

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4824760号
(P4824760)

(45) 発行日 平成23年11月30日 (2011.11.30)

(24) 登録日 平成23年9月16日 (2011.9.16)

(51) Int. Cl.

F I

F O 2 B 53/00 (2006.01)

F O 2 B 53/00 P

F O 1 C 21/06 (2006.01)

F O 1 C 21/06

F O 1 C 19/02 (2006.01)

F O 1 C 19/02 Z

F O 2 B 55/02 (2006.01)

F O 2 B 55/02 C

F O 1 C 1/344 (2006.01)

F O 1 C 1/344 E

請求項の数 132 (全 84 頁)

(21) 出願番号 特願2008-533601 (P2008-533601)
 (86) (22) 出願日 平成18年9月29日 (2006.9.29)
 (65) 公表番号 特表2009-510328 (P2009-510328A)
 (43) 公表日 平成21年3月12日 (2009.3.12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/037868
 (87) 国際公開番号 W02007/041224
 (87) 国際公開日 平成19年4月12日 (2007.4.12)
 審査請求日 平成21年9月28日 (2009.9.28)
 (31) 優先権主張番号 60/721, 521
 (32) 優先日 平成17年9月29日 (2005.9.29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 508095186
 ブライム ムーバー インターナショナル
 , エルエルシー
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 140
 36-9715, コルフ, アレゲーニーロ
 ード7980
 (74) 代理人 100096024
 弁理士 柏原 三枝子
 (74) 代理人 100125520
 弁理士 高橋 剛一
 (74) 代理人 100155310
 弁理士 柴田 雅仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水素Gサイクルロータリ内燃機関

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃ロータリーエンジンにおいて、

吸気領域、圧縮領域、膨張領域および排気領域を含む変形楕円形空洞を画成する内面を含むステータと、

前記空洞の内部で回転可能であり、外部表面および複数の燃焼空洞、および、ロータの周囲に沿って位置する複数のスロットを含むロータと、

前記スロット内に配設され、前記ステータの前記内面に拡張し、かつ係合する複数の半径方向に突出しかつ移動可能な羽根であって、前記複数のロータ燃焼空洞内の着火のために燃料の混合物がその中で圧縮される複数の回転可能なチャンバを形成する羽根と、

一部が前記楕円形空洞の上に横たわる蒸気室であって、前記ロータ燃焼空洞が前記膨張領域を通して回転すると、前記燃焼空洞内の前記燃料混合物の前記着火からの熱を吸収して、前記燃焼空洞に熱を戻すための流体を含む、蒸気室と、

前記ロータリーエンジンを過熱から保護するための活性冷却システムであって、前記ステータ、前記複数の羽根および前記ロータ内に位置する冷却／熱伝達システムを具える冷却システムと、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項2】

請求項1のロータリーエンジンがさらに、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に冷気を吸入するための吸気ポートであって、前記ステータの前記外部表面の周囲に沿って前

記吸気領域に先行する吸気ポートと前記複数の前記回転可能なチャンバの各々から燃焼ガスを排出するための排気ポートであって、前記ステータの前記内面の前記周囲に沿って前記膨張領域をたどる排気ポートとを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項3】

請求項1のロータリーエンジンがさらに、前記ロータがそのまわりを回転するドライブシャフトを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項4】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記蒸気室流体が、着火中に熱を吸収すると、液体から気体に相を変え、前記燃焼空洞に熱が戻ると気体から液体に相を変えることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項5】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記蒸気室作動流体が、アルカリ液状金属であることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項6】

請求項5のロータリーエンジンであって、前記蒸気室作動流体が、ナトリウム、カリウムおよび硫黄からなるアルカリ液状金属の群から選択されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項7】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記ステータの前記内面がほぼ円滑であり、前記ロータが前記ステータ内で回転すると、前記複数の羽根が前記ステータの前記内面に摺動可能に係合することを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項8】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根が、第1群の交互の摺動羽根と第2群の交互の摺動羽根を具え、各羽根が、ほぼ平坦で細長い半楕円形状、外側周辺および2つの面を有することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項9】

請求項1のロータリーエンジンがさらに、前記複数の羽根の各々と前記ステータの前記内面との間に複数のシールを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項10】

請求項1のロータリーエンジンがさらに、前記複数の羽根上の遠心力を低下させるための羽根ベルトシステムを具え、それによって、前記羽根と前記ステータの前記内面との間の前記シールの摩耗が減少することを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項11】

請求項10のロータリーエンジンであって、前記ロータ外部表面の周囲と前記ステータの内部表面の周囲との間の距離の変化に適合するように、前記羽根ベルトシステムが、半径方向に動く際に前記複数の羽根を補助するための第1および第2の組のベルトから成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項12】

請求項10のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトシステムが、前記第1群の交互の摺動羽根を共に連結する第1の複数羽根ベルトセグメントと、前記第2群の交互の摺動羽根を共に連結する第2の複数羽根ベルトセグメントと、前記第1の複数羽根ベルトセグメントがその上で摺動する第1のアーチ型羽根ベルトプレートと、前記第1の複数羽根ベルトセグメントがその上で摺動する第1のアーチ型羽根ベルトプレートと、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項13】

請求項12のロータリーエンジンがさらに、前記羽根ベルトセグメントを前記摺動羽根に取り付ける拡張羽根バーを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項14】

50

請求項 1 2 のロータリーエンジンがさらに、
前記第 1 アーチ型羽根ベルトプレートに圧力を印加して、前記第 1 アーチ型羽根ベルトプレートに内部へ動的に圧迫するための第 1 のばねと、
前記第 2 アーチ型羽根ベルトプレートに圧力を印加して、前記第 2 アーチ型羽根ベルトプレートに内部へ動的に圧迫するための第 2 のばねと、
を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 のロータリーエンジンであって、前記第 1 アーチ型羽根ベルトプレートおよび前記第 2 アーチ型羽根ベルトプレートが、少なくとも部分的に複数の隆起した丸い形状のリッジで覆われていて、かつ殆ど摩擦のないコーティングで覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 5 のロータリーエンジンであって、前記複数の隆起した丸い形状のリッジが、前記第 1 アーチ型羽根ベルトプレートおよび前記第 2 アーチ型羽根ベルトプレートの幅を拡張し、前記殆ど摩擦のないコーティングが固体潤滑剤のようなコーティングであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 7】

請求項 1 3 のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトセグメントが、センタ羽根ベルトセグメントおよび側面羽根ベルトセグメントを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項 1 8】

請求項 1 2 のロータリーエンジンであって、前記第 1 のアーチ型羽根ベルトプレートが、第 1 のセンタアーチ型羽根ベルトプレートおよび少なくとも一つの第 1 の側面アーチ型羽根ベルトプレートを具え、前記第 2 のアーチ型羽根ベルトプレートが、第 2 のセンタアーチ型羽根ベルトプレートおよび少なくとも一つの第 2 の側面アーチ型羽根ベルトプレートを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 9】

請求項 1 2 のロータリーエンジンがさらに、
前記羽根ベルトセグメントに横向きに整列配置された複数のスピンドルと、
前記スピンドル上に配置される複数の中空のセグメントに分けられたローラーベアリングであって、中空のセグメントに分けられたローラーベアリングが前記スピンドルのまわりに自由に回転し、前記中空のセグメントに分けられたローラーベアリングが前記羽根ベルトセグメントに接触しているローラーベアリングと、
前記第 1 のアーチ型羽根ベルトプレートに取り付けられた第 1 の複数スピンドルばねと、
前記第 2 のアーチ型羽根ベルトプレートに取り付けられた第 2 の複数スピンドルばねと、
を具え、
第 1 および第 2 のスピンドルばねが、前記羽根ベルトセグメントに平行して整列配置され、かつ前記スピンドルを支持することを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 2 0】

請求項 1 9 のロータリーエンジンであって、前記第 1 の複数スピンドルばねが、前記第 1 のアーチ型羽根ベルトプレートにスポット溶接され、前記第 2 の複数スピンドルばねが、前記第 2 のアーチ型羽根ベルトプレートにスポット溶接されていることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 2 1】

請求項 1 2 のロータリーエンジンがさらに、前記羽根ベルトセグメント内に散在する複数のシーム、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 のロータリーエンジンであって、前記シームが、ピンシームであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 3】

50

請求項 2 1 のロータリーエンジンであって、前記シームが、ヒンジシームであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 4】

請求項 1 3 のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトセグメントが、2つの端を有するセンタ羽根ベルトセグメントおよび2つの端を有する側面羽根ベルトセグメントを具え、前記羽根ベルトシステムが、更に、

前記拡張羽根バーに取り付けた複数のセンタトグルバーと、

前記第 1 のアーチ型羽根ベルトプレートから切り離される複数の第 1 の羽根ベルトバー通路であって、それぞれが、前記拡張羽根バーの異なる一つと整列配置される、第 1 の羽根ベルトバー通路と、

10

前記第 2 のアーチ型羽根ベルトプレートから切り離される複数の第 2 の羽根ベルトバー通路であって、それぞれが、前記拡張羽根バーの異なる一つと整列配置する、第 2 の羽根ベルトバー通路と、

複数のセンタ羽根ベルトバーであって、そのうちの 2 つが、前記センタトグルバーのそれぞれに取り付けられる、センタ羽根ベルトバーと、

複数の側面羽根ベルトバーであって、そのうちの 2 対が、前記センタトグルバーのそれぞれに取り付けられる、側面羽根ベルトバーと、

前記センタ羽根ベルトバーおよび前記側面羽根ベルトバーを覆う複数の金属ローラブッシングであって、前記センタ羽根ベルトセグメントのそれぞれの各端部が、前記センタ羽根ベルトバーを覆う前記金属ローラブッシングの異なる一つに掛けられ、前記側面羽根ベルトセグメントのそれぞれの各端部が、前記側面羽根ベルトバーを覆う前記金属ローラブッシングの異なる一つに掛けられる、金属ローラブッシングと、

20

摺動羽根に取り付けられ、かつそれを前記羽根ベルトシステムから熱的に断熱する複数の断熱ストリップと、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 5】

請求項 1 1 のロータリーエンジンがさらに、前記第 1 および第 2 の組のベルトの両側に設置された外側の一連のベルト、を具え、前記外側の一連のベルトが、前記第 1 および第 2 の組のベルトを共に接続する前記ベルトアーチ支持バーの前記端で小さいアーチ支持体上に乗っており、前記外側の一連のベルトが、前記ステータ表面輪郭に適合させる際に前記第 1 および第 2 のベルト群を補助することを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 2 6】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記ロータが前記吸気領域、前記圧縮領域、前記膨張領域および前記排気領域を通して回転すると、前記ロータの前記外部表面の周囲から前記ステータの前記内面の周囲までの距離が変化し、前記ロータが回転すると、前記複数の半径方向に突き出る羽根が、前記距離の変化に対応するように半径方向に動き、それによって前記ステータの前記内面を摺動可能に係合し続けることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 7】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、前記蒸気室に接続される圧力解放システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 2 8】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記燃料混合物が、水素、水および空気を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 2 9】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、

前記ロータリーエンジンの前記圧縮比を制御する目的で変更される水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第 1 の水噴射装置と、

前記複数の燃焼空洞の各々の中に前記空洞の中で点火された前記燃料を噴射するための燃料噴射装置と、

50

第2の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第2の水噴射装置であって、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中で、前記回転可能なチャンバ内に位置する前記ロータ燃焼空洞内の前記燃料の前記着火から生じるガスを部分的に急冷して、前記チャンバ内の前記ガスの前記温度を低下させるための、第2の水噴射装置と、第3の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第3の水噴射装置であって、前記膨張領域の上に横たわる前記蒸気室から前記回転可能なチャンバまで伝達される熱に反応する前記回転可能なチャンバを具える前記ロータ、羽根およびシールを冷却するための第3の水噴射装置と、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項30】

請求項1のロータリーエンジンがさらに、前記回転可能なチャンバの各々を密封するための複数のシール、を具え、前記複数のシールが、前記ロータの第1および第2の側面に沿って軸方向に位置する第1および第2のシールであって、前記軸方向シールが、前記ロータ外部表面の円形輪郭に合致するように湾曲され、前記軸方向シールが、センタセクションおよび2つの端セクションにセグメント化され、前記軸方向シールセンタセクションが、前記軸方向端シールセグメントの角度をつけられた溝凹部と嵌合する両端に沿って角度をつけられたつまみ拡張部を有し、前記軸方向シールセンタセクションおよび端セグメントが各々、チャンバガス圧が前記ステータの内面の方へ前記軸方向シールをバイアスさせるように、傾斜する上面を有し、第1および第2のシールと、

前記軸方向シールの全長を切断し、それによって軸方向シールストリップの凹部を形成する溝を含む、前記軸方向シールセンタおよび端セグメントの各々の外側シール面と、前記軸方向シールセンタセグメントの背後に位置する波形のばねであって、前記軸方向シールを外側にバイアスさせ、それによって、前記軸方向シールセンタセグメントがガス圧および前記波形ばねによって外に向かって圧迫されると、前記軸方向シールセンタセグメントが、前記軸方向シール端セグメントを外側に圧迫して前記ステータの内面に沿って、および、前記ロータより上に位置する前記羽根シールの前記下部セグメントに沿ってシールを提供する、波形ばねと、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項31】

請求項30のロータリーエンジンがさらに、前記複数の羽根のうちの1つの前面と背面との双方の間にあり、前記ロータの前記外部表面の領域に直接に隣接した、ほぼ細長い半楕円リング形領域内に連続シールを提供するための複数の羽根面シールと、前記複数の羽根のうちの1つの外側周辺と前記ステータの前記内面との間に連続シールを提供するための複数の羽根シールと、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項32】

請求項31のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根の各々が、湾曲した羽根シール面を含み、前記ロータリーエンジンが、さらに、前記羽根シールの間、および、前記羽根シールの各々と対応する羽根との間に、埋め込まれた複数のローラーベアリングチャンネルと、前記ローラーベアリングチャンネル内に配設される複数のローラーベアリングであって、前記羽根シールの各々が、前記羽根シールをガスバイアスさせるための角度をなす外側面を含み、それによって、前記羽根シールが、前記ロータリーエンジンの動作中に前記ステータの前記内面の方へ動的に圧迫される、ローラーベアリングと、前記羽根シールを突き通す複数のガス通路であって、各ガス通路の領域が、前記ロータリーエンジンの動作中に前記ガス通路が動的に外側に拡張するにつれて増大し、前記ステータの前記内面の方へ半径方向に圧迫される、ガス通路と、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 3 3】

請求項 3 2 のロータリーエンジンであって、前記羽根の各々が、ほぼ平坦で細長い半楕円形状、外側周辺および 2 つの面を有し、各羽根の前記外側周辺が、前記外側周辺の全長のセンタに沿って拡張する羽根溝と、前記外側周辺の前記全長に沿って拡張する 2 つの支持リッジであって、前記羽根溝が前記支持リッジによって取り囲まれ、前記羽根溝を越えて半径方向に突き出る支持リッジと、前記外側周辺の前記全長に沿って拡張する 2 つの支持棚であって、前記支持棚が前記支持棚で束ねられ、前記羽根溝を超えるが、前記支持リッジより小さい、半径方向に突き出る支持棚と、から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 3 4】

請求項 3 3 のロータリーエンジンであって、前記複数の側面ガス通路が、前記チャンバから前記支持リッジまで開チャンネルを形成することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 3 5】

請求項 3 1 のロータリーエンジンであって、前記羽根シールの各々が、2 つの界面によって最上部センタセグメントと 2 つの軸方向に拡張可能な側面下部セグメントに分割されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 3 6】

請求項 3 5 のロータリーエンジンであって、前記 2 つの側面下部セグメントが、前記ステータの前記内面の方へ圧迫されるように軸方向にバイアスされ、かつ前記最上部センタセグメントの方へ圧迫されるように半径方向にバイアスされている、ことを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項 3 7】

請求項 3 5 のロータリーエンジンであって、各界面が、少なくとも一つの摺動キーストーン形状のつまみおよび溝連結から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 3 8】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根の各々が、ほぼ平坦で細長い半楕円形状、外側周辺および 2 つの面を有し、前記ロータリーエンジンが前記羽根の各々の半径方向の動きを促進するためのベアリングシステムを更に具え、当該ベアリングシステムが、前記羽根面の各々の中に埋め込まれた複数のローラーベアリングチャンネルであって、軸方向に向けられているローラーベアリングチャンネルと、前記複数のローラーベアリングチャンネル内に配設された複数のローラーベアリングと、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 3 9】

請求項 3 8 のロータリーエンジンであって、前記ベアリングシステムが、複数のロータ羽根プレートを更に具え、各プレートが、前記羽根がその中に配設される前記ロータ内の各スロットの 2 つの側面のうちの 1 つに取り付けられており、各ロータ羽根プレートが、ダイヤモンド形のリッジまたはジグザグのリッジで少なくとも部分的に覆われており、そして、前記複数の羽根の各面がダイヤモンド形のリッジまたはジグザグのリッジで少なくとも部分的に覆われており、前記リッジが、遮熱コーティングおよび酸化物潤滑剤で頂を覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 4 0】

請求項 3 9 のロータリーエンジンであって、前記ベアリングシステムがさらに、複数の軸方向指向のセンタスピンドルと、前記ベアリングが前記スピンドルのまわりに自由に回転するように、前記センタスピンドル上に配置された複数の中空セグメント化されたローラーベアリングと、各ロータ羽根プレートに取り付けられた複数の半径方向指向のローラーベアリング支持ばねであって、前記センタスピンドルが、前記ローラーベアリング支持ばねに取り付けられている支持ばね、

50

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 1】

請求項 8 のロータリーエンジンがさらに、前記第 1 の群の交互の摺動羽根に取り付けられた外側羽根ベルトと前記第 2 群の交互の摺動羽根に取り付けられた内側羽根ベルトとを具える羽根ベルトシステムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 2】

請求項 4 1 のロータリーエンジンであって、前記外側羽根ベルトおよび前記内側羽根ベルトが、各々複数の湾曲部を有し、前記羽根ベルトシステムが前記湾曲部に接触する複数のローラーベアリングを更に具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 3】

請求項 4 1 のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトシステムが、前記外側羽根ベルトを前記第 1 群の交互の摺動羽根に取り付け、かつ前記内側羽根ベルトを前記第 2 の群の交互の摺動羽根に取り付ける複数の羽根ベルトピンを更に具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 4】

請求項 4 1 のロータリーエンジンであって、前記外側羽根ベルトおよび前記内側羽根ベルトが、各々ピンおよびリンクによって接続された複数の高張力強度繊維でできていることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 5】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、
前記羽根スロットの間の前記ロータ内に散在する複数のロータ蒸気室と、
前記ロータ蒸気室内のロータ蒸気室水内部作動流体と、
半径方向に拡張しており、かつ前記ロータ内の前記外側ロータ表面輪郭に合致するように湾曲する複数のロータ蒸気室であって、各々が、前記ロータおよび 2 つの内側軸方向凝縮端の前記外部表面の下に中心をおく内側蒸発領域を具えるロータ蒸気室と、
前記ロータ蒸気室の前記蒸発器セクションの全体にわたって位置する複数の微細吸上メッシュと、
両方のコンデンサセクションの全体にわたって位置し、かつ前記複数のロータ蒸気室の微細吸上メッシュと接する、複数の粗い吸上メッシュと、
前記蒸発器微細吸上メッシュおよびコンデンサ粗い吸上メッシュと接触する前記ロータ蒸気室の前記内側周辺表面に沿って位置する複数の周辺中程度吸上メッシュと、
前記ロータ蒸気室を通して軸方向に伸びている複数の行に向けられる前記外側燃焼表面の下で、前記表面の反対側に前記ロータ蒸気室内カバーに沿って位置する複数のリッジと、
前記ロータ蒸気室リッジの間に位置する複数のロータ蒸気室空隙部と、
前記ロータ蒸気室を通して半径方向に伸びており、前記蒸発器微細吸上メッシュおよび周辺吸上メッシュを穿孔する、複数の吸上凍結チューブと、
1 方のコンデンサ側面から他方まで前記ロータ蒸気室を通して軸方向に伸びており、前記コンデンサ粗い吸上メッシュおよび蒸発器微細吸上メッシュおよび周辺メッシュを穿孔する、複数の吸上凍結チューブと、
前記内側ロータ蒸気室コンデンサから前記活性冷却システムの前記冷却水に熱を伝達する複数のロータ蒸気室外側コンデンサと、
を具えるロータ熱伝達システム、を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 6】

請求項 4 1 のロータリーエンジンであって、前記ロータ蒸気室内部作動流体が、水を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 7】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、前記ロータリーエンジンを過熱から保護するためのステータ熱伝達システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 4 8】

請求項 4 7 のロータリーエンジンがさらに、吸気ポートおよび排気ポート、を具え、前記

10

20

30

40

50

ステータ熱伝達システムが、ステータ液体冷却装置を更に具え、前記ステータ液体冷却装置が、

前記吸気ポートの近くで前記ロータリーエンジンに入り、前記吸気ポートの近くで蛇行して、前記ドライブシャフトのまわりを回って、次いで、前記排気ポートの近くで前記ロータリーエンジンを出る、ステータ液体冷却チューブと、

前記ハウジング液体冷却チューブ内のステータ液体冷却剤と、

ハウジング液体冷却剤温度モニタと、

前記ハウジング液体冷却剤のフローを調整するための手段と、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 49】

10

請求項 48 のロータリーエンジンであって、前記ハウジング液体冷却剤が、水を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 50】

請求項 3 のロータリーエンジンがさらに、吸気ポートと、排気ポートと、を具え、前記蒸気室が前記ロータリーエンジンの前記燃焼および膨張セクションを等熱化するためのナトリウム蒸気室システムであり、前記ナトリウム蒸気室システムが、前記吸気ポートおよび前記排気ポートからほぼ反対側の前記ステータの前記周辺の実質的部分に沿って拡張していることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 51】

20

請求項 50 のロータリーエンジンであって、前記ナトリウム蒸気室が、

前記ステータナトリウム蒸気室内に含まれるナトリウム流体と、

ステータナトリウム蒸気室の前記蒸発器セクション内の微細等級吸上メッシュ層であって、前記エンジンの前記着火および燃焼領域の方へ位置する微細等級吸上メッシュ層と、

前記ステータナトリウム蒸気室のコンデンサセクション内の粗い等級吸上メッシュ層であって、前記エンジンの前記膨張領域端の方へ位置する粗い等級吸上メッシュ層と、

前記ステータナトリウム蒸気室の前記微細層と粗い層との間で層にされる中程度等級吸上メッシュ層であって、前記エンジンの前記膨張セクションの中央に位置する中程度等級吸上メッシュ層と、

前記ステータナトリウム蒸気室の前記周辺全体をライニングし、前記微細、中程度および粗い吸上メッシュを覆う中程度等級吸上メッシュと、

30

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 52】

請求項 51 のロータリーエンジンがさらに、前記ステータナトリウム蒸気室の外側カバーを具え、当該外側カバーが、

前記カバーの内面を覆い、かつ前記ステータナトリウム蒸気室の前記長さを走る、複数の平行のセグメント化された拡張部リッジと、

前記外側カバーの前記内面を覆う前記拡張リッジの間に前記ステータナトリウム蒸気室の内側に位置する複数の空隙部と、

前記外側カバーの前記内面を覆う遮熱コーティングと、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 53】

請求項 50 のロータリーエンジンがさらに、前記ステータ内の前記ドライブシャフトのまわりで角度をつける外側ステータ水蒸気室を具え、当該ステータ水蒸気室が、

前記ステータ水蒸気室内に含まれる水流体と、

前記ステータ水蒸気室の前記周辺に沿って並ぶ微細吸上メッシュと、

前記ステータ水蒸気室内の微細吸上メッシュ層と、

前記ステータ水蒸気室内の粗い吸上メッシュ層と、

前記ステータナトリウム蒸気室と前記ステータ活性冷却システムの前記水路との間に位置するステータ水室と、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

50

【請求項 5 4】

請求項 3 0 のロータリーエンジンであって、前記ロータが、8 個の羽根スロットを有し、前記シーリング配置が、1 6 個の羽根面シールおよび 8 個の羽根シールを有することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 5 5】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記燃料の混合物が、少なくとも一つの点火プラグによって点火されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 5 6】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記燃料の混合物が、自己着火によって点火されることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 5 7】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、前記ロータ燃焼空洞内に前記水素を直接噴射するための噴射装置を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 5 8】

請求項 2 のロータリーエンジンがさらに、前記排出ガスに含まれる水を凝縮して、濾過して、再循環するための活性冷却システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 5 9】

内燃ロータリーエンジンであって、

少なくとも圧縮領域および膨張領域を含む変形楕円形空洞を画成する内面を含むステータと、

20

前記空洞内に回転可能であり、外部表面と、複数のロータに沿って配置した複数の燃焼空洞と複数のスロットと、を含むロータと、

燃料の混合物が前記複数のロータ燃焼空洞の着火のために圧縮される複数の回転可能なチャンバを形成するために、前記スロット内に配設され、かつ前記ステータの前記内面に拡張して、それと摺動可能に係合する複数の半径方向に移動可能な羽根と、

一部が前記楕円形空洞の上に横たわる蒸気室であって、前記ロータ燃焼空洞内の前記燃料混合物の前記着火から熱を吸収し、前記燃焼空洞が回転して前記膨張領域を過ぎる際に熱を戻す流体を含む蒸気室と、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 6 0】

請求項 5 9 のロータリーエンジンがさらに、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に冷気を吸入するための吸気ポートと、前記複数の前記回転可能なチャンバの各々から燃焼ガスを排出するための排気ポートとを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 6 1】

請求項 5 9 のロータリーエンジンがさらに前記ロータ外部表面の周囲と前記ステータの内部表面の周囲との間の距離の変化に適合するように、半径方向に動く際に、前記複数の羽根を補助するための羽根ベルトシステムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 6 2】

請求項 5 9 のロータリーエンジンであって、前記ロータが前記エンジン内で回転すると、前記ロータの前記外部表面の周囲から前記ステータの前記内面の周囲までの距離が変化し、前記ロータが回転すると、前記複数の半径方向に移動可能な羽根が、前記距離の変化に対応するように半径方向に動き、かつそれによって前記ステータの前記内面と摺動可能に係合し続けることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 6 3】

請求項 5 9 のロータリーエンジンであって、前記燃料混合物が、水素、水および空気を含むことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 6 4】

請求項 5 9 のロータリーエンジンがさらに、

前記ロータリーエンジンの前記圧縮比を制御する目的で変更される水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第 1 の水噴射装置と、

50

前記複数の燃焼空洞の各々の中に前記空洞の中で点火された前記燃料の一部である水素を噴射するための燃料噴射装置と、

第2の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第2の水噴射装置であって、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中で、前記回転可能なチャンバ内に位置する前記ロータ燃焼空洞の前記燃料の前記着火から生じるガスを部分的に急冷して、前記チャンバ内の前記ガスの前記温度を低下させるための、第2の水噴射装置と、

第3の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第3の水噴射装置であって、前記膨張領域の上に横たわる前記蒸気室から前記回転可能なチャンバまで伝達される熱に反応して前記回転可能なチャンバを具える前記ロータ、羽根およびシールを冷却するための第3の水噴射装置と、

を具えること特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項65】

請求項59のロータリーエンジンがさらに、前記回転可能なチャンバの各々を密封するための複数のシール、を具え、前記複数のシールが、

前記ロータの第1および第2の側面に沿って軸方向に位置する第1および第2のシールであって、前記軸方向シールが、前記ロータ外部表面の円形輪郭に合致するように湾曲する、軸方向シールと、

前記複数の羽根のうちの1つの前面と背面の双方との間にあり、前記ロータの前記外部表面の領域に直接に隣接した、ほぼ細長い半楕円リング形の領域内に連続シールを提供するための複数の羽根面シールと、

20

前記複数の羽根のうちの1つの外側周辺と前記ステータの前記内面との間に連続シールを提供するための複数の羽根シールと、

を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項66】

請求項59のロータリーエンジンがさらに、前記羽根の各々の半径方向の動きを促進するためのベアリングシステムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項67】

請求項59のロータリーエンジンがさらに、前記ロータリーエンジンを過熱から保護するためのステータ熱伝達システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項68】

30

請求項59のロータリーエンジンがさらに、前記ロータリーエンジンを過熱から保護するためのロータ熱伝達システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項69】

請求項59のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根が、8枚の羽根から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項70】

請求項59のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根が、6枚の羽根、8枚の羽根、9枚の羽根または12枚の羽根からなる群から選択される複数の羽根から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項71】

40

請求項59のロータリーエンジンであって、前記複数の回転可能なチャンバが、6室、8室、9室または12室からなる群から選択される多くの室から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項72】

請求項59のロータリーエンジンであって、前記複数のロータ燃焼空洞が、6個のロータ燃焼空洞、8個のロータ燃焼空洞、9個のロータ燃焼空洞または12個のロータ燃焼空洞からなる群から選択される複数のロータ燃焼空洞から成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項73】

内燃ロータリーエンジンであって、

50

少なくとも圧縮領域および膨張領域を含む変形楕円形空洞を画成する内面を含むハウジングステータと、
前記空洞内に回転可能であり、かつ外部表面と、複数の燃焼空洞およびロータの周囲に沿って位置する複数のスロットを含むロータと、
燃料の混合物が前記複数のロータ燃焼空洞の着火のために圧縮される複数の回転可能なチャンバを形成するために、前記スロット内に配設され、かつ前記ステータの前記内面に拡張して、それと摺動可能に係合する複数の半径方向に突出する羽根と、
一部が、前記楕円形空洞の上に横たわる蒸気室であって、前記ロータ燃焼空洞内の前記燃料混合物の前記着火から熱を吸収し、前記燃焼空洞が回転して前記膨張領域を過ぎる際に熱を戻す流体を含む蒸気室と、
を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 7 4】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記燃焼および膨張領域が、前記吸気および圧縮領域より大きく、それによって、前記ロータリーエンジンの燃焼室内の圧力が回転摩擦損失に匹敵するまで燃焼ガスが膨張し、かつ最大仕事を実行することができることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 7 5】

請求項 2 9 のロータリーエンジンであって、前記ロータリーエンジンが、ナトリウム蒸気熱伝達、活性水冷装置熱回収、遮熱コーティング、水噴射および拡張膨張行程を使用して、より高いブレーキ熱力学的効率を達成することを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項 7 6】

請求項 9 のロータリーエンジンであって、前記羽根と前記ステータの前記内面との間の前記複数のシールの各々が、前記ステータの内面全体に円滑に摺動することができる小さい曲線状の丸い先端である獅子鼻先端を含むことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 7 7】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記エンジンが、ハウジングを含み、前記エンジンが、殆ど摩擦のない固体潤滑剤、熱応力および変形に耐性のある遮熱コーティング、複数の蒸気室システムおよび前記外側エンジンハウジングの等熱化のために過熱を運ぶ活性水冷装置を含むことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 7 8】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記エンジンが、高温合金から製造されるハウジングを含み、当該ハウジングが熱損失を最小化して、エンジン騒音を低下させるために厚い熱ブランケットで覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 7 9】

請求項 9 のロータリーエンジンであって、前記ステータの前記内面が、前記ロータリーエンジンが動作すると、羽根およびシール変形を最小化する形状を有することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 0】

請求項 2 のロータリーエンジンがさらに、前記複数の羽根の各々と前記ステータの前記内面との間に複数のシールを具え、前記吸気および排気ポートが各々前記ステータの前記内面でまわりを囲む開口であり、各ポートが、前記ロータリーエンジンの二等分によって 2 つの部分に分割されており、各部分が、各ポート部分の中央全体にわたっており、前記ポート開口でわずかに角度が付いた支持リブを含み、前記複数の羽根およびシールが前記ポート開口の上を通り過ぎるときに、前記複数の羽根およびシールに対する支持を提供して変形を防ぐことを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 8 1】

請求項 1 0 のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根の各々が、それが前記ステータの前記内面に対して動くとき、前記羽根が移動することを可能にするための羽根ベルトトグルバースシステムを含み、前記ステータの前記内面に対してその対応する回転可能なチャンバのシーリング向上を提供することを特徴とするロータリーエンジン。

50

【請求項 8 2】

請求項 8 1 のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトトグルバーシステムが、前記羽根ベルトシステムの単一センタ羽根ベルトのための単一ベルトトグルバーシステムであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 3】

請求項 8 1 のロータリーエンジンであって、前記羽根ベルトトグルバーシステムが、前記羽根ベルトシステムの 2 本の外側羽根ベルトのための二重ベルトトグルバーシステムであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 4】

請求項 1 0 のロータリーエンジンがさらに、前記羽根ベルトシステムで使用される単一羽根ベルトまたは二重羽根ベルトの張力を調整するための羽根ベルト張力調整システムを具えるロータリーエンジン。

【請求項 8 5】

内燃ロータリーエンジンであって、

吸気領域、圧縮領域、膨張領域および排気領域を含む変形楕円形空洞を画成する内面を含むステータと、

前記空洞の内部で回転可能であり、外部表面、および複数の燃焼空洞と、ロータの周囲に沿って位置する複数のスロットを含むロータと、

前記ロータがそのまわりを回転するドライブシャフトと、

前記スロット内に配設され、および前記ステータの前記内面に拡張し、かつそれを係合する複数の半径方向に突出し移動可能な羽根であって、前記複数のロータ燃焼空洞内の着火のために、水素を含む燃料の混合物がその中で圧縮される複数の回転可能なチャンバを形成するための羽根と、

一部が前記楕円形空洞の上に横たわり、かつ、前記ロータ燃焼空洞が前記膨張領域を過ぎて回転するにつれて、前記燃焼空洞内の前記燃料混合物の前記着火からの熱を吸収して、前記燃焼空洞に熱を戻すための流体を含む蒸気室と、

前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に冷気を吸入するための吸気ポートであって、前記ステータの前記外部表面の周囲に沿って前記吸気領域に先行する吸気ポートと、

前記複数の前記回転可能なチャンバの各々から燃焼ガスを排出するための排気ポートであって、前記ステータの前記内面の前記周囲に沿って前記膨張領域をたどる排気ポートと、前記複数の羽根上の遠心力を低下させるための羽根ベルトシステムであって、それによって、前記羽根と前記ステータの前記内面との間の前記シールの摩耗が、減少される、羽根ベルトシステムと、

前記回転可能なチャンバの各々を密封するための複数のシールと、

ロータ温度制御のための水蒸気室冷却／熱伝達システムと、

前記ロータリーエンジンの外側ハウジングから、前記エンジンのハウジングの前記内部から、圧縮行程、前記ドライブシャフトのベアリング領域および前記ロータおよび複数の羽根から、熱を取り込み、前記エンジンのサイクル内に再利用のために前記取り込まれた熱を戻す、水上記室冷／熱伝達システムと、

前記ロータリーエンジンの前記圧縮比を制御する目的で変更される水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第 1 の水噴射装置と、

前記複数の燃焼空洞の各々の中に前記空洞の中で点火された前記燃料を噴射するための燃料噴射装置と、

第 2 の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第 2 の水噴射装置であって、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中で、前記回転可能なチャンバ内に位置する前記ロータ燃焼空洞の前記燃料の前記着火から生じるガスを部分的に急冷して、前記チャンバ内の前記ガスの前記温度を低下させるための、第 2 の水噴射装置と、

第 3 の水量を、前記複数の回転可能なチャンバの各々の中に噴射するための第 3 の水噴射装置であって、前記膨張領域の上に横たわる前記蒸気室から前記回転可能なチャンバまで伝達される熱に反応して前記回転可能なチャンバを具える前記ロータ、羽根およびシール

