

沿革

1 - 一般原理

流体の移動あるいは回転運動を発生させる機械は主に2つのグループに分類できます

- ピストン機械
- 一般的に「タービン」と称される機械

ピストン機械の稼働は、ピストンが下位置から上位置の往復運動をする際の容積の変動を利用しています。このように流体、特にガス状の流体の場合は、圧縮あるいは圧縮された流体を負圧することができます。

これらのピストン機械には、往復運動を回転運動、あるいはその反対に転換させるメカニズムが装備されています。

一般的に複雑なこれらのメカニズムには、しばしば連接棒軸受けが使用されますが、カムシャフト、斜板なども見られます。

これらのマシンでは、ピストンは絶えずシリンダ内を摩擦しています。

圧力を維持するために、密閉型のパーツを装備しなければなりません。

コンプレッサーや内熱機関のヒートエンジンなど多くの場合、様々なコンポーネント間の摩擦を最低にし潤滑油の品質を保つために、ピストンパーツ - シリンダーのコンビネーションを冷却しなければなりません。

タービンマシンの稼働は固定子内での翼を装備したロータの回転を基本原理にしています。そのため、動作コンバーターは必要としません。

翼間の容積変動装置がないことから、タービンは高圧では稼働しません。タービンは容積式ではありません。

しかし、次の利点があります。固定子内で翼の摩擦が起こりません。

項目「テクノロジー」では、マシン製造時における最大圧縮比が良くないことを踏まえ、どのようにピストン機械とタービンの利点を両立させるかについて説明しています

- 動作コンバーターがない
- そのコンポーネントがタービン内の無摩擦の作動容積を定義します
- 容積変動と圧力変動を生成することができます
- その中での密閉性は制御された負荷損失により得られます。

沿革

2 - 特殊ケース

2.1 - ヒートエンジンの熱力学

2.11 - 熱力学原理

熱力学原理は次の原理に依存しています

- エネルギーはゼロから発生せず、また消滅することはありません
- エネルギーの形式を転換することができます：熱燃料と機械エネルギー熱
- 熱は作動部品への摩擦などのために、機械運動に完全に転換されません
- エネルギー転換の通常プロセスおよび技術プロセスにはすべて不可逆性があります。プロセスはもっとも確立の高い方向に向かいます。熱は高温から低温にのみ自由に移動します
- 反対に、低温から高温への移動はエネルギー供給のみで起こります。

2.12 - 転換タイプ

熱力学の転換は次に述べる発生条件に依存します。転換：

- 定圧での転換は等圧と称されます
- 定量での転換は等積と称されます
- 定温での転換は等温と称されます
- 熱交換なしの転換は断熱と称されます
- 熱交換がなく無摩擦の転換は等エントロピーと称されます
- 状態変化による転換はポリトロップと称されます。

完全ガスの理論的なサイクルを調べると、L.J.ゲイ・リュサック (1778 - 1850) の一定法則、つまり $PV = RT$ が適用できることから、これらの転換法則を示すことができます。 $PV = RT$ 。リュサックによると、 $PV = R (273,15 + t)$ の近値である定値 $PV = R (267 + t)$ が得られません。

ボイルーマリオットと組み合わせられるゲイ・リュサックの法則により、数年後に「完全ガス」の法則が定義されます。その法式は $PV = nRT$ または $PV = NkT$ で示され、熱力学システムでのガスの単純モデリングをベースにしています。

2.13 - 稼働原則

燃料に含まれる化学エネルギーは、酸素を必要とする燃焼によって熱に転換され、この熱エネルギーはヒートエンジンと称されるマシンを構成するメカニクコンポーネントにより運動エネルギーに転換されます。

沿革

2.14 - ヒートエンジンの分類

燃焼がエンジン内部で行われる場合、内燃機関と呼ばれます。二つの種類があり、どちらも開いた回路です：

- 作動プロセスがサイクルであり、新たな負荷の導入を順次必要とし、燃焼ガスの排出が必要です。往復運動のピストンエンジンがその例です
- 作動プロセスは連続で、負荷交換が常時行われるガスタービンがその例です。

