(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年5月14日(14.05.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/095618 A1

(51) 国際特許分類:
F16K 31/06 (2006.01) *F02D 41/04* (2006.01)
F02M 51/00 (2006.01) *F02D 41/20* (2006.01)
F02M 61/10 (2006.01) *F02D 41/34* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/040165

(22) 国際出願日： 2019年10月11日(11.10.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2018-208664 2018年11月6日(06.11.2018) JP

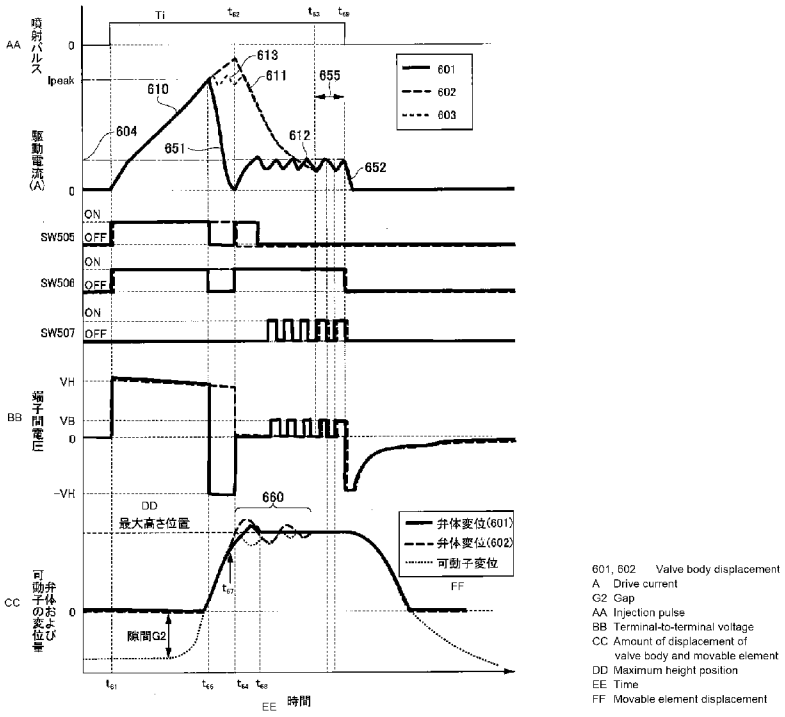
(71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社(**HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 草壁 亮(**KUSAKABE Ryo**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 助川 義寛(**SUKEGAWA Yoshihiro**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 猿渡 匡行(**SARUWATARI Masayuki**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 戸田 裕二(**TODA Yuji**); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目６番１号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** CONTROL DEVICE FOR VEHICLE, FUEL INJECTION CONTROL METHOD FOR VEHICLE, AND FUEL INJECTION CONTROL PROGRAM FOR VEHICLE

(54) 発明の名称： 車両用の制御装置、車両用の燃料噴射制御方法及び車両用の燃料噴射制御プログラム



(57) **Abstract:** The objective of the present invention is to reduce shot variability in an injection quantity in a fuel injection device. To this end, in a control device according to one embodiment of the present invention, if an amount of fuel injected from opening until closing of a valve body of a fuel injection device is equal to or greater than a set value, a solenoid is subjected to first current control by means of a first current waveform, by applying a reverse voltage to the solenoid before

WO 2020/095618 A1

[続葉有]

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

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

a movable element or the valve body impacts a fixed portion. Further, if the amount of fuel injected from opening until closing of the valve body is less than the set value, the control device subjects the solenoid to second current control by means of a second current waveform, such that a current greater than a holding current capable of holding the movable element or the valve body in a state of contact with the fixed portion flows through the solenoid, until the movable element or the valve body impacts the fixed portion.

(57) 要約:燃料噴射装置の噴射量のショットばらつきを低減する。そのため本発明の一態様の制御装置は、燃料噴射装置の弁体が開弁してから閉弁するまでの燃料の噴射量が設定値以上である場合には、可動子又は弁体が固定部に衝突する前にソレノイドに逆電圧を印加することで、ソレノイドに対し第１の電流波形による第１の電流制御を行う。また、制御装置は、弁体が開弁してから閉弁するまでの燃料の噴射量が設定値未満である場合には、可動子又は弁体が固定部に衝突するまでは、可動子又は弁体を固定部に接触した状態で保持可能な保持電流よりも大きな電流がソレノイドに流れるように、ソレノイドに対し第２の電流波形による第２の電流制御を行う。

明　細　書

発明の名称 ：

車両用の制御装置、車両用の燃料噴射制御方法及び車両用の燃料噴射制御プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、内燃機関の燃料噴射装置を駆動する車両用の制御装置、及び車両用の燃料噴射制御方法、及び車両用の燃料噴射制御プログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、排気規制の強化や環境保護の観点から、エンジンでは、理論空燃比よりも燃料が希薄（リーン）な状態で燃焼させる希薄燃焼が求められている。希薄燃焼では、燃料が希薄の状態のため燃焼の速度が緩慢になり、燃焼が不安定となることで、エンジン筒内の圧力がサイクルごとに変動し、これが希薄燃焼の限界となる場合があった。したがって希薄燃焼では、サイクルごとの変動を抑えるため、燃料噴射装置から噴射される燃料（噴射量）の噴射ごとのばらつきを抑制することが求められる。

[0003] 一般に、燃料噴射装置の噴射量は、エンジンコントロールユニット（Engine Control Unit：ECU）より出力される噴射パルスのパルス幅によって制御される。通常時閉弁型の電磁式燃料噴射装置は、閉弁方向に力を発生する付勢手段と、ソレノイドと固定コアと可動子で構成される駆動部とから構成される。駆動部においてソレノイドに電流を供給することによって、固定コアと可動子との間に磁気吸引力が発生し、磁気吸引力が閉弁方向の付勢力を超えた時点で可動子が開弁方向に移動する。そして、可動子が弁体に衝突したタイミングで、弁体が弁座から離脱し開弁を開始する。その後、ソレノイドへの電流供給を停止することによって、固定コアと可動子間に発生していた磁気吸引力が低下し、磁気吸引力が閉弁方向の付勢力よりも小さくなった時点で閉弁を開始する。

[0004] また一般的に、電磁式燃料噴射装置の駆動回路は、閉弁状態から素早く開

弁状態へ移行させるために、ＥＣＵから噴射パルスが出力されると最初に高電圧源から高電圧をソレノイドに印加して、ソレノイドの電流を急速に立ち上げる制御を行う。その後、弁体が弁座と離間し固定コアの方向へ移動した後、駆動回路は、印加電圧を低電圧に切替えてソレノイドに一定の電流が供給されるようにスイッチング制御する。

[0005] 燃料噴射装置の噴射量は、弁体の変位量の積分値で決まるため、噴射ごとのばらつき（ショットばらつき）を抑制するためには、ショットごとの弁体の運動を同一に保つ必要がある。

[0006] 例えば、噴射量のばらつきを抑制する制御方法として、特許文献１に開示されている方法がある。特許文献１には、燃料噴射弁ごとの開弁応答遅れ時間及び／又は閉弁応答遅れ時間の情報に基づいて、複数の燃料噴射弁から基準となる燃料噴射弁を選定し、選定された燃料噴射弁の噴射量に合わせるように、他の燃料噴射弁の駆動パルス幅を補正する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開２０１５／００４９８８号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献１に開示された技術は、各気筒に燃料を供給する燃料噴射弁ごとに駆動パルス幅を補正し、気筒ごとに供給される噴射量の相対的なばらつきを抑えることを目的としている。しかし、特許文献１に開示された技術は、燃料噴射弁（弁体）の噴射量のショットばらつきを低減することについては言及していない。

[0009] 本発明は、このような点に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、弁体のショットごとの変位のばらつきを抑制し、噴射量のショットばらつきを低減することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の一態様の車両用の制御装置は、弁座に接離する弁体と、この弁体を駆動させる可動子と、弁座と弁体との間に燃料を導入する空間を形成するように可動子を吸引する磁気吸引力を生じさせるソレノイドと、磁気吸引力により可動子を吸引する固定コアと、を有する燃料噴射装置を制御する車両用の制御装置である。この車両用の制御装置は、ソレノイドに供給する電流の制御を行う制御部を備える。

上記制御部は、弁体が弁座から離間した後、再び弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が設定値以上である場合には、可動子又は弁体が固定部に衝突する前にソレノイドに印加する電圧を、当該可動子又は弁体が固定部に衝突する前までに印加していた電圧の極性とは逆極性に切り替えることで、ソレノイドに対し第１の電流波形による第１の電流制御を行う。

また、上記制御部は、弁体が弁座から離間した後、再び弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が設定値未満である場合には、可動子又は弁体が固定部に衝突するまでは、当該可動子又は弁体を固定部に接触した状態で保持可能な保持電流よりも大きな電流がソレノイドに流れるように、ソレノイドに対し第２の電流波形による第２の電流制御を行う。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、小さい噴射量から大きい噴射量までの範囲において、弁体のショットごとの変位のばらつきを抑制し、噴射量のショットばらつきを低減することができる。

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

[0012] [図1]本発明の第１の実施形態に係る燃料噴射装置と制御装置とで構成される燃料噴射システムの例を示した概略図である。

[図2]本発明の第１の実施形態に係る燃料噴射装置の縦断面の例を示す図と、この燃料噴射装置に接続される駆動回路及びＥＣＵの構成例を示す図である。

[図3]本発明の第１の実施形態に係る燃料噴射装置の駆動部構造の例を示した拡大断面図である。

[図4]燃料噴射装置を駆動する一般的な噴射パルス、燃料噴射装置に供給する駆動電圧及び駆動電流、弁体及び可動子の変位量、並びに時間の関係を示したタイミングチャートである。

[図5]燃料噴射装置の駆動回路及びＥＣＵの例を示した回路図である。

[図6]本発明の第１の実施形態に係る噴射パルス、燃料噴射装置に供給する駆動電流、燃料噴射装置のスイッチング素子の動作タイミング、ソレノイドの端子間の電圧、弁体及び可動子の変位量、並びに時間の関係を示したタイミングチャートである。

[図7]図６の駆動電流波形で燃料噴射装置を制御した場合の噴射量とその噴射量のショットばらつきの標準偏差（σ）、及び噴射パルス幅の関係を示した図である。

[図8]本発明の第１の実施形態の変形例１に係るソレノイドの端子間の電圧、燃料噴射装置に供給する駆動電流、及び時間の関係を示した図である。

[図9]本発明の第２の実施形態に係る燃料噴射装置に供給する駆動電流、弁体の変位量、及び時間との関係を示した図である。

[図10]本発明の第３の実施形態に係る吸気行程と圧縮行程の噴射タイミング及び噴射期間を示した図である。

[図11]本発明の第４の実施形態に係る吸気行程と圧縮行程の噴射タイミング及び噴射期間を示した図である。

[図12]本発明の第５の実施形態に係る噴射量とその噴射量のショットばらつきの標準偏差（σ）、及び噴射パルス幅の関係を示した図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明を実施するための形態（以下、「実施形態」と記述する）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。

[0014] ＜第１の実施形態＞［燃料噴射システムの構成］

以下、図１～図７を用いて、本発明の第１の実施形態に係る燃料噴射システムの構成について説明する。

[0015] 始めに、図１を用いて、第１の実施形態に係る燃料噴射システムの概略を説明する。図１は、第１の実施形態に係る燃料噴射システム１の構成例を示す。燃料噴射システム１は本発明を筒内直接噴射式エンジン（内燃機関の一例）に適用した例であるが、本発明はこの例に限らない。本明細書において、筒内直接噴射式エンジンを単に「エンジン」と称することがある。

[0016] 燃料噴射システム１は、図１に示すように、４つの燃料噴射装置１０１Ａ～１０１Ｄ、及び制御装置１５０とで構成される。本実施形態に係る筒内直接噴射式エンジンは、４つの気筒１０８（エンジンシリンダ）を備える。制御装置１５０は、例えば燃料噴射装置１０１を制御する車両用の制御装置である。以下の説明において、燃料噴射装置１０１Ａ乃至１０１Ｄを区別しない場合には、「燃料噴射装置１０１」と称する。

[0017] 燃料噴射システム１の各気筒１０８には、燃料噴射装置１０１Ａ～１０１Ｄが、その噴射孔２１９（後述する図２参照）から霧状の燃料が燃焼室１０７に直接噴射されるように設置されている。燃料は、燃料ポンプ１０６によって昇圧されて燃料配管１０５に送出され、燃料配管１０５を通じて燃料噴射装置１０１Ａ乃至１０１Ｄに配送される。燃料配管１０５の一端部には、燃料配管１０５内の燃料圧力を測定する圧力センサ１０２が設置されている。燃料圧力は、燃料ポンプ１０６によって吐出された燃料の流量と、燃料噴射装置１０１によって各燃焼室１０７内に噴射された燃料の噴射量とのバランスによって変動する。圧力センサ１０２の測定結果に基づいて、所定の圧力を目標値として燃料ポンプ１０６からの燃料の吐出量が制御される。

[0018] 燃料噴射装置１０１Ａ乃至１０１Ｄの燃料の噴射は、エンジンコントロールユニット（ＥＣＵ）１０４から送出される噴射パルスのパルス幅（以下「噴射パルス幅」と称する。）によって制御されている。すなわち、噴射される燃料の噴射量は、燃料噴射装置１０１に供給される噴射パルス幅に基づい

て決定される。この噴射パルス幅の指令が、燃料噴射装置１０１ごとに設けられた駆動回路１０３に入力される。駆動回路１０３は、ＥＣＵ１０４からの指令に基づいて駆動電流（「電流」と略称することがある。）の波形を決定し、上記噴射パルス幅に基づく時間だけ燃料噴射装置１０１に上記波形の駆動電流を供給する。なお、駆動回路１０３は、ＥＣＵ１０４と一体の部品や基板として実装されている場合もある。本実施形態では、駆動回路１０３とＥＣＵ１０４が一体となった装置を制御装置１５０と称する。

[0019] 次に、燃料噴射装置１０１及び制御装置１５０の構成と基本的な動作を説明する。図２は、燃料噴射装置１０１の縦断面の例と、燃料噴射装置１０１に接続される駆動回路１０３及びＥＣＵ１０４の構成例を示す。

[0020] ＥＣＵ１０４は、エンジンの状態を示す信号を各種センサ（図示略）から取り込み、内燃機関の運転条件に応じて燃料噴射装置１０１から噴射する噴射量を制御するための噴射パルス幅や噴射タイミングの演算を行う。また、ＥＣＵ１０４には、各種センサからの信号を取り込むためのＡ／Ｄ変換器とＩ／Ｏポートが備えられている。ＥＣＵ１０４より出力された噴射パルスは、信号線１１０を通して駆動回路１０３に入力される。駆動回路１０３は、ソレノイド（コイル）２０５に印加する電圧を制御し、電流を供給する。ＥＣＵ１０４は、通信ライン１１１を介して駆動回路１０３と通信を行っている。ＥＣＵ１０４は、通信ライン１１１を通じて、燃料噴射装置１０１に供給する燃料の圧力や運転条件によって駆動回路１０３で生成する駆動電流を切替えることや、電流及び時間の設定値を変更することが可能である。

