

放射線による木材・ポリマー複合体. I

—木材・ポリ塩化ビニリデン複合体の物理的ならびに
機械的性質と難燃性—

石原茂久・金田 弘*・南 正 院
満久 崇 麿**・後藤田正夫***・竹 下 登****

Note on Wood-Plastic Composite by Ionizing Radiation. I.

—Some Mechanical-and Physical Properties and Flame-Retardancy
of Wood-Polyvinylidene Chloride Composite.—

Shigehisa ISHIHARA, Hiromu KANEDA*, Zeong Woun NAM,
Takamaro MAKU**, Masao GOTODA*** and Noboru TAKESHITA****

Summary

Specimens of Buna (*Fagus crenata* BLUME) and Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) were impregnated with vinylidene chloride monomer and exposed to the ^{60}Co source under dry and wet conditions.

The treated specimens were tested as to their static and dynamic bending strength, dynamic modulus of elasticity in bending and internal friction, surface hardness, hygroscopicity, dimensional stabilities, and their flame-retardancy.

The specific gravity, surface hardness and dynamic bending strength of the composite were apparently increased with an increase in the polymer loading, but the polymerization of the vinylidene chloride monomer in wood by γ -radiation had negligible effect on the bending strength, modulus of elasticity in bending and internal friction. A reduction in apparent moisture absorption and volumetric swelling as compared with untreated controls and an increase slightly in the efficiencies of the flame-retardancy and the fire-extinguishment were observed.

1 はじめに

これまで木材の寸法安定化, 難燃化を目的として, 塩化ビニリデン (VDC) を主体とする木材内放射線重

木質材料部門 (Division of Composite Wood)

* 現在, 北海道教育大学函館分校, 函館市八幡町 (Hokkaido Univ. of Education, Hakodate Branch, Hakodate, Hokkaido)

** 本学名誉教授 (Professor Emeritus of Kyoto Univ.)

*** 日本原子力研究所高崎研究所, 群馬県高崎市綿貫町 (Japan Atomic Energy Research Institute, Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, Takasaki, Gunma)

**** 山陽国策パルプ (株) 岩国研究所, 山口県岩国市飯田町 (Sanyokokusaku Pulp Co., Iwakuni Research Lab., Iwakuni, Yamaguchi).

合、さらに得られた木材・ポリマー複合体の性質について若干の検討が行われてきた¹⁻³⁾。

本研究では、対象木材としてブナとアカマツを用い、塩化ビニリデンモノマーをこれに注入、⁶⁰Co γ 線による木材・ポリマー複合体を製造して、これらの材質ならびに難燃性能の検討を行った。いくつかの基礎的資料が得られたのでここに報告する。

2 実 験

2.1 照射試験片の作製と照射

2.1.1 材 料

(1) 木 材

本実験に供した木材はブナ (*Fagus crenata* BLUME) とアカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et Zucc.) の二樹種である。

ブナは樹令150年の天然木で大阪営林局尾鷲営林署管内、アカマツは樹令95年の天然木で同営林局神戸営林署管内においてそれぞれ伐採されたものを製材し、10ヶ月以上天然乾燥した。

試験片はそれぞれの辺材から表1に示す試験項目に適合する形状に調製し、温度25°C 関係湿度60%の恒温恒湿室に1週間以上静置した後、温度50°C で72時間、1~2 mmHg で減圧乾燥を行い、含水率0.1%以下になるように調整した。本実験ではこれを絶乾試験片として用いた。

(2) モノマー

呉羽化学(株)製の約77%の塩素を含む塩化ビニリデンで、その沸点は約31°Cであった。安定剤としてシェル石油(株)製のフェニールグリシジルエーテルを用いた。

2.1.2 モノマーの注入および照射

モノマーの注入および照射は次の二方法をとった。

(1) 気乾照射 (以下、気乾という)

2.1.1で述べた絶乾試験片を温度25°C、関係湿度60%のデシケータで48時間以上調湿し(含水率5~6%)、その後2時間の脱気を行って(含水率0.5~1.0)モノマーを注入した。次に窒素置換を行ない、そのまま16時間放置した後これを取り出してアルミニウム箔で三重につまみ、さらにセロファンテープで完全にシールしてモノマーの飛散を防いだ。

照射重合は⁶⁰Co γ 線によった。照射条件は以下の通りである。

Dose rate	2 × 10 ⁵ r/hr
Temperature	22°C
⁶⁰ Co	1 × 10 ⁴ Ci

この後、50°C、1~2 mmHg で72時間脱気して未反応モノマーの除去を行った。

(2) 飽水照射 (以下、飽水という)

絶乾試験片を1時間脱気した後、純水中に16時間浸漬して、含水率170~200%の飽水状態とした。この試験片を40°C、関係湿度90%の条件のもとで調湿し、木材の含水率を20~25%となるようにした。この後2時間の脱気を行いモノマーを注入した。

モノマーの注入および照射は(1)と同様である。

ローディング率は次式によって求めた。

$$\text{ローディング率}(\%) = \frac{\text{WPC重量} - \text{絶乾木材重量}}{\text{絶乾木材重量}} \times 100$$

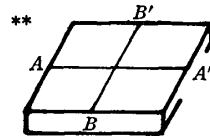
2.2 材質試験および燃焼試験用試験片の作製

2.1によって作成されたそれぞれの試験片をマイターソーにより表1の仕上げ寸法となるように鋸断し、

表1 試験項目および試験片の形状

項目	照射			材質試験				備考	
	照射前処理及び測定項目	照射寸法	個数	照射後測定項目	仕上寸法	個数	試験前処理及び測定項目		試験条件及び測定項目
(1) Dimensional stability									
気乾照射	絶乾(重)→気乾(重)→ 注入→重,寸	6×40×40 mm	5	重,寸法	5×30×30 mm	5	絶(重,寸)	飽湿, 40°C, (重,寸)	樹種 ブナ アカマツ
飽水	絶乾(重)→飽水(重)→ 注入→重,寸	同上	5	同上	同上	5	同上	同上	
対照試片 1	絶(重)→気(重)(寸)	6×40×40 mm	5	重,測定(寸)	5×30×30 mm	5	絶(重,寸)	同上	
対照試片 2	絶(重)→飽(重)(寸)	同上	5	同上	同上 5×30×30 mm	5 5	同上 同上	同上 同上	
(2) 比重,含水率	(1)の測定結果より計算 (1)の試片を用いる							(上記試験後 20°C 75% RH の室内で長期静置後の平衡 含水率と平衡寸法の測定 (5)項へ)	
(3) 曲げ試験									
気乾, 飽水照射 ^a	絶(重,寸)→ (a) (重,寸)→注入 →重	6×35×230 mm 一端で柁目硬さ測定 (5)項へ	2	気乾(20°C, 75% RH) (重,寸)	5×10×230 mm このうち一端 (150 mmをspan として用いる)	6	気乾(20°C, 75% RH)	曲げヤング 曲げ強度 比重, 含水率 (4)項へ	同上
対照試片 1	同上	同上(一端を(5) 項へ)	4	同上	5×10×230 mm 同上	6	同上	同上 注: "	
対照試片 2					5×10×230 mm 同上	6	同上	同上 同上	
(4) 耐炎試験	(3)のものを用いる				5×10×150 mm	6	(重)	燃焼試験(重) DTA, TGA	同上
対照試片 1	同上				同上	6	同上	同上	
対照試片 2	同上				同上	6	同上	同上	
(5) 硬さ試験	(1)及び(3)の試片を用 いる							気乾, 数点(重ね合わせる)	同上
対照試片 1	同上							同上	
対照試片 2	同上							同上	
(6) 動的性質	(3)と同じ処理	8×10×100 mm	3		1×10×90 mm				同上
対照試片 1	同上	同上			同上				
対照試片 2					同上				

* 50°C 1~2 mmHg



** AA', BB' の寸法測定

重: 重量測定
寸: 寸法測定

石原・ほか: 放射線による木材・ポリマー複合体 I

さらに試験片をベルトサンダーで精密に仕上げた。

2.3 材質試験の前処理および試験条件

材質試験に先だて、それぞれの測定に必要な前処理および測定を表1のように行った。また、試験項目およびこれに用いられる試験片の形状、個数も表1に示す通りである。

表中、重は重量測定、寸は寸法測定を意味する。

2.4 試験方法

2.4.1 材質試験

(1) 比重

温度 20°C, 関係湿度65%における気乾比重を測定した。

試験片寸法 ; 30 mm × 30 mm × 5 mm

試験片数 ; 照射線量, ポリマーローディングの各条件につき5枚

比重 (r_u) ; $\frac{W}{V}$

W ; 試験片の重量 (g)

V ; 重量測定時の試験片の体積 (cm³)

(2) 柁目面および木口面の硬さ

ブリネル (Brinell) 硬さを以下によって測定した。これは直径 10 mm の鋼球による凹みの投影面積で、そのときの荷重を割った値である。

試験片寸法 ; 5 mm × 10 mm × 150 mm⁽¹⁾

5 mm × 30 mm × 30 mm⁽²⁾

注, (1) : 柁目面試験片は曲げ試験用試験片から, (2) : 木口面試験片は吸湿試験片から採取した。

試験片数 ; 各条件につき6枚

測点 ; 2ヶ所

ブリネル硬さ ; $\frac{P}{10\pi h}$ (kg/mm²)

P ; 圧力深さ h が $1/\pi$ (≈ 0.32 mm) になるときの荷重 (kg)

h ; 圧力深さ ≈ 0.32 mm

(3) 平衡含水率

温度 20°C, 関係湿度65%における平衡含水率を求めた。

試験片寸法 ; 30 mm × 30 mm × 5 mm

試験片数 ; 各条件につき5枚

平衡含水率 ; $\frac{W - W_0}{W_0} \times 100$ (%)

W ; 20°C, 関係湿度65%の恒温恒湿室に放置し恒量に達したときの試験片の重量 (g)

W₀ ; 試験片の絶乾重量 (g)

(4) 静曲げ弾性係数および静曲げ強度

曲げ性能は曲げ弾性係数および強度を単純支持中央集中荷重により求めた。

試験片寸法 ; 5 mm × 10 mm × 150 mm

試験片数 ; 各条件につき6枚

曲げ弾性係数 ; $\frac{P_p l^3}{4ybh^3}$ (kg/cm²)

$$\text{曲げ強度} \quad ; \quad \frac{3Pl}{2bh^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

P : 破壊時の中央集中荷重 (kg)

P_p : 比例限度における荷重 (kg)

l : スパン (cm)

b : 試験片の幅 (cm)

h : 試験片の厚さ (cm)

y : 比例限度における荷重点のたわみ (cm)

(5) 動的曲げ弾性係数および内部摩擦 (tanδ)

振動リード法により共振周波数を求め、下式により計算した。

試験片寸法 ; 1 mm×5 mm×75 mm (スパン:半径方向)

試験片数 ; 各条件ともに3枚

$$\text{動的曲げ弾性係数} ; \quad 38.4 \cdot \frac{l^4 \delta}{d^2} \cdot f^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{内部摩擦 (tan } \delta \text{)} ; \quad \frac{4f}{f}$$

f : 共振周波数 (C/S)

d : 試験片厚さ (cm)

l : 試験片長さ (cm)

δ : 密度 (g/cm³)

4f : 半価幅

(6) 吸湿率および膨張率

試験片を 40°C, 飽湿の恒温恒湿器中に静置し, 6, 24および72時間後の接線方向 (T) および半径方向 (R) の寸法ならびに重量をそれぞれ測定し, 下式により求めた。

試験片寸法 ; 30 mm×30 mm×5 mm

試験片数 ; 各条件ともに5枚

$$\text{吸湿率} ; \quad \frac{W_t - W_u}{W_0} \times 100 \text{ (\%)} \quad ; \quad \frac{T_{72} - T_u}{T_0} \times 100 \text{ (\%)} \text{ (接線方向)}$$

$$\text{膨張率} ; \quad \frac{T_{72} - T_u}{T_0} \times 100 \text{ (\%)} \text{ (接線方向)}$$

$$\frac{R_{72} - R_u}{R_0} \times 100 \text{ (\%)} \text{ (半径方向)}$$

W_t : t時間後における試験片重量 (g)

