯材102が高分子材料である場合、カーボンナノチューブ複合繊維101に対する芯材102の体積割合は、例えば、99.00体積%以上、好ましくは、99.50体積%以上、例えば、99.99体積%以下、好ましくは、99.98体積%以下であり、カーボンナノチューブ複合繊維101に対するカーボンナノチューブ無撚糸3の体積割合は、例えば、0.01体積%以上、好ましくは、0.02体積%以上、例えば、1.00体積%以下、好ましくは、0.05体積%以下である。

- [0364] このようなカーボンナノチューブ複合繊維101は、例えば、炭素繊維が用いられる織物（シート）、電気機器（例えば、モータ、トランス、センサーなど）の導電線材、スポーツ用品（例えば、ゴルフシャフト、テニスラケット、釣竿のシャフトなど）の材料など各種産業製品に利用される。
- [0365] このようなカーボンナノチューブ複合繊維の製造方法は、図10および図11に示すように、例えば、カーボンナノチューブ繊維の製造装置の一例としての複合繊維製造装置120により、連続的に実施される。
- [0366] 複合繊維製造装置120は、カーボンナノチューブ複合繊維の製造装置であって、送出部121と、回収部122と、供給部123と、加熱部124とを備えている。
- [0367] 送出部121は、図10に示すように、芯材102を所定方向一方に向かって送り出すように構成されており、送出回転部128と、送出軸127と、軸駆動部130と、回転駆動部129とを備えている。
- [0368] 送出回転部128は、所定方向の一方に向かって開放される平面視略コ字状を有しており、1対の軸支持部128Aと、連結部128Bとを一体に有している。
- [0369] 1対の軸支持部128Aは、所定方向と直交する幅方向に互いに間隔を空けて配置されている。1対の軸支持部128Aのそれぞれは、所定方向に延びる略板形状を有している。
- [0370] 連結部128Bは、1対の軸支持部128Aの所定方向の他端部間に架設されている。連結部128Bは、幅方向に延びる略板形状を有している。
- [0371] 送出軸127は、1対の軸支持部128Aの所定方向の一端部間に配置されている。送出軸127は、幅方向に延びる略円柱形状を有しており、その両端部のそれぞれが、対応する軸支持部128Aに回転可能に支持されている。なお、送出軸127には、芯材102が複数巻回されている。
- [0372] 軸駆動部130は、外部から電力が供給されることにより、送出軸127に駆動力を供給するように構成されている。軸駆動部130は、幅方向において1対の軸支持部128Aの間に配置され、所定方向において送出軸12

- 7と連結部128Bとの間に配置されている。
- [0373] 軸駆動部130は、モータ軸130Aと、駆動伝達ベルト130Bとを備えている。
- [0374] モータ軸130Aは、1対の軸支持部128Aのうち、一方の軸支持部128Aに回転可能に支持されており、図示しないモータ本体から駆動力が入力されることで回転する。
- [0375] 駆動伝達ベルト130Bは、公知の無端ベルトであって、モータ軸130Aの幅方向一端部と、送出軸127の幅方向一端部とに架け渡されている。
- [0376] 回転駆動部129は、外部から電力が供給されることにより、送出回転部128に駆動力を供給するように構成されている。回転駆動部129は、送出回転部128に対して、所定方向の他方に配置されている。
- [0377] 回転駆動部129は、例えば、公知のモータからなり、モータ本体129Aと、モータ本体129Aに回転可能に支持されるモータ軸129Bとを備えている。そして、モータ軸129Bの所定方向一端部は、送出回転部128の連結部128Bの幅方向中央部に固定されている。これによって、送出回転部128は、モータ軸129B、つまり、所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能である。
- [0378] 回収部122は、送出部121から送り出された芯材102を回収するように構成されており、送出部121に対して、所定方向の一方に間隔を空けて配置されている。回収部122は、回収回転部133と、回収軸132と、軸駆動部135と、回転駆動部134とを備えている。
- [0379] 回収回転部133は、所定方向の他方に向かって開放される平面視略コ字状を有しており、1対の軸支持部133Aと、連結部133Bとを一体に有している。
- [0380] 1対の軸支持部133Aは、幅方向に互いに間隔を空けて配置されている。1対の軸支持部133Aのそれぞれは、所定方向に延びる略板形状を有している。
- [0381] 連結部133Bは、1対の軸支持部133Aの所定方向の一端部間に架設

されている。連結部 1 3 3 B は、幅方向に延びる略板形状を有している。

[0382] 回収軸 1 3 2 は、1 対の軸支持部 1 3 3 A の所定方向の他端部間に配置されている。回収軸 1 3 2 は、幅方向に延びる略円柱形状を有しおり、その両端部のそれぞれが、対応する軸支持部 1 3 3 A に回転可能に支持されている。

[0383] 軸駆動部 1 3 5 は、外部から電力が供給されることにより、回収軸 1 3 2 に駆動力を供給するように構成されている。軸駆動部 1 3 5 は、幅方向において 1 対の軸支持部 1 3 3 A の間に配置され、所定方向において回収軸 1 3 2 と連結部 1 3 3 B との間に配置されている。

[0384] 軸駆動部 1 3 5 は、モータ軸 1 3 5 A と、駆動伝達ベルト 1 3 5 B とを備えている。

[0385] モータ軸 1 3 5 A は、1 対の軸支持部 1 3 3 A のうち一方の軸支持部 1 3 3 A に回転可能に支持されており、図示しないモータ本体から駆動力が入力されることで回転する。

[0386] 駆動伝達ベルト 1 3 5 B は、公知の無端ベルトであって、モータ軸 1 3 5 A の幅方向一端部と、回収軸 1 3 2 の幅方向一端部とに架け渡されている。

[0387] 回転駆動部 1 3 4 は、外部から電力が供給されることにより、回収回転部 1 3 3 に駆動力を供給するように構成されている。回転駆動部 1 3 4 は、回収回転部 1 3 3 に対して、所定方向の一方に配置されている。

[0388] 回転駆動部 1 3 4 は、例えば、公知のモータからなり、モータ本体 1 3 4 A と、モータ本体 1 3 4 A に回転可能に支持されるモータ軸 1 3 4 B とを備えている。そして、モータ軸 1 3 4 B の所定方向他端部は、回収回転部 1 3 3 の連結部 1 3 3 B の幅方向中央に固定されている。これによって、回収回転部 1 3 3 は、モータ軸 1 3 4 B、つまり、所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能である。なお、回収回転部 1 3 3 の回転軸線と、送出回転部 1 2 8 の回転軸線とは、互いに一致している。

[0389] 供給部 1 2 3 は、詳しくは後述するが、送出部 1 2 1 と回収部 1 2 2 との間に配置される芯材 1 0 2 に対して、カーボンナノチューブ無燃糸 3 を供給

するように構成されている。

- [0390] 供給部 1 2 3 は、基板 8 と、図示しない引出具とを備えている。
- [0391] 基板 8 は、送出部 1 2 1 と回収部 1 2 2 との間に複数配置されており、具体的には、2つの基板 8 である。複数の基板 8 は、所定方向に互いに間隔を空けて配置されている。複数の基板 8 のそれぞれは、上記したように、カーボンナノチューブ集合体 1 3 を支持している。
- [0392] カーボンナノチューブ集合体 1 3 は、平面視において略矩形形状を有している。カーボンナノチューブ集合体 1 3 では、複数のカーボンナノチューブ 1 2 からなり、引出方向に延びる列 1 3 A は、引出方向と直交する方向に複数配置されている。
- [0393] そして、複数の列 1 3 A のそれぞれにおいて、最も引出方向の下流（芯材 1 0 2 側）に位置するカーボンナノチューブ 1 2 は、引出方向と直交する方向に直線的に並んでおり、カーボンナノチューブ集合体 1 3 の引出方向の下流端部 1 3 Y を構成している。
- [0394] 加熱部 1 2 4 は、図 1 1 に示すように、所定方向において、供給部 1 2 3 と回収部 1 2 2 との間に配置されている。加熱部 1 2 4 は、公知の加熱炉であって、内部に芯材 1 0 2 が通過するように構成されている。
- [0395] このような複合繊維製造装置 1 2 0 では、図 1 0 および図 1 1 に示すように、まず、送出軸 1 2 7 に巻回される芯材 1 0 2 を、送出軸 1 2 7 から、所定方向の一方に向かって引き出す。そして、芯材 1 0 2 の所定方向一端部を、加熱部 1 2 4 を通過させた後、回収軸 1 3 2 に固定する。これにより、芯材 1 0 2 が、送出部 1 2 1 から回収部 1 2 2 にわたって架け渡される。
- [0396] 次いで、図 1 0 に示すように、複数の基板 8 のそれぞれのカーボンナノチューブ集合体 1 3 から、図示しない引出具により、複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3（カーボンナノチューブシート 1 4）を引き出す。
- [0397] より詳しくは、カーボンナノチューブ集合体 1 3 の引出方向の下流端部 1 3 Y を、図示しない引出具により、一括して保持し、芯材 1 0 2 に向かって引っ張る。

