

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3823158号

(P3823158)

(45) 発行日 平成18年9月20日(2006.9.20)

(24) 登録日 平成18年7月7日(2006.7.7)

(51) Int. Cl.

F I

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2D 45/00 368F

FO2B 39/16 (2006.01)

FO2D 45/00 301E

FO2D 45/00 370B

FO2B 39/16 H

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2003-406476 (P2003-406476)  
 (22) 出願日 平成15年12月4日(2003.12.4)  
 (65) 公開番号 特開2005-163727 (P2005-163727A)  
 (43) 公開日 平成17年6月23日(2005.6.23)  
 審査請求日 平成15年12月4日(2003.12.4)

(73) 特許権者 501204525  
 独立行政法人海上技術安全研究所  
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号  
 (74) 代理人 100071401  
 弁理士 飯沼 義彦  
 (74) 代理人 100106747  
 弁理士 唐沢 勇吉  
 (72) 発明者 高杉 喜雄  
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立  
 行政法人 海上技術安全研究所内  
 (72) 発明者 高木 正英  
 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立  
 行政法人 海上技術安全研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

過給機付4ストロークディーゼル機関を流れるガスの状態からシリンダ内の残留ガスの質量、吹き抜け吸気の質量、排出ガスの質量を未知数とし、上記排出ガスによって駆動される上記過給機のタービンの出力とブローの仕事との釣り合い、圧縮工程における気筒の容積および排出ガスの組成から方程式をたて、同方程式に代入する計測値のうち上記タービンの出口の排出ガスの温度を助変数とし、求めた解の値の範囲のうち上記未知数の値が物理的に意味のある値となる助変数の中で最も高い温度を特定して正解を求め、この正解から圧縮工程中の上記気筒内のガスの成分のうち空気に相当する量を求め、これと理論空気比及び供給された燃料の質量の関係から上記気筒内の空気過剰率を求めることを特徴とする、過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載の過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法において、上記過給機付4ストロークディーゼル機関を、吹き抜け吸気が無い状態とし、上記未知数である吹き抜け吸気の質量をゼロであるとして上記方程式を解いて正解を得るに当たり、上記タービンの出口の排出ガスの温度を、上記方程式の解の値が物理的に意味のある値となるような温度の中で最も高い温度に特定して、正解を得るようにしたことを特徴とする、過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

## 【0001】

本発明は、過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内における空気の過剰率を検出する方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、ディーゼル機関から発生する排ガス中の窒素酸化物を始めとする大気汚染物質の生成は燃焼に由来するところが多いが、過給機付4サイクルディーゼル機関では、直接、燃焼に関与する気筒内の空気過剰率が明らかではなく、燃焼の解析を行う上で不便であった。一般に、無過給ディーゼル機関の燃焼の解析を行う際には、排出ガス中の残存酸素濃度を計測し、吹き抜け吸気がないとして空気過剰率を算出している。そして、過給機付4 10  
サイクルディーゼル機関においても、これと同様の方法が採られていた。

## 【0003】

ところで、通常、過給機付4サイクルディーゼル機関では、吸気弁と排気弁が同時に開いているオーバーラップ期間があり、この期間に吸気の一部が排気弁から吹き抜けるので、排出ガス中の酸素濃度から求めた空気過剰率は、気筒内の空気過剰率を正確に表してはいない。このため、気筒内ガスについて酸素濃度を計測し、空気過剰率を計算する方法が考えられるが、この計測には高度の技術が必要とされるので、この方法は一般的な方法であるとは言えない。

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】 20

## 【0004】

そこで本発明は、排出ガス中の酸素濃度から求める空気過剰率よりも高い精度で空気過剰率を求めることができ、計測するのに格別に高度の技術が必要とされない一般的に行われている計測によって得られた計測値を用いて簡単に空気過剰率を検出することができるような、過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法を提供しようとするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

