(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 12 月 15 日(15.12.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/199890 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 25/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/067370

(22) 国際出願日: 2016 年 6 月 10 日(10.06.2016)

(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 2015-117288 2015 年 6 月 10 日(10.06.2015) JP

(71) 出願人: 国立大学法人名古屋大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NAGOYA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町１番 Aichi (JP).

(72) 発明者: 長野　方星 (NAGANO, Hosei); 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町１番　国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP). 藤田　涼平 (FUJITA, Ryouhei); 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町１番　国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 古部　次郎, 外 (FURUBE, Jiro et al.); 〒1076022 東京都港区赤坂１－１２－３２　アーク森ビル２２階　私書箱５１３号　セリオ国際特許商標事務所 Tokyo (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.

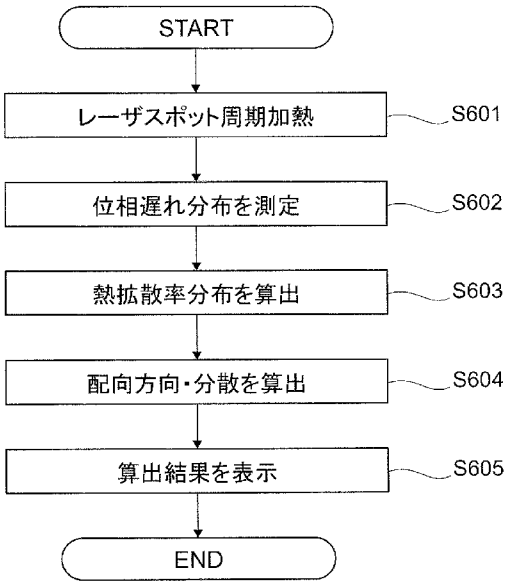
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) **Title**: ORIENTATION IDENTIFICATION DEVICE, ORIENTATION IDENTIFICATION METHOD, AND DISTRIBUTION IDENTIFICATION DEVICE

(54) 発明の名称 : 配向同定装置、配向同定方法および分布同定装置

[図6]



S601 Periodical laser spot heating
S602 Measure phase delay distribution
S603 Calculate thermal diffusivity distribution
S604 Calculate orientation direction and variance
S605 Display calculation result

(57) **Abstract**: An orientation identification device according to the present invention is provided with: a diode laser that periodically emits light to a sample made of a carbon fiber reinforced resin to heat the sample; an infrared thermography that detects a delay in response of a change in a temperature distribution over an area including a portion of the sample which has been heated by the diode laser; and a computer that outputs information representing the orientation of the sample on the basis of the delay in the response detected by the infrared thermography, so that the orientation identification device, which is capable of quickly identifying the orientation of the sample in a non-contact manner, and so on are provided.

(57) 要約: 本発明の配向同定装置は、炭素繊維強化樹脂により構成される試料に対して光を周期的に照射し試料を加熱するダイオードレーザと、試料のダイオードレーザによって加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する赤外線サーモグラフィと、赤外線サーモグラフィによって検知された応答の遅れに基づいて、試料の配向性を示す情報を出力するコンピュータとを備えることにより、試料の配向性を非接触でかつ迅速に同定可能な配向同定装置などを提供する。

WO 2016/199890 A1

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).

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 ： 配向同定装置、配向同定方法および分布同定装置

技術分野

[0001] 本発明は、配向同定装置、配向同定方法および分布同定装置に関する。

背景技術

[0002] 航空機器、電子機器などの先端機器においては、高熱伝導、異方性、高比剛性の素材として、炭素繊維強化複合材が広く採用されている。このような炭素繊維強化複合材においては、炭素繊維の配向により生じる異方性により、力学的特性（強度、剛性など）や熱的特性（熱拡散率、熱伝導率など）に大きな差異が生じるため、異方性の同定（測定）が重要である。

[0003] このような繊維配向同定方法としては、例えばＸ線ＣＴ法や引張試験などが使用されている。

例えば、特許文献１には、Ｘ線ＣＴ法により取得された樹脂成形品のスライス画像を二値化し、この二値化画像に対してフーリエ変換を施すことで得られるパワースペクトル画像を用いて、樹脂成形品内の一部における充填材の配向状態の傾向を解析することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１２－２５４７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述のように、炭素繊維強化複合材の配向同定方法として、Ｘ線ＣＴ法および引張試験を採用した場合、測定試料を切り出し加工するなど、測定試料に接触することが必要であった。また、上記のＸ線ＣＴ法および引張試験を、例えば炭素繊維強化複合材の製造工程における配向同定方法として採用した場合、測定評価に長い時間が必要となることや装置が大がかりとなることがあった。付言すると、上記のＸ線ＣＴ法および引張試験は、インラインで

の測定に用いることが困難であった。

[0006] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、試料の配向性を非接触でかつ迅速に同定可能な配向同定装置などを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するため、上記課題を解決する手段として、以下に記載の発明が挙げられる。すなわち、請求項１記載の発明は、複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱する加熱部と、前記試料の前記加熱部によって加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する検知部と、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料を構成する少なくとも１種の材料の配向性を示す情報を出力する出力部とを備える配向同定装置である。

請求項２記載の発明は、前記加熱部は、前記試料の一方側から当該試料を加熱し、前記検知部は、前記試料を挟んで前記加熱部とは反対側から前記領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知することを特徴とする請求項１記載の配向同定装置である。

請求項３記載の発明は、前記試料は、繊維状に形成された強化材と、当該強化材を支持する母材とを含み、前記出力部は、前記試料における前記強化材の向きを示す情報を出力することを特徴とする請求項１または２記載の配向同定装置である。

請求項４記載の発明は、前記出力部は、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料の配向性を示す情報とともに、前記試料の熱拡散率に関する情報を出力することを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項記載の配向同定装置である。

請求項５記載の発明は、前記出力部は、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料の配向方向を極座標により表示することを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項記載の配向同定装置である。

請求項６記載の発明は、前記加熱部および前記検知部と前記試料とを相対

移動させる移動機構をさらに備え、前記加熱部は、前記試料を複数の部分に分けたうちの各部分を順次スポット周期加熱し、前記検知部は、前記加熱部により順次スポット周期加熱された前記各部分の温度分布を順次検知し、前記出力部は、前記試料の前記部分毎の配向性を示す情報を出力することを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項記載の配向同定装置である。

請求項７記載の発明は、前記加熱部は、各々の照射位置が各被測定領域の中心位置となるように一列に並べて配置された複数の光照射部を含み、前記検知部は、前記各被測定領域の温度分布を検知する複数の温度検知部からなり、前記複数の光照射部の配列方向と交差する方向に、当該複数の光照射部および前記複数の温度検知部と前記試料とを相対移動させる移動機構をさらに備えることを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項記載の配向同定装置である。

請求項８記載の発明は、複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱するステップと、前記試料の加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知するステップと、検知された応答の遅れに基づいて、前記試料を構成する少なくとも１種の材料の配向性を示す情報を出力するステップとを備える配向同定方法である。

請求項９記載の発明は、複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱する加熱部と、前記試料の前記加熱部によって加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する検知部と、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料における前記材料を構成する少なくとも１種の材料の分布を示す情報を出力する出力部とを備える分布同定装置である。

発明の効果

[0008] 請求項１記載の発明によれば、試料の配向性を非接触でかつ迅速に同定可能な配向同定装置を提供することができる。

請求項２記載の発明によれば、試料の配向性を同定する精度を向上させることができる。

請求項３記載の発明によれば、強化材の向きを同定することができる。

請求項４記載の発明によれば、試料の配向性とともに試料の熱的特性を把握することができる。

請求項５記載の発明によれば、試料の配向性を視覚的に把握することができる。

請求項６記載の発明によれば、試料におけるより広い領域の配向性を同定することができる。

請求項７記載の発明によれば、試料におけるより広い領域の配向性を短時間で同定することができる。

請求項８記載の発明によれば、試料の配向性を非接触でかつ迅速に同定可能な配向同定方法を提供することができる。

請求項９記載の発明によれば、試料の分布を非接触でかつ迅速に同定可能な分布同定方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本実施の形態に係る配向同定装置を示す概略構成図である。

[図2]コンピュータの機能構成図である。

[図3]（ａ）および（ｂ）は、面内熱拡散率の測定原理を示す説明図である。

[図4]（ａ）および（ｂ）は、厚み方向熱拡散率の測定原理を示す説明図である。

[図5]（ａ）は測定試料における熱拡散の方向を示し、（ｂ）は熱拡散の角度と熱拡散率と繊維配向密度との関係を示す図である。

[図6]配向同定装置の動作を説明するフローチャートである。

[図7]（ａ）および（ｂ）は、配向同定装置により得られた測定結果１を示す図である。

[図8]（ａ）および（ｂ）は、配向同定装置により得られた測定結果２を示す図である。

[図9]（ａ）および（ｂ）は、配向同定装置により得られた測定結果２を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、添付図面を参照して、本実施の形態について詳細に説明する。