[0021] 次に、図２の燃料噴射装置１０１の縦断面と図３を用いて、燃料噴射装置１０１の構成と動作について説明する。図３は、燃料噴射装置１０１の駆動部構造の例を示した拡大断面図である。特に、可動子２０２、弁体２１４、及び固定コア２０７の関係について説明する。

[0022] 図２及び図３に示した燃料噴射装置１０１は、通常時閉弁型の電磁弁を備える電磁式燃料噴射装置である。燃料噴射装置１０１は、内部に略棒状の弁体２１４を有し、弁体２１４の先端部と対向する位置には、弁座２１８が形

成されたオリフィスカップ２１６が設けられている。弁座２１８には、燃料を噴射する噴射孔２１９が形成されている。弁体２１４の上方には、弁体２１４を閉弁方向（下方向）に付勢するスプリング（以下「第１のばね」と称する。）２１０が設けられている。ソレノイド２０５が通電されると、可動子２０２に磁気吸引力が作用して可動子２０２が移動し、可動子２０２と連動して弁体２１４が移動する。ソレノイド２０５が通電されていないときには、弁体２１４は第１のばね２１０によって閉弁方向に付勢され、弁体２１４は弁座２１８と接触して燃料をシールする構造（閉弁状態）となっている。

[0023] 可動子２０２の上端面２０２Ａには、下端面２０２Ｂ側に向けて凹部２０２Ｃが形成されている。この凹部２０２Ｃの内側に、中間部材２２０が設けられている。中間部材２２０は、可動子２０２と固定コア２０７の中間に位置する部材である。中間部材２２０の下面側には、上方に向けて凹部２２０Ａが形成されている。この凹部２２０Ａは、頭部２１４Ａ外周面に環状に形成された段付き部３２９（鍔部）が収まる直径（内径）と深さを有している。すなわち、凹部２２０Ａの直径（内径）は、段付き部３２９の直径（外径）よりも大きく、凹部２２０Ａの深さ寸法は、段付き部３２９の上端面と下端面との間の寸法よりも大きい。凹部２２０Ａの底部（底面２２０Ｅ）には、頭部２１４Ａの突起部３３１が貫通する貫通孔２２０Ｂが形成されている。

[0024] 中間部材２２０とキャップ２３２との間には、スプリング（以下「第３のばね」と称する。）２３４が保持されている。中間部材２２０の上端面２２０Ｃは、第３のばね２３４の一端部が当接するばね座を構成する。第３のばね２３４は、可動子２０２を固定コア２０７側から閉弁方向に付勢する。

[0025] 中間部材２２０の上方には、蓋状のキャップ２３２が配置されている。キャップ２３２の上端部には、径方向に張り出した鍔部２３２Ａが形成されており、その鍔部２３２Ａの下端面に、第３のばね２３４の他端部が当接するばね座が構成されている。キャップ２３２の鍔部２３２Ａの下端面には、下

方に向かって筒状部２３２Ｂが形成されており、筒状部２３２Ｂ内に、弁体２１４の上部（頭部２１４ａ）が圧入固定されている。

[0026] このように、キャップ２３２と中間部材２２０とがそれぞれ、第３のばね２３４のばね座を構成する。そのため、中間部材２２０の貫通孔２２０Ｂの直径（内径）は、キャップ２３２の鍔部２３２Ａの直径（外径）よりも小さい。また、キャップ２３２の筒状部２３２Ｂの直径（外径）は、第３のばね２３４の内径よりも小さい。

[0027] キャップ２３２は、上方から第１のばね２１０の付勢力を受け、下方から第３のばね２３４の付勢力（セット荷重）を受ける。第１のばね２１０の付勢力は、第３のばね２３４の付勢力よりも大きく、結果的にキャップ２３２は、第１のばね２１０の付勢力と第３のばね２３４の付勢力との差分の付勢力によって弁体２１４の上部の突起部３３１に押し付けられている。キャップ２３２には、弁体２１４の突起部３３１から弁体２１４が抜ける方向（図中下方向）の力が加わらない。したがって、キャップ２３２は、突起部３３１に圧入固定するだけで十分であり、溶接する必要はない。

[0028] また、第３のばね２３４を配置するために、キャップ２３２の鍔部２３２Ａの下端面と中間部材２２０の上端面２２０Ｃとの間には、ある程度の間隔を設ける必要がある。このため、キャップ２３２の筒状部２３２Ｂの長さを確保することが容易である。

[0029] 再び、中間部材２２０について説明する。図２に示した燃料噴射装置１０１の状態は、弁体２１４が第１のばね２１０による付勢力を受け、且つ可動子２０２に磁気吸引力が作用していない状態である。この状態では、弁体２１４の先端部２１４Ｂ（シート部）が弁座２１８に当接し、燃料噴射装置１０１が閉弁して安定した状態にある。

[0030] この閉弁状態では、中間部材２２０は第３のばね２３４の付勢力を受けて、中間部材２２０に形成された凹部２２０Ａの底面２２０Ｅが、弁体２１４の段付き部３２９の上端面に当接している。すなわち、中間部材２２０に形成された凹部２２０Ａの底面２２０Ｅと、弁体２１４の段付き部３２９の上

端面との隙間Ｇ３の大きさ（寸法）がゼロである。中間部材２２０に形成された凹部２２０Ａの底面２２０Ｅと弁体２１４の段付き部３２９の上端面とはそれぞれ、中間部材２２０と弁体２１４とが当接する当接面を構成する。

[0031] 可動子２０２の下端面２０２Ｂとノズルホルダ２０１（大径筒状部２４０）の内部に形成された当接面３０３との間には、ゼロスプリング（以下「第２のばね」と称す。）２１２が配置されている。可動子２０２は、第２のばね２１２の付勢力を受けて固定コア２０７側に向けて付勢されるため、可動子２０２に形成された凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄが、中間部材２２０の下端面２２０Ｄに当接する。第２のばね２１２の付勢力は第３のばね２３４の付勢力より小さい。そのため、可動子２０２は、第３のばね２３４により下方向へ付勢された中間部材２２０を押し返すことはできず、中間部材２２０と第３のばね２３４とにより上方（開弁方向）への動きを止められる。

[0032] 中間部材２２０の凹部２２０Ａの深さ寸法は、弁体２１４の段付き部３２９の高さ（上端面と下端面との間の寸法）よりも大きい。このため、図３に示す状態（閉弁状態）では、可動子２０２に形成された凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄと弁体２１４の段付き部３２９の下端面とは当接しておらず、凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄと段付き部３２９の下端面との間に、大きさ（寸法）がＤ２の隙間Ｇ２が形成されている。この隙間Ｇ２の大きさＤ２は、可動子２０２の上端面２０２Ａ（固定コア２０７との対向面）と固定コア２０７の下端面２０７Ｂ（可動子２０２との対向面）との隙間Ｇ１の大きさ（寸法）Ｄ１よりも小さい（Ｄ２＜Ｄ１）。ここで説明したように、中間部材２２０は、可動子２０２と弁体２１４の段付き部３２９の下端面との間に、Ｄ２の大きさの隙間Ｇ２を形成する部材であり、間隙形成部材と呼んでもよい。

[0033] 第３のばね２３４は、中間部材（間隙形成部材）２２０を閉弁方向（下方向）に付勢しており、図３の閉弁状態において中間部材２２０は、弁体２１４の段付き部３２９の上端面（基準位置）に位置づけられている。その状態で、中間部材２２０の下端面２２０Ｄが可動子２０２と当接することにより、弁体２１４の係合部である段付き部３２９の下端面と可動子２０２の係合

部である凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄとの間に、大きさＤ２の隙間Ｇ２を形成する。中間部材２２０は、その凹部２２０Ａの底面２２０Ｅが弁体２１４の段付き部３２９の上端面（基準位置）と当接することにより、段付き部３２９の上端面に位置づけられる。

[0034] ここで、以上説明した３つのばねの付勢力について改めて説明しておく。第１のばね２１０と第２のばね２１２と第３のばね２３４のうち、第１のばね２１０のスプリング力（付勢力）が最も大きい。次に第３のばね２３４のスプリング力（付勢力）が大きく、第２のばね２１２のスプリング力（付勢力）が最も小さい。

[0035] 本実施形態では、弁体２１４の段付き部３２９の直径よりも可動子２０２に形成された貫通孔の直径の方が小さい。そのため、弁体２１４が閉弁状態から開弁状態に移行する開弁動作時、或いは開弁状態から閉弁状態に移行する閉弁動作時においては、弁体２１４の段付き部３２９の下端面が可動子２０２に形成された凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄと係合し、可動子２０２と弁体２１４とが協働して動く。しかし、弁体２１４を上方へ動かす力或いは可動子２０２を下方へ動かす力が独立して作用した場合、弁体２１４と可動子２０２とは別々の方向に動くことができる。可動子２０２及び弁体２１４の動作については、後で詳細に説明する。

[0036] 本実施形態では、可動子２０２は、その外周面がノズルホルダ２０１（ハウジング部材）の内周面と接することによって、上下方向（開弁方向及び閉弁方向）の動きを案内されている。さらに、弁体２１４は、その外周面が可動子２０２の貫通孔の内周面に接することによって、上下方向（開弁方向及び閉弁方向）の動きを案内されている。つまり、ノズルホルダ２０１の内周面は、可動子２０２が軸方向に移動するときのガイドとして機能する。また、可動子２０２の貫通孔の内周面は、弁体２１４が軸方向に移動するときのガイドとして機能する。弁体２１４の先端部２１４Ｂは、円環状のガイド部材２１５のガイド孔によってガイドされている。このように弁体２１４は、ノズルホルダ２０１の内周面と可動子２０２の貫通孔、並びにガイド部材２

１５によって、軸方向に真っ直ぐに往復動するようガイドされている。

[0037] なお、本実施形態では、可動子２０２の上端面２０２Ａと固定コア２０７の下端面２０７Ｂとが当接するものとして説明しているが、この例に限られない。可動子２０２の上端面２０２Ａ又は固定コア２０７の下端面２０７Ｂのいずれか一方、或いは両方に突起部が設けられ、突起部と端面とが、或いは突起部同士が当接するように構成される場合もある。この場合、上述した隙間Ｇ１は、可動子２０２側の当接部と固定コア２０７側の当接部との間の隙間になる。

[0038] 再び図２に戻って説明する。ノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０の内周部には固定コア２０７が圧入され、圧入接触位置で両部材が溶接接合されている。固定コア２０７は、可動子２０２に対して磁気吸引力を作用させて、可動子２０２を開弁方向に吸引する（引きつける）部品である。固定コア２０７の溶接接合によりノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０の内部と外気との間に形成される隙間が密閉される。固定コア２０７は、その中心に中間部材２２０の直径よりわずかに大きい直径の貫通孔（中心孔）が燃料通路として設けられている。固定コア２０７の貫通孔の下端部内周には、弁体２１４の頭部２１４Ａ及びキャップ２３２が非接触状態で挿通されている。

[0039] 弁体２１４の頭部２１４Ａ付近に設けられた、キャップ２３２の上端面に形成されたスプリング受け面には、初期荷重設定用の第１のばね２１０の下端が当接している。第１のばね２１０の上端が固定コア２０７の貫通孔の内部に圧入される調整ピン２２４（図１参照）で受け止められることで、第１のばね２１０がキャップ２３２と調整ピン２２４の間に保持されている。調整ピン２２４の固定位置を調整することで、第１のばね２１０が弁体２１４を弁座２１８に押し付ける初期荷重を調整することができる。

[0040] 第１のばね２１０の初期荷重が調整された状態で、固定コア２０７の下端面２０７Ｂが可動子２０２の上端面２０２Ａに対して約４０乃至１００μｍ程度の磁気吸引ギャップ（隙間Ｇ１）を隔てて対面するように構成されている。なお、図２では寸法の比率を無視して拡大して表示している。

[0041] また、ノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０の外周には、カップ状のハウジング２０３が固定されている。ハウジング２０３の底部の中央には貫通孔２１３が設けられており、その貫通孔２１３にはノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０が挿通されている。ハウジング２０３の外周壁の部分は、ノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０の外周面に対面する外周ヨーク部を形成している。ハウジング２０３と大径筒状部２４０の間に形成される環状空間内には、環状若しくは筒状のソレノイド２０５が配置されている。

[0042] ソレノイド２０５は、半径方向外側に向かって開口する、断面がＵ字状の溝を持つ環状のボビン２０４と、この溝の中に巻きつけられた銅線２０６とにより形成される。ソレノイド２０５の巻始め端部及び巻終わり端部には剛性のある導体２０９が固定されている。この導体２０９と固定コア２０７、ノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０の外周は、ハウジング２０３の上端開口部の内周側から絶縁樹脂を注入してモールド成形され、樹脂成形体で覆われる。ソレノイド２０５を囲むようにして、固定コア２０７、可動子２０２、ノズルホルダ２０１の大径筒状部２４０及びハウジング（外周ヨーク部）２０３の部分に、環状の磁気通路が形成される。

[0043] 燃料噴射装置１０１に供給される燃料は、燃料噴射装置１０１の上流に設けられた燃料配管１０５から供給され、第１の燃料通路孔２３１を通って弁体２１４の先端まで流れる。弁体２１４の弁座２１８側の端部に形成されたシート部と弁座２１８とで、燃料をシールしている。閉弁状態では、燃料圧力によって弁体２１４の上部と下部で差圧が生じ、燃料圧力と弁座位置におけるシート部内径の受圧面に応じた力とによって、弁体２１４が閉弁方向に押されている。また、閉弁状態においては、弁体２１４と可動子２０２の互いの当接面（段付き部３２９の下端面と凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄ）の間には、中間部材２２０を介して隙間Ｇ２を有している。このように、弁体２１４が弁座２１８に着座している状態において、可動子２０２が弁体２１４と軸方向に隙間Ｇ２を介して配置されることになる。

[0044] 上記のように構成された燃料噴射装置１０１の動作について説明する。ソ

レノイド２０５に電流が供給されると、磁気回路によって発生する磁界により、固定コア２０７と可動子２０２との間に磁束が通過し、可動子２０２に対して磁気吸引力が作用する。可動子２０２に作用する磁気吸引力が、第３のばね２３４による荷重を超えるタイミングで、可動子２０２が、固定コア２０７の方向に変位を開始する。このとき、弁体２１４と弁座２１８が接触しているため、可動子２０２の運動は、燃料の流れが無い状態で行われる。この可動子２０２の運動は、燃料圧力による差圧力を受けている弁体２１４とは分離して行われる空走運動であるため、可動子２０２は、燃料の圧力などの影響を受けることがなく、高速に移動することが可能である。

[0045] また、気筒１０８内の燃焼圧が増加した場合であっても燃料の噴射を抑制するため、第１のばね２１０による荷重を強く設定する必要がある。すなわち閉弁状態において、第１のばね２１０による荷重が弁体２１４に作用しないように構成することで、弁体２１４は高速に移動することが可能となる。

[0046] そして、可動子２０２の変位量が隙間Ｇ２の大きさに達すると、可動子２０２が当接面（凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄ）を通じて弁体２１４に力を伝達し、弁体２１４を開弁方向に引き上げる。このとき、可動子２０２は、空走運動を行って運動エネルギーを有した状態で弁体２１４と衝突する。これにより、弁体２１４は、可動子２０２の運動エネルギーを受け取り、高速に開弁方向に変位を開始する。

