(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
2020年5月7日(07.05.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/090087 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 7/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/040732

(22) 国際出願日： 2018年11月1日(01.11.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 中国電力株式会社 (**THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.**) [JP/JP]; 〒7308701 広島県広島市中区小町４番３３号 Hiroshima (JP).

(72) 発明者: 大櫃 和成 (**OHBITSU Kazushige**); 〒7308701 広島県広島市中区小町４番３３号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 西田 秀高(**NISHIDA Hidetaka**); 〒7308701 広島県広島市中区小町４番３３号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 吉光 昭典(**YOSHIMITSU Akinori**); 〒7308701 広島県広島市中区小町４番３３号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 今田 栄 (**IMADA Sakae**); 〒7308701 広島県広島市中区小町４番３３号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP).

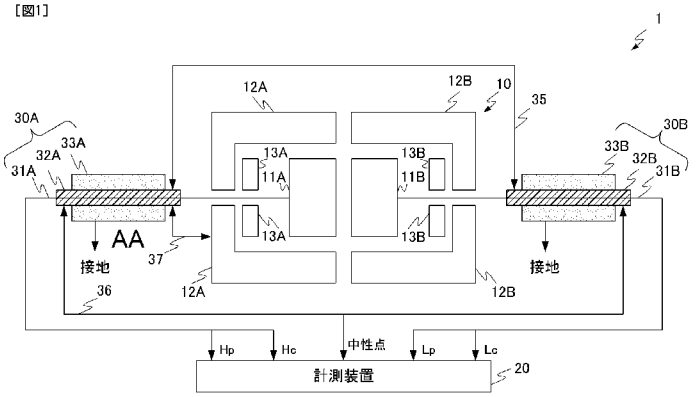
(74) 代理人: 正林 真之，外(**SHOBAYASHI Masayuki** et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内１－７－１２ サピアタワー Tokyo (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** CAPACITIVE STRAIN GAUGE AND STRAIN MEASUREMENT SYSTEM

(54) 発明の名称： 静電容量式ひずみ計及びひずみ計測システム

[図1]



20 Measurement device
AA Ground

(57) **Abstract:** Provided is a capacitive strain gauge with which, when measuring a strain amount, it is possible to reduce an amount of deviation from a basis formula and to obtain a more accurate strain amount by preventing error occurrence as much as possible. The present invention comprises: a plurality of electrodes 11 that are opposite one another; a guard 12A and a shield 12B that are conductive and respectively enclose the plurality of electrodes, with opposite face sides being open; and a plurality of biaxial sheathed cables 30 that connect each of the plurality of electrodes 11 to a measurement device 20.

(57) 要約：ひずみ量の測定において、誤差の発生を極力防止することにより、基本式からのずれ量を低減し、より正確なひずみ量を得ることが可能な、静電容量式ひずみ計を提供する。互いに対向する複数の電極１１と、前記複数の電極の各々を前記対向面側が開放された状態で包囲し、導電性を有するガード１２Ａ及びシールド１２Ｂと、複数の電極１１の各々と計測装置２０とを接続する、複数の２軸シースケーブル３０とを備える。

WO 2020/090087 A1

［続葉有］

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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).

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 ： 静電容量式ひずみ計及びひずみ計測システム

技術分野

[0001]　本発明は、静電容量式ひずみ計及びひずみ計測システムに関する。

背景技術

[0002]　従来、配管溶接部のひずみ測定において溶接部を跨ぐ配管表面にひずみ計を取り付けて、溶接部のひずみを計測する方法が知られている。とりわけ、高温環境下で発生するひずみを計測する方法として、特許文献１は、電極面を高温環境下においても変化しない空気を媒体として近接させることで、この電極間の静電容量からひずみ量を算定する計測方法を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第４９２６５４３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　測定対象物の２点間のひずみ量（離隔）を対象物の表面に取り付け測定するため、この２箇所に離隔方向と垂直に平行平板電極を対向するよう取り付け、この電極間の静電容量値の変動量から、電極間隔の変位量を換算し、取得する計測においては、以下の式（１）に示す無限遠の平行平板電極の静電容量の基本式を基準として、換算することができる。

[0005]

[数1]

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \qquad \left(d = \varepsilon_0 \varepsilon_r S \cdot \frac{1}{C}\right) \quad （式１）$$

（C：静電容量，ε_0：真空の誘電率，
ε_r：空気の比誘電率，S：電極板面積，
d：電極板間隔）

[0006] しかし、電極面積が有限の場合、図１０に示すような電極外周部の縁端容量により、静電容量の測定値は、向かい合った電極面積と電極間隔とから基本式を用いた換算により得られる静電容量値より大きくなる。すなわち、測定される静電容量値と向かい合った電極面積とから、基本式により得られる電極間隔は、実際の電極間隔よりみかけ上小さくなる。これにより、正確なひずみ量を得ることができない。

[0007] 電極外周部の縁端容量による基本式からのずれは、計器のサイズ、構造、電気特性の点で、当該計器固有の特性に依存する。そこで、この特性を計測し、基本式からの補正を行う方法があるが、この方法では、計器特性の計測、及び補正における誤差が加味されることとなる。

[0008] また、対向する電極を測定表面に取り付ける際、各電極の中心軸がずれた場合も、同様に基本式からのずれが生じ、誤差が発生する原因となる。

[0009] また、配管の周溶接部のクリープひずみを測定するために、この溶接部を跨ぎ配管表面に対向して取り付ける電極間隔の測定において、溶接部の均一な伸びに加え曲げ変形が生じる場合があることから電極面の角度ズレや角度の変動により、あらかじめ設定した特性曲線からのズレが生じることになる。

[0010] 高温環境下において静電容量を測定する各電極に接続する信号ケーブルは、被覆の腐食や近接する部材等、外界との浮遊容量の変動により、測定回路全体のコンダクタンスの変動により、測定値が安定しない。

[0011] 本発明は、ひずみ量の測定において、誤差の発生を極力防止することにより、静電容量の基本式からのずれ量を低減し、より正確なひずみ量を得ることが可能な、静電容量式ひずみ計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

[0012] 前記目的を達成するため、本発明は、次に記載する構成を備えている。

[0013] （１） 互いに対向する複数の電極と、前記複数の電極の各々を前記対向面側が開放された状態で包囲し、導電性を有するガード及びシールドと、前記複数の電極の各々と、前記電極間の静電容量を計測する計測装置とを接続する、複数の２軸シースケーブルとを備える、静電容量式ひずみ計。

[0014] （２） （１）に記載の静電容量式ひずみ計において、前記ガード及びシールドのうち、前記ガードは、前記計測装置の中性点に接続されてゼロ電位が保たれ、前記シールドは前記ガード及び前記電極とは電気的に絶縁されている。

[0015] （３） （１）又は（２）に記載の静電容量式ひずみ計において、前記複数の電極のうち第１の電極に接続する前記２軸シースケーブルの内被が、前記第１の電極を包囲する前記ガード、及び前記複数の電極のうち第２の電極に接続する前記２軸シースケーブルの内被と接続し、前記第１の電極に接続する前記２軸シースケーブルと前記第２の電極に接続する前記２軸シースケーブルの内被全体が、前記電極とは電気的に絶縁されると共に接地される外被で覆われる。

[0016] （４） （１）～（３）のいずれかに記載の静電容量ひずみ計であって、前記複数の電極の大きさが同一である。

[0017] （５） （１）～（３）のいずれかに記載の静電容量ひずみ計であって、前記複数の電極の大きさが互いに異なり、前記ガードは小径電極を包囲し、前記シールドは大径電極を包囲する。

[0018] （６） （１）～（５）のいずれかに記載の静電容量式ひずみ計と、前記計測装置とを備える、ひずみ計測システム。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、静電容量式ひずみ計を用いたひずみ量の測定において、誤差の発生を極力防止することにより、静電容量の基本式からのずれ量を低減し、より正確なひずみ量を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の第１実施形態に係るひずみ計測システムの全体構成図である。

[図2]本発明の第２実施形態に係るひずみ計測システムの全体構成図である。

[図3A]従来技術における、電極の中心軸のずれを示す図である。

[図3B]本発明の実施形態における、電極の中心軸のずれを示す図である。

[図4]通常時における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図5]通常時における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図6]通常時における残差の値を各ひずみ計ごとに示したグラフである。

[図7A]電極間に傾きがある場合における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図7B]電極間に傾きがある場合における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図8A]電極間に傾きがある場合における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図8B]電極間に傾きがある場合における電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。

[図9]電極間に傾きがある場合における残差の値を各ひずみ計ごとに示したグラフである。

[図10]従来技術としての静電容量式ひずみ計における電気力線の模式図である。

発明を実施するための形態

[0021] 〔１　第１実施形態〕

以下、本発明の第１実施形態について各図面を参照しながら詳述する。

〔１．１　発明の構成〕

図１は、第１実施形態に係るひずみ計測システム１の全体構成図である。ひずみ計測システム１は、静電容量式ひずみ計１０と、計測装置２０とを備える。

[0022] 静電容量式ひずみ計１０は、互いに対向し、対向面の大きさが同一の電極１１Ａ及び１１Ｂと、電極１１Ａ及び１１Ｂの各々を対向面側が開放された状態で包囲する、導電性を有するガード１２Ａ及びシールド１２Ｂと、電極１１Ａと計測装置２０とを接続するケーブル３０Ａと、電極１１Ｂと計測装置２０とを接続するケーブル３０Ｂとを備える。また、電極１１Ａとガード１２Ａとの間には、絶縁体１３Ａが備わり、電極１１Ｂとシールド１２Ｂとの間には、絶縁体１３Ｂが備わる。なお、絶縁体１３Ａ及び絶縁体１３Ｂは、気中（空気雰囲気）であるとよい。

