抄紙機ドライパートの湿紙乾燥に関する理論的解析 の問題点に対する若干の考察と高速抄紙機における 湿紙乾燥の実際的な考察について

(第2報)

Fundamental Study of Problems in Theoretical Analysis of Paper Drying on Paper Machine Dry Part and Practical Study of Paper Drying on High Speed Paper Machine 2nd Report

十条製紙株式会社 石 黒 久 三 郎

Kyuzaburo Ishiguro

Jujo Paper Co., Ltd.

There exist very few reports or studies for the purpose of improving quality of final products, efficiency and operation by measuring and analyzing tendency of paper drying on dryer part actually operated wide and high speed paper machine. This is mainly because the higher the paper machine speed, the measurement of dryer part increase the possibility of production loss and is also more hazardous from safety stand point. I have measured moisture content distribution in each pocket of dry part and dryer surface temperature under special countermeasures against above mentioned difficulties and have investigated influences of so-called "chimney" and "ventury" effect together with relation to the uneven drying of products, of which results are presented in this paper. I have found unexpectedly high non uniform moisture and temperature profile in case of canvas air system dryer. The fact that cross machine moisture profile in the pockets of wet and dryers is not uniform, easily causes uneven drying which is impossible to be corrected by the subsequent dryers. Dryer surface temperature is high on back side because drying steam has too much superheat.

"Chimney" and "ventury" effects have no negligible influence and I have been able to confirm many facts which hitherto were only conjectures. This measurement was executed on a paper machine of 6,960 mm wire width and 650 m/min. operating speed. The measuring method was as shown in fig. 9.

1. 結 言

前報で抄紙機ドライパートにおける湿紙乾燥を理論的に解析しようとする、ドレーンの挙動、シリンダセルの材質、接触熱伝達係数、湿紙の熱伝導、換気の内容等複雑な変動要素が多数あるため、実際的には困難であることに触れた。

本報は以上を背景とし、高速抄紙機ドライパートにおいて湿紙乾燥がいかなる因子を受けながら行なわれるかを確かめ、ドライパートにおける湿紙乾燥が製品品質、抄紙機の生産効率に影響を与えるとすれば、どのように操業の調節、設計的な吟味を行えばよいかを主目的にし行なわれたものである。

なお、本報の対象になった抄紙機はワイヤ幅 6,960

mm, 操業抄速 650 m/分, 抄造銘柄新聞用紙, ドライパートの主要仕様はペーパードライヤ直径 1,530 mm, 同シリンダ数 54 本, 全密閉フードで Grewin Noyzle を有し, フード内への湿紙乾燥換気用空気は, いわゆる Canvas Air Supply System (図 1 参照) により送風される型式のものである。

Fig. 1

2. 高速抄紙機における湿紙乾燥の実験的な考察

実際に稼動している大型高速抄紙機のドライパートを対象に計測を行ない, ドライパートにおける湿紙乾燥の傾向を分析し, 製品品質の向上, 生産効率の上昇, 操業の改善に資する目的で行なわれた研究, もしくは報告は意外に少ない。

これらの報文としては J. Jordan¹⁾, G. Chalmers²⁾らのものがあるが, いずれも湿紙乾燥を主体にし取りあげたというより, 抄紙室全体の Heat Balance, すなわち熱管理的な問題を調べるために行なわれたもので, また, 両者とも調査の対象にした抄紙機の抄速はいずれも 300~450 m/分程度で, 高速抄紙機の範疇に入れることはできない。

また以上のほかに抄紙機ドライヤポケット幅方向内関係湿度分布の記録として O. Swanberg³⁾, E. Race⁴⁾らのものがあるが, いずれもドライパートが有する多数のポケットにおける特定の, 単独のポケットに対し行なわれたもので, 記録も明確でなく, また断片的である。

これは現実に操業されている高速抄紙機のドライパートを計測し, 湿紙乾燥がどのような状態で行なわれているかを調べようとする, 次のような問題点が必然的に発生し, その具体的な実施を困難にしてしまうからである。

