(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2009-524772
(P2009-524772A)
(43)公表日　平成21年7月2日(2009.7.2)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
F02G 1/043	(2006.01)	F02G 1/043	B	
F01B 11/00	(2006.01)	F01B 11/00		
F01B 1/02	(2006.01)	F01B 1/02		
F01B 7/02	(2006.01)	F01B 7/02		
F02B 71/04	(2006.01)	F02B 71/04		

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 26 頁）　最終頁に続く

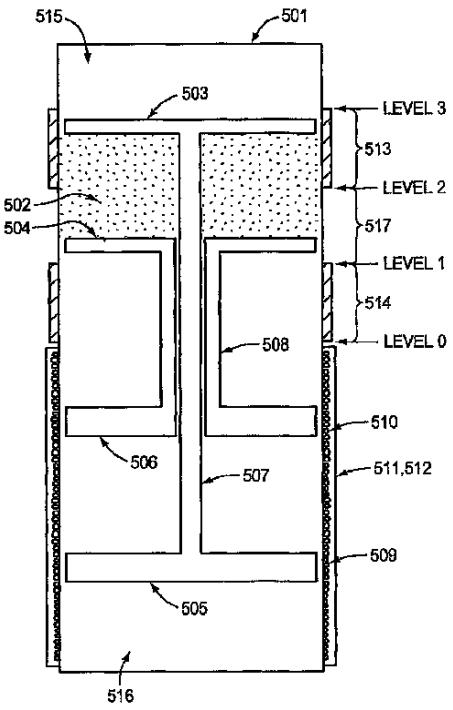
(21)出願番号　特願2008-552311 (P2008-552311)
(86)(22)出願日　平成19年1月9日 (2007.1.9)
(85)翻訳文提出日　平成20年9月22日 (2008.9.22)
(86)国際出願番号　PCT/US2007/000313
(87)国際公開番号　WO2007/087143
(87)国際公開日　平成19年8月2日 (2007.8.2)
(31)優先権主張番号　11/338,421
(32)優先日　平成18年1月24日 (2006.1.24)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　508222508
オルター・リミテッド・エルシー
ＡＬＴＯＲ　ＬＩＭＩＴＥＤ　ＬＣ
アメリカ合衆国，マサチューセッツ州　Ｏ１７７６，サドベリー，サンダー　ロード　３
(74)代理人　100087941
弁理士　杉本　修司
(74)代理人　100086793
弁理士　野田　雅士
(74)代理人　100112829
弁理士　堤　健郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電気的に結合された熱サイクルのためのシステムおよび方法

(57)【要約】
【課題】本発明による一実施形態において、作動ガスの熱サイクルを用いて電気エネルギーを発生させる方法が提供される。
【解決手段】方法は、熱サイクルを行う作動ガス（５０２）を収容するシリンダー（５０１）中のピストン（５０３、５０４）の運動を用いて、シリンダーに結合された電気回路に電流を電磁誘導すること、電気回路（５０９、５１０）を用いて、電気回路に誘導された電流によって生成される電気エネルギーを電気的な蓄積デバイスに蓄積すること、電気蓄積デバイスに蓄積された電気エネルギーを用いて、ピストンに原動力を電磁的に供給することを含む。電気回路を循環的に用いて電気エネルギーを蓄積すること、および蓄積されたエネルギーを用いてピストンに原動力を供給することによって、熱サイクルの過程を通して電気蓄積デバイスに正味の正の平均動力の伝達が行われる。
【選択図】図５Ａ



【特許請求の範囲】
【請求項１】
作動ガスの熱サイクルを用いて電気エネルギーを発生させる方法であって、
熱サイクルを行う作動ガスを収容するシリンダー中のピストンの運動を用いて、前記シリンダーに結合された電気回路に電流を電磁誘導することと、
前記電気回路を用いて、前記電気回路に誘導された電流によって生成される電気エネルギーを電気蓄積デバイスに蓄積することと、
前記電気蓄積デバイスに蓄積された電気エネルギーを用いて、前記ピストンに原動力を電磁的に供給することとを含み、
前記電気回路を循環的に用いて電気エネルギーを蓄積すること、および前記蓄積された電気エネルギーを用いて前記ピストンに原動力を供給することによって、前記熱サイクルの過程を通して前記電気蓄積デバイスに正味の正の平均動力の伝達を行う方法。
【請求項２】
請求項１に記載の方法において、
前記電気回路が電力変換器を含み、
前記電力変換器を用いて、前記ピストンの運動の閉ループ電気制御を行うことをさらに含む方法。
【請求項３】
請求項２に記載の方法において、
前記電力変換器が、前記作動ガスの状態に関する電気信号に基づいて、前記閉ループ制御を行う方法。
【請求項４】
請求項３に記載の方法において、
温度センサ、圧力センサおよび位置センサの少なくとも１つを用いて、前記作動ガスの状態に関する電気信号を前記電力変換器に送達することをさらに含む方法。
【請求項５】
請求項１に記載の方法において、
前記熱サイクルが外燃から熱を受け取る方法。
【請求項６】
請求項５に記載の方法において、
前記熱サイクルがスターリングサイクルに近似する方法。
【請求項７】
請求項５に記載の方法において、
前記熱サイクルがカルノーサイクルに近似する方法。
【請求項８】
請求項５に記載の方法において、
第１ピストンと第２ピストンとの間での前記作動ガスの圧縮および膨張を用いて、前記熱サイクルを行うことをさらに含む方法。
【請求項９】
請求項８に記載の方法において、
前記電気回路はシリンダーに結合された巻線の組を含み、
前記第１ピストンに取り付けられた第１永久磁石および前記第２ピストンに取り付けられた第２永久磁石の運動を用いて、前記巻線の組に電流を電磁誘導することをさらに含む方法。
【請求項１０】
請求項９に記載の方法において、
前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を用いて、前記シリンダーに沿って前記作動ガスを動かし、前記シリンダーの加熱ゾーンおよび冷却ゾーンに連続的に熱移動を行うことをさらに含む方法。
【請求項１１】

請求項９に記載の方法において、
前記第１ピストンのシャフトの少なくとも一部が、前記第２ピストンのシャフト内を同軸で動く方法。
【請求項１２】
請求項８に記載の方法において、
前記電力変換器を用いて前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することによって、前記熱サイクルのタイミングを制御することを含む方法。
【請求項１３】
請求項１２に記載の方法において、
前記電力変換器を用いて、前記作動ガスが前記シリンダーの加熱ゾーン、冷却ゾーンおよび中立ゾーンの間を動くように、前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することをさらに含む方法。
【請求項１４】
請求項８に記載の方法において、
前記第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けられた熱遮蔽体を用いて、前記シリンダー中の非作動ガスを断熱することをさらに含む方法。
【請求項１５】
請求項８に記載の方法において、
前記第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けられたパドルを用いて、前記作動ガス中に乱流を生成させることをさらに含む方法。
【請求項１６】
請求項８に記載の方法において、
外部流れ戻りを用いて、非作動ガスを前記シリンダーの第１端部ゾーンと第２端部ゾーンとの間に流すことをさらに含む方法。
【請求項１７】
請求項８に記載の方法において、
前記第１ピストンおよび第２ピストンを共通の中心シャフトの周りに搭載することをさらに含む方法。
【請求項１８】
請求項１に記載の方法において、
内燃サイクルを通して前記作動ガスを循環させることをさらに含む方法。
【請求項１９】
請求項１８に記載の方法において、
前記熱サイクルがオットーサイクルに近似する方法。
【請求項２０】
請求項１に記載の方法において、
請求項１に記載の方法に従ってそれぞれ動作する第１シリンダーおよび第２シリンダーを用いて電気エネルギーを発生させ、前記第１シリンダーおよび第２シリンダーが互いに軸方向に対向して動作されることをさらに含む方法。
【請求項２１】
請求項１に記載の方法において、
請求項１に記載の方法に従ってそれぞれ動作する第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーを用いて電気エネルギーを発生させ、前記第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーが前記シリンダーの平行な軸に沿う束状構造で動作され、前記シリンダーの２つが前記第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーの他の２つのシリンダーと非平行に動作されることをさらに含む方法。
【請求項２２】
電気エネルギーを用いて、熱サイクルを行う熱ポンプに動力を供給する方法であって、
電気蓄積デバイスに蓄積された電気エネルギーを用いて、前記熱サイクルを行う作動ガ

