

粉体プロセス・粉体エンジニアリング における失敗例と考察

2007年3月15日(木)

粉体ネガテクノロジー講演会



トリプルエーマシン・インク

代表取締役

博士(工学)

石戸 克典



失敗と勘エンジニアリング

- 気体・液体を扱うプラントエンジニアリング
- 粉体プロセス設計・粉体プラントエンジニアリングは『勘エンジニアリング』？
- シミュレーション技術と粉体挙動の解析
- 粉体の難しさに対する学問的な取り組み
- 過去の粉体プラントの失敗と情報共有の難しさ
- 個人・個別企業の知識・経験を万人の知恵に



失敗・トラブル原因

(畑村洋太郎氏「だから失敗は起こる」より引用)

個人に起因する原因

* 無知、不注意、誤判断

* 手順の不遵守

* 調査・検討不足

組織に起因する原因

* 企画不良、価値観不良、組織運営不良

個人・組織どちらにも起因しない原因

* 制約条件の変化

誰の責任でもない予測できない未知なる原因



防げる失敗と防げない失敗

● 防げる失敗・トラブル

設計・シミュレーションを事前に行い、予想すべき問題を想定できるもの(例えば、定常状態における付着・閉塞等)

● 防げない可能性がある失敗・トラブル

未知の粉体

マニュアルにない非定常作業

非定常状態の単位操作(例えば、ラットホールが壊れたときのサイロ内粉体の動き)

スケールアップ(安全係数)



本日の内容

<粉粒体プロセスの失敗・トラブル例とそれからの教訓>

1. 粉体プロセス失敗・トラブル例

- 1.1 スターチプロセス（流動性）
- 1.2 セラミックスプロセス（付着性・凝集性）
- 1.3 軽質炭カルの機械内付着
- 1.4 金属粉の粉塵爆発
- 1.5 シリカと静電気
- 1.6 トナーの融着
- 1.7 粉体難排出（サイクロン下）
- 1.8 粉体供給不良（スクリーフィーダー）
- 1.9 サイロのラットホールと底部の破損
- 1.10 異物混入防止対策（金属探知機の誤作動）
- 1.11 異物混入防止対策（機械の磨耗）
- 1.12 異物混入防止対策（篩網破れ）
- 1.13 異物混入防止対策（食品粉体）

2. 本日の結論（失敗から何を学ぶか）



1.1 スターチプロセス(流動性)

- **粉体**: スターチ(馬澱、コーンスターチ、タピオカでんぷんなど)
- **プロセス**: 供給、貯槽、搬送、分級、包装
- **トラブル**: 流動性が高く、供給機でフラッシング発生。スクリーコンベア等の軸受けから粉漏れ。バグフィルターでの微粉通過。
- **原因**: 知識不足 コミュニケーション不足 組織的な知識の共有化の遅れ



1.2 セラミックスプロセス (付着性・凝集性)

- **粉体**: セラミックス微粉 (10ミクロン以下)
- **プロセス**: 供給、搬送、排出、粉碎、分級、混合、包装
- **トラブル**: フラッシング、機械内閉塞 (朝一番)、ホッパー部に付着増加し閉塞。
- **原因**: 事前のパウダーテストで予想しきれない挙動を示した。朝一番の状態と定常運転状態の差が大きすぎた。



1.3 軽質炭カルルの機械内付着

- **粉体**: 軽質炭酸カルシウム
- **プロセス**: 供給、貯槽、搬送、分級、包装
- **トラブル**: 付着性が強く、分級機内で付着発生。ロング運転ができない。
- **原因**: パウダーテストでの粉体特性と実際の粉体 (化学合成・乾燥直後) とで特性の差が大 1-2時間の試験で判断 (連続製造時の付着問題に対して準備不足)



1.4 金属粉・小麦粉の粉塵爆発

- **粉体**: 金属粉(鉄粉、アルミ粉、チタン粉)、小麦粉
- **プロセス**: 供給、貯槽、搬送、粉碎、集塵
- **トラブル**: 粉塵爆発・火災
- **原因**: 金属粉集塵機のメンテ中に何らかの原因で火花が発生し爆発。小麦粉タンクを水洗いしないで修理溶接し爆発。金属粉工場の集中掃除機のバグフィルターが何らかの原因で火花が発生し火災を発生、集中掃除機のため配管を伝って爆発が拡大した。



1.5 シリカと静電気

- **粉体**: シリカ
- **プロセス**: 供給、分級、搬送、集塵
- **トラブル**: 分級性能不安定
- **原因**: 湿度の変化により静電気の発生レベルが変化し、粉体同士、もしくは機械との間に付着・凝集が発生し、分級性能に影響を与えた。耐摩耗対策としてのウレタンライニングがシリカの静電気発生に強く影響を与えた可能性がある。



1.6 トナーの融着

- **粉体**: トナー (2成分系、磁性粉含まず)
- **プロセス**: 供給、貯槽、圧扁、搬送、粉碎、分級、混合、包装
- **トラブル**: 粉碎機・分級機内融着
- **原因**: 冷風装置故障で、機内温度が樹脂のガラス硬化温度を超えたため 大きな異物が混入し、それが核となって融着が始まったため。