10

20

30

40

50

を冷却するための第 3 の水噴射装置と、
を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 6】

請求項 2 のロータリーエンジンがさらに、前記吸気ポートによって取り入れられる前記空気を押し上げる吸気圧縮機を駆動する可変形状ターボチャージャータービンを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 7】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記蒸気室が前記燃焼および膨張領域の上に横たわり、それによって、前記蒸気室が、燃料着火がその中に生じる第 1 の複数ロータ燃焼空洞と前記蒸気室が前記第 1 の複数ロータ燃焼空洞内の前記着火から吸収される熱をそこに戻す第 2 の複数ロータ燃焼空洞の上に横たわることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 8 8】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記蒸気室によって吸収される熱が、前記燃焼領域を通して回転する第 1 の複数前記ロータ燃焼空洞内の前記燃料混合物に点火し、前記第 1 の複数ロータ燃焼空洞内の前記燃料混合物着火から生じる燃焼からの熱を吸収し、かつ、熱を、前記膨張領域を通して回転する第 2 の複数ロータ燃焼空洞の中へと戻るように伝達することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 8 9】

請求項 2 9 のロータリーエンジンであって、前記第 3 の水噴射装置によって噴射される前記回転可能なチャンバの前記水による冷却が、次の吸気サイクルに備えて前記チャンバ表面を冷却することを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項 9 0】

請求項 2 9 のロータリーエンジンであって、前記第 1 の水噴射装置によって噴射される前記水量が、自己着火が生じることが出来る有効圧縮比に結びつくことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 1】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記ステータの前記内面が、前記ステータを一定の燃焼着火から保護して、前記ステータからの燃焼熱の伝達を減少させるためにペロスクバイト遮熱コーティングで覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 2】

30

請求項 2 8 のロータリーエンジンであって、前記燃料混合物が、その前半分の中の水素と空気の混合物によって層状化され、かつその後半分の中の水が噴射され、それによって、前記水素および空気の混合物が容易に点火されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 3】

請求項 2 9 のロータリーエンジンであって、前記回転可能なチャンバを具えた前記ロータセグメント、羽根およびシールの前記冷却の結果、前記空洞内に回転する前記ロータによって生じる遠心力が、前記ステータの前記内面に対してより冷たくより重い水小滴を押しつけ、それによって前記蒸気室からの熱を吸収し、かつ前記蒸気室から前記回転可能なチャンバの中へと戻る熱伝達を促進し、前記回転可能なチャンバ内に高い蒸気圧および平均有効圧力を維持して仕事を実行することを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 9 4】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記蒸気室が、前記流体としてナトリウムを使用して着火からの熱を吸収し、前記液体ナトリウムが前記燃焼領域からの熱を吸収して、前記蒸気室のコンデンサ領域の方へ前記蒸気室に沿って音速で動くと、前記液体ナトリウムが、前記蒸気室の蒸発器領域の中で、相をナトリウムガス蒸気に変え、前記コンデンサ領域で前記ナトリウムガスが熱を前記膨張領域に沿って前記回転ロータ燃焼空洞の中へと戻るように伝達して、前記コンデンサ領域の中でナトリウム液体に相を変えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 5】

請求項 9 4 のロータリーエンジンであって、前記ナトリウム蒸気室が更に、前記コンデン

50

サ領域から、前記液体ナトリウムが前記熱い燃焼領域からの追加の熱を吸収するために利用できる前記ナトリウム蒸気室の前記蒸発器領域まで、均一に前記液体ナトリウムを吸上げるために毛管活性を与える複数の吸上メッシュから成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 6】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記活性水冷装置および前記蒸気室が、熱を互いに伝達し合い、それによって前記燃料混合物の前記ロータリーエンジンの燃焼によって生成される熱の大部分が、前記ロータリーエンジンを通して戻るように絶えず伝達され、正のエクセルギーワークの利点を提供することができることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 9 7】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記ロータ外部表面が、前記ロータを燃焼熱害から保護して、前記ロータへの表面伝熱を最小化するための遮熱コーティングで覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 8】

請求項 9 7 のロータリーエンジンであって、前記ロータが、前記ロータの外側表面の下に位置する水蒸気室を更に具え、前記水蒸気室が、前記ロータの遮熱コーティングを通過する燃焼からの熱を吸収することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 9 9】

請求項 9 8 のロータリーエンジンであって、前記ロータの水蒸気室が、水流体が前記ロータの遮熱コーティング中を通過する熱を吸収する蒸発器領域であり、それによって、相を液体から気体に変えて、前記吸収された熱を前記ロータの両側に位置するコンデンサへ伝達することを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項 1 0 0】

請求項 9 9 のロータリーエンジンであって、前記ロータが前記コンデンサ熱を吸収するために回転すると、前記活性水冷装置が前記ロータコンデンサ全体に水を吹き付け、それによって、前記ロータ蒸気室水が冷えて、相を気体から液体に変えて、次いで高 G 遠心力によって前記蒸発器領域の方へ戻るように再循環することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 0 1】

請求項 9 8 のロータリーエンジンであって、前記ロータ水蒸気室が、前記ロータの前記外部表面全体にわたって熱分配を等熱化するのを助けることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 1 0 2】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記ステータの前記内面が幾何学的輪郭を有し、前記ロータリーエンジンの熱力学サイクル性能が動作中に向上するように、前記燃焼および膨張領域が前記吸気および圧縮領域より大きいことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 0 3】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、羽根冷却熱伝達システムであって、各前記羽根内に位置する複数の羽根熱パイプ室と、水内部作動流体を有する羽根熱パイプ室と、前記外側羽根形状に合致するように湾曲する前記羽根の前記外側周辺に沿って拡張する複数の羽根熱パイプ室であって、前記熱パイプ室の各々が、前記ロータ軸方向シール直下の前記ロータの軸方向側面に沿って位置する前記羽根の前記外側表面および 2 つの内側軸方向凝縮端の下に中心を有する内側蒸発領域を具える複数の羽根熱パイプ室と、1 つのコンデンサ側面から他方までの前記羽根熱パイプ室を通して軸方向に走る、複数の吸上凍結チューブと、前記内側羽根熱パイプ室コンデンサから前記活性冷却システムの前記冷却水に熱を伝達する複数の羽根熱パイプ室外側コンデンサと、を具えることを特徴とする熱伝達システム、

40

50

を具えるロータリーエンジン。

【請求項104】

請求項103のロータリーエンジンであって、前記羽根熱パイプ室内部作動流体が、水を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項105】

請求項103のロータリーエンジンであって、前記羽根熱パイプ室センタ蒸発器セクションにおいて、前記水作動流体が、それが着火および燃焼中に熱を吸収すると、液体から気体に相を変え、前記コンデンサセクションにおいて、前記水作動流体が、それがその熱を前記活性冷却システムの前記冷却水に伝達すると、相を気体から液体に変えることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項106】

請求項89のロータリーエンジンがさらに、ナトリウム蒸気室圧力調整破裂開放システムであって、
不活性の圧縮性のガスで満たされる圧力室と、
圧力調整ディスクと、
破裂ディスクと、
破裂信号旗と、
を具えるシステムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項107】

請求項106のロータリーエンジンであって、前記不活性の圧縮性ガスが、窒素、アルゴンまたはクリプトンであることを特徴とするロータリーエンジン。

20

【請求項108】

請求項59のロータリーエンジンであって、前記複数の羽根ベルトが、2および3であることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項109】

請求項108のロータリーエンジンであって、前記2本羽根ベルトシステムを、各ベルト上の3枚または4枚の複数の羽根によって構成でき、その結果、6枚または8枚の羽根を有するエンジンとすることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項110】

請求項108のロータリーエンジンであって、前記3本羽根ベルトシステムが、各ベルト上の3枚または4枚の複数の羽根によって構成でき、その結果、9枚または12枚の羽根を有するエンジンとすることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項111】

請求項110のロータリーエンジンであって、前記3本羽根ベルトシステムにおいて、前記第3のベルトが、第2の二重ベルト、アーチ、および前記第1の二重ベルトシステムのすぐ外側に向けられる羽根トグルシステムであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項112】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記活性冷システムの前記水によって吸収される前記熱が、前記圧縮領域内の前記第1の水噴射および第2の水噴射初期状態燃焼／膨張領域中に、前記ロータ室の中へと戻るように噴射されることを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項113】

請求項76のロータリーエンジンであって、前記複数の丸形獅子鼻シールが、殆ど摩擦のないコーティングで覆われていることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項114】

請求項113のロータリーエンジンであって、前記複数の隆起した丸形獅子鼻シールにおいて、前記殆ど摩擦のないコーティングが、固体潤滑剤の類のコーティングであることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項115】

請求項1のロータリーエンジンであって、前記ロータ表面上の前記遮熱コーティングが、

50

前記ロータ冷却装置の中の熱損失を減らすことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 1 6】

請求項 1 のロータリーエンジンがさらに、直接の発電のためのアルカリ金属熱電気コンバータを具える蒸気室を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 1 7】

請求項 1 1 6 のロータリーエンジンであって、前記アルカリ金属熱電気コンバータが、ベータアルミナ固体電極の形状を具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 1 8】

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、前記ベータアルミナ固体電極が、大きな表面領域形状によって薄く作られることを特徴とするロータリーエンジン。

10

【請求項 1 1 9】

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、前記ベータアルミナ固体電極が、前記エンジン室加熱源の方の前記内面上がカソード材料で覆われており、および、前記他の外側表面上のアノードコーティングが前記外側蒸気室カバーに面することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 0】

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、前記ベータアルミナ固体電極が、イオンのに、および、電氣的に前記液体ナトリウム作動流体および伝導性直接金属接触から絶縁されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 1】

20

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、前記ベータアルミナ固体電極が、さらに、その内面上の不活性シリコンまたはモリブデン絶縁繊維メッシュ、その外部表面上のイットリウム安定化ジルコニウムから作られる遮熱コーティング、および、前記ナトリウム蒸気室内部で所定の場所に前記ベータアルミナ固体電極を固設するのを助ける絶縁および不活性ジルコニウムねじ、を用いて、イオンのに、および、電氣的に絶縁されることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 2】

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、更に、加熱されたナトリウム蒸気がカソード表面からアノード表面まで前記ベータアルミナ固体電極をイオンによって通過するにつれて電気電子流を発生させるアルカリ金属熱電気コンバータ電極であることを特徴とするロータリーエンジン。

30

【請求項 1 2 3】

請求項 1 1 7 のロータリーエンジンであって、前記アルカリ金属熱電気コンバータ電極が、前記ベータアルミナ固体電極のカソード表面およびアノード表面と独立に接する電極コネクタを含み、それによって、電気設備に接続される外側電気コネクタと接することができる前記ナトリウム蒸気室外側カバーの外側を通過するカソードおよびアノード物理的電氣的接続回路を形成し、前記アルカリ金属熱電気コンバータベータアルミナ電極と前記電気設備との間に直接カソードおよびアノード電気回路接続を形成して前記カソード回路経路を通して前記電気設備に電子電気の流れを供給し、かつ前記電気設備から前記アノード回路経路を通して前記金属アルカリ熱電気コンバータベータアルミナ固体電極まで電子電気の流れを戻すことを特徴とするロータリーエンジン。

40

【請求項 1 2 4】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記蒸気室カバーの内面上の前記遮熱コーティングが、前記蒸気室からその周囲の雰囲気への熱損失を減らすことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 5】

請求項 9 1 のロータリーエンジンであって、前記遮熱コーティングが、イットリウム安定化ジルコニウムから成ることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 6】

請求項 1 2 5 のロータリーエンジンであって、前記ジルコニウムが、さらに、前記燃焼空

50

洞から前記ステータを通して浸透し、かつステータハウジング合金材料から解離する、水素ガスを吸収することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 7】

請求項 5 0 のロータリーエンジンであって、微細、中程度および粗い吸上メッシュ構造が、ステンレス鋼またはシリカまたはモリブデンの繊維から作られ、様々な密度に織られて前記微細、中程度および粗い吸上構造を形成することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 8】

請求項 5 0 のロータリーエンジンであって、微細、中程度およびコース吸上メッシュ構造が、様々な密度に形成することができるニッケル-チタン N i T i から成る形状金属合金の繊維または焼結粉でできており、前記微細、中程度および粗い吸上構造を形成し、前記ナトリウム蒸気室作動流体の前記液体毛細管フローを最適化することを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 2 9】

請求項 1 0 6 のロータリーエンジンであって、前記破裂開放システムが、前記蒸気室内部で前記蒸気圧を連続的に調整する圧力調整システムを具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 3 0】

請求項 1 0 6 のロータリーエンジンであって、チャンバ圧力調整破裂開放システムが、圧力破裂制御および破裂信号を更に具えることを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 3 1】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、使用する前記燃料の種類が、前記ロータ室内へ噴射されることができ、かつ熱を生成するために点火できる任意の種類でよいことを特徴とするロータリーエンジン。

【請求項 1 3 2】

請求項 1 のロータリーエンジンであって、前記燃料が、水素であることを特徴とするロータリーエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本出願は、2 0 0 5 年 9 月 2 9 日に出願の米国仮出願番号第 6 0 / 7 2 1 , 5 2 1 号に対する優先権を主張し、その全体を参考として本願明細書に引用したものである。

【0 0 0 2】

本発明は、内燃機関、より詳しくは水素燃料熱力学的 G サイクルを使用する回転羽根エンジンに関する。

【0 0 0 3】

背景技術

世界中の様々な国の石油需要の増大はエネルギー価格の高騰に結びつき、同じ限られた石油備蓄を競う国家の間に、インフレや地政学的緊張を高める可能性がある。たとえ需要を満たすまでに石油の供給量が増やされたとしても、そうなれば、より多い C O ₂ エミッションを生じる可能性がさらにあり、より急速な地球温暖化の可能性を伴う。

【0 0 0 4】

現在、多数の運送、石油およびエネルギー会社や、政府が、化石燃料を徐々に代わってゆく燃料源を製造するために水素関連の研究および開発計画に何十億ものドルを投資している。例えば、多くの自動車会社が水素燃料電池車を開発している。しかし、燃料電池の耐久性、効率、燃料純度要件、水素貯蔵およびコスト限界が主要な実現障壁である。

【0 0 0 5】

自動車メーカは、また、現在の内燃機関車両と将来の燃料電池車両との間の移行段階として電気／内燃機関ハイブリッド推進システムも開発している。しかし、ハイブリッド電気推進システムが消費者に対して十分に高い付加価値効率の利点を提供して、それらのより高いコストを正当化するかどうかは不明である。

10

20

30

40

50

【0006】

既存の内燃機関システムを水素で作動するように変換することも、また問題がないわけではない。水素の燃焼温度は、ガソリンの燃焼温度より非常に高く、大量の NO_x 排出物の形成に結びつく。潜在的 NO_x 排出物を減少させるために希薄な水素燃料混合物を用いると、パワー出力性能レベルを大いに低下させる。直接水素噴射はこの問題を改善することができるが、噴射装置はきわめて高価で、高圧および高い耐性を必要とする。噴射パルスは、限られた量の水素燃料しか供給しないので、より大きなパワー用途に対しては不十分になる。水素ガスの乾燥によっても、パルシング噴射装置の作動がより困難になり、噴射装置の摩耗が増大する。さらに、水素ガスの高い拡散性によって、しばしば、水素ガスがエンジンシーリングシステムを通過してクランクシャフト領域の中に入る結果、エンジンを損傷し、および／または油潤滑剤が発火するような、きわめて望ましくない燃焼が起きる。

10

【0007】

発明の開示

高効率水素Gサイクル回転羽根内燃機関は熱力学エネルギーの利点を最大化し、 NO_x の低減とともに、より高い燃費経済性、エンジン重量および容積に対するより高い出力密度を求めて熱ブレーキ効率の改善を提供する。このエンジンは、また、回転羽根エンジンの機械的利点を最大化して、シール、ロータおよびハウジングシステムの改善によってGサイクルの作動を補足して、熱損失、エクセルギーエネルギー破壊を最小化し、かつ、摩擦を減少させて信頼性、作動寿命ならびに雑音、振動、および不快感(NVH)を改善させるように最適化もされる。

20

【0008】

Gサイクルおよび回転羽根内燃機関の熱力学的熱損失は、熱を除去して、ナトリウム蒸気室、チャンバ水噴射および幾何学的チャンバ過膨張を使用して、それを再挿入することによって制御され、それによって、さもないれば冷却装置および空気中へ失われているであろう熱および排出ガスエンタルピーを活用する。活性水冷システムが、ハウジングおよび排気から熱を取り込んで、それを噴射してエンジンサイクルへ戻す。これらの熱伝達流れを全て組み合わせると、きわめて高い出力密度で65ないし80%の全体的ブレーキ熱効率を有するエンジンが作り出され、それは、パワー発生および推進用途に理想的に適している。

30

【0009】

この発明の水素エンジンは、改善された水素燃料供給、可変水圧縮比、より広い燃料／空気同値作動範囲、改善された水素点火、拡張された燃焼／膨張室、より長い燃焼持続時間、初期および後期水噴射を伴うエネルギー可逆的ナトリウム蒸気室熱伝達システム、を使用して、燃焼プロセスの改善、熱伝達冷却の改善、および熱排出損失の低減による水素高効率熱力学的Gサイクルを使用して、上述した目的を達成する。

【0010】

この発明の水素エンジンは、分割羽根シール、獅子鼻先端、動的軸方向分割羽根シール、羽根シールガス通路、動的ロータ軸方向シール、羽根面シール、羽根構造、羽根熱パイプチャンネル冷却／熱伝達、および、羽根反遠心ベルトシステムから構成される改善されたシーリングシステムを有する。このエンジンは、水蒸気室冷却／熱伝達および羽根接線ベアリングシステムの改善による羽根摩擦の減少を用いて、ロータ熱制御を具えた改善されたロータ構造を有する。このエンジンは、より大きな膨張用に変形した楕円内側ハウジングステータ形状の改善されたハウジング、より高いハウジング作動温度、固体潤滑剤、活性水冷／熱伝達、減少した水素漏れ、外側水蒸気室、および断熱カバーを有する。

40

【0011】

この発明は、さらにナトリウム蒸気室内に設置されたアルカリ金属熱電気変換器(AMTEC)から改善された直接電力を供給する。

【0012】

この発明の更なる一目的は、既存の内燃機関を超える、低い排気熱損失、低い冷却装置熱

50

損失、および全体的熱ブレーキ効率の向上に結びつく低い摩擦熱損失を伴う改善された熱力学サイクルを提供することである。

【0013】

熱力学第2法則に従って、熱の仕事への変換はカルノーサイクル効率によって最大化され、および、若干の熱量が低温シンクに送られなければならない。しかし、カルノーサイクル効率は単一室反応においてだけ有効である。Gサイクルは、反応熱力学サイクルとしてエンジン全体の熱力学および機械的複合システムを使用する多室反応サイクルを用いて、カルノーサイクル効率限界を克服する。ナトリウム蒸気室は、燃焼／膨張領域に沿って複数室反応を共に結びつけるかまたは重ね合わせる。ナトリウム蒸気室によって、余熱を燃焼領域から膨張領域に沿って燃焼室へと戻るように伝達することができる。

10

【0014】

Gサイクルエンジンは、最高出力および効率性能を達成するために、燃焼／膨張サイクル全体に熱力学的熱伝達特性を制御して維持する自動動的平衡システムである。このエンジンは、吸入／圧縮領域より、広い燃焼／膨張領域を使用しており、チャンバ圧力が回転摩擦損失に匹敵するまで、燃焼ガスが膨張することができ、かつ最大仕事を実行することができる。燃焼／膨張領域に沿って配置されたナトリウム蒸気室は、水素／水の予混合に点火して、燃焼領域から過剰燃焼熱を除去して、過膨張した膨張領域に沿って回転室の燃焼空洞の中へと戻るようにそれを伝達するのに用いられる。燃焼室への燃焼／膨張経路に沿った初期水噴射によって、拡張燃焼／膨張領域に沿って過剰燃焼熱およびナトリウム蒸気室からの熱がさらに吸収される。燃焼／膨張に沿った後期水噴射によって燃焼ガス温度が低下して排気熱損失が最小化され、および次の吸入サイクルのために燃焼室表面が冷却される。

20

【0015】

活性冷却システムからの水は、燃焼空洞内への初期および後期水噴射に使われる。活性冷却システム内に吸収された熱は、水温を250ないし350度Cまたは523ないし623度Kまで上昇させる。この温度は、水の蒸気沸点のすぐ下であり、水を水圧液体として高圧で燃焼空洞内に注入することができる。1,800度K前後の燃焼温度によって、水の噴射は、燃焼ガス温度を劇的に低下させる。これが、温度平衡が達成されるまで、ナトリウム蒸気室から燃焼室の中へ戻る熱伝達を促進する。

【0016】

Gサイクルエンジンは、燃費経済性を向上させて、最新技術の内燃機関（ICE）の排出ガスを減少させる大きな可能性を有する。燃費経済性改善に対する大きな可能性は、さもないと無駄になるシリンダー壁からの熱および排出ガスを使用し、加熱された水を生成してシリンダー内にそれを噴射し、そこで加熱された水の相が追加の膨張出力のために液体から蒸気に変わることから来る。Gサイクルエンジンのサイクル効率は、Gサイクルでは、膨張出力を生成する作動媒体の質量が、（出力を消費する）圧縮比より、高い（出力を発生させる）膨張比である付加的利点と共に、このサイクル中に増加する一方、カルノーサイクルでは、作動媒体の重量および圧縮比／膨張比は固定される、という事実起因して、カルノーサイクル効率に限定されない。また、Gサイクルエンジンの高いサイクル効率は、（カルノーサイクルが推奨するような）高い燃焼温度に依存せず、サイクル周辺の熱エネルギーを移動させるかまたは伝達することに依存する。このようにして、従来のICEにおけるNO_x／煙／エンジンサイクル効率のトレードオフ障壁は、突破される。

30

40

【0017】

Gサイクルは、内燃機関の熱全体を活用するだけでなく、また、冷却システム内に取り込まれて燃焼室内へと戻るように伝達される機械摩擦熱も使用し、可逆的エネルギーシステムに結びつく。

【0018】

以下のものは、図71にて図示するように、主要なGサイクルプロセス事象である：

【0019】

1. ロータ室は、吸気ポートを過ぎて回転し、そこで自然に吸い込まれ、または好ましく

50

はターボブーストされた外気が完全充填される。

【0020】

2. 一旦、ロータ室が吸気を終わって、その最大吸気量に達すると、ハウジング形状は、吸気を圧縮し始める。活性冷却システムからの約250℃ないし350℃または523Kないし623Kの可変量の加熱された水が、圧縮段階中に室の空洞内に噴射される。これが第1の可変水噴射である。加熱された水は、ロータ室の側面および後半分に沿って燃焼室の中で層をなし、有効室圧縮比を増大する。加熱された水は非圧縮性流体とみなされ、および、加熱された水量は室圧縮比を制御して、調整するように変更することができる。ロータ室は、前半分内の外気および後半分内の噴射された水によって層状になる。

【0021】

3. 加熱された水素ガスが、後期圧縮中にロータ室空洞内に直接噴射される。ロータ室空洞への水素の直接噴射を用いて、早点火ノックの問題は解消される。水素は、空気および水重量より低密度で、かつ、ロータ室の前半分の近くで層状化する傾向があり、同じくロータ室の前半分の方へ層状化される新しい吸気と容易に混合されて、水素の濃度を相対的に均質に保つ。均質な水素／空気濃度混合物の発生により、点火が容易になる。

【0022】

4. 点火プラグは、水素に点火することができ、または、有効圧縮比により、制御された自己着火が起こり得る。水素自己着火温度は、585℃または858Kである。

【0023】

5. ロータ室が上死点中心(TDC)を過ぎて回転するにつれて、600℃または873Kより上の燃焼熱が外側ステータハウジングの内面上のペロスクバイト遮熱コーティング(TBC)保護を通過して、ナトリウム蒸気室(SVC)内に伝達される。ペロスクバイトTBCは、ハウジングを1,800Kで一定燃焼点火から保護する。SVC内のナトリウムは、その相を液体から気体に変えて、膨張経路に沿って流れる。

【0024】

6. ペロスクバイトTBCの表面温度は、1,800Kのピークガス温度に合致させることができる。この高温表面領域は、585℃または858Kの水素自己着火温度より十分高く、完全燃焼反応をさらに改善する。

【0025】

7. 活性冷却システムからの約250℃ないし350℃または523Kないし623Kで加熱された水の第2の水噴射が、初期燃焼／膨張反応に噴射され、燃焼反応を部分的に急冷するかまたは冷却してピーク温度を約1,800Kに制御し、かつ、チャンバガスおよび水温を約600℃または783Kの温度に下げて、膨張経路に沿ってより高温のナトリウム蒸気室からロータ室への熱伝達の戻りを促進する。加熱された水は、相を液体から超加熱スチーム蒸気に変え、仕事を実行するチャンバの平均有効圧力(MEP)の増加量を大きく拡大する。

【0026】

8. ナトリウム蒸気室は、熱を回転室へと戻すように伝達し続け、チャンバ温度を約600℃または873Kに保つ。ロータ室のガスおよび水が冷えるにつれて、遠心力が、外側ハウジング表面壁に対してより冷たくてより重い水滴を押しつけて、これがSVCからの熱を吸収して、SVCからロータ室へと戻すように熱伝達を促進するのを助け、さらに、仕事を実行するために高い蒸気圧およびMEPを維持する。

【0027】

9. 第3の水噴射冷却器において、30℃または303Kの活性冷却システムからの水が排気ポートのすぐ前に後期燃焼／膨張に噴射され、燃焼反応ならびに燃焼室ロータ、羽根およびシール材を冷却して、次の吸気充填の熱スロットリングを防ぐ。冷水は、チャンバ蒸気圧力および密度を増加させるのを助ける。冷水は、また、水蒸気を凝縮するのを助け、回収をより容易にする。

【0028】

10. 高圧、高速度、より低温度、および、水高密度排出ガスは、次いで可変形状ターボ

10

20

30

40

50

チャージャタービンを通過し、吸気コンプレッサを駆動する。

【0029】

11. 排気からの水が、凝縮され、濾過されて、活性冷却システムの中へと戻るように再循環する。

【0030】

低熱損失温度管理

Gサイクルエンジンにおいて、ヒートシンクが初期および後期水噴射によってナトリウム蒸気室および活性冷却システムに送られる。これらのシステムは可逆式であり、かつ熱力学的効率を向上させるために熱の流れをエンジン室へと戻るように再循環させることが可能である。通常はエクセルギー値または仕事を実行する能力を持たないであろう活性冷却システムからの水が、エンジン室へ戻すように噴射され、そこでそれは正のエクセルギー仕事を実行することができる。SVC内に吸収された熱は、エンジン室へ戻るように逆吸収されるかまたは伝達されてエクセルギーワークを実行する。活性水冷システムおよびSVCの双方からの熱は、相乗的に相互作用し、かつ、熱をシステム間で相互に伝送させることができる。これによって、熱の大部分がエンジンを通して絶えず戻るように伝達され、正のエクセルギーワークの利点を提供することができる。とはいえ、熱の若干の部分は、各伝動中に失われる。

【0031】

ロータ燃焼室へと戻るように噴射される水量を調整することによって、燃焼ガス温度を低下させることは、全く容易である。その鍵は、チャンバおよびエンジンシステム内のエンジンの仕事およびエンタルピーも最大化するように水噴射をバランスさせることである。あまりに多くの水が加えられる場合、反応は急冷し、またはあまりに早く冷却し、空気流を適切に排出するのに十分なエンタルピーを有しない。あまりに少量の水しか噴射されない場合、全ての熱ポテンシャルが回収されず、高い排気熱損失および／または冷却熱損失が起こる。

【0032】

ナトリウム蒸気室および熱伝達

Gサイクルエンジンにおいて、ナトリウム蒸気室(SVC)は、燃焼における熱い領域から熱を吸収して、膨張行程中に回転室へと戻るようにそれを伝達する、2相ヒートパイプのように作動する。

【0033】

SVCは、作動流体としてナトリウムを使用する。エンジン燃焼によって放出される熱は、SVCの蒸発器領域に伝達され、そこで液体ナトリウムが伝達された熱を吸収して、相を液体からガス蒸気に変える。ナトリウムガス蒸気は、次いでSVCに沿ってコンデンサ領域の方へ音速で移動し、そこでナトリウムガスは、膨張領域に沿って回転燃焼室へ戻るようにその熱を伝達し、および、ナトリウムは相をガス蒸気から液体に変える。一連の吸上メッシュが毛管活性を与えて、液体ナトリウムバックアップをSVC蒸発器領域の方へ均一に吸上げ、そこでナトリウムが再び蒸発し、および、このサイクルが繰り返される。

【0034】

活性冷却およびナトリウム蒸気室システム内に熱が吸収される時、および、それがエンジンの膨張サイクルへと戻るように伝達される時に、熱流遅れがある。しかし、この遅れは連続的な熱の流れによって作動するGサイクルには重要でない。この遅れは、燃焼熱がSVCおよび活性冷却システム内に吸収され、主としてそれらの作動温度範囲までそれらを満たす始動中にだけはっきり見える。

【0035】

エンジンが回転数速度を変えるにつれて、過渡的な熱負荷は比例して変わる。これが、回転室との熱伝達遅延比率を変える。しかし、SVCはより高い負荷条件に自動的に調整する自己バランスシステムである。回転数速度が増加するにつれて、SVCへの熱伝達負荷が増加し、および、ロータ運動も遅れポテンシャルを増加させて熱をロータ室へと戻るように伝達する。SVCナトリウム温度が高くなればなるほど、熱いナトリウム蒸発器領域

10

20

30

40

50

からコンデンサ領域への温度差異もより大きくなる。これは、SVCの内部の熱伝達を増加させる。燃焼熱負荷が続くにつれて、蒸発器およびコンデンサ双方の領域のSVC平均作動温度は増加する。これは、より多くの熱が非常に高率で戻るように伝達されるように、膨張経路に沿ってSVCと回転室との間により大きい温度差がある状態に結びつく。また、より高い回転数では、SVCへの、およびそれからの、より短い持続時間の熱伝達がある。これは、SVCへの過剰な熱負荷を制限する。

【0036】

ナトリウムは、水と非常に反応するので、発火することができる加熱水素ガスを発生させることができる。ナトリウム水相互作用および反応を減少させるには、第1に、ナトリウムの量は、きわめて大型エンジンでさえ、限られた損傷で済むように相対的に少なく保たれ、第2に、エンジンカバーは、容易に破壊しないようにきわめて強い超合金材料から作られ、第3に、SVCカバー形状設計の湾曲も破壊を防ぐように衝撃力を伝達する、驚異的な強度を与え、第4に、外側カバーは、ナトリウム蒸気室をも衝撃から保護する金属発泡断熱材またはブランケット材の極めて厚い層によってさらに保護され、第5に、内部ナトリウム作動熱の流れを最適化して、高い衝撃圧力を吸収して、破壊の危険を減らすのを助ける内部SVC圧力レギュレータシステムが使われ、および、第6に、破壊の場合には、ナトリウム水相互作用が一般的にきわめて局所化され、反応速度が遅くなり、何らかの火災の可能性が存在するが、必ずしも金属飛散に結びつくであろう爆発の可能性はない。

【0037】

外側SVC断熱カバー

外側SVC表面は、SVCを通して周囲環境への熱損失を減らすのを助ける断熱カバーで覆われている。この断熱カバーは、また、Gサイクルエンジン騒音レベルを著しく減らすのも助ける。断熱カバーは、セラミック材料または発泡金属の断熱ブランケットまたはセラミック材料から作ることができる。これらの材料はまた、SVCを破壊させるかもしれない事故からの衝撃損傷からSVCを大いに保護する。

【0038】

アルカリ金属熱電気コンバータ

本発明の更なる目的は、電気の直接供給源を提供することである。本発明は、燃焼領域に沿ってそれから余熱を除去して、膨張領域に沿ってそれを伝達するためのナトリウム蒸気室システムを提供する。ナトリウム作動流体の循環熱伝達プロファイルは、電気を発生させるためにアルカリ金属熱電気コンバータ(AMTEC)を使用することに等しい。AMTECはナトリウムを作動流体として使用し、それがベータアルミナ固体電極(BASE)に対して加熱されて加圧され、BASEでナトリウムが液体から気体に変換され、およびナトリウムイオンは電気を発生させるBASEを通過する。

【0039】

ロータ冷却

ロータ表面は、最大1,400°Cで作動することが可能な欠陥集積TBCで覆われている。TBCは、ロータを燃焼熱被害から保護するのを助けて、ロータへの表面熱伝達を最小化する。ロータのTBCを通過するロータ室からの熱は、ロータ表面の下方に位置する水蒸気室内に吸収される。ロータの最上部水蒸気室は、水作動流体が相を液体からガスに変える蒸発器領域であり、かつ、水蒸気室の内側の熱をロータの両側に位置するコンデンサに伝達する。ロータが回転してコンデンサ熱を吸収するにつれて、活性水冷装置はロータコンデンサ全体に水を吹き付け、それによって、ロータ蒸気室水が冷却して、相をガスから液体に変えて、次いで高G遠心力によって蒸発器領域の方へと戻るように再循環される。ロータ水蒸気室も、ロータ表面全体にわたって熱分配を均熱化するのを助ける。これは、チャンバの全体にわたる均一な燃焼を改善して、ロータ構造内のホットスポットおよび変形を防ぐのを助ける。

【0040】

高いブレーキ熱力学的効率

そのナトリウム蒸気熱伝達、水噴射および長い膨張行程のため、Gサイクルエンジンはよ

10

20

30

40

50

り高いブレーキ熱力学的効率を達成することができる。ハウジングおよび冷却装置に失われるであろう熱が、ナトリウム蒸気室システムから回収される。活性冷却システムに伝達される熱は、燃焼／膨張サイクルの中へ戻して、再利用される。水噴射を有する拡張燃焼／膨張室は最大量の燃焼熱がMEPおよび仕事に変換されるのを可能にし、排気温度損失を減らす。圧縮行程からの摩擦損失ならびに摺動羽根およびロータからの熱が、活性冷却システムの水に取り込まれて、燃焼室および作動サイクルの中へと戻るように噴射される。サイクルとしてエンジン全体を使用すると、燃焼、熱伝達冷却、排気および摩擦からの全体的な熱損失が減り、最大出力およびブレーキ熱力学的効率が65－80％に到達するレベルに高まる。

【0041】

Gサイクルは、ワンケルおよび他のロータリーエンジンとともに使用するように構成することができるが、好ましい実施態様は、Gサイクルの熱力学的および機械的作動を最適化するように設計された多くの独特な機械システムを有する本発明のGサイクルエンジンのために、特に設計されている。

【0042】

高均衡出力密度

本発明の更なる目的は、体積及び重量性能に対して、より高いエンジン出力も有する、より均衡した出力配分を提供することである。

【0043】

このエンジンの目的は、4つのエンジンサイクル行程の各々を最適化して、高いエンジン効率を達成する完全に統合されたエンジンシステムにそれらの作動を統合し、同じく、エンジン体積および質量重量密度に高出力を統合することである。好ましいエンジン構成は、ロータがドライブシャフトの中心にある回転羽根タイプエンジンである。それが4つのエンジンサイクルの各々を独立に分離することができるという点で、ロータリー式エンジンは理想的である。それによってまた、全ての燃焼力および機械力が連続的に作用して、往復エンジンと対照的に1つの方向にだけに回転するように調節することができる。これは、少ない振動および応力を有する、より円滑な、より均衡のとれた回転を生成する。本発明のエンジンに使用されるチャンバは、相対的により小さく、それによって、エンジンが唯一つのロータで円滑に作動することができるように、燃焼反応をよりよく制御することができる。

【0044】

このエンジンは、また、エンジンシステムの全体的な出力能力を増大させるために、同じドライブシャフト上へ連結される可変数のロータを有することができる。ロータの数は、全てのロータの作動負荷を処理するドライブシャフトの長さおよび強度により制限される。本発明のエンジンは、また、6室または、8室、9室または12室の燃焼室を有することもできる。しかし、好ましい実施態様は8室エンジンである。6室、8室、9室、または12室以上のチャンバによって、360度CA回転に対するエンジンスケールに従い、このエンジンは、小さいエンジン体積および質量重量の範囲内できわめて高い移動出力およびトルクを発生させることができる。

