

AEROSIL® Fumed Silica and AEROXIDE® Fumed Metal Oxides for Toner

Technical Information TI 1222



目次

		ページ
1	はじめに	4
1.1	概要	4
2	製造および特性	5
2.1	コア粒子の合成	6
2.1.1	純度	6
2.1.2	比表面積および粒子構造	6
2.2	表面処理	7
2.3	低凝集品と構造改質品	7
3	AEROSIL® および AEROXIDE® 製品を使用したトナー処方	8
3.1	一般的なガイドライン	8
3.2	適切な外添剤の選択	9
3.2.1	トナーの流動性	9
3.2.2	摩擦帯電	10
3.2.3	スパーサー効果	11
3.2.4	OPC ドラムのクリーニング性	12
3.3	外添剤の新製品	13
3.3.1	低凝集化した外添剤	13
4	AEROSIL® およびAEROXIDE® 製品を使用したトナーの製造	14
5	凝集構造とトナーとの混合	15
6	製品の安全性	15
6.1	フュームドシリカ	15
6.2	フュームドチタニア	16
7	保管および取り扱い	16
8	実験の実施方法	16
8.1	摩擦帯電性	16
8.2	トナーサンプルの調整	16
8.3	流動性	16
8.4	帯電量分布	16
9	物理化学特性値	17
10	参考文献	19

1 はじめに

エボニック インダストリーズは、デジタルイメージング業界にフュームドシリカおよびフュームド金属酸化物を供給する世界でも屈指のメーカーです。今日のトナー業界から求められる要件の多様化や技術的な複雑さが増加していることを受け、当社ではAEROSIL®製品およびAEROXIDE®製品の豊富な製品群を開発し続けてきました。この技術カタログでは、当社が開発してきたフュームドシリカおよびフュームド金属酸化物をベースとした添加剤の性質と性能特性について説明いたします。世界中のトナー業界が直面する問題に対処すべく、エボニックの品質と技術的な独創性の導入を検討されているトナー設計者の皆様は、是非とも本書をお役立てください。

1.1 概要

ゼログラフィーとも呼ばれる電子写真プロセスは、チェスター・カールソン氏によって1938年に開発されました。これは、静電潜像から可視画像を作り出す技術です。光伝導性の表面（感光体）上に表面電荷の形で存在する静電像は、電荷を帯びたトナー粒子を使用して現像されます。トナー粒子は、用紙の表面に転写、定着されます。ゼログラフィーによる商用コピー機としては世界初となるXerox 914では、白黒の9"×14"サイズのコピーを1分間に7枚出力することが可能でした。現在のコピー機や高速カラーレーザープリンタ、デジタル印刷機では、フルカラーで1分間に最大100ページを超える出力が可能です。

従来からある粉砕トナーは、一般的に顔料と熱可塑性樹脂の混合物を混練し生産されています。この成形物を細かく粉砕し、目的の粒子サイズとなった粉末に外添剤を加えて、粉体の流動性と摩擦帯電を調整します。

化学的に製造されるケミカルトナー（CPT:Chemically Produced Toner）は、水または溶剤をベースとしたエマルジョンか、モノマーの懸濁液（着色剤と共にポリマー化される）から製造されています。最終的には機械的に製造されるトナーと同様に、外添剤を加えて後処理されます（図1）。

トナー処方の基礎となるのは、顔料、樹脂、ワックス、そして帯電制御剤（CCA）です。もちろん、適切な顔料の選択が必要不可欠な最初の手順となります。ただし、その他の各原料も、非常に重要な機能を果たします。トナー粒子のポリマーは、トナーが目的の極性を持つように摩擦帯電し、目的の温度で融解するものでなければなりません。ワックスは、トナーのフューザーローラーへの付着力を低下させ、用紙への定着力を向上させる目的で混合します。また、帯電制御剤は、摩擦帯電の極性、強さなどを制御する目的で加えられます。

このような原料はトナー粒子を設計する上で基礎となるものですが、電子写真プロセスにおける工程の信頼性を高め、高品質な画像を出力することを目的としています。いわゆる外添剤が

2 製造および特性

開発されたのも、このような理由からです。最も一般的に使用される外添剤は、ナノ構造のシリカおよび金属酸化物の粒子で、トナーの表面に付着します。エボニックが提供する表面処理されたAEROSIL®フュームドシリカ（SiO₂）およびAEROXIDE®フュームド金属酸化物（Al₂O₃、TiO₂）は、粉砕トナーおよびケミカルトナーに対応した効果の高い外添剤です。その効果として、以下のようなものが挙げられます。

- 粉体の流動性の大幅な向上
- 画像特性の向上
- 相対湿度の影響の低減によるトナーの保存性および品質安定性の大幅な向上
- 適切な摩擦帯電量のコントロール
- 感光体ドラムのクリーニング特性向上

エボニックがAEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®金属酸化物をベースとする外添剤の製造は、基本的に以下の3つのプロセスで構成されています。

- 1 コア粒子の合成
- 2 粒子の表面処理
- 3 粒子の凝集構造の改質

これらのプロセスの組み合わせ（図2）は、連続またはバッチ処理に行うことが可能で、精密かつ個々の要求に合わせた設計と、今日のトナー設計に求められる最も厳格な要件に応える外添剤の設計を実現しています。

トナーの表面は外添剤の特性の影響を受けます。そのため、適切なAEROSIL®およびAEROXIDE®外添剤の組み合わせを選択することによって、目的にあわせたトナーの特性を制御できるようになります。

図1 粉砕トナー（左）およびケミカルトナー（右）の生産工程略図^{1,2}

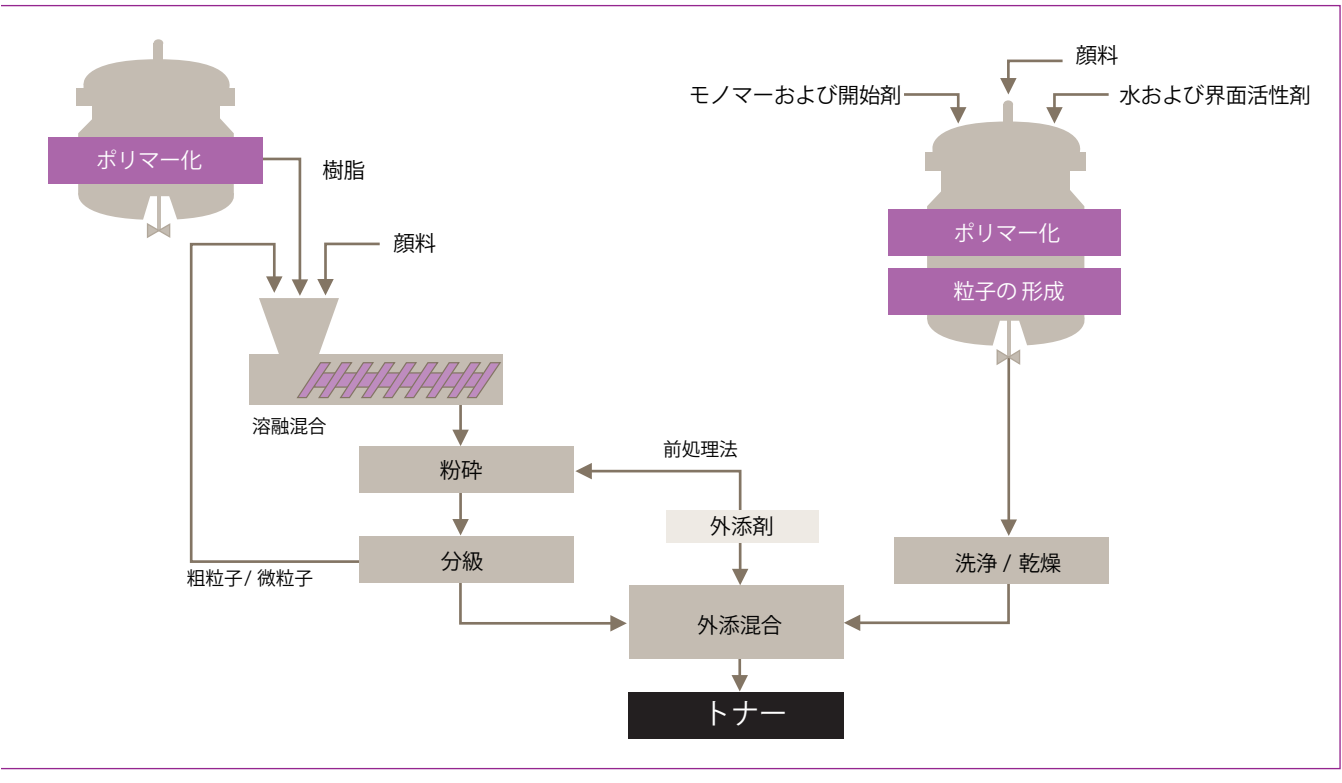
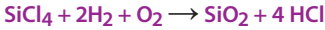


