

低濃度空気輸送の省エネ制御装置

(株)日清製粉グループ本社 技術本部
加納 理

1. 日清製粉グループのCO₂ 排出削減の取組み

地球環境保全は社会全体の問題であり、企業の取組みは大変重要です。

日清製粉グループは、「信を万事の本と為す」と「時代への適合」を社是とし、「健康で豊かな生活づくりに貢献する」ことを企業理念として、地球社会の一員であることの認識を深く持ち、自らが為しうる限りの環境保全を図りながら活力ある企業活動を目指したいと考えています。

1970年代のオイルショックを契機に1980年には「省エネルギー推進委員会」を設置し、節電活動を展開するとともに高効率モーター等の導入や吸引式空気輸送の省エネルギー化を図る定風量バルブの開発導入を行ってきました。

1999年には会社全体の環境基本方針を示すとともに、行動指針を策定しました。当時(分社前)の日清製粉の省エネ目標を、2010年度までに1990年度比でエネルギー使用原単位3%削減、かつ、CO₂排出原単位7%削減としました。

その後、分社後の状況も考慮した上で、「京都議定書目標達成計画」に沿って原単位削減目標から総量規制への移行を検討し、2005年4月、エネルギー使用実績のデータ収集範囲を連結子会社を含む38社に拡大するとともに、2010年度までにCO₂排出総量を1990年度比8.6%削減することを自主目標としました。

2006年2月にはグループ全体が一丸となって目標を達成することをCO₂削減宣言キックオフ大会において表明しました。

2. 小麦製粉工場のエネルギー消費について

日清製粉グループの中核をなす小麦製粉工場(以降、製粉工場という)は、エネルギー消費においても大きな割合を占めています。

小麦製粉の主な単位操作は粉粒体の粉碎と篩い分けであり、これらを多段的に行うため、これらの単位操作間の輸送も必要となります。製粉工場ではこれらの粉粒体ハンドリング設備が大半を占めるため、消費するエネルギーの9割以上は電力となります。

図1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比率です。ロール式粉碎機のほか、ルーツブロワ・ファンといった空気機械の占める割合が高くなっています。

ロール式粉碎機は、粉碎機の中では粉碎エネルギー効率の最も高い範疇に入ります。また、製粉工場で使っているシフターも篩い機の中では比較的消費電力が少ないといえます。

被粉碎物はシフターによって粒度が揃えられるため、運用面でもロール式粉碎機の粉碎エネルギー効率は高められています。

ルーツブロワは、主に原料小麦、小麦粉製品の圧送式空気輸送、ファンは中間品の吸引式空気輸送や集塵機等に用いられています。空気輸送は、比較的自由に輸送ルートを設定することができるので、製粉工場にとってはなくてはならない輸送手段です。

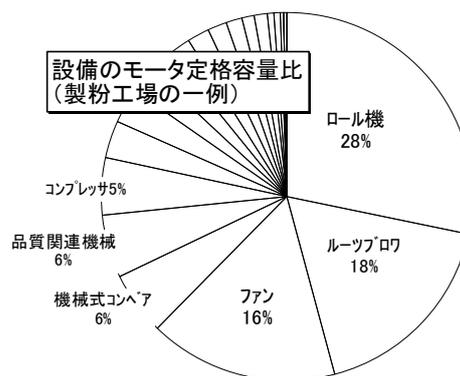


図1 製粉工場の設備におけるモータ定格容量構成比

3. 製粉工場の省エネルギーについて

製粉工場の省エネルギーは、粉粒体の粉碎操作と輸送操作を追求することにあります。小麦の粉碎は多段で行われることもあり、一つの製粉ラインで数十台のロール式粉碎機が同時に、しかも各々一定の粉碎度を保ちながら稼働させなければなりません。ソフト面での省エネルギーはかなり困難な課題であり、高効率モーターの採用に留まっています。

しかし、輸送操作、特に圧送式低濃度空気輸送では風量コントロール、すなわちルーツブロワの回転数制御という形でのソフト的な省エネルギーの余地は残っていました。

筆者らは、この解決策の検討開始から約1年半の年月をかけ、平成14年にルーツブロワを用いた圧送式低濃度空気輸送の省エネ最適化運転システムを開発しました。当該システム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「ニューマエコ」です。日清製粉㈱では平成20年に稼働した東灘工場の最新製造ラインにも設置されており、これまでの導入件数は30ラインに達しています。

