

(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
2015年5月21日(21.05.2015)

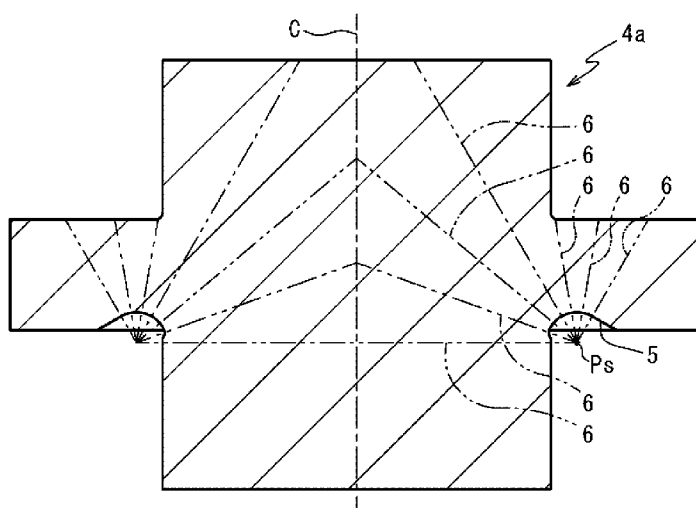


(10) 国際公開番号
WO 2015/072391 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 1/00 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/079458
 - (22) 国際出願日: 2014年11月6日(06.11.2014)
 - (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 2013-236300 2013年11月14日(14.11.2013) JP
 - (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO STEEL, LTD.)) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 Hyogo (JP).
 - (72) 発明者: 山田 真理子(YAMADA, Mariko). 沖田 圭介(OKITA, Keisuke). 村上 賢治(MURAKAMI, Kenji). 宮川 正寛(MIYAGAWA, Masahiro).
 - (74) 代理人: 小谷 悦司, 外(KOTANI, Etsuji et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島2丁目2番2号大阪中之島ビル2階 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), ユーロパ (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))

(54) Title: RESIDUAL STRESS MEASURING METHOD

(54) 発明の名称: 残留応力測定方法



(57) Abstract: Provided is a method for precisely measuring a distribution of residual stress in the vicinity of a fillet face of an object having a cylindrical shaft and plate-like portions protruding radially outward from the outer circumferential surface of the shaft portion, the fillet face connecting the shaft portion to the plate-like portions. This method includes repeating a measurement cycle, and the measurement cycle includes the steps of cutting the object to form a new cutting surface and measuring residual stress at multiple locations on the cutting surface. The cutting surface is a conical or cylindrical surface that is concentric with the central axis of the shaft portion, and an extended surface of the conical or cylindrical surface passes through a constant reference position in the repeated measurement cycle. The reference position is preferably at the center of the circular arc having the maximum diameter on the fillet face in the central longitudinal plane of the object.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/072391 A1

円柱状の軸部とこの軸部の外周面よりも径方向の外向きに突出する板状部とを有する対象体においてその軸部と板状部とを接続するフィレット面の近傍の残留応力の分布を精度よく測定できる方法を提供する。この方法は、測定サイクルを繰り返すことを含み、当該測定サイクルは、上記対象体を切削して新たな切削面を形成する工程と、上記切削面上の複数箇所の残留応力を測定する工程と、を含む。上記切削面は、上記軸部の中心軸と同心の円錐面又は円筒面であり、上記円錐面又は円筒面の延長面が、繰り返される上記測定サイクルで不変の基準位置を通る。上記基準位置は、上記対象体の中央縦断面で最大の径を有する上記フィレット面の円弧の中心位置であるのが好ましい。

明 細 書

発明の名称： 残留応力測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、残留応力測定方法に関する。

背景技術

[0002] 構造物の内部の残留応力を正確に測定することが望まれる。なぜならば、当該残留応力は、当該構造物の強度や寿命に影響を及ぼすからである。残留応力の発生源となっている熱歪、塑性歪等の歪は、固有歪と呼ばれ、この固有歪から残留応力を算出する固有歪法が提唱されている。固有歪法は、残留応力が解放されることにより生じる解放歪（弾性歪）を測定することと、有限要素法を用いた逆解析により、計測した解放歪から固有歪の分布を導出することと、さらには有限要素法を用いた順解析により残留応力の分布を算出することと、を含む。

[0003] 例えば、軸状部材の残留応力を上記固有歪法に基づき測定する方法として、構造物を軸方向に切断した測定片（T片）と、このT片の切断方向と直交する方向に切断した測定片（L片）とを用いたT-L法が知られている。具体的には、上記T片と上記L片のそれぞれについて解放歪を測定することと、円筒座標上のモデルにおいて有限要素法を用いて上記解放歪から固有歪を導出することと、さらに残留応力を算出することと、を含む方法が提唱されている（特開2005-181172号公報、「固有歪法による溶接残留応力の測定」等参照）。

[0004] 固有歪法は、その原理上、必ずしも測定したい部位の解放歪を直接測定することを要しない。しかし、解放歪の測定は誤差を伴うため、初期状態において残留応力がより高い位置での解放歪を測定することが残留応力の予測精度を高めることを可能にする。したがって、残留応力の勾配が急峻な部分にはより多くの測定点を設定することが望ましい。しかし、対象体を切断する間隔を狭めるには物理的な限界があり、従来のT-L法を適用すると残留応力

の勾配が急峻な部分が一つの切断片に含まれてしまう場合がある。このため、構造物の形状によっては残留応力の算出精度が不十分となることがある。

[0005] 特に、円柱状の軸部と、この軸部の外周面よりも径方向の外向きに突出する板状部（フランジ）と、を備え、軸部と板状部とを接続する部分に応力集中を緩和するためのフィレット面が設けられた構造物の残留応力を測定する場合に、上記不都合が顕著となるおそれがある。具体的に、このような構造物では、上記フィレット面が最弱部位となる可能性が高く、最弱部位であるフィレット面を高強度化するために表面処理技術が適用される場合がある。このように表面処理技術が適用されたフィレット面の近傍には集中的に残留応力が分布する。しかしながら、従来のT-L法による円筒座標モデルを用いた解析では、フィレット面全体が1つのL片に含まれてしまうことにより、フィレット面近傍の局所的な残留応力分布を十分な精度で解析できないという不都合が生じ得る。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2005-181172号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：中長啓治、他5名「固有歪法による溶接残留応力の測定」、溶接学会論文集、平成21年3月、第27巻、第1号、P. 104-113

発明の概要

[0008] 本発明は、円柱状の軸部とこの軸部から径方向に突出する板状部とを有して当該軸部と当該板状部とを接続する部分にフィレット面が設けられる対象体の当該フィレット面近傍における残留応力の分布を精度よく測定できる残留応力測定方法を提供することを目的とする。

[0009] この方法は、円柱状の軸部とこの軸部の外周面よりも全周にわたって径方向の外向きに突出する板状部とを有して上記軸部と上記板状部とを接続する部分にフィレット面が設けられた対象体の残留応力を測定する方法であって

、測定サイクルを繰り返し行うことを含み、この測定サイクルは、上記対象体を切削して上記軸部の中心軸と同心の円錐面又は円筒面である新たな切削面を形成する工程であって、上記円錐面又は円筒面の延長面が、繰り返される上記測定サイクルで不変の基準位置を通るものと、上記切削面上の複数箇所を残留応力を測定する工程と、を含む。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明の一実施形態の残留応力測定方法の流れを示す流れ図である。
- [図2]図1の残留応力測定方法により残留応力が測定される軸状部材を示す断面図である。
- [図3]上記軸状部材から切り出される対象体の断面図であって図1に示される逐次切削解放歪測定工程において順次形成される切削面を示す図である。
- [図4]図1に示される逐次切削解放歪測定工程の詳細な流れを示す流れ図である。
- [図5A]図4に示される基準位置決定工程において決定される基準位置の第1の例を示す断面図である。
- [図5B]図4に示される基準位置決定工程において決定される基準位置の第2の例を示す断面図である。
- [図5C]図4に示される基準位置決定工程において決定される基準位置の第3の例を示す断面図である。
- [図6]図4に示される歪ゲージ貼着工程において歪ゲージが貼着される対象体の例を示す斜視図である。
- [図7]図4の隣接溝形成工程において隣接溝が形成される対象体の例を示す斜視図である。
- [図8]図4に示される隣接溝形成工程における隣接溝の形成の例を示す、対象体の断面図である。
- [図9]図4に示される表層分離工程の例を示す、対象体の断面図である。
- [図10]図4の層分離工程により切り出された小片の例を示す平面図である。
- [図11]図1に示される測定片切り出し及び解放歪測定工程の詳細な流れを示

す流れ図である。

[図12]図1の表面測定片及び内部測定片切り出し工程における対象体の切断方法を示す一部断面斜視図である。

[図13]測定片において歪ゲージが貼着される位置を示す部分拡大平面図である。

[図14]図1の逐次切削解放歪測定工程及び測定片切り出し及び解放歪測定工程における解放歪の測定方向を示す、軸状部材の模式的断面図である。

[図15]図1の残留応力測定方法の実施例において測定された残留応力の分布を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、適宜図面を参照しつつ、本発明の実施の形態を詳説する。

[0012] [残留応力測定方法]

図1は、軸状部材の残留応力を測定する残留応力測定方法を示す流れ図である。以下、当該残留応力測定方法について、図2の軸状部材1の残留応力を測定する場合について説明する。

[0013] 当該残留応力測定方法は、図1に示されるステップS01、S02、S03、S04及びS05を含む。ステップS01は、上記軸状部材1から実際の測定に使用する複数の対象体（試験片）を採取する対象体採取工程である。ステップS02は、一部の対象体を用いて逐次切削による解放歪の測定を行う逐次切削解放歪測定工程である。ステップS03は、残る対象体から測定片を切り出してその解放歪の測定を行う測定片切り出し及び解放歪測定工程である。ステップS04は、ステップS03で測定した解放歪の分布から有限要素法逆解析により固有歪の分布を導出する固有歪導出工程である。最後に、ステップS05は、上記固有歪の分布から有限要素法順解析により残留応力の分布を算出する残留応力算出工程である。

