

## 資源・材料とエネルギー 電池製造プロセスとレオロジー

工学研究科 応用化学専攻  
菰田 悦之

### 講義内容と評価方法

お話の内容		} 講義時間90分 ・ 講義 50分 ・ トピックス 20分 ・ 課題 20分
1. 電池入門	2回	
2. ねばねばの科学	3回	
3. 混ぜ方入門	3回	
4. 塗り方入門	3回	
5. 乾かし方入門	3回	

あなたは粒子を液中に分散させる装置を作っている会社の技術営業者（技術面から営業をバックアップする職種）です。ある企業からあなたの会社の装置を使って、高濃度粒子分散液を作って、それを塗布してみたいとの問い合わせがありました。あなたはどのようにして自社製品をアピールするでしょうか？塗布に求められる粒子分散液の性状ならびにそのような粒子分散液を作ることができる自社製品の特長を説明して下さい。（図を用いても構いません。紙面全部を使う必要はありません）

### 前回の課題...

文意を正確に読み取りましょう。

- あなたの会社では、塗布装置は作っていません。
- 粒子分散液の性状は一般的な観点で説明が必要です。
- 自社製品の独創性や他社との違いを述べなくてはなりません。

科学的に説明しましょう。

- 「試行錯誤の末にたどり着いた」⇒ 根拠がないといっているのと同じ
- 「粘度が自由に調整できます」⇒ 技術的な裏付けが必要です

本当か否かは別として、質問に対する答えになれば満点です。

- 温度を上げて粘度を下げる ... ウソではないが効果は小さい
- レーザーを利用した粒子分散 ... そもそも高濃度分散液は不透明
- 早く乾かす方がよい? ... その根拠は?これから説明します。

### 回答例(本当に使えるかは未知数)

粒子分散液の要求事項

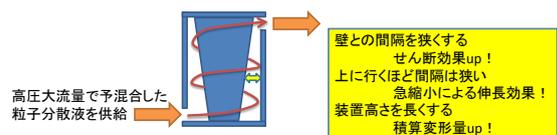
- 分散粒子の凝集が破壊され、均一分散状態にあること

従来の粒子分散機構

- ビーズミルなどの分散器 ... 効率的なエネルギー投入が難しい  
ビーズ投入に伴うコンタミネーション
- 超音波照射 ... 高粒子濃度では適応が難しい

当社製品の粒子分散機構

- 局所的な急縮小とせん断流れの利用



# 乾かし方入門1

## “乾燥する”と“蒸発する”

乾燥と蒸発は違うのか？

蒸発しないと乾燥は進まないが、蒸発だけでは乾燥しない

乾燥：加熱などによって対象物から揮発成分を除去する操作

蒸発：液体表面から揮発成分(=液体)が気化する現象



## 操作と現象

「まぜる」と「まざる」は違う？

まぜる・・・あるものの中に別のものを加えて一つにする。数種のを**一緒にする**  
 まざる・・・性質の異なるものが中に入り込んで**一緒にする**

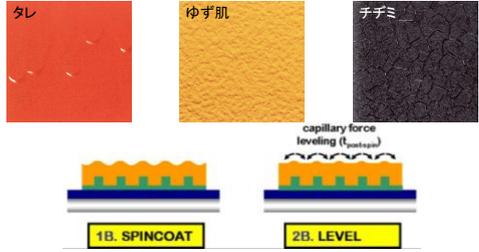
まぜる・・・意図的に そのような状態に 到達させる ⇒ 操作  
 まざる・・・自然と そのような状態に 到達する ⇒ 現象

現象・摂理に背くことはできないが、操作することはできる



現象のメカニズムを理解すれば、操作方法が明確になる

## 塗布欠陥



塗布時に形成される凹凸はレベリングで回復することがある  
 ⇒ 界面張力と粘弾性によって支配される  
 多くの塗布欠陥は、乾燥過程において形成・固定化される

## 他にもある、よく似た用語

- 濃縮 ... 混合物から必要な物質の濃度を高める操作
- 固化 ... 固液混合物から液体成分をできるだけ取り除く操作  
 ⇒ 蒸発させた成分が必要であれば「蒸留」
- 昇華 ... 固気界面において固体から気体に変化する現象
- 気化 ... 蒸発と昇華の総称



