

木製サッシ塗装技術の開発事業報告書

平成5年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

はじめに

近年、経済社会の成熟化に伴って、木材のもつよさが見直され、木材・木質製品を使いたいとするニーズは一段と高まっている。

しかし他方では、木材の持つ、狂う・腐る・色があせるなどの欠点等からせっかくのニーズも実際の需要に結び付き難いとする状況にあり、こうした問題の解決に向けた検討を行うことが緊急の課題となっている。

木製サッシについては、これまでに各般にわたる技術開発を図ってきたが、木材の劣化を防止するための塗装技術についての検討は、これまでほとんど行われていない。このため、木製サッシ用の屋外用塗料の種類、市場流通量は多いものの、品質性能の評価を的確に行い得る客観的な目安がないという状況にある。

本事業は、こうした状況に鑑み、木製サッシ用の屋外用塗料の品質性能評価方法を明らかにし、その塗装に関する製造マニュアルを作成することを目的とし、平成3年度より進めている。

本年度は、①昨年度より開始した促進耐候性試験と屋外暴露試験との相関関係分析、②耐久性に影響を与える因子について調査分析、③耐久性試験の評価方法について検討を行った。

本事業に積極的に取り組んでいただいた委員各位に深甚な謝意を表するとともに、事業を進めるにあたり貴重なご意見を寄せられた関係の各位に感謝を申し上げます。

平成5年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

理事長 下川 英雄

目 次

1. 事業要綱	1
2. ウェザメーター試験（促進耐候性試験）	3
2. 1 試験概要	3
2. 2 試験体	3
2. 3 試験方法	4
2. 4 試験結果	4
2. 5 劣化状況とその特徴	5
2. 6 まとめ	6
3. 屋外暴露試験	21
3. 1 暴露試験法	21
3. 2 屋外暴露12ヶ月までの試験結果	21
3. 3 促進耐候試験（ウェザーメータ試験）と屋外暴露試験との関係	23
4. 実用化のための最適条件の試験	45
4. 1 試験片と塗装条件	45
4. 2 ウェザーメーター試験（促進耐候試験）	47
4. 3 屋外暴露試験	49
5. わかりやすい耐久性試験結果表示法	50
5. 1 わかりやすい耐久性試験結果表示法の提案	50
5. 2 わかりやすい耐久性試験結果表示法作製の問題点	50
6. 参考資料	52
6. 1 外国文献より	52
6. 2 塗膜耐久性に影響を与える気象因子	55
7. 今後の課題	59

1. 事業要綱

事業名：木製サッシ塗装技術の開発事業

委員会名：木製サッシ塗装技術の開発委員会

事業の目的：木製サッシの耐候性及び耐久性を向上させるための塗装技術を開発し、マニュアルを作成することを目的とする。

平成4年度事業の内容

- ①促進耐候性試験と屋外暴露試験との相関関係分析
- ②耐久性に影響を与える因子について調査分析
- ③耐久性試験評価方法について検討

実施方法

専門家による委員会を設けて実施する。

必要に応じて、ワーキング・グループを設置する。

委員名簿（順不同・敬称略）

委員長	川村二郎	川村木材塗装事務所	所長
委員	木口 実	農林水産省森林総合研究所	耐候処理研究室
同	鈴木雅洋	東京都立工業技術センター	塗装研究室
同	木下稔夫	東京都立工業技術センター	塗装研究室
同	前島一雄	有限会社 共和木工	専務取締役
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター	試験研究部長
同	鶴田郁男	木構造振興株式会社	専務取締役
同	平原章雄	木構造振興株式会社	研究主任

2. ウェザーメーター試験（促進耐候試験）

2. 1 試験概要

木製サッシの耐久性・耐候性を向上させるために用いられている木材保護塗料の適切な性能評価と試験方法の確立を目的に、数種の市販されている木材保護塗料を塗布した木材塗装板の促進耐候試験による比較検討を行う。本試験は塗料の主要樹脂およびタイプ（造膜または含浸）の違いによる劣化状況の概要を把握し、今後の詳細な実験のバックデータとして活用するためのものである。

前年度に600時間までの試験を行っているが、同試験体に対し1,500時間まで継続したのでその結果について報告する。

なお、同時に実施した屋外暴露試験12カ月との比較検討については、次項4. で解説を行う。

1)実施期間：平成 4年 4月～ 8月

2)実施場所：東京都立工業技術センター

2. 2 試験体

2.2.1 塗装基材

ベイマツ 柁目板 70×150×10mm（厚さ） 表面調整済み（K I M A D O(株)作成）

2.2.2 木材保護塗料

1)主要樹脂：4種類（アルキド系、アマニ油系、ウレタンアルキド系、ふっ素系）

2)塗料タイプ：2種類（材中含浸型、表面造膜型）

3)色調：2種類（クリアー、着色）

① アルキド系 造膜・着色タイプ：A（プライマー＋トップコート）

② ウレタンアルキド系 含浸・着色タイプ：B（トップコート2回）

③ アルキド系 含浸・クリアータイプ：C（ ）

④ アマニ油系 含浸・クリアータイプ：D（ ）

⑤ ウレタンアルキド系 造膜・クリアータイプ：E（ ）：2液型）

⑥ アマニ油系 含浸・クリアータイプ：F（プライマー＋トップコート）

⑦ アルキド系 含浸・着色タイプ：G（プライマー＋トップコート）

⑧ ふっ素樹脂系 造膜・クリアータイプ：H（トップコート2回：2液型）

2.2.3 試験片作成

1)塗装方法

調整済みの表面、裏面、両サイド、木口面の全面を同一塗料により塗装した。各塗料のカタログ、仕様書に準じ良く攪はんした後、塗布可能な最大量を刷毛塗りした。

2)塗装回数

各2回（専用のプライマーが指定されている場合はプライマー+トップコートによる2回塗り、プライマー兼用のものはトップコート2回塗り）。

3)乾燥条件

下塗り（1回目）を行った試験片を斜めに保持し室温にて24時間放置した後、上塗り（2回目）の塗装を行い同様に2週間放置した。

4)その他

すべての塗装基材は含水率調整のため塗装作業前、20℃-60%RHの恒温恒湿室にて1週間のコンディショニングを行った。

また、同時進行している屋外暴露試験に用いている試験片（70×300×10mm）も同一条件にて作成した。

2. 3 試験方法

試験方法および試験条件は前年度と同様にJIS K 5400(1990)9.8.1サンシャインカーボンアーク灯式促進耐候試験機により無塗装品Sを含め塗装試験片A～Hまでの9種類に対し900・1,200・1,500時間の試験を行った。

評価も前年度同様 ①目視による外観検査 ②測色 ③光沢度測定 ④撥水性 の4項目でそれぞれ検討した。

2. 4 試験結果

2.4.1 促進耐候試験による各種測定結果

無塗装の素材を 表1に、使用した各木材保護塗料別試験体の各種測定結果を表2～表9に示す。

2.4.2 試験体外観

促進耐候試験による各試験体の写真を各木材保護塗料別に 写真1～9（S～H）、試験時間別（0・900・1200・1500時間）に 写真10～13にそれぞれ示す。

2.4.3 色差

促進耐候試験による各試験体の色差（ ΔE^* ）変化を 図1に示す。なお、色差について造膜タイプと含浸タイプとでグループ分けしたものをそれぞれ 図5 と 図6 に示す。

2.4.4 明度

促進耐候試験による各試験体の明度（ L^* ）変化を 図2に示す。なお、明度について造膜タイプと含浸タイプとでグループ分けしたものをそれぞれ 図7 と 図8 に示す。

2.4.5 光沢度

促進耐候試験による各試験体の光沢度差を 図3 に示す。なお、光沢度差について造膜タイプと含浸タイプとでグループ分けしたものをそれぞれ 図9 と 図10 に示す。

2.4.5 撈水度

促進耐候試験による各試験体の撈水度変化を 図4 に示す。なお、撈水度変化について造膜タイプと含浸タイプとでグループ分けしたものをそれぞれ 図11 と 図12 に示す。

2. 5 劣化状況とその特徴

各試験体の最終1500時間までの劣化状況とその特徴を上げると次のとおりである。

1) S：素材（無塗装試験片）

試験片が整った柾目であるため素材の狂い、割れ、色むらなどの大きな変化は最後まで認められなかった。傾向としては時間経過とともに白色化してくるが、900時間前後で水スプレーの強く当たる部分がわずかに濃くなり色むらが発生している。これは、劣化した木材表面がはげ落ち、新しい木材組織が出てきたためと思われる。これらの傾向は、含浸・クリヤータイプの試験体C・D・Fにも共通して現れている。

撈水度は表面の風化に伴い、初期の94.9から最終的には43.6まで落ち込んでいる。

2) A：アルキド系 造膜・着色タイプ

600時間までは一部木目に沿って塗膜剥離が生じたが、数値的には色相や光沢の変化が小さかった。しかし、900時間経過後から塗膜割れや剥離が進行し最終的には激しい色むらを生じた。ただし、撈水度は初期の状態を最後まで維持した。これらの特徴は造膜タイプの共通した特徴でもある。

3) B：ウレタンアルキド系 含浸・着色タイプ

色差が最も大きな変化を示し、光沢変化も着色タイプでは最も大きかった。促進耐候試験900時間では表面の黒変と激しい色むらがさらに進行し、初期の鮮やかな色調は消失した。ただし、撈水度は最後までほぼ初期性能を維持している。

4) C：アルキド系 含浸・クリヤータイプ

促進耐候試験の時間経過に伴い白色化が進み、900時間において色むらが発生した。劣化の進行状況は無塗装品Sに酷似している。撈水度は300時間を経過後、徐々に低下しはじめ最終1500時間では塗装効果が消失した。

5)D：アマニ油系 含浸・クリヤータイプ

外観、劣化 状況・性能面ともに試験体Cに酷似している。アルキド系とアマニ油系との主要樹脂の違いは認められなかった。

6)E：ウレタンアルキド系 造膜・クリヤータイプ

初期の60度光沢度が85%を超える唯一の高光沢試験体であり、最終的に70%の光沢減少が認められた。試験体A同様、900時間経過後は塗膜割れと剥離による激しい色むらを生じた。

7)F：アマニ油系 含浸・クリヤータイプ

外観、劣化状況・性能面ともに試験体C、Dに酷似している。

8)G：アルキド系 含浸・着色タイプ

かなり着色されている試験体のため含浸タイプでは色差の変化が最も小さかった。含浸タイプとしては初期光沢度が高かったため、試験初期での（150時間）変化が大きかった。最終的には色がかなり薄くなり、白色化してきたが目視による色調の変化は小さく感じられる。撈水度は900時間経過後から低下しはじめた。

9)H：ふっ素樹脂系 造膜・クリヤータイプ

造膜タイプの試験体A・E同様900時間経過後から塗膜割れと剥離による色むらが顕著になった。特に最終1500時間では塗膜が剥落してきたことも特徴の一つである。

2. 6 まとめ

以上の結果から試験体9種類全体の傾向として次のことがいえる。

2.6.1 塗膜外観

造膜タイプでは初期の劣化程度は小さいといえるが、600時間前後から塗膜割れや剥離を生じたいへん見苦しい状態となる。再塗装時における旧塗膜の剥離作業を考えると木製サッシへの安直な適用はできない。含浸・クリヤータイプでは無塗装の素材の劣化に酷似している。目視外観ではアルキド系の含浸・着色タイプが最も自然な劣化に感じられる。

2.6.2 色差

色差変化は含浸タイプよりも造膜タイプ、クリヤーよりも着色塗膜の方が小さい。各試験体ともに初期の変化率が大きい。傾向的に見て、激しく黒変してしまった試験体Bを除き造膜タイプのA・E・H、含浸タイプのC・D・F・Gとにグループ分けするこ

とができる。

2.6.3 明度

造膜タイプでは時間経過とともに徐々に減少してくるが、含浸タイプでは300時間前後で極小値をもち徐々に増加してくる傾向にある。無塗装の試験体Sでも表面劣化による白色化により含浸タイプと同様の傾向を示すことから、含浸タイプでは表面の劣化状況の目安として明度変化が使えるのではないかと考える。

2.6.4 光沢

造膜タイプでは光沢度変化が劣化の指標として一つの基準となり得るが、初期光沢度の低い含浸タイプでは単純には評価できない。含浸タイプの光沢値は、塗装前の素材自身の光沢値（素材の表面粗さに起因するもの）に大きく左右され、木目に対する方向性があり測定値がばらつく。

造膜・含浸どちらのタイプでも高光沢～低光沢までのものを、同じレベルで差や変化率として評価することも意味がない。

2.6.5 撥水度

造膜タイプにおける撥水性は、測定箇所が塗膜割れの少ない試験体中央であるため最終1500時間経過してもほとんど初期性能を維持している結果となっている。

含浸タイプの撥水性能は時間経過とともに徐々に低下するが、外観は無塗装試験品Sとほとんど同じになりながらもSに比べかなり高い値を維持している。最終1500時間でも顔料着色タイプでは撥水効果が認められる。

撥水度の低下は、実際の使用環境下において汚れの付着や浸透による物理的な外観不良が生じ易くなる。また、かびや腐朽菌による生物劣化のダメージも受け易くなる。評価項目としては重要なファクターである。

表1 S：素材（無塗装試験片）

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	73.5	9.7	24.1	6.1	—	—	94.9
150H	64.8	10.5	21.8	—	-0.2	9.5	87.9
300H	67.7	8.4	18.3	—	-1.0	10.3	72.8
600H	77.6	5.5	12.2	—	0.1	12.6	59.9
900H	76.2	5.5	10.8	—	-1.4	10.4	63.4
1,200H	78.6	3.0	7.4	—	1.5	22.2	47.8
1,500H	79.6	2.5	8.9	—	0.1	20.9	43.6

表2 A：アルキド系 造膜・着色タイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	56.5	19.2	41.7	20.7	—	—	99.8
150H	51.5	17.5	34.8	—	-4.5	8.7	99.3
300H	49.4	18.1	33.6	—	-3.6	11.4	99.4
600H	48.7	18.9	30.8	—	-3.7	14.0	100.0
900H	48.6	17.7	28.1	—	-7.0	15.0	100.3
1,200H	46.3	16.7	24.0	—	-8.7	21.1	100.4
1,500H	48.1	13.0	23.3	—	-17.5	24.0	99.8

表3 B：ウレタンアルキド系 含浸・着色タイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	54.9	26.4	47.0	25.6	—	—	99.3
150H	49.3	21.5	29.3	—	-2.3	18.9	99.9
300H	46.9	24.4	36.9	—	-2.1	16.8	99.5
600H	38.4	18.4	21.0	—	-19.7	35.2	99.5
900H	37.8	11.2	14.5	—	-20.8	40.4	99.3
1,200H	33.4	8.8	16.3	—	-24.1	44.3	98.2
1,500H	33.1	8.5	16.9	—	-27.8	41.7	96.2

表4 C：アルキド系 含浸・クリアータイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	65.2	14.3	33.3	7.3	-	-	99.8
150H	55.3	14.3	27.0	-	-2.0	13.0	98.9
300H	61.4	9.1	19.1	-	-2.0	15.1	95.9
600H	69.2	6.0	12.2	-	-2.4	22.6	84.9
900H	67.5	6.8	13.6	-	-3.0	22.2	74.4
1,200H	77.0	2.9	8.5	-	-1.0	26.9	70.3
1,500H	79.2	2.8	6.5	-	-1.8	29.3	50.7

表5 D：アマニ油系 含浸・クリアータイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	69.4	14.1	31.5	7.3	-	-	99.4
150H	58.1	11.6	23.0	-	-1.7	12.0	98.1
300H	62.1	8.4	16.9	-	-1.0	15.9	95.5
600H	68.7	6.5	12.4	-	-0.6	21.0	82.8
900H	68.6	6.3	11.0	-	-0.1	22.8	69.2
1,200H	77.1	3.6	7.5	-	-0.7	26.2	67.5
1,500H	76.7	3.2	6.1	-	-2.7	27.4	29.6

表6 E：ウレタンアルキド系 造膜・クリアータイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	64.5	13.9	37.4	87.1	-	-	97.9
150H	57.0	13.3	34.7	-	-2.6	9.6	99.0
300H	54.4	13.6	37.5	-	-5.4	9.7	99.6
600H	54.6	14.9	36.1	-	-28.5	9.7	100.0
900H	53.5	16.0	33.9	-	-53.8	11.6	99.7
1,200H	50.7	16.5	31.2	-	-57.9	18.2	99.7
1,500H	61.3	9.5	29.6	-	-70.0	9.9	93.7

表7 F：アマニ油系 含浸・クリアタイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	65.2	14.7	32.7	7.6	-	-	99.2
150H	57.8	12.2	25.3	-	-2.2	11.3	99.1
300H	61.4	9.3	20.2	-	-1.1	14.9	97.4
600H	70.7	5.3	12.8	-	-1.1	23.5	88.0
900H	70.8	5.3	11.4	-	-1.9	25.9	73.9
1,200H	80.0	2.1	8.2	-	-1.5	28.1	69.0
1,500H	76.5	3.6	7.3	-	-1.4	28.2	41.1

表8 G：アルキド系 含浸・着色タイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	52.1	21.1	34.7	20.9	-	-	99.3
150H	45.0	19.5	27.0	-	-12.6	11.4	99.7
300H	43.7	18.6	24.1	-	-12.1	13.1	99.7
600H	46.5	16.3	23.9	-	-17.2	12.5	97.3
900H	48.1	14.1	23.1	-	-17.0	12.9	91.1
1,200H	47.3	12.9	21.7	-	-17.4	18.3	84.3
1,500H	50.8	12.0	22.2	-	-16.8	14.7	67.8

表9 H：ふっ素樹脂系 造膜・クリアタイプ

促進耐候試験 (時間)	L*	a*	b*	初期光沢度 G _s (60°)	光沢度変化 ΔG _s (60°)	色差 (ΔE*)	撥水度
0H(コントロール)	69.1	9.9	29.5	35.7	-	-	99.4
150H	57.9	13.9	32.2	-	-5.3	12.2	100.0
300H	57.8	13.4	32.1	-	-5.6	12.1	100.0
600H	56.2	14.9	32.7	-	-7.1	14.2	99.9
900H	54.9	16.5	33.4	-	-8.2	16.1	100.1
1,200H	50.4	15.7	31.7	-	-10.5	19.7	99.2
1,500H	49.7	16.1	31.9	-	-12.0	20.5	98.9

