

木材の変退色とその防止

(3) アンダーグラス曝露試験

飯塚五郎蔵, 二條理絵, 高橋茂男, 中山栄子

Discoloration of Wood Surface and the Way of Prevention

(3) Under-glassed Exposure Test

Gorozo IIZUKA, Rie NIJO, Shigeo TAKAHASHI and Eiko NAKAYAMA

We have been studying discoloration of wood by "Fade-meter" test. Results were published in the previous papers(1,2). In this paper, discoloration of wood were continued in the same way as above. And another way, by exposed to sunlight (in the glass case), discoloration of wood are estimated and compared with the results of accelerate discoloration tests. Brief results were as follows.

- 1) As for the lightness L^* , specimens became darker and darker.
- 2) Chromaticness increased in accordance with the test going, and test pieces turn to yellowbrown.
- 3) Discoloration of wood by exposure test undergo faster than that of the accelerate test.
- 4) Result of the continuous Fade-meter test for 10 days can forecast the discoloration of wood by exposed "Underglass" in the two months of June and July (Tokyo).

1. 研究の目的

前報(文献2, 11, 12)はフェードメーター試験における初期老化についての報告であったが, 本報はさらに長期の経時変色の様相を比較する。また, アンダーグラス(自然曝露)試験を行い, 室内に相当する木材の変退色を測定し, フェードメーター(促進退色)試験との比較検討を行う。

アンダーグラス曝露試験は, 自然昼光による放射線を受けた木材の変退色を評価するものであるが, 曝露台の内部は室内環境と同様の状況を保てるよう設計されており, ガラスを透過する際, 直接太陽光を受ける場合に比べて照射量が低くなる。これを室内曝露として評価することとした。

2. 試験方法

2-1 供試木材

両試験とも前報同様の針葉樹6種, 広葉樹5種の計11種類を用い, 心材を主体とするが, 辺材との色差が明らかかなもの3種についてはこれを加えた(文献16)。

2-2 人工促進退色試験

前報同様にウェザーメーターを, 水スプレーを行わな

いことで「フェードメーター」として用いた。今回の実験では, 前報に引続き同じ試験体で120時間から2038時間までを追加した。なお1時間当たりの平均放射線量は, 870KJ/m²であった。

2-3 アンダーグラス曝露試験体

形状, 寸法は前報同様とし, 前報試験に用いた木材と同時に製作されたものを使用した。

2-4 同上試験方法

アンダーグラス屋外試験台IS-1型(スガ試験機・写真1)を用いた。この曝露台は, 本体のガラス面を正南(35°傾斜)に向け昭和女子大学, 大学1号館屋上(経度約139°40', 緯度約35°38')に設置し, 試料面温度(40°C)を越えると, 試験台内部に外気を送風し, 設定温度まで冷却し, また1日2回ガラス面上に放水がなされる。この試験台によって曝露試験(1991年6月上旬~11月下旬の6か月間)を行い, 途中の一定時間ごとに試験片を取り込み, 測色を行った。

2-5 放射線量の測定

照射された放射線量は, 試験台位置に設置された照度

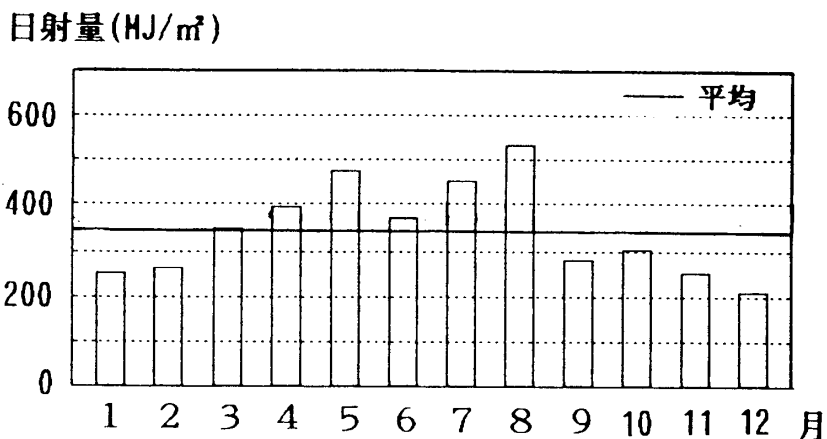


図1. 月間水平面日射量 (東京) 17)

計によって示された値を積算して求めた。

図1は東京の月間水平面日射量(1975~79年・月平均345.9MJ/m²)を示し、今回の曝露期間では6~8月の日射が強く、9~11月は弱くなっていることが分かる。

照射量は、波長300~400nmの紫外線域と400~700nmの可視光線域を加算し、赤外線域は除外した。アンダーグラス屋外曝露試験で使用するガラス板の分光透過率をもとに、積算照度記録装置(写真2, 3)による照射量を修正すると、ガラスの平均透過率は87.48%になる。アンダーグラス積算照射量は、積算照度記録装置による積算照射量に0.8748を乗じた値とした(文献14)。

2-6 測色方法

前報と同様、多光源分光測色計により、同一樹種に付き2試験片、計4か所の平均値を求めた。

3. 促進退色試験結果

3-1 明度L*の変化

図2, 図3に示すように、針葉樹は広葉樹より原片の明度が高く、照射後の低下も顕著である。どの木材も照射量約200MJ/m²までは急激に低下し、その後は緩やかに暗色化するが、針葉樹のスギ(心材)のように、初期にあまり低下しないものもある。また、原片では樹種間の明度の範囲がL*=60~80と大きい。700時間照射以降(約600MJ/m²)では、針葉樹がL*=55, 広葉樹がL*=60付近に、その差±5程度で収斂している。原片に対する700時間照射後のL*値低下率は、針葉樹が27.9%であるのに対し、広葉樹は13.2%であり、針葉樹のほうが明度変化は大きい。

この700時間をさかいに針・広葉樹ともにわずかではあるが明度は上昇傾向に転ずる。これは、もともと肌目の粗い樹種であるセン、シオジなどの老化面が、紫外線によって激しく荒れ、光を乱反射するために明度が高くなったものと思われる。老化が進むと針葉樹では木目が際立ってくるのに対し、広葉樹では逆に曖昧になるのが観察された。

3-2 赤色度指数a*の変化

赤色度の変化は、図4, 図5に示すように、広葉樹より針葉樹のほうが大きい。針葉樹は当初の値の範囲は大きい。照射量約200MJ/m²前後で一度収斂すると、以後は各樹種ともほぼ一様に約600MJ/m²まで上昇し、さらに老化が進むと徐々に赤味を失って行く。

初め赤味の強かったスギ心材は照射初期に急速に赤味を減ずるが、まもなく他の樹種と同様の変化を示す。

広葉樹では当初a*=5~13の範囲にあった赤味は、照射量約100MJ/m²前後で8~12に収斂し、約600MJ/m²までは漸増する。さらに老化が進むと針葉樹同様に、徐々に赤味を失って行く。もともと赤味の低いミズナラは、他の樹種と同様の増減を示すものの、その差を保つ。原片の赤味が最も低かったシオジの増加率は全樹種中、最も高かった。概観して、当初より特に赤味が強くなったのがシオジ、弱くなったのがレッドラワンで、その他の樹種はあまり大きな変化が見られなかった。

