

「粉体の上手な取り扱い方とトラブルシューティング」 目次

第1章 粉体取扱い上の注意点及び粉体物性測定方法

- 1 はじめに
- 2 粉体物性とその利用
- 3 粉体サンプリング
- 4 縮分法
- 5 おわりに

第2章 粉体への表面処理基礎と機能性ナノコーティング

第1節 粉体の表面処理・改質技術

- 1 はじめに
- 2 カップリング剤による表面改質技術
 - 2.1 液相処理
 - 2.1.1 室温処理
 - 2.1.2 加熱処理
 - 2.1.3 混合法・ロータリーエバポレーター法
 - 2.1.4 オートクレープ法
 - 2.1.5 超臨界法
 - 2.1.6 メカノケミカル法
 - 2.2 気相処理
- 3 表面改質試料評価法
 - 3.1 比表面積
 - 3.2 元素分析
 - 3.3 分散嗜好性試験
 - 3.4 フーリエ変換赤外分光法
 - 3.5 X線光電子分光法
 - 3.6 熱分析

- 4 おわりに

第2節 粉体への機能性ナノコーティング技術

- 1 はじめに
- 2 環状メチルシロキサンによるナノコーティング
 - 2.1 タイプIの粉体の反応
 - 2.2 タイプIIの粉体の反応
- 3 ペンダント基の付加
 - 3.1 アルキル基の付加
 - 3.2 アルコール性水酸基の付加
 - 3.3 グリシジル基の付加
 - 3.4 イオン交換基の付加
 - 3.5 異種官能基の付加
- 4 おわりに

第3章 粉砕の基礎と最適化およびトラブル対策

第1節 粉砕によるメカノケミカル効果の原理と実務

- 1 はじめに
- 2 粉砕による固体の活性化機構
- 3 粉砕によるメカノケミカル効果～固体結晶の無定形化と相転移
- 4 固相合成
 - 4.1 粉砕による複合酸化物やフッ化物等のメカノケミカル合成
 - 4.2 ナノ粒子の合成
 - 4.2.1 金属ナノ粒子
 - 4.2.2 酸化物ナノ粒子
 - 4.2.3 複合酸化物ナノ粒子
 - 4.2.4 硫化物ナノ粒子
 - 4.3 層状鉱物と2水石膏からの水硬性物質の合成～水分子の移動

4.4 湿式粉砕による水和物合成～ケイ酸カルシウム水和物

- 5 ハロゲン含有樹脂・有機物の分解
 - 5.1 構造に水素を持つ樹脂・有機物の分解
 - 5.1.1 ポリ塩化ビニル (PVC) に対して酸性添加剤を使用した場合
 - 5.1.2 PVC に対してアルカリ添加剤を使用した場合
 - 5.1.3 トリクロロベンゼン、モノクロロビフェニルの脱塩素
 - 5.2 構造に水素を持たない樹脂・有機物の分解
 - 5.2.1 ポリテトラフルオロエチレン
 - 5.2.2 ヘキサブromベンゼン

6 粉砕と溶解処理の組み合わせによる資源処理

- 6.1 カオリナイトからのゼオライト合成
- 6.2 タルクからの Mg、Si の非加熱抽出
- 6.3 硫酸塩からの炭酸塩の生成

7 粉砕と化学的/物理的処理による廃棄物からの有価物回収

- 7.1 ITO スクラップからの In 回収
- 7.2 三波長型廃蛍光管からのレアアース回収
- 7.3 重油燃焼媒 (EP Dust) からのバナジウム回収
- 7.4 樹脂やバイオマスからの水素生成

8 むすび

第2節 ビーズミルによる分散・粉砕の基礎と最適化、トラブル対策

- 1 ビーズミルの基礎
 - 1.1 ビーズミルの役割
 - 1.2 ビーズミルの構造
 - 1.3 ビーズミルの運転方法
- 2 ビーズミルの性能因子
 - 2.1 ビーズ
 - 2.2 周速
 - 2.3 流量

