

# 水性塗料のハジキ現象に関する研究

Study on Cissing Phenomena Observed in Application of Waterborne Paints



分析センター  
第1部  
杉浦一俊  
Kazutoshi  
Sugiura



分析センター  
第1部  
青木美樹  
Miki  
Aoki

## Summary

In order to clarify causes and mechanism of cissing observed in waterborne paints application on contaminated substrates, we prepared model paints having different surface tension and / or various visco-elasticity. When the waterborne paints were coated on the substrate contaminated with a pollutant such as silicone, the cissing broke out during setting time, before heating in an oven after coating application. Therefore, it is meaningful to measure the surface tension and the visco-elasticity of the paints within a few minutes after the application. The lower surface tension of the wet paints, the less cissing, because the lower surface tension could reduce spreading force produced between the wet paints and the pollutant. The higher elastic modulus  $G'$  of the wet paints, the less cissing, because the higher elastic modulus  $G'$  could resist against the spreading force. It was also turned out that even when the surface tension was low, the low  $G'$  could cause a lot of big cissing marks because the resist against the spreading force was too small. On the other hand, even when the surface tension was high, the high  $G'$  could result smaller and less cissing marks comparing with a case of the low surface tension and the low  $G'$ . It was thought that having the higher  $G'$  only was not sufficient to perfectly depress the spreading force. It was also proved that increasing  $G'$ , which could restrict movement, was more effective to avoid the cissing than reducing the surface tension, which could reduce the spreading force, when the substrates were more heavily contaminated.

## 要 旨

汚染された被塗物に水性塗料を塗装した時のハジキ現象に関する支配要因を明らかにするため、表面張力と粘弾性特性を調節したモデル水性塗料を用いて耐ハジキ性を評価した。シリコンにより汚染された被塗物に塗装した場合、塗装直後から昇温乾燥前までのセッティング中にハジキは発生する機会が多いため、塗着塗液(塗装後の塗液)の表面張力と粘弾性特性が重要となる。表面張力に関しては、塗着塗液の表面張力を下げることによってハジキ核との間で生じる拡張力が小さくなるためハジキは発生し難くなった。一方、塗着塗液の粘弾性特性に関しては、塗着塗液の粘弾性の弾性成分である貯蔵弾性率 $G'$ を大きくすることで、拡張力による塗液の流動を抑制することができ耐ハジキ性が向上した。表面張力が低くても $G'$ が低いと拡張力による塗液の流動を抑制できないため大きなハジキが大量に発生することが判った。逆に $G'$ が大きい場合でも表面張力が高いと、拡張力が大きくなるため塗液の流動を完全には抑制できなくなり、小さいハジキが発生することが判った。また、被塗物の汚染状態がひどくなるにつれ表面張力を下げる効果(拡張力を小さくする効果)よりも $G'$ を大きくする効果(流動を抑える効果)の方が支配的になることが明らかとなった。

## 1. はじめに

ハジキ(Cissing)やヘコミ(Cratering)は塗装工程で発生する塗膜欠陥の一つである。塗装後から乾燥過程にかけて塗液中、気液界面、もしくは被塗物/塗液界面に低い表面張力を有する部位(汚染部位)が存在すると、そこを中心に塗液がはじかれてくぼみが発生する。一般的に被塗物表面が見えるほどくぼんでいるものをハジキ、被塗物表面まで到達していないものをヘコミ(又はヘコ)と言うが、ヘコミも含めてハジキと言う場合もある。図1に自動車塗装塗膜の断面写真を示すが、クリアーコートにおいてハジキが発生している事が判る。

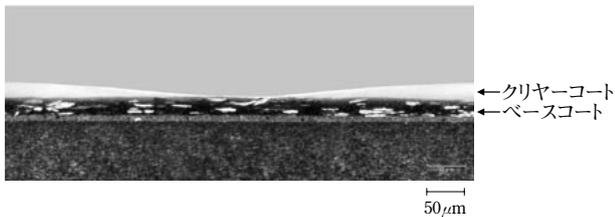


図1 ハジキ部位の光学顕微鏡写真

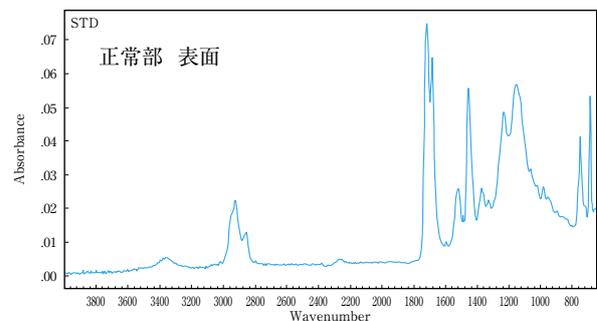
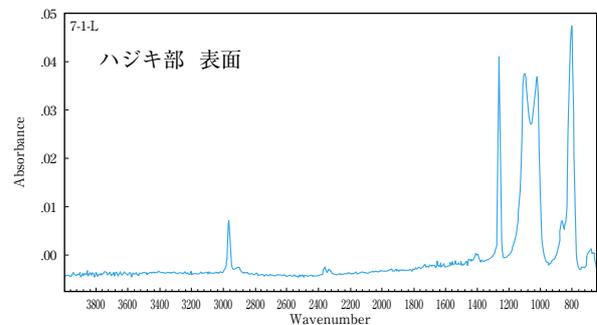
シリコン油や長鎖のアルキル成分(油成分)等がハジキを発生する原因物質の代表であり、それ以外に塗料系に不溶もしくは難溶の溶剤、気泡や異物などがある。塗料とハジキの原因物質が接触する原因には次の3つのケースが考えられる。

