

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7204982号
(P7204982)

(45)発行日 令和5年1月16日(2023.1.16)

(24)登録日 令和5年1月5日(2023.1.5)

(51)国際特許分類		F I	
F 0 2 D	19/02 (2006.01)	F 0 2 D	19/02 B
F 0 2 D	45/00 (2006.01)	F 0 2 D	45/00 3 6 4 A
F 0 2 B	23/10 (2006.01)	F 0 2 D	45/00 3 6 6
F 0 2 B	11/00 (2006.01)	F 0 2 D	45/00 3 6 8 A
		F 0 2 D	45/00 3 6 8 S
		請求項の数 18	外国語出願 (全9頁) 最終頁に続く
(21)出願番号	特願2022-83978(P2022-83978)	(73)特許権者	500174708
(22)出願日	令和4年5月23日(2022.5.23)		サウスウェスト リサーチ インスティテ
(65)公開番号	特開2022-179467(P2022-179467		ュート
	A)		アメリカ合衆国 テキサス州 7 8 2 3 8
(43)公開日	令和4年12月2日(2022.12.2)		サン アントニオ カルブラ ロード 6 2
審査請求日	令和4年6月27日(2022.6.27)		2 0
(31)優先権主張番号	17/327,391	(74)代理人	110001519
(32)優先日	令和3年5月21日(2021.5.21)		弁理士法人太陽国際特許事務所
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	テランス フランシス アルジャー
早期審査対象出願			アメリカ合衆国 7 8 2 5 8 テキサス
			サン アントニオ ジェムズバック ライズ
			4 7
		(72)発明者	トーマス イー.ブリッグス
			アメリカ合衆国 7 8 0 2 3 テキサス
			ヘローツ スプリングクロフト コート
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 水素を燃料とする内燃機関のマルチモード運転

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
水素を燃料とする内燃機関を運転する方法であって、
前記内燃機関は、少なくとも1つのシリンダを備え、
モード閾値を決定するステップであって、前記モード閾値は前記内燃機関のトルクを表
す、ステップと、
前記内燃機関の運転中に、前記内燃機関の要求トルクを決定するステップと、
前記要求トルクを前記モード閾値と比較するステップと、
前記要求トルクが前記モード閾値より小さい場合に、前記内燃機関を低負荷モードで運
転するステップであって、前記低負荷モードは火花点火及び予混合燃焼を使用する、ステ
ップと、
前記要求トルクが前記モード閾値より大きい場合に、前記内燃機関を高負荷モードで運
転するステップであって、前記高負荷モードは点火プラグを使用しない圧縮着火及び拡散
燃焼を使用する、ステップと、
を含む方法。

【請求項2】
前記要求トルクを決定するステップは、少なくとも部分的に吸気流センサを使用して
実行される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】
前記要求トルクを決定するステップは、少なくとも部分的にトルク制御センサを使用し

て実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記要求トルクを決定するステップは、少なくとも部分的にノックセンサを使用して実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記要求トルクを決定するステップは、少なくとも部分的にシリンダ内圧力センサを使用して実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記内燃機関は、前記シリンダの上部の中心に取り付けられた燃料インジェクタと、前記燃料インジェクタと共に配置された点火プラグとを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記燃料インジェクタは多孔インジェクタであり、前記点火プラグは、前記燃料インジェクタの複数の噴霧プルームのうちの 2 つの噴霧プルームの間にギャップを有する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記燃料インジェクタは単一孔インジェクタであり、前記点火プラグは、前記燃料インジェクタによって生成された噴霧プルームの周囲にギャップを有する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記高負荷モードの圧縮着火は、後期水素噴射を伴う、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記高負荷モードの圧縮着火の前に、水素の予備噴射が行われ、前記内燃機関の希薄燃焼限界を下回る希薄な水素と空気の混合気の予備噴射が提供される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