3 事例紹介

- 3.1 ビーズ径の選定と評価方法
- 3.2 残留粗大粒子を低減した高品質処理

4 トラブル事例とその対策

- 4.1 温度上昇
- 4.2 粘度上昇
- 4.3 スケールアップ

第3節 ボールミルによる分散・粉砕の基礎と最適化、トラブル対策

- 1 はじめに
- 2 物質の微粒子化
- 3 粉砕・解砕・分散
- 4 粉砕操作
- 5 粉砕機の種類
- 6 メディアの小径化
- 7 媒体攪拌型粉砕機について
- 8 湿式アトライタ
- 9 湿式粉砕に影響する諸因子
 - 9.1 メディア径
 - 9.2 メディアの質量と材質
 - 9.3 回転速度
 - 9.4 固相分濃度
- 10 ボールミルとアトライタの比較

- 10.1 粉碎速度
- 10.2 エネルギー比較
- 11 スケールアップ
- 12 乾式アトライタ
- 13 乾式粉碎と湿式粉碎
- 14 メカニカルアロイング
- 15 連続式の媒体攪拌型乾式粉碎机
 - 15.1 ダイナミックミルの構造
 - 15.2 回分式粉碎机との比較
 - 15.3 茶葉の粉碎
- 16 分級機内蔵の連続式の媒体攪拌型乾式粉碎机
- 17 乾式アトライタからの進化
 - 17.1 金属の粉碎
 - 17.2 メカニカルアロイング
- 18 終わりに

第4章 分級技術の原理と粒子測定方法

第1節 高精度分級技術の原理・装置・応用

- 1 はじめに
- 2 分級装置の性能評価項目
 - 2.1 圧力損失
 - 2.2 捕集効率と部分分離効率
 - 2.3 分級精度指数
 - 2.4 ニュートン効率
- 3 分級装置のモデル化
 - 3.1 上昇流分離モデル
 - 3.2 水平流分離モデル
- 4 分級装置の分類とその詳細
 - 4.1 ふるい
 - 4.2 慣性力分級装置
 - 4.3 遠心力分級装置
 - 4.4 サイクロンの性能評価
 - 4.5 サイクロンの性能向上
 - 4.6 サイクロンの応用

第2節 分級装置の選定技術とトラブル対策

- はじめに
- 1 分級についての概論
 - 1.1 各種の分級機の種類と選定
 - 1.1.1 ふるい (篩)
 - 1.1.2 重力分級
 - 1.1.3 慣性分級
 - 1.1.4 遠心分級
 - 1.2 分級機を選定するにあたり考慮すべき事柄
- 2 分級機のスケールアップ
 - 2.1 強制渦型遠心分級機の場合
 - 2.1.1 混合比の差
 - 2.1.2 粒子の分散および空気の整流の差
 - 2.2 自由渦型遠心分級機の場合
 - 2.3 慣性分級機の場合
 - 2.3.1 分級原理
 - 2.3.2 構造および分級フロー
- 3 ハイブリッド化についての考察
 - 3.1 ハイブリッドシステムの機種と選定
 - 3.2 IDS 分級粉碎机の構造 とスケールアップ
 - 3.3 スーパーハイブリッドミルの技術のコンセプト
- 4 分級におけるトラブルとその対策
 - 4.1 分級と付着・凝集・分散
 - 4.2 摩耗とコンタミネーション
 - 4.3 温度・湿度による影響

- 5 結言
- おわりに

第5章 混合・分散のメカニズムと評価方法

第1節 粉粒体の混合・分散のメカニズム、評価法、トラブル対策

- 1 粉粒体の混合・分散
- 2 混合・分散のメカニズム
- 3 混合・分散の評価
 - 3.1 精査のスケール
 - 3.2 混合物の均質性の評価
 - 3.2.1 定量的な混合の評価手順
 - 3.2.2 規則混合物と完全不規則混合物
 - 3.2.3 統計的手法を用いた“ばらつき”の数値化
 - 3.2.4 分散に影響を及ぼす因子
 - 3.2.5 混合度
 - 3.3 混合速度
- 4 トラブル対策の指針

第2節 粉体の基礎とスラリー分散安定化

- 1 はじめに
- 2 粒子について
 - 2.1 粒子径、形状
 - 2.2 粒子の密度
 - 2.3 粒子表面の性質
 - 2.3.1 気相中
 - 2.3.2 液相中
- 3 表面処理
 - 3.1 吸着特性
 - 3.2 界面活性剤、水溶性高分子の吸着
 - 3.3 液相中におけるカップリング剤処理
 - 3.4 気相中における表面疎水化処理
 - 3.4.1 充填層
 - 3.4.2 流動層
 - 3.5 表面粗さと水に対する接触角
 - 3.6 メカノケミカル効果による粒子表面改質