【0045】

例えば、ロータに8室の燃焼室を有するエンジンで、このエンジンは360度クランク回転につき8個の出力パルスを供給する。

【0046】

可変水噴射圧縮比

水素Gサイクルエンジン内のSVCの使用によって燃焼空洞をエンジンから完全に除去することができるとはいえ、この種の空洞は、水素および水層形成特性を制御するのを助けて、着火を改善し、燃焼反応混合を向上させるための乱流を発生させる。しかし、燃焼空洞凹部の使用により、より多くのチャンバ空間が生成され、外側ハウジングステータ表面とロータ形状の相互作用に基づいて容易に圧縮できないチャンバ空間が加えられることにより、チャンバ圧縮比にマイナスの影響を及ぼす。Gサイクルエンジンにおいて、水噴射

10

20

30

40

50

は燃料噴射から幾何学的に切り離される。2つの水噴射装置が、圧縮行程の初期で後部ロータ室羽根が吸気ポートを離れる点に設置される。これにより、水噴射が生じる前に、新しい吸気の完全充填が可能になる。ここで、活性冷却システムからの加熱水がロータステータハウジング側面上の2つの水噴射装置によって、ロータ室内に噴射される。水噴射は、軸方向シールの近くのロータおよびロータ室の両側面上で水を噴射する各噴射装置によってロータ回転方向に前方へ向けられる。水温は、蒸気点に近い250ないし350度Cである。ロータが内側ハウジングステータの中で回転すると、噴射水は遠心力および慣性力によりロータ室の後半分で層をなす。ロータ室は、次いで前半分内で外気によって層状化され、かつ、後半分内で水が噴射される。この点で、水は非圧縮性流体として扱われて、有効チャンバ空間を大いに減らす。水素燃料は、次いでロータ室の中心前半分に直接噴射される。加えられた水はピーク燃焼温度を制御するのを助け、更に、有効圧縮比を増大して燃料に点火するのを助ける。チャンバ内の水と燃料の層状化は、また、水希釈なしで燃料がより早く点火するのを助け、燃焼性能を向上させる。水と燃料の層状化は、また、燃焼反応をロータ室の前部内に保つ。これは、燃焼力の前方への影響力をさらに向上させる。この層状化なしでは、燃料は、また、ロータ室の後半分に向けてチャンバ内で層状化する傾向があり、所望の燃焼に向けられた力を最小化するであろう。一旦水素燃料が点火されると、水を過熱蒸気に気化させるのにはきわめて僅かの量の燃焼熱しか必要としない。この過熱蒸気は、燃焼する燃料と混合するため、相当なチャンバ乱流を発生させる極めて強い噴出運動を伴い回転方向に前方へ噴出する。この過熱された高度乱流燃料／水反応は、次いで1, 800 Kまたは1, 526度Cの表面温度を有するナトリウム蒸気室の燃焼表面の上を通り過ぎる。Gサイクルエンジンのこの幾何学的セクションは、チャンバ体積に対して極めて大きなハウジング表面領域を有して、燃料の燃焼速度および完全燃焼を改善するのを助ける。圧縮行程に噴射される水量は、異なる回転数条件の下でエンジン性能および効率を最適化するために有効圧縮比を変えるように変更することができる。

【0047】

例えば、400 ccの幾何学的吸気体積は10：1の圧縮比で40 ccに圧縮することができる。しかし、20 ccの非圧縮性の水が噴射される場合、有効ガス圧縮体積は20：1圧縮比で20 ccである。水量は、有効圧縮比を理想エンジン作動状態に合わせるように調整することができる。

【0048】

燃焼損失逆転

圧縮比は、水素／水／空気プリミックス温度が585度C、すなわち自己着火温度にきわめて近くなるように、調整される。水素は、きわめて拡散性の高い燃料であり、水との均質の充填物を素早く形成する。ナトリウム蒸気室からの熱は、水素／水／空気混合物に点火する。混合物に点火するためにハウジング表面領域を用いて、燃焼室全体が同時に点火される。燃焼エネルギーは、自己着火温度と平衡状態にある水素／水／空気混合物温度のために殆ど失われない。ハウジング全体が混合物に点火するのに用いられるので、反応していない燃料および空気との火炎前面交換から失われる燃焼エネルギーはごく僅かである。燃焼混合物が水素、水および空気だけであるので、成生物および反応物は、ただこれらの成分に限られる。これにより、より大きい炭化水素鎖で繋がれた燃料の分子結合を切ることに伴う燃焼運動エネルギー損失が減少する。均質の水素／水／空気混合物によって、水は水素に接近し、そして仕事を実行するために熱エネルギーを高蒸気圧付勢エネルギーに変換する燃焼反応を抑制するのを助ける。燃焼反応での水蒸気の加熱は、より可逆な反応であり、燃焼熱が殆どエネルギーを破壊することなく他の水分子の間を移行するかまたは伝達することができる。

【0049】

改善された水素燃料供給

本発明の更なる目的は、既存のエンジンを超える水素燃料供給および着火性能の改善を提供することである。Gサイクルエンジンは全ての燃焼反応熱を活用してかつ再利用するだけでなく、それはまた、エンジンの機械的摩擦、サイクル圧縮および排出ガスフローから

熱を取り込む活性水冷システムも使用する。活性冷却システムからの加熱水は、噴射、燃焼／膨張領域への初期および後期水噴射の前に水素ガスと前もって混合するのに用いられる。圧縮水素貯蔵システムは、10,000ないし15,000psiの圧力に耐えるタンクを使用している。Gサイクルエンジンは、回転燃焼空洞に水素を圧力噴射するレギュレータを使用する。圧縮ガスが高圧から低圧に進むときに、ガス膨張から吸収される熱がある。ガス使用の圧力差および割合が十分に高い場合、それはレギュレータの着氷およびシステム故障に結びつく。Gサイクルエンジンは、それがエンジンの燃焼室に入る前に、水素ガスと前もって混合された活性冷却システムからの加熱水を使用し、かつガス膨張に必要なとされる熱を供給してレギュレータを着氷から防ぐ。585度Cの高い自己着火温度を有する水素によって、適切な燃焼のためにその温度を急速により高く上昇させることが、重要である。

10

【0050】

高圧縮

本発明のまた更なる目的は、作動吸気圧縮のより高いエンジンを提供することである。水素は、33：1の高さであるきわめて高い圧縮比とすることが可能である。水と水素を前もって混合することによって、本発明のエンジンは、ノッキングまたは早点火の発生の可能性を低下させる、14：1より高い圧縮比とすることができる。本発明は、水素／水／空気プリミックスを自己着火温度近くの、585度Cに近い温度まで上昇させる圧縮比を使用する。この燃焼平衡状態は、燃料プリミックスに点火する運動燃焼反応熱損失を減らすのを助ける。

20

【0051】

より広い燃料／空気等価作動範囲

本発明の更なる目的は、きわめて希薄なものからストイキオメトリックまたは(≥ 0.4 から ≤ 1.0)まで調整可能な、より広い範囲のファイ(Phi)燃料と空気の混合物によってうまく作動することが可能な、水素エンジンを提供して、高い燃料効率または高い出力性能のために燃焼反応を最適化することである。水素および吸気は、低い等価比においてさえ優れた着火を行うために互いに集結される。水噴射は、着火性能を向上させることができる高圧縮を形成することができる。内側ステータ表面の高温は、希薄な燃料混合物着火および完全燃焼をさらに向上させる。

30

【0052】

より低いNOx発生

本発明の更なる目的は、既存の内燃機関を超えるより高い出力性能を有する改善されたより低いNOx発生を提供することである。水と水素を前もって混合すると、燃料混合物を希釈して、ピーク温度を減少させ、約1,800度Kに制御し、そこではごく僅かなNOx発生しか形成されない。

【0053】

水素着火、燃焼持続時間および平均有効圧力

本発明の別のさらなる目的は、より少ない電気エネルギーを使用して、既存のエンジンシステムを超える、より即時で完全な燃焼を起こさせる点火装置を提供することである。

【0054】

本発明のさらなる目的は、既存の内燃機関を超えて、完全燃焼性能を向上させて、燃焼反応乱流を改善して、燃焼反応速度を改善し、および、燃焼持続時間を延長させる、燃焼反応を提供することである。

40

【0055】

本発明のさらなる目的は、既存のエンジンシステムを超える平均有効圧力(MEP)がより高い燃焼サイクルを提供することである。

【0056】

水素は低い急冷閾値を有し、および、燃焼反応は、それがハウジング表面領域を通してあまりに多くの熱を失う場合、急冷するかまたは止まる。本発明の回転羽根エンジンは、高い表面对容積比を有する燃焼空洞に結びつく拡張された燃焼／膨張領域を用いて設計され

50

ている。典型的なエンジンにおいて、これは、ハウジング表面を通して高い燃焼熱損失を発生させ、不完全燃焼、貧弱な燃料効率および純燃料エミッションによって急冷する燃焼反応に結びつく。本発明のエンジンにおいて、体積に対する広い表面領域は燃焼／膨張領域に沿ったナトリウム蒸気室の統合により大きな利点である。1つ、又は2つの点火プラグが、始動中に水素／空気／水プリミックスに点火する。一旦エンジン表面が作動温度に到達すると、点火プラグは電力を節約するために停止し、および、内側ハウジング表面を通してナトリウム蒸気室からの熱が、燃料混合物に点火するのに用いられる。水素は585度Cの自己着火温度を有し、および、ナトリウム蒸気室は600度Cの作動温度を有する。一旦ナトリウム蒸気室が設置されている燃焼／膨張領域内へ、水素／空気／水プリミックスが回転し進入すると、それは即座に燃料混合物に点火する。体積に対する広い表面比率は、また、内側ハウジングステータ表面の剪断力のために高いガス乱流を生成する。これは、ナトリウム蒸気室によるさらに改善された完全燃焼性能および熱伝達に結びつく。水蒸気は空気より高い密度を有し、かつ、高い回転遠心力によって、ナトリウム蒸気室が存在する内側ハウジングステータの表面に沿って移動する傾向がある。内側ハウジングステータの広い表面領域に沿って動く水は、燃焼空洞内へのナトリウム蒸気室からの熱伝達を向上させる。これは、また、拡張された燃焼／膨張領域の長さ全体にわたって高い水蒸気圧およびMEPワークを維持し続ける。高い水蒸気圧は、また、水素がシーリングシステムの背後でエンジンの内部コンパートメントに浸透することを防ぐのを助ける。

10

【0057】

燃焼室シーリングシステム

20

本発明の目的は、また、既存のシーリングを超える、密封性の向上、摩擦摩耗の低下、摩擦熱ビルドアップの低下および強度と耐久性の向上を達成する、回転羽根内燃機関の燃焼室をシーリングするための手段を提供することである。

【0058】

本発明のさらなる目的は、内側ハウジングステータの熱的変形による寸法変化に反応し、燃焼室ガスを活用してシーリング力を維持し、空気／ガス圧力に素早く反応し、異なる動的燃焼室力の下で理想的な前部および後部燃焼室シーリングを夫々維持して、既存のシーリングを超える改善された密封性をもたらす、燃焼室シールを提供することである。

【0059】

本発明のさらなる目的は、既存のシールを超える、摺動分割羽根シール、軸方向シールおよび羽根面シールの間のシーリング界面を改善する、燃焼室シーリング界面システムの改善を提供することである。

30

【0060】

本発明のさらなる目的は、既存のシールを超える、羽根屈曲変形を減らす燃焼室シールの改善を提供することである。

【0061】

本発明のさらなる目的は、既存のシールを超える、内側ハウジングステータ表面に対するシールチャタリングマーク損傷を最小化して、作動上の振動および不快な応力を減らす燃焼室シールの改善を提供することである。

【0062】

本発明のさらなる目的は、既存のシールを超えて、燃焼室ガス乱流を生成して燃焼反応を改善する、燃焼室シールの改善を提供することである。

40

【0063】

燃焼室シーリングは、本発明の重要な側面である。摺動羽根は、全てのサイクルを通してそれらの前後の屈曲変形を通しての漏れを防ぐために高い圧縮および燃焼圧を維持しなければならない。シーリング摩擦は、また、本発明のエンジン効率における重要な役割を果たす。しかし、より多くのシーリング力を生成すると、通常より高い摩擦エネルギー損および摩耗も発生する。燃焼室シーリングの設計は、連続的な異なるチャンバサイズと関連する複雑な幾何学的表面界面を解決する。燃焼室シーリングシステムは、3つの主要なシーリングサブシステム、即ち：摺動羽根とエンジンハウジングとの間、摺動羽根とロータ

50

との間、およびロータとエンジンハウジングとの間のシール、から構成される。このシーリングシステムの品質は、エンジンの出力、効率、耐久性およびエミッションにとって重要である。

【0064】

Gサイクルエンジンシステムは、各羽根が2つの分割シールを含む特別な羽根分割シールシステムを使用する。回転遠心力およびガス圧は、内側ハウジングステータ表面に対してシールを押しつけるのを助ける。各羽根分割シールは、少量のガスをシールの下に浸透させ、内側ハウジングステータ表面に対して外に向かってシールを押しつけることを可能にするガス通路穴を有する。羽根シールのガス負荷によって、各チャンバからのシーリング力が過剰摩擦を発生させることなくシーリング力のバランスをとることができる。各羽根あたり2つのシールを使用することで、チャンバブローバイ（室からのガス漏れ）損失をさらに減少させる二重シーリングシステムが形成される。しかし、チャンバ間のチャンバブローバイはエンジンサイクルに寄生的ではない。発生するガスブローバイが、更にチャンバ内で有効に使用される。

10

【0065】

羽根分割シールは、羽根面表面とロータとの間を密封する羽根面湾曲シールおよびロータと側面ハウジングとの間を密封する側面軸方向シールに連結される。一斉に、羽根分割シール、面シールおよび軸方向シールはロータ室の各々を密封する。

【0066】

羽根面および軸方向シールは、また、波形のばねでプレロードされている。一旦エンジンが作動を開始すると、チャンバガスもシールを与圧する。羽根面および軸方向シールは、それらのシール面に沿って小さいシール帯も含んでいる。これらのシールを振動させる何らかの強い燃焼振動が、ガス漏れに結びつく可能性がある。これらの小さいシール帯は、追加のシーリング防護を提供する。

20

【0067】

分割羽根シール

上述した目的に更に従って、本発明は回転羽根内燃機関内で概ね半円のU型摺動羽根の外側の周辺に沿って摺動可能に固定される分割羽根シールを提供する。各分割羽根シールは、エンジンのステータハウジングの内面との表面領域の接触を最大化するような輪郭の2つの羽根シールを含む。各シールリングの大きな輪郭表面は、既存の薄く縁取られたアペックスシールシステムと対照的により大きい表面領域の接触シーリングを提供する。これにより、高い燃焼圧および回転速度の下でより良い密封性を提供する。分割羽根シールがステータの内面のまわりを掃引すると、各羽根シールの大きな輪郭表面はまた、各羽根シールの前面、最上面および裏面全体にわたってシーリング接触力を分散させる。シーリング接触力のこの分散は、任意の一点での一定摩擦摩耗を最小化して、羽根シールの寿命、耐久性および密封性を大いに伸ばすのを助ける。

30

【0068】

本発明の更なる目的は、内側ハウジングステータの変化する表面接触角で最適シーリング接触を形成する、前後に移動する羽根シールを提供することである。

【0069】

各羽根シールの移動運動は、各分割羽根シール内で2つの羽根シールの間で、同じく各羽根シールとそのロータの隣接部との間に、挟まれる羽根ベアリングチャンネルの内側に位置するローラーベアリングによって促進される。羽根シールの内外の表面に埋め込まれたこれらの小さいローラーベアリングは、それらがステータ内部で回転するときに、羽根シールを前後に移動させるのを助ける。

40

【0070】

獅子鼻シール先端

羽根シール先端は、内側ハウジングステータ表面の輪郭全体に円滑に摺動することができる羽根シールの最上部に小さい輪郭の丸い先端を提供する獅子鼻先端を含む。この小獅子鼻先端は、過剰な表面シーリング接触を最小化するためにピストンリングのようにより集

50

中化している。燃焼の間、大きい応力および振動力が生じる。シールガス通路は、これらの力を吸収して、補償するのを助ける。しかし、獅子鼻シールは、内側ハウジングステータ表面を離れて振動させられる可能性がある。この動作は、ステータ表面に対するチャタリングマーク損傷に結びつく可能性がある。しかし、獅子鼻シールを僅かにより広くすることによって、衝突力が僅かにより広い表面領域に分配されることにより、チャタリングマーク損傷が生じる可能性が低い。獅子鼻先端はまた、酸化物潤滑剤でおおわれ、および、拡張したシール先端表面の残りは遮熱コーティングでおおわれている。獅子鼻シール先端の別の利点は、それが羽根の最上部センタから、軸方向および羽根面シールとの理想的な平坦接触界面表面に寄与する下部羽根セクションの外側に、遷移することができることである。

10

【0071】

拡張先端エッジ

加えて、各羽根分割シールエッジの側面は広がり、または、最上部の近くで拡大し、表面に燃焼ガスを提供してステータの内面の方へ外に向かって各羽根シールを押す。この拡張した先端はスチール製の「I」ビーム羽根先端構造強化材として働き、羽根シールが内側ハウジングステータ輪郭のまわりで回転して、燃焼力によって影響されるときに、振れるかまたは変形することを防ぐのを助ける。

【0072】

羽根シールガス通路

羽根シールの各々は羽根突起部の最上部の上に乗し、各羽根シールが内側ハウジングステータ表面全体を動くにつれて、トルクにより定位置から外れることを防ぐのを助ける。各羽根シールは、また、移動動作で各摺動羽根の側面に沿ってロータの軸に垂直に内外に動くこともできる。これは、接触点を変えながら内側ハウジングステータ表面のまわりを動くにつれて、内側ハウジングステータ表面との表面接触を改善する。羽根シールが各摺動羽根の最上部で内外に移動するにつれて、各羽根シール内に位置するガス通路によって、燃焼室からのガスが、羽根突起部上の各羽根シール部分の下に流れ、それによって各羽根シールをステータの内面とより近くに接触するように押し付け、同じく燃焼室のガス圧と必要とされたシーリング力とをバランスさせる。羽根突起部ばねシールが、下部シール側面セクションの底部の近くに配置され、適切なガス通路圧力を維持して、羽根シールの底部からガスが洩出することを防ぐのを助ける。

20

30

【0073】

動的軸方向分割羽根シール

羽根シールの別の動的側面は、それが、上部半円形中心部および2つの下部直線側面部に分割され、燃焼室が堅固に封止されたままであるように、各側面セグメントが特定の方向に動く自由度を有することである。両方のセグメントが、ロータの回転平面に沿って半径方向に内外に自由に動くことができる。下部側面セグメントも、ロータの軸とやや平行方向に、軸方向に内外に自由に動くことができる。小さなガスチャンネルが、下部側面セグメントの各々の内部を下に走る。このガスチャンネルは、上部半円形センタセクションのガス通路と連結する。燃焼室からのガスが、内側ハウジング表面に沿って半径方向のシーリングを圧力均等化するのを助けるように羽根シールガス通路を通過する。ガスは、次いで、側面内側ハウジングステータ表面に沿って軸方向のシーリングを圧力均等化するように下側ガスチャンネルに沿って流れる。ガスチャンネルばねシールが、適切なガスチャンネル圧力を維持して、ガスが羽根シールの底部から洩出することを防ぐのを助ける。センタおよび側面羽根シールセグメントの動的な動きは、追加のシーリング可動域および熱的に非対称なハウジング輪郭の熱膨張変化に反応する能力を提供する。これらの新規な設計は、各燃焼室を効果的に封止する手段を提供する。

40

【0074】

動的ロータ軸方向シール

動的ロータ軸方向シールは、ロータの側面および内側ハウジングステータ表面に沿って封止する。各動的ロータ軸方向シールは、主要軸方向シールと、内側ハウジングステータと

50

のシーリング接触面に沿って主要軸方向シール内の小さい溝内に存在する小さいシール帯とを具える。主要軸方向シールは、センタセクションおよび２個の端部セクションに分割される。それらは、ある角度をなす表面に沿って互いに連結され、そこで、センタ軸方向シールセクションがつまみ拡張部を使用し、端軸方向セクションが溝付の凹部を使用する。センタ軸方向シールセクションは、内側ハウジングステータ表面とシーリング接触するように燃焼室ガス圧および波形ばねによってロータから外へバイアスされる。ガス圧および波形ばねが外に向かって主要シールをバイアスさせると、それらもまた、外に向かってまたは同心方向に軸方向端部セグメントをバイアスさせ、内側ハウジングステータ表面上、および、摺動羽根シールの下部セクション上の双方にシーリング圧力を印加する。小シール帯が、主要軸中心および端部セグメントの面上を走る小さい溝に嵌まる。この小シール帯は、主要軸方向シールセグメント上に連続的なシール面を提供して、主要軸方向シールのまわりのガスブローバイを防ぐのを助ける。主要軸方向シールのシーリング面表面は、摩擦およびシーリング摩耗を減らすために固体潤滑剤でコーティングされる。

10

【００７５】

羽根面シール

上述した目的に従って、本発明は、ロータと各摺動羽根の面との間の堅固なシールを形成し、同じく、主要軸方向端部シールに対する支持を提供する、羽根面シールを提供する。羽根面シールは、二段に組み合わせた主要シールおよび小シール帯として構造化される。主要羽根面シールは、燃焼室ガス圧およびそれらの背後に位置する波形ばねから羽根面表面に対して外に向かってバイアスされて主要シールを押圧する。小シール帯は主要羽根面シールセグメント上に連続的なシール面を提供し、および、主要羽根面シールを通過するガスブローバイを防ぐのを助ける。主要羽根面シールのシーリング面表面は、摩擦およびシーリング摩耗を減らすために固体潤滑剤によってコーティングされる。

20

【００７６】

羽根構造

本発明の更なる目的は、熱応力および機械的変形をより受けにくい、より軽くてより強い羽根構造を提供することである。

【００７７】

半径方向の内側ハウジングステータ、ロータおよび羽根は、典型的な正方形の幾何学的輪郭の代わりに半円形幾何学的輪郭を使用している。これによって羽根がロータから拡張することができ、および、ロータに、羽根の半円形湾曲輪郭に合致する羽根のセンタに対して強い支持体を形成することができる。これは、シールが羽根の周辺に優れた支持体を提供して内側ハウジングステータ表面に対して押圧する。羽根上のこのロータ支持体は、燃焼およびシーリング力による羽根およびシール変形を最小化するのを助ける。

30

【００７８】

羽根の質量を減らすと、変形に結びつく可能性がある内側ハウジングステータに沿った遠心摺動力が大いに低減する。羽根の形状は半円形上部端を伴う逆Ｕ型の構造であり、羽根シールが内側ハウジングステータ表面に沿ってシーリングのために存在する。羽根のセンタは、垂直及び水平に連結された支持クロスバーだけを伴って切られている。大きな穴が水平支持バーセクション内に配置されて、羽根の材料質量をさらに減らす。

40

【００７９】

羽根は好ましくは、ヘインズ ２３０ の様に、高温耐性でもある高強度軽荷重量材料から作られる。羽根の前面および背面は、過剰な熱膨張または変形に結びつく可能性がある羽根構造への熱損傷を防ぐために、好ましくは遮熱コーティングでおおわれている。

【００８０】

羽根の熱パイプ冷却／熱伝達

羽根はまた、周辺シール表面の下方に熱パイプチャンネルシステムを具える。熱パイプチャンネルは、好ましくは羽根輪郭のような逆Ｕ型であって、好ましくは水を作動流体として使用する。熱パイプは、主として高Ｇ遠心力によって作動する。遠心力によって、水が蒸発器領域内のシールの下方の羽根の先端に向かって動くようになる。シールからの熱が

50

熱パイプチャンネルに伝達され、および、水が加熱されて、相を液体からガスに変える。ガスは、次いで熱パイプチャンネルを通して2つの側面端のうちの1つに流れ、そこでそれがコンデンサに熱を伝達して、相をガスから液体に再び変える。液体は、次いで羽根の先端または蒸発器領域へ循環して戻り、再びサイクルを始める。活性冷却システムは、ロータに、および外側羽根コンデンサ全体に水を吹き付けて、羽根の熱を活性冷却システムの水に伝達する。加熱された水が、次いで噴射されて、エンジンサイクルへ戻って再利用される。多孔質逆U型ウィック構造が好ましくは熱パイプチャンネル内にあり、熱パイプ内に水およびガスを吸上げてまたは伝達して、更に凍結による水膨張の低温保護の提供を助ける。羽根熱パイプチャンネルは、羽根およびシール構造の温度を大いに低下させ、それらがそれらの構造的整合性および最適性能を維持することを可能にする。

10

【0081】

羽根反遠心ベルトシステム

上述した目的に従って、本発明は、摺動羽根上の分割羽根シールとステータの内面との間に発生する摩擦を減らす羽根反遠心システムを提供する。羽根求心力システムは、迅速回転摺動羽根によって発生する遠心力に対抗するために求心力を印加する羽根ベルトシステムを具える。アーチ型羽根ベルト板を用いて、羽根ベルト上の応力を減らすことができる。

【0082】

本発明の更なる目的は、既存の羽根求心力システムを超える、動きの作動可能範囲が増加し、および使用可能な回転数速度範囲が増加する、摺動羽根反遠心力ベルトシステムの改善を提供することである。

20

【0083】

本発明の更なる目的は、既存の摺動羽根求心力システムを超える、摩擦摩耗が低下し、摩擦熱ビルドアップが低下し、および、作動上の振動が減少し、および強度と耐久性が改善される、摺動羽根反遠心力ベルトシステムの改善を提供することである。

【0084】

羽根が内側ハウジングステータのまわりを回転すると、遠心力が、内側ハウジングステータ表面に対して羽根およびシールを押しつける。回転数速度が増加するにつれて、遠心力が大きくなりかなり大きな摩擦推力が生じ、この摩擦推力は、エンジンを駆動する燃焼室圧力に匹敵するかまたはそれより大きくなる可能性がある。この状態は、エンジンの出力密度および正味熱効率を大いに制限する。羽根遠心摩擦に対抗するために多くの方法がある。一つの方法は、羽根およびシールの質量重量を減らすことである。これは、遠心力の全体的力負荷を減らす。別の方法は、羽根を主要ドライブシャフトに接続するリングおよびコネクティングロッドを使用することである。これによって、羽根が内側ハウジングステータ表面から固定したまたは一定の距離で回転することができる。この方法は、羽根およびシール遠心摩擦問題を解決するのを助けるが、楕円形状の内側ハウジングステータ幾何学的輪郭でだけ作動する。これは、燃焼／膨張持続時間をTDC点火から90度CA回転だけに制限する。別の方法は、羽根の底部に接続される菱形リンケージを使用する。菱形リンケージシステムの利点は、羽根およびシール遠心力がリンケージを通して求心力に変換されて、遠心力のバランスを取るかまたは相殺することである。菱形リンケージは、羽根が内側ハウジングステータ輪郭のまわりに回転するにつれて自動的に調整される切り抜きシステムのように作動する。2つの対向する羽根が輪郭をたどって、外に向かって拡張すると、それらは、他の2つの羽根を内部へ引き込めさせる。菱形リンケージによる問題は、やはり、内側ハウジングステータが、僅か90度の燃焼／膨張持続時間となる楕円形の輪郭を持たなければならないことである。菱形リンケージはまた、摩擦および摩耗を受け易い多数のピンおよびリンクを使用する。システム故障に結びつく摩耗が生じる時、それらは調整されるかまたは再張力をかけることができない。別の方法は、大きいカムを羽根の底部に加え、かつ内側ハウジング内に回転輪郭をたどるカム溝を切ることである。遠心摩擦は、羽根およびシールの先端からカムチャンネル内のカムまで伝達される。羽根カムおよびカムチャンネルは、油で十分に潤滑され、および、さらに精巧なローラーベア

30

40

50

リングシステムを使用することができる。これによって、羽根がTDCから90度CAより大きい燃焼／膨張持続時間で拡張形状輪郭を使用することができる。このシステムによる問題は、カムチャンネルを封止して、注油することが困難なことである。このカムチャンネルシステムはまた、システム摩耗のために、いかなる種類の調整も可能にしない。それは、高い摩擦負荷を低下させるように設計されているカムおよびカムチャンネルへ負荷力を伝達することによって遠心摩擦問題を僅かに改善するだけである。羽根カムは、質量重量を羽根に加え、それらが減らそうと試みていた摩擦レベルを相殺するカムチャンネル内に追加の摩擦を加える。

【0085】

本発明の羽根およびシール反遠心システムは、羽根の各々の底部に取り付けられているトグルシステムに接続される一連のベルトを使用する。2本のベルトが交互の羽根の間で分割されるところに2連のベルトが形成される。1本のベルトがエンジンの半径方向のセンタに沿って、かつドライブシャフトのまわりに設けられ、および、残りのベルトが半分に分割され、かつセンタベルトの外側に設けられている。外側ベルトの各々は、センタベルトの半分の幅である。このベルトシステムの作動は、プレーヤが自分の指でループを変形させることによって創造的な紐形状を作るように紐ループを使用する紐／指綾取りゲームと同様に作用する。創造的な紐形状を保つために、プレーヤは両方の手を使用しなければならない。紐に張力を加えるためには手を離さなければならない。プレーヤは、自分の指で紐を調整することによって紐形状または位置を変えることができるが、全ての指で紐に一定張力を維持しなければならない。本発明は、類似した方法で作動する。8枚羽根エンジンシステムにおいて、4枚の交互の羽根がセンタベルトシステムに接続され、および、4枚の羽根が外側ベルトシステムに接続される。各ベルトシステムにおいて、2枚の羽根が内側ハウジングステータ輪郭をたどって、ロータのセンタから拡張し始めると、それらが残りの2枚の羽根をロータに引き戻す。このシステムはまた、他の羽根およびシールの求心力と遠心羽根およびシール力のバランスを取ることによって菱形リンケージシステムにそっくりに作動する。本発明の利点は、羽根ベルトトグルシステムおよび輪郭ベルトを使用して羽根およびシールが、燃焼／膨張がTDCから90度CAより大きい非対称内側ハウジング輪郭をたどることができることである。トグルによって、羽根セグメントを内側ハウジング輪郭歪を調整するように伸ばすかまたは短くすることができる。輪郭ベルトシステムは、2つの内側ベルトシステム外側の周辺で進む2本のより小さいベルトから成る第3のベルトシステムである。輪郭ベルトシステムは、一体化されたシステムとしてセンタおよび外側ベルトシステムを共に接続し、かつ、動的カムチャンネルのように働き、羽根およびシールを、それらが非対称か変形楕円形の内側ハウジングステータ輪郭のまわりに回転するにつれて、内側ハウジングステータ表面の適切な位置に保つのを助ける。この提案された発明の別の利点は、羽根トグルシステムの各々が、システム摩耗またはベルト伸張からベルト張力を調整することができる調整可能な張力バーに接続されることである。

【0086】

ロータセンタに水を吹き付ける活性冷却システムを用いて、ベルトシステムのまわりの温度は、約100度Cまたは212度Fに維持することができる。この温度で、多種多様な異なる材料をベルト材料として使うことができる。これらの材料には、編ネクステル610およびAGYの933-S2ガラス、繊維ガラス、炭素繊維またはステンレス鋼ワイヤが含まれる。好ましいベルト材料は、平坦なベルトセグメントに編まれて、羽根トグルに接続される高抗張力ファイバである。羽根ベルトは、2枚の接続された羽根の間に位置するベルトアーチの上に乗る。ベルトアーチはローラーベアリングを含み、羽根アーチ全体のベルトの動きをさらに補助する。ローラーベアリングは、また、1,000回転より速い回転数速度で圧縮するばねシステムに接続されている。これらの速度で、ローラーベアリングは羽根ベルトとの接触を断ち、ベルトは、固体潤滑剤で覆われたベルトアーチの小さい丸い表面上を摺動する。固体潤滑剤は、きわめて低い摩擦および摩耗によってベルトアーチ全体のきわめて高い羽根ベルト運動を可能にする。ベルトそれ自体もまた、摩擦お

10

20

30

40

50

よび摩耗をさらに減らすために固体潤滑剤によってコーティングしてもよい。

【0087】

ロータ構造

本発明の更なる目的は、他のロータシステムより軽くてより強い改良したロータ構造を提供することである。

【0088】

エンジンロータは、サイズおよびエンジン構成に従い8個または6個のセグメントから構成される。ドライブシャフトは、好ましくは、それぞれ、8個または6個のロータセグメントに適合する8角形または6角形の形状である。ロータセグメントの各々の底部は、好ましくはドライブシャフトの一の平面上に載置される。丸い止め金が、ドライブシャフトの端の各々を通じて摺動し、かつ全ての異なるロータセグメントを共に固定して単一のロータを形成する。ロータは、好ましくは内側ハウジング輪郭に合致する最上部半円形形状を有する。ロータ最上部は、羽根のような逆U字型に、および、ロータ表面の下の広いオープンスペースから、ロータを作る2枚の側面プレートに接続している。最上部半円形形状は、強いアーチのように働いて、ロータに大きな強度を与えて、下方に広いオープンスペースをつくる。これは、エンジンの重量およびロータを製造する材料コストを減らす。それはまた、作動する羽根反遠心ベルトシステムの作動のためのスペースを提供する。

10

【0089】

燃焼空洞渦乱流

燃焼空洞は、三日月形の形状を形づくって、典型的な燃焼室より狭い。水素は、ガソリンおよび軽油より非常に高い火炎伝播速度を有する。これは、チャンバガスで表面剪断、および外側ハウジング表面で水を発生させ、チャンバ全体を通して火炎前面伝搬を改善する混合乱流を発生させる。高い内側ハウジング表面温度によって、この加熱表面全体の剪断乱流は、燃焼および火炎前面伝搬をさらに促進する。

20

【0090】

燃焼凹部は、第一に水素および水を僅かに層化することになる。これは、側面および背面にある水から離れた僅かな水素均質燃焼セクションを形成するのを助ける。燃焼凹部の湾曲はまた、水素燃焼を改善するチャンバ乱流を発生させ、かつ次いで水との混合を助ける。

【0091】

一旦水素がチャンバの前部部分で点火されると、水がチャンバの後部セクションの方向へ層化される。ロータが90CA度TDCを通して回転すると、燃焼凹部の湾曲によって、水を、チャンバの後部の圧縮固定された位置に留まることなくこの圧縮ポイントを通してより容易におよび円滑に音をたてて噴出させることができる。水は、また、ガス乱流および燃焼水素との混合を改善するために高速度で前方に進行している。

30

【0092】

ロータ熱制御および水蒸気室冷却／熱伝達

本発明の更なる目的は、ロータへの熱浸透を最小化することであり、かつこの種の熱浸透を除去するためにロータ冷却システムの改善を提供することである。

【0093】

ロータの上面および3個の燃焼空洞凹部の表面は、好ましくはイットリウム安定化ジルコニウムYSZのような遮熱コーティング(TBC)でおおわれている。TBCは、燃焼による熱がロータ表面に、および、内側ロータ構成部品内に浸透することを防ぐ。ロータ表面の下に位置する水蒸気室は、表面TBCを通過し、かつロータの中に浸透する熱をすべて収集する。ロータ水蒸気室は、ロータに対して表面を均熱化し、かつ表面上により一様な熱分配を形成するのを助け、燃焼反応を安定させるのを助ける。ロータ蒸気室は、羽根熱パイプシステムと同様に作動する。ロータ蒸気室は、最大202度Cの温度まで作動流体として水を使用する。蒸気室は、ロータ外側燃焼空洞表面の下にある蒸発器セクションと2個の側面コンデンサとの間で水を循環するために高G回転力を使用する重力循環システムである。ロータ蒸気室はまた、好ましくは細かいおよび粗い層の吸上メッシュを使用