また、ニューマエコ開発の取組みは、財団法人省エネルギーセンターが主催する平成14年度省エネルギー優秀事例全国大会で経済産業局長賞を受賞し、平成17年には日本食糧新聞社の環境資源協力賞を受賞しました。

4. ニューマエコの開発過程

4.1 開発の背景

空気輸送の省エネルギー方法は理論的にはいろいろ提案されていましたが、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增大することがあり、安全をみた過剰設計となって十分な省エネルギーを図ることができませんでした。

そこで、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の開発を目差しました。

具体的には、輸送先を変更する、あるいは運転中に輸送条件が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、既設の設備にも容易に追加設置できるシステムであることでした。

4.2 空気輸送の省エネルギーにおける理論と制御

4.2.1 省エネルギー上の適正風量

低濃度空気輸送の省エネルギー上の適正風量について説明します。

ルーツブロワの消費電力は、

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

と概ね見なせます。省エネ風量の見極めは、風量と吐出圧の関係を把握した上で安定運転を維持できる最小風量を見出すことです。

図2は輸送流量を一定としたときの風量と吐出圧の測定結果です。

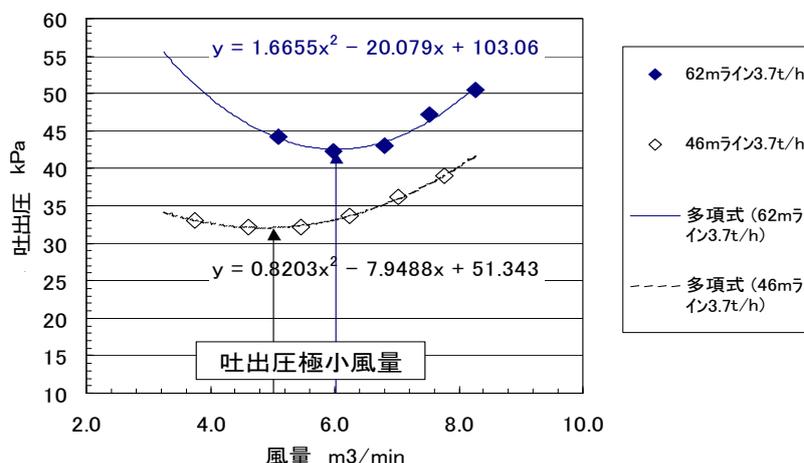


図2 ルーツブロワの風量と吐出圧

吐出圧が風量の2次関数で近似できることを確認しました。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実験中に確認しました。閉塞直前風量は明確に特定できませんが、少なくとも小麦粉の輸送においては、吐出圧極小風量以上で閉塞することはありませんでした。

そこで、この吐出圧極小風量を省エネ適正風量と考えることとしました。

4.2.2 省エネ適正風量の自動制御アルゴリズム

ルーツブロワの機械的な特性として、

(風量) は (回転数) の1次関数

(吐出圧) は (風量) の2次関数

と概ね見なせるので、吐出圧は回転数の2次関数になると見なせます。

そこで風量と吐出圧の関係を回転数と吐出圧の関係に見立て、インバータによって回転数制御することとしました。

輸送開始時、または輸送先が切替わる毎にインバータ周波数を商用周波数に設定します。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、減速の都度その周波数での代表吐出圧を算出し、減速周波数の差分 ΔF に対する減少吐出圧の差分 ΔP の比「圧力傾き $\Delta P / \Delta F$ 」を算出します。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います。これを基本アルゴリズムとしました。

ただし、輸送物の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ます。これらの現象に対処するため、実ラインでの実験を通して、プログラムを幾度となく修正しました。その一部を次に紹介します。

4.2.3 制御面の工夫

輸送配管閉塞の危険を回避するため、吐出圧の変化状況に対し様々な視点から危険予兆を判断する吐出圧監視プログラムを考案しました。

輸送物流量の変動などが発生しても自動的に閉塞の危険を回避しながら省エネ運転を続行するアルゴリズムを追加しました。

図3は小麦粉が製造されてからサイロに貯槽されるまでの大まかなフローです。このフローの左から2番目の計量過程において、バッチ式の輸送物流量計量設備があると、輸送物流量に脈動が生じます。制御周波数毎の代表吐出圧が掴めなくなる不具合も発生しましたが、これも現象を見定めて独自のアルゴリズムを考案して解決しました。

