

**次世代の粉体ハンドリング - パイプレスシステムへの挑戦**

博士(工学) 石 戸 克 典

日清エンジニアリング株式会社 海外事業部

**1. はじめに**

粉体プロセスは機器配置の自由度、工事の容易さから、一般に空気輸送ラインを含んでいることが多い。工場の高低差を利用した重力落下と空気輸送による上階への搬送を組み合わせることにより、少ない建築面積で効率的にプラントの配置が可能になる。また、トナーの粉碎分級ラインを考えた場合、空気輸送システムが製造工程上不可欠なラインとなる場合もあり、現状、多くの空気輸送システムが粉体プロセスに採用されている。(Fig.1 にトナーの粉碎分級ラインの例を示す。)空気輸送システムは粉粒体を大量生産するラインとして有効であり、長年の実績を持つ技術として定着している。

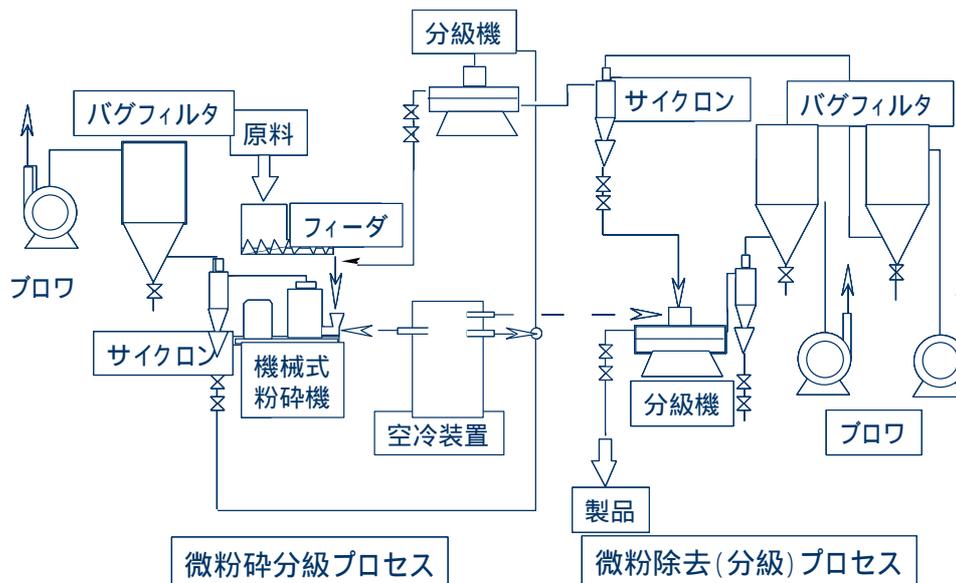


Fig.1 トナーの粉碎分級プロセスフロー例

一方で最近、コンテナを用いた粉粒体のバルクハンドリング技術が急速に進歩し、貯蔵、搬送計量、配合、混合、計量排出、充填、洗浄の一連の単位操作をすべてコンテナハンドリングによって処理することができるようになった。そして、結果としてフレキシブルでクリーンな粉体プロセスが実現でき、粉体・粒体を扱う色々な分野で実際に採用され始めている。

この論文では、これからの技術として期待される、粉粒体製造プロセスとしてのコンテナハンドリングシステムについて論ずる。

## 2. 粉粒体ハンドリング技術の現状

一般に粉粒体プロセスといっても各種あるが、ここで議論するのは、以下の基本要件事項を持つ、配合・混合・包装連続製造プロセスを一例に挙げて考察する。このようなプロセスでは、原料、中間製品を空気輸送によりハンドリングすることが多い。(Fig.2 にフローを示す。)

多品種、多原料の生産に対応

コンタミ、クロスコンタミの防止

作業員への粉塵飛散防止(コンテインメント - 封じ込め)

