

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年5月31日(31.05.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/096894 A1

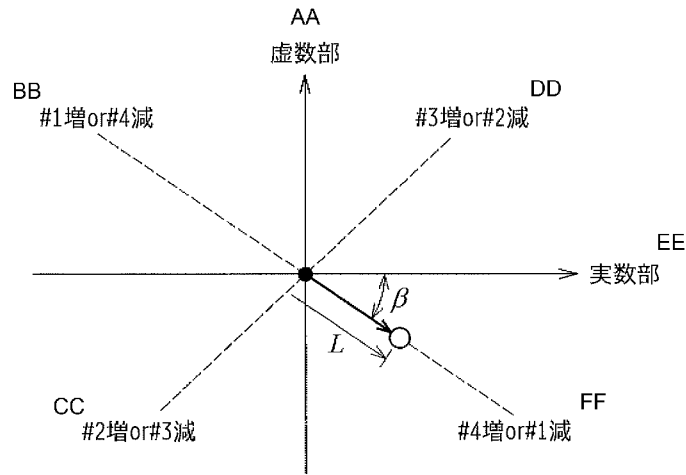
- (51) 国際特許分類:
F02D 45/00 (2006.01) F02D 41/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/039567
- (22) 国際出願日: 2017年11月1日(01.11.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-228735 2016年11月25日(25.11.2016) JP
- (71) 出願人: ヤンマー株式会社 (YANMAR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5308311 大阪府大阪市北区茶屋町1-3-2 Osaka (JP).

(72) 発明者: 朝井 豪 (ASAI Go); 〒5308311 大阪府大阪市北区茶屋町1-3-2 ヤンマー株式会社内 Osaka (JP). ベリッシマ アレサンドロ (BELLISSIMA Alessandro); 50125 フィレンツェ 3/A ヴィアーレ ガリレオ ヤンマー アルアンドデー ヨーロッパ エス. アル. エル. 内 Firenze (IT). フェッラーラ ジョバンニ (FERRARA Giovanni); 50121 フィレンツェ ヴィア ディ サンタマルタ 4 フィレンツェ大学内 Florence (IT). ヴィッチ ジョバンニ (VICHI Giovanni); 50121 フィレンツェ ヴィア ディ サンタマルタ 4 フィレンツェ大学内 Florence (IT). ベッキアーニ ミケーレ (BECCIANI Michele); 50121 フィレンツェ ヴィア ディ サンタマルタ 4 フィレンツェ大

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR DIAGNOSING INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AND DEVICE AND METHOD FOR CONTROLLING INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) 発明の名称: 内燃機関の診断装置および診断方法、並びに、内燃機関の制御装置および制御方法

[図4]



- AA Imaginary part
- BB #1 increase or #4 decrease
- CC #2 increase or #3 decrease
- DD #3 increase or #2 decrease
- EE Real part
- FF #4 increase or #1 decrease

(57) Abstract: Provided is a device for diagnosing an internal combustion engine, the device diagnosing fuel combustion states in each cylinder of a multi-cylinder internal combustion engine provided with an exhaust turbine supercharger, wherein the device is provided with: a speed detection means that outputs a signal corresponding to the speed of the exhaust turbine supercharger or a signal correlated to fluctuation in the speed of the exhaust turbine supercharger; and a combustion



WO 2018/096894 A1

学内 Florence (IT). スティアチーニ イザッコ (STIACCINI Isacco); 50121 フィレンツェ ヴィア ディ サンタマルタ 4 フィレンツェ大学内 Florence (IT). フェッラーリ ロレンツォ (FERRARI Lorenzo); 50019 (フィレンツェ) セスト フィオレンティーノ ヴィア マドンナ デル ピアノ 10 エリア ディ リチエルカ シーエヌ アール ディ フィレンツェ内 (Florence) (IT).

(74) 代理人: 特許業務法人あーく特許事務所 (ARC PATENT ATTORNEYS' OFFICE); 〒5300057 大阪府大阪市北区曾根崎1丁目1番2号 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

state diagnostic unit that diagnoses variation in fuel combustion states among the cylinders by frequency analysis, using a fast Fourier transform, of the frequency characteristics of the signal outputted from the speed detection means.

(57) 要約: 排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断装置であって、前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または当該排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号を出力する回転速度検出手段と、前記回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する燃焼状態診断部とを備える。

明 細 書

発明の名称：

内燃機関の診断装置および診断方法、並びに、内燃機関の制御装置および制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、内燃機関の診断装置および診断方法、並びに、内燃機関の制御装置および制御方法に係る。特に、本発明は、多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する診断装置および診断方法、並びに、その診断の結果に応じて内燃機関を制御する制御装置および制御方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、船舶用や車両用等として使用される多気筒内燃機関にあつては、機関出力の低下、回転変動の増大、排気エミッションの悪化等を抑制するべく、各気筒それぞれにおいて燃料の燃焼が適正に行われていることが望まれる。一般に、多気筒内燃機関にあつては、各気筒に向けての燃料供給量（以下、燃料噴射量という場合もある）は、燃料供給系における燃料圧力に応じてインジェクタの開弁時間を制御することによって調整される（例えば特許文献1を参照）。

[0003] しかしながら、インジェクタ等の製造バラツキや経時劣化等の影響により、実際に気筒内に噴射される燃料の噴射量が適正な量から乖離している場合には、その気筒での燃料の燃焼が適正に行われず（目標とする燃焼量が得られない）ことになる。例えば、各気筒のインジェクタからの燃料噴射量にバラツキが生じている場合には、機関出力の低下、回転変動の増大、排気エミッションの悪化等といった不具合を招いてしまう虞がある。なお、この不具合の発生原因としては、各インジェクタからの燃料噴射量のバラツキだけでなく、燃料性状の影響等も挙げられる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-65397号公報

特許文献2：特許第5770657号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明の発明者らは、各気筒における燃料の燃焼状態の診断（例えば、各インジェクタからの燃料噴射量にバラツキが生じているか否かの診断）、および、その診断の結果に応じた内燃機関の制御（例えば、各インジェクタからの燃料噴射量のバラツキを解消する燃料噴射量の補正）について考察した。そして、排気タービン過給機（以下、ターボチャージャという場合もある）を備えた多気筒内燃機関において、各気筒における燃料の燃焼状態とターボチャージャの回転速度の変動の間には相関があり、これを利用して各気筒における燃料の燃焼状態の診断および診断結果に応じた内燃機関の制御を行うことに着目した。

[0006] なお、特許文献2には、ターボチャージャの回転速度をターボセンサによって検出することが開示されているが、この特許文献2のものは、ターボセンサからの出力信号によって当該ターボセンサの断線検知を行うものであり、各気筒における燃料の燃焼状態の診断および診断結果に応じた内燃機関の制御については開示されていない。

[0007] 本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、多気筒内燃機関の各気筒における燃料の燃焼状態の診断を適正に行うことができる内燃機関の診断装置および診断方法、並びに、その診断の結果に応じて内燃機関を適正に制御することができる内燃機関の制御装置および制御方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 前記の目的を達成するための本発明の解決手段は、排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する

内燃機関の診断装置であって、前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または当該排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号を出力する回転速度検出手段と、前記回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する燃焼状態診断部とを備えていることを特徴とする。

[0009] この特定事項により、燃焼状態診断部は、回転速度検出手段から出力された信号（排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号）の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する。つまり、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキと過給機回転速度の各周波数成分の強度との間に相関があることを利用し、各周波数成分の強度に基づいて、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する。これにより、回転速度検出手段からの出力信号を有効に利用して、各気筒における燃料の燃焼状態の診断を適正に行うことができる。

[0010] また、前記燃焼状態診断部は、前記高速フーリエ変換によって周波数解析して複素平面上に対応させた作動点を求め、当該複素平面上の原点から前記作動点に向かうベクトルの前記複素平面の座標軸との成す角度およびベクトル長さに基づいて、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることが好ましい。

[0011] これにより、複素平面上のベクトルに基づいて各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを容易に診断することが可能になり、この診断結果の把握が容易になる。

[0012] この場合、前記燃焼状態診断部は、前記ベクトルにおける前記複素平面の座標軸との成す角度に基づいて、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定し、前記ベクトル長さに基づいて、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量と他の気筒における当該状態量との偏差を特定するよう構成されていることが好ましい。

- [0013] これによれば、複素平面上のベクトルによって、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定することができ、また、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量と他の気筒における当該状態量との偏差を特定することができる。つまり、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを詳細に診断することができる。
- [0014] また、前記燃焼状態診断部は、前記回転速度検出手段から出力された信号により求められる燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数で除算した周波数の強度と、前記燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数の「 $1/2$ 」の値で除算した周波数の強度とを比較し、前者の周波数の強度が後者の周波数の強度よりも高い場合には、各気筒のうち一つの気筒での燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっている、または、各気筒のうち燃焼行程が連続する複数の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっていると診断するよう構成されていることが好ましい。
- [0015] また、前記燃焼状態診断部は、前記回転速度検出手段から出力された信号により求められる燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数で除算した周波数の強度と、前記燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数の「 $1/2$ 」の値で除算した周波数の強度とを比較し、後者の周波数の強度が前者の周波数の強度よりも高い場合には、各気筒のうちピストンが同位相で往復動し且つ燃焼行程が連続しない複数の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっていると診断するよう構成されていることが好ましい。
- [0016] これらの診断動作により、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を正確に特定することが可能になる。
- [0017] また、前記多気筒内燃機関の機関回転速度、機関負荷、冷却水温度、吸気圧力、排気圧力、吸気温度、大気圧力のうちの少なくとも一つの状態量に燃焼状態診断の実行許可条件が与えられており、前記燃焼状態診断部は、前記燃焼状態診断の実行許可条件が成立している場合に、前記各気筒間での燃料

の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることが好ましい。

[0018] 前記状態量は、燃焼状態診断の信頼性に影響を与える可能性がある。このため、燃焼状態診断の信頼性が十分に確保できる状態量の範囲にある場合に限って、前記燃焼状態のバラツキの診断を許可するべく、前記状態量に燃焼状態診断の実行許可条件を与えるようにしている。つまり、前記状態量が、燃焼状態診断の信頼性に悪影響を与える値である状況では燃焼状態診断を禁止することになる。これにより、燃焼状態診断の信頼性を十分に確保することができる。

[0019] また、前記多気筒内燃機関は、排気系の排気ガスを吸気系に還流させるEGR装置を備えており、前記燃焼状態診断部は、前記EGR装置による排気ガスの還流が停止していることを条件に、前記各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることが好ましい。

[0020] EGR装置によって排気ガスが吸気系に還流している場合、吸気系内を流れるガス量の変動することに起因して気筒内での燃焼量が変化してしまう。このような状況では燃焼状態診断の信頼性を十分に確保することが難しくなる。このため、EGR装置による排気ガスの還流が停止していることを条件に各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するようにしている。これにより、燃焼状態診断の信頼性を十分に確保することができる。

[0021] ガス流れに対して直列に配設された複数の排気タービン過給機が備えられた多気筒内燃機関に対しては、排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する前記回転速度検出手段が、高圧側の排気タービン過給機の近傍に配設され、この高圧側の排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する構成となっていることが好ましい。

[0022] 本発明は、気筒毎の排気ブローダウン時のエネルギー脈動によって排気タービン過給機の回転速度が変動する現象を利用している。このため、このエネルギー脈動の影響を大きく受けて回転速度の変動が大きく現れる高圧側の排気タービン過給機の近傍に回転速度検出手段を配設することで、燃焼状態診断の信頼性を高く確保することができる。

- [0023] また、前述した内燃機関の診断装置において行われる診断方法も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断方法であって、前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または当該排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する内燃機関の診断方法である。
- [0024] この診断方法により、前述した如く、排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号を有効に利用して、各気筒における燃料の燃焼状態の診断を適正に行うことができる。
- [0025] また、前記内燃機関の診断装置による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御装置も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消するように、各気筒毎に、燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正するバラツキ解消補正部を備えた内燃機関の制御装置である。
- [0026] これによれば、前記診断結果に応じてバラツキ解消補正部が燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正し、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消する。このため、各気筒での燃料の燃焼が適正化され、機関出力の低下、回転変動の増大、排気エミッションの悪化等を抑制することが可能となる。
- [0027] また、ウエストゲートバルブおよび可変容量機構のうち少なくとも一方が備えられた排気タービン過給機に対しては、前記バラツキ解消補正部は、ウエストゲートバルブの開度または可変容量機構により調整される排気ガス流路面積に応じて前記制御量を補正するよう構成されていることが好ましい。
- [0028] ウェストゲートバルブや可変容量機構が作動した場合、その影響を受けて、最適な制御量は異なることになるが、ウエストゲートバルブの開度または可変容量機構により調整される排気ガス流路面積に応じてバラツキ解消補正

部が制御量を補正することにより、制御量の最適化を図ることが可能になる。

[0029] また、前述した内燃機関の診断方法による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御方法も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消するように、各気筒毎に、燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正する内燃機関の制御方法である。

[0030] この制御方法により、前述した如く、前記診断結果に応じて燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正し、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消する。このため、機関出力の低下、回転変動の増大、排気エミッションの悪化等を抑制することが可能となる。

[0031] また、他の解決手段として以下の診断装置も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断装置であって、前記多気筒内燃機関の回転速度に応じた信号を出力する内燃機関回転速度検出手段と、前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する過給機回転速度検出手段と、前記過給機回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性、および、前記内燃機関回転速度検出手段から出力された信号に基づいて算出された機関回転速度をパラメータとして、前記内燃機関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を演算することで各気筒での燃料の燃焼状態を診断する燃焼状態診断部とを備えていることを特徴とするものである。

[0032] この特定事項により、過給機回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性および機関回転速度と、内燃機関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量との間に相関があることを利用して前記総燃料供給量を演算することができる。これにより、各気筒での燃料の燃焼状態の診断を適正に行うことができる。

[0033] また、この内燃機関の診断装置による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御装置も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、前記多気筒内燃機

関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を気筒数で除算して平均燃料供給量を求め、要求出力に応じて決定された各気筒での目標燃料供給量と前記平均燃料供給量との偏差分だけ各気筒毎に燃料供給量を補正する燃料供給量補正部を備えた内燃機関の制御装置である。

[0034] これによれば、前記診断結果に応じて燃料供給量補正部が各気筒での燃料供給量を補正し、実際の総燃料供給量を、要求出力に応じた総燃料供給量に合わせ込むことが可能になる。その結果、要求出力に応じた総燃料供給量を得ることができる。

発明の効果

[0035] 本発明では、排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関において、各気筒における燃料の燃焼状態と排気タービン過給機の回転速度の変動との間に相関があることを利用して、各気筒における燃料の燃焼状態の診断および診断結果に応じた内燃機関の制御を行うようにしている。このため、各気筒における燃料の燃焼状態の診断を適正に行うことができ、また、その診断の結果に応じて内燃機関を適正に制御することができる。また、本発明に係る燃焼状態の診断は、燃料性状（例えば燃料のセタン価）の変化に起因する失火の検知に利用することも可能である。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]実施形態に係るエンジンの概略構成を示す図である。

[図2]4気筒のうち1気筒のみでの燃料噴射量を他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合の周波数 $F_1 \sim F_4$ の強度を比較するグラフを示す図である。

[図3]4気筒のうち燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合の周波数 $F_1 \sim F_4$ の強度を比較するグラフを示す図である。

[図4]4気筒のうち1気筒のみでの燃料噴射量を他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合において、高速フーリエ変換によって複素平面上に対応させた作動点を表した図である。

[図5] 4気筒のうち燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合において、高速フーリエ変換によって複素平面上に対応させた作動点を表した図である。

[図6] 4気筒のうち燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合において、高速フーリエ変換によって複素平面上に対応させた作動点を表した図である。

