

RD-1000 形 除 湿 機 の 実 用 特 性

Practical Characteristics of RD-1000 Type Dehumidifier

田 中 健 二* 萩 尾 友 紀*
Kenji Tanaka Tomonori Hagio

要 旨

わが国は多湿で、この気候風土に最適の住いとして、屋根と柱だけでできている和風の建築が、発達してきたのであるが、生活環境が洋風化され、また建築材や建築技術の進歩により、冬暖く、夏涼しい住宅が建つようになってきた。しかし密閉性がよくなったため湿気が逃げず、新築の壁が乾燥しなかったり、また壁にアセやカビが出たり、畳がじめじめしたりという湿害が出てきた。これに対処するものとして家庭用除湿機 RD-1000 形は好評を博している。本報告は、この RD-1000 形の概要と実用特性について述べたもので、「除湿機運転による湿度低下と時間の関係」、「室内の建材の除湿による乾燥」、「壁の結露を防ぐための湿度」などについて解析するとともに実際に使用した場合の特性について述べた。

1. 緒 言

生活環境や生活様式の変化に伴い壁に結露したり、カビが発生したり、畳がべとついたり、家具や建具が狂ったりという湿害が出ているが、このじめじめした湿気を追放する家庭用除湿機として、日立製作所では昭和 43 年から手軽に部屋（へや）から部屋に持ち運べる RD-758 形を発売して好評を博してきたが、このほど性能、機能面においていちだんと向上した RD-1000 形を新たに開発し、発売した。以下その概要と、実用特性について述べる。

2. RD-1000 形除湿機の概要

2.1 外 観

本機は必要に応じて除湿すべき場所に容易に移動できることを、大きな特色とするので、本体の形状、重量は使用上最も重要な点であり、外観上次の特長を持っている。

(1) 薄形、横吸込み、横吐出し式

現在市販中の除湿機の風の流れは、RD-758 形の下吸込み、上吐出しのほかに、前吸込み、後吐出し、あるいは前吐出し、後吸込みの方式が採用されているが、後の 2 者は奥行寸法が大きくなるとともに、壁にぴったり押しつけることができない欠点がある。そこで置き場所をとらないよう薄形のキュービックスタイルで、横吸込み、横吐出しとし、壁にぴったり押しつけて使用できるようにした。

(2) オールプラスチックのキャビネット

意匠の新鮮さ、軽量化、部品数の低減のためプラスチックのキャビネットとしたが、意匠は市販中の除湿機のイメージとは、全く違った一般の主婦にアピールする明るい色調で、皮シボ模様のブラウンとクリーム美しいツートンカラーである。

軽量化については最も重量のある鋼板製のフレームをなくすこととし、熱交換器、電気品などを全くプラスチックのキャビネットに一体に成形したリブに取り付ける構造とした。

本機の外観は図 1 に示すとおりである。

2.2 仕様および構造

本機の構造は図 2 に示すように薄形のキュービックスタイルで最上部の両端に取っ手があり、ここを持って運ぶようになっている。図において、本体右側面 A よりファンによって吸い込まれた水分をおびた空気は矢印のように流れ、蒸発器の表面に当たる。蒸発器表面はその状態の露点温度以下に冷却され、空気中の水分はその表面に凝縮し除湿水として水受容器に滴下する。除湿された空気はさらに凝縮

