

浴室の暖房ソリューション

Bathroom Heating Solutions

要旨

三菱電機の浴室暖房乾燥機(以下“バス乾”という。)の開発は、1970年代までさかのぼる。当時の住宅は、気密性が低く、冬の風呂場の寒さは厳しいもので、入浴のため震えながら脱衣し、寒さに耐えながら熱い湯船に入るといったことが当たり前の時代であった。1970年代に製品化された1号機は、熱源に250Wの赤外線ランプを2個搭載し、製品中央に排気用のファンを搭載したもので輻射(ふくしゃ)式による暖房機能を備えた製品であった。2号機は、熱源にシーズヒーターを搭載して温風式の製品となった。

現在では、浴室の設備として普及してきており、1,200WのPTC(Positive Temperature Coefficient)ヒーターを搭載した100Vタイプ、2,000WのPTCヒーターを搭載した200Vタイプなど、浴室サイズに合わせたヒーターの出力

違いの製品や24時間換気機能、集合住宅向けの一定の換気風量を確保する定風量換気機能を搭載した製品など、浴室サイズ、建て方に対応して様々な機種をラインアップしている。これらの基本的な機能に加えて、軽量化、省エネルギー性、浴室のデザインに合った意匠性、リフォーム時の取替え用の部材などの市場の要望に対応してきた。さらに、近年では、世の中のIoT(Internet of Things)化が進み、スマートフォンでの浴室温度の見える化や遠隔操作による事前暖房への要望も高まっている。

今回、これらの要望に応えるため、遠隔操作機能と当社エコキュート^(注1)との連携機能を搭載したバス乾を開発した。

(注1) エコキュートは、関西電力(株)の登録商標である。



1970年代に開発されたバス乾1号機、2号機と新機種

左上図は、1970年代に発売のバス乾1号機である。暖房用に250Wの赤外線ランプを2個搭載している。右上図は、バス乾2号機で、熱源にシーズヒーターを搭載した機種である。下図は、2020年発売の遠隔操作機能と当社エコキュートとの連携機能を搭載した新機種である。

1. ま え が き

近年、入浴時のヒートショックによる死亡事故が大きく取り上げられたこともあり、入浴時の浴室温度の重要性が認識され、浴室暖房のニーズが高まっている。従来、輻射式のヒーターを搭載した製品が一般的であったが、近年では、浴室の空気温度を上げることに適した温風式が多く発売されている。輻射式は電源投入とともに暖かさが感じられるというメリットがあるが、浴室全体を暖められないことや、放熱ロスなどの課題がある。一方、温風式は、浴室温度を上げるのに適しているが、暖めるために時間を要し、事前暖房が必要である。今回、この課題を解決し、利便性を向上させたバス乾を開発した。

本稿では、これまでの開発で進めてきた基本性能の改善と今回開発した遠隔操作機能と当社エコキュートとの連携機能について述べる。

2. 暖 房 性 能

2.1 バス乾に必要な暖房能力

入浴時の浴室温度に関する研究は古くから行われており、入浴前の脱衣室室温・浴室室温と温冷感に関する調査結果から、浴室・脱衣室に暖房を行う場合には、最低限18℃程度の室温が確保できるようにすべきとしている⁽¹⁾。また、この調査結果には、室温を22℃以上にすれば70%以上の人が脱衣に対して“なんとモニカ”と回答していることが示されている。ヒートショックの発生と室温の関係について述べられている研究は少ないが、気温が低くなる時期と入浴死の発生には相関があり、低い浴室温度が入浴時の循環動態に及ぼす影響が指摘されている⁽²⁾。この調査結果から15℃を下回る時期に入浴死が多くなる傾向を読み取ることができる。これらの研究、調査結果から、当社では暖房時間15分で浴室を22℃以上にすることを目標仕様にした。15分は給湯機で湯張りが完了する時間として設定している。すなわち、入浴前に、浴槽に給湯を開始してから湯張りが完了するまでの間に浴室を入浴可能な環境にすることが必要であると考えている。

2.1.1 浴室暖房の計算モデルと支配方程式

図1及び図2に浴室内部温度の計算モデルを示す。図1のように、浴室内部温度の計算点は1点で代表させており、ここでは温度分布は考慮していない。壁の断熱性能、熱容量を考慮するため、壁については図2のような計算モデルにした。図1及び図2に示した●が計算点である。

