

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-125740

(P2004-125740A)

(43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)

(51) Int. Cl.⁷

G01K 5/28

F I

G O 1 K 5/28

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2002-293756 (P2002-293756)	(71) 出願人	394025980 岡山大学長 岡山県岡山市津島中一丁目1番1号
(22) 出願日	平成14年10月7日(2002.10.7)	(71) 出願人	000010076 ヤマハ発動機株式会社 静岡県磐田市新貝2500番地
		(74) 代理人	100066980 弁理士 森 哲也
		(74) 代理人	100075579 弁理士 内藤 嘉昭
		(74) 代理人	100103850 弁理士 崔 秀▲てつ▼
		(72) 発明者	富田 栄二 岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山大学内

最終頁に続く

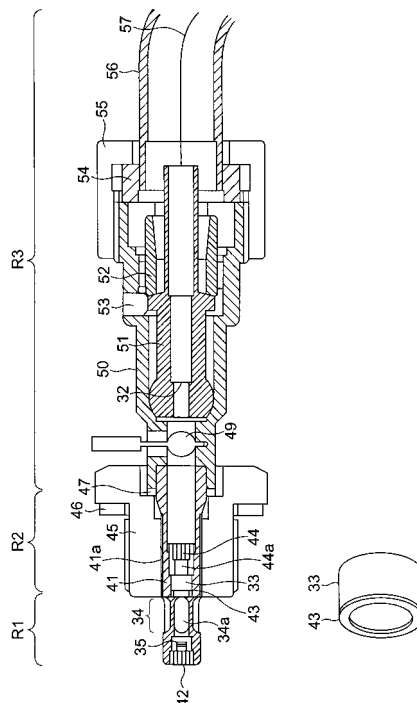
(54) 【発明の名称】 温度センサ

(57) 【要約】

【課題】 封止性を向上させつつ、コンパクト化を図ることができ、測定精度を向上させる。

【解決手段】 光学窓33の前面に、光学窓33の外形に対応したガスケット43が設け、筒状筐体41の外径よりも筒状筐体50の外径を大きくし、セルフオックマイクロレンズ32を保持するとともに、セルフオックマイクロレンズ32の光軸を調整する光軸調整用レンズ保持部51を設ける。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、
前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、
前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、
前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、
前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、
前記光透過窓と前記保持手段との間をシールするシール部とを備えることを特徴とする温度センサ。

10

【請求項 2】

前記シール部は、前記光透過窓の前面に密着配置されたリング状ガスケットであることを特徴とする請求項 1 記載の温度センサ。

【請求項 3】

ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、
前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、
前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、
前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記光透過窓
および前記反射部を光軸上に保持する第 1 の筒状筐体と、
前記第 1 の筒状筐体よりも大きな径で構成され、前記集光部を前記光軸上に保持する第 2
の筒状筐体とを備えることを特徴とする温度センサ。

20

【請求項 4】

ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、
前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、
前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、
前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記光透過窓
および前記反射部を光軸上に保持する第 1 の筒状筐体と、
前記第 1 の筒状筐体に連結され、前記集光部の光出射面の傾きを調整可能な状態で前記集
光部を保持する第 2 の筒状筐体とを備えることを特徴とする温度センサ。

30

【請求項 5】

前記第 2 の筒状筐体は、
前記集光部を内部に保持し、先端部分および後端部分の外周面が球面状に加工された内側
筒状筐体と、
前記内側筒状筐体を傾き可能な状態で内部に保持し、前記内側筒状筐体の先端部分の外周
面に対応して球面上に加工された内周面を有する外側筒状筐体とを備えることを特徴とす
る請求項 4 記載の温度センサ。

【請求項 6】

ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、
前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、
前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、
前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、
前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、
前記保持手段に設けられ、前記温度測定対象の初期温度を計測する温度計測手段とを備え
ることを特徴とする温度センサ。

40

【請求項 7】

ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、
前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、

50

前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、
前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、
前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、
前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、
前記保持手段に設けられ、前記集光部と前記光透過窓との間の温度を計測する温度計測手段とを備えることを特徴とする温度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は温度センサに関し、特に、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測装置に適用して好適なものである。 10

【0002】

【従来の技術】

従来の温度計測装置では、例えば、特許文献1に開示されているように、気体温度を非接触で計測するために、ヘテロダイン干渉法を用いて気体温度を計測する方法が提案されている。

この方法では、音響光学変調器を利用したヘテロダイン干渉法を用いることで、測定領域でのビート周波数の位相変化から気体の屈折率の変化を算出し、その気体の組成から Gladstone-Dale (グラッドストーン-デイル) 定数を求め、さらに、気体の圧力値を用いることで、気体の状態式から気体温度を算出する。 20

【0003】

そして、ヘテロダイン干渉法を用いることで、非接触、高精度、高応答で気体温度を計測することができる。

また、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法は、機械的な振動に強いという特徴があり、機械的な振動を伴う内燃機関などへの適用が試みられている。

【0004】

【特許文献1】

特開2002-39870号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 30

しかしながら、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関に適用する場合、燃焼室内のガスの温度変化を計測するには、燃焼室内の気密性を維持しつつ、限られたスペース内に温度センサを設置する必要がある。

また、燃焼室は、機械的な振動が発生するとともに、高温・高圧の過酷な環境に置かれるため、温度計測を精度よく行うためには、温度センサを燃焼室に取り付けた場合の温度補正を行ったり、光軸ずれを調整したりする必要もある。

【0006】

そこで、本発明の目的は、封止性を向上させつつ、コンパクト化を図ることができ、測定精度を向上させることが可能な温度センサを提供することである。

【0007】 40

【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するために、請求項1記載の温度センサによれば、ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、前記光透過窓と前記保持手段との間をシールするシール部とを備えることを特徴とする。

【0008】

これにより、気体や液体などの温度測定対象が光透過窓と保持手段との間から外部に漏れ 50

出すことを防止することができる。

このため、温度センサを燃焼室に取り付けた場合においても、高温・高圧の燃焼ガスが燃焼室から漏れ出すことを防止することができ、燃焼ガスの温度変化を精度よく計測することができる。

【0009】

また、請求項2記載の温度センサによれば、前記シール部は、前記光透過窓の前面に密着配置されたリング状ガスケットであることを特徴とする。

これにより、光透過窓を通過するレーザ光を遮ることなく、光透過窓の外縁部を保持手段に密着させることが可能となり、測定精度を劣化させることなく、高温・高圧の燃焼ガスが燃焼室から漏れ出すことを防止することができる。

10

【0010】

また、請求項3記載の温度センサによれば、ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する第1の筒状筐体と、前記第1の筒状筐体よりも大きな径で構成され、前記集光部を前記光軸上に保持する第2の筒状筐体とを備えることを特徴とする。

【0011】

これにより、レーザ光の光路を確保しつつ、温度計測領域の大きさを縮小することが可能となる。

20

このため、燃焼室内の限られたスペースに温度センサを容易に挿入することが可能となり、実機を用いて温度計測を行なうことが可能となる。

また、請求項4記載の温度センサによれば、ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する第1の筒状筐体と、前記第1の筒状筐体に連結され、前記集光部の光出射面の傾きを調整可能な状態で前記集光部を保持する第2の筒状筐体とを備えることを特徴とする。

30

【0012】

これにより、集光部の光出射面の傾きを調整することで、光軸合わせを行なうことが可能となり、温度センサの大型化を抑制しつつ、温度計測精度を向上させることが可能となる。

また、請求項5記載の温度センサによれば、前記第2の筒状筐体は、前記集光部を内部に保持し、先端部分および後端部分の外周面が球面状に加工された内側筒状筐体と、前記内側筒状筐体を傾き可能な状態で内部に保持し、前記内側筒状筐体の先端部分の外周面に対応して球面上に加工された内周面を有する外側筒状筐体とを備えることを特徴とする。

【0013】

これにより、内側筒状筐体の後端部分を上下左右に動かすことで、集光部の光出射面を任意の方向に傾けることが可能となり、光軸合わせを容易に行なうことが可能となるとともに、内側筒状筐体の後端部分を押し付けることにより、集光部の光出射面の傾きをそのまま維持したまま、内側筒状筐体を固定することが可能となる。

40

【0014】

また、内側筒状筐体を介して集光部を外側筒状筐体に保持させることにより、外側筒状筐体から集光部を切り離すことが可能となり、集光部に熱が伝わり難くして、集光部を保護することができる。

また、請求項6記載の温度センサによれば、ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、前記光透過窓を透過したレーザ光を反射