[図7] 総燃料噴射量算出マップの一例を示す図である。

[図8] 総燃料噴射量の診断動作および補正動作の手順を示すフローチャート図である。

[図9] 各インジェクタの燃料噴射量のバラツキの診断動作およびバラツキの解消動作の手順を示すフローチャート図である。

[図10] 作動基底ベクトルを説明するための複素平面を表した図である。

[図11] 診断方法1の手法を説明するための複素平面を表した図である。

[図12] 係数 a によるスカラー量 L と燃料噴射量のずれ量 ΔQ との関係の一例を示す図である。

[図13] 診断方法2の手法を説明するためのF1の複素平面を表した図である。

[図14] 診断方法2の手法を説明するためのF2の複素平面を表した図である。

[図15] 燃料噴射量の補正量を変更しながら複素平面上のベクトル角度およびスカラー量の推移のデータを保存した表を示す図である。

[図16] EGR率とF4強度との関係の一例を示す図である。

[図17] 変形例2における制御の手順を示すフローチャート図である。

[図18] エンジンの吸排気系における各部のガス量、ガス圧力、ガス温度を示す模式図である。

[図19] ウェストゲートバルブ周辺のガス流路における断面積、ガス圧力、ガス温度を示す模式図である。

[図20] 燃料噴射量の変化に伴うウェストゲートバルブ周辺の排気ガス流路面

積の変化を説明するための図である。

[図21]変形例4に係るエンジンのターボチャージャ周辺の概略構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0037] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。本実施形態は、4気筒の4ストロークディーゼルエンジン（多気筒内燃機関）に本発明を適用した場合について説明する。

[0038] エンジンの概略構成

図1は、本実施形態に係るエンジン1の概略構成を示す図である。このエンジン1は例えば船舶用等として使用される。

[0039] この図1に示すように、本実施形態に係るエンジン1は、エンジン本体10と、このエンジン本体10に形成された4つの気筒#1、#2、#3、#4の各燃焼室11、11、…に吸入空気を導く吸気系20と、前記燃焼室11、11、…で発生した排気ガスを排出する排気系30とを備えている。

[0040] 前記エンジン本体10は、各気筒#1～#4を備えたシリンダブロック12およびシリンダヘッド（図示省略）等を備えている。

[0041] 前記吸気系20は、吸気管21および吸気マニホールド22を備え、外気を、吸気管21および吸気マニホールド22を経て各気筒#1～#4の燃焼室11、11、…に導く。また、吸気管21には、吸入空気の流れ方向の上流側から下流側に向かって順に、エアフィルタ23、ターボチャージャ（排気タービン過給機）40のコンプレッサホイール41、インタクーラ24、ディーゼルスロットル25等が設けられている。

[0042] 前記排気系30は、排気管31および排気マニホールド32を備え、排気ガスを、排気マニホールド32および排気管31を経て大気に排出する。また、排気管31には、排気ガスの流れ方向の上流側から下流側に向かって順に、ターボチャージャ40のタービンホイール42、排気浄化装置33等が設けられている。

[0043] 前記ターボチャージャ40は、排気ガスの流体エネルギーを利用して吸入空

気を各気筒#1～#4の燃焼室11, 11, …へ強制的に送り込む（過給する）ためのものである。タービンホイール42は、エンジン本体10の燃焼室11, 11, …から排気管31へ排出された排気ガスの流体エネルギーによって回転される。コンプレッサホイール41は、タービンホイール42とともに回転するように当該タービンホイール42に回転軸43を介して連結されている。

[0044] 前記エンジン本体10には、各気筒#1～#4の燃焼室11, 11, …に燃料を供給するための燃料供給装置50が設けられている。この燃料供給装置50は、コモンレール式燃料供給装置であり、所定圧の燃料を蓄えるコモンレール51と、このコモンレール51に蓄えられている燃料を燃焼室11, 11, …に噴射するために燃焼室11, 11, …毎に備えられたインジェクタ52, 52, …と、図示しない燃料タンクに蓄えられた燃料を加圧してコモンレール51に圧送する高圧燃料ポンプ53とを有している。

[0045] 前記吸気管21と排気管31との間は排気還流配管（EGR配管）61によって接続されている。このEGR配管61は、排気ガスの一部を吸気系20に還流させて燃焼室11, 11, …へ供給することにより燃焼温度を低下させ、これによってNO_x生成量を低減させるものである。このEGR配管61には、電子制御によって開度調整されるEGRバルブ62と、EGR配管61を通過する排気ガスを冷却するためのEGRクーラ63とが設けられている。これらEGR配管61、EGRバルブ62、EGRクーラ63等によってEGR装置（排気還流装置）60が構成されている。

[0046] また、排気管31には、排気ガスの一部を、ターボチャージャ40のタービンホイール42をバイパスして流すための排気バイパス配管71が設けられており、この排気バイパス配管71にはウエストゲートバルブ72が設けられている。このウエストゲートバルブ72のアクチュエータ73には、吸気管21内の吸気圧力が導入されるようになっており、この導入される吸気圧力に応じてアクチュエータ73内部のダイヤフラムが作動してウエストゲートバルブ72の開閉動作が行われる。そして、このウエストゲートバルブ

72が開放されると、排気ガスの一部が排気バイパス配管71を流れ、ターボチャージャ40のタービンホイール42をバイパスすることになる。これにより、タービンホイール42の回転速度の増加が抑制され、安定した過給圧が得られるようになっている。

[0047] エンジン1の運転を制御するエンジンECU100には、出力操作部材101、エンジン回転速度センサ（内燃機関回転速度検出手段）102、負荷状態検出部材103、ターボ回転速度センサ（過給機回転速度検出手段）104、冷却水温度センサ105、吸気圧力センサ106、排気圧力センサ107、吸気温度センサ108、大気圧力センサ109がそれぞれ電氣的に接続されている。

[0048] 前記出力操作部材101は、例えば人為的に操作可能なアクセルレバー、または、アクセルペダルで構成されている。

[0049] 前記エンジン回転速度センサ102は、電磁ピックアップにより構成されており、エンジン1のクランク軸13の回転速度に応じたパルス信号を出力する。具体的に、クランク軸13には、外周縁に沿って複数の凸部と凹部とが交互に設けられたNEロータ14が一体回転可能に設けられており、このNEロータ14の外周縁に対向してエンジン回転速度センサ102が配置されている。これにより、エンジン回転速度センサ102の近傍を前記凸部が通過することで機関回転速度に応じたパルス信号がエンジン回転速度センサ102から出力される構成となっている。

[0050] 前記負荷状態検出部材103は、前記出力操作部材101の操作量（開度）を検出するアクセル開度センサであって、エンジン本体10の負荷状態に応じた信号を出力する。

[0051] 前記ターボ回転速度センサ104は、電磁ピックアップにより構成されており、コンプレッサホイール41のブレードに対向して配置されている。このため、コンプレッサホイール41の回転によってターボ回転速度センサ104の近傍をブレードが通過する度に、当該ターボ回転速度センサ104からパルス信号が出力される構成となっている。つまり、このターボ回転速度

センサ104は、ターボチャージャ40の回転速度に応じたパルス信号を出力する構成となっている。このターボ回転速度センサ104からの出力信号は、F/V変換器110に送信される。このF/V変換器110は、前記ターボ回転速度センサ104から出力されたパルス信号を周波数データに変換するものであり、この変換後の周波数データがエンジンECU100に送信される。

[0052] 冷却水温度センサ105は、エンジン1の冷却水温度に応じた信号を出力する。

[0053] 吸気圧力センサ106は、前記吸気管21におけるエアフィルタ23の下流側の吸気圧力に応じた信号を出力する。

[0054] 排気圧力センサ107は、排気管31におけるタービンホイール42の下流側で且つ排気浄化装置33の上流側の排気圧力に応じた信号を出力する。

[0055] 吸気温度センサ108は、前記吸気管21におけるエアフィルタ23の上流側の吸気温度に応じた信号を出力する。

[0056] 大気圧力センサ109は、大気圧力に応じた信号を出力する。

[0057] エンジンECU100は、演算部(CPU)および記憶部を有している。前記記憶部は、制御プログラムや制御データ等を記憶するROM、電源を切っても設定値等が失われない状態で保存し且つ前記設定値等が書き換え可能とされたEEPROM、および前記演算部による演算中に生成されるデータを一時的に保持するRAM等を有する。

[0058] エンジンECU100は、前記出力操作部材101の操作量に応じ、前記燃料供給装置50の燃料供給状態の基本制御を行うように構成されている。具体的には、エンジンECU100は、負荷状態検出部材103によって検出される前記出力操作部材101の操作量に応じてインジェクタ52, 52, …が所定の燃料噴射を行うように各インジェクタ52, 52, …に備えられた電磁ソレノイドまたはピエゾ素子を制御する。また、これに併せて、高圧燃料ポンプ53を制御し、コモンレール51内の燃料圧力を制御する。また、エンジンECU100は、エンジン1の運転状態に応じてEGRバルブ

62の開度制御を行う。

[0059] また、エンジンECU100は、後述するように、各気筒#1～#4の燃焼室11, 11, …内での燃料の燃焼状態の診断を行うと共に、その診断結果に応じて、インジェクタ52, 52, …の燃料噴射量を補正する補正動作を行う。この燃焼状態の診断動作および燃料噴射量の補正動作については後述する。

[0060] ー燃焼状態診断の概要ー

次に、本実施形態の特徴の一つである燃焼状態診断の概要について説明する。

[0061] <燃焼状態のバラツキ診断の原理>

本実施形態におけるエンジン1の燃焼状態診断としては、前記ターボ回転速度センサ104または前記エンジン回転速度センサ102から出力された信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒#1～#4間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するものとなっている。このため、前記ターボ回転速度センサ104またはエンジン回転速度センサ102が本発明でいう回転速度検出手段（排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号（エンジン回転速度に応じた信号）を出力する回転速度検出手段）に相当することになる。

[0062] この各気筒#1～#4間での燃料の燃焼状態のバラツキの診断は、前記エンジンECU100によって行われる。このため、このエンジンECU100における、前記燃焼状態のバラツキの診断を実行する機能部分が本発明でいう燃焼状態診断部に相当する。つまり、このエンジンECU100が本発明に係る診断装置の一例である。

[0063] 先ず、本発明に係る燃焼状態のバラツキの診断手法の理解を容易にするために、当該診断手法の原理について説明する。また、以下の説明では各気筒#1～#4における燃料の燃焼状態のバラツキの診断の一形態として、各インジェクタ52, 52, …からの燃料噴射量（本発明でいう燃料の燃焼に関

連する状態量)のバラツキの診断を例に挙げて説明する。

[0064] 先ず、前記ターボ回転速度センサ104から出力された信号をF/V変換器110によって変換することで周波数データとなったターボ回転速度信号を次数分析し、それを解析することで、各気筒#1~#4から排出された排気ガスによりターボチャージャ40のタービンホイール42に与えられたエネルギーの量を評価する。このエネルギーは、各気筒#1~#4の燃焼室11, 11, ...での燃料の燃焼によって得られたものである。

[0065] 本実施形態におけるエンジン1の場合、燃焼周波数 f_{cmb} は以下の式(1)によって算出される。

[0066] [数1]

$$f_{cmb} = \frac{z \cdot N_t}{2} \quad \dots (1)$$

[0067] この式(1)におけるZは気筒数、 N_t はターボチャージャ40の回転速度、「2」はエンジン1の1サイクル当たりの回転回数である。

[0068] なお、ターボチャージャ40の回転速度はエンジン1の回転速度に応じて変動する。つまり、エンジン1の排気行程によって燃焼室11から排出された排気ガスがターボチャージャ40のタービンホイール42に達した時点でターボチャージャ40の回転速度は上昇し、それ以外の期間ではターボチャージャ40の回転速度は下降することになる。このため、ターボチャージャ40の回転速度の変動の周期はエンジン1の回転速度に相関がある。従って、前記式(1)におけるターボチャージャ40の回転速度 N_t をエンジン1の回転速度 N_e に置き換えることによっても燃焼周波数 f_{cmb} を算出することが可能である。

[0069] そして、燃料の燃焼に伴う各種変動を評価するために、前記式(1)で算出された燃焼周波数 f_{cmb} を「4」、「2」、「1.5」、「1」でそれぞれ除算した下記の式(2)~式(5)によって4種類の周波数F1、F2、F3、F4を得る。つまり、周波数F1は燃焼周波数 f_{cmb} をエンジン1の気筒数で

除算した周波数であり、周波数 F_2 は燃焼周波数 f_{cmb} をエンジン 1 の気筒数の「 $1/2$ 」の値で除算した周波数である。

[0070] [数2]

$$F_1 = f_{cmb} / 4 \quad \dots (2)$$

$$F_2 = f_{cmb} / 2 \quad \dots (3)$$

$$F_3 = f_{cmb} / 1.5 \quad \dots (4)$$

$$F_4 = f_{cmb} \quad \dots (5)$$

[0071] 図 2 は、4 気筒のうち 1 気筒のみでの燃料噴射量（インジェクタ 5 2 からの燃料噴射量）を他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合の周波数 $F_1 \sim F_4$ の大きさ（以下、強度という場合もある）を比較するグラフである。この図 2 に示すグラフは、実験またはシミュレーションによって得られた各周波数 $F_1 \sim F_4$ の強度を棒グラフで表したものである。

[0072] この図 2 は、1 気筒のみでの燃料噴射量を他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量（他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量は互いに略同一）よりも多くした場合の例として 3 段階、1 気筒のみでの燃料噴射量を他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量よりも少なくした場合の例として 3 段階、および、全ての気筒での燃料噴射量を同一とした場合のそれぞれについて、実験またはシミュレーションを行った結果を示している。図中の「a」「b」「c」は、1 気筒のみでの燃料噴射量を他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量よりも多くした場合であって、「c」「b」「a」の順で気筒間での燃料噴射量の乖離量（前記 1 気筒での燃料噴射量と他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量との乖離量）を多くしている。また、図中の「e」「f」「g」は、1 気筒のみでの燃料噴射量を他の 3 気筒それぞれでの燃料噴射量よりも少なくした場合であって、「e」「f」「g」の順で気筒間での燃料噴射量の乖離量を多くしている。なお、図中の「d」は、全ての気筒での燃料噴射量を同一とした場合である。

- [0073] また、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量（他の2気筒それぞれでの燃料噴射量は互いに略同一）と異なるものとした場合の周波数 $F_1 \sim F_4$ も図2に示したものと同様となっていた。例えば、燃焼行程の順序が第1番気筒#1→第3番気筒#3→第2番気筒#2→第4番気筒#4であった場合、第1番気筒#1および第3番気筒#3それぞれでの燃料噴射量を、第2番気筒#2および第4番気筒#4それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合などが挙げられる。
- [0074] 図2に示すように、1気筒のみでの燃料噴射量を他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合や、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合には、ターボチャージャ40の回転速度の変動は、 F_1 に大きく現れることになる。これは、4つの気筒#1～#4の1サイクル中に1回のみ回転変動が生じるため、燃焼周波数 f_{cmb} を「4」で除算した F_1 に、この回転変動の影響が大きく現れたものである。より具体的に、1気筒のみでの燃料噴射量を他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合や、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合には、ターボチャージャ40の回転速度の変動は F_1 および F_2 にそれぞれ現れるが、 F_1 の大きさ（強度）は F_2 の大きさに比べて大幅に大きくなっている。
- [0075] 一方、図3は、4気筒のうち燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合の周波数 $F_1 \sim F_4$ の強度を比較するグラフである。例えば、燃焼行程の順序が第1番気筒#1→第3番気筒#3→第2番気筒#2→第4番気筒#4であった場合、第1番気筒#1および第2番気筒#2それぞれでの燃料噴射量を、第3番気筒#3および第4番気筒#4それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合などが挙げられる。この図3に示すグラフも、実験またはシミュレーションによって得られた各周波数 $F_1 \sim F_4$ の強度を棒グラフで表したものである。

[0076] この図3は、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量（他の2気筒それぞれでの燃料噴射量は互いに略同一）よりも多くした場合の例として3段階、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量よりも少なくした場合の例として3段階、および、全ての気筒での燃料噴射量を同一とした場合のそれぞれについて、実験またはシミュレーションを行った結果を示している。図中の「a」「b」「c」は、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量よりも多くした場合であって、「c」「b」「a」の順で気筒間での燃料噴射量の乖離量（燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量と他の2気筒それぞれでの燃料噴射量との乖離量）を多くしている。また、図中の「e」「f」「g」は、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量よりも少なくした場合であって、「e」「f」「g」の順で気筒間での燃料噴射量の乖離量を多くしている。なお、図中の「d」は、全ての気筒での燃料噴射量を同一とした場合である。

[0077] 図3に示すように、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合には、ターボチャージャ40の回転速度の変動は、F1に比べてF2の方が強くなる。これは、4つの気筒#1～#4の1サイクル中に2回の回転変動が生じるため、燃焼周波数 f_{cmb} を「2」で除算したF2に、この回転変動の影響が大きく現れたものである。