水素を燃料とする改良された内燃機関であって、

前記内燃機関は、少なくとも 1 つのシリンダを備え、

前記改良は、

前記シリンダの上部の中心に取り付けられた燃料インジェクタと、前記燃料インジェクタと共に配置された点火プラグとを有する、前記少なくとも 1 つのシリンダと、

モード閾値を記憶するモードコントローラであって、前記モード閾値は前記内燃機関のトルクを表す、モードコントローラと、

前記内燃機関の運転中に前記内燃機関の要求トルクを決定するように動作可能な少なくとも 1 つのセンサと、

を備え、

前記モードコントローラは、前記要求トルクを前記モード閾値と比較するようにさらに動作可能であり、

前記要求トルクが前記モード閾値より小さい場合に、前記内燃機関を火花点火及び予混合燃焼を使用する低負荷モードで運転し、

前記要求トルクが前記モード閾値より大きい場合に、前記内燃機関を点火プラグを使用しない圧縮着火及び拡散燃焼を使用する高負荷モードで運転する、

改良された内燃機関。

【請求項 12】

前記少なくとも 1 つのセンサは、吸気流センサである、請求項 11 に記載の改良された内燃機関。

【請求項 13】

前記少なくとも 1 つのセンサは、トルク制御センサである、請求項 11 に記載の改良された内燃機関。

【請求項 14】

前記少なくとも 1 つのセンサは、ノックセンサである、請求項 11 に記載の改良された

10

20

30

40

50

内燃機関。

【請求項 15】

前記少なくとも1つのセンサは、シリンダ内圧力センサである、請求項11に記載の改良された内燃機関。

【請求項 16】

前記燃料インジェクタは多孔インジェクタであり、前記点火プラグは、前記燃料インジェクタの複数の噴霧プルームのうちの2つの噴霧プルームの間にギャップを有する、請求項11に記載の改良された内燃機関。

【請求項 17】

前記燃料インジェクタは単一孔インジェクタであり、前記点火プラグは、前記燃料インジェクタによって生成された噴霧プルームの周囲にギャップを有する、請求項11に記載の改良された内燃機関。

【請求項 18】

水素を燃料とする内燃機関を運転する方法であって、
前記内燃機関は、少なくとも1つのシリンダを備え、
モード閾値を決定するステップであって、前記モード閾値は前記内燃機関のトルクを表す、ステップと、

前記内燃機関の運転中に、前記内燃機関の要求トルクを決定するステップと、
前記要求トルクを前記モード閾値と比較するステップと、
前記要求トルクが前記モード閾値より小さい場合に、前記内燃機関を低負荷モードで運転するステップであって、前記低負荷モードはスパークアシスト圧縮着火を使用する、ステップと、

前記要求トルクが前記モード閾値より大きい場合に、前記内燃機関を高負荷モードで運転するステップであって、前記高負荷モードは点火プラグを使用しない圧縮着火及び拡散燃焼を使用する、ステップと、

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、内燃機関 (internal combustion engines) に関し、より詳細には、水素を燃料とする内燃機関に関する。

【背景技術】

【0002】

水素を燃料とする内燃機関への関心が高まっており、その動機の一部は汚染物質排出目標を達成することである。これらのエンジンは、温室効果ガスの排出を略ゼロにするための道筋を提供する。

【0003】

水素燃料は、内燃機関に多くの利益をもたらす。水素の着火エネルギーはガソリンより1桁低い。この低い着火エネルギーにより、再循環排気や希薄燃焼のような極めて希薄な条件下でも水素は容易に着火する。水素の火炎速度は、ガソリンの火炎速度の約4倍～5倍と速く、ピストン運動に対する燃焼位相の改善により効率が向上する。水素の消炎距離は短く (ガソリンの約3分の1)、未燃焼の燃料の排出量を減らし、燃焼効率を向上させる (但し、燃焼室からの熱伝導損失を増加させる)。最後に、水素は、リサーチ法オクタン価 (RON) が高く、このためエンドガスの自己着火とその後のノックに対して耐性を有する。

【0004】

しかしながら、水素を燃料として使用することにも課題はある。主な課題は、燃焼温度の上昇による高い熱伝導と、燃焼室内のホットスポットによる燃料の制御不能なプレイグニッションである。ガソリンに比べて水素の着火エネルギーが低いため、燃焼室内の局所的なホットスポットが未燃焼の水素と空気の混合気のプレイグニッションを引き起こす可

