

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6289543号
(P6289543)

(45) 発行日 平成30年3月7日 (2018.3.7)

(24) 登録日 平成30年2月16日 (2018.2.16)

(51) Int.Cl.

F I

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2D 45/00 368B

FO2D 45/00 368C

FO2D 45/00 368S

FO2D 45/00 358C

請求項の数 11 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-113188 (P2016-113188)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成28年6月7日 (2016.6.7)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2017-218948 (P2017-218948A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成29年12月14日 (2017.12.14)	(73) 特許権者	000003137
審査請求日	平成28年6月7日 (2016.6.7)		マツダ株式会社
			広島県安芸郡府中町新地3番1号
		(74) 代理人	100073759
			弁理士 大岩 増雄
		(74) 代理人	100088199
			弁理士 竹中 孝生
		(74) 代理人	100094916
			弁理士 村上 啓吾
		(74) 代理人	100127672
			弁理士 吉澤 憲治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置及びその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサの出力信号からノックの固有周波数成分を抽出し、抽出した前記ノックの固有周波数成分に基づいてノック信号を算出するノック信号算出部と、

前記ノック信号に基づいてバックグラウンドレベルを算出するBGL算出部と、
前記バックグラウンドレベルに基づいてノック判定閾値を算出するノック判定閾値算出部と、

前記ノック信号及び前記ノック判定閾値に基づいてノックの発生強度を算出するノック強度算出部と、

前記ノックの発生強度に応じて、ノックの発生が抑制されるように前記内燃機関の制御パラメータを変化させるノック制御部と、を備え、

前記BGL算出部は、前記ノック信号に対してローパスフィルタの処理を行って前記バックグラウンドレベルを算出し、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より小さい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より大きい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行う内燃機関の制御装置。

【請求項2】

前記燃焼状態検出センサは、前記内燃機関の振動を検出するノックセンサであり、

前記ノック信号算出部は、ノック検出期間の前記ノックセンサの出力信号に対して、離散フーリエ変換又は短時間フーリエ変換を行って、予め設定された時間毎の前記ノックの固有周波数成分のスペクトル列を算出し、前記ノック検出期間の前記スペクトル列のピーク値又は平均値を前記ノック信号として算出する請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記 B G L 算出部は、前記ローサイド周波数増加において、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より小さい場合は、前記ローサイド周波数を無限大の周波数に設定し、前記ローパスフィルタの出力値を前記ノック信号に一致させる請求項 1 又は 2 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 4】

前記 B G L 算出部は、前記ローパスフィルタとして離散化された一次遅れフィルタを用い、前記一次遅れフィルタは、フィルタゲインに前回の演算周期の前記一次遅れフィルタの出力値を乗算した値と、1 から前記フィルタゲインを減算した値を今回の演算周期の前記一次遅れフィルタの入力値に乗算した値との合計値を、今回の演算周期の前記一次遅れフィルタの出力値として算出する処理であり、前記ローサイド周波数増加において、前記一次遅れフィルタの入力値が前記前回の演算周期の一次遅れフィルタの出力値より小さい場合は、前記ローサイド周波数としての前記フィルタゲインを 0 にし、前記一次遅れフィルタの入力値が前記前回の演算周期の一次遅れフィルタの出力値より大きい場合は、前記ハイサイド周波数としての前記フィルタゲインを 0 より大きく且つ 1 より小さい値にする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 5】

前記 B G L 算出部は、前記ノック信号に対して二段以上の前記ローパスフィルタの処理を行って前記バックグラウンドレベルを算出し、少なくとも第一段の前記ローパスフィルタについて前記ローサイド周波数増加を行う請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

前記 B G L 算出部は、三段以上の前記ローパスフィルタの処理を行い、前記第一段から連続する二段以上の前記ローパスフィルタについて前記ローサイド周波数増加を行う請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 7】

前記 B G L 算出部は、少なくとも最終段の前記ローパスフィルタについて、前記ハイサイド周波数を前記ローサイド周波数よりも高くするハイサイド周波数増加を行う請求項 5 又は 6 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 8】

前記 B G L 算出部において、前記ノック信号の正側のステップ変化に対する前記バックグラウンドレベルの変化の時定数と、前記ノック信号の負側のステップ変化に対する前記バックグラウンドレベルの変化の時定数と、が同等になるように、前記ローパスフィルタそれぞれの前記ローサイド周波数及び前記ハイサイド周波数が設定されている請求項 7 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 9】

前記燃焼状態検出センサは、前記内燃機関の振動を検出するノックセンサ、又は前記内燃機関のシリンダ内の圧力を検出する筒内圧センサである請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 10】

前記制御パラメータは、点火時期、吸気可変バルブタイミング機構の位相、吸入空気量、及び燃料噴射のリッチ化量のいずれか一つ以上である請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 11】

内燃機関の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサの出力信号からノックの固有周波数成分を抽出し、抽出した前記ノックの固有周波数成分に基づいてノック信号

10

20

30

40

50

を算出するノック信号算出ステップと、

前記ノック信号に基づいてバックグラウンドレベルを算出するBGL算出ステップと、

前記バックグラウンドレベルに基づいてノック判定閾値を算出するノック判定閾値算出ステップと、

前記ノック信号及び前記ノック判定閾値に基づいてノックの発生強度を算出するノック強度算出ステップと、

前記ノックの発生強度に応じて、ノックの発生が抑制されるように前記内燃機関の制御パラメータを変化させるノック制御ステップと、を実行し、

前記BGL算出ステップでは、前記ノック信号に対してローパスフィルタの処理を行って前記バックグラウンドレベルを算出し、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より小さい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より大きい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行う内燃機関の制御方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、内燃機関に発生するノックを制御するための制御装置及びその制御方法に関するものである。

【背景技術】

20

【0002】

従来から、内燃機関に発生するノック現象を、内燃機関のシリンダブロックに直接取り付けられた振動センサ（以下、ノックセンサと称する）により検出する制御装置が知られている。内燃機関の運転中にノックが発生すると、内燃機関のボア径やノックの振動モードに応じて固有の周波数帯の振動が発生するため、制御装置は、この固有周波数の振動強度を測定することでノックの検出を行なう。

【0003】

また、内燃機関の特性として、点火時期を進角させると内燃機関の出力トルクは上昇するがノックは発生し易くなる。そのため、制御装置は、ノックを検出すると、点火時期を遅角側へ補正することでノックを抑制し、ノックを検出しなければ、点火時期を進角側に復帰させることにより、内燃機関の出力トルクの低下を抑制するノック制御を行う。ノック制御により、点火時期は、ノックが発生する直前の最も進角側の点火時期であるノック限界点火時期に制御される。

30

【0004】

このようなノック制御を行う技術として、例えば、下記の特許文献1及び特許文献2に記載された技術が既に知られている。特許文献1の技術では、ノック信号に対してローパスフィルタの処理を行って算出したノック信号の平均値をバックグラウンドレベルに設定し、バックグラウンドレベルに対してゲインの乗算及びオフセットの加算を行ってノック判定閾値を算出し、ノック判定閾値とノック信号とを比較してノックの発生を判定するように構成されている。

40

【0005】

特許文献2の技術では、対数変換されたノック信号の中央値とノック信号の標準偏差を算出し、ノック信号の中央値から、標準偏差に定数を乗算した値を減算してバックグラウンドレベルを算出し、ノック信号をバックグラウンドレベルで除算してノックの発生強度を算出するように構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第2542116号公報

【特許文献2】特開2007-154760号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1の技術では、ノックの発生状態によっては、ノック信号の頻度分布が歪み、ローパスフィルタにより算出されるノック信号の平均値（バックグラウンドレベル）が、期待される値よりも上側にずれる場合がある。その結果、ノック判定閾値も望ましい値よりも上側にずれ、ノックが発生しているにもかかわらず、ノックの発生を適切に検出できず、点火時期を適切に遅角できない問題があった。

【0008】

特許文献2の技術では、ノック信号の中央値から、標準偏差の定数倍値を減算してバックグラウンドレベルを算出しているため、ノック信号の頻度分布が歪んだ場合に、その歪みに応じてノック信号の中央値及び標準偏差が変動する。その結果、バックグラウンドレベルがノック信号の分布範囲よりも下側に逸脱したり、バックグラウンドレベルがノック信号の中央値に近づいたりし、ノック信号の頻度分布の歪みによって、ノック信号の分布範囲に対するバックグラウンドレベルの設定位置が変動する。また、特許文献2の技術では、標準偏差の演算に2乗演算及び平方根演算が必要となり、演算処理装置の処理負荷が増大する。

【0009】

そこで、ノックの発生常態によって、ノック信号の頻度分布が歪んでも、ノックの発生を適切に検出できる内燃機関の制御装置及びその制御方法が求められる。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明に係る内燃機関の制御装置は、内燃機関の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサの出力信号からノックの固有周波数成分を抽出し、抽出した前記ノックの固有周波数成分に基づいてノック信号を算出するノック信号算出部と、前記ノック信号に基づいてバックグラウンドレベルを算出するBGL算出部と、前記バックグラウンドレベルに基づいてノック判定閾値を算出するノック判定閾値算出部と、前記ノック信号及び前記ノック判定閾値に基づいてノックの発生強度を算出するノック強度算出部と、前記ノックの発生強度に応じて、ノックの発生が抑制されるように前記内燃機関の制御パラメータを変化させるノック制御部と、を備え、前記BGL算出部は、前記ノック信号に対してローパスフィルタの処理を行って前記バックグラウンドレベルを算出し、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より小さい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より大きい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行うものである。

