

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7002272号
(P7002272)

(45)発行日 令和4年2月4日(2022.2.4)

(24)登録日 令和4年1月4日(2022.1.4)

(51)国際特許分類

F 02B 19/16 (2006.01)
F 02B 43/00 (2006.01)

F I

F 02B 19/16
F 02B 43/00

B
F
Z

請求項の数 9 (全22頁)

(21)出願番号 特願2017-190263(P2017-190263)
(22)出願日 平成29年9月29日(2017.9.29)
(65)公開番号 特開2019-65742(P2019-65742A)
(43)公開日 平成31年4月25日(2019.4.25)
審査請求日 令和2年6月4日(2020.6.4)

(73)特許権者 316015888
三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株
式会社
神奈川県相模原市中央区田名3000番
地
(74)代理人 110000785
誠真IP特許業務法人
柏木 聖紘
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱
重工業株式会社内
渡辺 大剛
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱
重工業株式会社内
古川 雄太
神奈川県相模原市中央区田名3000番
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 副室式ガスエンジン

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の長さ寸法をLとした場合に、肉厚TがT < Lを満たす領域である薄肉領域を有し、

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の各々の間を含む領域に形成された凹部を含んで構成されると共に、

前記凹部は、前記先端部の前記主燃焼室に面する外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部を含み、前記外側凹部は、前記先端部の外周側先端面から前記副室中心軸線の延在する方向に延在するスリット状に形成される、

副室式ガスエンジン。

【請求項2】主燃焼室を形成する主室形成部と、前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える

副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の長さ寸法を L とした場合に、肉厚 T が $T < L$ を満たす領域である薄肉領域を有し、

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の各々の間を含む領域に形成された凹部を含んで構成されると共に、

前記凹部は、前記先端部の前記副室に面する内周面に形成された少なくとも1つの内側凹部を含み、

前記内側凹部は、前記先端部の内周側底面から前記副室中心軸線の延在する方向に延在するスリット状に形成される、

副室式ガスエンジン。

【請求項3】

主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の前記副室側の開口の上端縁から前記副室中心軸線が延在する方向に沿って、前記主燃焼室側とは反対の方向に前記噴孔の噴孔径の所定倍の長さだけ離れた位置において前記副室中心軸線と直交する方向に延在する基準面よりも前記主燃焼室側に位置するとともに、

前記基準面における前記副室形成部の肉厚を T_0 とした場合に、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域を有し、

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の各々の間を含む領域に形成された凹部を含んで構成されると共に、

前記凹部は、前記先端部の前記主燃焼室に面する外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部を含み、

前記外側凹部は、前記先端部の外周側先端面から前記副室中心軸線の延在する方向に延在するスリット状に形成される、

副室式ガスエンジン。

【請求項4】

主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の前記副室側の開口の上端縁から前記副室中心軸線が延在する方向に沿って、前記主燃焼室側とは反対の方向に前記噴孔の噴孔径の所定倍の長さだけ離れた位置において前記副室中心軸線と直交する方向に延在する基準面よりも前記主燃焼室側に位置するとともに、

前記基準面における前記副室形成部の肉厚を T_0 とした場合に、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域を有し、

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の各々の間を含む領域に形成された凹部を含んで構成されると共に、

前記凹部は、前記先端部の前記副室に面する内周面に形成された少なくとも1つの内側凹部を含み、

10

20

30

40

50

前記内側凹部は、前記先端部の内周側底面から前記副室中心軸線の延在する方向に延在するスリット状に形成される。

副室式ガスエンジン。

【請求項 5】

主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の長さ寸法を L とした場合に、肉厚 T が $T < L$ を満たす領域である薄肉領域を有し、

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の間を含む領域に形成された凹部を含んで構成されると共に、

前記薄肉領域は、前記先端部における先端を含む領域である、
副室式ガスエンジン。

【請求項 6】

前記薄肉領域は、前記先端部における先端を含む領域である、

請求項 3 又は 4 に記載の副室式ガスエンジン。

【請求項 7】

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記噴孔の前記主燃焼室側の開口の周縁の少なくとも一部を含む領域である、

請求項 3、4 又は 6 に記載の副室式ガスエンジン。

【請求項 8】

前記薄肉領域は、前記先端部の前記主燃焼室に面する外周面に形成された少なくとも 1 つの外側凹部を含んで構成されている、

請求項 5 に記載の副室式ガスエンジン。

【請求項 9】

前記薄肉領域は、前記先端部の前記副室に面する内周面に形成された少なくとも 1 つの内側凹部を含んで構成されている、

請求項 5 又は 8 に記載の副室式ガスエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、副室で生成された燃焼火炎を複数の噴孔を介して、主燃焼室に噴出させることで、主燃焼室の混合気を燃焼させる副室式ガスエンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、ピストンとシリンダヘッドとの間に画定される主燃焼室（主室）と、該主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副燃焼室（副室）と、を備える副室式ガスエンジンが知られている（例えば、特許文献 1）。副室式ガスエンジンは、点火プラグなどの着火装置により副室の混合気を着火し、該着火により生じた燃焼火炎が副室の先端に設けられた複数の噴孔の各々から噴出することで、主燃焼室の希薄予混合気を燃焼させる。

【0003】

特許文献 1 には、副室の内壁の温度が 1000 度まで上昇（昇温）することで内壁が膨張すること、膨張した内壁が温度低下により収縮すること、及び、副室の内壁が膨張と収縮との繰り返しにより熱疲労し、内壁にき裂を生じる虞があることが開示されている。そして、特許文献 1 には、き裂は噴孔の副室側開口縁近傍に多く発生することも開示されている。

【0004】

10

20

30

40

50

上述した課題に対して、特許文献1では、副室側開口縁近傍のき裂発生の原因是、副室側開口縁がその周囲の部位に比べて著しく高温となることにあるとの知見に基づき、開口縁とその周囲の部位との温度差を小さくするために、噴孔の副室側開口縁を一定の曲率半径を有する曲面に形成することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第5357926号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

確かに特許文献1では、副室側開口縁に上述した曲面を形成しない場合に比べて、副室側開口縁におけるき裂の発生を抑制することができるが、曲面を形成することにより生じる効果は限定的なものであるため、き裂の発生をさらに抑制したい場合には、さらなる方策が必要となる。

【0007】

上述した事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態の目的は、噴孔の周囲に生じる熱応力を低減させることができ、且つ、噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる副室式ガスエンジンを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

(1) 本発明の少なくとも一実施形態に係る副室式ガスエンジンは、主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の長さ寸法をLとした場合に、肉厚TがT < Lを満たす領域である薄肉領域を有する。

【0009】

上記(1)の構成によれば、副室形成部の先端部は、噴孔の長さ寸法をLとした場合に、肉厚TがT < Lを満たす領域である薄肉領域を有している。先端部の内部には複数の噴孔が形成されているため、上記薄肉領域は、噴孔の周囲に形成されることとなる。このような薄肉領域が、燃焼火炎がもたらす熱の影響が大きい先端部の噴孔の周囲に形成されることで、複数の噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布(温度差)を緩やかにすることができる。複数の噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることで、複数の噴孔の周囲における熱変形(熱膨張や熱収縮)がし易くなるため、複数の噴孔の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。また、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることで、噴孔の周囲における不均一な熱変形を抑制できるため、複数の噴孔の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。よって、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【0010】

(2) 本発明の少なくとも一実施形態に係る副室式ガスエンジンは、主燃焼室を形成する主室形成部と、

前記主燃焼室と複数の噴孔を介して連通される副室を形成する副室形成部と、を備える副室式ガスエンジンであって、

前記副室形成部は、前記副室形成部の副室中心軸線が延在する方向に沿って延在する筒状部と、前記筒状部の前記主燃焼室側の一端部を塞ぐとともに内部に前記噴孔が形成される

10

20

30

40

50

先端部と、を含み、

前記先端部は、前記噴孔の前記副室側の開口の上端縁から前記副室中心軸線が延在する方向に沿って、前記主燃焼室側とは反対の方向に前記噴孔の噴孔径の所定倍の長さだけ離れた位置において前記副室中心軸線と直交する方向に延在する基準面よりも前記主燃焼室側に位置するとともに、

前記基準面における前記副室形成部の肉厚を T_0 とした場合に、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域を有する。

