

促進耐候性試験 (その3)

Introduction to Accelerated Weathering Test Methods (No.3)



分析センター
第2部
飯田真司
Shinji
Iida

1.はじめに

前2報において、塗膜の促進耐候性試験とその機器を中心に解説してきた。これらの耐候性試験はいずれも屋外ばくろ試験を前提にして、光、温度(熱)、水分の主要劣化因子による負荷を人工的に高めることで塗膜の劣化を促進していち早くその耐候性能に関する情報を得ようとするものである。それらのほとんどは劣化因子の中でも光、特に紫外線による塗膜の劣損作用の効果に注目して、その照射エネルギーを技術的に可能な限り高めることでその促進性を確保しようとするものであった。

しかし、限られたスペースの装置や容器の中でこれらの劣化因子をいくらコントロールしたとしても実際の屋外ばくろでの環境条件を再現することはかなりの困難を伴うことである。更には「促進性」を少しでも高めようとこれらの劣化因子を極端に高めた条件で試験しようとするため、往々にして屋外ばくろ条件との乖離が大きくなることとなる。これらはこれまでの促進耐候性試験の言わば「宿命」でもあった。これらの促進耐候性試験は屋外ばくろ試験に比べて確かに高い「促進性」を保証するものではあるが、残念ながら現在まで屋外ばくろ試験の確実な「再現性」を保証するものには到っていない。その理由としてこれらの促進試験が、比較的単純な機器の構成やシステムの組み合わせで紫外線や熱、水分などの負荷を画一的に与えるような設計で試験機が開発されてきたことが影響しているのではないかとと思われる。また、これらの促進試験は屋外ばくろ試験の再現性のみならず、品質保証のための試験や規格試験としての用途も同時に求められてきたことも劣化因子の画一的な負荷法に留めざるを得ない設計に終始させた要因ではなかったかと考えている。

従来の促進耐候性試験のこうした問題点についてはこれまでもさまざまに論議されてきたが¹⁻¹⁷⁾、具体的な方向性や明確な指針を提示するような考え方は未だ示されていない。

一方ここ数年来、「促進性」、「相関性・相似性」、「再現性」についてさまざまな角度から検討を加え、実際のばくろ環境における塗膜の劣化メカニズムにできるだけ近づけようとする

研究が進んできており、従来の促進耐候性試験が抱えてきた屋外ばくろの再現性に関する課題に対して塗膜の具体的な劣化メカニズムを念頭に置いた試験法が提案され始めてきている。¹⁸⁻²⁶⁾それらはこれまでの促進耐候性試験の問題点を深く認識し、屋外ばくろで進行する塗膜の劣化をある程度化学的、物理的に分析・解析し、その結果を促進試験条件に効果的に組み入れようとするものである。

本報では、それらの新しい促進耐候性試験について紹介する。

2. 屋外ばくろにおける塗膜の劣化

2.1 塗膜劣化の基本的概念

実際の屋外環境条件において紫外線などの劣化因子の攻撃を受けて塗膜劣化が進行する様子を図1に示した。

塗膜中では表層、層中、各種界面など様々な部位や場所でそれぞれに異なった刺激(単一あるいは複数)に基づく化学反応が起こっている。それらはそれぞれに基本的な単位反応と見なせると考えられるが、現在のところそれらをひとつひとつ具体的に定量的に解析することには多くの技術的な困難が伴うことになる。

塗膜は樹脂、顔料、添加剤や時には微量に残存する溶剤成分などから構成されており、これらはさまざまな繋がり(化学的・物理的な)で塗膜を形成しているが、ここに紫外線や熱、水分、その他反応性因子が攻撃を加えると、個々の部位で劣化反応が発生し進行してゆく。さらにそれらは相互にしかも複雑にそれぞれの反応条件に化学的・物理的な影響を及ぼし合い、時に合算(積算)され、時に交互作用を引き起こしながら進んでゆくものと考えられる。

結果的に塗膜の劣化はその組成条件(配合)、構成条件(全膜厚、クリアー膜厚、下塗り層や下地の種類)で異なってくることとなる。また、当然のこととして環境条件(紫外線量、波長分布、水分供給量、温度、その他反応性因子)でも異なってくることとなる。

2.2 光によるラジカル、過酸化生成のメカニズム

塗膜が通常の屋外環境で光(紫外線)の照射や降雨、結

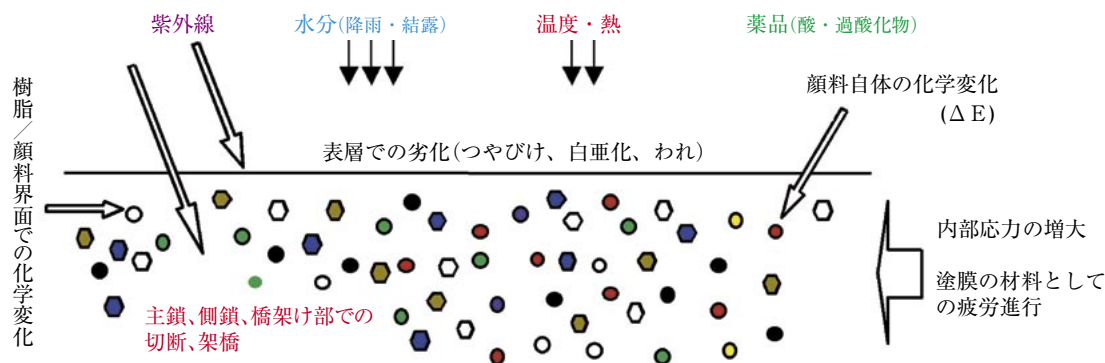
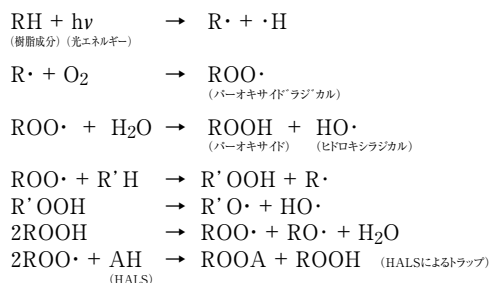


