

実測に基づく室内干し時における洗濯物の乾燥時間および室内温湿度環境

正会員 ○ 出端祐輔*1 同 埴淵晴男*2

4. 環境工学－9. 湿気

室内干し 洗濯物 乾燥時間 室内温湿度 実験

1. 背景と目的

近年、天候、ライフスタイル、花粉などの要因から、洗濯物を室内干しする家庭が増えつつある。洗濯行為の一連の作業をまとめて行える洗濯専用室があれば、家事効率が良くなるため、設計提案の1つの魅力になると考えられる。しかし、配慮なく単に室内干しを行った場合、洗濯物から発生する水蒸気により室内湿度が上昇するため、乾きにくい、結露発生などの問題が懸念される。

洗濯物からの水蒸気を他室に拡散させると、他室で加乾燥が問題となっている場合は有効になり得るが、高湿が問題となっている場合は結露を助長するなどの逆効果になり得る¹⁾。前者については、数江ら²⁾が室内干しと適切な換気の確保により良好な湿度環境を形成することを報告している。本検討においては、他室への洗濯物の水分の利用は考えず、洗濯専用室内で洗濯物の水分を処理することを前提とする。また、夜間の就寝時間や外出時間を利用した乾燥を想定する。

自然換気、通風などのパッシブ手法が利用できないため、洗濯物の乾きにくさや結露発生などの問題を解決するためには、設備面での配慮が必要となる。今回、種々の条件に対して室内干し時における洗濯物の乾燥時間と室内温湿度環境の関係を把握し、消費電力も考慮した洗濯専用室の最適な乾燥方法を見出すことを目的とした実験を行った。

2. 実験方法および実験条件

2.1. 実験概要

当社総合住宅研究所内の人工気象室にある建物内にて実験を行った。図1に示す建物の1室(幅2m、奥行3m、高2.5m)を洗濯専用室と想定した。洗濯物が乾きにくいと考えられる湿度が高い冬季夜間を想定した条件で、洗濯専用室内に、4人家族1日分を想定した洗濯物を脱水した後、電子台はかり上に載せた物干し台に実際に干して、洗濯物の水分重量および洗濯専用室内の温湿度の計測を行った。

2.2. 洗濯物

文献³⁾を参考に決定した、実験に用いた衣服(主に綿素材)を表1に示す。洗濯物を長時間定常湿度に曝露させて平衡時の洗濯物重量(以下、平衡重量)を測定した。また、既往の文献⁵⁾を元に作成した綿の平衡含水率曲線(式1)^{註1)}を用いて、式2より絶対乾重量を5.8kgとして平衡重量を推定した。図2に

平衡重量の測定値と推定値を示すが、精度良く一致することが分かる。また、実際に洗濯機(National製 NA-VR1000)のおまかせモードにて洗濯を行い、脱水後の重量を数回計測した結果、洗濯物に含まれる水分重量はいずれも絶対乾重量の60%程度の約3.5kgであった(式3)。これは、既往の文献¹⁾に示されている脱水後水分量と同程度であった。

$$w_{eq} = 34.13\phi_{RH}^3 - 40.77\phi_{RH}^2 + 25.21\phi_{RH} \quad \text{式1}$$

$$M_{eq} = M_{dry}(1 + w_{eq}) \quad \text{式2}$$

$$M_{w_ini} = 0.6M_{dry} \quad \text{式3}$$

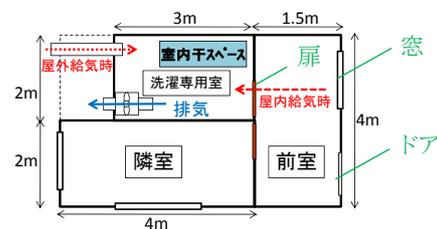


図1 実験対象居室平面図

表1 洗濯物の内容

種類	数量	種類	数量
Tシャツ	4	ハンカチ	4
男性用トランクス	2	Yシャツ	1
女性用ショーツ	2	トレーナー	2
女性用ブラジャー	1	フリースパーカー	1
靴下	4	ジーパン	1
女性用ストッキング	1	子供用ズボン	2
フェイスタオル	1	パジャマ上下	2
ハンドタオル	2	上下体操着	1
バスタオル	2	計	34点

