

WO 2016/136836 A1



(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, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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：歪検出用構造体

技術分野

[0001] 本発明は、歪検出用構造体に関し、例えば金属製のフレームや、圧力容器、コンクリート構造物、鉄筋コンクリート構造物等の歪検出用に好適な歪検出用構造体に関する。なお、「歪」及び「歪み」という場合は、現象としての歪みと物理量としての歪量とを含み、明らかに歪量を示す場合は、「歪量」と記す。

背景技術

[0002] 従来、建築物や構造物の機械的歪みや変位を測定する変位検出装置として、特開2000-065508号公報記載の変位検出装置があり、また、構造物の疲労損傷を評価する装置として、特開2002-014014号公報記載の構造物の疲労損傷評価装置がある。一般的にこのような建築物や構造物はその主たる応力を鋼材で構成された構造体で支えるように建設される。

[0003] 主として建築に用いられる鋼材としては軟鋼（SS400等）が有り、その引張強度426MPaに対して、長期間の静荷重では安全率3（140MPa）、片振りの繰返し荷重では安全率5（85MPa）で設計される。また、軟鋼の降伏点（耐力）は245MPaとされている。

[0004] 軟鋼のヤング率が約200GPaであることからそれぞれの応力での弾性変形歪量は0.07%、0.04%、0.12%となり、このような歪量が発生したことを定量的に検出できると構造物の損傷程度を評価する上で有効となる。しかしながら、その歪量は微小であるため、検出するためには以下に記述するような高度で複雑な計測装置が必要であった。

[0005] 特開2000-065508号公報記載の変位検出装置は、建築物や構造物等の構造部材に取り付けられ、構造部材に発生する歪みや変位量を変倍するテコ機構と、該テコ機構により拡大もしくは縮小された変位量を検出する変位検出器とで構成される。

[0006] 特開 2002-014014 号公報記載の疲労損傷評価装置は、評価対象構造物の変形量を検出する変形量検出手段と、該変形量検出手段によって検出された変形量に応じた評価対象構造物の疲労損傷率を検出する疲労損傷率検出手段と、該疲労損傷率検出手段によって検出された疲労損傷率を積算する疲労損傷率積算手段とを具備する。

発明の概要

[0007] 特開 2000-065508 号公報記載の変位検出装置の変位検出器が必要であり、この変位検出器として、マイクロスイッチ等のスイッチ類を使用することから、電源や各種センサへの配線が必要であり、検出作業等が面倒である。

[0008] 特開 2002-014014 号公報記載の疲労損傷評価装置の変形量検出手段は、機械的構造で済むことから、電源や配線は必要ないが、第 1 固定板、第 2 固定板、可動棒及び回転軸で構成することから、構造が複雑である。

[0009] 本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、高度で複雑で、且つ、高価な電源や電気配線を必要とせず、構造物に生じた歪を安価な装置や目視（双眼鏡等を使用しての目視を含む）で確認することができる歪検出用構造体を提供することを目的とする。

[0010] さらに、長期間にわたって使用される構造物に、台風や地震等の自然災害によって予期せざる負荷が発生したときに、当該期間中に於いて許容応力を超えるような歪量の発生の履歴の有無を容易に検出することを目的とする。

[0011] [1] 本発明に係る歪検出用構造体は、塑性変形することなく弾性変形する材料からなり、歪みを検出する対象物（検査対象物）に取り付けられることにより、所定の歪み以上の弾性変形で破壊することを特徴とする。

[0012] 塑性変形すること無しに所定の歪み以上の弾性変形で破壊する材料としては、セラミックスやガラス材料があるが、ガラス材料の場合、雰囲気中の水分の影響で微小なクラックが進展して強度劣化が起こることがあるので、長期間にわたって歪量検出を行うためには、耐久性に優れたセラミックス材料が望ましい。ここで用いられるセラミックスは、検査対象物の許容応力に相当

する歪量と同等以上の歪量で破壊することが好ましい。すなわち、歪検出用構造体の強度（ σ : MPa）とヤング率（ E : GPa）の比率（ σ/E ）が 0.04%以上であることが好ましい。さらに好ましくは 0.1%以上であり、特に好ましくは 0.3%以上である。

[0013] さらに、検査対象物が一定の温度条件で使用される場合は、歪検出用構造体の熱膨張係数は特に配慮する必要は無いが、屋外に設置された建物や構造体では測定期間中に気温の変化に伴う温度変化が起こる。このような場合は、温度変化の影響を無くするために、検査対象建築物を構成する構造体との熱膨張係数の差が $\pm 2 \text{ ppm/K}$ 以下、さらに好ましくは $\pm 1 \text{ ppm/K}$ 以下であることが望ましい。このようなセラミックス材料を選定することにより、温度変化の影響無しに屋外に設置された構造物の長期間にわたる歪量を検出することが可能となる。例えば検査対象物が鋼材や鉄筋コンクリートである場合には、熱膨張係数が同等のジルコニアやフォステライト等を選定すれば、温度変化の影響無しに歪量の検出が可能になる。

[0014] [2] さらに、歪検出用構造体の本体に所定の歪み以上で破壊するように応力集中部を設けてもよい。これにより、検査対象物に負荷がかかって、例えば検査対象物に所定の歪みが生じると、歪検出用構造体の本体にも所定の歪みが生じ、応力集中部が選択的に破壊することになる。これにより、応力集中部が破壊されているかどうかを確認することで、検査対象物に所定の歪みが発生したかどうかを確認することができる。応力集中部の構造を工夫して応力集中のレベルを任意に設定すると、歪量の検出レベルの異なる歪検出セラミックスが作製可能となる。このような歪量の検出レベルの異なる歪検出セラミックスを複数設置することにより、検査対象物に生じた任意の歪量を、すなわち、応力を検出することが可能になる。さらにこの確認は、応力集中部における破損の有無を確認するだけでよいので肉眼でも簡単に行うことができる。従って、本発明の歪検出用構造体を用いることで、高価で複雑な電源や電気配線を必要とせず、長期間にわたって検査対象物に生じた歪みを事後であっても、目視（双眼鏡等を使用しての目視を含む）や簡易的な電

気信号の有無等で安価に簡単に検出確認することができる。

[0015] 本発明において、先ず、強度とヤング率の比率 (σ/E) の異なる材料を選定することにより任意の歪量で破損する歪検出セラミックスを作製することができる。塑性変形を起こさないセラミックスでは所定の応力下の歪量 (ε) は次式で示される。

$$\varepsilon = \sigma / E \cdots \cdots (1)$$

[0016] 強度 σ がセラミックスの強度に達したときに破損が起き、そのときの歪量 (ε) は (1) 式で示される。後述する表 1 に各種材料の σ/E の値を示すが、その値は各セラミックスやガラス材料が破損するときの歪量を示している。例えば応力集中部のないアルミナ A からなる歪検出セラミックスは 0.14% の歪量で破損する。同様に窒化珪素 A 又はマイカからなる歪検出セラミックスは 0.20% の歪量で破損する。

[0017] [3] さらに、任意の歪量で破損するように応力集中部を設けた場合を以下に説明する。前記本体全体の一方向の寸法を L_m 、前記応力集中部の前記一方向の寸法を L_c としたとき、 $L_c < L_m$ であり、前記応力集中部は、前記一方向についての薄肉部分で構成されていてもよい。これにより、応力集中部の一方向の寸法 L_c を適宜変更することによって、所定の歪みで本体を破壊することができる。例えばジルコニア B に所定の応力集中部を設けることにより、0.56% 以下の任意の変位で破損する歪検出セラミックスを設計することが可能になる。

[0018] [4] この場合、前記一方向は、前記本体の長手方向と直交し、且つ、厚さ方向と直交する方向であってもよい。

[0019] [5] 本発明において、前記本体は、前記応力集中部の一次破壊によって誘起される二次破壊によって、前記所定の歪みが生じたことを可視化する構造（可視化構造）を有することが好ましい。これにより、可視化構造の状態を目視にて確認することで、本体に所定の歪みが生じたかどうかを簡単に確認することができる。

[0020] [6] この場合、前記可視化構造は、前記二次破壊によって前記本体の一

部を脱落させる薄肉部位を有してもよい。これにより、本体に歪みが生じて、応力集中部が破壊（一次破壊）すると、その破壊を起点として、薄肉部位の破壊（二次破壊）が誘起され、本体の一部が脱落することになる。これにより、本体の一部が脱落しているかどうかを確認することで、検査対象物に所定の歪みが発生したかどうかを確認することができる。この確認は、肉眼で簡単に行うことができる。

[0021] [7] この場合、前記本体の長さ L_a が 10 mm 以上 300 mm 以下、幅 L_m が 5 mm 以上 100 mm 以下、前記本体の中央部の厚さ t_a が 0.3 mm 以上 3 mm 以下、前記本体の各両端部の厚さ t_{ae} が 1 mm 以上 10 mm 以下で、前記中央部の厚さ t_a より厚く、前記薄肉部位の厚さ t_b が 0.01 mm 以上 0.5 mm 以下で、前記中央部の厚さ t_a より薄いことが好ましい。

[0022] [8] さらに、前記薄肉部位が枠状に設けられ、前記本体の一部は、前記薄肉部位で囲まれた部分であってもよい。これにより、本体に歪みが生じて、応力集中部が破壊（一次破壊）すると、その破壊を起点として、薄肉部位に亀裂が生じる。亀裂は、本体の一部の存在によって薄肉部位に沿って枠状に拡大し、薄肉部位の破壊（二次破壊）が誘起される。

[0023] [9] また、前記薄肉部位に少なくとも 1 つの貫通孔が形成されていてもよい。この場合、応力集中部が破壊（一次破壊）して、薄肉部位に亀裂が生じると、貫通孔の存在により、亀裂の進展が早まり、早期に、且つ、確実に本体の一部を脱落させることができる。

[0024] [10] [5] ～ [9] において、前記可視化構造は、前記二次破壊によって露出する可視部材を有してもよい。これにより、本体の一部が脱落することで、可視部材が露出することから、観測者が可視部材の露出を確認することで、本体に所定の歪みが発生したことを容易に知ることができる。

[0025] [11] [5] ～ [9] において、前記可視化構造は、前記二次破壊によって電気的特性が変化する導電性セラミックスを有してもよい。

[0026] [12] [2] ～ [4] において、前記本体に 1 つの貫通孔を有し、前記

貫通孔の湾曲部分が前記応力集中部の一部を構成していてもよい。

[0027] [13] この場合、前記貫通孔は矩形状であって、且つ、前記応力集中部の一部を構成する2つの頂部がそれぞれ湾曲形状となっていてよい。

[0028] [14] 本発明において、前記本体を構成するセラミックスがジルコニアを含むことが好ましい。

[0029] [15] 本発明において、前記所定の歪みは、対象物が弾性変形する範囲の歪みであることが好ましい。

[0030] [16] 本発明において、前記本体の両端部はそれぞれ肉厚に形成されて、前記本体の中央部と前記両端部との間にそれぞれ段差が形成されていてもよい。この場合、各前記段差と前記本体の中央部との境界部分を湾曲状に形成することで、境界部分での応力集中を緩和することができるため好ましい。

[0031] [17] この場合、前記境界部分は、 0.5 mm R 以上の湾曲状に形成されていることが好ましい。なお、 0.5 mm R は湾曲状の曲率半径を示す。

[0032] [18] [16] 又は [17] において、前記両端部の各肉厚部を利用して、前記本体が検査対象物に固定されることが好ましい。

[0033] [19] [18] において、前記両端部の各前記肉厚部が前記対象物に接着固定され、前記両端部における各前記肉厚部の前記本体の長さ方向に沿った長さを前記肉厚部の長さ L_{ae} 、前記肉厚部の前記本体の幅方向に沿った長さを前記肉厚部の幅 L_{me} としたとき、各前記肉厚部について、それぞれ前記肉厚部の長さ $L_{ae} \times$ 前記肉厚部の幅 L_{me} にて得られる各前記肉厚部の面積が互いに等しく、各前記肉厚部の前記面積は、前記対象物が所定の歪量に到達した時に当該歪検出用構造体に発生する荷重を支えるのに十分な面積を有することが好ましい。

