

# レオロジーコントロール剤



# レオロジーコントロール剤

## 目 次

なぜレオロジーコントロール剤が必要なのか？	ページ 3
塗料のレオロジー性	ページ 4-5
BYK-405, チキソトロピック性促進剤	ページ 6
溶剤型塗料用液状レオロジーコントロール剤	ページ 7-9
水系塗料用液状レオロジーコントロール剤	ページ 10
ワックス添加剤	ページ 11

## なぜレオロジーコントロール剤が必要なのか？

流動性は液状塗料の最も重要な特性の一つです。流動性は塗料の作業性および塗装適性に大きく影響します。

流動性を示す重要なファクターに粘度 $\eta$ があります。しかし、多くの塗料において、粘度は一定ではありません。各種パラメータに依存しています。温度依存性に加えて、塗装性能の観点からみたときのもう一つの重要なパラメータに、せん断力に対する塗料の反応があります。レオロジーは粘度とせん断力が複雑に、そして相互に関係しています。

塗料のレオロジーは主に、

1. バインダー（化学構造、分子量）
  2. 溶剤含有量および樹脂との相溶性
  3. 顔料の添加量
- により決まります。

また、湿潤分散剤の影響も受けます。脱凝集タイプの添加剤（Disperbyk-163, Disperbyk-110など）を使用すると減粘し、コントロールされた凝集タイプの添加剤（Anti-Terra-204など）を使用すると増粘効果およびチキソトロピック性が得られます。湿潤分散剤は主に顔料の分散安定化に使用され、レオロジー性の付与は好ましい副次効果にすぎません。（技術情報 L-W11, 湿潤分散剤をご参照下さい。）

### レオロジーコントロール剤

レオロジー性を最適化するには、特別なレオロジーコントロール剤が必要です。この添加剤を使用すると、多くの場合において貯蔵時の沈降防止性、塗装時のタレ止め性が向上します。さらに、流動性が向上するので、エフェクトピグメント（アルミニウムおよびパール顔料）の均一な配向性や印刷インキの階調再現性などの性能がコントロールできるようになります。

塗料のレオロジー性をコントロールするために開発された多数の製品が既に市場にあります。その作用メカニズムは基本的に同じです。これらの添加剤は液中で（一般的には水素結合により）3次元のネットワークを形成します。

この網目構造はせん断力により一時的に破壊されますが、せん断力を取り除くと回復するので、塗料に犠牲性チキソトロピック流動性を付与することができます。

### 沈降、タレ性

塗料を貯蔵中に顔料およびフィラーが沈降し、攪拌困難な沈降物が生じることがあります。（図1）傾斜または垂直面に塗装するさい、膜厚が厚いとタレが生じます。（図2）せん断力が低いときに高粘度で、降伏点を示す系では、沈降性およびタレ性がともに大いに低下します。その結果、ほとんど沈降することのない長期保存安定性が得られます。

しかし、前述のレオロジー性が脱泡性および消泡性、レベリング性に悪影響を与えることがあります。それは、気泡の塗膜表面への上昇速度が遅くなるために塗膜のレベリング性が阻害されることです。“適切な”流動性を得るには常に、各用途における塗装パラメータをある程度考慮しながら調整を行う必要があります。

### 沈降性



図1

### タレ性



図2

# 塗料のレオロジー性

特に重要なのは、粘度の各種パラメータへの依存性です。粘度は圧力および温度に依存します。圧力依存性は実質的に無視することができます。粘度の温度依存性が大きいことは塗料関係者にはよく知られているので、ここでは説明しません。

重要なファクターの一つに粘度のずり速度依存性があります。実際に塗装する場合には、比較的高いせん断力を考慮する必要があります。(図3)塗料を製造(分散、混合および充填)および塗装(ローラー塗装、ハケ塗りまたはスプレー塗装)する場合、塗料には比較的高いずり速度がかかります。 $(>1000\text{s}^{-1})$  貯蔵時および塗装と硬化中のずり速度は比較的低いです。 $(<1\text{s}^{-1})$  せん断力全域におけるレオロジー性は、回転式粘度計で粘度測定を行うことにより知ることができます。このタイプの測定機器の場合、液状サンプルの静止面と流動面との間にせん断力がかかります。

