

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4214190号
(P4214190)

(45) 発行日 平成21年1月28日(2009.1.28)

(24) 登録日 平成20年11月14日(2008.11.14)

(51) Int.Cl.

G01K 5/28 (2006.01)

F I

G01K 5/28

請求項の数 7 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2002-293756 (P2002-293756)	(73) 特許権者	504147243 国立大学法人 岡山大学 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)	(74) 代理人	100066980 弁理士 森 哲也
(65) 公開番号	特開2004-125740 (P2004-125740A)	(74) 代理人	100075579 弁理士 内藤 嘉昭
(43) 公開日	平成16年4月22日(2004.4.22)	(74) 代理人	100103850 弁理士 崔 秀▲てつ▼
審査請求日	平成17年8月1日(2005.8.1)	(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
		(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 温度センサ

(57) 【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、
前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成す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asket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、

20

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、

前記第 1 の筒状筐体は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持し、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成することを特徴とする温度センサ。

【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、

前記第 1 の筒状筐体は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持し、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成することを特徴とする温度センサ。

【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、

前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成することを特徴とする温度センサ。

【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、
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、

前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成することを特徴とする温度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

20

30

40

50

【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。

【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。

【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】

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】

【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、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、前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成す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ー光を遮ることなく、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。

【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ー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ー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ー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ー光を反射させる反射部と、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、前記第1の筒状筐体は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持し、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成することを特徴とする。

10

【0011】

これにより、レーザー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。

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ー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ー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ー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ー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、前記第1の筒状筐体は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持し、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成する。

20

【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。

30

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。

【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。

40

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ー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ー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ー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ー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、前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温

50

度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成す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。

【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、前記保持手段は、前記光透過窓と前記反射部とを対向させて保持する筐体であって、前記温度測定対象を内部に導入する開口部を有し、前記光透過窓と前記反射部との間に導入された温度測定対象の計測領域を形成する。

10

【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】

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。

30

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。

【 0 0 2 3 】

【 数 1 】

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

【 0 0 2 4 】

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。

【 0 0 2 5 】

【 数 2 】

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

20

【 0 0 2 6 】

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、 λ_s 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。

【 0 0 2 7 】

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。

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

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。

【 0 0 2 8 】

【 数 3 】

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

【 0 0 2 9 】

一方、気体の屈折率変化 n_t と気体の密度 ρ_t 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

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

ただし、 R_{Gt} は Gladstone-Dale 定数で、使用するレーザー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。

【 0 0 3 0 】

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。

【 0 0 3 1 】

【 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。

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

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。 10

【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。 20

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

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

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

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。 40

【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 50

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Lr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Lr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Ls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。

【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。

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。

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。

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27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。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

そして、ミラー 3 5 に反射されて、光学窓 3 3 を再び透過したレーザービームは、温度センサ 3 1 内の空間を逆に進んで、セルフオックマイクロレンズ 3 2 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 2 5 に再び入射する。

そして、偏波面保存型光ファイバ 2 5 に入射したレーザービームは、セルフオックマイクロレンズ 2 4 に戻されて、コリメート化された後、1 / 2 波長板 2 3 を介して偏光ビームスプリッタ 1 8 に入射し、偏光ビームスプリッタ 1 8 を透過する。

【 0 0 4 8 】

そして、偏光ビームスプリッタ 1 8 を透過したレーザービームは、偏光ビームスプリッタ 1 8 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 1 9 に入射して干渉した後、フォトランジスタ 2 0 に入射する。

そして、偏光フィルタ 1 9 で生成された干渉光がフォトランジスタ 2 0 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。

【 0 0 4 9 】

そして、フォトランジスタ 2 0 で検出された試験信号は、例えば、5 0 0 k H z 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 L_r と試験光 L_s 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 3 1 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。

【 0 0 5 0 】

そして、これらのガス 2 7 の屈折率が変化するすると、計測領域 3 4 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。

