

# 材料特性と 衝撃遮断技術情報

by getzner  
**syloodamp**®

## Syloodamp®(シロダンブ)について

Syloodamp®(シロダンブ)は、高ダンパー性を有するポリウレタン弾性素材です。主として、衝撃によって発生する荷重を吸収する目的で開発された素材ですが、長期的な弾性力維持と高ダンパー性が要求される通常の防振用途の弾性素材としても利用できます。主な用途は、装置、建物、機械、さらには人などを保護することです。

衝撃遮断及び防振分野での効果

- 衝撃によって発生する荷重の低減
- 衝撃による固体伝播音の低減
- 共振現象の低減
- 隣接部材や構造物の減振
- 振動を急速に減衰

多くの場合、Syloodamp®(シロダンブ)は加圧バネとして利用されます。材料タイプ、接触面積や素材厚など、目的用途に合わせて最適な材料特性を持つように調整可能です。

Syloodamp®(シロダンブ)シリーズは、以下のような静的荷重範囲に対応可能です。

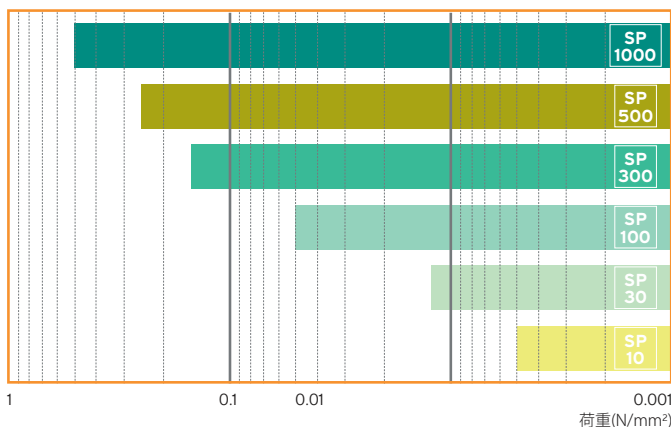


図1: Syloodamp®(シロダンブ)シリーズ

静的荷重範囲とは、弾性素材の弾性特性を恒久的に維持する静止荷重について定められている最大圧縮応力です。

材料タイプとは、10%変形時の圧縮硬さに対応し、弾性素材の耐荷力に関する尺度として使われています。しかし、長期的な負荷がかかる場合での材料挙動を知るには不十分です。因みに、Syloodamp®(シロダンブ) SP100の圧縮硬さは、100 kN/m²となっています。

## Syloodamp®(シロダンブ)による防振

防振とは、質量力補償原理を使って、外力あるいは励起によって生じる機械的振動の伝播を低減することです。通常の防振用途では、Sylomer®(シロマー) および Syloodyn®(シロディン)をお使いいただけます。

Syloodamp®(シロダンブ)を使うとさらに高度な防振が可能となります。特に、装置の始動や停止時に発生しやすい衝撃荷重あるいは強い共振現象に対しては、Syloodamp®(シロダンブ)による防振が効果的です。

Syloodamp®(シロダンブ)による弾性マウントに加えて、Syloodamp®(シロダンブ)とSylomer®(シロマー)バネの組合せを併用することもできます。

## Syloodamp®(シロダンブ)による減振

減振とは、運動エネルギーを振動系に影響を与えない他の(再生可能な)エネルギー形態へ変換することであると考えられています。Syloodamp®(シロダンブ)は優れたダンパー性を有しており、特に、隣接部材や構造物に発生する共振現象を効果的に抑制することができます。

### Sylodamp®(シロダンブ)による衝撃遮断

衝撃遮断は、防振の一種であり衝撃によって発生する力の伝播を低減します。衝撃遮断では、比較的高いピーク値を持つ短時間の加振力が、低いピーク値の長時間継続する地面力に変換されます。

Sylodamp®(シロダンブ)の優れたダンパー性によって運動パラメータが急速に減衰、隣接部材や構造物の減衰時間が低減します。

### 衝撃例

図2～4に、質量 $m$ が速度 $v$ で構造物に衝突する場合の衝撃例を示します。オレンジ色の部分が、高ダンパー性を持つSylodamp®(シロダンブ)製防振材です。