40

50

して、ロータの表面領域全体にわたる水分配を改善し、かつ蒸発器とコンデンサとの間の水循環を改善する。2本の多孔質ウィックチューブも、ロータ蒸気室内に配置されて作動流体循環を改善し、かつロータおよび／または水蒸気室に対する水凍結膨張損傷を防ぐのを助ける。1本の多孔質ウィックが、片側コンデンサから他の側面コンデンサまで軸方向にロータの半円形セクションのまわりを囲む。残りの多孔質ウィックは、半径方向に水蒸気室のセンタを横切って設けられている。活性冷却システムからの水が、両側から、および、ロータ側コンデンサ上にエンジンハウジング内に吹き付けられる。ロータ水蒸気室からの熱が、活性冷却システムからの水にコンデンサを通して伝達される。加熱された水は、次いでエンジンのハウジングから循環され、かつ燃焼空洞の中へと戻るように噴射されるか、またはプリミックスとして水素と混合される。

10

【0094】

羽根接線ベアリングシステム

本発明の更なる目的は、既存の摺動羽根接線ベアリングシステムを超える、作動上の速度が増加し、摩擦摩耗が低下し、摩擦熱ビルドアップが低下し、および、強度と耐久性が改善された、摺動羽根接線ベアリングシステムの改善を提供することである。

【0095】

ロータ面表面に沿ったロータ羽根通路は、好ましくは酸化物潤滑剤でコーティングされた小さく隆起したジクザグの表面が用いられ、羽根がロータに対して摺動して、それらの取り込まれた燃焼力をそれに伝達するのを助ける。この隆起したジクザグ表面は接触表面積を最小化し、および、酸化物潤滑剤は摺動摩擦を最小化する。この隆起したジクザグ表面はまた、小さいスチームチャンネルとして働く。羽根が羽根通路を通してロータの中へと戻して引き込められるにつれて、内側ロータ冷却装置からの水がジクザグチャンネルに入って、羽根からの高圧蒸気に変換される。蒸気は、羽根の一部に隆起した表面の負荷軽減を強いる圧力を生成して羽根摺動摩擦を最小化する。全方向に等しく圧力を発揮する蒸気によって、それはまた、羽根の燃焼力の一部をロータに伝達してエンジンを駆動する。ロータ羽根通路内の凹部に位置する小ローラーベアリングが、羽根の燃焼力をロータに伝達して、羽根摺動摩擦を最小化する。ローラーベアリングは、主として1,000回転数の、またはそれ未満の低い回転数での作動中に使われる。より高い回転数速度では、ローラーベアリングが、回転遠心力によって圧縮する小ベアリングばねに接続され、ロータベアリング通路内にローラーベアリングを引き込める。この時点では、羽根があまりに素早くロータから拡張収縮するので、ローラーベアリングは慣性摩擦を加えて、エンジンの効率を低下させるだけであろう。1,000回転数より低いエンジン回転数速度のとき、ローラーベアリングばねは、ローラーベアリングを復元および圧縮して摺動羽根表面と直接接触させ、摺動羽根摩擦を低下させて羽根燃焼力をロータに伝達する正の効率の利点を作る。

20

30

【0096】

本発明の更なる目的は、既存の摺動羽根接線ベアリング減衰装置を超える、振動吸収能力の改善された、摺動羽根接線ベアリング減衰装置の改善を提供することである。

【0097】

隆起ジクザグ水／蒸気チャンネルとローラーベアリングの組合せは、羽根摺動摩擦を減らし、かつロータに羽根燃焼力を伝達するだけでなく、燃焼パルスおよび羽根の拡張および収縮運動による耳ざわりな振動を大いに減らす。これは、全ての他のエンジン構成部品に対するNVH応力を最小化して、エンジンの作動および耐久性を改善する。

40

【0098】

エンジンハウジング

本発明のエンジンは標準のエンジンより非常により高い温度で作動するので、重要部位の熱ビルドアップを最小化するために、以下の独特な要素の組合せを取り入れている：酸化物潤滑剤、遮熱コーティング、蒸気室システム、および外側エンジンハウジングの均熱化のために過剰熱を効率的に移動させる活性水冷システム。エンジンハウジングおよび構成部品は、熱応力および変形に耐性のある高温合金および遮熱コーティングを使用して製造

50

される。外側エンジンハウジングは、熱損失を最小化して、エンジンノイズを減らすために好ましくは厚い熱ブランケットでおおわれている。

【0099】

変形楕円形内側ハウジングステータ形状

本発明の更なる目的は、既存のエンジンシステムを超える最適熱力学サイクル性能を達成する一方、燃焼／膨張領域を最大化しまたは過拡張して、吸気／圧縮領域を最小化する形状輪郭を提供することである。

【0100】

本発明の更なる目的は、既存のエンジンシステムを超える、羽根およびシール変形を最小化する内側ハウジングステータ形状の改善を提供することである。

10

【0101】

本発明は、内側ハウジングステータ形状輪郭を使用し、燃焼／膨張領域が拡張ポイントの端であるTDCから約145クランク角度でTDCから最大寸法まで徐々に拡張している。これは、既存の回転羽根エンジンを超える61%より多くの燃焼／膨張持続時間を提供して、運動熱力学的熱のより多くが機械仕事に変換することを可能にする。同一チャンバの後部羽根が拡張ポイントの端に到達すると、排気ポートは前室摺動羽根のそばに配置される。燃焼／膨張領域を徐々に拡張させることによって、羽根およびシール構成部品上の燃焼応力を大いに減らす。TDC位置のすぐ後ろで、燃焼力および圧力はそれらの最高になる。この位置で、羽根およびシールは、羽根およびシールの変形および損傷に結びつく可能性がある強い力に余り曝されないように、ロータの中に隠される。羽根が燃焼／膨張領域のまわりを回転すると、それらは、内側ハウジングステータ表面に沿ってロータからシールまで徐々に拡張する。羽根が拡張ポイントの端に到達すると、羽根はロータから最大の拡張に到達する。この時点では、燃焼室圧力は非常に小さく、および、羽根およびシール変形の危険性はより少ない。拡張ポイントの端の後で、内側ハウジング形状は排気掃気を改善するために迅速に縮小する。排気ポートはエンジンの軸に沿って半径方向に位置し、回転遠心力を用いて、排気ポートを通してより重い水蒸気ガスを容易にかつ完全に排出することを可能にする。排気ポートのそばのチャンバの後部羽根と吸気ポートのそばの前部羽根との間に一の燃焼室長さのギャップがある。吸気ポートも、新しい吸気が回転燃焼室の中に直接入ることができるようにエンジンの軸に沿って半径方向に位置する。同一チャンバの後部羽根が吸気ポートを通過するのが完了すると、吸気行程の間、前室羽根はその最大の吸気拡張ポイントに到達する。一旦このポイントに達すると、内側ハウジングステータ輪郭は圧縮領域に沿って素早く縮小する。圧縮行程が始まり、燃焼室圧力が上昇し始めると、羽根は、ロータの中へと戻して収縮し始める。これは、圧縮力による羽根およびシール変形を最小化するのを助ける。

20

30

【0102】

より高いハウジング作動温度

本発明のなおさらなる目的は、既存の内燃機関を超える、より高い燃焼作動温度で作動する燃焼反応を提供することである。種々のエンジンの燃焼ガス温度が本発明のエンジンのそれに類似するとはいえ、使用するエンジン材料は、350ないし450度Fの温度に冷却する必要がある。この冷却は、燃焼からの熱力学的熱の約27%が冷却システムに失われることに結びつく。ディーゼルエンジンは、非常により大きいシリンダー容積対表面積比率によって冷却システムに対してそれらの燃焼熱の約20%だけを失い、燃焼熱エネルギーのより多くが仕事に変換される。本発明のエンジンはヘインズ230のような高温耐性のある合金を使用し、900度Cまでのピークハウジング温度を可能にする。それにもかかわらず、約600度Cのハウジング拡張作動温度が、ナトリウム蒸気室によって熱力学サイクル性能を最適化するのに用いられている。600度Cより高い温度で、より大量の熱伝達が外側ハウジングおよびナトリウム蒸気室を通して存在し、潜在的に周囲環境に失われる。またエンジンハウジングおよび機械構成部品に与えられるより大量の熱応力もあり、これが熱的変形、摩耗および損傷に結びつく可能性がある。

40

【0103】

50

固体酸化物および超硬質ナノコンポジット潤滑剤

本発明のなおさらなる目的は、油潤滑の使用を省いて、固体潤滑剤を完全に利用することである。二元酸化物潤滑剤、自己潤滑固体潤滑剤、ダイヤモンドコーティングおよびほぼ摩擦のない炭素コーティングが様々なエンジン構成部品に使われて、油を使用するエンジンを越えて、摩擦を減らして、構成部品耐久性を改善し、HCエミッションを減らす。

【0104】

Gサイクルエンジンは、油性潤滑剤を使用しない。シール接触表面の全てが、好ましくは、NASAグレン社で開発されたプラズマスプレーPS304のような、酸化物潤滑剤でおおわれている。PS304酸化物潤滑剤は、摂氏900度までの温度に対して油を塗った表面と同じレベルの摩擦係数を与える。代替的に、アルゴンヌ国家研究所で開発されている超硬質ナノコンポジット(SHNC)潤滑剤コーティングを、使うことができる。PS304およびSHNCの双方が、低い摩擦係数さらに何百万もの摺動サイクルの例外的な耐久性を提供する。

10

【0105】

PS304かSHNCの層が、好ましくはシーリング接触表面の全ての上にプラズマ吹き付けされる。羽根分割シールに対して、特別に厚い層のPS304またはSHNCが好ましくは丸い獅子鼻シール表面を形成するようにビルドアップされる。羽根分割シールの外部表面は、最高のシーリングおよび摩擦推力に直面する。このより厚い丸い獅子鼻シールは、摩擦を最小化する集中したシール表面およびシール摩耗に対してより長いシーリング操作性能を提供する。

20

【0106】

活性水冷／熱伝達

本発明のさらなる目的は、既存の内燃機関を超える、熱損失のより低い改善された外側ハウジングを提供することである。

【0107】

本発明のさらなる目的は、既存の内燃機関ロータ冷却／熱伝達システムを超える、ロータおよび羽根冷却／熱伝達の改善を提供することである。

【0108】

活性水冷／熱伝達システムは、ロータおよび羽根に対して圧縮行程、主要ドライブシャフトベアリング領域およびエンジンハウジングの内部から外側ハウジングを冷却するのに用いられる。圧縮および摩擦による熱が、これらのシステムから循環水に伝達される。加熱された水が、水素とのプリミックスならびに初期および後期状態燃焼／膨張領域噴射に対して反応サイクルへと戻るように熱を噴射する。冷却システムおよび摩擦に失われていたであろう熱は、それぞれ約20%および10%パーセントであり、水に取り込まれて、エンジンサイクルに戻って再利用される。これは、約30%エンジンの正味熱効率を大いに改善するだけでなく、水が熱を付勢された水蒸気に変換することによって大量の燃焼室圧力を加えてMEP仕事を向上させる。噴射された水は、また、約30%ある排気熱損失を減らすのを助け、燃焼空洞内部からの燃焼反応を冷却し、低い排気温度に結びつくが、きわめて高速度および高圧を伴う。排気内の水は、エンジンの活性冷却システムの中へと戻して凝縮させ、循環させることができる。

30

40

【0109】

水素漏れ

本発明のさらなる目的は、内側ロータ構成部品位置のチャンバシールの背後の水素ガスの点火を減らすこと、またはエンジンを通して外へ排出することである。活性冷却システムからの水が、エンジンの中央に吹き付けられてロータおよび羽根を冷却する。この水の多くは、ジグザグ冷却チャンネルを通して、ロータシールの下方に送られる。この水は、密封性を向上させて、シールによって水素の通を防ぐのを助ける。シールを通り過ぎる水素は、水によって希釈されて、活性冷却システムによって回収され、閉ループシステムでエンジンから除去される。回収された水素ガスは、水噴射によってチャンバの中へと戻るように、それを噴射することによって再び使われる。

50

【0110】

NVHの減少

本発明のさらなる目的は、既存の内燃機関を超える、燃焼動力パルス振動を減らす燃焼反応を提供することである。

【0111】

水と水素を使用前に混合して、燃焼空洞内に水を噴射することによって、ピーク燃焼温度は低下する。それは、そのピーク圧レベルがより低くて、より多くのクランク角度を通じて円滑に分配されるように、ピーク圧プロファイルを変換し、それによって仕事を実行する平均有効圧力(MEP)を増加させる。これは、エンジン構成部品に対する苛酷な衝撃および応力に結びつく高出力パルススパイクを減少させて、より円滑なエンジン作動を生じる。

10

【0112】

ナトリウム蒸気室は、燃焼領域内のピーク燃焼温度を吸収して、膨張領域に沿って燃焼室までの中へと戻るように熱を伝達することによって燃焼／膨張領域を均熱化する。これはまた、ハウジング温度を安定させ、従ってハウジングの変形を最小化する。

【0113】

本発明のさらなる目的は、既存の内燃機関を超える、外側ハウジング雑音低減システムの改善を提供することである。

【0114】

ナトリウム蒸気室の上の燃焼／膨張領域に沿った外側エンジンハウジングは、熱損失を最小化して、エンジン雑音を減らすのを助けるために厚い断熱ブランケットまたは発泡金属でおおわれている。

20

【0115】

羽根シール支持リブを有する吸気／排気ポート

本発明のさらなる目的は、吸気および排気ポートの上を通り過ぎるときの、羽根およびシール変形を最小化することである。

【0116】

吸気および排気ポートは、ロータおよび羽根およびシールの回転によって半径方向に位置する。ポートの開口は、軸方向に半円形ハウジングのまわりを囲んでいる。これは、ガス交換に対して最高の配向性を与え、大きいポートサイズの開口を可能にする。ポートは、2つのエンジンハーフのボルトアップセクションによって半径方向にセンタで分割される。追加の支持リブが、各ポートハーフの中間全体にわたって、ポート開口の中で僅かに角度をつけられる。センタボルトアップセクションおよび2つの支持リブが、それらがポート開口の上を通り過ぎると、羽根およびシールを支持して変形を防ぐ。ポート内の支持リブに角度をつけると、接触ポイントが同じ位置を通じて常に生じないように、より広い領域上で羽根およびシールとの接触ポイントを分配する。ポート開口は、羽根およびシールがポートのエッジを通じてはさみで切るように僅かに角度をつけられる。羽根およびシールがポート開口に一致し、何らかの変形が生じ、羽根およびシールがポート開口エッジと衝突する場合に、これがあらゆる損傷を防ぐ。回転速度は遠心ガス力を生成し、さらにガス排気を改善する。内側ハウジングステータ形状輪郭は、排気ポートを通過すると、スペースがなくなるまで狭くなる。これは完全な掃気を改善して、全ての燃焼室ガスが排気ポートを通して排出されることを保証するのを助ける。内側ハウジングステータ形状輪郭は、吸気ポートの後で大きく開く。これは、吸気ポートを通して燃焼室に新しい吸気を引き込むのを大いに助けるベンチュリ吸引効果を提供する。

30

40

【0117】

ハウジング水蒸気室

本発明のさらなる目的は、既存のエンジンシステムを超えて、ハウジングの熱的変形を最小化することである。

【0118】

ナトリウム蒸気室は燃焼／膨張領域のまわりのハウジング温度を安定させ、および、活性

50

水冷システムは他の主ハウジングセクションの温度を安定させるのを助ける。これらの2つのシステム間に大きい温度ギャップがある。ナトリウム蒸気室は600度Cの温度で作動し、および、活性冷却システムは25ないし98度Cの間の温度で作動する。この温度差は、内部ロータ、シール、および、羽根構成部品を損傷する可能性があるハウジングの熱的変形に結びつく可能性がある。低い熱膨張率を有するヘインズ230のような高温耐性合金が、ナトリウム蒸気室セクションに対して好ましくは使われる。ステンレス鋼316Lまたは330のようなより低温水および水素耐性合金が、エンジンハウジングの他のセクションに対して好ましく使われる。遮熱コーティングが、ナトリウム蒸気室セクションからのエンジンハウジングの他のセクション内への熱伝達を最小化する2つのボルトアップセクションの間にプラズマ吹き付けされる。水蒸気室が、2つの温度領域間のギャップを埋める主ハウジングセクションの中で使われている。水蒸気室は、202度Cで作動して、ハウジング温度を均熱化するかまたは安定させるのを助けて、活性冷却システムによってナトリウム蒸気室と主ハウジング領域との間のハウジングの熱的変形を最小化する。ナトリウム蒸気室および主ハウジングセクションの安定した均熱化によって、正確な熱膨張モデルが、これらの熱膨張を考慮に入れることができるナトリウム蒸気室および主ハウジング形状に対する調整を算出することができ、エンジン作動中にハウジング変形を最小化する。

【0119】

軽重量材料、耐久性およびコスト

本発明のなおさらなる目的は、経済的に製造することができる強力な、軽重量で、耐久性があつて信頼性が高い水素回転羽根内燃機関を提供することである。

【0120】

エンジン体積および質量の劇的な低減によって、Gサイクルエンジンにより高度でより高価な合金を活用することができる。Gサイクルエンジンは、好ましくは高温領域構成部品に対してヘインズ230のようにコバルト／ニッケルベースの合金を利用する。316L、330のようなステンレス鋼合金およびアルミニウムが、より低い温度の構成部品に対して好ましくは使われる。これらの先進合金の使用は、エンジン質量をさらに減らして、エンジン強度、耐久性を大いに改善して、熱的変形を最小化する。これらの合金は、また、水素透過および脆化に対する耐性がある。Gサイクルエンジンの特定の鍵となる構造の領域および構成部品に対して合金の利点を賢明にかつ戦略的に調整することによって、これらの合金の量はさらに減少され、コストを最小化し、かつエンジンに対するそれらの材料特性利点を最大化する。

【0121】

エンジン耐久性により、先端材料および構成部品設計の使用に至る。ヘインズ230のような超耐熱合金は、約30,000時間の寿命で高温および圧力を取り扱うことができる。これは、重要部位の遮熱コーティングによって保護される。酸化物潤滑剤は、実質上摩耗なしで何百万回もの摺動を処理することができる。シールは、それらが潤滑剤摩耗を考慮に入れて、密封性を維持するために動的に調整されるように設計される。熱機械解析および故障解析は、研究の重要な側面である。これらの合金および酸化物を有するナノ材料による追加の研究は、それらの性能および耐久性をさらに向上させる。

【0122】

アルカリ金属熱電気コンバータ

本発明のさらなる目的は、直接の電源を提供することである。本発明は、燃焼領域に沿って過剰熱を除去して、膨張領域に沿って熱を伝達するためのナトリウム蒸気室システムを提供する。ナトリウム作動流体の循環熱伝達プロファイルは、電気を発生させるためにアルカリ金属熱電気コンバータ（AMTEC）を使用することに等しい。AMTECはナトリウムを作動流体として使用し、それがベータアルミナ固体電極（BASE）に対して加熱されて与圧され、BASEでナトリウムが液体からガスに変換され、およびナトリウムのイオンは電気を発生させるBASEを通過する。

【0123】

実施態様の特徵および効果、同じく操作方法および関連部分の機能は、その全てが、本出願の一部を形づくる、以下の詳細な説明、添付の特許請求の範囲および図面の検討から、理解されよう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0124】

エンジン作動概要

Gサイクルエンジン1は、ロータ組立体183がその中で時計回りに回転する変形楕円形状の内側ハウジング表面37を有する外側ハウジング2を具える。図3および4を参照されたい。ハウジング2は、エンジン1の、圧縮、燃焼および膨張領域31、32および33のそれぞれから離れて、かつ、それらと連通しないナトリウム蒸気室229を具える。従って、ハウジング2の内面37は円弧形に内方へ、ドライブシャフト18の方へ傾き、そのまわりをロータ183が、約0°のクランク角にある吸気ポート6から約105°でナトリウム蒸気室229の始まりに隣接した周辺位置まで回転する。ナトリウム蒸気室229の始まりに隣接したハウジング2の内面37および膨張領域33の始まりは、ドライブシャフト18から外側に離れてアーチ形に動き、膨張領域33の始まりを越えて約147°でドライブシャフト18の中心から最大の幾何学的距離に達する。ドライブシャフト18の中心からの最大距離の点から、ハウジング2の内面37は残りのクランク角を通して、すなわち圧縮領域31を通して、ドライブシャフト18の中心の方へアーチ形に内方へ徐々に拡張する。従って、ハウジング2の内部形状は燃焼空洞34の膨張領域33の上に横たわるナトリウム蒸気室229によって変形楕円または円環面を形成する。

【0125】

図3にて図示したように、ロータ183は、ハウジング2の内部面37とシーリング接触するように半径方向に内外に移動可能な8枚のロータ羽根116を具える。羽根116は、周縁に、相互から、および隣接の羽根116の間に延在するロータ羽根セグメント310から間隔を置いて配置される。羽根116は、それぞれ、圧縮および膨張領域31および33の全体にわたる、ハウジング2の内面37に対向するシーリングのための二重羽根シール80、および、ロータセグメント310に対向するシーリングのための側面羽根面シール111を有する。

【0126】

ナトリウム蒸気室229は、ナトリウム、カリウムまたは硫黄を含む閉じたチャンバであるが、熱伝達能力を最大化するのでナトリウムが好ましい。チャンバ229内に、それぞれ細かい、中程度の、および粗い、吸上メッシュ230、231、および232がある(図3)。ナトリウム蒸気室229は、ナトリウム蒸気室の始まりから膨張領域33の最大膨張点、すなわちナトリウム蒸気室の端近傍点まで、燃焼および膨張領域32および33の上に横たわっている。ナトリウム蒸気室229は、エンジンの作動中は、ロータ燃焼空洞186からの熱を流し、ナトリウムが発火点に近い液体から蒸気まで連続的に相を変えると、蒸気室229全体に実質的に均一に熱を分配する。吸気ポート6において、空気がエンジン1の中に供給される。高速で、空気、水および水素燃料は、ロータ燃焼空洞186が、上に横たわるナトリウム蒸気室229の始まりに隣接した燃焼領域32内にある場合、空洞186の中で圧縮されて自己着火する。クランク角が大きくなり、燃焼領域の体積が増加するにつれて、羽根116は、遠心力の下で、ハウジング2の内部面37に対して係合して密封する。従って、ナトリウム蒸気室229は、ナトリウム蒸気室229と燃焼領域32との間の内側ハウジングを横切って、ナトリウム蒸気器領域379に、および、燃焼の後で膨張領域33内に、実質的に熱損失なしで、すなわち、熱がナトリウム蒸気室コンデンサ領域380に沿って燃焼空洞34システムの中へと戻されて、伝達される燃焼熱を吸収する。この均熱化によって、熱は絶えずナトリウム蒸気室229に、および、燃焼膨張反応へと戻るように伝達される。

【0127】

羽根ベルトシステムを用いて、遠心力を減少させ、従って羽根116とハウジング2の内面37との間の摩耗を封止し、同じく、2枚の羽根が拡張し、および、他の羽根が収縮し

または引込む場合に羽根 1 1 6 のバランスを取る。ハウジング 2 の変形楕円形の性質のため、ハウジング表面 3 7 に対する羽根シール 8 0 の不均一圧力はベルトシステムの使用によって平均化される。

【0 1 2 8】

図 3 2 および 3 4 を参照すると、ロータ 1 8 3 は好ましくは 8 枚の羽根 1 1 6 を有することを認識して、単一羽根ベルトシステム（図 3 2）が、第 1 の組の 4 枚の直交関係の羽根に対する遠心力を最小化するのに用いられており、二重羽根ベルトシステムが、図 3 4 にて図示したように、第 2 の組の残りの 4 枚の直交関係の羽根に対して用いられている。図 3 2 および 1 1 ならびに単一羽根ベルトシステムを参照すると、各羽根 1 1 6 は、ホルダ 1 5 1 の間に枢着される単一トグルバーシステム 1 4 2 を取り付け、その二股の内端に沿った一対の端羽根ベルトロッドホルダ 1 5 1 を具える。トグル 1 4 2 は、ホルダ 1 5 1 に枢着される羽根ベルトロッド 1 4 5 内に取り付けられる一対の羽根ベルトバー 1 4 6（図 1 1）を具える。図 3 2 にて図示したように、単一羽根ベルトアーチ形ベアリング 1 5 6 がロータセグメントに固定されたロータ 1 8 3 の両側上のロータエンドプレートによって回転可能に支持されている。4 本の単一羽根ベルト 1 3 7 が、隣接の羽根 1 1 6 の羽根ベルトバー 1 4 6 に対向端部に固着され、かつ、それらの羽根の間をアーチ形ベアリング 1 5 6 の内面に沿って延びている。従って、直交関係の羽根は、内側ハウジング表面の変形楕円形の形状に合致するように拡張するかまたは収縮することが可能であり、変形楕円形状の偏心が、枢支されたトグルおよびアーチ形ベアリングによって達成される。

【0 1 2 9】

図 3 4 を参照すると、二重羽根ベルトシステムが残りの 4 枚の直交関係の羽根 1 1 6 に対して使用されている。二重ベルト羽根の各々が、羽根 1 1 6 のホルダ 1 5 1 によって枢支されるベルトロッド上に取り付けられた二重トグルバーシステム 1 4 3 を具える。一対のアーチ形ベアリング 1 5 8（図 3 4）が、軸方向に互いに間隔を置いて配置されて、ロータエンドプレートに対する枢軸運動のために取り付けられている。一対の羽根ベルト 1 3 8 が、隣接の羽根トグルの羽根ベルトバー 1 4 3 に対向端部に固着されており、アーチ形ベアリング 1 5 8 の内部に沿って延伸している。類似した作動が、羽根を内側ハウジングステータ壁表面の変形楕円形輪郭と合わせるための単一羽根ベルトシステムと同様に、これらの 4 枚の羽根に関して行われる。羽根ベルトシステムの単一および二重組の羽根ベルトが、それぞれのトグルおよびアーチ形ベアリングと同様に、互いに、軸方向に間隔を置いて配置されることに留意されたい。

【0 1 3 0】

図 2 9 および 3 6 を参照すると、単一および二重羽根ベルトシステムは、単一および二重羽根ベルトシステムの軸方向に対向する側面上の一対の輪郭ベルト 1 3 9 によって共に結ばれている。図 3 6 に最もよく例示されるように、一対の軸方向に間隔を置いた輪郭ベルト 1 3 9 が、アーチ形ベアリング 1 5 6 を取り付け、単一羽根ベルトシステム内のベルトピン 3 6 5、および、二重羽根ベルトシステム内のアーチ形ベアリング 1 5 8 の対を取り付けるピン 1 5 9 のまわりに取り付けられている。図 3 6 にて図示したように、輪郭ベルト 1 3 9 の対は限界エンドプレート 1 5 7 の内側にピン 3 6 5 および 1 5 9 の遠方端のまわりに延在する。プレート 1 5 7 は、羽根 1 1 6 の間のロータセグメント 3 1 0 に固着されている。

【0 1 3 1】

ナトリウム蒸気室と燃焼室との間の相互作用、同じく、ハウジングの内面に対してシールを維持する一方、羽根が半径方向に拡張収縮することを可能にするベルトシステム、を具える、エンジンの詳細が、以下に、および、以下の考察において参照される図面内に開示されている。

【0 1 3 2】

水素 G サイクルエンジン 1 は、加熱された水および水素ガス噴射を使用する。図 1、2 および 3 を参照すると、2 個の水噴射レギュレータ 5 7 が、圧縮領域 3 1 の始まりでエンジンのロータ燃焼空洞 3 4 に加熱された水を供給する。2 個の水素噴射レギュレータ 2 6 が

、圧縮領域 3 1 内のエンジンのロータ燃焼空洞 3 4 に水素を供給する。2 個の点火プラグ 2 9 が、水素／空気／水混合体に点火する。活性冷却システムが、冷水貯蔵タンクから、エンジン 1 の下部ハウジング 2、吸気 3 0 および圧縮領域 3 1、ドライブシャフトベアリング／膨張領域 1 9 および内側ロータ 1 8 3 および摺動羽根 5 2 を通して、および、熱水貯蔵タンク（図示せず）内に脱イオン水を循環させる。加熱された水は、水噴射装置 5 7、初期燃焼／膨張燃焼室噴射 6 0 で圧縮領域 3 1 の始まりでエンジン内に噴射され、冷水が後期燃焼／膨張室冷水噴射 6 1 中に噴射される。ロータ燃焼室 3 4 内の全ての水蒸気が、エンジン 1 から排気ポート 9 および排気管 1 0 を通して、排出水コンデンサ（図示せず）内に排出され、そこで水蒸気がガスから液体に凝縮されて、冷水貯蔵タンクに戻され、空気がコンデンサ排気管から排出される。エンジン 1 および全てのその構成部品に対する水凍結膨張による損傷を防ぐために、エチルアルコール貯蔵タンク（図示せず）内に貯蔵されるエチルアルコールが、温度が 3 2 度 F 未満であるエンジン停止中に、エンジン 1 の全体にわたって水／エチルアルコール混合物で循環する。電子制御装置（E C U）（図示せず）が、全てのレギュレータおよび可変速ポンプ（図示せず）を制御する。E C U はまた、エンジン 1 が常に適切に作動していることを確認する全てのレギュレータおよび可変速ポンプを制御するのを助けるために多くの温度および水位センサを監視する。

10

【0 1 3 3】

水素／水噴射

G サイクルエンジン 1 の作動中に、水が水噴射レギュレータ 5 7 および水チューブ 3 0 8 を通してエンジン 1 の燃焼空洞 3 4 内に噴射される。水素ガスが、水素噴射レギュレータ 2 9 3 および水素チューブ 2 9 4 を通してエンジン 1 の燃焼空洞 3 4 内に、および、水素レギュレータ 2 8 0 内に噴射される。レギュレータ 2 8 0 から、水素ガスが水素チューブ 2 8 および 2 7 を通過して、水素／水噴射レギュレータ 2 6 内に、および、圧縮領域 3 1 内の噴射位置 3 8 で燃焼室 3 4 内に移る。

20

【0 1 3 4】

水素ガスが高圧縮からより低い噴射圧まで膨張すると、水素噴射レギュレータ 2 9 3、水素チューブ 2 9 4 および水素レギュレータ 2 8 0 に対する凍結損傷に結びつく可能性がある熱エネルギーを吸収する。熱凍結の可能性に対抗するために、加熱された脱イオン水が、水素レギュレータ 2 8 0 の近くの水素チュービング 2 9 4 のまわりにコイル状に巻かれるチュービング内にポンプで送りこまれる。水によって吸収された熱は、水素レギュレータ 2 8 0 および水素噴射レギュレータ 2 6 に対する凍結損傷を防ぐのを助けるために水素チュービング内の膨張水素ガス内に放出されて伝達される。水素レギュレータは、水素の混合を適切にバランスを取り、水素混合物を、水素チュービング 2 8 および 2 7 を通して、および、水素噴射レギュレータ 2 6 内に、および、圧縮領域 3 1 内の噴射位置 3 8 で燃焼空洞 3 4 内に噴射する。

30

【0 1 3 5】

活性水冷システム

冷水貯蔵タンク（図示せず）内に貯蔵された脱イオン水が、吸気／圧縮領域内のエンジン外側ハウジング 2、ドライブシャフトベアリングおよび膨張領域 1 9、および内側ロータ 1 8 3 および摺動羽根 1 1 6 を冷却するために用いられる。脱イオン水を使用するのは、エンジン 1 の構成部品に入る可能性がある汚染を伴わない水のより純粋な形であるため、および、それがチューブを通してポンピングされて、内側ロータ空洞 3 6 3 内部で、ハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 3 7 に沿って動く、摩擦推力を最小化する低い表面張力を有するためである。エンジン 1 外側ハウジング 2 吸気 3 0 および圧縮領域 3 1 冷却のために、脱イオン冷却水が、冷水貯蔵タンクから、可変速度ウォーターポンプ、水冷却チュービング 3 2 1、T 字状管継手 5 6、分割水冷却チュービング 4 8、ハウジング 9 0 度管継手 5 4 によってハウジング吸気／圧縮領域冷却液注入口 6 2 に、および、吸気／圧縮領域冷却液通路 6 3 と、吸気／圧縮出口 6 4 を通して、次いでハウジング 9 0 度管継手 5 4、次いで分割戻り冷却液チュービング 4 9、T 字状管継手 5 6 を通して、および、単一戻り冷却液チュービング 3 2 2 を通して、次いで熱水フィルタを

40

50

通して、次いで熱水貯蔵タンクの中に、ポンプで送出される。

【0136】

エンジン1のロータドライブシャフトベアリング19および膨張領域31を冷却するために、脱イオン冷却水が、可変速ポンプによって冷水貯蔵タンクから、水冷却チュービング323およびT字状の管継手56、次いで分割水冷却チュービング50とハウジング直線管継手55を通してドライブシャフトベアリング／膨張領域水冷却注入口65に、およびドライブシャフトベアリング／膨張領域水冷却通路66を通して、ドライブシャフトベアリング／膨張領域水冷却通路出口67、次いでハウジング直線管継手55、次いで分割戻り冷却チュービング51を通して、T字状管継手56を通して、次に、単一戻り冷却チュービング324、次いで熱水フィルタを通して、熱水貯蔵タンクの中に、ポンプで送出される。

10

【0137】

内側ロータ組立体183と摺動羽根116を冷却するために、脱イオン冷却水が、可変速ポンプによって冷水貯蔵タンクから、水冷却チュービング325、T字状管継手56、次いで分割水冷却噴射チュービング52を通して、および、ハウジング90一度管継手54の中に、外側ロータコンデンサ202および摺動羽根コンデンサ132を横切って内側ロータ／羽根水噴射入口334を通してポンプで送出される。水は、可動摺動羽根116によって内側ハウジングステータ表面37の側面に沿って集められ、図5に示すように、内側ハウジング水戻り凹部44および水戻りカバーねじ46によって水戻りカバー凹部276内にねじ込まれる水戻りカバー45内の水戻りスロット47を通して移動する。

20

【0138】

水は、次いで内側ロータ／羽根水出口335を通過して、ハウジング90度管継手56内に、および、分割水冷却戻りチュービング53を通過して、T字状管継手56を通過して、次いで単一戻り冷却チュービング326、次いで熱水フィルタを通過して、熱水貯蔵タンクの中に戻る。

【0139】

後期燃焼／膨張室水噴射61は、冷水貯蔵タンク内に貯蔵され、かつ高圧ウォーターポンプによって、冷水高圧チュービング328を通過して、高圧T字状管継手59内に、および、高圧分割チュービング279内、高圧90度ハウジング管継手58内、および、後期冷水スプレーノズル337から後期圧縮／膨張噴射位置61でロータ燃焼空洞34の中に、ポンプで送出される脱イオン水320を使用する。

30

【0140】

活性水冷システム内で使用される全ての可変速ポンプは、水を汲み出すのに必要な最小量の電気エネルギーを使用するように電氣的に制御されて、調整される。

【0141】

熱水噴射

エンジン1の作動中に加熱された水が熱水噴射レギュレータ57および初期燃焼／膨張燃焼室噴射60で圧縮領域31の始まりに噴射される。熱水圧縮領域噴射に対して、加熱された脱イオン水320が熱水噴射チュービング308を通して、水噴射レギュレータ57内に高圧ウォーターポンプによって熱水貯蔵タンクからポンプで送出される。水噴射レギュレータ57が、圧縮領域31内のロータ燃焼空洞34内に噴射される加熱された水の量を調整する。圧縮領域31内に噴射される脱イオン水320は、有効圧縮比を調整して、噴射された水素ガス336と部分的に混合する。初期燃焼／膨張熱水噴射に対して、加熱された脱イオン水は、別の高圧ウォーターポンプによって熱水貯蔵タンクから、熱水高圧チュービング327内に、および、高圧T字状チュービング管継手59内に、および、高圧分割チュービング278と高圧90度ハウジング管継手58内に、および、ハウジング熱水噴射通路42および連結チューブ43を通して、初期熱水スプレーノズル40から初期圧縮／膨張噴射位置60でロータ燃焼室34の中に、ポンプで送出される。初期60燃焼／膨張において、ロータ燃焼室34内の熱水噴射は、ピーク燃焼温度を調整するのを助けるために水素燃焼と相互作用する。噴射された脱イオン水も相互作用して、ナトリウム

