

(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2004-125741  
(P2004-125741A)

(43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> F I テーマコード (参考)  
 GO 1 K 5/28 GO 1 K 5/28 2 GO 5 9  
 // GO 1 N 21/45 GO 1 N 21/45 A

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2002-293757 (P2002-293757)	(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

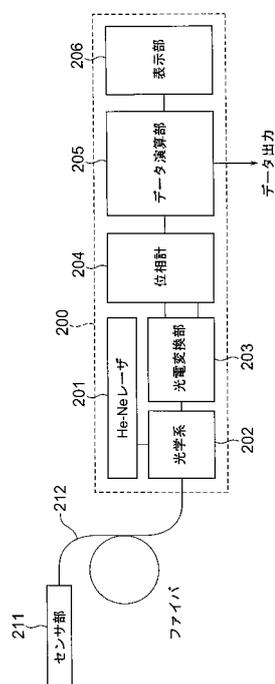
(54) 【発明の名称】 温度計測装置、信号処理装置および信号処理プログラム

(57) 【要約】

【課題】ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測を効率化する。

【解決手段】位相計204は、参照信号と試験信号とのビート周波数差から、温度計測領域を通過したレーザー光の位相変化を算出し、データ演算部205は、位相計204で算出された位相情報に基づいて温度計測領域の温度を算出する。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ビート信号を生成するための参照光と試験光とを発生させるヘテロダイン干渉用光学系と、  
前記試験光に位相変化を検出させる温度計測領域が設けられた温度センサと、  
前記ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と前記温度計測領域を通過した試験光とのビート周波数差に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する信号処理手段とを備えることを特徴とする温度計測装置。

## 【請求項 2】

前記温度センサは、  
前記試験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を備え、  
前記温度計測領域は、温度測定対象が入り込み可能な状態で前記光透過窓と前記反射部との間に設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の温度計測装置。

10

## 【請求項 3】

前記信号処理手段は、  
ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、前記温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出する位相変化算出手段と、  
前記位相変化算出手段により算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する温度算出手段とを備えることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の温度計測装置。

20

## 【請求項 4】

前記温度算出手段は、  
前記位相変化算出手段により算出された前記位相変化に基づいて、前記温度計測領域の屈折率変化を算出する屈折率算出手段と、  
前記屈折率算出手段により算出された屈折率変化に基づいて、前記温度計測領域の密度変化を算出する密度算出手段とを備え、  
前記密度変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出することを特徴とする請求項 3 記載の信号処理装置。

30

## 【請求項 5】

前記屈折率算出手段は、  
前記温度計測領域が気体の場合、G l a d s t o n e - D a l e の式を適用することにより屈折率変化を算出し、  
前記温度計測領域が液体の場合、L o r e n z - L o r e n t z の式を適用することにより屈折率変化を算出することを特徴とする請求項 4 記載の信号処理装置。

## 【請求項 6】

ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出する位相変化算出手段と、  
前記位相変化算出手段により算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する温度算出手段とを備えることを特徴とする信号処理装置。

40

## 【請求項 7】

ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出するステップと、  
前記算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出するステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする信号処理プログラム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

50

**【発明の属する技術分野】**

本発明は温度計測装置、信号処理装置および信号処理プログラムに関し、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、温度計測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。

10

**【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

20

**【0005】****【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、従来のヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法では、参照信号と試験信号とをオシロスコープでデータレコーダに取り込み、このデータレコーダに取り込んだ参照信号と試験信号とからビート周波数の位相変化を算出し、温度計測領域での気体の圧力値をさらに用いて気体温度を算出する必要があった。

**【0006】**

このため、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法では、温度計測領域でのビート周波数の位相変化から温度を求めるために手間がかかり、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関などに適用した場合、燃焼室内の急激な温度変化をリアルタイムで知ることが困難であるという問題があった。

30

そこで、本発明の目的は、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測を効率化することが可能な温度計測装置、信号処理装置および信号処理プログラム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、請求項1記載の温度計測装置によれば、ビート信号を生成するための参照光と試験光とを発生させるヘテロダイン干渉用光学系と、前記試験光に位相変化を検出させる温度計測領域が設けられた温度センサと、前記ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と前記温度計測領域を通過した試験光とのビート周波数差に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する信号処理手段とを備えることを特徴とする。

40

**【0008】**

これにより、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差を検出し、温度計測領域の温度を算出するまでの処理を温度計測装置に一貫して行わせることが可能となる。

このため、温度計測領域でのビート周波数の位相変化から温度を求めるための手間を軽減することが可能となり、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関などに適用した場合においても、燃焼室内の急激な温度変化をリアルタイムで知ることが可能となる。

**【0009】**

また、請求項2記載の温度計測装置によれば、前記温度センサは、前記試験光を伝送する

50

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を備え、前記温度計測領域は、温度測定対象が入り込み可能な状態で前記光透過窓と前記反射部との間に設けられている。

