

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6032136号
(P6032136)

(45) 発行日 平成28年11月24日(2016.11.24)

(24) 登録日 平成28年11月4日(2016.11.4)

(51) Int.Cl.

F 1

F O 2 D 45/00 (2006.01)

F O 2 D 45/00 3 6 8 Z

F O 2 D 45/00 3 6 2 P

F O 2 D 45/00 3 6 4 B

F O 2 D 45/00 3 6 4 D

F O 2 D 45/00 3 6 4 E

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-119121 (P2013-119121)
 (22) 出願日 平成25年6月5日(2013.6.5)
 (65) 公開番号 特開2014-234814 (P2014-234814A)
 (43) 公開日 平成26年12月15日(2014.12.15)
 審査請求日 平成27年9月11日(2015.9.11)

(73) 特許権者 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100100549
 弁理士 川口 嘉之
 (74) 代理人 100085006
 弁理士 世良 和信
 (74) 代理人 100113608
 弁理士 平川 明
 (74) 代理人 100123319
 弁理士 関根 武彦
 (74) 代理人 100123098
 弁理士 今堀 克彦
 (74) 代理人 100143797
 弁理士 宮下 文徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の失火検出システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内燃機関のクランクシャフトの回転角位置を検知するクランク角センサと、

前記クランクシャフトの回転数を基準として導出される、前記クランク角センサの出力信号の所定の回転次数成分に対応する指標であって、該クランクシャフトの角速度の変動量に応じて該指標の値が変動するように該クランクシャフトの角速度の変動量に対して相関を有する失火指標に基づいて、前記内燃機関における失火状態を検出する失火検出部と、

所定パラメータに基づいて前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力を取得する取得部と、

前記取得部によって取得された前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力に基づいて、前記失火指標、又は前記失火検出部による失火検出において該失火指標とともに使用される所定の失火検出パラメータを補正する補正部と、

を備える、内燃機関の失火検出システム。

【請求項 2】

前記所定の失火検出パラメータは、前記失火検出部によって失火の有無を判断するための、前記失火指標に対する所定の閾値であって、且つ、該失火検出部は、該失火指標が該所定の閾値より大きいときに失火発生を検出するように構成され、

前記補正部は、前記取得部によって取得された前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力が大きくなるほど、前記失火指標又は前記所定の閾値の補正量が大きくなるように補正する、請求項 1 に記載の内燃機関の失火検出システム。

10

20

【請求項 3】

前記内燃機関は過給機を有し、
前記所定パラメータは、前記過給機による過給圧である、
請求項 1 又は請求項 2 に記載の内燃機関の失火検出システム。

【請求項 4】

前記所定パラメータは、圧縮上死点時に前記内燃機関の気筒において燃料の燃焼が生じていないとの仮定の下での前記過給圧である、
請求項 3 に記載の内燃機関の失火検出システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

【0001】

本願発明は、内燃機関の失火検出システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

車両に搭載された内燃機関の運転中に気筒内で失火が生じると、運転性能や燃費性能の悪化とともに、失火に伴う排気中の未燃燃料成分の増量に起因するエミッションの悪化や排気浄化触媒の溶損が懸念される。そのため、内燃機関の気筒で失火が生じると、その発生を速やかに、且つ的確に検出するのが好ましい。そこで、内燃機関の気筒での失火を検出する技術として、クランクシャフトの回転角信号に基づき失火検出を行う技術が、特許文献 1 に開示されている。当該技術では、車両の悪路走行時のクランクシャフトの回転角変動を考慮し、悪路走行などの失火判定に影響を与える特定の運転状態が検知されると、失火判定を禁止することで、誤った失火判定の回避が図られている。

20

【0003】

また、上述したクランクシャフトの回転角信号に基づいて失火検出を行う手法に代えて、気筒内の圧力推移を検出可能な筒内圧センサの検出値を用いて失火検出を行う技術が、特許文献 2 に開示されている。当該技術では、圧縮上死点後であって燃焼期間内の所定クランク角における複数サイクルの筒内圧検出値のばらつきに基づいて失火検出を行うことで、筒内圧センサの検出個体差に影響されにくい失火検出が図られている。

【先行技術文献】**【特許文献】**

30

【0004】

【特許文献 1】特開 2003 - 322053 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 31766 号公報

【特許文献 3】特開 2003 - 113736 号公報

【特許文献 4】特開 2007 - 315205 号公報

【特許文献 5】特開 2006 - 274966 号公報

【特許文献 6】特開 2003 - 13793 号公報

【特許文献 7】特開 2003 - 97343 号公報

【特許文献 8】特開平 9 - 126041 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

クランクシャフトの回転角信号に基づいて内燃機関における失火を検出する場合、失火状態を含む内燃機関での燃焼状態に関連した指標（以下、「失火指標」という）が、該回転角信号に基づいて導出され、その失火指標に基づいた失火検出が行われる場合がある。このように失火指標は内燃機関での失火を検出するための基準となるものであるから、内燃機関での燃焼状態と失火指標の値との相関（以下、「失火相関」という）は、一義的な関係性で画定されているのが好ましい。しかし、実際には、内燃機関の気筒内での燃焼に関する環境条件に依存して失火相関が変動する傾向が見出される。このように失火相関が変動することは、失火指標に基づいた失火検出の精度を低下させる要因となるため、的確

50

な失火検出の観点から好ましくない。

【0006】

また、内燃機関での失火状態、すなわち、実際の内燃機関での燃焼が本来あるべき燃焼状態からどの程度逸脱しているか、その逸脱程度に基づいて、内燃機関での燃焼に関する様々な制御（例えば、EGRガス量の制御や、燃料噴射時期や噴射量の制御）を行おうとした場合、失火検出の精度が低くなると、的確な制御を実現するのが困難となる。

【0007】

本願発明は、上記した問題点に鑑みてなされたものであり、クランクシャフトの回転角信号に基づいて、内燃機関での失火検出を比較的高精度で行うことができる内燃機関の失火検出システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願発明において、上記課題を解決するために、内燃機関の気筒での圧縮端圧力に関連する所定パラメータに着目した。内燃機関における圧縮端圧力は、圧縮上死点におけるクランクシャフトの回転への反力を決定する要素であり、当該反力によりクランクシャフトの回転角速度の変動量が決定される傾向がある。そして、この回転角速度の変動量は、上記失火指標に関連する要素であるため、失火検出の精度に大きく影響を及ぼすものである。したがって、内燃機関の気筒での圧縮端圧力に関連する所定パラメータを利用して失火検出に関する補正を行うことで、その検出精度を向上させることが可能となる。