【 0 0 5 1 】

図 3 は、本発明の一実施形態に係る温度センサ 3 1 の構成を示す断面図である。

図 3 において、温度センサ 3 1 には、光学窓 3 3 およびミラー 3 5 を光軸上に保持するとともに、光学窓 3 3 とミラー 3 5 との間に計測領域 3 4 を形成する筒状筐体 4 1 が設けられている。

【 0 0 5 2 】

ここで、ミラー 3 5 は、金属などで円筒状に構成され、ボルト 4 2 により脱着自在な状態で、筒状筐体 4 1 の先端部分に取り付けられている。

そして、ミラー 3 5 を金属で構成することにより、ミラー 3 5 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 3 】

また、ミラー 3 5 をボルト 4 2 で筒状筐体 4 1 に固定する場合、筒状筐体 4 1 の先端から光軸方向に沿ってミラー 3 5 を挿入し、ミラー 3 5 の挿入方向にボルト 4 2 で締め付けるようにする。

これにより、ボルト 4 2 を筒状筐体 4 1 内に収めることが可能となり、ボルト 4 2 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、ミラー 3 5 を脱着自在に取り付けることを可能として、ミラー 3 5 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。

【 0 0 5 4 】

また、計測領域 3 4 には開口部 3 4 a が設けられ、光学窓 3 3 とミラー 3 5 との間の光軸上の空間にガス 2 7 が侵入できるようにされている。

さらに、光学窓 3 3 は、例えば、サファイアなどで円筒状に構成され、ボルト 4 4 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。

10

20

30

40

50

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。

【 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。

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 との間隙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 との間隙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。

【 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。

【 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 】

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

10

20

30

40

50

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。

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。

10

【 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 】

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。

20

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、セルフオ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 を用いてセルフオ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、セルフオ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、セルフオ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、セルフオ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、セルフオックマイクロレンズ 3 2 の光軸合わせを可能としつつ、セルフオ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 の熱がセルフオ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、セルフオ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、セルフオ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、セルフオックマイクロレンズ 3 2 の光射出面を傾ける。

【 0 0 7 0 】

50

このため、ネジ 5 5 を外すことにより、筒状筐体 5 0 からパイプ 5 6 を外し、ネジ 5 5 およびパイプ 5 6 を光ファイバ 5 7 に沿って移動させることで、筒状筐体 5 0 とパイプ 5 6 とを引き離す。

そして、芋ネジ 5 3 およびリテーナ 5 2 を緩め、光軸調整用レンズ保持部 5 1 先端部分を筒状筐体 5 0 内の内周面に押し付けながら、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により、温度センサ 3 1 の光軸合わせを行なう。

【 0 0 7 1 】

ここで、光軸調整用レンズ保持部 5 1 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 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ているので、光軸調整用レンズ保持部 5 1 先端部分を筒状筐体 5 0 内の内周面に押し付けながら、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を任意の方向に傾けることができ、温度センサ 3 1 の光軸合わせを安定して行うことができる。

10

【 0 0 7 2 】

そして、温度センサ 3 1 の光軸合わせが終了すると、光軸調整用レンズ保持部 5 1 の後端部分をリテーナ 5 2 で締め付けることにより、光軸調整用レンズ保持部 5 1 を光軸方向に固定する。

ここで、光軸調整用レンズ保持部 5 1 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 5 2 の先端部分は、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ので、光軸調整用レンズ保持部 5 1 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 5 1 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 5 1 の固定を安定して行なうことが可能となる。

20

【 0 0 7 3 】

そして、光軸調整用レンズ保持部 5 1 がリテーナ 5 2 により光軸方向に固定されると、芋ネジ 5 3 により光軸調整用レンズ保持部 5 1 を周囲から固定する。

そして、光軸調整用レンズ保持部 5 1 がリテーナ 5 2 および芋ネジ 5 3 で固定されると、パイプ 5 6 を筒状筐体 5 0 に取り付け、ネジ 5 5 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 2 7 の温度変化を求めるためには、初期状態のガス 2 7 の温度が既知である必要がある。

