メッツォの最新エアーシステム技術^{*1}

—抄紙機の省エネルギーと環境改善—

The Latest Technology of Metso Air System

メッツォペーパージャパン株式会社^{*2} エンジニアリング本部

高橋 徹

Toru Takahashi

Project & Engineering, Paper Business Line, Metso Paper Japan Co., Ltd.^{*2}

Abstract

Air systems have a significant influence on the energy consumption of paper and board production via the drying process.

The role of air systems becomes even more important when once used energy is bound into the evaporated water and further into the exhaust air. Process air, water and, if needed, also machine hall heating can be done without primary energy just using heat recovery. There is energy saving potential in all the paper and board machines. The nearer to the optimum performance the machine is, the more challenging becomes the realization of an individual saving project. The solutions often have connections to several paper making sub-processes and energy production. The basis of the energy saving is to run the existing machinery properly. In most of the cases, this can be done without any or with minor investments.

分類：M₇ ドライヤー，N₀ その他，U₂ 省エネルギー一般，U₀ その他

1. はじめに

製紙業界は従来から省エネルギーを推進してきた。特に抄紙機のエアーシステムは紙・板紙の乾燥プロセスの中で、エネルギー消費に大きな影響を与えている。

ドライヤ工程で紙を乾燥させたエネルギーは、蒸発水分として排気エアーに包含されるので、そのエネルギーを回収するエアーシステムは重要な役割を果たす。抄紙機工程内の温水、温風やマシン建屋内の暖房にも一次エネルギーを使用することなく、熱回収するだけで必要なエネルギーを得ることができる。このように、全ての紙・板紙抄紙機

には、潜在した省エネルギーの要素があると言える。さらに、エアーシステムの省エネルギーは大きな設備投資をせずに、抄紙機の運転を最適化することで成果を期待できる。

一方、省エネルギーに目を向け過ぎて、抄紙機及び建屋内の環境を疎かにするケースが、特に日本には多く見られる。例えば、建屋換気の給排気ファンの運転を停止することは、それ自体はエネルギー消費を抑制することになるが、建屋内の高温高湿をまねき、制御機器の短寿命や腐食の問題を加速させる。このように長期的に見た場合、気付かない内に大きな損失となっていることがある。当然、作業環境の劣悪化という結果を生むことは明白である。

本稿では、紙・板紙マシンにおけるエアーシステムという観点から、省エネルギーと環境改善について、Metso社の最新のエアーシステム技術を紹介する。

^{*1}平成 23 年度年次大会講演（講演 No. B 12）

^{*2}〒700-0826 岡山県岡山市北区磨屋町 3-10/3-10

Togiya-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0826, Japan

2. ドライヤセクションのエアーステム

一般的な抄紙機では、ドライヤセクションで消費する蒸気が抄紙プロセスで使用する 60～70% を占めることが明確になっている。この多量の蒸気は、紙の水分を蒸発させるために使用され、紙の蒸発水分としてマシンフードを経由して屋外に排気される。マシンフードへの供給エアは、一般的にはマシン室内のエアをフード排気と熱交換して昇温し、その後所定の温度まで蒸気ヒーターで加温してフードやブローボックスに供給される（図 1）。

図 2 は、標準的なドライヤセクションのエアーステム構成を示したものである。これらは、次の抄紙機のサブシステムからなっている。

- ・給気システムと排気システム
- ・給気分配システム（ポケットベンチレータ、ブローボックス、インパルスエア、ベースメントエアなど）
- ・熱回収システム
- ・その他（ミスト除去システム、白煙除去システム、騒音減衰装置、等）

ここで述べているのは密閉フードを前提としているが、これがオープンフードやセミオープンフードの場合では、そのシステムは大きく異なり、省エネルギーや環境という

図 1 ドライヤセクションのベンチレーション

図 2 ドライヤセクションのエアーステム

意味では、次項で述べるように非常に効率が悪い。洋紙マシンは、1980 年以降ほとんどのマシンが密閉フードに置き換わってきたが、板紙マシンでは、まだオープンフードが多く残っている。これを密閉フード化することで、省エネルギー面でも環境面でも大幅な改善を達成できる。