- ① 原因物質が塗料に混入した状態で塗装される場合
- ② 原因物質が被塗物上に存在し、その上に塗装される場合
- ③ 塗装後に原因物質が塗液にふりかかる場合

ケース①の場合、塗料中の特定成分が原因物質となる場合と塗料製造や塗装機中で塗料以外の成分が混入する場合の2種類ある。ケース②や③では原因物質が塗料と接触する機会是非常に様々であり、被塗物がもともと汚染された状態で用いられる、塗装環境で汚染物質がふりかかる、塗装環境は問題ないが乾燥炉などで汚染される等がある。また、スプレーなどによる塗装方法ではダスト状にふりかかった塗料自身が原因物質となりハジキが発生する場合もある。このようにハジキは塗料自身に原因がある場合から、製造、塗装環境に原因がある場合と様々であり非常に複雑である。以上のことから、ハジキが発生した場合、分析等で原因物質が何かを突き止め、それがどの過程で発生しているのかを把握することが重要である。

ハジキの分析には、光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡(SEM)等による形態観察と全反射法(ATR法)によるFTIR測定や電子プローブマイクロ分析法(EPMA)等による組成分析とを組合せて行うのが一般的である<sup>1)</sup>。図2、図3にハジキの分析事例を示す。図2はハジキ部のSEM像と顕微ATR法によるIR吸収スペクトルである。ハジキ部には正常部塗膜表面に認められないジメチルシリコンが存在しており、これが核となってハジキが発生していることが判る。図3の

EPMAによるハジキ分析事例ではハジキ部位に微量のSi成分が検出されている。このように原因物質が特定できると、それが発生する原因や場所を推定しやすくなり、ハジキトラブル沈静化への近道となる。しかし実際には、他のトラブルに比べハジキは原因物質を特定できない場合が非常に多い。それは、ハジキ部の分析が極めて微小微量を対象とする分析であるというだけでなく、塗料の乾燥過程における揮散、分散等により、分析時における原因物質の量がハジキ発生時における量に比べ減少してしまう、もしくは完全になくなってしまうことが多いためである。このためブツ等の塗膜欠陥に比べハジキの分析は難しく、かなり高度な分析技術を要する。ハジキトラブルの沈静化にはハジキ物質を特定し塗装環境から取り除くことが最重要ではあるが、実際には環境からハジキ原因物質を完全に除去することは非常に困難である。そこで、耐ハジキ性の良好な塗料を設計する必要があり、そのためには塗料物性とハジキの関係を把握することが重要となる。



SEM観察像



図2 顕微ATR/FTIR法によるハジキの分析結果

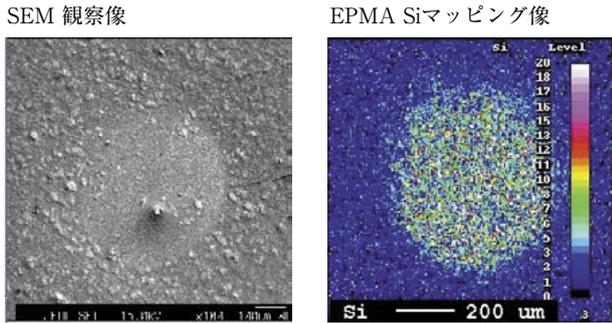


図3 EPMAによるハジキ部位の測定結果

原因物質と塗料との表面張力差に起因する拡張力によって塗液が流動することによりハジキは発生する。ハジキを抑制するには拡張力に抵抗する力が必要であり、檜原ら<sup>2), 3), 4)</sup>は塗料の粘弾性挙動が重要であることを示した。その結果を図4に示す。

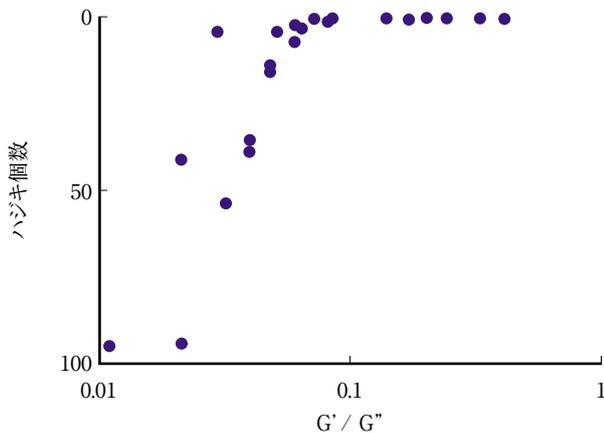


図4 ハジキの発生回数と粘弾性特性の関係

図4は顔料濃度およびレオロジーコントロール剤の量を変動させた粘弾性の異なる塗料を用いて、ハジキの発生回数と

の関係を調べたものである。これより、拡張力に抵抗する特性の指標である粘弾性比率  $G'/G''$  が大きいほど耐ハジキ性のあることが判る。

今回我々は、原因物質が被塗物上に存在し、その上に塗装される場合を想定した試験を行った。あらかじめシリコンにより汚染された被塗物に、表面張力と粘弾性特性の異なるモデル水性塗料を塗装した時の耐ハジキ性の評価を行い、ハジキに対する拡張力の変動効果および粘弾性特性に起因する抵抗力の寄与について解析を行った。

## 2. 実験

### 2.1 試料

検討塗料として自動車用水性ベースコートを用い、以下の手法により表面張力と粘弾性特性を変動させたモデル塗料を作成した。水性ベースコートはアクリルエマルジョン(粒子成分)、アクリル樹脂、ポリエステルおよびメラミン樹脂等の樹脂成分を水中に分散または溶解させた塗料系となっているが、これらの樹脂比率(主に粒子成分の量)を変動することで粘弾性特性および表面張力を調整した。さらに変性シリコン系の表面調整剤を添加することで表面張力を変動させた。実際には表面調整剤の添加により樹脂の分散状態も変化するため、それぞれの粘弾性特性を確認し表面張力と粘弾性特性のマッピングを作成した。これらの塗料に水およびアミンを添加し、B型粘度計の60回転の粘度を  $600 \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  に、pHを  $7.8 \pm 0.1$  に調節し塗装用塗料として用いた。