[0023] より具体的には、電極１１Ａ及び１１Ｂは、各々の対向面が、ひずみの計測方向に直交するように配置され、電極１１Ａと電極１１Ｂとが向かい合う対向面の面積は同一である。これにより、後述の実施例に記載するように、大きさに限りのある電極でも、電極の縁端効果の最小化によって、線形特性が、無限遠の並行平板電極のモデルの線形特性に近似するよう向上し、計器校正時の特性曲線の取得においてこの精度が向上する。なお、電極１１Ａ及び電極１１Ｂは、例えば、高温腐食の影響が少ないプラチナ又はプラチナ合金の電極を用いて実現することが可能である。

[0024] また、導電性を有するガード１２Ａは、電極１１Ａの電極１１Ｂに対する対向面が開放された状態で、電極１１Ａを包囲する。同様に、導電性を有するシールド１２Ｂは、電極１１Ｂの電極１１Ａに対する対向面が開放された状態で、電極１１Ｂを包囲する。更に、後述のように、ガード１２Ａは計測装置２０の中性点に接続され、ゼロ電位が保たれる一方で、シールド１２Ｂはガード１２Ａ及び双方の電極１１Ａ及び１１Ｂとは電気的に絶縁され、浮遊している。なお、ガード１２Ａ及びシールド１２Ｂの材質は、熱膨張率が電極材と同等の金属等の導電体で、かつ高温腐食の影響が少ないインコネル

等の耐高温材料が適する。

[0025] 計測装置２０は、自動平衡ブリッジ回路を備えたＬＣＲメータであり、電極１１Ａ及び電極１１Ｂ間の静電容量を測定する。ＬＣＲメータは、交流の自動平衡ブリッジ回路により、中性点を計測回路のゼロ電位に調整する。

[0026] ケーブル３０は、電極１１Ａと計測装置２０とを接続するケーブル３０Ａと、電極１１Ｂと計測装置２０とを接続するケーブル３０Ｂとを備える。

[0027] ケーブル３０Ａは、ＭＩケーブル等の耐熱性の２軸シースケーブルであって、芯線３１Ａと、芯線３１Ａを包囲し導通のある内被３２Ａと、内被３２Ａを包囲し導通のある外被３３Ａと、内被３２Ａと外被３３Ａとの間の耐熱性の絶縁体（不図示）とを備える。同様に、ケーブル３０Ｂも、ＭＩケーブル等の耐高温の２軸シースケーブルであって、芯線３１Ｂと、芯線３１Ｂを包囲し導通のある内被３２Ｂと、内被３２Ｂを包囲し導通のある外被３３Ｂと、内被３２Ｂと外被３３Ｂとの間の、耐熱性の絶縁体（不図示）とを備える。

[0028] ケーブル３０Ａの芯線３１Ａは、電極１１Ａと、計測装置２０のＨｉｇｈ側の電流端子（Ｈｃ）及びＨｉｇｈ側の電圧端子（Ｈｐ）とを接続する。ケーブル３０Ｂの芯線３１Ｂは、電極１１Ｂと、計測装置２０のＬｏｗ側の電流端子（Ｌｃ）及びＬｏｗ側の電圧端子（Ｌｐ）とを接続する。

[0029] 更に、ケーブル３０Ａの内被３２Ａのガード１２Ａ側端部と、ケーブル３０Ｂの内被３２Ｂのシールド１２Ｂ側端部とは、導線３５によって接続される。また、ケーブル３０Ａの内被３２Ａの全体が、電極１１Ａ及び電極１１Ｂとは電気的に絶縁されると共に接地される外被３３Ａで覆われ、ケーブル３０Ｂの内被３２Ｂの全体が、電極１１Ａ及び電極１１Ｂとは電気的に絶縁されると共に接地される外被３３Ｂで覆われる。電極１１Ａ及び電極１１Ｂ間の静電容量を計測する際、ガード１２Ａと１３Ａに芯線（導体）３１Ａと芯線（導体）３１Ｂとは逆向きの電流が流れることになり、ケーブル３０Ａ及びケーブル３０Ｂのインダクタンスによる影響を抑えることで、計測装置２０による測定値は安定する。

[0030] ケーブル３０Ａの内被３２Ａの、ガード１２Ａと反対側の端部と、ケーブル３０Ｂの内被３２Ｂの、シールド１２Ｂと反対側の端部とは、導線３６によって接続される。導線３６は、更にこれら両端部と、計測装置２０の中性点とを接続する。このように、計測装置２０の中性点と、ケーブル３０Ａの内被３２Ａ、及びケーブル３０Ｂの内被３２Ｂとが接続されることにより、計測装置２０による測定値は安定する。

[0031] ケーブル３０Ａの内被３２Ａとガード１２Ａとは、導線３７によって接続される。一方、シールド１２Ｂは、ケーブル３０Ｂの内被３２Ｂとは互いに接続されず、シールド１２Ｂは浮遊する。更に、ケーブル３０Ａの外被３３Ａとケーブル３０Ｂの外被３３Ｂとは、接地される。このため、静電容量の基本式を用いた電極間隔の換算式において、線形性が向上し、測定結果に混入するノイズの量が減少する。

[0032] 上記のように、ひずみ計測システム１の静電容量式ひずみ計１０においては導電性を有するガード１２Ａは、電極１１Ａの電極１１Ｂに対する対向面が開放された状態で、電極１１Ａを包囲する。同様に、導電性を有するシールド１２Ｂは、電極１１Ｂの電極１１Ａに対する対向面が開放された状態で、電極１１Ｂを包囲する。これにより、電極１１Ａと電極１１Ｂの外周部の縁端容量を抑えることにより、静電容量の測定値と、基本式を用いた換算により得られる静電容量値とのずれが減少し、より正確なひずみ量を得ることが可能となる。

[0033] 〔１．２　第１実施が奏する効果〕

以上、説明したように構成された本実施形態によれば、静電容量ひずみ計１は、互いに対向する複数の電極１１Ａ及び１１Ｂと、複数の電極１１Ａ及び１１Ｂの各々を対向面側が開放された状態で包囲し、導電性を有するガード１２Ａ及びシールド１２Ｂと、複数の電極１１Ａ及び１１Ｂの各々と、電極間の静電容量を計測する計測装置２０とを接続する、複数の２軸シースケーブル３０Ａ及び３０Ｂとを備える。

電極外周部の縁端容量を抑えるガード及びシールドを備えることにより、

静電容量の基本式からのずれ量を低減し、より正確なひずみ量を得ることが可能となる。

[0034] また、本実施形態によれば、ガード１２Ａは、計測装置２０の中性点に接続されてゼロ電位が保たれ、シールド１２ＢはガードＡおよび電極１１Ａ及び１１Ｂとは電気的に絶縁されている。

これにより、ガード１２Ａは、計測装置２０の中性点に接続されゼロ電位に保たれる。また、シールド１２Ｂは、電気的に浮遊している。このため、両電極１１Ａ及び１１Ｂの縁端容量を抑えることにより、静電容量の基本式を用いた電極間隔の換算式において、線形性が向上すると同時に、測定結果に混入するノイズの量が減少する。更に、電極の取付台座に若干の傾きが生じた場合に、正確なひずみ量を得ることが可能となる。

[0035] また、本実施形態によれば、ケーブル３０Ａの内被３２Ａが、電極１１Ａを包囲するガード１２Ａに接続し、電極１１Ｂに接続するケーブル３０Ｂの内被３２Ｂと接続し、ケーブル３０Ａの内被３２Ａの全体が、電極１１Ａ及び電極１１Ｂとは電気的に絶縁されると共に接地される外被３３Ａで覆われ、ケーブル３０Ｂの内被３２Ｂの全体が、電極１１Ａ及び電極１１Ｂとは電気的に絶縁されると共に接地される外被３３Ｂで覆われる。

これにより、静電容量の基本式を用いた電極間隔の換算式において、線形性が向上すると同時に、測定結果に混入するノイズの量が減少する。より詳細には、複数の電極のうち第１の電極に接続する２軸シースケーブルの内被が、第１の電極を包囲するガードに接続し、複数の電極のうち第２の電極に接続する２軸シースケーブルの内被と接続することで、各電極に接続するシースケーブルの内被間の電位差を打ち消すと共に、ＬＣＲメータの中性点電位に安定させ、２軸シースケーブルの芯線とシース間の浮遊容量が低減されることで、測定する電極間の静電容量以外の静電容量を低減すると同時に、測定値が安定する。

更に、２軸シースケーブルの内被全体が、電極とは電気的に絶縁されると共に接地された外被で覆われ、２軸シースケーブル内被と外側との浮遊容量

を安定させることで、測定値が安定する。とりわけ、高温環境下においても、シースの浮遊容量の変動が抑制されることで、正確なひずみ量を得ることが可能となる。

[0036] また、本実施形態によれば、電極１１Ａと電極１１Ｂの大きさは同一である。これにより、とりわけ電極の縁端効果の最小化により線形特性が向上する。

[0037] 〔２　第２実施形態〕

以下、本発明の第２実施形態について各図面を参照しながら詳述する。なお、以下では説明の簡略化のため、主として第２実施形態に係るひずみ計測システム１Ａが、第１実施形態に係るひずみ計測システム１と異なる点について説明する。

[0038] 〔２．１　発明の構成〕

図２は、本実施形態に係るひずみ計測システム１Ａの全体構成図である。ひずみ計測システム１Ａは、ひずみ計測システム１と異なり、電極１１Ａと電極１１Ｂの大きさが異なる。より詳細には、電極１１Ａの半径は、電極１１Ｂの半径よりも小さい。これに伴い、電極１１Ａを包囲するガード１２Ａと、電極１１Ｂを包囲するシールド１２Ｂとを比較すると、互いに対向する対向面の大きさは、ガード１２Ａの方がシールド１２Ｂよりも大きい。

[0039] 仮に電極１１Ａと電極１１Ｂの大きさが同一であれば、双方の中心軸がずれた場合、図３Ａに示すように、双方の電極が対向しない面が新たに発生する。これにより、静電容量の測定値と、基本式を用いた換算により得られる静電容量値との間にずれが発生する。