【0012】

また、本発明に係る内燃機関の制御方法は、内燃機関の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサの出力信号からノックの固有周波数成分を抽出し、抽出した前記ノックの固有周波数成分に基づいてノックの特徴成分を表すノック信号を算出するノック信号算出ステップと、前記ノック信号に基づいてバックグラウンドレベルを算出するBGL算出ステップと、前記バックグラウンドレベルに基づいてノック判定閾値を算出するノック判定閾値算出ステップと、前記ノック信号及び前記ノック判定閾値に基づいてノックの発生強度を算出するノック強度算出ステップと、前記ノックの発生強度に応じて、ノックの発生が抑制されるように前記内燃機関の制御パラメータを変化させるノック制御ステップと、を実行し、前記BGL算出ステップでは、前記ノック信号に対してローパスフィルタの処理を行って前記バックグラウンドレベルを算出し、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より小さい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、前記ノック信号が前記ローパスフィルタの出力値より大きい場合の前記ローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行うものである。

【発明の効果】

【0014】

本発明に係る内燃機関の制御装置及びその制御方法によれば、バックグラウンドレベルは、ロック信号の頻度分布の範囲内で、頻度分布の最小値側に寄って設定されるため、ロックの発生状態によるロック信号の頻度分布の歪みの影響を受け難くなる。よって、ロック信号の頻度分布の歪みにかかわらず、ロック判定閾値を適切に設定することができ、ロックの発生を適切に検出し、ロックの発生を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の実施の形態1に係る内燃機関の概略構成図である。

10

【図2】本発明の実施の形態1に係る制御装置のブロック図である。

【図3】本発明の実施の形態1に係る制御装置のハードウェア構成図である。

【図4】比較例に係るバックグラウンドレベルの算出を説明する図である。

【図5】本発明の実施の形態1に係る二段構成の場合のバックグラウンドレベルの算出を説明する図である。

【図6】本発明の実施の形態1に係る二段構成の場合のBGL算出部のブロック図である。

【図7】本発明の実施の形態1に係る二段構成の場合のバックグラウンドレベルの算出を説明するタイムチャートである。

【図8】本発明の実施の形態1に係る二段構成の場合の過渡時のバックグラウンドレベルの挙動を説明するタイムチャートである。

20

【図9】本発明の実施の形態1に係る二段構成の場合の過渡時のバックグラウンドレベルの挙動を説明するタイムチャートである。

【図10】本発明の実施の形態1に係る三段構成の場合のBGL算出部のブロック図である。

【図11】本発明の実施の形態1に係る三段構成の場合のバックグラウンドレベルの算出を説明するタイムチャートである。

【図12】本発明の実施の形態1に係る三段構成の場合のバックグラウンドレベルの算出を説明する図である。

【図13】本発明の実施の形態1に係る三段構成の場合の過渡時のバックグラウンドレベルの挙動を説明するタイムチャートである。

30

【図14】本発明の実施の形態1に係る三段構成の場合の過渡時のバックグラウンドレベルの挙動を説明するタイムチャートである。

【図15】本発明の実施の形態1に係る制御装置の処理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】

【0016】

実施の形態1.

実施の形態1に係る内燃機関1の制御装置50（以下、単に制御装置50と称す）について図面を参照して説明する。図1は、本実施の形態に係る内燃機関1の概略構成図である。なお、本実施の形態に係る内燃機関1は、複数のシリンダ25及びピストン5を備えているが、図1には便宜上、1つのシリンダ25及びピストン5のみを示している。内燃機関1及び制御装置50は、車両に搭載され、内燃機関1は、車両（車輪）の駆動力源となる。

40

【0017】

1. 内燃機関1の構成

まず、内燃機関1の構成について説明する。内燃機関1は、空気と燃料の混合気を燃焼するシリンダ25を有している。内燃機関1は、シリンダ25に空気を供給する吸気路23と、シリンダ25で燃焼した排気ガスを排出する排気路17とを備えている。内燃機関1は、吸気路23を開閉するスロットルバルブ6を備えている。スロットルバルブ6は、制御装置50により制御される電気モータにより開閉駆動される電子制御式スロットルバ

50

ルブとされている。スロットルバルブ 6 には、スロットルバルブ 6 の開度に応じた電気信号を出力するスロットル開度センサ 7 が設けられている。

【0018】

吸気路 2 3 の最上流部には、吸気路 2 3 に吸入された空気を浄化するエアクリーナ 2 4 が設けられている。スロットルバルブ 6 の上流側の吸気路 2 3 には、吸気路 2 3 に吸入される吸入空気流量に応じた電気信号を出力するエアフローセンサ 3 が設けられている。スロットルバルブ 6 の下流側の吸気路 2 3 の部分は、吸気マニホールド 1 1 とされており、複数のシリンダ 2 5 に連結されている。吸気マニホールド 1 1 の上流側の部分は、吸気脈動を抑制するサージタンクとされている。

【0019】

吸気マニホールド 1 1 には、吸気マニホールド 1 1 内の気体の圧力であるマニホールド圧に応じた電気信号を出力するマニホールド圧センサ 8 が設けられている。なお、エアフローセンサ 3 及びマニホールド圧センサ 8 の何れか一方のみが設けられてもよい。吸気マニホールド 1 1 の下流側の部分には、燃料を噴射するインジェクタ 1 3 が設けられている。なお、インジェクタ 1 3 は、シリンダ 2 5 内に直接燃料を噴射するように設けられてもよい。

【0020】

シリンダ 2 5 の頂部には、空気と燃料の混合気に点火する点火プラグ 1 8 と、点火プラグ 1 8 に点火エネルギーを供給する点火コイル 1 6 と、が設けられている。また、シリンダ 2 5 の頂部には、吸気路 2 3 からシリンダ 2 5 内に吸入される吸入空気量を調節する吸気バルブ 1 4 と、シリンダ内から排気路 1 7 に排出される排気ガス量を調節する排気バルブ 1 5 と、が設けられている。吸気バルブ 1 4 には、そのバルブ開閉タイミングを可変にする吸気可変バルブタイミング機構が設けられている。吸気可変バルブタイミング機構 1 4 は、吸気バルブの開閉タイミングを変化させる電動アクチュエータを有している。

【0021】

内燃機関 1 のクランク軸には、外周に予め定められた角度間隔で複数の歯が設けられた信号プレートが設けられている。クランク角センサ 9 は、クランク軸の信号プレートの歯に対向してシリンダブロックに固定されており、歯の通過に同期したパルス信号を出力する。図示は省略するが、内燃機関 1 のカム軸には、外周に予め定められた角度間隔で複数の歯が設けられた信号プレートが設けられている。カム角センサ 1 0 は、カム軸の信号プレートの歯に対向して固定されており、歯の通過に同期したパルス信号を出力する。

【0022】

制御装置 5 0 は、クランク角センサ 9 及びカム角センサ 1 0 の 2 種類の出力信号に基づいて、各ピストン 5 の上死点を基準としたクランク角度を検出すると共に、各シリンダ 2 5 の行程を判別する。

【0023】

シリンダブロックにはノックセンサ 1 2 が固定されている。ノックセンサ 1 2 は、内燃機関 1 の振動に応じた信号（振動波形信号）を出力する。ノックセンサ 1 2 は、圧電素子等により構成される。

【0024】

2. 制御装置 5 0 の構成

次に、制御装置 5 0 について説明する。

制御装置 5 0 は、内燃機関 1 を制御対象とする制御装置である。図 2 のブロック図に示すように、制御装置 5 0 は、ノック信号算出部 5 1、BGL 算出部 5 2、ノック判定閾値算出部 5 3、ノック強度算出部 5 4、及びノック制御部 5 5 等の制御部を備えている。制御装置 5 0 の各制御部 5 1～5 5 等は、制御装置 5 0 が備えた処理回路により実現される。具体的には、制御装置 5 0 は、図 3 に示すように、処理回路として、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置 9 0 (コンピュータ)、演算処理装置 9 0 とデータのやり取りをする記憶装置 9 1、演算処理装置 9 0 に外部の信号を入力する入力回路 9 2、及び演算処理装置 9 0 から外部に信号を出力する出力回路 9 3 等を備えている。

10

20

30

40

50

【0025】

記憶装置91として、演算処理装置90からデータを読み出し及び書き込みが可能に構成されたRAM(Random Access Memory)や、演算処理装置90からデータを読み出し可能に構成されたROM(Read Only Memory)等が備えられている。入力回路92は、各種のセンサやスイッチが接続され、これらセンサやスイッチの出力信号を演算処理装置90に入力するA/D変換器等を備えている。出力回路93は、電気負荷が接続され、これら電気負荷に演算処理装置90から制御信号を出力する駆動回路等を備えている。