スを収容するシリンダー中のピストンに原動力を電磁的に供給することと、
前記ピストンの運動を用いて、前記シリンダーに結合された電気回路に電流を電磁誘導することと、
前記電気回路を用いて、前記電気回路に誘導された電流によって生成される電気エネルギーを前記電気蓄積デバイスに蓄積することとを含み、
前記蓄積された電気エネルギーを循環的に用いて前記ピストンに原動力を供給すること、および前記電気回路を用いて電気エネルギーを蓄積することによって、前記熱サイクルの過程を通して前記電気蓄積デバイスから正味の正の平均動力の伝達を行う方法。
【請求項２３】
請求項２２に記載の方法において、
前記電気回路は電力変換器を含み、
前記電力変換器を用いて、前記ピストンの閉ループ電気制御を行うことをさらに含む方法。
【請求項２４】
請求項２３に記載の方法において、
前記電力変換器が、前記作動ガスの状態に関する電気信号に基づいて、前記閉ループ制御を行う方法。
【請求項２５】
請求項２４に記載の方法において、
温度センサ、圧力センサおよび位置センサの少なくとも１つを用いて、前記作動ガスの状態に関する電気信号を前記電力変換器に送達することをさらに含む方法。
【請求項２６】
請求項２２に記載の方法において、
前記熱サイクルが外燃から熱を受け取る方法。
【請求項２７】
請求項２６に記載の方法において、
前記熱サイクルがスターリングサイクルに近似する方法。
【請求項２８】
請求項２６に記載の方法において、
前記熱サイクルがカルノーサイクルに近似する方法。
【請求項２９】
請求項２６に記載の方法において、
第１ピストンと第２ピストンとの間での前記作動ガスの圧縮および膨張を用いて、前記熱サイクルを行うことをさらに含む方法。
【請求項３０】
請求項２９に記載の方法において、
前記電気回路は前記シリンダーに結合された巻線の組を含み、
前記第１ピストンに取り付けられた第１永久磁石および前記第２ピストンに取り付けられた第２永久磁石の運動を用いて、前記巻線の組に電流を電磁誘導することをさらに含む方法。
【請求項３１】
請求項３０に記載の方法において、
前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を用いて、前記シリンダーに沿って前記作動ガスを動かし、前記シリンダーの加熱ゾーンおよび冷却ゾーンと連続的に熱移動を行うことをさらに含む方法。
【請求項３２】
請求項３０に記載の方法において、
前記第１ピストンのシャフトの少なくとも一部が、前記第２ピストンのシャフト内を同軸で動く方法。
【請求項３３】

請求項２９に記載の方法において、
前記電力変換器を用いて前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することによって、前記熱サイクルのタイミングを制御することをさらに含む方法。
【請求項３４】
請求項３３に記載の方法において、
前記電力変換器を用いて、前記作動ガスが前記シリンダーの加熱ゾーン、冷却ゾーンおよび中立ゾーンの間を動くように、前記第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することをさらに含む方法。
【請求項３５】
請求項２９に記載の方法において、
前記第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けられた熱遮蔽体を用いて、前記シリンダー中の非作動ガスを断熱することをさらに含む方法。
【請求項３６】
請求項２９に記載の方法において、
前記第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けられたパドルを用いて、前記作動ガス中に乱流を生成させることをさらに含む方法。
【請求項３７】
請求項２９に記載の方法において、
外部流れ戻りを用いて、非作動ガスを前記シリンダーの第１端部ゾーンと第２端部ゾーンとの間に流すことをさらに含む方法。
【請求項３８】
請求項２９に記載の方法において、
前記第１ピストンおよび第２ピストンを共通の中心シャフトの周りに搭載することをさらに含む方法。
【請求項３９】
請求項２２に記載の方法において、
内燃サイクルを通して前記作動ガスを循環させることをさらに含む方法。
【請求項４０】
請求項３９に記載の方法において、
前記熱サイクルがオットーサイクルに近似する方法。
【請求項４１】
請求項２２に記載の方法において、
請求項２２に記載の方法によってそれぞれ動作する第１シリンダーおよび第２シリンダーを用いて、電気エネルギーを用いる熱ポンプに動力を供給し、前記第１シリンダーおよび第２シリンダーが互いに軸方向に対向して動作されることをさらに含む方法。
【請求項４２】
請求項２２に記載の方法において、
請求項２２に記載の方法に従ってそれぞれ動作する第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーを用いて、電気エネルギーを用いる熱ポンプに動力を供給し、前記第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーが前記シリンダーの平行な軸に沿う束状構造で動作され、前記シリンダーの２つが前記第１シリンダー、第２シリンダー、第３シリンダーおよび第４シリンダーの他の２つのシリンダーと非平行に動作されることをさらに含む方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本出願は、２００６年１月２４日出願の米国特許出願第11/338,421号の継続特許であり、これに優先権主張するものである。同出願の教示全体は参照により本出願に組み入れられる。
【背景技術】

【０００２】
動作媒体としてガスを用いる熱エンジンの熱サイクルは、圧力－容積（Ｐ－Ｖ）図を用いて記述することができる。図１および図２は、カルノーサイクル（図１）および理想的なスターリングサイクル（図２）の２つの周知の熱サイクルについてのＰ－Ｖ図を示す。
【０００３】
１つの熱サイクルから送達される正味エネルギーはＰ－Ｖ面の動作経路によって掃引されるループの面積である。各サイクルの過程において、エネルギーはサイクルの一部においてエンジンによって供給され、サイクルの残部のためにエンジンによって吸収される。いくつかのサイクルのいくつかの部分では、エネルギーは蓄積も供給もされない。例えば、理想的なスターリングサイクルにおいて、機械的エネルギーは、軌跡がＰ軸に平行なサイクル部分の間、吸収も供給もされない。
【０００４】
必要に応じて、正味の正の平均出力（a net positive average power output）を抽出するために用いられるシステムの部分は、サイクルに基づいて熱エンジンからエネルギーを蓄積して戻すためのデバイスを含む必要がある。従来の熱エンジンにおいて、この循環エネルギー蓄積は、機械的手段、例えば、フライホイールを備えるクランクシャフトの回転慣性によって、達成される。（特許文献１～５参照。）
【特許文献１】米国特許第４７６１９６０号明細書
【特許文献２】米国特許第４６９７１１３号明細書
【特許文献３】米国特許第５０４０３７２号明細書
【特許文献４】米国特許第５７５２３８５号明細書
【特許文献５】米国特許第４４３４６１７号明細書
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
装置の信頼性が高く、効率的で静粛であり、振動がなく、さまざまな燃料で動作可能である方法によって熱を電気に変換できることが望ましい。
【０００６】
また、電気を用いて、それらの特質を備える装置による熱交換を行えることが望ましい。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
これらの目的および他の目的を達成するために、本発明の実施形態は、作動ガスの熱サイクルを用いて電気的エネルギーを発生させる方法を提供する。この方法は、熱サイクルを行う作動ガスを収容するシリンダー中のピストンの運動の使用を含み、シリンダーに結合された電気回路に電流を電磁誘導する。電気回路を用いて、電気回路に誘導された電流によって生成される電気エネルギーを電気蓄積デバイスに蓄積し、電気蓄積デバイスに蓄積された電気エネルギーを用いてピストンに原動力を電磁的に供給する。電気回路を循環的に用いて電気エネルギーを蓄積すること、および蓄積されたエネルギーを用いてピストンに原動力を供給することによって、熱サイクルの過程を通して電気蓄積デバイスに正味の正の平均動力の伝達（a net positive average power transfer）を行う。
【０００８】
電気回路は電力変換器を含んでもよく、この方法は、電力変換器を用いてピストンの運動の閉ループ電気制御を行うことをさらに含んでもよい。電力変換器は、作動ガスの状態に関する電気信号に基づいて閉ループ制御を行ってもよい。温度センサ、圧力センサおよび位置センサの少なくとも１つを用いて、作動ガスの状態に関する電気信号を電力変換器に送達してもよい。
【０００９】
熱サイクルは、スターリングサイクル、カルノーサイクル、オットーサイクル、または他の熱サイクルに近似してもよい。熱サイクルは外燃（external combustion）から熱を