しかし、図３Ｂに示すように、第２実施形態においては、電極１１Ａと電極１１Ｂの対向面の大きさが互いに異なることにより、電極１１Ａの中心軸と、電極１１Ｂの中心軸とが互いにずれたとしても、双方の電極が対向しない面の広さに変化はなく、静電容量の測定値と、基本式を用いた換算により得られる静電容量値とのずれが、より小さな値に留まるため、より正確なひずみ量を得ることが可能となる。

[0040] すなわち、第２実施形態に係るひずみ計測システム１Ａは、第１実施形態に係るひずみ計測システム１に比較して、後述の実施例に記載のように、通常時には線形特性の点で劣るものの、電極間で軸芯のズレが生じた場合には線形特性の点で顕著な効果を発揮する。

[0041] 〔２．２ 第２実施形態が奏する効果〕

以上、説明したように構成された本実施形態によれば、複数の電極の大きさが互いに異なり、前記ガードは小径電極を包囲し、前記シールドは大径電極を包囲する。

これにより、とりわけ電極の軸芯のズレや振動の影響が抑制され、静電容量式ひずみ計の取り付け面の段差に対する許容度が上昇する。

[0042] 〔３ 実施例〕

複数の電極が同径か否か、及び、電極をガードやシールドが包囲するか否かに応じて、線形特性がどのように変化するかを、電界シミュレーションにより数値解析した。なお、シミュレーションは、標準メッシュサイズ３ｍｍ、空気メッシュサイズ０．１ｍｍの３次元モデルを用いた有限要素解析によるものであり、電場解析を実行した。シミュレーションソフトとしては、ムラタソフトウェア製のＦｅｍｔｅｔ（登録商標）ｖｅｒ．２０１７．１．２を用いた。

[0043] 〔３．１ 軸芯方向の線形特性〕

図４は、通常時、すなわち２つの電極の芯線間にズレがなく、２つの電極が並行しているときの、電極に対するガード／シールドの有無及び対向する電極径による線形特性を比較するグラフである。横軸は、並行に向かい合う電極面の電極間隔を垂直方向に段階的に広げた時の電極間隔であり、縦軸は、電場解析モデルの静電容量解析値を、並行平板電極の静電容量換算式（上記の式（１））にて回帰して得られる、換算値としての電極間隔である。

[0044] 図４から分かるように、電極をガードが包囲しないひずみ計より、電極をガード又はシールドが包囲するひずみ計の方が、縦軸の値と横軸の値との相違が小さい。更に、Ｈｉｇｈ電極をガードが、Ｌｏｗ電極をシールドが包囲

するひずみ計の方が、Ｈｉｇｈ電極とＬｏｗ電極の双方をガードが包囲するひずみ計や、Ｈｉｇｈ電極のみをガードが包囲するひずみ計よりも、縦軸の値と横軸の値との相違が小さい。

[0045] 図５は、横軸は図４と同一である一方で、縦軸を上記の相違、すなわち図４における縦軸の値から横軸の値を差し引いた残差としたグラフである。

[0046] 図５のグラフから明らかなように、残差の絶対値は、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極が同径であるひずみ計が最も小さい。同様に、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極の大きさが異なるひずみ計での残差の絶対値が２番目に小さい。

一方、その他のひずみ計における残差の絶対値は、これらのひずみ計における残差の絶対値よりもはるかに大きい。

[0047] 図６は、図５において、横軸の値が５００μｍと１，０００μｍのときの残差の値を、各ひずみ計ごとに示したグラフである。図６からも明らかなように、残差の絶対値は、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極が同径であるひずみ計が最も小さく、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極の大きさが異なるひずみ計が、２番目に小さい。

[0048] すなわち、２つの電極間で芯線間にズレがなく、２つの電極が並行している場合には、Ｈｉｇｈ電極をガードが包囲し、Ｌｏｗ電極をシールドが包囲するひずみ計が、その他のひずみ計よりも線形特性が高く、Ｈｉｇｈ電極をガードが包囲し、Ｌｏｗ電極をシールドが包囲するひずみ計の中でも、２つの電極が同径のひずみ計の方が、２つの電極が異径のひずみ計よりも線形特性が高い。

[0049] 〔３．２　傾き状態の線形特性〕

図７Ａは、２つの１５Φ電極の中心線における間隔が０．２ｍｍのときにおいて、電極端部の近接距離が０．１ｍｍとなる傾き状態（偏角：０．７７

°）を維持しながら、中心線における間隔を、垂直方向に１ｍｍまで段階的に広げた時の電極間隔であり、縦軸は、電場解析モデルの静電容量解析値を、並行平板電極の静電容量換算式（上記の式（１））にて回帰して得られる、換算値としての電極間隔である。

また、図７Ｂは、２つの１５Φ電極の中心線における間隔が０．２ｍｍのときにおいて、電極端部の近接距離が０．２ｍｍとなる傾き状態（偏角：１．５２°）を維持しながら、中心線における間隔を、垂直方向に１．２ｍｍまで段階的に広げた時の電極間隔であり、縦軸は、電場解析モデルの静電容量解析値を、並行平板電極の静電容量換算式（上記の式（１））にて回帰して得られる、換算値としての電極間隔である。

[0050] 図７Ａ及び図７Ｂから分かるように、Ｈｉｇｈ電極及びＬｏｗ電極の双方をガードが包囲しているひずみ計や、Ｈｉｇｈ電極のみをガードが包囲しているひずみ計よりも、電極が同径であれ異径であれ、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されるひずみ計の方が、縦軸の値と横軸の値との相違が小さい。

[0051] 図８Ａ及び図８Ｂの各々は、横軸は図７Ａ及び図７Ｂと同一である一方で、縦軸を上記の相違、すなわち図７Ａ及び図７Ｂの各々における縦軸の値から横軸の値を差し引いた残差としたグラフである。

[0052] 図８Ａ及び図８Ｂのグラフから明らかなように、残差の絶対値は、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極が同径であるひずみ計が最も小さい。同様に、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極の大きさが異なるひずみ計での残差の絶対値が２番目に小さい。

一方、その他のひずみ計における残差の絶対値は、これらのひずみ計における残差の絶対値よりもはるかに大きい。

[0053] 更に、図８Ａのグラフと図８Ｂのグラフとを比較すると、偏角が０．７７°から１．５２°に増加した際の残差の絶対値の変動は、電極が同径であれ

異径であれ、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されるひずみ計の方が、その他のひずみ計よりも小さい。

[0054] 図９は、図８Ａ及び図８Ｂにおいて、横軸の値が１，０００μｍのときの残差の値を、各ひずみ計ごとに示した棒グラフである。図８Ａ及び図８Ｂと同様、図９からも明らかなように、残差の絶対値は、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極が同径であるひずみ計が最も小さく、Ｈｉｇｈ電極がガードによって包囲され、Ｌｏｗ電極がシールドによって包囲されると共に、２つの電極の大きさが異なるひずみ計が、２番目に小さい。

[0055] すなわち、２つの電極が互いに傾いている場合にも、Ｈｉｇｈ電極をガードが包囲し、Ｌｏｗ電極をシールドが包囲するひずみ計が、その他の電極よりも線形特性が高いと共に、電極間の傾きや傾きの変動による線形特性への影響は小さい。

[0056] 更に、Ｈｉｇｈ電極をガードが包囲し、Ｌｏｗ電極をシールドが包囲するひずみ計の中でも、２つの電極が同径のひずみ計の方が、２つの電極が異径のひずみ計よりも線形特性が高い。

ただし、偏角が０．７７°のときと、１．５３°のときとでの残差の相違は、２つの電極が同径のひずみ計と２つの電極が異径のひずみ計とで同一の値（Δ１０）を示す。すなわち偏角の変化に伴う残差の変化は、２つの電極が同径のひずみ計と２つの電極が異径のひずみ計とで変わらない。

[0057] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は前述した実施形態に限るものではない。また、本実施形態に記載された効果は、本発明から生じる最も好適な効果を列挙したに過ぎず、本発明による効果は、本実施形態に記載されたものに限定されるものではない。

符号の説明

[0058] １　１Ａ　ひずみ計測システム

１０　静電容量式ひずみ計

１１Ａ　１１Ｂ　電極

１２Ａ　ガード

１２Ｂ　シールド

１３Ａ　１３Ｂ　絶縁体

２０　計測装置

３０　３０Ａ　３０Ｂ　ケーブル

３１Ａ　３１Ｂ　芯線

３２Ａ　３２Ｂ　内被

３３Ａ　３３Ｂ　外被

３５　３６　導線

請求の範囲

[請求項1] 互いに対向する複数の電極と、

前記複数の電極の各々を前記対向面側が開放された状態で包囲し、導電性を有するガード及びシールドと、

前記複数の電極の各々と、前記電極間の静電容量を計測する計測装置とを接続する、複数の２軸シースケーブルとを備える、静電容量式ひずみ計。

[請求項2] 前記ガード及び前記シールドのうち、前記ガードは、前記計測装置の中性点に接続されてゼロ電位が保たれ、前記シールドは前記ガード及び前記電極とは電気的に絶縁されている、請求項１に記載の静電容量式ひずみ計。

[請求項3] 前記複数の電極のうち第１の電極に接続する前記２軸シースケーブルの内被が、前記第１の電極を包囲する前記ガードに接続し、前記複数の電極のうち第２の電極に接続する前記２軸シースケーブルの内被と接続し、前記第１の電極に接続する２軸シースケーブルと前記第２の電極に接続する２軸シースケーブルの内被全体が、前記電極とは電気的に絶縁されると共に接地される外被で覆われる、請求項１又は２に記載の静電容量式ひずみ計。