【0026】

そして、制御装置50が備える各制御部51～55等の各機能は、演算処理装置90が、ROM等の記憶装置91に記憶されたソフトウェア(プログラム)を実行し、記憶装置91、入力回路92、出力回路93、及び通信回路94等の制御装置50の他のハードウェアと協働することにより実現される。なお、各制御部51～55等が用いるフィルタゲイン等の設定データは、ソフトウェア(プログラム)の一部として、ROM等の記憶装置91に記憶されている。

【0027】

本実施の形態では、入力回路92には、エアフローセンサ3、スロットル開度センサ7、マニホールド圧センサ8、クランク角センサ9、カム角センサ10、ノックセンサ12、及びアクセルポジションセンサ26等が接続されている。出力回路93には、スロットルバルブ6(電気モータ)、インジェクタ13、吸気可変バルブタイミング機構14、及び点火コイル16等が接続されている。なお、制御装置50には、図示していない各種のセンサ、スイッチ、及びアクチュエータ等が接続されている。

【0028】

制御装置50は、エアフローセンサ3又はマニホールド圧センサ8の出力信号等に基づいて吸入空気量を検出し、スロットル開度センサ7の出力信号に基づいてスロットル開度を検出し、アクセルポジションセンサ26の出力信号に基づいてアクセル開度を検出する。制御装置50は、クランク角センサ9及びカム角センサ10の出力信号に基づいてクランク軸の角度及び回転速度、並びに吸気バルブ14の開閉タイミングを検出する。

【0029】

制御装置50は、基本的な制御として、入力された各種センサの出力信号等に基づいて、燃料噴射量、点火時期等を算出し、インジェクタ13及び点火コイル16等を駆動制御する。制御装置50は、アクセル開度等に基づいて、運転者が要求している内燃機関1の出力トルクを算出し、当該要求出力トルクを実現する吸入空気量となるように、スロットルバルブ6等を制御する。具体的には、制御装置50は、目標スロットル開度を算出し、スロットル開度が目標スロットル開度に近づくように、スロットルバルブ6の電気モータを駆動制御する。また、制御装置50は、クランク軸(内燃機関1)の回転速度及び吸入空気量等に基づいて吸気バルブ14の目標開閉タイミングを算出し、吸気バルブ14の開閉タイミングが目標開閉タイミングに近づくように、吸気可変バルブタイミング機構14の電動アクチュエータを駆動制御する。

【0030】

<ノック信号算出部51>

ノック信号算出部51は、内燃機関1の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサの出力信号に基づいてノックの特徴成分を表すノック信号KNKを算出する。本実施の形態では、燃焼状態検出センサは、ノックセンサ12とされている。ノック信号算出部51は、図2に示すように、ノックセンサ12の出力信号から高周波のノイズ成分を除去するためのノイズ除去ローパスフィルタ60と、ノイズ除去ローパスフィルタ60の出力値を演算処理装置90に入力するためのA/D変換器61と、演算処理装置90においてA/D変換値に対してデジタル信号処理を行うデジタル信号処理部62と、を備えている。ノイズ除去ローパスフィルタ60及びA/D変換器61は、入力回路92を構成する。

【0031】

ノイズ除去ローパスフィルタ 60 は、前述したように、ノックセンサ 12 から出力された内燃機関 1 の振動波形信号を受け、その振動波形信号から高周波ノイズ成分を除去する。ノイズ除去ローパスフィルタ 60 は、フィルタ前又は後の信号に対して、2.5 [V] のバイアス電圧を加えるように構成されており、フィルタの出力信号が、2.5 [V] を中心に 0 [V] ～ 5 [V] の範囲で振動し、全振幅が、A/D 変換器 61 により変換されるようにしている。また、ノイズ除去ローパスフィルタ 60 には、信号の振幅が小さい場合は、信号を 2.5 [V] を中心に増幅し、信号の振幅が大きい場合には、信号を 2.5 [V] を中心に減少させるゲイン変換機能も有している。

【0032】

A/D 変換器 61 は、ノイズ除去ローパスフィルタ 60 から出力されたアナログ信号をデジタル信号に A/D 変換する。この A/D 変換は、一定の時間間隔、例えば、10 [μs] 又は 20 [μs] 等毎に実行される。

【0033】

なお、A/D 変換器 61 は、常時、A/D 変換を行い、A/D 変換後のデータの内、ノックの発生期間に対応したノック検出期間（例えば、ピストンの上死点（TDC：Top Death Center）から上死点后（ATDC：After Top Death Center）50°CA）のデータのみをデジタル信号処理部 62 に伝達する。或いは、A/D 変換器 61 は、ノック検出期間のみ A/D 変換を行い、A/D 変換後のデータをデジタル信号処理部 62 に伝達するようにしてもよい。

【0034】

デジタル信号処理部 62 は、A/D 変換器 61 から入力されたデジタル信号に対して、時間・周波数解析を行なう。例えば、デジタル信号処理部 62 は、離散フーリエ変換（DFT）、又は短時間フーリエ変換（STFT）等の処理により、所定時間毎のノック固有周波数成分のスペクトル列を算出する。或いは、デジタル信号処理部 62 は、無限インパルス応答（IIR）フィルタ、又は有限インパルス応答（FIR）フィルタ等を用いてノック固有周波数成分を抽出してもよい。デジタル信号処理部 62 は、スペクトル列のピーク値をノック信号 K_{NK} として算出する。なお、デジタル信号処理部 62 は、スペクトル列の平均値をノック信号 K_{NK} として算出してもよい。

【0035】

ノック信号 K_{NK} を用いる BGL 算出部 52、ノック判定閾値算出部 53、ノック強度算出部 54、及びノック制御部 55 の処理は、予め設定されたクランク角度に同期する割り込み処理（例えば、上死点前（BTDC：Before Top Death）75°CA の割り込み処理）で実施される。そのため、デジタル信号処理部 62 は、BGL 算出部 52 等の割り込み処理の開始までに処理を終了する。なお、以下に記載されている「(n)」は、今回の割り込み処理で算出される値を示し、「(n-1)」は、前回の割り込み処理で算出された値を示す。

【0036】

<ノック判定閾値算出部 53>

ノック判定閾値算出部 53 は、後述する BGL 算出部 52 が算出したバックグラウンドレベル BGL に基づいてノック判定閾値 T_H を算出する。本実施の形態では、ノック判定閾値算出部 53 は、次式に示すように、バックグラウンドレベル BGL に、閾値算出係数 K_{t h} を乗算した値を、ノック判定閾値 T_H として算出する。

$$T_H(n) = K_{t h} \times BGL(n) \quad \cdots (1)$$

閾値算出係数 K_{t h} は、ノックの発生強度の判定結果が適切になるように適合される値であり、例えば、「3」程度の値が設定される。

【0037】

<ノック強度算出部 54>

ノック強度算出部 54 は、ノック信号 K_{NK} 及びノック判定閾値 T_H に基づいてノックの発生強度 I_{KNK} を判定する。本実施の形態では、ノック強度算出部 54 は、次式に示すように、ノック信号 K_{NK} からノック判定閾値 T_H を減算した値を、バックグラウンド

10

20

30

40

50

レベルBGLで除算した値を、ノックの発生強度IKNKとして算出する。このように、減算値がバックグラウンドレベルBGLにより除算され、正規化されている。なお、本実施の形態に係るバックグラウンドレベルBGLは、後述するように、ノック信号KNKの歪みの影響を受け難くなるため、正規化後のノックの発生強度IKNKも歪みの影響を受け難くなる。

$$IKNK(n) = (KNK - TH(n)) / BGL(n) \quad \dots (2)$$

ノック信号KNKがノック判定閾値THを超過し、ノックの発生強度IKNKが正の値になるとノックが発生したことを表し、ノック信号KNKがノック判定閾値THを超過した超過量に比例してノックの発生強度IKNKが大きくなる。

【0038】

10

<ノック制御部55>

ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKに応じて、ノックの発生が抑制されるように内燃機関1の制御パラメータを変化させる。本実施の形態では、ノック制御部55は、内燃機関1の制御パラメータとして、点火時期を変化させるように構成されている。ノック制御部55は、次式に示すように、ノックの発生強度IKNKが正であり、ノックが発生していると判定する場合は、ノックの発生強度IKNKに、予め設定された遅角量算出係数Kg及び-1を乗算した値を、予め設定された最大遅角量 $\Delta\theta Rmin$ で下制限した値を、遅角更新量 $\Delta\theta R$ として算出する。遅角更新量 $\Delta\theta R$ は負の値になる。一方、ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKが負であり（本例では0以下）、ノックが発生していないと判定する場合は、遅角更新量 $\Delta\theta R$ に0を設定する。ここで、 $\max\{A, B\}$ は、AとBとの最大値を出力する関数である。