- [0398] すると、複数の列13Aのそれぞれにおいて、複数のカーボンナノチューブ12が連続するように引き出され、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3（カーボンナノチューブシート14）が形成される。このとき、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3は、引出方向と直交する方向に並列配置され、略シート形状となる。
- [0399] そして、複数のカーボンナノチューブ無撚糸3のそれぞれ的一端部（カーボンナノチューブシート14的一端部）を、送出部121と加熱部124との間に配置される芯材102に固定する。
- [0400] 次に、送出部121の回転駆動部129に電力が供給するとともに、回収部122の回転駆動部134に電力を供給する。
- [0401] すると、回転駆動部129のモータ軸129B、および、回転駆動部134のモータ軸134Bのそれぞれが、所定方向一方から見て時計回り方向に回転し、それに伴って、送出回転部128および回収回転部133のそれぞれが、所定方向一方から見て時計回り方向に回転する。なお、送出回転部128および回収回転部133の回転速度は、互いに同一である。
- [0402] これによって、芯材102が、所定方向一方から見て時計回り方向に回転する。このとき、芯材102の回転速度（周速度）は、例えば、 0.1 m/min 以上、好ましくは、 0.5 m/min 以上、例えば、 10 m/min 以下、好ましくは、 6.0 m/min 以下、さらに好ましくは、 3.0 m/min 以下である。
- [0403] これにより、芯材102に一端部が固定されたカーボンナノチューブ無撚糸3（カーボンナノチューブシート14）は、芯材102の回転に伴って、芯材102の周りに巻き付けられる。すると、カーボンナノチューブ無撚糸3は、カーボンナノチューブ集合体13からさらに引き出され、芯材102に連続的に供給される。
- [0404] そして、送出部121の軸駆動部130および回収部122の軸駆動部135に電力を供給する。すると、軸駆動部130のモータ軸130A、および、軸駆動部135のモータ軸135Aのそれぞれが、幅方向他方から見て

時計回り方向に回転し、それに伴って、送出軸 1 2 7 および回収軸 1 3 2 のそれぞれが、幅方向他方から見て時計回り方向に回転する。

[0405] これによって、芯材 1 0 2 は、送出軸 1 2 7 から送り出され、張力がかかった状態で所定方向一方に移動した後、回収軸 1 3 2 に巻き取られる。そのため、芯材 1 0 2 は、回転しながら、送出部 1 2 1 から回収部 1 2 2 に向かって連続的に移動される。

[0406] このとき、芯材 1 0 2 の移動速度は、例えば、0.1 m/min 以上、好ましくは、0.5 m/min 以上、例えば、10 m/min 以下、好ましくは、6.0 m/min 以下、さらに好ましくは、3.0 m/min 以下である。

[0407] すると、複数のカーボンナノチューブ無撚糸 3 は、芯材 1 0 2 に対して、螺旋状に巻き付けられる。

[0408] これにより、芯材 1 0 2 の周りにカーボンナノチューブ無撚糸 3 が複数積層される複合繊維前駆体 1 0 4 が調製される。

[0409] その後、複合繊維前駆体 1 0 4 は、図 1 1 に示すように、芯材 1 0 2 の移動に伴って、加熱部 1 2 4 内に到達する。そして、複合繊維前駆体 1 0 4 は、回転しながら加熱部 1 2 4 内を通過し、加熱部 1 2 4 により、上記の温度に加熱される。

[0410] これによって、芯材 1 0 2 およびカーボンナノチューブ無撚糸 3 は、複合化して、カーボンナノチューブ複合繊維 1 0 1 が調製される。その後、カーボンナノチューブ複合繊維 1 0 1 は、送出軸 1 2 7 および回収軸 1 3 2 の回転により、回収軸 1 3 2 に巻き取られる。

[0411] 以上によって、複合繊維製造装置 1 2 0 による、カーボンナノチューブ複合繊維 1 0 1 の製造が完了する。

[0412] このような第 9 実施形態では、図 1 1 および図 1 2 に示すように、芯材 1 0 2 にカーボンナノチューブ無撚糸 3 が巻き付けられた複合繊維前駆体 1 0 4 が、加熱処理される。そのため、芯材 1 0 2 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 とを複合化させることができ、カーボンナノチューブ複合繊維 1 0 1 の

機械特性の向上を確実に図ることができる。

- [0413] また、複合繊維前駆体 104 は、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を、芯材 102 に巻き付けるという簡易な方法で調製することができる。そして、複合繊維前駆体 104 において、芯材 102 は確実に中心部に配置され、カーボンナノチューブ無撚糸 3 は芯材 102 の周囲に配置される。そのため、カーボンナノチューブ複合繊維 101 において、芯材 102 を確実に中心部に配置でき、かつ、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を芯材 102 の周囲に配置できる。その結果、機械特性のさらなる向上を図ることができながら、カーボンナノチューブ複合繊維 101 において、芯材 102 およびカーボンナノチューブ無撚糸 3 のバランスの良い特性を得ることができる。
- [0414] また、カーボンナノチューブ無撚糸 3 は、図 1D に示すように、基板 8 に対して直交するように配向（垂直配向）される複数のカーボンナノチューブ 12 から引き出されることにより調製される。そのため、カーボンナノチューブ無撚糸 3 において、複数のカーボンナノチューブのそれぞれが、カーボンナノチューブ無撚糸 3 の延びる方向に沿うように配向される。
- [0415] その結果、図 12 に示すように、カーボンナノチューブ無撚糸 3 が芯材 102 に巻き付けられた状態においても、カーボンナノチューブ 12 の配向性を確実に確保することができ、カーボンナノチューブ複合繊維 101 において、カーボンナノチューブ無撚糸 3 に基づく特性を確実に付与することができる。
- [0416] また、図 1C に示すように、複数のカーボンナノチューブ 12 は、基板 8 基板上に配置される触媒層 11 を起点として成長する。そのため、基板 8 に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブ 12 を確実に準備することができる。
- [0417] 複合繊維製造装置 120 では、図 10 および図 11 に示すように、簡易な構成でありながら、送出部 121 および回収部 122 のそれぞれが回転することにより、芯材 102 にカーボンナノチューブ無撚糸 3 を巻き付けることができ、その後、加熱部 124 により、カーボンナノチューブ無撚糸 3 が巻

き付けられた芯材 102 を加熱することができる。

[0418] そのため、芯材 102 にカーボンナノチューブ無撚糸 3 が巻き付けられ、かつ、芯材 102 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 とが複合化したカーボンナノチューブ複合繊維 101 を、効率よく製造することができる。

10. 他の実施形態

次に、図 13 および図 14 を参照して、本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法の他の実施形態について説明する。

[0419] 上記の第 9 実施形態では、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を芯材 102 に巻き付ける前処理として、例えば、芯材 102 およびカーボンナノチューブ無撚糸 3 のそれぞれの表面処理を挙げているが、前処理は、これに限定されない。

[0420] 例えば、芯材 102 が金属からなる場合、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を芯材 102 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させることもできる。

[0421] 金属としては、例えば、上記した金属と同様の金属が挙げられる。このような金属は、芯材 102 を形成する金属と同一の金属であることが好ましい。

[0422] また、金属含有液としては、例えば、金属粒子が分散される金属分散液や、金属アルコキシドが溶解される金属アルコキシド溶液などが挙げられる。

[0423] このような場合、複合繊維製造装置 120 の供給部 123 は、図 13 に示すように、複数の浸漬部 138 を備えている。

[0424] 複数の浸漬部 138 は、複数の基板 8 のそれぞれに 1 つずつ対応しており、基板 8 と、芯材 102 との間に配置されている。

[0425] 複数の浸漬部 138 のそれぞれは、浸漬槽 140 と、複数のローラ 139 とを備えている。

[0426] 浸漬槽 140 は、上方に向かって開放される略ボックス形状を有しており、その内部に、金属含有液が貯留されている。

[0427] 複数のローラ 139 のそれぞれは、カーボンナノチューブ無撚糸 3 が、浸

漬槽 140 内の金属含有液に浸漬されるように、所定の位置に適宜配置されている。

[0428] これによって、カーボンナノチューブ集合体 13 から引き出されたカーボンナノチューブ無撚糸 3 は、浸漬槽 140 内の金属含有液に浸漬された後、乾燥され、カーボンナノチューブ無撚糸 3 に金属が担持される。

[0429] その後、金属が担持されたカーボンナノチューブ無撚糸 3 が、金属からなる芯材 102 に巻き付けられる。

[0430] また、芯材 102 が金属からなる場合、図 14 に示すように、カーボンナノチューブ無撚糸 3 を芯材 102 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ無撚糸 3 に、金属を蒸着することもできる。

