

(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
2024年5月16日(16.05.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/101320 A1

(51) 国際特許分類:

G01N 27/00 (2006.01) G01R 27/26 (2006.01)
G01N 27/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/039926

(22) 国際出願日: 2023年11月6日(06.11.2023)

(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 2022-178451 2022年11月7日(07.11.2022) JP

(71) 出願人: 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/
JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目
6番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 岩瀬駿介 (IWASE Shunsuke); 〒2518501
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50
号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 丸
山 泰右 (MARUYAMA Taisuke); 〒2518501 神

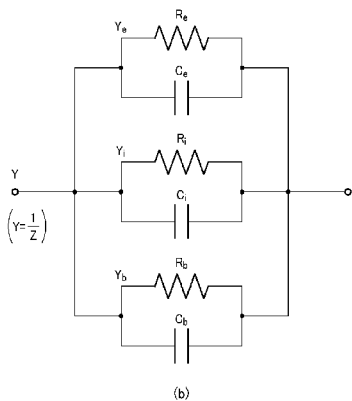
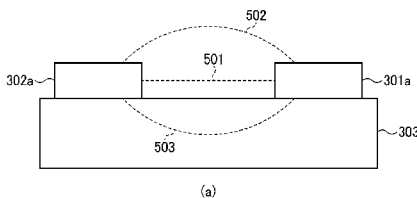
奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50
号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 小
杉 大智 (KOSUGI Daichi); 〒2518501 神奈川
県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本
精工株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人栄光事務所 (EIKOH,
P.C.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁
目7番13号 虎ノ門イーストビルデ
ィング10階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: MEASURING METHOD, MEASURING SYSTEM, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 測定方法、測定システム、およびプログラム



(57) Abstract: In the present invention, an impedance is measured by applying a prescribed voltage to a measurement object via a measuring unit that comprises electrodes of a prescribed shape and a substrate having said electrodes formed on the surface thereof, and a measurement result is inputted to a prescribed computation formula that is defined on the basis of an equivalent circuit corresponding to the measuring unit and the configuration of the measurement object, to thereby derive a complex permittivity of the measurement object. The equivalent circuit corresponds to: an electric field between the electrodes in the measuring unit; a substrate-side electric field of the electrodes; and a measurement object-side electric field of the electrodes. The prescribed computation formula includes parameters that are based on measurement results, obtained by the measuring unit, on a standard specimen and a background specimen.

(57) 要約: 所定の形状の電極と電極が表面に形成される基板とを含む測定部を介して測定対象に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定し、測定結果を、測定部と測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、測定対象の複素誘電率を導出し、等価回路は、測定部における電極間の電場と、電極の基板側の電場と、電極の前記測定対象側の電場とに対応し、所定の算出式は、測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含む。

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：測定方法、測定システム、およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、測定方法、測定システム、およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、軸受装置や摺動装置などの機械装置では、潤滑剤（例えば、潤滑油やグリース）を用いて、部材間の接触面を潤滑する構成が広く普及している。一方、このような機械装置に対しては、潤滑状態の監視を行うことで、損傷や摩耗を早期に検知して回転部品の故障などの発生を抑制することが行われている。

[0003] 潤滑剤を用いた機械装置では、その潤滑状態を測定するために、内部の状態を適切に測定することが求められる。潤滑剤の状態を検出するための手法の一つとして、交流電源によるインピーダンス解析を用いる手法がある。インピーダンス解析を用いることで材料の電気特性を導出することができる。例えば、特許文献1では、診断対象を破壊することなく、潤滑剤の状態を容易に診断可能とする手法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特許第7136378号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1では、平行平板電極を用いたインピーダンス解析を用いた構成を示している。一方、潤滑状態を監視する場所によっては、平行平板の状態とは異なる場合がある。また、状態を測定する対象の試料が極めて微量になる場合も想定される。そこで、このような条件にも対応可能な試料の測定方法が求められている。

[0006] 上記課題を鑑み、本発明は、微量な試料の状態を高精度に測定可能とする

手法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] 上記課題を解決するために本発明は以下の構成を有する。すなわち、測定方法であって、

所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定部を介して、測定対象に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程と、

を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される。

[0008] また、本発明の別の形態は以下の構成を有する。すなわち、測定システムであって、

所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定部と、

所定の電圧を供給する電源部と、

前記測定部を介して、測定対象に前記電源部からの所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出手段と、

を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバック

グラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される。

[0009] また、本発明の別の形態は以下の構成を有する。すなわち、プログラムであって、

コンピュータに、

所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定部を介して、測定対象に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程と、

を実行させ、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される。

発明の効果

[0010] 本発明により、微量な試料の状態を高精度に測定可能とする手法を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]平行平板電極とくし型電極による電極部の構成例を示す概略図。

[図2]本発明の一実施形態に係る電極部の構成例を示す概略図。

[図3]本発明の一実施形態に係る電極部の等価回路を説明するための図。

[図4]平行平板電極とくし型電極（改良前）による電極部の測定結果の例を示す図。

[図5]本発明の一実施形態に係る電極部の等価回路を説明するための図。

[図6]本発明の一実施形態に係る電極部の等価回路を説明するための図。

[図7]平行平板電極とくし型電極（改良後）による電極部の測定結果の例を示す図。

[図8]本発明に係るくし型電極（改良後）による電極部の測定結果の例を示す図。

[図9]本発明のくし型電極の測定装置の適用例を示す図。

[図10]本発明の一実施形態に係る測定処理のフローチャート。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明を実施するための形態について図面などを参照して説明する。なお、以下に説明する実施形態は、本発明を説明するための一実施形態であり、本発明を限定して解釈されることを意図するものではなく、また、各実施形態で説明されている全ての構成が本発明の課題を解決するために必須の構成であるとは限らない。また、各図面において、同じ構成要素については、同じ参照番号を付すことにより対応関係を示す。

[0013] <第1の実施形態>

以下、本発明の第1の実施形態について説明を行う。

[0014] [電極構成例]

まず、本実施形態に係る潤滑剤による潤滑状態の測定に用いられる電極構成について説明する。本実施形態において測定対象となる試料の一例である潤滑剤としては、潤滑油やグリースなどが含まれるが、特に限定するものではない。

[0015] 図1は、潤滑剤の電気特性を評価（測定）する際の、電極部と交流電源との構成を示す概念図である。図1（a）は、従来構成における平行平板の電極部100（以下、「平行平板電極」とも称する）を用いた測定の際の構成概略を示す。電極部100は、平行平板電極101、102間に充填された潤滑剤103（例えば、バルク状態のグリース）に対して、交流電源200により電力が印加される。ここでの平行平板電極101、102間の距離は、例えば、mmオーダーにて構成されてよい。

[0016] 一方、図1（b）は、本実施形態に係る測定部300を用いた測定の際の構成概略を示す。測定部300は、基板303上に、2つのくし型電極301、302が構成されており、これらに対して、交流電源200により電力

が印加される。くし型電極のより具体的な構成例については後述するが、2つのくし型電極301、302の歯の部分が噛み合うように配置される。

[0017] 図2は、本実施形態に係る測定部300におけるくし型電極301、302の歯301a、302aの周りを拡大して示した概略図である。図1(b)に示すようにくし型電極301、302は噛み合うように配置されるため、歯301a、302aは交互に配置される。図2(a)に示すように、くし型電極301、302は例えば、Au(金)で構成され、基板303はSiO₂(二酸化ケイ素)にて構成されてよい。また、くし型電極301、302はそれぞれ、歯を複数備え、例えば、その数としては、66本ずつ、計132本の歯にて形成されてよい。また、歯の寸法は、高さを0.1μm、長さを4.0mmとしてよい。さらに、くし型電極301の歯301aとくし型電極302の歯302aとは図2中の奥行方向に沿って平行に配置され、その間隔は5.0μmであってよい。なお、上記の測定部300の寸法は一例であり、これに限定するものではない。

[0018] 図2(b)は、測定部300に対して、測定対象である潤滑剤400を滴下した状態を示す。本実施形態において、潤滑剤400の量は10mg未満にて対応可能であるものとし、これは、図1(a)に示すような平行平板の電極部100を用いた測定装置にて測定される量の1/1000の量程度を想定している。

[0019] 図3(a)は、図2(a)に示した測定部300の図を簡略化し、くし型電極301、302の歯をそれぞれ1つにまとめて示した概念図である。図3(a)において、破線は、交流電流を印加した際の電場を示す。また、図3(b)は、図3(a)に示した構成に基づく、電氣的に等価な等価回路を示す。

[0020] 図3(b)に示す等価回路は、潤滑剤から構成されるコンデンサCと、その周辺の要素に起因する抵抗Rが並列に接続された構成を有する。また、電気回路EのインピーダンスをZにて示す。ここで、電気回路Eに印加される交流電圧V、電気回路Eを流れる電流I、および、電気回路E全体の複素数

インピーダンス Z は以下の式 (1) ~ (3) にて示される。

$$V = |V| e^{j\omega t} \quad \dots (1)$$

$$I = |I| e^{j(\omega t - \theta)} \quad \dots (2)$$

$$Z = V / I = |V / I| e^{j\theta} = |Z| e^{j\theta} \quad \dots (3)$$

j : 虚数

ω : 電圧の角周波数

t : 時間

θ : 位相角 (電圧と電流の位相のずれ)

[0021] そして、等価回路において、くし型電極 301、302 の距離や電極面積から、複素誘電率 (ϵ_r' 、 ϵ_r'') を導出することができる。

[0022] [事前検証]

次に、図 3 に示した等価回路を前提として、本願発明者は、従来の構成である平行平板電極を用いた測定装置と、くし型電極を用いた測定装置について事前検証を行っており、その検証結果について示す。なお、例えば、特許文献 1 に示す平行平板電極を用いた測定装置は、高い測定精度を実現できる。

[0023] 図 4 は、従来の構成である平行平板電極を用いた測定装置と、くし型電極を用いた測定装置の測定結果から得られる複素誘電率 (ϵ_r' 、 ϵ_r'') を示す。図 4 (a) において、横軸は交流電源の掃引による周波数 [Hz] の対数を示し、縦軸は複素誘電率の実部 ϵ_r' を示す片対数グラフである。プロット 401 は、くし型電極を用いた測定装置の測定結果を示し、プロット 402 は、平行平板電極を用いた測定装置の測定結果を示す。

[0024] また、図 4 (b) において、横軸は交流電源の掃引による周波数 [Hz] の対数を示し、縦軸は複素誘電率の虚部 ϵ_r'' を示す片対数グラフである。プロット 411 は、くし型電極を用いた測定装置の測定結果を示し、プロット 412 は、平行平板電極を用いた測定装置の測定結果を示す。

