

粉体を扱う上での気づきと工夫

Awareness and ingenuity in the Handling of Particulate Materials

小波盛佳
Moriyoshi KONAMI

Key words : powder, process design, trouble, awareness, choking, adhesion

1. はじめに

筆者は、前職で基本プロセス設計担当として、粉体プラントのプロセス実験・設計から試運転まで関わってきた。粉を扱う研究・開発から設計課題・トラブルの解決に対象を絞って、アイデアを創出した例を挙げる。数値は概数である。1970 年代～1990 年代で、工場が大型化・機械化・自動化し、一部に AI による作業スケジュール管理などを組み込んだ時期である。

2. 良い条件の重ね合わせが逆効果

卒研では、粉体が貯槽から排出する際の閉塞限界寸法を研究した。二次元装置で排出口の幅、壁面の傾斜、平滑度を変えて実験していたところ、傾斜をとくに急にして壁を平滑にすると、逆に閉塞しやすいという現象が見られた。これは粉体が滑りながら壁からの反力でくさび状に圧縮され、詰まるためと考えられる。

一般には非実用的とみられる常識はずれの範囲の実験が新たな知見を生んだ。好都合とされる条件も、組み合わせによっては逆効果となる。これは技術上だけでなく人生観としても、諸条件を望ましい方向にそろえることでかえって不都合が生じることがある、という示唆を与えてくれた。

3. 先人の研究の外側に興味を向けた粒子偏析

修研では、振動場において、粒子径に差のある粒子の偏析を研究した。それまでの常識では、粒子径の比が 1 に近いある限界値より小さくなると偏析が生じないとされていた。これを疑って、粒子径をできるだけ近づけたグラスビーズの 2 つの粒子群を作り、それを混合した層に振動を加えた。その結果、従来の常識より小さい粒子径比でも偏析が生じた。

先人の研究を外れた条件で試してこの知見につながった。

4. よく滑る材料を放棄した鉛直シュート付着防止

セラミックス原料の焼成カオリンは付着凝集性が特に高い。貯槽からの排出のために傾斜した壁面から空気を吹き込むと、その箇所だけ穴が開いて空気が吹き抜け、その壁面を振動機で振動させると、貯槽の壁材にヒビが入った。壁板を補強し、振動力をぎりぎりに調整して排出が可能になった。

直径 200 mm の鋼管製鉛直シュートでも閉塞が生じた。シュート内壁との滑りを良くするために対策した、平滑化およびフッ素樹脂のコーティングでも改善せず、試行錯誤の末、苦肉の策として濾布製の筒を使用することにした。これによって、上部の分級機の微振動が伝わって布が揺れて、粉体が

付着しにくく、また付着しても自重で剥落すると考えられた。

壁面の摩擦を減らすことをやめて新たな解決に至った。現在では壁面に微小な凹凸を設ける方法も採られている。

5. 圧力変動に伴う伸縮で解消した高濃度輸送の閉塞

高濃度のプラグ式空気輸送は空気使用量が少なく効率的だが、磁性電子材料の現地輸送試運転で輸送管内に付着・閉塞する問題が発生した。輸送管を事前実験と同じフレキシブル塩ビ管に変更したところ、閉塞は解消された。理由は、プラグの通過による圧力変動に伴いフレキシブル管が伸縮し、その動きで付着粉体が剥がれるためと考えられる。

もしフレキシブル管を試験に使っていなければ、輸送不可と判断して受注しなかったはずの設備であった。

6. 空気で削るように付着を剥がすロータリーバルブ

カレー粉製造設備の熟成槽から排出させるロータリーバルブで、粉体が内部に付着し排出量が大幅に減少する問題が発生した。これは前工程の焙煎時に水蒸気が凝縮し、粉体に付着性を与えたためである。最終的にロータリーバルブ側面から回転ローターの軸に沿って高圧空気を吹き込み、粉体を削るように除去する方法で付着が解消した。新たな動力を使わず、既存の圧縮空気システムを利用して対策できた。

7. 粉体貯槽の棚卸しを自動化

5 t の結晶粉体貯槽には秤がなく、500 kg フレキシブルコンテナバッグまたは 20 kg 紙袋から人手で投入し、配合レシピに基づき下部の秤付計量槽の制御に従って排出していた。投入時に押しボタンで在庫量に加算し、自動排出時に計量値を減算することで管理していたが、人的ミスなどでずれが生じる恐れがあった。

粉体は液体と異なり上表面が水平でないため残量把握が難しいが、貯槽底部にあるテーブルフィーダーの水平回転羽根の作用で、その少し上部では粉面が平らになることに気付く、その高さにレベル計を設置した。その検知タイミングで棚卸しを行った。これは人の確認ミスの発見にもつながった。

8. 採算を度外視したバグフィルターの防爆対策

1980 年頃は、顧客から粉体の物性データはほとんど提供されなかった。従来のカレー粉製造設備には防爆対策が施されていなかったが、新大型工場の設計時に爆発の可能性を感じた筆者は独自に試験を実施した。その結果、爆発性が明

らかとなり、設計に防爆対策を組み込んだ。とくに費用が増加したのは、30台に及ぶバグフィルターの粉塵爆発防止対策であった。この試験結果は受注後に判明し、営業担当は顧客への追加見積りに難色を示して、費用は当社で負担することになった。しかし、危険性を予感し自主的な試験で問題を明らかにして、災害の予防につなげることができた。