検討に用いた塗料水準を表1に、その結果得られた表面張力と粘弾性特性のマッピングを図5に示す。

### 2.2 下地汚染(被塗物汚染)に対する耐ハジキ性試験

自動車用中塗り塗装塗板(塗装面積  $600 \text{ cm}^2$ ) にシリコン分散液(エマルジョン型ジメチルシリコン、有効成分27%)

表1 検討に用いたモデル塗料

モデルNo.	ねらい	表面張力 $\text{mN m}^{-1}$	粘弾性特性*		
			$G'/\text{Pa}$	$G''/\text{Pa}$	$G'/G''$
1	高弾性、高表面張力モデル	28.4	39.0	22.9	1.7
2	モデル1に表面調整剤 5PHR 添加	25.9	8.1	10.3	0.8
3	高弾性モデル	26.0	25.4	15.2	1.7
4	モデル3に表面調整剤 1PHR 添加	24.2	35.2	18.7	1.9
5	モデル3に表面調整剤 3PHR 添加	24.0	25.9	16.2	1.6
6	モデル3に表面調整剤 5PHR 添加	23.4	16.4	14.4	1.1
7	中弾性モデル	26.0	4.1	6.8	0.6
8	モデル7に表面調整剤 5PHR 添加	24.1	0.6	2.4	0.3
9	低弾性モデル	25.6	1.0	3.3	0.3
10	モデル9に表面調整剤 5PHR 添加	24.4	1.9	3.9	0.5

\*  $\tau = 0.6 \text{ Pa}, 25^\circ\text{C}$

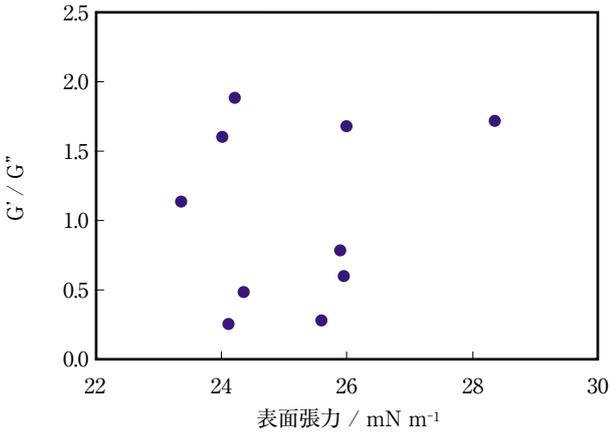


図5 表面張力と粘弾性特性のマップ

をスプレー塗装し、80℃で5分間乾燥したものを下地汚染塗板として用いた。この下地汚染塗板に検討塗料を塗装し80℃にて10分間乾燥を行った後にハジキ状態を評価した。

検討1: 濃度0.1wt%のシリコン分散液(原液を水で1000倍に希釈したもの)を用いて下地汚染塗板を作成し、スプレーを用いて検討塗料を塗装した。耐ハジキ性の評価は乾燥後の塗板を用いて行い、目視による○×にて評価した。

検討2: 検討1より表面張力と粘弾性特性のマップ上におけるハジキ発生有無の境界領域を把握し、次に境界領域付近での詳細検討を行った。シリコン分散液の濃度を変動し(濃度0.1~0.01wt%)、被塗物の汚染強度と耐ハジキ性の関係を調べた。

### 2.3 塗料の粘弾性測定

塗料に正弦振動変形を与え、その応答を観測することで動的粘弾性測定は行われる。図6に示すような正弦的に変化するせん断ひずみ(又はせん断応力)を与え、その結果生じる応力(又はひずみ)を測定し、その位相差 $\delta$ と振幅の比から複素弾性率 $G^*$ 、貯蔵弾性率 $G'$ 、損失弾性率 $G''$ を求めることができる。その関係を式(1)および図7に示す。完全な弾性体では位相差が生じず、完全な粘性体では位相差が $90^\circ$ になるが、今回の検討塗料はその位相差が $0^\circ < \delta < 90^\circ$ の粘弾性体となる。

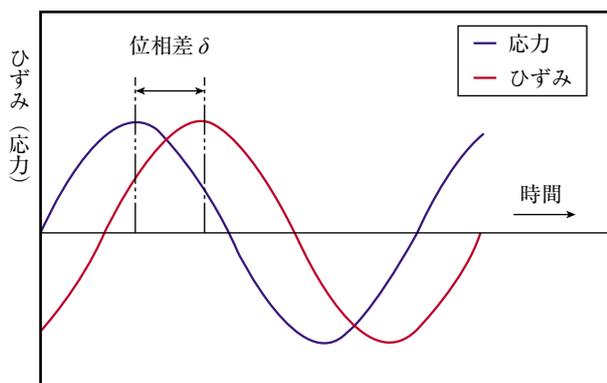


図6 ひずみと応力の位相関係

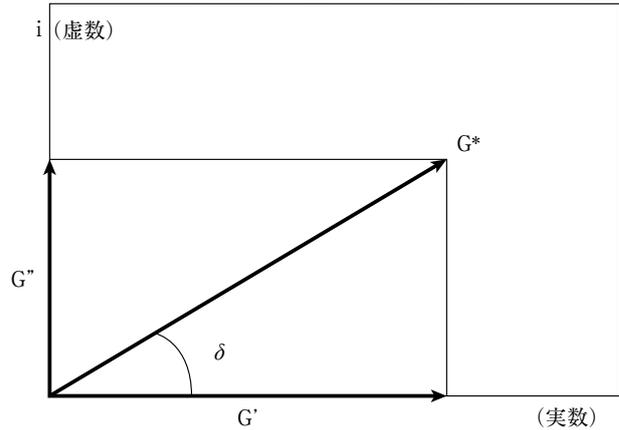


図7 複素弾性率の関係

$$G^* = G' + i G'' \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$= |G^*| (\cos \delta + i \sin \delta)$$