50

させる反射部と、前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、前記保持手段に設けられ、前記温度測定対象の初期温度を計測する温度計測手段とを備えることを特徴とする。

【0015】

これにより、温度センサの大型化を抑制しつつ、温度測定対象の初期温度を直接計測することが可能となる。

このため、ヘテロダイン干渉法により温度を求めるために必要な値を容易に取得することが可能となり、測定にかかる手間を軽減しつつ、温度計測精度を向上させることが可能となる。

10

【0016】

また、請求項7記載の温度センサによれば、ヘテロダイン干渉用のレーザ光を伝送する光ファイバと、前記光ファイバから出射されたレーザ光を集光させる集光部と、前記集光部で集光されたレーザ光を透過させる光透過窓と、前記光透過窓を透過したレーザ光を反射させる反射部と、前記光透過窓と前記反射部との間に温度測定対象が入り込み可能な状態で、前記集光部、前記光透過窓および前記反射部を光軸上に保持する保持手段と、前記保持手段に設けられ、前記集光部と前記光透過窓との間の温度を計測する温度計測手段とを備えることを特徴とする。

【0017】

これにより、温度測定対象の温度だけでなく、レーザ光が通過する光路のうち測定対象以外の温度も計測することができる。

20

このため、ヘテロダイン干渉法により温度計測を行なう際に、温度測定対象の温度変化により、その周囲の温度に影響が及ぶ場合においても、光路のうち測定対象以外の温度変化による誤差を補正することが可能となり、温度計測の精度を向上させることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る温度センサについて図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係るヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法の原理を説明する平面図である。

【0019】

30

図1において、He-Neレーザ1から出射されたレーザ光の一部はハーフミラー2を透過し、参照光L_rが生成されるとともに、He-Neレーザ1から出射されたレーザ光の一部はハーフミラー2で反射され、試験光L_sが生成される。

そして、ハーフミラー2を透過した参照光L_rは参照領域3を透過し、ミラー4で反射された後、その参照光L_rの一部がハーフミラー5で反射される。

【0020】

一方、ハーフミラー2で反射された試験光L_sはミラー6で反射された後、周波数シフタ7で周波数シフトされ、計測領域8を透過する。

そして、計測領域8を透過した試験光L_sの一部はハーフミラー5を通過し、ハーフミラー5で反射された参照光L_rと合波されて、検出器9に入射する。

40

そして、検出器9では、参照光L_rと試験光L_sとの周波数差がビート周波数として検出される。

【0021】

ここで、計測領域8を透過した試験光L_sの位相は、計測領域8の気体の屈折率変化に対応して変化するため、計測領域8の気体の屈折率変化は、ビート周波数を変化させる。

そして、計測領域8の気体の屈折率変化は、計測領域8の気体の密度変化に依存し、計測領域8の気体の密度変化は、計測領域8の気体の温度変化に依存する。

【0022】

このため、参照光L_rと試験光L_sとの周波数差をビート周波数として検出することにより、計測領域8の気体の温度を計測することができる。

50

すなわち、参照光 L_r と試験光 L_s のビーム強度を I_0 とすると、干渉信号 I は次式で表すことができる。

【0023】

【数1】

$$I = |E|^2 = 2 \cdot I_0 [1 + \cos(2\pi f_b t + \psi_t)] \cdots (1)$$

【0024】

ただし、 f_b はビート周波数、 ψ_t は計測領域 8 の物質の位相変化である。10
また、測定開始から時刻 t まで測定したヘテロダイン信号の位相変化を ψ_H とすると、計測領域 8 の気体の位相が変化することにより、測定信号の位相変化量 ψ_H が変わる。ここで、測定信号の位相変化量 ψ_H は、計測領域 8 の気体の位相変化 ψ_t と次の関係を持つ。

【0025】

【数2】

$$\psi_H = \int_0^t 2\pi f_b dt + \psi_t \cdots (2)$$

20

【0026】

また、計測領域 8 の気体の位相変化 ψ_t は、計測領域 8 の気体の屈折率変化 n_t と次の関係を持つ。

$$\psi_t = 2\pi n_t L_t / \lambda_s = 2\pi n_t L_t / \lambda_s \cdots (3)$$

ただし、 ΔL_t は計測領域 8 での光路長変化、 L_t は計測領域 8 の長さ、 λ_s は試験光 L_s の周波数である。

【0027】

また、気体の屈折率変化 n_t はビート周波数 f_b を変化させるため、以下に示すように、ビート周波数 f_b は時間 t の関数 $f_b(t)$ となる。

$$f_b = f_b(t) \cdots (4) \quad 30$$

そして、(4) 式を (2) 式に代入すると、計測領域 8 の位相変化 ψ_t は、以下の式で求めることができる。

【0028】

【数3】

$$\psi_t = \psi_H - \int_0^t 2\pi f_b(t) dt \cdots (5)$$

【0029】

一方、気体の屈折率変化 n_t と気体の密度 ρ との関係は、以下に示すように、Gladstone-Dale の式で近似的に求めることができる。40

$$n_t = 1 + (\rho R_{Gt}) / M_t = 1 + (P_t R_{Gt}) / (R_0 T_t) \cdots (6)$$

ただし、 R_{Gt} は Gladstone-Dale 定数で、使用するレーザの波長と気体の種類により決めることができる。また、 M は気体の分子量、 R_0 は気体定数、 P_t は計測領域 8 の圧力、 T_t は計測領域 8 の絶対温度である。

【0030】

なお、 s 種の混合気体の Gladstone-Dale 定数 R_{Gt} は、次式に示すように、 i 成分気体のモル分率 X_i から求めることができる。

【0031】

【数4】

50

$$R_{Gt} = \sum_{i=1}^s R_{Gi} X_i \cdots (7)$$

【0032】

ただし、 R_{ti} は i 成分気体の Gladstone - Dale 定数である。

従って、計測領域 8 の気体の温度 T_t は次式で求めることができる。

$$T_t = 2 P_t R_{Gt} T_{t0} L_t / (2 P_{t0} R_{Gt} L_t + T_t T_{t0} R_0) \cdots (8)$$

すなわち、初期状態の圧力 P_{t0} および圧力 T_{t0} が既知であり、計測領域 8 の気体の組成が不変であれば、計測領域 8 の気体の圧力および位相変化 ϕ_t を測定することにより、計測領域 8 の気体の温度 T_t を求めることが可能となる。

【0033】

また、ビート周波数の変化を計測することにより、測定領域 8 での液体温度の変化も求めることもできる。

ここで、測定領域 8 での位相変化量 ϕ_t と屈折率 n_t には、次のような関係がある。

$$\phi_t = 2 n_t L_t / \lambda \cdots (9)$$

ただし、 L_t は測定領域 8 の長さ、 λ はレーザの波長である。

【0034】

また、液体の屈折率 n_t と密度 ρ_t には、次のような Lorenz - Lorentz の式で表すことができる。

$$n_t = ((1 + 2 \rho_t R_{Lt} / M_t) / (1 - \rho_t R_{Lt} / M_t))^{1/2} \cdots (10)$$

ただし、 M_t は測定対象となる液体の分子量、 R_{Lt} はモル屈折率で、使用するレーザの波長 λ と測定対象となる液体によって決まる定数である。

【0035】

従って、(9) および (10) 式を用いることにより、密度 ρ_t は以下の式で求めることができる。

$$\rho_t = (A^2 - 1) M_t / ((2 + A^2) R_{Lt}) \cdots (11)$$

ただし、 A は以下の式で表される

$$A = \phi_t / (2 L_t) + ((1 + 2 \rho_{t0} R_{Lt} / M_t) / (1 - \rho_{t0} R_{Lt} / M_t)) \cdots (12)$$

また、 ρ_{t0} は液体の初期密度である。

【0036】

そして、(11) 式と、液体の温度と密度の関係により、液体の温度を求めることができる。

図 2 は、本発明の一実施形態に係るヘテロダイン干渉法を用いた温度計測装置の概略構成を示す平面図である。

図 2 において、He - Ne レーザ 11 (例えば、出力 1 mW、波長 623.8 nm) から出射されたレーザ光は音響光学素子 12 に入射され、ヘテロダイン用音響光学素子 12 (ブラッグセル式) にて、周波数が 80.0 MHz と 79.9875 MHz や、80.0 MHz と 79.975 MHz などの異なる周波数に周波数シフトされ、周波数シフトされた 2 本のビームは、それぞれ P 偏光および S 偏光に分離される。