【 0 0 1 1 】

上記（2）の構成によれば、副室形成部の先端部は、噴孔の副室側の開口の上端縁から副室中心軸線が延在する方向に沿って、主燃焼室側とは反対の方向に噴孔の噴孔径の例ええば 3 倍等の所定倍の長さだけ離れた位置において副室中心軸線と直交する方向に延在する基準面よりも主燃焼室側に位置している。そして、先端部は、上記基準面における副室形成部の肉厚を T_0 とした場合に、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域を有している。すなわち、薄肉領域は、燃焼火炎がもたらす熱の影響が小さい基準面よりも肉厚が薄い。このような薄肉領域が、燃焼火炎がもたらす熱の影響が大きい先端部の噴孔の周囲に形成されることで、複数の噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布（温度差）を緩やかにすることができます。複数の噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることで、複数の噴孔の周囲における熱変形（熱膨張や熱収縮）がし易くなるため、複数の噴孔の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。また、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることで、噴孔の周囲における不均一な熱変形を抑制できるため、複数の噴孔の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。よって、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

10

【 0 0 1 2 】

(3) 幾つかの実施形態では、上記（1）の構成において、前記薄肉領域は、前記先端部における先端を含む領域である。

上記（3）の構成によれば、薄肉領域は、先端部の先端を含む領域であるので、先端部の先端に薄肉領域を有しない場合に比べて、先端部の先端における肉厚を薄くできる。このため、噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることができますので、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

20

30

【 0 0 1 3 】

(4) 幾つかの実施形態では、上記（2）の構成において、前記薄肉領域は、前記先端部における先端を含む領域である。

上記（4）の構成によれば、薄肉領域は、先端部の先端を含む領域であるので、先端部の先端に薄肉領域を有しない場合に比べて、先端部の先端における肉厚を薄くできる。このため、噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることができますので、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

40

【 0 0 1 4 】

(5) 幾つかの実施形態では、上記（2）又は（4）の構成において、前記薄肉領域は、前記先端部において、前記噴孔の前記主燃焼室側の開口の周縁の少なくとも一部を含む領域である。

上記（5）の構成によれば、薄肉領域は、先端部において、噴孔の主燃焼室側の開口の周縁の少なくとも一部を含む領域であるので、噴孔の周囲の肉厚を薄くすることができます。このため、噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることができますので、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【 0 0 1 5 】

(6) 幾つかの実施形態では、上記（1）～（5）の構成において、

50

前記薄肉領域は、前記先端部において、前記先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の間を含む領域である。

上記(6)の構成によれば、薄肉領域は、先端部において、先端部の周方向に隣接する一対の噴孔の間を含む領域であるので、周方向に隣接する一対の噴孔の間の肉厚を薄くできる。このため、前記一対の噴孔の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における前記一対の噴孔の周囲の温度分布を緩やかにすることができるので、熱疲労による噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【0016】

(7)幾つかの実施形態では、上記(6)の構成において、

前記薄肉領域は、前記先端部の前記主燃焼室に面する外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部を含んで構成されている。

10

上記(7)の構成によれば、薄肉領域は先端部の主燃焼室に面する外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部を含んで構成されている。すなわち、先端部の外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部により薄肉領域が画定されているので、複数の噴孔の主燃焼室側開口の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。

【0017】

(8)幾つかの実施形態では、上記(6)又は(7)の構成において、

前記薄肉領域は、前記先端部の前記副室に面する内周面に形成された少なくとも1つの内側凹部を含んで構成されている。

20

上記(8)の構成によれば、薄肉領域は先端部の副室に面する内周面に形成された少なくとも1つの内側凹部を含んで構成されている。すなわち、先端部の内周面に形成された少なくとも1つの内側凹部により薄肉領域が画定されているので、複数の噴孔の副室側開口の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。

【発明の効果】

【0018】

本発明の少なくとも一実施形態によれば、噴孔の周囲に生じる熱応力を低減させることができ、且つ、噴孔の周囲のき裂発生を抑制することができる副室式ガスエンジンが提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の一実施形態に係る副室式ガスエンジンを概略的に示す断面図である。

【図2】一実施形態における副室形成部の概略断面図である。

【図3】他の一実施形態における副室形成部の概略断面図であって、先端部の主燃焼室に面する外周面に形成された外側凹部を説明するための図である。

【図4】図3に示すA-A線矢視の概略断面図である。

【図5】他の一実施形態における副室形成部の概略断面図であって、先端部に設けられた薄肉領域を説明するための図である。

【図6】図5に示すB-B線矢視の概略断面図である。

【図7】他の一実施形態における副室形成部の概略断面図であって、先端部の副室に面する内周面に形成された内側凹部を説明するための図である。

40

【図8】図7に示すC-C線矢視の概略断面図である。

【図9】他の一実施形態における副室形成部の先端部近傍を拡大して示す概略断面図であって、噴孔の副室側開口の周縁に形成された面取り形状について説明するための図である。

【図10】副室形成部の噴孔の周囲の温度解析結果及び応力解析結果を説明するための図である。

【図11】第1薄肉領域を有する副室形成部の副室側開口における無次元化されたひずみ範囲を示す図表であって、薄肉領域を有しない副室形成部と比較するための図表である。

【図12】第1薄肉領域、第2薄肉領域及び副室側開口の周縁に形成された面取り形状を有する副室形成部の副室側開口における無次元化されたひずみ範囲を示す図表であって、

50

薄肉領域を有しない副室形成部と比較するための図表である。

【図13】他の一実施形態における副室形成部の概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。10

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【0021】

図1は、本発明の一実施形態に係る副室式ガスエンジンを概略的に示す断面図である。図1に示されるように、幾つかの実施形態に係る副室式ガスエンジン1は、エンジンの主燃焼室20(主室)を形成する主室形成部2と、主燃焼室20と複数の噴孔4を介して連通される副室30を形成する副室形成部3と、を備えている。20

【0022】

副室式ガスエンジン1は、図1に示されるように、円筒状の筒構造を内部に有するシリンダブロック11及び該筒構造の上部に蓋をすることが可能な窪み構造を内部に有するシリンドラヘッド12とで構成されるシリンドラ13と、シリンドラ13内に収納され往復運動するピストン14と、例えばニッケル系合金で形成されている副室口金19と、を備えている。上述した主燃焼室20は、シリンドラ13とピストン14との間に画定されている。上述した副室30は、主燃焼室20の上部(ピストン14とは反対側)に位置するようにシリンドラヘッド12に設置された副室口金19により画定されている。すなわち、シリンドラ13とピストン14とで主室形成部2が構成され、副室口金19により副室形成部3が形成されている。30

【0023】

副室形成部3は、図1に示されるように、その内部に形成された副室30と外部とを連通する複数の噴孔4を有しており、これらの複数の噴孔4を介して主燃焼室20と副室30とが連通される。

【0024】

また、副室形成部3は、図1に示されるように、所定の内径を有する筒状の小径筒室310であって、複数の噴孔4が接続される小径筒室310を形成する小径筒形成部31と、小径筒室310よりも大きい内径を有する筒状の大径筒室320を形成する大径筒形成部32と、で構成されている。つまり、副室30は、小径筒室310と大径筒室320とを含んでいる。なお、副室30は、一定の内径を有した筒状の形状をしているなど、他の形状を有していても良い。40

【0025】

図1に示されるように、副室中心軸線CSは、小径筒室310の中心軸線となっている。なお、図1に示される実施形態では、主室中心軸線CMと副室中心軸線CSとが一致しているが、主室中心軸線CMに対して副室中心軸線CSが傾斜していても良い。また、小径筒室310の中心軸線と大径筒室320の中心軸線とが一致していなくても良い。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

図1に示される実施形態では、副室式ガスエンジン1は、副室30の大径筒室320に設けられる着火装置6と、主燃焼室20を介さずに副室30に副室用燃料ガスを直接供給する副室ガス供給装置7と、をさらに備えている。着火装置6は、混合気を着火（点火）することが可能な着火部61を有する。図1に示されるように、着火装置6は点火プラグであり、点火プラグの電極（着火部61）が副室中心軸線CS上に位置するように、着火装置6はエンジンに設置されている。なお、着火装置6は、着火部61が副室中心軸線CSから所定距離だけ離れて位置に設置されても良い。副室ガス供給装置7は、図1に示されるように、大径筒室320に副室燃料ガスを供給するように構成されており、副室燃料ガス供給弁71により副室30への副室用燃料ガスの供給が制御される。

