ナノ粒子の凝集・分散と表面処理技術

神谷 秀博*

1. はじめに

ナノ粒子は比較的安価で大量生産が可能となり、その用途の一つとしてナノ粒子高濃度分散高分子複合材料など具体的な部材等への応用が検討されつつある。開発対象となる複合材料の用途、目的を表1に整理してみた。ナノ粒子の分散法としては、有機溶媒等にナノ粒子を合成・分散させてから樹脂、高分子を重合する方法¹⁾と、重合過程でナノ粒子を析出させる方法²⁾がある。特に前者の方法では、ナノ粒子の溶媒中での均一分散が課題となる。溶媒中での微粒子の凝集・分散状態を支配するのは、粒子の運動状態や粒子間相互作用である。粒子の運動状態は制御困難なブラウン運動と攪拌・超音波照射や電磁場など外力の作用によって決まる。微粒子化に伴いブラウン運動が激しくなるが、外力の効果は相対的に小さくなる。このため一度凝集すると、力学的な作用だけでは再分散が困難なる。ナノ粒

子の凝集現象を制御するには粒子表面の改質や構造設計により付着・凝集力の低減や付着力に打ち勝つ反発作用を様々な手法で発生させる必要がある。

ここでは、最初にナノ粒子になると何故、付着・凝集現象が発生し易くその制御が困難になるのかを粒子間相互作用や幾何学的条件などに着目して基礎的に概観した上で、凝集・分散現象の評価法と制御方法を紹介する。ナノ粒子の分散性を向上するには、ナノ粒子合成段階から粒子表面状態の設計を行う合成・分散同時操作法と粒子生成後に様々な表面処理を施し分散設計する方法がある。ここでは、後者の方法を中心に紹介する。

2. ナノ粒子の凝集現象、その制御が困難な理由

ナノ粒子は気中では激しく凝集するため、一般にナノ粒子の分散安定化は液中で行うことが多い。液中での粒子分散性に深くかかわる粒子間相互作用を表2にまとめて示し

表1 ナノ粒子複合高分子材料の分散粒子材質とその用途、目的

分散ナノ粒子材質	ナノ粒子の機能	応用分野
ZrS ¹ , TiO ₂ ² , ZrO ₂ ,	高屈折率	高屈折率レンズ, 光ファイバー
BaTiO ₃	高誘電率	基板内臓キャパシター
(SiO ₂ 被覆) Co, Fe 等の 金属ナノ粒子	高保持力 (単磁区構造化), 高透磁率	磁性記録媒体, GHz 以上の 高周波電磁波吸収材

表2 液中で働く粒子間相互作用力とその発生機構相互作用力

相互作用力	発生機構
London van der Waals 力	物質間に働く普遍的引力。極性分子では永久または誘起双極子効果。非極性分子では電子軌道の瞬間的局在化 (London の分散力)
界面静電相互作用	粒子表面帯電に起因する界面電気二重層の重なりにより発生する斥力。ヘテロ系など表面電位が正負逆の場合は引力として作用する。
立体障害効果	界面活性剤など粒子表面に吸着した分子層による粒子接近防止効果。
架橋形成作用	高分子等が粒子間に架橋を作ることによって発生する引力。
溶媒分子の構造形成力	溶媒分子が粒子表面近傍で結合構造を作り立体障害的な作用を示す効果。水分子の水和斥力が代表的。
Depletion 効果	表面未吸着の高分子が粒子間に存在し、粒子の接近に影響する効果。
流体力学的作用	粒子運動により粒子間にある流体が排除、侵入する際に生じる流体からの作用。引力にも斥力にもなる。

* Kamiya, Hidehiro
東京農工大学大学院共生科学技術研究院
東京都小金井市中町 2-24-16 (〒184-8588)
2006.8.9 受理

た。この表の最初の van der Waals 引力と界面電気二重層の重なりによる静電相互作用については有名な DLVO 理論³⁾で体系化されている。粒子表面が帯電した場合、粒子間の液体により遮蔽されるため気中と異なりクーロン力は直接作用しない。液体中に存在する表面電荷と反対符号のイオン（対イオン）が粒子表面に集まり、粒子表面に近づくほど対イオン濃度が高い拡散電気二重層が形成される。図 1(a)に示すように粒子が接近して電気二重層が重なると平衡濃度より増加した粒子間イオンは粒子間から逃げようとするが、粒子に妨害され浸透圧に該当する圧力を粒子に与える。この圧力が斥力として作用する。