食品、医薬用に製造プロセスを検討する場合、上記の条件をクリアするために多くに企業で工夫がなされているが、実際には次のような問題が顕在化してきている。

設備に粉塵が飛散、堆積

切り替え洗浄に時間がかかるため、製造品目変更に対するフレキシビリティがない。

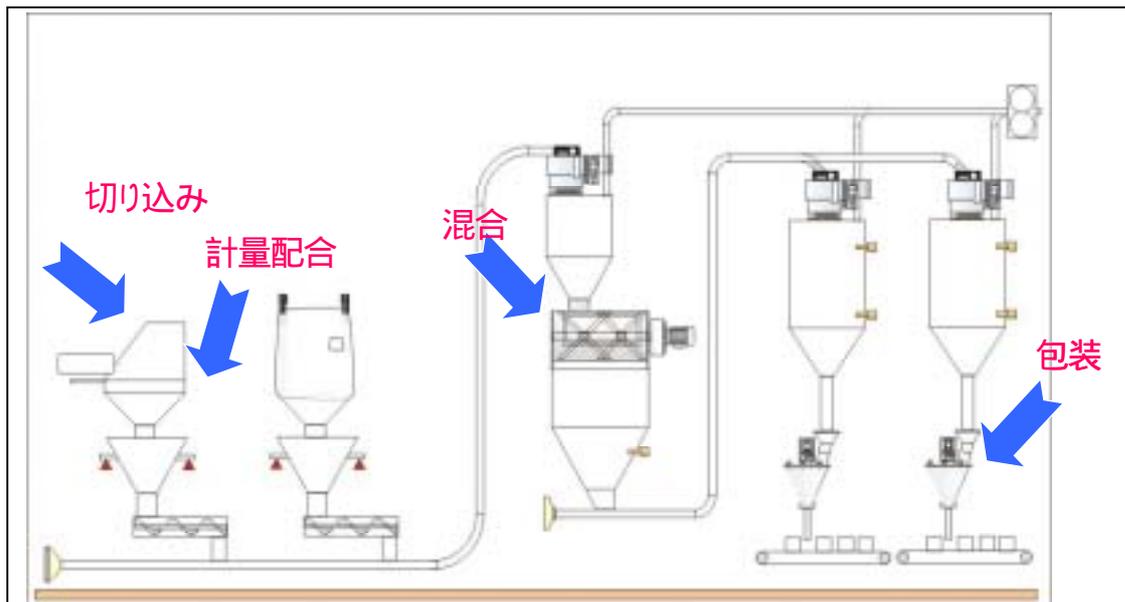


Fig.2 配合・混合・包装連続製造プロセスの例

## 3. 食品・ファインケミカルプラントにおけるハンドリングの実際

食品・ファインケミカルプラントを例に挙げ、以下に、パイプレスシステムを使った新しいハンドリング技術を紹介する。パイプレスシステムの代表的技術としてはコンテナシステムがあり、今回はこのコンテナシステムにスポットを当てて議論する。また、製造仕掛品として中間容器として使うという意

味から、このコンテナシステムを IBC ( Intermediate Bulk Container : 工程間搬送用粉粒体コンテナ ) システムと呼ぶことも多い。

一般的な粉粒体のコンテナシステムでは、下部にコーンバルブがついたステンレス製または樹脂製容器を使い、計量投入、混合、排出、洗浄等の各ステーションに分けられ、コンテナはその間を自動搬送車、手動キャッチパレットトラック、フォークリフト等によって移動する。また、各ステーション間の移動においては、必要に応じて自動倉庫への収納が行われ、各ステーションの稼働効率が最適化されるよう調整される。

計量投入ステーションでは、主原料及び使用頻度の高い原料に関しては自動計量切り込みが行われ、少量原料及び使用頻度の低い原料は人手による切り込みを行う。ここでの技術的ポイントは、計量時間、計量精度、発塵防止である。発塵防止に関しては、密閉系を形成するとともにサクシオンをとり接続方法に工夫をこらしている。

混合に関しては、搬送用コンテナ自身を回転させるコンテナブレンダを用いて、容器からの出し入れの手間、投入・排出時のロスやミスをなくすことが可能になっている。

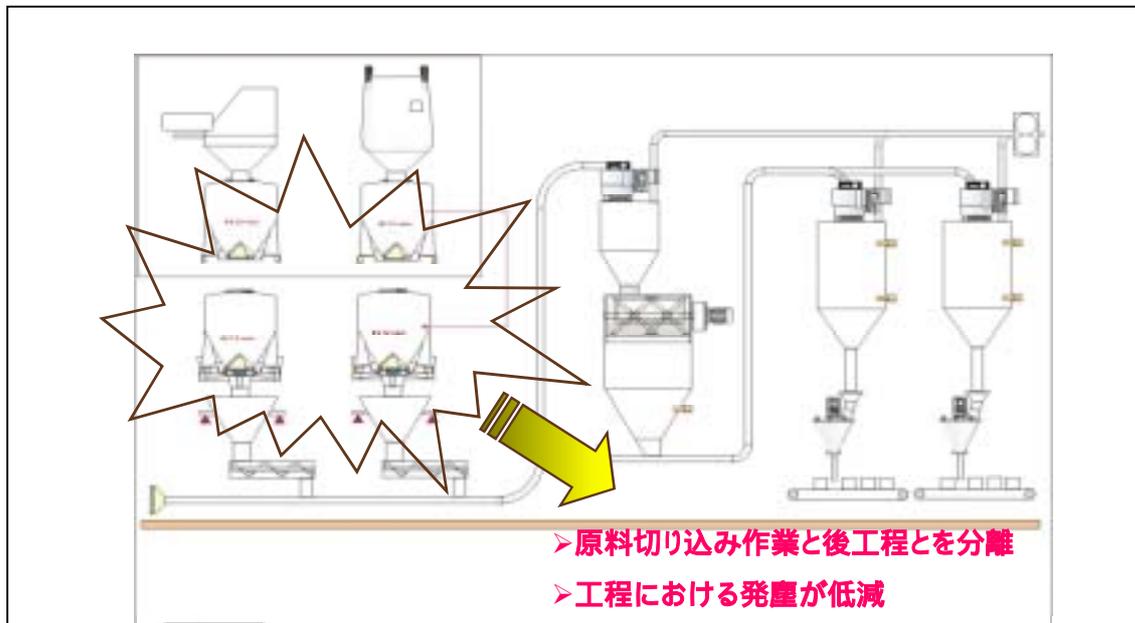
排出ステーションでは、その後工程の種類により必要な仕様が異なる。包装机への払い出しを行うのであれば、全量排出が確実に可能であることが重要である。一方、例えばコンテナシステムを中間混合原料 ( 複数の少量原料数バッチ分をまとめて混合しておき、本製造ラインに必要時に必要量を分割して切り込む予備混合済み原料 ) 製造ラインとして利用する場合を考えると、次工程は本製造ラインであり、本ラインの混合機の投入口にコンテナを輸送し、直接分割計量切り出しを行う場合も考えられる。また、仕掛混合原料として大袋に取り分けて本ラインに投入する場合も考えられる。これらの場合には、コンテナからの計量排出精度が重要となる。