＜配向同定装置１００の構成＞

まず、図１を参照して、本実施の形態が適用される配向同定装置１００の構成を説明する。ここで、図１は、本実施の形態に係る配向同定装置１００を示す概略構成図である。

図１に示すように、本実施の形態が適用される配向同定装置１００は、板状に形成された測定試料１を支持するホルダ２と、参照光を出力する発光ダイオード３と、測定試料１の一方の面（表面）を撮像するＣＣＤ撮像素子４と、一方向に延びるレール５と、このレール５に設けられホルダ２を支持する第１ＸＹＺステージ６と、レール５に設けられ発光ダイオード３およびＣＣＤ撮像素子４を支持する第２ＸＹＺステージ７とを備える。

[0011] また、配向同定装置１００は、加熱用光源（加熱部の一例）として機能するダイオードレーザ１０と、ダイオードレーザ１０から出射されたレーザ光を反射する第１ミラー１１と、レーザ光を周期的信号に変換（パルス化）する音響光学素子１２と、音響光学素子１２からのレーザ光を反射する第２ミラー１４と、第２ミラー１４からのレーザ光のビーム径を拡大するビームエキスパンダ１５と、測定試料１の表面に照射されるレーザ光のビーム径を調整する（絞る）マイクロスコープ１６とを備える。

[0012] また、配向同定装置１００は、測定試料１を挟んでマイクロスコープ１６とは反対側に設けられた赤外線サーモグラフィ（ロックインサーモグラフィ、検知部の一例）１７と、赤外線サーモグラフィ１７からの信号を受けるコンピュータ（出力部の一例）２０と、周期的信号を発生させ音響光学素子１２および赤外線サーモグラフィ１７へと出力する周期的信号発生器３０とを備える。

[0013] このように構成された配向同定装置１００においては、ダイオードレーザ１０から出射されたレーザ光が、音響光学素子１２にて周期的信号に変換され、ビームエキスパンダ１５およびマイクロスコープ１６を経た後に、測定

試料１へと照射される。この測定試料１においては、レーザ光が照射される箇所（領域）が周期的に加熱される。すなわち、測定試料１の表面における特定の点（位置）が、スポット周期加熱される。

[0014] また、ダイオードレーザ１０のレーザ光により加熱された測定試料１の温度は、測定試料１の裏面側から赤外線サーモグラフィ１７によって測定される。なお、赤外線サーモグラフィ１７は、ダイオードレーザ１０によりスポット周期加熱される領域を含む予め定めた範囲（領域）を、赤外線画像として撮像（測定）する。さらに説明をすると、例えば、スポット周期加熱される領域（略円形）の寸法（直径）が０．１μｍ～１ｍｍであるのに対して、赤外線サーモグラフィ１７により撮像される領域（略長方形）の寸法（一辺）は１０ｍｍ～１００ｍｍである。

この赤外線サーモグラフィ１７には、周期的信号発生器３０より周期的信号が入力される。また、赤外線サーモグラフィ１７で測定された温度のデータ（温度分布データ）は、周期的信号とともにコンピュータ２０へと出力される。

[0015] コンピュータ２０は、赤外線サーモグラフィ１７とあわせて、任意に設定した所定間隔（一定間隔）のフレームレートに基づいて、赤外線画像の取り込みと演算とを連続的に実行し、時間の経過とともに変化する温度変化量から平均化した画像を作成する（ロックイン方式）。さらに説明をすると、赤外線サーモグラフィ１７で得られたデータは、コンピュータ２０により演算処理され、加熱領域Ｈｐ（後述する図５（ａ）参照）からの方向（角度）、熱拡散率、および配向性が算出される。

[0016] ＜コンピュータ２０の機能構成＞

次に、図２を参照して、本実施の形態が適用されるコンピュータ２０の機能構成を説明する。ここで、図２は、コンピュータ２０の機能構成図である。

図２に示すように、本実施の形態が適用されるコンピュータ２０は、赤外線サーモグラフィ１７（図１参照）から入力される温度分布データおよび周

期的信号に基づいて位相遅れ分布を測定する位相遅れ分布測定部２１と、測定された位相遅れに基づいて熱拡散率分布を算出する熱拡散率分布算出部２２と、算出された熱拡散率分布に基づいて測定試料１（図１参照）の配向性（後述）を算出する配向性算出部２３と、熱拡散率分布および配向性の算出結果を表示する算出結果表示部２４とを備える。

[0017] なお、図示は省略するが、コンピュータ２０は、演算処理を行うＣＰＵと、ＣＰＵにて実行されるプログラムや各種データ等が記憶されたＲＯＭと、ＣＰＵの作業用メモリ等として用いられるＲＡＭと、ＥＥＰＲＯＭ(Electrically Erasable & Programmable Read Only Memory)と、を備えている。そして、コンピュータ２０が備えるこれらの構成部材により、上記各機能構成が実行される。

[0018] さて、本実施の形態のコンピュータ２０は、赤外線サーモグラフィ１７により検出された測定試料１（図１参照）の温度分布の変化に基づいて、測定試料１の配向性を同定（特定）する。さらに説明をすると、コンピュータ２０は、測定試料１の温度分布の変化の応答の遅れに基づいて、測定試料１の配向性を特定する。付言すると、ここでは、測定試料１の熱的特性を、測定試料１の配向性として擬制する。

[0019] 図示の例における測定試料１は、炭素系複合材料、より具体的には、炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastics（ＣＦＲＰ）、炭素繊維強化プラスチック）である。さらに説明をすると、測定試料１は、ピッチから製造される所謂ピッチ系炭素繊維（強化材）にエポキシ樹脂等の樹脂（母材）を含浸させた、ピッチ系炭素繊維強化樹脂により構成される。

[0020] なお、ピッチ系炭素繊維は、このピッチ系炭素繊維に含浸される樹脂と比較して、高熱伝導性である。付言すると、ピッチ系炭素繊維は、相対的に低熱伝導性の樹脂とは、熱伝導率（熱拡散率）が大きく異なる。ここで、ピッチ系炭素繊維強化樹脂は単なる例示であり、炭素繊維および樹脂の熱伝導率（熱拡散率）に差があればよく、例えば熱拡散率が相対的に低いポリアクリロニトリル（ＰＡＮ）系の炭素繊維強化樹脂を用いてもよい。

また、図示の例における炭素繊維強化樹脂は、所謂不連続繊維複合材料であり、例えばピッチ系炭素繊維の長さは、例えば０．１ｍｍ～１０ｍｍ程度、より詳細には、１ｍｍ～５ｍｍ程度である。ここで、不連続繊維複合材料は、単なる例示であり、連続繊維複合材料であってもよい。例えば、連続繊維プリプレグを積層した、炭素繊維強化樹脂を測定試料１としてもよい。

[0021] また、測定試料１の配向性とは、異方性材料である測定試料１に含まれる繊維（炭素繊維）の配向分布を示す指標である。本実施の形態においては、配向角（配向方向）および配向角の分散（配向角のばらつき）により示される。また、配向角とは、測定試料１において繊維が向きやすい方向を示す角度である。言い替えると、配向角は、繊維の優先配向度である。

[0022] ＜測定原理＞

次に、本実施の形態における測定方法の原理を説明する。

まず、図３（ａ）および（ｂ）を参照しながら、測定試料１の面内熱拡散率の測定原理について説明をする。なお、図３（ａ）および（ｂ）は、面内熱拡散率の測定原理を示す説明図である。

[0023] ここでは、測定試料１の表面に対して、一定の周波数の加熱光（レーザ光）を照射し、測定試料１の裏面側から赤外線サーモグラフィ１７により測定する。付言すると、ここでは、位相遅れの距離依存性を検知する。

さて、加熱光により照射される領域を点熱源とすると、この点熱源から距離ｒ離れた位置での交流温度Ｔａｃは、以下に示す式（１）で表わされる。

[0024] [数1]

$$T_{ac} = T_0 e^{i(2\pi ft - kr)} e^{-kr} r^{-1} \qquad \cdots(1)$$

[0025] ここに、

Ｔ０・・・定数（Ｋｍ）

ｆ・・・加熱周波数（Ｈｚ）

ｔ・・・時間（ｓ）

ｒ・・・距離（ｍ）

[0026] また、点熱源と交流温度Ｔａｃとの位相差θは、以下に示す式（２）で表

わされる。

[0027] [数2]

$$\theta = -\sqrt{\pi f/D} \times r \qquad \cdots(2)$$

[0028] ここに、

ｆ１・・・加熱周波数（一定）（Ｈｚ）

Ｄ・・・熱拡散率（ｍｍ２／ｓ）

[0029] この測定試料１の面内熱拡散率Ｄは、以下に示す式（３）で表わされる。

[0030] [数3]

$$D = \pi f_1 \Big/ \left(\frac{d\theta}{dr}\right)^2 \qquad \cdots(3)$$

[0031] 次に、図４（ａ）および（ｂ）を参照しながら、測定試料１の厚み方向熱拡散率の測定原理について説明をする。なお、図４（ａ）および（ｂ）は、厚み方向熱拡散率の測定原理を示す説明図である。

ここでは、厚みｄが一定の測定試料１に照射させる加熱光の周波数を変化させながら測定する。付言すると、ここでは位相遅れの周波数依存性を検知する。

[0032] この測定試料１の厚み方向の熱拡散率Ｄは、以下に示す式（４）で表わされる。

[0033] [数4]

$$D = \pi d^2 \Big/ \left(\frac{d\theta}{d\sqrt{f}}\right)^2 \qquad \cdots(4)$$

[0034] ここに、

ｄ・・・測定対象物の厚み（一定）（ｍｍ）

[0035] 次に、図５（ａ）および（ｂ）を参照しながら、測定試料１の配向分布の測定原理について説明をする。なお、図５（ａ）は測定試料１における熱拡散の方向を示し、図５（ｂ）は熱拡散の角度と熱拡散率と繊維配向密度との関係を示す図である。