【 0 0 7 4 】

このため、ガス 2 7 の初期温度を計測する温度計測手段を計測領域 3 4 に設けるようにしてもよく、ガス 2 7 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 2 7 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。

【 0 0 7 5 】

また、アダプタ 4 5 を取り外して、図 2 のセンサ取り付け面 2 6 に温度センサ 3 1 を取り付け付けた場合、図 3 の温度センサ 3 1 の領域 R 1 がガス 2 7 に晒され、温度センサ 3 1 の領域 R 2 がセンサ取り付け面 2 6 の壁内に保持され、温度センサ 3 1 の領域 R 3 が外気に晒される。

40

そして、温度センサ 3 1 に入射したレーザービームは、光学窓 3 3 を境界として、計測領域 3 4 側では、ガス 2 7 内を通過し、計測領域 3 4 の反対側では、空気内を通過する。

【 0 0 7 6 】

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 2 6 の壁の温度も高温になり、温度センサ 3 1 の領域 R 2 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 3 1 内を進むと、レーザービームの位相は、ガス 2 7 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 2 7 の温度計測値に誤差が生じる。

【 0 0 7 7 】

50

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 - 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 660 K、圧力 3.2 MPa 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

【 0080 】

と温度計測分解能との関係を求めたものである。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 13 mm 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 85 a および排気ポート 86 a が形成され、吸気ポート 85 a には吸気弁 85 が挿入され、排気ポート 86 a には排気弁 86 が挿入され、吸気ポート 85 a 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 85 a 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 86 a 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 】

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 3 1 が取り付けられ、温度センサ先端 3 1 a がシリンダヘッド 6 2 内に突き出している。

そして、温度センサ 3 1 には、センサ出力を取り出すための光ファイバ 9 3 が接続されるとともに、光ファイバ 9 3 はジャバラ管 9 4 で保護されている。

【 0 0 8 5 】

ここで、光ファイバ 9 3 をジャバラ管 9 4 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 9 3 を保護することができる。

ここで、温度センサ 3 1 を実用機関に取り付ける場合、図 3 のアダプタ 4 5 を取り外すことにより、M 5 のネジ 4 1 a で温度センサ 3 1 を固定することが可能となる。

【 0 0 8 6 】

また、温度センサ 3 1 をシリンダヘッド 6 2 に取り付けると、図 5 の温度センサ 3 1 の領域 R 1 の部分が、シリンダヘッド 6 2 内に突き出した状態となり、温度センサ 3 1 の領域 R 2 の部分が、シリンダヘッド 6 2 の壁内に保持されるとともに、ガスケット 4 7 がシリンダヘッド 6 2 の外面に接触して、シリンダ 6 1 内の気密性を保つことが可能となる。

【 0 0 8 7 】

そして、カムシャフト 6 9 には、カムプロケット 7 0 a が取り付けられるとともに、クランクシャフト 7 3 には、クランクプロケット 7 0 b が取り付けられ、カムプロケット 7 0 a とクランクプロケット 7 0 b との間にはカムチェーン 7 1 が架けられている。また、クランクシャフト 7 3 は、クラッチ 7 6 を介して、トランスミッションドライブ側軸 7 7 に接続され、トランスミッションドライブ側軸 7 7 にはトランスミッションドライブ側ギア 7 8 が設けられ、トランスミッションドライブ側ギア 7 8 はトランスミッションドリブン側ギア 8 0 を介してトランスミッションドリブン側軸 7 9 に接続されている。

【 0 0 8 8 】

そして、クラッチ 7 6 の上方にはオイルフィルタ 7 4 が設けられ、クランクシャフト 7 3 の端にはジェネレータ 7 5 が設けられ、ジェネレータ 7 5 にはタイミングチェック用窓 9 2 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 8 0 の下方にはオイルパン 9 0 が設けられ、オイルパン 9 0 にはオイルドレンボルト 9 1 が取り付けられている。