図2 AEROSIL®およびAEROXIDE®ベースの外添剤を製造する基本的なプロセス手順と応用

	コア粒子の合成	表面の改質	構造の改質
特性に対する影響	コアの組成	疎水基	凝集径
	SiO ₂ （シリカ）	ジメチルシリル基	
	Al ₂ O ₃ （アルミナ）	トリメチルシリル基	凝集粒子径
	TiO ₂ （チタニア）	ポリジメチルシロキサン	
	特殊な粒子	アルキルシリル基	
	SiO ₂ /TiO ₂ /Al ₂ O ₃ （シリカ/チタニア/アルミナ）	官能基	
	BET比表面積	アミノアルキルシリル基	
	50～380 m ² /g	上記官能基の組み合わせ	
応用特性	流動性の向上	疎水性	分散性
	摩擦帯電	流動性の向上	加工性
	安定性	摩擦帯電	
	耐久性	安定性	
		分散性	

2.1 コア粒子の合成

AEROSIL® フュームドシリカは合成非晶質シリカであり、クロロシランを酸素・水素火炎中で加水分解することで発生する以下の反応によって生成されます。



この製造プロセスは、エボニックの前身であるデグサによって1942年に開発されたもので、それ以来スケールアップとさまざまな改良が加えられてきました。AEROSIL® フュームドシリカは、火炎加水分解によって生成されるため、フュームドシリカと命名されています。

酸化アルミニウム（アルミナ）や酸化チタン（チタニア）といった金属酸化物も、AEROSIL® プロセスを使用して生成できます。エボニックでは、このような金属酸化物を AEROXIDE® という商標名で販売しています。たとえば、アルミナの反応式は、以下のようになります。



外添剤の摩擦帯電特性を決定付ける最も大きな要因は、ベースとなる金属酸化物自体の電気抵抗です(表1を参照)。そのため、当社製品の摩擦帯電は、AEROXIDE® フュームドアルミナ<AEROXIDE® フュームドチタニア<<AEROSIL® フュームドシリカという順序で、負電荷性が強くなります。

表 1 シリカ、アルミナ、チタニアの基本物理特性				
	単位	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃
比重	g cm ⁻³	2.2	3.8	3.3
屈折率	–	1.46	2.5	1.7
モース硬度	–	7	6	8
電気抵抗	Ω cm	10 ¹⁴	10 ⁶	10 ⁵
融点	°C	1610	1825	2015
熱伝導率 (300 K)	W m ⁻¹ K ⁻¹	1.38	8.4	36

2.1.1 純度

AEROSIL® フュームドシリカの SiO₂ 濃度は 99.8% 以上であり、純粋な非晶質シリカです。水分含有量が少なく不純物を含まないことは、外添剤として優れた性能を発揮する上で重要な特徴です。非常に高い純度レベルは、同様に AEROXIDE® フュームドアルミナおよび AEROXIDE® チタニアの特徴でもあります。

2.1.2 比表面積および構造

AEROSIL® および AEROXIDE® 製品の BET 比表面積の値は 50～380 m²/g です。BET 比表面積がわかるだけで、製品の粒子構造の多くが明らかになるため、物理化学特性と性能の多くも明らかになります。たとえば、フュームドシリカおよびフュームド金属酸化物の粒子は独特な性能を示しますが、これは、元の状態では粒子径が非常に大きく、約 10～100 μm あるのに対して、剪断力を加えると粒子はフラクタル単位 (通常は 0.1 μm 以上) に分割され、トナーの表面を完全に覆うためであることが、よく知られています。この、元の大きな粉体粒子「集塊粒子」と、分散したフラクタル単位「凝集粒子」との関係を熟知することが非常に重要です (図 3)。元の集塊粒子を十分に分散された凝集粒子にすることにより、これらの魅力的な材料は、トナー用だけではなく多様な用途に使用できるようになります。

トナー設計者にとって、BET 比表面積は、トナー表面の被覆率の指標となります。BET 比表面積が高いと、トナー表面を覆う程度が大きく、BET 比表面積が低い製品は、表面を覆う程度が低いことを示しています。さらに微細なレベルで構造の程度を制御できることも、当社は確認しました。

これは特に、比表面積が低い材料 (BET = 50 m²/g) で実証されています。そのため、当社では、粒子構造の異なる製品群を提供しています。(平均 BET = 50 m²/g の AEROSIL® RY 50 や AEROSIL® RX 50 などの) 低構造／低 BET 製品、および (平均 BET = 50 m²/g の AEROSIL® NY 50 や AEROSIL® NAX 50 などの) 高構造／低 BET 製品です。

比表面積 (BET) には、特定の製品の性能を理解する上で大切な役割があります。たとえば、比表面積が中程度から高い (150 m²/g 以上) 製品は、優れた粉体の流動性と摩擦帯電を示しますが、比表面積が低い (150 m²/g 未満) 製品は、トナー粒子間の効果的なスパーサーとなり、長期間の使用条件下で耐久性、すなわち帯電安定性を向上させます。低構造／低比表面積の製品が OPC ドラムへのトナーの付着を最小化すること、帯電安定性の維持には比表面積の高い製品が不可欠であることが、当社の経験で明らかになっています。そのため、BET 比表面積の体系化により有益な設計が可能となり、トナー設計者に最高の精度と予測能力が与えられます。トナー製造業に完璧なサービスを提供することが当社のアプローチの基本です。

2.2 表面処理

未処理の AEROSIL® フュームドシリカ、AEROXIDE® フュームドアルミナ、AEROXIDE® フュームドチタニアのコア粒子は、表面に M-OH 基 (M = Si、Al、Ti) が存在しています。その結果、水と高い親和性があります (親水性を示します)。

粒子表面の水酸基と有機化合物の反応性を利用することで、有機ケイ素化合物、シリコンオイル、その他有機基などの官能基を化学的に粒子表面に固定化することができます。その結果、この粒子は水に濡れない、すなわち疎水性になり、この粒子をトナーの表面に分散すると、水分吸着を防ぐことを示しています。表面処理によってフュームド金属酸化物は分散されやすくなり、流動性と摩擦帯電特性が大幅に向上します。トナー用途において最も効果的なのは、ジメチルシリル基、トリメチルシリル基、ジメチルポリシロキサンであり、そのいずれもが摩擦帯電の負帯電性を強くします。すでに説明したように、摩擦帯電の特性は表面処理だけで決まるものではなく、ベースとなる金属酸化物とその比表面積も影響します。

アミノ基を伴う化合物でフュームドシリカを処理することで (疎水化剤を組み合わせて使用)、AEROSIL® 製品の摩擦帯電は正電荷を持つようになります。このような製品の例として、AEROSIL® NA 50 Y、AEROSIL® R 504、AEROSIL® RA 200 HS などが挙げられます。

2.3 低凝集処理と構造改質処理

AEROSIL® および AEROXIDE® 製品の性能特性をさらに向上させるため、エボニックでは、低凝集処理と構造改質処理という 2 種類のプロセスを開発しました。低凝集処理では、基本的に凝集構造に変化を加えることなく、フュームド酸化物の集塊粒子をほぐしていきます。それに対して構造改質処理では、凝集構造を分解します。2 つのプロセスの違いとして重要な点は、低凝集処理では粉体のかさ密度が低下するのに対し、構造改質処理では粉体のかさ密度が増加することです。それにもかかわらず、どちらのプロセスも手法は異なるものの、フュームド金属酸化物の分散性を大幅に向上させる効果があります。