[0034] [20] この場合、前記両端部の各前記肉厚部が前記対象物に接着固定する接着剤の引張りせん断接着強さを F (N/mm^2)、各前記肉厚部の面積を A (mm^2)、前記対象物が所定の歪量に到達した時に当該歪検出用構造体に発生する荷重を L としたとき、

$$A > L / F$$

であることが好ましい。

[0035] 本発明に係る歪検出用構造体によれば、高価で複雑な電源や電気配線を必要とせず、構造物に生じた歪を安価な装置や目視（双眼鏡等を使用しての目視を含む）で確認することができる。さらに、長期間にわたって使用される構造物に、台風や地震等の自然災害によって予期せざる負荷が発生したときに、当該期間中に於いて許容応力を超えるような歪量の発生の履歴の有無を容易に検出することができる。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]図1 Aは第1の実施の形態に係る歪検出用構造体（第1歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図1 Bは図1 AにおけるⅠ B－Ⅰ B線上の断面図であり、図1 Cは図1 AにおけるⅠ C－Ⅰ C線上の断面図である。

[図2]図2 Aは第2の実施の形態に係る歪検出用構造体（第2歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図2 Bは図2 AにおけるⅡ B－Ⅱ B線上の断面図であり、図2 Cは図2 AにおけるⅡ C－Ⅱ C線上の断面図である。

[図3]図3 Aは第3の実施の形態に係る歪検出用構造体（第3歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図3 Bは図3 AにおけるⅢ B－Ⅲ B線上の断面図であり、図3 Cは図3 AにおけるⅢ C－Ⅲ C線上の断面図である。

[図4]図4 Aは可視化構造を構成する薄肉部位の形成位置の一例を示す断面図であり、図4 Bは上記薄肉部位の形成位置の他の例を示す断面図である。

[図5]第3歪検出用構造体の本体と検査対象物（二点鎖線で示す）との間に可視部材を設置した例を示す断面図である。

[図6]図6 Aは第4の実施の形態に係る歪検出用構造体（第4歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図6 Bは図6 AにおけるⅤ B－Ⅴ B線上の断面図であり、図6 Cは図6 AにおけるⅤ C－Ⅴ C線上の断面

図である。

[図7]図7Aは第5の実施の形態に係る歪検出用構造体（第5歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図7Bは図7AにおけるV11B-V11B線上の断面図であり、図7Cは図7AにおけるV11C-V11C線上の断面図である。

[図8]図8Aは第6の実施の形態に係る歪検出用構造体（第6歪検出用構造体）を上面から見て示す平面図であり、図8Bは図8AにおけるV111B-V111B線上の断面図であり、図8Cは図8AにおけるV111C-V111C線上の断面図である。

[図9]図9Aは第2歪検出用構造体の他の例を上面から見て示す平面図であり、図9Bは図9Aにおける1XB-1XB線上の断面図であり、図9Cは図9Aにおける1XC-1XC線上の断面図である。

[図10]図10Aは第3歪検出用構造体の他の例を上面から見て示す平面図であり、図10Bは図10AにおけるXB-XB線上の断面図であり、図10Cは図10AにおけるXC-XC線上の断面図である。

[図11]図11Aは本体の両端部をそれぞれ肉厚に形成した第1の例を示す断面図であり、図11Bは第1の例を上面から見て示す平面図である。

[図12]図12Aは本体の両端部をそれぞれ肉厚に形成した第2の例を示す断面図であり、図12Bは第3の例を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0037] 以下、本発明に係る歪検出用構造体の実施の形態例を図1A～図12Bを参照しながら説明する。なお、本明細書において、数値範囲を示す「～」は、その前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む意味として使用される。

[0038] 先ず、第1の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第1歪検出用構造体10Aと記す）は、図1A～図1Cに示すように、歪みを検出する対象物（検査対象物：図示せず）に取り付けられるセラミックス製の本体12からなる。また、本体12の中央部12cを除く両端部18a及び18bは、検

査対象物に例えばボルト締めや、接着剤等を使用して取り付けられる取付部を構成する。

[0039] 第1歪検出用構造体10Aの強度 (σ : MPa) とヤング率 (E : GPa) の比率 (σ/E) は、0.04%以上であることが好ましい。さらに好ましくは0.1%以上であり、特に好ましくは0.3%以上である。また、検査対象建築物を構成する構造体との熱膨張係数の差は $\pm 2 \text{ ppm/K}$ 以下、さらに好ましくは $\pm 1 \text{ ppm/K}$ 以下であることが望ましい。

[0040] ここで、第1歪検出用構造体10Aについての実験例を示す。この実験例は、本体12のサイズを一定にし、材料を変えた場合の歪みの変化を確認した。すなわち、実施例1～24及び比較例1及び2について、本体12の長手方向に引張荷重をかけて、本体12が破壊したときの歪量（歪み）を確認した。全ての実施例1～24及び比較例1～2は、図1A～図1Cに示すように、いずれも本体12の一方向（y方向）の寸法、すなわち、幅 L_m （図1A参照）が20mmである。ここで、一方向とは、本体12の長手方向（x方向）と直交し、且つ、厚さ方向（z方向）と直交する方向である。また、いずれも本体12の厚さ t_a （図1B参照）は0.5mmである。結果を下記表1に示す。

[0041]

[表1]

	材料	強度 σ (MPa)	ヤング率 E (GPa)	破壊歪量 σ/E (%)	破壊歪量 実測値 (%)	熱膨張係数 α (ppm/K)
実施例1	アルミナA	380	280	0.14	0.12~0.15	8
実施例2	アルミナB	350	320	0.11	0.10~0.12	8
実施例3	アルミナC	300	400	0.08	0.07~0.09	8
実施例4	アルミナD	350	400	0.09	0.08~0.10	8
実施例5	ジルコニアA	700	200	0.35	0.31~0.39	10
実施例6	ジルコニアB	1,000	180	0.56	0.50~0.61	10
実施例7	窒化珪素A	600	300	0.20	0.18~0.22	3
実施例8	窒化珪素B	1,000	300	0.33	0.30~0.36	3
実施例9	窒化珪素C	1,200	320	0.38	0.34~0.41	3
実施例10	窒化アルミA	250	320	0.08	0.07~0.09	5
実施例11	窒化アルミB	350	320	0.11	0.10~0.12	5
実施例12	炭化珪素A	400	450	0.09	0.08~0.10	4
実施例13	炭化珪素B	600	450	0.13	0.12~0.14	4
実施例14	SiSiC A	250	340	0.07	0.07~0.08	2.4
実施例15	SiSiC B	150	340	0.04	0.03~0.05	2.4
実施例16	ムライト	280	210	0.13	0.12~0.15	5
実施例17	コーティエライトA	150	140	0.11	0.10~0.12	0
実施例18	コーティエライトB	240	137	0.18	0.16~0.19	0
実施例19	アルミニウムチタネイト	40	6	0.67	0.60~0.73	1
実施例20	ステアタイト	200	130	0.15	0.14~0.17	9
実施例21	フォルステライト	200	150	0.13	0.12~0.15	10
実施例22	チタニア	300	260	0.12	0.10~0.13	12
実施例23	マイカ	100	50	0.20	0.18~0.22	11.7
実施例24	LTCC	240	125	0.19	0.17~0.21	6.3
比較例1	石英ガラス	48	72	0.07	計測不能	0.6
比較例2	ソーダガラス	150	71	0.21	計測不能	9

[0042] 次に、第2の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第2歪検出用構造体10Bと記す）は、図2A～図2Cに示すように、歪みを検出する対象物（検査対象物：図示せず）に取り付けられるセラミックス製の本体12と、該本体12に形成され、所定の歪み以上で破壊する応力集中部14とを有する。なお、本体12の検査対象物への取り付けは、既知の方法で取り付けることが可能で、例えばボルト締めや、接着剤等を使用して取り付けることが

可能である。

[0043] 本体 12 の形状は、任意の形状を採用できるが、検査対象物の取付面が平面状であれば、例えば図 2 A ～図 2 C に示すように、平板状（代表的には直方体状）であってもよい。この場合、稜線部分に面取り（C 面や R 面）がされていてもよい。以下、本体 12 が平板状である場合を主体に説明を行う。

[0044] 第 2 歪検出用構造体 10 B は、本体 12 の中央に、平面（上面）から見て円形状の貫通孔 16 を有する。従って、応力集中部 14 は、本体 12 のうち、貫通孔 16 によって薄肉となっている部分である。すなわち、本体 12 全体の一方向（y 方向）の寸法、すなわち、幅を L_m （図 2 A 参照）、応力集中部 14 の一方向の寸法を L_c （図 2 C 参照）としたとき、 $L_c < L_m$ である。つまり、応力集中部 14 は、一方向についての薄肉部分で構成されている。

[0045] なお、貫通孔 16 を上面から見た形状は、円形状のほか、楕円形状、トラック形状、矩形状等を採用することができる。また、本体 12 の両端部 18 a 及び 18 b は、検査対象物に例えばボルト締めや、接着剤等を使用して取り付けられる取付部を構成する。

[0046] 所定の歪みは、検査対象物が許容応力を超えて変形したかどうかを判断する範囲の歪みであり、例えば 0.1 % や 0.2 % 等が選択される。この場合、検査対象物としては、例えば圧力容器、金属製のフレーム（重機のフレーム、プレス機のフレーム、静水圧をかける装置のフレーム等）や、電柱、鉄塔、コンクリート構造物、鉄筋コンクリート構造物等が含まれる。もっとも、応力歪線図で降伏点が明確に現れる検査対象物であれば、降伏点を挟んだ前後の範囲で歪量を選択可能である。降伏点が明確に現れない検査対象物であれば、0.2 % 耐力相当の応力発生時の歪量を挟んだ前後の範囲で歪量を選択可能である。

[0047] 所定の歪みとして、降伏点未満の検査対象物の弾性変形する範囲の歪みを選択する理由の 1 つは以下の通りである。すなわち、通常、構造物に弾性変形する範囲の歪みが生じて、元に戻ることから、歪みが生じていたかどうか

か、すなわち、負荷がかかっていたかどうか分かりにくい。そこで、例えば定期的に、第2歪検出用構造体10Bにおける応力集中部14の破壊を確認し、破壊していれば、新しい第2歪検出用構造体10Bに取り換えるという作業を繰り返すことで、0.1%程度の歪みが何回発生したかを知ることができ、検査対象物の老朽化の分析に役立てることができる。もちろん、検査する周期を短くすることで、0.1%程度の歪みが発生した回数をより正確に知ることができる。

[0048] 本体12を構成するセラミックスとしては、ジルコニアを含むことが好ましい。破壊時の歪みが0.56%であり、応力集中部14を設けることにより、検査対象物が弾性変形する範囲の歪み、例えば0.1%や0.2%等で本体12を破壊させることができる。しかも、ジルコニアは、熱膨張係数が炭素鋼（軟鋼材）や鉄筋コンクリートの熱膨張係数とほぼ同じであることから、温度変化分を補償することができる。これは、温度変化に影響されることなく、歪みを検出できることにつながり、検出精度の向上を図る上でも有利である。

[0049] 本体12の大きさは、破断の視認性と所望の形状のセラミックス部材が製作可能な大きさから限定される。すなわち、歪検出セラミックスに破断が生じたかどうかを目視等のような簡易的な方法で確認するためには、遠方からの視認性等の観点から本体12の幅 L_m は5mm以上で、本体12の長さ L_a は10mm以上であることが望ましい。一方、セラミックスにて構成されたセラミックス部材の製造プロセスは、セラミック粉体を成形し、その後、焼成によって製造する。この場合、成形体の強度が小さく、焼成時には数10%の大きな焼成収縮を伴うことから、変形が小さく設計通りの寸法の本体12を製造するためには、大きなサイズとすることには自ずと制約がある。すなわち、本体12の幅 L_m は100mm以下で、本体12の長さ L_a は300mm以下であることが望ましい。さらに、本体12の厚さ t_a に関しては、厚さ t_a の厚い方が製作が容易になる傾向にあるが、歪検出の際に発生する荷重が増大して、検査対象物への固定方法が難しくなる。このため、本体