洗浄ステーションでは、エア及び水あるいは温水による自動洗浄が行われる。高い洗浄度が要求される場合には温水洗浄が適しているが、この場合、一般にはコンテナの投入及び排出口のパッキンなどを取り外して手洗いの必要がある。医薬用等で完全なコンテインメント ( 封じ込め ) が必要な場合、完全自動洗浄システムもメーカーから発表されている。しかし、コンテナ内に充填されていた粉粒体に応じた各種洗浄処方に対応できるようにしているために高価格となっており、労働衛生や人為ミス防止対策として取り上げる時のネックとなっている。一方エア洗浄では、洗浄度は若干落ちるものの、自動化が容易であり乾燥工程が無いので所要時間を短縮できる。しかし市販のエア洗浄機では十分な洗浄が期

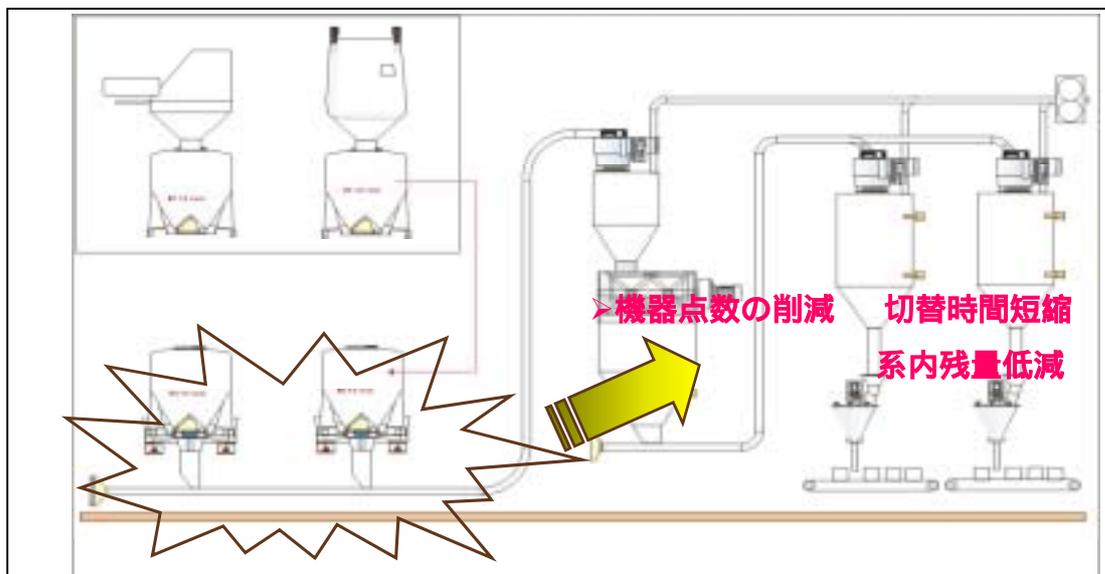
待できるシステムはなく、コンテナシステムとセットで設計されたものを利用すべきである。

### 3.1 食品・医薬関連プラントのハンドリングの実際

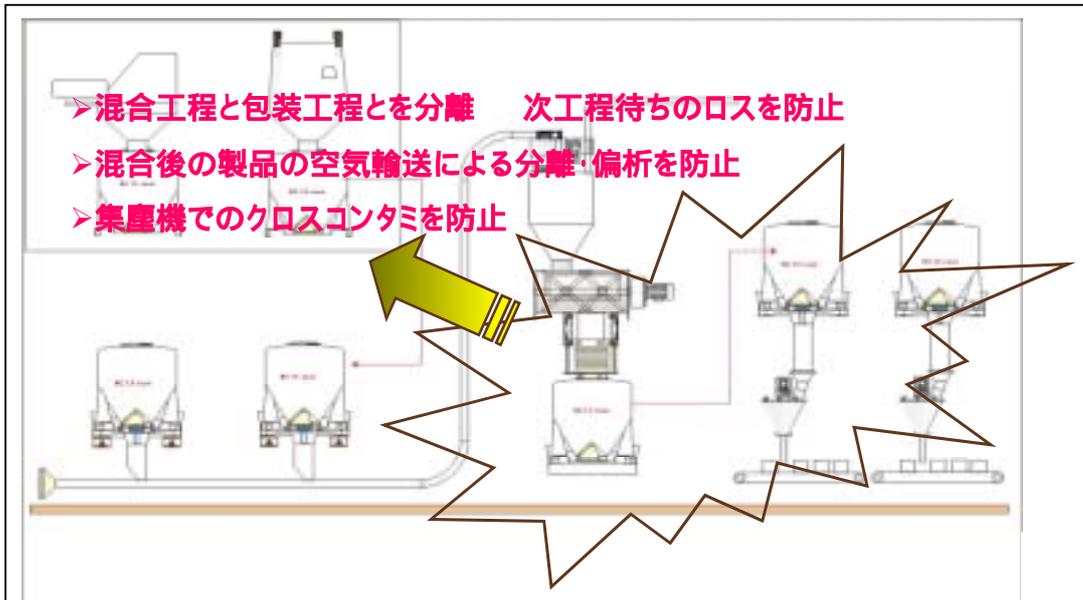
以下に、食品粉体プロセスを空気輸送ラインからコンテナハンドリングシステムに段階的にアップグレードする場合、マトコン IBC コンテナの例を使って示す。