外添剤の相対的な分散性は、凝集、集塊粒子サイズの分析によって評価することができます。この手法では、AEROSIL® 製品のサンプルをエタノール中に分散させ、レーザー回折方式の粒度分布計により評価します。これにより、トナーと混合した場合の外添剤の相対的な分散性を評価することができます。図 4 に示すとおり、2 種類の通常製品 (AEROSIL® RY 200 および AEROSIL® RY 300) では、エタノール中に分散させて分析した場合、平均粒子径は約 100 μm になります。

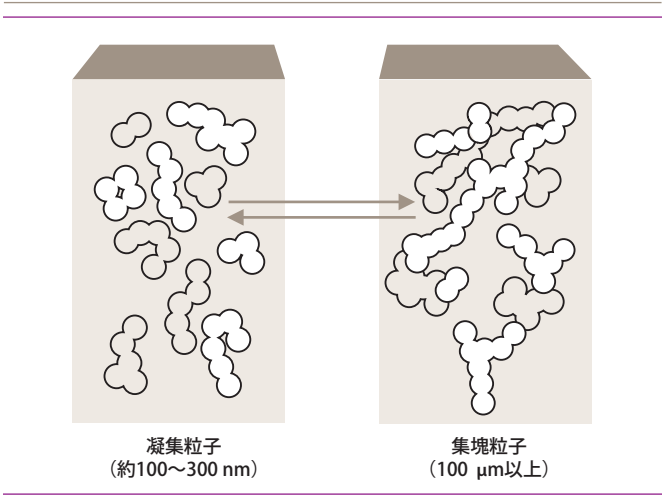
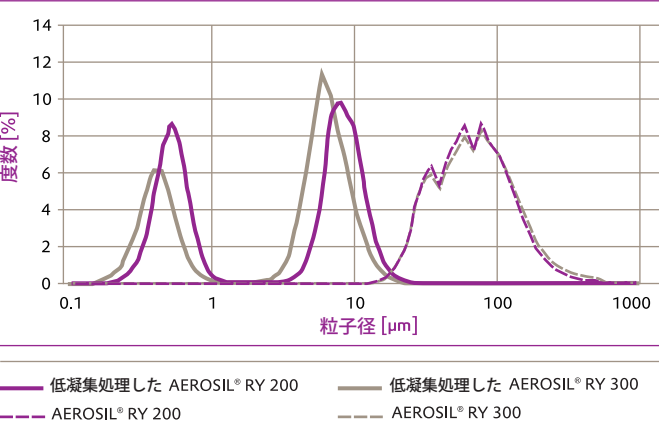


図 3

AEROSIL® フュームドシリカおよび AEROXIDE® フュームド金属酸化物の凝集および集塊粒子の概略図。一次粒子は独立して存在することはない、粒子径が 100 nm を超える凝集および集塊粒子を形成します。ただし、トナー業界では、外添剤の仕様は一次粒子径で示すのが一般的です。

3 AEROSIL®およびAEROXIDE®製品を外添したトナー

図 4 通常のAEROSIL®フュームドシリカ製品の粒度分布と、それぞれを低凝集処理した製品の粒度分布(エタノールで1分間分散、Horiba LA 920で測定)



これに対し、低凝集処理品は容易に分散し、粒度分布値が相対的に小さくなっていることがわかります。このような湿式法での評価結果は、ドライな状態での粉体の実際の凝集径よりも大きい結果となりますが、相対評価により低凝集処理によってAEROSIL® 製品の分散性が向上することは明らかなです。通常のAEROSIL® 製品と構造改質品の凝集性の相違は、図5の透過電子顕微鏡画像で確認できます。

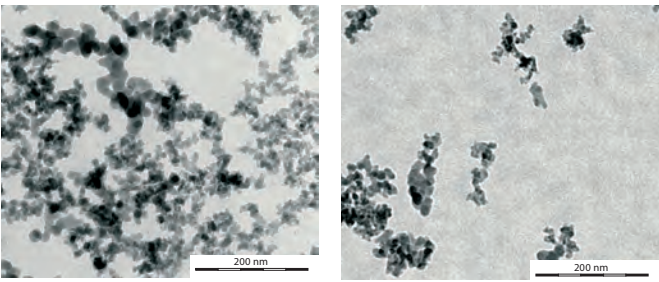


図 5 通常のAEROSIL®フュームドシリカ(左)と対応するAEROSIL® R 8200(右)の透過電子顕微鏡画像

どちらの製品も BET 比表面積はほぼ同じですが、構造改質品 (右の写真) の凝集粒子は、通常の AEROSIL® 製品よりかなり小さくなります。構造改質品として製品化している AEROSIL® R 8200 および AEROSIL® R 9200 では、粉体の分散性が向上し、経時による再凝集は起こらないことが確認されています。さらに、通常製品と比べかさ密度とタップ密度が大幅に高いという特性を持ち、取り扱い性と保存性が向上されています。

3.1 一般的なガイドライン

AEROSIL®フュームドシリカは、トナー用外添剤として1970代から使用されてきました。AEROSIL® R 972 (ジメチルジクロロシラン処理されたフュームドシリカ)は、トナーが商業的に生産され始めてから最も幅広く使用されてきた製品です。この製品は中程度の疎水性を持ち、0.1〜0.3 %というわずかな添加量でもトナーに良好な流動性を持たせることができます。このような外添剤を使用した場合でも、トナーの帯電については主に電荷制御剤 (CCA) を使用して制御します。

近年では、プリンタやコピー機で使用するトナーの外添剤に対する要件は多様化してきています。これは、MFP (多機能プリンター) や小型化、省電力、さらには大量印刷やオンデマンド印刷に対応したデジタル印刷など、さまざまなシステム開発が進められていることに起因しています。このようなシステムの複雑化に伴い、小粒径トナーやケミカルトナー、カラートナーの開発において、より正確な製品設計が要求されています。その結果、近年のトナーでは複数の外添剤の組み合わせが一般的となり、その添加量は3%を上回ることもあります。

トナーの最適な外添剤を選択するには、複数の要素について検討する必要があります。その例として、トナーの種類(モノクロ/カラー、粉砕/ケミカルトナー)、機器の種類(アナログ/デジタル)、感光体ドラムの種類(a-Si/OPC)などが挙げられます。トナー用外添剤が担う複雑な役割については、表2で説明します。

表 2 印刷プロセスの各段階で外添剤の設計に要求される特性

プロセスの段階	添加剤の設計要素
保管	環境的安定性 固結防止 帯電安定性
供給	流動性 混合性
混合 / 帯電	帯電速度 分散性 混合性
現像	帯電性 キャリアからの分離性 混合性 環境的安定性
転写	帯電性 密着性 スパーサーの効果
クリーニング	粒子径 流動性 密着性 スパーサーの効果

適切な外添剤の選択は、物理化学特性 (比表面積、金属酸化物の種類、表面処理剤) に基づいて行い、応用評価を完璧に実施してその選択の可否を確認します。より高品質な画像や更なる印刷の高速化など、電子写真に求められる高性能化や、ニーズの多様化、さらに耐久性の高い外添剤の要求といった要素により、トナー処方の開発に伴う外添剤の選択プロセスは複雑かつ重要なものになっています (表3)。

3.2 適切な外添剤の選択

ここまでに掲載されている表は、さまざまな性能特性に関して、特定のAEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物ベースの外添剤製品群の位置付けを示したものです。これらの位置付けは、使用するトナーや製造プロセスによっても異なりますが、表で示された傾向と関連性を考慮することで、一般的な使い方の考え方を理解することができます。

3.2.1 トナーの流動性

流動化剤としてのフュームドシリカの作用は、2つの理論によって説明できます³。外添剤によって得られるトナーの流動性の向上は、このいずれかによって説明が可能です。

AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物の微粒子 (凝集粒子) は、トナー粒子の表面に付着します。粒子はスパーサーとして機能し、トナー粒子どうしの距離が大きくなります。これにより、粒子間の引力が弱くなります (図6)。