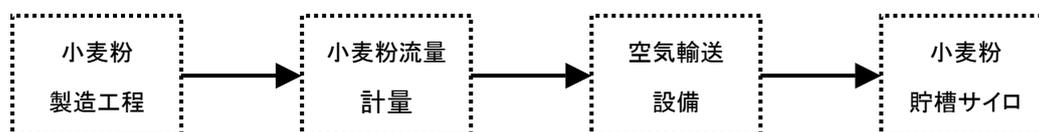


図3 小麦粉の輸送過程

4.3 省エネ制御の効果

図4、図5は、日清製粉グループテストラインで輸送流量を一定にして輸送距離をパラメータにし、風量の変化に対する吐出圧および消費電力を測定した結果を示したものです。輸送距離が62、46、24mのときの省エネ適正風量は6.0、4.8、4.2m³/min.程度でした。

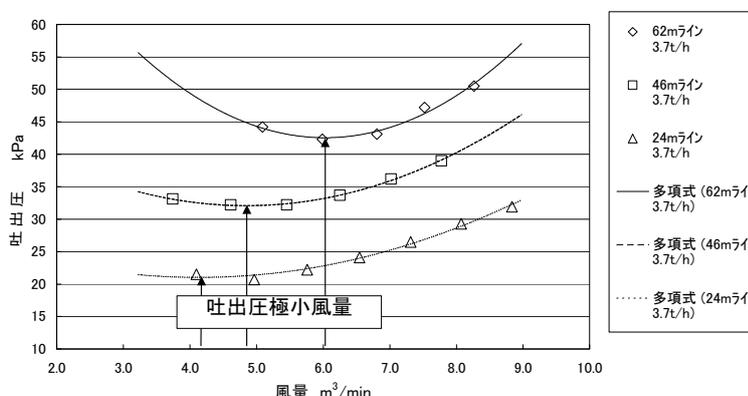


図4 ルーツブロワの風量と吐出圧

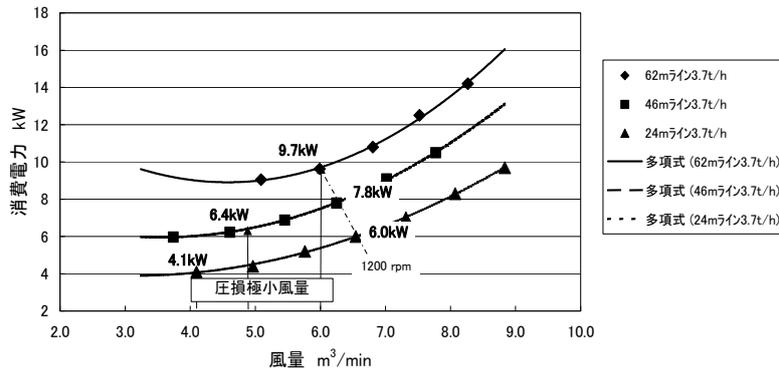


図5 ルーツブロワの風量と消費電力

ここで図6のフローのように輸送流量3.7t/h、輸送距離が24mから62mまであるサイロ群への輸送ラインを考えます。

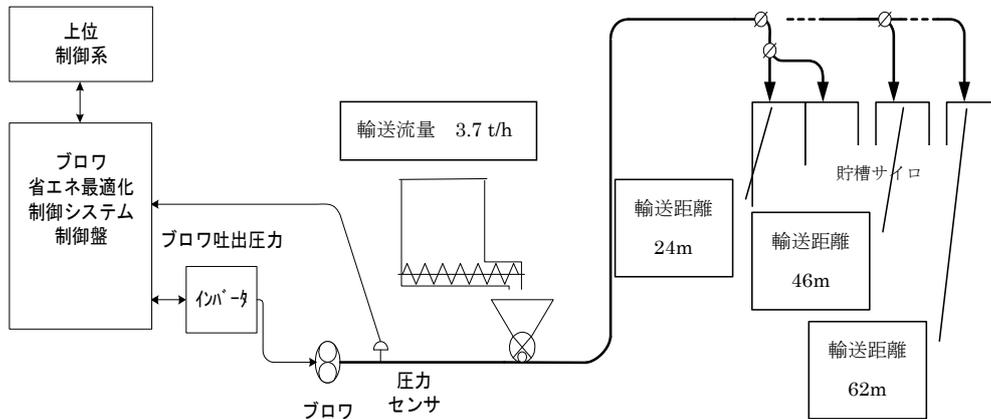


図6 輸送距離の異なる輸送先（サイロ群）

回転数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が基準になるので、ルーツブロワの回転数を省エネ適正風量6.0m³/min.となるように設定することになります。今仮に上記条件が1200rpmとすると、62m、46m、24mと輸送距離が短くなると若干回転数が上昇し風量もわずかに増加するが、大まかには図5に示すように消費電力は遠いサイロから順に9.7、7.8、6.0kW程度と考えられます。

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、輸送距離46m、24mのサイロに輸送する際には、風量は4.8、4.2m³/min.となり、消費電力は6.4kW、4.1kWとなり、それぞれ1.4kW(18%)、1.9kW(32%)の省エネルギーが図れると想定されます。