[0047] 弁体２１４には、燃料の圧力に伴って生じる差圧力が作用している。弁体２１４に作用する差圧力は、弁体２１４のシート部近傍の流路断面積が小さい範囲において、シート部の燃料の流速が増加し、ベルヌーイ効果による静圧低下に伴って生じる圧力降下によって弁体２１４の先端部２１４Ｂ付近の燃料の圧力が低下することで生じる。

[0048] このように、弁体２１４に作用する差圧力は、シート部近傍の流路断面積の影響を大きく受ける。そのため、弁体２１４の変位量が小さい条件では、差圧力が大きくなり、変位量が大きい条件では、差圧力が小さくなる。したがって、弁体２１４が閉弁状態から開弁開始されて変位が小さく、差圧力が

大きくなる開弁動作がし難くなるタイミングで、弁体２１４の開弁が可動子２０２の空走運動によって衝撃的に行われる。それにより、燃料噴射装置１０１は、より高い燃料圧力が作用している状態でも開弁動作を行うことができる。また、開弁動作することが必要な燃料圧力範囲に対して、第１のばね２１０の付勢力をより強い力に設定することができる。第１のばね２１０をより強い力に設定することで、後述する閉弁動作に要する時間を短縮することができ、微小噴射量の制御に有効である。

[0049] 弁体２１４が開弁動作を開始した後、可動子２０２は固定コア２０７に衝突する。可動子２０２が固定コア２０７に衝突した時には、可動子２０２は跳ね返る動作をするが、可動子２０２に作用する磁気吸引力によって可動子２０２が固定コア２０７に吸引され、やがて停止する。このとき、可動子２０２には第２のばね２１２によって固定コア２０７の方向に力が作用しているため、跳ね返りの変位量を小さくでき、また、跳ね返りが収束するまでの時間を短縮することができる。跳ね返り動作が小さいことで、可動子２０２と固定コア２０７の間にギャップが生じる時間が短くなり、より小さい噴射パルス幅に対しても安定した動作が行えるようになる。

[0050] このようにして開弁動作を終えた可動子２０２及び弁体２１４は、開弁状態で静止する。開弁状態では、弁体２１４と弁座２１８との間には隙間（空間の一例）が生じており、燃料が噴射孔２１９から燃焼室１０７に噴射される。燃料は、固定コア２０７に設けられた中心孔（貫通孔）と、可動子２０２に設けられた燃料通路孔と、ガイド部材２１５に設けられた燃料通路孔とを通過して、下流方向（噴射孔２１９）へ流れてゆくようになっている。

[0051] その後、ソレノイド２０５への通電が断たれると、磁気回路中に生じていた磁束が消滅し、可動子２０２に対する磁気吸引力も消滅する。可動子２０２に作用する磁気吸引力が消滅することによって、弁体２１４は、第１のばね２１０による荷重と燃料圧力による力によって、弁座２１８に接触する閉位置に押し戻される。

[0052] ［制御装置の駆動回路］

次に、図５を用いて、燃料噴射装置１０１の制御装置１５０の構成について説明する。

図５は、燃料噴射装置１０１の駆動回路１０３及びＥＣＵ１０４の例を示した図である。

[0053] 制御装置１５０は、駆動回路１０３及びＥＣＵ１０４を備える。例えばＥＣＵ１０４には、駆動ＩＣ（Integrated Circuit）５０２と、演算処理装置としてＣＰＵ（Central Processing Unit）５０１が内蔵されている。ＣＰＵ５０１（制御部の一例）は、圧力センサ１０２に加え、図示しないＡ／Ｆセンサ、酸素センサ、及びクランク角センサ等の各種センサが出力するエンジンの状態を示す信号を取り込む。ＣＰＵ５０１と駆動ＩＣ５０２を含めて、制御部と言うこともできる。なお、ＥＣＵ１０４が駆動回路１０３を内包してもよい。

[0054] 圧力センサ１０２は、燃料噴射装置１０１の上流の燃料配管１０５に取り付けられている（図１参照）。Ａ／Ｆセンサは、気筒１０８（エンジンシリンダ）への流入空気量を測定する。酸素センサは、気筒１０８から排出された排気ガスの酸素濃度を検出する。ＣＰＵ５０１は、各種センサから取り込んだ信号に基づいて、内燃機関の運転条件に応じて燃料噴射装置１０１から噴射する燃料の噴射量を制御するための噴射パルスのパルス幅（噴射パルス幅Ｔｉ）や噴射タイミングの演算を行う。

[0055] また、ＣＰＵ５０１は、内燃機関の運転条件に応じて適切な噴射パルス幅Ｔｉの値（すなわち噴射量）や噴射タイミングの演算を行い、通信ライン５０４を通して燃料噴射装置１０１の駆動ＩＣ５０２に噴射パルス幅Ｔｉを出力する。その後、駆動ＩＣ５０２によって、スイッチング素子５０５，５０６，５０７の通電／非通電を切替えて燃料噴射装置１０１（ソレノイド２０５）へ駆動電流を供給する。スイッチング素子５０５，５０６，５０７は、例えばＦＥＴやトランジスタ等によって構成され、燃料噴射装置１０１への通電／非通電を切り替えることができる。

[0056] ＥＣＵ１０４には、噴射パルス幅の演算等のエンジンの制御に必要な数値

データを記憶するレジスタ及びメモリ５０１Ｍ（記録媒体の一例）が搭載されている。レジスタ及びメモリ５０１Ｍは、制御装置１５０もしくは制御装置１５０内のＣＰＵ５０１に内包されている。図５の例では、ＣＰＵ５０１の外部にメモリ５０１Ｍが配置されている。メモリ５０１Ｍには、ＣＰＵ５０１が燃料噴射装置１０１の駆動を制御するためのコンピュータープログラムが格納されていてもよい。この場合、ＣＰＵ５０１が、メモリ５０１Ｍに記録されたコンピュータープログラムを読み出して実行することにより、燃料噴射装置１０１の駆動を制御する機能の全部又は一部が実現される。なお、ＣＰＵ５０１に代えてＭＰＵ（Micro Processing Unit）等の他の演算処理装置を用いてもよい。

[0057] スイッチング素子５０５は、昇圧電圧ＶＨを供給する昇圧回路５１４（高電圧源）と、燃料噴射装置１０１のソレノイド２０５の高電圧側の端子（電源側端子５９０）との間に接続されている。昇圧回路５１４が出力する昇圧電圧ＶＨは、バッテリ電圧源５２０（低電圧源）が駆動回路１０３に供給するバッテリ電圧ＶＢよりも高い。例えば、昇圧回路５１４が出力する初期電圧である昇圧電圧ＶＨは６０Ｖであり、バッテリ電圧ＶＢを昇圧回路５１４によって昇圧することで生成する。

[0058] 昇圧回路５１４を実現する方法には、例えばＤＣ／ＤＣコンバータ等により構成する方法と、図５に示すようにソレノイド５３０、トランジスタ５３１、ダイオード５３２及びコンデンサ５３３で構成する方法がある。後者の昇圧回路５１４の場合、トランジスタ５３１をＯＮにすると、バッテリ電圧ＶＢによる電流はソレノイド５３０を介して接地電位５３４側へ流れる。一方、トランジスタ５３１をＯＦＦにすると、ソレノイド５３０に発生する高い電圧がダイオード５３２を通して整流され、コンデンサ５３３に電荷が蓄積される。このトランジスタ５３１のＯＮ／ＯＦＦを繰り返すことで、コンデンサ５３３の電圧を昇圧電圧ＶＨまで増加させることができる。トランジスタ５３１は、駆動ＩＣ５０２もしくはＣＰＵ５０１と接続され、昇圧回路５１４から出力される昇圧電圧ＶＨが、駆動ＩＣ５０２もしくはＣＰＵ５０

１で検出できるように構成されている。

[0059] また、ソレノイド２０５の電源側端子５９０とスイッチング素子５０５との間には、昇圧回路５１４（高電圧源）から、ソレノイド２０５及び接地電位５１５の方向へ電流が流れるようにダイオード５３５が設けられている。また、ソレノイド２０５の電源側端子５９０とスイッチング素子５０７との間にも、バッテリ電圧源５２０（低電圧源）から、ソレノイド２０５及び接地電位５１５の方向へ電流が流れるようにダイオード５１１が設けられている。スイッチング素子５０６が通電している間は、接地電位５１５から、ソレノイド２０５、バッテリ電圧源５２０及び昇圧回路５１４へ向けては電流が流れない構成となっている。

[0060] また、スイッチング素子５０７は、低電圧源であるバッテリ電圧源５２０と燃料噴射装置１０１の電源側端子５９０との間に接続されている。バッテリ電圧源５２０が出力するバッテリ電圧ＶＢの値は、例えば１２Ｖから１４Ｖ程度である。スイッチング素子５０６は、燃料噴射装置１０１の低電圧側の端子と接地電位５１５との間に接続されている。駆動ＩＣ５０２は、電流検出用の抵抗５０８，５１２，５１３の各々により、燃料噴射装置１０１（駆動回路１０３の各部）に流れている電流値を検出する。駆動回路１０３は、駆動ＩＣ５０２が検出した電流値によってスイッチング素子５０５，５０６，５０７の通電／非通電を切替え、所望の駆動電流を生成している。

[0061] ダイオード５０９，５１０は、燃料噴射装置１０１のソレノイド２０５に逆電圧を印加し、ソレノイド２０５に供給されている電流を急速に低減するために備え付けられている。ＣＰＵ５０１は、通信ライン５０３を通して、駆動ＩＣ５０２と通信を行っており、燃料噴射装置１０１に供給する燃料の圧力や運転条件によって駆動ＩＣ５０２によって生成する駆動電流を切替えることが可能である。また、抵抗５０８，５１２，５１３の両端は、駆動ＩＣ５０２のＡ／Ｄ変換ポートに接続されており、抵抗５０８，５１２，５１３の両端にかかる電圧を駆動ＩＣ５０２で検出できるように構成されている。

[0062] ［一般的なタイミングチャート］

次に、図４を参照して、ＥＣＵ１０４から出力される噴射パルスと、燃料噴射装置１０１のソレノイド２０５の端子両端の駆動電圧と駆動電流（励磁電流）、燃料噴射装置１０１の弁体２１４の変位量（弁体挙動）との関係について説明する。図４は、燃料噴射装置１０１を駆動する一般的な噴射パルス、燃料噴射装置１０１に供給する駆動電圧及び駆動電流、弁体２１４及び可動子２０２の変位量、並びに時間の関係を示したタイミングチャートである。

[0063] 駆動回路１０３に噴射パルスが入力されると、駆動回路１０３はそのパルス幅に応じてスイッチング素子５０５，５０６を通電する。これにより、駆動回路１０３は、バッテリ電圧ＶＢよりも高い電圧に昇圧された昇圧電圧ＶＨによりソレノイド２０５に高電圧４０１を印加し、ソレノイド２０５に駆動電流の供給を開始する。駆動回路１０３は、ソレノイド２０５に供給される電流の電流値が予めＥＣＵ１０４に定められた最大駆動電流I_{peak}（以降「最大電流」と称する。）に到達すると、高電圧４０１の印加を停止する。

[0064] 最大電流I_{peak}から所定の電流４０３への移行期間にスイッチング素子５０６をＯＮにし、スイッチング素子５０５，５０７を非通電にすると、ソレノイド２０５にはほぼ電圧０Ｖが印加される。ソレノイド２０５に供給される電流が燃料噴射装置１０１、スイッチング素子５０６、抵抗５０８、接地電位５１５、及び燃料噴射装置１０１の経路を流れることで、ソレノイド２０５に流れる電流は緩やかに減少する。ソレノイド２０５に流れる電流が緩やかに減少することで、ソレノイド２０５へ供給する電流を確保することができる。そのため、燃料噴射装置１０１に供給される燃料圧力が増加した場合であっても、燃料噴射装置１０１は、可動子２０２及び弁体２１４が最大高さ位置になるまで安定的に開弁動作できる。

[0065] 電流４０３は、可動子２０２を最大高さ位置に保持するための保持電流である。最大高さ位置は、可動子２０２が固定コア２０７と接触する位置（Ｇ１＝０）である。

[0066] 逆に、最大電流I_{peak}から電流４０３への移行期間にスイッチング素子５０５，５０６，５０７をＯＦＦにすると、燃料噴射装置１０１のインダクタンスによる逆起電力によって、ダイオード５０９とダイオード５１０が通電する。ダイオード５０９とダイオード５１０が通電すると、ソレノイド２０５の電流が昇圧回路５１４側へ帰還され、燃料噴射装置１０１に供給されていた電流は、電流４０２のように最大電流I_{peak}から急速に低下する。その結果、ソレノイド２０５に流れる電流が電流４０３のレベルに到達するまでの時間が早くなる。したがって、スイッチング素子５０５，５０６，５０７をＯＦＦにすると、ソレノイド２０５に流れる電流が電流４０３に到達してから一定の遅れ時間の後、磁気吸引力が一定となるまでの時間を早める効果がある。

[0067] そして、ソレノイド２０５に流れる電流が、弁体２１４を最大高さ位置に保持するために必要な電流値４０４（電流４０３とほぼ同じレベル）より小さくなると、駆動回路１０３は、スイッチング素子５０６を通電するとともに、スイッチング素子５０７の通電／非通電を行う。それにより、ソレノイド２０５にバッテリ電圧ＶＢが印加され電流４０３のレベルが保たれる。このような所定の電流４０３が保たれるように制御するスイッチング期間が設けられる。

[0068] なお、図４では、最大電流I_{peak}から電流４０３への移行期間に、タイミングt_{46}で駆動電流が電流４１０のレベルに低下した後、電流４１０が保たれるように制御するスイッチング期間があるが、この電流４１０を維持するスイッチング期間はなくてもよい。

[0069] 燃料噴射装置１０１に供給される燃料圧力が大きくなると、弁体２１４に作用する流体力が増加し、流体抵抗により弁体２１４が目標開度に到達するまでの時間が長くなる。この結果、設定された最大電流I_{peak}の到達時間に対して目標開度への到達タイミングが遅れる場合がある。しかし、ソレノイド２０５の電流を急速に低減すると、可動子２０２に働く磁気吸引力も急速に低下するため、弁体２１４の挙動が不安定となり、場合によっては通電中

にも関わらず閉弁を開始してしまうことがある。最大電流Ｉ$_{peak}$から電流４０３の移行中にスイッチング素子５０６を通電状態にして電流を緩やかに減少させる場合、磁気吸引力の低下を抑制でき、高燃料圧力での弁体２１４の安定性を確保できる効果がある。

[0070] このようなソレノイド２０５に供給する駆動電流のプロファイルにより、燃料噴射装置１０１は駆動される。高電圧４０１の印加を開始してからソレノイド２０５の電流が最大電流Ｉ$_{peak}$に達するまでの間に、可動子２０２がタイミングｔ$_{41}$で変位を開始し、弁体２１４がタイミングｔ$_{42}$で変位を開始する（Ｇ２＝０）。その後、可動子２０２及び弁体２１４が最大高さ位置（最大リフト位置）に到達する。

[0071] 可動子２０２が最大高さ位置に到達したタイミングｔ$_{43}$で、可動子２０２が固定コア２０７に衝突し、可動子２０２が固定コア２０７との間でバウンド動作を行う。弁体２１４は可動子２０２に対して相対変位が可能に構成されている。そのため、弁体２１４は可動子２０２から離間し、弁体２１４の変位は、最大高さ位置を越えてオーバーシュートする。すなわち、弁体２１４の段付き部３２９の下端面が可動子２０２に形成された凹部２０２Ｃの底面２０２Ｄから離れる。

