

室内環境と湿度 ～効果的な除湿とは～

トータルシステム研究所 代表
九州芸術工科大学 客員教授
北原博幸

概要

エアコンの省エネが進むに連れて、除湿不足の問題が起きてきた。そのために梅雨時に室内で結露が発生し、カビが生えやすくなり、健康にとっても大きな問題になりつつある。そこで最近、強力に室内を除湿できるエアコンが普及してきたが、除湿運転は冷房運転より3倍程度電気代がかかることがある。梅雨時に湿度を低く保ち、健康で快適な生活を実現することは大切なことだが、エネルギー消費や費用も考えながら上手なエアコンの活用を図ることも大切である。

背景

図1は日本でエネルギーがどれだけ使われているのか1955年から1999年までの期間で示したものである。図中の一点鎖線は自動車工場や化学工場などの産業分野を、実線は住宅やオフィスなど民生分野を、点線はトラックや乗用車などの運輸分野で使われているエネルギーの量を示している。またこれらの合計を破線で示している。70年代前半の第一次石油ショック、70年代後半の第2時石油ショックにより産業分野のエネルギー消費量は低下する傾向が見られたが、民生分野や運輸分野ではエネルギー消費量が増加する一方である。従ってこれら分野のエネルギーの消費量削減が国の重要課題になっている。

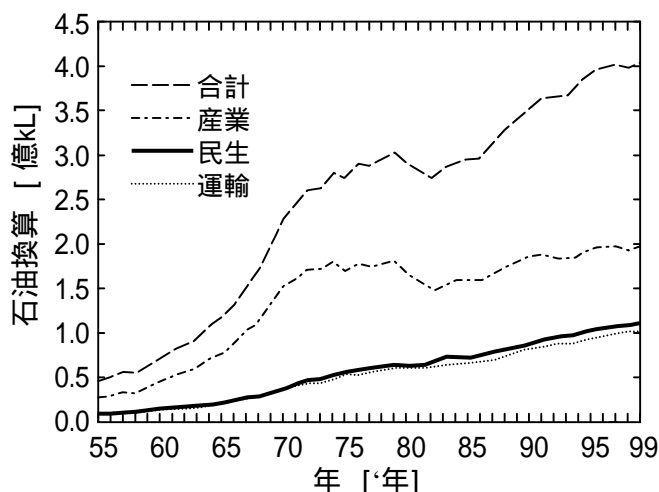


図1 エネルギー消費量の推移

そこで民生分野で使用されるエアコン・冷蔵庫などや運輸分野のエネルギー消費に大きく影響する車の効率向上を促すトッランナー方式が省エネ法で採用された。

エアコンの省エネと湿度

表1に示すように、エアコンが使うエネルギーの量（消費電力）に対する部屋から取り除くことができるエネルギーの量（冷房能力）を冷房COPと呼び、冷房時の効率を表す。同様に消費電力に対して部屋に与えることができる熱の量（暖房能力）を暖房COPと呼び暖房時の効率を表している。そして冷房COPと暖房COPの平均値を冷暖房平均COPと呼び、この値を向上されるため数多くの工夫が行われている。

エアコンは図2のように冷媒と呼ばれる液体の入った管とコンプレッサ（圧縮機）と呼ばれるポンプ、膨張弁そして室内と室外の2つの熱交換器でできている。室内機の中の冷媒の入った管の圧力をコンプレッサにより下げると冷媒が蒸発する。注射の際に脱脂綿でアルコール消

表1 エアコンの効率

冷房COP	=	$\frac{\text{冷房能力[kW]}}{\text{消費電力[kW]}}$
暖房COP	=	$\frac{\text{暖房能力[kW]}}{\text{消費電力[kW]}}$
冷暖房平均COP	=	$\frac{\text{冷房COP} + \text{暖房COP}}{2}$