## 一般的なせん断力範囲

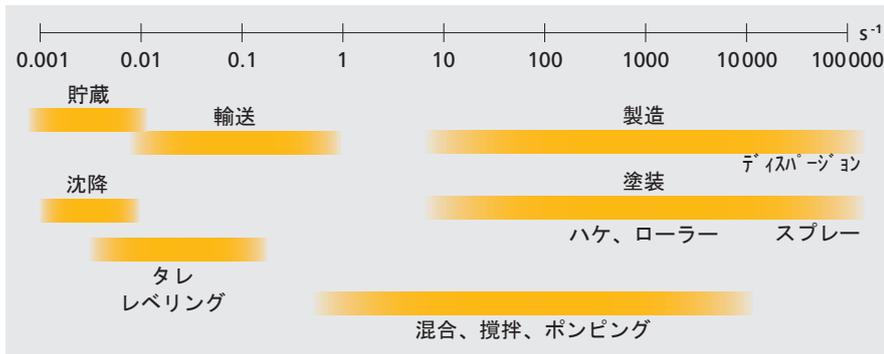


図 3

既知の回転力を流動面にかけると、流動性に対する液体抵抗(粘度)として回転速度が測定されます。その結果を示すグラフが“流動曲線”(図4)で、ずり速度  $\gamma$  (回転速度に比例)とずり応力  $\tau$  (回転にかかる力に比例)の関係を示します。これらのパラメータを基に粘度は  $\tau = \eta \cdot \gamma$  の式に従って計算され、“粘度曲線”としてグラフ化することができます。(図5)

## 流動曲線

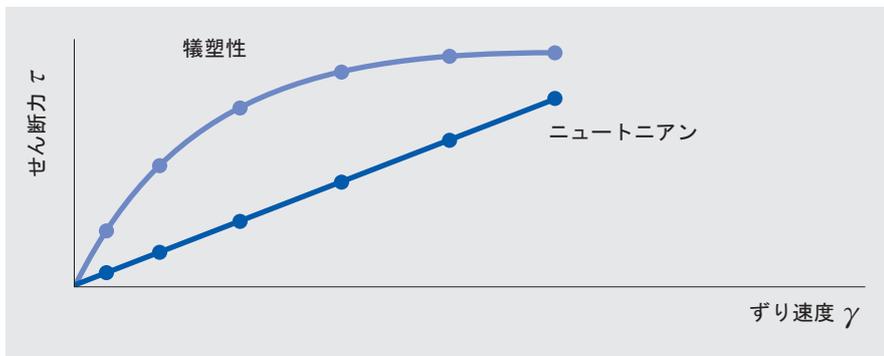


図 4

## ニュートニアン流動性

最も単純な流動性は、粘度がずり速度に依存しない場合に生じます。これはニュートニアン流動特性として知られており、水、純粋な溶剤およびミネラルオイルなどの理想的な液体の場合にのみ生じます。これらの液体の流動曲線は原点を通る直線となり、傾きが粘度を表します。一方、これに対する粘度曲線は水平な曲線になります。粘度はずり速度に依存しないので、任意のずり速度で粘度を測定すれば(単一点での測定)、系全体の状態を把握することができます。

## 粘度曲線

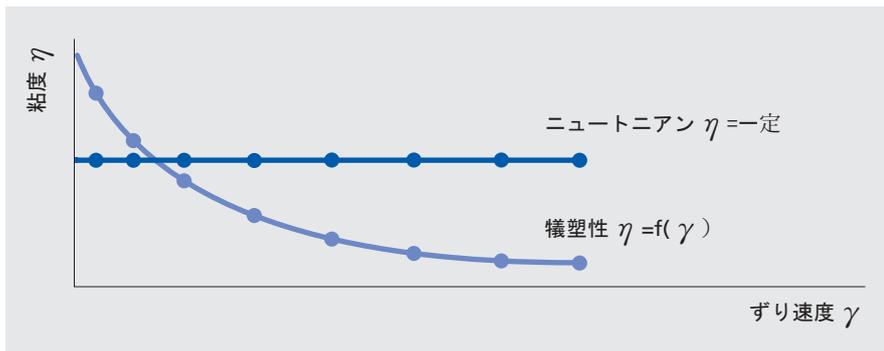


図 5

しかし、塗料の場合、ニュートニアン流動特性は一般的ではなく、実際には好まれません。(着色配合は除く)つまり、ほんのわずかなせん断力(重力)でも流動性が生じ、塗装後にタレが生じるからです。また、このような配合では、急速に沈降が生じます。

### 儀塑性流動特性

塗料における代表的な流動性が儀塑性流動性で、“シェアーシニング”として知られています。この場合、粘度はずり速度に反比例します。粘度は、ずり速度の増加とともに低下します。つまり、塗料粘度が低下します。このような液体の多くは降伏点を有します。せん断力が低い場合には流動性を示しません、降伏点を越えると流動性を示すようになります。その結果、流動曲線は原点を通らず、上方に移行します。塗装性能の観点からみると、この流動性は非常に有効です。せん断力が高いと塗料粘度が低下するので、製造および塗装時の作業性は容易になります。貯蔵時のようにせん断力が低い場合には、塗料粘度が高いので顔料の沈降防止に効果的です。同時に、垂直面に塗装したときのタレ止め性も大いに向上します。しかし、低ずり速度で高粘度であることは、新しく塗装したウェット塗膜の流動性および配向性に対しては好ましくありません。儀塑性流動性を示す塗料の粘度を記載する場合は、それに対応するずり速度も示す必要があります。従って、単一点での粘度測定にはほとんど意味がありません。レオロジー特性の説明には流動曲線(粘度曲線)が必要です。

