

エコパイロットのしくみ

ビルやホテルなどの快適な空調には多くのエネルギーが使われています。エコパイロットは、この空調の省エネルギーに活躍しています。

夏場の強力な太陽光。窓や壁から室内にも熱が伝わってきます。この熱を室内から回収し、代わりに冷たい空気を送り込むのが空調の役目です。暑くなった空気は、冷たい水で冷やされ、大きなファンの力でダクトから快適な冷風として送り出されます。この役目をするのが空調機です。空気を冷やす冷たい水は、地下の大型の冷凍機で作ります。この冷たい水をビルの全館に送っているのが空調ポンプです。(図1参照)

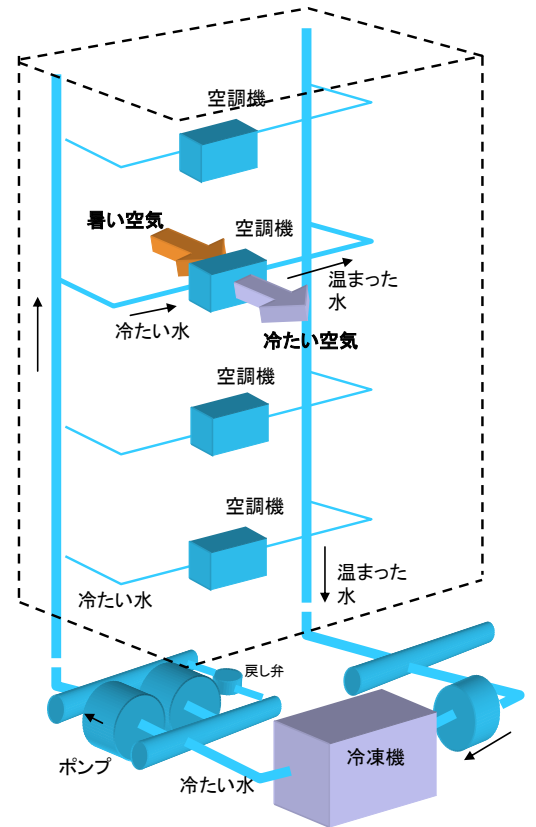
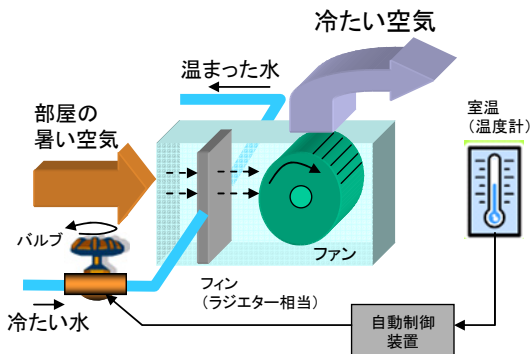


図1 空調の仕組み



【制御】室温が高ければバルブを開け冷たい水を流す。適温ならバルブを閉める。

図2 空調機のしくみ

目的の室温になるように、冷風を送り出す空調機。空調機は冷たい水の量をバルブで自動調節して、冷房能力(空気の熱を取り去る能力)を調整しています。つまり、室内が暑いと冷たい水がたくさん流れ、快適な温度になるとバルブが閉まり、冷たい水は少ししか流れなくなるのです。(図2参照)

冷たい水をパイプに流すためには、ポンプで圧力をかける^(*) 必要があります。夏場の晴天時の正午過ぎ、ビルの中にも大量の熱が伝わってきます。このため、全館の空調機で大量の冷たい水が必要になります。この大量の水が送れるように、大きな冷凍機とポンプが使われているのです。

* ポンプは羽根車をモーターで回し、遠心力の力で水に圧力をかけています。

一方、大量の水をパイプに流すと、水のスピードは非常に速くなります。水のスピードが速くなると、大きな流体抵抗が発生するため、この抵抗に打ち勝って送るためには、高い圧力が必要になるのです。^(*) これは、ちょうど、スポーツカーが速いスピードで走ると、空気抵抗が大きくなるため、大馬力のエンジンが必要になるのと同じです。