1.7 粉体難排出 (サイクロン下)

- **粉体**: 金属微粉 (ニッケル粉、銀粉、アルミ粉)
- **プロセス**: 供給、貯槽、搬送、粉碎、分級、包装
- **トラブル**: サイクロンから粉が出てこない
- **原因**: 10ミクロン以下の微粉で付着性が強く、サイクロンから落下しにくい。サイクロン表面の仕上げが粗く付着しやすい。取り入れ空気の湿度が高く、凝集させやすい。エアノッカーとバタフライバルブのタイミングがあってない。



1.8 粉体供給不良 (スクリーフィーダー)

- **粉体**: セラミックス粉 (平均径3-10ミクロン)
- **プロセス**: 供給、貯槽、搬送、粉碎、分級、包装
- **トラブル**: スクリューフィーダーから安定して粉を供給できない
- **原因**: スクリューが等ピッチで後ろのみ飲み込んでいた。アジテーターがスクリーに対しておし込みすぎている。スクリーの軸に付着して供給量が急激に落ちた(コイル式にして解決)



1.9 サイロのラットホール と底部の破損

- **粉体**: 小麦粉(20メッシュスルー程度)
- **プロセス**: 貯槽(小麦粉受け入れ用)
- **トラブル**: VD付サイロからの排出時、マスフローにならず、ラットホールができ、まれにサイロ底部を破壊する。
- **原因**: 除湿装置がないため、受け入れ時の温風に含まれる湿度が流動性を悪化。夜の休転の間に粉体層が圧縮されラットホールができた。ラットホールに、VDで振動された粉が一気に入り込み底部を破壊した。



1.10 異物混入防止対策 (金属探知機の誤作動)

- **粉体**: プレミックス、冷凍食品
- **プロセス**: 混合、包装
- **トラブル**: テストピースより大きな金属異物が検知できない
- **原因**: 針状金属で方向性により検知できないことがある。大きな異物の直後に異物が通過したため、検知できず通過してしまった。アルミラミネート入りで検知できなかった。ミックスの成分によってバックグラウンドのレベルが高くなって、検知しにくくなることもあり。冷凍品が解凍して誤作動していた。



1.11 異物混入防止対策 (機械の磨耗)

- **粉体**: セラミックス
- **プロセス**: 粉砕、分級、混合
- **トラブル**: 磨耗性が高く、機械を磨耗させ、製品に異物として混入した。
- **原因**: 粉体(粒度)と機械の接粉部材質が合っていない(粗い粒子にはウレタン、軽く細かいものにはセラミックコーティングが良く使用される) 見た目に磨耗はないものの、PPMオーダーでのコンタミを嫌う仕様
耐磨耗材セラミックタイルの接着不良で脱落



1.12 異物混入防止対策 (篩網破れ)

- 粉体:小麦粉
- プロセス:空気輸送、異物除去
- トラブル:異物除去のためのインラインシフターの網が破れ、それに気づかず生産し、大量の製品回収発生。
- 原因: 本来使用が薦められていない強制式円形篩を使ったため、網に負荷がかかり、またエアバイパスがないため、空気輸送圧を網に常時受けて破れてしまった。
点検の頻度が機械に合わせて設定されていない(旋回式インラインシフターは破れにくく、破れてないことを確認するために1週間に1度点検すればよいが、破れやすい強制篩は、毎日・ロット変更時に点検が必要。



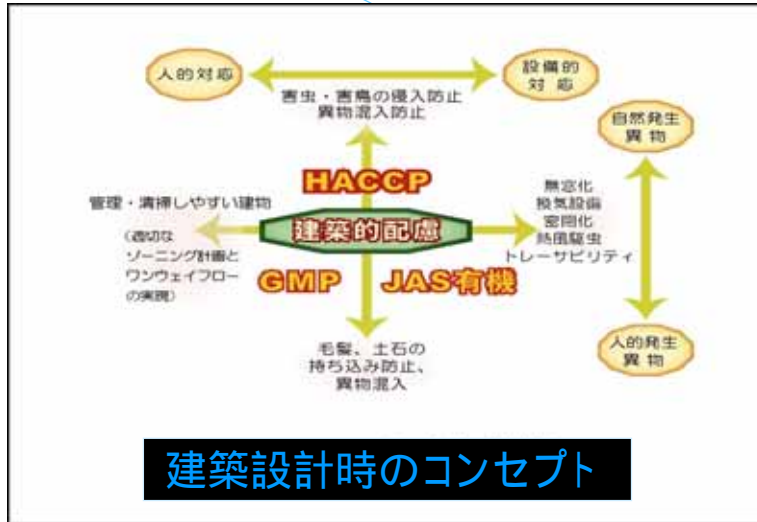
1.13 異物混入防止対策 (食品粉体)

