

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7530438号
(P7530438)

(45)発行日 令和6年8月7日(2024.8.7)

(24)登録日 令和6年7月30日(2024.7.30)

(51)国際特許分類		F I		
F 0 2 D	21/08 (2006.01)	F 0 2 D	21/08	3 0 1 Z
F 0 2 D	9/02 (2006.01)	F 0 2 D	9/02	S
F 0 2 D	43/00 (2006.01)	F 0 2 D	43/00	3 0 1 K
F 0 2 D	45/00 (2006.01)	F 0 2 D	43/00	3 0 1 N
F 0 2 M	26/00 (2016.01)	F 0 2 D	45/00	3 4 5
請求項の数 14 (全32頁) 最終頁に続く				
(21)出願番号 特願2022-555298(P2022-555298)		(73)特許権者 509186579		
(86)(22)出願日 令和3年8月27日(2021.8.27)		日立A s t e m o株式会社		
(86)国際出願番号 PCT/JP2021/031506		茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地		
(87)国際公開番号 WO2022/074957		(74)代理人 110000925		
(87)国際公開日 令和4年4月14日(2022.4.14)		弁理士法人信友国際特許事務所		
審査請求日 令和5年3月31日(2023.3.31)		(72)発明者 鈴木 邦彦		
(31)優先権主張番号 特願2020-169269(P2020-169269)		茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地		
(32)優先日 令和2年10月6日(2020.10.6)		日立A s t e m o株式会社内		
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)		審査官 戸田 耕太郎		
		最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 電子制御装置及びエンジン制御システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項1】

内燃機関の排気の一部を吸気管に還流させるE G R管及び当該E G R管内に配置されたE G R弁を有するE G Rシステムと、前記吸気管に取り込まれた空気の流量を検出するエアフローセンサと、前記エアフローセンサの下流側に設けられたスロットル弁と、前記スロットル弁の下流側かつ前記吸気管と前記E G R管との接続部分の下流側に設けられて前記吸気管内の前記スロットル弁下流の圧力である吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサと、を備えたエンジンを制御する電子制御装置であって、

少なくとも前記エアフローセンサの検出値、スロットル弁開度、及びE G R弁開度の情報に基づいて設定された、前記吸気管の内部状態を表す状態空間モデルと、

前記状態空間モデルを用いて、前記エアフローセンサの検出値と、スロットル弁開度と、E G R弁開度とに基づいて、前記吸気管の内部状態の情報として吸気管圧力推定値とE G R率推定値とを推定する状態推定部と、

前記吸気管圧力センサの検出値と、前記状態推定部で推定された吸気管圧力推定値との差分に基づいて、前記状態空間モデルのモデル定数を更新するカルマンフィルタが適用された推定値補正部であって、前記エアフローセンサの検出値、前記スロットル弁開度、及び前記E G R弁開度を前記カルマンフィルタで前記モデル定数が更新された状態空間モデルに入力して、補正後吸気管圧力推定値及び補正後E G R率推定値を推定する推定値補正部と、

前記補正後吸気管圧力推定値及び前記補正後E G R率推定値を用いて、前記エンジンの

点火時期制御及び／又は燃料噴射制御を実行する燃焼制御部と、を備える
電子制御装置。

【請求項 2】

前記補正後 EGR 率推定値と、目標 EGR 率との差分に基づいて、前記 EGR 弁開度の補正量を演算する EGR 弁開度補正量演算部、を備え、

前記 EGR 弁開度補正量演算部で演算された EGR 弁開度補正量を EGR 弁開度指令値に加えて、前記 EGR 弁開度が制御される

請求項 1 に記載の電子制御装置。

【請求項 3】

前記補正後 EGR 率推定値に基づいて求められる EGR 弁流量係数と、前記 EGR 弁開度との関係を学習する学習器、を備え、

学習した前記 EGR 弁流量係数と前記 EGR 弁開度との関係の情報が前記状態推定部に入力され、前記状態推定部で使用する前記状態空間モデルのモデル定数が更新される

請求項 2 に記載の電子制御装置。

【請求項 4】

前記学習器に、出力変数を前記 EGR 弁流量係数とし、入力変数を前記内燃機関の運転状態とする多項式と、前記多項式に含まれる前記モデル定数としての偏回帰係数を同定する逐次最小二乗アルゴリズムとが適用される

請求項 3 に記載の電子制御装置。

【請求項 5】

前記入力変数としての前記内燃機関の運転状態は、少なくとも前記内燃機関の回転速度と、前記 EGR 弁開度である

請求項 4 に記載の電子制御装置。

【請求項 6】

前記補正後吸気管圧力推定値と、目標トルク及び目標 EGR 率で規定される目標吸気管圧力との差分に基づいて、スロットル弁開度の補正量を演算するスロットル弁開度補正量演算部、を備え、

前記スロットル弁開度補正量演算部で演算されたスロットル弁開度補正量をスロットル弁開度指令値に加えて、前記スロットル弁開度が制御される

請求項 1 に記載の電子制御装置。

【請求項 7】

前記補正後吸気管圧力推定値に基づいて求められるスロットル弁流量係数と、前記エアフローセンサの検出値と、スロットル弁開度との関係を学習する学習器、を備え、

学習した前記スロットル弁流量係数と前記エアフローセンサの検出値と前記スロットル弁開度との関係の情報が前記状態推定部に入力され、前記状態推定部で 사용되는前記状態空間モデルのモデル定数が更新される

請求項 6 に記載の電子制御装置。

【請求項 8】

前記学習器に、出力変数を前記スロットル弁流量係数とし、入力変数を前記内燃機関の運転状態とする多項式と、前記多項式に含まれる前記モデル定数としての偏回帰係数を同定する逐次最小二乗アルゴリズムとが適用される

請求項 7 に記載の電子制御装置。

【請求項 9】

前記入力変数としての前記内燃機関の運転状態は、少なくとも前記内燃機関の回転速度と、前記スロットル弁開度である

請求項 8 に記載の電子制御装置。

【請求項 10】

前記 EGR 弁流量係数を、異常状態を判定するための閾値と比較し、比較結果に基づいて前記 EGR システムの異常を診断する異常診断部、を備える

請求項 3 に記載の電子制御装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 1】

前記スロットル弁流量係数を、異常状態を判定するための閾値と比較し、比較結果に基づいて前記スロットル弁の異常を診断する異常診断部、を備える

請求項 7 に記載の電子制御装置。

【請求項 1 2】

前記 EGR 弁流量係数の時間的変化と、異常状態を判定するための閾値とに基づいて、前記 EGR 弁流量係数が異常状態に至るまでの期間を予測する異常診断部、を備える

請求項 3 に記載の電子制御装置。

【請求項 1 3】

前記スロットル弁流量係数の時間的変化と、異常状態を判定するための閾値とに基づいて、前記スロットル弁流量係数が異常状態に至るまでの期間を予測する異常診断部、を備える
請求項 7 に記載の電子制御装置。

10

【請求項 1 4】

内燃機関の排気の一部を吸気管に還流させる EGR 管及び当該 EGR 管内に配置された EGR 弁を有する EGR システムと、前記吸気管に取り込まれた空気の流量を検出するエアフローセンサと、前記エアフローセンサの下流側に設けられたスロットル弁と、前記スロットル弁の下流側かつ前記吸気管と前記 EGR 管との接続部分の下流側に設けられて前記吸気管内の前記スロットル弁下流の圧力である吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサと、を備えたエンジンと、電子制御装置とから構成されるエンジン制御システムであって、前記電子制御装置は、

20

少なくとも前記エアフローセンサの検出値、スロットル弁開度、及び EGR 弁開度の情報に基づいて設定された、前記吸気管の内部状態を表す状態空間モデルと、

前記状態空間モデルを用いて、前記エアフローセンサの検出値と、スロットル弁開度と、EGR 弁開度とに基づいて、前記吸気管の内部状態の情報として吸気管圧力推定値と EGR 率推定値とを推定する状態推定部と、

前記吸気管圧力センサの検出値と、前記状態推定部で推定された吸気管圧力推定値との差分に基づいて、前記状態空間モデルのモデル定数を更新するカルマンフィルタが適用された推定値補正部であって、前記エアフローセンサの検出値、前記スロットル弁開度、及び前記 EGR 弁開度を前記カルマンフィルタで前記モデル定数が更新された状態空間モデルに入力して、補正後吸気管圧力推定値及び補正後 EGR 率推定値を推定する推定値補正部と、

30

前記補正後吸気管圧力推定値及び前記補正後 EGR 率推定値を用いて、前記エンジンの点火時期制御及び／又は燃料噴射制御を実行する燃焼制御部と、を備える

エンジン制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子制御装置及びエンジン制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

40

従来、内燃機関の排気管より分流した一部の排ガスを吸気管に還流（再循環）させて内燃機関の燃焼性能改善を図る制御技術が知られている。この制御技術では、エンジンに吸入される空気量と、排ガスを還流させる割合とをバルブ開度で制御しつつ、吸入空気量センサによって検出した新気の量と、排ガス還流割合との関係に基づき、燃料噴射量や点火時期が制御されるシステムが実現されている。（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2011-169196 号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、排ガス還流割合（EGR率）を増加させることによって、部分負荷運転時にはスロットル弁絞りの影響によるポンプ損失の低減や、高負荷時にはノック低減などの効果を増加させることができる。一方で、EGR率を増加させすぎると、燃焼の不安定化や失火の問題を発生する。さらに、EGR率が制御目標値より少ない側に誤差を伴う場合は、十分なノック低減効果が得られず、ノックなどの不正燃焼を生じるなどの問題が発生する。

【0005】

上記特許文献1に記載された制御システムでは、吸入空気量センサとスロットル弁開度とEGR弁開度との関係に基づき吸気管圧力を推定し、この推定値と吸気管に備えられた吸気管圧力センサによる実測値との比較を行って、EGRシステムの異常の有無を判定することが開示されている。また、特許文献1に記載の制御システムでは、吸気管圧力の推定値と、排気管に備えられた空燃比センサの情報とを併せて、燃料システム異常と、EGRシステム異常とを区別する診断技術が開示されている。しかしながら、高EGR率燃焼システムにおいては、前述したノックや失火の防止の観点で、高いEGR制御精度が要求される。そのため、正常範囲におけるEGR制御誤差についてもこれを検出しつつ、適切に制御することで高精度なEGR制御状態を維持する必要がある。

【0006】

本発明は、上記の状況に鑑みてなされたものであり、EGR制御精度を高位に保ち、EGR制御誤差に伴う内燃機関の燃焼不良を防止することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明の一態様の電子制御装置は、内燃機関の排気の一部を吸気管に還流させるEGR管及び当該EGR管内に配置されたEGR弁を有するEGRシステムと、吸気管に取り込まれた空気の流量を検出するエアフローセンサと、当該エアフローセンサの下流側に設けられたスロットル弁と、当該スロットル弁の下流側かつ吸気管とEGR管との接続部分の下流側に設けられて吸気管内のスロットル弁下流の圧力である吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサと、を備えたエンジンを制御する電子制御装置であって、少なくともエアフローセンサの検出値、スロットル弁開度、及びEGR弁開度の情報に基づいて設定された、吸気管の内部状態を表す状態空間モデルと、状態空間モデルを用いて、エアフローセンサの検出値と、スロットル弁開度と、EGR弁開度とに基づいて、吸気管の内部状態の情報として吸気管圧力推定値とEGR率推定値とを推定する状態推定部と、吸気管圧力センサの検出値と、状態推定部で推定された吸気管圧力推定値との差分に基づいて、状態空間モデルのモデル定数を更新するカルマンフィルタが適用された推定値補正部であって、エアフローセンサの検出値、スロットル弁開度、及びEGR弁開度をカルマンフィルタでモデル定数が更新された状態空間モデルに入力して、補正後吸気管圧力推定値及び補正後EGR率推定値を推定する推定値補正部と、補正後吸気管圧力推定値及び補正後EGR率推定値を用いて、エンジンの点火時期制御及び／又は燃料噴射制御を実行する燃焼制御部と、を備える。

【発明の効果】

【0008】

本発明の少なくとも一態様によれば、推定値補正部において、吸気管圧力センサの検出値と吸気管圧力推定値とに基づいて、EGR率推定値が補正される。これにより、EGR制御精度を高位に保つことが可能となり、EGR制御誤差に伴う内燃機関の燃焼不良（例えばノックや失火）を防止することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の一実施形態に係るエンジン制御システムが制御対象とするエンジンシス