[0036] さて、図５（ａ）に示すように、測定試料１に含まれる炭素繊維配向に応じて、加熱領域Ｈｐからの熱拡散現象が変化する。すなわち、測定試料１に含まれる炭素繊維の向きに沿う方向においては加熱領域Ｈｐからの熱が伝わりやすく、炭素繊維の向きと交差する向きには加熱領域Ｈｐからの熱が伝わりにくい。このことにより、測定試料１における加熱領域Ｈｐを中心とした角度に応じて、熱拡散の速さに違いが生じる。言い替えると、測定試料１における加熱領域Ｈｐを中心とした角度に応じて、熱拡散率が変化する。

[0037] ここで、図５（ｂ）に示すように、測定試料１において、加熱領域Ｈｐから複数方向の熱拡散率の測定を配向同定装置１００により行った結果、角度に応じて熱拡散率が変化することが確認された。

また、本実施の形態においては、得られた熱拡散率角度分布に基づいて、繊維配向分布の平均と分散とを算出する。さらに説明をすると、得られた熱拡散率角度分布に基づいて得られる繊維配向分布密度関数（Fiber Orientation Distribution density function）により、繊維配向分布の平均と分散とを算出する。なお、繊維配向分布密度関数は、例えば、複数のピークを含む熱拡散率角度分布を、各々のピーク区間に分割し、各ピークに対して最小二乗法を用いたフィッティングを行うことにより得られる。

[0038] ここで、繊維配向分布密度関数は、以下に示す式（５）で表わされる。

[0039] [数5]

$$g(\theta)=\frac{\left\{\sin\left(\frac{\theta-\eta}{\xi}\right)\right\}^{2P-1}\left\{\cos\left(\frac{\theta-\eta}{\xi}\right)\right\}^{2Q-1}}{\int_{\theta a}^{\theta b}\left\{\sin\left(\frac{\theta-\eta}{\xi}\right)\right\}^{2P-1}\left\{\sin\left(\frac{\theta-\eta}{\xi}\right)\right\}^{2P-1}d\theta} \qquad \cdots(5)$$

[0040] ここに、

η・・・オフセット角（ｒａｄ）

ξ・・・分布サイズを決定するパラメータ（無次元数）

Ｐ・・・第１フィッティングパラメータ

Ｑ・・・第２フィッティングパラメータ

[0041] また、$\eta \leqq \theta a \leqq \theta \leqq \theta b \leqq 180°$であり、かつP≧1／2、Q≧1／2、$\xi \geqq 2$、$\eta \geqq 0$である。

そして、PおよびQに基づいて、分布の平均値μと分散$\sigma 2$（標準偏差σ）が、以下に示す式（6）により求まる。

[0042] [数6]

$$\mu = \frac{P}{P+Q}, \quad \sigma^2 = \frac{PQ}{(P+Q)^2(P+Q+1)} \qquad \cdots(6)$$

[0043] そして、分布の平均値μに基づいて、繊維配向方向$\theta 0$が、以下に示す式（7）により求まる。なお、式（7）におけるピークを含む区間とは、分割角度に対応する。

[0044] [数7]

$$\theta_0 = (\text{ピークを含む区間}) \times \mu \qquad \cdots(7)$$

[0045] また、分散$\sigma 2$は、配向方向への集中度を表わすため配向強度（Degree of fiber orientation）とも言い替えられる。

[0046] ＜動作＞

次に、図１および図６を参照して、本実施の形態における配向同定装置１００の動作を説明する。図６は、配向同定装置１００（図１参照）の動作を説明するフローチャートである。

[0047] まず、配向同定装置１００におけるダイオードレーザ１０から出射されたレーザ光により、測定試料１の表面がスポット周期加熱される（ステップ６０１）。

そして、赤外線サーモグラフィ１７により測定される温度分布により、位相遅れ分布測定部２１が位相遅れ分布を測定する（ステップ６０２）。

そして、この測定された位相遅れ分布に基づき、熱拡散率分布算出部２２が熱拡散率角度分布を算出する（ステップ６０３）。そして、この算出された熱拡散率角度分布に基づき、配向性算出部２３が、配向方向および分散を算出する（ステップ６０４）。そして、算出結果表示部２４が、配向方向および分散の算出結果を表示手段（不図示）に表示する（ステップ６０５）。

[0048] ＜測定結果１＞

次に、図７（ａ）および（ｂ）を参照して、配向同定装置１００により得られた測定結果１を説明する。図７（ａ）および（ｂ）は、配向同定装置１００により得られた測定結果１を示す図である。より具体的には、図７（ａ）は測定試料１０１における熱拡散の方向（角度）を示す図であり、図７（ｂ）は熱拡散の方向と繊維配向分布密度関数との関係を示す図である。

また、ここでは、図７（ａ）に示すように、測定試料１０１として、ピッチ系１方向材のＣＦＲＰを用いた結果を説明する。また、この測定試料１０１における繊維方向は、図中上下方向である。

[0049] 図７（ｂ）に示すように、測定試料１０１における加熱領域Ｈｐを中心とした角度が９０°および－９０°付近で、繊維配向分布密度関数（および熱拡散率の測定値）の度数分布が最大となる。そして、９０°および－９０°から角度がずれると、急激に繊維配向分布密度関数の度数分布が減少する。このことにより、測定試料１０１は、炭素繊維の配向角が９０°および－９０°付近であることが推定される。

[0050] さらに説明をすると、図示の例においては、上述の測定原理を用いることにより、配向角は、９０．６°および－８９．９°となり、標準偏差σは、各々０．０５７および０．０５６という結果が得られた。なお、分布の平均値μは、各々０．５００および０．４９７という結果であった。

[0051] 付言すると、本測定結果１においては、測定試料１０１を回転させるなど、測定試料１の角度を変更しながら複数回測定することを必要とせずに、加熱領域Ｈｐを中心とした任意の角度について、熱拡散率および繊維配向分布密度関数が算出された。さらに説明をすると、熱拡散率および繊維配向分布密度関数などが既知の試料との比較測定、すなわちデータ学習を必要とせずに熱拡散率および繊維配向分布密度関数が算出された。

なお、本実施の形態においては、測定試料１０１を回転させる場合や、データ学習を必要とする場合と比較して、熱拡散率および繊維配向分布密度関数がより短時間で算出され得る。

[0052] ＜測定結果２＞

次に、図８（ａ）および（ｂ）、図９（ａ）および（ｂ）を参照して、配向同定装置１００により得られた測定結果２を説明する。

図８（ａ）および（ｂ）、図９（ａ）および（ｂ）は、配向同定装置１００により得られた測定結果２を示す図である。より具体的には、図８（ａ）は測定試料１０３における測定領域を示す図であり、図８（ｂ）は熱拡散の角度と熱拡散率との関係を示す図である。また、図９（ａ）は図８（ａ）に示す左下領域における熱拡散の角度と繊維配向密度との関係を示す図であり、図９（ｂ）は図９（ａ）により得られた配向方向と強度とをベクトル表示した図である。

[0053] また、ここでは、測定試料１０３として、不連続繊維ＣＦＲＴＰを用いた結果を説明する。付言すると、図示の例においては、測定試料１０３として、一辺が３９０ｍｍの正方形状で、かつ厚みが約１．４ｍｍの板状に形成されたＬＦＴ－Ｄ（Long Fiber Thermoplastics-Direct）を用いた結果を説明する。

[0054] また、図８（ａ）に示すように、測定試料１０３における複数箇所（９箇所）で測定を行った。図示の例では、測定試料１０３を、左上、中上、右上、左中、中央、右中、左下、中下、右下の計９個の領域（部分）に分割し、各領域について測定を行った。なお、前記各領域の一辺は１３０ｍｍである。また、前記各領域の中心における４４×３７ｍｍの領域を、赤外線サーモグラフィ１７により測定した。また、図示の例における測定試料１０３は、図中下側から上側に向かう向きを押し出し方向として形成されている。

[0055] なお、領域毎の測定は、測定試料１０３を複数の片に切断して行うこともできるが、装置と測定試料との相対位置を移動させて測定位置をスキャンさせることにより各領域を順次測定することもできる。

また、測定位置をスキャンさせる方法としては、マイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７と測定試料１０３とを、例えば図１の第２ＸＹＺステージ７（移動機構の一例）などにより相対移動させる方法を採用す

ることができる。

[0056] 測定位置をスキャンさせる他の方法としては、複数対のマイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７を、各々の測定位置が被測定領域の各中心位置となるように一列に並べて配置するとともに、前記配列方向とは交差する方向（垂直の方向）に、前記複数対のマイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７と測定試料１０３とを、相対移動させる方法などを採用することができる。

[0057] なお、例えば図１の第２ＸＹＺステージ７などにより、前記複数対のマイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７と測定試料１０３とを、相対移動させ得る。また、この例における、個々のマイクロスコープ１６は光照射部の一例であり、複数のマイクロスコープ１６により構成されるマイクロスコープ１６の群は加熱部の一例である。また、この例における、個々の赤外線サーモグラフィ１７は温度検知部の一例であり、複数の赤外線サーモグラフィ１７により構成される赤外線サーモグラフィ１７の群は検知部の一例である。