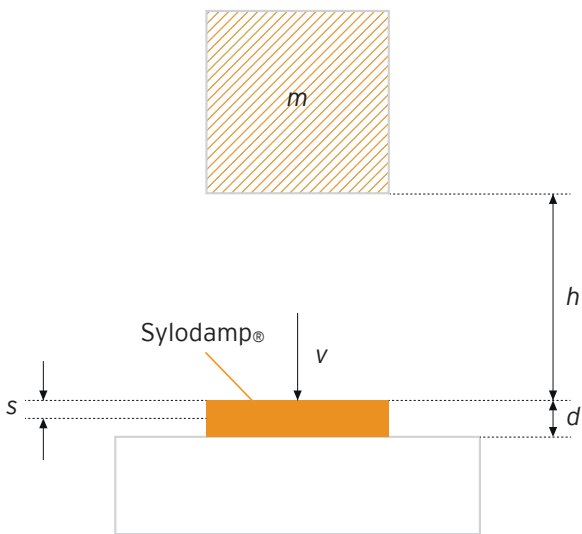


図2:垂直衝撃 - 質量は自由落下

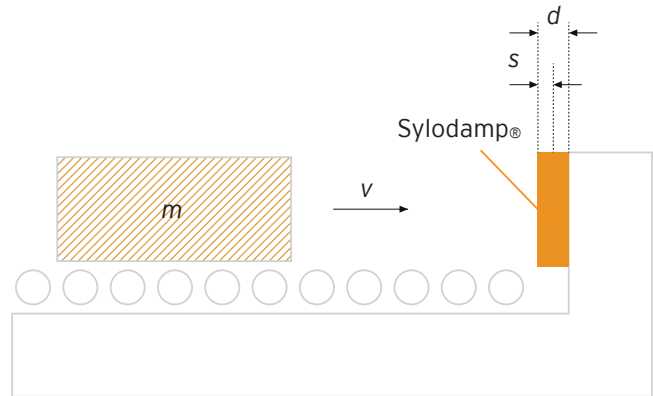


図3:水平衝撃 - 質量は水平に移動

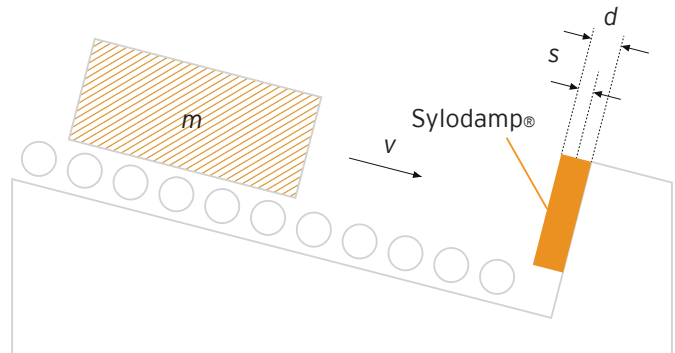


図4:斜め衝撃 - 質量は斜めに移動

- $m$  = 移動体の質量
- $v$  = 移動質量の衝撃速度
- $d$  = 弾性素材の厚み
- $s$  = 弾性素材の最大変形量
- $h$  = 自由落下高さ

### 遮断の程度

弾性マウントによる衝撃遮断効果は、遮断度Iで表すことができます。これは、弾性マウントを装備した設備と弾性マウントを装備しない設備を比較した場合の、最大応答荷重の減少分として定義されます。

$$1 \quad I = \frac{F_{\max,0} - F_{\max}}{F_{\max,0}}$$

I = 遮断度 (%)  
 $F_{\max,0}$  = 弾性マウントのない場合の伝播地面力の最大値  
 $F_{\max}$  = 弾性マウントを装備した場合の伝播地面力の最大値

### エネルギー保存の原理

衝撃遮断に使用する減振材を選択する場合、エネルギー保存の原理が基本となります。機械的衝撃エネルギー $E_{\text{kin}}$  (運動エネルギー)は高ダンパー性Syloodamp® (シロダンブ) 弾性素材の変形エネルギー $E_{\text{def}}$  (エネルギー吸収)と等しくなります。

$$2 \quad E_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad 3 \quad E_{\text{kin}} = E_{\text{def}}$$

$E_{\text{kin}}$  = 衝撃エネルギー (運動エネルギー) (J)  
 $E_{\text{def}}$  = 変形エネルギー (エネルギー吸収) (J)

