

……………温水式エアコンに見る……………

温湿度制御技術

伊藤 義彦 東京ガス商品技術開発部システム商品開発センター
 福本 孝之 三洋電機空調事業部第三技術部主任技術員

日本の夏は高温多湿で、温度だけを制御しても快適な環境を作れない。このため、住環境水準の向上に伴い、家庭用エアコンには室温と湿度を総合的に制御することが求められてきている。特に、日本独特の夏期・中間期の高温多湿型気候(図1)に対しては優れた除湿機能(ドライ機能)が不可欠になりつつある。

従来の家庭用ヒートポンプ式エアコンのドライ機能は、実質的には送風を弱くした冷房運転だった。そのため、湿気を取ると温度まで下がってしまい、寒くなるという欠点があった。

そこで通常は、これを防ぐために間欠運転を行っていた。しかし、そうすると十分な除湿効果を得られないという悪循環に陥っていた。

我々が開発したガス温水式エアコンは、従来のエアコンで不可能だった温湿度の独立制御(湿度は除湿のみ)を、ガス温水熱源機とインバータ制御コンプレッサをベースに実現した。そして、このガス温水式エアコンを「アメニティドライエアコン」、除湿機能を「アメニティドライ」と名付けた。

ここでは、温度と湿度(除湿)を同時に制御し、かつ安定させる制御手

法について解説する。

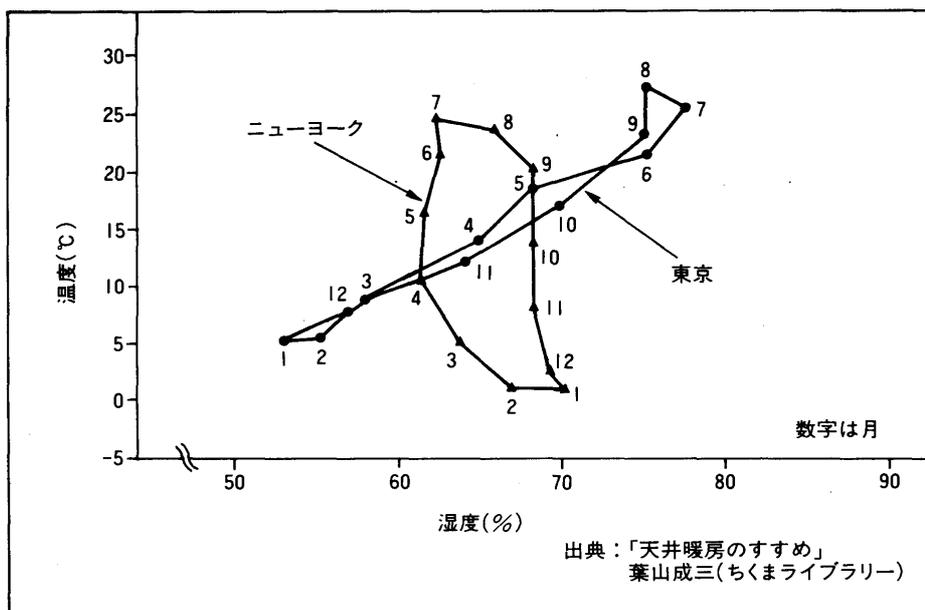
冷却し除湿した空気を再加熱

「アメニティドライ」では、室内機の内部に冷媒熱交換器と温水熱交換器を設けている(図2)。図3のように冷凍機で作った低温の冷媒を冷媒熱交換器に流し、温水熱源機で作った60℃の温水を温水熱交換器に流す。これにより、冷媒側熱交換器で吸い込んだ空気(吸い込み空気)を冷却・除湿し、その空気を温水側熱交換器で再加熱して、室内に吹き出す。