【0010】

これにより、温度センサの先端を温度測定対象内に挿入することで、試験光の位相変化を検出することが可能となり、温度センサの設置場所の選定を容易化することが可能となるとともに、温度計測領域から光ファイバを切り離すことを可能として、光ファイバを熱から保護することができ、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関などに容易に適用することが可能となる。

10

【0011】

また、請求項3記載の温度計測装置によれば、前記信号処理手段は、ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、前記温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出する位相変化算出手段と、前記位相変化算出手段により算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する温度算出手段とを備えることを特徴とする。

【0012】

これにより、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差から位相変化を算出することが可能となり、温度計測領域の温度を容易に算出することが可能となる。

20

また、請求項4記載の温度計測装置によれば、前記温度算出手段は、前記位相変化算出手段により算出された前記位相変化に基づいて、前記温度計測領域の屈折率変化を算出する屈折率算出手段と、前記屈折率算出手段により算出された屈折率変化に基づいて、前記温度計測領域の密度変化を算出する密度算出手段とを備え、前記密度変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出することを特徴とする。

【0013】

これにより、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差から温度計測領域の密度変化を算出することが可能となり、温度計測領域のミリ秒オーダー程度の温度変化をリアルタイムで算出することが可能となる。

30

また、請求項5記載の温度計測装置によれば、前記屈折率算出手段は、前記温度計測領域が気体の場合、Gladstone-Daleの式を適用することにより屈折率変化を算出し、前記温度計測領域が液体の場合、Lorenz-Lorentzの式を適用することにより屈折率変化を算出することを特徴とする。

【0014】

これにより、気体および液体の双方について、試験光の位相変化から温度計測領域における屈折率変化を容易に算出することが可能となり、様々な物質のミリ秒オーダー程度の温度変化を容易に算出することが可能となる。

また、請求項6記載の信号処理装置によれば、ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出する位相変化算出手段と、前記位相変化算出手段により算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を算出する温度算出手段とを備えることを特徴とする。

40

【0015】

これにより、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差を検出し、温度計測領域の温度を算出するまでの処理を温度計測装置に一貫して行わせることが可能となり、温度計測領域のミリ秒オーダー程度の温度変化をリアルタイムに算出することが可能となる。

また、請求項7記載の信号処理プログラムによれば、ヘテロダイン干渉法による参照信号と試験信号とのビート周波数差に基づいて、温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化を算出するステップと、前記算出された位相変化に基づいて、前記温度計測領域の温度を

50

算出するステップとをコンピュータに実行させることを特徴とする。

【0016】

これにより、信号処理プログラムをコンピュータにインストールすることで、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差を検出し、温度計測領域の温度を算出するまでの処理をコンピュータに一貫して行わせることが可能となり、温度計測領域のミリ秒オーダー程度の温度変化をリアルタイムに算出することが可能となる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る温度計測装置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。 10

【0018】

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<sub>r</sub>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<sub>s</sub>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<sub>r</sub>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<sub>r</sub>の一部がハーフミラー5で反射される。

【0019】

一方、ハーフミラー2で反射された試験光L<sub>s</sub>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。 20

そして、計測領域8を透過した試験光L<sub>s</sub>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<sub>r</sub>と合波されて、検出器9に入射する。

そして、検出器9では、参照光L<sub>r</sub>と試験光L<sub>s</sub>との周波数差がビート周波数として検出される。

【0020】

ここで、計測領域8を透過した試験光L<sub>s</sub>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。

【0021】

このため、参照光L<sub>r</sub>と試験光L<sub>s</sub>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。 30

すなわち、参照光L<sub>r</sub>と試験光L<sub>s</sub>のビーム強度をI<sub>0</sub>とすると、干渉信号Iは次式で表すことができる。

【0022】

【数1】

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

40

【0023】

ただし、f<sub>b</sub>はビート周波数、ψ<sub>t</sub>は計測領域8の物質の位相変化である。

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<sub>H</sub>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<sub>H</sub>が変わる。

ここで、測定信号の位相変化量ψ<sub>H</sub>は、計測領域8の気体の位相変化ψ<sub>t</sub>と次の関係を持つ。

【0024】

【数2】

$$\Psi_H = \int_0^t 2\pi f_b dt + \Psi_t \cdots (2)$$

## 【0025】

また、計測領域 8 の気体の位相変化  $\Psi_t$  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、 $\Psi_t$  は計測領域 8 での光路長変化、 $L_t$  は計測領域 8 の長さ、 $\lambda_s$  は試験光  $L_s$  の周波数である。

10

## 【0026】

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。

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

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

## 【0027】

## 【数 3】

$$\Psi_t = \Psi_H - \int_0^t 2\pi f_b(t) dt \cdots (5)$$

20

## 【0028】

一方、気体の屈折率変化  $n_t$  と気体の密度  $\rho_t$  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。

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

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。

30

## 【0029】

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。

## 【0030】

## 【数 4】

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

## 【0031】

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

40

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。

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

すなわち、初期状態の圧力  $P_{t0}$  および温度  $T_{t0}$  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  $\Psi_t$  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。