4 おわりに

第3節 濃厚粒子分散系における分散・凝集特性評価

- 1 はじめに
- 2 濃厚分散体がいられる製造プロセスと評価項目
- 3 濃厚分散体の評価手法
 - 3.1 なぜ濃厚系のまま評価する必要があるのか？ 現状の問題点とその背景
 - 3.2 超音波スペクトロスコーピー
 - 3.2.1 超音波スペクトロスコーピーの原理
 - 3.2.2 超音波スペクトロスコーピーによる評価例
 - 3.3 自然沈降分析法および遠心沈降分析法
 - 3.3.1 沈降分析法による分散安定性評価
 - 3.3.2 沈降に対する安定性と凝集に対する安定性の関係
 - 3.3.3 自然沈降分析法および遠心沈降分析法の原理と測定装置
 - 3.3.4 遠心沈降分析法の応用例
 - 3.3.5 自然沈降分析法の応用例
 - 3.4 まとめ

第6章 偏析の基礎と解析およびトラブル対策

第1節 粉体の取り扱いにおける偏析現象

- 1 粉粒体の偏析とは
- 2 偏析を生じる物性
- 3 偏析を起こさせる運動と力

- 3.1 転動による偏析
- 3.2 振動による偏析
- 3.3 流動による偏析
 - 3.3.1 流体流動による偏析
 - 3.3.2 回転流動による偏析
 - 3.3.3 振動流動による偏析
- 3.4 飛翔による偏析
- 3.5 衝突時の反発・貫入による偏析
 - 3.5.1 衝突の際の反発
 - 3.5.2 粉粒体層への貫入
- 3.6 掻き取りによる偏析
- 3.7 その他の偏析
- 4 実際の粉粒体取り扱いにおける偏析現象
 - 4.1 貯槽への供給
 - 4.2 貯槽からの排出
 - 4.3 輸送・供給機
 - 4.4 シュートおよび滞留部
 - 4.5 各種の粉粒体処理機器内
 - 4.5.1 粉砕機
 - 4.5.2 流動造粒機
 - 4.5.3 混合機
 - 4.5.4 乾燥機
 - 4.5.5 ふるい

第2節 偏析トラブルの対策手順と対策例

- 1 偏析の防止対策とその手順
 - 1.1 原因の探索
 - 1.1.1 偏析のデータの認識
 - 1.1.2 発生箇所の想定
 - 1.1.3 サンプル採取と測定
 - 1.1.4 物性と運動・力の特徴
 - 1.1.5 装置の特徴・操作の認識と特定
 - 1.2 偏析する粒子物性の変更
 - 1.2.1 各物性をできるだけ近似させる
 - 1.2.2 偏析傾向を相殺する物性にする
 - 1.2.3 流動性を低くする
 - 1.3 運転条件の変更
 - 1.3.1 速度を変える
 - 1.3.2 自由な空間を減らす
 - 1.4 装置やプロセスの変更
 - 1.4.1 偏析に関わる装置の排除
 - 1.4.2 装置の改善
 - 1.4.3 混合機構の追加
 - 2 偏析対策検討の例
 - 2.1 工程
 - 2.2 現象
 - 2.3 解決のための対策
 - 2.3.1 混合機の排出
 - 2.3.2 運搬容器
 - 2.3.3 容器運搬時の振動
 - 2.3.4 貯留ホッパーの投入・排出
 - 2.3.5 シュート類
 - 2.3.6 その他
 - 2.4 対策の結果
 - 3 偏析を生じさせないために
- ## 第3節 粉体シミュレーションによる粒子偏析現象の解析
- 1 粗粒子群の充填時に発生する偏析現象の基礎的解析
 - 1.1 粒子群の充填挙動シミュレーション
 - 1.2 粒度偏析に及ぼす粒子形状の影響
 - 1.3 粒度偏析に及ぼす粒子径分布の影響