12の厚さ t_a は3mm以下であることが望ましい。また、厚さ t_a が薄すぎると成形や焼成時に割れや変形が起こるため、0.3mm以上の厚さ t_a が好ましい。

[0050] [第1実験例]

ここで、第2歪検出用構造体10Bの第1実験例を示す。セラミックスとしてジルコニアB（上記表1参照）を使用した。この実験例は、本体12のサイズ並びに貫通孔16の径 D_a を変えた場合の歪みの変化、破断の視認性の可否並びに製作の可否を確認した。歪みについては、本体12の長手方向に引張荷重をかけて、本体12が破壊したときの歪みを確認した。

[0051] (サンプル1～7)

サンプル1～7は、図2A～図2Cに示すように、いずれも本体12の長さ L_a が100mm、幅 L_m （本体12の一方向の長さ）が30mm、本体12の厚さ t_a （図2B参照）が1mmである。貫通孔16の径 D_a は、サンプル1が4mm、サンプル2が8mm、サンプル3が9mm、サンプル4が11mm、サンプル5が15mm、サンプル6が19mm、サンプル7が26mmである。両端部18a及び18bの各長さ、すなわち、本体12の長さ方向に沿った長さ L_{ae} はそれぞれ20mmである。サンプル1～7は、この両端部18a及び18bを利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0052] (サンプル8)

サンプル8は、本体12の幅 L_m が5mm、長さ L_a が10mm、厚さ t_a が0.3mmである。貫通孔16の径 D_a は0.67mmである。両端部18a及び18bの各長さ L_{ae} はそれぞれ2.5mmである。サンプル8は、この両端部18a及び18bを利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0053] (サンプル9)

サンプル9は、本体12の幅 L_m が100mm、長さ L_a が300mm、厚さ t_a が3mmである。貫通孔16の径 D_a は87mmである。両端部1

8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} はそれぞれ 5 0 mm である。サンプル 9 は、この両端部 1 8 a 及び 1 8 b を利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0054] (比較例 3)

比較例 3 は、本体 1 2 の幅 L_m が 1 0 0 mm、長さ L_a が 3 0 0 mm、厚さ t_a が 0. 2 mm である。貫通孔 1 6 の径 D_a は 6 3 mm である。両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} はそれぞれ 5 0 mm である。比較例 3 は、この両端部 1 8 a 及び 1 8 b を利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0055] (比較例 4)

比較例 4 は、本体 1 2 の幅 L_m が 3 mm、長さ L_a が 7 mm、厚さ t_a が 0. 3 mm である。貫通孔 1 6 の径 D_a は 1. 9 mm である。両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} はそれぞれ 2 mm である。比較例 4 は、この両端部 1 8 a 及び 1 8 b を利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0056] (比較例 5)

比較例 5 は、本体 1 2 の幅 L_m が 1 2 0 mm、長さ L_a が 3 5 0 mm、厚さ t_a が 1 mm である。貫通孔 1 6 の径 D_a は 7 6 mm である。両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} はそれぞれ 5 0 mm である。比較例 5 は、この両端部 1 8 a 及び 1 8 b を利用して歪を検出する対象物に固定された。

[0057] <評価結果>

サンプル 1 ～ 9、並びに比較例 3 ～ 5 の評価結果を内訳と共に下記表 2 に示す。なお、表 2 において、両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} を「端部長」と表記した。

[0058]

[表2]

	本体寸法				貫通孔	破壊時の 歪み (%)	破断の 視認性	製作可否
	長さLa (mm)	端部長 Lae (mm)	幅Lm (mm)	厚さta (mm)	径Da (mm)			
サンプル1	100	20	30	1	4	0.179	○	可
サンプル2	100	20	30	1	8	0.166	○	可
サンプル3	100	20	30	1	9	0.161	○	可
サンプル4	100	20	30	1	11	0.151	○	可
サンプル5	100	20	30	1	15	0.126	○	可
サンプル6	100	20	30	1	19	0.096	○	可
サンプル7	100	20	30	1	26	0.04	○	可
サンプル8	10	2.5	5	0.3	0.67	0.179	○	可
サンプル9	300	50	100	3	87	0.04	○	可
比較例3	300	50	100	0.2	63	クラックのため評価 できず		不可
比較例4	7	2	3	0.3	1.9	0.1	困難	可
比較例5	350	50	120	1	76	変形大のため評価 できず		不可

[0059] 表2から、サンプル1～9は、破断の視認性が良好で、製作も可能であることがわかる。一方、比較例3は、製造過程でクラックが発生しており、破壊時の歪も視認性も評価できなかった。比較例4は、製造は可能であったが、サイズが小さいため、破断の視認性が悪く、破断を目視にて認識することが困難であった。比較例5は、製造過程での変形が大きく、製作不可で破壊時の歪並びに視認性を評価することができなかった。

[0060] [第2実験例]

第2実験例は、第2歪検出用構造体10Bの長さLa（端部18aの一端から端部18bの一端までの距離）を100mm、幅Lmを30mm、厚さtaを0.5mmとした場合に、貫通孔16の径Daを変化させたときの歪みの変化を確認した。両端部18a及び18bの各長さLaeはそれぞれ20mmである。すなわち、下記表3に示すサンプル11～13について、両端部18a及び18bを利用して歪を検出する対象物に固定し、本体12の長手方向に引張荷重をかけて、本体12が破壊したときの歪みを確認した。貫通孔16の径Daは、サンプル11が4mm、サンプル12が11mm、

サンプル 13 が 19 mm である。結果を下記表 3 に示す。なお、表 3 において、両端部 18 a 及び 18 b の各長さ L_{ae} を「端部長」と表記した。

[0061] [表3]

	本体寸法				貫通孔	破壊時の 歪み (%)
	長さ L_a (mm)	端部長 L_{ae} (mm)	幅 L_m (mm)	厚さ t_a (mm)	径 D_a (mm)	
サンプル11	100	20	30	0.5	4	0.184
サンプル12	100	20	30	0.5	11	0.172
サンプル13	100	20	30	0.5	19	0.142

[0062] 表 3 から、貫通孔 16 の径 D_a を変化させることで、所定の歪みで本体 12 を破壊することができることがわかる。これは第 1 実験例のサンプル 1 ～ 7 の結果（表 2 参照）からも明らかである。すなわち、応力集中部 14 の一方向の寸法 L_c を適宜変更することによって、所定の歪みで本体 12 を破壊することができる。

[0063] このように、第 2 歪検出用構造体 10 B においては、検査対象物に負荷がかかって、例えば検査対象物に所定の歪みが生じると、第 2 歪検出用構造体 10 B の本体 12 にも所定の歪みが生じ、応力集中部 14 が破壊することになる。例えば応力集中部 14 に亀裂が入ったり、破断することとなる。これにより、応力集中部 14 が破壊されているかどうかを確認することで、検査対象物に所定の歪みが発生したかどうかを確認することができる。この確認は、肉眼で簡単に行うことができる。

[0064] 従って、第 2 歪検出用構造体 10 B を用いることで、電源や電気配線を必要とせず、検査対象物に生じた歪みを安価で、目視（双眼鏡等を使用しての目視を含む）で確認することができる。

[0065] 次に、第 3 の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第 3 歪検出用構造体 10 C と記す）について図 3 A ～ 図 3 C を参照しながら説明する。

[0066] 第 3 歪検出用構造体 10 C は、図 3 A ～ 図 3 C に示すように、上述した第 2 歪検出用構造体 10 B とほぼ同様の構成を有するが、応力集中部 14 の破

壊（一次破壊）によって誘起される二次破壊によって、所定の歪みが生じたことを可視化する構造（以下、可視化構造 20 と記す）を有する点で異なる。

[0067] 可視化構造 20 は、本体 12 の中央に一体に形成された、本体 12 の厚さよりも薄い円盤状の薄肉部位 22 を有する。すなわち、第 2 歪検出用構造体 10B の貫通孔 16（図 2A 参照）が薄肉部位 22 で閉塞された構造を有する。

[0068] このため、本体 12 に歪みが生じて、応力集中部 14 が破壊（一次破壊）すると、その破壊を起点として、薄肉部位 22 の破壊（二次破壊）が誘起され、該薄肉部位 22 の全部又は一部が脱落することになる。これにより、薄肉部位 22 の全部又は一部が脱落しているかどうかを確認することで、検査対象物に所定の歪みが発生したかどうかを確認することができる。この確認は、肉眼で簡単に行うことができる。

[0069] 薄肉部位 22 の形成位置は、図 3B、図 4A 及び図 4B に示す位置が挙げられる。

[0070] (a) 図 3B に示すように、薄肉部位 22 の一方の主面 22a が本体 12 の一主面 12a と同一となるように形成する。

[0071] (b) 図 4A に示すように、薄肉部位 22 の他方の主面 22b が本体 12 の他主面 12b と同一となるように形成する。

[0072] (c) 図 4B に示すように、薄肉部位 22 を本体 12 の厚さ方向中央に形成する。

[0073] もちろん、(a) で示す位置と (b) で示す位置の間でもよいし、(b) で示す位置と (c) で示す位置の間でもよい。薄肉部位 22 の肉厚 t_b （図 3B 参照）は、本体 12 の応力集中が緩和されないような肉厚以下であることが望ましいが、余りに薄すぎると、成形・焼成等のセラミック製造プロセスで変形や割れが生じるおそれがある。このため、薄肉部位 22 の肉厚 t_b は、0.01 mm 以上 0.5 mm 以下であることが望ましい。

[0074] また、図 5 に示すように、本体 12 と検査対象物（二点鎖線で示す）との

間であって、少なくとも薄肉部位 22 と対向する部分に、可視部材 24 を接着剤等で設置しておくことも好ましく採用することができる。この場合、二次破壊した薄肉部位 22 の全部又は一部が脱落することで、可視部材 24 が露出することから、観測者が可視部材 24 の露出を確認することで、本体 12 に所定の歪みが発生したことを容易に知ることができる。

[0075] 可視部材 24 としては、Al（アルミニウム）等の金属膜や、蛍光塗料や、着色剤等が挙げられる。可視部材 24 は、検査対象物に接着剤等を介して取り付けてもよいし、第 3 歪検出用構造体 10C のうち、検査対象物と対向する部分に接着剤等を介して取り付けてもよい。

[0076] 次に、第 4 の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第 4 歪検出用構造体 10D と記す）について図 6A～図 6C を参照しながら説明する。

[0077] 第 4 歪検出用構造体 10D は、図 6A～図 6C に示すように、上述した第 3 歪検出用構造体 10C とほぼ同様の構成を有するが、可視化構造 20 を構成する薄肉部位 22 が棒状に設けられている点で異なる。棒状の薄肉部位 22 にて囲まれた部位は、薄肉部位 22 よりも厚さが厚く、錘り 26 として機能することとなる。錘りとして機能する部位（以下、錘り部位 26 と記す）の厚さは、薄肉部位 22 よりも厚く、本体 12 の厚さ以下が好ましい。

[0078] このため、本体 12 に歪みが生じて、応力集中部 14 が破壊（一次破壊）すると、その破壊を起点として、薄肉部位 22 に亀裂が生じる。亀裂は、錘り部位 26 の存在によって薄肉部位 22 に沿って棒状に拡大し、薄肉部位 22 の破壊（二次破壊）が誘起される。薄肉部位 22 が破壊することによって、錘り部位 26 が本体 12 から脱落することになる。これにより、錘り部位 26 が脱落しているかどうかを確認することで、検査対象物に所定の歪みが発生したかどうかを確認することができる。この確認は、肉眼で簡単に行うことができる。

[0079] この場合も、本体 12 と検査対象物との間であって、少なくとも錘り部位 26 と対向する部分に、可視部材 24（図 5 参照）を接着剤等で設置しておくことが好ましい。これにより、薄肉部位 22 の二次破壊によって錘り部位

26が脱落することで、可視部材24が露出することから、観測者が可視部材24の露出を確認することで、本体12に所定の歪みが発生したことを容易に知ることができる。

[0080] 次に、第5の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第5歪検出用構造体10Eと記す）について図7A～図7Cを参照しながら説明する。