毒する際にアルコールが蒸発すると冷っとするように、冷媒が蒸発する時に周りから熱を奪う。一方コンプレッサによって室外機の配管に押し込まれた冷媒の蒸気には大変な圧力がかかるため、液に戻って体積を小さくしようと凝縮と呼ばれる現象が起こる。凝縮は蒸発の反対で、蒸気が液に変わることである。蒸発の時に周りから熱を奪うが、凝縮の際には周りに熱を出す。コンプレッサは室内機側の配管の圧力を低くして蒸発しやすくさせ、室外機側の配管の圧力を高くして凝縮しやすくさせるとともに、室内機から室外機に冷媒を運ぶ機械である。なお室外機と室外機との間で圧力の差がつき易いように、膨張弁あるいは減圧弁と呼ばれる弁が取り付けられている。この際、室内機の管の圧力が低くなるほど低い温度でも周りから熱を奪い、室外機の管の圧力が高くなるほど高い温度のところに熱を出すことができる。コンプレッサによって圧力の差がつくほど、低い温度の熱を高い温度にすることができる。従って、熱のポンプ、ヒートポンプと呼ばれることがある。従来のエアコンの場合、図3に示すようにコンプレッサで1の電力を使うと、3位の熱を室内から室外に移すことができた。このときコンプレッサのモータは殆ど一定の回転数になっていた。

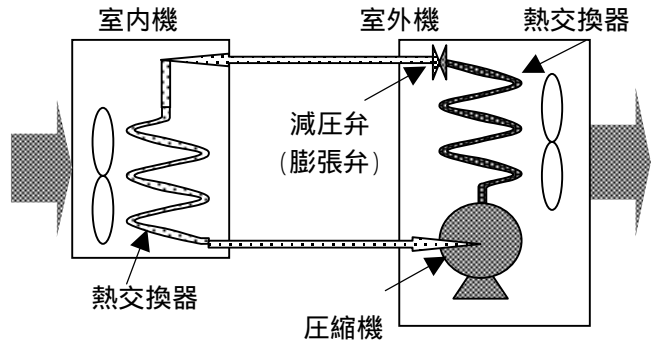


図2 エアコンのしくみ

最近インバータという言葉を目にするが、多くのルームエアコンにインバータが搭載されるようになり、実はこれにより大変な省エネが実現されている。もともとインバータは逆変換と言う意味であり、交流の電気を直流に変えて（変換）さらに直流を交流に変える（逆変換）際に使われる。

モータにこれを応用すると、回転数を簡単に变化させることができるようになる。エアコンではモータが回転する力がコンプレッサの動力として使われるため、モータが早く回転するほど、コンプレッサの能力が上がり、室内機と室外機の圧力の差が大きくなり、従って温度の差も大きくなる。一方回転を遅くすると圧力差や温度差を小さくすることができる。

インバータを使っていなかった昔のエアコンは、モータの回転数をそれほど変えることができなかったが、インバータを搭載した最近のエアコンは回転数を大幅に変化させることができるようになった。昔のエアコンの場合、スイッチを入れてからしばらくするまでコンプレッサが動き、部屋の温度が設定温度になると自動的に停止した。そして設定温度より室温が高くなると再び動き出していた。このようにコンプレッサが動いたり止まったりしている時は、エアコンの冷房能力に対して冷房して部屋から取り除かなければならない熱の量（負荷）が小さい「低負荷」の状態になっている。インバータを用いたエアコンではこの低負荷時にコンプレッサの

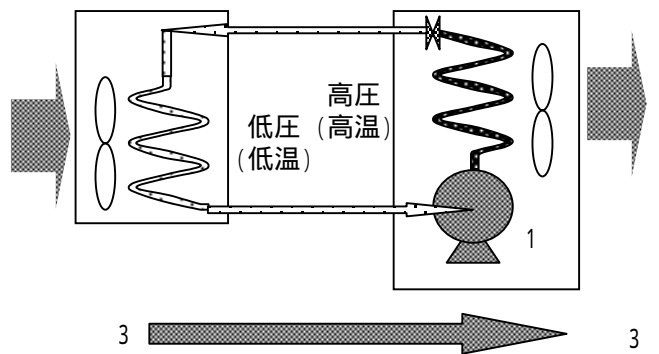


図3 従来のエアコン

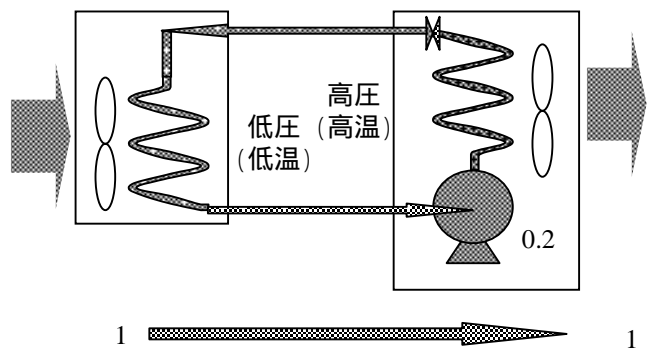


図4 インバータを搭載したエアコン

回転数を低くすることで、室内機と室外機の熱交換器間の温度差を小さくすることができ、温度差が小さくなると室内の空気と熱交換機の温度差も小さくなる。このため図4に示すように冷房能力は低下するが、それ以上にコンプレッサの消費電力が減少し、結果として効率が上昇する。