W_u : 試験片気乾重量 (g)

W₀ : 試験片絶乾重量 (g)

T₇₂, R₇₂ : 72時間後の接線方向および半径方向の長さ (cm)

T_u, R_u : 気乾状態における接線方向および半径方向の長さ (cm)

T₀, R₀ : 絶乾状態における接線方向および半径方向の長さ (cm)

2.4.2 燃焼試験

図1に示すような内径1.1 cmのブンゼンバー上4.0 cmに試験片の先端が位置するよう試験片保持台に45°の角度をもって試験片を保持し, 一次空気を混入しない長さ5.0 cmの拡散炎によって下端から一定時間加熱する方法をとった。

加熱時間は2分間とした。

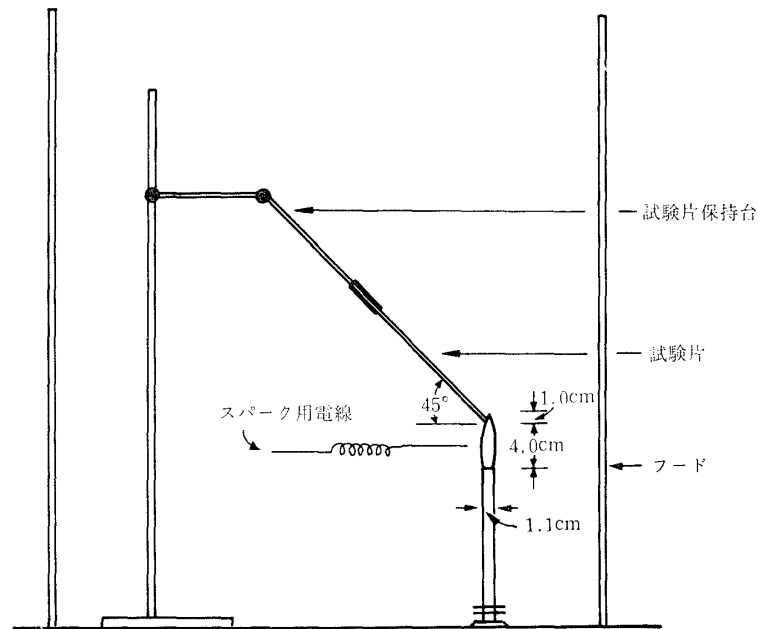


図1 燃焼試験装置

本実験においては以下の項目を測定した。

- (1) 消炎時間：加熱中に試験片が消炎する時間，すなわち，加熱炎が試験片の下端に接触している状態で発炎燃焼が完全に停止するまでの時間（秒）
- (2) 炎の拡がり：試験片の下端より 5 cm および 10 cm の位置に炎の先端がそれぞれ到達する時間（秒）
- (3) 炭化長：燃焼後の炭化部の長さ（cm）
- (4) 残炎時間：加熱炎を除いた後，試験片が炎を発生して燃える時間（秒）
- (5) 残じん時間：発炎燃焼の後，灼熱燃焼が終了する時間（秒）

試験片の寸法； 5 mm×10 mm×160~180 mm

（静曲げ試験に供した 5 mm×10 mm×230 mm の試験片の一端を用いた。）

試験片数 ; 各条件につき 5 個

3 結果と考察

3.1 木材・ポリ塩化ビニリデン複合体のポリマーローディング

塩化ビニリデン (VDC) の γ 線および電子線照射による木材内重合についてはすでに検討されたが¹⁻³⁾，こゝでは表 1 に示すような形状をもつブナおよびアカマツについて 3 種類の試験片におけるポリマーローディングと γ 線照射量の関係について検討し，その結果を図 2, 3 に示す。これによるとポリマーローディングは，樹種ならびに試験片の形状によって異なるが，dimensional stability (DS) 測定用のアカマツ（気乾）試験片を除いていずれの場合も γ 線照射量が 1.6 Mrad までの範囲では，その増加により急な増加が認められ，後藤田らのカバ・VDC+MMA 複合体²⁾ のそれと同様な傾向が認められる。

なお 1.6 Mrad 以上の照射については，カバ・VDC+MMA 複合体において 1.6 Mrad 以上の照射でポリマーローディングが飽和値に達すると述べている後藤田らの実験²⁾ にもとづき，これは省略した。さらに木材・PVDC 複合体における VDC のコンバージョンについてはすでに後藤田らが報告³⁾ しているのでこゝでの検討は省略した。

樹種とポリマーローディングの関係をみると形状が 6 mm×35 mm×230 mm の機械的性質試験用試験片と 8 mm×10 mm×100 mm の動的性質測定用試験片の 0.4 Mrad を除いていずれもアカマツにおいてポリ

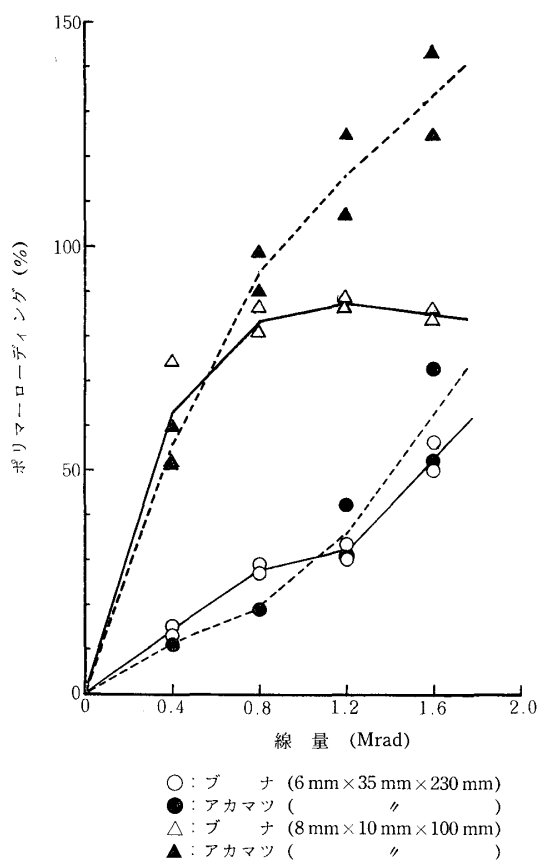


図2 ポリマーローディングと線量の関係

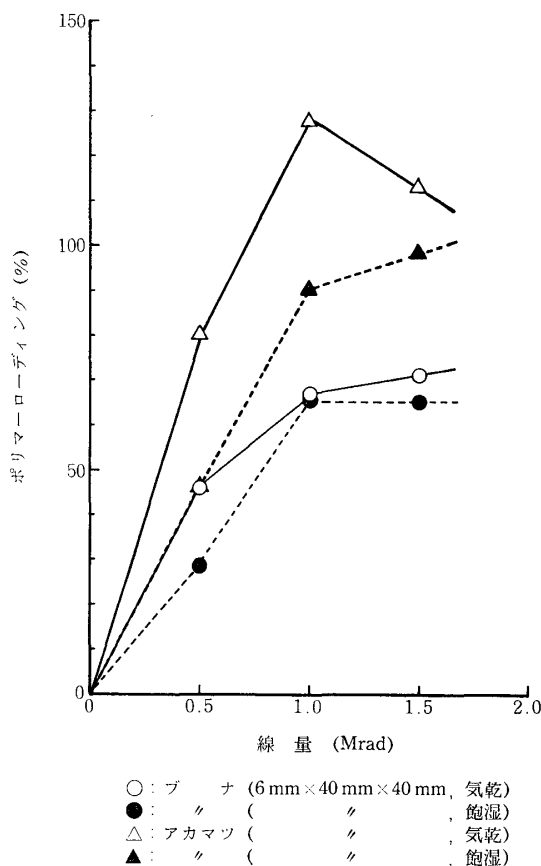


図3 照射条件の異なる試験片のポリマーローディングと線量の関係

マーローディングが大きい。

ポリマーローディングは試験片の形状によってかなり異なり、機械的性質測定用試験片、DS 測定用試験片、動的性質測定用試験片の順に増大し、その差はかなり大きい。また上述のように機械的性質測定用ならびに動的性質測定用試験片のポリマーローディングは γ 線照射量の増加によって比例的に増大するが、DS 測定用のそれでは γ 線照射量が 1.0 Mrad 近傍において飽和する傾向が認められた。以上のように試験片の形状ならびに木取りによってポリマーローディングはかなり大きな影響をうけるようであるので、ポリマーローディングに対する試験片の寸法効果の検討を今後の研究に待ちたい。

ポリマーローディングに対し照射時における木材中の水分効果をみるために DS 測定用試験片のポリマーローディングと γ 線照射量との関係を示したものが図2である。これによるとポリマーローディングは γ 線の照射量の多小にかかわらず、ブナ、アカマツともに含水率の低いものがいずれも高い値を示し、とくにアカマツでその傾向が顕著で、カバ・VDC+MMA 複合体²⁾における水分効果と逆の結果が得られた。

3.2 物理的ならびに機械的性質

3.2.1 比重

標準試片および木材・PVDC 複合体の比重とポリマーローディングならびに γ 線照射線量との関係を図4, 5 および表2に示した。これによると γ 線を 0.4 Mrad から 1.6 Mrad の範囲で照射を試みたが、標準試片ではブナ、アカマツともに照射による影響は認められない。木材・PVDC 複合体では軽度の照射におけるポリマーローディングのサンプル数が少ないため明瞭なことはいえないが、一般にポリマーローディングの増加

表2 物理的, 機械的性質のまとめ (A: プナ, B: アカマツ)

