屋外に1, 2, 3, 7および15年暴露した難燃合板の耐久性[†]

石 原 茂 久*

Durability of Fire-Retardant Lauan Plywood After

1, 2, 3, 7 and 15-Year Outdoor Exposures

by

Shigehisa ISHIHARA*

Fire-retardant plywood panels of lauan (*Shorea negrosensis* Fox) were pressure treated with a phosphoric acid containing melamine-formaldehyde condensate as a leach-resistant fire retardant and with diammonium hydrogen phosphate, guanidine phosphate, minalith and pyresote as non-leach resistant fire retardants. Their fire retarding efficiency and bending strength were measured after 1, 2, 3, 7 and 15-year outdoor exposure at the experimental field of the Wood Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto.

The fire retarding efficiency and burning behaviors of the fire retardant plywood in comparison with those of the non-treated ones were evaluated while being subjected to a fire test under a high radiation furnace. The burning behaviors such as: the ignition time and time-temperature of the fire-exposed surface; the time at which the unexposed surface reached the critical temperature of 260°C; the afterflame; and the afterglow of the specimens, as indications of fire retarding efficiency, were measured. The relationships between the modulus of rupture and/or modulus of elasticity of the specimen plywood and the exposure period were also discussed.

The fire retarding efficiency of the fire retardant plywood decreased proportionately with longer exposure time. The fire retardant effectiveness of the plywood treated with inorganic fire retardants, such as diammonium hydrogen phosphate, guanidine phosphate, pyresote and minalith, was almost negligible after a year of exposure. However, the fire retardant effectiveness of those treated with phosphoric acid containing melamine-formaldehyde condensate was slightly remarkable even after seven years of outdoor exposure.

The durability of the fire retardants was in the order of pyresote, diammonium hydrogen phosphate, guanidine phosphate, minalith and phosphoric acid containing melamine-formaldehyde condensate. The percentage loss in the bending strength were 10~20%, 40~65% and 50~70% after 1, 7 and 15-year exposure period, respectively.

Key words: Out door exposure, Leach-resistant fire retardant, Non-leach-resistant fire retardant, Durability, Fire retarding efficiency, Bending strength

1 は じ め に

防火処理された木材および木質材料の耐久性の研究の重要性は、防・耐火の実効をあげるという観点からすれば防火剤開発研究のそれに匹敵するが防火処理された木材および木質材料の耐久性、耐候性に関する研究はきわめて限定された範囲にとどまっている¹⁾。海外において、1960年代後半から外装用木質材料の防火に関する研究が重視され、耐水性、耐久性をもつ木材の防火処理の研究がなされているが、その耐久性の検討は実験室における溶脱試験または短期間の屋外暴露試験に限定されている²⁾。このような研究動向に鑑み、単一無機塩、複合無機塩および縮合反応型防火剤で処理された外装用(1類)ラワン合板を昭和43年(1968年)を初年度とし、15年間にわたって屋外に暴

露して、防火性能等の経年変化について検討した。

防火性能の評価は規格など絶対的尺度との照合によるものと他の防火剤との比較によるものとが考えられる。本報では数年をまつまでもなく規格の改訂が相つぐ情勢に鑑み比較法をとって材料の性能を評価した。

2 実 験

2・1 防火処理

2・1・1 供試材料 原木を厳選して調製した外装用1類ラワン(*Shorea negrosensis* Fox)合板(フェノール樹脂接着剤、公称厚さ7.5 mm, 等厚3プライ、比重0.50)を長さ60 cm, 幅45 cmに鋸断して用いた。

2・1・2 防火剤の種類とその調製 防火処理には

[†] 原稿受理 平成5年5月28日 Received May 28, 1993

* 正 会 員 京都大学木質科学研究所 〒611 宇治市五ヶ庄, Wood Res. Inst., Kyoto Univ., Gokanoshio, Uji, 611

次の5種類の薬剤を調製して用いた。これらの溶液は薬剤の残留期間を長くするために適量溶液に比べ約2倍の濃度を目標としたが、溶解度の限界のためにそこまで到達できない場合もあった。

リン酸水素二アンモニウム, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 市販特級試薬により 23.2% 水溶液を調製して処理に供した。

