

# 繊維板の吸湿・脱湿拡散係数

横 田 徳 郎<sup>(1)</sup>

後 藤 君 子<sup>(2)</sup>

## 1. は し が き

繊維板の吸湿・脱湿による寸法変化は、その製造工程ならびに利用上しばしば障害の原因となる。含水率の変化にともなう寸法変化に関しては、すでに2, 3の報告がなされているが<sup>(2)(3)(4)</sup>, 繊維板の吸湿あるいは脱湿速度についての基礎的研究はほとんど行なわれていない。著者は木材およびその細胞膜における水の拡散係数を測定し、とくに含水率との関係をもとめた結果<sup>(5)(6)(7)</sup>, 拡散係数が含水率によって変化することを知った。繊維板は解繊された木材細胞を成型したものであるから、その吸湿または脱湿過程における水の拡散係数もまた含水率によって変化することが予想される。この両者の間の関係をもとめることが本報の目的である。

本実験を行なうにあたり、林産化学部繊維板研究室高村憲男技官には試料に用いた繊維板を調製していただいた。ここに厚くお礼申し上げるしだいである。

## 2. 実 験 の 部

### 1. 試 料

ブナ材のセミケミカル・パルプ (SCP) およびアカマツ Asplund パルプを、熱板温度 180°C, 圧力 50-55kg/cm<sup>2</sup>, 時間 1-1-8 分の条件で成型してえた直径約 20cm の円型繊維板を、2 cm×2 cm の大きさに切断して試料に用いた。試料の厚さは約 0.3 cm, 比重 (絶乾重量-絶乾容積基準) はブナ SCP 繊維板(Fと略す)で 1.086~1.144, アカマツ Asplund パルプ繊維板(Pと略す)で 1.011~1.073 であった。

### 2. 吸湿・脱湿速度の測定

絶乾試料の表面または裏面 (網目面) ならびに側面をパラフィンでおおい、一面のみを露出せしめ、これを Mg Cl<sub>2</sub>, Mn Cl<sub>2</sub>, KBr, K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> の飽和溶液を入れたデシケーター中に置き、40°C の恒温器中で吸湿させて、その重量増加から吸湿速度を測定した。

上記の試料が各飽和溶液上で平衡含水率に達したのちに、これを P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を入れたデシケーター中に移し、40°C において重量減少を測定し、脱湿速度をもとめた。

### 3. 拡散係数の算定

前項の条件のもとに吸湿または脱湿実験を行なう場合、試料をデシケーター中に入れると同時に、試料表面の含水率が塩類の飽和溶液または P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> によって作られる相対湿度に相当する平衡含水率になるものと仮定すれば、前報<sup>7)</sup> に述べたと同様の初期条件、境界条件および拡散方程式が成立し、(1)式によって平均拡散係数  $\bar{D}_{1/2}$  がもとめられる。

---

(1) 林産化学部林産化学第一科長

(2) 林産化学部林産化学第一科セルロース研究室

$$\bar{D}_{1/2} = 0.049 \times \frac{l^2}{t_{1/2}} \quad (1)$$

上式中の  $\bar{D}_{1/2}$  は半減時間（吸湿量または脱湿量が全吸湿量または全脱湿量の 1/2 になるに要する時間  $t_{1/2}$ ）からもとめられる平均拡散係数で、試料の重量または基本容積（試料 1 g の占める容積）を基準とする拡散係数である。 $l$  は試料の厚さ (cm) である。

(表)

