

(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  
2017年1月19日(19.01.2017)

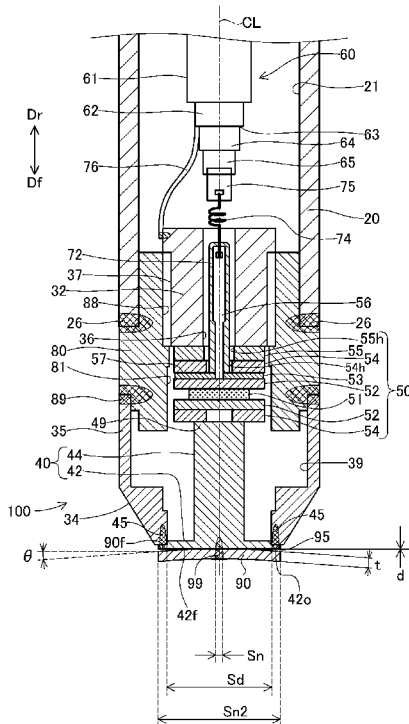


(10) 国際公開番号  
WO 2017/010416 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01L 23/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/070237
- (22) 国際出願日: 2016年7月8日(08.07.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2015-140342 2015年7月14日(14.07.2015) JP  
特願 2015-161339 2015年8月18日(18.08.2015) JP  
特願 2016-084836 2016年4月20日(20.04.2016) JP
- (71) 出願人: 日本特殊陶業株式会社 (NGK SPARK PLUG CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4678525 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 山田 達範 (YAMADA, Tatsunori); 〒4678525 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内 Aichi (JP). 津荷俊介 (TSUGA, Shunsuke); 〒4678525 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内 Aichi (JP). 藤 祐介 (FUJI, Yusuke); 〒4678525 愛知県名古屋市瑞穂区高辻町14番18号 日本特殊陶業株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人鳳国際特許事務所 (TOKKYO GYOMUHOJIN OHTORI INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒4600002 愛知県名古屋市中区丸の内二丁目18番10号丸の内アネクスビル8階 Aichi (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,

[続葉有]

(54) Title: PRESSURE SENSOR  
(54) 発明の名称: 圧力センサ



(57) Abstract: In the present invention, disclosed is a technology capable of reducing measurement error. Provided is a pressure sensor that comprises: a housing; a diaphragm that is joined to the distal-end side of the housing via a joint and flexes in response to pressure; a sensor unit that has electrical characteristics which change according to pressure; a connecting part that connects the diaphragm and the sensor unit; and a heat-receiving unit that is disposed on the distal-end side of the diaphragm, is connected directly or indirectly to the diaphragm, and receives heat.  $(S_n/S_d) \leq 0.25$  is satisfied in a case where: the minimum value of the area of a virtual minimum-containing area, which contains a cross section of a portion from the heat-receiving unit to the diaphragm on a cross section perpendicular to an axis and for which the total length of an outline of the virtual minimum-containing area is the minimum, is a connection area  $S_n$ ; and the area of a region surrounded by the connecting part on a projection surface, if the diaphragm and the heat-receiving unit are projected onto the projection surface which is perpendicular to the axis, is a diaphragm effective area  $S_d$ .

(57) 要約: 測定誤差を小さくできる技術を開示する。圧力センサは、筐体と、筐体の先端側に接合部を介して接合され圧力に応じて撓むダイアフラムと、圧力によって変化する電気的特性を有するセンサ部と、ダイアフラムとセンサ部とを接続する接続部と、ダイアフラムの先端側に配置されダイアフラムに直接的または間接的に接続され熱を受ける受熱部と、を備えている。軸線に垂直な断面上で、受熱部からダイアフラムまでの部分の断面を包含し輪郭の全長が最小の仮想的な最小包含領域の面積の最小値を、接続面積  $S_n$  とし、ダイアフラムと受熱部とを軸線に垂直な投影面上に投影する場合の投影面上において、接合部に囲まれた領域の面積を、ダイアフラム有効面積  $S_d$  とする場合に、 $(S_n/S_d) \leq 0.25$ 、が満たされる。

WO 2017/010416 A1



ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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).

(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,

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**：圧力センサ

### 技術分野

[0001] 本開示は、内燃機関の燃焼室内の圧力を測定する圧力センサに関する。

### 背景技術

[0002] 圧力センサとして、エンジンヘッドに装着される主体金具と、ダイヤフラムと受圧ロッドとを有する受圧部材と、受圧ロッドにねじ込まれる押えねじと、押えねじの頭部と主体金具との間に挟まれた圧電センサと、を有するものが、提案されている。ダイヤフラムが燃焼圧を受けると、ダイヤフラムが後方に押されることで、受圧ロッドを介して、圧電センサへ荷重が伝わる。圧電センサは、荷重の変化を電気出力の変化に変換する。ここで、高温の燃焼ガスによるダイヤフラムの熱変形量を少なくするために、ダイヤフラムの前面に、熱遮蔽板が配設されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開平7-318448号公報

特許文献2：特開平7-19981号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] ところが、熱遮蔽板のような受熱のための部材を用いて測定誤差を小さくする点については、十分な工夫が成されていないのが実情であった。

[0005] 本開示は、受熱のための部材を用いて測定誤差を小さくできる技術を開示する。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本開示は、例えば、以下の適用例を開示する。

[0007] [適用例1] 筒状の筐体と、前記筐体の先端側に接合部を介して接合され前記筐体の軸線に交差する方向に拡がり受圧した圧力に応じて撓むダイヤフラ

ムと、前記筐体内に配置され前記圧力によって変化する電気的特性を有するセンサ部と、前記ダイヤフラムと前記センサ部とを接続する接続部と、前記ダイヤフラムの先端側に配置され前記ダイヤフラムに直接的または間接的に接続された、熱を受ける受熱部と、を備える圧力センサであって、

前記軸線に垂直な断面上で、前記受熱部から前記ダイヤフラムまでの部分の断面を包含し、かつ、輪郭の全長が最小となる仮想的な領域である最小包含領域の面積の最小値を、接続面積  $S_n$  とし、

前記ダイヤフラムと前記受熱部とを、前記軸線に垂直な投影面上に投影する場合に、前記投影面上において、

前記接合部に囲まれた領域の面積を、ダイヤフラム有効面積  $S_d$  とする場合に、

$(S_n / S_d) \leq 0.25$ 、を満たす、

圧力センサ。

[0008] この構成によれば、受熱部を用いて測定誤差を小さくできる。

[0009] [適用例2] 適用例1に記載の圧力センサであって、

前記投影面上において、前記受熱部の面積を、受熱面積  $S_{n2}$  とする場合に、

$(S_{n2} / S_d) \geq 0.8$  を満たす、

圧力センサ。

[0010] この構成によれば、受熱部を用いて測定誤差を小さくできる。

[0011] [適用例3] 適用例1に記載の圧力センサであって、

$(S_{n2} / S_d) \geq 1.0$ 、を満たす

圧力センサ。

[0012] この構成によれば、受熱部を用いて測定誤差をさらに小さくできる。

[0013] [適用例4] 適用例2または3に記載の圧力センサであって、

前記受熱部と前記ダイヤフラムとの間の隙間の前記軸線に平行な方向の最小距離を、最小距離  $d$  とする場合に、

$d \leq 0.5 \text{ mm}$ 、を満たす、

圧力センサ。

[0014] この構成によれば、受熱部を用いて測定誤差をさらに小さくできる。

[0015] [適用例 5] 適用例 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の圧力センサであって、  
 $(S_n / S_d) \leq 0.1$ 、を満たす、  
圧力センサ。

[0016] この構成によれば、受熱部を用いて測定誤差をさらに小さくできる。

[0017] [適用例 6] 適用例 1 に記載の圧力センサであって、  
前記受熱部は、板状の受熱板を含み、  
前記受熱板の厚さを  $t$  とする場合に、  
 $t \geq 0.21 \text{ mm}$  を満たす、圧力センサ。

[0018] 上記構成によれば、受熱板を用いて測定誤差を小さくできる。

[0019] [適用例 7] 適用例 6 に記載の圧力センサであって、  
前記軸線を含む断面において、前記受熱板の後端側の面と、前記軸線と垂直な方向と、がなす角度  $\theta$  の絶対値は、 $20$  度以内である、  
圧力センサ。

[0020] 上記構成によれば、測定誤差をより小さくできる。

[0021] [適用例 8] 適用例 1 に記載の圧力センサであって、  
前記受熱部は、  
前記軸線に交差する方向に広がる板部と、  
前記板部の縁から前記先端側に突出する側壁部と、  
を備え、  
前記側壁部は、前記板部の縁の全周に亘って形成されており、  
前記側壁部には、前記板部の縁に沿って並ぶ複数の貫通孔が形成されており、  
前記複数の貫通孔の前記軸線に平行な方向の長さの最大値は、 $0.3 \text{ mm}$  以上であり、  
前記軸線に垂直、かつ、前記複数の貫通孔を通らない前記側壁部の断面において、前記側壁部の外周長を、外周長  $C_1$  とし、

前記軸線に垂直、かつ、前記複数の貫通孔を通る前記側壁部の断面において、前記側壁部の外周面に対応する部分の長さの合計を、壁長 $C2$ とする場合に、

$(C2 / C1) \leq 0.6$ 、を満たす、

圧力センサ。

[0022] この構成によれば、受熱部の板部が燃焼室内を流れるガスを受けの場合に、ガスが、側壁部の複数の貫通孔を通じて側壁部の内周側から外周側へ流れる。このようにガスが側壁部の貫通孔から外周側に向かって流れるので、燃焼室内で生じたカーボンが側壁部の外周側を流れて受熱部とダイアフラムとの間に流入することを、抑制できる。

[0023] [適用例9] 適用例8に記載の圧力センサであって、

前記側壁部の内周面と、前記板部の前記先端側の面と、の接続部分は、丸められている、

圧力センサ。

[0024] この構成によれば、板部の先端側の面から側壁部の貫通孔へガスが流れ易くなるので、貫通孔から外周側へ流れるガスの流速の低下を抑制できる。従って、カーボンが側壁部の外周側を流れて受熱部とダイアフラムとの間に流入することを、抑制できる。

[0025] [適用例10] 適用例8または9に記載の圧力センサであって、

前記軸線を中心とする中心角が90度である任意の方向の角度範囲内において、

前記外周長 $C1$ のうち前記角度範囲内に含まれる部分の長さを、部分外周長 $C1a$ とし、

前記壁長 $C2$ のうち前記角度範囲内に含まれる部分の長さを、部分壁長 $C2a$ とする場合に、

$(C2a / C1a) \leq 0.6$ 、を満たす、

圧力センサ。

[0026] この構成によれば、軸線から見た複数の貫通孔の分布が特定の方向に偏る

ことが抑制されるので、貫通孔から外周側に向かうガスの流れが側壁部の全周のうちの一部に偏ることが抑制される。従って、カーボンが側壁部の外周側を流れて受熱部とダイアフラムとの間に流入することを、適切に抑制できる。

[0027] [適用例 1 1] 適用例 8 から 1 0 のいずれか 1 項に記載の圧力センサであって、

前記軸線を含む前記側壁部の平断面において、内周側から外周側に向かう方向のうち、前記軸線に垂直な方向の角度をゼロ度とし、前記先端側に傾斜する方向の角度を正の角度とし、後端側に傾斜する方向の角度を負の角度とする場合に、前記貫通孔の前記後端側の内面の角度は、 $-40$ 度以上 $20$ 度以下である、

圧力センサ。

[0028] この構成によれば、貫通孔から外周側に向かうガスの流れによって受熱部とダイアフラムとの間にカーボンが流入することを、抑制できる。

[0029] なお、本明細書に開示の技術は、種々の態様で実現することが可能であり、例えば、圧力センサ、その圧力センサを搭載する内燃機関等の態様で実現することができる。

### 図面の簡単な説明

[0030] [図1]第 1 実施形態としての圧力センサ 1 0 を示す説明図である。

[図2]圧力センサ 1 0 の先端部を拡大して示す断面図である。

[図3]素子部 5 0 の分解斜視図である。

[図4]圧力センサ 1 0 の動作の説明図である。

[図5]参考例の圧力センサ 1 0 x の動作の説明図である。

[図6]第 1 実施形態の圧力センサ 1 0 のパラメータの説明図である。

[図7]第 1 評価試験において圧力センサによって測定される圧力の波形の例を示すグラフである。

[図8]第 2 実施形態の圧力センサ 1 0 a の説明図である。

[図9]第 2 実施形態の圧力センサ 1 0 a (図 6) のパラメータの説明図である

。

[図10]第2評価試験において圧力センサによって測定される圧力の波形の例を示すグラフである。

[図11]第2評価試験の結果を示すグラフである。

[図12]第3実施形態の圧力センサ10bの説明図である。

[図13]第4実施形態の圧力センサ10cの説明図である。

[図14]第5実施形態の圧力センサ10dの先端部を拡大して示す断面図である。

[図15]第5実施形態の受熱部90dの説明図である。

[図16]第5実施形態のシミュレーションに用いられたモデルの概略図である。

。

[図17]第5実施形態のシミュレーションに用いられたモデルの概略図である。

。

[図18]第5実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図19]第5実施形態の複数のモデルの流入距離 $d_x$ を示すグラフである。

[図20]第6実施形態の受熱部の説明図である。

[図21]第7、第8実施形態の受熱部の説明図である。

[図22]第7、第8実施形態のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図23]側壁部92dの軸線CLに垂直な断面の一部の説明図である。

[図24]第2実施形態の変形例を示す図である。

## 発明を実施するための形態

[0031] A. 第1実施形態：

A-1. 圧力センサ10の構成

図1は、第1実施形態としての圧力センサ10を示す説明図である。本実施形態の圧力センサ10は、内燃機関に取り付けられて、内燃機関の燃焼室内の圧力を検出するために用いられる。図1に示すように、圧力センサ10は、主な構成要素として、筒状の第1金具20、第2金具80と、第3金具35と、受圧部40と、受熱部90と、素子部50と、ケーブル60と、を

備えている。中心軸CLは、圧力センサ10の中心軸である。以下、中心軸CLを軸線CLとも呼び、軸線CLに平行な方向を、「軸線方向」とも呼ぶ。軸線CLを中心とする円の径方向を、単に「径方向」とも呼び、軸線CLを中心とする円の周方向を、単に「周方向」とも呼ぶ。また、軸線CLに沿って第1金具20から受圧部40へ向かう方向を、「先端方向Df」と呼び、先端方向Dfの反対方向を、「後端方向Dr」と呼ぶ。先端方向Df側を「先端側」と呼び、後端方向Dr側を「後端側」とも呼ぶ。

[0032] 図1には、圧力センサ10の先端側の部分の軸線CLよりも左側の断面構成が示されている。この断面は、軸線CLを含む平断面（平面で切断された断面）である。また、図1には、圧力センサ10の他の部分の外観構成が示されている。本実施形態では、圧力センサ10の軸線CLは、第1金具20と第2金具80と第3金具35と受圧部40と受熱部90と素子部50とのそれぞれの中心軸でもある。

[0033] 第1金具20と第2金具80と第3金具35とは、軸線CLに垂直な断面（以下、横断面とも呼ぶ）が円環状であって軸線方向に延びる筒形状を有している。本実施形態では、第1金具20と第2金具80と第3金具35とは、ステンレス鋼で形成されている。ただし、他の材料（例えば、低炭素鋼などの鋼、種々の金属材料）を採用してもよい。

[0034] 第1金具20には、軸線CLを中心とする貫通孔である軸孔21が形成されている。また、第1金具20の後端側外周面には、ねじ部22および工具係合部24が設けられている。ねじ部22は、圧力センサ10を内燃機関のシリンダヘッドに固定するためのねじ溝を備えている。工具係合部24は、圧力センサ10の取り付けおよび取り外しに用いられる工具（図示しない）に係り合う外周形状（例えば、横断面が六角形）を有する。

[0035] 図2は、圧力センサ10の先端部、具体的には図1に領域Xとして示す部位を拡大して示す断面図である。この断面は、軸線CLを含む平断面である。第2金具80は、第1金具20の先端側に配置されており、第1金具20の先端に接合部26を介して接合されている。接合部26は、第1金具20

と第2金具80とが溶接（例えば、レーザ溶接）の際に、溶融した部分である（以下、接合部26を「溶接部26」または「溶接痕26」とも呼ぶ）。接合部26は、第1金具20と第2金具80とが一体化した部分である。接合部26は、第1金具20の成分と第2金具80の成分とを含んでいる。第3金具35は、第2金具80の先端側に配置されており、第2金具80に接合部89を介して接合されている。接合部89は、第2金具80と第3金具35とが溶接（例えば、レーザ溶接）の際に、溶融した部分である（以下、接合部89を「溶接部89」または「溶接痕89」とも呼ぶ）。接合部89は、第2金具80と第3金具35とが一体化した部分である。接合部89は、第2金具80の成分と第3金具35の成分とを含んでいる。第3金具35の先端部には、先端側から後端側に向かって拡径する拡径部34が形成されている。圧力センサ10が内燃機関に取り付けられる場合、拡径部34は、内燃機関のシリンダヘッドに密着する。

[0036] 第2金具80には、軸線CLを中心とする貫通孔である軸孔81が形成されている。第3金具35には、軸線CLを中心とする貫通孔である軸孔39が形成されている。第1金具20の軸孔21と、第2金具80の軸孔81と、第3金具35の軸孔39とは、第1金具20の軸孔21に連通する連続な貫通孔を形成している。第2金具80の軸孔81内には、先端側から後端側に向かって順に、素子部50と押さえねじ32とが、配置されている。第3金具35の軸孔39内には、受圧部40が配置されている。

[0037] 受圧部40は、ダイアフラム42とロッド44とを備えている。ダイアフラム42は、軸線CLを中心とする略円形の膜である。ダイアフラム42の外周側の縁42oは、全周に亘って、第2金具80の先端部に溶接されている（例えば、レーザ溶接）。ダイアフラム42の後端側の面の中央部には、ロッド44が接続されている。ロッド44は、軸線CLを中心とする円柱状の部分であり、ダイアフラム42から後端方向Dr側に向かって延びている。ロッド44の後端部49には、素子部50が接続されている。ダイアフラム42とロッド44とは、ステンレス鋼を用いて、一体的に形成されている。

(例えば、鍛造や削り出し)。ただし、ダイヤフラム42とロッド44とを別々に形成した後に、溶接などによりダイヤフラム42とロッド44とを一体化してもよい。また、他の材料(例えば、低炭素鋼などの鋼、種々の金属材料)を採用してもよい。

[0038] ダイヤフラム42の先端側の面には、受熱部90が接合されている(例えば、レーザ溶接)。受熱部90は、軸線CLを中心とする円盤状の板状部材である(受熱板とも呼ぶ)。後端方向Drを向いて圧力センサ10を見る場合、ダイヤフラム42のおおよそ全体が、受熱部90によって隠されている。受熱部90は、接合部99を介して、ダイヤフラム42(ひいては、受圧部40)に、接合されている。接合部99は、受熱部90とダイヤフラム42(ひいては、受圧部40)とが溶接時に溶融した部分である(以下、接合部99を「溶接部99」または「溶接痕99」とも呼ぶ)。このような接合部99は、受熱部90とダイヤフラム42とが一体化した部分である。また、接合部99は、受熱部90の成分とダイヤフラム42の成分とを含んでいる。接合部99は、受熱部90の中央部に形成されている。受熱部90は、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。

[0039] ダイヤフラム42は、第3金具35の先端において、軸孔39を塞いでいる。ダイヤフラム42は、内燃機関の燃焼室内に露出し、ダイヤフラム42の先端方向Df側の面42fは、受圧面を形成する。本実施形態では、受圧面42fは、ダイヤフラム42と受熱部90との間の隙間95を通じて、燃焼室内の圧力を受け得る。また、ダイヤフラム42は、受熱部90を通じて、燃焼室内の圧力に応じた荷重を受け得る。そして、ダイヤフラム42は、燃焼室内の圧力に応じて変形する。ロッド44は、ダイヤフラム42の変形に応じて軸線CLに沿って変位することによって、ダイヤフラム42が受けた圧力に応じた荷重を、後端側の素子部50に伝達する。ダイヤフラム42を薄くするほど、ダイヤフラム42が変形し易くなるので、圧力センサ10の感度を高めることができる。

[0040] 押さえねじ32は、第2金具80の軸孔81の後端側に取り付けられている。押さえねじ32には、軸線CLを中心とする貫通孔である軸孔36が形成されている。押さえねじ32の外周面には、雄ねじ37が形成されている。第2金具80の軸孔81の後端側の部分の内周面には、押さえねじ32の雄ねじ37に対応する雌ねじ88が形成されている。押さえねじ32は、第2金具80の後端側から、軸孔81内にねじ込まれている。押さえねじ32と受圧部40のロッド44との間には、素子部50が挟まれている。押さえねじ32は、素子部50に対して、予荷重を印加する。押さえねじ32を第2金具80にねじ込む場合の押さえねじ32の回転数を調整することによって、適切な予荷重を容易に実現できる。従って、圧力測定の精度を向上できる。なお、押さえねじ32は、ステンレス鋼で形成されている。ただし、他の材料（例えば、低炭素鋼などの鋼、種々の金属材料）を採用してもよい。

[0041] 素子部50は、2個の電極52と、2個の電極52に挟まれた圧電素子51と、先端側の電極52の先端側に配置された押さえ板54と、後端側の電極52から後端方向Drに向かって順番に並ぶリード部53、押さえ板54、絶縁板55と、を備えている。図2に示すように、押さえ板54、電極52、圧電素子51、電極52、リード部53、押さえ板54、絶縁板55は、先端側から後端側に向かってこの順番に、積層されている。絶縁板55の後端側の面は、押さえねじ32の先端側の面に支持されている。ロッド44の後端部49は、先端側の押さえ板54の先端側の面に接触している。圧電素子51は、先端側の電極52と押さえ板54とを介して、ロッド44に接続されている。ロッド44と、先端側の押さえ板54と電極52との全体は、ダイヤフラム42と圧電素子51とを接続する接続部100を形成している。

[0042] 図3は、素子部50の分解斜視図である。図示するように、圧電素子51と電極52とは軸線CLを中心とする円盤状の板状部材である。押さえ板54と絶縁板55とは、軸線CLを中心とする円環状の板状部材である。圧電素子51は、本実施形態では水晶を用いて形成されているが、他の材料で形

成された圧電素子を採用してもよい。圧電素子51上では、受圧部40（図2）からロッド44を通じて伝達された荷重に応じて、電荷が生じる。圧電素子51は、荷重に応じた電荷（例えば、電気信号）を、2個の電極52を通じて、出力する。出力された電気信号に基づいて、ダイヤフラム42の変形量、すなわち、燃焼室内の圧力を特定可能である。このように、圧電素子51は、受圧部40が受けた圧力によって変化する電気的特性を有している。電極52と押さえ板54とは、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。絶縁板55は、リード部53と押さえねじ32（図2）との間を絶縁するための部材である。本実施形態では、絶縁板55はアルミナで形成されているが、他種の絶縁性材料で形成されてもよい。

[0043] リード部53は、略円盤状の板状部材である円盤部57と、円盤部57の中央部から後端方向Drに向かって延びる端子部56と、を備えている。端子部56は、押さえ板54の貫通孔54hと絶縁板55の貫通孔55hを通り抜けて、後端方向Dr側に突出している（図2）。リード部53は、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。リード部53は、円盤部57と端子部56とを合わせた形状をステンレス鋼の平板から打ち抜いた後に、端子部56となる部分を折り曲げることにより作製することができる。

[0044] 第2金具80（図2）の軸孔81内において、リード部53は、円盤部57が電極52と面接触すると共に、端子部56が後端側に延びるように配置される。端子部56は、押さえ板54の中央部の貫通孔54hと絶縁板55の中央部の貫通孔55hとを貫通している。端子部56の後端側の部分は、押さえねじ32の軸孔36の内壁面から離間した状態で、軸孔36内に配置されている。

[0045] 素子部50を構成する各部材（絶縁板55を除く）は、第2金具80の軸孔81内において、第2金具80の内壁面から離間するように配置される。圧電素子51の後端側の電極52は、リード部53（本実施形態では、更に

、押さえ板 54) に電氣的に接続されており、第 1 金具 20 と第 2 金具 80 と第 3 金具 35 とからは電氣的に離れている。圧電素子 51 の先端側の電極 52 は、先端側の押さえ板 54 とロッド 44 とダイヤフラム 42 とを通じて、第 3 金具 35 に電氣的に接続されている。なお、本実施形態では、圧電素子 51 に掛かる荷重の分布を均等にするために、圧電素子 51 の後端側だけでなく先端側にも押さえ板 54 が配置されている。

[0046] 第 1 金具 20 の軸孔 21 内には、ケーブル 60 が配置されている。ケーブル 60 は、圧電素子 51 の電荷に基づいて内燃機関の燃焼圧を検出するための図示しない電気回路に対して、圧電素子 51 の電荷を伝えるための部材である。本実施形態では、ケーブル 60 として、多層構造を有するいわゆるシールド線を用いて、ノイズを低減している。ケーブル 60 は、中心から外周側に向かって配置された、内部導体 65 と、絶縁体 64 と、導電コーティング 63 と、外部導体 62 と、ジャケット 61 と、を備えている。内部導体 65 は、複数の導線で構成されている。内部導体 65 の径方向の外側は、絶縁体 64 で囲まれている。絶縁体 64 の外周面には、導電コーティング 63 が設けられている。導電コーティング 63 の径方向外側には、網シールドである外部導体 62 が設けられている。外部導体 62 の外周面は、ジャケット 61 によって被覆されている。このように同軸上に配置された複数の部材を備えるケーブルは、同軸ケーブルとも呼ばれる。

[0047] 図 2 に示すように、ケーブル 60 の先端部では、ジャケット 61 に覆われた部分から先端側に向かって、ジャケット 61 に覆われない外部導体 62 が露出している。また、外部導体 62 が露出する部分から先端側に向かって、外部導体 62 に覆われない絶縁体 64 が露出している。さらに、絶縁体 64 が露出する部分から先端側に向かって、絶縁体 64 に覆われない内部導体 65 が露出している。

[0048] ケーブル 60 の先端部で露出する内部導体 65 は、平板導線 75 と細径導線 74 とを介して、素子部 50 の端子部 56 に接続されている。具体的には、内部導体 65 の先端には、平板導線 75 が溶接されており、平板導線 75

の先端には、コイル状に巻回された細径導線 7 4 の後端が溶接されており、細径導線 7 4 の先端は、端子部 5 6 の後端部に溶接されている。平板導線 7 5 と細径導線 7 4 とは、圧電素子 5 1 の電荷を、端子部 5 6 から内部導体 6 5 に伝達できる。なお、内部導体 6 5 と端子部 5 6 とを接続するための構成としては、平板導線 7 5 と細径導線 7 4 とを用いる構成に代えて、他の任意の構成を採用可能である。

[0049] 端子部 5 6 の先端から、端子部 5 6 と細径導線 7 4 とを接続する溶接部よりも後端側の位置まで、端子部 5 6 の全体、および、細径導線 7 4 の先端部を含む範囲が、熱収縮チューブ 7 2 によって覆われている。これにより、端子部 5 6 と押さえねじ 3 2 との間の電氣的な絶縁の信頼性が高められている。圧力センサ 1 0 を製造する際には、端子部 5 6 を有するリード部 5 3 と細径導線 7 4 との溶接による一体化と、熱収縮チューブ 7 2 による被覆とを、全体の組み立てに先立って行なえばよい。