図1 屋外ばくろにおける塗膜劣化の概念図

露などによって劣化してゆく場合、以下に示すような化学的なメカニズムで高活性のラジカルや過酸化生成が発生し、塗膜の化学的分解が開始されてゆくものと考えられている。

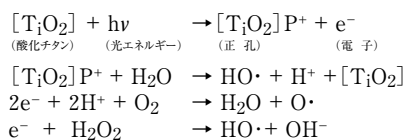


ここでは、光による直接的な破壊のほかに、酸素や水分の介在によっても樹脂成分の分解が進んでゆく可能性があることが示されているが、通常環境条件下では酸素や水分は豊富に存在しており、これらの塗膜表面への供給は十分であると考える方がよい。²⁷⁾

矢部ら²⁸⁾はいくつかの種類の異なる塗膜のIRスペクトルの解析結果から、屋外ばくろではエステル結合の分解が主に進行していることを挙げているが、これらは酸素や水分の十分な補給を受けることで進行してゆくものと考えられる。実際の環境条件下においては、光のエネルギーに基づく上記のようなラジカルの発生を起点として、図1で示したように塗膜のあらゆる部位において、さまざまな化学反応が酸素や水分の供給を受けながら比較的穏やかな形で進行してゆくことが想像される。

2.3 酸化チタンによる光触媒作用

チタン白顔料が共存している通常のエナメル塗膜では次のような酸化チタンの光触媒作用が働き、ラジカルを生成することが知られている。^{29)、30)}



ここでは、まず光(紫外線)を吸収した酸化チタンが+電荷の正孔と-電荷の電子を生成する。酸化チタンの表面近傍の水が正孔によって酸化を受けて高活性のヒドロキシラジカル「HO・」が発生し、これが樹脂の劣化反応を進行させることとなる。この場合、顔料の周辺部を中心にして劣化が進行するという特徴的な劣化形態となる。(図2²³⁾、図3³¹⁾参照)

このようなラジカルによる樹脂成分の分解が先行して起こることによって、チタン白の周辺部に小さな穴が生じ、さらには拡大してゆくことが多くの耐候性試験に関する研究で報告されている。^{18, 21, 23, 25, 28, 31)}

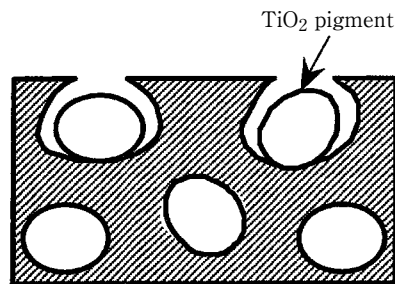


図2 チタン白による塗膜劣化形態の概念図1²³⁾

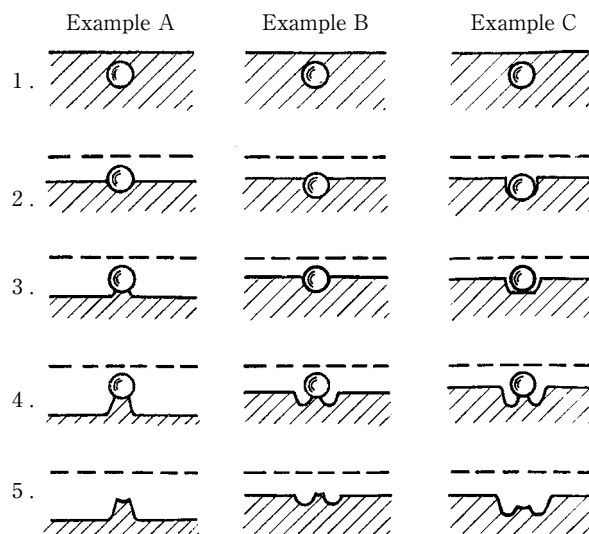


図3 チタン白による塗膜劣化形態の概念図2³¹⁾

写真1および2はそれぞればくろされた白エナメル塗膜の表面をSEM観察したものである。ここでも酸素や水分が十分供給されるような実際の環境条件で、塗膜の劣化反応が徐々に進行してゆくものと考えられる。

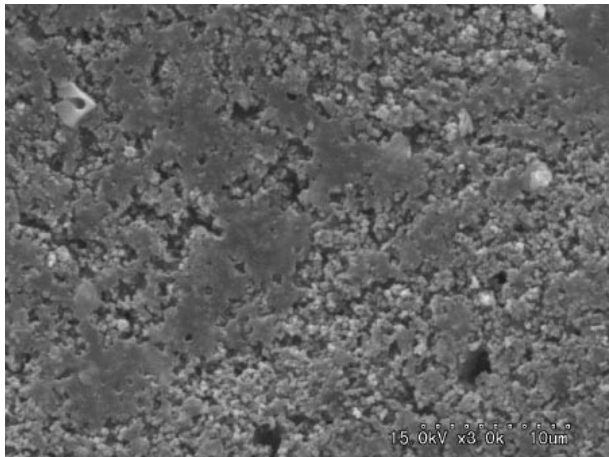


写真1 ばくろ塗膜の表面状態
(SEM写真:10000倍、白エナメル:アクリル樹脂系エマルジョン)

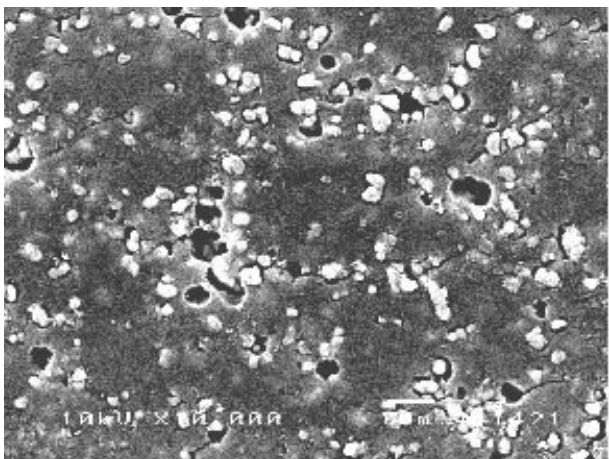


写真2 ばくろ塗膜の表面状態
(SEM写真:10000倍、白エナメル:アクリル樹脂系)