[0072] その後、電流４０３によって生成される磁気吸引力と第２のばね２１２の開弁方向の力によって、可動子２０２は所定の最大高さ位置に静止し、また、弁体２１４は可動子２０２に着座して最大高さ位置に対応する位置で静止し、開弁状態となる（タイミングｔ$_{45}$）。

[0073] なお、弁体２１４と可動子２０２が一体となっている可動弁を持つ燃料噴射装置の場合、弁体２１４の変位量は最大高さ位置よりも大きくならず、最大高さ位置に到達後の可動子２０２と弁体２１４の変位量は同等となる。

[0074] ［制御装置の燃料噴射制御方法］

次に、図６及び図７を用いて、第１の実施形態に係る燃料噴射装置１０１を制御する制御装置１５０の燃料噴射制御方法について説明する。

[0075] 図６は、本発明の第１の実施形態に係る噴射パルス、燃料噴射装置１０１

に供給する駆動電流、燃料噴射装置１０１のスイッチング素子の動作タイミング、ソレノイド２０５の端子間の電圧Ｖｉｎｊ、弁体２１４及び可動子２０２の変位量、並びに時間の関係を示したタイミングチャートである。図６において、第１の電流波形６０１を用いた場合の駆動電流、スイッチング素子の挙動、端子間電圧V_{inj}、弁体２１４の変位量を太線で示し、また第２の電流波形６０２を用いた場合の駆動電流、スイッチング素子の挙動、端子間電圧V_{inj}、弁体２１４の変位量を細線で示す。なお、第２の電流波形６０２を用いた場合の可動子２０２の変位量を点線で示す。また、スイッチング素子を「ＳＷ」と記している。

[0076] 図７は、図６の駆動電流波形で燃料噴射装置１０１を制御した場合の噴射量とその噴射量のショットばらつきの標準偏差（σ）、及び噴射パルス幅の関係を示す。なお、図７には、燃料噴射装置１０１を第１の電流波形６０１を用いて制御した場合の噴射量特性を太線Ｑ７０１で示し、第２の電流波形６０２を用いて制御した場合の噴射量特性を細線Ｑ７０２で示す。

[0077]（第２の電流制御）

まず、第２の電流波形６０２を用いて制御した場合の燃料噴射装置１０１の動作について説明する。

[0078] 図６に示すように、タイミングt_{61}において、ＣＰＵ５０１より噴射パルス幅Ｔｉの噴射パルスが通信ライン５０４を通して駆動ＩＣ５０２に入力されると、スイッチング素子５０５とスイッチング素子５０６がＯＮとなり、バッテリ電圧ＶＢよりも高い昇圧電圧ＶＨがソレノイド２０５に印加される。それにより、駆動電流が燃料噴射装置１０１に供給され、電流が電流６１０のように急速に立ち上がる。ソレノイド２０５に電流が供給されると、可動子２０２と固定コア２０７との間に磁気吸引力が作用する。開弁方向の力である磁気吸引力と第２のばね２１２による荷重との合力が、閉弁方向の力である第３のばね２３４による荷重を超えたタイミングで、可動子２０２が変位を開始する。その後、可動子２０２が隙間Ｇ２を滑走した後、可動子２０２が弁体２１４に衝突する（Ｇ２＝０になる）。これにより、弁体２１４

の変位（開弁動作）が開始され、燃料噴射装置１０１から燃料が噴射される。

[0079] そして、電流がタイミングt_{62}で最大電流（極大値）に達すると、スイッチング素子５０６が通電し、スイッチング素子５０５とスイッチング素子５０７は非通電となる。このとき、接地電位５１５、スイッチング素子５０６、燃料噴射装置１０１、及び接地電位５１５の間で電流が回生する、いわゆるフリーホイールの状態になる。このフリーホイールによって、燃料噴射装置１０１のソレノイド２０５の両端にはほぼ０Ｖの電圧が印加され、電流が電流６１１のように緩やかに減少する。

[0080] その後、時間がタイミングt_{63}に到達すると、駆動ＩＣ５０２は、スイッチング素子５０７の通電／非通電の切替えを行い、電流が電流値６０４或いはその近傍で電流値を保持するように制御する。なお、電流を電流値６０４となるように制御する期間を、第１の電流保持期間６５５と称する。例えばタイミングt_{63}に達する時間は、電流６１２（保持電流）の値からゼロコンマ数アンペアを加算した値に達するまでというように、電流６１２の値にＥＣＵ１０４で予め設定された値を加算した電流値を用いて決めるとよい。

[0081] ＣＰＵ５０１は、弁体２１４が最大高さ位置に到達するタイミングt_{64}（$\geqq t_{62}$）までは、弁体２１４を最大高さ位置で保持可能な電流値６０４よりも高い電流値の電流をソレノイド２０５に供給するように制御するとよい。図６の例では、タイミングt_{66}からタイミングt_{64}の区間で、電流の電流値が電流値６０４よりも高い。

[0082] 弁体２１４が最大高さ位置よりも低い高さ位置の条件では、可動子２０２と固定コア２０７との間のギャップ（隙間Ｇ１）があるため、磁気抵抗が大きくなり、可動子２０２と固定コア２０７が接触している場合と比べて、磁気吸引力が低下する。このため、可動子２０２乃至弁体２１４が最大高さ位置に到達するまで、電流値６０４よりも高い電流値の駆動電流をソレノイド２０５に供給する。これにより、弁体２１４が安定して最大高さ位置まで到達可能となり、弁体２１４が最大高さ位置に到達するタイミングが早くなる

。

[0083] このように、第２の電流波形６０２を用いた第２の電流制御では、最大高さ位置に到達する前の弁体２１４の挙動が安定化して、弁体２１４のショットごとの変位のばらつきが抑制される。これにより、弁体２１４が最大高さ位置に到達した噴射パルス幅７１３以降（図７参照）の噴射量のショットばらつきσを、小さくすることができる。

[0084] さらに、図６の例では、ソレノイド２０５に昇圧電圧ＶＨが印加されることにより、電流が第１の電流波形６０１の最大電流I_{peak}を超えて増加していく。このように、ソレノイド２０５に大きな駆動電流を供給することにより、最大高さ位置に到達する前の弁体２１４の挙動がさらに安定する。

[0085] 一方で、可動子２０２が固定コア２０７に大きな速度で衝突するため、区間６６０に示すように可動子２０２が固定コア２０７または弁体２１４との間でバウンドする。その結果、噴射パルス幅７１３以降も噴射量のショットばらつきσが小さくならないという問題があった。この問題は、図４で示した電流波形でも同様である。すなわち、弁体２１４が最大高さ位置に到達するまでにソレノイド２０５に高い電流値の電流を供給した条件で、この問題が生じる場合があった。

[0086] （第１の電流制御）

この問題を解決する方法として、第１の電流波形６０１を用いた第１の電流制御における駆動方法と、噴射量（噴射パルス幅）及び噴射量のショットばらつきとの関係について説明する。ＣＰＵ５０１は、図６に太線で示すように、ソレノイド２０５に第１の電流波形６０１の駆動電流が供給されるように、ソレノイド２０５に印加する電圧を制御する。第１の電流波形６０１は、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前に最大電流I_{peak}に達し、かつ可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前に最大電流I_{peak}から電流が減少するような波形となっている。

[0087] 図６に示すように、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する速度を抑制するため、可動子２０２が固定コア２０７の方向に変位を開始し、十分に加

速したタイミングt_{66}でスイッチング素子５０５，５０６，５０７をＯＦＦにする。この結果、燃料噴射装置１０１のソレノイド２０５に生じる逆起電力によって、ダイオード５０９とダイオード５１０が通電する。それにより、電流が昇圧回路５１４側へ帰還され、燃料噴射装置１０１に供給されていた電流は、電流６５１のように最大電流I_{peak}から急速に低下する。このときソレノイド２０５の端子間には、逆起電力として、昇圧電圧ＶＨに相当する大きさで逆極性の電圧（－ＶＨ）が生じる。

[0088] ソレノイド２０５に逆電圧を印加して電流を急速に低減すると、渦電流による一定の遅れの後、磁気回路に生じていた磁束が減少し、可動子２０２に作用していた磁気吸引力が小さくなる。その後、タイミングt_{67}で可動子２０２及び弁体２１４が減速し、可動子２０２が固定コア２０７に衝突するときの速度が小さくなる。

[0089] その結果として、可動子２０２と固定コア２０７及び弁体２１４との間で生じるバウンドが小さくなり、弁体の２１４のバウンドが収束するタイミングが、タイミングt_{68}まで早まる。これにより、弁体２１４が最大高さ位置に到達して一定の時間が経過した、噴射パルス幅７１４以降（図７参照）の噴射量のショットばらつきσを、第２の電流波形６０２を用いた場合よりも小さくすることができる。また、第１の電流波形６０１では、可動子２０２が固定コア２０７に衝突するときの速度が小さくなるため、第２の電流波形６０２よりも燃料噴射装置１０１から生じる駆動音を低減できる効果もある。

[0090] 一方で、第１の電流波形６０１を用いた場合は、弁体２１４が最大高さ位置に到達する前に、可動子２０２及び弁体２１４を減速させているため、弁体２１４が最大高さ位置に到達するまでの挙動が不安定になる場合がある。例えば、噴射パルス幅７１４よりも噴射パルス幅が小さい条件での噴射量のショットばらつきが、第２の電流波形６０２を用いた場合に比べて大きくなる場合があった。

[0091] そこで、上述したように、第１の実施形態は、制御装置１５０のＣＰＵ５

０１で演算される、弁体２１４が弁座２１８から離間した後、再び弁座２１８に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量（その噴射量を噴射するための噴射パルス幅）に基づいて、ソレノイド２０５に対する電流制御を切り替える。

[0092] すなわち、ＣＰＵ５０１は、噴射パルス幅７１４の噴射量（設定値の例）未満の小さな噴射量を要求された場合には、可動子２０２が固定コア２０７に衝突するまでは、可動子２０２を固定コア２０７に接触した状態で保持可能な電流６１２（保持電流）よりも大きな電流がソレノイド２０５に流れるように、ソレノイド２０５に対し第２の電流波形６０２による第２の電流制御を行う。また、ＣＰＵ５０１は、噴射パルス幅７１４の噴射量（設定値）以上の大きな噴射量を要求された場合には、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前にソレノイド２０５に印加する電圧を、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前までに印加していた電圧の極性とは逆極性に切り替えることで、ソレノイド２０５に対し第１の電流波形６０１による第１の電流制御を行う。

[0093] このように、本実施形態では、開弁状態において噴射される燃料の噴射量（噴射パルス幅）に応じて、第１の電流波形と第２の電流波形を切り替えてソレノイド２０５に対する電流制御を行うことで、小さい噴射量から大きい噴射量までの範囲において、弁体２１４のショットごとの変位のばらつきを抑制することができる。それにより、燃料噴射装置１０１の噴射量のショットばらつきを低減することができる。その結果、筒内直接噴射式エンジン等の内燃機関の燃費と排気性能が改善され、経費削減にも繋がる。

[0094] さらに、制御装置１５０のＣＰＵ５０１は、可動子２０２が固定コア２０７に衝突した後にソレノイド２０５に印加する電圧を、保持電流（電流６１２）が流れる設定電圧に下げることで、第２の電流波形６０２を用いた第２の電流制御を行うようにしてもよい。このようにソレノイド２０５に印加する電圧及び電流を制御することで、弁体２１４を安定的に最大高さ位置に到達させることができる。本実施形態では、図６から理解されるように、第２

の電流制御における設定電圧の極性は、第１の電流波形６０１による第１の電流制御において逆極性となる前の電圧の極性と同じ（図６では正極性）である。

[0095] また、可動子２０２に電流６１２（保持電流）よりも高い電流を供給すれば、弁体２１４を安定的に最大高さ位置まで到達させることができる。そのため、第２の電流波形６０２において、最大電流I_{peak}を停止するタイミングは、必ずしも弁体２１４が最大高さ位置に到達したとき以降ではなく、弁体２１４が最大高さ位置に到達する前に設定してもよい。

[0096] また、第２の電流波形６０２を用いた場合、噴射パルスを停止するタイミングで弁体２１４のバウンドが十分に収束しているような、噴射パルス幅７１５よりも大きな噴射パルス幅では、第１の電流波形６０１と第２の電流波形６０２のどちらを使っても噴射量のショットばらつきが同等となることがある。この場合、ＣＰＵ５０１は、例えば燃料噴射装置１０１に燃料を供給する燃料配管１０５の燃料圧力が高い場合には、弁体２１４が最大高さ位置に安定的に到達するために第２の電流波形６０２を用いる。一方、暖気のアイドル条件など、エンジンの回転数が低いため燃料噴射装置１０１の駆動音を低減したい場合には、ＣＰＵ５０１は、第１の電流波形６０１を用いる。

[0097] このように、ＣＰＵ５０１は、予め設定された噴射パルス幅７１５よりも大きな噴射パルス幅の指令があった場合には、運転条件に応じて駆動電流の電流波形を切り替えるように制御するとよい。

[0098] なお、第１の電流波形６０１において、電流が最大電流I_{peak}到達後にソレノイド２０５に逆電圧を印加した後、再び電流を供給する場合、ソレノイド２０５には昇圧電圧ＶＨを印加するとよい。弁体２１４が変位している最中は、可動子２０２の変位に伴う逆起電力によって、電流が増加できない。したがって、印加電圧を大きくすることで、電流を確実に電流６１２（保持電流）に到達させることができ、弁体２１４を安定的に開弁状態で保持できる。

[0099] 上述したように本実施形態は、噴射量（若しくは噴射パルス幅）に応じて

、噴射量のショットばらつきを低減できる電流波形を適切に設定する。これにより、小さな噴射量から大きな噴射量まで、すなわちエンジンの負荷が小さい領域から負荷が大きい領域まで全域にわたって噴射量のショットばらつきを抑制できる。

[0100] 例えば、噴射量のショットばらつきを抑制することで、熱効率を上げるための理論空燃比よりも燃料が希薄な希薄燃焼や排ガスを吸気側に循環させるＥＧＲ（Exhaust Gas Recirculation）を用いた場合において、燃焼速度が緩慢になる条件下であっても、噴射ごとに同じ燃焼状態を実現し、燃焼安定性を高めることができる。本実施形態は、燃焼サイクルにおける噴射量が微小である場合など、高い噴射量の精度を求められる内燃機関の燃料噴射制御に適用して好適である。

[0101] また、第１の電流波形６０１及び第２の電流波形６０２において、タイミングt_{69}で噴射パルスを停止すると、スイッチング素子５０５，５０６，５０７が全て非通電となる。そして、燃料噴射装置１０１のインダクタンスによる逆起電力によって、ダイオード５０９とダイオード５１０が通電し、電流が昇圧回路５１４側へ帰還され、燃料噴射装置１０１に供給されていた電流は、電流６５２のように急速に低下し、０Ａに到達する。そして、電流の供給を停止すると、可動子２０２に作用していた磁気吸引力が低下し、磁気吸引力と第２のばね２１２による荷重と、可動子２０２の慣性力との合力である開弁方向の力が、第１のばね２１０による荷重と弁体２１４に作用する差圧力とによる閉弁方向の力を下回ったタイミングで、弁体２１４は最大高さ位置よりも低い位置から、閉弁を開始する。そして、弁体２１４がタイミングt_{64}で弁座２１８と接触し、燃料の噴射を停止する。