No.	照射		比	平衡含水率 (%)	柱目面硬さ (kg/mm ²)	静曲げ強度 (kg/cm ²)	静曲げ弾性係数 (×10 ³ kg/cm ²)
	Dose (Mrad)	含水率 (%)					
A-0			0.52~0.54~0.56	9.8~10.3~10.6	1.17~1.29~1.39	349~422~463	64.5~75.4~84.3
A-3-1	0.4	6.0	0.55~0.56~0.57	4.6~4.7~4.9	1.42~1.62~1.77	385~438~515	68.3~76.0~82.1
A-3-2	0.4	6.2	0.55~0.57~0.59	5.3~5.4~5.5	1.48~1.60~1.73	467~480~496	79.4~81.9~85.4
A-3-3	0.8	6.1	0.66~0.67~0.68	5.3~5.4~5.5	1.86~1.92~1.97	468~490~510	71.8~75.5~77.8
A-3-4	0.8	6.2	0.60~0.64~0.67	4.5~5.0~5.3	1.63~1.75~1.86	441~471~487	78.5~80.5~83.6
A-3-5	1.2	6.0	0.64~0.65~0.66	5.4~5.5~5.6	1.69~1.91~2.13	388~438~475	75.5~80.3~84.4
A-3-6	1.2	5.9	0.62~0.64~0.67	4.3~4.6~5.1	1.49~1.76~1.92	438~476~497	79.6~82.2~87.1
A-3-7	1.6	6.0	0.85~0.86~0.88	4.7~5.0~5.3	1.68~2.09~2.23	418~500~577	73.8~82.3~90.4
A-3-8	1.6	6.2	0.73~0.76~0.79	4.4~5.3~6.2	1.68~2.09~2.23	485~498~520	81.2~87.4~91.6
A-3-11	0.4	5.0	0.53~0.54~0.54	7.5~7.6~7.7	1.18~1.37~1.48	441~455~470	79.4~82.8~85.4
A-3-12	0.4	4.8	0.53~0.55~0.57	6.8~6.9~7.1	1.38~1.55~1.72	413~468~542	75.2~83.8~91.7
A-3-13	0.8	4.9	0.51~0.52~0.54	7.2~7.4~7.5	1.18~1.30~1.39	412~463~539	75.1~83.8~92.1
A-3-14	0.8	4.7	0.53~0.54~0.56	7.1~7.5~7.7	1.33~1.43~1.52	405~430~462	74.3~75.4~77.4
A-3-15	1.2	5.0	0.55~0.57~0.58	7.6~7.7~7.8	1.27~1.37~1.49	541~566~600	94.0~99.9~106.0
A-3-16	1.2	4.9	0.55~0.57~0.58	7.5~7.5~7.5	1.23~1.36~1.48	513~560~600	91.2~97.9~104.1
A-3-17	1.6	4.7	0.52~0.54~0.56	6.7~7.0~7.2	1.02~1.21~1.34	442~467~492	70.5~78.2~83.8
A-3-18	1.6	4.9	0.54~0.54~0.56	6.8~6.9~7.2	1.25~1.33~1.41	341~417~477	72.6~76.5~80.5
B-0			0.32~0.41~0.45	9.6~10.2~10.5	0.67~0.92~1.14	285~413~490	60.2~90.3~108.0
B-3-1	0.4	5.4	0.42~0.45~0.48	5.2~5.3~5.3	0.63~1.13~1.41	377~432~498	65.0~71.8~83.6
B-3-2	0.4	5.5	0.41~0.47~0.53	5.4~5.6~5.7	0.73~1.19~1.47	362~407~440	63.2~67.2~74.3
B-3-3	0.8	5.6	0.47~0.49~0.51	6.0~6.2~6.7	0.96~1.14~1.37	413~439~481	58.9~67.3~78.5
B-3-4	0.8	5.4	0.50~0.52~0.56	5.8~5.9~6.0	1.15~1.43~1.70	422~432~440	56.3~59.8~63.2
B-3-5	1.2	5.9	0.52~0.56~0.60	6.1~6.5~7.0	1.15~1.43~2.10	346~398~436	60.8~65.0~67.9
B-3-6	1.2	5.4	0.57~0.60~0.65	5.2~5.6~6.0	1.20~1.51~2.05	415~422~429	61.2~62.7~64.9
B-3-7	1.6	5.0	0.58~0.63~0.70	5.2~5.8~6.3	1.15~1.37~1.50	413~467~494	66.9~70.2~71.9
B-3-8	1.6	5.3	0.60~0.69~0.75	5.2~5.7~6.0	1.05~1.35~1.80	439~477~525	70.3~76.5~82.5
B-3-9	0.4	5.2	0.43~0.44~0.46	6.5~6.7~6.8	1.20~1.45~1.80	328~369~391	56.1~60.9~67.7
B-3-10	0.4	5.5	0.40~0.42~0.43	6.7~6.8~6.9	0.75~1.17~1.25	409~434~474	64.8~67.0~68.5
B-3-11	0.8	5.5	0.41~0.45~0.47	6.4~6.7~7.0	0.98~1.27~1.47	407~452~490	63.2~68.5~71.4
B-3-12	0.8	5.7	0.39~0.43~0.45	6.5~6.7~7.1	0.95~1.20~1.55	351~392~418	55.2~59.9~62.4
B-3-13	1.2	5.2	0.40~0.41~0.42	7.0~7.1~7.2	0.74~1.01~1.16	422~431~436	58.8~67.1~71.7
B-3-14	1.2	4.8	0.41~0.44~0.46	6.1~6.4~6.7	0.98~1.28~1.54	406~428~446	59.6~62.2~64.5
B-3-15	1.6	4.8	0.38~0.41~0.45	7.3~7.5~7.6	0.83~1.07~1.37	378~404~421	57.8~68.2~77.7
B-3-16	1.6	5.5	0.39~0.42~0.46	6.8~6.9~7.0	0.90~1.12~1.41	367~375~385	61.1~63.0~64.2

(注: A-0, B-0は標準試片)

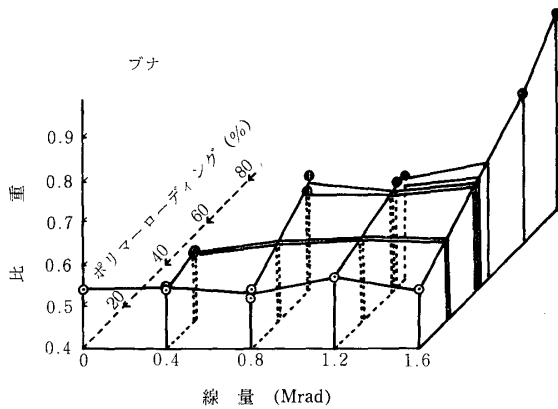


図4 比重と線量，ポリマーローディングの関係

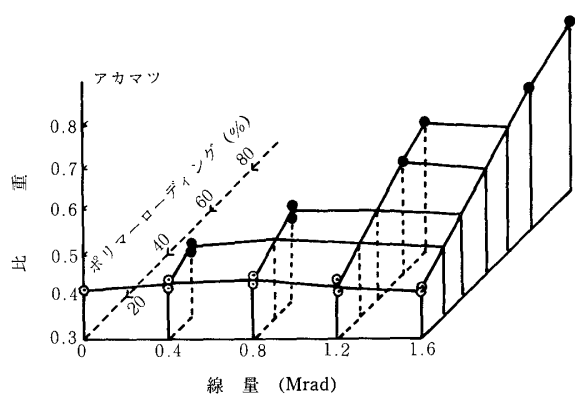


図5 比重と線量，ポリマーローディングの関係

により当然みかけの比重は増加し、アカマツでは1.6 Mrad（ポリマーローディング：73%）の場合には標準試片の約1.7倍、ブナでは1.6 Mrad（ポリマーローディング66%）で1.6倍になることが認められた。

3.2.2 硬 さ

標準試片および木材・PVDC 複合体の硬さは柁目面および木口面について試験を行ない、以下の結果を得た。

(1) 柁目面の硬さ

図6および7ならびに表2に標準試片および木材・PVDC 複合体の柁目面の硬さを示す。これらによると、素材の柁目面の硬さは γ 線照射によってかなり大きな影響を受けブナ、アカマツともに0.4 Mrad 程度の照射によってブリネル硬度は増大し、標準試片に対しブナでは6~20%、アカマツでは27~57%の増大が認められた。一方、0.8 Mrad 以上の照射では照射線量が高くなるに従い硬度が低下する傾向にある。木材・PVDC 複合体においても類似の傾向が認められ、本実験の範囲では複合体の硬度は標準試片のそれに対してブナにおいて24~62%、アカマツにおいて22~64%の増加がある。またポリマーローディングの増加とともにブリネル硬さは増大し、特にブナにおいてこの傾向を顕著であった。

(2) 木口面硬さ

木口面の硬さは早材、晩材の平均値として求めた。表4~6に示すようにブナ素材では気乾照射、飽湿照射ともに γ 線照射によって硬さの低下が認められ、柁目面にみられた軽度の照射による硬度の増加はなかつ

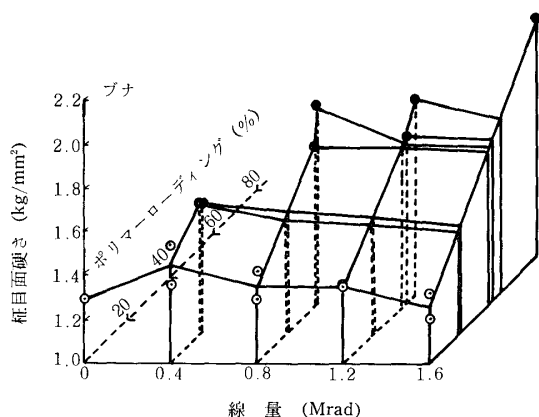


図6 柁目面硬さと線量，ポリマーローディングの関係

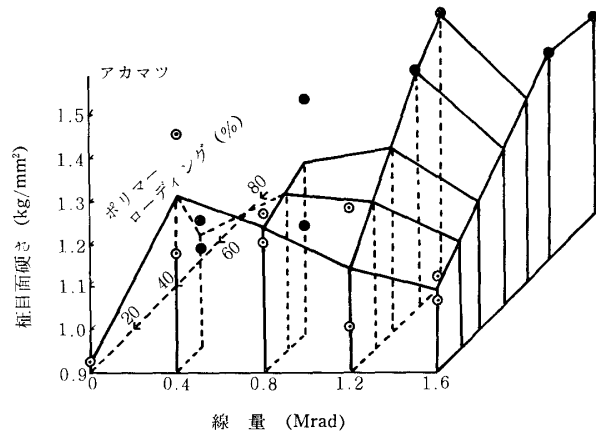


図7 柁目面硬さと線量，ポリマーローディングの関係

た。アカマツにおいても素材ではブナと同様な傾向が認められた(表5)。なお照射時の含水率の影響はブナのそれより顕著で、飽湿照射の硬度低下が気乾照射のそれより大であった。また、木材・PVDC 複合体では柾目面硬さと同様にポリマーローディングの増加により硬さは増加したが木口面硬さに対する照射時の試験片含水率の影響はとくに認められなかった。照射線量の増加による硬度の低下は明確でなかった。

3.2.3 平衡含水率

温度 20°C, 関係湿度65%の恒温恒湿器に静置したときの無処理材, 照射材および木材・PVDC 複合体の平衡含水率を図8および9ならびに表2に示す。これらによる無処理標準試片のブナおよびアカマツの平衡含水率はともに約10%であって、一般素材のその約12%より若干低い値を示した。次いで、照射材のそれを見ると 0.4 Mrad の照射でブナでは平均値で7.2%, アカマツでは6.2%となり、標準試片に対して前者で約30%, 後者で約40%の低下が認められ、 γ 線照射によって非結晶領域における水酸基の拘束がかなり大きいものと考えられる。しかしながら照射線量の増加による平衡含水率の変化はほとんどなく、アカマツにおいてわずかに増加する傾向が認められるに過ぎない。

木材・PVDC 複合体ではブナ, アカマツともに標準試片のそれに対して約50%あるいは約40%の低下があり、照射材のそれに比較しても若干低い値を示した。また、ポリマーローディングの増加とともに平衡含水率はやゝ低下する傾向が認められる。このような木材・PVDC 複合体における低平衡含水率の原因は非親水性の PVDC による親水基の拘束より照射による影響の方が大きいものと判断される。

3.2.4 静的曲げ弾性係数および曲げ強度

(1) 弾性係数

ブナおよびアカマツの標準試片, 照射材および木材・PVDC 複合体の静的曲げ弾性係数をそれぞれ図10, 11および表2に示した。これらによると、ブナ照射材において 1.2 Mrad で際立って大きな値を示しているが、全般的な傾向からみて、これを異常値と考えれば照射量による弾性係数の変化はあまりないといえることができる。一方、ブナ・PVDC 複合体ではポリマーローディングと弾性係数の関係がきわめて複雑であるが、全般的にみてその影響はあまり顕著でないといえることができる。

アカマツでは照射材が標準試片に比べて非常に低い値を示しており、この弾性率低下の割合はブナのそれに比べて著しい。この低下の原因は γ 線照射によってセルロースの分子量の低下が 0.5 Mrad 近傍からかなり顕著になるとする K. V. RAMALINGAM の報告⁴⁾から、セルロースの劣化に伴うものとも判断されるが、ブナにおいてこれが顕著でないことから、この原因が何によるものか本実験の範囲では明らかでない。またブナとの相異が樹種によるものかどうかについても明らかではない。