[0431] このような場合、複合繊維製造装置 120 の供給部 123 は、複数の蒸着部 142 を備えている。

[0432] 複数の蒸着部 142 は、複数の基板 8 のそれぞれに 1 つずつ対応しており、基板 8 と、芯材 102 との間に配置されている。

[0433] 複数の蒸着部 142 のそれぞれは、蒸着器 143 と、ローラ 139 とを備えている。

[0434] 蒸着器 143 は、金属蒸着に用いられる公知の装置であって、特に制限されない。

[0435] ローラ 139 は、金属が蒸着されたカーボンナノチューブ無撚糸 3 が、芯材 102 に向かうように、所定の位置に適宜配置されている。

[0436] これによって、カーボンナノチューブ集合体 13 から引き出されたカーボンナノチューブ無撚糸 3 は、蒸着器 143 によって金属が蒸着され、カーボンナノチューブ無撚糸 3 に金属膜が形成される。

[0437] その後、金属膜が形成されたカーボンナノチューブ無撚糸 3 が、金属からなる芯材 102 に巻き付けられる。

[0438] このような他の実施形態では、金属からなる芯材に、金属（金属膜）を有するカーボンナノチューブが巻き付けられるので、芯材 102 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 とを確実に密着させることができる。さらに、複合繊維

前駆体 104 を加熱処理するとき、芯材 102 とカーボンナノチューブ無燃糸 3 が有する金属（金属膜）とが互いに溶融し、その金属が複数のカーボンナノチューブ 12 間に入り込むので、芯材 102 とカーボンナノチューブ無燃糸 3 とを強固に複合化することができる。

[0439] また、芯材 102 が高分子材料からなる場合、図 13 に示すように、カーボンナノチューブ無燃糸 3 を芯材 102 に巻き付ける前に、カーボンナノチューブ無燃糸 3 を、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させることもできる。

[0440] 高分子材料としては、例えば、上記した高分子材料と同様の材料が挙げられる。このような高分子材料は、芯材 102 を形成する高分子材料と同一の材料であることが好ましい。

[0441] また、高分子含有液としては、例えば、高分子材料が溶解される高分子材料溶液などが挙げられる。

[0442] このような場合、浸漬部 138 の浸漬槽 140 には、金属含有液に代えて、高分子含有液が貯留されている。

[0443] そして、カーボンナノチューブ集合体 13 から引き出されたカーボンナノチューブ無燃糸 3 は、浸漬槽 140 内の高分子含有液に浸漬された後、乾燥され、カーボンナノチューブ無燃糸 3 に高分子材料が担持される。

[0444] その後、高分子材料が担持されたカーボンナノチューブ無燃糸 3 が、高分子材料からなる芯材 102 に巻き付けられる。

[0445] また、芯材 102 が高分子材料からなる場合、カーボンナノチューブ無燃糸 3 を芯材 102 に巻き付ける前処理として、カーボンナノチューブ無燃糸 3 を高分子材料からなるフィルムに重ねるか、カーボンナノチューブ無燃糸 3 に、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピニングすることもできる。

[0446] このような他の実施形態では、高分子材料からなる芯材 102 に、高分子材料を有するカーボンナノチューブが巻き付けられるので、芯材 102 とカーボンナノチューブ無燃糸 3 とを確実に密着させることができる。さらに、

複合繊維前駆体 104 を加熱処理するとき、芯材 102 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 が有する高分子材料とが互いに溶融して、高分子樹脂が複数のカーボンナノチューブ 12 間に入り込むので、芯材 102 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 とを強固に複合化することができる。

[0447] このような他の実施形態によっても、上記の実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

11. 変形例

また、図 11 に示すように、芯材 102 にカーボンナノチューブ無撚糸 3 を巻き付けて、複合繊維前駆体 104 を調製した後、加熱処理の前に、複合繊維前駆体 104 をプレスすることもできる。

[0448] このような場合、複合繊維製造装置 120 は、図 11 に仮想線で示すように、1 対の加圧ローラ 146 を備えている。

[0449] 1 対の加圧ローラ 146 は、所定方向において、供給部 123 と加熱部 124 との間に配置されている。1 対の加圧ローラ 146 のそれぞれは、幅方向に延びている。そして、1 対の加圧ローラ 146 は、複合繊維前駆体 104 を挟むように、所定方向および幅方向の両方向と交差する方向に互いに向かい合っている。

[0450] これによって、芯材 102 にカーボンナノチューブ無撚糸 3 が巻き付けられた複合繊維前駆体 104 は、1 対の加圧ローラ 146 の間を通過するとき、プレスされる。

[0451] そのため、芯材 102 とカーボンナノチューブ無撚糸 3 とがより一層密着するとともに、カーボンナノチューブ無撚糸 3 における複数のカーボンナノチューブ 12 が互いに凝集する。

[0452] その後、複合繊維前駆体 104 が加熱部 124 により加熱処理され、カーボンナノチューブ複合繊維 101 が調製される。

[0453] その結果、カーボンナノチューブ複合繊維 101 の機械特性のさらなる向上を確実に図ることができる。

[0454] また、このような変形例によっても、上記の第 9 実施形態と同様の作用効

果を奏することができる。なお、これら第9実施形態、他の実施形態および変形例は、適宜組み合わせることができる。

実施例

[0455] 以下に実施例を示し、本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は、それらに限定されない。以下の記載において用いられる配合割合（含有割合）、物性値、パラメータなどの具体的数値は、上記の「発明を実施するための形態」において記載されている、それらに対応する配合割合（含有割合）、物性値、パラメータなど該当記載の上限値（「以下」、「未満」として定義されている数値）または下限値（「以上」、「超過」として定義されている数値）に代替することができる。

[0456] 実施例1

ステンレス製の基板に二酸化ケイ素膜を積層した後、二酸化ケイ素膜上に、触媒層として鉄を蒸着した。

[0457] 次に、基板を所定の温度に加熱して、触媒層に原料ガス（アセチレンガス）を供給した。これにより、基板上において、平面視略矩形形状のカーボンナノチューブ集合体が形成された。カーボンナノチューブ集合体において、複数のカーボンナノチューブは、互いに略平行となるように延び、基板に対して直交するように配向（垂直配向）されていた。カーボンナノチューブの平均外径は、約12 nm、カーボンナノチューブの平均長さは、約300 μm 、カーボンナノチューブ集合体における、複数のカーボンナノチューブの嵩密度は、約30 mg/cm³であった。

[0458] これによって、基板と、カーボンナノチューブ集合体とを備える第1カーボンナノチューブ支持体が調製された。

[0459] 第1カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体は、長手方向（所定方向）寸法が、200 mmであり、幅方向寸法が15 mmであった。

[0460] また、第1カーボンナノチューブ支持体の調製と同様にして、第2カーボンナノチューブ支持体を調製した。

- [0461] 第2カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体は、長手方向寸法が、200mmであり、幅方向寸法が15mmであった。
- [0462] そして、第1カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体において、所定方向の一端に配置される複数のカーボンナノチューブを、引出具により、全幅にわたって一括して保持し、所定方向に引っ張った。これによって、第1カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を引き出した。複数のカーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれの径（カーボンナノチューブシートの厚み）は、約60nm～80nmであった。
- [0463] 次に、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を、図2に示すように、収束部27の1対の軸部29の間を通過させることにより束ねて、カーボンナノチューブ中心糸を調製した。
- [0464] 次に、カーボンナノチューブ中心糸の所定方向一端部を、回収部22の回収軸32に固定し、カーボンナノチューブ中心糸を、第1カーボンナノチューブ支持体から回収部22にわたって架け渡した。
- [0465] また、第2カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体において、長手方向の一端に配置される複数のカーボンナノチューブを、引出具により、全幅にわたって一括して保持し、長手方向に引っ張った。これによって第2カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸（以下、カーボンナノチューブ巻付糸とする。）を引き出した。複数のカーボンナノチューブ巻付糸は、カーボンナノチューブ巻付糸の延びる方向と直交する方向に並列配置されており、略シート形状を形成していた。複数のカーボンナノチューブ巻付糸のそれぞれの径（カーボンナノチューブシートの厚み）は、約60nm～80nmであった。
- [0466] 次に、複数のカーボンナノチューブ巻付糸のそれぞれの一端部を、収束部27と回収部22との間に配置されるカーボンナノチューブ中心糸に固定した。

- [0467] そして、回転部33を回転させるとともに、回収軸32を回転させた。これによって、カーボンナノチューブ中心糸が、回転して撚り合わされるとともに、所定方向の一方に移動して、回収軸に巻き取られた。
- [0468] 撚り合わされたカーボンナノチューブ中心糸の径は、約 $24\ \mu\text{m}$ ～ $27\ \mu\text{m}$ であった。カーボンナノチューブ中心糸の密度は、約 $0.8\ \text{g}/\text{cm}^3$ であった。
- [0469] このとき、複数のカーボンナノチューブ巻付糸は、カーボンナノチューブ中心糸の回転および移動に伴って、カーボンナノチューブ中心糸の周りに螺旋状に巻き付けられた。
- [0470] 以上によって、カーボンナノチューブ中心糸の周りにカーボンナノチューブ巻付糸が、約100層積層されるカーボンナノチューブ繊維を得た。カーボンナノチューブ繊維の径は、約 $30\ \mu\text{m}$ ～ $35\ \mu\text{m}$ であった。カーボンナノチューブ繊維の密度は、 $0.9\ \text{g}/\text{cm}^3$ であった。
- [0471] 実施例2
- 実施例1と同様にして、長手方向（所定方向）寸法が、 $200\ \text{mm}$ であり、幅方向寸法が $40\ \text{mm}$ であるカーボンナノチューブ集合体を備える第1カーボンナノチューブ支持体と、長手方向（所定方向）寸法が、 $200\ \text{mm}$ であり、幅方向寸法が $15\ \text{mm}$ であるカーボンナノチューブ集合体を備える第2カーボンナノチューブ支持体とを準備した。
- [0472] 次いで、第1カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を引き出した後、それらを束ね撚り合わせて、カーボンナノチューブ中心糸を調製した。
- [0473] 撚り合わされたカーボンナノチューブ中心糸の径は、約 $40\ \mu\text{m}$ ～ $45\ \mu\text{m}$ であった。カーボンナノチューブ中心糸の密度は、約 $0.7\ \text{g}/\text{cm}^3$ であった。
- [0474] また、第2カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ巻付糸を引き出し、カーボンナノチューブ中心糸の周りに螺旋状に巻き付けた。