図7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す。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ワの消費電力量を比べると、制御した方が約25%の省エネルギーとなりました。

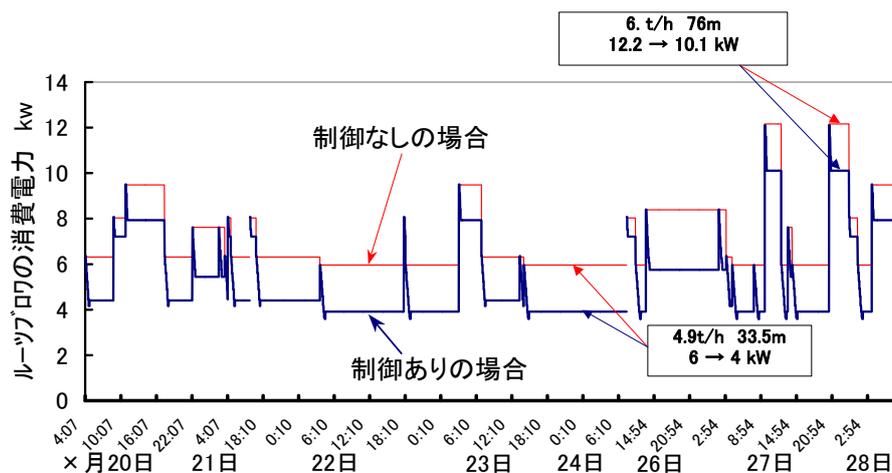


図7 実ラインでの省エネシステム稼動状況

4.4 ニューマエコの特徴

- ① ニューマエコは低濃度空気輸送設備のルーツブロワの回転数を制御し、既存設備より2～5割程度（当社実績値）の省エネを実現するシステムです。
- ② ルーツブロワの吐出圧を常に監視しながら、インバータを介し、PLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ、通称シーケンサ）によって自動的に商用周波数運転の風量から徐々に風量を低下させ、省エネ適正風量をPLCに判断させて省エネ運転を実現します。
- ③ パイプ内閉塞の危険性を判断する吐出圧監視プログラムをPLCに組込んでいるので、輸送量の変動など閉塞の要因が発生しても自動的に危険回避しながら省エネ運転を続行し、安心して使えます。
- ④ 輸送条件の異なる輸送先が複数ある場合には、輸送先が切替わる毎にその輸送条件に応じた省エネ運転を自動的に行います。輸送条件の差が大きいほど省エネ効果は高くなります。
- ⑤ 設置工事が容易で工期も短期間で済みます。
 主な工事内容は、ルーツブロワ吐出部への圧力センサ設置、既設動力盤へのニューマエコ制御盤（PLC、インバータ内蔵）の割込み結線、既設制御盤との数点の信号入出力の追加です。
- ⑥ 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のためのパソコンソフトも標準で付属しています。

4.5 おわりに

ニューマエコは日清製粉グループ内だけではなく、広く産業界の省エネルギー推進に貢献したく、同様の設備を有する企業にご提供*できることを願っています。

* 製作、販売は日清エンジニアリング(株)で行っております。