

“ムーブアイ”による衣類乾燥度検知技術

内田 毅*
赤松久宇**

Technologies Detecting Cloth Dryness Level at Dehumidifier with "Move-Eye"

Tsuyoshi Uchida, Hisayuki Akamatsu

要 旨

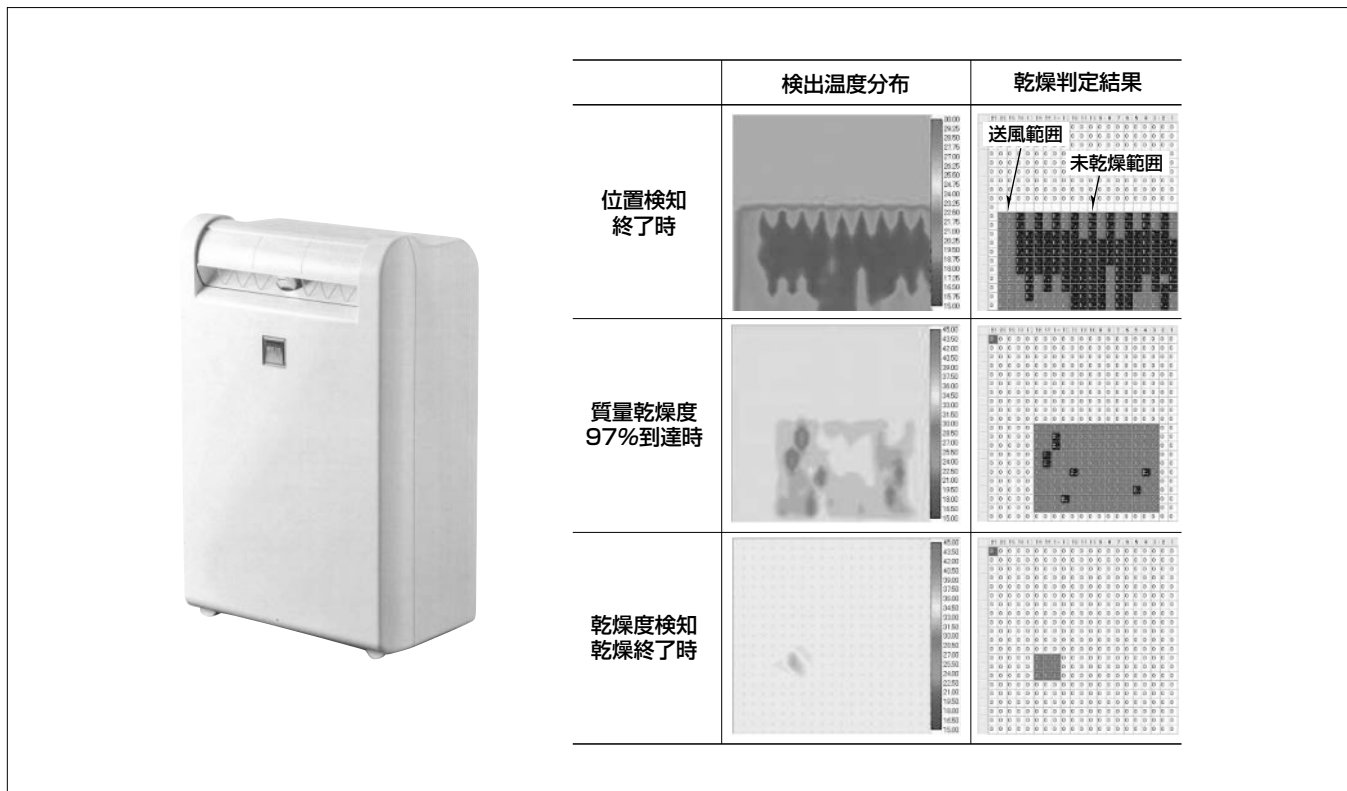
女性が仕事を持ち夜間に家事をする家庭の増加や花粉付着対策として、衣類の室内干しへのニーズが高まり、除湿機の衣類乾燥機能の強化が求められている。“ムーブアイ(サーモパイル)”によって衣類の乾燥度を検知し、乾きむらのない室内干しを実現する全自動衣類乾燥除湿機を開発した。