燃焼がエンジン外部で行われる場合、外燃機関と呼ばれます。この場合、作動プロセスは連続となり、閉回路で行われます。エンジン流体は化学的に無変化で交換されることなしに状態変化がなされます。

燃焼外部での空気と燃料の混合状態により均質化を向上させます。外部混合あるいは均質混合と呼ばれます。

混合が燃焼内部で行われる場合は均質条件が劣ります。そのため、不均質となります。内部混合あるいは不均質混合と呼ばれます。

燃焼が電氣的な火花により引火される場合、制御着火と称し、混合が自動発火の温度に達し自然発火する場合は自動着火と呼ばれています。

2.15 - 熱力学サイクル

熱エネルギーの機械エネルギーへの転換は、エンジン流体が状態変化する場合のみに可能です。

この状態変化は一般に2つの状態を示すダイアグラムによって示されます

- 温度の上昇または低下
- 圧力の上昇または低下
- 容積の増加または減少

一般的に、ダイアグラムの座標は次の比率であらわされます

- ダイアグラムP-V内の圧力-容積
- ダイアグラムP-V内の圧力-容積
- ダイアグラムH-S内のエンタルピー-エントロピー

多くの学者は熱力学研究により多くの作動サイクルを提案しています。その内の現在使用されている例のみを紹介します。

沿革

- ボー・ドゥ・ロシャス（1815年－1893年）は1862年、圧縮、4サイクルを発明しました。これは、現在の4サイクルガソリンエンジンのモデルサイクルとなっています。
- N.A. オットーは1867年にこのサイクルによるエンジンを製作しました。しかしこの特許の保有者でないために、訴訟後に作業を断念しています。
- J.ジュール（1818年－1889年）は定圧サイクルを発明しました。これはガスタービンのようなエンジンのモデルサイクルとなっています。
- サバテはあまり知られていませんが、ボー・ドゥ・ロシャスとR.ディーゼルのサイクルの両方を合わせたサイクルを最初に提唱しました。これは多くの人々が間違っって現在「ディーゼルエンジン」と呼んでいる軽油エンジンのモデルサイクルとなっています。

2.16 - 燃料に必要な要素

エンジンに使用される燃料は3つのカテゴリーに分類され、それぞれ必要要素が定められています。

- 均質混合および制御着火エンジン用燃料カテゴリー
- 不均質混合および自動着火エンジン用燃料カテゴリー
- 連続燃焼のガスタービンのようなエンジン用燃料カテゴリー

均質混合用の燃料には、鉛ガソリン、無鉛ガソリン、液体石油ガスなどがあります。

これらのガソリンは揮発性が非常に高く、空気と燃料の均質混合がたやすくなります。しかし、その揮発性のために次のような高い要件が必要とされます。

- 温度による蒸発燃料のパーセントを示す沸騰カーブ
- 蒸気圧力
- 蒸気泡を形成する、燃料傾向を決める蒸気と液体の比率
- タイプや燃料構成要素を決める容積量
- 含有鉛の制限値
- ガソリンのアンチノック性を表すオクタン価

これらの要素は規格化されています。

不均質混合用のガソリンには、軽油があります。

それは様々なハイドロカーボンの混合物で、沸点は摂氏約180度から360度の間です。

軽油に必要とされる主な要素：

- 容積量
- 沸騰カーブ

沿革

- 動粘性率
- 引火点
- セタン価

これらの要素もまた規格化されています。

ガスタービン用燃料に必要とされる主な要素は、次のものに限られています。

- 粘性
- 特に硫黄、ナトリウム、バナジウム、鉛などの不純物の量

燃料について必要とされる要素がより少ないのは外燃機関です。エンジン流体と燃焼ガスは同じものでないことがあります。燃料が早く、残留物質を残さずに燃焼するだけで十分です。