試料 Samples	比重 Specific gravity	厚さ Thickness cm	平衡含水率 E.M.C.*1 %	平衡に達する時間 Time to reach E.M.C. days	半減時間 Half time hrs.	吸着の $\bar{D}_{1/2}$ $\bar{D}_{1/2}$ for sorption $\times 10^6$ cm <sup>2</sup> /sec	初期含水率 I.M.C.*2 %	半減時間 Half time hrs.	脱着の $\bar{D}_{1/2}$ $\bar{D}_{1/2}$ for desorption $\times 10^6$ cm <sup>2</sup> /sec
P-a*	1.049	0.303	3.48	14	4.8	1.05	3.48	14.4	0.35
P-b	1.032	0.323	3.53	15.8	4.0	1.42	3.53	18.0	0.32
F-a	1.115	0.293	3.66	10	7.0	0.66	3.66	19.4	0.24
F-b	1.098	0.295	3.66	6	5.2	0.90	3.67	18.0	0.26
P-a	1.029	0.317	5.65	13	5.5	0.99	5.73	15.1	0.36
P-b	1.029	0.316	5.62	11	4.5	1.21	5.68	18.0	0.30
F-a	1.101	0.289	6.01	8	8.0	0.83	6.09	24.7	0.20
F-b	1.099	0.296	5.89	11	8.5	0.56	5.93	16.8	0.28
P-a	1.042	0.314	9.80	15	7.3	0.74	9.84	8.4	0.64
P-b	1.025	0.319	10.35	15	5.5	1.01	10.38	7.2	0.77
F-a	1.121	0.290	10.30	15	10.5	0.54	10.32	13.2	0.35
F-b	1.102	0.289	9.30	19	11.0	0.41	9.32	7.2	0.63
P-a	1.035	0.313	22.60	24	18.0	0.30	23.00	4.3	1.23
P-b	1.038	0.316	23.90	18	17.5	0.31	24.09	4.8	1.13
F-a	1.109	0.297	28.09	22	33.0	0.15	28.30	6.7	0.73
F-b	1.130	0.293	27.35	22	30.0	0.16	29.53	6.7	0.72

\*1 E.M.C.: Equilibrium moisture content.

\*2 I.M.C.: Initial moisture content.

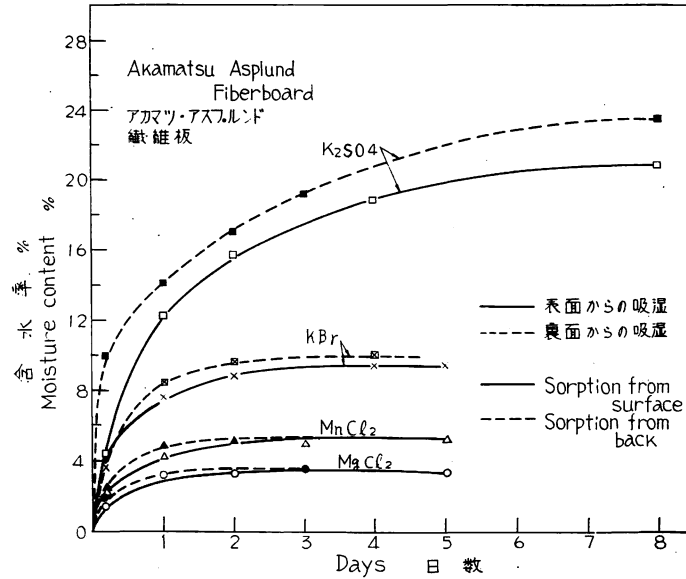
\*3 P: Akamatsu Asplund fiberboard; F: Buna SCP fiberboard; a and b mean surface and back exposed to the atmosphere for sorption and desorption.