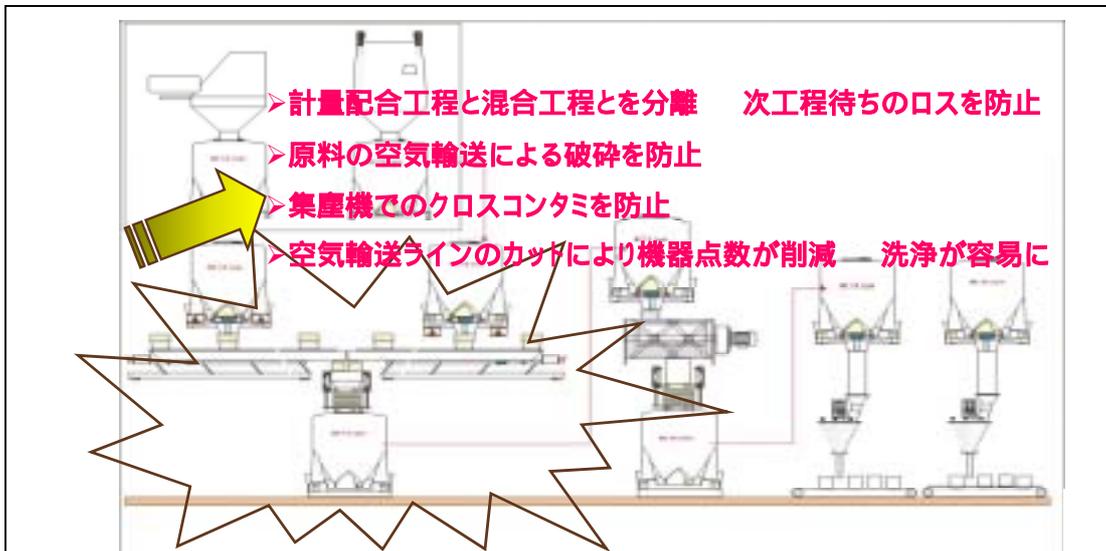
Upgrade 1: 原料をIBCに移し替えて工程へ 原料荷姿の共通化



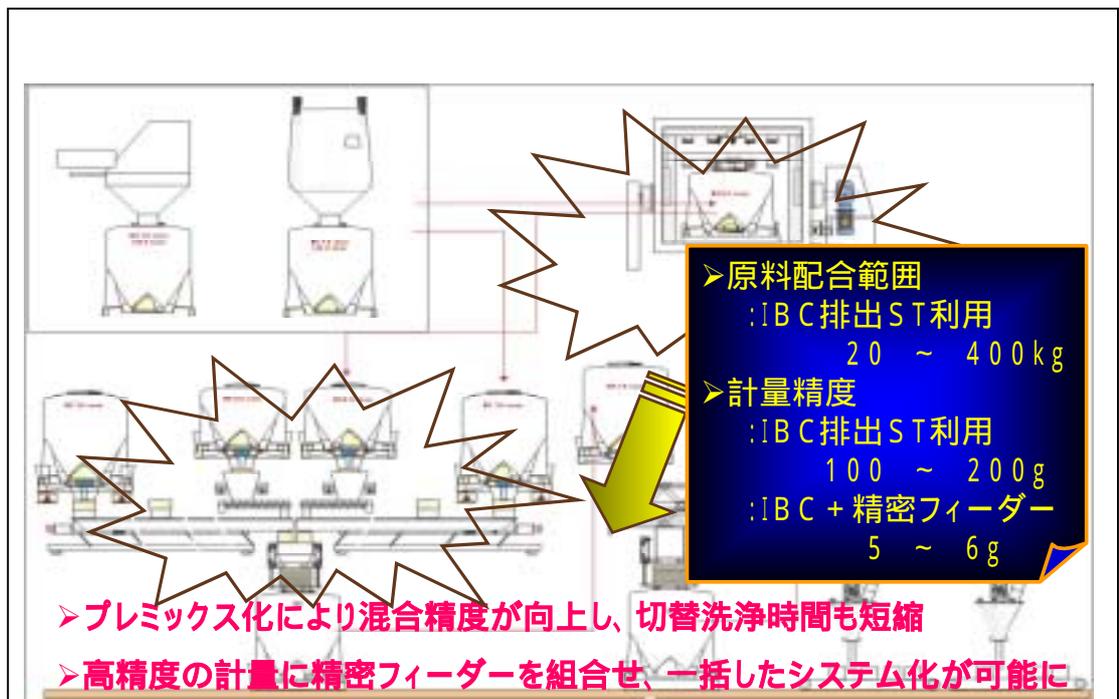
Upgrade 2: 計量配合用スクリューをマトコン排出ステーションに置き換え



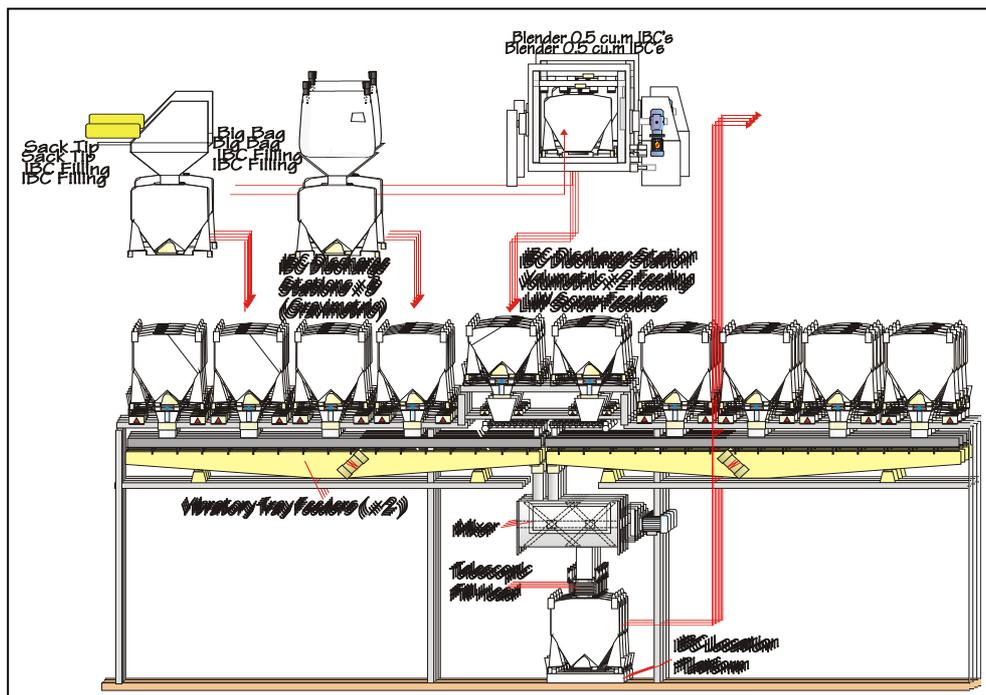
Upgrade 3 : 混合後中間製品をIBCに保管



Upgrade 4 : 主要原料の配合と移送にIBCを利用



Upgrade 5 : 微量原料のプレミックスにIBCとIBCブレンダーを利用



Final : ミキサーに直接全原料をIBCで配合



**写真1 ミキサーに直接全原料をIBCで配合する場合の実際の写真**

このように、段階的にコンテナハンドリングシステムを採用することが可能で、一度に最終段階までの改造・アップグレードをせずに、予算と必要性にあわせて段階的に導入することが可能な方法はきわめて現実的な方法であるといえる。

### **3.2 ファインケミカルプラントのハンドリングの実際**

ファインケミカルの粉粒体や湿体（ウェットケーキ状物質）のハンドリングに、IBC コンテナシステムを利用するケースを紹介する。Fig.3に IBC 容器に手切り込みで原料を数種類投入し、それを容器ごとコンテナブレンダで回転させ混合し、それを包装用排出ステーションまで移動し、包装作業を行うラインを示す。この例でもわかるように、作業者が原料・製品に直接触れる機会をミニマムにすることができ、また、容器そのものを混合機としているため、混合している間に原料投入作業、包装作業が並行してでき、生産性の向上が図れることに大きなメリットがある。