本発明の過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法は、過給機付4ストロークディーゼル機関を流れるガスの状態からシリンダ内の残留ガスの質量、吹き抜け吸気の質量、排出ガスの質量を未知数とし、上記排出ガスによって駆動される上記過給機のタービンの出力とプロアの仕事との釣り合い、圧縮工程における気筒の容積および排出ガスの組成から方程式をたて、同方程式に代入する計測値のうち上記タービンの出口の排出ガスの温度を助変数とし、求めた解の値の範囲のうち上記未知数の値が物理的に意味のある値となる助変数の中で最も高い温度を特定して正解を求め、この正解から圧縮工程中の上記気筒内のガスの成分のうち、空気に相当する量を求め、これと理論空気比及び供給された燃料の質量の関係から上記気筒内の空気過剰率を求めることを特徴としている。 30

## 【0006】

また、本発明の過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法は、上記過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法において、上記過給機付4ストロークディーゼル機関を、吹き抜け吸気が無い状態とし、上記未知数である吹き抜け吸気の質量をゼロであるとして上記方程式を解いて正解を得るに当たり、上記タービンの出口の排出ガスの温度を、上記方程式の解の値が物理的に意味のある値となるような温度の中で最も高い温度に特定して、正解を得るようにしたことを特徴としている。 40

## 【発明の効果】

## 【0007】

本発明の過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法によれば、以下のような効果が得られる。すなわち、気筒内の空気過剰率を排出ガス中の酸素濃度から求める空気過剰率よりも高い精度で簡単に明らかにすることができ、計測するのに格別 50

に高度の技術が必要とされない一般的に行われている計測によって得られた計測値を用いて簡単に空気過剰率を算出することができ、窒素酸化物を始めとする大気汚染物質の削減のための方策を立てる上で大いに有効な手段として活用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明の過給機付4ストロークディーゼル機関の気筒内空気過剰率検出方法によれば、排出ガス中の酸素濃度から求める空気過剰率よりも高い精度で空気過剰率を求めることができ、計測するのに格別に高度の技術が必要とされない一般的に行われている計測によって得られた計測値を用いて簡単に空気過剰率を算出することができるようにするという目的を、過給機付4ストロークディーゼル機関を流れるガスの状態からシリンダ内の残留ガスの質量、吹き抜け吸気の質量、排出ガスの質量を未知数とし、上記排出ガスによって駆動される上記過給機のタービンの出力とブロアの仕事との釣り合い、圧縮工程における気筒の容積および排出ガスの組成から方程式をたて、同方程式に代入する計測値のうち上記タービンの出口の排出ガスの温度を助変数とし、求めた解の値の範囲のうち上記未知数の値が物理的に意味のある値となる助変数の中で最も高い温度を特定して正解を求め、この正解から、圧縮工程中の上記気筒内のガスの成分のうち、空気に相当する量を求め、これと理論空気比及び供給された燃料の質量の関係から上記気筒内の空気過剰率を求めるようにしたことによって実現した。

10

【実施例】

【0009】

以下、図面により本発明の一実施例について説明する。

図1は、過給機付4ストロークディーゼル機関のガスの流れを説明するための全体概念図、図2は、吹き抜け吸気の質量と過給機のタービンの出口における排出ガスの温度との関係を示すグラフである。

20

【0010】

先ず、図1において、過給機付4ストロークディーゼル機関における過給機及び4ストロークディーゼル機関におけるガスの流れについて説明する。大気は、過給機1のブロワ（またはコンプレッサ）2により吸入圧縮された後、吸気としてインタークーラ4で冷却され、さらに吸気マニホールドを経て、各気筒5, 6, 7にそれぞれ供給される。これら各気筒5, 6, 7から排出されたすべてのガスは排出ガス（いわゆる排ガス）となって過給機1のタービン3に導かれ、エネルギーを回収された後、排気管11から大気中へと放出される。

30

【0011】

次に、吸入行程における気筒内ガスの流れについて説明する。図1において、第3気筒7に示すように、吸入行程では吸気弁8が開いているので吸気は気筒7内に導かれる。しかし、吸気弁8と排気弁9とが同時に開いている期間があるので、吸気は気筒7に留まる気筒内吸気と吸気弁8から排気弁9に通り返れる吹き抜け吸気とに分かれる。

【0012】

続いて、圧縮行程における気筒内ガスについて説明する。図1における第2気筒6に示すように、圧縮行程が始まると早い時期に吸気弁8が閉じ、圧縮が始まる。この時の気筒6内のガスは、気筒内吸気と残留ガスとによって構成される。