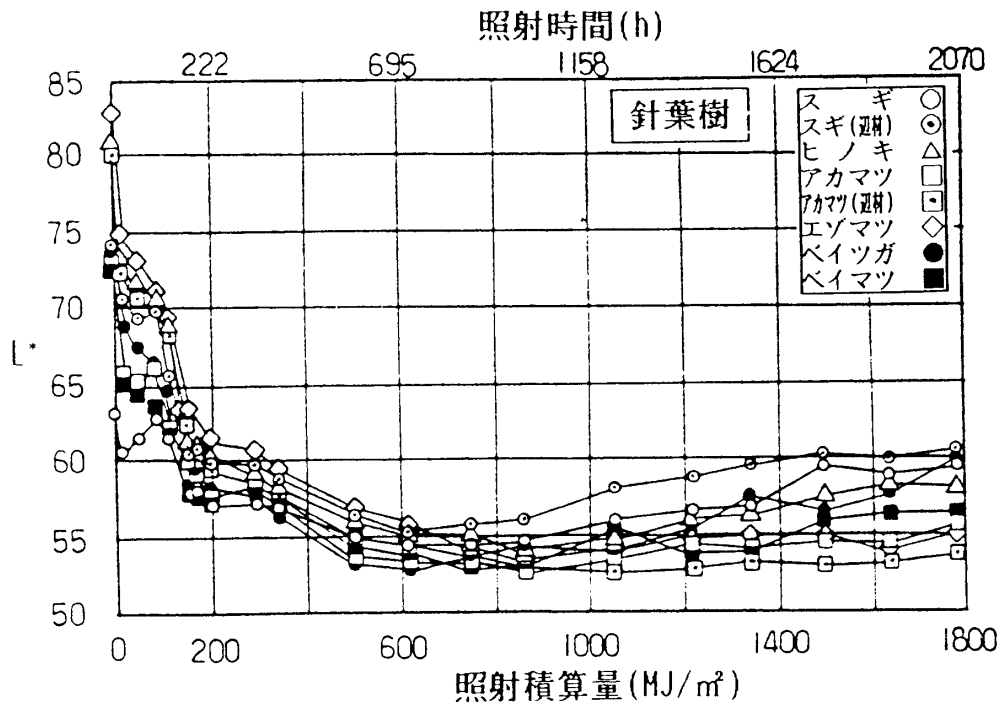


図2. フェードメーター試験
針葉樹の明度 (L*) 変化

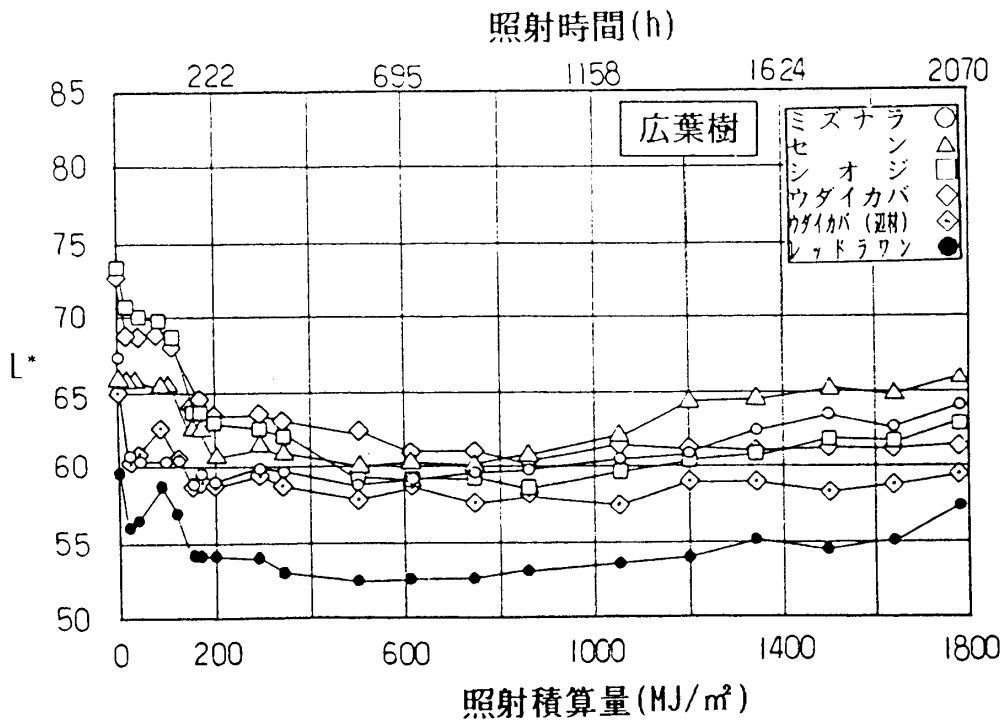


図3. フェードメーター試験
広葉樹の明度 (L*) 変化

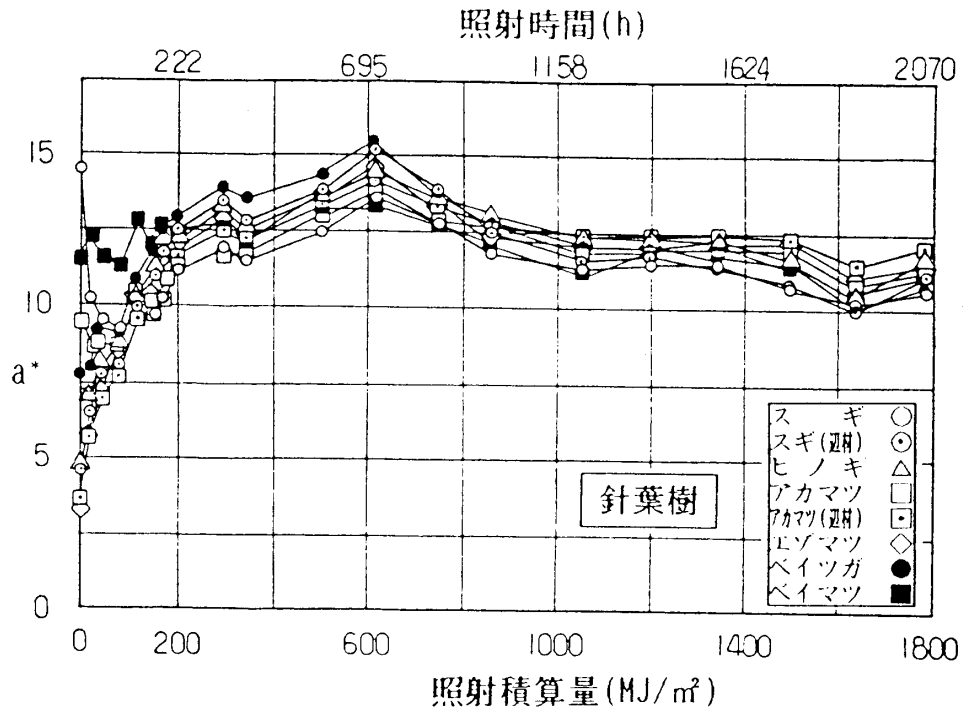


図4. フェードメーター試験
針葉樹の赤色度 (a^*) 変化

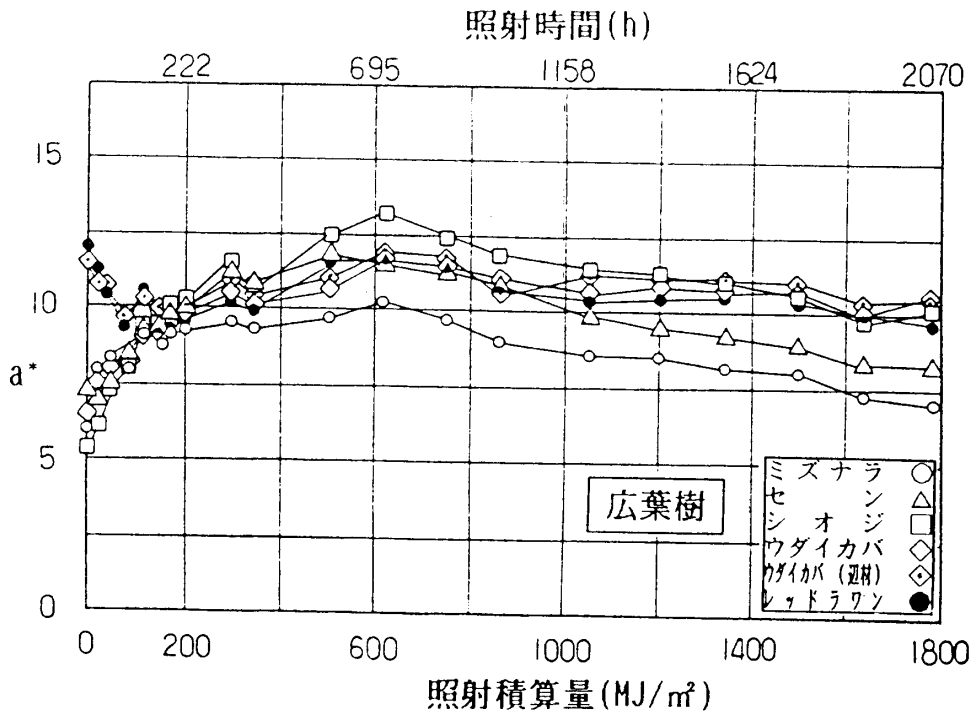


図5. フェードメーター試験
広葉樹の赤色度 (a^*) 変化

3-3 黄色度指数 b^* の変化

針葉樹では、各樹種とも照射量約170MJ/m²までは黄味を増し、約600MJ/m²を過ぎたあたりから漸減傾向となる(図6)。当初から赤味の強かったベイマツは、他の樹種に比べて照射中の黄味の増加率が低く、異なった動きを見せるが、照射量200MJ/m²を過ぎて他の樹種の範囲に吸収される。外観変化では、原片と試験終了時の試験体を比較観察しても黄味が増したことを明らかに確認できる樹種は少なく、針葉樹の黄味が強く現れるのは、老化初期であるといえる。

広葉樹では、原片の黄味 $b^*=22\sim 26$ (範囲4)であったのに対し、照射量1772MJ/m²には $b^*=25\sim 33$ (範囲8)に広がっており、各樹種間の差は大きくなった(図7)。また、照射量170MJ/m²で b^* 値のピークを記録し、約600MJ/m²を過ぎたあたりから漸減傾向になるのは針葉樹と同様である。当初から比較的赤味の強かったミズナラは、増加が低く、照射量約300MJ/m²以降は最も低い値を示し、以後ほかの樹種の値との差を広げ、試験終了時の b^* 値は当初比わずか1の増加であった。概観すると、当初黄味の強かった樹種ほど最終的に値はあまり増さず、弱かった樹種ほど照射後に黄味が強くなる傾向にあった。黄味が大きく増した樹種はウダイカバ(心材及び辺材)で、 b^* 値が11増加している。

針葉樹も広葉樹も照射初期(170MJ/m²)に黄味を強め、600MJ/m²以降漸減する傾向にある。

3-4 色差 ΔE^* の変化