リン酸ジグアニジン, $[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$, 市販特級試薬により 15.5% 水溶液を調製した。

ミナリス $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : 60 \text{ 部}, \text{H}_3\text{BO}_3 : 20 \text{ 部}, (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 : 10 \text{ 部}, \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 : 10 \text{ 部の混合物}], \text{AWPA}$ の処法³⁾により 30% 水溶液を調製して用いた。

パイレスート $[\text{ZnCl}_2 : 35 \text{ 部}, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 : 35 \text{ 部}, \text{H}_3\text{BO}_3 : 25 \text{ 部}, \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : 5 \text{ 部の混合物}], \text{AWPA}$ の処法³⁾により調製した。処理液は 25% 水溶液を用いた。

リン酸・メラミンホルムアルデヒド初期付加縮合反応生成物 ($\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$)¹⁰⁾, 凍結乾燥したトリメチロールメラミンの所定量を 70 l の水に加え, これが完全に溶解するのをまって, $[\text{H}_3\text{PO}_4]/(\text{M})=1.0$ となるように H_3PO_4 を加え, MFAC 水溶液が完全に透明となったものを濃度 19.5% で用いた。

無処理合板, コントロールとして無処理合板を用いた。

2・1・3 処理 調製された防火剤水溶液 70 l を箱型注入装置に入れ, これに合板 4 枚を 1 組として浸漬し, 減圧下で注入含浸した。減圧の最初のサイクルは, 20 分間で 20 mmHg 以下の真空度となるようにし, これを 10 分間維持した後常圧にもどしてこれを 30 分間保持した。第 2 回のサイクルは, 減圧して 20 mmHg 以下の真空度とし, これを 20 分間保ち, 常圧にもどしてそのまま 1 時間静置した。なお, 合板間に直径 5 mm のプラスチック製の棒を挿入して固定し, また処理液はその都度新しく調製したものととりかえ, いずれの試片に対しても同一条件で均一に注入されるようにした。合板の処理数は 1 つの防火剤について 68 枚であった。

処理液中よりとり出した試片は, 過剰の液を紙タオルで拭いきり, 無機塩素防火剤は 4 ケ月間 (8 月~11 月) 室温で静置して風乾した。 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ は 1 ケ月間室温にて風乾した後, ホットプレスにより 180°C, 圧締圧 15 kgf/cm², 30 分間の熱処理を行い, 表層の圧潰と $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ の付加縮合反応の促進をはかった。さらにこの後 1 ケ月間室温に静置したものを屋外に暴露した。

試験片中の N および P を常法により定量し, これにより防火剤保持率を算出した。結果は次の通りである。

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$: 19.15%

$[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$: 13.51%

ミナリス: 19.85%

パイレスート: 17.36%

$\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$: 22.03%

なお, 表板と芯板の間に防火剤保持率に顕著な差はなかった。

2・2 屋外暴露試験

京都大学木材研究所屋外暴露試験地 (京都府宇治市) において所定の試片支持台の南北両面に 2・1 節で処理した合板を各面につきそれぞれ 5 枚を 1 組として計 10 枚を Fig. 1 のように垂直に 6 d の釘で固定し, 一定期間屋外に暴露した。

屋外暴露の期間は 0 年 (無暴露), 1 年, 2 年, 3 年, 7 年および 15 年とし, 対照試片として無処理合板も暴露した。

2・3 耐候性の検討

屋外暴露された合板の性質とくに防火性能, 曲げ強度, 吸湿性, 吸水性, 寸法安定性および釘の保持力の経年変化を検討した。

Fig. 1. Pictorial diagram of the fire-retardant plywood specimens exposed outdoor facing the south and north directions.

Fig. 2. Cutting diagram for test specimens.

- A: excluded part.
- B: fire-test.
- C: bending strength.
- D: dimensional stability and nail withdrawal.