40

【0013】

そして、膨張行程における気筒内ガスについて説明する。図1の第1気筒5に示すように、膨張行程の初期に燃料が噴射され、燃焼が行われる。これに伴い気筒内ガスは燃焼ガスとなる。

【0014】

さらに、排気行程におけるガスの流れについて説明する。図1において、膨張行程の終わりに近づいたとき排気弁9が開き、燃焼ガスの大部分は気筒外へ排出されるが、一部が気筒内に残り残留ガスとなる。気筒外へ排出された燃料ガスは、吹き抜け吸気と排気マニホールド10内で混合し、排出ガスとなって過給機1のタービン3に至る。

50

## 【 0 0 1 5 】

次に、未知数について説明する。気筒 5 , 6 , 7 内の空気過剰率を求めるために、ここで、残留ガス質量、吹き抜け吸気質量、排出ガス質量を未知数として、次に示す記号で表すこととする。

- $G_{ret}$  : 残留ガス質量  
 $G_{short}$  : 吹き抜け吸気質量  
 $G_{exh}$  : 排出ガス質量

## 【 0 0 1 6 】

過給機 1 のタービン 3 の出力とプロア 2 の仕事との関係について説明する。過給機 1 について、タービン 3 を流れる排出ガスの変化からタービン 3 の出力を求め、プロア 2 を流れる吸気の変化から仕事を求めることができる。タービン 3 の出力はプロア 2 の仕事であるので、[ 数 1 ] 式が成立する。

## 【 数 1 】

$$\frac{T_b - T_0}{T_0} = \frac{(T_t - T_{se}) T_t}{T_t} \frac{\kappa_t}{T_0 (\kappa_t - 1)} \frac{(\kappa_s - 1)}{\kappa_s} \frac{(G_{short} + G_{exh})}{(G_{short} + G_{exh} - M_f)}$$

ここで、

- $M_f$  : 供給された燃料質量  
 $T_0$  : 大気温度  
 $T_b$  : 過給機 1 のプロア 2 の出口における吸気の温度  
 $T_t$  : 過給機 1 のタービン 3 の入口における排出ガスの温度  
 $T_{se}$  : タービン 3 の出口における排出ガスの温度  
 $\kappa_s$  : 吸気管の入口における空気の温度を用いた空気の比熱比  
 $\kappa_t$  : タービン 3 の入口における排出ガスの温度を用いた排出ガスの比熱比

## 【 0 0 1 7 】

次に、気筒 5 , 6 , 7 内のガスの質量を求める式について説明する。圧縮行程において吸気弁が閉じた瞬間の気筒体積は計算により求められる。また、気筒 5 , 6 , 7 内の圧力は吸気圧力であり、気筒 5 , 6 , 7 内には、気筒 5 , 6 , 7 内の吸気と残留ガスとがあるので、気筒 5 , 6 , 7 内のガスの質量は [ 数 2 ] 式で表すことができる。

## 【 数 2 】

$$G_{res} + G_{exh} - M_f = \frac{P_b V_{cl}}{R_s T_s}$$

ここで、

- $P_b$  : 吸気の圧力  
 $T_s$  : 気筒 5 , 6 , 7 の入口における吸気の温度  
 $R_s$  : 空気のガス定数  
 $V_{cl}$  : 吸気弁 8 が閉時の気筒 5 , 6 , 7 の体積

## 【 0 0 1 8 】

また、気筒内の燃焼時における関係式について説明すると以下の通りである。膨張行程における燃焼では、燃料は炭素と水素のみで構成され、かつ、完全燃焼が行われるとすれば、燃焼の前後について [ 数 3 ] に示す化学反応が行われる。

## 【数3】

$$\begin{aligned}
& \frac{M_f}{m_f} C_n H_m + \frac{G_{res}}{4.773m_a} (O_2 + 3.773N_2) + \frac{Fr_{CO_2}}{m_{CO_2}} G_{res} CO_2 \\
& + \frac{Fr_{H_2O}}{m_{H_2O}} G_{res} H_2O + \frac{Fr_a}{4.773m_a} G_{res} (O_2 + 3.773N_2) + \frac{Fr_{N_2}}{m_{N_2}} G_{res} N_2 \\
= & \left( \frac{M_f}{m_f} n + \frac{Fr_{CO_2}}{m_{CO_2}} G_{res} \right) CO_2 + \left( \frac{M_f}{m_f} \frac{m}{2} + \frac{Fr_{H_2O}}{m_{H_2O}} G_{res} \right) H_2O \\
& + \left\{ \frac{G_{exh} - M_f + Fr_a G_{res}}{4.773m_a} - \frac{M_f}{m_f} \left( n + \frac{m}{4} \right) \right\} O_2 + \left( \frac{3.773}{4.773} \frac{G_{exh} - M_f + Fr_{N_2} G_{res}}{m_a} + \frac{Fr_{N_2}}{m_{N_2}} G_{res} \right) N_2
\end{aligned} \tag{10}$$

