

5.5.4 パーティクルボードの例

ここではパーティクルボードを例に，解析に必要な物性値（ κ ， ν ）の決定過程を示す．
計算に用いた材料物性値を表 8 に示す．

表 8 パーティクルボード（particle board）の物性値

密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	685	(*1)
比熱 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	1880	
熱伝導率 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0.1075	(*2)
湿気伝導率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(\text{kg}\cdot\text{kg}(\text{DA})^{-1})^{-1}$)	9.66×10^{-7}	(*3)
最大空隙率 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ または $\text{vol}\cdot\text{vol}^{-1}$)	0.48	
κ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot(\text{kg}\cdot\text{kg}(\text{DA})^{-1})^{-1}$)	5594.38	
ν ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$)	2.320687	

*1 : 本編 p.50, dry density の中間値

*2 : 本編 p.50 , 乾燥時の熱伝導率近似式で算定 (材料密度 $685 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

*3 : 本編 p.51 , 文献 [2], 相対湿度 50%の場合を参照

解析対象試料，パーティクルボード（Particle Board）の κ ， ν は次のように決定した．

平衡重量含水率 u ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) には，本編 p.50, 文献 [1] の相対湿度 RH ($\text{Pa}\cdot\text{Pa}^{-1}$) との関係近似式を参照した．図 15 に式[12]より求めた平衡含水率を示す．

$$u = \frac{10^{-2}}{-0.157 \times RH + 0.183 + \frac{0.016}{RH}} = \frac{10^{-2}}{Y} \quad [12]$$

計算に用いる容積基準含水率 ϕ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) の換算には表 1 に示す材料密度 γ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) を用いた．

$$\phi = \gamma \times u = \gamma \times \frac{10^{-2}}{Y} \quad [13]$$

材料の湿気容量を示す κ ， ν の算定を以下に示す [T : 温度 (K), p_s : 飽和水蒸気圧 (Pa)]．

$$\kappa = \frac{\partial \phi}{\partial RH} \frac{\partial RH}{\partial X} = \frac{\partial \phi}{\partial RH} \frac{1}{p_s} \frac{\partial p_v}{\partial X} \quad [14]$$

$$\nu = -\frac{\partial \phi}{\partial RH} \frac{\partial RH}{\partial T} = -\frac{\partial \phi}{\partial RH} RH \frac{1}{p_s} \frac{\partial p_s}{\partial T} \quad [15]$$

図 16 に式[14]で求めた κ の値を示し，図 17 に式[15]で求めた ν の値を示す．本解析対象の初期条件，境界条件を考慮し，この得られた κ ， ν の温度 20°C ，相対湿度 50%での値を定数として計算に用いた．

なお，一般に平衡含水率関係の測定結果は離散値としてデータベース化されている．従って，

本例題では検討していないが、§ 5.5 の他の例で示されるような離散値の関数近似による κ 、 ν の値の違いに依拠する解析結果の「差」が生じる。更に、図 15、図 16 に示すように、平衡含水率関係が一つ定まったとしても、 κ 、 ν の温度、絶対湿度依存性は小さくない。本解析例ではパーティクルボードの κ および ν の温度、絶対湿度依存性のオーダを示したのみで、解析結果への影響は評価していない。

計算に用いる物性値は解析モデルに応じて単位換算をする必要がある。

本解析に必要な絶対湿度 X ($\text{kg} \cdot \text{kg}(\text{DA})^{-1}$)、水蒸気分圧 p_w (mmHg) または p_v (Pa) の単位換算は、換算に必要な湿り空気の状態を「温度 20°C、相対湿度 50%」一定、飽和水蒸気圧 p_s (Pa) の温度に関する微係数を一定「 $133.5893 (\text{Pa} \cdot \text{K}^{-1})$ 」として行った。換算式を絶対温度 T (K) を用いた相変化熱 r ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) の計算式と共に示す。

$$\text{絶対湿度—水蒸気分圧関係} \quad X = 0.827976 \times 10^{-3} \times p_w$$

$$\text{水蒸気分圧の単位換算} \quad p_v = 133.32 \times p_w$$

$$\text{相変化熱} \quad r = (575.5 - 5.59 \times 10^{-1} \times (T - 273.16)) \times 4186.05$$

計算に用いた、その他の物性値を表 9 に示す。

表 9 その他の物性値

水の密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	998.2
水の比熱 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	4186.05
空気の密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.2
空気の比熱 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	1019.052