1. 抄紙機が高速になる程, ドライパートの計測は実際操業面に影響を与え, 生産損失を招き易いこと。そして高速抄紙機程この損失は高額に昇り, ある程度の経済的負担を覚悟しなければ実施できないこと。

2. 計測に際し安全上危険が伴うこと。元来抄紙機には大小取廻め, 回転体が多数存在しているが, 高速になる程これらによる危険度が著増し, あらかじめ, これについて十分な対策と配慮を行なう必要のあること。

3. 高速抄紙機のドライパートフードは全密閉型フードの場合が多いが, フード内は一般に高温多湿状態で, 長時間フード内に滞在し, 計測を行なうことは不可能に近いこと。

本報は上記高速抄紙機の経済的な損失, 安全管理, 操業面に十分に配慮を行ない後記のように計測に特別な対策を講じ実施したものである。

Fig. 2

本計測の対象となった高速抄紙機ドライパートにおける湿紙乾燥の傾向は図2の通りで、その特長は概略下記の通りである。

1. 製品幅方向両端部 500~700 mm の個所の含水率が少なく、両端が過乾燥気味である。

すなわち操作側端部の含水率 6~7%

駆動側 " 5~7%

2. 製品幅方向中央部の含水率が8~10%と多く乾燥不良気味で、特に駆動側全幅 1/3 位の個所が尖頭的に乾燥不良(含水率10~11%)になるときがある。

3. 要するに製品幅方向含水率は全体的に5~10%にわたり、上記尖頭的な個所を頂点とした状態で、決して良好な傾向を有しているとはいえない。

上記のごとく製品幅方向に相当な含水率の変化を有し改善の必要性が認められ、下記の各種調節を順次実施していったが殆ど実効は挙げなかった。

1. 製品幅方向両端部の過乾燥を是正するためドライパート階下に設けられている、いわゆる Canvas Air Supply Duct の熱風吹出幅に対し両端部約1 mの開閉口を閉にした。

2. ドライヤフード排気ファン用ダンパ開度を種々に調節し、フード内ベンチレーションの状態を変化させてみた。

3. フード内に浸入する換気用空気の過剰率を小にするため、フードに対する湿紙出入口、その他開口部を出来るだけ塞いでみた。

4. グレビン装置用熱風量を各種に調節してみた。

2.1 ドライヤポケット内幅方向湿度分布の測定

高速抄紙機における湿紙乾燥に対してもっとも影響を与えると考えられるドライヤポケット(図3参照)内幅方向における湿度分布を最初に測定した。

測定法は既述の通り人身に対する安全、抄紙機生産効率の低下に対し十分に配慮し、図9に示す通り実際

作業に出来るだけ影響を与えないようにC型钢を通し、これに台車を走らせ、台車に測定ヘッドを取付け、ドライヤ幅方向にわたり11点につき測定し、その指示記録はフード外部で実施出来るようにした。

本幅方向湿度測定は実際作業に影響を与えない、しかもC型钢を取付け得る可能な限りの多くのドライヤポケットに対し実施したが、これら測定結果の代表的なものを図4に示した。

本測定結果よりの考察は次の通りである。

1. No. 4, 8 ドライヤ(図4(a)(b))のドライヤポケットにおいて、駆動側より全幅に対し1/3位の個所の関係湿度が70~100%と高率を示し、この位置は図2に示す製品幅方向含水率の尖頭的なプロファイルとほぼ一致している。

前報(4)式より湿紙周辺の換気用空気の関係湿度が高ければ、湿紙よりの蒸発は不活発となり湿紙含水率は高となるが、図4(a)(b)の傾向は両者の相関を示し、さらにドライパートのウェットサイドで湿紙幅方向に対し、このように大きな含水率の変動すなわち乾燥むらが生ずると、これ以降のドライパートで矯正しようとするのは殆ど困難でないと考えられる。

2. グレビン装置使用、不使用の場合、ドライヤポケット幅方向関係湿度の分布は図4(f)、図5の通りで、両図よりグレビン装置の効果は一般に考えられている程期待し得ないことが解った。