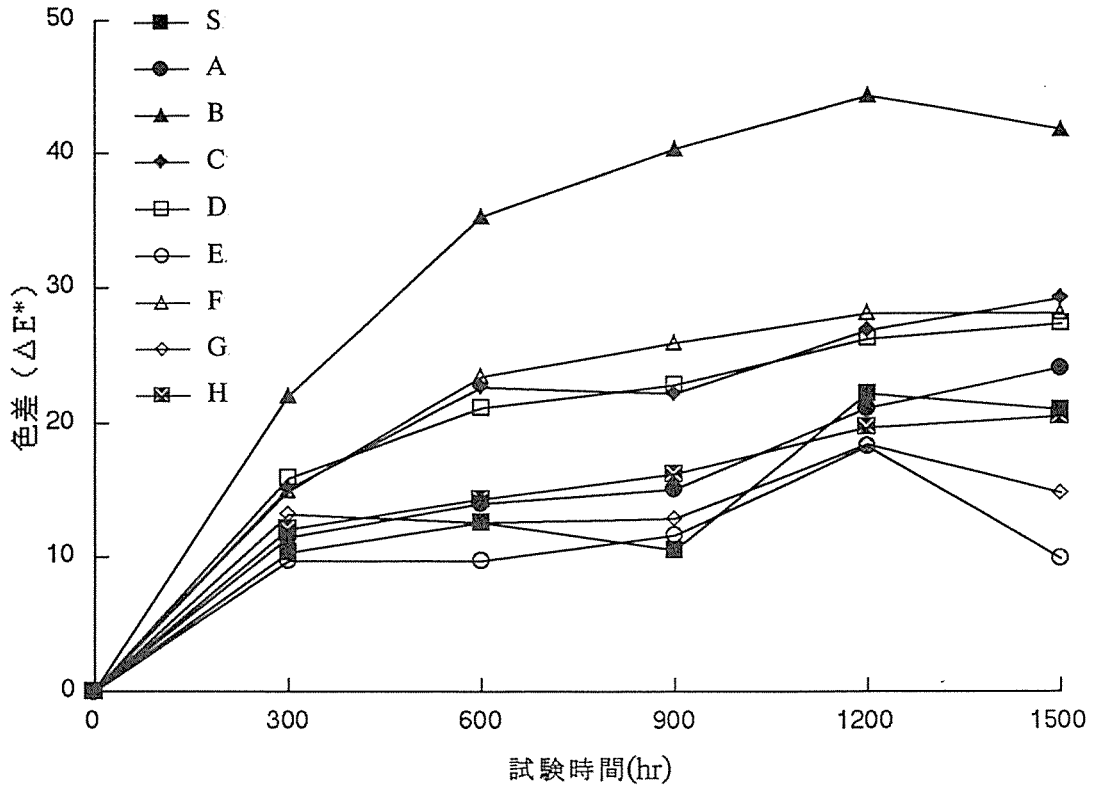


図1 促進耐候試験による色差

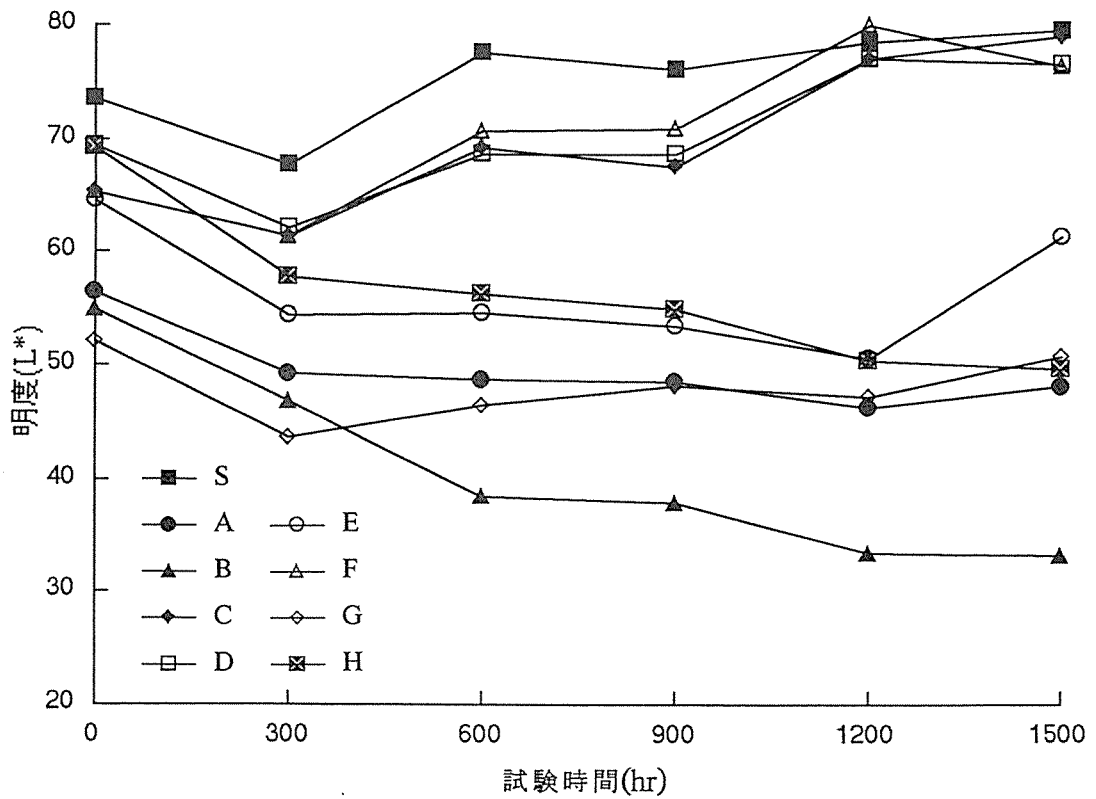


図2 促進耐候試験による明度変化

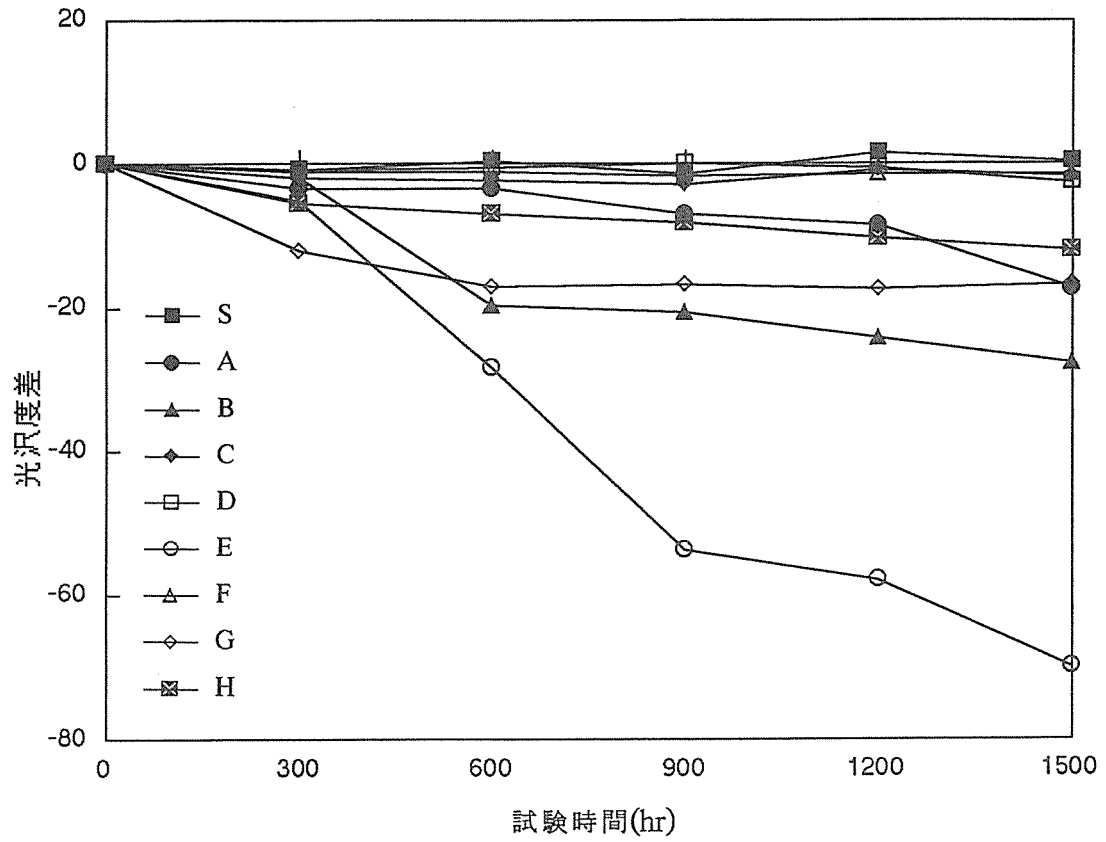


図3 促進耐候試験による光沢度差

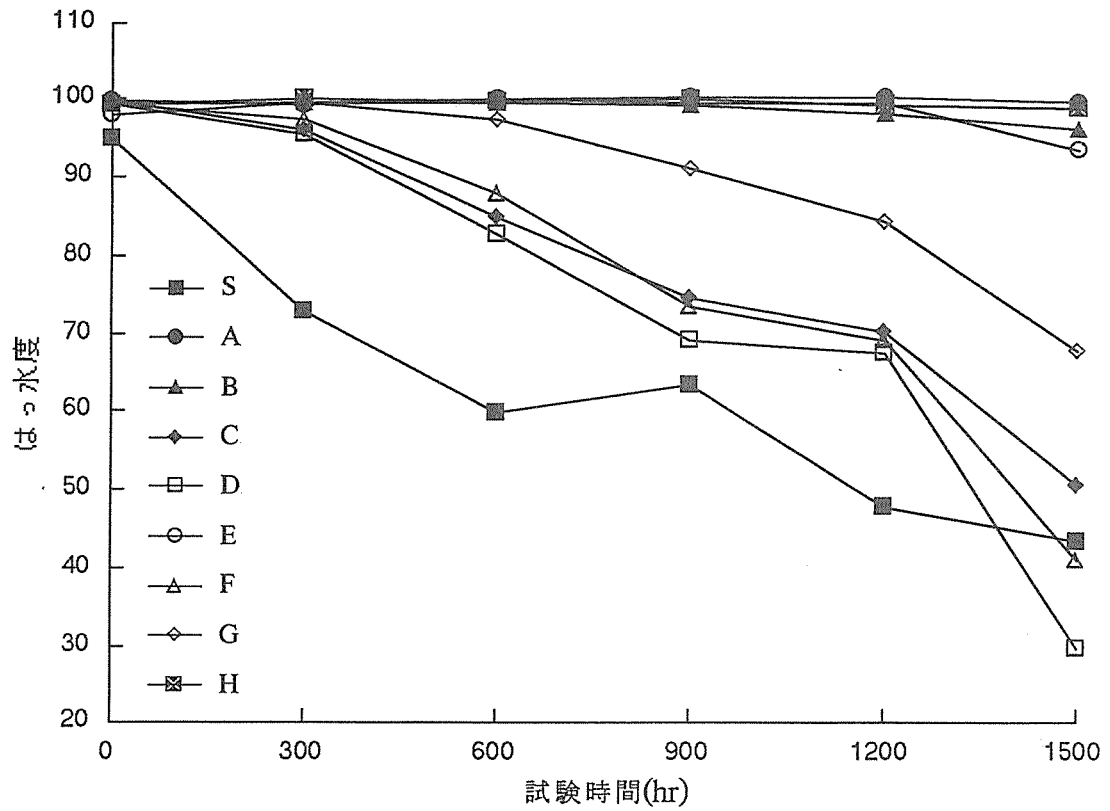


図4 促進耐候試験によるはっ水度変化

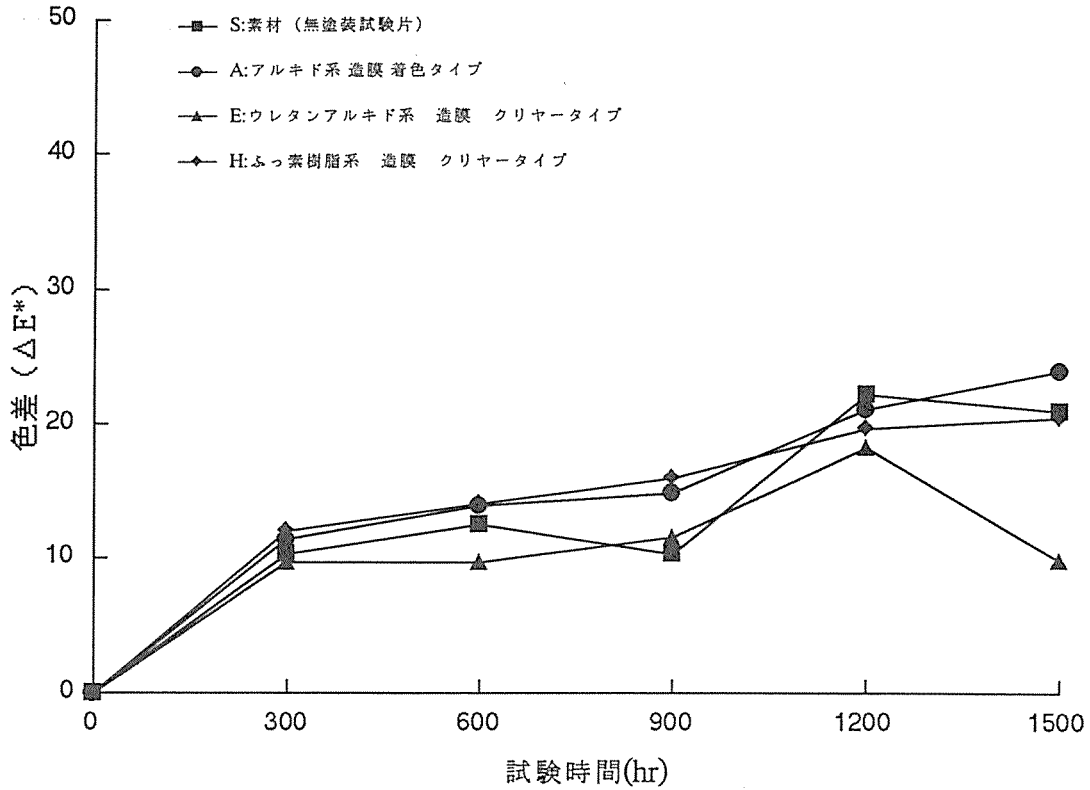


図5 促進耐候試験による色差 (造膜タイプ)

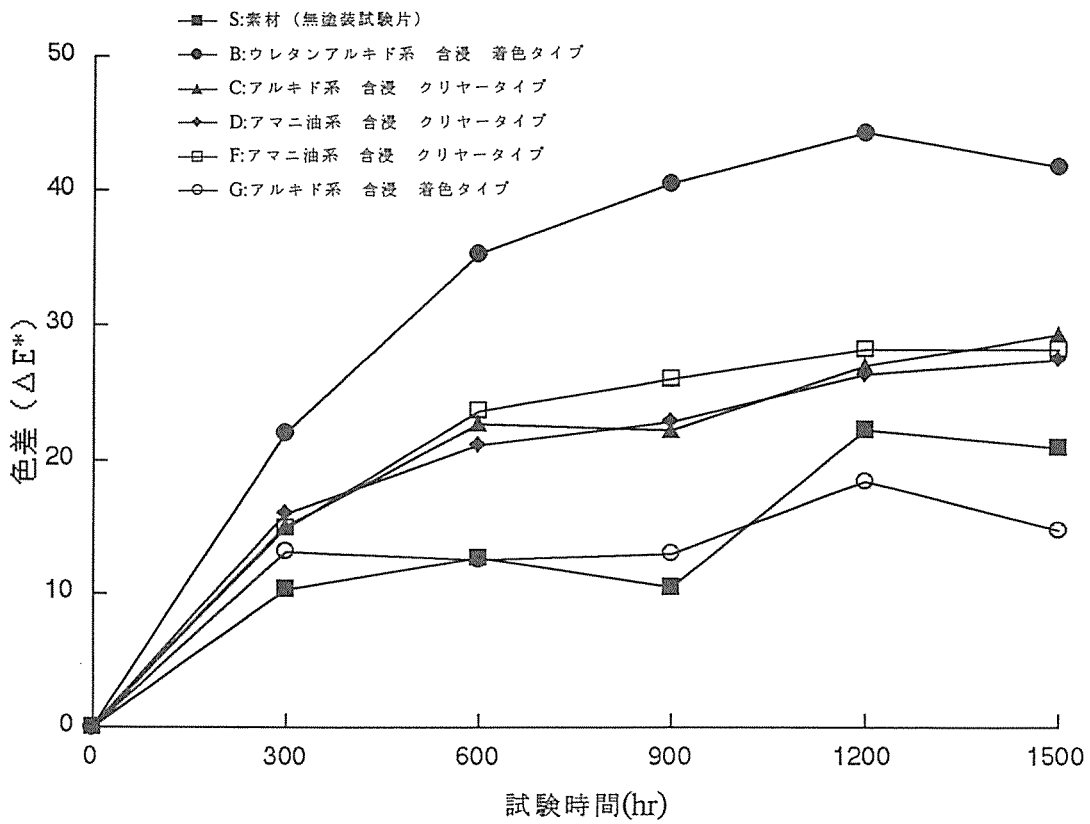


図6 促進耐候試験による色差 (含浸タイプ)

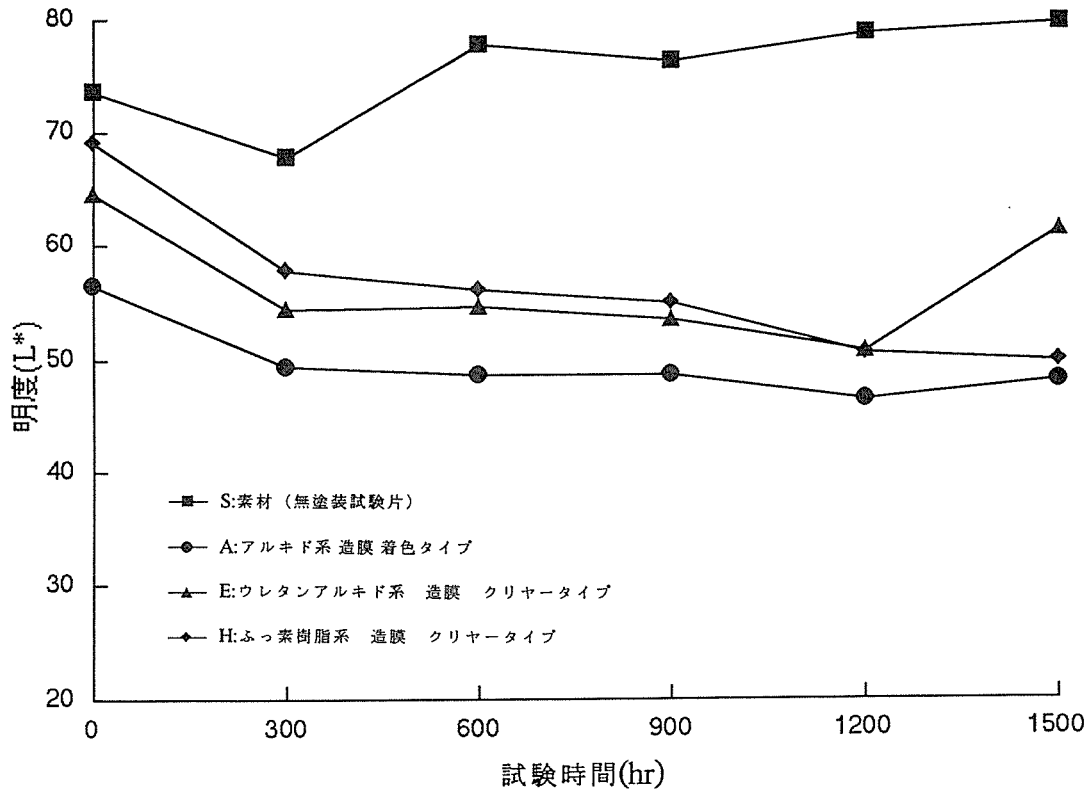


図7 促進耐候試験による明度変化
(造膜タイプ)

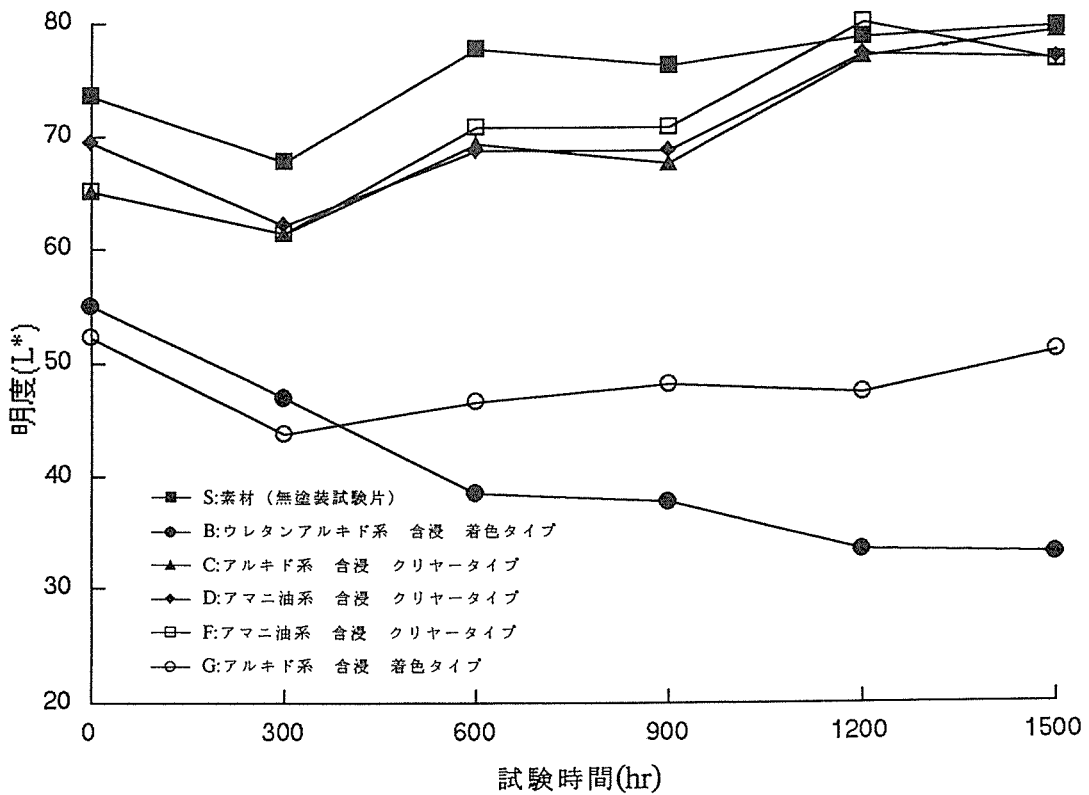


図8 促進耐候試験による明度変化
(含浸タイプ)

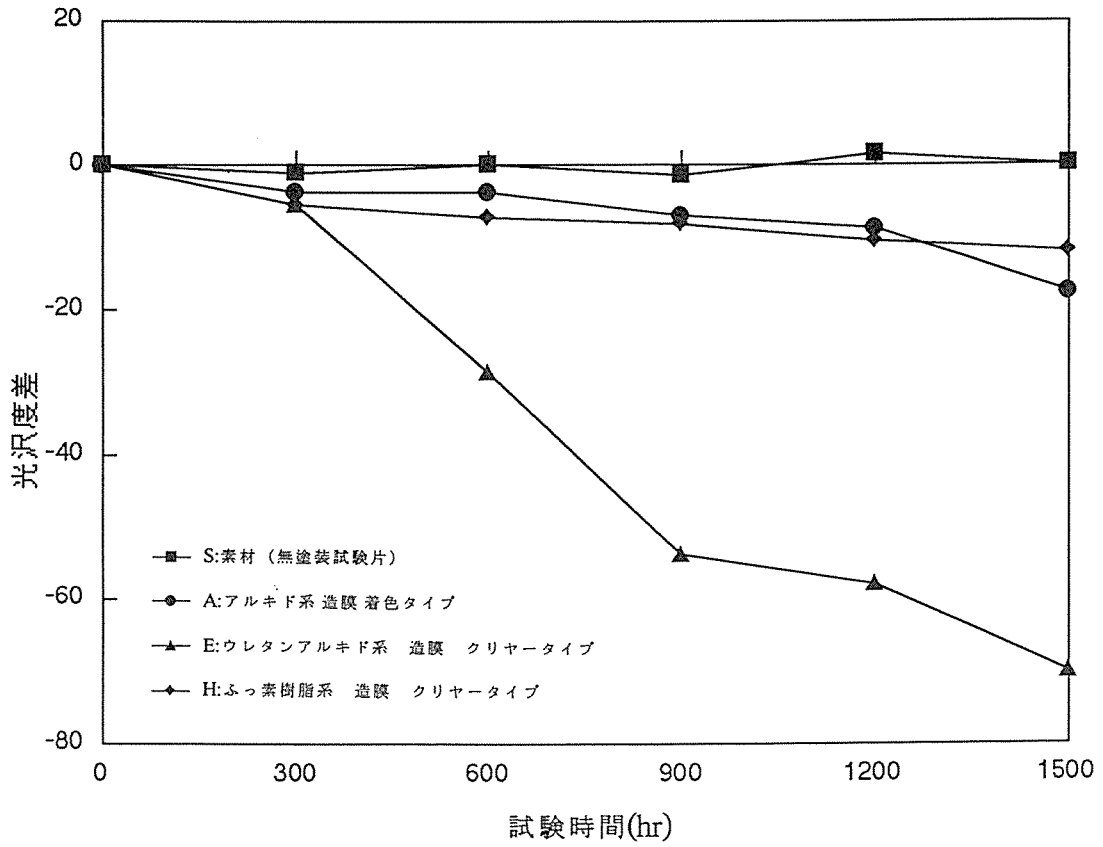


図9 促進耐候試験による光沢度差 (造膜タイプ)

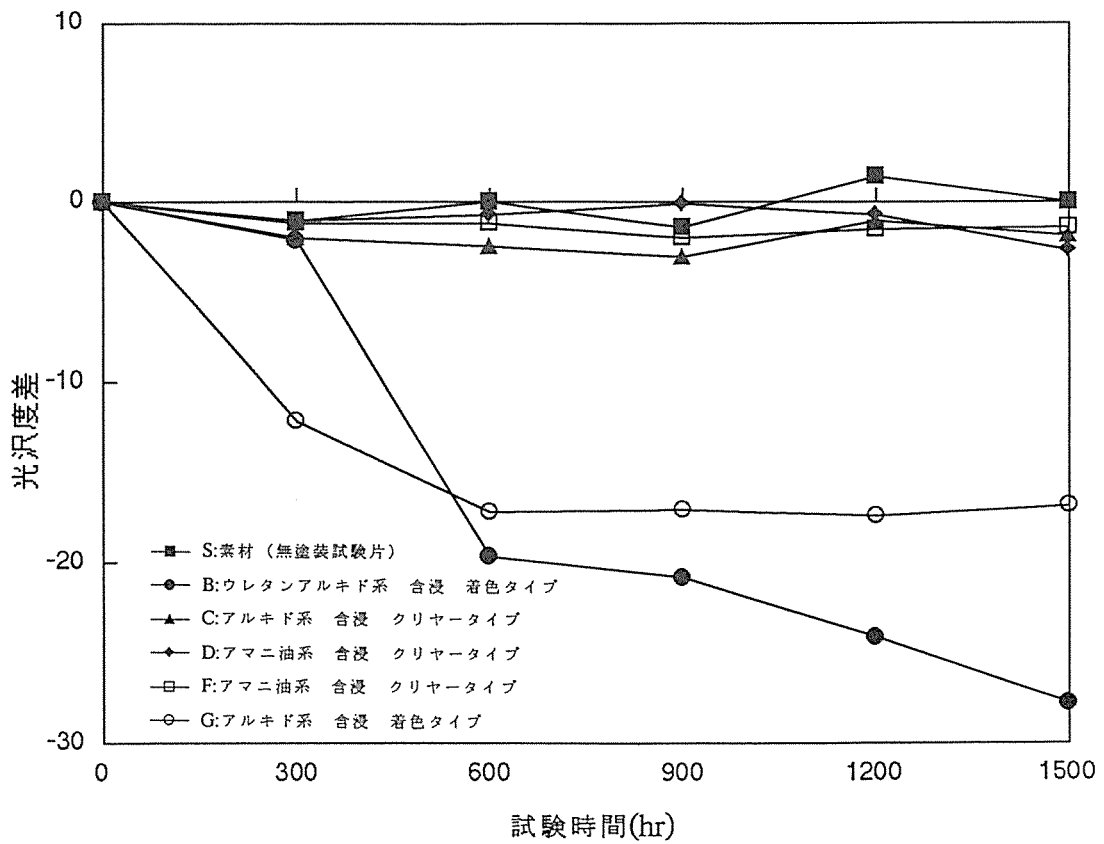


図10 促進耐候試験による光沢度差 (含浸タイプ)

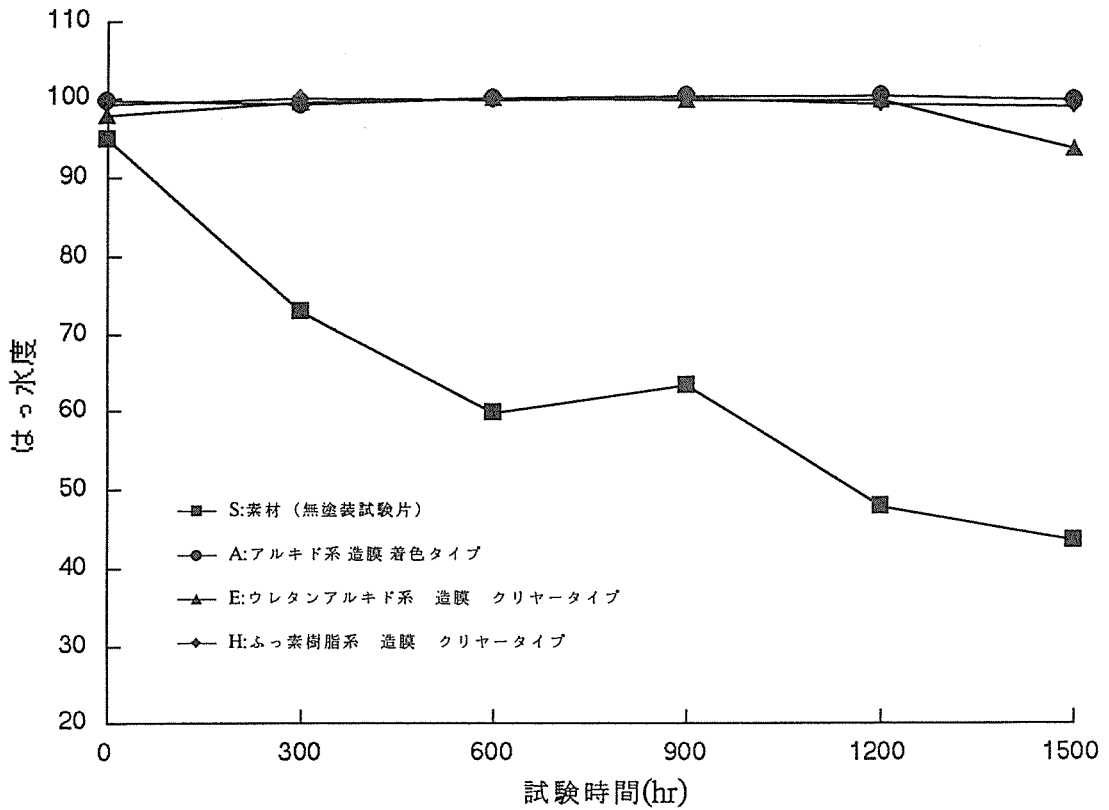


図 1 1 促進耐候試験によるはっ水度差 (造膜タイプ)