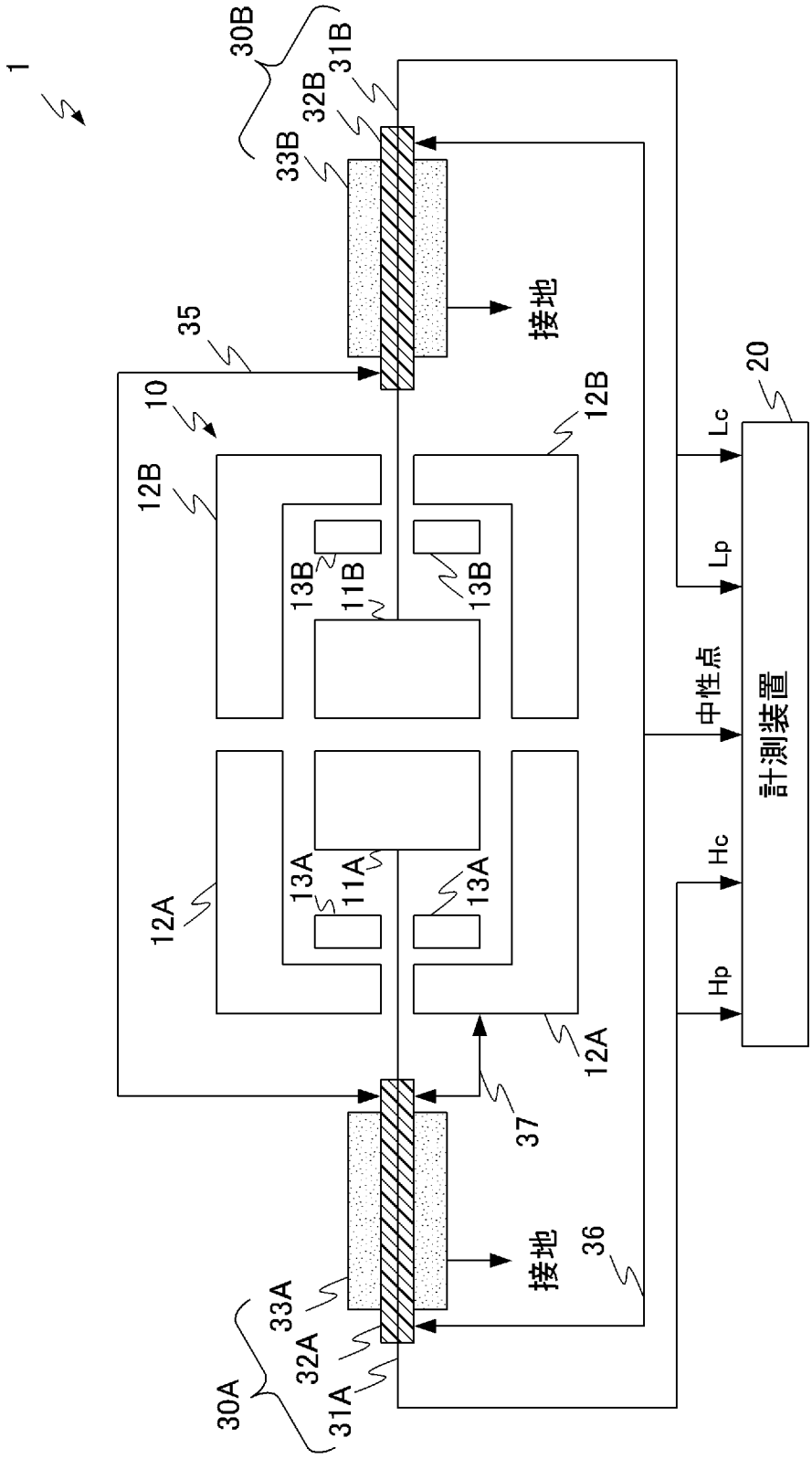
[請求項4] 前記複数の電極の大きさが同一である、請求項１～３のいずれか１項に記載の静電容量式ひずみ計。

[請求項5] 前記複数の電極の大きさが互いに異なり、前記ガードは小径電極を包囲し、前記シールドは大径電極を包囲する、請求項１～３のいずれか１項に記載の静電容量式ひずみ計。

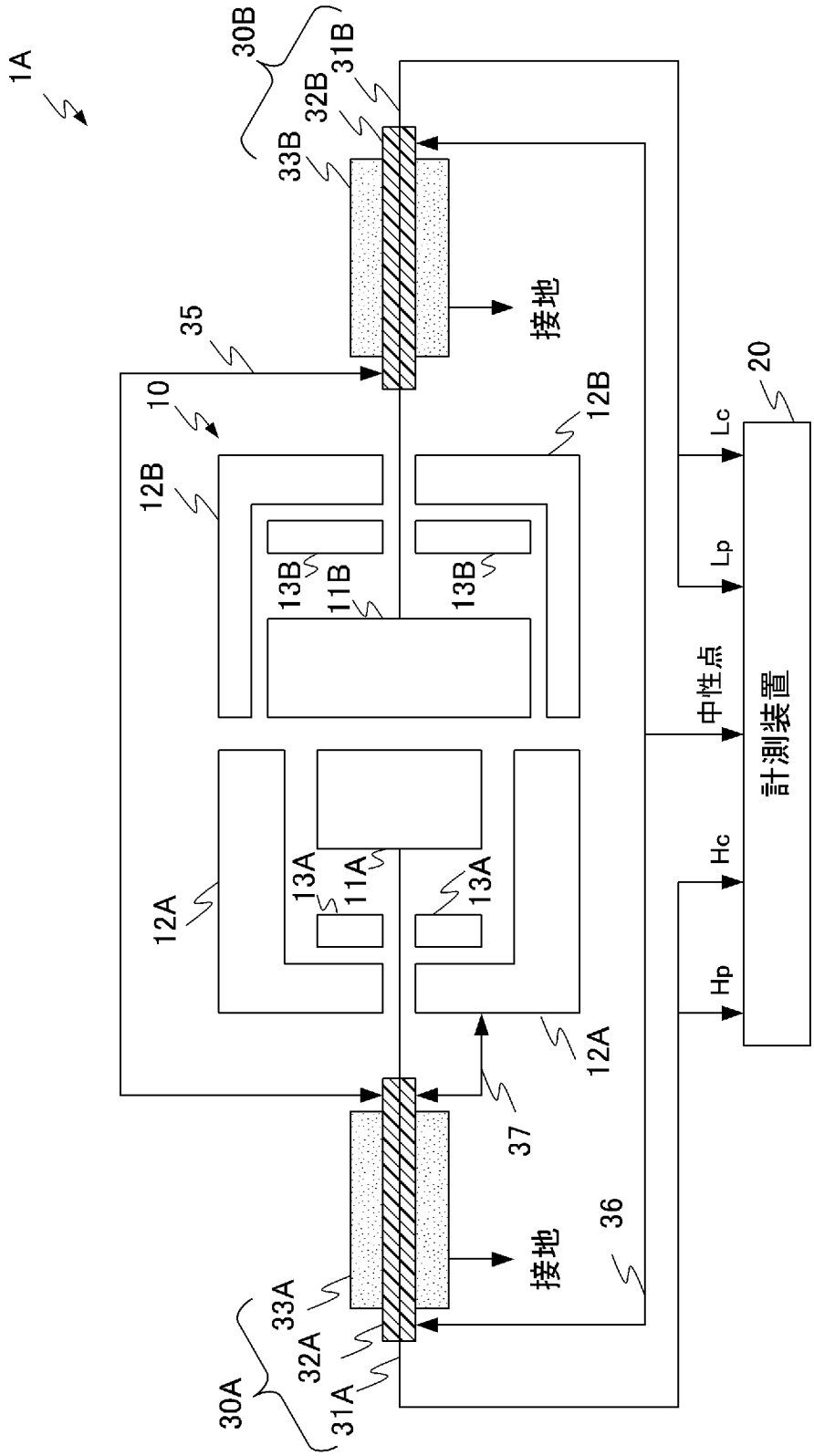
[請求項6] 請求項１～５のいずれかに記載の静電容量式ひずみ計と、

前記計測装置とを備える、ひずみ計測システム。

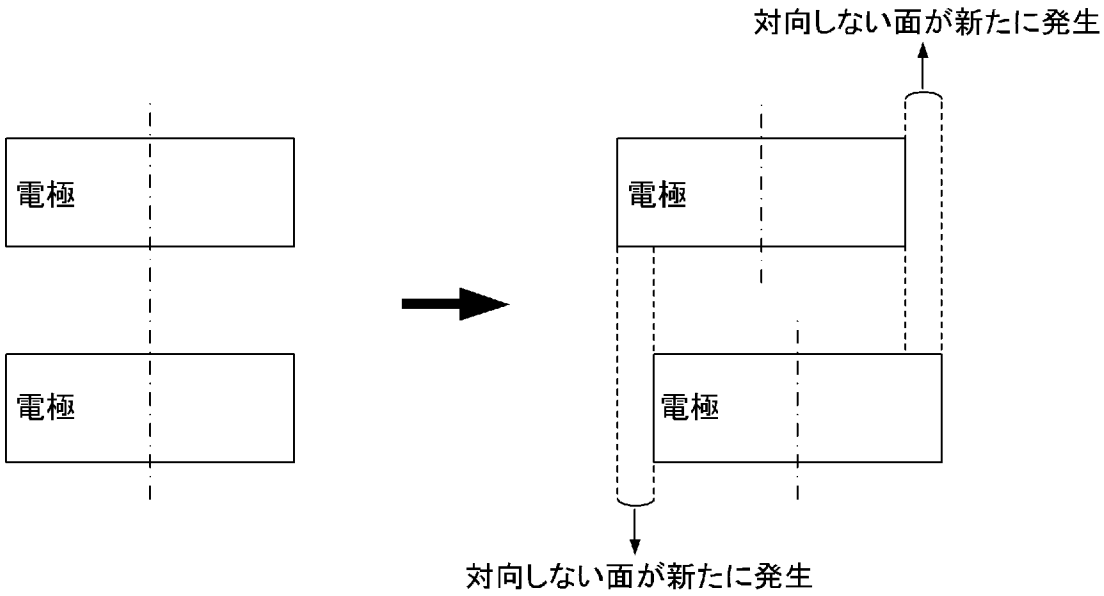
[図1]