### 材料の選択

衝撃用途の最適材料を選択するには以下の2つの方法があります。

- 演算モデルの利用 (有限要素法)
- Syloodamp® (シロダンブ) のエネルギー吸収図

### 有限要素法 (FEM) モデル

直線的衝撃の数値解析用に演算FEMモデルを開発しました。高ダンパー性Syloodamp® (シロダンブ) と衝撃子、最高衝撃速度5m/sの落下試験台を使って、材料と衝撃をモデル化します。

FEM衝撃シミュレーションを使い、用途に合ったSyloodamp® (シロダンブ) シリーズを選択し最適な材料設計を行います。

### FEMシミュレーション用の入力パラメータ

衝撃シミュレーションには以下のパラメータが必要です。

- 移動体の質量
- 移動体の衝撃速度
- 衝撃子による打撃を受ける  
弾性素材表面の被覆
- 必要な弾性素材厚

### FEMシミュレーションの結果

FEM衝撃シミュレーションによって以下のような結果を得ることができます。

- 地面力、弾性素材の変形量、エネルギー吸収および/または衝撃時の制動遅延の経時的プロット
- 最大伝播地面力
- 弾性素材の最大変形量
- 最大制動遅延

## FEM衝撃シミュレーションの結果

図5～8に、Sylodamp®(シロダンプ)を使った典型的なFEM衝撃シミュレーションの結果を示します。

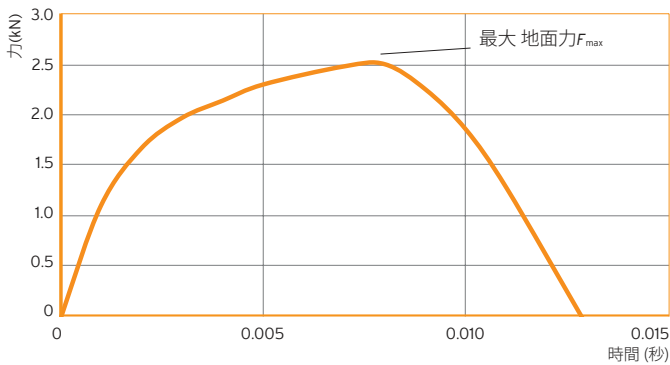


図5: 衝撃シミュレーション - 地面力の経時的プロット

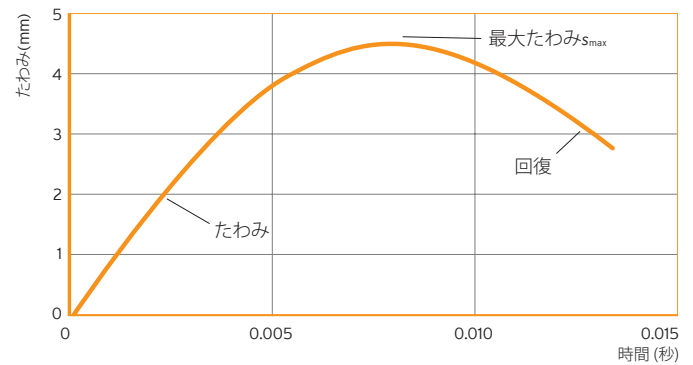


図6: 衝撃シミュレーション - 変形の経時的プロット

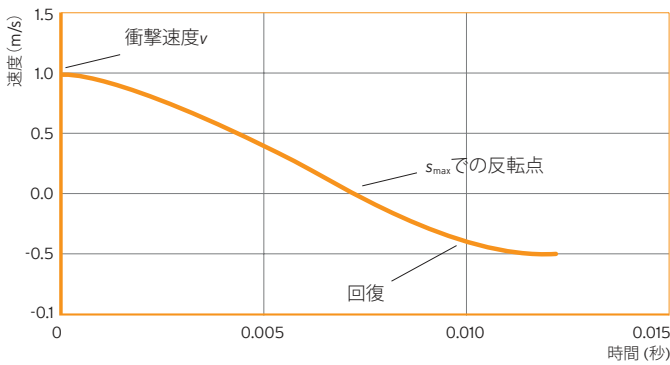


図7: 衝撃シミュレーション - 質量速度の経時的プロット

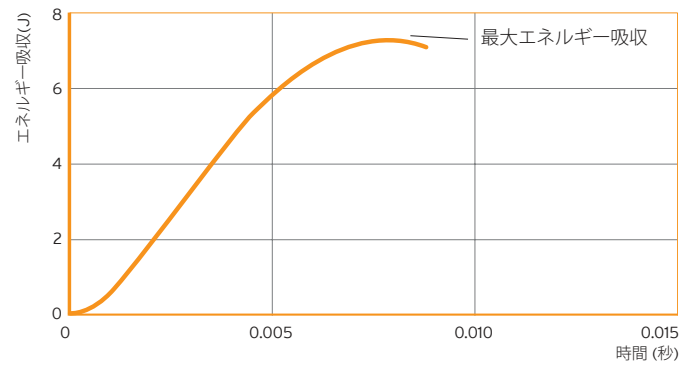


図8: 衝撃シミュレーション - エネルギー吸収の経時的プロット

**Syloodamp® (シロダンブ) のエネルギー吸収**

FEMシミュレーションの代わりに下記のエネルギー吸収図(図9~12)を使っても、直線衝撃遮断に最適なSyloodamp® (シロダンブ) 材を選択することができます。(9 to 12).