[0050] 外部導体 6 2 の先端部には、外部導体 6 2 の先端からさらに先端側に延びる接地導線 7 6 が接続されている。接地導線 7 6 は、外部導体 6 2 から連続して形成された撚り線で構成されている。接地導線 7 6 の先端部は、押さえねじ 3 2 の後端部に溶接されている。これにより、外部導体 6 2 は、接地導線 7 6、押さえねじ 3 2、第 2 金具 8 0、第 3 金具 3 5、および内燃機関のシリンダヘッドを通じて接地される。

[0051] 圧力センサ 1 0 を製造する際には、第 3 金具 3 5 の先端側から軸孔 3 9 内に、ロッド 4 4 が挿入される。ダイヤフラム 4 2 と第 3 金具 3 5 とが溶接（例えば、レーザ溶接）されて、接合部 4 5 が形成される。接合部 4 5 は、ダイヤフラム 4 2 と第 3 金具 3 5 とが溶接時に溶融した部分である（以下、接合部 4 5 を「溶接部 4 5」または「溶接痕 4 5」とも呼ぶ）。このような接合部 4 5 は、ダイヤフラム 4 2 と第 3 金具 3 5 とが一体化した部分である。また、接合部 4 5 は、ダイヤフラム 4 2 の成分と第 3 金具 3 5 の成分とを含んでいる。また、接合部 4 5 は、ダイヤフラム 4 2 と第 3 金具 3 5 とを接合している。また、第 2 金具 8 0 の後端側から軸孔 8 1 内に、押さえねじ 3 2

がねじ込まれる。この段階では、押さえねじ32は、第2金具80に、仮に固定される。その後、第2金具80の先端側から軸孔81内に、素子部50が挿入される。素子部50のリード部53の端子部56は、予め、細径導線74及び熱収縮チューブ72と一体化されている。そして、押さえねじ32の軸孔36の先端側から細径導線74が挿入され、軸孔36の後端側から細径導線74が引き出される。絶縁板55の後端側の面は、押さえねじ32の先端側の面に支持される。これらの後に、第3金具35が、第2金具80の先端側に配置される。これにより、素子部50は、押さえねじ32とロッド44とに挟まれる。そして、第3金具35と第2金具80とが溶接されて、接合部89が形成される。その後、第2金具80に対して押さえねじ32を回転させることによって、素子部50に予荷重を印加する。押さえねじ32の回転数を調整することによって、予荷重を調整できる。

[0052] そして、押さえねじ32（具体的には、軸孔36）の後端側から引き出された細径導線74の後端、および、内部導体65の先端を、平板導線75と溶接する。また、接地導線76の先端部と押さえねじ32の後端部とを溶接する。さらに、ケーブル60を第1金具20の軸孔21内に通して、第1金具20の先端と第2金具80とを溶接し、接合部26を形成する。その後、第1金具20の軸孔21内に溶融ゴムを注入して軸孔21内をゴム層で満たし（図示せず）、圧力センサ10を完成する。ゴム層を形成することにより、圧力センサ10内の防水性を向上させ、かつ、防振性も高めている。なお、溶融ゴムに代えて溶融樹脂を軸孔21内に注入してもよい。

[0053] なお、第2金具80と第3金具35と素子部50と押さえねじ32との組み立ての順番としては、上記の順番に代えて、他の種々の順番を採用可能である。例えば、第3金具35にダイヤフラム42を溶接し、第3金具35に第2金具80を溶接し、第2金具80の後端側から軸孔81内に素子部50を挿入し、第2金具80の後端側から軸孔81内に押さえねじ32をねじ込む、という順番を採用してもよい。

[0054] A-2. 圧力センサ10の動作

図4は、圧力センサ10の動作の説明図である。図中には、圧力センサ10の先端側の一部分の軸線CLを含む平断面が示されている。ダイアフラム42の受圧面42fは、ダイアフラム42と受熱部90との間の隙間95を通じて、燃焼室内の圧力Pcを受け得る。また、ダイアフラム42は、受熱部90を通じて、圧力Pcに応じた荷重を受け得る。ダイアフラム42は、燃焼室内の圧力Pcに応じて撓む（変形する）。図4の実施形態では、ダイアフラム42は、軸線方向に撓む。ロッド44は、ダイアフラム42の撓み（変形）に応じて、軸線CLにおおよそ平行に変位する。これにより、ロッド44は、圧力Pcに応じた荷重を、素子部50に伝達する。

[0055] また、受熱部90は、ダイアフラム42よりも先端側、すなわち、燃焼室側に、配置されている。受熱部90は、ダイアフラム42の代わりに、燃焼室からの熱を受けることができる。例えば、燃料の燃焼で生じた熱が、燃焼室内のガスを通じて、受熱部90の先端側の面に伝導し得る。また、高温の燃焼ガスが、受熱部90の先端側の面に接触し得る。このように、受熱部90（特に、先端側の面）の温度が、高くなり得る。ダイアフラム42は、受熱部90の後端側に配置されているので、受熱部90と比べて、燃焼室からの熱を受け難い。従って、ダイアフラム42の熱膨張が抑制される。

[0056] 図5は、参考例の圧力センサ10xの動作の説明図である。図中には、圧力センサ10xの先端側の一部分の軸線CLを含む平断面が示されている。図4の実施形態の圧力センサ10との差異は、受熱部90が省略されている点だけである。圧力センサ10xの他の部分の構成は、実施形態の圧力センサ10の対応する部分の構成と、同じである。

[0057] ダイアフラム42の受圧面42fは、図4の実施形態の受圧面42fと同様に、燃焼室内の圧力Pcを受ける。また、図5の参考例では、図4の実施形態とは異なり、受熱部90が省略されているので、ダイアフラム42の先端方向Df側の部分（例えば、受圧面42f）は、燃焼室からの熱を受ける。これにより、ダイアフラム42のうち、先端方向Df側の部分が、局所的に、熱膨張し得る。参考例では、ダイアフラム42の外周側の縁42oは、

第3金具35に接合されている。従って、ダイアフラム42は、熱膨張によって、内周側（軸線CL側）に向かって伸びようとする。この場合、ダイアフラム42の熱膨張は、ロッド44に、軸線CLに平行な力を印加し得る。例えば、図5の参考例では、ダイアフラム42の受圧面42fの熱膨張は、ロッド44に、先端方向Dfの力Fを印加している。これにより、素子部50に印加される荷重が小さくなる。このように、参考例の圧力センサ10xでは、素子部50に印加される荷重が、燃焼ガスの温度に依存して大きく変動し得るので、素子部50からの信号の誤差が大きくなる。

[0058] 図4に示す実施形態では、受熱部90によって、ダイアフラム42の熱膨張が抑制されている。従って、図5の参考例と比べて、第1実施形態では、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0059] A-3. 受熱部90、ダイアフラム42近傍の構成の詳細

ここで、図2に示すように、板状部材である受熱部90の厚さ（板厚）を $t$ とする。受熱部90の厚さ $t$ が大きい場合には、厚さ $t$ が小さい場合に比べて、受熱部90の体積が大きくなるために、受熱部90が吸収できる熱量（熱容量）が大きくなる。この結果、受熱部90の厚さが厚いほど、燃焼室からの熱が、ダイアフラム42まで伝達し難くなるために、ダイアフラム42の熱膨張をより抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0060] 図2に示すように、受熱部90とダイアフラム42との間の軸線方向の最小距離を $d$ とする。最小距離 $d$ は、受熱部90とダイアフラム42との間の隙間95の軸線CLに平行な方向の最小距離である、とすることができる。図2の実施形態では、ダイアフラム42の受圧面42fと、受熱部90の後端側の面とが直接的に接合されている。従って、最小距離 $d$ は、ゼロである。最小距離 $d$ が小さい場合には、最小距離 $d$ が大きい場合と比べて、高温の燃焼ガスが隙間95、95aに流入し難い。従って、最小距離 $d$ が小さいほど、ダイアフラム42、42aの熱膨張をより抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。例えば、最小距離 $d$ は、

0.5 mm以下であることが好ましく、0.3 mm以下であることが特に好ましい。

[0061] さらに、図2に示すように、軸線CLを含む断面において、受熱部90の後端側の面90f（すなわち、ダイアフラム42の受圧面42fと対向する面）と、軸線と垂直な方向と、がなす角度を $\theta$ とする。図2の例では、受熱部90の後端側の面90fは、僅かに湾曲している。このために、角度 $\theta$ は、軸線CLと交差する位置では、0度であり、軸線CLから径方向外側に向かうほど大きくなる。角度 $\theta$ が小さい場合には、角度 $\theta$ が大きい場合と比べて、高温の燃焼ガスが隙間95に流入し難い。このために、角度 $\theta$ の絶対値は、20度以内であることが好ましい。角度 $\theta$ の絶対値が、20度以内である場合には、高温の燃焼ガスが隙間95に流入することを抑制して、ダイアフラムに伝達される熱量をより低減できる。この結果、ダイアフラム42の熱膨張をより抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0062] 次に、第1実施形態のダイアフラム42の有効面積 $S_d$ と、接続面積 $S_n$ と、受熱部90の受熱面積 $S_{n2}$ と、について説明する。

[0063] 図6は、第1実施形態の圧力センサ10のパラメータ $S_{n2}$ 、 $S_n$ 、 $S_d$ の説明図である。図6(A)、図6(C)、図6(E)は、圧力センサ10の先端部の斜視図を示し、図6(B)、図6(D)は、受熱部90を軸線CLに垂直な投影面上に投影して得られる投影図を示し、図6(F)は、ダイアフラム42を軸線CLに垂直な投影面上に投影して得られる投影図を示している。図6(C)、図6(E)は、受熱部90が受圧部40から取り外された状態を示している。

[0064] 図6(A)、図6(B)は、受熱面積 $S_{n2}$ を示している。図中では、受熱面積 $S_{n2}$ に対応する領域に、ハッチングが付されている。受熱面積 $S_{n2}$ は、図6(B)の投影図における受熱部90の全体の面積である。第1実施形態では、受熱部90の先端方向Df側の面の面積が、受熱面積 $S_{n2}$ に対応している。受熱面積 $S_{n2}$ は、燃焼室からの熱をダイアフラム42の代

わりに受けることが可能な領域の面積を示している。受熱面積  $S_n$  が大きい場合には、受熱面積  $S_n$  が小さい場合と比べて、燃焼室からの熱がダイアフラム 42 に伝わり難い。従って、受熱面積  $S_n$  が大きいほど、ダイアフラム 42 の熱膨張が抑制される、すなわち、素子部 50 からの信号の誤差が小さくなる。

[0065] 図 6 (C)、図 6 (D) は、接続面積  $S_n$  を示している。図中では、接続面積  $S_n$  に対応する領域に、ハッチングが付されている。接続面積  $S_n$  は、軸線 CL に垂直な断面上で、受熱部 90 からダイアフラム 42 までの部分（以下、対象部分とも呼ぶ）の断面を包含し、かつ、輪郭の全長が最小となる仮想的な領域である最小包含領域の面積の最小値である。換言すれば、接続面積  $S_n$  は、特定の軸線方向の位置における最小包含領域の面積である。特定の軸線方向の位置は、受熱部 90 からダイアフラム 42 までの範囲の軸線方向の位置のうち、軸線 CL と垂直な断面における最小包含領域が最小となる位置である。そして、特定の断面における最小包含領域は、その特定の断面上で、上記対象部分を包含する輪郭の全長が最小となる仮想的な領域である。最小包含領域は、凸包とも呼ばれる。最小包含領域は、1 つの連続な領域である。このような最小包含領域の面積は、断面の軸線方向の位置に応じて、変化し得る。接続面積  $S_n$  は、このように断面の位置に応じて変化し得る最小包含領域の面積の最小値である。本実施形態では、受熱部 90 からダイアフラム 42 までの部分は、受熱部 90 と、ダイアフラム 42 と、受熱部 90 とダイアフラム 42 とを接続する部分と、を含んでいる。

[0066] 第 1 実施形態では、受熱部 90 は、接合部 99 によって直接的にダイアフラム 42 に接続されているので、受熱部 90 とダイアフラム 42 とを接続する部分は、接合部 99 のうちの受熱部 90 の後端側の面とダイアフラム 42 の先端側の面との間の部分である。接続面積  $S_n$ 、すなわち、最小包含領域の最小面積は、第 1 実施形態では、受熱部 90 からダイアフラム 42 までの部分における断面のうち、受熱部 90 とダイアフラム 42 との接続面（すなわち、受熱部 90 の後端側の面とダイアフラム 42 の先端側の面）を含む断

面上において、接合部 99 の断面を含む最小包含領域の面積である。図 6 (D) の投影図には、受熱部 90 の後端側の表面におけるダイアフラム 42 に接合された接続部分 93 が示されている。この接続部分 93 は、受熱部 90 とダイアフラム 42 とを接合する接合部 99 (図 2) の断面に対応している。この接続部分 93 を含む最小包含領域 94 の面積が、接続面積  $S_n$  である。第 1 実施形態では、接続部分 93 の形状が略円形状であるので、最小包含領域 94 の形状は、接続部分 93 の形状とおおよそ同じであり、接続面積  $S_n$  は、接続部分 93 の面積 (すなわち、接合部 99 の断面積) と、おおよそ同じである。図 6 (C) の接続部分 43 は、ダイアフラム 42 のうちの接続部分 93 に対応する部分である。

[0067] 受熱部 90 は、燃焼室からの熱を受けて、熱膨張し得る (すなわち、変形し得る)。受熱部 90 のうちダイアフラム 42 との接続部分 93 が大きい場合、すなわち、接続面積  $S_n$  が大きい場合には、受熱部 90 の変形が、ダイアフラム 42 に伝わりやすい。受熱部 90 の変形に起因してダイアフラム 42 が変形する場合、ダイアフラム 42 の変形に起因して素子部 50 に意図しない荷重が印加され得る。従って、接続面積  $S_n$  が小さいほど、素子部 50 からの信号の誤差が小さくなる。

[0068] 図 6 (E)、図 6 (F) は、ダイアフラム有効面積  $S_d$  (以下、単に「有効面積  $S_d$ 」とも呼ぶ) を示している。図中では、有効面積  $S_d$  に対応する領域に、ハッチングが付されている。有効面積  $S_d$  は、図 6 (F) の投影図において、接合部 45 に囲まれた領域 46 の面積である。ここで、接合部 45 の内周側の輪郭 45 i (すなわち、領域 46 の輪郭 45 i) としては、ダイアフラム 42 の表面のうち第 3 金具 35 に接続された表面上における接合部 45 の内周側の輪郭が、採用される。例えば、図 2、図 6 (F) の実施形態では、ダイアフラム 42 の後端側の面における接合部 45 の内周側の輪郭が、領域 46 の輪郭 45 i に対応する。

[0069] 第 1 実施形態では、ダイアフラム 42 と第 3 金具 35 とを接合する接合部 45 は、図 6 (F) の投影図において、環状である。従って、ダイアフラム

42のうち接合部45に囲まれた領域46内の部分が、燃焼室内の圧力に応じて、変形できる。

[0070] なお、ダイアフラム42の有効面積 $S_d$ に対する受熱部90の受熱面積 $S_{n2}$ の比率( $S_{n2}/S_d$ )が大きい場合には、ダイアフラム42のうち受熱部90の後端側に隠れている部分の割合が大きくなるので、燃焼室からの熱がダイアフラム42に伝わり難い。従って、比率( $S_{n2}/S_d$ )が大きいほど、ダイアフラム42の熱膨張が抑制され、ひいては、圧力誤差 $E_p$ を小さくできる。このために、比率( $S_{n2}/S_d$ )は、圧力誤差 $E_p$ を小さくする観点では、例えば、0.8以上であることが好ましく、0.9以上がさらに好ましく、1以上であることが特に好ましい。ただし、比率 $S_{n2}/S_d$ が大きい場合には、受熱部90が、内燃機関のシリンダヘッドの圧力センサ10の取り付け孔に接触しやすい。従って、比率 $S_{n2}/S_d$ の上限は、受熱部90がシリンダヘッドの取り付け孔に接触しないように、決定されていることが好ましく、例えば、比率 $S_{n2}/S_d$ が1.2以下であることが好ましい。

[0071] A-4. 第1評価試験

第1実施形態の圧力センサ10について、受熱部90の厚さ $t$ と、上述した有効面積 $S_d$ に対する接続面積 $S_n$ の比率( $S_n/S_d$ )と、が互いに異なる12種類のサンプルを作成して、第1評価試験を行った。具体的には、表1に示すように、受熱部90の厚さ $t$ が0.1mm、0.2mm、0.21mm、0.3mmのいずれかであり、比率( $S_n/S_d$ )が、0.24mm、0.25mm、0.26mmのいずれかである、全ての組み合わせ(4×3)個の組み合わせ)について、計12種類のサンプルが作成された。

[0072] [表1]

		受熱部の厚さ $t$ (mm)			
		0.1	0.2	0.21	0.3
Sn/Sd	0.24	B	A	A	A
	0.25	B	B	A	A
	0.26	B	B	B	A

- [0073] なお、有効面積  $S_d$  を  $16 \text{ mm}^2$  に固定し、接合部 99 の寸法を変更することによって接続面積  $S_n$  を変更することによって、比率 ( $S_n / S_d$ ) が異なるサンプルが作成された。なお、各サンプルには、受熱面積  $S_{n2}$  が  $16 \text{ mm}^2$  である受熱部 90 が用いられた。したがって、各サンプルにおいて、有効面積  $S_d$  に対する受熱面積  $S_{n2}$  の比率 ( $S_{n2} / S_d$ ) は、1 である。また、各サンプルにおいて、最小距離  $d$  は、図 2 に示すように 0 とされた。
- [0074] 第 1 評価試験では、内燃機関の同じシリンダ（すなわち、燃焼室）にサンプルのセンサと、目標となる圧力センサ（「目標センサ」とも呼ぶ）と、を取り付けた。そして、内燃機関を運転させることによって、サンプルのセンサと目標センサとのそれぞれから圧力の波形を取得した。内燃機関としては、直列 4 気筒、排気量 1.3 L、自然吸気の内燃機関が用いられた。内燃機関は、燃焼室内の最大圧力が、20 MPa となる条件で運転された。
- [0075] 図 7 は、第 1 評価試験において圧力センサによって測定される圧力の波形の例を示すグラフである。横軸は、クランク角度  $CA$  を示し、縦軸は、圧力（単位は、kPa）を示している。ゼロ度のクランク角度  $CA$  は、上死点を示している。グラフ中には、基準グラフ  $G_1$  と、サンプルグラフ  $G_2$  と、が示されている。基準グラフ  $G_1$  は、目標センサによって測定された圧力を示している。サンプルグラフ  $G_2$  は、圧力センサのサンプルによって測定された圧力を示している。
- [0076] 図示するように、圧力センサのサンプルによって測定された圧力  $G_2$  が、目標の圧力センサによって測定された圧力  $G_1$  と異なる場合があった（図 7 の例では、クランク角度  $CA$  が、ゼロ度から 180 度の範囲内）。目標となる圧力センサは、十分に良好な精度で圧力を測定できるように、予め調整されている。本評価試験では、サンプルの圧力  $G_2$  と目標の圧力  $G_1$  とを、5 サイクルに亘って測定した。同じタイミングでの 2 つの圧力  $G_1$ 、 $G_2$  の差分を算出した。差分の最大値  $E_m$ （図 7）を、各サイクル毎に特定した。そして、5 個の最大差分  $E_m$  の平均値を、サンプルの圧力センサの圧力誤差  $E_p$  として算出した。

- [0077] そして、圧力誤差  $E_p$  の絶対値が、 $20\text{MPa}$  の  $2\%$ 、すなわち、 $400\text{kPa}$  以下であるサンプルの評価を「A」とし、 $400\text{kPa}$  を超えるサンプルの評価を「B」とした。
- [0078] 評価結果は、表1に示す通りである。比率 ( $S_n/S_d$ ) が  $0.24$  である4種類のサンプルでは、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.1\text{mm}$  であるサンプルの評価は、「B」であり、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.2\text{mm}$  以上、すなわち、 $0.2\text{mm}$ 、 $0.21\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$  のサンプルの評価は、「A」であった。
- [0079] 比率 ( $S_n/S_d$ ) が  $0.25$  である4種類のサンプルでは、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.2\text{mm}$  以下、すなわち、 $0.1\text{mm}$ 、 $0.2\text{mm}$  であるサンプルの評価は、「B」であり、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.21\text{mm}$  以上、すなわち、 $0.21\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$  のサンプルの評価は、「A」であった。
- [0080] 比率 ( $S_n/S_d$ ) が  $0.26$  である4種類のサンプルでは、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.21\text{mm}$  以下、すなわち、 $0.1\text{mm}$ 、 $0.2\text{mm}$ 、 $0.21\text{mm}$  であるサンプルの評価は、「B」であり、受熱部90の厚さ  $t$  が  $0.3\text{mm}$  のサンプルの評価は、「A」であった。
- [0081] 以上の結果から、受熱部90の厚さ  $t$  が、 $0.21\text{mm}$  以上であり ( $t \geq 0.21\text{mm}$ )、かつ、比率 ( $S_n/S_d$ ) が、 $0.25$  以下である ( $(S_n/S_d) \leq 0.25$ ) 場合に、すなわち、表1の点線で囲んだ範囲にて、圧力誤差  $E_p$  を十分に小さくできることが解った。
- [0082] この理由は、以下の通りである。上述したように、受熱部90の厚さ  $t$  が大きいほど、ダイアフラム42の熱膨張が抑制されるので、圧力誤差  $E_p$  が小さくなる。そして、ダイアフラム42aの有効面積  $S_d$  に対する接続面積  $S_n$  の割合が小さいほど、すなわち、比率 ( $S_n/S_d$ ) が小さいほど、ダイアフラム42の変形に対する受熱部90の変形の影響が小さくなるために、圧力誤差  $E_p$  が小さくなる。このために、受熱部90の厚さ  $t$  が比較的大きい、かつ、比率 ( $S_n/S_d$ ) が比較的小さい範囲、具体的には、 $t \geq 0.21\text{mm}$ 、かつ、 $(S_n/S_d) \leq 0.25$ 、を満たす範囲で、圧力誤差

$E_p$ を十分に小さくできると考えられる。なお、厚さ $t$ は、より大きい範囲、例えば、 $t \geq 0.3 \text{ mm}$ であることがより好ましいと考えられる。また、比率( $S_n/S_d$ )は、より小さい範囲、例えば、 $(S_n/S_d) \leq 0.24$ であることがより好ましいと考えられる。

[0083] B. 第2実施形態：

図8は、第2実施形態の圧力センサ10aの説明図である。図中には、図4と同様に、圧力センサ10aの先端側の部分の軸線CLを含む平断面が示されている。図4の第1実施形態との差異は、ロッド44aが、ダイアフラム42aよりも先端方向Df側まで延びている点と、このロッド44aの先端部に受熱部90が接合されている点と、だけである。圧力センサ10aの他の部分の構成は、第1実施形態の圧力センサ10の対応する部分の構成と、同じである。

[0084] 第2実施形態では、受圧部40aは、ロッド44aと、ダイアフラム42aと、固定部41aとを、備えている。ダイアフラム42aは、軸線CLを中心とする円環形状の膜である。ダイアフラム42aの外周側の縁42aoは、全周に亘って、第3金具35の先端部に溶接されている（例えば、レーザー溶接）。ダイアフラム42aと第3金具35とを接合する接合部45は、溶接時に溶融した部分である。ダイアフラム42aの内周側の縁42aiには、固定部41aが接続されている。固定部41aは、軸線CLを中心とする円筒状の部分であり、ダイアフラム42aの縁42aiから先端方向Df側に向かって延びている。固定部41aとダイアフラム42aとは、ステンレス鋼を用いて、一体的に形成されている（例えば、鍛造や削り出し）。ただし、固定部41aとダイアフラム42aとを別々に形成した後に、溶接などにより固定部41aとダイアフラム42aとを一体化してもよい。また、他の材料（例えば、低炭素鋼などの鋼、種々の金属材料）を採用してもよい。

[0085] 固定部41aとダイアフラム42aとの内周側の貫通孔には、ロッド44aが挿入されている。ロッド44aは、軸線CLを中心とする円柱状の部材

である。ロッド44aの後端面は、素子部50の先端側の押さえ板54の先端側の面に接触している。ロッド44aの先端部は、固定部41aから先端側へ突出している。ロッド44aは、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。

[0086] 固定部41aとロッド44aとは、全周に亘って、溶接されている（例えば、レーザ溶接）。このように、ダイヤフラム42aは、固定部41aを介して、ロッド44aに接続されている。圧電素子51は、先端側の電極52と押さえ板54とを介して、ロッド44aに接続されている。固定部41aと、ロッド44aと、先端側の押さえ板54と電極52との全体は、ダイヤフラム42aと圧電素子51とを接続する接続部100aを形成している。

[0087] 受熱部90は、ロッド44aの先端面に接合されている（例えば、レーザ溶接）。受熱部90は、接合部99aを介して、ロッド44aに、接合されている。接合部99aは、受熱部90とロッド44aとが溶接時に溶融した部分である（以下、接合部99aを「溶接部99a」または「溶接痕99a」とも呼ぶ）。このような接合部99aは、受熱部90とロッド44aとが一体化した部分である。また、接合部99aは、受熱部90の成分とロッド44aの成分とを含んでいる。このように、第2実施形態では、受熱部90は、ロッド44aと固定部41aとを介して、ダイヤフラム42aに接続されている。接合部99aは、受熱部90の中央部に形成されている。第2実施形態では、接合部99aは、ロッド44aの先端側の端面の全体に亘って、形成されている。受熱部90は、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。

[0088] 後端方向Drを向いて圧力センサ10aを見る場合、ダイヤフラム42aのおおよそ全体が、受熱部90によって隠されている。第1実施形態と同様に、受熱部90は、ダイヤフラム42aの代わりに、燃焼室からの熱を受けることができる。ダイヤフラム42aは、受熱部90の後端側に配置されているので、受熱部90と比べて、燃焼室からの熱を受け難い。従って、ダイヤフラム42aの熱膨張が抑制される。図5の参考例と比べて、第2実施形

態では、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0089] B-2. 受熱部90、ダイヤフラム42a近傍の構成の詳細

第2実施形態においても、図8に示すように、板状部材である受熱部90の厚さ(板厚)を $t$ とする。また、図8に示すように、受熱部90とダイヤフラム42aとの間の軸線方向の最小距離を $d$ とする。図8の第2実施形態では、図2の第1実施形態とは異なり、受熱部90は、ダイヤフラム42aの先端方向Df側の面である受圧面42afから先端方向Dfへ離れた位置に配置されている。第2実施形態では、受圧面42afと受熱部90との間の隙間95aの軸線CLに平行な方向の最小距離 $d$ は、受熱部90の後端方向Dr側の面と、ダイヤフラム42aの受圧面42afとの間の距離である。第1実施形態と同様に、例えば、最小距離 $d$ は、0.5mm以下であることが好ましく、0.3mm以下であることが特に好ましい。