## 【0032】

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  $\Psi_t$  と屈折率  $n_t$  には、次のような関係がある。

50

$$n_t = 2 \quad n_t L_t / \quad \dots (9)$$

ただし、 $L_t$  は測定領域 8 の長さ、 $\lambda$  はレーザの波長である。

【0033】

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

$$n_t = \left( \left( 1 + 2 \quad \rho_t R_{L_t} / M_t \right) / \left( 1 - \quad \rho_t R_{L_t} / M_t \right) \right)^{1/2} \dots (10)$$

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

【0034】

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

$$\rho_t = (A^2 - 1) M_t / \left( (2 + A^2) R_{L_t} \right) \quad \dots (11)$$

ただし、 $A$  は以下の式で表される

$$A = \rho_t / \left( 2 \quad L_t \right) + \left( \left( 1 + 2 \quad \rho_{t0} R_{L_t} / M_t \right) / \left( 1 - \quad \rho_{t0} R_{L_t} / M_t \right) \right)$$

また、 $\rho_{t0}$  は液体の初期密度である。

【0035】

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。

【0036】

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。

【0037】

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。

【0038】

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、25 kHz 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。

【0039】

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

10

20

30

40

50

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。

【0040】

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。

【0041】

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。

【0042】

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。

【0043】

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。

【0044】

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。

【0045】

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。

【0046】

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、セルフオ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、セルフオ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。

【0047】

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。

【0048】

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、500 kHz のサン

10

20

30

40

50

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 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。

【0049】

そして、これらのガス 27 の屈折率が変化すると、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。 10

【0050】

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。

【0051】

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。 20

【0052】

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。 30

【0053】

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 41 に取り付けられている。

そして、光学窓 33 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 33 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。

【0054】

ここで、ボルト 44 で光学窓 33 を筒状筐体 41 に固定する場合、筒状筐体 41 の後端から光軸方向に沿って光学窓 33 を挿入し、光学窓 33 の挿入方向にボルト 44 で締め付けるようにする。 40

これにより、ボルト 44 を筒状筐体 41 内に収めることが可能となり、ボルト 44 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、光学窓 33 を脱着自在に取り付けることを可能として、光学窓 33 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。

【0055】

また、ボルト 44 には、中心軸に沿って開口部 44a が形成され、ボルト 44 で光学窓 33 を締め付けるために、ボルト 44 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 44 により遮断されることを防止することができる。 50

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 6 】

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 との間の隙間をシールすることが可能となる。

【 0 0 5 7 】

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。

【 0 0 5 8 】

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、様々な気体の温度を計測することが可能となる。

【 0 0 5 9 】

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 0 】

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 1 】

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 2 】

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。

【 0 0 6 3 】

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。

10

20

30

40

50

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 2 5 が結合され、光ファイバ 2 5 の周囲には、光ファイバ 2 5 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 2 5 の曲がり防止するガイド 5 4 が設けられている。

【 0 0 6 4 】

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 5 】

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。

【 0 0 6 6 】

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 7 】

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。

さらに、光ファイバ 2 5 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 2 5 に熱が伝わり難くして、光ファイバ 2 5 による位相変化を抑制することができる。

【 0 0 6 8 】

図 4 は、本発明の第 1 実施形態に係る温度計測装置の概略構成を示すブロック図である。図 4 において、温度計測装置 2 0 0 には、He - Ne レーザ 2 0 1、ヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2、光電変換部 2 0 3、位相計 2 0 4、データ演算部 2 0 5 および表示部 2 0 6 が設けられ、温度計測装置 2 0 0 は光ファイバ 2 1 2 を介してセンサ部 2 1 1 に接続されている。

【 0 0 6 9 】

なお、センサ部 2 1 1、光ファイバ 2 1 2 およびヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2 は、例えば、図 2 の構成を用いることができる。

そして、He - Ne レーザ 2 0 1 で発生されたレーザ光はヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2 に入射され、ヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2 にてビート信号を生成するための参照光と試験光とが生成される。

【 0 0 7 0 】

ここで、ヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2 で生成された試験光は、光ファイバ 2 1 2 を介してセンサ部 2 1 1 に入射し、センサ部 2 1 1 に入射した試験光は、温度計測領域の温度変化に基づいて位相が変化する。

そして、センサ部 2 1 1 に入射した試験光は、センサ部 2 1 1 にて反射され、光ファイバ 2 1 2 を介してヘテロダイン干渉用光学系 2 0 2 に戻され、ビート信号に変換された後、光電変換部 2 0 3 に入力される。

【 0 0 7 1 】

そして、光電変換部 2 0 3 でビート光が電気信号に変換された後、位相計 2 0 4 にて、参照信号と試験信号とのビート周波数差から、温度計測領域を通過したレーザ光の位相変化

10

20

30

40

50

が算出される。

ここで、位相計 204 のサンプリング周波数と試験信号のビート周波数により、得られる温度計測分解能を決定することができ、サンプリング周波数を高く、ビート周波数を低く設定することにより、温度計測分解能を向上させることができる。

