

食品プラントにおける粉体技術

日清エンジニアリング^(株) 有賀 伸哉

1. はじめに

当社は昭和47年（1972年）に当時の日清製粉^(株)から粉粒体ハンドリング技術を基盤とするエンジニアリング会社として分離独立し、今年で40周年を迎える。創立当初より穀物サイロや小麦粉バルク設備の設計、施工を手掛け、現在では製菓、製パンなどの小麦粉の2次加工品をはじめ、飲料・醸造、調味料・食品ミックス等の様々な製造設備の建設に携わり、弁当、惣菜工場建設の実績も多数ある。

近年、食品表示の偽装問題から消費者は「食の安心・安全」についてより高い関心を示すようになり、(独)農林水産消費安全技術センターの調査によると、企業による製品の自主回収件数は2007年を境に700件を超え、前年までの2倍以上に急増してその状態が続いている。

また、東日本大震災後に原子力発電が再稼働されていないいま、企業にとって消費電力の削減はこれまで以上に大きな課題となっている。

ここでは、粉体を取り扱う食品製造設備にて発生するこれらの問題に対して、解決策となるような事例を紹介する。

2. インラインシフター

2-1 異物の分類と混入の割合

食品における異物とは、食品衛生検査指針（理化学編2005）によると「生産、貯蔵、流通の過程での不都合な環境や取り扱いかたに伴って、食品中に侵入または迷入したあらゆる有形外来

物をいう。ただし、高倍率の顕微鏡を用いなければ、その存在が確認できない程度の微細なものは対象としない。」と定義されている。

異物の分類には、混入した経路や健康被害の

第1表 異物の種類

分類	由来	事例
動物性異物	人	毛髪、血、爪、歯
	虫	ダニ、ハエ、ゴキブリ、卵類
	その他	羽、毛、ねずみの糞
植物性異物	植物	種子、木片、わらくず
	微生物	細菌、カビ、酵母
	その他	紙片、糸くず、布
鉱物性異物	金属	金属片、くぎ、針、さび
	樹脂	プラスチック片、塗料片
	鉱物	ガラス片、土砂、セメント片

(出典：最新の異物混入防止技術 食品・薬品の異物混入対策 (増補改訂版))

第2表 異物苦情の発生件数

分類	事例	発生件数	構成比 (%)
虫類	ゴキブリ、ハエ等	277	29.9
寄生虫	アニサキス等	28	3.0
鉱物性異物	ガラス	28	3.0
	石・砂	11	1.2
	金属	91	9.8
	その他	8	0.9
動物性異物	人毛	116	12.5
	獣毛	6	0.6
	爪・歯類	9	1.0
	ネズミの糞	4	0.4
	その他	35	3.8
合成樹脂類		99	10.7
木		12	1.3
紙・繊維		29	3.1
たばこ・絆創膏		10	1.1
その他		164	17.7

出典：食品衛生関係 苦情処理集計表 2009年度

重大性を考慮したもの等、様々な分類の仕方があるが、おおむね第1表のように、“動物性異物”、“植物性異物”、“鉱物性異物”の3つに分類できる。また、第2表は平成21年度に東京都に寄せられた異物の内容を示し、発生する異物苦情の中で最も多いのは、虫 (29.9%) であり、人毛 (12.5%)、合成樹脂類 (10.7%)、金属類 (9.8%) が続き、これらで全体の6割以上を占めている。

2-2 インラインシフターとは

製造ラインに投入する直前に設置するシフター（篩）は製品に混入したオーバーサイズの異物を除去し、製品の品質管理を確かにする装置である。通常の重力式シフターは空気輸送にかかる圧力に耐えられる構造ではないため、粉体の空気輸送ラインと切り離して設置が必要である。一方、インラインシフターは空気輸送ライン（圧送式または吸引式）に直接配置することができ、重力式シフターを設置するときに必要なレシーバータンク、ロータリーバルブ、ホッパー、ブロワなどの装置が不要となる。各設備の比較を第1図に示す。これによるメリットとして、可能な限り最終工程の近くに配置することによりシフターより下流側にある（異物混入源となり得る）装置を最小限に抑えることができる。

2-3 インラインシフター選定のポイント

AIB (American Institute of Baking : 米国製パン研究所) は米国の製パン業を発端とし、現在では食品工場の安全衛生管理システムとして全