10

【 0 0 2 7 】

図1に示される実施形態では、副室式ガスエンジン1は、シリンダヘッド12の周囲に接続された吸気ポート15及び排気ポート16と、吸気ポート15を開閉する吸気弁17と、排気ポート16を開閉する排気弁18と、をさらに備えている。

【 0 0 2 8 】

上述したような構成を有する副室式ガスエンジン1は、例えば、吸気行程において、ピストン14が下降する際には、吸気弁17が開き、排気弁18が閉じる。吸気弁17が開くと、吸気弁17に繋がる吸気ポート15から燃料ガスと空気を混合させた希薄予混合気がシリンダ13内に導入される。また、副室燃料ガス供給弁71が開くことにより、副室燃料ガスが副室30に導入される。他方、圧縮行程において、ピストン14が上昇する際には副室燃料ガス供給弁71が閉じる。そして、吸気ポート15を介してシリンダ13内に導入された希薄予混合気はピストン14の上昇に伴って圧縮されるに伴って、その一部が、副室30の複数の噴孔4の各々を通って副室30に導入される。燃焼行程において、主燃焼室20から副室30に導入された希薄予混合気は、副室燃料ガスと混合して、副室30に着火に適した濃度の混合気が生成される。そして、ピストン14が圧縮上死点近傍に位置する際の所定のタイミングで着火装置6により副室30の混合気を着火すると、副室30の混合気が燃焼し、この燃焼によって生じた燃焼火炎が複数の噴孔4の各々からシリンダ13へ噴出し、シリンダ13内の希薄予混合気を着火することで、主燃焼室20の希薄予混合気の燃焼に至る。

20

【 0 0 2 9 】

副室式ガスエンジン1では、例えば、上述した燃焼行程において、燃焼火炎が複数の噴孔4の各々からシリンダ13へ噴出する際に副室形成部3の内壁や噴孔4の温度が急激に上昇するというような、副室形成部3の内壁や噴孔4に急激な温度変化が生じるので、副室形成部3の内壁や噴孔4にき裂が生じる虞がある。本発明者らは、後述するように、副室形成部3に薄肉領域5や薄肉領域8を設けて、噴孔4の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔の周囲の温度分布（温度差）を緩やかにすることで、噴孔4の周囲に生じる熱応力を低減させることができ、且つ、噴孔4の周囲のき裂発生を抑制することができることを見出した。

30

【 0 0 3 0 】

以下、副室式ガスエンジン1の副室形成部3が備える構成について、それぞれ説明する。図2、3、5及び7は、各々一実施形態における副室形成部の概略断面図である。図3は、先端部の主燃焼室に面する外周面に形成された外側凹部を説明するための図である。図4は、図3に示すA-A線矢視の概略断面図である。図5は、先端部に設けられた薄肉領域の一例を説明するための図である。図6は、図5に示すB-B線矢視の概略断面図である。図7は、先端部の副室に面する内周面に形成された内側凹部を説明するための図である。図8は、図7に示すC-C線矢視の概略断面図である。なお、図3に示すA-A線、図5に示すB-B線、及び図7に示すC-C線は、噴孔4の副室側開口41の上端縁411を通過し、副室中心軸線CSと直交する方向に延在している。

40

【 0 0 3 1 】

幾つかの実施形態に係る副室式ガスエンジン1における副室形成部3は、図2、3、5及

50

び 7 に示されるように、副室形成部 3 の副室中心軸線 C S が延在する方向（図中上下方向）に沿って延在する筒状部 3 4 と、筒状部 3 4 の主燃焼室 2 0 側の一端部（下端部）を塞ぐ先端部 3 3 を含んでいる。筒状部 3 4 は、図 2、3、5 及び 7 に示されるように、筒状の小径筒状部 3 4 1 と、小径筒状部 3 4 1 よりも大きい外径を有する筒状の大径筒状部 3 4 2 と、を含んで構成されており、小径筒状部 3 4 1 の外周面 3 4 4 と大径筒状部 3 4 2 の外周面 3 4 5 との間に段差面 3 4 3 が形成されている。副室形成部 3 は、筒状部 3 4 の段差面 3 4 3 を、シリンダヘッド 1 2 の不図示の部分に当接、又は、不図示のシール部材等を間に介して接触させることで、シリンダヘッド 1 2 に支持されている。また、副室形成部 3 における大径筒室 3 2 0 は、一定の内径を有した筒状に形成されており、大径筒室 3 2 0 の壁面 3 2 1 と小径筒室 3 1 0 の壁面 3 1 2 との間に段差面 3 2 2 が形成されている。

【 0 0 3 2 】

先端部 3 3 は、図 2、3、5 及び 7 に示されるように、内部に副室中心軸線 C S に対して中心線 C P が傾斜して設けられている複数の噴孔 4 が形成されている。図 2、3、5 及び 7 に示されるように、噴孔 4 の噴孔径を D とし、噴孔長さを L とする。ここで、噴孔径 D や噴孔長さ L は、副室式ガスエンジン 1 の燃焼性能や副室形成部 3 の内圧により決定される。複数の噴孔 4 は、図 4、6 及び 8 に示されるように、周方向に互いに間隔をおいて設けられている。

【 0 0 3 3 】

また、先端部 3 3 は、図 2、3、5 及び 7 に示されるように、小径筒状部 3 4 1 の、大径筒状部 3 4 2 と一体的に形成される上端部とは反対側に位置する下端部に一体的に形成されている。先端部 3 3 は、図 2、3、5 及び 7 に示されるように、小径筒状部 3 4 1 の下端部から突出するように形成され、凸曲面状の先端面 3 3 2 を有している。なお、先端部 3 3 は、小径筒状部 3 4 1 の下端部より内側に凹むように形成され、凹曲面状の先端面を有していてもよい。また、先端部 3 3 は、副室中心軸線 C S の延在方向に直交する方向に沿って延在するように形成され、平坦状の先端面を有していてもよい。

【 0 0 3 4 】

図 2、4 ~ 6 及び 8 に示されるように、噴孔 4 の長さ寸法を L とした場合に、先端部 3 3 は、肉厚 T が $T < L$ を満たす領域である薄肉領域 5 を有している。

【 0 0 3 5 】

上記の構成によれば、副室形成部 3 の先端部 3 3 は、噴孔 4 の長さ寸法を L とした場合に、肉厚 T が $T < L$ を満たす領域である薄肉領域 5 を有している。先端部 3 3 の内部には複数の噴孔 4 が形成されているため、上記薄肉領域 5 は、噴孔 4 の周囲に形成されることとなる。このような薄肉領域 5 が、燃焼火炎がもたらす熱の影響が大きい先端部 3 3 の噴孔 4 の周囲に形成されることで、複数の噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔 4 の周囲の温度分布（温度差）を緩やかにすることができる。複数の噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることで、複数の噴孔 4 の周囲における熱変形（熱膨張や熱収縮）がし易くなるため、複数の噴孔 4 の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。また、昇温時における複数の噴孔 4 の周囲の温度分布を緩やかにすることで、噴孔 4 の周囲における不均一な熱変形を抑制するため、複数の噴孔 4 の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。よって、熱疲労による噴孔 4 の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【 0 0 3 6 】

幾つかの実施形態では、図 2、5 に示されるように、上述した薄肉領域 5 は、先端部 3 3 の先端 3 3 1 を含む領域である。先端部 3 3 の先端 3 3 1 は、図 2、5 に示されるように、副室中心軸線 C S の延在方向において、筒状部 3 4 と一体的に接続される端部とは反対側の端部である。

【 0 0 3 7 】

図 2、5 に示される実施形態では、副室形成部 3 は、第 1 薄肉領域 5 1 を含む薄肉領域 5

10

20

30

40

50

を有する副室形成部 3 A、3 C を含んでいる。副室形成部 3 A、3 C の先端部 3 3 は、図 2、5 に示されるように、副室中心軸線 CS の延在方向における噴孔 4 の主燃焼室側開口 4 2 の下端縁 4 2 2 よりも先端 3 3 1 側では、先端 3 3 1 側に向かうにつれて徐々に肉厚が薄くなっている。副室形成部 3 A、3 C の先端部 3 3 の先端 3 3 1 側には、肉厚が噴孔長さ L と等しい部位の外周を構成する外周面 3 3 3 よりも曲率の小さい先端面 3 3 2 が形成されている。このため、先端部 3 3 の先端面 3 3 2 が外周を構成する部位の肉厚 T は、噴孔 4 の噴孔長さ L より小さく形成されている。第 1 薄肉領域 5 1 は、図 2、5 に示されるように、副室中心軸線 CS の延在方向における、先端 3 3 1 から噴孔 4 の副室側開口 4 1 の下端縁 4 1 2 よりも下側までにわたって形成されている。第 1 薄肉領域 5 1 は、噴孔 4 の周縁、すなわち、噴孔 4 の副室側開口 4 1 や主燃焼室側開口 4 2 を含んでいない。