[0475] 以上によって、カーボンナノチューブ中心系の周りにカーボンナノチューブ巻付系が、約100層積層されるカーボンナノチューブ繊維を得た。カーボンナノチューブ繊維の径は、約50 μm ~55 μm であった。カーボンナノチューブ繊維の密度は、約0.8g/cm³であった。

[0476] 比較例1

実施例1と同様にして、長手方向（所定方向）寸法が、200mmであり、幅方向寸法が30mmであるカーボンナノチューブ集合体を備えるカーボンナノチューブ支持体を準備した。

[0477] そして、カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を引き出した後、それらを束ね撚り合わせて、カーボンナノチューブ繊維を得た。撚り合わされたカーボンナノチューブ繊維の径は、約30 μm ~33 μm であった。カーボンナノチューブ繊維の密度は、約0.6g/cm³であった。

[0478] 比較例2

実施例1と同様にして、長手方向（所定方向）寸法が、200mmであり、幅方向寸法が60mmであるカーボンナノチューブ集合体を備えるカーボンナノチューブ支持体を準備した。

[0479] そして、カーボンナノチューブ支持体のカーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を引き出した後、それらを束ねて、カーボンナノチューブ繊維を得た。カーボンナノチューブ繊維の径は、約50 μm ~53 μm であった。カーボンナノチューブ繊維の密度は、約0.6g/cm³であった。

[0480] 評価：

実施例1で得られたカーボンナノチューブ繊維は、破断強度が350mN~400mNであって、比較例1で得られたカーボンナノチューブ繊維（破断強度が240mN~320mN）に対して、20%程度の強度の向上が確認された。

[0481] 実施例2で得られたカーボンナノチューブ繊維は、破断強度が600mN

～700 mNであって、比較例2で得られたカーボンナノチューブ繊維（破断強度が490 mN～600 mN）に対して、20%程度の強度の向上が確認された。

[0482] なお、カーボンナノチューブ繊維の破断強度は、一軸引張強度試験機により測定した。

[0483] その結果を、表1に示す。

[0484] [表1]

表1

	径	密度	破断強度
	[μm]	[g/cm^3]	[mN]
実施例1	30-35	0.9	350-400
実施例2	50-55	0.8	600-700
比較例1	30-33	0.6	240-320
比較例2	50-53	0.6	490-600

[0485] 実施例3

ステンレス製の基板に二酸化ケイ素膜を積層した後、二酸化ケイ素膜上に、触媒層として鉄を蒸着した。

[0486] 次に、基板を所定の温度に加熱して、触媒層に原料ガス（アセチレンガス）を供給した。これにより、基板上において、カーボンナノチューブ集合体が形成された。カーボンナノチューブ集合体において、複数のカーボンナノチューブは、互いに略平行となるように伸び、基板に対して直交するように配向（垂直配向）されていた。カーボンナノチューブの平均外径は、約12 nm、カーボンナノチューブの平均長さは、約300 μm 、カーボンナノチューブ集合体における、複数のカーボンナノチューブの嵩密度は、約30 mg/cm^3 であった。

[0487] 次に、外径が50 μm の銅線（芯材）を準備した。

[0488] また、カーボンナノチューブ集合体から、複数のカーボンナノチューブ無撚糸を一括して引き出した。複数のカーボンナノチューブ無撚糸は、カーボンナノチューブ無撚糸の伸びる方向と直交する方向に並列配置されており、

略シート形状を形成していた。

[0489] 次いで、複数のカーボンナノチューブ無燃糸を、銅線（芯材）の周りに10層積層されるように、銅線（芯材）に巻き付けて、複合繊維前駆体を調製した。

[0490] 次いで、複合繊維前駆体を、アルゴン雰囲気下において、加熱炉内で、1200℃に加熱処理した。

[0491] これによって、銅線（芯材）と、カーボンナノチューブ無燃糸とが複合化したカーボンナノチューブ複合繊維を得た。

[0492] 実施例4

実施例3と同様にして調製した複数のカーボンナノチューブ無燃糸を、外径が1mmのポリエステル線材（芯材）の周りに10層積層されるように、ポリエステル線材（芯材）に巻き付けて、複合繊維前駆体を調製した。

[0493] 次いで、複合繊維前駆体を、アルゴン雰囲気下において、加熱炉内で、300℃に加熱処理した。

[0494] これによって、ポリエステル線材（芯材）と、カーボンナノチューブ無燃糸とが複合化したカーボンナノチューブ複合繊維を得た。

[0495] 実施例5

実施例3と同様にして調製した複数のカーボンナノチューブ無燃糸に、銅（金属）を蒸着させて前処理した。次いで、前処理した複数のカーボンナノチューブ無燃糸を、外径50μmの銅線（芯材）の周りに10層積層されるように、銅線（芯材）に巻き付けて、複合繊維前駆体を調製した。

[0496] 次いで、複合繊維前駆体を、アルゴン雰囲気下において、加熱炉内で、1200℃に加熱処理した。

[0497] これによって、銅線（芯材）と、カーボンナノチューブ無燃糸とが複合化したカーボンナノチューブ複合繊維を得た。

[0498] 評価：

実施例3および実施例4で得られたカーボンナノチューブ複合繊維のそれぞれは、外径50μmの銅線に対して、30%の強度の向上が確認された。

[0499] また、実施例5で得られたカーボンナノチューブ複合繊維は、外径50 μ mの銅線に対して、50%の強度の向上が確認された。

[0500] カーボンナノチューブ複合繊維の強度は、一軸引張強度試験機により測定した。

[0501] なお、上記発明は、本発明の実施形態として提供したが、これは単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。当該技術分野の当業者によって明らかな本発明の変形例は、後記請求の範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0502] 本発明のカーボンナノチューブ繊維の製造方法は、各種産業製品に用いられるカーボンナノチューブ繊維の製造に好適に用いることができる。

符号の説明

[0503]	1	カーボンナノチューブ繊維
	2	カーボンナノチューブ中心糸
	3	カーボンナノチューブ無撚糸
	8	基板
	11	触媒層
	12	カーボンナノチューブ
	13	カーボンナノチューブ集合体
	20	繊維製造装置
	21	中心糸供給部
	22	回収部
	23	巻付糸供給部
	101	カーボンナノチューブ複合繊維
	102	芯材
	120	複合繊維製造装置
	121	送出部
	122	回収部
	123	供給部

1 2 4 加熱部

請求の範囲

- [請求項1] 所定方向に延びる芯材を準備する工程と、
基板上に配置され、前記基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを備えるカーボンナノチューブ集合体を準備する工程と、
前記カーボンナノチューブ集合体から、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を引き出して調製する工程と、
前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記芯材に巻き付ける工程と、
を含むことを特徴とする、カーボンナノチューブ繊維の製造方法。
- [請求項2] 前記芯材を準備する工程は、
基板上に配置され、前記基板に対して垂直に配向される複数のカーボンナノチューブを備えるカーボンナノチューブ集合体を準備する工程と、
前記カーボンナノチューブ集合体から、前記複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸を複数引き出した後、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を束ねて、前記芯材をカーボンナノチューブ中心糸として調製する工程と、を含むことを特徴とする、請求項1に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。
- [請求項3] 前記カーボンナノチューブ中心糸を調製する工程において、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を撚り合わせて、前記カーボンナノチューブ中心糸を撚糸として調製することを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。
- [請求項4] 前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を、前記カーボンナノチューブ中心糸の撚り方向に沿うように、前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けることを特徴とする、請求項3に

記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項5]

前記カーボンナノチューブ集合体を準備する工程は、

前記基板上に触媒層を配置する工程と、

前記基板に原料ガスを供給することにより、前記触媒層を起点として、前記複数のカーボンナノチューブを成長させる工程とを含んでいることを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項6]

前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心系に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ集合体から、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸を引き出し、複数の前記カーボンナノチューブ無撚糸のうち、少なくとも2つの前記カーボンナノチューブ無撚糸を、巻き方向が互いに異なるように、前記カーボンナノチューブ中心系に螺旋状に巻き付けることを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項7]