[0025] 図 4 (a)、(b) に示すように、平行平板電極を用いた測定装置と、く

し型電極を用いた測定装置との測定結果には乖離が発生している。つまり、くし型電極を用いた測定装置は、平行平板電極を用いた測定装置よりも測定精度が低下していることが特定された。本願発明者は、この要因について実験、検討を行った結果、図3に示した等価回路に基づく複素誘電率 (ϵ_r' 、 ϵ_r'') の導出に要因があることを特定した。

[0026] [等価回路]

以下、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置による複素誘電率の導出について説明する。図3(a)の例では、くし型電極の歯の間に直接的な電場のみを想定していた。これに対し、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置では、電極を回り込む電場を更に考慮する。つまり、くし型電極の電極面積（金蒸着膜の厚さ）に対し、電極間距離が長いことに着目し、その電場の回り込みを考慮する。

[0027] 図5(a)は、図2(a)に示した測定部300の図を簡略化し、くし型電極301、302の歯をそれぞれ1つにまとめて示した概念図である。図5(a)において、破線501は、交流電流を印加した際の電極間の直接的な電場（以下、「電極間電場」とも称する）を示す。破線502は、電極の上部にて回り込む電場（以下、「上部側電場」とも称する）を示す。破線503は、基板303側にて回り込む電場（以下、「基板側電場」とも称する）を示す。

[0028] そして、図5(b)は、図5(a)に示した構成に基づく、改良後の電氣的に等価な等価回路を示す。各電場に対応する領域には、異なる特性の材料が位置する。

[0029] 図5(b)に示す等価回路は、上記の3つの電場（領域）それぞれに対応したコンデンサCと抵抗Rが並列に接続された並列回路を、並列に接続した電気回路の構成を有する。この等価回路に対して、交流電源による交流電流が印加される。

[0030] 更に本実施形態では、図5に示した構成に基づき、複素誘電率を導出するための算出式を定義する。測定対象となる潤滑剤（試料）の誘電率 ϵ を導出

するために、本実施形態では、標準試料（ここでは、トルエンを用いる）の誘電率 $\varepsilon_{t.o.}$ と、試料無しの状態（すなわち、空気）の誘電率 $\varepsilon_{a.i.r}$ を導出し、その結果に基づいて、潤滑剤（試料）の誘電率 ε の導出のための数式から回り込み電場に依存するパラメータを消去する。以下、より具体的に説明する。

[0031] 図6（a）は、図5（a）に示した概略構成において、試料601が測定部300に設置された状態を示す。このとき、試料601に対する誘電率 ε が未知であり、これらを導出することを目的とする。

[0032] 図6（b）は、図5（a）に示した概略構成において、試料601が測定部300に設置されていない状態、すなわち、バックグラウンドの試料（以下、「バックグラウンド試料」とも称する）として空気602が測定位置に存在する状態に相当する。このとき、空気602の誘電率 $\varepsilon_{a.i.r}$ は既知である。

[0033] 図6（c）は、図5（a）に示した概略構成において、標準試料603が測定部300に設置されている状態を示す。このとき、標準試料603の誘電率 $\varepsilon_{t.o.}$ 、および導電率 $\sigma_{t.o.}$ は既知である。

[0034] まず、図6（b）に示す等価回路全体の複素アドミッタンス Y^* は以下の式（4）のように表すことができる。

[0035] [数1]

$$Y^* = Y_e^* + Y_i^* + Y_b^* \cdots (4)$$

[0036] Y^* : くし型電極の等価回路全体の複素アドミッタンス

Y_e^* : 上部側電場に対応する等価回路の複素アドミッタンス

Y_i^* : 電極間電場に対応する等価回路の複素アドミッタンス

Y_b^* : 基板側電場に対応する等価回路の複素アドミッタンス

[0037] 複素アドミッタンス Y_e^* 、 Y_i^* 、 Y_b^* はそれぞれ、虚数単位 j を用いて以下の式（5）～式（7）のように表すことができる。なお、以下の各式における S_b/d_b 、 S_i/d_i 、 S_e/d_e はそれぞれ、基板、電極間、電極上部の

等価セル定数の逆数であり、これらは、図 1 (a) に示す平行平板電極の場合の電極面積／電極間距離に相当する。

[0038] [数2]

$$Y_e^* = \frac{1}{R_e} + j\omega C_e = \sigma_e \frac{S_e}{d_e} + j\omega \varepsilon_e \frac{S_e}{d_e} \cdots (5)$$

$$Y_i^* = \frac{1}{R_i} + j\omega C_i = \sigma_i \frac{S_i}{d_i} + j\omega \varepsilon_i \frac{S_i}{d_i} \cdots (6)$$

$$Y_b^* = \frac{1}{R_b} + j\omega C_b = \sigma_b \frac{S_b}{d_b} + j\omega \varepsilon_b \frac{S_b}{d_b} \cdots (7)$$

[0039] j : 虚数

ω : 電圧の角周波数

R_e : 電極上部に存在する物質の抵抗

R_i : 電極間に存在する物質の抵抗

R_b : 基板の抵抗

C_e : 電極上部に存在する物質のキャパシタンス

C_i : 電極間に存在する物質のキャパシタンス

C_b : 基板のキャパシタンス

S_e : 上部側電場に対応する電極面積

S_i : 電極間電場に対応する電極面積

S_b : 基板側電場に対応する電極面積

d_e : 上部側電場に対応する電極間の距離

d_i : 電極間電場に対応する電極間の距離

d_b : 基板側電場に対応する電極間の距離

σ_e : 電極上部に存在する導電率

σ_i : 電極間に存在する物質の導電率

σ_b : 基板の導電率

ε_e : 電極上部に存在する物質の誘電率

ε_i : 電極間に存在する物質の誘電率

ε_b : 基板の誘電率

[0040] 式（４）～式（７）に基づき、くし型電極の等価回路全体の複素アドミッタンス Y^* は以下の式（８）にて表される。

[0041] [数3]

$$Y^* = \sigma_e \frac{S_e}{d_e} + \sigma_i \frac{S_i}{d_i} + \sigma_b \frac{S_b}{d_b} + j\omega \left(\varepsilon_e \frac{S_e}{d_e} + \varepsilon_i \frac{S_i}{d_i} + \varepsilon_b \frac{S_b}{d_b} \right) \cdots (8)$$

[0042] ここで、くし型電極の等価回路全体の複素アドミッタンス Y^* を以下の式（９）のように定義する。

[0043] [数4]

$$Y^* = Y' + jY'' \cdots (9)$$

[0044] そして、式（８）と式（９）に示す実部と虚部とを比較することにより、以下の式（１０）、式（１１）が得られる。

[0045] [数5]

$$Y' = \sigma_b \frac{S_b}{d_b} + \sigma_i \frac{S_i}{d_i} + \sigma_e \frac{S_e}{d_e} \cdots (10)$$

$$Y'' = \omega \left(\varepsilon_b \frac{S_b}{d_b} + \varepsilon_i \frac{S_i}{d_i} + \varepsilon_e \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (11)$$

[0046] 図６（ａ）に示すような測定の状況下において、試料６０１の測定時の複素アドミッタンスの虚部 Y''_{SPL} は $\varepsilon_i = \varepsilon_e = \varepsilon$ 、 $\varepsilon_b = \varepsilon_{SiO_2}$ の関係と、上記の（１１）により、以下の式（１２）にて表される。

[0047] [数6]

$$Y''_{SPL} = \omega \left\{ \varepsilon_{SiO_2} \frac{S_b}{d_b} + \varepsilon \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \right\} \cdots (12)$$

[0048] Y''_{SPL} ：試料の複素アドミッタンスの虚部

ε_{SiO_2} ：基板（ SiO_2 ）の誘電率

[0049] ここで、式（１２）中に示される ε_{SiO_2} 、 S_b/d_b 、 $(S_i/d_i + S_e/d_e)$ は、電極の製造精度により変動しうる値であるため、本実施形態では、

これらを消去する。図6（b）に示すような測定（バックグラウンド：空気）の状況下において、バックグラウンド試料、すなわち空気の複素アドミッタンスの虚部 Y''_{BK} は $\varepsilon_i = \varepsilon_e = \varepsilon_{air}$ 、 $\varepsilon_b = \varepsilon_{SiO_2}$ の関係と、上記の（11）により、以下の式（13）にて表される。

[0050] [数7]

$$Y''_{BK} = \omega \left\{ \varepsilon_{SiO_2} \frac{S_b}{d_b} + \varepsilon_{air} \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \right\} \cdots (13)$$

[0051] Y''_{BK} ：バックグラウンド試料（空気）の複素アドミッタンスの虚部

ε_{air} ：バックグラウンド試料（空気）の誘電率

[0052] また、図6（c）に示すような測定（標準試料：トルエン）の状況下において、標準試料、すなわちトルエンの複素アドミッタンスの虚部 Y''_{STD} は $\varepsilon_i = \varepsilon_e = \varepsilon_{tol}$ 、 $\varepsilon_b = \varepsilon_{SiO_2}$ の関係と、上記の（11）により、以下の式（14）にて表される。

[0053] [数8]

$$Y''_{STD} = \omega \left\{ \varepsilon_{SiO_2} \frac{S_b}{d_b} + \varepsilon_{tol} \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \right\} \cdots (14)$$

[0054] Y''_{STD} ：標準試料（トルエン）の複素アドミッタンスの虚部

ε_{tol} ：標準試料（トルエン）の誘電率

[0055] そして、式（12）～式（14）に基づいて、以下の式（15）～式（17）のように計算を行い、 ε にて整理すると、式（18）のように表すことができる。

[0056] [数9]

$$Y''_{STD} - Y''_{BK} = \omega(\varepsilon_{tol} - \varepsilon_{air}) \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (15)$$

$$Y''_{SPL} - Y''_{BK} = \omega(\varepsilon - \varepsilon_{air}) \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (16)$$

$$\frac{Y''_{SPL} - Y''_{BK}}{Y''_{STD} - Y''_{BK}} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{air}}{\varepsilon_{tol} - \varepsilon_{air}} \cdots (17)$$

[0057] [数10]

$$\varepsilon = \frac{Y''_{\text{SPL}} - Y''_{\text{BK}}}{Y''_{\text{STD}} - Y''_{\text{BK}}} (\varepsilon_{\text{tol}} - \varepsilon_{\text{air}}) + \varepsilon_{\text{air}} \cdots (18)$$

[0058] なお、上記の式（１８）にて用いた ε は、複素誘電率 ε^* の実部成分 ε' に相当するため、以下の式（１９）が得られる。

[0059] [数11]

$$\varepsilon' = \frac{Y''_{\text{SPL}} - Y''_{\text{BK}}}{Y''_{\text{STD}} - Y''_{\text{BK}}} (\varepsilon_{\text{tol}} - \varepsilon_{\text{air}}) + \varepsilon_{\text{air}} \cdots (19)$$