10

20

30

40

50

テム全体の概略構成図である。

【図２】ＥＣＵのハードウェア構成例を示すブロック図である。

【図３】ＥＧＲ率と点火進角との関係を示すグラフである。

【図４】ＥＣＵの機能構成例を示すブロック図である。

【図５】目標トルク及び目標ＥＧＲ率を実現するスロットル弁及びＥＧＲ弁の開度制御を実行する制御ブロックを説明する図である。

【図６】目標トルク及び目標ＥＧＲ率を実現するスロットル弁及びＥＧＲ弁の開度制御モデルを構成する際に考慮する物理モデルを説明する図である。

【図７】バルブ通過流量演算モデルに基づき目標バルブ開度を演算する方法を、バルブ断面模式図を用いて説明する図である。

【図８】エアフローセンサと吸気管圧力センサの情報に基づいて、カルマンフィルタによって吸気管内状態を推定し、推定された吸気管内状態に基づいて、スロットル弁開度とＥＧＲ弁開度の補正を実行する制御ブロックを説明する図である。

【図９】内部状態フィードバック制御を実現する制御モデルを構築するにあたり、用いられる機能をブロック線図で表した概念図である。

【図１０】カルマンフィルタの内部構成例を示すブロック図である。

【図１１】カルマンフィルタアルゴリズムの例を示すフローチャートである。

【図１２】スロットル弁流量係数、ＥＧＲ弁流量係数及びシリンダ吸気効率の学習を実行する制御ブロックを説明する図である。

【図１３】システム同定のための逐次最小二乗アルゴリズムの例を示すフローチャートである。

【図１４】目標トルク及び目標ＥＧＲ率を実現するスロットル弁開度及びＥＧＲ弁開度の制御において、スロットル弁にデポが付着した場合の制御動作及びその効果を説明する図である。

【図１５】目標トルク及び目標ＥＧＲ率を実現するスロットル弁開度及びＥＧＲ弁開度の制御において、スロットル弁とＥＧＲ弁の両方にデポが付着した場合の制御動作（カルマンフィルタによる内部状態フィードバック）及びその効果を説明する図である。

【図１６】目標トルク及び目標ＥＧＲ率を実現するスロットル弁開度及びＥＧＲ弁開度の制御において、スロットル弁とＥＧＲ弁の両方にデポが付着した場合の制御動作（カルマンフィルタによる内部状態フィードバック及びシステム同定）及びその効果を説明する図である。

【図１７】エアフローセンサの検出値と、吸気管圧力センサの検出値とに基づいて、スロットル弁制御及びＥＧＲ弁制御を実行する手順例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

以下、本発明を実施するための形態の例について、添付図面を参照して説明する。本明細書及び添付図面において実質的に同一の機能又は構成を有する構成要素については、同一の符号を付して重複する説明を省略する。

【００１１】

〔エンジンシステムの概略構成〕

まず、本発明の一実施形態に係るエンジン制御システムが制御対象とするエンジンシステム全体の構成について、図１を参照して説明する。

【００１２】

図１は、本発明の一実施形態に係るエンジン制御システムが制御対象とするエンジンシステム全体の概略構成例を示す。エンジンシステムは、内燃機関１、アクセルポジションセンサ２、エアフローセンサ３、スロットル弁４、吸気マニホールド５、流動強化弁７、吸気バルブ８、排気バルブ１０、燃料噴射弁１２、点火プラグ１３、及びクランク角センサ２０を備える。さらに、エンジンシステムは、空燃比センサ１４、ＥＧＲ（Exhausted Gas Recirculation）管１５、ＥＧＲクーラ１６、ＥＧＲ温度センサ１７、ＥＧＲ弁上流圧力センサ１８、ＥＧＲ弁１９、及びＥＣＵ（Electronic Control Unit）２１を備えて

10

20

30

40

50

いる。

【0013】

スロットル弁4は、吸気管31に形成された吸気マニホールド5の上流に設けられ、吸入流路を絞って内燃機関1のシリンダに流入する吸入空気量を制御する。このスロットル弁4は、運転者によるアクセルペダル踏量とは独立して弁開度の制御が可能な電子制御式バタフライ弁により構成される。スロットル弁4の下流側には、吸気管圧力センサ6が組み付けられた吸気マニホールド5が連通している。

【0014】

流動強化弁7は、吸気マニホールド5の下流に配置され、シリンダに吸入される吸入空気に偏流を生じさせることによって、シリンダ内部の流れの乱れを強化させる。後述する排ガス再循環燃焼を実施する際に、流動強化弁7を閉じることで乱流燃焼を促進、及び安定化させる。

【0015】

内燃機関1には、吸気バルブ8及び排気バルブ10が設けられている。吸気バルブ8及び排気バルブ10は、バルブ開閉の位相を連続的に可変とするための可変動弁機構をそれぞれ有している。吸気バルブ8及び排気バルブ10の可変動弁機構には、バルブの開閉位相を検知するための吸気バルブ位置センサ9及び排気バルブ位置センサ11がそれぞれ組み付けられている。内燃機関1のシリンダには、シリンダ内に直接燃料を噴射する直接式の燃料噴射弁12が備えられている。なお、燃料噴射弁12は、吸気ポート内に燃料を噴射するポート噴射方式であってもよい。

【0016】

内燃機関1のシリンダには、シリンダ内に電極部を露出させ、スパークによって可燃混合気を引火する点火プラグ13が組み付けられている。クランク角センサ20は、クランク軸に組み付けられ、クランク軸の回転角度に応じた信号を、回転速度を示す信号としてECU21へ出力する。空燃比センサ14は、排気管32に設けられ、検出された排ガス組成すなわち空燃比を示す信号をECU21へ出力する。

【0017】

EGR管15及び当該EGR管15内に配置されたEGR弁19を含むEGRシステムが構成されている。EGR管15は、排気流路（吸気管31）と吸气流路（排気管32）とを連通し、排気流路から排ガスを分流して、スロットル弁4の下流へ還流（再循環）する。EGR管15に備えられたEGRクーラ16は、排ガスを冷却する。EGR弁19は、EGRクーラ16の下流に備えられ、排ガスの流量を制御する。EGR管15には、EGR弁19の上流を流れる排ガスの温度を検出するEGR温度センサ17と、EGR弁19の上流の圧力を検出するEGR弁上流圧力センサ18とが設けられている。

【0018】

ECU21は、電子制御装置の一例であり、エンジンシステムの各構成要素を制御したり、各種のデータ処理を実行したりする。エンジンシステムとECU21によってエンジン制御システムが構成される。ECU21には、上述した各種のセンサと、各種のアクチュエータとが通信可能に接続されている。ECU21は、スロットル弁4、燃料噴射弁12、吸気バルブ8、排気バルブ10、及びEGR弁19等のアクチュエータの動作を制御する。また、ECU21は、各種センサから入力された信号に基づいて、内燃機関1の運転状態を検知して、運転状態に応じて決定したタイミングで点火プラグ13に点火させる。さらに、ECU21は、内燃機関1を含むエンジンシステムに異常又は故障を検出した場合には、該当する警告表示ランプ22（MIL）を点灯する。

【0019】

〔ECUのハードウェア構成〕

図2は、ECU21のハードウェア構成例を示すブロック図である。ECU21は、システムバス26を介して相互に接続された、制御部23、記憶部24、及び入出力インターフェース25を備える。制御部23は、CPU（central processing unit）23a、ROM（Read Only Memory）23b、及びRAM（Random Access Memory）23

10

20

30

40

50

cより構成されている。CPU23aがROM23bに記憶された制御プログラムをRAM23cにロードして実行することにより、ECU21の各機能が実現される。半導体メモリ等からなる補助記憶装置としての記憶部24には、状態空間モデルやパラメータ、制御プログラムを実行して得られたデータなどが記録される。また、記憶部24に制御プログラムが格納されていてもよい。

【0020】

入出力インターフェース25は、各センサや各アクチュエータと信号やデータの通信を行うインターフェースである。ECU21は、各センサの入出力信号を処理する図示しないA/D (Analog/digital) 変換器、ドライバ回路等を備えている。入出力インターフェース25がA/D変換器を兼ねてもよい。なお、プロセッサにCPUを用いたが、MPU (micro processing unit) 等の他のプロセッサを用いてもよい。

10

【0021】

[EGR率と点火進角との関係]

ここで、EGR率と点火進角との関係について図3を参照して説明する。

図3は、EGR率と点火進角との関係を示すグラフである。横軸はEGR率、縦軸は点火進角を表す。EGR率は、吸気管31の吸気（新気）に対してEGR管15から還流される排ガスの割合を表す。EGR率と点火進角は、運転点がノック限界曲線と失火限界曲線で挟まれた領域から逸脱しないように制御される。EGR率が高くなるほど、ノック限界曲線と失火限界曲線で挟まれた領域が狭くなっており、一点鎖線で示したEGR制御精度の許容誤差も小さくなる。したがって、EGR率が高くなるほど、燃焼の不安定化や失火の問題が発生しやすくなり、高いEGR制御精度が要求される。すなわち、特に高EGR率燃焼システムでは、EGR制御精度を高位に保ち、EGR制御誤差に伴う内燃機関1のノックや失火を防止することが求められる。

20

【0022】

[ECUの機能構成]

次に、ECU21の機能構成について図4を参照して説明する。

図4は、ECU21の機能構成例を示すブロック図である。ECU21は、カルマンフィルタを用いたEGR弁制御及びEGR弁特性学習を実行するように構成されている。このブロック図は、本実施形態に係るECU21の機能構成の概略を表している。

【0023】

ECU21は、状態空間モデル設定部410と、カルマンフィルタ420と、燃焼制御部430と、バルブ補正量演算部440と、学習器（システム同定）450を備える。

30

【0024】

状態空間モデル設定部410は、吸気管31に取り込まれた空気の流量を検出するエアフローセンサ3の検出値（AFS）、スロットル弁開度（Th/V）、及びEGR弁開度（EGR/V）などの情報を基に、吸気管31の内部状態を表す状態空間モデルを設定する。そして、状態空間モデル設定部410は、状態空間モデルの設定内容をカルマンフィルタ420へ出力する。

【0025】

カルマンフィルタ420は、状態空間モデル設定部410で設定された状態空間モデルを用いて吸気管31の内部状態（以下「吸気管内状態」と称す。）を推定し、さらに推定した吸気管内状態を補正（修正）する。カルマンフィルタ420は、吸気管内状態推定部421、及び状態観測器422を備える。吸気管内状態推定部421及び状態観測器422は広義のカルマンフィルタであり、状態観測器422はカルマンフィルタの本質である補正機能を備える。

40

【0026】

吸気管内状態推定部421は、状態空間モデル設定部410で設定された状態空間モデルを用いて吸気管内状態を推定し、推定した吸気管内状態の情報を状態観測器422へ出力する。状態観測器422は、吸気管内状態推定部421で推定された吸気管内状態を、吸気管圧力センサ6の検出値に基づいて補正（修正）する。状態観測器422は、吸気管

50

内状態の情報として、補正後吸気管圧力推定値と補正後 E G R 率推定値を出力する。

【0027】

燃焼制御部 430 は、カルマンフィルタ 420 の状態観測器 422 から出力された吸気管内状態の情報（補正後吸気管圧力推定値及び補正後 E G R 率推定値）を利用して、点火時期制御及び／又は燃料噴射制御を実行する。

【0028】

バルブ補正量演算部 440 は、カルマンフィルタ 420 の状態観測器 422 の出力（例えば補正後 E G R 率推定値）を利用してバルブ補正量（例えば E G R 弁開度補正量）を演算し、演算結果を学習器 450 へ出力する。本実施形態では、図 8 に示すようにバルブ補正量演算部 440 として、E G R 弁開度補正量演算部 805 とスロットル弁開度補正量演算部 806 を備える。

10

【0029】

学習器（システム同定）450 は、バルブ補正量演算部 440 の出力（例えば E G R 弁開度補正量）を利用して制御対象のバルブ特性を学習し、学習結果をカルマンフィルタ 420 の吸気管内状態推定部 421 へ出力する。図 4 では、学習器 450 として E G R 弁特性を学習する例が示されているが、学習対象のバルブはこの例に限らない。本実施形態では、図 12 に示すように学習器 450 として、スロットル弁流量係数システム同定部 1204、E G R 弁流量係数システム同定部 1205、及びシリンダ吸気効率システム同定部 1206 を備える。