【 0 0 8 9 】

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。

図 9 において、シリンダ 1 0 1 内には、ピストン 1 0 2 が挿入され、ピストン 1 0 2 は、コネクティングロッド 1 0 3 を介してフライホイール 1 0 4 に接続され、フライホイール 1 0 4 は、ベルト 1 0 5 を介して電気モータ 1 0 6 に接続されている。

【 0 0 9 0 】

また、フライホイール 1 0 4 の回転軸には、ロータリーエンコーダ 1 0 7 が設けられるとともに、フライホイール 1 0 4 の外周には、TDCセンサ 1 0 8 が設けられている。

また、シリンダ 1 0 1 の上方には拡張シリンダ 1 1 1 が設けられるとともに、ピストン 1 0 2 の上方にはスペーサ 1 1 9 を介して拡張ピストン 1 1 3 が設けられている。

【 0 0 9 1 】

そして、拡張シリンダ 1 1 1 には、拡張シリンダ 1 1 1 内を観測するための観測窓 1 1 2 が設けられ、拡張ピストン 1 1 3 には、石英製のピストンヘッド 1 1 3 a が設けられるとともに、45度の傾きでミラー 1 1 4 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 1 1 9 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 1 1 . 2 に設定した。

【 0 0 9 2 】

また、拡張シリンダ 1 1 1 上には、シリンダヘッド 1 1 5 が設けられ、シリンダヘッド 1 1 5 には、点火電極 1 1 6 が横方方向から取り付けられるとともに、シリンダヘッド 1 1 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、

10

20

30

40

50

きのこ弁 117 は連結管 126 を介して混合タンク 121 に連結されている。

【0093】

そして、混合タンク 121 には、ガスを導入するバルブ 122 ~ 124 が設けられるとともに、混合タンク 121 内の混合ガスの温度を計測する熱電対 125 が設けられている。ここで、温度センサ 31 を実験装置に取り付ける場合、図 3 のアダプタ 45 を取り付けることにより、温度センサ 31 をネジ 45a 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 46 により拡張シリンダ 111 内の気密性を保つことが可能となる。

【0094】

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 115 に取り付けられたきのこ弁 117 を開け、拡張シリンダ 111 内を真空状態にして、拡張ピストン 113 を TDC に設置する。

10

次に、混合タンク 121 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 126 を介して拡張シリンダ 111 内に充填する。

【0095】

そして、きのこ弁 117 を開けた状態で、ベルト 105 を介して電気モータ 106 によりフライホイール 104 を回転させることにより、拡張ピストン 113 を駆動する。

そして、一定時間後の BDC でのきのこ弁 117 を閉じ、点火電極 116 により BTDC 20° で混合ガスに点火した。

【0096】

ここで、きのこ弁 117 が閉じた時の拡張シリンダ 111 内の混合ガスの温度は、混合タンク 121 に取り付けられた熱電対 125 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。

20

そして、温度センサ 31 を用いることにより、きのこ弁 117 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。

【0097】

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 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である。

図 10(a) において、きのこ弁 117 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 117 を閉じ、電気モータ 106 で機関を駆動する。

30

【0098】

そして、温度センサ 31 および圧力変換素子 118 を用いることにより、クランク角に対する拡張シリンダ 111 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 300° 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。

【0099】

また、クランク角 300° から 360° 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。

40

そして、図 10(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 内のガス温度変化を(8)式を用いて見積もった。

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。

【0100】

図 10(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 内の温度(黒丸)と、拡張シリンダ 111 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 240° 付近では、両者の値に違いが見られる。

【0101】

50

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、両者の値は比較的良好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。

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。

【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】

$T_m = T_{ig} (P_t / P_{ig})^{(\gamma - 1) / \gamma} \dots (12)$ 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、両者の値は比較的良好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。