[0014] 図2の軸状部材1は、円柱状の軸2と、全周にわたって上記軸2の外周面よりも径方向に外向きに突出する板状部3と、を備え、上記軸2と上記板状部3との接続部分にフィレット面5が設けられている。具体的に、図2に例

示される上記軸状部材 1 では、上記軸 2 においてその軸方向に等間隔で並ぶ 4 つの位置にそれぞれ上記板状部 3 が設けられ、各板状部 3 は円盤状をなす。

[0015] <対象体採取工程>

図 1 のステップ S 0 1 である対象体採取工程では、上記軸状部材 1 が図 1 に二点鎖線で示す位置で切断され、これにより、互いに同一の形状を有し、残留応力について均等とみなせる 3 つの対象体 4 が採取される。各対象体 4 は、上記軸 2 を分割することにより得られる円柱状の軸部 2 a と、上記板状部 3 と、を含み、この板状部 3 は、上記軸部 2 a の軸方向の中間位置において全周にわたり当該軸部 2 a の外周面よりも径方向の外向きに突出する。上記軸部 2 a と上記板状部 3 との接続部分に上記フィレット面 5 が位置する。この実施の形態では、便宜上、上記 3 つの対象体 4 の内、後で詳述するステップ S 0 2 の逐次切削解放歪測定に供される 2 つの対象体を第 1 対象体 4 a と呼び、後で詳述するステップ S 0 3 の測定片切り出し及び解放歪測定に供される 1 つの対象体を第 2 対象体 4 b と呼ぶ。

[0016] <逐次切削解放歪測定工程>

図 1 のステップ S 0 2 である逐次切削による解放歪測定工程は、特定の測定サイクルを複数回にわたり繰り返して解放歪を得ることを含む。上記測定サイクルは、図 3 に示す切削面 6 を順次形成する第 1 工程と、各切削面 6 から小片を切り出してその解放歪を歪ゲージにより測定する第 2 工程と、を含む。上記第 1 工程では、上記測定サイクルの繰り返しの伴って上記第 1 対象体 4 a が繰り返し切削されることにより、上記切削面 6 が複数回にわたって形成され、それぞれの切削面 6 は上記軸部 2 a の中心軸 C と同心で当該中心軸 C に対する傾斜角が一定の角度ずつ異なる円錐面又は円筒面である。

[0017] 図 4 に、図 1 のステップ S 0 2 における上記逐次切削解放歪測定工程の詳細な流れを示す。この逐次切削解放歪測定工程は、基準位置の設定（ステップ S 1 1）と、切削角度及び測定サイクルの総数の決定（ステップ S 1 2）と、上記測定サイクルを上記総数だけ繰り返すこと（ステップ S 1 3～S 1

9) と、を含む。

[0018] ステップS 1 1では、上記第1対象体4 aの外側で上記フィレット面5の近傍に基準位置P sが定められる。この基準位置P sは、図5 Aに示すように上記第1対象体4 aの中央縦断面（中心軸Cを通る平面）において上記フィレット面5が単一の半径R 1を有する円弧からなる場合には、当該円弧の中心位置に定められることが好ましい。図5 Bのように上記フィレット面5が互いに異なる半径（R 1, R 2）を有する複数の円弧からなる場合、特に残留応力を正確に知りたい範囲において最も大きい半径（R 1）を有する円弧の中心に基準位置P sが定められることが好ましい。また、図5 Cのように、特に残留応力を正確に知りたい範囲内において最も長さが大きい円弧（半径R 3より小さい半径R 1の円弧）の中心に基準位置P sが定められてもよい。

[0019] 続いて、図4のステップS 1 2において、図3に示される複数の切削面6のうち互いに隣接する切削面6同士の間角度と、上記測定サイクルの総数（切削回数）と、が決定される。互いに隣接する切削面6同士の間角度は、上記フィレット面5と各切削面6との交点との間の距離が後述するステップS 1 6における隣接溝の深さより大きくなるように、定められる。測定サイクルの総数は、残留応力を確認したい範囲と上記切削面6間角度とによって定められる。複数の第1対象体4 aを使用する場合、最初に形成される切削面6の角度を互いに等価な複数の第1対象体4 a間で異ならせてそれらの測定結果を統合することにより、測定データを得られる切削面6の角度の間隔を実質的に小さくできる。図3に示される切削面6間角度は20°であるが、2つの第1対象体4 aの使用が、10°間隔で解放歪の測定値を得ることを可能にする。

[0020] 上記のように決定された測定サイクルの総数と同じ回数だけ、ステップS 1 3からステップS 1 9までの工程が繰り返される。すなわち当該回数だけ上記測定サイクルが繰り返される。

[0021] ステップS 1 4では、第1対象体4 aを切削することにより円錐面（又は

円筒面) からなる新たな切削面 6 が形成される。ステップ S 15 では、図 6 に示すように、新しく形成された切削面 6 に複数の第 1 歪ゲージ 7 が貼着される。

[0022] これらの第 1 歪ゲージ 7 は、切削面 6 (円錐面又は円筒面) の稜線方向 (円錐面に含まれる直線方向) に沿って並ぶ複数箇所にそれぞれ貼着される。好ましくは、それぞれの第 1 歪ゲージ 7 は、フィレット面 5 に近い領域においては小さい間隔 (例えば 6 mm 間隔) で、フィレット面 5 から離れるほど大きい間隔で、貼着される。回転体である第 1 対象体 4 a に存在する残留応力及び固有歪は周方向に等価であるため、図示するように第 1 歪ゲージ 7 を周方向に並ぶ複数の列に分けて、列同士の間で第 1 歪ゲージ 7 の位置を稜線方向にずらすようにして当該第 1 歪ゲージ 7 を貼着することにより、実質的に測定点の稜線方向の間隔を小さくできる。

[0023] また、各第 1 歪ゲージ 7 には、直交する 2 方向の歪を検出できるものを使用し、かつ、切削面 6 の稜線方向 D 1 及びこの稜線方向に直交する接線方向 (周方向) D 2 の歪を検出できるよう当該第 1 歪ゲージ 7 を配向することが好ましい。そのように配列できる 2 軸の第 1 歪ゲージ 7 としては、例えば、ベース径 4.5 mm、ゲージ長 1 mm かつゲージ幅 0.7 mm のものが入手可能である。

[0024] 第 1 歪ゲージ 7 を貼着した後、ステップ S 16 において、図 7 に示すように、上記稜線方向に並ぶ第 1 歪ゲージ 7 の列に沿って隣接溝 8 が形成される。隣接溝 8 は、例えば図 8 に示すように、エンドミル 9 により形成されることができる。隣接溝 8 は、個々の第 1 歪ゲージ 7 を取り囲むように形成されてもよい。

[0025] ステップ S 17 では、切削面 6 から第 1 歪ゲージ 7 の列を含む帯状の表層部分が分離される。この分離は、工具、例えば図 9 に示すような T スロットカッター 10、を隣接溝 8 内に挿入することにより、行われる。この T スロットカッター 10 は、所定の回転軸回りに回転駆動されることにより、側方すなわちその回転軸と直交する回転径方向、に加工物を切り込むような切削

を行う。図8及び図9に示す例では、第1歪ゲージ7の両側の隣接溝8のうち的一方が、当該隣接溝8内に上記Tスロットカッター10が垂直に、すなわちその回転軸と平行な方向に、挿入されることを許容する広い幅を有している。このように挿入されたTスロットカッター10によって第1歪ゲージ7の下層を側方から切除することにより、切削面6から第1歪ゲージ7の列を含む帯状の上記表層部分を分離できる。こうして分離した帯状の表層部分をさらに第1歪ゲージ7同士の間で切断することによって、図10に示すようにそれぞれが第1歪ゲージ7を含む複数の小片11を切り出すことができる。各小片11は、例えば、第1歪ゲージ7を除いて約2.3mmの厚みを有する。このようにして切り出した小片11から残留応力が解放されることにより当該小片11に解放歪が生じる。この解放歪は、ステップS18において第1歪ゲージ7により測定される。

[0026] ステップS19において、ステップS12で決定された数と同じ回数だけ測定サイクルが繰り返されていれば、この逐次切削解放歪測定工程は終了する。測定サイクルの繰り返し回数が上記決定された回数に満たない場合にはステップS14～S18の工程が繰り返される。

[0027] <測定片切り出し解放歪測定工程>

図11は、図1のステップS03の工程、すなわち測定片を切り出して解放歪の測定を行う測定片切り出し及び解放歪測定工程、の詳細な流れを示す。

[0028] この測定片切り出し及び解放歪測定工程では、図12に示すように、第2対象体4bを切断することにより内部測定片12及び表面測定片13が切り出される。内部測定片12は、図13に示すような複数の第2歪ゲージ7aを用いた第2対象体4b内部の解放歪の測定に供され、表面測定片13は、図12に示すようにフィレット面5に第3歪ゲージ7bを貼着して行うフィレット面5の表面の解放歪の測定に供される。

[0029] 詳しく説明すると、この測定片切り出し及び解放歪測定工程では、先ず、ステップS21において、図12に示すように、第2対象体4bのフィレ

ト面5の複数箇所にそれぞれ複数の第3歪ゲージ7bが貼着される。それぞれの貼着箇所は、軸部2aの中心軸Cを通る平面上に各第3歪ゲージ7bの中心が位置するように、設定される。各第3歪ゲージ7bは、第2対象体4bの表面と中心軸Cを通る平面との交線の方及びこの交線に直交する方向（周方向D2）の歪をそれぞれ検出できるように配向されることが好ましい。そして、ステップS22において、図12に示すように、第2対象体4bを鋸で平面に沿って切断することにより複数の内部測定片12及び複数の表面測定片13が切り出される。