20

1) $IKNK > 0$

$$\Delta\theta R(n) = \max\{-Kg \times IKNK(n), \Delta\theta Rmin\}$$

2) $IKNK \leq 0$

$\dots (3)$

$$\Delta\theta R(n) = 0$$

【0039】

そして、ノック制御部55は、次式に示すように、割り込み処理毎に、遅角更新量 $\Delta\theta R$ を積算して、遅角補正量 θR を算出する。

$$\theta R(n) = \min\{\theta R(n-1) + \Delta\theta R(n) + Ka, \theta Rmax\}$$

$\dots (4)$

30

ここで、Kaは、予め設定された進角側の復帰量であり、ノックの発生強度IKNKが負であり、ノックが発生していないと判定されている場合（ $\Delta\theta R(n) = 0$ ）に、遅角補正量 θR を進角側に次第に復帰させる。 $\theta Rmax$ は、予め設定された進角側の最大値であり、遅角補正量 θR の上制限値である。 $\min\{A, B\}$ は、AとBとの最小値を出力する関数である。

【0040】

ノック制御部55は、次式に示すように、基本点火時期 θB に遅角補正量 θR を加算した値を、最終点火時期 θIG に設定する。

$$\theta IG(n) = \theta B(n) + \theta R(n) \quad \dots (5)$$

基本点火時期 θB は、内燃機関1の回転速度、充填効率、及び排気ガス再循環量等の内燃機関1の運転条件に基づいて算出された基本の点火時期であり、通常、トルクが最大になる点火時期とされる。制御装置50は、最終点火時期 θIG 及びクランク角度に基づいて、点火コイル16への通電制御を行う。

40

【0041】

<BGL算出部52>

BGL算出部52は、ノック信号KNKに基づいてバックグラウンドレベルBGLを算出する。BGL算出部52は、ノック信号KNKに対してローパスフィルタの処理を行ってバックグラウンドレベルBGLを算出する。

【0042】

ここで、本実施の形態とは異なる比較例の問題点を説明する。図4にノック信号KNK

50

の頻度分布を示すように、比較例では、バックグラウンドレベルBGLとして、ノック信号KNKに対して、カットオフ周波数の変更を行わない、通常のローパスフィルタの処理を行ってノック信号KNKの平均値を算出し、ノック信号KNKの平均値（BGL）に閾値算出係数Kthを乗算してノック判定閾値THを算出するように構成されている。図4の上段グラフに示すように、ノックが発生していない場合は、ノック信号KNKの頻度分布は正規分布に近く、ノック信号KNKの平均値（BGL）は、頻度分布のピーク値付近に算出される。そして、ノック判定閾値THが頻度分布の上端付近に設定されるように、閾値算出係数Kthが調整されており、ノックの発生強度IKNKが小さくなる。

【0043】

一方、ノックが発生すると、ノック信号KNKの頻度分布が広がる。そのため、通常は、ノック判定閾値THよりも大きくなるノック信号KNKが増加し、ノックの発生強度IKNKが大きくなる。しかし、図4の下段グラフに示すように、ノックの発生状態によっては、ノック信号KNKの頻度分布が歪み、ノック信号KNKの平均値（BGL）が、頻度分布のピーク値から上側にずれる場合がある。その結果、ノック判定閾値THも望ましい値よりも上側にずれ、ノックが発生しているにもかかわらず、ノックの発生強度IKNKが小さくなり、点火時期を適切に遅角できない問題があった。

【0044】

そこで、本実施の形態では、BGL算出部52は、ノック信号KNKがローパスフィルタの出力値より小さい場合のローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、ノック信号KNKがローパスフィルタの出力値より大きい場合のローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行う。

【0045】

このようなローサイド周波数増加を行うと、相対的に、ローパスフィルタの出力値よりも小さいノック信号KNKはローパスフィルタを通過し易くなり、ローパスフィルタの出力値よりも大きいノック信号KNKはローパスフィルタを通過し難くなる。そのため、図5の頻度分布に示すように、ノック信号KNKの頻度分布の範囲内で、ローパスフィルタの出力値（BGL）が、ノック信号KNKの平均値よりも小さい側にシフトする。よって、ノックの発生時に、ノック信号KNKの頻度分布が歪んだとしても、バックグラウンドレベルBGLは、ノック信号KNKの頻度分布の範囲内で、ノック信号KNKの頻度分布の最小値側に寄って設定されるため、頻度分布の歪みの影響を受け難くなる。そして、バックグラウンドレベルBGLを基準にノック判定閾値THが設定されるため、頻度分布の歪みにかかわらず、ノック判定閾値THが増加し過ぎることを抑制できる。よって、ノック信号KNKがノック判定閾値THを上回り、ノックの発生強度IKNKが適切に増加し、点火時期を適切に遅角させることができる。

【0046】

本実施の形態では、BGL算出部52は、ローサイド周波数増加において、ノック信号KNKがローパスフィルタの出力値より小さい場合は、ローサイド周波数を無限大の周波数に設定し、ローパスフィルタの出力値をノック信号KNKに一致させるように構成されている。

【0047】

カットオフ周波数が無限大の周波数になると、ノック信号KNKはローパスフィルタをそのまま通過し、ローパスフィルタの出力値がノック信号KNKに一致する。逆に言えば、ローパスフィルタの出力値がノック信号KNKに一致する場合は、カットオフ周波数が無限大の周波数に設定されていることになる。上記の構成によれば、ローパスフィルタの出力値よりも小さいノック信号KNKはローパスフィルタをそのまま通過し、ローパスフィルタの出力値よりも大きいノック信号KNKはローパスフィルタを通過し難くなる。よって、ローパスフィルタの出力値を、頻度分布の最小値により近づけることができ、バックグラウンドレベルBGLを、ノック信号KNKの頻度分布の最小値により近づけることができる。

10

20

30

40

50

【0048】

本実施の形態では、BGL算出部52は、ローパスフィルタとして離散化された一次遅れフィルタを用いている。具体的には、一次遅れフィルタは、次式に示すように、フィルタゲインKFに前回の演算周期（本例では前回の割り込み処理）の一次遅れフィルタの出力値Yf(n-1)を乗算した値と、1からフィルタゲインKFを減算した値を今回の演算周期（本例では今回の割り込み処理）の一次遅れフィルタの入力値Uf(n)に乗算した値との合計値を、今回の演算周期の一次遅れフィルタの出力値Yf(n)として算出する処理とされている。このような一次遅れフィルタを用いることにより、演算処理負荷を低減することができる。

$$Yf(n) = KF \times Yf(n-1) + (1 - KF) \times Uf(n) \quad \dots (6)$$

10

【0049】

そして、BGL算出部52は、次式に示すように、ローサイド周波数増加において、今回の演算周期の一次遅れフィルタの入力値Uf(n)が前回の演算周期の一次遅れフィルタの出力値Yf(n-1)より小さい場合は、ローサイド周波数としてのフィルタゲインKFを0にし、今回の演算周期の一次遅れフィルタの入力値Uf(n)が前回の演算周期の一次遅れフィルタの出力値Yf(n-1)より大きい場合（本例では以上の場合）は、ハイサイド周波数としてのフィルタゲインKFを0より大きく且つ1より小さい値にする。

$$1) Uf(n) < Yf(n-1)$$

$$KF = 0$$

20

$$2) Uf(n) \geq Yf(n-1) \quad \dots (7)$$

$$KF = KFH$$

$$(0 < KFH < 1)$$

【0050】

なお、フィルタゲインKFが0から1に近づくに従って、カットオフ周波数が次第に低くなる。フィルタゲインKFが1から0に近づくに従って、カットオフ周波数が次第に高くなり、フィルタゲインKFが0の場合に、カットオフ周波数が無限大になる。

【0051】

BGL算出部52は、ノック信号KNKに対して二段以上のローパスフィルタの処理を行ってバックグラウンドレベルBGLを算出するように構成されている。BGL算出部52は、少なくとも第一段のローパスフィルタについてローサイド周波数増加を行うように構成されている。

30

【0052】

この構成によれば、生のノック信号KNKに対して、ノイズ除去ローパスフィルタ処理等の他のフィルタ処理が行われず、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタの処理が行われるので、ノック信号KNKの頻度分布の最小値にバックグラウンドレベルBGLを近づけることができる。

【0053】

BGL算出部52は、少なくとも最終段のローパスフィルタについて、ハイサイド周波数をローサイド周波数よりも高くするハイサイド周波数増加を行うように構成されている。

40

【0054】

ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタにより、ノック信号KNKの負側の変化に対するローパスフィルタの出力値の応答遅れが相対的に小さくなり、ノック信号KNKの正側の変化に対するローパスフィルタの出力値の応答遅れが相対的に大きくなる。上記の構成によれば、少なくとも最終段のローパスフィルタについて、ハイサイド周波数増加が行われるので、ノック信号KNKの負側の変化に対するバックグラウンドレベルBGLの応答遅れを相対的に増加させ、ノック信号KNKの正側の変化に対するバックグラウンドレベルBGLの応答遅れを相対的に減少させることができる。よって、ノック信号KNKの負側の変化に対するバックグラウンドレベルBGLの変化の応答性と、ノック信号K

50

NKの正側の変化に対するバックグラウンドレベルBGLの変化の応答性と、を近づけることができる。よって、ノック信号KNKの変化方向に関わらず、安定したバックグラウンドレベルBGLの追従応答を得ることができる。

【0055】

また、ハイサイド周波数増加を行うローパスフィルタの処理により、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタの出力値が正側にシフトするが、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタの出力値を平均化させ、バックグラウンドレベルBGLを安定化させることができる。