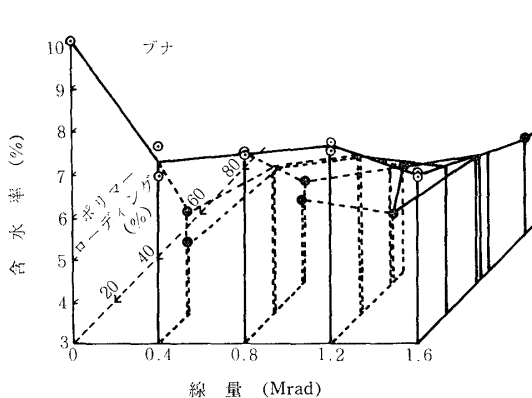


図8 平衡含水率と線量, ポリマーローディングの関係

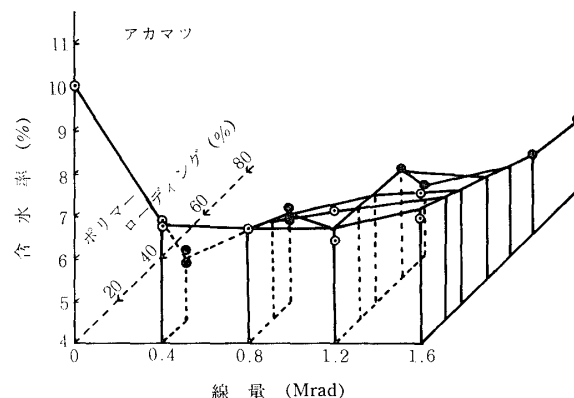


図9 平衡含水率と線量ならびにポリマーローディングの関係

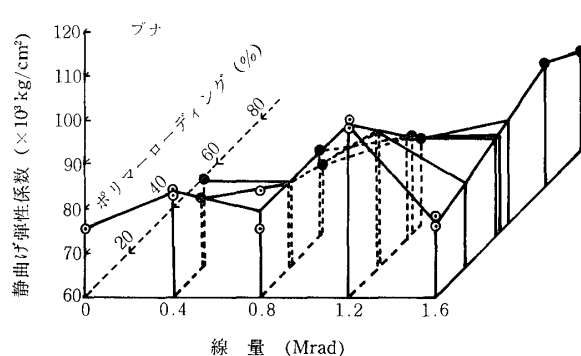


図10 静曲げ弾性係数と線量ならびにポリマーローディングの関係

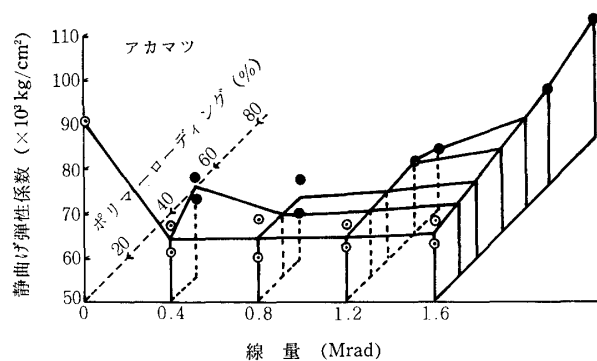


図11 静曲げ弾性係数と線量ならびにポリマーローディングの関係

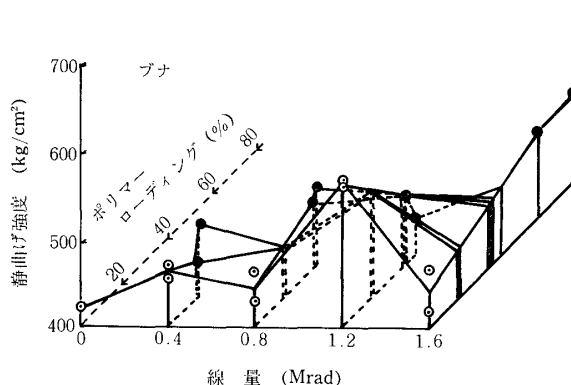


図12 静曲げ強度と線量ならびにポリマーローディングの関係

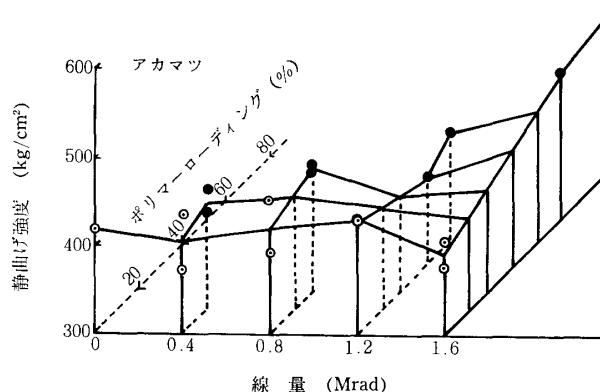


図13 静曲げ強度と線量ならびにポリマーローディングの関係

アカマツ・PVDC 複合体の弾性率は照射量による影響はほとんどなく、ポリマーローディングの増加とともに若干増加するに過ぎない。

(2) 曲げ強度

ブナとアカマツの標準試片、照射材および木材・PVDC 複合体の曲げ強度を図12, 13および表2に示す。本実験に供したブナ標準試片の曲げ強度はわが国のブナの平均的なそれ⁵⁾よりかなり低いものであった。

照射材の曲げ強度は1.2 Mradにおいて非常に高い値を示したが、上述のように全般的な傾向から異常値と判断されることによりこれを除外すると0.4~1.6 Mradの範囲では γ 線照射の影響が顕著ではないと考えられる。

ブナ・PVDC 複合体ではポリマーローディングが13%から66%の広い範囲にわたっているにも拘らず静的曲げ強度の変化はとくに顕著ではなく、ポリマーローディングの増加に従ってわずかに増加する傾向が認められるに過ぎない。

一方、アカマツ標準試片の曲げ強度もわが国の平均的なそれ⁵⁾に比較してかなり低い値を示した。照射材およびアカマツ・PVDC 複合体に対する γ 線照射量の影響は明らかではなく、複合体においてポリマーローディングの増加に伴うわずかな増加が認められたに過ぎない。

A. BURMESTER は松材に対して γ 線照射を行ない各種の強度に及ぼす影響について検討し曲げ強度では0.1~1.0 Mradの範囲で若干の向上を認めている⁶⁾が、本実験ではとくにその傾向を把握することはできなかった。

本実験において、照射材および木材・PVDC 複合体の曲げ性能の向上はとくに認められないが、これら

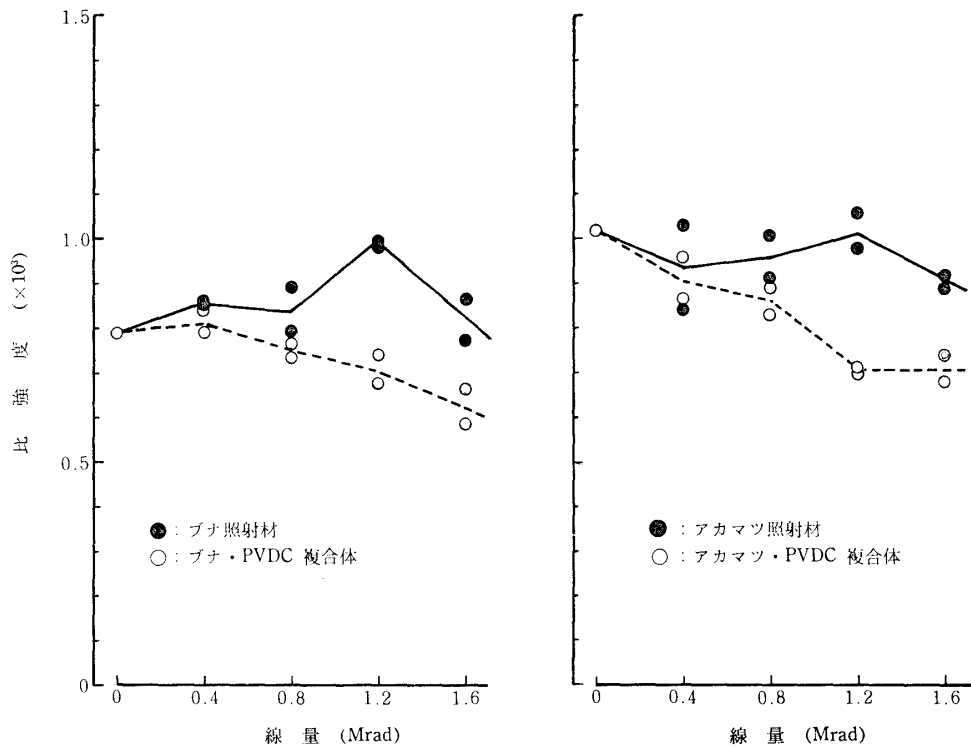


図14 木材・PVDC 複合体および照射材の比強度と線量の関係

の比強度をとって図14に示した。これによると、ブナ、アカマツともに PVDC との複合体ではともに γ 線照射量の増加によって比強度は減少し、一方、照射材では 1.2 Mrad をピークにしてブナにおいてはかなりの増加、また、アカマツにおいて若干の増加の傾向があり、 γ 線による木材の PVDC 複合化が静的な曲げ性能の向上に寄与していないことを示すとともに 0.5~1.5 Mrad の範囲の γ 線照射がブナおよびアカマツ素材の曲げ性能の向上に若干の寄与を示していることがわかる。

3.2.5 動的曲げ弾性係数および内部摩擦 ($\tan \delta$)

振動リード法によって得られた標準試片、照射材および木材・PVDC 複合体の動的曲げ弾性率および内部摩擦 ($\tan \delta$) を表 3 にまとめて示した。

(1) 曲げ弾性係数

ブナおよびアカマツの PVDC 複合体の動的曲げ弾性係数はともに照射線量の増加とこれに伴うポリマーローディングの増加によって高くなり、標準試片の約 2 倍もの高い値を示した。また、照射材の場合もアカマツの 2, 3 の例外を除いて動的曲げ弾性率の若干の増加の傾向が認められたが、いずれの場合も照射線量との間に比例的な関係は認められない。

なお、動的曲げ弾性係数と静的曲げ弾性係数の場合では試験片の繊維方向とスパンの相互関係が異なるため両者の値を比較することはできなかった。

(2) 内部摩擦 ($\tan \delta$)

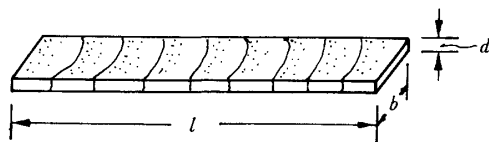
本実験に供したブナおよびアカマツの標準試片における内部摩擦は文献値⁷⁾に近いそれを示した。

照射材ではブナ、アカマツともに標準試片に比べてかなり低下する傾向が認められたのに対し、木材・PVDC 複合体では増加の傾向があり、これはポリマーローディングの増加によって増加したが、 γ 線照射量との間に比例的な関係は認められなかった。

石原・ほか：放射線による木材・ポリマー複合体 I

表3 動的弾性係数 (E') と内部摩擦 (tan δ) のまとめ (A: プナ, B: アカマツ)

No.	照 射 条 件			比 重	E' ($\times 10^9 \text{dyn/cm}^2$)	tan δ
	Dose (Mrad)	含水率 (%)	loadiug (%)			
A-0-1	(標準試片)			0.57	11.8	0.035
A-0-2				0.60	13.0	0.034
A-0-3				0.63	13.8	0.032
A-5-1	0.4	6.5	75	0.86	21.9	0.032
A-5-2	0.4	6.5	52	0.76	20.0	0.027
A-5-3	0.8	6.5	87	0.91	21.5	0.045
A-5-4	0.8	6.4	81	1.02	24.4	0.041
A-5-5	1.2	6.4	89	1.05	24.5	0.038
A-5-6	1.2	6.3	87	0.86	23.4	0.041
A-5-7	1.6	6.4	84	0.87	23.7	0.033
A-5-8	1.6	6.3	86	1.03	27.0	0.040
A-5-9	0.4	6.3	0	0.60	11.0	0.023
A-5-10	0.4	6.3	0	0.54	13.9	0.021
A-5-11	0.8	5.9	0	0.58	15.6	0.022
A-5-12	0.8	6.3	0	0.59	16.7	0.020
A-5-13	1.2	6.3	0	0.60	15.9	0.023
A-5-14	1.2	6.3	0	0.58	15.7	0.023
A-5-15	1.6	6.3	0	0.58	16.8	0.018
A-5-16	1.6	6.2	0	0.60	14.3	0.023
B-0-1	(標準試片)			0.47	11.9	0.031
B-0-2				0.45	9.3	0.031
B-0-3				0.43	8.5	0.027
B-5-1	0.4	6.3	52	0.67	20.4	0.035
B-5-2	0.4	6.5	60	0.67	14.8	0.031
B-5-3	0.8	6.0	91	0.87	19.0	0.047
B-5-4	0.8	6.3	99	0.90	26.5	0.057
B-5-5	1.2	6.5	125	0.96	23.4	0.054
B-5-6	1.2	6.4	107	0.83	24.1	0.049
B-5-7	1.6	6.5	125	0.94	25.0	0.061
B-5-8	1.6	5.0	144	0.85	20.8	0.050
B-5-9	0.4	6.0	0	0.51	9.8	0.025
B-5-10	0.4	5.7	0	0.47	12.5	0.023
B-5-11	0.8	5.7	0	0.48	7.7	0.024
B-5-12	0.8	5.6	0	0.49	9.5	0.023
B-5-13	1.2	5.5	0	0.51	10.2	0.024
B-5-14	1.2	5.5	0	0.49	13.2	0.023
B-5-15	1.6	5.5	0	0.50	10.3	0.025
B-5-16	1.6	5.5	0	0.46	8.8	0.022



d=0.1 cm

b=0.5 cm

l=7.5 cm

振動リード法による。

20°C, 45% RH 恒温恒湿室中

表4-1 DSと木口硬さのまとめ(1) (A:ブナ, B:アカマツ)