2・3・1 試片の採取とその形状 所定の暴露期間に達した合板から Fig. 2 に示すように試片を採取して、以下のような試験に供した。

2・3・2 防火性能試験 本研究では、供試材料の燃焼挙動や遮炎性能等材料の難燃・防火性状を把握できるように調整した赤外線ガスバーナによる試験炉⁴⁾を製作した。本ガス炉のバーナは高さ 110 mm, 幅 400 mm のセラミックプレート赤外線バーナであり、これを垂直に 3 個並列して用いた。このバーナは点火後約 1 分間で表面において均一な燃焼を行った。燃料は JIS K2240-1967 に規定された液化石油ガス 3 号を用いた。ガスバーナ 1 個当りのガス消費量は最大 1.28 m³/h, 平均 0.9 m³/h で定常燃焼時におけるセラミックプレート 1 cm 前方におかれたステンレス金網表面の温度は約 950°C であった。

試片は 30 cm×30 cm の寸法とし、支持枠に固定された厚さ 4 mm の石綿板上に保持し、JIS C1602-1960 に規定する 0.75 級以上の精度をもつ素線径 0.65 mm の K 熱電対を JIS A 1321-1959 の方法を参考にして装着した。

試片の着火には、まず支持枠に固定した試片をバーナ表面より 30 cm の位置におき、バーナの点火後 3 分を経過した時点で支持枠をバーナに接近させるという手順をとった。加熱時間は 10 分とした。この接近の後試片はバーナ表面からの放射により強制着火された。本実験ではバーナを所定位置に接近させた時間を加熱開始時間とした。本実験において防火性能を判定するための測定事項は次の通りである。(1) 着火時間、(2) 材料の表面温度および裏面温度の時間的推移、(3) 排気温度、(4) 残炎、残じん、なお、(3) については別に述べる⁴⁾。

2・3・3 曲げ強度 Fig. 2 に示す長さ 45 cm, 幅 5 cm の試片を用いた。スパンは 30 cm で中央集中荷重により曲げ破壊係数 (MOR) および曲げ弾性係数 (MOE) を求めた。

2・3・4 吸水および吸湿試験 別に述べる⁴⁾。

2・3・5 釘の保持力 別に述べる⁴⁾。

2・3・6 防火剤保持率の測定 曲げ強度試験に供した試片の暴露面の任意の部分より 2 cm×2 cm の試片をとり、マイクロトームで表面から単板厚さの約 70% の部分を切削してとり出して、100~300 メッシュの粒度に粉碎した。この際接着剤の影響する部分からの採取を避けた。粉碎試料を用いて防火剤の鍵元素として N および P を選び常法によって定量し、これにより防火剤保持率を計算した。なお、パイレスート処理の無暴露合板には薬剤の析出が著しかったので、無暴露合板よりの試料採取はいずれも表面より約 0.5 mm の部分を除外して行った。

3 結果と考察

3・1 燃焼挙動

3・1・1 着火時間 供試炉におけるラワン合板の着火時間はバーナ表面と試片の距離 (D) によって異なり、 D が 5 cm の場合、引火時間 (口火あり) 平均 62 秒 (表面温度平均 395°C), 発火時間 (口火なし) 平均 81 秒 (520°C), D が 7.5 cm で引火時間 99 秒 (390°C), 発火時間 105 秒 (530°C), D が 10 cm で引火時間 132 秒 (390°C), 発火時間 138 秒 (528°C), D が 15 cm の場合、引火時間 315 秒 (370°C), 発火時間 320 秒 (505°C) および D が 20 cm の場合引火時間 1150 秒 (385°C), 発火時間 1168 秒 (495°C) であったが本実験では D を 5.0 cm に設定した。Fig. 3 に無暴露合板および暴露合板の着火時間を示す。これによると、無処理合板の着火は無暴露では 1 分 15 秒であったが、屋外暴露によって遅れを生じ、この遅れは暴露期間が長い程著しくなり、3 年間暴露合板の着火時間は無暴露のそれに比べて約 1 分間の遅れを示し、7 年および 15 年間暴露においても同様の遅れが認められた。このような暴露による着火遅れは比熱や熱伝導率等表面の物理的特性の変化のもとづくものと考えられるが、本実験ではこれを解明できなかった。

処理合板では、無暴露の場合、約 2 分間で表面に著しい炭化を生ずるが、パイレスート処理を除いて、いずれも着火はなく、十分な防火効果が認められた。パイレスート処理合板では表面に結晶の析出があるにも拘らず約 2 分で着火し、無処理合板³⁾に比べわずかな遅れが認められたに過ぎず、AWPA が主張するような着火抑制効果は認められなかった。

一方、暴露された処理合板では、 $H_3PO_4 \cdot MFAC$

Fig. 3. Relationship between outdoor exposure period (facing the south direction) and ignition time of fire-retardant plywood when the surface was subjected to fire test.