* 日立製作所栃木工場

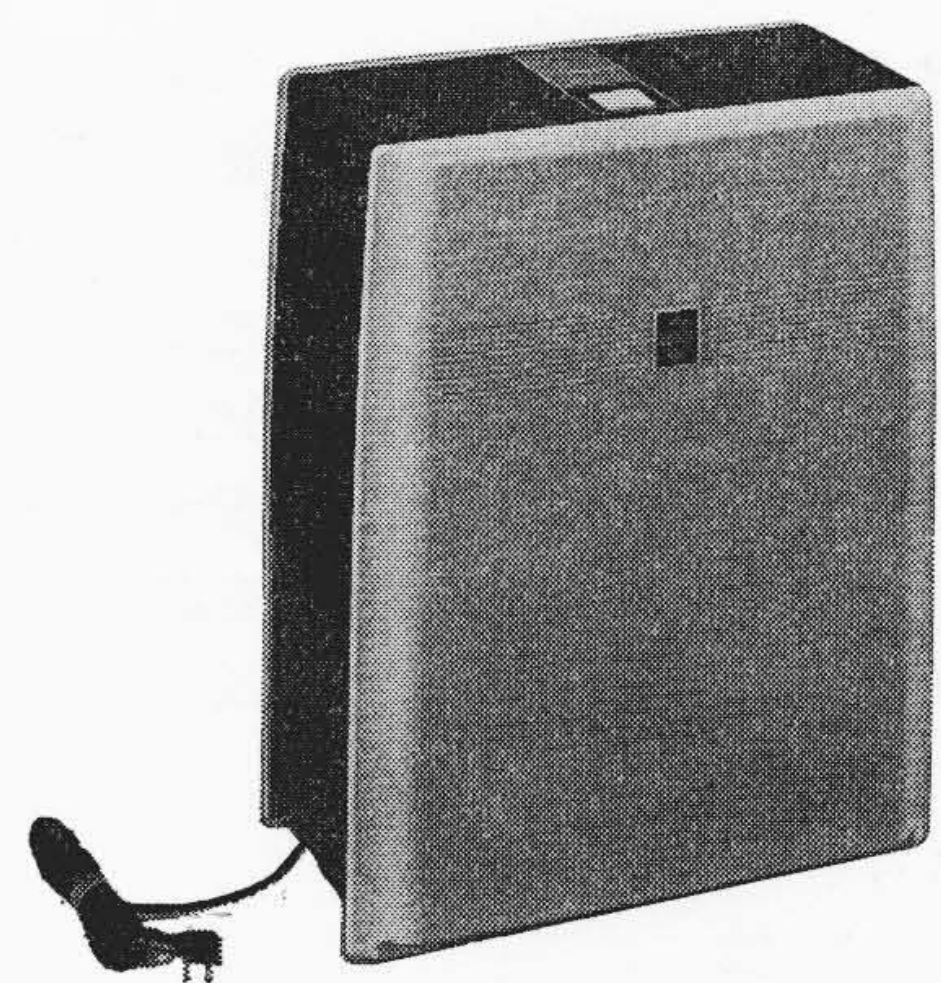


図 1 RD-1000 形除湿機

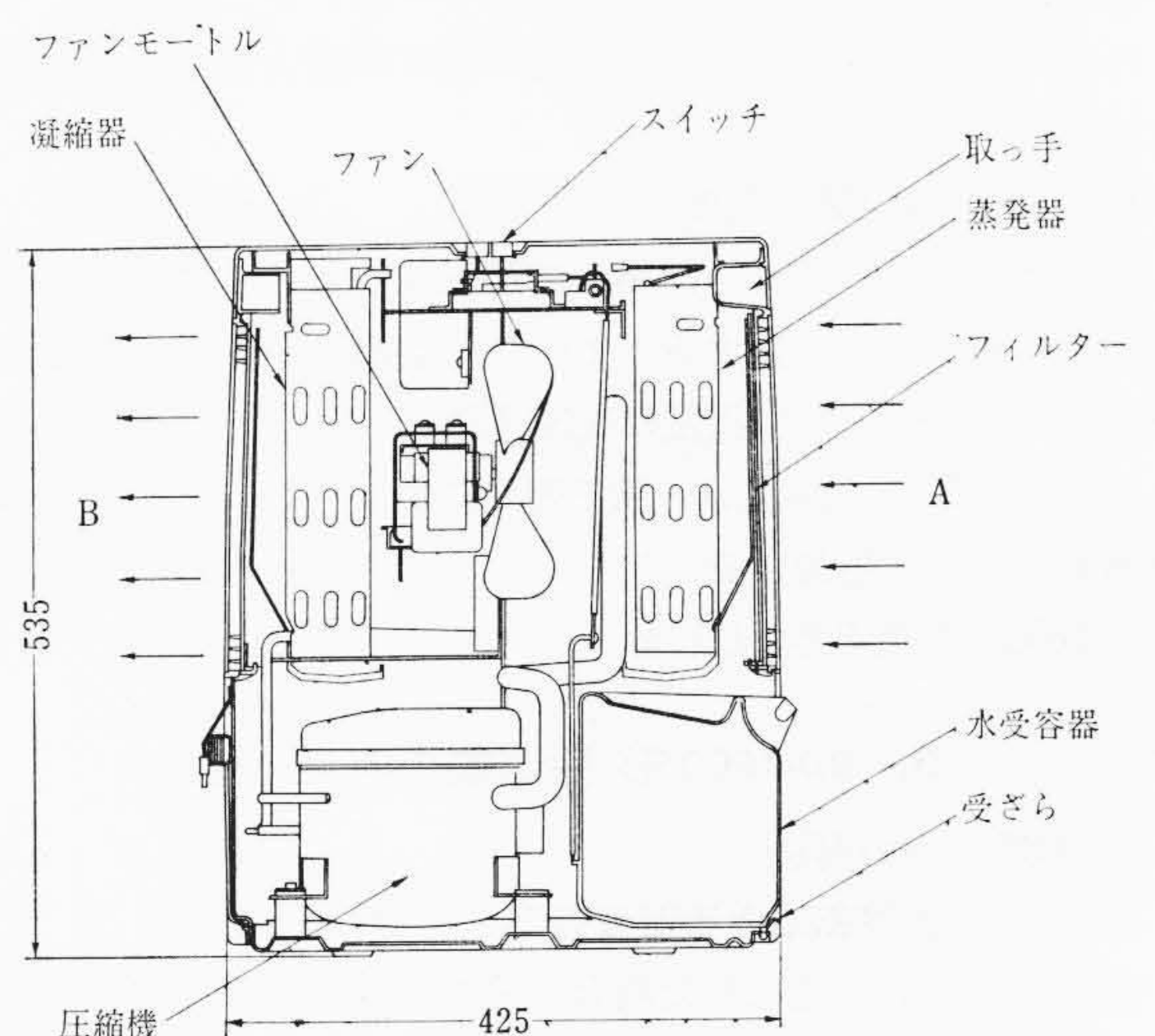


図 2 RD-1000 形除湿機構造

器を通過し、凝縮器を冷却したのち、左側面 B から吐出される。

運転、停止は簡単な押しボタン操作によるスイッチでできる。水受け容器に除湿水がある限度以上たまると、水受け容器の重量の増加によってスイッチが自動的に働いて運転を止め、水受け容器から水があふれないような機構を有している。

2.2.1 熱 交 換 器

本体の小形軽量化を図るため、蒸発器と凝縮器に新たに開発されたフィンチューブ一体形熱交換器、すなわちアルミの引抜き加工によりパイプ部とフィン部を一体に構成した熱交換器を採用し

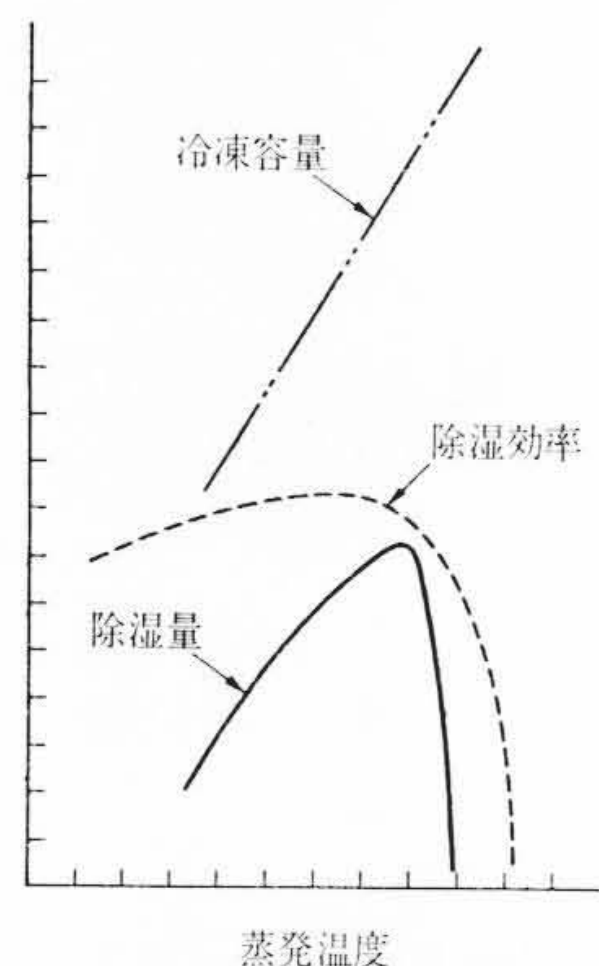


図3 蒸発温度による特性

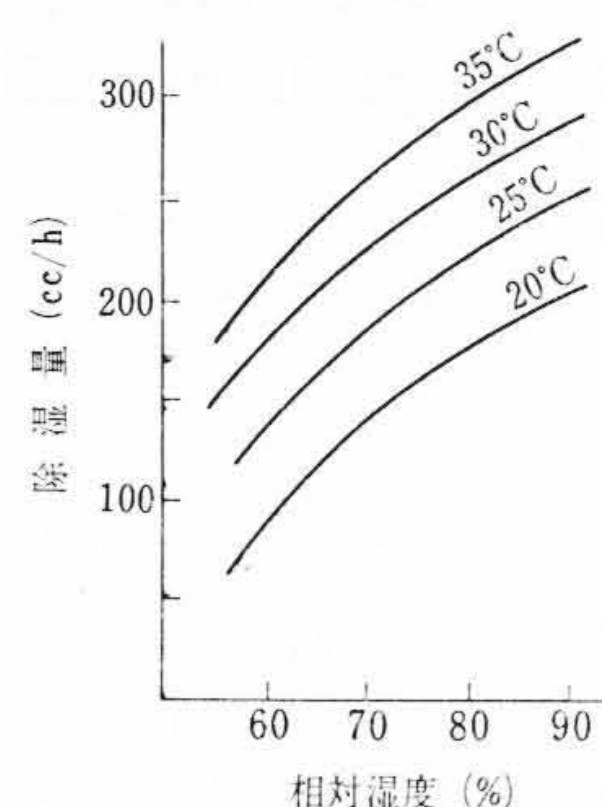


図4 除湿量の変化

た。この熱伝達率は波形クロスフィンチューブに比べ、パイプ部とフィン部の熱抵抗がないため同一前面風速で数倍すぐれている。

次に冷凍サイクルを設定するには、除湿量が最大となるように蒸発温度を決定しなければならない。除湿量は除湿効率と冷凍容量の積で表わされるが、この蒸発温度と、除湿効率、冷凍容量、除湿量との関係を求めると図3のようになる。凝縮に使われる潜熱と冷凍容量の比で表わされる除湿効率は、ある蒸発温度において最大となり、冷凍容量は蒸発温度が上昇するにつれ、冷媒循環量が増加するため増加する。したがって除湿量最大の点は除湿効率最大の点とは一致せず、その蒸発温度より高い温度となる。

2.2.2 仕様

仕様は表1に示すとおりである。

2.3 除湿特性

2.3.1 除湿特性

空気条件を種々変化させた場合の除湿量の変化を図4に示す。除湿量は空気条件が高温、高湿になるに従い多くなっているが、これは蒸発器表面温度における飽和絶対湿度と空気絶対湿度との差が大きくなるためである。

2.3.2 除湿可能最低温度

除湿機は室温が下がった場合に運転するときには、蒸発器の表面温度が0°C以下に達することになり表面に霜付きを生じる。この除湿できる最低空気温度は従来15°Cであったが、需要の増大とともに、冬期の湿害が一部で表面に出てきた。そこで本機は伝熱面積を大幅に増加させ、アキュムレータを付け最低空気条件を温度10°C、湿度80%とした。

3. RD-1000形 除湿機の実用特性

3.1 実用特性の解析

3.1.1 除湿機運転による湿度低下と時間の関係

室内で除湿機を運転した場合、その湿度と時間に影響を及ぼす因子は、壁、床、天井材からの湿分の透過、自然換気、内蔵物からの水蒸気の発生がある。

このうち湿分の透過は材料と環境によるが、透湿量は一般に次の式であらわされる。

$$W = \frac{Af}{P} \dots \dots \dots (1)$$

ここに

w : 透湿量 (g/hm²)