その他、酸化チタン以外のさまざまな金属化合物についても樹脂成分の劣化を進行させる事例の報告がある。^{27,32,33)}

塗膜の劣化反応は「HO・」や「O・」などのラジカルの生成を起点として開始され進んでゆくことになるが、紫外線吸収剤やラジカルトラップ剤の添加はこれらをコントロールするための効果的技術手法として今や技術的な常識となっている。

2.4 屋外ばくろにおける塗膜の劣化のポイント

屋外ばくろにおける塗膜の劣化をあらためて整理してみると、以下のようにまとめることができる。

- 1) 塗膜の劣化は長い時間をかけて、少しずつ進行してゆく化学反応である。
- 2) 劣化の起点は光の照射によるラジカルの発生である。
- 3) 屋外ばくろでのラジカルの反応は通常、酸素や水分が十分に供給される条件で進行する。

我々が促進耐候性試験を実施したり、設計したりする時には、この3つのポイントを押さえておくことが大切である。促進試験である以上、劣化に関わる化学反応を促進させる手段を講じることとなるが、光の照射条件とともに酸素や水分の供給方法に留意し、屋外ばくろで進行しているような劣化メカニズムをできるだけ忠実に再現させることが重要となる。

3. 促進耐候性試験の基本的課題

前2報で解説してきた各種の促進耐候性試験は、塗膜が置かれている環境条件を再現するような形で試験条件を設定しようと考案されてきたものであるが、「促進性」を確保しようとするために実際の環境条件に比べて紫外線などの劣化因子を極端に強めた形で負荷させる試験条件となっている。特に「促進性」を効果的に高めようとする紫外線の照度を高めることになってしまうことから、結果的に紫外線による攻撃が主体となる劣化メカニズムとならざるを得ない側面がある。それぞれの促進耐候性試験によって異なるものの、屋外ばくろに比べると酸素や水分が相対的に欠乏した条件での試験となる傾向があるようである。

このようなことから屋外での実際の環境条件を忠実に再現した上で、塗膜の劣化を短期間で進行させることができるような促進耐候性試験はこれまでのところ提案されていない。促進耐候性試験とは本質的に実際の環境条件を正確に、精度よく再現させることが、現状においては困難な試験であることをあらためて認識しておく必要がある。

矢部ら²⁸⁾はいくつかの塗装システムについて屋外ばくろでの劣化の様子と各種促進耐候性試験での劣化の進行状況を各種の分析的手法や光学的手法で解析しているが、いずれの促進耐候性試験もそれぞれの試験光源の分光分布や水分の負荷条件、試験温度などによって、特定の劣化反応に偏って促進する傾向があり、屋外ばくろとは異なる劣化メカニズムで進行していることを報告している。写真3にそれらの一部を示しているが、アクリル/メラミン樹脂熱硬化塗膜を一定の時間、屋外ばくろと促進耐候性試験にかけた後のSEM観察像の例である。

このような各種の促進耐候性試験の再現性や屋外ばくろとの対比については他にも多くの解析や報告がなされている。^{1~17)}

4. 過酸化水素負荷型促進耐候性試験

実際の屋外ばくろ条件において、塗膜がチタン白の表層を触媒として生成したヒドロキシラジカルやその他によって劣化が進行することを前項で述べているが、このような劣化メカニズムに着目し、できるだけ忠実に促進試験条件で再現させようとする研究が進められ、新しい促進耐候性試験法として提案^{18~23)}されている。

館、森らは塗膜をいくつかの酸化剤水溶液に浸漬しながら

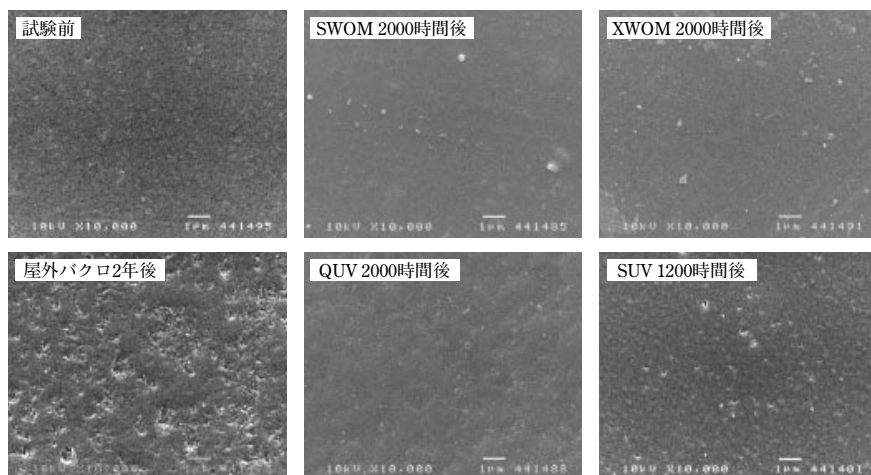


写真3 各耐候性試験後の塗膜の表面状態²⁸⁾
(SEM写真:10000倍、エナメル:アクリル/メラミン樹脂熱硬化型塗膜)

SWOM:サンシャインウェザーメーター XWOM:キセノンウェザーメーター
QUV:紫外線蛍光ランプ SUV:メタルハライドランプ

ら紫外線を照射させる方法や、酸素/水蒸気気流中に置いて紫外線照射させる方法などを試みている^{18,19)}。これらの試験法やこれらを組み合わせたサイクル試験では実際の屋外ばくろで塗膜に発生する劣化状態をほぼ再現させている。

前項で述べたように「OH・」や「O・」などのラジカルは酸化チタンの表面近傍で光のエネルギーを受けて水や酸素の供給によって生成されるが、ここでは酸化剤水溶液をソースとし紫外線照射によってこれらラジカルを大量に負荷させることで実際の塗膜で進行している劣化反応を大幅に促進しようとするもので、屋外ばくろの劣化状態を100倍以上の促進性で再現させている。