[0058] さらに、ここでは、複数対のマイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７を、各々の測定位置が被測定領域の各中心位置となるように一列に並べて配置する例を説明したが、複数対のマイクロスコープ１６および赤外線サーモグラフィ１７を複数列並べて配置し、上記相対位置を移動させずに測定を行う構成であってももちろんよい。

[0059] 図８（ｂ）に示すように、各片の測定領域における面内熱拡散率は、各々異なることが確認される。すなわち、測定試料１０３における位置に応じて、面内熱拡散率の角度分布が変化する。例えば、左上、中上、右上、左下、および右下においては、相対的に配向性が大きく、左中、中央、右中、および中下においては、相対的に配向性が小さいことが確認される。

[0060] このように、測定試料１０３の面内の複数箇所で測定することにより、熱伝導異方性分布が同定される。また、測定試料１０３の配向性の分布、あるいは測定試料１０３に含まれる炭素繊維の分布（分散）が同定される。付言

すると、配向同定装置１００は、炭素繊維の分布を同定する分布同定装置としても機能し得る。さらに、配向同定装置１００は炭素繊維の分布の他に、炭素繊維の繊維径（例えば平均繊維径）や繊維長（例えば平均繊維長、横長比）など、炭素繊維の寸法を同定する装置としても機能し得る。

[0061] さて、図８（ｂ）に示すように、左下領域における熱拡散率異方性は、他の領域と比較して最も高く、配向性が顕著であることが確認される。以下、この左下領域の測定結果についてさらに説明をする。

[0062] 図９（ａ）に示すように、左下領域においては、３０°および－１４０°付近で繊維配向分布密度関数の度数分布が最大である。このことにより、測定試料１０３は、炭素繊維の配向角が３０°および－１４０°付近であることが推定される。また、標準偏差σは、０．２７および０．２１という結果が得られた。なお、分布の平均値μは、各々０．４８および０．５４という結果であった。

[0063] また、図９（ｂ）に示すように、配向角の算出結果は、２８．３°および－１４０°であった。ここで、図９（ｂ）に示すように、配向強度を標準偏差σの逆数（１／σ）を長さとして、配向角とともにベクトル表示（極座標表示）することにより、測定試料１０３の配向性が視覚的に把握され得る。

[0064] ＜その他＞

上記の説明においては、算出結果表示部２４が、配向方向および分散の算出結果を表示手段（不図示）に表示（出力）することを説明したがこれに限定されない。例えば、配向方向および分散の算出結果を、他の装置に送信する態様や保存する態様であってもよい。

また、配向方向および分散の算出結果を算出する過程で得られる、熱拡散率についての情報を、配向方向および分散の算出結果とともに、表示、送信、記憶する態様であってもよい。あるいは、配向方向および分散の算出結果のいずれか一方に関する情報を、表示、送信、記憶する態様であってもよい。

[0065] また、上記の説明においては、配向角として表示することを説明したが、

配向性を示す情報としては、これに限定されない。例えば、配向角を直接示さずに、得られた配向角と閾値とを比較して、この閾値を超えた場合に、配向角が閾値を超えたことを示す情報を出力する態様であってもよい。また、熱拡散率分布を示す情報を例えばグラフなどにより出力してもよい。

[0066] また、配向方向および分散を出力する過程として、熱拡散率角度分布に最小二乗法を用いたフィッティングを行うことを説明した。この手法は特に限定されるものではなく、楕円分布を無次元化した熱拡散率分布に対して、最小二乗法を用いてフィッティングする楕円近似や、他の密度関数を用いてフィッティングを行ってもよい。

[0067] また、上記の説明においては、ダイオードレーザ１０により測定試料１の表面を加熱し、赤外線サーモグラフィ１７によって測定試料１の裏面を測定することを説明したが、これに限定されない。例えば、ダイオードレーザ１０による測定試料１の加熱と、赤外線サーモグラフィ１７による測定試料１の測定を、同一の面で行う態様であってもよい。なお、上記実施の形態のように、ダイオードレーザ１０による加熱と、赤外線サーモグラフィ１７による測定とを互いに異なる面で測定する場合は、同一面で測定する場合と比較して、熱反射の影響を抑制し得る。

[0068] また、上記の説明においては、測定試料１、１０１、１０３として、炭素繊維強化樹脂を用いることを説明したが、これに限定されない。すなわち、互いに熱伝導率が異なる複数の種類の材料から構成される試料であればよい。また、上記では、強化材として炭素繊維を用いることを説明したが、炭素繊維は、一方向に長い形状であればよく、長尺状、長方形状、円柱状、多角形状、長楕円球状などであってもよい。

さらに、上述のように配向同定装置１００を分布同定装置としても機能させる場合には、強化材の形状は、一方向に長い形状以外の形状であってもよい。例えば、粒子状、球状、ペレット状など他の形状であってもよい。

[0069] さて、上記では種々の実施形態および変形例を説明したが、これらの実施形態や変形例同士を組み合わせて構成してももちろんよい。

また、本開示は上記の実施形態に何ら限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲で種々の形態で実施することができる。

符号の説明

[0070] １…測定試料、１０…ダイオードレーザ、１７…赤外線サーモグラフィ、２０…コンピュータ、２１…位相遅れ分布測定部、２２…熱拡散率分布算出部、２３…配向性算出部、２４…算出結果表示部

請求の範囲

[請求項1] 複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱する加熱部と、

前記試料の前記加熱部によって加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する検知部と、

前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料を構成する少なくとも１種の材料の配向性を示す情報を出力する出力部と

を備える配向同定装置。

[請求項2] 前記加熱部は、前記試料の一方側から当該試料を加熱し、

前記検知部は、前記試料を挟んで前記加熱部とは反対側から前記領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する

ことを特徴とする請求項１記載の配向同定装置。

[請求項3] 前記試料は、繊維状に形成された強化材と、当該強化材を支持する母材とを含み、

前記出力部は、前記試料における前記強化材の向きを示す情報を出力する

ことを特徴とする請求項１または２記載の配向同定装置。

[請求項4] 前記出力部は、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料の配向性を示す情報とともに、前記試料の熱拡散率に関する情報を出力する

ことを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項記載の配向同定装置。

[請求項5] 前記出力部は、前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料の配向方向を極座標により表示することを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項記載の配向同定装置。

[請求項6] 前記加熱部および前記検知部と前記試料とを相対移動させる移動機構をさらに備え、

前記加熱部は、前記試料を複数の部分に分けたうちの各部分を順次スポット周期加熱し、

前記検知部は、前記加熱部により順次スポット周期加熱された前記各部分の温度分布を順次検知し、

前記出力部は、前記試料の前記部分毎の配向性を示す情報を出力することを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項記載の配向同定装置。

[請求項7] 前記加熱部は、各々の照射位置が各被測定領域の中心位置となるように一列に並べて配置された複数の光照射部を含み、

前記検知部は、前記各被測定領域の温度分布を検知する複数の温度検知部からなり、

前記複数の光照射部の配列方向と交差する方向に、当該複数の光照射部および前記複数の温度検知部と前記試料とを相対移動させる移動機構をさらに備えることを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項記載の配向同定装置。