【0072】

また、ヘテロダイン干渉法による温度計測方法では、温度計測領域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、温度計測領域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。

【0073】

一方、温度計測領域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。このため、サンプリング周波数、ビート周波数および温度計測領域の長さを調整することにより、温度計測の局所性および設置場所を考慮しつつ、得たい温度変化の時間分解能を決定することができる。

【0074】

なお、位相変化を得るためには、ロックインアンプなどの位相計やデータ集積装置を用いることができ、位相計 204 では、そのサンプリング周波数に見合ったリアルタイムでの位相情報を得ることができ、その位相情報から温度変化を見積もることができる。

また、データ集積装置では、参照信号および試験信号のビート周波数変化を計測し、参照信号および試験信号の周波数変化を読み取ることで、温度変化を見積もることができる。

【0075】

そして、データ演算部 205 は、位相計 204 にて位相情報が得られると、この位相情報に基づいて温度計測領域の温度を算出する。

ここで、データ演算部 205 は、温度計測領域の温度を算出する場合、位相計 204 で算出された位相情報に基づいて、温度計測領域の屈折率変化を算出し、この屈折率変化に基づいて、温度計測領域の温度を算出することができる。

【0076】

そして、温度計測領域が気体の場合、Gladstone - Dale の式を適用することで屈折率変化を算出することができ、温度計測領域が液体の場合、Lorenz - Lorentz の式を適用することで屈折率変化を算出することができる。

そして、データ演算部 205 にて温度計測領域の温度が算出されると、表示部 206 はデータ演算部 205 で算出された温度を表示する。

【0077】

これにより、計測領域 34 でのビート周波数の位相変化から温度を求めるための処理を温度計測装置 200 に行わせることが可能となり、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関などに適用した場合においても、燃焼室内のミリ秒オーダー程度の温度変化をリアルタイムで表示部 206 に表示させることが可能となる。

【0078】

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、図 3 の計測領域 34 の長さから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。

【0079】

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。

10

20

30

40

50

図6は、図3の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、図3の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、図3の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。

【0080】

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。

【0081】

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。

【0082】

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25が接続されるとともに、光ファイバ25はジャバラ管94で保護されている。

【0083】

ここで、光ファイバ25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25を保護することができる。

そして、ジャバラ管94は、コネクタ95を介して温度計測装置200に接続され、光ファイバ25は、ヘテロダイン干渉用光学系202に接続されている。

【0084】

ここで、位相計204およびデータ演算部205を温度計測装置200に設けることにより、ヘテロダイン干渉用光学系202で生成された参照光と試験光とのビート周波数差を検出し、計測領域34の温度を算出するまでの処理を温度計測装置200に一貫して行わせることが可能となる。

このため、計測領域34でのビート周波数の位相変化から温度を求めるための手間を軽減することが可能となり、内燃機関の燃焼室内のミリ秒オーダー程度の温度変化をリアルタイムに表示部206に表示させることが可能となる。

【0085】

また、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。

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。

【0086】

そして、カムシャフト69には、カムスプロケット70aが取り付けられるとともに、クランクシャフト73には、クランクスプロケット70bが取り付けられ、カムスプロケット70aとクランクスプロケット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。

【0087】

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。

【0088】

図 9 は、本発明の第 2 実施形態に係る温度計測装置の概略構成を示す図である。

図 9 において、温度計測装置 200' には、図 3 の温度センサ 31 に構成に加えて、熱電対 207、208 が設けられ、熱電対 207 は、計測領域 34 内に設置されるとともに、熱電対 208 は、光学窓 33 とセルフオックマイクロレンズ 32 との間に設けられている。

10

【0089】

また、データ演算部 205' は、位相計 204 により得られた位相情報に基づいて温度計測領域の温度を算出するとともに、(8)式を用いて温度を算出する場合、熱電対 207 により計測された温度を初期状態の温度  $T_{t_0}$  として使用する。

さらに、データ演算部 205' は、熱電対 207 により計測された温度に基づいて、レーザービームが光学窓 33 とセルフオックマイクロレンズ 32 との間の空間を通過する際に生じた位相変化による温度計測値の誤差を補正する。

20

【0090】

すなわち、(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。

このため、ガス 27 の初期温度を計測する熱電対 207 を計測領域 34 に設け、ヘテロダイン干渉法による温度計測を実行する際に、ガス 27 の初期温度を熱電対 207 により直接計測する。

【0091】

これにより、温度センサ 31 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にかかる手間を軽減することが可能となる。

30

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。

【0092】

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。

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。

40

【0093】

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。

そこで、光学窓 33 とセルフオックマイクロレンズ 32 との間に熱電対 208 を設け、ヘテロダイン干渉法による温度計測を実行する際に、光学窓 33 とセルフオックマイクロレンズ 32 との間の空気の平均温度を熱電対 208 により直接計測する。

【0094】

50

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る温度計測の手間を増加させることなく、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。図 10 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。