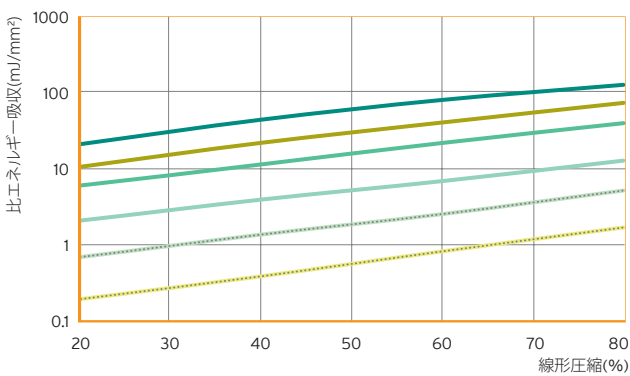


図9: Syloodamp® (シロダンブ) (厚み12.5 mm) のエネルギー吸収

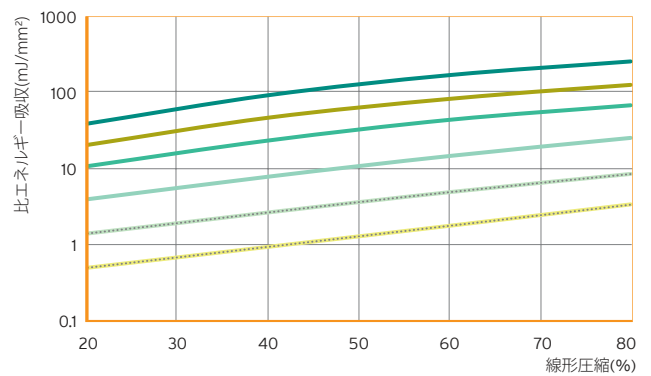


図10: Syloodamp® (シロダンブ) (厚み25 mm) のエネルギー吸収

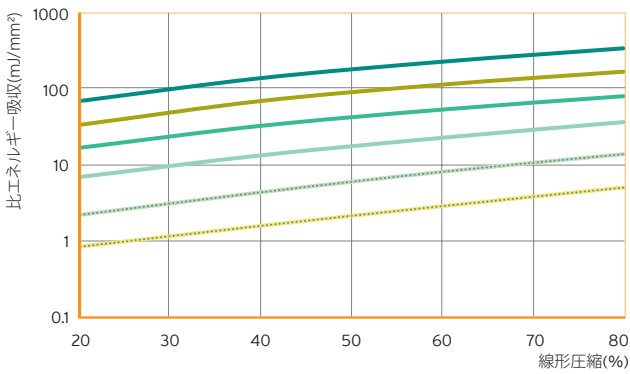


図11: Syloodamp® (シロダンブ) (厚み37.5 mm) のエネルギー吸収

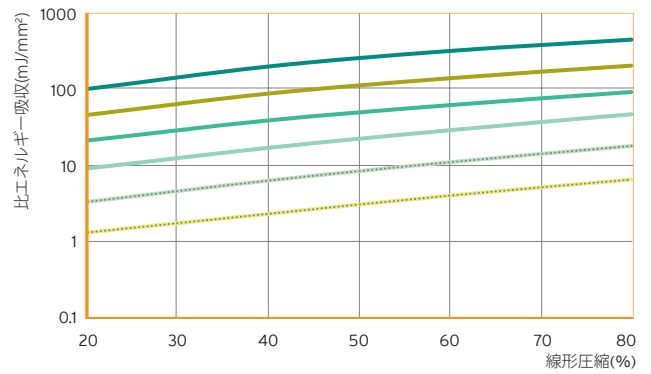


図12: Syloodamp® (シロダンブ) (厚み50 mm) のエネルギー吸収

— SP 10 — SP 30 — SP 100 — SP 300 — SP 500 — SP 1000

弾性素材にかかる衝撃エネルギーは、最適材料設計を選択する場合の入力パラメータとして使用されます。

衝撃速度は、Syloodamp® (シロダンブ) の比エネルギー吸収に対して大きな影響はありません。図に示す比エネルギー容量は、0.5 m/sと5m/s間の衝撃速度に使用することができます。

### 理想変形範囲

Sylodamp®(シロダンブ)が衝撃荷重を最大限に吸収できるためには、弾性素材に対して対応する変形経路を提供することが必要です。

当社では、Sylodamp®(シロダンブ)を衝撃用途に使用する場合、以下の線形圧縮値を推奨しています。

材料形式	理想変形範囲
Sylodamp® SP 10	40% ~ 60%
Sylodamp® SP 30	40% ~ 60%
Sylodamp® SP 100	35% ~ 55%
Sylodamp® SP 300	30% ~ 50%
Sylodamp® SP 500	25% ~ 45%
Sylodamp® SP 1000	20% ~ 40%

表1: 衝撃荷重下におけるSylodamp®(シロダンブ)の推奨変形範囲

個々のSylodamp®(シロダンブ)製品の規定変形範囲は、弾性素材厚の各値に対する以下に示すエネルギー吸収となります。

材料形式	エネルギー吸収				