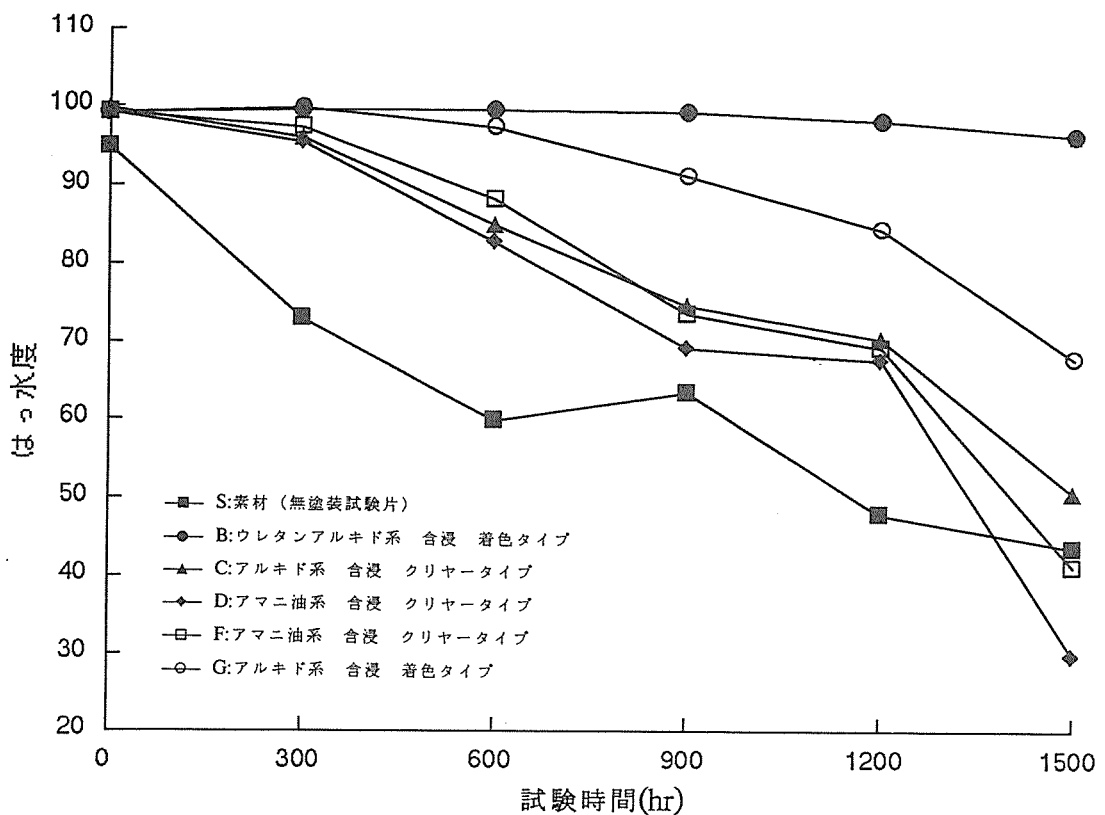


図 1 2 促進耐候試験によるはっ水度変化 (含浸タイプ)

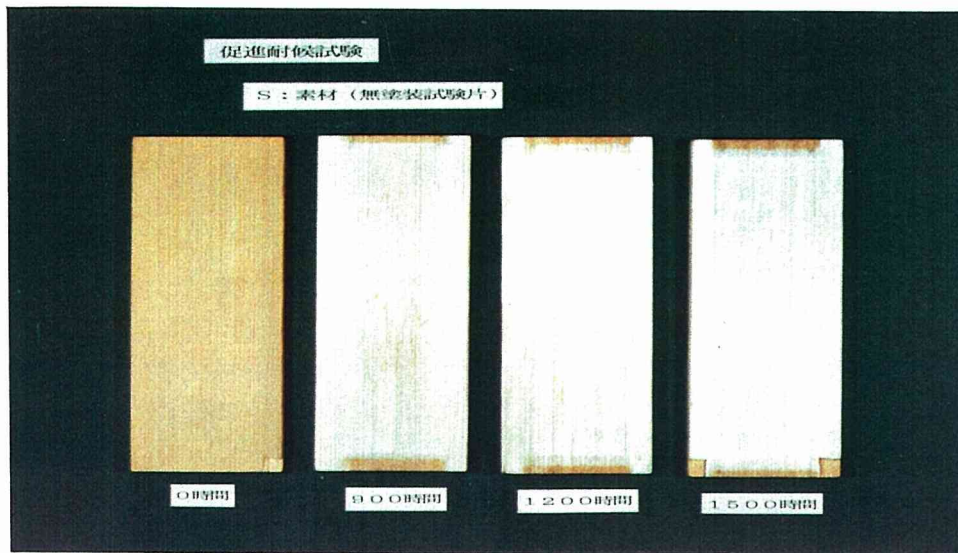


写真1 促進耐候試験結果 S : 素材 (無塗装試験片)

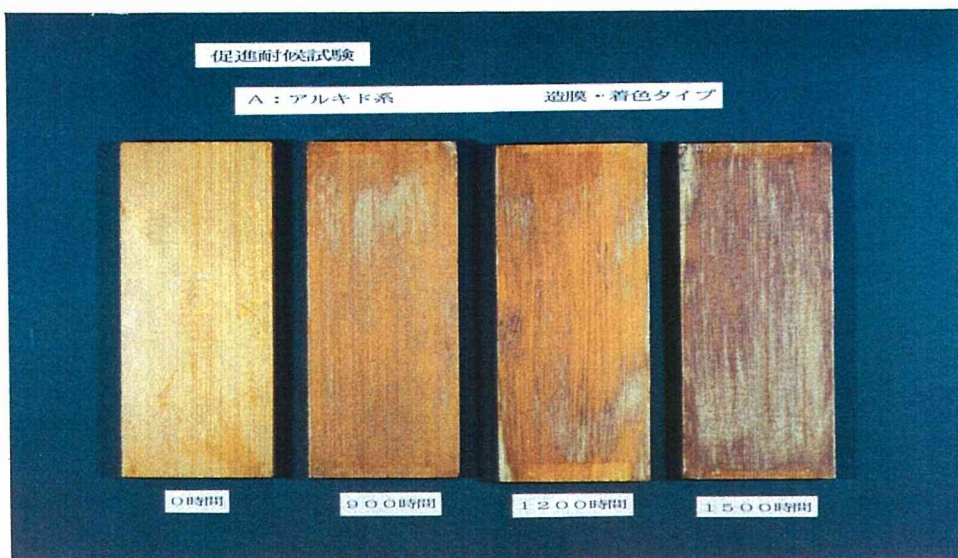


写真2 促進耐候試験結果 A : アルキド系 造膜・着色タイプ

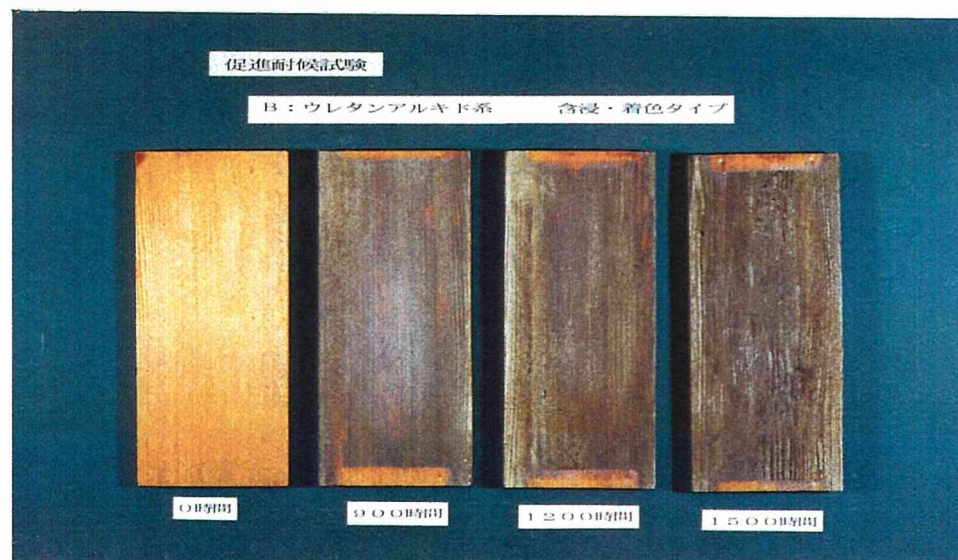


写真3 促進耐候試験結果 B : ウレタンアルキド系 含浸・着色タイプ

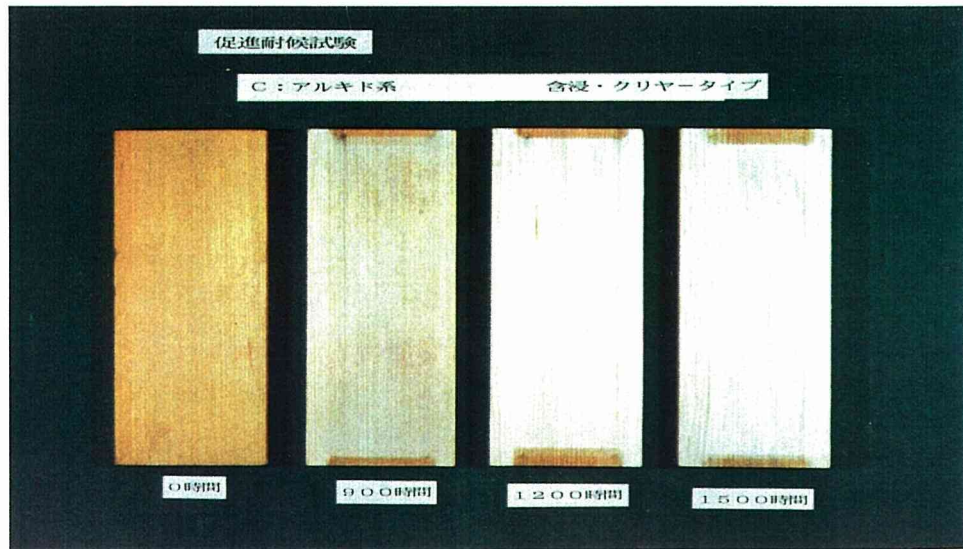


写真4 促進耐候試験結果 C : アルキド系 含浸・クリアータイプ

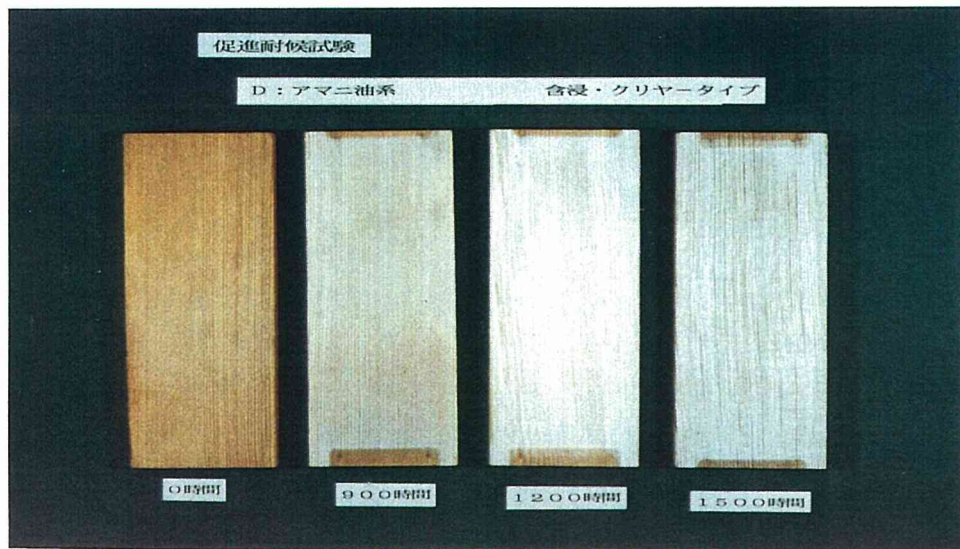


写真5 促進耐候試験結果 D : アマニ油系 含浸・クリアータイプ

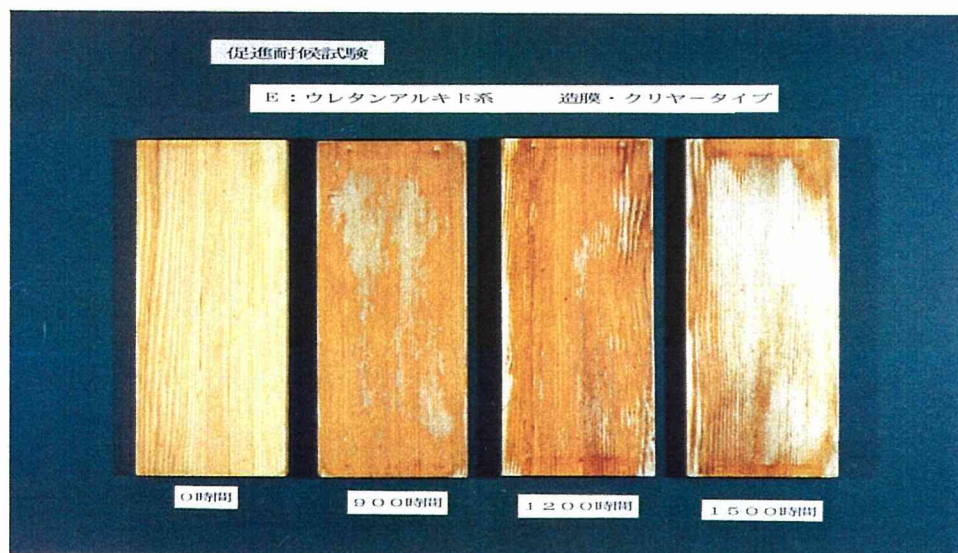


写真6 促進耐候試験結果 E : ウレタンアルキド系 造膜・クリアータイプ

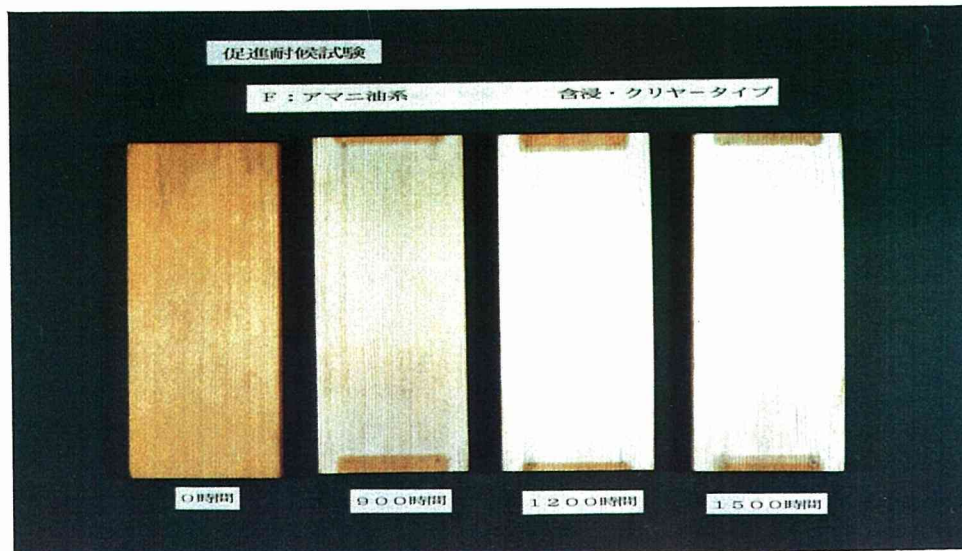


写真7 促進耐候試験結果 F: アマニ油系 含浸・クリアータイプ

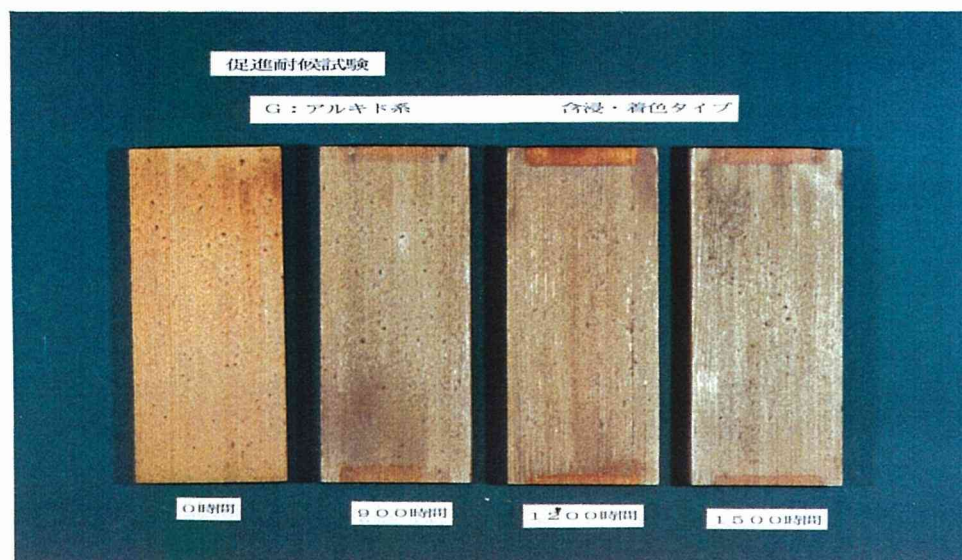


写真8 促進耐候試験結果 G: アルキド系 含浸・着色タイプ

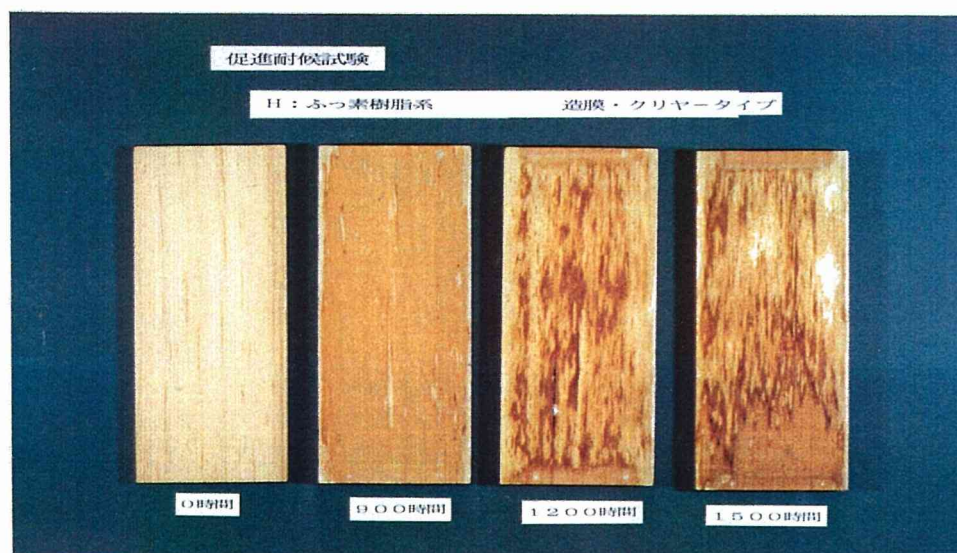


写真9 促進耐候試験結果 H: ふっ素樹脂系 造膜・クリアータイプ

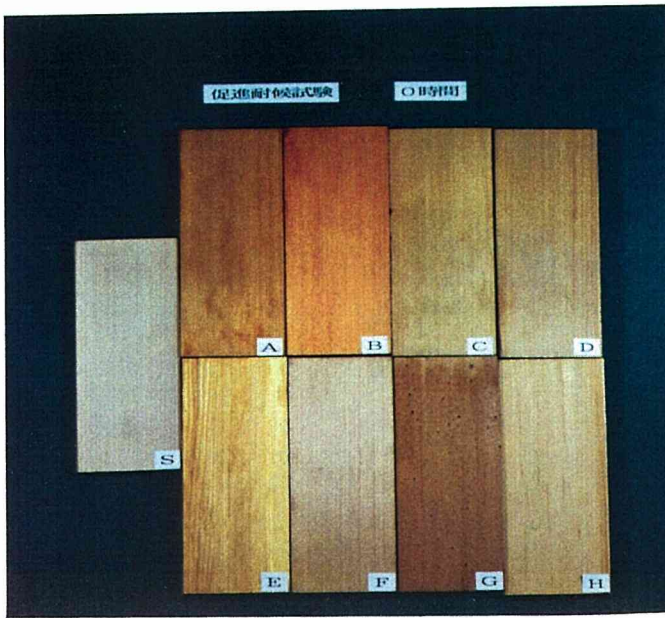


写真10 各種木材保護塗料塗装後外觀

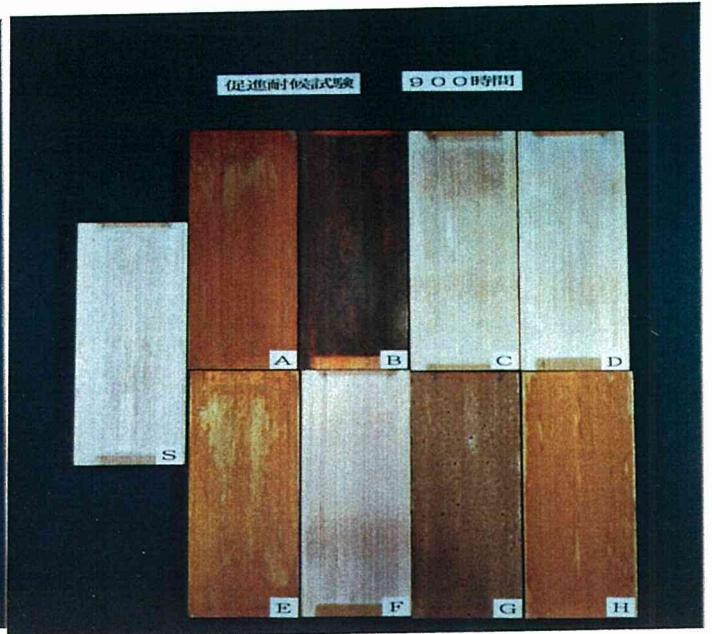


写真11 各種木材保護塗料外觀
促進耐候試験 900時間後

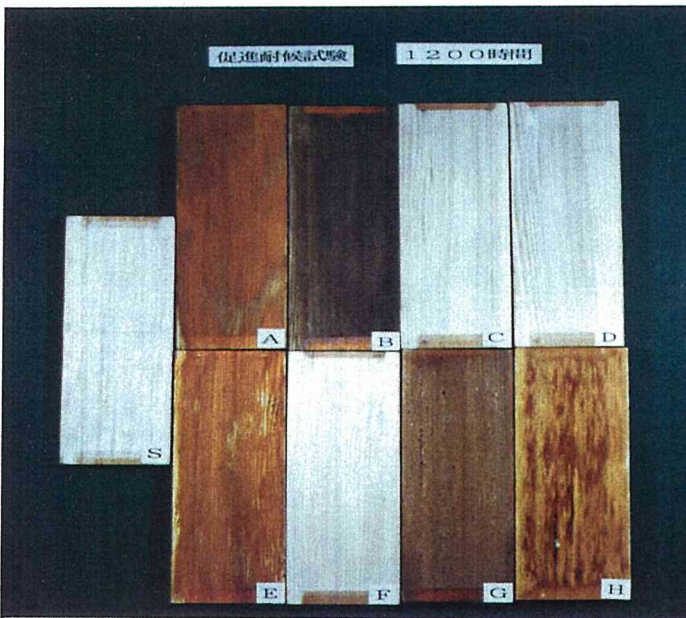


写真12 各種木材保護塗料外觀
促進耐候試験 1200時間後

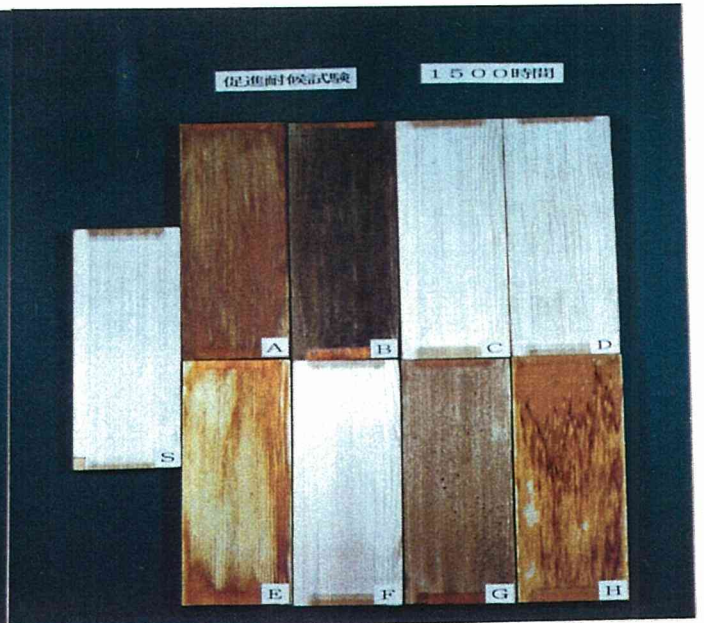


写真13 各種木材保護塗料外觀
促進耐候試験 1500時間後

3. 屋外暴露試験

3. 1 暴露試験法

(1) 暴露方法

暴露試験は、茨城県つくば市にある森林総合研究所第2樹木園内屋外暴露試験場に昨年1月26日より南面45度の傾斜暴露を開始し、1年間の屋外暴露試験を行った。試験体は、ベイマツ試験片(寸法: 70(R)×300(L)×10(T)mm)に顔料を含まないか、あるいは少量含む無色から半透明の8種類の木材保護塗料をはけぬりしたものである。記号番号は、促進暴露試験と同様である。

(2) 気象環境

表1に、1991年11月から1992年10月までの1年間の暴露地点近郊(館野高層気象台)の気象観測データを示す。これによると、平均気温は13.6℃、年最高気温36.9℃、最低気温-7.1℃であり、年較差は44.0℃であった。今年度の特徴としては、7、8、9月の夏季における降水量が少なく、劣化環境としては例年と比べて穏和であったと考えられる。図1から3に月別の平均気温、日射量、降水量を比較として旭川(北海道)および名護(沖縄)のデータと共に示す。気温は、北海道と沖縄の間であり、日射量は盛夏を除くと多いといえる。降水量は、春季および10月に多く、夏季は少なかった。図4は、この期間における平均気温、日射量、降水量を累積グラフで示したものである。日射量は、1月から10月まではほぼ一定であるが、気温は夏季が高くなるのでS字曲線を描く。降水量は、夏季が少なかったため夏季の直線の傾きが緩やかになっている。屋外ではこれらの気象要素が複合化しているので、これら3つの要素を総合した累積曲線を求めると、3月から10月までほぼ傾きが一定の直線となり、この期間において木材の劣化が促進されると考えられる。

(3) 劣化状態の評価

試験体の劣化状態の評価は、前年と同様に塗装材表面の塗膜割れあるいは基材割れ、塗膜剥離、表面汚染をマス目試験により測定し、これらを総合して塗装面劣化割合を計算した。また、はっ水性も昨年と同様に水滴の基材中への浸透量からはっ水度を算出した。表面の色調の変化は、色彩色差計によりL*, a*, b*表色系により表し、暴露前の色調との差である色差 ΔE を算出した。光沢も、入射角60度における光沢値Gr(60)を測定し、暴露前との差を計算した。これらは、暴露3ヶ月ごとに経時的に測定し、はっ水度、色差、光沢については試験体の中央部を測定した。

