

日立ハンディタイプ除湿機の開発

Development of Hitachi Handtype Dehumidifier

沢 田 稔* 萩 尾 友 紀*
Minoru Sawada Tomonori Hagio

要 旨

現在、除湿機は広範囲の用途に使用されているが、それらの設計意図は主として倉庫内乾燥や、電話交換機室など定置的用途に重点をおいたものであった。しかし近年除湿機の用途が多目的化し、小規模の業務用や、家庭においても使用されるようになり、必要に応じて除湿すべき場所に手軽に移動して除湿効果をあげられる小形軽量で、可搬性のハンディタイプ除湿機が必要になってきた。このような見地から開発したハンディタイプ除湿機の構造、除湿特性、実用試験の結果などについて述べたものである。

1. 緒 言

わが国の多湿は世界的で、梅雨から夏季にかけては特に著しい。過度の湿気は機械や電気機器に対して腐食、絶縁不良を引き起こすとともに、日常生活においては食品の腐敗、衣類、家具類のカビの発生を引き起こしている。わが国において初めて除湿機が使用されたのは昭和27年（日立製作所が製作発売した）であるが、需要は倉庫内乾燥や、電話交換機室および乾燥を必要とする各種製造現場などで占められ、日常生活面では季節的にやむをえないとあきらめ、梅雨あけに虫干をする程度であった。しかし近年住宅の洋風化、生活環境や生活様式の高度化に伴って除湿に対して関心がもたれ始め、従来の除湿機が一部の家庭にも使用されるようになった。しかし従来のものは定置的用途に重点をおいたもので、必要に応じて除湿すべき場所に、手軽に移動して除湿効果をあげられる小形軽量で可搬性を有する除湿機が必要になってきた。現在わが国では、まだこの種の可搬性除湿機は市販されていないので、日立製作所ではこれらの要望にこたえるため、本稿内容の除湿機を新たに開発し、RD-758形ハンディタイプ除湿機として昭和43年度より発売した。以下その構造、除湿特性、実用試験の結果などについて述べる。

2. 除 湿 乾 燥

ハンディタイプ除湿機の使用目的は、居室の快適保持、小規模の業務用、コレクションの保存、納戸の乾燥、洗濯物、新築家屋の乾燥促進などで、実際に除湿すると畳、ふとんなどが乾燥し、また洗濯物が非常に速く乾くといわれている。この除湿効果について述べる。

2.1 除湿乾燥理論⁽¹⁾

十分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、洗濯物の場合には繊維組織のため、水分の内部拡散がはなはだ大きく、ほとんど恒率乾燥のみで行なわれる。また室内の天井、床、壁材などは、除湿前の空気条件に対し、含水率が平衡状態にあるとすれば、当然限界含水率以下にあるので減率乾燥のみからなるといえる。

2.1.1 恒率乾燥現象

この乾燥過程は材料の表面に水の膜が存在する状態で水分の蒸発が起り、表面の水分の減少は材料の内部における水分の拡散によって補充され乾燥が進行する。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。

$$W = K_H S (X_W - X) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 W : 蒸発水分量 (kg/h)

* 日立製作所栃木工場

K_H : 物質移動係数 (kg/m²h⁻¹kg/kg)

S : 蒸発面積 (m²)

X_W : 被乾燥物表面の飽和絶対湿度 (kg/kg)

X : 空気の絶対湿度 (kg/kg)

次に乾き材料の量を M kg とすれば、恒率乾燥速度 R_c は

$$R_c = - \frac{dw}{d\theta} = \frac{K_H S (X_W - X)}{M} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 R_c : 恒率乾燥速度 (1/h)

w : 含水率 (%)

θ : 時 間 (h)

M : 乾き材料の量 (kg)

となる。これによると除湿により30℃で、湿度が80%から60%に下がったとすると $(X_W - X)$ が2倍となるので R_c も2倍となり、除湿乾燥は洗濯物の乾燥には非常に有効であるといえる。また恒率乾燥時間 θ_c は限界含水率を w_c 、初期含水率を w_1 とすると

$$\theta_c = \int_{w_c}^{w_1} -dw = \frac{M(w_1 - w_c)}{K_H S (X_W - X)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 θ_c : 恒率乾燥時間 (h)

w_c : 限界含水率 (%)

w_1 : 初期含水率 (%)

となる。

2.1.2 減率乾燥現象

減率乾燥の機構は大別すると、毛細管を通しての脱水が支配的な場合と、材料内部の水分こう配による水分移動が支配的な場合とがある。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 $(w - w_c)$ の関数で表わされるから一般に

$$- \frac{dw}{d\theta} = f(w - w_c) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 w_c : 平衡含水率 (%)

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

$$R_d = - \frac{dw}{d\theta} = K(w - w_c) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 R_d : 減率乾燥速度 (1/h)

となる。限界含水率 w_c においても上式は成立するから

$$K = \frac{K_H S (X_W - X)}{M(w_c - w_c)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって減率乾燥期間で含水率が w_1 から w_2 になるまでの時間 θ_d は

$$\theta_d = - \int_{w_1}^{w_2} \frac{dw}{K(w - w_c)} = \frac{1}{K} \log e \frac{w_1 - w_c}{w_2 - w_c} \quad \dots\dots\dots (7)$$