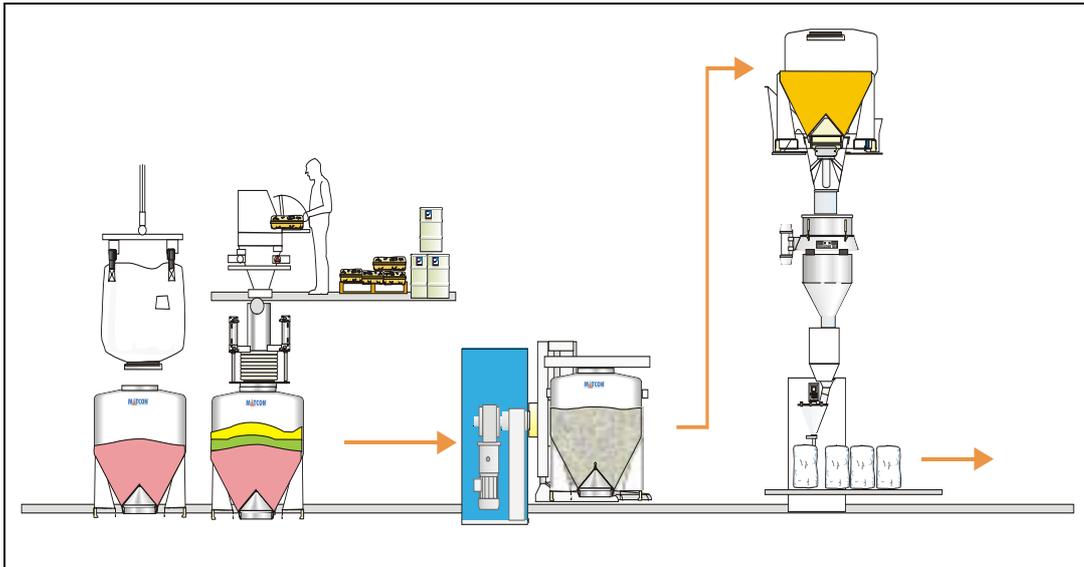


Fig.3 簡単な IBC システム例

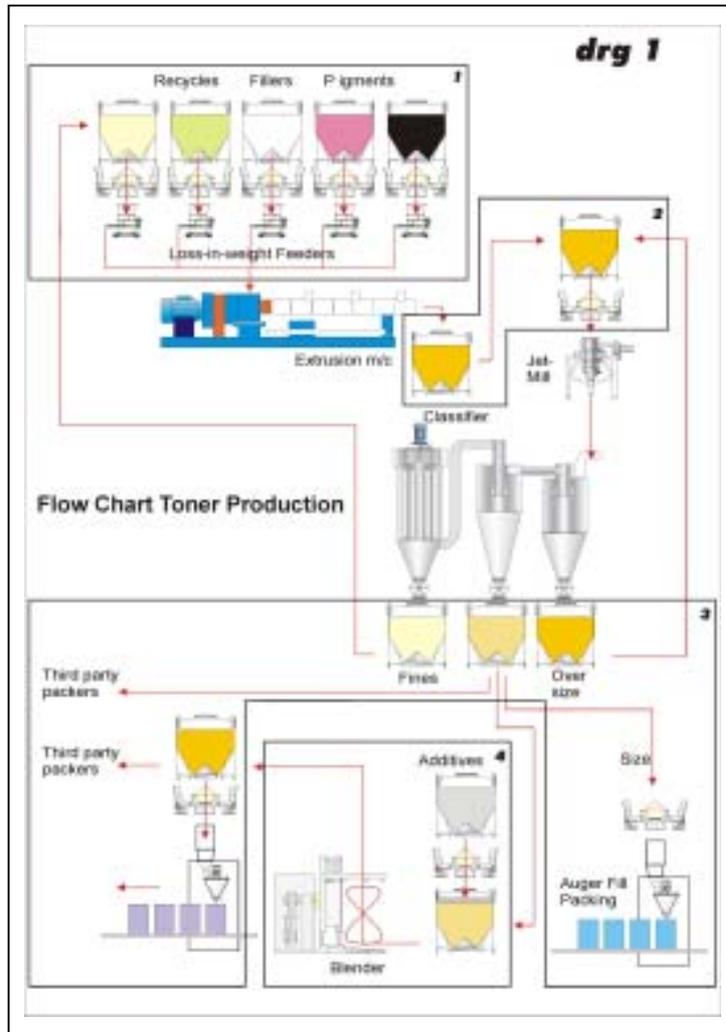


Fig.4 トナーの製造に IBC を利用した例

カラートナーの製造では、各種原料を精度良く計量配合混合し、押し出し機でペレット化し、それを微粉碎・分級した後、シリカ微粉等を添加しさらに混合・包装し製品にしている。粉体塗料もトナーと似た製造工程を採っている。現在では、平均粒径が6ミクロンをきる5.5ミクロントナーも市場に出回っており、“微粉化=ハンドリングが難しい”と言え、不要な空気輸送システムをやめ、高洗浄性・全量排出可能などのメリットを考えて、できるところにIBCバルクコンテナシステムを導入する企業が増えている。

#### 4. コンテナシステムの特徴

以上のようなコンテナシステムの最大の利点は、各ステーションの作業工程が独立並行して行われ、機器の稼働効率を高くできる点にある。次に、コンテナを洗浄するだけで製造切り替えが可能で、コンタミネーションが防止でき、高品質な製品の大量・少量多品種製造に適していると考えられる。同時に、各ステーションが独立して稼働するので自動化が容易であり、また製造計画の変更等にフレキシブルに対応できるシステムでもある。さらに、従来のラインでは建物の高さをフルに使った設計をされているのに対し、コンテナシステムはワンフロワ化でき、建築費用の低減、管理コストの削減が可能と考えられる。最後に、粉体が常にコンテナ内に収められているので発塵箇所が少なく、クリーンな作業環境が維持できる点も注目すべきである。