【0030】

20

〔スロットル弁及び E G R 弁の開度制御を実行する制御ブロック〕

次に、目標トルク及び目標 E G R 率を実現するスロットル弁及び E G R 弁の開度制御について、図 5 を参照して説明する。

図 5 は、目標トルク及び目標 E G R 率を実現するスロットル弁及び E G R 弁の開度制御を実行する制御ブロックを示す。

【0031】

目標トルク演算部 501 は、例えば、内燃機関 1 の回転速度、アクセルペダル踏量、及び外部要求トルクに基づいて、内燃機関 1 の目標トルクを演算する。外部要求トルクは、車室内空調状態やオルタネータによる発電状態に応じて考慮される運転者の意思（例えばアクセルペダル踏量）に関わらないトルクである。

30

【0032】

目標充填効率演算部 502 は、現在の回転速度及び目標トルクを考慮して、目標トルクを実現するのに必要なシリンダへの新気の吸入空気量に関わる目標充填効率を演算する。充填効率は、シリンダ容積に対する吸入空気量を百分率で表したものである。

【0033】

目標スロットル弁開度演算部 503 は、現在の回転数及び目標充填効率を考慮して、目標吸入空気量を実現するためのスロットル弁開度指令値を演算する。ここでは、スロットル弁開度指令値の演算に、後述するスロットル弁流量係数システム同定部 1204（図 12 参照）で学習したスロットル弁流量係数が考慮される。E C U 21 は、このスロットル弁開度指令値と、スロットル弁開度補正量演算部 806（図中「B 806」）で求められたスロットル弁開度補正量とに基づいて、スロットル弁 4 を制御する。

40

【0034】

一方、目標 E G R 率演算部 504 は、現在の回転速度及び目標トルクに基づいて、目標 E G R 率を演算する。排ガスの再循環（E G R）は、低／中負荷においてスロットル弁絞りの影響によるポンプ損失の低減を目的に、高負荷においてはノック低減を目的に、それぞれ実施される。

【0035】

目標 E G R 弁開度演算部 505 は、現在の回転数、目標充填効率、及び目標 E G R 率に基づいて目標 E G R 弁通過流量を演算し、さらにこれを実現する目標 E G R 弁開度指令値を演算する。ここでは、E G R 弁開度指令値の演算に、後述する E G R 弁流量係数システ

50

ム同定部 1205（図 12 参照）で学習した EGR 弁流量係数が考慮される。ECU 21 は、この EGR 弁開度指令値と、EGR 弁開度補正量演算部 805（図中「B805」）で求められた EGR 弁開度補正量とに基づいて、EGR 弁 19 を制御する。

【0036】

〔開度制御モデルを構成する際に考慮する物理モデル〕

図 6 は、目標トルク及び目標 EGR 率を実現するスロットル弁及び EGR 弁の開度制御モデルを構成する際に考慮する物理モデルを説明する図である。吸気管内の状態量として吸気管 31（例えば吸気マニホールド 5）内の圧力（以下「吸気管圧力」と記す。） p_m 、及び吸気管 31 内の EGR 率 ξ_m を規定し、それぞれ次式（1），（2）で求めることができる。

【0037】

〔数 1〕

$$\dot{p}_m = \frac{\kappa R}{V_m} (T_{atm} \dot{m}_{th} + T_{egr} \dot{m}_{egr} - T_m \dot{m}_{cyl}) \quad \dots (1)$$

〔数 2〕

$$\dot{\xi}_m = \frac{RT_m}{p_m V_m} (\dot{m}_{egr} - \xi_m \dot{m}_{cyl}) \quad \dots (2)$$

【0038】

ここで、上付きドット記号ありの m_{th} はスロットル弁通過流量、上付きドット記号ありの m_{egr} は EGR 弁通過流量、上付きドット記号ありの m_{cyl} はシリンダ吸入流量、 κ はポリトロプ指数、 R はガス定数、 V_m は吸気マニホールド容積、 T_{atm} は大気温度、 T_{egr} は EGR 温度、 T_m は吸気管内温度である。上付きドット記号は時間による一次微分を表している。

スロットル弁通過流量（上付きドット記号ありの m_{th} ）は次式（3）で求めることができる。なお、スロットル弁通過流量は、おおそエアフローセンサ 3 の検出値（上付きドット記号ありの m_{afs} ）に相当する。

【0039】

〔数 3〕

$$\dot{m}_{th} = \sqrt{2\rho_{atm}} \frac{\pi \mu_{th} D_{th}^2}{4} \left(1 - \frac{\cos(\phi_{th})}{\cos(\phi_{th0})}\right) \sqrt{p_{atm} - p_m} \quad \dots (3)$$

【0040】

ここで、 ρ_{atm} は大気密度、 μ_{th} はスロットル弁流量係数、 D_{th} はスロットル弁外径、 ϕ_{th} はスロットル弁開度、 ϕ_{th0} はスロットル弁最小開度、 p_{atm} は大気圧力である。

EGR 弁通過流量（上付きドット記号ありの m_{egr} ）は次式（4）で求めることができる。

【0041】

〔数 4〕

$$\dot{m}_{egr} = \sqrt{2\rho_e} \frac{\pi \mu_{egr} D_{egr}^2}{4} \left(1 - \frac{\cos(\phi_{egr})}{\cos(\phi_{egr0})}\right) \sqrt{p_e - p_m} \quad \dots (4)$$

【0042】

ここで、 ρ_e は EGR 密度（再循環排気密度）、 μ_{egr} は EGR 弁流量係数、 D_{egr} は EGR 弁外径、 ϕ_{egr} は EGR 弁開度、 ϕ_{egr0} は EGR 弁最小開度である。シリ

10

20

30

40

50

ンダ吸入流量（上付きドット記号ありの m_{cyl} ）は次式（５）で求められる。

【００４３】

【数５】

$$\dot{m}_{cyl} = \frac{N_e}{120} \eta_{in} \frac{V_d p_m}{RT_m} \quad \dots (5)$$

【００４４】

ここで、 N_e は内燃機関１の回転速度（１分間当たりの回転数）、 η_{in} は吸気効率、 V_d は内燃機関１の総行程容積である。吸気効率とは、全気筒（例えば４気筒）分の行程容積に相当する吸気マニホールド内ガスの質量を基準（１．０）として、実際にシリンダ内に吸入されるガスの質量の比率を示す値である。

シリンダに吸入される新気の充填効率 η_{ch} は次式（６）で定義される。

【００４５】

【数６】

$$\eta_{ch} = \eta_{in} \frac{p_m T_0}{p_0 T_m} (1 - \xi_m) \quad \dots (6)$$

【００４６】

ここで、 p_0 及び T_0 は大気の状態における温度及び圧力（例えば２５℃、１０１．３２５ｋＰａ）である。

トルクの指標である正味平均有効圧は次式（７）で求められる。

【００４７】

【数７】

$$p_{me} = \frac{H_L \eta_{in} \eta_{ite}}{RT_m} \frac{\phi}{L_0} p_m (1 - \xi_m) - p_f \quad \dots (7)$$

【００４８】

ここで、 H_L は燃料の低位発熱量、 η_{ite} は図示熱効率、 ϕ は当量比、 L_0 は理論空燃比、 p_f はフリクシヨントルクに関するフリクシヨン平均有効圧である。フリクシヨントルクは、摩擦により接触している物体間の運動を阻害しようと作用するトルクである。

【００４９】

【バルブ通過流量演算モデルに基づく目標バルブ開度演算】

ここで、バルブ通過流量演算モデルに基づく目標バルブ開度演算について、図７を参照して説明する。

【００５０】

図７は、バルブ通過流量演算モデルに基づき目標バルブ開度を演算する方法を、バルブ断面模式図を用いて説明する図である。図中の上付きドットありの m はバルブ通過流量、 p_{up} はバルブの上流側（ in ）の気体の圧力、 p_{down} はバルブの下流側（ out ）の気体の圧力、 ρ_{up} はバルブの上流側の気体の密度、 D はバルブの外径、 ϕ はバルブの開度である。斜線部は、バルブを通過する気体の流路を表している。その流路の断面積すなわち開口面積 S は次式（８）で表される。

【００５１】

【数８】

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \frac{\cos(\phi)}{\cos(\phi_0)} \right) \quad \dots (8)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

上記バルブがスロットル弁の場合、図 7 の p_{up} は大気圧力 p_{atm} 、 p_{down} は吸気管圧力 p_m 、 ρ_{up} は大気密度 ρ_{atm} 、 D はスロットル弁外径 D_{th} に相当する。式 (3) のスロットル弁通過流量式を変形し、目標トルクと回転速度で規定される目標空気量（上付きドット記号を付した $\dot{m}_{th,d}$ ）を実現するためのスロットル弁開度 ϕ_{th} は、次式 (9) のようにスロットル弁通過流量式を逆算して求められる。

【 0 0 5 3 】

【数 9】

$$\begin{aligned} \dot{m}_{th} &= \sqrt{2\rho_{atm}} \frac{\pi\mu_{th}D_{th}^2}{4} \left(1 - \frac{\cos(\phi_{th})}{\cos(\phi_{th0})}\right) \sqrt{p_{atm} - p_m} \\ \Rightarrow \left(1 - \frac{\cos(\phi_{th})}{\cos(\phi_{th0})}\right) &= \frac{\dot{m}_{th,d}}{\sqrt{2\rho_{atm}} \frac{\pi\mu_{th}D_{th}^2}{4} \sqrt{p_{atm} - p_m}} \Rightarrow \phi_{th} \quad \dots (9) \end{aligned} \quad 10$$

【 0 0 5 4 】

上式 (9) をスロットル弁開度と開口面積のテーブル演算に置き換えて、図 5 の目標スロットル弁開度演算部 503 による目標スロットル弁開度の演算に用いることができる。

【 0 0 5 5 】

同様に、上記バルブが EGR 弁の場合には、図 7 の p_{up} は EGR 弁上流圧力 p_{egr} 、 p_{down} は吸気管圧力 p_m 、 ρ_{up} は EGR 密度 ρ_{egr} 、 D は EGR 弁外径 D_{egr} に相当する。式 (4) の EGR 弁通過流量式を変形し、目標トルクと回転速度で規定される目標 EGR 流量（上付きドット記号を付した $\dot{m}_{egr,d}$ ）を実現するための EGR 弁開度 ϕ_{egr} は、次式 (10) のように EGR 弁通過流量式を逆算して求められる。

【 0 0 5 6 】

【数 10】

$$\begin{aligned} \dot{m}_{egr} &= \sqrt{2\rho_{egr}} \frac{\pi\mu_{egr}D_{egr}^2}{4} \left(1 - \frac{\cos(\phi_{egr})}{\cos(\phi_{egr0})}\right) \sqrt{p_{egr} - p_m} \\ \Rightarrow \left(1 - \frac{\cos(\phi_{egr})}{\cos(\phi_{egr0})}\right) &= \frac{\dot{m}_{egr,d}}{\sqrt{2\rho_{egr}} \frac{\pi\mu_{egr}D_{egr}^2}{4} \sqrt{p_{egr} - p_m}} \Rightarrow \phi_{egr} \quad \dots (10) \end{aligned} \quad 20 \quad 30$$

【 0 0 5 7 】

上式 (10) を EGR 弁開度と開口面積のテーブル演算に置き換えて、図 5 の目標 EGR 率演算部 504 による目標 EGR 弁開度の演算に用いることができる。

【 0 0 5 8 】

【スロットル弁開度と EGR 弁開度の補正】

図 8 は、エアフローセンサ 3 と吸気管圧力センサ 6 の出力情報に基づいて、カルマンフィルタ 420 によって吸気管内状態を推定し、推定された吸気管内状態に基づいて、スロットル弁開度と EGR 弁開度の補正を実行する制御ブロックを示す。

【 0 0 5 9 】

状態空間モデル設定部 410 では、式 (1)，(2) で規定した吸気管内状態を後述する状態空間モデル（式 (12)，(13)）で記述し、入力情報に基づいて、行列、状態ベクトル、入力ベクトル、及び出力ベクトル（式 (14)～(16)）をそれぞれ定義する。本実施形態では、状態空間モデル設定部 410 に対し、エアフローセンサ 3 の検出値、EGR 弁通過流量演算部 803 の演算結果、シリンダ吸入流量演算部 804 の演算結果、及びカルマンフィルタ 420 が出力する吸気管内状態がそれぞれ入力される。状態空間モデル設定部 410 は、離散時間の毎ステップごとに状態空間モデルの各要素を定義し直す。