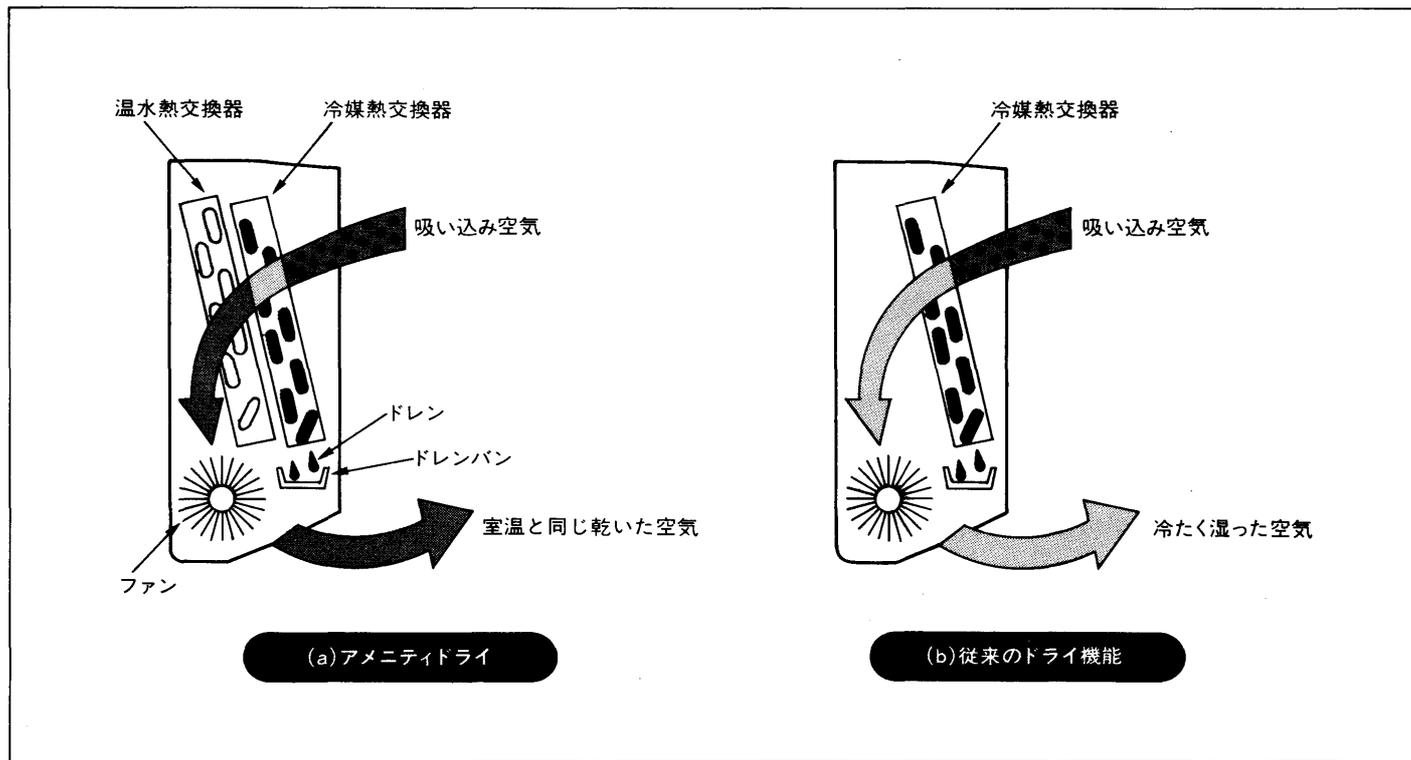
温度と湿度は、コンプレッサの運転周波数、および温水流量を調整することで制御する。室内温度と同じ温度で、湿度の低い吹き出し空気を作り出せるのが特徴である。

二つの熱交換器については、除湿効率[1時間当たりの除湿量(ml/h)／消費エネルギー量(W)]が低下するのを防ぐために両者間の熱伝導を抑えることが必要だった。単純に従来の熱交換器を別々に作って重ね合わせる製造方法では、機器本体が大きくなる。そのため、小型化が強く求められる壁掛け型エアコンなどには、薄型で性能の優れた熱交換器を作り、二つを重ね合わせる完全分離型とした。