針葉樹では、照射量約300MJ/m²までの変化はヒノキが大きく、最大値は約32を示した(図8)。これは、原片の明度 L^* が最高値(約83)を記録していたこと、老化初期において黄味の度合いが強かったことが影響していると思われる。これとほぼ同傾向の色差変化を示すのが、エゾマツ、アカマツ(辺材)である。これらは、いずれも当初の材色が淡黄白色(一般にいう白い木)であり、それゆえ退色が激しいといえる。色差変化で最も低い値を辿ったのはスギ(心材)であり、これは原片の赤味は高かったものの、明度が非常に低かった(約63)ことが影響している。

広葉樹では、終始高い色差を示したものにシオジ、ウダイカバ(心材)があり、これらはいずれも原片の L^* 値が高い樹種である(図9)。照射量約200MJ/m²までの色差変化は、原片が明色であったもの(ウダイカバ・シオジ)と、暗色であったもの(ウダイカバ(辺材)・レッドラワン・セン・ミズナラ)との大別して2グループに分

けられる。照射量約600MJ/m²以降はいずれも漸減する傾向にあるが、樹種間の色差の範囲は徐々に大きくなり、試験終了時には、 ΔE^* が ± 14 の範囲に拡散した。この様に、両樹種ともほぼ同傾向の色差変化をするが、その変化率は針葉樹の方がかなり高い。逆に、変化率の低かった広葉樹はより退色しにくく、安定であるといえよう。また、当初から暗色であった樹種のほうが、色差変化は少ない。

3-5 まとめ

以前に行った耐候性(ウェザーメーター)試験の経時変化において、明度は一時低下するが照射を続けることによって明色化すること、赤・黄色度は一時増加するがその後は徐々に減少し、銀灰色に近付くことなどが分かっている(文献1, 3, 9, 10)。特に、黄色度の増減変化が大きかった。これらは水を与えた時にだけ現れる現象である。これに対し、今回の耐光性(フェードメーター)試験において、明度は徐々に暗色化傾向を続けるが、赤・黄色度は彩度を増し、黄褐色化したままで急激な無彩色化はしていない。しかし、どちらかといえば、耐候性試験において木材の劣化に見られた無彩色化の方が、自然界の安定色に向かっているといえよう(文献15)。

4. アンダーグラス曝露試験結果

4-1 明度 L^* の変化

針葉樹の原片の明度 L^* 値は、スギ(心材)を除いて63から82の明るいものが多い(図10)。これらが紫外線照射を受けて、徐々に明度が低下し、約600MJ/m²で最低となり、54~60の範囲になる。その後は、各樹種ともなだらかな上昇(明色化)が見られる。当初の明度の範囲は19に及ぶが、老化後は6に狭まって同色化の傾向にあり、この様相は広葉樹にも共通する。当初の明度の高い樹種ほど明度低下率は大きい。針葉樹の外観変化は、年輪の春材(明色部)と晩材(暗色部)の明度差がより明確になっている。