[0030] 図示した実施形態では、各内部測定片12は、中心軸C上で5°の角度で交わる2つの平面（中央縦断面）によって画定され、表面測定片13は、中心軸C上で10°の角度で交わる2つの平面（中央縦断面）によって画定されている。この実施の形態では、互いに隣接する2つの表面測定片13が切り出され、これら2つの表面測定片13の両側からそれぞれ1つの内部測定片12が切り出される。対象体の切断間隔には物理的な限界があるが、内部測定片12及び表面測定片13の切り出しに際して、第2対象体4bを上記中央縦断面に沿って切断する前に、2つの表面測定片13の間を分離する切断面に直交しかつ中心軸Cと平行な2つの切断面により第2対象体4bの中央部を予め切除することが、上記各内部測定片12の切り出しを可能にする。このようにして切り出された内部測定片12及び表面測定片13はそれぞれ中心軸C側の部分が切除された形状を有する。

[0031] このようにして切り出された内部測定片12を用いて、ステップS23において、X線残留応力測定が行われる。このX線残留応力測定では、極座標が設定されてこの極座標を基準に、測定点が決定される。上記極座標は、上記内部測定片12の中央縦断面において、上述の逐次切削解放歪測定工程における第1対象体4aの切削面6を構成する円錐面又は円筒面の稜線に対応するように設定される。上記測定点同士の間隔は第1歪ゲージ7の貼着間隔よりも小さくてもよい（例えば0.5mm）。

[0032] そして、ステップS24において、ステップS23で測定された残留応力

を他の測定値と合わせて利用できるように、当該残留応力が解放歪と等価な値に換算される。

[0033] さらに、ステップS 2 5において、図 1 3に示すように内部測定片 1 2に上記複数の第 2 歪ゲージ 7 aが並べて貼着される。これらの第 2 歪ゲージ 7 aは、上述の逐次切削解放歪測定工程における第 1 対象体 4 aの切削面 6を構成する円錐面又は円筒面の稜線に対応する直線上に並ぶ複数箇所それぞれ配置される。さらに、第 2 歪ゲージ 7 aは、好ましくは、第 1 対象体 4 aの切削面 6における第 1 歪ゲージ 7と同じ間隔で、つまり逐次切削解放歪測定における解放歪の測定位置と合致する位置に、貼着される。また、これらの第 2 歪ゲージ 7 aは、第 1 対象体 4 aの切削面 6を構成する円錐面又は円筒面の稜線に対応する方向 D 1及び第 1 対象体 4 aの切削面 6を構成する円錐面又は円筒面の法線方向 D 3の歪を検出するように、配向される。

[0034] そして、ステップS 2 6において、内部測定片 1 2及び表面測定片 1 3をさらに切断することにより、第 2 歪ゲージ 7 a及び第 3 歪ゲージ 7 bを含む部分の残留応力がそれぞれ解放され、ステップS 2 7において、第 2 歪ゲージ 7 a及び第 3 歪ゲージ 7 bによってそれぞれ解放歪が測定される。

[0035] ステップS 2 3におけるX線を用いた残留応力の測定は、理論的には高い精度を有し、測定間隔を小さくできるものの、表面粗さ等の測定条件の影響が大きいため、精度よく測定を行うためにはかなりの手間がかかる。一方、ステップS 2 5からステップS 2 7における第 2 歪ゲージ 7 aを用いた第 2 対象体 4 b内部の解放歪の測定は、第 2 歪ゲージ 7 aの大きさにより測定間隔に制約はあるが、比較的容易に行うことができる。このため、ステップS 2 7では、X線を用いて測定した残留応力の測定値をステップS 2 4において解放歪に換算した値と、ステップS 2 5からステップS 2 7において第 2 歪ゲージ 7 aを用いて測定した解放歪の測定値とを組み合わせるにより、正確性と簡便性とのバランスをとることができる。

[0036] 図 1 4に示すように、中央縦断面上の基準位置 P sを中心とする極座標における各測定点における解放歪の測定データとして、切削面 6の稜線方向で

あるD1方向の成分と、このD1方向に直交するとともに座標平面に直交する方向（第1対象体4a及び第2対象体4bの周方向）であるD2方向の成分と、内部測定片12においてD1方向及びD2方向と直交するD3方向の成分と、が測定される。このように、各測定点における解放歪の、互いに直交する三方向の成分すべてが三次元的に得られるため、固有歪の導出精度が向上すると共に演算が容易である。

[0037] <固有歪導出工程>

図1のステップS04である固有歪導出工程では、ステップS03で得られた解放歪のデータを基に、有限要素法による逆解析により固有歪の分布が導出される。

[0038] ここで、解放歪（弾性歪）と固有歪との関係は、次の式（1）で表わされる。

[0039] [数1]

$$\{m\varepsilon\}=[H]\{\varepsilon^*\} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\{m\varepsilon\}$ ：解放歪（弾性歪）

$\{\varepsilon^*\}$ ：物体内で分布している固有歪

$[H]$ ： $\{\varepsilon^*\}$ と $\{m\varepsilon\}$ の関係を表す弾性応答マトリックス

[0040] 弾性応答マトリックス $[H]$ は、計測した解放歪の測定条件（測定形状）に対する固有歪成分の感度を表している。つまり、マトリックス $[H]$ の成分は、測定形状に依存し、個々の固有歪成分に単位歪を与えた際の弾性応答を求める繰返し計算により算出される。

[0041] また、計測した解放歪には必ず誤差が含まれるため、固有歪の最確値と解放歪との間には次の式（2）の関係がある。

[0042]

[数2]

$$\{m\varepsilon\} - [\hat{H}]\{\hat{\varepsilon}^*\} = \{\nu\} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\{\hat{\varepsilon}^*\}$: 固有歪の最確値

$\{\nu\}$: 残差

$[\hat{H}]$: $[H]$ の縮小マトリックス

[0043] 固有歪成分の最確値は、残差の平方和を最小にする条件から一意的に与えられる（最小二乗法）。近年では、物体内で分布している固有歪を関数で表示する手法が適用される場合が多い。固有歪を直接計算するのではなく、設定した関数の係数の値を計算することで固有歪分布が求められる。この場合、式（1）及び式（2）の固有歪成分及び最確値に代わって、分布関数の係数が未知数として計算される。このような関数表示を用いることにより、未知数の数を大幅に減少できる。

[0044] <残留応力算出工程>

当該残留応力測定方法では、最後に、図1のステップS05である残留応力算出工程において、ステップS04で導出した固有歪の分布に基づいて、有限要素法の順解析により残留応力の分布が算出される。

[0045] 対象体4に最初に存在していた残留応力と固有歪の関係は、次の式（3）で表される。

[0046] [数3]

$$\{\sigma\} = [M]\{\varepsilon^*\} \quad \dots (3)$$

ここで、 $\{\sigma\}$: 残留応力

$[M]$: $\{\varepsilon^*\}$ と $\{\sigma\}$ の関係を表す弾性応答マトリックス

[0047] 固有歪と残留応力との関係を表す弾性応答マトリックスは、有限要素解析により導出される。

[0048] <利点>

当該残留応力測定方法は、第1対象体4aに基準位置Psを通る円錐面又

は円筒面からなる切削面 6 を順次形成することと、その切削面から小片 1 1 を切り出すことにより、中央縦断面において基準位置 P s を中心とする極座標上に設定される複数の測定点の解放歪を測定することと、を含み、これにより、第 1 対象体 4 a の内部のフィレット面 5 の近傍に多数の測定点を設定してそれぞれの測定点の歪を測定するため、フィレット面 5 の近傍の残留応力分布を詳細に測定することを可能にする。

[0049] さらに、当該残留応力測定方法では、第 1 対象体 4 a と均等な第 2 対象体 4 b を 2 つの中央縦断面で切断することにより当該第 2 対象体 4 b から切り出した内部測定片 1 2 を用い、第 1 対象体 4 a について設定した測定点と対応する測定点において、第 1 対象体 4 a で測定した 2 方向 D 1, D 2 の解放歪及び当該方向 D 1, D 2 と直交する方向 D 3 の解放歪を測定することが行われる。これにより、各測定点における解放歪のデータとして直交三次元成分すべてが得られるため、正確な固有歪、ひいては残留応力を測定できる。また、第 2 対象体 4 b の表面においても、方向 D 2 とこれに直交する方向の解放歪が測定されるので、残留応力の測定精度が高められる。

[0050] [その他の実施形態]

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記実施形態の構成に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

[0051] 前記残留応力測定方法は、対象体の軸部と同心かつ基準位置を通る円錐面又は円筒面からなる切削面を形成し、この切削面の歪を解析することを主題とする。したがって、この他の工程は、省略又は他の工程と置換してもよい。例えば、内部測定片 1 2 及び表面測定片 1 3 を用いた測定は、必須の工程ではない。また、例えば、歪ゲージ 7 を用いた解放歪の測定による解析に替えて、各切削面の歪を X 線回折法、中性子回折法、音弾性法等によって非破壊測定が行われてもよい。

[0052] 当該残留応力測定方法において、切削面 6 から小片 1 1 を切り出すための

工具は、その回転軸に対して直交する回転径方向に加工物を切り込むように切削することが可能な工具であればよく、Tスロットカッター10に替えてV溝カッターのような工具を用いてもよい。

[0053] また、当該残留応力測定方法において、第1対象体4aと第2対象体4bとは、同一の軸状部材1から切り出したものに限らず、別の軸状部材1から切り出したものであってもよい。

[0054] さらに、第1対象体4a及び第2対象体4bの個数を任意に増加して、切削面6の角度差をより小さい角度としてもよい。

[0055] また、当該残留応力測定方法において、基準位置Psは、フィレット面5の円弧の中心に限定されず、残留応力を詳細に求めたい部分における測定点の間隔（順次形成する切削面間の間隔）を小さくできる位置であればよい。