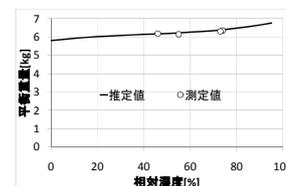


図2 平衡重量の測定値と推定値

2.3. 実験条件

洗濯専用室における実験条件を表2に示す。①～④の条件は消費電力が小さいもの、⑤、⑥の条件は大きいものに分類される。各実験条件ともに洗濯物の干し方は一様に行った。

検討内容は、給気、換気回数、気流、暖房、除湿である。給気温湿度は屋外給気時の場合 5°C80%、屋内給気時の場合 20°C40~50% の 2 種類である。換気回数は排気ファンの換気量を電圧調整器により調整し、常時換気を想定した 0.5 回/h(7.5m³/h)と換気量を増した 5 回/h(75m³/h)の 2 種類である。気流は小型扇風機 2 台を用いて風を首振り運転により満遍なく洗濯物に当てた。暖房は電気ファンヒータ(定格消費電力 600W)である。除湿はデシカント式除湿乾燥機(National 製 F-YZD100)を用い、連続強運転(定格消費電力 650W)、広角ウェーブ送風モードで運転を行った。デシカント式除湿乾燥機は、機器内で除湿を行い温度が高く乾燥した空気を室内空間に送るため、除湿と同時に室内への熱供給も存在すると考える必要がある。

表 2 実験条件

条件	給気の位置と温湿度	換気回数[回/h]
①干しだけ	屋外 5°C80%	0.5
②換気(屋外)	屋外 5°C80%	5
③換気(屋内)	屋内 20°C40~50%	5
④換気(屋内)+気流	屋内 20°C40~50%	5
⑤暖房	屋外 5°C80%	0.5
⑥除湿	屋外 5°C80%	0.5

2.4. 室断熱性能および温湿度条件

洗濯専用室および前室が次世代省エネルギー基準相当、隣室が旧省エネルギー基準相当の断熱性能を有する。

外気(人工気象室内)温湿度は 5°C80%一定とした。屋外給気時と屋内給気時の初期条件、実験開始後の条件を表 3 に示す。初期条件について、洗濯専用室は非暖房室を想定した 15°C 70%に調整を行い、隣室は電気ファンヒータ(定格消費電力 1200W)により加熱を行い 22.5°C、前室は屋外給気時には調整せず 11.5°C、屋内給気時には 20°C40~50%に調整を行った。実験開始後、洗濯専用室は表 2 に示す種々の条件、隣室は電気ファンヒータ(定格消費電力 600W)により加熱を行い、前室は屋外給気時には調整せず、屋内給気時には 20°C40~50%に調整を行った。

屋外給気時には、室間の扉は全て閉め、ダクトより屋外から給気を行った。屋内給気時には、前室と洗濯専用室間の扉のみを 5cm 程度開け前室から給気を行い、屋外に通じるダクトは閉じた。

2.5. 測定概要

洗濯物の水分量は、電子台はかり(ViBRA 製)を用いて 1 分間隔で計測を行った。各空間の室内温湿度は、室内干しスペースから少し離れた床から 1.2m の高さで、おんどとり TR-72U(T&D 製)を用いて 1 分間隔で計測を行った。使用した

機器の消費電力は、電力測定器(コーナー札幌製)を用いて 1 分間隔で計測を行った。

表 3 初期条件、実験開始後の条件

条件		屋外給気時	屋内給気時
初期条件	洗濯専用室	15°C70%	
	隣室	22.5°C(1200W 加熱による)	
	前室	11.5°C	20°C40~50%
実験開始後	洗濯専用室	表 2 に示す種々の条件	
	隣室	600W 加熱	
	前室	調整なし	20°C40~50%