3. 2 屋外暴露12ヶ月までの試験結果

(1) 塗装面劣化

図5-1(造膜型)、2(含浸型)に保護塗料の違いによる屋外暴露12ヶ月までの塗

装面欠陥の経時変化を示す。タイプ別では、造膜型塗料の方が塗装面欠陥は少ない傾向を示す。その中でも、フッ素系とウレタンアルキド系のものが比較的良い値を示した。造膜タイプの塗装面欠陥は、試験体端部からの剥離あるいは塗膜割れであり、剥離部分や割れ部分はカビと思われる黒色の汚染が発生した。塗膜の下は微生物の格好の住処となるので、造膜タイプの場合は塗膜割れや塗膜剥離が塗装面の20%程度以上となった場合を再塗装の目安とすべきである。含浸タイプは、暴露9ヶ月までに全面が変色による塗装面欠陥が発生した。含浸タイプの場合の劣化は、顔料の離脱とカビと思われる微生物による表面汚染と基材割れであった。

(2) はっ水性

図6-1(造膜型)、2(含浸型)に、保護塗料別の屋外暴露12ヶ月までのはっ水度の経時変化を示す。はっ水度の場合も、造膜タイプでは試験体中央部でははっ水性の低下はほとんど無かった。しかし、試験体端部の塗膜剥離部分では、はっ水性の低下が予想される。含浸タイプでは、はっ水性は5%から40%程度の低下があったが、一部を除いてコントロールである無塗装試験体より高いはっ水性を保っていた。アマニ油系では、暴露により塗装面が無処理と同様の変色を示したが、はっ水性は保持していることがわかる。

(3) 色差と光沢

保護塗料ごとの色差および光沢の屋外暴露12ヶ月までの経時変化を、図7-1(造膜型)、2(含浸型)および図8-1(造膜型)、2(含浸型)に示す。図7は色差であるが、造膜型は含浸型より色差は小さい傾向を示した。これは、塗膜により塗料成分の試験体からの溶脱が少ないことや木材表面の水分や紫外線からの保護の結果と考えられる。しかし、測定部が試験体中央部であるため、塗膜割れや塗膜剥離が発生している試験体端部では大きな色差変化を生じており、更にこれらは一様に劣化していないため逆に汚染が目立ってしまう傾向が認められた。含浸タイプの場合は、塗料の離脱による変色のため色差は大きくなる。特に、顔料が含まれている半透明性塗料での色差は特に大きくなっている。

図8の光沢をみると、造膜タイプは初期の光沢値は高いが、フッ素系を除いて屋外暴露により大幅な光沢の低下を示した。含浸タイプでは、塗料が木材中に浸透して塗膜を形成しないため初期の光沢値が低く、暴露による光沢の変化は小さかった。

(4) 総合評価

木製サッシに使用される木材保護塗料の12ヶ月間の屋外暴露試験を行った。ここで注意すべき点は、現在行っている試験が保護塗料の基礎的性能を把握するものであり、特に防腐剤、防虫剤、防カビ剤などの性能や展色剤の性能を試験することを主目的としている。顔料は種類が非常に多く、塗料の色調を統一することが困難なため、供試した塗料は顔料を含んでいないクリアタイプかあるいは含んでいても少量の半透明性タイプのものを用

いた。しかし、実際に使用されている保護塗料は顔料により木材及び塗料に含まれる防腐、防虫、防カビ剤等の成分の耐候性をも高めており、今回の結果が直に市販されている顔料含有タイプの保護塗料にあてはまるとはいえないことに注意すべきである。

造膜タイプと含浸タイプとでは、色差、光沢、はっ水度、塗装面欠陥の全てにおいて造膜タイプの方が優れた結果となった。これは、塗膜により紫外線や水分からの直接の劣化を防ぐことが、木材基材および塗料成分の耐候性を向上させた結果と考えられる。しかし、造膜タイプの全ての試験体において、暴露12ヶ月後には50%以上の塗膜剥離や塗膜割れが発生した。これらは試験体の端部から発生するため、暴露12ヶ月では測定部である試験体中央部はほとんど劣化しておらず、これらの影響は色差やはっ水性等の値としては現れていない。一方、塗膜割れや塗膜剥離が生じた箇所はカビによる汚染などの劣化が一層目立つため、造膜タイプの塗料の場合は耐候性の評価を塗装面欠陥により行うことが望ましいと考えられる。また、造膜タイプの塗料は、再塗装の際に重ね塗りができないことを注意すべきである。

含浸タイプは、顔料が含まれていないこともあって変色を中心とした塗膜面汚染が目立つが、高いはっ水性を保持している。また、カビの発生が暴露初期に生じたことから、防カビ剤の耐候性が非常に低いことが問題である。含浸タイプは、塗装した場合に木材の変色が大きくなるが、変色は一様に起こり、また再塗装には重ね塗りができるという特徴は評価すべきである。含浸タイプの再塗装の目安を標準化する必要があるかもしれない。

3. 3 促進耐候試験（ウェザーメータ試験）と屋外暴露試験との関係

塗装した木材について、実際の屋外暴露試験と促進暴露試験との耐候性についての相関性が他材料に比べて著しく低いことが問題とされている。木材保護塗料においては、両試験の結果の間にどのような違いがあるかを45度傾斜屋外暴露試験12ヶ月間と、サンシャインカーボンウェザーメータによる1200時間の促進試験との結果を比較した。

(1) はっ水性

図9-1, 2, 3に保護塗料ごとの促進試験と屋外暴露試験におけるはっ水度の経時変化を示す。屋外暴露試験12ヶ月と促進試験1200時間とを比較すると、屋外暴露による方がはっ水度の低下が大きい塗料としては、B, C, G、促進試験の方が低下が大きいのはD, F及びコントロールのSであり、差が殆どないのはA, E, Hであった。すなわち、含浸型のアルキド系塗料は屋外暴露によるはっ水度の低下が大きく、アマニ油系塗料は促進試験による方が低下が大きかった。造膜タイプは試験による大きな差はなかったことがいえる。

(2)色調

図10-1, 2, 3に保護塗料ごとの促進試験と屋外暴露試験における色差の経時変化を示す。色差測定では、測定に使用した装置が異なるため両試験についての厳密な差異は議論できないが、傾向として屋外暴露の方が色差が大きくなるものとして含浸タイプのC, D, F, G, Sであった。また、Bを除き造膜タイプである塗料A, B, E, Hでは試験の間に大きな差はないが、全体に屋外暴露試験の方が色差は大きくなる傾向が認められる。これは、屋外ではカビなどの生物劣化を受けることやゴミ等の汚染物質が木材表面に付着するためと思われる。また、促進試験において、試験時間900時間後に色差が大きくなる傾向が認められた。これは、紫外線により分解され低分子化したリグニンが木材表面から脱離して耐紫外線性の高いセルロースが木材表面にリッチになるため一旦木材表面が白色化するが、促進試験900時間以降から表面のセルロース鎖が水のスプレーにより脱離し、下の新しい木材組織が露出してきた結果と考えられる。

図11-1, 2, 3に促進試験と屋外暴露試験における明度(L*値)の経時変化を示す。試験と共に明度が増加するものは、含浸タイプのC, D, F, G, Sの促進試験においてであり、屋外暴露試験及び造膜タイプの促進試験では逆に明度は低下する傾向を示した。促進試験による明度の増加は、木材表面のリグニンの溶脱とセルロースの露出によるためである。屋外暴露の場合は生物劣化による汚染が考えられ、また造膜タイプは紫外線による木材成分の変色のため明度が低下すると考えられる。

図12-1, 2, 3に促進試験と屋外暴露試験における赤(+)/緑(-)系色調(a*値)の経時変化を示す。a*値が試験時間と共に増加する傾向を示したのは、造膜タイプのA, E, Hにおける促進試験についてであり、他は試験と共に低下する傾向を示した。

図13-1, 2, 3に促進試験と屋外暴露試験における黄(+)/青(-)系色調(b*値)の経時変化を示す。造膜タイプのEとHは両試験においてb*値に大きな変化は無かったが、その他の塗料では両試験において試験時間と共にb*値は低下する傾向を示した。また、屋外暴露試験の方がb*の低下は大きい傾向が認められた。

(4)光沢

図14-1, 2, 3に保護塗料ごとの促進試験と屋外暴露試験における光沢値の経時変化を示す。色差測定と同様に測定に用いた光沢計も試験により異なるので、厳密な値の比較はできない。しかし、両試験ともに試験時間により光沢値は低下する傾向を示し、低下の程度も試験間に大きな差はなかった。

(5)総合評価

つくばにおける南面45度傾斜屋外暴露試験12ヶ月間とサンシャインカーボンウェザオメータによる促進試験1200時間との木材保護塗料についての相関性を検討した結果、1ヶ月の屋外暴露は促進試験の約100時間に相当し、特に造膜タイプの塗料において相

関性が高かった。はっ水度においては、若干屋外暴露による低下が大きかったがほぼ同様の傾向を示した。色差も傾向としては同様であったが、各色調要素である L^* 、 a^* 、 b^* では大きく異なり、促進試験では明度が増加する傾向が認められた。このため、特に含浸タイプの塗料については肉眼で観察した結果と比較すると色差や色調の相関性は低いと考えられる。

表1. 暴露地付近の気象庁気象データ(1991. 11-1992. 10)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
平均気温 (°C)	3.4	3.8	7.9	13.2	15.2	18.5	23.6	25.2	21.0	15.2	9.8	5.9	13.6
最高気温 (°C)	15.9	18.1	21.7	25.4	27.1	28.2	34.7	33.0	36.9	27.0	20.8	18.0	36.9
最低気温 (°C)	-7.1	-5.6	-4.5	0.4	2.5	10.3	16.2	18.3	5.0	3.7	-2.6	-4.1	-7.1
日射量 (MJ/m ²)	9.1	12.2	11.0	15.8	16.5	15.3	16.3	17.3	15.4	9.6	8.9	7.3	12.9
日照時間 (時間)	195.9	183.0	118.5	173.8	151.4	114.9	145.5	177.9	183.5	122.7	154.9	160.3	1727.4
降水量 (mm)	39.0	19.5	169.5	181.0	111.0	143.5	65.5	54.0	76.5	239.5	97.0	35.5	1231.5

気象データは、茨城県つくば市 館野高層気象台のもの。

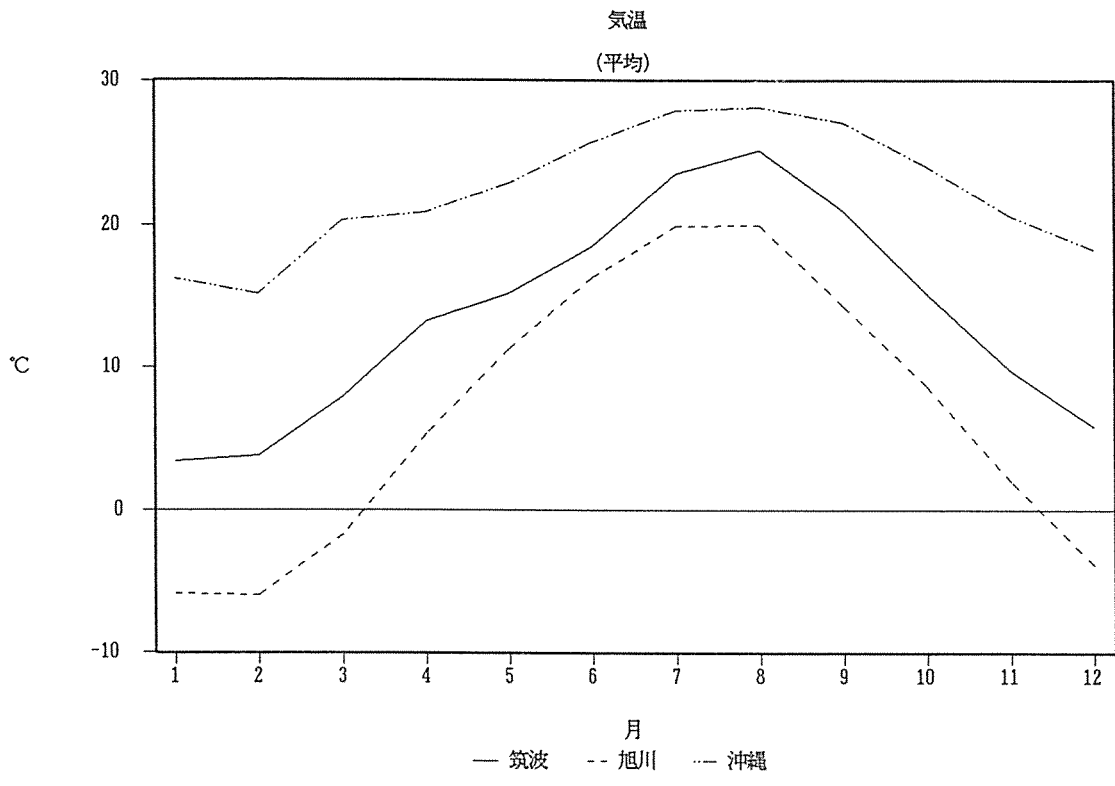


図 1 . 月別平均気温 (1991. 11-1992. 10)

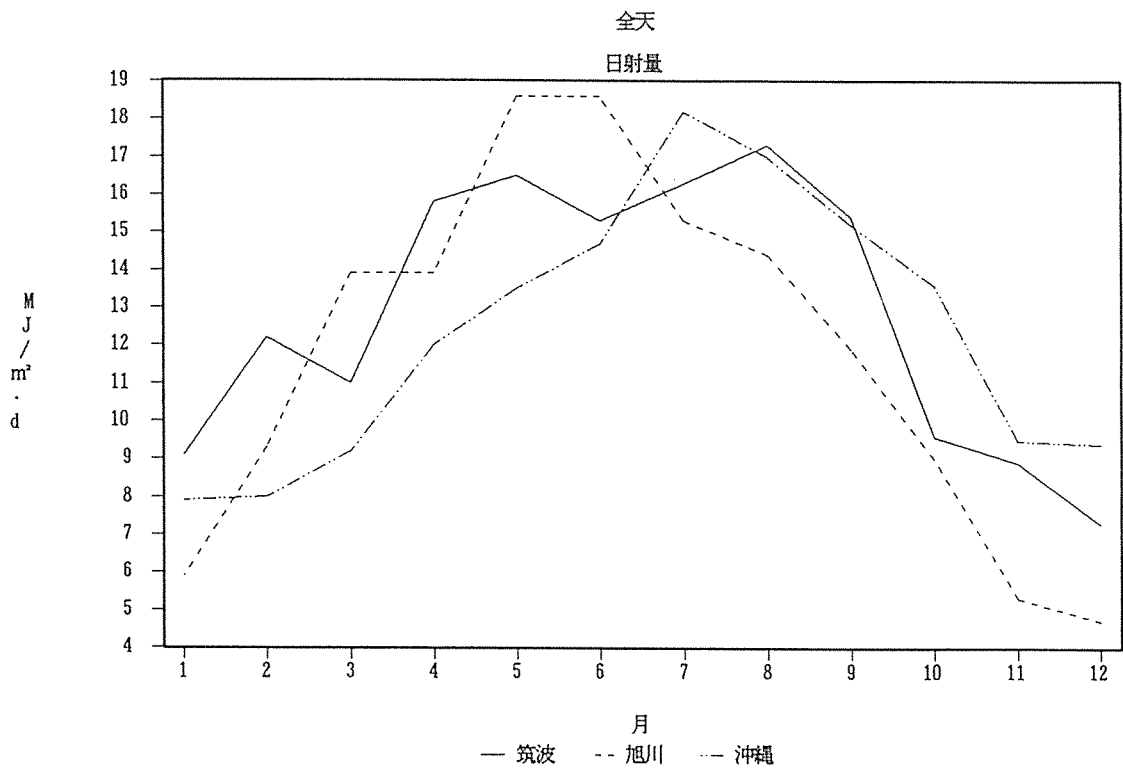


図 2 . 月別平均日射量 (1991. 11-1992. 10)

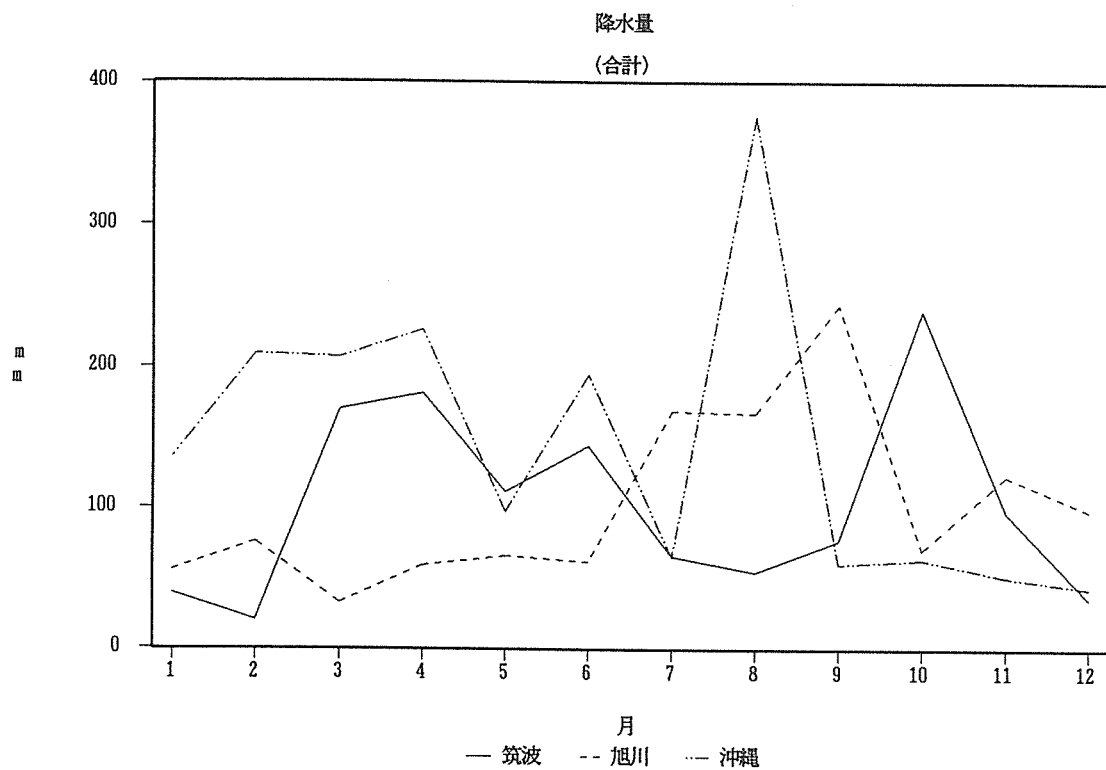


図3. 月別降水量 (1991.11-1992.10)