1
30B
31B
32B
33B
接地
35
10
12B
13B
11B
20
Lc
Lp
中性点
Hc
Hp
計測装置
12A
13A
11A
37
36
33A
32A
31A
30A

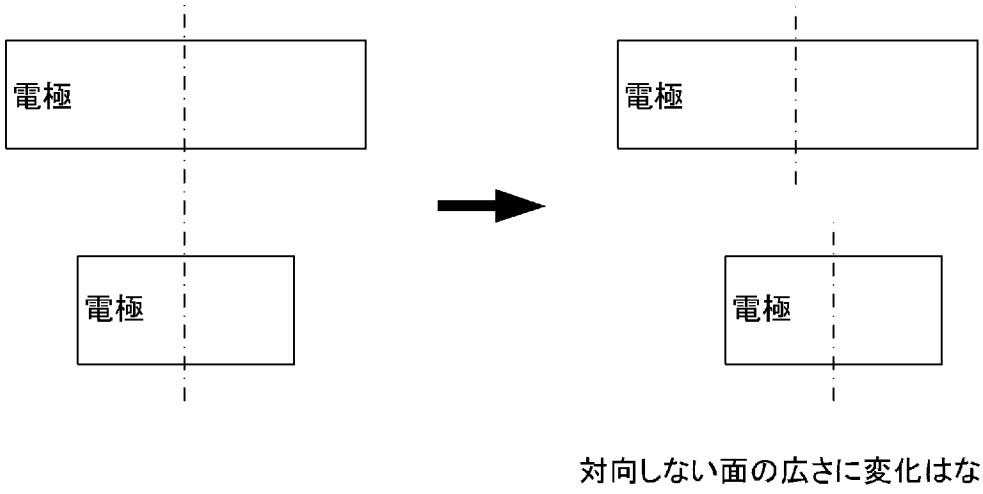
[図2]


1A
30B
31B
32B
33B
接地
35
10
12B
20
Lc
Lp
中性点
Hc
Hp
計測装置
13B
11B
13A
11A
12A
37
36
33A
32A
31A
30A

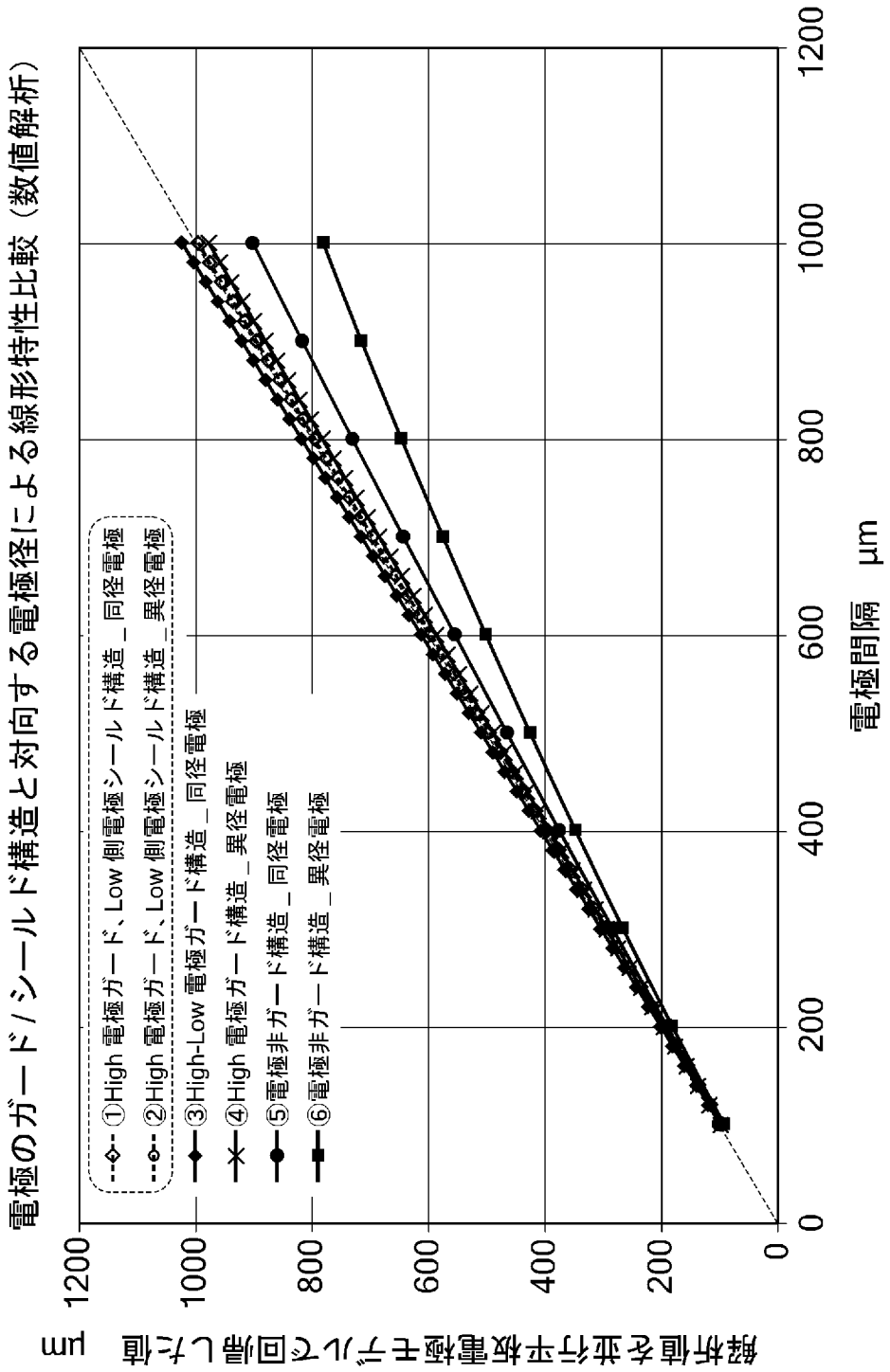
[図3A]


対向しない面が新たに発生
電極
電極
電極
電極
対向しない面が新たに発生

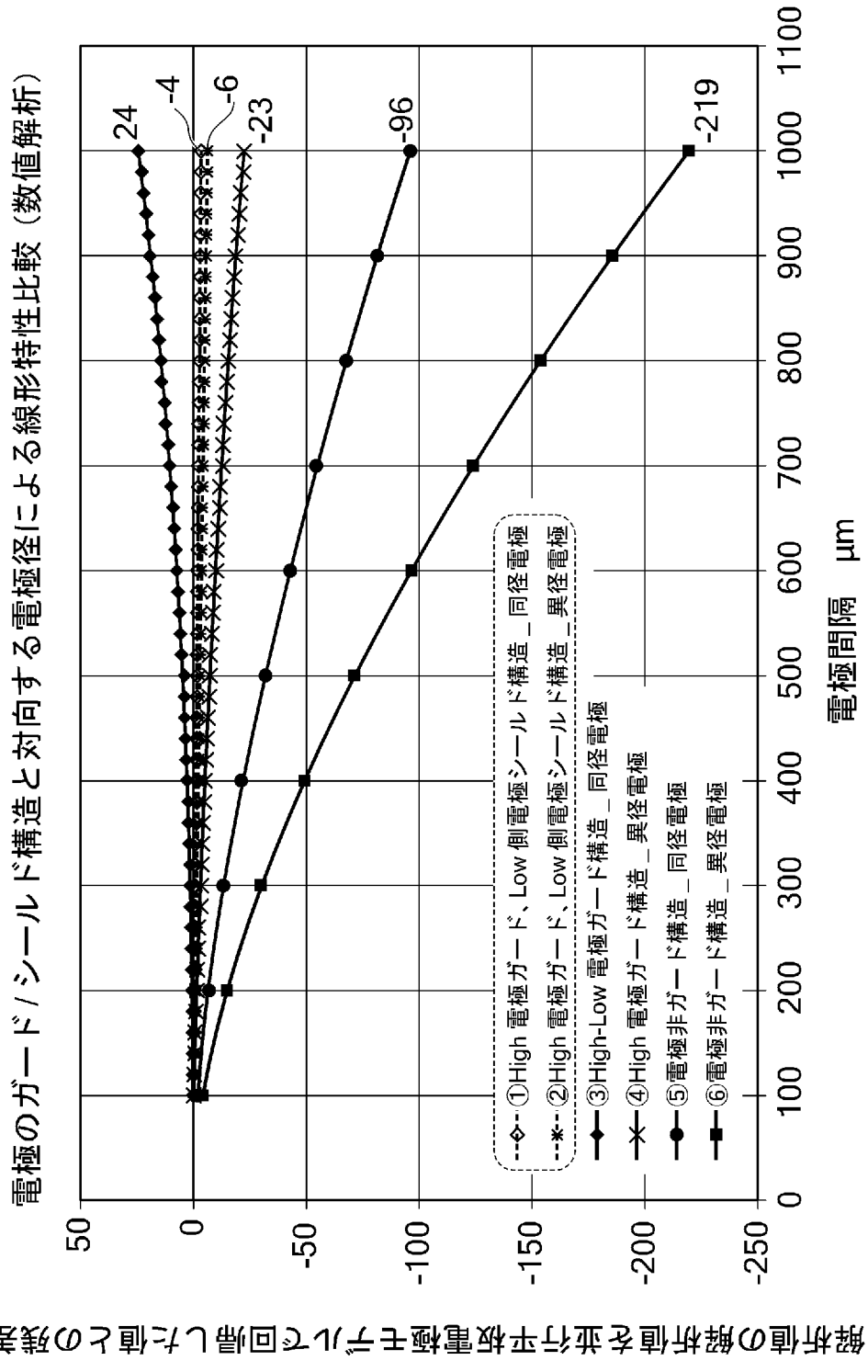
[図3B]