### チキソトロピック流動特性

チキソトロピック性とは、ずり速度依存性同様に時間依存性を示す粘度の特性です。儀塑性流動を示す物質の場合、ずり速度の関数として粘度が変化しますが、粘度には時間依存性はありません。チキソトロピック性物質に一定のずり速度でせん断力をかけると、粘度はせん断力の継続(時間)とともに低下します。いったん、ずり速度がゼロになると( $\gamma=0$ )、粘度は初期値に戻ろうとします。(図6)しかし、チキソトロピック性液体の流動および粘度曲線は典型的な“ヒステリシスループ”を示します。つまり、せん断力を取り除いた後の回復粘度は平衡曲線の最初のシェアーシニングとは一致しません。(図7)回復粘度は、どのずり速度においても、せん断力をかけたときの粘度

よりも低くなります。この結果から、チキソトロピック性物質の場合、特定のずり速度で一定の粘度が得られないことが分かります。つまり、測定される粘度は試料が測定直前に受けたせん断履歴に依存します。

### チキソトロピック性 = 粘度の時間依存性

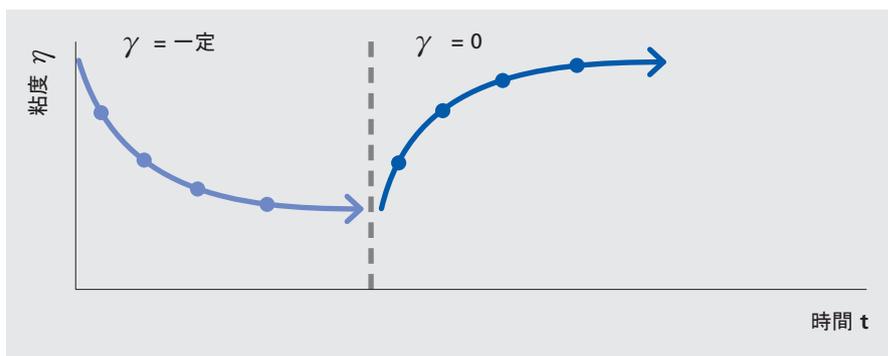


図 6

### チキソトロピック性 (粘度曲線)

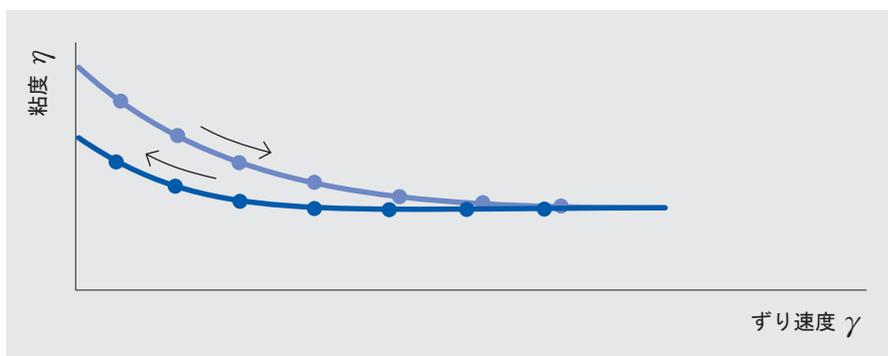


図 7

### 重要なレオロジーパラメータ

パラメータ	定義	単位
せん断力 $\tau$	力/単位面積	N/m <sup>2</sup> = Pa (pascal) ID: dyne/cm <sup>2</sup> 1 dyne/cm <sup>2</sup> = 0.1 Pa
ずり速度 $\gamma$	粘度/距離	(m/s)/m = 1/s = s <sup>-1</sup>
粘度 $\eta$	$\tau / \gamma$	Pa · s ID: dyne/cm = P (ポイズ) 1 cP = 1 mPa · s

図 8

## BYK-405, チキソトロピック性促進剤

レオロジーコントロール剤である BYK-405はチキソトロピック性促進剤としても機能します。親水性ヒュームドシリカは様々な塗料でレオロジーをコントロールするために使用されています。このシリカ粒子は粒子表面にシラノール基を有し、水素結合により橋架けを行い、3次元構造を形成します。(図9)その結果、親水性シリカを配合した塗料は犠牲性流動性およびチキソトロピック性を示します。シリカをBYK-

405と併用すると、BYK-405はシリカ粒子の湿潤分散剤として作用し、コントロールされた凝集状態を形成します。BYK-405はフリーのOH基を有するので、シリカ粒子と水素結合し、高密度の橋架け構造を形成します。多くの橋架け構造が形成されるので、塗料のチキソトロピック性が向上します。(図10)

BYK-405により、シリカを含有する配合のチキソトロピック性は安定化し、また向上します。また、ヒュームドシリカの塗料への添加が容易になります。これは、特にクリヤワニスに効果的です。通常、シリカを添加するさいに必要なせん断力は、顔料充填系の場合よりも低いためです。図11に、シリカを含有する配合にBYK-405を添加したときの、低ずり速度におけるチキソトロピック性および増粘の度合いを示します。また、シリカの一部をBYK-405と置換すると、チキソトロピック性を保持しながら、シリカの光沢および透明性への影響を最小限に抑えることもできます。