【0009】

具体的には、本願発明は、内燃機関の失火検出システムであって、内燃機関のクランクシャフトの回転角位置を検知するクランク角センサと、前記クランクシャフトの回転数を基準として導出される、前記クランク角センサの出力信号の所定の回転次数成分に対応する指標であって、該クランクシャフトの角速度の変動量に応じて該指標の値が変動するように該クランクシャフトの角速度の変動量に対して相関を有する失火指標に基づいて、前記内燃機関における失火状態を検出する失火検出部と、前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力に関連する所定パラメータを取得する取得部と、前記取得部によって取得された前記所定パラメータに基づいて、前記失火指標、又は前記失火検出部による失火検出において該失火指標とともに使用される所定の失火検出パラメータを補正する補正部と、を備える。

【0010】

上記内燃機関の失火検出システムは、クランク角センサによって検出されるクランクシャフトの回転角位置に関する出力信号（以下、「クランク角信号」という）に基づいて導出される失火指標を利用して、失火検出部により内燃機関における失火が検出される。ここで、本発明において該内燃機関が有する気筒の数には特段の制限はなく、また、該内燃機関は、火花点火式内燃機関（ガソリンエンジン）と圧縮自着火式内燃機関（ディーゼルエンジン）のどちらでも構わない。

【0011】

失火指標は、クランクシャフトの回転数を基準としてクランク角信号から導出されるが、換言すると、時間領域の信号であるクランク角信号を周波数領域であるクランクシャフトの回転数領域に変換し、特定の周波数成分、すなわち上記所定の回転次数成分を抽出することで、失火指標が導出される。一般の内燃機関は4ストロークエンジンであるから、内燃機関が有する気筒のうちの気筒で失火が生じると、クランクシャフトが2回転する間に1回のクランク角信号の変化が出現することになる。そのため、好ましくは、上記所定の回転次数成分は、回転0.5次成分である。なお、内燃機関での失火に起因してクランク角信号への影響がある限りにおいては、所定の回転次数成分は回転0.5次成分に限られず、好適な回転次数成分を該所定の回転次数成分としても構わない。

【0012】

そして、この失火指標は、クランクシャフトの角速度の変動に応じて該指標の値が変動するような相関、例えば、クランクシャフトの角速度の変動が大きくなるほど該指標の値が大きくなるような相関を、該クランクシャフトの角速度の変動量に対して有している指

10

20

30

40

50

標である。すなわち、失火指標の値は、クランクシャフトの角速度の変動量に依存して変動する指標であり、例えば、クランクシャフトを介した内燃機関の出力トルクの変動量が同等であっても、クランクシャフトの角速度の変動量が大きくなるほど、失火指標の値は大きく導出されることになる。なお、このような失火指標と角速度の変動量との相関に関しては、当該相関を画定する明確な所定の関連付けに従って失火指標が導出される必要は必ずしもなく、結果的な失火指標の値の特性として、クランクシャフトの角速度の変動量に応じて指標の値が変動する相関が把握できればよい。

【 0 0 1 3 】

ここで、本願発明に係る内燃機関の失火検出システムでは、取得部により気筒内の圧縮端圧力に関連する所定パラメータは取得され、そして、補正部により、該所定パラメータに基づいて失火検出部による失火検出に関する補正が行われる。このように、本願発明では、失火検出のために気筒内の圧縮端圧力に着目している。これは、上述したように、実際の内燃機関の気筒内での燃焼に関する環境条件に依存して、内燃機関での燃焼状態と失火指標の値との相関である失火相関が変動する傾向があることを考慮したことによる。すなわち、圧縮端圧力は、気筒で圧縮上死点を迎えたときにクランクシャフトの回転に対する反力を決定する要素であり、該反力がクランクシャフトに作用することで、クランクシャフトの角速度に影響を及ぼす要素である。したがって、クランクシャフトの角速度の変動量と相関を有する失火指標は、圧縮端圧力に依存する指標であると考えられる。

【 0 0 1 4 】

そこで、圧縮端圧力に関連する所定パラメータに基づいて失火検出部による失火検出に関する補正を行うことで、実際の内燃機関の気筒内での燃焼に関する環境条件による影響を抑えて、もしくは当該環境条件による影響をキャンセルして、失火検出を行うことが可能となり、以てその検出精度を向上させることができる。詳細には、補正部による補正は、所定パラメータに基づいて失火指標そのものを補正してもよく、又は、失火指標とともに使用される所定の失火検出パラメータ、すなわち、失火検出において失火指標に対して独立して用いられるパラメータではなく、失火指標との相関が考慮されるパラメータを補正してもよい。この所定の失火検出パラメータの失火指標に対する相関は、所定の失火検出パラメータの値が変更することで、失火検出の結果が変動する可能性がある、両者の間の関係である。

【 0 0 1 5 】

なお、上記所定パラメータは、圧縮端圧力に関連する要素であって、圧縮端圧力そのものでもよく、又は、その関連性を踏まえて圧縮端圧力に換算することが可能な要素であってもよい。例えば、前記内燃機関が過給機を有する場合、所定パラメータは、前記過給機による過給圧、又は該過給圧に基づいて推定される前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力であってもよい。過給圧は、吸気行程を経て気筒内に流れ込む吸気の圧力とみなすことができ、また、その後の気筒内での圧縮行程により圧縮端圧力を迎えることになる。この一連の流れが、過給圧から圧縮端圧力への換算を可能とする上記関連性に相当する。

【 0 0 1 6 】

また、このような関連性を踏まえて、過給圧に基づいて推定される圧縮端圧力を用いて補正部による補正を行ってもよい。ここで、当該推定に関し、前記所定パラメータは、圧縮上死点時に前記内燃機関の気筒において燃料の燃焼が生じていないとの仮定の下で、前記過給圧に基づいて推定される圧縮端圧力であってもよい。内燃機関の燃焼形態によっては、圧縮自着火式内燃機関でのパイロット噴射のように吸気行程や圧縮行程での燃料噴射により、少量の燃料が、圧縮上死点を迎えるまでに燃焼する場合もある。しかし、このような燃焼形態による圧縮端圧力の増加は、圧縮そのものにより生じる圧力増加と比べて比較的小さいため、上記の通り、圧縮上死点時に燃料の燃焼が生じていないと仮定して圧縮端圧力を推定しても、最終的な失火検出の精度への影響は無視し得る。このように圧縮端圧力の推定を簡素化することで、失火検出に要する労力の軽減を図ることができる。

【 0 0 1 7 】

ここで、上述までの内燃機関の失火検出システムにおいて、前記補正部は、前記所定パ

10

20

30

40

50

ラメータに基づいて、前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力にかかわらず該内燃機関のトルク変動と前記失火指標との間の相関関係が所定の関係となるように、該失火指標を補正してもよい。すなわち、内燃機関での燃焼状態と失火指標の値との相関である失火相関に影響を及ぼす環境条件として圧縮端圧力そのものを取り上げ、当該圧縮端圧力の影響が失火相関に及ばない上記所定の関係が生成されるように補正部による補正が行われる。これにより、内燃機関での燃焼時の環境条件である圧縮端圧力から独立、安定した失火指標又は所定の失火検出パラメータが得られることになり、失火検出の精度が向上される。