40

50

蒸気チャンバハウジングステータ表面 4 に沿ってナトリウム蒸気室からの熱を吸収し、更に、摺動羽根 116 分割羽根シール 79 に、それらが内側ハウジングステータ表面 37 全体に動くにつれて、若干の潤滑およびシーリング特性を与える。

【0142】

脱イオン水蒸気は、他の燃焼室 34 ガスより重い質量を有する。ロータ 183 の回転速度および遠心力は、より重い脱イオン水蒸気を、内側ハウジングステータ表面 37 に沿って、および、半径方向の排気ポート 9 を通しておよび排気管 10 を通して外へ、半径方向に外に向かって押しつける。これは、脱イオン水がナトリウム蒸気室ステータ 4 との良好な接触および熱伝達をするのを助け、更に、排気ポート 9 および排気管 10 を通して全ての脱イオン水蒸気を完全に排出する際に、極めて有利である。

10

【0143】

変形楕円ハウジングステータ形状

図 4 は、本発明の回転羽根エンジン 1 の側面断面図を示す。図 3 は、エンジン 1 の切欠斜視図を表す。エンジン 1 は、ステータ 37、ロータ 183 およびロータ羽根通路 184 から拡張収縮する多数の摺動羽根 116 を具える。下部ステータハウジング 2 および上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 は、概ね円滑な内面 37 を有する変形楕円形状を形成する。下部ステータハウジング 2 および上部蒸気室ステータハウジング 4 は、金属ガスケット 5 によって分離され、種々のエンジンハウジングセグメント間の一様な嵌合およびシールを保証するのを助ける。摺動羽根 116 は、前部および後部羽根シール 80 から成る分割羽根シール 79 を使用して内側ステータ表面 37 に沿って摺動羽根 116 を密封する。燃焼室 34 は、2 枚の隣接の摺動羽根 116 および 2 個のロータ軸方向シール 102 によって画成される。エンジン 1 はまた、空気取り入れ供給用の吸気ポート 6 を具える。吸気領域 30 は、前部燃焼室羽根 116 の後部羽根シール 80 が 0 クランク角度で吸気ポート 30 の上を通過し始めると始まり、回転軸線に沿って、前部羽根シール 80 が、約 60 度の吸気クランク角度の回転で吸気ポート 30 の上を通過するのを完了するまで続く。約 60 度クランク角度で、内側ステータハウジング 37 はロータ表面 185 からのその吸気最大距離にあり、かつ、ロータ表面 185 の内部へ戻るように鋭く傾斜して圧縮領域 31 を形成する。圧縮領域 31 は、105 クランク角度の点火プラグ 29 の位置まで約 45 全角度のクランク角回転を与える。上死点 (TDC) は、110 クランク角度である。燃焼領域 32 は、点火プラグ位置 29 から約 145 クランク角度の初期水噴射 60 まで続く。膨張領域 33 は、この点から前部摺動羽根 116 の後部羽根シール 80 が 270 クランク角度の最大膨張点の上を通り過ぎ始めるまで続き、合計約 160 クランク角度の燃焼および膨張位置変化を提供する。内側ハウジングステータ 37 は、それが約 270 クランク角度でその最大距離に到達するまで、燃焼領域 32 および膨張 33 領域に沿ってロータ表面 185 から離れて外に向かって徐々に傾斜する。この点で、内側ハウジングステータ表面 37 は、ロータ表面 185 の方へ 338 クランク角度の下死点 (BDC) まで戻して鋭く傾斜する。後期水噴射 61 も、内側ハウジングステータ表面 37 がロータ表面 185 から最大距離である約 275 クランク角度で生じる。燃焼室 34 排出は、前部燃焼室摺動羽根 116 の後部羽根シール 80 が約 280 クランク角度で排気ポート 9 の上を通過し始めると生じて、かつ、後部燃焼室羽根 116 の前部羽根シール 80 が、約 360 クランク角度で排気ポート 9 の上を通過するのを完了するまで続き、合計 80 クランク角度を燃焼室 34 排気に与える。一旦燃焼室 34 がチャンバガスの排出を完了すると、前部燃焼室羽根 116 の後部羽根シール 80 は、吸気ポート 7 をクロスオーバーし、かつ、次のサイクルを開始する準備ができる。

20

30

40

【0144】

上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 は、110 クランク角度の TDC 点から燃焼 32 および膨張領域 33 に沿って位置して、255 クランク角度まで続く。遮熱コーティング 36 が、85 クランク角度の水素／水噴射位置のすぐ前から内側ハウジングステータ表面 37 に施着され、および、約 160 クランク角度の初期水噴射 60 位置を丁度過ぎるまで続く。

【0145】

50

ロータおよび羽根を有する内側ハウジングステータ

図3は、ハウジングステータ2の下半分を表す。ナトリウム蒸気室ステータ4の最上部断面半分、底部ステータ2半分の鏡像が、ハウジングステータ2および4の内側に位置する部分を示すために除去されている。ロータ183は、外部表面185を具えた概ね円形ディスク形状、および、その周辺に沿って垂直にスライスされた多数の羽根スロット184(図4)を有する。各摺動羽根116が、羽根スロット184内に嵌まる。エンジン1のスケールに従い、ロータ183は6個、8個、9個または12個の羽根スロット184および摺動羽根116を有することができる。好ましい実施態様は、8枚の対応する摺動羽根116を保持する8個の羽根スロット184を有する。この構成は、ロータ183の外部ロータ表面185、ハウジングステータ2および4の内面37および摺動羽根116によって取り囲まれる8室の別個の燃焼室34を形成する。各摺動羽根116は、ステータ2および4の内面37の形状と対応する外側半楕円形状を有する概ね平らな前面および背面を有する。作動中に、ロータ183はドライブシャフト18のまわりを回転し、連続的な円運動でステータ2および4の内面37に沿って掃引するように摺動羽根116を押しつける。この運動は、ロータ183のまわりで燃焼室34を連続的に回転させる。摺動羽根116は、摺動羽根116の概ね円形の配列とハウジングステータ2および4の内面37の概ね楕円形状との間の一定表面接触を維持するように羽根スロット184の内外に移動する。

【0146】

燃焼室シール

エンジン1が効果的にかつ能率的に作動するために、燃焼室34は、ロータ183側面ハウジングステータ37、ロータ183と摺動羽根116および摺動羽根と内側ハウジングステータ表面37との間のシーリングを維持しなければならない。図7は、個々の燃焼室34を分離して、各燃焼空洞34内に適切な燃焼ガス圧力を維持するのを助けるのに用いられる燃焼室シール78を示す。燃焼室シール78は、軸方向シール102、羽根面シール111および分割羽根シール79を含む。

【0147】

軸方向シール

図3および7に示される軸方向シール102は、ロータ183と側面ハウジングステータ37との間の密なシーリングを確実にする。軸方向シール102は、概ねアーチ形のセグメントである。軸方向シール102はまた、羽根シールの軸方向シール接触面95に沿った下部羽根分割シールセグメント82とロータ183との間の密なシーリングを確実にする。軸方向シール102は、軸方向センタセクション103がつまみ界面106を含む軸方向中心と端シール界面105に沿って、互いに接続されたセンタ軸方向シールセクション103および2つの軸方向シール端セクション104から成り、軸方向端セクション104は溝界面107を含む。軸方向中心と端シール界面105は、前部シール面に対して角度をつけられる。これによって、軸方向センタセグメント103および軸方向端セグメント104の双方が界面105に沿って自由に動いて、内側ステータ表面37と隣接するシールをなお維持することができる。軸方向端セグメント104の隣接した溝107が合う軸方向センタセグメント103のつまみ界面表面106は、高温潤滑剤および耐久性のための酸化物から成る固体潤滑剤35で覆われて、軸方向中心と端セグメント界面105に沿った摺動摩擦を最小化し、かつそれらのシーリング運動の速度を増大させる。

【0148】

軸方向シール102の上面358は軸方向シールの前部シール面から戻るにつれて、僅かにテーパが付いている。これによって、燃焼室34の与圧されたガスが外に向かって軸方向シールをバイアスさせるのを助けるためにこの最上部テーパ面358に沿って進むことができ、内側ハウジングステータ表面37とシーリング接触させることができる。

【0149】

波形ばね110が、軸方向シール102のセンタ軸方向セグメント103の背後に位置する。波形ばね110は、初めに圧力をセンタ軸方向シールセグメント103に印加するの

10

20

30

40

50

に用いられ、それは、中心と端軸方向シール界面 105 に沿って摺動力を印加して、軸方向シール端セグメント 104 を、内側ハウジングステータ表面 37 に対して軸方向に外に向かって、および、下部分割羽根シール 82 の下部羽根シールセグメント表面 95 に対して半径方向に押しつける。波形ばね 110 は、主要軸方向シール 102 間に最初のシールを形成するために限られた量の力を加える。燃焼およびチャンバ 34 ガス圧は、内側ハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 37 に対して適切なシーリング状態を維持するために、軸方向センタシール 103 および軸 102 の軸方向端シールセグメント 104 に必要な力を平均化するようにそれらの密封性を決定する支配的な力である。

【0150】

10

小さい軸方向シール帯 109 が、軸方向センタセグメント 103 および軸方向端シール 104 両方のシーリング面の全長を走る軸方向シール帯溝 108 内に位置する。軸方向シール帯 109 は、軸方向シールトリップ溝 107 の上の最上部軸方向シールリップを通過する燃焼室ガスを密封するのを助ける。軸方向シール帯 109 の最上部バックエッジは、内側ハウジングステータ表面 37 に対して外に向かって軸方向シール帯 109 をバイアスさせるのを助ける軸方向シール帯 109 の全長を走る小さいベベル 351 を有する。軸方向シール 102 と軸方向シール帯 109 の接触シール面は、高温作動および耐久性のために酸化物から成る固体潤滑剤で覆われている。

【0151】

20

軸方向センタセグメント 103 および軸方向シール 103 の軸方向端セグメント 104、シール帯 109、および波形ばね 110 は、ロータ 183 の輪郭に合致するように湾曲している。

【0152】

羽根面シール

図 8 は、燃焼室シーリングシステム 78、および、分解された羽根面シール帯 113 の燃焼室シーリングシステムの側面斜視図を示す。

【0153】

30

羽根面シール 111 が、ロータ羽根通路 184 内に位置し、ロータ 183 と摺動羽根 116 との間の堅固なシーリングを確実にする。羽根面シール 111 は、概ね半楕円逆 U 型であり、滑動羽根 116 の先端の湾曲形状輪郭に概ね一致する。従って、好ましい実施態様において 16 個の羽根面シール 111 があり、1 個が、8 枚の摺動羽根 116 の羽根面 349 の両側面に隣接している。羽根面シール 111 は、シール 111 のバックエッジに達する僅かなテーパー付き上面 359 を有する。これによって、燃焼室 34 のガス圧が羽根面シール 111 を外に向かってバイアスさせるのを助け、それによって羽根面表面 349 に対して密封することができる。

【0154】

40

羽根面シール 111 は、また、ロータ羽根面シールばね凹部 189 内に位置する波形ばね 114 によって外に向かってバイアスされる。羽根面シール 111 はまた、羽根面表面 349 に沿って追加のシーリングを与えるのを助けるために、羽根面シールシーリング面 111 の全長を走る小さいシール帯溝 112 内に位置するシール帯 113 を含む。羽根面シール帯 113 の最上部バックエッジは、羽根面表面 349 に対して外に向かって羽根面シール帯 113 をバイアスさせるのを助ける羽根面シール帯 113 の全長を走る小さいベベル 352 を有する。羽根面シール 111 と羽根面シール帯 113 の接触シール面は、高温潤滑および耐久性のために潤滑酸化物から成る固体潤滑剤 35 で覆われている。羽根面シールの端 115 は、主羽根面シール 111 から 90 度で外に向かって拡張して下部分割羽根軸方向シールセグメント 82 全体に連結して密封するのを助け、表面 95 とシーリング接触をして、軸方向シール端片 104 の上に適合してかつそれを支持するのを助ける。

【0155】

50

羽根面シール 111、羽根面シール帯 113 および波形の羽根面シールばね 114 は、概ね半楕円逆 U 型であり、各摺動羽根 116 の先端の形状と概ね一致する。

【0156】

分割羽根シール

図8および11を参照すると、1個の分割羽根シール79が、各摺動羽根116の外側周辺350に沿って摺動可能に固定されている。分割羽根シール79は、摺動羽根116とハウジングステータ2および4の内側ステータ表面37との間の密なシーリングを確実にする。分割羽根シール79は、概ね半楕円逆U型であり、全体的な形状で類似しているが、羽根面シール111より僅かに大きい。各分割羽根シール79は、互いの鏡像である2個の羽根シール80を有する。従って、好ましい実施態様において16個の羽根シール80があり、8枚の摺動羽根116の各々に対して2個ある。各摺動羽根116に対して2個の羽根シール80を用いて、燃焼室34に対する二重密封性が与えられ、および、羽根シール80ブローバイ損失が最小化される。これによってまた、各摺動羽根116に対して2つの隣接の燃焼室34が、それらの封止力を最適化させて、各チャンバの特定のシーリング要件を、最大化されたエンジン1の性能とバランスを取り、および、過剰な摩擦および摩耗を最小化する。

10

【0157】

セグメント化羽根シール

図11ないし18を参照すると、各分割羽根シール87内の2個の羽根シール80の各々が、適切な密封状態を維持するためにハウジングステータ2および4の内面37の輪郭に合致する摺動羽根116上部で前後に移動する。しかし、一定のより冷たい吸気-圧縮領域とより熱い燃焼-膨張領域による二極式のエンジン熱プロファイルに起因して、下部羽根シールセグメント82または各分割羽根シール87の側面直線状部は、摺動羽根116の軸方向側面に沿って適切なシーリング状態を維持するために外に向かって拡張する必要がある。これを達成するために、各分割羽根シール87は最上部センタセグメント81および2つの側面下部セグメント82に分割される。最上部センタ羽根シールセクションは、各先端で2つの傾斜した角度のキーストーン界面溝84を有する。下部セグメント82の各々は、マッチした傾斜した角度のキーストーン形状のつまみ界面拡張部85を有する。各羽根シール80の最上部羽根シールセンタセグメント81および2つの下部セグメント82は、傾斜した角度のキーストーンつまみと溝の界面83と共にインタリーブされる。この傾斜角度羽根シールセグメント界面83によって、下部セグメント82が傾斜角度羽根シール界面83に沿って内外に僅かに摺動することができ、従って、それが回転するにつれて摺動羽根116によって掃引される、僅かに収縮拡張する内側ステータ表面37を密封する。下部羽根シールセグメント82の背後の側面ガスチャンネル97は、内側ステータ表面37に対して各下部羽根シールセグメント82を押圧するために燃焼室34ガス圧を使用する。セグメント化された羽根シール80は、内側ステータ表面37の輪郭、燃焼振動の変化から摺動羽根116の密封性を改善するのを助けるだけでなく、それはまた、摩耗による羽根シール80の使用可能な耐久性を改善する。下部羽根シールセグメントの外部表面が内側ハウジングステータ表面37との摺動摩擦に起因して摺り減少する可能性があるので、下部羽根シールセグメント82は、内側ハウジングステータ表面37とのシーリング接触をし続けるように羽根シールセグメント界面83に沿って外に向かって摺動することが可能である。これは、羽根シールの使用可能な耐久性を大いに向上させて、シーリング故障に対する可能性を低下させる。

20

30

40

【0158】

輪郭獅子鼻羽根シール先端

図9および14を参照すると、羽根シール80先端は、内側ハウジングステータ表面輪郭全体に円滑に摺動することができる小輪郭の丸い先端を与える獅子鼻先端90を具えている。小獅子鼻先端90は、過剰な表面シーリング接触を最小化するためにより集中されている。燃焼中に大きい応力および振動力が形成される。しかし、獅子鼻シールは内側ハウジングステータ表面から離れて振動されることができる。この働きは、内側ハウジングステータ表面37に対するチャターリングマーク損傷に結びつく可能性がある。しかし、獅子鼻シール90を僅かにより広くすることによって、衝突力は僅かにより広い表面領域を

50

通じて分配されて、チャターリングマーク損傷に結びつきそうにない。摺動羽根 116 およびロータ 183 が内側ハウジングステータ 2 および 4 を中心に回るにつれて、獅子鼻先端 90 の湾曲した輪郭は、変化する角度の内側ハウジングステータ表面 37 と良好な接触を保つ。これはまた獅子鼻先端 90 の湾曲した輪郭表面全体に接触シーリング点を分配し、羽根シール 80 の使用可能な耐久性を拡大して、シーリング故障を最小化するのを助ける。獅子鼻シール先端 90 は、羽根シール 80 のセンタ羽根シールセグメント 81 の最上部センタ輪郭のまわりに湾曲して、羽根シール 80 の下部羽根シールセクション 82 に沿って外側羽根シール側面 92 に移行する。側面獅子鼻シール 92 は、下部羽根シールセグメント 82 ならびにステータハウジング 2 および 4 の側面内側ステータ表面 37 の良好な軸方向シーリングを提供する。また、羽根シール 80 が軸方向シール 102 および羽根面シール 111 とのシーリング界面を形成することができる。平坦下部羽根シールセグメント面表面 95 が、軸方向シール端セグメント 104 および羽根面シール界面拡張部 115 との平坦な接触界面表面を提供する。ガスが、獅子鼻シール先端 90 をブローバイして、2 個の羽根シール 80 の間を進み、ロータ 183 の内側セクション内に入るのを防ぐために、獅子鼻シール表面は、羽根シール 80 の底部エッジ 93 のまわりを囲み続ける。獅子鼻シール表面 90 は、次いで、内側羽根シール端 94 に沿って囲んで支持し、そこで 2 個の羽根シール 80 が合って、共に摺動する。この短い内側獅子鼻シール端 94 は、羽根シール 80 が移動する場合に、それらが互いになお重なり合うように十分に長く、内側羽根シールガスが、羽根シール 80 の底部のギャップから洩出することを防ぐ。活性冷却システムからの水および水噴射が、獅子鼻シール先端 90 間を移動して、獅子鼻シールならびに内側ハウジングステータ表面 2 および 4 に摺動潤滑を与えるのを助ける。水の一部が、蒸気に変換され、2 つの獅子鼻シール 90 間の隙間を充填して、与圧する。これは、隣接した燃焼室 34 の間のブローバイを防ぐのを助ける。

【0159】

羽根シール 80 の獅子鼻羽根最上部シーリング先端 90、サイドエッジ 92、底部エッジ 93、内部エッジ 94 および平坦面表面 95 は、高温潤滑および耐久性のために酸化物から成る固体潤滑剤 35 で覆われている。

【0160】

羽根シールガスバイアス

図 14 を参照すると、エンジン 1 の作動中に、燃焼室 34 内の燃焼ガスは、羽根シール 80 と内側ステータ表面 37 との間のガス空隙 355 に押し入り、羽根シール 80 を内面 37 から離れて押しつけ、従って燃焼室 34 のシーリングを損なう傾向がある。これらの極めて強い燃焼力に効果的に対抗するために、各羽根シール 80 は、燃焼ガスの迅速な利用のために好ましくはガスバイアスされ、羽根シール 80 を内側ステータ表面 37 から切り離す力を平均化する。好ましい実施態様において、このガスバイアスは、角度をなす表面 256 および底部 257 を具えた拡張羽根シール先端 91 を用いる方法と、羽根シール 80 の羽根シールガス通路 96 を用いる方法の、2 つの方法で達成される。

【0161】

角度をなす拡張羽根シール先端

再び図 14 を参照すると、ガス空隙 355 内のガス力に対抗するための第 1 のガスバイアス方法は、各羽根シール 80 上の角度をなす外端表面 356 および底面 357 を具える拡張羽根シール先端 91 を使用する。角度をなす外側 356 は、1 つが内側ステータ表面 37 により近く動くにつれて、各羽根シール 80 の幅を増大する。拡張羽根シール先端 91 の角度をなす外側 356 および底面 357 は、従って、外に向かってある角度に曲げられる表面領域を形成し、それで、膨張燃焼ガスが、ステータ 2 および 4 の内側ステータ表面 37 の方へ羽根シール 80 を押し、それによって各燃焼室 34 をより効果的に密封するのに役立つ。

【0162】

内側ハウジングステータ表面 37 の分割羽根シール 79 の密封性を改善し、かつその作動耐久性寿命をのばすために、遮熱コーティング (TBC) 36 が、分割羽根シール 79 熱

10

20

30

40

50

応力および変形を最小化するように拡張羽根シール先端 91 の上面および羽根シール 80 の角度をなす外側 356 に施着されている。

【0163】

羽根シールガス通路

さらに図 14 を参照すると、ガス空隙 355 内の燃焼ガス力に対抗するための第 2 のガスバイアス方法は、ガス通路 96 の使用である。複数のガス通路 96 が、各羽根シール 80 を、角度をなす羽根シーリング表面 356 から羽根シール 80 が摺動羽根 116 の支持突起部 118 より上の内側羽根シール表面 354 に接触する位置まで貫通している。ガス通路 96 摺動羽根 116 の支持柵 118 は、従って、燃焼ガスに対する表面を形成して内側ステータ表面 37 に向かって上方へ羽根シール 80 をバイアスさせ、それによって燃焼室 34 をより効果的に密封する。ガス通路 96 は、図 11 ないし 13 に示すように羽根シール 80 の湾曲したセンタ羽根シールセクション 81 全体に沿って分配される。これらのガスバイアス方法のどちらか、または、両方とも、使うことができる。

10

【0164】

軸方向ガスチャンネル 97 が、摺動羽根 116 の下部羽根シールセグメント 82 の背後に羽根支持突起部 118 の側面の最上部を横切って燃焼ガスを導くために羽根シール 80 内に割り込む。これは、下部羽根シールセグメント 82 を内側ハウジングステータ表面 37 の側面に対して外に向かって押しつけ、摺動羽根 116 の羽根シール 82 とハウジングステータ 2 および 4 の内側ステータ表面 37 との間をより密にシーリング接触させる。このより密なシーリング接触は、分割羽根シール 87 を通しての燃焼ガス漏れを最小化するのを助ける。それはまた、燃焼ガスからの急速な高エネルギーバーストによる分割羽根シール 87 の急な動きを減少させるのを助ける少量の摩擦推力を生成する。

20

【0165】

ガス通路 96 および側面ガスチャンネル 97 と共に分割羽根シール 87 を使用する利点は、それらが優れた密封性を提供するだけでなく、それらによって分割羽根シール 87 内の各羽根シール 80 が各隣接した燃焼室 34 に対して分離することができ、かつ個々の燃焼室 34 の圧力状態に基づいてシーリング力を与えることができることである。従って、摺動羽根 116 の前部および後部燃焼室 34 の各々は、異なる圧力およびシーリング要件を有する可能性があり、ならびに、ガス通路 96 および側面ガスチャンネル 97 を有する分割羽根シール 87 は、シーリング力がそれらの圧力およびシーリング要件に合致するように自動的に調整する。燃焼室 34 ガス圧とチャンバシーリング力のバランスを取ること、エンジンの性能ポテンシャルを低下させる可能性があり、かつ羽根シール 80 および内側ハウジングステータ表面 37 摩擦を増加させる可能性がある過剰なシーリング摩擦に結びつくような過度のシーリング力でなく、丁度十分なシーリング力だけが、燃焼室 34 を適切に密封するために、内側ハウジングステータ表面 37 に対して印加される、ことを確実にする。羽根シール 80 ガス通路 96 および軸方向ガスチャンネル 97 は、羽根シール 80 に損傷を与える可能性がある内側ハウジングステータ表面 37 上のチャッターマークに結びつく可能性がある苛酷な燃焼着火力を吸収して、補償するのを助ける。羽根シール 80 のガスバイアスは、羽根シール 80 とハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 37 の耐久性を拡大する円滑な摺動動作によって燃焼室 34 密封性を最適化するのを助ける。

30

40

【0166】

羽根シールトグル動作

作動中に、各分割羽根シール 79 内の 2 個の羽根シール 80 は、それらが概ねディスク形のロータ 183 の平面内でロータ 183 に対して内外に横に移動するにつれて、互いに対して往復運動で互いに対して摺動する。このトグル動作は、摺動羽根 116 自体のトグル動作を補足し、内面 37 の幾何学的輪郭によりよく合致することによって追加の燃焼室 34 シーリング能力を与える。

【0167】

分割羽根ローラーベアリング

50

図15は、摺動羽根組立体116を、分解された分割羽根シール79の羽根シール80と共に示し、それによって内側羽根シール組立体351および外側羽根シール組立体352を示す。分割羽根シール79の羽根80のトグル動作を促進するのを助けるために、内側羽根シールベアリング組立体351および外側の羽根シールベアリング組立体352が、使われる。内側ベアリングに対して、組立体351は、小ローラーベアリング98から成り、かつ、内側羽根シール表面353に沿って分割羽根シール79内に埋め込まれる内側羽根シールローラーベアリングチャンネル99内に位置し、そこで各分割羽根シール79内の2個の羽根シール80が合わさり、かつ共に移動する。外側羽根シールベアリング組立体352は、内側ローラーベアリング98より小さい小ローラーベアリング100から成り、かつ、摺動羽根116の内側羽根溝表面117と接触する外側羽根シール表面354に沿って分割羽根シール79内の外側羽根シールベアリングチャンネル101内に位置する。

10

【0168】

内側ローラーベアリング98および内側ローラーベアリングチャンネル99の位置は、羽根シール80の構造強度を弱めないために羽根シール80上の外側ローラーベアリング100および外側ローラーベアリングチャンネル101から離される。

【0169】

羽根シール80の内側羽根シール表面353は、高温潤滑および耐久性のために酸化物から成る固体潤滑剤35で覆われている。固体潤滑剤35はまた、それらの内側羽根シール接触面353に沿って摩擦を減少させることによって羽根シール80のトグル作動を補助する。酸化物から成る固体潤滑剤35が、また、羽根シール80と摺動羽根116との間のトグル摩擦をさらに減少させるために摺動羽根116分割羽根シール支持突起部118の外側面に施着される。

20

【0170】

羽根シール支持突起部

図14、15および16に示すように、2つの羽根シール支持突起部118が、分割羽根シール溝117によって分離され、各摺動羽根116の外側周辺350に沿って位置している。支持突起部118は、各摺動羽根116の細長い半楕円形のU型の外側周辺350の全長を縁どり、各分割羽根シール79を各摺動羽根116の外側周辺350に沿って摺動可能に固定するように保つのを助ける。支持突起部118なしでは、分割羽根シール79は、ステータハウジング2および4の内側ステータ表面37に沿って掃引するにつれて、振れて位置から外れる傾向があるであろう。

30

【0171】

羽根シール溝および突起部ばねシール

図22、24および27を参照すると、作動中に、羽根シール80の下部羽根シールセグメント82の底部エッジが、分割羽根溝117および羽根シール突起部118の最上部内の羽根シール80下方に位置する燃焼ガスがエンジン1内により深く浸透するのを防ぐために、閉鎖されなければならない。従って、下部羽根シールセグメント82の底部内部エッジはばねシール凹部チャンネル87内に埋め込まれるばねシール86を具える。ばねシール86は、底部分割羽根溝117を密封するのを助けるために摺動羽根116に向かって内部へ押圧する。羽根溝ばねシール86の前部シール面は、高温潤滑および耐久性のために酸化物から成る固体潤滑剤35で覆われている。摺動羽根116の底部羽根シール支持突起部118は、羽根シール支持突起部118の底部の近くに位置する突起部ばね凹部120内に埋め込まれた突起部ばねシール119によって密封される。突起部ばねシール119は、軸方向ガスチャンネル97を閉鎖する下部羽根シール82の内面に対して羽根突起部118シーリングから、外に向かって押し、ガスチャンネル97からの燃焼ガスが、下部羽根シール82の底部から出て、および、ロータ183の内側セクション内に移るのを防ぐ。突起部ばねシール119のシール面は、また、高温作動および耐久性のために酸化物から成る固体潤滑剤35で覆われている。

40

【0172】

50

水ドレイン通路

図18を参照すると、分割羽根シール79の摺動羽根80の底部エッジはその摺動羽根116の方へ戻して角度をつけられている。これは、摺動羽根シール80が、摺動羽根116上に設置されたままで、摺動羽根116の最上部から拡張しないことを確実にするのを手伝う。これはまた、活性冷却システム362の内側ロータおよび羽根冷却領域361からの少量の脱イオン水320が、それが上面上の燃焼ガスおよび底部からの脱イオン水320を密封する羽根突起部ばねシール119に到達するまで、羽根支持突起部118に沿って羽根シール80の底部の下方に入ることができる水ドレイン通路125を形成する。水ドレイン通路125内部の活性冷却システム362からの脱イオン水320も、燃焼力、ハウジングステータ2および4の内側ハウジングステータ表面37との滑り接触から、および羽根シールが前後に移動するにつれて、分割羽根シール79の羽根シール80の衝撃および振動を弱めるのを助ける。これは、より円滑なエンジン動作となり、羽根シール80密封性および耐久性を改善する。

10

【0173】

固体潤滑剤

図8ないし28を参照すると、酸化物材料に基づく固体潤滑剤が、燃焼室シール78の全ての負荷接触面に施着されている。これは全ての可動部分間の摩擦を減らし、従って、熱ビルドアップを減少させるのを助ける。また、燃焼室34内部の燃焼反応と混合しない、あるいはそれを汚染しない潤滑システムを提供する。特別な二元酸化物およびアルゴンヌ国立研究所で開発されている超硬質ナノコンポジット(SHNC)潤滑剤コーティングをこの用途に使うことができる。好ましくは、摂氏900度の最大作動範囲を有するプラズマ溶射酸化物PS 304酸化物固体潤滑剤を使うことができる。

20

【0174】

摺動羽根構造

図18ないし27を参照すると、摺動羽根116は、概ね半楕円逆U型であり、全体的な形状において内側ハウジングステータ2および3の内側ハウジングステータ表面37形状輪郭と類似している。摺動羽根は、分割羽根シール79のシーリング羽根80を保持して、羽根シール支持突起部118を支持する分割羽根溝117を有し、分割羽根シール79の羽根シール80が、ハウジングステータ2および4の内側ハウジングステータ表面37との適切なシーリング接触位置をねじ曲げておよび／または変形することを防ぐのを助ける。

30

【0175】

逆U型中心セクション

図18を参照すると、摺動羽根116の逆中心または逆U型セクション360が、摺動羽根の材料質量を軽減するために切り取られている。摺動羽根116が内側ハウジングステータ表面37を中心に回ると、摺動羽根の質量重量は、分割羽根シール79および内側ハウジングステータ表面37に対して、相当な遠心力を発揮する可能性があり、低いエンジン1性能、摺動羽根116変形および分割羽根シール78摩耗になる、過剰な摩擦推力に結びつく可能性がある。摺動羽根116のこのセンタ逆U型セクション360を除去すると、不必要な摺動羽根116質量重量および過剰な摩擦推力を大いに減らし、エンジン1の性能、羽根116耐久性および分割羽根シール78密封性および耐久性を向上させる。摺動羽根構造116が大きい逆U型セクション360除去に起因して変形しないことを保証するために、小さい垂直121および水平122支持バーが、摺動羽根構造116の逆U型開口360を横切って配置されている。摺動羽根116水平支持バー122は、その表面を通して穿設される複数の穴部123を有し、水平支持構造物123の質量重量を減らし、更に、活性水冷システム362の内側ロータおよび摺動羽根領域361の脱イオン水320の自由な動きを可能にする。摺動羽根の下端部表面126は、摺動羽根116の中心から側面ステータハウジング2および4の方へ外に向かって角度が付いているかまたは傾斜しており、それによって、ロータ183の中心内部の活性冷却システム362からの脱イオン水320が、下部内側ハウジングステータ2の両側上に位置する側面内側ハウ

40

50

ジング水戻り凹部 4 4 の方へ外に向かって、次いで熱水貯蔵タンク 3 0 0 の中に向きを変えることができる。

【0176】

遮熱コーティング

図 1 8 ないし 2 8 を参照すると、遮熱コーティング (T B C) 3 6 が、摺動羽根 1 1 6 の前面および背面 3 4 9 に施着されている。T B C 3 6 は、摺動羽根 1 1 6 を傷つけるかまたは軟化させる可能性があり、熱的変形に結びつく可能性がある、燃焼室 3 4 から来る高い燃焼ガス温度から、摺動羽根を保護する。摺動羽根 1 1 6 の熱的変形は、燃焼室 3 4 からの、および、ハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 3 7 との摺動羽根接触からの燃焼力に起因して、よりひどくなる可能性がある。これは、羽根シール 8 0 が内側ハウジング表面 3 7 との誤整列に結びつく可能性があり、かつ、羽根シール 8 0 および／または内側ハウジングステータ表面 3 7 に対する損傷またはシーリング故障を引き起こす可能性がある。T B C 3 6 は、摺動羽根 1 1 6 を熱的変形に結びつくであろう高い燃焼温度から保護するのを助ける。これは、ハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 3 7 に沿った燃焼室 3 4 の分割羽根シール 7 9 密封性に関する摺動羽根 1 1 6 の羽根シール 8 0 シーリングを改善するのを助ける。

10

【0177】

遮熱コーティング 3 6 はまた、基板材料の酸化を防ぐのを助ける。追加の酸化物によってドーピングされたイットリウム安定化ジルコニウム (Y S Z) でできている低熱伝達率遮熱コーティングが、熱伝達率を低下させて、ロータ表面との接着粘着力を改善するために、調整された範囲の欠陥集積サイズを有する熱力学的に安定な、高度に偏向的な格子構造を生成するように選択される。欠陥集積 Y S Z T B C は、摂氏 4 0 0 乃至 1 4 0 0 度の間でメートル度摂氏あたり ($/m \cdot ^\circ C$) 1. 5 5 ないし 1. 6 5 ワットの熱伝達率を有する。

20

【0178】

熱パイプチャンネル

図 1 8 ないし 2 7 を参照すると、摺動羽根 1 1 6 の各々は、逆 U 型で摺動羽根の周辺 3 5 0 に類似しており、羽根シール溝 1 1 7 のすぐ下に位置する、内側熱パイプチャンネル 1 2 7 を具える。羽根内側熱パイプチャンネル 1 2 7 は、羽根熱パイプ蒸発器領域 1 2 9 からの熱を、摺動羽根の周辺 3 5 0 のあたりから羽根熱パイプ内側コンデンサ 1 3 0 まで伝達する作動流体としての水で僅かに満たされる。作動流体水を、液体からガスに、および、次いで再び液体に戻して連続的に変えることによって、大量の熱を音速で伝達することができる。羽根熱パイプチャンネル 1 2 7 は、摂氏 2 4 乃至 2 0 2 度または華氏 7 5 乃至 3 9 7 度との間で作動し、羽根熱パイプ蒸発器領域 1 2 9 と内側コンデンサ 1 3 0 との間の温度差が大きくなればなるほど、熱伝達速度がより早くなる。

30

【0179】

熱パイプ蒸発器領域は、摺動羽根 1 1 6 の摺動羽根周辺 3 5 0、分割羽根シール 7 9 の羽根シール 8 0、羽根シール突起部 1 1 8、および、羽根分割シール溝 1 1 7 に影響を与える、燃焼室 3 4 からの熱を吸収して、伝達するのを助ける。また、摺動羽根 1 1 6 の前面および背面表面 3 4 9 に沿って T B C 3 6 を通過する熱を伝達するのを助ける。これらの構成部品から離れて熱を伝達することは、摺動羽根 1 1 6 および分割羽根シール 7 8、内側ハウジングステータ表面 3 7 を傷つけ、シーリングおよび構成部品故障に結びつく可能性がある熱損傷および変形を防ぐのを助ける。

40

【0180】

羽根熱パイプチャンネル 1 2 7 の作動中に、燃焼室 3 4 からの熱が、摺動羽根 1 1 6 の湾曲した羽根周辺 3 5 0 セクションの最上部に沿って熱パイプ室蒸発器領域 1 2 9 によって吸収され、そこで、水作動流体が羽根熱パイプ蒸発器領域 1 2 9 の表面に沿って相を液体からガスに変えるように、摺動羽根 1 1 6 前面および背面表面 3 4 9、分割羽根シール 7 9、羽根支持突起部 1 1 8 および分割羽根シール溝 1 1 7 からの熱が熱パイプチャンネル 1 2 7 内に伝達される。加熱されたガス蒸気は、摺動羽根 1 1 6 の底部コーナーに位置す