広葉樹では一般に針葉樹と比べて明度変化が少なく、光に対してより安定であるともいえる。外観変化が安定していたのはシオジであり、ミズナラ、センなどは明度が高く見えた(図11)。針葉樹が老化すると、木目が際立ってくるのに対し、広葉樹は逆に曖昧になる。また、当初の明度 L^* 値の範囲は13と針葉樹(範囲19)より小さいが、老化後の範囲は10と針葉樹より大きくなり、針葉樹ほどの同色化傾向は見られない。

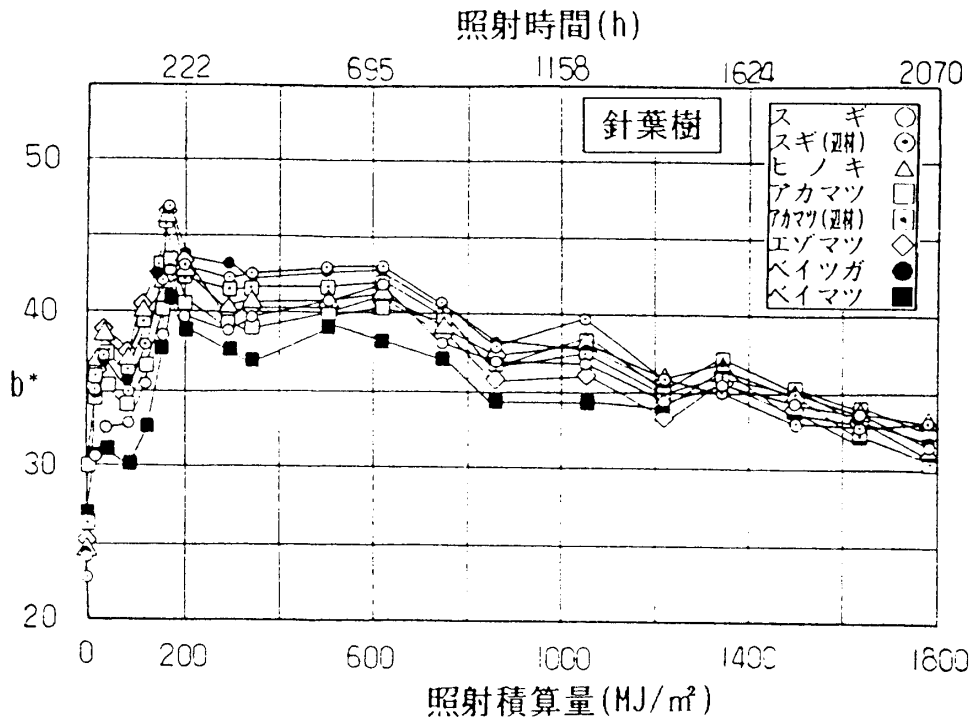


図6. フェードメーター試験
針葉樹の黄色度 (b*) 変化

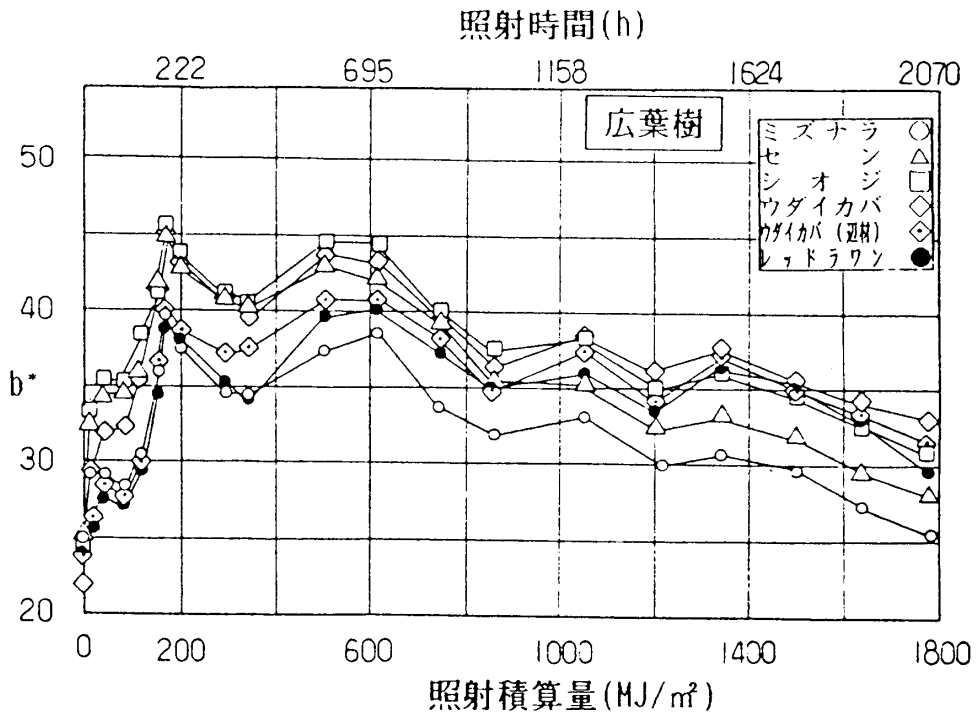


図7. フェードメーター試験
広葉樹の黄色度 (b*) 変化

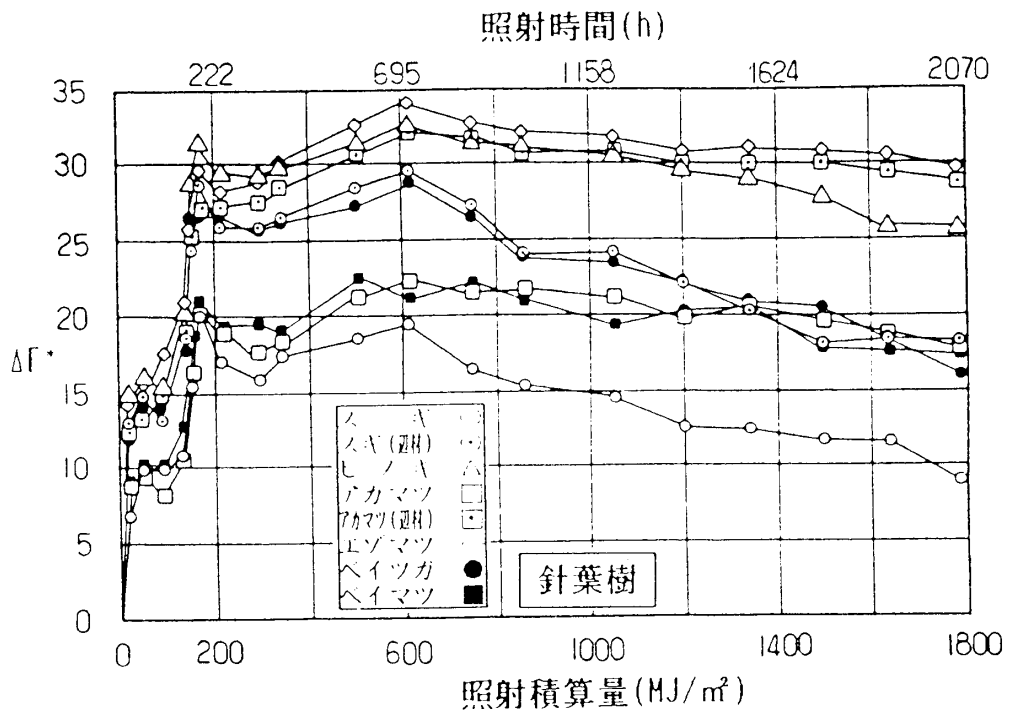


図8. フェードメーター試験
針葉樹の色差指数(ΔE*)変化

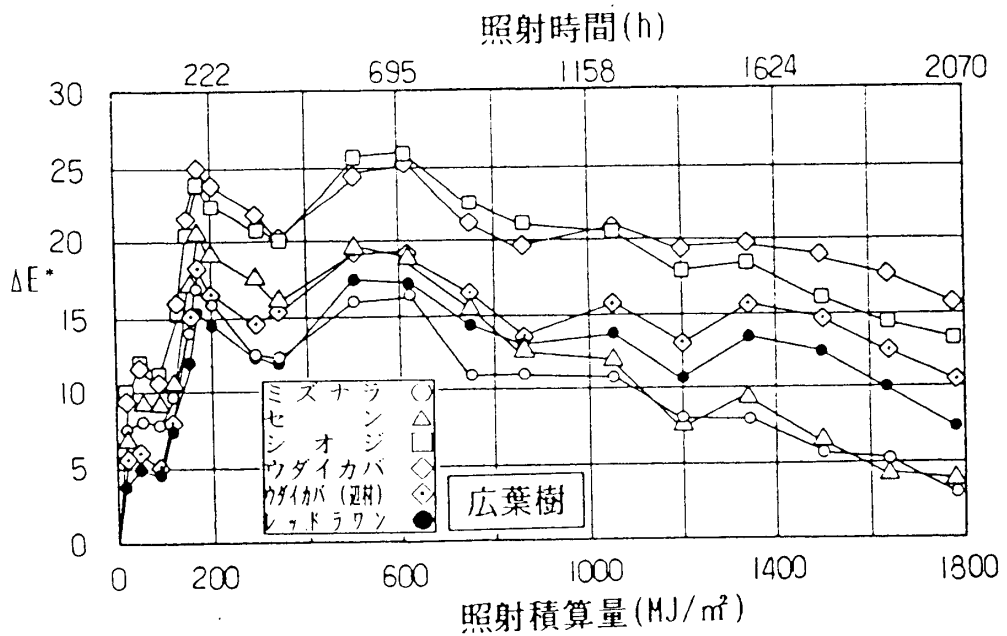


図9. フェードメーター試験
広葉樹の色差指数(ΔE*)変化

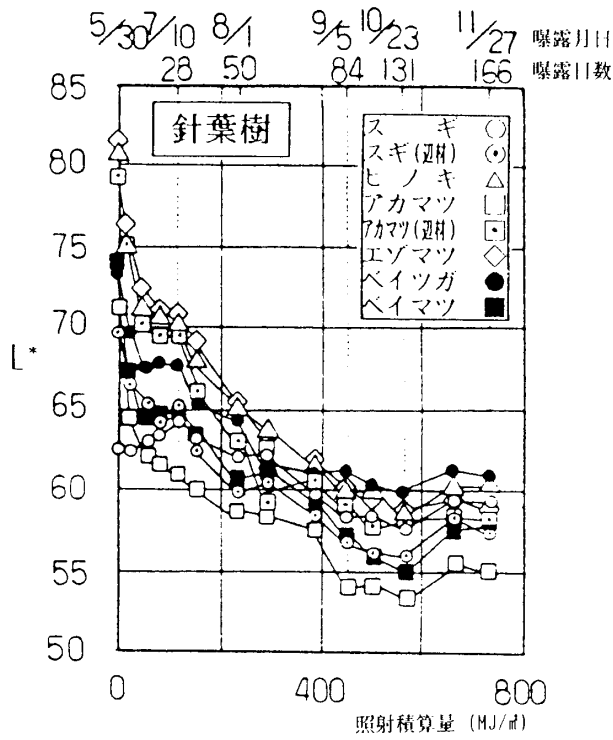


図10. アンダーグラス曝露試験
針葉樹の明度 (L*) 変化

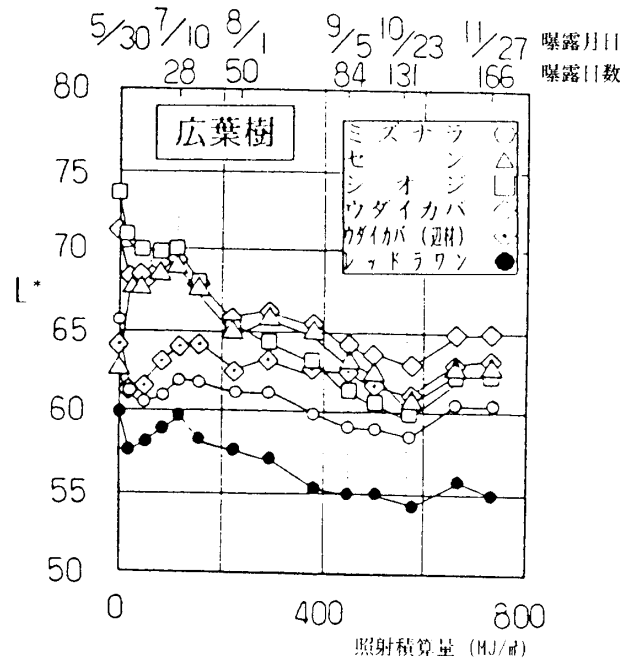


図11. アンダーグラス曝露試験
広葉樹の明度 (L*) 変化

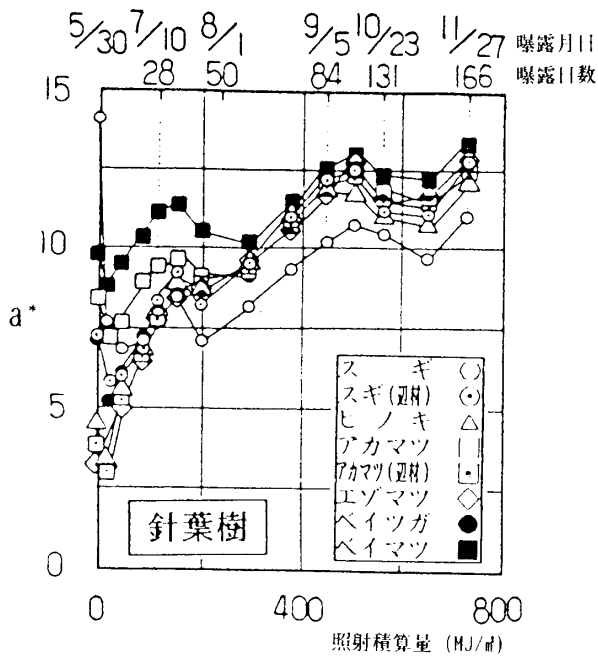


図12. アンダーグラス曝露試験
針葉樹の赤色度 (a*) 変化

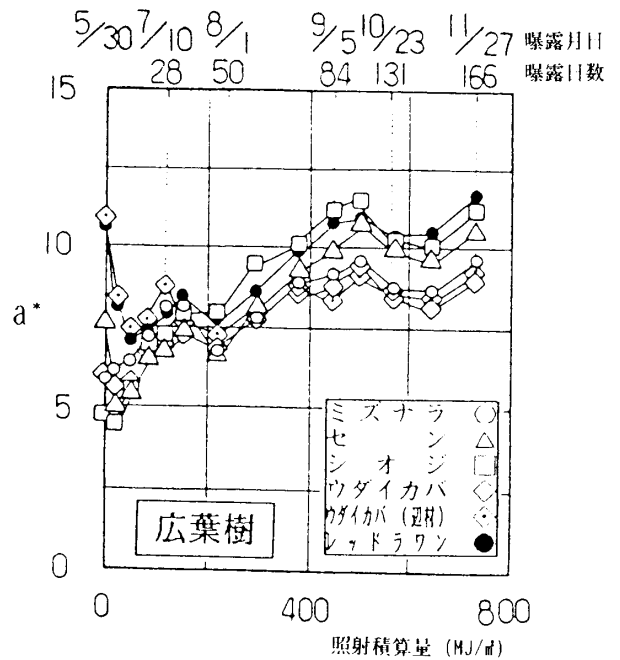


図13. アンダーグラス曝露試験
広葉樹の赤色度 (a*) 変化

4-2 赤色度指数 a^* の変化

針葉樹の赤味 a^* 値は当初3~10の範囲にあるが、徐々に収斂し、約500MJ/m²では、スギを除けば a^* 値は2の範囲になる(図12)。外観変化では、最も赤味が増したように見えるのがベイマツ、あまり変化のみられないのがスギ(心材)であった。

