

【 第 1 章 】

これだけは事前に知っておきたい  
**基礎知識**

# 1 乾燥とは

## 1.1.1

# 洗濯物の乾燥

汚れた衣類、シーツ、タオルなどの洗濯物を乾かすとき、晴天の日は、日光がよく当たり、風通しの良い場所で天日乾燥（てんび）を行います。この場合、水の蒸発に必要な熱（エネルギー）が太陽からの放射（輻射）伝熱によって与えられます（図1-1-1）。

雨天の日や夜間は、太陽の熱（エネルギー）を利用できないので、乾燥機を用いて洗濯物を乾かします。熱風乾燥機では熱風から乾燥物に対流伝熱によって、赤外線乾燥機では放射（輻射）伝熱によって乾燥に必要な熱が伝えられます。

急いで乾かす必要があるとき、アイロン掛けをします。これは、熱せられたアイロンから洗濯物に伝導伝熱によって熱が伝えられます。

以上のように、熱（エネルギー）は伝導伝熱、対流伝熱、放射（輻射）伝熱によって伝えられます。それぞれの詳細は次の1.1.2項で述べます。

### ①乾燥は熱と物質の同時移動現象

洗濯物の乾燥をよく見ると、3つの段階を経て進行していることがわかります（図1-1-2）。

第1段階 湿った洗濯物に含まれている水分を蒸発させるために、まず蒸発に必要な熱を湿った材料に与えなければなりません。（熱移動）

第2段階 洗濯物に伝えられた熱はその温度を上げるとともに、含まれている水分を蒸気に変化させます。（相変化）

第3段階 発生した蒸気が洗濯物のまわりに停滞していると、水の蒸発を妨げるので、発生した蒸気をすみやかにまわりの空気中に移動させなければなりません。（物質移動）

### ②律速段階を知って、それを早く進める

3つの段階のうちどれかが非常に遅いと、乾燥全体の進み具合を左右します。この遅い段階を律速段階といいます。乾燥を早めるには、律速段階を早く進めることが必要です。

例えば、第1段階の熱の移動速度が遅いと、水の蒸発に必要な熱も不足し、乾燥が遅くなることは明らかです。熱の移動速度は、次の1.1.2項で述べます。

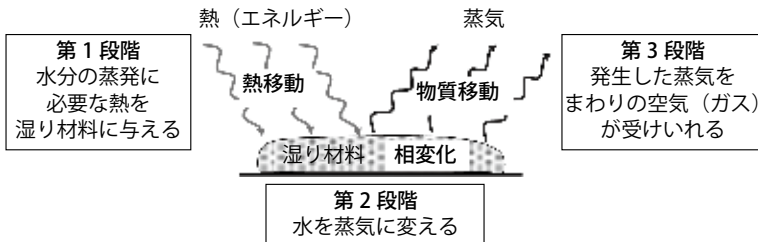
無風状態で洗濯物を乾かすと、発生した蒸気が洗濯物のまわりに停滞し（湿度が上がり）、乾燥が遅くなることはよく経験することです。これは、第3段階の物質の移動が遅いためです。湿度については1.2.1項で述べます。

図 1-1-1 洗濯物の乾燥

		乾かし方	熱(エネルギー)の伝わり方 (伝熱の種類)
日間	晴天	天日乾燥……………	放射(輻射)伝熱
	曇天	室内干し……………	対流伝熱
	雨天	乾燥機 熱風乾燥……………	対流伝熱
夜間		赤外線乾燥……………	放射(輻射)伝熱
		アイロン掛け……………	伝導伝熱

昼夜問わず、急いでいるときは  
アイロン掛け

図 1-1-2 乾燥は熱と物質の同時移動現象



要点 ノート

乾燥には「①水の蒸発に必要な熱の供給」、「②水から蒸気への相変化」、「③発生した蒸気の移動」の3段階があり、そのうち進み具合が遅い段階が乾燥全体の進み具合を左右します。

# 1 乾燥とは

## 1.1.2

# 熱の伝わり方と熱移動量

乾燥の第1段階は湿った材料に熱（エネルギー）を与えることですが、熱の伝わり方には次の3種類があります（表1-1-1）。

### ①伝導伝熱

2点間の距離 $\Delta x$ の間に温度差 $\Delta T$ があると、温度勾配（ $\Delta T/\Delta x$ ）に比例した熱が流れます。これを伝導伝熱といいます（図1-1-3、式1-1-1）。

（式1-1-1）のマイナス記号は、温度勾配（ $\Delta T/\Delta x$ ）と逆の方向に熱が流れることを意味します。伝熱速度 $Q$ は、伝熱面積 $A$ と熱伝導率（熱伝導度） $\lambda$ にも比例します。熱伝導率 $\lambda$ の値は物質によって異なります。

（式1-1-1）を変形すると、電気のおームの法則（電流 $I = \Delta E/R$ 、電位差 $\Delta E$ 、電気抵抗 $R$ ）と同じ形の $Q = \Delta T/R_T$ で表わすことができます。このとき $R_T$ を伝熱抵抗と呼びます。

### ②対流伝熱

固体の表面（温度 $T_s$ ）と周囲の流体（気体および液体、温度 $T_f$ ）の温度差（ $T_s - T_f$ ）に比例した熱が流れます。これを対流伝熱といいます（図1-1-4、式1-1-2）。