9. 怪我の功名で爆発性を発見

コピー用トナー製造設備の見積設計のための、物性測定後の微量サンプルを近くの灰皿に捨てたところ、喫煙時に発火した。そこで改めて試験し、爆発性が判明した。この結果から、顧客に防爆仕様の必要性を提案し、設備設計に反映された。当時、トナーの爆発性は顧客に認識されておらず、提案は感謝されたが、設備費の増加で悩ませることになった。その後、その輸出設備で火花によるボヤが発生したと、顧客から連絡があった。リボンスクリューフィーダーの溶接部が外れたことによるもので、対策が奏功して大事には至らなかった。

現在では実験室内での喫煙など考えられないが、当時の鷹揚さが結果的に爆発性の確認という怪我の功名となった。

10. 実工場を想定したかさ密度変化の把握

製薬工場の製造設備を担当した際、ナノ粒子の微粉シリカ(かさ密度 0.1 kg/L 未満)の取り扱いにおける、貯槽や造粒機でのかさ密度変化に着目した。原料解袋時は比較的高密度であるが、輸送や振動で大きく低下し、放置すればいくらか回復する。これにより、設備の各工程でかさ密度が大きく変動すると想定された。そこで、空気輸送や貯槽排出のハンドリング試験中の各ポイントでかさ密度を測定した。さらに粉体層に圧縮空気を吹き込み流動化させたあとの沈降過程も測定した。

その結果、かさ密度は 2 回の空気輸送で 0.1 kg/L から 0.07 kg/L に低下し、その後の長時間の静置で 0.09 kg/L まで回復した。また、流動化試験により 0.05 kg/L まで下がり、その後の回復過程が 3 段階の異なる過程を経ることも判明した。

これらの知見を基に、貯槽容積や輸送効率などの設計値を決定した。これほどかさ密度の変化が激しい粉体は稀であるが、実際の設備環境を想定した物性測定を丁寧に行うことで、設計の精度を高めることができた。

11. 計量値の一日サイクル変動への対応

微粉シリカを中間貯槽から計量して輸送する工程において、容器を静置すると秤量値が変動する問題が発生した。流動化直後の微粉シリカは体積 1 m³でわずか 50 kg 程度しかなく、容器の風袋質量 500 kg に対して、粉体の質量は小さい。秤の精度が 1/5000 であっても、粉体の計量では 1/500 程度に低下する。

短時間での検定では精度は維持されたが、前日秤り取った粉体を翌日に輸送しようとする値が変動していた。長期間の観察で、一日周期の変動が確認され、その原因として温度・湿度・気流・電圧・機械的応力など複数が想定されたが、顧客工場でもあり、原因の追究と排除が困難であった。

このため、現実的な対策として、計量時の数値を記録して

おき、翌日の輸送時に差分を補正する対策を採用した。これは取引用の精密計量には許されにくい、製造工程の原料配合には許容される対策と判断した。なお、重力加速度の天体起因による日周期変動も理論的には存在するが、その影響は本件の精度レベルよりかなり低いようである。

12. 湿度の管理だけで食塩を長期貯蔵

対象はキルンによって乾燥した、水分が 0.1 %以下と特に低い食塩である。固結の生成を確認するために、荷重下で静置する実験を行った。荷重は、計算上粉粒体層内に生じる最大圧力を想定して加えた。試料は各湿度に調湿しており、測定期間の温度は 15~24 °C であった。その結果、湿度 9 %RH (相対湿度)であれば、22 日間、0 %RH の状態では半年の間、全く固結を生じないことが分かった。すなわち、空気中の湿度を低く保てば、実験の範囲程度に加圧された状態でも固結しないことになる。この結果は 200 m³の乾燥食塩サイロに適用され、湿度の低い少量の乾燥空気を吹込むことで固結に関する問題を生じさせない状況が確認された。これは実プラントを想定した長期間の試験で固結防止の限界を明確にできた例である。

13. 一見無駄に見える単発型高濃度空気輸送

課題は、摩耗・破砕しやすい MOX 燃料造粒体(模擬粉としてタングステンカーバイド造粒体、粒径 150~1000 μm、かさ密度約 4000 kg/m³)を、破砕を最小限に抑えて空気輸送することであった。プラグ式空気輸送は低速輸送に適しているが、高密度であるために一般的な運転条件では輸送圧・速度が上がり、粒子が破砕しやすかった。とくに、輸送管内での圧力損失により粉体速度が次第に上昇し、それが破砕に大きく影響した。そこで、輸送能力を極度に抑え、管中にプラグが 1~2 個存在するように送り出す制御方式を採用した。輸送圧力を低い一定値に保ち、プラグ速度の均一化を図れた。この結果、管中位置によらず粒子への負荷を均等にでき、微粉の発生を大幅に抑制できた。

この手法はエネルギー効率を重視しない特殊案件で実現したもので、一見非効率に見える操作方法が有効な対策となった事例である。

14. おわりに

研究者には限界まで追求する意識が、技術者には目標を必ず達成する姿勢が、求められる。とくに粉体プラントのように技術が多様で確立していない対象を扱う設計では、基礎実験から実用条件を導き出し、大小の個々の課題に対して地道に解決策を生み出して形にしていくなさがある。ここに挙げたのは筆者の経験の一部であり、限られた時間のなかでアイデアを出してこういった仕事を完成に導いていくには、日頃から専門力と発想力の鍛錬が不可欠であると考えらる。



【小波 盛佳】(こなみ・もりよし)

・フルード工業株式会社研究開発室長、技術士
(機械部門)

日本創造学会研究倫理委員長

・e-mail: mkonami@triton.ocn.ne.jp