

教えて!

ちいさな疑問にくわしく答えます

質問箱 第6回

Q1 ドループとアイソクロナスの違いは?

A1 どちらも速度ガバナの負荷に対する速度の設定の仕方、ドループ制御がエンジンの負荷が増加するにつれてガバナの速度調節の目標値を下げるようにするもの、アイソクロナス制御がエンジンの負荷のよらずガバナの速度調節の目標値を一定に保つものです。これらの傾向は「図1」に、ドループが右下がりの直線、アイソクロナスが100%速度の水平の直線で表されています。エンジン発電機を単独で運転するのであれば、ガバナがどちらの特性に設定されていてもかまいません。無限大に近い容量をもち周波数の安定している商用電源と並列運転をするのであれば、ガバナにドループ特性をもたせなければなりません。

ガバナは一般に、図2の青と青のグラフのように速度のレベルを、青と黒のグラフのようにドループの傾斜をそれぞれ独立に調節できるように作られています。

まず、エンジン発電機を商用電源と並列させる場合を見てみましょう。発電機を並列させるには、少なくとも電圧、位相、周波数が一致(同期)していることが必要です。図2のA点で運転している状態から、速度レベルを上げればエンジンへの負荷が増加し、B点のように移動します。逆に速度レベルを下げればエンジンへの負荷が減少するので、この速度レベル

を調節することによってエンジンへの負荷を加減できます。当然、速度レベルを上げすぎれば過負荷になり、下げすぎれば商用電源からの電力が逆流して発電機がモータリングされる危険があります。無負荷に近いところでは発電機の界磁の磁力が弱くガバナの応答も緩慢になるので、速度レベルを調節する際に、同期がずれたりモータリングが起きて、逆電力の保護装置が動作することがあります。あまり粘らないで、負荷が少なくなってきたら並列を解くのが安全ですし、燃料の節約にもなります。一台をアイソクロナス特性、他をドループ特性とすれば、ドループ特性のエンジンに常に一定の負荷で運転することになります。

ドループ特性では、エンジンの定格出力に対する負荷の割合でエンジンの速度が決まるので、エンジンの定格出力が異なっても、ドループ特性の傾斜とレベルが一致していればすべてのエンジンの負荷率が揃うことになります。当然、ドループの特性がずれていれば過負荷も逆電力も起こり得るので、それらを避けられる余裕の範囲内で運転できるように特性を揃えます。負荷が小さくなったときに並列を解除する注意は、前と同じです。

アイソクロナス特性のエンジン発電機同士を並列運転するには、負荷分担機能を備えた電気式ガバナを使用します。これは発電機の電圧、電流などの信号をガバナの間で共有して、電氣的にガバナの速度調節信号を加減します。ガバナとエンジンの特性、負荷の状態によっては、低負荷の場合に、負荷の総