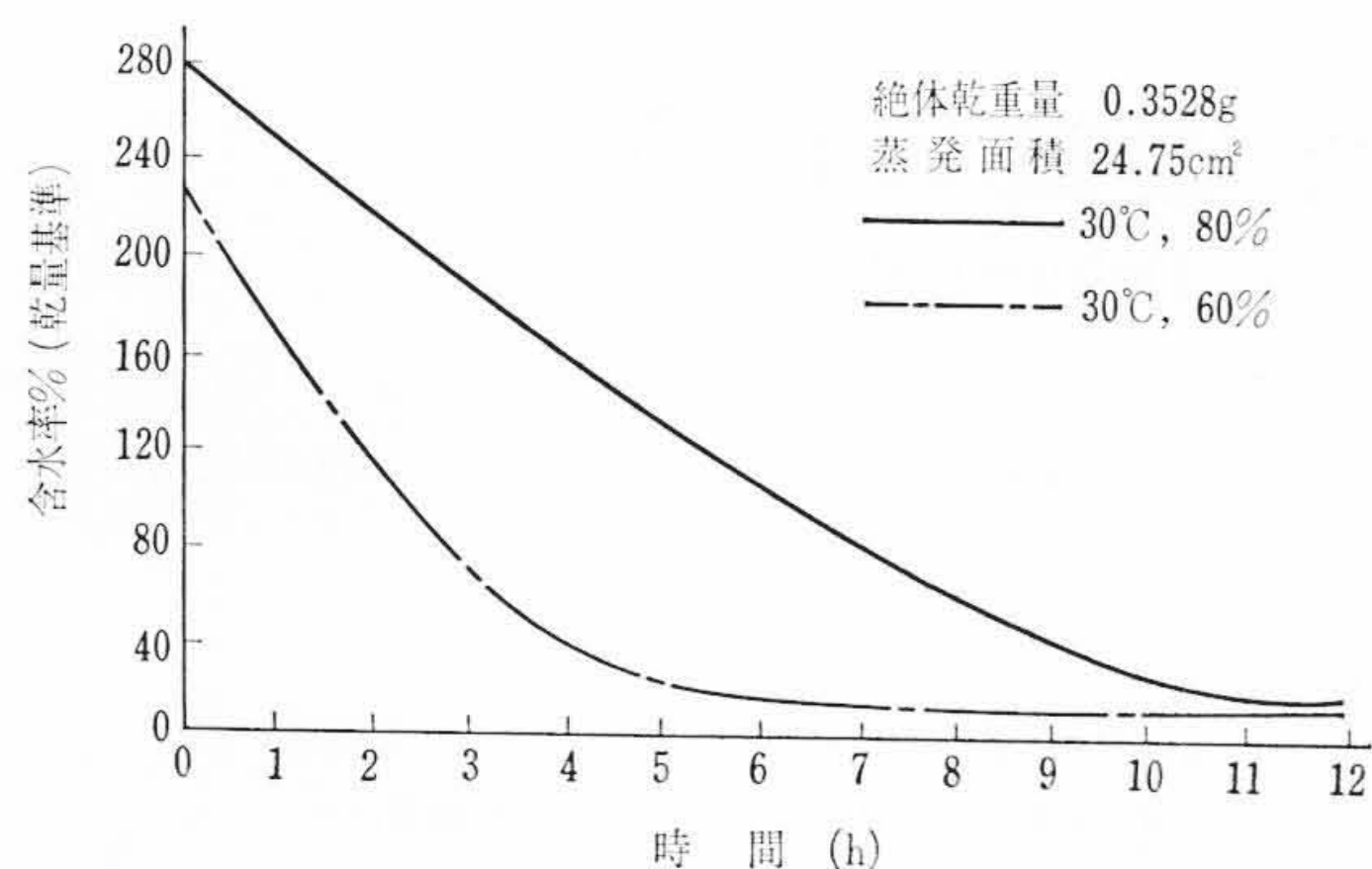


図1 もめん布乾燥曲線

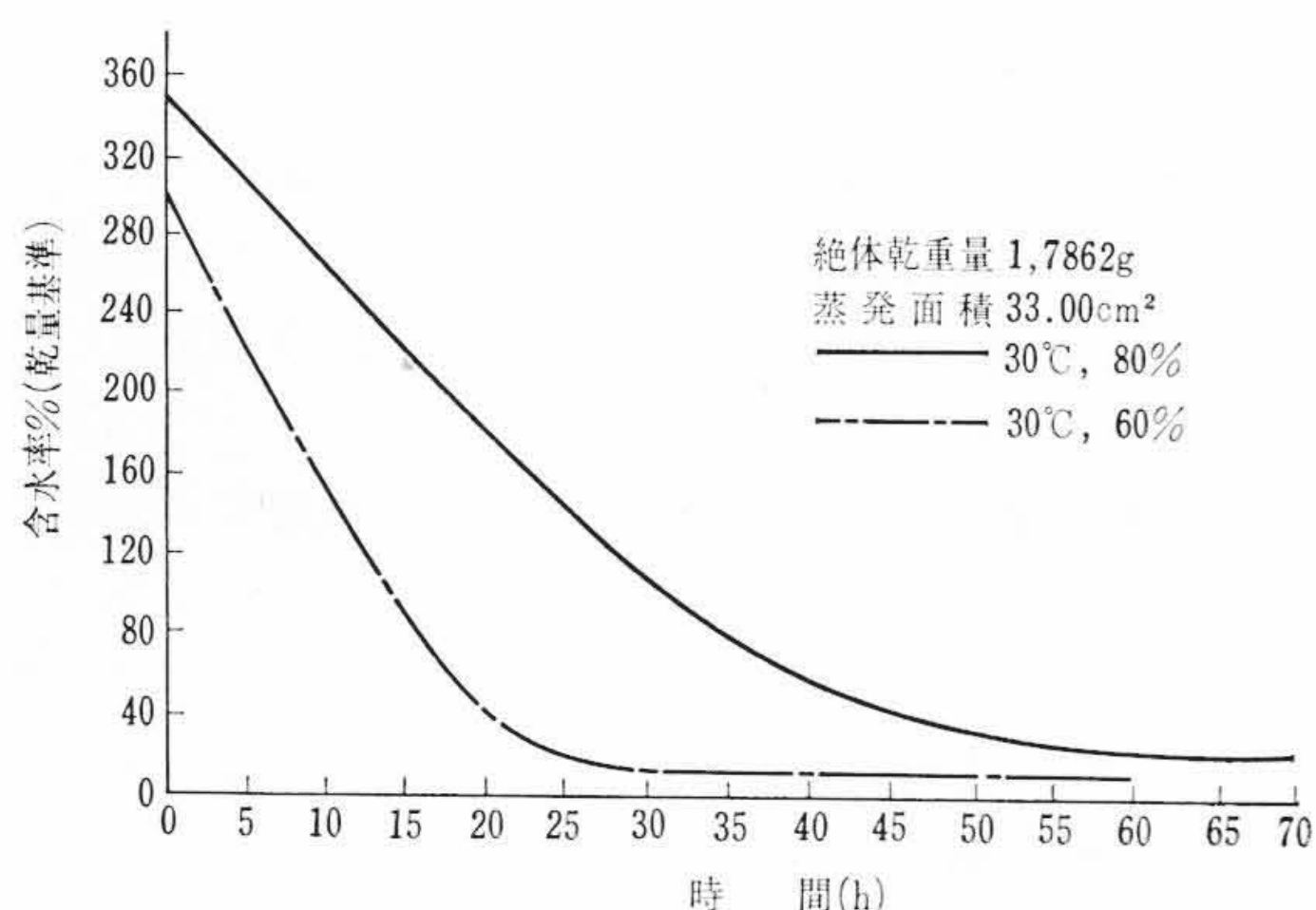


図2 量表乾燥曲線

となる。

2.2 除湿乾燥の実験

十分に湿潤したもめん布、量表を30℃、80%および30℃、60%のふんい気中にて乾燥させた結果を図1、2に示す。これらは水分の内部拡散が比較的大きな繊維組織のため、減率乾燥期間はわずかでほとんど恒率乾燥期間で占められ、60%と80%の乾燥速度は約2倍の差があり、ほぼ理論と一致した。

3. 除湿理論⁽²⁾

除湿機は物理的除湿法、すなわち空気を露点温度以下の冷却器に接触させ、冷却器表面において凝縮した空気中の水分を除去することによって除湿を行なうのである。すなわち空気中の水分は、この凝縮した水量だけ絶対湿度が減ずる。この減湿冷却された空気を加熱すると乾燥空気が得られる。この除湿の過程を空気線図で表わすと図3のようになる。空気はAの高湿状態(乾球温度 t_{a1} 、相対湿度 ϕ_{a1} 、絶対湿度 X_{a1})で、送風機により吸い込まれて冷却器にはいり冷却されて、B点で露点温度に達し、冷却器表面に水分の凝縮がはじまり減湿される。冷却器表面温度がさらに低い場合には、空気はさらに冷却されて、C点(乾球温度 t_{a2} 、絶対湿度 X_{a2})に到達後、冷却器を離れ、凝縮器にて加熱乾燥され、D点(乾球温度 t_{a1} 、相対湿度 ϕ_{a2} 、絶対湿度 X_{a2})に達したのち、吐出される。