この促進耐候性試験の特筆すべき点をあらためて整理してみると以下のようなものである。

- 1) 屋外ばくろにおける塗膜の劣化メカニズムを化学的に捉えていること
- 2) それを促進試験条件の中で忠実に再現しようとしていること
- 3) その結果として屋外ばくろと近似した塗膜劣化状態を概ね再現していること
- 4) これまでの促進耐候性試験に比べて促進性を大きく向上させていること

館らの研究^{20,21)}では、試験装置の腐食の問題や取り扱いやすさなどの観点から最も適した酸化剤として「過酸化水素」を選択している。また、酸化剤の負荷方法として浸漬によるもの、シャワー水として吹き付けるものなどを検討しているが、シャワー方式が試験効率などの点で有利であると結論付けている。その他、光源には各分光特性に基づいて、太陽光に分光分布が近似しているキセノンアークランプが最も適性があるとしている。

これらの結果から、キセノンアークランプ式耐候性試験機で過酸化水素水溶液をシャワー水として吹き付ける試験方式・試験装置を開発し、これを「高速耐候性試験機」と命名している。

4.1 促進性と相関性

この促進耐候性試験は開発されて間もない状況であり、現時点では開発者らのごく一部のみの試験データ¹⁸⁻²³⁾しか公表されていないが、それらの相関性に関するデータを図4および5に示した²¹⁾

ここでは、自動車用上塗り塗膜の沖縄ばくろ2年と開発された促進耐候性試験176時間についての光沢保持率と色差の相関性を評価し、それぞれに高い相関性が認められている。また、SEM写真による塗膜表面の観察でその劣化状態が屋外ばくろに近似していることを確認している。

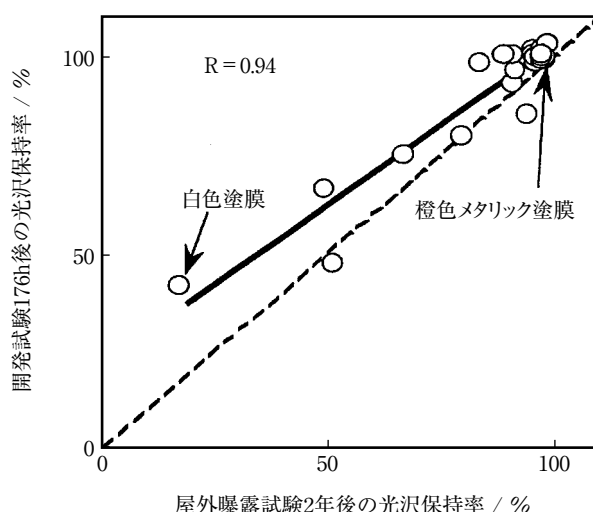


図4 過酸化水素負荷型耐候性試験176時間と沖縄ばくろ2年との相関性評価(光沢)²¹⁾

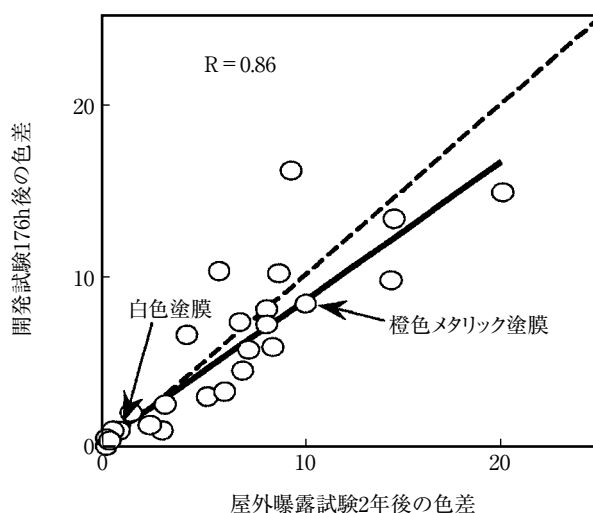


図5 過酸化水素負荷型耐候性試験176時間と沖縄ばくろ2年との相関性評価(色差)²¹⁾

このような結果から、屋外ばくろ2年での塗膜状態をこの促進試験では約1週間以内で再現させることができるということになり、従来の促進耐候性試験に比べて極めて高い促進性が得られている。

筆者らもこれらの追試験を試みており、酸化チタン(チタン白)を含むエナメル系塗膜の場合では、その種類や顔料樹脂比などにもよるが、約5日間の試験で屋外ばくろ2~3年相当の塗膜劣化を生じさせることができた。また、試験塗膜の表面状態を写真4および5に示しているが、屋外ばくろで見られるような巣穴状の塗膜の侵食が観察されている。

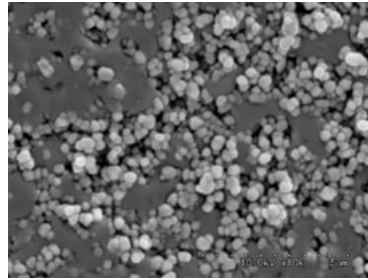


写真4

過酸化水素負荷型促進耐候性試験5日後の塗膜表面の状態 (SEM写真:10000倍、アクリル樹脂系エマルジョン塗膜)

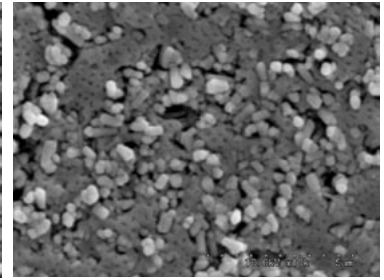


写真5

過酸化水素負荷型促進耐候性試験5日後の塗膜表面の状態 (SEM写真:10000倍、アクリル樹脂系塗膜)

4.2 試験条件

この試験法の試験条件については詳細な部分は報告されていないが、これまでのところ次のような試験条件が提示されている。

試験装置：キセノンアークランプ式耐候性試験機

ランプの照射強度：76 W/m²(300~400 nm)

過酸化水素水溶液濃度：1%

過酸化水素水溶液噴霧 ~ 脱イオン水噴霧サイクル
：22時間

過酸化水素水溶液をガーゼなどの布にしみ込ませて一定時間接触させるなどの比較的簡便な方法なども効果的であるようであるが、現在のところ、キセノンアークランプ式耐候性試験機で過酸化水素水溶液をシャワー水として吹き付ける方式が開発者らの提案通り最も効果的で使いやすいと考えられる。