【0037】

なお、以下の実施形態では、P 偏光のビームを 80.125 MHz、S 偏光のビームを 80.1 MHz に設定した。

そして、P 偏光および S 偏光に分離された一方のビームは、ミラー 13 および偏光ビームスプリッタ 14 で反射され、P 偏光および S 偏光に分離された他方のビームは、偏光ビームスプリッタ 14 を透過することで、1 本のビームに合波される。

【0038】

そして、1本のビームに合波された光の一部は、ハーフミラー15を透過し、試験光L_sが生成されるとともに、1本のビームに合波された光の一部はハーフミラー15で反射され、参照光L_rが生成される。

そして、ハーフミラー15で反射された参照光L_rは、偏光フィルタ16に入射して干渉した後、フォトランジスタ17に入射する。

【0039】

そして、偏光フィルタ16で生成された干渉光がフォトランジスタ17に入射すると、25kHzのビート周波数が参照信号として検出される。

一方、ハーフミラー15を通過した試験光L_sは偏光ビームスプリッタ18に入射し、それぞれP偏光およびS偏光の偏波面を持つ2本のビームに分離される。

10

【0040】

そして、偏光ビームスプリッタ18で分離されたP偏光の偏波面を持つビームは、偏光ビームスプリッタ18を透過し、1/4波長板21に入射する。

そして、1/4波長板21に入射したP偏光の偏波面を持つビームは、円偏光に変換された後、ミラー22により反射され、1/4波長板21に入射する。

そして、1/4波長板21に入射した円偏光のビームは、1/4波長板21にてS偏光に変換された後、偏光ビームスプリッタ18により反射される。

【0041】

ここで、P偏光の偏波面を持つビームを円偏光に変換することにより、周囲の気体変動の影響を受け難くして、計測精度を向上させることが可能となる。

20

一方、偏光ビームスプリッタ18で分離されたS偏光の偏波面を持つビームは、偏光ビームスプリッタ18で反射され、1/2波長板23を介してセルフオックマイクロレンズ24に入射する。

【0042】

そして、セルフオックマイクロレンズ24に入射した光は、ビーム径が絞られコリメート化された後、偏波面保存型光ファイバ25に入射する。

ここで、偏波面保存型光ファイバ25の前段にセルフオックマイクロレンズ24を設けることにより、レーザービームを偏波面保存型光ファイバ25に効率よく入射させることが可能となる。

【0043】

そして、偏波面保存型光ファイバ25に入射したビームは、温度センサ31に導かれる。

30

ここで、温度センサ31には、セルフオックマイクロレンズ32、光学窓33およびミラー35が設けられ、セルフオックマイクロレンズ32、光学窓33およびミラー35は光軸が一致するように、温度センサ31内に配置されるとともに、光学窓33とミラー35との間には、ガス27が侵入可能な計測領域34が設けられている。

【0044】

なお、光学窓33の材料としては、例えば、サファイアを用いることができる。

そして、温度センサ31は、温度センサ31の先端がセンサ取り付け面26から突き出るようにして固定され、計測領域34およびミラー35がガス27に晒される。

【0045】

そして、偏波面保存型光ファイバ25を介して温度センサ31に導かれたレーザービームは、セルフオックマイクロレンズ32に入射し、コリメート化された後、温度センサ31内の空間を直進して、光学窓33を透過する。

40

そして、レーザービームが光学窓33を透過すると、レーザービームは、ガス27内に入射する。

【0046】

そして、ガス27内に入射したレーザービームは、ガス27内を直進し、ミラー35に反射されて、ガス27内を再び直進し、光学窓33を再び透過して、ガス27内から抜け出す。

ここで、レーザービームがガス27内を直進すると、ガス27の屈折率変化およびガス2

50

7内の進行距離に応じて、レーザービームの位相が変化する。

【0047】

そして、ミラー35に反射されて、光学窓33を再び透過したレーザービームは、温度センサ31内の空間を逆に進んで、セルフロックマイクロレンズ32に再び入射し、コリメート化された後、偏波面保存型光ファイバ25に再び入射する。

そして、偏波面保存型光ファイバ25に入射したレーザービームは、セルフロックマイクロレンズ24に戻されて、コリメート化された後、1/2波長板23を介して偏光ビームスプリッタ18に入射し、偏光ビームスプリッタ18を透過する。

【0048】

そして、偏光ビームスプリッタ18を透過したレーザービームは、偏光ビームスプリッタ18により反射されたレーザービームと合波して、1本のビームとなり、偏光フィルタ19に入射して干渉した後、フォトランジスタ20に入射する。

そして、偏光フィルタ19で生成された干渉光がフォトランジスタ20に入射すると、ビート周波数が試験信号として検出される。

【0049】

そして、フォトランジスタ20で検出された試験信号は、例えば、500kHzのサンプリング周波数でメモリに記憶され、参照信号と試験信号とのビート周波数の違いから、参照光Lrと試験光Lsとの位相差を算出することができる。

ここで、例えば、温度センサ31をエンジンの燃焼室に取り付けた場合、火炎伝播により圧縮された燃料と空気の混合ガスや、燃焼により温度が変化した燃焼ガスは、密度の変化に伴って、屈折率が変化する。

【0050】

そして、これらのガス27の屈折率が変化するると、計測領域34を通過するレーザービームの位相が変化するため、参照信号と試験信号の位相差が変化し、干渉光強度が変化する。

そして、干渉光強度の変化を、ヘテロダイン干渉計によるビート信号の位相情報として表わすことができる。

【0051】

図3は、本発明の一実施形態に係る温度センサ31の構成を示す断面図である。

図3において、温度センサ31には、光学窓33およびミラー35を光軸上に保持するとともに、光学窓33とミラー35との間に計測領域34を形成する筒状筐体41が設けられている。

【0052】

ここで、ミラー35は、金属などで円筒状に構成され、ボルト42により脱着自在な状態で、筒状筐体41の先端部分に取り付けられている。

そして、ミラー35を金属で構成することにより、ミラー35の耐熱性を向上させることが可能となり、エンジンの燃焼ガスなどの高温気体の温度を計測する際の信頼性を向上させることが可能となる。

【0053】

また、ミラー35をボルト42で筒状筐体41に固定する場合、筒状筐体41の先端から光軸方向に沿ってミラー35を挿入し、ミラー35の挿入方向にボルト42で締め付けるようにする。

これにより、ボルト42を筒状筐体41内に収めることが可能となり、ボルト42が筒状筐体41から突出することを防止して、温度センサ31のコンパクト化を図ることが可能となるとともに、ミラー35を脱着自在に取り付けることを可能として、ミラー35が燃焼ガスから発生する煤などで汚れた場合に容易に洗浄または交換することが可能となる。

【0054】

また、計測領域34には開口部34aが設けられ、光学窓33とミラー35との間の光軸上の空間にガス27が侵入できるようにされている。

さらに、光学窓33は、例えば、サファイアなどで円筒状に構成され、ボルト44により

脱着自在な状態で筒状筐体 4 1 に取り付けられている。

そして、光学窓 3 3 をサファイアで構成することにより、良好な光透過性を確保しつつ、光学窓 3 3 の耐熱性を向上させることが可能となり、エンジンの燃焼ガスなどの高温気体の温度を計測する際の信頼性を向上させることが可能となる。

【 0 0 5 5 】

ここで、ボルト 4 4 で光学窓 3 3 を筒状筐体 4 1 に固定する場合、筒状筐体 4 1 の後端から光軸方向に沿って光学窓 3 3 を挿入し、光学窓 3 3 の挿入方向にボルト 4 4 で締め付けるようにする。

これにより、ボルト 4 4 を筒状筐体 4 1 内に収めることが可能となり、ボルト 4 4 が筒状筐体 4 1 から突出することを防止して、温度センサ 3 1 のコンパクト化を図ることが可能となるとともに、光学窓 3 3 を脱着自在に取り付けることを可能として、光学窓 3 3 が燃焼ガスから発生する煤などで汚れた場合に容易に洗浄または交換することが可能となる。

10

【 0 0 5 6 】

また、ボルト 4 4 には、中心軸に沿って開口部 4 4 a が形成され、ボルト 4 4 で光学窓 3 3 を締め付けるために、ボルト 4 4 を光軸上に配置した場合においても、レーザービームの進路がボルト 4 4 により遮断されることを防止することができる。

また、光学窓 3 3 の前面には、光学窓 3 3 の外形に対応したガスケット 4 3 が設けられている。

【 0 0 5 7 】

ここで、ガスケット 4 3 は、例えば、S U S 3 0 4 などのステンレスなどでリング状に構成することができ、例えば、光学窓 3 3 の径が 2 . 5 m m とすると、ガスケット 4 3 の外径は 2 . 5 m m 、内径は 1 . 8 m m 、厚みは 0 . 1 m m とすることができる。