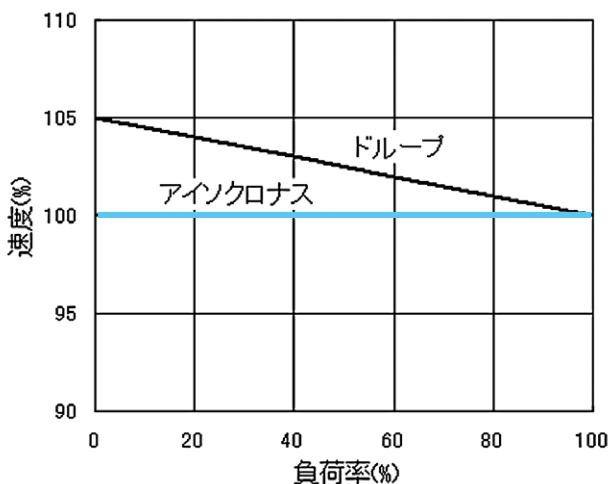


図1 - ガバナ特性の種類

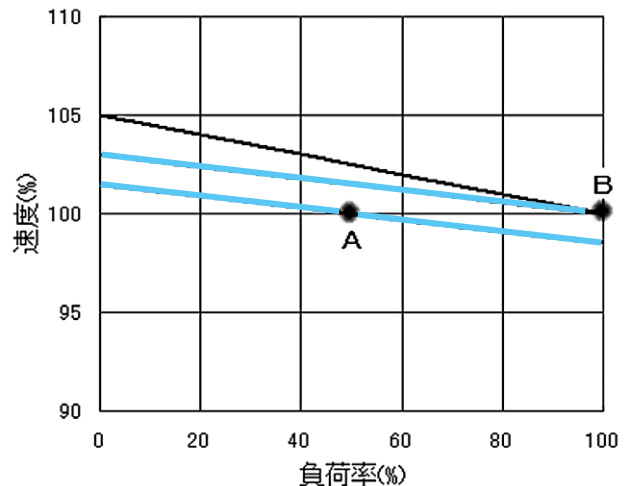


図2 - 特性の設定

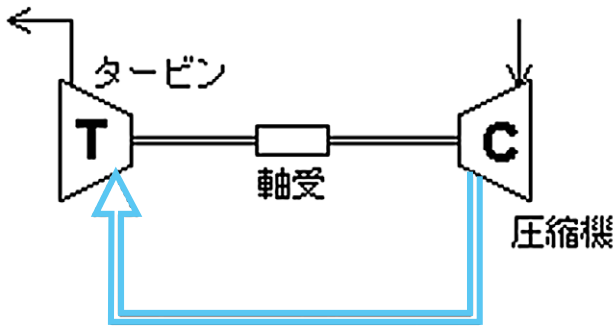


図3 - 過給機

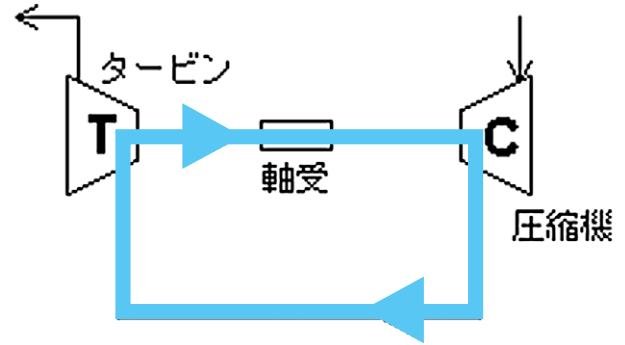


図4 - エネルギー循環 (断熱)

量が変わらないのに分担の比率がゆっくりと大きく変動するということがあります。気味がわるければ早めに並列を解きます。

Q2 過給機を付けるとエンジンの燃費が良くなるのはなぜ？

A2 燃費が良くなるのは、過給機で大量の空気をエンジンに供給でき、それだけ多くの燃料を燃やして出力を大きくできることによります。同じ排気量のエンジンでは、出力が大きくなったときに機械損失(ピストンや軸受の摩擦損失)の増加の割合が少なめになります。この差が燃費の向上に貢献します。

過給機は、図3のように圧縮機とタービンとを軸で繋いだ簡単な構成です。圧縮機は、高速で回転する羽根車が空気を押すことで速度を増加させ、羽根車を出たところで流路を広げて圧力を高めます。圧縮された空気は、圧力と温度を上昇させるというかたちで羽根車からエネルギーを受け取ります。この過程で、空気が摩擦などの熱のかたちでエネルギーの出し入れがなければ、これを断熱圧縮と呼びます。現実には必ず摩擦が働くので空気が加熱され、同じ圧力まで圧縮するのにその分だけ多くのエネルギーが羽根車に必要になります。タービンは圧縮機とは逆に、ガスがタービンを通過して膨張する間に失うエネルギーを羽根車へ動力として移すものです。この時、摩擦などの熱のかたちでエネルギーの出し入れがなければ、これを断熱膨張と呼びます。圧縮機と同様にガスから熱のかたちでエネルギーの出し入れがあれば、その分だけ羽根車へ移される動力が減り、減った分は熱エネルギーのままタービンを出ていきます。圧縮機とタービンとを繋ぐ軸に軸受けなどでのエネルギーの損失がなければ、タービンで吸収されたエネルギーはすべて圧縮機へ伝えられます。