[0078] 以上のようにして得られた周波数特性をフーリエ級数に展開し、その特性を複素平面上にプロットすると、前述した各場合（1気筒のみでの燃料噴射量を他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合）それぞれに特有の作動点が現れる。

- [0079] 図4は、前記周波数F1の周波数特性をフーリエ級数に展開し複素平面上にプロットした作動点を示している。全ての気筒での燃料噴射量が同一である場合の作動点は、この複素平面上の原点に位置することになる（図4における「●」を参照）。
- [0080] これに対し、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合には、作動点は複素平面上の原点には位置せず、燃料噴射量に乖離が生じている気筒、および、その乖離量に応じた位置となる。
- [0081] 図4の「○」は、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合であって、第1番気筒#1での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して少なくなっている場合の作動点を表している。また、この作動点における原点からの距離Lは燃料噴射量の乖離量（第1番気筒#1での燃料噴射量と他の3気筒それぞれでの燃料噴射量との乖離量）を表している。なお、第4番気筒#4での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して多くなっている場合にも同様の作動点として現れる。以下の説明では、本発明の技術の理解を容易にするために、特定の気筒における燃料噴射量が他の気筒における燃料噴射量よりも少なくなっている場合を例に挙げて説明する。
- [0082] 図4に示すように、第3番気筒#3での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して多くなっている場合または第2番気筒#2での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して少なくなっている場合には、作動点は複素平面の第1象限において破線で示す作動線上に現れる。また、第1番気筒#1での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して多くなっている場合または第4番気筒#4での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して少なくなっている場合には、作動点は複素平面の第2象限において破線で示す作動線上に現れる。また、第2番気筒#2での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して多くなっている場合または第3番気筒#3での燃料噴射量が他の3気筒それぞれで

の燃料噴射量に対して少なくなっている場合には、作動点は複素平面の第3象限において破線で示す作動線上に現れる。さらに、図4の「○」に示すように、第4番気筒#4での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して多くなっている場合または第1番気筒#1での燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量に対して少なくなっている場合には、作動点は複素平面の第4象限において破線で示す作動線上に現れる。このため、原点から作動点に向かうベクトルにおいて、このベクトルが複素平面の座標軸（例えば実数部の座標軸）との成す角度（図4における角度 β ）によって作動点の象限が特定されるので、この角度 β によって燃料噴射量に乖離が生じている気筒（燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている一つの気筒）を、ある程度絞り込む（2気筒に絞り込む）ことができる。また、このベクトルの長さ（図4における長さL）によって燃料噴射量の乖離量（1気筒と他の3気筒それぞれとの燃料噴射量の乖離量）を求めることが可能となる。つまり、前記ベクトルにおける複素平面の座標軸との成す角度に基づいて、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定し、ベクトル長さに基づいて、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量（本実施形態では燃料噴射量）と他の気筒における当該状態量（燃料噴射量）との偏差を特定することが可能となっている（本発明でいう燃焼状態診断部の機能）。

[0083] なお、前記角度 β は機関回転速度に応じて変化する。このため、作動点が存在する象限の位置と、燃料噴射量に乖離が生じている気筒との関係が適切に得られるように、予め実験などによって機関回転速度に応じた角度補正量を求めておき、この角度補正量だけベクトルの向き（各作動線の傾き）を補正しておくことが好ましい。例えば、本実施形態の場合にあっては、機関回転速度が高いほどベクトルの向きは図4における時計回り方向に移行することになる。

[0084] 図5は、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合であって、作動点「□」は

、第1番気筒#1での燃料噴射量および第3番気筒#3での燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量に対して少なくなっている場合であり、且つ第1番気筒#1での燃料噴射量と第3番気筒#3での燃料噴射量とが略同一である（第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量と第3番気筒#3での燃料噴射量の減少量とが略同一である）場合の作動点を表している。この場合、作動点「□」は何れの作動線上にも位置しないため、原点からこの作動点「□」に向かうベクトルを、第3象限側のベクトル（第3象限における作動線上のベクトルであって、原点から作動点「◇」に向かうベクトル）と第4象限側のベクトル（第4象限における作動線上のベクトルであって、原点から作動点「○」に向かうベクトル）とに分解する。第3象限側に分解されたベクトルは、第3番気筒#3での燃料噴射量が、第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対して少なくなっていることを表しており、このベクトルの長さは、第3番気筒#3での燃料噴射量と、第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量との乖離量に相当する。同様に、第4象限側に分解されたベクトルは、第1番気筒#1での燃料噴射量が、第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対して少なくなっていることを表しており、このベクトルの長さは、第1番気筒#1での燃料噴射量と、第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量との乖離量に相当する。

[0085] つまり、図5における角度 $\beta 1$ が、第3番気筒#3での燃料噴射量が第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対して少なくなっていることを表しており、角度 $\beta 2$ が、第1番気筒#1での燃料噴射量が第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対して少なくなっていることを表している。そして、第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量と第3番気筒#3での燃料噴射量の減少量とが略同一であるため、原点から作動点「□」に向かうベクトルの角度 β は、これら角度 $\beta 1$ および角度 $\beta 2$ の中間の角度となる。このため、第3番気筒#3での燃料噴射量と第1番気筒#1での燃料噴射量とが互いに異なっている場合には、原点から作動点「□」に向か

うベクトルの角度 β も、それに応じて異なることになる。

[0086] 図5における作動点「 Δ 」は、第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量（第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対する乖離量）と第3番気筒#3での燃料噴射量の減少量（同じく第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対する乖離量）との比を2:3とした場合のものであり、原点から作動点「 Δ 」に向かうベクトルの角度は、この比に対応したもとなっている。また、このベクトルを各作動線上のベクトルに分解することで、第1番気筒#1および第3番気筒#3それぞれの乖離量（第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対する乖離量）を算出することができる。

[0087] 同様に、図5における作動点「 \blacktriangle 」は、第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量と第3番気筒#3での燃料噴射量の減少量との比を5:2とした場合のものであり、原点から作動点「 \blacktriangle 」に向かうベクトルの角度は、この比に対応したもとなっている。この場合も、このベクトルを各作動線上のベクトルに分解することで、第1番気筒#1および第3番気筒#3それぞれの乖離量（第2番気筒#2および第4番気筒#4での燃料噴射量に対する乖離量）を算出することができる。

[0088] このように、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合には、F1の複素平面における作動角 β が両気筒での燃料噴射量の比を表し、ベクトル長さが噴射量の乖離量を表している。

[0089] 図6は、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合であって、作動点「 Δ 」は、第1番気筒#1での燃料噴射量が第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量と異なり、第4番気筒#4での燃料噴射量が第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量と異なっている場合を表している。この場合、原点から作動点「 Δ 」に向かうベクトルの長さが、第1番気筒#1での燃料噴射量と第4番気筒#4での燃料噴射量との偏差に相当する

ことになる。具体的に、第1番気筒#1での燃料噴射量および第4番気筒#4での燃料噴射量が共に第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量よりも少なくなっている場合において、第1番気筒#1での燃料噴射量が第4番気筒#4での燃料噴射量よりも少ない場合（第1番気筒#1での燃料噴射減少量が多い場合）には、作動点は第4象限に現れる（作動点「△」を参照）。そして、第1番気筒#1での燃料噴射量と第4番気筒#4での燃料噴射量との偏差によって作動点の位置は作動線上で異なった位置となる。一方、第1番気筒#1での燃料噴射量および第4番気筒#4での燃料噴射量が共に第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量よりも少なくなっている場合において、第4番気筒#4での燃料噴射量が第1番気筒#1での燃料噴射量よりも少ない場合（第4番気筒#4での燃料噴射減少量が多い場合）には、作動点は第2象限に現れる（作動点「□」を参照）。そして、第1番気筒#1での燃料噴射量と第4番気筒#4での燃料噴射量との偏差によって作動点の位置は作動線上で異なった位置となる。

[0090] つまり、図6において原点から作動点「△」に向かうベクトルの角度 β （実数部の座標軸からの角度）が、第1番気筒#1での燃料噴射量が第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量と異なっており、第4番気筒#4での燃料噴射量が第2番気筒#2および第3番気筒#3での燃料噴射量と異なっていることを表しており、このベクトル長さが、第1番気筒#1での燃料噴射量と第4番気筒#4での燃料噴射量との偏差を表している。この図6における作動点「△」は、第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量と第4番気筒#4での燃料噴射量の減少量との比を5：1とした場合のものである。

[0091] また、図6における作動点「□」は、第1番気筒#1での燃料噴射量の減少量と第4番気筒#4での燃料噴射量の減少量との比を3：5とした場合のものである。

[0092] このように、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量を他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なるものとした場合には、複素平面にお

ける作動角 β が各気筒を特定し、ベクトル長さが各気筒での噴射量の偏差を表している。

[0093] なお、このように作動点が作動線上に位置している場合、この作動点の位置のみでは、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっているのか（図4を参照）、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっているのか（図6を参照）を判別することはできないが、この両者では、図2および図3で示したように、周波数 F_1 、 F_2 の大小関係が逆転している。つまり、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合には、 F_1 の大きさが F_2 の大きさに比べて大きくなる。これに対し、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合には、 F_2 の大きさが F_1 の大きさに比べて大きくなる。このように、作動点の位置および周波数 F_1 、 F_2 の大きさを比較することで、前記判別（1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっているのか、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっているのかの判別）が可能である。

[0094] なお、本実施形態では4気筒エンジンを例に挙げているため、燃焼行程が連続しない2気筒は、ピストンの往復移動の位相が同一であって且つ燃焼行程がクランク角度で 360° の位相差を有したものとなっている。他の気筒数（例えば6気筒など）のエンジンにあっても、本発明でいう「燃焼行程が連続しない複数の気筒」とは、ピストンの往復移動の位相が同一であって且つ燃焼行程がクランク角度で互いに異なる位相のものである。一例として、6気筒エンジンにおいて、燃焼行程の順序が第1番気筒#1→第5番気筒#5→第3番気筒#3→第6番気筒#6→第2番気筒#2→第4番気筒#4であった場合には、例えば第1番気筒#1と第6番気筒#6とが、ここでいう燃焼行程が連続しない2気筒となる。

[0095] <総燃料噴射量の診断の原理>

また、本実施形態における燃焼状態診断としては、前述した各気筒#1～#4間での燃料噴射量のバラツキの診断だけでなく、各気筒#1～#4それぞれの1サイクルにおいてインジェクタ52, 52, …から噴射された燃料の噴射総量（以下、総燃料噴射量という）の診断も行うようにしている。以下、この総燃料噴射量の診断の原理について説明する。

[0096] 前記周波数F4は燃焼周波数 f_{cmb} に一致しているため前記総燃料噴射量と強い相関がある。このため、この周波数F4に基づいて前記総燃料噴射量を求めることが可能である。

[0097] この総燃料噴射量は、図7に示すマップ（総燃料噴射量算出マップ）に従って求められる。この総燃料噴射量算出マップは、周波数F4の強度および機関回転速度をパラメータとして総燃料噴射量 Q_{all} を求めるものである。同一機関回転速度であっても周波数F4の強度が高いほど総燃料噴射量 Q_{all} は大きな値として求められ、周波数F4の強度が同一であっても機関回転速度が低いほど総燃料噴射量 Q_{all} は大きな値として求められることになる。このマップは、予め実験やシミュレーションによって作成されて前記エンジンECU100のROMに記憶されている。

[0098] このように総燃料噴射量の診断は、前記エンジンECU100によって行われる。このため、このエンジンECU100における、前記総燃料噴射量の診断（総燃料噴射量に基づいた各気筒での燃料の燃焼状態の診断）を実行する機能部分が本発明でいう燃焼状態診断部（過給機回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性、および、内燃機関回転速度検出手段から出力された信号に基づいて算出された機関回転速度をパラメータとして、内燃機関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を演算することで各気筒での燃料の燃焼状態を診断する燃焼状態診断部）に相当する。

[0099] 以上が本実施形態に係る燃焼状態診断の概要である。

[0100] ー燃焼状態診断ー

次に、前述した診断手法の原理を用いて実際に燃焼状態を診断し、その診断の結果に応じて燃料噴射量を補正する場合の手順について説明する。

[0101] <総燃料噴射量の診断動作および補正動作>

先ず、前記総燃料噴射量の診断動作および補正動作について図8のフローチャートに沿って説明する。このフローチャートは、エンジン1のスタートスイッチがONされた後、所定時間毎に繰り返される。

[0102] 先ず、ステップST1において、ターボチャージャ40の瞬時回転速度を取得する。具体的には、前記ターボ回転速度センサ104から出力された信号（サイン波または矩形波）をF/V変換器110によって周波数変換し、これにより、ターボチャージャ40の瞬時回転速度を取得する。

[0103] その後、ステップST2において、前記式（5）によって算出されている周波数F4を取得する。

[0104] 周波数F4を取得した後、ステップST3において、前記図7の総燃料噴射量算出マップを用いて総燃料噴射量 Q_{all} を算出する。具体的には、前記ターボチャージャ40の瞬時回転速度の情報をエンジンECU100に送信し、周波数分析データのうち、F4データを基に、前記総燃料噴射量算出マップを用いて総燃料噴射量 Q_{all} を算出する。

[0105] 次に、ステップST4において、以下の式（6）により、この総燃料噴射量 Q_{all} に基づき、各気筒#1～#4それぞれに均等に燃料が噴射されていると仮定した場合の各インジェクタ52, 52, …からの燃料噴射量（平均燃料噴射量） Q_{ave} を算出する。

[0106] [数3]

$$Q_{ave} = \frac{Q_{all}}{Z} \quad \dots (6)$$

[0107] その後、ステップST5において、燃料噴射量の乖離量 ΔQ_{tgt} を算出する。前記エンジンECU100は、前記出力操作部材101の操作量に応じて、インジェクタ52, 52, …からの燃料噴射量として目標噴射量 Q_{tgt} を演算している。このステップST5では、前記式（6）で算出された平均燃料噴射量 Q_{ave} から前記目標噴射量 Q_{tgt} を減算することでこの両者の乖離量 ΔQ_{tgt} を算出する（式（7））。

[0108] [数4]

$$\Delta Q_{tgt} = Q_{ave} - Q_{tgt} \quad \dots (7)$$

[0109] ステップS T 6では、この乖離量 ΔQ_{tgt} の絶対値が所定の閾値 Q_{th} を超えているか否かを判定する。この閾値 Q_{th} は、インジェクタ5 2からの燃料噴射量が過少になっている等の燃料供給装置5 0の異常の有無を判断するための値であって、予め実験やシミュレーションによって設定されている。

[0110] 乖離量 ΔQ_{tgt} の絶対値が前記閾値 Q_{th} を超えており、ステップS T 6でYES判定された場合には、ステップS T 7に移り、燃料供給装置5 0の異常、若しくは、燃料性状の著しい変化により失火が発生しているとして、ユーザに警告を発する。例えば、図示しない操作パネル上に警告表示を行ったり、音声による警告を発したりする。また、エンジンECU1 0 0のRAMに異常発生情報の書き込みを行う。

[0111] 一方、乖離量 ΔQ_{tgt} の絶対値が前記閾値 Q_{th} を超えておらず、ステップS T 6でNO判定された場合には、ステップS T 8に移り、各インジェクタ5 2, 5 2, …の燃料噴射量の補正を行う。つまり、前記乖離量 ΔQ_{tgt} が正の値であった場合には、各気筒
1 ~ # 4それぞれにおけるインジェクタ5 2, 5 2, …からの燃料噴射量を乖離量 ΔQ_{tgt} だけ減量する補正を行う。一方、乖離量 ΔQ_{tgt} が負の値であった場合には、各気筒# 1 ~ # 4それぞれにおけるインジェクタ5 2, 5 2, …からの燃料噴射量を乖離量 ΔQ_{tgt} だけ増量する補正を行う。これら燃料噴射量の補正は、例えばインジェクタ5 2, 5 2, …の開弁時間を変更する（増量補正する場合には、その増量補正量に応じて開弁時間を長くし、減量補正する場合には、その減量補正量に応じて開弁時間を短くする）ことによって行われる。

[0112] このようにして各インジェクタ5 2, 5 2, …の燃料噴射量の補正が行われると、各気筒# 1 ~ # 4それぞれにおける燃料噴射量は、以下の式(8)における $Q_{tgt\#cor}$ に収束していくことになる。