受け取ってもよく、また、作動ガスは内燃サイクル（an internal combustion cycle）によって循環させてもよい。

【００１０】

第１ピストンと第２ピストンとの間での作動ガスの圧縮および膨張を用いて、熱サイクルを行ってもよい。電気回路は、シリンダーに結合された１組の巻線を含んでもよく、この方法は、第１ピストンに取り付けられた第１永久磁石および第２ピストンに取り付けられた第２永久磁石の運動を用いて、巻線の組に電流を電磁誘導することを含んでもよい。さらに、第１ピストンおよび第２ピストンの運動を用いて、シリンダーに沿って作動ガスを動かし、シリンダーの加熱ゾーンおよび冷却ゾーンに連続的な熱移動を行ってもよい。

【００１１】

第１ピストンのシャフトの少なくとも一部が、第２ピストンのシャフト内を同軸で動いてもよい。電力変換器を用いて、作動ガスがシリンダーの加熱ゾーン、冷却ゾーンおよび中立ゾーン（a neutral zone）間を動くように、第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することを含んでもよく、第１ピストンおよび第２ピストンの運動を制御することによって、熱サイクルのタイミング（作動周期）の制御（control timing of the thermal cycle）をしてもよい。熱遮蔽体（a thermal shade）を第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けて、シリンダー中の非作動ガスを断熱してもよく、パドル（a paddle）を第１ピストンまたは第２ピストンに取り付けて、作動ガスに乱流を生成させてもよい。外部の流れの戻り（an external flow return）を用いて、シリンダーの第１端部ゾーンと第２端部ゾーンとの間に非作動ガスを流してもよい。第１ピストンおよび第２ピストンは共通の中心シャフトの周囲に搭載してもよい。

【００１２】

本発明に従って動作する２つのシリンダーは、互いに軸方向に対向して動作され（operated in axial opposition to each other）てもよい。同様に、４つのシリンダーはシリンダーの平行な軸に沿う束状構造で動作され（operated in a bundle with parallel axes of the cylinders）てもよく、シリンダーの２つは他の２つのシリンダーとは非平行に動作され（operated antiparallel to）てもよい。

【００１３】

本発明による他の実施形態において、電気エネルギーを用いて熱ポンプに動力を供給する方法が提供され、熱ポンプは熱サイクルを行う。この方法は、電気蓄積デバイスに蓄積された電気エネルギーを用いて、熱サイクルを行う作動ガスを収容するシリンダー中のピストンに原動力を電磁的に供給することを含む。ピストンの運動を用いて、シリンダーに結合された電気回路に電流を電磁誘導し、電気回路を用いて、電気回路に誘導された電流によって生成される電気エネルギーを電気蓄積デバイスに蓄積する。蓄積されたエネルギーを循環的に用いてピストンに原動力を供給すること、および電気回路を用いて電気エネルギーを蓄積することによって、熱サイクルの過程を通して電気蓄積デバイスから正味の正の平均動力の伝達が行われる。上述の電気エネルギーを発生させる方法に用いられるのと同様の方法を、熱ポンプへの動力供給方法に用いることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１４】

本発明の前述の目的および他の目的、特徴および利点は、異なる図面を通して同じ参照文字が同じ部分を表す添付図面に図示されるように、以下の好ましい実施形態のさらに詳細な説明から明らかになるであろう。図面は必ずしも尺度がなく、代わりに本発明の原理を図示する上で誇張される。

【００１５】

回転慣性は、１８世紀におけるその開発以来、熱エンジンの循環エネルギー蓄積に選択された方法であった。したがって、熱エンジンからのエネルギーの循環的蓄積および戻しに用いられるデバイスは、一般的には機械的である。例えば、エンジンは、循環エネルギー蓄積のために取り付けられたフライホイールを有するクランクシャフトの回転慣性を用いることができる。このように、従来の熱エンジンは、機械的に結合された熱サイクルの

使用であると言うことができる。

【００１６】

しかし、そのような機械的に結合された熱サイクルにおいて、ピストンの運動はクランクシャフトの運動に拘束される。したがって、ピストンは、作動ガスの状態が望ましいＰ－Ｖサイクルに近似して従うように、動くことができない。サイクルの各区分に向けられた相対的な時間の長さは、機械的にフライホイールの運動に拘束される。さらに、機械的に結合された熱エンジンは、その信頼性および効率、発生する騒音および振動の量、ならびにさまざまな燃料により動作する能力が制限を受ける。

【００１７】

これらの特徴を改善するために、本発明による一実施形態は、電気蓄積デバイスを用い、熱サイクルからのエネルギーの循環流に適合する電気的な蓄積デバイスを用いる。したがって、熱サイクルは電気的に結合しているといえる。一実施形態は、電磁的剪断（電磁的ずれ、electromagnetic shear）によるピストンの直接の電気的駆動を用いる。

【００１８】

この用途に適した電気蓄積デバイスは、例えば、キャパシタ、バッテリー、（入手可能であれば）超電導コイルを含む。電磁的剪断を用いる直接の電気的駆動は、各ピストンアセンブリに取り付けられた永久磁石の使用によって、および、永久磁石に力を与え、または永久磁石から電磁気誘導を得るコイルもしくは巻線中の制御された電流を使用することによって、達成することができる。

【００１９】

電気的に結合された熱サイクルの実施形態は、ガスの外燃または内燃を用いるバッテリーの充電など、熱サイクルから電気を発生させるために用いることができ、または、熱ポンプを電気的に駆動するバッテリーもしくは他の直流電源を用いることなど、熱サイクルの電気的駆動のために用いることができる。

【００２０】

本発明によれば、エネルギー電気回路は、任意のＰ－Ｖ面の所望の経路にできるだけ近く従うようにピストンの運動を制御可能にする。熱エンジンから平均動力を抽出するために必要なエネルギー循環は、電気的なエネルギー蓄積によって行うことができる。このように電気的結合を用いることは、Ｐ－Ｖサイクルの各区分に消費される時間の変動を可能にし、それによって高い熱サイクル効率を可能にする。

【００２１】

したがって、エネルギーが機械的に循環的に蓄積された従来システムに比べて、本発明による実施形態は循環エネルギー流の電気的な蓄積を用いる。さらに、電気回路の使用は、ピストンの運動の閉ループ電気的制御を可能にする。

【００２２】

従来技術において、Highamらの米国特許第4,761,960号、Youngの米国特許第4,697,113号、Highamの米国特許第5,040,372号など、電気的リニア駆動モーターによって駆動される冷却デバイスが知られる。さらに、それらのリニア駆動モーターは、Nelsonの米国特許第5,752,385号、Walshの米国特許第4,434,617号など、電気的に制御されたバッテリーから電流を供給してバッテリー駆動することができる。Beremandの米国特許第4,215,548号など、フリーピストン水力機関が知られる。

【００２３】

しかし、本発明による実施形態は、それが熱サイクルへの、および熱サイクルからの循環エネルギー流の電気蓄積を用いるので、そのような既知のシステムとは基本的に異なる。したがって、熱サイクル内で、本発明による実施形態は、ピストンを収容するシリンダーに電気的に結合された電気蓄積デバイスの内外へエネルギーを循環させる。対照的に、そのような既知のシステムは、循環エネルギー流の電気蓄積を使用しなかった。代わりに、いくつかのそのような従来システムでは、循環エネルギー流のために機械的共鳴の形を用いることができる。例えば、米国特許第4,434,617号において、ピストンの質量と圧縮された端部ゾーンのガスとの間の機械的共鳴が用いられ、これは循環エネルギー流のスプ

リングとして作用する。機械的共鳴を助けかつ維持するために同期された電気的駆動が用いられるが、システムは熱サイクルから循環エネルギー流を吸収する電気蓄積デバイスを使用しない。したがって、それらのシステムは、本発明の実施形態に従えば熱サイクルからの循環エネルギー流の電気蓄積およびその循環エネルギー流の電気的制御を用いることによって得られる熱効率の改善の可能性がない。

【００２４】

本発明の好ましい実施形態の説明は以下の通りである。

【００２５】

図３Ａおよび図３Ｂは本発明の実施形態による外燃発電機（external combustion generator）のためのコイル、磁石およびピストンの構成を示す。図３Ａの断面図において、密閉されたガス収容シリンダー３０１はガス本体を収容し、その一部は作動ガス３０２になる。作動ガス３０２は、シリンダー３０１内を滑る２つのピストン３０３および３０４の間に存在する、シリンダー３０１内の総ガスの部分集合である。ピストン３０３および３０４は、過度の摩擦を生じることなくシリンダー３０１の内壁とともに許容可能で良好なガス封止を維持する。例えば、従来のピストンリングをこの目的に用いることができる。シリンダー３０１は、一般的には円形断面であるが、他の断面形状を有してもよい。作動ガス３０２は、空気、窒素、ヘリウム、または水素など、目的に適した任意のガスでよい。