[0081] 第5歪検出用構造体10Eは、図7A～図7Cに示すように、上述した第4歪検出用構造体10Dとほぼ同様の構成を有するが、枠状に設けられた薄肉部位22に少なくとも1つの小径の貫通孔28が形成されている点で異なる。図7Aの例では、複数の貫通孔28を薄肉部位22に沿って等間隔に形成した場合を示す。もちろん、等間隔でなくてもよいし、径の大きさも全て同じでもよいし、異なってもよい。

[0082] この場合、応力集中部14が破壊（一次破壊）して、薄肉部位22に亀裂が生じると、複数の貫通孔28の存在により、亀裂の進展が早まり、早期に、且つ、確実に錘り部位26を本体12から脱落させることができる。

[0083] 次に、第6の実施の形態に係る歪検出用構造体（以下、第6歪検出用構造体10Fと記す）について図8A～図8Cを参照しながら説明する。

[0084] 第6歪検出用構造体10Fは、図8A～図8Cに示すように、上述した第2歪検出用構造体10Bとほぼ同様の構成を有するが、貫通孔16の形状が以下の点で異なる。

[0085] すなわち、貫通孔16は、上から見た形状が円形状ではなく、矩形状であって、且つ、4つの頂部30a～30dのうち、応力集中部14の一部を構成する2つの頂部30a及び30bがそれぞれ湾曲形状となっている。他の2つの頂部30c及び30dは湾曲形状でもよいし、角が形成された状態でもよい。

[0086] この第6歪検出用構造体10Fにおいては、応力集中部14の一部を構成する2つの頂部30a及び30bの曲率半径を変更することで、応力集中部14の応力集中係数が変化することから、貫通孔16の大きさをほぼ一定にすることが可能となり、視認性を確保しながら所定の歪みで本体12を破壊

することができる。

[0087] なお、第6歪検出用構造体10Fにおける上記形状、すなわち、上から見た形状が矩形状であって、且つ、4つの頂部30a～30dのうち、応力集中部14の一部を構成する2つの頂部30a及び30bがそれぞれ湾曲形状となっている形状を、上述した第3歪検出用構造体10C～第5歪検出用構造体10Eの可視化構造20にも適用してもよい。

[0088] 上述した図2A～図2C並びに図3A～図3Cでは、第2歪検出用構造体10Bの貫通孔16並びに第3歪検出用構造体10Cの可視化構造20の形状、特に、上から見た形状を円形状としたが、その他、上述したように、楕円形状としてもよい。

[0089] この場合、第2歪検出用構造体10Bについては、図9A～図9Cに示すように、貫通孔16のx方向の径（x方向の軸） D_{ax} とy方向の径（y方向の軸） D_{ay} との比率（ D_{ax}/D_{ay} ）を1よりも小さく、あるいは1よりも大きくする。図9Aの例では、比率（ D_{ax}/D_{ay} ）を1よりも小さくした例を示す。

[0090] 同様に、第3歪検出用構造体10Cについても、図10A～図10Cに示すように、可視化構造20のx方向の径 D_{ax} とy方向の径 D_{ay} との比率（ D_{ax}/D_{ay} ）を1よりも小さく、あるいは1よりも大きくする。

[0091] ここで、第2歪検出用構造体10B及び第3歪検出用構造体10Cに関する実験例（第3実験例及び第4実験例）について説明する。セラミックスとしてジルコニアB（上記表1参照）を使用した。

[0092] [第3実験例]

第3実験例は、図9A～図9Cに示す第2歪検出用構造体10Bの長さ L_a を50mm、幅 L_m を30mm、厚さ t_a を0.5mm、貫通孔16のy方向の径 D_{ay} を19mmとした場合に、貫通孔16のx方向の径 D_{ax} を変化させたときの歪みの変化を確認した。両端部18a及び18bの長さ L_{ae} はそれぞれ10mmである。すなわち、下記表4に示すサンプル21～23について、両端部18a及び18bを利用して歪を検出する対象物に固

定し、本体 1 2 の長手方向に引張荷重をかけて、本体 1 2 が破壊したときの歪みを確認した。貫通孔 1 6 の x 方向の径 D_{ax} は、サンプル 2 1 が 19 mm、サンプル 2 2 が 9.5 mm、サンプル 2 3 が 2.85 mm である。結果を下記表 4 に示す。なお、表 4 において、両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} を「端部長」と表記した。

[0093] [表4]

	本体寸法				貫通孔		破壊時の 歪み (%)
	長さ L_a (mm)	端部長 L_{ae} (mm)	幅 L_m (mm)	厚さ t_a (mm)	径 D_{ay} (mm)	径 D_{ax} (mm)	
サンプル 21	50	10	30	0.5	19	19	0.188
サンプル 22	50	10	30	0.5	19	9.5	0.119
サンプル 23	50	10	30	0.5	19	2.85	0.048

[0094] [第 4 実験例]

第 4 実験例は、図 10 A ~ 図 10 C に示す第 3 歪検出用構造体 10 C の長さ L_a を 50 mm、幅 L_m を 30 mm、本体 1 2 の厚さ t_a を 0.5 mm、可視化構造 20 の薄肉部位 22 の厚さ t_b を 0.1 mm、可視化構造 20 の y 方向の径 D_{ay} を 19 mm とした場合に、可視化構造 20 の x 方向の径 D_{ax} を変化させたときの歪みの変化を確認した。両端部 1 8 a 及び 1 8 b の長さ L_{ae} はそれぞれ 10 mm である。すなわち、下記表 5 に示すサンプル 3 1 ~ 3 3 について、両端部 1 8 a 及び 1 8 b を利用して歪を検出する対象物に固定し、本体 1 2 の長手方向に引張荷重をかけて、本体 1 2 が破壊したときの歪みを確認した。可視化構造 20 の x 方向の径 D_{ax} は、サンプル 3 1 が 19 mm、サンプル 3 2 が 9.5 mm、サンプル 3 3 が 2.85 mm である。結果を下記表 5 に示す。なお、表 5 において、両端部 1 8 a 及び 1 8 b の各長さ L_{ae} を「端部長」と表記した。

[0095]

[表5]

	本体寸法				可視化構造			破壊時の 歪み (%)
					薄肉部位	径Day (mm)	径Dax (mm)	
	長さLa (mm)	端部長 Lae (mm)	幅Lm (mm)	厚さta (mm)	厚さtb (mm)			
サンプル31	50	10	30	0.5	0.1	19	19	0.204
サンプル32	50	10	30	0.5	0.1	19	9.5	0.123
サンプル33	50	10	30	0.5	0.1	19	2.85	0.048

[0096] 表4及び表5から、貫通孔16及び可視化構造20の形状（上から見た形状）が楕円形状であっても、貫通孔16及び可視化構造20の径、例えばx方向の径Daxのみ、あるいはy方向の径Dayのみ、あるいはx方向の径Dax及びy方向の径Dayを変化させることで、所定の歪みで本体12を破壊することができることがわかる。すなわち、応力集中部14の一方向の寸法Lcを適宜変更することによって、所定の歪みで本体12を破壊することができる。

[0097] なお、上述の例に示すように、楕円形状の2つの径（軸）をそれぞれx方向とy方向に設定する必要がある。DaxとDayが等しい場合（円の場合）任意の方向に設定してもよい。

[0098] また、上述の楕円形状を、第4歪検出用構造体10D及び第5歪検出用構造体10Eの可視化構造20にも適用してもよい。

[0099] ところで、上述した第1歪検出用構造体10A～第6歪検出用構造体10Fの本体12は、両端部18a及び18bと、中央部12cとで構成されている。

[0100] 第1歪検出用構造体10Aでは、図1A～図1Cに示すように、両端部18a及び18bと本体12の中央部12cとがそれぞれ同じ厚さで、両端部18a及び18bの一主面32aと本体12の中央部12cの一主面12aとが面一で、且つ、両端部18a及び18bの他主面32bと本体12の中央部12cの他主面12bとが面一となっている。

[0101] 第2歪検出用構造体10Bや第3歪検出用構造体10C等では、本体12

の中央部 12c のうち、貫通孔 16 や可視化構造 20 を除く部分と、両端部 18a 及び 18b とがそれぞれ同じ厚さで、両端部 18a 及び 18b の一主面 32a と本体 12 の中央部 12c の一主面 12a とが面一で、且つ、両端部 18a 及び 18b の他主面 32b と本体 12 の中央部 12c の他主面 12b とが面一となっている。

[0102] 上述した構成でもよいが、その他、図 11A～図 12B に示すように、両端部 18a 及び 18b の厚さ t_{ae} を本体 12 の中央部 12c の厚さ t_a よりも大きくしてもよい。すなわち、両端部 18a 及び 18b をそれぞれ肉厚に形成し、本体 12 の中央部 12c と両端部 18a 及び 18b との間にそれぞれ段差 34 を形成するようにしてもよい。図 11A～図 12B は、第 3 歪検出用構造体 10C に適用した例を示す。なお、上述した図 1A～図 10C に示す例では、中央部 12c の厚さと両端部 18a 及び 18b の厚さとが同じであるため、本体 12 の厚さを「 t_a 」と表記した。しかし、図 11A～図 12B の例では、両端部 18a 及び 18b の厚さが本体 12 の中央部 12c の厚さよりも大きいため、中央部 12c の厚さを「 t_a 」、両端部 18a 及び 18b の厚さを「 t_{ae} 」と表記した。

[0103] 図 11A～図 12B に示す例によれば、両端部 18a 及び 18b の肉厚部 40a 及び 40b を利用して本体 12 を容易に検査対象物に固定することが可能となる。両端部 18a 及び 18b の厚さ t_{ae} は、中央部 12c と検査対象物の干渉を防止するため 1mm 以上あることが望ましい。一方、両端部 18a 及び 18b の厚さ t_{ae} が厚すぎると、歪検出用構造体の製作時に、中央部 12c との肉厚差が大きくなり過ぎるため、中央部 12c が変形したり両端部 18a 及び 18b との間でクラックが発生したりする。このため、両端部 18a 及び 18b の厚さ t_{ae} は 10mm 以下であることが望ましい。

[0104] 両端部 18a 及び 18b の肉厚部 40a 及び 40b の表面を利用し、さらに、接着剤等により検査対象物に固定する場合には、以下の条件 (a) 及び (b) を満足することが望ましい。肉厚部 40a 及び 40b の表面は、図 1

1 A及び図 1 1 Bの例では他主面 3 2 b、図 1 2 Aの例では一主面 3 2 a、図 1 2 Bの例では一主面 3 2 a又は他主面 3 2 bである。

(a) 両端部 1 8 a及び1 8 bのそれぞれの形状が等しいこと。

(b) 両端部 1 8 a及び1 8 bの肉厚部 4 0 a及び4 0 bの表面の面積が、検査対象物の所定の歪量に到達した時に歪検出用構造体に発生する荷重を支えるに十分な大きさであること。なお、肉厚部 4 0 a及び4 0 bの表面の面積は、例えば図 1 1 Bに示すように、本体 1 2の長さ方向に沿った長さ L_{ae} × 本体の幅方向に沿った長さ（幅 L_{me} ）である。

[0105] また、各段差 3 4と本体 1 2の中央部 1 2 cとの境界部分は、湾曲状に形成されていることが好ましい。これにより、境界部分での応力集中を緩和することができる。この場合、境界部分の湾曲半径は0.5 mm R以上であることが好ましい。

[0106] [第5実験例]