有機材料中へナノ粒子を分散する場合、使用する溶媒は極性の低い有機溶媒を使用することが多い。無極性溶媒で溶媒中にイオンが存在しない場合には界面電気二重層による静電反発作用はほとんど働かないが、極性有機溶媒で水が可溶の溶媒ではイオンが存在するため、電気二重層による静電反発作用も考慮する必要がある。

DLVO 理論に基づいて得られる重要な結論の一つが、電気二重層の重なりによる静電反発作用と van der Waals 引力のポテンシャル曲線から求められる。一例を図 1(b)に示したが、粒子が接近し横軸の粒子表面間距離の減少に伴い斥力ポテンシャルは増加し、ある距離で最大値となる (V_{Tmax})。さらに接近すると van der Waals 引力によりポテンシャルは無限大となり、粒子は凝集する。 V_{Tmax} が、Boltzmann 定数 (k) と絶対温度 (T) の積、 kT の 10~20 倍以上あれば、粒子はこの障壁を超えて接近できず分散が維持される。粒子径 100 nm では十分に分散するイオン濃度、表面電位条件であっても、20 nm のナノ粒子の V_{Tmax} は極めて低く、容易に凝集を起こす。100 nm の場合と同程度のポテンシャル障壁を発現させるためには、表面電位を倍にする必要がある。この理由を概念的に説明したのが図 1(c)である。サブミクロン以上の粒子は間に挟まれた過剰の対イオンにとって無限の平板に等しく、粒子間から拡散して逃げるのは困難である。粒子径が小さくなるほどイオンサイズと粒子の大きさが近づき対イオンは粒子間から容易に拡散できるため斥力が弱くなる。

DLVO 理論からナノ粒子の分散に必要な静電反発作用の目安が計算できたが、粒子表面間距離も重要な因子になる。図 1(b)で V_{Tmax} は、表面間距離が数 nm 付近で現れている。ナノ粒子の高濃度分散系では、平均の表面間距離が V_{Tmax} が現れる距離以下になるため、van der Waals 力で粒子は凝集する。粒子の平均表面間距離は、幾何学的に粒子径 (d_p) と粒子濃度 (F) の関数となり、Woodcock⁴⁾は次式を提案した。

$$h = d_p \left[\frac{1}{(3 \pi F)} + 5/6 \right]^{0.5} \quad (1)$$

この式で計算した粒子表面間距離と粒子径、粒子濃度の関係を図 2 に示した。粒子径がサブミクロンの場合には粒子濃度が 50~60 vol% 以上で表面間距離が数 nm 以下になるが、20 nm のナノ粒子では、20~30 vol% で数 nm となる。ナノ粒子でも低粒子濃度であれば DLVO 的作用で粒子分散は可能であるが、20~30 vol% を超えると分散が困難になる。したがって、こうした高濃度条件では、表 2 に示した立体障害効果などを作用させる必要がある。

(a) 電気二重層の重なりによるイオン濃度の増大

(b) DLVO理論による粒子間ポテンシャルの計算結果の一例

(c) 粒子径による過剰対イオン挙動の概念図

図 1 界面電気二重層による静電反発作用と DLVO 理論による解析

立体障害効果を発現させる最も一般的な方法は、界面活性剤や高分子分散剤を粒子表面に吸着させたり、カップリング剤等により表面修飾する方法がある。詳細は後述する。

図2 表面間距離の推算結果

3. 凝集現象の分類, AggregateとAgglomerateなど

日本語ではその機構によらず粒子が不規則に集まった状態を総称して「凝集」と一語で定義される。日本語の「凝集」に対応する英語は「Aggregation」であるが、液中での凝集機構により細かく定義されている⁶⁾。Aggregationが、表2の van der Waals 力や静電的な作用で起こる場合を Agglomeration, サスペンションに電解質を添加して凝集が促進された状態を Coagulation, 高分子などが架橋を形成することで促進される凝集を Flocculation と定義される。また、粒子接触点が成長しネックを形成する強い凝集状態を Fusion と呼んでいる。粒子の集合機構によって名称を分けることで、現象を厳密に理解する点に英語表現の特徴がある。この凝集現象に関する用語上の分類は、著者を含めよく混乱することなので、米国標準試験研究所 (National Institute of Standard and Testing, NIST) の定義⁶⁾に準拠することを推奨したい。