サーモパイルをルーバーと一体化して設置し、様々な干し方に対応可能な全検出範囲：縦150°×横100°を細かいエリアに分割し、エリア別に衣類表面温度を細かく検出する。乾燥過程の衣類表面温度が、低温状態から徐々に上昇し、乾燥完了時には周囲空気温度同等となる特性を利用し、表面温度と室温との温度差履歴から衣類乾燥度を検知する。全検出範囲から衣類存在範囲を抽出し、その範囲だけを繰

り返し走査・送風し、乾燥度の低い衣類に送風を集中させることによって、衣類の過乾燥や乾きむらを防ぐとともに、三菱電機の従来機に対し、風量アップと合わせて、実用衣類2kg乾燥時で最大約30%の省エネルギー効果を実現した。

この技術を搭載し、衣類の乾燥度を検知して風向制御する業界初^(注1)の除湿機“MJ-M100/80EXシリーズ”は、2010年5月に発売された。サーモパイルを搭載したこの除湿機は、衣類乾燥度検知による衣類乾燥機能強化のほかに、窓などの低温面を検知して結露を抑制する“自動除湿運転”や、浴室における水滴を検知して浴室乾燥を効果的に行う“浴室カビガード運転”を搭載している。

(注1) 2010年4月1日現在、当社調べ。



ムーブアイ搭載 全自動衣類乾燥除湿機“MJ-M100/80EXシリーズ”

左は2010年5月に発売されたムーブアイ搭載除湿機の外觀図である。ルーバーと一体化して設置されたサーモパイルが、縦150°×横100°の様々なパターンで干された広範囲の衣類表面温度を検出する。右はサーモパイルによる検出温度分布及び乾燥判定結果であり、衣類の存在範囲のみに送風し、乾燥の進行に伴い徐々に送風範囲を絞り、乾きむらのない乾燥運転を実現していることが示されている。

1. ま え が き

近年、女性が仕事をもち夜間に家事をする家庭が増え、また花粉付着対策や高層マンションで室外に衣類を干すことができないなどの理由によって、衣類の室内干しへのニーズが高まり、除湿機も本来の“室内の湿度を下げる”という用途から、“室内に干した洗濯物を乾かす”という目的で使われることが多くなってきている。しかし除湿機は、一般的には運転時間や吸込湿度によって制御されており、衣類を乾燥させるために最適化されていないため、部分的な乾燥残しや過乾燥などの問題が発生している。

そこで、当社のエアコンなどで“ムーブアイ”として搭載されているサーモパイルを用い、衣類の表面温度を検出することによって乾燥度を検知し、乾燥度の低い衣類に集中的に送風する制御方法を開発した。

本稿では、その衣類乾燥度検知アルゴリズム及びその検証について述べる。

2. 衣類乾燥の基本原理

乾燥理論⁽¹⁾に基づき、衣類を一定の温湿度、空気流速に保たれた環境に設置した場合、図1に示した乾燥特性曲線のように、衣類の含水率 $W_r (= (W - W_0) / W_0)$ 、 W ：水分を含んだ衣類の質量、 W_0 ：衣類の乾燥質量)は乾燥の進行に伴って徐々に低下し、乾燥が終了すると一定となり、一方の衣類表面温度 T は徐々に上昇し、乾燥が終了すると周囲空気温度とほぼ同等で一定となる。このとき、乾燥が進行する前の状態で、衣類表面温度が若干上昇する期間を予熱期、一定の速度で乾燥が進行して含水率が直線的に減少し、濡面(ぬれめん)である衣類表面温度が一定となっている期間を恒率期、衣類表面に乾面が発生し、衣類表面温度が周囲空気温度に向かって徐々に上昇する期間を減率期という。また、恒率期から減率期に移行する含水率は限界含水率、乾燥がそれ以上進行しない含水率は平衡含水率と呼ばれている。図1から、衣類の乾燥を判断するためには、含水率が平衡含水率に到達し、衣類表面温度が周囲空気温