【 0 0 1 8 】

また、上記の場合、前記所定の関係は、前記内燃機関のトルク変動と前記失火指標の値との間に線形関係が形成された関係であってもよい。トルク変動と失火指標との間に線形関係が形成されることで、失火指標とトルク変動との間の換算が容易となる。その結果、失火指標を用いた失火検出以外の制御、例えば、失火状態を解消、又は軽減するための燃料噴射に関する制御等を容易に行うことが可能となる。

10

【 0 0 1 9 】

また、上述までの内燃機関の検出システムにおいて、前記失火指標は、その値が大きくなるほど、前記内燃機関での燃料の燃焼状態が失火している状態に近いことを意味するように定義される指標であってもよい。そして、この場合、前記補正部は、前記取得部によって取得された前記所定パラメータの値を前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力に換算した場合に該換算値が大きくなるほど、前記失火指標の補正量が大きくなるように補正することができる。失火指標がこのように定義されることで、失火指標の値は、単に内燃機関において失火が生じているか否かを示すだけでなく、失火の状態、すなわち気筒での好適な燃焼がどの程度行われていないかについての程度を示すことになる。この場合、上記換算値が大きくなるほど失火指標の補正量が大きくなるように補正することで、圧縮端圧力が大きくなることでクランク角速度の低下量が大きくなるという実際の内燃機関での事象に応じた失火指標を得ることができ、以て、失火検出の精度を向上させることができる。

20

【 0 0 2 0 】

また、別法として、上述までの内燃機関の検出システムにおいて、前記所定の失火検出パラメータは、前記失火検出部によって失火の有無を判断するための、前記失火指標に対する所定の閾値であって、且つ、該失火検出部は、該失火指標が該所定の閾値より大きいときに失火発生を検出するように構成されてもよい。そして、この場合、前記補正部は、前記取得部によって取得された前記所定パラメータの値を前記内燃機関の気筒での圧縮端圧力に換算した場合に該換算値が大きくなるほど、前記失火指標又は前記所定の閾値の補正量が大きくなるように補正することができる。このように補正を行うことで、上記のように失火検出部による失火検出が構成される場合でも、圧縮端圧力が大きくなることでクランク角速度の低下量が大きくなるという実際の内燃機関での事象に応じた失火指標又は所定の失火検出パラメータを得ることができ、以て、失火検出の精度を向上させることができる。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本願発明によれば、クランクシャフトの回転角信号に基づいて内燃機関での失火検出を、比較的高精度で行うことができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 本願発明に係る内燃機関の失火検出システムの概略構成を示す図である。

【 図 2 】 図 1 に示す失火検出システムを機能ブロック図で示した図である。

【 図 3 】 内燃機関において、正常燃焼が行われているときと失火が発生しているときのそれぞれにおいて、クランクシャフトの角速度、クランク角センサの検出信号のパワースペクトル、フィルタ処理を施して抽出された失火に対応する回転 0.5 次成分のパワースペクトルを示す図である。

【 図 4 】 図 3 において、失火に対応する回転 0.5 次成分を抽出するためのデジタルフィ

50

ルタのフィルタ特性を示す図である。

【図 5】内燃機関 1 におけるトルク変動と失火指標の相関が、気筒内の圧縮端圧力によって変化することを示す図である。

【図 6】内燃機関 1 におけるクランクシャフトの角速度の推移と、気筒内の圧力の推移を示す図である。

【図 7】本発明に係る内燃機関の失火検出システムによる失火検出の補正に利用可能な補正係数を算出するための制御マップを示す図である。

【図 8】本発明に係る内燃機関の失火検出システムによって補正された、内燃機関 1 におけるトルク変動と失火指標の相関を示す図である。

【図 9】本発明に係る内燃機関の失火検出システムによる失火検出の補正に利用可能な圧力点を示す図である。

10

【図 10】本発明に係る内燃機関の失火検出システムにおいて実行される失火検出制御の、第一のフローチャートである。

【図 11】本発明に係る内燃機関の失火検出システムにおいて実行される失火検出制御の、第二のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本願発明の具体的な実施形態について図面に基づいて説明する。本実施例に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置等は、特に記載がない限りは発明の技術的範囲をそれらのみに限定する趣旨のものではない。

20

【実施例 1】

【0024】

<システムの概略構成>

図 1 は、本実施例に係る内燃機関の失火検出システムの概略構成を示す図である。車両 100 に搭載された内燃機関 1 は 4 つの気筒 2 を有する車両駆動用の 4 サイクルディーゼルエンジンである。ただし、本発明に係る内燃機関の失火検出システムは、ディーゼルエンジンに限らずガソリンエンジン等にも適用することができる。各気筒 2 には該気筒 2 内に燃料を直接噴射する燃料噴射弁 3 が設けられている。また、図 1 においては、内燃機関 1 の吸気通路 10、および該吸気通路 10 で過給を行う過給機 11 と、過給機 11 によって過給された吸気圧力を検知する圧力センサ 12 が表わされている。

30

【0025】

そして、内燃機関 1 には電子制御ユニット (ECU) 20 が併設されている。この ECU 20 は内燃機関 1 の運転状態等を制御するユニットである。ECU 20 には、燃料噴射弁 3 が電氣的に接続されている。ECU 20 によって、各燃料噴射弁 3 からの燃料噴射時期及び燃料噴射量が制御される。更に、ECU 20 には、クランク角センサ 4、アクセル開度センサ 5、圧力センサ 12 等の各種センサが電氣的に接続されている。クランク角センサ 4 は、内燃機関 1 のクランクシャフトの回転角位置を検知するセンサである。アクセル開度センサ 5 は、車両 100 のアクセル開度を検知するセンサである。圧力センサ 12 は、上記の通り吸気通路 10 において過給機 11 によって過給された後の吸気圧力を検知するセンサである。

40

【0026】

ECU 20 においては、上述したセンサを含め各種センサの出力信号を用いて種々の制御が実行される。ここで、図 2 に、ECU 20 で実行される制御プログラムにより実現される、該 ECU 20 の機能の一部をイメージ化した機能ブロック図を示す。具体的には、ECU 20 は、失火指標導出部 21、補正部 22、失火検出部 23 を有している。失火指標導出部 21 は、内燃機関 1 のクランクシャフトの回転数を基準として導出される、クランク角センサ 4 の出力信号の所定の回転次数成分に対応する「失火指標」を導出する機能部である。なお、この失火指標の導出の詳細については、後述する。そして、失火検出部 23 は、失火指標導出部 21 によって導出された失火指標を用いて、内燃機関 1 において生じている失火状態を検出する機能部である。なお、ここで言う失火状態とは、内燃機関