過給機のパフォーマンスは、その構成要素での損失の多寡を表す効率で示されます。圧縮機効率は、損失がある場合に必要な動力に対する断熱圧縮の場合の動力の

比、タービン効率は、断熱膨張の場合の動力に対する損失がある場合に必要の動力の比、そして軸がタービンから受け取る動力に対する圧縮機へ伝える動力の比を機械効率と呼びます。過給機としての性能は、これら三つの効率の積で表し、総合効率と呼びます。効率は、計算するとき以外は百分率で表現します。

ここで、現実にはありえない話ですが、すべての効率が100%であるような過給機を考えてみましょう。この時、タービンを通過するガスが断熱膨張で失ったエネルギーは軸を通してすべて圧縮機の羽根車へ伝えられ、そして圧縮機を通過する空気を断熱圧縮することですべて空気へ伝えられます。この空気をそのままタービンへ送れば、図4のように一定のエネルギーがこの系を循環することになります。このようであれば過給機のロータ(回転体)はエネルギーを失うことなく一定の速度で回り続け、過給機の出口からタービンの入口までは高い圧力が維持されます。

さて、ここで現実にもどって各効率が100%より小さいとしてみましょう。圧縮機の効率が100%より小さい、損失があるといっても、これは羽根車から空気に伝えられるエネルギーが断熱圧縮だけに消費されていないというだけの意味ですから、軸から羽根車に伝えられたエネルギーは、すべて空気に伝えられています。この空気がタービンに入ると、今度は

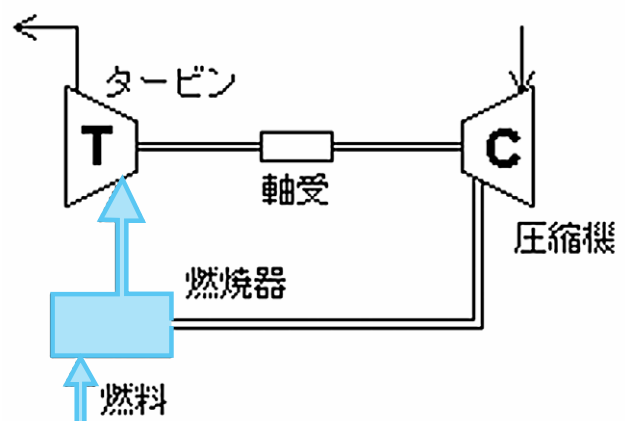


図5 - 空気加熱

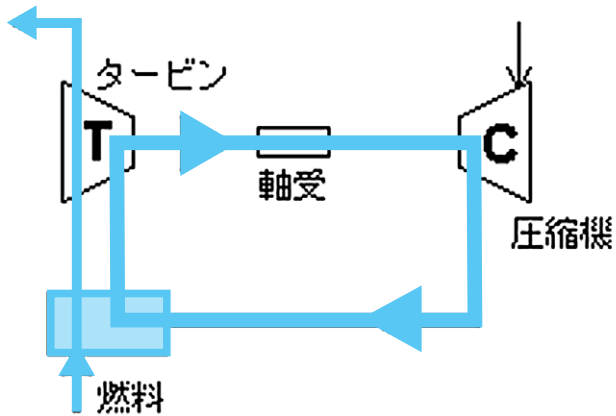


図6 - エネルギー流れ (非断熱)

空気が断熱膨張できないだけ動力として羽根車に移されるエネルギーが少なくなり、さらに軸からの損失もあるので、循環するエネルギーが急速に減少しロータは速度を失うこととなります。一定の速度を維持するには、図5のようにタービン入口へ向かう空気を加熱して、タービンと軸での損失に見合う動力を発生させるようにします。このように、過給機が一定の速度で運転するには圧縮機出口の空気を加熱する必要があります。こうしてロータが一定の速度を維持できれば、そこには図6のように循環エネルギーが存在し、それ以外のエネルギーはタービンを素通りしているように見ることができます。素通りするエネルギーが多ければ循環エネルギーも大きく、過給機の回転速度は高くなります。燃料の流量を加減することで回転速度を調節できるわけで、これはガスタービンと同じです。