前記カーボンナノチューブ中心系を調製する工程において、前記カーボンナノチューブ中心系に揮発性有機溶媒を付着させることを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項8]

前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心系に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心系に巻き付ける前に、

前記カーボンナノチューブ中心系および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させるか、または、

前記カーボンナノチューブ中心系および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、金属を蒸着させることを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項9]

前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心系に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前

記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、

前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、高分子材料からなるフィルムに重ねるか、または、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させるか、あるいは、

前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれに、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピニングすることを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項10] 前記カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた前記カーボンナノチューブ中心糸を加熱処理する工程をさらに含むことを特徴とする、請求項8に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項11] 前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける工程において、前記カーボンナノチューブ無撚糸を前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付ける前に、

前記カーボンナノチューブ中心糸および前記カーボンナノチューブ無撚糸のそれぞれを、UV処理またはプラズマ処理により表面処理することを特徴とする、請求項2に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項12] 複数のカーボンナノチューブ無撚糸を束ねて、所定方向に延びるカーボンナノチューブ中心糸を供給する第1供給部と、

前記第1供給部に対して前記所定方向に間隔を空けて配置され、前記第1供給部から供給される前記カーボンナノチューブ中心糸を回収するように構成される回収部と、

前記第1供給部と前記回収部との間に配置される前記カーボンナノチューブ中心糸に、カーボンナノチューブ無撚糸を供給する第2供給部とを備え、

前記第1供給部および前記回収部のいずれか一方は、前記所定方向

に沿う軸線を回転中心として回転可能であることを特徴とする、カーボンナノチューブ繊維の製造装置。

[請求項13] 複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸が複数束ねられるカーボンナノチューブ中心糸と、
前記カーボンナノチューブ中心糸に巻き付けられる前記カーボンナノチューブ無撚糸とを備えることを特徴とする、カーボンナノチューブ繊維。

[請求項14] 前記カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた前記芯材を加熱処理して、前記カーボンナノチューブ繊維をカーボンナノチューブ複合繊維として調製する工程を、さらに含むことを特徴とする、請求項1に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項15] 前記カーボンナノチューブ集合体を準備する工程は、
前記基板上に触媒層を配置する工程と、
前記基板に原料ガスを供給することにより、前記触媒層を起点として、前記複数のカーボンナノチューブを成長させる工程とを含んでいることを特徴とする、請求項14に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項16] 前記芯材は、金属からなり、
前記カーボンナノチューブ無撚糸を調製する工程において、
前記カーボンナノチューブ無撚糸を、金属を含有する金属含有液に浸漬した後、乾燥させるか、または、
前記カーボンナノチューブ無撚糸に、金属を蒸着させることを特徴とする、請求項14に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項17] 前記芯材は、高分子材料からなり、
前記カーボンナノチューブ無撚糸を調製する工程において、
前記カーボンナノチューブ無撚糸を高分子材料からなるフィルムに重ねるか、または、

前記カーボンナノチューブ無撚糸を、高分子材料を含有する高分子含有液に浸漬した後、乾燥させるか、あるいは、

前記カーボンナノチューブ無撚糸に、高分子材料が溶解した高分子溶液をエレクトロスピニングすることを特徴とする、請求項14に記載のカーボンナノチューブ繊維の製造方法。

[請求項18] 芯材を所定方向に向かって送り出すように構成され、前記所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能な送出部と、

前記送出部に対して前記所定方向に間隔を空けて配置され、前記送出部から送り出される前記芯材を回収するように構成され、前記所定方向に沿う軸線を回転中心として回転可能な回収部と、

前記送出部と前記回収部との間に配置される前記芯材に、カーボンナノチューブ無撚糸を供給する供給部と、

前記送出部および前記回収部のそれぞれが回転することにより、前記カーボンナノチューブ無撚糸が巻き付けられた前記芯材を加熱するように構成される加熱部とを備えることを特徴とする、カーボンナノチューブ繊維の製造装置。

[請求項19] 所定方向に延びる芯材と、

複数のカーボンナノチューブが連続的に繋がるカーボンナノチューブ無撚糸であって、前記芯材に巻き付けられるカーボンナノチューブ無撚糸とを備えることを特徴とする、カーボンナノチューブ繊維。

[図1]

図1

図1A

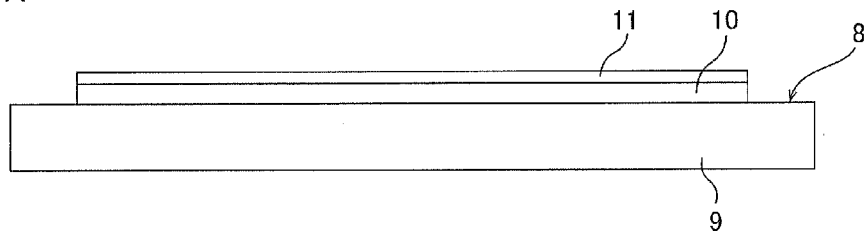


図1B

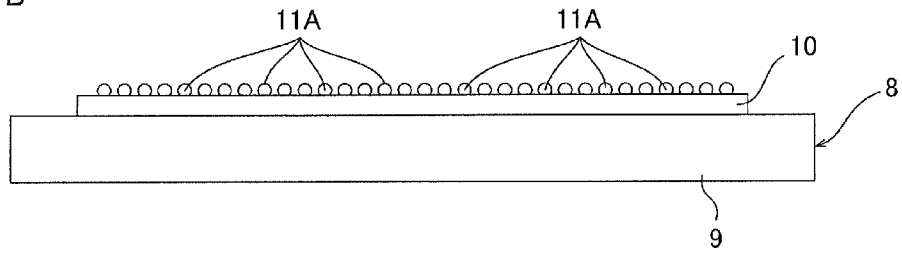


図1C

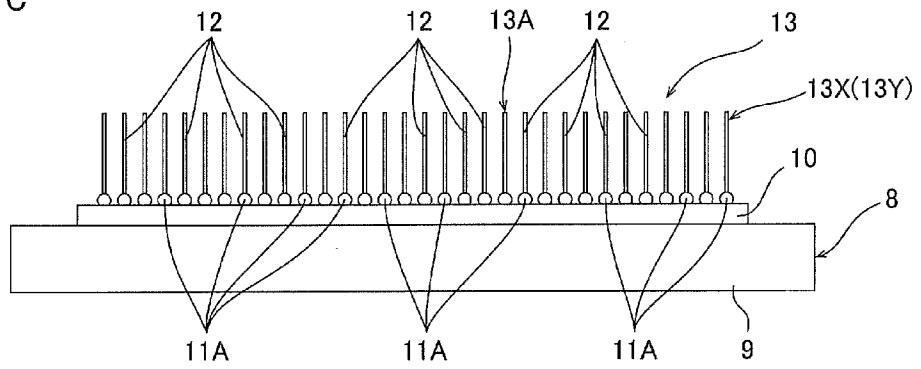
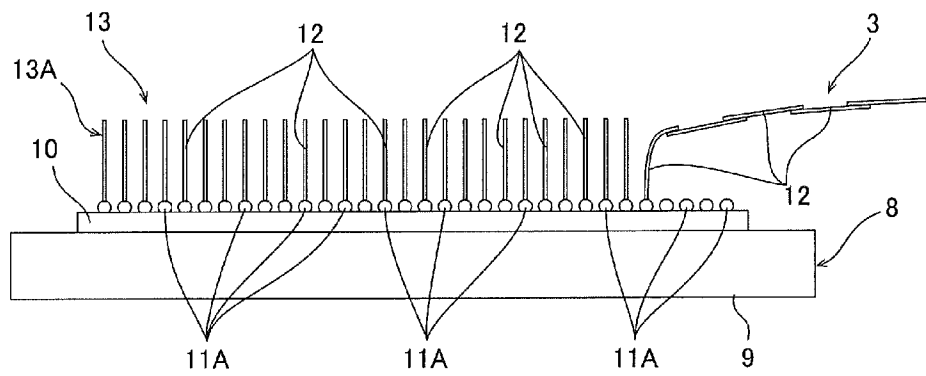


図1D



[圖2]