【0095】

図 10 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。

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。 10

【0096】

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。

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。

【0097】

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。 20

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 が横方方向から取り付けられるとともに、シリンダヘッド 115 上には、温度センサ 31、きのこ弁 117 および圧力変換素子 118 が取り付けられ、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。

【0098】

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。 30

【0099】

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。

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。

【0100】

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。 40

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 B T D C 20° で混合ガスに点火した。

【0101】

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。

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。

【0102】

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 50

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 1 ( 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 1 ( a ) において、きのこ弁 1 1 7 を開け、図 1 0 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 1 0 3 】

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。 10

【 0 1 0 4 】

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 1 ( 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 1 ( 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 5 】

図 1 1 ( 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 内の圧力からポルトロップ変化を仮定して計算した温度 ( 実線 ) とを比較した。 20

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。

【 0 1 0 6 】

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 1 1 7 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 1 1 7 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 1 1 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。 30

【 0 1 0 7 】

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 1 2 ( 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 1 1 . 2 であり、点火時期は B T D C 2 0 ° である。また、機関回転速度は 6 0 0 r p m である。

【 0 1 0 8 】

図 1 2 ( a ) において、図 1 1 ( a ) のモータリング時と同じように、クランク角 3 4 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。

そして、クランク角 3 4 0 ° から火炎が計測領域 3 4 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 3 4 を通過した時と判断した。 40

【 0 1 0 9 】

この図 1 2 ( 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 内の未燃焼ガスの温度変化を ( 8 ) 式を用いて見積もった。

図 1 2 ( 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 1 2 ( 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 内の未燃焼ガスの温度 ( 黒丸 ) と、拡張シリンダ 1 1 1 内の圧力から以下の式を用いて計算した温度 50

(実線)とを比較した。

【0110】

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

ただし、 $T_{ig}$  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。

【0111】

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。 10

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。

【0112】

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。

【0113】

図13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。 20

図13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。

【0114】

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。

【0115】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ヘテロダイン干渉用光学系で生成された参照光と試験光とのビート周波数差に基づいて、温度計測領域の温度を温度計測装置に算出させることにより、温度計測領域でのビート周波数の位相変化から温度を求めるための手間を軽減することが可能となり、ヘテロダイン干渉法を用いた温度計測方法を内燃機関などに適用した場合においても、燃焼室内の急激な温度変化をリアルタイムで知ることが可能となる。 30

【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温度計測装置のヘテロダイン干渉用光学系の概略構成を示す平面図である。 40

【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】本発明の第1実施形態に係る温度計測装置の概略構成を示すブロック図である。

【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。

【図 9】本発明の第 2 実施形態に係る温度計測装置の概略構成を示す図である。

【図 10】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 11】図 11 ( 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 11 ( 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 12】図 12 ( 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 12 ( 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 13】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。 10

