

## 粉体技術者のための粉体入門講座 38

### スラリー徒然草-3

#### An Essay about Slurry-3

JHGS 株式会社こな椿ラボ、名古屋大学名誉教授 椿 淳一郎

JunIchiro TSUBAKI

### 3. 問題解決の基本的考え方 (続き)

チョコレート融解時の流動性を改善したいと、粉工展の技術相談コーナーに飛び込まれたチョコレート会社の社長さんに、融解したチョコレートの粒子充填率（体積濃度）を聞いてみた。すると50%ぐらいですとのことであった。

充填率が50%の状態は、電車でいえばぎゅうぎゅう詰め状態なので、粒子接触点での摩擦を少なくしてやれば、融解時の流動性を改善できますよと答えた。

チョコレートの構造を、カカオマスと砂糖、粉乳粒子が互いにあまり接触することなくゆったりとカカオバター中に分散している（前報<sup>1)</sup>図-2）ようにイメージしていた社長さんには意外な答えであったようだ。

しかしぎゅうぎゅう詰め状態と考えることによって、社長さんが長らく抱えていた多くの疑問がつながり始めたらしく、大変興味を持たれて、チョコレートのチョコの字の知識もない私が、その会社とお付き合いすることになった。数年かかったが、めでたく融解時の流動性を改善することができ、体積濃度で考えることの重要性を実感させてくれた。

粒子体積の実測は極めて手間暇がかかるので、実際の実験や操業では質量濃度でかまわないが、起こっている現象を考えると体積濃度で考えることが大切である。

それは、スラリーの挙動が粒子間距離に大きく作用され、ある粉体スラリー中の平均的粒子間距離は体積濃度だけで決まるからである。

“分かり易く”と描かれた略地図より国土地理院の地図の方が、はるかに早く正確に目的地に導いてくれるのと同じように、理想の粒子配列構造にたどり着くためには、実寸比と体積濃度で、できれば三次元でイメージすることが大切である。

理想の粒子配列構造をイメージできて次に大切なのは、それをどう実現するかである。この間に簡単に答えを出せるようなら、この入門講座は無用である。ここからは試行錯誤の世界である。

試行錯誤の手がかりは、さまざまなスラリー挙動から粒子配列構造を類推することで、それなりの学識が要求される。一つの事例として、著者らが行ったりチウムイオン電池正極用スラリーの最適化研究<sup>2)</sup>がある（紙数が許せば本入門講座でも

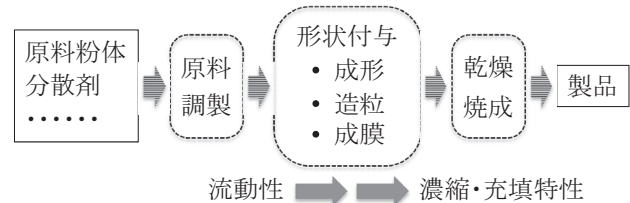


図-3.1 無機材料プロセス概念図

紹介予定)。

粒子の集合状態・配列構造は、製品機能を直接左右するので重要なスラリー特性であるが、着目すべきスラリー特性は他にないのであろうか。

図-3.1は無機材料プロセスの概念図である。原料は、原料調製・成形・乾燥（・焼成）工程を経て製品となるが、成形工程まではスラリーはよく流れてくれなくては困るし、成形後はそれなりの時間形を保ってくれなくてはいけないので**流動特性**が重要なスラリー特性となる。

成形後の乾燥工程では水分（分散媒）が抜けてスラリーは濃縮され成形体となるが、多孔体を作るのであれば成形体には高い密度が要求されるので、**粒子の充填特性**もスラリーの重要な特性となる。

流動性、粒子の充填特性と集合状態・配列構造の評価法については、改めて紹介する予定である。

なぜスラリーの挙動は複雑怪奇か、じゃ、どうしたらいいのか、概観してきたので、次は各論に入ることにする。

### 4. 粒子/分散媒界面での挙動

粒子が分散媒中に上手く分散してくれなければスラリーにはならないので、粒子と分散媒の**親和性**、**濡れ性**が重要となる。

スラリーの分散媒として水が最も多く用いられるのは、身近にあって無害であるからであろうが、水はいろいろな物質と親和性があるからでもある。

水分子 H<sub>2</sub>O は電気的に中性であるが、O 原子は H 原子より電子を引きつける力（電気陰性度）が強いため、O 原子は負電荷を帯び H 原子は正電荷を帯びて分極している。

水分子のように分子内に電荷の偏りがある分子を極性分子と呼ぶ。水に極性を持った粒子を入れると、水分子は静電気力によって粒子に引きつけられるので粒子と親和性を持つ。

内部に電荷の偏りを持つ分子は、いわばコンデンサーのようなものなので、それらの性質は誘電率によって表されるが、誘電率が直接粒子と分散媒の親和性を表すわけではない。

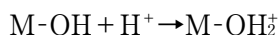
固体と液体の親和性は図-3.2に、示す濡れ角（接触角） $\theta$ によって表される。 $\theta < 90^\circ$ なら親和性がよく濡れやすい。逆 $\theta > 90^\circ$ になら親和性は悪く濡れにくいと定義される。