[請求項8] 複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱するステップと、

前記試料の加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知するステップと、

検知された応答の遅れに基づいて、前記試料を構成する少なくとも１種の材料の配向性を示す情報を出力するステップと

を備える配向同定方法。

[請求項9] 複数の材料により構成される試料に対して光を周期的に照射し当該試料を加熱する加熱部と、

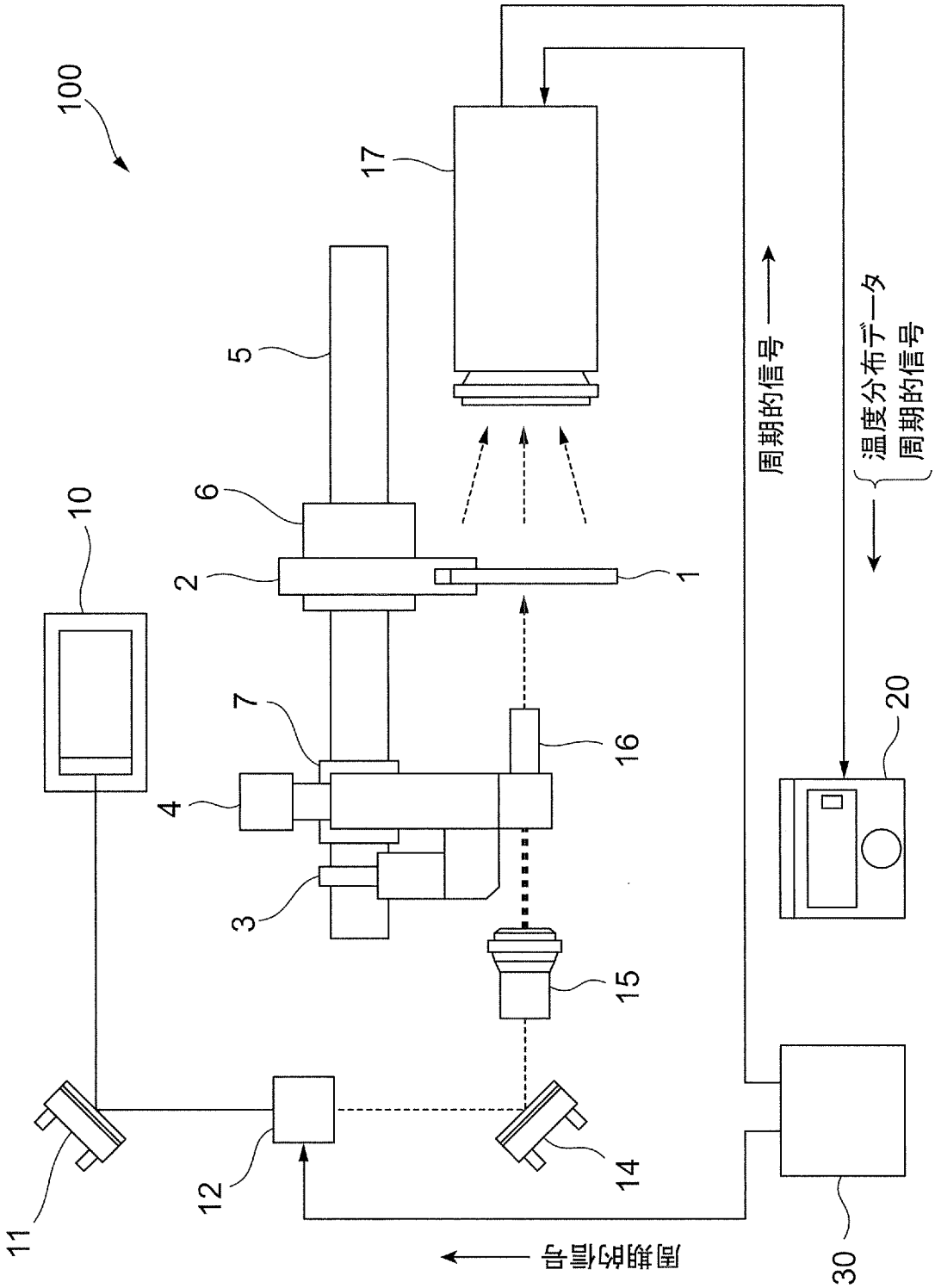
前記試料の前記加熱部によって加熱された箇所を含む領域における温度分布の変化の応答の遅れを検知する検知部と、

前記検知部によって検知された応答の遅れに基づいて、前記試料における前記材料を構成する少なくとも１種の材料の分布を示す情報を

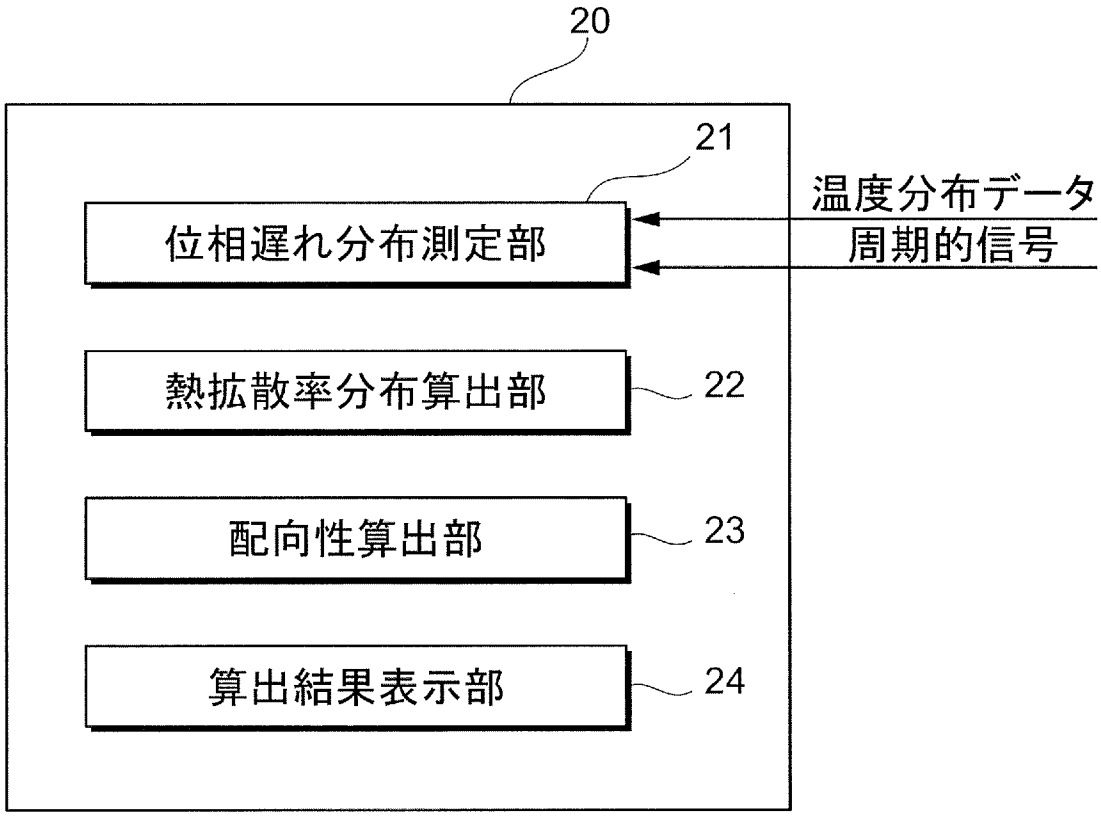
出力する出力部と

を備える分布同定装置。

[図1]

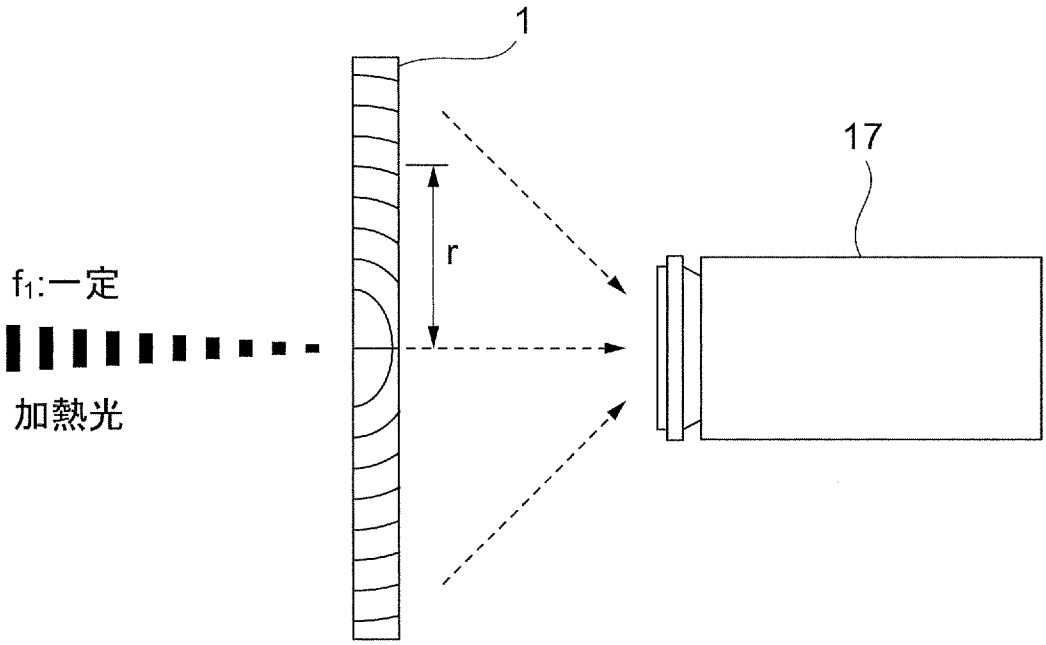

100
17
5
6
2
1
10
7
16
4
3
15
20
11
12
14
30
周期的信号
温度分布データ
周期的信号
周期的信号

[図2]

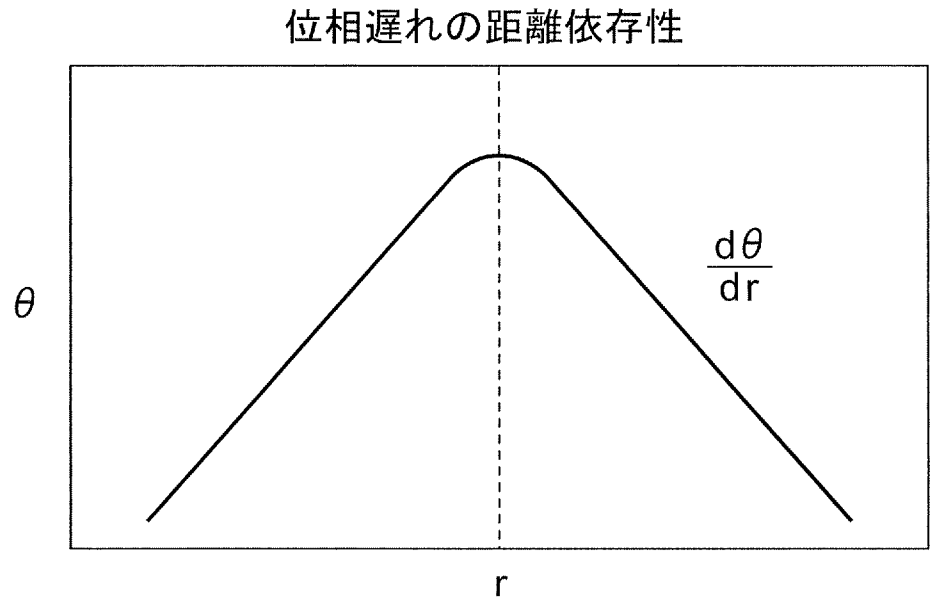

20
21
温度分布データ
周期的信号
位相遅れ分布測定部
熱拡散率分布算出部
22
配向性算出部
23
算出結果表示部
24

[図3]