3. 最新のドライヤフード

1980 年以降のドライヤフードは、そのほとんどが高露点密閉フードになってきた。これは、図 3 に示すように排気湿度が高く、フードのリーク量が少ないほど給排気間の熱交換効率が良く、また排気風量を下げられるため、ドライヤ全体の必要熱量が少なくて済むからである。

一般的な高露点フードの場合は、排気湿度を 160 gH₂O/kg d. a. ～180 gH₂O/kg d. a. 排気露点を 61℃～63℃ で運転される。また、給気量は排気量の通常 80% 程度である。この性能を維持するためには、これから述べる高性能なフードの構造や対象となるドライヤの蒸発特性に最も適した構造や配置にすることが求められる。

因みに、これがオープンフードの場合は、排気湿度 100 gH₂O/kg d. a. 以下で、排気露点も 50℃ 以下であるので、その差は歴然である。

3.1 高露点フードの構造

まず、使用されるフードのパネルの断熱性や気密性に優れていることが重要である。もちろん、ヒートブリッジ（内壁と外壁間の熱伝導）を起こさない構造が求められる。図 4 に Metso 社のパネルの構造を示す。Metso 社は比較的密度の低い断熱材を厚くすることでその保温性能を高めている。また、強度部材との間には特殊な断熱シートを用い、ヒートブリッジを防止している。また、長年使用しても断熱材が劣化しないように、パネルの密閉性を上げるとともに、必要な部分には、籠った湿気を排出する工夫が施されている。

次にフードの心臓部ともいえる 2 重天井の構造について

図 3 ドライヤの排気湿度、給気量比率と蒸気原単位

図 4 Metso のパネル構造

図 7 エアールノズル

図 5 二重天井 (フォールスシーリング)

図 6 風量調整用のスライドハッチ

図 8 リフトドアのシール部

図 9 リフトドアの外観

説明する。Metso 社の 2 重天井は、図 5 に示すように、フードの全幅に設け、両サイドはやや薄くしている。これは、ドライヤからの蒸発蒸気の気流を考慮したもので、この構造により、安定した気流を生み出し、耳の過乾燥を防ぎ、紙の水分プロファイルを安定化させる。また、マシン方向 (MD 方向) の気流のバランスについては、図 6 に示すように調整用のスライドハッチを試運転時に調整し、通常はこれを再調整する必要はない。

次に、ウェットエンドの紙匹やカンバスの出入りには、図 7 に示すエアールノズルを設け、フード内の高温・高湿度のエアをフードの外に出さない工夫がなされている。Metso 社は、ブローボックスをはじめ、エアードライヤでの技術を駆使し、紙匹やカンバスの出入り気流を完璧にコントロールしている。

次にエアのリークを慎重に考慮しなければならないのがリフトドアであるが、図 8 に示すようにリフトドア間のシール性を良くし、かつ、操作性や安全性にも配慮しなければならない。さらに、ドライヤでの走行状態の監視や機械的な保全のためにフード内を容易に監視できる構造としなければならない。そのために、フードの窓をできるだけ大きくし、ペアガラスを用い、窓枠にも考慮し、エアのリークや内部の曇りが発生しないように配慮されている。

さらに、リフトドアには、艶消しの加工を施し光の反射を抑え、オペレータが、難なく監視できるようにしている (図 9 参照)。

3.2 密閉フードのゼロレベル

密閉フードの重要な要素として、給排気のバランスがある。図 10 に示すように、フード上部は加圧状態であり、フード下部及びベースメントは負圧状態である。その加圧状態と負圧状態がゼロになるポイントをゼロレベルと呼んでいる。

一般的に、このゼロレベルはマシン操作フロアから、約 2 m の高さに設定される。これは、ほぼリフトドアの最上部の位置にあたる。この位置は給排気をバランスさせ、高露点で安定的に運転するために最適なポイントと言われている。なぜなら、フードのシートの出入り口高さがフロアから約 2 m の高さであり、この位置でのフード内外の気