	厚さ	12.5 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm
Sylodamp® SP 10		0.4 ~ 0.8	1.0 ~ 1.8	1.6 ~ 2.9	2.3 ~ 3.9
Sylodamp® SP 30		1.4 ~ 2.7	2.6 ~ 4.9	4.2 ~ 7.9	2.3 ~ 3.9
Sylodamp® SP 100		3.3 ~ 6.1	6.6 ~ 12	11 ~ 19	14 ~ 25
Sylodamp® SP 300		8.3 ~ 15.7	16 ~ 30	24 ~ 40	28 ~ 46
Sylodamp® SP 500		13.4 ~ 25.5	27 ~ 50	42 ~ 72	56 ~ 92
Sylodamp® SP 1000		22.5 ~ 41	45 ~ 84	76 ~ 128	110 ~ 181

表2: Sylodamp®(シロダンブ)の推奨比エネルギー吸収(mJ/mm<sup>2</sup>)

### 衝撃力の伝播

衝撃遮断の目的は、衝撃物の運動エネルギーを最低レベルの力に低減し、できる限り長時間にわたって拡散することです。

理想的な弾性衝撃時に伝播される最大力は、変形エネルギー  $E_{def}$  と変形経路  $s$  から測定することができます。

$$4 \quad F_{max,0} = 2 \cdot \frac{E_{def}}{s}$$

$F_{max,0}$  = 伝播された地面力の最大値 (N)  
 $E_{def}$  = 変形エネルギー (エネルギー吸収) (J)  
 $s$  = 変形経路 (m)

Sylodamp®(シロダンブ)を衝撃遮断要素として使用する場合、衝撃物の運動エネルギーは、弾性作用だけではなく減衰(拡散)によっても変換され、最大伝播衝撃力がさらに低減します。上記シナリオにおける最大伝播力は以下の式で計算されます。

$$5 \quad F_{max,0} \approx 1,5 \cdot \frac{E_{def}}{s}$$

$F_{max,0}$  = 弾性Sylodamp®(シロダンブ)マウントを使った伝播地面力の最大値(N)  
 $E_{def}$  = 変形エネルギー (エネルギー吸収) (J)  
 $s$  = 変形経路 (m)