したがって冷却器の微小面積 da によって凝縮除湿される水量 $-dv$ は絶対湿度 dX だけ減湿されるから、次式が成り立つ。

$$-dv = -VdX \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 dv : 除湿量 (kg/h)

V : 循環風量 (kg/h)

dX : 空気減湿絶対湿度差 (kg/kg)

Lewis氏によれば冷却面と空気との温度差($t-t_s$)があまり大きくない所では、除湿量は冷却器の表面温度 t_s に相当する空気の飽和絶対湿度と空気の絶対湿度との差に比例するという。したがって

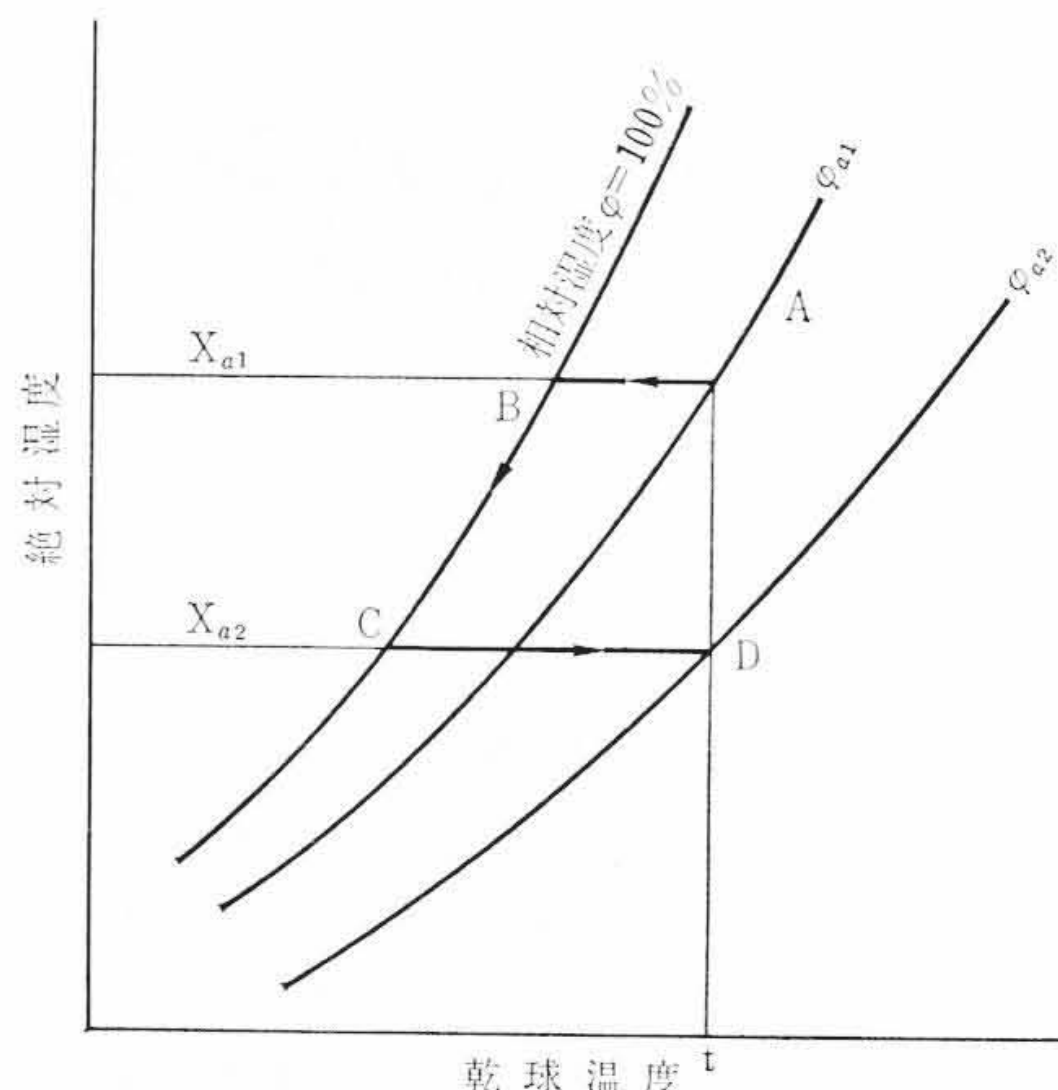


図3 除湿過程

微小面積 da によって凝縮除湿される水量 $-dv$ は

$$-dv = \frac{\alpha}{C_p} (X - X_s) da \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 α : 冷却器表面熱伝達率 (kcal/m²h℃)

C_p : 空気定圧比熱 (kcal/kg℃)

X_s : 冷却器表面温度に相当する飽和空気の絶対湿度 (kg/kg)

da : 冷却器微小面積 (m²)

となる。(8)、(9)式より(10)式が得られる。

$$-VdX = \frac{\alpha}{C_p} (X - X_s) da \quad \dots\dots\dots (10)$$

これを $a=0$ のとき $X=X_{a1}$ 、 $a=A$ のとき $X=X_{a2}$ の境界条件のもとで積分整理すると、全除湿量 v は

$$v = V(X_{a1} - X_s) (1 - e^{-\frac{\alpha A}{C_p V}}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 v : 全除湿量 (kg/h)

X_{a1}, X_{a2} : 入口、出口空気絶対湿度 (kg/kg)

A : 冷却器伝熱面積 (m²)

となる。

4. 仕様および構造

4.1 移動方法と外観

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、重量および移動方法は使用上最も重要な点である。移動方法には従来の定置式の除湿機に見られるキャスタを用いる方法、あるいはポータブルテレビ、ポータブルミシン、石油ストーブのようにハンドルを用いる方法があるが、キャスタは畳や、木製の床、カーペットなどに傷がつき、また2階に持ち上げたり狭い所で自由に持ち運ぶには不便なのでハンドルによることとした。また本体の形状は内部機器の配置上、最もむだな空間が少なく小形化できる形状で、かつ手に下げた状態で持ちやすい形状として縦長の円筒形を採用することとした。本機の外観を図4に示す。

4.2 室内湿度条件の設定

わが国の各地の天候を調べてみると5月から10月までカビの発生する空気条件内にあり、カビの発生を避け、かつ快適な室内空気状態を得るためには、温度とは無関係に湿度を60%以下に保つ必要がある。