Legend: ○: $H_3PO_4 \cdot MFAC$.

□: $[H_2NC(NH)NH_2]_2H_3PO_4$.

△: untreated.

●: pyresote.

■: minalith.

△: $(NH_4)_2HPO_4$.

500>*: did not ignite.

処理を除いて、1年間の暴露によりいずれにも着火が認められ、薬剤の種類によって異なるが、それぞれ1分30秒～5分30秒の加熱によって白煙様のきわめて弱い炎を発生して着火し、燃焼を拡大したことから着火、発炎燃焼に対する抑制作用がかなり低下しているものと判断された。これらの着火遅れは、無処理とは反対に暴露期間が長くなるに従い短縮され、3年以上の暴露によって無暴露の無処理合板と同程度の遅れを示すにすぎなくなる。南北暴露面を比較すると、暴露1～2年では北面において南面よりも10～30秒早い着火が認められたが、この差異は暴露期間が3年をこえるとほとんど消失した。 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板では表面温度が木材の着火温度をこえるが3年間の屋外暴露によっても着火はなかった。また7年および15年の暴露においても5分20秒および4分40秒で高度の耐候性のあることが認められ、圧潰と $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ の樹脂化を同時に施した熱処理が有効であることを示唆している。

3・1・2 表面温度 無暴露合板の加熱開始後10分間の表面温度変化を Fig. 4 に示す。これによると、無処理合板の場合、着火直後の燃焼初期では緩慢な温度上昇が認められ、ついで試片表面に火炎が拡大 (FO と略記) すると温度もまた大約 800°C まで上昇する。この温度は加熱終了後も1～3分間維持された。同様に着火のみられたパイレソート処理合板の温度は、着火前後ともに無処理合板の表面温度より高温側にあり、とくに FO に達した後の表面温度は大約 $850 \sim 900^\circ\text{C}$ を維持した。加熱終了後は、激しい残炎により約 800°C を3～4分間維持した。これに対し、その他の防火処理合板の表面温度は一般に加熱開始後大約1分

Fig. 4. Time-temperature curves of plywood treated with several fire retardants when the surface was subjected to fire test.

Legend: ○: $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$.
□: $[\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2]_3\text{H}_3\text{PO}_4$.
△: untreated.
●: pyresote.
■: minalith.
▲: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

30秒前後でいずれも木材の着火温度をこえ、その温度は2分以後はほぼ飽和する傾向を示した。また、これらの表面温度は単一防火剤で処理した場合の方が複合防火剤のミナリスや $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板より低く、無暴露合板の防火性能を表面温度のみで評価すると $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 > [\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2]_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{ミナリス} \geq \text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC} \gg \text{パイレソート}$ の順となった。

ついで、北面に向けて暴露した合板の表面温度の変化は、無処理合板の場合、無暴露に比べ、表面温度の上昇はやや早い、表面温度の時間的変化は無暴露とほぼ同様で、ひとたび着火すると直ちに FO に達し、激しく燃焼することが認められた。

処理合板の場合、Fig. 5 に示すようにミナリス処理1年暴露および $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理以外の合板の表面温度はいずれも着火して FO に至ることにより $800 \sim 900^\circ\text{C}$ の高温に達した。なお、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ および $[\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2]_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ で処理された合板の加熱試験前半ではそれらの表面温度は無処理合板より低温側にあり、とくに後者の場合、加熱開始後約5分を経過してはじめて急激な上昇を示した。これは着火時間、FO 到達時間の遅れともよく符合する。これに対し、ミナリスとパイレソート処理合板の表面温度はいずれも無処理合板のそれより高温を維持した。

無暴露と1, 2, 3, 7および15年間屋外暴露した無機塩の例として北面暴露の $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 処理合板の表面温度-加熱時間の経緯を Fig. 6 に示す。これによると1年間の暴露によって燃焼抑制効果をほぼ失っていることがわかった。暴露期間が7年以上になると表層の風化等によって木材表層の物理的、化学的特性の変化にもとづくと考えられる発熱量の低下が認められた。

$\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板の表面温度と加熱時間の関係に暴露期間が及ぼす影響を Fig. 7 に示すと、暴露

Fig. 5. Time-temperature curves of plywood treated with several fire retardants when the surface was subjected to fire test.