4. ナノ粒子分散状態の評価法

ナノ粒子の分散状態の液中評価方法とその特徴を表3に一括して示した。各手法について詳細は一連の解説⁷⁾を参照されたい。ナノ粒子の気中、液中での分散状態の評価法として、nm オーダーまで計測可能な動的光散乱法や DMA (微分型静電分級装置) など既存の粒度分布測定装置を用いて粒度分布を測定し、比表面積から換算、あるいは透過型電子顕微鏡 (TEM) などで観察された平均一次粒子径と比較する方法がある⁸⁾。液中、気中で粒子が一次粒子まで分散していれば、両者の結果はほぼ一致するが、凝集を起こしている場合は、光散乱や DMA で測定した粒度は、TEM 観察より大きくなる。現在市販されている粒度測定法は一般に高濃度では測定が困難であるため、高濃度のサスペンションでは希釈が必要となる。液中分散系ではサスペンションを遠心分離して得られた上澄みを使って希釈するなどできる限り凝集状態を変化させない工夫が試みられている。近年、10 vol%程度、あるいはそれ以上の高濃度液相分散系でも粒度分布測定が可能な装置が開発されている⁹⁾。

狭いスリットの間をスラリーを流通させて、顕微ビデオ観察により粒子の凝集状態を直接観察する方法も近年進歩している^{10),11)}。光学顕微鏡系での観察のため、凝集粒子径が $1\mu\text{m}$ 以上になる場合に適用される方法である。また、乾燥体については植松らが開発した浸液透光法¹²⁾や水銀圧入法により細孔径分布から凝集体サイズを評価する手法¹³⁾も有効である。この他、一次粒子径が 10nm 程度のナノ粒子が液中で完全に分散していれば、可視光を散乱せず透明になることから、凝集による分散液の凝集状態を、可視光の透過度から評価することも可能である。

液中分散系での粒子の凝集状態を SEM 等で観察する場合、加熱乾燥で液体を除去すると、液体の表面張力により乾燥過程で粒子が再配列するため、正確な凝集状態を観察できない。凍結乾燥による液体除去や溶媒をゲル化して固

表3 粒子の液中分散状態の評価法

評価方法	測定原理	特徴と課題
粒子分布測定法の応用 ⁹⁾ (凝集度)	希薄系測定法 (レーザー回折散乱法, 沈降法, 光子相関法など)	希釈操作に伴う凝集状態の変化。定性評価は良いが定量化には形状による流体抗力係数の変化など基礎的解明が必要
	濃厚系測定法 (超音波法, 後方散乱を用いた動的光散乱法)	希釈する必要がある、あるいは希釈の度合いが低い。高濃度での信号の粒度への変換過程に留意が必要。
直接観察法 (画像解析)	平板間にスラリー流通、顕微ビデオによる画像解析	流動による凝集体の変形も観察可能。分解能 $1\mu\text{m}$ が限度、要希釈の場合もあり。
乾燥・固化による凝集構造観察	スラリー凍結乾燥, ゲルキャストによる固化体 SEM 観察	凍結乾燥体は弱く SEM 過程で変形、飛散。樹脂による固化は樹脂浸漬過程で変形。
	乾燥体の水銀圧入法	圧入過程での凝集体の変形
	浸液透光法	一個一個の粒子の集合状態までの分解能は限度あり、平均的構造評価に有効。
粒子沈降特性	重力沈降, 遠心沈降特性 (走査レーザー透過率分布, 遠心アンバランス法)	ナノ粒子の分散が進むと重力ではほとんど沈降しないため、遠心場の利用が有効。遠心場でも計測可能なシステムが市販。
スラリーのレオロジー特性	回転粘度計によるチクソトロピー性評価	ずり速度の連続制御・測定可能な粘度計が必要。因子が多いので標準化が必要。

定化¹⁴⁾する方法を用いると液中での凝集状態を保存し SEM 等で観察でき、1 μm 以下の凝集体構造の観察に有効である。

液中分散系では、サスペンションの沈降特性や流動特性・粘度も凝集状態の評価に利用できる。ナノ粒子になるとほとんど沈降が起きないため、遠心場での沈降特性の評価法が開発されている¹⁵⁾。流動特性に関しては、二重円筒型などの回転粘度計でずり速度を連続的に増加、減少させ、速度変化過程での凝集体の破壊・再凝集により観察されるずり応力-ずり速度関係のヒステリシスの大きさから凝集の度合いが評価できる。本方法は測定条件により著しく変化するため、セラミックス分野では標準化が行われている¹⁶⁾。