実施例

[0056] 以下、実施例によって本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0057] 上述の実施形態に基づいて、当該残留応力測定方法により測定した残留応力の中央縦断面における分布を図15に図示する。この測定に用いた第1対象体及び第2対象体は、直径280mmの軸部と、厚さ80mm及び直径500mmの板状部と、を有し、軸部と板状部との間にフィレット面が設けられていて当該フィレット面の主要部は22mmの半径を有する。

[0058] 図15に示されるように、当該残留応力測定方法では、詳細な残留応力の分布を求めることができる。

産業上の利用可能性

[0059] 当該残留応力測定方法が適用される軸状部材として、例えばクランクシャフトがある。クランクシャフトのシャフト部を軸部、アーム及びカウンターウェイトが一体となったウェブを板状部として当該残留応力測定方法が適用されるのはもちろん、ピンを軸部、アームを板状部として当該残留応力測定方法を適用することもできる。当該残留応力測定方法は、クランクシャフト以外の多様な構造物の解析にも利用できる。

- [0060] 以上のように、本発明によれば、円柱状の軸部とこの軸部の外周面よりも径方向の外向きに突出する板状部とを有して当該軸部と当該板状部とを接続する部分にフィレット面が設けられた対象体の当該フィレット面の近傍における残留応力の分布を精度よく測定できる残留応力測定方法が提供される。
- [0061] この方法は、円柱状の軸部とこの軸部の外周面よりも全周にわたって径方向の外向きに突出する板状部とを有して上記軸部と上記板状部との接続部分にフィレット面が設けられた対象体の残留応力を測定する方法であって、測定サイクルを繰り返し行うことを含み、この測定サイクルは、上記対象体を切削して上記軸部の中心軸と同心の円錐面又は円筒面である新たな切削面を形成する工程であって、上記円錐面又は円筒面の延長面が、繰り返される上記測定サイクルで不変の基準位置を通るものと、上記切削面上の複数箇所の残留応力を測定する工程と、を含む。
- [0062] 当該残留応力測定方法では、上記基準位置を通る円錐面又は円筒面である切削面を繰り返し形成することが、基準位置の近傍の測定点を密に設定することを特徴とする可能にし、これにより、残留応力の測定点の間隔を小さくして多くの測定データを得ることを可能にする。その結果、当該残留応力測定方法は、フィレット面近傍の残留応力の分布を精度よく測定することを可能にする。
- [0063] 当該残留応力測定方法において、上記基準位置は、好ましくは、上記対象体の中央縦断面において上記フィレット面に含まれる円弧のうち最大の径を有する円弧の中心位置であるとよい。この中心位置は、中央縦断面において解放歪の測定点の位置を表すための極座標（局所座標）の原点であるため、上記のようにフィレット面の最も支配的な円弧の中心を基準位置とすることにより、フィレット面の近傍に多くの測定点を配置することが可能になる。これにより、固有歪、ひいては残留応力の測定精度が高くなる。
- [0064] また、上記切削面上の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線方向に並ぶ複数の箇所それぞれ残留応力が測定されるのが、好ましい。このように稜線方向に並ぶ複数の測定点を設定することが、実質

的に円筒面又は円周面の全体について対象体の固有歪の分布を効率よく測定することを可能にする。また、稜線方向に並ぶ複数の測定点の位置が周方向に千鳥状に分割されても良い。一方、対象体が軸状ではない場合、上記円錐面又は円筒面の稜線方向に並ぶ複数の測定位置を周方向に分散させることにより、円筒面又は円周面の全体について対象体の固有ひずみの分布を測定することができる。

[0065] 上記切削面上の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線方向及びこの稜線に直交する接線方向の残留応力の成分を測定するとよい。これにより、中央縦断面上での測定点の配置に係る極座標の動径方向（原点から見た測定点の方向）と歪ゲージによる測定方向とが一致するので、解析が容易になる。

[0066] また、当該残留応力測定方法において、上記切削面上の残留応力を測定する工程が、上記切削面に歪ゲージを貼着する工程と、上記切削面から上記歪ゲージを含む小片を切り出す工程と、上記歪ゲージを用いて上記小片の解放歪を測定する工程と、を含むとよい。当該解放歪の測定は、残留応力を正確に測定することを可能にする。

[0067] また、当該残留応力測定方法において、上記小片を切り出す工程が、上記歪ゲージに隣接する溝を形成する工程と、所定の回転軸回りに回転駆動されることにより当該回転軸と直交する回転径方向に加工物を切り込むように切削を行う工具を上記溝に挿入して上記切削面の下側の部位を当該工具により切削して切断することにより当該切削面の表層を分離する工程と、を含むとよい。このような工具による切削により小片を切り出すことで、切削面表面に形成される切削溝を浅くできる。このことは、形成された切削面と次の切削面との角度差を小さくすることを可能にし、これにより、測定点を密に設定して固有歪、ひいては残留応力の測定精度を高めることを可能にする。

[0068] また、当該残留応力測定方法が、上記対象体と均等な第2対象体の残留応力を測定する工程をさらに備え、上記第2対象体の残留応力を測定する工程が、上記第2対象体の軸部の中心軸を通る2つの平面に沿って上記第2対象

体を切断することにより当該2つの平面で画定される測定片を得る工程と、上記測定片の切断面において上記円錐面又は円筒面の稜線に対応する直線上に位置する複数箇所の残留応力を測定する工程と、を含むとよい。これにより、測定点をより多くして残留応力の測定精度をさらに向上させることが可能である。

[0069] 上記測定片の切断面上の複数箇所の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線及び法線に対応する方向の残留応力の成分を測定するとよい。第2対象体の測定片における残留応力の測定方向の一方を、測定点の配置に係る極座標の動径方向とすることで、演算が容易となる。また、第2対象体の測定片における残留応力の測定方向の他方を、対象体の切削面の法線に対応する方向とすることで、対象体の切削面において測定できない方向の残留応力の成分を測定できる。このため、当該残留応力測定方法は、より正確に残留応力を測定できる。

[0070] また、当該残留応力測定方法において、上記測定片の切断面上の複数箇所の残留応力を測定する工程が、上記測定片の切断面において上記円錐面又は円筒面の稜線に対応する直線上に複数の第2歪ゲージを並べて貼着する工程と、上記測定片をさらに切断して上記測定片の残留応力を解放することにより、上記各第2歪ゲージを用いて解放歪を測定する工程と、を含むとよい。このように第2対象体においても解放歪を測定することにより、残留応力をより正確に測定できる。

[0071] また、当該残留応力測定方法が、上記第2対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程をさらに備えるとよい。このように第2対象体の外表面の残留応力を測定することが、残留応力の測定精度のさらなる向上を可能にする。

[0072] また、上記第2対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程において、上記第2対象体の表面と上記中心軸を通る平面との交線方向及びこの交線に直交する方向の残留応力の成分を測定するとよい。この測定では、第2対象体の表面上の残留応力の測定方向の一方が測定点の配置に係る極座標

の偏角方向と一致するので、解析が容易になる。

[0073] また、当該残留応力測定方法において、上記第2対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程が、上記第2対象体の表面に第3歪ゲージを貼着する工程を含むとよい。このように、第2歪ゲージを用いて解放歪を測定するのに合わせて第3歪ゲージを用いて第2対象体の外表面の解放歪を測定することが、残留応力の測定精度の向上を可能にする。

[0074] また、当該残留応力測定方法において、上記対象体の上記軸部と上記第2対象体の上記軸部とが一体に形成されているとよい。1つの構造体から対象体と第2対象体とを採取することで、当該残留応力測定方法に使用するサンプルの数を少なくできる。

請求の範囲

- [請求項1] 円柱状の軸部とこの軸部の外周面よりも全周にわたって径方向の外向きに突出する板状部とを有して上記軸部と上記板状部とを接続する部分にフィレット面が設けられた対象体の残留応力を測定する方法であって、
- 測定サイクルを繰り返し行うことを含み、この測定サイクルは、上記対象体を切削して上記軸部の中心軸と同心の円錐面又は円筒面である新たな切削面を形成する工程であって、上記円錐面又は円筒面の延長面が、繰り返される上記測定サイクルで不変の基準位置を通るものと、上記切削面上の複数箇所の残留応力を測定する工程と、を含む、残留応力測定方法。
- [請求項2] 上記基準位置が、上記対象体の中央縦断面において上記フィレット面に含まれる円弧のうち最大の径を有する円弧の中心位置である、請求項1に記載の残留応力測定方法。
- [請求項3] 上記切削面上の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線方向に並ぶ複数の箇所でそれぞれ残留応力が測定される、請求項1又は請求項2に記載の残留応力測定方法。
- [請求項4] 上記切削面上の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線方向及びこの稜線に直交する接線方向の残留応力の成分が測定される、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の残留応力測定方法。
- [請求項5] 上記切削面上の残留応力を測定する工程が、
上記切削面に歪ゲージを貼着する工程と、
上記切削面から上記歪ゲージを含む小片を切り出す工程と、
上記歪ゲージを用いて上記小片の解放歪を測定する工程と、
を含む、請求項1に記載の残留応力測定方法。
- [請求項6] 上記小片を切り出す工程が、
上記歪ゲージに隣接する溝を形成する工程と、

所定の回転軸回りに回転駆動されることにより当該回転軸と直交する回転径方向に加工物を切り込むように切削を行う工具を上記溝内に挿入して上記切削面の下側の部位を当該工具により切削して切断することにより当該切削面の表層を分離する工程と、
を含む請求項 5 に記載の残留応力測定方法。

[請求項7] 上記対象体と均等な第 2 対象体の残留応力を測定する工程をさらに備え、

上記第 2 対象体の残留応力を測定する工程が、

上記第 2 対象体の軸部の中心軸を通る 2 つの平面に沿って上記第 2 対象体を切断することにより当該 2 つの平面により画定される測定片を得る工程と、

上記測定片の切断面において上記円錐面又は円筒面の稜線に対応する直線上に位置する複数の箇所の残留応力を測定する工程と、
を含む、請求項 1 に記載の残留応力測定方法。