### シリカ粒子の網目構造

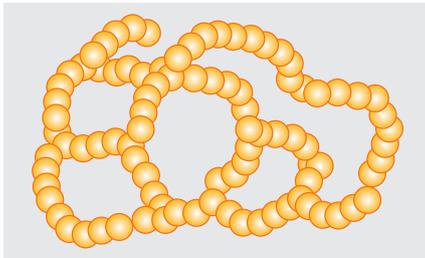


図 9

### BYK-405による網目構造の増強

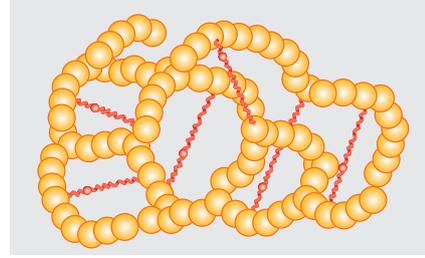


図 10

### BYK-405によるチキソトロピック性の向上

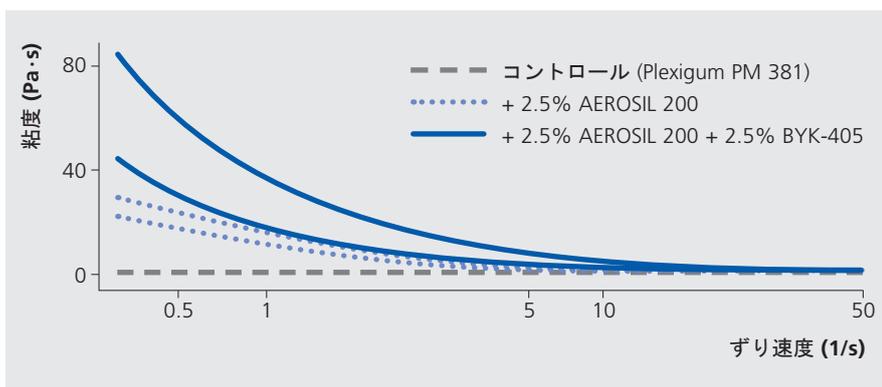


図 11

# 溶剤型塗料用 液状レオロジー コントロール剤

BYK-410および BYK-411は溶剤型および無溶剤型塗料用液状レオロジーコントロール剤で、広範囲の用途に容易に使用することができます。この添加剤は変性ウレアのN-メチルピロリドン溶液です。機能メカニズムは、添加剤の有効成分が汎用の塗料用溶剤または溶剤混合物に溶解しないことを利用しています。塗料への溶解性が低いので、添加剤はコントロールされた状態で分離し、非常に細かい針状の微結晶を形成後、さらに3次元の網目構造を形成します。(図12)この構造が最初に形成されるまでに数時間を要します。この添加剤を含有する塗料を塗装するさい、この網目構造は非常に低いせん断力でも十分に破壊されるので、塗装粘度は適切に低下します。塗装後、この構造は急速に再形成されるので、塗装されたウェット塗膜の粘度もまた急速に上昇します。

メタリックベースコート为例にとり、図13にBYK-410によるアルミナ顔料の沈降防止性を、図14にジンクダストプライマーのタレ防止性を示します。図15の粘度曲線は、低極性アルキッド樹脂にBYK-411を添加したときに生じる高いチキソトロピック性を示しています。 >