[0102] なお、上述した第１の実施形態では、第１の電流波形６０１を用いた第１の電流制御において、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前にソレノイド２０５に印加する電圧を正極性としたが、負極性でもよい。以降の各実施形態でも同様である。第１の電流制御では、ソレノイド２０５に印加する電圧の極性を、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前と後で反転させ

る構成であればよい。可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前に印加する電圧の極性は、可動子２０２及び弁体２１４の変位方向と駆動回路１０３の構成に応じて、適宜選択すればよい。このように、本発明は、可動子２０２及び弁体２１４の変位方向と駆動回路１０３の構成、及び印加する電圧の極性を、柔軟に設計することができる。

[0103] ＜第１の実施形態の変形例１＞

次に、図８を用いて、本発明の第１の実施形態の変形例１について説明する。図８は、本発明の第１の実施形態の変形例１に係るソレノイド２０５の端子間の電圧、燃料噴射装置に供給する駆動電流、及び時間の関係を示した図である。

[0104] 第１の実施形態における第２の電流波形６０２を用いた場合、弁体２１４が最大高さ位置に到達するまで大きな電流値を供給する必要があるため、ソレノイド２０５に供給する最大電流I_{peak}が大きくなることがあった。この場合、燃料噴射装置１０１及びＥＣＵ１０４の発熱は、供給電流の２乗に比例して大きくなるため、発熱が課題となりソレノイド２０５に与える電流に制約が生じることがある。

[0105] これに対し、図８に示すように、第２の電流制御において、駆動電流が最大電流I_{peak}に到達した後、昇圧電圧ＶＨの印加とバッテリ電圧ＶＢの印加を繰り返して行うことで、最大電流I_{peak}（電流６１３）を維持する電流波形６０３（第３の電流波形）を用いるとよい。ＣＰＵ５０１が、スイッチング素子５０５，５０７のＯＮ／ＯＦＦによりソレノイド２０５に印加する電圧を制御することで、電流波形６０３は、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前に最大電流I_{peak}に達し、可動子２０２が固定コア２０７に衝突した後まで最大電流I_{peak}が維持されるような形状となっている。図６では、可動子２０２が固定コア２０７に衝突したタイミングt_{64}を過ぎた後でも、所定の時間だけ最大電流I_{peak}が維持されている。なお、ソレノイド２０５への電圧印加は、昇圧電圧ＶＨの印加とＯＶの電圧の印加を繰り返すことにより実現してもよい。

[0106] 図８において、昇圧電圧ＶＨの印加とバッテリ電圧ＶＢの印加との繰り返しによる端子間電圧を実線８０１で示し、そのときの駆動電流を実線８０３で示している。また、昇圧電圧ＶＨの印加と０Ｖの電圧の印加との繰り返しによる端子間電圧を破線８０２で示し、そのときの駆動電流を破線８０４で示している。昇圧電圧ＶＨの印加とバッテリ電圧ＶＢの印加の繰り返し（実線８０１）は、昇圧電圧ＶＨの印加と０Ｖの電圧の印加との繰り返し（破線８０２）と比較して端子間電圧の変動が少ないため、弁体２１４の挙動が安定する。

[0107] このように、第２の電流制御において電流波形６０３を用いることで、最大電流I_{peak}の値を大きくしなくても、弁体２１４が最大高さ位置に到達するまでに必要な電流を確保できる。このため、電流波形６０３を用いた第２の電流制御により、ＥＣＵ１０４の発熱を抑えつつ、弁体２１４のショットごとの変位のばらつきが抑制される。

[0108] ＜第２の実施形態＞

次に、図９を用いて、本発明の第２の実施形態に係る燃料噴射装置１０１を制御する制御装置１５０の燃料噴射制御方法について説明する。図９は、本発明の第２の実施形態に係る燃料噴射装置１０１に供給する駆動電流、弁体の変位量、及び時間との関係を示した図である。

[0109] 弁体２１４が最大高さ位置に到達してから閉弁する場合の噴射量よりも小さな噴射量を要求される場合には、弁体２１４が最大高さ位置に到達しないハーフリフトの状態で弁体２１４を駆動するハーフリフト制御を行うとよい。しかし、ハーフリフトの状態では、弁体２１４の変位量がストッパー（例えば固定コア２０７）で制約されていないため、わずかな力の変化で弁体２１４の変位量が変動する場合があった。磁気吸引力は磁気抵抗の影響を強く受けるため、可動子２０２と固定コア２０７の距離が小さいほど磁気抵抗が小さくなり、磁気吸引力が大きくなる。また、磁気吸引力は、渦電流の影響により、噴射パルスを停止してソレノイド２０５に流れる電流が０Ａになっても瞬間的にはゼロにならず、時間の経過とともに減少していく。したがっ

て、磁気吸引力が強すぎると、ＥＣＵ１０４が噴射パルスの出力を停止しても、弁体２１４が最大高さ位置に到達する場合がある。

[0110] これに対し、可動子２０２が固定コア２０７に衝突する前に閉弁方向への移動を開始するハーフリフト制御を行う場合には、図６に示したような第１の電流波形６０１を用いた制御を行うとよい。ＣＰＵ５０１は、可動子２０２が加速した後にソレノイド２０５に逆電圧を印加し、電流６１０により可動子２０２が最大高さ位置に到達するよう制御する。これにより、可動子２０２に作用する磁気吸引力の急激な増加を抑制しつつ、ハーフリフト状態での噴射量を制御することが可能となる。

[0111] また、ハーフリフト制御を行う場合には、必ずしも弁体２１４が最大高さ位置に到達するエネルギーを供給する必要がない。そのため、ハーフリフト制御時の最大電流は、第１の電流波形６０１の場合より小さくしてもよい。

[0112] 図９において、破線で示す電流波形９０１は、ハーフリフト制御時の電流波形の例である。ハーフリフト制御時の電流波形９０１は、極大値である最大電流I_{HL}が、第１の電流波形６０１の最大電流I_{peak}よりも小さい。電流波形９０１では、最大電流I_{HL}が最大電流I_{peak}よりも小さいため、電流波形９０１による弁体２１４の変位の傾き９２０が、第１の電流波形６０１による弁体２１４の変位の傾き６２０よりも小さくなる。それゆえ、磁気吸引力の急激な増加を抑制しつつ、ハーフリフト状態で噴射量を制御することが可能である。なお、変位９１１ａ，９１１ｂ，９１１ｃはそれぞれ、電流波形９０１の各点で弁体２１４の移動方向を開弁方向から閉弁方向に切り替えた場合の変位量の変化を表している。

[0113] ＜第３の実施形態＞

次に、図１、図５～図６、及び図１０を用いて、本発明の第３の実施形態に係る燃料噴射装置１０１を制御する制御装置１５０の燃料噴射制御方について説明する。図１０は、１燃焼サイクル中に分割噴射を行う場合の吸気行程と圧縮行程の噴射タイミング、及び噴射期間を示す。

[0114] 第３の実施形態に係る燃料噴射制御方法では、気筒１０８内に均質な混合

気を形成するため、気筒１０８内の流動が強いタイミングである吸気行程１００１で一回目の噴射１００３を行い、大きな噴射量の燃料を噴射する。そして、点火プラグの回りに点火しやすい燃料が空気よりも多いリッチな混合気を形成するため、圧縮行程１００２において噴射１００３よりも噴射時間が短い２回目の噴射１００４を行い、１燃焼サイクルに必要な小さい噴射量の燃料を噴射するとよい。本明細書では、理論空燃比よりも燃料が多く含まれる混合気の状態を「リッチ」という。

[0115] このとき、噴射１００３に比べて噴射１００４の方が噴射量が小さいことから、吸気行程１００１の噴射１００３を第１の実施形態に係る第１の電流波形６０１（図６参照）で実施し、圧縮行程１００２の噴射１００４を第１の実施形態に係る第２の電流波形６０２（若しくは電流波形６０３）（図６参照）で実施する。このような燃料噴射制御を行うことで、噴射量のショットばらつきが抑制されるため、吸気行程１００１の均質性のばらつきを抑制し、さらに、圧縮行程１００２の点火プラグ周辺に形成する混合気のばらつきを抑制し、燃焼安定性を高められる。

[0116] 特にエンジン始動時に三元触媒を活性化する条件では、点火タイミングを上死点よりもリタード（遅延）して、排気損失を大きくすることで、触媒の温度を上昇させる制御を行う場合がある。点火タイミングをリタードする場合は、燃焼が不安定となるために、圧縮行程１００２の後期に燃料を噴射し、点火プラグ回りにリッチな混合気を形成することで、燃焼安定性を確保する噴射制御が有効である。この場合、圧縮行程１００２に噴射する燃料は、１燃焼サイクル中に吹く噴射量の４割以下とする。つまり、吸気行程１００１に多く燃料を噴射して均質な混合気を形成し、圧縮行程１００２に吸気行程１００１よりも少ない燃料を噴射して、点火プラグの回りにリッチな混合気を形成するとよい。

[0117] 以上述べたように第３の実施形態に係る燃料噴射制御方法では、吸気行程１００１の噴射１００３を第１の実施形態に係る第１の電流波形６０１を用いて実施し、圧縮行程１００２の噴射を第１の実施形態に係る第２の電流波

形６０２（若しくは電流波形６０３）を用いて実施する。このように、制御装置１５０のＣＰＵ５０１は、１燃焼サイクル中において、ソレノイド２０５に第１の電流波形６０１を用いた第１の電流制御と、第２の電流波形６０２（若しくは電流波形６０３）を用いた第２の電流制御とを、少なくとも１回ずつ行うよう制御するとよい。

[0118] このような燃料噴射制御方法によれば、吸気行程１００１並びに圧縮行程１００２における噴射量のショットばらつきを抑制できる。

[0119] ＜第４の実施形態＞

次に、図１、図５～図６、及び図１１を用いて、第４の実施形態に係る燃料噴射装置１０１を制御する制御装置１５０の燃料噴射制御方法について説明する。図１１は、１燃焼サイクル中に分割噴射を行う場合の吸気行程と圧縮行程の噴射タイミング、及び噴射期間を示す。図１１において、図１０と同様の構成については同じ符号を用いる。

[0120] 第４の実施形態に係る燃料噴射制御方法では、気筒１０８内に均質な混合気を形成するため、吸気行程１００１のような流動が強いタイミングで一回目の噴射１１０３を行い、大きな噴射量を噴射する。その後、流動が小さくなるタイミングで、噴射１１０３よりも噴射量の小さな二回目の噴射１１０４を行う。

[0121] 一般に、二回目以降の噴射は噴射量を微調整するためなので、噴射量は少ない。したがって、一回目の噴射１１０３に比べて二回目の噴射１１０４の方が噴射量が小さいことから、吸気行程１００１の噴射１１０３を第１の実施形態に係る第１の電流波形６０１を用いて実施し、それ以降の噴射１１０４を第１の実施形態に係る第２の電流波形６０２（もしくは電流波形６０３）を用いて実施する。このように、制御装置１５０のＣＰＵ５０１は、１燃焼サイクル中において、ソレノイド２０５に第１の電流波形６０１と、第２の電流波形とを少なくとも１回ずつ行うよう制御するとよい。

[0122] このような燃料噴射制御方法によれば、噴射量のショットばらつきが抑制されるため、吸気行程１００１の均質性のばらつきを抑制し、燃焼安定性を

高められる。

[0123] ＜第４の実施形態の変形例＞

さらに、制御装置１５０のＥＣＵ１０４に搭載されたＣＰＵ５０１は、燃焼サイクル中に２回以上の噴射を実施する場合であって、かつ燃料噴射装置１０１から１回に噴射される燃料の噴射量が、ＥＣＵ１０４で予め設定された閾値（設定値）以下である場合に、第１の電流波形６０１を用いた第１の電流制御を行う回数に比べて、第２の電流波形６０２（若しくは電流波形６０３）を用いた第２の電流制御を行う回数の方が多くなるように電流制御するとよい。

[0124] このような燃料噴射制御を行うことにより、燃焼サイクル中に２回以上の噴射を実施する場合であって、微小の燃料の噴射が要求される場合にも対応可能である。すなわち、微小の燃料の噴射が要求される場合でも、燃焼サイクル内の噴射量のショットばらつきが抑制される

[0125] ＜第５の実施形態＞

次に、図１、図５、及び図１２を用いて、第５の実施形態に係る燃料噴射装置１０１を制御する制御装置１５０の燃料噴射制御方法について説明する。図１２は、本発明の第５の実施形態に係る噴射量とその噴射量のショットばらつきの標準偏差（σ）、及び噴射パルス幅の関係を示す。図１２には、第１の実施形態に比べて燃料圧力が高くなった場合において、第１の電流波形６０１を用いたときの噴射量並びに噴射量のショットばらつきを太破線Ｑ１０１で、第２の電流波形６０２（若しくは電流波形６０３）を用いたときの噴射量並びに噴射量のショットばらつきを細破線Ｑ１０２で記載する。

[0126] 第５の実施形態に係る燃料噴射装置１０１の制御方法では、制御装置１５０は、弁体２１４が弁座２１８から離間した後、再び弁座２１８に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量（噴射パルス幅）は、燃料圧力が高いほど大きい値に設定されるようにするとよい。

[0127] 図１２より、燃料噴射装置１０１に供給される燃料の圧力が高くなると、弁体２１４に作用する燃料圧力による流体力が増加する。このため、噴射量

１２０１のように噴射量特性の傾きが小さくなり、弁体２１４が最大高さ位置に到達するための噴射パルス幅が大きくなる。それに伴って、第１の電流波形６０１と第２の電流波形６０２（若しくは電流波形６０３）の噴射量のショットばらつきの大小関係が切り替わる噴射パルス幅７１４が、噴射パルス幅１２０２まで大きくなる。また、同じ弁体２１４の変位量であっても燃料圧力が高い方が噴射される噴射量が大きくなる。

[0128] そのため、本実施形態では、ＣＰＵ５０１は、第１の電流波形６０１と第２の電流波形６０２とを切り替えるために設定された、弁体２１４が開弁してから閉弁するまでの噴射量（若しくは噴射パルス幅）の設定値が、燃料圧力が高い程大きくなるように設定する。それにより、燃料圧力が変わった場合であっても安定的に噴射量のショットばらつきを低減することが可能となる。言い換えると、本実施形態は、燃料圧力が変化した場合における燃料噴射制御のロバスト性（外乱に対して強い性質）を確保することができる。

[0129] また、燃料圧力が増加して、弁体２１４に作用する流体力が大きくなると、可動子２０２の速度が低下し、可動子２０２と固定コア２０７が衝突するときの衝突速度が下がる場合がある。このときには、第１の電流波形６０１の最大電流I_{peak}を停止するタイミングt_{66}を遅くしても、弁体２１４が最大高さ位置に到達した後の弁体２１４のバウンドを抑制できる。このため、燃料圧力が高い方が最大電流I_{peak}の停止タイミングを遅くするように電流を制御するとよい。すなわち、ＣＰＵ５０１は、第１の電流制御によりソレノイド２０５に印加する電圧を０Ｖ未満（逆極性）に切り替えるタイミングを、燃料圧力が高いほど遅くなるように制御する。