4.3 仕様および構造

本機の構造および冷凍サイクルを図5、6に示す。構造は前記のように縦長の円筒形で、最上部にハンドルを設置し、送風機用電動



図4 ハンディタイプ除湿機

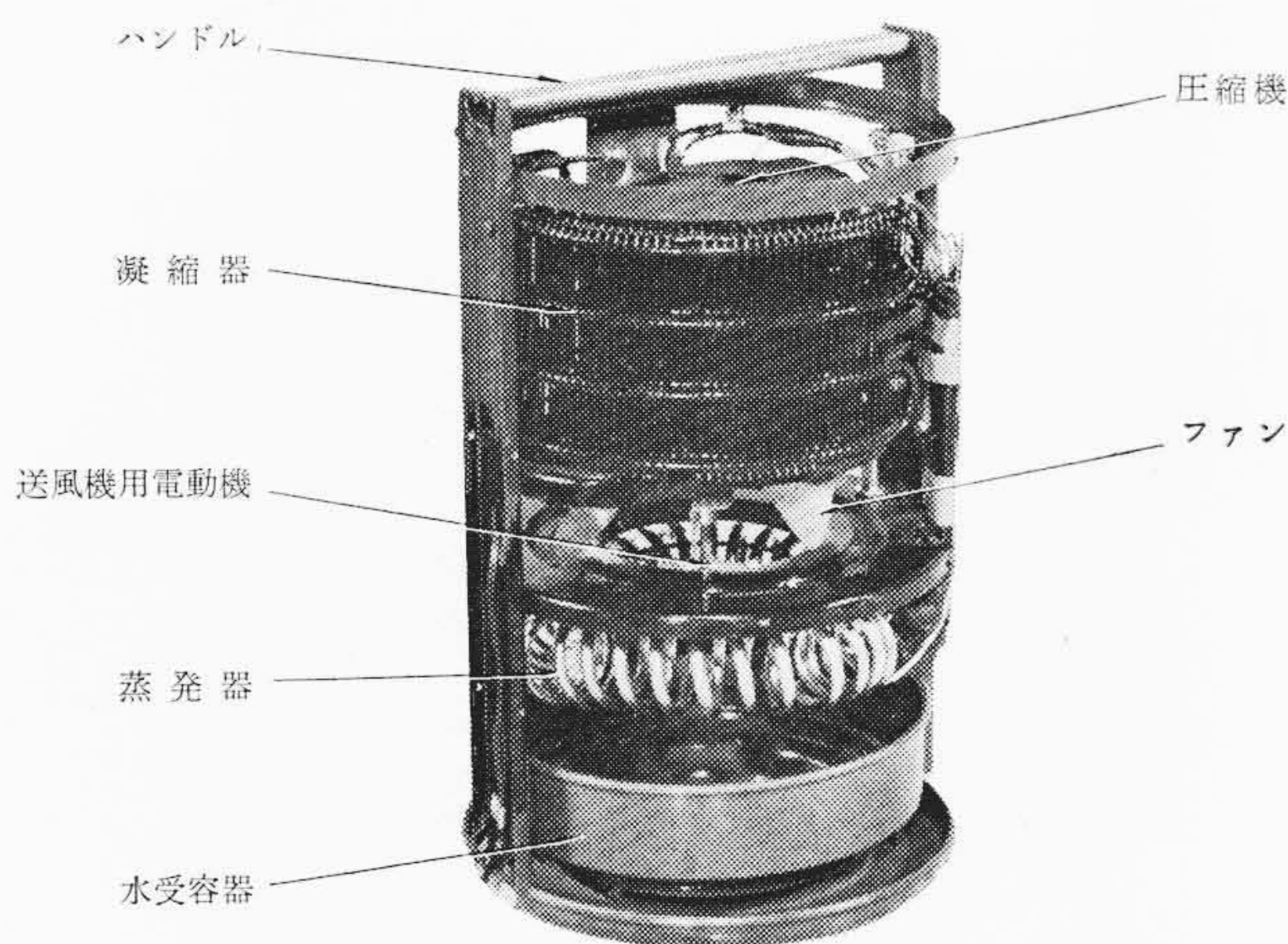


図5 ハンディタイプ除湿機構造

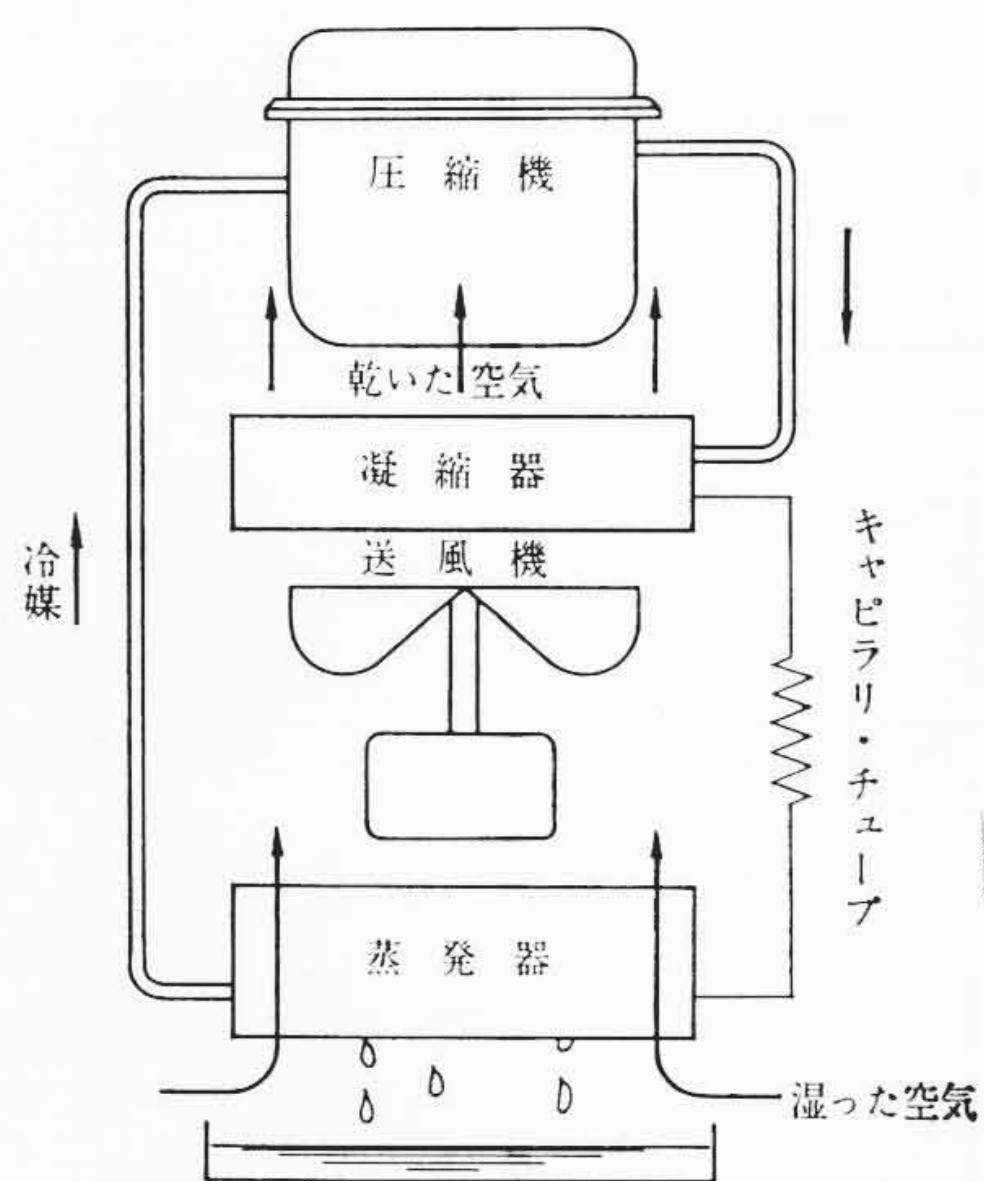


図6 冷凍サイクル

機の周囲に、裸管をコイル状に成形した蒸発器を、密閉形電動圧縮機の周囲に、ワイヤチューブ形熱交換器を円筒状に成形した凝縮器を設け、むだな空間を無くし、小形軽量化を図った。また送風機はラジアルファンで風の流れを下吸込、上吐出とし、除湿水を直接水受容器に受ける構造とした。またスイッチとしては、運転操作用のものと除湿水のあふれ防止用のものとを兼用させ、水受容器が満水になると、重量の増加により自動的にスイッチを切り、除湿運転を停止し、水受容器より除湿水があふれないような構造になっている。