[0113] [数5]

$$Q_{tgt_cor} = Q_{ave} - \Delta Q_{tgt} \dots (8)$$

[0114] 以上の動作が繰り返されることにより、総燃料噴射量 Q_{all} が、エンジン 1 に要求される出力を得るための総燃料噴射量（目標噴射量 Q_{tgt} を気筒数倍した目標総燃料噴射量）に収束していくことになる。

[0115] このような総燃料噴射量の補正動作が行われるため、前記ステップ S T 4 ~ S T 8 の動作が本発明でいう燃料供給量補正部による動作（多気筒内燃機関の 1 サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を気筒数で除算して平均燃料供給量を求め、要求出力に応じて決定された各気筒での目標燃料供給量と平均燃料供給量との偏差分だけ各気筒毎に燃料供給量を補正する動作）に相当する。

[0116] なお、このような総燃料噴射量 Q_{all} の診断動作および補正動作は、機関負荷が上限値に達した際に行うことが好ましい。これは、部分負荷域において総燃料噴射量 Q_{all} を補正した場合、エンジン 1 の調速性が悪化する可能性があるためである。

[0117] 以上が、総燃料噴射量の診断動作および補正動作である。

[0118] <燃料噴射量のバラツキの診断動作および解消動作>

次に、各インジェクタ 5 2, 5 2, …の燃料噴射量のバラツキの診断動作およびバラツキの解消動作について図 9 のフローチャートに沿って説明する。このフローチャートも、エンジン 1 のスタートスイッチが ON された後、所定時間毎に繰り返される。

[0119] 先ず、ステップ S T 1 1 では、前記図 8 で示したフローチャートのステップ S T 1 の場合と同様にターボチャージャ 4 0 の瞬時回転速度を取得する。

[0120] その後、ステップ S T 1 2 に移り、前記式 (2) および式 (3) によってそれぞれ算出されている周波数 $F 1$, $F 2$ を取得する。

[0121] 周波数 $F 1$, $F 2$ を取得した後、ステップ S T 1 3 に移り、各インジェクタ 5 2, 5 2, …それぞれの燃料噴射量が互いに略同一であるか否かを判定

する。この判定動作として具体的には、前記周波数 F_1 、 F_2 の強度が共に略「0」となっているか否かを判定する。前述したように、全てのインジェクタ 52、52、…の燃料噴射量が同一である場合には、周波数 F_1 、 F_2 の強度は共に略「0」となるため（図2および図3を参照）、これらの強度を認識することによって、各インジェクタ 52、52、…それぞれの燃料噴射量が互いに略同一であるか否かを判定することができる。

[0122] また、別の判定手法として、前記周波数 F_1 、 F_2 それぞれの周波数特性をフーリエ級数に展開し複素平面上にプロットした作動点が複素平面上の原点に位置しているか否かを判定するようにしてもよい。前述したように、全てのインジェクタ 52、52、…の燃料噴射量が略同一である場合には、その作動点は複素平面上の原点に位置することになるので、この作動点が複素平面上の原点に位置しているか否かを認識することによって、各インジェクタ 52、52、…それぞれの燃料噴射量が互いに略同一であるか否かを判定することができる。

[0123] 各インジェクタ 52、52、…それぞれの燃料噴射量が互いに同一であり、ステップ S T 1 3 で Y E S 判定された場合には、燃料噴射量のバラツキを解消するための補正動作は必要ないとして、そのままリターンされる。

[0124] 一方、各インジェクタ 52、52、…それぞれの燃料噴射量が互いに略同一ではなく、ステップ S T 1 3 で N O 判定された場合にはステップ S T 1 4 に移り、周波数 F_1 、 F_2 それぞれの強度の比較を行う。具体的には、周波数 F_1 の強度が周波数 F_2 の強度よりも高いか否かを判定する。この判定は、「1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている、または、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている」状況であるのか、または、「燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている」状況であるのかを判別するためのものである。前述したように、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合や、燃焼行程が連続する2気筒それぞれ

での燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合には、ターボチャージャ40の回転速度の変動は、F1に大きく現れ、F1の大きさはF2の大きさに比べて大幅に大きくなる。これに対し、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合には、ターボチャージャ40の回転速度の変動は、F1に比べてF2の方が強くなる。

[0125] このため、周波数F1の強度が周波数F2の強度よりも高くなっており、ステップST14でYES判定された場合には、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている、または、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている状況であると判断できる。一方、周波数F2の強度が周波数F1の強度よりも高くなっており、ステップST14でNO判定された場合には、燃焼行程が連続しない2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている状況であると判断できる。

[0126] ステップST14でYES判定された場合には、ステップST15に移り、後述する診断方法1によって、各インジェクタ52, 52, …の燃料噴射量のバラツキの診断を行う。この診断方法1の具体的な手法については後述する。一方、ステップST14でNO判定された場合には、ステップST16に移り、後述する診断方法2によって、各インジェクタ52, 52, …の燃料噴射量のバラツキの診断を行う。この診断方法2の具体的な手法についても後述する。

[0127] 以下、各診断方法の具体的な手法について説明する。

[0128] 何れの診断方法においても、先ず、事前にエンジン回転速度に対する各気筒#1～#4それぞれにおける燃料噴射量変更時の作動基底ベクトルを実験または解析によって求めておく。この作動基底ベクトルは、一つの気筒におけるインジェクタ52の燃料噴射量を予め設定された単位噴射量だけ変化させた場合において、その燃料噴射量を変化させた気筒および変化量に対応するベクトル角度およびベクトル長さを前記複素平面上に表したものである。

図10は、第2番気筒#2での燃料噴射量を単位噴射量だけ減量させた場合の作動基底ベクトル $v \rightarrow_{ref\#i}$ を示している。つまり、この作動基底ベクトル $v \rightarrow_{ref\#i}$ は、第 i 気筒（図10では例えば第2番気筒#2）での燃料噴射量を変更した際の極座標上の原点と作動点とを結ぶベクトルを単位噴射量当たり整理したものとなっている。このため、実際の作動点が図10における「●」の位置であった場合には、前記作動基底ベクトル $v \rightarrow_{ref\#i}$ の長さを L_i 倍したベクトルが、この作動点「●」を現すベクトル（原点から作動点「●」に向かうベクトル）となる。つまり、前記単位噴射量の L_i 倍の燃料噴射量だけ第 i 気筒では燃料噴射量がずれていることになる。

[0129] 以下、前記診断方法1の具体的な手法について説明する。前述した如く、診断方法1は、周波数 F_1 の強度が周波数 F_2 の強度よりも高くなっており、「1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている、または、燃焼行程が連続する2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている」状況であると判定された場合に実行される。

[0130] この診断方法1では、先ず、前記周波数 F_1 成分を抽出し、複素平面上に実測の作動点（以下、実測作動点という場合もある）をプロットする。図11は実測作動点が座標 (β_{act}, L_{act}) にプロットされた場合を示している。

[0131] そして、複素平面上の原点から実測作動点 (β_{act}, L_{act}) に向かう実測作動点ベクトル $V \rightarrow_{act}$ を求め、この実測作動点ベクトル $V \rightarrow_{act}$ を、この実測作動点ベクトル $V \rightarrow_{act}$ を挟む各作動線上に分解する。つまり、2つの気筒 i, j を対象とする作動点ベクトル $V \rightarrow_{act\#i}, V \rightarrow_{act\#j}$ に分解する。この分解して得られた2方向のベクトル $V \rightarrow_{act\#i}, V \rightarrow_{act\#j}$ のスカラー量を求め、事前に求めた相関式を利用して各気筒 i, j での燃料噴射量のずれ量（他の気筒における燃料噴射量からのずれ量） $\Delta Q_i, \Delta Q_j$ を算出する。

[0132] なお、前記気筒 i を対象とする作動点ベクトル $V \rightarrow_{act\#i}$ 、作動基底ベクトル $v \rightarrow_{ref\#i}$ 、スカラー量 L_i との間には以下の式(9)の関係があり、この式(9)からスカラー量 L_i を算出することが可能である。

[0133] [数6]

$$\vec{V}_{act_i} = L_i \cdot \vec{V}_{ref_i} \quad \dots (9)$$

[0134] 以上の診断方法1の手法を図11を用いて具体的に説明する。

[0135] 図11に示すように、実測作動点ベクトルが $V \rightarrow_{act}$ であった場合、この実測作動点ベクトル $V \rightarrow_{act}$ を、気筒 i 、 j を対象とする作動点ベクトル $V \rightarrow_{act\#i}$ 、 $V \rightarrow_{act\#j}$ に分解し、これら各ベクトルの $V \rightarrow_{act\#i}$ 、 $V \rightarrow_{act\#j}$ のスカラー量（補正前のスカラー量）を以下の式（10）（11）によって算出する。ここで、 $L_{act\#i}$ は第 i 気筒での燃料噴射量のずれ量に相当するスカラー量である。また、 $L_{act\#j}$ は第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量に相当するスカラー量である。また、 $\beta_{ref\#i}$ は実数部の座標軸からの作動点ベクトル $V \rightarrow_{act\#i}$ の角度であり、 $\beta_{ref\#j}$ は実数部の座標軸からの作動点ベクトル $V \rightarrow_{act\#j}$ の角度である。

[0136] [数7]

$$L_{act_i} = L_{act} \cdot \cos(\beta_{act} - \beta_{ref_i}) \quad \dots (10)$$

$$L_{act_j} = L_{act} \cdot \sin(\beta_{act} - \beta_{ref_i}) \quad \dots (11)$$

[0137] そして、これら燃料噴射量のずれ量を下記の式（12）（13）によって補正することによって第 i 気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_i および第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_j を算出する。

[0138] [数8]

$$\Delta Q_i = a \cdot L_{act_i} \quad \dots (12)$$

$$\Delta Q_j = a \cdot L_{act_j} \quad \dots (13)$$

[0139] 式（12）（13）における係数 a は、実験またはシミュレーションによって予め求められたものであって、例えば図12に示すようなスカラー量 L と実際の燃料噴射量のずれ量 ΔQ との関係を規定するものである。

[0140] なお、燃料噴射量のずれ量 ΔQ_i 、 ΔQ_j の算出にあたっては、前述した式に

よって行うものに代えて、予め作成されたずれ量算出マップによって抽出するようにしてもよい。さらに、前記係数 a は、実験またはシミュレーションに応じ、全気筒で同一の値であってもよいし、各気筒毎に個別の値が設定されていてもよい。

[0141] 次に、前記診断方法 2 の具体的な手法について説明する。前述した如く、診断方法 2 は、周波数 F_2 の強度が周波数 F_1 の強度よりも高くなっており、「燃焼行程が連続しない 2 気筒それぞれでの燃料噴射量が他の 2 気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている」状況であると判定された場合に実行される。

[0142] この診断方法 2 では、先ず、前記周波数 F_1 成分を抽出し、複素平面上に実測作動点をプロットする。図 13 は作動点が座標 (β_{act}, L_{act}) にプロットされた場合を示している。

[0143] F_1 の複素平面上の作動点から、対象となる 2 つの気筒を特定する。つまり、作動点が現れている複素平面上の象限によって 2 つの気筒を特定する。そして、何れかの気筒における燃料噴射量を増量または減量させ（図 13 に一点鎖線 $V \rightarrow 1$ で示すベクトルは第 i 気筒（第 2 気筒 # 2）を減量させた場合であり、一点鎖線 $V \rightarrow 2$ で示すベクトルは第 i 気筒（第 2 気筒 # 2）を増量させた場合である）、 F_1 成分が「0」となるようにする。つまり、前記作動点が複素平面上の原点に位置するようにする。この場合、当該 2 つの気筒での燃料噴射量のずれ量は一致したことになる。

[0144] そして、 F_2 の複素平面上において、作動点と燃料噴射量のずれ量との関係から、2 つの気筒のずれ量（2 つの気筒それぞれでの燃料噴射量を一致させた状態において、この燃料噴射量と、他の 2 つの気筒それぞれでの燃料噴射量とのずれ量）を算出する。そして、事前に求めておいた燃料噴射量補正値を考慮して各気筒における燃料噴射量のずれ量を算出する。

[0145] 以上の診断方法 2 の手法を図 13 ~ 図 15 を用いて具体的に説明する。

[0146] 図 13 に示すように、反位相にある気筒同士の燃料噴射量がずれている場合、どちらの気筒がどの程度ずれているかを特定することは難しい。そのた

め、事前に、互いに反位相となっている気筒同士（第 i 気筒と第 j 気筒）を組み合わせて、双方の燃料噴射量を同量だけ変更した場合の $F2$ の特性を把握する（図 15 を参照）。

[0147] この際、燃料噴射量の変化量に対する特性は直線にならない場合が想定されるので（図 14 を参照）、マップ形式でデータを採取して演算することが望ましい。つまり、事前計測において、燃料噴射量の変化量を増減両方向に複数ステップ採取し、その特性を図 15 に示すようにプロットしておく。そして、この場合の燃料噴射量のずれ量 ΔQ_{ij} と作動点の座標 (β_{ij}, L_{ij}) を保管しておく。

[0148] $F1$ の複素平面上に作動点をプロットする場合の動作としては、先ず、エンジン運転時における実測作動点を $F1$ の複素平面上にプロットする。この際、作動点は図 10 で得られた各気筒の作動線上に位置する。これは、図 13 に示すように、互いに反位相となっている気筒同士の燃料噴射量がずれている場合は、 β 方向には変化が生じないためである。仮に第 i 気筒での燃料噴射量のずれ量と第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量とが同量であった場合には、 $F1$ の複素平面上の作動点は原点から動かないことになる。

[0149] 燃料噴射量の変更動作としては、 $F1$ の複素平面上の作動点が原点と異なっている場合に、第 i 気筒および第 j 気筒のうちの何れかの気筒に供給する燃料噴射量を調整することで作動点を原点に導く。仮に第 i 気筒での燃料噴射量を調整した場合、作動点が原点に到達した際の補正噴射量 $\Delta Q_{i\#cor}$ を保存しておく。この時点で、対象気筒である第 i 気筒および第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量は等しくなっている。

[0150] 各気筒に共通のずれ量の特定にあたっては、 $F2$ の複素平面上に作動点をプロットし、その座標 $(\beta_{ij\#act}, L_{ij\#act})$ と、事前に得ていた燃料噴射量のずれ量の特性データから第 i 気筒および第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_{ij} を算出する。

[0151] 第 i 気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_i は以下の式 (14) によって算出することが可能である。また、第 j 気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_j は以下の

式（15）によって算出することが可能である。

[0152] [数9]

$$\Delta Q_i = \Delta Q_{ij} + \Delta Q_{i_cor} \quad \dots (14)$$

$$\Delta Q_j = \Delta Q_{ij} \quad \dots (15)$$

[0153] 以上が各診断方法である。

[0154] 図9のフローチャートに戻り、前記診断方法1または前記診断方法2によって第i気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_i および第j気筒での燃料噴射量のずれ量 ΔQ_j が算出された後、ステップST17に移り、以下の式（16）（17）によって、各気筒における燃料噴射量のバラツキを解消するための各気筒での燃料噴射量 $Q_{i\#cor}$ 、 $Q_{j\#cor}$ を算出する。式（16）は第i気筒での燃料噴射量のずれを解消するための燃料噴射量 $Q_{i\#cor}$ を求める式であり、式（17）は第j気筒での燃料噴射量のずれを解消するための燃料噴射量 $Q_{j\#cor}$ を求める式である。

[0155] [数10]

$$Q_{i_cor} = Q_i + \Delta Q_i \quad \dots (16)$$

$$Q_{j_cor} = Q_j + \Delta Q_j \quad \dots (17)$$

[0156] このようにして各気筒における燃料噴射量を算出した後、ステップST18に移り、この算出した燃料噴射量が得られるようにインジェクタ52の開弁時間を制御して燃料噴射を実行する。

[0157] なお、前述したように、本実施形態における燃料噴射量のバラツキの診断では、1気筒のみでの燃料噴射量が他の3気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合、ピストンが同位相で往復動し且つ燃焼行程が連続しない2つの気筒（例えば、第1番気筒#1と第4番気筒#4）の何れかの燃料噴射量に乖離が生じていると診断することができる。このため、実際の燃料噴射にあっては、前記算出した燃料噴射量で一方の気筒に対する燃料噴射を行い、これによって燃料噴射量のバラツキが解消されない場合には、この一方の