【0056】

BGL算出部52において、ノック信号KNKの正側のステップ変化に対するバックグラウンドレベルBGLの変化の時定数TCH（以下、ハイサイド時定数TCHと称す）と、ノック信号KNKの負側のステップ変化に対するバックグラウンドレベルBGLの変化の時定数TCL（以下、ローサイド時定数TCLと称す）と、が同等になるように、ローパスフィルタそれぞれのローサイド周波数及びハイサイド周波数が設定されている。

【0057】

この構成によれば、内燃機関1の加速又は減速等により、ノック信号KNKが正側に变化する場合のバックグラウンドレベルBGLの追従応答性と、負側に变化する場合のバックグラウンドレベルBGLの追従応答性とを合せることができる。よって、ノック信号KNKの変化方向に関わらず、同等のバックグラウンドレベルBGLの追従応答を得ることができる。

【0058】

ここで、ハイサイド時定数TCH及びローサイド時定数TCLは、ノック信号KNKがステップ変化してから、バックグラウンドレベルBGLが最終値の63.2%に到達するまでの時間となる。また、ハイサイド時定数TCHとローサイド時定数TCLとが同等になるとは、ハイサイド時定数TCHとローサイド時定数TCLとが互いに±10%の範囲内になるものとする。

【0059】

<二段構成の場合>

まず、図6に示すように、ローパスフィルタが二段構成の場合について説明する。この場合は、第一段のローパスフィルタFLT1においてローサイド周波数増加が行われ、最終段となる第二段のローパスフィルタFLT2においてハイサイド周波数増加が行われる。

【0060】

第一段のローパスフィルタFLT1は、一次遅れフィルタにより次式のように構成される。ここで、Yf1は、第一段の一次遅れフィルタFLT1の出力値である。KF1は、第一段の一次遅れフィルタFLT1のフィルタゲインであり、ノック信号KNK(n)が前回の一次遅れフィルタの出力値Yf1(n-1)より小さい場合は、0に設定された第一段のローサイドゲインKF1Lに設定され、ノック信号KNK(n)が前回の一次遅れフィルタの出力値Yf1(n-1)より大きい場合（本例では以上の場合）は、0より大きく1より小さい値に設定された第一段のハイサイドゲインKF1Hに設定される。これにより、第一段のローサイド周波数が、無限大になって、第一段のハイサイド周波数よりも高くなるため、ローサイド周波数増加が行われる。

$$Yf1(n) = KF1 \times Yf1(n-1) + (1 - KF1) \times KNK(n)$$

$$1) \quad KNK(n) < Yf1(n-1)$$

$$KF1 = KF1L = 0$$

$$2) \quad KNK(n) \geq Yf1(n-1) \quad \dots (8)$$

$$KF1 = KF1H$$

$$(0 < KF1H < 1)$$

【0061】

第二段のローパスフィルタFLT2は、一次遅れフィルタにより次式のように構成され

る。ここで、 $Yf2$ は、第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ の出力値である。 $KF2$ は、第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ のフィルタゲインであり、今回の第一段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf1(n)$ が前回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n-1)$ より小さい場合は、第二段のローサイドゲイン $KF2L$ に設定され、今回の第一段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf1(n)$ が前回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n-1)$ より大きい場合（本例では以上の場合）は、第二段のハイサイドゲイン $KF2H$ に設定される。第二段のローサイドゲイン $KF2L$ は、0 より大きく 1 より小さい値であって、第二段のハイサイドゲイン $KF2H$ より大きい値に予め設定されている。第二段のハイサイドゲイン $KF2H$ は、0 より大きく 1 より小さい値であって、第二段のローサイドゲイン $KF2L$ より小さい値に予め設定されている。これにより、第二段のハイサイド周波数が、第二段のローサイド周波数よりも高くなるため、ハイサイド周波数増加が行われる。

10

$$Yf2(n) = KF2 \times Yf2(n-1) + (1 - KF2) \times Yf1(n)$$

$$BGL(n) = Yf2(n)$$

$$1) Yf1(n) < Yf2(n-1)$$

$$KF2 = KF2L$$

$$2) Yf1(n) \geq Yf2(n-1) \quad \dots (9)$$

$$KF2 = KF2H$$

$$(0 < KF2H < KF2L < 1)$$

【0062】

20

各一次遅れフィルタの時定数 TC （63.2%到達時間）は、次式に示すように、一次遅れフィルタの演算周期 ΔT を、一次遅れフィルタのフィルタゲイン KF の自然対数で除算し、 -1 を乗算した値となる。

$$TC = -\Delta T / \ln(KF) \quad \dots (10)$$

【0063】

複数段の一次遅れフィルタ全体での時定数（63.2%到達時間）は、各段の対応する一次遅れフィルタの時定数の合計値により算出できる。次式に示すように、ハイサイド時定数 TCH は、第一段のハイサイドゲイン $KF1H$ に対応する第一段のハイサイド時定数と、第二段のハイサイドゲイン $KF2H$ に対応する第二段のハイサイド時定数との合計値となる。ローサイド時定数 TCL は、第一段のローサイドゲイン $KF1L$ に第一段のローサイド時定数と、第二段のローサイドゲイン $KF2L$ に対応する第二段のローサイド時定数との合計値となる。そして、ハイサイド時定数 TCH とローサイド時定数 TCL とが等しくなるように、各段のハイサイドゲイン $KF1H$ 、 $KF2H$ 、及び各段のローサイドゲイン $KF1L$ 、 $KF2L$ が設定されている。

30

$$TCH = -\Delta T / \ln(KF1H) - \Delta T / \ln(KF2H)$$

$$TCL = -\Delta T / \ln(KF1L) - \Delta T / \ln(KF2L) \quad \dots (11)$$

$$TCH = TCL$$

【0064】

例えば、次式に示すように、演算周期 ΔT が 0.1 [sec] であり、第一段及び第二段のハイサイドゲイン $KF1H$ 、 $KF2H$ が 0.8187 に設定されている場合は、ハイサイド時定数 TCH が 1.0 [sec] となる。この場合に、ローサイド時定数 TCL とハイサイド時定数 TCH とを等しくするために、第二段のローサイドゲイン $KF2L$ が 0.9048 に設定されている。

40

$$\Delta T = 0.1$$

$$KF1H = KF2H = 0.8187 \quad \dots (12)$$

$$KF1L = 0, KF2L = 0.9048$$

$$TCH = TCL = 1.0$$

【0065】

第一段及び第二段の一次遅れフィルタ $FLT1$ 、 $FLT2$ の挙動を図 7 に示す。ノック信号 KNK は、ノックの発生状態、並びに運転条件に応じて変化する振幅で周期変動して

50

いる。演算周期が荒いが、ローサイド周波数増加を行う第一段の一次遅れフィルタの出力値 Y_{f1} は、ロック信号 KNK が出力値 Y_{f1} より小さくなる場合にロック信号 KNK に一致しているが、ロック信号 KNK が出力値 Y_{f1} より大きくなる場合にロック信号 KNK に向かって一次遅れ変化している。そのため、第一段の一次遅れフィルタの出力値 Y_{f1} は、ロック信号 KNK の周期変動に連動して、ロック信号 KNK の最小値と、最小値よりも所定値だけ高い値との間を周期変動している。ハイサイド周波数増加を行う第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ により、第一段の一次遅れフィルタの出力値 Y_{f1} を平均化させ、バックグラウンドレベル BGL を安定化させることができている。

【0066】

第一段のハイサイドゲイン K_{F1H} を 1 により近づけ、第一段のハイサイド周波数をより低くすれば、第一段の一次遅れフィルタの出力値 Y_{f1} の振動最大値を、ロック信号 KNK の最小値により近づけることができ、バックグラウンドレベル BGL を、ロック信号 KNK の最小値により近づけることができる。一方、ロック信号 KNK の振動挙動が変化した後の過渡時のバックグラウンドレベル BGL の追従性が悪化するため、第一段のハイサイド周波数をあまり低くできない。しかし、二段のフィルタ構成でも、バックグラウンドレベル BGL をロック信号 KNK の最小値に近づけることができている。なお、上述した図 5 は、この二段構成の場合の図である。

【0067】

図 8 に、内燃機関 1 の加速又は減速等により、ロック信号 KNK の振幅が正側にステップ的に変動した場合のバックグラウンドレベル BGL の過渡応答を示し、図 9 に、ロック信号 KNK の振幅が負側にステップ的に変動した場合のバックグラウンドレベル BGL の過渡応答を示す。ローサイド時定数 T_{CL} とハイサイド時定数 T_{CH} とが等しくされているので、正側のロック信号 KNK の変動に対するバックグラウンドレベル BGL の追従応答性と、負側のロック信号 KNK の変動に対するバックグラウンドレベル BGL の追従応答性と、を合せることができている。よって、ロック信号 KNK の振幅の変動方向に関わらず、安定したバックグラウンドレベル BGL の追従応答を得ることができる。

【0068】

<三段構成の場合>

次に、図 10 に示すように、ローパスフィルタが三段構成の場合について説明する。この場合は、第一段のローパスフィルタ $FLT1$ 、及び第二段のローパスフィルタ $FLT2$ についてローサイド周波数増加が行われ、最終段となる第三段のローパスフィルタ $FLT3$ についてハイサイド周波数増加が行われる。