50

1において失火が生じているか否かについての判断により得られる失火の有無だけではなく、内燃機関における失火の程度、換言すれば、気筒内での噴射燃料がどの程度所望通りの燃焼をしていないのかに関するその程度を表わすものである。また、補正部22は、圧力センサ12によって検知される過給された吸気の圧力（以下、単に「過給圧」という）を用いて、失火指標を利用する失火検出部23による失火検出に関する補正を行う機能部である。

【0027】

<失火指標>

ここで、失火指標導出部21による失火指標の導出について、図3および図4に基づいて説明する。図3(a)は、内燃機関1のクランクシャフトの角速度の推移を示すグラフであり、そのうち(a-1)は正常燃焼時の推移を示しており、(a-2)は、失火発生時の当該角速度の推移を示している。また、図3(b)は、クランク角センサ4の出力信号である内燃機関1のクランクシャフトの回転角信号を周波数解析し、横軸をクランクシャフトの回転数を基準とした回転次数(Order of engine speed)とするパワースペクトル(Power spectrum)で表したグラフであり、そのうち(b-1)は正常燃焼時のパワースペクトルを表しており、(b-2)は、失火発生時のパワースペクトルを表している。また、図4(c)は、内燃機関1のクランクシャフトの回転変動に対し回転0.5次成分を抽出するためのフィルタ処理を施した結果を、横軸を回転次数とするパワースペクトルで表したグラフであり、そのうち(c-1)は、(b-1)で表す回転変動に対して該フィルタ処理を施した結果を示しており、(c-2)は、(b-2)で表す回転変動に対して該フィルタ処理を施した結果を示している。尚、ここでの失火発生時とは、内燃機関1の4つの気筒2のうちの一つの気筒で連続して失火が発生した場合のことである。

【0028】

図4は、上記の回転0.5次成分を抽出するためのフィルタ処理に用いられるデジタルフィルタのフィルタ特性を示す図である。図4において、横軸は回転次数(Order of engine speed)を表しており、縦軸はゲイン(Filter gain)を表している。図4に示すデジタルフィルタのフィルタ特性は、回転2次を含む回転整数次のゲインが低く、且つ回転0.5次のゲインが高く設定されている。これは、4気筒の内燃機関1では、クランクシャフトが一回転する間に2回の燃焼が行われる。そのため、図3(b-1)に示すように、正常燃焼時における回転変動は回転2次が基調となる。一方、内燃機関1において4つの気筒2のうちの一つの気筒で失火が発生すると、クランクシャフトが2回転する間に1回の失火が発生することになる。そのため、失火が発生すると、図3(b-2)に示すように、回転0.5次の回転変動が大きくなる。

【0029】

そこで、失火判定を行う際には、図4示すようなフィルタ特性を有するデジタルフィルタを用いることで、失火に対応するクランク角センサ4の出力信号に対する回転0.5次成分を抽出するとともに、燃焼に起因する回転2次成分を減衰させるフィルタ処理を施す。これにより、図3(c-1)、(c-2)に示すように、正常燃焼時の回転変動の基調である回転2次成分を含む、失火以外の事象に起因する回転変動の回転次数成分の値を減衰させることができる。このようにクランク角センサ4の出力信号から抽出された、失火に対応する回転0.5次成分の大きさが、本願発明の失火指標に相当する。

【0030】

なお、図4に示すフィルタ特性は、回転0.5次成分を抽出するためのフィルタ特性の一例であり、回転0.5次成分を抽出することが可能であれば、図4に示すフィルタ特性とは異なるフィルタ特性を有するフィルタを用いて本実施例に係るフィルタ処理を行ってもよい。また、クランク角センサ4の出力信号に対し回転0.5次成分を抽出するために施す方法としては、特開平7-119536号公報に記載された方法を例示することができる。

【0031】

ここで、失火指標について、図5および図6に基づいて詳細に説明する。失火指標は、

10

20

30

40

50

上記の通り、クランク角センサ 4 の出力信号を周波数解析したときの、クランクシャフトの回転数を基準とした回転 0.5 次成分の大きさに相当するものである。なお、本実施例では、失火指標は、図 3 (c) に示すパワースペクトルの当該回転 0.5 次成分の値そのものであってもよく、又は、その 0.5 次成分の値に、所定の目的をもって処理を施した後の値であってもよい。このように導出される失火指標は、その値が大きいほど、クランク角センサ 4 の出力信号に、失火に起因する信号が多く含まれていることを意味する。換言すれば、当該失火指標は、その値が大きくなるほど、内燃機関 1 での燃料が機関負荷や機関回転数から導かれる所望の燃焼状態に至っておらず、失火している状態に近いことを意味する。

【0032】

10

また、内燃機関 1 において失火が生じると、正常燃焼時と比べてクランクシャフトの角速度（以下、「クランク角速度」という）が大きく乱れる事象が発生する。そのため、失火指標も当該事象が反映され、クランク角速度の変動量が大きくなるほど、失火指標が大きくなる相関が、当該角速度と失火指標との間に見出すことができる。

【0033】

ここで、内燃機関 1 での燃焼の環境条件は、内燃機関 1 に要求される機関負荷や機関回転速度等の環境条件や、内燃機関 1 の外部の外気温度や大気圧等の環境条件によって、時々刻々変動する。これらの環境条件の中でも、特に、燃焼時の気筒内の圧縮端圧力、又は圧縮端圧力に関連する環境条件は、クランクシャフトの回転角位置に関する信号から導出される上記失火指標に影響を及ぼす傾向があることを本願発明者は見出した。例えば、図 5 に示すように、気筒内の圧縮端圧力が大きくなるほど、内燃機関 1 におけるトルク変動と失火指標との相関は、線 L1、L2、L3、L4 のように変化していく。すなわち、内燃機関 1 のトルク変動が同じとした場合でも、圧縮端圧力が大きくなるほど失火指標の値も大きくなる傾向を有する。

20

【0034】

ここで、図 6 に、内燃機関 1 のクランクシャフトのクランク角速度の推移 L5 と、気筒内の圧力の推移 L6 を比較して示す。両推移は、共通の時間軸に沿って記載されている。圧縮端圧力は、気筒内のピストンが圧縮上死点を迎えたときの気筒内の圧力として定義されるが、この圧縮端圧力は、クランクシャフトの回転に対する反力の最大値を決定する要素でもある。そのため、圧縮端圧力 P1 が大きくなるほど、圧縮上死点においてピストンに作用する反力が大きくなり、圧縮端圧力 P1 に対応するクランク角速度 ω_1 と、膨張行程下死点時の筒内圧力 P2 に対応するクランク角速度 ω_2 との差分として定義されるクランク角速度の変動量 $\Delta\omega$ も大きくなる。そして、失火指標に関し上述した、クランク角速度の変動量が大きくなるほど失火指標が大きくなるという相関を考慮すれば、圧縮端圧力が失火指標に影響を及ぼす要素であることが理解できる。