気筒に対する燃料噴射を戻し、他方の気筒に対して前記算出した燃料噴射量での燃料噴射を行うことになる。これは2気筒それぞれでの燃料噴射量が他の2気筒それぞれでの燃料噴射量と異なっている場合も同様である。

[0158] このような燃料噴射量のバラツキの解消動作が行われるため、前記ステップS T 1 7, S T 1 8の動作が本発明でいうバラツキ解消補正部による動作（各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消するように、各気筒毎に、燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正する動作）に相当する。

[0159] なお、コモンレール式の燃料供給装置50の場合、燃料噴射量は燃料圧力とインジェクタ52のソレノイド等への通電時間によって制御されるため、以下の式(18)(19)によって燃料噴射量のずれを解消するようにしてもよい。

[0160] [数11]

$$\tau_{i_cor} = \tau_i + \Delta\tau_{i_cor} \quad \dots (18)$$

$$\tau_{j_cor} = \tau_j + \Delta\tau_{j_cor} \quad \dots (19)$$

[0161] これら式(18)(19)における τ はインジェクタ52への通電時間（開弁時間に相当）である。つまり、 τ_i は第i気筒のインジェクタ52に対する現在（補正前）の開弁時間であり、 τ_j は第j気筒のインジェクタ52に対する現在（補正前）の開弁時間である。また、 $\Delta\tau_{i\#cor}$ は第i気筒におけるインジェクタ52の開弁時間の補正量であり、 $\Delta\tau_{j\#cor}$ は第j気筒におけるインジェクタ52の開弁時間の補正量である。また、 $\tau_{i\#cor}$ は第i気筒におけるインジェクタ52の補正後の開弁時間であり、 $\tau_{j\#cor}$ は第j気筒におけるインジェクタ52の補正後の開弁時間である。

[0162] 以上の動作が繰り返されることにより、各インジェクタ52, 52, …の燃料噴射量のバラツキが解消されることになる。

[0163] 本実施形態では、前述したように、総燃料噴射量の補正動作および各インジェクタ52, 52, …の燃料噴射量のバラツキの解消動作を行うことによ

り、各気筒#1～#4それぞれにおける燃料噴射量を適正に制御することが可能になる。つまり、各気筒#1～#4それぞれのインジェクタ52, 52, …の燃料噴射量をバラツキ無く前記目標噴射量 Q_{tgt} に合わせ込むことができる。このため、機関出力の低下の抑制、回転変動の減少、排気エミッションの改善等を図ることができる。

[0164] (変形例1)

次に、変形例1について説明する。本変形例は、前述した総燃料噴射量の診断動作および燃料噴射量のバラツキの診断動作それぞれの実行許可条件を規定するものである。つまり、実行許可条件が成立した場合に限り、前述した各診断動作を実行するようになっている。

[0165] 本発明は、各気筒#1～#4に対する燃料噴射量と排気ガスのエンタルピとターボチャージャ40の回転速度の変動量との間に相関があることを利用している。このため、これらの関係性を損なう状況が生じる運転条件では、診断動作に誤診断を招いてしまう可能性があるため、この診断動作の信頼性を確保するためには各診断動作の実行を許可する運転条件を制限することが好ましい。本変形例は、この運転条件を規定したものである。

[0166] 各診断動作の実行許可条件は、機関回転速度、機関負荷、冷却水温度、吸気圧力、排気圧力、吸気温度、大気圧力によって規定される。

[0167] なお、機関回転速度は、前記エンジン回転速度センサ102からの出力信号に基づいて算出される。機関負荷は、前記負荷状態検出部材103からの出力信号によって求められる。冷却水温度は、前記冷却水温度センサ105からの出力信号によって求められる。吸気圧力は、前記吸気圧力センサ106からの出力信号によって求められる。排気圧力は、前記排気圧力センサ107からの出力信号によって求められる。吸気温度は、前記吸気温度センサ108からの出力信号によって求められる。大気圧力は、前記大気圧力センサ109からの出力信号によって求められる。

[0168] そして、機関回転速度における前記各診断動作の実行許可条件は、機関回転速度が所定の下限速度以上であって且つ定常回転にある場合（例えば1s

e cの間、機関回転速度が変化しない場合)に成立する。これは、診断動作中に機関回転速度が変化した場合には、燃料噴射量も変化している可能性が高く、前記相関関係(各気筒#1~#4に対する燃料噴射量とターボチャージャ40の回転速度の変動量との間の相関関係)が変化して診断動作の信頼性の確保が難しくなることに鑑みて、各診断動作の実行を許可しないようにしたものである。なお、前記機関回転速度の下限速度は実験またはシミュレーションに基づいて設定される。

[0169] 冷却水温度における前記各診断動作の実行許可条件は、冷却水温度が所定温度(エンジン1の暖機完了温度)以上である場合に成立する。これは、冷却水温度が低い場合にはシリンダ内での熱損失が増大し、前述した燃料噴射量と排気ガスのエンタルピとターボチャージャ40の回転速度の変動量との間の相関関係が変化してしまうため、冷却水温度が所定温度以上である場合に実行許可条件を成立させるものである。また、冷却水温度が低い場合には、潤滑油温度も低く、ターボチャージャ40の軸受け回りの摩擦損失が大きくなり、前記相関関係が変化して診断動作の信頼性の確保が難しくなることに鑑みて、各診断動作の実行を許可しないようにしている。

[0170] 吸気圧力における前記各診断動作の実行許可条件は、吸気圧力が所定の圧損制限値以下である場合に成立する。これは、エアフィルタ23の目詰まり等の影響で、吸気圧力が低下した場合には診断動作の信頼性の確保が難しくなることに鑑みて、各診断動作の実行を許可しないようにしたものである。なお、前記吸気圧力の圧損制限値は実験またはシミュレーションに基づいて設定される。

[0171] 排気圧力における前記各診断動作の実行許可条件は、排気圧力が所定の制限値以下である場合に成立する。これは、排気浄化装置33(特にDPF)におけるスートの堆積量が多くなった場合、タービンホイール42の出口側の圧力が変化し診断動作の信頼性の確保が難しくなることに鑑みて、各診断動作の実行を許可しないようにしたものである。なお、前記排気圧力の制限値は実験またはシミュレーションに基づいて設定される。

[0172] 吸気温度における前記各診断動作の実行許可条件は、吸気温度が常温（例えば20℃～25℃程度）相当である場合に成立する。

[0173] 大気圧力における前記各診断動作の実行許可条件は、大気圧力が予め規定された所定圧力（例えば1000mb）以下である場合に成立する。

[0174] また、機関負荷にあつては、総燃料噴射量の診断動作の実行許可条件と、燃料噴射量のバラツキの診断動作の実行許可条件とは異なっている。具体的に、総燃料噴射量の診断動作の実行許可条件は、機関負荷が所定の下限負荷以上であつて且つ定常である場合（例えば1secの間、変化しない場合）に成立する。一方、燃料噴射量のバラツキの診断動作の実行許可条件は、機関負荷が所定の制限負荷であつて且つ定常である場合（例えば1secの間、変化しない場合）に成立する。これは、エンジン1の回転速度がローアイドル等であつて機関負荷が低い場合には、ターボチャージャ40の回転速度が低く、前述した燃料噴射量と排気ガスのエンタルピとターボチャージャ40の回転速度の変動量との間の相関関係が変化してしまうため、機関負荷が低い場合には診断動作の実行を許可しないようにしたものである。なお、前記機関負荷の下限負荷および制限負荷は実験またはシミュレーションに基づいて設定される。

[0175] 以上のようにして、総燃料噴射量の診断動作および燃料噴射量のバラツキの診断動作それぞれの実行許可条件を規定したことにより、診断動作の信頼性を十分に確保することが可能になり、この診断動作の診断結果に応じて行われる燃料噴射量の補正も適正に行うことが可能になる。

[0176] （変形例2）

次に、変形例2について説明する。本変形例は、前記EGR装置60の作動状態に応じて、前述した総燃料噴射量の診断動作および燃料噴射量のバラツキの診断動作それぞれの許可および禁止を切り替えるものである。

[0177] EGR装置60によって排気ガスの一部が吸気系20に還流されている場合、EGR率が一定であれば前記周波数F1～F3は殆ど影響を受けないが、周波数F4は大きく影響を受けることになる（EGR率とF4強度との関

係の一例を示す図16を参照)。これは、EGRガスによって吸気系20内を流れるガス量の変動し、燃料噴射量に対する気筒内での燃焼量に変化してターボチャージャ40の回転速度特性に影響を与えるためである。このように、周波数F4が変動してしまうと、前記総燃料噴射量の診断動作の信頼性を確保することが難しくなる。

[0178] このため、本変形例では、EGR率が「0」となっていることを総燃料噴射量の診断動作の実行許可条件として規定している。つまり、エンジンECU100からEGRバルブ62に出力されているバルブ開度指令信号が「開度0」となる信号である期間に限り総燃料噴射量の診断動作を許可するものとなっている。

[0179] また、前述したバラツキの診断動作に対しても、EGR率が「0」となっていることを診断動作の実行許可条件として規定しておく（EGR装置60による排気ガスの還流が停止していることを条件に各気筒#1～#4間での燃料の燃焼状態のバラツキ（燃料噴射量のバラツキ）を診断する）ことが、信頼性を十分に確保する点で好ましい。

[0180] 図17は、本変形例における制御の手順を示すフローチャート図である。このフローチャートも、エンジン1のスタートスイッチがONされた後、所定時間毎に繰り返される。

[0181] 先ず、ステップST21において、エンジン1が定常運転状態にあるか否かを判定する。ここでいう定常運転状態とは、エンジン1の運転始動時の制御動作（始動モード）や運転停止時の制御動作（停止モード）が行われていない状態をいう。

[0182] エンジン1が定常運転状態ではなく、ステップST21でNO判定された場合には、前記診断動作を実行することなく、そのままリターンされる。

[0183] 一方、エンジン1が定常運転状態であり、ステップST21でYES判定された場合には、ステップST22に移り、前述した診断動作の実行許可条件（前記変形例1を参照）が成立しているか否かを判定する。診断動作の実行許可条件が成立しておらず、ステップST22でNO判定された場合には

、前記診断動作を実行することなく、そのままリターンされる。

[0184] 一方、診断動作の実行許可条件が成立しており、ステップST22でYES判定された場合には、ステップST23に移り、EGRバルブ62を閉鎖させる。つまり、エンジンECU100からEGRバルブ62に向けて「開度0」のバルブ開度指令信号を出力し、EGRバルブ62を閉鎖させる。なお、このEGRバルブ62を閉鎖させる動作は、診断動作の実行許可条件が成立する度に行うようにしてもよいし、前回の診断動作から所定時間が経過した後に実行許可条件が成立した際に行うようにしてもよい。

[0185] このようにしてEGRバルブ62を閉鎖させた後、ステップST24に移り、前述した診断動作（総燃料噴射量の診断動作および燃料噴射量のバラツキの診断動作）を実行する。この診断動作については前記実施形態において説明したので、ここでの説明は省略する。なお、前述したように、機関負荷が上限値に達した際にのみ総燃料噴射量の診断動作を行うようにした場合には、エンジン1の運転が部分負荷域にある場合、このステップST24では燃料噴射量のバラツキの診断動作のみが実行されることになる。

[0186] この診断動作の実行の後、ステップST25に移り、診断の結果に応じた燃料噴射量の補正動作（総燃料噴射量の補正動作および燃料噴射量のバラツキ解消のための補正動作）を実行する。この燃料噴射量の補正動作についても前記実施形態において説明したので、ここでの説明は省略する。

[0187] 以上説明したように、本変形例では、EGR率が「0」となっていることを診断動作の実行許可条件として規定している。このため、診断動作の信頼性を十分に確保することが可能になり、この診断動作の診断結果に応じて行われる燃料噴射量の補正も適正に行うことが可能になる。

[0188] なお、本変形例にあっては、EGR率を算出しておき、このEGR率に応じて前記燃料噴射量の補正を行うようにしてもよい。つまり、排気圧力、吸気温度、EGRガス温度、EGRバルブ62の開度等をパラメータとしてEGR率を算出する。そして、EGR率と燃料噴射量の補正量との関係を予め実験またはシミュレーションによって把握してマップ化しておき、前記算出

したEGR率を、このマップに適用することによって燃料噴射量の補正を行う。この場合、エンジン1の運転状態に関わりなく（排気ガスが吸気系20に還流されている状況であっても）燃料噴射量を適正に補正することが可能である。

[0189] (変形例3)

次に、変形例3について説明する。本変形例は、前記ウエストゲートバルブ72を備えたターボチャージャ40や、可変容量機構を備えたVGT (Variable Geometry Turbo) に対し、これらウエストゲートバルブ72や可変容量機構を通過する排気ガス量を考慮して燃料噴射量の補正量を求めるようにしたものである。なお、可変容量機構の構成については公知であるため、ここでの説明は省略する。

[0190] 以下、ウエストゲートバルブ72を通過する排気ガス量を考慮した場合を例に挙げて説明する。

[0191] 先ず、ターボチャージャ40のタービンホイール42を通過する排気ガス量 G_{tur} は以下の式(20)によって算出することができる。

[0192] [数12]

$$G_{tur} = G_{exh} - G_{WG} = G_{air} + G_{fuel} - G_{WG} \dots (20)$$

[0193] ここで、図18（エンジン1の吸排気系における各部のガス量、ガス圧力、ガス温度を示す模式図）にも示すように、 G_{exh} は排気ガスの総量であり、 G_{WG} はウエストゲートバルブ72を通過する排気ガス量である。また、 G_{air} は吸入空気量であり、 G_{fuel} は燃料噴射量である。

[0194] 従って、エンジンECU100から出力される信号の指令値と、排気ガスの通路面積または排気ガス量との関係を把握しておけば、タービンホイール42を通過する排気ガス量 G_{tur} は算出することが可能である。

[0195] また、前記実施形態のような機械式のウエストゲートバルブ72を備えたエンジン1にあっては、タービンホイール42前後の排気ガスの流路を単純な絞りを有するガス流路系に置き換えると図19（ウエストゲートバルブ7

2 周辺のガス流路における断面積、ガス圧力、ガス温度を示す模式図) に示すようになる。

[0196] この場合、以下の式 (21) によってタービンホイール 4 2 出口側の流路面積 A_{out} を算出することができる。

[0197] [数13]

$$A_{out} = A_{tur} + A_{WG} \quad \dots (21)$$

[0198] ここで、 A_{tur} はタービンホイール 4 2 の入口側の流路面積であり、 A_{WG} はウエストゲートバルブ 7 2 の開度に応じた流路面積である。

[0199] この場合、ウエストゲートバルブ 7 2 の開度に応じた流路面積 A_{WG} は可変となっているので、これに連続の式およびエネルギー保存式を適用すると、タービンホイール 4 2 部分の合計流路面積 A_{out} は以下の式 (22) によって算出することができる。

[0200] [数14]

$$A_{out} = \frac{T_{DOC_in}}{P_{DOC_in}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{T_{exh}}{A_{in} \cdot P_{exh}}\right)^2 - \frac{2}{R^2 \cdot G_{exh}^2} \cdot \frac{\kappa \cdot R}{\kappa - 1} (T_{exh} - T_{DOCin}) + P_{TC}}} \quad \dots (22)$$

[0201] ここで、 P_{TC} はタービンホイール 4 2 の膨張仕事である。また、 $T_{DOC\#in}$ はタービンホイール 4 2 下流側における排気浄化装置 3 3 入口側の排気ガス温度、 $P_{DOC\#in}$ は排気浄化装置 3 3 入口側の排気ガス圧力、 T_{exh} はタービンホイール 4 2 入口側の排気ガス温度、 P_{exh} はタービンホイール 4 2 入口側の排気ガス圧力である。なお、 R は気体定数、 κ は比熱比である。

[0202] 事前に機関回転速度一定条件で投入熱量を変更した場合の流路面積 A_{out} を算出し、図 20 に示すように座標軸上にプロットすると、ウエストゲートバルブ 7 2 が開いていない運転領域では流路面積 A_{out} は一定値であり、燃料噴射量

の増加に伴いウエストゲートバルブ72の開度が大きくなっていくに従って流路面積 A_{out} は増加する特性が得られる。ここで、流路面積 A_{out} が一定となっている部分を等価タービン通過面積 A_{tur} 、可変部分を等価ウエストゲート通過面積 A_{WG} とみなす。