20

そして、リング状のガスケット 4 3 を光学窓 3 3 の前面に設けることにより、計測領域 3 4 側の光学窓 3 3 の外縁部と筒状筐体 4 1 との間の隙間をシールすることが可能となる。

【 0 0 5 8 】

このため、レーザービームの進路がガスケット 4 3 により遮断されることを防止しつつ、計測領域 3 4 に進入したガス 2 7 が光学窓 3 3 と筒状筐体 4 1 との間の隙間から外部に漏れ出すことを防止することができ、高温・高圧となるエンジン内の燃焼ガスなどの温度変化を精度よく計測することができる。

また、筒状筐体 4 1 の外周には、筒状筐体 4 1 の外径を変換するためのアダプタ 4 5 が脱着自在に嵌め込まれている。

30

【 0 0 5 9 】

ここで、アダプタ 4 5 は 2 段構造で構成され、アダプタ 4 5 の後段面には、リング状のガスケット 4 6 が設けられている。

そして、筒状筐体 4 1 の外周にアダプタ 4 5 を設けることにより、穴径が異なる場合においても、気密性を維持しつつ、温度センサ 3 1 の先端を挿入することが可能となり、様々の気体の温度を計測することが可能となる。

【 0 0 6 0 】

なお、筒状筐体 4 1 の外周面には、例えば、M 5 のネジ 4 1 a を切ることができる。

これにより、一般的なエンジン筒内の圧力センサの取り付け方法と同様の方法で温度センサ 3 1 をエンジンに取り付けることが可能となり、実用機関を改造することなく、温度センサ 3 1 を設置することが可能となる。

40

【 0 0 6 1 】

また、温度センサ 3 1 には、筒状筐体 4 1 の外径よりも大きな外径を有し、筒状筐体 4 1 の後端部を挿入可能な筒状筐体 5 0 が設けられ、筒状筐体 5 0 の先端面には、リング状のガスケット 4 7 が設けられている。

また、筒状筐体 5 0 内には、レーザービームを遮るためのシャッタ 4 9 が設けられるとともに、セルフロックマイクロレンズ 3 2 を保持するとともに、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光軸を調整する光軸調整用レンズ保持部 5 1 が設けられている。

【 0 0 6 2 】

50

ここで、光軸調整用レンズ保持部 5 1 は、筒状筐体 5 0 内に収容可能なように円筒状に構成され、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の外径は、筒状筐体 5 0 の内径よりも小さく設定されて、筒状筐体 5 0 内で光軸調整用レンズ保持部 5 1 を傾けることが可能なように構成されている。

また、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の先端部分および後端部分の外周面は球面状に加工されている。

【 0 0 6 3 】

また、筒状筐体 5 0 の内周面は、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の先端部分の形状に対応して球面状に加工され、筒状筐体 5 0 の内周面が、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の先端部分の外周面に面接触できるように構成されている。

10

そして、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の後側には、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を光軸方向に固定するためのリテーナ 5 2 が設けられ、リテーナ 5 2 の先端は、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の後端部分の形状に対応して球面状に加工されている。

【 0 0 6 4 】

また、筒状筐体 5 0 の外周面には、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を周囲から固定するための芋ネジ 5 3 が設けられている。

また、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の後端部には光ファイバ 5 7 が結合され、光ファイバ 5 7 の周囲には、光ファイバ 5 7 を保護するパイプ 5 6 が設けられ、パイプ 5 6 の先端には、光ファイバ 5 7 の曲がり防止するガイド 5 4 が設けられている。

【 0 0 6 5 】

20

そして、ガイド 5 4 が設けられたパイプ 5 6 は、リング状のネジ 5 5 により筒状筐体 5 0 に脱着自在に固定されている。

ここで、筒状筐体 5 0 の外径を筒状筐体 4 1 の外径よりも大きくすることで、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光軸合わせを可能としつつ、計測領域 3 4 の大きさを縮小することが可能となる。

【 0 0 6 6 】

このため、燃焼室内の限られたスペースに温度センサ 3 1 を容易に挿入することが可能となり、実機を用いて温度計測を行なうことが可能となる。

また、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を用いてセルフロックマイクロレンズ 3 2 を筒状筐体 5 0 内に保持することにより、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の傾きを調整することで、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光軸を調整することが可能となり、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光軸合わせを容易に行うことが可能となる。

30

【 0 0 6 7 】

さらに、セルフロックマイクロレンズ 3 2 を筒状筐体 5 0 で直接保持するのではなく、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を介して保持することにより、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光軸合わせを可能としつつ、セルフロックマイクロレンズ 3 2 を筒状筐体 5 0 と切り離すことが可能となり、ガス 2 7 の熱がセルフロックマイクロレンズ 3 2 に伝わり難くすることができる。

【 0 0 6 8 】

このため、燃焼ガスなどの温度を測定する場合においても、セルフロックマイクロレンズ 3 2 が高温に晒されることを抑制することができ、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の特性劣化を抑制することが可能となる。

40

さらに、光ファイバ 5 7 を計測領域 3 4 と切り離すことが可能となり、光ファイバ 5 7 に熱が伝わり難くして、光ファイバ 5 7 による位相変化を抑制することができる。

【 0 0 6 9 】

図 4 は、本発明の一実施形態に係る温度センサの光軸合わせ方法を説明する断面図である。

図 4 において、温度センサ 3 1 の光軸合わせを行なう場合、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の後端部分を上下左右に動かすことで、セルフロックマイクロレンズ 3 2 の光出射面を傾ける。

50

【0070】

このため、ネジ55を外すことにより、筒状筐体50からパイプ56を外し、ネジ55およびパイプ56を光ファイバ57に沿って移動させることで、筒状筐体50とパイプ56とを引き離す。

そして、芋ネジ53およびリテーナ52を緩め、光軸調整用レンズ保持部51先端部分を筒状筐体50内の内周面に押し付けながら、光軸調整用レンズ保持部51の後端部分を上下左右に動かすことにより、温度センサ31の光軸合わせを行なう。

【0071】

ここで、光軸調整用レンズ保持部51の先端部分の外周面は球面状に加工されるとともに、筒状筐体50の内周面は、光軸調整用レンズ保持部51の先端部分の形状に対応して球面状に加工されているので、光軸調整用レンズ保持部51先端部分を筒状筐体50内の内周面に押し付けながら、光軸調整用レンズ保持部51を任意の方向に傾けることができ、温度センサ31の光軸合わせを安定して行うことができる。

10

【0072】

そして、温度センサ31の光軸合わせが終了すると、光軸調整用レンズ保持部51の後端部分をリテーナ52で締め付けることにより、光軸調整用レンズ保持部51を光軸方向に固定する。

ここで、光軸調整用レンズ保持部51の後端部分の外周面は球面状に加工されるとともに、リテーナ52の先端部分は、光軸調整用レンズ保持部51の後端部分の形状に対応して球面状に加工されているので、光軸調整用レンズ保持部51が傾いている場合においても、その傾きを維持しながら、光軸調整用レンズ保持部51を光軸方向に締め付けることができ、光軸調整用レンズ保持部51の固定を安定して行なうことが可能となる。

20

【0073】

そして、光軸調整用レンズ保持部51がリテーナ52により光軸方向に固定されると、芋ネジ53により光軸調整用レンズ保持部51を周囲から固定する。

そして、光軸調整用レンズ保持部51がリテーナ52および芋ネジ53で固定されると、パイプ56を筒状筐体50に取り付け、ネジ55により固定する。

なお、(8)式に示すように、ヘテロダイン干渉法により、ガス27の温度変化を求めるためには、初期状態のガス27の温度が既知である必要がある。

【0074】

このため、ガス27の初期温度を計測する温度計測手段を計測領域34に設けるようにしてもよく、ガス27の初期温度を計測する際には、高応答性は要求されないので、温度計測手段として、例えば、安価な熱電対を用いることができる。

30

これにより、温度センサの大型化・高コスト化を抑制しつつ、ガス27の初期温度を直接計測することが可能となり、ヘテロダイン干渉法による温度計測精度を向上させることが可能となる。

【0075】

また、アダプタ45を取り外して、図2のセンサ取り付け面26に温度センサ31を取り付けた場合、図3の温度センサ31の領域R1がガス27に晒され、温度センサ31の領域R2がセンサ取り付け面26の壁内に保持され、温度センサ31の領域R3が外気に晒される。