[請求項8] 上記測定片の切断面上の複数箇所の残留応力を測定する工程において、上記円錐面又は円筒面の稜線及び法線に対応する方向の残留応力の成分が測定される、請求項 7 に記載の残留応力測定方法。

[請求項9] 上記測定片の切断面上の複数箇所の残留応力を測定する工程が、
上記測定片の切断面において上記円錐面又は円筒面の稜線に対応する直線上に複数の第 2 歪ゲージを並べて貼着する工程と、

上記測定片をさらに切断して上記測定片の残留応力を解放することにより、上記各第 2 歪ゲージを用いて解放歪を測定する工程と、
を含む請求項 7 に記載の残留応力測定方法。

[請求項10] 上記第 2 対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程をさらに備える請求項 7 に記載の残留応力測定方法。

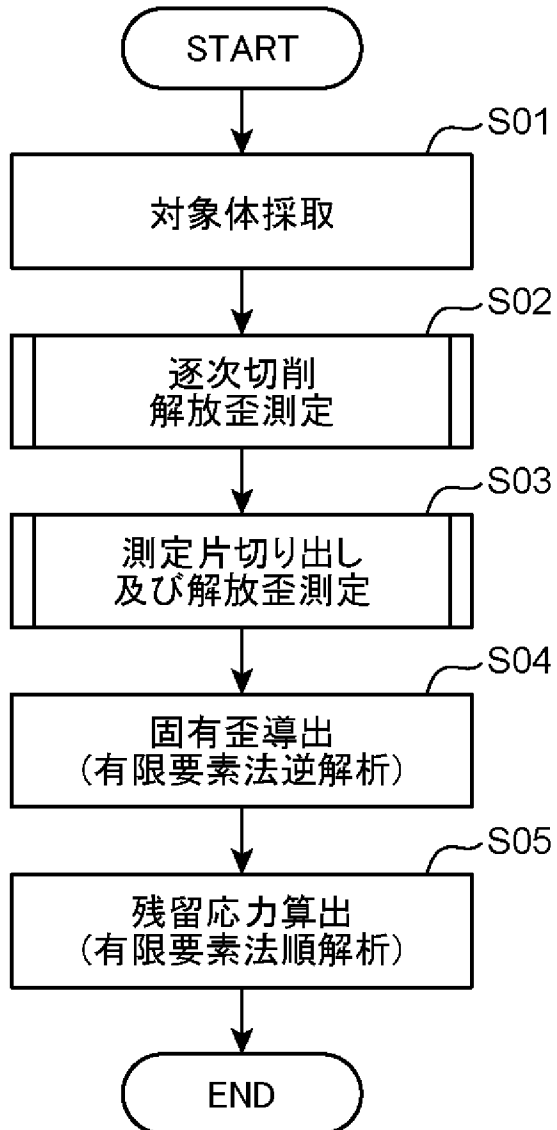
[請求項11] 上記第 2 対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程において、上記第 2 対象体の表面と上記中心軸を通る平面との交線方向及びこの交線に直交する方向の残留応力の成分が測定される請求項 1

0に記載の残留応力測定方法。

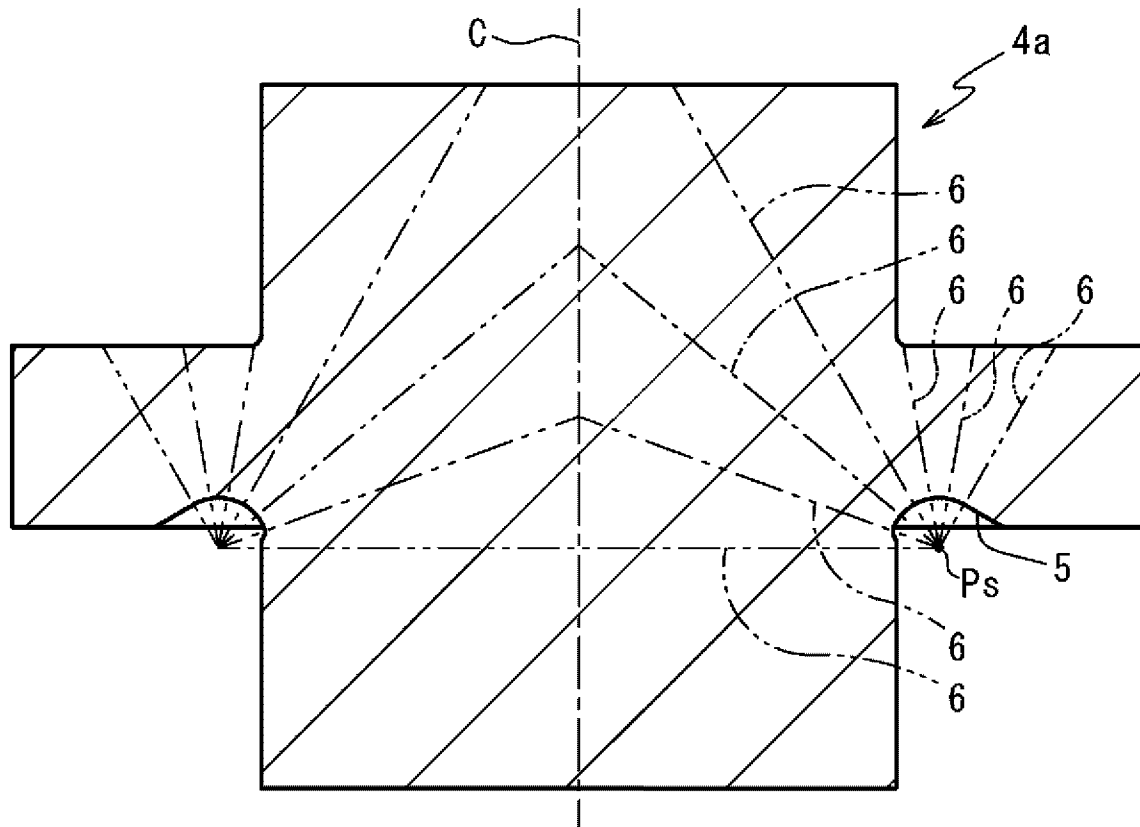
[請求項12] 上記第2対象体の表面上の複数箇所の残留応力を測定する工程が、
上記第2対象体の表面に第3歪ゲージを貼着する工程を含む請求項1
0に記載の残留応力測定方法。

[請求項13] 上記対象体の上記軸部と上記第2対象体の上記軸部とが一体に形成
されている、請求項7から請求項12のいずれか1項に記載の残留応
力測定方法。

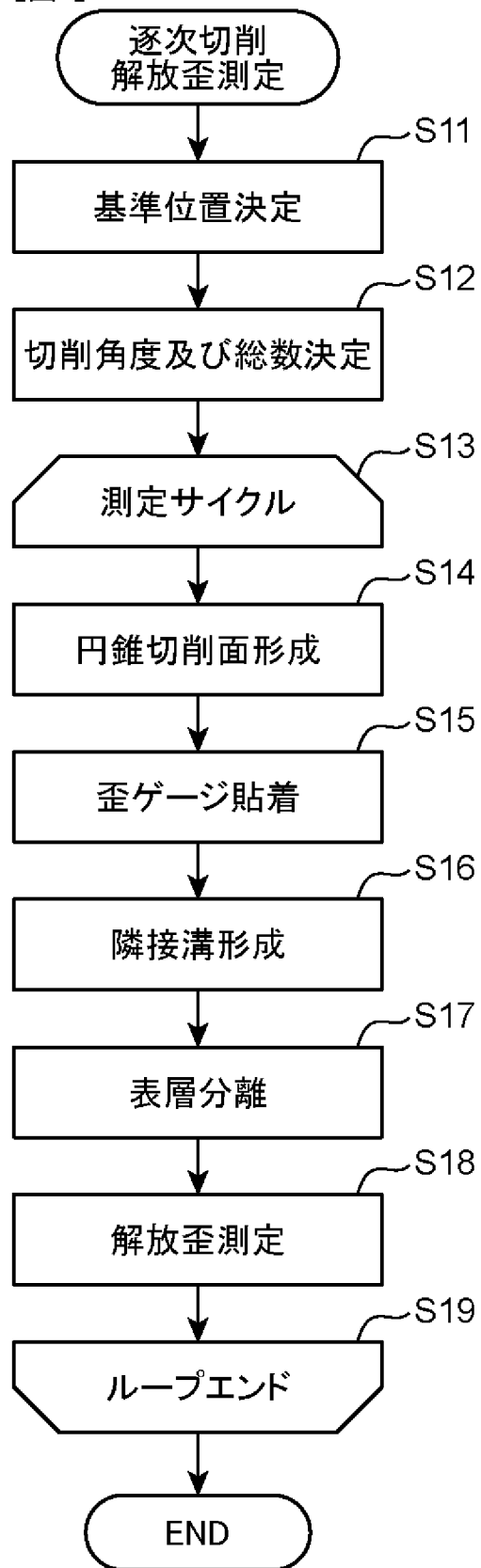
[図1]



[図3]

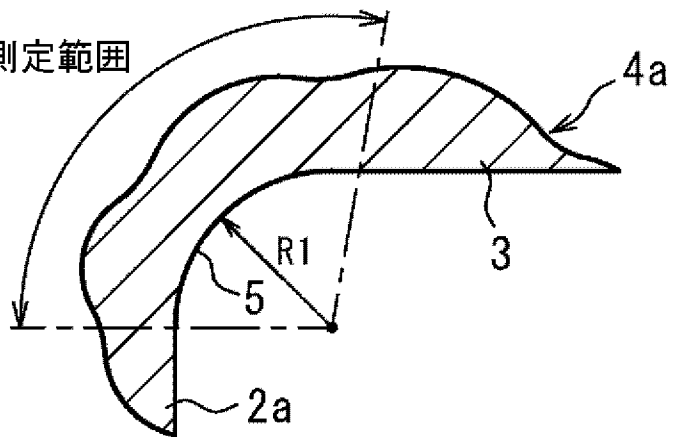


[図4]