* 流体抵抗は水のスピードの2乗に比例して増加します。

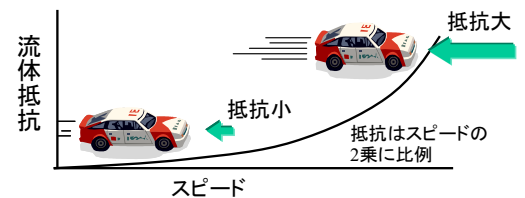


図3 スピードと抵抗

しかし、冷房の能力いっぱいが必要になるのは、夏場のお天気の良い正午過ぎだけ。夕方になれば涼しくなりますし、春や秋は冷房もさほど必要になりません。このとき、取り去るべき熱が少なくなるため、ほとんどの空調機のバルブは閉じてしまい、冷たい水の必要量は最盛期の半分から1/10くらいまでに減ってしまいます。

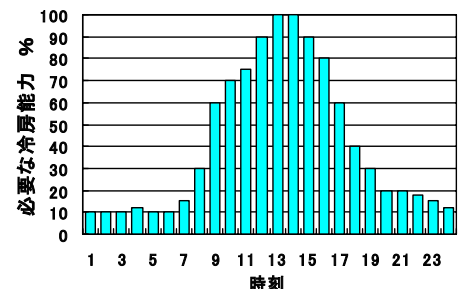


図4 冷たい水の毎時必要量

流れる水の量が少なくなると、2つの無駄が発生してしまいます。

①第一の無駄: 汲み上げた水を元に戻す無駄

バルブが閉じられた状態でポンプを回すと、汲み上げられた水は行き場を失い、ついには空調機やパイプが破裂してしまいます。これを防ぐためにポンプの圧力を一定値に抑えるように、ポンプの横にある戻し弁という

エコパイロットのしくみ

バルブを開けて、水をポンプの入り口に戻しています。これでは汲み上げた水を元に戻すため無駄が発生します。

②第二の無駄： 流体抵抗が小さくなりポンプの能力が過剰になる無駄

冷たい水の量が減ると、水のスピードが下がり、先ほどの流体抵抗も大幅(*)に小さくなってしまいます。ポンプの役目は、流体抵抗に打ち勝って、冷たい水を空調機まで送り届けることにあります。流体抵抗が小さければ、大きなポンプは不要です。小さなポンプでも水を送り届けることができます。目立ちませんが、この無駄は第一の無駄より大きくなります。* 抵抗はスピードの2乗に比例(スピード1/2なら抵抗は1/4) 抵抗が1/4ならポンプの送水圧力(大きさ)も1/4でOK。

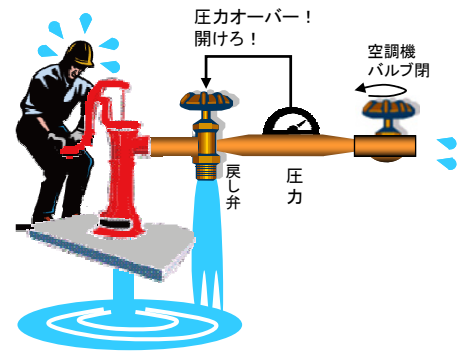


図5 汲み上げて戻す無駄

これらの無駄を省く技術を紹介します。第一の無駄も第二の無駄も、ポンプの能力を絞ることで削減できます。ポンプの能力を絞るにはインバータという装置を用います。ポンプは常に一定の回転数(交流の周波数で決まる固定値)で羽根車を回していますが、このポンプにインバータをつけると、その回転数を変えることができます。回転数を落とすと、送水する圧力も、送水できる水の量も減らすことができ、さらに、ポンプの消費電力も劇的(*)に減らすことができるのです。

* ポンプの消費電力はポンプの回転数の3乗に比例します。

第一の無駄はインバータをつけて、回転数を下げ、ポンプの圧力を下げることで防ぎます。バルブを開けて水に戻すのではなく、回転数を下げてポンプの圧力を一定値に保つのです。これによる省エネ効果は2割から3割程度(ポンプの消費電力の20~30%削減)が期待できます。これが空調ポンプの一般的な省エネ技術(圧力一定制御)です。

第二の無駄を省くのは、もう少し手間がかかります。まず、流れる水の量、すなわち水のスピードを測ります。流体抵抗は、このスピードによって、大きく変動しますので、流れる水の量(流量)による流体抵抗に打ち勝つ、ぎりぎりの圧力(送水圧力)を計算し、これを満たすように、ポンプの回転数を落とします。これによって、冷たい水を最小限のエネルギーで送ることができるのです。これがエコパイロットの省エネ技術です。