2.17 - 燃焼

次の2つの方法で燃焼されます。

- 補給後の往復ピストンエンジンでのサイクル運動；
- ガスタービンのようなエンジンでの連続運動。

サイクル燃焼には多くの問題が発生します。瞬時にサイクル燃焼が行われなければなりません。4サイクルエンジンの回転は分6,000回で、1サイクルは $1/(6000/2/60) = 1/50 = 0.02$ 秒となります。

サイクルには吸気、圧縮、膨張、負圧が含まれ、燃焼は膨張時でのみ起こることから、燃焼時間は $0.02/4 = 0.005$ 秒となります。

この時間は2サイクルエンジンでは約3分の1となります。

均質エンジンおよび制御着火エンジンでは、発火は一定時間で行われ、混合気の構成のみに依存します。一方で、熱の発散は燃焼室の形状と着火点の場所により決まります。

燃焼速度は炎の伝播プロセス、乱流の強さ、未燃焼の混合燃料温度などにより決まります。

発火時間は一定で発火が膨張前となることから、燃料に含まれる熱エネルギーが膨張時の機械エネルギーへの転換時に最高となるために、着火時の調整装置が必要となります。

不均質エンジンでは、自己発火は圧縮が終了する直前に行われます。燃料は摂氏700度から900度に温められた圧縮空気内に注入されます。

沿革

燃焼には2つの段階があり、これはサバテサイクルによる燃焼を示しています。

- 着火開始前の燃料の注入中の段階：ポー・ドゥ・ロシャスのサイクルのとおり、熱等積です。
- 燃焼開始後の注入された燃料が燃焼する段階：R.ディーゼルのサイクルのとおり、熱等圧を供給します。

ガスタービンあるいは外燃機関での連続燃焼は安定し、規則的なものでなければなりません。これは基本要件です。

2.18 - 熱力学効率

ヒートエンジンの熱力学効率は分散熱量、つまり損失熱量に依存します。これは次のものに等しい。

$$\eta = (\theta' - \theta'') / \theta''$$

ここでは η 効率
 θ' 得られた熱量および
 θ'' 分散熱量

2.2 - ヒートエンジンの機械構造

2.21 - 4サイクルおよび2サイクルレシプロガソリンエンジン

レシプロガソリンエンジンは、空気と燃料の均等混合と制御着火によるエンジンです。

燃料は主にガソリンですが、液化石油ガスなどの代替物もあります。

混合は、燃料がサイクルで注入されるキャブレターの中で行われるか、吸気管内で間接的に、もしくはシリンダー内で直接的に行われます。

混合気は定期的にシリンダー内で15から25バールの圧力で圧縮されます。

摂氏400度から600度に達する圧縮温度は自動発火点以下であり、混合気は熱エネルギーへの燃料転換を得るために着火される必要があります。

火花による発火は瞬時に行われます。着火により圧力は圧縮後の約7倍まで増加しますが、実効平均圧力は圧力後の圧力程度でしかありません。

沿革

これらの値は多くの変数が同時に介入することから、正確に計算することができません。そのため、ガソリンエンジンの製造は経験に依存することが多い理由の一つとなっています。

補充は4サイクルエンジンではバルブで、2サイクルエンジンでは下死点近くにある排気口を通して行われます。

つくりだされる有効作動は、コンロッドベアリングによってクランク端でエンジントルクに転換されます。コンロッドベアリングは複雑で、エンストしないように毎分800から1,200回転でアイドルリングしなければなりません。このため、交通渋滞の場合は特に燃費が高くなります。

よって、次のことが考えられます。

- 最大に圧力をかけた際のメカニカルコンポーネントの最高疲労と平均疲労の関係は、平均有効圧力における最大圧力と同じです。
- これらのコンポーネントの大きさは平均有効圧力によってではなく、安全率を加えた最高圧力によって決定されることから、非常に大きなサイズのコンポーネントが必要となります。

ガソリンエンジンの利点

- 何十年にもわたり培われてきたコンセプト
- ガソリンエンジンを基にした経済構造
- 高圧に有利なピストン/シリンダー構造

ガソリンエンジンの不利な点

- 高度な燃料が必要
- 最高圧力/最小圧力比が乏しい
- 非効率：燃料に含まれる約30%の熱エネルギーのみが機械エネルギーに転換される
- 有毒排気ガスが比較的高いNO, HC, CO
- 騒音
- 変速機が必要