Af : 材料両側の水蒸気分圧差 (mmHg)

P : 透湿抵抗 (m²hmmHg/g)

この透湿量の計算結果をコンクリート壁、木造壁、畳について示したのが表2である。この表より明らかなように透湿量は一般

表1 RD-1000形除湿機仕様表

項目		形式	RD-1000
キャビネット			プラスチック製
外法寸法			幅 425×奥行 220×高さ 535 (mm)
冷凍装置	圧縮機		全密閉形出力 100 W 2極
	凝縮器		フィンチューブ一体形
	蒸発器		フィンチューブ一体形
	冷媒制御装置		キャピラリチューブ
	冷媒		R-12
送風機	形式		プロペラファン
	電動機		出力 6 W, 2極
電気特性	電源		単相 100 V, 50/60 Hz
	総合入力		210/260 W
運転スイッチ			満水自動停止装置連動形2点押しボタン式
満水自動停止装置			水受容器満水時 2.6 l で自動的に運転停止
水受容器			プラスチック製、内容積 3.3 l
エアフィルタ			サラネット
湿度調節モット			接続可能
本体重量			16 kg
除湿可能温度			10~40°C
除湿能力			260 cc/時, 50/60 Hz (RT 30°C, RH 80%)

表2 湿分の透過

外気温湿度	30°C	80%	
室内温湿度	30°C	60%	
壁体の構造と畳	15 cm 厚コンクリート ⁽¹⁾ 2 cm 厚モルタル外装 2 cm 厚プラスタ内装	19 mm モルタル ⁽²⁾ 木造外壁 15 mm 漆喰塗 木造内壁	⁽³⁾ 畳
透湿抵抗	112.9 m ² hmmHg/g	20.68 m ² hmmHg/g	4,55 m ² hmmHg/g
透湿量	0.056 g/m ² h	0.305 g/m ² h	1.4 g/m ² h

に除湿量に比べ無視できる値である。次に自然換気および内蔵物よりの水蒸気発生を省略して体積 V_R m³ の部屋で $\Delta\theta$ 時間に $q\Delta\theta$ 除湿され、絶対湿度が X から X' に下がったとすると

$$q(X)\Delta\theta = -V_R r_a (X' - X) \dots \dots \dots (2)$$

ここに

r_a : 空気の比重 (kg/m³)

$q(X)$: 単位時間あたりの除湿量 (kg/h)

となる。除湿量 $q(X)$ は絶対湿度 X が変化すると、当然変化するるのであるが、一定温度に対し、相対湿度 50% 以上は X の一次式⁽⁴⁾で近似できるので

$$q(X) = AX + B \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 A, B : 定数

とおくと

$$\theta = -V_R r_a \int \frac{1}{q(X)} dX = -V_R r_a \int \frac{1}{AX + B} dX \dots \dots (4)$$

となる。時間 $\theta = 0$ のとき室内の絶対湿度 $X = X_0$ の境界条件のもとで積分すると

$$\theta = \frac{V_R r_a}{A} \log_e \left| \frac{AX_0 + B}{AX + B} \right| \dots \dots \dots (5)$$

となる。

次に自然換気を考慮して時間 $\Delta\theta$ 間に絶対湿度 X_0 の空気が $V\Delta\theta$ 侵入するとすると

$$q(X)\Delta\theta = -(V_R - V\Delta\theta) r_a (X' - X) - V\Delta\theta r_a (X' - X_0) \dots (6)$$

となる。したがって同様に積分すると

$$\theta = \frac{V_R r_a}{A + V r_a} \log_e \frac{|AX_0 + B|}{|X(A + V r_a) + B - V r_a X_0|} \dots (7)$$

となる。さらに内蔵物からの水蒸気の発生を考えると、一般にこれを θ の関数で表わすことができる。しかしこの関数の形は水分発生状態によって異なるので一義的に表わすことができない。そこで発生水分量 W kg/h を

$$W = f(\theta) \dots (8)$$

とおくと、水蒸気の発生がある場合には6式の右辺に8式を加えることによって表わすことができる。

3.1.2 室内の建材の除湿による乾燥⁽⁵⁾

室内の建材特にコンクリートやモルタルが部屋の密閉化に伴い、施工後、いつまでも乾燥せず衛生上問題となっている。特に冬期建築された建物は外気温度が低いと乾燥せず、表面湿度が高いためカビが発生したり、その湿気が梅雨時になって出はじめ非常に室内湿度が高くなり、居住者の健康上問題となる場合もあり、コンクリートやモルタル、そのほか建材の早期乾燥が望まれている。この項ではこれら建材の乾燥と湿度との関係について述べる。

じゅうぶんに湿潤した材料は一定の乾燥条件のもとでは、準備乾燥期間、恒率乾燥期間、減率乾燥期間の3期間を経て乾燥するのであるが、建材の乾燥過程は、準備乾燥期間、恒率乾燥期間はわずかでほとんど減率乾燥期間である。そこで減率乾燥について考える。この乾燥速度は材料の特性、乾燥方式、乾燥条件などによって複雑に変化するが、自由含水率 ($W - W_e$) の関数で表わされるから一般に、

$$-\frac{dW}{d\theta} = f(W - W_e) \dots (9)$$

ここに、 W_e : 平衡含水率 (%)

W : 含水率 (%)

となる。ここで減率乾燥速度 R_d が含水率に比例して減少すると仮定すると

$$R_d = -\frac{dW}{d\theta} = K(W - W_e) \dots (10)$$

$$K = \frac{K_H S (X_w - X)}{M (W_e - W_e)} \dots (11)$$

ここに

R_d : 減率乾燥速度 (1/h)

K_H : 物質移動係数 (kg/m²h kg/kg)

S : 蒸発面積 (m²)

X_w : 被乾燥物表面の飽和絶対湿度 (kg/kg)

W_e : 限界含水率 (%)

M : 乾き材料の量 (kg)

となる。

3.1.3 壁の結露を防ぐための湿度

建築構造や、建材の進歩により、密閉性がよくなったうえ、部屋の中で湯気の出る湯沸器やガスレンジを使うことも重なり、逃げ場のない湿気が、気温の低下する夜間とか、北側の壁やこれにつながる内壁、外壁に面する押入内に結露することが問題になっているが、これを防ぐには室内の湿度を次のように維持することが必要である。

壁、窓、天井など部屋の構造体を通して外部に伝達される熱量 Q は一般には定常状態として

$$Q = A k_q (t_i - t_o) \dots (12)$$

ここに

k_q : 熱通過率 (kcal/m²h°C)

t_i : 室内温度 (°C)

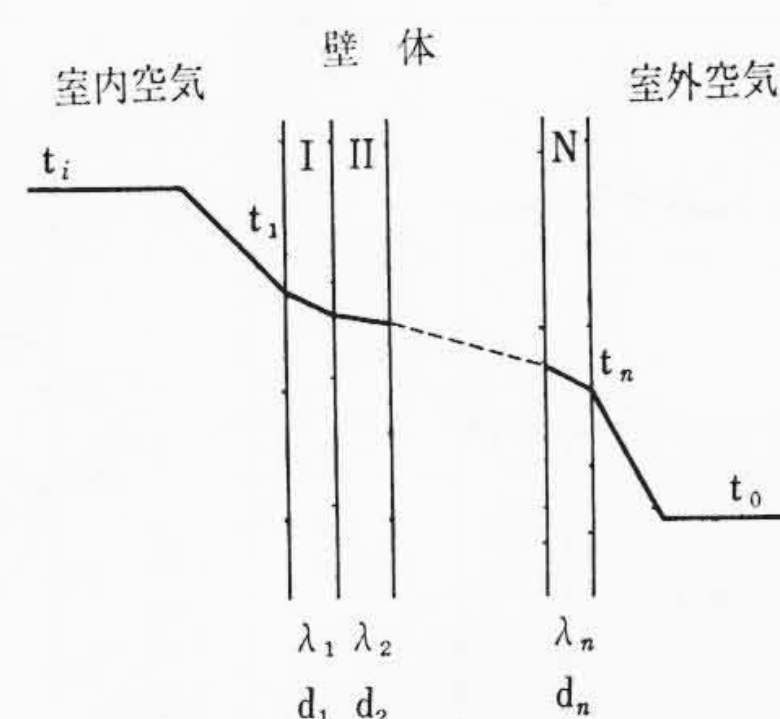


図5 壁体の熱移動

t_o : 外気温度 (°C)