【符号の説明】

1、11、201、301 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

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 セルフォックマイクロレンズ

25、212 光ファイバ

光ファイバ

26 センサ取り付け面

27 ガス

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

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

61、101 シリンダ

62、115 シリンダヘッド

20

30

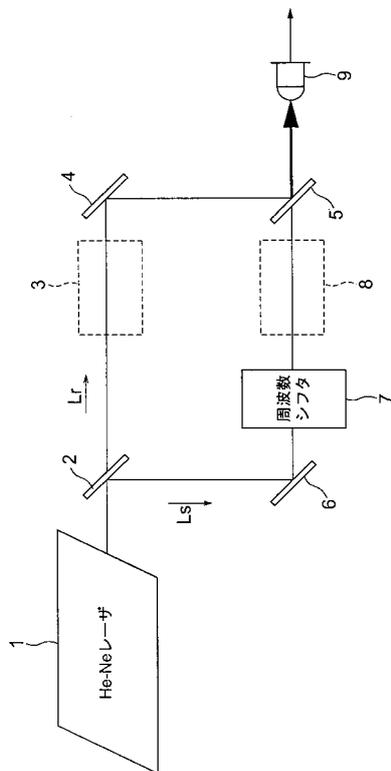
40

50

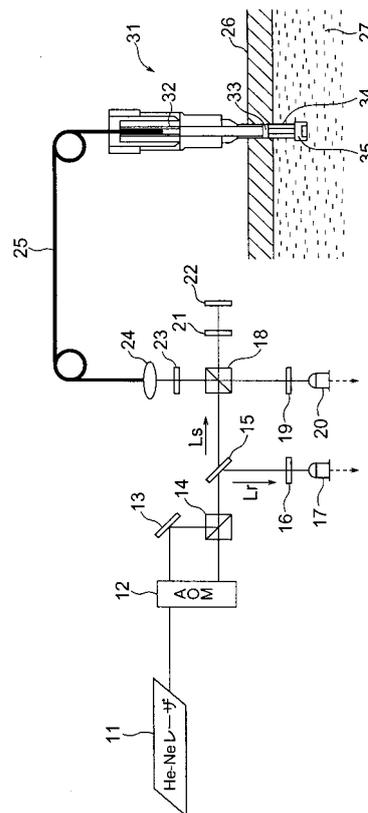
6 3	冷却フィン		
6 4、	1 0 2	ピストン	
6 5		ピストンピン	
6 6、	1 0 3	コネクティングロッド	
6 7、	1 1 6	点火プラグ	
6 9		カムシャフト	
7 0 a		カムスプロケット	
7 0 b		クランクスプロケット	
7 1		カムチェーン	
7 2		クランクピン	10
7 3		クランクシャフト	
7 4		オイルフィルタ	
7 5		ジェネレータ	
7 6		クラッチ	
7 7		トランスミッションドライブ側軸	
7 8		トランスミッションドライブ側ギア	
7 9		トランスミッションドリブン側軸	
8 0		トランスミッションドリブン側ギア	
8 1		吸気ロッカーアーム	
8 2		排気ロッカーアーム	20
8 3、	8 4	弁バネ	
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		オイルドレンボルト	
9 2		タイミングチェック用窓	
9 4		ジャバラ管	30
9 5		コネクタ	
1 0 4		フライホイール	
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	40
1 1 8		圧力変換素子	
1 1 9		スペーサ	
1 2 1		混合タンク	
1 2 2 ~	1 2 4	バルブ	
1 2 5、	2 0 7、	2 0 8	熱電対
1 2 6		連結管	
2 0 0、	2 0 0	温度計測装置	
2 0 2		ヘテロダイン干渉用光学系	
2 0 3		光電変換部	
2 0 4		位相計	50