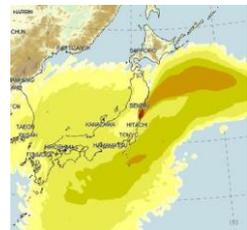
## 乾燥＝蒸発＋〇〇？

液体の蒸発・・・気液界面でしか生じない  
 湿った物質・・・液体は内部にも存在している

蒸発する成分が「内部から気液界面まで移動する」ことが必要

### 拡散(diffusion)

・・・粒子、熱、運動量などが自発的に散らばり広がる現象



## 様々な拡散現象

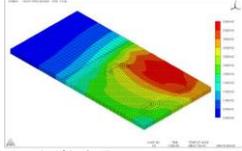
### 分子・粒子の拡散

濃度差があると、それに応じて物質は移動する:  
拡散.



### 熱の拡散

温度差があると、それに応じて熱が伝わる(伝導伝熱):  
熱拡散



### 運動量の拡散

速度差があると、それに応じて力が伝わる:  
粘性(=運動量の拡散)

## 拡散現象を数式で表現すると...

$$\frac{V}{A} = \alpha \frac{dX}{dz}$$

V: 拡散するものの速度  
A: 拡散するものが通り過ぎる面積  
X: 拡散を引き起こす原因  
Z方向に拡散する

濃度なら...

$$\frac{N}{A} \left[ \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right] = D \left[ \frac{m^2}{s} \right] \cdot \frac{dC}{dz} \left[ \frac{kg}{m^3 \cdot m} \right]$$

拡散係数

温度なら...

$$\frac{Q}{A} \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \lambda \left[ \frac{W}{K \cdot m} \right] \cdot \frac{dT}{dz} \left[ \frac{K}{m} \right]$$

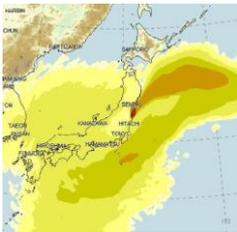
熱伝導度(=熱拡散係数)

運動量なら...

$$\frac{F}{A} [Pa] = \mu [Pa \cdot s] \cdot \frac{dU}{dz} \left[ \frac{m}{s \cdot m} \right]$$

粘度

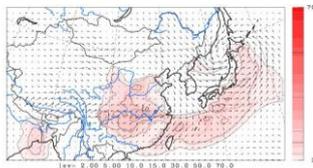
## 現実的な(物質)拡散現象



濃度差だけでこんなに拡散が進むか?

気体の拡散係数は $10^{-5} m^2/s$ 程度  
1m離れた地点の濃度差が $1 kg/m^3$ とすると  
 $1 m^2$ の断面積を $10^{-3} kg/s$ (=24時間で0.85kg)  
移動する。

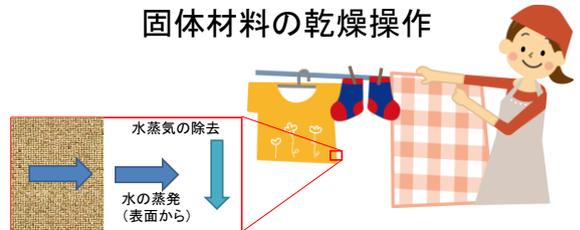
→ 実際には数100kmの拡散



流れがないとこんなに進まない

移流拡散

## 固体材料の乾燥操作



水の拡散  
(内部から表面へ)

水蒸気の除去

水の蒸発  
(表面から)

お天気日和(晴れて、風が強い日)...