\*3 P: アカマツ Asplund 繊維板, F: ブナ SCP 繊維板; a, b はそれぞれ表面または裏面よりの吸湿, 脱湿を意味する。

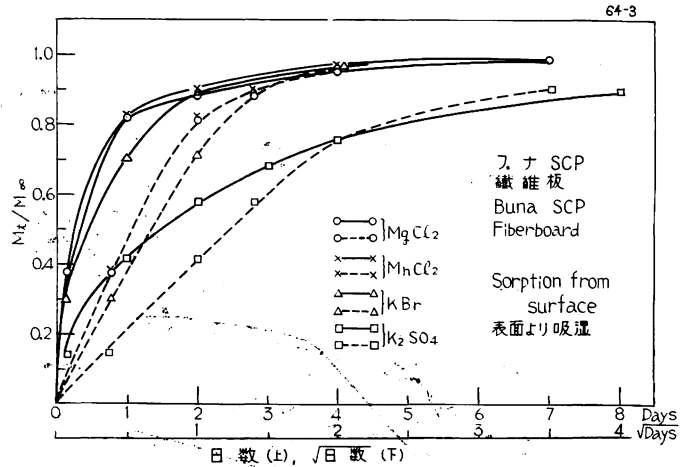
#### 4. 実験結果と考察

表に示されているように、 $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  飽和水溶液上における繊維板試料の平衡含水率 (E.M.C.) はそれぞれ、3.48~3.66%, 5.62~6.01%, 9.30~10.35%, 22.60~28.09% であった。第1図はアカマツ Asplund 繊維板の吸湿曲線を示したものであるが、一般に平衡含水率の低いものが、平衡に達する時間も短くなっている。また裏面からの吸湿速度は表面からのそれに比べて大である。しかし表面と裏面との吸湿・脱湿速度の差異は、試料によって区々で一定の傾向はない。

第2図はブナ SCP 繊維板の吸湿速度を、 $Mt/M\infty$  ( $Mt$  は吸湿または脱湿開始後、時間  $t$  を経たのちにおける水の吸収量または放出量、 $M\infty$  は平衡に達するまでに吸収または放出される水の全量) 対時間の関係で示したものであるが、この図によれば、 $Mt/M\infty=1/2$  に達するに要する時間（半減時間）は平衡含水率が大きいほど長くなる傾向がみとめられる。このことは吸湿過程においては、水の繊維板中における拡散係数が含水率によって異なり、しかも含水率が大きくなると拡散係数は減少することを意味してい



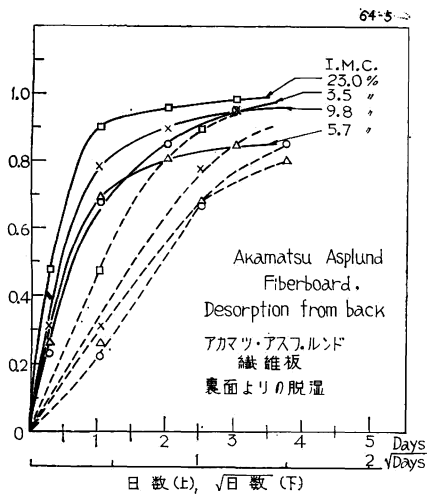
第1図 アカマツ・アスプルンド繊維板の吸湿曲線  
Fig.1 Sorption curves for Akamatsu-Asplund fiberboard.



第2図 ブナ SCP 繊維板の吸湿曲線  
Fig.2 Sorption curves for Buna-SCP fiberboard.

る。

さて(1)式によって拡散係数を算出するためには、この拡散係数が濃度のみの関数であることが必要である。この関係を証明するには、 $M_t/M_\infty$  対  $\sqrt{\text{時間}}$  の関係が  $M_t/M_\infty < 0.6$  の範囲において直線であることを知ればよい<sup>1)</sup>。第2図の点線に示されるように、この関係は各試料の吸湿・脱湿いずれの過程においてもほぼ成立し、(1)式による拡散係数の算定が可能である。第3図はアカマツ Asplund 繊維板の裏面よりの脱湿曲線であるが、吸湿とは反対に、脱湿速度は初期含水率 (I.M.C.) の大きいほど大である。 $M_t/M_\infty$  対  $\sqrt{\text{時間}}$  の関係は、初期含水率の低い場合、脱湿の初期においてやや  $\sqrt{\text{時間}}$  軸に対して突出する