【0069】

第一段のローパスフィルタ $FLT1$ は、二段構成の場合と同様に、一次遅れフィルタにより次式のように構成される。ここで、 Y_{f1} は、第一段の一次遅れフィルタ $FLT1$ の出力値である。 K_{F1} は、第一段の一次遅れフィルタ $FLT1$ のフィルタゲインであり、ロック信号 $KNK(n)$ が前回の一次遅れフィルタの出力値 $Y_{f1}(n-1)$ より小さい場合は、0 に設定された第一段のローサイドゲイン K_{F1L} に設定され、ロック信号 $KNK(n)$ が前回の一次遅れフィルタの出力値 $Y_{f1}(n-1)$ より大きい場合（本例では以上の場合は、0 より大きく 1 より小さい値に設定された第一段のハイサイドゲイン K_{F1H} に設定される。これにより、第一段のローサイド周波数が、無限大になって、第一段のハイサイド周波数よりも高くなるため、ローサイド周波数増加が行われる。

$$Y_{f1}(n) = K_{F1} \times Y_{f1}(n-1) + (1 - K_{F1}) \times KNK(n)$$

$$1) KNK(n) < Y_{f1}(n-1)$$

$$K_{F1} = K_{F1L} = 0$$

$$2) KNK(n) \geq Y_{f1}(n-1) \quad \dots (13)$$

$$K_{F1} = K_{F1H}$$

$$(0 < K_{F1H} < 1)$$

【0070】

第二段のローパスフィルタ $FLT2$ は、第一段と同様に、一次遅れフィルタにより次式

10

20

30

40

50

のように構成される。ここで、 $Yf2$ は、第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ の出力値である。 $KF2$ は、第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ のフィルタゲインであり、第一段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf1(n)$ が前回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n-1)$ より小さい場合は、0 に設定された第二段のローサイドゲイン $KF2L$ に設定され、第一段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf1(n)$ が前回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n-1)$ より大きい場合（本例では以上の場合）は、0 より大きく 1 より小さい値に設定された第二段のハイサイドゲイン $KF2H$ に設定される。これにより、第二段のローサイド周波数が、無限大になって、第二段のハイサイド周波数よりも高くなるため、ローサイド周波数増加が行われる。

$$Yf2(n) = KF2 \times Yf2(n-1) + (1 - KF2) \times Yf1(n) \quad 10$$

$$1) Yf1(n) < Yf2(n-1)$$

$$KF2 = KF2L = 0$$

$$2) Yf1(n) \geq Yf2(n-1) \quad \dots (14)$$

$$KF2 = KF2H$$

$$(0 < KF2H < 1)$$

【0071】

第三段のローパスフィルタ $FLT3$ は、二段構成の場合の第二段と同様に、一次遅れフィルタにより次式のように構成される。ここで、 $Yf3$ は、第二段の一次遅れフィルタ $FLT2$ の出力値である。 $KF3$ は、第三段の一次遅れフィルタ $FLT3$ のフィルタゲインであり、今回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n)$ が前回の第三段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf3(n-1)$ より小さい場合は、第三段のローサイドゲイン $KF3L$ に設定され、今回の第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2(n)$ が前回の第三段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf3(n-1)$ より大きい場合（本例では以上の場合）は、第三段のハイサイドゲイン $KF3H$ に設定される。第三段のローサイドゲイン $KF3L$ は、0 より大きく 1 より小さい値であって、第三段のハイサイドゲイン $KF3H$ より大きい値に予め設定されている。第三段のハイサイドゲイン $KF3H$ は、0 より大きく 1 より小さい値であって、第三段のローサイドゲイン $KF3L$ より小さい値に予め設定されている。これにより、第三段のハイサイド周波数が、第三段のローサイド周波数よりも高くなるため、ハイサイド周波数増加が行われる。

$$Yf3(n) = KF3 \times Yf3(n-1) + (1 - KF3) \times Yf2(n) \quad 20$$

$$BGL(n) = Yf3(n)$$

$$1) Yf2(n) < Yf3(n-1)$$

$$KF3 = KF3L$$

$$2) Yf2(n) \geq Yf3(n-1) \quad \dots (15)$$

$$KF3 = KF3H$$

$$(0 < KF3H < KF3L < 1)$$

【0072】

次式に示すように、ハイサイド時定数 TCH とローサイド時定数 TCL とが等しくなるように、各段のハイサイドゲイン $KF1H$ 、 $KF2H$ 、 $KF3H$ 、及び各段のローサイドゲイン $KF1L$ 、 $KF2L$ 、 $KF3L$ が設定されている。

$$\Delta T = 0.1$$

$$KF1H = KF2H = KF3H = 0.7408 \quad \dots (16)$$

$$KF1L = KF2L = 0, KF3H = 0.9048$$

$$TCH = TCL = 1.0$$

【0073】

第一段、第二段、及び第三段の一次遅れフィルタ $FLT1$ 、 $FLT2$ 、 $FLT3$ の挙動を図 11 に示す。第二段の一次遅れフィルタの出力値 $Yf2$ の振幅は、第一段の出力値 $Yf1$ の振幅よりも小さくなっており、第二段の出力値 $Yf2$ の振動最大値は、第一段の出力値 $Yf1$ の振動最大値よりもノック信号 KNK の最小値に近づいている。よって、二段構成の場合よりも、バックグラウンドレベル BGL を、ノック信号 KNK の最小値に更に

近づけることができる。

【0074】

この三段構成の場合の、ノック信号K N Kの頻度分布と、バックグラウンドレベルB G L、及びノック判定閾値T Hの算出値を図12に示す。この図に示すように、三段構成にすることにより、図5の二段構成の場合よりも、バックグラウンドレベルB G Lをノック信号K N Kの最小値により近づけることができ、ノック判定閾値T Hの設定が、ノック信号K N Kの頻度分布の歪みによる影響をより受け難くなる。

【0075】

図13に、内燃機関1の加速又は減速等により、ノック信号K N Kの振幅が正側にステップ的に変動した場合のバックグラウンドレベルB G Lの過渡応答を示し、図14に、ノック信号K N Kの振幅が負側にステップ的に変動した場合のバックグラウンドレベルB G Lの過渡応答を示す。ローサイド時定数T C Lとハイサイド時定数T C Hとが等しくされているので、正側のノック信号K N Kの変動に対するバックグラウンドレベルB G Lの追従応答性と、負側のノック信号K N Kの変動に対するバックグラウンドレベルB G Lの追従応答性と、を合せることができている。よって、ノック信号K N Kの振幅の変動方向に関わらず、安定したバックグラウンドレベルB G Lの追従応答を得ることができる。

【0076】

<最小値検出処理>

以上のように、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタは、ノック信号K N Kの頻度分布の最小値に近い値を検出するために行われている。すなわち、B G L算出部52は、ノック信号K N Kに対して最小値検出処理を行ってバックグラウンドレベルB G Lを算出するように構成されている。その最小値検出処理の具体的方法が、本実施の形態では、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタとされている。最小値検出処理は、少なくとも、ノック信号K N Kの振動が安定している定常状態で、ノック信号K N Kの振幅における最小値と、当該最小値にノック信号K N Kの振幅の20%を加算した値と、の間の値を算出可能な処理である。

【0077】

<フローチャート>

本実施の形態に係る制御装置50の概略的な処理の手順（内燃機関1の制御方法）について、図15に示すフローチャートに基づいて説明する。図15のフローチャートの処理は、演算処理装置90が記憶装置91に記憶されたソフトウェア（プログラム）を実行することにより、所定の演算周期毎に繰り返し実行される。

【0078】

ステップS01で、ノック信号算出部51は、上記のように、内燃機関1の燃焼状態に応じた信号を出力する燃焼状態検出センサ（本例では、ノックセンサ12）の出力信号に基づいてノックの特徴成分を表すノック信号K N Kを算出するノック信号算出処理（ノック信号算出ステップ）を実行する。

【0079】

次に、ステップS02で、B G L算出部52は、上記のように、ノック信号K N Kに基づいてバックグラウンドレベルB G Lを算出するB G L算出処理（B G L算出ステップ）を実行する。B G L算出部52は、ノック信号K N Kに対してローパスフィルタの処理を行ってバックグラウンドレベルB G Lを算出する。この際、B G L算出部52は、ノック信号K N Kがローパスフィルタの出力値より小さい場合のローパスフィルタのカットオフ周波数であるローサイド周波数を、ノック信号K N Kがローパスフィルタの出力値より大きい場合のローパスフィルタのカットオフ周波数であるハイサイド周波数よりも高くするローサイド周波数増加を行う。

【0080】

そして、ステップS03で、ノック強度算出部54は、上記のように、ノック信号K N K及びノック判定閾値T Hに基づいてノックの発生強度I K N Kを算出するノック強度算出処理（ノック強度算出ステップ）を実行する。

【0081】

ステップS04で、ノック制御部55は、上記のように、ノックの発生強度IKNKに応じて、ノックの発生が抑制されるように内燃機関1の制御パラメータ（本例では、点火時期）を変化させるノック制御処理（ノック制御ステップ）を実行する。