< 個別対応では不十分で総合対策が重要 >

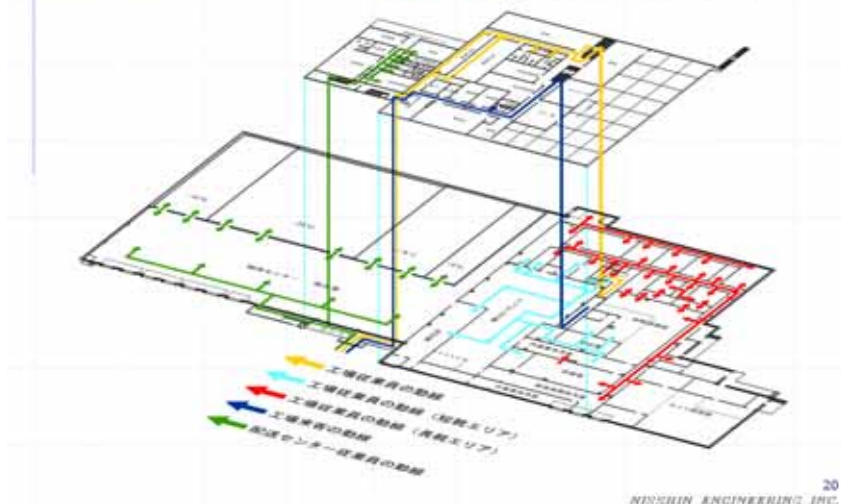
1. 建物全体の防虫・異物対策
2. 建物内雰囲気から工程内への防虫・異物対策
3. 工程内の防虫・異物対策
 - 1) インラインマグネット
 - 2) インラインシフター
 - 3) インパクトマシン
 - 4) 粉粒体からの微粉異物除去(ディダスター)
 - 5) 金属探知機、X線異物検知器、毛髪除去装置
4. 異物混入防止対策機器の選定方法



建物全体の防虫・異物対策



<食品工場> (6-2) 動線計画[人の動き]



20 NISSHIN ENGINEERING INC.

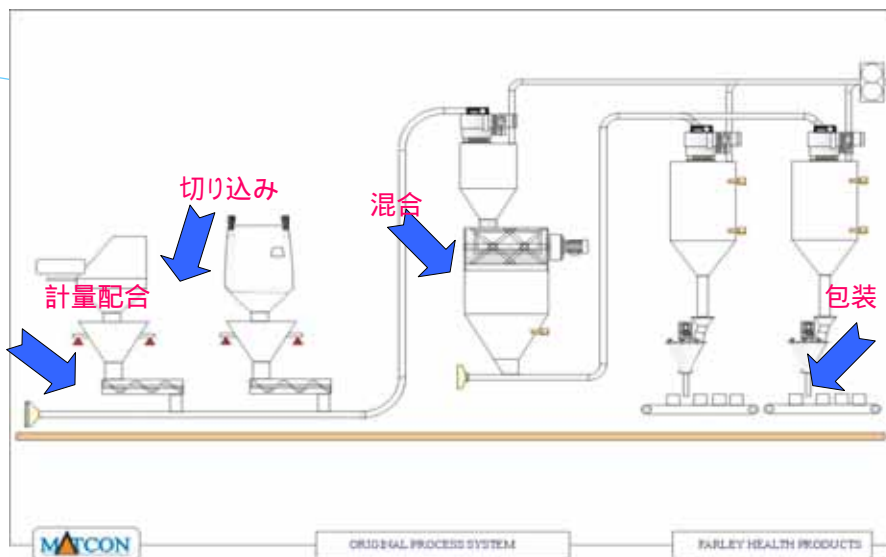


建物内雰囲気から工程内への防虫・異物対策

- 工程の密閉化
- 工場の清掃とHACCP対応
- 防虫対策(薬品燻蒸と熱風駆虫)
- クリーンルームと虫

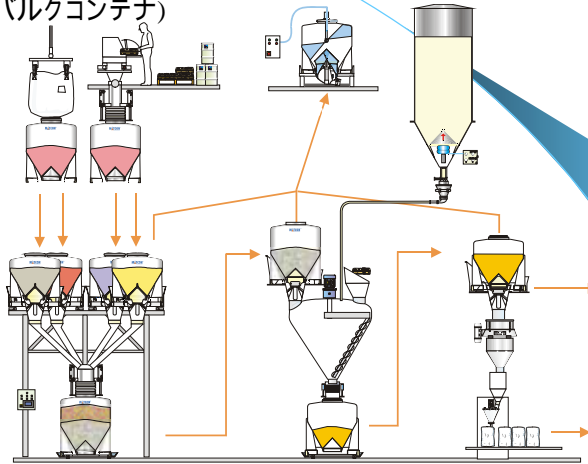


Existing Process



IBC 技術を配合、混合、包装で活用

IBC (Intermediate Bulk Container,
中間バルクコンテナ)