世界に普及している。また業種も製パン業や製菓業といった食品製造工場に限らず、流通倉庫や包装資材製造施設まで幅広く適用されている。

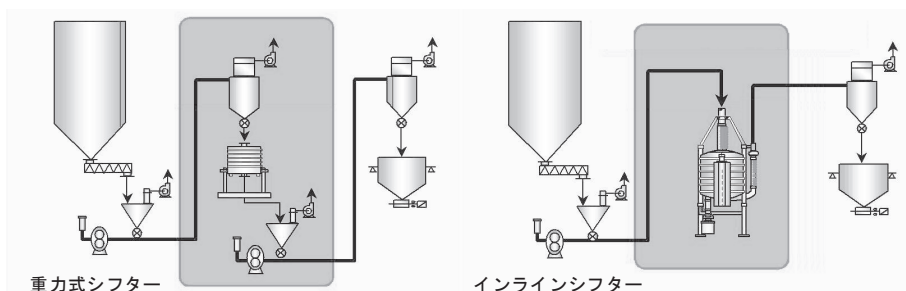
AIBの下部組織であるBISSC（製パン業衛生標準委員会）は製パン機械の設計と製作に関する規格（ANSI規格）を策定しており、米国の製パン機械の衛生標準となっている。インラインシフターについてもBISSCにて規定しており、主として以下の項目が要求されている。

- ①エアバイパス機構が内蔵されていること。
- ②異物が連続的に排出されること。
- ③網をこすったり、網に物理的な力を加えないこと。
- ④分解・点検が容易であり、組立作業に間違いが起りにくいこと。

2-4 インラインシフターQAシリーズ

当社が米国グレートウエスタンマニファクチャリング (GWM) 社から導入するインラインシフターは、BISSC規格認証を取得している唯一のインラインシフターである。2001年の発売以来、主に食品粉体の異物除去・管理に利用されている。当社はサイロとその排出機器、それに続く空気輸送設備とともに、インラインシフターを納入してきた。国内の製パンメーカーを中心に多くの販売実績がある。

旧型機種的设计に改良を加えメーカーとともに開発したのが、新型機種のQAシリーズである。インラインシフターQAシリーズを写真1、2に示す。旧型と比較して「軽量化」、「シール性向上」、「易分解組立」を実現し、大幅にメンテナンス性



第1図 重力式シフター設備とインラインシフター設備との比較

を向上させた。2006年に小型機種 QA24 を販売開始したが、大型機種 QA36 を機種のラインアップに加え、幅広い能力に対応可能となった。

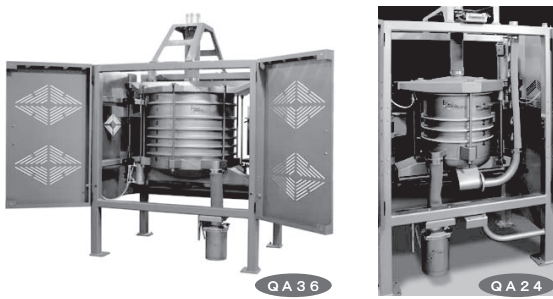


写真1 インラインシフター-QAシリーズ



写真2 QAシリーズ 篩網と篩枠

2-5 QAシリーズの構造

(1) 旋回運動

第2図はQAシリーズの構造を示している。偏心したクランク状の軸が回転することにより、連結された篩本体が旋回運動を行う。篩本体の両側に軸があり、一方が駆動側、他方が従動側となっており、軸には本体の振動とバランスさせるためのカウンターウエイトが装備されている。これによる緩やかな旋回運動による篩分けのため、壊れやすい虫などの異物を破碎せず、