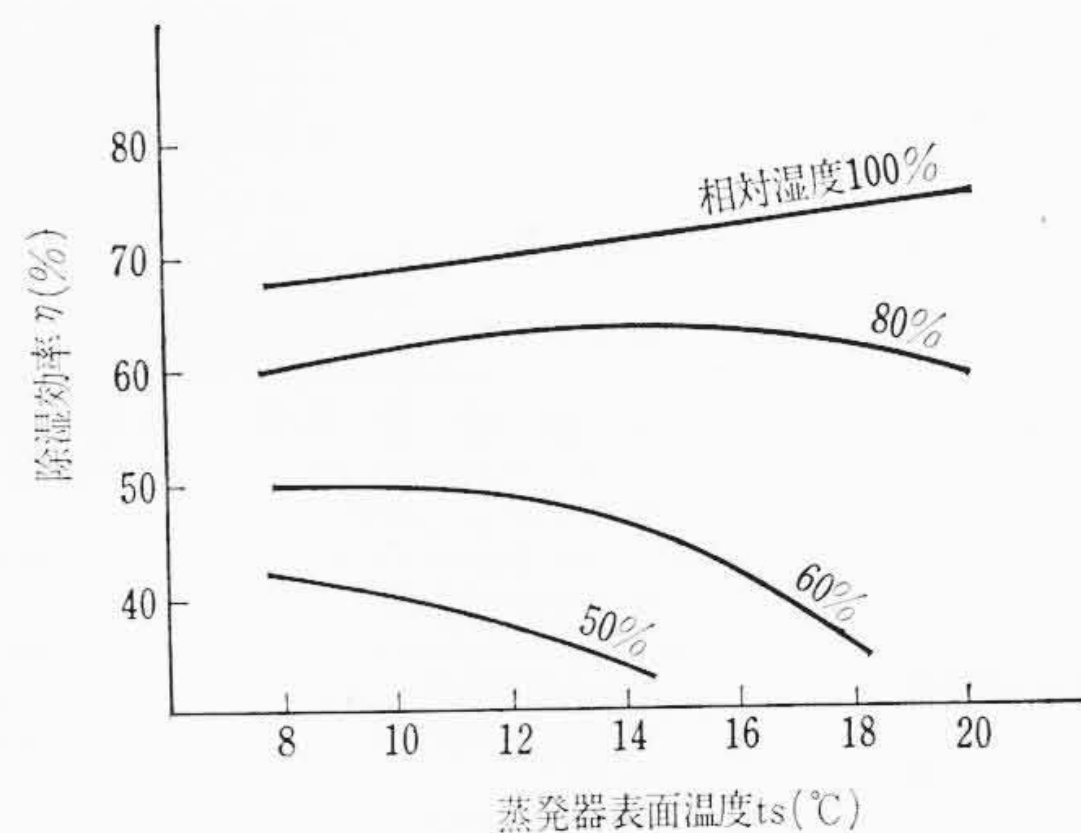


図7 理論除湿効率曲線

4.3.1 送風機

除湿機の送風機は凝縮器の冷却用と、蒸発器の水分凝縮用を兼務するものであるが、風量の除湿能力に対する影響は、風量が大きくなると、蒸発器における空気と冷媒との熱交換がよくなり、すなわち(11)式の α の値が大きくなり、蒸発器表面温度が上がってくるため、 X_s の値は大きくなり($X_{a1}-X_s$)の値は小さくなる。逆に V の値は大きくなる。したがって風量を増加した場合に除湿能力が増加するかどうかは一概にはいえない。また極端に風量を増加させると、蒸発器表面温度が上がり、空気の露点温度以上となるため乾き状態となり除湿能力はなくなる。逆に風量を減少させた場合には、蒸発器を通過して冷却された空気がつぎに凝縮器にはいり、加熱乾燥されると同時に冷凍サイクルの高温高压ガスを冷却するため使用されるので、凝縮温度が上昇し、蒸発温度も上昇して除湿能力は減少する。したがって一つの冷凍サイクルにおいては除湿量を最大とする風量が存在する。なお本機ではラジアル形のファンとした。

4.3.2 蒸発器

蒸発器形式は裸管式のほうがクロスフィンチューブ式に比べ、蒸発器外法寸法で示される占有体積の点では不利ではあるが、表面熱伝達率がすぐれており、除湿効率がよいので裸管式とした。なお冷凍サイクルを設定するには、除湿効率すなわち顕熱と潜熱を総合した全冷却熱量のうち、水分の凝縮に費やされる潜熱の値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が、この蒸発器表面温度と除湿効率との関係を求めると図7のようになる。

4.3.3 溢水(いっすい)防止装置

除湿水は水受容器に貯水されるのであるが、水受容器に満水時、溢水しないように自動的に運転を停止する必要がある。従来の除湿機では常時閉路のマイクロスイッチを使っていたが、満水時、自動的に停止した場合、水受容器をいったん持ち上げると、マイクロスイッチが復帰して直ちに運転を開始するため、水受容器を機外に取り出し、排水操作中は除湿水がたれる欠点をもっていた。そこで本機は、直接、運転操作用の2点押ボタンスイッチを除湿水の重量により切る構造とし、水受容器を持ち上げてもスイッチが復帰しない構造とした。

4.3.4 仕様

仕様は表1に示すとおりである。

4.3.5 電気回路

電気回路図は図8に示すとおりである。

5. 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9に示す。除湿量は空気条件が高温、高湿になるにしたが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

表1 日立ハンディタイプ除湿機仕様表

項 目		形 式	R D - 7 5 8
外 装	外 装		布目模様塩ビアルミ板
	外 法 寸 法 (mm)		高さ 540×外径 320
冷凍装置	圧 縮 機		全 密 閉 形 7 5 W 2 極
	凝 縮 器		ワイヤチューブ形
	蒸 発 器		ペアチューブ形
	冷媒制御装置		キャピラリチューブ
	冷 媒		R-12
	送風機	形 式	ラジアルファン
		電 動 機	4 W, 4 極
電気特性	電 源		単 相 100 V, 50/60 Hz
	総 合 入 力 (W)		200/230
性 能	除 湿 量		220/250 cc/h (30℃ 80%, 50/60 Hz)
操 作 ス イ ッ チ			2 点 押 ボ タ ン 形
溢 水 防 止 装 置			水 受 容 量 定 量 貯 水 時, 自 動 的 に 運 転 停 止
水 受 容 器			塩 化 ビ ニ ル 製, 内 容 積 4 l
エ ア フ ィ ル タ			サ ラ ン ネ ッ ト
製 品 重 量 (kg)			約 19