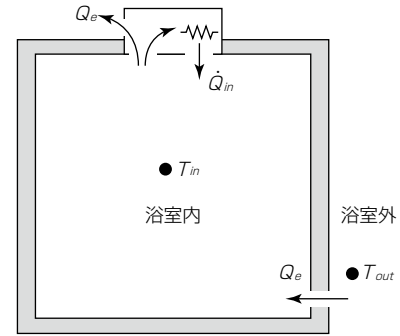


図1. 浴室温度計算モデル

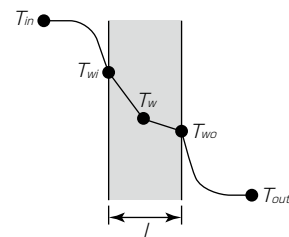


図2. 壁温度計算モデル

図1の浴室内部のエネルギー保存から次式が得られる。

$$\rho_a c_{pa} V_r \frac{dT_{in}}{dt} = \dot{Q}_{in} - h_{in} A_w (T_{in} - T_{wi}) - \rho_a c_{pa} Q_e (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

また図2の浴室壁に関して、一次元の熱伝導方程式は次式になる。

$$\rho_w c_{pw} \frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) \quad (2)$$

壁表面、浴室内部、外側の伝熱について、空気と壁表面の熱伝達量と壁内表面近傍の熱伝導量が等しいとして、次式が得られる。

$$h_{in} (T_{in} - T_{wi}) = - \lambda_w \left(\frac{\partial T_w}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (3)$$

$$h_{out} (T_{wo} - T_{out}) = - \lambda_w \left(\frac{\partial T_w}{\partial x} \right)_{x=l} \quad (4)$$

A_w : 浴室壁の面積 (m²)

c_{pa} : 空気の比熱 (J/kg・K)

c_{pw} : 浴室壁の比熱 (J/kg・K)

h_{in} : 浴室内部空気と浴室壁の熱伝達率 (W/m²・K)

h_{out} : 外気と浴室壁の熱伝達率 (W/m²・K)

l : 浴室壁の厚さ (m)

Q_e : 換気風量 (m³/s)

\dot{Q}_{in} : 暖房出力 (W)

T_{in} : 浴室内部空気温度 (°C)

T_{out} : 浴室外部温度 (°C)

T_w : 浴室壁内部の温度 (°C)

T_{wi} : 浴室壁表面温度 (浴室内部側) (°C)

T_{wo} : 浴室壁表面温度 (浴室外部側) (°C)

- t : 時間(s)
- V_r : 浴室内空気の体積(m³)
- x : 浴室壁の厚さ方向の位置(m)
- λ_w : 浴室壁の熱伝導率(W/m・K)
- ρ_a : 空気の密度(kg/m³)
- ρ_w : 浴室壁の密度(kg/m³)

式(1)~式(4)の連立方程式を解くことによって、浴室内温度、浴室壁温度を求めることができる。

これらの計算式によって得られた浴室内温度と、実際に浴室天井にバス乾を設置し、浴室内温度を測定した結果を図3に、また計算条件及び測定条件を表1に示す。暖房開始直後は計算結果の方が高く、測定結果との差が見られるが、これは計算モデルで浴室内温度の計算点を1点で代表させた影響と考えられる。その後の温度の推移に関しては、計算結果と測定結果はよく一致しており、計算によって浴室内温度の推定が可能であることが分かる。

2.1.2 暖房出力と浴室内温度上昇

2.1.1項の計算方法によってバス乾の暖房出力と運転開始から15分後の浴室内温度上昇の関係について計算を行った結果を図4に示す。2.1.1項に述べた1坪タイプユニットバスに加えて、1.5坪タイプ(内寸1.60×2.40×2.15(m))の場合の計算結果についても図中に示した。浴室サイズが大きくなるほど必要な暖房出力は大きくなり、室温を22℃以上にするには1坪タイプの場合で1.16kW、1.5坪タイプの場合で1.54kWの暖房出力が必要であることが分かった。当社の電源100V仕様の製品、200V仕様の製品で、それぞれ必要暖房出力を満足する製品をラインアップしている。