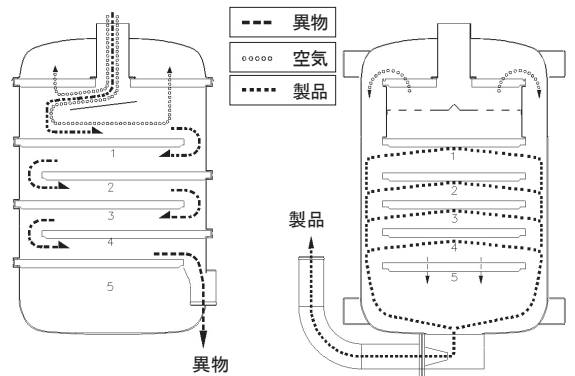


第2図 駆動構造

原形のまま回収できる。また、モーター容量も小さく抑えられている。

(2) エアバイパス機構

空気輸送の原料と空気を分離する機構として、シフター内部に原料の通り道とは異なる空気のための抜け道を設けている。第3図はインラインシフター内の空気、製品と異物の流れを示したものである。これにより、篩網の上段から下段までの圧力は均等化され、重力落下式のシフターと同様に篩網や原料に強制的な力が働かない、理想の状態が実現される。投入口より上部に配置されるエアバイパスの網は、篩網と同じ目開きを使用しているため、空気と一緒に異物を通過させることはない。



第3図 空気、製品と異物の流れ

(3) テーリング缶 (異物回収容器)

十分に確保された篩面積により確実に製品と分離された異物は、テーリング缶に回収される。異物のみがテーリング缶に回収されるため、異物の管理がしやすい。運転中も容易に異物の回収状況を確認できるため、原料のモニタリングが可能である。写真3にテーリング缶を示す。



写真3 テーリング缶

3. IBCシステム

3-1 IBCシステムとは

粉粒体を使用する食品工場ではインラインシフターが設置される設備のように各工程間の搬送に空気輸送を採用するが多い。特に、同一製品を大量生産する設備の場合は省スペース、低インシャルコストなどの理由により空気輸送が有利な場合が多い。しかし、製品の入れ替わりが激しい食品業界において多品種少量生産が要求される業態も少なくない。特にクロスコンタミネーションの許容レベルが厳しく制限され、アレルゲン物質などの微量の混入が問題になる場合は状況が一変する。ドライな原料を搬送する空気輸送ラインを製品切替のたびに清掃するとなると多大な労力と時間が掛かり、完全な清掃は困難である。または、空気輸送ラインを品種ごとに専用化せざるを得ず、大変な設備コストが掛かることになる。

IBC (Intermediate Bulk Container) とは、仕掛品搬送用粉粒体コンテナ (以下コンテナ) を指し、製造工程間の粉粒体輸送に使用するコンテナである。IBCシステムはコンテナを用い、充填、貯蔵、輸送、混合、排出などの各種粉粒体ハンドリング機能により、工場内の製造工程間を結ぶ粉粒体ハンドリングシステムである。

第4図はIBCシステムを用いた粉粒体プロセスの例である。紙袋で納入された原料はコンテナ

に投入し、計量排出設備に設置する。各原料から自動計量投入されたコンテナは次の混合工程、充填包装工程へと搬送される。工程間のコンテナ搬送に自動搬送コンベヤやAGV (自動搬送台車) などを使用し、原料、製品あるいは中間製品を貯蔵するコンテナの一時保管に自動倉庫を使用すれば、統合的なFAシステムになる。

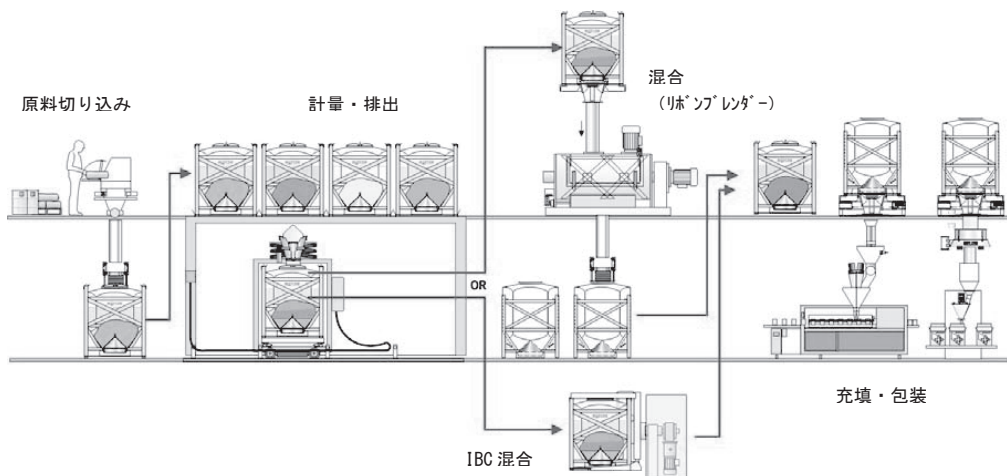
IBCシステムの導入により、以下の効果が期待できる。

(1) 生産性向上

原料、製品あるいは中間製品を貯蔵するコンテナを一時保管することにより、工程間の処理能力の違いや一部の設備の休転などによる時間的制約から解放され、フレキシブルな製造をすることが可能である。