5. 粒子表面間力直接評価

ナノ粒子の凝集・分散状態を支配する粒子表面間相互作用の評価法として、Israelachvili が開発した表面間力測定装置 (Surface force measurement apparatus, SFA) がある¹⁷⁾。この装置では、マイカなど原子レベルまで平滑な平板と球面レンズ状に精密加工した石英ガラス表面の間に働く力と表面間距離の関係を正確に測定でき、DLVO 理論の実験的検証や表面修飾した有機分子間力の測定などに威力を発揮した。しかし、SFA は測定装置も市販されておらず、測定上のノウハウも多い。また、表面間力には粒子のサイズ効果が存在し、特にナノサイズになるほど影響が大きい。そこで原子間力顕微鏡 (Atomic force microscope, AFM) の探針先端に粒子を接着したコロイドプローブ AFM 法¹⁸⁾を簡便測定法として用いる研究が行われている。この手法により表面間力を評価する場合、コロイドプローブの作製法が課題となる。著者らは、コロイドプローブ作製装置を開発し^{19), 20)}、様々な条件 (粒子材質²¹⁾、溶液種²²⁾、気相系²³⁾)での表面間力の測定評価を行っている。詳細は、上記の文献を参照されたい。

開発したコロイドプローブ作製装置は、光学顕微鏡を用いるため、接着操作が可能な粒子径の下限は 1 μm 程度である。それ以下の微粒子を用いる場合には、たとえば平均粒子径 200 nm の窒化ケイ素粒子のプローブの例 (図 3) では、数 μm 程度の噴霧乾燥顆粒を作製し、粒子の接触点が僅かに焼結する程度の温度で焼結を行った粒子を用いてプローブを作成した。このコロイドプローブを用いて測定した液中 Force curve に及ぼすポリアクリル酸系高分子分散剤添加の影響を図 4 に示した²⁰⁾。この図では横軸は表面間距離、縦軸の相互作用力は斥力を +、引力は - を示す。分散剤を用いない水中での測定では、図中の曲線のようにある距離で斥力がピークとなり、それ以上接近すると van der Waals 引力により引力が観察される。分散剤を吸着することにより van der Waals 引力が観察されなくなり、分散剤吸着による立体障害が原因と考えられる斥力が観察される。斥力は親水基 100% の分散剤の方が大きい、サスペンションの粘度も 100% の分散剤を用いた方が低い。これは、粒子間の斥力が大きいと粒子の凝集が防止でき、粒子が均一に分散したため、粒子凝集による粘度増加が防止できたためと考えられる。

図 3 窒化ケイ素微粒子から作製したコロイドプローブの一例²⁰⁾

図 4 コロイドプローブ AFM 法で測定した Force curve の一例。構造の異なる分散剤 (親水基:疎水基比 (m:n)=100:0, 30:70) 吸着による窒化ケイ素粒子表面間斥力の変化²⁰⁾

6. 粒子表面処理技術と分散挙動の制御

粒子凝集・分散状態の制御を目的に、前述した高分子系分散剤などの吸着や、様々な粒子表面修飾が行われている。樹脂や有機溶媒に親水性ナノ粒子を分散させる場合では、粒子表面を疎水化するために、金属粒子には一般にチオール (R-SH , R :炭化水素鎖)、酸化物などにはシランカップリング剤 ($\text{R-Si(OC}_2\text{H}_5)_3$ など) が使用される。ただし、ナノ粒子になると、粒子表面への分散剤やカップリング剤の単位表面積当たりの吸着率や反応率が低下することが報告されている²⁴⁾。サブミクロン粒子の液中での凝集分散制御には、一般に分子量 10,000 程度、分子サイズが数 $\text{\AA}$ ~ 数 nm の高分子分散剤が用いられる。しかし、高粒子濃度のナノ粒子分散系ではこうした分散剤は粒子間に浸入できず、大きさが粒子サイズに近い、高分子が粒子間で架橋を形成し返って凝集を促進するケースもある。そのためナノ粒子の分散には、比較的低分子量の分散剤を使用する必要がある¹⁹⁾。

ナノ粒子の分散には分散剤の分子量や分子構造、表面修飾剤の構造設計や反応条件などコロイド化学的な側面だけ

でなく、分散装置など機械的な装置条件も極めて重要となる。ナノ粒子の凝集構造の破壊、分散には、従来から遊星ミルや媒体攪拌ミルなど粉砕力の高い装置を用い、サブミリ以下の小媒体が利用されてきたが、近年では10 μm オーダーの媒体を用いたビーズミルが特にナノ粒子の分散に有効であることが明らかになってきた²⁵⁾。有効な分散剤、表面修飾剤と10 μm ビーズの組み合わせにより凝集したナノ粒子の液中での再分散も全く不可能ではなくなってきた感がある。これらの技術によって市販のナノ粒子を使って低コストでナノ粒子の応用が可能になりつつある。