弾性素材の弾性部が衝撃を緩衝し、衝撃後にエネルギーの大部分が運動エネルギーとしてシステムへ伝達されることを防ぎます。

Syloodamp®(シロダンブ)が高度な材料減衰を発揮するので、衝撃物は衝突後に非常にゆっくりと跳ね返ります。

Syloodamp®(シロダンブ)の衝撃回復性はおよそ15%であり、これは、衝撃と同時に衝撃物の運動エネルギーの85%が消費されることを意味します。

入力パラメータ	
質量	$m = 80 \text{ kg}$
衝撃速度	$v = 2 \text{ m/s}$
衝撃面積	$A = 15.625 \text{ mm}^2 (125 \text{ mm} \times 125 \text{ mm})$
弾性素材Syloodamp®(シロダンブ)マウントの衝撃力の計算	
衝撃エネルギー	$E_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{80 \cdot 2^2}{2} = 160 \text{ J}$
変形エネルギー	$E_{\text{Def}} = E_{\text{kin}} = 160 \text{ J}$
比エネルギー吸収	$E_{\text{Def,A}} = \frac{E_{\text{def}}}{A} = \frac{160}{15.625} = 10.24 \text{ mJ/mm}^2$
弾性素材	Syloodamp®(シロダンブ) SP 100/25 (図10の通り)
線形圧縮	$\epsilon = 50\%$ (図10の通り)
最大変形量	$s = \epsilon \cdot \text{材料厚} = 50\% \cdot 25 \text{ mm} = 12.5 \text{ mm}$
弾性マウントによる最大衝撃力	$F_{\text{max,0}} \approx 1.5 \cdot \frac{E_{\text{Def}}}{s} = 1.5 \cdot \frac{160}{0.0125} = 19.2 \text{ kN}$
下層土回復力0.5 mmの弾性衝撃を想定した場合、弾性マウントなしでの衝撃力の計算	
下層土の回復力/最大変形量	$s = 0.5 \text{ mm}$
弾性マウントなしでの最大衝撃力	$F_{\text{max,0}} = 2 \cdot \frac{E_{\text{Def}}}{s} = 2 \cdot \frac{160}{0.0005} = 640 \text{ kN}$
弾性マウントの衝撃遮断効果	
遮断の程度	$I = \frac{F_{\text{max,0}} - F_{\text{max}}}{F_{\text{max,0}}} = \frac{640 - 19.2}{640} = 97\%$

表3: Syloodamp®(シロダンブ)を使った衝撃遮断の計算例

**Getzner Werkstoffe GmbH**

Herrenau 5  
6706 Bürs  
Austria  
T +43-5552-201-0  
F +43-5552-201-1899  
info.buers@getzner.com

**Getzner Werkstoffe GmbH**

Am Borsigturm 11  
13507 Berlin  
Germany  
T +49-30-405034-00  
F +49-30-405034-35  
info.berlin@getzner.com

**Getzner Werkstoffe GmbH**

Nördliche Münchner Str. 27a  
82031 Grünwald  
Germany  
T +49-89-693500-0  
F +49-89-693500-11  
info.munich@getzner.com

**Getzner Spring Solutions GmbH**

Gottlob-Grotz-Str. 1  
74321 Bietigheim-Bissingen  
Germany  
T +49-7142-91753-0  
F +49-7142-91753-50  
info.stuttgart@getzner.com

**Getzner France S.A.S.**

Bâtiment Quadrille  
19 Rue Jacqueline Auriol  
69008 Lyon  
France  
T +33-4 72 62 00 16  
info.lyon@getzner.com

**Getzner Werkstoffe GmbH**

Middle East Regional Office  
Abdul - Hameed Sharaf Str. 114  
Rimawi Center - Shmeisani  
P. O. Box 961 303  
Amman 11196, Jordan  
T +9626-560-7341  
F +9626-569-7352  
info.amman@getzner.com

**Getzner India Pvt. Ltd.**

1st Floor, Kaivalya  
24 Tejas Society, Kothrud  
Pune 411038, India  
T +91-20-25385195  
F +91-20-25385199  
info.pune@getzner.com

**Nihon Getzner K.K.**

6-8 Nihonbashi Odenma-cho  
Chuo-ku, Tokyo  
103-0011, Japan  
T +81-3-6842-7072  
F +81-3-6842-7062  
info.tokyo@getzner.com

**Getzner Materials (Beijing) Co., Ltd.**

No. 905, Tower D, the Vantone Center  
No. Jia 6, Chaowai Street, Chaoyang District  
10020, Beijing, the P.R.C.  
T +86-10-5907-1618  
F +86-10-5907-1628  
info.beijing@getzner.com

**Getzner USA, Inc.**

8720 Red Oak Boulevard, Suite 528  
Charlotte, NC 28217, USA  
T +1-704-966-2132  
info.charlotte@getzner.com

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