2.22 - 4サイクルおよび2サイクル軽油レシプロエンジン

軽油レシプロガソリンエンジンは、空気と燃料の不均等混合によるエンジンです。

混合はシリンダー内あるいはシリンダーヘッド内の燃焼室で行われますが、シリンダーの中を通ります。リカルド燃焼室がその一例です。

沿革

各行程は次の例外を除きガソリンエンジンと同様です

- 空気が30から55バールに圧縮される
- 自己発火点を超えないように、圧縮温度は摂氏700度から900度とされる
- 注入は上死点直前に行われる
- 最大圧力は200バールに達することがあるが、一般的には約150バールで、実験用エンジンでは240バールまで達した
- 自然給気軽油エンジンでは、実効平均圧力は圧縮後の圧力の30%を超えないが、過給冷却付エンジンでは圧縮後の圧力までしか得られない

自己点火の失敗による次サイクルの圧力上昇を考慮しなければならないため、軽油注入エンジンでの安全域はガソリンエンジンよりも大きくなります。

軽油エンジンでの圧縮が大きく、自然点火で圧力が急上昇するため重いエンジンが必要となります。

不均質混合エンジンは最高負荷時でも大量に過度の空気を必要とするため、軽油エンジンの容積パワーは弱くなります。

軽油エンジンの利点

- 長年にわたり培われてきたコンセプト
- 軽油エンジンを基にした商業構造
- 高圧に有利なピストン/シリンダー構造

軽油エンジンの不利な点

- 製造原価が高い
- 最高圧力/最小圧力比が非常に乏しい
- 容積パワーが弱く、通常、軽油エンジンのシリンダー容積は同じパワーのガソリンエンジンの1.5倍になります
- 非効率：燃料に含まれる約30%の熱エネルギーのみが機械エネルギーに転換されます
- 排気率が悪い煤煙と不燃焼物
- 騒音が大きい
- 大容量の変速機が必要

2.23 - ガスタービン

レシプロガソリンエンジンは、空気と燃料の不均質混合と持続燃焼によるエンジンです。

沿革

これは、液体、ガス、乳状の燃料使用が可能な多燃エンジンです。

混合により高い燃焼率が得られるよう、混合は燃焼空気中に燃料を分布させるインジェクタのある分離燃焼室内で行われます。

圧縮が起こり、ハウジング内を無摩擦で回転するタービン翼で作動します。

このような構造により高い回転が得られ、ガス最高速度は約0.8から0.9マッハを基準に計算されていますが、システム内の場所によってはガス流体が音速を超えることもあります。

吸気はまず約4から6バールまで圧縮され、温度を上昇させる熱交換器を通り燃焼室に達します。燃焼室では、燃料と混ざりガスとなり、燃焼することで温度を上昇させ、容積を増加させます。ガスは一部の熱エネルギーを作動タービンに転換し、必要があれば他の一部を熱交換器に転換して、残りを大気中に放出します。

作動圧力があまり高くないために、パワーはタービンサイズに依存する回転数によってのみ得られます。このことから、自動車用ガスタービンの回転範囲は毎分8,000から70,000回転となります。

ガスタービンの利点

- 多燃料での稼働
- 安定的な動き
- 最高圧力/最小圧力比が良い
- 装置なしでの排気値が良い

ガスタービンの不利な点

- 非効率：燃料に含まれる約30%以下の熱エネルギーのみが機械エネルギーに転換されません。
- 作動圧が弱い
- 回転率が高くなりすぎることがしばしばある
- 製造コストが高い
- 燃費が非常に高い
- 低出力に不適合
- ガス速度による騒音
- 高価な減速機が必要

沿革

2.24 - 潤滑

最も一般的に使われているエンジンですが、その潤滑作用は最も複雑です。レシプロエンジンでは多くの部分で潤滑を行わなければなりません。特に、ピストン-パーツ-シリンダのコンビや、潤滑の観点から構造が最もデリケートとされるライナでは行う必要があります。