一方、コンテナシステムの欠点は、従来機に比して初期コストが高いということで倦厭されがちな点にある。例えば、特に自動輸送機のようなコンテナの荷役関係のシステムは従来の空気輸送ラインでは必要なかった部分であり、コストアップの主要因となる。また、自動化のための制御システム・ソフトのコストもかなりのウェイトをしめる。導入にあたっては、自動化による省力化のメリットとのバランスの検討が重要となってくる。手動で移動するなど安価な輸送手段から検討をすることで、イニシャルコストを抑えつつ導入することができるので、段階的導入の検討も必要である。このシステムはコンテナ自体を移動させるものであり、荷役関係及び計量精度の制約からコンテナの大きさに限界があり、1バッチあたりの処理量は一般的には1t/batch程度が上限となるが、かさ比重の小さい粉粒体用に3000リットルクラスの容器を有しているメーカーもある。従って、同一銘柄を連続して大量生産する場合には空気輸送の方が適しているといえる。ただし、空気輸送では閉塞等がよく問題となる付着・凝集しやすい粉粒体、湿体等のハンドリングがコンテナシステムでは問題にならないので、初期コストのみで

判断せず、ランニングコスト・作業性・生産性等を総合的に検討することが重要である。

コンテナシステムには利点、欠点があり、利点を最大に活かせる部分を吟味して選択し、有効に利用していくことが必要である。プレミックス、香辛料、カラートナー、顔料等の大量・少量多品種生産においてはコンテナシステムの有効性は高い。また、中間混合原料製造ラインとしても有効であると考えられる。

【マトコン IBC コンテナシステムの概要】(Fig. 5 に断面図を示す。)

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



Fig.5 マトコン IBC コンテナの断面概念図

## 自動排出バルブの駆動機構

排出時には、アクチュエータ（ダイヤフラム）およびバイブレータを内蔵したコーンヘッドの上下動と振動が、貯槽内の粉粒体に直接作用し、粉粒体をマスフローの状態です安定的に排出することが可能。

### 【マトコン IBC コンテナシステムの特長】

安定した排出特性が得られる

基本的にブリッジブレーカ機能を保有

流動性が比較的に悪い粉体にも適用可能

マスフローが得られる

偏析が殆ど無い

100gオーダーの切出しが可能

医薬品・食品の多品種大量処理に最適

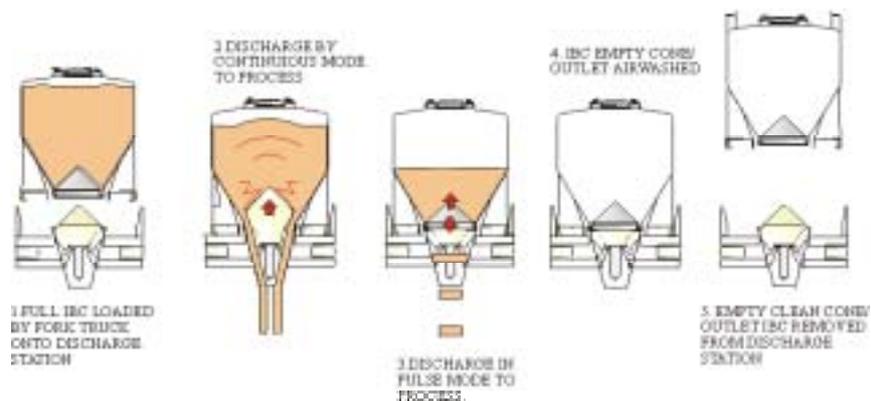


Fig. 6 マトコン IBC コンテナの秤量排出の流れ

### 【マトコン IBC コンテナの仕様】

容量：300 ㍓から 3,000 ㍓までの各種。

材質：SUS304 製角型コンテナ丸ホッパー、内面バフ 300 相当、外面酸洗い（標準）。

他に、簡易フレコンタイプ、導電性ポリエチレン製、ポリエチレン製も対応可能。

自動倉庫対応。

### 【バルクコンテナ密閉充填・排出システム構成】

コンテナ自動充填ステーション

クリーンな環境を守る自動密閉充填が可能

コンテナ充填時の浮遊粉塵を減らせる

コンテナ自動排出ステーション

粉粒体自動排出バルブ

一定量を処方通りに排出(投入)可能

コンテナブレンダー (写真2にマトコン製ブレンダーを示す。)

コンテナシステムにおいて、コンテナからの粉の移し替えを行わないで直接混合できる混合機である。コンテナ中に粉体を70%程度充填した状態で縦方向に回転させる混合機で、内部に粉体を攪拌する機構はなく、遠心力と重力落下のみで粉体を混合する。



**写真2 コンテナブレンダーの写真**

粉粒体混合を効率化、自動化が可能。

可搬式コンテナ自体を着脱して回転させることにより、コンテナ内部の粉粒体を混合させることができる。

粉粒体の移替え作業の必要がなく、混合機の稼働率が向上し、その上、発塵、コンタミ、混合後の偏析もほとんどない。

## 【その他の特長】

上記のハードウェアに生産管理情報システム等のソフトウェアを加え、立体自動倉庫、自動配合装置、自動計量装置等、安価で合理的且つ効率的な粉粒体トータルシステムが構築できる。

洗浄システムの組み込みが可能。(ブース型洗浄乾燥装置、コンテナ簡易洗浄設備)