3. 実験結果

各種条件において、洗濯物の乾燥時間、洗濯専用室内温湿度、乾燥するまでの機器の積算消費電力により評価を行う。

乾燥とは、洗濯物に含まれる水分重量が相対湿度 50%時の平衡時の水分量 0.4kg になった場合として扱う^{註2}。尚、水分重量は洗濯物重量から絶対乾重量 5.8kg を差し引き算出する。

機器の積算消費電力は①干しだけの条件からの増分で評価する。測定した結果、消費電力の増分は換気回数 5 回/h の場合 15.3W、小型扇風機 2 台使用の場合 47.6W であった。屋内給気時には、給気する他室の暖房エネルギーが増加するため、他室の暖房がエアコン(COP5)でなされているものとして、式 4 で算定される増分 81.25W を追加する。尚、空気の容積比熱には 1300[J/m³K]を用いた⁶⁾。また、⑤暖房と⑥除湿の条件に関しては、電力測定器で測定した結果を用いる。

$$\Delta P = \rho C \cdot \left(\frac{V}{3600} \right) \cdot (T_{in} - T_{out}) / COP \quad \text{式 4}$$

3.1. 洗濯物の乾燥時間

洗濯物を干してから乾燥するまでの洗濯物に含まれる水分重量を図 3 に示す。洗濯物から室内に放湿され、水分重量が減少していく。

①干しだけの条件では洗濯物は乾きにくく、何らかの配慮が必要であることが分かる。

②換気(屋外)の条件では、低温高湿な空気を給気しているため、換気量を増やしても乾きにくいことが分かる。③換気(屋内)の条件では、比較的良好な温湿度の空気を給気しているため、②換気(屋外)の条件より乾きやすく、乾燥時間は約 18 時間であった。このことから、換気による場合、洗濯物の乾燥時間に関して、給気する空気の温湿度状態の影響が大きいことが分かる。

更に扇風機により洗濯物に風を当てた④換気(屋内)+気流の条件では、乾燥時間が約 10 時間半であり③換気(屋内)の条件より約 7 時間半短縮でき、気流の効果が顕著に現われている。

⑤暖房と⑥除湿の条件を比較した場合、乾燥時間は⑤暖房

の条件では約16時間半、⑥除湿の条件では約7時間であり、除湿の方が約9時間半短縮できる。このことから、消費電力が大きい機器を積極的に使用する場合、乾燥時間に関して、除湿乾燥機の使用が望ましいと言える。

3.2. 洗濯物からの放湿量

10分間の平均水分重量より算出した単位絶対乾重量単位時間あたりの洗濯物からの放湿量を図4に示す。条件により異なるが、放湿量は10~100g/kg・hであり、既往の文献⁷⁾の60g/kg・hと同程度である。

放湿量は、洗濯物表面と室内空間の絶対湿度差と湿気伝達率に影響される。①~⑤の条件では、洗濯物を干して直後の放湿量が最も大きくなるが、これは洗濯物に含まれる水分量が多いためである。⑥除湿の条件では、洗濯物を干してから1~3時間後の放湿量が最も大きくなるが、これは除湿により室内空間の相対湿度が下がり洗濯物表面と室内空間の絶対湿度差が大きくなるためと推定される。また、③換気(屋内)と④換気(屋内)+気流の条件を比較すると、④換気(屋内)+気流の条件の方が放湿量は大きい。これは、気流により湿気伝達率が大きくなるためであり、どのような場合でも洗濯物の乾燥時間の短縮には有効である。

3.3. 洗濯専用室内温湿度

洗濯物を干してから乾燥するまでの洗濯専用室内の温度を図5に、相対湿度を図6に、絶対湿度を図7に示す。

①干しただけの条件の場合、温度は低下し、相対湿度は90%以上と高く維持する。相対湿度が高いため、洗濯物は乾きにくく、結露発生や内装材に悪影響を及ぼすなどの危険性があると考えられる。