10

20

30

40

50

能性がある温度閾値が低下する。エンジン負荷と回転速度が増加するにつれて、ブレイグニッションが発生する可能性も高くなる。

【0005】

本発明の実施形態及びその利点のより完全な理解は、添付の図面と併せて以下の説明を参照することによって得ることができ、添付の図面では、同様の参照番号は同様の特徴を示す。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】本発明による水素を燃料とする内燃機関を示す図である。

【図2】(A)～(C)は、エンジンを運転するための低負荷モードを示す。

10

【図3】(A)～(C)は、低負荷モードの代替の実施形態を示す。

【図4】(A)～(C)は、エンジンを運転するための高負荷モードを示す。

【図5】(A)～(C)は、高負荷モードの代替の実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下の説明は、低出力（負荷）及び高出力（負荷）の両方のエンジン運転条件において、内燃機関に水素を燃料として供給することを可能にするための方法に関するものである。エンジンは、低負荷用のモードと高負荷用のモードとを有している。一実施形態では、低負荷では、予混合火花点火燃焼（pre-mixed spark-ignited combustion）が使用される。高負荷では、圧縮着火を伴う後期水素噴射（late-injection hydrogen with compression ignition）が使用される。

20

【0008】

背景で述べたように、火花点火式の内燃機関では、水素燃料のブレイグニッションが課題である。1つの解決策は、予混合火花点火燃焼を使用せず、むしろ圧縮着火を使用して、エンジンサイクルの後期に水素を噴射する方法である。これにより、高負荷でのホットスポットのブレイグニッションの問題が解消される。しかしながら、低負荷では、シリンダ内の温度が低すぎて圧縮着火が起こらない。

【0009】

水素燃料での圧縮着火をアシストする解決策の1つは、グロープラグを使用して高温ゾーンを生成し、燃焼を開始させる方法である。しかしながら、グロープラグのアプローチは、高負荷時又は過渡期には問題となる場合がある。これらのエンジン状態下では、着火のためのホットスポットに依存することにより、着火時期の適切な制御が妨げられる可能性がある。

30

【0010】

図1は、本発明による水素を燃料とする内燃機関（エンジン）100を示す。エンジン100は、自動車エンジンで使用されるようなクランクシャフトを備えるように図示されているが、エンジン100は、これに限定されるものではなく、車両、機械、船舶、及び機関車を含む、固定式又は可動式の様々なエンジンプラットフォームのいずれか1つとすることができる。

【0011】

エンジン100は、複数のシリンダ101を有し、各シリンダ101は、少なくとも1つの水素燃料インジェクタ102と、少なくとも1つの点火プラグ103とを有している。以下に説明するように、各シリンダのインジェクタと点火プラグとは、シリンダヘッドの上部に共に配置されている。

40

【0012】

各シリンダ101はさらに、少なくとも1つの吸気バルブと少なくとも1つの排気バルブと（それぞれポート104及び105として表される）を備えており、これらのバルブは、2ストローク又は4ストロークの内燃機関において一般的であるように動作する。

【0013】

コントローラ106は、エンジン100のマルチモード運転を実行する。具体的には、

50

エンジン１００は、低負荷用の燃焼モードと高負荷用の燃焼モードの２つの燃焼モードで運転される。コントローラ１０６は、本明細書に記載するタスクを実行するための適切なハードウェア及びソフトウェアを有すると仮定される。

【００１４】

コントローラ１０６によって実装されるモード制御は、トルクベースである。したがって、モデル化又は実験を通して、トルク値が閾値として決定され、閾値を下回ると、エンジン１００は低負荷モードで動作し、閾値を上回ると、エンジン１００は高負荷モードで動作する。

【００１５】

エンジン運転中、この閾値のモード制御値はトルク値と比較される。トルク値は、吸気流センサ１２０及び／又はスロットル制御センサ１２１から測定することができる。例えば、自動車エンジンでは、スロットル制御センサがアクセルペダルの位置を測定することになるであろう。通常、トルク値は、オペレータによって現在要求されているトルクを表す要求トルク値となるであろう。

【００１６】

モード制御のための１つ又は複数の二次入力を使用することもできる。１つの二次入力は、ロックセンサ１２２からのものである。別の二次入力は、シリンダ内圧力センサ１２３からのものである。