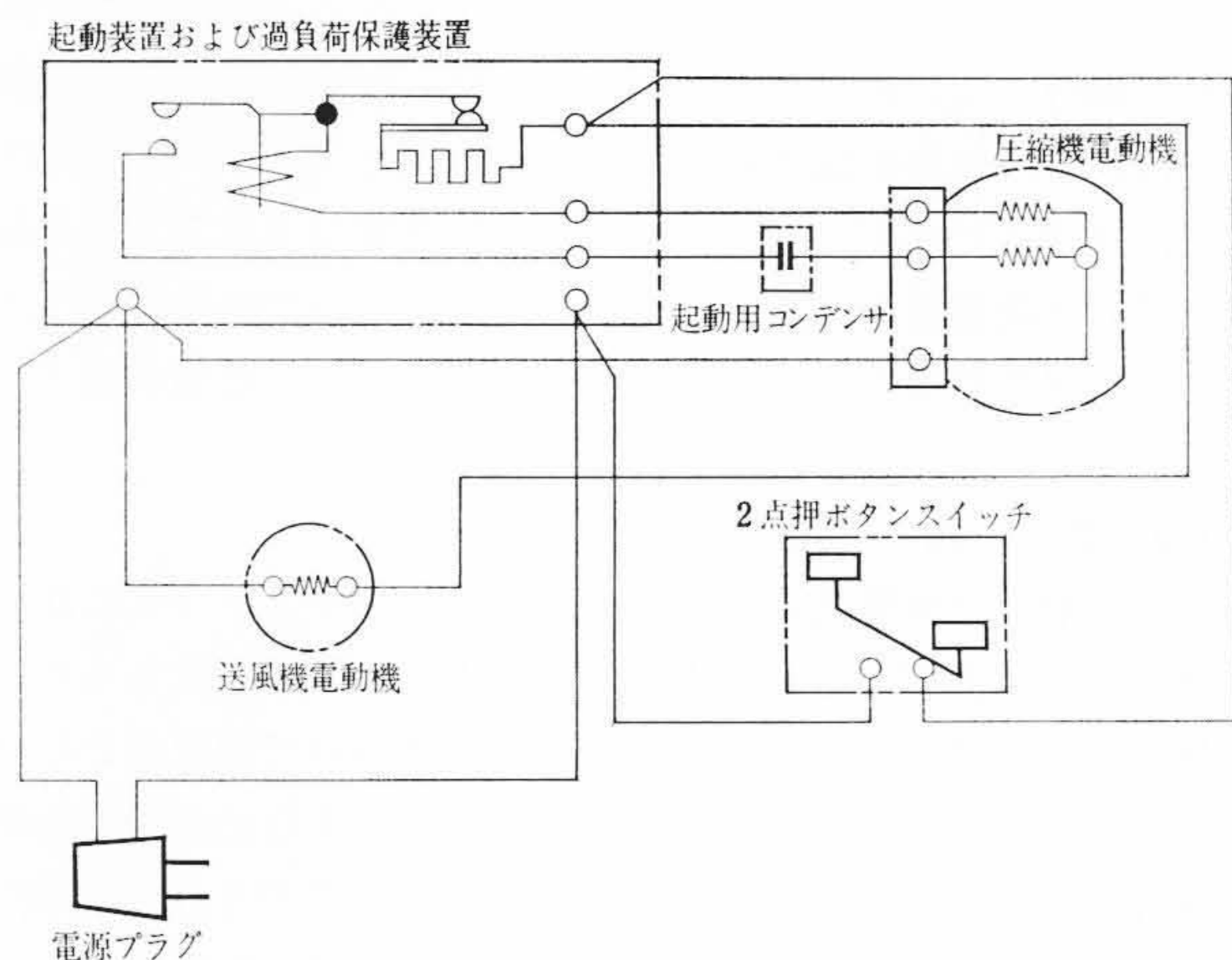


図8 ハンディタイプ除湿機の電気回路図

((11) 式の $(X_{a1}-X_s)$) が大きくなるためである。なお室温が12～14℃となると蒸発器表面温度が下がるため表面に凝縮した空気中の水分が結霜し、除湿性能が著しく阻害される。図10は全電流および全入力の変化を示したものである。

6. 実 用 試 験

梅雨期の実用上の性能および除湿効果を知るため実用試験を行なった。試験に使用した住宅は東京の郊外の標準的なサラリーマン住宅である。その結果の2例を図11、図12に示す。

まず図11は和室6畳の例で、連日の雨で壁や畳が湿ってしっとりした感じになっていたが、除湿した結果、プリント合板の結露して濡れていた壁が乾き、また素足で歩いた畳の感じは「サラッ」として虫干をしたようで非常に快適になった。また家庭では押入の中は湿度の高い場所の代表のようにいわれているが、その例として、1間幅の押入の中に内部容積の半分に相当する分のふとんを入れて運転した。その結果は35%まで湿度は低下し、短時間ではふとんの間までは除湿効果は及ばないようであったが、ふとんに触れた感じでは効果があった。次に図12は急速な乾燥が必要なオムツを0.75坪の脱衣室にて試験した例であるが、試験の結果2時間半から3時