Note: One year outdoor exposure facing the north direction.

Legend are the same as in figure 4.

Fig. 6. Time-temperature curves of unexposed plywood and after 1, 2, 3, 7 and 15 year outdoor exposures when the surface was subjected to fire test.

Note: Plywood samples were treated with $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, and exposure was done facing the north direction.

Legend: ○: non-exposure. ●: 1-year exposure.
△: 2-year exposure. ▲: 3-year exposure.
□: 7-year exposure. ■: 15-year exposure.

Fig. 7. Time-temperature curves of unexposed plywood and after 1, 2, 3, 7 and 15-year outdoor exposures when the surface was subjected to fire test.

Note: Plywood samples were treated with $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ and exposure was done facing the north direction.

Legend: ○: non-exposure. ●: 1-year exposure.
△: 2-year exposure. ▲: 3-year exposure.
□: 7-year exposure. ■: 15-year exposure.

期間3年までの範囲では経年変化はほとんどなく無暴露のそれとほぼ同様で、加熱開始後1分30秒で350°C、3分で400°C、4分で430~450°Cに達して木材の着火温度を越えるが、これ以上の温度上昇は認められなかった。7年暴露では約3分で着火した後、約2分間にわたりFOが認められるが、加熱開始5分を経過すると火勢の劣えが認められ、合板中層部に燃焼抑制作用の残存していることが認められた。暴露

15年では無処理合板と同様の温度推移をたどったが、加熱終了時に残炎、残じんはなく、なお、若干の防火性能の残存が認められた。

3・1・3 裏面温度 裏面温度は供試材料表面における発炎燃焼の有無およびその激しさによって異なるが、加熱時間とともに上昇し、Fig. 8のように無暴露無処理合板では約6分で火災危険温度の260°Cを越えたのに対し、無暴露の処理合板では、表面着火の認められたパイレスートの7分20~30秒を除き、いずれも9~10分でそれに達した。危険温度到達時間は、無処理<パイレスート< $[\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 \leq (\text{NH}_4)_2\text{H}_3\text{PO}_4 \leq$ ミナリス < $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ の順に延長し、燃焼抑制作用の大きい薬剤程それが延長した。なお、表面着火のあったミナリス処理合板も無処理に比べ約1分の遅れがあり、若干の燃焼抑制効果のあることが認められた。火災危険温度到達時間は屋外暴露期間の延長に従って短縮され、暴露3年までの範囲においてそれが比較的急であった。溶出が容易であろうと予想され、燃焼抑制効果の薄れた薬剤処理合板での表面発炎燃焼は激しく危険温度到達時間は短縮された。火災危険温度到達時間からみた燃焼抑制効果の耐候性あるいは耐久性は $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC} \gg [\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{ミナリス} > (\text{NH}_4)_2\text{H}_3\text{PO}_4 > \text{パイレスート} > \text{無処理}$ の順に低下した。無機系防火剤が暴露によって溶出し、防火効果を失って表面温度の上昇を促しているのに対し、 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板の裏面温度上昇の遅れは、 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ が縮合反応によって樹脂化し、不溶、不融の状態で合板内層に残留し、長期暴露によっても溶出が制限されていることによっているものと考えられる。

残炎は、無暴露では無処理合板が4分以上、パイレ

Fig. 8. Time at which the unexposed surface of the fire retardant plywood reached the critical temperature of 260°C.

Legend: ○: $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$.

□: $[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$.

△: untreated.

●: pyresote.

■: minalith.

▲: $(\text{NH}_4)_2\text{H}_3\text{PO}_4$.