Fig. 3 Dryer pocket

Fig. 5

本グレビン装置のノズル先端の口径は12 mm、こより熱風温度110°C、風速約120 m/sの状態 で吹出し、本来ドライヤポケット内換気の改善を図るために設置されたものである本熱風高速噴射によりドライパート外部よりグレビン装置風量の約10倍の空気がポケット内に吸引され換気が改善される筈なのだが、もしドライパート外部(本抄紙機のように全密閉フード

Fig. 4-1 Each dryer pocket crossmachine relative humidity distribution

Fig. 4-2

の場合にはフード内空気)の空気が湿り状であれば、湿度の高い湿り空気がポケット内に導入されることになり、ポケット内換気改善に役立たず、場合によっては改悪状になることさえ考えられる。本抄紙機をはじめ、一般にいわゆる Pocket Ventilation System (熱風乾燥装置)⁵⁾を有さないドライパートの全密閉フード内の空気は高温多湿であり、この高温多湿空気がグレビン装置よりの熱風噴射によりポケット内に吸引、導入されたため、ポケット内の換気改善に役立たなかったものと考えられる。

なお、グレビン装置よりの熱風噴射による外部空気

のドライヤポケット内吸引現象は、グレビン装置周辺に有色空気を満すことによりよく観察することができる。

3. No. 4, 8 ドライヤ以降の各ドライヤポケット幅方向関係湿度は図 4 (c)~(j) の通りで図 4 (a) (b) ほど極端でないが、なお問題を有していることが解った。大略の傾向としては操作側の関係湿度が低く、これがまた、製品幅方向操作側過乾燥の一因になっているものと考察された。

4. 以上を総合し本高速抄紙機ドライヤ各ポケット内湿度分布を実測することにより、これと製品幅方向含水率の変動、すなわち乾燥むらと相当に相関を有することがまづ確認された。

2.2 ドライヤシリンダ表面温度の測定

ドライヤポケット幅方向における湿度測定と同時に各ドライヤシリンダ幅方向表面温度測定も行なった。測定法は湿度測定法と同じく図 9 の通りである。

本測定結果は図 6 (a)~(i) の通りで、これらを集約すると下記の通りである。

1. 本高速抄紙機のドライヤシリンダ表面温度は、少数の例外を除き操作側に比し駆動側の方が高目で、なかには数 °C ないし 10 数 °C の温度差を示すものが存在し、この傾向は乾燥用蒸気としてドライヤシリンダ内にドレーンフラッシングタンクよりの再蒸発蒸気ではない生蒸気が供給される、ドレネーヂシステムという、いわゆるメインセクション (No. 23 ドライヤ以降) に目立っている。

2. このドライヤシリンダ表面温度差は駆動側よりセル全幅の 1/3 位のところで大きい。

3. 本高速抄紙機ドライパートの計測は、実測可能な下部カンバスについても行なわれ、その代表的な例は図 7 (a)~(d) の通りだが、カンバス幅方向表面温度分布も全般的に操作側より駆動側の方が高く、上項の結果を裏付けている。

4. 製品幅方向含水率が駆動側の方が少ないという結果は、上記のようなシリンダ幅方向表面温度の影響を受けているものと考えられる。

5. シリンダ表面温度が操作側より駆動側の方が高いということは、シリンダ内に供給する乾燥用蒸気(過熱蒸気)の過熱度が高いことが要因の一つであると考えられる。

すなわち乾燥用蒸気の性質は 1.1 kg/cm^2 (ゲージ圧) $\times 150^\circ\text{C}$ で、 1.1 kg/cm^2 の飽和蒸気と較べると次の通りである