30

【0035】

ここで、図 5 を考慮すると、従来技術によれば圧縮端圧力に応じて、トルク変動と失火指標との相関は変動することになる。そのため、失火指標を利用した失火検出は、燃焼に関する環境条件である圧縮端圧力の影響を受けやすく、精度の高い失火検出は困難と考えられる。この点を踏まえ、本願発明に係る内燃機関 1 の失火検出システムでは、失火指標を用いた失火検出部 23 による失火検出に関する補正が、上記補正部 22 によって行われる構成を採用した。

40

【0036】

< 失火検出に関する補正 >

次に、補正部 22 による失火検出に関する補正について説明する。補正部 22 による補正は、上述した圧縮端圧力が失火指標に及ぼす影響、すなわち、圧縮端圧力が増加すると、図 6 に示すクランク角速度の変動量 $\Delta\omega$ が増加し、その結果失火指標の値が大きくなるという事象を考慮して行われる。

（第一の補正例）

補正部 22 による補正の第一の例としては、下記式 1 に従い、失火指標導出部 21 によ

50

って導出された失火指標（以下、「補正前失火指標」という）を、圧縮端圧力の値で除することで、補正後の失火指標（以下、「補正失火指標」という） $Nmf1$ を算出する。このように失火指標を補正することで、補正前失火指標の値に包含されている圧縮端圧力による指標の変動寄与分を軽減、もしくはキャンセルすることができ、圧縮端圧力に影響されない、もしくは影響されにくい失火指標を用いて失火検出を行うことが可能となる。

補正失火指標 ($Nmf1$) = 補正前失火指標 / 圧縮端圧力 …… (式1)

【0037】

なお、圧縮端圧力は、内燃機関の運転状態に基づいて推定してもよい。例えば、圧縮端圧力を、内燃機関1の機関回転数と機関出力（燃料噴射量）の関数とし算出してもよい。失火指標の補正に関連する気筒での圧縮端圧力は、吸気行程において気筒2内に流入した吸気と燃料噴射弁3から噴射された燃料とによる混合気が、ピストンによる圧縮作用で気筒2内に形成される圧力である。したがって、混合気量を決定する機関回転数および機関出力（燃料噴射量）と圧縮端圧力との間には一定の相関が存在することから、これらのパラメータより、圧縮端圧力を算出することが可能である。例えば、事前の実験により測定できる機関回転数および機関出力（燃料噴射量）と圧縮端圧力との相関を把握し、制御マップの形でECU20のメモリ内に格納しておけばよい。

【0038】

（第二の補正例）

補正部22による補正の第二の例としては、下記式2に従い、失火指標導出部21によって導出された補正前失火指標に、圧縮端圧力の値に関連付けられた補正係数 Ch を乗じることによって、補正失火指標 $Nmf1$ を算出する。このとき、補正係数 Ch は、図7に示すように圧縮端圧力の増加とともに、係数の値が減少するように設定される。具体的には、内燃機関1の気筒2で現れる圧縮端圧力のうち何れかの圧力を基準圧力 $P0$ と設定し、そのときの補正係数を1.0とする。そして、基準圧力 $P0$ に対応する失火指標が基準となり、そこから外れる圧縮端圧力の場合には、圧縮端圧力による指標の変動寄与分がキャンセルされるように補正係数 Ch が設定されてもよい。

補正失火指標 ($Nmf1$) = 補正前失火指標 × 補正係数 Ch …… (式2)

【0039】

このように圧縮端圧力による指標の変動寄与分をキャンセルすることで、トルク変動と失火指標の相関を、圧縮端圧力の大きさにかかわらず図8に示すように一定の相関とすることができ、トルク変動と失火指標の相関をこのように圧縮端圧力に影響されない関係に形成することで、図5に示す場合とは異なり、精度の高い失火検出が可能となる。また、補正失火指標に関して、図8に示すように、トルク変動と失火指標との間の相関が線形関係となるように補正係数を調整してもよい。このような補正を行うことで、失火指標を用いた制御、例えば、後述する図11に示す失火検出制御での燃料噴射の調整等を容易に行うことができる。

【0040】

また、補正係数 Ch の設定に当たり、以下のパラメータを考慮して設定してもよい。

(1) 上述したように、混合気量を決定する機関回転数および機関出力（燃料噴射量）と圧縮端圧力との間には一定の相関が存在することを踏まえ、補正係数 Ch を、内燃機関1の機関回転数と機関出力（燃料噴射量）の関数としてもよい。事前の実験により測定できる機関回転数および機関出力（燃料噴射量）と圧縮端圧力との相関を踏まえて、補正係数 Ch を導出することができる。

【0041】

(2) 補正係数 Ch の設定に当たり、内燃機関1の潤滑油温度もしくは冷却水温度も利用してよい。失火指標は、上述の通りクランクシャフトの角速度の変動量に対して相関を有しているが、考慮すべき環境条件として、上記の圧縮端圧力に加えて、気筒2内でのピストンに作用する摩擦力を挙げることができる。当該摩擦力が異なると、仮に圧縮端圧力が同じであってもクランクシャフトの角速度の変動量が異なる可能性が存在するからである。一般に、潤滑油の温度が低くなると摩擦力が大きくなるから、クランクシャフトの角

10

20

30

40

50

速度の変動量もより大きくなり、失火指標への影響も大きくなると考えられる。そこで、圧縮端圧力に基づいて設定される補正係数 C_h を、潤滑油温度もしくは冷却水温度が低くなるほど、小さくなるように調整すればよい。

【 0 0 4 2 】

(3) 補正係数 C_h の設定に当たり、内燃機関 1 のクランクシャフトを基準とした回転質量 (イナーシャ) も利用してよい。失火指標は、上述の通りクランクシャフトの角速度の変動量に対して相関を有しているが、考慮すべき環境条件として、上記の圧縮端圧力に加えて、当該回転質量を挙げることができる。当該回転質量が異なると、仮に圧縮端圧力が同じであってもクランクシャフトの角速度の変動量が異なる可能性が存在するからである。一般に、回転質量が大きくなると慣性力が大きくなるから、クランクシャフトの角速度の変動量が小さくなり、失火指標への影響も小さくなると考えられる。そこで、圧縮端圧力に基づいて設定される補正係数 C_h を、回転質量が大きくなるほど、大きくなるように調整すればよい。

10

【 0 0 4 3 】

(第三の補正例)

上述までの失火検出に関する補正では、圧縮端圧力を用いた補正を例示したが、直接的に圧縮端圧力を利用した失火指標の補正に代えて、圧縮端圧力に関連する所定パラメータとして、その他の圧力値、例えば、下記の過給圧 P_{10} を利用して、上記失火指標の補正を行ってもよい。