(a)

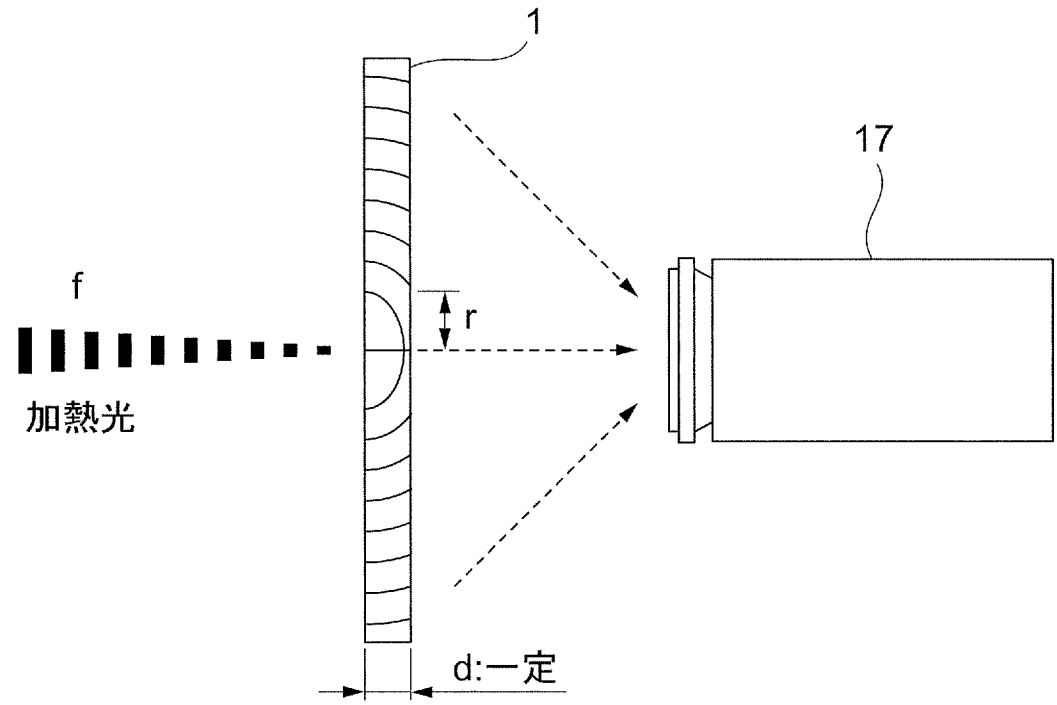


(b)

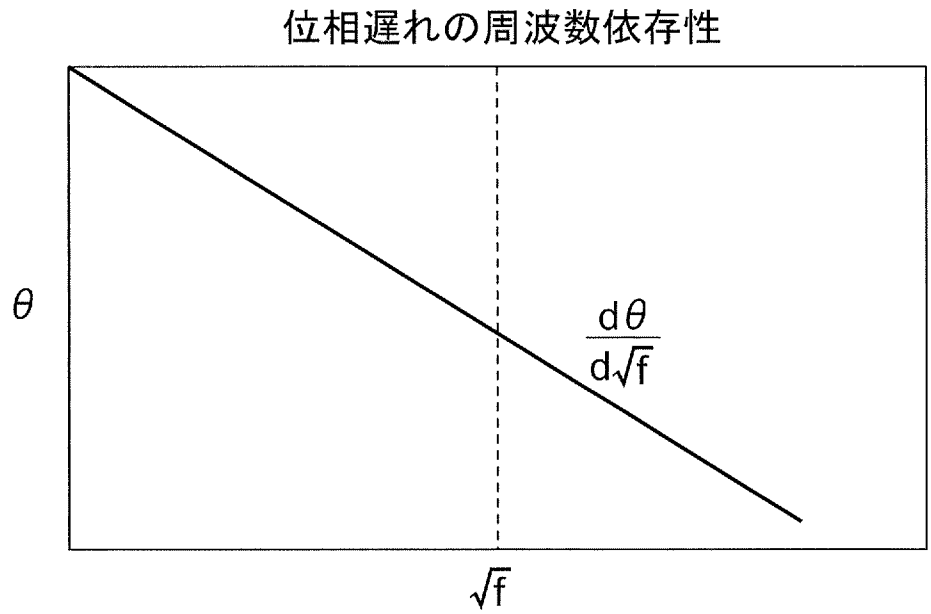


[図4]

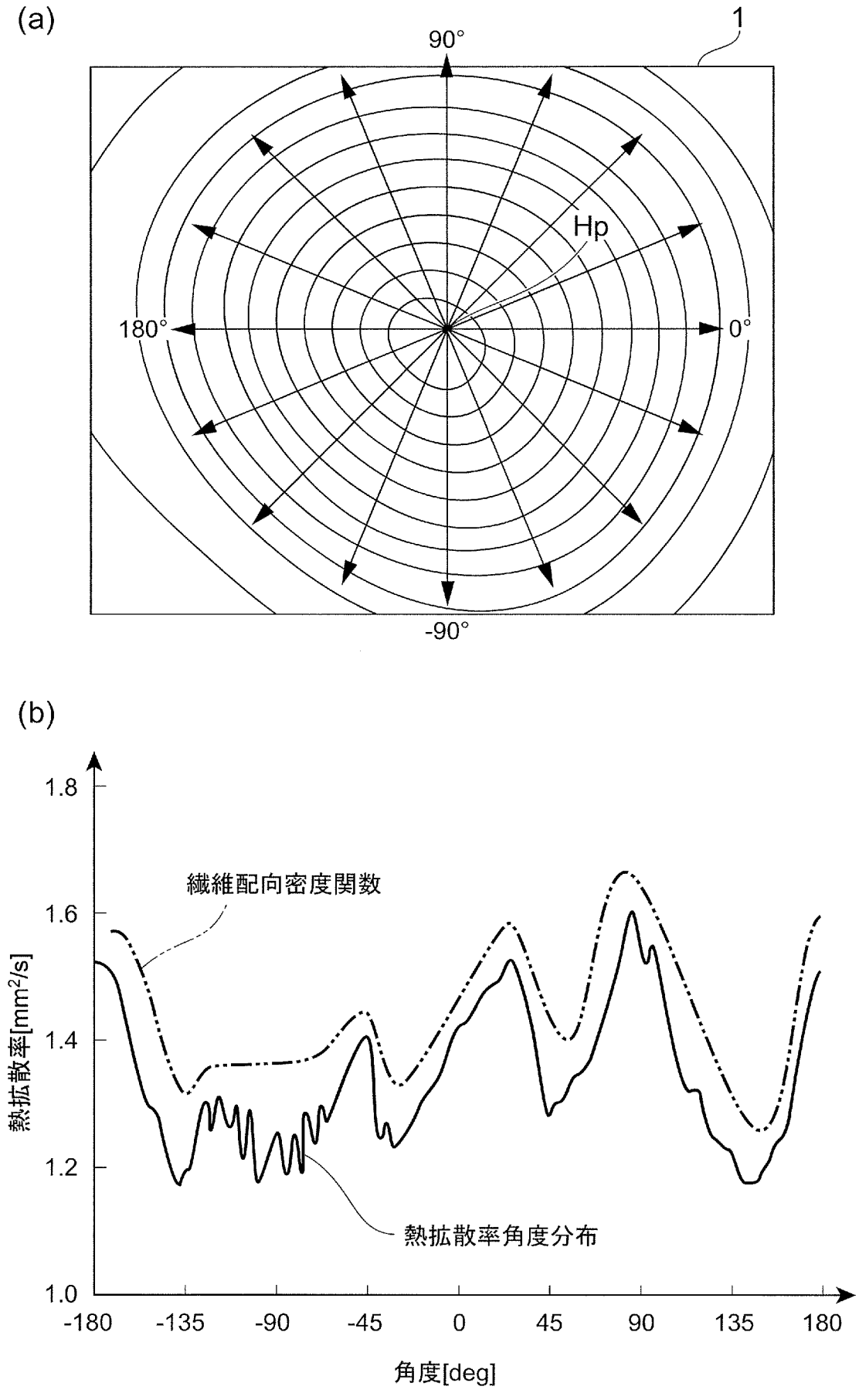
(a)