【００１７】

エンジン１００が低負荷の運転条件にあるか、又は高負荷の運転条件にあるかを判断した後、コントローラ１０６は、現在のエンジンモードに必要な方法で動作するように、インジェクタ１０２及び点火プラグ１０３に制御信号を送出する。

【００１８】

以下の図は、エンジン１００のような水素を燃料とする内燃機関の様々な運転モードを示すものである。エンジンは、単一のシリンダ１０１として表されているが、所与のモードに対して、すべてのエンジンシリンダが同様に動作することを理解されたい。

【００１９】

すべてのモードについて、図２Ａを用いて説明すると、エンジンシリンダ１０１の上部の断面図が示されている。燃焼室３１の形状と、燃料インジェクタ１０２及び点火プラグ１０３の相対位置とが重要である。インジェクタ１０２は、燃焼室３１の上部中央において中心に取り付けられている。点火プラグ１０３は、インジェクタ１０２と同じ場所に配置されている。

【００２０】

点火プラグ１０３のギャップは、インジェクタの噴霧プルーム（spray plumes）のうちの２つの間に入るように（インジェクタが多孔である場合）、又は噴霧プルームの周囲に入るように（インジェクタが単一の孔を有する場合）配置されている。

【００２１】

乱流の影響で、噴霧の境界層は一貫した形状ではないため、点火プラグのギャップ内における混合気の当量比の時間的な変動を考慮して、点火イベントは、かなり長い点火持続時間となる。インジェクタ１０２及び点火プラグ１０３の最終的な相対位置は、エンジン排気量、噴射設計圧力、目標最大負荷、及び定格エンジン回転速度（rated engine speed）の関数となるであろう。

【００２２】

図２（Ａ）～図２（Ｃ）は、水素燃料エンジンを低負荷で運転する第１の実施形態を示す図である。この方法は予混合（均質又は層状）火花点火燃焼である。「予混合燃焼」とは、燃焼酸化剤（空気）と水素とが点火火炎イベント（ignition flame event）の前に混合されることを意味する。この予混合は、シリンダピストンの吸気ストローク中に、空気と燃料の両方が燃焼室内に受け入れられた結果として生じてよい。あるいは、直接噴射システムを用いて吸気バルブを閉じた後に水素を噴射することによっても、空気と燃料とを予め混合することができるであろう。

10

20

30

40

50

【0023】

水素燃料は、上死点 (top dead center) 付近の燃料インジェクタ102を介して燃焼室31に噴射される。混合気の着火には、点火プラグ103が必要である。

【0024】

図3(A)～図3(C)は、低負荷モードの変形例を示す。このモードは、スパークアシスト圧縮着火モード (spark-assisted compression ignition mode) である。燃焼は「拡散燃焼」であり、着火イベントの前ではなく、燃焼イベントが発生している間に、空気と燃料とが混合する。

【0025】

図3(A)では、図2(A)と同様に、上死点付近の燃料インジェクタ102を介して水素燃料が燃焼室31に噴射される。噴射された燃料噴霧は、その中心部では全部燃料であり、その周辺部では全部空気に遷移している。燃料と空気は拡散しており、点火プラグ103は、混合気が燃焼に適したところで伝播する火炎に点火する。火炎自体は、時間的に制御されたイベントにおいて、エンドガスの自動着火 (auto-ignition) をもたらす。

10

【0026】

図4(A)～図4(C)は、水素燃料エンジン100を高負荷で運転する第1の実施形態を示す。高負荷では、点火プラグ103はオフにされる。点火プラグ103は、点火プラグ自体がホットスポットになる可能性を回避するために、冷え型熱価の点火プラグ (cold heat rating spark plug) である。図4(A)～図4(C)の燃焼は拡散燃焼であり、噴射された水素は、シリンダ内容物に対する圧縮加熱により着火する。

20

【0027】

図5(A)～図5(C)は、高負荷モードの変形例を示す。点火プラグ103は、主水素噴射イベントの自動着火を可能にする点までシリンダ温度を上昇させる水素の小さなパイロット噴射に点火するために発火されるか、又は、水素噴射イベントの噴霧プルームの1つに点火するために発火され、その後、熱的手段を介して残りの噴霧プルームを着火するのに十分な温度まで上昇させる。