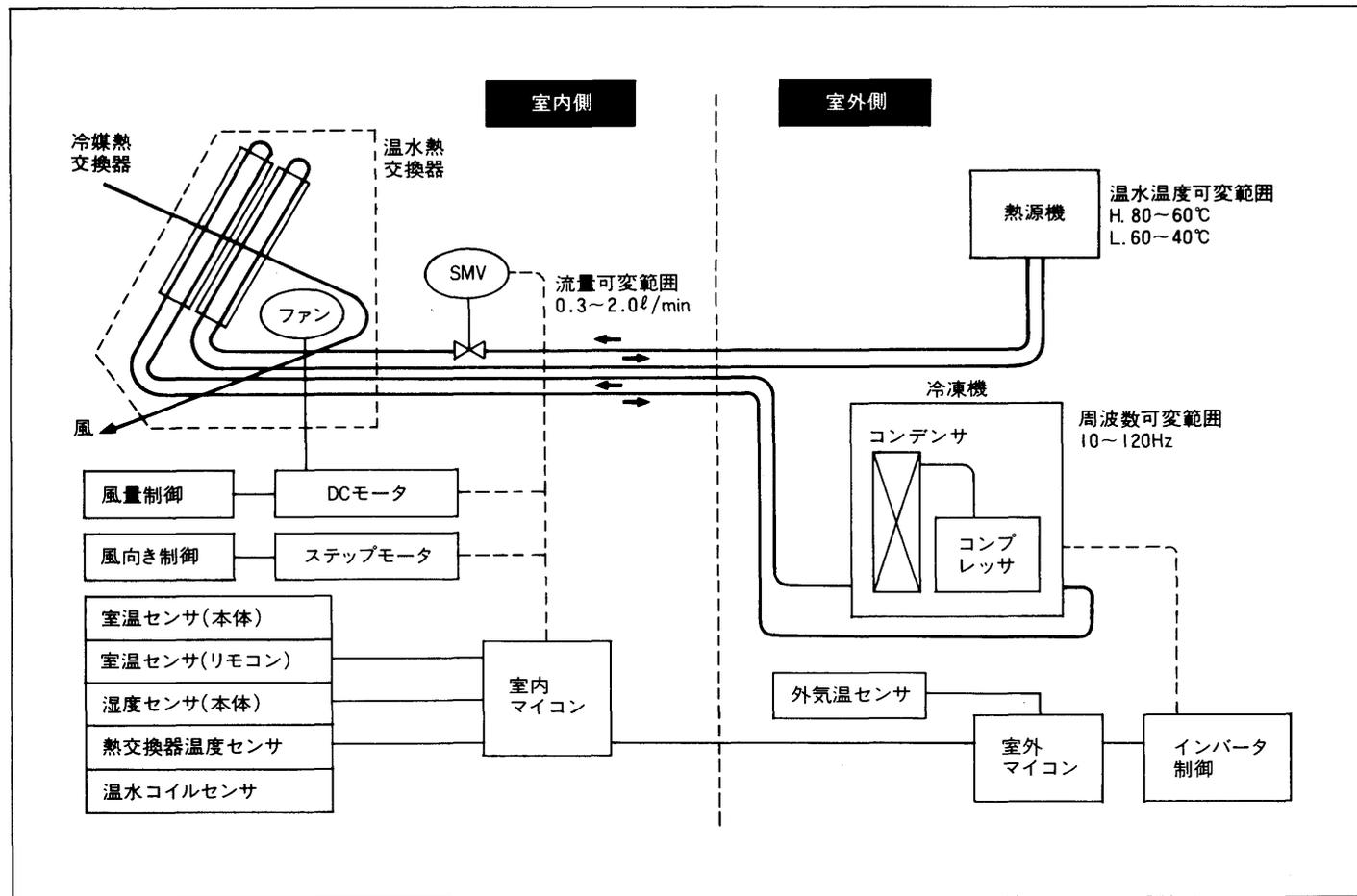
●図1：東京とニューヨークの気候の比較



●図2：「アメニティドライ」および従来のドライ機能の原理



●図3：「アメニティドライエアコン」のシステム構成



制御ゾーンと制御規則を設定

一方ソフトウェアの面では、このエアコンの温湿度を素早く安定に制御するために、設定温度と設定湿度に応じて四つの制御ゾーン(図4)を設定した。そして、温湿度をスムーズに制御するために、その指針となる制御規則を設定した。

その内容は①冷房ゾーンでは、室温はファジィ理論を用いて、インバータコンプレッサの周波数を調整することにより制御する②暖房ゾーンでは、室温はファジィ理論を用いて、流量可変弁で温水流量を調整することにより制御する③除湿ゾーンでは、湿度は露点温度を基に、ファジィ理論を用いてインバータコンプレッサの周波数を調整することにより制御する。室温は、暖房ゾーンと同じく流量可変弁で制御する④ゾーンの境界を横切ったときは、安定性を良くするために、3分間のホールド時間を設ける⑤監視ゾーンでは温湿度の制御は行わない——などである。

露点温度を使って相対湿度を制御

従来のドライエアコンは、温度のみを制御している。温度に応じて絶対湿度は下がるものの、湿度を独立に制御していない。これに対して、「アメニティドライエアコン」は温度と独立に湿度を制御する。このため新たな制御方法の開発が求められた。