製造品種の切替は、コンテナを交換するのみであり、製造ラインの洗浄、乾燥などがなく、ストックしているコンテナを使用することにより切替時間を短縮できる。使用済みコンテナは、製造ラインと切り離して専用の洗浄ステーションにて洗浄する。

紙袋で納入される原料であるが、原料メーカーと提携してコンテナによる原料の納入とすることで切込作業を減らし、また、原料移し替え時の異物混入リスクもなくなる。また紙袋など廃棄物の削減となり、経済性の向上や環境負荷の低減にもつながる。



第5図 IBCシステムを用いた粉粒体プロセスの例

(2) 品種切替時のクロスコンタミネーション防止

空気輸送配管による同一経路を使用した搬送ではなく、コンテナによる粉粒体輸送によるためクロスコンタミネーションの原因となる固定設備を最小限に抑えることができる。

また、コンテナは密閉性を確保しやすい構造であり、窒素ガスなどによりコンテナ内部を陽圧に保つことにより長期保管や長距離輸送を行っても酸化、吸湿、などの製品変質を防ぐことができる。

(3) ロット管理

コンテナハンドリングはロット管理しやすいシステムであり、トレーサビリティ管理は容易となる。

3-2 マトコンIBCシステム

マトコンIBCシステムは英国マトコン社のコンテナシステムである。当社はマトコン社と販売店契約を締結し、日本国内においてシステムの導入と単体機器を販売している。医薬、金属、電子材料などの分野と並び、食品メーカーにも多くのシステムを納入してきた。

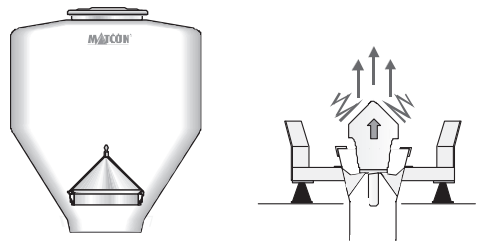
(1) コンテナ

写真4はマトコン社が取り扱うコンテナである。コンテナ容積の容量は500～2,500 [ℓ] を標準とする。コンテナの材質はSUS304、SUS316が主流だが、アルミニウム、ポリエチレン、帯電防止ポリエチレンのものもある。また容器表面仕上、フレイム形状、排出口径など、用途に応じ仕様を選定できる。写真4に示すようにドラム缶と同じサイズのコンテナ (150～450 [ℓ]) にも対応している。



写真4 コンテナのラインアップ (ステンレス、ポリエチレン、ドラム缶サイズ)

コンテナ底部には円錐状のバルブ (以下コーンバルブと称する。) が配置され、コーンバルブを上下することによりコンテナとの隙間を開閉させて粉粒体の排出と停止を行う。コーンバルブは元々サイロなどの排出装置として開発されたものであり、コンテナに応用された。排出口径が大きいいためほとんどの粉粒体に対して安定したマスフロー排出ができるため、混合粉粒体の偏析などの問題も起こりにくい。計量排出、排出流量調整、排出途中停止など排出のフレキシビリティが高い。