【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。

【0109】

10

20

30

40

50

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。

【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。

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。

【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グ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。

【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。

【符号の説明】

10

20

30

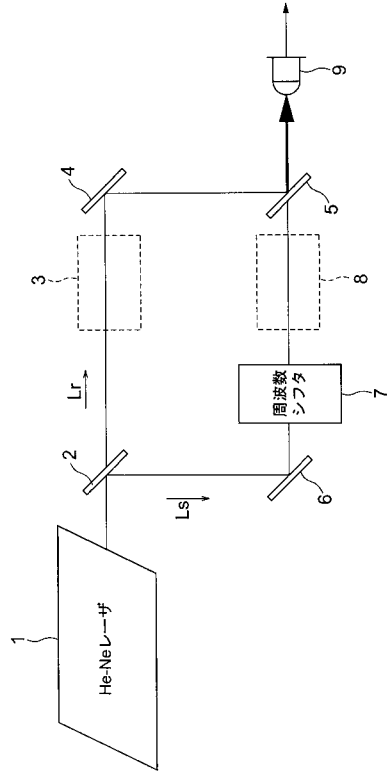
40

50

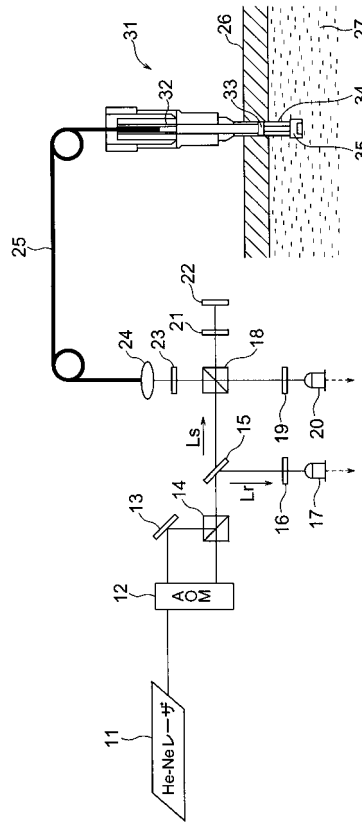
1、11	He - Ne レーザ	
2、5、15	ハーフミラー	
3	参照領域	
4、6、13、22、35、114	ミラー	
7	周波数シフタ	
8、34	計測領域	
9	検出器	
L r	参照光	
L s	試験光	
12	音響光学素子	10
14、18	偏光ビームスプリッタ	
16、19	偏光フィルタ	
17、20	フォトトランジスタ	
21	1 / 4 波長板	
23	1 / 2 波長板	
24、32	セルフロックマイクロレンズ	
25	光ファイバ	
26	センサ取り付け面	
27	ガス	
31	温度センサ	20
31 a	温度センサ先端	
33	光学窓	
41、50	筒状筐体	
41 a、45 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	
51	光軸調整用レンズ保持部	30
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	
64、102	ピストン	40
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	
74	オイルフィルタ	50

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	
8 5	吸気弁	10
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	
1 0 5	ベルト	20
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	
1 2 1	混合タンク	30
1 2 2 ~ 1 2 4	バルブ	
1 2 5	熱電対	
1 2 6	連結管	