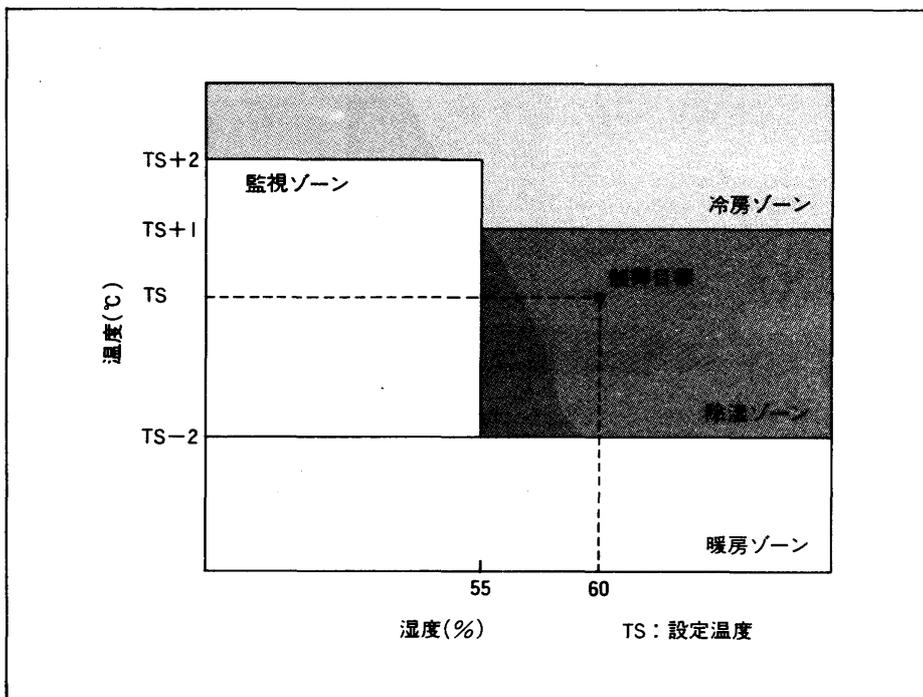
制御方法の開発では、特に上記のルールを基に、「除湿ゾーンの中で、どのように温度と相対湿度を同時に制御し、かつ、安定させるか」が大きな課題だった。

当初、温度制御に対しては室温センサの値、湿度制御に対しては相対湿度センサの値をそれぞれパラメータに採用した。ところが、湿度制御に相対湿度の変化量をパラメータにす

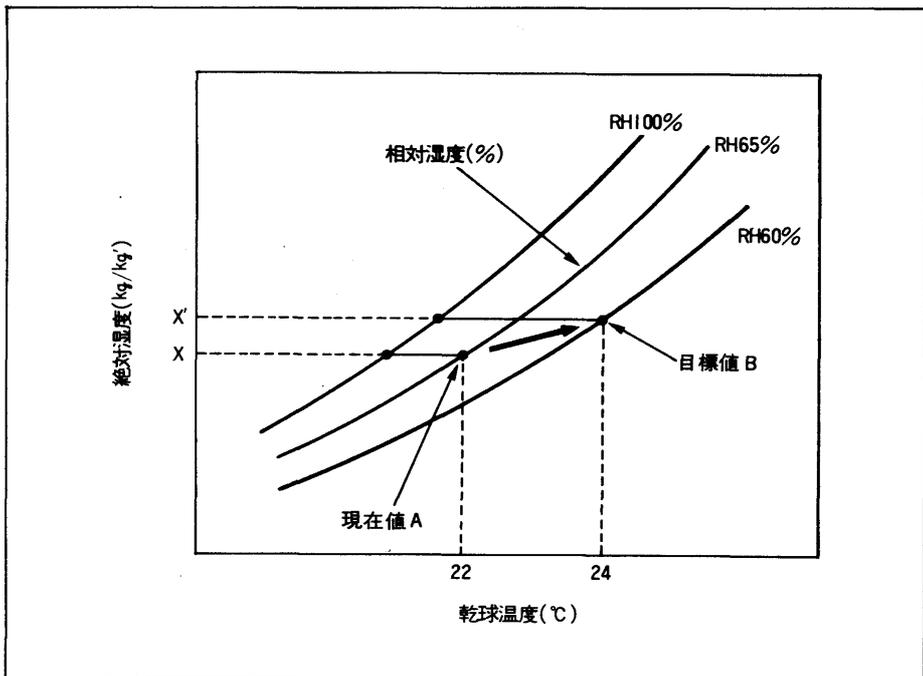
ると、除湿しなくても良いときにコンプレッサを運転してしまうという事態が発生した。