第5実験例は、図 1 1 A及び図 1 1 Bに示す歪検出用構造体の本体 1 2の長さ L_a を100 mm、幅 L_m を30 mm、本体 1 2の厚さ（中央部 1 2 cの厚さ t_a ）を0.5 mmとし、両端部 1 8 a及び1 8 bの肉厚部の長さ L_{ae} （本体 1 2の長さ方向に沿った長さ）をそれぞれ25 mm、両端部 1 8 a及び1 8 bの肉厚部の幅 L_{me} （本体 1 2の幅方向に沿った長さ）をそれぞれ30 mmとし、可視化構造 2 0の薄肉部位 2 2の厚さ t_b を0.1 mm、可視化構造 2 0のy方向の径 D_{ay} を19 mmとした場合に、両端部 1 8 a及び1 8 bの厚さ t_{ae} と、中央部 1 2 cと両端部 1 8 a及び1 8 bとの境界部分の曲率半径（表 6において「境界部分」と表記した）並びに可視化構造 2 0のx方向の径 D_{ax} を変化させたときの歪みの変化を確認した。すなわち、下記表 6に示すサンプル 4 1～4 3について、本体 1 2の長手方向に引張荷重をかけて、本体 1 2が破壊したときの歪みを確認した。両端部 1 8 a及び1 8 bの厚さ t_{ae} は、サンプル 4 1が10 mm、サンプル 4 2が3 mm、サンプル 4 3が1 mmである。可視化構造 2 0のx方向の径 D_{ax} は、サンプル 4 1が19 mm、サンプル 4 2が7.26 mm、サンプル 4 3

が2.85 mmである。結果を下記表6に示す。なお、第5実験例で使用した歪検出用構造体は、セラミックスとしてジルコニアB（上記表1参照）にて構成されている。

[0107] [表6]

	本体寸法			端部				可視化構造			破壊時の歪み (%)
								薄肉部位	径Day (mm)	径Dax (mm)	
	長さLa (mm)	幅Lm (mm)	中央部厚さta (mm)	長さLae (mm)	幅Lme (mm)	厚さtae (mm)	境界部分 (mmR)	厚さtb (mm)			
サンプル41	100	30	0.5	25	30	10	3	0.1	19	19	0.204
サンプル42	100	30	0.5	25	30	3	1	0.1	19	7.26	0.100
サンプル43	100	30	0.5	25	30	1	0.5	0.1	19	2.85	0.048

[0108] 表6から、両端部18a及び18bの肉厚部の厚さtaeや、中央部12cと両端部18a及び18bとの境界部分の曲率半径、可視化構造20の径、例えばx方向の径Daxのみ、あるいはy方向の径Dayのみ、あるいはx方向の径Dax及びy方向の径Dayを変化させることで、所定の歪みで本体12を破壊することができることがわかる。すなわち、両端部18a及び18bの肉厚部の厚さtaeや、応力集中部14の一方向の寸法Lcを適宜変更することによって、所定の歪みで本体12を破壊することができる。

[0109] そして、本体12を検査対象物に取り付けるための接着剤の引張りせん断接着強さが20 N/mm²である場合、両端部18a及び18bの肉厚部40a及び40bはそれぞれ同じ形状であり、接着に利用できる面積は、片側でそれぞれ750 mm²（25 mm×30 mm）を確保することができるため、15,000 Nの荷重を支えることが可能である。サンプル41、42及び43の破断荷重は、それぞれ約5,500 Nから1,300 Nの間の値であり、十分な接着強度を確保することができる。

[0110] なお、図11Aに示すように、両端部18a及び18bの一主面32aと本体12の中央部12cの一主面12aとを面一にし、両端部18a及び18bの他主面32bと本体12の中央部12cの他主面12bとの間に段差34を形成してもよい。

[0111] あるいは、図12Aに示すように、両端部18a及び18bの一主面32

aと本体12の中央部12cの一主面12aとの間に段差34を形成し、両端部18a及び18bの他主面32bと本体12の中央部12cの他主面12bとを面一にしてもよい。

[0112] あるいは、図12Bに示すように、両端部18a及び18bの一主面32aと本体12の中央部12cの一主面12aとの間に段差34を形成し、両端部18a及び18bの他主面32bと本体12の中央部12cの他主面12bとの間に段差34を形成してもよい。

[0113] さらに、各段差34と本体12の中央部12cとの境界部分36を湾曲形状にすることで、境界部分36での応力集中を緩和することができるため好ましい。この場合、境界部分36は、0.5mmR以上の曲面で形成されていることが好ましい。

[0114] 次に、上述した第1歪検出用構造体10A～第6歪検出用構造体10Fの製造方法について以下に簡単に説明する。第1歪検出用構造体10A～第6歪検出用構造体10Fを総括している場合は、歪検出用構造体と記す。

[0115] 先ず、第1歪検出用構造体10A～第6歪検出用構造体10Fの製造方法は、特に限定されず、ドクターブレード法、押し出し法、ゲルキャスト法、粉末プレス法、インプリント法等、任意の方法であってよい。第3歪検出用構造体10C～第5歪検出用構造体10Eのように、複雑な形状に対しては、特に好ましくは、ゲルキャスト法を用いて製造する。好適な実施の形態においては、セラミック粉末、分散媒及びゲル化剤を含むスラリーを注型し、このスラリーをゲル化させることによって成形体を得、この成形体を焼結することで、第3歪検出用構造体10C～第5歪検出用構造体10Eを得ることができる（特開2001-335371号公報参照）。第1歪検出用構造体10A及び第2歪検出用構造体10Bのように、単純な形状に対しては、ドクターブレード法等のテープ成形方法が好ましい。

[0116] 歪検出用構造体の材料として特に好ましくは、ジルコニア粉末に対して、3mol%のイットリア(Y_2O_3)助剤を添加した原料を用いる。助剤としては、イットリアが好ましいが、カルシア(CaO)、マグネシア(MgO)

等も例示することができる。

[0117] ゲルキャスト法は、以下の方法が挙げられる。

[0118] (1) 無機物粉体と共に、ゲル化剤となるポリビニルアルコール、エポキシ樹脂、フェノール樹脂等のプレポリマーを、分散剤と共に分散媒中に分散してスラリーを調製し、注型後、架橋剤により三次元的に架橋してゲル化させることにより、スラリーを固化させる。

[0119] (2) 反応性官能基を有する有機分散媒とゲル化剤とを化学結合させることにより、スラリーを固化させる。この方法は、本出願人の特開 2001-335371 号公報に記載されている方法である。

[0120] なお、本発明に係る歪検出用構造体は、上述の実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

[0121] 例えば第 3 歪検出用構造体 10C～第 5 歪検出用構造体 10E において、薄肉部位 22 を導電性セラミックスにて構成してもよい。この場合、薄肉部位 22 の破壊（二次破壊）によって、導電性セラミックスの電気的特性が変化することから、この変化を電気信号として捉え、ディスプレイ等に表示することで、所定の歪みが生じたことを可視化することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 歪みを検出する対象物に取り付けられるセラミックス製の本体（12）の強度（ σ ）とヤング率（E）の比率（ σ/E ）が0.04%以上であることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項2] 請求項1記載の歪検出用構造体において、
歪みを検出する対象物に取り付けられるセラミックス製の本体（12）に所定の歪み以上で破壊する応力集中部（14）を有することを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項3] 請求項2記載の歪検出用構造体において、
前記本体（12）全体の一方向の寸法を L_m 、前記応力集中部（14）の前記一方向の寸法を L_c としたとき、 $L_c < L_m$ であり、
前記応力集中部（14）は、前記一方向についての薄肉部分で構成されていることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項4] 請求項3記載の歪検出用構造体において、
前記一方向は、前記本体（12）の長手方向と直交し、且つ、厚さ方向と直交する方向であることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項5] 請求項2～4のいずれか1項に記載の歪検出用構造体において、
前記本体（12）は、前記応力集中部（14）の一次破壊によって誘起される二次破壊によって、前記所定の歪みが生じたことを可視化する構造（20）を有することを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項6] 請求項5記載の歪検出用構造体において、
前記構造（20）は、前記二次破壊によって前記本体（12）の一部を脱落させる薄肉部位（22）を有することを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項7] 請求項6記載の歪検出用構造体において、
前記本体（12）の長さ L_a が10mm以上300mm以下、幅 L_m が5mm以上100mm以下、前記本体（12）の中央部（12c）の厚さ t_a が0.3mm以上3mm以下、前記本体（12）の各両

端部（１８ａ、１８ｂ）の厚さ t_{ae} が１ｍｍ以上１０ｍｍ以下で、前記中央部（１２ｃ）の厚さ t_a より厚く、前記薄肉部位（２２）の厚さ t_b が０．０１ｍｍ以上０．５ｍｍ以下で、前記中央部（１２ｃ）の厚さ t_a より薄いことを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項８] 請求項６又は７記載の歪検出用構造体において、
前記薄肉部位（２２）が枠状に設けられ、
前記本体（１２）の一部は、前記薄肉部位（２２）で囲まれた部分であることを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項９] 請求項８記載の歪検出用構造体において、
前記薄肉部位（２２）に少なくとも１つの貫通孔（２８）が形成されていることを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項１０] 請求項５～９のいずれか１項に記載の歪検出用構造体において、
前記構造（２０）は、前記二次破壊によって露出する可視部材（２４）を有することを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項１１] 請求項５～９のいずれか１項に記載の歪検出用構造体において、
前記構造（２０）は、前記二次破壊によって電気的特性が変化する導電性セラミックスを有することを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項１２] 請求項２～４のいずれか１項に記載の歪検出用構造体において、
前記本体（１２）に１つの貫通孔（１６）を有し、
前記貫通孔（１６）の湾曲部分が前記応力集中部（１４）の一部を構成していることを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項１３] 請求項１２記載の歪検出用構造体において、
前記貫通孔（１６）は矩形状であって、且つ、前記応力集中部（１４）の一部を構成する２つの頂部（３０ａ、３０ｂ）がそれぞれ湾曲形状となっていることを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項１４] 請求項１～１３のいずれか１項に記載の歪検出用構造体において、
前記本体（１２）を構成するセラミックスがジルコニアを含むことを特徴とする歪検出用構造体。

- [請求項15] 請求項2～14のいずれか1項に記載の歪検出用構造体において、
前記所定の歪みは、前記対象物が弾性変形する範囲の歪みであることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項16] 請求項1～15のいずれか1項に記載の歪検出用構造体において、
前記本体（12）の両端部（18a、18b）はそれぞれ肉厚に形成されて、前記本体（12）の中央部（12c）と前記両端部（18a、18b）との間にそれぞれ段差（34）が形成され、
各前記段差（34）と前記本体（12）の中央部（12c）との境界部分（36）が湾曲状に形成されていることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項17] 請求項16記載の歪検出用構造体において、
前記境界部分（36）は、0.5mmR以上の湾曲状に形成されていることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項18] 請求項16又は17記載の歪検出用構造体において、
前記両端部（18a、18b）の各肉厚部（40a、40b）を利用して、前記本体（12）が前記対象物に固定されることを特徴とする歪検出用構造体。
- [請求項19] 請求項18記載の歪検出用構造体において、
前記両端部（18a、18b）の各前記肉厚部（40a、40b）が前記対象物に接着固定され、
前記両端部（18a、18b）における各前記肉厚部（40a、40b）の前記本体（12）の長さ方向に沿った長さを前記肉厚部（40a、40b）の長さ L_{ae} 、前記肉厚部（40a、40b）の前記本体（12）の幅方向に沿った長さを前記肉厚部（40a、40b）の幅 L_{me} としたとき、各前記肉厚部（40a、40b）について、それぞれ前記肉厚部（40a、40b）の長さ L_{ae} ×前記肉厚部（40a、40b）の幅 L_{me} にて得られる各前記肉厚部（40a、40b）の面積が互いに等しく、

各前記肉厚部（４０ａ、４０ｂ）の前記面積は、前記対象物が所定の歪量に到達した時に当該歪検出用構造体に発生する荷重を支えるのに十分な面積を有することを特徴とする歪検出用構造体。

[請求項20]