$G^*$ : 複素弾性率

$G'$ : 貯蔵弾性率

$G''$ : 損失弾性率

$i$ : 複素数

今回の実験では塗装直後からセッティング中(昇温乾燥前)にかけてハジキが発生したことから、塗着塗液(塗装後の塗液)の粘弾性挙動が重要と考え、塗装1分後の塗着塗液をサンプリングして粘弾性測定を行った。測定条件を以下に、測定結果の例を図8に示す。貯蔵弾性率 $G'$ 、損失弾性率 $G''$ とも一定応力以下では線形性を示すが、ある応力を超えると急激に減少する。そこで線形領域を示した0.6 Pa時の $G'$ 、 $G''$ 、および弾性と粘性の比率 $G'/G''$ を用いて評価した。

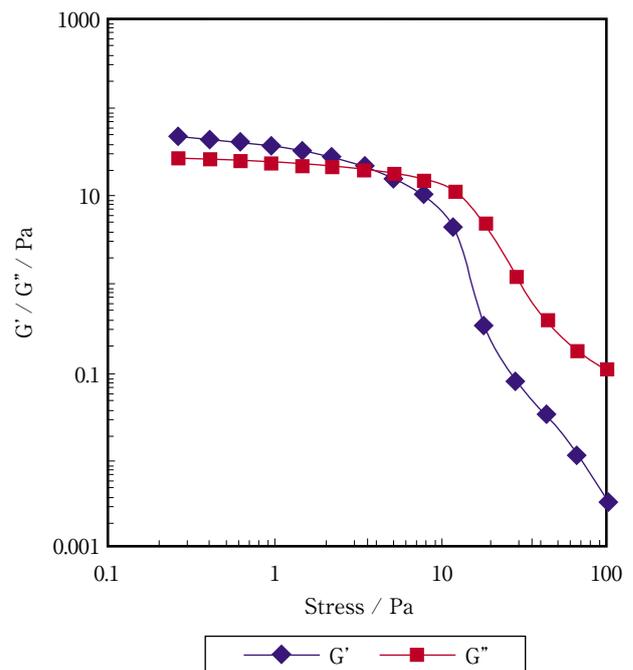


図8 応力掃引測定結果(モデルNo.1)

【粘弾性の測定条件】

装置：HAAKE社製RS-150  
 測定温度：25℃  
 センサー：コーン&プレート(φ35mm/角度2°)  
 測定モード：応力掃引  
 応力=0.3~100Pa  
 周波数=0.1Hz  
 評価：応力0.6Pa時におけるG'およびG''/G'

2.4 塗液の表面張力測定

自動車用水性ベースコートの塗着塗液(塗装後の塗液)は粘度が高いため、ウィルヘルミー法(静止した白金プレートが濡れた時の応力を測定)ではプレートに試料が完全には濡れず(接触角が0にならない)、また白金リングを動かして測定するデニューイリング法でも試料の粘性の影響が表面張力測定値に反映されてしまうため、これらの方法を適用することはできなかった。そこで比較的高粘度試料まで測定が可能なペンダントドロップ法(液滴の形より表面張力を測定)を用いて測定を行った。ペンダントドロップ法の測定原理を図9に、測定条件を以下に示す。

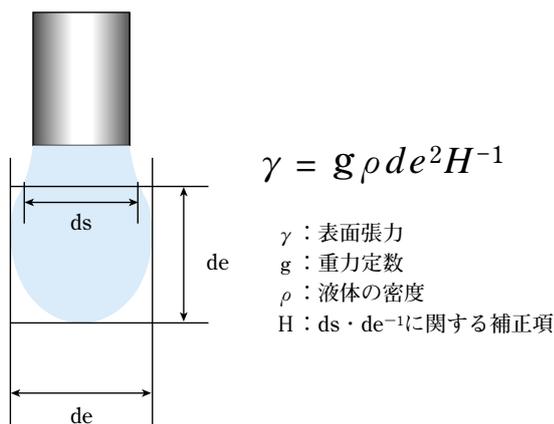


図9 ペンダントドロップ法による表面張力の測定原理

【表面張力の測定条件】

装置：協和界面化学社製界面張力計PD-X型  
 測定温度：25℃  
 針の径：15G(外径1.8mm)  
 測定回数：5回

検討塗料(塗装塗料)および塗装1分後にサンプリングした塗着塗液のペンダントドロップ法による測定結果の例を図10に示す。塗装直後からセッティング中(昇温乾燥前)にハジキ現象が発生したことから、この間の表面張力が重要であると考えている。しかしながら、塗着1分後では粘度はかなり高く、ペンダントドロップ法による表面張力測定においても誤差が大きくなった。一方、塗装塗料の測定誤差は小さく、塗装状態から塗着状態にかけて表面張力は低くなるが試料間の順列の逆転は起こっていない。そこで本検討

では、双方の測定を実施したが試料間の微妙な差を正確に判断できる塗装塗料の表面張力測定値を用いて評価した。

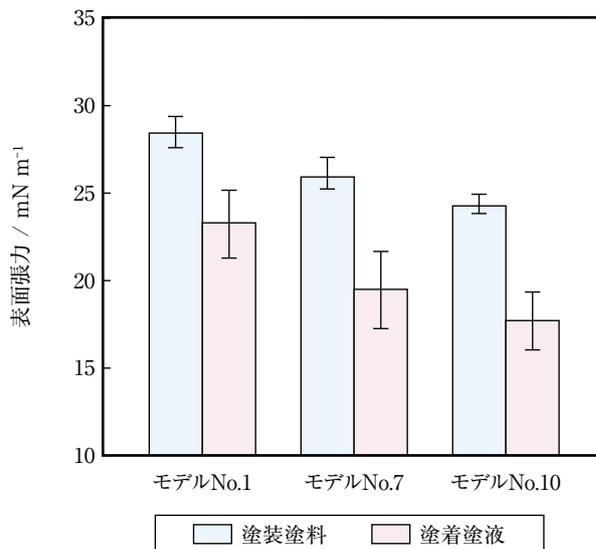


図10 ペンダントドロップ法による表面張力測定結果

2.5 被塗物の汚染状態評価

塗装前の被塗物の汚染状態を評価するため、接触角測定を行い、式(2)、式(3)に示すYoung-Fowkes式を用いて被塗物の表面張力を求めた。水およびパラフィンの接触角を測定することで、被塗物の表面張力の分散項( $\gamma_s^d$ )および極性項と水素結合項の和( $\gamma_s^p + \gamma_s^h$ )を算出した。接触角の測定条件を以下に示す。

$$\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_l \cos \theta \quad \dots \text{式(2) Youngの式}$$