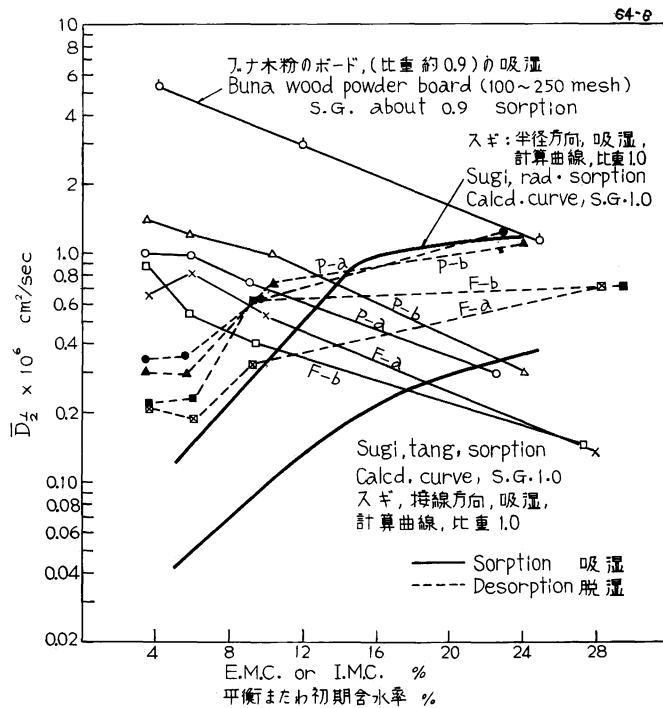
第3図 アカマツ・アスプルンド繊維板の脱湿量  $M_t/M_\infty$  と日数, 日数 $^{1/2}$ の関係  
Fig.3 Desorption curves for Akamatsu-Asplund fiberboard.

P-b (bは裏面よりの吸・脱湿を意味する), F-a, F-b いずれの試料においても, 吸湿の場合の平均拡散係数  $\bar{D}_{1/2}$  は平衡含水率の大きいほど小さい。他方, 脱湿の場合にはこれとは反対に  $\bar{D}_{1/2}$  は初期含水率とともに大となる。著者がえた実験結果によれば<sup>7)</sup>, 木材(スギ, トドマツ, プナ, ナラ)ならびに細胞膜

以外は, 直線性はおおむね良好であった。

上に述べたように, 拡散係数が含水率によって変化するので, (1)式によって算出される拡散係数は平均(積分)拡散係数である。表には試料の比重, 厚さ, 平衡または初期含水率, 半減時間などの値とともに, 吸湿または脱湿平均拡散係数の値を示してある。この表によれば, 吸湿の半減時間は4~33時間であるにもかかわらず, 平衡に達する時間ははるかに長く6~22日を要している。

第4図は各試料の平均拡散係数  $\bar{D}_{1/2}$  と含水率との関係を示したもので, さらにこの図の中には, プナ材の粉末を成型した板, ならびに試料として用いた繊維板とほぼ同じ比重をもつと仮定されたスギ材について計算された平均拡散係数の曲線を示してある。この図によれば P-a (aは表面よりの吸・脱湿を意味する),



第4図 繊維板の吸湿, 脱湿過程における水の拡散係数と含水率との関係  
Fig.4 Relationship between diffusion coefficient of moisture in fiberboards and moisture content.

中の水の拡散においては、 $\bar{D}_{1/2}$ は一般に含水率とともに増加することが知られており、本実験の吸湿の場合にみられた、 $\bar{D}_{1/2}$ と含水率との関係ははなはだ珍しい現象である。しかし、第4図の最上部に示されているブナ木粉の成型板 (常温、減圧下に加圧、成型したもの) では、繊維板と同様、 $\bar{D}_{1/2}$ は含水率とともに減少することが知られている。

繊維板の吸湿、脱湿が表面から行なわれる場合と裏面から行なわれる場合とについて、その拡散係数を比較してみると、あるときは表の方が、またあるときは裏の方が大きく、一定の傾向がみとめられない。

第4図に示されているスギ材の半径方向の吸湿拡散係数の曲線は、比重1.0の場合について計算されたもので、繊維板の脱湿曲線と大体類似した値を示す。吸湿・脱湿のいずれにおいても、一般にアカマツ Asplund 繊維板の  $\bar{D}_{1/2}$  は、ブナ繊維板のそれよりもやや大であった。この相違の原因が、パルプの性質に基づくものか、比重の差によるものかは現在のところ明らかでない。