【００２６】

図３Ｂに示したように、２つのピストン３０３および３０４のそれぞれはプレートの形をしている。各プレート３０３および３０４には、他の端部で永久磁石プレート３０５および３０６に取り付けられたシャフト３０７および３０８が、中央に垂直に取り付けられる。永久磁石プレート３０５および３０６は、その内部に、鉄、適切なグレードの鋼などの磁路材料（magnetic path material）と一緒に適切に配置された永久磁石を収容する。永久磁石および磁路材料は、永久磁石３０５および３０６の外側縁部から放射する磁束を生成するように構成され、磁束は、シリンダー３０１を取り囲む駆動巻線３０９および３１０を横切る（図３Ａ）。シリンダー３０１は非磁性材料から作られ、複数の非磁性材料を用いてシリンダー３０１を構成することができる。例えば、熱流を必要としない３１３および３１４などの領域にアルミニウムなどの材料を用いることができ、セラミックまたはファイバーグラスを、熱流を必要としない３１７などの領域に用いることができる。磁路材料により作られた磁場戻り路（magnetic field return paths）３１１および３１２が駆動巻線３０９および３１０を取り囲む。

【００２７】

また、銅またはアルミニウム合金などの熱伝導性材料から作られた２つの熱移動ゾーン３１３および３１４がシリンダー３１０を取り囲む。加熱ゾーン３１３は外部熱源、例えば、炎または太陽光集光器からの熱を受け入れ、その熱を以下に述べる適切な時間に作動ガス３０２に移動する。同様に、冷却ゾーン３１４は、これも以下に述べる適切な時間に作動ガス３０２から熱を抽出する。熱移動ゾーン３１３および３１４は断熱された中立ゾーン３１７によって互いに分離される。３つのゾーン３１３、３１４および３１７は類似の長さであるように添付図面に示されており、これは必要ではないが、出力全体を最適化する意味で有利である。

【００２８】

図４は、本発明の実施形態による熱サイクルからのエネルギーの循環流に適応するために、図３Ａ～図３Ｂの外燃シリンダー構成に結合された電子部品の概略図である。図３Ａの３０９、３１０で示した駆動巻線である駆動巻線４０９、４１０、４４３は、電力変換器４３５に接続する。図４は、図示の便宜上、３つの孤立した巻線４０９、４１０、４４３を示すが、必要に応じて任意の数の分離巻線（separate winding）を用いることができる。また、電力変換器４３５には位置センサ４３６、温度センサ４４０および圧力センサ４４１からの信号も接続される。任意の適切な数の位置、温度および圧力センサを使用できることが理解されるであろう。位置センサ４３６は、電力変換器４３５に任意の時刻の

各ピストンの正確な位置を知るために必要な情報を供給する。温度センサ４４０および圧力センサ４４１は、任意の時刻の作動ガス３０２の状態を電力変換器４３５に知らせる。

【００２９】

電力変換器４３５はＤＣバス４４２に接続され、これにはキャパシタ４３７および／またはバッテリー４３８、および電気負荷４３９が接続される。電気負荷４３９は、必要でない時にＤＣバス４４２から切断することができるが、電力変換器４３５はバッテリー４３８への充電を続ける。バッテリー４３８のための適切なバッテリーは、リチウムまたはエネルギー循環用途に構成された他の現代の種々のバッテリーを含み、毎秒数サイクルまたはそれよりも速い速度でエネルギーを循環させることができるリチウムまたは他種のバッテリーによって、より良好な性能が得られる。

【００３０】

システムの動作中に、図４の電力変換器４３５は、ピストン３０３および３０４がシリンダー３０１内で上下に動いて作動ガス３０２に望ましいＰ－Ｖサイクルに従わせるように、図３Ａの巻線３０９および３１０の内外への電流の流れを制御する。キャパシタ４３７およびバッテリー４３８はシステムのエネルギー貯蔵器として働き、熱エンジンのサイクルと一体である循環エネルギー変動を吸収する。電力変換器４３５はエネルギーをほとんどまたは全く蓄積せず、電力を高い効率でＤＣバス４４２と巻線３０９および３１０との間で移動させる。

【００３１】

このようにして、図３Ａ～図４の実施形態は、電気的に結合された外燃発電機を提供する。外燃から放出されたエネルギーは加熱ゾーン３１３によってシリンダー３０１中に移され、圧力－容積サイクルが作動ガス３０２に生成され、循環エネルギー蓄積が図４の電気回路によって行われる。したがって、例えば１つの応用として、ガスの外燃は、ピストン３０３および３０４以外に何も運動部分を用いることなくバッテリー４３８中の電荷を蓄積するのに用いることができる。

【００３２】

図５Ａ～図５Ｃは、図３Ａ～図３Ｂの機械的構成の代わりに用いることができる代替の実施形態を示し、駆動巻線５０９および５１０が互いに隣接し、加熱ゾーン５１３から離れて配置される。永久磁気プレート５０５および５０６を加熱ゾーン５１３から離れて配置することによって、この構成は永久磁石を冷たく保つという設計課題を解決する。ネオジム－鉄永久磁石材料は高い温度に曝されるとその磁性を失い、使用温度は一般的に１５０～２００℃以下に制限される。図５Ａに示したように、より長いピストンアセンブリのシャフト５０７（図５Ｂに分離して示される）が、より短いピストンアセンブリ（図５Ｃに分離して示される）のシャフト５０８内に同軸で存在する。これらの２つのシャフト５０７と５０８との間の機械的な固定は、過度の摩擦を生じることなくそれらの間に許容可能で良好なガス封止を与えるようにする。ピストン５０３をその永久磁気プレート５０５に接続する内部シャフト５０７は、熱い上端部５０３から永久磁気プレートおよびそれを取り囲むシャフト５０８へ最小の熱伝導を与えるように、構成される。これは、シャフト５０７用に可能ならば強度のために金属製コアを有するセラミックなどの断熱性材料を用いることによって行われる。より長いピストンアセンブリ５０３用の駆動巻線５０９は、より短いピストンアセンブリ５０４用の駆動巻線５１０よりも、冷却ゾーン５１４から遠くに配置される。図５Ａ（図３Ａのプレート３０５および３０５とは異なり）において、ピストンアセンブリ５０３がピストンアセンブリ５０４よりも長いので、永久磁気プレート５０６は、永久磁気プレート５０５の上に配置される。図５Ａに示した熱エンジンの動作は、図４のものなど、回路への類似の電気的結合を有する図３Ａに示した熱エンジンについて上述した通りである。

【００３３】

図６は、図２に示したスターリングサイクルに従う発電機として動作するときの、本発明の一実施形態による図３Ａおよび図５Ａの熱エンジンのタイミング図である。曲線（折れ線）６４４は、繰り返しサイクルＡ－Ｂ－Ｃ－Ｄ－Ａについてのピストン３０３、５０

３のピストン位置プロファイルであり、曲線６４５はピストン３０４、５０４のピストン位置プロファイルである。ピストン位置は図６のｙ軸上の位置レベル０から３によって示され、図３Ａおよび図５Ａにおいて示されたシリンダー位置に対応する。冷却ゾーン３１４、５１４は位置レベル０からレベル１に延在し、中立ゾーン３１７、５１７は位置レベル１からレベル２に延在し、加熱ゾーン３１３、５１３は位置レベル２から３に延在する。図６は各サイクルの４つの区分のそれぞれに消費される時間をほぼ等しいとして示すが、各区分の時間（持続時間）は他とは独立に変化することができ、それによって出力および効率の最大化が可能であることを理解すべきである。区分時間の変化において、出力の最大化および効率の最大化の目的の間には本質的な矛盾があり、どちらかを満足することができるが両方を同時には満足できない。

【００３４】

図６の時刻ＡとＢとの間で作動ガス３０２、５０２は一定温度Ｔ１にて圧縮される。Ａ～Ｂ経路において、ピストン３０４、５０４は曲線６４５によって示すように位置レベル０に保持され（図６、図３Ａおよび図５Ａのｙ軸上に示される）、ピストン３０３、５０３は曲線６４４で示すように位置レベル２からレベル１へ動き、それによって作動ガス３０２、５０２を圧縮する。この区分のピストン３０３、５０３の運動６４４は図６に直線形状で示されるが、実際には運動は一般的に非線形（曲線）である。