## BYK-410, BYK-411およびBYK-420の添加

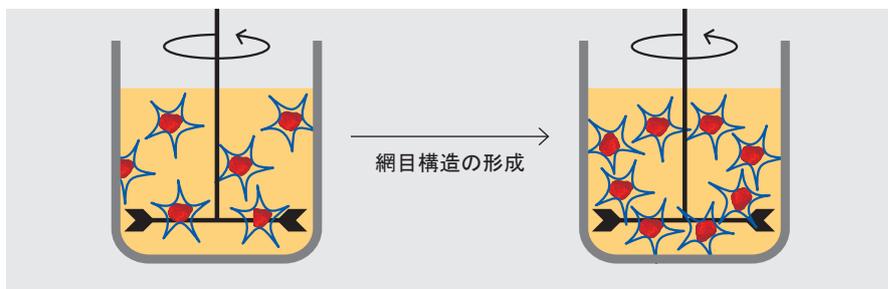


図 12

## メタリックベースコートの沈降

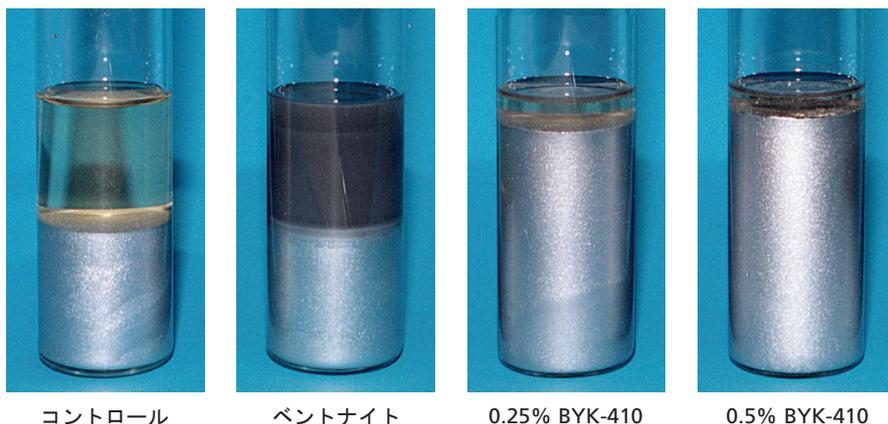


図 13

## ジンクダストプライマーのタレ性

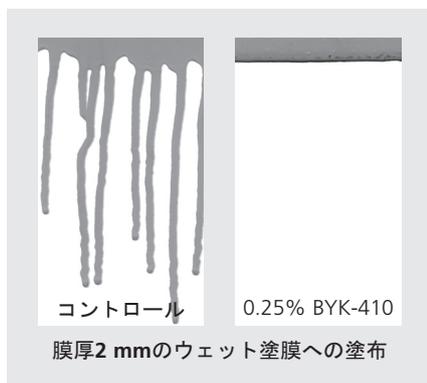


図 14

## BYK-411によるチキソトロピック性

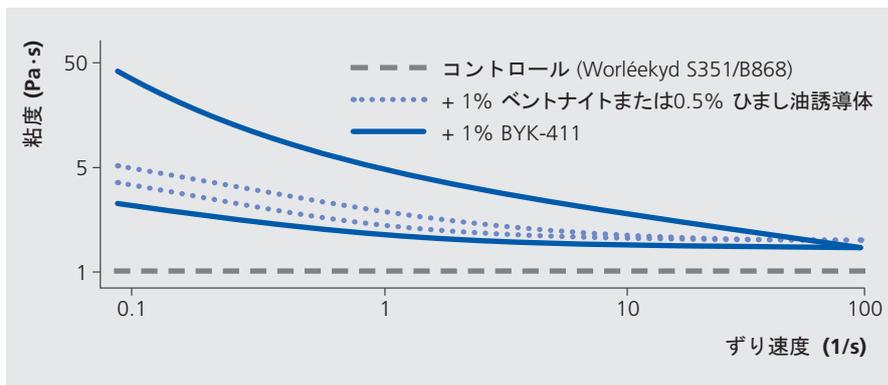


図 15

## 溶剤型塗料用液状レオロジーコントロール剤

### 化学構造

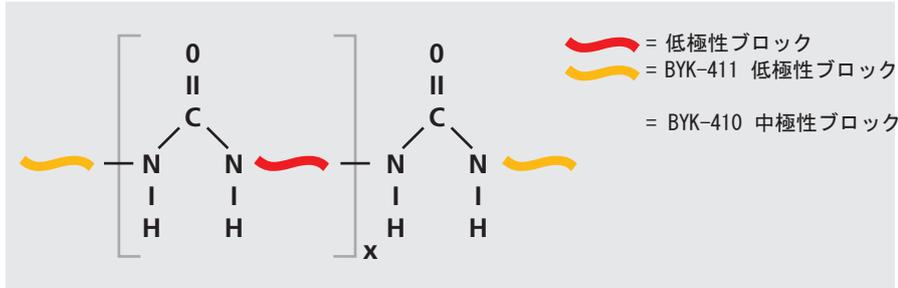
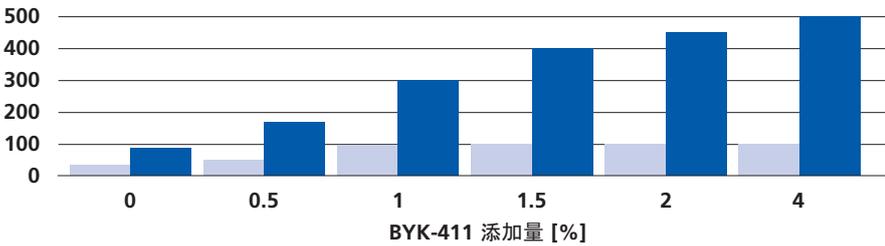


図 16

### バインダー濃度に対するBYK-411の効果

タレ防止性 [μm]