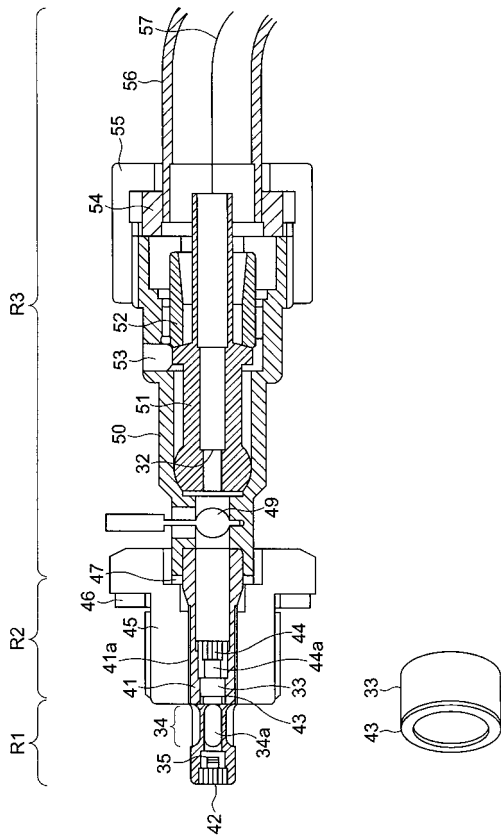
【図1】



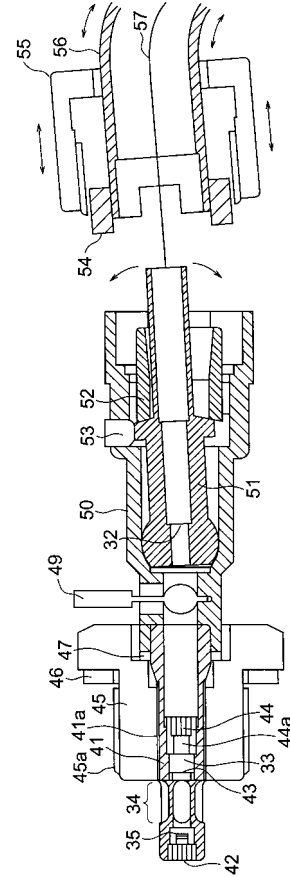
【図2】



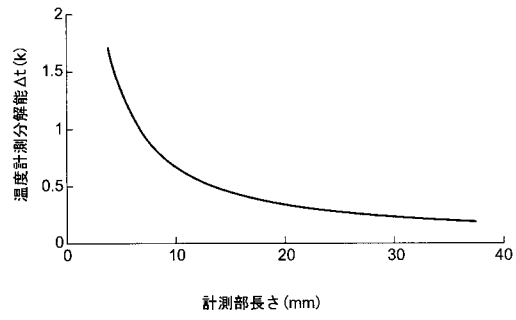
【図3】



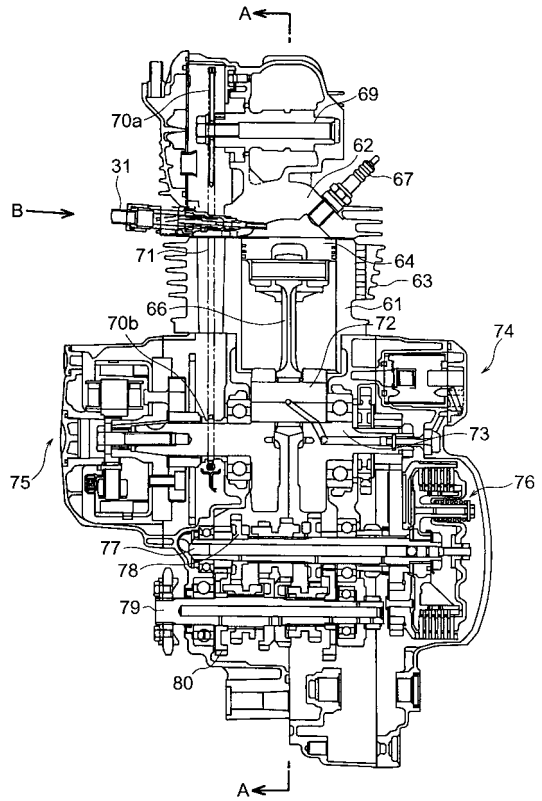
【図4】



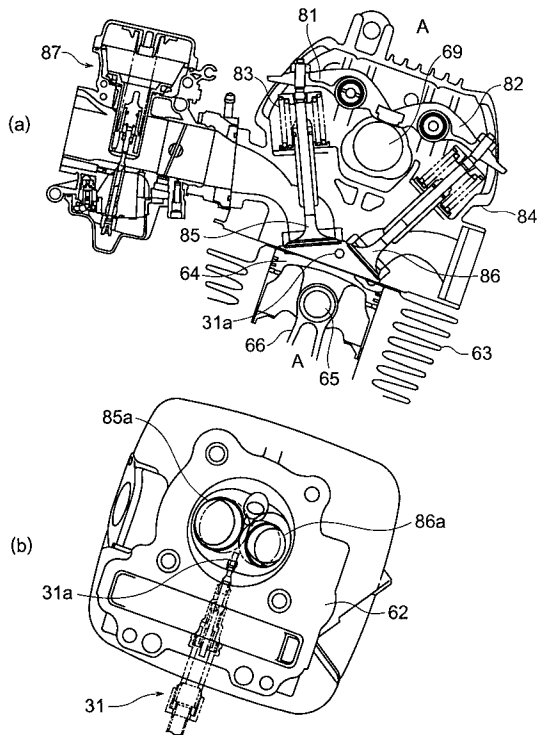
【図5】



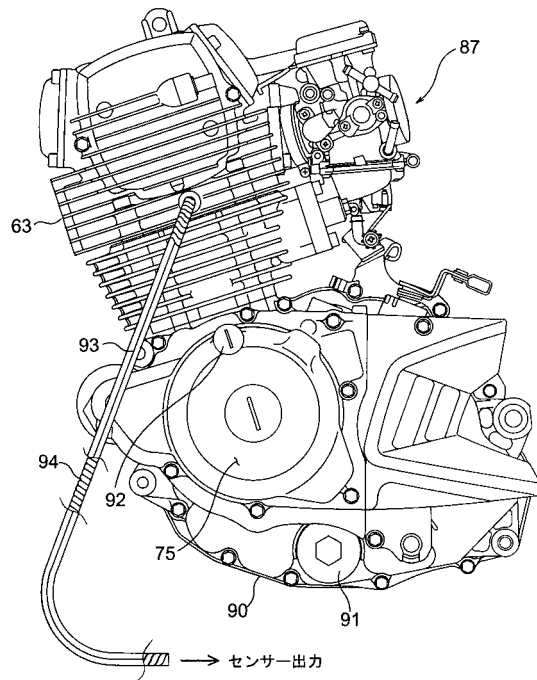
【図6】



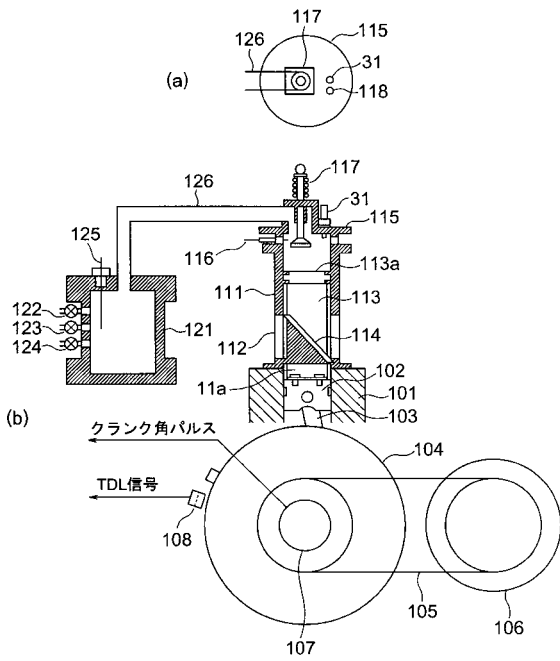
【図7】