[0203] そして、最終的にタービン通過流量 G_{tur} は以下の式(23)の如く、両者の流路面積の比から算出することができる。

[0204] [数15]

$$G_{tur} = \frac{A_{tur}}{A_{out}} \cdot G_{exh} \quad \dots (23)$$

[0205] そして、燃料噴射量のずれ量の補正值 $Q_{cor\#WG}$ は以下の式(24)によって算出することができ、この補正值を前述した燃料噴射量の補正量に加算することになる。

[0206] [数16]

$$Q_{cor_WG} = \gamma \cdot G_{tur} \quad \dots (24)$$

[0207] なお、式(24)の γ は予め実験またはシミュレーションによって求められた変換係数である。

[0208] なお、可変容量機構を備えたターボチャージャ40にあっても、可変容量機構のノズルベーンの開度(排気ガス流路面積を変化させるノズルベーンの開度)に応じて前述と同様に燃料噴射量のずれ量の補正值を算出することが可能である。

[0209] このような補正動作を行うことにより、ウエストゲートバルブ72を備えたターボチャージャ40が搭載されたエンジン1やVGTが搭載されたエンジン1であっても燃料噴射量の補正を適正に行うことが可能になる。

[0210] (変形例4)

次に、変形例4について説明する。本変形例は、ターボチャージャ40と

して２ステージターボチャージャが備えられた場合である。

[0211] 図２１は、本変形例に係るエンジン１のターボチャージャ４０周辺の概略構成を示す図である。この図２１に示すように、ターボチャージャ４０は、高圧段ターボチャージャ４０aと低圧段ターボチャージャ４０bとを備えている。

[0212] 高圧段ターボチャージャ４０aは、吸気管２１において比較的下流側（低圧段ターボチャージャ４０bの低圧段コンプレッサホイール４１bよりも下流側）に配置されて吸気を過給する高圧段コンプレッサホイール４１aと、排気管３１において比較的上流側（低圧段ターボチャージャ４０bの低圧段タービンホイール４２bよりも上流側）に配置されて排気ガスの流体エネルギーにより回転する高圧段タービンホイール４２aとを備えている。これら高圧段コンプレッサホイール４１aと高圧段タービンホイール４２aとが回転軸４３aによって連結されている。

[0213] また、低圧段ターボチャージャ４０bは、吸気管２１において比較的上流側（高圧段ターボチャージャ４０aの高圧段コンプレッサホイール４１aよりも上流側）に配置されて吸気を過給する低圧段コンプレッサホイール４１bと、排気管３１において比較的下流側（高圧段ターボチャージャ４０aの高圧段タービンホイール４２aよりも下流側）に配置されて排気ガスの流体エネルギーにより回転する低圧段タービンホイール４２bとを備えている。これら低圧段コンプレッサホイール４１bと低圧段タービンホイール４２bとが回転軸４３bによって連結されている。

[0214] 本発明は、気筒毎の排気ブローダウン時のエネルギー脈動によってターボチャージャ４０の回転速度が変動する現象を利用している。このため、このエネルギー脈動の影響を大きく受けて回転速度の変動が大きく現れる高圧段ターボチャージャ４０aの回転速度に応じて前記診断動作を行うことが好ましい。

[0215] そのため、本変形例では、高圧段ターボチャージャ４０aの高圧段コンプレッサホイール４１aのブレードに対向して前記ターボ回転速度センサ１０

4が配置されている。この構成が、本発明でいう「ガス流れに対して直列に配設された複数の排気タービン過給機が備えられた多気筒内燃機関に対し、排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する回転速度検出手段が、高圧側の排気タービン過給機の近傍に配設され、この高圧側の排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する構成」に相当する。

[0216] このようなターボ回転速度センサ104の配設形態を採用することにより、2ステージターボチャージャを備えたエンジン1であっても、前記診断動作の信頼性を十分に確保することが可能になる。

[0217] ー他の実施形態ー

なお、前記実施形態および各変形例は、全ての点で例示であって、限定的な解釈の根拠となるものではない。従って、本発明の技術的範囲は、前記した実施形態および各変形例のみによって解釈されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて画定される。また、本発明の技術的範囲には、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内での全ての変更が含まれる。

[0218] 例えば、前記実施形態および各変形例では、船舶用のエンジン1に本発明を適用した場合について説明したが、その他の用途（例えば発電機用、車両用等）のエンジンに対しても本発明は適用が可能である。

[0219] また、前記実施形態および各変形例では、ディーゼルエンジン1に本発明を適用した場合について説明した。本発明はこれに限らず、ガソリンエンジン、ガスエンジン等の種々の多気筒内燃機関に適用可能である。また、燃料改質気筒および複数の出力気筒を備え、燃料改質気筒で改質された燃料を各出力気筒に供給して出力を得るようにした多気筒内燃機関に対しても本発明は適用可能である。

[0220] また、前記実施形態および各変形例では、機関回転速度、機関負荷、冷却水温度、吸気圧力、排気圧力、吸気温度、大気圧力それぞれの状態量に診断動作の実行許可条件を与え、全ての状態量が実行許可条件を満たした場合にのみ診断動作を許可するものとしていた。本発明はこれに限らず、前記各状態量のうちの一つ、または、前記各状態量のうちから選択された複数に診断

動作の実行許可条件を与え、その状態量が実行許可条件を満たした場合のみ診断動作を許可するものとしてもよい。

[0221] また、前記実施形態および各変形例では、各気筒#1～#4における燃料の燃焼状態のバラツキの診断の一形態として、各インジェクタ52, 52, …からの燃料噴射量のバラツキの診断を例に挙げて説明した。本発明はこれに限らず、各気筒#1～#4における燃料性状のバラツキや、燃焼温度のバラツキを診断するものとして利用することも可能である。

[0222] また、前記実施形態および各変形例では、エンジン1の運転中に診断動作を行い、その運転中に診断結果に応じた燃料噴射量の補正動作を行うようにしていた。本発明はこれに限らず、エンジン1の運転が終了した後に診断動作を行うものも技術的思想の範疇である。例えば、エンジン1の運転中に、エンジン1の回転速度情報およびターボチャージャ40の回転速度情報を取得してRAM等に記憶させておき、エンジン1の運転が終了した後に、この記憶させておいた各回転速度情報から総燃料噴射量の診断や燃料噴射量のバラツキの診断を行うものである。つまり、各回転速度情報のうち、診断の信頼性が十分に確保できる運転状態にある期間での情報のみを抽出し、その抽出した回転速度情報に基づいて総燃料噴射量の診断や燃料噴射量のバラツキの診断を行うものである。そして、次回のエンジン運転時に、前記診断結果に応じた制御（燃料噴射量の補正等）を行ったり、前記診断結果に応じてエンジン1のメンテナンスを行ったりする。

[0223] また、前記実施形態および各変形例では、ターボ回転速度センサ104をコンプレッサホイール41に対向して配置することでターボチャージャ40の回転速度を検出する構成としていた。本発明はこれに限らず、ターボ回転速度センサ104をタービンホイール42に対向して配置させたり（この場合、ターボ回転速度センサ104に高い耐熱性が要求される）、回転軸43に対向して配置させたりすることでターボチャージャ40の回転速度を検出する構成としてもよい。

[0224] また、前記実施形態および各変形例では、前記周波数特性をフーリエ級数

に展開し、その特性を複素平面上にプロットすることで作動点を求め、複素平面上の原点から作動点に向かうベクトルにおける複素平面の座標軸との成す角度に基づいて、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定し、ベクトル長さに基づいて、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量と他の気筒における当該状態量との偏差を特定するようにしていた。本発明は、必ずしも複素平面上のベクトルに基づいて燃料の燃焼状態のバラツキを診断する必要はなく、前記周波数特性をフーリエ級数に展開することで得られた値（前記複素平面上での作動点の値に相当）によって、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定し、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量と他の気筒における当該状態量との偏差を特定するようにしたものも技術的思想の範疇である。

[0225] この出願は、日本で2016年11月25日に出願された特願2016-228735号に基づく優先権を請求する。その内容はこれに言及することにより、本出願に組み込まれるものである。また、本明細書に引用された文献は、これに言及することにより、その全部が具体的に組み込まれるものである。

産業上の利用可能性

[0226] 本発明は、ターボチャージャを備えたエンジンにおける各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する装置、および、その診断の結果に応じてエンジンを制御する制御装置に適用可能である。

符号の説明

[0227] 1 エンジン（多気筒内燃機関）
20 吸気系
30 排気系
40 ターボチャージャ（排気タービン過給機）
40a 高圧段ターボチャージャ（高圧側の排気タービン過給機）
52 インジェクタ
60 EGR装置

- 7 2 ウエストゲートバルブ
- 1 0 0 エンジン E C U
- 1 0 2 エンジン回転速度センサ（回転速度検出手段、内燃機関回転速度検出手段）
- 1 0 3 負荷状態検出部材
- 1 0 4 ターボ回転速度センサ（回転速度検出手段、過給機回転速度検出手段）
- 1 0 5 冷却水温度センサ
- 1 0 6 吸気圧力センサ
- 1 0 7 排気圧力センサ
- 1 0 8 吸気温度センサ
- 1 0 9 大気圧力センサ
- # 1 ~ # 4 気筒

請求の範囲

- [請求項1] 排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断装置であって、
- 前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または当該排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号を出力する回転速度検出手段と、
- 前記回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断する燃焼状態診断部とを備えていることを特徴とする内燃機関の診断装置。
- [請求項2] 請求項1記載の内燃機関の診断装置において、
- 前記燃焼状態診断部は、前記高速フーリエ変換によって周波数解析して複素平面上に対応させた作動点を求め、当該複素平面上の原点から前記作動点に向かうベクトルの前記複素平面の座標軸との成す角度およびベクトル長さに基づいて、各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。
- [請求項3] 請求項2記載の内燃機関の診断装置において、
- 前記燃焼状態診断部は、前記ベクトルにおける前記複素平面の座標軸との成す角度に基づいて、燃料の燃焼状態が他の気筒とは異なっている気筒を特定し、前記ベクトル長さに基づいて、この特定された気筒における燃料の燃焼に関連する状態量と他の気筒における当該状態量との偏差を特定するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。
- [請求項4] 請求項1、2または3記載の内燃機関の診断装置において、
- 前記燃焼状態診断部は、前記回転速度検出手段から出力された信号により求められる燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数で除算した周波数の強度と、前記燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数の

「 $1/2$ 」の値で除算した周波数の強度とを比較し、前者の周波数の強度が後者の周波数の強度よりも高い場合には、各気筒のうち一つの気筒での燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっている、または、各気筒のうち燃焼行程が連続する複数の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっていると診断するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

[請求項5]

請求項1、2または3記載の内燃機関の診断装置において、

前記燃焼状態診断部は、前記回転速度検出手段から出力された信号により求められる燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数で除算した周波数の強度と、前記燃焼周波数を前記多気筒内燃機関の気筒数の「 $1/2$ 」の値で除算した周波数の強度とを比較し、後者の周波数の強度が前者の周波数の強度よりも高い場合には、各気筒のうちピストンが同位相で往復動し且つ燃焼行程が連続しない複数の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態が他の気筒それぞれでの燃料の燃焼状態と異なっていると診断するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

[請求項6]

請求項1～5のうち何れか一つに記載の内燃機関の診断装置において、

前記多気筒内燃機関の機関回転速度、機関負荷、冷却水温度、吸気圧力、排気圧力、吸気温度、大気圧力のうちの少なくとも一つの状態量に燃焼状態診断の実行許可条件が与えられており、

前記燃焼状態診断部は、前記燃焼状態診断の実行許可条件が成立している場合に、前記各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

[請求項7]

請求項1～6のうち何れか一つに記載の内燃機関の診断装置において、

前記多気筒内燃機関は、排気系の排気ガスを吸気系に還流させるE

G R 装置を備えており、

前記燃焼状態診断部は、前記 E G R 装置による排気ガスの還流が停止していることを条件に、前記各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

[請求項8] 請求項 1 ～ 7 のうち何れか一つに記載の内燃機関の診断装置において、

ガス流れに対して直列に配設された複数の排気タービン過給機が備えられた多気筒内燃機関に対し、排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する前記回転速度検出手段は、高圧側の排気タービン過給機の近傍に配設され、この高圧側の排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する構成となっていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

[請求項9] 排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断方法であって、

前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号または当該排気タービン過給機の回転速度の変動に相関のある信号の周波数特性を高速フーリエ変換によって周波数解析することにより各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを診断することを特徴とする内燃機関の診断方法。

[請求項10] 請求項 1 ～ 8 のうち何れか一つに記載の内燃機関の診断装置による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御装置であって、

各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消するように、各気筒毎に、燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正するバラツキ解消補正部を備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

[請求項11] 請求項 10 記載の内燃機関の制御装置において、

前記排気タービン過給機には、ウエストゲートバルブおよび可変容量機構のうち少なくとも一方が備えられており、前記バラツキ解消補

正部は、ウエストゲートバルブの開度または可変容量機構により調整される排気ガス流路面積に応じて前記制御量を補正するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

[請求項12] 請求項9記載の内燃機関の診断方法による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御方法であって、

各気筒間での燃料の燃焼状態のバラツキを解消するように、各気筒毎に、燃料の燃焼状態を変化させる制御量を補正することを特徴とする内燃機関の制御方法。

[請求項13] 排気タービン過給機を備えた多気筒内燃機関の各気筒それぞれにおける燃料の燃焼状態を診断する内燃機関の診断装置であって、

前記多気筒内燃機関の回転速度に応じた信号を出力する内燃機関回転速度検出手段と、

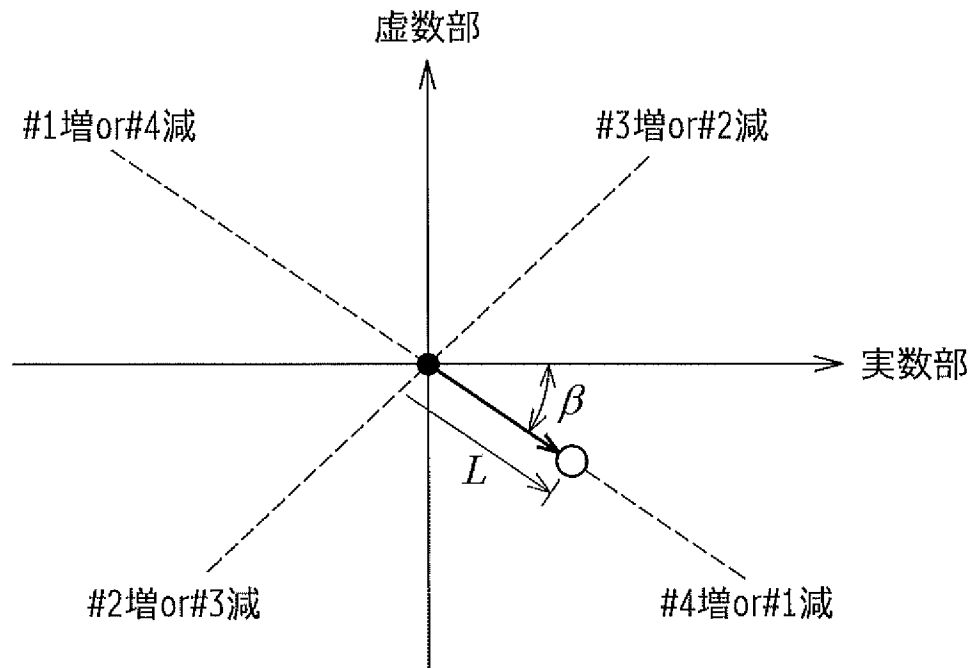
前記排気タービン過給機の回転速度に応じた信号を出力する過給機回転速度検出手段と、

前記過給機回転速度検出手段から出力された信号の周波数特性、および、前記内燃機関回転速度検出手段から出力された信号に基づいて算出された機関回転速度をパラメータとして、前記内燃機関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を演算することで各気筒での燃料の燃焼状態を診断する燃焼状態診断部とを備えていることを特徴とする内燃機関の診断装置。