電極
電極
電極
電極
対向しない面の広さに変化はない

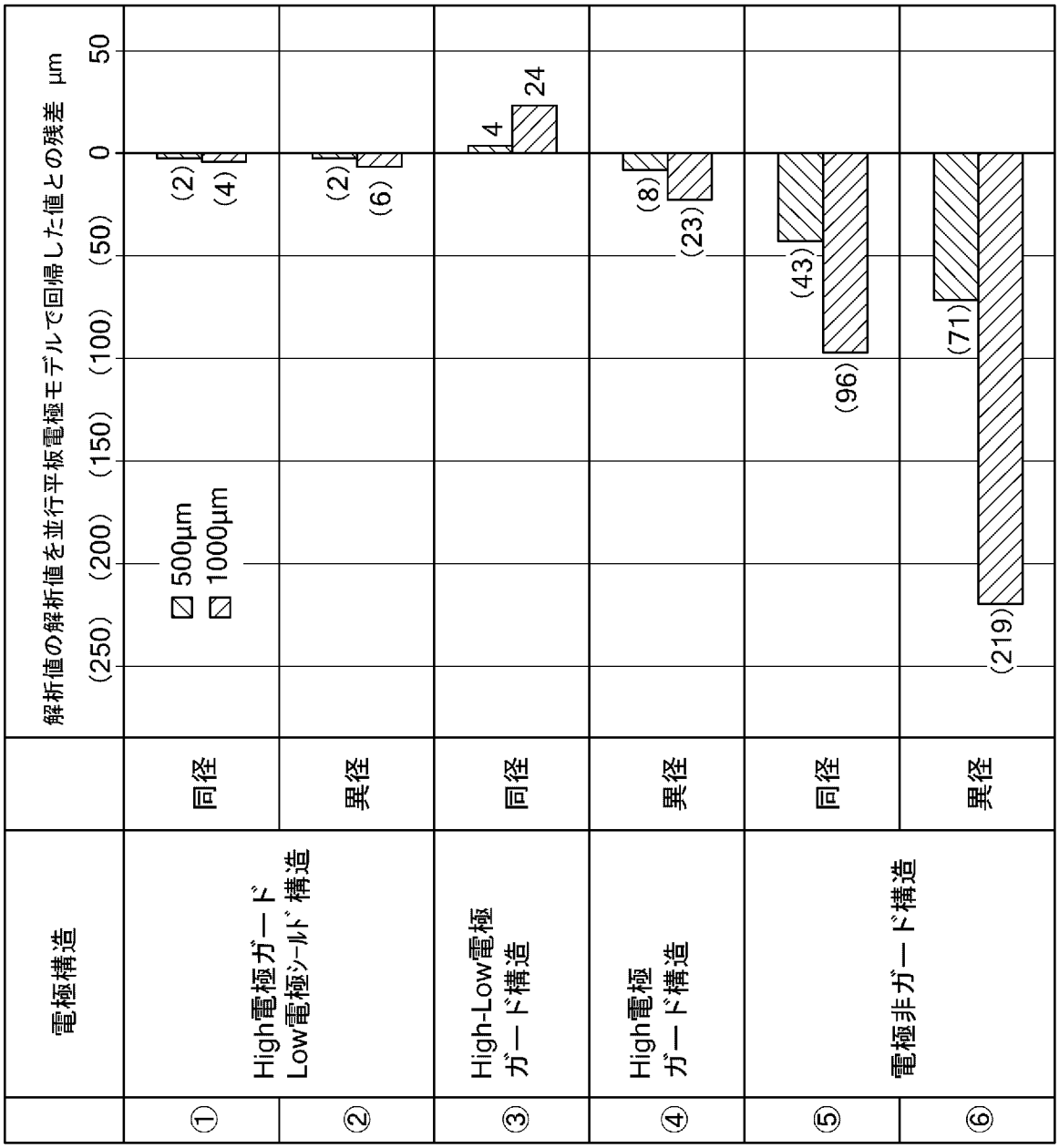
[図4]


電極のガード/シールド構造と対向する電極径による線形特性比較（数値解析）
解析値を並行平板電極モデルで回帰した値 μm
電極間隔 μm
0
200
400
600
800
1000
1200
①High 電極ガード、Low 側電極シールド構造 _ 同径電極
②High 電極ガード、Low 側電極シールド構造 _ 異径電極
③High-Low 電極ガード構造 _ 同径電極
④High 電極ガード構造 _ 異径電極
⑤電極非ガード構造 _ 同径電極
⑥電極非ガード構造 _ 異径電極

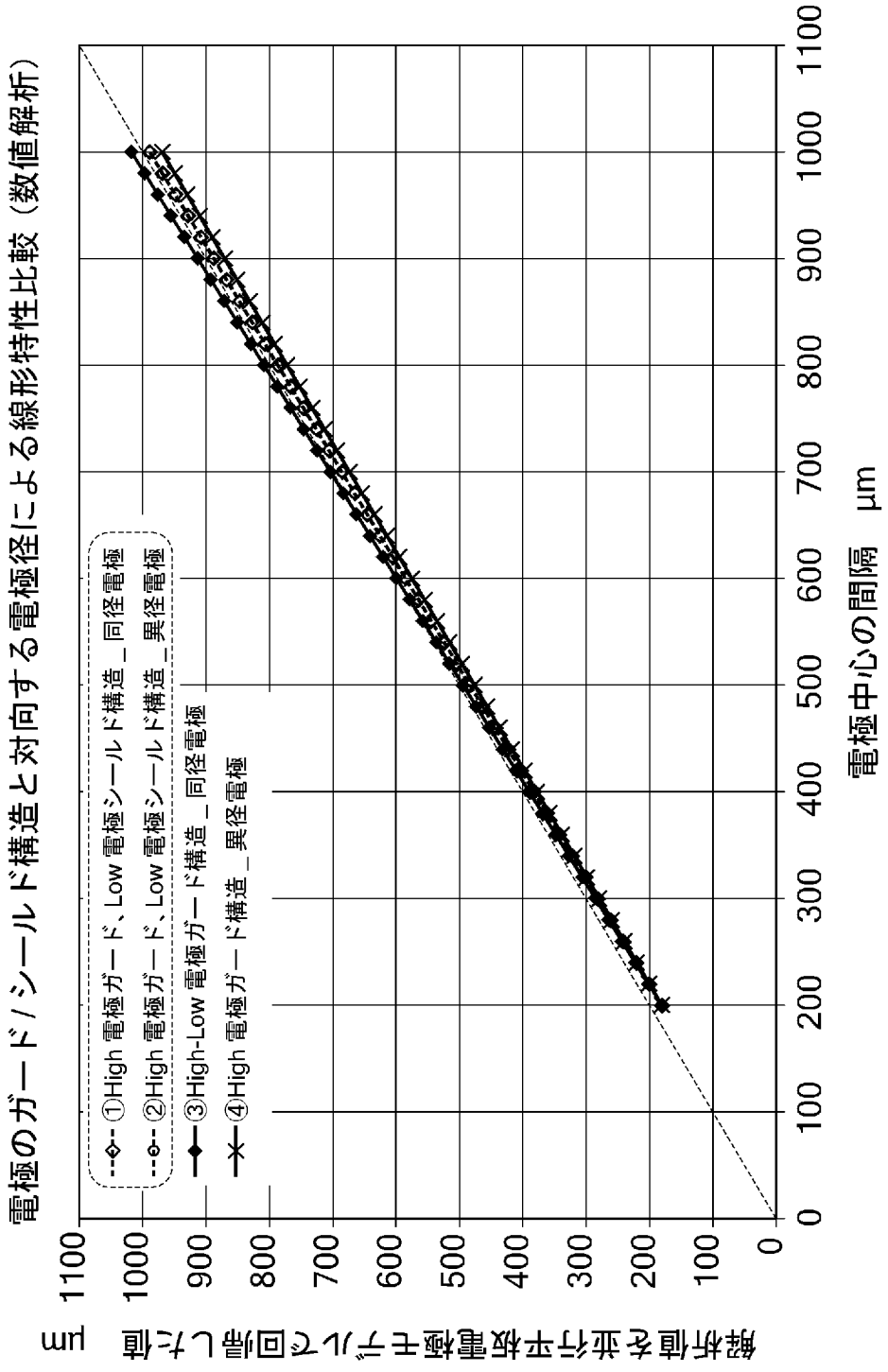
[図5]


電極のガード/シールド構造と対向する電極径による線形特性比較（数値解析）
解析値の解析値を並行平板電極モデルで回帰した値との残差 μm
電極間隔 μm
①High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_同径電極
②High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_異径電極
③High-Low 電極ガード構造_同径電極
④High 電極ガード構造_異径電極
⑤電極非ガード構造_同径電極
⑥電極非ガード構造_異径電極
24
-4
-6
-23
-96
-219
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