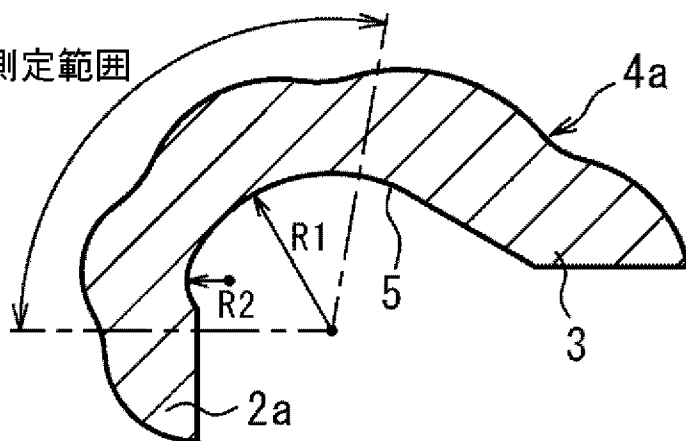
[図5A]

測定範囲



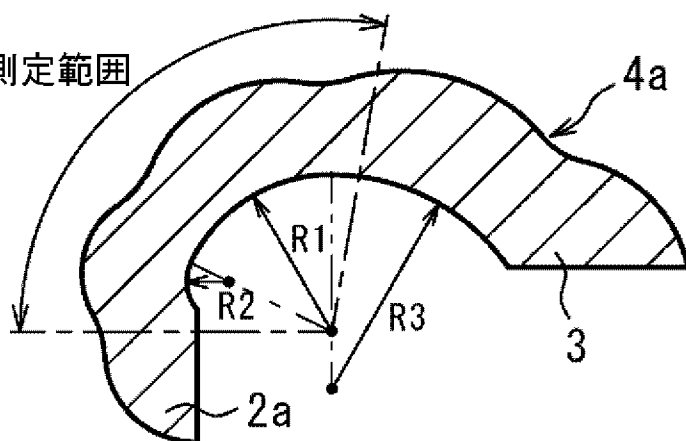
[図5B]

測定範囲

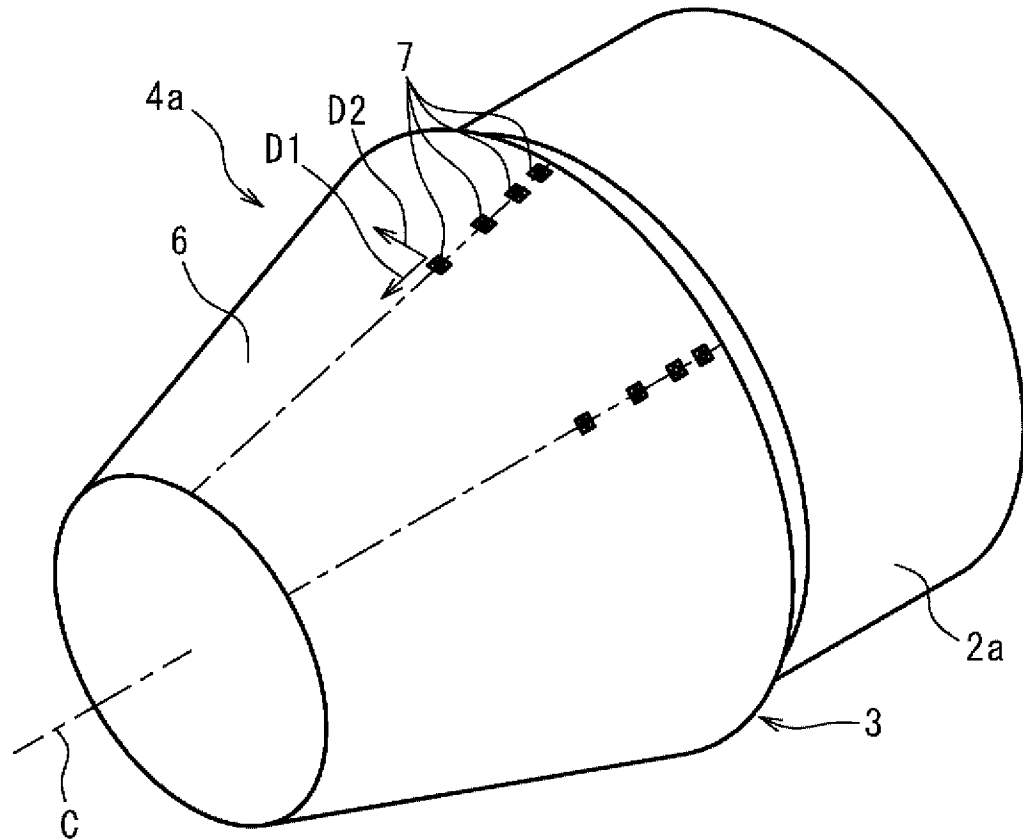


[図5C]

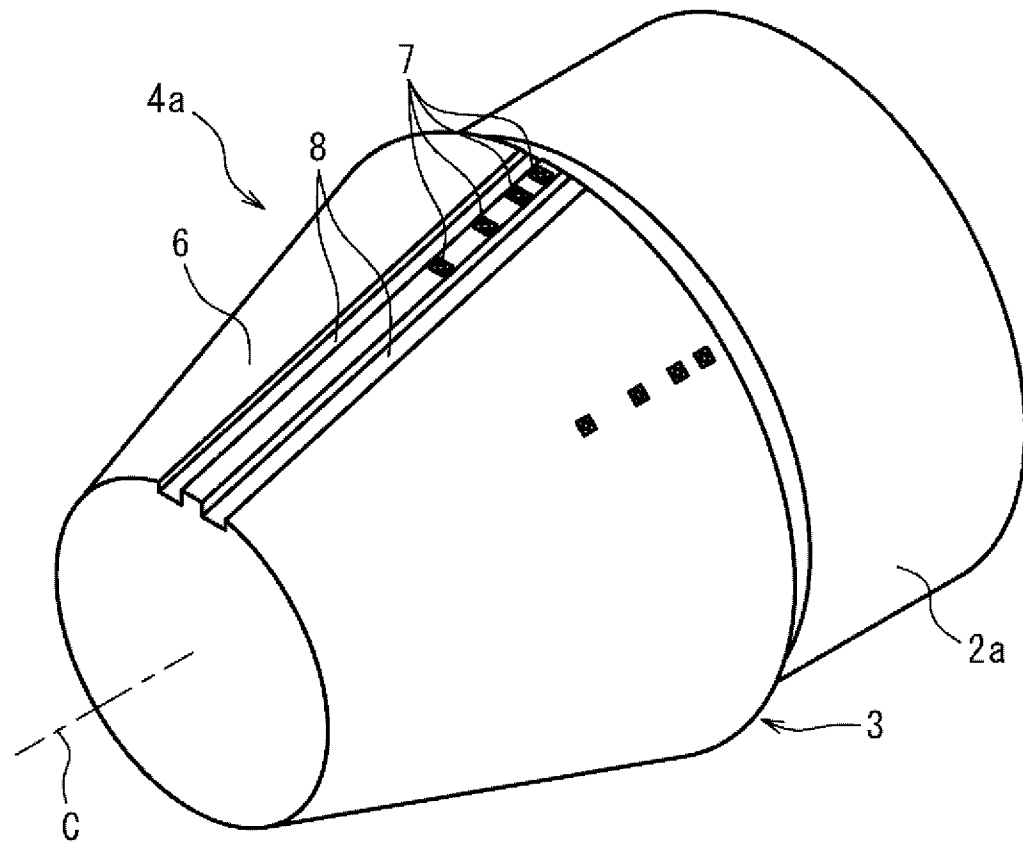
測定範囲



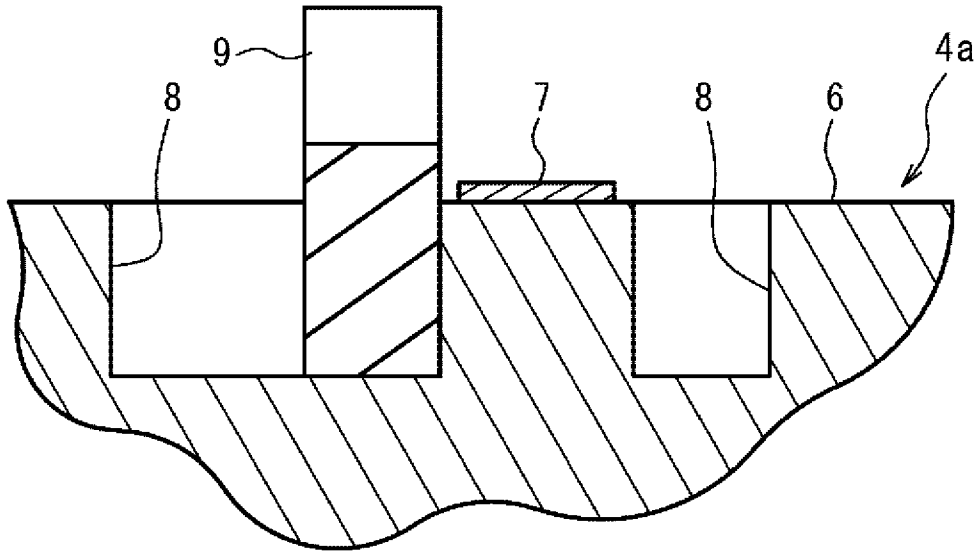
[図6]