インバータを搭載していない従来のエアコンは図5に示すように室内側5 程度、室外側50 程度で45 前後の温度差で運転されるのが一般的であった。しかしインバータを用いたコンプレッサの回転数制御によって温度差を15 程度にできれば、詳しいことは省くが理論効率は従来の3倍程度に上昇する。これは画期的なものであり、同じようにエアコンを使用しても、エアコンの効率向上だけで消費エネルギーを大幅に削減できる。

一方、実はこれには落とし穴があり、湿度の問題として現れてきた。図6に示すように例えば27 で相対湿度60%のような夏の室内でよく見られる状態では、空気1kg（厳密には空気の中から水分を取り除いた乾き空気1kg）の中には13.4gの水分（水蒸気）を含んでいる。この空気が10 まで冷やされた場合、空気中に水分が水蒸気として存在できる量は7.6gとなり、13.4gとの差の5.8gの水蒸気が凝縮して水になる。従って4割以上水分が自動的に空気中から取り除かれ、除湿されることになる。一方、27 60%の空気を20 に冷却しても相対湿度は92%に変化するものの空気中の水分は除去されず、除湿することはできない。

図7に示すように、27 60%の空気を冷却する場合、熱交換器の温度を下げると、18.5 程度までは水分の凝縮が起こらず、その後温度低下とともに急激に結露・凝縮する。例えば10 で約4割、5 で約6割の水分を除去することができる。