40

そして、温度センサ31に入射したレーザービームは、光学窓33を境界として、計測領域34側では、ガス27内を通過し、計測領域34の反対側では、空気内を通過する。

【0076】

このため、例えば、エンジンの燃焼室内の燃焼ガスの温度を計測する場合、燃焼ガスが高温になるため、センサ取り付け面26の壁の温度も高温になり、温度センサ31の領域R2の空気も高温になる。

従って、レーザービームが温度センサ31内を進むと、レーザービームの位相は、ガス27の温度変化の影響だけでなく、空気の温度変化の影響も受け、ガス27の温度計測値に誤差が生じる。

50

【0077】

そこで、光学窓33に対して計測領域34と反対側の光路上の空間の平均温度を計測する温度計測手段を設けるようにしてもよく、計測領域34と反対側の光路上の空間の平均温度を計測する際には、高応答性は要求されないので、温度計測手段として、例えば、安価な熱電対を用いることができる。

これにより、ガス27の温度だけでなく、レーザー-ビームが通過する光路のうち測定対象以外の空間の温度も計測することができ、ヘテロダイン干渉法により温度計測を行なう際に、ガス27の周囲の空間の温度変化による誤差を補正することを可能として、温度計測の精度を向上させることができる。

【0078】

また、ヘテロダイン干渉法による温度計測方法では、計測領域34の長さが長いほど位相変化量が大きくなるため、S/N比が向上し、温度計測分解能も向上する。

しかし、計測領域34の長さが長くなると、局所的な温度計測が困難になるとともに、実用機関への設置を考えた場合、筒内への突き出し量が増加するため、設置場所が限定される。

一方、計測領域34の長さが短くなると、S/N比が劣化し、温度計測分解能も劣化するが、局所的な温度計測が可能となるとともに、設置場所を自由に選択できるようになる。

【0079】

このため、計測領域34の長さは、これらの条件を考慮して決定する必要がある。

図5は、本発明の一実施形態に係る温度センサの計測部長さと温度計測分解能との関係を示す図である。なお、図5の関係は、温度660K、圧力3.2MPaの条件での火花点火における未燃焼ガスの温度履歴を基に位相変化量を見積もり、計測領域34の長さと温度計測分解能との関係を求めたものである。

【0080】

図5において、横軸は計測領域34の長さを示し、縦軸は温度の最小読み取り値を示す。この結果から、計測領域34の長さが長くなるに従って、温度の最小読み取り値が小さくなり、温度計測分解能が向上していることがわかる。

そして、温度計測分解能、実用機関への設置場所および温度計測の局所性を考慮すると、ダブルパス方式で13mm程度に設定することが好ましい。

【0081】

図6は、本発明の一実施形態に係る温度センサのエンジンへの取り付け状態を示す断面図、図7(a)は、図6のA-A線で切断して温度センサ側を見た場合の断面図、図7(b)は、温度センサが取り付けられたシリンダヘッドの構成を示す上面図、図8は、温度センサが取り付けられたエンジンを図6のB方向から見た場合の斜視図である。

【0082】

図6～図8において、シリンダ61の外周には冷却フィン63が設けられるとともに、シリンダ61内にはピストン64が挿入され、ピストン64はピストンピン65を介してコネクティングロッド66に連結され、コネクティングロッド66はクランクピン72を介してクランクシャフト73に連結されている。

また、シリンダ61上にはシリンダヘッド62が設けられ、シリンダヘッド62には、吸気ポート85aおよび排気ポート86aが形成され、吸気ポート85aには吸気弁85が挿入され、排気ポート86aには排気弁86が挿入され、吸気ポート85aはキャブレタ87に接続されている。

【0083】

また、吸気弁85は弁バネ83で吸気ポート85aを開閉可能なように保持されるとともに、排気弁86は弁バネ84で排気ポート86aを開閉可能なように保持されている。

また、吸気弁85上には吸気ロッカーアーム81の一端が配置されるとともに、排気弁86上には排気ロッカーアーム82の一端が配置され、吸気ロッカーアーム81の他端および排気ロッカーアーム82の他端がカムシャフト69に当接するように配置されている。

【0084】

10

20

30

40

50

また、シリンダヘッド62には、点火プラグ67が取り付けられるとともに、横方向から温度センサ31が取り付けられ、温度センサ先端31aがシリンダヘッド62内に突き出している。

そして、温度センサ31には、センサ出力を取り出すための光ファイバ93が接続されるとともに、光ファイバ93はジャバラ管94で保護されている。

【0085】

ここで、光ファイバ93をジャバラ管94で保護することにより、フレキシビリティを確保しつつ、エンジンの熱から光ファイバ93を保護することができる。

ここで、温度センサ31を実用機関に取り付ける場合、図3のアダプタ45を取り外すことにより、M5のネジ41aで温度センサ31を固定することが可能となる。

10

【0086】

また、温度センサ31をシリンダヘッド62に取り付けると、図5の温度センサ31の領域R1の部分が、シリンダヘッド62内に突き出した状態となり、温度センサ31の領域R2の部分が、シリンダヘッド62の壁内に保持されるとともに、ガスケット47がシリンダヘッド62の外面に接触して、シリンダ61内の気密性を保つことが可能となる。

【0087】

そして、カムシャフト69には、カムプロケット70aが取り付けられるとともに、クランクシャフト73には、クランクプロケット70bが取り付けられ、カムプロケット70aとクランクプロケット70bの間にはカムチェーン71が架けられている。

また、クランクシャフト73は、クラッチ76を介して、トランスミッションドライブ側軸77に接続され、トランスミッションドライブ側軸77にはトランスミッションドライブ側ギア78が設けられ、トランスミッションドライブ側ギア78はトランスミッションドリブン側ギア80を介してトランスミッションドリブン側軸79に接続されている。

20

【0088】

そして、クラッチ76の上方にはオイルフィルタ74が設けられ、クランクシャフト73の端にはジェネレータ75が設けられ、ジェネレータ75にはタイミングチェック用窓92が設けられている。

また、トランスミッションドリブン側ギア80の下方にはオイルパン90が設けられ、オイルパン90にはオールドレンボルト91が取り付けられている。

【0089】

図9は、本発明の一実施形態に係る温度センサの実験に用いた圧縮膨張機関の概略構成を示す断面図である。

30

図9において、シリンダ101内には、ピストン102が挿入され、ピストン102は、コネクティングロッド103を介してフライホイール104に接続され、フライホイール104は、ベルト105を介して電気モータ106に接続されている。

【0090】

また、フライホイール104の回転軸には、ロータリーエンコーダ107が設けられるとともに、フライホイール104の外周には、TDCセンサ108が設けられている。

また、シリンダ101の上方には拡張シリンダ111が設けられるとともに、ピストン102の上方にはスペーサ119を介して拡張ピストン113が設けられている。

40

【0091】

そして、拡張シリンダ111には、拡張シリンダ111内を観測するための観測窓112が設けられ、拡張ピストン113には、石英製のピストンヘッド113aが設けられるとともに、45度の傾きでミラー114が取り付けられ、燃焼室内の燃焼状態をボトムビュー方式で可視化できるようにされている。

なお、スペーサ119を取り替えることにより、圧縮比を可変することができ、今回の実験では、圧縮比を9.7および11.2に設定した。

【0092】

また、拡張シリンダ111上には、シリンダヘッド115が設けられ、シリンダヘッド115には、点火電極116が横方向から取り付けられるとともに、シリンダヘッド11

50

5 上には、温度センサ 3 1、きのこ弁 1 1 7 および圧力変換素子 1 1 8 が取り付けられ、きのこ弁 1 1 7 は連結管 1 2 6 を介して混合タンク 1 2 1 に連結されている。

【 0 0 9 3 】

そして、混合タンク 1 2 1 には、ガスを導入するバルブ 1 2 2 ~ 1 2 4 が設けられるとともに、混合タンク 1 2 1 内の混合ガスの温度を計測する熱電対 1 2 5 が設けられている。ここで、温度センサ 3 1 を実験装置に取り付ける場合、図 3 のアダプタ 4 5 を取り付けることにより、温度センサ 3 1 をネジ 4 5 a で実験装置に固定することが可能となるとともに、ガスケット 4 6 により拡張シリンダ 1 1 1 内の気密性を保つことが可能となる。

【 0 0 9 4 】

そして、実験装置の燃焼室内の燃焼ガスの温度を計測する場合、シリンダヘッド 1 1 5 に取り付けられたきのこ弁 1 1 7 を開け、拡張シリンダ 1 1 1 内を真空状態にして、拡張ピストン 1 1 3 を T D C に設置する。