A : 構造体の面積 (m²)

で表わされる。熱通過率 K_q は構造体の表面の熱伝達、構造体内の熱伝導による熱移動の過程を総合した係数で、一般の壁体として図5について考えれば

$$K_q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_o}} \dots (13)$$

ここに

α_i : 壁体の室内表面の熱伝達率 (kcal/m²h°C)

α_o : 壁体の室外表面の熱伝達率 (kcal/m²h°C)

$d_1, \dots, d_n$: 壁体材料の層の厚さ (m)

$\lambda_1, \dots, \lambda_n$: 壁体各材料の熱伝導率 (kcal/mh°C)

となる。また室内側壁体表面の熱伝達について考えると

$$Q = \alpha_i A (t_i - t_1) \dots (14)$$

となる。したがって室内側壁体表面の温度 t_1 は(12)、(14)式より

$$t_1 = t_i - \frac{K_q (t_i - t_o)}{\alpha_i} \dots (15)$$

となる。したがって室内側壁体表面の結露を防ぐには、室内空気の露点温度がこの壁体の表面温度より低くなる湿度に維持しなければならない。

3.1.4 洗濯物の除湿による乾燥⁽⁶⁾

梅雨どき、洗濯(たく)物が乾かなくて困るが、洗濯物の除湿による乾燥について考える。洗濯物の場合にはその乾燥過程は繊維組織のため水分の内部拡散がはなはだ大きく、乾燥速度は自由水面からの蒸発速度にほぼ等しく、この乾燥現象は次式で表わすことができる。

$$W_v = K_H S (X_w - X) \dots (16)$$

ここに、 W_v : 蒸発水分量 (kg/h)

次に恒率乾燥速度 R_c は

$$R_c = \frac{-dw}{d\theta} = \frac{K_H S (X_w - X)}{M} \dots (17)$$

ここに、 R_c : 恒率乾燥速度 (1/h)

となる。

3.2 RD-1000 形除湿機の実用特性

3.2.1 除湿機運転による湿度低下と時間の関係

試験は図6に示す平面図概略のモデルルーム内で実施された。モデルルームは一つの建屋内に収められており、建物全体は一つの恒温室になっている。加熱装置、太陽光線よりの放射熱を出現するための赤外線ランプ、加湿装置その他により種々な環境条件を任意に再現できるようになっている。

試験は外気条件、温度 30°C、湿度 80% について和室 6 畳 (6 畳+床の間) で行なわれ、室内外温度、湿度を同一として、畳、壁などの建材の含水率が空気条件と平衡になるよう、じゅうぶん安定したのち、RD-1000 を 50 Hz、100 V で運転し、室内温湿度の変化、除湿量、消費電力を記録した。結果は図7に示すとおり