【0060】

カルマンフィルタ420では、状態空間モデル設定部410で定義した行列、状態ベクトル、入力ベクトル、及び出力ベクトルを前提に、吸気管圧力センサ6の検出値に基づき、後述するカルマンフィルタアルゴリズム（図11参照）に従って吸気管内状態を表す状態ベクトルを更新（補正）する。ここで、状態ベクトルは、吸気管圧力（式（1））と吸気管EGR率（式（2））で構成されるベクトルである。すなわち、カルマンフィルタ420は、吸気管内状態として、更新（補正）された吸気管圧力推定値及びEGR率推定値を出力する。なお、本明細書において特に断りがない場合、EGR率は吸気管EGR率を指す。

【0061】

EGR弁通過流量演算部803では、カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値と、EGR弁開度と、EGR弁上流状態と、EGR弁流量係数とに基づいて、EGR弁通過流量を演算する。ここで、EGR弁上流状態とは、EGR弁19の上流にあるEGR温度センサ17の検出値、及びEGR弁上流圧力センサ18の検出値である。このように、カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値を用いることによって、吸気管圧力の実測値を考慮してEGR弁通過流量を精度良く推定することができる。

【0062】

シリンダ吸入流量演算部804は、カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値及びEGR率推定値と、回転速度、可変バルブ状態、及び吸気効率とに基づいて、シリンダ吸入流量を演算する。シリンダ吸入流量は、吸気マニホールド5からシリンダへ抜ける吸気の流量である。ここで、可変バルブ状態とは、吸気バルブ位置センサ9及び排気バルブ位置センサ11の検出値（位相）である。このように、カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値とEGR率推定値を用いることによって、吸気管圧力の実測値を考慮してシリンダ吸入流量、新気充填効率、シリンダEGR率を精度良く推定することができる。シリンダEGR率は、シリンダ内における新気と排気の割合である。そして、燃焼制御部430（図4）において、これらの情報を点火時期制御及び燃料噴射制御に用いることで、点火時期制御及び燃料噴射制御が現在の状態を適切に反映して高精度かつロバストに実施できる。

【0063】

EGR弁開度補正量演算部805は、後述する式（28）を用いて、カルマンフィルタ420によって更新されたEGR率推定値と目標EGR率との差分から、EGR弁開度補正量を演算する（後述する式（28））。カルマンフィルタ420によって更新されたEGR率推定値を用いてEGR弁開度補正量を計算することによって、吸気管圧力の実測値を考慮してEGR率を精度良く制御することができる。

【0064】

スロットル弁開度補正量演算部806では、後述する式（27）を用いて、カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値と、目標トルク及び目標EGR率で規定される目標吸気管圧力との差分から、スロットル弁開度補正量を演算する。カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力推定値を用いてスロットル弁開度補正量を計算することによって、吸気管圧力の実測値を考慮してトルクを精度良く制御することができる。

【0065】

なお、補正後のEGR率推定値が考慮された新気充填効率（式（6））と、目標充填効率演算部502が出力する目標充填効率との差分から目標充填効率補正量を算出し、その目標充填効率補正量に基づいて、スロットル弁開度補正量を求めることもできる。

【0066】

[制御モデル]

次に、内部状態フィードバック制御を実現する制御モデルを構築するにあたり、用いられる機能について説明する。

10

20

30

40

50

図 9 は、制御モデルを構築するにあたり、用いられる機能をブロック線図で表した概念図である。推定器 910 は、入力変数と、内部の状態変数及びモデル定数と、このモデル定数で規定される静特性及び動特性に基づき、出力変数を求める。これにより、入力に対する出力挙動や内部状態の挙動を推定することができる。

【0067】

推定器 910 が制御対象を順問題として記述しているのに対して、制御モデルでは逆問題を解く必要がある。すなわち、出力変数を目標値として入力し、それを実現するための入力変数（制御量）を出力するのが制御器である。この制御器を導出するにあたり、以下のいくつかの機能ブロックを定義する。

【0068】

まず、推定器 910 の入出力関係を変更し、観測器 920 を構築する。入力変数、出力変数及びモデル定数をブロック入力に設定し、状態変数を出力させることで観測器 920 を構築できる。観測器 920 を実現する手法の一つに、本実施形態で採用するカルマンフィルタが挙げられる。

【0069】

さらに、推定器 910 の入出力関係を変更することで、学習器 930 を構築できる。入力変数と出力変数を教師データとしてブロック入力に設定し、モデル定数を出力させるものが学習器 930 である。本実施形態では、逐次最小二乗アルゴリズムを用いて学習器 930（システム同定）を実現している。

【0070】

〔吸気管内状態の状態空間モデル〕

次に、吸気管内状態を状態空間モデルで記述する方法を説明する。状態変数の時間微分をオイラーの一次の前進差分に従って離散式を次式（11）のように定義する。

【0071】

〔数11〕

$$\dot{x} \equiv \frac{dx}{dt} \cong \frac{x^{k+1} - x^k}{\Delta t} \quad \dots \dots (11)$$

【0072】

ここで、x の右上に付された添え字 k は、時間軸で離散化した際の現在値を表す。ここでは、一次精度の前進差分を用いたが、本発明はこれに限定されるものではない。式（11）に従い式（1），（2）を離散化して、次式（12），（13）の状態空間モデルで記述する。

【0073】

〔数12〕

$$x^{k+1} = Ax^k + Bu^k \quad \dots \dots (12)$$

〔数13〕

$$y^k = Cx^k \quad \dots \dots (13)$$

【0074】

ここで、式（12），（13）において、アルファベットで示された A，B 及び C はそれぞれ行列である。x^k は状態ベクトル、u^k は入力ベクトル、y^k は出力ベクトルであり、それぞれ次式（14），（15），（16）で与えられる。

【0075】

〔数14〕

10

20

30

40

50

$$x^k = \begin{bmatrix} p_m^k \\ \xi_m^k \\ \zeta_m^k \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (14)$$

【数 15】

$$u^k = \begin{bmatrix} \dot{m}_{th}^k \\ \dot{m}_{egr}^k \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (15)$$

10

【数 16】

$$y^k = [p_m^k] \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (16)$$

【0076】

また、行列 A、B 及び C はそれぞれ次式 (17)、(18)、(19) で与えられる。

【0077】

【数 17】

$$A = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\Delta t}{V_m} \frac{N_e}{120} \eta_{in} V_d & 0 \\ 0 & 1 - \frac{\Delta t}{V_m} \frac{N_e}{120} \eta_{in} V_d \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (17)$$

20

【数 18】

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t R T_a}{V_m} & \frac{\Delta t R T_{egr}}{V_m} \\ 0 & \frac{\Delta t R T_m}{p_m V_m} \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (18)$$

30

【数 19】

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (19)$$

【0078】

図 8 の状態空間モデル設定部 410 では、状態方程式を状態空間モデルで整理し、式 (14) ~ (16) 及び式 (17) ~ (19) で定義された行列及びベクトルを、カルマンフィルタ 420 において実行されるカルマンフィルタ処理に受け渡す。

40

【0079】

【カルマンフィルタの内部構成及びカルマンフィルタアルゴリズム】

次に、カルマンフィルタ 420 の内部構成及びカルマンフィルタアルゴリズムについて、図 10 及び図 11 を参照して説明する。

図 10 は、カルマンフィルタ 420 の内部構成例を示すブロック図である。図 11 は、カルマンフィルタ 420 で実行されるカルマンフィルタアルゴリズムの例を示すフローチャートである。

【0080】

本実施形態のシステムでは、線形カルマンフィルタアルゴリズムを採用しているが、本

50

発明はこれに限定されるものではない。すなわち、非線形カルマンフィルタとして知られる拡張カルマンフィルタや、アンサンブルカルマンフィルタなどを適用しても同様の効果を奏する。以下、スロットル弁制御及びEGR弁制御の構成要素の一つであるカルマンフィルタ420について、アルゴリズム及び本制御への適用方法を述べる。

【0081】

カルマンフィルタ420は、制御対象である吸気管内状態を状態方程式で記述し、状態方程式の出力変数にセンサ測定情報を規定する。そして、出力変数に規定されたセンサ測定情報に基づき、直接測定できない吸気管内状態を表す状態変数（以下「内部状態変数」と称する）が推定される。

【0082】

カルマンフィルタ420を実行するに際し、ECU21の制御部23は、カルマンフィルタ420の実行可否を判断する（S1101）。実行可否の判断指標として、センサ状態や前提とする状態方程式の予測範囲が考慮される。例えば、センサ状態として、センサの故障や断線によりセンサ出力が得られないこと、あるいは、センサが劣化してセンサ出力に許容できない誤差が発生していることなどが診断によって判断された場合には、正確なフィルタ処理ができないためカルマンフィルタ420を実行しない。状態方程式で対象としている状態量は、ここでは吸気管内圧力と吸気管EGR率である。状態方程式の変数のいずれかが予測範囲（状態方程式で取りうる理論的／物理的範囲）を超える場合、すなわち状態方程式がカバーできない領域では、正確なフィルタ処理ができないためカルマンフィルタ420を実行しない。

【0083】

制御部23は、これらの状況を検知した場合には、カルマンフィルタ420を実行不可（S1101のNO）と判断して本フローチャートの処理を終了し、カルマンフィルタ420を実行可（S1101のYES）と判断したときはステップS1102に移行する。なお、制御部23は、カルマンフィルタ420を実行不可と判断したとき、エンジンシステムに対するフェールセーフ処理フラグを設定するようにしてもよい。

【0084】

以下に、ステップS1102～S1106で実行される演算式を具体的に示す。カルマンフィルタ420では、次式（20）、（21）で定義したシステムノイズQ、及び観測ノイズRを含む状態方程式を前提とする。

【0085】

【数20】

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Q \quad \dots (20)$$

【数21】

$$y(k) = Cx(k) + R \quad \dots (21)$$

【0086】

ここで、“k”は離散時間の現在値を意味する。カルマンフィルタ420の処理は、予測ステップとフィルタリングステップに分けられる。予測ステップでは、カルマンフィルタ420において吸気管内状態推定部421（図4）は、入力変数とシステムノイズQに基づき、次式（22）、（23）により内部状態変数ベクトルx及び共分散行列Pを計算（更新）する（S1102、S1103）。

【0087】

【数22】

$$x(k|k-1) = Ax(k-1|k-1) + Bu(k) \quad \dots (22)$$

10

20

30

40

50

【数 2 3】

$$P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A^T + Q \quad \dots\dots(23)$$

【0088】

次に、フィルタリングステップでは、状態観測器 422（図 4）は、更新後の共分散行列 P と観測ノイズ R で規定されるカルマンゲイン K を、次式（24）により計算する（S1104）。なお、状態観測器 422 が、ステップ S1103 で共分散行列 P を計算する構成としてもよい。

【0089】

【数 2 4】

$$K(k) = \frac{P(k|k-1)C^T(k)}{R+C(k)P(k|k-1)C^T(k)} \quad \dots\dots(24)$$

【0090】

さらに、状態観測器 422 は、カルマンゲイン K と観測データ（吸気管圧力センサ 6 の検出値）を用いて、次式（25）、（26）により内部状態変数ベクトル x 及び共分散行列 P を再度更新する（S1105、S1106）。式（26）のアルファベット“E”は単位行列である。ステップ 1105、S1106 の処理が終了後、処理の手順がステップ S1101 に戻る。このように、内部状態変数ベクトル x 及び共分散行列 P が、実際の観測データ y（k）（吸気管圧力センサ 6 の検出値）によって補正される。

【0091】

【数 2 5】

$$x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)(y(k) - C(k)x(k|k-1)) \quad \dots\dots(25)$$

【数 2 6】

$$P(k|k) = [I - K(k)C(k)]P(k|k-1) \quad \dots\dots(26)$$

【0092】

以上の計算より、直接測定することが困難な内部状態変数 x（k | k）の一つである EGR 率の挙動を、測定可能な吸気管圧力センサ 6 の出力情報に基づいて推定することができる。本実施形態では、カルマンフィルタ 420 から出力される吸気管内状態（吸気管圧力、EGR 率）の情報を、内部状態フィードバック制御、及びシステム同定（学習）のための教師データに用いる。

【0093】

〔内部状態フィードバック制御〕

次に、図 8 で示したスロットル弁開度補正量演算部 806 のスロットル弁開度補正量、及び EGR 弁開度補正量演算部 805 の EGR 弁開度補正量の演算において実行される、内部状態フィードバック制御方法を説明する。内部状態フィードバック制御には、比例項、積分項、及び微分項で構成される PID 制御を用いるがこの例に限らない。

【0094】

（スロットル弁開度補正量演算）

スロットル弁開度補正量演算部 806 は、カルマンフィルタ 420 の状態観測器 422 によって補正（更新）された吸気管圧力推定値と、目標トルク及び目標 EGR 率で規定される目標吸気管圧力との差分から、次式（27）に基づいてスロットル弁開度補正量 $\delta\phi_{th}$ を演算する。