以上機械側からエアコンの働きに着目してエネルギーと湿度の関係をまとめると、コンプレッサの回転数制御により効率が大幅に向上し、エネルギー使用量を大幅に削減できた。

除湿不足という新たな問題を発生させてしまった。ということになる。

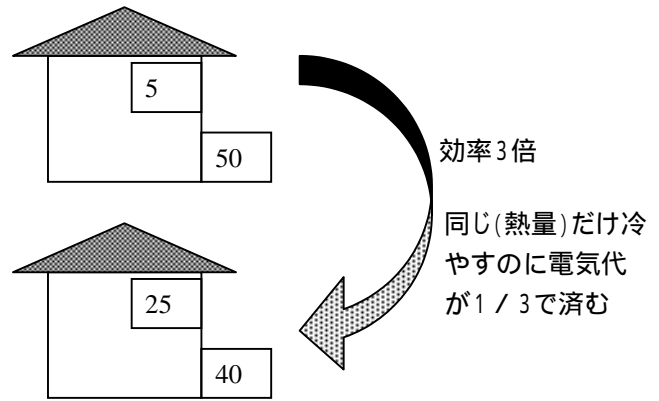


図5 エアコンの効率向上

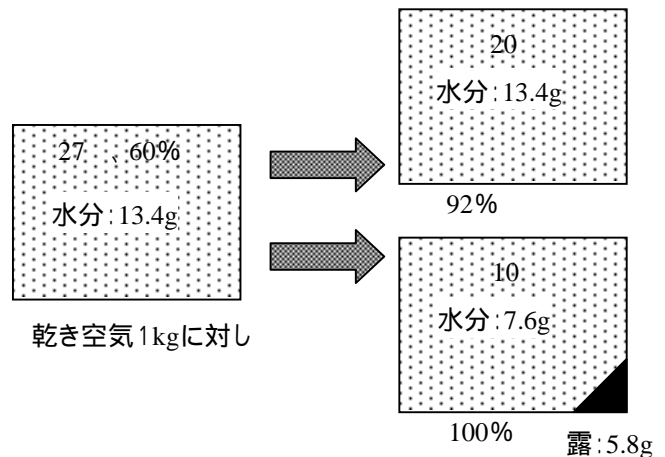


図6 空気の温度と湿度

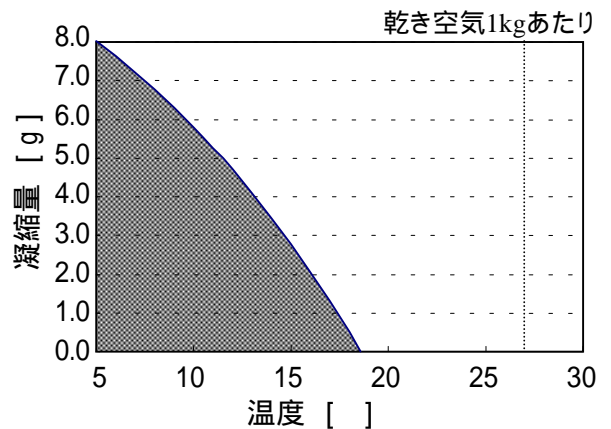


図7 空気を冷やしたときの凝縮量

建物の断熱化と湿度

省エネ法は機械側からの面のみならず、建築側からの面から省エネを要求しており、特に、住宅の断熱化によるエネルギー消費量の削減を目指している。例えば次世代省エネ基準では、日本各地の気候にあわせて、断熱材や二重サッシ等の使用を求めている。

建築や空調の分野では、熱を顕熱（けんねつ）と潜熱（せんねつ）という2つの種類に分けて考えている。例えば水を温めると100 になって沸騰するまでの間は水の温度が高くなっていくが、沸騰しているときは熱を加えつづけても温度が100 のままである。熱はいったいどこに行ってしまったのだろう。実は水が水蒸気になるのに使われているのである。このように水が水蒸気になったり、また水蒸気の水になったりする際の熱を潜熱といい、水のまま温度が変る時や、空気のまま空気の温度が変る際の熱のことを顕熱という。

図8に示すように、断熱化により外部から進入する顕熱を大幅に削減でき、従ってエアコンで取り除かないとならない熱の量（熱負荷）を大幅に低減することができる。一方人体からの潜熱負荷（水分の蒸散量×蒸発線熱）は顕熱と同程度ある上、住宅内では水やお湯が使われているため住宅の断熱化によっても潜熱負荷をそれほど削減することはできない。

従って顕熱に対する潜熱の比率が極めて高くなり、室内湿度も高くなりがちになる。さらに住宅用のエアコンは一般に湿度を考慮せず温度のみを調節としているため、断熱化による顕熱負荷削減効果により、低負荷運転の状態が多くなる。インバータ機が使われている場合、室内機熱交換器の温度が上昇するため殆ど除湿できず、室内湿度が上昇する。

省エネと除湿問題のまとめ

以上をまとめると図9に示すように、地球環境問題に関連してエネルギー消費量削減のため良かれと思って実施した規制、例えば次世代省エネ基準による断熱材や2重・3重サッシの使用などにより顕熱に対する潜熱負荷割合の上昇が引き起こされたり、例えばトップランナー方式による規制に対する室内機熱交換器の高温化による除湿能力不足から住居内の湿度が上昇する結果を招いた。