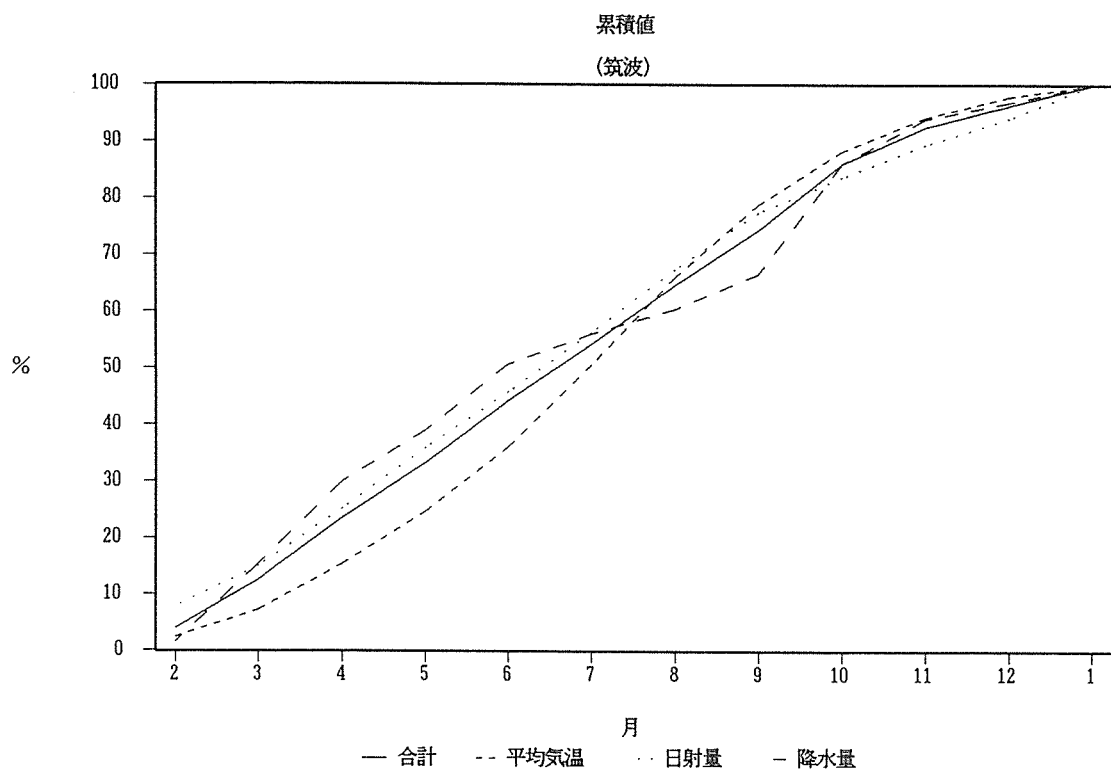


図4. 平均気温, 日射量, 降水量の累積グラフ

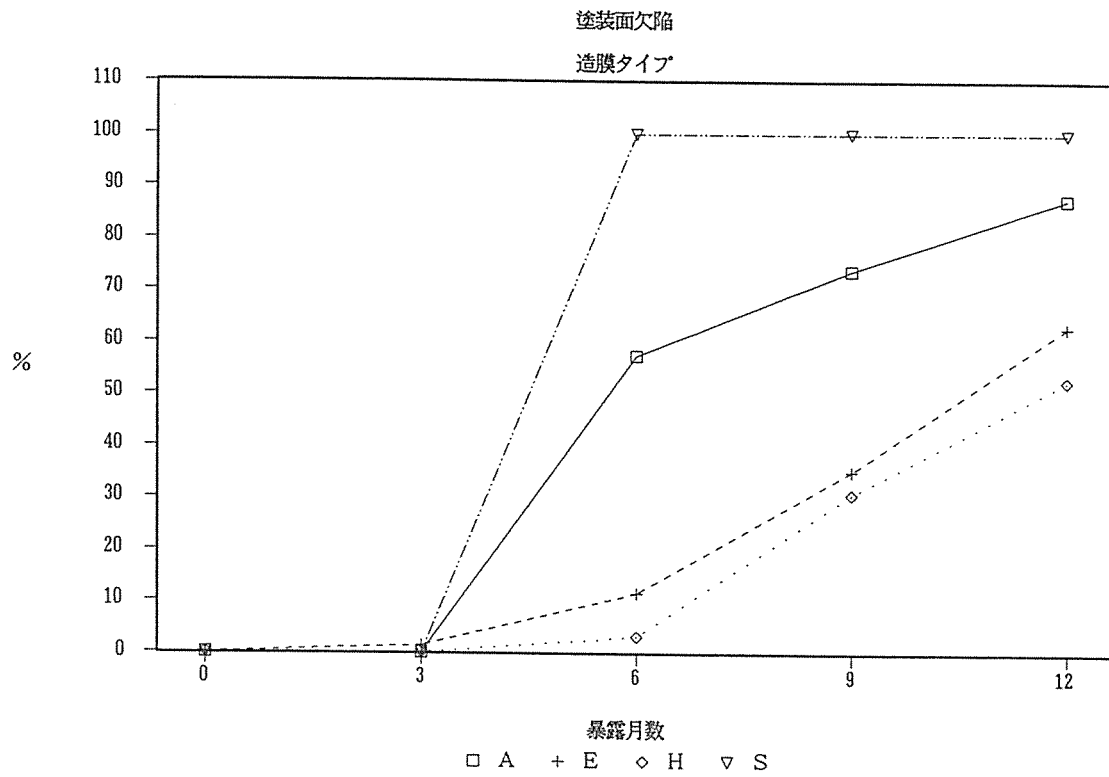


図 5 - 1 . 屋外暴露 12 カ月までの造膜型保護塗料の塗装面欠陥

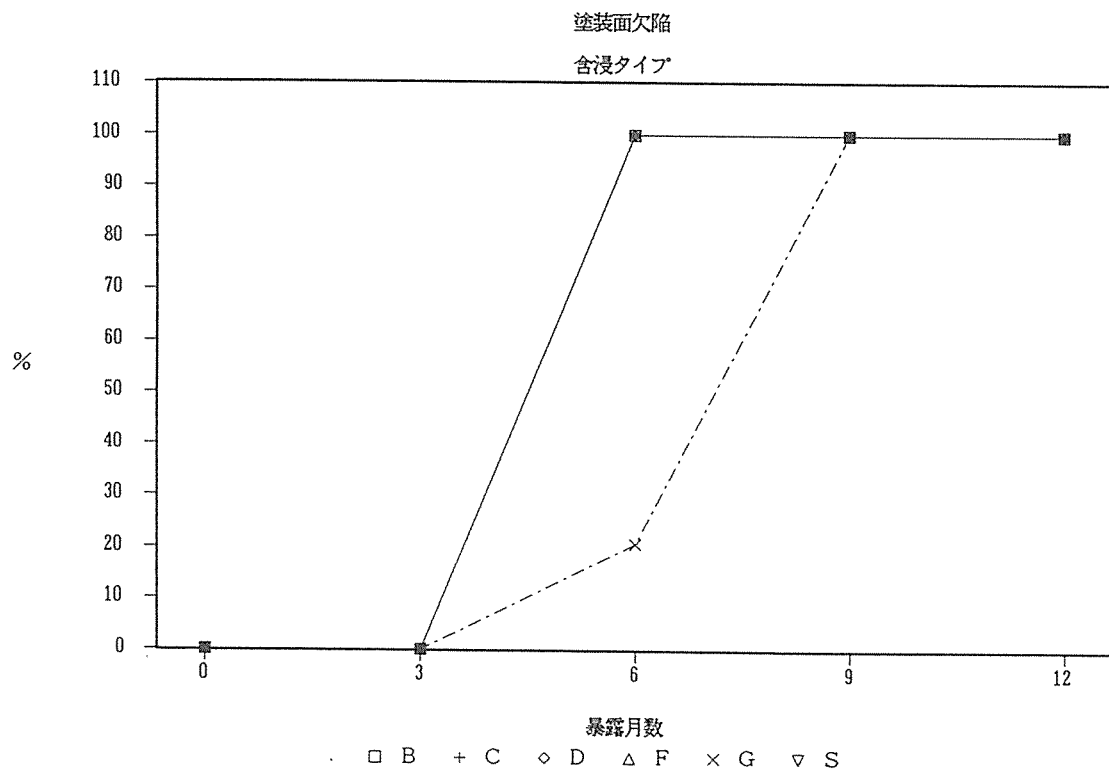


図 5 - 2 . 屋外暴露 12 カ月までの含浸型保護塗料の塗装面欠陥

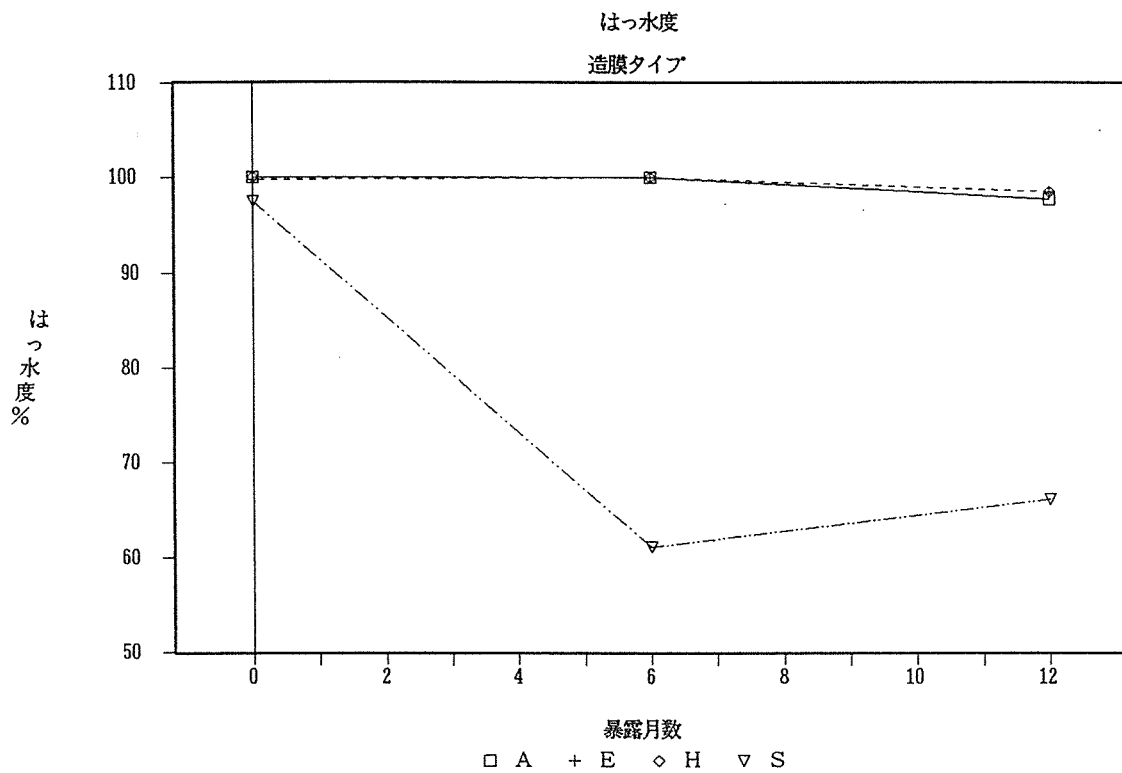


図 6 - 1 . 屋外暴露 12 カ月までの造膜型保護塗料のはっ水性

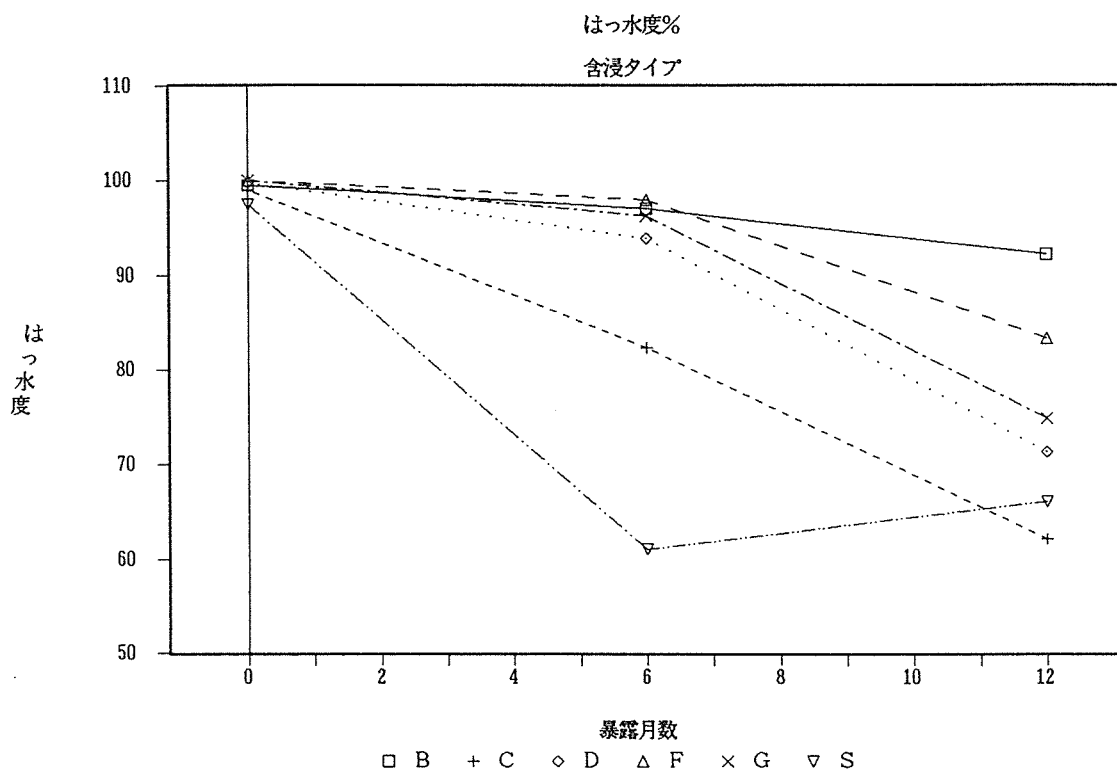


図 6 - 2 . 屋外暴露 12 カ月までの含浸型保護塗料のはっ水性

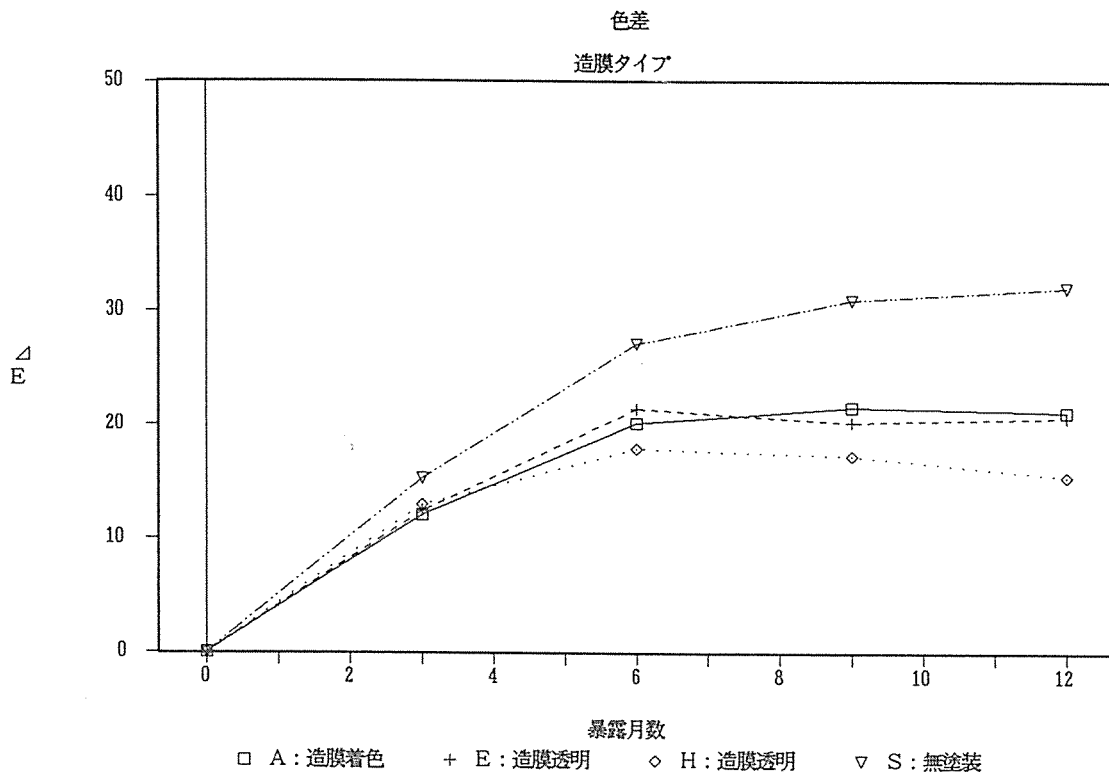


図7-1. 屋外暴露12カ月までの造膜型保護塗料の色差変化

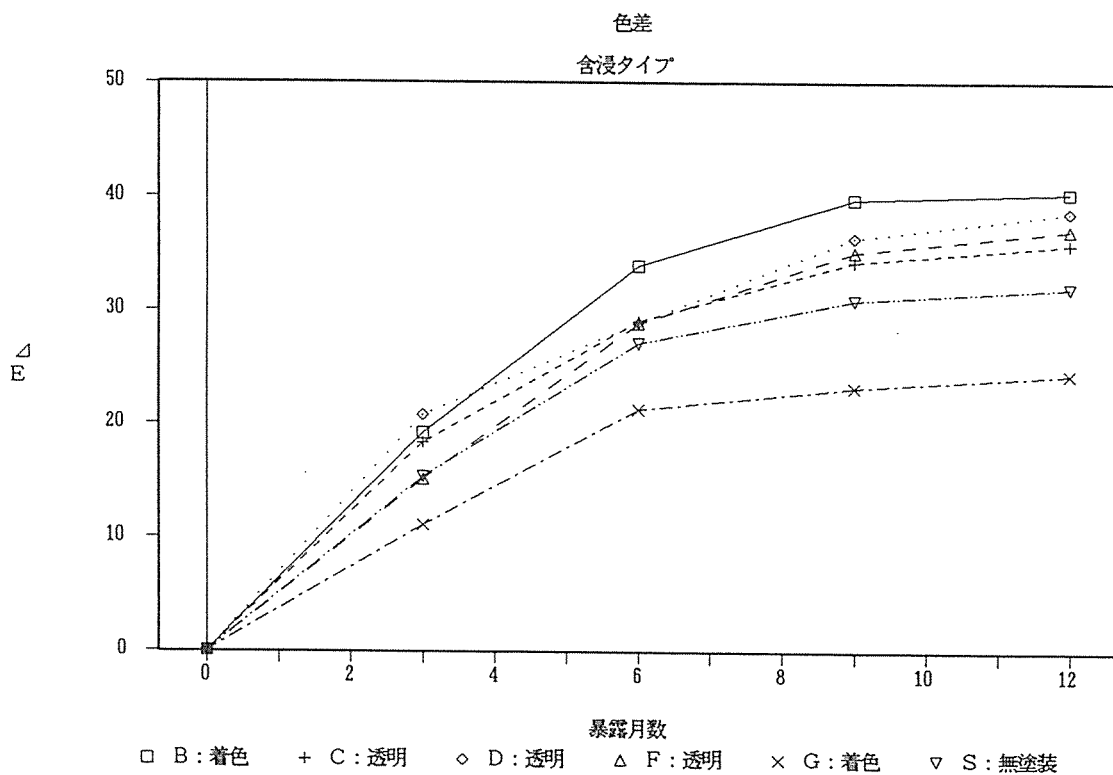


図7-2. 屋外暴露12カ月までの含浸型保護塗料の色差変化

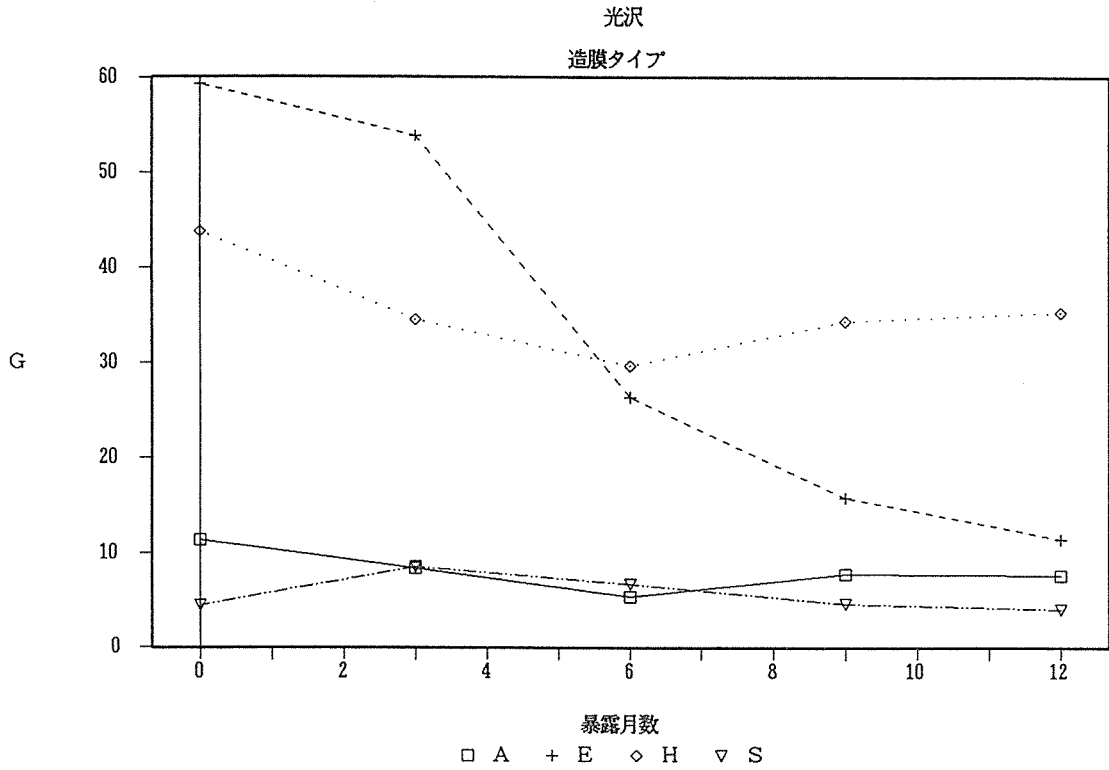


図 8 - 1 . 屋外暴露 12 カ月までの造膜型保護塗料の光沢変化

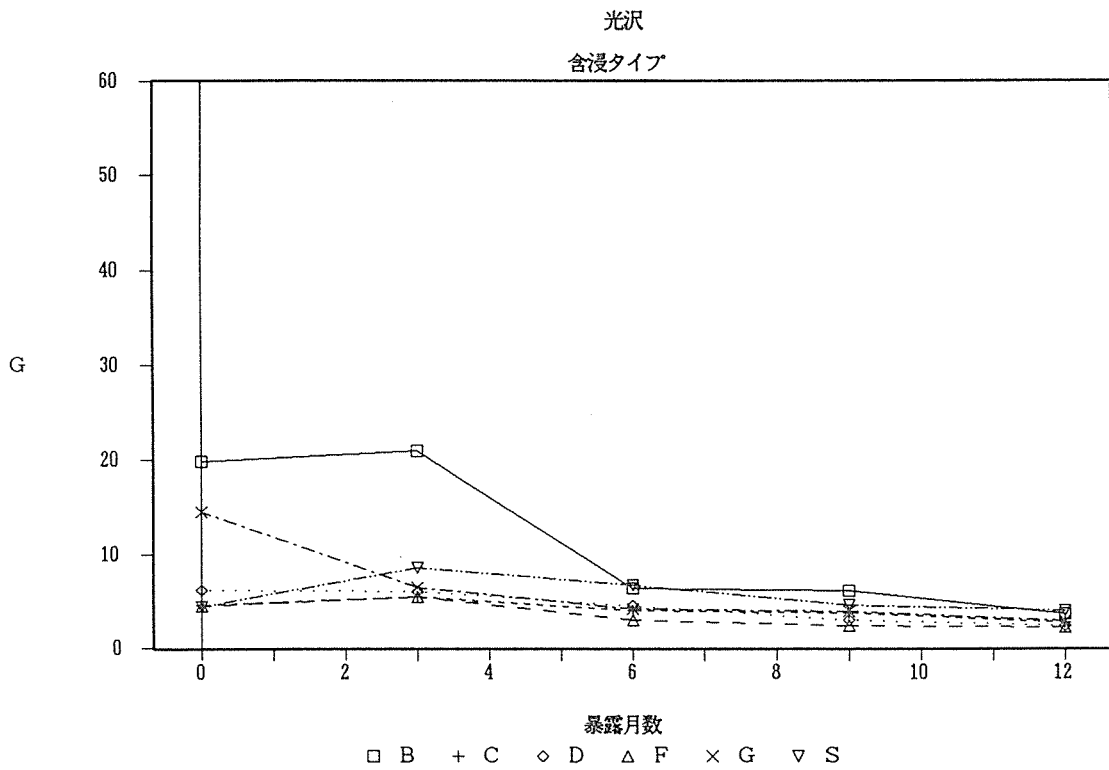


図 8 - 2 . 屋外暴露 12 カ月までの含浸型保護塗料の光沢変化

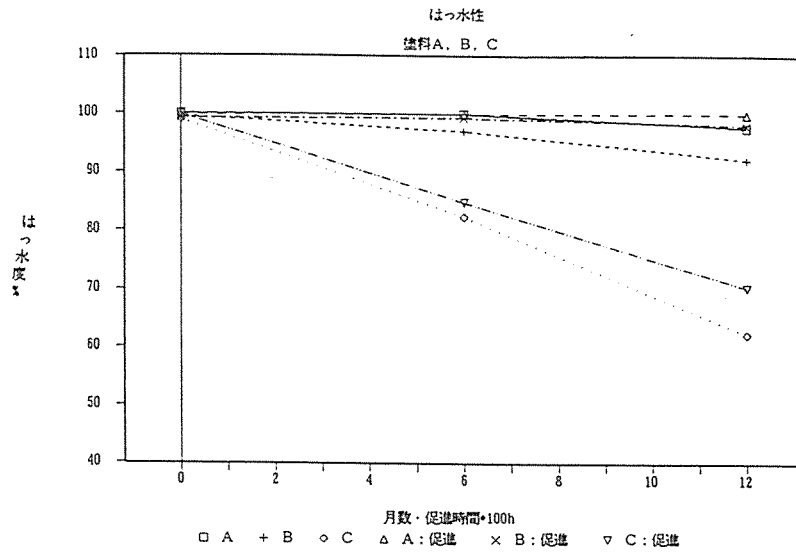


図9-1. はっ水性における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料A : B : C)

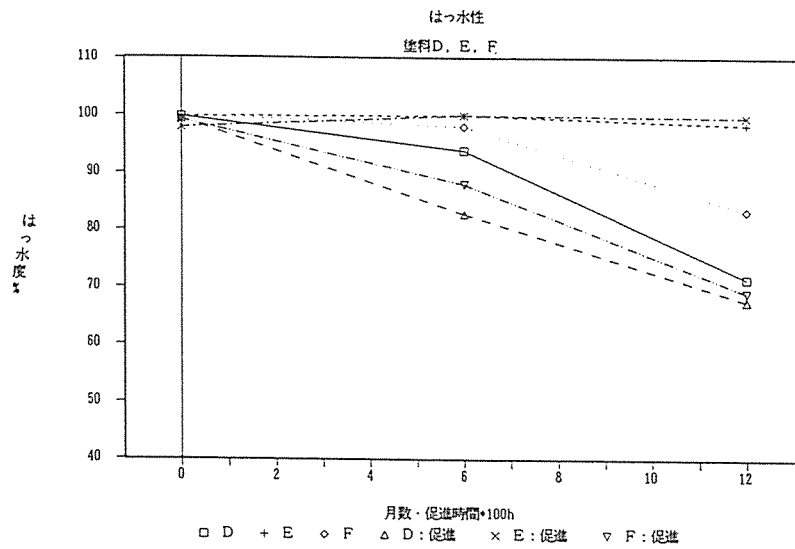


図9-2. はっ水性における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料D : E : F)

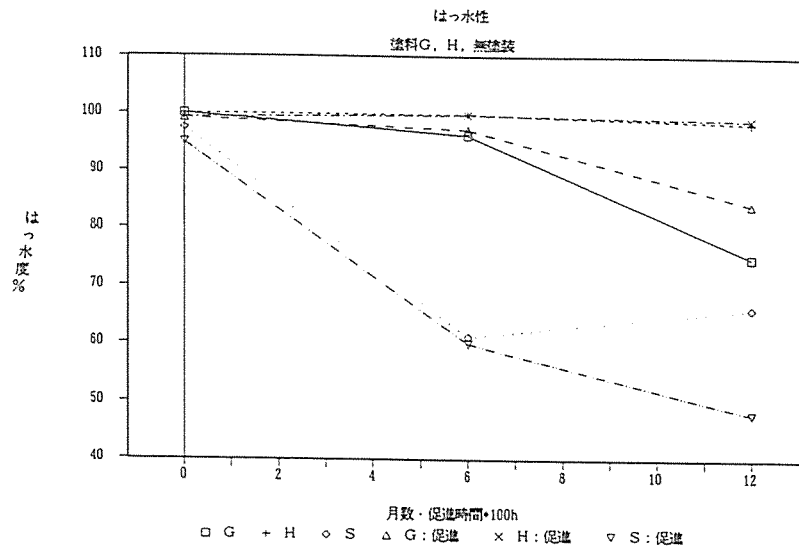


図9-3. はっ水性における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料G : H : S)

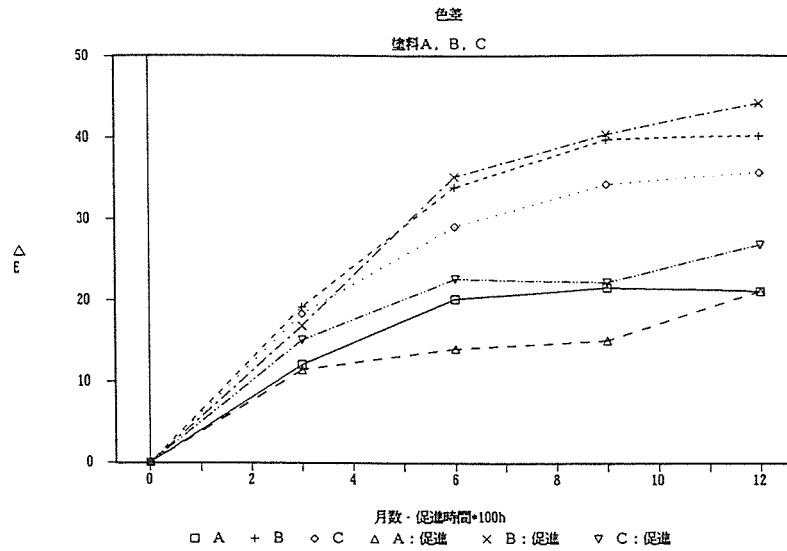


図10-1. 色差における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料A : B : C)

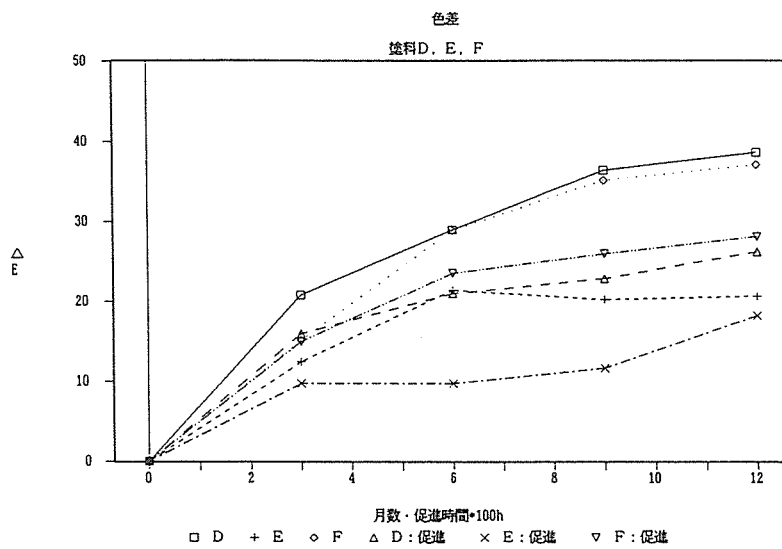


図10-2. 色差における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料D : E : F)