広葉樹では、当初の a^* 値は5~11の範囲にあった赤味は、照射量100MJ/m²前後で収斂すると以後は漸増する(図13)。特に赤味が当初より強くなったのがシオジ、弱くなったのがウダイカバ(辺材)で、その他の樹種では大きな変化は見られなかった。

概観して、当初赤味の強い広葉樹は受光後の変化は少ないが、赤味の弱かった針葉樹は変化が大きい。

4-3 黄色度指数 b^* の変化

各樹種とも照射量約200MJ/m²で b^* 値のピークを示し、約450MJ/m²を経過したあたりから漸減傾向となる(図14, 15)。全体に、当初黄味の強かった樹種ほど最終的に値はあまり増さず、弱かった樹種ほど受光後に黄味が強くなった。外観変化が最も激しく、黄味が大きく増した樹種は、広葉樹のウダイカバ(心材及び辺材)で、照射量約600MJ/m²において b^* 値が15増加した。

原片と試験終了時の試験体を比較観察すると、黄味が増したことを確認できる樹種は少なく、黄味が強くするのは、老化初期であるといえる。

4-4 色差 ΔE^* の変化

両樹種とも同様の色差変化をし、その変化率は針葉樹の方が大きく、初期の200MJ/m²まで変化が激しい(図16, 17)。最高色差を示す照射量450MJ/m²では、色差の範囲が針葉樹で $\Delta E^* = 16 \sim 29$ (範囲13)、広葉樹は $\Delta E^* = 15 \sim 22$ (範囲7)であった。針葉樹は一般に変化率が高いばかりでなく、樹種間の色差の範囲も広い。最終的に針葉樹は $\Delta E^* = 12 \sim 28$ (範囲16)、広葉樹 $\Delta E^* = 10 \sim 19$ (範囲10)と少し広がった。ここで変化率の範囲が大きい針葉樹は、原片の各樹種間の明度差が大きかったことによると思われる、小さかった広葉樹はより退色しにくく、安定であるといえる。また、原片が暗色であった樹種は色差変化が少なく、淡黄白色であった樹種(ヒノキ、エゾマツなど)ほど、退色が激しかった。

5. アンダーグラス曝露と促進退色試験の比較