エコパイロットでポンプの回転数を制御すると、例えば、冷たい水の量が半分になると、回転数も半分で済みます。回転数と電力の関係は3乗の関係になりますので、ポンプを回す電力は1/2の3乗、すなわち1/8になります。つまり87.5%の省エネルギー効果が得られます。

* 一般的な圧力一定制御では、圧力一定の条件で動作させるため、回転数の利用範囲が狭く、大きな効果は得られません。

* エコパイロットの制御は第一の無駄と第二の無駄の両方を防ぎます。

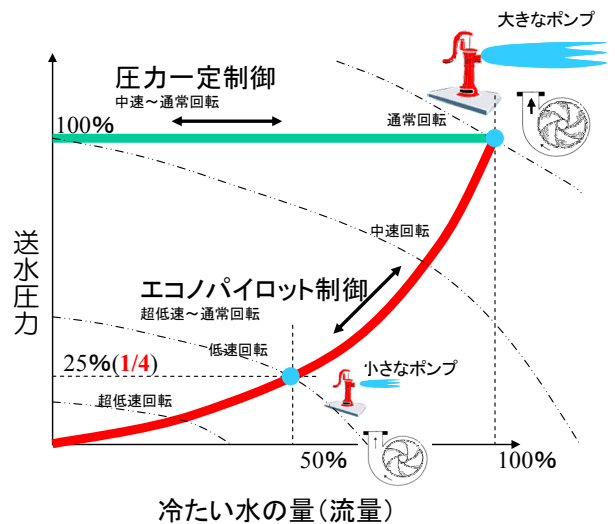


図6 超低速回転を使うエコパイロット制御

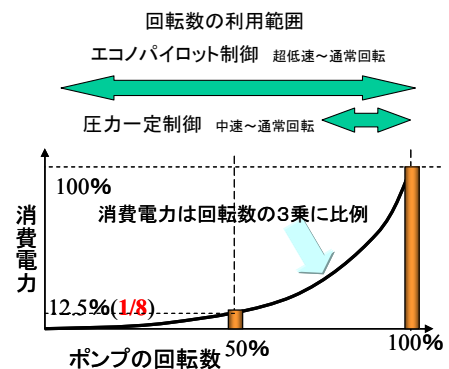


図7 回転数と消費電力

この大きな省エネ効果は、原理としては以前からわかっていましたが、年間を通して安定して、理論値に迫る効果をだせるように技術開発を行い、製品化したのがエコパイロットです。エコパイロットは、既存の設備にコントローラを追加するだけの手軽さで、驚くべき省エネ効果を発揮します。

エコパイロットのしくみ

補足資料(Q&A)

Q: なぜ、これまでは圧力を一定にしていたのですか？

A: ポンプは、送水する水の量が少なくても、夏場の最盛期と同じ圧力をかけるようになっていました。これは、いつ大量の水が必要になっても良いように、常に一定の圧力をかけるように制御されているからです。逆に言うと、水の量が少なくなったときに、圧力を下げるのは、とても難しいのです。圧力を下げすぎると、広い館内のすべてに水を回すことができず、冷たい水が来なくなった空調機は冷房ができなくなります。このように「快適性」という空調の最大の機能を果たせなくなる場合があるため、送水圧力を一定に保つようになっていました。エコパイロットでは、圧力を下げすぎないように配慮しており、安心して省エネ効果だけを手に入れることができます。

Q: 空調ポンプの一般的な省エネ技術(インバータをつける)と何が違うのですか？

A: ポンプにインバータをつけて省エネルギーを行うことは広く行われています。このとき、ポンプの送水圧力は、インバータを導入する前と同じように、流れる水の量が変わっても常に同じ圧力になるようにしていました。この場合、省エネルギーできるのは、汲み上げた水を元に戻すという無駄の部分だけになり、省エネ効果はあまり大きくなりません。エコパイロットは、さらに、流れる水の量によって決まる流体抵抗に合わせるように、送水する圧力を減らします。この効果は大変大きく、このため、「インバータのターボチャージャ」という言葉を頂いています。

Q: 暖房のときはどうなりますか？

A: 暖房のときはお湯で空気を温め送風します。このお湯は、ボイラーなどの熱源装置で作ります。送水の仕組みやエコパイロットの動作は冷房の時と同じです。

エコパイロットのしくみ

補足資料 (Q&A)