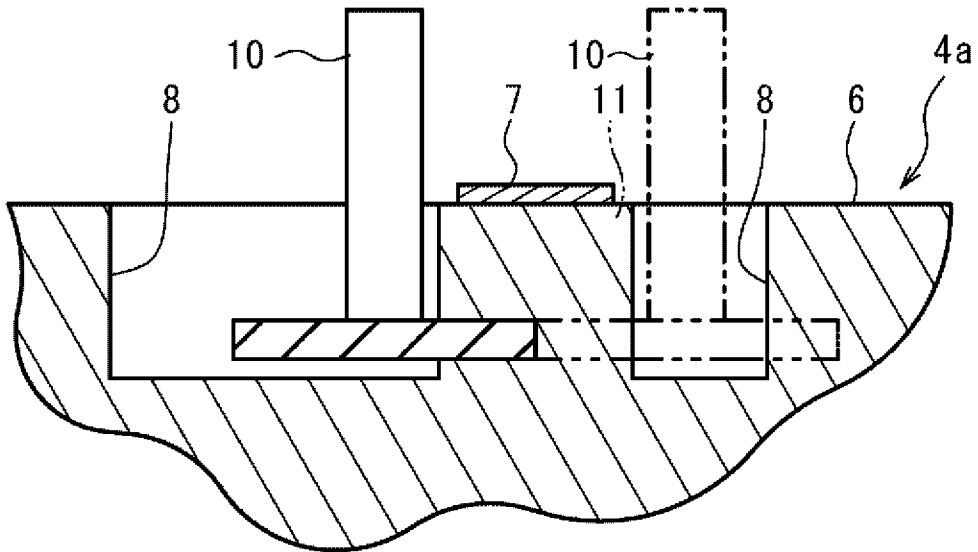
[図7]



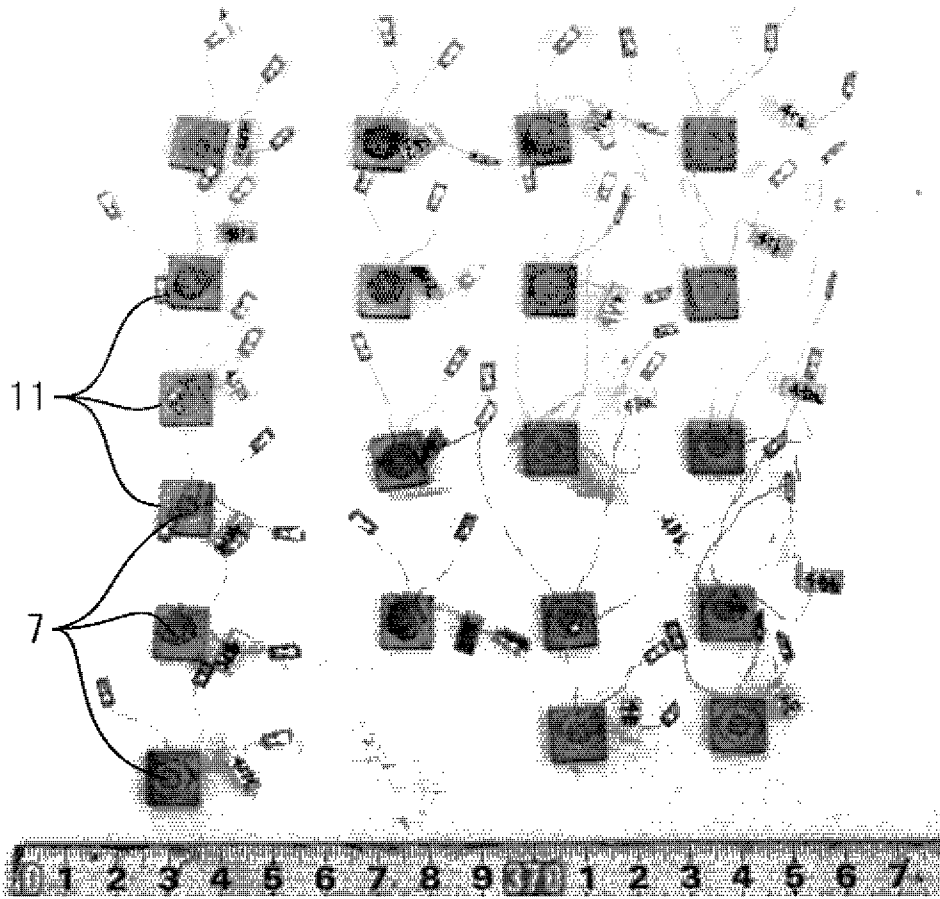
[図8]



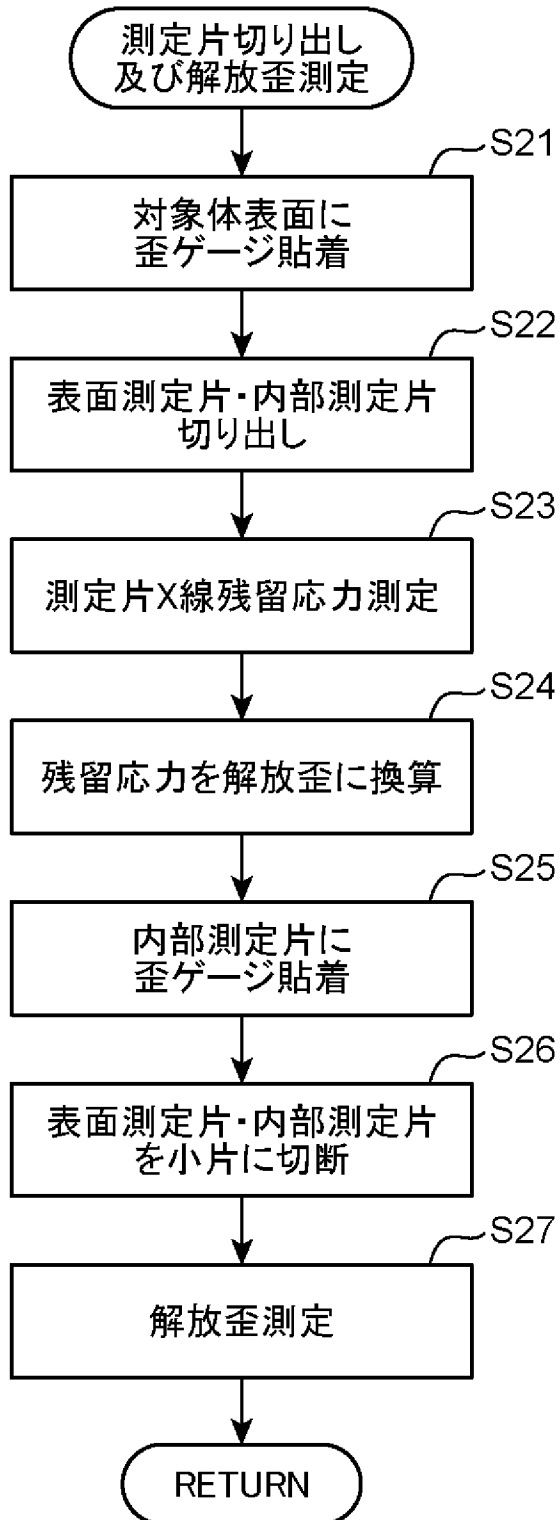
[図9]



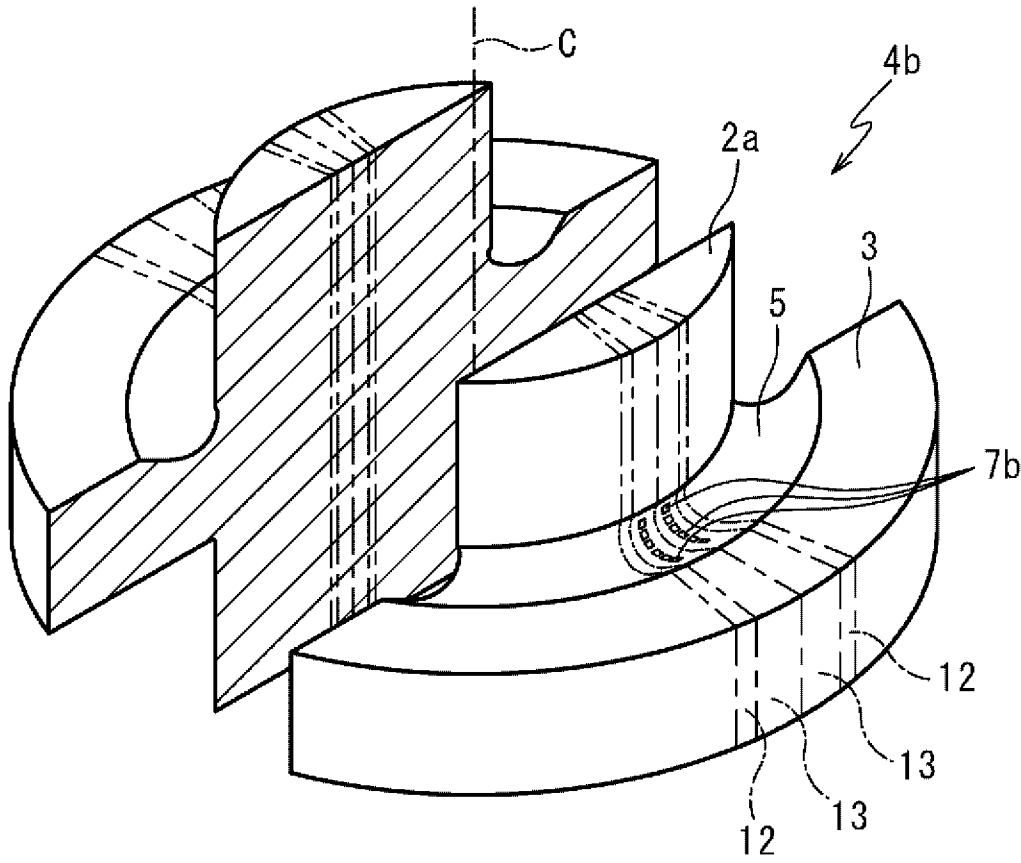
[図10]



