

2019/07/09
改訂

考察： 光硬化型パテの導入に際す る基本情報

-Contents-

1. 光硬化型パテ市場拡大の背景
2. 光硬化型パテの概要
3. 光硬化型パテの選定目線

自動車のパネル修正に欠かせない材料の1つにパテがあります。

パテは、2014年11月の特定化学物質障害予防規則(特化則)の改正により、含有されるスチレンが対象物質に指定されました。

以来、スチレンフリータイプの商品が市場の主流となり、現在は様々なタイプの商品が市場に投入されていますが、何れの商品も従来のパテとは違った特徴を持つため、導入に際しては正しい使用方法を理解する必要があります。

中でも、「光硬化型パテ」については、光照射時の温度管理が不要で硬化時間も従来の2液性に比べて圧倒的に短いなどのメリット情報のみが先行し、導入に際して知っておくべき基本情報が圧倒的に不足しています。

そこで当協会では、会員向けに「考察_光硬化型パテの導入に際する基本情報」を編纂し、「光硬化型パテ市場拡大の背景」、「光硬化型パテの概要」、「光硬化型パテの選定目線」などの基本情報の提供を行うこととなりました。

会員各位におかれましては、「光硬化型パテ」の選定・使用に際し、本考察を有効にご活用ください。

一般社団法人日本自動車車体補修協会

-Contents-

1. 光硬化型パテ市場拡大の背景
2. 光硬化型パテの概要
3. 光硬化型パテの選定目線

特定化学物質等障害予防規則とは

自動車車体のパネル修正作業に不可欠な材料である「パテ」は、2014年11月の特定化学物質障害予防規則（特化則）改正により、含有されるスチレンが対象物質に指定されたことから、スチレンフリー製品の市場投入が行われ、現在でもより良い材料の提供に向けた開発が絶え間なく進められている。

特定化学物質等障害予防規則（旧規則）とは、昭和46年5月より施行された化学物質等による中毒その他の障害の発生状況等に鑑み一定の化学物質等による障害および環境汚染を予防するため、必要な規制について定めたものである。

当時は、経済の高度成長に伴う様々な問題が顕在化してきていた時期であり、そのような問題に対し、昭和42年に公害対策基本法（平成5年に環境基本法に統合）、昭和43年に大気汚染防止法、昭和45年に廃棄物処理法が制定された。

次いで昭和46年には特定化学物質等障害予防規則（新規則）が制定され、その後、昭和47年の労働安全衛生法施行に基づく省令として再制定された。

これが現在の特化則である。

<参考> 特定化学物質障害予防規則（昭和四十七年労働省令第三十九号）
別表第一（第二条、第二条の二、第五条、第十二条の二、第二十四条、第二十五条、第二十七条、第三十六条、第三十八条の三、第三十八条の七、第三十九条関係）

二十二の二 スチレンを含有する製剤その他の物。ただし、スチレンの含有量が重量の一パーセント以下のものを除く。

スチレン規制の詳細

スチレンは平成26年に発がん性2B(人に対し、発がん性を及ぼす可能性がある)、皮膚障害、多発性神経炎が認められ、特化則(特定化学物質障害予防規則)の特定化学物質に追加指定された。これにより、スチレンを含有するパテを使用する場合は、特化則の規定に準拠し以下の措置を取ることが義務付けられている。

- 保管についての規定(条文25)
- 作業主任者の選任(条文27)
- 作業環境測定, また測定記録の保持30年間(条文36)
- 作業の記録と保存30年間(条文38)
- 6か月以内毎の健康診断(条文39)
- 健康診断結果の保持30年間(条文40)その報告義務(条文41)