図 10 フードのゼロレベル

図 11 XT コントロール

流の出入りを起こさず、かつ操作員が操作するエリアを微負圧にして、リフトドアのシール部から蒸気が吹き出さないようにするためである。このゼロレベルを維持するためには、給排気バランスを常に最適に保つ自動化システムが必要である。これを手動に頼ると、抄物が変わったり、抄造条件を変更した場合は、常に最適になるように一々手動で変更しなければならなくなり、その調整は決して容易ではない。

Metso 社は、長年に亘り、密閉フードの自動化を標準的に採用しており、排気湿度を一定に保つために排気風量を決定し、その排気量にバランスした給気量を自動で設定している。これは、Metso 社が開発した専用の風量計の精度がなせる技である。また、ゼロレベルの測定においても独自の極めて信頼性の高い装置を持っており、その測定結果は、前者の制御システムにカスケード制御される。これらのシステムを XT コントロールと呼んでいる（図 11）。この XT コントロールを採用すれば、一度セットした運転条件を抄物が変わったり、抄造条件が変更されても、基本的に変更する必要はない。言い換えれば、常に最適な条件で運転しているということである。最後にドライヤフードを設計する場合、前述したが、非常に重要なことは、さまざまなドライヤに適した設計（ドライヤの蒸発負荷カーブに基づいた設計）をすることである。これには、ドライヤの特性を熟知していなければならない。Metso 社はトータル

マシンサプライヤーであり、さまざまなドライヤに適した、最適なドライヤフードを提供出来る。

4. 最新の建屋換気とプロセスベンチレーション

日本の製紙工場における建屋換気やプロセスベンチレーションは、これまであまり重要視されてこなかった。冒頭述べたが、省エネを追求するあまり、建屋換気の給排気ファンを停止したり、プロセスベンチレーションの能力を抑えていることをよく見かける。その結果、短期的にはファン動力の低減が期待できるが、それと引き換えにマシン建屋は高温・高湿度になり、ウェットエンドにおいてはミスト発生が増加し、作業環境が非常に悪化する。この作業環境の悪化は、人間だけの問題ではない。最近の精密計器は、高温・高湿度に弱く、故障頻度が増加する。また、各機器やマシンフレーム、更には建屋の腐食や劣化がじわじわと進行する。このように目先の利益を追求するあまり、長期の利益を忘れているケースを多く見かける。この項では、Metso 社の標準的な建屋換気やプロセスベンチレーションについて述べる。

4.1 建屋換気

建屋換気は、快適な操作環境の維持および建屋や機器の腐食・劣化防止を目的としている。そのために、基本的な建屋内の気流は、図 12 に示すように操作側から駆動側へ、ドライエンド側からウェットエンド側に柔らかな気流を作らなければならない。当然ながら、ウェットエンド側の蒸発量が多くなり、サイザーやコーター後にも多くなる。これらの蒸発量を考慮して天井排気ファンや給気のウォールファンなどの配置および能力をそのマシンに応じ決める必要がある。また、重要なのは換気回数（給排気容量/建屋容積）である。夏場は多く、冬場は少なくする。この換気回数の調整不良や気流の流れが悪いと操作環境が悪くなり、建屋や設備に結露が生じ、カビを発生させたり、建屋や設備を腐食させたりしてしまう。

日本では、時々フードの給気を屋外から取るケースを見かける（図 13）。マシン建屋全体の環境を考慮した場合、換気回数を維持する必要があるため、排気ファンを増強しなくてはならない。従って、省エネの観点から考えると、むしろ逆効果である。更にドライヤ以外の機器からの排熱も回収できなくなる。フードの給気を外気にすれば、建屋