【0082】

〔その他の実施の形態〕

最後に、本発明のその他の実施の形態について説明する。なお、以下に説明する各実施の形態の構成は、それぞれ単独で適用されるものに限られず、矛盾が生じない限り、他の実施の形態の構成と組み合わせて適用することも可能である。

【0083】

（1）上記の実施の形態1においては、燃焼状態検出センサとしてノックセンサ12が用いられている場合を例に説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、燃焼状態検出センサは、内燃機関1の燃焼状態に応じた信号を出力するセンサであれば、どのようなセンサであってもよく、例えば、シリンダ25内の圧力を検出する筒内圧センサであってもよい。ノックが発生した場合は、シリンダ25内の圧力には振動成分が重畳するため、ノック信号算出部51は、筒内圧センサの出力信号に対して、上記の実施の形態1と同様に、時間・周波数解析を行うことにより、ノック信号KNKを算出することができる。

【0084】

（2）上記の実施の形態1においては、ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKに応じて、制御パラメータとして点火時期を変化させる場合を例に説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、ノック制御部55は、ノックの発生を抑制できる内燃機関1の制御パラメータであれば、どのような制御パラメータを変化させてもよい。例えば、制御パラメータは、点火時期、吸気可変バルブタイミング機構のバルブ開閉タイミング、吸入空気量、及び燃料噴射のリッチ化量のいずれか一つ以上とされてもよい。

【0085】

具体的には、ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKが高い場合は、吸気バルブの開閉タイミングを進角側に変化させ、ノックの発生強度IKNKが低い場合は、吸気バルブの開閉タイミングを遅角側に変化させる。ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKが高い場合は、スロットル開度を減少させる等して、シリンダ25に吸入される吸入空気量を減少させ、ノックの発生強度IKNKが低い場合は、スロットル開度を増加させる等して、シリンダ25に吸入される吸入空気量を増加させる。ノック制御部55は、ノックの発生強度IKNKが高い場合は、燃料噴射の理論空燃比からのリッチ化量を増加させ、ノックの発生強度IKNKが低い場合は、燃料噴射の理論空燃比からのリッチ化量を減少させる。

【0086】

（3）上記の実施の形態1においては、BGL算出部52は、ローサイド周波数増加において、ノック信号KNKがローパスフィルタの出力値より小さい場合は、ローサイド周波数を無限大の周波数に設定し（ローサイドのフィルタゲインKFを0に設定し）、ローパスフィルタの出力値をノック信号KNKに一致させるように構成されている場合を例に説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、ローサイド周波数増加において、ローサイド周波数は、ハイサイド周波数よりも高く設定されていれば、任意の周波数とされてもよい。また、ローサイドのフィルタゲインKFは、0とハイサイドのフィルタゲインKFとの間の値に設定されてもよい。

【0087】

（4）上記の実施の形態1においては、BGL算出部52のローパスフィルタとして一次遅れフィルタが用いられている場合を例に説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、BGL算出部52のローパスフィルタとして、2次以上の高次のローパスフィルタが用いられてもよい。

10

20

30

40

50

【0088】

(5) 上記の実施の形態1においては、BGL算出部52は、ノック信号KNKに対して、二段又は三段のローパスフィルタを行う場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、BGL算出部52は、ノック信号KNKに対して、一段、又は三段以上のローパスフィルタの処理を行って、バックグラウンドレベルBGLを算出するように構成されてもよい。一段構成の場合は、第一段のローパスフィルタについてローサイド周波数増加が行われる。三段以上の構成の場合は、第一段から連続する一段以上のローパスフィルタについてローサイド周波数増加が行われる。

【0089】

(6) 上記の実施の形態1においては、三段構成の場合において、BGL算出部52は、第一段から連続する二段、すなわち、第一段及び第二段のローパスフィルタについて、ローサイド周波数増加を行い、第三段（最終段）のローパスフィルタについて、ハイサイド周波数増加を行う場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、BGL算出部52は、二段以上のローパスフィルタを行う場合において、少なくとも第一段のローパスフィルタについてローサイド周波数増加を行うように構成されればよく、例えば三段構成の場合に、第一段のローパスフィルタについてローサイド周波数増加を行い、第二段及び第三のローパスフィルタについてハイサイド周波数増加を行うように構成されてもよい。

【0090】

また、BGL算出部52は、三段以上のローパスフィルタを行う場合において、第一段から連続する二段以上のローパスフィルタについてローサイド周波数増加を行うように構成されてもよい。例えば、BGL算出部52は、四段のローパスフィルタを行う場合において、第一段から連続する三段、すなわち、第一段、第二段、及び第三段のローパスフィルタについて、ローサイド周波数増加を行い、第四段（最終段）のローパスフィルタについて、ハイサイド周波数増加を行うように構成されてもよい。

【0091】

(7) 上記の実施の形態1においては、最終段のローパスフィルタについてハイサイド周波数増加を行う場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、最終段のローパスフィルタとして、ハイサイド周波数とローサイド周波数とが等しい、周波数変更を行わない通常のローパスフィルタが用いられてもよい。この場合でも、バックグラウンドレベルBGLを安定化させることができる。

【0092】

(8) 上記の実施の形態1においては、BGL算出部52において、ローサイド時定数TCLとハイサイド時定数TCHとが同等にされている場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、ローサイド時定数TCLとハイサイド時定数TCHとが同等でなくてもよい。

【0093】

(9) 上記の実施の形態1においては、二段構成の場合において、式(12)に示したように第一段及び第二段のハイサイドゲインKF1H、KF2Hが同じ値に設定され、三段構成の場合において、式(16)に示したように第一段、第二段、及び第三段のハイサイドゲインKF1H、KF2H、KF3Hが同じ値に設定されている場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、各段のハイサイドゲインは、互いに異なる値に設定されていてもよい。

【0094】

(10) 上記の実施の形態1においては、BGL算出部52は、ノック信号KNKの頻度分布の最小値に近い値を検出するために、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタを行う場合を例に説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、BGL算出部52は、最小値検出処理であれば、どのような処理方法を用いてもよい。例えば、BGL算出部52は、最小値検出処理として、ローサイド周波数増加を行うローパスフィルタの代わりに、予め設定された処理回数分の現在及び過去の割り込み処理に

10

20

30

40

50

において算出された複数のノック信号KNKから最小値を抽出する処理を行ってもよい。

【0095】

なお、本発明は、その発明の範囲内において、実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

【産業上の利用可能性】

【0096】

この発明は、内燃機関に発生するノックを制御するための制御装置及びその制御方法に好適に利用することができる。

【符号の説明】

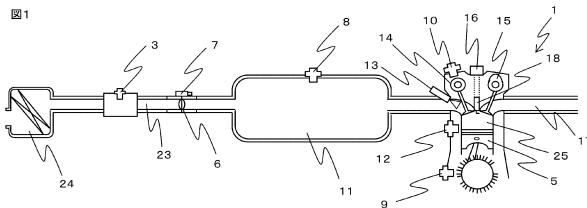
【0097】

1 内燃機関、12 ノックセンサ（燃焼状態検出センサ）、14 吸気可変バルブタイミング機構、25 シリンダ、50 内燃機関の制御装置、51 ノック信号算出部、52 BGL算出部、53 ノック判定閾値算出部、54 ノック強度算出部、55 ノック制御部、60 ノイズ除去ローパスフィルタ、61 A/D変換器、62 デジタル信号処理部、BGL バックグラウンドレベル、FLT1 第一段のローパスフィルタ、FLT2 第二段のローパスフィルタ、FLT3 第三のローパスフィルタ、IKNK ノックの発生強度、KF フィルタゲイン、KF1 第一段のフィルタゲイン、KF2 第二段のフィルタゲイン、KF3 第三段のフィルタゲイン、KNK ノック信号、TH ノック判定閾値、Uf ローパスフィルタの入力値、Yf ローパスフィルタの出力値、Yf1 第一段のローパスフィルタの出力値、Yf2 第二段のローパスフィルタの出力値