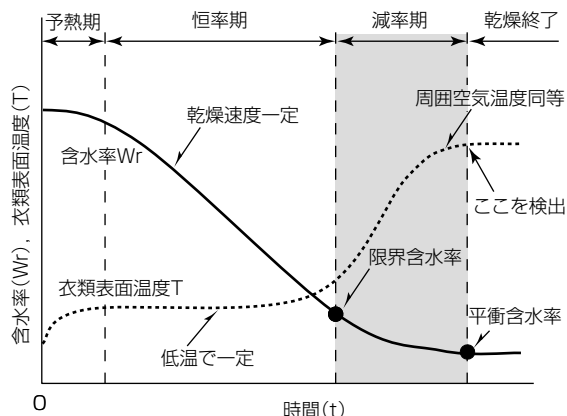


図1. 乾燥特性曲線(周囲空気温湿度及び空気流速一定)

度同等となったことをサーモパイルによって検知すればよいことになる。

3. 制御アルゴリズム開発内容

3.1 ムーブアイ除湿機の概略仕様

図2にムーブアイ除湿機の、サーモパイルの検出範囲イメージを示す。サーモパイルはルーバーと一体化して設置されており、衣類の様々な干し方に対応可能な縦150°×横100°の範囲に対して、送風方向と同一方向の衣類表面温度を検出する。実際の制御では、全検出範囲を細かいエリアに分割し、各分割エリアで表面温度を検出して、衣類の存在や乾燥度の判定を行う。