- 燃焼については、可能な限り完全に近い形で行うために、温度は2,000K以上で行う必要があります。
- シリンダ内のピストンガイドの潤滑油の作用温度は、摂氏125度を超えてはなりません。

この点では、ガスタービンはタービンがハウジングと接触しないことから最も便利といえます。

2.25 - 冷却

油は燃焼されると潤滑力を失うことから、レシプロエンジンの構造を鑑みると、油の潤滑力を保つために、燃焼により発生する熱と接する部分は特に冷却される必要があります。

この冷却により、燃料に含まれる熱エネルギーの30%以上が強制的に排除されます。つまり、一方で作りだしたものを、もう一方で排除することになります。

2.25 - 排気ガス

レシプロエンジンでは、燃料に含まれる熱エネルギーの30%以上が排気によって分散されます。

- 熱の形で排気されます。膨張容積が圧縮容積と同じであることから、燃焼時に加えられる熱量に対する比率において、前述の膨張容積は圧縮容積より大きくなりません。
- 一部ハイドロカーボンとして、もしくは全くの不燃焼物として排気されます。これは、状態を完全に变化させるために燃料に必要な時間が非常に短く、つまり0.002秒から0.01秒では十分ではないことから、十分な酸素処理を行うための空気と燃料比が常に良くないためです。

ガスタービンでは、膨張や排気による喪失を抑える冷却には、ガスが燃焼されるまでの時間が非常に短すぎます。燃料に含まれる熱エネルギーの70%から80%が、熱交換器によって圧縮空気に一部転移される場合を除き、熱として発散されます。

沿革

2.3 - 総括と結論

2.31 - 総括

統括のため、次の比較表を作成しました

比較対象	レシプロガソリンエンジン	軽油レシプロエンジン	ガスタービン
膨張容積/作業容積比	1に等しい	1に等しい	1以上
熱交換	不可能	不可能	可能
燃料の選択	規格化	規格化	自由
燃焼方法	サイクル	サイクル	連続
耐圧	高い	高い	わずか
- 最大圧力/ 平均有効圧力比	悪い	悪い	良い
熱エネルギーの機械 エネルギーへの転換	状況により30～35%	状況により30～35%	状況により20～30%
冷却システムによる喪失	状況により30～35%	状況により30～35%	なし
排気システムによる損失	状況により30～35%	状況により30～35%	状況により70～80%
排気ガス	有毒	有毒	受容範囲
騒音レベル	高い	高い	高い
作動容積内での摩擦	有	有	無
作動容積内での潤滑	困難	困難	不要
冷却	必須	必須	不要
変速機	必須	必須	
回転減速機			必須

2.32 - 結論

ヒートエンジンの製造には、次の点を考慮する必要があります。

- 燃料について必要とされる要素がより少ないのは外燃機関です。エンジン流体と燃焼ガスは同じものでないことがあります。燃料が早く、残留物質を残さずに燃焼するだけで十分です。
- ガスタービンあるいは外燃機関での連続燃焼は安定し、規則的なものでなければなりません。これは基本要件です。

沿革

- ガソリンエンジンの利点高圧に適したピストン/シリンダー構造
- 軽油エンジンの利点高圧に適したピストン/シリンダー構造
- ガスタービンの利点多燃料での稼働、安定的な動き、最大圧力/平均有効圧力比が良い、装置なしでの排気値が良い

説明書をつくる上で次の項目を考慮しなければなりません。

- 外燃エンジン
- 多燃料での稼働
- 高圧に適した構造
- 高圧に適した構造
- 安定的で静かな動き
- 最大圧力/平均有効圧力比の良さ
- 排気システムが不要な、無装置での排気値が良い
- 作動容積内での潤滑が起こらない
- 作動容積内での冷却が起こらない
- 変速機がない
- 動作コンバーターがない

動作コンバーターがない「テクノロジー」および「適用」で、この仕様の説明がされています。