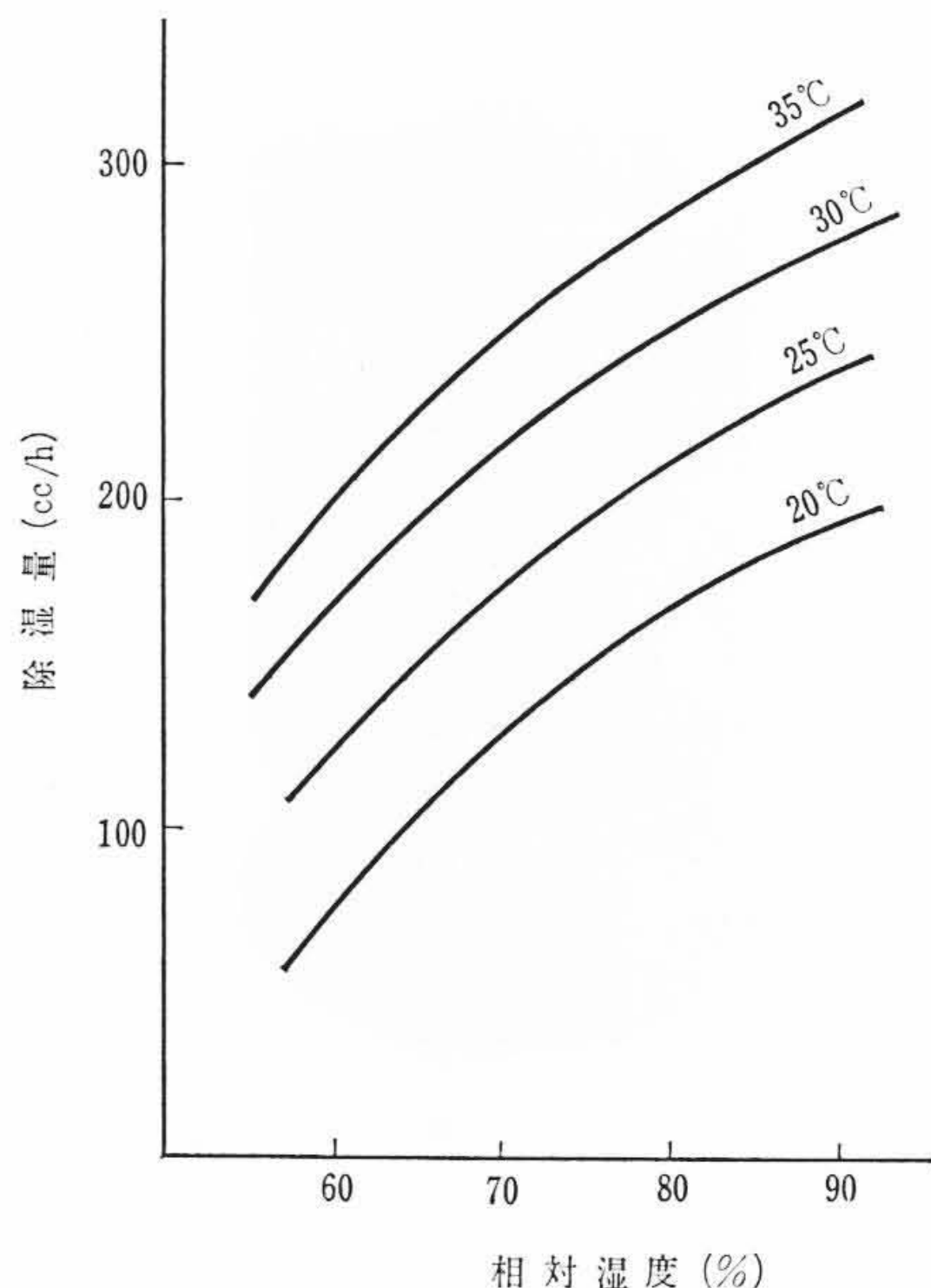


図9 除湿量の変化

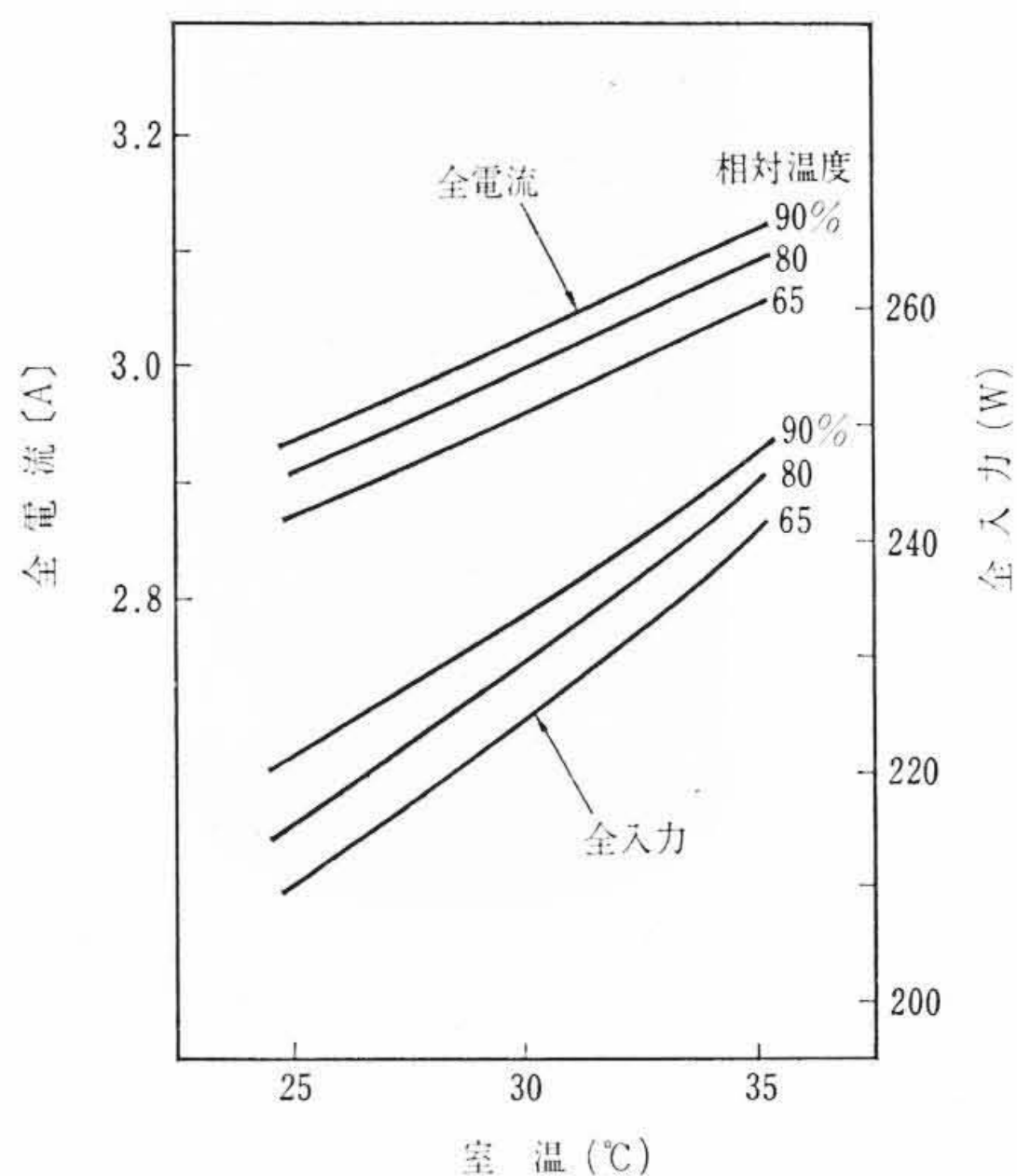


図10 全電流と全入力の変化

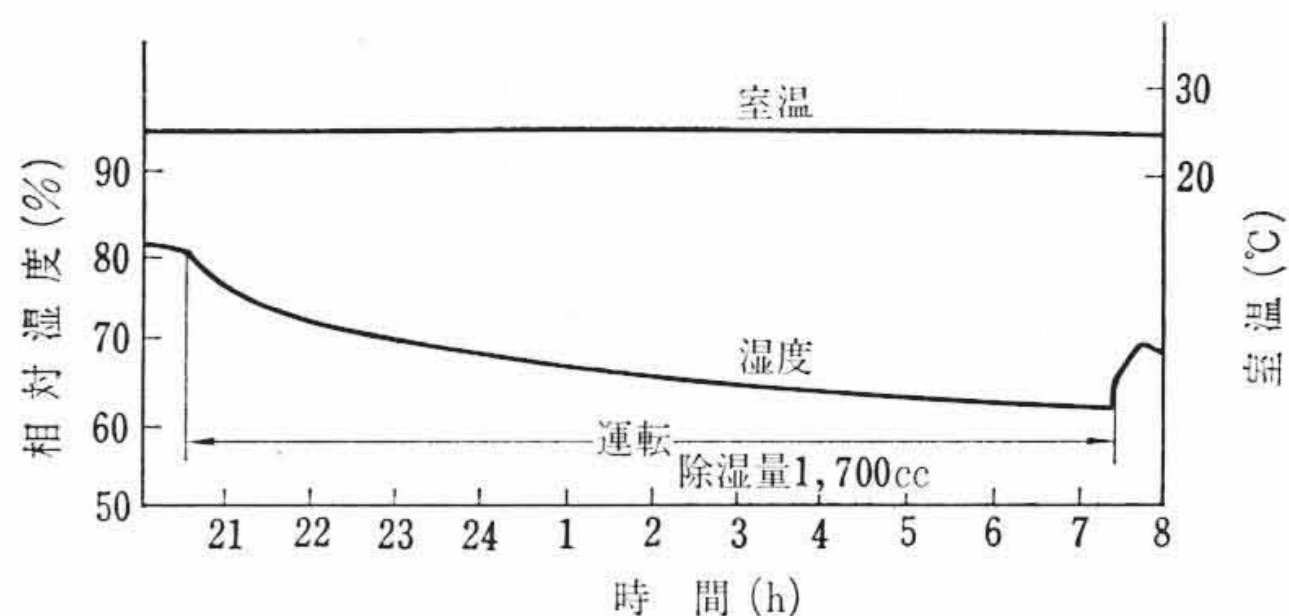


図11 和室6畳の除湿

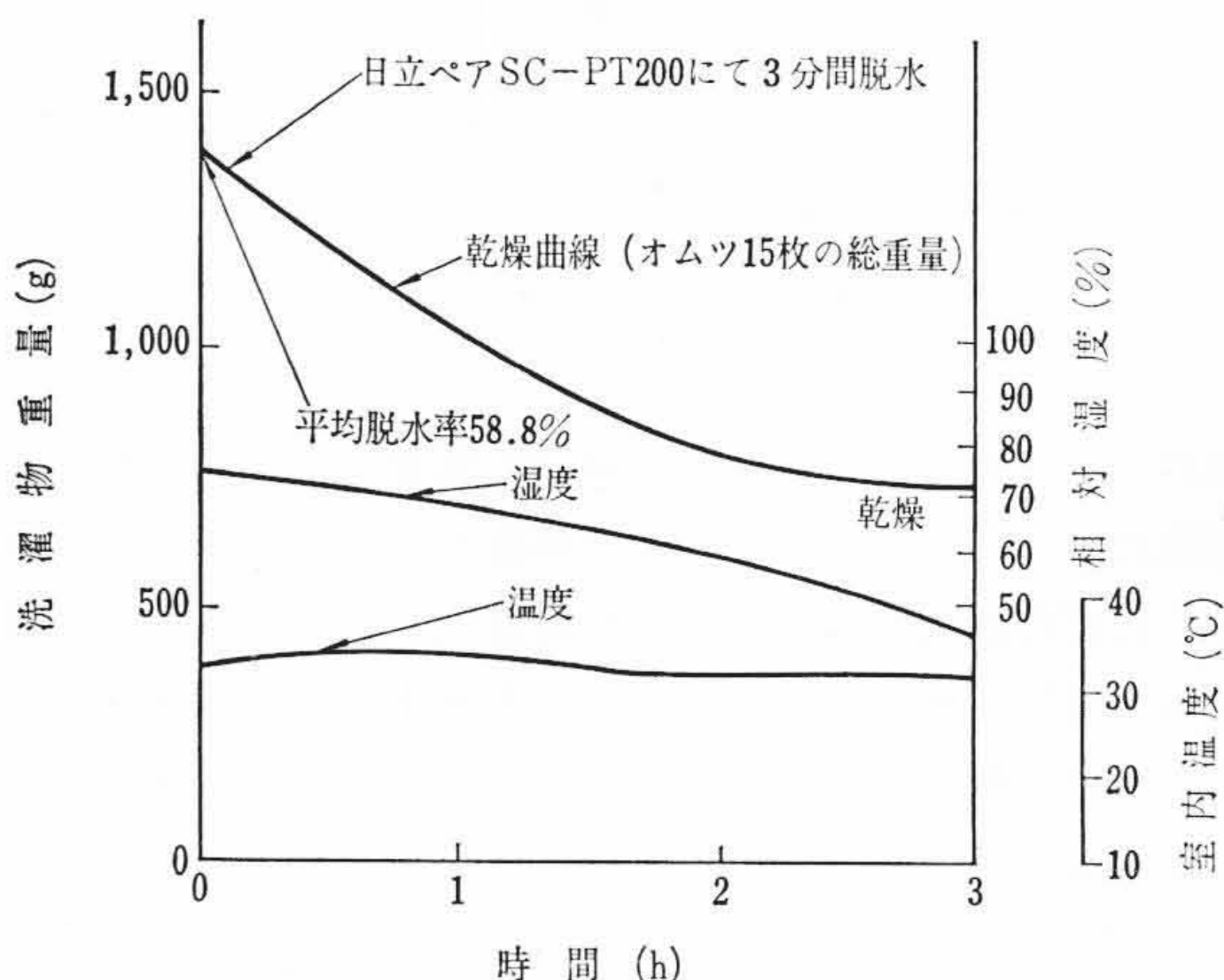


図12 オムツの乾燥

間で完全に乾くことを確認した。このほか洗濯機2回分の洗濯物を4時間半から6時間で完全に乾燥することができた。また万年床乾燥の例として12畳の部屋にふとんを敷いて運転してみたが、その結果ふとんはかなりふっくらした感じとなり、表面の湿っぽさはなくなり、ふとんを乾燥する目的は果たせた。

これらの結果から本機は家庭における手軽な乾燥機として種々の用途に効果があるといえる。特に本来は洗濯物の乾燥機ではないが、現在市販されているドラムタイプのガス乾燥機と比較してみると、一長一短はあるが、布地のいたみがない、据付工事が全く不用、安全である、乾燥費用が安価、洗濯物の乾燥以外にふとん、そのほか種々の乾燥に使用できるなどの長所がある。特に梅雨期や、都会地の日当たりの悪い家庭、ばい煙で悩まされている家庭、共稼ぎ家庭で昼間日光に干せない家庭などでは非常に便利なものといえる。

7. 結 言

以上ハンディタイプ除湿機についてその構造、除湿特性および実用試験などについて述べた。

従来の除湿機は定置式であり必要に応じて簡単に動かすことはできなかったが、本機はその殻を破って、現在市販されているものの製品重量が26~43 kgを有しているのに対し、19 kgと重量が大幅