【 0 0 4 4 】

20

ここで、図 9 に気筒 2 内の圧力推移を線 L 8 で示す。なお、圧縮上死点 (図中 T D C) より以前に点 P_{10} で示される圧力は、気筒 2 で吸気行程を迎えて気筒内に過給された吸気が流れ込んだ時の圧力であり、圧力センサ 1 2 で検出される過給圧と同一視できる圧力である。一般には、気筒 2 では、圧縮上死点近傍で燃料噴射弁 3 から燃料噴射が行われ、気筒 2 内の圧力は圧縮端圧力 P_{13} を迎え、その後、燃料の燃焼によりピーク圧力に至る。そこで、気筒 2 での圧縮行程を断熱過程又はポリトロップ過程と想定したとき、過給圧 P_{10} の下、気筒 2 内に流れ込んだ吸気が圧縮され、そして圧縮上死点より前に噴射された燃料が燃焼する流れを踏まえて、過給圧 P_{10} と圧縮端圧力 P_{13} との間に相関を見出すことができる。そこで、当該相関を踏まえて、過給圧 P_{10} を利用して、上記失火指標の補正を行ってもよい。

30

【 0 0 4 5 】

また、圧縮上死点よりも前に気筒 2 で燃料噴射が行われると、その噴射燃料が燃焼に供され、その分、筒内圧力が圧縮上死点時においても上昇するが、圧縮上死点よりも前に噴射された燃料の燃焼による筒内圧力の上昇への寄与は、ピストンの圧縮そのものによる筒内圧力の上昇と比較すれば、それほど大きくない場合がある。このような場合には当該圧縮上死点前の噴射燃料の燃焼を無視しても、過給圧 P_{10} と圧縮端圧力 P_{13} との間の相関を比較的精度よく設定することができる。図 9 には、このように噴射燃料の燃焼を無視したときの気筒 2 内の圧力推移を線 L 7 で示し、そのときの圧縮端圧力は点 P_{12} で表されている。そして、吸気下死点時の気筒 2 内の体積を V_{bdc} とし、圧縮上死点時の気筒 2 内の体積を V_{tdc} とすると、下記の式 3 に従い、過給圧 P_{10} から圧縮端圧力 P_{12} の導出が可能である。

40

$$\text{圧縮端圧力 (圧力 } P_{12} \text{)} = \text{過給圧 (圧力 } P_{10} \text{)} \times (V_{bdc} / V_{tdc})^n \quad \cdot \cdot$$

・ (式 3)

ここで、 n は、気筒 2 での圧縮行程をポリトロップ過程と想定したときのポリトロップ指数であって、内燃機関 1 の冷却水温度、吸気温度、過給圧、機関回転数、燃料噴射量、EGR 率等の関数として定義される。

【 0 0 4 6 】

上記式 3 における $(V_{bdc} / V_{tdc})^n$ が、上述した過給圧 P_{10} と圧縮端圧力 P_{13} との間の相関に相当し、これを利用することで、過給圧 P_{10} に基づいた失火指標の補正が可能となる。また、圧縮端圧力 P_{12} に対して、過給圧 P_{10} のように所定の相関

50

を見出せる任意の圧力が存在すれば（例えば、図 9 に示す線 L 7 上の圧力 P 1 1 ）、当該圧力 P 1 1 に基づいた失火指標の補正を行ってもよい。

【 0 0 4 7 】

< 失火検出制御 >

上述した失火検出に関する補正を含む内燃機関 1 での失火検出制御について、図 1 0 に基づいて説明する。図 1 0 に示す失火検出制御は、E C U 2 0 に格納された制御プログラムが実行することで、行われる。この失火検出制御は、E C U 2 0 によって常時行われていてもよく、また、内燃機関 1 において失火の発生が懸念される場合等の所定の条件が成立しているときに限定的に行われてもよい。先ず、S 1 0 1 では、上述したように、失火指標導出部 2 1 により、クランク角センサ 4 の出力信号から回転 0 . 5 次成分が抽出され、補正前失火指標 N m f が導出される。この補正前失火指標 N m f は、図 5 に示すように、気筒 2 での圧縮端圧力の影響を受けている指標である。S 1 0 1 の処理が終了すると、S 1 0 2 へ進む。

10

【 0 0 4 8 】

S 1 0 2 では、圧力センサ 1 2 による吸気通路 1 0 における過給圧 P s が検出される。その後、S 1 0 3 で、過給圧 P s から、上記式 3 に従って、気筒 2 内の圧縮端圧力（噴射燃料の燃焼を無視したときの圧縮端圧力）が推定される。S 1 0 3 の処理が終了すると、S 1 0 4 へ進む。

【 0 0 4 9 】

次に、S 1 0 4 では、補正部 2 2 による補正前失火指標 N m f の補正が行われ、補正失火指標 N m f 1 が算出される。補正部 2 2 による補正については、上述した補正例の何れを用いても構わないが、本実施例では、第二の補正例で示した補正係数 C h を利用した補正、すなわち、式 2 に従った補正を行うものとする。具体的には、図 7 に示したように、圧縮端圧力 P t d c が大きくなるほど補正係数 C h が小さくなるように、すなわち、補正前失火指標 N m f の補正量が大きくなるように圧縮端圧力 P t d c と補正係数 C h の相関が設定された制御マップが、E C U 2 0 内に格納されている。この制御マップに、S 1 0 3 で推定された圧縮端圧力 P t d c に従ってアクセスすることで、対応する補正係数 C h が算出され、上記式 2 に従い補正失火指標 N m f 1 が算出される。S 1 0 4 の処理が終了すると、S 1 0 5 へ進む。

20

【 0 0 5 0 】

S 1 0 5 では、S 1 0 4 で算出された補正失火指標が、失火指標に関する所定の閾値 N m f 0 より低いかが判定される。この所定の閾値 N m f 0 は、内燃機関 1 において失火が生じているか否かを判定するための基準値であり、失火指標が所定の閾値 N m f 0 以上となると失火が発生していることを意味する。そこで、S 1 0 5 で肯定判定されると、S 1 0 6 で正常燃焼と判定され、一方で S 1 0 5 で否定判定されると、S 1 0 7 で失火発生と判定される。

30

【 0 0 5 1 】

このように本制御では、気筒 2 での圧縮端圧力に基づいて補正された補正失火指標 N m f 1 に従って失火検出が行われるため、圧縮端圧力に影響されない状態で、もしくは当該影響を緩和した状態での失火検出を実現でき、その検出精度を高めることができる。