	圧力	温度	エンタルピー
乾燥用蒸気	1.1 kg/cm^2	$\times 150^\circ\text{C}$	660 Kcal/kg

Fig. 6 Each dryer cross machine surface temperature distribution

Fig. 7 Each section canvas cross machine temperature distribution

飽和蒸気 $1.1 \text{ kg/cm}^2 \times 121^\circ\text{C}$ 649 Kcal/kg

これより乾燥用蒸気の過熱度は 29°C あるが、エンタルピーの差は僅か 11 Kcal/kg の差に過ぎず、ドライヤシリンダ駆動側から吹込まれた過熱蒸気は、シリンダセル内面に接触し 11 Kcal/kg 放熱されるとただちに飽和蒸気温度に低落し、したがって操作側に比し駆動側シリンダ表面温度が高温になったものと考えられる。

6. 多くの実際操業の経験より乾燥用蒸気の過熱度は、寒冷、温暖地区により異なるが、数 $^\circ\text{C}$ ないし 10 数 $^\circ\text{C}$ 以内、ドライヤ幅方向表面温度の差異は 5°C 以内に抑えないと製品に乾燥むらを発生し易くなる⁹⁾。

7. ドライヤシリンダ幅方向表面温度測定と同時に全数のドライヤシリンダ表面温度を輻射温度計を用い、実測可能な操作側、駆動側の端部について計測した。本測定の結果は図 8 の通りだが、本図は前後 4 回にわたり計測した数値の平均である。

本図からも全体的に操作側に比し駆動側表面温度の

Fig. 8 Machine direction surface temperature distribution of dryer cylinders

方が高いことが確認された。

2.3 ソールプレート，ドライヤセル間を走る風速が湿紙乾燥に与える影響の調査

本調査はいわゆるチムニ及びベンチュリ効果⁷⁾がどの程度湿紙乾燥に影響を与えるかを調べるために行なわれたものである。風速測定は熱線風速計を使用し実施した。測定箇所は図1 A部のみで，駆動側は測定不能なため割愛した。

測定結果は表1の通りで，次のことが考察される。

1. 測定値が少なくいちがいに断定できないが，図1 A部の風速が大なるところは大体においてその個所の関係湿度も低い。すなわち，湿紙操作側端部を過乾燥にする傾向を与える。

2. 駆動側も同様なことがいえると思われるが，ギャケースその他障害物があり，実際に測定はできなかったが，駆動側も当然チムニ及びベンチュリ効果を受けるとすれば，前節2.2項の影響に拍車をかけることになる。

3. いずれにせよチムニ及びベンチュリ効果による製品幅方向両端部の過乾燥の傾向を緩和するには，図1に示す抄紙機ドライパート階下より階上に上昇する全体の風量を小にし，本図A部を通過する風速を遅くする方向に持ってゆくのが好ましい。

以上が実際に稼動している高速抄紙機ドライパート実測の概要である。いままでに示した湿紙乾燥の傾向

は，いわゆる Pocket Ventilation System（熱風乾燥装置）が設備されていない，本抄紙機のように単に Canvas Air Supply System のみが設備されている高速抄紙機において，程度の差こそあれ発生しているものと考えられるが，従来は本文に記載したような計測記録がなく推論の域を出ることができなかったのが実状であった。

高速抄紙機ドライパートに対し本文のごとく測定を行なうことにより，高速抄紙機における湿紙乾燥の傾向の概要を知ることが可能となった。

また，本高速抄紙機ドライパートにおける湿紙乾燥に対し下記の方法が有効であることが確認された。

1. 図4(a)(b)に示すポケット内幅方向湿度分布における尖頭部を平均化するため，製品品質に影響を与えない範囲で，高通気度を有するプラスチックカンバスを使用し，これによるいわゆるポンピングアクションによりポケット内湿度分布を均らす。

また，湿紙フラッタリングを発生させない範囲で，図4(a)(b)の傾向を示すポケットに対し熱風乾燥装置を設備し，ポケット内において強制換気を行なう。

2. デスパーヒータを設け，乾燥用蒸気の過熱度を前述の程度に低下させる。

3. 抄紙機ドライパート階下に設備されている Canvas Air Supply System の風量を，湿紙乾燥の換気に影響を与えない範囲で，出来るだけ小に調節する。

Table 1 Relation between air velocity at Fig 1 part A (front side) and relative humidity at dryet pocket front side