サイロやホッパーからの排出改良にも適用可。

粉粒体のロット管理が簡単にできる。(多品種多原産地同時管理の切り札に)

### 4.1 コンテナの排出性能

混合を終えた粉体のコンテナからの排出においては、速やかに全量排出ができて、コンテナ内の残留がないことがまず重要である。その上で、コンテナの機種によっては、定量排出が可能で、ある程度の精度で分割計量排出できる機構をもったものが存在する。特に、中間混合原料製造にコンテナシステムを適用する場合などには計量排出機構の有る IBC システムを採用する必要がある。なぜなら、計量排出機構のないコンテナを使用すると、別途計量排出装置を経由して排出する必要があり、その場合には製造切り替えに伴う洗浄作業が必要となり、コンテナのみの洗浄で製造切り替えができるというコンテナシステムの大きな長所を失うことになるからである。

マトコン IBC コンテナは下部にコーンバルブを有し、圧空で上下するゴム製のアクチュエータを使用してパルス的に上下開閉することにより、粉体を定量排出する機構を有している。難排出の粉粒体にはバイブレータを内部/外部に取り付けることも可能で、コーンバルブはコンテナ下部の円錐部に自重及び粉圧によって固定されている。構造が簡易で、洗浄が容易である。また、コーンバルブの揚程レンジを大きく変える必要がある場合は、ストローク可変型(パリストローク)が開発されており、適用すれば性状が大きく異なる粉粒体も同一ラインで処理可能となる。混合はコンテナブレンダにより、コンテナの半自動・完全自動洗浄装置も持っている。イギリスで製造し、日本の子会社が輸入販売を行っている。日本では、新潟鉄工が代理店であったときを含めてすでに10年以上の実績がある。

## 5. これからの粉体ハンドリング技術について

多様な技術開発の結果、食品・化学品・医薬品・金属製品分野等における最近の粉粒体製品には超微粉状、超高純度、生物化学的力価が高く労働安全衛生上危険等々のユニークな特徴が含まれている。こ

これらの粉粒体は、当然ながら、開発者自身のみでなく、世界中で活用されるので、製品の特徴を考慮した取扱いや輸送が不可欠である。このような先端的製品を多国間輸送するというニーズも増加している。このためにコーンバルブを装備した IBC を会社対会社、国対国の間の輸送手段に使われるケースが最近出てきている。

技術の改良・発展により企業活動のグローバル化が進み粉粒体の多国間輸送ニーズが増大しているので DOT 56/UN Chapter 16 (DOT = Department of Transport : 米国内の国土交通省に該当)等で、住民の安全確保や環境確保の為に危険物質輸送時の万一の事故を配慮してコンテナ強度を厳格に要求しており、輸送中の安全性が確保できる粉粒体コンテナを出荷側が採用する必要がある。

一方、欧米における多くの工場では合理化や利便性維持のために IBC コンテナを製造プロセスに活用しており、輸送されてきた粉粒体を製造工程に直接投入することができる。さらに、製品を IBC に充填して出荷すれば、受入れ側工場内での解袋操作が不必要になるので解袋機器も不要であるし、その上、工場として推進中の紙袋等の廃棄物低減策を支援することになる。したがって、国際間の輸送に採用する IBC は社会的ニーズを踏まえながら、出荷側と荷受側の相互のメリットが得られるように、製造プロセスに直接組み入れ可能で、かつ、バルクハンドリングシステムの要素として国際的に利用されている IBC であって適切な価格のものでなければならない。

さらに、輸送する粉粒体の品質を維持する為に、IBC の密閉度が高く、封入した窒素ガス等が使用直前まで陽圧状態を維持し得るものでなければならない。このような IBC コンテナ技術に対応することがこれからのメーカーには求められているといえる。

## 6 . 終わりに

以上、IBC コンテナシステムについて論じてきたが、今までの空気輸送製造ラインとは全く異なる発想で構成されており、未知の部分が多く残されている。今後のテーマとしては、油脂添加等混合の難しい粉粒体のハンドリング、微量定量供給、さらなるコストダウン等 まだまだ取り組むべき技術開発目標が多くあり、今後の利用の増加とともに技術も飛躍的に伸びていくことを期待したい。最後に、IBC バルクコンテナシステム導入後のメリットについて再確認して筆を折りたい。

生産能力を大幅に増大させる。

リードタイムを大幅に短縮させる。

バッチ毎の成分含量均一性を可能な限り高める。

配合・調製業務を自動化する。

作業衛生環境を飛躍的に改善する。

工場内及び場外の搬送用包装形態を標準化する。

#### 【 参考文献 】

- 1 . 牧田 晴義：安全確実な輸送と合理的ハンドリング，化学装置， 5月号， pp.69～76，(2003)
- 2 . 石戸 克典，松本 強二：小麦粉など粉末原料の異物除去システム，ジャパンフードサイエンス，日本食品出版株式会社，11月号，pp.46-52，(2002)
- 3 . 石戸 克典、秋山 聡、田中 善之助：閉回路粉碎分級システムによる粉碎性能向上，粉体工学会秋季研究発表会，A-10，pp.52-53，(2001)