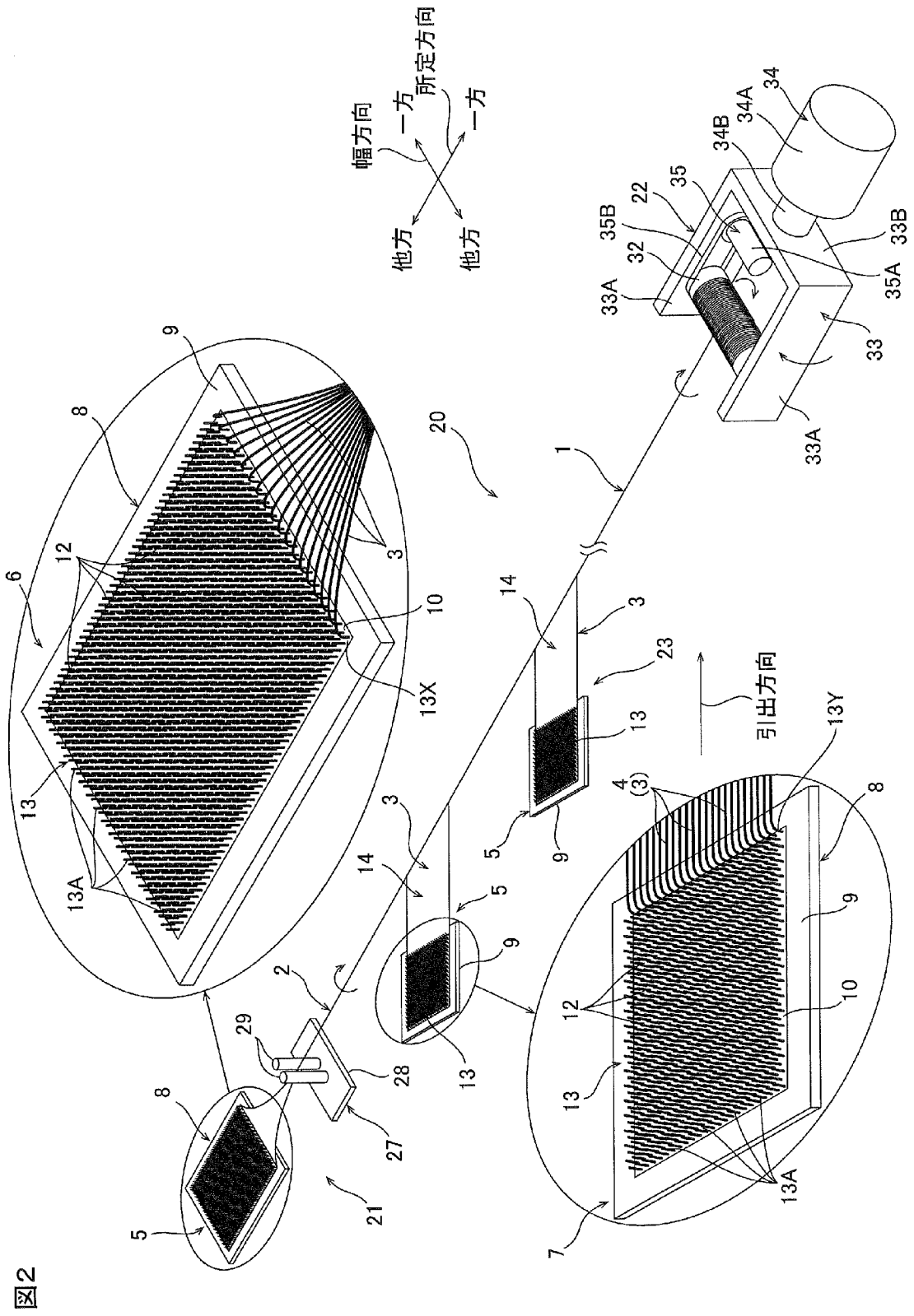


圖2

幅方向
一方
所定方向
一方
他方
他方

引出方向

[図3]

図3

図3A

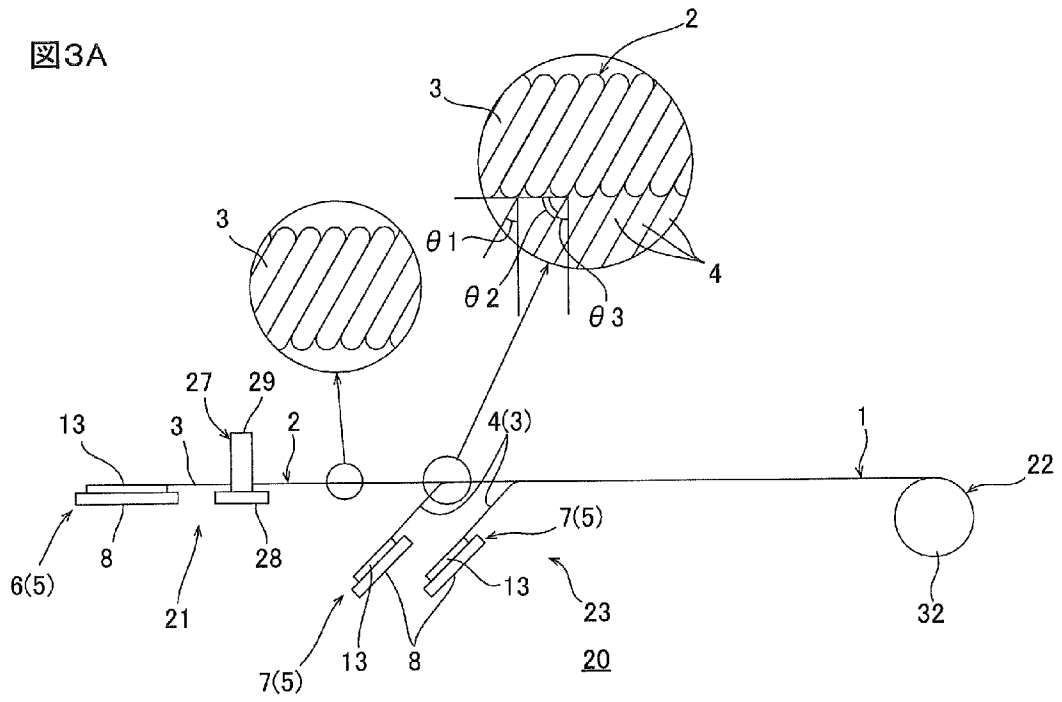
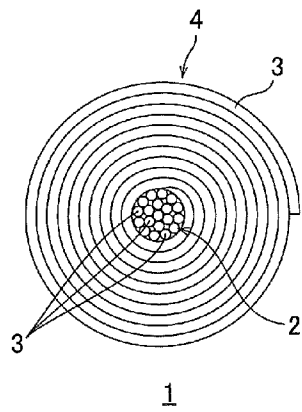


図3B



[图4]

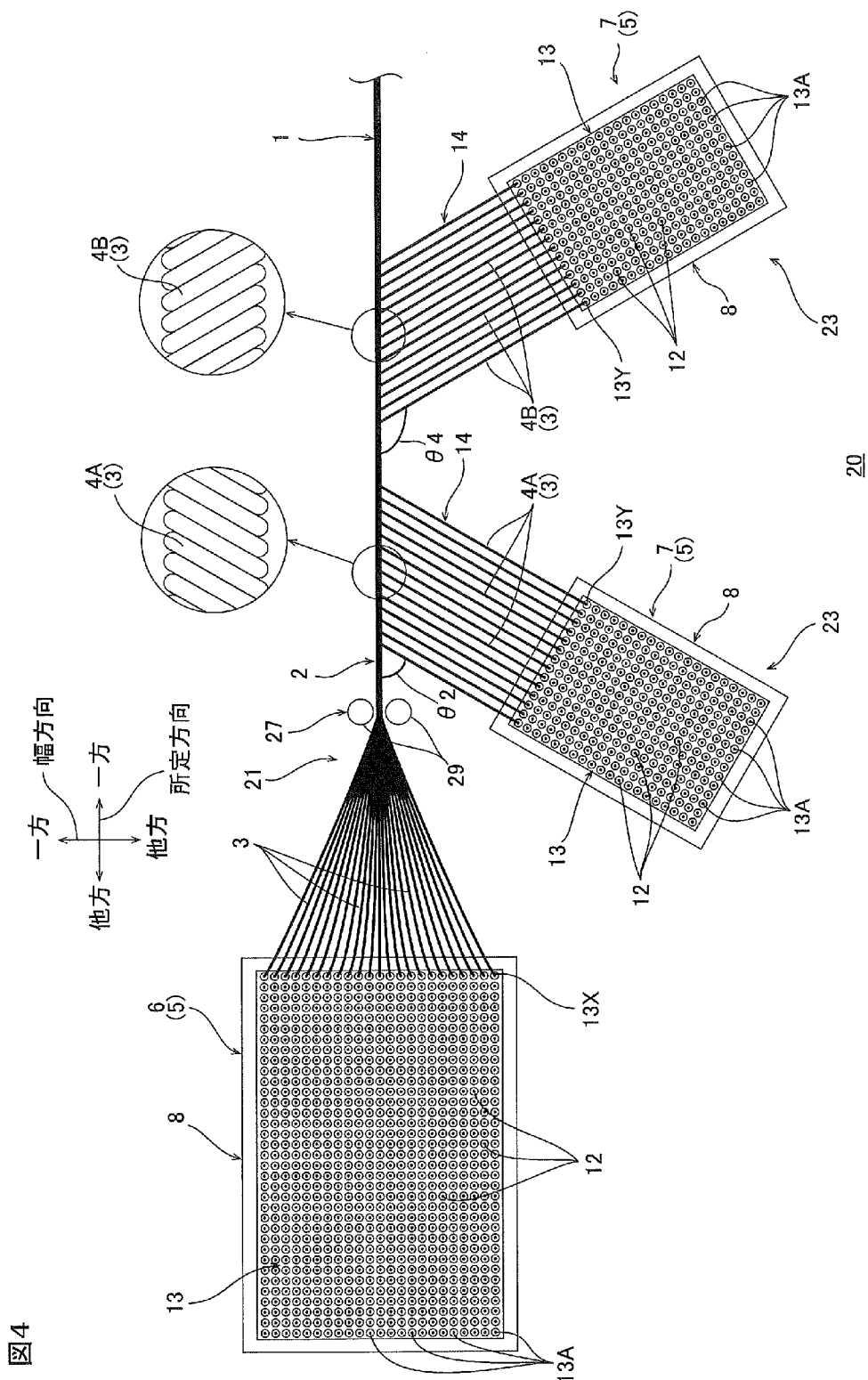
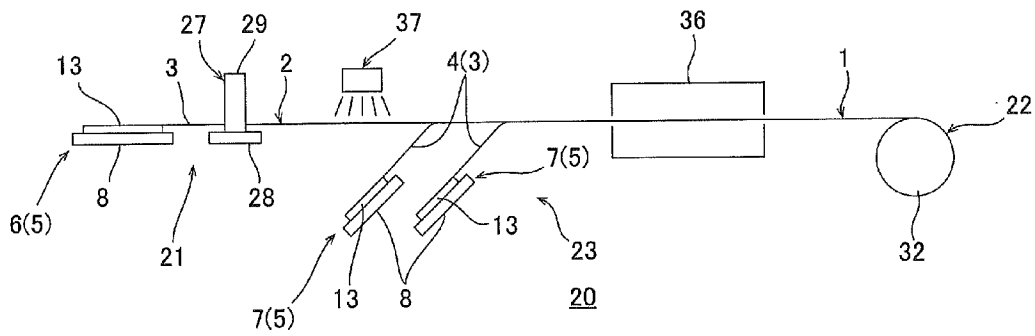