マトコンジャパン
社資料



In Practice

原料切り込み、IBCへの移し替え



清掃

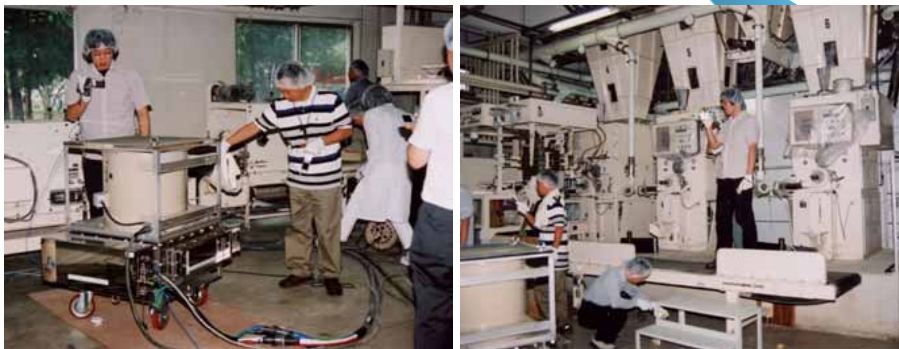
屋外設置の原料用粉サイロ内は最低1年に1回（できれば年3回）は内部清掃をすることが好ましい。

注意：受け入れサイロ後にたとえインラインシフター等の異物除去・検知装置を設置していても、サイロの清掃は頻度を決めて定期的に清掃する方がよい。除去装置として使える位信頼性の高いインラインシフターであっても、シフターで異物を全量除去できるとする考えは異物管理上好ましくない。インラインシフターは本来、異物検知用に設置されるもので、定常的に異物がないことを確認するために使用されるべきである。インラインシフターで異物が大量に発見されれば、ラインを止め、原因を究明し、すぐに対策を取らなければならない。



実際の熱風駆虫の模様

平成16年8月26-28日に実施したAIB主催
熱殺虫セミナーの風景



工程内の防虫・異物対策



異物混入の要因

製造工程のどこで、いかなる異物が入る可能性があるのかを正確に知る必要がある。そのために、以下の5つの要因全てに現場調査をし、現状の把握をすることが大事である。

生物的要因

微生物的要因

人間的要因

物理的（設備的）な要因

化学的（受入前の汚染も含む）な要因



異物検出・除去装置設置のポイント

- (1) 異物発生装置にならないか？
- (2) 工程を複雑にしていないか？
- (3) 簡単に内部の点検ができるか？
(週に一回、30分以内で)
- (4) 目的を明確に(異物チェックか、異物除去か)



食品粉体を空気輸送するインラインに 異物除去装置を設置する方法が有効

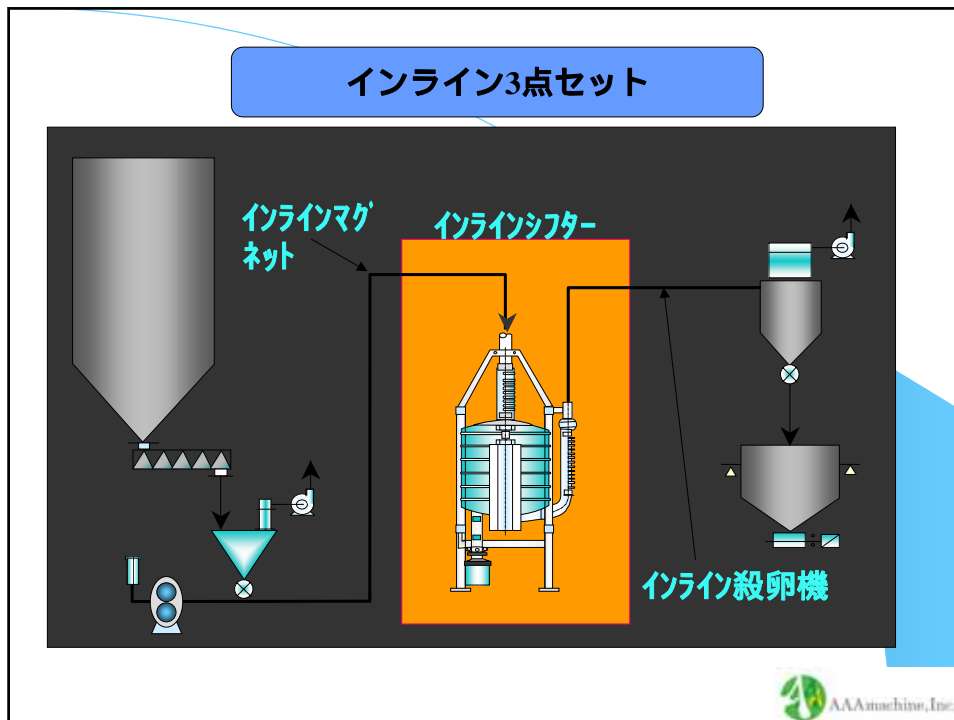
* 設置例

「インライン マグネット」

「インライン シフター」

「インライン インパクトマシン」





BISSC標準の抜粋

4.1.4 - Specific Design Requirements for Sifters

4.1.4.1 Separate conveying air systems shall be provided before and after an atmospheric sifter in the system. (エアパイパス機構が内蔵されていること)

4.1.4.2 Sifters shall permit continuous discharge of tailings through dust-tight connections to an enclosed container. (異物が連続的に排出されること)