【0028】

高負荷モードの第3の変形例では、主水素噴射イベントの前に、少量の水素が主燃焼室31に噴射される。この予備噴射された水素と空気の混合気は、希薄燃焼限界 (lean flammability limit) を下回り、したがって、ブレイグニッションしない。この予混合燃料は、主拡散火炎が始まると、希薄伝播火炎 (lean propagating flame) で燃焼する。一般に、これは、予混合燃料に対する希薄状態 (lean conditions) により、燃焼によるNOx排出の低減につながる。

30

【0029】

火花点火が使用されるモードでは、複数の点火イベントが使用され得る。これらの点火イベントは、高エネルギー点火システムを用いた火花イベントの再点火 (re-strikes) 又は延長のいずれかとなり得る。この再点火イベントは、高負荷条件下で拡散火炎として水素を燃焼させ続けるために必要となる場合がある。

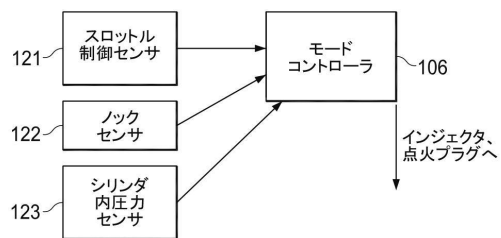
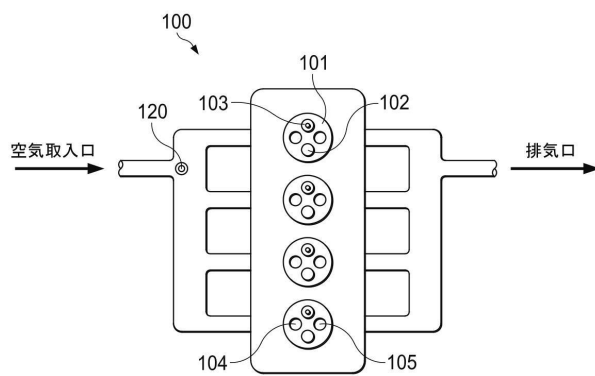
【0030】

エンジン内の濃度分布を適切にするために、水素を複数回噴射することが考えられる。これにより、水素と空気の混合気を成層化して、ピストンリングからエンジンのクランクケースへの水素の漏れを最小限に抑え、シリンダ壁と火炎との相互作用を低減すること (熱伝導損失の低減とホットスポットブレイグニッションのリスクの最小化の両方) が可能である。

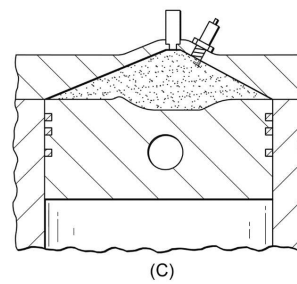
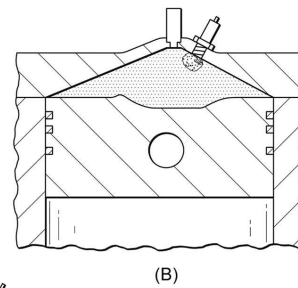
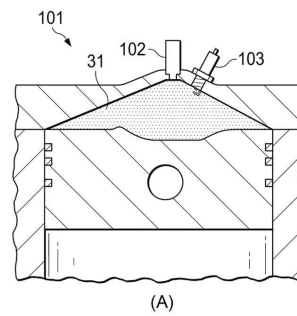
40