さらに平成29年より保護衣等及び洗浄設備に係る規制内容が追加された。

- 不侵透性保護衣, 保護手袋, 保護長靴着用の義務

特化則の改正が光硬化型パテの市場拡大の契機

従来の溶剤型パテ



2014年11月の特定化学物質障害予防規則(特化則)改正によりスチレンが対象物質に指定



従来の溶剤型パテ

特化測の規定に準拠した措置を講じれば使用可能。



スチレンフリーパテ

スチレンを使用しない材料として市場で販売されている。



光硬化型パテ

スチレンを使用しない材料として市場で販売されている。

使用には、専用の光照射機が必要。

-Contents-

1. 光硬化型パテ市場拡大の背景
2. 光硬化型パテの概要
3. 光硬化型パテの選定目線

1. 光硬化型パテ

1) 一般特性

「光硬化型パテ」とは、文字通り「光エネルギーにより硬化するパテ」の事をいう。特定のスペクトル(波長)でのみ硬化し、熱を加えても硬化しない。

①硬化特性

- 紫外線, 近紫外線, 青色光などにより架橋反応を開始する光硬化方式。

②操作性

- 主剤にあらかじめ硬化剤が入っているため混ぜ合わせの作業が不要。
- 混ぜ合わせ作業がないのでエアが混入しづらい。
- 硬化時間が短い。
- ポットライフが長い。

③基本性能

- パテは硬化前と硬化後で体積が約5%減少するが、完全硬化に至るまで約1~2週間を要する従来型(2液型)と比べ光硬化型は数十秒から数分で完全硬化に至るので、施工後にひけ, ヤセ, 歪が発生しづらい。
- 研磨性, 密着性, 柔軟性, 追従性などの性能は、従来型(2液型)と同様, 製品ごとのスペックによる。

④単体での経済性

- 導入に際しては、大半の工場で新規の設備投資(UV照射機などの光を発する機器)が必要。
- ほとんどの場合、重量あたりの材料単価は従来型(2液型)より高い傾向にある。
- 作業時間が圧倒的に短縮されるので、車両あたりの下処理コスト(作業単体)の削減が可能。但し、工程全体での作業時間短縮効果は、その工場の作業オペレーションにより異なる。

2) 光硬化型パテの種類

① 主剤による分類

光硬化型のパテには、大別すると、主剤がポリエステル系のものとエポキシ系のものがあり、一般にポリエステル系のものは研削性が良く、エポキシ系のものは密着が良いという傾向が見られる。

② スペクトル(波長)による分類

光硬化型パテには、硬化を開始するための光開始剤が配合されており、配合されている光開始剤の吸収スペクトルに合致する波長の光が放射されなければ、材料は硬化を開始しない。

光開始剤は吸収スペクトルとして一般的に350nm～420nmの間で 使用環境や使用目的に応じた、いくつかの種類がある。

3) 使用上の注意点

① 照射時間に関する注意点

- 光硬化型パテは、主剤にあらかじめ硬化剤と開始剤が未反応の状態では混合されており、基本的には1液型となる。
- 光開始材の吸収スペクトルに合致した光を照射すると重合反応が開始され硬化する。
- 重合反応が開始された箇所は停止反応が行われるまで反応の連鎖が続くが、どこで停止反応が発生するかは運次第のところがあるので、開始箇所が多ければ多いほど、すなわち照射時間が長ければ長いほど全体が硬化する確率は上がる。
- 従って、塗布したパテ全体を確実に硬化させるためには、ある一定時間光を照射することとなる。
- パネル修正箇所の面積にもよるが、単位面積あたり約30秒程度の照射時間を推奨しているメーカーが多い。
- ただし、照射時間が長すぎる場合には別の障害が発生する可能性もあるので、単位面積あたりの照射時間についてはメーカー推奨の照射時間に従うことが望ましい。

② 作業上の注意点

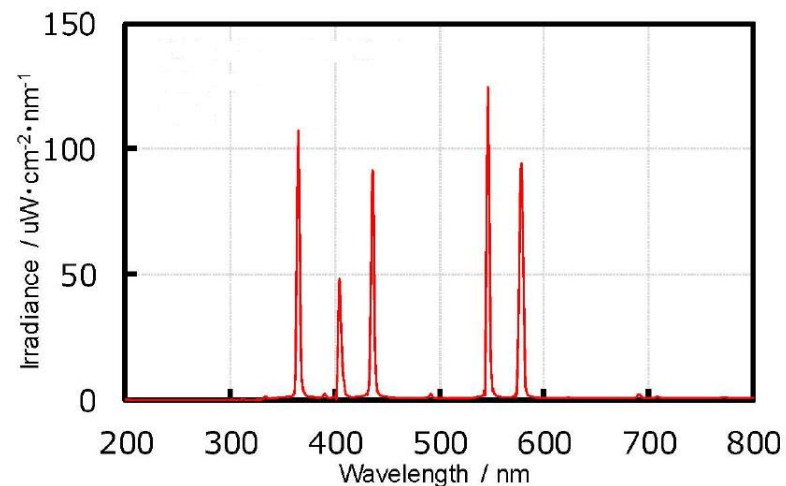
- 光が届かなければ硬化反応が促進されないため、塗布するパテの厚さには光の放射照度に応じた限界がある。(メーカー推奨の限界値を超えた厚付けは厳禁)
- 光の放射照度は、光照射機と照射面との距離、角度、照射範囲に依存するので、メーカー推奨の条件で作業することが重要である。