- $\gamma_s$ : 固体表面張力
- $\gamma_{sl}$ : 固液界面張力
- $\gamma_l$ : 液体表面張力

$$\begin{aligned} \gamma_{sl} &= \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d \gamma_l^d} - 2\sqrt{\gamma_s^p \gamma_l^p} - 2\sqrt{\gamma_s^h \gamma_l^h} \\ &= (\sqrt{\gamma_s^d} - \sqrt{\gamma_l^d})^2 + (\sqrt{\gamma_s^p} - \sqrt{\gamma_l^p})^2 + (\sqrt{\gamma_s^h} - \sqrt{\gamma_l^h})^2 \end{aligned}$$

…式(3) Fowkesの式

- $\gamma^d$ : 分散項
- $\gamma^p$ : 極性項
- $\gamma^h$ : 水素結合項

【接触角の測定条件】

装置：協和界面化学社製接触角計CA-X150型  
 測定温度：25℃  
 滴下液：水 ( $\gamma_l^d = 29.1 \text{ mN m}^{-1}, \gamma_l^p + \gamma_l^h = 43.7 \text{ mN m}^{-1}$ )  
 パラフィン ( $\gamma_l^d = 24.4 \text{ mN m}^{-1}, \gamma_l^p + \gamma_l^h = 0$ )  
 測定回数：7回

### 3. 結果および考察

#### 3.1 下地汚染(被塗物汚染)に対するハジキ発生の考え方

塗装前の被塗物に塗料ダストや環境汚染物質等が付着していると、塗装後にそれが核となりハジキが発生する。これが下地汚染に対するハジキの発生であり、その考え方を図11に示す。塗着塗液下にこのような核が存在すると塗液を押しよける方向に力(拡張力)が生じる。そして、この拡張力によって塗液が流動するとハジキが発生する。この流動に対する抵抗力として働くのが塗液の粘弾性特性であり、ハジキ発生の有無は拡張力と粘弾性特性のバランスにより決定される。

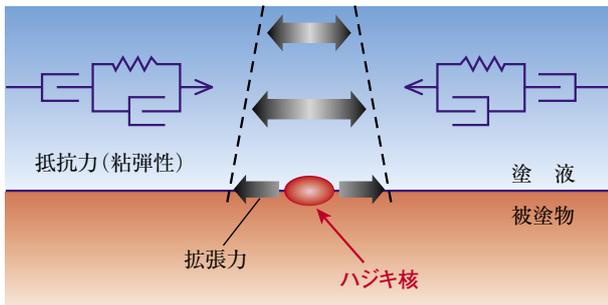


図11 ハジキの発生機構

拡張力はハジキ核と塗液の表面張力差に起因する。表面張力の低いハジキ核の上に塗料が塗られる、すなわち、塗液をハジキ核上に付着(ぬれ)させるには高いエネルギーが必要であり、たとえ付着したとしても被塗物/ハジキ核/塗液の3成分界面においてハジキ核上の塗液は周囲の塗液に引張られる。これが図11における拡張力であり、拡張力により塗液が引き裂かれるとハジキとなる。一般に塗液の表面張力はハジキ核に比べ高いため、塗液の表面張力を下げることによりハジキ核との表面張力差を小さくして、塗液をハジキ核上に付着させるエネルギーを減少させ、また付着後のハジキ核上に存在する塗液も比較的安定な状態とすることで、拡張力は小さくなりハジキは発生し難くなる。

拡張力が塗液の弾性(貯蔵弾性率 $G'$ )よりも大きい場合、塗液が切断され破断部位が発生する。この場合、発生しかけた破断部位の回復がすぐ起こらないと破断部位は拡大しハジキとなる。この破断部位の回復現象を考えた場合、塗液の弾性が大きいほど回復しやすくなるが、塗液の粘性(損失弾性率 $G''$ )は回復する方向と逆方向に働くため抵抗力となる。このため、回復には粘弾性比率 $G'/G''$ が重要であり、この値が大きい( $G'$ は大きく、 $G''$ は小さい)ほど回復性が良いことになる。

拡張力が塗液の弾性(貯蔵弾性率 $G'$ )よりも小さい場合、塗液が切断されることはなく、ハジキは発生しない。

以上のことから、塗液の表面張力を低く、かつ塗液の粘弾性比率 $G'/G''$ または貯蔵弾性率 $G'$ を高くするほど下地汚染に対するハジキ抵抗性は向上すると考える。

上記以外の現象として、ハジキ原因物質が塗液中に再分

散される効果も考える必要があるが、再分散する量は非常に少なく、逆にハジキの防止や抑制効果となると考え、今回の検討では考慮しなかった。

以上の考えに基づいて、表面張力と粘弾性特性のマップを作成し耐ハジキ性との相関を調べた。

#### 3.2 表面張力-粘弾性マップとハジキ性の関係

シリコンで汚染されていない下地塗板に検討塗料をスプレー塗装したところハジキは発生しなかった。このことから、検討塗料自身の問題でハジキが発生することはないと判断した。次にシリコンで汚染された下地塗板に検討塗料を塗装し、耐ハジキ性評価を行った。塗料の種類によってハジキが発生しないものから、非常に多くのハジキが発生するものまで存在した。代表的な塗面状態の写真および評価結果を図12に示す。ハジキは塗装直後からセッティング中(昇温乾燥前)にかけて発生したため、耐ハジキ性に寄与する物性として塗着塗液(塗装後の塗液)の表面張力と粘弾性特性が重要と考えた。図13、図14は表面張力と粘弾性特性のマップ上に耐ハジキ性評価結果をプロットしたものである。粘弾性特性には塗着塗液(塗装1分後)の測定値を用いた。表面張力には試料間の差異を正確に評価するため塗着塗料の測定値を用いた。