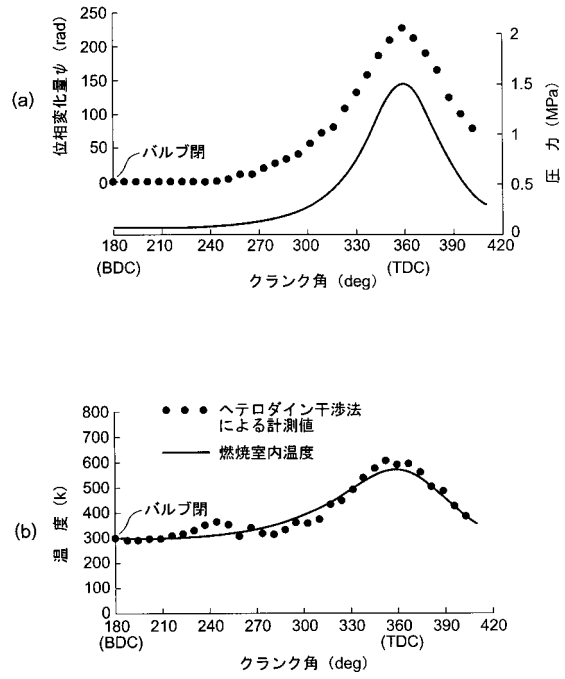
【図8】



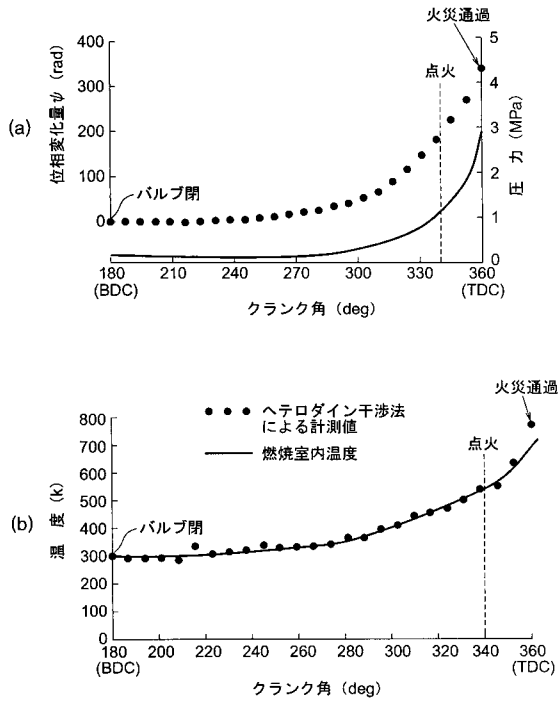
【図9】



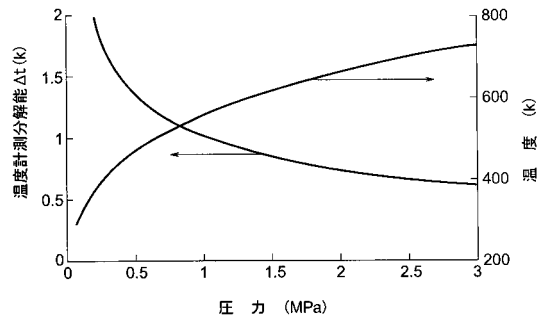
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(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

審査官 松川 直樹

(56)参考文献 特開2002-039870(JP,A)
特開平10-026712(JP,A)
特開平05-080231(JP,A)
特開2002-202253(JP,A)
特開平05-172738(JP,A)
特開平04-194730(JP,A)
特開平10-019689(JP,A)
特開昭63-309839(JP,A)
光ヘテロダイン干渉法によるガス温度変化計測, 光アライアンス 2001年12月号, 日本,
日本工業出版, 2001年12月 1日, 第12巻 第12号, p. 18~21
光ヘテロダイン干渉法によるエンジンシリンダ内未燃ガス温度計測, 日本機械学会2001年度
年次大会講演論文集No.01-1 Vol.2, 日本, 社団法人日本機械学会, 2001年 8月22日, N
o.01-1 Vol.2, p. 469~470

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01K 5/28

G01N 21/45

JSTPlus(JDreamII)