No.	照射		試験開始時含水率 (%)	吸湿率*1)			膨張率*2)		含水率1%当りの膨張率 (%)		木口面硬さ (kg/mm ²)	備考
	Dose (Mrad)	含水率 (%)		loading (%)	6 h	24 h	72 h	T	R	T		
A-1-1	0.5	5.7	44	7.14	11.1	13.1	6.71	2.24	0.503	0.169	3.43	注 入 照 射
A-1-2	0.5	5.7	46	6.62	10.4	12.3	5.75	2.07	.455	.166	3.25	
A-1-3	0.5	5.7	47	6.72	10.3	11.7	4.86	2.02	.400	.172	3.33	
A-1-4	0.5	5.5	45	6.49	10.4	12.0	6.32	2.42	.511	.198	3.65	
A-1-5	0.5	5.5	47	6.45	10.5	11.6	6.46	2.18	.548	.183	3.95	
A-1-6	1.0	5.4	63	5.34	9.30	11.5	6.89	2.41	.584	.208	4.18	
A-1-7	1.0	5.5	59	5.14	8.90	10.7	6.68	2.36	.606	.216	4.50	
A-1-8	1.0	5.8	66	5.12	8.19	9.90	5.73	2.10	.569	.210	3.78	
A-1-9	1.0	5.6	82	5.33	8.38	9.70	5.21	1.87	.525	.191	3.52	
A-1-10	1.0	5.6	64	5.06	7.62	8.60	5.01	1.77	.569	.204	3.83	
A-1-11	1.5	5.6	77	4.56	7.37	9.30	5.25	1.94	.554	.206	3.92	
A-1-12	1.5	5.7	82	4.19	7.00	8.60	5.38	1.87	.614	.215	4.17	
A-1-13	1.5	5.5	64	4.91	7.77	9.10	4.75	1.71	.510	.185	4.23	
A-1-14	1.5	5.6	69	4.66	7.79	9.00	5.81	1.90	.628	.206	4.08	
A-1-15	1.5	5.4	59	5.44	8.93	10.1	5.95	1.74	.575	.169	4.08	
A-1-16	0.5	5.4	0	10.1	16.6	19.5	7.54	2.54	0.378	0.128	3.25	照 射 の み
A-1-17	0.5	5.5	0	11.2	17.5	21.6	8.00	2.48	.363	.113	2.55	
A-1-18	0.5	5.4	0	10.0	15.1	16.8	6.11	2.14	.358	.126	2.98	
A-1-19	0.5	5.3	0	12.0	15.7	18.3	6.54	2.21	.350	.119	2.98	
A-1-20	0.5	4.9	0	9.85	17.0	18.9	6.99	2.56	.358	.113	3.33	
A-1-21	1.0	5.8	0	11.0	16.4	16.8	6.10	1.91	.353	.112	2.83	
A-1-22	1.0	6.0	0	9.37	15.7	17.9	6.34	2.21	.348	.122	3.23	
A-1-23	1.0	6.1	0	9.27	15.7	16.4	6.22	2.21	.370	.134	2.58	
A-1-24	1.0	6.1	0	9.30	15.6	17.1	6.38	2.22	.364	.127	2.90	
A-1-25	1.0	5.8	0	9.54	17.5	18.4	6.51	2.32	.344	.124	2.87	
A-1-26	1.5	5.8	0	10.2	15.3	15.8	5.63	2.01	.347	.125	2.70	
A-1-27	1.5	6.0	0	10.0	16.9	17.7	6.73	2.59	.370	.143	2.95	
A-1-28	1.5	5.9	0	10.7	17.9	17.3	6.04	2.32	.339	.132	2.95	
A-1-29	1.5	5.8	0	10.3	15.5	16.7	5.75	1.97	.337	.117	2.85	
A-1-30	1.5	5.8	0	10.4	15.1	16.1	5.81	2.01	.354	.124	2.95	

*1) $\frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$, *2) $\frac{T_{72} - T_0}{T_0} \times 100$, $\frac{R_{72} - R_0}{R_0} \times 100$

表4-2 DSと木口硬さのまとめ(2) (A:ブナ, B:アカマツ)

No.	照射		射条		試験開始時含水率 (%)	吸湿率*1 (%)			膨張率*2 (%)		含水率1%当りの膨張率 (%)		木口面硬さ (kg/mm ²)	備考
	Dose (Mrad)	含水率 (%)	含水率 (%)	loading (%)		6 h	24 h	72 h	T	R	T	R		
A-2-1	0.5	25	31	0	9.2	10.6	11.6	4.90	1.67	0.412	0.142	3.22	注入照射	
A-2-2	0.5	16	25	0	9.1	10.6	11.6	5.08	1.78	.426	.151	3.25		
A-2-3	0.5	24	31	0	9.1	10.1	11.6	4.74	1.74	.398	.147	3.33		
A-2-4	0.5	25	26	0	9.2	11.1	12.8	5.16	2.07	.393	.159	3.05		
A-2-5	0.5	25	28	0	9.2	10.6	11.8	4.79	1.67	.397	.139	3.35		
A-2-6	1.0	25	68	0	7.6	7.85	8.70	4.72	1.91	.528	.215	3.71		
A-2-7	1.0	27	70	0	7.1	6.67	7.50	4.43	1.97	.566	.259	3.83		
A-2-8	1.0	25	72	0	7.4	7.95	9.40	5.27	1.91	.546	.200	3.50		
A-2-9	1.0	24	60	0	7.1	7.56	9.10	5.02	1.92	.539	.210	3.68		
A-2-10	1.0	26	57	0	7.4	8.63	10.2	5.13	2.02	.490	.200	3.66		
A-2-11	1.5	26	62	0	7.3	6.92	7.60	4.22	1.57	.541	.204	4.13		
A-2-12	1.5	25	46	0	8.5	9.23	10.7	5.42	1.97	.492	.182	3.64		
A-2-13	1.5	25	74	0	6.8	6.71	7.80	4.42	1.67	.553	.212	4.18		
A-2-14	1.5	25	70	0	7.0	7.13	8.40	4.45	1.77	.516	.208	3.90		
A-2-15	1.5	25	71	0	7.0	7.30	8.80	4.76	1.74	.526	.194	3.83		
A-2-16	0.5	25	0	0	12.1	14.4	12.5	5.19	1.89	0.404	0.149	3.03	照射のみ	
A-2-17	0.5	25	0	0	11.7	15.1	16.3	5.54	2.59	.332	.156	2.63		
A-2-18	0.5	25	0	0	11.7	14.7	15.5	5.26	1.99	.330	.126	2.70		
A-2-19	0.5	24	0	0	12.1	16.7	18.9	6.75	2.74	.345	.142	2.60		
A-2-20	0.5	24	0	0	11.7	13.8	19.7	4.93	1.82	.243	.092	2.72		
A-2-21	1.0	24	0	0	11.7	14.9	17.9	5.70	2.03	.308	.113	2.69		
A-2-22	1.0	24	0	0	11.8	15.7	17.0	6.33	2.09	.352	.121	2.78		
A-2-23	1.0	25	0	0	11.8	16.7	18.6	6.60	2.72	.346	.144	2.39		
A-2-24	1.0	24	0	0	11.6	14.4	15.6	5.40	1.82	.336	.114	2.73		
A-2-25	1.0	25	0	0	11.6	14.5	15.8	5.23	2.08	.322	.130	2.58		
A-2-26	1.5	25	0	0	11.5	14.0	14.9	5.22	2.06	.344	.136	3.03		
A-2-27	1.5	24	0	0	11.7	14.4	15.4	5.30	2.32	.336	.149	2.97		
A-2-28	1.5	25	0	0	11.7	14.5	15.7	5.12	2.26	.318	.141	3.13		
A-2-29	1.5	25	0	0	11.7	15.3	16.7	5.73	2.12	.336	.125	2.48		
A-2-30	1.5	24	0	0	11.6	14.2	15.6	5.10	2.22	.320	.141	2.53		

*1), *2) 表4-1に同じ

(A:ブナ, B:アカマツ)

ま と め (3)

さ の

硬 さ の

木 口 硬 さ と

D S と

表4-3

No.	照 射 条 件		吸 湿			膨 張		含 水 率 1 % 当 り の 膨 張 率		木 口 硬 さ (kg/mm ²)	備 考
	Dose (Mrad)	含 水 率 (%)	6 h	24 h	72 h	T	R	T	R		
A-0-1			9.58	15.2	17.1	6.34	2.43	0.371	0.142	3.50	標準試片
A-0-2			9.17	14.8	16.9	6.63	2.11	.392	.131	3.38	
A-0-3			9.29	14.5	15.9	6.31	2.18	.397	.137	3.33	
A-0-4			9.40	15.2	16.8	6.51	2.06	.388	.123	3.68	
A-0-5			9.19	14.2	15.3	5.62	2.22	.367	.145	3.28	

*1), *2) 表4-1と同じ

3.2.6 吸湿率および膨張率

温度 40°C における飽湿の恒温恒湿器中に試験片を 6, 24 および 72時間静置したときの吸湿, 膨張試験の結果を表 3~5 に示し, 図15 および図16にブナおよびアカマツのそれぞれ特徴的な吸湿経過を示した。

(1) 吸湿率

照射材について表および図をみると, ブナの吸湿率は照射条件が気乾, 飽湿ともに標準試片に対して若干高い値を示し, γ 線照射によって吸湿のわずかな増加のあることがわかるが, 本実験の範囲では照射線量の大小が直接大きく影響することはないようであり, アカマツのそれも, 気乾, 飽湿ともにブナの場合よりも標準試片に対する吸湿率の増加はさらに少なく, 吸湿率に対する γ 線照射の作用はほとんどないものと考えられる。

木材・PVDC 複合体について吸湿率をみるとブナ, アカマツともにポリマーローディングが増すに従いかなり低下することがわかるが, PVDC は非吸湿性で吸湿するのは木質部のみであるので図中にみることができるよう, 木材を基準として吸湿率の計算をすると矢印をつけた◎印のようになり, 標準試片の吸湿性とほぼ同様な経過をたどり, γ 線照射による PVDC との複合化によって木材自身の吸湿性の改善はほとんどなされていないことがわかる。

(2) 膨張率

表により72時間の吸湿後における照射材の膨張率および含水率が 1%変化するときのそれをみると吸湿率と同様とくに著しい傾向は認められないが, 気乾, 飽湿ともにT方向においてわずかながら膨張率の低下が認められる。また, アカマツの場合では, 飽湿状態で照射した試験片においてブナのそれと同様わずかに低下の傾向がみられるが, 気乾状態で照射したそれでは標準試験片との間にはほとんど差をみることができない。以上の結果から, 照射線量 0.5 Mrad から 1.6 Mrad の範囲ではブナ およびアカマツの吸湿性と dimensional stability に対する γ 線照射の影響はきわめて小さいかあるいはほとんどないものと判断される。

木材・PVDC 複合体の吸湿に伴う膨張率は照射条件によって若干の相異があり, 気乾に比べ飽湿のそれが低い値を示し, この傾向はブナにおいてわずかに強く, わずかながら dimensional stability の改善が認められた。