次に、混合タンク 1 2 1 内で生成された混合ガスを、所定の圧力になるまで、連結管 1 2 6 を介して拡張シリンダ 1 1 1 内に充填する。

【 0 0 9 5 】

そして、きのこ弁 1 1 7 を開けた状態で、ベルト 1 0 5 を介して電気モータ 1 0 6 によりフライホイール 1 0 4 を回転させることにより、拡張ピストン 1 1 3 を駆動する。

そして、一定時間後の B D C でのきのこ弁 1 1 7 を閉じ、点火電極 1 1 6 により B T D C 2 0 ° で混合ガスに点火した。

【 0 0 9 6 】

ここで、きのこ弁 1 1 7 が閉じた時の拡張シリンダ 1 1 1 内の混合ガスの温度は、混合タンク 1 2 1 に取り付けられた熱電対 1 2 5 により計測することができ、ヘテロダイン干渉法により温度を求める場合に必要となる初期温度を得ることができる。

そして、温度センサ 3 1 を用いることにより、きのこ弁 1 1 7 が閉じた後の最初の圧縮膨張行程におけるガス温度をヘテロダイン干渉法により計測した。

【 0 0 9 7 】

ここで、ガス温度計測時の機械的振動などの影響を調べるため、初めにモータリング時でのヘテロダイン干渉法によるガス温度変化の測定を行なった。

図 1 0 (a) は、モータリング時におけるクランク角と位相変化量および燃焼室内圧力との関係を示す図である。

図 1 0 (a) において、きのこ弁 1 1 7 を開け、図 9 の圧縮膨張機関に空気を室温で大気圧まで充填した後、きのこ弁 1 1 7 を閉じ、電気モータ 1 0 6 で機関を駆動する。

【 0 0 9 8 】

そして、温度センサ 3 1 および圧力変換素子 1 1 8 を用いることにより、クランク角に対する拡張シリンダ 1 1 1 内の位相変化量および圧力を測定した。なお、圧縮比は 9 . 7 である。

圧縮工程において、クランク角 3 0 0 ° までの緩やかな圧力上昇に対して、位相変化量も緩やかに増加している。

【 0 0 9 9 】

また、クランク角 3 0 0 ° から 3 6 0 ° までの急激な圧力上昇に対しては、位相変化量も急激に増加していることがわかる。

そして、図 1 0 (a) の位相変化量および圧力履歴に基づいて、拡張シリンダ 1 1 1 内のガス温度変化を (8) 式を用いて見積もった。

図 1 0 (b) は、モータリング時にクランク角と燃焼室内温度との関係を示す図である。

【 0 1 0 0 】

図 1 0 (b) において、ヘテロダイン干渉法により求めた拡張シリンダ 1 1 1 内の温度 (黒丸) と、拡張シリンダ 1 1 1 内の圧力からポリトロプ変化を仮定して計算した温度 (実線) とを比較した。

この結果、両者の値を概ね一致するものの、クランク角 2 4 0 ° 付近では、両者の値に違いが見られる。

10

20

30

40

50

【0101】

これは、圧力が低いと、位相変化量も小さいため、位相の読み取り誤差が影響することと、きのこ弁117が閉じた時の振動の影響が考えられる。

一方、TDC付近になると、位相変化量も増大し、きのこ弁117が閉じた時の振動の影響も少なくなるため、両者の値は比較的よく一致することがわかる。

図10の結果により、モータリング時でのヘテロダイン干渉法によるガス温度変化の測定は、十分に可能であることがわかった。

【0102】

次に、圧縮膨張機関において火花点火を行い、未燃焼ガスの温度変化測定を試みた。

図11(a)は、圧縮ガスの燃焼時におけるクランク角と位相変化量および燃焼室内圧力との関係を示す図である。 10

なお、ガスには、当量比1.0のメタン-空気混合気を用いた。また、圧縮比は11.2であり、点火時期はBTDC20°である。また、機関回転速度は600rpmである。

【0103】

図11(a)において、図10(a)のモータリング時と同じように、クランク角340°までの緩やかな圧力上昇に対して、位相変化量も緩やかに増加している。

そして、クランク角340°から火炎が計測領域34を通過するまでの急激な圧力上昇に伴って、位相変化量も急激に増加し、モータリング時と比較して位相変化量も大きいことがわかる。また、試験信号が急激に減少した時を、火炎が計測領域34を通過した時と判断した。 20

【0104】

この図11(a)の位相変化量および圧力履歴に基づいて、拡張シリンダ111内の未燃焼ガスの温度変化を(8)式を用いて見積もった。

図11(b)は、圧縮ガスの燃焼時におけるクランク角と燃焼室内温度との関係を示す図である。

図11(b)において、ヘテロダイン干渉法により求めた拡張シリンダ111内の未燃焼ガスの温度(黒丸)と、拡張シリンダ111内の圧力から以下の式を用いて計算した温度(実線)とを比較した。

【0105】

$T_m = T_{ig} (P_t / P_{ig})^{(\gamma - 1) / \gamma} \dots (12)$ 30

ただし、 γ は、未燃焼混合ガスの比熱比であり、温度300K~600K、圧力0.1~3MPaの範囲における平均値を1.380として用いた。

これら両者の値を比較すると、下死点から点火時期まで混合ガスが圧縮されるに従って、緩やかに温度上昇しており、両者の値は比較的よく一致していることがわかる。

【0106】

また、点火後の急激な温度上昇についても、ヘテロダイン干渉法により求めた値の方が、(12)式を用いて求めた値よりも若干高くなっているが、両者の値はほぼ一致していることがわかる。

以上の結果から、温度センサ31を用いたヘテロダイン干渉法により、エンジン内の未燃焼ガスの温度変化を局所的に計測できることが確認できた。 40

【0107】

なお、今回の実験では、25kHzのビート周波数信号をA/D変換して、500kHzのサンプリング周波数で記録した。この時、20点で1周期分が記録される。

このため、1/20周期分の光路長変化を位相の最小読み取り値とすると、圧力の増加に伴い、ビート周波数が変化するため、最小読み取り値は変化する。

【0108】

図12は、本発明の一実施形態に係る温度センサの温度計測分解能とガス圧との関係を示す図である。

図12において、圧力の増加に伴い、温度計測分解能が上昇していることがわかる。また、火炎が測定領域34を通過する直前の温度計測分解能は、0.7K程度である。 50

【0109】

温度計測分解能は、A/D変換時のサンプリング周波数、ヘテロダイン干渉法のビート周波数および測定領域34の長さにより決定されるため、これらの最適化を行うことで、温度計測分解能を改善することができる。

【0110】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光透過窓と保持手段との間をシールするシール部を設けることにより、ヘテロダイン干渉法により温度計測を行なう場合においても、温度測定対象が光透過窓の接合面から外部に漏れ出すことを防止することができ、温度計測の精度を向上させることができる。

10

【0111】

また、光透過窓および反射部を保持する部分の径よりも、集光部を保持する部分の径を大きくすることにより、温度計測領域の大きさを縮小することが可能となり、限られたスペースに温度センサを容易に挿入することが可能となる。

また、集光部の光出射面の傾きを調整可能な状態で保持することにより、集光部の光出射面の傾きを調整することで、光軸合わせを行なうことが可能となり、温度センサの大型化を抑制しつつ、温度計測精度を向上させることが可能となる。

【0112】

また、記温度測定対象の初期温度を計測する温度計測手段を設けることにより、温度測定対象の初期温度を直接計測することが可能となり、測定にかかる手間を軽減しつつ、温度計測の精度を向上させることが可能となる。

20

また、集光部と光透過窓との間の空間の温度を計測する温度計測手段を設けることにより、ヘテロダイン干渉法により温度計測を行なう際に、その周囲の温度変化による誤差を補正することが可能となり、温度計測の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係るヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法の原理を説明する平面図である。

【図2】本発明の一実施形態に係るヘテロダイン干渉法を用いた温度計測装置の概略構成を示す平面図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る温度センサの構成を示す断面図である。

30

【図4】本発明の一実施形態に係る温度センサの光軸合わせ方法を説明する断面図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る温度センサの計測部長さと温度計測分解能との関係を示す図である。