表 3 電子写真の傾向と外添剤の使用による影響

商業的および技術的傾向	フュームド無機物質による影響
モノクロトナーからカラートナーへ	・電気抵抗の低い材料として、チタニアおよびシリカ・チタニア複合酸化物
粉砕トナーからケミカルトナーへ	・さまざまな種類のトナー粒子に対応できる外添剤の多様化 ・「緩やかな」混合を実現する低凝集処理された添加剤 ・耐久性の向上を目的とした、スパーサーとして使うBET比表面積が低いシリカおよびチタニア
OPCドラムとアモルファスシリコンドラム	・アルミナなど、研磨力の高い外添剤によるクリーニング性の促進
オンデマンド印刷	・独自に組み合わせた外添剤 ・耐久性の向上を目的とした、スパーサーとして使うBET比表面積が低いシリカおよびチタニア ・抵抗性が低い素材としてのチタニアおよびシリカ・チタニア複合酸化物
低価格カラープリンタ	・場合によっては、低価格の外添剤(親水性シリカなど)を組み合わせる
ガラス転移温度(T _g)が低いトナー樹脂	・アルミナなど、研磨力の高い外添剤によるドラム洗浄の促進
小さいトナー粒子	・独自に組み合わせた外添剤 ・「緩やかな」混合を実現する低凝集処理された添加剤

また湿度が高い環境でも、外添剤によって水分の吸着を抑えることができるため、粒子間の水架橋による引力 (凝集) を弱める効果があります。

2つ目の理論は、ボールベアリングの作用に例えて説明できます。外添剤の粒子は、トナー粒子上に単微粒子層を形成し、表面どうしで作用する摩擦力と吸着力を低下させます。

図 6 粒子同士が、ファン・デル・ワールス力などの引力によって吸着します(左)。製品のBET比表面積が高いほど、その効果は顕著になります。AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物の粒子が、粒子間のスパーサーとして機能します。粒子間の距離が大きくなるほど、引力が弱くなります(右)

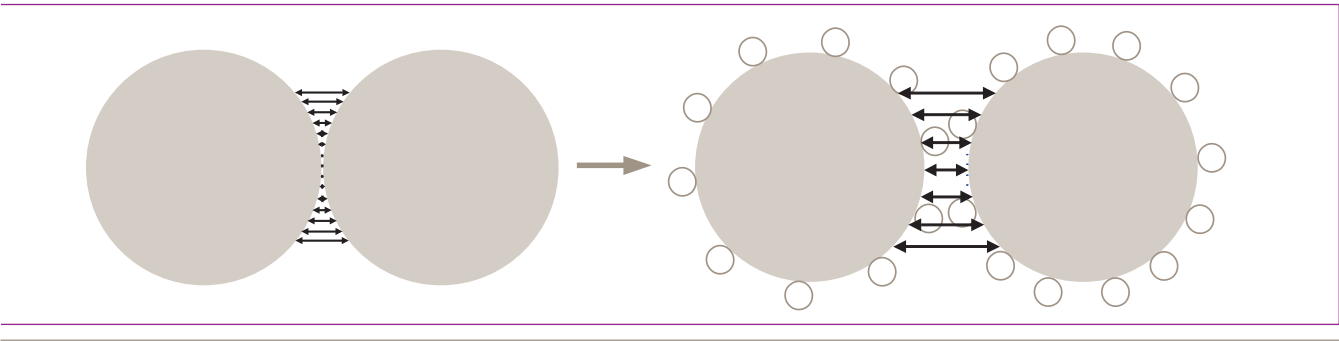
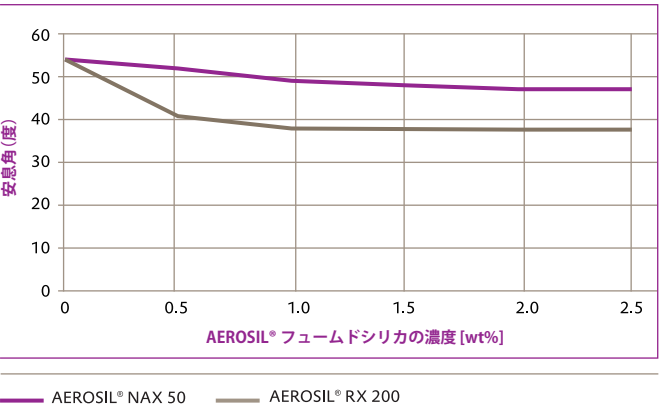


図 7 AEROSIL®の濃度によるトナーの流動性への影響。トナー処方の設計には、それぞれ一次粒子径が小さなフュームドシリカ、および大きなフュームドシリカが使用されています。トナーの流動性の向上は、安息角が小さくなることで確認できます



一般的に、外添剤のBET比表面積が高いほど、外添剤に起因するトナーの流動性は高くなります。そのため、同程度の添加レベルでは、外添剤AEROSIL® 200およびAEROSIL® 300をベースにした製品の方が、BET比表面積が低い製品よりも、トナーの流動性が高くなります。外添剤の表面処理も、トナーの流動性に影響します。一般的に、ヘキサメチルジシラザン（HMDS）で処理されたAEROSIL®フュームドシリカを使用した場合に、トナーの流動性が最も高くなります。その次に高くなるのが、ジメチルジクロシラン（DDS）で処理されたものを使用した場合です。ポ

表 4 AEROSIL® およびAEROXIDE® 外添剤 – トナーの流動性に対する影響

AEROSIL®								AEROXIDE®				
SiO ₂								SiO ₂ /TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	
BET比表面積 m ² /g	50	50	90	130	150	200	300	80	75	90	100	
DDS				R 972		R 974 R 9200	R 976 S					
PDMS	RY 50 RY 51 RY 50 L	NY 50 L		RY 200 S	R 202	RY 200 RY 200 L	RY 300					
HMDS	RX 50	NAX 50	NX 90 S	NX 130		RX 200 R 8200	R 812 R 812 S RX 300	STX 801				
HH + AS		NA 50 Y	REA 90 REA 90 L	NA 130 Y		R 504 REA 200 RA 200 HS						
RS						R 805			NKT 65	NKT 90	C 805 VP Alu C RK	

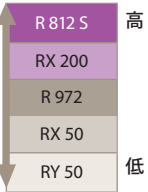
DDS = ジメチルジクロシラン、PDMS = ポリジメチルシロキサン、HMDS = ヘキサメチルジシラザン、HH = HMDS または PDMS、RS = アルキルシラン、D4 = オクタメチルシクロシロキサン

リジメチルシロキサン（PDMS）で処理されたフュームドシリカは、DDSやHMDSで処理された製品と比べ、一般的には分散が難しいため、流動性に対する効果は他の製品よりも低くなります。ただし、低凝集処理したAEROSIL® RY 200 は、効果的な流動化剤として機能します（表4）。

3.2.2 摩擦帯電

トナー粒子の摩擦帯電は、適切な外添剤を使用することで制御することができます。電子写真用トナーの帯電に関するさまざまな特徴は、摩擦帯電の表面状態モデルによってうまく説明することができます*。

高い純度と非常に低い含有水分により、疎水性のAEROSIL®フュームドシリカは、優れた絶縁体として機能します。これは、製品の電気抵抗が非常に高いことを表します。そのため、他の粒子と衝突した場合に強い静電気を発生し、帯電することができます。「摩擦帯電」という言葉はトナー技術で頻繁に使われる用語であり、表面どうしの摩擦によって静電気帯電が発生することを意味します。この性質により、AEROSIL®フュームドシリカを使用することで、トナーの帯電特性を効率的に制御することができます。基本的に、トナーの表面はフュームドシリカの表面の特性を引き継ぎ、負電荷の帯電量が多くなります。摩擦帯電のレベルは、比表面積とAEROSIL®フュームドシリカ製品群の化学的性質の相関によって決まります。フュームドシリカでトナーを処理すると、フュームドシリカで覆われたトナー表面の面積の大きさに比例して、その効果が大きくなります。つまり、