木材・PVDC 複合体の含水率 1% の変化に対する膨張率の変化はブナの気乾の場合, T 方向で約 0.4~0.6%, R 方向で約 0.2%, 飽湿 T 方向で約 0.4~0.5%, R 方向で 0.14~0.26% となり標準試片の T 方向の 0.4%, R 方向の 0.14% に比較してバラツキは認められるがかなり大きな値を示す。またアカマツでは気乾の T 方向で約 0.5~0.6%, R 方向で約 0.2~0.3%, 飽湿の T 方向で約 0.4~0.5%, R 方向で 0.15~0.26% となり, 標準試片 T 方向の約 0.03%, R 方

表5-1 D S と 木 口 硬 さ の ま と め (4) (A:ブナ, B:アカマツ)

No.	照 射 条 件		吸 湿 率*1)		膨 張 率*2)		含 水 率 1% 当 り の 膨 張 率		木口面硬さ (kg/mm ²)	備 考						
	Dose (Mrad)	含水率 (%)	loading (%)	試験開始 時含水率 (%)	6 h	24 h	72 h	(%)			T	R	T	R		
															6 h	24 h
B-1-1	0.5	5.5	86	7.6	5.71	8.50	9.70	9.70	4.92	1.96	4.92	1.96	0.492	0.200	2.76	注 入 照 射
B-1-2	0.5	5.6	77	8.1	5.86	8.88	10.0	10.0	5.19	1.80	5.19	1.80	.505	.177	2.37	
B-1-3	0.5	5.7	88	7.6	5.55	8.20	9.00	9.00	4.75	1.93	4.75	1.93	.511	.211	3.15	
B-1-4	0.5	5.8	76	7.9	6.02	8.74	9.40	9.40	4.70	2.00	4.70	2.00	.484	.208	2.78	
B-1-5	0.5	5.9	76	8.3	6.31	8.91	9.40	9.40	4.64	1.87	4.64	1.87	.477	.195	2.73	
B-1-6	1.0	5.8	112	7.1	4.65	7.25	8.40	8.40	4.75	2.06	4.75	2.06	.547	.243	3.03	
B-1-7	1.0	5.8	117	6.6	4.47	6.99	8.10	8.10	4.13	2.07	4.13	2.07	.495	.251	3.16	
B-1-8	1.0	5.8	104	7.0	4.69	7.21	8.30	8.30	4.52	2.06	4.52	2.06	.533	.246	2.84	
B-1-9	1.0	5.8	121	6.5	3.90	5.96	6.70	6.70	4.33	2.04	4.33	2.04	.629	.300	3.45	
B-1-10	1.0	5.7	139	6.5	4.00	5.88	6.40	6.40	4.08	2.02	4.08	2.02	.621	.312	3.50	
B-1-11	1.5	5.8	120	7.3	4.78	7.21	8.50	8.50	4.48	1.93	4.48	1.93	.515	.226	3.35	
B-1-12	1.5	5.6	115	7.4	4.58	7.05	8.20	8.20	4.64	2.13	4.64	2.13	.552	.256	3.08	
B-1-13	1.5	5.0	94	7.7	4.60	6.97	8.10	8.10	4.40	1.76	4.40	1.76	.526	.214	3.22	
B-1-14	1.5	5.4	109	6.9	4.30	6.53	7.50	7.50	4.26	1.76	4.26	1.76	.551	.292	3.25	
B-1-15	1.5	5.6	128	6.5	4.21	6.28	7.00	7.00	4.44	1.84	4.44	1.84	.624	.259	2.92	
B-1-16	0.5	5.8	0	11.7	12.0	17.4	18.9	18.9	5.31	2.14	5.31	2.14	0.274	0.112	1.83	照 射 の み
B-1-17	0.5	5.7	0	11.3	11.7	16.8	18.1	18.1	5.05	2.32	5.05	2.32	.269	.125	3.13	
B-1-18	0.5	5.6	0	10.9	11.3	16.8	17.9	17.9	5.21	2.36	5.21	2.36	.284	.130	2.45	
B-1-19	0.5	5.6	0	11.5	11.2	16.8	18.9	18.9	5.24	2.56	5.24	2.56	.269	.133	2.60	
B-1-20	0.5	5.6	0	11.8	12.0	16.5	17.1	17.1	5.08	2.08	5.08	2.08	.286	.118	1.90	
B-1-21	1.0	4.8	0	11.8	11.9	16.5	17.9	17.9	5.09	2.25	5.09	2.25	.276	.124	2.43	
B-1-22	1.0	5.5	0	11.8	10.7	15.9	17.2	17.2	4.91	2.18	4.91	2.18	.276	.124	2.30	
B-1-23	1.0	5.5	0	12.1	10.2	15.6	17.1	17.1	4.67	2.38	4.67	2.38	.263	.136	2.38	
B-1-24	1.0	5.0	0	11.9	10.3	15.6	16.9	16.9	5.02	2.38	5.02	2.38	.286	.138	2.18	
B-1-25	1.0	5.2	0	8.8	13.7	19.6	19.6	19.6	4.84	2.08	4.84	2.08	.240	.104	2.25	
B-1-26	1.5	5.3	0	12.2	11.1	15.4	16.1	16.1	5.09	2.38	5.09	2.38	.306	.145	2.38	
B-1-27	1.5	5.5	0	12.0	10.6	15.6	16.6	16.6	4.97	2.52	4.97	2.52	.290	.149	2.38	
B-1-28	1.5	5.0	0	11.9	10.6	15.6	16.7	16.7	4.91	2.28	4.91	2.28	.286	.134	2.22	
B-1-29	1.5	5.3	0	12.0	11.3	16.0	17.0	17.0	5.05	1.91	5.05	1.91	.289	.111	2.38	
B-1-30	1.5	5.4	0	12.2	12.2	16.5	17.2	17.2	5.07	2.08	5.07	2.08	.336	.118	2.15	

*1), *2) 表4-1に同じ

表5-2 DSと木口硬さのまとめ(5) (A:ブナ, B:アカマツ)

No.	照射条件		試験開始時含水率(%)			吸湿率*1)		膨張率*2)		含水率1%当りの膨張率(%)		木口硬さ(kg/mm ²)	備考
	Dose (Mrad)	含水率(%)	loading (%)	試験開始時含水率(%)	6 h	24 h	72 h	T	R	T	R		
B-2-1	0.5	22	26	8.4	6.70	9.90	11.4	4.48	2.08	0.381	0.179	2.87	注 入 照 射
B-2-2	0.5	22	54	8.3	6.70	9.97	11.7	3.96	1.74	.328	.146	2.45	
B-2-3	0.5	25	59	8.2	6.24	9.21	10.3	4.35	1.81	.410	.173	2.85	
B-2-4	0.5	23	46	8.6	7.05	10.0	11.4	4.41	1.85	.476	.160	2.50	
B-2-5	0.5	25	43	8.8	7.78	10.5	11.6	4.38	1.77	.366	.150	2.89	
B-2-6	1.0	24	100	6.7	4.58	6.77	8.20	3.77	1.61	.447	.193	3.23	
B-2-7	1.0	22	90	7.5	5.05	7.70	9.30	3.97	2.03	.415	.216	3.17	
B-2-8	1.0	22	91	7.7	5.15	7.97	9.50	3.93	2.21	.400	.229	3.09	
B-2-9	1.0	19	101	7.6	5.00	7.52	8.80	3.96	1.98	.438	.222	3.34	
B-2-10	1.0	24	75	8.0	5.09	7.53	8.60	3.76	2.30	.422	.262	3.92	
B-2-11	1.5	24	110	6.9	4.27	6.64	8.70	4.16	1.70	.472	.193	3.44	
B-2-12	1.5	22	96	7.0	4.42	6.78	8.40	4.12	1.80	.480	.212	3.12	
B-2-13	1.5	25	100	7.5	5.20	8.10	10.0	3.86	1.71	.376	.168	3.15	
B-2-14	1.5	25	102	6.8	4.47	6.75	8.20	3.97	1.87	.471	.224	3.03	
B-2-15	1.5	24	85	7.6	4.88	7.23	8.80	4.07	1.98	.421	.222	3.66	
B-2-16	0.5	22	0	13.2	11.2	15.0	15.4	4.39	1.99	0.277	0.127	2.30	照 射 の み
B-2-17	0.5	23	0	13.0	11.1	15.3	16.4	4.83	2.27	.286	.135	2.68	
B-2-18	0.5	24	0	13.2	10.9	15.3	16.4	4.96	2.33	.292	.140	2.43	
B-2-19	0.5	25	0	13.0	11.2	15.5	16.6	4.66	1.86	.272	.110	2.40	
B-2-20	0.5	23	0	12.9	11.8	15.8	16.9	4.55	1.98	.261	.115	1.85	
B-2-21	1.0	25	0	12.7	10.6	14.2	15.1	4.26	1.92	.273	.125	1.90	
B-2-22	1.0	24	0	13.0	10.2	14.5	15.6	4.88	1.82	.302	.115	2.03	
B-2-23	1.0	25	0	12.8	10.4	14.9	16.4	4.95	2.15	.292	.129	1.87	
B-2-24	1.0	23	0	13.1	10.5	15.0	16.4	4.99	1.95	.294	.116	2.00	
B-2-25	1.0	24	0	13.0	10.9	15.2	16.2	4.96	1.95	.298	.119	2.00	
B-2-26	1.5	24	0	13.1	10.3	14.2	14.9	4.43	1.81	.288	.119	1.83	
B-2-27	1.5	22	0	13.0	9.76	14.2	15.2	4.64	2.05	.296	.133	2.08	
B-2-28	1.5	23	0	13.0	9.84	14.3	15.5	4.21	2.33	.294	.150	2.08	
B-2-29	1.5	21	0	13.0	10.0	14.4	15.8	5.20	2.12	.318	.132	2.05	
B-2-30	1.5	24	0	12.6	10.6	14.5	15.6	4.53	2.89	.282	.182	1.90	

*1), *2) 表4-1に同じ

表5-3 DSと木口硬さのまとめ (6) (A:ブナ, B:アカマツ)

No.	照射条件		試験開始時含水率 (%)	吸湿率*1 (%)			膨張率*2 (%)		含水率1%当りの膨張率 (%)		木口面硬さ (kg/mm ²)	備考	
	Dose (Mrad)	含水率 (%)		loading (%)	6 h	24 h	72 h	T	R	T			R
B-0-1			12.0	11.7	16.2	17.6	5.04	2.09	0.286	0.119	2.75		
B-0-2			12.1	11.4	15.8	17.1	5.05	2.10	.295	.123	2.78		
B-0-3			12.3	11.4	15.4	16.4	4.95	2.02	.302	.123	2.60		
B-0-4			12.2	11.3	15.4	16.4	5.02	2.06	.306	.126	2.80		
B-0-5			12.3	11.4	15.2	16.1	4.82	1.99	.299	.124	2.73		

*1), *2) 表4-1に同じ

向の約0.12%に比較して大きく、ブナの場合よりさらに大きくなり、若干の例外は認められるが、ポリマーローディングが大きくなるに従い増加の傾向が認められた。

3.3 難燃性能

燃焼試験の結果を表6および7に示し、各測定項目により、それぞれの防火特性の概要を以下に述べる。

3.3.1 消炎性

合成高分子材料の燃焼試験における消炎性能は、一般的には加熱炎(源)を除いてから消炎に至る時間をもって判定し、これを消炎時間としているが、本実験では加熱炎(源)による材料の着火から材料の発炎燃焼が停止するまでの時間、すなわち、加熱時間内(加熱炎が試験片に接触している状態)で試験片が完全に発炎を停止する時間をもって消炎時間とし、これによって消炎性能を判定した。上述の理由により本実験における消炎性能の判定は合成高分子材料の燃焼試験におけるそれよりかなり厳しいものとなった。

表中消炎時間の項に示すように、ブナ、アカマツともに標準試片および照射のそれでは全く消炎性を示さず、発炎燃焼を阻止する作用は皆無であった。

一方、木材・PVDC複合体は自己消炎性を現わし、図17はポリマーローディングと消炎時間の関係を示したものである。これによるとブナ・PVDC複合体ではポリマーローディング13~15%では消炎性はないが、それが25%に達すると自己消炎性を示すようになり、一方、アカマツ・PVDC複合体では11%のポリマーローディングで消炎性を現わすが未だ十分ではなく19%に至ってかなり良好な発炎燃焼阻止作用を示すようになる。