10

【 0 0 3 8 】

上記の構成によれば、薄肉領域 5 (第 1 薄肉領域 5 1) は、先端部 3 3 の先端 3 3 1 を含む領域であるので、先端部 3 3 の先端 3 3 1 に薄肉領域 5 を有しない場合に比べて、先端部 3 3 の先端 3 3 1 の肉厚を薄くできる。このため、噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔 4 の周囲の温度分布を緩やかにすることができるので、熱疲労による噴孔 4 の周囲のき裂発生を抑制することができる。なお、先端部 3 3 の先端 3 3 1 に薄肉領域 5 を有しない副室形成部 3 に対して、例えば切削等により先端部 3 3 の先端 3 3 1 を含む薄肉領域 5 を形成することは容易である。

【 0 0 3 9 】

幾つかの実施形態では、図 4、6 及び 8 に示されるように、薄肉領域 5 (第 2 薄肉領域 5 2、第 3 薄肉領域 5 3) は、先端部 3 3 において、先端部 3 3 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間を含む領域である。図 2 ~ 8 に示される実施形態では、副室形成部 3 の、噴孔 4 の副室側開口 4 1 の上端縁 4 1 1 を通過するとともに副室中心軸線 CS と直交する方向に延在する面における周方向の一部の肉厚 T 1 が、上述した噴孔 4 の噴孔長さ L と同じ長さを有している。図 3、4 に示される実施形態では、副室形成部 3 は、第 2 薄肉領域 5 2 を含む薄肉領域 5 を有する副室形成部 3 B を含んでいる。図 5、6 に示される実施形態では、副室形成部 3 C は、上述した第 1 薄肉領域 5 1 に加えて、第 2 薄肉領域 5 2 を含む薄肉領域 5 を有している。第 2 薄肉領域 5 2 は、図 4、6 に示されるように、先端部 3 3 において、先端部 3 3 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間にそれぞれ形成されている。図 7、8 に示される実施形態では、副室形成部 3 は、第 3 薄肉領域 5 3 を含む薄肉領域 5 を有する副室形成部 3 D を含んでいる。第 3 薄肉領域 5 3 は、図 7、8 に示されるように、先端部 3 3 において、先端部 3 3 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間にそれぞれ形成されている。

20

【 0 0 4 0 】

上記の構成によれば、薄肉領域 5 (第 2 薄肉領域 5 2、第 3 薄肉領域 5 3) は、先端部 3 3 において、先端部 3 3 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間を含む領域であるので、周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間の肉厚を薄くできる。このため、前記一対の噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における前記一対の噴孔 4 の周囲の温度分布を緩やかにすることができるので、熱疲労による噴孔 4 の周囲のき裂発生を抑制することができる。

30

【 0 0 4 1 】

幾つかの実施形態では、上述した第 2 薄肉領域 5 2 は、図 4、6 に示されるように、先端部 3 3 の主燃焼室 2 0 に面する外周面 (先端面 3 3 2、外周面 3 3 3) に形成された少なくとも 1 つの外側凹部 3 6、3 7 (凹部 3 5) を含んで構成されている。外側凹部 3 6、3 7 は、図 3、5 に示されるように、副室中心軸線 CS の延在方向において、少なくとも主燃焼室側開口 4 2 の下端縁 4 2 2 から副室側開口 4 1 の上端縁 4 1 1 までにわたって形成されている。図 4、6 に示される実施形態では、先端部 3 3 に複数の外側凹部 3 6、3 7 が形成されており、複数の外側凹部 3 6、3 7 は、先端部 3 3 の周方向に互いに間隔を置いて、且つ、先端部 3 3 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間に設けられている。

40

【 0 0 4 2 】

50

図3、4に示される実施形態では、副室形成部3Bは、副室中心軸線CSの延在方向における筒状部34の段差面343より先端部33側や先端部33の、外側凹部36が形成されていない部分の肉厚が一定に形成されている。複数の外側凹部36は、図3に示されるように、副室中心軸線CSの延在方向における、先端部33の先端面332から筒状部34の段差面343までにわたるスリット状に形成されている。複数の外側凹部36は、先端部33の先端面332及び小径筒状部341の外周面344のそれぞれから、内側(副室30に面する側)に円弧状の底面を有するように凹んで形成されている。このため、図4に示されるように、先端部33の周方向における外側凹部36が形成されている部分の肉厚Tは、周方向における外側凹部36が形成されていない部分の肉厚T1より小さく形成されている。ここで、肉厚T1は、上述したように噴孔4の噴孔長さLと同じ長さを有している。

10

【0043】

図5、6に示される実施形態では、副室形成部3Cは、副室中心軸線CSの延在方向における、筒状部34の段差面343より先端部33側、且つ、噴孔4の主燃焼室側開口42の下端縁422を含む先端部33の筒状部34側、の外側凹部37が形成されていない部分の肉厚が一定に形成されている。複数の外側凹部37は、図5に示されるように、副室中心軸線CSの延在方向における、先端部33の先端面332から小径筒状部341の下端部までにわたるスリット状に形成されている。複数の外側凹部37は、先端部33の外周面333及び小径筒状部341の外周面344のそれぞれから、一定の深さになるように内側(副室30に面する側)に円弧状の底面を有するように凹んで形成されている。このため、図6に示されるように、先端部33の周方向における外側凹部37が形成されている部分の肉厚Tは、周方向における外側凹部37が形成されていない部分の肉厚T1より小さく形成されている。ここで、肉厚T1は、上述したように噴孔4の噴孔長さLと同じ長さを有している。

20

【0044】

上記の構成によれば、薄肉領域5(第2薄肉領域52)は、先端部33の主燃焼室20に面する外周面(先端面332、外周面333)に形成された少なくとも1つの外側凹部36、37を含んで構成されている。すなわち、先端部33の外周面に形成された少なくとも1つの外側凹部36、37により薄肉領域5が画定されているので、複数の噴孔4の主燃焼室側開口42の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。なお、例えば切削等により先端部33の外周面に外側凹部36、37を形成することは容易である。

30

【0045】

幾つかの実施形態では、上述した第3薄肉領域53は、図7、8に示されるように、先端部33の副室30に面する内周面(底面311、壁面312)に形成された少なくとも1つの内側凹部38(凹部35)を含んで構成されている。内側凹部38は、図7に示されるように、副室中心軸線CSの延在方向における、少なくとも主燃焼室側開口42の下端縁422から副室側開口41の上端縁411までにわたって形成されている。図8に示される実施形態では、先端部33に複数の内側凹部38が形成されており、複数の内側凹部38は、先端部33の周方向に互いに間隔を置いて、且つ、先端部33の周方向に隣接する一対の噴孔4の間に設けられている。

40

【0046】

図7、8に示される実施形態では、副室形成部3Dは、副室中心軸線CSの延在方向における筒状部34の段差面343より先端部33側や先端部33の、内側凹部38が形成されていない部分の肉厚が一定に形成されている。複数の内側凹部38は、図7に示されるように、副室中心軸線CSの延在方向における、小径筒室310の底面311から大径筒室320の段差面322までにわたるスリット状に形成されている。複数の内側凹部38は、小径筒室310の底面311及び壁面312から、一定の深さになるように外側(主燃焼室20に面する側)に円弧状の底面を有するように凹んで形成されている。複数の内側凹部38は、図8に示されるように、小径筒室310の底面311において互いに接続

50

している。このため、図 8 に示されるように、先端部 3 3 の周方向における内側凹部 3 8 が形成されている部分の肉厚 T は、周方向における内側凹部 3 8 が形成されていない部分の肉厚 T 1 より小さく形成されている。ここで、肉厚 T 1 は、上述したように噴孔 4 の噴孔長さ L と同じ長さを有している。