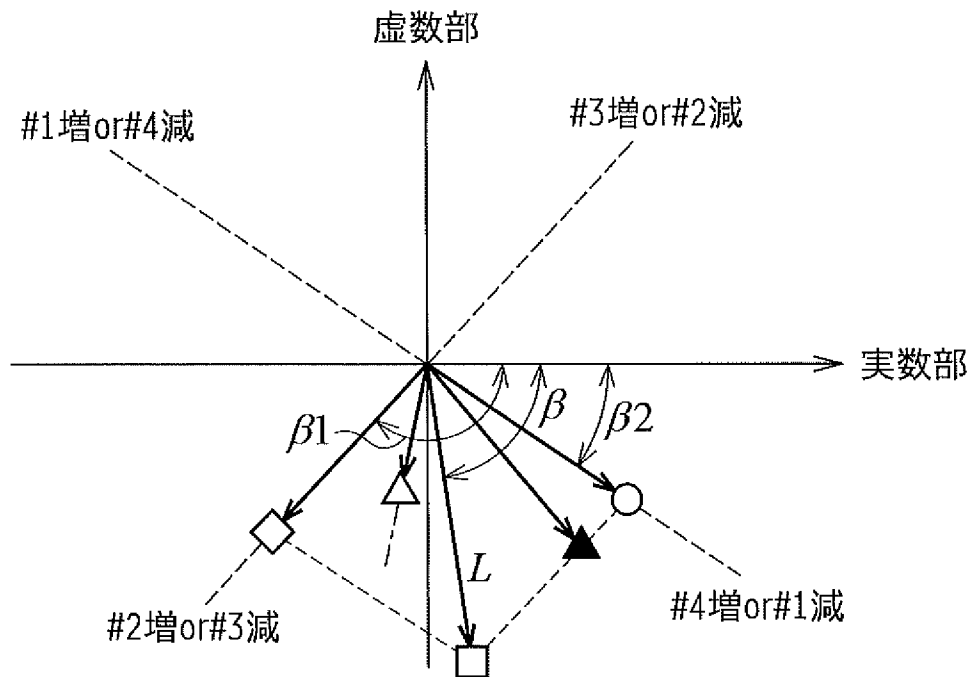
[請求項14] 請求項13記載の内燃機関の診断装置による診断結果に応じて内燃機関を制御する制御装置であって、

前記多気筒内燃機関の1サイクル中に各気筒に供給された総燃料供給量を気筒数で除算して平均燃料供給量を求め、要求出力に応じて決定された各気筒での目標燃料供給量と前記平均燃料供給量との偏差分だけ各気筒毎に燃料供給量を補正する燃料供給量補正部を備えていることを特徴とする内燃機関の制御装置。

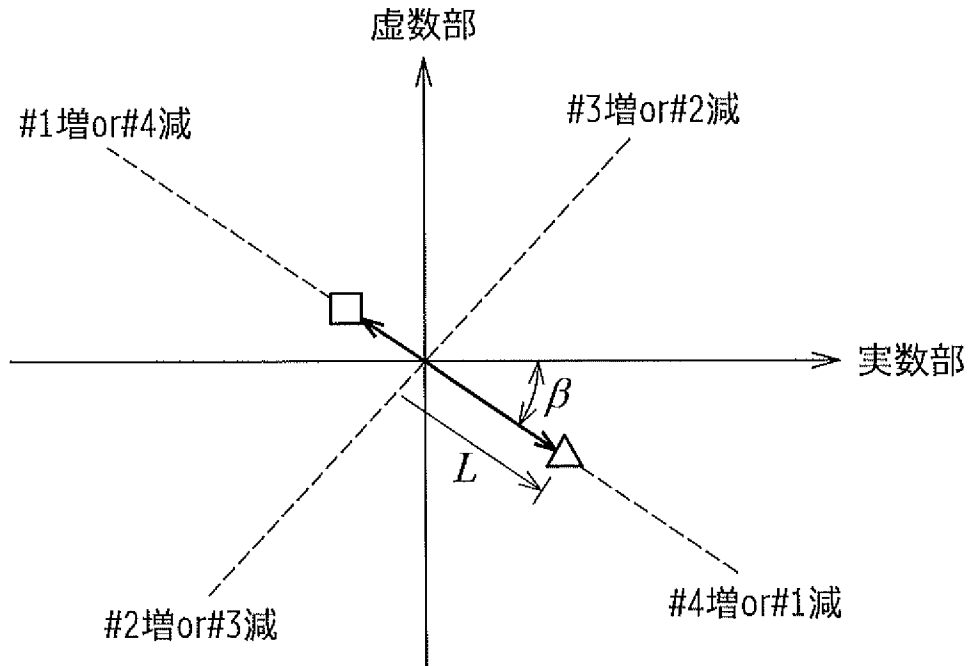
[図4]



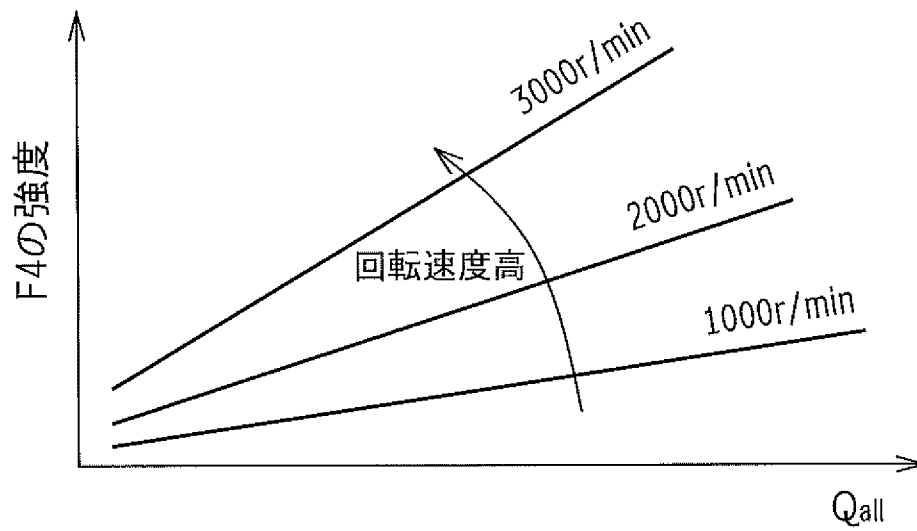
[図5]



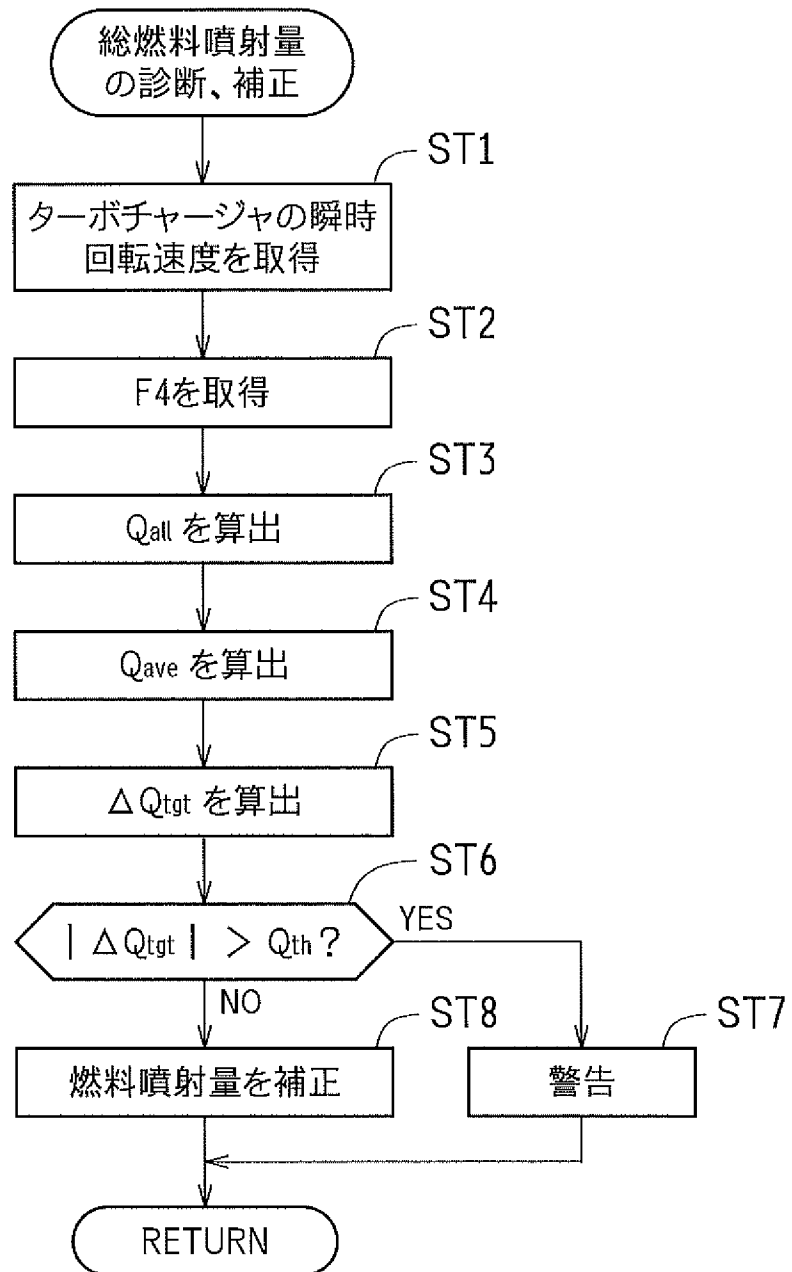
[図6]



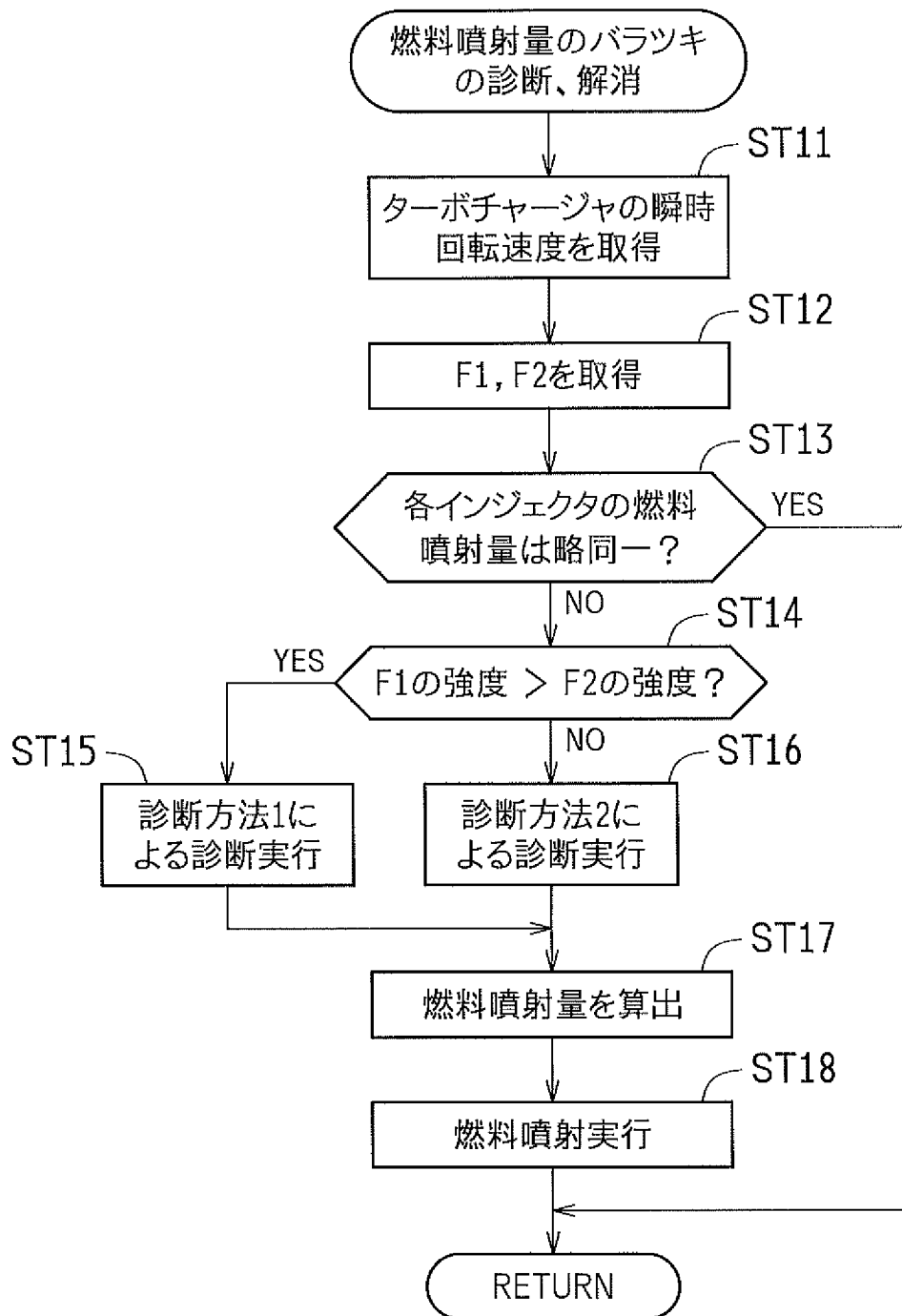
[図7]



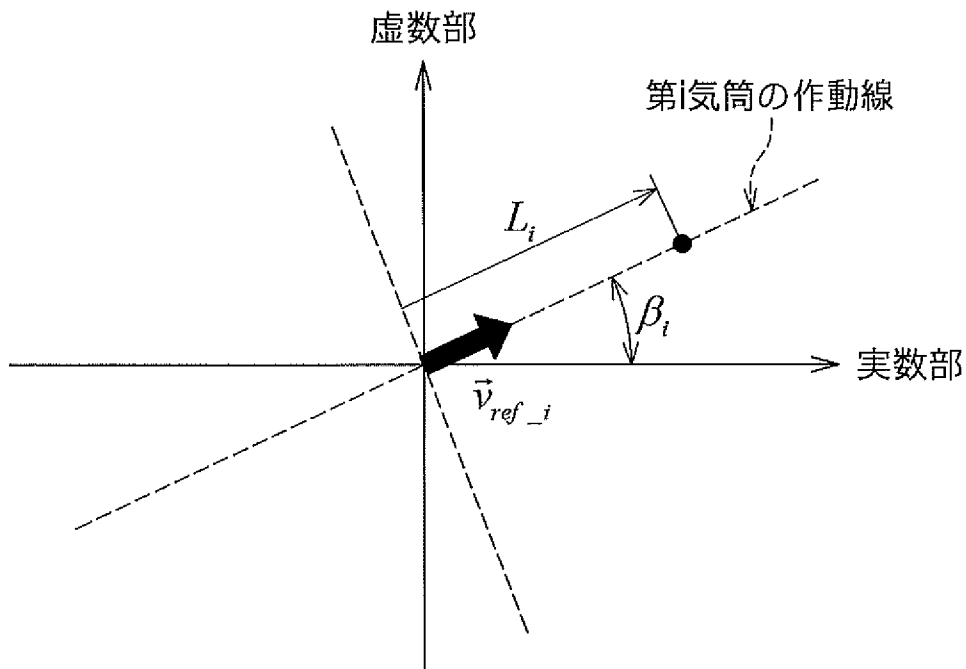
[図8]



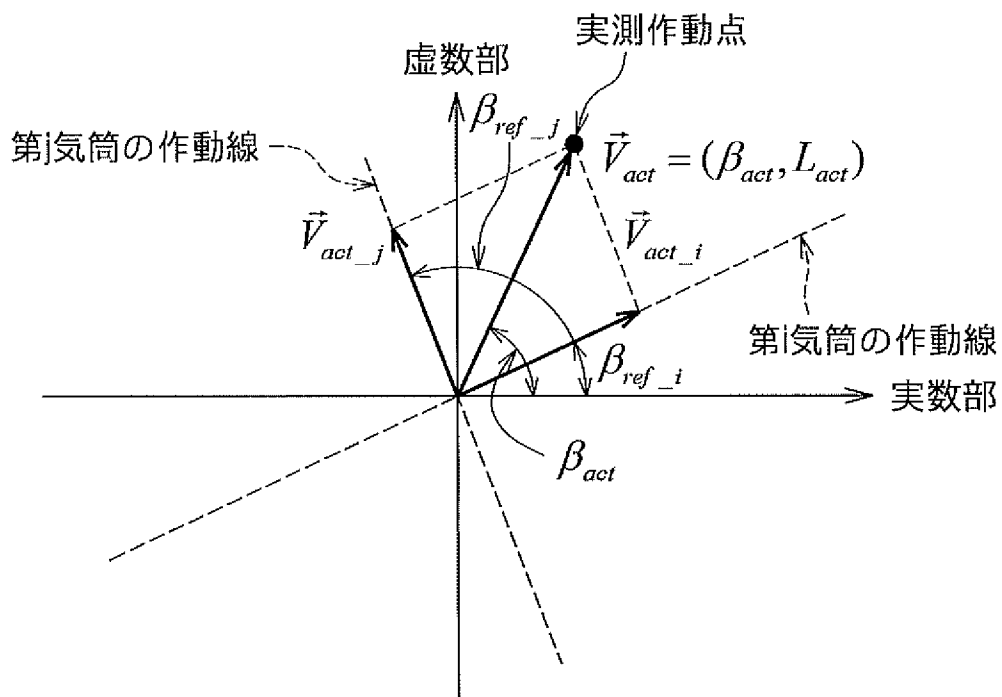
[図9]