3.2 衣類乾燥度検知アルゴリズム

図3に、制御アルゴリズムの概略フローチャートを示す。まず衣類位置検知として全範囲を問引いて走査し、衣類のおおまかな存在範囲を抽出し、衣類乾燥度検知として存在

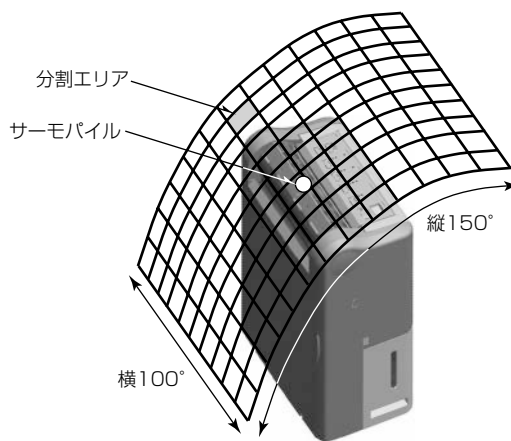


図2. ムーブアイ除湿機の検出範囲イメージ

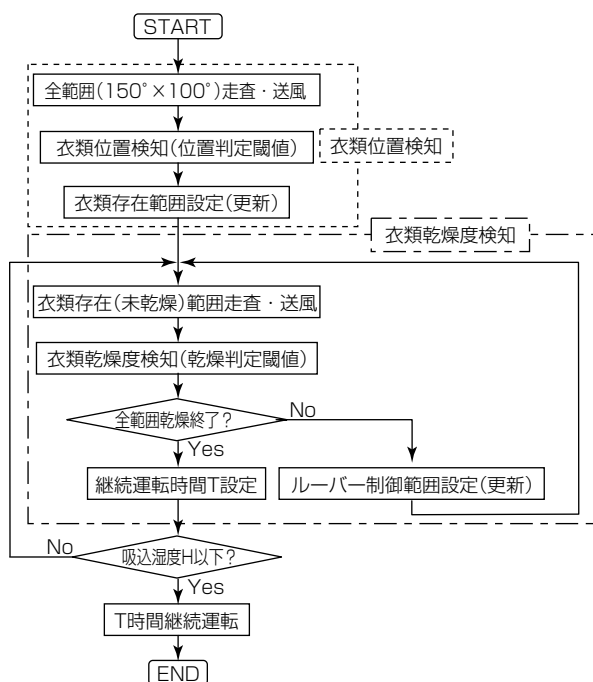


図3. 制御アルゴリズム概略フローチャート

範囲のみを細かく走査し乾燥度を検知する。乾燥度の低い衣類範囲に送風を集中させ、徐々に送風範囲を絞り込み、最終的な乾燥運転の終了は、吸込湿度も反映して判定する。

3.2.1 衣類位置検知

室内で除湿機によって衣類を乾燥させる場合、衣類の干し方には様々なパターンがあり、この除湿機的全検出範囲：縦150°×横100°は、衣類をかもいやカーテンレールなどの高所からつるして下から送風する“上干し”や、衣類を床置き物干しにつるして前から送風する“前干し”などのほとんどのパターンをカバーできる仕様となっている。しかし、例えば図4(a)に示した“上干し”の場合、除湿機から見た衣類は、縦ルーバー方向に対しては広く分布するが前方には存在せず、横ルーバー方向に対しては狭い分布となるため、全検出範囲を細かく検出すると、衣類の存在しない範囲を走査・送風することになる。そこで、個々の衣類乾燥度を検知する前に、全検出範囲から衣類のおおまかな存在範囲を抽出する。具体的には、図4(b)に示すように全検出範囲を間引き走査し、分割エリアの表面温度が位置判定閾値(しきいち)(≒室内湿球温度)以下の範囲を衣類位置と判断し(図中着色範囲)、すべての衣類位置を含む長方形範囲を衣類存在範囲として抽出し、小さい衣類などの検出漏れを回避できるようにしている。