- 2 金型キャビティへの微小顆粒充填時に発生する偏析
 - 2.1 落とし込み充填
 - 2.2 吸い込み充填

第7章 粉粒体の貯蔵・排出におけるトラブル対策

- 1 貯蔵内における粉体の挙動
 - 1.1 マスフロー
 - 1.2 ファンネルフロー
 - 1.3 ラットホール
 - 1.4 ブリッジ
- 2 偏析の原因とその対策
 - 2.1 付着偏析
 - 2.2 転がり偏析
 - 2.3 投射偏析
- 3 物性測定による物性の総合評価
- 4 貯蔵における排出促進機器
- 5 貯蔵におけるその他の排出トラブル
 - 5.1 圧送式空気輸送とロータリーバルブの排出不良
 - 5.2 ホッパー付スクリーフイーダの偏流

第8章 粉粒体の空気輸送におけるトラブル対策

- 1. はじめに
- 2. 空気輸送の装置と方式
 - 2.1 ロータリーバルブ方式とブロータンク方式
 - 2.1.1 ロータリーバルブ方式
 - 2.1.2 ブロータンク方式
 - 2.2 圧送方式と吸引方式
 - 2.2.1 圧送方式
 - 2.2.2 吸引方式
- 3 粉粒体の空気輸送特性
 - 3.1 合成樹脂粒体の空気輸送特性
 - 3.2 流動性の良好な粉体の空気輸送特性
- 4 粉粒体の空気輸送に関するトラブルと対策例
 - 4.1 貯槽からの排出不良トラブルと対策例
 - 4.1.1 吸引輸送における輸送元ホッパーからの排出不良トラブル
 - 4.1.2 圧送方式における輸送元ホッパーからの排出不良トラブル
 - 4.1.3 付着性粉体の排出不良と輸送閉塞トラブル
 - 4.1.4 吸湿・固着性粒体の貯蔵・排出不良トラブル
 - 4.1.5 薄片状原料の貯蔵・排出トラブル
 - 4.2 供給（排出）装置でのトラブルと対策例
 - 4.2.1 ロータリーバルブの“噛み込み”によるトラブル
 - 4.2.2 ロータリーバルブのローター停止トラブル (1)
 - 4.2.3 ロータリーバルブのローター停止トラブル (2)
 - 4.2.4 ロータリーバルブからの異音発生トラブル (1)
 - 4.2.5 ロータリーバルブからの異音発生トラブル (2)
 - 4.3 空気輸送でのトラブルと対策例
 - 4.3.1 浮遊輸送式空気輸送での異物発生トラブル
 - 4.3.2 比較的能力の小さい吸引式空気輸送装置（吸引ローダ）でのトラブル
 - 4.3.3 サイクロン改造によるフロス発生トラブルの解消
 - 4.3.4 微粉の受入配管と供給配管における付着・成長と閉塞
 - 4.3.5 フレキシブル管の破損による金属コンタミ発生トラブル
 - 4.3.6 PET ボトル粉砕品の空気輸送によるベンド部摩耗トラブル

第9章 粉体プロセスのトラブル

第1節 粉体ハンドリングを困難にしている要因と粉体物性

1 ハンドリングにおけるトラブルと粉体物性

- 1.1 閉塞
- 1.2 偏析
- 1.3 摩耗
- 1.4 付着・凝集・固結
- 1.5 フラッシング (噴流性)

2 トラブルの要因となる粉体物性の測定と評価

2.1 単一粒子の付着力測定と評価

- 2.1.1 遠心法
- 2.1.2 プローブ法
- 2.1.3 流体力学法

2.2 粉体層の付着力測定と評価

- 2.2.1 水平引張り法
- 2.2.2 垂直引張り法
- 2.2.3 ルンプ (Rumpf) の式

2.3 流動性の測定と評価

- 2.3.1 非荷重下の流動性
- 2.3.2 荷重下の流動性

2.4 その他の方法による測定と評価

- 2.4.1 粒子の圧壊強度の測定
- 2.4.2 水分の吸脱着特性の測定
- 2.4.3 静電気特性の測定

2.5 粉体物性の改善

第2節 粉体の付着・凝集メカニズムとその評価、トラブル回避の考え方

1 はじめに

2 付着力と付着性

3 付着特性の評価

4 付着特性評価結果のプロセス操作結果への適用

5 まとめとして—粉体操作物性という考え方

第3節 粉体の固結の評価とその対策

1 固結の評価

1.1 固結性の評価 (粉体特性の測定)