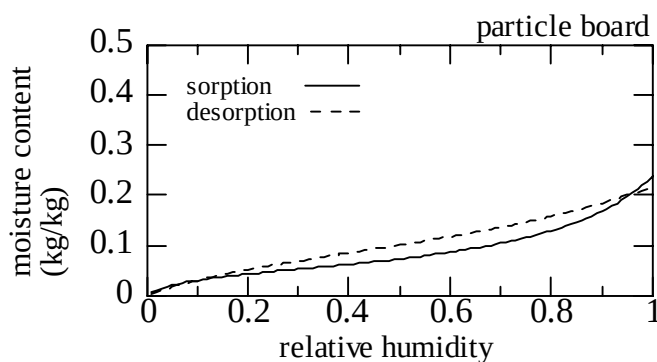


図15 平衡含水率関係

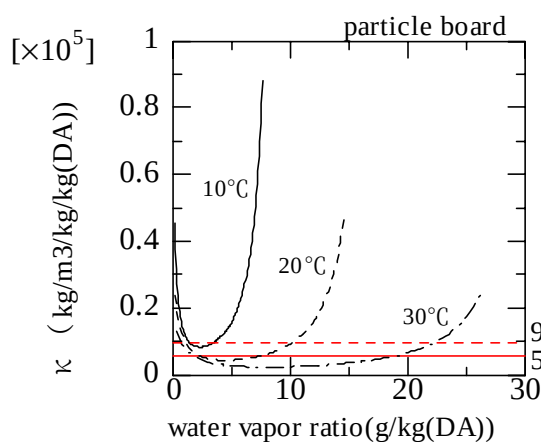


図16 κ 計算値

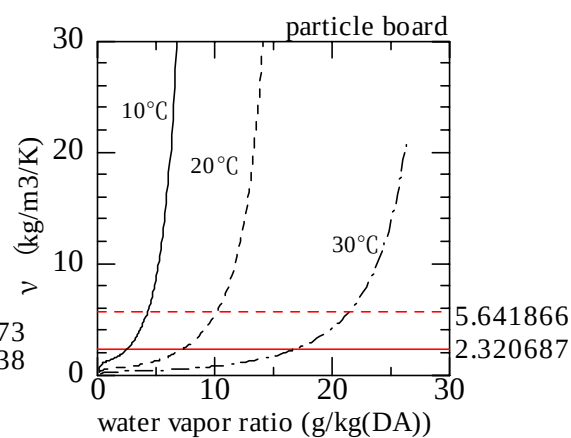


図17 v 計算値

— 20°C、相対湿度50%の場合
 - - - 20°C、相対湿度70%の場合

計算には差分法を用いた。§5.3に示した基礎式を場所に関してはコントロールボリューム法を用い、時間に関しては前進差分で計算を行った。

分割幅は解析対象表面近辺で0.5 mm、内部で1.0 mmとした。パーティクルボードの場合、時間刻み0.01秒で解が得られた。

パーティクルボードの気乾状態からの等温吸湿過程での熱・湿気挙動を以下に考察する。

図18、図19に解析対象表面での積算水分量、積算熱量の時間変化を示す。図示のように300時間経過で大略定常状態とみなせる。

図20の相対湿度分布に示されるとおり、1時間でパーティクルボード表面はほぼ空気層の状態に平衡し、表面から2 mmの位置まで吸湿による相対湿度上昇を起こす。

図21に示すように、吸湿による試料内絶対湿度上昇(図8)によって生じる試料の温度上昇は1時間後で最大0.2°Cほどある。その後、半日程度かけて定常状態の20°Cに収束してゆく。

図20の相対湿度分布、図22の絶対湿度分布に示される通り、吸湿は10日程度続いて定常状態に至る。

ここで用いた物性値を有するパーティクルボードでは、1時間程度の周期での吸湿には試料表面から2 mm程度の厚さの部分が有効に働くことが確認できる。10 mm厚さのパーティクルボードが全て吸湿に有効に働くのは、日周期より長い変動外乱が働く場合であることが読み取れる。