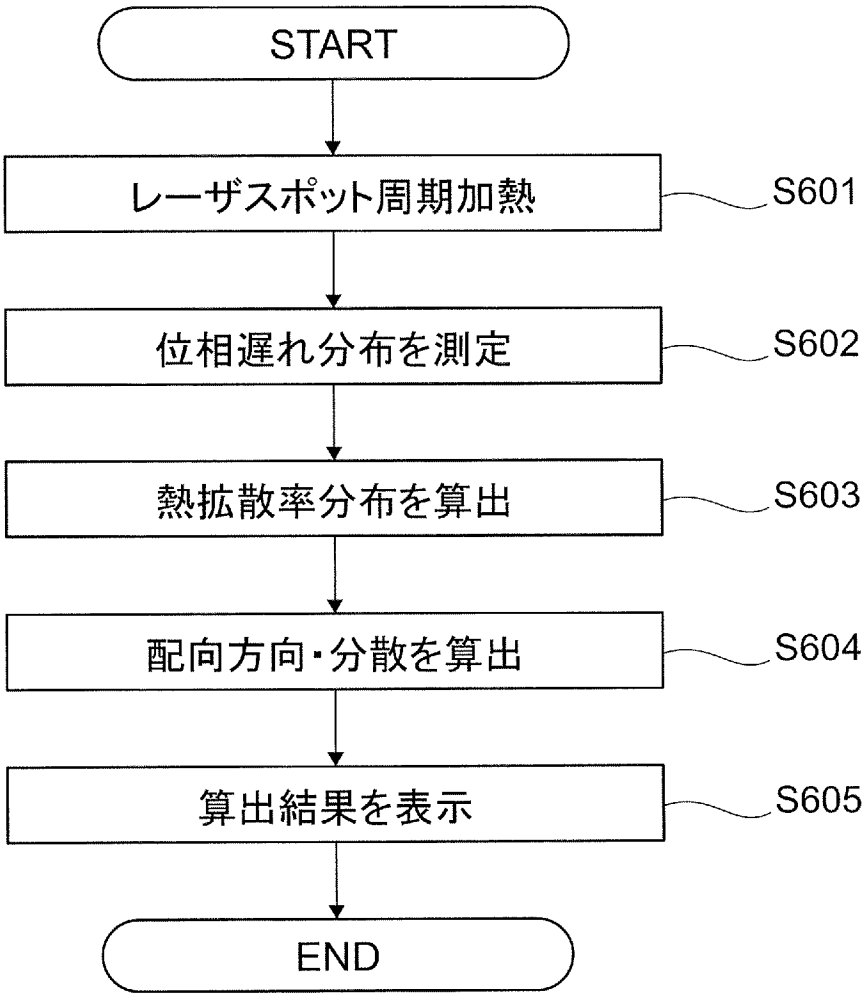
(b)



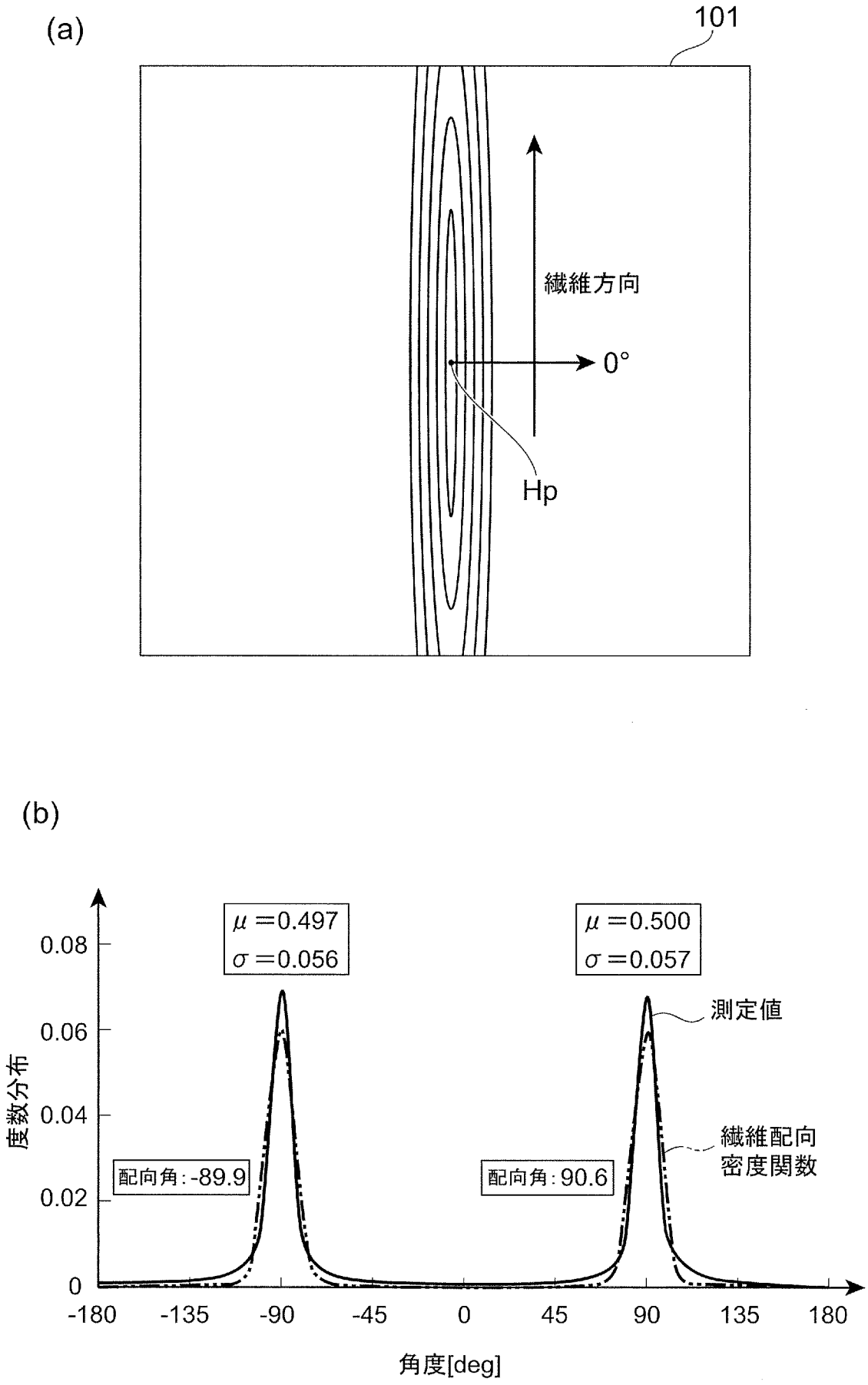
[図5]


(a)
1
90°
Hp
180°
0°
-90°
(b)
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
熱拡散率[mm²/s]
繊維配向密度関数
熱拡散率角度分布
-180
-135
-90
-45
0
45
90
135
180
角度[deg]

[図6]

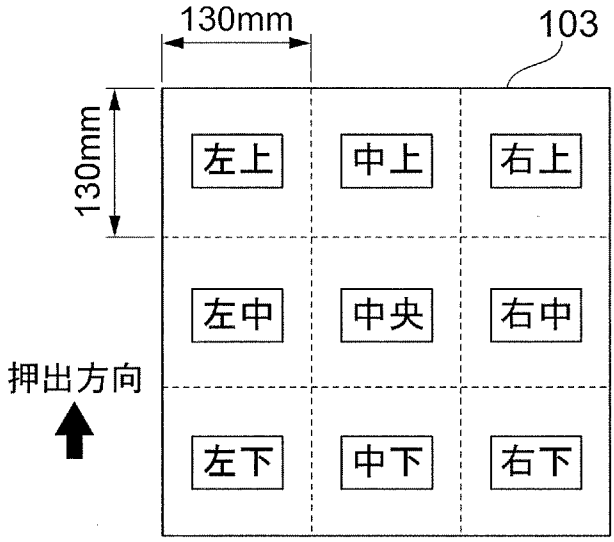

START
レーザスポット周期加熱
S601
位相遅れ分布を測定
S602
熱拡散率分布を算出
S603
配向方向・分散を算出
S604
算出結果を表示
S605
END

[図7]