3. 光照射機(ランプ)

1) ランプ種類別の放射波長

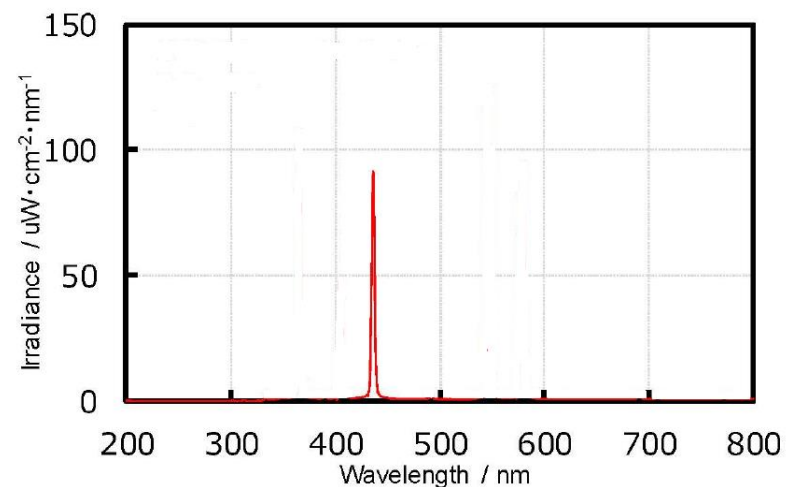
① 1つのランプが幅広い波長の光を放射するタイプ。
(マルチスペクトルタイプ)

- 高圧水銀ランプ
- メタルハライドランプ
- 複数の波長の素子を実装したLEDランプ



② 1つのランプが1つの波長の光を放射するタイプ。
(シングルスペクトルタイプ)

- 1つの波長の素子を実装したLEDランプ



※本ページに記載のスペクトル図はイメージ図であり、市販されている特定の製品の特徴を表しているものではありません。

2) ランプ種類別の照射特性

① 高圧水銀ランプ, メタルハライドランプ

- 光は拡散しやすいため照射範囲が広い傾向がある。
- インバータ方式, トランス方式など, 制御方式によって時間に差はあるが, ランプの点灯まで暖気運転が必要な場合が多い。(体育館の水銀灯のイメージ)

② LEDランプ

- 光が直進的で照射範囲が狭い。
- ランプ点灯までの暖気運転は, ほぼ不要な場合が多い。(ON/OFFが機敏, 家庭の電灯のイメージ)

★トピック_ランプの性能維持

① 放射照度

ランプは使用時間が進むと性能が劣化するので, 本来は定期的な放射照度測定などが必要だが, パネル修正においてはライン生産と違い, ランプ性能の劣化は硬化不良として認識できるので, 結果的に不良品を納品してしまうリスクが少ない。従って, 硬化不良の発生原因が作業に起因するものでない場合は, ランプの劣化を疑えば, 特に定期的な分光放射照度の点検は必要ないと考えられる。

② ランプ交換

ランプを交換する場合は, 照射機メーカーの純正品又は推奨するランプとの交換を行わないと, 光照射機本体の品質保証上の問題が発生する可能性があるため, 注意が必要である。

3) ランプのリスクグループ(JIS C 7550※)による分類

① 免除グループ

- 何らの光生物学的傷害も起こさないもの。

② リスクグループ1(低危険度)