上述の研究では、過酸化水素水溶液の濃度や負荷時間などについて実験条件が示されているが、この試験法の最適条件がどの辺りにあるかは対象とする塗膜の種類や膜厚、その構成要素、素地の種類などのほか、試験目的などによっても異なってくる可能性もあり、今後これらについて更なる詳細な研究が進められるのを期待したい。



写真6 過酸化水素負荷型促進耐候性試験機の外観³⁴⁾
(キセノンアークランプ噴霧式:A社)

4.3 試験装置について

この試験法では開発者らの提案に従って、既存のキセノンアークランプ式耐候性試験機に過酸化水素水溶液の供給装置を接続し、所定の時間、噴霧させるようにしたものが複数の試験機メーカーからセットで販売されている。

写真6はA社製のもので、キセノンアークランプ式耐候性試験機に手前の専用供給タンクとポンプを接続して使用する。³⁴⁾また、写真7はS社製の装置の外観である。



写真7 過酸化水素負荷型促進耐候性試験機の外観
(キセノンアークランプ噴霧式:S社)

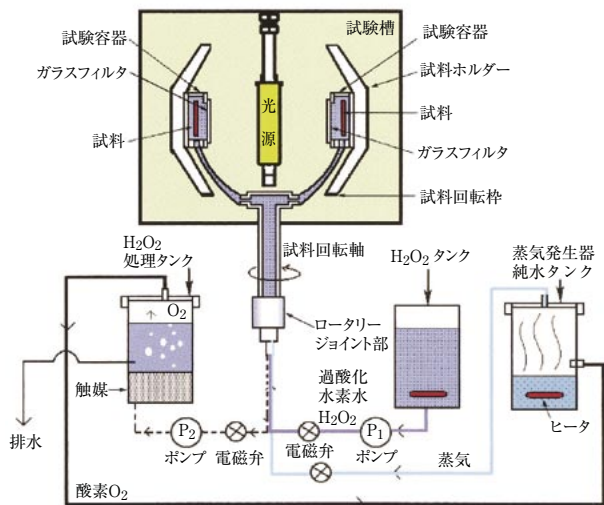


図6 過酸化水素負荷型促進耐候性試験機の構造原理図³⁵⁾
(キセノンアークランプ浸漬式:S社)

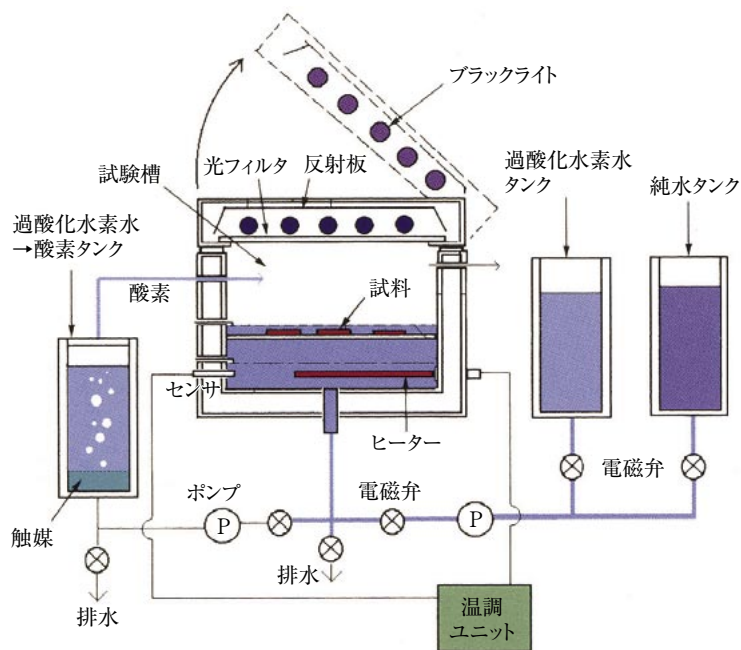


図7 過酸化水素負荷型促進耐候性試験機の構造原理図³⁶⁾
(紫外線蛍光ランプ浸漬式:S社)

その他、この試験法では浸漬式のものも開発されており、キセノンアークランプ式耐候性試験機の試料ホルダーに過酸化水素水溶液を供給して試験板を浸漬させるようにしている。(図6³⁵⁾) また、紫外線蛍光ランプを試験光源に採用したのも設計されており、浸漬試験槽に試験板を設置して一定時間紫外線を照射する方式のものもある。(図7³⁶⁾)

5. リモートプラズマ式促進耐候性試験

「HO・」などのようなラジカルによる攻撃を受けて塗膜中の樹脂成分の劣化反応が進むことに着目した促進耐候性試

験がもうひとつ開発されている。ここでは酸素ラジカルを塗膜に直接攻撃させるという革新的な手法を採用しており、屋外ばくろ試験で進行する劣化反応が極めて短い試験時間で再現できるようなのである。本報ではこの促進耐候性試験の原理や試験条件などについて簡単に紹介するが、これらの詳細についてはその開発者である赤堀らの報告²²⁻²⁹⁾が数多く出されているのでそれらを参照されたい。

この試験の最も特徴的なところは従来の促進耐候性試験では必須とされてきた紫外線光源を持たないことであり、塗膜劣化の主役である「ラジカル」を直接塗膜に照射させて実際のばくろでの劣化反応の再現と促進効果を実現させようとしている点にある。

5.1 相関性と促進性

この促進耐候性試験も開発されて間もない状況であることから、現時点では開発者らのごく一部のみの試験データ²⁴⁻²⁶⁾他しか公表されていない。それらの相関性に関するデータを図8、9に示した。²⁵⁾

ここでは、アクリルエマルジョン塗料での沖縄ばくろ試験5年とリモートプラズマ式試験50分について色差と光沢変化の相関係数が示され、それぞれに相関性が認められるとの報告がされている。また、SEM写真などの観察から塗膜の劣化形状も屋外ばくろに近似していることが報告されている。²⁴⁻²⁶⁾