【0095】

10

20

30

40

50

【数 2 7】

$$\delta\phi_{th} = C_{P,t}(p_{m,d} - p_m) + C_{I,t} \int (p_{m,d} - p_m) dt + C_{D,t} \frac{d}{dt} (p_{m,d} - p_m)$$

$$\phi_{th} \leftarrow \phi_{th} + \delta\phi_{th} \quad \dots (27)$$

【0096】

ここで、 $C_{P,t}$ 、 $C_{I,t}$ 及び $C_{D,t}$ はPID制御パラメータである。制御部23は、図5にも示すように、スロットル弁開度指令値にスロットル弁開度補正量を加えて、スロットル弁開度を制御する。カルマンフィルタ420によって更新された吸気管圧力（推定値）を用いてスロットル弁開度補正量を求めることによって、吸気管圧力の実測値を考慮してトルクを精度良く制御することができる。

10

【0097】

（EGR弁開度補正量演算）

EGR弁開度補正量演算部805は、カルマンフィルタ420の状態観測器422によって補正（更新）されたEGR率推定値と、目標EGR率との差分から、EGR弁開度補正量 $\delta\phi_{egr}$ を次式（28）で演算する。

【0098】

【数 2 8】

$$\delta\phi_{egr} = C_{P,e}(\xi_{m,d} - \xi_m) + C_{I,e} \int (\xi_{m,d} - \xi_m) dt + C_{D,e} \frac{d}{dt} (\xi_{m,d} - \xi_m)$$

$$\phi_{egr} \leftarrow \phi_{egr} + \delta\phi_{egr} \quad \dots (28)$$

20

【0099】

ここで、 $C_{P,e}$ 、 $C_{I,e}$ 、及び $C_{D,e}$ はPID制御パラメータである。制御部23は、図5にも示すように、EGR弁開度指令値にEGR弁開度補正量を加えて、EGR弁開度を制御する。カルマンフィルタ420によって更新されたEGR率（推定値）を用いてEGR弁開度補正量を求めることによって、吸気管圧力の実測値を考慮してEGR率を精度良く制御することができる。なお、ここではPID制御を用いたが、本発明はこれに限定されるものではなく、比例項、積分項、微分項のいずれか一つによる制御、又は二つの項を組み合わせた制御の場合も、同様の効果を奏する。

30

【0100】

【スロットル弁流量係数、EGR弁流量係数及びシリンダ吸気効率の学習】

図12は、スロットル弁流量係数、EGR弁流量係数及びシリンダ吸気効率の学習を実行する制御ブロックを示す。

【0101】

スロットル弁流量係数演算部1201は、エアフローセンサ3の検出値、スロットル弁開度、スロットル弁上流状態、及びカルマンフィルタ420の出力である吸気管圧力推定値に基づき、スロットル弁流量係数を演算する。スロットル弁流量係数は、スロットル弁流量係数システム同定部1204に入力される。ここで、スロットル弁上流状態とは、スロットル弁4の上流側における吸気、すなわち大気の状態及び圧力である。なお、図1においてスロットル弁上流の状態を測定する温度センサ及び圧力センサの記載は省略している。

40

【0102】

EGR弁流量係数演算部1202は、EGR弁開度、EGR弁上流状態、カルマンフィルタ420の出力であるEGR率推定値、及びシリンダ吸気効率演算部1203で求められたシリンダ吸気効率に基づき、EGR弁流量係数を演算する。EGR弁流量係数は、E

50

G R 弁流量係数システム同定部 1 2 0 5 に入力される。ここでは、シリンダ吸気効率、回転速度、及び E G R 率推定値に基づき E G R 弁通過流量を求め、この E G R 弁通過流量と E G R 弁開度と E G R 弁上流状態から、E G R 弁流量係数を求めている。

【0103】

なお、E G R 弁流量係数演算部 1 2 0 2 では、シリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 によるシリンダ吸気効率の学習結果を利用している。エアフローセンサ 3 は、吸気管 3 1 の吸気の流量を検出するが、その検出値はスロットル弁 4 の影響を受ける。そのため、スロットル弁 4 の下流側の状態としては、エアフローセンサ 3 の検出値よりも、シリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 が出力するシリンダ吸気効率の学習結果の方が、信頼度が高い。このため、E G R 弁流量係数の計算にシリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 が出力するシリンダ吸気効率の学習結果を利用することで、E G R 弁流量係数の学習効率が向上する。もちろん、エアフローセンサ 3 の検出値を用いて E G R 弁流量係数の計算を行うことは可能である。

【0104】

シリンダ吸気効率演算部 1 2 0 3 は、カルマンフィルタ 4 2 0 の出力である吸気管圧力推定値及び E G R 率推定値、エアフローセンサ 3 の検出値、回転速度、及び可変バルブ状態に基づいて、シリンダ吸気効率を演算する。シリンダ吸気効率は、シリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 に入力される。エアフローセンサ 3 の検出値は、E G R 管 1 5 の排ガスが吸気管 3 1 に還流していない状態（定常状態）でエアフローセンサ 3 が出力する値である。

【0105】

スロットル弁流量係数システム同定部 1 2 0 4、E G R 弁流量係数システム同定部 1 2 0 5、及びシリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 はそれぞれ、学習器 4 5 0 に相当する。

【0106】

スロットル弁流量係数システム同定部 1 2 0 4 は、スロットル弁流量係数演算部 1 2 0 1 で求められたスロットル弁流量係数を、現在の回転速度をベースに後述するシステム同定アルゴリズム（図 1 7 参照）に基づき逐次学習する。すなわち、スロットル弁流量係数システム同定部 1 2 0 4（学習器）は、カルマンフィルタ 4 2 0 の状態観測器 4 2 2（推定値補正部）で補正された吸気管圧力推定値に基づいて求められるスロットル弁流量係数と、エアフローセンサ 3 の検出値と、スロットル弁開度との関係を学習するように構成されている。

【0107】

また、E G R 弁流量係数システム同定部 1 2 0 5 は、E G R 弁流量係数演算部 1 2 0 2 で求められた E G R 弁流量係数を、現在の回転速度をベースに後述するシステム同定アルゴリズムに基づき逐次学習する。すなわち、E G R 弁流量係数システム同定部 1 2 0 5（学習器）は、カルマンフィルタ 4 2 0 の状態観測器 4 2 2（推定値補正部）で補正された E G R 率推定値に基づいて求められる E G R 弁流量係数と、E G R 弁開度との関係を学習するように構成されている。

【0108】

また、シリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6 は、シリンダ吸気効率演算部 1 2 0 3 で求められたシリンダ吸気効率を、現在の回転速度をベースに後述するシステム同定アルゴリズムに基づき逐次学習する。すなわち、シリンダ吸気効率システム同定部 1 2 0 6（学習器）は、カルマンフィルタ 4 2 0 の状態観測器 4 2 2（推定値補正部）で補正された吸気管圧力推定値及び E G R 率推定値、回転速度に基づいて求められるシリンダ吸気効率と、回転速度と、可変バルブ状態との関係を学習するように構成されている。

【0109】

スロットル弁流量係数の学習結果（モデル定数）、E G R 弁流量係数の学習結果（モデル定数）、及びシリンダ吸気効率の学習結果（モデル定数）は、カルマンフィルタ 4 2 0（図 4）に入力される。そして、カルマンフィルタ 4 2 0 の吸気管内状態推定部 4 2 1 で

10

20

30

40

50

使用される状態空間モデルのモデル定数（調整パラメータ）が更新される。モデル定数は、例えば逐次最小二乗アルゴリズムにより求められる多項式の偏回帰係数である。

【0110】

このような構成とすることで、スロットル弁4やEGR弁19のデポジット付着や、吸気バルブチェーン伸びなどによる開閉位相ばらつきなどに起因した流量特性の経時変化の影響を逐次学習し、経時変化の影響を内部状態フィードバック制御へ適切に反映できる。デポジットとは、燃焼室壁面やバルブ内面等に堆積した燃料及びオイルの燃焼生成物である酸化物や炭化物である。本明細書では、デポジットを「デポ」と略称する。

【0111】

異常診断部1207は、スロットル弁流量係数、EGR弁流量係数、及びシリンダ吸気効率の各学習結果に基づいて、それぞれの正常／異常を診断する。異常診断部1207は、各学習値が異常状態を判定するための閾値を超える場合には異常状態と判定し、警告表示ランプ22を点灯することで外部に通知するとともに、異常値をECU21のメモリ（記憶部24）に記憶する。

【0112】

スロットル弁流量係数と閾値とを比較することで、スロットル弁4の異常の有無を診断できる。例えば、補正された吸気管圧力（カルマンフィルタ420が出力した吸気管圧力推定値）とエアフローセンサ3の実測値とスロットル弁開度との関係が、予め想定した関係から逸脱していないかどうか（正常の範囲内か否か）がわかる。また、EGR弁流量係数と閾値との比較結果から、EGR弁19（EGRシステム）の異常の有無を診断できる。例えば、補正されたEGR率（カルマンフィルタ420が出力したEGR率推定値）とEGR弁開度との関係が、予め想定した関係から逸脱していないかがわかる。

【0113】

また、異常診断部1207は、学習器450が出力するスロットル弁流量係数、EGR弁流量係数、及びシリンダ吸気効率の学習値の時間変化（例えば所定時間当たりの変化量）に基づいて、学習値がそれぞれに設定した異常状態を判定するための閾値に至るまでの期間を予測（予兆診断）するようにしてもよい。異常診断部1207は、予測した期間を基に警告表示ランプ22等に出したり、記憶部24に記憶したりする。なお、予兆診断では、学習値が上記閾値（第1の閾値）よりも低い第2の閾値を超えた場合に、学習値が第1の閾値に至るまでの期間を予測するようにしてもよい。

【0114】

〔学習で用いられる関数近似〕

次に、図12で示したスロットル弁流量係数、EGR弁流量係数、及びシリンダ吸気効率の各学習で用いられる関数近似の方法を説明する。学習では、学習すべき値を出力変数に設定し、内燃機関1の運転状態を入力変数に設定する。

上記の出力変数と入力変数との関係を次のような二元二次多項式で近似する。

【0115】

〔数29〕

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \beta_3 x_2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_2 \quad \cdots (29)$$

【0116】

ここで、 y は出力変数、 x_1 及び x_2 は入力変数、 $\beta_0 \sim \beta_5$ は偏回帰係数である。二乗項や交互作用項を設定することで入力変数間の非線形性を考慮し学習することができる。ここでは、二元二次多項式を用いる構成としたが、これに限定されるものではなく、線形式、三次元以上の多次元の多項式、三次以上の高次項を備えた多項式、三次元／二次以上の交互作用項を備えた多項式、それらの要素を組み合わせた多項式を用いることもできる。さらに、放射基底関数の重ね合わせによる近似手法（放射基底関数ネットワーク近似）を適用することや、マップ、テーブル値の更新でも同様の効果を奏する。

上記の多項式を偏回帰係数ベクトル θ と入力変数ベクトル ϕ で整理すると次式（30）

10

20

30

40

50

で表すことができる。

【0117】

【数30】

$$y = \varphi^T \theta \quad \dots \dots (30)$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}, \quad \varphi = \begin{bmatrix} 1 \\ x_1 \\ x_1^2 \\ x_2 \\ x_2^2 \\ x_1 x_2 \end{bmatrix}$$

10

【0118】

例えば、スロットル弁流量係数の学習においては、式(31)に示すように、出力変数 y にスロットル弁流量係数 μ_{th} を、入力変数 x_1 , x_2 に回転速度 N_e とスロットル弁開度 ϕ_{th} を設定する。スロットル弁流量係数 μ_{th} 及び EGR 弁流量係数 μ_{egr} の値は、各弁にデポが付着すると小さくなる。これにより、現在の運転状態を反映したスロットル弁流量係数の学習が行われる。なお、入力変数(運転状態)は望ましい例を挙げたに過ぎず、この例に限らない。

20

【0119】

【数31】

$$y \equiv \mu_{th} \quad x_1 \equiv N_e \quad x_2 \equiv \phi_{th} \quad \dots \dots (31)$$

【0120】

例えば、EGR 弁流量係数の学習においては、式(32)に示すように、出力変数 y に EGR 弁流量係数 μ_{egr} を、入力変数 x_1 , x_2 に回転速度 N_e と EGR 弁開度 ϕ_{egr} を設定する。これにより、現在の運転状態を反映した EGR 弁流量係数の学習が行われる。なお、入力変数(運転状態)は望ましい例を挙げたに過ぎず、この例に限らない。