【００３５】

図６の時刻ＢとＣとの間で作動ガス３０２、５０２は一定の容積に保持され、温度Ｔ２に加熱される。Ｂ～Ｃの経路において、両方のピストンは、ピストン３０３、５０３が位置レベル１からレベル３へ動くように最初は一緒に急速に動くが、ピストン３０４、５０４は曲線６４４および６４５で示されるように位置レベル０からレベル２へ動く。Ｂ～Ｃ区分の時間中、ピストン３０４、５０４は配置レベル２に保持され（曲線６４５）、ピストン３０３、５０３は位置レベル３に保持される（曲線６４４）。

【００３６】

図６の時刻ＣとＤとの間で作動ガス３０２、５０２は一定の温度Ｔ２で膨張する。Ｃ～Ｄの経路において、ピストン３０３、５０３は位置レベル３に保持されるが（曲線６４４）、ピストン３０４、５０４は位置レベル２からレベル１へ動く（曲線６４５）。この区分のピストン３０４、５０４の運動は図６の６４５に直線形状で描かれるが、実際には運動は一般的に非線形である。

【００３７】

図６の時刻ＤとＡとの間で作動ガス３０２、５０２は再び一定の容積に保持され、温度Ｔ１に冷却される。Ｄ～Ａの経路において、両方のピストンはピストン３０３、５０３が位置レベル３からレベル２へ動くように最初は一緒に急速に動くが（曲線６４４）、ピストン３０４は位置レベル１からレベル０へ動く（曲線６４５）。Ｄ～Ａの区分の時間中、ピストン３０４、５０４は配置レベル０に保持され（曲線６４５）、ピストン３０３、５０３は位置レベル２に保持される（曲線６４４）。

【００３８】

図６のタイミング図を検討すると、ピストンが静止しているサイクル部分が存在する。これらの領域は効率向上の機会を得ることができ、それによって、オーム損失を伴う駆動巻線中の電流の流れに頼らずに、機械的な手段を用いてサイクルの静止部分の間各ピストンをその定まった位置に保持する。例えば、図６の圧縮領域Ａ～Ｂの間、機械的な妨害によってピストン３０４、５０４が位置レベル０よりも低く動くのを防止することができるであろう。端部ゾーン３１５／５１５、３１６／５１６の圧力状態はこの技術の実施における要素であり、従って端部ゾーンの設計を修正する必要がある。

【００３９】

それらの機械的で強固な停止は、原理的に、機械的障害の形をとるか、または、シリンダー３０１、５０１および／またはピストンアセンブリに取り付けられた永久磁石（および／または磁性極）によって行うことができる。機械的障害が用いられる場合、エネルギー電子機器はそれが障害に近づく際に「軟着陸」を行うようにピストンの運動を制御する

ことができる。障害またはピストンに取り付けられた柔らかいバネ状の材料は軟着陸を助けることができる。永久磁石は、機械的障害に付随する物理的接触を実際的に懸念することなく、さらなる運動に対する物理的妨害を維持する利点を有するであろう。永久磁石は誘引モードまたは反発モードのいずれでも用いることができる。それらが誘引モードで用いられる場合、制御電子機器は静止時間の終わりにピストンをその磁気拘束から自由にするために、過剰の電流衝撃を与える必要がある。

【００４０】

先にスターリングサイクルを説明したが、図３Ａ～図５Ｃに示した一般的な構成は、図１のカルノーサイクルに近似するものを含めて、他種の熱サイクルに用いることができる。そのようなカルノーエンジンは、例えば、中立ゾーン３１７、５１７の長さが加熱ゾーン３１３、５１３および冷却ゾーン３１４、５１４の３倍である物理的構成に適用され、図１２のタイミング図によって動作することができる。図１２において、曲線１２４４は繰り返しサイクルＡ－Ｂ－Ｃ－Ｄ－Ａについてのピストン３０１、５０３のピストン位置プロファイルであり、曲線１２４５はピストン３０４、５０４のピストン位置プロファイルである。中立ゾーン３１７、５１７の長さが延長されるので、位置レベルはレベル０からレベル５の範囲で示され、冷却ゾーン３１４、５１４はレベル０からレベル１に延在し、中立ゾーン３１７、５１７はレベル１からレベル４に延在し、加熱ゾーン３１３、５１３はレベル４からレベル５に延在する。間隔（区間）Ａ～Ｂは等温圧縮であり、間隔Ｂ～Ｃは断熱圧縮であり、間隔Ｃ～Ｄは等温膨張であり、間隔Ｄ～Ａは断熱膨張である。

【００４１】

図３Ａ～図５Ｃの実施形態は、熱が電気に変換される発電機として説明したが、本発明の実施形態による電気的に結合された熱サイクルを用いて、電気的に駆動される熱ポンプを形成することが可能である。この場合、図３Ａ～図５Ｃの実施形態は本質的に逆に動作し、図４などにおいて電気回路に蓄積されたエネルギーは、ピストン３０３～３０４および５０３～５０４が熱ポンプサイクルを行うように、シリンダー３０１、５０１の内外へ巻線３０９、５０９および３１０、５１０によって循環される。そのような熱ポンプを用いて熱を発生し、または熱を受け取ることができ、加熱および冷却ゾーン３１３～３１４および５１３～５１４によって外部の目的物の内外へ移動することができる。

【００４２】

図７は、本発明の実施形態によって動作する、そのようなスターリングサイクル熱ポンプ（すなわち、冷却装置）のＰ－Ｖ図を示す。従う経路は図２を逆にしたものであることが分かる。図８は対応するタイミング図を示しており、図６についての類似の前述の説明を参照することによって理解することができる。曲線８４４は、繰り返しサイクルＡ－Ｂ－Ｃ－Ｄ－Ａについてのピストン３０３、５０３のピストン位置プロファイルであり、曲線８４５はピストン３０４、５０４のピストン位置プロファイルである。ピストン位置は図８のｙ軸上に位置レベル０から３で示され、図３Ａおよび図５Ａに示されたシリンダー位置に対応する。冷却ゾーン３１４、５１４はレベル０からレベル１に延在し、中立ゾーン３１７、５１７はレベル１からレベル２に延在し、加熱ゾーン３１３、５１３はレベル２からレベル３に延在する。

【００４３】

図９は、図３Ａ～図３Ｂおよび図５Ａ～図５Ｃの機械的構成の代わりに用いることができる代替の実施形態を示す。中心シャフト９２１はピストンアセンブリ９０３のシャフト９０７内部中央に配置され、シャフト９０７はピストンアセンブリ９０４のシャフト９０８内部に配置される。ここでも、シャフト９２１、９０７および９０８間の機械的な固定は、過度の摩擦を生じることなくそれらの間に許容可能で良好なガス封止を与えるようにする。中心シャフト９２１は、ピストンアセンブリ９０３、９０４が磁石の誘引によってシリンダーの片側に固着し、それによって過度の摩擦およびガス封止を引き起こさないように、シリンダー９０１内部に中心を置くピストンアセンブリ９０３、９０４の両方を保持する。したがって、中心シャフト９２１はシステムの効率向上を助ける。

【００４４】

本発明による代替の実施形態において、中心シャフト９２１の部分は、電磁石を形成するために磁場コイルによって囲まれた磁路材料で作ることができ、それによって図３Ａのプレート３０５および３０６の永久磁石を省く手段を提供する。例えば、そのような磁性中心シャフト９２１の各端部の周りに巻かれた磁場コイルを用いて、２つの電磁石を形成し、プレート３０５および３０６の永久磁石の機能役割を置き換えることができる。プレート３０５および３０６は、したがって磁路材料から作られる。

【００４５】

図９の実施形態に戻って、熱遮蔽体９２２をピストン９０３および９０４に固定し、またはその部分として作ることができる。これらの熱遮蔽体９２２の機能は、熱サイクルの適切な部分の間、加熱９１３および冷却９１４ゾーンを通る熱の流れを妨げることである。熱遮蔽体９２２は断熱材料から作られ、シリンダー９０１の内壁に近接して配置されるが、接触はしない。熱遮蔽体９２２はシリンダー９０１の内壁の内部周縁全体にわたって延在する。それらは、放射、伝導および対流によるシリンダー９０１内部の非作動ガスの内外への熱の流れを妨げ、それによってシステムの効率を向上させる。