[0130] このように、最大電流I_{peak}の停止タイミングを燃料圧力に応じて変えることで、弁体２１４を確実に最大高さ位置に到達させる安定性と、弁体２１４のバウンド低減による噴射量のショットばらつき低減を両立することが可能となる。

[0131] ＜その他＞

さらに、本発明は上述した各実施形態例に限られるものではなく、特許請

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。

[0132] 例えば、上述した実施形態例は本発明を分かりやすく説明するために燃料噴射システム１及び制御装置１５０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、ある実施形態例の構成の一部を他の実施形態例の構成要素に置き換えることは可能である。また、ある実施形態例の構成に他の実施形態例の構成要素を加えることも可能である。また、各実施形態例の構成の一部について、他の構成要素の追加、削除、置換をすることも可能である。

[0133] 例えば、上述した第１～第５の実施形態において、燃料噴射装置１０１の内部構造を、磁気吸引力により吸引された可動子２０２が固定コア２０７に衝突する構成としたが、この構成に限らない。磁気吸引力により開弁方向に引き上げられた可動部（例えば可動子２０２又は弁体２１４など）が、燃料噴射装置１０１の内部に配置若しくは形成された任意の固定部に、衝突（接触）する構成でもよい。固定コア２０７は固定部の一例である。あるいは、燃料噴射装置１０１を、中間部材２２０（間隙形成部材）を用いない構成としてもよい。これらの構成であっても、上述した第１～第５の実施形態の構成と同様に、噴射量（若しくは噴射パルス幅）に応じてソレノイド２０５に供給する駆動電流の電流波形を適切に設定することで、噴射量のショットばらつきを抑制できるという効果が得られる。

[0134] また、上記の各構成、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。また、上記の各構成要素、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、半導体メモリやハードディスク、ＳＳＤ（Solid State Drive）等の記録装置、又は磁気や光を利用する記録媒体に置くことができる。

[0135] また、上述した実施形態において、制御線や情報線は説明上必要と考えら

れるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成要素が相互に接続されていると考えてもよい。

符号の説明

[0136] １０１，１０１Ａ～１０１Ｄ…燃料噴射装置、 １０３…駆動回路、 １０４…ＥＣＵ、 １０７…燃焼室、 １０８…気筒、 １５０…制御装置、 ２０２…可動子、 ２０５…ソレノイド、 ２０７…固定コア、 ２１４…弁体、 ２１８…弁座、 ２１９…噴射孔、 ５０１…ＣＰＵ、 ５０１Ｍ…メモリ、 ６０１…第１の電流波形、 ６０２…第２の電流波形、 ６１０…電流（保持電流）、７１４…噴射パルス幅（設定値）

請求の範囲

[請求項1] 弁座に接離する弁体と、前記弁体を駆動させる可動子と、前記弁座と前記弁体との間に燃料を導入する空間を形成するように前記可動子を吸引する磁気吸引力を生じさせるソレノイドと、前記磁気吸引力により前記可動子を吸引する固定コアと、を有する燃料噴射装置を制御する車両用の制御装置において、

前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が設定値以上である場合には、前記可動子又は前記弁体が固定部に衝突する前に前記ソレノイドに印加する電圧を、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前までに印加していた電圧の極性とは逆極性に切り替えることで、前記ソレノイドに対し第１の電流波形による第１の電流制御を行い、

前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が前記設定値未満である場合には、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突するまでは、前記可動子又は前記弁体を前記固定部に接触した状態で保持可能な保持電流よりも大きな電流が前記ソレノイドに流れるように、前記ソレノイドに対し第２の電流波形による第２の電流制御を行う制御部、を備えた

車両用の制御装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突した後に前記ソレノイドに印加する電圧を、前記保持電流が流れる設定電圧に下げることで前記第２の電流制御を行う

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項3] 前記第２の電流制御における前記設定電圧の極性は、前記第１の電流制御において逆極性となる前の電圧の極性と同じである

請求項２に記載の車両用の制御装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記第１の電流制御において、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前に最大電流に達し、前記可動子又は前

記弁体が前記固定部に衝突する前に前記最大電流から電流が減少するように、前記ソレノイドに印加する電圧を制御する

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項5] 前記制御部は、前記第２の電流制御において、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前に最大電流に達し、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する後まで前記最大電流が維持されるように、前記ソレノイドに印加する電圧を制御する

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項6] 前記制御部は、１燃焼サイクル中において、前記ソレノイドに対し前記第１の電流制御と、前記第２の電流制御とを少なくとも１回ずつ行う

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項7] 前記制御部は、吸気行程における一回目の噴射で前記第１の電流制御を行い、それ以降の噴射では前記第２の電流制御を行う

請求項６に記載の車両用の制御装置。

[請求項8] 前記制御部は、圧縮行程において前記第２の電流制御を行う

請求項７に記載の車両用の制御装置。

[請求項9] 前記制御部は、１燃焼サイクル中に２回以上の噴射を実施する場合であって、かつ前記燃料噴射装置から１回に噴射される燃料の噴射量が設定された閾値以下である場合に、前記第１の電流制御を行う回数に比べて前記第２の電流制御を行う回数の方が多くなるように制御する

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項10] 前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量の前記設定値は、燃料圧力が高いほど大きい値に設定される

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項11] 前記制御部は、前記第１の電流制御により前記ソレノイドに印加す

る電圧の極性を逆極性とするタイミングを、燃料圧力が高いほど遅くなるように制御する

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項12] 前記制御部は、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前に閉弁方向への移動を開始するハーフリフト制御を行う場合に、前記第１の電流制御を行う

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項13] 噴射される前記燃料の噴射量は、前記空間に導入された燃料を噴射する前記燃料噴射装置の噴射パルス幅に基づいて決定される

請求項１に記載の車両用の制御装置。

[請求項14] 前記固定部は前記固定コアである

請求項１乃至１３のいずれか一項に記載の車両用の制御装置。

[請求項15] 弁座に接離する弁体と、前記弁体を駆動させる可動子と、前記弁座と前記弁体との間に燃料を導入する空間を形成するように前記可動子を吸引する磁気吸引力を生じさせるソレノイドと、前記磁気吸引力により前記可動子を吸引する固定コアと、を有する燃料噴射装置を制御する車両用の燃料噴射制御方法において、

前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が設定値以上である場合には、前記可動子又は前記弁体が固定部に衝突する前に前記ソレノイドに印加する電圧を、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前までに印加していた電圧の極性とは逆極性に切り替えることで、前記ソレノイドに対し第１の電流波形による第１の電流制御を行う処理と、

前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が前記設定値未満である場合には、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突するまでは、前記可動子又は前記弁体を前記固定部に接触した状態で保持可能な保持電流よりも大きな電流が前記ソレノイドに流れるように、前記ソレノイドに対し

第２の電流波形による第２の電流制御を行う処理と、を含む

車両用の燃料噴射制御方法。

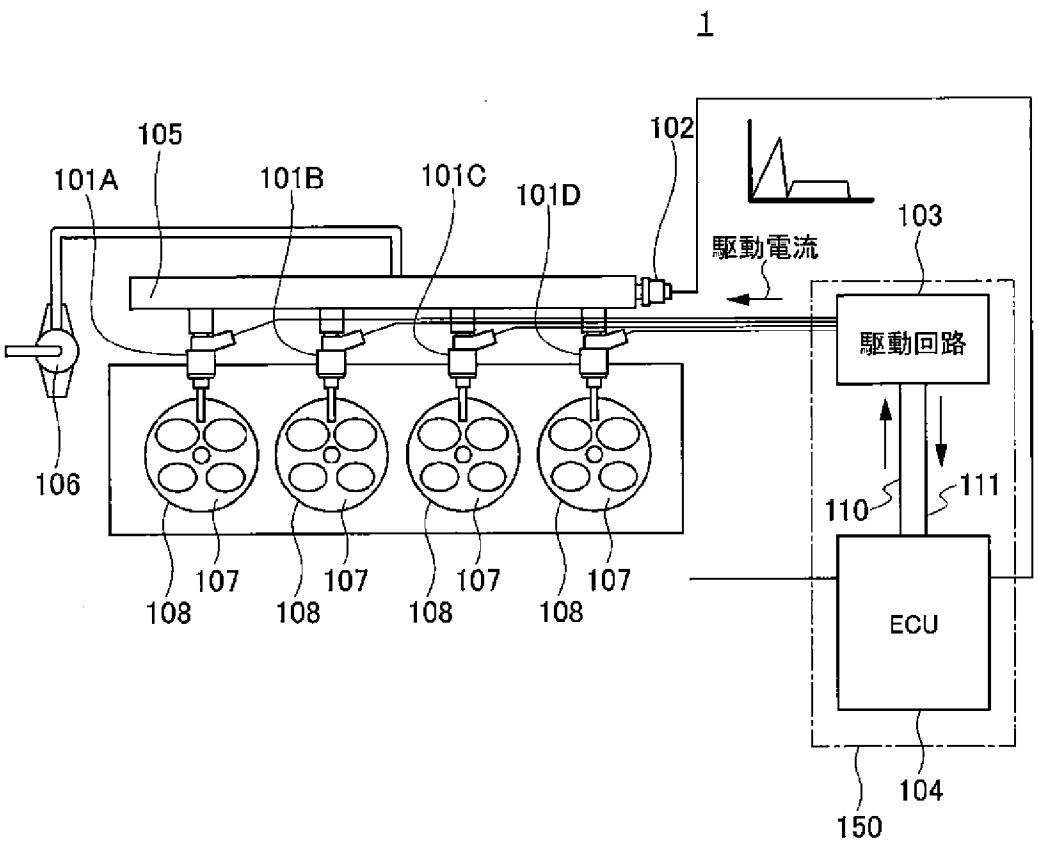
[請求項16] 弁座に接離する弁体と、前記弁体を駆動させる可動子と、前記弁座と前記弁体との間に燃料を導入する空間を形成するように前記可動子を吸引する磁気吸引力を生じさせるソレノイドと、前記磁気吸引力により前記可動子を吸引する固定コアと、を有する燃料噴射装置を制御する車両用の制御装置が備えるコンピューターに、

前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が設定値以上である場合には、前記可動子又は前記弁体が固定部に衝突する前に前記ソレノイドに印加する電圧を、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突する前までに印加していた電圧の極性とは逆極性に切り替えることで、前記ソレノイドに対し第１の電流波形による第１の電流制御を行う手順と、

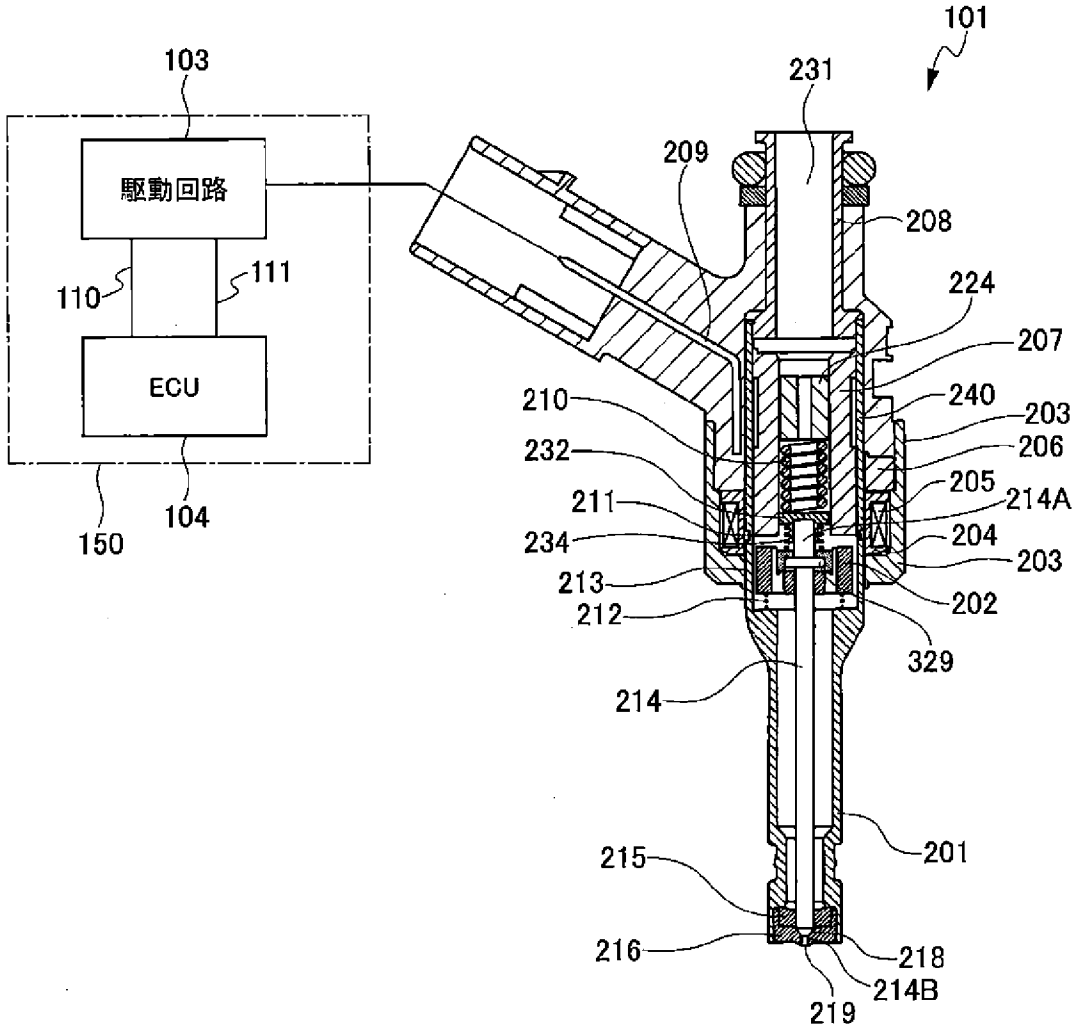
前記弁体が前記弁座から離間した後、再び前記弁座に接触するまでの間に噴射される燃料の噴射量が前記設定値未満である場合には、前記可動子又は前記弁体が前記固定部に衝突するまでは、前記可動子又は前記弁体を前記固定部に接触した状態で保持可能な保持電流よりも大きな電流が前記ソレノイドに流れるように、前記ソレノイドに対し第２の電流波形による第２の電流制御を行う手順と、