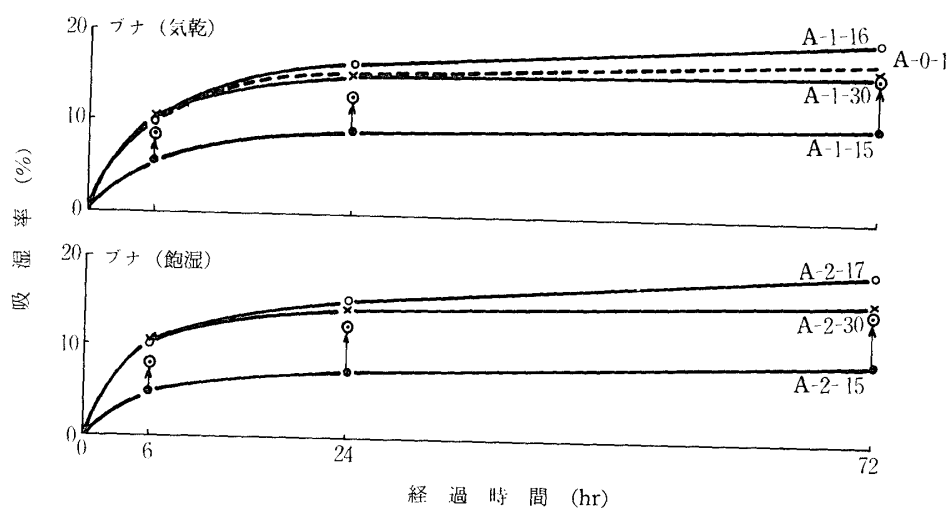
ブナ・アカマツのPVDC複合体はともに一定のポリマーローディング以上のそれでは消炎時間に顕著な変化はなく、PVDCの消炎作用はブナにおいて29%、アカマツにおいて19%では飽和するものと考えられる。

アカマツ・PVDC複合体がブナのそれより10%低いポリマーローディングで消炎性を示すが樹種によるものかどうかは本実験では明らかではない。

本実験において消炎性能を現わす木材・PVDC複合体の燃焼性状をみると加熱炎に試験片が触れて白煙を生じ、これによって発炎燃焼が停止するに至る経過をたどる。この消炎機構は火炎温度においてPVDCが熱分解して、塩化水素をはじめとする含塩素化合物による燃焼連鎖の阻止によるものと考えられるが、著者ら⁹⁾の他の研究に比較して消炎性能がかなり低い。この詳細については今後の研究に待たねばならない。

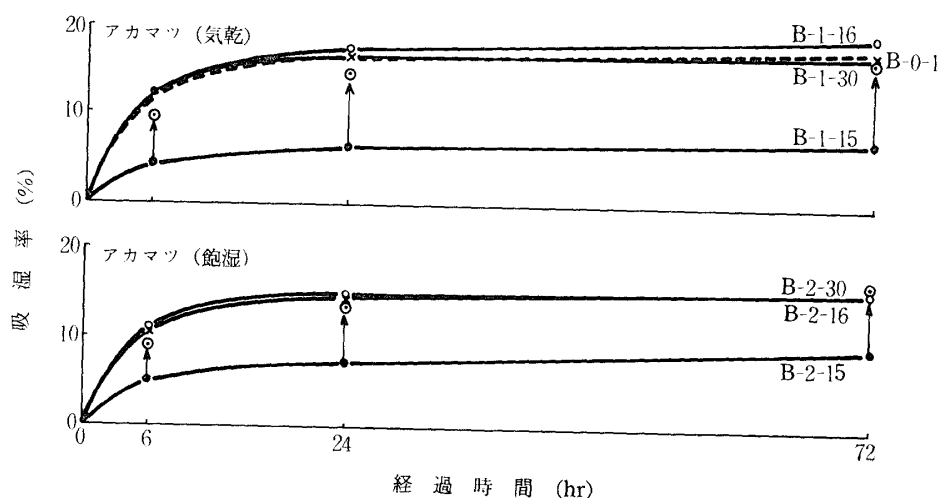
3.3.2 展炎性

展炎性は材料表面における火炎の拡がりを示すもので、これを阻



No.	線量 (Mrad)	照射時含水率(%)	ポリマーローディング(%)
A-1-15	1.5	5.4	59
A-1-16	0.5	5.4	0
A-1-30	1.5	5.8	0
A-2-15	1.5	25	71
A-2-17	0.5	25	0
A-2-30	1.5	24	0
A-0-1	(標準試片)		0

図15 吸湿経過 (40°C, 飽湿)



No.	線量 (Mrad)	照射時含水率(%)	ポリマーローディング(%)
B-1-15	1.5	5.6	128
B-1-16	0.5	5.8	0
B-1-30	1.5	5.4	0
B-2-15	1.5	24	85
B-2-16	0.5	22	0
B-2-30	1.5	24	0
B-0-1	(標準試片)		0

図16 吸湿経過 (40°C, 飽湿)

表6-1 燃焼試験結果 (1) ブナ

No.	照射条件					炎の拡がり (sec)		消炎時間 (sec)	残炎時間 (sec)	残じん時間 (sec)	炭化長 (cm)	備考
	Dose (Mrad)	絶乾重量 (g)	含水率 (%)	WPC 絶乾重量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm					
無処理	1					26	80		B. E.*	>60		
	2					18	55		〃	〃		
	3					24	60		〃	〃		
	4					17	59		〃	〃		
	5					18	53		〃	〃		
av.						20.6	61.4			〃		
A-3-1	1	0.4	23.962	6.027	13	18	43		B. E.	>60		易燃
	2					14	48		〃	〃	〃	
	3					—	—		〃	〃	〃	
av.									〃			
A-3-2	1	0.4	24.555	6.228	15	13	36		B. E.	>60		易燃
	2					12	38		〃	〃	〃	
	3					11	32		〃	〃	〃	
av.					13	35.3			〃			
A-3-3	1	0.8	24.993	6.132	29	13		65		23	6.5	20秒前後まで激しく燃える
	2					17		70		21	7	〃
	3					11		75		30	9	〃
av.					13.7		70		24.6	7.5		
A-3-4	1	0.8	24.716	6.231	27	8	78	88		18	11	
	2					9	91		B. E.			
	3					8	75			21	8	
av.					8.3							
A-3-5	1	1.2	24.032	6.031	33	16		73		20	6	
	2					11		82		24	8.5	
	3					13	58	75		18	10.5	
av.					13.3		76.7		20.6	8.3		
A-3-6	1	1.2	24.177	5.931	30	16		85		18	8.5	
	2					26	84		B. E.			
	3					24		86		24	9	
av.					22							

* B.E. : 試験片上端まで燃焼したことを示す。

表6-2 燃 焼 試 験 結 果 (2) プ ナ

No.	照 射 条 件					炎の拡がり (sec)		消炎 時間 (sec)	残炎 時間 (sec)	残じん 時 間 (sec)	炭化長 (cm)	備 考				
	Dose (Mrad)	絶乾 重量 (g)	含水 率 (%)	WPC 絶乾重 量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm									
A-3-7	1	1.6	25.045	6.0	41.593	66	56	90		23	5.5					
	2						21						73	20	5.5	
	3						20									
	av.						32.3		87.3		24.6	5.7				
A-3-8	1	1.6	24.810	6.2	37.102	50	13	78		21	7					
	2						13						66	85	26	12
	3						12									
	av.						12.7		79		21.6	8.8				
A-3-11	1	0.4	25.190	5.0			13	39	B. E.							
	2						22						61	75	19	9
	3						14									
	av.						16.3									
A-3-12	1	0.4	26.231	4.8			14	60		32	8.5					
	2						12						47	B. E.	>60	
	3						12									43
	av.						12.7									
A-3-13	1	0.8	25.129	4.9			10	40	B. E.	>60						
	2						8						66	"	"	
	3						9									39
	av.						9	48.3			"					
A-3-14	1	0.8	26.150	4.7			9	34	B. E.	>60						
	2						—						—	"	"	
	3						11									38
	av.										"					
A-3-15	1	1.2	26.636	5.0			12	43	B. E.	>60		易 燃				
	2						8						36	"	"	"
	3						8									
	av.						9.3	40			"					
A-3-16	1	1.2	26.994	4.9			13	44	B. E.	>60		易 燃				
	2						11						41	"	"	
	3						12									43
	av.						12	42.7			"					

表6-3 燃 焼 試 験 結 果 (3) ブ ナ

No.	照 射 条 件					炎の拡がり (sec)		消炎 時間 (sec)	残炎 時間 (sec)	残じん 時 間 (sec)	炭化長 (cm)	備 考			
	Dose (Mrad)	絶乾 重量 (g)	含水 率 (%)	WPC 絶乾重 量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm								
A-3-17	1	1.6	26.167	4.7		9	42		B. E.	>60		易 燃			
	2					8	37						〃	〃	〃
	3					14	47						〃	〃	
av.					10.3	42			〃						
A-3-18	1	1.6	25.993	4.9		11	50		B. E.	<60		易 燃			
	2					9	41						〃	〃	〃
	3					11	39						〃	〃	
av					10.3	43.3			〃						

止することは防火上きわめて重要である。

本実験では、材料表面の一定の距離を炎が拡大進行してゆく時間を「炎の拡がり」、その後に形成される炭化部分の長さを「炭化長」とし、これらによって材料の展炎性を検討した。

試験片の下端から 5cm および 10 cm の距離に炎の先端が到達する時間を表 6 と 7 にみると標準試片、照射試片および木材・PVDC 複合体の間には顕著な差は認められないが、前 2 者は「残炎」の項で述べる通り試験片上端まで燃焼し (BE)、木材・PVDC 複合体のように途中で展炎の停止はない。これは図 18 の炭化長とポリマーローディングの関係からも明らかなように標準試料および照射試料では BE であるのに対し、木材・PVDC 複合体では、ブナにおいては 15% のポリマーローディングで BE、27% で BE~8 cm の炭化長となり、展炎性に対する抑制効果が認められる。アカマツのそれでは 11% のポリマーローディングで BE~

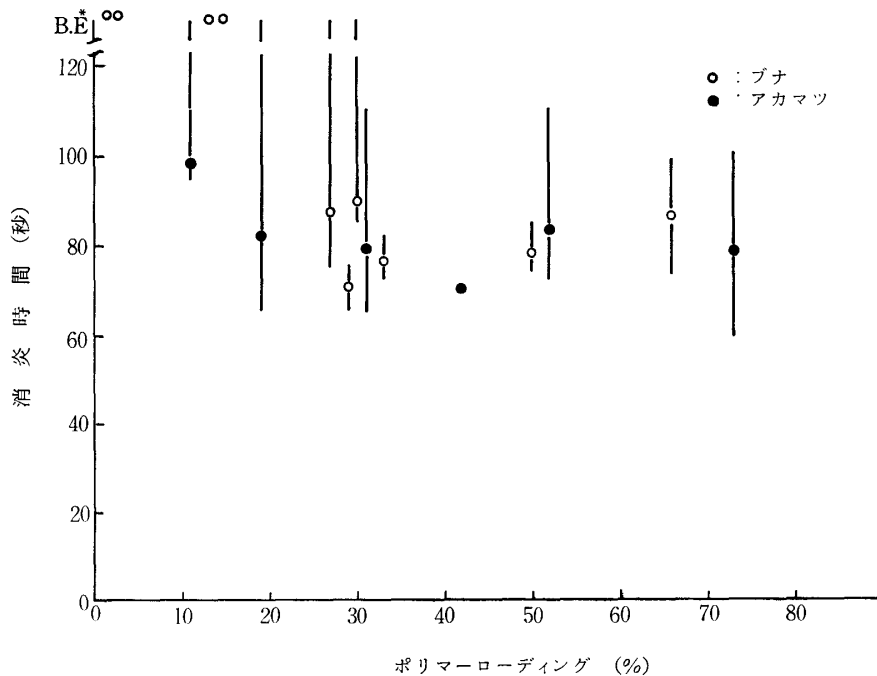


図17 消炎時間とポリマーローディングの関係

木材研究資料 第12号 (1978)