に軽減しており、ハンドルにより自由に持ち運ぶことができる。除湿機の利用範囲を飛躍的に拡大した全く新しい製品である。

従来の除湿機に比べ消費電力当たりの除湿量はそれほど低下していないのに、製品重量当たりの除湿量はむしろすぐれている。また使用可能温度範囲は上限は圧縮機用電動機の過負荷保護装置が作動しないため40℃以下、下限は12~14℃であり、それ以下の室温では蒸発器への着霜があり運転しても支障はないが、除湿能力は著しく減少する。

本機の用途は、従来の除湿機と同じ用途のほか、室内空気の乾燥、家内調度品、骨とう品などのカビの発生、虫食い防止に、質屋、食料品、薬局など乾燥維持を必要とする小規模の業務用に、あるいは梅雨期や、ばい煙で日光に干せない家庭でのふとん夜具、衣類、洗濯物の手軽な経済的な乾燥機として、このほか種々広範囲な用途に利用できる。

以上のように日立ハンディタイプ除湿機は、わが国の国情にあった除湿機であり、今後の需要の伸長が大いに期待できる。

参 考 文 献

- (1) 亀井： 空気の調湿及乾燥（昭 27，日刊工業）
- (2) 沢田，小川，埋橋： 日立評論 45，973（昭 38-6）

Vol. 29

日立造船技報

No. 2

目 次

■論文

- ・高負荷燃焼器における燃焼用空気の供給装置
- ・41~60 kg/mm²級耐候性鋼の溶接施工法
- ・水中過渡アーク放電による極性電極消耗について
- ・スラミングの実船計測について

- ・冷凍貨物船の冷風吹出しグレーディングについて
- ・すく歯平歯車の疲れ試験（その1）
一歯の曲げ強さについて
- ・フィッシュン・エレクトリック・セル
一予備実験

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554