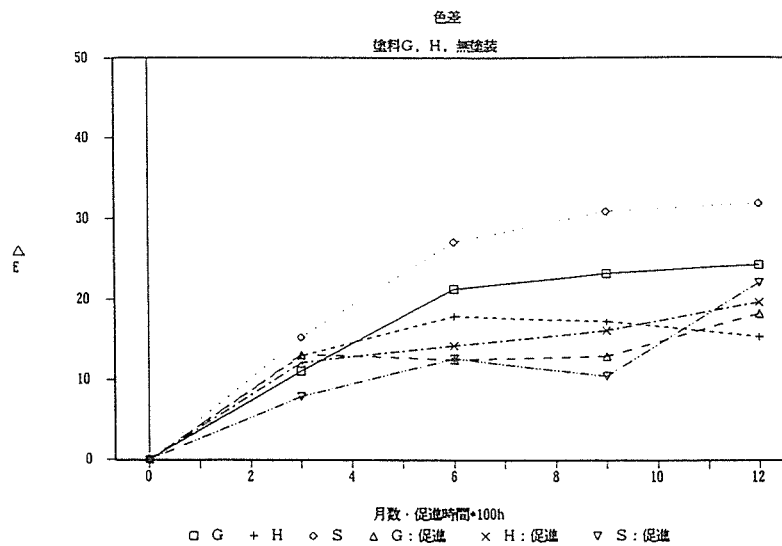


図10-3. 色差における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料G : H : S)

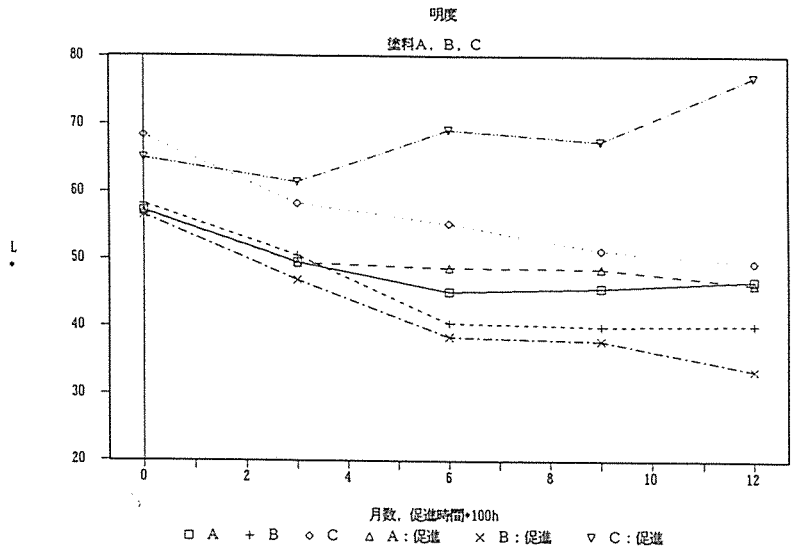


図 11-1. 明度 (L*) における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料 A : B : C)

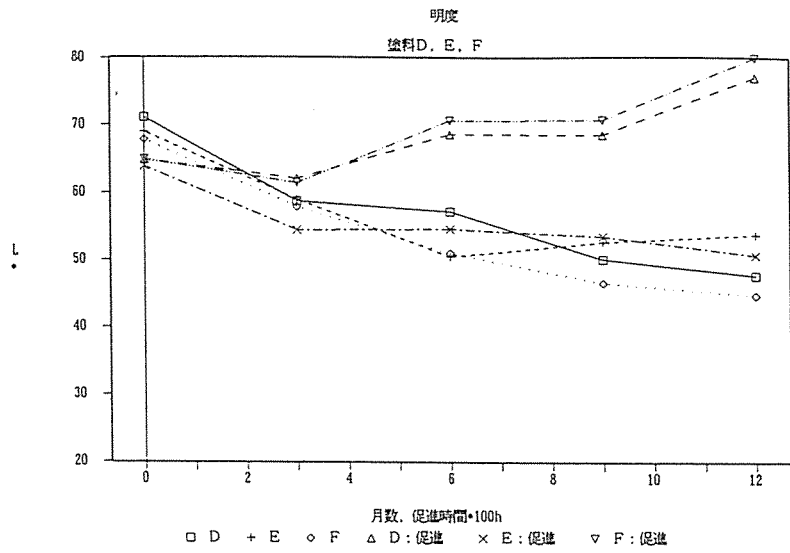


図 11-2. 明度 (L*) における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料 D : E : F)

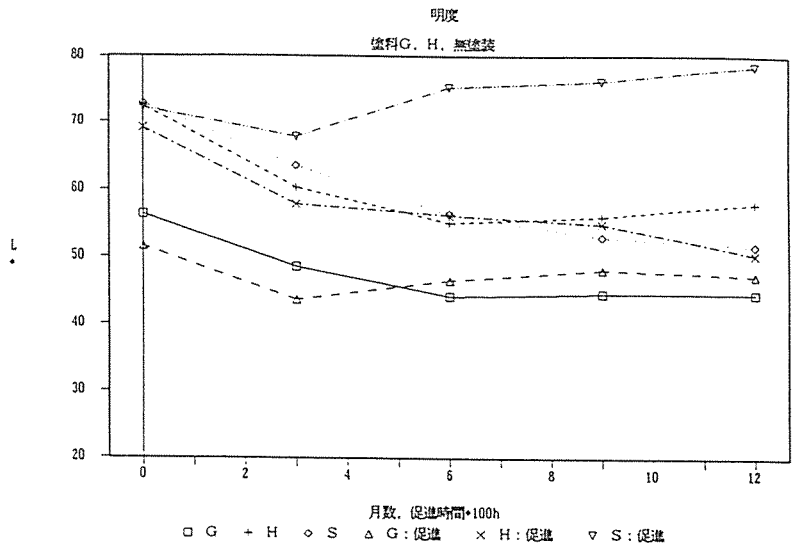


図 11-3. 明度 (L*) における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料 G : H : S)

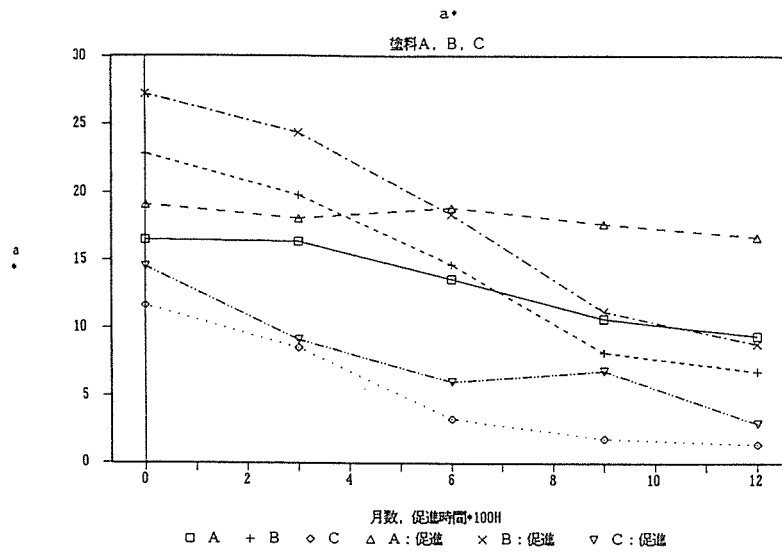


図 1 2 - 1. a^* における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料A : B : C)

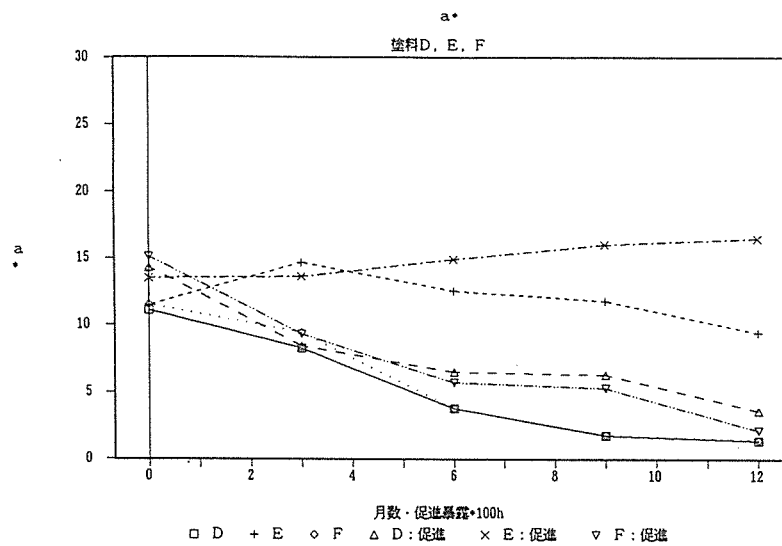


図 1 2 - 2. a^* における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料D : E : F)

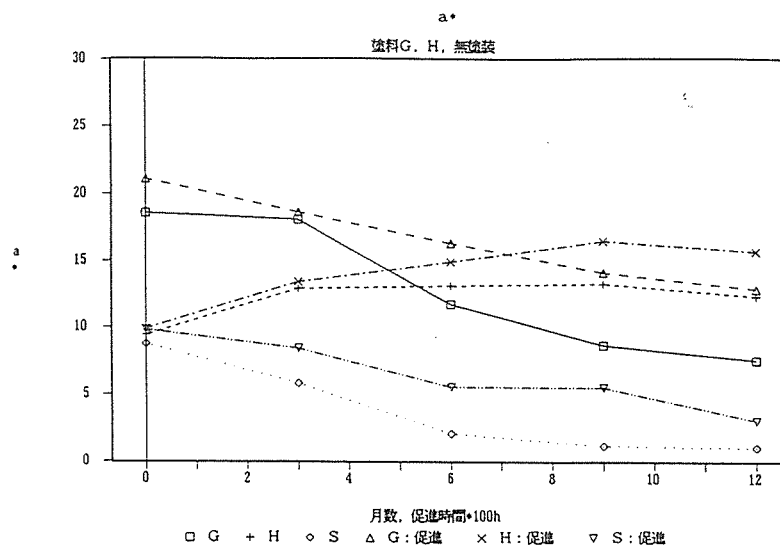


図 1 2 - 3. a^* における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料G : H : S)

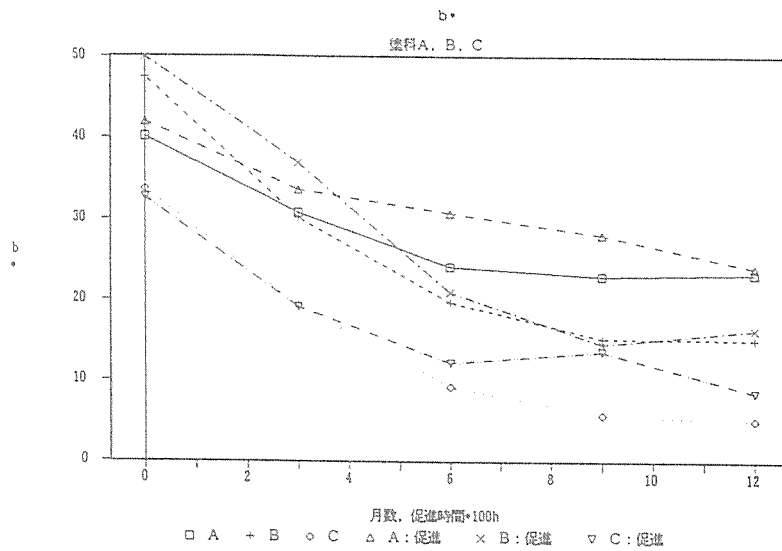


図13-1. b*における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料A : B : C)

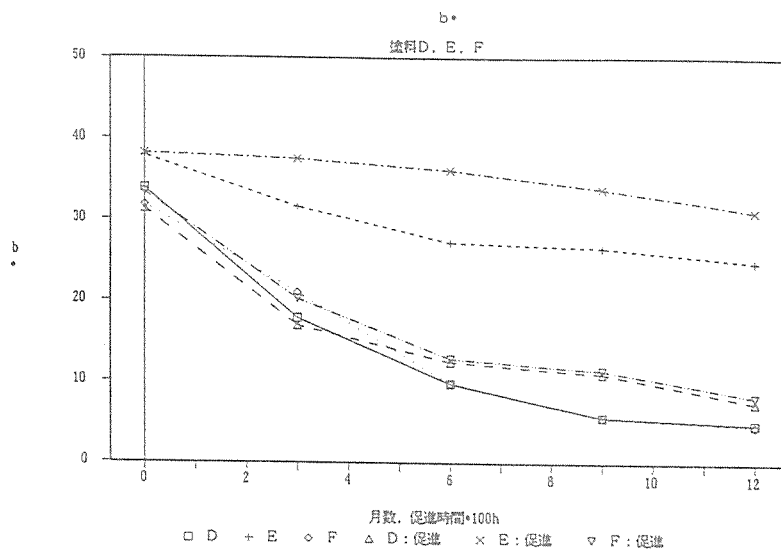


図13-2. b*における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料D : E : F)

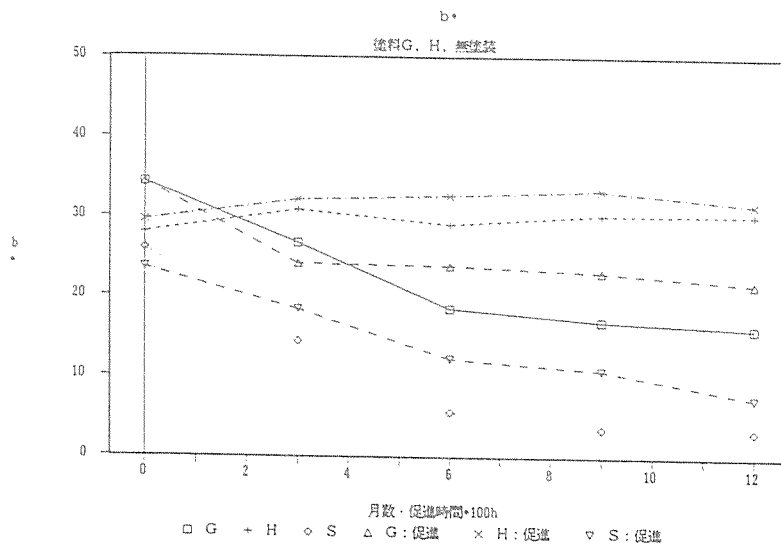


図13-3. b*における屋外暴露試験と促進試験との比較 (塗料G : H : S)

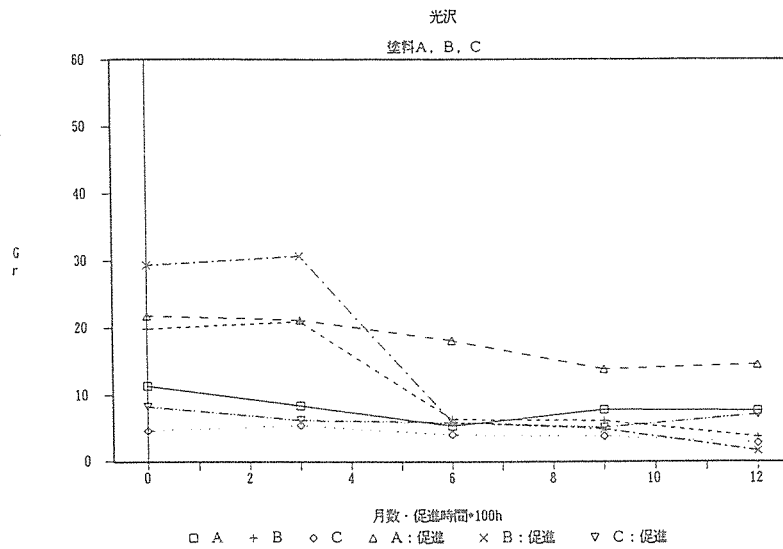


図14-1. 光沢における屋外暴露試験と促進試験との比較（塗料A : B : C）

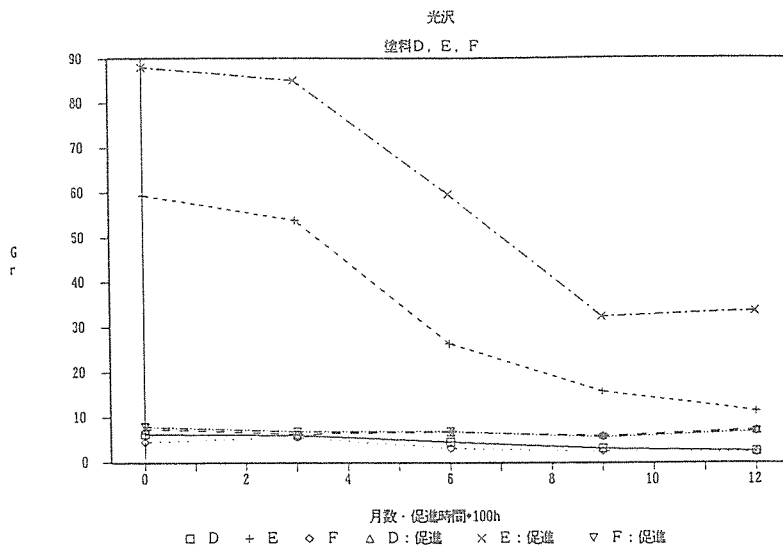


図14-2. 光沢における屋外暴露試験と促進試験との比較（塗料D : E : F）

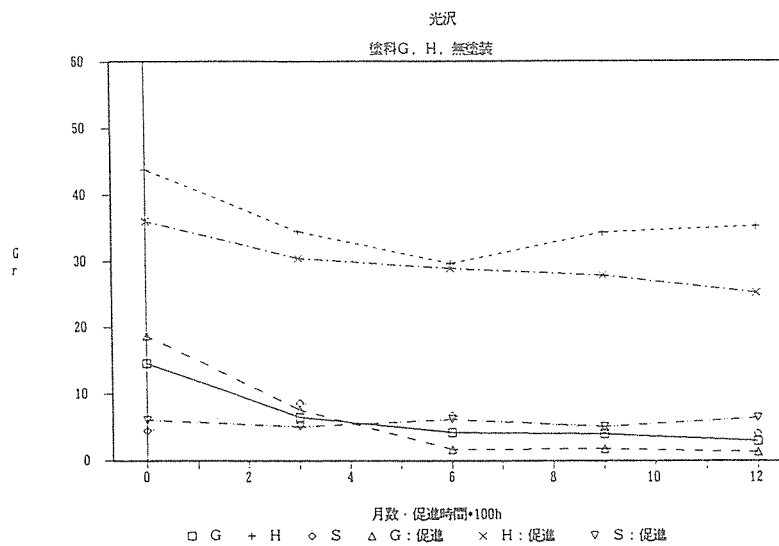


図14-3. 光沢における屋外暴露試験と促進試験との比較（塗料G : H : S）

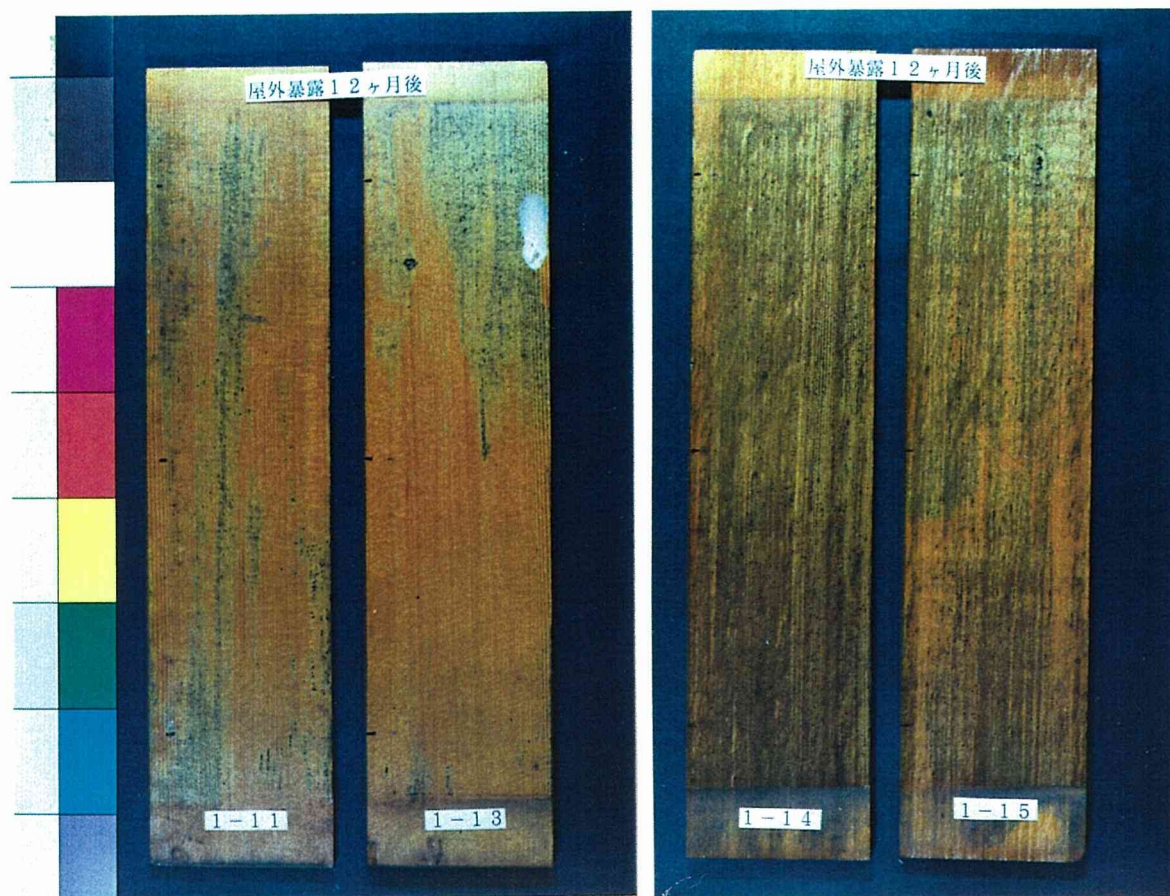


図 15 - 1 屋外暴露 12 ヶ月後のアルキド系造膜着色タイプ (A)

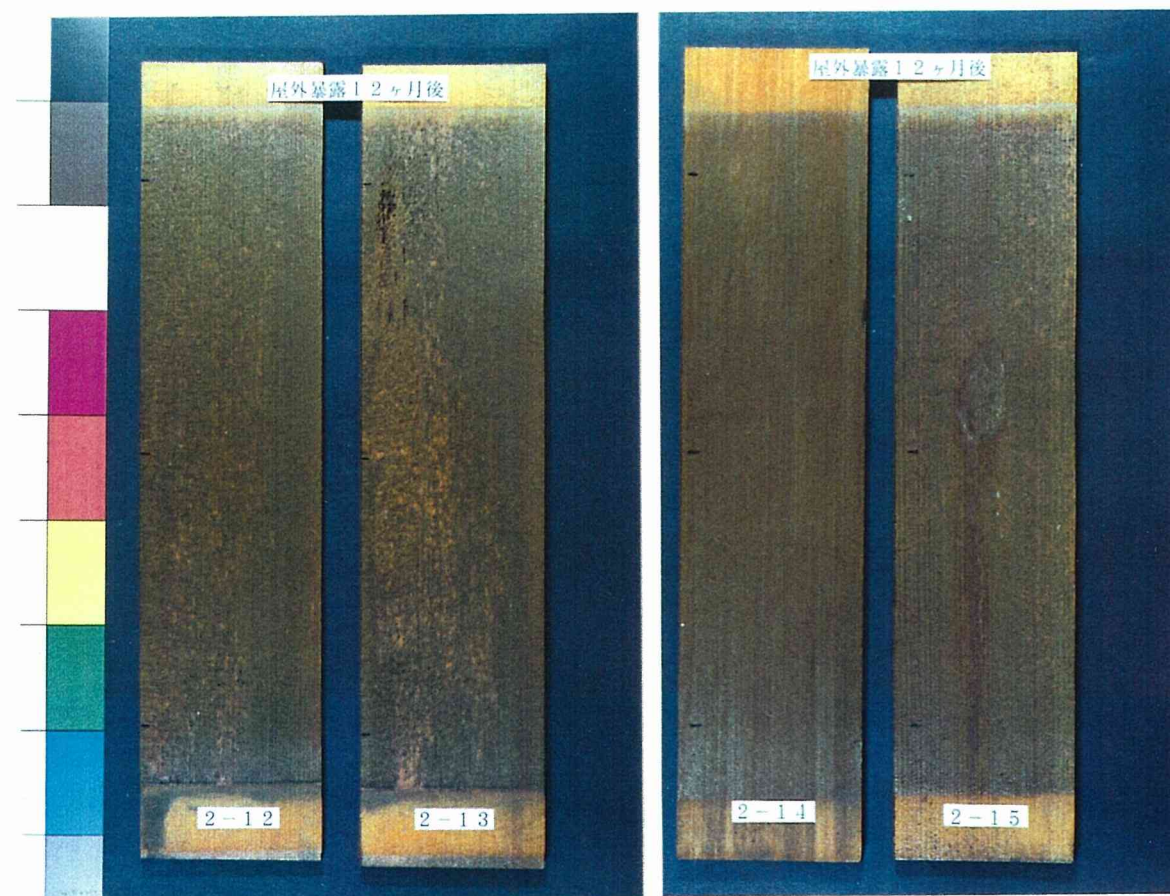


図 15 - 2 屋外暴露 12 ヶ月後のウレタンアルキド系含浸着色タイプ (B)