表7-1 燃 焼 試 験 結 果 (4) アカマツ

No.	照 射 条 件					炎の拡がり (sec)		消炎 時間 (sec)	残炎 時間 (sec)	残じん 時 間 (sec)	炭化長 (cm)	備 考
	Dose (Mrad)	絶乾 重量 (g)	含水 率 (%)	WPC 絶乾重 量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm					
無処理	1					18	54		B. E.	>60		
	2					20	60		〃	〃		
	3					20	55		〃	〃		
	4					20	70		〃	〃		
	5					20	75		〃	〃		
	6					15	51		〃	〃		
	7					18	52		〃	〃		
av.						17.7	59.3			〃		
B-3-1	1	0.4	20.352	5.4	22.627	11	20	40		B. E.	>60	
	19						45		〃	〃		
	15						40		〃	〃		
av.						18	41.7			〃		
B-3-2	1	0.4	20.763	5.5	22.945	11	7	95	95		23	13
	13						60	102		18	10	
	—						—			—	—	
av.												
B-3-3	1	0.8	20.429	5.6	24.228	19	35	95	95		13	12
	14						75		B. E.	>60		
	17						110	115		26	11	
av.						22	93.3					
B-3-4	1	0.8	21.633	5.4	25.727	19	35		100		31	8
	18							80		28	8	
	21							65		23	6.5	
av.						24.7		81.7		27.3	7.5	
B-3-5	1	1.2	21.398	5.9	28.068	31	25		62		18	6
	24							110		24	7	
	32							65		16	5	
av.						27		79		19.3	6	
B-3-6	1	1.2	21.176	5.4	29.970	42	30		70		22	5.5
	29							70		15	5	
	—							—		—	—	
av.												

石原・ほか：放射線による木材・ポリマー複合体 I

表7-2 燃焼試験結果 (5) アカマツ

No.	照射条件					炎の拡がり (sec)		消炎時間 (sec)	残炎時間 (sec)	残じん時間 (sec)	炭化長 (cm)	備考	
	Dose (Mrad)	絶乾重量 (g)	含水率 (%)	WPC 絶乾重量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm						
B-3-7	1	1.6	21.179	5.0	32.135	52	12	68	78		18	14	
	2						20		72		21	8	
	3						40		110		16	5	
av.						24		83.3		18.3	9		
B-3-8	1	1.6	20.351	5.3	35.183	73	20		75		19	5.5	
	2						20		59		15	8	
	3						35		100		24	5.5	
av.						25		78		19.3	6.3		
B-3-9	1	0.4	21.452	5.2			21	68		B. E.	>60		易燃
	2				18	74		//	//		//		
	3				16	51		//	//		//		
av.						18.3	64.3			//			
B-3-10	1	0.4	20.416	5.5			16	48		B. E.	>60		易燃
	2				13	53		//	//		//		
	3				16	39		//	//		//		
av.						15	46.7			//			
B-3-11	1	0.8	21.829	5.5			21	56		B. E.	>60		易燃
	2				18	51		//	//		//		
	3				20	61		//	//		//		
av.						19.7	56			//			
B-3-12	1	0.8	20.729	5.7			17	40		B. E.	>60		易燃
	2				17	59		//	//		//		
	3				18	70		//	//		//		
av.						17.3	61.7			//			
B-3-13	1	1.2	20.108	5.2			13	59		B. E.	>60		易燃
	2				19	56		//	//		//		
	3				24	70	78		25	13.5			
av.						18.7	61.7						
B-3-14	1	1.2	22.299	4.8			12	65		B. E.	>60		
	2				20	74		//	//		//		
	3				18	58		//	//		//		
av.						16.7	65.7			//			

表7-3 燃 焼 試 験 結 果 (6) アカマツ

No.	照 射 条 件					炎の拡がり (sec)		消炎時間 (sec)	残炎時間 (sec)	残じん時間 (sec)	炭化長 (cm)	備 考	
	Dose (Mrad)	絶乾重量 (g)	含水率 (%)	WPC 絶乾重量 (g)	loading (%)	5 cm	10 cm						
B-3-15	1	1.6	20.012	4.8		19		80	B. E.	>60	9	易 燃	
	2					19	67						28
	3					14	37						28
	av.					17.3							
B-3-16	1	1.6	20.614	5.5		12	61		B. E.	>60		易 燃	
	2					18	52	28					
	3					17	49	28					
	av.					15.7	54						

10 cm の範囲の炭化長となり展炎性の抑制が明らかにされている。

ポリマーローディングと炭化長の関係は、ポリマーローディングの増加とともに炭化長は低下するが、ブナとアカマツとの間にかなりの差があり、消炎性能と同様な傾向が認められた。

3.3.3 残炎と残じん

表に示されているように、ブナ、アカマツともに標準試片、照射試片および木材・PVDC 複合体の消炎性能の弱い試料ではいずれも BE となり、試験片全体が燃焼するが、残炎時間は塩素を含まない前二者に比較してかなり短縮されポリマーローディングの多いもの程その傾向が強いことがわかる。これは BE の木材・PVDC 複合体であっても、放出された塩素化合物がわずかなら燃焼連鎖阻止に寄与しているものと考えられる。

木材・PVDC 複合体のブナにおいてはポリマーローディングが29%以上で、アカマツにおいては19%で

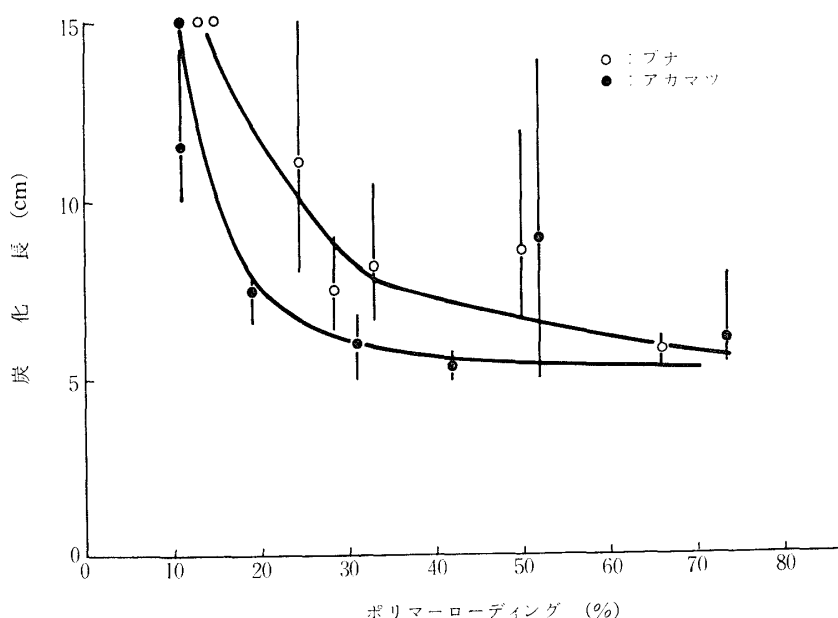


図18 炭化長とポリマーローディングの関係

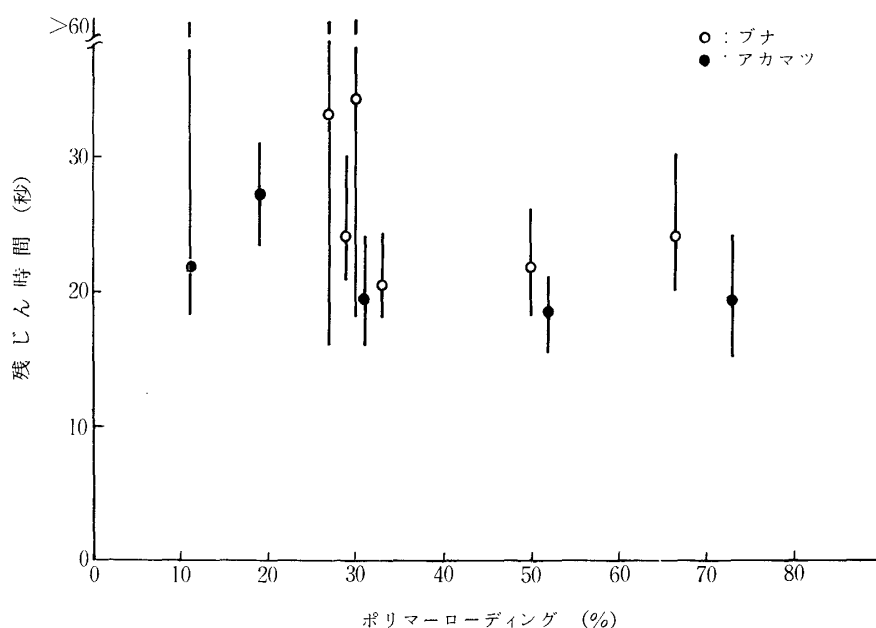


図19 残じん時間とポリマーローディングの関係

加熱中に完全に消炎し、残炎は全くない。なおアカマツのポリマーローディングの11%はロットによって異なり、BE (残炎：51～63秒) と完全消炎の二つのグループが認められた。

木材に対する含ハロゲン防火剤の最小有効限界添加率は、一般的には5～15%^{8,9)}であるのに対し本木材・PVDC 複合体のポリマーローディングはかなり高い。これは Sb_2O_3 やリン、ホウ酸等を含む助剤を併用しないことにもよるが PVDC の熱分解によって生成される塩素化合物の性状、生成温度、時間等が関係するものと考えられる。実用化の過程では上述の助剤の併用を必要としよう。

一方、ハロゲンでは固体表面での灼熱燃焼を阻止することはできない。

ブナ、アカマツともに標準試片および照射のみのグループは60～280秒の残じんがあり、防じん性は皆無である。これに対し、木材・PVDC 複合体では図19に示されるようにその残じんが短縮されてきている。

ハロゲンは、リンやホウ素あるいは窒素が存在しない限り防じん性を発現しないから¹⁰⁾、本複合体で認められる残じんの短縮は化学的作用によるものではなく、むしろ塩素によって発炎燃焼が阻害されるために灼熱燃焼を維持するに足る十分な熱量が供給されないという物理的作用によるものと考えられる。

4 おわりに

木材の材質の改良と難燃性附与を目的とし、塩化ビニリデンを用いて、 ^{60}Co γ 線による木材・ポリマー複合体を得た。

ブナおよびアカマツを対象とした木材・ポリマー複合体の材質および性能は上述の通りであるが、物理的、機械的性質の向上はとくに顕著ではない。これは木材の特徴である空隙構造にポリ塩化ビニリデンを充てんした高比重の複合体を得たのにとゞまり、とくに材質の改善に大きく寄与しているとは考えられず、今後の研究に待つところが多い。

一方、難燃性能は他は方法によるそれに比較して特筆すべきものはないが、消炎性能にかなりの効果があり、相乗効果の期待できる複合モノマーを用いた木材・ポリマー複合体の検討が望まれる。

文 献

- 1) M. GOTODA *et al*, JAERI, 5022, No. 2, p. 125 (1969).
- 2) M. GOTODA *et al*, *ibid*, 5022, No. 2, pp. 135, および 144 (1969).
- 3) 後藤田正夫, 竹下 登, *ibid*, 5026, No. 3 pp. 80, および 94 (1970).
- 4) K. V. RAMALINGAM, *et al*, J. Polym. Sci., C2, 153 (1963).
- 5) 林業試験場, 木材工業ハンドブック, p. 234 (1972).
- 6) A. BURMESTER, Holz als Roh-u. Werkstoff, 25, 11 (1967).
- 7) 5) の p. 164.
- 8) 石原茂久, 満久崇麿, 木材研究, No. 34, 156 (1965), No. 37, 16 (1966).
- 9) S. ISHIHARA and T. MAKU, Wood Research, No. 52, 72 (1972).
- 10) 石原茂久, 木材および木質材料の防火処理に関する研究, p. 139 (1975), 京都大学学位請求論文.