図 12 マシン建屋の気流

図 13 フードと建屋給排気

図 15 パワードライブラス

図 14 ウェットエンドのプロセスベンチレーション

への給気を減らせるという間違った解釈がされている場合があるが、これは建屋換気に関する考慮が不足している一例である。

4.2 プロセスベンチレーション

マシン全体において、ドライヤーの次に排気量が多く、最もミストが発生し易いウェットエンドの換気（ベンチレーション）を効率良く、確実に行うことが、操作環境のみならず建屋やマシンフレーム、制御機器などの保護に非常に重要である。また、これを軽視すると、マシンフレームに付着した紙粉などがワッドとなり紙匹や用具に落下し、断紙等の思わぬトラブルを誘発する。

プロセスベンチレーションは、各所から発生する水蒸気の量と温度に適した、排気設備を設けることが必要である。もちろん、そのマシンの特性に合わせた設計が重要となる。また更に建屋天井部には2重天井を設け、結露による水滴落下を防止する工夫が必要となる（図14参照）。

5. 最新のコータードライヤー技術

コータードライヤーの乾燥工程には欠かせない設備として、エアードライヤーやIRドライヤーがある。昨今では、このコータードライヤーの性能によって、モットリング（印刷時のインキ着肉不均一）や印刷特性などが左右されることが知られている。特に塗工直後の乾燥については、その乾燥速度

が遅くなると原紙に過度の水分が吸収され、紙表面の荒れとモットリングの増加を招くことが知られている。ここでは、Metso社が開発した、IRドライヤーに替わるエアーだけを用いた高速乾燥装置であるパワードライブラス（Power Dry Plus）や高効率で省エネルギータイプのエアードライヤー（Power Dry）を紹介する。

5.1 パワードライブラス（Power Dry Plus）

塗工直後に多く用いられてきたIRドライヤーは、ガスまたは電気で作成した赤外線を利用して高温にて初期の乾燥を担ってきた。しかしながら、そのメカニズムから、塗工層だけでなく、原紙もその周辺構造物も高温に晒す結果となり、肝心の塗工層の乾燥速度は遅くなってしまった。その結果、原紙に塗工液の水分が浸透し膨潤が生じ、紙表面の荒れやモットリングの原因を作りだしていた。更に、周辺の環境を悪く（熱く）してきた。

これに対し、Metso社のパワードライブラス（図15参照）は、高温（450～550℃）のエアーを高速（50～60 m/s）で塗工層表面に供給することにより、その殆どのエネルギーが塗工層に加えられ、蒸発乾燥させる。このため、塗工層の乾燥速度が速く、原紙への水分の吸収も非常に少ないので、塗工層の均一な不動態化ができることになる。従って、モットリングのない高い印刷特性が得られる。その他、周辺に輻射熱などが漏れることがないので、その周辺は全く暑くなく極めて快適な環境となっている。

5.2 パワードライとパワーフロートプラスノズル（Power Dry & Power Float Plus Nozzle）

コータードライヤーとして一般的に使用されているのはエアードライヤーであるが、そこに使用されているノズルは図16に示すように一般的にはフォイルノズルかフロートノズルである。インピジメントノズルは熱効率は良いが走行性に難がありエアードライヤーには使われない。Metso社が新しく開発したノズルは、パワーフロートプラスというノズルで、フロートノズルとインピジメントノズルを統合したようなノズルである。その効果として、走行性を維持しながら高効率の熱伝達が行え、結果的に図17に示すようにフロートノズルより約25%熱効率が大きく、フォイルノズルとでは約50%の熱効率の差がある。従って、このノズルを採用したパワードライは、従来のエアードライヤーより、約25%能力が向上するか同じ大きさであれば10～25%の省エネルギー化が可能である。また、従来のエアー

図 16 エアードライヤのノズル

ドライヤにこのノズルを置き換えることで、同じ効果を得ることができる。

6. ま と め

昨今の省エネルギーに関する意識の高まりや高効率・高品質に対する要求に対応するためには、従来のエアーステム設備の大幅な見直しが必要である。その実現のためには現状の建屋換気やプロセスベンチレーションを今一度見

図 17 ノズルの差による熱効率の違い

直して問題点を洗い出し、老朽化したドライヤフードの更新やコータードライヤの更新などにより、エネルギー効率を極限まで高めるべきと考える。その過程において本稿が参考になれば幸いである。