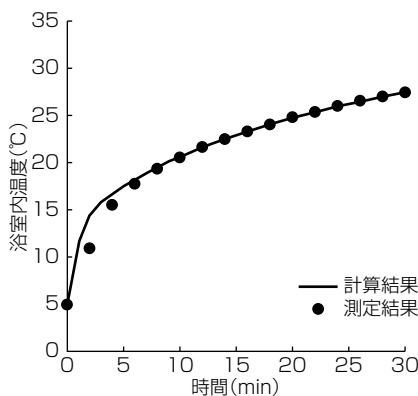


図3. 暖房時の浴室内温度の計算結果と測定結果の比較

浴室	1坪タイプユニットバス 内寸1.60×1.60×2.15(m)
浴室外温度	5℃
初期温度	5℃
暖房出力	1.22kW
換気風量	0 m ³ /s

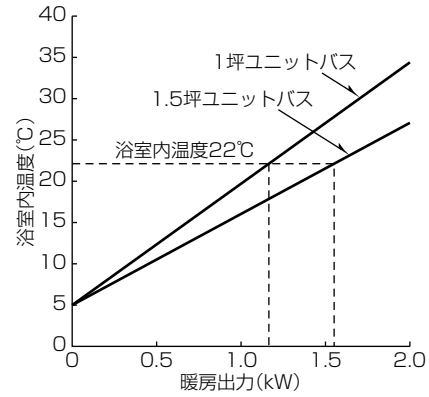


図4. 暖房出力と浴室内温度の関係(暖房開始15分後)

2.2 足元から暖かい暖房仕様の実現

必要な暖房出力を満足しても、温風が床面付近まで届かなければ温風は上方に上がってしまい、足元付近は温度が低いままになってしまう。そこで温風の吹き出し構造を従来の構造から変更するとともに、床面への温風到達に必要な風量を確保することで足元から暖かい暖房を実現している。

2.2.1 温風吹き出し構造と浴室内温度分布解析結果

図5にヒーター及び温風吹き出し部分の断面図を示す。図の上側が従来の暖房構造、下側がロング気流暖房と呼ばれる構造である。ヒーター下流に隙間を設けて周囲の空気を誘引し、浴室内に吹き出す構造にしている。

図6に浴室内温度分布の解析結果を示す。バス乾は、浴室の構造上、浴槽の上部に設置される。図5の吹き出し構造を用いて、必要風量を確保し、浴槽の上部から洗い場に

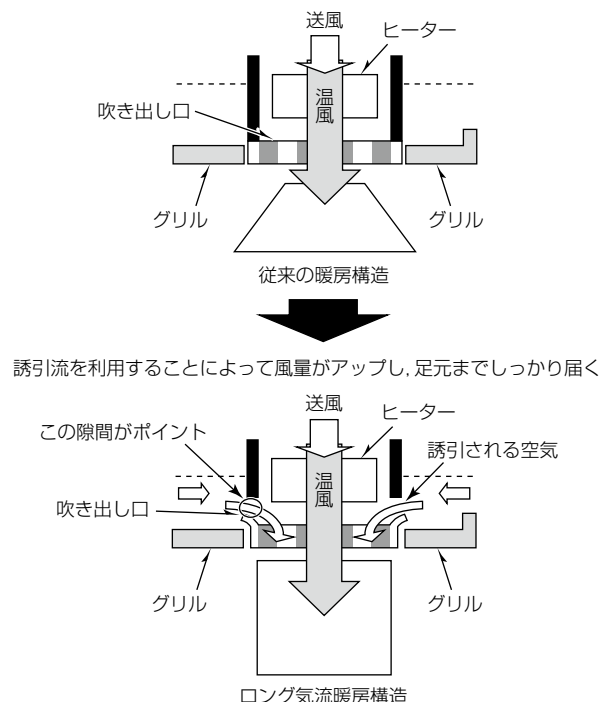


図5. 温風吹き出し部の構造

向けて温風を吹き出すことで、足元付近から温度が上昇する暖房が実現できていることが分かる。

2.2.2 試験結果

図7に洗い場中央の床面から50mm(足元)、1,650mm(頭部)の暖房試験結果を示す。足元の方が、頭部付近に比べて温度上昇が早く、初期温度5℃から15分後には30℃以上に到達していることが分かる。

図8に暖房運転開始後15分後の洗い場中央の高さごとの温度測定結果を示す。低い位置の方が温度が高い結果になっており、洗い場の足元にしっかりと温風を送風できていることが分かる。