湿度に関連した新たな問題

一方、エネルギー消費量削減とは別の切実な問題への対応のため、新たな規制も行われたが、

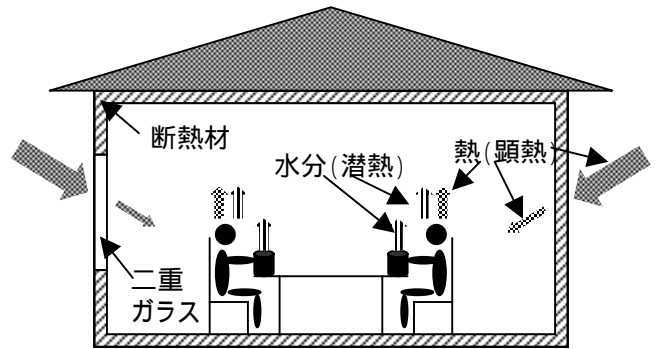


図8 住宅の断熱化と熱負荷

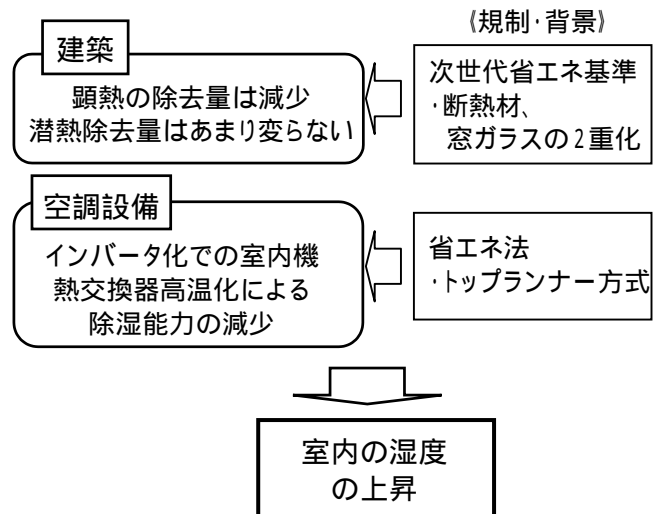


図9 省エネと湿度

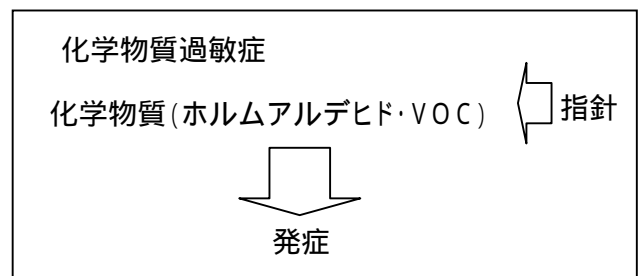


図10 化学物質過敏症に対する取組

これが湿度に関するさらなる問題を引き起こす結果を招いた。概要を以下に示す。

近年図10に示すように化学物質過敏症がマスコミ等で報道され、大きな社会問題となった。そして研究者の努力によりホルムアルデヒドを初めとした多くの化学物質が化学物質過敏症の発症に影響を及ぼすことが明らかとなった。そのため厚生省や建設省（当時）を中心として学識者らにより表2に示すような化学物質に関する指針値を策定した。しかし例えばホルムアルデヒドは水に溶ければホルマリンであり、このホルマリンは中学校の理科室などで保存されている標本の保存に使用されている。ホルマリンに漬かっていれば腐りもしないし、カビも生えない。建材などでは主に接着目的で使われていたホルムアルデヒド（ホルマリン樹脂）は、防腐剤の効果をもっていた。従って建材のノンホルムアルデヒド化が進むにつれて、建材などへのカビの発生が懸念されるようになった。

従って図11に示すように、化学物質過敏症の原因物質となるホルムアルデヒド等の規制（指針値策定）を良かれと思って実施したものの、室内相対湿度の上昇の問題も加わり、ノンホルムアルデヒド化による建材等のカビの発生という新たな問題を引き起こす可能性が高くなった。カビは建屋のみならず人の健康にも影響を及ぼすと考えられる。人々の健康に良かれと思ったことが先に説明した室内湿度の上昇と時期的にも一致し、結果として、新たな健康の問題を引き起こしてしまったことになる。

除湿運転と消費電力

さらにこの湿度に関連した問題が、これだけに留まらず新たな問題を引き起こしたのでそれについて以下に説明する。従来、住宅用のエアコンによる除湿は図12に示すように、熱交換器を通過する風量を絞ることで行っていた。風量を絞ることで、熱交換器からの放熱量が減少して結果的に熱交換器の温度低下と吹出空気温度の低下を引き起こした。空気の温度を低くすることができれば、顕熱に対する潜熱（水分×蒸発潜熱）の処理量が増加するため、効果的に除湿することができた。ただ、このような除湿法ではエアコンから冷たい空気がチョロチョロ出

表2 化学物質毎の指針値

・ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.08ppm)
・総揮発性有機化合物量 (TVOC)	400 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (暫定目標量)
・トルエン	260 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.07ppm)
・キシレン	870 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.20ppm)
・パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.04ppm)
・エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.88ppm)
・スチレン	220 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.05ppm)
・クロロピリホス	1 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.07ppb)
・フタル酸ジ-n-ブチル	220 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (0.02ppm)