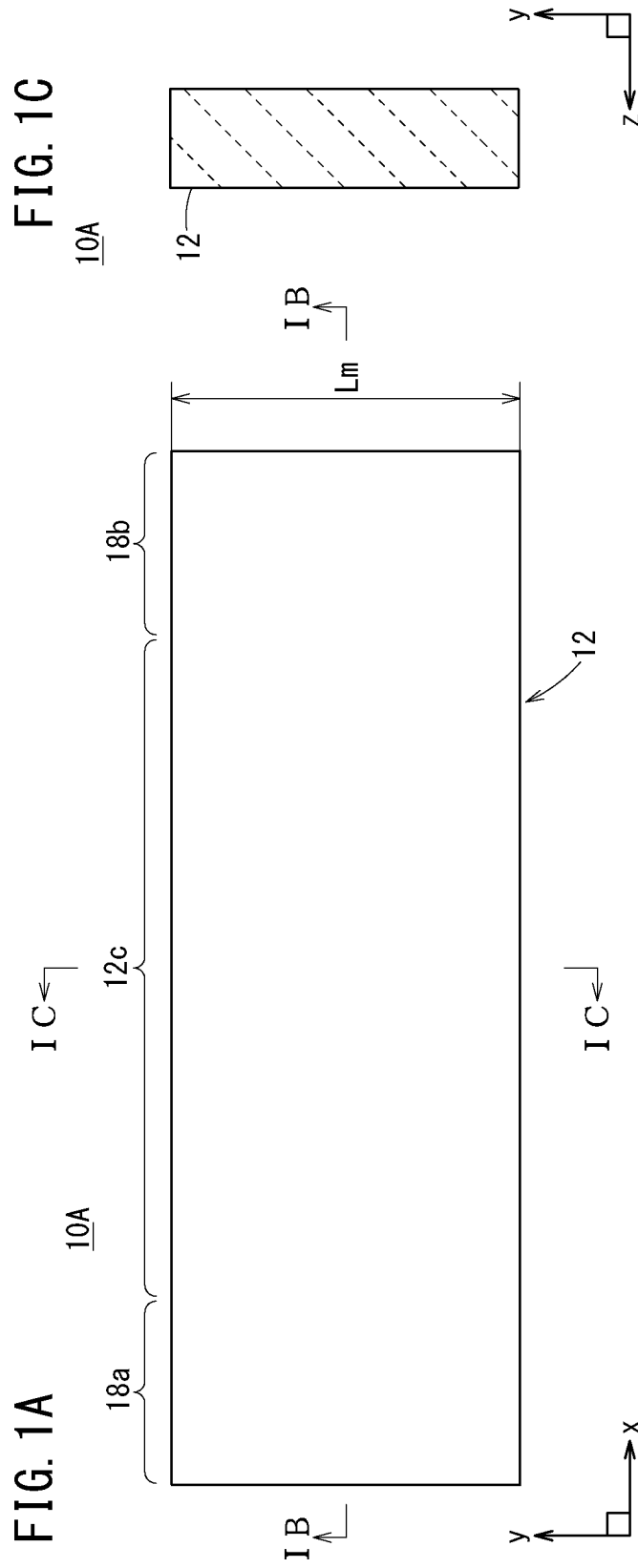
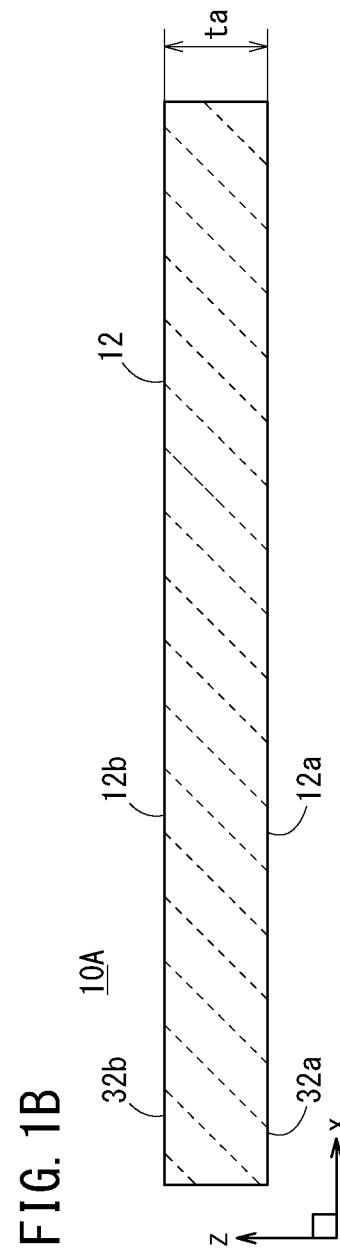
請求項１９記載の歪検出用構造体において、

前記両端部（１８ａ、１８ｂ）の各前記肉厚部（４０ａ、４０ｂ）が前記対象物に接着固定する接着剤の引張りせん断接着強さを F （ N/mm^2 ）、各前記肉厚部（４０ａ、４０ｂ）の面積を A （ mm^2 ）、前記対象物が所定の歪量に到達した時に当該歪検出用構造体に発生する荷重を L としたとき、

$$A > L / F$$

であることを特徴とする歪検出用構造体。

[図1]



[図2]

FIG. 2A

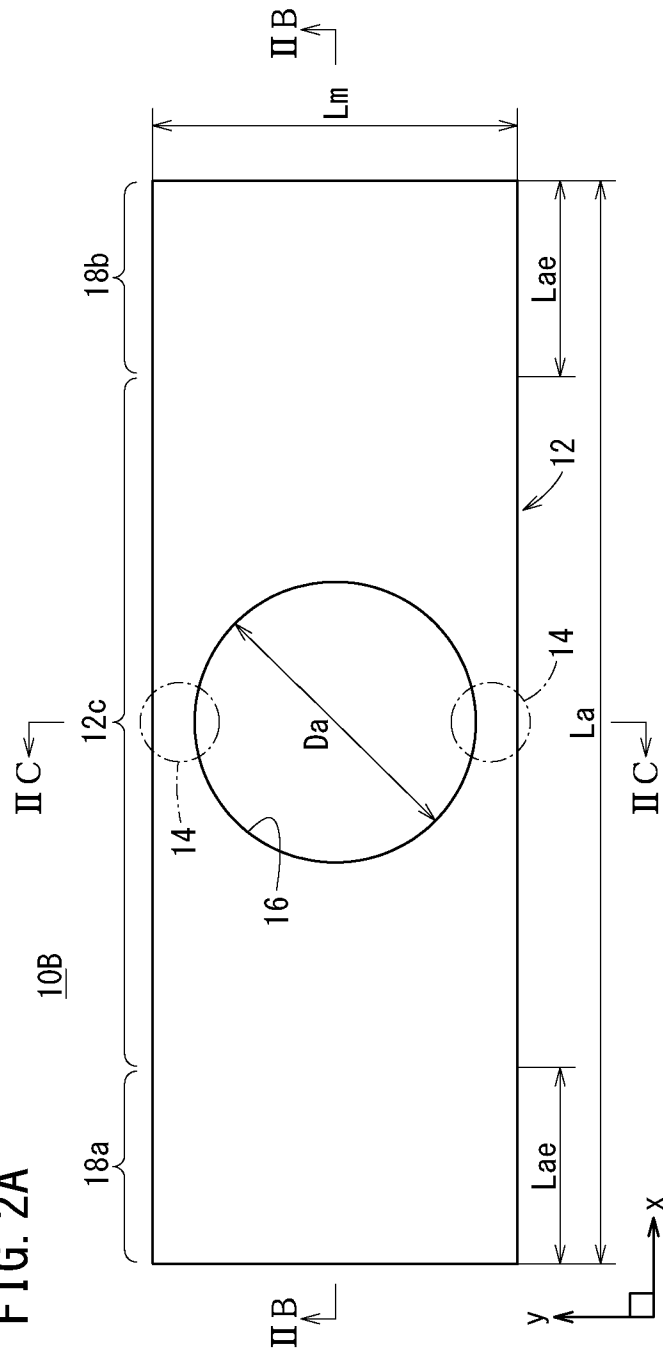


FIG. 2C

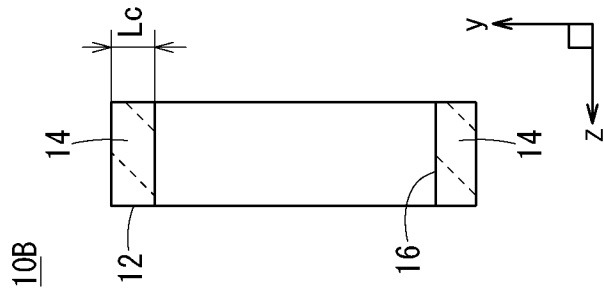


FIG. 2B

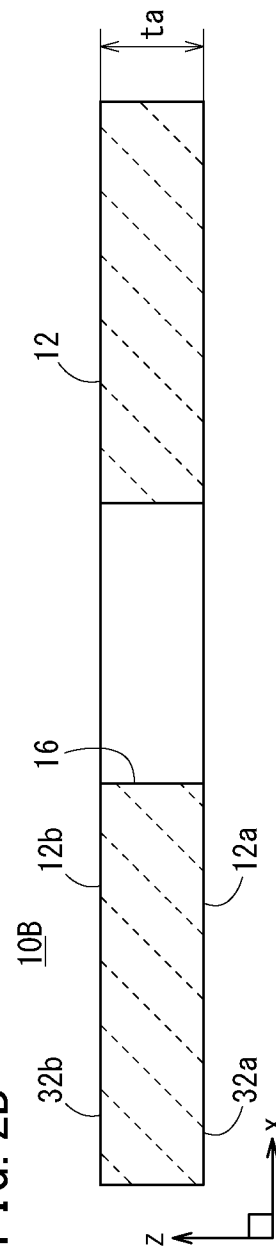


FIG. 3C

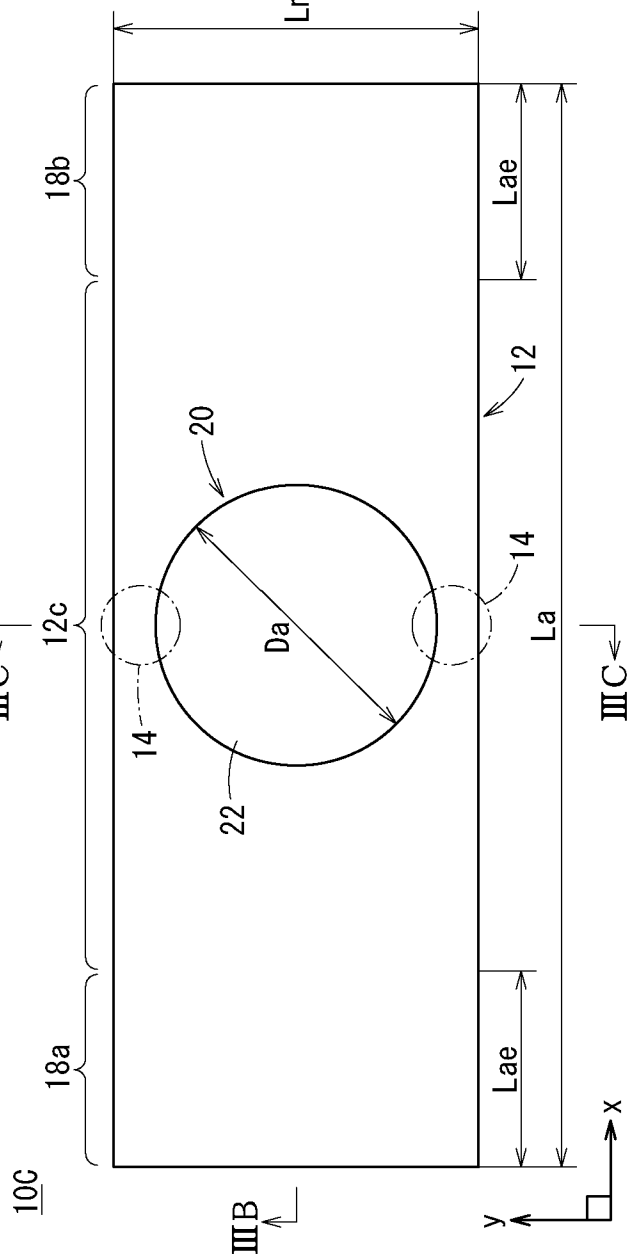
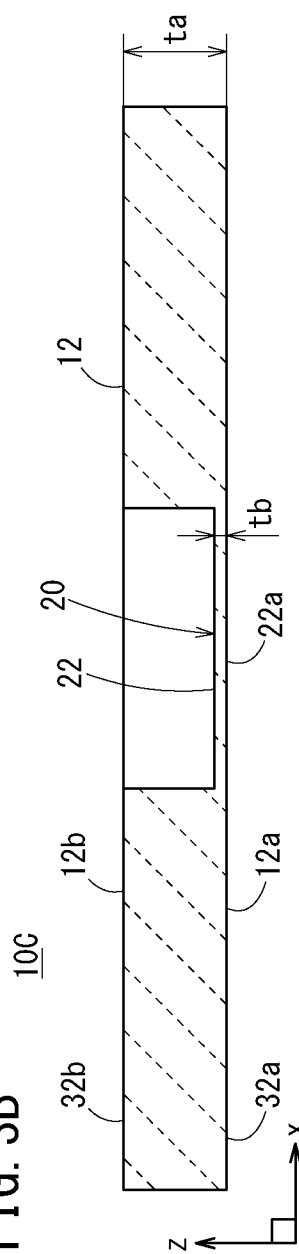