4.1.4.3 Sifters shall employ no rubbing action to facilitate product flow. (網をこすような力を加えないこと)

4.1.4.4 Sifter screen frames shall be designed to prevent replacement in an improper position and shall be readily removable for cleaning (網が外し易くあり、かつ、元に戻す時に間違いが起こりにくい構造になっていること)

4.1.4.5 Sifter screens shall be minimum mesh to allow passage of product. (網の目開きは製品の通過しうる最少であること)

各種インラインシフター



ラウンドシブの概念図



Pneumatic In-Line Screens の写真
(米国GUMP社製)



SINKAシフターの写真
(徳西村機械製作所製)



Ultra-High Capacity In-Line Pneumatic Screener の写真
(米国Kason社製)



Pneumatic In-Line Sifterの写真
(米国SWECCO社製)



各社インライン・シフターの比較

(公表されているホームページ・カタログに基づく)

製品名	メーカー	エアバイパス機構 (BISSC仕様)	異物連続排出 (BISSC仕様)	網詰りを機械的にかき取らない (BISSC仕様)	網の枚数 (エアバイパスを除く)	網の形状、大きさ	振動式/振動式/機械式	能力 (t/h、強力小麦粉、30メッシュ)	モーター電容量 (Kw)
トゥルーバランス・インライン・シフター・ミニ	Great Western Manufacturing (米国) / 日清エンジニアリング㈱	有り	有り	BISSC仕様準拠	2~4	600mm 直径	振動式 (ウレタンボール/キューブ)	3~6	0.75
ジャイロドームインラインシフター	錦徳寿工作所/ニッポンエンジニアリング㈱	有り	なし	BISSC仕様準拠	1	1000mm 直径	振動式 (ウレタンボール)	~6	1.5
SINKAシフター	徳西村機械製作所	有り	有り	BISSC仕様準拠	1~2	500~1200mm 直径	振動式	2~9	0.75~3.7
Pneumatic In-Line Screens	GUMP (米国) / 徳西村機械製作所	有り	有り	BISSC仕様準拠	2~3	800~1350mm 直径	振動式	~30	0.5~3.7
Ultra-High Capacity In-Line Pneumatic	Kason (米国)	有り	なし	BISSC仕様準拠	1	1219~1525mm 直径	振動式 (ウレタンボール)	~27	1.5~7.5
ラウンドシブ型 (Centrifugal Screener)	AZO (ドイツ)、Reimelt (ドイツ)、Buhler (スイス)、Kason (米国)、ツカサ工業㈱	なし	運転中排出停止、運転終了後取出し	機械式目詰り防止 (攪拌・かきとり羽根)	1	円筒形	機械式	3~13	2.2~7.5



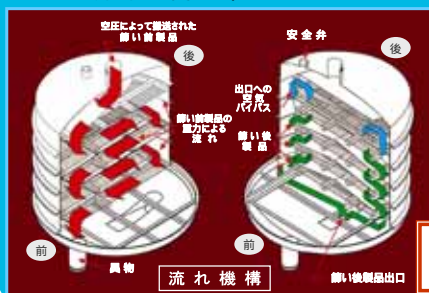
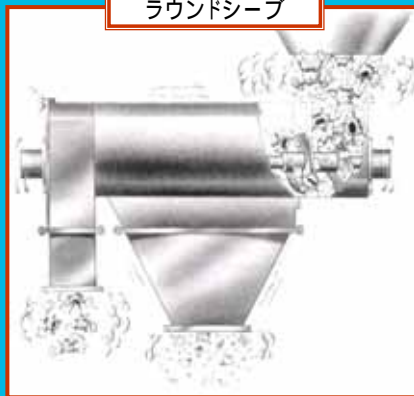


インライン・シフター選定時のポイント



異物・虫の破損による
製品への混入を防ぐ対策が必要。
2次異物を発生させてはならない。
オーバーに製品が混ざらない。
---> 緩やかな旋回運動が最適。
アジテーターやビーターなどで、
網に直接力をかけると破れる
可能性が高まる。