伝熱速度 $Q$ は、伝熱面積 $A$ と熱伝達係数（伝熱係数） $h_c$ にも比例します。熱伝達係数 $h_c$ の値は、流体の性質や速度および固体の形状によって異なります。

### ③放射（輻射）伝熱

固体1と固体2の温度の4乗の差（ $T_1^4 - T_2^4$ ）に比例した熱が流れます。これを放射（輻射）伝熱といいます。温度は必ず絶対温度 [K] の値とします（図1-1-5、式1-1-3）。伝熱速度 $Q$ は、伝熱面積 $A$ と総括吸収率 $\phi_{12}$ にも比例します。総括吸収率 $\phi_{12}$ の値は、固体1と固体2の性質や両者の位置関係（角関係、形態係数という）によって異なります。

表 1-1-1 熱移動の種類と伝熱速度 (A: 伝熱面積 [m<sup>2</sup>])

伝熱の種類	伝熱速度	伝熱速度を求める式
①伝導伝熱	伝導伝熱速度Qは温度勾配 ( $\Delta T/\Delta x$ ) に比例する。	フーリエの法則 $Q = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad (\text{式 1-1-1})$ $\lambda$ : 熱伝導率 (熱伝導度) [W/(m·K)]
②対流伝熱	対流伝熱速度Qは固体表面温度 $T_s$ と流体温度 $T_f$ の差 ( $T_s - T_f$ ) に比例する。	ニュートンの冷却の法則 $Q = h_c A (T_s - T_f) \quad [W] \quad (\text{式 1-1-2})$ $h_c$ : 熱伝達係数 (伝熱係数) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
③放射伝熱 ( <small>ふくしゃ</small> 輻射伝熱)	放射伝熱速度Qは物体1の絶対温度の4乗と物体2の絶対温度の4乗の差 ( $T_1^4 - T_2^4$ ) に比例する。	ステファン-ボルツマンの法則 $Q = \phi_{12} \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad [W] \quad (\text{式 1-1-3})$ $\phi_{12}$ : 総括吸収率 [-] $\sigma$ : ステファン-ボルツマン定数 $5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

図 1-1-3 伝導伝熱



熱は温度勾配に比例して、  
温度の高いところから低いところへ流れる  
(図 1-3-1 参照)

図 1-1-4 対流伝熱



熱は固体と流体の温度差に比例して、  
温度の高いほうから低いほうへ流れる  
(図 1-3-2 参照)

図 1-1-5 放射 (輻射) 伝熱



熱は温度  $T$  [K] の4乗差に比例して、  
温度の高いほうから低いほうへ流れる  
(図 1-3-3 参照)

### 要点 ノート

熱の移動には伝導、対流、放射 (輻射) の3種類があり、それぞれの熱移動速度の式を理解しましょう。

# 1 乾燥とは

## 1. 1. 3

# 乾燥に必要な蒸発熱

乾燥の第2段階で、湿った材料から水分を蒸発させるために熱（蒸発熱）が必要です。ここでは、その蒸発熱について解説します。

### ①蒸発と昇華（図1-1-6）

産業界において乾燥とは、比較的少量の水や有機溶剤などの液体を含む材料（湿り材料）に熱エネルギーを与えて液体を蒸発させて除去し、乾いた製品を得る操作をいいます。水をいったん凍結させ、氷から蒸気に気化（昇華）させる操作を凍結乾燥といいます。凍結乾燥は、今日、食品や医薬品の製造に使われ、たいへん重要な操作です（3.8.2項参照）。

### ②蒸発熱（表1-1-2）

大気下で水1gを蒸発させるには温度20℃では2,454J、100℃では2,257Jのエネルギー（蒸発熱）が必要で、水の蒸発熱 $\Delta h_v$ と温度 $T$  [℃] の関係は次の式です。

$$\Delta h_v = 2502 - 2.45 T \text{ [J/g]} \quad (\text{式1-1-4})$$

または

$$\begin{aligned} \Delta h_v &= (2502 - 2.45 T) \times 10^3 \text{ [J/kg]} \\ &= 2502 - 2.45 T \text{ [kJ/kg]} \end{aligned} \quad (\text{式1-1-5})$$

### ③熱エネルギーと物理的エネルギーの比較（図1-1-7）

図1-1-7に熱エネルギーと物理的エネルギーの比較を示します。

- ①水1kgの温度を1℃上げるために必要な熱エネルギー 4.2 kJ
- ②水1kgを温度20℃で蒸発させるために必要な熱エネルギー 2,454 kJ
- ③水70kgを海拔0mから富士山の山頂まで上げるために必要な位置エネルギー  
( $m$ : 質量70kg)  $\times$  ( $g$ : 重力加速度9.8 m/s<sup>2</sup>)  $\times$  ( $h$ : 高さ3,776 m) = 2,590 kJ
- ④水10kgを時速100kmで運ぶときの運動エネルギー  
( $m$ : 質量10kg)  $\times$  ( $v$ : 速度27.8 m/s)<sup>2</sup>/2 = 3.9 kJ

以上の値から次のことがわかります。

- ・ (①水1kgの温度を1℃上げるために必要な熱エネルギー) と (④水10kgを時速100kmで運ぶときの運動エネルギー) がほぼ等しい。
- ・ (②水1kgを温度20℃で蒸発させるために必要な熱エネルギー) と (③水