この他、テトラデカン、フタル酸ジ-n-エチルヘキシル、ダイアジノン

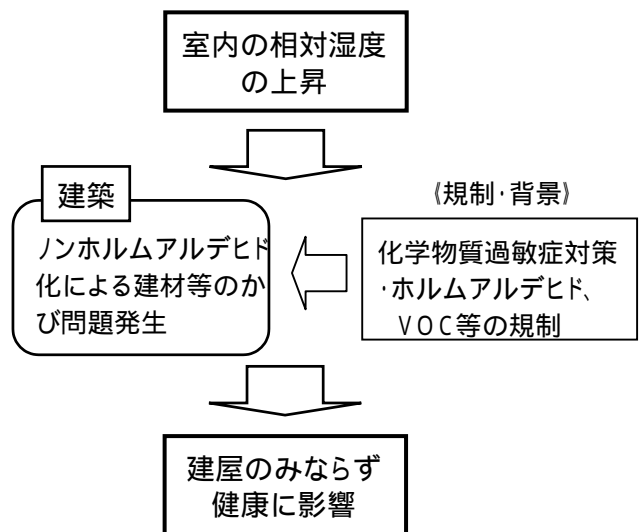


図11 化学物質過敏症に対する取組と湿度

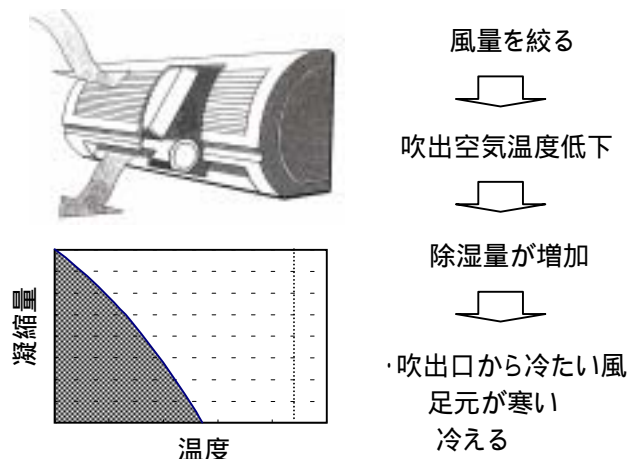


図12 従来の除湿方法

るため、乱れや混合も起こらず床面に達してしまい、足元が冷える欠点があった。

この欠点を克服するため、ビルなどで使われているダクト空調方式と呼ばれる空調システムなどで実績がある再熱除湿を採用した新たなルームエアコンが各社から販売されるようになった。

ルームエアコンでの再熱除湿は、図13に示すように、空気を冷却した後、再度加熱することで吹出空気の相対湿度を低下させるもので、従来のように冷たい空気をそのまま室内に吹出すのではなく、暖めて吹出すため快適な除湿運転ができる。

ルームエアコンでは図14に示すように室内機の熱交換器の冷媒流路の一部に電磁弁と呼ばれる弁を挿入した構造にするのが一般的である。この電磁弁は閉じた状態でも完全には冷媒の流れる路を塞がず、細い管として働くもので、除湿運転時にはこの電磁弁を閉じることで、室内機内に見かけ上、低温の熱交換器と高温（中温）の熱交換器の2つの熱交換器を構成させることができる。これにより取り込んだ空気を冷却した後、加熱（再熱）することが可能となる。なおここで再熱の際には本来排熱として室外に出す熱の一部を活用しており、ヒータ等新たな電力消費を必要としないため、その意味では省エネな除湿方法といえる。

従来の方法との比較を図15に示す。従来法では除湿量を大きくしようとするとき室温低下を招いた。そのため除湿運転を強力に行うことができなかつた。一方ルームエアコンとしては最新技術である再熱除湿運転では、室温低下を引き起こさないで風量も大きくしたまま除湿量も大きくすることができ、本格除湿が可能となる。本来冷房時のエアコンの省エネは室内機と室外機のそれぞれの熱交換器間の温度差を小さくすることで実現してきたが、従来法にしる、再熱除湿法にしる、除湿する際には室内機熱交換器の温度を低くして、従って室内機と室外機の熱交換器の温度差を大きくしなければならない。図16に示すように、冷房時のCOPは5に達する製品もあるが、再熱除湿時はせいぜい1.5程度である。一方家電店などで見かける期間消費電力には除湿運転時の消費電力が考慮されていない。このため図17に示すように、省エネ大賞

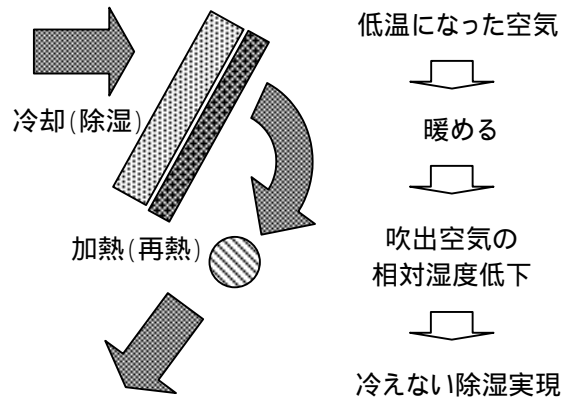


図13 再熱除湿法 (除湿-再熱)