[0090] さらに、図8に示すように、軸線CLを含む断面において、受熱部90の後端側の面90f(すなわち、ダイヤフラム42aの受圧面42afと対向する面)と、軸線と垂直な方向と、がなす角度を $\theta$ とする。図8の例では、受熱部90の後端側の面90fは、軸線CLと垂直な面であるので、角度 $\theta$ は、0である。第1実施形態と同様に、角度 $\theta$ の絶対値は、20度以内であることが好ましい。こうすれば、高温の燃焼ガスが隙間95aに流入することを抑制して、ダイヤフラム42aの熱膨張をより抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0091] 次に、第2実施形態のダイヤフラム42aの有効面積 $S_d$ と、接続面積 $S_n$ と、受熱部90の受熱面積 $S_{n2}$ と、について説明する。

[0092] 図9は、第2実施形態の圧力センサ10a(図6)のパラメータ $S_{n2}$ 、 $S_n$ 、 $S_d$ の説明図である。図9(A)、図9(C)、図9(E)は、圧力センサ10aの先端部の斜視図を示し、図9(B)、図9(D)は、受熱部90を軸線CLに垂直な投影面上に投影して得られる投影図を示し、図9(F)は、ダイヤフラム42aを軸線CLに垂直な投影面上に投影して得られる投影図を示している。図9(C)、図9(E)は、受熱部90がロッド4

4 aから取り外された状態を示している。

[0093] 図9 (A)、図9 (B) は、受熱面積 $S_{n2}$ を示している。図中では、受熱面積 $S_{n2}$ に対応する領域に、ハッチングが付されている。受熱面積 $S_{n2}$ は、図9 (B) の投影図における受熱部90の全体の面積である。第2実施形態では、受熱部90の先端方向Df側の面の面積が、受熱面積 $S_{n2}$ に対応している。第1実施形態と同様に、第2実施形態においても、受熱面積 $S_{n2}$ が大きいほど、ダイヤフラム42aの熱膨張が抑制される、すなわち、素子部50からの信号の誤差が小さくなる。

[0094] 図9 (C)、図9 (D) は、接続面積 $S_n$ を示している。図中では、接続面積 $S_n$ に対応する領域に、ハッチングが付されている。第2実施形態では、受熱部90 (図8) は、ロッド44aと固定部41aとを介して、間接的にダイヤフラム42aに接続されている (受熱部90とロッド44aとは接合部99aによって直接的に接続されている)。受熱部90からダイヤフラム42aまでの部分は、受熱部90と、ダイヤフラム42aと、受熱部90とダイヤフラム42aとを接続する部分とを含んでいる。受熱部90とダイヤフラム42aとを接続する部分は、接合部99aのうちの受熱部90の後端側の面とロッド44aの先端側の面との間の部分と、ロッド44aのうち固定部41aに接続された部分から受熱部90に接続された部分までの部分と、固定部41aと、を含んでいる。接続面積 $S_n$ 、すなわち、最小包含領域の最小面積は、第2実施形態では、受熱部90からダイヤフラム42aまでの軸線方向の範囲における軸線CLに垂直な断面のうち、最小包含領域の面積が最も小さい特定の断面における最小包含領域の面積である。具体的には、受熱部90の後端側の面と固定部41aの先端側の端との間の断面における最小包含領域の面積である。図9 (D) の投影図には、受熱部90の後端側の表面におけるロッド44aに接続された接続部分93aが示されている。この接続部分93aは、受熱部90とロッド44aとを接合する接合部99a (図6) の断面に対応している。第2実施形態では、接続部分93aの形状は、ロッド44aの断面形状と同じであるので、この接続部分93a

を含む最小包含領域 94 a の面積が、接続面積  $S_n$  である。第 2 実施形態では、接続部分 93 a の形状（すなわち、ロッド 44 a の断面形状）が略円形状であるので、最小包含領域 94 a の形状は、接続部分 93 a の形状とおおよそ同じであり、接続面積  $S_n$  は、接続部分 93 a の面積（すなわち、接合部 99 a の断面積、ひいては、ロッド 44 a の断面積）と、おおよそ同じである。図 9 (C) の接続部分 43 a は、ロッド 44 a のうちの接続部分 93 a に対応する部分である。

[0095] 第 1 実施形態と同様に、第 2 実施形態においても、受熱部 90 は、燃烧室からの熱を受けて、熱膨張し得る（すなわち、変形し得る）。受熱部 90 の接続部分 93 a が大きい場合、すなわち、接続面積  $S_n$  が大きい場合には、受熱部 90 の変形が、ダイアフラム 42 a に伝わりやすい。従って、接続面積  $S_n$  が小さいほど、素子部 50 からの信号の誤差が小さくなる。

[0096] 図 9 (E)、図 9 (F) は、ダイアフラム有効面積  $S_d$ （有効面積  $S_d$ ）を示している。図中では、有効面積  $S_d$  に対応する領域に、ハッチングが付されている。有効面積  $S_d$  は、図 9 (F) の投影図において、接合部 45 に囲まれた領域 46 a の面積である。ここで、接合部 45 の内周側の輪郭 45 i（すなわち、領域 46 a の輪郭 45 i）としては、ダイアフラム 42 a の表面のうち第 3 金具 35 に接続された表面における接合部 45 の内周側の輪郭が、採用される。例えば、図 8、図 9 (F) の第 2 実施形態では、ダイアフラム 42 a の後端側の面における接合部 45 の内周側の輪郭が、領域 46 a の輪郭 45 i に対応する。

[0097] 第 2 実施形態では、ダイアフラム 42 a と第 3 金具 35 とを接合する接合部 45 は、図 9 (F) の投影図において、環状である。従って、受圧部 40 a（すなわち、ダイアフラム 42 a と固定部 41 a とロッド 44 a）のうち、接合部 45 に囲まれた領域 46 内の部分が、燃烧室内の圧力に応じて、変形できる。有効面積  $S_d$  は、接合部 45 に囲まれた領域 46 a の全体の面積である。

[0098] 第 2 実施形態においても、第 1 実施形態と同様に、受熱部 90 の厚さ  $t$  が

、 $0.21\text{ mm}$ 以上であり ( $t \geq 0.21\text{ mm}$ )、かつ、比率 ( $S_n / S_d$ ) が、 $0.25$ 以下である ( $(S_n / S_d) \leq 0.25$ ) ことが好ましい。こうすれば、圧力誤差  $E_p$  を十分に小さくできる。

[0099] C. 評価試験：

図2の圧力センサ10、および、図8の圧力センサ10aのサンプルを用いた評価試験について説明する。評価試験では、圧力センサ10、10aによる圧力の測定結果の誤差が評価された。圧力センサ10、10aのサンプルとしては、受熱部90とダイヤフラム42、42aとの間の最小距離dと、ダイヤフラム42、42aの有効面積 $S_d$ と、接続面積 $S_n$ と、受熱部90の受熱面積 $S_{n2}$ と、の組み合わせが異なる複数種類のサンプルが評価された。

[0100] 図10は、第2評価試験において圧力センサによって測定される圧力の波形の例を示すグラフである。横軸は、クランク角度CAを示し、縦軸は、圧力(単位は、kPa)を示している。ゼロ度のクランク角度CAは、上死点を示している。グラフ中には、基準グラフG1と、サンプルグラフG2と、が示されている。基準グラフG1は、目標となる圧力センサ(「目標センサ」とも呼ぶ)によって測定された圧力を示している。サンプルグラフG2は、圧力センサのサンプルによって測定された圧力を示している。

[0101] 第2評価試験では、内燃機関の同じシリンダ(すなわち、燃焼室)にサンプルのセンサと目標センサとを取り付け、そして、内燃機関を運転させることによって、サンプルのセンサと目標センサとのそれぞれから圧力の波形を取得した。内燃機関としては、直列4気筒、排気量1.3L、自然吸気の内燃機関が用いられた。内燃機関は、回転速度が1500rpmであり、軸トルクが40Nmであるという条件下で、運転された。

[0102] 図示するように、圧力センサのサンプルによって測定された圧力G2が、目標の圧力センサによって測定された圧力G1と異なる場合があった(図10の例では、クランク角度CAが、ゼロ度から180度の範囲内)。サンプルの圧力G2と目標の圧力G1との間に差が生じる場合、いずれのサンプル

の圧力 $G_2$ も、目標の圧力 $G_1$ よりも小さくなる傾向にあった。目標となる圧力センサは、十分に良好な精度で圧力を測定できるように、予め調整されている。本第2評価試験では、サンプルの圧力 $G_2$ と目標の圧力 $G_1$ とを、5サイクルに亘って測定した。同じタイミングでの2つの圧力 $G_1$ 、 $G_2$ の差分を算出した。差分の最大値 $E_m$  (図10)を、各サイクル毎に特定した。そして、5個の最大差分 $E_m$ の平均値を、サンプルの圧力センサの圧力誤差 $E_p$ として算出した。

[0103] 図11(A)は、第2評価試験の結果を示すグラフである。横軸は、比率 $S_n/S_d$ を示し、縦軸は、圧力誤差 $E_p$ を示している(単位は、kPa)。各グラフの1つのデータ点は、1つのサンプルの圧力誤差 $E_p$ を示している。図11(A)の複数のサンプルは、第2実施形態の圧力センサ10a(例えば、図6)のサンプルであった。図11(A)の複数のサンプルに関しては、比率 $S_n/S_d$ は、0.05以上0.35以下の範囲内に分布していた。有効面積 $S_d$ は、 $12\text{mm}^2$ 、 $16\text{mm}^2$ 、 $20\text{mm}^2$ のいずれかであった。有効面積 $S_d$ の調整は、第3金具35の先端部の内径とダイアフラム42aの外径とを調整することにより、行われた(後述する他のグラフの複数のサンプルについても、同様)。比率 $S_n/S_d$ は、0.8であり、最小距離 $d$ は、1mmであった。

[0104] 図11(A)に示すように、比率 $S_n/S_d$ が小さいほど、圧力誤差 $E_p$ が小さかった。この理由は、ダイアフラム42aの有効面積 $S_d$ に対する接続面積 $S_n$ の割合が小さいほど、ダイアフラム42aの変形に対する受熱部90の変形の影響が小さいからである。

[0105] 図11(A)に示すように、比率 $S_n/S_d$ が0.25以下である場合には、200kPa以下という良好な圧力誤差 $E_p$ を実現できた。200kPa以下の圧力誤差 $E_p$ を実現した比率 $S_n/S_d$ は、0.05、0.1、0.15、0.2、0.25であった。比率 $S_n/S_d$ の好ましい範囲(下限以上、上限以下の範囲)を、上記の5個の値を用いて定めてもよい。具体的には、上記の5個の値のうちの任意の値を、比率 $S_n/S_d$ の好ましい範囲

の上限として採用してもよい。例えば、比率 $S_n/S_d$ は、0.25以下であることが好ましく、0.1以下であることが特に好ましい。また、これらの値のうちの上限以下の任意の値を、下限として採用してもよい。例えば、比率 $S_n/S_d$ は、0.05以上であってよい。

[0106] なお、比率 $S_n/S_d$ が小さいほど、ダイアフラム42aの変形に対する受熱部90の変形の影響が小さいので、比率 $S_n/S_d$ は、上記の5個の値のうち最小値である0.05よりも小さくてもよい。ただし、比率 $S_n/S_d$ が小さい場合には、受熱部90が圧力センサから外れやすい。従って、比率 $S_n/S_d$ は、ゼロよりも大きいことが好ましく、受熱部90が圧力センサ10から外れないような接続強度を実現できるように、決定されることが好ましい。

[0107] 図11(B)は、別の複数のサンプルの第2評価試験の結果を示すグラフである。横軸は、比率 $S_n/S_d$ を示し、縦軸は、圧力誤差 $E_p$ を示している(単位は、kPa)。図11(B)の複数のサンプルは、第2実施形態の圧力センサ10a(例えば、図6)のサンプルであった。図11(B)の複数のサンプルに関しては、比率 $S_n/S_d$ は、0.05以上0.35以下の範囲内に分布していた。有効面積 $S_d$ は、 $12\text{mm}^2$ 、 $16\text{mm}^2$ 、 $20\text{mm}^2$ のいずれかであった。図11(A)の複数のサンプルとは異なり、比率 $S_n^2/S_d$ が1であり、最小距離 $d$ が0.5mmであった。

[0108] 図11(B)に示すように、比率 $S_n/S_d$ が小さいほど、圧力誤差 $E_p$ が小さかった。また、圧力誤差 $E_p$ は、比率 $S_n/S_d$ に依らず、60kPa以下であった。このように、図11(B)の複数のサンプルは、図11(A)の複数のサンプルと比べて、良好な圧力誤差 $E_p$ を実現できた。この理由は、比率 $S_n^2/S_d$ と最小距離 $d$ とが、より好ましい値に調整されたからである(詳細は、後述)。

[0109] 図11(C)は、別の複数のサンプルの第2評価試験の結果を示すグラフである。横軸は、比率 $S_n^2/S_d$ を示し、縦軸は、圧力誤差 $E_p$ を示している(単位は、kPa)。図11(C)の複数のサンプルは、第2実施形態

の圧力センサ10a（例えば、図6）のサンプルであった。図11（C）の複数のサンプルに関しては、比率 $S_{n2}/S_d$ は、0.7以上1.1以下の範囲内に分布していた。有効面積 $S_d$ は、 $12\text{mm}^2$ 、 $16\text{mm}^2$ 、 $20\text{mm}^2$ のいずれかであった。比率 $S_n/S_d$ は、0.25であり、最小距離 $d$ は、 $1\text{mm}$ であった。比率 $S_n/S_d$ は、上記の好ましい範囲内であった。最小距離 $d$ は、図11（A）の複数のサンプルと共通であった。

[0110] 比率 $S_{n2}/S_d = 1.1$ のサンプルでは、受熱部90（図6）の外径は、ダイヤフラム42aの外径と同じであった。比率 $S_{n2}/S_d$ が1よりも大きい理由は、ダイヤフラム有効面積 $S_d$ からは、接合部45の面積が除かれているからである。比率 $S_{n2}/S_d$ が1以下のサンプルでは、受熱部90の外径が、ダイヤフラム42aの外径よりも小さかった。

[0111] 図11（C）に示すように、比率 $S_{n2}/S_d$ が大きいほど、圧力誤差 $E_p$ が小さかった。この理由は、以下の通りである。比率 $S_{n2}/S_d$ が大きい場合には、ダイヤフラム42aのうち受熱部90の後端側に隠れている部分の割合が大きいので、燃烧室からの熱がダイヤフラム42aに伝わり難い。従って、比率 $S_{n2}/S_d$ が大きいほど、ダイヤフラム42aの熱膨張が抑制される、ひいては、圧力誤差 $E_p$ を小さくできる。

[0112] 図11（C）に示すように、比率 $S_{n2}/S_d$ が0.8以上である場合には、 $200\text{kPa}$ 以下という良好な圧力誤差 $E_p$ を実現できた。 $200\text{kPa}$ 以下の圧力誤差 $E_p$ を実現した比率 $S_{n2}/S_d$ は、0.8、0.9、1、1.1であった。比率 $S_{n2}/S_d$ の好ましい範囲（下限以上、上限以下の範囲）を、上記の4個の値を用いて定めてもよい。具体的には、上記の4個の値のうちの任意の値を、比率 $S_{n2}/S_d$ の好ましい範囲の下限として採用してもよい。例えば、比率 $S_{n2}/S_d$ は、0.8以上であることが好ましく、1以上であることが特に好ましい。また、これらの値のうちの下限以上の任意の値を、上限として採用してもよい。例えば、比率 $S_{n2}/S_d$ は、1.1以下であってよい。

[0113] なお、比率 $S_{n2}/S_d$ が大きいほど、ダイヤフラム42aが燃烧室から

の熱を受けにくいので、比率  $S_n^2 / S_d$  は、上記の4個の値のうちの最大値である1.1よりも大きくても良い。ただし、比率  $S_n^2 / S_d$  が大きい場合には、受熱部90が、内燃機関のシリンダヘッドの圧力センサ10の取り付け孔に接触しやすい。従って、比率  $S_n^2 / S_d$  の上限は、受熱部90がシリンダヘッドの取り付け孔に接触しないように、決定されていることが好ましく、例えば、比率  $S_n^2 / S_d$  が1.2以下であることが好ましい。

[0114] 図11(D)、図11(E)は、別の複数のサンプルの第2評価試験の結果を示すグラフである。横軸は、最小距離  $d$  を示し、縦軸は、圧力誤差  $E_p$  を示している(単位は、kPa)。図11(D)、図11(E)の複数のサンプルに関しては、最小距離  $d$  は、0.0、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0、1.2(mm)のいずれかであった。有効面積  $S_d$  は、 $12\text{mm}^2$ 、 $16\text{mm}^2$ 、 $20\text{mm}^2$ のいずれかであった。最小距離  $d$  が0.0mmである複数のサンプルは、第1実施形態の圧力センサ10(例えば、図2)のサンプルであった。最小距離  $d$  が0.0mmよりも大きい複数のサンプルは、第2実施形態の圧力センサ10a(例えば、図6)のサンプルであった。

[0115] また、比率  $S_n / S_d$  は、図11(D)、図11(E)の複数のサンプルに共通であり、0.25であった。この比率  $S_n / S_d$  は、上記の好ましい範囲内であった。比率  $S_n^2 / S_d$  は、図11(D)では、1であり、図11(E)では、0.8であった。これらの比率  $S_n^2 / S_d$  は、上記の好ましい範囲内であった。

[0116] 図11(D)、図11(E)に示すように、いずれのサンプルも、200kPa以下の良好な圧力誤差  $E_p$  を実現した。また、図11(D)、図11(E)に示すように、最小距離  $d$  が小さいほど、圧力誤差  $E_p$  が小さかった。この理由は、以下の通りである。最小距離  $d$  が小さいほど、高温の燃焼ガスが隙間95、95aに流入し難い。従って、最小距離  $d$  が小さいほど、ダイヤフラム42aの熱膨張が抑制される、ひいては、圧力誤差  $E_p$  を小さくできる。

[0117] また、図11(D)、図11(E)では、 $d \geq 0.7 \text{ mm}$ の範囲と $d \leq 0.5 \text{ mm}$ の範囲との間で、圧力誤差 $E_p$ が大きく変化している。このように、最小距離 $d$ が $0.5 \text{ mm}$ 以下である場合に、圧力誤差 $E_p$ を大幅に改善できた。ただし、最小距離 $d$ が $0.5 \text{ mm}$ を超えていてもよい。

[0118] 以上、比率 $S_{n2}/S_d$ と、比率 $S_n/S_d$ と、最小距離 $d$ との、それぞれの好ましい範囲について、説明した。これら3種類のパラメータの好ましい範囲は、互いに共存可能である。従って、圧力センサの構成としては、3種類のパラメータから任意に選択された1種類以上のパラメータが、各パラメータの好ましい範囲内であるような構成を採用することが好ましい。例えば、図11(A)、図11(B)の一部の複数のサンプルのように、 $(S_{n2}/S_d) \geq 0.8$ 、かつ、 $(S_n/S_d) \leq 0.25$ である構成を採用してもよい。さらに、以下の3つの条件から選択された1以上の任意の条件が満たされてもよい。

条件1)  $(S_{n2}/S_d) \geq 1.0$

条件2)  $d \leq 0.5 \text{ mm}$

条件3)  $(S_n/S_d) \leq 0.1$

[0119] また、良好な圧力誤差 $E_p$ （例えば、 $200 \text{ kPa}$ 以下の圧力誤差 $E_p$ ）を実現したダイアフラム42、42aの有効面積 $S_d$ は、 $12 \text{ mm}^2$ 、 $16 \text{ mm}^2$ 、 $20 \text{ mm}^2$ であった。有効面積 $S_d$ の好ましい範囲（下限以上、上限以下の範囲）を、上記の3個の値を用いて定めてもよい。具体的には、上記の3個の値のうちの任意の値を、有効面積 $S_d$ の好ましい範囲の下限として採用してもよい。例えば、有効面積 $S_d$ は、 $12 \text{ mm}^2$ 以上であってよい。また、これらの値のうちの下限以上の任意の値を、上限として採用してもよい。例えば、有効面積 $S_d$ は、 $20 \text{ mm}^2$ 以下であってよい。なお、図11(A)～図11(E)に示すように、有効面積 $S_d$ が異なり他の条件が同じである複数のサンプルの間で、圧力誤差 $E_p$ の差は小さい。すなわち、圧力誤差 $E_p$ の有効面積 $S_d$ 依存性は小さい。従って、有効面積 $S_d$ は、 $12 \text{ mm}^2$ よりも小さくてもよく、また、 $20 \text{ mm}^2$ よりも大きくてもよい。

## [0120] D. 第3実施形態：

図12は、第3実施形態の圧力センサ10bの説明図である。図12(A)は、圧力センサ10bの先端側の一部分の軸線CLを含む平断面を示し、図12(B)、図12(C)は、受熱部90を軸線CLに垂直な投影面上に投影して得られる投影図を示している。図4に示す第1実施形態との差異は、軸線方向を向いて見る場合に、受熱部90とダイアフラム42とを接合する接合部99bが、環状である点だけである。接合部99bは、受熱部90とダイアフラム42(ひいては、受圧部40)とが溶接時に溶融した部分である(以下、接合部99bを「溶接部99b」または「溶接痕99b」とも呼ぶ)。このような接合部99bは、受熱部90とダイアフラム42とが一体化した部分である。また、接合部99bは、受熱部90の成分とダイアフラム42の成分とを含んでいる。圧力センサ10bの他の部分の構成は、第1実施形態の圧力センサ10の対応する部分の構成と、同じである。

[0121] 図12(B)には、接続部分93bと、接続部分93bを含む最小包含領域94bの輪郭とが示されている。接続部分93bは、受熱部90の後端側の表面のうちダイアフラム42に接合された部分である。図中では接続部分93bにハッチングが付されている。第3実施形態では、接続部分93bは、受熱部90の後端側の表面上における接合部99bの断面に、対応している。このように、受熱部90のうちダイアフラム42に接続された部分(ここでは、接合部99b)が、孔を有する環状の部分であってもよい。

[0122] ここで、受熱部90が熱膨張する場合、受熱部90のうちの環状の接合部99bに囲まれた部分の変形は、接合部99bを通じてダイアフラム42に伝わりやすい。接続面積 $S_n$ は、このように受熱部の変形が伝わりやすい部分の最小面積を示している。第3実施形態では、接続面積 $S_n$ としては、接続部分93bを含む最小包含領域94bの面積を採用することが好ましい。第3実施形態では、接続部分93bの外周側の輪郭の形状が略円形状であるので、最小包含領域94bの輪郭の形状は、接続部分93bの外周側の輪郭の形状とおおよそ同じである。本実施形態のように、受熱部からダイアフラ

ムまでの範囲の軸線方向の位置のうち、特定の位置での断面が、例えば、接合部 99b の断面のように、環状である場合には、当該特定の位置での断面における最小包含領域は、当該環状の断面の外側の輪郭（外縁）に囲まれた領域である。図 12（C）では、接続面積  $S_n$  に対応する領域に、ハッチングが付されている。そして、このような接続面積  $S_n$  を用いて算出される比率  $S_n/S_d$  が、上記の好ましい範囲内にあることが好ましい。これにより、良好な圧力誤差  $E_p$  を実現できると、推定される。

[0123] なお、第 3 実施形態においても、受熱部 90 の厚さ  $t$ 、受熱部 90 の角度  $\theta$ 、比率  $S_{n2}/S_d$  と、比率  $S_n/S_d$  と、最小距離  $d$  から任意に選択された 1 種類以上のパラメータが、各パラメータの上記の好ましい範囲内であるような構成を採用することによって、良好な圧力誤差  $E_p$  を実現できると推定される。

[0124] 例えば、第 3 実施形態においても、第 1、第 2 実施形態と同様に、受熱部 90 の厚さ  $t$  が、 $0.21\text{ mm}$  以上であり ( $t \geq 0.21\text{ mm}$ )、かつ、比率 ( $S_n/S_d$ ) が、 $0.25$  以下である ( $(S_n/S_d) \leq 0.25$ ) ことが好ましい。こうすれば、圧力誤差  $E_p$  を十分に小さくできる。

[0125] なお、図 12 の実施形態では、受熱部 90 は、接合部 99b によって直接的にダイアフラム 42 に接続されている。従って、最小距離  $d$  は、ゼロである。また、受熱部 90 の後端側の面 90f は、軸線  $CL$  と垂直である。したがって、受熱部 90 の後端側の面 90f と、軸線  $CL$  と垂直な方向と、がなす角度  $\theta$  は、 $0$  である。

[0126] E. 第 4 実施形態：

図 13 は、第 4 実施形態の圧力センサ 10c の説明図である。図中には、圧力センサ 10c の先端側の一部分の軸線  $CL$  を含む平断面が、示されている。図 8 に示す第 2 実施形態との差異は、受熱部 90 とロッド 44c とが 1 つの部材 120 によって形成されている点である（「受熱ロッド 120」と呼ぶ）。圧力センサ 10c の他の部分の構成は、第 2 実施形態の圧力センサ 10a の対応する部分の構成と、同じである。

- [0127] 受熱ロッド120は、受熱部90と、受熱部90の後端側に接続されたロッド44cと、を備えている。受熱部90の形状は、図8の受熱部90の形状と同じである。ロッド44cの形状は、軸線CLを中心とする円柱に局部的に外径が小さい小径部48を形成した形状である。ロッド44cは、図8のロッド44aと同様に、固定部41aとダイアフラム42aとの内周側の貫通孔に挿入され、そして、固定部41aに溶接されている。小径部48は、受熱部90と固定部41aとの間に位置している。受熱ロッド120は、1つの部材として一体的に形成されている（例えば、鍛造や削り出し）。また、受熱ロッド120は、本実施形態ではステンレス鋼を用いて形成されているが、他の金属を用いて形成されてもよい。
- [0128] 圧電素子51は、先端側の電極52と押さえ板54とを介して、ロッド44cに接続されている。固定部41aと、ロッド44cと、先端側の押さえ板54と電極52と、の全体は、ダイアフラム42aと圧電素子51とを接続する接続部100cを形成している。
- [0129] 第4実施形態では、受熱部90は、ロッド44cと固定部41aとを介して、間接的にダイアフラム42aに接続されている。受熱部90からダイアフラム42aまでの部分は、受熱部90と、ダイアフラム42aと、受熱部90とダイアフラム42aとを接続する部分とを含んでいる。受熱部90とダイアフラム42aとを接続する部分は、ロッド44cのうち固定部41aに接続された部分から受熱部90に接続された部分までの部分と、固定部41aと、を含んでいる。第4実施形態では、受熱部90からダイアフラム42aまでの軸線方向の位置における軸線CLに垂直な断面のうちの最小包含領域の面積が最小となる断面は、小径部48の最も外径が小さい部分を通る断面である。接続面積 $S_n$ は、すなわち、最小包含領域の最小面積は、ロッド44cの小径部48の最小外径部分の断面における最小包含領域の面積である（図示省略）。このように接続面積 $S_n$ が小さい場合には、受熱部90の変形がダイアフラム42aに伝わりにくいので、素子部50からの信号の誤差が小さくなる。