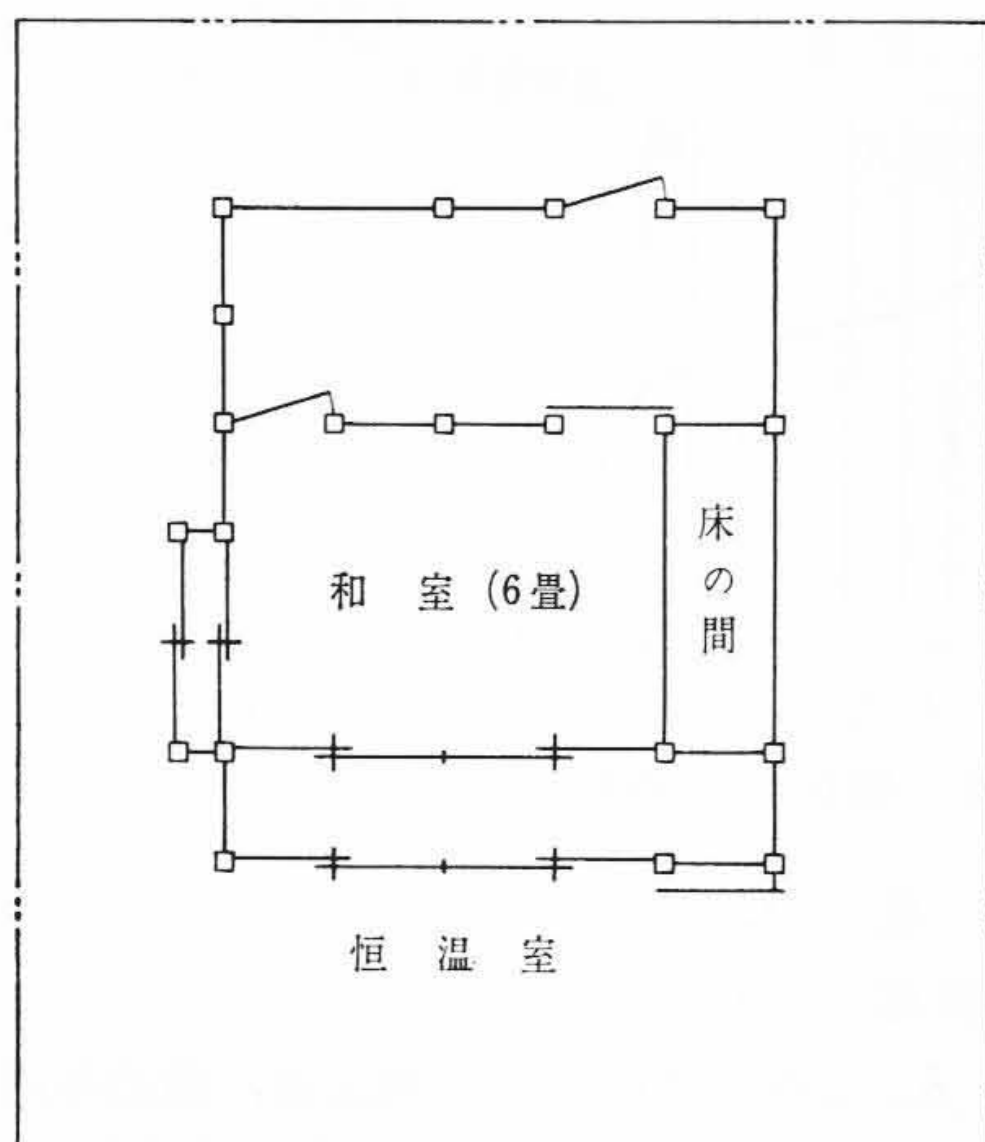


図6 モデルルーム平面図概略

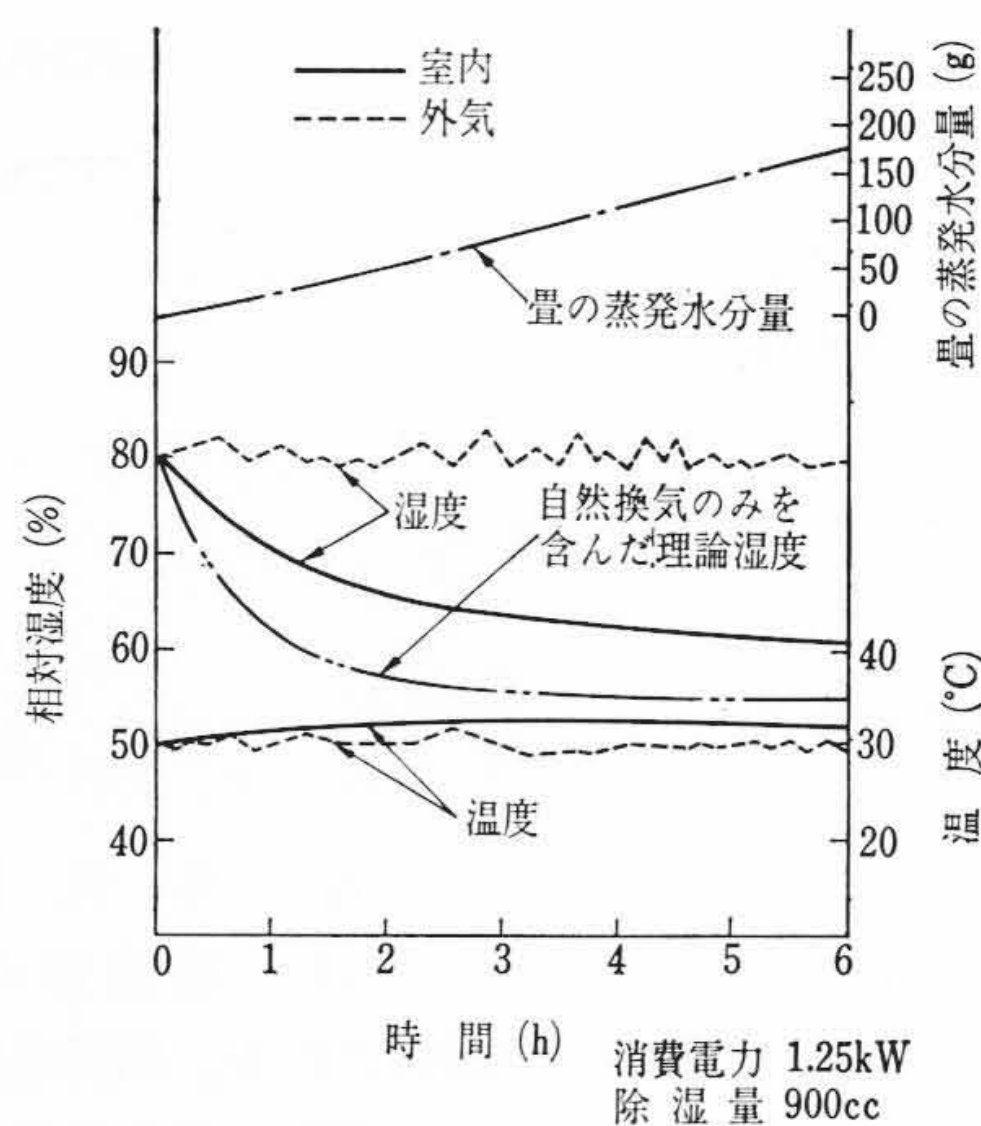


図7 湿度低下と時間

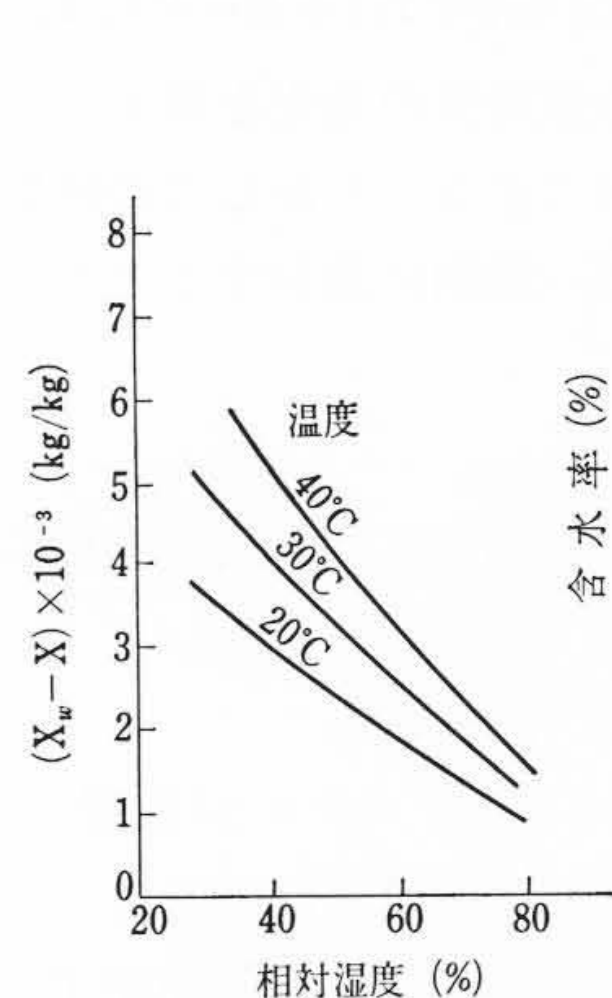
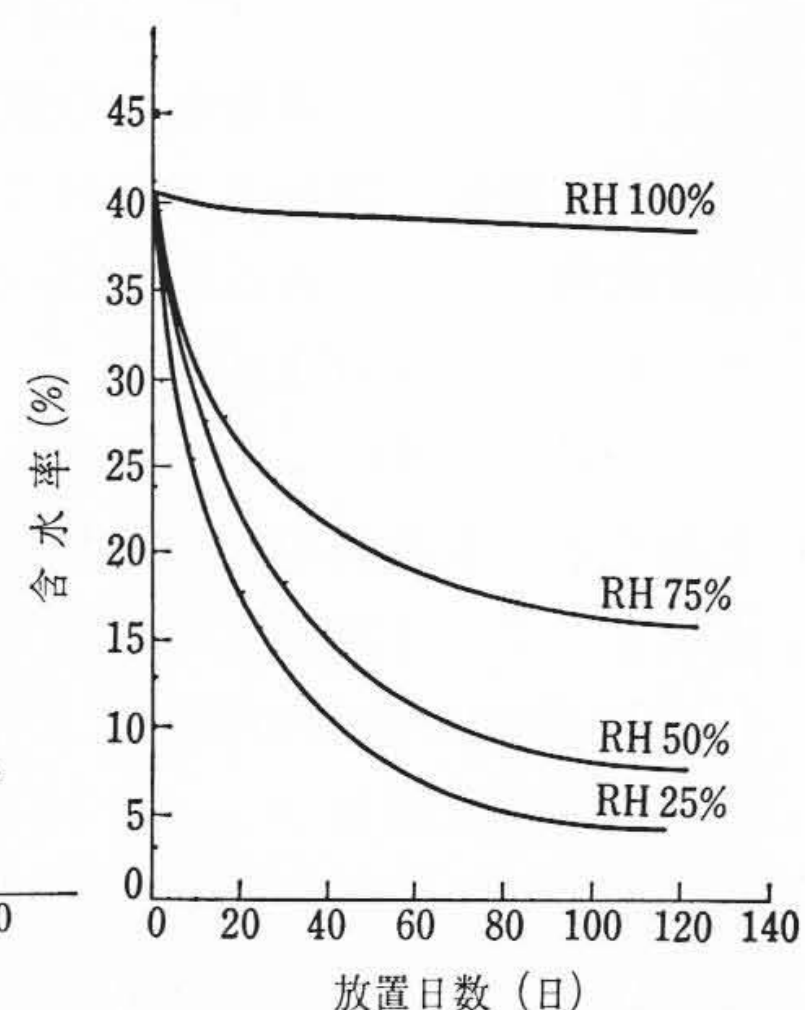
図8 $(X_w - X)$ と相対湿度の関係

図9 モルタルの乾燥

である。湿度はカビが最も発生しやすい70%を大幅に切り61%まで低下した。温度は圧縮機の電動機の発熱、凝縮器の放熱そのほかによりわずかに2°Cの上昇が認められた。次に3.1.1で自然換気、内蔵物からの水蒸気の発生について触れたが、このモデルルーム和室について自然換気だけを考慮すると、(7)式より図7の2点鎖線で示すように、6時間経過後55%に達する。この61%と55%の差が内蔵物からの水蒸気の発生であり、内蔵物(建材など)の乾燥に費やされている。

3.2.2 室内の建材の除湿による乾燥

先きの3.1.2の建材の乾燥速度の(10)式と(11)式より、それに影響を及ぼす因子として材料および構造固有の因子と、乾燥条件による因子があることがわかる。このうち乾燥条件による因子 $(X_w - X)$ を考える。乾燥速度を大きくするには(10)式、(11)式よりこの $(X_w - X)$ を大きくすればよいが、 $(X_w - X)$ と相対湿度との関係は温度をパラメータとして表わすと図8のようになる。これより $(X_w - X)$ を大きくするには建材の表面温度をあげるか、相対湿度を下げるか二つの方法があるといえるが、コンクリートとかモルタルなどの建材を乾燥させる場合、表面温度をあげることは実際の作業上困難なので、相対湿度を下げるのが最も簡単な有効な方法である。たとえば相対湿度を20%下げると $(X_w - X)$ は2倍となるので、乾燥期間を半減できることになる。