一方、ナノ粒子の合成と同時に分散を行う方法は、粒子合成を自前で行うためコストは高くなるが、凝集した粒子を再分散する方法より、界面活性剤が強力に粒子表面に吸着しているため長期間の分散安定性が期待できる。この方法の代表例として、ナノ粒子を界面活性剤などで作った微小反応場（ナノプール）中で合成することで、合成された粒子表面が界面活性剤で修飾される逆ミセル法²⁶⁾やホットソープ法などがある。医療用量子ドットなどに使用する半導体ナノ粒子等の合成法として普及しつつある。しかし、ミセル生成濃度の制限などにより合成粒子濃度を上げられないため、医療用など高付加価値製品に実用化が限られていた。

近年ではオレイン酸等の脂肪酸の金属塩を原料に高温油相合成法により合成粒子表面に脂肪酸の炭化水素鎖を生成させたナノ粒子の大量高濃度合成法²⁷⁾が開発されている。この方法は、従来の逆ミセル法では0.01~0.1 mol/l程度の合成濃度が限度であったのが、数mol/lと10~100倍以上にでき、様々な金属酸化物の合成も可能である。油温度を300℃以上にすれば金属鉄ナノ粒子を得られることも報告されている。

筆者らも図5の微生物由来の界面活性物質をBaTiO₃ナノ粒子のゾルゲル合成過程²⁸⁾や酸化鉄ナノ粒子のゾルゲル合成過程²⁹⁾に添加し、分散安定性の高いナノ粒子の合成に成功している。これらの方法では図5に示したように原料の金属イオンと脂肪酸や界面活性剤のCOO⁻基が錯イオンを作り、錯イオン状態で金属イオンが粒子合成の原料となるため、生成した粒子表面に脂肪酸や界面活性剤の炭化水素鎖が高密度で強く結合した状態で存在するナノ粒子が合成できると考察している。さらに使用する界面活性剤がテンプレートとして働くため、酸化鉄のゾルゲル合成過程に生物由来の界面活性剤を添加した場合には図6(a)の球形ナノ粒子が、直鎖状のポリアクリル酸を添加した場合には図6(b)の針状粒子が生成する²⁹⁾。粒子の分散性ととも形態や結晶構造の制御にも利用できるプロセスであり、今後の発展が期待される。

7. おわりに

ナノ粒子の分散設計が困難な理由を基礎的に概観した上で、凝集状態の評価法、制御方法を総括的にまとめてみた。ナノ粒子の分散・凝集状態に関する粒子表面状態制御技術は極めて多岐にわたっており、ここで述べた内容だけでも網羅できていない。また、各節の内容も不十分と思われるが、引用文献などを参考にさせていただきたい。本小文をきっかけに無機系ナノ粒子分野と有機材料分野の融合に

図5 微生物由来の界面活性物質の分子構造と錯イオン形成

(a) 図5の生物由来界面活性剤添加の場合 (b) 直鎖型PAA添加の場合

図6 ギャング法合成過程に構造の異なる界面活性剤を添加して合成した酸化鉄粒子形態の変化²⁹⁾

よる新素材の実現など、新たな展開の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) Lu, C., Cheng, Y., Liu, Y., Liu, F. and Yang, B.: *Adv. Mater.*, **18**, 1188 (2006)
- 2) Lu, C. et al.: *Macromol. Mater. Eng.*, **288**, 717 (2003)
- 3) Verwey, E. and Overbeek, J.Th.G.: "Theory of the Stability of Lyophobic Colloids", Elsevier, Amsterdam, Netherlands (1948)
- 4) Woodcock, L.V.: Proceeding of a workshop held at Zentrum fur interdisziplinare Forschung University Bielefeld, Nov.11-13, 1985, Edited by Th. Dorfmueller and G.Williams
- 5) Kamiya, H., Mitsui, M., Miyazawa, S. and Takano, H.: *J. Am. Ceram. Soc.* **83** (2), 287-293 (2000)
- 6) Hackley, V.A. and Ferraris, C. F.: NIST Recommended Practice Guide: The Use of Nomenclature in Dispersion Science and Technology, *NIST Special Publication* (SP 960-3), 2001
- 7) 神谷: セラミックス, **32** (4), 276 (1997), **36** (5), 345 (2001), **37** (2), 77 (2002)
- 8) Iijima, M., Yonemochi, Y., Kimata, M., Hasegawa, M., Tsukada, M. and Kamiya, H.: *J. Colloid and Interface Science*, **287**, 2, 526 (2005)
- 9) 林 高弘, 大矢仁史, 鈴木繁幸, 遠藤茂寿: 粉体工学