ソート1分30秒の二者を除いて、いずれにも認められなかった。暴露期間の延長によって残炎は、無処理合板とパイレスート処理合板を除いて徐々に延長したが、いずれも4分を越えるそれはなかった。 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板の残炎は15年間の暴露によっても平均18秒であり、薬剤とくにPの残留があることを示している。残じんも同様の傾向が認められ、無暴露の場合では無処理合板10分以上、パイレスート処理合板1分10秒のほか、処理合板の残じんはいずれも認められなかった。3年以上の暴露によってパイレスート処理合板の残じんは無処理合板のそれと同様10分以上であったが、他の処理合板では1分以上の残じんはなく、赤熱燃焼抑制作用をもつPあるいはBの残留のあることが示された。

3・1・4 曲げ強度

無暴露合板の曲げ破壊係数(MOR)は、Fig. 9に示すように、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 処理合板を除き、いずれも無処理合板のそれより高い値を示したが、比強度は、 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板を除き、いずれも無処理合板のそれよりも低く、無処理合板の比強度に対して $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 処理合板で24%、 $[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ 処理合板で14%、パイレスート処理で10%、ミナリスでは4%の低減が認められ、無機塩処理木材にみられる強度低減の傾向とよい一致を示した。^{5)~9)}これに対して $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板のMORおよび比強度は無処理合板に比べてともに高く、比強度は7~10%の増加があり、メラミン樹脂による強度向上の傾向が認められた。

屋外暴露は無処理合板の曲げ強度も処理合板のそれとも低下させるが、低下の速度において処理合板と無処理合板との間に大きな差を認めることはできなかった。

Fig. 9. Relationship between the MOR of the fire retardant plywood and the outdoor exposure period.

Legend: ○: $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$.
 □: $[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$.
 △: untreated.
 ●: pyresote.
 ■: minalith.
 ▲: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

しいていえば、暴露期間3年までの範囲で、パイレスート処理合板において強度の低下速度は1年につき10~20%と大きく、一方、 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板のそれは3~8%と小さかった。暴露期間が7年に達すると無処理合板、処理合板はともにMORが無暴露合板のそれらの50~60%にまで低下したが、パイレスート処理合板を除いていずれの処理合板のMORは無処理合板のそれを下まわることにはなかった。パイレスートは薬剤中35%の ZnCl_2 を含むため、パイレスート処理合板のMORの低減をこの ZnCl_2 が加速したものと考えられる。

暴露の無処理合板の比強度に対する処理合板のそれは無暴露と異なり、パイレスート処理合板を除いていずれも5~18%の増加が認められた。これは、無機系薬剤の場合、薬剤の溶出による重量低減にもとづくものと考えられた。なお、パイレスート処理合板の比強度は無処理のそれに対して2~10%低い値を示した。

また、合板の暴露面が南向きである場合、そのMORは一般に北向きのそれより低く、平均10~20%の差が認められた。南面暴露の合板のMORが低いのは日射量の多いこととともにそれに伴う温度差の大きいことなどの暴露条件が北面のそれより酷しいことによるものと考えられる。

無処理合板の曲げヤング係数および処理合板のそれに対する屋外暴露の影響もMORに対すると同様の傾向を示した。⁴⁾

吸水性、吸湿性とそれに伴う寸法変化および保釘力と暴露の関係は別に述べる。⁴⁾

4 お わ り に

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、 $[\text{H}_2\text{NC}(\text{NH})\text{NH}_2]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ 、ミナリス、パイレスートおよびリン酸・メラミン・ホルムアルデヒド初期付加縮合反応生成物($\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$)で処理した防火ラワン合板を15年間にわたって屋外に暴露し、それらの防火性能や強度性能の経年変化を検討した。

無機系薬剤で処理された合板では屋外暴露1年で着火とそれに続く発炎燃焼が認められ、着火抑止と発炎燃焼抑制作用の低減が進み、実用上の防火効果の喪失が示された。これらの合板の着火遅れは暴露期間の延長に従って短縮され、防火薬剤溶出による発炎燃焼抑制作用低減の推移が明示された。