液体の中に毛管を立てると図-3.3に示すように、濡れやすい場合は表面張力により液が吸い上げられる（ $h > 0$ ）が、濡れにくい場合は液が押し下げられる（ $h < 0$ ）。

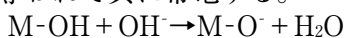
粒子の上に図-3.2に示すような液滴を作ることには不可能であるが、粒子充填層は毛管の束と置き換えることができるので、図-3.4のように粒子充填層を液体に漬けることによって濡れ性の評価が可能となる。

液中、特に水溶液に分散された粒子は通常帯電し、粒子間に働く力に決定的な影響を及ぼしている。汎用の無機材料である金属酸化物の水溶液中での帯電機構は次のように考えられている。

水溶液中の金属酸化物（MO）の金属元素には-OH基が強く吸着している。 $H^+$ の濃度が高くなる（低pH）と $H^+$ が-OH基に吸着して粒子は正に帯電する。



一方 $H^+$ の濃度が低くなる（高pH）と-OH基より $H^+$ が奪われて負に帯電する。



測定される表面電位は $\zeta$ （ゼータ）電位と呼ばれる。図-3.5にアルミナ研磨剤粒子の測定例を示したように、 $\zeta$ 電位の大きさは絶対値で高々100 mV程度である。

$\zeta$ 電位の測定法は幾つかあるが、沈降性粒子や高濃度スラリーでなければ、スラリーに電位を印加した時の粒子泳動速度から求める、電気泳動法で測定される。

$\zeta$ 電位がゼロになるpHは等電点（isoelectric point：IEP）あるいは電荷零点（point of zero charge：PZC）と呼ばれていて、金属のイオン価数 $Z$ とポーリングの電気陰性度 $X_p$ によって求められる金属イオン電気陰性度 $(1+2Z)X_p$ を使って、図-3.6<sup>3)</sup>に示すように推定することができる<sup>3)</sup>。

## 引用文献

- 1) 椿 淳一郎：“粉体技術者のための粉体入門講座36 スラリー徒然草-2”、粉体技術、4、p. 660-661 (2012)
- 2) 田中 達也、浅井 一輝、森 隆昌、椿 淳一郎：“リチウムイオン電池正極材料スラリー中の粒子集合状態評価”、粉体工学会誌、48、p. 761-767 (2011)
- 3) 近沢 正敏、田嶋 和夫：“界面化学”、丸善、p.145 (2001)

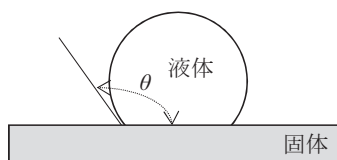


図-3.2 濡れ性の定義

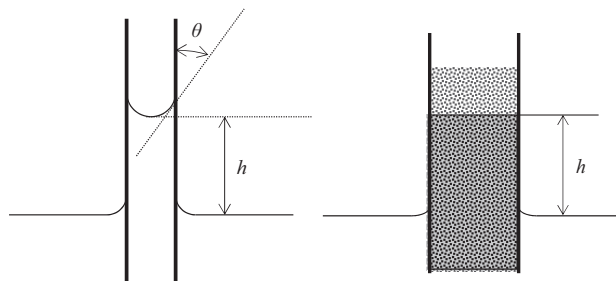


図-3.3 表面張力による毛管上昇

図-3.4 粒子充填層による毛管上昇

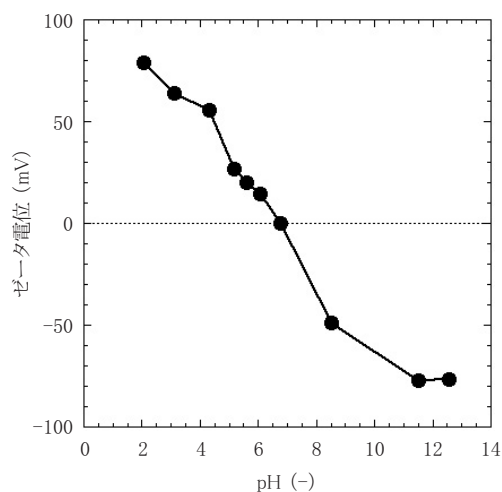


図-3.5 アルミナ研磨剤粒子（3 $\mu$ m）のゼータ電位

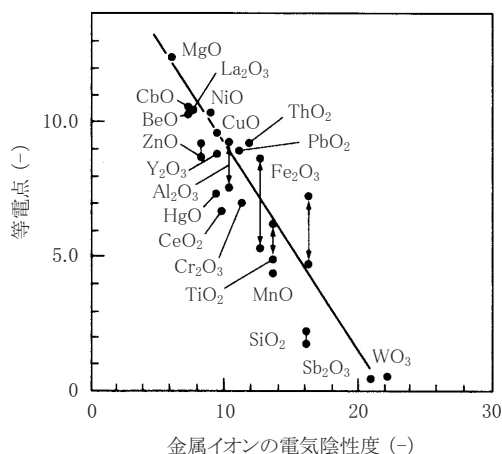


図-3.6 等電点の推定



つばき じゅんいちろう  
椿 淳一郎  
JHGS (株) かな椿ラボ 所長  
名古屋大学名誉教授

〒509-0135 各務原市鵜沼羽場町5-72  
TEL: 058-370-4538 FAX: 058-370-4538  
E-mail: tsubaki@jhgs.jp