第5図 コンテナ底部のコーンバルブと排出ステーション

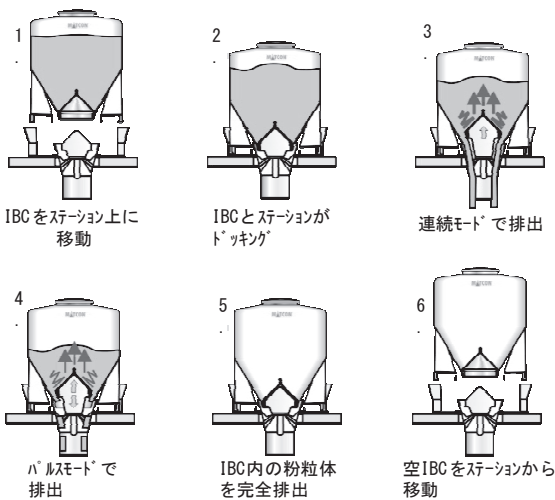
(2) 排出ステーション

粉粒体の排出には専用の排出ステーションの上にコンテナを設置して行う。排出ステーションにはプローブと呼ばれる円錐形の駆動部品が装備されており、コンテナを設置するとコーンバルブがプローブの上に重なる。プローブがコーンバルブをしっかりと掴み一体となった後、アクチュエーターがプローブとともにコーンバルブを押し上げ、コンテナとの隙間から粉粒体が排出される。プローブの上昇と下降の繰り返しにより、コンテナ内部の粉粒体に振動が加わり、安定した排出が実現される。プローブ内部には内部バイブレーターが装備されており、必要に応じてコーンバルブに振動を加えることによりコンテナ内部の粉粒体に流動性を与えることもできる。第5図にコンテナ底部のコーンバルブと排出ステーションの模式図を、第6図に排出ステーションによる粉粒体の排出の様子を示す。

マトコン社の排出ステーションの特長は以下の通りである。

- ①特殊アクチュエーターの採用により、コーンバルブを上下する力が強い（コーンバルブの俊敏な動作は高比重粉粒体の排出や微量の制御排出に有効である）。
- ②プローブに内部バイブレーターを装備し、粉粒体の閉塞を回避する。
- ③CIP(Cleaning In Place) 自動洗浄に対応している。
- ④外部信号により、コーンバルブを上下するストロークを調整できる。

排出ステーションはロードセルを装備することにより、計量機能を追加できる。排出重量管理、途中排出停止制御などが可能で、フィードバック制御により排出開度、開閉時間インターバルなどを制御し、流量調整機能を持たせることも可能である。複数の原料コンテナと計量機能を組み合わせることで、配合システムの導入実例も数多くある。



第6図 排出ステーションによる粉粒体の排出

(3) ブレンダー

複数の粉粒体原料の混合工程において固定のミキサーを使用する場合、一般的に品種切替時にミキサーの洗浄、乾燥時間が必要となる。

マトコン社はコンテナごと回転させて原料を混合させるブレンダーをラインアップしており、写真5に片持ち式のブレンダーを示す。このブレ

ンダーを導入するとコンテナの入替だけで製造品種の切替が可能で、混合後も下流工程にそのままコンテナを搬送できるため、設備をシンプルにできる。

油脂分を含む粉体や付着性の強い粉体を原料に混合する場合、コンテナを回転させるのみでは十分な混合状態を得られない。マトコン社ではコンテナの内部にチョッパー型の攪拌機を取り付け、モーターで高速回転を与えることで原料に強力なせん断力をあたえ、上記のような粉体も均一に混合させることができる。インテンシファイアと呼ぶこの攪拌機は少量の液体添加や添加物が微量の場合にも均一な混合が可能である。



写真5 IBCブレンダー

4. ニューマエコ

4-1 製粉工場のエネルギー削減の取り組み

当社が属する日清製粉グループの中核をなす製粉工場は、エネルギー消費においても大きな割合を占める。製粉産業は装置産業といわれており、その製粉工場で消費するエネルギーの9割以上は電力である。

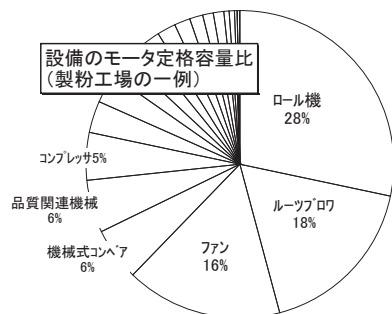
製粉の主な単位操作は、粉碎と篩い分け、そしてその操作間及びその後の搬送である。

第7図は、ある製粉工場の設備に取り付けられた駆動モーターの定格容量を、設備ジャンルごとにまとめたときの比率を示したものである。ロール（粉碎）機のほか、ルーツブロウ・ファンといった空気機械の占める割合が高い。