[0130] 受熱面積  $S_n$  と有効面積  $S_d$  と最小距離  $d$  とは、図 8 の第 2 実施形態と同様に算出される。そして、第 4 実施形態においても、受熱部 90 の厚さ  $t$ 、受熱部 90 の角度  $\theta$ 、比率  $S_n / S_d$  と、比率  $S_n / S_d$  と、最小距離  $d$  と、から任意に選択された 1 種類以上のパラメータが、各パラメータの上記の好ましい範囲内であるような構成を採用することによって、良好な圧力誤差  $E_p$  を実現できると推定される。

[0131] 例えば、第 4 実施形態においても、第 1 ~ 第 3 実施形態と同様に、受熱部 90 の厚さ  $t$  が、0.21 mm 以上であり ( $t \geq 0.21 \text{ mm}$ )、かつ、比率 ( $S_n / S_d$ ) が、0.25 以下である ( $(S_n / S_d) \leq 0.25$ ) ことが好ましい。こうすれば、圧力誤差  $E_p$  を十分に小さくできる。

[0132] なお、小径部 48 が省略されてもよい。この場合、接続面積  $S_n$  は、ロッド 44 c のうち受熱部 90 の後端側の面と固定部 41 a の先端側の端との間の部分の断面を含む最小包含領域の面積である。

[0133] なお、第 4 実施形態において、受熱部 90 の後端側の面 90 f は、軸線 CL と垂直である。したがって、受熱部 90 の後端側の面 90 f と、軸線 CL と垂直な方向と、がなす角度  $\theta$  は、0 である。

[0134] F. 第 5 実施形態：

F 1. 圧力センサ 10 d の構成

図 14 は、第 5 実施形態の圧力センサ 10 d の説明図である。この断面は、軸線 CL を含む平断面である。圧力センサ 10 d では、図 14 の圧力センサ 10 において第 2 金具 80 と第 3 金具 35 と押さえねじ 32 とから成る部材が、1 個の先端金具 30 d によって形成されている。先端金具 30 d は、第 1 金具 20 の先端側に配置されており、第 1 金具 20 の先端との間で接合部 26 d を介して接合されている。接合部 26 d は、第 1 金具 20 と先端金具 30 d との溶接（例えば、レーザ溶接）の際に、溶融した部分である。先端金具 30 d の先端部には、先端側から後端側に向かって拡径する拡径部 34 d が形成されている。圧力センサ 10 が内燃機関に取り付けられる場合、拡径部 34 d は、内燃機関のシリンダヘッド 500 の取り付け孔 510 のシ

ール面520に密着する。また、先端金具30dには、中心軸CLを中心とする貫通孔である軸孔31dが形成されている。軸孔31dは、大内径部35dと、大内径部35dの後端側に接続され大内径部35dの内径よりも小さい内径を有する小内径部36dと、で構成されている。大内径部35dと小内径部36dとの間には、段部39dが設けられている。段部39dは、先端方向Df側を向いた面を形成している。軸孔31d内には、先端側から後端側に向かって順に、図14の受圧部40および素子部50と同様の受圧部40と素子部50とが配置されている。受圧部40は、先端金具30dの先端部に溶接されており（例えば、レーザ溶接）、先端金具30dの先端において、軸孔31を塞いでいる。

[0135] 第1金具20、受圧部40、素子部50、ケーブル60等の構成は、図2の圧力センサ10と同一であるので、図14において、図2と同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。ロッド44と、素子部50の先端側の押さえ板54と電極52との全体は、ダイヤフラム42と圧電素子51とを接続する接続部100dを形成している。

[0136] ダイヤフラム42の先端側の面には、受熱部90dが接合されている（例えば、レーザ溶接）。図15は、受熱部90dの説明図である。図15(A)は、受熱部90dの斜視図を示し、図15(B)は、受熱部90dの軸線CLを含む平断面を示している。受熱部90dは、軸線CLを中心とする円盤状の板部93dと、板部93dの外周側の縁93d $\circ$ から先端方向Df側へ突出する円筒状の側壁部92dと、板部93dの中央部から後端方向Dr側へ突出する円柱状の脚部98dと、を備えている。以下、側壁部92dと板部93dとの全体を、「主部91d」とも呼ぶ。脚部98dの外径は、主部91dの外径よりも小さい。

[0137] 側壁部92dは、板部93dの縁93d $\circ$ の全周に亘って形成されている。側壁部92dには、板部93dの縁93d $\circ$ に沿って並ぶ（すなわち、周方向に沿って並ぶ）複数の貫通孔97dが形成されている。本実施形態では、貫通孔97dは、軸線CLに垂直な2つの内面と、軸線CLに平行な2つ

の内面と、によって囲まれる略矩形状の孔である。

[0138] 図15(B)中のサイズH1は、貫通孔97dの軸線方向のサイズであり、複数の貫通孔97dの軸線CLに平行な方向の長さ（すなわち、大きさ）の最大値である。1つの貫通孔97dの軸線方向のサイズは、軸線CLに平行な直線が1つの貫通孔97dの内面上の2点を通る場合に、それらの2点を結ぶ線分の長さの最大値である。サイズH1は、複数の貫通孔97dのそれぞれの軸線方向のサイズのうちの最大値である。図15(B)の実施形態では、貫通孔97dは、径方向に沿って延びている。従って、サイズH1は、貫通孔97dの軸線CLに平行な方向の長さと同じである。

[0139] 図15(C)、図15(D)は、側壁部92dの軸線CLに垂直な断面を示している。図15(C)は、複数の貫通孔97dを通らない第1断面CS1を示し、図15(D)は、複数の貫通孔97dを通る第2断面CS2を示している。

[0140] 図15(C)に示す外周長C1は、第1断面CS1における側壁部92dの外周の長さである。本実施形態では、側壁部92dの形状が軸線CLに沿って延びる略円筒であるので、外周長C1は、受熱部90dの外径D2から算出される円の周長と同じである。

[0141] 図15(D)に示す壁長C2は、第2断面CS2において、側壁部92dの外周面に対応する部分の長さの合計である。図15(D)では、壁長C2は、太線で示された部分の長さの合計である。壁長C2は、外周長C1から、貫通孔97dの周方向の長さを引いた残りである。なお、第1実施形態では、複数の貫通孔97dは、周方向に沿って均等に分布するように、配置されている。

[0142] 側壁部92dと板部93dと脚部98dとは、ステンレス鋼を用いて、一体的に形成されている（例えば、鍛造や削り出し）。側壁部92dと板部93dと脚部98dとのうちの2つの部分、または、3つの部分を別々に形成した後、溶接などによりそれらの部分を一体化してもよい。また、他の材料（例えば、低炭素鋼などの鋼、種々の金属材料）を採用してもよい。

- [0143] 図14に示すように、受熱部90dは、接合部99dを介して、ダイアフラム42（ひいては、受圧部40）に、接合されている。接合部99dは、受熱部90dとダイアフラム42（ひいては、受圧部40）との溶接時に溶融した部分である（例えば、レーザ溶接）。接合部99dは、受熱部90dの中央部に形成されている。
- [0144] また、図示するように、受熱部90dは、シリンダヘッド500の取り付け孔510内に配置される。具体的には、受熱部90dは、取り付け孔510の先端方向Df側の部分530の内に位置している（「先端部530」とも呼ぶ）。側壁部92dの外周面922dは、取り付け孔510の先端部530の内周面に対向している。
- [0145] 素子部50は、2個の電極52と、2個の電極52に挟まれた圧電素子51と、先端側の電極52の先端側に配置された押さえ板54と、後端側の電極52から後端方向Drに向かって順番に並ぶリード部53、押さえ板54、絶縁板55と、を備えている。図14に示すように、押さえ板54、電極52、圧電素子51、電極52、リード部53、押さえ板54、絶縁板55は、先端側から後端側に向かってこの順番に、積層されている。絶縁板55の後端側の面は、先端金具30dの段部39dに支持されている。ロッド44の後端部49は、先端側の押さえ板54の先端側の面に接触している。後述するように、押さえ板54は、軸線CLを中心とする貫通孔54hを有している。ロッド44の後端部49は、この貫通孔54hに挿入される突出部を有している。この突出部の後端面は、先端側の電極52の先端側の面に、接触している。圧電素子51は、先端側の電極52と押さえ板54とを介して、ロッド44に接続されている。ロッド44と、先端側の押さえ板54と電極52との全体は、ダイアフラム42と圧電素子51とを接続する接続部100dを形成している。
- [0146] 圧力センサ10dを製造する際には、先端金具30dの先端側から軸孔31d（具体的には、大内径部35d）内に、素子部50が挿入される。素子部50のリード部53の端子部56は、予め、細径導線74及び熱収縮チュ

ーブ72と一体化されている。そして、先端金具30dの小内径部36dの先端側から細径導線74が挿入され、小内径部36dの後端側から細径導線74が引き出される。さらに、受圧部40が、素子部50の先端側に配置される。そして、ダイヤフラム42の縁42oと先端金具30dとが溶接されて、接合部45が形成される。ロッド44の長さは、素子部50に適切な予荷重が印加されるように、予め決定される。その後、ダイヤフラム42に、受熱部90dが溶接されて、99dが形成される。

[0147] そして、先端金具30d（具体的には、小内径部36d）の後端側から引き出された細径導線74の後端、および、内部導体65の先端を、平板導線75と溶接する。また、接地導線76の先端部と先端金具30dの後端部とを溶接する。さらに、ケーブル60を第1金具20の軸孔21内に通して、第1金具20の先端と先端金具30dの後端とを溶接し、溶融部26dを形成する。その後、第1金具20の軸孔21内に溶融ゴムを注入して軸孔21内をゴム層で満たし（図示せず）、圧力センサ10を完成する。ゴム層を形成することにより、圧力センサ10d内の防水性を向上させ、かつ、防振性も高めている。なお、溶融ゴムに代えて溶融樹脂を軸孔21内に注入してもよい。

[0148] 図14に示す第5実施形態では、受熱部90dによって、ダイヤフラム42の熱膨張が抑制されている。従って、図5の参考例と比べて、第5実施形態では、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0149] F2. 側壁部92dの貫通孔97dについて：

F2-1. シミュレーションについて：

受熱部90dの側壁部92dの貫通孔97dとガスの流れとの関係を検討するために、シミュレーションを行った。図16、図17は、シミュレーションに用いられたモデルの概略図である。図16は、第5実施形態の圧力センサ10dのモデルを示し、図17は、参考例の圧力センサ10zのモデルを示している。図中には、軸線CLを含む平断面の一部が示されている。図16の平断面は、貫通孔97dを通る平断面を示している。図中の小さい矢

印は、ガスの流れる方向を示している。図示されたガスの流れは、有限要素法によるシミュレーションの結果を示している。なお、図中では、受熱部90dとダイヤフラム42との間の隙間952dでのガスの流れる方向の図示が省略されている。

[0150] 図16には、シリンダヘッド500の取り付け孔510の先端部530と、圧力センサ10の先端金具30dとダイヤフラム42と受熱部90dと、のそれぞれの一部分の軸線CLを含む平断面が示されている。ダイヤフラム42と先端金具30dとは、中身の詰まった1つの部材に単純化されている。シミュレーションでは、図示された各寸法は、以下の値に設定された。

側壁部92dの内径 $D1 = 7.85 \text{ mm}$

側壁部92dの外径 $D2 = 8.45 \text{ mm}$

取り付け孔510の先端部530の内径 $D3 = 9 \text{ mm}$

シリンダヘッド500の外径 $D4 = 20 \text{ mm}$

第1クリアランス $CL1 = 0.275 \text{ mm}$

第2クリアランス $CL2 = 0.5 \text{ mm}$

第1クリアランス $CL1$ は、受熱部90dの側壁部92dと先端部530との間の隙間951dの径方向の距離である。第2クリアランス $CL2$ は、受熱部90dの板部93dとダイヤフラム42との間の隙間952dの軸線CLに平行な方向の距離である。

[0151] 図17に示す参考例の圧力センサ10zでは、図16の受熱部90dが、参考例の受熱部90zに置換されている。参考例のモデルの他の部分の構成は、図16の実施形態のモデルの対応する部分の構成と、同じである。受熱部90zは、軸線CLを中心とする円盤状の板部であり、側壁部92dを備えない点で受熱部90dと相違する。受熱部90zの外径 $D2$ は、図16の受熱部90dの外径 $D2$ と同じである。受熱部90zの軸線CLに平行な方向の厚さは、図16の主部91dの厚さと同じである。

[0152] 図16、図17の各モデルにおいて、上記のパラメータ $D2$ 、 $D3$ 、 $D4$ 、 $CL1$ 、 $CL2$ は、共通であった。シリンダヘッド500の先端側が燃焼

室600であることとした。各部材500、90d、90z、42、30dの間隙間と、燃焼室600内と、には、標準的な空気が満たされていることとした。各部材500、90d、90z、42、30dの外面を通り抜けるガスの移動が無いこととした。そして、燃焼室600から後端方向Drに向かって最大16MPaの圧力を印加した。この圧力の印加による空気の流れの経時変化をシミュレートした。

[0153] 図16に示すように、実施形態のモデルでは、ガスは、燃焼室600から後端方向Drに向かって流れている。そして、受熱部90dの近傍で、ガス流の方向は、径方向の外側に変化している。特に、実施形態のモデルでは、ガスは、側壁部92dの内周側で、板部93dの先端方向Df側の面931dに沿って、径方向の外側に向かって流れている。そして、ガスは、貫通孔97dから、側壁部92dとシリンダヘッド500との間の隙間951dに、流出している。

[0154] ところで、燃焼室内では、燃料の燃焼によってカーボンが生じ得る。このようなカーボンが、受熱のための部材と、ダイヤフラムと、の間に流入することによって、不具合が生じる場合があった。例えば、ダイヤフラムにカーボンが付着して、ダイヤフラムの特性が変化する場合があった。

[0155] 図16の下部には、隙間951dの近傍の拡大図が示されている。図中の位置CPは、カーボン粒子の通過位置の例を示している（以下、カーボン粒子を、単に「粒子」とも呼ぶ）。位置SPは、カーボン粒子の開始位置を示している。シミュレーションでは、4つの開始位置SPにカーボン粒子が配置された。開始位置SPに配置された粒子は、ガス流によって、別の位置に移動した。シミュレーションでは、開始位置SPへの粒子の配置が、複数回、繰り返され、そして、各粒子の位置の経時変化が計算された。シミュレーションでは、カーボン粒子の粒径が、 $1 \times 10^{-9} \text{ m}$ に設定され、カーボン粒子の密度が、 $2 \text{ kg} / \text{m}^3$ に設定された。

[0156] 具体的には、4つの開始位置SPは、受熱部90dの側壁部92dの先端方向Df側の端部の近傍に、配置された。4つの開始位置SPは、径方向に

沿って0.1mm間隔で並んでいる。内周側の2つの開始位置SPは、側壁部92dの先端方向Df側に位置し、外周側の2つの開始位置SPは、隙間951dの先端方向Df側に位置している。これら4つの開始位置SPは、シリンダヘッド500の取り付け孔510の先端部530内に、位置している。シミュレーションでは、このような4つの開始位置SPに、圧力の印加開始からの0.1msの時間内に均等に分散して、100個の粒子が配置された（本シミュレーションでは、0.001ms毎に、1個の粒子が配置された）。100個の粒子は、4つの開始位置SPに均等に分散して配置された。

[0157] 図中の最奥位置CPmは、粒子が通過した複数の位置のうち、最も後端方向Dr側の位置である。流入距離dxは、受熱部90dの板部93dの後端方向Dr側の面932dを基準とした最奥位置CPmの軸線CLに平行な方向の位置までの軸線CLに平行な距離であり、カーボン粒子の流入距離を示している。「 $dx=0$ 」は、カーボン粒子の最奥位置CPmが面932dと同じ位置にあることを示している。「 $dx>0$ 」は、カーボン粒子の最奥位置CPmが面932dよりも後端方向Dr側の位置にあることを示し、「 $dx<0$ 」は、カーボン粒子の最奥位置CPmが面932dよりも先端方向Df側の位置にあることを示している。

[0158] 図16に示すように、実施形態のモデルでは、貫通孔97dから隙間951dにガスが流出している。貫通孔97dから隙間951dへ流出するガスは、カーボン粒子が隙間951dを通り抜けることを抑制するエアカーテンとして、機能する。このように、貫通孔97dを流れるガスによって、カーボン粒子が隙間951dを通過して隙間952dへ流入することが抑制されている。

[0159] 図17に示すように、参考例のモデルでは、ガスは、燃焼室600から後端方向Drに向かって流れている。そして、受熱部90zの近傍で、ガス流の方向は、径方向の外側に変化している。図16の実施形態のモデルとは異なり、ガスは、受熱部90zの外周面とシリンダヘッド500との間の隙間

951dを、後端方向Dr側に向かって流れている。

[0160] 図17の下部には、隙間951dの近傍の拡大図が示されている。参考例のシミュレーションでも、図16の実施形態のシミュレーションと同じ条件下で、4つの開始位置SPにカーボン粒子が配置された。図16のモデルとは異なり、参考例のモデルでは、カーボン粒子は、開始位置SPから、隙間951dを通して、受熱部90zとダイアフラム42との間の隙間952dに到達している。最奥位置CPmは、受熱部90zの後端方向Dr側の面932zよりも、後端方向Dr側に位置している( $dx > 0$ )。なお、受熱部90zの面932zの形状と位置とは、図16の板部93dの後端方向Dr側の面932dの形状と位置と、それぞれ同じである。流入距離dxは、面932zを基準とするカーボン粒子の流入距離を示している。

[0161] 一般的に、カーボン粒子が隙間952dに到達すると、素子部50からの信号の誤差が大きくなり得る。具体的には、隙間952dに到達したカーボン粒子は、ダイアフラム42に付着し得る。カーボン粒子がダイアフラム42に付着すると、ダイアフラム42の物理的な特性が変化し得る。例えば、ダイアフラム42の厚さが増大した場合と同様に、燃焼室内の圧力に対するダイアフラム42の変形量が、小さくなり得る。この結果、素子部50からの信号の誤差が大きくなり得る。

[0162] 素子部50からの信号の誤差を抑制するためには、カーボン粒子が隙間952dに到達しないことが好ましい。例えば、図16、図17の流入距離dxがゼロ以下であることが好ましい。図18は、図16の実施形態の圧力センサ10と、図17の参考例の圧力センサ10zとの、それぞれの流入距離dxのシミュレーション結果を示すグラフである。図示するように、実施形態の圧力センサ10の流入距離dxは、ゼロよりも小さかった。一方、参考例の圧力センサ10zの流入距離dxは、ゼロよりも大きかった。このように、受熱部90dが、板部93dと、板部93dの縁から先端方向Df側に突出する側壁部92dと、を備え、そして、側壁部92dに、板部93dの縁に沿って並ぶ複数の貫通孔97dが形成されることによって、カーボンが

受熱部 90 d の後端方向 D r 側（受熱部 90 d とダイアフラム 42 との間  
の隙間 95 2 d）に流入することを抑制できた。

[0163] F 2-2. サイズ H 1 と比率 C 2 / C 1 について：

図 19 は、外周長 C 1 に対する壁長 C 2 の比率と、貫通孔 97 d のサイズ H 1 と、の組み合わせが異なる複数のモデルの流入距離 d x を示すグラフである。横軸は、比率 (C 2 / C 1) を示し、縦軸は、流入距離 d x を示している。1 つのデータ点は、1 種類のモデルのシミュレーション結果を示している。サイズ H 1 は、0. 2 mm と 0. 3 mm と 0. 5 mm とのいずれかであった。比率 C 2 / C 1 は、0. 4、0. 5、0. 6、0. 7 のいずれかであった。比率 C 2 / C 1 の調整は、壁長 C 2（すなわち、貫通孔 97 d の周方向の長さ）を調整することにより、行われた。パラメータ D 1、D 2、D 3、D 4、C L 1、C L 2（図 16）のそれぞれの値は、図 16 で説明したモデルの値と、それぞれ同じであった。なお、図 18 の圧力センサ 10 のモデルでは、サイズ H 1 は、0. 3 mm であり、比率 C 2 / C 1 は、0. 6 であった。

[0164] 図 19 に示すように、サイズ H 1 が同じ場合には、比率 C 2 / C 1 が小さいほど、流入距離 d x が小さかった。この理由は、以下のように推定される。比率 C 2 / C 1 が小さいほど、貫通孔 97 d の周方向の長さが長い。上記の通り、側壁部 92 d の外周側の隙間 95 1 d のうち、貫通孔 97 d の近傍では、貫通孔 97 d から流出するガスによって、カーボンの流入が抑制される。従って、比率 C 2 / C 1 が小さいほど、カーボン粒子は、隙間 95 1 d を通り抜けて隙間 95 2 d へ到達することが難しい。

[0165] また、比率 C 2 / C 1 が同じ場合には、サイズ H 1 が大きいほど、流入距離 d x が小さかった。この理由は、以下のように推定される。サイズ H 1 が大きいほど、貫通孔 97 d が大きいので、貫通孔 97 d から隙間 95 1 d へ流れるガスの単位時間当たりの量が増大する。このガス量の増大により、カーボンの流入が抑制される。従って、サイズ H 1 が大きいほど、カーボン粒子は、隙間 95 1 d を通り抜けて隙間 95 2 d へ到達することが難しい。

[0166] なお、図19のグラフに示すように、ゼロ以下の流入距離 $d_x$ を実現したサイズ $H_1$ と比率 $C_2/C_1$ との組み合わせは、以下の通りであった。

$$H_1 = 0.2 \text{ mm} : C_2/C_1 = 0.4, 0.5$$

$$H_1 = 0.3 \text{ mm} : C_2/C_1 = 0.4, 0.5, 0.6$$

$$H_1 = 0.5 \text{ mm} : C_2/C_1 = 0.5, 0.6, 0.7$$

[0167] サイズ $H_1$ と比率 $C_2/C_1$ との好ましい範囲を、上記の8種類のモデルの値を用いて定めても良い。例えば、サイズ $H_1$ が0.3 mm以上であり、かつ、比率 $C_2/C_1$ が0.6以下である範囲を採用してもよい。また、サイズ $H_1$ が0.2 mm以上であり、かつ、比率 $C_2/C_1$ が0.5以下である範囲を採用してもよい。また、サイズ $H_1$ が0.5 mm以上であり、かつ、比率 $C_2/C_1$ が0.7以下である範囲を採用してもよい。

[0168] いずれの場合も、サイズ $H_1$ が大きいほど、貫通孔97 dから隙間951 dへ流れるガス量を増大できるので、サイズ $H_1$ が大きいほど、カーボン粒子が隙間951 dを通過して隙間952 dに流入することが抑制される。従って、サイズ $H_1$ の上限としては、受熱部90 dの側壁部92 dの軸線CLに平行な方向の長さよりも小さい任意の値を採用可能と推定される。

[0169] また、比率 $C_2/C_1$ が小さいほど、隙間951 dのうちのカーボン粒子が通り抜けやすい部分（すなわち、貫通孔97 dの無い部分）が小さくなるので、比率 $C_2/C_1$ が小さいほど、カーボン粒子が隙間951 dを通過して隙間952 dに流入することが抑制される。従って、比率 $C_2/C_1$ の下限としては、ゼロよりも大きな種々の値を採用可能である。一般的には、比率 $C_2/C_1$ が小さいほど、側壁部92 dの強度が低下するので、比率 $C_2/C_1$ の下限としては、側壁部92 dの実用的な強度を実現できるような値を採用することが好ましい。

[0170] なお、サイズ $H_1$ と比率 $C_2/C_1$ との好ましい範囲は、上記のモデルの構成に限らず、他の種々の構成にも適用可能と推定される。例えば、受熱部90 dの内径 $D_1$ と外径 $D_2$ 、取り付け孔510の先端部530の内径 $D_3$ 、第1クリアランスCL1などのパラメータの値が、上記のモデルの値と異

なってもよい。この場合も、サイズ $H1$ と比率 $C2/C1$ とが上記の好ましい範囲内にある場合には、好ましい範囲外にある場合と比べて、流入距離 $d_x$ を小さくできると推定される。

[0171] F2-3. 側壁部92dと板部93dとの接続部分について：

図20は、第6実施形態の受熱部の説明図である。図中には、受熱部90d2の軸線CLを含む平断面の一部が示されている。図15に示す第5実施形態の受熱部90dとの差異は、側壁部92dの内周側の面921dと、板部93dの先端方向Df側の面931dと、の接続部分940d2が丸められている点だけである（図15の実施形態では、側壁部92dの内周側の面921dと、板部93dの先端方向Df側の面931dと、の接続部分940d2が、直角な隅を形成している）。受熱部90d2の他の部分の構成は、図15の受熱部90dの対応する部分の構成と、同じである。

[0172] 図中の半径Rは、軸線CLを含む平断面において、面921d、931dの接続部分940d2（すなわち、内周側の隅940d2）を形成する円弧の半径である。丸められた隅940d2は、板部93dの先端方向Df側の面931dに沿って径方向の外側に向かって流れるガスGSを、滑らかに、貫通孔97dに導くことができる。このように、丸められた隅940d2は、貫通孔97dから外周側へ流出するガスの流速の低下を抑制できる。

[0173] 図19のグラフのデータ点Dbは、図20の受熱部90d2を用いたモデルのシミュレーション結果を示している。このモデルは、 $H1=0.3\text{mm}$ 、かつ、 $C2/C1=0.7$ の第1実施形態のモデルの接続部分940d（図16）を、丸められた接続部分940d2（図20）に置換して得られる。この第1実施形態のモデルのデータ点Daと比べると、流入距離 $d_x$ が小さくなっている。このように、丸められた接続部分940d2は、直角な接続部分940dと比べて、カーボン粒子の流入を抑制できた。この理由は、貫通孔97dから外周側へ流出するガスの流速の低下を抑制できるからだと推定される。

[0174] なお、丸められた接続部分940d2は、パラメータD1、D2、D3、

D4、CL1、CL2、C1、C2（図15、図16）の値などの受熱部の各部の構成に拘わらずに、板部93dの先端方向Df側の面931dに沿って径方向の外側に向かって流れるガスを、滑らかに、貫通孔97dに導くことができる。従って、丸められた接続部分940d2を用いることによって、受熱部の各部の構成に拘わらずに、カーボン粒子の流入を抑制できると推定される。いずれの場合も、半径Rが大きいほど、カーボン粒子の流入を抑制する効果が高いと推定される。例えば、丸められた接続部分の半径Rは、0.2mm以上であることが好ましい。半径Rの上限としては、種々の値を採用可能である。例えば、側壁部92d（図20）の貫通孔97dの後端方向Dr側の端97dEと、板部93dの先端方向Df側の面931dと、の間の軸線CLに平行な方向の距離dd以下の値を採用してもよい。

[0175] F2-4. 貫通孔97dの方向について：

図21は、第7、第8実施形態の受熱部の別の実施形態の説明図である。図21(A)、図21(B)は、受熱部90d3、90d4の軸線CLを含み、貫通孔97d3、97d4を通る平断面の一部を示している。図中の角度Ahは、軸線CLに垂直な方向に対する、内周側から外周側へ向かう方向の角度を示している。「Ah=0」は、軸線CLに垂直な方向を示している。「Ah<0」は、後端方向Drに斜めに向かう方向を示している（図21(A)）。「Ah>0」は、先端方向Dfに斜めに向かう方向を示している（図21(B)）。