- 205、205' データ演算部
- 206 表示部
- 211 センサ部

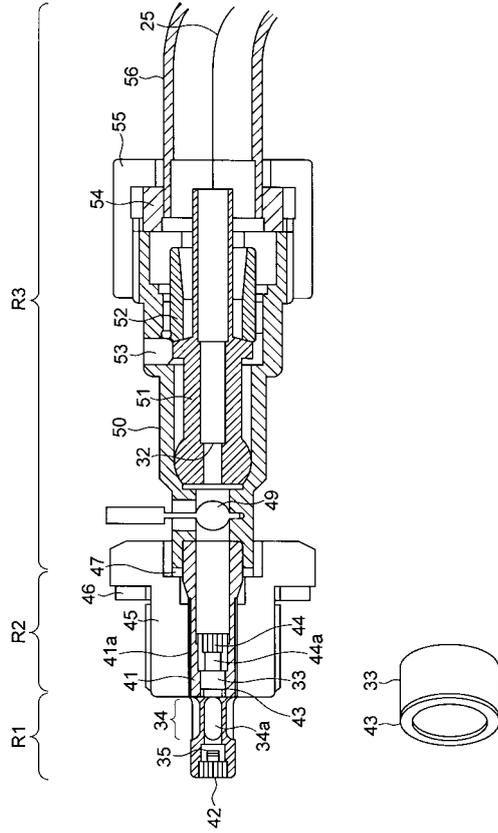
【図1】



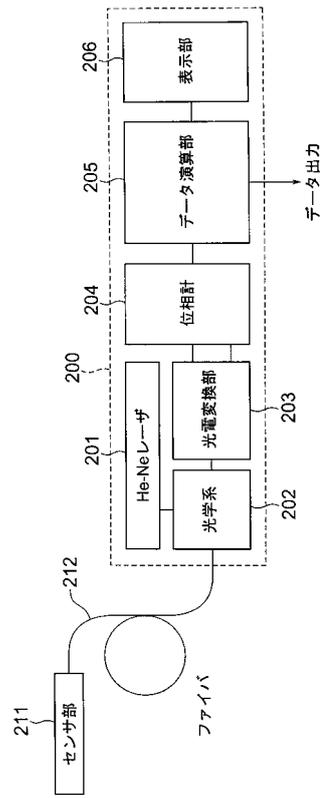
【図2】



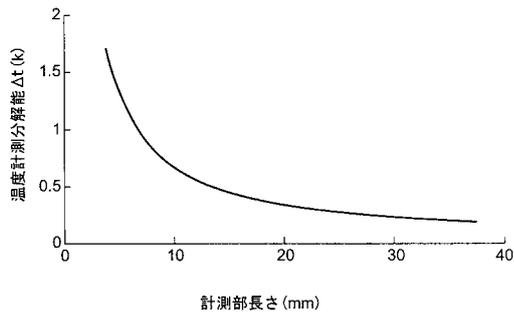
【図3】



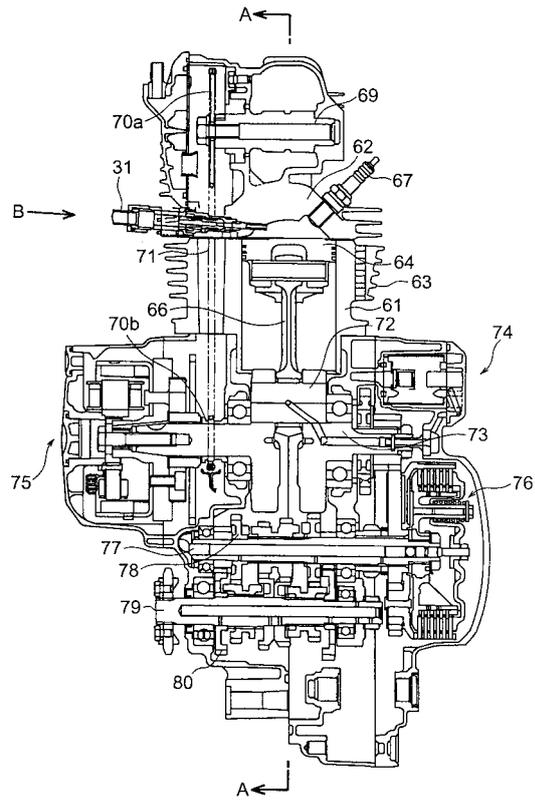
【図4】



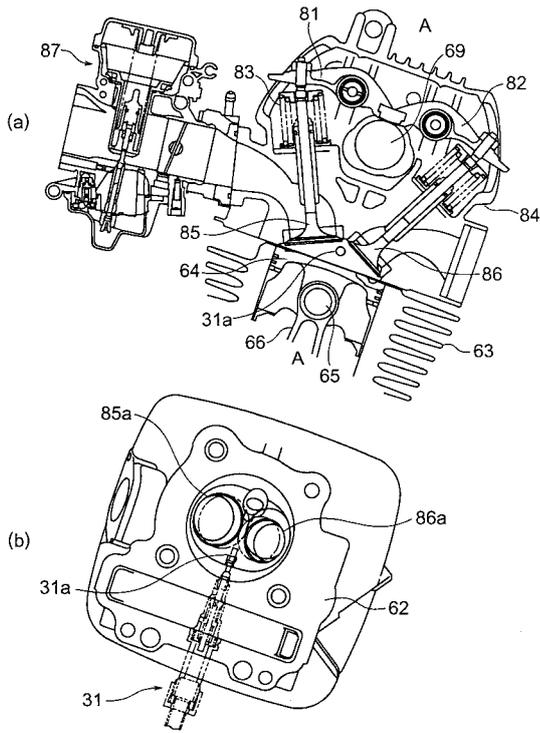
【図5】



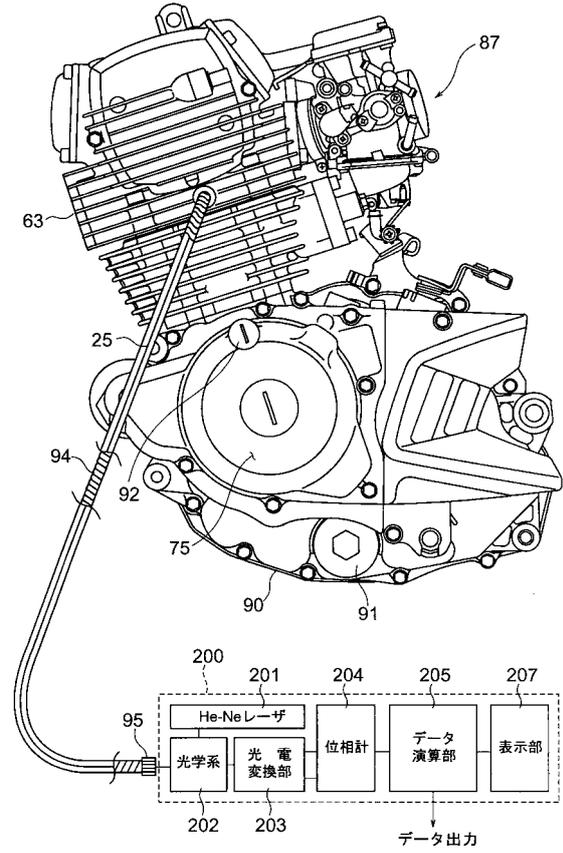
【図6】



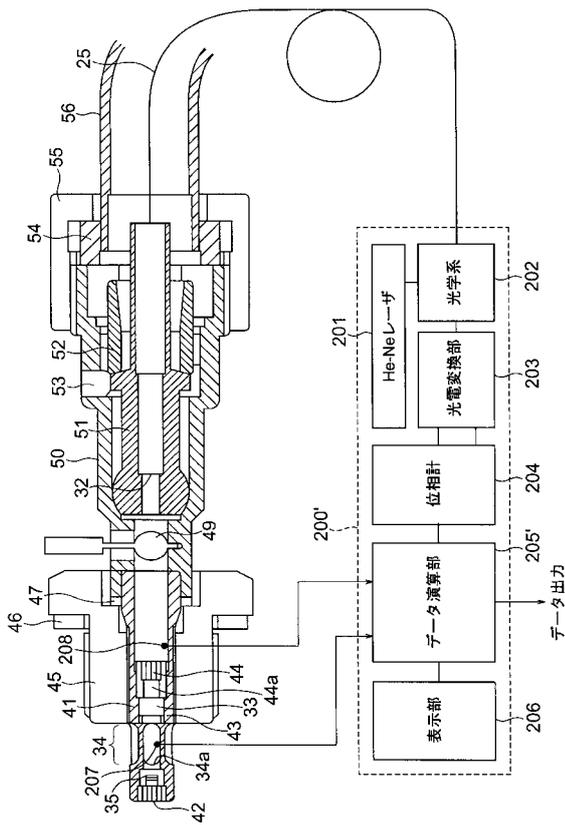
【図7】



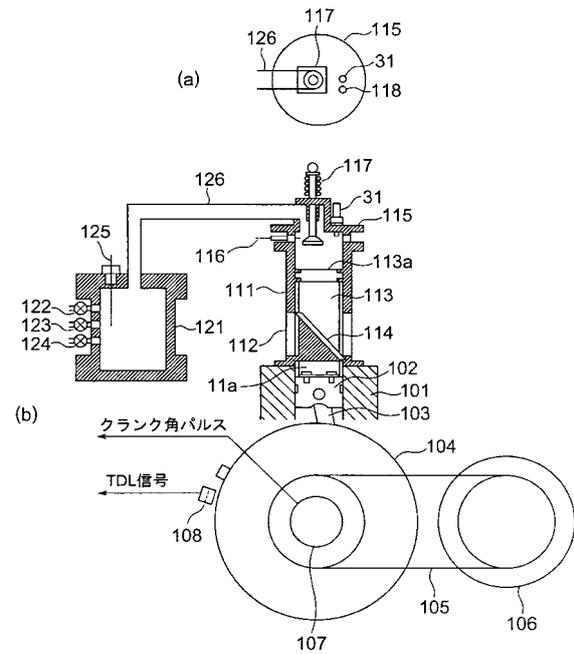
【図8】