例えば、図5のような「現在温湿度(A点)22°C、RH65%、目標温湿度

●図4：目標相対湿度60%のときの制御ゾーン



●図5：空気線図



(B点)24°C、RH60%」の場合である。

この場合、空気線図上で絶対湿度を見ると理解できるように、A点(絶対湿度X)とB点(絶対湿度X')では、B点のほうが絶対湿度が大きい。すなわち、コンプレッサを運転して絶対湿度を下げる必要はない。

しかし、目標湿度と実際の湿度の差が5%あるため、相対湿度を基に制御すると、コンプレッサに出力信号(運転信号)が出され、コンプレッサが運転される。この結果、温度が目標値まで上がったときには湿度は下がり過ぎてしまう。

これは、相対湿度が温度によって変わるためである。つまり、温度と湿度のそれぞれに関して、互いに独立な変数をパラメータとして採用していなかったことが原因だった。

温度の変数には、従来と同様に室温センサで直接計測できる室内温度(乾球温度)を採用した。一方、湿度の変数については、乾球温度と独立したものでなければならぬため、露点温度、絶対湿度、水蒸気分圧から選ぶことになった。

ただ、露点温度、絶対湿度、水蒸気分圧などは実質上、センサで直接その値を取り込むことができない。そこで、相対湿度センサを取り付け、このセンサによる相対湿度データと室温データから露点温度を算出し、露点温度をもう一つの独立変数として採用した。

ファジィ演算で制御を高速化

「アメニティドライエアコン」では、冷却により絶対湿度(露点温度)を制

御し、再加熱により吹き出し温度を制御する。このエアコンでは、湿度制御のための冷却熱量と、温度制御のための再加熱量については、次のように決定している。

まず、露点温度による湿度制御では、室温センサと相対湿度センサの入力値からその時点での露点温度(現在露点温度)を算出する。そして、設定温度と設定相対湿度から算出した目標露点温度と、現在露点温度を比較してファジィ演算を行い、コンプレッサ運転周波数を変化させることで冷却熱量を制御する。

ここでのポイントは制御出力の算出にファジィ演算を用いたことである。これは、制御すべき露点温度を間接的に算出しているため、通常のPID(比例・積分・微分)制御では複雑な条件設定に十分に対応できないからである。つまり、通常のPID制御では目標値に速やかに到達できないというように、満足できる操作量を得られない。

湿度制御のファジィ演算では、目

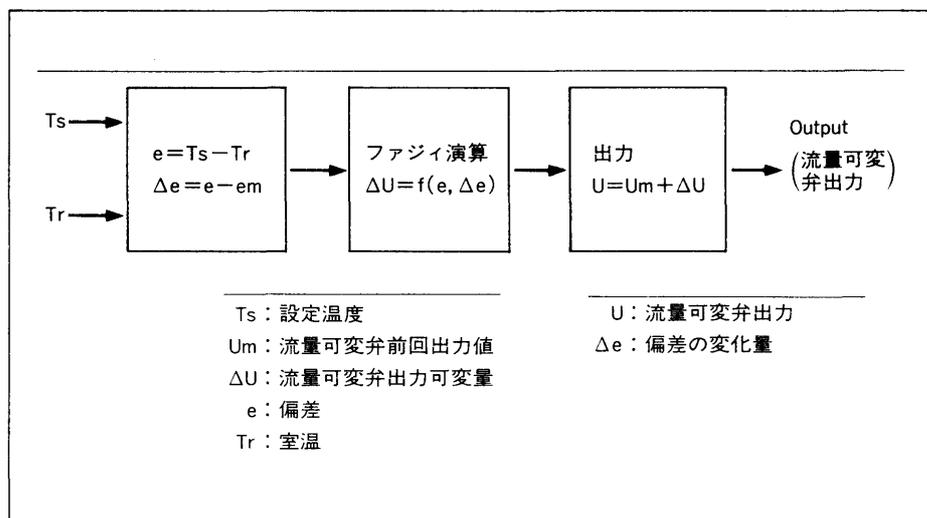
標露点温度と現在露点温度の偏差 e 、および偏差の変化量 Δe の二つをパラメータとして使用した。計算結果はコンプレッサの周波数として出力する。除湿量は冷媒熱交換器の表面温度で決まるのでコンプレッサ周波数の関数となる。