一方、 $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板は、暴露3年間では、初期の性能を保持しており、7年間の暴露によっても消炎作用を有し、燃焼抑制作用をなお残存していた。暴露15年間の $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{MFAC}$ 処理合板の燃焼抑制作用はかなり低下するが、残炎、残じんに対する効果を発現しており、燃焼抑制作用はなお残存してい

るものと判断された。 $H_3PO_4 \cdot MFAC$ が無機系防火剤に比べて薬剤の溶脱がきわめて緩徐であることが認められた。屋外暴露は合板の曲げ強度を無処理、処理ともに低下させるが、無処理合板の強度低減の傾向と処理合板のそれとの間に大きな相違は認められなかった。 $ZnCl_2$ を含むバイレソート処理合板の強度低減は他の処理に比べてやや大であった。

(昭和46年4月5日 第21回日本木材学会大会, 48年4月5日 第23回日本木材学会大会, 34年4月5日 第34回日本木材学会大会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 例えば, H. W. Eickner, J. of Materials, **1**, 625 (1966).
- 2) W. E. St Clair, Proc. Am. Wood-Preservers Assn., **1969**, 250, I. S. Goldstein and W. A. Dreher, Forest Products J., **11**, 235 (1961), S. C. Juneja, *ibid*, **22** (6), 17 (1972).

- 3) AWWPA, Standards for Fire-Retardant Formulation Am, Wood-Preservers Assn., pp. 10-58 (1958).
- 4) 石原茂久, 大羽伸和, 木材学会誌, 投稿予定 (1994)
- 5) T. S. McKnight, Report 190, Forest Res. Branch, Canada Dept. of Forestry, 1962.
- 6) B. A. Bendtsen, USDA, FPL, Res. Paper FPL, **60**, (1966).
- 7) Timber Res. and Development Assn., TRADA Red Booklet RB2, p. 34 (1953).
- 8) R. H. Bescher, Building Res., **3** (4), 53 (1965).
- 9) J. C. Middleton, S. M. Dragonov and F. T. Winters, Jr., Forest Products, J., **15**, 463 (1965).
- 10) 石原茂久, 満久崇麿, 木材研究, No. 42, 13 (1967).

書 評

中公新書 1154

“資源経済学のすすめ”

——世界の鉱物資源を考える——

西山 孝(著)

(1993年, 中央公論社発行, 新書判, 188ページ, 680円)

1972年にローマクラブの報告「成長の限界」が出された。そこでは、世界人口の増加と経済成長が続けば、極めて近い将来に資源が底を尽くとともに環境の悪化を招くため、人類は危機を迎えるとの警告がなされた。そして、当時の埋蔵量を5倍に見積もっても、資源の耐用年数は金のように短いものでは30年、銀や水銀で40年前後、石油や天然ガスで50年程度といわれた。

しかし、そのような警告にも係わらず、現在も埋蔵量はその当時とそれほど変化していない。これはどういうことなのであろうか。著者は未来について現未来を10年、近未来を10~50年、中未来を50~1000年、遠未来を1000年以上と想定して、資源の需給予測を行っている。

そして、先端技術は材料に支えられており、材料は素材に支えられているが、すべての鉱物資源について問題があるのではなく、問題になる資源はある程度限られていること、埋蔵量については偏在や政治的な影響も受け正確なデータが必要であること、トータルで評価するのではなくその検討は個々の資源について行う必要があることを力説している。すなわち、資源経済学の研究体制が必要であるが、日本では遅れており、その整備が必要であることを主張している。

評者も人類の将来がエネルギーと鉱物資源が確保できるかどうかと、良環境と現状人口の維持に依存していると考えているが、本書はそのうちの鉱物資源とエネルギーにふれたものである。そして、金属などの鉱物資源はリサイクルすれば再使用が可能であるので、鉱物資源は何となくしばらくは安心できるのではないかと思われた。しかし、エネルギー源の石油や石炭は燃やしてしまうと後に何も残らない。エネルギー問題がやはり今後の最重要課題であろう。

資源の安定な供給は材料研究者にも無縁ではない。今後の研究上本書に目を通しておくことは無駄ではない。本書は新書版で読み易い。ご一読を薦める。

(大阪工業技術研究所 中西 洋一郎)