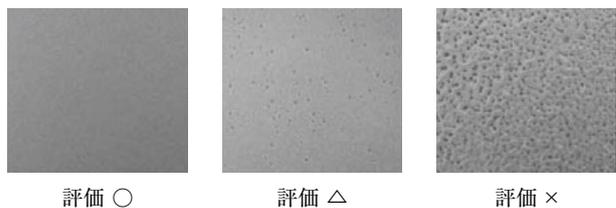


図12 ハジキの塗面状態例と評価結果

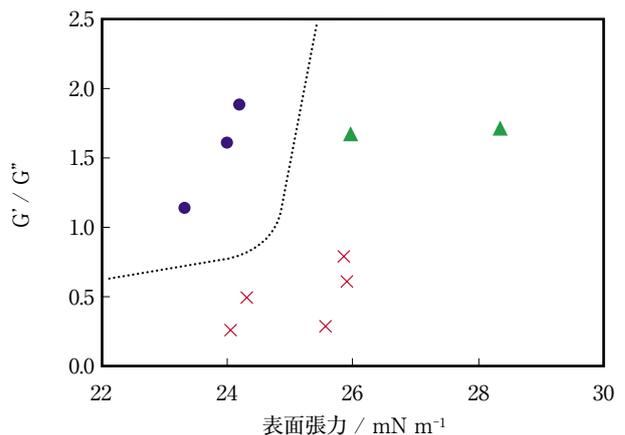


図13 表面張力- $G'/G''$ のマップと耐ハジキ性の関係

図13より、表面張力と粘弾性のマップ上に耐ハジキ性が良好な領域が存在することが判る。塗料の表面張力が低く、かつ粘弾性比率 $G'/G''$ が高い領域においてハジキは発生していない。これは、表面張力を下げることによって拡張力が低下し、弾性の寄与率を高くすることで拡張力によって発生する破断点の回復性が向上したためと考える。一方、 $G'/G''$ が

高くても、表面張力が高い領域になるとハジキが発生している。これは表面張力が高くなることでハジキ核との表面張力差、すなわち拡張力が大きくなり、同じ粘弾性特性を示しても塗液の破断を抑えきれなくなったためである。このため粘弾性特性で押さえ込めなかった小さめのハジキが発生している。また、 $G'/G''$ を高くしすぎると仕上り表面肌を悪化させるため $G'/G''$ の上限には限界がある。これに対し、 $G'/G''$ の低い領域では表面張力の大きさに関わらずハジキが大量に発生した。これは、塗液の破断を回復する力が小さすぎて、表面張力差すなわち拡張力が支配的となり塗液が破断してしまうことを示している。

粘弾性比率 $G'/G''$ の代わりに貯蔵弾性率 $G'$ を用いても同様の傾向を示した。(図14)

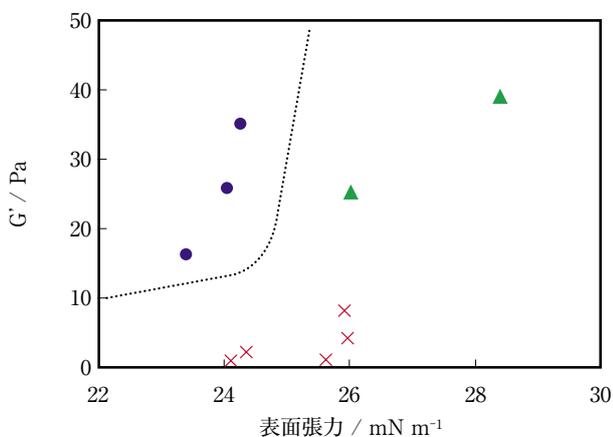


図14 表面張力-G' のマップと耐ハジキ性の関係

### 3.3 被塗物の汚染状態とハジキ性

表面張力と粘弾性特性のマップと耐ハジキ性の関係が大まかに把握できたので、次に被塗物の汚染強度の影響を調べた。塗布するシリコン分散液の濃度を変動(0.01~0.1 wt%)することで被塗物の汚染強度を変化させた。より詳細に検討するため、先程の検討結果で耐ハジキ性評価の境界領域付近であった表面張力23~26 mN m<sup>-1</sup>の塗料を新たに作成して評価した。さらに塗装雰囲気湿度を変動することで塗着塗料の粘弾性も変動させた。

初めに、被塗物の汚染状態を評価した。接触角測定による下地の汚染状態を評価した結果を図15、図16に示す。シリコン分散液の濃度が高くなるにつれ水接触角が大きくなり、かつパラフィン接触角が低下しており、疎水性の表面になっていることが判る。0.05%の濃度以上で接触角が一定値を示していることから、この濃度の塗布により下地はほぼ均一にシリコンに覆われているものと考えられる。Young-Fowkes式より求めた被塗物の表面張力を図17に示す。シリコン濃度が高くなるにつれ分散項はやや大きくなるが、極性項と水素結合項が大きく減少し、その影響でトータルの表面張力も減少している。このようにシリコン塗布により下地の表面状態は大きく変化していることが判った。シリコン分散液を塗布していない塗板上ではハジキは発生しなかったこ