FIG. 3B



[図4]

FIG. 4A

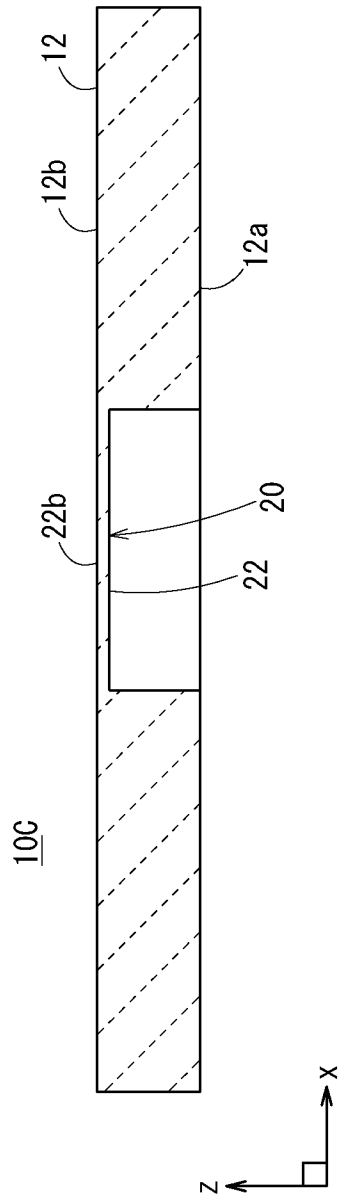
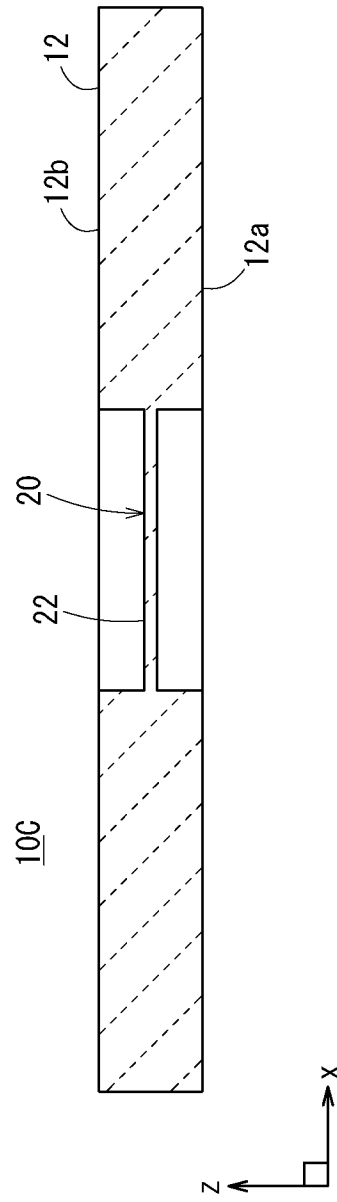
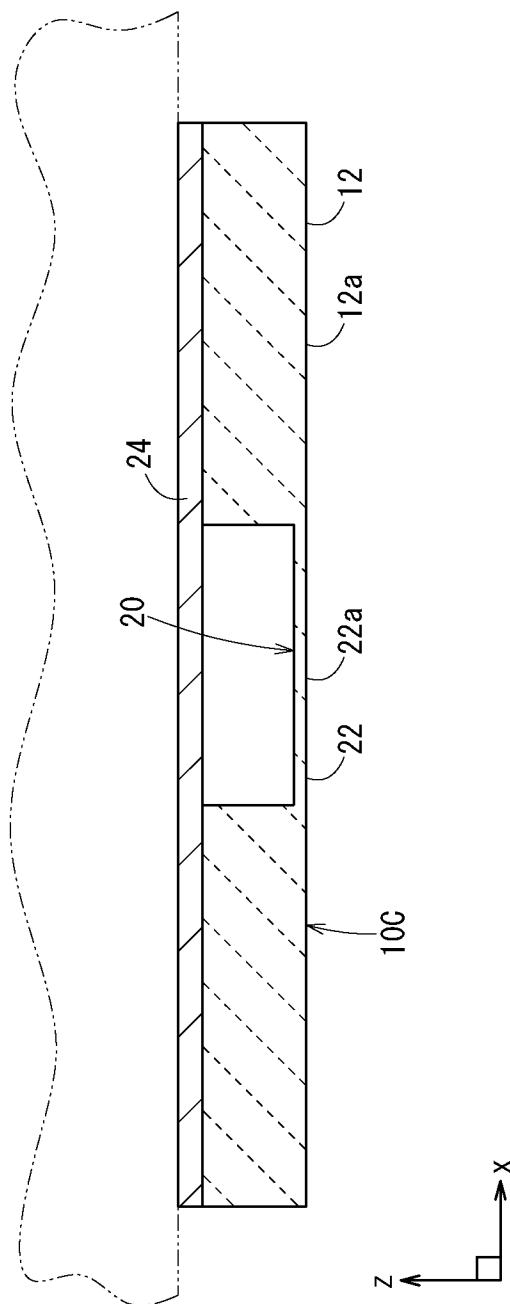


FIG. 4B

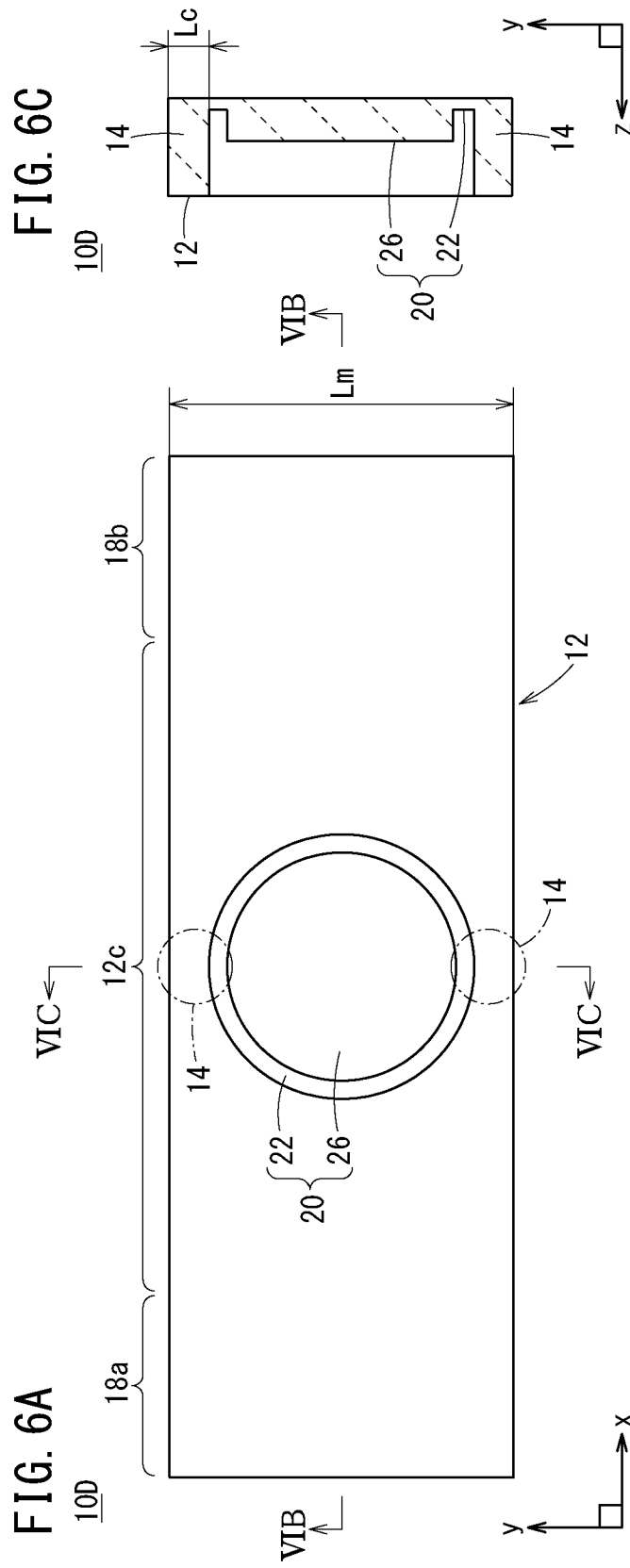
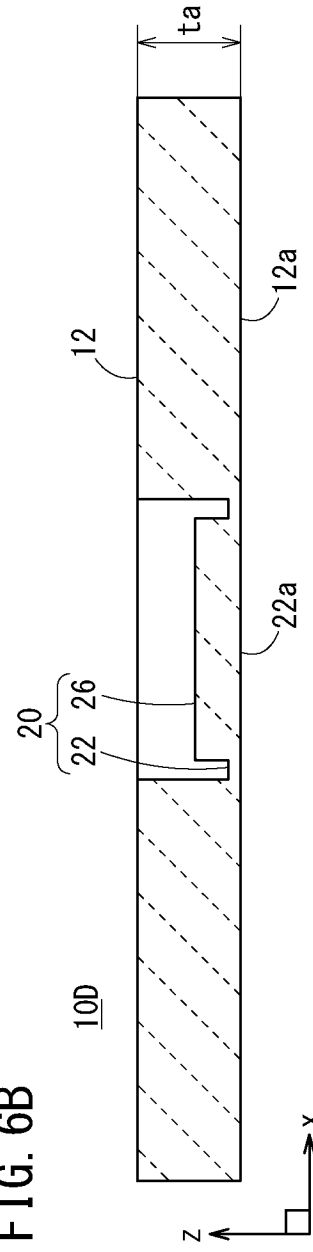
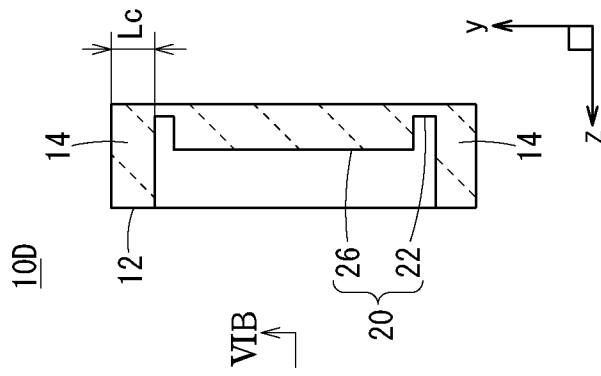


[図5]

FIG. 5



[図6]

**FIG. 6B****FIG. 6C**

[図8]