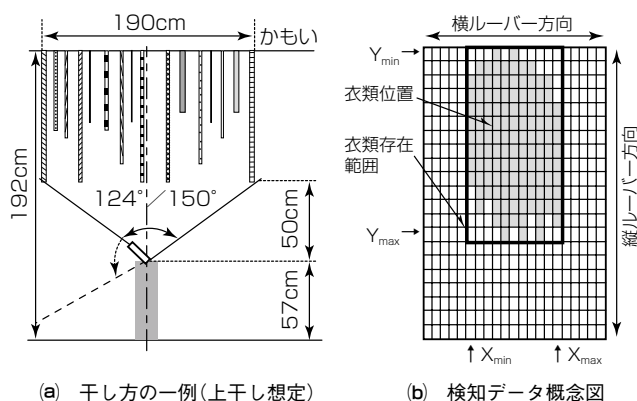


図4. 衣類位置検知概念図

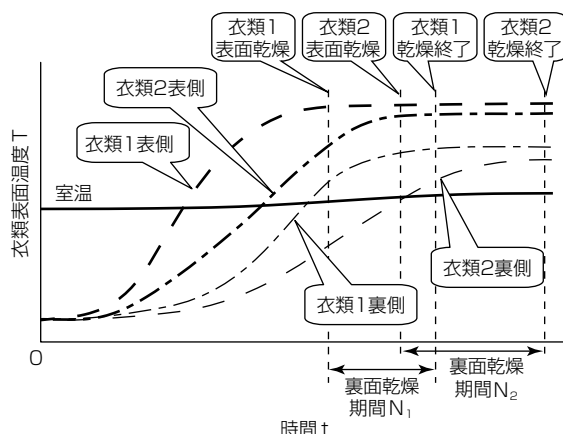


図5. 衣類乾燥判定概念図

3.2.2 衣類乾燥度検知

衣類表面の乾燥終了判定は、図1に示したように、衣類表面温度が周囲空気温度同等となったことをサーモパイルによって検知すればよいが、除湿空気を送風して衣類を乾燥させる実際の除湿機の運転では、衣類の設置位置によって周囲空気温度が異なり、また衣類の種類によって乾燥のしやすさが異なるため、図5に示すように、乾燥速度の大きい衣類1(近距離又は乾燥しやすい種類)と乾燥速度の小さい衣類2(遠距離又は乾燥しにくい種類)とでは、乾燥終了時の到達温度や乾燥過程における温度上昇特性が異なることになる。また最終的に乾燥終了を判定するためには、図5中破線で示した、サーモパイルでは検出できない衣類裏面温度も考慮する必要がある。

そこで衣類乾燥度検知では、サーモパイルによって検出された衣類表面温度の絶対値だけではなく、表面温度の時間的変化を算出し、分割エリアの表面温度が室温より高く(減率期に到達)、かつ時間的変化がなくなることを、その分割エリアに存在する衣類表面の乾燥終了条件とする。そして表面の乾燥終了条件を満たした後も送風を継続し、図5に示すように、衣類裏面の乾燥に必要な裏面乾燥期間N経過後に、その分割エリアの乾燥が終了したと判定し、送風範囲から除外する。裏面乾燥期間Nは、各分割エリアに存在する衣類の設置位置や種類によって異なるので、表面温度の温度上昇特性から乾燥速度を推定し、乾燥速度の大きい衣類1の存在する分割エリアの裏面乾燥期間N₁は短く、乾燥速度の小さい衣類2の存在する分割エリアの裏面乾燥期間N₂は長く設定し、乾燥速度の小さい衣類ほど表面乾燥後の送風を長く継続する。このように、衣類の乾燥速度や衣類裏面の乾燥状態を反映して乾燥度を判定し、乾燥度の低い衣類に集中的に送風するように徐々に送風範囲を絞ることによって、衣類の乾きむらや過乾燥を抑制し、乾燥時間の短縮が可能となる。

4. 制御アルゴリズム検証

制御アルゴリズムの妥当性を検証するために、図6に示す実用衣類(Yシャツ、綿シャツ、バスタオルなど混在)



図6. 衣類乾燥試験状況(実用衣類 2kg)

表 1. 効果検証試験結果(現行機S100との比較)

	質量による判定 (質量乾燥度97%到達)	温度による判定 (全衣類室温+2℃以上)
乾燥終了時間(時短)	68.0%	73.9%
消費電力量(省エネルギー)	70.5%	76.7%