同程度の使用レベルでは、比表面積の高いフュームドシリカのほうが、比表面積の低いものよりも効率的に作用することになります。また、疎水性を持つフュームドシリカで処理したトナーのほうが、親水性を持つもので処理した場合よりも、負電荷の帯電量が多くなります5、6、7。そのため、負電荷の摩擦帯電量が最も多くなるのは、疎水性を持つAEROSIL®製品群を使用した場合で、AEROSIL® RY 300、AEROSIL® RX 300、AEROSIL® R 812 S など、比表面積が高い製品を使用した場合です。

正帯電トナーを生産する場合や、過剰な負電荷の摩擦帯電を調整する場合は、アミノシランなどで処理した正帯電性を示す外添剤を使用する必要があります（疎水化剤と組み合わせて使用）。このような製品として、AEROSIL® RA 200 HS、AEROSIL® R 504などが挙げられます。

表 5 AEROSIL® およびAEROXIDE® 外添剤 – トナーの摩擦帯電に対する影響

AEROSIL®								AEROXIDE®				
SiO ₂								SiO ₂ /TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	
BET比表面積 m ² /g	50	50	90	130	150	200	300	80	75	90	100	
DDS				R 972		R 974 R 9200	R 976 S					
PDMS	RY 50 RY 51 RY 50 L	NY 50 L		RY 200 S	R 202	RY 200 RY 200 L	RY 300					
HMDS	RX 50	NAX 50	NX 90 S	NX 130		RX 200 R 8200	R 812 R 812 S RX 300	STX 801				
HH + AS		NA 50 Y	REA 90 REA 90 L	NA 130 Y		R 504 REA 200 RA 200 HS						
RS						R 805			NKT 65	NKT 90	C 805 VP Alu C RK	

DDS = ジメチルジクロシラン、PDMS = ポリジメチルシロキサン、HMDS = ヘキサメチルジシラザン、HH = HMDS または PDMS
RS = アルキルシラン、D4 = オクタメチルシクロシロキサン

3.2.3 スペーサー

ガラス転移温度(T_g)が低いトナー樹脂を使用し、強いシェアがかかった場合は、外添剤がトナー粒子に埋没し、性能の低下につながる場合があります。このような状況は、オフィスプリンタや商用印刷の環境で発生する可能性があります。このような問題に対処するため、外添剤の組成を設計する際は、AEROSIL® RY 50やAEROSIL® RX 50などの比表面積が比較的低い外添剤の使用を検討する必要があります。

チタニアとアルミナは、どちらもフュームドシリカと比べて電気抵抗が低いため、負電荷の摩擦帯電量が少なくなります。AEROXIDE® Alu Cなど、未処理のフュームドアルミナは、フェライトキャリアと攪拌した場合に、弱い正電荷の摩擦帯電が発生します。一方、表面処理したAEROXIDE® Alu C 805では、弱い負電荷の摩擦帯電が発生します。特に効果的なチタニア製は、AEROXIDE® TiO₂ NKT 90です。さらにコスト効率が高い製品としては、AEROXIDE® TiO₂ NKT 65が挙げられます。ここで説明されているすべての金属酸化は、L/LおよびH/Hの両条件において、安定した帯電挙動を示します。これらのフュームド金属酸化物で処理されたトナーの帯電量は低く、環境安定性もきわめて良好です。

一般的に、外添剤の選択だけでトナーの帯電量を予測するのは容易ではありません。これは、トナー処方におけるすべての要素とプリンタの設計に大きく依存するためです（表5）。

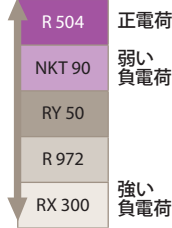


表 6 AEROSIL® および AEROXIDE® 外添剤 - スペーサーの効果

AEROSIL®								AEROXIDE®			
SiO ₂								SiO ₂ /TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃
BET 比表面積 m ² /g	50	50	90	130	150	200	300	80	75	90	100
DDS				R 972		R 974 R 9200	R 976 S				
PDMS	RY 50 RY 51 RY 50 L	NY 50 L		RY 200 S	R 202	RY 200 RY 200 L	RY 300				
HMDS	RX 50	NAX 50	NX 90 S	NX 130		RX 200 R 8200	R 812 R 812 S RX 300	STX 801			
HH + AS		NA 50 Y	REA 90 REA 90 L	NA 130 Y		R 504 REA 200 RA 200 HS					
RS						R 805			NKT 65	NKT 90	C 805 VP Alu C RK

DDS = ジメチルジクロシラン、PDMS = ポリジメチルシロキサン、HMDS = ヘキサメチルジシラザン、HH = HMDS または PDMS
RS = アルキルシラン、D4 = オクタメチルシクロシロキサン

3.2.4 OPC ドラムの研磨/クリーニングの補助

OPC 表面のトナー OPC 表面のトナーのフィルミングは、モース硬度が高い外添剤、または一次粒子が大きな外添剤のいずれかを使用することで対処できます。この方法では、AEROSIL® RX 50 および AEROSIL® RY 50 などの添加剤が、埋没を減少させる効果を発揮するだけでなく、前の章で説明したように、研磨剤として

機能します。その他の製品として挙げられるのが AEROXIDE® Alu C 805 です。この製品は比較的高いモース硬度を持ち（表1との比較）、一次粒子が中程度の大きさでありながら、明らかな研磨効果を示しています。エボニック外添剤の研磨は、表7に示すとおりです。

表 7 AEROSIL® および AEROXIDE® 外添剤 - 研磨/クリーニング

AEROSIL®								AEROXIDE®			
SiO ₂								SiO ₂ /TiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃
BET 比表面積 m ² /g	50	50	90	130	150	200	300	80	75	90	100
DDS				R 972		R 974 R 9200	R 976 S				
PDMS	RY 50 RY 51 RY 50 L	NY 50 L		RY 200 S	R 202	RY 200 RY 200 L	RY 300				
HMDS	RX 50	NAX 50	NX 90 S	NX 130		RX 200 R 8200	R 812 R 812 S RX 300	STX 801			
HH + AS		NA 50 Y	REA 90 REA 90 L	NA 130 Y		R 504 REA 200 RA 200 HS					
RS						R 805			NKT 65	NKT 90	C 805 VP Alu C RK

DDS = ジメチルジクロシラン、PDMS = ポリジメチルシロキサン、HMDS = ヘキサメチルジシラザン、HH = HMDS または PDMS、
RS = アルキルシラン、D4 = オクタメチルシクロシロキサン

図8から、BET 比表面積が中程度から低いフュームドシリカ製品である AEROSIL® RY 50 および AEROSIL® NY 50 L や、表面処理された小さな粒子を持つフュームドアルミナ製品である AEROXIDE® Alu C 805 を使用することで、OPC ドラムでの研磨効果が確認できます。BET 比表面積が高いフュームドシリカを使用した場合は、研磨効果はほとんど見られません。

図 8 研磨剤としての外添剤の効果。基材の膜厚と時間との相関によって示しています

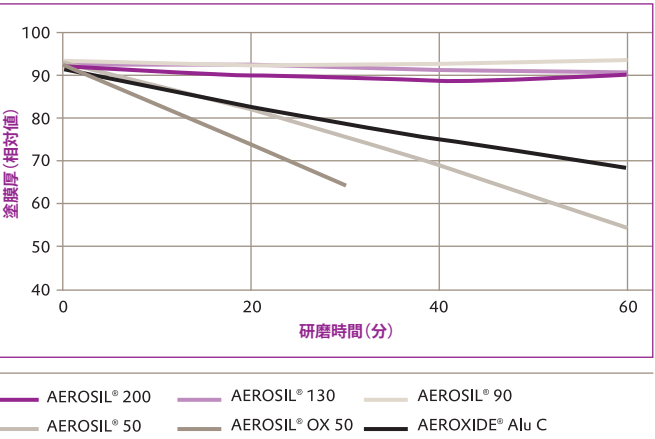
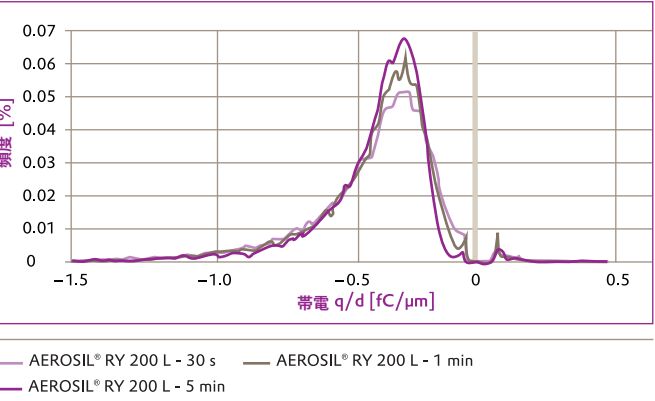
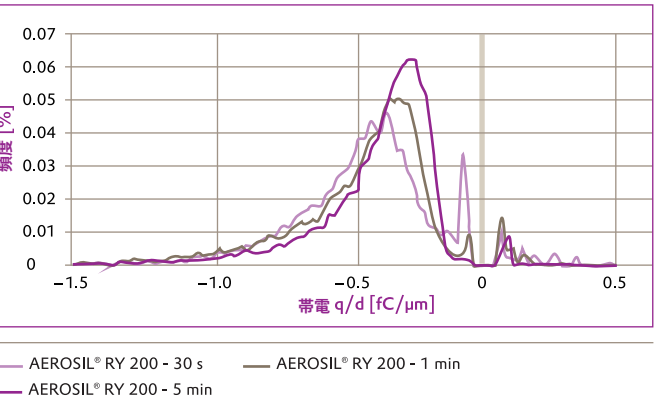