ラウンドシープ



グレートウェスタン社の
インライン・シフター

インラインシフター の具体例



米国グレートウェスタン社製
インライン・トゥルーバランス・シフター・ミニと611シリーズ



ラウンドシープ(強制篩)と旋回式シフターの比較

比較項目	ラウンドシープ	旋回式篩	備考
BISSC認証	×	全て	
エアバイパス機構	なし	あり	エアバイパスがないと網に常時空気圧がかかり網が破れやすい
異物が連続的に排出される	なっていない (バルブは運転中開か絞)	なっている (バルブは運転中開)	異物が網の上に長期間とどまると、異物が壊れ網を通過し易くなる
網をこすような力を加えない	網の目詰まり防止目的でインペラ等がある	網の上に何も無い(下のウレタンボールはタッピングボール)	網をこすようなインペラ等があると網が破れやすい
網が外れ易くなっており、かつ、元に戻す時に間違いが起こりにくくなっている	網は1枚で、分解組み立てし易く、間違いは起こりにくい	網はエアバイパスを含めて3 - 5枚あるが、分解組み立ては30分で終わる。ピンがあり、組み立てミスが起こりにくい	
網の目は製品の通過しうる最小である	30メッシュ(小麦粉)	30メッシュ(小麦粉)	AIBの推奨する成虫の取れる30メッシュ(600ミクロン)が一般的
オーバーに流さる製品率	運転中バルブを開いているか絞っているため評価不能	15ppm以下	
価格	構造が簡単で安価	網の段数が多い網には安価	最近値が値まってきた
必要スペース	省設置スペース	958 mm * 1556 mm	壁はなし
能力	3 - 13t/h(強力粉)	2 - 8t/h(強力粉)、 8-35t/hは、611,621シリーズ	
網枚数	1	2-5(+エアバイパス1枚)	
モーター容量	2.2-7.5KW	0.75KW	
網の交換のための必要人数	1人	1人(網の直径600mm)	
篩方式	固定篩(機械かきとり式)	旋動式	小麦粉では、旋動式は、振動式よりも能力が出やすい
パッキン	ネオプレン	ネオプレン(一体成型、スリップオン式)	シリコン不使用
網破れ検知機構	網が破れ易いため、設置を要求されるケースがあるが、網破れを完全に検知できない	不要	海外のメーカーで網破れを検知できず訴訟になった例もあり
適する使用目的	湿気物を解砕しながら篩う	壊れ易い虫などの異物除去	

機械には設計思想あり！！



< その他の異物除去装置例 2 >

* 「色彩選別機」

センサーの種類(レーザー、LED、CCDカメラ等)により数多くの機種がある。しかしセンサーの信号をアンプで増幅しコンパレーターで比較判定し、パワー回路で電磁弁(空気銃タイプ、フラップタイプ)を駆動させ異物をはじく。これらの操作部分は、電子機器の発展でパソコン、LED、タッチパネルなどを用いる。



< その他の異物除去装置例 3 >

* 「粉粒体からの微粉異物除去（ディダスター）」

米国製ペレトロンディダスター（榎野産業扱い）

ペレットなどに含まれる粉碎粉・粉状異物などを除く特殊な分級機がある。ペレットとダストの間に発生する静電気を除去してダストを取り除くもの

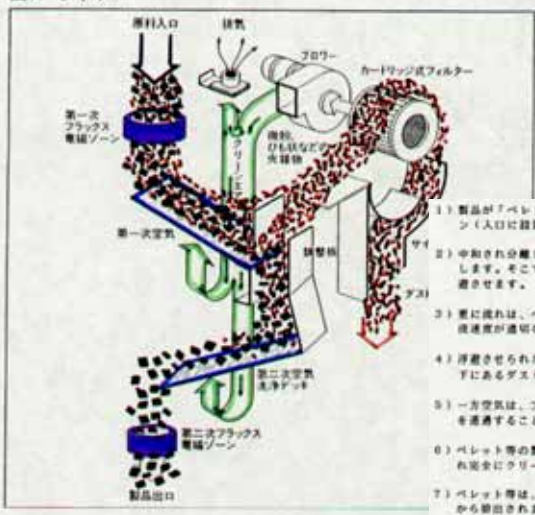
エディクラシファイヤー（日清エンジニアリング製）

回転ローター部を持たない半自由渦を利用した分級機で微粉と共に小麦粉のふすま成分等穀物の皮などを除く（粗粉側製品）



米国製ペレトロンディダスター（榎野産業扱い）

図1. しくみ



- 1) 製品が「ペレトロンディダスター」に投入されると、1次フラックス電磁ゾーン（入口に設置）が異物とペレット間の静電結合を中和します。
- 2) 中和され分離したペレットとそれ以外の異物物は、1次空気洗浄デッキに落下します。そこで過圧空気により洗浄され、製品の底側の上面に軽い異物物を浮遊させます。
- 3) 更に底側は、ベンチュリー室へと進みます。このベンチュリー室では、上昇気流速度が適切なレベルまで制御されますので、大きな異物物を除去します。
- 4) 浮遊させられた異物、葉、穂等は、サイクロン式セパレーターへと導かれその下にダストボックスに集められます。
- 5) 一方空気は、ブロワー吸気口に挿入付けられているカートリッジ式フィルターを通過することにより浄化され、空気洗浄デッキへと運ばれます。
- 6) ペレット等の製品流は、2次空気洗浄デッキへと進み、ここで最終洗浄が働き完全にクリーンな状態になります。
- 7) ペレット等は、2次フラックス電磁ゾーンにより最終的な中和を働きられ出口から排出されます。



ペレトロンディダスターの適用例

- (1) プラスティックペレット中の微粉、ストリーマー、フロス、スネークスキン等の除去。(静電付着しているため、一般にとりにくい)
- (2) 食品原料や製品中に含まれる人毛、糸屑、紙切れ等の除去。
- (3) 養魚用ペレット飼料中の粉取り。(粉分は給餌の際、海面上に広がったり、風に乗って飛散したりして海洋汚染の原因となる。)
- (4) 解袋作業中に混入した糸屑、紙切れ等の除去。