次にこの除湿効果を実験的に確かめるためモルタルを温度20°C、湿度100%、75%、50%、25%のデシケータ内に入れ乾燥させた。供試モルタルは水中養生を行なったので最初の状態は飽水状態である。その結果は図9に示すとおりであるが、図中、湿度50%と75%の場合を比較すると、同一含水率になるのに50%の場合は75%の場合の半分以上の日数で乾燥し、ほぼ理論と一致している。

一方、建材の乾燥負荷と除湿能力について考えると、建材からの水分蒸発は6畳から12畳の広さでコンクリート構造の場合、施工後の経過日数によって異なるが1時間あたり50~120 cc⁽⁷⁾程度と考えられる。次に梅雨どき、あるいは北側の湿っぽい部屋で畳がジトジトするとき、除湿機を使うとサラツとして膚ざわりがよくなるが、実際の畳からの蒸発水分量を調べてみることにした。試験はモデルルームで行なわれその結果は先述の図7に示されている。6畳和室の畳の一部分を切り取り、その重量変化を調べこれを6畳に換算した。この結果6時間で170 ccの水分蒸発があった。したがって、これら水分蒸発量を考慮しても密閉化の進んだ室内の建材の乾燥にはRD-1000形の除湿能力でじゅうぶんといえる。

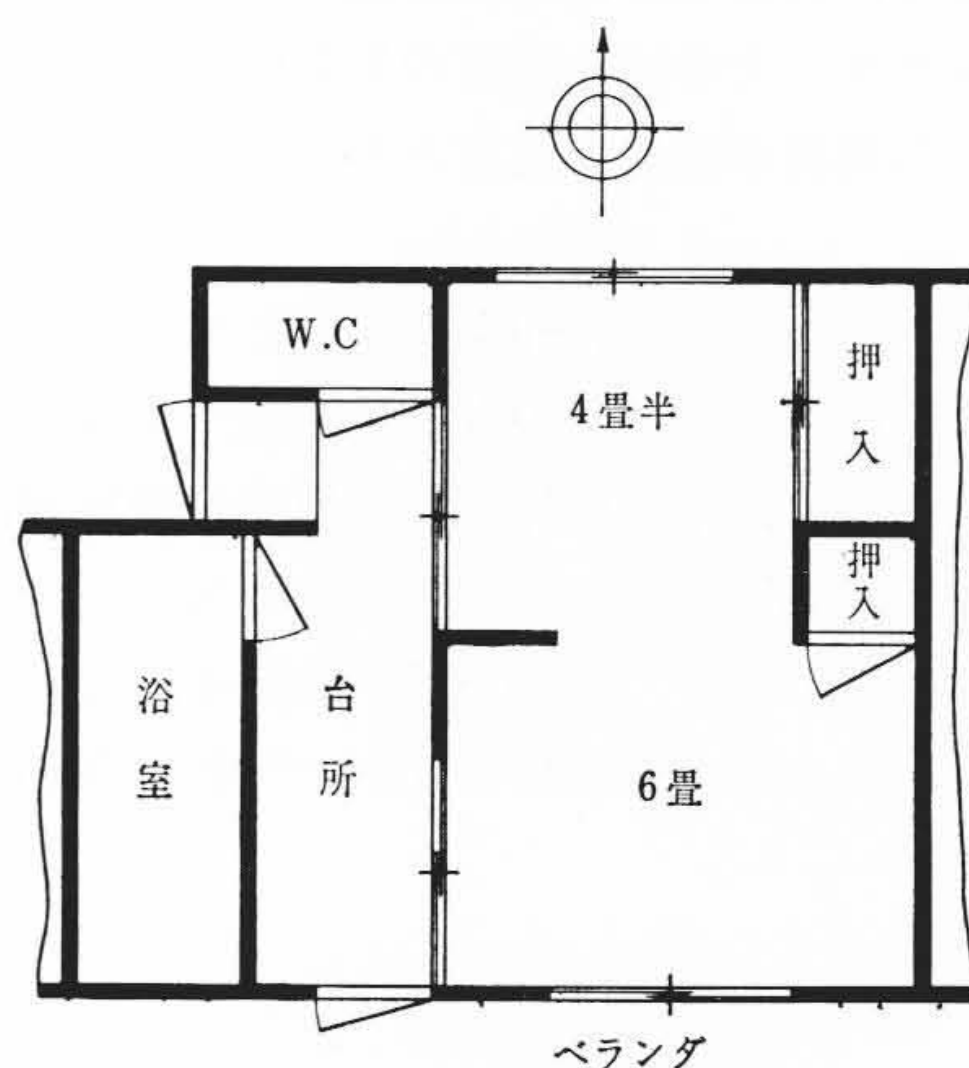


図10 アパート平面図概略

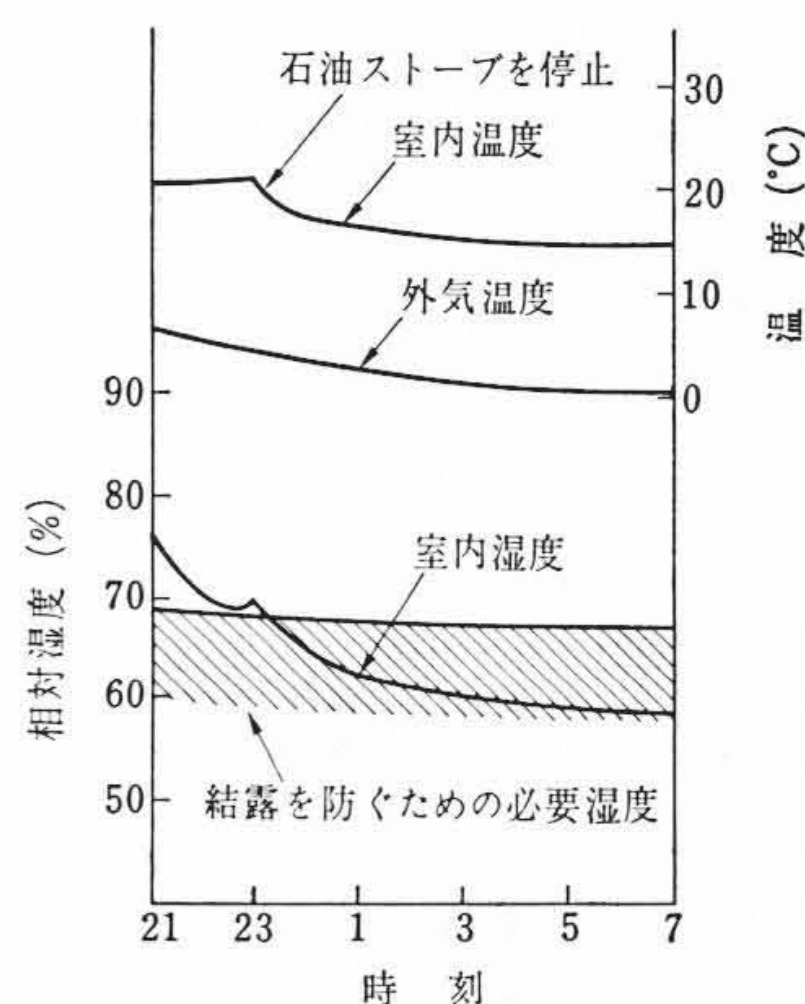


図11 壁の結露防止の試験

3.2.3 壁の結露を防ぐための湿度

従来北側の壁の一部および押入に結露現象があった図10に示す2Kの鉄筋コンクリートのアパートで試験を行なった。暖房は石油ストーブである。結果は図11に示すとおりであるが除湿前の状態は外気6°C、室内温度20°C、湿度76%であった。湿度が高いのは台所や、浴室の湯気の流入によると考えられる。運転記録は21時から7時までである。その結果室内湿度は59%まで低下し、朝従来見られた壁の結露はほとんどなくなっていた。