②換気(屋外)の条件では、低温高湿な空気を給気し換気量

が多いため、①干しただけの条件より相対湿度は低くなるが80%程度と高い傾向にあり、温度は大きく低下する。③換気(屋内)の条件では、比較的良好な温湿度状態の空気を給気し換気量が多いため、相対湿度は低下し温度は緩やかに上昇する。このことから、室内温湿度環境に関して、給気する空気の温湿度状態に注意する必要がある。

④換気(屋内)+気流の条件では、洗濯物を干してから6時間程度まで、③換気(屋内)の条件よりも温度は0.5℃程度低く相対湿度は10%程度高く絶対湿度は1g/kg⁷⁾弱高くなる傾向にある。これは、扇風機の発熱の影響よりも水分の蒸発潜熱により室内の熱が奪われる影響の方が大きいことと、室内に洗濯物からの水蒸気が放散されやすくなることに起因する。

⑤暖房と⑥除湿の条件では、⑥除湿の条件の方が温度上昇は著しく相対湿度と絶対湿度ともに低い。ただし、⑥除湿の条件では乾燥する7時間後の相対湿度は30%と低く、洗濯物が乾燥した後も除湿運転を連続で行った場合、相対湿度が低湿に維持され続けることで内装材に悪影響を及ぼす危険性があるので注意が必要である。

3.4. 機器の積算消費電力

洗濯物を干してから乾燥するまでの機器の積算消費電力を図8に示す。図中に●で示した点が乾燥するまでに要した機器の積算消費電力である。①干しただけと②換気(屋外)の条件は、実験を行った18時間以内に乾燥に至らなかったため除外する。積算消費電力は、③換気(屋内)の条件が約1.7kWh、④換気(屋内)+気流が1.5kWh程度であった。⑥除湿の条件の積算消費電力の半分以下となっている。また、③換気(屋内)と④換気(屋内)+気流の条件を比較すると、④換気(屋内)+気流