[0176] 図21(A)の第7実施形態では、受熱部90d3の側壁部92d3に貫通孔97d3が設けられている。この貫通孔97d3の延びる方向の角度Ahは、ゼロよりも小さい。具体的には、貫通孔97d3の後端方向Dr側の内面US1の延びる方向の角度Ahが、ゼロよりも小さい。図示を省略するが、貫通孔97d3の先端方向Df側の内面BS1の延びる方向の角度Ahは、後端方向Dr側の内面US1の角度Ahと同じである。受熱部90d3の他の部分の構成は、図15に示す受熱部90dの対応する部分の構成と同じである。

[0177] 図21(B)の第8実施形態では、受熱部90d4の側壁部92d4に貫通孔97d4が設けられている。この貫通孔97d4の延びる方向の角度Ahは、ゼロよりも大きい。具体的には、貫通孔97d4の後端方向Dr側の内面US2の延びる方向の角度Ahが、ゼロよりも大きい。図示を省略するが、貫通孔97d4の先端方向Df側の内面BS2の延びる方向の角度Ahも、後端方向Dr側の内面US2の角度Ahと同じである。受熱部90d4の他の部分の構成は、図15に示す受熱部90dの対応する部分の構成と同じである。

[0178] 図22は、図21(A)の実施形態のモデルと、図21(B)の実施形態のモデルとを用いたシミュレーション結果を示すグラフである。横軸は、貫通孔97d3、97d4の後端方向Dr側の内面US1、US2の角度Ahを示し、縦軸は、流入距離dxを示している。角度Ahとしては、-50、-40、-20、0、+20(度)の5個の値が、評価された。なお、5種類のモデルにおいて、貫通孔97d3、97d4のサイズH1(複数の貫通孔97d3、97d4の軸線CLに平行な方向の長さ(すなわち、大きさ)の最大値)は、0.5mmであり、比率C2/C1は、0.6であった。他の部分の構成(例えば、パラメータD1、D2、D3、D4、CL1、CL2)は、図16で説明したモデルの対応する部分の構成と同じであった。

[0179] 図22に示すように、角度Ahが小さい場合よりも、角度Ahが大きい場合の方が、流入距離dxが小さかった。この理由は、以下のように推定される。貫通孔97d3、97d4から外周側へ流出するガスは、角度Ahの方向に向かって流れ易い。従って、角度Ahが大きい場合には、角度Ahが小さい場合と比べて、ガスは、側壁部92d3、92d4の外周側において、先端方向Df側に向かって流れ易い。例えば、ガスは、貫通孔97d3、97d4から隙間951d(図16)内を先端方向Df側に向かって流れ易い。従って、角度Ahが大きい場合には、角度Ahが小さい場合と比べて、カーボン粒子が側壁部92d3、92d4の外周側(例えば、隙間951d(図16))を後端方向Dr側に向かって移動することを、抑制できる。この

結果、カーボン粒子が、板部 93 d とダイアフラム 42 との間の隙間 95 2 d に流入することを抑制できる。

[0180] また、図示するように、角度  $A_h$  がゼロよりも小さい場合であっても、ゼロよりも小さい流入距離  $d_x$  を実現できた。この理由は、以下のように推定される。隙間 95 1 d よりも後端方向  $D_r$  側の空間（隙間 95 2 d を含む）は、燃焼室 600 と比べて小さい。貫通孔 97 d 3 から隙間 95 1 d を通って後端方向  $D_r$  側へ移動できるガスの量は、貫通孔 97 d 3 から隙間 95 1 d へ流出したガスの量の一部のみである。従って、角度  $A_h$  がゼロよりも小さい場合であっても、貫通孔 97 d 3 から流出したガスの一部が、隙間 95 1 d 内を先端方向  $D_f$  側に向かって流れ得る。この結果、カーボン粒子が隙間 95 1 d 内を後端方向  $D_r$  側に向かって移動することが、抑制される。

[0181] ゼロ以下の流入距離  $d_x$  を実現した角度  $A_h$  は、 $-40$ 、 $-20$ 、 $0$ 、 $+20$ （度）であった。角度  $A_h$  の好ましい範囲（下限以上、上限以下の範囲）を、上記の4個の値を用いて定めてもよい。具体的には、上記の4個の値のうちの任意の値を、角度  $A_h$  の好ましい範囲の下限として採用してもよい。例えば、角度  $A_h$  は、 $-40$ 度以上であることが好ましく、 $-20$ 度以上であることが特に好ましく、ゼロ度以上であることが最も好ましい。また、これらの値のうちの下限以上の任意の値を、上限として採用してもよい。例えば、角度  $A_h$  は、 $+20$ 度以下であることが好ましい。

[0182] なお、角度  $A_h$  が大きいほど、側壁部 92 d 3、92 d 4 の外周側において、ガスは、先端方向  $D_f$  側に流れ易い。従って、角度  $A_h$  は、上記の4個の値のうち最大の値である $+20$ 度よりも大きくてもよい。ただし、角度  $A_h$  が過度に大きい場合には、受熱部の製造が困難になる。従って、角度  $A_h$  の上限は、受熱部を容易に製造できるように決定されることが好ましく、例えば、角度  $A_h$  は、 $45$ 度以下であることが好ましい。

[0183] なお、角度  $A_h$  の好ましい範囲は、上記のモデルの構成に限らず、他の種々の構成にも適用可能と推定される。例えば、上記のパラメータ  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 、 $CL_1$ 、 $CL_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $H_1$  などの構成が、上記のモ

デルの値と異なってもよい。この場合も、角度  $A_h$  が上記の好ましい範囲内にある場合には、好ましい範囲外にある場合と比べて、流入距離  $d_x$  を小さくできると推定される。

[0184] F 2-5. 貫通孔の周方向の分布について：

図 23 は、側壁部 92 d の軸線 CL に垂直な断面の一部を示している。図中には、軸線 CL を中心とする中心角が 90 度である角度範囲 AR 内に含まれる部分 CS 3 が示されている（「部分断面 CS 3」とも呼ぶ）。部分断面 CS 3 は、貫通孔 97 d を通る断面である。図中の部分外周長 C1 a は、図 15 (A)、図 15 (C) で説明した外周長 C1 のうち、角度範囲 AR（すなわち、部分断面 CS）に含まれる部分の長さである。図 23 の実施形態では、側壁部 92 d の形状は、略円筒状である。従って、部分外周長 C1 a は、外周長 C1 の 4 分の 1 である。部分壁長 C2 a は、図 15 (A)、図 15 (D) で説明した壁長 C2 のうち、角度範囲 AR（すなわち、部分断面 CS）に含まれる部分の長さである。

[0185] 軸線 CL を囲む環状の隙間 95 1 d（図 16）の全周に亘って、カーボン粒子の流入を抑制するためには、複数の貫通孔 97 d が、周方向に沿っておおよそ均等に分布することが好ましい。例えば、軸線 CL を中心とする中心角が 90 度である任意の方向の角度範囲 AR 内において、比率  $C2 a / C1 a$  が、予め決められた上限以下であることが好ましい。この構成によれば、軸線 CL から見て一部の方向において比率  $C2 a / C1 a$  が過度に大きくなることが抑制される。すなわち、貫通孔 97 d から外周側に向かうガスの流れが側壁部 92 d の全周のうちの一部の範囲に偏ることが抑制される。従って、環状の隙間 95 1 d 内に、カーボン粒子が後端方向 Dr 側に向かって移動し易い部分が形成されることを、抑制できる。この結果、カーボン粒子が側壁部 92 d の外周側を流れて受熱部 90 d とダイアフラム 42 との間の隙間 95 2 d に流入することを、抑制できる。上述したシミュレーションの各モデルでは、複数の貫通孔は、周方向に沿って均等に分布していた。従って、任意の方向の角度範囲 AR 内において、比率  $C2 a / C1 a$  は、比率 C2

／C 1とおおよそ同じであった。

[0186] 図19のシミュレーション結果を考慮すると、比率C 2 a／C 1 aは、0.7以下であることが好ましく、0.6以下であることが特に好ましく、0.5以下であることが最も好ましい。なお、比率C 2 a／C 1 aの下限としては、ゼロよりも大きな種々の値を採用可能である。ここで、側壁部9 2 dの実用的な強度を実現できるような値を採用することが好ましい。

[0187] 比率C 2 a／C 1 aの好ましい範囲は、図15の実施形態に限らず、他の種々の構成にも適用可能である（例えば、図20、図21（A）、図21（B）の実施形態）。いずれの場合も、軸線C Lを中心とする中心角が90度である任意の方向の角度範囲A R内において、比率C 2 a／C 1 aが上記の好ましい範囲内であれば、好ましい範囲外にある場合と比べて、流入距離d xを小さくできると推定される。

[0188] G. 変形例：

（1）上記第2～第4実施形態では、受熱部90の後端側の面90 fと、軸線C Lと垂直な方向と、がなす角度 $\theta$ は、0であるが、これに限られない。図24は、第2実施形態の変形例を示す図である。図24（A）に示すように、軸線C Lを含む断面において、受熱部90の後端側の面90 fは、径方向外側に向かうに連れて、先端側に傾斜していても良い。この場合には、角度 $\theta$ は、20度以内であることが好ましい。こうすれば、隙間95 aに高温の燃焼ガスが流入することを抑制して、ダイアフラム42 aに伝達される熱量をより低減できる。この結果、ダイアフラム42 aの熱膨張をより抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0189] また、図24（A）に示すように、軸線C Lを含む断面において、受熱部90の後端側の面90 fは、径方向外側に向かうに連れて、後端側に傾斜していても良い。この場合にも、角度 $\theta$ は、20度以内であることが好ましい。こうすれば、受熱部90が、高温の燃焼ガスに曝されることで変形した場合であっても、受熱部90とダイアフラム42 aとが干渉することを抑制することができ、ひいては、素子部50からの信号の誤差を小さくできる。

[0190] (2) 上記第1～第4実施形態では、受熱部とダイアフラムとを接続するための構成としては、種々の構成を採用可能である。例えば、図2や図12の実施形態のように、受熱部90とダイアフラム42とが直接的に接続されていてもよい。また、図8や図13の実施形態のように、受熱部90とダイアフラム42aとは、他の要素（図8、図13の例では、ロッド44a、44cと固定部41a）を介して間接的に接続されていてもよい。

[0191] また、図2の実施形態において、受熱部90とダイアフラム42との間に、スペーサが配置されてもよい。スペーサとしては、例えば、軸線CLを中心とする円柱状の部材を採用してもよい。ここで、ダイアフラム42（ひいては、受圧部40）とスペーサとの全体が、1つの部材として一体的に形成されてもよい（例えば、鍛造や削り出し）。代わりに、受熱部90とスペーサとの全体が、1つの部材として一体的に形成されてもよい（例えば、鍛造や削り出し）。このようなスペーサも、ダイアフラム42よりも先端側に配置されダイアフラム42の代わりに熱を受けることができるので、受熱部の一部ということができる。また、受熱部90とダイアフラム42とを接合する接合部（例えば、溶接時に溶融した溶接部（溶接痕））は、受熱部90から、スペーサを通して、ダイアフラム42に至るように、形成されてもよい。このような接合部は、軸線方向を向いて見る場合に、スペーサの全体に亘って形成されてもよく、この代わりに、スペーサの一部に形成されてもよい。接合部がスペーサの一部に形成される場合、図2の隙間95のように、接合部によって互いに接続されるスペーサとダイアフラムとの間に小さい隙間が形成され得る。この場合、最小距離dは、ゼロである。

[0192] いずれの場合も、受熱部（または、受熱部を備える部材）は、ダイアフラム、または、ダイアフラムに接続された他の要素に、溶接で接続されてよい。溶接の種類としては、レーザ溶接を採用してもよく、これに代えて、他の種類の溶接（例えば、抵抗溶接）を採用してもよい。溶接で接合される場合、受熱部（または、受熱部を備える部材）と、ダイアフラム（または、ダイアフラムに接続された他の要素）と、を接合する接合部は、溶接時に、溶接

で接合される2つの部材が溶融した部分である。このような接合部は、溶接で接合される2つの部材が一体化した部分である。また、接合部は、溶接で接合される2つの部材のそれぞれの成分を含んでいる。また、このような接合部の構成としては、図2、図8、図12の接合部99、99a、99bの構成に代えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、軸線方向を向いて見る場合に、互いに離れた複数の接合部が形成されてもよい。例えば、軸線CLを囲むように配置された3個、または、4個の接合部が形成されてもよい。互いに離れた複数の接合部が形成される場合、受熱部のうちの複数の接合部に囲まれる領域内での変形は、複数の接合部に囲まれる領域外での変形と比べて、複数の接合部を介して、ダイアフラムに伝わり易い。従って、接続面積 $S_n$ としては、複数の接合部を含む最小包含領域の面積が採用され得る。例えば、3個の接合部が形成される場合、接続面積 $S_n$ としては、3個の接合部の3個の断面を含む略三角形の最小包含領域の面積を採用可能である。4個の接合部が形成される場合、接続面積 $S_n$ としては、4個の接合部の4個の断面を含む略四角形状の最小包含領域の面積を採用可能である。

[0193] いずれの場合も、受熱部とダイアフラムとの間の隙間の軸線に平行な方向の最小距離 $d$ としては、ダイアフラムの燃焼室側の表面と、受熱部との間の距離を採用することが好ましい。

[0194] (3) ダイアフラム42、42aと圧電素子51とを接続する接続部の構成としては、図2の接続部100の構成と、図8の接続部100aの構成と、図13の接続部100cの構成とに代えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、先端側の押さえ板54が省略され、ロッド44、44a、44cが、素子部50の要素のうちの先端側の電極52のみに接触していてもよい。また、先端側の押さえ板54と電極52が省略されて、ロッド44、44a、44cに直接的に圧電素子51が接続されてもよい。この場合、ロッド44、44a、44cが、電極として機能する。また、図8、図13の実施形態において、固定部41aが省略されて、ダイアフラム42aが直接的

にロッド44a、44cに接合されてもよい。また、図8、図13の実施形態において、ダイアフラム42aとロッド44a、44cとが、1つの部材として一体的に形成されてもよい（例えば、鍛造や削り出し）。この場合も、ロッド44a、44cにダイアフラム42aが接続されている、ということが出来る。

[0195] いずれの場合も、接続部は、ロッドを含み、ロッドのうち第1部分にダイアフラムが直接的または間接的に接続され、ロッドのうち第1部分よりも後端側の第2部分に圧電素子51が直接的または間接的に接続されていることが好ましい。第2部分が第1部分よりも後端側に位置する理由は、一般的に、素子部50は、燃焼室内の圧力を受けるダイアフラムよりも後端側に配置されるからである。ここで、ロッドのうち素子部50（すなわち、圧電素子51）に接続される第2部分としては、ロッドの後端部（例えば、図2の後端部49、図8の後端部49a）に代えて、ロッドの任意の部分を採用可能である。例えば、ロッドの外周面に、素子部50（例えば、電極52）が接続されてもよい。この場合、電極52と圧電素子51とが円環状に形成され、電極52と圧電素子51との貫通孔内にロッドが挿入されてもよい。

[0196] (4) 素子部50の構成としては、図2、図3の構成に代えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、先端側の押さえ板54と後端側の押さえ板54との少なくとも一方が省略されてもよい。また、端子部56が、電極52に直接的に接続されていてもよい。また、電極52と圧電素子51とは、軸線CL上に配置された円盤状の板状部材ではなく、軸線CLを囲む円環状の板状部材であってもよく、特定の周方向の軸線CLから離れた位置に配置された部材であってもよい。一般的には、素子部50は、圧電素子を含み、圧電素子からの信号を圧力センサの外部に出力できるように構成されていることが好ましい。また、ダイアフラムが受けた圧力によって変化する電気的特性を有する装置としては、圧電素子に代えて、ダイアフラムと接続部とを通じて受ける荷重に応じて変化する電気的特性（例えば、電圧、抵抗値など）を有する種々の装置を採用可能である。例えば、ひずみゲージを採用して

もよい。

[0197] (5) 受熱部の構成としては、図2、図8、図12、図13の受熱部90のような構成に代えて、ダイアフラムの代わりに燃焼室からの熱を受けることが可能な種々の構成を採用可能である。例えば、軸線方向を向いて見た受熱部の形状が、円ではなく矩形であってもよい。一般的には、受熱部は、ダイアフラムの先端側に配置され、ダイアフラムに直接的または間接的に接続されている板状の部材であることが好ましい。なお、受熱部の厚さ  $t$  は、上記各実施形態では一定であるが、例えば、径方向の位置によって、あるいは、周方向の位置によって、変化していても良い。この場合には、受熱部の厚さ  $t$  としては、受熱部のうち、ダイアフラムと接続されている部分を除いた部分の平均の厚さが採用される。そして、当該平均の厚さ  $t$  が、 $0.21\text{ mm}$  以上であることが好ましい。

[0198] (6) 上記の実施形態（例えば、図2、図8）では、第2金具80と第3金具35とで形成される筒状の筐体に、ダイアフラム42、42aが接合され、そして、筐体の中に、素子部50が収容されている。このような筐体の構成としては、第2金具80と第3金具35とを用いる構成に代えて、筒状の種々の構成を採用可能である。例えば、第2金具80と第3金具35との全体が、1つの部材で形成されていてもよい。また、第2金具80と押さえねじ32との全体が、1つの部材で形成されていてもよい。また、第2金具80と第3金具35と押さえねじ32とが、1つの部材で形成されていてもよい。

[0199] いずれの場合も、ダイアフラムは、筐体に、溶接で接続されてよい。溶接の種類としては、レーザ溶接を採用してもよく、これに代えて、他の種類の溶接（例えば、抵抗溶接）を採用してもよい。いずれの場合も、溶接時にダイアフラムと筐体とが溶融した部分が、ダイアフラムと筐体とを接合する接合部を形成する。このような接合部は、ダイアフラムと筐体とが一体化した部分である。そして、接合部は、ダイアフラムの成分と筐体の成分とを含んでいる。有効面積  $S_d$  に対応する領域の輪郭としては、ダイアフラムの表面

のうち、筐体に接続された表面上において、筐体とダイアフラムとを接合する接合部の内周側の輪郭を採用可能である（例えば、図6（F）、図9（F）の接合部45の輪郭45i）。

[0200]（7）素子部50からの信号を圧力センサの外部に導くための構成としては、ケーブル60を用いる構成に代えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、圧力センサ10の後端側に端子金具が配置され、端子金具と素子部50の端子部56とが中軸によって接続されてもよい。この場合、端子金具と第1金具20とを通じて、素子部50からの信号を取得可能である。

[0201]（8）第5～第8実施形態では、受熱部の構成としては、上記の各実施形態の構成に変えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、図21（A）、図21（B）の実施形態において、貫通孔97d3、97d4の先端側の内面BS1、BS2の角度Ahが、後端側の内面US1、US2の角度Ahと異なってもよい。後端側の内面US1、US2の角度Ahが、上記の好ましい範囲内であり、先端側の内面BS1、BS2の角度Ahが、上記の好ましい範囲外であってもよい。いずれの場合も、板部93dの先端側の面931dに沿って側壁部92d3、92d4に向かって流れるガスGSは、まずは、先端側の内面BS1、BS2ではなく、後端側の内面US1、US2に到達する。故に、貫通孔97d3、97d4から外周側に流れるガスは、後端側の内面US1、US2の延びる方向（すなわち、後端側の内面US1、US2の角度Ahの方向）に向かって流れ易い。従って、後端側の内面US1、US2の角度Ahが上記の好ましい範囲内であれば、カーボン粒子が側壁部92d3、92d4の外周側（例えば、隙間951d（図6））を後端方向Dr側に向かって移動することを、抑制できる。ただし、後端側の内面US1、US2の角度Ahが上記の好ましい範囲外であってもよい。

[0202]（9）第5～第8実施形態では、側壁部の貫通孔の断面形状（貫通孔の延びる方向に垂直な断面形状）としては、矩形状に代えて、他の任意の形状を採用可能である。例えば、円形状を採用してもよい。いずれの場合も、貫通孔の後端側の内面の角度Ahを特定する場合には、軸線CLを含む平断面のう

ち、後端側の内面と先端側の内面との間の軸線CLに平行な方向の距離が最も大きくなる平断面における貫通孔の後端側の内面を採用すればよい。

[0203] また、複数の貫通孔の間で、形状が異なってもよい。また、複数の貫通孔の間で、周方向の長さが異なってもよい。また、複数の貫通孔の間で、軸線方向のサイズが異なってもよい。いずれの場合も、複数の貫通孔の軸線CLに平行な方向の長さの最大値、すなわち、複数の貫通孔のそれぞれの軸線方向のサイズのうちの最も大きなサイズが、上記のサイズH1の好ましい範囲内にあることが好ましい。この構成によれば、ガスが側壁部の貫通孔から外周側に向かって容易に流れるので、カーボン粒子が側壁部の外周側を流れて受熱部とダイアフラムとの間に流入することを、抑制できる。

[0204] (10) 図15(D)で説明した壁長C2が第2断面CS2の軸線CLに平行な方向の位置に応じて変化する場合、最小値を壁長C2として採用すればよい。また、図23で説明した部分壁長C2aが部分断面CS3の軸線CLに平行な方向の位置に応じて変化する場合、最小値を部分壁長C2aとして採用すればよい。

[0205] (11) 図20で説明した丸められた接続部分940d2は、図15の実施形態の構成に代えて、他の種々の構成に適用可能である。例えば、図21(A)、図21(B)の実施形態に、丸められた接続部分940d2を適用してもよい。

[0206] (12) 図23で説明した比率C2a/C1aの好ましい範囲は、図15の実施形態の構成に代えて、他の種々の構成に適用可能である。例えば、図20、図21(A)、図21(B)の実施形態に、比率C2a/C1aの好ましい範囲を適用してもよい。ただし、一部の方向の角度範囲AR内において、比率C2a/C1aが、上記の上限を超えていても良い。

[0207] (13) 第5～第8実施形態では、図14に示すように、上記各実施形態では、受熱部(例えば、受熱部90d、90d2、90d3、90d4)は、圧力センサがシリンダヘッド500の取り付け孔510に取り付けられた場合に、取り付け孔510(具体的には、先端部530)内に配置される。た

だし、受熱部の少なくとも一部が、取り付け孔510の外（具体的には、取り付け孔の燃焼室側の開口510oよりも燃焼室側）に配置されてもよい。この場合も、受熱部の側壁部の貫通孔から外周側に流れるガスによって、カーボン粒子が受熱部とダイアフラムとの間に流入することを抑制できる。なお、カーボン粒子の流入を抑制するためには、受熱部の側壁部の少なくとも一部（特に後端方向Dr側の部分）が、取り付け孔510の内に配置されることが好ましい。この構成によれば、カーボン粒子が、側壁部と取り付け孔510との間の隙間（例えば、図14の隙間951d）を流れることを、貫通孔から流出するガスによって抑制できる。

[0208] (14) 第5～第8実施形態では、受熱部とダイアフラムとを接続するための構成としては、種々の構成を採用可能である。例えば、図14の脚部98dが省略されて、板部93dが直接的にダイアフラム42に接続されてもよい。また、受熱部が、他の部材を介して、ダイアフラム42に接続されてもよい。

[0209] (15) 第5～第8実施形態では、ダイアフラム42と圧電素子51とを接続する接続部の構成としては、図14の接続部100dの構成に代えて、他の種々の構成を採用可能である。例えば、先端側の押さえ板54が省略され、ロッド44が、素子部50の要素のうちの先端側の電極52のみに接触していてもよい。また、先端側の押さえ板54と電極52が省略されて、ロッド44に直接的に圧電素子51が接続されてもよい。この場合、ロッド44が、電極として機能する。

[0210] (16) 第5～第8実施形態では、圧電素子51を収容する筐体の構成としては、図14で説明した先端金具30dの構成に代えて、筒状の種々の構成を採用可能である。例えば、大内径部35dと小内径部36dとが、互いに分離した別の部材であってもよい。この場合、例えば、大内径部35dの内周面に雌ねじを形成し、小内径部36dの外周面に雄ねじを形成し、小内径部36dを大内径部35dの後端側から大内径部35d内にねじ込んでもよい。この場合、小内径部36dをねじ込む場合の小内径部36dの回転数を

調整することによって、予荷重を調整できる。いずれの場合も、ダイアフラムは、筐体の先端側に、溶接で接続されてよい。

[0211] 以上、実施形態、変形例に基づき本発明について説明してきたが、上記した発明の実施の形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨並びに特許請求の範囲を逸脱することなく、変更、改良され得ると共に、本発明にはその等価物が含まれる。

### 産業上の利用可能性

[0212] 本発明は、ダイアフラムと受熱部とを備える圧力センサに好適に利用できる。

### 符号の説明

[0213] 10、10a、10b、10c、10d...圧力センサ、20...第1金具、21...軸孔、22...ねじ部、24...工具係合部、26、26d...溶接部、30d...先端金具、31、31d...軸孔、34、34d...拡径部、35...第3金具、35d...大内径部、36...軸孔、36d...小内径部、39...軸孔、39d...段部、40、40a...受圧部、41a...固定部、42、42a...ダイアフラム、42f...受圧面、43、43a...接続部分、44、44a、44c...ロッド、44c...ロッド、45...溶接部、48...小径部、49、49a...後端部、49a...後端部、50...素子部、51...圧電素子、52...電極、53...リード部、54...押さえ板、54h...貫通孔、55...絶縁板、55h...貫通孔、56...端子部、57...円盤部、60...ケーブル、61...ジャケット、62...外部導体、63...導電コーティング、64...絶縁体、65...内部導体、72...熱収縮チューブ、74...細径導線、75...平板導線、76...接地導線、80...第2金具、81...軸孔、89...溶接部、90、90d、90d2、90d3、90d4...受熱部、91d...主部、92d、92d3、92d4...側壁部、93、93a、93b...接続部分、93d...板部、94、94a、94b...最小包含領域、94a...最小包含領域、94b...最小包含領域、95、95a...