- 通常の行動への制約が必要になるような傷害を引き起こさないもの。

③ リスクグループ2(中危険度)

- 嫌悪感及び熱的な不快感を伴う傷害を引き起こさないもの。

④ リスクグループ3(高危険度)

- 一時的又は短時間の露光によっても傷害を引き起こすもの。

※ JIS C 7550 ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性(別紙2 P8, P9を参照)

-Contents-

1. 光硬化型パテ市場拡大の背景
2. 光硬化型パテの概要
3. 光硬化型パテの選定目線

1. 製品から見た選定目線

①選定の基本

光効果型パテに限らず、パテ材料の「使い勝手」は、作業者の「好み」に依存する面が非常に大きく、「これが正解」という定量的な判断基準は基本的に存在しない。

ただし、「仕上り品質」については、作業者の「感覚」ではなく工場の「定量的な指標」をもって判断する方が品質の安定が図れるので、まずは自社の「仕上り品質」に対する「定量的な指標」を明確にし、「使い勝手」と「定量的な指標」の両面から、適切なパテ材料の選定を行うことが基本となる。

②材料と光照射機の組み合わせ

光硬化型パテに使用する光照射機は、パテメーカーがセット販売しているケースがほとんどだが、これは、光開始剤の吸収スペクトルと光照射機の放射波長(スペクトル出力)が合致することで、パテが硬化することに起因する。

また、パテに使用される樹脂成分自体の光吸収特性を考慮し適切な照度を確保することも重要でありパテメーカーはこれらの要素をも折り込んで製品設計をしている。

よって、パテメーカーがセットで販売している照射機以外を用いた場合に一見硬化しているように見えても化学的観点で設計通りの硬化反応が得られず、密着力の経時低下など予期せぬ不具合につながることもある。

つまり、使用に際して「材料はこれ」「光照射機はこれ」と任意で組み合わせる自由度はほとんどない。

製品から見た選定のポイント

- 製品の性能にはメーカーごとの特徴があるので、「メーカー及び販売店にスペックを確認する」、「自社で性能試験を実施する」など、従来型のパテと同様、自社工場で性能を十分に確認する必要がある。
- 使用に際しては、光硬化型パテと光照射機の組み合わせがメーカーの指定に合致しているか否かを十分に確認する必要がある。(但しメーカー純正照射機を使用しない場合パテ製品として品質保証対象外となることもある)

2. コスト削減効果から見た選定目線

★経済性

- 導入に際しては、大半の工場で新規の設備投資(UV照射機などの光を発する機器)が必要。
- ほとんどの場合、重量あたりの材料単価は従来型(2液型)より高い傾向にある。
- 作業時間が圧倒的に短縮されるので、車両あたりの下処理コスト(作業単体)の削減が可能。但し、工程全体での作業時間短縮効果は、その工場の作業オペレーションにより異なる。

光硬化技術は、すでに検証された産業界の一般的な基礎技術であり、基本的な硬化性能に疑うべき点はない。つまり、硬化性能の側面から光硬化型パテを見た場合、その導入には、硬化品質を保持しながら硬化時間(作業時間)が圧倒的に短縮されるというメリットがある。

しかし、実際の導入には注意が必要だ。

何れの車体補修工場も独自のノウハウの蓄積で車体補修全体の工程が成立していることが多く、たとえ光硬化型パテを採用しても、他のボトルネックが解消されないと工程全体での生産性向上を達成することは出来ない。例えば、下処理の生産性向上を達成しても、次工程(塗装)で作業が滞留してしまうようでは、工程全体の生産性が向上したとはとても言えない。

コスト削減効果から見た選定のポイント

- 導入によるコスト削減効果を得るためには、自社の車体補修全体の工程を総点検し、工程全体での生産性向上が自社工場で達成可能か否かを十分検討する必要がある。

3. 安全性から見た選定目線

★労働安全衛生

リスクアセスメントの視点から見ると、光硬化型パテを用いる作業はリスクアセスメントの対象とすべき作業である。

具体的には、光照射機を使用する作業は、厚生労働省が2006年3月に公表した「危険性又は有害性等の調査等に関する指針(別紙1 P15)」の「別添3 危険性又は有害性の分類例」で指定された、有害光線を発する作業である。