図 9 通常のフュームドシリカ AEROSIL® RY 200 (上図) と、低凝集処理されたフュームドシリカ AEROSIL® RY 200 L (下図) を混合した場合の、トナーの摩擦帯電時間の比較



3.3 外添剤の新製品

3.3.1 低凝集処理された外添剤

本書で強調しているように、集塊粒子から凝集粒子への分散（トナー表面の分散粒子が 0.1 μm 以上）は、性能の最適化には不可欠です。この分散には（混合速度の向上または混合時間の延長による）剪断エネルギーが必要で、比表面積の高いシリカからなる

4 AEROSIL®およびAEROXIDE®外添剤を使用したトナーの生産

AEROSIL®およびAEROXIDE®外添剤を使用する場合は、さまざまな要素が最終的なトナーの性能特性に影響します。このような要素は、おおよそ以下のように分類できます。

- 1 外添剤の粉体特性(粒子の種類、一次粒子径、表面処理など)
- 2 外添剤とトナーの相性
- 3 トナーと外添剤の混合条件

外添剤の特性は、コア粒子の組成や一次粒子径、表面処理など、前述の特性によって決定されます。そのため、目的とするトナーへの付加機能に応じて外添剤を選択する必要があります。

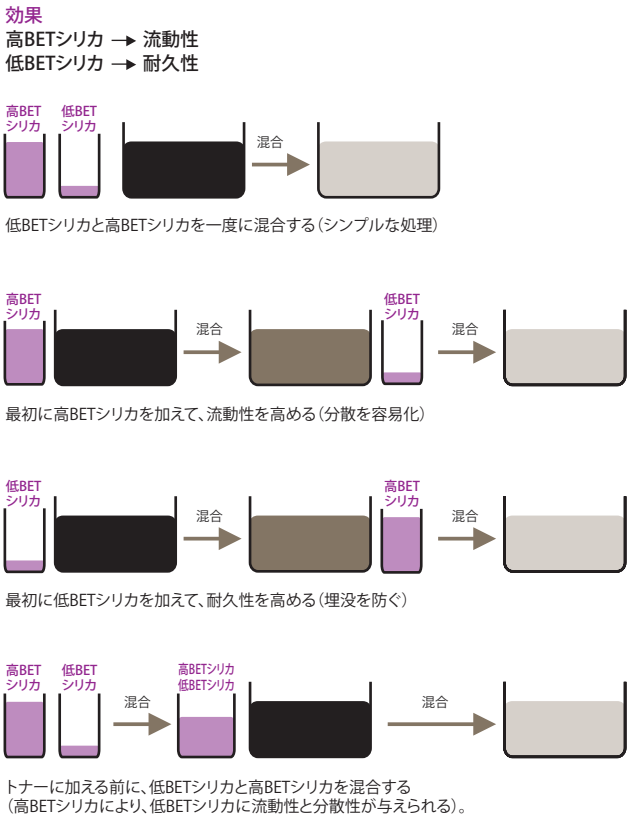
トナーの特性は、トナー生産プロセスによって大きな影響を受けるため、外添剤とトナー粒子の相性は非常に重要です。特定の種類のフュームドシリカとトナー粒子を組み合わせた場合に、十分な性能を得られた場合でも、それがすべてのトナー処方に該当するわけではありません。

トナーと外添剤の混合条件も、最終的なトナーの性能に大きく影響します。上述のとおり、AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物の集塊粒子を分散することは、性能を引き出すために必要不可欠です。この集塊粒子から凝集粒子への分散は、トナーとの混合段階で起こります。そのため、性能に影響する重要な要素には、トナーの種類、混合時間、混合温度、ミキサーの種類などがあります。激しい混合処理を行うとトナー粒子が損傷を受け、性能が低下する可能性があるため、そのような混合条件は避ける必要があります。

外添剤は、トナーと混合する前に解砕することもできます。これにより大きな凝集粒子がほぐされ、トナーとの混合工程で費やされるエネルギーと時間を節約することができます。事前に外添剤の解砕工程を必要としない、非常に便利でコスト効果の高い方法としては、第3.3.1章で説明されている、エボニックの低凝集処理をしたAEROSIL®製品群を使用する方法が挙げられます。

複数の外添剤を組み合わせる方法も、一般的に行われています。2種類の外添剤を混合する方法については、図10で概説しています。この例では、BET比表面積が低いフュームドシリカ（AEROSIL® RY 50やAEROSIL® RX 50など）と、BET比表面積が高いフュームドシリカ（AEROSIL® R 812 SやAEROSIL® RY 300など）を混合する場合について説明しています。

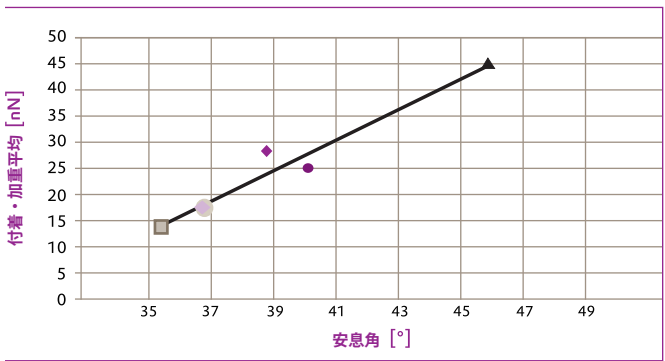
図 10 高BETフュームドシリカと低BETフュームドシリカを外添剤として混合する場合の例



5 凝集構造とトナーの混合

テュービンゲン大学*と共同で実施した広範な研究において、エボニックでは、コア粒子の種類、ミキサーの種類、および混合条件がAEROSIL®フュームドシリカの凝集粒子と集塊粒子に与える影響について調査しました。また、その結果として、コア粒子の流動作用についても調査することができました。走査型電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscopy）とX線光電子分光法（XPS: X-Ray Photoelectron Spectroscopy）によって微結晶性セルロース粉体の混合物を分析した結果、研究で使用了モデル粒子の1つとAEROSIL®フュームドシリカの間に明確な相関関係があることがわかりました。これは、フュームドシリカ粒子が粉体の表面を覆っている程度と均一性が、フュームドシリカによる流動性の向上に影響することが判明したためです。疎水性AEROSIL® R 972 Vのゆるい凝集粒子が、緩やかな混合条件によって均一な分散状態になるのに対し、親水性AEROSIL® 200の場合、凝集粒子を分解し均一な分散状態にするためには、高い混合エネルギーが必要となりました。また、原子間力顕微鏡によって特定された粒子間の「ミクロ的な」引力が、マクロ的な流動性（安息角）と直接関連することも発見できました（図11）*。