次に、冷却除湿した吸い込み空気は、目標温度に応じた顕熱負荷分の熱量を温水熱交換器から加える。これが再加熱制御である。この再加熱制御では、湿度制御と同様に設定温度、室内温度との偏差 e と、偏差の変化量 Δe の二つをパラメータとしてファジィ演算を行っている(図6,7)。そして、この演算結果の出力を基に、温水流量を変化させ、加える熱量を調整し制御している。

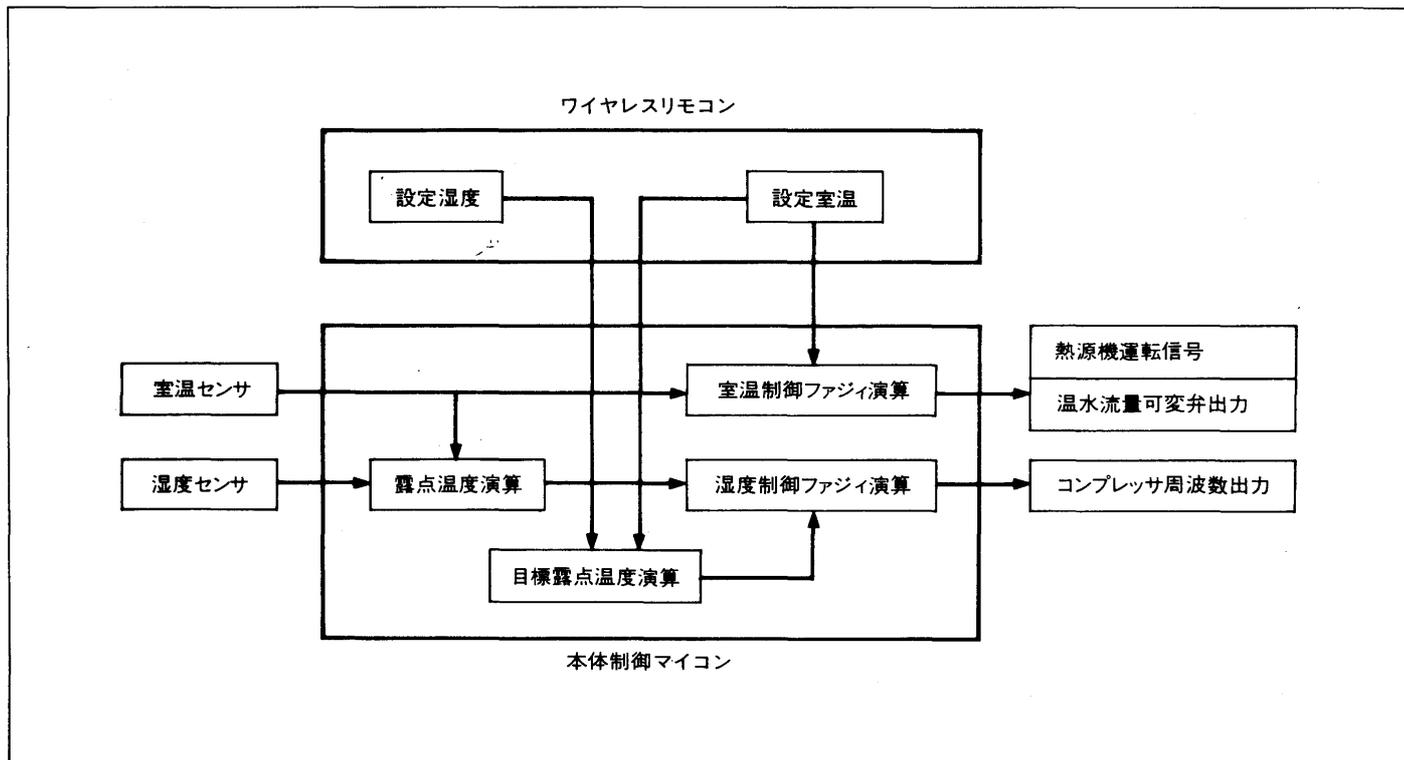
このとき、冷却除湿した吸い込み空気を目標温度にきめ細かく制御するために、再加熱量を連続的に調整しなければならない。そこで、「アメニティドライエアコン」では49段階の分解能を持つ流量可変弁を開発した。

この流量可変弁は0.3~2.0 l/minの

●図6：再加熱制御ブロック



●図7：温湿度制御ブロック



範囲で温水流量を連続に調整できる。

なお、温湿度制御で用いたファジィ演算法はオーバーシュートを少なくし、かつ、安定性を良くすることに重点を置き、計算量の少ないものを採用した。また、この制御で重要な湿度センサは、精度と信頼性の高い高分子感湿度センサを使用した。