1. 傷害の区分 (「JIS C 7550 ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性(別紙2 P8, P9)」を参照)

- 目及び皮膚に対する紫外放射障害
- 目に対する近紫外放射障害
- 青色光による網膜障害
- 小型光源の青色光による網膜障害

2. 主な災害例 (JARWA調べ)

①紫外線放射障害, 近紫外線障害

- 急性紫外線角膜炎(目), 慢性翼状片(目), 白内障(目), 皮膚炎(皮膚), 皮膚がん等

②青色光網膜障害

- ニューロン網膜細胞死(目)等

1) リスクアセスメント

リスクアセスメントとは、危険性、有害性ごとに、リスクを見積もり点数化し、取るべき措置の優先順位を決める作業である。

厚生労働省は安全衛生水準の向上を目指して、「リスクアセスメント」の実施を2006年度から努力目標化させた。

従業員1名の事業所でも対象となっており、その実施は自動車整備業においても有用と考えられる。

自動車整備業におけるリスクアセスメントについては、厚生労働省が一般社団法人日本自動車整備振興会連合会の協力のもと2009年に発行した「自動車整備業におけるリスクアセスメント」、及び厚生労働省が同年に発行した「溶接作業におけるリスクアセスメントの進め方」などがある。

2) リスクの見積り

「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」

【指針】 9 リスクの見積り

(1) 事業者は、リスク低減の優先度を決定するため、次に掲げる方法等により、危険性又は有害性により発生するおそれのある負傷又は疾病の重篤度及びそれらの発生の可能性の度合をそれぞれ考慮して、リスクを見積もるものとする。ただし、化学物質等による疾病については、化学物質等の有害性の度合及びばく露の量をそれぞれ考慮して見積もることができる。

ア 負傷又は疾病の重篤度とそれらが発生する可能性の度合を相対的に尺度化し、それらを縦軸と横軸とし、あらかじめ重篤度及び可能性の度合に応じてリスクが割り付けられた表を使用してリスクを見積もる方法

イ 負傷又は疾病の発生する可能性とその重篤度を一定の尺度によりそれぞれ数値化し、それらを加算又は乗算等してリスクを見積もる方法

ウ 負傷又は疾病の重篤度及びそれらが発生する可能性等を段階的に分岐していくことによりリスクを見積もる方法

さて、「リスクアセスメント」の実施に際しては、光照射機を使用する作業のリスク(頻度+可能性+重篤度等)を算出しリスク分類を定義する必要があるが、重篤度については、「JIS C 7550ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性(別紙2 P8, P9)」で規定されている「リスクグループ」を活用すると定量的かつ客観的に決定可能である。

但し、「リスクグループ」の決定には、光照射機の分光放射照度別に露光許容時間と放射限界の算出が必要なので、「使用する機器がJIS C 7550(別紙2 P8, P9)の表2表3のどのリスクグループにカテゴリズされているか」を光照射機メーカーに尋ね、その回答に基づいて決定するのが現実的である。

<参考> JARWAが推奨する「リスクアセスメント」における重篤度の分類

- JIS リスクグループ3(高危険度) : 重症
- JIS リスクグループ2(中危険度) : 軽症
- JIS リスクグループ1(低危険度) : 軽微
- JIS 免除グループ : 軽微

3) リスク低減措置の検討及び実施

「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」

【指針】 10 リスク低減措置の検討及び実施

(1) 事業者は、法令に定められた事項がある場合にはそれを必ず実施するとともに、次に掲げる優先順位でリスク低減措置内容を検討の上、実施するものとする。

- ア 危険な作業の廃止・変更等、設計や計画の段階から労働者の就業に係る危険性又は有害性を除去又は低減する措置
- イ インターロック、局所排気装置等の設置等の工学的対策
- ウ マニュアルの整備等の管理的対策
- エ 個人用保護具の使用

目に対して有害な紫外放射及び赤外放射並びに強烈な可視光(有害光線)が存在する場所において、作業者の目を保護するため各人が着用する遮光保護具は、「JIS T 8141 遮光保護具(別紙3)」で規定されているので、個人用保護具は、光照射機メーカー又は販売店が指示・推奨するもの又は「JIS T 8141 (別紙3)」に記載のスペックに合致したものを選定すればよい。