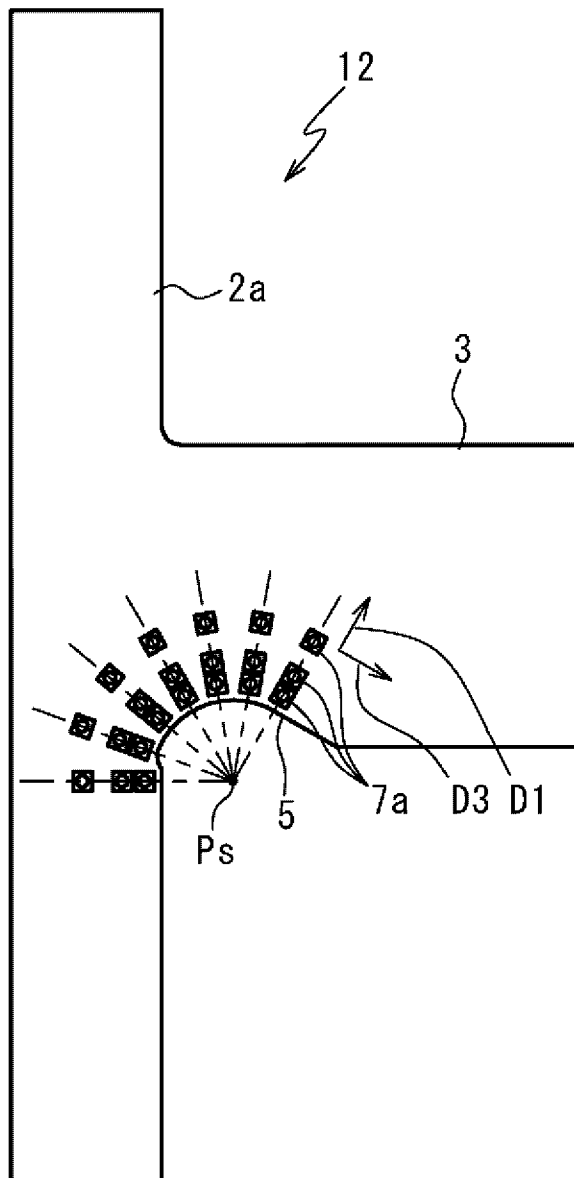
[図11]



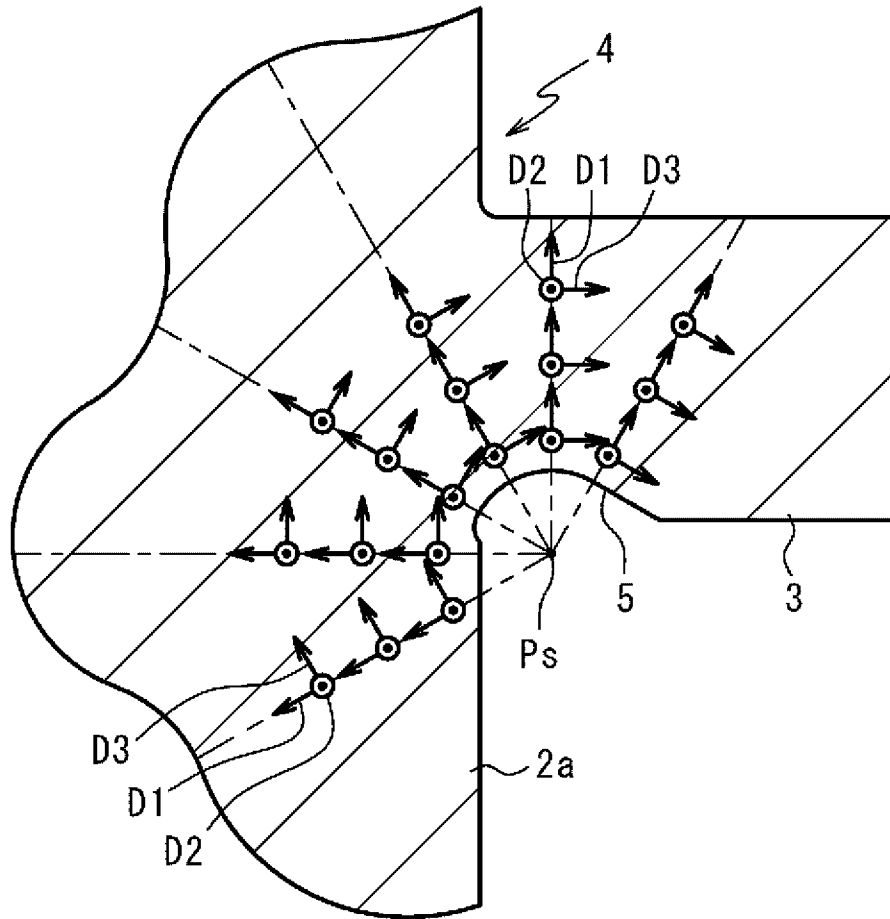
[図12]



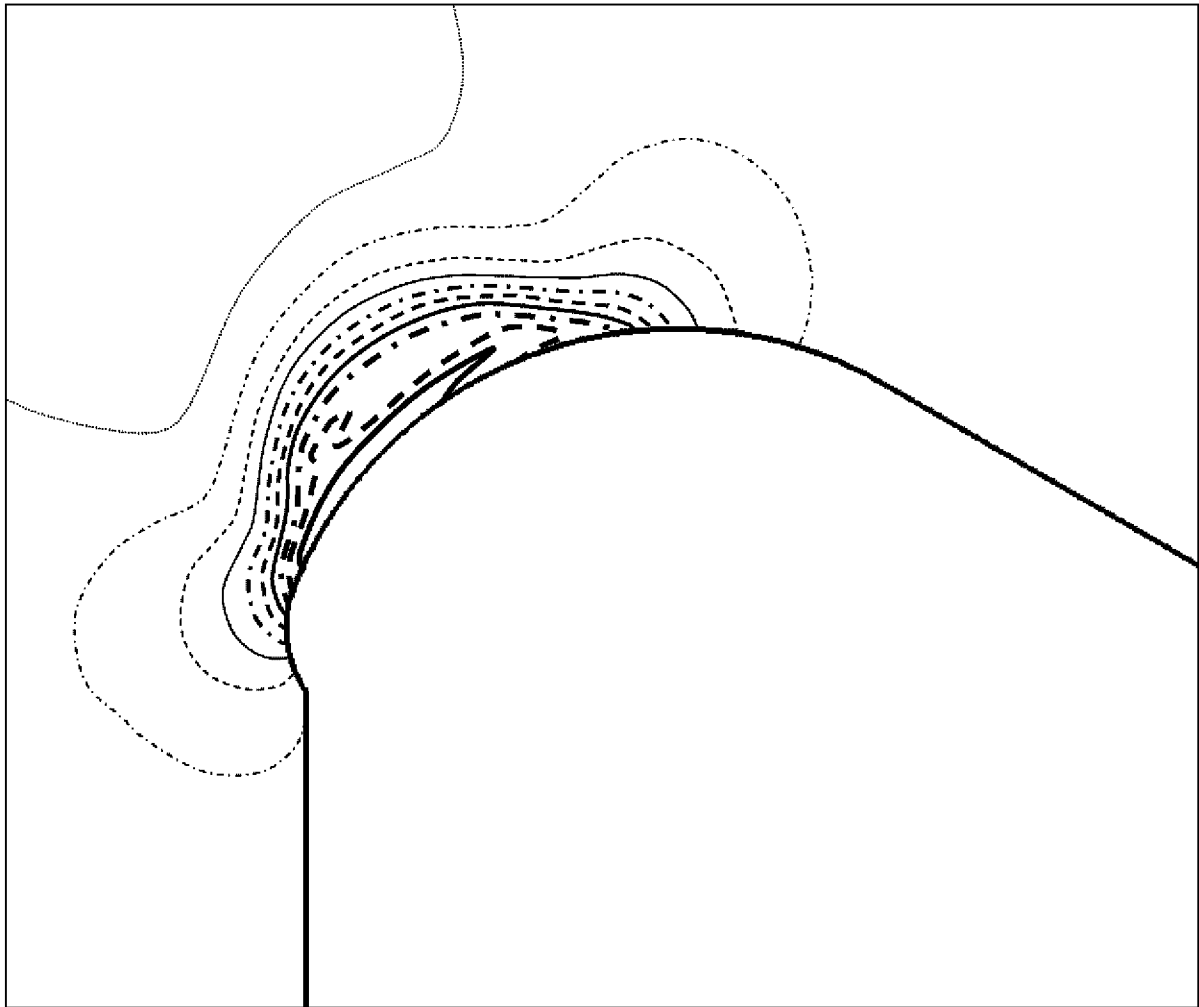
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/079458

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01L1/00(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)
G01L1/00-1/26

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 2009-48361 A (IHI Corp.), 05 March 2009 (05.03.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 2009-216514 A (Toshiba Corp.), 24 September 2009 (24.09.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 2008-298507 A (Toshiba Corp.), 11 December 2008 (11.12.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-13

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 24 December 2014 (24.12.14)	Date of mailing of the international search report 13 January 2015 (13.01.15)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/079458

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 2006-284199 A (Toshiba Corp.), 19 October 2006 (19.10.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 2005-181172 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 07 July 2005 (07.07.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01L1/00(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. G01L1/00-1/26		
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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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
A	JP 2009-48361 A (株式会社 I H I) 2009.03.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2009-216514 A (株式会社東芝) 2009.09.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2008-298507 A (株式会社東芝) 2008.12.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
<input checked="" 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 24.12.2014	国際調査報告の発送日 13.01.2015	
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) 岡田 卓弥 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F 9206

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 2006-284199 A (株式会社東芝) 2006.10.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2005-181172 A (三菱重工業株式会社) 2005.07.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13