50

る２個の内側コンデンサ１２６のうちの１個に羽根熱パイプチャンネルを通して伝達され、そこで、このガスからの熱が、内側熱パイプコンデンサに伝達され、このガスは水へと戻して相を変え、熱パイプ蒸発器領域１２９へ戻るように循環する。内側羽根熱パイプコンデンサ内の熱は、伝達によって外側羽根熱パイプコンデンサに伝えられ、そこで、伝達によって、活性冷却システム３６２から内側ロータおよび羽根領域３６１の中に吹き付けられる脱イオン水３２０に熱を伝える。加熱された水３２０は、内側ハウジング水戻りチャンネル４４内に集められて、内側ロータおよび羽根戻りチュービング３２６を通して、熱水貯蔵タンク３００内に循環される。

【０１８１】

脱イオン水３２０は、羽根熱パイプチャンネル１２７内部に対する好ましい作動物質である。熱パイプは、一般的に重力または吸上システムを用いて作動する。重力システムにおいて、熱は底部羽根熱パイプチャンネル蒸発器内に吸収され、内部作動物質を、固体または液体から、対流によって最上部羽根熱パイプチャンネルコンデンサまで上昇するガス蒸気に変化させ、それによって熱を伝達し、放出する。しかし、本発明の摺動羽根１１６において、羽根熱パイプチャンネル１２７は、ロータ１８３の中で回転して羽根熱パイプチャンネル１２７内の熱伝達の重力作動方向を逆転させる大きなＧ力を生成する強い遠心力を発生させ、理想的な熱伝達方向が、摺動羽根１１６の外側周辺または上面３５０から、羽根熱パイプ蒸発器領域１２９に沿って、および、またドライブシャフト１８より上のロータ１８３の中心の方へある羽根熱パイプチャンネル内側コンデンサ１３０の方へ摺動羽根１１６の内側底端部の方へ生じる。

【０１８２】

羽根熱パイプチャンネル１２７は、摺動羽根１１６の周辺表面３４９のまわりを囲み、そこで、燃焼からの強い力および内側ステータ表面３７との表面接触が、この周辺表面３４９に沿って熱的および機械的応力に結びつく可能性がある。羽根熱パイプチャンネルは摺動羽根１１６を冷却することによって熱応力を制御するのを助けるが、それはまた、羽根熱パイプチャンネル１２７に与圧して摺動羽根１１６に対する構造強さを加える。羽根熱パイプ内部の水が加熱されるにつれて、より高い圧力ガスにその相状態を変え、羽根熱パイプチャンネル１２７の内部圧力を上昇させて外部からの燃焼室圧力３４によりよく適合する。これによって、いかなる構造的整合性も失うことなく羽根熱パイプチャンネルの含有によって摺動羽根１１６からさらに付加質量を減らすことができる。

【０１８３】

内側および外側羽根熱パイプチャンネルコンデンサ

図２７を参照すると、内側羽根チャンネルコンデンサ１３０は、好ましくはアルミニウムのような高熱伝達材料から構成され、それは水および水素酸化に対して耐性があり、かつ羽根熱パイプチャンネルの端部内に編組(braise)され、羽根熱パイプチャンネルシステム１２７を完全に密封して、封入する。内側羽根チャンネルコンデンサ１３０は、伝達によって熱を外側羽根熱パイプコンデンサ１３２へ伝える。外側羽根熱パイプチャンネルコンデンサ１３２の前面表面は、角のある突起部および溝１３４で覆われている。熱は、次いで活性冷却システム３６２の脱イオン水３２０に伝達される。

【０１８４】

外側羽根熱パイプチャンネルコンデンサは、好ましくは、内側羽根熱パイプコンデンサの突起部および溝セクション１３１に編組されるアルミニウムのような、高伝導性の物質から構成される。外側羽根コンデンサ１３２の底面は、内側ハウジングステータ２および４の側面の方へ外に向かって角度をつけられているかまたは傾斜状態にある。これは、下部内側ハウジングステータ２上に位置するハウジング水戻り凹部４４によって集められる内側ステータ２および４の両側の方へ向きを変えられるロータ１８３の内側センタセクションの内側にある活性冷却システム３６２から脱イオン水３２０の向きを変えるのを助ける。脱イオン水３２０が２つの側面内側ハウジングステータ２および４に隣接して両方の表面全体に円滑に向きを変えることができるように、羽根熱パイプ外側コンデンサのこの底部の角度をつけられた表面は、摺動羽根１１６の底部の角度をつけられた表面１２６に合

致している。

【0185】

羽根熱パイプチャンネル多孔質ウィック／凍結チューブ

再び図27を参照すると、羽根熱パイプチャンネル127内に、一方の内側熱パイプコンデンサ130から他方の熱パイプコンデンサ130まで羽根熱パイプチャンネル127の全長のまわりを囲む多孔質ウィック／凍結チューブ128が配置されている。多孔質ウィック／凍結チューブ128は、ステンレス鋼メッシュまたは、好ましくは銅亜鉛アルミニウム（CuZnAl）合金から作られる形状金属合金（SMA）から作られ、チューブ形状に共に織られるか、編組されるかまたはスポット溶接される。羽根熱パイプチャンネル127がその内部の作動流体水によって完全に密封されるので、エンジン1が32度F以下の温度にさらされると、冷気の水凍結膨張損傷を被りがちである。水凍結膨張に対処するために、多孔質チューブが多孔質ウィック／凍結チューブ128の中心内部の水作動流体の一部を断熱している。作動流体が凍結して、膨張し始めるにつれて、多孔質ウィック／凍結チューブの中心の凍ってない水作動流体が多孔質ウィック／凍結チューブ128に沿って吸上げられる。これによって、水作動流体が外側に破裂することなくむしろ内部へ内側に破裂することによって膨張することができて、羽根熱パイプチャンネル127または摺動羽根116に対する損傷に結びつく可能性がある膨張圧力を除去する。多孔質ウィック／凍結チューブ128に対してSMAを用いて水作動流体が多孔質ウィック／凍結チューブ127を膨張させて、内側に破裂すると、多孔質ウィック／凍結チューブ128の下部セクションは変形できる。一旦羽根熱パイプ室127の温度が約32度Fまで上昇し、および、作動流体が相を氷から液体へと戻すと、多孔質ウィック／凍結チューブはその元の形状へと戻って再形成される。

【0186】

ロータ183が停止位置にあると、摺動羽根116は、2つの位置のうちの1つに水作動流体をプールする様々な角度に向けられる。第1の位置は底部の2個の羽根内側熱パイプコンデンサ130に沿っており、および、もう一方の位置は熱パイプ蒸発器領域129の表面に沿っている。多孔質ウィック／凍結チューブ129を、羽根熱パイプチャンネル127の全体の長さのまわりを囲ませることによって、多孔質ウィック／凍結チューブの端は、2つの内側羽根熱パイプコンデンサによってプールする凍結作動流体を制御する。多孔質ウィックが羽根熱パイプチャンネル127のまわりを囲むと、熱パイプ蒸発器領域129の中央の最上部または外部表面との直接の接触をする。これは、熱パイプ蒸発器領域129に沿ってプールする凍結作動流体を、多孔質ウィック／凍結チューブ128の中心から2つの多孔質ウィック／凍結128チューブ端部の方へ2つの方向に吸上げられるように制御する。これによって、ロータ183上の任意の方位角でプールする凍結作動流体水を多孔質ウィック／凍結チューブ128によって制御することができる。

【0187】

羽根ベルトトグルシステム

図18、25、27および29を参照すると、摺動羽根116 U型開口上の底部セクションは、羽根ベルトトグルバーシステム363を具え、それは羽根ベルトシステム136の単一センタ羽根ベルト137用の単一ベルトトグルバーシステム142、または羽根ベルトシステム136の2本の外側羽根ベルト138用の二重ベルトトグルバーシステム143のどちらかである。単一142および二重143トグルバーシステムは、摺動羽根に羽根ベルトシステム136の単一137および二重138羽根ベルトを接続する。単一142および二重143トグルバーシステムのトグル動作は、羽根ベルトシステム136により広範囲に単一142および二重143ベルト伸張および収縮を与え、ハウジングステータ2および4の内側ハウジング表面輪郭37の内側幾何学的変形楕円形状によりよく適合させる。羽根ベルトトグルバーシステム363はセンタ支持ベルトロッド145から成り、それはセンタトグルバー穴部144を通して単一組または二重組のベルトトグルリンク147のいずれかを保持する。トグルリンクは、トグルバーリンク147の各々の端に位置する羽根ベルトバー穴部148を通してトグルリンク147に取り付けられる2本のよ

り小さい羽根ベルトバー 146 を保持する。トグルバーブッシング 149 が、羽根ベルトバー 146 を通じて摺動する。単一 137 および二重 138 羽根ベルトのベルトループ界面 367 ではなくむしろ金属バーブッシング 149 が、トグル運動摩耗の大部分を占める。センタトグルバー穴部 144 およびより小さい羽根ベルトバー 146 は好ましくは、殆ど摩擦のない炭素またはダイヤモンドのような炭素潤滑剤から成る、固体潤滑剤で覆われており、高速トグル動作をさらに改善して、羽根ベルトリンク 147 の摩耗および金属羽根バーブッシング 148 の回転運動を減少させる。

【0188】

交互に摺動する羽根 116 の羽根ベルトバーブッシング 148 に単一 140 および二重 141 羽根ベルトセグメントを取り付けると、それらを互いに連結し、単一 137 または二重 138 羽根ベルト閉ループベルトシステムのいずれかを形成して、それらが内側ステータ表面 37 内でロータ 183 によって回転すると、摺動羽根 116 の位置を制御するのを助ける。単一 142 および二重 143 羽根ベルトトグルシステムによって、ベルトはただ 1 つのベルトセグメントとして構成される必要がなく、羽根ベルトセグメントの端と、連続的なベルトシステムとして接続することができる。これは、単一 137 および二重 138 羽根ベルトが、ベルト応力および破損に結びつく可能性がある、狭いロータ羽根通路 184 内部の各摺動羽根 116 の下に、極めて堅固な屈曲を作ること要求するであろう。

【0189】

羽根ベルト張力調整システム

再び図 18、27 および 29 を参照すると、羽根ベルトシステム 136 の単一 137 または二重 138 羽根ベルトのいずれかに適切な張力を維持するために、摺動羽根 116 内側逆 U 型開口 360 上の底部側部部分は、羽根ベルト張力調整システム 150 を具え、主要ベルトロッドの位置、従って、接続された単一 136 または二重 138 羽根ベルトの張力を調整することができる。主要羽根ベルトロッド 145 は、支持羽根ベルトロッド穴部 152 を通して 2 つの端部支持羽根ベルトロッドホルダ 151 に接続される。2 つの羽根ベルトロッドホルダ 151 が、摺動羽根 116 の内側底部センタ逆 U 開口 360 の両側に位置する羽根ベルト張力調整チャンネルの底部に設置される。2 本の張力調整ねじ 153 が、摺動羽根 116、羽根ベルトロッドおよび端羽根ベルトロッドホルダ 151 の底部の張力調整ねじ穴 154 を通して挿入される。羽根張力調整ねじ 155 は、ねじ山のついていない摺動羽根 116 ねじ穴 154 の中で自由に回るが、羽根ベルトロッド 145 および端羽根ベルトロッドホルダ 151 の中でねじ切られたねじ穴 154 を使用して羽根ベルト張力調整チャンネル 124 内部でそれらの位置を上下に調整する。一旦適切なベルト張力が設定されると、張力調整ねじ 153 が張力ねじ止めナット 155 によって適所にロックされる。代替の羽根ベルト張力調整システムは、異なる組の羽根ベルトロッド 145 張力位置を有する異なる組の端羽根ベルトロッドホルダ 151 の使用であるだろう。小さいシステムを、所定の場所に張力をさらにロックするためにベルトロッドホルダ 151 の下に置くことができる。

【0190】

羽根反遠心システム

羽根ベルトシステム

図 29 を参照すると、反遠心羽根ベルトシステム 136 が、内側ハウジングステータ表面 37 の非対称または変形楕円形状輪郭のまわりを回転して、過剰な摺動羽根 116 シーリング遠心力を最小化する能力を提供する。エンジン 1 の回転数速度に関係なく、内側ハウジングステータ表面 37 に対する摺動羽根 116 シーリング力は、周辺全体のまわりで比較的一定のままである。

【0191】

この羽根ベルトシステム 136 は、単一センタベルト 137、二重外側ベルト 138 および輪郭ベルト 139 システムを具える。図 44 を参照すると、単一センタ羽根ベルト 137 が 4 枚の交互の摺動羽根 116 の単一ベルトトグルシステム 142 の羽根ベルトバーブッシング 148 に接続されている。図 46 を参照すると、二重外側羽根ベルト 138 は、

10

20

30

40

50

単一センタ羽根ベルト 1 3 7 の半分の広さであり、他の 4 枚の交互の摺動羽根 1 1 6 の羽根二重ベルトトグルシステム 1 4 3 の羽根ベルトバブッシング 1 4 8 に接続されている。羽根ベルトシステム 1 3 6 の作動中に、単一センタ羽根ベルト 1 3 7 はロータ 1 8 3 のセンタ半径方向の回転で作動し、外側の 2 本の羽根ベルト 1 3 8 は、単一センタ羽根ベルト 1 3 7 および二重外側羽根ベルト 1 3 8 が互いに干渉せず、かつ、適切な均衡を維持するように、内側センタ羽根ベルト 1 3 7 の両側の外側で作動する。

【0192】

羽根ベルトシステム 1 3 6 は、内側ハウジングステータ表面 3 7 形状回転変形楕円形輪郭に合致する際に極めて動的である。羽根単一ベルトトグル 1 4 2 および羽根二重ベルトトグル 1 4 3 は、ロータからのより広い作動範囲のベルト伸張を、単一羽根ベルト 1 3 7 および二重羽根ベルト 1 3 8 にそれぞれ与え、かつ羽根をロータの中へと戻して引き込めるのを助けて、摺動羽根 1 1 6 応力を低下させる。

【0193】

図 2 9 ないし 3 6 を参照すると、単一センタベルト 1 3 7 または外側二重ベルト 1 3 8 システムの作動中に、4 枚のベルト連結摺動羽根 1 1 6 の一つ以上がロータ 1 8 3 中心から外へ拡張するにつれて、他のベルト接続した摺動羽根 1 1 6 は、ロータ 1 8 3 中心の方へ内部に戻して引き込められ、摺動羽根 1 1 6 の内部の求心力と外部の遠心力をつりあわせ、内側ハウジングステータ表面 3 7 に対して相対的に一定の外部シーリング力を達成する。しかし、摺動羽根 1 1 6 が最大拡張位置 3 3 で生じる、ロータ 1 8 3 から最も遠く拡張される点で、高いピーク遠心力がなお生じ得る。このピーク力点を最小化するのを助けるために、2 本の小さい輪郭ベルト 1 3 9 が、図 4 1 および 4 8 に示すように、交互の単一 1 3 7 および二重 1 3 8 羽根ベルトのアーチ支持バー 1 5 9 の外側端に取り付けた輪郭ベルトベアリング 1 7 5 に取り付けられる。2 本の輪郭ベルト 1 3 9 は、単一羽根ベルト 1 3 7 および二重羽根ベルト 1 3 8 システムの動きを 1 つの一体化された羽根ベルトシステム 1 3 6 として共に連結する。それによって、なお両方のベルトが、摺動羽根 1 1 6 を拡張収縮することによって、内側ハウジングステータ表面 3 7 に合致するが、内側ハウジングステータ表面 3 7 輪郭の変形楕円により円滑に合致するより制限されるかまたは平均化された方法で、独立に作動することができる。内側ハウジングステータ表面 3 7 に合致するように丁度 4 枚の交互の摺動羽根 1 1 6 を使用する代わりに、輪郭ベルト 1 3 9 は、内側ハウジングステータ表面 3 7 輪郭によりよく合致する単一 1 3 7 および二重 1 3 8 ベルトシステム双方の全 8 枚の摺動羽根 1 1 6 を共に連結して使用することが可能である。これは、最も遠い拡張位置でピーク遠心力を大いに減少させる。しかし、ピーク遠心力は、ベルトシステム 1 3 6 全体をこの最も遠い拡張点に引き入れて変形させるのになお十分に強い。図 2 9 を参照すると、これを制御するために、ベルトアーチ制限ばね 2 1 2 が、ベルトアーチ支持バー 1 5 9 の各々の端に取り付けられる輪郭ベルト側面アーチ 1 7 6 と並ぶ、内側ロータ空洞 3 6 3 内に埋め込まれている。ベルトアーチ制限ばね 1 6 9 は、内側ハウジングステータ表面 3 7 を回転させて、全体に摺動すると、摺動羽根 1 1 6 の最大拡張点に対応する定位置内にある。各輪郭ベルト側面アーチ 1 7 6 は、各ベルトアーチ支持バー 1 5 9 に 2 個のベルトアーチ制限ばね 2 1 2 を有し、各ベルトアーチ支持バー 1 5 9 に対して合計 4 個のベルトアーチ制限ばね 2 1 2 を有する。摺動羽根 1 1 6 の各々の下に向けられている 1 つのベルトアーチ支持バー 1 5 9 がある。回転摺動羽根 1 1 6 が膨張領域 3 3 内の最も遠い拡張点に到達すると、2 本の輪郭ベルト側面アーチ 1 7 6 が、ベルトアーチ支持バー 1 5 9 および対応する摺動羽根 1 1 6 の拡張を制限する、つりあっている 4 個のベルトアーチ制限ばね 2 1 2 を圧縮する。これは、摺動羽根 1 1 6 の全てを、エンジン回転数速度を問わず全体のロータ 1 8 3 回転の全体にわたってハウジングステータ 2 および 4 の内側ハウジングステータ表面 3 7 に沿って均一に印加される、一定の遠心力との均衡に保つ。この一定の遠心力は、内側ハウジングステータ表面 3 7 に対する摺動羽根 1 1 6 の全体的な摺動摩擦を有意に減らし、特に、ガス圧が低下している、後期燃焼膨張中に役立ち、摺動羽根 1 1 6 は、遠心力がそれらの最高水準にある、ロータ 1 8 3 から外へ最も遠くへ拡張される。

10

20

30

40

50

【0194】

ベルトアーチ制限ばね212は、また、羽根摺動羽根116および羽根ベルトシステム136の苛酷な振動力を吸収して、弱めるのを助ける。

【0195】

アーチ型羽根ベルト支持体

図32および34を参照すると、交互の摺動羽根116を共に接続する際に、単一137および二重138羽根ベルトは、2枚の隣接の接続した摺動羽根116間で90度に曲がらなければならない。羽根ベルト構想に伴う問題の1つは、ベルト材料が高速で角のまわりを曲がる必要があることである。これを達成するために、単一156および二重157アーチベアリングシステムが、それぞれ単一137および二重138羽根ベルトシステム

10

【0196】

図38および39を参照すると、単一137および二重138アーチ型羽根ベルトベアリングシステムは、好ましくはセンタアーチ型羽根ベルト支持体158、一連の複数羽根ベルトローラーベアリング178および摺動突起部161を具える。

【0197】

センタアーチ支持体

単一および二重ベーンベルトアーチ支持体158の上面の各々は、大きい円弧で曲がっており、交互の摺動羽根116の間の90度角にわたって単一137および二重138羽根ベルトの鋭い曲げ角を最小化する。アーチ支持体の各々は、また、ローラーベアリング178の各々の間にベルトローラーベアリング178および4個の羽根ベルト摺動突起部161を保持する3つのローラーベアリング凹部160、および、活性冷却システム362から内側ロータ空洞363からの脱イオン水320を排出して水がローラーベアリング凹部160内にビルドアップすることを防ぐ水排水穴部を具える。脱イオン水320は、羽根ベルトシステム136および羽根ベルトローラーベアリングに若干の潤滑および冷却を提供する。これは、ベルト摩擦を減らして、ベルト耐久性および強度を増加させるのを助ける。

20

【0198】

側面アーチ止め金

各羽根ベルトアーチ支持体158は、羽根ベルトアーチ支持体158を貫く4本のリベット166によって羽根ベルトアーチ支持体158に固着する2個の側面アーチ止め金163を有する。側面アーチ止め金163およびリベット166は、構造強度を支持アーチ158に加える。側面アーチ止め金163の上部端は、羽根ベルトアーチ支持体表面158より広く拡張されて丸い羽根ベルトガイド突起164を形成し、それらが羽根ベルト支持アーチ158全体に動くにつれて、可動単一137および二重138羽根ベルトを適切な調整位置に保つのを助ける。

30

【0199】

羽根ベルトアーチローラーベアリング

ベルトアーチ支持体158の最上部上の羽根ベルトローラーベアリング178の使用は、羽根ベルト136の動きを改善する。羽根ベルトローラーベアリング178は、質量加減速慣性力を減少させる小さい直径を有するローラーベアリング180からなり、ベルトアーチ支持体158全体のベルト運動を改善するのを助ける。外側ローラーベアリング180は、ベアリングを通して穿設される小開口181を有し、脱イオン水320が羽根ベルトローラーベアリング180およびローラーベアリングスピンドル179を潤滑して、冷却するのを助けることができる。スピンドル179は、また、殆ど摩擦のない炭素またはダイヤモンド様炭素潤滑剤の類の固体潤滑剤35で覆われている。スピンドル179端は、羽根ベルトアーチ支持体158の両側面に置かれる側面アーチ止め金163上のベアリングばね支持体開口165内に取り付けられるローラーベアリングばね支持体182にねじ込まれる。ベアリングばね支持体開口165は、側面アーチ止め金163上に配置され、ローラーベアリング凹部160内部で適切にローラーベアリング180の向きを適切に

40

50

定め、かつ、単一１３７と二重１３８羽根ベルトとを良好に接触させる。

【０２００】

エンジン作動中に約１，０００回転以下の低い回転数速度で、羽根ベルトシステム１３６の単一１３７および二重１３８羽根ベルトは、羽根ベルトローラーベアリング１８０の表面と接触し、運動速度を向上させて、羽根ベルトアーチベアリング支持体１５８の前後にわたる単一１３７および二重１３８羽根ベルトの運動摩擦を減少させるのを助ける。羽根ベルトベアリングスピンドルばね支持体１８２も、円滑な作動運動のために単一１３７または二重１３８羽根ベルトの任意の振動を弱めるのを助ける。

【０２０１】

約１，０００回転より大きいより高い作動速度では、ローラーベアリングの質量は単一１３７および二重１３８羽根ベルト運動を制限する大きい加速および慣性力に結びつく。しかし、より高いエンジン作動速度中に羽根ベルトローラーベアリングスピンドルばね支持体は、より高い遠心ロータ１８３回転力によって圧縮し、単一１３７および二重１３８羽根ベルトがローラーベアリング１８０とのいかなる接触もすることなく羽根ベルトアーチ支持体１５８全体に動くことができる。高速作動中に羽根ベルトローラーベアリング１８０は、エンジンの作動速度が約１，０００回転以下に減速するまで、アーチ支持体１５８ローラーベアリング凹部１６０内部で圧縮されたままであり、そこで、羽根ベルトローラーベアリングが羽根ベルトシステム１３６の可動単一１３７および二重１３８羽根ベルトとの支配的な接触を回復する。単一１３７および二重１３８羽根ベルトの動きを向上させて、羽根ベルトアーチ支持体１５８全体の摩擦を減らし続けるために、羽根ベルト摺動突起部１６１が使われる。

【０２０２】

羽根ベルト摺動突起部

図３８および３９を参照すると、単一１３７および二重羽根ベルトが羽根ベルトアーチ支持体１５８の最上部を通じて高速で移動するにつれて、羽根ベルトローラーベアリング１８０がローラーベアリング凹部１６０内に圧縮され、単一１３７および二重１３８羽根ベルトが摺動突起部１６１全体に動く。摺動突起部１６１は、潤滑用の殆ど摩擦のない炭素またはダイヤモンド様の炭素から成る固体潤滑剤３５で覆われ、または、好ましくは、アルゴン国立研究所で開発されている超硬質ナノコンポジット（ＳＨＮＣ）潤滑剤コーティングを使うことができる。摺動突起部１６１とローラーベアリング凹部は、乱気流を生成し、それが次に、単一１３７および二重１３８羽根ベルトとアーチ支持体１５８の上面との間に空気のクッションを形成する。これによって、単一１３７および二重１３８羽根ベルトが羽根ベルト摺動突起部１６１全体に極めて低い接触摩擦でさらにより高い速度で動くことができる。

【０２０３】

動的アーチ支持バー

アーチ支持バー１５９は、単一１５６または二重１５７羽根ベルトアーチベアリングのいずれかを保持する。単一１５６および二重１５７羽根ベルトアーチベアリングが、単一１５６または二重１５７羽根ベルトアーチベアリング支持体の両側に置かれているアーチクリップ凹部１７３内にあるアーチ支持クリップ１７２によって、アーチ支持バー１５９上の適切な位置に保持される。

【０２０４】

アーチ支持バー１５９の各々の端が輪郭ベルトワッシャ１７４を保持し、輪郭ベルト１３９が輪郭ベルトベアリング表面１７５を通じて半径方向に自由に動くことができるようにする輪郭ベルトベアリング１７５の内部エッジに沿った位置に輪郭ベルト１３９を保持するのを助ける。輪郭ベルトアーチ１７６は、輪郭ベルトベアリング１７５の外部エッジに沿った位置に輪郭ベルト１３９を保持する。

【０２０５】

ロータ１８３の回転数が約１，０００回転以上である、エンジン１の高速作動中に、ベルトアーチ支持ばね１６９は圧縮し、および、アーチ支持バー１５８は側面アーチ支持プレ

10

20

30

40

50

ート163内のアーチ支持バー開口168内で、アーチ支持バーチャンネル368内で下方へ動き、単一156および二重157羽根ベルトアーチ支持体が外に向かって拡張することができ、羽根ベルト摺動突起部161が単一137および二重138羽根ベルトとの適切な接触を維持することができる。エンジン1の作動速度が約1,000回転以下に減速すると、ベルトアーチ支持ばね169、同じく羽根ベルトローラーベアリング支持ばね182が伸張し、アーチ支持バー159が側面アーチ支持プレート163内のアーチ支持バー開口168の中で、アーチ支持バーチャンネル368の中で上方へ動き、羽根ベルトローラーベアリング180が単一137および二重138羽根ベルトと一次接触することができる。ベルトアーチ支持ばね169はまた、耳ざわりな作動振動を弱めるのを助け、羽根ベルトシステム136の円滑な作動を与えるのを助ける。

10

【0206】

羽根ベルト材料

図36を参照すると、羽根ベルト137および138は好ましくはベルトの中に織り込んだ高張力強度ファイバの微細繊維でできている。ネクステル610およびAGYの933-S2ガラスは、これに用いる可能性のあるファイバである。ファイバは、各端367に2つのループを有する平坦な平滑面ベルトに織られ、単一ベルト142および二重ベルト143トグルシステムの分割羽根116トグル羽根ベルトブッシング148と連結する。内側ロータ空洞363の中に脱イオン水320を循環させる活性冷却システム262によって、羽根ベルトシステム136は、約250度Fのピーク作動温度を有する。これは、ファイバ強度を維持して、ファイバ熱膨張を最小化するのを助ける。代替的に、繊維ガラスまたはケブラーファイバを羽根ベルトシステム136用のベルトに織ることができる。これらの材料は、軽量で、450度Fの最大連続作動温度で高い抗張力、低い伸長度を有する。

20

【0207】

ベルトの性能および耐久性を向上させるために、羽根ベルト137および138は好ましくは複数層のファイバによって構成されて、次いで縫合される。主要な表層は、より大きいサイズのファイバを含んで、その結果、より粗いフィリングおよび包装織り生地を有する強度層169である。このテクスチャーは、支持体アーチ突起部構造161全体に摺動するにつれて、より大量の摩擦、振動および摩耗を発生させる。摺動性能を向上させるために、材料の底部シアー層171が、好ましくは最上部強度層と共に縫い付けられる。この底部シアー層は、好ましくはより微細な繊維サイズおよび結果として生じるより微細なフィリングおよび包装織り生地を有する。

30

【0208】

ベルトファイバは、また、テフロンまたは殆ど摩擦のない炭素のような固体潤滑剤で覆われており、それらの摩擦および摩耗をさらに減少させることができる。テフロンPTFEコーティングは、0.06の摩擦係数を有する。殆ど摩擦のない炭素は、0.02の摩擦係数を有する。

【0209】

羽根ベルトピンヒンジシーム

図32ないし36を参照すると、アーチ型羽根ベルトベアリング158が、移動する単一137または二重138羽根ベルトに対する大きい平坦なアーチ型表面を形成されている。これは、羽根ベルトベルト材料上の曲げ応力を大いに減少させる。単一137および二重138羽根ベルトの、および、輪郭ベルトの撓み性をさらに改善するために、ヒンジ継ぎ目366を有するリンクピン365を単一140および二重141、および、輪郭364羽根ベルトセグメント内に配置することができる。接合ピン365は、ステンレス鋼または非金属材料でもよい。このピンは、テフロン、殆ど摩擦のない炭素、またはダイヤモンド様の炭素の固体潤滑剤で覆われていることができ、ピン365摩耗を減らして、ヒンジ366の運動速度を向上させて、摩耗を減少させる。余分の耐久性を与えるために、ピンヒンジ366は好ましくはステンレス鋼から作ることができる。

40

【0210】

50

図 3 3、3 5 および 3 7 を参照すると、ピンヒンジ 3 6 6 がベルトに含まれる場合、それらはベルトと同一平面上でない小さい界面表面を付加する。この界面表面は、粗いベルト作動に結びつく可能性がある。このオフセットを補償するために、ピンヒンジ 3 6 6 の厚さに合致する別のシアー充填層 1 7 0 を、加えることができる。これは最上部強度層 1 6 9 と底部シアー層 1 7 1 との間に位置することができ、全ての 3 つの層を縫合することができる。これによって、底部シアー層がアーチ支持突起部 1 6 1 全体に極めて円滑に作動することができる。

【0 2 1 1】

ベルトおよびトグルブッシング連結

単一 1 3 7 および二重 1 3 8 羽根ベルトを単一 1 4 2 および二重 1 4 3 トグルに取り付けるために、この複合ベルトは金属ローラブッシング 1 4 9 のまわりを囲んで、ベルトブッシングロックカバー 3 6 9 によって適所に保持される。ベルトブッシング 1 4 9 のまわりのベルト曲げを最小化するために、小さい三角ベルトブッシングくさび 3 7 0 (図示せず) がベルト取付け角度をベルト上のより少ない応力によってより緩やかにするように挿入される。

10

【0 2 1 2】

ロータ構造

図 3 を参照すると、エンジン 1 の構成に従い、ロータ組立体 1 8 3 は 6 個または、8 個のロータセグメント組立体 3 1 0 を具える。エンジン 1 の好ましい実施態様は、8 個のロータセグメント組立体 3 1 0 を使用することである。摺動羽根 1 1 6 は、各ロータセグメント組立体 3 1 0 の間に配置され、かつ入ってくる摺動羽根 1 1 6 の羽根通路 1 8 4 を形成する。全てのロータセグメント組立体 3 1 0 は、側面止め金 2 1 5 によって共に保持され、ロータ 1 8 3 を形成する。

20

【0 2 1 3】

ロータセグメント組立体

図 4 0 を参照すると、各ロータセグメントアッセンブル 3 1 0 は最上部ロータ燃焼セグメント 3 1 1、ロータ熱制御システム、ロータ側面プレート 2 0 9、ロックタブ 2 0 8、内側プレートカバー 2 1 0、摺動羽根 1 1 6 接線ベアリング 2 2 3、羽根面シール 1 1 1、ロータ軸方向シール 1 0 2 および羽根輪郭ベルト制限ばね 2 1 2 を具える。

30

【0 2 1 4】

ロータ燃焼セグメント

ロータ 1 8 5 およびロータ燃焼凹部 1 8 6 の外部表面も、遮熱コーティングで覆われている。遮熱コーティングは、燃焼からの熱が、ロータ燃焼セグメント 3 1 1、ロータ水蒸気室 1 9 0 および内側ロータ空洞 3 6 3 に浸透し、ロータ 1 8 3、摺動羽根 1 1 6 または摺動羽根ベルトシステム 1 3 6 に対する熱損傷および変形に結びつくことを防ぐのを助ける。

【0 2 1 5】

ロータ軸方向および羽根面シール

図 4 0 および 5 0 を参照すると、ロータ燃焼セグメント 3 1 1 はまた、軸方向シール 1 0 2 および軸方向シールばね 1 1 0 を保持するためにロータ燃焼セグメント 3 1 1 の側面に沿ってカーブする軸方向羽根シール凹部 1 8 7 および軸方向ばね凹部 3 7 8 を具える。ロータ燃焼セグメント 3 1 1 の前部および後部ロータ摺動羽根面 3 7 1 両方の上に位置する羽根面シール凹部 1 8 8 および羽根シールばね凹部 1 8 9 が、羽根面シール 1 1 1 および羽根面シールばね 1 1 4 を保持する。

40

【0 2 1 6】

摺動羽根接線ベアリングシステム

図 4 0 および 4 7 を参照すると、ロータ 1 8 3 からの摺動羽根 1 1 6 の「内外の」動きを改善するために、ロータ摺動羽根スロット 1 8 4 を形成するロータ燃焼セグメント 3 1 1 の前部および後部ロータ摺動羽根面 3 7 1 の全体にわたって、小ローラーベアリング 2 2 3 が埋め込まれている。各ローラーベアリング 2 2 3 は、高温潤滑および耐久性のための

50

酸化物から作られる固体潤滑剤で覆われているローラーベアリングスピンドル 227 を具える。外側ローラーベアリング 225 は中空であり、ベアリングスピンドル 227 を通じて配置され、摺動羽根 116 の可動前面および背面表面 349 と直接の接触をして、ともに回転する。外側ローラーベアリングはまた、活性冷却システム 362 からの水／蒸気 320 が外側接線ベアリング 225 および内側ベアリングスピンドル 227 を潤滑して、冷却するのを助けることができるように、その表面の全体にわたって小開口 226 を有する。スピンドル 227 は、好ましくは高強度合金から作られて、酸化物潤滑剤でコーティングされている。ローラーベアリングスピンドルばね支持体 228 が、ローラーベアリングスピンドル 227 の各先端に取り付けられる。

【0217】

ローラーベアリング 223 は、ロータ 183 の回転に対して 45 と 90 度の間に、しかし、好ましくは 45 度に向きを決められて、摺動羽根 116 がロータ 183 の摺動羽根通路 184 内で前後に動くのを助けるのに用いることができる。エンジン作動中に、ロータ 183 の回転数が約 1,000 回転以下の場合、それらがロータ羽根通路 184 内部で前後に動くにつれて、外側ローラーベアリング 225 は摺動羽根 116 の前面および背面表面 349 と直接接触して摺動摩擦および摩耗を減少させる。エンジン高速作動中にロータ 183 回転数が約 1,000 回転より大きい場合、ローラーベアリング 225 の加速および回転慣性力は、ずっと顕著で、より大きな摩擦を可動摺動羽根 116 に加える。しかし、この時点で、羽根接線ローラーベアリングばね支持体が、羽根接線ローラーベアリング凹部 224 の中に羽根接線ローラーベアリング 223 を圧縮してかつ引き込め、摺動羽根 116 の可動面表面 349 との外側羽根接線ローラーベアリング 225 表面の接触を断つ。これによって、摺動羽根 116 が非常により高い速度でかつ低い摩擦でロータ羽根通路 184 内の隆起ジグザグ羽根摺動突起部 221 に沿って動くことができる。