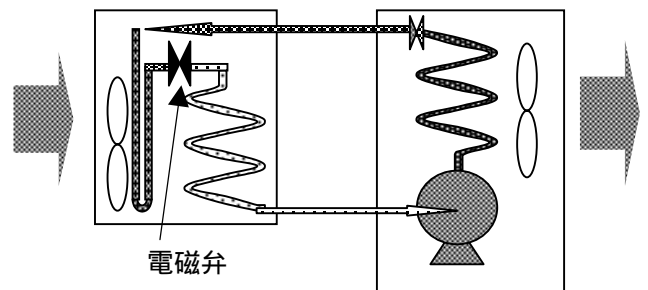


図14 再熱除湿のしくみ

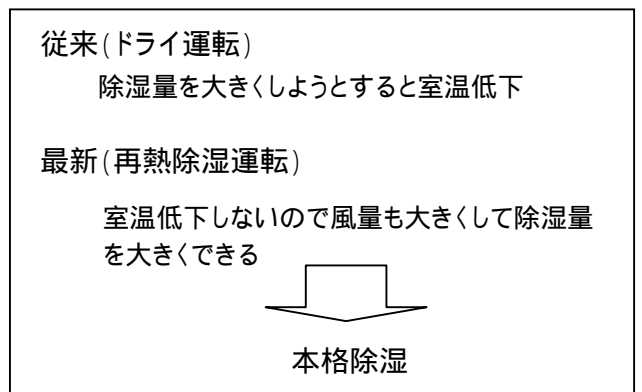


図15 従来法との比較

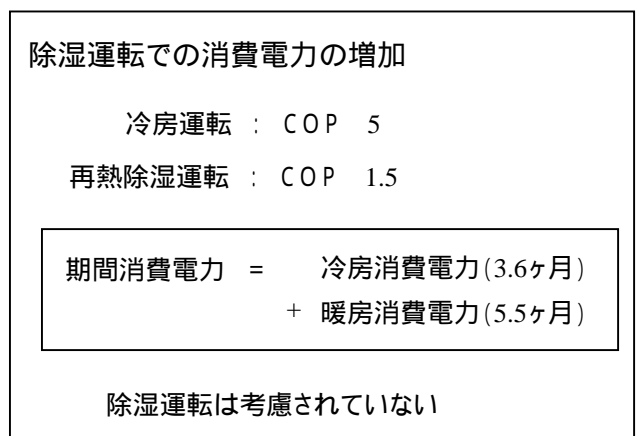


図16 除湿運転と消費電力

のエアコンに取り替えたにも関わらず、夏場の電気代が高くなった。との話を聞くようになった。使用している方に聞いてみると冷房運転より除湿運転の方が省エネと勘違いされている場合があるため、実際には除湿運転は冷房運転に比べ電気代が3倍程度かかることを正しく認識してもらい、梅雨時以外の除湿が必要でないときでも省エネと勘違いされて除湿運転されることが無いようにしていただきたいと希望する。

ただし、現在の再熱除湿はそれでもCOPは約1.5程度もあり、他の方法に比べて、COPが極めて高いのは事実である。従って梅雨時など人や建屋の健康のために除湿が必要な時には積極的に再熱除湿すべきと考えられる。

以上をまとめた結果を図18に示す。室内湿度上昇への対策として、快適性の向上や冷えない除湿の実現のために再熱除湿による除湿能力強化が最近ではルームエアコンでもはかれるようになった。従来のドライ運転では、目一杯除湿運転すると室温低下を招くため、控えめの運転をせざるを得なかったが、再熱除湿は室温を低下させることが無いため、目一杯の運転（最高回転数）による本格除湿を行うことができるようになった。そしてその結果として、冷房に比べ1/3程度の効率の除湿運転が目一杯行われることで消費電力が増加する問題が新たに生じてしまった。