【 0 0 4 7 】

上記の構成によれば、薄肉領域 5 (第 3 薄肉領域 5 3) は先端部 3 3 の副室 3 0 に面する内周面 (底面 3 1 1 、壁面 3 1 2) に形成された少なくとも 1 つの内側凹部 3 8 を含んで構成されている。すなわち、先端部 3 3 の内周面に形成された少なくとも 1 つの内側凹部 3 8 により薄肉領域 5 が画定されているので、複数の噴孔 4 の副室側開口 4 1 の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。なお、内側凹部 3 8 が、副室中心軸線 C S の延在方向における筒状部 3 4 の段差面 3 4 3 までにわたって形成されている場合には、例えば切削等により先端部 3 3 の内側に内側凹部 3 8 を形成することは容易である。

10

【 0 0 4 8 】

上述した幾つかの実施形態では、図 3 、 7 に示されるように、上述した凹部 3 5 (外側凹部 3 6 、 3 7 、内側凹部 3 8) は、副室中心軸線 C S の延在方向に沿って、先端部 3 3 から上述した基準面 R P を越えて筒状部 3 4 の少なくとも一部にわたって延在する。

【 0 0 4 9 】

上記の構成によれば、凹部 3 5 は副室中心軸線 C S の延在方向に沿って、先端部 3 3 から筒状部 3 4 の少なくとも一部にわたって延在するので、筒状部 3 4 の先端部 3 3 側の少なくとも一部において、肉厚が薄く形成されている。このため、筒状部 3 4 の先端部 3 3 側の少なくとも一部において、熱変形がし易くなるため、先端部 3 3 における熱が筒状部 3 4 側に伝わり易くなる。このため、複数の噴孔の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。

20

【 0 0 5 0 】

図 9 は、他の一実施形態における副室形成部の先端部近傍を拡大して示す概略断面図であつて、噴孔の副室側開口の周縁に形成された面取り形状について説明するための図である。図 9 に示される実施形態では、副室形成部 3 は、上述した副室側開口 4 1 に面取り部 4 1 4 を有する副室形成部 3 E を含んでいる。副室形成部 3 E は、図 9 に示されるように、副室側開口 4 1 の周縁の全周にわたって C 面取り形状の面取り部 4 1 4 を有すること以外は、副室形成部 3 C と同じ構成になっている。なお、副室形成部 3 A 、 3 B 、 3 D 及び後述する 3 G の副室側開口 4 1 に面取り部 4 1 4 を形成してもよい。また、主燃焼室側開口 4 2 の全周にわたって面取り部を形成してもよい。上記の構成によれば、副室形成部 3 E は副室側開口 4 1 に面取り部 4 1 4 を有しているため、面取り部 4 1 4 を有していない場合に比べて、副室側開口 4 1 を構成する部分の温度を低減できるので、複数の噴孔 4 の副室側開口 4 1 の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。

30

【 0 0 5 1 】

(温度解析結果及び応力解析結果)

上述した幾つかの実施形態に係る副室式ガスエンジン 1 における副室形成部 3 について、温度解析及び温度解析結果に基づき応力解析を行った。以下に具体的に説明する。シリンダヘッド 1 2 に設置された副室形成部 3 (副室口金 1 9) の先端部 3 3 の先端面 3 3 2 及び外周面 3 3 3 、筒状部 3 4 の段差面 3 4 3 及び外周面 3 4 4 、並びに小径筒室 3 1 0 の底面 3 1 1 及び壁面 3 1 2 等の各表面に応じた、エンジン運転時の雰囲気温度及び熱伝達率の変化等の熱条件を与えて温度解析を実施して、副室形成部 3 の温度変化を推定した。

40

【 0 0 5 2 】

図 1 0 は、副室形成部の噴孔の周囲の温度解析結果及び応力解析結果を説明するための図である。上述した温度解析の結果、図 1 0 に示される噴孔 4 の副室側開口 4 1 は、副室形成部 3 の他の部分に比べて温度変化が急激であり、且つ、副室形成部 3 の他の部分に比べて高温になる。上述した温度解析結果に基づき、応力解析を行いひずみ変化を推定し、計

50

測点 P 1 ~ P 3 の各点におけるひずみ範囲を算出した。ここで、計測点 P 1 は、副室側開口 4 1 の上端縁 4 1 1 上に位置し、計測点 P 3 は、副室側開口 4 1 の下端縁 4 1 2 上に位置している。計測点 P 2 は、副室中心軸線 C S の延在方向において、副室側開口 4 1 の上端縁 4 1 1 と下端縁 4 1 2との間に位置する中間縁 4 1 3 上に位置している。なお、上述するような副室側開口 4 1 に面取り部 4 1 4 を有する場合には、図 9 に示すように、面取り部 4 1 4 の主燃焼室 2 0 側の周縁に上端縁 4 1 1 、下端縁 4 1 2 及び中間縁 4 1 3 が設けられている。

【 0 0 5 3 】

図 1 1 は、第 1 薄肉領域を有する副室形成部の副室側開口における無次元化されたひずみ範囲を示す図表であって、薄肉領域を有しない副室形成部と比較するための図表である。10

図 1 2 は、第 1 薄肉領域、第 2 薄肉領域及び副室側開口の周縁に形成された面取り形状を有する副室形成部の副室側開口における無次元化されたひずみ範囲を示す図表であって、薄肉領域を有しない副室形成部と比較するための図表である。図 1 1 及び 1 2 における 3 F は、図 2 に 2 点鎖線で示すような先端が形成され、且つ、薄肉領域 5 を有しない副室形成部である。

【 0 0 5 4 】

図 1 1 には、副室形成部 3 F と副室形成部 3 A との各計測点 P 1 ~ P 3 におけるひずみ範囲が副室形成部 3 F を 1 とする比で無次元化されて表されるとともに、副室形成部 3 A の副室形成部 3 F に対する低減率が表されている。図 1 1 に示されるように、副室形成部 3 A は第 1 薄肉領域 5 1 を有することで、副室形成部 3 F に比べて、計測点 P 2 におけるひずみ範囲が低減している。このため、副室形成部 3 A は、副室形成部 3 F に比べて、周方向において互いに隣接する一対の噴孔 4 の間に生じるき裂の発生を抑制することができる。20

【 0 0 5 5 】

図 1 2 には、副室形成部 3 F と副室形成部 3 E との各計測点 P 1 ~ P 3 におけるひずみ範囲が副室形成部 3 F を 1 とする比で無次元化されて表されるとともに、副室形成部 3 E の副室形成部 3 F に対する低減率が表されている。図 1 2 に示されるように、副室形成部 3 E は、第 1 薄肉領域 5 1 、第 2 薄肉領域 5 2 及び副室側開口 4 1 の面取り部 4 1 4 を有することで、副室形成部 3 F に比べて、計測点 P 1 ~ P 3 の全ての点におけるひずみ範囲が低減している。また、副室形成部 3 E は、図 1 1 に示される副室形成部 3 A に比べて副室形成部 3 F に対する低減率が大きい。このため、副室形成部 3 E は、副室形成部 3 A 及び 3 F に比べて、複数の噴孔 4 の周囲に生じる熱応力を低減でき、且つ、き裂の発生を抑制することができる。30

【 0 0 5 6 】

上述した幾つかの実施形態では、先端部 3 3 は、肉厚 T が $T < L$ を満たす領域である薄肉領域 5 を有していたが、後述する幾つかの実施形態では、先端部 3 3 は、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域 8 を有している。以下、詳述する。

【 0 0 5 7 】

幾つかの実施形態に係る副室式ガスエンジン 1 における副室形成部 3 は、図 2 、 3 、 5 、 7 及び 1 3 に示されるように、副室形成部 3 の副室中心軸線 C S が延在する方向（図中上下方向）に沿って延在する上述した筒状部 3 4 と、筒状部 3 4 の主燃焼室 2 0 側の一端部（下端部）を塞ぐ上述した先端部 3 3 とを含んでいる。ここで、図 1 3 は、他の一実施形態における副室形成部の概略断面図である。40