- 会誌, **37**, 498 (2000)
- 10) 阿部, 内藤他: 粉体工学会誌, **41**, 10 (2004)
 - 11) Abe, H., Naito, M., Hotta, T., Kamiya, H. and Uematsu, K.: *Powder Technol.*, **134**(1-2), 58 (2003)
 - 12) Uematsu, K., Miyashita, M., Kim, J-Y. and Uchida, N.: *J. Am. Ceram. Soc.*, **75**, 1016 (1992)
 - 13) Kamiya, H., Isomura, K., Jimbo, G. and Tsubaki, J.: *J. Am. Ceram. Soc.*, **78**(1), 46 (1995)
 - 14) 高橋, 大矢, 藤: 粉体工学会誌, **40**, 410 (2003)
 - 15) 荒川正文, 小林秀紀, 平戸啓一郎, 井上圭吾: 粉体工学会誌, **25**, 585 (1988)
 - 16) JIS R 1665 セラミックススラリーの回転粘度計によるチクソトロピー性測定方法 (2005)
 - 17) Israelachvili, J.: "Intermolecular & Surface Force", 2nd ed.(1991), Academic Press
 - 18) Ducker, W.A. and Senden, T.J.: *Langmuir*, **8**, 1831 (1992)
 - 19) 神谷: 色材, **78**, 304 (2005), Kakui, T. PhD thesis of Tokyo University of Agriculture and Technology (2004)
 - 20) Kamiya, H., Matsui, S. and Kakui, T.: *Ceramics Trans.*, 152, 83 (2004)
 - 21) 鈴木, 塚田, 神谷: 粉体工学会 2005 年度秋期研究発表会要旨集, 53 (2005)
 - 22) Kakui, T., Miyauchi, T. and Kamiya, H.: *J. European Ceramic Society*, **25**(5), 655 (2005)
 - 23) Tsukada, M., Irie, R., Yonemochi, Y., Noda, R., Kamiya, H., Watanabe, W. and Kauppinen, E. I.: *Powder Technology*, **142**, 262 (2004)
 - 24) Iijima, M., Tsukada, M. and Kamiya, H.: *J. Colloid Inter. Sci.*, 投稿中
 - 25) 石井, 針谷, 山際, 飯岡: 第 40 回粉体工学会技術討論会要旨集 (2005 年 6 月)
 - 26) Moon, T.Li, J. et al., : *Langmuir*, **15**, 4328 (1999)
 - 27) Park, J. et al.: *Nature Material*, **3**, 891 (2004)
 - 28) Kamiya, H., Gomi, K., Iida, Y., Tanaka, K., Yoshiyasu, T. and Kakiuchi, T.: *J. Am. Ceram. Soc.*, **86**, 2011 (2003)
 - 29) Iijima, M., Yonemochi, Y., Tsukada, M. and Kamiya, H.: *J. Colloid and Interface Sci.*, **298**, 202 (2006)

賛助会員の皆様へ 「製品・技術紹介」へご投稿下さい

「成形加工」誌には、「製品・技術紹介」のコーナーを設けています。

「製品・技術紹介」はプラスチック成形加工学会の賛助会員が自社の製品・技術を広く会員にアピールするための記事で、詳細は以下のとおりです。

1. 賛助会員企業の開発した装置・機械・材料等, 各種製品と技術を資料・図表・写真等により紹介するもの。
2. 賛助会員企業に属する個人 (または複数名) の記名入り記事とし, 長さは刷上がり 1 頁とする (図表を含み 2300 字程度, 原稿 1 頁当たり 26 字×27 行=702 文字で作成)。
3. 掲載料は無料 (ただしカラー印刷の場合は実費負担)。

この「製品・技術紹介」への投稿を, 是非ご検討下さい。

「製品・技術紹介」は, 投稿順 (抜閲後) に随時掲載しております。記事のスタイル, 内容等につきましてはすでに掲載されている幾つかの記事をご参照下さい。

「成形加工」編集委員長 大嶋正裕