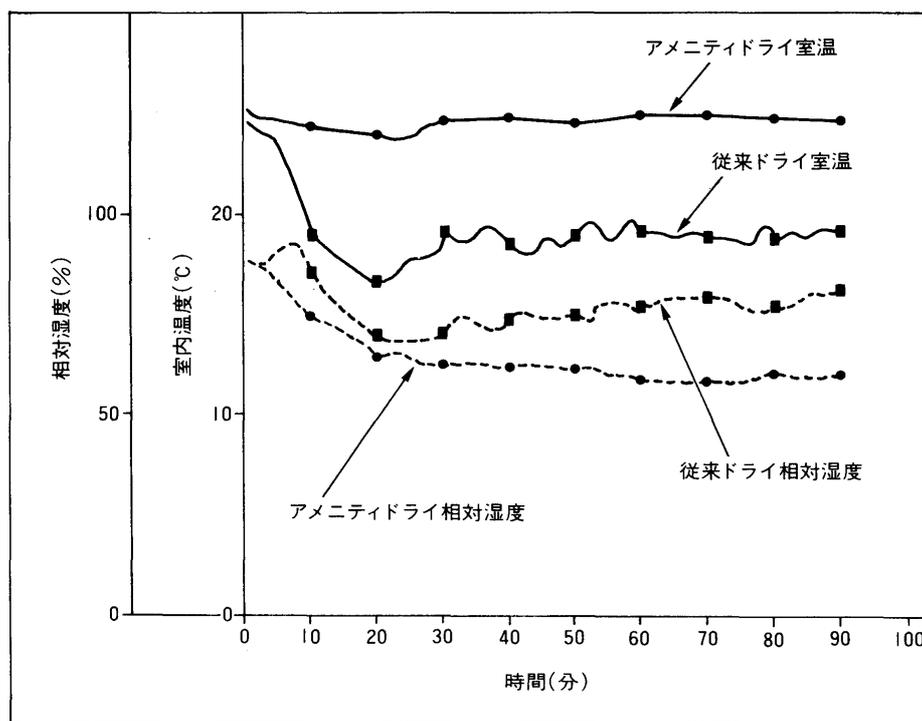
図8は「アメニティドライ」と従来のドライの温度と相対湿度の制御特性である。従来のドライでは運転すると室温が下がるのに対し相対湿度はあまり下がっていない。一方、「アメニティドライ」では、室温を維持したまま相対湿度のみが下がり、さらに相対湿度は一定となって安定している。