.. 隙間、97 d、97 d 3、97 d 4... 貫通孔、97 d E... 端、98 d...  
脚部、99、99 a、99 b、99 d... 溶接部、100、100 a、100  
c、100 d... 接続部、120... 受熱ロッド、500... シリンダヘッド、  
600... 燃焼室、940 d、940 d 2... 接続部分

## 請求の範囲

[請求項1] 筒状の筐体と、前記筐体の先端側に接合部を介して接合され前記筐体の軸線に交差する方向に拡がり受圧した圧力に応じて撓むダイヤフラムと、前記筐体内に配置され前記圧力によって変化する電気的特性を有するセンサ部と、前記ダイヤフラムと前記センサ部とを接続する接続部と、前記ダイヤフラムの先端側に配置され前記ダイヤフラムに直接的または間接的に接続された、熱を受ける受熱部と、を備える圧力センサであって、

前記軸線に垂直な断面上で、前記受熱部から前記ダイヤフラムまでの部分の断面を包含し、かつ、輪郭の全長が最小となる仮想的な領域である最小包含領域の面積の最小値を、接続面積  $S_n$  とし、

前記ダイヤフラムと前記受熱部とを、前記軸線に垂直な投影面上に投影する場合に、前記投影面上において、

前記接合部に囲まれた領域の面積を、ダイヤフラム有効面積  $S_d$  とする場合に、

$(S_n / S_d) \leq 0.25$ 、を満たす、

圧力センサ。

[請求項2] 請求項1に記載の圧力センサであって、

前記投影面上において、前記受熱部の面積を、受熱面積  $S_{n2}$  とする場合に、

$(S_{n2} / S_d) \geq 0.8$  を満たす、圧力センサ。

[請求項3] (115-0515の請求項2)

請求項2に記載の圧力センサであって、

$(S_{n2} / S_d) \geq 1.0$ 、を満たす、

圧力センサ。

[請求項4] 請求項2または3に記載の圧力センサであって、

前記受熱部と前記ダイヤフラムとの間の隙間の前記軸線に平行な方向の最小距離を、最小距離  $d$  とする場合に、

$d \leq 0.5 \text{ mm}$ 、を満たす、  
圧力センサ。

[請求項5] 請求項2から4のいずれか1項に記載の圧力センサであって、  
 $(S_n / S_d) \leq 0.1$ 、を満たす、  
圧力センサ。

[請求項6] 請求項1に記載の圧力センサであって、  
前記受熱部は、板状の受熱板を含み、  
前記受熱板の厚さを  $t$  とする場合に、  
 $t \geq 0.21 \text{ mm}$ 、を満たす、  
圧力センサ。

[請求項7] 請求項6に記載の圧力センサであって、  
前記軸線を含む断面において、前記受熱板の後端側の面と、前記軸  
線と垂直な方向と、がなす角度  $\theta$  の絶対値は、 $20$ 度以内である、  
圧力センサ。

[請求項8] 請求項1に記載の圧力センサであって、  
前記受熱部は、  
前記軸線に交差する方向に拡がる板部と、  
前記板部の縁から前記先端側に突出する側壁部と、  
を備え、  
前記側壁部は、前記板部の縁の全周に亘って形成されており、  
前記側壁部には、前記板部の縁に沿って並ぶ複数の貫通孔が形成さ  
れており、  
前記複数の貫通孔の前記軸線に平行な方向の長さの最大値は、 $0.3 \text{ mm}$ 以上であり、  
前記軸線に垂直、かつ、前記複数の貫通孔を通らない前記側壁部の  
断面において、前記側壁部の外周長を、外周長  $C_1$  とし、  
前記軸線に垂直、かつ、前記複数の貫通孔を通る前記側壁部の断面  
において、前記側壁部の外周面に対応する部分の長さの合計を、壁長

C 2 とする場合に、

$(C 2 / C 1) \leq 0.6$ 、を満たす、

圧力センサ。

[請求項9]

請求項8に記載の圧力センサであって、

前記側壁部の内周面と、前記板部の前記先端側の面と、の接続部分は、丸められている、

圧力センサ。

[請求項10]

請求項8または9に記載の圧力センサであって、

前記軸線を中心とする中心角が90度である任意の方向の角度範囲内において、

前記外周長C 1のうち前記角度範囲内に含まれる部分の長さを、部分外周長C 1 aとし、

前記壁長C 2のうち前記角度範囲内に含まれる部分の長さを、部分壁長C 2 aとする場合に、

$(C 2 a / C 1 a) \leq 0.6$ 、を満たす、

圧力センサ。

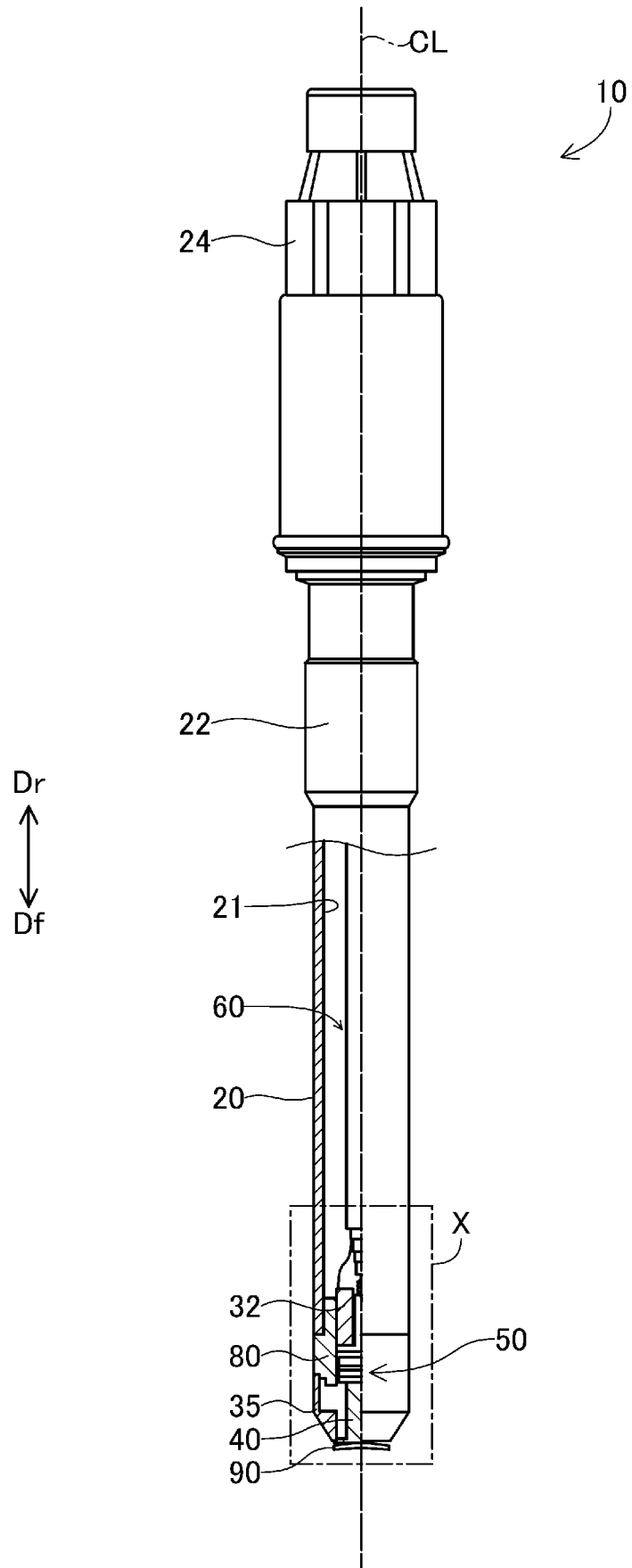
[請求項11]

請求項8～10のいずれか1項に記載の圧力センサであって、

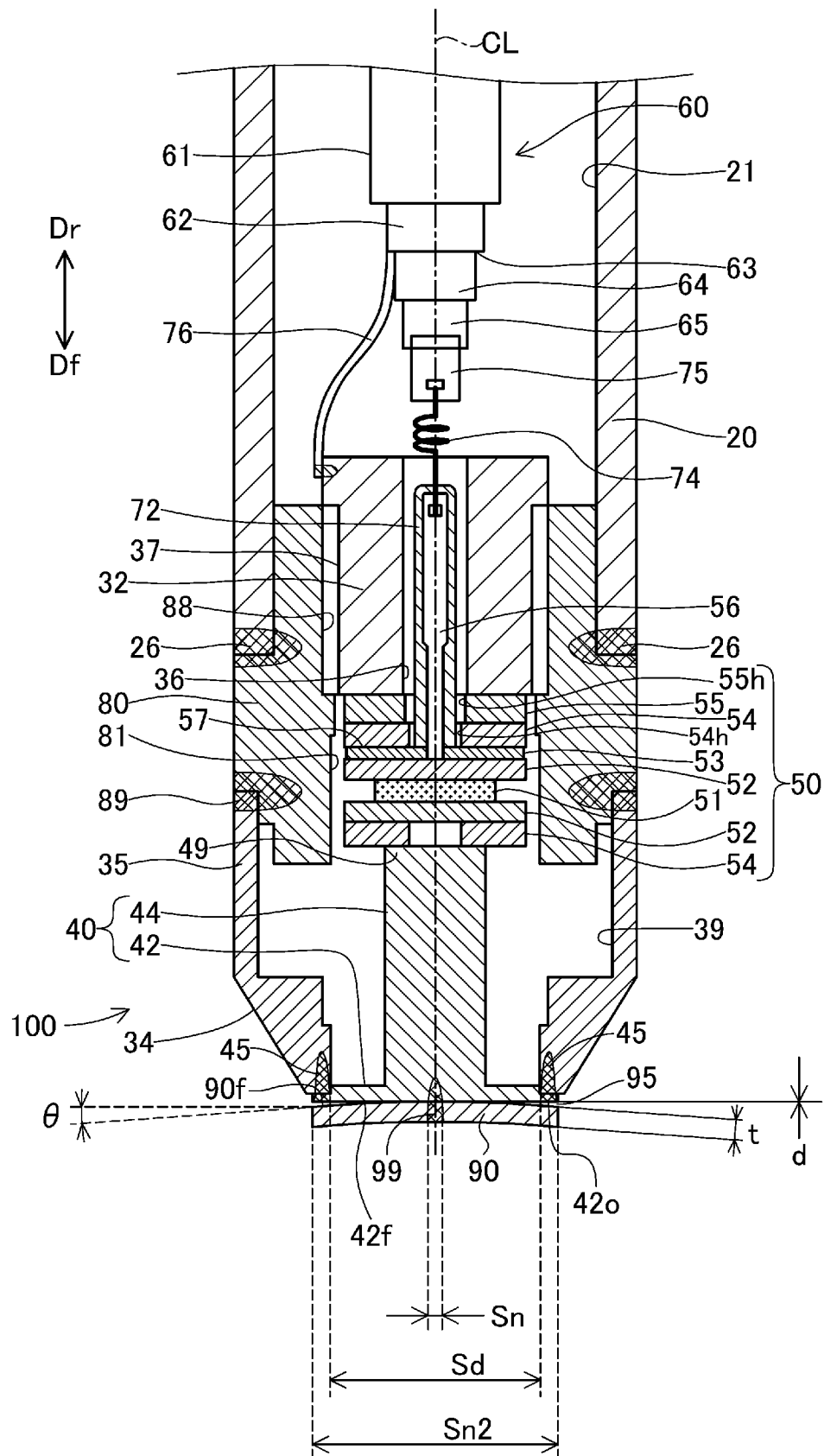
前記軸線を含む前記側壁部の平断面において、内周側から外周側に向かう方向のうち、前記軸線に垂直な方向の角度をゼロ度とし、前記先端側に傾斜する方向の角度を正の角度とし、後端側に傾斜する方向の角度を負の角度とする場合に、前記貫通孔の前記後端側の内面の角度は、 $-40$ 度以上 $20$ 度以下である、

圧力センサ。

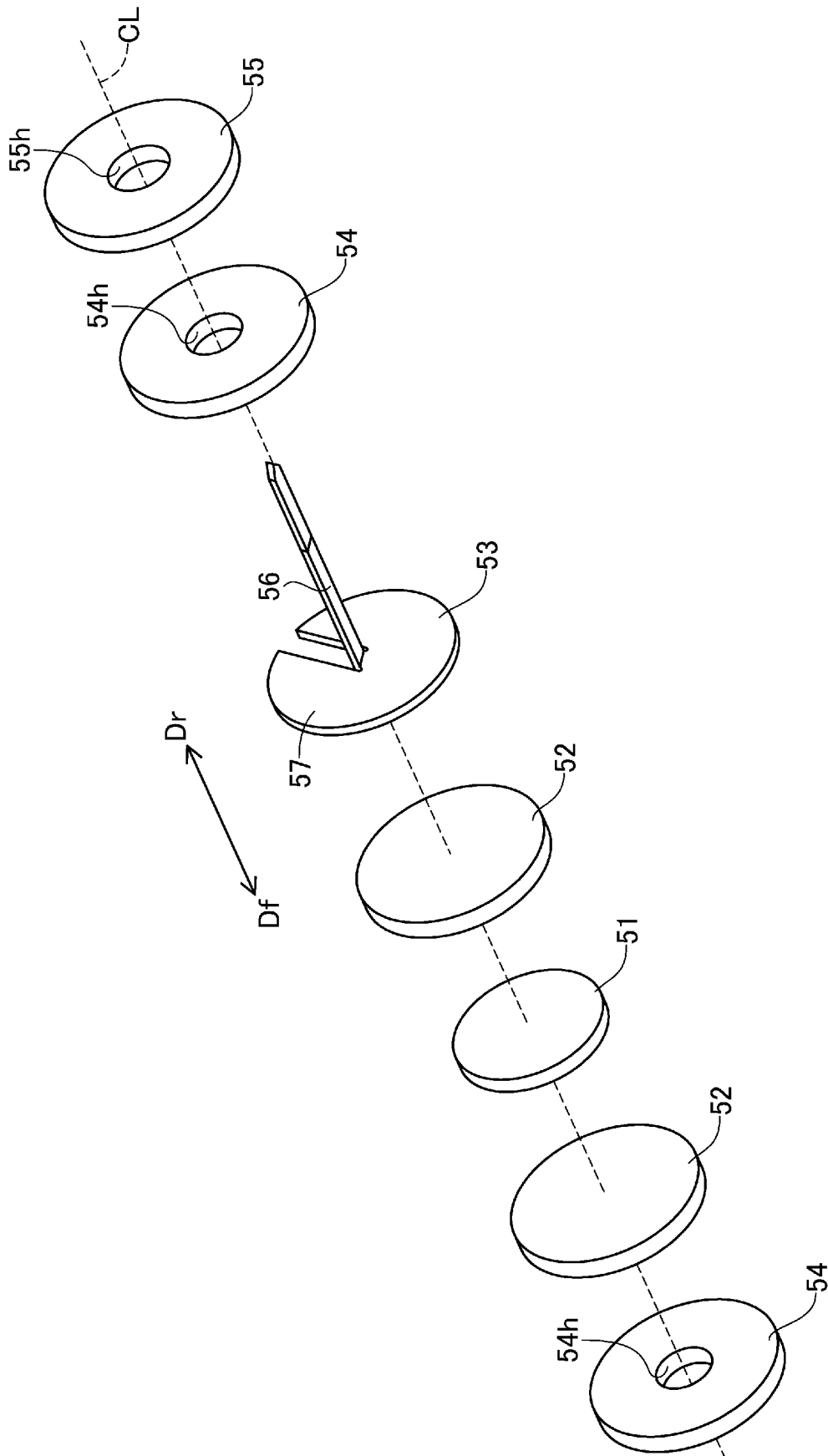
[図1]



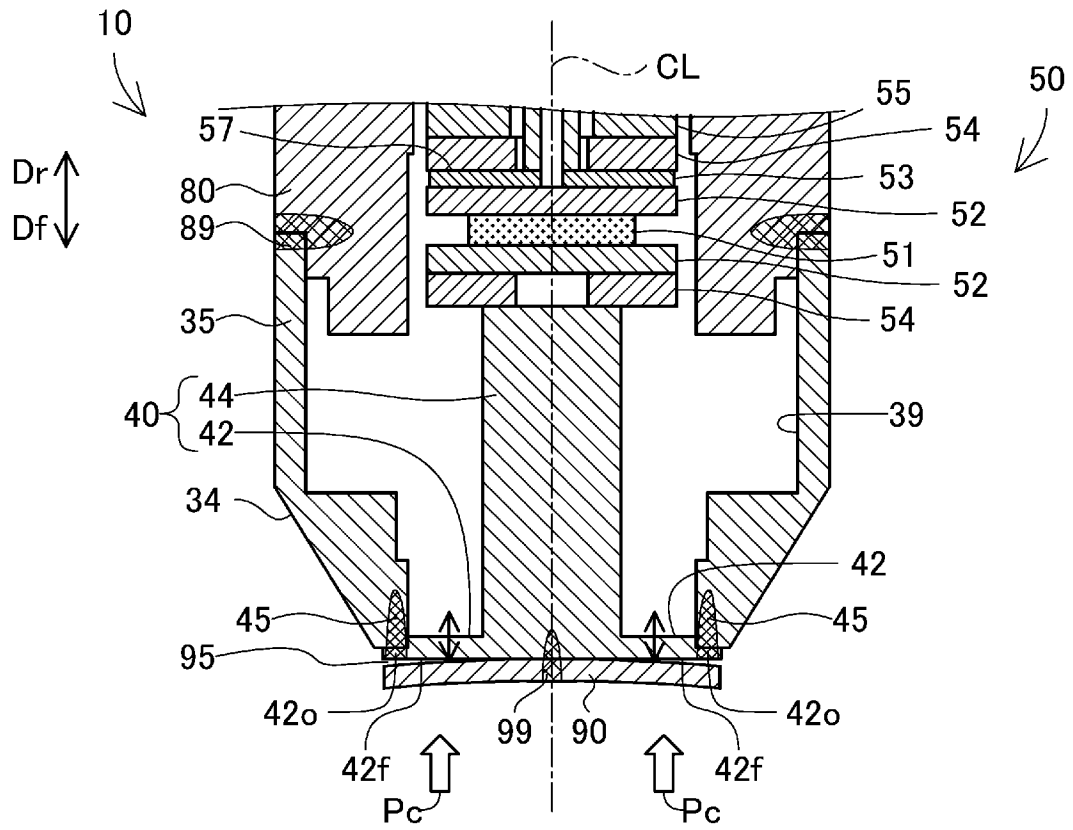
[図2]



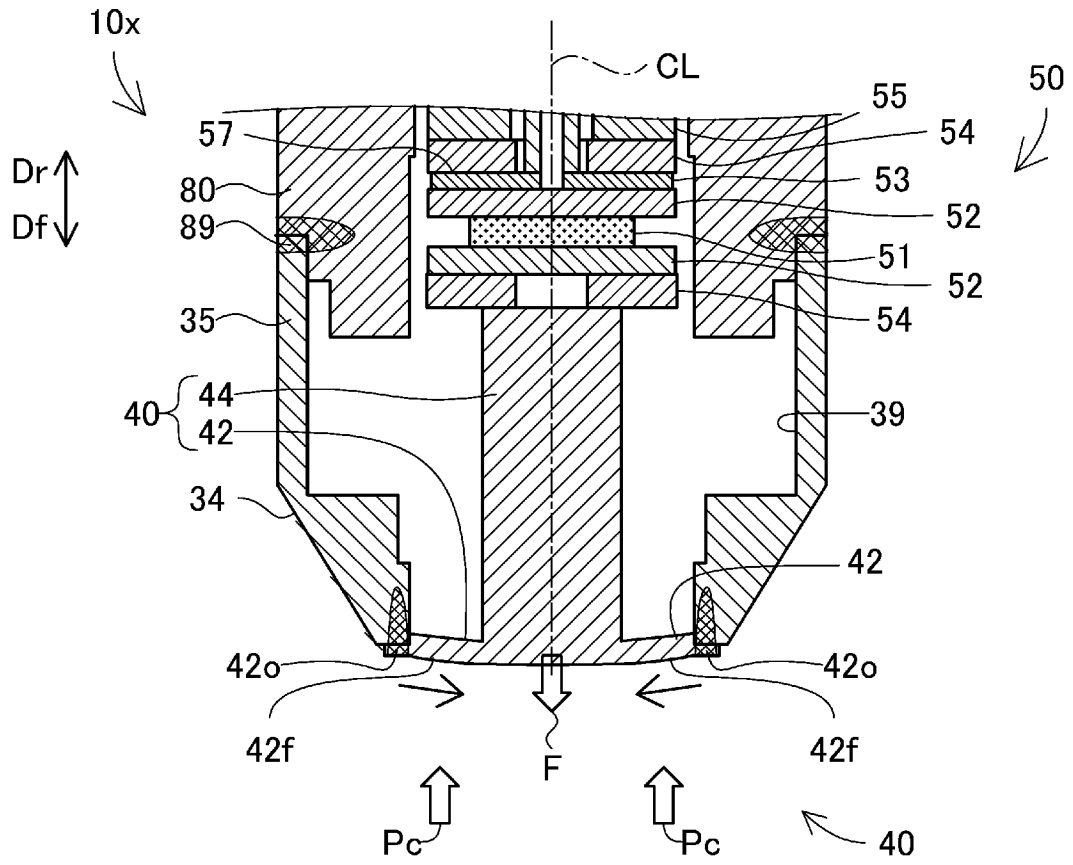
[図3]



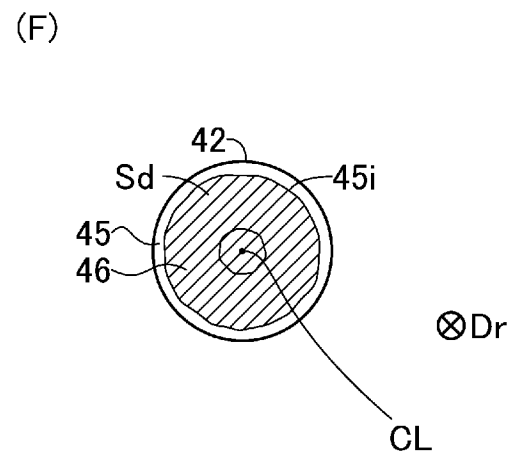
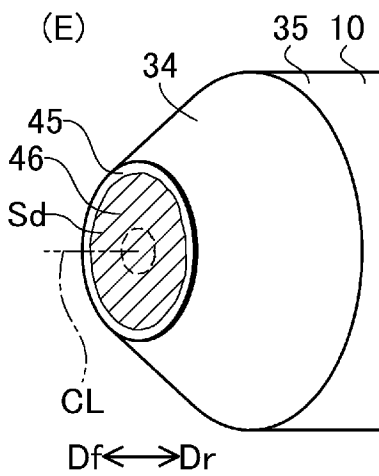
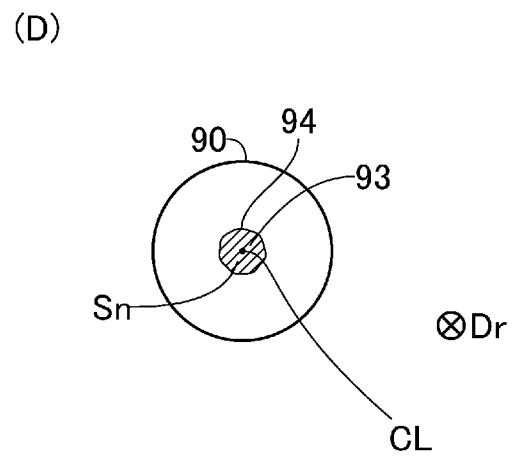
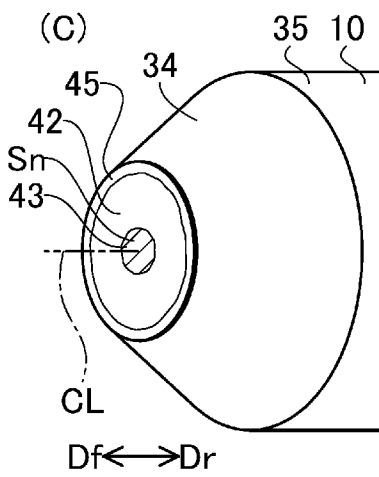
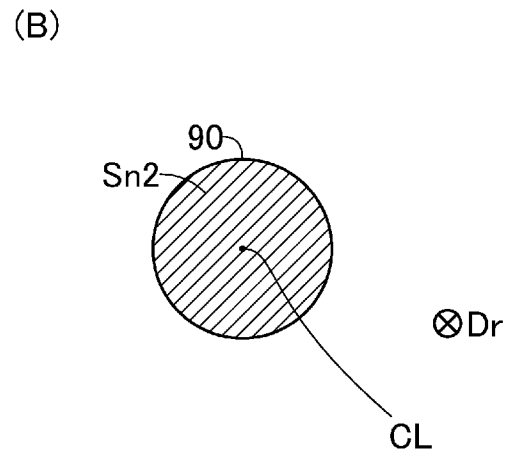
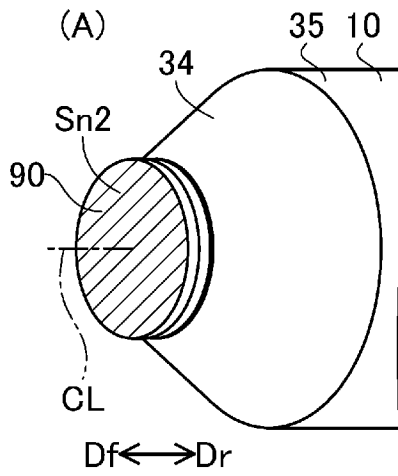
[図4]



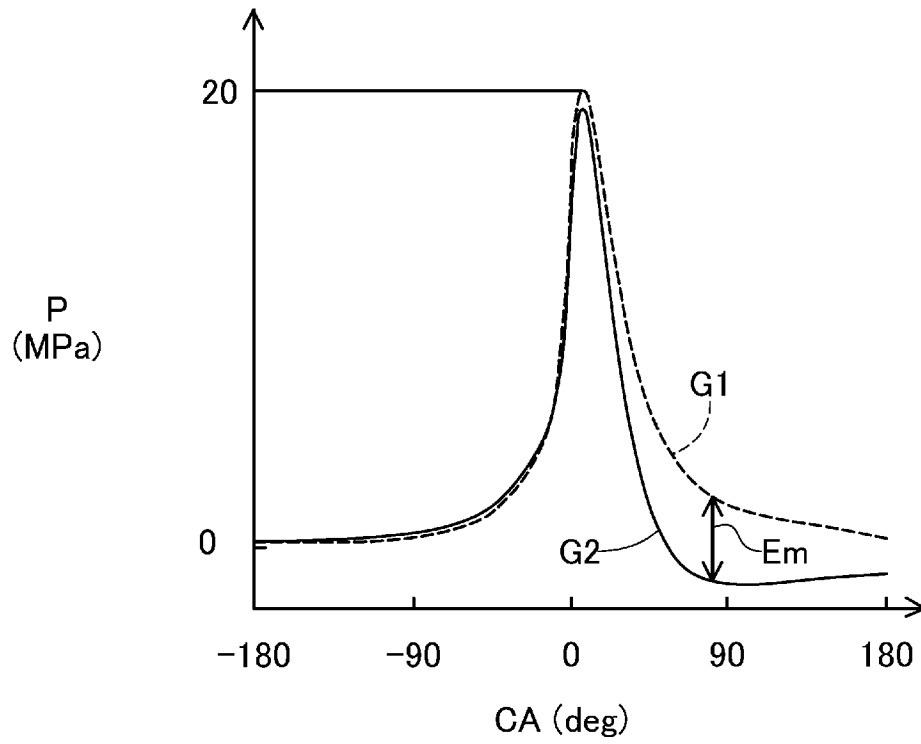
[図5]