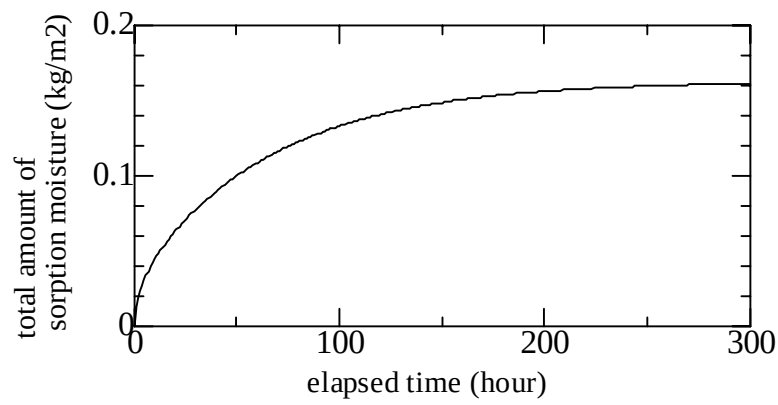


図18 材料内に吸湿される積算水分量の時間変化

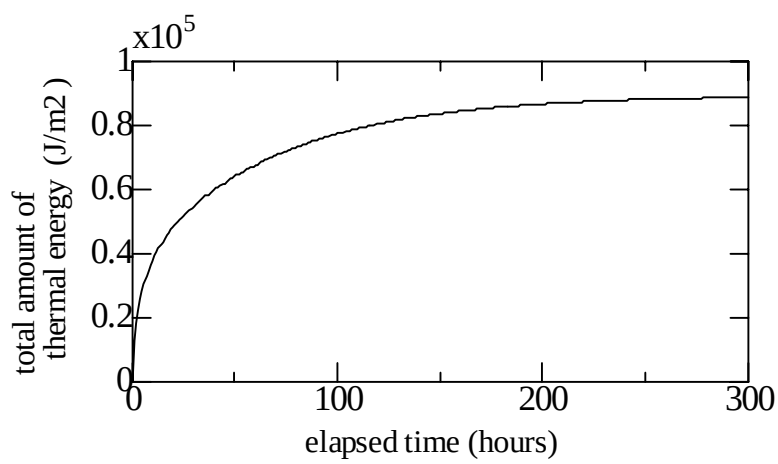


図19 試料から放出される積算熱量の時間変化

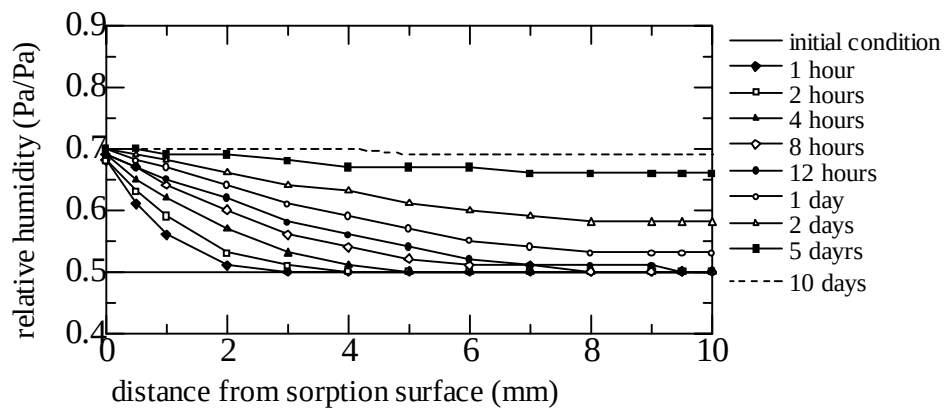


図20 試料内相对湿度分布

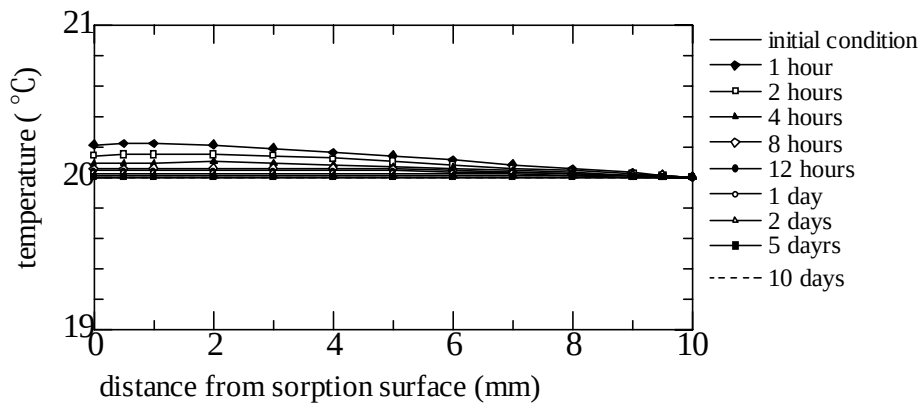


図21 試料内温度分布

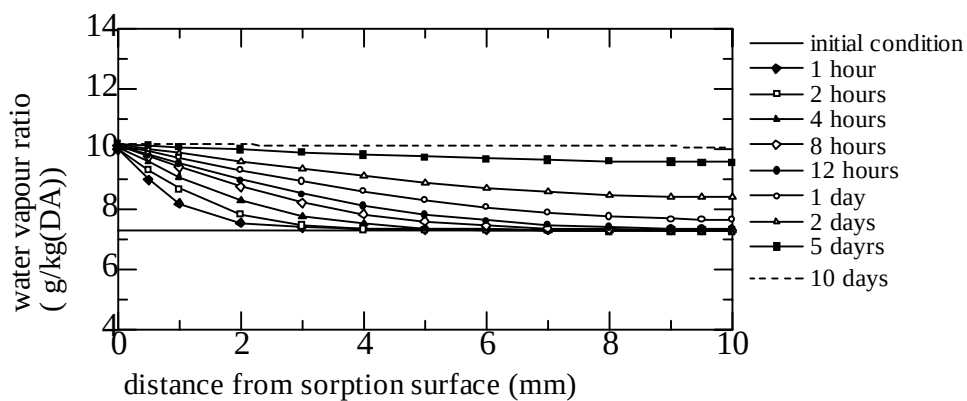


図22 試料内絶対湿度分布