【００４６】

外部の流れ戻り９２３は、圧力を平衡させるために非作動ガスが上端部ゾーン９１５から下端部ゾーン９１６へ流れるのを可能にし、これはシステム効率の向上に必要である。この圧力平衡化ガス流を達成する代替の手段は、図９には示されないが、中心シャフト９２１内部に通路の形で内部流れ戻りを提供することであり、したがって、中空管の形をとる。作動領域（すなわち、ピストン位置レベル０と３との間の領域）のサイズに対して、上端部ゾーン９１５および下端部ゾーン９１６の容積は、端部ゾーン９１５および９１６のガスを圧縮する過剰の力の必要性を省くことによってシステムの効率を維持するために、十分大きいことが必要である。この目的のために、外部流れ戻り９２３はその長さに沿って１つ以上の膨張チャンバ（図９には示されない）を含んでもよい。

【００４７】

加熱ゾーン９１３から作動ガス９０２への熱移動量を向上させるために、ピストン９０３および９０４にパドル９２４を取り付けることができる。これらのパドル９２４は、ピストン９０３および９０４が互いに対して動く際に作動ガス９０２を攪拌し、それによって作動ガス９０２の乱流および運動を起こさせ、システムの効率向上を助ける。また、パドル９２４は、作動ガス９０２から冷却ゾーン９１４の壁を通る熱移動量を高める。パドル９２４は、互いにまたは他のピストンと接触しない限り様々な形状を有することができる。

【００４８】

図１０～図１１Ｂは、本発明の実施形態による動力変換システムにおける振動を低減する方法を示す。図１０において、図５Ａに示した種類の２つのシリンダーアセンブリ（または本発明による任意の他のシリンダーアセンブリ）は、その中心軸が同一であり、対向するように構成される。図１０のシステム用のピストンの運動は、対応するピストンが正確に等しく逆の動きで同期するように、その動力変換電子機器によって制御される。したがって、２つのピストンアセンブリ１００３／１００５は互いに向かってまたは離れて正確に同じ速度で動き、同様に２つのピストンアセンブリ１００４は互いに向かって（または離れて）同期して動く。上端部ゾーン１０１５はエンジンの両側について共通であるが、各端部には分離した下端部ゾーンが存在する。そのような構成は「水平対向」シリンダーと呼ぶことができ、また、共通軸は必ずしも水平である必要がないので、より一般的に「軸方向対向」シリンダーと呼ぶこともできる。水平配置は加熱ゾーンを通過する燃焼ガスの流れの構成に利点を有する場合がある。

【００４９】

図１１Ａおよび図１１Ｂにおいて、図５Ａに示した種類の４つのシリンダーアセンブリ（または本発明による任意の他のシリンダーアセンブリ）は、その中心軸が平行であり端部から見てダイヤモンドパターン（ダイヤ形、菱形）に位置するように並んで配置される（図１１Ｂに示される）。動力電子機器制御は、シリンダーＡおよびＣ中のピストンが互

いに同じ方向に動いて正確に同期することを確実にする。また、シリンダーＢおよびＤ中のピストンは互いに同じ方向に正確に同期して動くが、図１１Ｂの十字（×）および点のベクトル表記法で示したように、ＡおよびＣとは正確に逆方向に動く。４つのシリンダー中の加熱ゾーンを互いに近接して保持するために、２対のシリンダーはその端部を同一平面上に有するのではなく、互いに対して軸状に変位する必要がある。

【００５０】

上述の方法は、本発明の実施形態による内燃発電機（internal combustion generator）の実施に拡張することができる。図３Ａ～図４の説明と同様に、図４の電気的構成を用いて内燃サイクルの機械的ピストン構成用の循環エネルギー蓄積を行うことができる。図１３はそのような１つの可能な機械的構成の断面図であり、図３Ａ、図５Ａおよび図９を参照して既に説明した特徴を組み込んでいることが分かる。図１３において、２つの同軸ピストンアセンブリ１３０３および１３０４は、図９のようにシリンダー１３０１中の中心シャフト１３２１を取り囲む。また、ピストンアセンブリが物理的に分離され、中心シャフトが存在し、または存在しない図３Ａに相当する構成を実施することができる。図１３において、燃料／空気混合物が作動ガス領域１３０２に入口弁およびポート１３３２を経由して供給され、出口弁およびポート１３３３は排気ガスを放出させる。スパークプラグ１３３１が、作動ガス領域１３０２の上端部に配置される。作動ガス領域１３０２の壁は断熱され、燃料／空気混合物の点火に伴う力に耐えるように十分強く作られる。他の特徴は、同軸シャフト１３０７および１３０８、永久磁石プレート１３０５および１３０６、駆動巻線１３０９および１３１０、磁場戻り路１３１１及び１３１２、ならびに端部ゾーン１３１５および１３１６を含めて、先の説明と同様とすることができる。排気ポート１３３４は、領域１３１６中のガスを圧縮するために過剰の圧縮力を必要としないように、領域１３１６中のガスの逃げる手段を提供する。

【００５１】

図１４は、本発明の実施形態による図１３の内燃発電機が図１５のＰ－Ｖ図に示したオットーサイクルを行いながら従うことができるタイミング図を示す。曲線１４４４は繰り返しサイクルＡ－Ｂ－Ｃ－Ｄ－Ａについてのピストン１３０３のピストン位置プロファイルであり、曲線１４４５はピストン１３０４のピストン位置プロファイルである。ピストン位置は図１４のｙ軸上の位置レベル０および１で示され、図１３に示したシリンダー位置に対応する。

【００５２】

図１４および図１５の時刻ＡとＢとの間で図１３の入口弁１３３２は開いており、ピストン１３０３が位置レベル０からレベル１へ動く（曲線１４４４）と、燃料／空気混合物を作動ガス領域１３０２中へ引き込むことを可能にする。この区分の間に、ピストン１３０４は位置レベル０（曲線１４４５）に保持される。この区分のピストン１３０３の動きは直線形状を有するとして描いているが（曲線１４４４）、実際には運動は非線形でもよい。

【００５３】

図１４および図１５の点ＢとＣとの間で、ピストン１３０４が位置レベル０からレベル１（曲線１４４５）に動き、ピストン１３０３がレベル１（曲線１４４４）に留まると、作動ガス１３０２は圧縮される。点Ｃで、スパークプラグ１３３１は作動ガス１３０２の燃焼を開始し、その時、作動ガス１３０２の圧力は図１５のＰ－Ｖ図のＣ’で示した高いレベルに直ちに上昇する。

【００５４】

図１４および図１５の点ＣとＤとの間で、作動ガス１３０２は膨張し、機械的力をピストンに作用させ、ピストン１３０４を下方に駆動する（曲線１４４５）が、ピストン１３０３は位置レベル１（曲線１４４４）に留まる。ここでも、この区分のピストン１３０４の動きは直線形状で描かれるが、実際には運動は非線形でもよい。点Ｄで、排気弁１３３３は開放され、その時、作動ガス１３０２の圧力は直ちにＰ－Ｖ図のＤ’で示される低いレベルに降下する。