とから、塗料自身に問題はなく、シリコン分散液塗布による下地汚染が原因でハジキが発生したことを確認した。

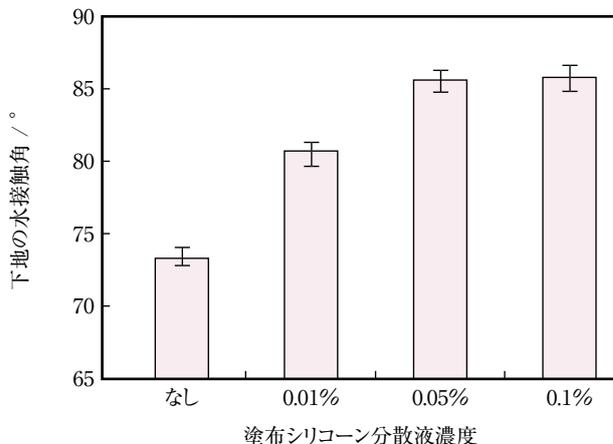


図15 塗布シリコン分散液濃度と水接触角の関係

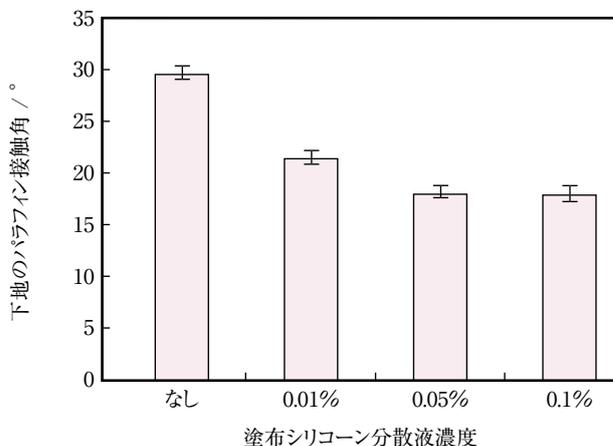


図16 塗布シリコン分散液濃度とパラフィン接触角の関係

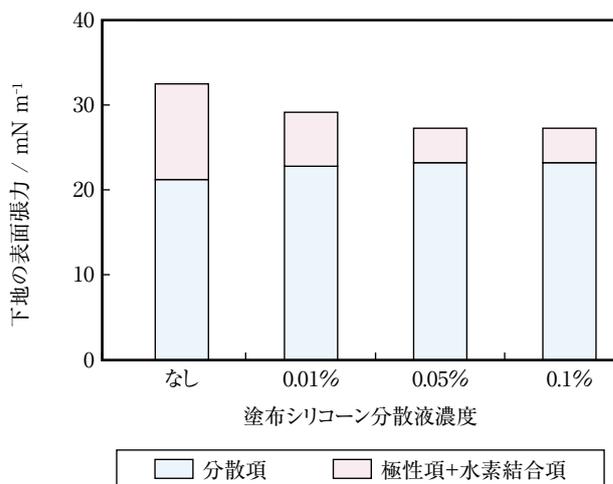


図17 塗布シリコン分散液濃度と表面張力の関係

このようなシリコンに汚染された状態にある被塗物に塗装を行いハジキ状態を評価した結果を図18~図23に示す。先程と同様、ハジキは塗装直後からセッティング中(昇温乾燥前)にかけて発生したが、前回の検討に比べハジキ

状態が良好であったため、ハジキ個数を用いて評価した。各塗装塗料の表面張力と塗着1分後の塗液の粘弾性比率  $G'/G''$  との関係を図18～図20に、弾性（貯蔵弾性率  $G'$ ）との関係を図21～図23に示す。今回の検討では  $G'/G''$  よりも  $G'$  の方が耐ハジキ性との相関が高いことが判った。これは被塗物の汚染が原因で発生する耐ハジキ性に関しては、破断部位の修復性よりも破断しにくい状態であることの方が重要であることを示していると考ええる。また、シリコン分散液の濃度上昇に伴い表面張力よりも貯蔵弾性率  $G'$  の寄与が大きくなっていることが判る。このことは下地汚染が激しくなると表面張力の低下により拡張力を減少させる効果には限界があり、塗着塗液の弾性（変形抵抗力）を高くして塗液が流動するのを防ぐ必要があることを示している。

また、図中における表面張力が同じ値を示すプロット2つは同じ塗料を異なる塗装条件で試験した結果であり、同じ塗料でも塗着塗料の粘弾性特性を制御することでハジキ抵抗性を向上できることを示している。

#### 4. まとめ

被塗物汚染（シリコン汚染）に関する塗料の耐ハジキ性について以下の支配要因を明確にした。

- ① シリコン汚染によるハジキは塗装直後からセッティング中（昇温乾燥前）にかけて発生するため、塗着塗液（塗装後の塗液）の表面張力と粘弾性特性に支配される。

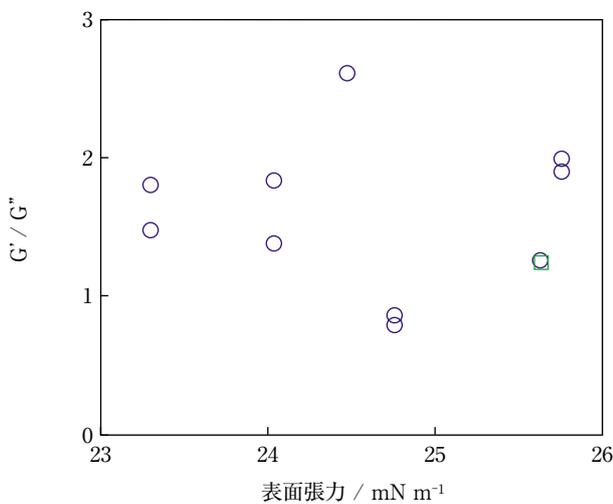


図18 表面張力 -  $G'/G''$  マップと耐ハジキ性の関係 (0.01wt%シリコン分散液使用時)

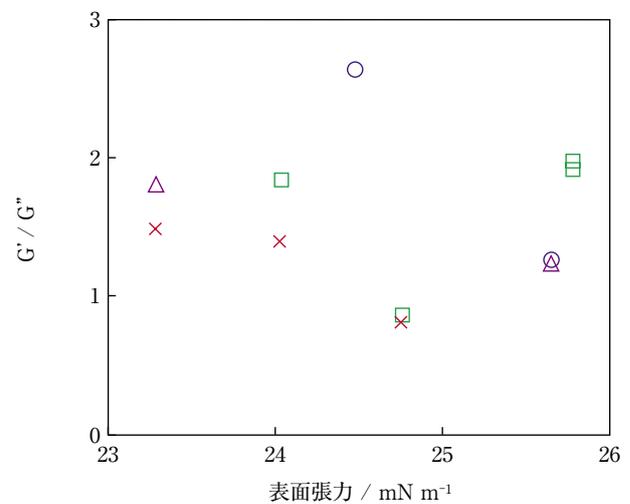


図20 表面張力 -  $G'/G''$  マップと耐ハジキ性の関係 (0.1wt%シリコン分散液使用時)