[0060] ε' : 複素誘電率 ε^* の実部成分

[0061] 同様に、図６（ａ）に示すような測定（バックグラウンド：空気）の状況下において、試料６０１の測定時の複素アドミッタンスの実部 Y'_{SPL} は $\sigma_i = \sigma_e = \sigma$ 、 $\sigma_b = \sigma_{\text{SiO}_2}$ の関係と、上記の（１０）により、以下の式（２０）にて表される。

[0062] [数12]

$$Y'_{\text{SPL}} = \sigma_{\text{SiO}_2} \frac{S_b}{d_b} + \sigma \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (20)$$

[0063] Y'_{SPL} : 試料の複素アドミッタンスの実部

σ_{SiO_2} : 基板（ SiO_2 ）の導電率

[0064] 図６（ｂ）に示すような測定（バックグラウンド：空気）の状況下において、バックグラウンド、すなわち空気の複素アドミッタンスの実部 Y'_{BK} は $\sigma_i = \sigma_e = \sigma_{\text{air}}$ 、 $\sigma_b = \sigma_{\text{SiO}_2}$ の関係と、上記の式（１０）により、以下の式（２１）にて表される。

[0065] [数13]

$$Y'_{\text{BK}} = \sigma_{\text{SiO}_2} \frac{S_b}{d_b} + \sigma_{\text{air}} \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (21)$$

[0066] Y'_{BK} : バックグラウンド（空気）の複素アドミッタンスの実部

σ_{air} : バックグラウンド（空気）の導電率

[0067] また、図6(c)に示すような測定（標準試料：トルエン）の状況下において、標準試料、すなわちトルエンの複素アドミッタンスの実部 Y'_{STD} は $\sigma_i = \sigma_e = \sigma_{tol}$ 、 $\sigma_b = \sigma_{SiO_2}$ の関係と、上記の(10)により、以下の式(22)にて表される。

[0068] [数14]

$$Y'_{STD} = \sigma_{SiO_2} \frac{S_b}{d_b} + \sigma_{tol} \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) \cdots (22)$$

[0069] Y'_{STD} ：標準試料（トルエン）の複素アドミッタンスの実部

σ_{tol} ：標準試料（トルエン）の導電率

[0070] そして、式(15)、式(20)～式(22)に基づいて、以下の式(23)、式(24)のように計算を行い、 σ/ω にて整理すると、式(25)のように表すことができる。

[0071] [数15]

$$(\sigma - \sigma_{tol}) \left(\frac{S_i}{d_i} + \frac{S_e}{d_e} \right) = Y'_{SPL} - Y'_{STD} \cdots (23)$$

$$(\sigma - \sigma_{tol}) \frac{Y''_{STD} - Y''_{BK}}{\omega(\epsilon_{tol} - \epsilon_{air})} = Y'_{SPL} - Y'_{STD} \cdots (24)$$

[0072] [数16]

$$\frac{\sigma}{\omega} = \frac{Y'_{SPL} - Y'_{STD}}{Y''_{STD} - Y''_{BK}} (\epsilon_{tol} - \epsilon_{air}) + \frac{\sigma_{tol}}{\omega} \cdots (25)$$

[0073] なお、上記の式(25)にて用いた σ/ω は、複素誘電率 ϵ^* の虚部成分 ϵ'' に相当するため、以下の式(26)が得られる。

[0074] [数17]

$$\epsilon'' = \frac{Y'_{SPL} - Y'_{STD}}{Y''_{STD} - Y''_{BK}} (\epsilon_{tol} - \epsilon_{air}) + \frac{\sigma_{tol}}{\omega} \cdots (26)$$

[0075] ε'' : 複素誘電率 ε^* の虚部成分

[0076] LCRメータを用いてこれらの測定を行う場合、測定出力値であるインピーダンスの大きさ $|Z|$ ($|$ は絶対値を示す)、位相角 θ 、 Y' 、 Y'' との間には、以下の式 (27)、式 (28) にて示す関係が定義される。

[0077] [数18]

$$Y' = \frac{\cos \theta}{|Z|} \cdots (27)$$

$$Y'' = -\frac{\sin \theta}{|Z|} \cdots (28)$$

[0078] すなわち、式 (19)、式 (26) における、 Y'_{SPL} 、 Y'_{STD} 、 Y'_{BK} には、試料測定 (図6 (a))、バックグラウンド測定 (図6 (b))、標準試料測定 (図6 (c)) により測定された $\cos \theta / |Z|$ の値を入力する。一方、式 (19)、式 (26) における、 Y''_{SPL} 、 Y''_{STD} 、 Y''_{BK} には、試料測定 (図6 (a))、バックグラウンド測定 (図6 (b))、標準試料測定 (図6 (c)) により測定された $-\sin \theta / |Z|$ の値を入力する。これにより、未知の試料に対する誘電率 ε 、導電率 σ を導出することが可能となる。

[0079] つまり、3つの測定を行うことで、電場解析が不要となる。なお、上記の例では、バックグラウンド測定や標準試料測定の際に空気とトルエンを用いた例を挙げて説明したが、これに限定するものではない。バックグラウンド測定および標準試料の誘電率および導電率の値を予め特定できれば、他の材料のパラメータが用いられてよい。

[0080] [測定結果]

図7、および図8は、本実施形態に係る測定結果の例を示す図である。

[0081] 図7は、従来の構成である平行平板電極を用いた測定装置と、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置の測定結果から得られる複素誘電率 (ε_r' 、 ε_r'') を示す。図7 (a) において、横軸は交流電源の掃引による周波数 [Hz] の対数を示し、縦軸は複素誘電率の実部 ε_r' を示す片対数グラフ

である。プロット701は、くし型電極を用いた測定装置の測定結果を示し、プロット402は、図4(a)と同様、平行平板電極を用いた測定装置の測定結果を示す。

[0082] また、図7(b)において、横軸は交流電源の掃引による周波数[Hz]の対数を示し、縦軸は複素誘電率の虚部 ϵ_r'' を示す片対数グラフである。プロット702は、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置の測定結果を示し、プロット412は、図4(b)と同様、平行平板電極を用いた測定装置の測定結果を示す。

[0083] 図7(a)、(b)に示すように、平行平板電極を用いた測定装置と、くし型電極を用いた測定装置との測定結果はほぼ同じ値が得られている。つまり、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置は、平行平板電極を用いた測定装置と同等の精度を得ることが可能となっている。

[0084] 図8は、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置にて、新しい潤滑剤と、劣化した潤滑剤の測定結果から得られる複素誘電率 ϵ_r' 、 ϵ_r'' を示す。図8(a)において、横軸は交流電源の掃引による周波数[Hz]の対数を示し、縦軸は複素誘電率の実部 ϵ_r' を示す片対数グラフである。プロット701は、図7(a)と同様、くし型電極を用いた測定装置の測定結果(新しい潤滑剤)を示し、プロット801は、くし型電極を用いた測定装置の測定結果(劣化した潤滑剤)を示す。

[0085] また、図8(b)において、横軸は交流電源の掃引による周波数[Hz]の対数を示し、縦軸は複素誘電率の虚部 ϵ_r'' を示す片対数グラフである。プロット702は、図7(b)と同様、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置の測定結果(新しい潤滑剤)を示し、プロット802は、くし型電極を用いた測定装置の測定結果(劣化した潤滑剤)を示す。

[0086] 図8(a)、(b)に示すように、本実施形態に係る手法によりくし型電極を用いた測定装置にて、潤滑剤の劣化状態を特定することが可能となる。

[0087] 上記のことから、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定装置では、平行平板電極を用いた測定装置と同等の測定結果を得ること可能となる。この

とき、上述したようにくし型電極では、平行平板電極に比べて極めて少量の試料（例えば、潤滑剤）を用いて、測定することができ、その有用性は平行平板電極よりも高いものとなる。

[0088] 〔適用例〕

図9は、本実施形態に係るくし型電極を用いた測定方法の適用例を説明するための概略図である。例えば、測定対象として、潤滑剤にて潤滑が行われる転がり軸受が挙げられる。そして、転がり軸受内の潤滑剤に接触可能な位置に貼り付け可能なシール900を用いる。図9（a）に示すように、シール900上には、図1（b）に示すようなくし型電極を備える測定部300のくし型電極301、302を印刷する。シール900を転がり軸受に張り付けた状態で、くし型電極に電圧を印加することでインピーダンスを測定する。その検出結果を、上記の式（19）や式（26）に示した算出式に入力することで、転がり軸受のパラメータを得ることが可能となる。なお、バックグラウンド測定や標準試料測定のパラメータは予め測定されていてよい。

[0089] 図9（b）は、測定装置920や測定部300を含む測定システムの全体概略の例図である。図9（b）において、転がり軸受901内の潤滑剤902を測定対象として、測定部300が印刷されたシール900が設置されてよい。

[0090] また、図9（b）に示すように、測定装置920は、交流電源200を用いたEIS（電気化学インピーダンス分光法）を用いて測定を行う構成と、交流電源910を用いたEIM（電気インピーダンス法）を併用するような構成であってもよい。これにより、本実施形態に係るくし型電極による高精度の測定結果に基づいて、EIMによる測定結果を補正したりすることで、EIMの精度を向上させることが可能となる。

[0091] 測定装置920は、例えば、不図示の制御装置、記憶装置、および出力装置を含んで構成される情報処理装置にて実現されてよい。制御装置は、CPU（Central Processing Unit）、MPU（Micro Processing Unit）、DSP（Digital Si

ngle Processor)、または専用回路などから構成されてよい。記憶装置は、HDD (Hard Disk Drive)、ROM (Read Only Memory) やRAM (Random Access Memory) 等の揮発性および不揮発性の記憶媒体により構成され、制御装置からの指示により各種情報の入出力が可能である。出力装置は、スピーカやライト、或いは液晶ディスプレイ等の表示デバイス等から構成され、制御装置からの指示により、作業への報知を行う。出力装置による出力方法は特に限定するものではない。また、出力装置は、通信機能を備えたネットワークインターフェースであってもよく、ネットワーク (不図示) を介した外部装置 (不図示) へのデータ送信により出力動作を行ってもよい。

[0092] 測定装置 920 は、交流電源 200 の角周波数 ω の交流電圧 V を、くし型電極を備える測定部 300 に印加する電力の入力値を指示し、それに対する出力 (測定値) としてインピーダンス Z 、および位相角 θ を取得する。そして、測定装置 920 はこれらの値を用いて測定対象に関する電気特性を示すパラメータを導出した上で出力を行う。

[0093] [処理フロー]