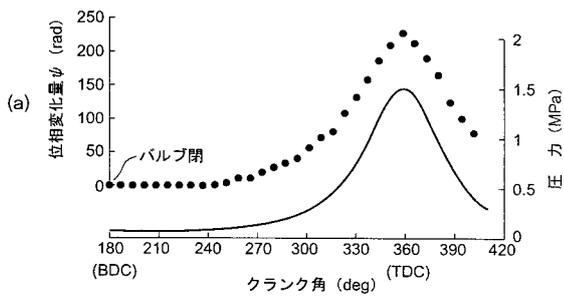
【図9】



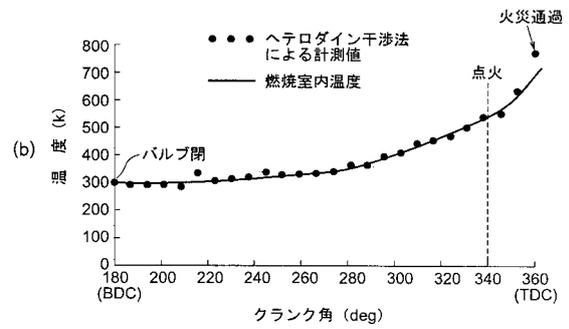
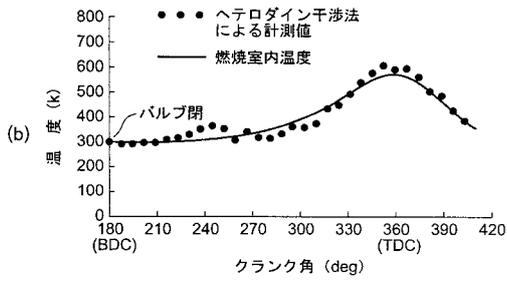
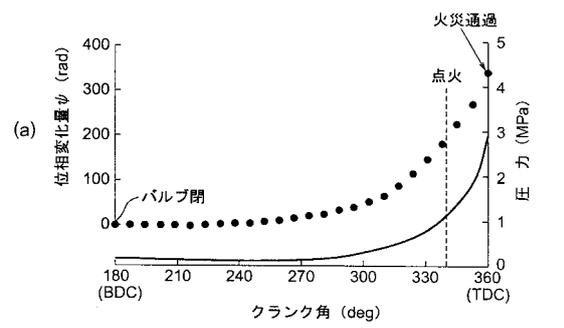
【図10】



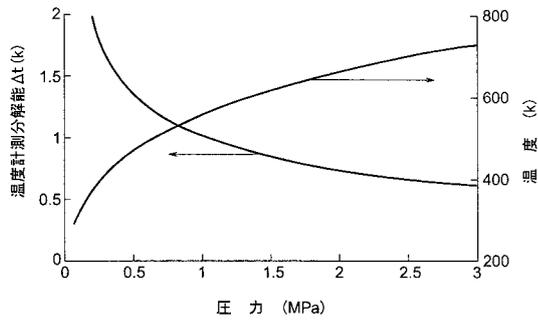
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



---

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

Fターム(参考) 2G059 AA02 AA03 BB01 EE09 GG01 JJ11 JJ13 JJ17 JJ18 JJ19  
JJ20 JJ22 JJ23 KK02 KK03 LL01 MM01 PP05