これを先の(15)式を使用して解析する。この北側の壁は1.5 cm厚モルタル外装、15 cm厚コンクリート、1.5 cm厚モルタル、3 mm厚プラスター内壁となっており、この熱通過率 kq は3.12 kcal/m²h°C⁽⁸⁾、室内側壁体表面の熱伝達率 α_i は7.5 kcal/m²h°C⁽⁹⁾である。したがって室内側壁体表面の温度 t_i は(15)式より運転開始時14.1°C、試験終了時8.9°Cとなる。これより結露を防ぐための室内湿度は図11に斜線で示すように67%~69%以下に維

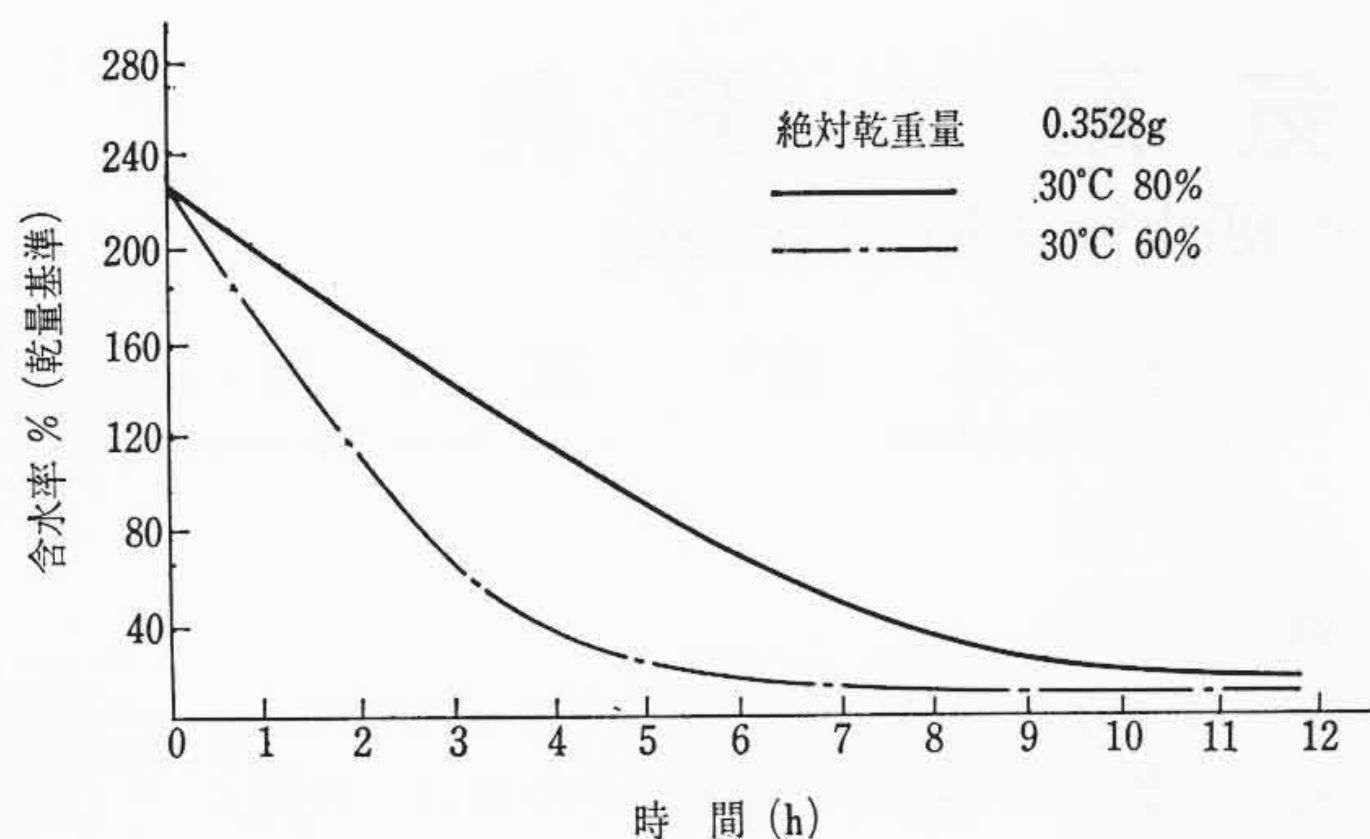


図12 木綿布の乾燥

持すればよいことになり、試験の結果58%まで低下した2Kのアパートの北側の壁の結露がなくなったことを裏付けることができた。

3.2.4 洗濯物の除湿による乾燥

先の3.1.4より、洗濯物の乾燥速度に影響を及ぼす乾燥条件による因子は、3.2.2で述べた建材の場合と同様、 $(X_w - X)$ である。したがって乾燥速度を上げるには、相対湿度を下げればよい。この相対湿度を20%下げると $(X_w - X)$ が2倍となり、乾燥速度が2倍となることを、建材の場合理論的にも実験的にも確かめたが、洗濯物についても木綿布で同じようなことを確かめることができた。これはじゅうぶん湿潤した木綿布を30°C、80%と30°C、60%のデシケータに入れて乾燥したのである。その結果は図12に示すとおりである。この結果から60%と80%の乾燥速度は約2倍の差があり、ほぼ図8と一致している。

次に実用試験として、雨天あるいは曇天を想定し、先述のモデルルームで試験した。試験は室内外温度、湿度を30°C、80%に保ちじゅうぶん安定させたのち、和室内と室外にそれぞれ同一の洗濯物をつるし、RD-1000を50Hz、100Vで運転し洗濯物の重量変化を記録した。その結果は図13に示すとおりである。乾燥時間は洗濯物の材質によって異なるが、除湿乾燥の和室内の洗濯物は自然乾燥の室外の洗濯物に比べ2倍以上の速度で乾燥することがわかった。特に低含水率時に、自然乾燥の場合極端に速度が落ち除湿乾燥との差が目だった。またこの実験では湿度が漸次80%から60%に下がっているのに、時間が半減したのは、除湿機の吐出風速によって室内の空気に流れを生じ、表面蒸発係数が大きくなったためと考えられる。

次に除湿はふとんの乾燥に効果があるといわれているので、ふとんの乾燥試験をモデルルームの和室で行なった。この結果は図14に示すとおりである。これはふとんを部屋の中に広げておきその重量変化を調べたのである。掛けふとん1枚の6時間後の蒸発水分量は44gであり効果が確認された。

4. 結 言

以上RD-1000形除湿機の概要と実用特性について述べたが、まとめてみると

- (1) 除湿機運転による湿度低下と時間の関係を理論的に解析し、自然換気と内蔵物から発生する水蒸気がそれに影響することを明らかにした。またモデルルーム6畳和室(6畳+床の間)の試験の結果、30°C、80%の外気条件、運転時間6時間で61%まで低下し、RD-1000形は家庭用としてじゅうぶんな能力を持っていることを確認した。
- (2) 建材の乾燥過程について解析を行ない、乾燥速度を大きくするのに相対湿度を下げると効果があり、相対湿度を20%下げると乾燥期間を半減できることを明らかにした。さらにこの理論を