上述のアンダーグラス曝露試験(以下アンダーグラス試験とする)と促進退色(フェードメーター)試験とを

比較検討し、木材の老化初期における経時変色が、太陽光による場合と人工光による場合の相関関係を調べる。

5-1 明度 L^* の変化

照射量と明度の関係は、どの木材(スギ心材を除く)も始めは暗色化する。その変化は、促進退色試験の方がやや大きく、暗色化が早く進むことが分かる。老化初期に於けるアンダーグラス試験と促進退色試験はどの樹種も約600MJ/m²で最低値を示すのは一致しており、 L^* 値の差は±1程度である。

5-2 赤色度指数 a^* の変化

促進退色試験は、照射量で100~200MJ/m²程度アンダーグラス試験より、変化が早目に現れる。両試験は非常に似た変化をするものの、針葉樹、広葉樹ともに赤色度が高くなっているのは促進退色試験であり、これは促進退色試験の長時間に及ぶ連続照射(最高78時間)と、熱の蓄積による影響が原因とも考えられる。

5-3 黄色度指数 b^* の変化

両試験とも約200MJ/m²でピークを示し、その後低下するが、その傾向は屋外曝露試験(450MJ/m²)の方が促進退色試験(600MJ/m²)より早目に現れる。

5-4 色差 ΔE^* の変化

両試験とも約200MJ/m²で小さい山をつくるが、次の大きなピークはアンダーグラス試験(450MJ/m²)の方が促進退色試験(600MJ/m²)より早目に現れる。

5-5 まとめ

両試験とも明度は徐々に低下(暗色化)を続け、赤・黄色度は亢進し、黄褐色化が進行する。

これらを照射量から比較すると、暗色化は促進退色試験の方がアンダーグラス試験より若干早めに現れ、また褪色は促進退色試験に変化の遅れが見られた。前者には、促進退色試験の長時間の連続照射による木材表面の熱の蓄積が影響していると考えられる(文献13)。また後者は、連続照射を行っているので屋外気候の夜間に当たる時間的なインターバルがないため、木材表面のリグニンの酸化、漂白作用などの化学変化の「醸成」が不十分のためかとも思われる(文献4, 5, 6, 7)。