40

【 0 0 5 2 】

< 変形例 1 >

図 1 0 に示す失火検出制御では、S 1 0 3 で圧縮端圧力 P t d c を推定した上で、S 1 0 4 で補正失火指標 N m f 1 が算出されているが、その態様に代えて、S 1 0 2 で検出された過給圧 P s に基づいて補正失火指標 N m f 1 が算出されてもよい。この場合、上述したように、式 3 で示された過給圧 P s と圧縮端圧力 P t d c との間の相関を考慮した補正失火指標 N m f 1 の算出が行われる。具体的には、その補正失火指標 N m f 1 の算出に利用される補正指標 C h が、当該相関を踏まえ過給圧 P s が圧縮端圧力に換算されたときに、その換算値が大きくなるほど補正係数 C h が小さくなるように、すなわち、補正前失火指標 N m f の補正量が大きくなるように過給圧 P s と補正係数 C h の相関が設定された制御

50

マップが利用される。

【 0 0 5 3 】

< 変形例 2 >

また、図 1 0 に示す失火検出制御では、圧縮端圧力 P_{tdc} に基づいて S 1 0 4 で補正失火指標 N_{mf1} が算出されているが、その態様に代えて、圧縮端圧力 P_{tdc} に基づいて所定の閾値 N_{mf0} を補正し、その補正された所定の閾値 N_{mf0} と補正前失火指標 N_{mf} を比較することで失火判定を行ってもよい。この場合、圧縮端圧力 P_{tdc} が大きくなるほど所定の閾値 N_{mf0} の補正量（増加量）が大きくなるように、該所定の閾値 N_{mf0} を補正する。これにより、図 1 0 に示す失火検出制御と同じように、圧縮端圧力に影響され難い、高精度の失火検出が実現できる。

10

【 実施例 2 】

【 0 0 5 4 】

本発明に係る内燃機関の失火検出システムにおいて実行される失火検出制御の第二の実施例について、図 1 1 に基づいて説明する。図 1 1 に示す失火検出制御も、図 1 0 に示す失火検出制御と同じように、ECU 2 0 に格納された制御プログラムが実行することで、行われる。また、本実施例に係る失火検出制御が含む処理のうち、図 1 0 に示す失火検出制御が含む処理と同様のものについては、同一の参照番号を付すことでその詳細な説明は割愛する。そして、本実施例に係る失火検出制御では、S 1 0 4 の処理が終了すると、S 2 0 1 へ進む。

【 0 0 5 5 】

20

S 2 0 1 では、S 1 0 4 で算出された補正失火指標 N_{mf1} に基づいて、内燃機関 1 において失火対応、すなわち内燃機関で生じている燃焼の不良状態を解消する対応が必要か否かが判定される。具体的には、図 1 0 に示す処理 S 1 0 5 の場合と同じように、所定の閾値 N_{mf0} と比較して、もしくは、別の観点から設けられた閾値と比較して、補正失火指標が比較的大きくなることで、内燃機関 1 での燃焼が好適な状態になっていないと判定する。S 2 0 1 で肯定判定されると S 2 0 2 へ進み、否定判定されると本制御を終了する。

【 0 0 5 6 】

S 2 0 2 では、補正失火指標 N_{mf1} に基づいて、内燃機関 1 での燃料噴射に関する制御パラメータ、例えば噴射時期や燃料噴射量の補正が行われる。上述したように、補正失火指標 N_{mf1} は、気筒での圧縮端圧力による失火指標への影響を可及的に取り除いた指標であるから、その値は、気筒 2 での燃焼状態を精度よく反映している数値として有用なものである。そこで、その数値に基づいて、気筒 2 での燃焼状態が好適な状態となるように、すなわち失火指標の値が小さくなるように燃料噴射に関する制御パラメータの調整が行われる。例えば、ディーゼルエンジンである内燃機関 1 において、圧縮上死点近傍で行う主噴射よりも早い時期のパイロット噴射が行われている場合、補正失火指標 N_{mf1} が大きくなるほど、パイロット噴射の噴射時期を圧縮上死点側に大きく移動させることで、内燃機関 1 における失火状態を緩和することができる。また、パイロット噴射と主噴射による燃料噴射量の比率も、失火指標が小さくなるように適切に調整されるのが好ましい。

30

【 0 0 5 7 】

40

なお、補正失火指標 N_{mf1} に関しては、図 8 に示すように、トルク変動と補正失火指標 N_{mf1} との間の相関が線形関係となるように補正係数が設定されてもよい。この場合、補正失火指標 N_{mf1} の値の増減が、内燃機関 1 のトルク変動量の増減と明確に関連付けられるため、上記のパイロット噴射の燃料噴射時期や、パイロット噴射と主噴射による燃料噴射量の比率の調整が容易となる。

【 符号の説明 】

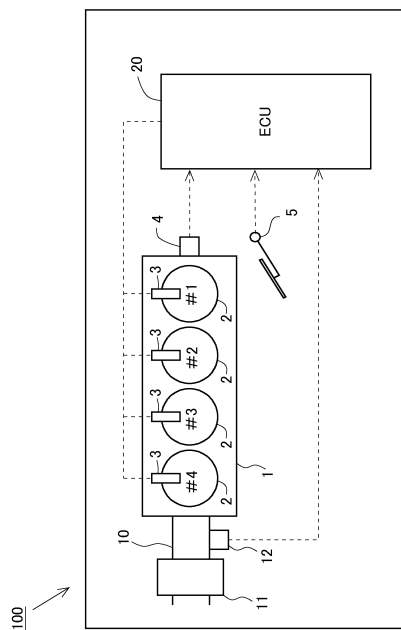
【 0 0 5 8 】

- 1・・・内燃機関
- 2・・・気筒
- 3・・・燃料噴射弁

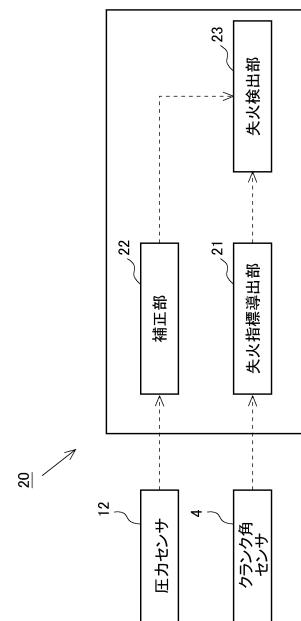
50

- 4 . . . クランク角センサ
- 5 . . . アクセル開度センサ
- 10 . . . 吸気通路
- 11 . . . 過給機
- 12 . . . 圧力センサ
- 20 . . . ECU