FIG. 8A

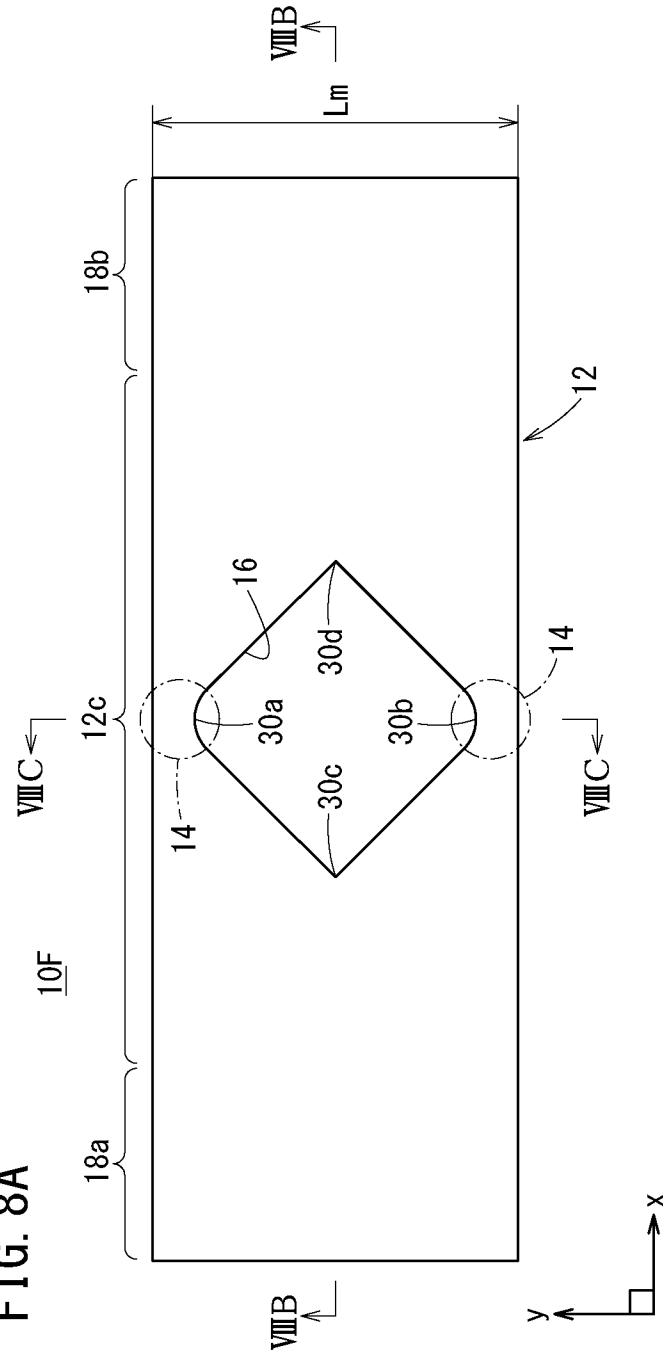


FIG. 8B

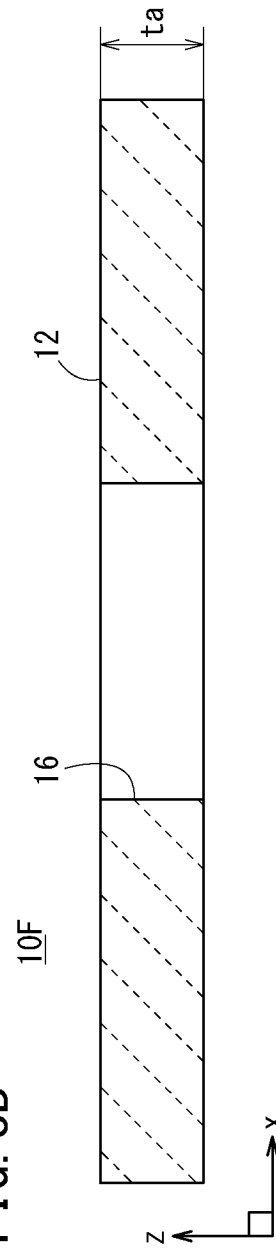


FIG. 8C

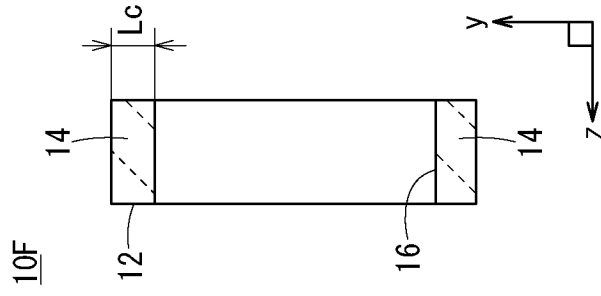
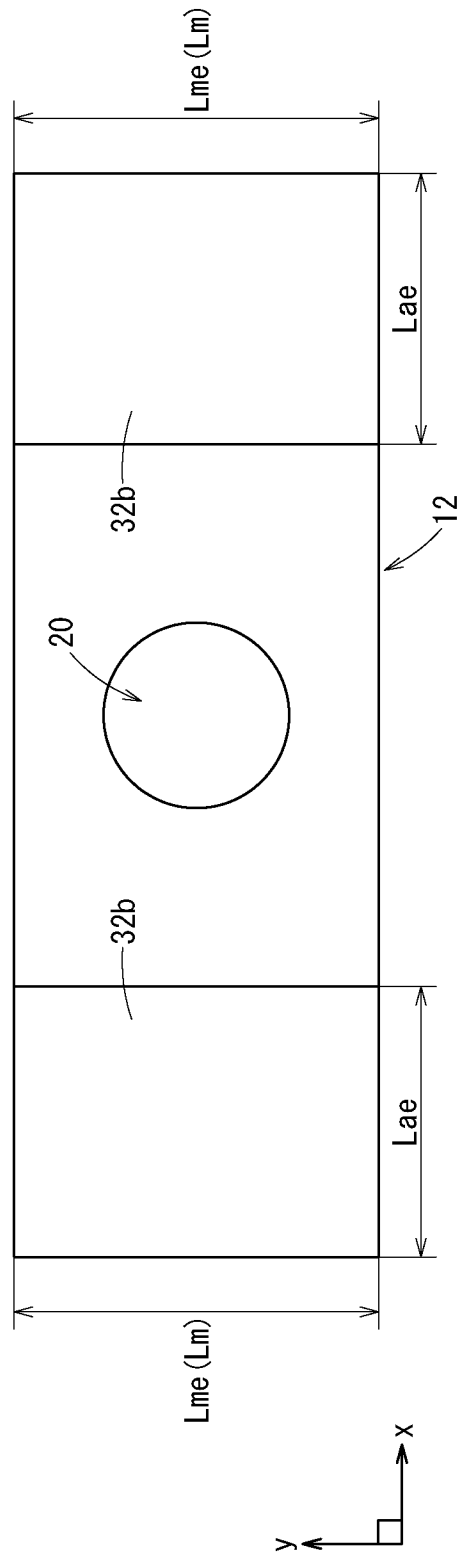


FIG. 11A



[図12]

FIG. 12A

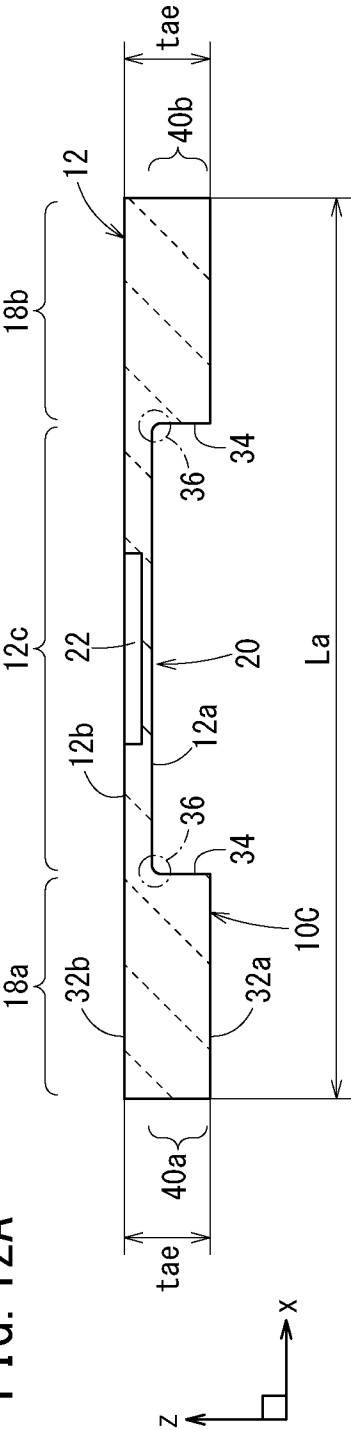
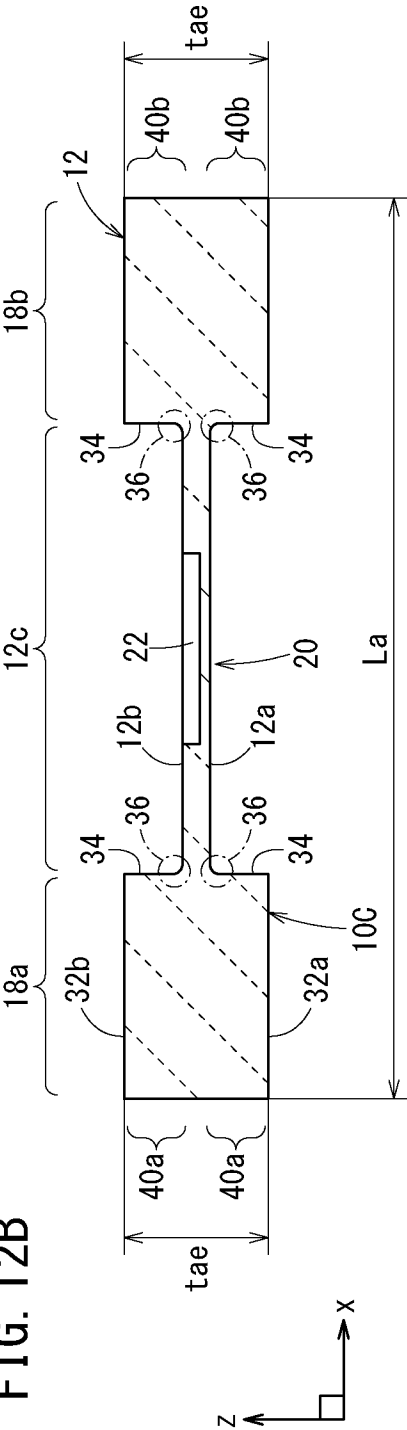


FIG. 12B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055517

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B21/32(2006.01)i, G01L1/06(2006.01)i, G01M99/00(2011.01)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)

G01B21/32, G01B5/30, G01L1/06, G01M99/00

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016

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

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

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 2012-73214 A (Keishin Kougyou Co., Ltd.), 12 April 2012 (12.04.2012), paragraphs [0035] to [0040] (Family: none)	1-4, 12, 14-16, 18 5-11, 13, 17, 19, 20
Y	Busseihyo, [online], 29 September 2014 (29.09.2014), Ogura Jewel Industry Co., Ltd., [retrieval date 10 August 2015 (10.08.2015)], Internet <URL: http://www.ogura-indus.co.jp/material/ >	1-4, 12, 14-16, 18
Y	JP 6-74875 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 18 March 1994 (18.03.1994), paragraphs [0015], [0016]; fig. 1 (Family: none)	4, 12

☒ 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
28 April 2016 (28.04.16)Date of mailing of the international search report
17 May 2016 (17.05.16)Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055517

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-281120 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 10 October 2001 (10.10.2001), paragraphs [0050], [0051]; fig. 1, 5 & US 2001/0037686 A1 & EP 1139088 A2 & CN 1318747 A	16, 18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01B21/32(2006.01)i, G01L1/06(2006.01)i, G01M99/00(2011.01)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. G01B21/32, G01B5/30, G01L1/06, G01M99/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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）

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 2012-73214 A（株式会社恵信工業） 2012.04.12, 段落【0035】 - 【0040】（ファミリーなし）	1-4, 12, 14-16, 18 5-11, 13, 17, 19, 20
Y	物性表, [online], 2014.09.29, オグura 宝石精機工業株式会社, [検索日 2015.08.10], インターネット <URL: http://www.ogura-indus.co.jp/material/ >	1-4, 12, 14-16, 18
Y	JP 6-74875 A（石川島播磨重工業株式会社） 1994.03.18, 段落【0015】 , 【0016】 , 図1（ファミリーなし）	4, 12

☑ 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

28.04.2016

国際調査報告の発送日

17.05.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

丑田 真悟

2S

3100

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	JP 2001-281120 A (川崎重工業株式会社) 2001.10.10, 段落【0050】 , 【0051】 , 図 1, 5 & US 2001/0037686 A1 & EP 1139088 A2 & CN 1318747 A	16, 18