- 1.1.1 粒子径、粒度分布
- 1.1.2 粉体の含水率
- 1.1.3 粉体の平衡水分
- 1.1.4 高吸湿性物質の含有率
- 1.1.5 アモルファス含有量

1.2 固結度の評価

- 1.2.1 固結体の調製
- 1.2.2 一軸圧縮強度の測定
- 1.2.3 解砕度の測定
- 1.2.4 貫入度の測定

2 固結防止の対策

2.1 原料の改善

- 2.1.1 粒子特性の改善
- 2.1.2 粉体特性の改善

2.2 プロセス・装置の改善

- 2.2.1 プロセスの変更
- 2.2.2 装置構造の改善

2.3 保存方法の改善

- 2.3.1 中間保存方法の改善
- 2.3.2 最終包装方法の選択

第4節 粉体/粒体プロセスにおける、発生しやすい各種トラブルと対応実務

1 粉体プロセスの俯瞰

2 粉体/粒体プロセスの、トラブルの要因 ⇒ プロセス・

エンジニアの頭の中

2.1 詰まる：閉塞現象

2.2 くっつく：付着現象

2.3 摩耗する：粉体摩耗、摺動摩耗、衝撃による摩耗

2.4 漏れる：シール部から粉が漏れ出す現象

2.5 流れる：フラッシング；噴流層として機器の中を粉が走り抜ける

2.6 飛んで行く：(飛散現象) 機器から粉が飛散する、点検孔から漏れ出して飛ぶ

2.7 蓄熱

2.8 発火

2.9 粉塵爆発

2.10 偏析 (静電気問題を含む)

3 コスト・パフォーマンスのよいトラブル対応例

第5節 粉体の帯電メカニズムと測定技術および除電方法

1 はじめに

2 粉体の帯電メカニズム

2.1 イオンの付着による帯電

2.2 誘導荷電

2.3 摩擦帯電

3 粒子帯電量のオーダー

3.1 典型的な粉体帯電量

3.2 粒子の限界帯電量

3.3 粒子1個あたりの帯電量

4 粒子に働く静電気力

4.1 クーロンの法則

4.2 境界条件と鏡像力

4.3 静電気に起因する付着力の比較

5 粉体の帯電量の計測法

5.1 はじめに

5.2 ファラデーケージ

5.3 表面電位計測

5.4 力学的方法

6 除電法

6.1 除電法の概論

6.2 自然緩和

6.3 導電性付与

6.4 気相へのイオン供給

6.5 自己放電

第6節 粉体プラントのトラブルとスケールアップ時の留意点

はじめに

1 トラブルが発生する工程とトラブルの内容

2 粉体トラブルの具体的な事象

3 トラブルが発生するタイミング

4 取り合いにおけるトラブル

4.1 全体配置上の問題

4.2 機器の付属物による配置上の干渉

4.2.1 レベルスイッチの取り付け位置

4.2.2 機器付属のモーター取り付け位置と寸法

4.3 取り合い部の規格と所掌範囲

4.4 分野ごとの常識の違い

4.4.1 空調分野とプロセス分野の風量

4.4.2 ブロワーの風量と圧力の示し方の違い

4.4.3 長さの単位

5 実際のトラブルと対策の例

5.1 空気輸送配管施工不良による食品調味料の閉塞

5.2 特殊カオリンの貯槽での閉塞とシュートへの付着

5.3 輸送機が原因の粉塵爆発

- 6 プラントのスケールアップ比率の考え方
 - 6.1 流体（気液）プラント
 - 6.2 微生物を扱う発酵プラント
 - 6.3 医薬品製造プラント
 - 6.4 粉粒体プラント
- 7 スケールアップに伴うトラブル
 - 7.1 偏析トラブル
 - 7.2 高濃度空気輸送
 - 7.3 機械式輸送
 - 7.4 貯槽の粉体圧
 - 7.5 供給速度
 - 7.6 フラッシング
 - 7.7 凝集・付着・固結
 - 7.8 粒子の軟化
 - 7.9 ジェット（高圧気流）粉砕とサイクロン
おわりに