< その他の異物除去装置例 4 >

* 乾燥食品異物除去装置

「粉粒体からの異物除去が可能」

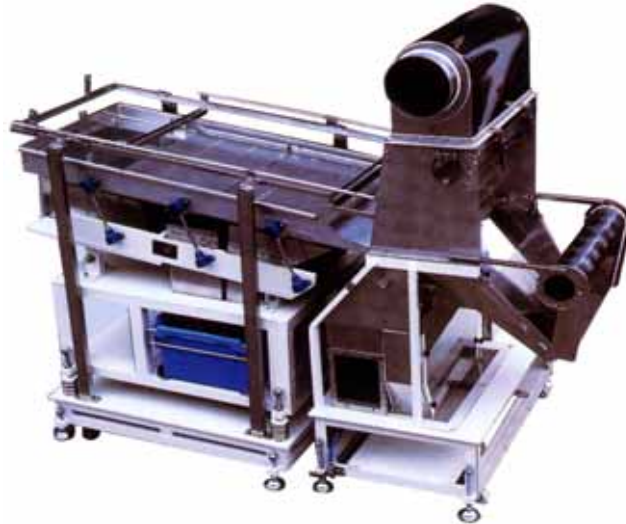
日立造船向島マリン製 KVSJシリーズ
(日立造船グループ(株)エムテック扱い)

- 粉体製品の異物除去(特に髪の毛の除去)に最近使われ始めた機械で、風の力と髪の毛の動きをうまく利用している。
- 振動篩網の一種であるが、粉粒体の通過する穴は斜めに筒状に板に加工しており、この形状に特徴を持つ。



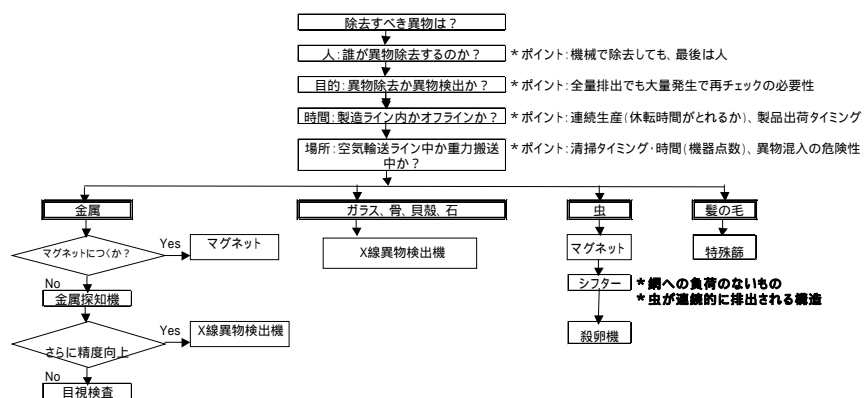
乾燥食品異物除去装置の例

(KVSJ型、エムテック製)



AAA machine, Inc.

粉体異物除去機選定時の考え方



AAA machine, Inc.

結論（失敗から何を学ぶか？）

1．個人の経験不足は情報の共有化・マニュアル化で、未知の粉体には『想定トラブル対応マニュアル』で、プロセス環境（温度、湿度、自動/手動）の変動は設計時の打ち合わせを入念に行うことでトラブルを回避もしくは少なくできることが多い。

2．回避できないトラブルへの対処法

* 未知の粉体の予想を超えた挙動による問題

発生したときの対処法を仕様書に明記する

3．失敗を個人の経験・知識に終わらせず、グループ・企業・業界団体・世界の共有粉体技術・知恵にすることで個別企業の利益の向上に寄与すると考える。



粉粒体プロセスの 清掃・洗浄の実例

1．サイロ清掃の実例

2．貯槽・排出トラブル対策実例と
IBCコンテナの洗浄の実例



サイロ清掃実例

- 小麦粉等のストレージピンの定期清掃

- * 小麦粉原料受入サイロ(主に)

- * サイロからミキサーまでに、インラインシフター設置されていても、サイロ清掃は必要。

- サイロ清掃のしやすい構造

- * トップ部分だけでも降りられる構造

- * コーナー部分、水平部分を少なく

……>しにくいサイロ清掃は外注業者へ



サイロ清掃(その他)

1. 高所危険作業のため

内部作業者はヘルメット、命綱を装着。

酸素欠乏危険作業主任者講習、及び労働安全衛生法の講習を修了した責任者を1名入れる。

上部と下部に分けて監視員を置く



サイロ清掃(その他)