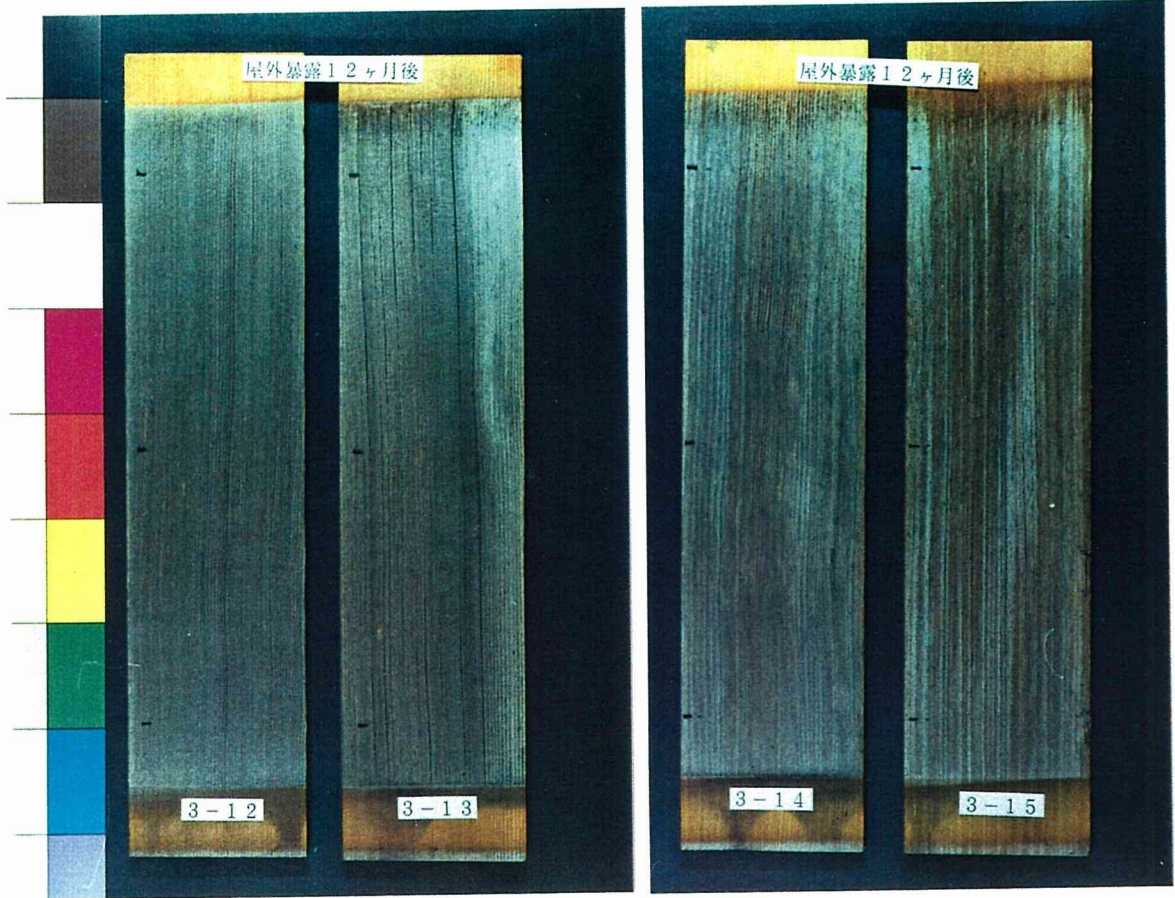


図 15 - 3 屋外暴露12ヶ月後のアルキド系含浸クリヤータイプ (C)

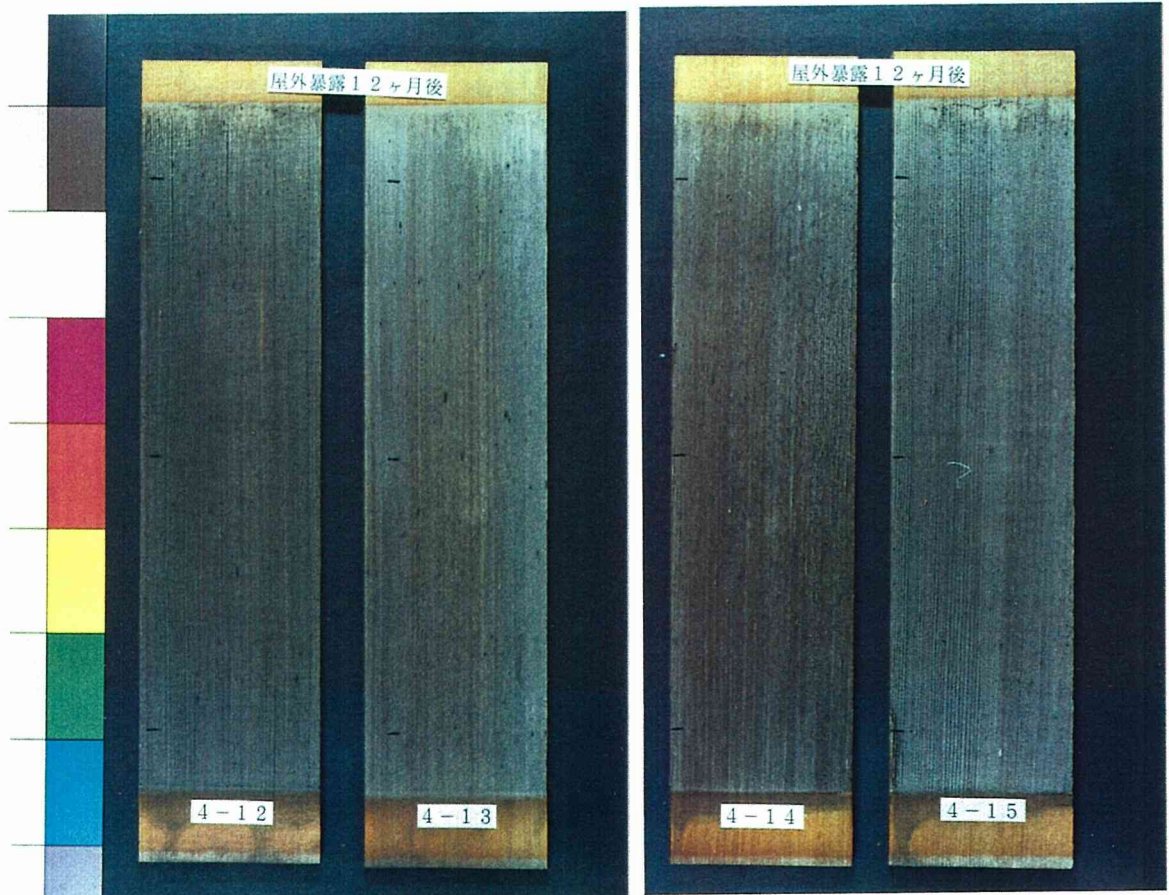


図 15 - 4 屋外暴露12ヶ月後のアマニ油系含浸クリヤータイプ (D)

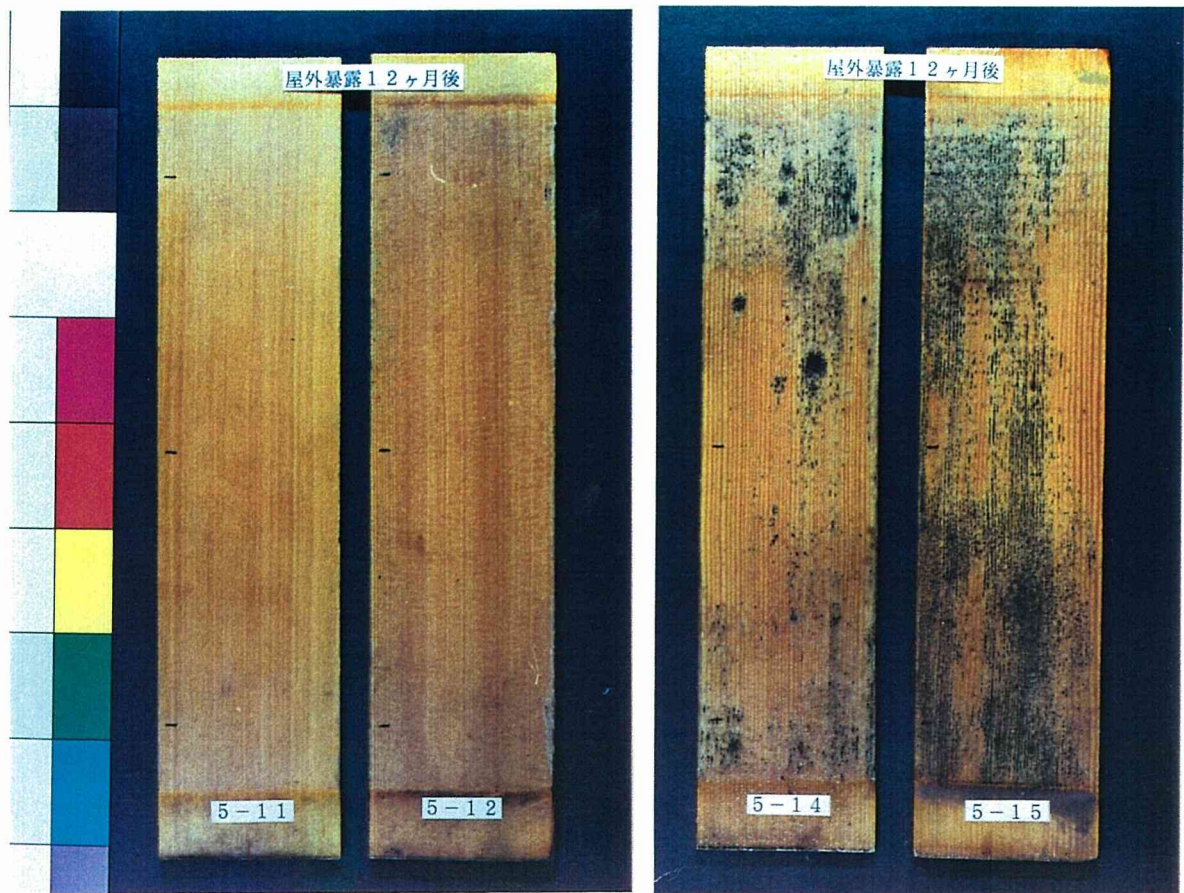


図15-5 屋外暴露12ヶ月後のウレタンアルキド系造膜クリアタイプ(E)

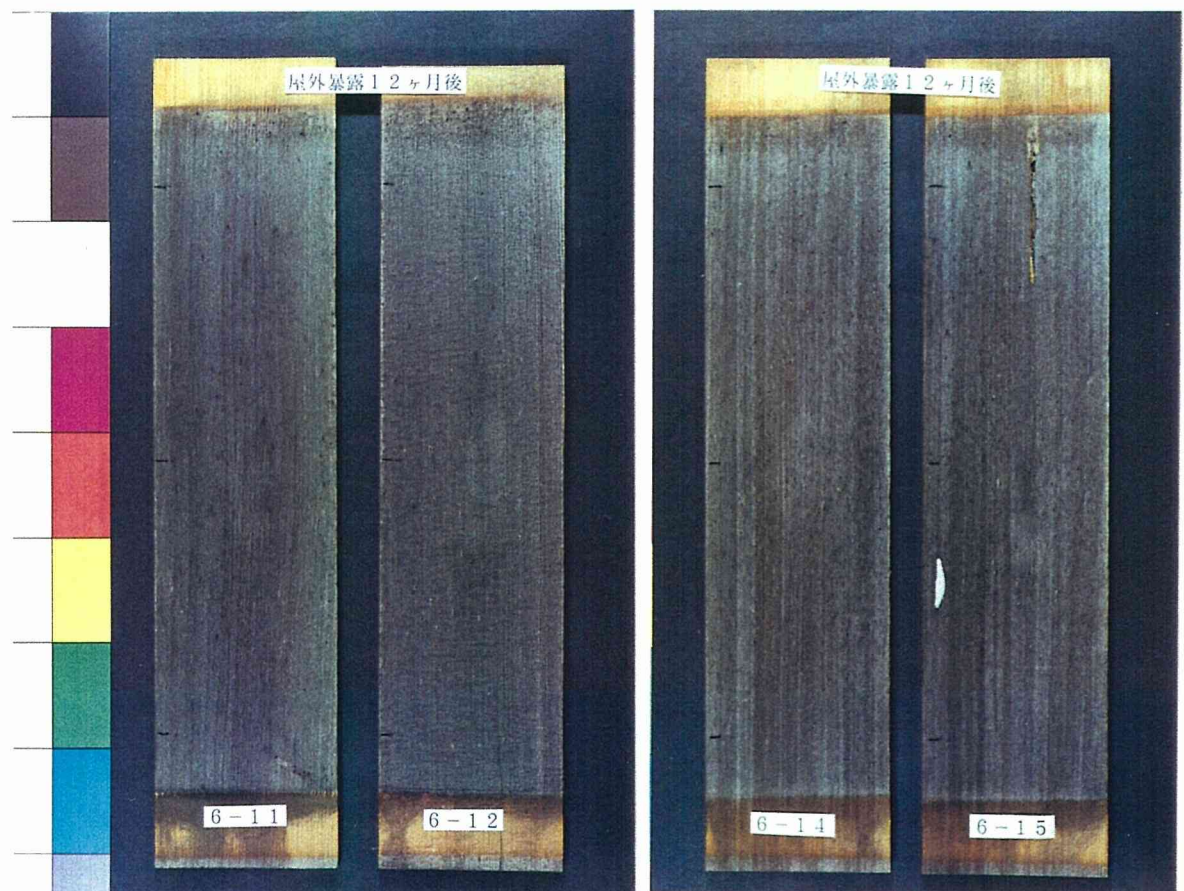


図15-6 屋外暴露12ヶ月後のアミノ油系含浸クリアタイプ(F)



図15-7 屋外暴露12ヶ月後のアルキド系含浸着色タイプ(G)



図15-8 屋外暴露12ヶ月後のフッ素樹脂系造膜クリアタイプ(H)

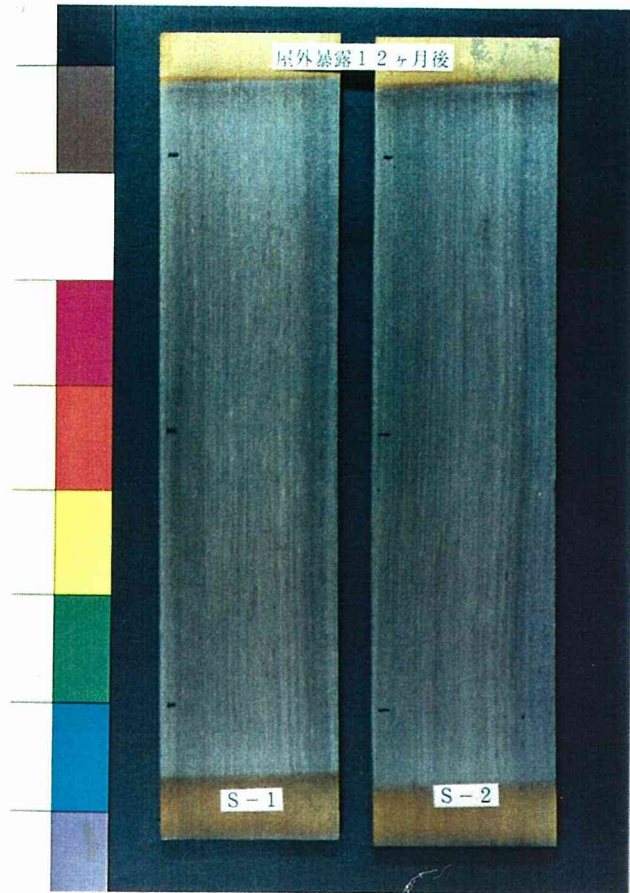


図 1 5 - 9 屋外暴露 1 2 ヶ月後の無塗装試験片 (S)

4. 実用化のための最適条件の試験

前回の試験では、木材保護塗料の主要樹脂・塗装仕上げタイプの違いによる劣化状況の概要・基礎的性能を把握できた。また、促進耐候試験と屋外暴露の相関性についてもある程度の示唆が得られた。

今回はこれらの基礎的データをもとに、より実製品に近い形で木材保護塗料の適切な性能評価のための試験方法を確立し、木製サッシの耐候性・耐久性を向上させる塗装技術の開発に役立たせる。

4. 1 試験片と塗装条件

4.1.1 塗装基材（(有)共和木工 作成）

- ①材種 : 米松 柾目板 ウレタン-メーター試験用 約70(R)×150(L)×15(T)mm
屋外暴露試験用 約70(R)×300(L)×15(T)mm
- ②乾燥 : 高温蒸気乾燥90℃8時間（含水率 平均12%）
- ③素地調整：＃180[°]-^h°-で研磨

4.1.2 木材保護塗料

主要樹脂、塗料タイプの異なる11種の塗料を選定した。

- ①主要樹脂 : 6種類（アルキド系、アマニ油系、ウレタン系、アクリル系、ウレタンアルキド系、シリコン系）
- ②塗装仕上げタイプ：2種類（材中含浸型、表面造膜型）
- ③色調 : パイン色で半透明のもの（素材の木目が見えること）を指定
- ④各11種の塗料

A	: シリコン系	表面造膜型	G	: アルキド系	材中含浸型
B	: ウレタン系	表面造膜型	H	: アマニ油系	材中含浸型
C	: アマニ油系	表面造膜型	I	: アマニ油系	材中含浸型
D	: アルキド系	表面造膜型	J	: ウレタンアルキド系	材中含浸型
E	: アクリル系	表面造膜型	K	: アルキド系	材中含浸型
F	: ウレタン系	表面造膜型			

* 11種の塗料で各塗料メーカーにパイン色を指定したが、実際には色調にかなりのばらつきがみられた。

4.1.3 試験片作成

- ①選定した塗料の各メーカーにおいて、最適と思われる仕様で塗装基材の表面に対して塗装を行った。各11種の塗装系の内容を次表に示す。
- ②各メーカーで表面塗装後、裏面、両サイド、木口面にフタル酸樹脂エナメルをローラーにより2回塗装した。
- ③2週間以上乾燥させた後、木口面にアルミテープを張り付け（木口面に対して水の影響を無くするため）試験片とした。

試験片No.	A	B	C	D	E	F
塗料樹脂系	シリコン系	ウレタン系	アミノ油系	アルキド系	アクリル系	ウレタン系
塗装仕上げタイプ	表面造膜型	表面造膜型	表面造膜型	表面造膜型	表面造膜型	表面造膜型
色 L*a*b* HV/C	58.3+17.7+50.6 9.0YR 5.8/8.4	49.6+17.1+29.8 5.7YR 4.9/5.8	55.0+21.1+43.6 7.0YR 5.5/7.9	43.4+24.8+41.6 5.3YR 4.3/8.2	56.4+14.3+39.0 9.0YR 5.6/6.5	70.7+7.0+29.4 0.1Y 7.0/4.6
光 沢	75.7	39.8	20.8	81.1	24.1	14.0
前 処 理	#240 ^μ - μ -研磨	#180 ^μ - μ -研磨 ステインで着色	#240 ^μ - μ -研磨	-	-	-
下塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	刷毛塗り 1回 12時間	スプレー塗装 1回 4時間	スプレー塗装 1回 16時間以上	刷毛塗り 1回 2~6時間	刷毛塗り 1回 30分	加圧注入 1回 24時間
中塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	- - -	スプレー塗装 2回 16時間	- - -	刷毛塗り 1回 12時間以上	- - -	- - -
上塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	刷毛塗り 2回 72時間	スプレー塗装 1回 24時間	スプレー塗装 2回 16時間以上	刷毛塗り 2回 24時間以上	スプレー塗装 2回 2時間	刷毛塗り 3回 24時間
総塗布回数	3回	4回	3回	4回	3回	4回
乾燥条件	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥
予測耐用年数	3~5年	5年	約5年	8~10年	5年	5~7年
塗替え方法	未解答	塗膜剥離後、着色・下塗・上塗	軽く研磨、又は漂白後塗重ね	5年毎に表面の汚れを落として1回塗装	上塗りのみ再塗装	再塗装

試験片No.	G	H	I	J	K	S
塗料樹脂系	アルキド系	アミノ油系	アミノ油系	ウレタン系	アルキド系	塗装基材 (無塗装試験片)
塗装仕上げタイプ	材中含浸型	材中含浸型	材中含浸型	材中含浸型	材中含浸型	
色 L*a*b* HV/C	51.5+23.4+38.0 4.9YR 5.1/7.6	62.2+17.9+35.2 6.4YR 6.2/6.6	53.8+19.8+38.5 6.8YR 5.4/7.1	54.0+22.5+36.6 5.3YR 5.4/7.3	45.8+13.8+32.0 8.5YR 4.5/5.5	69.0+9.9+21.7 7.1YR 6.8/4.0
光 沢	31.3	3.0	16.8	4.4	3.5	4.0
前 処 理	#320 ^μ - μ -研磨	サンダー研磨	#240 ^μ - μ -研磨	-	#120 ^μ - μ -研磨	
下塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	刷毛塗り 1回 6時間	ディッピング 1回 24時間	刷毛塗り 1回 12時間以上	刷毛塗り 1回 4時間	刷毛塗り 1回 24時間	
中塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	
上塗り 塗装方法 回数 乾燥時間	刷毛塗り 2回 8時間以上	刷毛塗り 2回 24時間	刷毛塗り 2回 12時間以上	刷毛塗り 2回 20時間	刷毛塗り 1回 24時間	
総塗布回数	3回	3回	3回	3回	2回	
乾燥条件	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	常温乾燥	
予測耐用年数	3~5年	3~5年	3年	2~3年	不明	
塗替え方法	汚れの清掃後、前色より濃色を塗装	塗装専門者に依頼	汚れを落とした後塗重ね	漂白・洗浄・塗装または洗浄・塗装	防錆・防虫剤塗布後、上塗り	

4. 2 ウェザーメーター試験（促進耐候試験）

4.2.1 促進耐候試験方法

J I S K 5 4 0 0 (1990) 塗料一般試験方法 における9.8促進耐候性の9.8.1サンシャインカーボンアーク灯式により行う。促進耐候試験の主な条件は次のとおりである。

- 1) 試験時間 : 最高1500時間
- 2) 温度 : $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ (ブラックパネル温度計)
- 3) スプレー時間: 120分中で18分間
- 4) 試験片 : 無塗装品Sを含め塗装試験片A~Kまでの12種類
- 5) 評価方法 : ①目視による外観検査 ②測色 ③光沢度測定 ④撥水性
⑤かび抵抗性試験

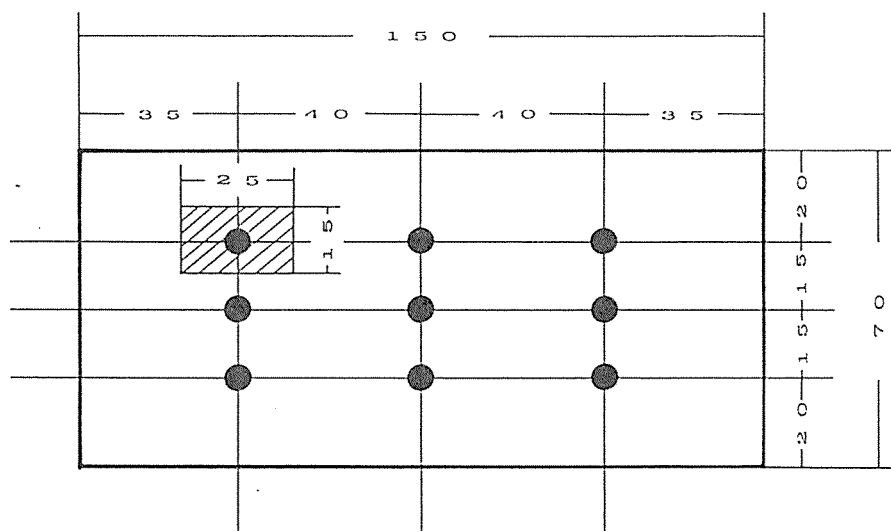
4.2.2 劣化評価方法

① 目視による外観検査

目視により、塗膜の変色、割れ、はがれの状態を評価する。

② 色彩測定

J I S Z 8 7 2 2 (1982) 物体色の測定方法 における4.分光測色方法により行う。測定条件は d-0 Sb10W10 でD65光源を標準光として用いる。測定機器は(株)村上色彩研究所製CMS-500を使用した。また、測定箇所の違いによる誤差をなくし、試験片全体を評価するため、下図に示すように測定箇所を一定化し、測定点を9点とした。9点測定の平均値を、J I S Z 8 7 2 9 (1980) および J I S Z 8 7 3 0 (1980) により $L^*a^*b^*$ および色差 ΔE^* の算出を行う。(ΔE^* については9点の最小値、最大値も算出し、劣化による色むら評価の数値化への可能性を探る。)



- *) ● : 測定点
▨ : 測定面積

③ 光沢測定

J I S Z 8 7 4 1 (1983) 鏡面光沢度測定法 における60度鏡面光沢（方法3）による。測定装置は備村上色彩研究所製GMX-202 を使用した。測定箇所は、色彩測定箇所と同じ点とし、9点の平均値で評価する。（9点の最小値、最大値も算出し、つやむら評価の数値化への可能性を探る。）

④ 撥水性測定

試験体を室内にて1週間放置した後、試験体の重量を測定し直ちに水（イオン交換水）1gをスポイトで試験体中央部に滴下しシャーレをかぶせ、1分間放置する。その後、ティッシュペーパーで拭き取り、再び試験体の重量を測定する。これを1試片当たり1箇所行い、試験前後の重量差から水の浸透量を求める。測定は1mg単位で行い、撥水度を次式より算出する。

$$\text{撥水度} = 100 - (\text{浸透量} / \text{水滴重量}) \times 100$$

⑤ かび抵抗性試験

J I S Z 2 9 1 1 (1981) かび抵抗性試験法 に準ずる。ただし、試験片は今回作成した11種のをそのまま用いる。また、試験片を平板培地の上に直接置かない半乾式法で行い、評価は5段階で行う。

4. 3 屋外暴露試験

4.3.1 試験体

促進試験と同様のベイマツ柾目試片（70(R)×300(L)×10(T)mmを、各塗料につき2枚ずつ用いた。

供試した木材保護塗料は促進試験と同様であり、一覧を表1に示す。

4.3.2 屋外暴露試験

(1) 試験地の概要

屋外暴露は、昨年と同様に茨城県つくば市にある森林総合研究所第2樹木園内屋外暴露場に南面45度の傾斜暴露を開始した。暴露試験は、平成5年3月4日より開始した。屋外暴露試験は、平成8年3月までの36ヶ月間を予定している。