この試験結果から、沖縄で5年間ばくろした時の塗膜状態をリモートプラズマ式試験では約1時間以内で再現させることができるということになり、促進性においてもこれまでのいずれの促進耐候性試験に比べても格段に高いレベルの試験となっている。

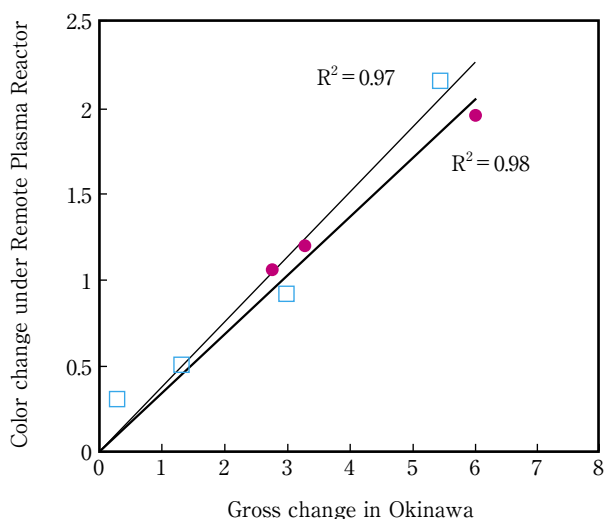


図8 リモートプラズマ式促進耐候性試験と沖縄ばくろとの相関性評価 (色差)²⁵⁾

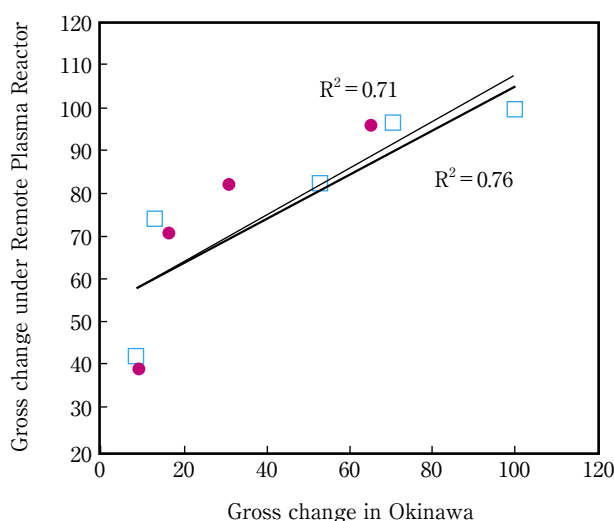


図9 リモートプラズマ式促進耐候性試験と沖縄ばくろとの相関性評価 (光沢)²⁵⁾

筆者らもこれらの追試験を試みており、酸化チタン(チタン白)を含むエナメル系塗膜の場合では、その種類や顔料樹脂比などにもよるが、数時間以内の照射試験で屋外ばくろ10年相当の塗膜劣化を生じさせることができるようである。また、その劣化塗膜の表面状態は写真8、9で示したように塗膜表面の樹脂層の侵食が進行したものとなっている。

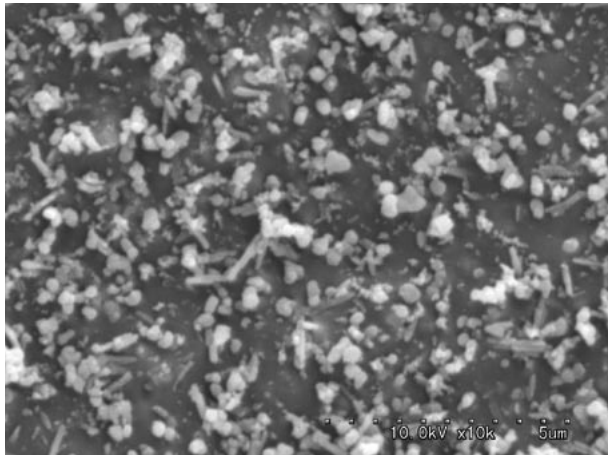


写真8 リモートプラズマ式促進耐候性試験後の塗膜表面の状態 (SEM写真:10000倍、アクリル樹脂系エマルジョン塗膜)

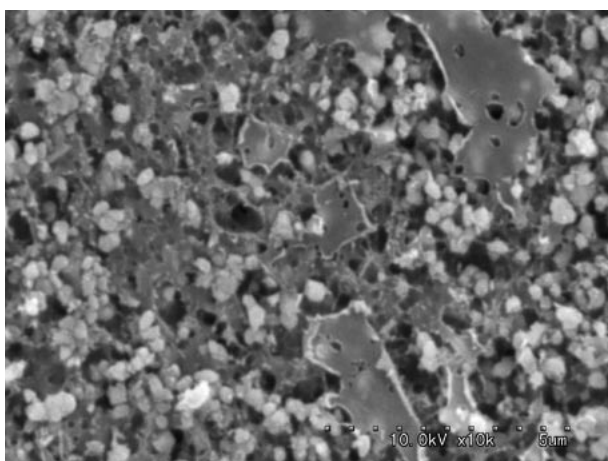


写真9 リモートプラズマ式促進耐候性試験後の塗膜表面の状態 (SEM写真:10000倍、アクリル樹脂系塗膜)

5.2 試験装置と試験条件

リモートプラズマ促進耐候性試験の装置の外観と構成を写真10³⁷⁾と図10³⁷⁾に示した。また、図11は試験槽の構成図³⁸⁾である。ここでは減圧された試験槽に酸素ガスを送り込み、13.5MHzの高周波で酸素プラズマを発生させる。酸素プラズマ中にはさまざまな高活性状態にあるイオン、原子状酸素などが混在しているが、試験槽内で高周波電極から若干離れた位置に試験塗膜を置くことで比較的寿命が長い酸素ラジカルを選択的に塗膜に照射させるような設計となっている。装置の基本仕様を表1³⁷⁾にまとめた。

過酸化水素負荷型促進耐候性試験およびリモートプラズマ式促進耐候性試験はそれぞれに塗膜の劣化メカニズム、劣化モードの本質を捉え、それを促進試験環境で再現させようとした着眼点や、劣化反応の本質的因子(ラジカル)を