図 10 は、上記の手法を用いた、本実施形態に係る測定処理のフローチャートである。本処理は、測定装置 920 により実行され、例えば、測定装置 920 が備える制御装置 (不図示) が本実施形態に係る処理を実現するためのプログラムを記憶装置 (不図示) から読み出して実行することにより実現されてよい。なお、以下の処理におけるパラメータの導出は、汎用のソフトウェアの機能を用いてその一部が実現されるように構成されてよい。また、本処理フローが開始される際には、測定部 300 のくし型電極が測定位置に設置され、例えば、図 2 (b) に示すような状態になっているものとする。

[0094] S1001 にて、測定装置 920 は、LCR メータ (不図示) に対し、LCR メータが備える交流電源 200 を用いて角周波数 ω の交流電圧 V の電力を測定部 300 のくし型電極を介して測定対象に与えるように制御する。これにより、試料 (例えば、転がり軸受内の潤滑剤) には、角周波数 ω の交流

電圧 V が印加される。

- [0095] S 1 0 0 2 にて、測定装置 9 2 0 は、S 1 0 0 1 にて指示した入力に対する出力として、LCRメータからインピーダンス Z および位相角 θ を取得する。つまり、LCRメータは、入力である角周波数 ω の交流電圧 V に対する試料の測定結果として、インピーダンス Z および位相角 θ を測定装置 9 2 0 に出力する。
- [0096] S 1 0 0 3 にて、測定装置 9 2 0 は、予め行われたバックグラウンド測定（図 6（b））における測定結果、および、バックグラウンド（上記の例では空気）の各種パラメータを取得する。これらの情報は、予め測定などによって入力され、測定装置 9 2 0 にて利用可能に登録されているものとする。また、バックグラウンドに係る各種パラメータは、測定装置 9 2 0 のユーザが指定するような構成であってもよい。
- [0097] S 1 0 0 4 にて、測定装置 9 2 0 は、予め行われた標準試料測定（図 6（c））における測定結果、および、標準試料（上記の例ではトルエン）の各種パラメータを取得する。これらの情報は、予め測定などによって入力され、測定装置 9 2 0 にて利用可能に登録されているものとする。また、標準試料に係る各種パラメータは、測定装置 9 2 0 のユーザが指定するような構成であってもよい。
- [0098] S 1 0 0 5 にて、測定装置 9 2 0 は、S 1 0 0 2 にて得られた試料に対する測定結果と、S 1 0 0 3 および S 1 0 0 4 にて取得された各種パラメータを、上記の式（19）や式（26）に導入することにより、試料に対する複素誘電率を導出する。更に、測定装置 9 2 0 は、導出した複素誘電率に基づいて、上記の算出式により、試料に対する誘電率 ϵ や導電率 σ を導出する。
- [0099] S 1 0 0 6 にて、測定装置 9 2 0 は、S 1 0 0 5 にて得られた値を測定結果として出力する。そして、本処理フローを終了する。
- [0100] 以上、本実施形態により、微量な試料の状態を高精度に測定可能とすることが可能となる。
- [0101] <その他の実施形態>

また、本発明に係るくし型電極の測定部を有する構成は、潤滑剤に限定するものではなく、様々な試料の測定に用いられてもよい。例えば、上述したような試料の劣化の程度、多物質の混入の検出に用いられてもよい。また、機械装置のみを対象とするものではなく、例えば、人などの生物などから採取された液体などの試料を対象として測定が行われてもよい。

[0102] また、上記の実施形態では、くし型電極の形状、すなわち、くし型の電極の歯が噛み合うように対向して配置された例を示したが、これに限定するものではない。例えば、渦巻き状の電極が用いられてもよい。

[0103] また、上記の実施形態では、印加する電圧として交流電圧を用いる例を示した。しかし、これに限定するものではなく、パルス入力や、所定の矩形電圧が用いられてもよい。そのため、バックグラウンド測定や標準試料測定などの測定結果と比較可能であれば、印加電圧の構成は特に限定するものではない。

[0104] また、本発明において、上述した1以上の実施形態の機能を実現するためのプログラムやアプリケーションを、ネットワーク又は記憶媒体等を用いてシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。

[0105] また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）やFPGA（Field Programmable Gate Array））によって実現してもよい。

[0106] このように、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、実施形態の各構成を相互に組み合わせることや、明細書の記載、並びに周知の技術に基づいて、当業者が変更、応用することも本発明の予定するところであり、保護を求める範囲に含まれる。

[0107] 以上の通り、本明細書には次の事項が開示されている。

（1） 所定の形状の電極（例えば、301、302）と当該電極が表面

に形成される基板（例えば、303）とを含む測定部（例えば、300）を介して、測定対象（例えば、400）に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程（例えば、S1001、S1002）と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路（例えば、図5（b））に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程（例えば、S1003、S1004、S1005）と、
を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場（例えば、501）と、前記電極の基板側の電場（例えば、503）と、前記電極の前記測定対象側の電場（例えば、502）とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料（例えば、603）の測定結果およびバックグラウンド試料（例えば、602）の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、ことを特徴とする測定方法。

この構成によれば、微量な試料の状態を高精度に測定することが可能となる。特に、平行平板電極と同等の測定精度を、より微小な量にて実現することが可能となる。

[0108] （2） 前記所定の算出式は、

[0109] [数19]

$$\varepsilon' = \frac{Y''_{SPL} - Y''_{BK}}{Y''_{STD} - Y''_{BK}} (\varepsilon_{tol} - \varepsilon_{air}) + \varepsilon_{air} \cdots (1)$$

$$\varepsilon'' = \frac{Y'_{SPL} - Y'_{STD}}{Y''_{STD} - Y''_{BK}} (\varepsilon_{tol} - \varepsilon_{air}) + \frac{\sigma_{tol}}{\omega} \cdots (2)$$

[0110] ε' : 複素誘電率 ε^* の実部成分

ε'' : 複素誘電率 ε^* の虚部成分

Y'_{STD} : 標準試料の複素アドミッタンスの実部

Y''_{STD} : 標準試料の複素アドミッタンスの虚部

Y''_{BK} : バックグラウンドの複素アドミッタンスの虚部

Y'_{SPL} : 試料の複素アドミッタンスの実部

Y''_{SPL} : 試料の複素アドミッタンスの虚部

ω : 電圧の角周波数

σ_{tol} : 標準試料の導電率

ε_{air} : バックグラウンド試料の誘電率

ε_{tol} : 標準試料の誘電率

にて規定される、(1)に記載の測定方法。

この構成によれば、電場解析を不要としつつ、電極間および電極への回り込みの電場を考慮した測定が可能となる。

[0111] 前記所定の形状は、くし型形状であり、

前記基板の表面において、2つのくし型形状の電極が対向して、くしの歯が噛み合うように配置される、(1)に記載の測定方法。

この構成によれば、くし型形状により電極における試料との接触面積を広げ、精度の高い測定が可能となる。

[0112] (4) 前記測定部は、転がり軸受（例えば、901）に設置され、

前記測定対象は、前記転がり軸受内の潤滑剤（例えば、902）である、

(1)に記載の測定方法。

この構成によれば、転がり軸受内の潤滑剤を測定対象として、微量の試料にて精度の高い測定が可能となる。

[0113] (5) 所定の形状の電極（例えば、301、302）と当該電極が表面に形成される基板（例えば、303）とを含む測定部（例えば、300）と、

所定の電圧を供給する電源部（例えば、200）と、

前記測定部を介して、測定対象に前記電源部からの所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定手段（例えば、920）と、

前記測定手段による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路（例えば、図5（b））に基づいて規定される所定の算出式に

入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出手段（例えば、920）と、

を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場（例えば、501）と、前記電極の基板側の電場（例えば、503）と、前記電極の前記測定対象側の電場（例えば、502）とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料（例えば、603）の測定結果およびバックグラウンド試料（例えば、602）の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、ことを特徴とする測定システム。

この構成によれば、微量な試料の状態を高精度に測定することが可能となる。特に、平行平板電極と同等の測定精度を、より微小な量にて実現することが可能となる。

[0114] （6） コンピュータ（例えば、920）に、

所定の形状の電極（例えば、301、302）と当該電極が表面に形成される基板（例えば、303）とを含む測定部（例えば、300）を介して、測定対象（例えば、400）に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程（例えば、S1001、S1002）と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路（例えば、図5（b））に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程（例えば、S1003、S1004、S1005）と、

を実行させ、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場（例えば、501）と、前記電極の基板側の電場（例えば、503）と、前記電極の前記測定対象側の電場（例えば、502）とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料（例えば、603）の測定結果およびバックグラウンド試料（例えば、602）の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、プログラム。

この構成によれば、微量な試料の状態を高精度に測定することが可能となる。特に、平行平板電極と同等の測定精度を、より微小な量にて実現することが可能となる。

[0115] 以上、図面を参照しながら各種の実施の形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0116] 以上、各種の実施の形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0117] なお、本出願は、2022年11月7日出願の日本特許出願（特願2022-178451）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

符号の説明

[0118] 200 交流電源
300 測定部
301、302 くし型電極
303 基板
900 シール
901 転がり軸受
902 潤滑剤
920 測定装置

請求の範囲

[請求項1] 所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定部を介して、測定対象に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程と、
を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、ことを特徴とする測定方法。

[請求項2] 前記所定の算出式は、

[数1]

$$\varepsilon' = \frac{Y''_{\text{SPL}} - Y''_{\text{BK}}}{Y''_{\text{STD}} - Y''_{\text{BK}}} (\varepsilon_{\text{tol}} - \varepsilon_{\text{air}}) + \varepsilon_{\text{air}} \cdots (1)$$

$$\varepsilon'' = \frac{Y'_{\text{SPL}} - Y'_{\text{STD}}}{Y''_{\text{STD}} - Y''_{\text{BK}}} (\varepsilon_{\text{tol}} - \varepsilon_{\text{air}}) + \frac{\sigma_{\text{tol}}}{\omega} \cdots (2)$$

ε' : 複素誘電率 ε^* の実部成分

ε'' : 複素誘電率 ε^* の虚部成分

Y'_{STD} : 標準試料の複素アドミッタンスの実部

Y''_{STD} : 標準試料の複素アドミッタンスの虚部

Y''_{BK} : バックグラウンドの複素アドミッタンスの虚部

Y'_{SPL} : 試料の複素アドミッタンスの実部

Y''_{SPL} : 試料の複素アドミッタンスの虚部

ω : 電圧の角周波数

σ_{tol} : 標準試料の導電率

ε_{air} : バックグラウンド試料の誘電率

ε_{tol} : 標準試料の誘電率

にて規定される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

[請求項3]

前記所定の形状は、くし型形状であり、

前記基板の表面において、2つのくし型形状の電極が対向して、くしの歯が噛み合うように配置される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

[請求項4]

前記測定部は、転がり軸受に設置され、

前記測定対象は、前記転がり軸受内の潤滑剤である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の測定方法。

[請求項5]