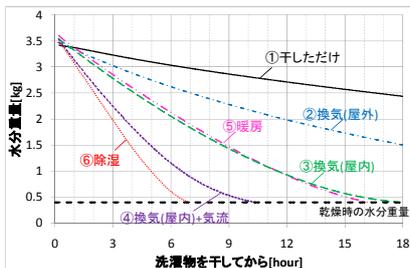


図3 水分重量

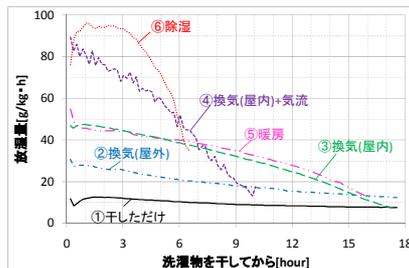


図4 単位絶対乾重量単位時間あたりの洗濯物からの放湿量

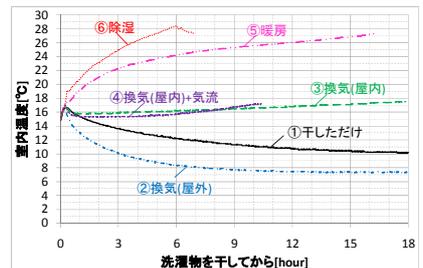


図5 洗濯専用室内の温度

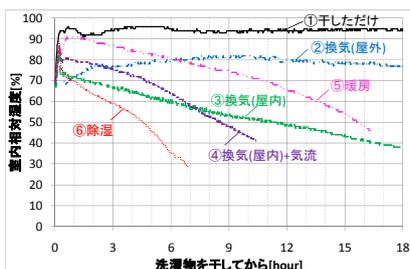


図6 洗濯専用室内の相対湿度

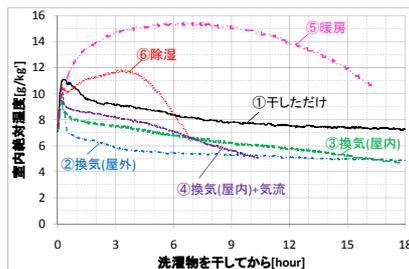


図7 洗濯専用室内の絶対湿度

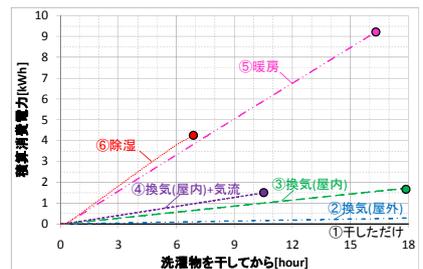


図8 機器の積算消費電力

の条件の方が乾燥時間は短いため、扇風機を併用しているにも関わらず積算消費電力は小さい。このことから、扇風機を併用し、乾燥した時点で扇風機を止めれば電気代も少なく済む可能性があると考えられる。積算消費電力は、⑤暖房の条件が約9.2kWh、⑥除湿が約4.2kWhであった。比較すると、⑥除湿の条件の積算消費電力は⑤暖房の半分以下となっている。このことから、積算消費電力に関して、電気ファンヒータより除湿乾燥機の使用が望ましいと言える。ただし、本実験では、電気ファンヒータを使用したため⑤暖房の条件の積算消費電力が大きくなったが、エアコンなどの高効率な機器を使用した場合は積算消費電力が小さくて済む可能性も十分考えられる。例えば、COP5のエアコンの場合、上記の実験結果から暖房時の積算消費電力は約1.8kWhとなり、これは⑥除湿の条件での約4.2kWhより小さい。

4. 数値解析による実験の再現

洗濯物の乾燥時間や室内温湿度環境において、実際には季節、建設地域などで外部環境は変わり、生活状況で屋内環境、洗濯物量などは変わる。それらのことを考慮して数値解析で検討する場合、洗濯物からの放湿量の算定が必要となる。

衣服の厚みは薄いため、洗濯物内の水分移動を無視し、洗濯物に含まれる水分は全て洗濯物表面に付着していると仮定すると、洗濯物からの放湿量は式5で与えられる。

$$J = \alpha' \cdot (X_s - X_{in}) \cdot S \cdot M_{dry} \quad \text{式5}$$

また、乾いていない部分の面積は平衡状態からの水分重量の差に比例するものと考え、洗濯物が濡れている面積の比率 ε を式6で仮定する。平衡時の水分重量は絶対乾重量と平衡含水率(式1)より式7で求められる。更に洗濯物の温度が室内温度と同程度とすると、室内空間と洗濯物表面の絶対湿度差は式8より求められる。

$$\varepsilon = (M_w - M_{w,eq}) / (M_{w,ini} - M_{w,eq}) \quad \text{式6}$$

$$M_{w,eq} = M_{dry} \cdot w_{eq} \quad \text{式7}$$

$$X_s - X_{in} = \{X(T_{in}, 100\%) - X_{in}\} \cdot \varepsilon \quad \text{式8}$$

既往の文献⁸⁾から無風時における垂直面の湿気伝達率 $3.99 \times 10^{-3} \text{g}/(\text{m}^2 \text{s}(\text{g}/\text{kg}'))$ を用いて、ほぼ無風状態であった条件①～③から洗濯物単位絶対乾重量あたりの空気に触れる表面積を、水分重量において最小2乗法により推定した結果、

$S=1280\text{m}^2/\text{g}$ であった。ただし、これは洗濯物の種類や干し方によって変わる。その他の実験条件はそれぞれ洗濯物付近の気流性状が異なるので、上記で示したSを用いて水分重量において最小2乗法により湿気伝達率を推定した結果、④換気(屋内)+気流の条件では $1.03 \times 10^2 \text{g}/(\text{m}^2 \text{s}(\text{g}/\text{kg}'))$ 、⑤暖房では $5.35 \times 10^3 \text{g}/(\text{m}^2 \text{s}(\text{g}/\text{kg}'))$ 、⑥除湿では $4.91 \times 10^3 \text{g}/(\text{m}^2 \text{s}(\text{g}/\text{kg}'))$ で