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

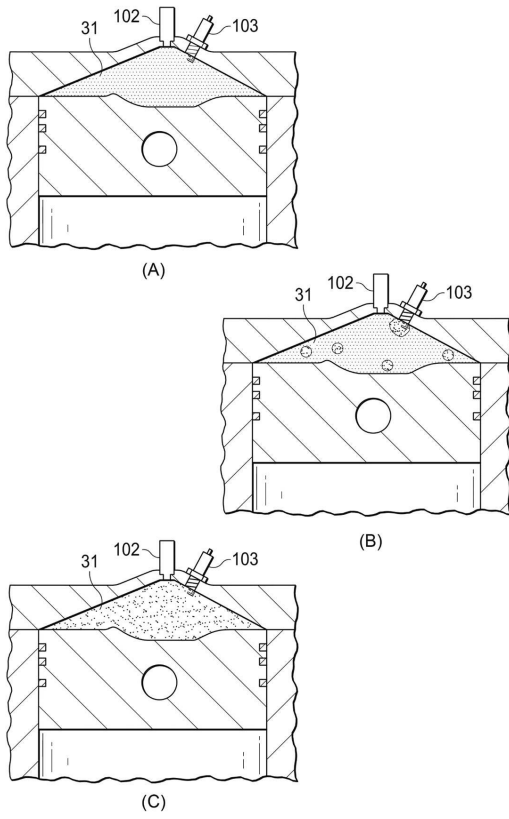
20

30

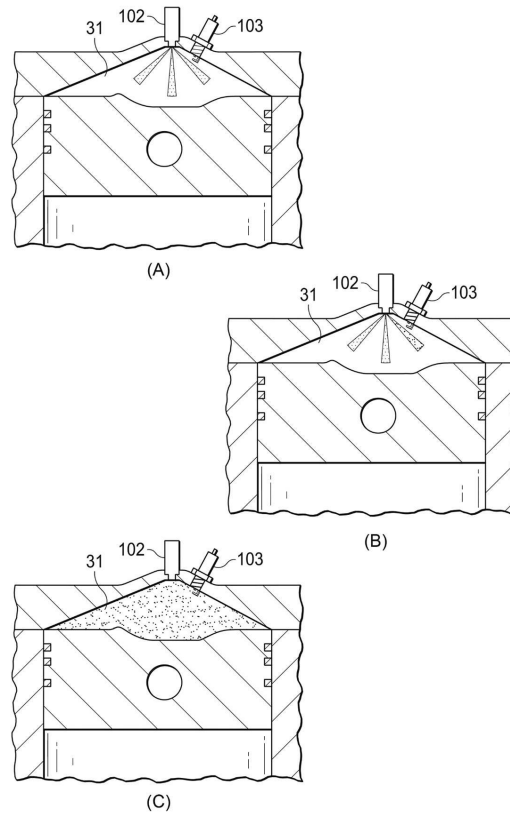
40

50

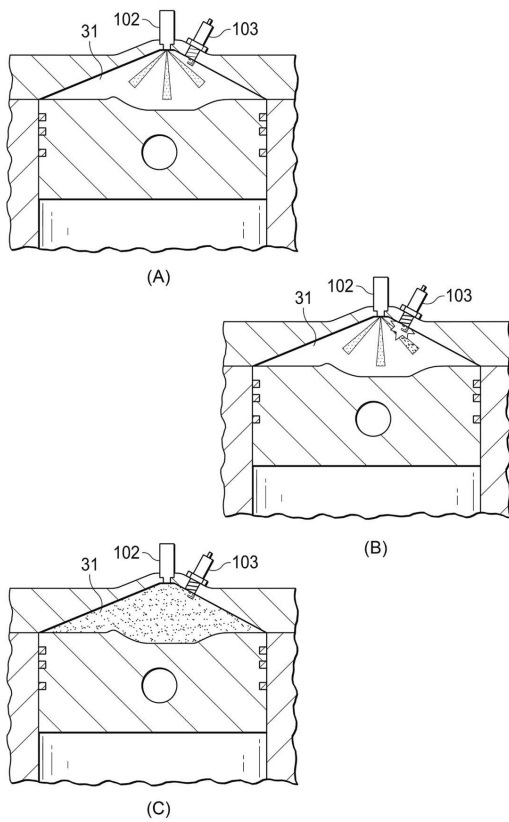
【図 3】



【図 4】



【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

F 0 2 B	23/10	M
F 0 2 B	23/10	Q
F 0 2 B	11/00	Z

1 0 5 1 1

(72)発明者 グレアム トーマス コンウェイ

アメリカ合衆国 7 8 2 1 6 テキサス サン アントニオ ファイアーフライ ドライブ 8 3 4

審査官 津田 真吾

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

特開 2 0 0 8 - 5 0 9 5 4 (J P , A)

特開平 7 - 1 3 3 7 3 1 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

F 0 2 D 1 9 / 0 2

F 0 2 D 4 1 / 0 0

F 0 2 D 4 3 / 0 0

F 0 2 D 4 5 / 0 0