所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定部と、

所定の電圧を供給する電源部と、

前記測定部を介して、測定対象に前記電源部からの所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出手段と、
を有し、

前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、ことを特徴とする測定装置。

[請求項6]

コンピュータに、

所定の形状の電極と当該電極が表面に形成される基板とを含む測定

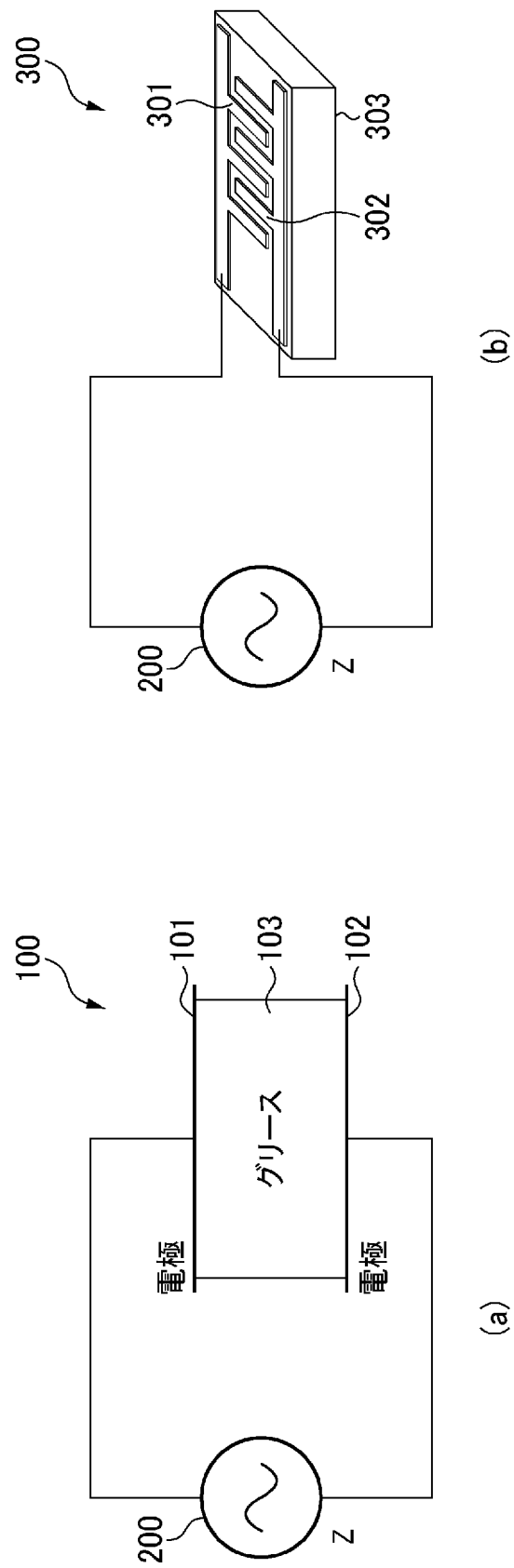
部を介して、測定対象に所定の電圧を印加させることによりインピーダンスを測定する測定工程と、

前記測定工程による測定結果を、前記測定部と前記測定対象の構成に対応する等価回路に基づいて規定される所定の算出式に入力することにより、前記測定対象の複素誘電率を導出する導出工程と、
を実行させ、

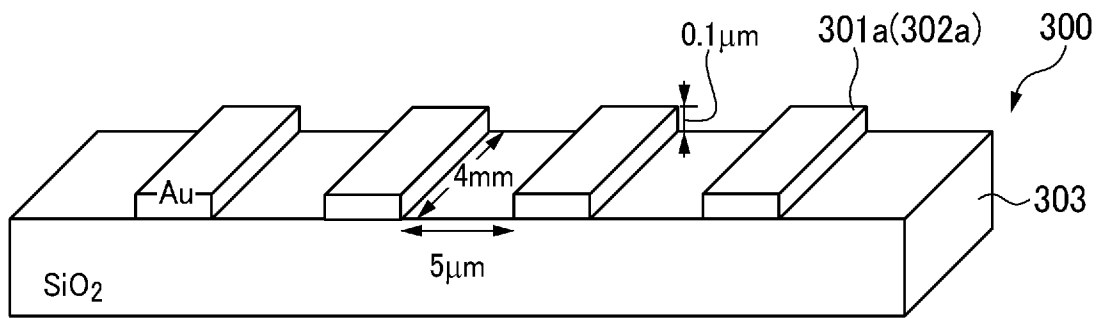
前記等価回路は、前記測定部における前記電極間の電場と、前記電極の基板側の電場と、前記電極の前記測定対象側の電場とに対応して規定され、

前記所定の算出式は、前記測定部による標準試料の測定結果およびバックグラウンド試料の測定結果に基づくパラメータを含んで規定される、プログラム。

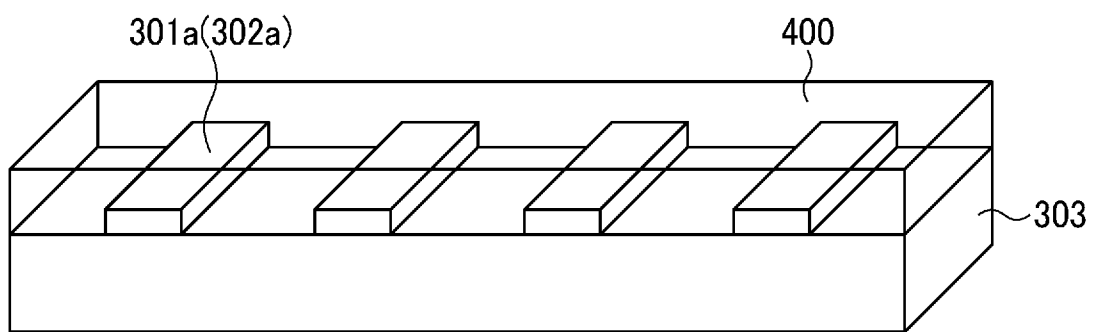
[図1]



[図2]

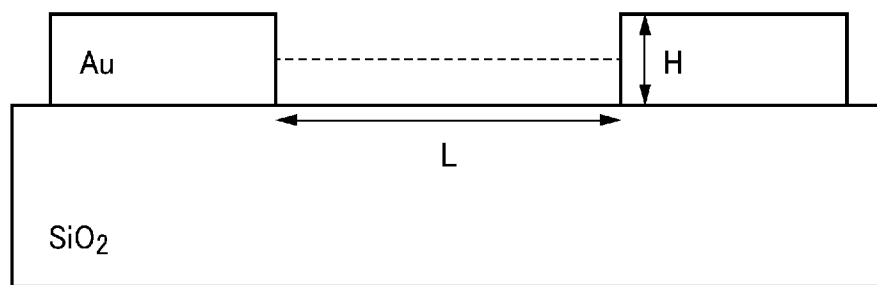


(a)

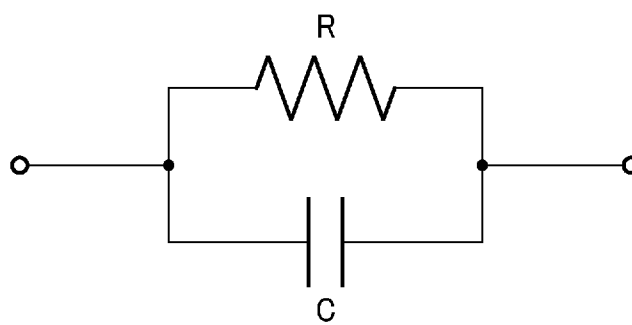


(b)

[図3]

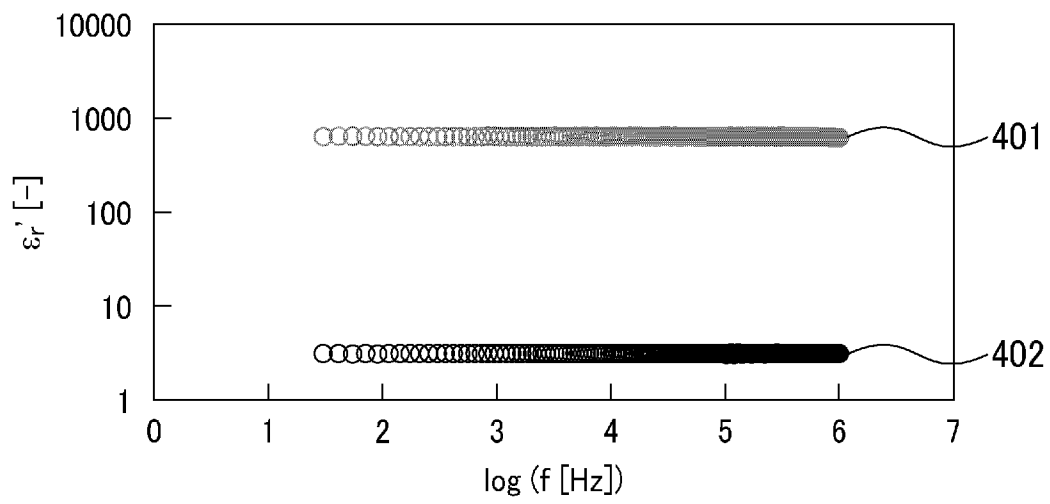


(a)

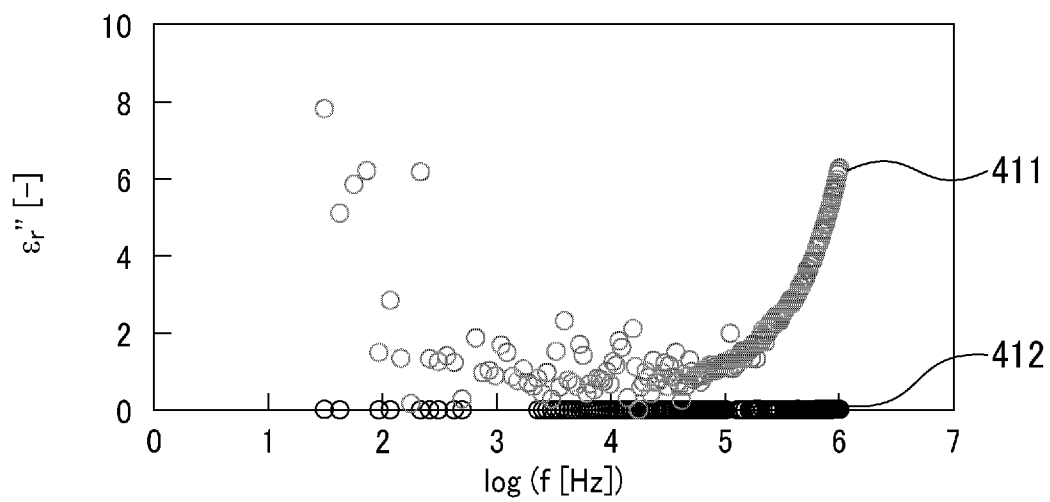


(b)