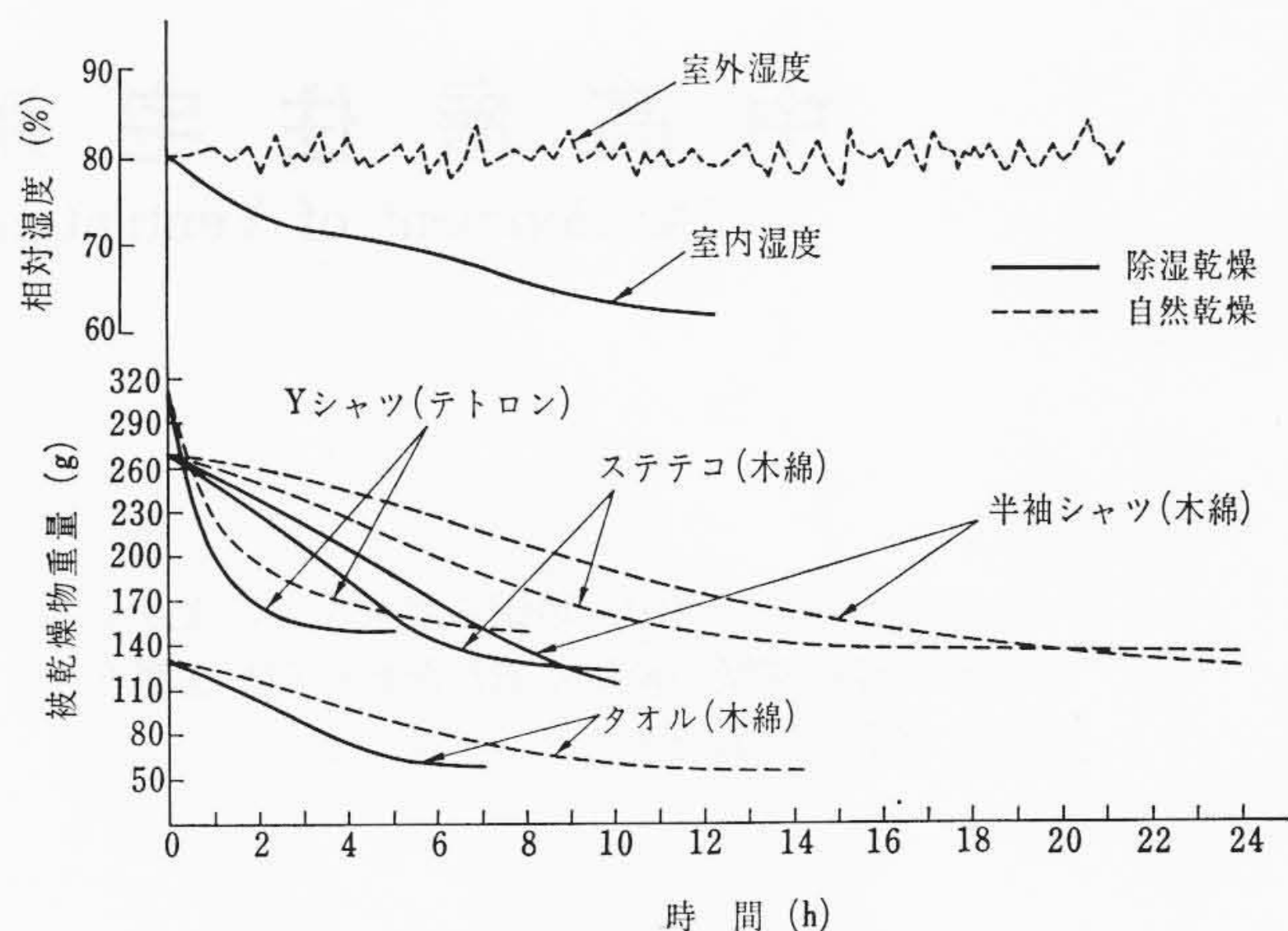


図13 洗濯物の乾燥

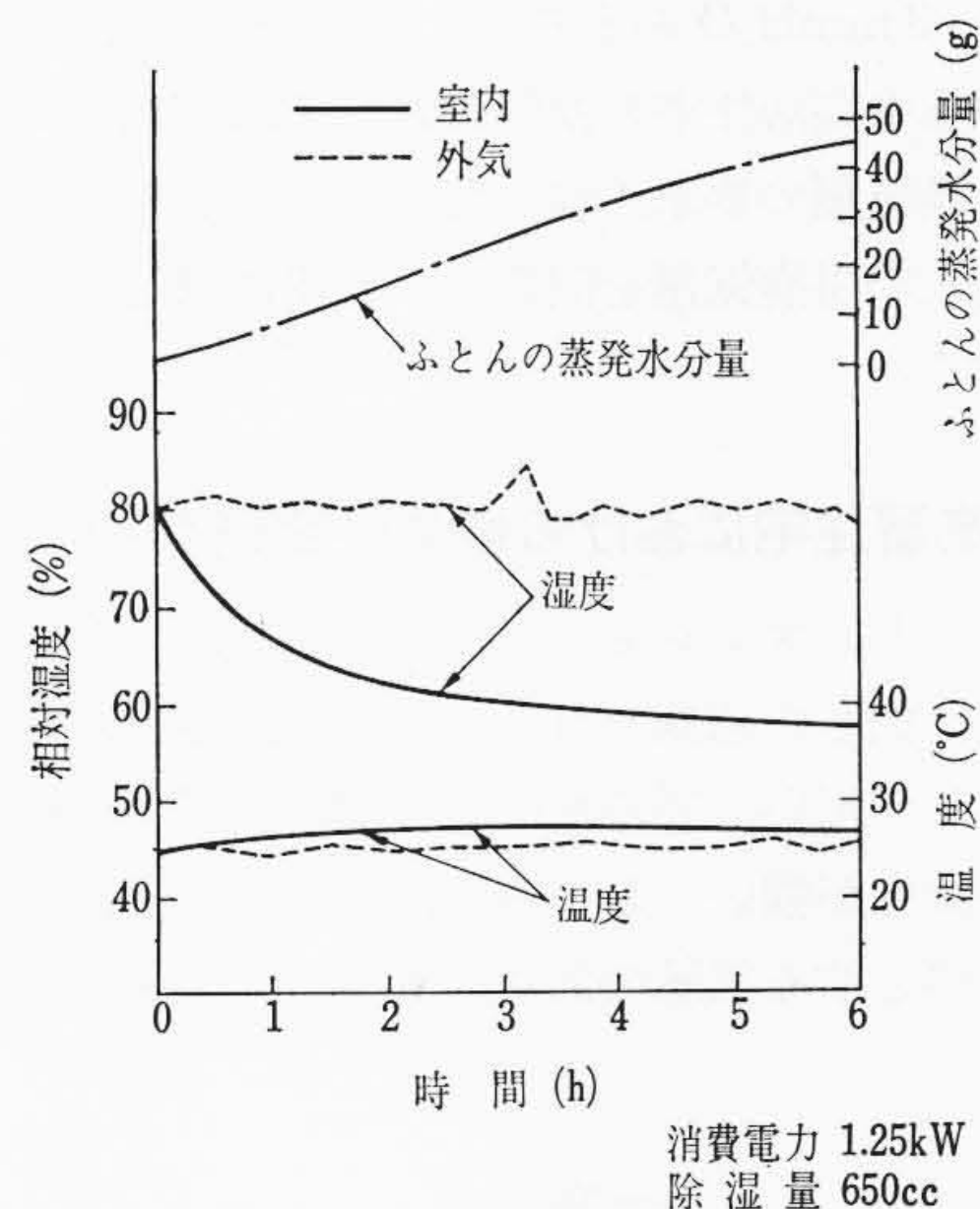


図14 ふとんの蒸発水分量

モルタルについてデシケータの実験で確かめた。また6畳~12畳の部屋の建材の乾燥負荷よりRD-1000形は建材の乾燥用としてじゅうぶんな能力を持っていることを明らかにした。

(3) 壁の結露を防ぐための湿度について解析を行ない、コンクリート壁体の場合、外気6°C、室内20°Cのとき室内の湿度は67%以下に維持すれば防止できることを明らかにした。さらに従来結露がみられた鉄筋コンクリートのアパートで試験を行ない、RD-1000形はアパートの結露防止用としてじゅうぶんな能力を持っていることを確認した。

(4) 洗濯物の除湿による乾燥について解析を行ない、建材と同様湿度差が20%つく乾燥時間が半減することを明らかにし、これをもめん布についてデシケータの実験で確かめ、さらにモデルルームの和室の内外で試験を行ない、除湿乾燥は自然乾燥の2倍の速度で乾燥することを確認した。またふとんについてもモデルルームの和室で試験を行ない、除湿による蒸発水分量を明らかにした。

以上のようにRD-1000形除湿機は、建材(コンクリート、モルタルなど)の乾燥期間の短縮、じめじめした畳の乾燥、壁の結露防止、洗濯物、ふとんの乾燥などに著しい効果が認められ、広範囲の用途に利用できることでわが国の国情に合った家庭用除湿機であり、今後ますます普及していくものと思われる。

参 考 文 献

- (1)(2)(8)(9) 空気調和衛生工学会：空気調和衛生工学便覧
- (3) 上林：日本建築学会研究報告 50 (昭35-2)
- (4) 沢田，小川，埋橋：日立評論 45, 973 (昭38-6)
- (5)(6) 沢田，萩尾：日立評論 50, 715 (昭43-8)
- (7) 原田，仕入，椎名：日本建築学会研究発表梗概集 (1965)