ルーツブロウは、主に原料小麦、小麦粉製品

の空気輸送、ファンは中間品の空気輸送や集塵機等のサクシオン等に用いられている。空気輸送は、下から上及び水平区間において直線、曲線を問わず、比較的自由に配管ルートを選択することができ、衛生的に粉粒体を搬送できるので、製粉工場にとってはなくてはならない輸送手段である。

一方でルーツブロワ、ファンといった空気機械は搬送のエネルギー原単位が他の搬送方法より大きいという欠点がある。この搬送のエネルギー効率を向上させるため、㈱日清製粉グループ本社では日清製粉㈱とルーツブロワの省エネ最適化運転システム「ニューマエコ」を開発した。ニューマエコは従来の空気輸送の消費エネルギーを2～5割削減する制御システムであり、2002年には(財)省エネルギーセンターが主催する省エネルギー優秀事例全国大会で経済産業局長賞受賞を、2005年には日本食糧新聞社の環境資源協力賞を受賞している。



第7図 ある製粉工場の設備におけるモータ定格容量構成比

4-2 空気輸送の省エネ化

(1) 開発の背景

空気輸送の省エネ方法は理論的にはいろいろ提案されていたが、実際には各設備の輸送条件が一定でないことや省エネ適正運転時にはパイプ内閉塞の危険性が増大することがあり、安全をみた過剰設計となって十分な省エネを図ることができなかった。

空気輸送理論と実設備の抱える問題点の両者を考慮した実用的なシステム、すなわち、搬送

条件が変更あるいは運転中に変化しても自動的に省エネ最適化を実現するものであり、しかも、新設の空気輸送設備だけではなく、既存の設備にも容易に追加設置できるシステムを開発した。主に以下の特徴がある。

①設置が容易で工期も短期間

ルーツブロワ吐出部への圧力センサとニューマエコ制御盤(PLC、インバータ内蔵)を設置するのみであり、既設動力盤への割込み結線、既設制御盤との信号入出力の追加で使用が可能である。

②パソコンソフトを標準装備

様々な粉粒体輸送特性や設備状況に対応できるように制御設定値の変更や運転状況のモニタリングおよびデータロギングが可能である。

(2) 空気輸送の省エネ理論と制御

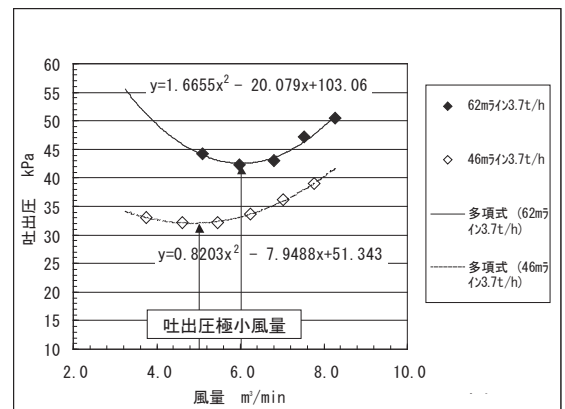
低濃度空気輸送の省エネ上の適正風量であるが、ルーツブロワの消費電力は、

$$(\text{消費電力}) \propto (\text{風量}) \times (\text{吐出圧})$$

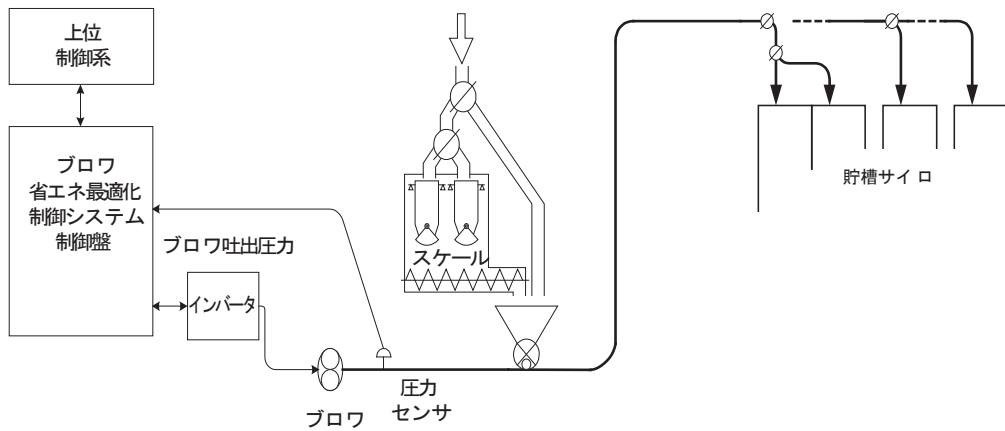
と見なせる。省エネ風量の見極めは、安定運転を維持できる最小風量を見出すことである。