を実行させるための車両用の燃料噴射制御プログラム。

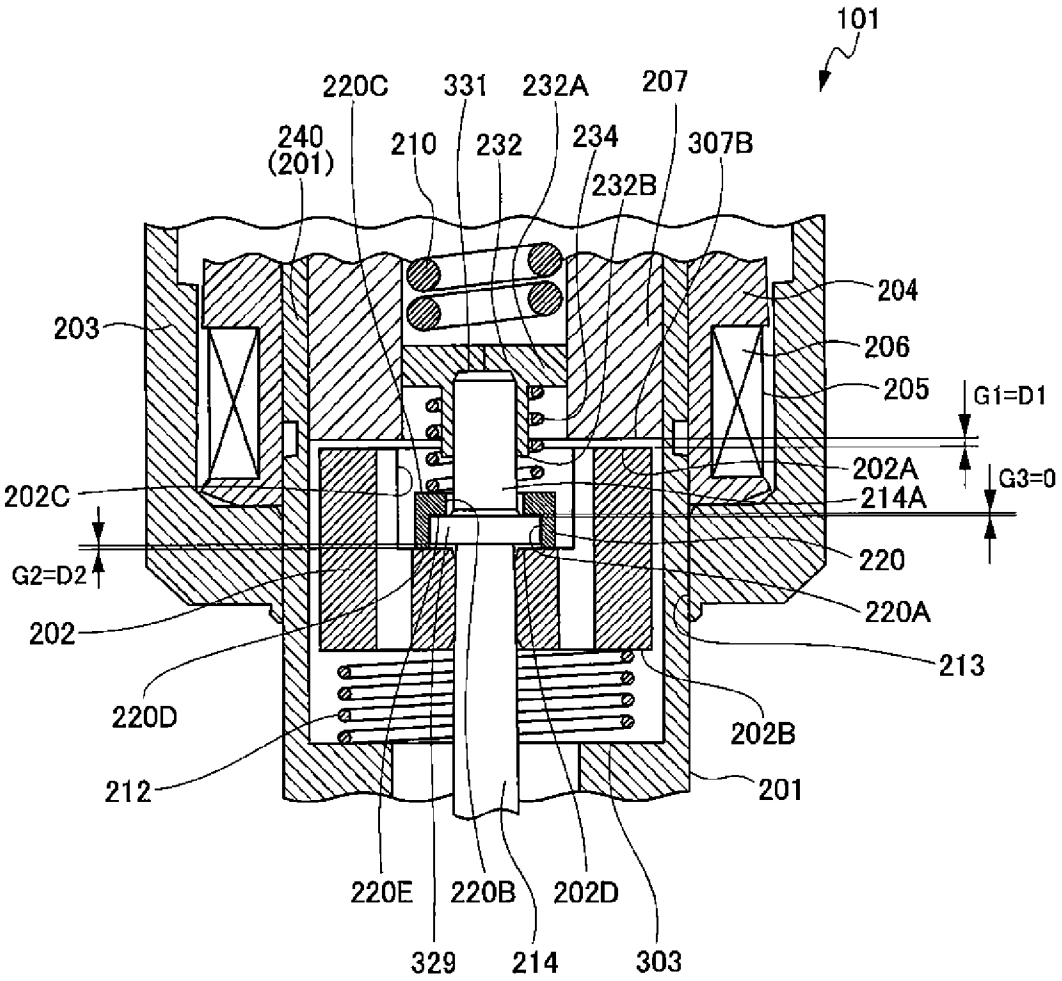
[図1]


1
105
101A
101B
101C
101D
102
103
駆動電流
駆動回路
106
107
108
110
111
ECU
104
150

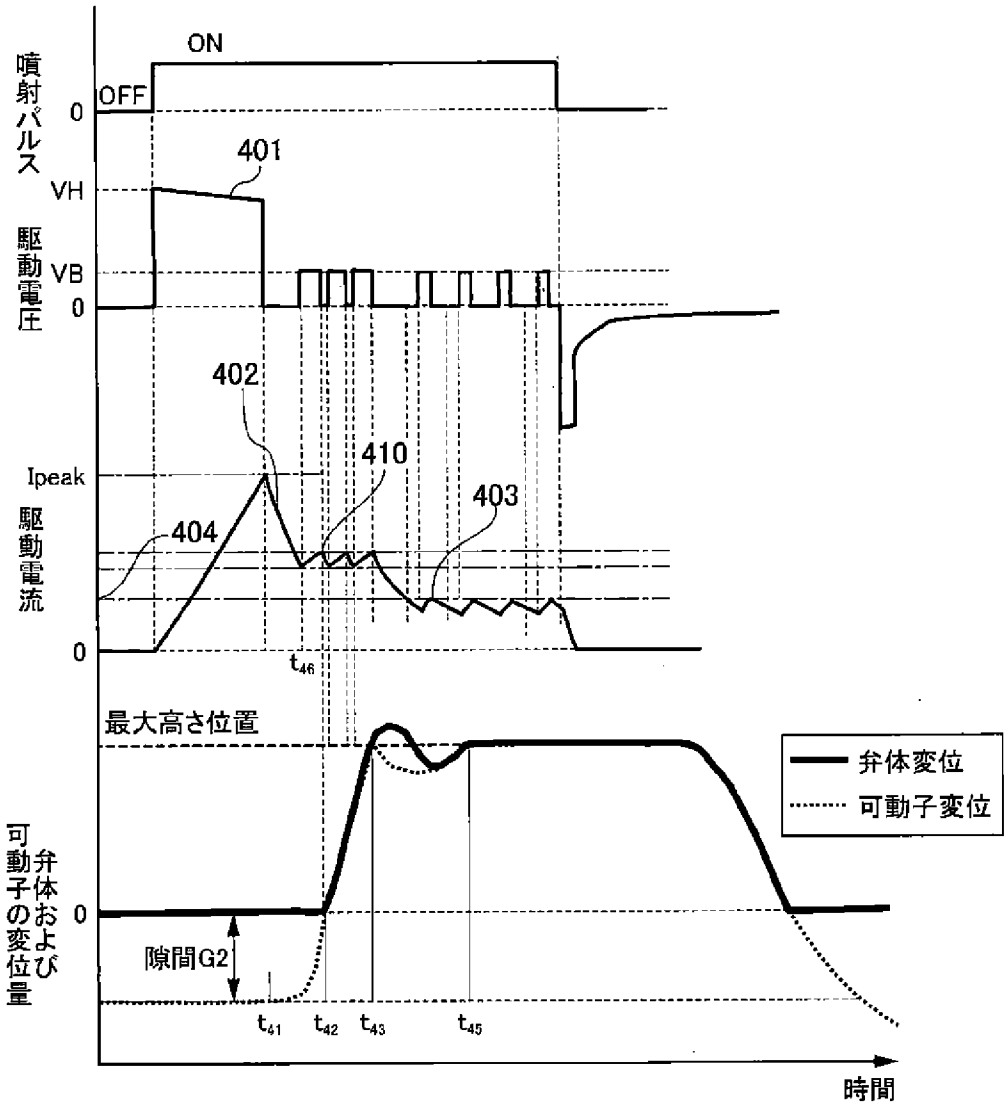
[図2]


101
103
駆動回路
110
111
ECU
150
104
231
209
208
224
207
240
203
206
205
214A
204
203
202
329
210
232
211
234
213
212
214
201
215
216
218
214B
219

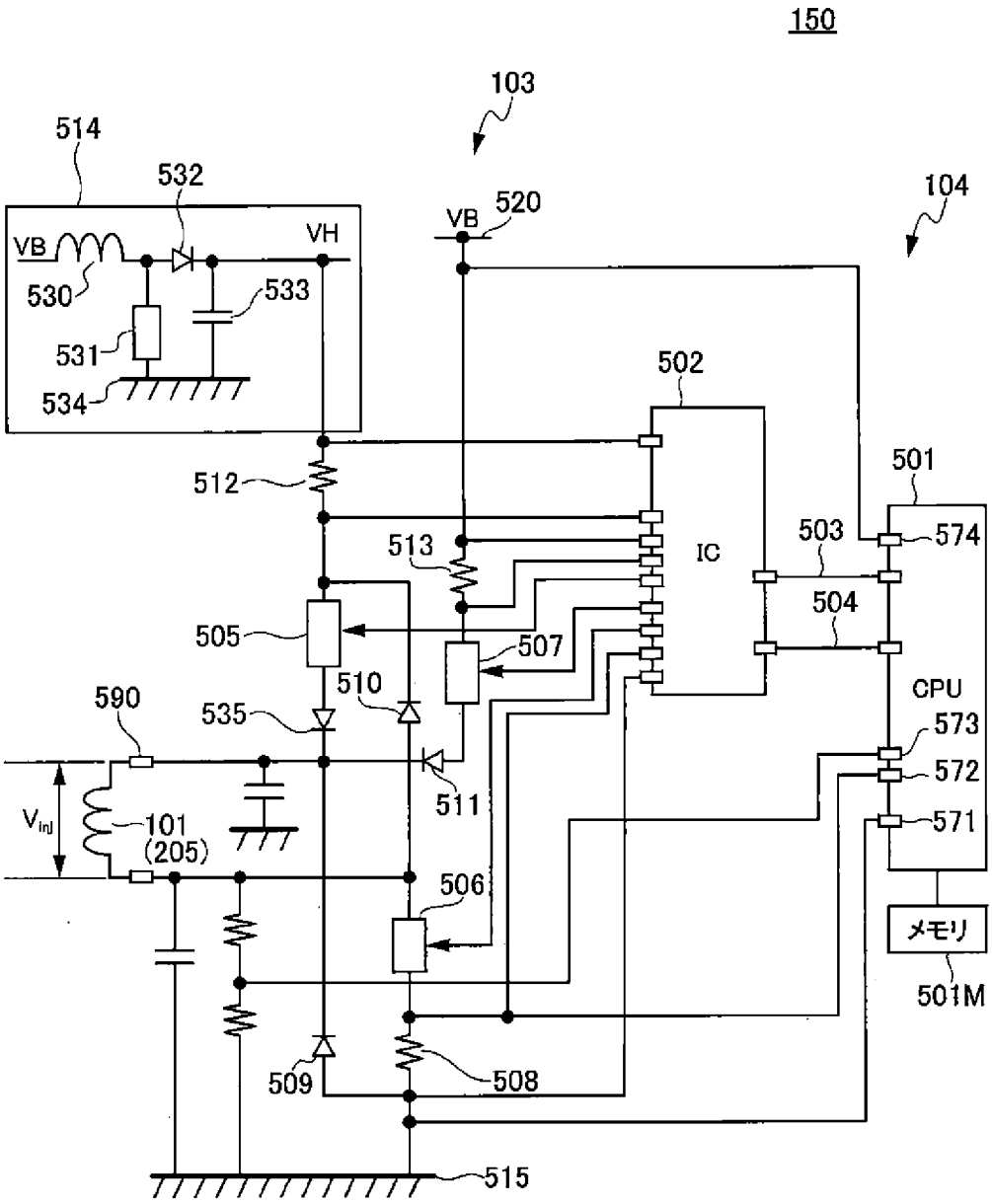
[図3]


101
220C
331
232A
207
240
(201)
210
232
234
307B
232B
204
203
206
205
G1=D1
202A
G3=0
202C
214A
220
G2=D2
220A
202
213
220D
202B
212
201
220E
220B
202D
329
214
303

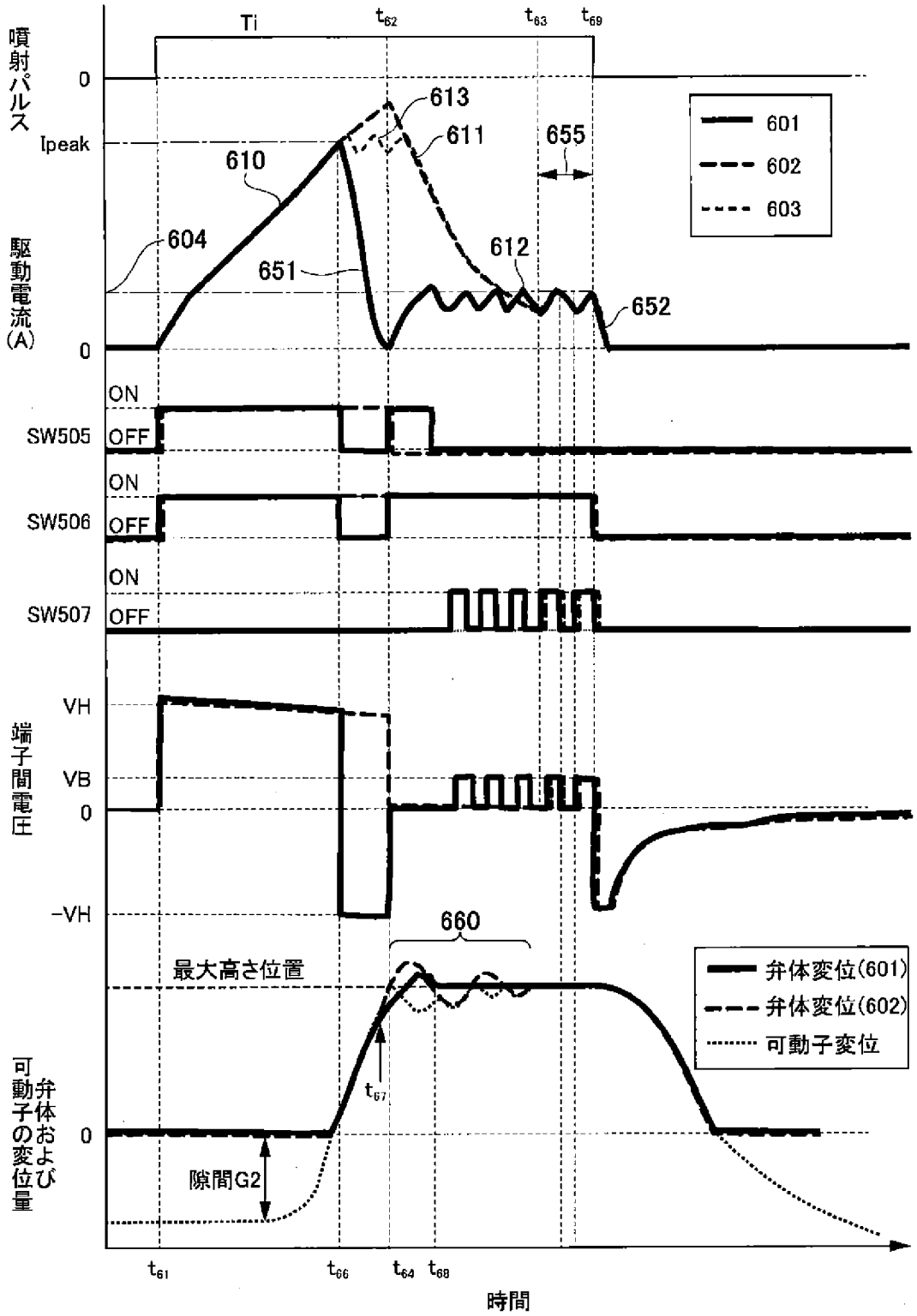
[図4]


噴射パルス
ON
OFF
0
401
駆動電圧
VH
VB
0
402
410
Ipeak
403
駆動電流
404
0
t_{46}
最大高さ位置
弁体変位
可動子変位
可動子の弁体および変位量
0
隙間G2
t_{41}
t_{42}
t_{43}
t_{45}
時間