Q: なぜ、ポンプの消費電力はポンプの回転数の3乗に比例するのですか？

A: 一般的な空調用ポンプは遠心力を利用しています。これは雨傘を回転させると水滴を飛ばすこと、洗濯機の中の水が洗濯槽の周囲で盛り上がることで実感できます。このように水を回して遠心力を与え、その力で流体を動かすというのが空調用のポンプの原理です。下図のように、中心部から吸い込んだ水は、回転する羽根車で遠心力を与えられて押し出され、ケーシングの円筒形の中で整流されて吹き出し口から流れ出します。

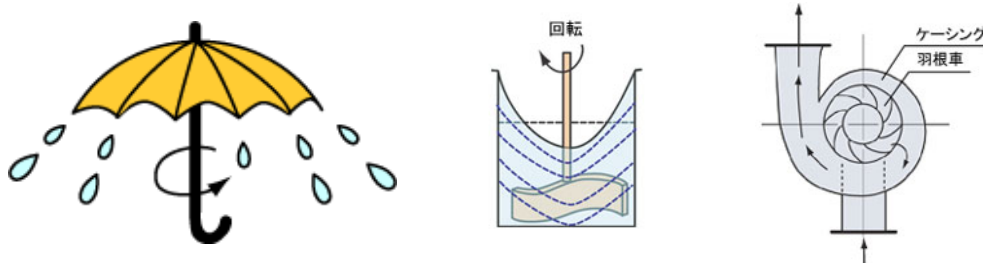


図 三和ハイドロテック(株)のホームページより

それでは、流量(流速)、圧力、動力の順番でポンプの動作を見ていきます。

流量(流速) ポンプの羽根車の外側の速度は、その回転数に比例します。羽に接した水も、この速度で動きますので、流速は回転数に比例します。パイプの断面積(固定値)と流速を掛けたものが流量ですので、流量は回転数に比例します。(ただし、ポンプの先で配管が閉じていると流量はゼロになるので比例しなくなるなど、例外はあります)

圧力 物理学の基本公式に運動エネルギーと位置エネルギーの関係を示した下記式があります。

$$\frac{1}{2} mV^2 = mgH$$

ただし m は質量、 V は速度、 g は重力加速度、 H は高さ

ここで、流体の場合は高さ H は圧力と等価です。

* ポンプの圧力は水を何メートルの高さまで持ち上げられるかで測ります。これを揚程と呼び、単位は m です。

さて、この式で速度 V と圧力(高さ) H の関係に着目すると、速度 V の2乗に圧力(高さ) H が比例することがわかります。これは、速度を2倍にすると、水を持ち上げる高さは4倍になることを意味しています。

先ほど流速のところで確認したように、回転数と流速 V が比例しますので、圧力(高さ) H は回転数の2乗に比例することになります。回転数を2倍にすれば、水を持ち上げる高さは4倍になります。

動力(消費電力) 動力とは、単位時間のエネルギー量です。ポンプは、先ほどの位置エネルギー mgH を毎秒連続して与え続けます。一方、単位時間に運ばれる流体の質量 m は、流量に比例します。従って、ポンプの動力は、以下のように流量と圧力 H を掛けた値に比例します。

$$\text{動力} = mgH = m(\text{流量に比例}) \times g(\text{一定値}) \times H(\text{圧力})$$

先に述べたように圧力は回転数の2乗に比例します。また、流量は回転数に比例します。従って、動力(消費電力)は回転数の3乗に比例することになります。

$$\text{動力} = m(\text{回転数に比例}) \times g(\text{一定値}) \times H(\text{回転数の2乗に比例}) = \text{回転数の3乗に比例}$$

エコパイロットのしくみ

補足資料 (Q&A)

Q: なぜ、流体抵抗は水のスピードの 2 乗に比例するのですか？

A: 流体抵抗と水のスピードの関係は、大変複雑で、理論式ではなく実験で確認した「実験式」^(*) が使われています。理論だけで算出できないのは、パイプの中の水の流れが、層流(整列して流れる場合)になっている部分と乱流(渦を伴って流れる場合)になっている部分があるためです。この実験式も非常に複雑な式になりますが、「実用的」にはスピードの 2 乗に比例するものと考えてかまいません。

* 例えば、ダルシー・ワイスバッハの式