アルキッドクリヤコート: ■ 45% 樹脂固形分 ■ 55% 樹脂固形分

図 17

### BYK-410: 相溶性試験

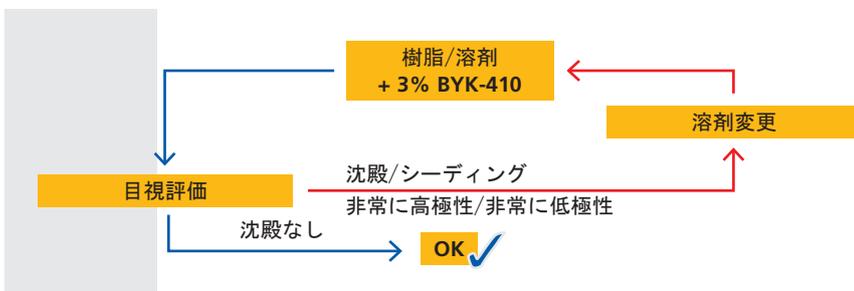


図 18

### 化学構造および作用メカニズム

図16に3種類の添加剤の化学構造を示します。ウレア基の間にはバインダーに相溶性を示す中極性基があります。BYK-410の場合、末端基もまた中極性基で、BYK-411の末端基は低極性基です。BYK-411は低極性配合に対して良好な効果および相溶性を示します。個々の分子のウレア基間の水素結合により、網目構造が形成されます。低極性塗料(アルキッド系塗料が代表的)の場合には、BYK-411はもう一つの作用を示します。それは、ウレア分子の末端の低極性基がアルキッドの低極性脂肪酸鎖と会合することです。これは、BYK-411による増粘効果がアルキッド樹脂の増加とともに向上していることから明らかです。(図17)

純粋な溶剤および希釈度の高いバインダー溶液(樹脂固形分が30%以下)で増粘することはありません。

### 使用上の注意

これらの液状添加剤は容易に添加できますが、最適性能を得るにはさまざまな注意が必要です。

**極性:** BYK-410は中極性塗料において最も効果的です。低極性および高極性塗料とは相溶しません。この不相溶性が原因で濁り、分離あるいはシーディングが生じるので、性能が大幅に低下します。無極性あるいは低極性溶剤/バインダーと併用する場合には、少量の低極性あるいは極性溶剤を添加し、BYK-410との相溶性を補正して下さい。低極性塗料にはBYK-410よりもBYK-411が効果的です。

添加：BYK-410およびBYK-411は液状なので、容易に後添加することができます。最適性能を得るためには、必ず攪拌しながら添加して下さい。均一に添加するには、**中程度のせん断力で攪拌**して下さい。(ミキサー、ディゾルバー)その結果、最適な網目構造が形成され、タレ防止性および沈降防止性が大いに向上します。添加剤を非常に低いせん断力(手攪拌)で添加すると、形成された結晶が凝集し、網目構造が形成できません。結晶の分布状態が不均一となり、シーディングが生じることがあります。低せん断力による添加は不適切なのでお勧めできません。高せん断力で添加すると(顔料分散時など)、結晶構造がより小さくなるので網目構造の密度が低下します。結晶構造が小さくても、顔料および体質顔料粒子の沈降防止性には非常に効果的ですが、タレ止め性は低下します。この傾向はBYK-411にもおおむね当てはまります。しかし、BYK-411の性能は、高せん断力で添加してもほとんど影響を受けません。

添加量：添加剤の効果はバインダーと溶剤の組み合わせ(極性)に依存するので、添加量はある程度まで系に依存します。添加剤により**沈降防止性**を向上させる場合、添加量は少量で十分です。ほとんどの場合、添加剤を0.1~0.3%添加するだけで良好な結果が得られます。傾斜面での**タレ止め性**を向上させるには、添加量を高める必要があります。一般的には0.5~1.0%で、最大でも3.0%です。添加量が非常に高くなると、濁り(クリヤコートの場合)や黄変性を考慮する必要があります。無溶剤型塗料の場合には、収縮によるクラックが生じることがあります。適切なチキソトロピック性を得るために添加量を高める場合には、たとえシーディングや沈殿物などの明らかな欠陥が生じなくても、塗料の極性は最適ではありません。

#### 他のレオロジーコントロール剤との併用：

たとえば、ヒュームドシリカと併用することができます。ヒュームドシリカを添加した配合では、せん断力を取り除いた直後に構造粘性が回復しますが、ウレアをベースとする添加剤の場合は、構造粘性の再構築に時間がかかります。構造がゆっくりと回復することはレベリング性および脱泡性の向上には効果的です。最適な効果を得るには、この2種類の添加剤を併用して下さい。

#### 特長

汎用のレオロジーコントロール剤の多くは粉末または固体で、添加時には正確な温度調整あるいは製粉作業を必要とする特別な添加方法が用いられます。その一方、クリヤコートにおいては濁りや光沢低下を生じることがあるので使用が制限されます。BYK-410およびBYK-411には、このような制限がありません。さらに、チキソトロピック性が高温(80°C)で破壊されることもなく、脱凝集タイプの湿潤分散剤の添加(たとえば、ピグメントコンセントレートを用いるために配合中に含有されてしまう場合)による影響を受けません。BYK-410およびBYK-411のもう一つの特長は、耐水性が低下しないことです。汎用のレオロジーコントロール剤の場合、浸水テストを行うとブラッシングまたは光沢低下が生じます。