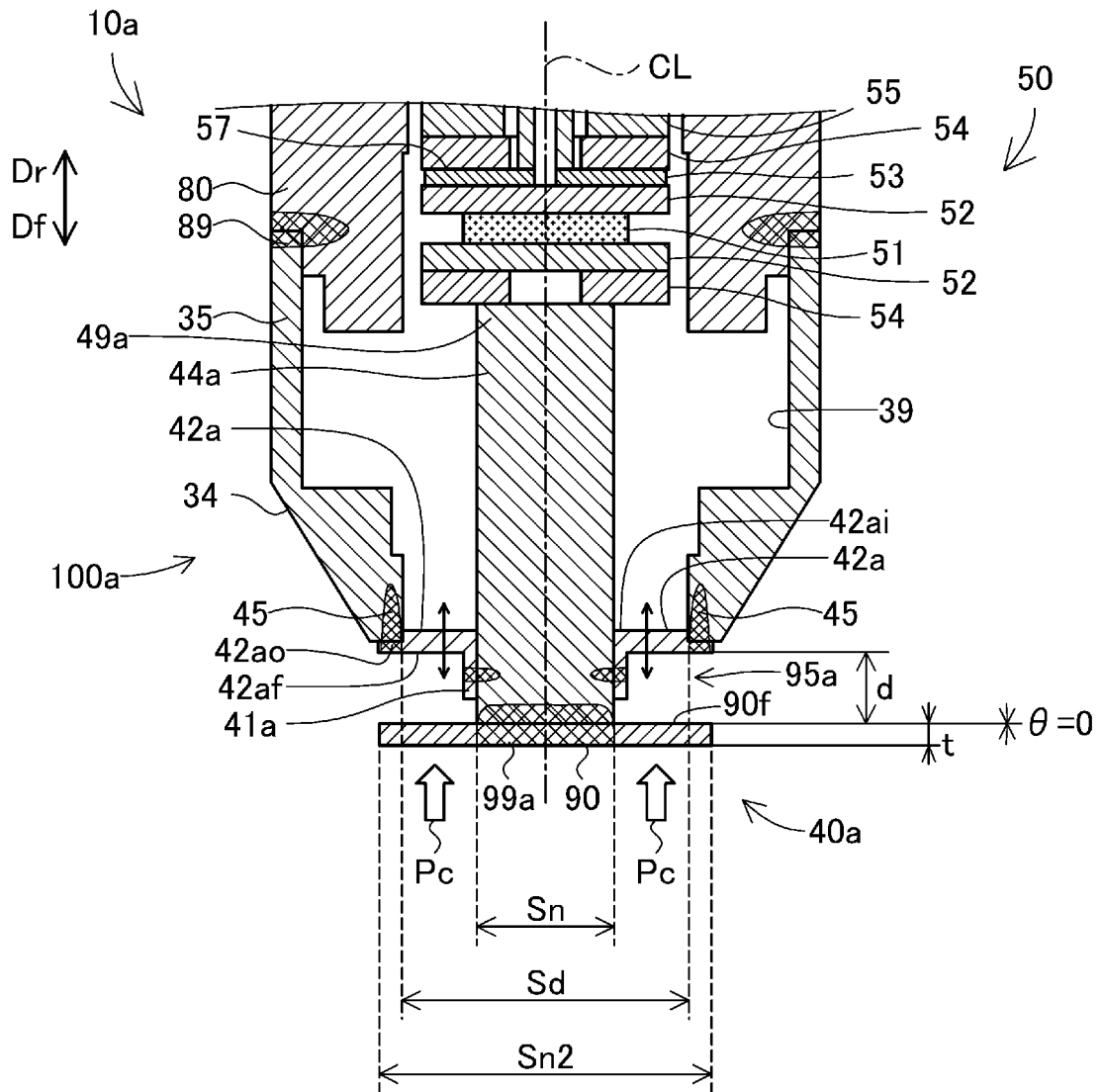
[図6]



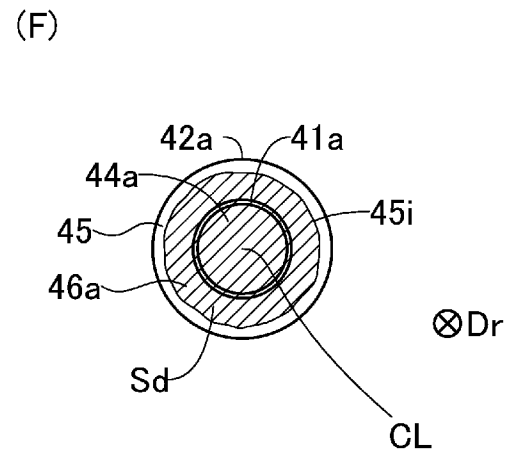
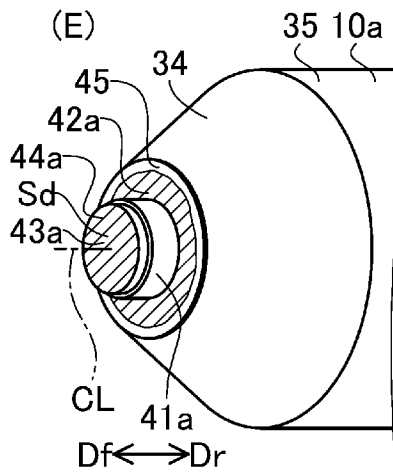
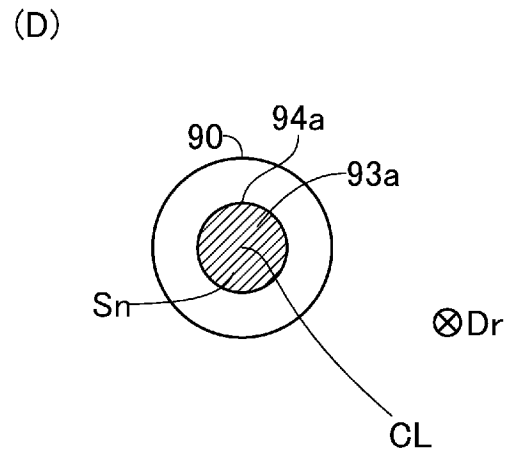
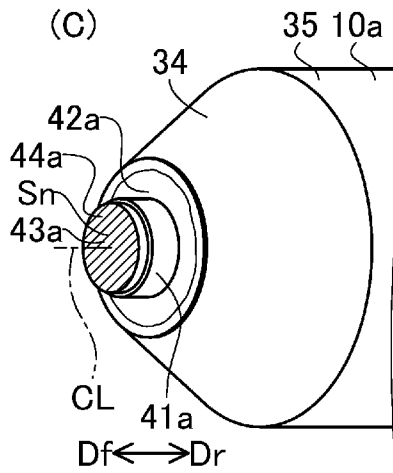
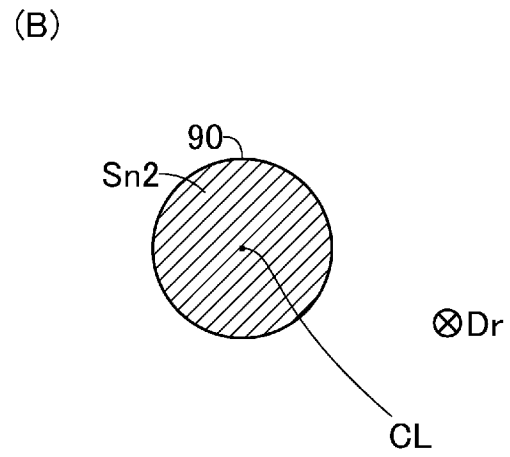
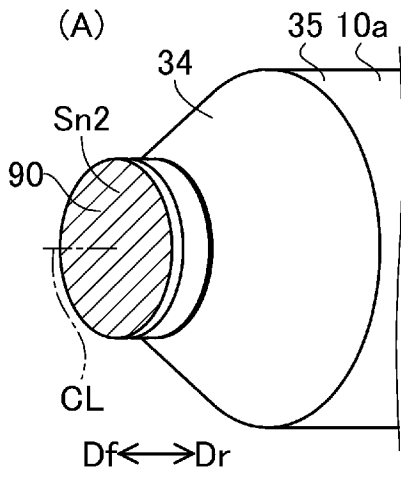
[図7]



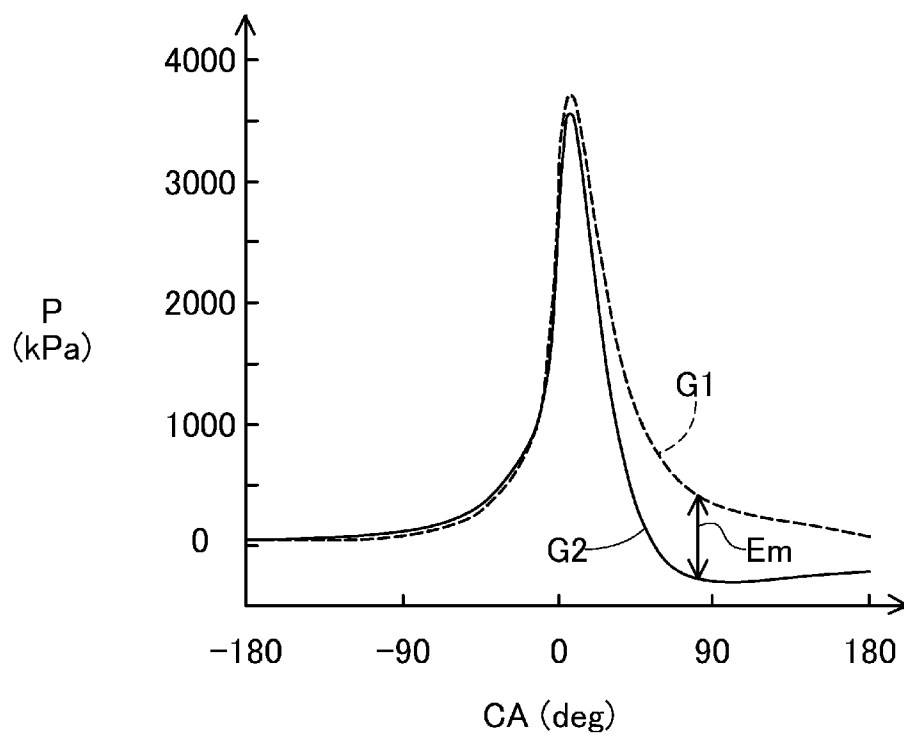
[図8]



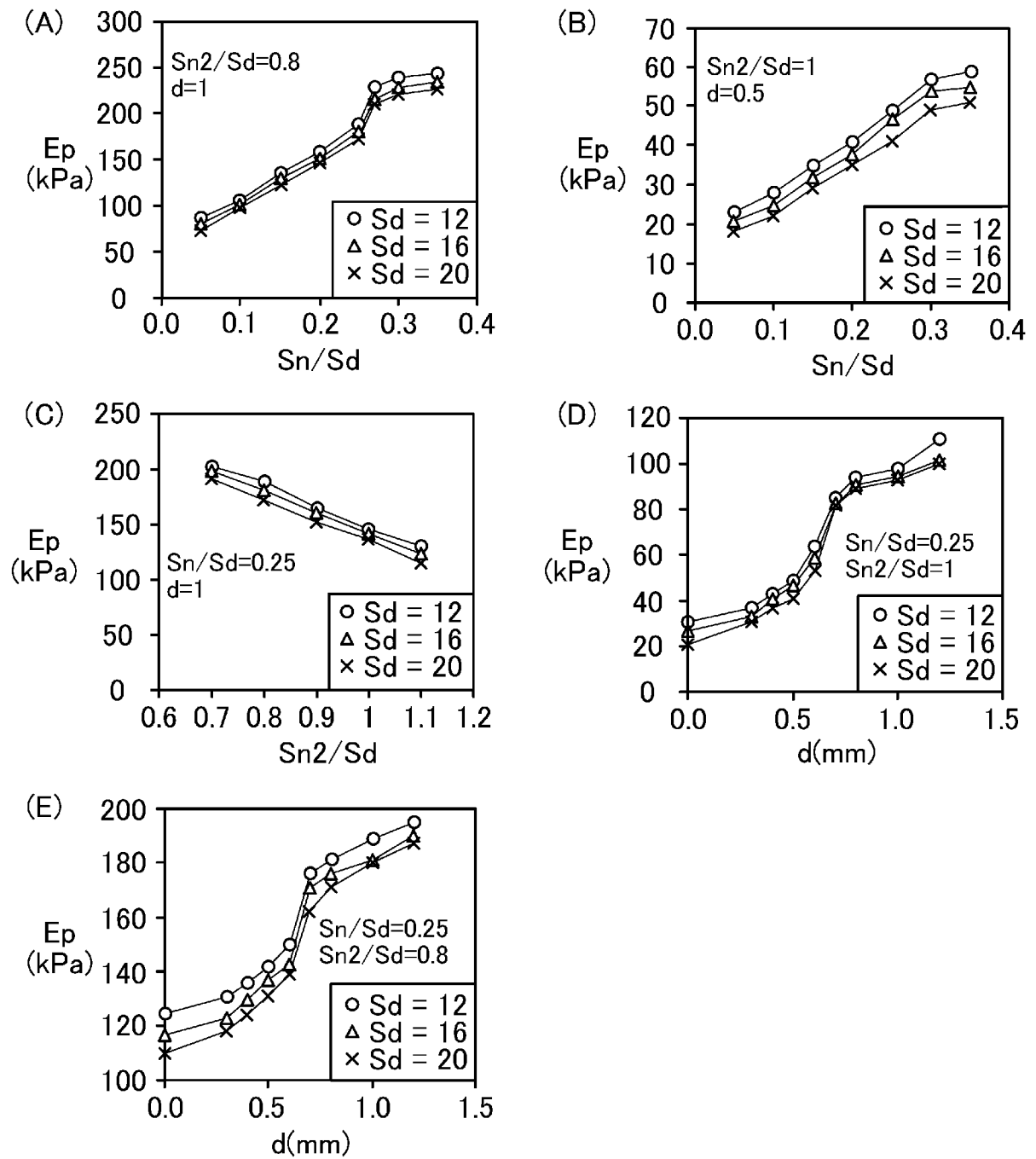
[図9]



[図10]



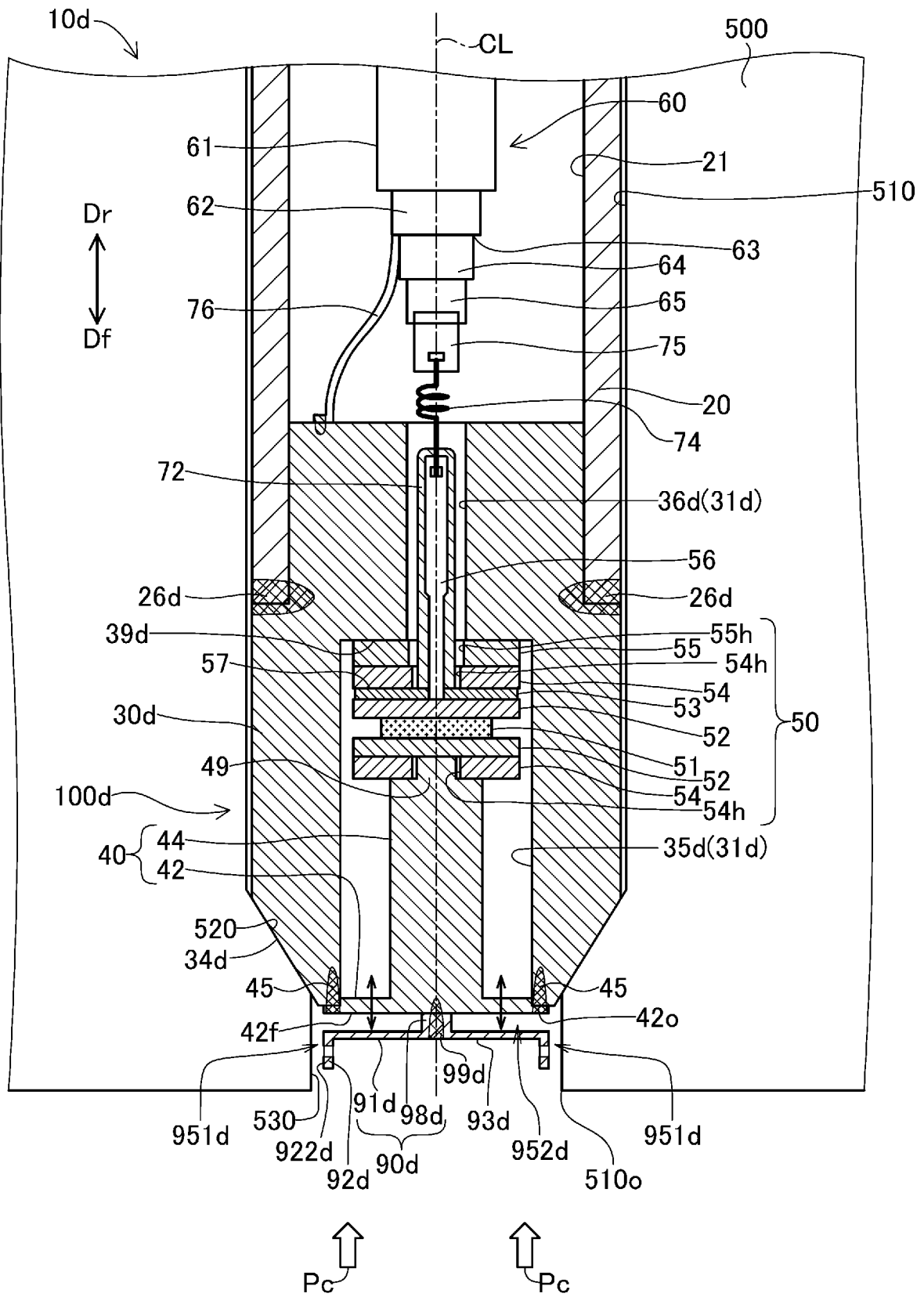
[図11]



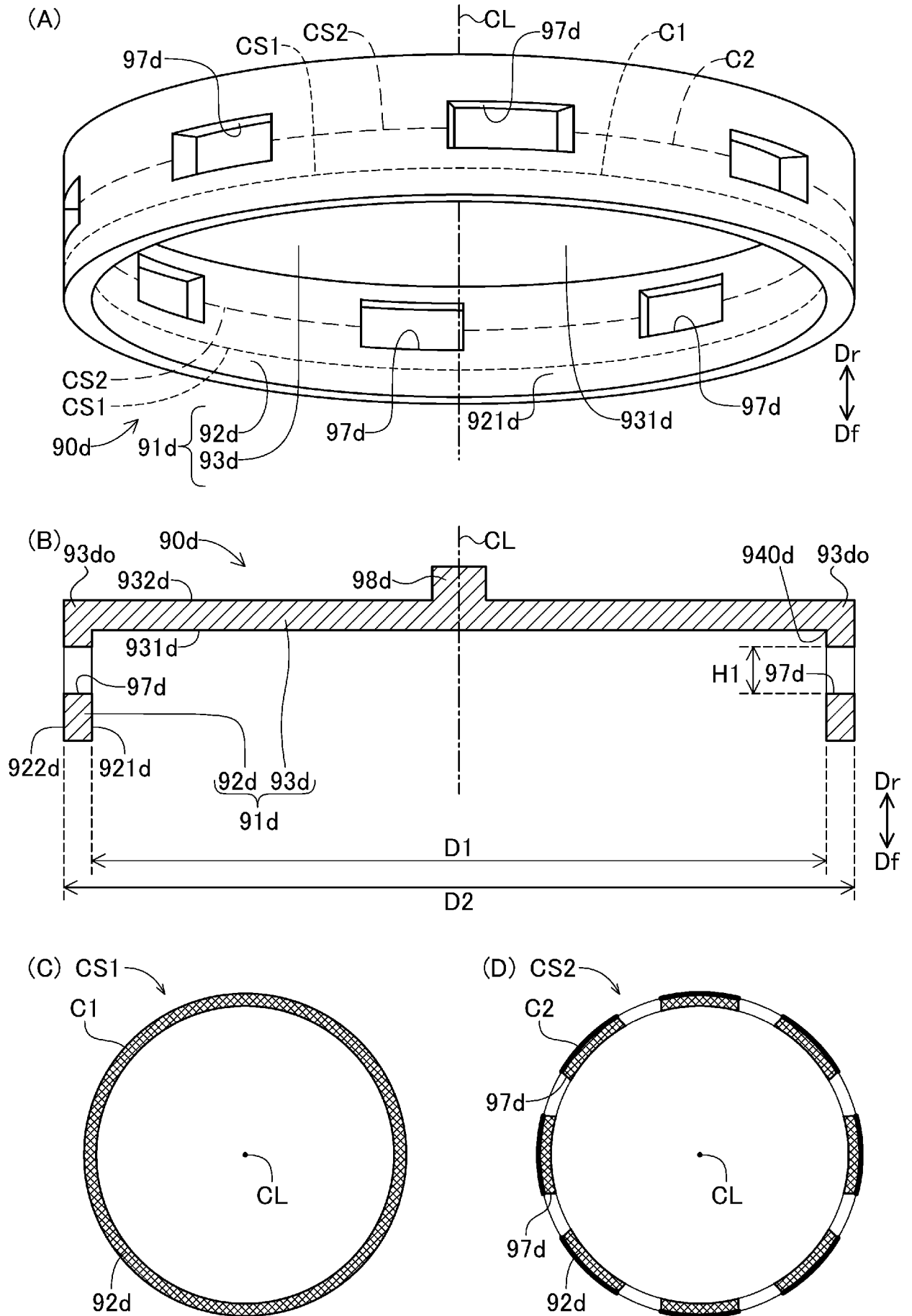




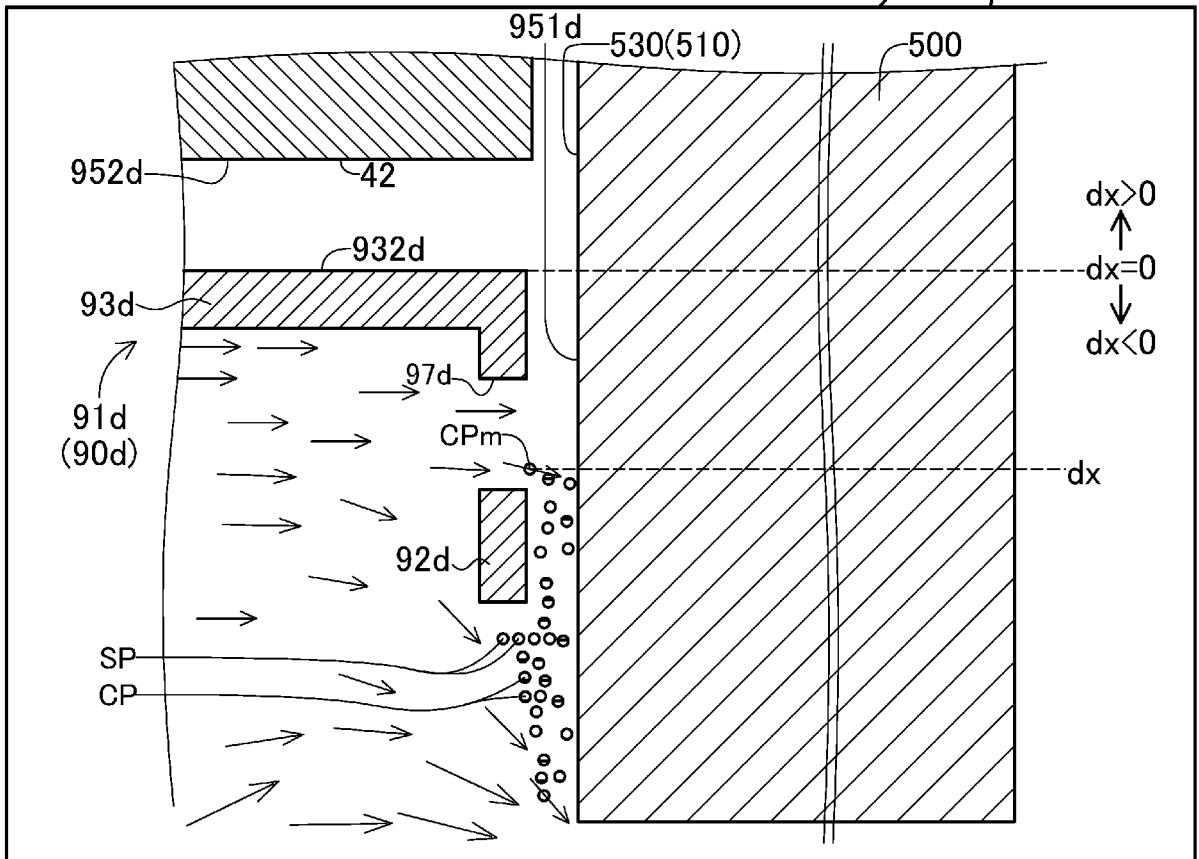
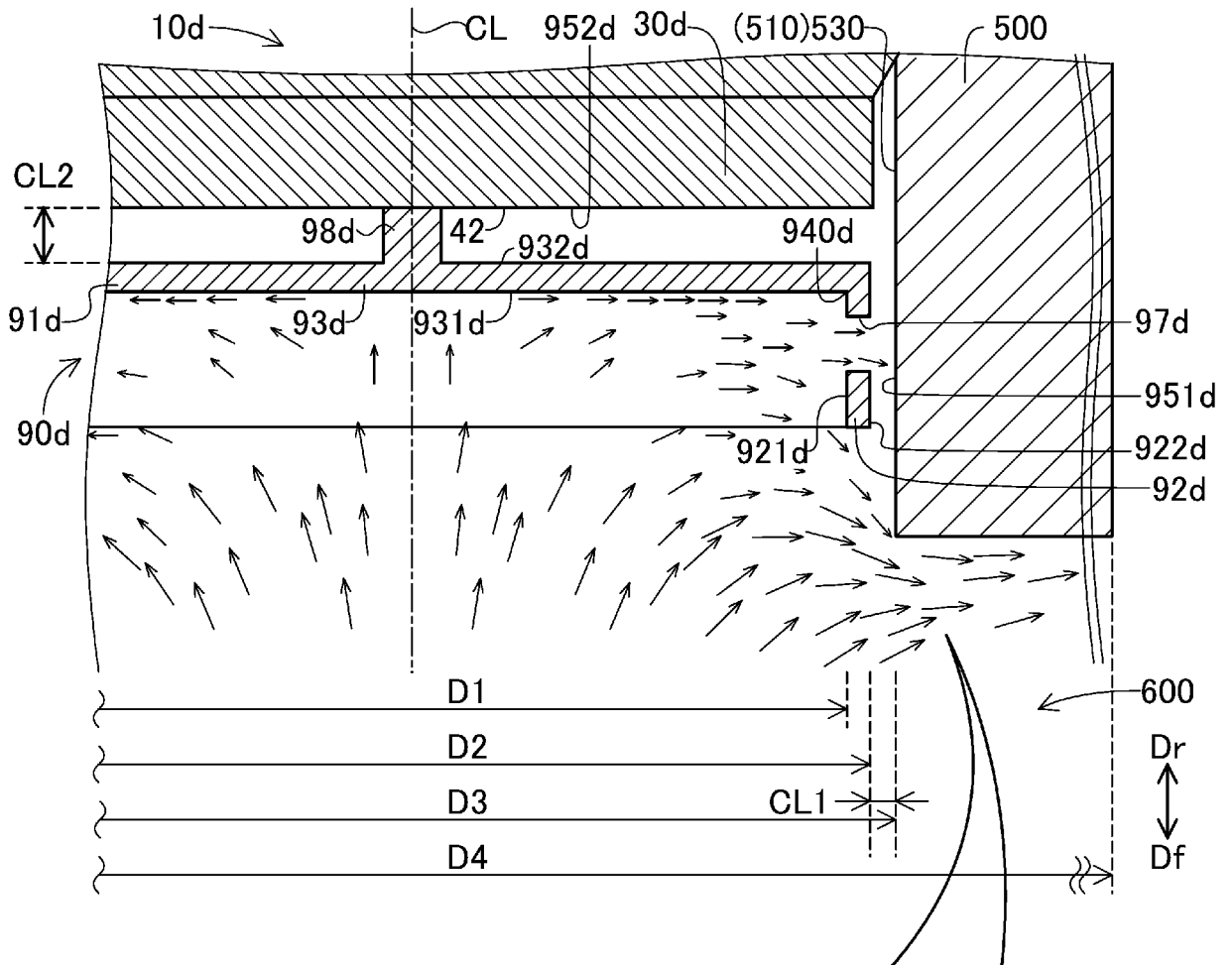
[図14]