30

【0121】

【数32】

$$y \equiv \mu_{egr} \quad x_1 \equiv N_e \quad x_2 \equiv \phi_{egr} \quad \dots \dots (32)$$

【0122】

例えば、シリンダ吸気効率の学習においては、式(33)に示すように、出力変数 y にシリンダ吸気効率 η_{in} を、入力変数 x_1 , x_2 に回転速度 N_e と吸気管圧力 p_m を設定する。これにより、現在の運転状態を反映したシリンダ吸気効率の学習が行われる。なお、入力変数(運転状態)の例は望ましい例を挙げたに過ぎず、この例に限らない。

40

【0123】

【数33】

$$y \equiv \eta_{in} \quad x_1 \equiv N_e \quad x_2 \equiv p_m \quad \dots \dots (33)$$

【0124】

以下には、入力と出力との関係に基づき偏回帰係数ベクトル θ を逐次更新する方法を示す。なお、図13及び式(34), (36)では、偏回帰係数ベクトルを θ の上に記号 $\hat{}$

50

を付して表している。

【0125】

〔システム同定〕

図13は、学習器450（スロットル弁流量係数システム同定部1204、EGR弁流量係数システム同定部1205、及びシリンダ吸気効率システム同定部1206）によるシステム同定のための逐次最小二乗アルゴリズムの例を示すフローチャートである。

【0126】

ECU21の制御部23は、学習器450によるシステム同定（逐次最小二乗アルゴリズム）を実行するに際し、システム同定の実行可否を判断する（S1301）。実行可否の判断指標として、ステップS1101と同様に、センサ状態や前提とする状態方程式の予測範囲が考慮される。制御部23は、システム同定を実行不可（S1301のNO）と判断した場合には本フローチャートの処理を終了し、システム同定を実行可（S1301のYES）と判断した場合にはステップS1302に移行する。以下には、ステップS1302～S1306で実行される演算式を具体的に示す。

【0127】

ここで対象とする吸気システムは時変システムであり、これに対応するため、可変忘却要素を備える逐次同定アルゴリズムを採用する。忘却要素とは、古さに応じて過去データの影響を指数関数的に軽減する機能である。忘却要素を採用することで、偏回帰係数ベクトル（調整パラメータ）に対してエンジンシステムの最新状態の影響を適切に考慮できる。さらに、可変忘却とすることで、過渡状態では過去データを忘却しつつ、定常状態では忘却要素を1に近づけることで過去データを積極的に利用することができる。以下に、可変忘却要素付き逐次最小二乗アルゴリズムを示す。まず、制御部23の学習器450（図4）は、出力変数ごとに多項式と出力値との差分を誤差 $\varepsilon(k)$ として次式（34）で求める（S1302）。誤差 $\varepsilon(k)$ は、多項式近似値と実際の値（各演算部1201～1203の出力値）との差であり、下記においてこの差がゼロになるように偏回帰係数ベクトル $\theta(k)$ （図及び式では θ の上に記号 $\hat{\cdot}$ を記載）が更新される。

【0128】

〔数34〕

$$\varepsilon(k) = y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1) \quad \dots\dots(34)$$

【0129】

次に、学習器450は、共分散行列 $P(k-1)$ と、入力ベクトル $\phi(k)$ と、忘却要素 $\lambda(k)$ から、 $L(k)$ を次式（35）で求める（S1303）。そして、学習器450は、 $L(k)$ と誤差 $\varepsilon(k)$ に基づき、偏回帰係数ベクトル $\theta(k)$ （図及び式では θ の上に記号 $\hat{\cdot}$ を記載）を次式（36）で随時更新する（S1304）。

【0130】

〔数35〕

$$L(k) = \frac{P(k-1)\varphi(k)}{\lambda(k-1) + \varphi^T(k)P(k-1)\varphi(k)} \quad \dots\dots(35)$$

〔数36〕

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k)\varepsilon(k) \quad \dots\dots(36)$$

【0131】

このとき、学習器450は、忘却要素 $\lambda(k)$ 及び共分散行列 $P(k)$ を、それぞれ次式（37）、（38）で求める（S1305、S1306）。

【0132】

10

20

30

40

50

【数 3 7】

$$\lambda(k) = 1 - \frac{\varphi^T(k)L(k)}{\sigma} \varepsilon^2(k) \quad \dots \dots (37)$$

【数 3 8】

$$P(k) = \frac{1}{\lambda(k)} [I - L(k)\varphi^T(k)]P(k-1) \quad \dots \dots (38)$$

10

【0133】

ここで、式(37)の σ は、学習時における忘却要素 $\lambda(k)$ の調整パラメータである。式(38)のアルファベット“ I ”は単位行列であり、状態変数の数(ここでは吸気管内圧力と吸気管EGR率の2個)を行数及び列数とする行列である。学習器450は、ステップ1305及びS1306の処理が終了後、ステップS1301に戻り所定の時間間隔で一連の処理を繰り返す。

【0134】

なお、本実施形態のパラメータ同定アルゴリズムでは、逐次最小二乗アルゴリズムを採用しているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわちパラメータ同定アルゴリズムとしては、勾配法や遺伝的アルゴリズムなど、他の最適化手法を適用しても同様の又はこれに近い効果を奏する。

20

【0135】

[スロットル弁開度及びEGR弁開度の制御とその効果]

次に、目標トルク及び目標EGR率を実現するスロットル弁開度及びEGR弁開度の制御動作及びその効果について、図14～図16を参照して説明する。

【0136】

(スロットル弁にデポ付着、カルマンフィルタ)

図14は、目標トルク及び目標EGR率を実現するスロットル弁開度及びEGR弁開度の制御において、スロットル弁4にデポが付着した場合の制御動作及びその効果を示す。図14において一段目から四段目のグラフはそれぞれ、トルク(正味平均有効圧)及びEGR率の増減と、そのトルク及びEGR率の増減に対するスロットル弁開度及びEGR弁開度の変化とを表している。後述する図15と図16も同様である。

30

【0137】

デポの付着がない場合、目標EGR率を固定した状態(二段目の実線)で目標トルクを矩形波(一段目の実線)のように増減させた際の、スロットル弁開度及びEGR弁開度は、目標トルクの増加に従って、スロットル弁開度が増加するとともに(三段目の実線)、EGR弁開度が増加する(四段目の実線)。一方、スロットル弁4にデポが付着すると、スロットル弁開度及びEGR弁開度に変化が無い場合には、スロットル弁4を通過する空気の流れが遮られ空気量が減少するのに対して、EGR管15内の排ガスが相対的に増加することでEGR率が増加する(二段目の破線)。

40

【0138】

それに対し、エアフローセンサ3及び吸気管圧力センサ6の測定値を前提としたカルマンフィルタ420による内部状態フィードバックを実施した際の、スロットル弁開度及びEGR弁開度は、スロットル弁開度が増加側に補正され(三段目の一点鎖線)、トルク及びEGR率のいずれも目標値に精度良く制御できる(一段目及び二段目の実線)。カルマンフィルタ420による内部状態フィードバックを実施することで、スロットル弁4にデポが付着する外乱が吸気管31内に生じた場合でも、トルク及びEGR率を目標値に精度良く制御できるロバスト性を実現できる。

【0139】

(スロットル弁及びEGR弁にデポ付着、カルマンフィルタ)

50

図15は、目標トルク及び目標EGR率を実現するスロットル弁開度及びEGR弁開度の制御において、スロットル弁4とEGR弁19の両方にデポが付着した場合の制御動作（カルマンフィルタ420による内部状態フィードバック）及びその効果を示す。目標EGR率を固定した状態で目標トルクを矩形波のように増減させた際の、スロットル弁開度及びEGR弁開度の推移を表している。

【0140】

スロットル弁4及びEGR弁19にデポが付着すると、エアフローセンサ3及び吸気管圧力センサ6の測定値を前提としたカルマンフィルタ420による内部状態フィードバックを実施した際の、スロットル弁開度及びEGR弁開度は、スロットル弁開度及びEGR弁開度が増加側に補正され（三段目及び四段目の一点鎖線）、トルクは目標値近傍（増加側）に制御できる（一段目の破線）。

10

【0141】

一方で、EGR率は減少側に誤差を伴い大きく推移する（二段目の破線）。EGR弁19にデポが付着する外乱に対しては、カルマンフィルタ420による内部状態フィードバックでは、EGR率を適切に補正できない。これは、カルマンフィルタ420において前提とするEGR弁通過流量式（式（4））のEGR弁流量係数が、実際の値と異なる（デポ付着の影響を考慮しない場合）からである。したがって、EGR弁通過流量式のEGR弁流量係数を実際の値に又は実際の値とほぼ同じ値に、更新する必要がある。

【0142】

（スロットル弁及びEGR弁にデポ付着、カルマンフィルタ及びシステム同定）

20

図16は、目標トルク及び目標EGR率を実現するスロットル弁開度及びEGR弁開度の制御において、スロットル弁4とEGR弁19の両方にデポが付着した場合の制御動作（カルマンフィルタ420による内部状態フィードバック及びシステム同定）及びその効果を説明する図である。目標EGR率を固定した状態で目標トルクを矩形波のように増減させた際の、スロットル弁開度及びEGR弁開度の推移を表している。

【0143】

学習器450（図12のEGR弁流量係数システム同定部1205）では、EGR弁19のデポ付着に伴うEGR弁流量係数の変化を学習し、カルマンフィルタ420におけるEGR弁通過流量式（式（4））に反映する。これにより、カルマンフィルタ420からフィードバックされる吸気管内状態の情報（吸気管圧力推定値、EGR率推定値）が正確なものとなり、EGR弁開度補正量をよりの確に計算することができる。それゆえ、EGR弁開度が適切に増加側に補正され（四段目の一転鎖線）、トルク及びEGR率がともに目標値に精度良く制御できる（一段目及び二段目の実線）。

30

【0144】

以上より、カルマンフィルタ420による内部状態フィードバックとシステム同定による学習を実施すると、スロットル弁4及びEGR弁19の両方にデポが付着する外乱が生じた場合でも、トルク及びEGR率を目標値に精度良く制御できるロバスト性を実現できる。一方、スロットル弁4及びEGR弁19のデポ付着に伴うEGR弁流量係数の変化を学習し、学習結果をスロットル弁開度及びEGR弁開度の各フィードフォワード制御演算（図5）に考慮することで、制御の応答性も改善させることができる。また、予め弁開度補正量とデポ付着量との関係を求めておくことで、弁開度補正量からデポ付着量を推定することが可能である。

40

【0145】

〔スロットル弁制御及びEGR弁制御〕

図17は、エアフローセンサ3の検出値と、吸気管圧力センサ6の検出値に基づいて、スロットル弁制御及びEGR弁制御を実行する手順例を示すフローチャートである。

【0146】

まず、ECU21の制御部23（目標トルク演算部501）は、運転者のアクセルペダル踏量、内燃機関1の回転速度、外部要求トルクなどの状態に基づいて、内燃機関1の目標トルクを演算する（S1701）。

50

【0147】

次いで、制御部23（目標EGR率演算部504）は、内燃機関1の回転速度、及び目標トルクから目標EGR率を演算する（S1702）。

【0148】

次いで、制御部23（目標スロットル弁開度演算部503）は、ステップS1701で求められた目標トルクに基づき、目標スロットル弁開度のフィードフォワード制御量を演算する（S1703）。

【0149】

次いで、制御部23（目標EGR弁開度演算部505）は、ステップS1702で求められた目標EGR率に基づき、目標EGR弁開度のフィードフォワード制御量を演算する（S1704）。

10

【0150】

次いで、制御部23は、エアフローセンサ3により内燃機関1に吸入される空気量を検知する（S1705）。次いで、制御部23は、吸気管圧力センサ6により吸気マニホールド5内の圧力を検知する（S1706）。

【0151】

次いで、制御部23（状態空間モデル設定部410）は、吸気管内状態を記述した物理モデルに基づき、状態空間モデル（行列、入力／出力／状態ベクトル）を設定する（S1707）。

【0152】

20

次いで、制御部23は、センサ状態や吸気管内状態に基づき、カルマンフィルタ420による内部状態フィードバック制御の実行可否を判定する（S1708）。制御部23は、実行可と判定した場合には実行許可フラグを“1”（オン）とし、実行不可と判定した場合には実行許可フラグを“0”（オフ）する。そして、実行許可フラグが“1”のとき（S1708のYES）、制御部23はカルマンフィルタ420（吸気管内状態推定部421、状態観測器422）の処理を実行し、吸気管内状態を表す吸気管圧力とEGR率を推定する（S1709）。上述したように、カルマンフィルタ420の処理は、エアフローセンサ3の検出値、吸気管圧力センサ6の検出値、及び状態空間モデル（行列、入力／出力／状態ベクトル）に基づいて実行される（図8参照）。