写真10 リモートプラズマ式促進耐候性試験機の外観³⁷⁾

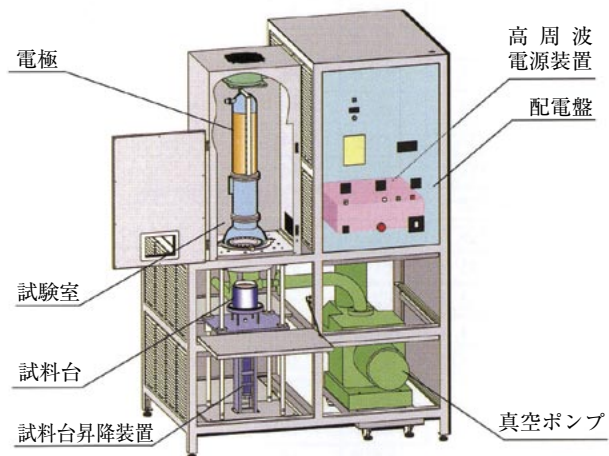


図10 リモートプラズマ式促進耐候性試験機の概略図³⁷⁾

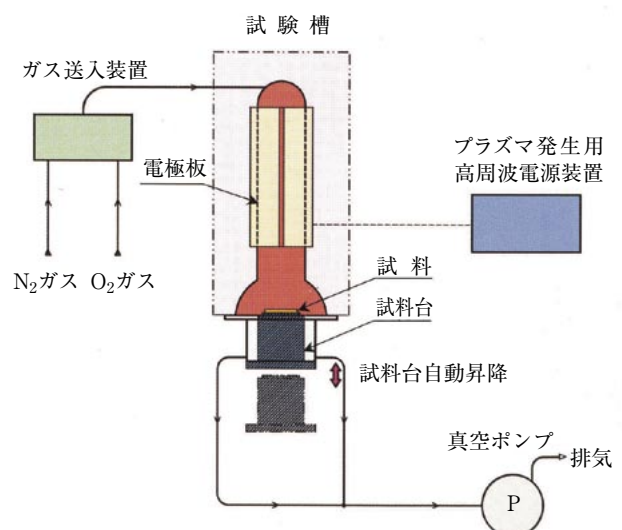


図11 リモートプラズマ式促進耐候性試験機試験槽の構成図³⁸⁾

表1 リモートプラズマ促進耐候性試験装置の基本仕様³⁷⁾

項目	測定値	備考
試験槽内の減圧度	133Pa	
高周波出力	50W	プラズマ発生用、10~290W可変
高周波発振周波数	13.56MHz	
試験槽送入ガス	酸素	
送入ガス流量	500ml/min	100~700ml/min可変
試料台	φ100mm	自動昇降
本体サイズ	135×86×190mm	重量：370kg.

直接塗膜に負荷させようとする試験法であることなど、これまでの促進耐候性試験とは考え方を異にした画期的な耐候性試験であるが、これまでのところ公開されている試験データはごく一部に留まっており、試験法としての信頼性、安定性の評価に関してはこれからのさまざまな検討やデータの蓄積を待つ必要がある。

この試験法、試験機に関する今後の幅広い分野での研究が展開されて行くことを強く望んでいる。

6. これからの促進耐候性試験

屋外ばくろ環境での塗膜や材料の劣化は太陽からの光(主にUV-A紫外線)の照射を主要因とした光酸化に加え、酸素、水分ほかの供給に基づくラジカル反応や加水分解反応とこれらの反応を律速する温度(熱)によって比較的緩慢に進むものである。

従来までの促進耐候性試験においては、上述の各種劣化要因の負荷について比較的単純な発想に基づいた定性的手法で試験条件の設計を行ってきたのではないかと反省があるが、本報で紹介したふたつの新しい促進耐候性試験はその意味でこれまでの耐候性試験の考え方から大きく脱皮したものであり、これからの促進耐候性試験のあり方についての貴重なヒントを提供してくれている。

我々はばくろ環境におけるそれぞれの劣化因子について概ね正しい理解をしてきたが、塗膜や材料の表面や内部でそれらの劣化因子が具体的にどういう風に作用しているのか、その結果としてどのような反応やメカニズムに基づいて劣化が進行しているのかをあまり深く考察してこなかった。

どうやら試験の結果としての促進性や再現性を評価するに留まっていたようであるが、これまでの我々にはそれらの中で起こっている化学反応について精確に測定する分析手法や解析手法を持っていなかったことがその原因であったと考えている。

近年のコンピューターを駆使したデジタル化処理に基づく化学分析技術、光学解析機器、物性解析装置の発達はめざましい³⁹⁻⁴⁸⁾が、現在我々はそれらの超高感度・超高精度な解析手法を比較的容易に使いこなせるようになってきている。

先述の新しい促進耐候性試験はまさにこのような解析手法をベースにして塗膜や材料の劣化の実態を精確に把握で

きるようになったことによって実現できたものであり、このような考え方に基づいて実際の劣化メカニズムに則した促進試験法がこれからも次々と開発されてくるであろうと予測している。

さらに一歩進んで、一定の短い期間実際のばくろ試験を行なった塗膜や材料を対象として、これらのごく微小な変化に

ついて超高感度・超高精度な解析手法によってその劣化メカニズムを解明し、その程度を測定・評価することで長期の耐候性能を読み解くことも可能になるのではないかと考えている。具体的なものとしては「化学発光法」を利用した研究例など⁴⁹⁻⁵⁴⁾も出始めてきており、近い将来このような新しい試験法や評価法についての提案が出始めてくるのではないかと期待している。

7. おわりに

これまで3報に亘ってそれぞれの促進耐候性試験の解説をしてきた。個々の試験法、試験機についてできるだけ技術的な側面に視点を当ててまとめるように努めてきたつもりであったが、それぞれの試験法、試験機の問題点の記述が先行しがちとなったようであらためて反省している。

筆者の意図としては、それぞれの促進耐候性試験の特徴や問題点をしっかりと理解して戴き、試験に供される塗膜や材料の特性を十分に考慮され、その目的に則した試験条件で試験が行なわれて、塗膜や材料の本来の耐候性能をできるだけ正しく認識、理解して戴けることにあった。