【0218】

ジグザグ羽根摺動突起部

再び図 40 を参照すると、摺動羽根 116 の羽根スロット 184 内の「出入り」運動をさらに改善するために、前部および後部ロータ羽根摺動面表面 371 の全体にわたって垂直に続いているジグザグ突起部 221 がある。これらのジグザグ突起部の最上部は、高温潤滑および耐久性のための酸化物から成る固体潤滑剤で覆われている。代替的に、超硬質ナノコンポジット (SHNC) 潤滑剤被覆を使うことができる。酸化物潤滑剤は、極めて低い摩耗率 0.2 以下である摩擦係数を生成する。

【0219】

水／蒸気チャンネル

さらに図 40 を参照すると、ジグザグ突起部の間に水／蒸気チャンネル 222 がある。摺動羽根 116 がロータ 183 の摺動羽根通路 184 の中で内外に動くにつれて、ジグザグ形状の突起部 221 は水／蒸気チャンネル 222 の内側に高い乱流を生成し、次に接触表面の間に空気のクッションを形成する。これは、摺動羽根 116 の動きをさらに高めて、それらの摩擦を減少させる。内側ロータおよび活性冷却システム 362 の摺動羽根領域 361 からの脱イオン水 320 が、水／蒸気チャンネル 222 に入って中を流れると、それが燃焼室 34 内の燃焼への曝露のために加熱された摺動羽根 116 の前面および背面表面 349 に対して流れ、脱イオン水 320 を蒸気に変える。脱イオン水 320 が摺動羽根 116 の熱い前面および背面表面 349 を冷却するのを助けるにつれて、脱イオン水 320 は高圧の蒸気に相を変える。この高圧蒸気は、水／蒸気チャンネル 222 の中でさらに膨張してジグザグ摺動突起部 221 の摺動羽根 116 の前面および背面表面 349 を僅かに上に持ち上げ、それらが減少した摩擦および摩耗で摺動羽根通路 184 内部でより自由に動くことができる。水蒸気 320 はまた損傷および摩耗をさらに減少させるために苛酷な振動を吸収するのを助け、エンジン 1 のより円滑な作動を提供する。加熱された蒸気および、または、凝縮された蒸気水は、内側ハウジングステータ側面 2 および 4 に沿って、ロータ 183 の外側に循環し、水／蒸気戻り凹部 44 を通して、活性冷却システム 362 の温水貯蔵タンクに圧入される。

【0220】

ロータ熱制御システム

燃焼プロセス中に熱がロータ表面183を貫通し、ロータの燃焼セグメント311の中におよびロータセンタ空洞363の中に浸透し、羽根ベルトシステム136およびロータ組立セグメント310構成部品に対する熱損傷に結びつく可能性がある。燃焼ロータセグメント311および内側ロータ空洞363から余熱を能動的に除去するために、活性水冷システム362と連携してロータ蒸気室システム190が用いられる。

【0221】

ロータ高温合金

ヘインズ230または188の類の、高温耐性のある合金材料が、燃焼ロータセグメント311の構成に好ましく使われる。これらの材料は、摂氏600度で35,000時間にわたる燃焼状態で高温および長い露出において強度特性を保持する。これらの合金は、華氏温度につき約 $8 \cdot 2 \times 10^{-6}$ の低い熱膨張率を有する。これは、熱的変形および熱疲労を最小化するのを助ける。

10

【0222】

ロータ遮熱コーティング

遮熱コーティング36はまた、基板材料の酸化を防ぐのを助ける。追加の酸化物によってドーピングされたYSZでできている低熱伝達率遮熱コーティングが、熱伝達率を低下させる調整された範囲の欠陥集積サイズで熱力学的に安定な、高度に偏向的な格子構造を形成し、ロータ表面との接着粘着力を向上させるように選択される。

20

【0223】

イットリウム安定化ジルコニウムの欠陥集積TBC(YSZ)が、摂氏400と1400度との間でメートル度摂氏につき1.55ないし1.65ワットの熱伝達率を有する。

【0224】

ロータ蒸気室システム

図43、44、45、47、48、49、50および51を参照すると、高温合金を有するロータ燃焼セグメント311の様に、高い燃焼温度に直接さらされるエンジン1の構成部品を構成して、それらを遮熱コーティング36でコーティングすると、熱損傷を大いに減らして、熱が内側ロータ空洞363内に浸透するのを減速する。しかし、最終的にはロータ表面183に浸透して、ロータセグメント組立体310の内側ロータ空洞363内に伝達する余熱を除去することは、なお必要である。ロータ水蒸気室190が、ロータ183の各ロータセグメント310内で使われる。ロータ水蒸気室190は、ロータ燃焼セグメント311の最上部ロータ表面185および燃焼空洞凹部186のすぐ下に位置する。これらの表面に浸透する熱は最上部または外側蒸発器表面191に沿ってロータ水蒸気室190内部の水を加熱し、それは半径方向に、および軸方向に最上部ロータ表面183輪郭湾曲の形状に合致する。水がロータ蒸気室蒸発器表面191に沿って加熱されるにつれて、相を液体からガスに変え、蒸発器表面191から大量の熱を吸収して、それを水蒸気ガスに変える。内部チャンバ圧力は、ロータセグメント組立体310の両方の軸方向の側面に位置する内側ロータコンデンサまで加熱された水蒸気を循環させ、そこで、加熱された水蒸気が熱を内側コンデンサ200へ伝達して、および液体へと戻して相変化させ、ロータ蒸気室蒸発器表面191へ戻って循環する。

30

40

【0225】

脱イオン水320は、ロータ蒸気室190内に対する好ましい作動物質である。作動流体水を、液体からガスに、次いで再び液体に戻して連続的に相を変えることによって、大量の熱を音速で伝達することができる。ロータ水蒸気室190は、摂氏24乃至202度または華氏75乃至397度の間で作動し、ロータ蒸気室蒸発器領域191とロータ内側コンデンサ200との間の温度差が大きくなればなるほど、熱伝達速度がより早くなる。

【0226】

ロータ水蒸気室は、丁度重力または吸上システムが作動流体を循環させるのに用いられる熱パイプのように作動する。重力システムにおいて、熱が蒸気室の底部蒸発器表面に沿っ

50

て吸収され、内部作業物質を固体または液体からガス蒸気に変え、対流によって最上部蒸気室コンデンサまで上昇してその熱を伝達して放出させる。しかし本発明のロータ183では、ロータ蒸気室190は、水蒸気室190内の熱伝達の重力作動方向を逆にする高いG力を生成する強い遠心力を発生させるロータ183内部で回転している。この熱伝達の逆の方向は、本発明のエンジン1に対して理想的であり、理想的な熱伝達がロータの外部表面185のすぐ下のロータ蒸気室190の最上部蒸発器表面191から生じ、かつ、吸収された熱をロータ蒸気室190の下部側面底部端の方へロータ内側コンデンサ200まで伝達することができる。ロータ蒸気室内側コンデンサ200において、ロータ内側コンデンサ200に熱が伝達するにつれて、内部作動水蒸気が相をガスから液体に変える。水液体は、次いでロータ蒸気室蒸発器表面191の方へ外に向かって戻るように循環して再び再循環する。

10

【0227】

図44および50を参照すると、ロータ水蒸気室190の外側蒸発器表面領域191の近くの水作動流体の毛細管流れを改善するために、微細な吸上メッシュの層192が、好ましくは使われる。これによって、高圧の小液体水滴が外側ロータ蒸発器表面191に沿って容易に流れて、相を液体から気体に変えることができる。粗い吸上毛細管メッシュ層193が、ロータ蒸気室190の側面に沿って端ロータ内側コンデンサ200から使われ、微細なメッシュ層193とインターフェイスする。これによって、低圧のより大きい液体水滴が外側蒸発器表面領域191に沿ってロータ蒸気室190内の任意の位置まで作動流体の外側微細吸上毛細管メッシュ層193へと容易に流れることができる。粗い吸上メッシュ193は、メッシュ界面369で微細吸上メッシュ192の下に僅かに延在する。これによって、より大きい水小滴がロータ蒸気室蒸発器表面191のより近くに動くことができる。それによっても、より小さい水小滴がロータ蒸気室内側コンデンサ200により近く補助的に吸上げることができる。微細192および粗い193吸上メッシュの両方共、微細周辺メッシュ194によって取り囲まれている。周辺吸上メッシュ194は、ロータ水蒸気室190の全ての表面のまわりに作動流体を分配するのを助ける。それはまた、ロータセグメント組立体310の前面および背面表面に沿って作動流体を保つのを助け、摺動羽根通路184内の羽根面シール111から伝達された熱を冷却するのを助ける。

20

【0228】

作動流体ガス循環を改善するために、底部ロータ蒸気室カバー195の内面側面の蒸気室拡張突起部196が、微細192および粗い193吸上メッシュ層を共に保持して押圧する。それらも、作動流体ガスが容易に流れるための、拡張突起部196間の大きいロータ蒸気室空隙またはチャンネル197を形成する。

30

【0229】

ロータ水蒸気室は、ロータ表面183および燃焼空洞184を良好な作動温度に保つのを助ける。それはまた、これらの表面温度を均熱化するのを助けていかなる熱ホットスポットも最小化し、熱損傷を最小化して、燃焼室34内部の燃焼反応状態を安定させる。

【0230】

内側および外側ロータ蒸気室コンデンサ

図41、43および50を参照すると、内側ロータ蒸気室コンデンサ200は、好ましくはアルミニウムのように高度に熱伝導性の材料から構成されかつロータ燃焼セグメント311の端部に編組され、ロータ水蒸気室システム190を完全に密封して、取り囲んでいる。内側ロータ蒸気室コンデンサ200の外部表面は、また、好ましくはアルミニウムのような高度に伝導性の物質から構成され、かつ外側ロータ蒸気室コンデンサ202の突起部および溝203とインターフェイスするのに用いられる垂直突起部および溝201を具える。外側ロータ蒸気室コンデンサ202の前面表面は、また、湾曲突起部および溝204と半径方向直線突起部および溝205との組合せで覆われている。湾曲204および半径方向直線205突起部および溝の両方が、熱伝達のための脱イオン水320との接触表面積を増大し、外側ロータ蒸気室コンデンサ202から熱を吸収する。

40

【0231】

50

ロータ水蒸気室多孔質ウィック／凍結チューブ

図43および45を参照すると、軸方向198および半径方向199指向多孔質ウィック／凍結チューブが、ロータ水蒸気室190の中に配置されている。軸方向多孔質ウィック／凍結チューブは、1つの内側ロータ蒸気室コンデンサ200から残りの側面内側ロータ蒸気室コンデンサ200までロータ水蒸気室190の全長にわたって囲む。半径方向多孔質ウィック／凍結チューブ199は、半径方向に内側ロータ水蒸気室190の最上部センタセクションを横切って伸びている。軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブは、ステンレス鋼ワイヤメッシュまたは、好ましくは銅亜鉛アルミニウム（CuZnAl）合金から作られる形状金属合金（SMA）から作られて共に織られ、かつチューブ形状に編組されるかまたはスポット溶接される。半径方向多孔質チューブ199は、ロータ水蒸気室190の上面全体に半径方向に水を吸上げるのを助ける。さらに重要なことに、ロータ水蒸気室190が作動流体水によって内側に完全に密封されるので、エンジン1が32度F以下の温度にさらされる場合、水凝固膨張損傷を受けやすい。水凍結膨張に対処するために、多孔質チューブは軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブ内部で水作動流体の一部を断熱する。作動流体が凍結して、膨張し始めると、多孔質ウィック／凍結チューブの中心の凍っていない水作動流体が軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブに沿って上に吸上げられる。これによって、水作動流体が外に向かって破裂するより、むしろ多孔質ウィック／凍結チューブ上で内部へ内側に破裂することによって膨張して、ロータ183のロータ水蒸気室190またはロータ組立体310に対する損傷に結びつく可能性がある膨張圧力を発生させる。軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブに対してSMAを用いて、水作動流体が軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブを凍結して、膨張させて内側に破裂すると、それらの下部セクションが変形され得る。一旦ロータ水蒸気室の温度が約32度Fまで上昇し、作動流体が氷から液体へ相を変えると、軸方向198および半径方向199多孔質ウィック／凍結チューブは元の形状へ戻って再形成される。

【0232】

軸方向198および半径方向199の多孔質吸上／凍結チューブは、微細192、粗い193、および、周辺194吸上メッシュで、チャンネル軸方向264および半径方向265開口および送り穴内に配置される。これは、エンジン1の作動中にそれらの適切な位置に全ての異なる吸上物質およびチューブを保持するのを助ける。それによっても、軸方向198および半径方向199チューブが、水作動流体がプールする底部コーナーおよび表面のずっと中に入ることができる。

【0233】

ロータ水蒸気室カバー

図50を参照すると、ロータ水蒸気室カバー195は、ロータ燃焼セグメント311の底部に嵌まる。ロータの内面は、ロータ水蒸気室190内部で水性ガス蒸気の急速な運動を可能にするロータ水蒸気室空隙197を形成する突起部拡張部196を含む。内面突起部はまた、エンジン1の作動中に所定の場所に内側微細192および粗い193吸上メッシュを保持するのを助ける。

【0234】

ロータ水蒸気室突起部196およびロータ水蒸気室カバー195のチャンネル197双方の内面が、遮熱コーティング36で覆われている。遮熱コーティング36は、熱をロータ水蒸気室190の内側に保って、熱が、水蒸気室カバー195を通して、内側ロータ空洞領域363に伝達されることを制限するのを助ける。

【0235】

内側ロータカバープレート

図42、45および69を参照すると、内側ロータカバープレート210が、ロックタブ208の上のロータ水蒸気室197のカバーの上に進んで、ロータ側面プレート209の内面に沿って溶接される燃焼空洞セグメント311の底部に溶接される。ロータカバー2

10は、若干の構造強さをロータセグメント組立体310に加える。それは、また、断熱空隙を形成するのに用いられて、ロータ表面185およびロータ水蒸気室190からの腐食が内側ロータ空洞363内に侵入するのを防ぐ。それは、また、内側ロータ空洞363内部の大きい開いた領域を閉じるのに用いられる。これは、摺動羽根通路184の前部および後部ロータ滑動羽根面371に沿って活性冷却システム362から水／蒸気チャンネル222の主要な領域まで脱イオン水320を制限するのを助ける。それはまた、可動摺動羽根116および羽根ベルトシステム136の運動からロータ空洞363の中に強い乱流チャンネルを形成する。この強い乱流は、ロータ空洞363の内部の全体にわたって脱イオン水320および活性冷却システム362からの蒸気を均一に分配するのを助ける。

【0236】

内側ロータカバープレート210の外部表面211は、内側ロータ空洞363中心から外側ロータ183側面まで角度が付いている。

【0237】

羽根輪郭ベルト制限ばね

図42、48および46を参照すると、羽根輪郭ベルト制限ばね212が、内側ロータ空洞363領域の内側ロータ側面プレート209表面に配置されたキーストーン凹部214に適合するキーストーン拡張部213を有する。羽根輪郭ベルト制限ばねキーストーン拡張部213は、適所に仮付け溶接されて、内側ロータ側面プレート209のキーストーン凹部214内にしっかりとそれらを保持する。羽根ベルト制限ばね212は、側面輪郭羽根ベルトアーチ176の最大拡張部を制限し、輪郭ベルト139および羽根ベルトシステム136の残りおよび摺動羽根116をハウジングステータ2および4の内側ハウジングステータ表面37との適切な整列を保つのを助ける。

【0238】

ナトリウム蒸気室システム

図3、6および71を参照すると、エンジン1は、ナトリウム蒸気室熱伝達システム229を使用して、高温燃焼領域32からの熱を膨張領域33の中期および後期へ伝達する。ナトリウム蒸気室229は、作動流体としてナトリウムを使用して、摂氏600から1,100度までの間で、しかし、好ましくは摂氏900度まで作動する。エンジン1に対して、ナトリウム蒸気室229は、燃焼32および膨張33領域のナトリウム蒸気室ステータ4全体の温度を摂氏約600度の作動温度に均熱化する。燃焼中に、水素／水／空気混合物は燃焼室32の中で点火して、約1,800度ケルビンまたは摂氏1,526度の最高温度に到達する。遮熱コーティング36が、ナトリウム蒸気室を一定の過剰な熱負荷温度から保護するためにナトリウム蒸気室ステータ4の前部内側ステータ表面37に沿って遮熱コーティング凹部277に施着される。燃焼熱の一部は、遮熱コーティング36を貫通し、ナトリウム蒸気室ステータ4が、ナトリウム作動流体が相を液体からガスに変化する蒸発器セクション379に沿ってナトリウム蒸気室229内に侵入する。膨張室33領域内の燃焼－膨張の中期および後期中に、膨張ガス温度はナトリウム蒸気室229の温度より低くなり得、ナトリウム作動流体は相を気体から液体に変え、ナトリウム蒸気室ステータ4を通してコンデンサ領域380に沿ってその熱をナトリウム蒸気室229から、燃焼室34の中へと戻るように伝達し、高い後期ガス圧を維持するのを助ける。ナトリウム液体は、次いでウィックおよび毛細管圧力を通して蒸発器領域379へ吸上げられる。

【0239】

ナトリウム蒸気室吸上メッシュ

図57ないし62を参照すると、ナトリウム蒸気室システム229は、一連の吸上メッシュを使用して、ナトリウム作動流体を動かすのを助けている。ナトリウム蒸気室229の外側蒸発器表面領域379近くのナトリウム作動流体の毛細管流れを改善するために、微細吸上200-メッシュの層230が用いられる。これによって、外側ナトリウム蒸気室蒸発器表面379に沿って容易に流れる高圧の小さい液体ナトリウム滴が液体から気体に相を変えるができる。粗い吸上毛細管100-メッシュ層232が、コンデンサ領域380に沿ってナトリウム蒸気室229の他端で用いられる。これによって、低圧のより大き

10

20

30

40

50

い液体ナトリウム滴が蒸発器領域 379 の方へ戻って容易に流れることができる。ナトリウム作動流体の吸上をなおさらに改善するために、中程度の吸上毛細管 150-メッシュ 231 が、微細 230 および粗い 232 吸上メッシュのセクションの間に配置され、遷移吸上メッシュを中程度の大きさの液体ナトリウム小滴に提供する。

【0240】

全ての 3 つのメッシュセクション微細 230、中程度 231 および粗い 232 吸上メッシュが、中程度周辺 150-メッシュ 234 によって取り囲まれている。周辺吸上メッシュ 234 は、ナトリウム蒸気室 229 の全ての表面の全体にわたって作動流体を分配するのを助ける。それはまた、蒸発器領域 379 の液体ナトリウムの小プールを形成することによってナトリウム凍結始動状態を改善するのを助ける。超過熱する可能性のある乾いたスポットに結びつく、蒸発器領域内の作動流体が充分でないので、蒸気室始動問題および損傷が生じる可能性がある。エンジン 1 において、ナトリウム蒸気室 229 の湾曲形状が、ナトリウム蒸気室 229 の両方の端の近くでナトリウム作動流体を蒸発器端 379 およびコンデンサ端 380 へ向けてプールする。これによって、ナトリウムの一部が始動中に蒸発器領域 379 内で直ちに利用できるようになり、中程度吸上周辺メッシュを用いて、ナトリウム作動流体の一部がナトリウム蒸気室蒸発器領域 379 のまわりに分配されて、ナトリウム蒸気室ステータ 4 と直接接触することができる。

10

【0241】

図 57、61 および 62 を参照すると、ナトリウム作動流体ガス循環を改善するために、ナトリウム蒸気室突起部 252 が、外側ナトリウム蒸気室カバー 251 の内面側面から拡張している。ナトリウム蒸気室突起部拡張部 252 はまた、ナトリウム蒸気室 229 内部のそれらの適切な位置に微細 230、中程度 231 および粗い 232 吸上メッシュセクションを保持するのを助ける。突起部拡張部 252 はまた、ナトリウム作動流体ガスが容易に流れるように、突起部拡張部 252 の間に大きいナトリウム蒸気室空隙またはチャンネル 253 を形成する。

20

【0242】

図 52 および 59 ないし 64 を参照すると、ナトリウム蒸気室カバー 251 の外部表面は、構造強化強度を外側ナトリウム蒸気室カバー 251 に加える一連の軸方向および半径方向支持リブ 257 を有する。強化突起部 257 はまた、ナトリウム蒸気室カバー 251 と外側断熱材 258 との間に空隙部を形成し、ナトリウム蒸気室システム 229 の外側蒸気室カバー 251 を通しての熱損失を防ぐために熱的な熱ブロックを形成するのをさらに助ける。

30

【0243】

ナトリウム蒸気室圧力調整破裂室

図 52、57、60 および 62 ないし 64 を参照すると、ナトリウムは、水と高度に反応可能であり、および、エンジン 1 の作動から加熱される場合、ナトリウム蒸気室 229 の中に、高圧を発生させる。ナトリウム蒸気室が、事故による高い衝撃から、またはナトリウム蒸気室 229 内部の過度の圧力から破裂することを防ぐのを助けるために、ナトリウム蒸気室カバー 251 の外部表面は、破裂室システム 245 を具えている。これは、安全システムを提供し、ナトリウム蒸気室内部の圧力を軽減して、ナトリウム蒸気室 229 が破裂してナトリウムを放出することを防ぐ。ナトリウム蒸気室破裂システム 245 は、破裂シリンダ 246、ガス室 248、ナトリウム圧力調整ディスク 247、破裂信号ディスク 249 および破裂信号旗 250 を具える。圧力調整破裂シリンダ 246 は、最上部ナトリウム蒸気室カバー 251 内にねじ込められ、そこで圧力調整ディスク 247 が内側作動ナトリウム蒸気室 229 にさらされる。破裂シリンダ 246 の最上部は、圧力調整ディスクと破裂信号ディスク 249 との間のガススペース 248 を形成する破裂信号ディスク 249 によって、閉じられる。ガススペース 248 は、アルゴンまたは好ましくはクリプトンのような圧縮性の不活性ガスで満たされる。外側ナトリウム蒸気室 229 表面が高い衝撃を有するか、または、内部の圧力があまりに高くなる場合、ガススペース 248 の中に圧力調整ディスクを圧入し、かつガスを圧縮する。ナトリウム蒸気ガスは、また、破裂シ

40

50

リンダ 246 の圧力調整室 248 の中に入り、全体的な内部のナトリウム蒸気室 229 圧力を低下させてナトリウム蒸気室の外側カバー 251 を通してのナトリウム破裂を防ぐ。ガス圧が大きくなると、破裂信号ディスク 249 を中央で外に向かって押しつけ、破裂板 247 が壊れて、置換する必要がある信号として、外側断熱材 258 内の破裂信号穴部 267 を通して破裂信号旗 250 を押しつける。ナトリウム蒸気室 229 はなお作動するが、破裂室システム 245 の付加された量の真空室 248 に対するナトリウムアクセスによって、より安全な低圧力領域で作動する。

【0244】

ナトリウム蒸気室圧力調整システム 245 は、また、内部ナトリウム蒸気室圧力を調整することによって理想的な内部蒸気室作動状態を保つのを助ける。熱がナトリウム蒸気室 229 内に伝達されるにつれて、温度および圧力は上昇する。理想的な蒸気流を維持するために、より低い圧力が、有利である。これを達成するために、圧力調整ディスク 247 は、破裂シリンダ 246 に達して、ガス 248 を圧縮し、従ってナトリウム蒸気室 229 の相対的な内部作動圧力を、低下させる。

【0245】

アルカリ金属熱電気コンバータ (AMTEC)

図 62 ないし 64 を参照すると、ナトリウム作動流体、作動温度およびナトリウム蒸気室 229 内部のナトリウム循環プロファイルは、アルカリ金属熱電気コンバータ (AMTEC) 235 に必要とされる動作とに同じである。ナトリウムは、ナトリウム蒸気室 229 内部で液体から気体に、および、液体へと戻して相を変えることができる液状金属である。ナトリウムは、また、そのイオンをベータアルミナ固体電極 (BASE) 236 に通して電気を発生させることができる。BASE 236 は、波形形状の表面を具えたポテトチップ U 型構造であり、BASE 236 の表面領域と、その容量を増やして電気を発生させる。BASE 236 の端は、外部表面 381 に沿って閉じられて BASE 236 の下に高いナトリウムガス圧を封じ込めるのを助け、ナトリウムイオンが BASE 236 の最上部アノード表面 238 まで BASE 236 の正の底部カソード表面 237 を通過するのを助ける。BASE 236 は、BASE 236 を通して、ナトリウム蒸気室カバー 251 内のネジ穴 241 にねじ込まれる BASE ねじ 241 によって、ナトリウム蒸気室カバー 251 の内面に取り付けられる。

【0246】

電氣的に、および、イオンによって BASE 236 を絶縁するために、BASE ねじ 241 はジルコニウムのように電気およびイオン不活性材料でできており、BASE 236 がショートするのを防ぐ。ナトリウム蒸気室の内面は、また、イットリウム安定化ジルコニウム (YSZ) のような TBC 36 で覆われ、それはまた、BASE 236 の最上部アノード 238 表面を電氣的に、および、イオンによって絶縁するのを助ける。電氣的に、および、イオンによって底部カソード 237 を絶縁するために、シリカファイバ 233 から作られる薄い吸上メッシュとしての BASE 236 表面が、BASE 236 の下に直接、および、微細 230 および中程度 231 吸上メッシュセクションの最上部の上に配置される。外側周辺吸上メッシュ 234 は、また、BASE 236 を絶縁するためにシリカファイバまたはフェルトのような電氣的に、およびイオンによって不活性の物質から作られる。BASE 236 を電氣的に、および、イオンによって絶縁することによって、最も多量の電力を、損失または電気もしくはイオン伝導性材料表面との接触による短絡なしで発生することができる。

【0247】

図 53、54 および 59 を参照すると、内側電気コネクタ 242 が、BASE 236 の外部エッジ 381 上のスロット凹部 244 内に摺動する。底部カソード 238 および最上部アノード 237 層が、スロット凹部 244 内に入り、内部のハーネスコネクタ 242 の底部エッジがカソード層 238 と接触し、内側電気コネクタ 242 の上部セクションがアノード層 237 と接触して、BASE 236 と電気回路を作る。内側電気コネクタは、ナトリウム蒸気室カバー 251 内の BASE コネクタ穴 239 を通過し、適所に溶接され

10

20

30

40

50

るかまたは編組されてナトリウム蒸気室 229 を密封する。外側 B A S E 電気コネクタ 244 は、内側 B A S E 電気コネクタ 244 とインターフェイスする。外側 B A S E 電気コネクタ 244 は、次いで外側ナトリウム蒸気室断熱材 258 のコネクタ穴 266 を通り抜ける。次いでワイヤが、電気パワーインバータ 370 まで外側 B A S E 電気コネクタに接続されて B A S E と回路を作って、アルカリ金属熱電気コンバータシステム 235 の B A S E 236 によって発生される電力を調節する。

【0248】

外側ナトリウム蒸気室カバーおよび断熱材

図 56 ないし 64 を参照すると、雰囲気へのナトリウム蒸気室 229 からの潜在的熱損失をさらに減少させるために、突起部拡張部 252 およびチャンネル 253 とともにナトリウム蒸気室カバー 251 の内面が、Y S Z 遮熱コーティング 35 で覆われている。ジルコニウムは、また、水素獲得作用を提供してハウジングステータ 4 から離れるかまたはそれを通過する場合がある遊離した水素を吸収する。加えて、ナトリウム蒸気室カバー 251 の外側は、外部ケーシングによって封じ込められる断熱ブランケット、金属またはセラミック泡または断熱ボール、または、ペレットのような、厚い断熱材 258 で覆われている。この断熱材はまた、ナトリウム蒸気室カバー 251 を通過する可能性がある雑音および振動を吸収するのを助ける。

10

【0249】

図 53 ないし 64 を参照すると、外側ナトリウム蒸気室カバー 251 は、ナトリウム蒸気室ステータ 4 上へ溶接されている。小ワイヤガasket 254 が、ナトリウム蒸気室 229 の外側周辺を走り回るワイヤガasket チャンネル 255 内に嵌入する。ワイヤガasket は、ナトリウム蒸気室カバー 251 からのナトリウム漏れを防ぐのを助ける。

20

【0250】

外側ハウジング水蒸気室

図 67 および 70 を参照すると、セグメント化された吸気—圧縮および燃焼—膨張領域によって、両極性の熱／冷熱勾配がエンジン 1 の全体にわたっており、ハウジングステータ 2 および 4 の強い熱的変形に結びつく可能性がある。上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 の温度は、摂氏約 600 ないし 900 度で作用する。下部ステータハウジング 2 は、活性冷却システムによって冷却されて、摂氏 98 度の最高温度で作動する。遮熱コーティングが、上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 のボルトアップ表面に沿って配置されて下部ハウジングステータ 2 内への熱的な伝達を最小化する。下部ハウジングステータ 2 の熱的変形を最小化するのを助けるために、2 つのハウジング水蒸気室システム 68 が上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 との接続表面に沿って下部ステータハウジング 2 内に配置されている。

30

【0251】

水蒸気室は、上部ナトリウム蒸気室ステータ 4 のボルトアップセクションに沿って下部ハウジングステータ 2 表面を均熱化するのを助ける。これは、ボルトアップ表面に沿って一様な温度を維持し、熱的変形が生じる可能性がある任意の潜在的ホットスポットを最小化するのを助ける。

【0252】

ハウジング水蒸気室 68 内の水作動流体は、隣接のナトリウム蒸気室ステータ 4 からボルトアップ表面に沿って T B C 36 を通して浸透し、かつ、吸気／圧縮 63 および活性冷却水循環システム 262 のロータベアリング／膨張 66 水循環通路と隣接するその底面コンデンサ冷却表面 77 へ伝達する、最上部蒸発器表面 69 に沿ってそれから熱を吸収する。水がハウジング蒸気室蒸発器表面 69 に沿って加熱されるにつれて、相を液体から気体に変え、蒸発器表面 69 から大量の熱を吸収して、水蒸気ガスに変える。内部チャンバ圧力は、加熱した水蒸気をハウジング水蒸気室コンデンサ表面 77 まで循環させる。加熱された水蒸気がコンデンサ表面領域 77 に熱を伝達するところで、液体へ戻って相を変化させて、ハウジング水蒸気室蒸発器表面 69 へ戻るように循環させる。

40

【0253】

ハウジング水蒸気室 68 は、摂氏 24 乃至 202 度または華氏 75 乃至 397 度の間の温

50

度で作動する。ナトリウム蒸気室ステータ４に沿った水蒸気室蒸発器表面６９と活性水循環装置２６２の吸気／圧縮６３およびロータベアリング／膨張６６水循環通路に沿った水蒸気室コンデンサ表面７７との間の温度差が大きくなればなるほど、熱伝達の速度がより高速になる。

【０２５４】

ハウジング水蒸気室６８は、相対的に長くてせまい形状を有する。コンデンサ表面領域７７にせまいハウジング水蒸気室を横切って蒸発器表面領域６９からの熱を伝達することは重要であるが、ハウジング水蒸気室６８の全長に沿って熱を伝達し、下部ハウジングステータ２を均熱化し、一様な下部ハウジングステータ２を維持して、ホットスポットおよび熱的変形を防ぐこともまた、重要である。水作動流体の毛細管流れを改善するために、Ｕ型周辺吸上メッシュ７２が、微細７１および粗い７２層の毛細管吸上メッシュを囲んでいる。Ｕ型周辺吸上は、ハウジング水蒸気室蒸発器表面領域６９との直接の接触して、ハウジング水蒸気室６８の両方の側面端面に沿って配置される。Ｕ型周辺吸上は、微細メッシュから作られて高圧の小液体水滴がハウジング水蒸気室蒸発器表面６９の全長に沿って容易に流れることができ、水作動流体が相を液体から気体に変えることができる。微細吸上メッシュ７１の層が、ハウジング水蒸気室凹部２７０の底面に沿って使われている。これによって、高圧の小液体水滴がハウジング水蒸気室６８の全長に沿って、および、外側ロータ蒸発器表面６９まで容易に流れることができ、水作動流体が相を液体から気体に変えることができる。粗い吸上毛細管メッシュ層７０が、微細吸上メッシュ層７１の最上部を通じて配置されている。これによって、低圧のより大きい液体水滴がハウジング水蒸気室６８の全長に沿って、および、底部微細吸上細管メッシュ層７１まで容易に流れることができる。

【０２５５】

図６７を参照すると、作動流体ガス循環を改善するために、ハウジング蒸気室カバー７３の内面側面のハウジング水蒸気室拡張部突起部７４は、作動流体ガスが容易に流れるように拡張部突起部７４の間にハウジング水蒸気室空隙またはチャンネル７５を形成している。ハウジング蒸気室突起部７４はまた、微細７１および粗い７０吸上メッシュ層を適所に共に保持してかつ押圧する。ハウジング拡張部突起部７４は、ハウジング水蒸気室コンデンサ表面側面の方へより大きい突起部拡張部端３８２を有し、全突起部拡張部を僅かにＬ字状にする。このより大きい突起部拡張部端３８２はまた、微細７１および粗い７０吸上メッシュ層およびハウジング水蒸気室コンデンサ表面７７の背後に空隙エリアを形成する。これによって、加熱された水蒸気がハウジング水蒸気室コンデンサ表面領域７７と容易に接触することができ、かつその熱を放出して、相を気体蒸気から液体に変える。

【０２５６】

ハウジング水蒸気室吸上／凍結チューブ

図６５ないし６７を参照すると、水蒸気室７６が作動流体水によって完全に内部に密封されているので、エンジン１が温度３２度Ｆ以下にさらされる場合、水凍結膨張損傷をうけやすい。水凍結膨張に対処するために、多孔質ウィック／凍結チューブ７６が、ハウジング水蒸気室６８内を配置している。多孔質ウィック／凍結チューブ７６は、形状金属合金（ＳＭＡ）から作られ、チューブ形状に共に織られ、かつ包まれ、共に編組されるかまたはスポット溶接されている。作動流体が凍結して、膨張し始めるにつれて、多孔質ウィック／凍結チューブの中心の凍ってない水作動流体が多孔質ウィック／凍結チューブ７６に沿って吸上げられるように、多孔質チューブは多孔質ウィック／凍結チューブ７６の中心内部で水作動流体の一部を断熱する。これによって、水作動流体は、外側に破裂するよりむしろ内部へ内側に破裂することによって膨張することができ、従ってハウジング水蒸気室６８または下部ハウジングステータ２に対する損傷に結びつく可能性がある膨張圧力が除去される。多孔質ウィック／凍結チューブ７６に対してＳＭＡを用いて、水作動流体が多孔質ウィック／凍結チューブ７６を膨張させて、内側に破裂すると、多孔質ウィック／凍結チューブ７６の下部セクションが変形され得る。一旦ハウジング水蒸気室６８の温度が約３２度Ｆまで上昇し、作動流体が相を氷から液体へと戻して変えると、多孔質ウィッ

ク／凍結チューブ７６は損傷なしでその元の形状へ戻って再形成する。

【０２５７】

多孔質吸上／凍結チューブは、粗い吸上メッシュ７０内のスロット開口部２６８内に保持されている。粗い吸上メッシュ７０は、凍結して、膨張する大きい水滴をより含むようである。多孔質吸上／凍結チューブの端はまた、穴部送り穴２６９の周辺吸上メッシュに浸透して水作動流体がプールすることができる、ハウジング水蒸気室６８の底面端により近くなる。

【０２５８】

内側ハウジング遮熱コーティング

再び図６７を参照すると、燃焼室３４内部の高い作動温度のために、遮熱コーティング３６を、燃焼領域３２および膨張領域３３のエッジに沿って下部ハウジングステータ２の内側ステータ表面３７に用いて下部ハウジングステータ２およびハウジング水蒸気室システム６８内への過剰な熱伝達を最小化する。

【０２５９】

外側断熱カバー２５８は、その周辺２６０のまわりに小チャンネル開口を有し、ハウジングステータ２および４連結ボルト１３、ナット１４および座金１５の最上部の上に適合する。外側断熱カバー２５８は、外側断熱カバー２５８のネジ穴２６２を通り抜ける一連の六角ねじ１６によってエンジン１に、および、２つの下部ハウジングステータ２エッジの周辺に沿ってネジ穴１７に固着される。外側断熱カバー２５８内のねじ凹部２６１によって、六角ねじ１６は外側断熱カバー表面と同じ高さにし得る。