【0153】

30

一方、実行許可フラグが“0”のとき（S1708のNO）、制御部23は状態空間モデル（吸気管内状態推定部421）を実行し、吸気管内状態を表す吸気管圧力とEGR率を推定する。この吸気管圧力とEGR率の推定値は、カルマンフィルタ420の状態観測器422による補正（修正）が行われていない値である。

【0154】

次いで、ステップS1708のNO判定又はステップS1709の処理後、制御部23（バルブ補正量演算部440）は、上述の吸気管内状態を表す吸気管圧力とEGR率の推定値に基づき、スロットル弁開度とEGR弁開度を補正する（S1710、S1711）。すなわち、スロットル弁開度補正量演算部806が、上述の吸気管圧力の推定値と目標吸気管圧力に基づいてスロットル弁開度補正量を算出し、EGR弁開度補正量演算部805が、上述のEGR率の推定値と目標EGR率に基づいてEGR弁開度補正量を算出する（図8）。

40

【0155】

次いで、制御部23は、センサ状態や吸気管内状態に基づき、逐次最小二乗アルゴリズムによるシステム同定の実行可否を判定する（S1712）。制御部23は、システム同定可と判定した場合には（S1712のYES）、システム同定許可フラグを“1”（オン）とし、システム同定不可と判定した場合には（S1712のNO）、システム同定許可フラグを“0”（オフ）する。そして、システム同定許可フラグが“1”のとき（S1712のYES）、制御部23は、学習器450によりシステム同定を実行する（S1713）。ここでは学習器450として、スロットル弁流量係数システム同定部1204、EGR

50

弁流量係数システム同定部 1205、及びシリンダ吸気効率システム同定部 1206（図 12）がそれぞれ、システム同定を実行する。これにより、スロットル弁流量係数、EGR 弁流量係数、及びシリンダ吸気効率がそれぞれ最新値に更新される。システム同定許可フラグが“0”のとき（S1712のNO）、制御部 23 は、システム同定を実行せずステップ S1724 へ移行する。

【0156】

学習器 450（各システム同定部）は、状態空間モデルの調整パラメータの更新状況（調整パラメータの時間的変化量が所定値以下）に基づき、システム同定が完了したかどうかを判定する。同定が完了していない場合には、入力及び出力が変動すると調整パラメータが変化する。よって、入力及び出力が変動しても調整パラメータの変動が少なければ、同定が完了したと判断できる。このため、学習器 450 は、システム同定が完了していないと判定した場合には、システム同定処理を継続する。そして、学習器 450 は、システム同定が完了したら状態空間モデルの調整パラメータ（モデル定数）を更新する。

【0157】

次いで、ステップ S1712 の NO 判定又はステップ S1713 の処理後、制御部 23（異常診断部 1207）は、上記スロットル弁流量係数、EGR 弁流量係数、及びシリンダ吸気効率の最新値が、それぞれに設定された閾値を超えるか否かによってスロットル弁 4 及び EGR 弁 19（EGR システム）の異常判定を行う（S1714）。

【0158】

制御部 23 は、異常診断部 1207 でスロットル弁 4、又は EGR 弁 19 が異常であると判定された場合（S1714 の YES）、診断結果としてスロットル弁 4 又は EGR 弁 19 が異常であることを、外部（例えば警告表示ランプ 22（MIL））へ通知する。または、制御部 23 は、上記スロットル弁流量係数、EGR 弁流量係数、又はシリンダ吸気効率の最新値が閾値に近づきつつあるといった情報（予兆診断結果）を、外部へ通知する（S1715）。制御部 23 は、この異常時の状態についての情報を ECU 21 の記憶部 24 に記憶する。

【0159】

次いで、制御部 23 は、ステップ S1714 においてスロットル弁 4 又は EGR 弁 19 に異常なしと判定した場合（S1714 の NO）、又は、ステップ S1715 の処理が終了後、本フローチャートの処理を終了する。

【0160】

上述のステップ S1701～S1715 を設定した時間間隔で繰り返し実行することによって、スロットル弁 4 及び EGR 弁 19 の両方にデポが付着するなどの外乱が生じた場合でも、トルク及び EGR 率が目標値となるように精度良く制御できるロバスト性を実現できる。

【0161】

以上のとおり、本実施形態に係る電子制御装置（ECU 21）は、内燃機関の排気の一部を吸気管に還流させる EGR 管（EGR 管 15）及び当該 EGR 管内に配置された EGR 弁（EGR 弁 19）を有する EGR システムと、吸気管に取り込まれた空気の流量を検出するエアフローセンサ（エアフローセンサ 3）と、当該エアフローセンサの下流側に設けられたスロットル弁（スロットル弁 4）と、当該スロットル弁の下流側かつ吸気管と EGR 管との接続部分の下流側に設けられて吸気管内のスロットル弁下流の圧力である吸気管圧力を検出する吸気管圧力センサ（吸気管圧力センサ 6）と、を備えたエンジンを制御する電子制御装置である。この電子制御装置（ECU 21）は、エアフローセンサの検出値と EGR 弁開度（ ϕ_{egr} ）とに基づいて、吸気管圧力（ p_m ）と EGR 率（ ξ_m ）とを推定する状態推定部（吸気管内状態推定部 421）と、吸気管圧力センサの検出値と、状態推定部で推定された吸気管圧力推定値とに基づいて、状態推定部で推定された EGR 率推定値を補正する推定値補正部（状態観測器 422）と、を備える。

【0162】

また、本実施形態では、少なくとも上記の推定値補正部（状態観測器 422）にカルマ

10

20

30

40

50

ンフィルタ（カルマンフィルタ４２０）が適用される。

【０１６３】

上記のように構成された本実施形態によれば、推定値補正部において、吸気管圧力センサの検出値と吸気管圧力推定値とに基づいて、ＥＧＲ率推定値が補正される。これにより、ＥＧＲ制御精度を高位に保つことが可能となり、ＥＧＲ制御誤差に伴う内燃機関のノックや失火といった燃焼不良を防止することができる。さらに、目標ＥＧＲ率が減少方向に変動することが抑制されるため、燃費を低減できる。

【０１６４】

また、本発明は上述した実施形態に限られるものではなく、請求の範囲に記載した本発明の要旨を逸脱しない限りにおいて、その他種々の応用例、変形例を取り得ることは勿論である。例えば、上述した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために電子制御装置及びエンジン制御システムの構成を詳細かつ具体的に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成要素を備えるものに限定されない。また、上述した実施形態の構成の一部について、他の構成要素の追加又は置換、削除をすることも可能である。

【０１６５】

上述した実施形態では、本発明を過給機のないエンジンシステムに適用した例を説明したが、本発明はこの例に限らない。例えば、過給機を備えるエンジンシステムの制御モデルを作成すれば、過給機を備えるエンジンシステムに本発明を適用することが可能である。

【０１６６】

また、カルマンフィルタ４２０と学習器４５０の各機能を一つのまとまった機能であるかのように構成したり、カルマンフィルタ４２０と学習器４５０を一体に構成したりしてもよい。また、上記実施形態の各構成、機能、処理部等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計するなどによりハードウェアで実現してもよい。ハードウェアとして、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）やＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）などを用いてもよい。

【０１６７】

また、図１１、図１３及び図１７に示すフローチャートにおいて、処理結果に影響を及ぼさない範囲で、複数の処理を並列的に実行したり、処理順序を変更したりしてもよい。

【符号の説明】

【０１６８】

１…内燃機関、３…エアフローセンサ、４…スロットル弁、５…吸気マニホールド、６…吸気管圧力センサ、１２…燃料噴射弁、１３…点火プラグ、１５…ＥＧＲ管、１７…ＥＧＲ温度センサ、１８…ＥＧＲ弁上流圧力センサ、１９…ＥＧＲ弁、２１…ＥＣＵ、２２…警告表示ランプ、２３…制御部、２４…記憶部、３１…吸気管、３２…排気管、４１０…状態空間モデル設定部、４２０…カルマンフィルタ、４２１…吸気管内状態推定部、４２２…状態観測器、４３０…燃焼制御部、４４０…バルブ補正量演算部、４５０…学習器（システム同定）、８０３…ＥＧＲ弁通過流量演算部、８０４…シリンダ吸入流量演算部、８０５…ＥＧＲ弁開度補正量演算部、８０６…スロットル弁開度補正量演算部、１２０４…スロットル弁流量係数システム同定部、１２０５…ＥＧＲ弁流量係数同定部、１２０６…シリンダ吸気効率システム同定部、１２０７…異常診断部

10

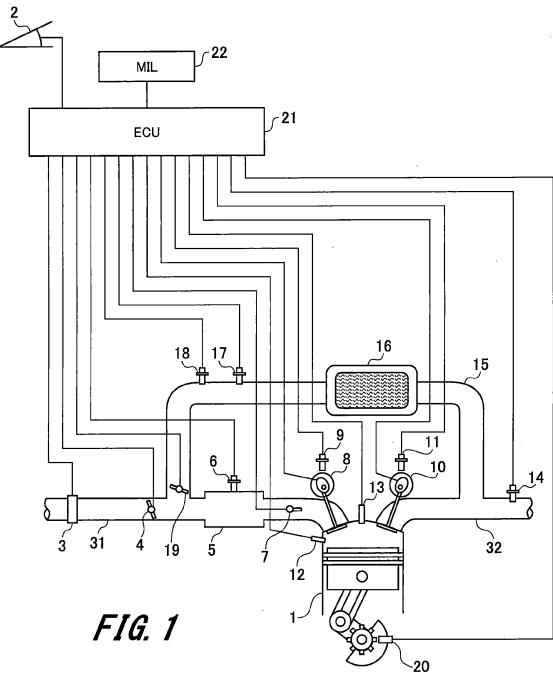
20

30

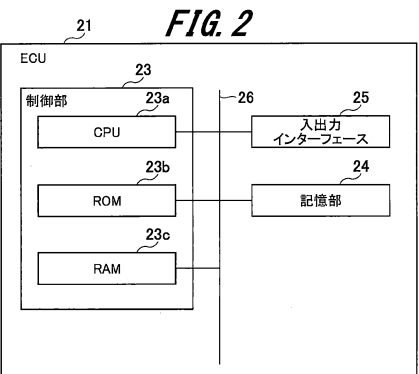
40

50

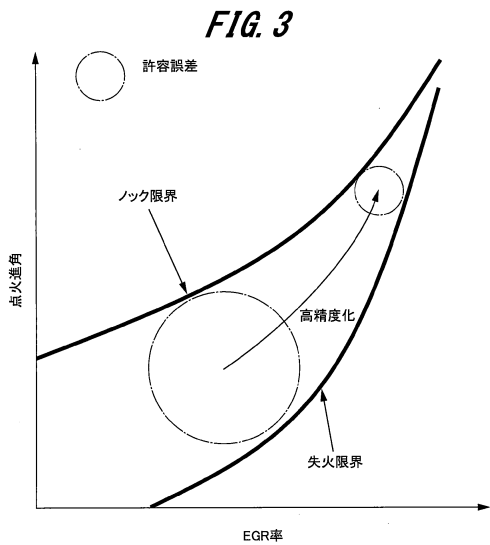
【図面】
【図 1】



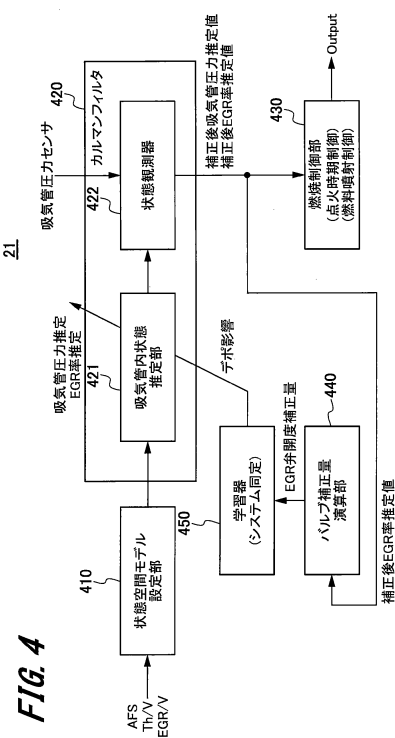
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