[図4]

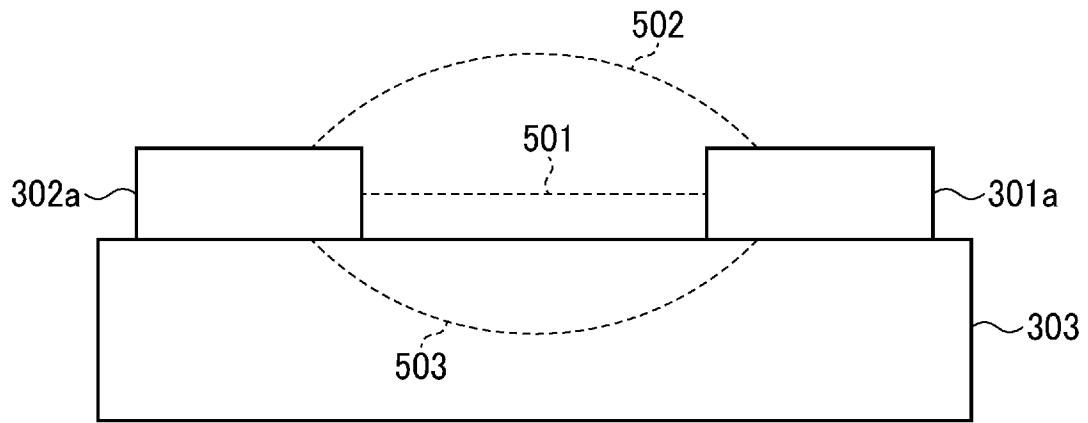


(a)

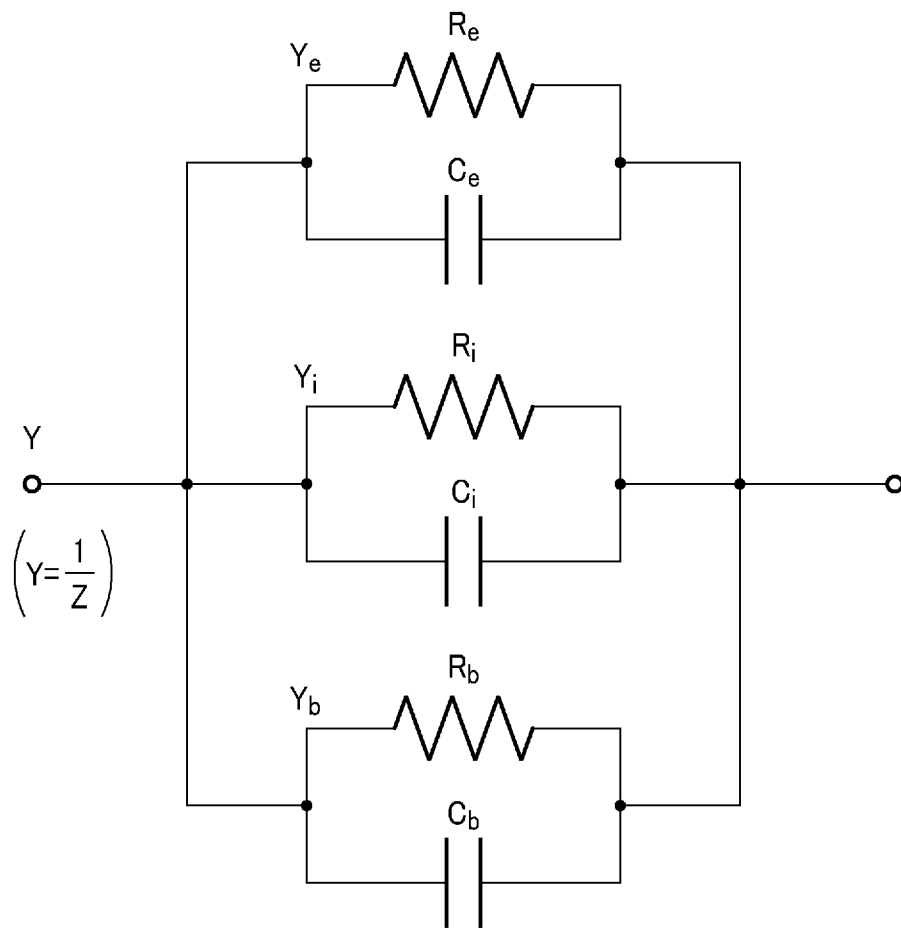


(b)

[図5]

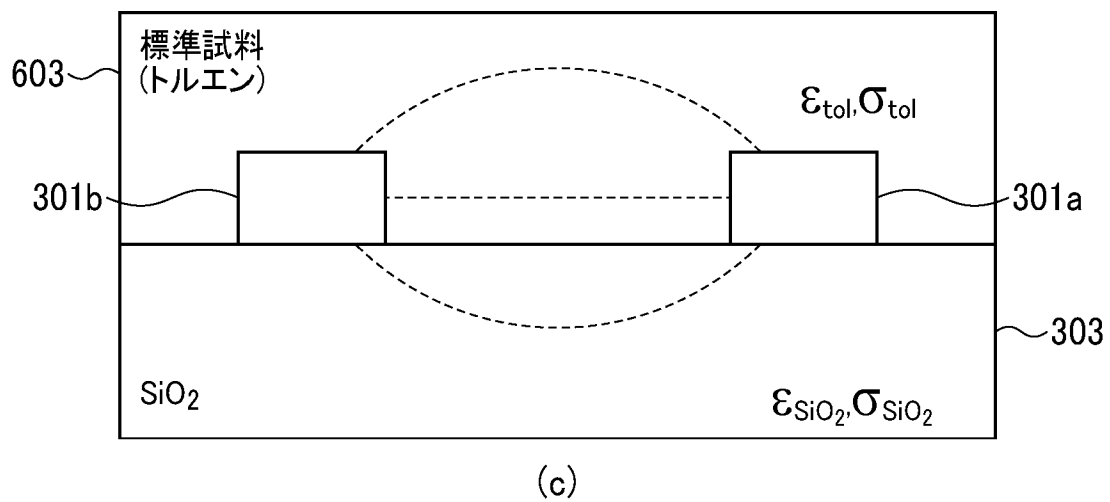
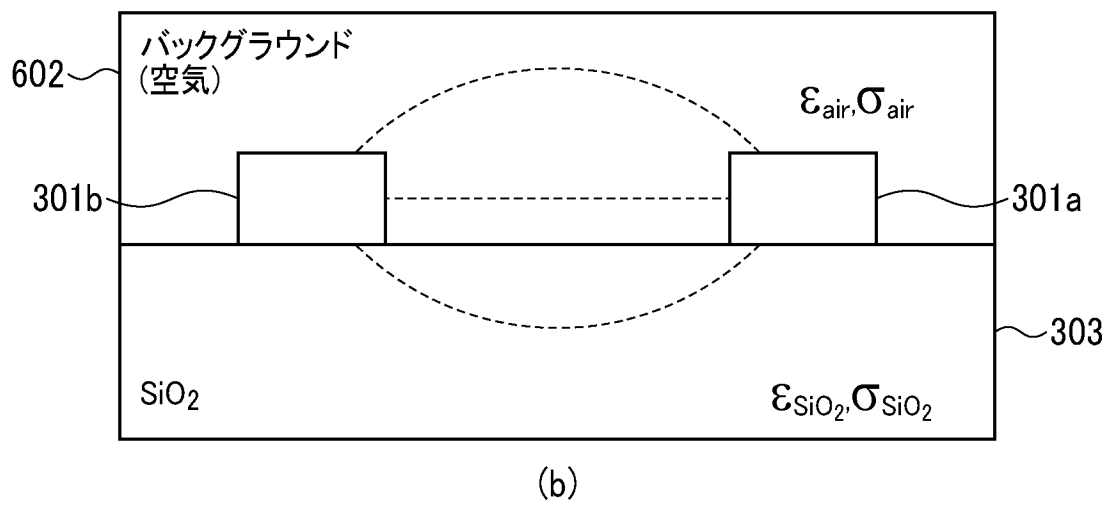
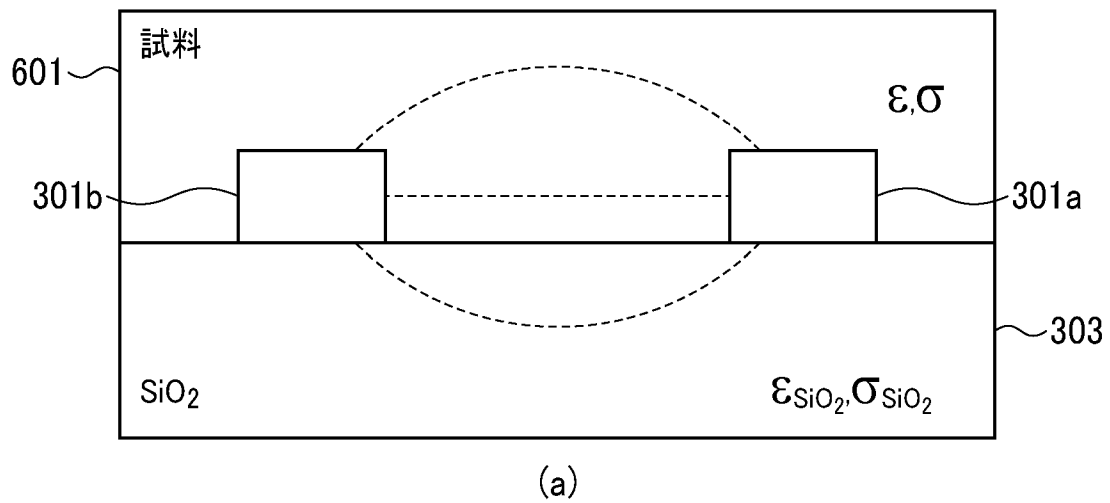


(a)