【０２６０】

本発明が、現在最も实际的で好ましい実施態様であるとみなされるものと関連して記述されたとはいえ、理解されるべきは、本発明が、開示された実施態様に限定されるべきでなく、添付の特許請求の範囲の趣旨および範囲内に含まれる様々な修正および等価な配置に適用されることが意図されていることである。

【図面の簡単な説明】

【０２６１】

【図１】図１は、水素Ｇサイクルエンジンの側立面図である。

【図２】図２は、水素Ｇサイクルエンジンの最上部透視図である。

【図３】図３は、水素Ｇサイクルエンジンの一部を切り取った透視図である。

【図４】図４は、クランク角によってロータおよびエンジン室を示すＧサイクルエンジンハウジングの側面断面図である。

【図５】図５は、分解された水戻り構成部品と共に内部エンジンハウジング水戻り通路を表す。

【図６】図６は、水素Ｇサイクルエンジンの切取平面図を表す。

【図７】図７は、燃焼室シールの透視図を表す。

【図８】図８は、燃焼室シールの詳細な側部、最上部および下部透視図を表す。

【図９】図９は、燃焼室シールの詳細な側部、最上部および下部透視図を表す。

【図１０】図１０は、燃焼室シールの詳細な側部、最上部および下部透視図を表す。

【図１１】図１１は、分割羽根シールを取り付けられた前部、底部および後部摺動羽根組立体を表す。

【図１２】図１２は、分割羽根シールを取り付けられた前部、底部および後部摺動羽根組立体を表す。

【図１３】図１３は、分割羽根シールを取り付けられた前部、底部および後部摺動羽根組立体を表す。

【図１４】図１４は、分割羽根シール、摺動羽根および羽根面シールの側部詳細断面裁ち切り図を表す。

【図１５】図１５は、２個の分解された羽根シールと共に摺動羽根および分割羽根シールの前部、側部および最上部透視図を表す。

【図１６】図１６は、２個の分解された羽根シールと共に摺動羽根および分割羽根シール

10

20

30

40

50

の前部、側部および最上部透視図を表す。

【図 1 7】図 1 7 は、2 個の分解された羽根シールと共に摺動羽根および分割羽根シールの前部、側部および最上部透視図を表す。

【図 1 8】図 1 8 は、摺動羽根および分割羽根シール組立体の前部、最上部、底部および側部透視図を表す。

【図 1 9】図 1 9 は、摺動羽根および分割羽根シール組立体の前部、最上部、底部および側部透視図を表す。

【図 2 0】図 2 0 は、摺動羽根および分割羽根シール組立体の前部、最上部、底部および側部透視図を表す。

【図 2 1】図 2 1 は、摺動羽根および分割羽根シール組立体の前部、最上部、底部および側部透視図を表す。

10

【図 2 2】図 2 2 は、摺動羽根、分割羽根シールおよび羽根ベルトトグル組立体の最上部断面図を表す。

【図 2 3】図 2 3 は、摺動羽根、分割羽根シールおよび羽根ベルトトグル組立体の最上部断面図を表す。

【図 2 4】図 2 4 は、摺動羽根および分割羽根シールの底部断面図を表す。

【図 2 5】図 2 5 は、摺動羽根および分割羽根シールの側部断面図を表す。

【図 2 6】図 2 6 は、摺動羽根および分割羽根シールの側部断面図を表す。

【図 2 7】図 2 7 は、摺動羽根および分割羽根シールの前部断面図を表す。

【図 2 8】図 2 8 は、摺動羽根および分割羽根シール組立体の分解図を表す。

20

【図 2 9】図 2 9 は、摺動羽根および反遠心ベルトシステムと共にエンジンハウジングの切欠斜視図を表す。

【図 3 0】図 3 0 は、ロータおよび摺動羽根反遠心ベルトシステムの側部斜視図を表す。

【図 3 1】図 3 1 は、ロータおよび摺動羽根反遠心ベルトシステムの側部斜視図を表す。

【図 3 2】図 3 2 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

【図 3 3】図 3 3 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

【図 3 4】図 3 4 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

30

【図 3 5】図 3 5 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

【図 3 6】図 3 6 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

【図 3 7】図 3 7 は、摺動羽根反遠心ベルトおよびベルトアーチシステムの詳細斜視図を表す。

【図 3 8】図 3 8 は、単一および二重ベルトアーチ組立体の側部斜視図を表す。

【図 3 9】図 3 9 は、単一および二重ベルトアーチ組立体の側部斜視図を表す。

【図 4 0】図 4 0 は、組立てられたロータセグメントの側面図を表す。

【図 4 1】図 4 1 は、ロータセグメント組立体の側面および正面図を表す。

40

【図 4 2】図 4 2 は、ロータセグメント組立体の側面および正面図を表す。

【図 4 3】図 4 3 は、ロータセグメント組立体の前部断面図を表す。

【図 4 4】図 4 4 は、ロータセグメント組立体の中心を外れた断面正面図を表す。

【図 4 5】図 4 5 は、ロータセグメント組立体の側部断面図を表す。

【図 4 6】図 4 6 は、羽根輪郭ベルト制限ばねの詳細図を表す。

【図 4 7】図 4 7 は、羽根接線ローラーベアリング組立体を示すロータセグメント組立体の側部断面図を表す。

【図 4 8】図 4 8 は、ロータセグメント組立体の底部断面図を表す。

【図 4 9】図 4 9 は、ロータセグメント組立体の底部断面図を表す。

【図 5 0】図 5 0 は、ロータセグメント組立体の最上部および底部分解図を表す。

50

【図 5 1】図 5 1 は、ロータセグメント組立体の最上部および底部分解図を表す。

【図 5 2】図 5 2 は、ナトリウム蒸気室および A M T E C の最上部外側斜視図を表す。

【図 5 3】図 5 3 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の内側最上部および側面図を表す。

【図 5 4】図 5 4 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の内側最上部および側面図を表す。

【図 5 5】図 5 5 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の内側最上部および側面図を表す。

【図 5 6】図 5 6 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

10

【図 5 7】図 5 7 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

【図 5 8】図 5 8 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

【図 5 9】図 5 9 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

【図 6 0】図 6 0 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

【図 6 1】図 6 1 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の外側、側部断面および前部断面図を表す。

20

【図 6 2】図 6 2 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の側部、底部および最上部分解図を表す。

【図 6 3】図 6 3 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の側部、底部および最上部分解図を表す。

【図 6 4】図 6 4 は、ナトリウム蒸気室およびアルカリ金属熱電気コンバータ組立体の側部、底部および最上部分解図を表す。

【図 6 5】図 6 5 は、分解された水蒸気室構成部品と共に下部エンジンハウジングの最上部、側部および下面図を表す。

【図 6 6】図 6 6 は、分解された水蒸気室構成部品と共に下部エンジンハウジングの最上部、側部および下面図を表す。

30

【図 6 7】図 6 7 は、分解された水蒸気室構成部品と共に下部エンジンハウジングの最上部、側部および下面図を表す。

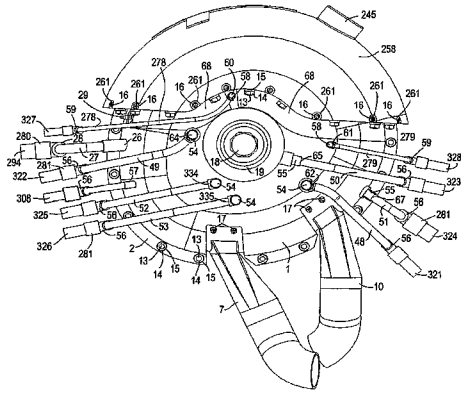
【図 6 8】図 6 8 は、ナトリウム蒸気室および分解されたアルカリ金属熱電気コンバータ断熱カバーと共にエンジン組立体の側部透視図を表す。

【図 6 9】図 6 9 は、エンジン組立体全体の側部および前部断面図を表す。

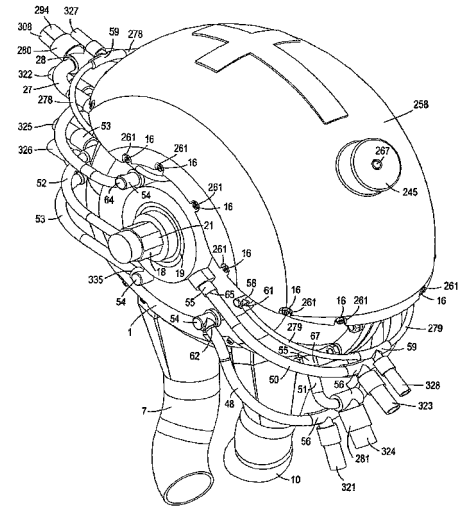
【図 7 0】図 7 0 は、エンジン組立体全体の側部および前部断面図を表す。

【図 7 1】図 7 1 は、G サイクル回転羽根エンジンプロセスを表す。

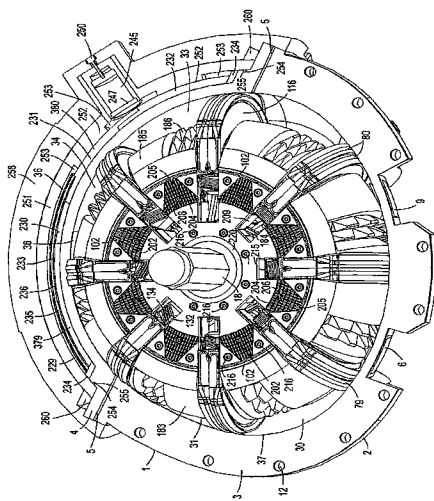
【図 1】



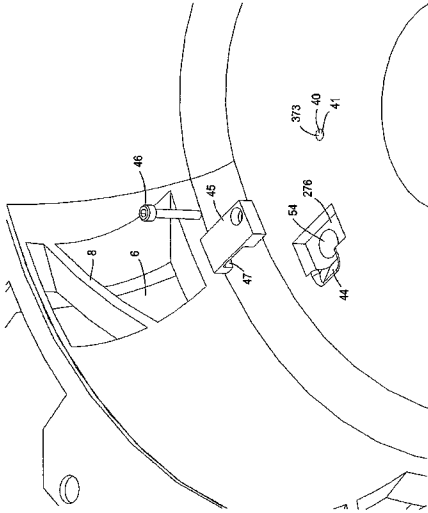
【図 2】



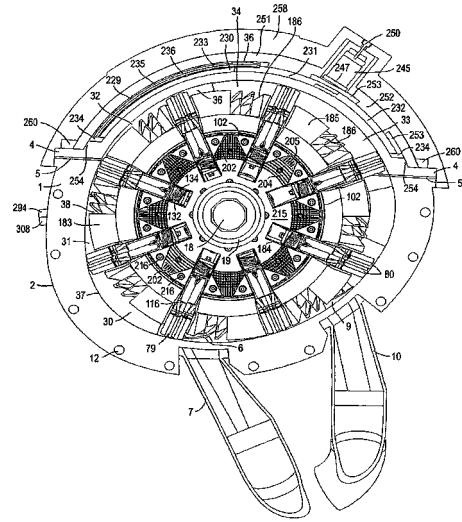
【図 3】



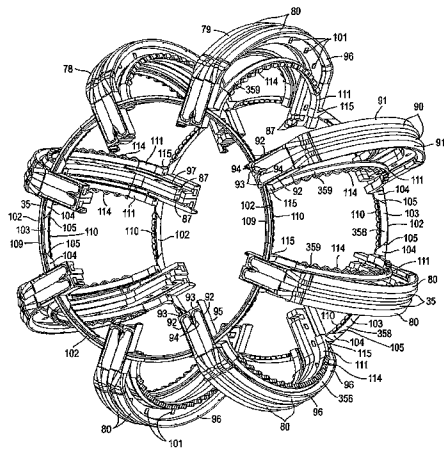
【図 5】



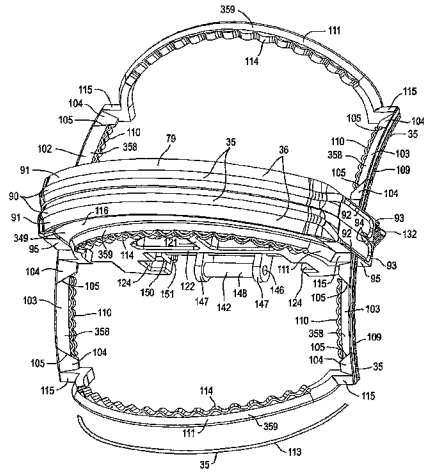
【図 6】



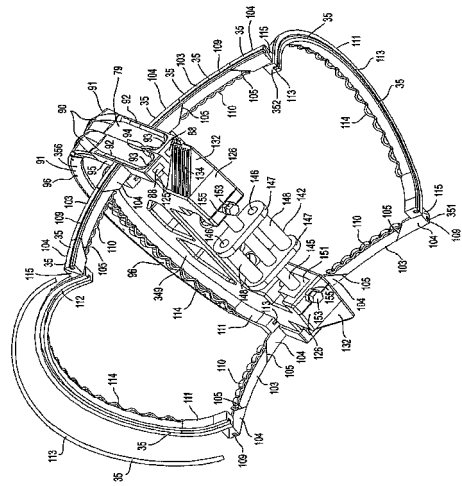
【図 7】



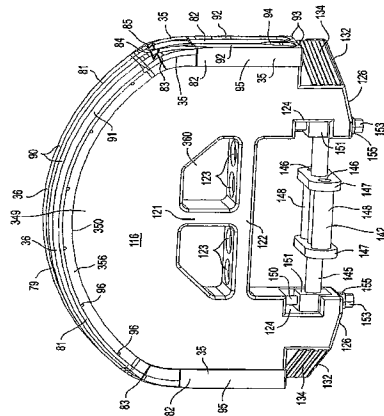
【図 9】



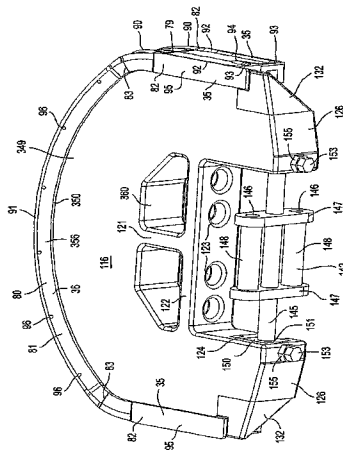
【図 10】



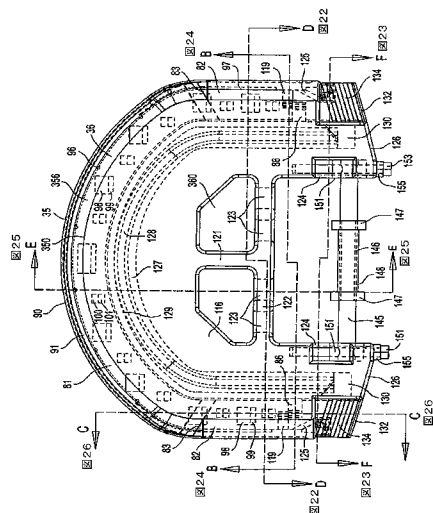
【図 11】



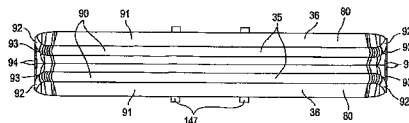
【図 13】



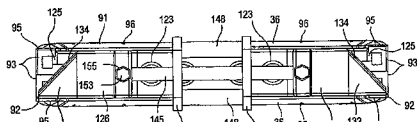
【図 18】



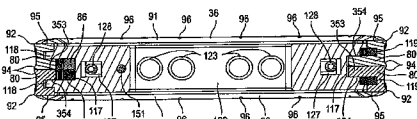
【图 19】



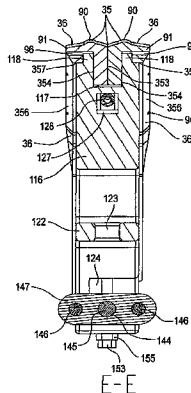
【図 20】



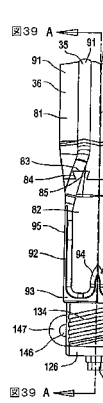
【図 2 4】



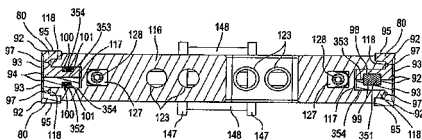
【図 25】



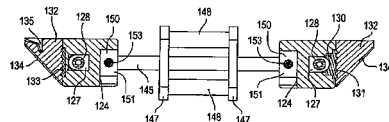
【図 2 1】



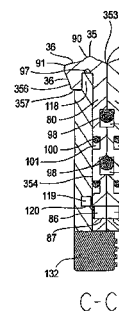
【図 2 2】



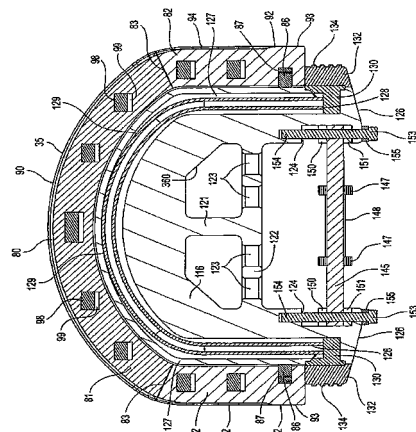
【图 2 3】



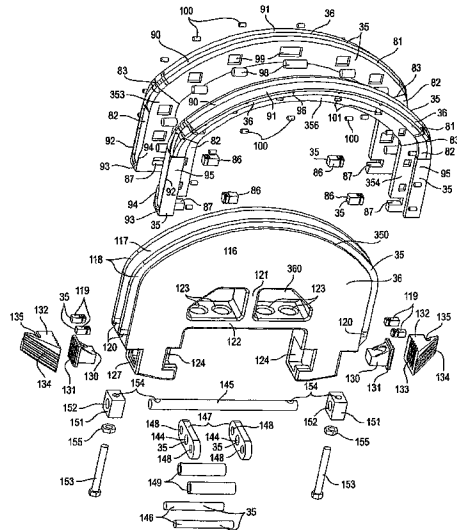
【图 2 6】



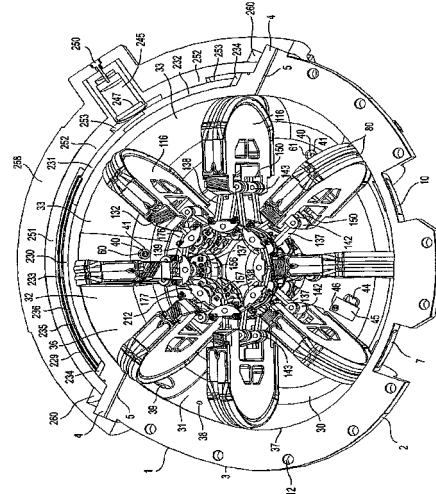
【図 27】



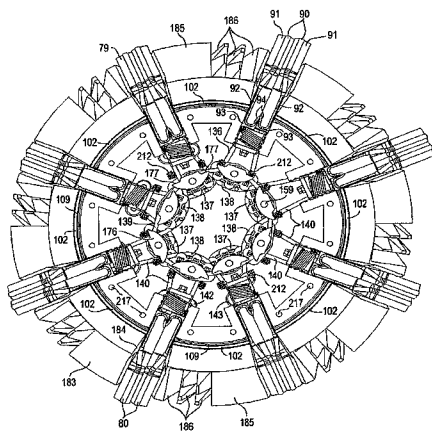
【図 28】



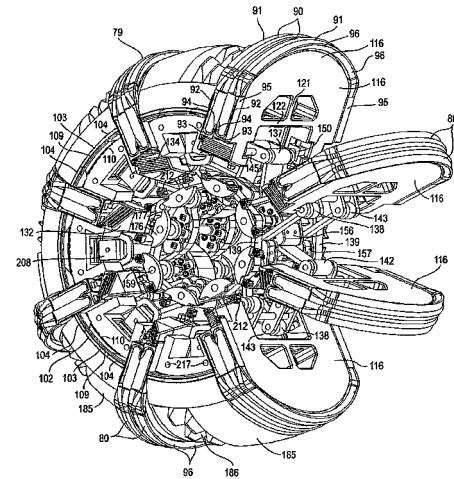
【図 29】



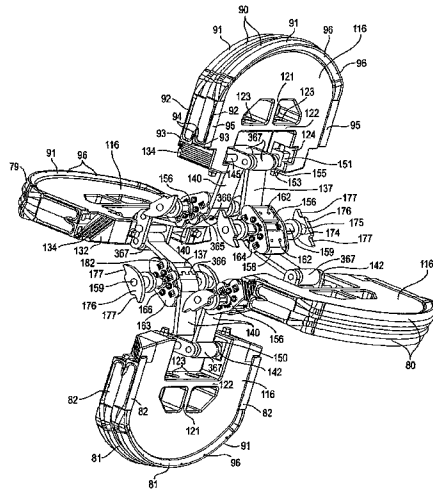
【図 30】



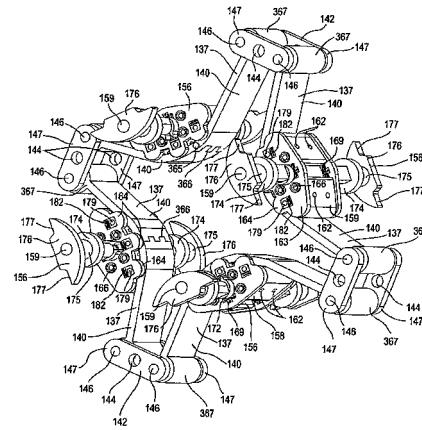
【図 31】



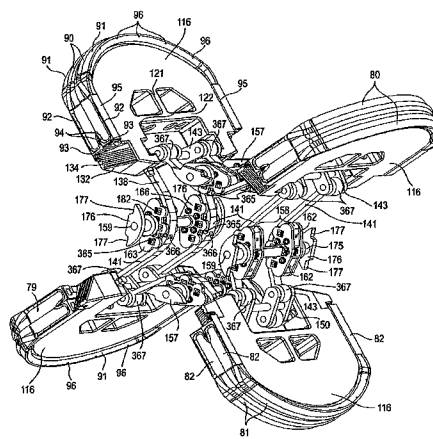
【図 3 2】



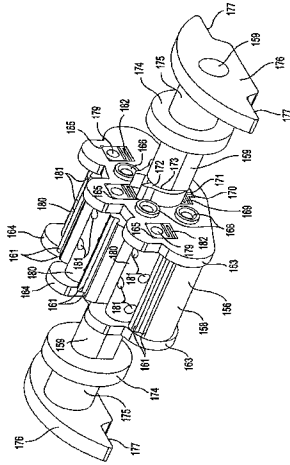
【図 3 3】



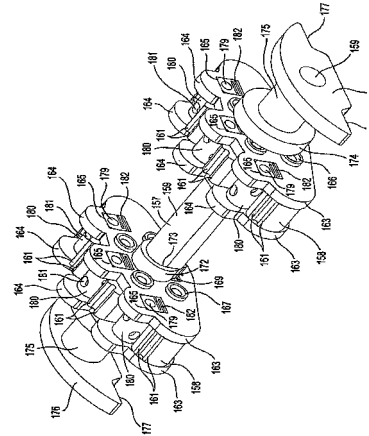
【図 3 4】



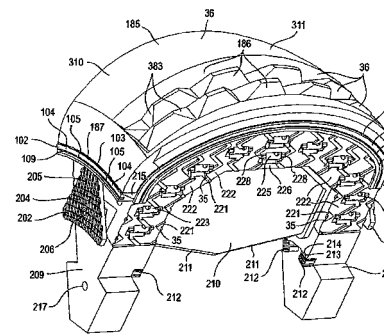
【図 38】



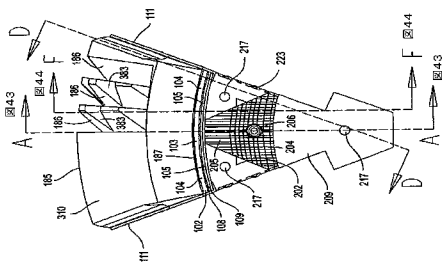
【図 39】



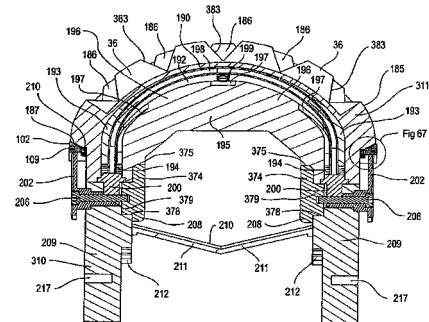
【図 40】



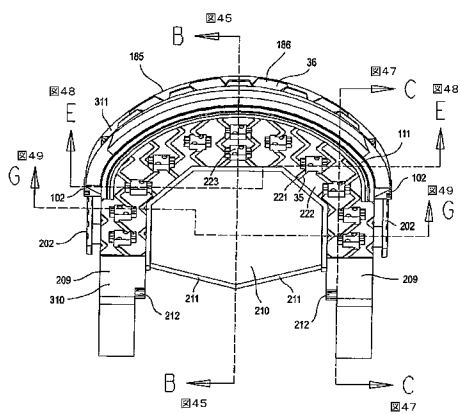
【図 41】



【図 43】

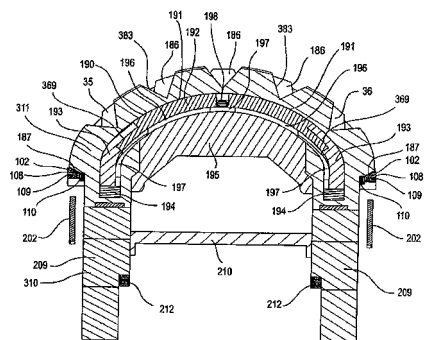


【図 42】



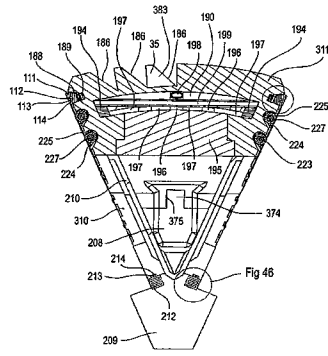
A-A断面

【図 44】



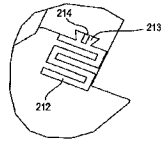
F断面

【図 4 5】

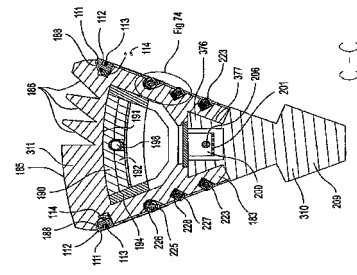


B-B断面

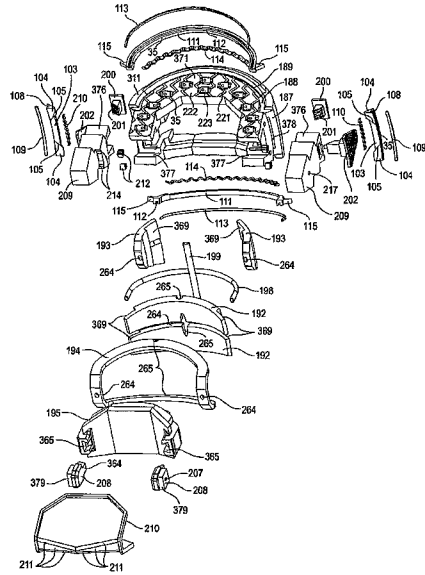
【図 4 6】



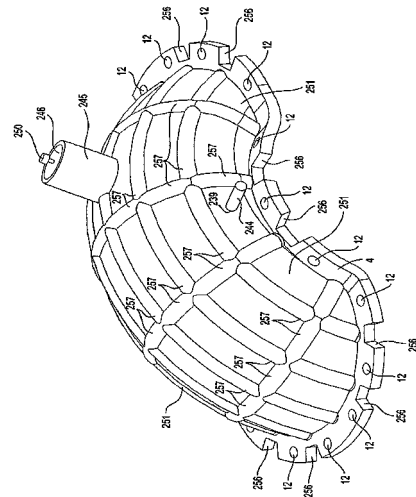
【図 4 7】



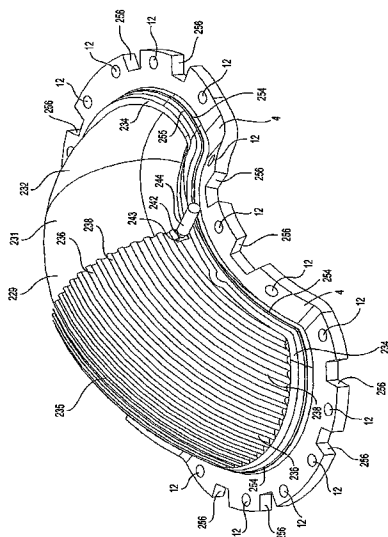
【図 5 1】



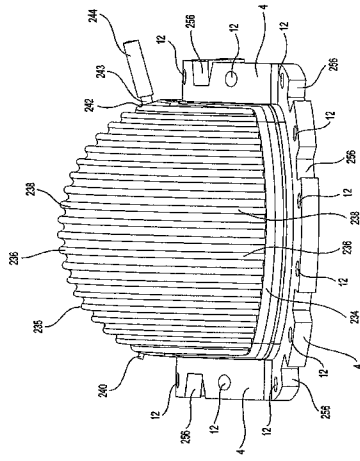
【図 5 2】



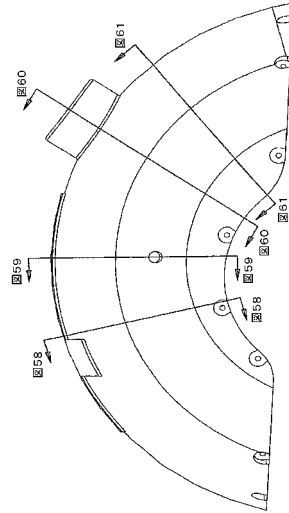
【図 5 3】



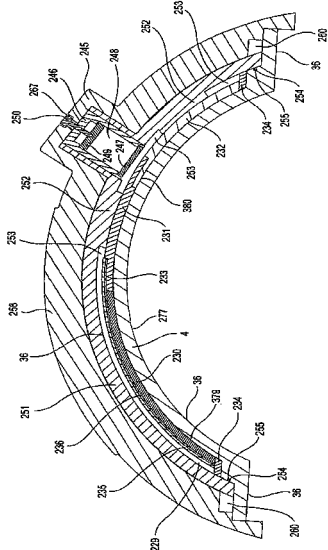
【図 55】



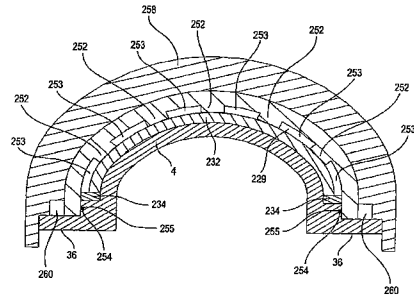
【図 56】



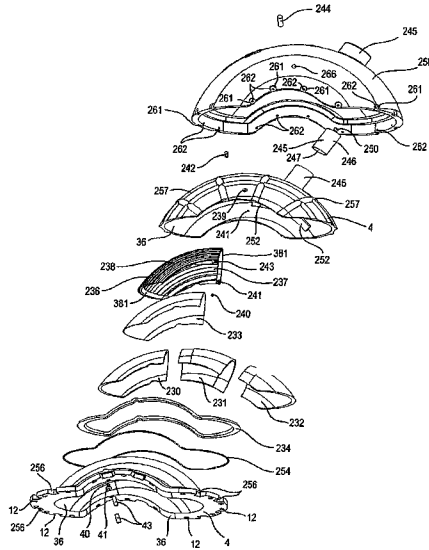
【図 57】



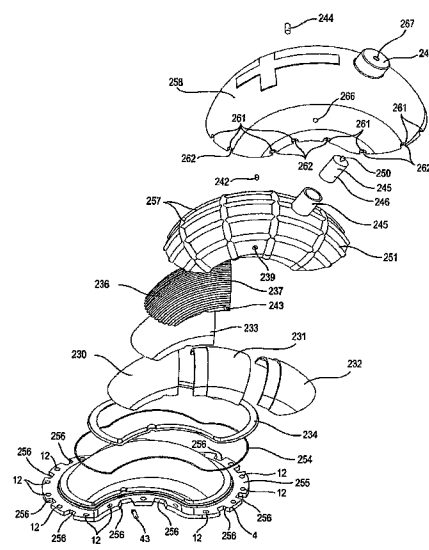
【図 6 1】



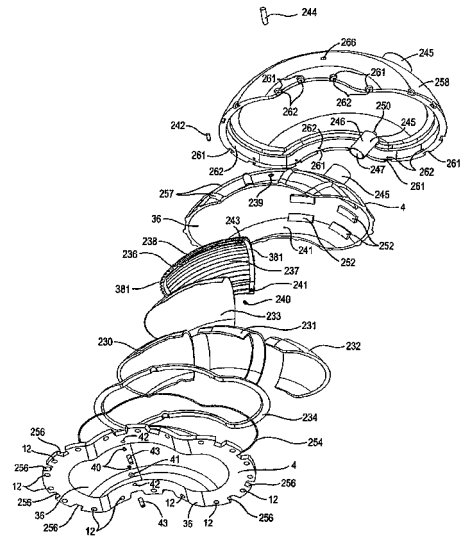
【図 6 2】



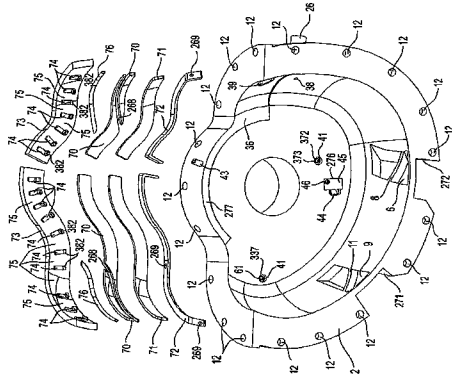
【図 6 4】



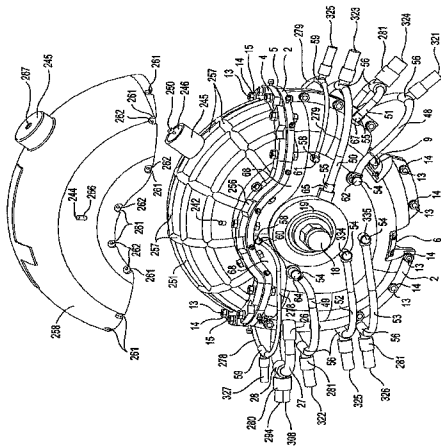
【図 6 3】



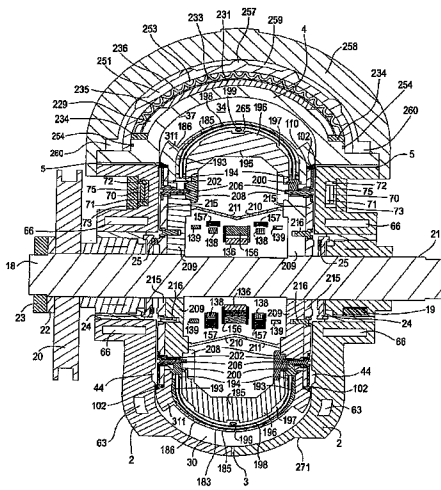
【図 67】



【図 68】



【図 70】



フロントページの続き

(72)発明者 ガスリー, バリー, アール.

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14036-9715, コルフ, アレゲーニーロード7980

審査官 石黒 雄一

(56)参考文献 米国特許第03429301 (US, A)

特開昭48-096905 (JP, A)

特表2003-524723 (JP, A)

特開2005-042563 (JP, A)

特開昭50-083647 (JP, A)

特開昭56-041409 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02B 53/00-59/00

F01C 1/00-21/18