【００５５】
図１４および図１５の点ＤとＡとの間で、排気弁１３３３は開放されて留まり、燃焼した作動ガス１３０２は、ピストン１３０３が位置レベル１からレベル０に動くと（曲線１４４４）排出され、ピストン１３０４はレベル０に留まる（曲線１４４５）。
【００５６】
したがって、本発明による実施形態は、外燃および内燃発電機ならびに電気的に駆動される熱ポンプを含んで、熱サイクルによって必要とされる循環エネルギーの電気蓄積を用いる、さまざまな異なる可能な方法を提供することを見ることができる。
【００５７】
本発明をその好ましい実施形態を参照して特に示し説明したが、当業者であれば、添付請求項によって包含される本発明の範囲から逸脱することなく、形状および詳細におけるさまざまな変更を加えることができることを理解するであろう。
【図面の簡単な説明】
【００５８】
【図１】当技術分野で既知のカルノーサイクルの圧力－容積図である。
【図２】当技術分野で既知の理想的なスターリングサイクルの圧力－容積図である。
【図３Ａ】本発明の一実施形態による外燃シリンダー用のコイル、磁石およびピストンの構成を示す図である。
【図３Ｂ】図３Ａの実施形態のピストンを分離して示した図である。
【図４】図３Ａ～図３Ｂの外燃シリンダー構成に結合された電気部品を示す概略図である。
【図５Ａ】本発明の一実施形態による図３Ａの機械的構成の代わりに用いることができる代替の実施形態を示す図である。
【図５Ｂ】図５Ａの実施形態のピストンを分離して示した図である。
【図５Ｃ】図５Ａの実施形態の別のピストンを分離して示した図である。
【図６】図２に示したスターリングサイクルに従って発電機として動作するときの、本発明の一実施形態による図３Ａおよび図５Ａの熱エンジンのタイミング図である。
【図７】本発明の一実施形態に従って動作するスターリングサイクル熱ポンプのＰ－Ｖ図である。
【図８】図７のスターリングサイクル熱ポンプのタイミング図である。
【図９】本発明の一実施形態による図３Ａ～図３Ｂおよび図５Ａ～図５Ｃの機械的構成の代わりに用いることができる代替の実施形態を示す図である。
【図１０】本発明の一実施形態による軸方向に対向する熱エンジンを示す図である。
【図１１Ａ】本発明の一実施形態による、平行な中心軸に沿って配置された、図５Ａに示した種類の４つのシリンダーアセンブリの構成を示す図である。
【図１１Ｂ】同４つのシリンダーアセンブリの構成を示す別の図である。
【図１２】図１に示したカルノーサイクルに従って発電機として動作するときの本発明の一実施形態による図３Ａおよび図５Ａの熱エンジンのタイミング図である。
【図１３】本発明の一実施形態による内燃発電機用のピストン構成を示す断面図である。
【図１４】本発明の一実施形態による内燃発電機用のタイミング図である。
【図１５】本発明の一実施形態による内燃発電機が動作することができるオットーサイクルのＰ－Ｖ図である。