【図6】本発明の一実施形態に係る温度センサのエンジンへの取り付け状態を示す断面図である。

【図7】図7(a)は、図6のA-A線で切断して温度センサ側を見た場合の断面図、図7(b)は、温度センサが取り付けられたシリンダヘッドの構成を示す上面図である。

【図8】温度センサが取り付けられたエンジンを図6のB方向から見た場合の斜視図である。

40

【図9】本発明の一実施形態に係る温度センサの実験に用いた圧縮膨張機関の概略構成を示す断面図である。

【図10】図10(a)は、モータリング時におけるクランク角と位相変化量および燃焼室内圧力との関係を示す図、図10(b)は、モータリング時にクランク角と燃焼室内温度との関係を示す図である。

【図11】図11(a)は、圧縮ガスの燃焼時におけるクランク角と位相変化量および燃焼室内圧力との関係を示す図、図10(b)は、圧縮ガスの燃焼時におけるクランク角と燃焼室内温度との関係を示す図である。

【図12】本発明の一実施形態に係る温度センサの温度計測分解能とガス圧との関係を示す図である。

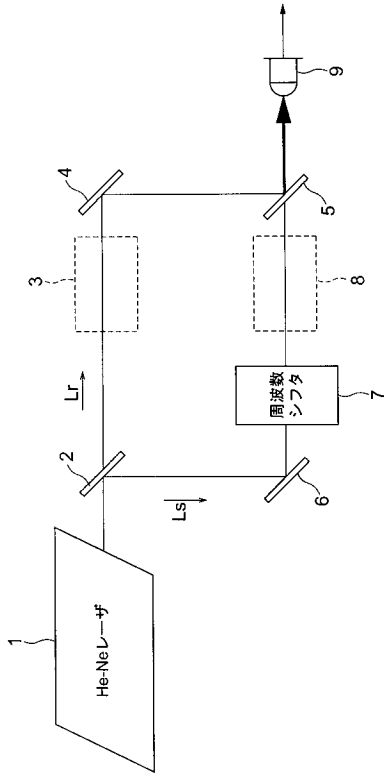
50

【符号の説明】

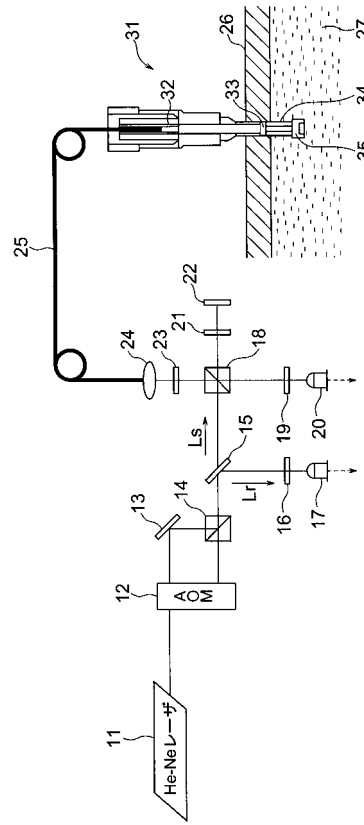
1、11	He - Ne レーザ	
2、5、15	ハーフミラー	
3	参照領域	
4、6、13、22、35、114	ミラー	
7	周波数シフタ	
8、34	計測領域	
9	検出器	
L r	参照光	
L s	試験光	10
12	音響光学素子	
14、18	偏光ビームスプリッタ	
16、19	偏光フィルタ	
17、20	フォトランジスタ	
21	1/4 波長板	
23	1/2 波長板	
24、32	セルフロックマイクロレンズ	
25	光ファイバ	
26	センサ取り付け面	
27	ガス	20
31	温度センサ	
31 a	温度センサ先端	
33	光学窓	
41、50	筒状筐体	
41 a、45 a	ネジ	
42、44	ボルト	
43、46、47	ガスケット	
34 a、44 a	開口部	
45	アダプタ	
49	シャッタ	30
51	光軸調整用レンズ保持部	
52	リテーナ	
53	芋ネジ	
54	ガイド	
55	ネジ	
56	パイプ	
57、93	光ファイバ	
61、101	シリンダ	
62、115	シリンダヘッド	
63	冷却フィン	40
64、102	ピストン	
65	ピストンピン	
66、103	コネクティングロッド	
67、116	点火プラグ	
69	カムシャフト	
70 a	カムスプロケット	
70 b	クランクスプロケット	
71	カムチェーン	
72	クランクピン	
73	クランクシャフト	50

7 4	オイルフィルタ	
7 5	ジェネレータ	
7 6	クラッチ	
7 7	トランスミッションドライブ側軸	
7 8	トランスミッションドライブ側ギア	
7 9	トランスミッションドリブン側軸	
8 0	トランスミッションドリブン側ギア	
8 1	吸気ロッカーアーム	
8 2	排気ロッカーアーム	
8 3、8 4	弁バネ	10
8 5	吸気弁	
8 5 a	吸気ポート	
8 6	排気弁	
8 6 b	排気ポート	
8 7	キャブレタ	
9 0	オイルパン	
9 1	オールドレンボルト	
9 2	タイミングチェック用窓	
9 4	ジャバラ管	
1 0 4	フライホイール	20
1 0 5	ベルト	
1 0 6	電気モータ	
1 0 7	ロータリーエンコーダ	
1 0 8	T D C センサ	
1 1 1	拡張シリンダ	
1 1 2	観測窓	
1 1 3	拡張ピストン	
1 1 7	きのこ弁	
1 1 8	圧力変換素子	
1 1 9	スペーサ	30
1 2 1	混合タンク	
1 2 2 ~ 1 2 4	バルブ	
1 2 5	熱電対	
1 2 6	連結管	