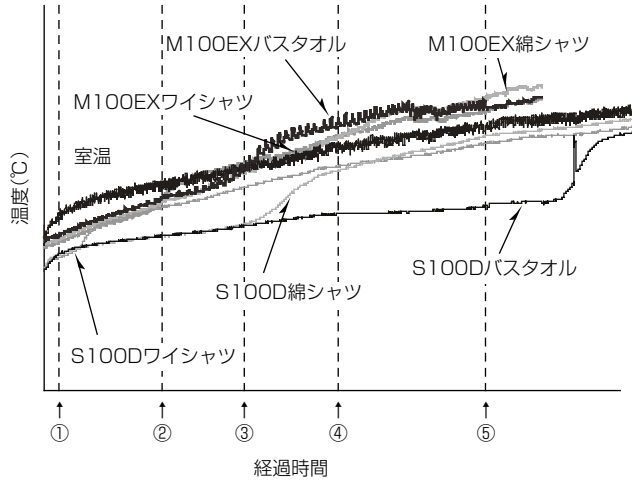


図 7. 衣類温度の過渡特性

2 kgに対して乾燥試験を実施した。従来機“S100D”とムーブアイを搭載した“M100EX”を比較した結果、表 1 に示すように、衣類質量で乾燥度が97%に到達するまでの乾燥終了時間及びそのときの消費電力量は、S100Dに対して約30%削減されていることを確認した。図 7 に、熱電対で測定した代表的な衣類温度の過渡特性を示す。どの衣類でも、図 1 及び図 5 で示した減率期における衣類温度の上昇が見られ、S100Dよりも乾燥度の低い衣類に集中的に送風しているM100EXの方が、衣類温度の上昇が速いことが示されている。図 8 は、図 7 の①～⑤の時点での、サーモパイルによる検出温度分布及び乾燥判定結果であり、乾燥判定結果では長方形で塗りつぶされた範囲が送風範囲、その中の変色部分が未乾燥範囲を示す。衣類位置検知が終了した初期段階では未乾燥範囲が多く分布しているのに対し、乾燥が徐々に進行し、一般的に乾燥が終了したと判断される質量乾燥度が97%に到達した時点でも、バスタオルや靴下などの乾きにくいものを未乾燥範囲として検知しており、最終的には乾燥度検知によって、乾き残しなく乾燥終了を判定していることが示されている。

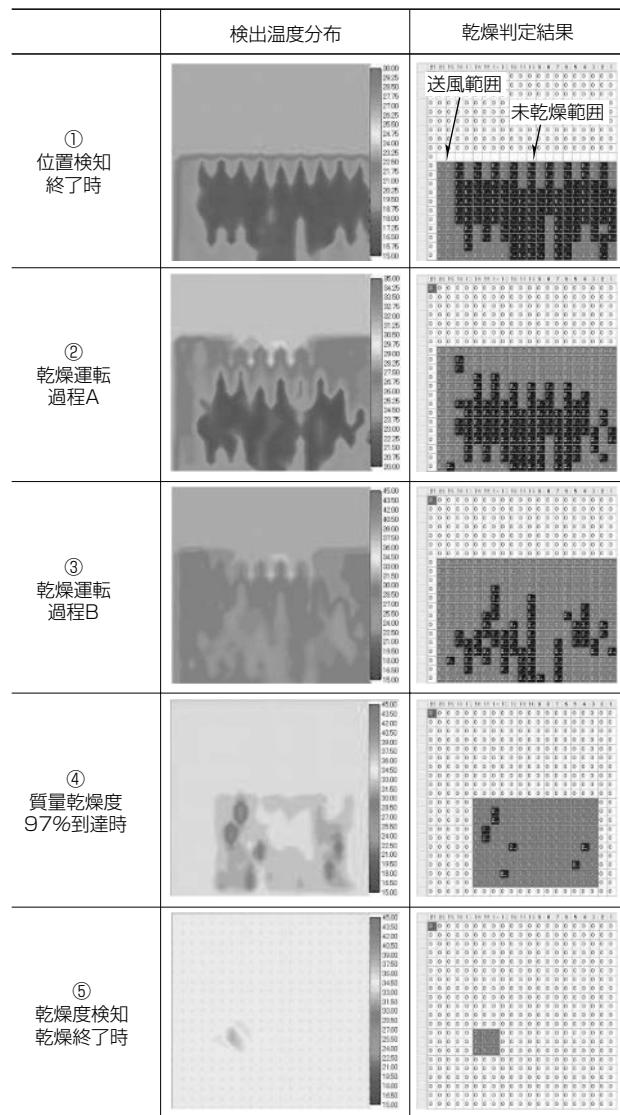


図 8. 検出温度分布及び乾燥判定結果

5. むすび

ルームエアコンで高い評価を得ている“ムーブアイ”を利用し、室内干しで不満とされる乾き残しや過乾燥などを抑制する全自動衣類乾燥機能は、衣類乾燥を主な用途とする除湿機ユーザーに広く受け入れられている。今後も、ユーザーや時代のニーズをいち早く察知し、独りよがりではない、ニーズに合った製品開発を心がけていきたいと考える。

参考文献

- (1) 竹内 雍, ほか: 解説 化学工学, 培風館, 204~207 (1989)