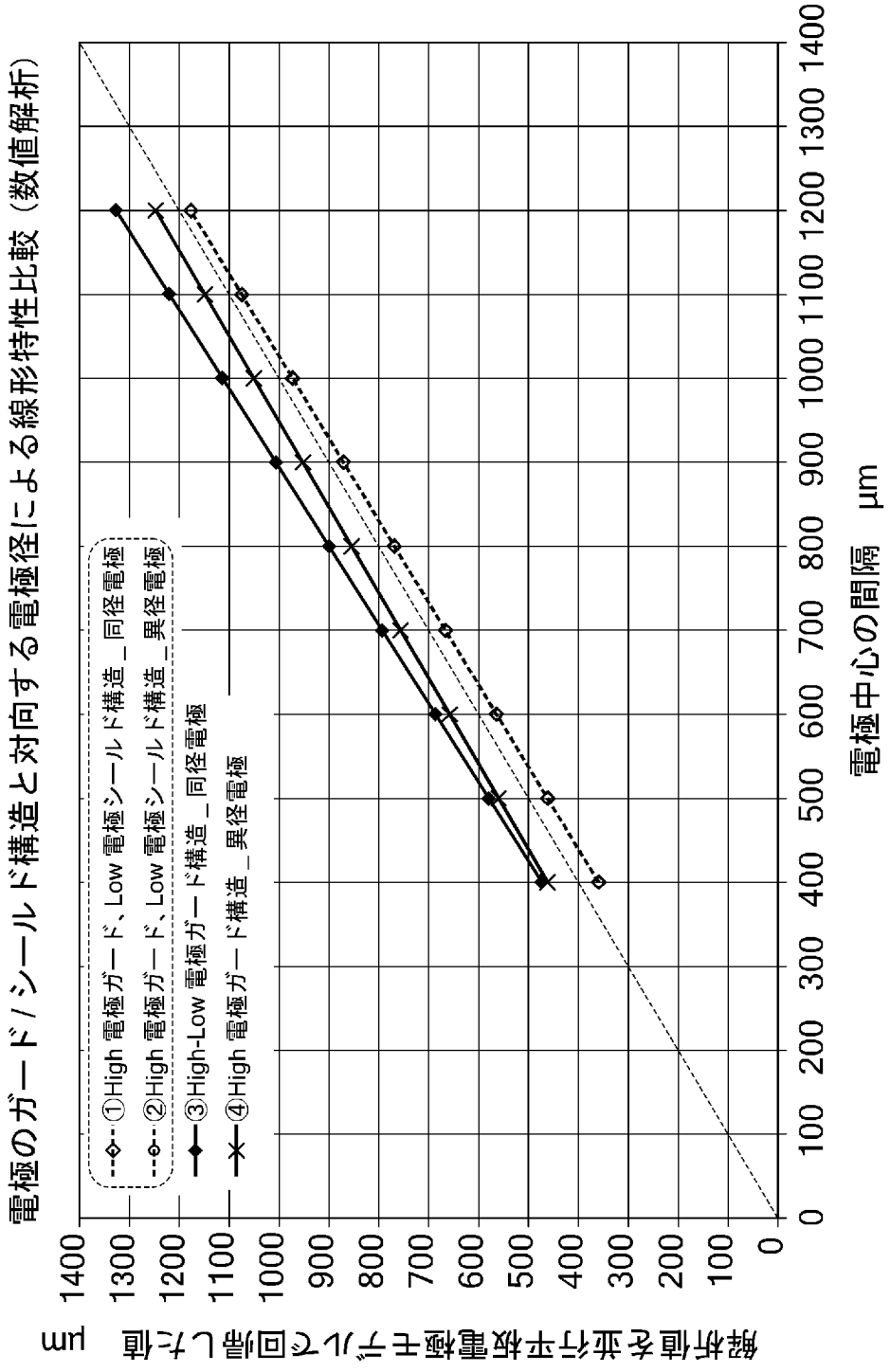
[図6]


解析値の解析値を並行平板電極モデルで回帰した値との残差 μm
(250) (200) (150) (100) (50) 0 50
500μm
1000μm
電極構造
同径
異径
High電極ガード
Low電極シールド構造
High-Low電極
ガード構造
High電極
ガード構造
電極非ガード構造
①
②
③
④
⑤
⑥
(2)
(4)
(2)
(6)
4
24
(8)
(23)
(43)
(96)
(71)
(219)

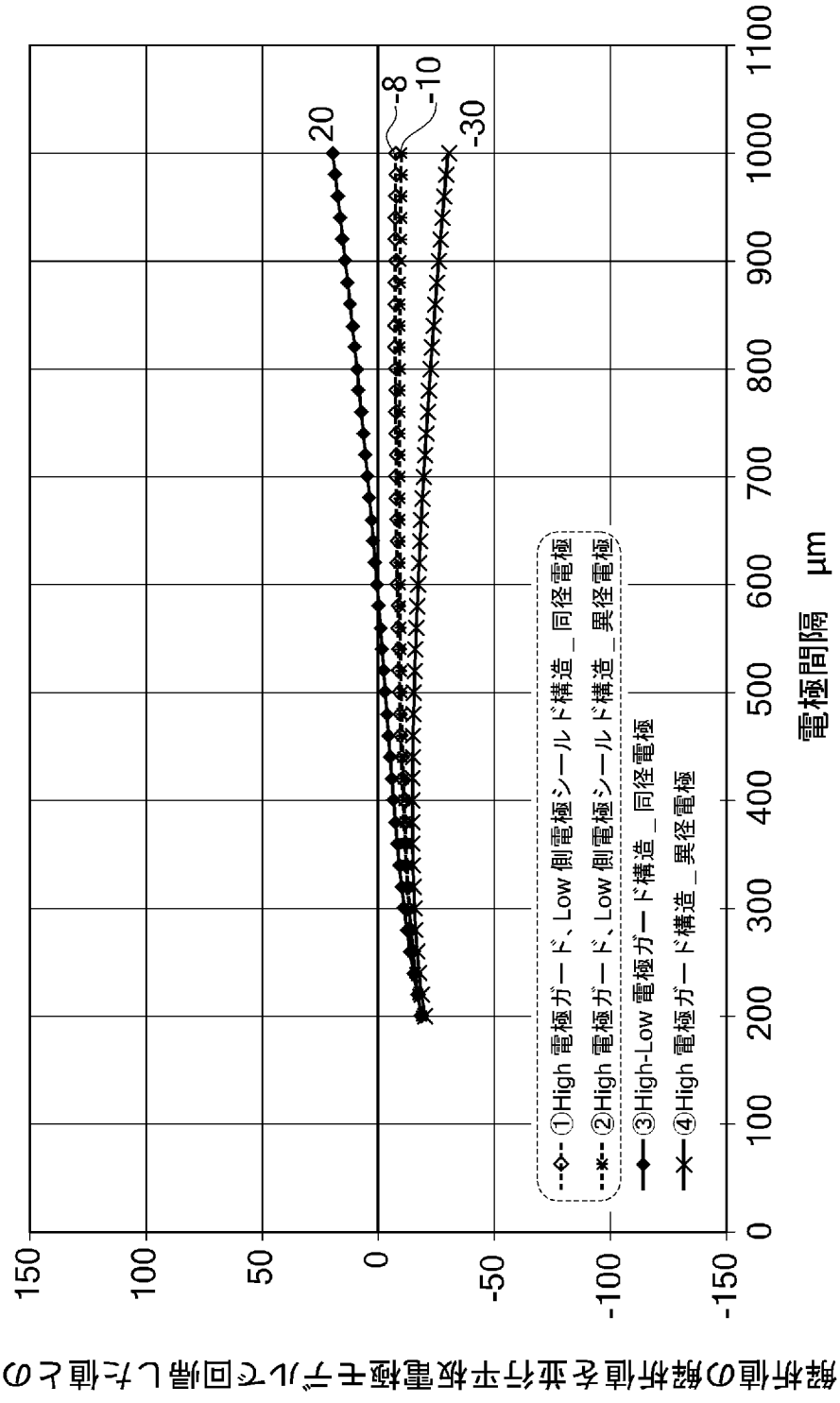
[図7A]


電極のガード/シールド構造と対向する電極径による線形特性比較（数値解析）
①High 電極ガード、Low 電極シールド構造_同径電極
②High 電極ガード、Low 電極シールド構造_異径電極
③High-Low 電極ガード構造_同径電極
④High 電極ガード構造_異径電極
解析値を並行平板電極モデルで回帰した値 μm
電極中心の間隔 μm
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

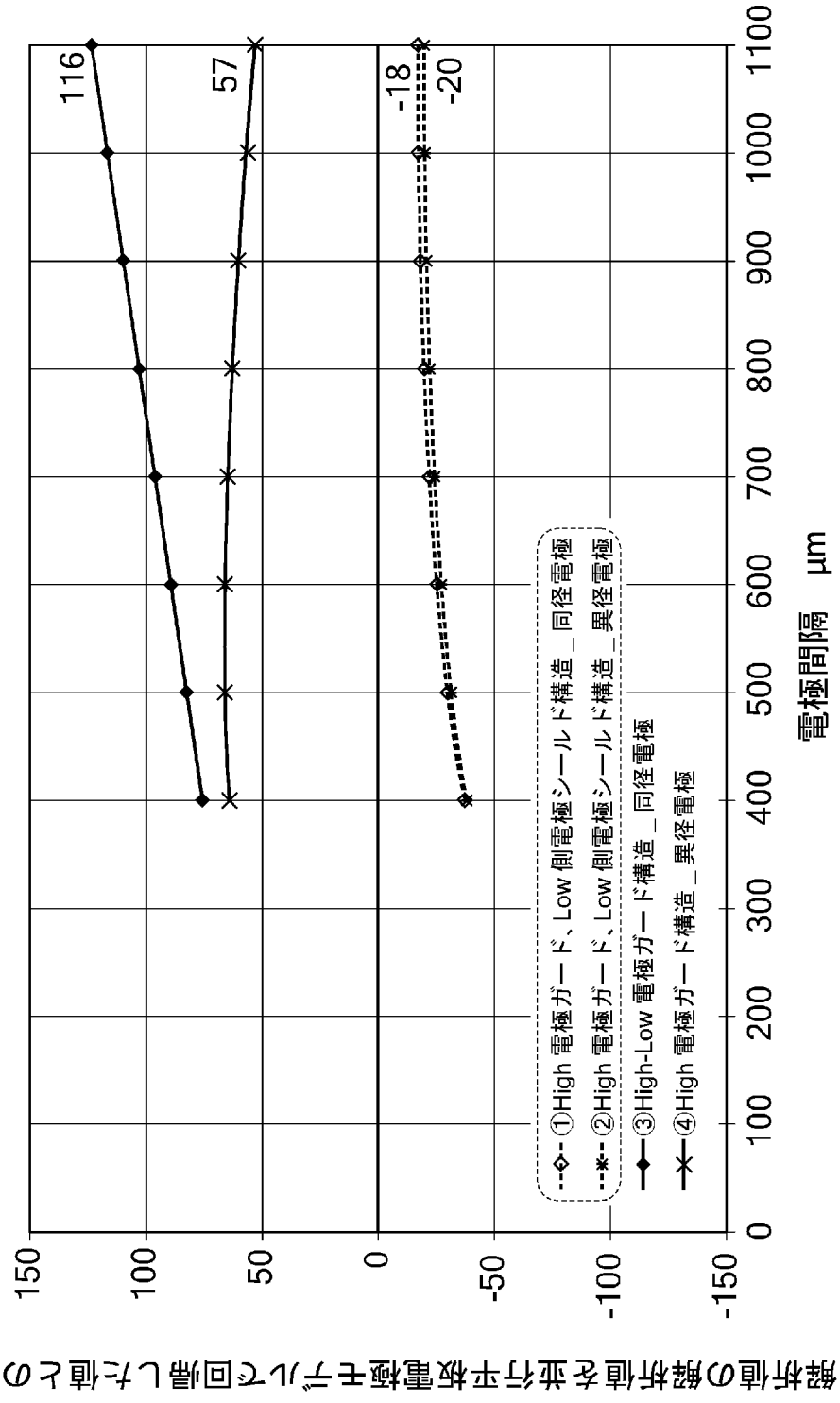
[図7B]