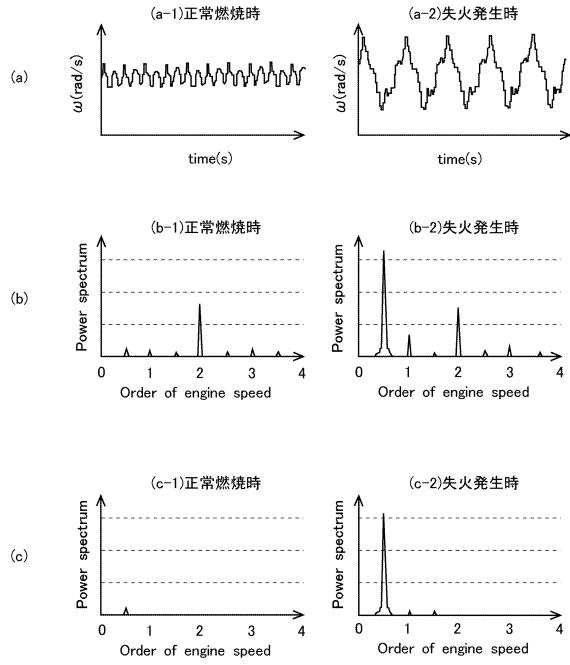
【図 1】



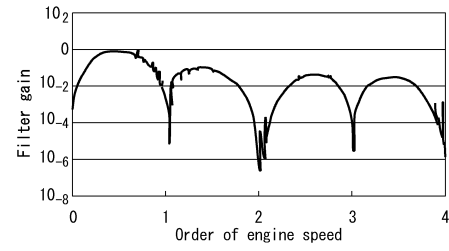
【図 2】



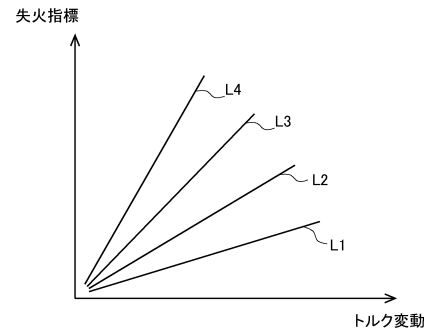
【図 3】



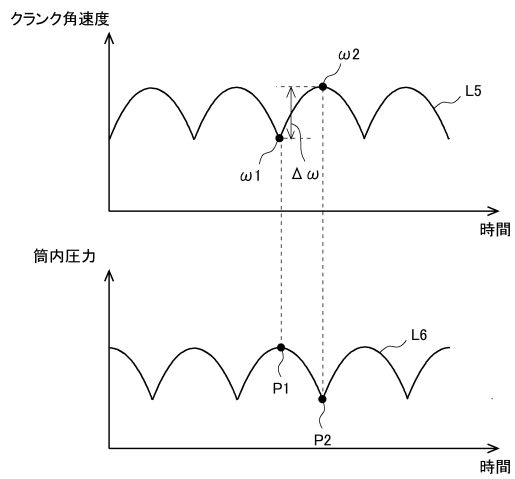
【図 4】



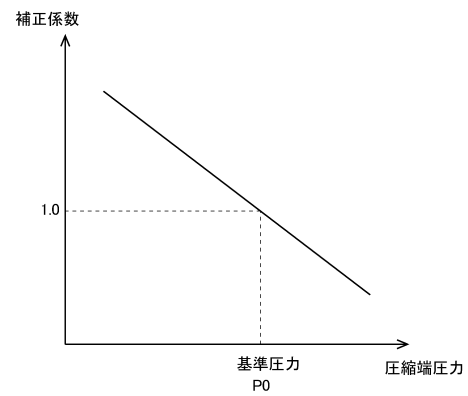
【図 5】



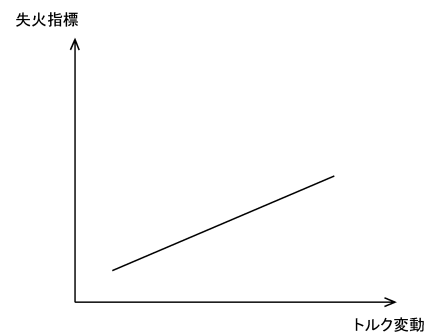
【図 6】



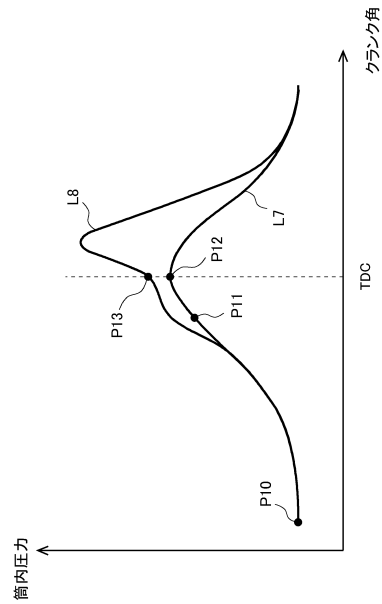
【図 7】



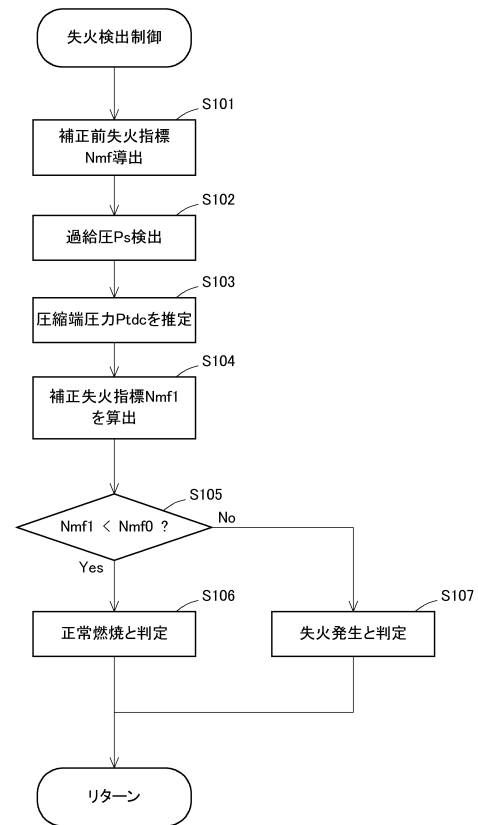
【図 8】



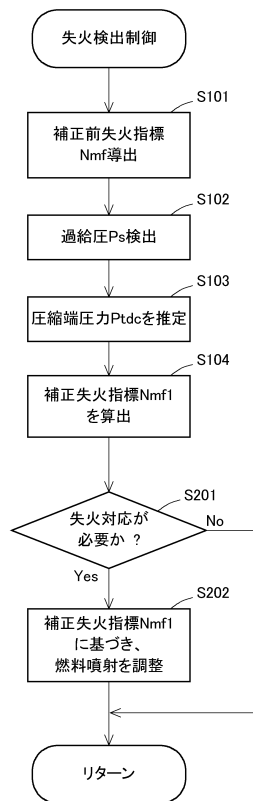
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 青山 幸俊
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 長谷川 亮
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 山田 智海
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 村瀬 淳一
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 三好 悠司
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 立花 啓

- (56)参考文献 特開平07-119536(JP,A)
特開平08-291761(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F02D 45/00