2. 異物混入防止のため

ストレージビン内部底を養生する
縄梯子、命綱等のロープ材質はくずが発生し難い、クレモナロープを使用する。

払い落とし粉を回収する

ロータリーディスチャージャー、或いはバイプロディスチャージャーを清掃する

最終、製品の粉25kg * 2~3袋を投入し、ストレージビン下部を粉洗浄する。

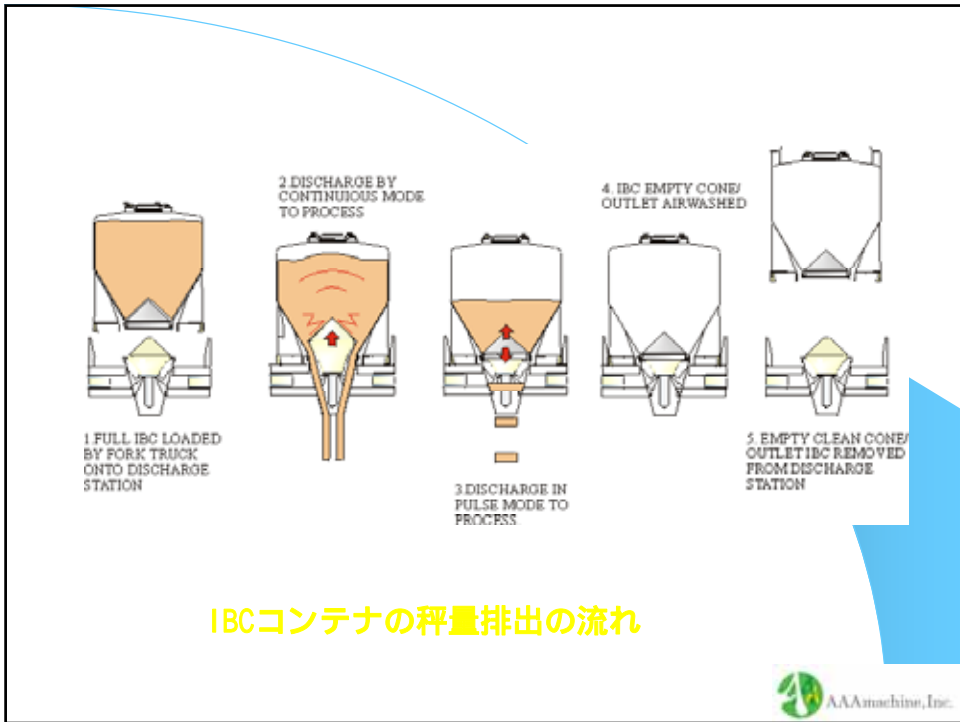


AAA Machine, Inc.

貯槽・排出トラブル対策実例

- IBCコンテナ底部にあるコーンバルブを上下させることによりコンテナ内の粉流体を自由に排出、停止させることができる。コーンバルブの内部ハイブレーション機能により、コンテナ内の粉粒体を直接振動させることが可能。ラットホール、ブリッジ、偏析などの粉流体排出時に生じる問題を防ぐ。
- 粉粒体輸送コンテナとしても利用可(食品、医薬、化成品など)。国内・国際輸送対応。
- コンテナブレンダー(コンテナ自体を混合容器として回転させる)は粉粒体の出し入れや混合後の容器洗浄をする必要がない。作業時間の短縮とコンタミ(異物混入)防止が可能。

AAA Machine, Inc.



IBCコンテナの特徴

- 可搬式コンテナの排出機構に、自動排出バルブの機構をプラスすることによって、スムーズな粉粒体の排出が可能。
- 輸送、混合、計量排出が可能。
- 貯蔵 / 充填 / 混合 / 洗浄 / 搬送の各システムを組み合わせ、粉塵のない状態で一連の工程の自動化が可能。
- 24時間自動運転対応可能。
- コンテナからの全量排出ができる。
- フレコンに切出し秤量機能付加可能。
- 経済的なバッチ搬送システム



マトコンIBCシステム

マトコン

ステンレス製

- ✓ オールSUSタイプ
- ✓ 接粉部のみSUSタイプ
- ✓ 1100 ベース、ドラム

ポリエチレン製

- ✓ FDA認可
- ✓ 軽量・安価
- ✓ ブレンダー対応可能
- ✓ オールPEまたは鋼製フレーム



マトコンIBCシステム

排出ステーション

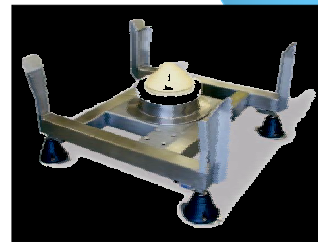
ベーシックタイプ

- ✓流動性の良い粉粒体向け
- ✓内部バイブレーターなし
- ✓低価格



ジェネラルタイプ

- ✓難排出性の粉体に対応
- ✓内部バイブレーター付
- ✓医薬品ほか各種粉体に対応



ご質問は？

Powder & Bulk Solids Southeast 2007(米国パウダーショー)

日程 : April 24 (Tue) - 26 (Thu), 2007

開催場所: Georgia World Congress Center in Atlanta, GA (米国)

AAAmachine のブース: # 1667

無料入場券 : <http://www.aaamachine.com/sub3.htm>

石戸 克典

AAAmachine, Inc. (トリプルエーマシン・インク)

2025 S. Arlington Heights Rd. Suite 100, Arlington Heights, IL 60005 USA

Tel: +1-847-886-4535, Fax: +1-847-718-9487

E - mail: ishitok@aaamachine.com