電極のガード/シールド構造と対向する電極径による線形特性比較（数値解析）
①High 電極ガード、Low 電極シールド構造_同径電極
②High 電極ガード、Low 電極シールド構造_異径電極
③High-Low 電極ガード構造_同径電極
④High 電極ガード構造_異径電極
解析値を並行平板電極モデルで回帰した値 μm
電極中心の間隔 μm
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400

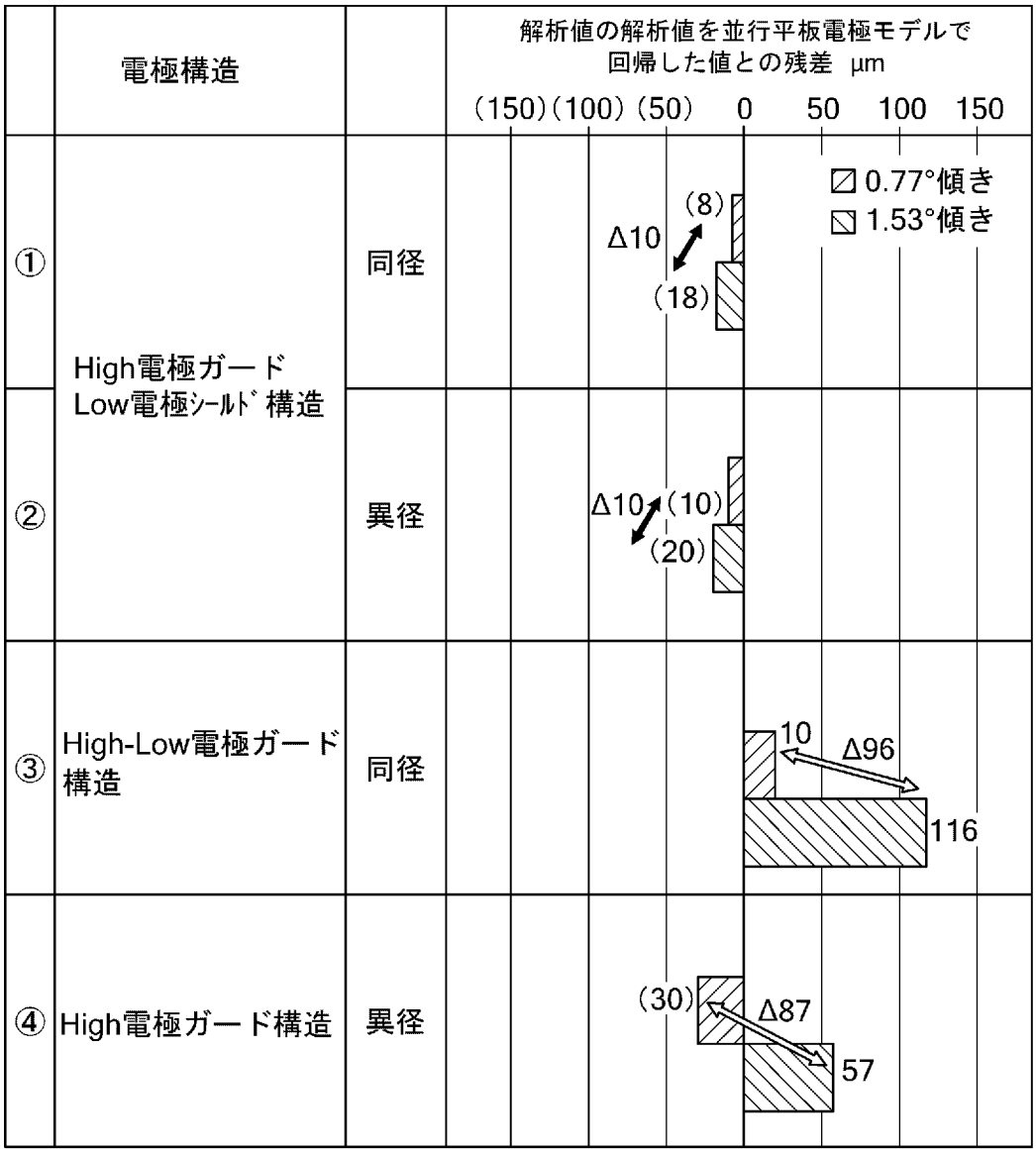
[図8A]


対向電極の傾き（偏角 0.77°）時の線形特性比較（数値解析）
解析値の解析値を並行平板電極モデルで回帰した値との残差 μm
電極間隔 μm
①High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_同径電極
②High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_異径電極
③High-Low 電極ガード構造_同径電極
④High 電極ガード構造_異径電極
20
-8
-10
-30
150
100
50
0
-50
-100
-150
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

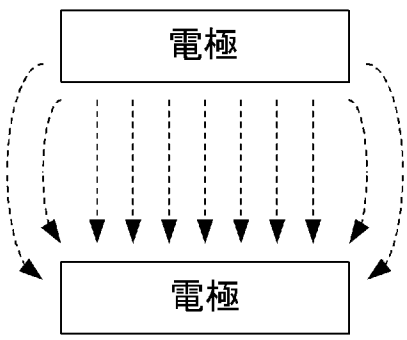
[図8B]


対向電極の傾き（偏角 0.77°）時の線形特性比較（数値解析）
解析値の解析値を並行平板電極モデルで回帰した値との残差 μm
電極間隔 μm
116
57
-18
-20
①High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_同径電極
②High 電極ガード、Low 側電極シールド構造_異径電極
③High-Low 電極ガード構造_同径電極
④High 電極ガード構造_異径電極

[図9]


電極構造
解析値の解析値を並行平板電極モデルで
回帰した値との残差 μm
(150) (100) (50) 0 50 100 150
0.77°傾き
1.53°傾き
①
同径
(8)
Δ10
(18)
High電極ガード
Low電極シールド構造
②
異径
Δ10
(10)
(20)
③
High-Low電極ガード
構造
同径
10
Δ96
116
④
High電極ガード構造
異径
(30)
Δ87
57

[図10]


電極
電極

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/040732

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01B7/16(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)
Int.Cl. G01B7/00-7/34

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 1971-2019
Registered utility model specifications of Japan 1996-2019
Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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.
Y A	JP 2007-85959 A (JEOL LTD.) 05 April 2007, paragraphs [0028]-[0043], fig. 3 (Family: none)	1, 4-6 2, 3
Y A	JP 9-280806 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 31 October 1997, paragraphs [0019], [0035]-[0037], fig. 2, 8 (Family: none)	1, 4-6 2, 3

☒ 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
21.01.2019	29.01.2019

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/040732

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-257795 A (KAJIMA CORPORATION) 05 November 2009, paragraphs [0012]-[0015], fig. 1 (Family: none)	4 1-3, 5, 6
Y A	JP 2008-191110 A (DENSO CORPORATION) 21 August 2008, paragraphs [0016], [0088], fig. 13 & US 2008/0186192 A1, paragraphs [0034], [0108], fig. 13	4 1-3, 5, 6
Y A	JP 2011-128096 A (WACOH CORPORATION) 30 June 2011, paragraphs [0056]-[0059], [0070], fig. 12 (Family: none)	5 1-4, 6
A	US 2005/0270041 A1 (LIEDER, O. et al.) 08 December 2005, paragraphs [0009], [0018], [0031], fig. 1, 2, 4 & EP 1602892 A1	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０４０７３２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01B7/16(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.　G01B7/00-7/34

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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）

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
Y A	JP 2007-85959 A（日本電子株式会社） 2007.04.05,　［００２８］－［００４３］、[図３] (ファミリーなし)	1,4-6 2,3
Y A	JP 9-280806 A（日産自動車株式会社） 1997.10.31,　［００１９］、［００３５］－［００３７］、[図２]、[図８] (ファミリーなし)	1,4-6 2,3

☑　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 ２１．０１．２０１９	国際調査報告の発送日 ２９．０１．２０１９
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）　２Ｓ　４８４７ 八木　智規 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

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
Y A	JP 2009-257795 A (鹿島建設株式会社) 2009.11.05, ［００１２］－［００１５］、[図１] (ファミリーなし)	4 1-3,5,6
Y A	JP 2008-191110 A (株式会社デンソー) 2008.08.21, ［００１６］、［００８８］、[図１３] & US 2008/0186192 A1, [0034], [0108], Fig.13	4 1-3,5,6
Y A	JP 2011-128096 A (株式会社ワコー) 2011.06.30, ［００５６］－［００５９］、［００７０］、[図１２] (ファミリーなし)	5 1-4,6
A	US 2005/0270041 A1 (LIEDER Oliver et al.) 2005.12.08, ［０００９］、［００１８］、［００３１］、第１図、第２図、第４図 & EP 1602892 A1	1-6