(2) 劣化評価方法

塗装後屋外暴露した試験体表面の劣化状態を評価するため、①塗膜割れ、塗膜はくり ②汚染、退色 ③はっ水性 ④色差 ⑤光沢を測定する。①と②は、マス目試験により塗装面欠陥率として表し、測定法は昨年と同様である。測定は暴露開始および終了日と3ヶ月ごとに経時的に行う。

表1. 供試した木材保護塗料（屋外暴露前：各2枚の平均値）

記号	塗膜タイプ	色(L*, a*, b*)	光沢(60度)	はっ水度(%)
A	造膜	59.7, 16.3, 45.1	75.0	100.0
B	造膜	49.7, 15.7, 29.2	35.4	100.0
C	造膜	53.9, 19.4, 41.3	19.7	100.0
D	造膜	45.7, 21.3, 34.6	67.8	100.0
E	造膜	56.5, 13.2, 37.6	17.2	100.0
F	造膜	70.1, 7.0, 28.2	18.9	100.0
G	含浸	50.6, 20.4, 33.3	29.9	100.0
H	含浸	62.0, 16.9, 35.1	2.9	100.0
I	含浸	53.6, 16.3, 38.2	17.3	100.0
J	含浸	55.6, 19.4, 37.7	6.8	99.5
K	含浸	46.4, 10.8, 30.1	3.2	100.0
S	無塗装	71.5, 9.2, 21.8	5.6	96.7

5. わかりやすい耐久性試験結果表示法

5. 1 わかりやすい耐久性試験結果表示法の提案

試験結果を正確に表すには、主観の入らない数値で表現するのが最も優れた方法である。しかし、同じような試験機を使用している研究者、耐久性試験の学者や専門家等を除いて、一般の人には、結果を表す数値の意味が不明で、実用的な判断材料にならないことが多い。

現在、屋外用塗料の耐久性は、木製サッシ製造に関わるメーカーだけでなく、ユーザーおよび建築等広範囲の分野の関係者が強い関心を抱いている。

特に、木理を生かす透明塗装の屋外耐候性の研究および開発は、塗料メーカー、木材企業、プレハブメーカー、木工以外の他分野企業で盛んに行なわれている。

上記の社会ニーズから、本事業の試験結果を、広い分野の関係者に容易に理解してもらうことは意義があると考える。

そのためには、試験結果を多くの人々が理解でき、実用に際して、判断材料として役立つ結果の表現方法でなければならない。

本事業では、残り年度を使って、だれにでもわかる耐久性試験結果表示法を作製する予定である。

5. 2 わかりやすい耐久性試験結果表示法作製の問題点

①塗装製品の耐用年数が正確に規定できない。

塗装の目的には、素地の保護と美感向上がある。塗膜に割れや剥がれが生じなくてもカビが生え、または、土が付着し、清掃不可能など美感が著しく損なわれた場合は、塗り替えるのが普通である。

美感を主にした耐用年数の判断は、主観が入るために個人差が非常に大きい。

仮に、絶対的な塗装製品耐用年数が決まれば、試験結果の塗膜状態から残り耐用年数何年と表示ができ、ユーザーにわかりやすい。

②塗料の種類が多く、特に塗膜形成状態に差がある。

外装用塗料を大別すると、素地表面に塗膜を作る塗料と素地の中に浸透し、表面に塗膜を作らないタイプがある。

それぞれの塗料に短所と長所があり、実際の塗料選択は、ユーザーがどの特徴を重視するかで決まる。

この特徴ある塗料を第三者的に耐久性を判断する場合は、非常に多くの問題がある。

JIS、JASで規定している各種塗膜試験法は、全て造膜タイプ（素地表面に塗膜を形成）を対象にしている。それゆえ、浸透タイプの塗膜試験法は新たに考案しなければならず、同一試験項目が妥当か、または、耐久性を同一に判断可能かなど困難な問題がある。

③試験結果の新しい表示の普遍化

わかりやすい試験結果の表示ができて、大勢の人に認められなければ意味がなく、科学的根拠に基づく試験結果の表示でなければならない。

①～③の理由により、現在継続中の耐久性試験の途中結果を表示のために検討するとともに、外国の文献を参考にわかりやすく、だれでも使い易い耐久性試験結果の表示法を提案する予定である。

6. 参考資料

6. 1 外国文献より

引用文献名：Holtzbau Atlas, by Karl Mohler, Julius Natterer, Karl-Heinz Gotz,
Dieter Hoor

(Institut für internationale Architektur Dokumentation München)

(要約)

(1) 木材保護と装飾を目的とする塗装

外部の建築部材の建築デザインに役立ち、美感上好ましくないウエザリングを抑制し、木材の耐久性を高める塗装は重要である。

塗装による表面処理に使う塗料には、殺菌剤が配合されているものがあるがDIN 68800で規定する化学的木材防腐処理とは認められていない。

(2) 木材、塗膜のウエザリング

塗装してない木材を外部で使うと、短期間でカビが生え、灰色に変色する。

木材表面の灰色層の発生は、樹種に関係なく高耐久性樹種、低耐久性樹種にも生じる。

ヨーロッパにおいて、カラマツ心材は最も耐久性のある針葉樹である。しかし、塗装せずに外部で使うと2、3か月のうちに、赤みの色が見苦しい銀灰色に変色する。

灰色化は木材強度に影響を与えないが、美感上好ましくないので塗装して使うべきである。ある種のカビは、薄い塗膜を強度的に劣化させるので塗料に防ばい剤を添加するのが好ましい。

木材表面の太陽光線による劣化：

①木材表層が紫外線によって破壊され、つづいて他の各種侵食過程にさらされる。

②赤外線で加熱されることにより、木材内で含水率のむらが生じ、塗膜付着部に内部応力が起こる。

(3) 塗装による木材保護作用

塗膜の最も重要な機能は、含水率を最適化する点にある。その際、塗膜の透水、透湿性が重要である。

透水、透湿性の小さい塗装システムは、外部からの水分の侵入を防ぐ効果が大いだが内部の水分を徐々に放散させる。

サッシでは、木口面や接合部、塗膜の破損部から侵入してくる水分を考慮しなければならない。

木材に長期間滞留している水分は、腐朽の原因になる。

一方、透水、透湿性の大きい塗装システムは、外部からの水分の侵入によって起こる、大きな寸法変化が建築部材の機能を破壊する恐れがある。例えば、窓の開閉不良、接合部

の留め切れ、板の反り等である。

塗装にあたり、決定的なダメージを考慮に入れ、適当な水分拡散係数の塗料を選択をしなければならない。

一般には、水分が木材内へ侵入するほうが危険が大きい。腐朽に対する保護作用のうえでは透水、透湿性の高い塗料が推奨できる。

ボード類を屋外で使う場合は、高い湿度に曝されると膨潤し、塗膜割れが起こる。防湿的で、撥水性が高く、充分弾性的な塗料を使わなければならないが、この要求を満たす塗料は極めて少ない。

透明塗料は顔料の入った着色塗料に比べ、紫外線に弱く、光に対する長期間の保護作用は顔料入り塗料によってのみ達成される。

濃色塗料や黒色塗料を塗装した建材は、太陽光によって極度に温度が上昇する。この場合は背後の十分な換気が必要である。

(4)適切な塗装システム

塗装方法を選択するとき、経済的因子や保護の要求とは別に以下の因子が重要である。

- ①作業性と作業員の諸要求
- ②パテや接着剤等の建築補助材料との相性
- ③被害の危険性と対策の可能性
- ④塗り替え間隔と塗り替え費用は塗装方法の選択基準として重要
- ⑤塗装木材、塗装木質建材の寿命

実際の塗装選択には、窓技術研究所の作製した表（建築家が塗装を選定する際に目安になるように、塗膜の付着性、性能を示している。塗装にあたり、木材保護効果をDIN18355、DIN18363、窓塗装に関する技術基準、窓の届出推奨基準を順守し、充分な手入れをすることを前提にしている）が役に立つ。

(5)透明塗料（透明木材保護剤、浸透塗装を含む、半透明も含む）

この塗装は、顔料の配合量によって、木材の特徴、材色を強調する。塗料は合成樹脂に顔料、木材保護剤を配合して作る。

塗料不揮発分の量に応じて、木材表面に薄い塗膜を作ったり、木材の吸放湿性に全く影響を与えない浸透性塗料、表面に厚い膜を作る塗料がある。

特徴

- ①高い透湿性、塗膜下での水分の蓄積がないが建築部材の変形が大きい。
- ②顔料による着色によって、塗装の耐久性が向上する。
- ③この塗装は耐久性が良い。
- ④この塗装は弾性を維持するが、階段手摺りのような要求条件が厳しい部位は不適當である。
- ⑤外装用の全ての木材に適用できる。

この塗料は、浸漬塗り、スプレー塗りもできるが刷毛塗りがよく、2～3回塗りを必要

とする。

シミの発生を防ぐには、最初の塗料は透明塗料が良い。

塗装前の木材含水率が高いと、腐朽の危険が高まるので含水率を15%以下にする。

建築部材の暴露状況、塗装の種類に応じて1～3年後に予想される再塗装は、古い塗膜を剥がすことなく、浮いている塗膜だけをブラシで剥ぎ、重ね塗りする。

(6)水性デスパージョン塗料

最近、ウエザリングから木材表面を保護するアクリル樹脂水性塗料の性能が確認された。
特徴

- ①造膜性で塗膜が厚いので、不透明である。
- ②透湿性、透水性が高く、木材の吸湿、放湿性を妨害しない。
- ③着色塗膜により紫外線より保護する。
- ④絹糸光沢から高光沢までである。
- ⑤塗り重ねが何回でもできる。

(7)不透明塗料

従来より使われていたオイルペイントは、アルキド樹脂をビヒクルとする合成樹脂ペイントに変わった。

塗料の保護作用は、膜厚100 μm以上において生じる。

合成樹脂ペイントは、オイルペイントより乾燥時間が短縮され、塗料が木材に浸透するのを防ぐが、その分耐久性が短くなった。

特徴

- ①透湿性、透水性が小から中程度で塗装した建材は寸法安定性が極めて良い。
- ②塗膜裏の結露の危険性は、換気等工法で解決しなければならない。
- ③白色塗料は問題がないが濃色では、太陽光線による不均一な熱膨張によって木材、塗膜、パテ等の亀裂が生じる。この現象を過小評価する傾向がある。
- ④塗装にあたり、木材の適性含水率の規制、十分な塗膜厚の確保、特に隅角部は塗膜厚が不均一になるので十分な注意と、施工で2mm半径の丸面にすべきである。
- ⑤6～12年毎の再塗装が必要で、塗装費が高い。
- ⑥この塗装は主にサッシに行なわれる。

(8)クリヤーワニス(クリヤーラッカー)

耐候性がないので外装には不適當である。

6. 2 塗膜耐久性に影響を与える気象因子

木材に塗装した場合の塗膜耐久性は、塗料の種類や使用する環境により大きく異なる。特に、屋外で使用する木材に木理が見えるような透明あるいは半透明の塗膜を形成する塗装処理を施した場合、その耐久性は短いものでは1年、長くても5年程度であることが現状である。これは、木材の性質としてその化学構造が紫外線を良く吸収し、更に親水性の水酸基を持つため水分の吸脱着とこれによる大きな寸法変化を生じ、あるいは生物劣化を受けるためである。

屋外で使用する木材を劣化させる因子は多いが、特に紫外線と水分の影響が非常に大きい。透明系塗料で塗装した木材において、紫外線を吸収した木材表面は光酸化によりリグニンや単糖類等の木材成分の低分子化が起こり、これにより塗膜を保持する力が低下して塗膜割れや塗膜剥離を引き起こす。また、水分は雨、雪、結露や空気中の水分からも木材に供給され、光酸化反応を促進したり木材の膨潤収縮や腐朽菌、カビなどの生物劣化を引き起こす原因となる。

それでは、屋外に暴露された木材は気象変化によりどのような変化を生じるのであろうか。図1は、つくば市における1992年3月4日の0時から3月7日0時までの東西南北各面に垂直暴露させた木材における日射量、表面温度と木材の重量変化及び寸法変化を示す。3月4日は快晴であり、各面の日射量は早朝に東面で最高値を示し、次いで南面が正午に最高値をとりその後15時頃に西面が最高値となる。北面はほとんど変化せず一定である。表面温度は日射量に比例し、この季節では北面を除いて30℃程度に上昇する。木材の重量変化を見ると、東面の日の出頃に重量増加が見られる。これは、東面の木材は夜間に冷却された後温度の高い早朝に朝日を受けて急激な温度上昇をするため木材に結露が生じ、5g(1.2%)程度の重量増加を生じたといえる。他の面は、表面温度の上昇にやや遅れて重量減少が起こり、寸法変化は重量変化と同時に収縮が生じた。3月5日は朝方から雨であり、日射が無いため表面温度も変化はなかった。一方、重量は各面とも水分を吸収して増加し、15g(3.6%)程度の増加を示した。同時に寸法も、0.2から0.5mm(0.3から0.6%)の膨潤を示した。3月6日は、天候は曇りで正午から時々晴れという天気であり、各面の含水率は乾燥により若干の低下を示し同時に寸法も収縮していることがわかる。

図2に、1991年9月から1992年5月までの東西南北の各面に垂直暴露したベイツガ柾目面の半径方向における寸法変化を示す。ここで特徴的なことは、図1のような短い期間では暴露面により寸法変化の違いが生じるが、長期間では各面ともほぼ同様な寸法変化を生じることがわかる。そのため、屋外に暴露された木材の寸法変化は大気の湿度変化に比例するといえる。季節的には、暴露直後の秋雨により木材は大幅な膨潤を示し、最大2.5mm、約3.5%の膨潤を生じた。冬期は湿度が低く降水量も少ないことから1日および月単位での寸法変化も小さい。3月の後半から気温の上昇と共に寸法変化が大き

くなっていることがわかる。このように、無塗装の木材では1年間に3%以上の膨潤あるいは収縮が発生し、1日単位でも0.2%以上の寸法変化が絶えず発生しているため、塗装した場合の塗膜に与える応力は非常に大きいといえる。塗膜と木材との界面は高温多湿の微生物にとって格好の住処となるため、塗膜割れが生じた場合の塗膜劣化は急速に始まりその汚染は非常に目立つものになるのは周知のとおりである。

また、太陽は季節により南中高度が変化する。南中高度は、冬期に低く夏季に高い。このため、垂直暴露した面の日射量は、夏季は東面及び西面が多いが冬期は南面が圧倒的に多い。このため、木材の耐候性を考えた場合は垂直方向に木材を使用すること（縦使い）が有利なことが分かる。これにより、東西南北各面の塗膜の劣化は南面が最も激しいが、西面及び東面も夏季に強い日射を受けるため南面と同様に厳しい劣化環境である。一方、水平に木材を暴露すると（横使い）、夏季の高温時に最も強い日射を受けることになり、更に水分が停滞するため劣化は大幅に促進されてしまう。そのため、塗装処理も横使いの木材については特に注意する必要がある。

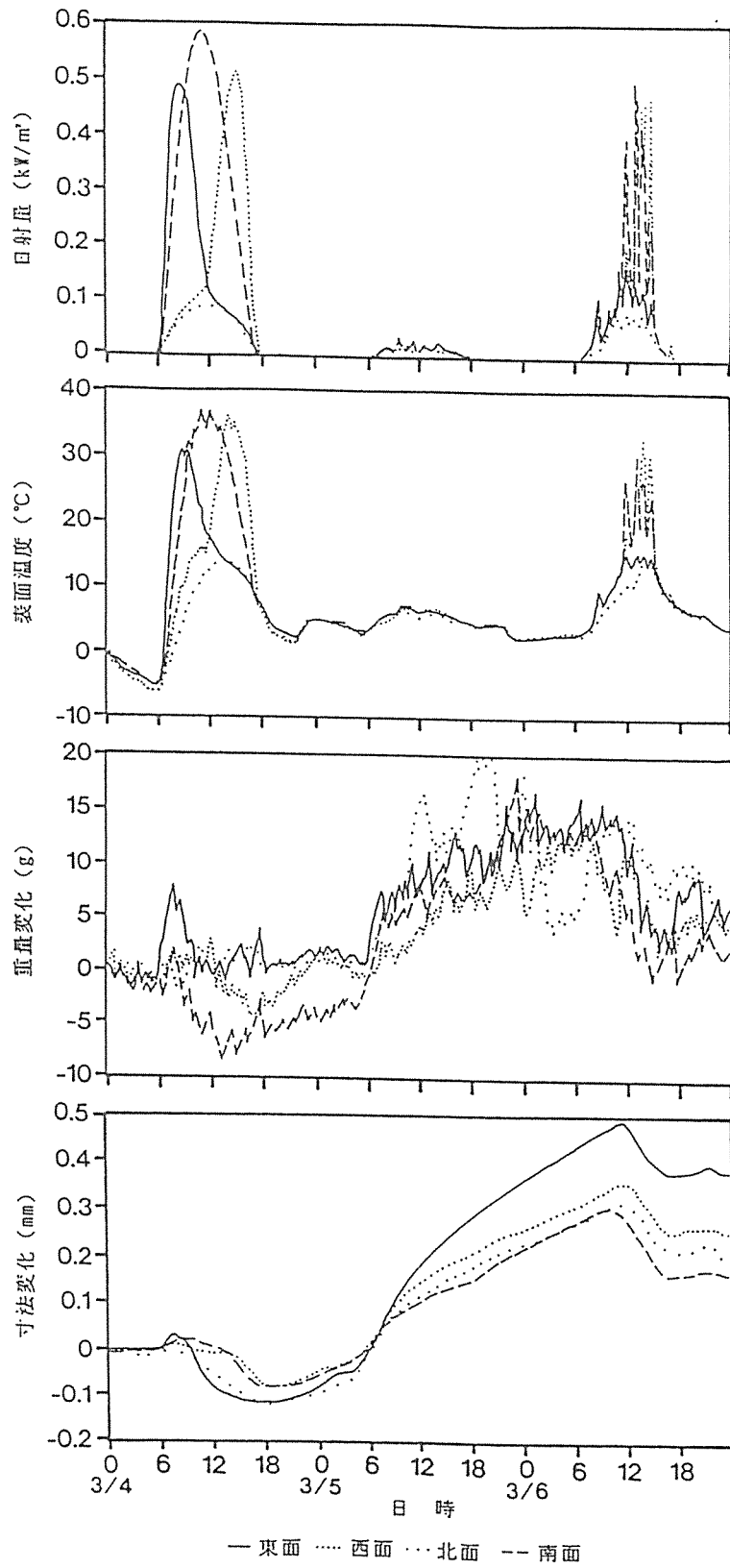


図1. 1992年3月4日から6日における東西南北に暴露した木材の経時変化

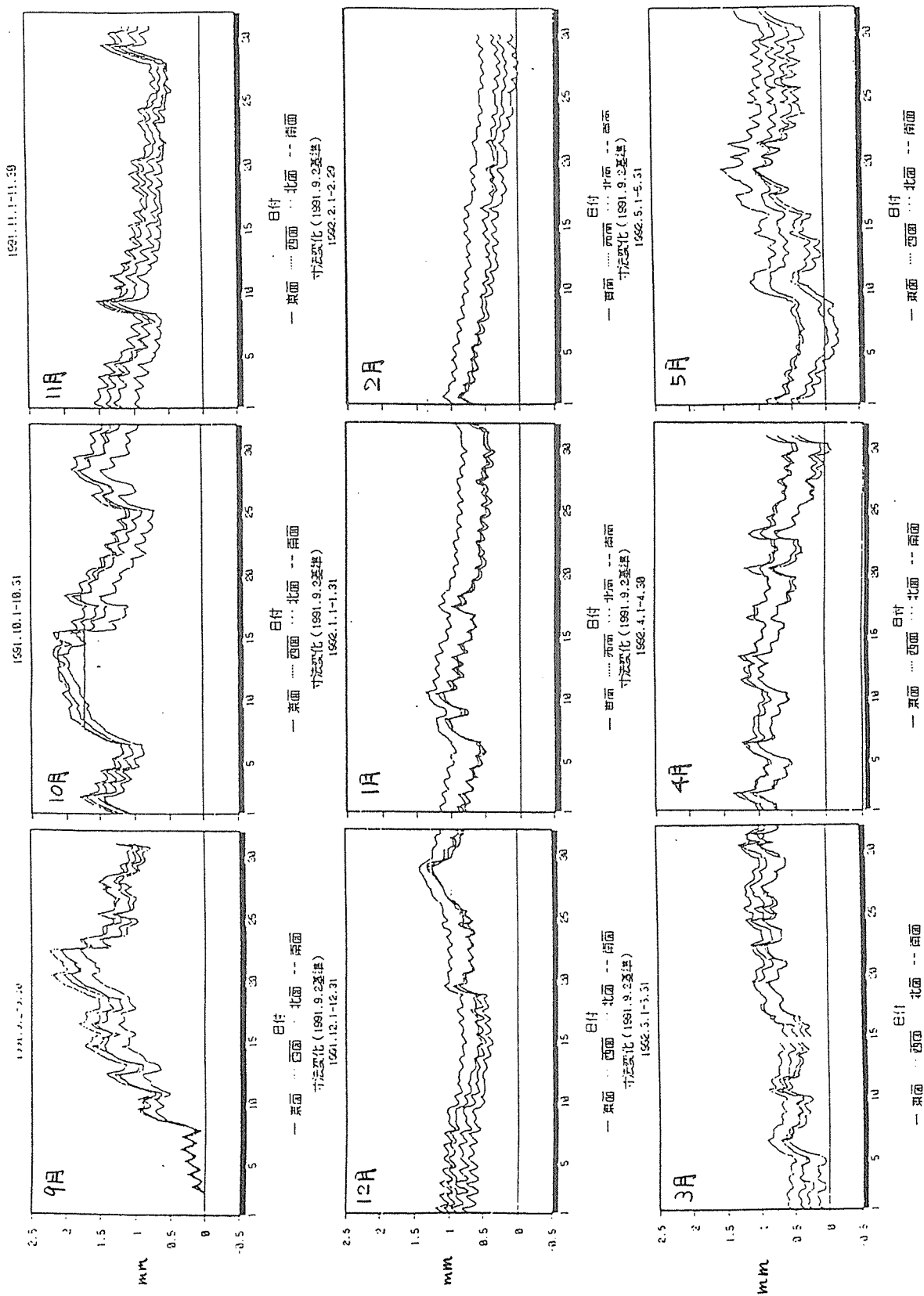


図 2. 東西南北各面に暴露したベイツガ証目試験片の半径方向 (80 mm) の寸法変化

7. 今後の課題

(1) 耐久性試験結果の表示法の作製

5. で述べたが、関連資料の収集、継続中の暴露試験中間結果との整合性等を検討しながら、なるべく早い時期に表示法を作製しなければならないと考える。

(2) 木製サッシの効果的な表面処理

冬期を除く多雨、多湿のわが国特有の気象条件が木製サッシの耐久性に悪影響を与えていることはよく知られている。

特に、カビや腐朽菌による汚染、腐朽は早期に美感を著しく損ない、長期的には塗膜を剥離させ、木材の破損まで進行する。

一方、木製サッシ内部に侵入した水分は、木材を膨潤させ、狂いや反りを発生させ窓の開閉を困難にし、木部割れを起こす。

上記の好ましくない現象を防ぐために、塗装が行なわれ、特に木製サッシ用塗料には防バイ剤、防腐剤、防虫剤を添加することによって効果を高めている。

わが国の気象条件は、欧米に比べ木製サッシの美感および強度耐久性に非常に強い悪影響を与えている。

それゆえ、これを防ぐ木製サッシの表面処理が特に重要である。効果的な表面処理を行なうには、次の点に考慮を払わなければならない。

① 防カビ、防腐剤

防カビ、防腐剤を塗料中に混入することは、ある程度の効果が期待できるがより完全にするには、塗装前処理としての防カビ、防腐剤処理が必要である。

そのために、木製サッシに適用可能な処理法の検討、比較的毒性が少なく、無公害の防カビ、防腐剤の選択。

② 塗膜の透水性、透湿性

塗膜の透水性、透湿性の大小を実際の木製サッシ使用状況から検討し、最適塗料を選定しなければならない。

従来から塗装した塗膜の透水、透湿性が小さいほど木材の寸法安定性のうえから良い塗料と言われてきた。しかし、従来の考えが木材の生物被害に対しても有効か否かは疑問が多い。

現在、木製サッシには透水、透湿性が小さい表面造膜型塗料、透水、透湿性が大きい浸透型塗料の両方が使われている。

両塗料の特徴をみると、造膜型塗料は高い水分遮断性によって、木材の寸法安定性を高める効果がある。反面、木材中の水分の放散が妨げられ、塗膜下の含水率が上がりカビ、腐朽被害の危険が高まる。

木製サッシの場合、未塗装部分、組合せ部や継手部、塗膜割れ等から水分の侵入を完全に防ぐことができない。いったん木製サッシに入った水分は長期間留まることが予想され、生物被害の危険率が高まると考えられる。

浸透型塗料は、水分遮断性が低いために大量の水分が急激に侵入し、木材を狂わせ、寸法変化が大きいために木製サッシの構造を破壊する危険がある。また、水分と一緒に菌の胞子が入り込む危険率も高い。

反面、木材内の水分の放散が自由に行なわれ、水分の長期間滞留が少なくなると考えられる。

次年度は、両タイプ塗料の特徴を調査し、木製サッシの構造および防バイ、防腐処理との関連で検討を加えなければならないと考える。

(3)構造と耐久性の関係

菌のような生物被害の問題は、木製サッシの構造、特に水分が入りやすいか否かが非常に問題である、次年度では、構造と耐久性の関係を追求しなければならないと考えている。