图4

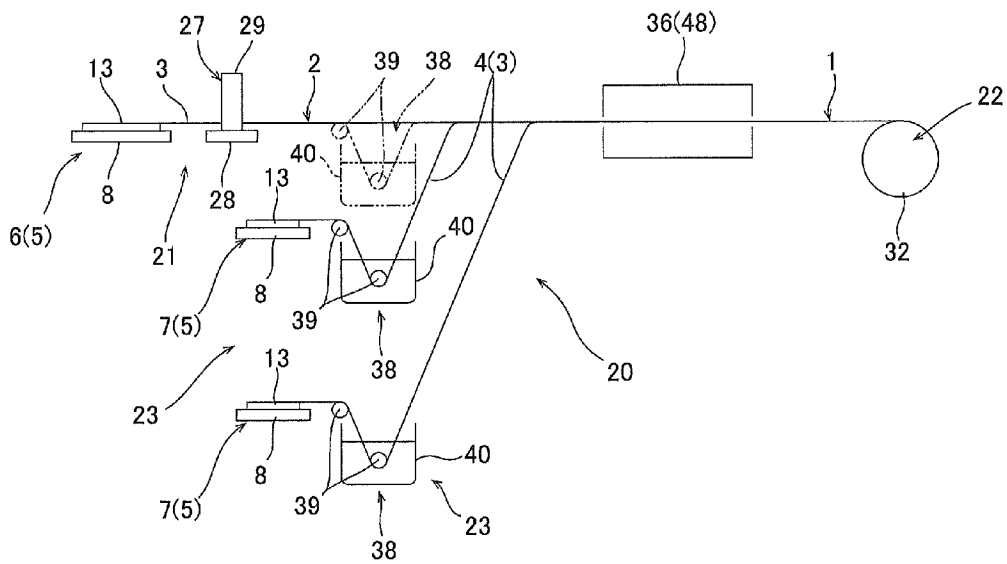
[図5]

図5



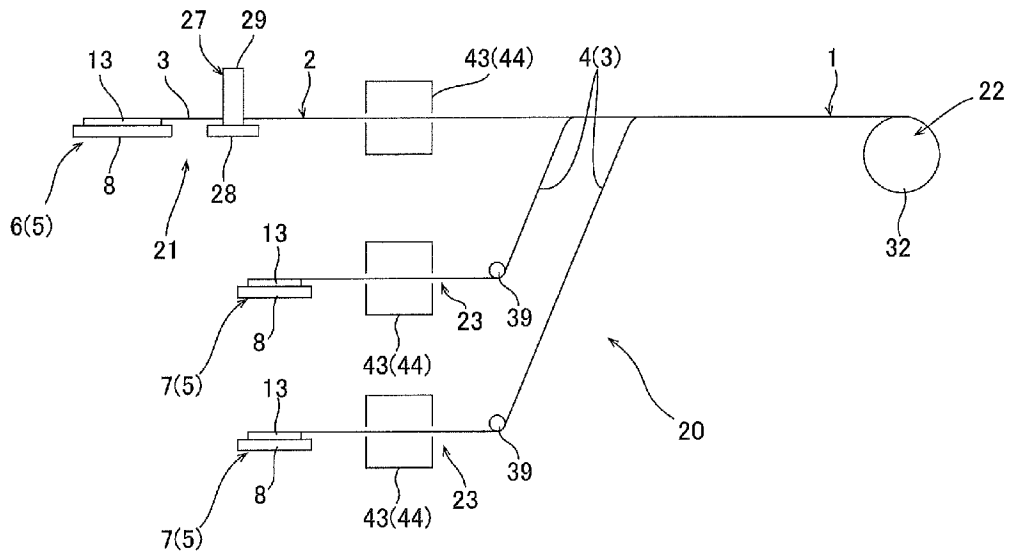
[図6]

図6



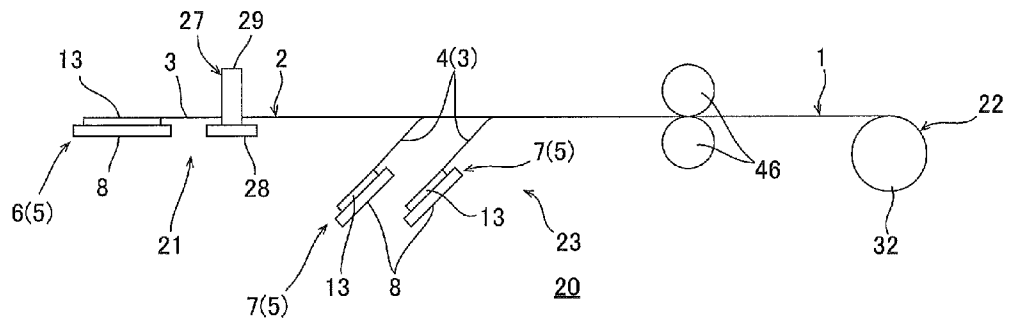
[図7]

図7



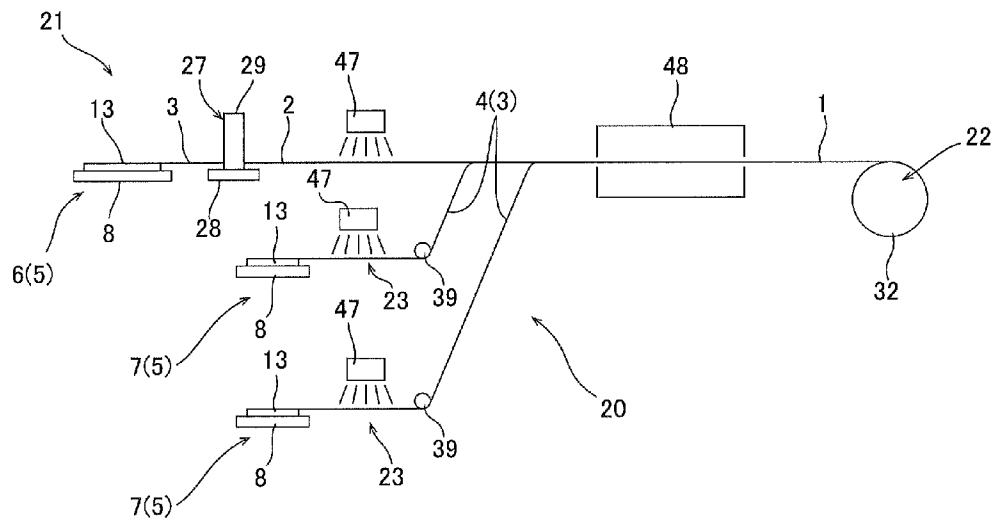
[図8]