図 11 原子間力顕微鏡のデータと、微結晶性セルロースおよび複数のAEROSIL®製品の混合物に対する安息角測定との相関関係*



この研究から、粉体表面上の流動化剤の分散性を最適な状態に保つためには、混合条件の最適化が必要であるあることがわかりました。激しい混合処理を行うと粉体が損傷を受け、凝集サイズの微小化や埋没などにより、粉体の流動性が損なわれる可能性があるため、そのような混合条件は避ける必要があります。

また、フュームドシリカの種類が粉体の水分吸収に大きく影響を与えることはなく、粉体自身の性質によるものであることがわかりました。ただし、高い湿度レベルで平衡化した場合、AEROSIL®フュームドシリカを含まない粉体の流動性が強い凝集性を示すのに対し、AEROSIL®フュームドシリカを含む粉体混合物では、良好な流動性が保たれました。この場合、疎水性を持つ製品群が特に効果を発揮しています。

6 製品の安全性

AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物は、さまざまな用途で使用されます。そのため、消費者と作業者の両方の安全を確保する意味で、このような物質の毒性プロフィールは非常に重要です。

フュームドシリカ、フュームドアルミナ、フュームドチタニアは、急性毒性、皮膚のかぶれ、皮膚感作性、突然変異原、生殖毒性の面では安全とされています。また、皮膚に繰り返し曝露した場合や、経口摂取した場合でも、致命的な損傷につながった事例は確認されていません。

6.1 フュームドシリカ

AEROSIL®フュームドシリカなどの合成シリカは完全な非晶質であり、結晶性ドメインは一切含まれていません。これは透過電子顕微鏡およびX線回折によって確認されています。これらの評価は、重量に対して0.01 %という検出限界を持つ非常に正確なものです。

合成シリカに関するさまざまな吸入試験が実施されていますが、試験対象の製品では、肺に対する回復不能な損傷や、珪肺症（「塵肺症」）に相当する進行性の被害といった、結晶性の塵に曝露されることによる健康上のリスクの可能性は確認されていません。また、長期間フュームドシリカに曝露された作業者に対する疫学的な研究においても、珪肺症の兆候は示されていません。同様に、入手可能なデータからは、フュームドシリカを原因とするその他の恒久的な呼吸器系統の疾患は確認されていません*。

6.2 フュームドチタニア

国際癌研究機関（IARC: International Agency for Research on Cancer）は、2006年にチタニア（二酸化チタン）をクラス2B（人体に対して発癌性の可能性がある物質）として再分類しています。肺癌の危険性に関するチタニアの再分類は、無機微粒子がラットに与える影響に関する研究に基づいたものです。

ドイツ（ラインフェルデン）にあるエボニックのチタニア生産工場では、フュームドチタニアへの長時間の暴露に関する定期的な健康診断を長年にわたって実施していますが、一般的な住民と比較して肺疾患の発生率が高くなっている兆候は見られません。このような所見は、他のヨーロッパおよびアメリカのチタニア生産業者によってその後行われた疫学的な研究でも確認されています。エボニックインダストリーズは、このような生産業者と共同で、チタニア塵を吸入した場合の影響について調査を実施しました。これは、ラット、マウス、ハムスターを使った実験によって行われ、さまざまな濃度のチタニアに最大90日間曝露された場合の影響について調査しました。重要なことは、これら3種類のすべての動物について、極度に濃度が高い環境（250 mg/m³）に晒された場合のみ、肺組織に変化が見られたことです。エボニックの生産施設の濃度は0.5 mg/m³に相当しますが、このような低濃度の環境では組織の損傷は確認されていません。ドイツで定められた作業環境での暴露限界は2 mg/m³ですが、この濃度ではラットについてのみ組織にわずかな変化が見られました。

エボニックでは、作業環境でのチタニア塵と同様に、チタニアの凝集および集塊粒子が肺組織で分解され、0.1 μm以下の粒子を形成する可能性についても調査を実施しました。これには、肺組織で確認される主な界面活性剤であるジバレルミトイルホスファチジルコリン（DPPC）がチタニア粒子の凝集を分解する能力を

8 試験の実施方法について

8.1 摩擦帯電性

50 gのノンコートフェライトキャリアと、0.1 gのAEROSIL®フュームドシリカまたはAEROXIDE®フュームド金属酸化物を75 mlのガラス容器に入れてフタを閉じ、TURBULA®ミキサーを使用して5分間混合します。その後、0.1 gの混合物を取り出し、ブローオフ帯電量測定装置（京セラケミカル社製TB-200）にて測定します。評価は、気温25℃、相対湿度55％の条件で測定されています。

8.2 トナーサンプルの調整

評価に使用したトナーは一般的なもので、平均粒子径8 μm、ポリエステルベースの粉砕負帯電トナーです。トナー粒子に1.0％のAEROSIL®フュームドシリカまたはAEROXIDE®フュームド金属酸化物を加え、その混合物を600 rpmで1分間混合し、その後3000 rpmで3分間混合しました。混合には、高速ミキサー（株式会社カワタ製Super Mixer Piccolo）を使用しています。

8.3 流動性評価

パウダーテスターPT-S型（ホソカワミクロン社製）を使用して、調合されたトナーの安息角を測定しました。前の項で説明されている調合された20 gのトナーを、355 μmのシーブにかけています。フラスコからシャーレまでの距離は6.5 cmで、シャーレの直径は8 cmです。測定は、各トナーサンプルについて3回実施しています。

8.4 帯電分布の特定

トナーサンプルの帯電分布は、帯電量分布測定装置q-test（Epping GmbH製）を使用して評価しました。

持っているかどうかについて、モデル計算を使用して特定しました。このような現象は、チタニアの表面（TiO₂）とDPPCの結合エネルギーが、TiO₂粒子どうしの結合エネルギーよりも大きい場合のみ確認されています。モデル計算では、チタニア凝集粒子の水素結合を分解するには、1 J/m²のエネルギーが必要であることが示されています。さらに強力なチタニア凝集粒子のTi-O-Ti結合を分解するには、10 J/m²のエネルギーが必要です。しかし、チタニアの表面とDPPCの結合エネルギーは、わずか0.05 J/m²と計算されており、これらのエネルギーよりもはるかに小さなものです。

この計算結果は、その後の実験室での試験で検証されています。この試験は、複数の生理学的条件をシミュレートして行われたもので、pH値6.5の状態で緩衝化されたチタニアの分散液にさまざまな濃度のDPPCを加え、チタニアの粒度分布を確認しています。その結果、DDPCを加えても粒度分布には影響がないことがわかり、100 nm未満のサイズで孤立した粒子は確認できませんでした。このような結果から、生理学的条件によってチタニアの凝集、集塊粒子が一次粒子に分散される可能性はほとんどないことが示されています。

詳細な情報については、冊子『チタニアの生産および処理における健康保護』でご確認いただけます。この冊子は、英語、ドイツ語、日本語で提供されています。

7 保管および取り扱い

AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物製品は、その製品群に応じて、それぞれ5 kg、10 kg（22 lb）、15 kg、20 kgの紙袋にパッケージされています。出荷用には、通常はカートンボックスまたはシュリンクラップされたパレットが使用されています。

AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物は、化学的に非常に安定しており、数年間は変化することなく保管できます。ただし比表面積が大きいため、特に親水性の製品は水分などを吸着しやすく、応用特性に影響する場合があります。また製品の袋やパレットを過剰に積み上げている場合や、長時間負荷がかかった状態で保管している場合など、圧力が加えられている場合は凝集が進行する場合があります、一時的に分散性が損なわれる可能性があります。

そのため、AEROSIL®フュームドシリカおよびAEROXIDE®フュームド金属酸化物は、密閉したコンテナに入れた状態で、乾燥した場所に保管することが推奨されます。また、製造日から2年以内に、一部の製品については、製造日から1年以内でのご使用が推奨されます。AEROSIL®製品およびAEROXIDE®製品の使用時は、密閉された生産システムを使用することで粉塵の発生が最大限防止されるため、作業者および作業環境を保護する上で最適な方法といえます。その他の予防策として、ドラフトや局所排気システム、さらには個々の作業員による保護具の使用が挙げられます。必要に応じてこのような措置を講じることで、環境保護につながり、職業上の健康被害の防止や安全性の確保にも役立ちます。このような措置の効果は、作業環境の粉塵濃度測定や定期的な健康診断により確認できます。