ここで、

$C_n H_m$  : 燃料が単一の分子からなるとしたときの化学記号

$CO_2$  : 二酸化炭素の化学記号

$O_2$  : 酸素分子の化学記号

$N_2$  : 窒素分子の化学記号

$Fr_{CO_2}$  : 残留ガス中の二酸化炭素の質量分率

$Fr_{H_2O}$  : 残留ガス中の水分の質量分率

$Fr_{N_2}$  : 残留ガス中の窒素の質量分率

$Fr_a$  : 残留ガス中の空気の質量分率

$m$  : 燃料が単一の分子からなるとしたときの分子に含まれる水素原子の数

$n$  : 燃料が単一の分子からなるとしたときの分子に含まれる炭素原子の数

$m_f$  : 燃料の分子量

$m_{CO_2}$  : 二酸化炭素の分子量

$m_{H_2O}$  : 水分の分子量

$m_a$  : 空気の分子量

$m_{N_2}$  : 窒素の分子量

3.773 は空気中の酸素モル数を1とした時の窒素モル数

4.773 は空気中の酸素モル数を1とした時の空気モル数

## 【0019】

次に、残留ガス中の二酸化炭素、水分、空気、窒素の質量分率を表す式について説明する。膨張行程で生成された燃焼ガスの組成は、圧縮行程で存在していた残留ガスの組成と同一であるとの観点から、二酸化炭素、水分、空気、窒素の質量分率は、[数3]式の右辺の二酸化炭素、水分、空気、窒素分質量を燃焼ガス質量で除したものであり、以下の[数4]、[数5]、[数6]及び[数7]式で表される。

## 【数4】

$$Fr_{CO_2} = \frac{m_{CO_2} \cdot n \cdot M_f}{M_f \left\{ m_{CO_2} n + m_{H_2O} \frac{m}{2} + (3.773m_{N_2} - 4.773m_a) \left( n + \frac{m}{4} \right) \right\} + m_f (G_{exh} - M_f)} \tag{40}$$

## 【数5】

$$Fr_{H_2O} = \frac{m_{H_2O} \cdot \frac{m}{2} \cdot M_f}{M_f \left\{ m_{CO_2} n + m_{H_2O} \frac{m}{2} + (3.773m_{N_2} - 4.773m_a) \left( n + \frac{m}{4} \right) \right\} + m_f (G_{exh} - M_f)}$$

【数6】

$$Fr_{N_2} = \frac{3.773m_{N_2} \cdot \left(n + \frac{m}{4}\right) \cdot M_f}{M_f \left\{ m_{CO_2} n + m_{H_2O} \frac{m}{2} + (3.773m_{N_2} - 4.773m_a) \left(n + \frac{m}{4}\right) \right\} + m_f (G_{exh} - M_f)}$$

【数7】

$$Fr_a = \frac{m_f (G_{exh} - M_f) - 4.773m_a \left(n + \frac{m}{4}\right) M_f}{M_f \left\{ m_{CO_2} n + m_{H_2O} \frac{m}{2} + (3.773m_{N_2} - 4.773m_a) \left(n + \frac{m}{4}\right) \right\} + m_f (G_{exh} - M_f)}$$

10

【0020】

さらに、排出ガスの酸素濃度と組成の関係式について説明する。排出ガスの酸素濃度は排気管で計測される。また、排出ガスは燃焼ガスの内、圧縮行程の始めに存在した残留ガスの質量と同等の燃焼ガスを気筒内に残したものと吹き抜け吸気とからなるので、排出ガスの組成が求められる。さらに、排出ガスの酸素濃度は、排出ガスと酸素の体積比であるので、次の【数8】式が成り立つ。