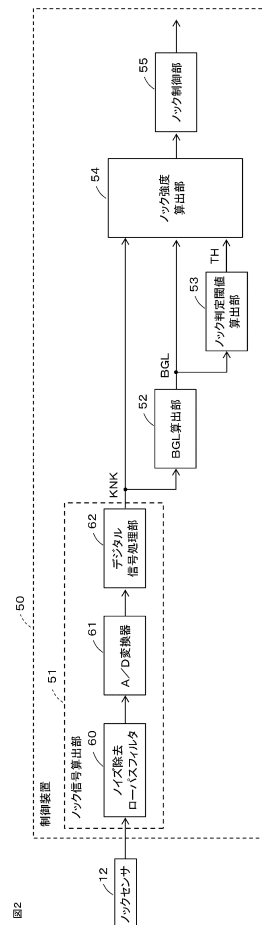
10

20

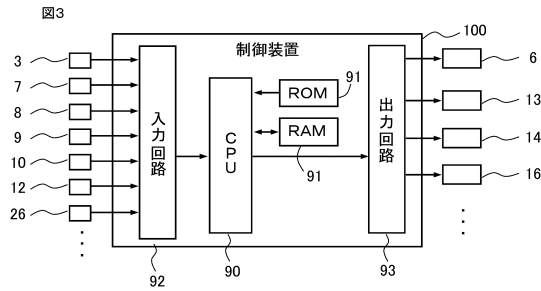
【図1】



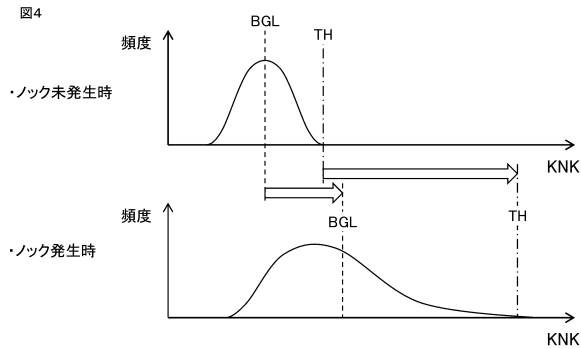
【図2】



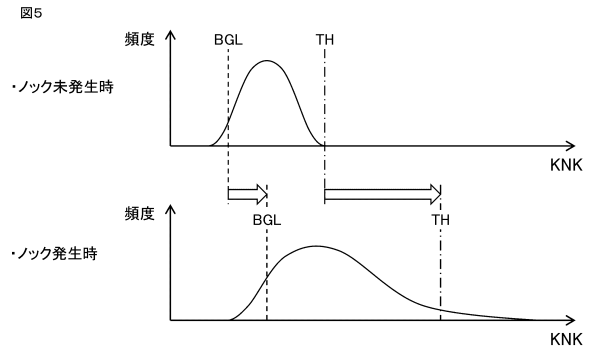
【図 3】



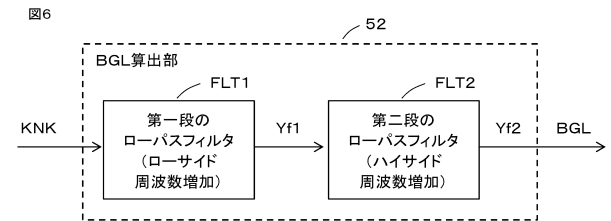
【図 4】



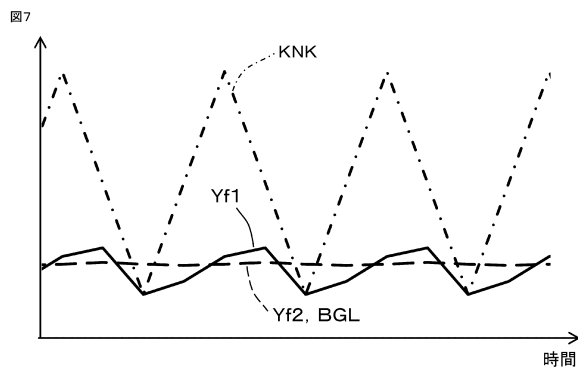
【図 5】



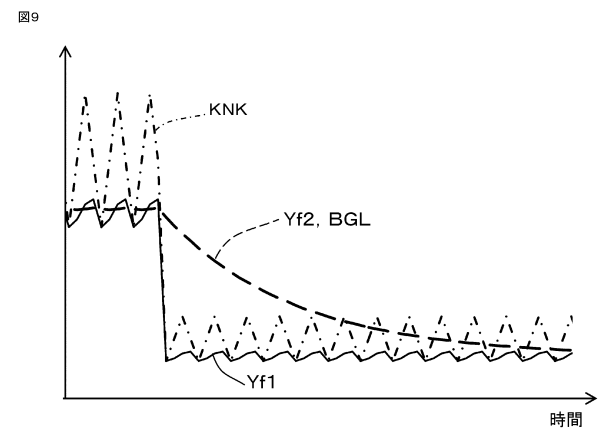
【図 6】



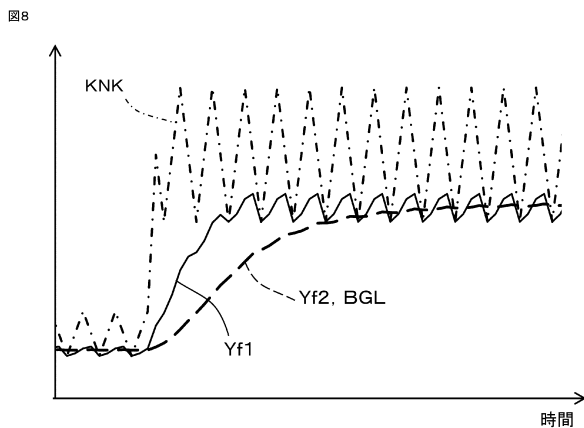
【図 7】



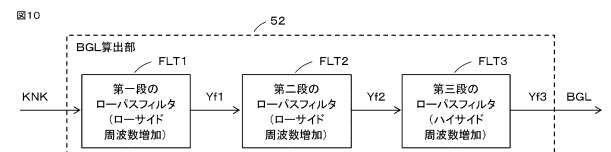
【図 9】



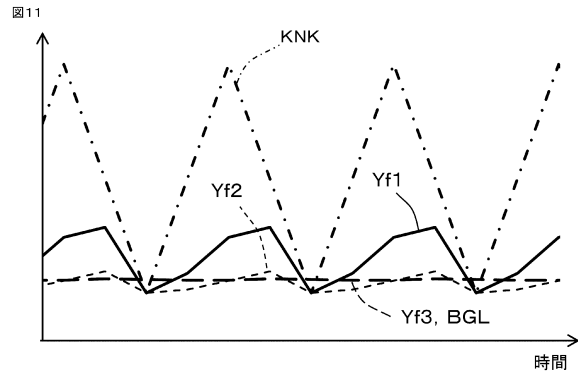
【図 8】



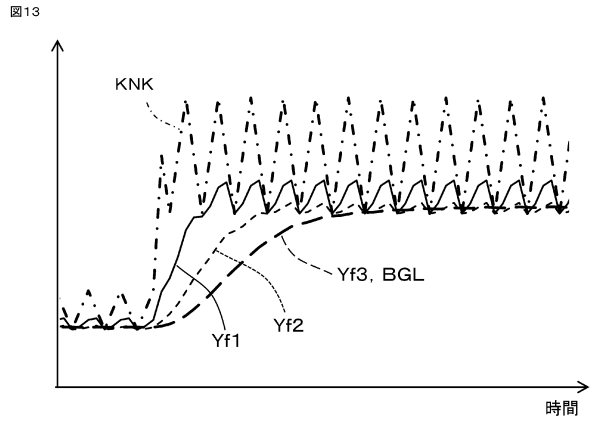
【図 10】



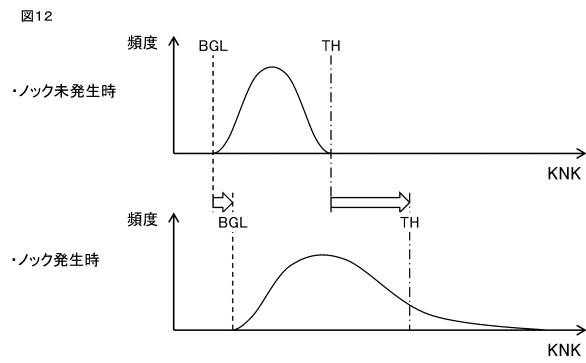
【図 1 1】



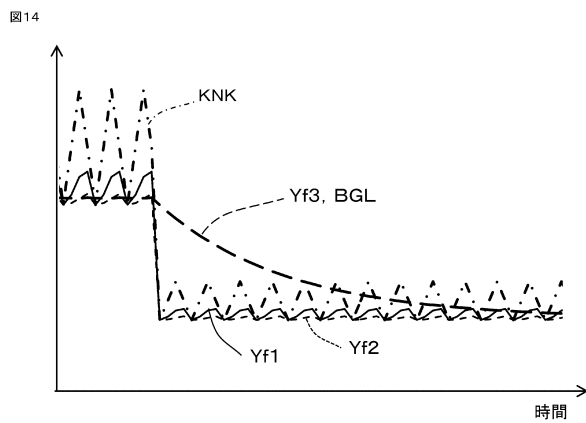
【図 1 3】



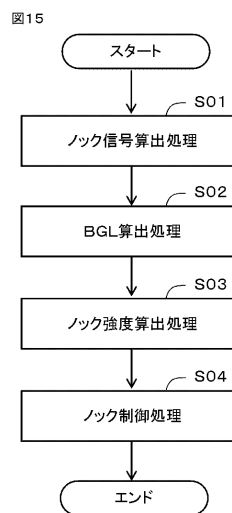
【図 1 2】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 松嶋 裕平
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 横山 信彦
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社社内
- (72)発明者 森本 博貴
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社社内

審査官 大山 健

- (56)参考文献 特許第2542116 (JP, B2)
特開2007-154760 (JP, A)
特開2008-064023 (JP, A)
特開2008-069752 (JP, A)
特開2009-144616 (JP, A)
特開2009-281234 (JP, A)
特開2010-159642 (JP, A)
特開2013-122191 (JP, A)
特開平01-315647 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F02D 45/00