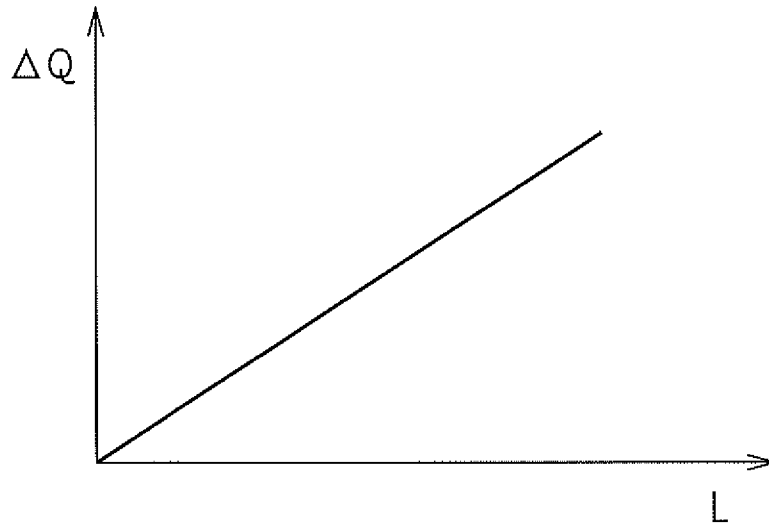
[図10]



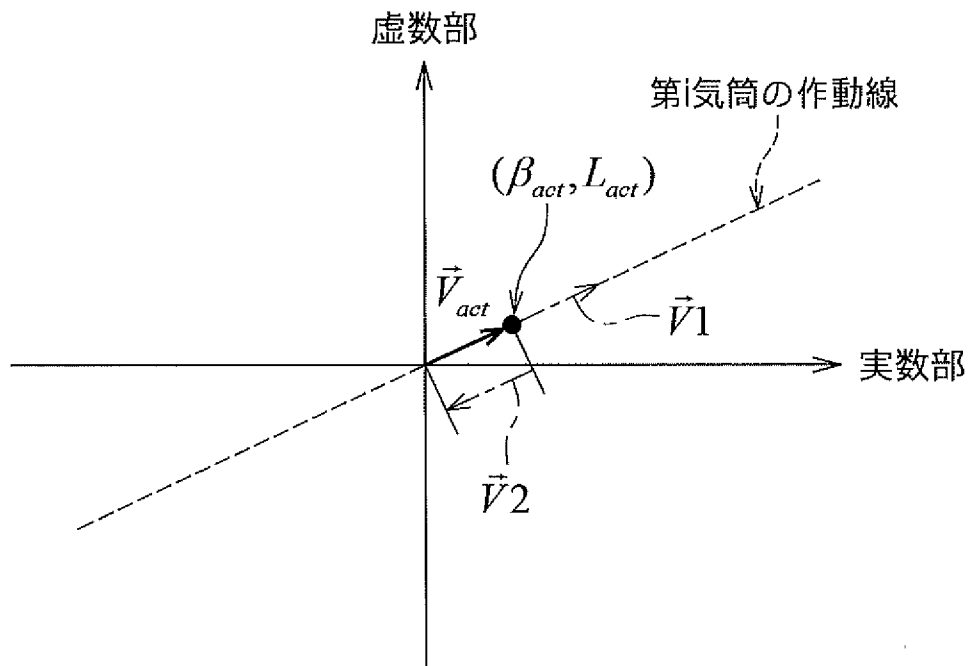
[図11]



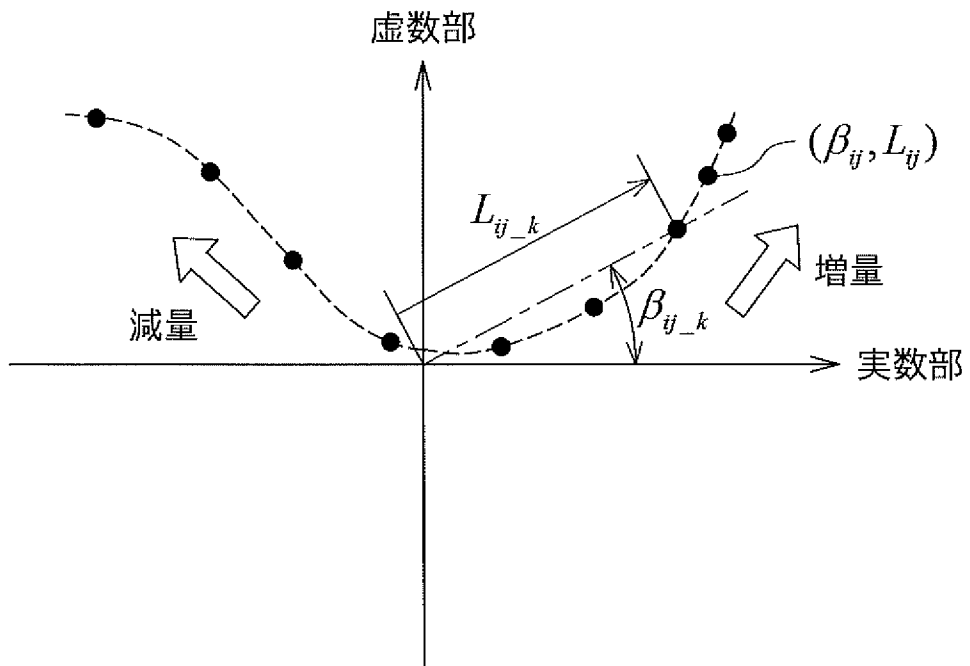
[図12]



[図13]



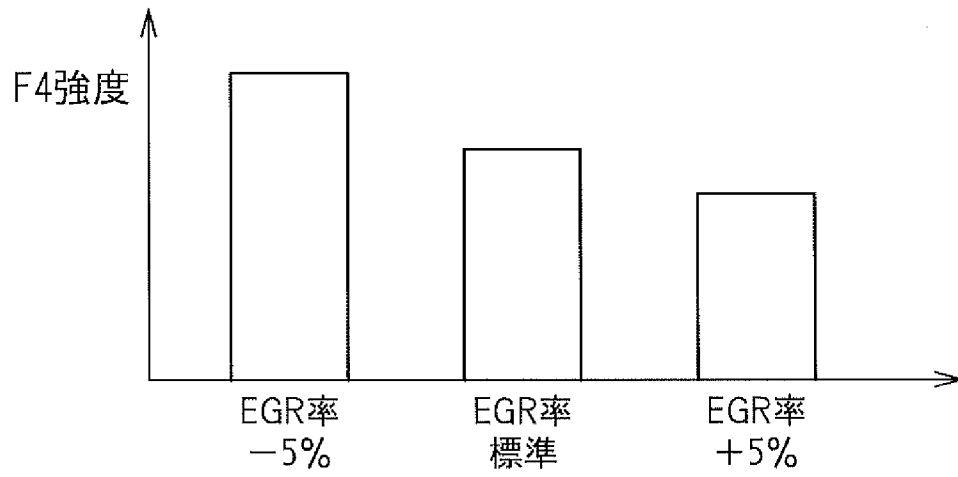
[図14]



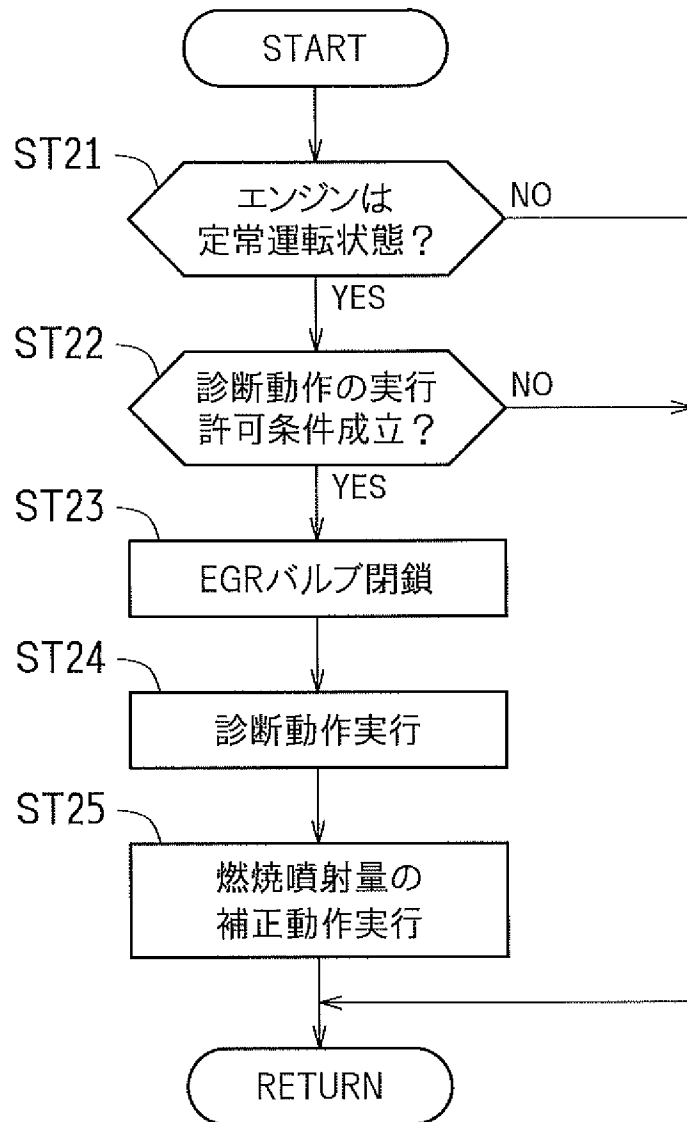
[図15]

No.	1	2	...	k	...
ΔQ_{ij}	ΔQ_{ij_1}	ΔQ_{ij_2}	...	ΔQ_{ij_k}	...
β_{ij}	β_{ij_1}	β_{ij_2}	...	β_{ij_k}	...
L_{ij}	L_{ij_1}	L_{ij_2}	...	L_{ij_k}	...

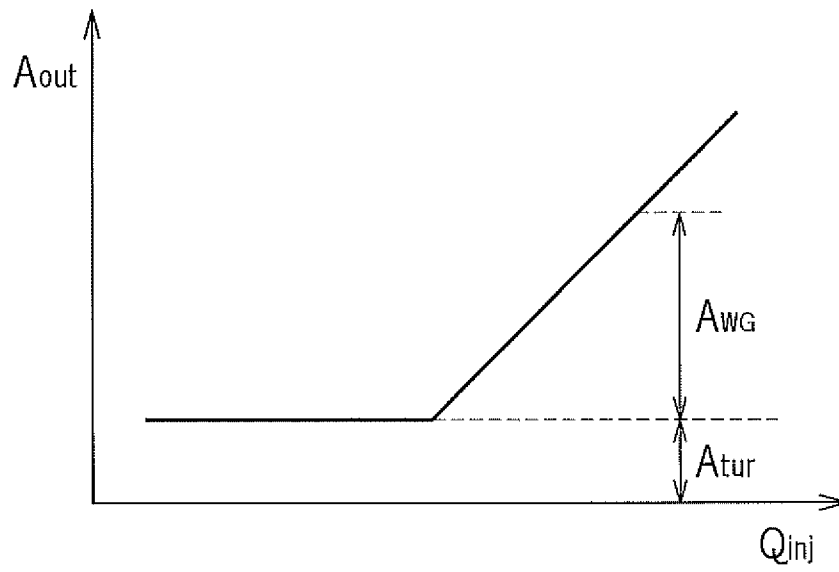
[図16]



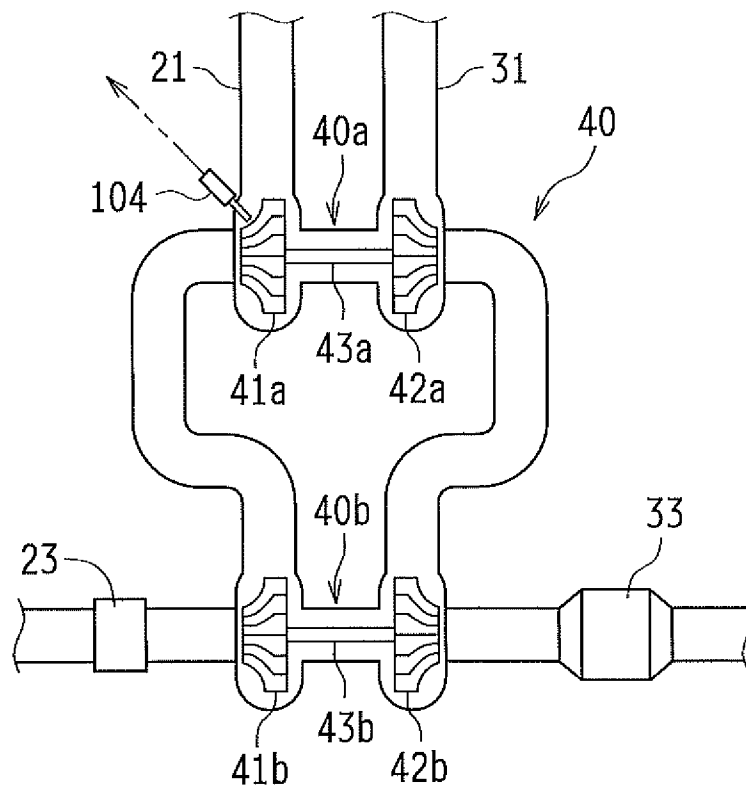
[図17]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/039567

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. F02D45/00(2006.01) i, F02D41/22(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. F02D45/00, F02D41/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model applications of Japan	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2011-52616 A (ISUZU MOTORS LTD.) 17 March 2011, paragraphs [0025]-[0026], [0032], [0040]-[0046], [0054]-[0060], [0075]-[0082], [0084], fig. 1-2, 7 (Family: none)	1, 6-7, 9-10, 12 2-5, 8, 11, 13-14
Y	JP 2015-169191 A (FUJI HEAVY INDUSTRIES LTD.) 28 September 2015, paragraphs [0037], [0042], [0047]-[0053], [0058], [0064], fig. 1, 4, 6, 8 & US 2015/0260610 A1, paragraphs [0040], [0043], [0048]-[0052], [0057], [0063], fig. 1, 4, 6, 8	1, 6-7, 9-10, 12
Y	JP 2016-31018 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 07 March 2016, claims 1-2 & US 2016/0025022 A1, claims 1-2	7, 10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 January 2018 (04.01.2018)

Date of mailing of the international search report
16 January 2018 (16.01.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F02D45/00(2006.01)i, F02D41/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F02D45/00, F02D41/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2011-52616 A (いすゞ自動車株式会社) 2011.03.17, 段落 [0025] - [0026]、[0032]、 [0040] - [0046]、[0054] - [0060]、 [0075] - [0082]、[0084]、[図1] - [図2]、 [図7] (ファミリーなし)	1, 6-7, 9-10, 12 2-5, 8, 11, 13-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.01.2018

国際調査報告の発送日

16.01.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

神山 貴行

3Z

5562

電話番号 03-3581-1101 内線 3395

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2015-169191 A (富士重工業株式会社) 2015.09.28, 段落 [0037]、[0042]、[0047] - [0053]、 [0058]、[0064]、[図1]、[図4]、[図6]、[図8] & US 2015/0260610 A1, 段落 [0040]、[0043]、 [0048] - [0052]、[0057]、[0063]、[図1]、 [図4]、[図6]、[図8]	1, 6-7, 9-10, 12
Y	JP 2016-31018 A (トヨタ自動車株式会社) 2016.03.07, [請求項1] - [請求項2] & US 2016/0025022 A1, [請求項1] - [請求項2]	7, 10