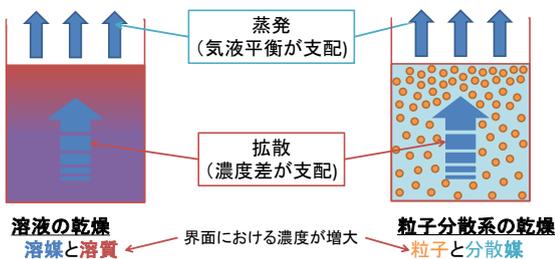
・晴れ⇒太陽エネルギーによる蒸発促進

・晴れ⇒低湿度による蒸発促進

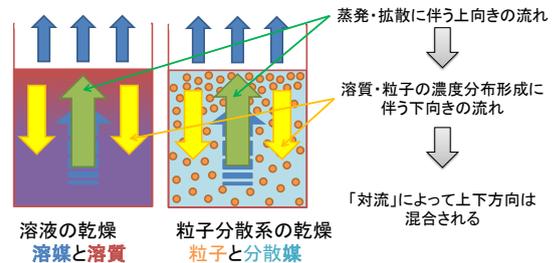
・風⇒気液界面の湿度を低く保つことができる

蒸発が早い⇒気液表面の水分濃度低下⇒水の拡散速度増大

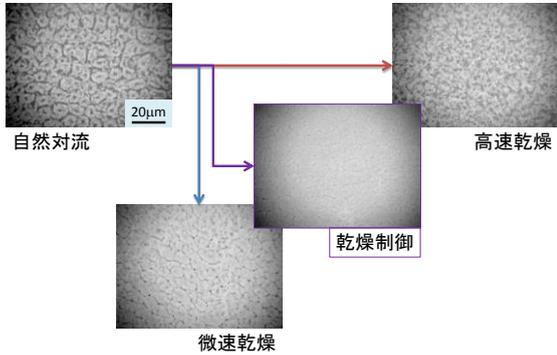
## 乾燥操作における拡散現象



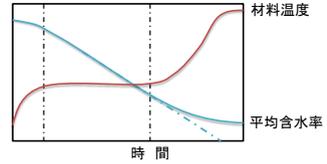
## 乾燥操作における移流拡散現象



### 移流(対流)によるパターン形成



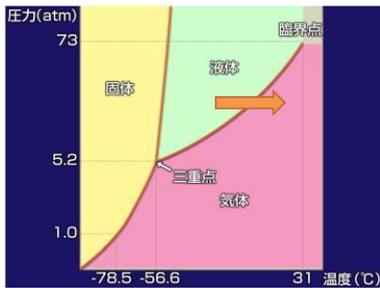
### 乾燥速度と温度変化



- 1) 予熱期間
  - ... 乾燥に必要な温度にまで加温
- 2) 定率乾燥期間
  - ... 材料温度ならびに平均含水率減少勾配が一定
- 3) 減率乾燥期間
  - ... 材料温度が上昇するとともに含水率減少勾配は減少

### 予熱の必要性

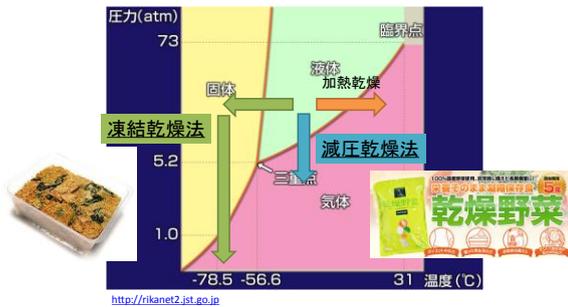
乾かすためには、蒸発「液体⇒気体」が必要



### 乾燥速度一定＝温度一定？

- 予熱期間  
... 加熱(エネルギーを投入)し続ける ⇒ 材料温度上昇
- 定率乾燥期間  
... 加熱は継続 ⇒ 材料温度上昇せず  
⇒ 蒸発が継続的に行われる  
⇒ 系から蒸発潜熱が奪い続けられる
- 加熱: 温度上昇 } バランスすると温度一定  
蒸発潜熱: 温度低下 }

### 加熱しない乾かし方



### 本日のまとめ

乾燥は、蒸発と拡散からなる操作である

乾燥操作を制御するには、蒸発と拡散のメカニズムを理解する必要がある

乾燥操作では、液体を何らかの手法によって気体として取り除く必要がある

液体を取り除くために、加熱や減圧操作が有効である。

課題(2013.7.3)

学籍番号

氏名

物質を乾燥させるには、物質に対してエネルギーを与え、揮発成分を蒸発させる必要があります。そこで、物質を加熱する方法・原理を一つ挙げて、そのメリット・デメリットについて議論しなさい。