## 水系塗料用液状レオロジーコントロール剤

当社では、水系塗料用液状レオロジーコントロール剤としてBYK-420およびBYK-425の2種類を取り揃えています。BYK-420は図16に示した化学構造をベースにしています。N-メチルピロリドンに溶解させた変性ウレアで、変性した末端基が高極性なので水に相溶性を示します。BYK-420は水に顔料または体質顔料スラリーを配合する場合に最適です。せん断力が低い場合には増粘するので、沈降防止に最適です。(図19)

BYK-420はまた、バインダーを含有する系にも使用できますが、樹脂の化学構造によりレオロジー効果が低減することがあります。そのため、バインダーと系の相溶性を確認してからBYK-420を使用して下さい。相溶性を示す場合には、良好な沈降防止性およびタレ止め性が予想されます。

BYK-420は系に迅速に、そして均一に分散させることにより最適性能を示します。配合中に有機系の共溶剤が存在すると添加が容易になります。また、共溶剤により、バインダーの相溶性も向上します。

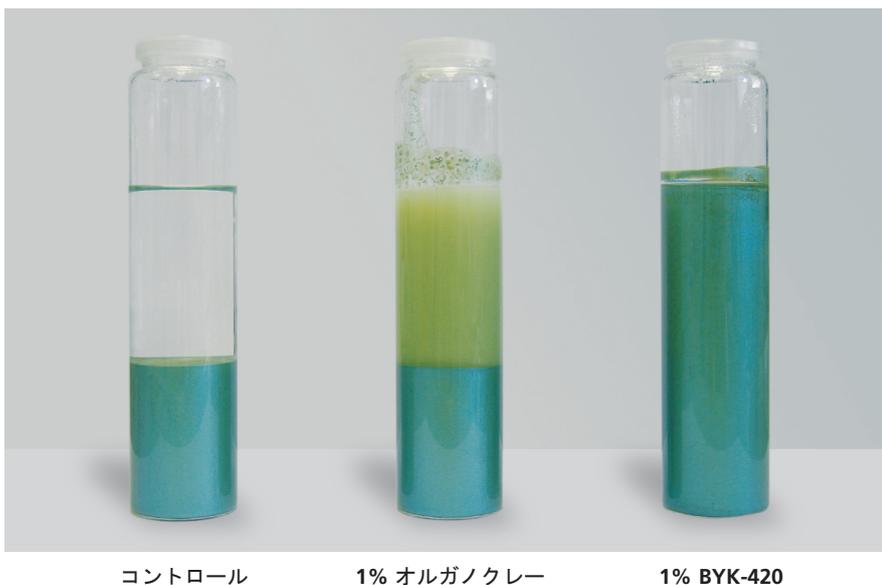
BYK-425の場合には異なるアプローチがとられています。BYK-425は疎水性を示す既知の変性ウレタン系増粘剤の化学的性質を利用しており、またBYK-420に含有されるウレアの化学的性質も利用しています。その結果、BYK-425は水系のバインダーを含有する多くの系において優れた沈降防止性およびタレ止め性を示します。

BYK-425によるレオロジー効果は2つのメカニズムにより作用しています。一つは数種類の添加剤分子の疎水性セグメントによる会合反応(ミセルの形成)またはバインダーとの会合反応で、もう一つは添加剤のウレア基による水素結合です。

BYK-425は液体キャリアとしてポリプロピレングリコールを含有し、VOCフリーです。中程度のせん断力で添加する必要がありますが、後添加することもできます。BYK-420と比較すると、水に対する有効性はありません。BYK-425は様々な系で試験されており、ウレタン、アクリルまたはセルロース系増粘剤やオルガノクレーをベースとする製品などの汎用のレオロジーコントロール剤よりも優れています。

BYK-420およびBYK-425を併用して、塗料のレオロジープロファイルを最適化することができます。

### 水系エフェクトピグメントスラリーにおける沈降防止性の向上



コントロール

1% オルガノクレー

1% BYK-420

図 19

## ワックス添加剤

ワックスもまた、レオロジーコントロール剤として使用されます。エフェクトピグメント(アルミニウムやパール顔料)あるいはつや消し剤を含有する系に使用されます。固形粒子の配向性が、ワックス添加剤により向上します。より均一に配向することで、顔料の効果あるいはつや消し効果がより適切に現れます。また、貯蔵時の固形粒子の沈降も防止することができるので、沈殿物が低減します。

CERAMAT 258はポリプロピレンワックスをベースとするワックスで、常乾工業用塗料と同様に、溶剤型木工塗料およびパーケットワニスをつや消し剤やステアリン酸亜鉛の沈殿防止に使用されます。(図 20)

つや消し効果に寄与し、さらに良好な耐スクラッチ性および表面保護性を付与します。

ワックスを自動車のエフェクトコーティング(メタリックおよびパール効果)に使用すると、最高のフロップ性、つきむらのない均一なメタリック効果が得られます。(図 21)また、エフェクトピグメントの沈降も防止できます。

CERAFAK 106により、塗料配合中のエフェクトピグメントが安定化します。(希釈なし)