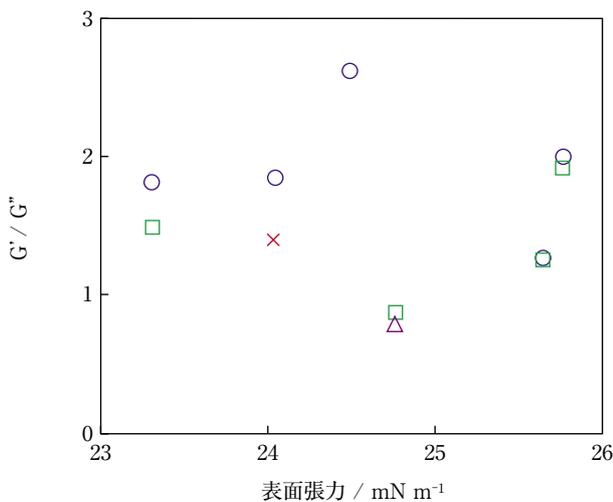


図19 表面張力 -  $G'/G''$  マップと耐ハジキ性の関係 (0.05wt%シリコン分散液使用時)

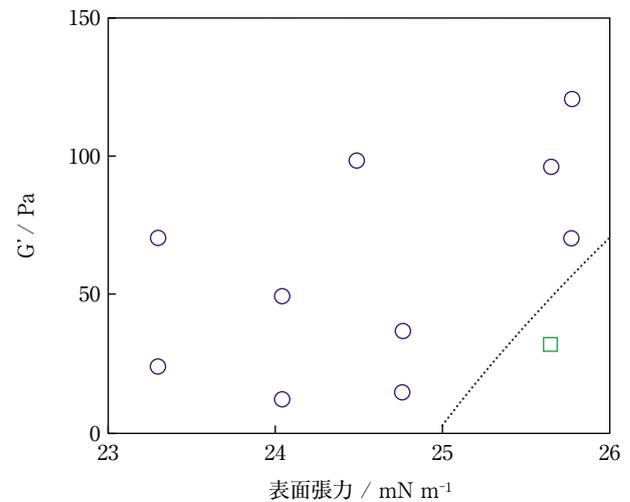


図21 表面張力 -  $G'$  マップと耐ハジキ性の関係 (0.01wt%シリコン分散液使用時)

- ② 塗着塗液の表面張力を下げることでハジキ核との間で発生する拡張力が小さくなるため耐ハジキ性は良好となる。
- ③ 塗着塗液の貯蔵弾性率 $G'$ を大きくすることで流動に対する抵抗力が高くなるため、ハジキ核上の塗料が破断するのを抑制し耐ハジキ性は良好となる。
- ④ シリコン汚染濃度が高くなると、表面張力の効果は小さくなり貯蔵弾性率 $G'$ の効果の方が支配的になる。

### 参考文献

- 1) 豊田えみ子、坪内健治郎：塗料の研究：141、p.31 (2003)
- 2) 檜原篤尚、藤谷俊英：1992年度色材発表要旨集、p.188 (1992)
- 3) 檜原篤尚、藤谷俊英：塗料の研究：127、p.2 (1996)
- 4) 佐藤忠明：塗料の研究：119、p.49 (1991)

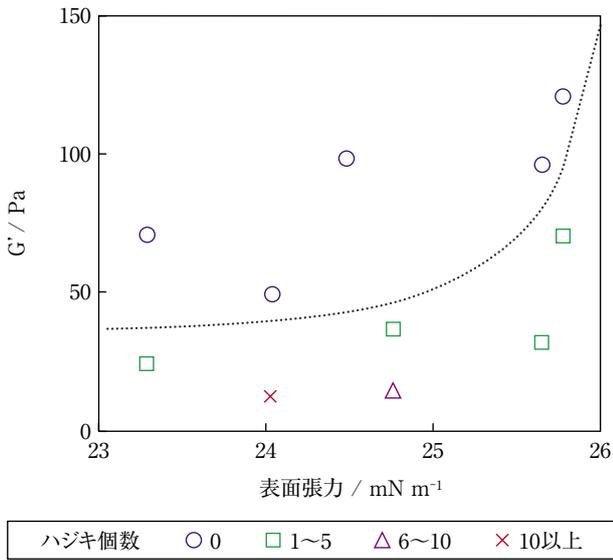


図22 表面張力 - $G'$ マップと耐ハジキ性の関係 (0.05wt%シリコン分散液使用時)

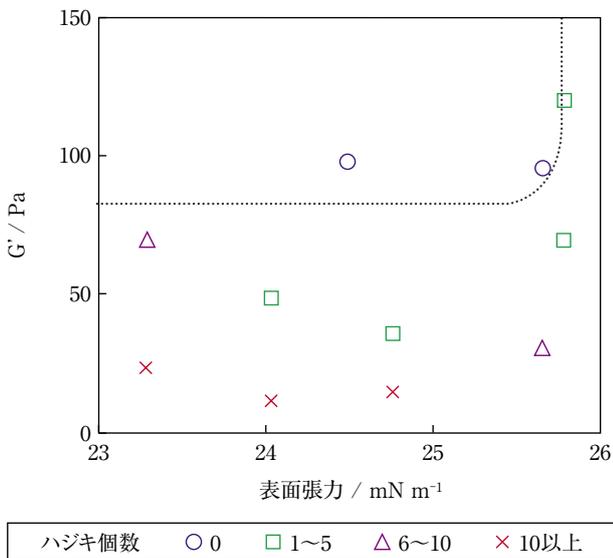


図23 表面張力 - $G'$ マップと耐ハジキ性の関係 (0.1wt%シリコン分散液使用時)