【 0 0 5 8 】

図 2 、 3 、 5 、 7 及び 1 3 に示されるように、噴孔 4 の副室側開口 4 1 の上端縁 4 1 1 から副室中心軸線 C S が延在する方向に沿って、主燃焼室 2 0 側（図中下側）とは反対の方向に基準長さ R L だけ離れた位置 3 4 6 を通過し、且つ、副室中心軸線 C S と直交する方向に延在する面を基準面 R P とする。ここで、基準長さ R L は、噴孔 4 の噴孔径 D の 3 倍（所定倍）の長さである。先端部 3 3 は、図 2 、 3 、 5 、 7 及び 1 3 に示されるように、基準面 R P よりも主燃焼室 2 0 側に位置している。つまり、基準面 R P は、噴孔 4 から離れており上述した燃焼火炎がもたらす熱の影響が小さい。これに対して、基準面 R P より

も主燃焼室 20 側に位置する先端部 33 は、上述した燃焼火炎がもたらす熱の影響が大きい。このため、先端部 33 は、筒状部 34 に比べて、薄肉領域 8 を設けることによる効果が大きい。

【 0 0 5 9 】

図 2、4～6、8、9 及び 13 に示されるように、基準面 RP における副室形成部 3 の肉厚を T0 とした場合に、先端部 33 は、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域 8 を有している。図 2～9 に示される実施形態では、副室形成部 3 の、噴孔 4 の副室側開口 41 の上端縁 411 を通過するとともに副室中心軸線 CS と直交する方向に延在する面と、基準面 RP と、の間は、副室中心軸線 CS と直交する方向に沿った断面形状が同一の筒状に形成されている。このため、先端部 33 は、噴孔 4 の副室側開口 41 の上端縁 411 を通過し、副室中心軸線 CS と直交する方向に延在する断面における周方向の一部が、上述した基準面 RP における肉厚 T0 と同じ肉厚 T1 を有している。図 2～9 に示される実施形態では、上述したように、肉厚 T1 は、上述した噴孔 4 の噴孔長さ L と同じ長さを有している。なお、図 3～9 に示される実施形態では、周方向における肉厚が一定ではないが、この場合には周方向における最大の肉厚を上述した肉厚 T0 や肉厚 T1 とする。

10

【 0 0 6 0 】

図 2、5、9 に示される実施形態では、薄肉領域 8 は、上述した薄肉領域 5 の第 1 薄肉領域 51 と同一の領域である第 1 薄肉領域 81 を含んでいる。図 4、6 に示される実施形態では、薄肉領域 8 は、上述した薄肉領域 5 の第 2 薄肉領域 52 と同一の領域である第 2 薄肉領域 82 を含んでいる。このため、第 2 薄肉領域 82 は、先端部 33 において、先端部 33 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間を含む領域である。また、第 2 薄肉領域 82 は、先端部 33 の主燃焼室 20 に面する外周面（先端面 332、外周面 333）に形成された少なくとも 1 つの外側凹部 36、37 を含んで構成されている。図 8 に示される実施形態では、薄肉領域 8 は、上述した薄肉領域 5 の第 3 薄肉領域 53 と同一の領域である第 3 薄肉領域 83 を含んでいる。このため、第 3 薄肉領域 83 は、先端部 33 において、先端部 33 の周方向に隣接する一対の噴孔 4 の間を含む領域である。また、第 3 薄肉領域 83 は、先端部 33 の副室 30 に面する内周面（底面 311、壁面 312）に形成された少なくとも 1 つの内側凹部 38（凹部 35）を含んで構成されている。

20

【 0 0 6 1 】

図 13 に示される実施形態では、副室形成部 3 は、第 4 薄肉領域 84 を含む薄肉領域 8 を有する副室形成部 3G を含んでいる。副室形成部 3G の先端部 33 は、図 13 に示されるように、副室中心軸線 CS の延在方向における噴孔 4 の主燃焼室側開口 42 の上端縁 421 よりも筒状部 34 側では、先端 331 側に向かうにつれて徐々に肉厚が薄くなっている。上端縁 421 よりも先端 331 側では、肉厚が一定であり、該肉厚が噴孔長さ L1 と等しくなっている。このため、先端部 33 の肉厚 T は、基準面 RP における肉厚 T0 よりも小さく形成されている。第 4 薄肉領域 84 は、図 13 に示されるように、副室中心軸線 CS の延在方向における、先端 331 から噴孔 4 の主燃焼室側開口 42 の上端縁 421 より上方までにわたって形成されている。

30

【 0 0 6 2 】

上記の構成によれば、副室形成部 3 の先端部 33 は、噴孔 4 の副室側開口 41 の上端縁 411 から副室中心軸線 CS が延在する方向に沿って、主燃焼室 20 側とは反対の方向に基準長さ RL、すなわち、噴孔 4 の噴孔径 D の 3 倍（所定倍）の長さだけ離れた位置 346 を通過し、且つ、副室中心軸線 CS と直交する方向に延在する基準面 RP よりも主燃焼室 20 側に位置している。そして、先端部 33 は、上記基準面 RP における副室形成部 3 の肉厚を T0 とした場合に、肉厚 T が $T < T_0$ を満たす領域である薄肉領域 8 を有している。すなわち、薄肉領域 8 は、燃焼火炎がもたらす熱の影響が小さい基準面 RP よりも肉厚 T が薄い。このような薄肉領域 8 が、燃焼火炎がもたらす熱の影響が大きい先端部 33 の噴孔 4 の周囲に形成されることで、複数の噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔 4 の周囲の温度分布（温度差）を緩やかにすることができます。複数の噴孔 4 の周囲の熱容量や剛性を小さくすることで、複数の噴孔 4 の周囲における

40

50

る熱変形（熱膨張や熱収縮）がし易くなるため、複数の噴孔4の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。また、昇温時における複数の噴孔4の周囲の温度分布を緩やかにすることで、噴孔4の周囲における不均一な熱変形を抑制できるため、複数の噴孔4の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。よって、熱疲労による噴孔4の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【0063】

幾つかの実施形態では、図2、5及び13に示されるように、上述した薄肉領域8（第1薄肉領域81、第4薄肉領域84）は、上述した先端331を含む領域である。

【0064】

上記の構成によれば、薄肉領域8（第1薄肉領域81、第4薄肉領域84）は、先端部33の先端331を含む領域であるので、先端部33の先端331に薄肉領域8を有しない場合に比べて、先端部33の先端331の肉厚を薄くできる。このため、噴孔4の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔4の周囲の温度分布を緩やかにすることができるので、熱疲労による噴孔4の周囲のき裂発生を抑制することができる。なお、先端部33の先端331に薄肉領域8を有しない副室形成部3に対して、例えば切削等により先端部33の先端331を含む薄肉領域8を形成することは容易である。

【0065】

幾つかの実施形態では、図13に示されるように、上述した薄肉領域8（第4薄肉領域84）は、先端部33において、噴孔4の主燃焼室側開口42の周縁の少なくとも一部を含む領域である。ここで、主燃焼室側開口42の周縁には、図13に示されるような、上端縁421や下端縁422が含まれる。この場合には、噴孔4の噴孔長さL1は、上述した噴孔長さLよりも短くなるので、先端部33の噴孔4の内周を構成する部分の肉厚も薄くなる。図13に示される実施形態では、第4薄肉領域84は、噴孔4の主燃焼室側開口42の上端縁421及び下端縁422の両方を含んでいる。

【0066】

上記の構成によれば、薄肉領域8（第4薄肉領域84）は、先端部33において、噴孔4の主燃焼室側開口42の周縁の少なくとも一部を含む領域であるので、噴孔4の周囲の肉厚を薄くすることができる。このため、噴孔4の周囲の熱容量や剛性を小さくすることや、昇温時における複数の噴孔4の周囲の温度分布を緩やかにすることができるので、熱疲労による噴孔4の周囲のき裂発生を抑制することができる。

【0067】

なお、上述した幾つかの実施形態では、図2、3、5、7及び13に示されるように、上端縁411と上述した位置346との間の長さである基準長さRLは、噴孔4の噴孔径Dの3倍（所定倍）の長さであったが、基準長さRLは噴孔径Dの3倍の長さより長くても短くてもよく、例えば、噴孔4の噴孔径Dの1倍、若しくは2倍の長さであってもよい。また、基準長さRLは零であってもよい。また、基準長さRLを短く、又は零にした場合には、基準長さRLに応じた位置に基準面RPが設けられてもよい。基準長さRLを短くすると、先端部33の範囲が狭くなるので、それに伴い薄肉領域8も噴孔4の周りに形成されることになる。このため、基準長さRLを長くした場合に比べて、複数の噴孔4の周囲に生じる熱ひずみ及び該熱ひずみが拘束されることで生じる熱応力を低減できる。