【図１】

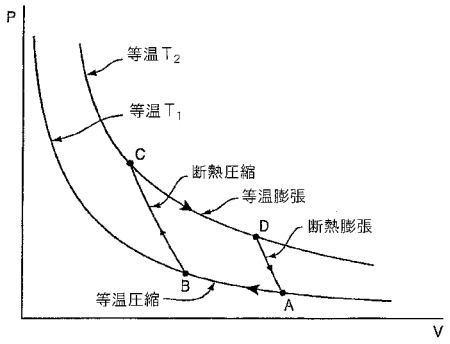


FIG. 1

【図２】

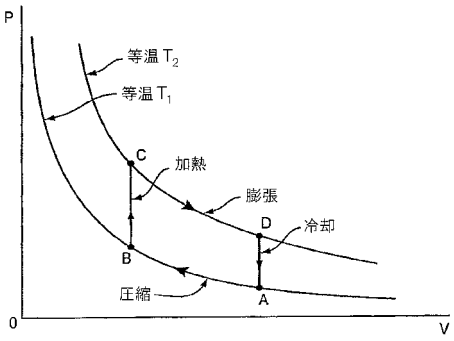


FIG. 2

【図３Ａ】

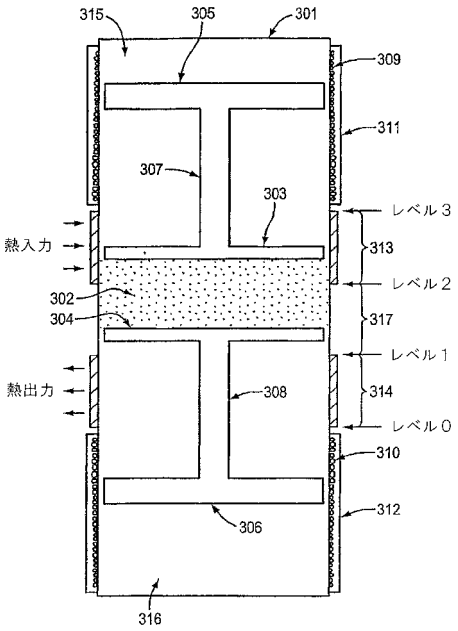


FIG. 3A

【図３Ｂ】

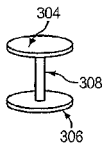


FIG. 3B

【図４】

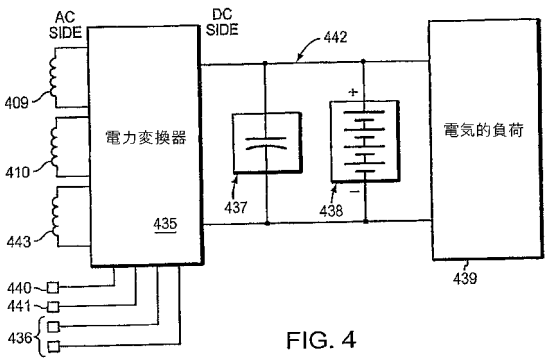


FIG. 4

【図５Ａ】

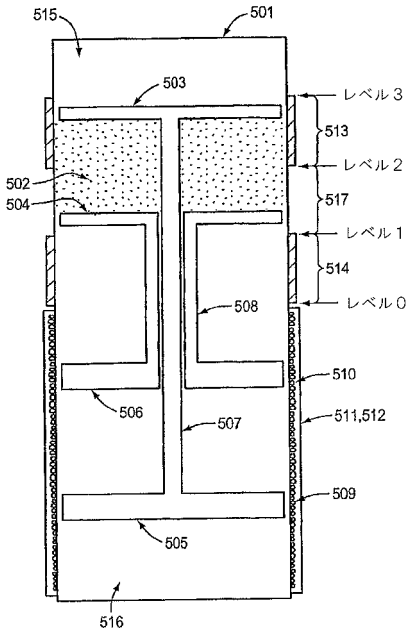


FIG. 5A

【図５Ｂ】

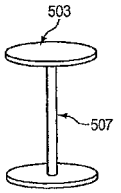


FIG. 5B

【図５Ｃ】

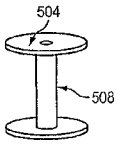


FIG. 5C

【図６】

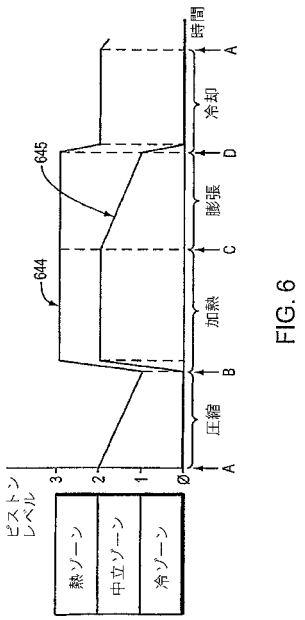


FIG. 6

【図７】

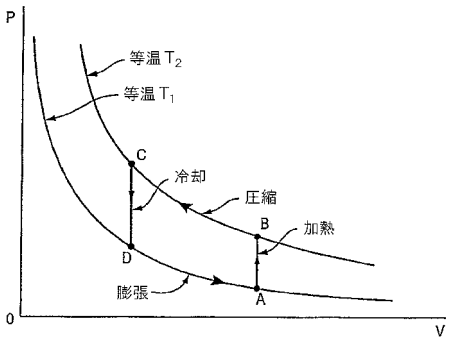


FIG. 7

【図８】

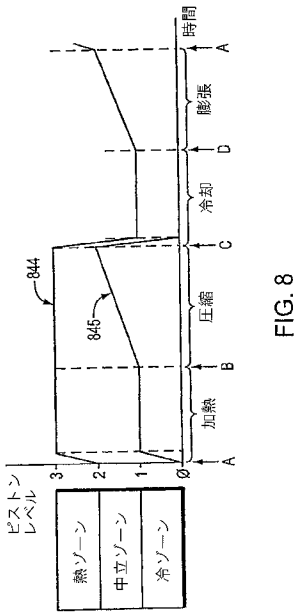


FIG. 8

【図９】

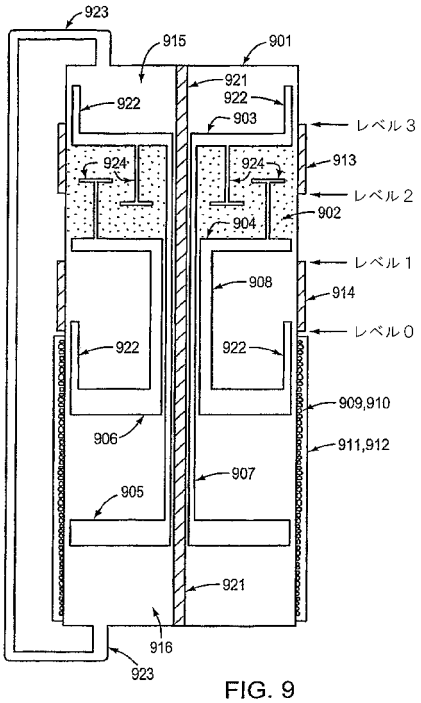


FIG. 9

【図１０】

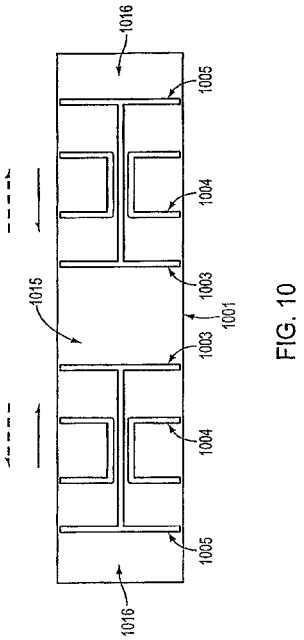


FIG. 10

【図１１Ａ】

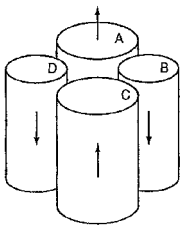


FIG. 11A

【図１１Ｂ】

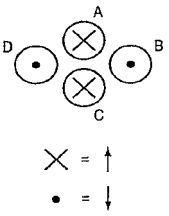


FIG. 11B

【図１２】

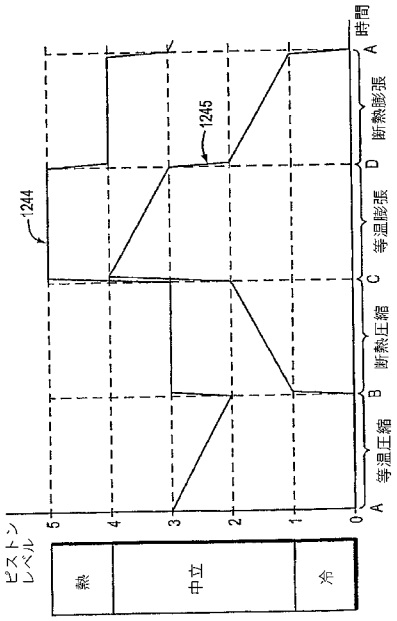


FIG. 12

【図１３】

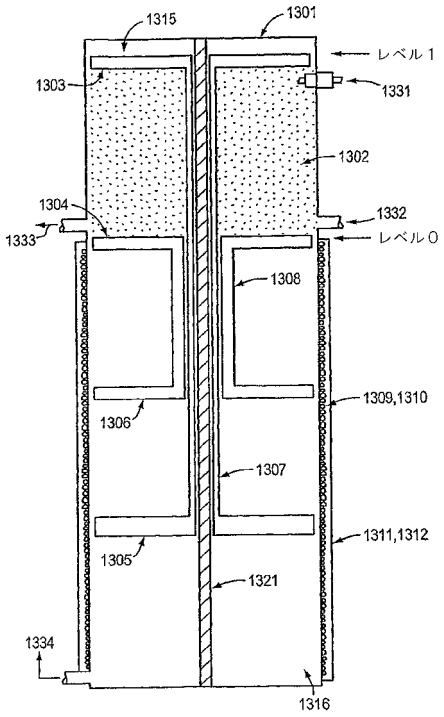


FIG. 13

【図１４】

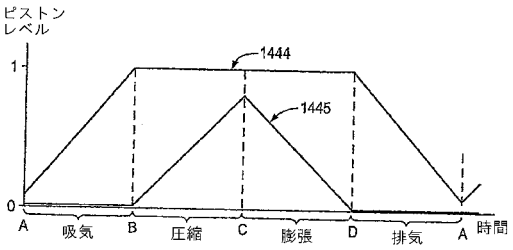


FIG. 14

【図１５】

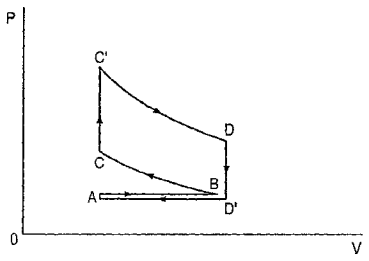


FIG. 15

【手続補正書】
【提出日】平成20年10月10日(2008.10.10)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】請求項５
【補正方法】変更
【補正の内容】
【請求項５】
請求項１に記載の方法において、
前記熱サイクルが外部熱源から熱を受け取る方法。
【手続補正２】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】請求項２６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【請求項２６】
請求項２２に記載の方法において、
前記熱サイクルが外部熱源から熱を受け取る方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2007/000313

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01B11/00 F02B71/04 F02G1/043 H02K7/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01B F02B F02G H02K

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 329 768 A (MOSCRIP WILLIAM M [US]) 19 July 1994 (1994-07-19) columns 8-14	1-42
X Y	WO 01/88353 A (CATERPILLAR INC [US]) 22 November 2001 (2001-11-22) page 5, line 11 - page 7, line 27	1,2, 18-21 3-12, 14-17
X	US 5 775 273 A (BEALE WILLIAM T [US]) 7 July 1998 (1998-07-07) column 3, line 31 - line 48	1,22
X	US 2003/121259 A1 (CONRAD WAYNE ERNEST [CA]) 3 July 2003 (2003-07-03) paragraphs [0142] - [0152]	1

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
2 October 2007	11/10/2007

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Coniglio, Carlo

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2007/000313

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4 589 380 A (COAD GEORGE L [US]) 20 May 1986 (1986-05-20) column 1, line 29 - line 31 column 10, line 51 - column 11, line 37	3-12, 14-17
A	US 4 642 547 A (REDLICH ROBERT W [US]) 10 February 1987 (1987-02-10) column 1, line 1 - column 3, line 40	1
A	US 6 385 972 B1 (FELLOWS OSCAR LEE [US]) 14 May 2002 (2002-05-14) the whole document	1,22
A	WO 03/072909 A (FELLOWS OSCAR L [US]) 4 September 2003 (2003-09-04) the whole document	1,22
A	US 4 926 639 A (MITCHELL MATTHEW P [US] ET AL) 22 May 1990 (1990-05-22) column 7, lines 1-15	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2007/000313

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2007 /000313

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-21

a method for generating electrical energy, involving a piston reciprocating in a cylinder, a thermal cycle and an electrical circuit, with a resulting net power transfer from the thermal cycle to the electrical circuit

---

2. claims: 22-42

a method for powering a heat pump, involving a piston reciprocating in a cylinder, a thermal cycle and an electrical circuit, with a resulting net power transfer from the electrical circuit to the thermal cycle

---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2007/000313

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5329768	A	19-07-1994	NONE		
WO 0188353	A	22-11-2001	AU	4959601 A	26-11-2001
			EP	1196683 A1	17-04-2002
			JP	2003533630 T	11-11-2003
			US	6541875 B1	01-04-2003
US 5775273	A	07-07-1998	AU	8067998 A	25-01-1999
			BR	9810395 A	05-09-2000
			CN	1261944 A	02-08-2000
			EP	0993548 A1	19-04-2000
			JP	2002511130 T	09-04-2002
			US	6035637 A	14-03-2000
			WO	9901651 A1	14-01-1999
			US	6170442 B1	09-01-2001
US 2003121259	A1	03-07-2003	AU	2136901 A	25-06-2001
			CN	1434898 A	06-08-2003
			EP	1238192 A1	11-09-2002
US 4589380	A	20-05-1986	NONE		
US 4642547	A	10-02-1987	NONE		
US 6385972	B1	14-05-2002	NONE		
WO 03072909	A	04-09-2003	NONE		
US 4926639	A	22-05-1990	DE	69007785 D1	05-05-1994
			DE	69007785 T2	20-10-1994
			EP	0461123 A1	18-12-1991
			JP	4502795 T	21-05-1992
			WO	9008890 A1	09-08-1990

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
Ｆ０２Ｇ　1/045　(2006.01)	Ｆ０２Ｇ　1/045　Ｚ	

(81)指定国　AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者　ウッド・ジョナサン・アール
アメリカ合衆国，マサチューセッツ州　０１７７６，サドベリー，サンダー　ロード　３