今回の曝露期6~11月では促進退色試験の約750時間に相当する。促進倍率についてはアンダーグラス曝露1年を待って比較するべきものである。しかし木材の変色は

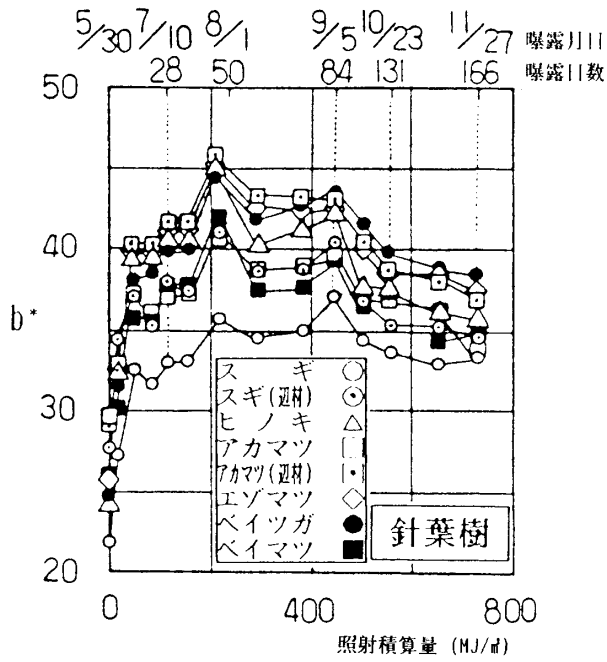


図14. アンダーグラス曝露試験
針葉樹の黄色度 (b^*) 変化

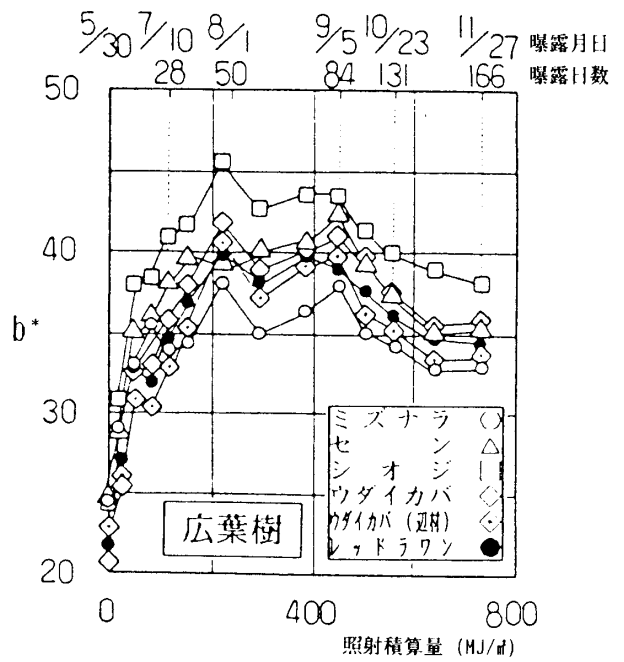


図15. アンダーグラス曝露試験
広葉樹の黄色度 (b^*) 変化

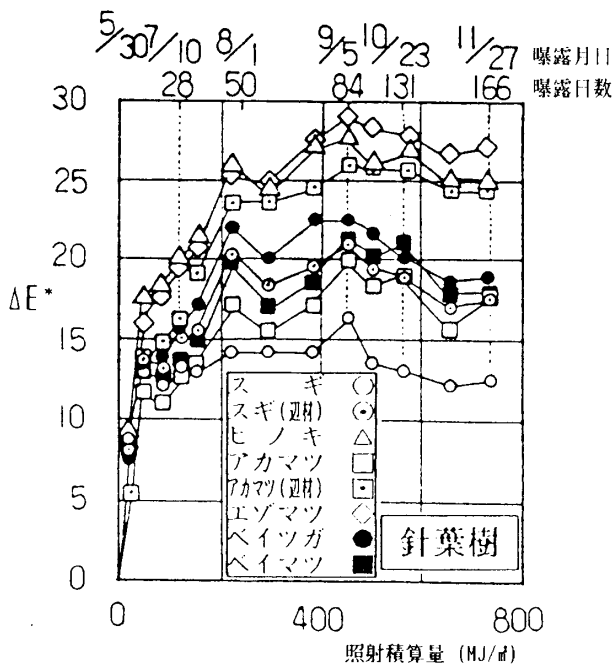


図16. アンダーグラス曝露試験
針葉樹の色差指数 (ΔE^*) 変化

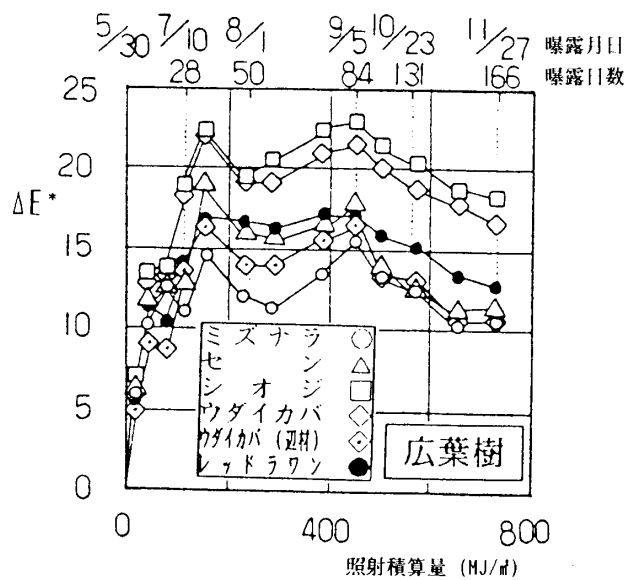


図17. アンダーグラス曝露試験
広葉樹の色差指数 (ΔE^*) 変化

木材の変退色とその防止

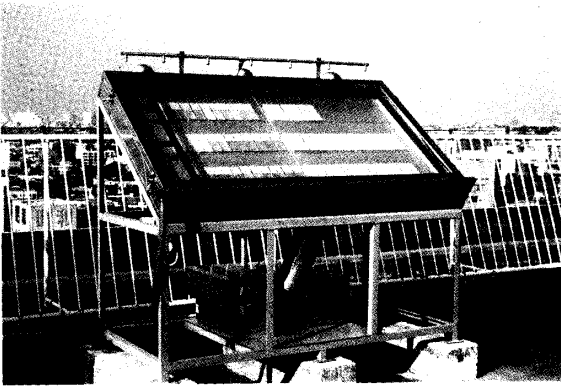


写真1. アンダーグラス曝露台

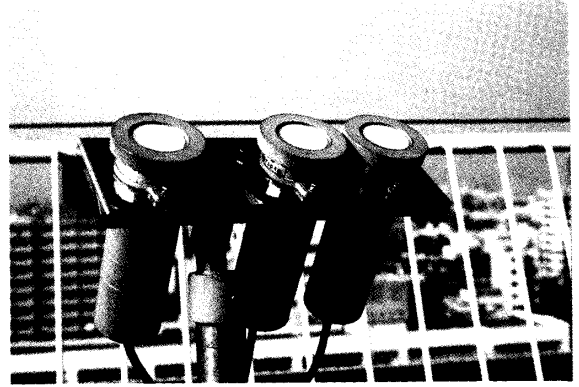


写真2. 積算照度計 (測定部)



写真3. 積算照度計 (記録部)