【0068】

上述した幾つかの実施形態では、薄肉領域5は肉厚TがT < T0を満たす領域であり、薄肉領域8は肉厚TがT < Lを満たす領域であったが、他の幾つかの実施形態では、これらの肉厚Tの条件に加えて、薄肉領域5や薄肉領域8の肉厚Tは副室形成部3に加えられる内圧に耐えることができる最小の肉厚を有している。肉厚Tが薄い場合には、肉厚Tが厚い場合に比べて、強度が低下するが、複数の噴孔4の周囲の熱容量や剛性を小さくでき、複数の噴孔4の周囲に生じる熱応力を低減できる。薄肉領域5や薄肉領域8が上述した範囲内にあるような場合には、副室形成部3が必要強度を維持しつつ、き裂発生を効果的に抑制することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 9 】

また、上述した幾つかの実施形態では、薄肉領域 5 や薄肉領域 8 は、噴孔 4 の副室側開口 4 1 及び主燃焼室側開口 4 2 の周縁を含まない。この場合には、噴孔 4 の噴孔径 D や噴孔長さ L が維持されるので、噴孔 4 から噴出する燃焼火炎の性能を維持できる。

【 0 0 7 0 】

また、上述した幾つかの実施形態では、凹部 3 5 は副室中心軸線 C S の延在方向に沿って形成されていたが、他の方向に沿って形成されていてもよい。例えば、凹部は先端部 3 3 や筒状部 3 4 における周方向に沿って形成されていてもよい。

【 0 0 7 1 】

本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

10

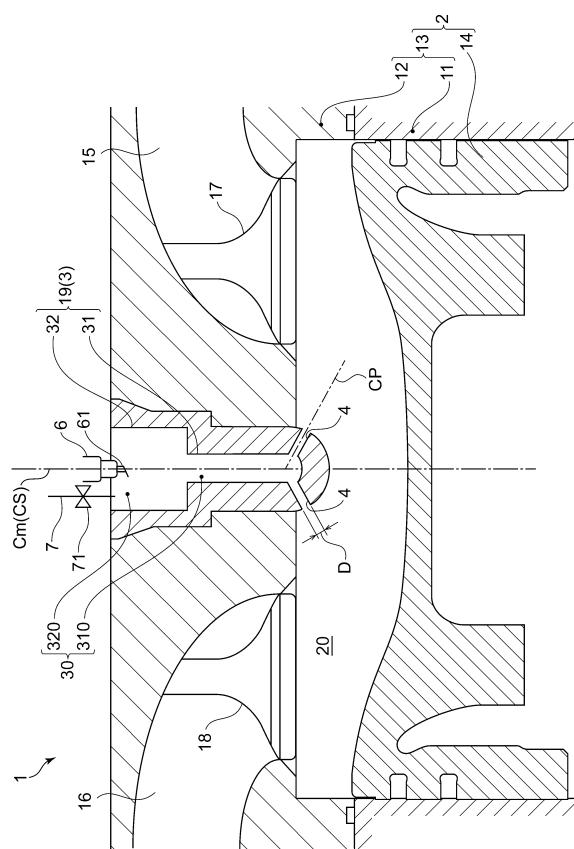
【 符号の説明 】**【 0 0 7 2 】**

1	副室式ガスエンジン	
1 1	シリンダブロック	
1 2	シリンダヘッド	
1 3	シリンダ	
1 4	ピストン	
1 5	吸気ポート	
1 6	排気ポート	20
1 7	吸気弁	
1 8	排気弁	
1 9	副室口金	
2	主室形成部	
2 0	主燃焼室	
3 , 3 A ~ 3 G	副室形成部	
3 0	副室	
3 1	小径筒形成部	
3 1 0	小径筒室	
3 1 1	底面	30
3 1 2	壁面	
3 2	大径筒形成部	
3 2 0	大径筒室	
3 2 1	壁面	
3 2 2	段差面	
3 3	先端部	
3 3 1	先端	
3 3 2	先端面	
3 3 3	外周面	
3 4	筒状部	40
3 4 1	小径筒状部	
3 4 2	大径筒状部	
3 4 3	段差面	
3 4 4 , 3 4 5	外周面	
3 4 6	位置	
3 5	凹部	
3 6 , 3 7	外側凹部	
3 8	内側凹部	
4	噴孔	
4 1	副室側開口	50

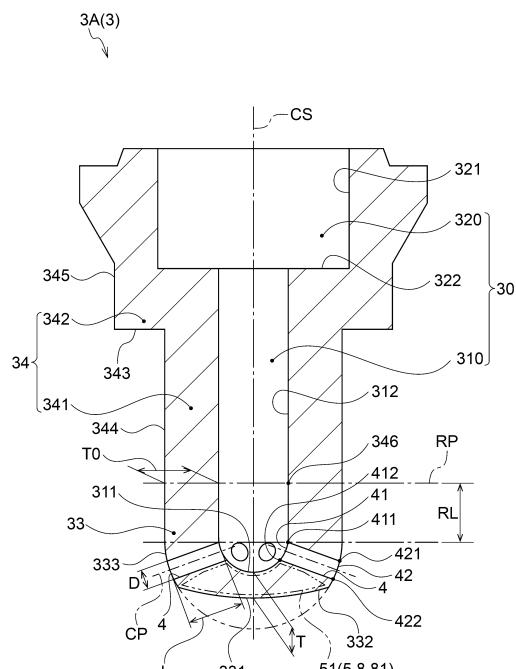
4 1 1	上端縁	
4 1 2	下端縁	
4 1 3	中間縁	
4 1 4	面取り部	
4 2	主燃焼室側開口	
4 2 1	上端縁	
4 2 2	下端縁	
5	薄肉領域	
5 1	第1薄肉領域	
5 2	第2薄肉領域	10
5 3	第3薄肉領域	
6	着火装置	
6 1	着火部	
7	副室ガス供給装置	
7 1	副室燃料ガス供給弁	
8	薄肉領域	
8 1	第1薄肉領域	
8 2	第2薄肉領域	
8 3	第3薄肉領域	
8 4	第4薄肉領域	20
C M	主室中心軸線	
C P	噴孔の中心線	
C S	副室中心軸線	
D	噴孔径	
L , L 1	噴孔長さ	
P 1 ~ P 3	計測点	
R L	基準長さ	
R P	基準面	
T , T 0 , T 1	肉厚	30