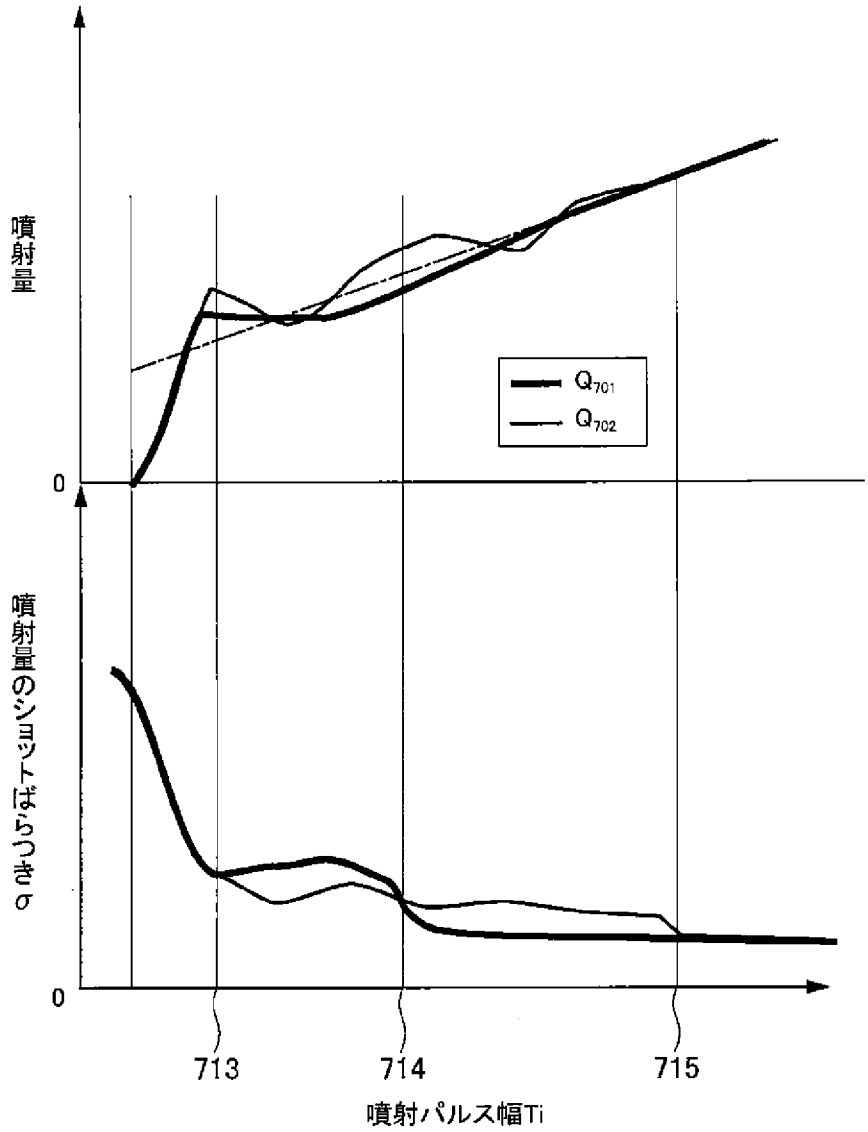
[図5]


150
103
104
514
532
VB
VH
530
533
531
534
VB
520
502
501
512
513
IC
503
574
504
505
507
510
590
535
CPU
573
572
571
511
V_{inj}
101
(205)
506
メモリ
501M
509
508
515

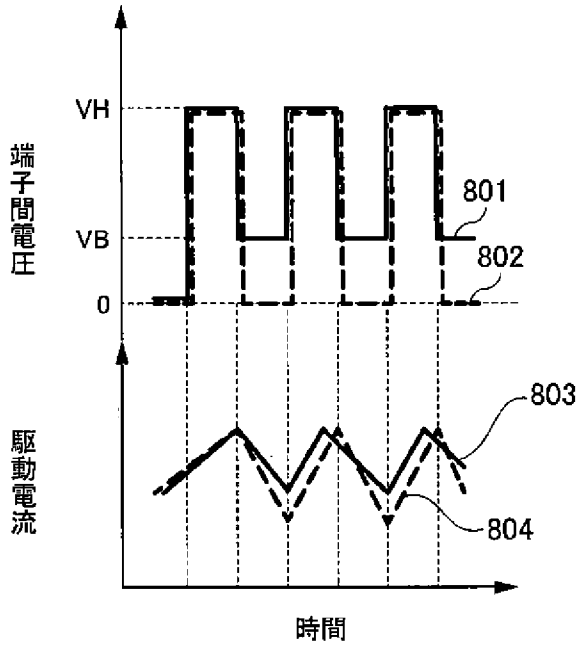
[図6]


噴射パルス
Ti
t_{62}
t_{63}
t_{69}
0
Ipeak
613
611
655
610
601
602
603
604
651
612
652
駆動電流(A)
0
ON
SW505
OFF
ON
SW506
OFF
ON
SW507
OFF
VH
端子間電圧
VB
0
-VH
660
最大高さ位置
弁体変位(601)
弁体変位(602)
可動子変位
t_{67}
可動子の弁体および変位量
0
隙間G2
t_{61}
t_{66}
t_{64}
t_{68}
時間

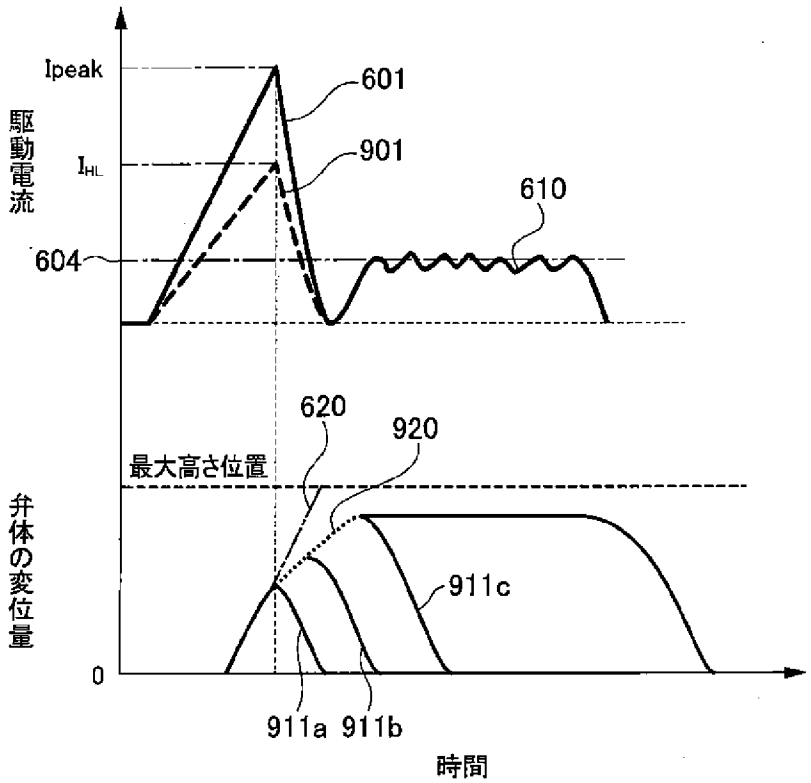
[図7]



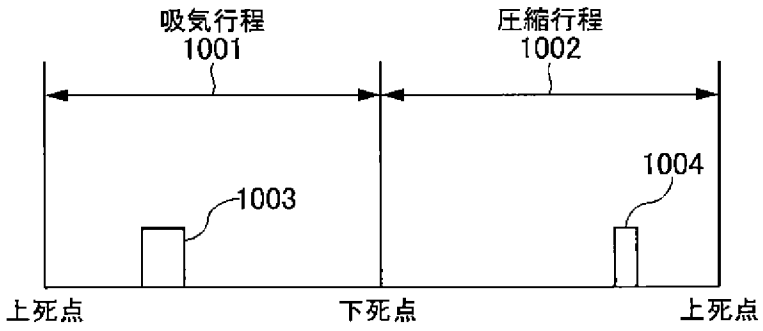
[図8]


端子間電圧
VH
VB
0
801
802
駆動電流
803
804
時間

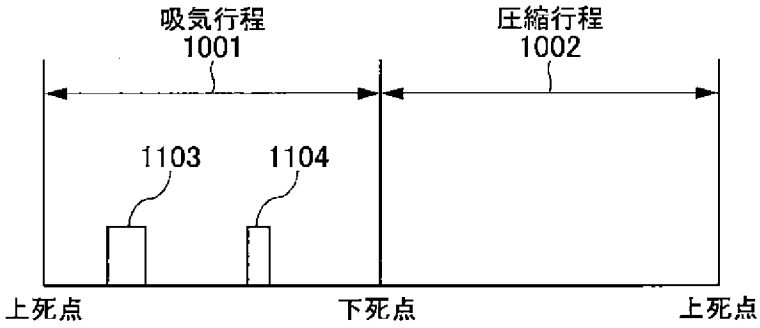
[図9]


Ipeak
駆動電流
I_{HL}
604
601
901
610
620
920
最大高さ位置
弁体の変位量
0
911c
911a 911b
時間

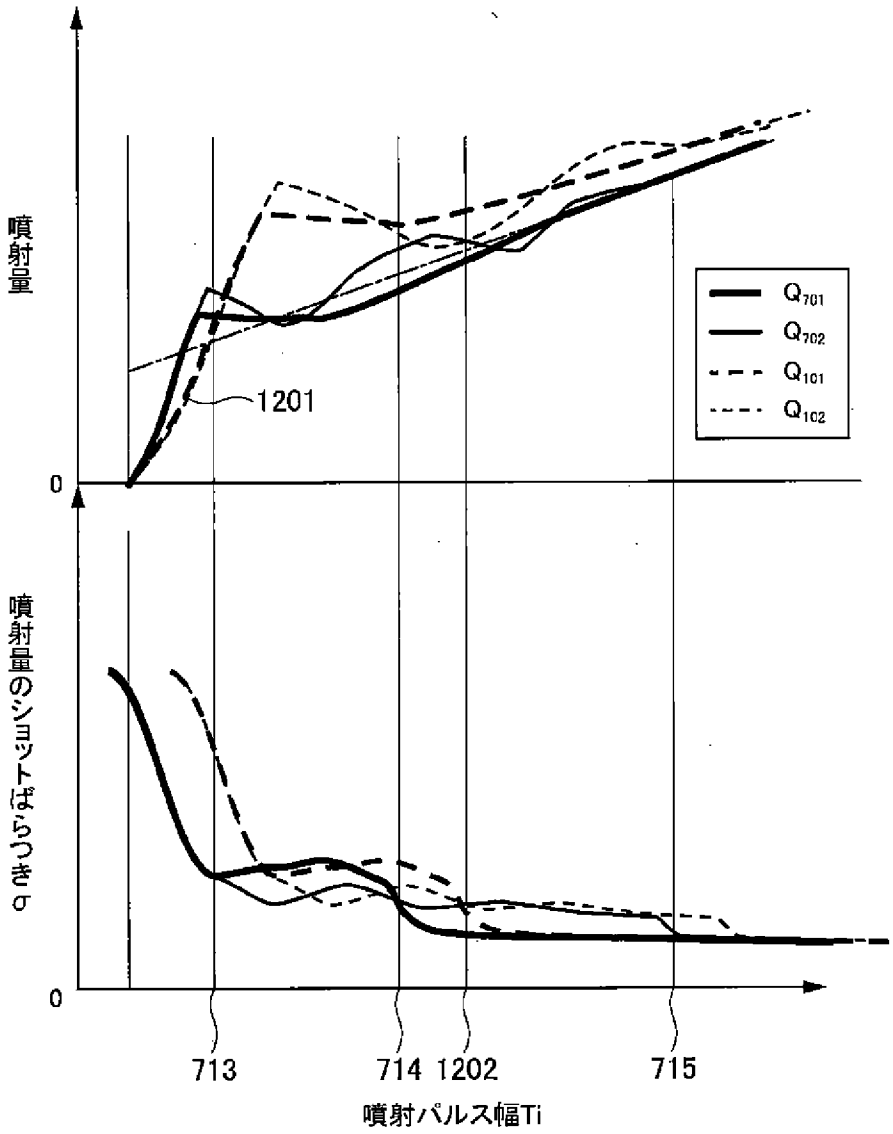
[図10]


吸気行程
1001
圧縮行程
1002
1003
1004
上死点
下死点
上死点

[図11]


吸気行程
1001
圧縮行程
1002
1103
1104
上死点
下死点
上死点

[図12]


噴射量
0
1201
Q_{701}
Q_{702}
Q_{101}
Q_{102}
噴射量のショットばらつきσ
0
713
714
1202
715
噴射パルス幅Ti

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/040165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F16K 31/06(2006.01)i; F02M 51/00(2006.01)i; F02M 61/10(2006.01)i; F02D 41/04(2006.01)i; F02D 41/20(2006.01)i; F02D 41/34(2006.01)i
FI: F02D41/20; F02D41/04; F02D41/34; F02M51/00 A; F02M61/10 D; F02M61/10 F; F16K31/06 310A
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02D41/00-45/00, F02M39/00-71/04

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2006-220075 A (MAZDA MOTOR CORPORATION) 24.08.2006 (2006-08-24) paragraphs [0028]-[0044], fig. 3A-3B, 5A-6B, paragraphs [0028]-[0044], fig. 3A-3B, 5A-6B	1, 4, 6, 13-16 2-3, 5, 7-12
A	JP 2017-57798 A (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) 23.03.2017 (2017-03-23) paragraphs [0015]-[0145], [0283]-[0289], fig. 1-7, 21	1-16
A	WO 2013/124890 A1 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) 29.08.2013 (2013-08-29) paragraphs [0022]-[0058], fig. 1-6	1-6, 13-16
A	JP 2016-196893 A (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) 24.11.2016 (2016-11-24) paragraphs [0016]-[0033], [0137]-[0141], fig. 1, 26	1, 12-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 January 2020 (17.01.2020)	28 January 2020 (28.01.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/040165

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2006-220075 A	24 Aug. 2006	(Family: none)	
JP 2017-57798 A	23 Mar. 2017	(Family: none)	
WO 2013/124890 A1	29 Aug. 2013	(Family: none)	
JP 2016-196893 A	24 Nov. 2016	WO 2013/191267 A1 paragraphs [0016]-[0033], [0137]-[0141], fig. 1, 26	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2019/040165

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

F16K 31/06(2006.01)i; F02M 51/00(2006.01)i; F02M 61/10(2006.01)i; F02D 41/04(2006.01)i; F02D 41/20(2006.01)i; F02D 41/34(2006.01)i
FI: F02D41/20; F02D41/04; F02D41/34; F02M51/00 A; F02M61/10 D; F02M61/10 F; F16K31/06 310A

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

F02D41/00-45/00, F02M39/00-71/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2006-220075 A (マツダ株式会社) 24.08.2006 (2006-08-24) 段落[0028]-[0044], 図3A-3B,5A-6B	1,4,6,13-16
A	段落[0028]-[0044], 図3A-3B,5A-6B	2-3,5,7-12
A	JP 2017-57798 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 23.03.2017 (2017-03-23) 段落[0015]-[0145],[0283]-[0289], 図1-7,21	1-16
A	WO 2013/124890 A1 (日立オートモティブシステムズ株式会社) 29.08.2013 (2013-08-29) 段落[0022]-[0058], 図1-6	1-6,13-16
A	JP 2016-196893 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 24.11.2016 (2016-11-24) 段落[0016]-[0033],[0137]-[0141], 図1,26	1,12-16

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
17.01.2020	28.01.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
平井　功 3Z 1177

電話番号 03-3581-1101 内線 3395

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2019/040165

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2006-220075 A	24.08.2006	（ファミリーなし）	
JP 2017-57798 A	23.03.2017	（ファミリーなし）	
WO 2013/124890 A1	29.08.2013	（ファミリーなし）	
JP 2016-196893 A	24.11.2016	WO 2013/191267 A1 段落[0016]-[0033],[0137]-[0141], 図1,26	