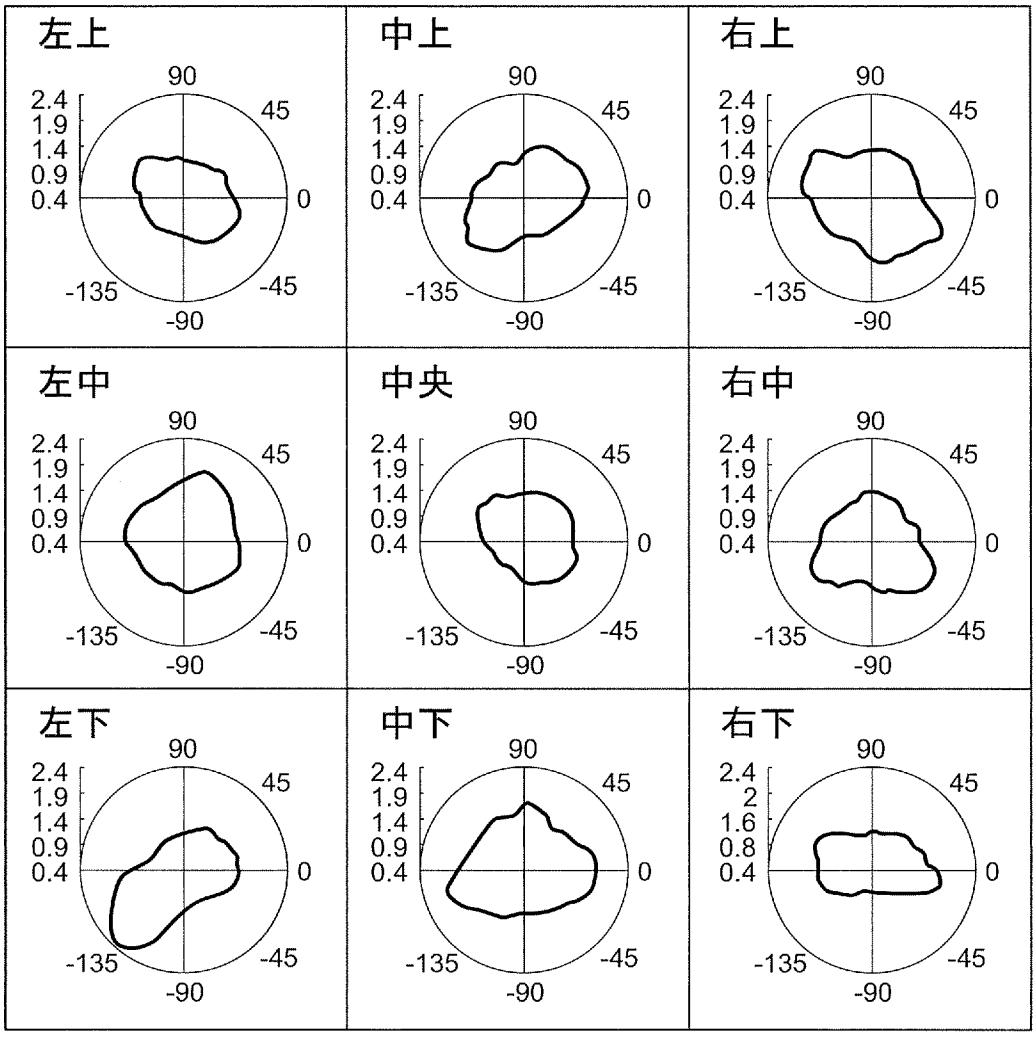

(a)
101
繊維方向
0°
Hp
(b)
μ =0.497
σ =0.056
μ =0.500
σ =0.057
測定値
繊維配向
密度関数
配向角:-89.9
配向角:90.6
度数分布
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-180
-135
-90
-45
0
45
90
135
180
角度[deg]

[図8]

(a)

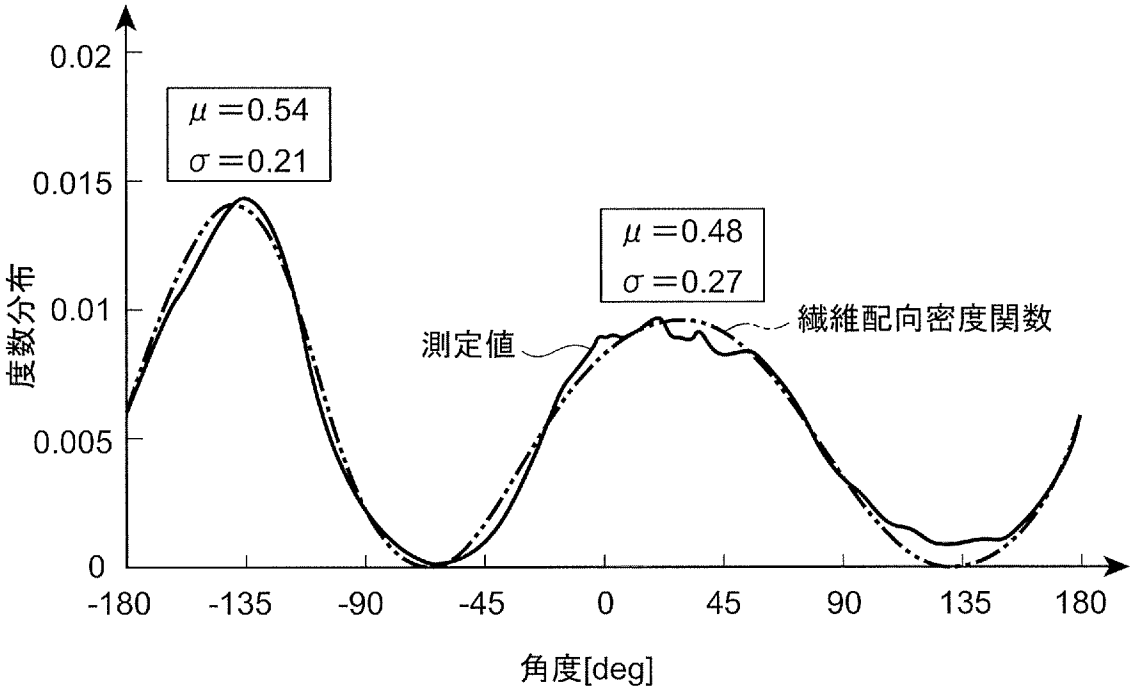

130mm
103
130mm
左上
中上
右上
左中
中央
右中
押出方向
左下
中下
右下

(b)

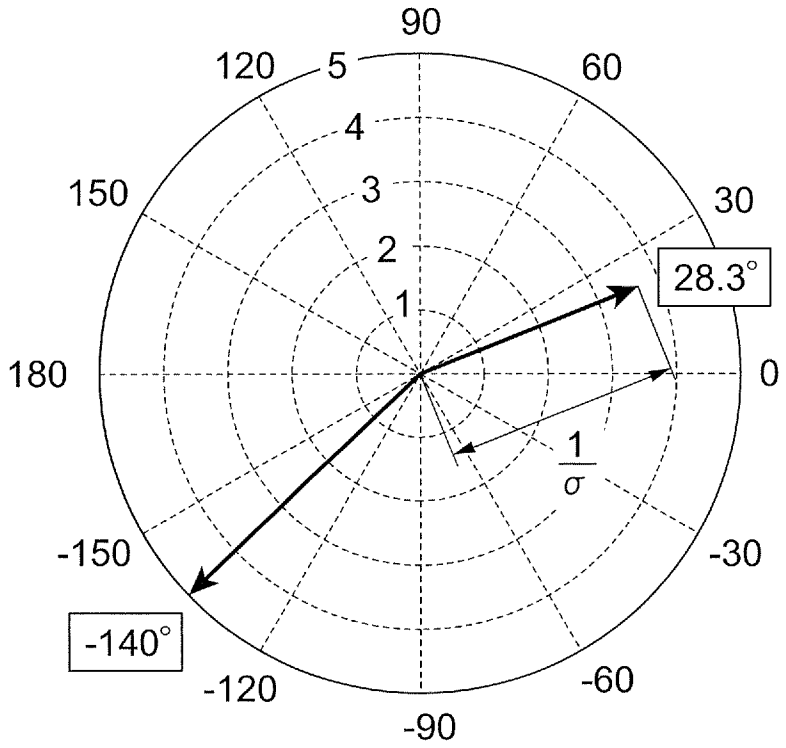

熱拡散率
mm²/s
左上
中上
右上
左中
中央
右中
左下
中下
右下
90
45
0
-45
-90
-135
2.4
1.9
1.4
0.9
0.4
2
1.6
0.8

[図9]

(a)


0.02
0.015
0.01
0.005
0
度数分布
μ =0.54
σ =0.21
μ =0.48
σ =0.27
測定値
繊維配向密度関数
-180
-135
-90
-45
0
45
90
135
180
角度[deg]

(b)


90
120
5
60
4
150
3
30
2
28.3°
1
180
0
1/σ
-150
-30
-140°
-120
-60
-90

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/067370

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N25/18(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)
G01N25/18

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/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	Masaya KURIBARA, Hosei NAGANO, "Development of a Thermal Anisotropy Measurement Method for High-Thermal-Conductive Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites Using a Lock-in Thermography", Japan Journal of Thermophysical Properties, 31 May 2014 (31.05.2014), vol.28, no.2, pages 82 to 88	1-6,8-9 7
X A	Hosei NAGANO, "CFRP no Sanjigen Netsu Dendo Ihosei o Hisesshoku de Keisoku Kano ni", Optical alliance, 01 August 2013 (01.08.2013), vol.24, no.8, pages 53 to 57	1-6,8-9 7

☒ 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
"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	Date of mailing of the international search report
23 August 2016 (23.08.16)	06 September 2016 (06.09.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/067370

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-178429 A (General Electric Co.), 12 July 2007 (12.07.2007), paragraph [0012] & US 2007/0143061 A1 paragraph [0016] & EP 1798517 A1 & CN 101055169 A	7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６７３７０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N25/18(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.　G01N25/18

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

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/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
X A	栗原理也，長野方星，ロックイン・サーモグラフィを用いた高熱伝導炭素系複合材料の熱的異方性評価装置の開発，熱物性，2014.05.31，Vol.28，No.2，p.82-88	1-6,8-9 7
X A	長野方星，CFRPの三次元熱伝導異方性を非接触で計測可能に，光アライアンス，2013.08.01，Vol.24，No.8，p.53-57	1-6,8-9 7

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　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	国際調査報告の発送日
２３．０８．２０１６	０６．０９．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｊ　９８０４
北川　創
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５２

C（続き）．　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 2007-178429 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2007.07.12, 段落[0012] & US 2007/0143061 A1 段落[0016] & EP 1798517 A1 & CN 101055169 A	7