【四面】

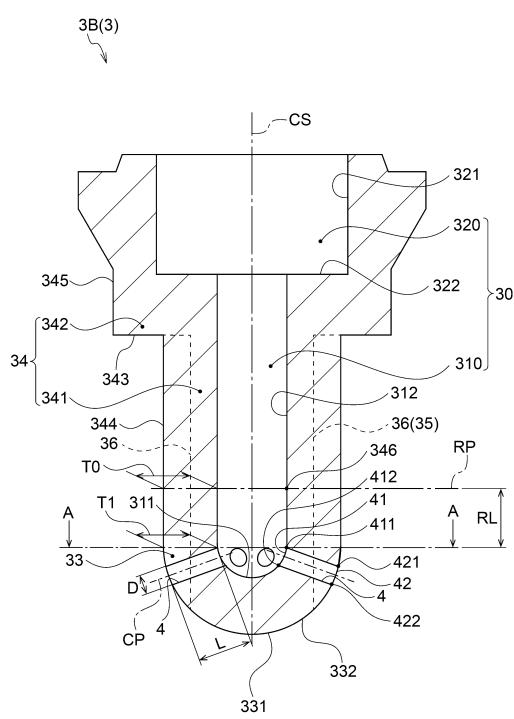
【 四 1 】



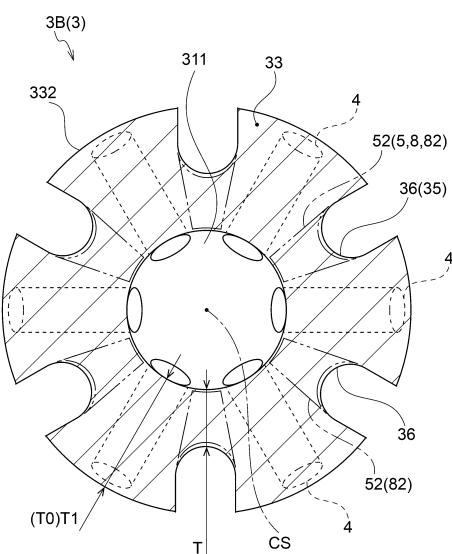
【 四 2 】



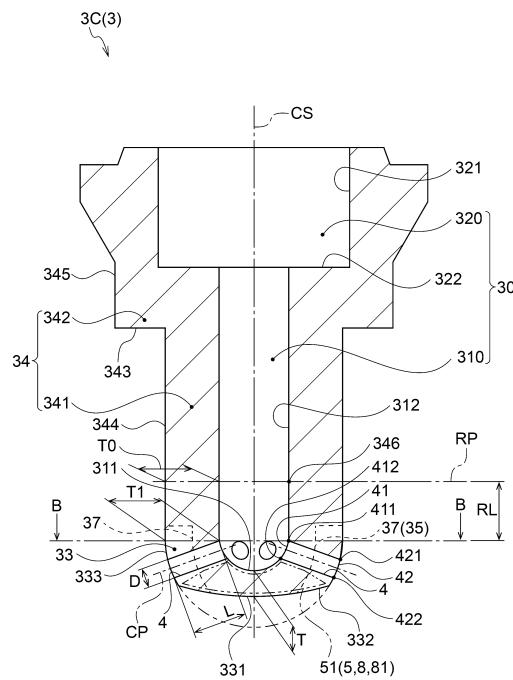
【 四 3 】



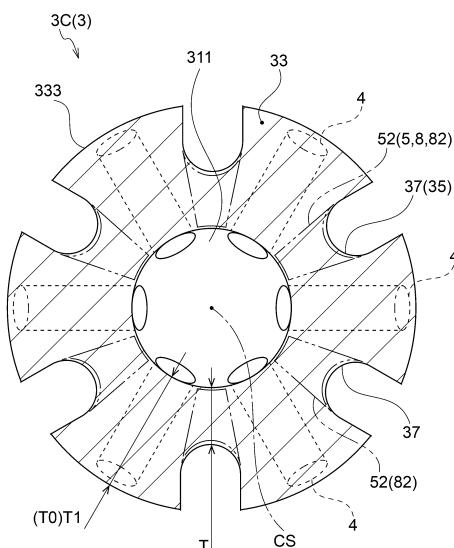
【 四 4 】



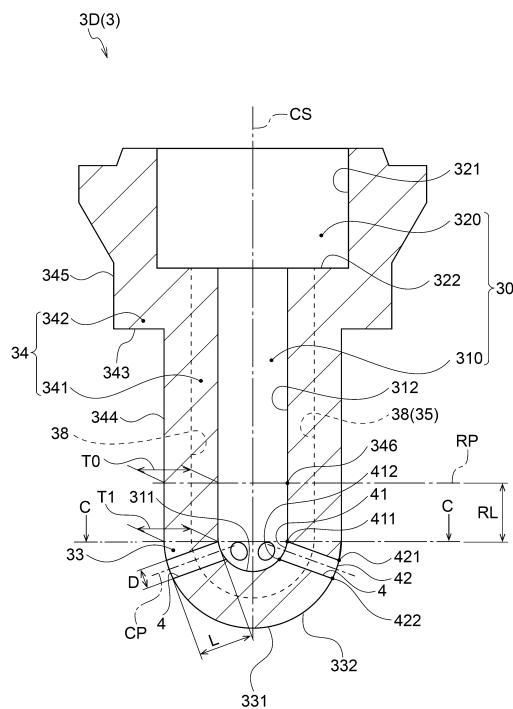
【図5】



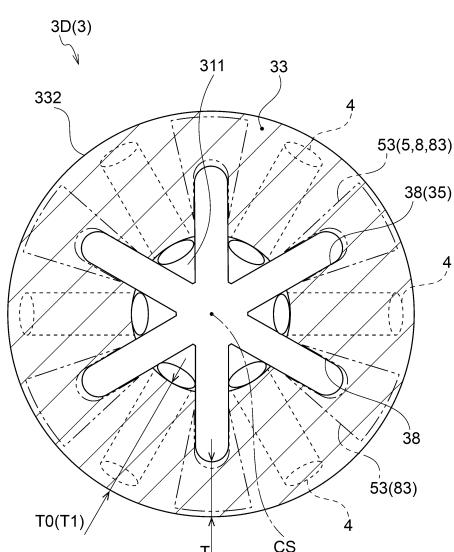
【図6】



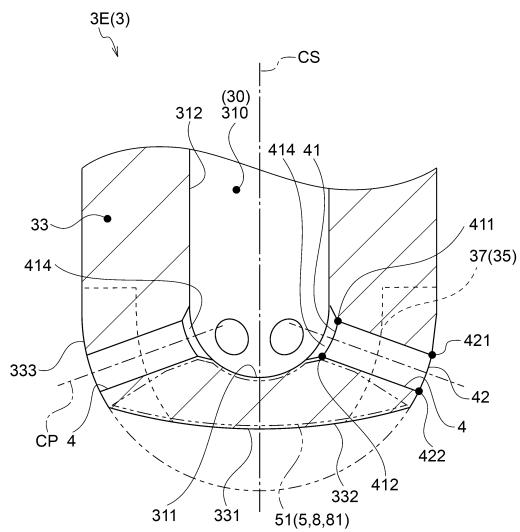
【図7】



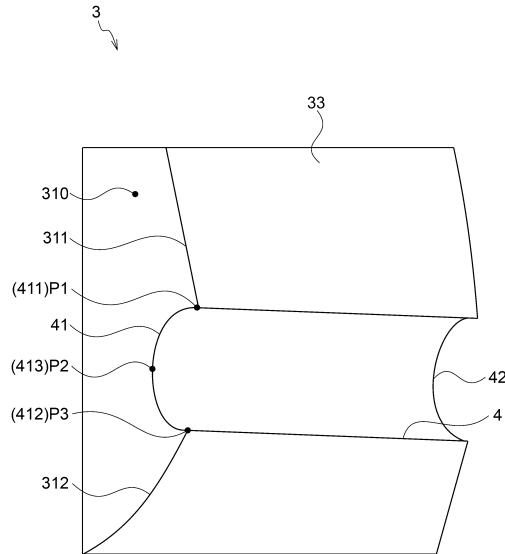
【図8】



【図 9】



【図 10】



10

20

【図 11】

	無次元化されたひずみ範囲(-)		
	P1	P2	P3
3F	1	1	1
3A	1	0.875	1
低減率(%)		△12.5	

【図 12】

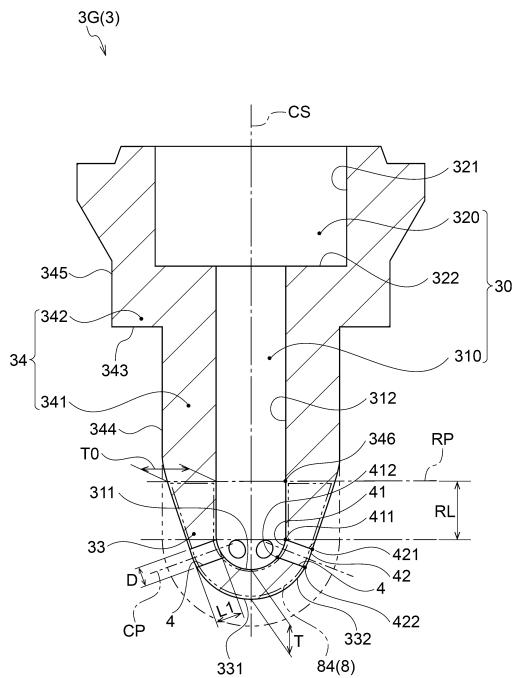
	無次元化されたひずみ範囲(-)		
	P1	P2	P3
3F	1	1	1
3E	0.690	0.795	0.718
低減率(%)	△31.0	△20.5	△28.2

30

40

50

【図 1 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

地 三菱重工エンジン＆ターボチャージャ株式会社内

審査官 沼生 泰伸

(56)参考文献 欧州特許出願公開第02700796(EP, A1)

特開2007-113536(JP, A)

特開2003-254195(JP, A)

特表平05-504185(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

F02B 1/00 - 23/10

F02B 43/00