【数8】

$$\gamma = \frac{A}{B}$$

20

ここで、

: 排出ガス中の酸素濃度

$$A = \frac{G_{exh}}{G_{res} + G_{exh}} \left\{ \frac{G_{exh} - M_f + Fr_a G_{res}}{4.773m_a} - \frac{M_f}{m_f} \left(n + \frac{m}{4}\right) \right\} + \frac{G_{short}}{4.773m_a}$$

$$B = \frac{G_{exh}}{G_{res} + G_{exh}} \left[ \left( \frac{M_f}{m_f} n + \frac{Fr_{CO_2} G_{res}}{m_{CO_2}} \right) + \left( \frac{M_f}{m_f} \frac{m}{2} + \frac{Fr_{H_2O} G_{res}}{m_{H_2O}} \right) + \left\{ \frac{G_{exh} - M_f + Fr_a G_{res}}{4.773m_a} - \frac{M_f}{m_f} \left(n + \frac{m}{4}\right) \right\} \right. \\ \left. + \left( \frac{3.773}{4.773} \frac{G_{exh} - M_f + Fr_{N_2} G_{res}}{m_a} + \frac{Fr_{N_2} G_{res}}{m_{N_2}} \right) \right] + \frac{G_{short}}{m_a}$$

30

【0021】

以上の連立方程式より解を求める手順について説明する。【数8】式に【数4】式、【数5】式、【数6】式及び【数7】式を代入すると、未知数である残留ガス質量、吹き抜け吸気質量、排出ガス質量を含む式となる。従って、【数1】式、【数2】式、【数8】式から解を求めることができる。

40

【0022】

次に、方程式を構成する記号について説明する。方程式において使用される記号で表された項目の内、未知数である  $G_{res}$ 、 $G_{short}$ 、 $G_{exh}$  以外の、 $T_o$ 、 $T_b$ 、 $T_t$ 、 $T_{se}$ 、 $P_b$ 、 $P_t$ 、 $T_s$ 、 $M_f$  は、計測値あるいは計測値から計算により求められた値を使用することができる。また、 $V_{cl}$  は機関の寸法および吸気弁の閉時期から、計算によりその値を求めることができる。 $m$ 、 $n$ 、 $m_f$  は燃料の分析結果で得られた既知数であり、 $k_s$ 、 $k_t$ 、 $R_t$  は空気あるいは排出ガスの物性値であり、 $m_{CO_2}$ 、 $m_{H_2O}$ 、 $m_a$ 、 $m_{N_2}$  は各種ガスの分子量であり既知数である。以上、すべてが具体的な数値で示されるので、定数とみなしうる。

50

## 【0023】

さて、助変数の設定について説明する。方程式の記号に具体的数値を代入すれば解は得られるが、計測値は誤差を含むため、未知数の解が物理的に意味ある値、即ちゼロもしくは正の値を取るとは限らない。そこで、方程式を解く上で過給機1のタービン3の入口における排出ガスの温度と出口における排出ガスの温度との差が重要であるため、タービン3の入口における排出ガスの温度を定数とみなし、タービン3の出口における排出ガスの温度を助変数とすると、ある範囲の助変数に対して残留ガス質量、吹き抜け吸気質量、排出ガス質量は、物理的に意味のある値をとる。従って、正解を得るためには助変数の値を特定する必要がある。

## 【0024】

次に、助変数に特定について説明する。助変数の値を特定するため、過給機付4ストロークディーゼル機関で、吹き抜け吸気が無い状態で運転を行い、前述と同様の方法で方程式を解く。この結果を図2に示す。図2には縦軸に未知数である吹き抜け吸気の質量、横軸に助変数であるタービンの出口における排出ガスの温度をとり、すべての未知数が物理的に意味のある値をとる範囲を実線矢印で示している。ここで、吹き抜け吸気の質量の正解はゼロであるので、助変数を取るべき値は、すべての未知数が物理的に意味のある値をとる条件内で最も高いタービン3の出口における排出ガスの温度であると特定することができる。また、吹き抜け吸気がある運転の場合でも、以上の特定法を適用して、先の計算について正解を得ることができる。