CERATIX 8461は特に、サーキュレーションシステムにおいて希釈された塗料の安定性を向上させるために開発されました。レオロジー効果が非常に大きいので、スプレー粘度でエフェクトピグメントの沈降が防止できます。(図 22) 2つの添加剤はともにEVA(エチレン酢酸ビニル)コポリマーワックスをベースとしているので、特に低極性の系に適しています。(ポリエステル樹脂を配合するベースコート)極性の高い系(アクリル樹脂ベースコート)にはCERAFAK 103およびCERATIX 8463が有効です。(ワックスベースはエチレンアクリル酸、EAA)CERAFAK 110およびCERATIX 8466は芳香族溶剤を含有しない同様の製品です。AQUACER 526は水系のエフェクト用の最初の製品です。

### シリカ系つや消し剤を含有する木エワニス(硝化綿)



図 20

### ワックス添加剤によるつやむらなしのメタリックベースコート



図 21

### 48時間後のメタリックベースコートの沈降(スプレー粘度)



図 22

### レオロジーコントロールワックス添加剤

	ワックスの種類	固形分	溶剤
AQUACER 526	EVA コポリマー	30%	水
CERAMAT 258	酸化HDPE	17.5%	酢酸ブチル
CERAFAK 103	EAAコポリマー	6%	キシレン/酢酸ブチル/ブタノール
CERAFAK 106	EVA コポリマー	6%	キシレン/酢酸ブチル/ブタノール
CERAFAK 110	EVA コポリマー	6%	酢酸ブチル/ブタノール
CERATIX 8461	EVA コポリマー	4.7%	キシレン/酢酸ブチル/ブタノール
CERATIX 8463	EVA/EAA コポリマー混合物	4.4%	キシレン/酢酸ブチル/ブタノール
CERATIX 8466	EVA コポリマー	4.7%	酢酸ブチル/ブタノール

図 23

## 添加剤と測定機器

### BYK-Chemie 添加剤 製品の種類

- ・顔料およびフィラー用湿潤分散剤
- ・スリップ性、フロー性および下地への濡れ性を向上させる添加剤
- ・消泡剤と脱泡剤
- ・減粘剤
- ・レオロジーコントロール剤
- ・ウレタン整泡剤

[www.byk.co.jp](http://www.byk.co.jp)

### BYK-Cera ワックス添加剤

- 塗料、印刷インキ用ワックスエマルジョン、ワックスディスパーションおよびマイクロナイズドワックス  
その他の用途
- ・ホイルおよび紙製品
  - ・ガラスファイバー
  - ・潤滑剤
  - ・光沢剤
  - ・熱転写用

[www.byk-cera.com](http://www.byk-cera.com)

### BYK-Gardner 測定機器

BYK-Gardnerでは、広範囲の用途において、お客様の要求事項を満たすことのできる測定機器全般を取り揃えています。

- ・色
- ・光沢
- ・ヘイズ
- ・オレンジピール
- ・物理的性能

取扱いの容易な品質管理用ソフトウェアを備えた携帯用および据置用測定機器があります。

BYK-Gardnerでは塗料およびプラスチック業界の問題解決策を提供しています。

BYK-Gardner GmbH  
P.O. Box 970  
82534 Geretsried  
Lausitzer Strasse 8  
82538 Geretsried  
Germany  
Phone +49 (0) 8171 3493-0  
Fax +49 (0) 8171 3493-140

[www.bykgardner.com](http://www.bykgardner.com)

ANTI-TERRA®, BYK®, BYK®-DYNWET®, BYK®-SILCLEAN®, BYKANOL®, BYKETOL®, BYKOPLAST®, BYKUMEN®, DISPERBYK®, DISPERPLAST®, LACTIMON®, SILBYK®および VISCOBYK® はBYK-Chemie社の登録商標です。

AQUACER®, AQUAFLOUR®, AQUAMAT®, CERACOL®, CERAFAK®, CERAFLOUR®, CERAMAT®, CERATIX®およびMINERPOL® はBYK-Cera社の登録商標です。

本情報は当社が最良と考えるデータに基づいています。配合、製造および塗装条件は多岐にわたるので、前述の記載事項は必要に応じて調整する必要があります。本情報から得られた特許権を含む個々のケースに対しては一切の法的責任を負いかねます。  
この資料は以前に提出の資料と差し替えをお願いします。

### BYK-Chemie GmbH

P.O. Box 10 02 45  
46462 Wesel  
Germany  
Phone +49 (0) 281 670-0  
Fax +49 (0) 281 65735

### ビッケミー・ジャパン株式会社

本社：大阪府大阪市北区堂島浜1丁目4番4号  
東京営業所：東京都港区浜松町1丁目10番11号  
名古屋営業所：愛知県名古屋市天白区原1丁目2105番地

[www.byk.co.jp](http://www.byk.co.jp)

[info@byk.com](mailto:info@byk.com)

[www.byk-chemie.com](http://www.byk-chemie.com)