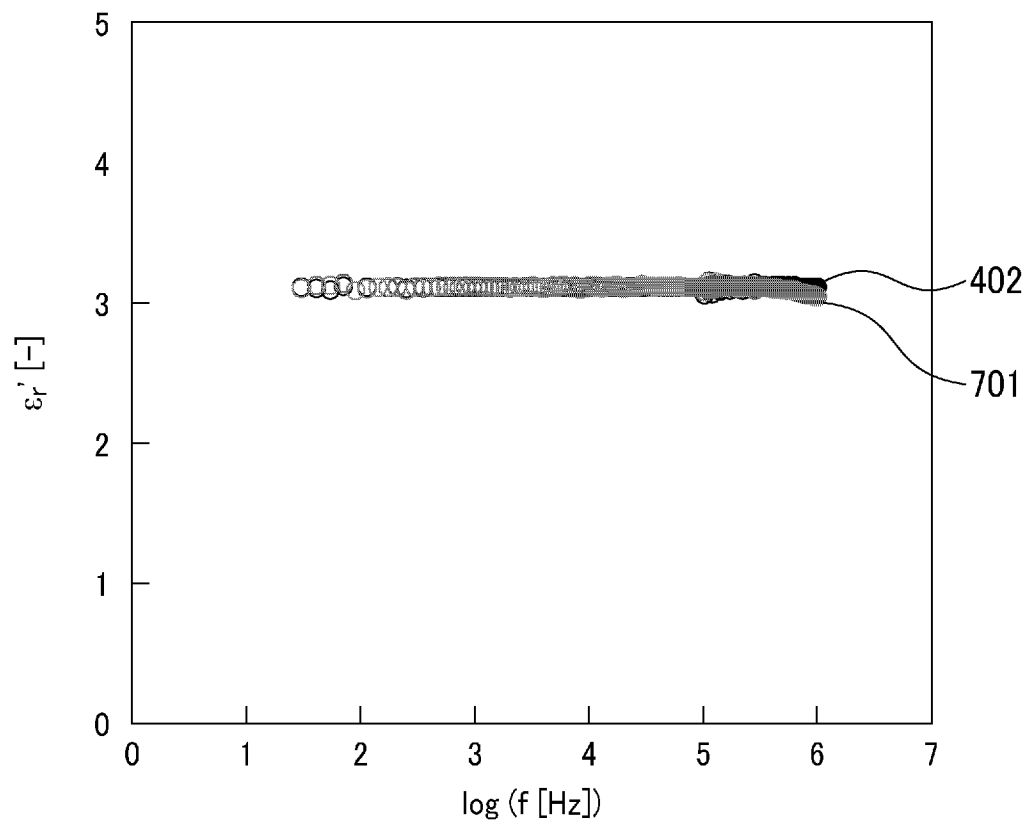


(b)

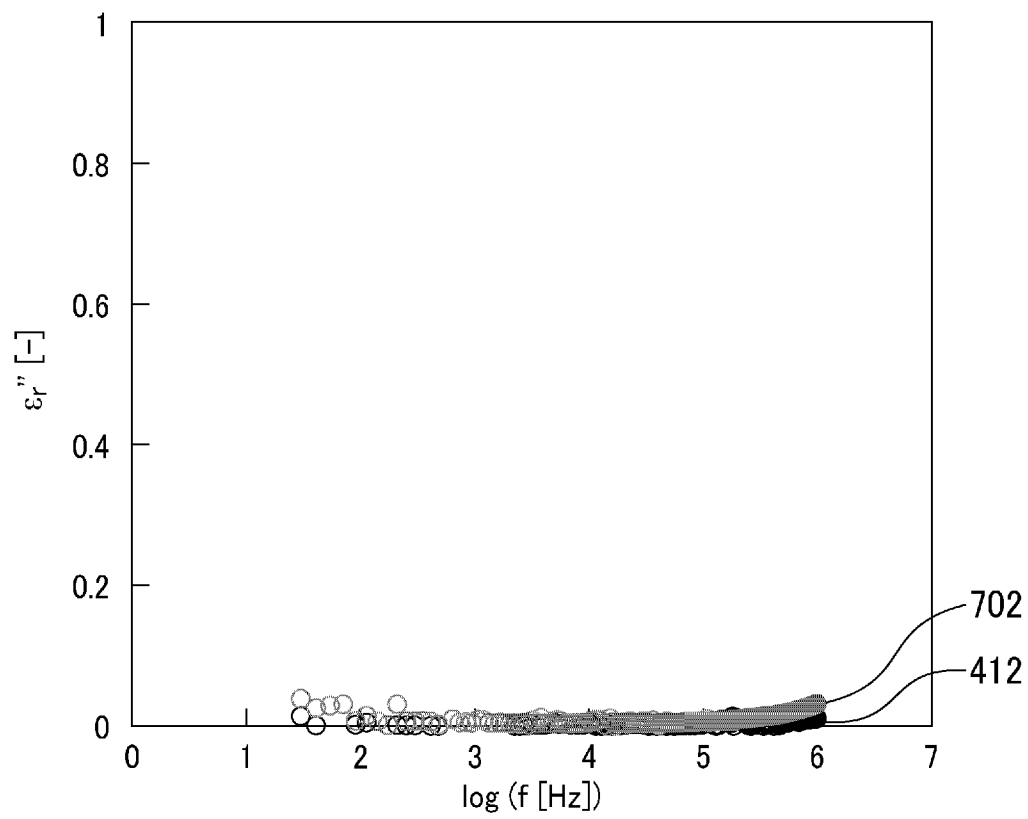
[図6]



[図7]

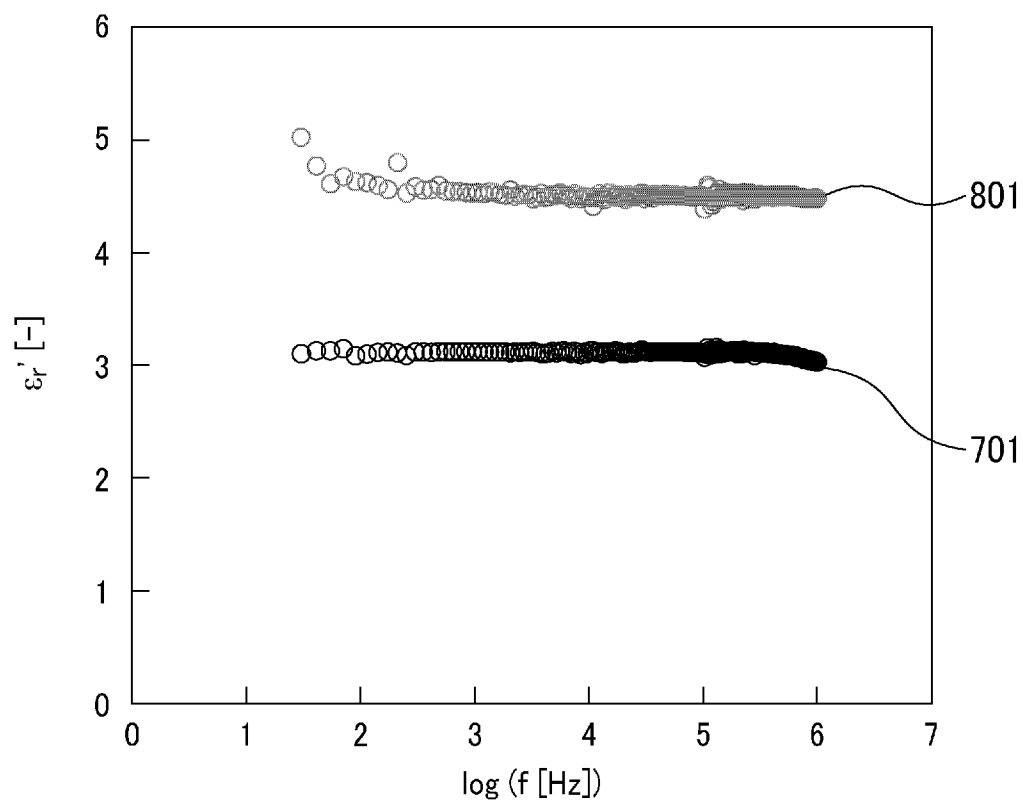


(a)

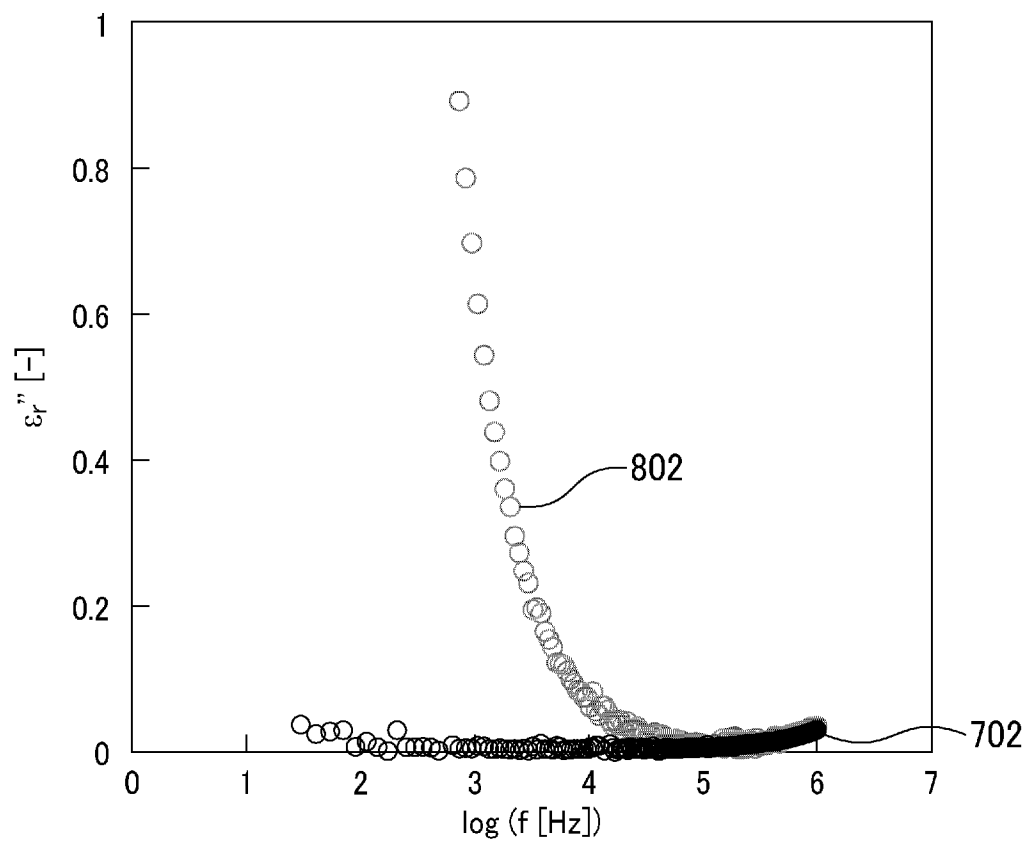


(b)

[図8]