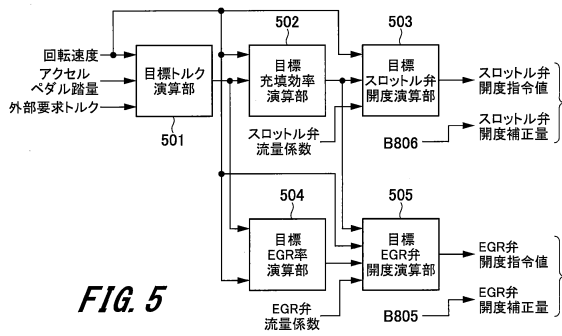


FIG. 5

【図 6】

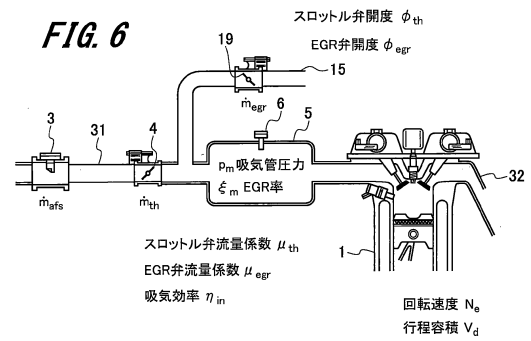


FIG. 6

【図 7】

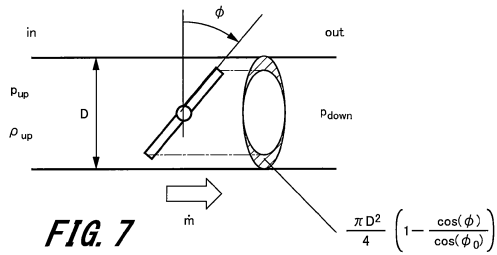


FIG. 7

【図 8】

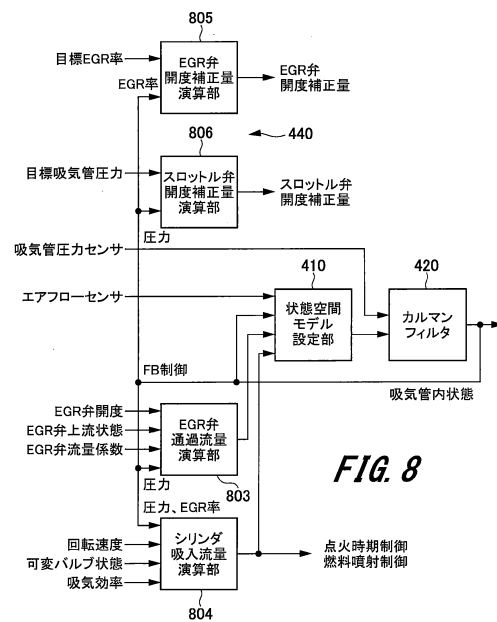
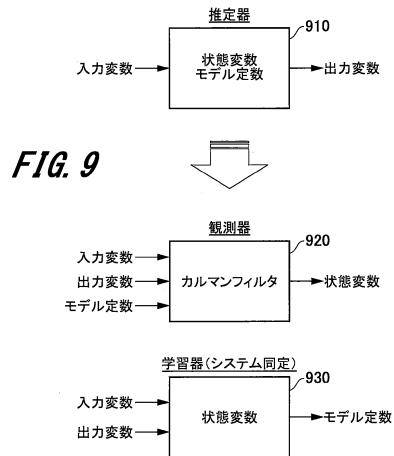
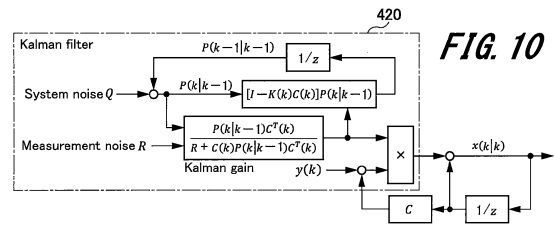


FIG. 8

【図 9】



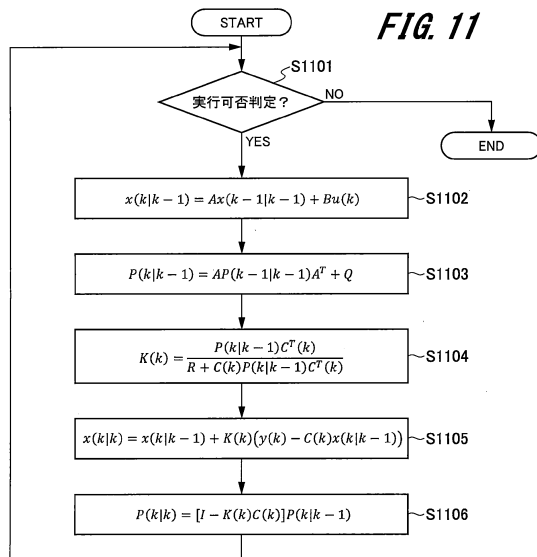
【図 10】



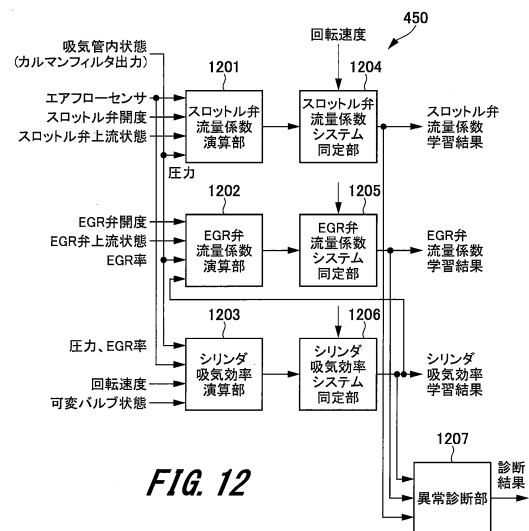
10

20

【図 11】



【図 12】

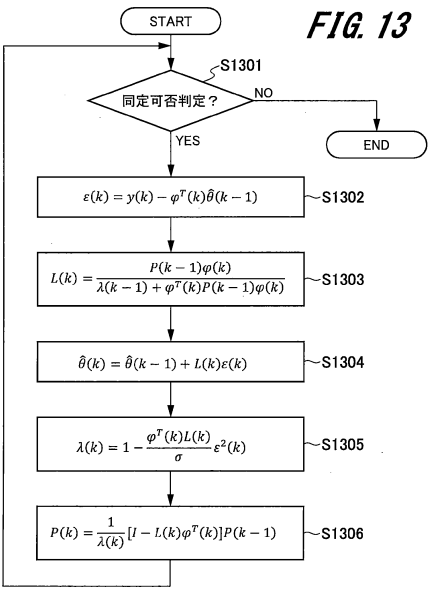


30

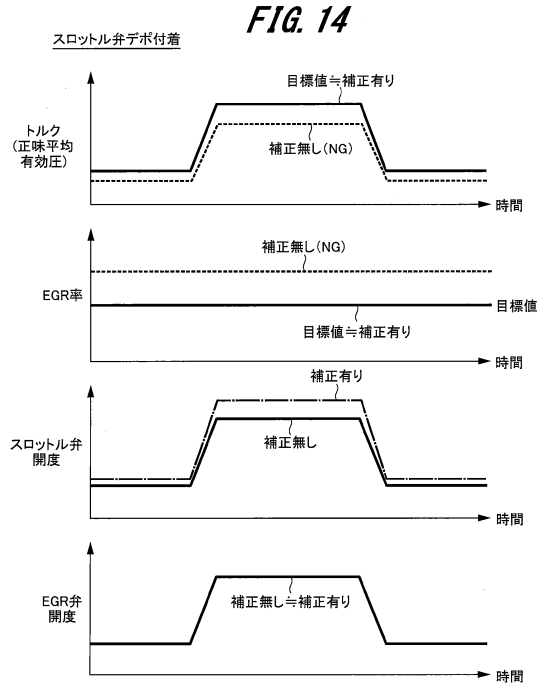
40

50

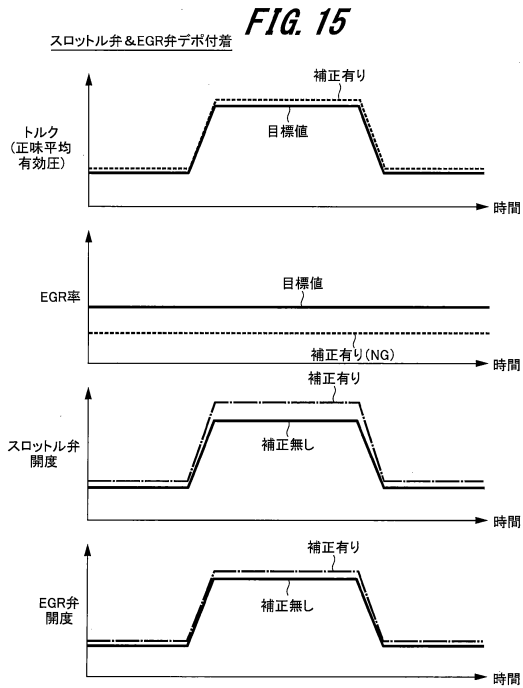
【図 13】



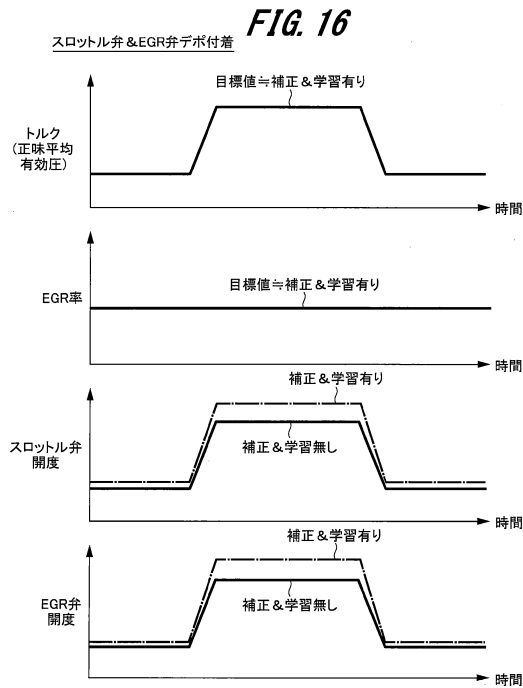
【図 14】



【図 15】



【図 16】



10

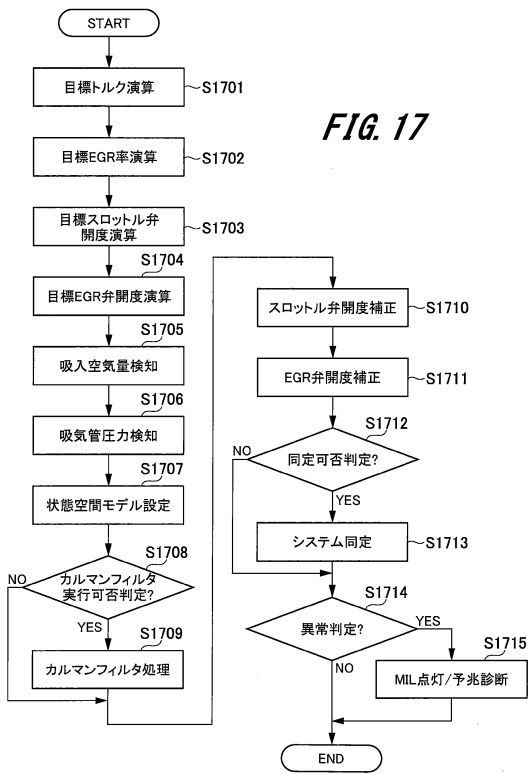
20

30

40

50

【図 17】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類	F 0 2 M 26/49 (2016.01)	F I		
		F 0 2 D	45/00	3 6 4 D
		F 0 2 D	45/00	3 6 6
		F 0 2 M	26/00	3 0 1
		F 0 2 M	26/49	

- (56)参考文献
- 特開 2 0 1 8 - 1 1 9 4 0 3 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 4 - 1 9 7 6 1 4 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 1 - 1 6 9 1 9 6 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 3 - 0 1 1 2 7 0 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 7 - 2 3 9 6 0 6 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 7 - 2 1 1 7 4 6 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 2 - 2 0 2 0 0 3 (J P , A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)
- F 0 2 D 2 1 / 0 8**
 - F 0 2 D 9 / 0 2**
 - F 0 2 D 4 3 / 0 0**
 - F 0 2 D 4 5 / 0 0**
 - F 0 2 M 2 6 / 0 0**
 - F 0 2 M 2 6 / 4 9**