また、室内の垂直温度分布を計測し、比較したものが図9である。従来のドライでは、吹き出し温度が低いいため運転時に床面近くの温度が下

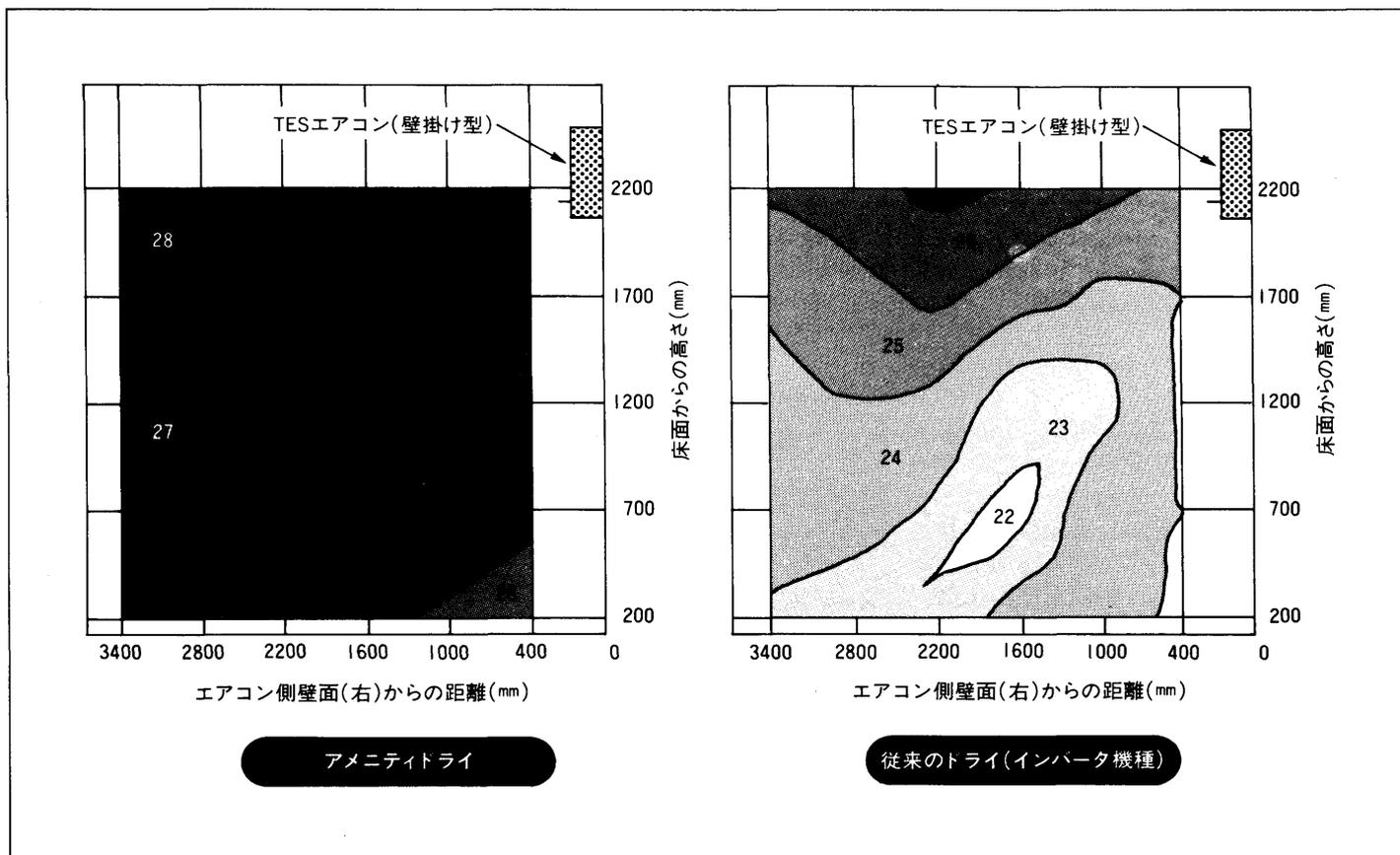
がる。そのうえ、運転と停止を繰り返すので温度の変動が激しくなる。一方、「アメニティドライ」では吹き

出し空気の温度と室温に大差がないため、室内の温度分布は均一になり、自然に近い状態を作ることができる。

●図8：「アメニティドライ」の相対湿度特性



●図9：室内温度分布の比較。室外温度30℃、湿度80%、室内温度設定27℃の場合



除湿機能の評価基準を設定

このように「アミニティドライエアコン」は優れた除湿能力と、温湿度の安定した制御性を持っている。しかし実際には熱交換器の作り方によって除湿能力や除湿効率が落ちたり、制御性のマッチングが不相当だと安定性が悪くなる。従って、品質の優れたエアコンを開発するには、除湿機能に対する基準が不可欠といえる。

ところが、現在の日本工業規格(JIS)には、除湿機能に対する基準がない。このため、除湿能力、除湿効率、および制御性について、自主基準を設けた。

この評価基準は判定1、判定2に分けてあり、判定1は除湿量や除湿効率に関するもの、判定2は温湿度の制御性に関するものである。そして

判定1と判定2を合わせて総合判定を行っている。

以下に、冷房定格能力2.8kW以下の機器の基準例を示す。

判定1：除湿量、除湿効率試験。

ランクはI、IIとする。

I：除湿量1.5l/h以上かつ除湿効率0.6ml/Wh以上のもの(相対湿度45%を想定)。

II：除湿量0.7l/h以上かつ除湿効率0.4ml/Wh以上のものでIに含まれないもの(相対湿度60%を想定)。

判定2：温湿度制御試験。

室外温度、設定湿度、設定温度を変えて6種類の条件で環境テストを行い、その時の室温変動幅、湿度変動幅、吹き出し温度変動幅が基準内に入っているかどうか判定し、制御

性の優れているものをランクIとし、やや劣るものをランクIIとする。

より良い空調機を開発し普及を図るためのステップとして、この評価基準を活用していきたいと考えている。

「アミニティドライエアコン」では、目標相対湿度を45%と60%の2通りに設定できる。従来のドライエアコンと異なり、除湿能力が高いため、ダニやカビの繁殖を抑えたり、洗濯物を乾かすといった空調以外の用途にも利用できる。「アミニティドライエアコン」は、単なる空調機器とはひと味違う付加価格の高いエアコンといえるだろう。

※「日経メカニカル」1993年3月22日号78ページから転載