フェードメーター試験とアンダーグラス試験の経時変化 (その1)

1スギ・心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²	HOUR
		0		0	0
		4		4	4
		8		8	8
		15		15	16
		30		30	32
		45		45	48
		67		67	72
		91		91	96
		104		104	120
		1772		1772	2038

写真4. スギ (心材) フェードメーター試験

1スギ・心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²
		0		0
		1.2		1.2
		2.4		2.4
		5.7		5.7
		26.7		26.7
		72.0		72.0

写真5. スギ (心材) アンダーグラス曝露試験

フェードメーター試験とアンダーグラス試験の経時変化 (その2)

スギ(辺材)	生地	照射量	
		MJ/m ²	HOUR
		0	0
		4	4
		8	8
		15	16
		30	32
		45	48
		67	72
		91	96
		104	120
		1772	2038

写真6. スギ(辺材) フェードメーター試験

スギ(辺材)	生地	照射量	
		MJ/m ²	HOUR
		0	0
		12	12
		24	24
		57	57
		267	267
		720	720

写真7. スギ(辺材) アンダーグラス曝露試験

ヒノキ(心材)	生地	照射量	
		MJ/m ²	HOUR
		0	0
		4	4
		8	8
		15	16
		30	32
		45	48
		67	72
		91	96
		104	120
		1772	2038

3

写真8. ヒノキ(心材) フェードメーター試験

ヒノキ(心材)	生地	照射量	
		MJ/m ²	HOUR
		0	0
		12	12
		24	24
		57	57
		267	267
		720	720

写真9. ヒノキ(心材) アンダーグラス曝露試験

木材の変退色とその防止

フェードメーター試験とアンダーグラス試験の経時変化 (その3)

ヒノキ 辺材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²	HOUR
		0		0	0
		4		4	4
		8		8	8
		15		15	16
		30		30	32
		45		45	48
		67		67	72
		91		91	96
		104		104	120
		1772		1772	2038

写真10. ヒノキ (辺材) フェードメーター試験

ヒノキ 辺材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²
		0		0
		12		12
		24		24
		57		57
		267		267
		720		720

写真11. ヒノキ (辺材) アンダーグラス曝露試験

アカマツ 心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²	HOUR
		0		0	0
		4		4	4
		8		8	8
		15		15	16
		30		30	32
		45		45	48
		67		67	72
		91		91	96
		104		104	120
		1772		1772	2038

写真12. アカマツ (心材) フェードメーター試験

アカマツ 心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリアー塗り	照射量 MJ/m ²
		0		0
		12		12
		24		24
		57		57
		267		267
		720		720

写真13. アカマツ (心材) アンダーグラス曝露試験

フェードメーター試験とアンダーグラス試験の経時変化 (その4)

アカマツ 辺材	生地	照射量 MJ/m ²	クリヤー塗り	照射量 MJ/m ²	HOUR
		0		0	0
		4		4	4
		8		8	8
		15		15	16
		30		30	32
		45		45	48
		67		67	72
		91		91	96
		104		104	120
		1772		1772	2038

写真14. アカマツ (辺材) フェードメーター試験

アカマツ 心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリヤー塗り	照射量 MJ/m ²
		0		0
		12		12
		24		24
		57		57
		267		267
		720		720

写真15. アカマツ (辺材) アンダーグラス曝露試験

シオジ 辺材	生地	照射量 MJ/m ²	クリヤー塗り	照射量 MJ/m ²	HOUR
		0		0	0
		4		4	4
		8		8	8
		15		15	16
		30		30	32
		45		45	48
		67		67	72
		91		91	96
		104		104	120
		1772		1772	2038

写真16. シオジ フェードメーター試験

シオジ 心材	生地	照射量 MJ/m ²	クリヤー塗り	照射量 MJ/m ²
		0		0
		12		12
		24		24
		57		57
		267		267
		720		720

写真17. シオジ アンダーグラス曝露試験

木材の変退色とその防止

積算照射量200MJ/m²までが激しいので、これに対応する今回のアンダーグラス曝露(6~7月間約60日)とフェードメーター照射約220時間を比較して一応の促進率を求めることもできる。即ち連続運転約10日で、東京の夏の2か月曝露を予測できる。

なお、本試験と同時にを行った塗装による木材の老化防止効果は、次の機会に報告する。

実験に協力された吉島智美、高野澤和子君(当時学生)に感謝するとともに、供試木材の入手に便宜を与えられた農林水産省森林総合研究所の中井孝氏に深謝する。なお、本実験に使用した試験設備、測定器はすべて昭和女子大学生生活美学科に所属するものである。

参 考 文 献

1. 飯塚・高橋・中山：「木材の変退色とその防止(1) ウェザメーター試験」, 昭和女子大学近代文化研究所生活美学科紀要『学苑』, **608**, P 39-51 (1990)
2. 飯塚・中山：「木材の変退色とその防止(2) フェードメーター試験」, 昭和女子大学大学院生活機構研究科紀要, Vol.1, P 39-47 (1991)
3. 飯塚：「木材の変退色」, 日本建築学会論文報告集, 103号 (1964.10)
4. 近藤・光永・今村：「木材の色に関する研究(2) ムラサキタガヤサンの変色過程環境要因」, 木材学会誌, 32巻6号, P 462-466 (1986)
5. 同上：「同上(4) ムラサキタガヤサン心材の濃紫色化に寄与するフェノール成分について」, 木材学会誌 33巻3号 P 239-245, (1987)
6. 種田・矢田・太田：「木材の変色(1) プナ辺材の光変色」, 木材学会誌35巻6号, P 530-536 (1989)
7. 太田・種田：「キリ材の変色の研究(1) 変化に関連するカフェ酸糖エステルについて」, 木材学会誌35巻5号, P 438-446 (1989)
8. 基太村洋子：『木材の染色に関する研究』, 自主出版 (1987)
9. 高橋・飯塚：「木材の変退色とその防止(1) 無処理材のウェザメーター試験」, 日本建築学会学術講演梗概集, No.1235, P 469-470 (1990.10)
10. 飯塚・高橋：「木材の変退色とその防止(2) ステン系塗装材のウェザメーター試験」, 日本建築学会学術講演梗概集, No.1236, P 471-472 (1990.10)
11. 高橋・飯塚：「木材の変退色とその防止(3) 耐光性(フェードメーター)試験」, 日本建築学会学術講演梗概集, No.1309, P 617-618 (1991.9)
12. 飯塚・高橋：「木材の変退色とその防止(4) 耐候性と耐光性の比較」, 日本建築学会学術講演梗概集, No.1310, P 619-620 (1991.9)
13. 二條：『木材の耐候性と耐光性—その変退色の測定』 (昭和女子大学修士論文1991年)
14. 須賀長市：『耐候光と色彩』, スガ試験機 (1988)
15. 日本木材保存協会編著：『木材保存学』, 文教出版 (1982)
16. 農林水産省林業試験場監修：『木材工業ハンドブック』, 丸善 (1982)
17. 平川：「太陽エネルギーの観測結果」Suga Technical News **99**, P 6 (1986)