これまでの促進耐候性試験では往々にして促進倍率が屋外の何倍に相当するとか、1ヶ月の試験が何十年に当たるとかの発想や見方が先行しがちで、その試験が塗膜や材料の性能を精度よく再現しているかどうかはつつい見過ごされてしまうようなことが繰り返されてきたように感じている。

確かにそのような発想や見方で効果的に評価できたことも少なからずあるが、旧来の比較的早期に劣化が進行するような塗膜や材料ではそのような考え方も有効ではあった。しかしながら、近年開発が進んできた長期の耐久性を有する塗膜や材料について20年、30年以上という「保証」が求められるような時代になった現在では、それらがどのようなメカニズムやモードで劣化してゆくのかをある程度考慮した上で、それぞれの試験法や試験条件を選ぶようにしなければ、その評価を大きく見誤ってしまいかねなくなっている。

今回の一連の解説がそのような理解や評価の助長に少しでも繋がってくるようになれば幸いであると考えている。

参考文献

- 1) C.B.Yakubovich : Lakokrasochnye Materialy Primenenie, 1, 43 (1971)
- 2) 竹島鋭機、川野敏範、高村久雄 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 55 [10], 715 (1982)
- 3) 竹島鋭機、川野敏範、高村久雄 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 55 [12], 872 (1982)
- 4) 竹島鋭機、川野敏範、高村久雄 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 56 [1], 9 (1983)
- 5) 竹島鋭機、川野敏範、高村久雄、加藤繁道 : J.Jpn.Soc. Colour Mater. (色材), 56 [7], 457 (1983)
- 6) Martin, Mcknight : J.C.T.57 [724], 31 (1985)
- 7) Martin, Mcknight : J.C.T.57 [724], 39 (1985)
- 8) Martin, Mcknight : J.C.T.57 [724], 49 (1985)
- 9) 矢木橋清 : 塗装工学, 22, [8], 346 (1987)
- 10) 外川靖人 : 塗装工学, 22, [8], 353 (1987)
- 11) 渡辺幸雄 : マテリアルライフ, 1, [2], 64 (1989)
- 12) 吉田豊彦 : マテリアルライフ, 8, [1], 3 (1989)
- 13) 吉田豊彦 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 65[5], 308 (1992)
- 14) 吉田豊彦 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 65[6], 364 (1992)
- 15) 吉田豊彦 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 65[7], 435 (1992)
- 16) 土居依男 : 塗料の研究, 121, 8 (1992)
- 17) 日本塗料工業会 技術委員会 耐候性部会 : 各種耐候試験機の調査研究, 4月(2002)
- 18) 森完爾、岡本一夫、館和幸 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 75 [5], 209 (2002)
- 19) 館和幸、森完爾、江崎泰雄、成田猛、辻正男 : 2003年度色材研究発表会講演要旨集, 20 (2003)
- 20) 森完爾、成田猛、館和幸 : 2003年度色材研究発表会講演要旨集, 110 (2003)
- 21) 館和幸 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 77 [5], 213 (2004)
- 22) 森完爾、成田猛、館和幸、梅村晋 : マテリアルライフ学会誌, 13 [No.4], 180 (Oct.2001)
- 23) 館和幸 : ウェザリング技術研究成果発表会テキスト, 43 (2002)
- 24) 赤堀雅彦、海野稔、楯野哲郎 : 2003年度色材研究発表会講演要旨集, 118 (2003)
- 25) 赤堀雅彦、海野稔、楯野哲郎 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 76 [8], 295 (2003)
- 26) 赤堀雅彦 : TECHNO COSMOS, 17, 30 (2004)
- 27) 大澤善次郎 : 塗装工学, 22, [8], 363 (1987)
- 28) 矢部政実、田桐澤根、岡本好広 : 塗料の研究, 146, 8 (2006)
- 29) 橋本和仁、藤嶋昭 : 用水と廃水, 36, 851 (1994)
- 30) 村澤貞夫 : J.Jpn.Soc.Colour Mater (色材), 69[7], 444 (1996)
- 31) G.Kaempf, W.Papenroth, R.Holm : J.P.T.46, [No.598], 56 (1974)
- 32) 皆川信 : 有機合成化学, 31, 420 (1973)
- 33) 大澤善次郎 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 95[5], 278 (1986)
- 34) 株式会社東洋精機製作所「ハイブリッド・エクスポートシステム(H Eシステム)」カタログ (2004)
- 35) スガ試験機株式会社「超高速耐候試験装置 Super H₂O₂ Weather Meter 型式ToSu-1」カタログ
- 36) スガ試験機株式会社「超高速耐候試験装置 Super H₂O₂ Weather Meter 型式SX-H₂O₂」カタログ
- 37) スガ試験機株式会社「SUGA TECHNICAL NEWS Serial No.200」(2006.8)
- 38) スガ試験機株式会社「SUGA TECHNICAL NEWS Serial No.197」(2006.2)
- 39) 赤尾賢一 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [10], 480 (2005)
- 40) 大久保優晴 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [10], 489 (2005)
- 41) 眞砂 央 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [11], 531 (2005)
- 42) 中井由実 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [11], 539 (2005)
- 43) 藤井直之 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [12], 572 (2005)
- 44) 山地 功 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 78 [12], 583 (2005)
- 45) 平野彰弘 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 79 [2], 75 (2006)
- 46) 藤田幸市 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 79 [2], 81 (2006)
- 47) 渡邊俊哉 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 79 [3], 120 (2006)
- 48) 安武正敏 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 79 [5], 210 (2006)
- 49) 山北尋巳 : 化学工業, 42 [11], 864 (1991)
- 50) 田中丈之 : 日本ゴム協会誌, 68, [6], 380 (1995)
- 51) 田中丈之 : マテリアルライフ, 10[1], 25 (1998)
- 52) 多留康矩 : J.Jpn.Soc.Colour Mater. (色材), 73 [12], 607 (2000)
- 53) 西條博之、加川邦博、田中丈之 : 塗装工学, 36, [4], 112 (2001)
- 54) 加川邦博、西條博之、田中丈之 : 塗装工学, 38, [3], 86 (2003)