図8

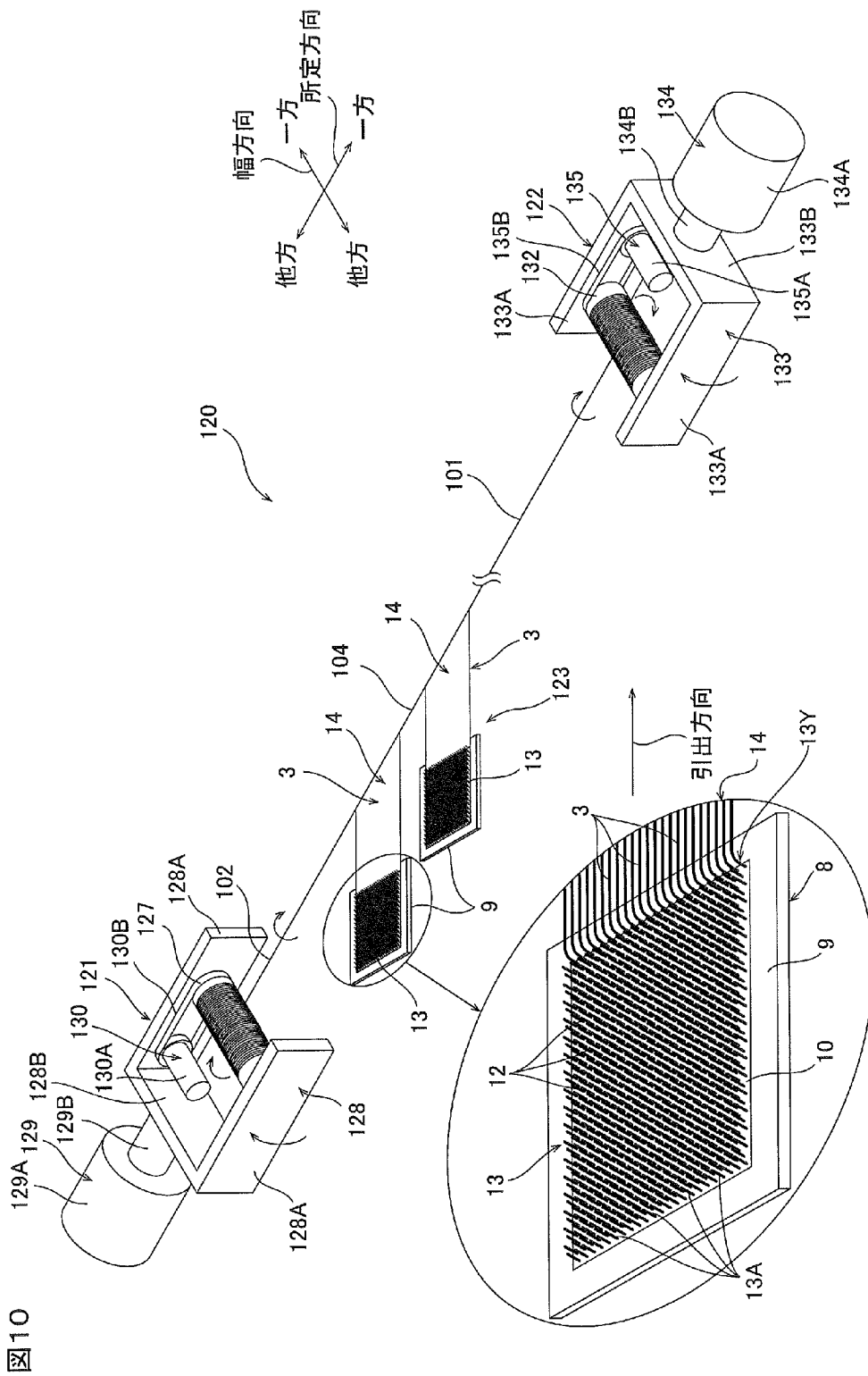


[図9]

図9

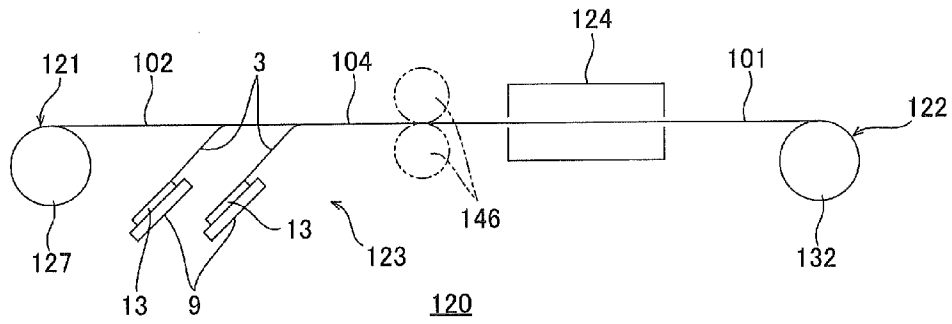


[图10]



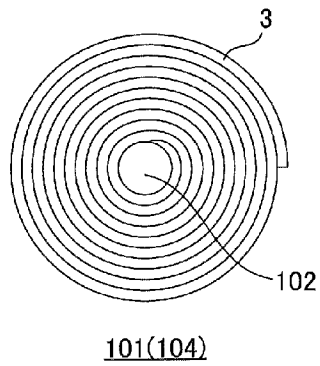
[図11]

図11



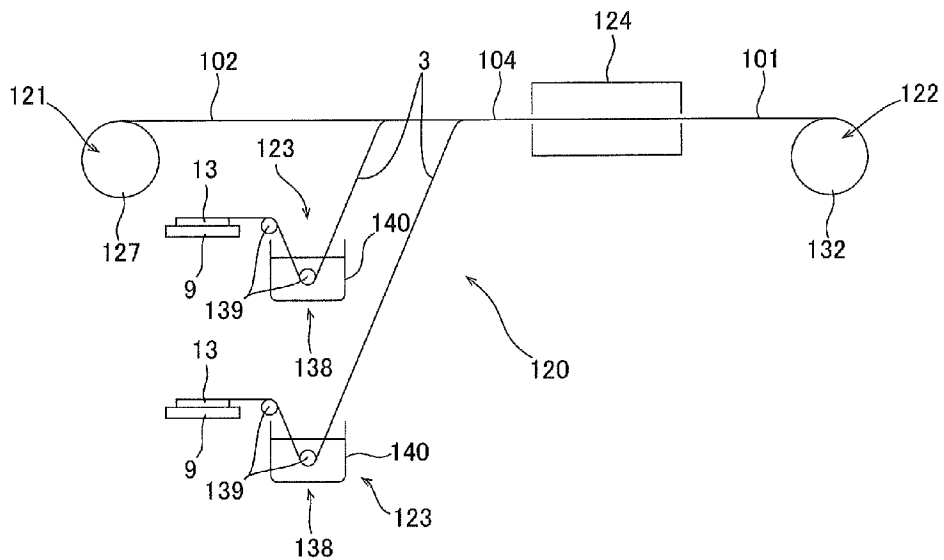
[図12]

図12



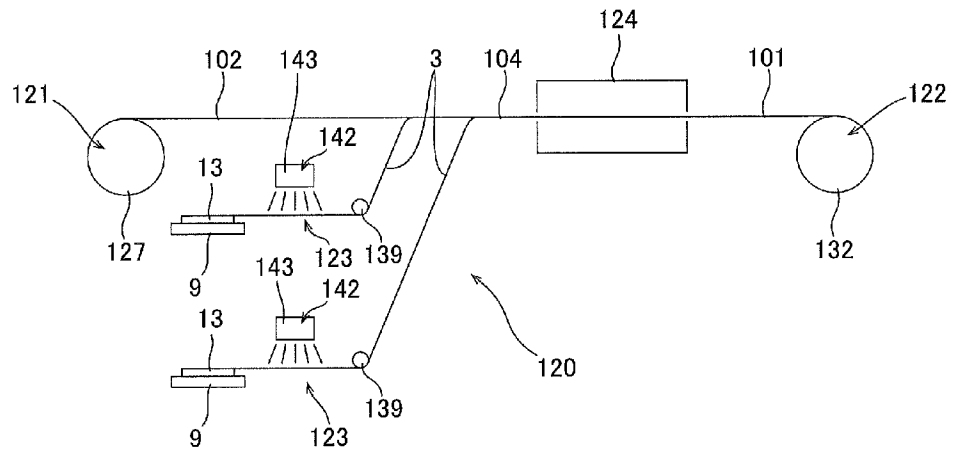
[図13]

図13



[図14]

図14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/055479

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
D02G3/38(2006.01)i, D02G3/16(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
D02G1/00-3/48, D02J1/00-13/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-169521 A (Honda Motor Co., Ltd.), 18 September 2014 (18.09.2014), example 13; fig. 3(b), 12(b) & US 2014/0217643 A1 example 13; fig. 3B, 12B	1-19
A	JP 2010-168678 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 05 August 2010 (05.08.2010), example 2 (Family: none)	1-19

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 09 May 2016 (09.05.16)	Date of mailing of the international search report 17 May 2016 (17.05.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. D02G3/38(2006.01)i, D02G3/16(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. D02G1/00-3/48, D02J1/00-13/00											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">日本国実用新案公報</td> <td style="width:70%;">1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2016年										
日本国実用新案登録公報	1996-2016年										
日本国登録実用新案公報	1994-2016年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
A	JP 2014-169521 A (本田技研工業株式会社) 2014.09.18, 実施例13, 図3(b), 図12(b) & US 2014/0217643 A1, EXAMPLE 13, FIG.3B, FIG12B	1-19									
A	JP 2010-168678 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2010.08.05, 実施例2 (ファミリーなし)	1-19									
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 09.05.2016		国際調査報告の発送日 17.05.2016									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 斎藤 克也	4S 9344								
		電話番号 03-3581-1101 内線	3474								