第8図は輸送物流量を一定としたときの風量と吐出圧の測定結果である。吐出圧が風量の2次関数で近似できることが確認できる。また、風量が吐出圧極小風量より少なくなると管内閉塞が発生しやすい状態になることを確認し、この吐出圧極小風量を省エネ適正風量とした。

想定する対象設備のフローを第9図に示す。輸



第8図 風量と吐出圧の関係



第9図 空気輸送フロー

送先が複数並ぶサイロでは、各サイロへの輸送距離が異なり、省エネ適正風量もそれぞれ異なる。

ルーツブロウは容積式の送風機であることから、(風量)は(回転数)の1次関数といえる。また、第8図で示したとおり、(吐出圧)は(風量)の2次関数と見なせるので、吐出圧は回転数の2次関数といえる。

そこで風量と吐出圧の関係を回転数と吐出圧の关系到置き換えて、インバータによる回転数制御を行った。

任意の輸送先に対して輸送開始時に吐出圧を常に監視しながら、商用周波数から徐々に減速させ、減速周波数差 ΔF に対する減少圧力差 ΔP の比「圧力傾き $\Delta P / \Delta F$ 」を算出する。その「圧力傾き $\Delta P / \Delta F$ 」がゼロに近づいたら適正風量に達したと見なし、減速を止めて省エネ適正運転を行う。これを基本アルゴリズムとした。ただし、輸送物流量や輸送配管内の輸送物の滞留状況等、長時間の運転中には様々な変動が生じるため、これらを考慮したアルゴリズムの構築が必要となる。

(3) 省エネ制御の効果

第10図、第11図は、テストラインで輸送距離をパラメータに、風量の変化に対する圧力損失および消費電力を測定した結果を示したものである。輸送距離が62、46、24mのときの省エネ

適正風量は6.0、4.8、4.2 m^3/min 程度であった。

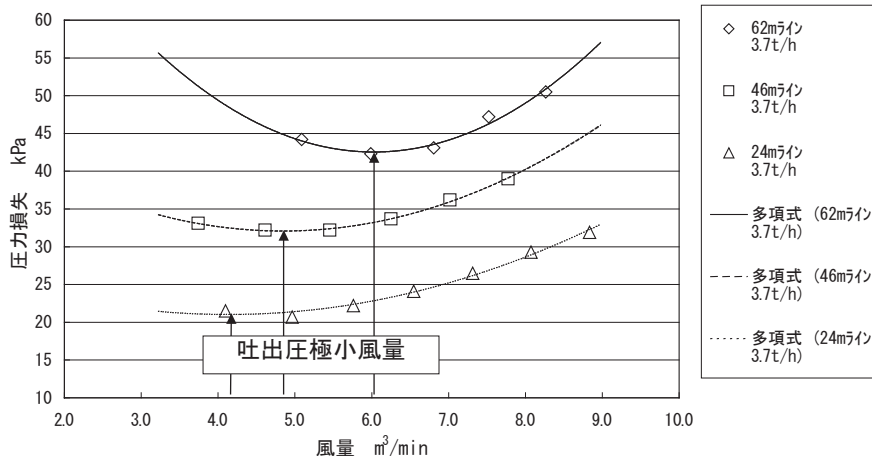
回転数を制御しない場合には最も遠い62mのサイロに輸送するときの省エネ適正風量6.0 m^3/min となるようにルーツブロウの回転数を設定(1200rpm:第11図参照)するのが一般的である。この場合の消費電力は遠いサイロから順に9.7、7.8、6.0kWであった。

そこで、輸送先が変わる毎に各々の省エネ適正風量となる回転数制御を行ったとすれば、46mのサイロに送るときは6.4kW、24mのサイロの場合には4.1kWとなり、それぞれ1.4kW、1.9kWの省エネが図れることになる。このことから輸送先との距離が短いほど省エネ効果は高くなる結果が得られた。