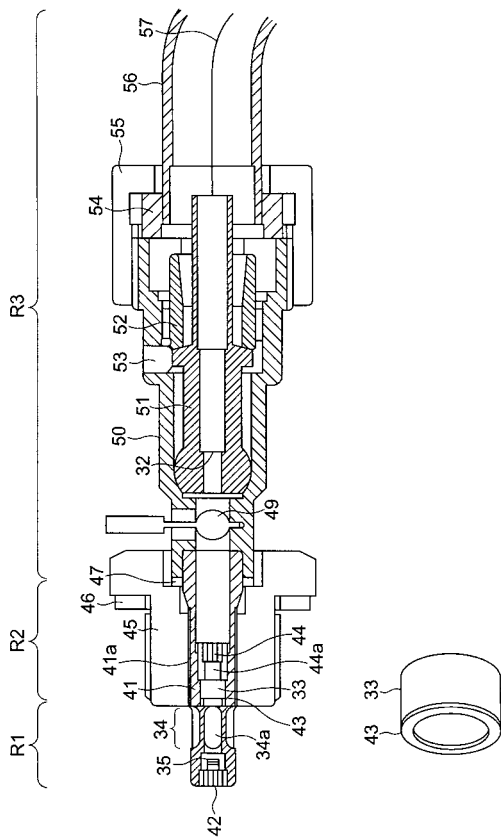
【 図 1 】



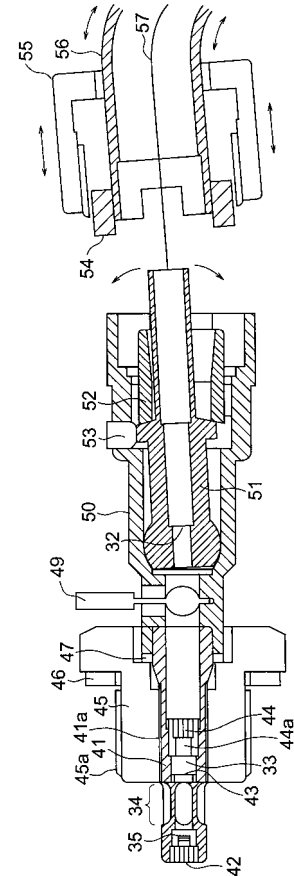
【 図 2 】



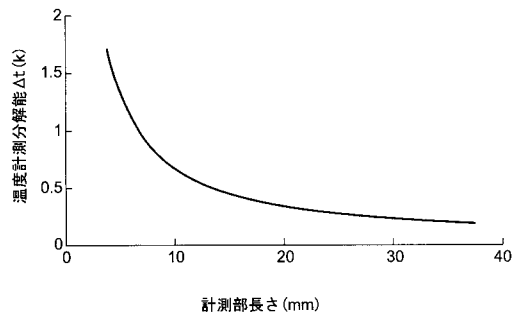
【 図 3 】



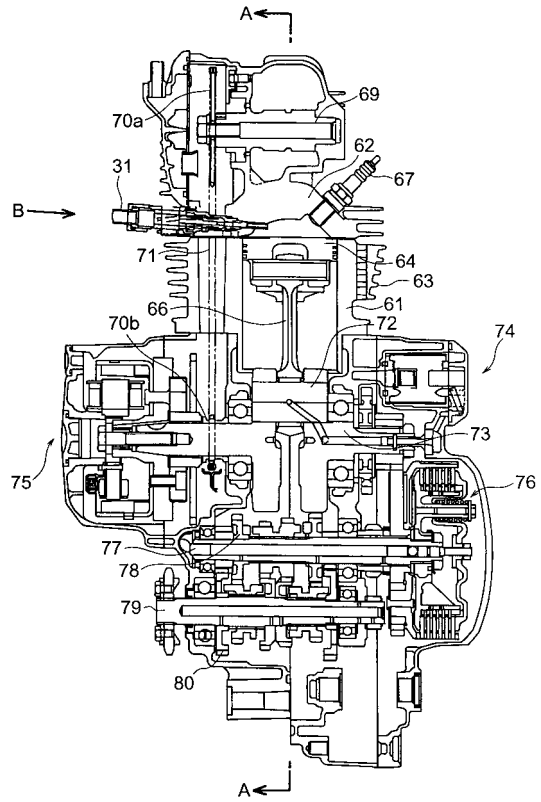
【 図 4 】



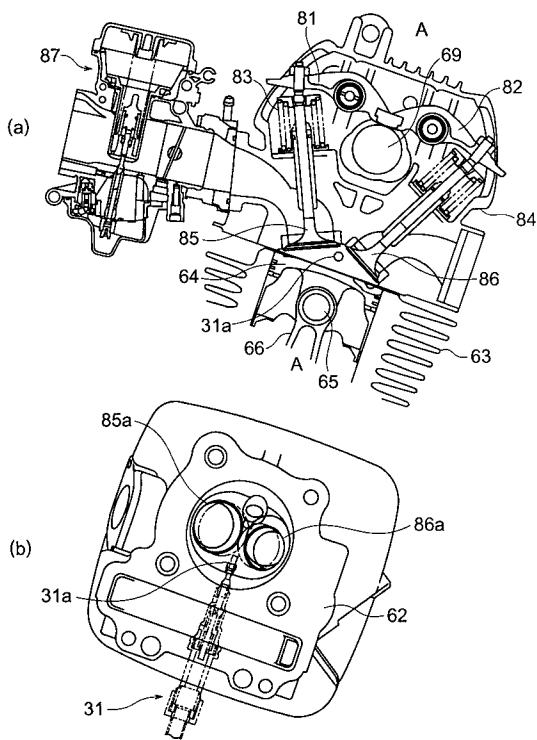
【 図 5 】



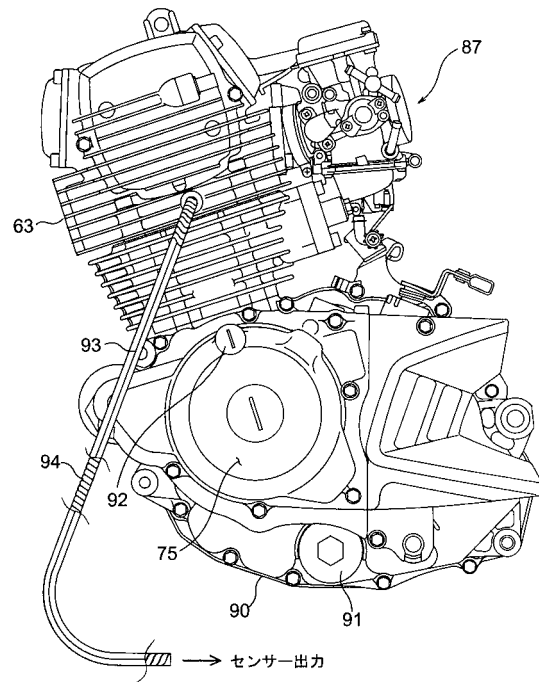
【 図 6 】



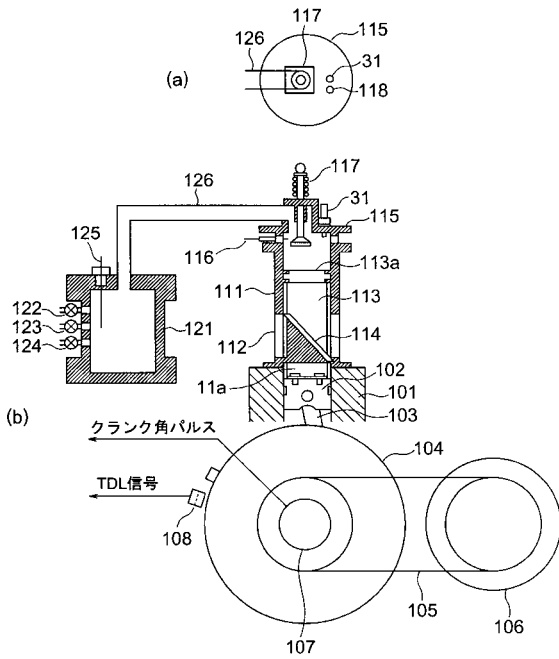
【 図 7 】



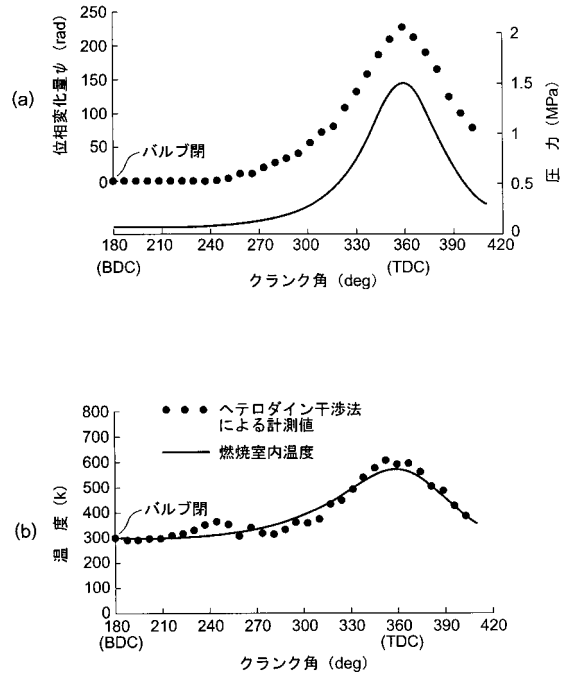
【 図 8 】



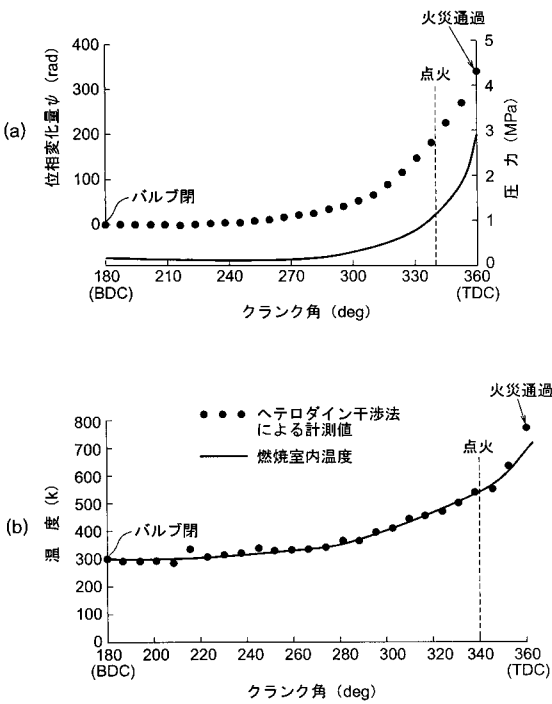
【 図 9 】



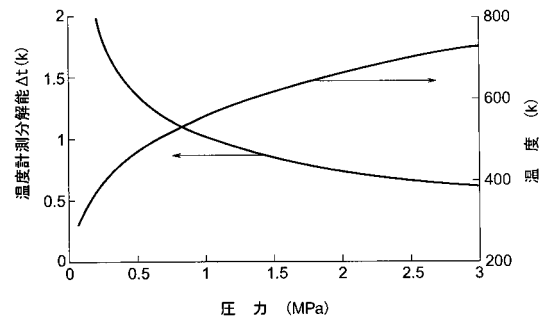
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 河原 伸幸

岡山県岡山市津島中三丁目1番1号 岡山大学内

(72)発明者 土田 直樹

静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機株式会社内