あった。洗濯物付近の気流速が大きいほど、湿気伝達率は大きくなる傾向にある。式5~8および上記に示した数値を用いて算出した水分重量の推定値と測定値の比較を図9に示す。推定値と測定値は概ね一致していることが確認できた。

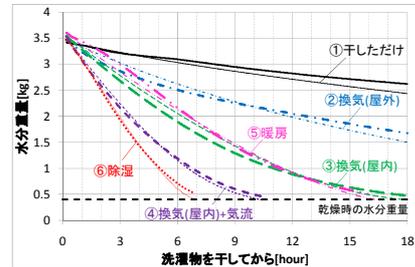


図9 水分重量(太線：推定値、細線：測定値)

5. まとめ

室内干し時における洗濯物の乾燥時間および室内温湿度環境を計測し、洗濯専用室の最適な乾燥方法を見出すことを目的とした実験を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 換気量を増やして洗濯物を乾かす場合、給気する空気の温湿度状態の影響が大きい。
- 2) 消費電力が大きな機器を使用する場合、除湿と暖房の機能を兼ね揃えた除湿乾燥機の選定が望ましい。
- 3) 少ない電気代で洗濯物を乾かすことを優先する場合は換気量を増やすこと、乾燥時間の短縮を優先する場合は除湿乾燥機の使用が望ましい。また、扇風機などで洗濯物付近の気流速を上げることは有効である。

また、4章で、実験より得られた値を用いて算出した水分重量の推定値と測定値を比較した結果、概ね一致することが確認できた。

注1: 文献中の平衡含水率曲線の図形情報から数値を読み取り3次式で近似した。

注2: 相対湿度50%時に、洗濯物の手触り等により適度な乾燥感が得られた。

記号一覧

w: 含水率[-], ϕ_{RH} : 相対湿度[-], M: 重量[g], ΔP : 消費電力の増分[W], ρC : 空気の容積比熱[J/m³K], V: 換気量[m³/h], T: 温度[°C], COP: 成績係数[-], J: 放湿量[g/s], α' : 湿気伝達率[g/(m²s(g/kg'))], X: 絶対湿度[g/kg], S: 洗濯物単位絶対乾重量あたりの空気に触れる表面積[m²/g], ε : 洗濯物が濡れている面積の比率[-]

添字

eq: 平衡時の、dry: 絶対乾時の、w: 洗濯物に含まれる水分の、ini: 初期(脱水後)の、in: 室内の、out: 外気の、s: 洗濯物表面の

参考文献

- 1)財団法人 建築環境・省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説、p.264、2009
- 2)数江昇資ら：室内湿度制御法に関する評価 - その1 壁面調湿材と洗濯物の部屋干しによる湿度調整性能実測 -、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008
- 3) Panasonic 洗濯機総合カタログ、<http://panasonic.jp/catalog/ctlg/wash/wash.pdf>, p.35,36
- 4) http://www.tepco-switch.com/life/labo/select/01_washing/step01-j.html
- 5) 針井修一ら：エース 建築環境工学II、p.84、朝倉書店、2002
- 6) 日本建築学会編：建築設計資料集1 環境、p.119、丸善、1978
- 7) 岡西宏樹ら：生活に伴う水蒸気発生量の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006
- 8) 渡辺要：建築計画原論III、p.132、丸善、1965

1) 積水ハウス 技術研究所、修士(工学)
2) 積水ハウス 技術研究所、博士(工学)

1) SEKISUI HOUSE,Technology R&D Institute,M. Eng.
2) SEKISUI HOUSE,Technology R&D Institute,Dr. Eng.