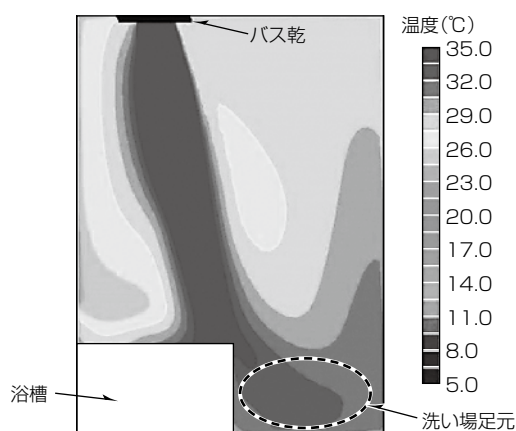


図6. 浴室暖房時の温度分布解析結果

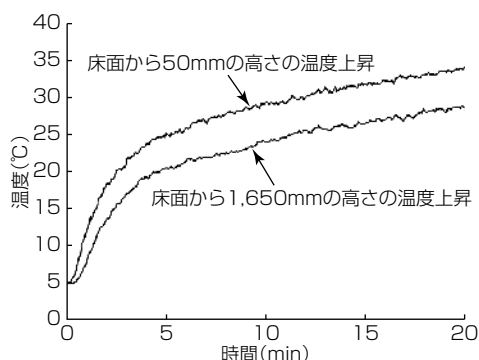


図7. 浴室洗い場中央の温度経時変化(200Vタイプ)

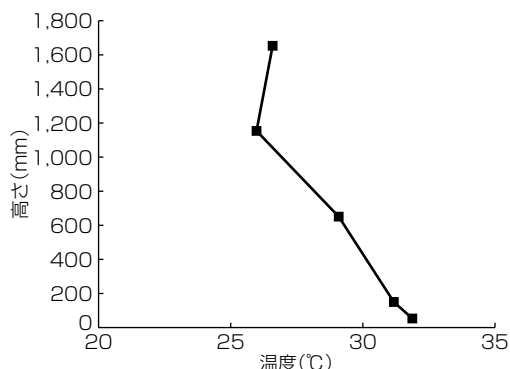


図8. 暖房開始15分後の浴室洗い場中央の温度分布

3. 遠隔操作機能と連携機能

バス乾のコントロールスイッチは、通常脱衣室に設置されており、操作するためには、脱衣室での操作が必要である。近年、スマートフォンの普及によって遠隔操作が可能な機器が増えてきており、利便性の向上を求める声は強くバス乾も例外ではない。バス乾で遠隔操作をする上でどのような機能が必要か検討した結果、次の三つの機能が必要であるとの結論に至った。

- (1) 浴室温度の見える化(事前暖房の判断のため)
- (2) 事前暖房のための遠隔操作機能
- (3) 入浴中に遠隔操作を受け付けられない機能

(1)及び(2)については、遠隔操作をする上で当然の機能であるが、(3)は、浴室側で遠隔操作を受け付けられないようにする機能である。例えば、家族での使用を想定した場合、入浴者と操作者が異なるケースが考えられる。特に、冬期入浴中に換気運転をされると換気による気流が寒さにつながることを想定される。脱衣室等に設置された専用のコントロールスイッチで運転を停止することもできるが、その都度操作する必要があり、手間である。そのため、コントロールスイッチに遠隔操作の受け付けを切り替える機能を搭載し、加えて、入浴後、遠隔操作を使用可能にする操作を忘れないよう、1時間で自動復帰する機能を搭載した。これによって、入浴中に操作されず、入浴後は、遠隔操作が可能になる。さらに利便性向上のために当社エコキュートとの連携機能を開発した。冬期は、毎日のように事前暖房操作が必要になるが、操作忘れが懸念される。そこで、エコキュートの湯はり運転に連動し、バス乾が自動で暖房運転を開始する機能を開発した。これらの機能によって、入浴時に事前暖房を忘れることもなく、寒い浴室に我慢して入る必要がなくなり、快適な浴室環境が実現できる。

4. むすび

従来進めてきた暖房の性能改善に加えて、遠隔操作機能、当社エコキュートとの連携機能を搭載した新機種を開発した。浴室温度の見える化と遠隔操作又は連携機能による事前暖房によって冬期でも快適な入浴に貢献できると考えて、提案をしていく。今後も使用者と施工者の声を聞いて、より使いやすい製品開発に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 鎌田元康, ほか: 浴室・便所の暖房と換気, IBEC, No.11, 19~24 (1991)
- (2) 重臣宗伯, ほか: 高齢者の入浴中突然死に関する調査研究, 日本救急医学会雑誌, 12, No.3, 109~120 (2001)