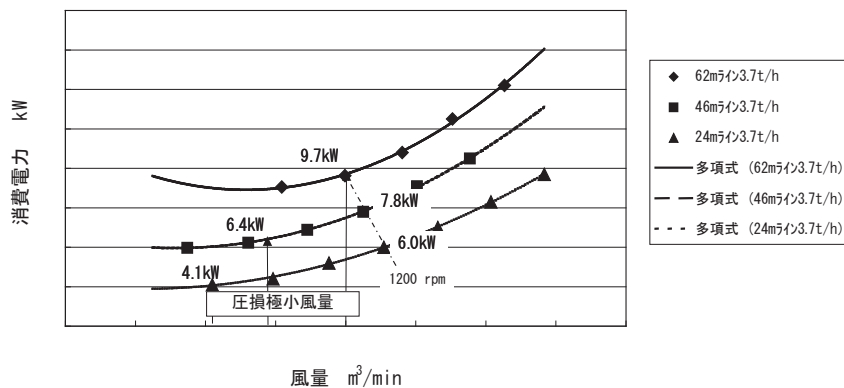
第12図は、ニューマエコを実際の空気輸送ラインに設置し、約1週間運転したときの例である。この期間において、制御した場合としない場合のルーツブロウの消費電力量を比べると、制御した方が約25%の省エネとなった。

5. おわりに

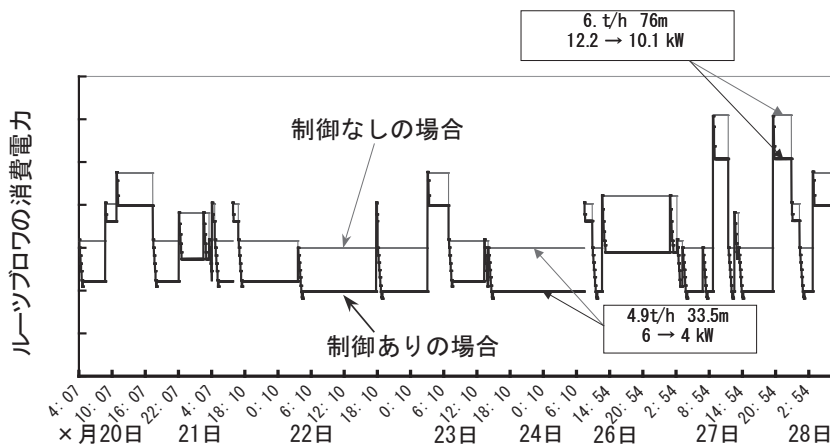
食品プラントでは様々な粉体が扱われており、製造ラインでの取扱量もサイロで受け入れるようなトン単位のものからグラム単位での微量添加まで幅広い。また、粉体のハンドリングは安全衛生、品質管理、多品種少量生産、コスト削減、環境負荷低減等その目的によって最適な方法を



第10図 風量と圧力損失との関係



第11図 風量と消費電力との関係



第12図 ルーツブロウ消費電力の推移

選択する必要がある。

日清エンジニアリングでは様々な観点から顧客の要望に沿ったフレキシブルな提案をこれからも続けていく。

<参考文献>

- (1) 厚生労働省：食品衛生検査指針（理化学編）（2005）
- (2) 緒方 一喜・光榮 昭雄：最新の異物混入防止技術 食品・薬品の異物混入対策（増補改訂版）
- (3) 中湯 貴紀：化学装置、食品製造における異物混入防止～混入の実際と防止対策～（2012年6月）
- (4) 本多 肇：食品工業、異物除去、異種製品混入防止のための技術および機器（2011年4月）
- (5) 加納 理：配管技術、日清製粉グループと製粉工場のCO₂削減の取組み（2007年7月）

【筆者紹介】

有賀 伸哉

日清エンジニアリング㈱ 経営企画部 課長

日清エンジニアリング株式会社

<代表者> 山田 幸良

<本社住所>

〒103-8544 東京都中央区日本橋小網町14-1

<TEL> 03-3660-3425

<TEL> 03-3660-3845

<TEL> <http://www.nisshineng.co.jp/>

<主な事業内容>

粉体技術をコアテクノロジーとしてプラントエンジニアリング事業、機器制作販売事業、粉体加工事業を展開