繊維板ならびに木粉板の吸湿過程における平均拡散係数  $\bar{D}_{1/2}$  が含水率とともに減少するという事は木材では軸方向の拡散以外にはみられない現象である。これがもし高含水率下における膜孔膜小孔の毛管凝縮によると仮定すれば、脱湿過程の  $\bar{D}_{1/2}$  にも同じ傾向が認められるはずである。また、本報の拡散係数は絶乾重量基準であるから、高含水率においては膨潤のために、 $\bar{D}_{1/2}$  が低くあらわれるはずである。高含水率における  $\bar{D}_{1/2}$  低下の原因がもしこれにあるとすれば、脱湿の場合にも同様のことが起こるはずである。よって、その原因は他にもとめねばならないと思われる。

木材と繊維板とは、その化学的組成が異なっているほかに、細胞の配列、結合のし方が大いに異なっている。木材中では各細胞はおおむねこれを取り巻いて平行に配列する他の細胞と中間膜によって密接に結合しているが、一方、繊維板においては、各細胞の長軸の方向は板の面内において任意の方向をとり、各細胞は他の多数の細胞と点で接触している。かつ、繊維板は一度解繊した細胞を熱圧することによって再び成型したものであるから、内部に歪力が存在している可能性がある。これに抗して水分子が拡散する場合、含水率が高くなるほど抵抗が大きくなり、このために  $\bar{D}_{1/2}$  が低下することが考えられる。

## 要 約

アカマツ Asplund パルプおよびブナ SCP パルプより調製した繊維板における水の平均拡散係数は、吸湿過程においては含水率とともに減少し、脱湿過程においては逆に増加することを知った。

## 文 献

- 1) CRANK, J.: The Mathematics of Diffusion. Oxford, p.276, (1956)
- 2) JOHNSON, J. E.: Oregon For. Prod. Lab., Rept. T-16, (1956).
- 3) STILLINGER, J.R.: Ibid., Rept. T-7, (1954).
- 4) STILLINGER, J.R.: For. Prod. J., 6, 179, (1956).
- 5) YOKOTA, T.: J. Jap. Wood Res. Soc., 5, pp.143~149, (1959).
- 6) YOKOTA, T.: Ibid., 8, pp.192~197, (1962).
- 7) 横田徳郎・後藤君子: 林試研報, 158, pp.45~70, (1963).
- 8) 横田徳郎: 未発表.

## Diffusion Coefficients of Water in Fiberboards.

Tokuo YOKOTA and Kimiko Gotô

## (Résumé)

The effect of moisture content on the diffusion coefficients of water in the sorption and desorption processes of fiberboards was studied, using samples prepared from Asplund pulp of Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) and semi-chemical pulp of Buna (*Fagus crenata* BLUME), specific gravity of the boards being about 1.1. The rate of moisture sorption or desorption of the boards was measured at 40°C, between moisture content of 0% and E.M.C. (equilibrium moisture content) of 4, 6, 10 and 23 % respectively (Figs. 1 and 2).

As half-time  $t_{1/2}$  (time required for  $M_t$ , the amount of water absorbed or desorbed at time  $t$ , to reach a half of  $M_\infty$ , the total amount of water absorbed or desorbed at an infinite time) values were different at each moisture content range, and  $t^{1/2}$  vs.  $M_t/M_\infty$  curves were linear up to about 0.6 of  $M_t/M_\infty$  (Figs. 2 and 3), the average diffusion coefficient  $\bar{D}_{1/2}$  of this process can be regarded as concentration-dependent and calculated using the following equation,

$$\bar{D}_{1/2} = 0.049 \times \frac{4l^2}{t_{1/2}},$$

in which  $l$  is the thickness of the specimen.

The average diffusion coefficient of water in the sorption process of the fiberboards and of wood powder board, decreased with the moisture content, in contrast to the increase of the average diffusion coefficient with the moisture content in the desorption process (Fig. 4). Diffusion coefficients of sorption or desorption from surface of the boards are not always higher than those of sorption or desorption from back face. The detail of the data is shown in Table 1.