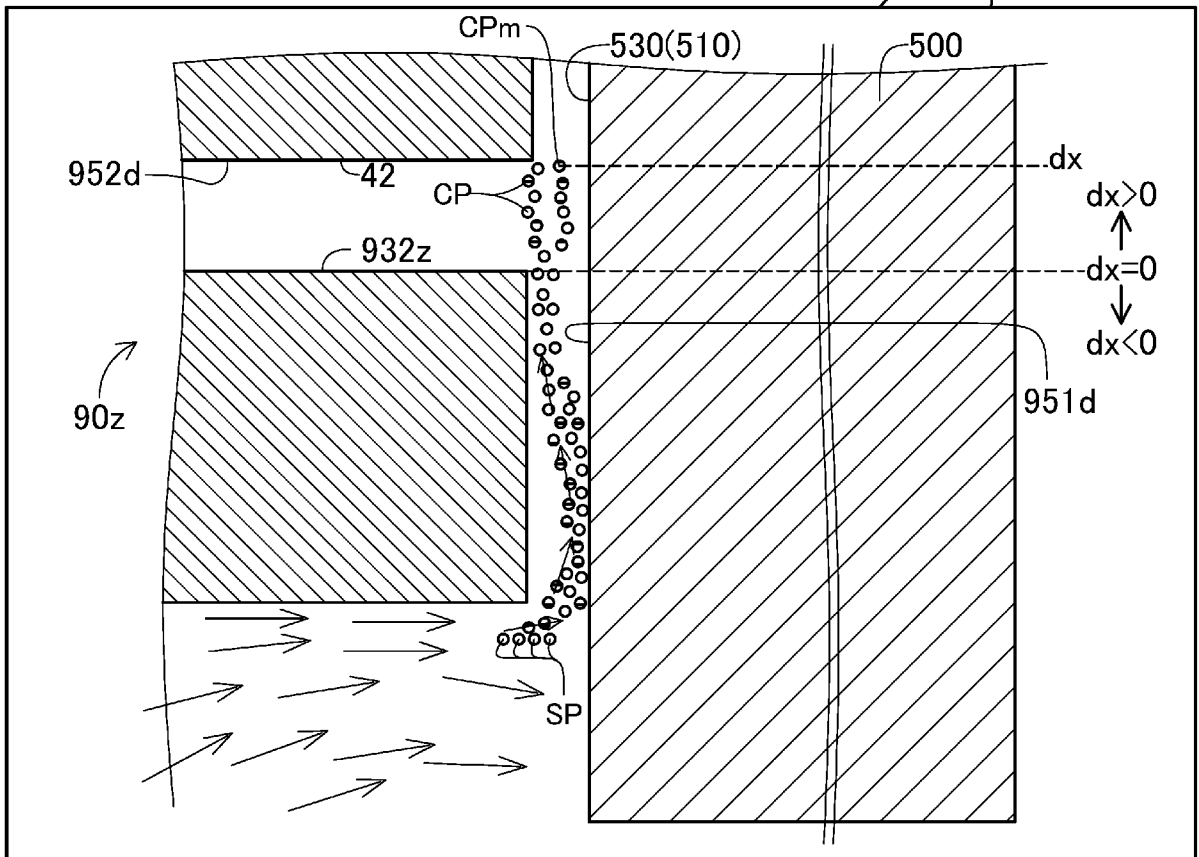
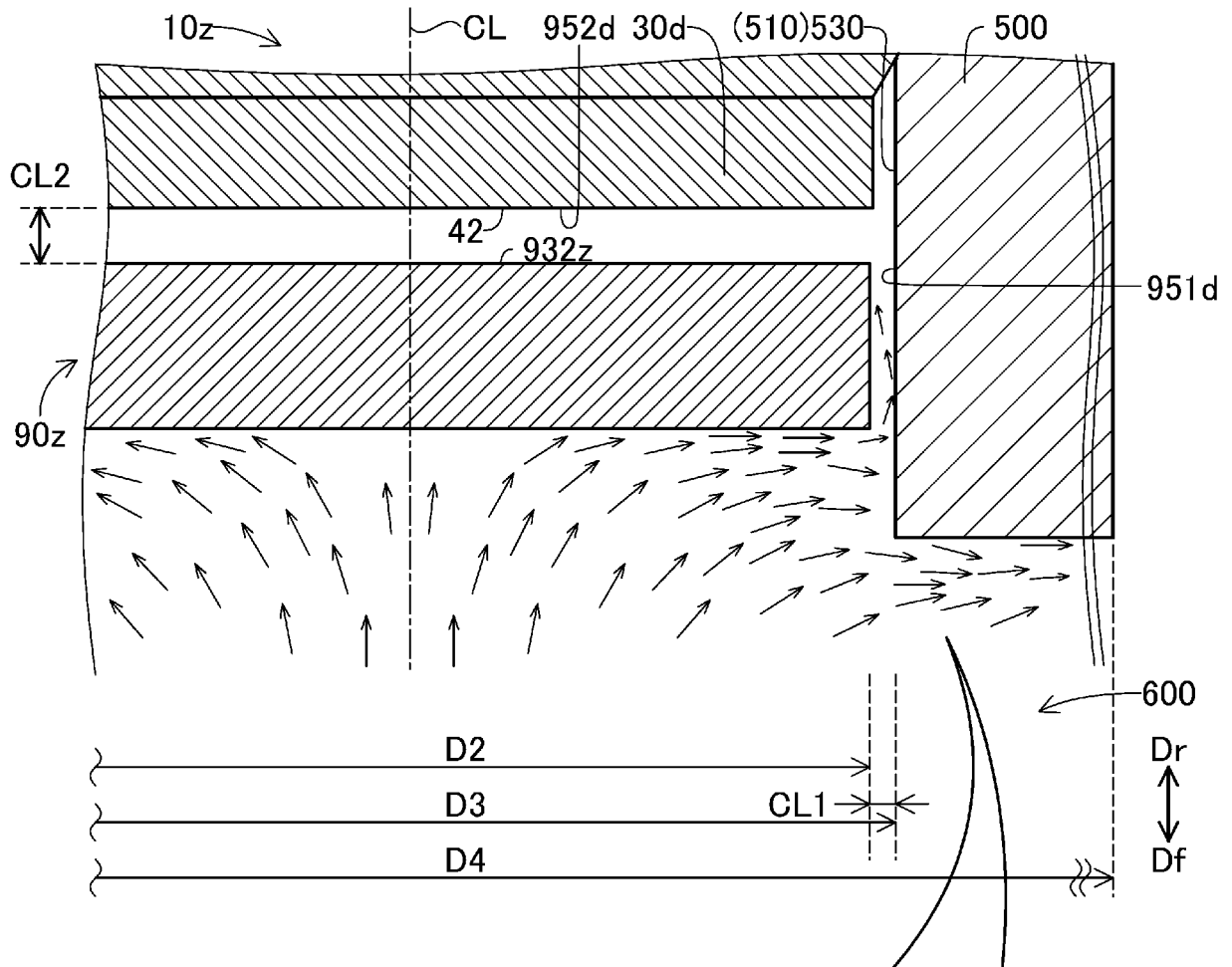
[図15]



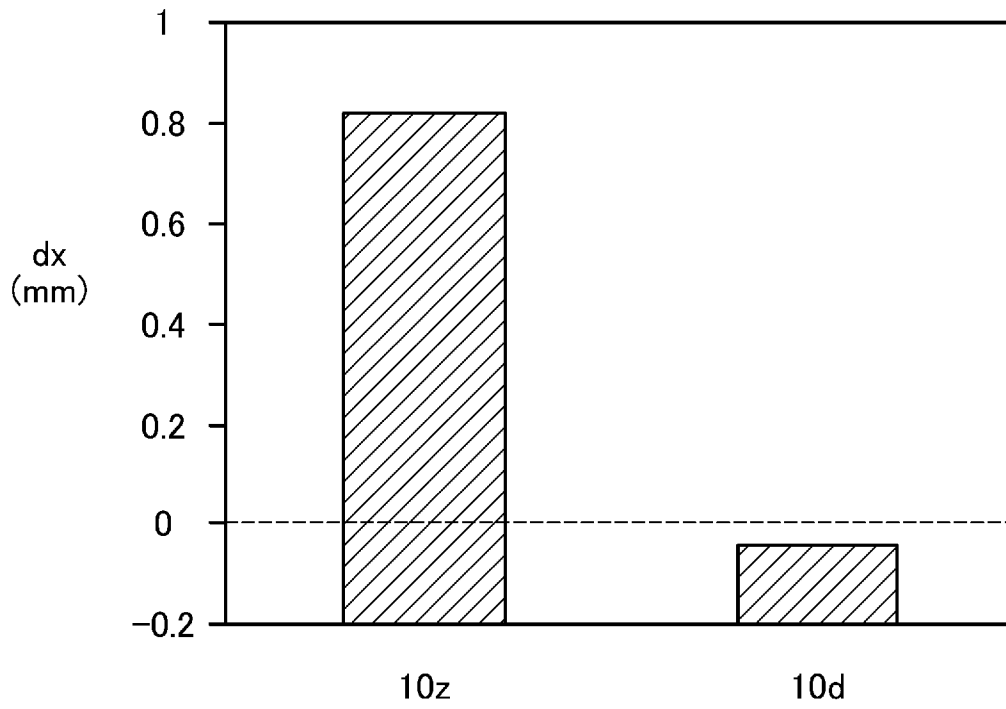
[図16]



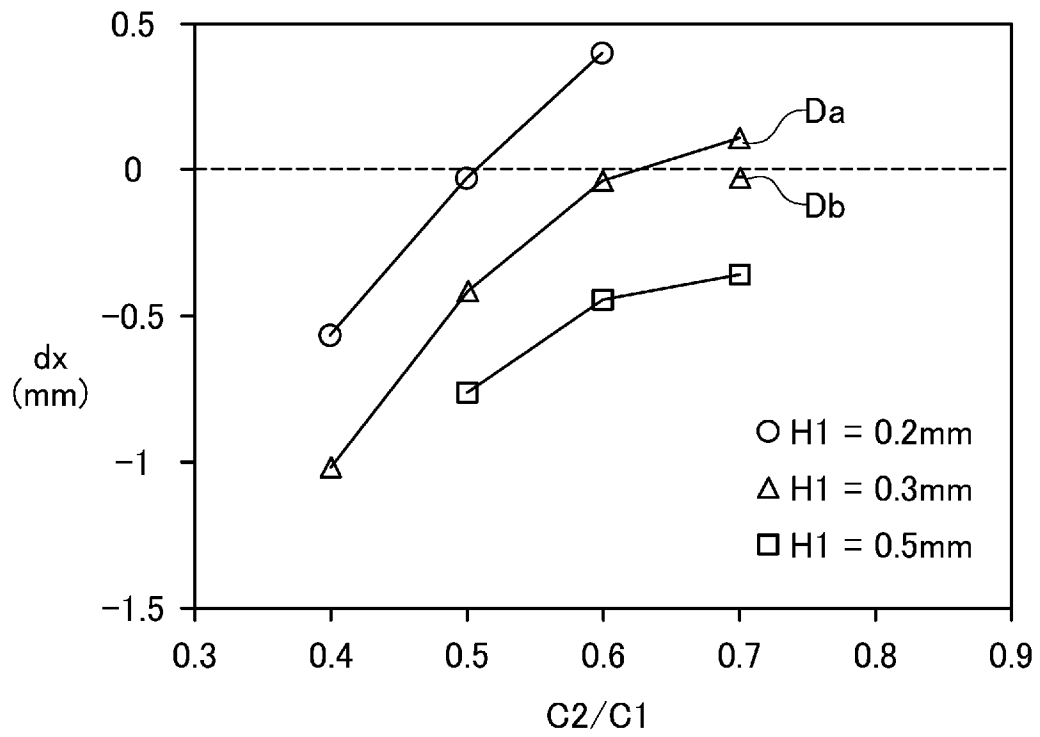
[図17]



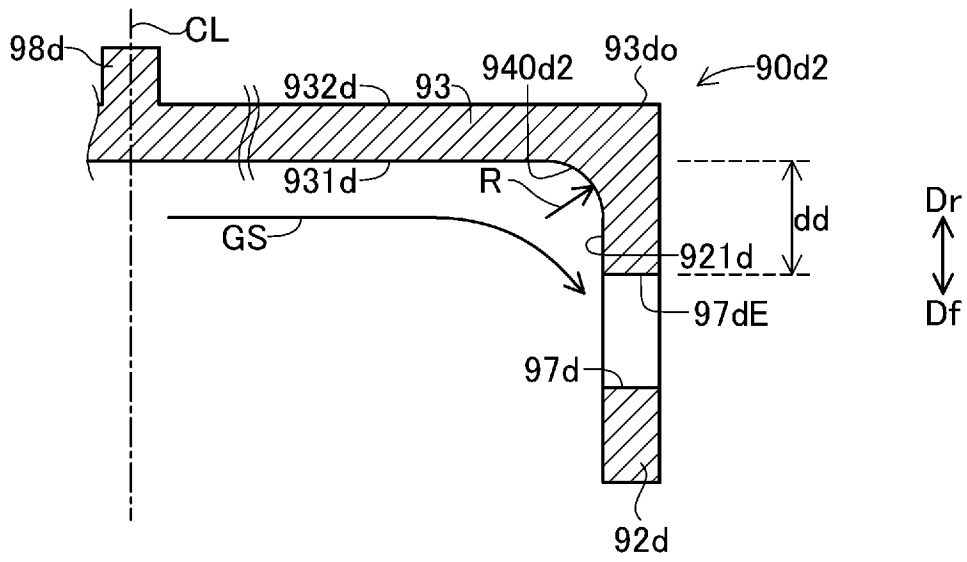
[図18]



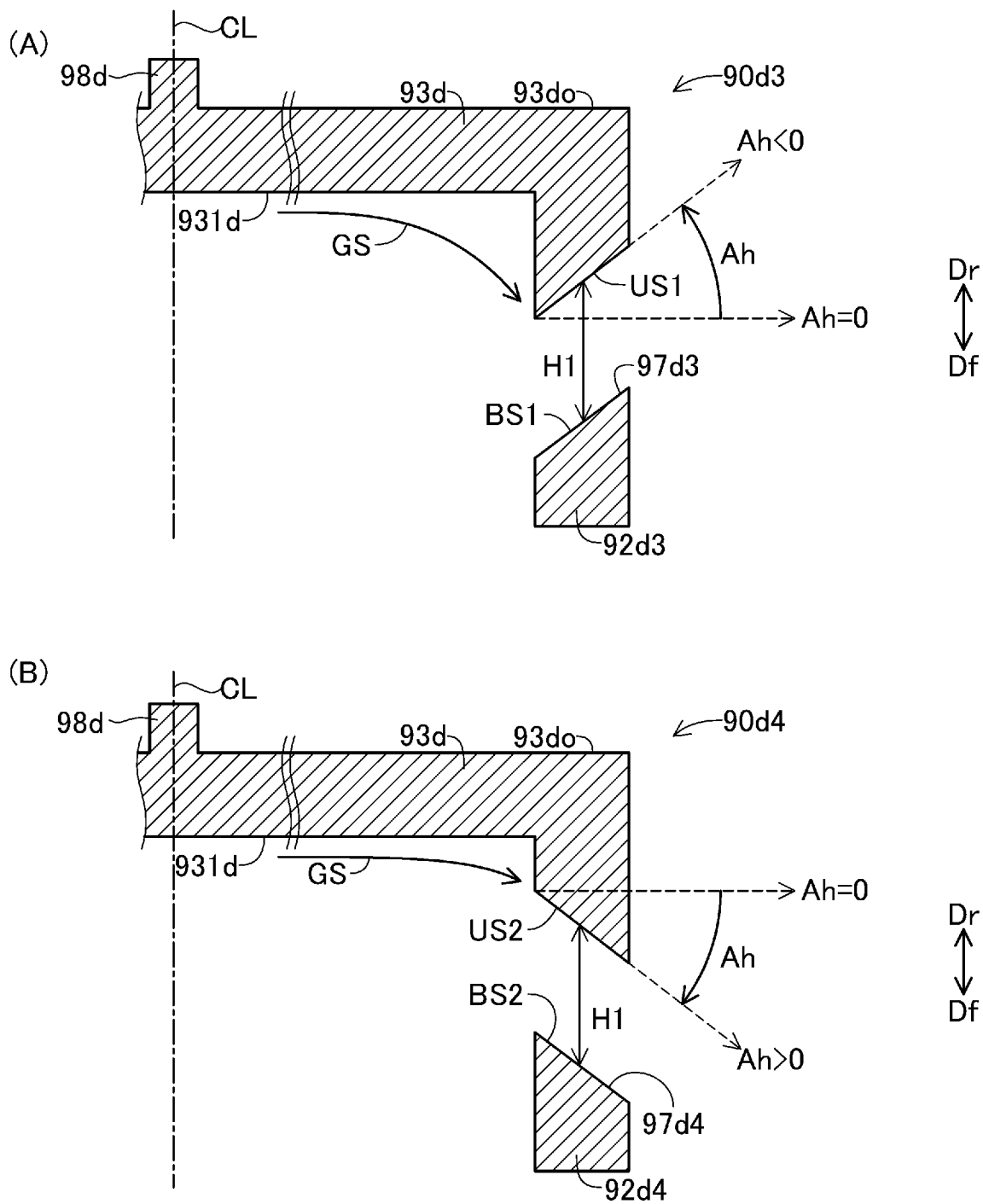
[図19]



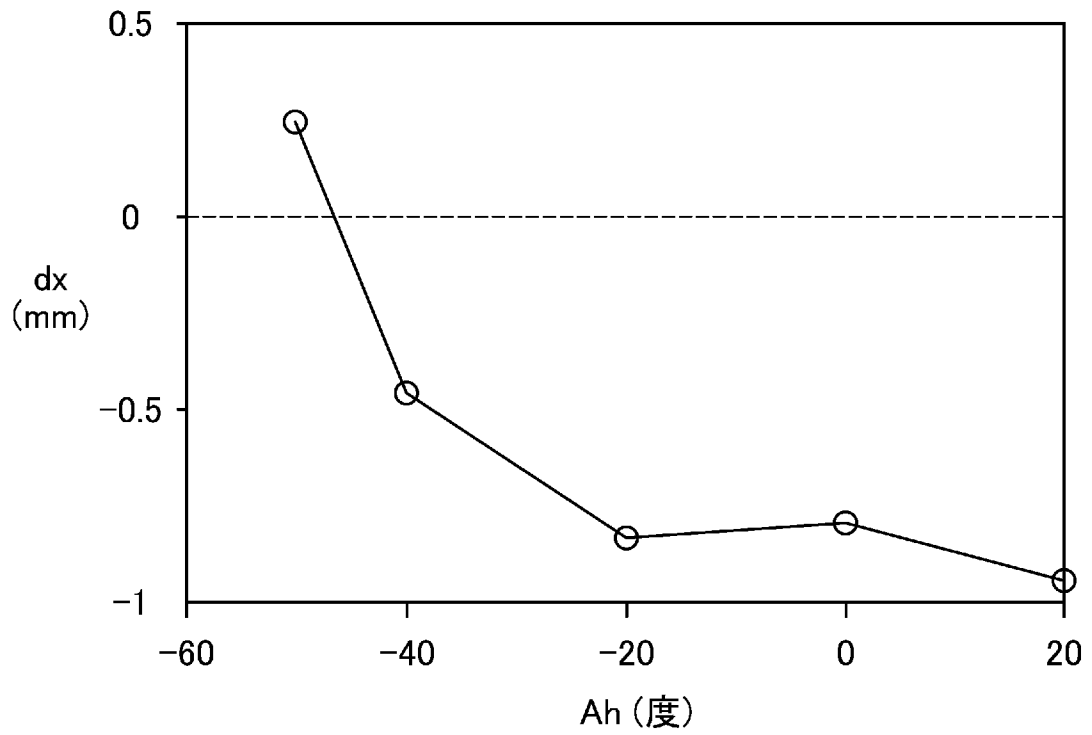
[図20]



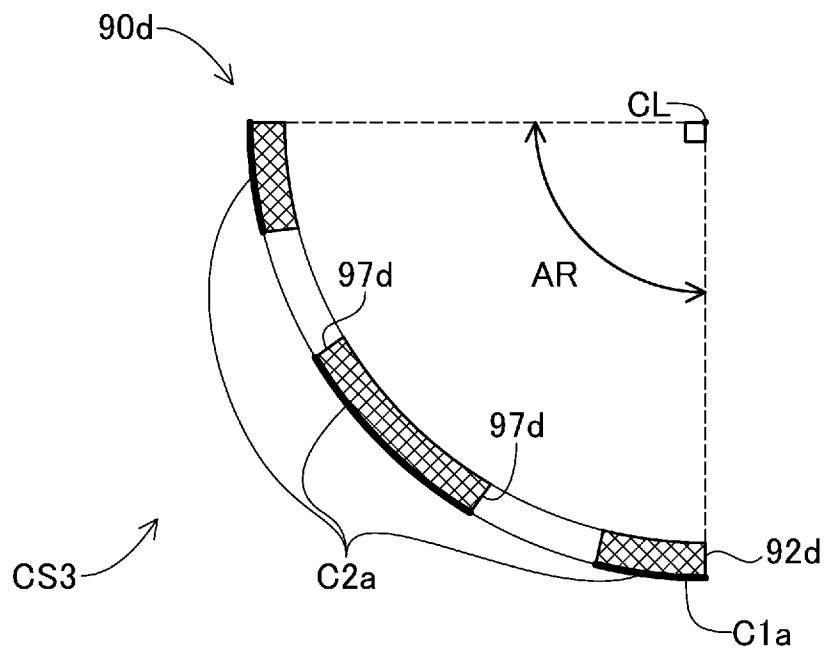
[図21]



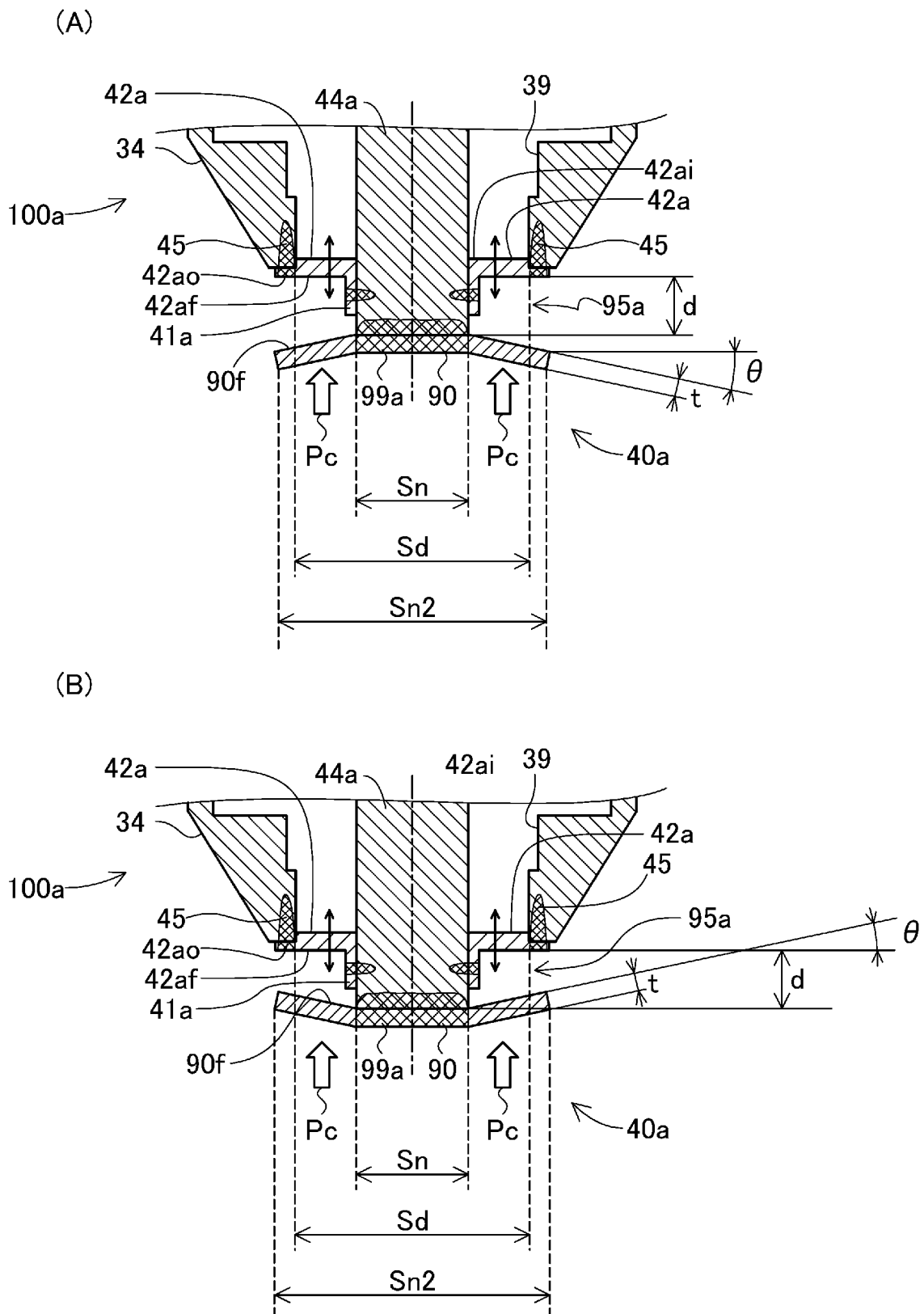
[図22]



[図23]



[図24]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2016/070237

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01L23/22(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)  
G01L23/00-23/32

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.
A	JP 2004-286753 A (Robert Bosch GmbH), 14 October 2004 (14.10.2004), entire text; all drawings & US 2004/0237629 A1 entire text; all drawings & DE 10312491 B3	1-11
A	JP 2009-186209 A (Toyota Motor Corp.), 20 August 2009 (20.08.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

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 13 September 2016 (13.09.16)	Date of mailing of the international search report 27 September 2016 (27.09.16)
---	--

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

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2016/070237

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 2008-70190 A (Denso Corp.), 27 March 2008 (27.03.2008), paragraphs [0059] to [0068]; fig. 3 & US 2008/0060441 A1 paragraphs [0046] to [0057]; fig. 3 & DE 102007042100 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01L23/22(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. G01L23/00-23/32		
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
A	JP 2004-286753 A（ローベルト ボツシュ ゲゼルシャフト ミツト ベシユレンクテル ハフツング）2004.10.14, 全文, 全図 & US 2004/0237629 A1 全文, 全図 & DE 10312491 B3	1-11
A	JP 2009-186209 A（トヨタ自動車株式会社）2009.08.20, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2008-70190 A（株式会社デンソー）2008.03.27, 段落 0059-0068, 図 3 & US 2008/0060441 A1 段落 0046-0057, FIG. 3 & DE 102007042100 A1	1-11
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="float:right;">☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>		
* 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 13.09.2016	国際調査報告の発送日 27.09.2016	
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） 山下 雅人 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F   9303