9 テクニカルデータ

グレード	単位	AEROSIL® R 972	AEROSIL® R 974	AEROSIL® R 9200	AEROSIL® R 976 S	AEROSIL® RY 50	AEROSIL® RY 50 L
コア粒子		SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	90–130	150–190	150–190	215–265	15–45	15–45
pH値		4.0–5.5	3.8–5.0	3.0–5.0	4.0–5.5	4.5–7.5	4.5–7.5
乾燥減量	%	<0.5	<0.5	<1.5	<1.0	<0.5	<0.5
炭素含有量	%	0.6–1.2	0.7–1.5	0.7–1.3	1.5–2.7	2.5–4.5	2.5–4.5
見掛比重	g/l	約50	約50	約200	約50	約110	約130
摩擦帯電量	μC/g	約–410	約–450	約–190	約–680	約–110	約–90

グレード	単位	AEROSIL® RY 51	AEROSIL® NY 50 L	AEROSIL® RY 200 S	AEROSIL® R 202	AEROSIL® RY 200	AEROSIL® RY 200 L
コア粒子		SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	10–25	20–40	65–95	80–120	80–120	80–120
pH値		4.5–7.5	5.0–7.0	4.5–6.5	4.0–6.0	4.0–7.0	4.0–7.0
乾燥減量	%	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
炭素含有量	%	5.0–7.0	2.0–4.0	3.5–5.0	3.5–5.0	4.0–6.5	4.0–6.5
見掛比重	g/l	約130	約50	約40	約60	約50	約30
摩擦帯電量	μC/g	約–70	約–180	約–520	約–500	約–560	約–560

グレード	単位	AEROSIL® RY 300	AEROSIL® RX 50	AEROSIL® NAX 50	AEROSIL® NX 90 S	AEROSIL® NX 130	AEROSIL® RX 200
コア粒子		SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	110–140	25–45	30–50	50–70	80–120	115–165
pH値		4.5–5.5	6.0–8.0	5.5–7.5	5.0–7.0	5.0–7.5	5.5–8.5
乾燥減量	%	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
炭素含有量	%	6.0–8.5	0.5–1.0	0.5–1.0	0.5–1.5	1.0–2.0	1.5–3.5
見掛比重	g/l	約50	約160	約40	約40	約40	約40
摩擦帯電量	μC/g	約–580	約–200	約–290	約–300	約–350	約–380

グレード	単位	AEROSIL® R 8200	AEROSIL® RX 300	AEROSIL® R 812	AEROSIL® R 812 S	AEROSIL® NA 50 Y
コア粒子		SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	135–185	190–230	230–290	195–245	25–45
pH値		>5.0	6.0–8.0	5.5–8.0	5.5–7.5	6.5–9.0
乾燥減量	%	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.8
炭素含有量	%	2.0–4.0	2.5–5.0	2.0–3.0	3.0–4.0	2.0–4.0
見掛比重	g/l	約140	約50	約60	約60	約40
摩擦帯電量	μC/g	約–290	約–520	約–550	約–450	約+220

All data in this table represent typical values, not specified parameters. Developmental products are labeled with the VP designation. Their commercialization depends on market response.

グレード	単位	AEROSIL® REA 90	AEROSIL® REA 90 L	NA 130 Y	AEROSIL® R 504	AEROSIL® REA 200	AEROSIL® RA 200 HS
コア粒子		SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	40–70	40–70	55–85	125–175	110–150	120–160
pH値		7.5–10.0	7.5–10.0	6.5–9.5	8.5–11.0	8.0–10.0	7.5–10.0
乾燥減量	%	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.5	< 1.0	< 0.8
炭素含有量	%	3.0–6.0	3.0–6.0	5.0–7.0	2.0–4.5	5.0–7.5	1.5–3.5
見掛比重	g/l	約50	約30	約30	約40	約50	約40
摩擦帯電量	μC/g	約+400	約+230	約+450	約+350	約+300	約+260

グレード	単位	AEROSIL® R 805	AEROXIDE® TiO ₂ NKT 65	AEROXIDE® TiO ₂ NKT 90	AEROXIDE® STX 801
コア粒子		SiO ₂	TiO ₂	TiO ₂	SiO ₂ /TiO ₂
BET 法比表面積	m ² /g	125–175	40–65	50–75	40–70
pH値		3.5–5.5	3.0–5.0	3.0–4.0	6.0–9.0
乾燥減量	%	< 0.5	< 1.0	< 1.0	< 1.0
炭素含有量	%	4.5–6.5	1.5–3.5	2.5–4.5	0.5–2.0
見掛比重	g/l	約60	約100	約100	約80
摩擦帯電量	μC/g	約–220	約–50	約–100	約–150

グレード	単位	AEROXIDE® Alu C 805	VP Alu C RK
コア粒子		Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
BET 法比表面積	m ² /g	75–105	65–90
pH値		3.0–4.5	3.0–5.5
乾燥減量	%	< 0.5	< 1.5
炭素含有量	%	3.5–4.5	2.5–3.5
見掛比重	g/l	50	40
摩擦帯電量	μC/g	–130	–50

All data in this table represent typical values, not specified parameters. Developmental products are labeled with the VP designation. Their commercialization depends on market response.

10 参考文献

¹ A. Eida et al., 21st Int. Conf. Dig. Print. Techn. Proc.

² G. Kmiecik-Lawrynowic, Toners and Photoreceptors 2005, Santa Barbara, CA (USA).

³ Technical Bulletin Pigments No. 31, Synthetic Silicas as a Flow Aid and Carrier Substance, Evonik Degussa, Essen, Germany.

⁴ J. H. Anderson., “Surface state analysis of tribo-charging data for several toners using a set of reference carriers”, The Journal of Imaging Science and Technology, 43, 460, (1999)

⁵ K.- Y. Law and I. W. Tarnawskyi, J. Imaging Sci. Technol. 41, 550 (1997)

⁶ E. J. Gutman and G. C. Hartmann, Imaging Sci. Technol. 36, 335 (1992)

⁷ A. Inoue, Y. Amano, P. Brandl, M. Nargiello-Tetreault, “Performance Optimization of Functional Fumed Metallic Oxide Based External Additives for Toner”, IS & T NIP21 Conference 2005, Baltimore, USA.

⁸ S. Jonat, S. Hasenzahl, M. Drechsler, P. Albers, K.G. Wagner, P. C. Schmidt, “Investigation of compacted hydrophilic and hydrophobic colloidal silicon dioxides as glidants for pharmaceutical excipients”, Powder Technology 141 (2004) 31–43

⁹ S. Jonat, S. Hasenzahl, A. Gray, P. C. Schmidt, “Mechanism of glidants: investigation of the effect of different colloidal silicon dioxide types on powder flow by atomic force and scanning electron microscopy”, J. Pharm. Sci. 93 (2004) 2635-2644.

¹⁰ M. Maier, Silica 2001, Mulhouse (2001)

著者:
Steffen Hasenzahl、Yuki Amano、Robert E. Johnson、Ralph Brandes

日本アエロジル株式会社

本社

〒163-0912

東京都新宿区西新宿 2-3-1

新宿モノリス12 階

www.aerosil.jp

infonac@evonik.com

四日市工場

〒510-0841

三重県四日市市三田町 3 番地

TEL 059-345-5111 (代)

FAX 059-346-7016 (代)

この文書に記した当社の情報、技術等は、現在の当社の知識・経験に基づくものです。当社はこれらの情報、技術等による第三者の知的財産権侵害問題などについて、いかなる保証責任及び賠償責任も負いません。また、当社は事前事後の通告なしに、いかなる場合でも、これらの情報、技術等を変更する権利を有します。当社の提供するこれらの情報、技術等の記載は当社の製品・サービス内容を記述したものであり、いかなる保証責任も意味するものではありません。また、当社製品のユーザーは、適切な資格を持つエキスパートによって製品の機能・適応性を検査する義務、および第三者に対する責任を負担します。この文書内の他社名・他社の商品名の引用は、他社の利益・損失を目的としたものではありません。

AEROSIL® およびAEROXIDE® は、エボニック インドустリーズAG、またはその子会社の登録商標です。

TI 1222-JUN25