## 【0025】

以上の結果に基づいて、気筒内の空気過剰率を求める手順について説明する。気筒内の空気過剰率は、圧縮行程におけるガスの成分の内、空気に相当する量と理論空気比及び供給された燃料の質量との関係から求められる。即ち、以下に示す[数9]式にそれぞれの値を代入することによって得ることができる。

## 【数9】

$$\lambda = \frac{Fr_a G_{res} + G_{exh} - M_f}{M_f L_0}$$

ここで、

- $L_0$  : 理論空気比で燃料の物性値から求めた値
- $G_{res}$  : 残留ガスの質量で三連立方程式から得た値
- $G_{exh}$  : 排出ガスの質量で三連立方程式から得た値
- $M_f$  : 供給された燃料の質量
- $Fr_a$  : 残留ガス中の空気の質量分率で[数7]式を解いて得た値

## 【産業上の利用可能性】

## 【0026】

海上技術安全研究所所有の吸排気弁開閉時期の変更が可能な過給機付4ストロークディーゼル機関である松井鉄工所製Mu323型機関により、吹き抜け吸気がある場合及び吹き抜け吸気が無い場合の実験を行い、その計測値から気筒内の空気過剰率を求めた。その結果、上記の機関で発生した窒素酸化物濃度と、計算による空気過剰率から発生する窒素酸化物濃度とは、空気過剰率に比例することが明らかになった。本発明により気筒内の空気過剰率を簡単に明らかにすることができるので、窒素酸化物を始めとする大気汚染物質の削減のための方策を立てる上で、本発明は大いに有効な手段として活用されることが期待される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0027】

【図1】過給機付4ストロークディーゼル機関のガスの流れを説明するための全体概念図である。

10

20

30

40

50

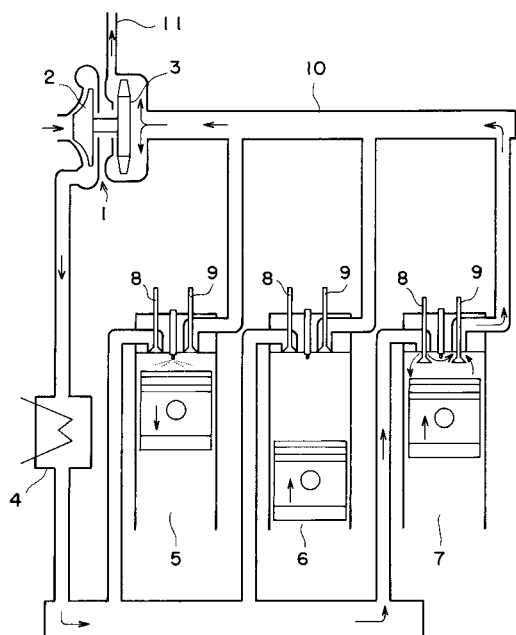
【図2】吹き抜け吸気質量と過給機のタービンの出口における排出ガスの温度との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

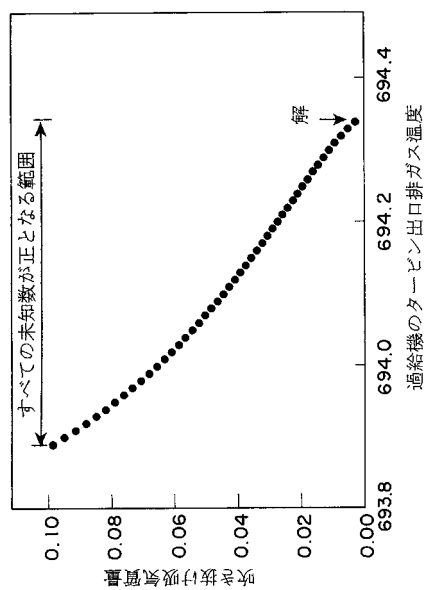
【0028】

- 1 過給機
- 2 プロア
- 3 タービン
- 4 インタークーラ
- 5 第1気筒
- 6 第2気筒
- 7 第3気筒
- 8 吸気弁
- 9 排気弁
- 10 排気マニホールド
- 11 排気管

【図1】



【図2】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 石村 恵以子  
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内
- (72)発明者 菊池 正晃  
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内
- (72)発明者 張 潔  
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内

審査官 中村 達之

(56)参考文献 特開2001-280201(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02D 45/00

F02B 39/16