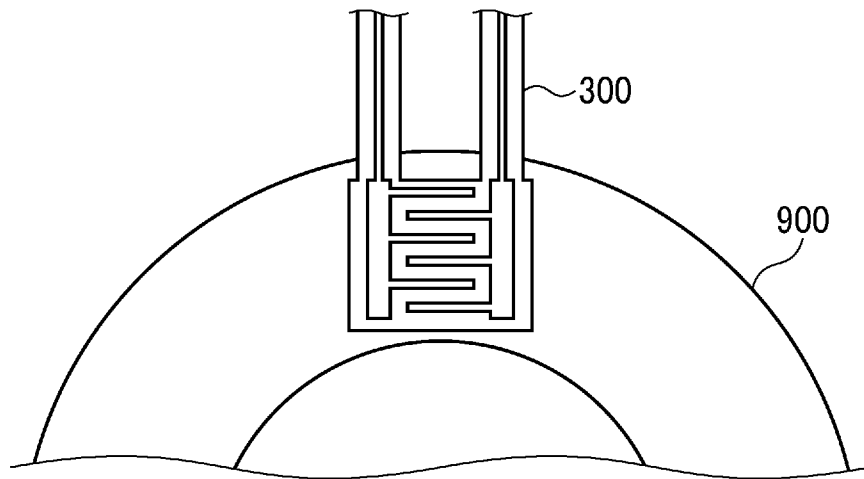


(a)

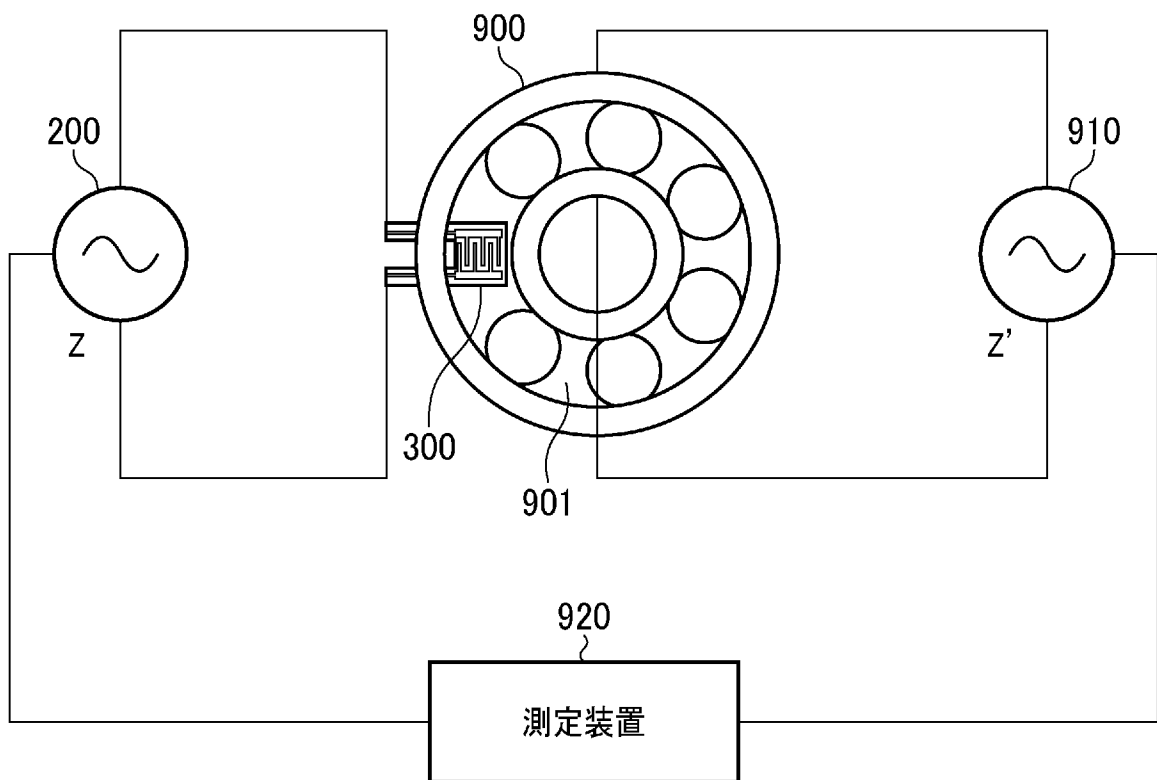


(b)

[図9]

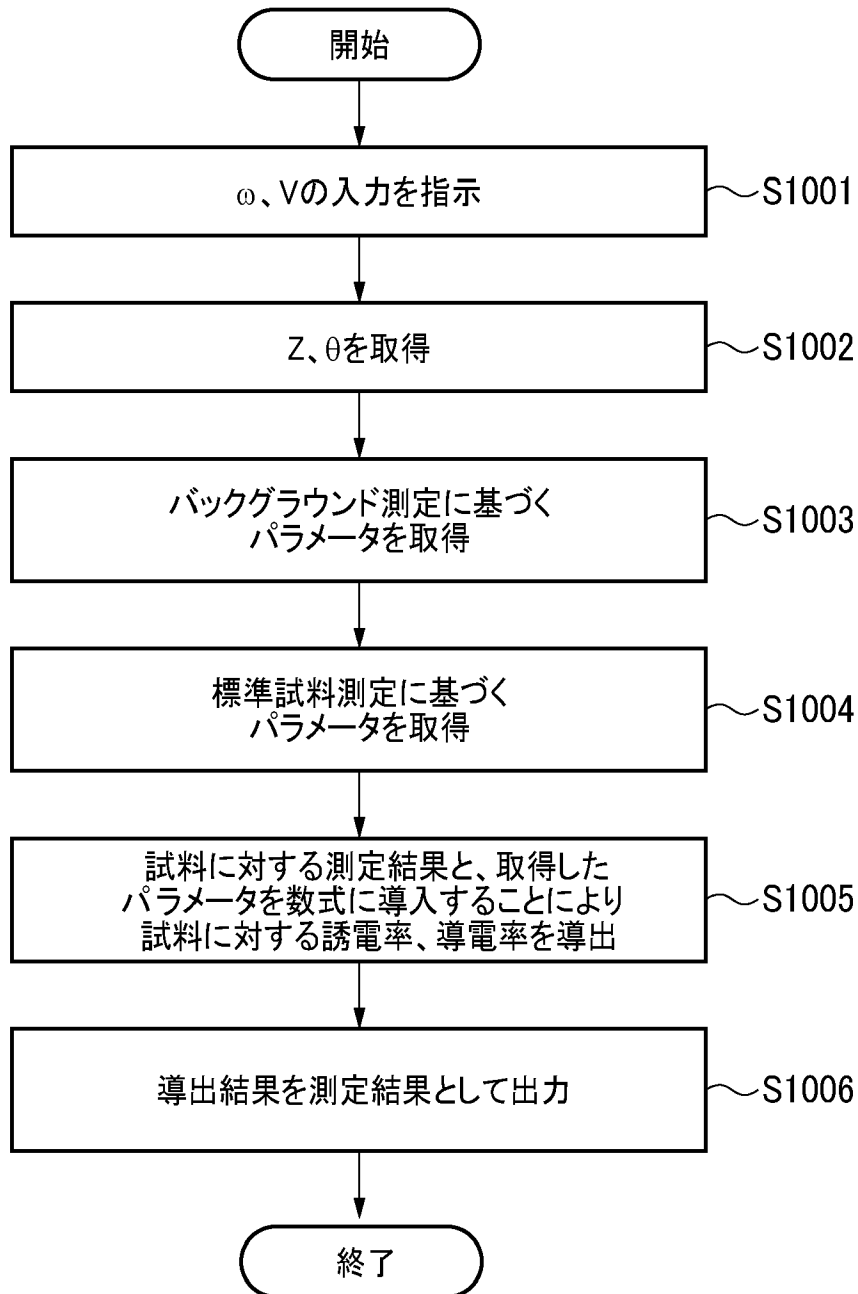


(a)



(b)

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/039926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 27/00**(2006.01)i; **G01N 27/22**(2006.01)i; **G01R 27/26**(2006.01)i

FI: G01N27/00 L; G01N27/22 B; G01R27/26 H

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)

G01N27/00-G01N27/10; G01N27/14-G01N27/24; G01R27/00-G01R27/32; G01N33/30

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-028012 A (TOHOKU DENSHI SANGYO KK) 21 February 2019 (2019-02-21) entire text	1-6
A	JP 2012-184948 A (TAKENAKA KOMUTEN CO LTD) 27 September 2012 (2012-09-27) entire text	1-6
A	US 2019/0302078 A1 (NATIONAL TECHNOLOGY & ENGINEERING SOLUTIONS OF SANDIA, LLC) 03 October 2019 (2019-10-03) entire text	1-6
A	US 2005/0227373 A1 (FLANDRE et al.) 13 October 2005 (2005-10-13) entire text	1-6
A	LEE, Huan. The Handbook of Dielectric Analysis and Cure Monitoring. Lambient Technologies LLC [online]. 2017 [retrieval date 17 November 2023], internet:<URL: https://static1.squarespace.com/static/59627b143e00be4fb1e3aed9/t/59b9c58f18b27db13da22af4/1505346973511/DielectricAnalysisCureMonitoringHandbook.pdf> entire text	1-6



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

17 November 2023

Date of mailing of the international search report

28 November 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/039926

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-028012	A	21 February 2019	(Family: none)	
JP	2012-184948	A	27 September 2012	(Family: none)	
US	2019/0302078	A1	03 October 2019	(Family: none)	
US	2005/0227373	A1	13 October 2005	WO	2004/001403 A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 27/00(2006.01)i; G01N 27/22(2006.01)i; G01R 27/26(2006.01)i FI: G01N27/00 L; G01N27/22 B; G01R27/26 H										
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）） G01N27/00-G01N27/10; G01N27/14-G01N27/24; G01R27/00-G01R27/32; G01N33/30 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 border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023年									
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 2019-028012 A（東北電子産業株式会社）21.02.2019（2019-02-21） 全文	1-6								
A	JP 2012-184948 A（株式会社竹中工務店）27.09.2012（2012-09-27） 全文	1-6								
A	US 2019/0302078 A1（NATIONAL TECHNOLOGY & ENGINEERING SOLUTIONS OF SANDIA, LLC）03.10.2019（2019-10-03） 全文	1-6								
A	US 2005/0227373 A1（FLANDRE et al.）13.10.2005（2005-10-13） 全文	1-6								
A	LEE, Huan, The Handbook of Dielectric Analysis and Cure Monitoring, Lambient Technologies LLC [オンライン], 2017 [検索日 2023.11.17], インターネット: <URL: https://static1.squarespace.com/static/59627b143e00be4fble3aed9/t/59b9c58f18b27db13da22af4/1505346973511/DielectricAnalysisCureMonitoringHandbook.pdf> 全文	1-6								
☐ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 17.11.2023	国際調査報告の発送日 28.11.2023									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 村田 顕一郎 2W 5711 電話番号 03-3581-1101 内線 3258									

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/039926

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2019-028012	A	21.02.2019	(ファミリーなし)	
JP	2012-184948	A	27.09.2012	(ファミリーなし)	
US	2019/0302078	A1	03.10.2019	(ファミリーなし)	
US	2005/0227373	A1	13.10.2005	WO	2004/001403 A1