このように見てくると、過給機はエンジンの排気の熱を利用してはいても回収はしていないことがわかります。過給機の圧縮機出口には空気の温度を下げ

て密度を高めるために冷却器を設けることもありますから、エネルギーの損失はさらに増えることになります。過給機の軸受けの損失と冷却器での損失は、図6のタービンを素通りするはずのエネルギーから補填されることになります。図7にターボ過給エンジンの構成を示します。このように過給機は排気の熱を利用しますが、回収しているわけではありません。

過給機を利用すれば、より多くの空気をエンジンに送ることでより多くの燃料を燃焼させ、出力を増大させることができます。エンジンの中でピストンがガスから受け取る動力(これを図示出力と呼びます)の一部は、ピストンとシリンダとの摩擦や軸受の摩擦など機械損失として失われ、残りが負荷を駆動する軸出力になります。機械損失はシリンダの最高圧力に関係し、最高圧力は自発火までに噴射された燃料の量に支配されるので、燃料の流量が増えるほどには増えません。ターボ過給エンジンの速度を一定とした場合の燃料流量に対するこれらの変化の例を図8に示します。二本の(近似的な)直線は、上側が図示出力で、定格点での図示出力に対する割合で表してあります。下側の直線が機械損失で、これも定格点での図示出力に対する割合で表してあります。これら二本の直線の交点が無負荷運転点で、図示出力がすべて機械損失として失われています。図示出力は燃料流量にほぼ正比例して増加していきますが、機械損失の方は原点のすこし上から比較的緩慢にしか増加しません。図8に示した機械損失率のグラフは、燃料の発熱量に対する機械損失の割合を示します。この特性はエンジン本体の特性であり、同じ排気量のエンジンでより多くの燃料を燃やせば、摩擦損失の割合が小さくなり燃費がよくなる。これが過給機の燃費に対する効果です。

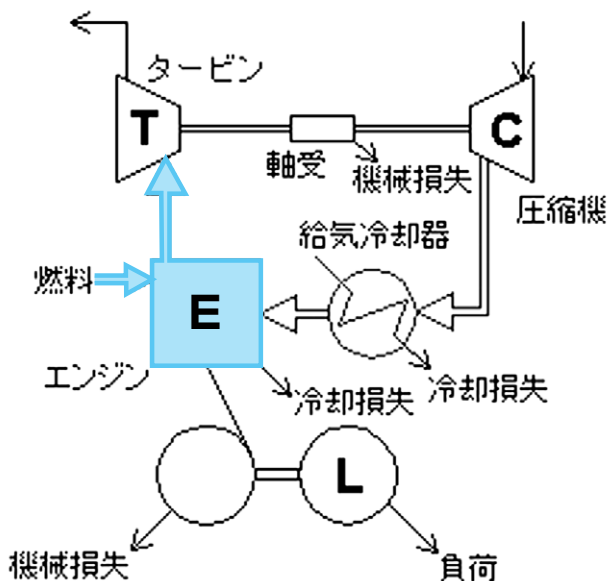


図7 - ターボ過給エンジン

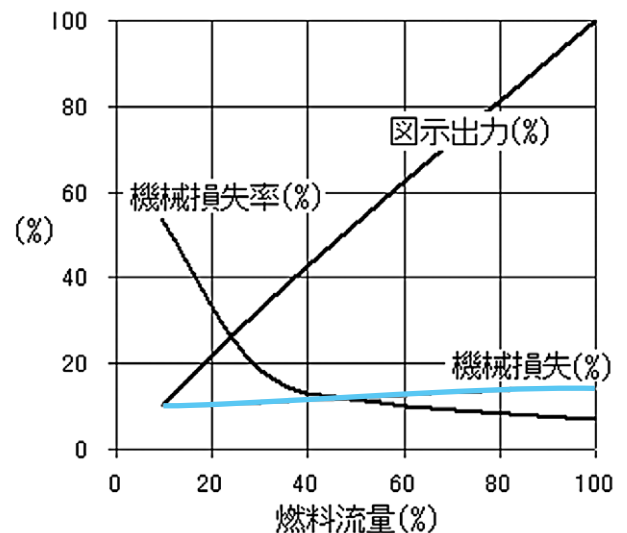


図8 - 機械損失率