ところで、「JIS T 8141 (別紙3)」は、2016年の改正においてブルーライト(青色光)に関する規定を設ける必要性が議論されたが、規定の設置は見送られている。従って、高圧水銀ランプ、LEDランプの別なく、ブルーライト(青色光)を発する機器を使用する場合の個人用保護具の選定は、基本的に光照射機メーカー又は販売店の指示に従うこととなる。

最近では、紫外線、近紫外線、ブルーライト(青色光)(~420nm程度まで)をカバーする高機能な遮光製品も発売されるなど、より安全な作業環境の確保が可能となりつつある。「なぜUV+420cutなのか_三井化学株式会社(別紙4)」を参照)

<注意喚起> 紫外放射及び赤外放射並びに強烈な可視光(有害光線)がソフトコンタクトレンズ着用者の目に与える影響について、危険であるとの科学的な知見は報告されていないものの、安全であるとの科学的知見も脆弱であるため、JARWAでは、ソフトコンタクトレンズ着用者に対して、アーク溶接機並びに光照射機の使用における遮光保護具の着用を強く推奨している。

4) 職場での紫外線ばく露に関する注意点

光硬化型パテの使用に際しては、環境省「紫外線環境保険マニュアル2015」により従業員および非従業員に影響を与える健康と安全上の危険性を見積り、その危険性を抑制する実現可能な手段を講じることが必要である。

これは危険性をゼロにすることはではなく、危険性を管理することを目的とする。紫外線照射の衣服越しの浸透は少ないので、人体に対する影響はおもに保護されていない目と皮膚に限られる。



紫外線環境保険マニュアル2015_環境省編 本文抜粋

職場での紫外線ばく露に対しては、一般の産業保健上の有害業務管理と同様に産業医、産業保健師、衛生管理者などが連携し、害を防ぐためにさまざまな対策が講じられています。

なお健康管理面では紫外線にさらされる業務に携わる人を対象に、行政指導に基づき、定期的に健康診断を行うこととされています。この健康診断の結果、紫外線、赤外線にさらされる業務における眼の障害について、平成20～25年における有所見率は2.0～2.9%、また休業4日以上労働災害の発生状況はこの間毎年10名弱が報告されています(安全衛生情報センター・労働災害統計より)。

安全性から見た選定のポイント

- 「使用する機器がJIS C 7550(別紙2 P8, P9)の表2表3のどのリスクグループにカテゴライズされているか」、もしくは「JIS C 7550(別紙2 P8, P9)に替えて自社で作成したアセスメントに必要なリスク要素」などの判断に必要な諸元データは、メーカー又は販売店から入手可能なので、それらを参考にすると良い。
- 使用に際して着用すべき適切なスペックの個人用保護具の選定について、判断に必要な諸元データは、メーカー又は販売店から入手可能なので、それらを参考にすると良い。

まとめ:光硬化型パテの選定目線

製品から見た選定のポイント

- 製品の性能にはメーカーごとの特徴があるので、「メーカー及び販売店にスペックを確認する」、「自社で性能試験を実施する」など、従来型のパテと同様、自社工場で性能を十分に確認する必要がある。
- 使用に際しては、光硬化型パテと光照射機の組み合わせがメーカーの指定に合致しているか否かを十分に確認する必要がある。

コスト削減効果から見た選定のポイント

- 導入によるコスト削減効果を得るためには、自社の車体補修全体の工程を総点検し、工程全体での生産性向上が自社工場で達成可能か否かを十分検討する必要がある。

安全性から見た選定のポイント

- 「使用する機器がJIS C 7550(別紙2 P8, P9)の表2表3のどのリスクグループにカテゴライズされているか」、もしくは「JIS C 7550(別紙2 P8, P9)に替えて自社で作成したアセスメントに必要なリスク要素」などの判断に必要な諸元データは、メーカー又は販売店から入手可能なので、それらを参考にするが良い。
- 使用に際して着用すべき適切なスペックの個人用保護具の選定について、判断に必要な諸元データは、メーカー又は販売店から入手可能なので、それらを参考にするが良い。