まとめと対策

湿度問題全体をまとめると、図19に示すように、地球環境問題と直接関連するエネルギー問題や人々の健康の問題に対し、良かれと思って実施した「機器の省エネや住宅の断熱化」あるいは「化学物質の規制」が、湿度を介してエネルギーや健康に関する新たな問題を引き起こした結果となった。今まで無視されていた湿度に対し積極的に関わり、湿度を中心に人や建築、エネルギーを考えることが重要だと思われる。

以上、エアコンの省エネと除湿不足の問題、カビの問題や、除湿運転での消費電力の問題など簡単に説明した。特に梅雨時など外の空気の湿度も高く、室内で結露が起こったり、カビが生え易くなるときは、健康な暮らしのためにも

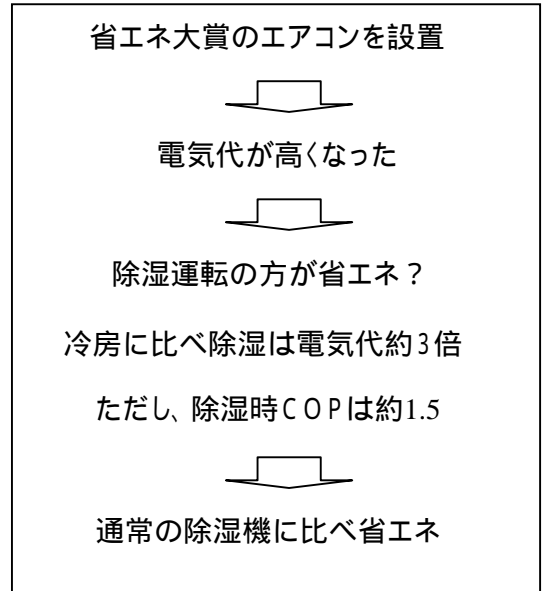


図17 除湿運転に関連した問題例

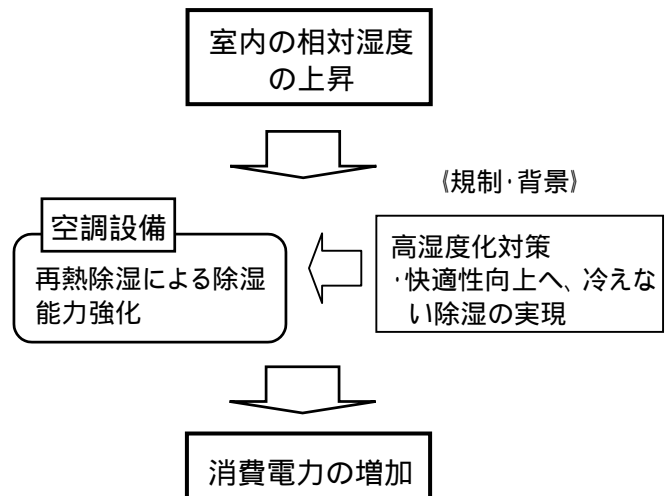


図18 湿度と消費電力

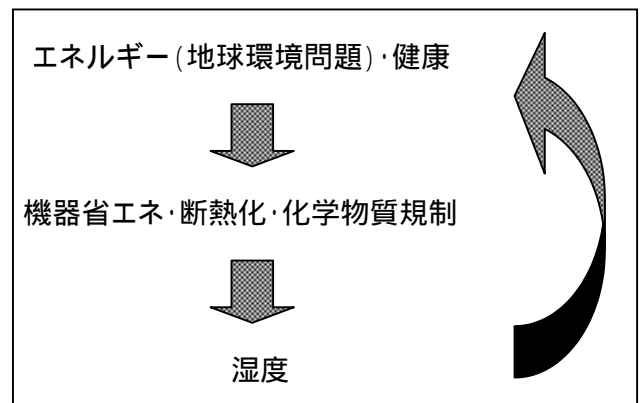


図19 エネルギー問題と湿度

除湿することが必要であり、このためには除湿機や除湿機能を搭載したエアコンなどが有効に活用できると思われる。一方、外気の湿度がそれほど高くなく温度だけが高い時には、家計のためにも地球環境のためにも除湿運転ではなく冷房運転にするように心がけることが必要であり、このためにできれば表3に示すように湿度計を取り付けて、部屋の湿度を監視しながら除湿運転と冷房運転を切り替えてエアコンを使われることをお勧めする。

表3 賢いエアコンの使用法

冷房運転と除湿運転を使い分ける

- ・蒸し暑いと感じたときだけ除湿運転
その他は冷房運転
- ・湿度計によるチェック