	2 D	8 D	14D	16D	20D	24D	26D	30D	32D	34D	38D	44D	46D	50D
Air velocity between sole plate and dryer shell (part A) m/s	0.98	0.63	0.4	—	0.4	—	0.6	—	0.45	—	0.88	0.43	—	0.45
Relative humidity at dryer pocket front side %	—	24.5	—	54	60	59	—	27	—	34	38	—	39	44

3. 結 語

大型高速抄紙機を対象にし、ドライパートで湿紙乾燥に大きく影響を与えるポケット内関係湿度の状態、シリンダ表面温度分布、換気等に対し、実際に計測を行ない考察を行なった報文は殆ど見当らず、したがって、従来は、これらに対し推測の域を脱することはできなかったが、本報によりこの辺をある程度明確にすることが可能になった。

すなわち

1. いわゆる Pocket Ventilation System を持たない従来よりの Canvas Air Supply System の方式は、本報のように従来より考えられていた以上に、予想外にポケット内幅方向湿度水分が不均一であり、さらにドライパートウェットサイドにおける不均一性は、後続のドライパートで是正が殆ど困難で、製品乾燥むら発生の原因を作り易いこと。

2. ドライヤ幅方向温度分布も従来よりの予想以上に不同であり、矢張り乾燥むら発生の一因となっていること。

3. チムニイ及びベンチュリ効果の影響も無視できないこと。

等が判明し、従来よりの Canvas Air Supply System の方式では湿紙幅方向乾燥の均一性を期待することには限界のあることが分かった。

上記1項の原因はドライヤポケット内において、換気用空気が停滞しがちであることによるものと考えられ、同じく3項を含め、いわゆる Pocket Ventilation System を設備し、ドライヤポケット内を機械的に強制換気すれば効果的であることが解る。

ただし、2項の原因は前報に記載のように、シリンダ内ドレイン挙動の影響、シリンダセル幅方向における材質の不均一性、接触熱伝達係数の不確定性等によるものと考察され、ドライヤシリンダを多数配列する多筒式ドライヤでは、たとえ Pocket Ventilation System を設け、ポケット内を強制換気を行なっても上記2項の影響を免れることは出来ず、湿紙乾燥の均一性に対して、ある限度のあることが理解できる。

したがって湿紙乾燥の均一性を期待するには、前報で触れたように、高速抄紙機に対し上記各項の影響を受けない独得の乾燥メカニズムを持つ、いわゆるサクションドライヤ型式による湿紙乾燥法が望ましいと考えられる。

4. 補 記

本報の計測は次のようにして行なわれた。

Fig. 9 (a)

Fig. 9 (b)

1. ドライパート各群カンバスの入口、出口側表面温度測定は輻射温度計により実施した。

2. ドライヤポケット内関係湿度の測定は、図9のように紙切れ警報器、その他抄紙機操作に必要な設備が設置されてないポケット内にC型鋼を本測定前に取付け、本C型鋼を走る台車を別に用意し、これにサーミスタ温度計を取付け台車をロープで走らすことにより幅方向に対し点測定し、指示値はフード外で読み取るようにした。

3. ドライヤシリンダ幅方向表面温度測定は、同じく上記台車を利用し、これに輻射温度計をサーミスタとともに取付け同様に測定した。

4. 各ドライヤシリンダ表面温度の測定は、上記3項とは別に携帯式輻射温度計を用意し、係員が防熱服を着用しフード内に入り測定可能なシリンダ操作側、駆動側端部の範囲に対し、前後4回計測を実施しその平均値を採用した。

5. 上記1～3項に対しては、それぞれの測定につき経時的变化の傾向を吟味する、すなわち、ある測定位置に対し相当長時間の測定を行ない、測定値の変化の状況を知り経時に対し平均的な計測値を求めるのが

理想的だが、抄紙機操業の実態より実施困難で断念せざるを得なかった。

参 考 文 献

- 1) J. Jordan, "Paper mill ventilation with closed hoods at Iroquois Falls" PPMC Conv. 1953
- 2) G. Chalmers "Performance testing the dryer section of a paper machine" PPMC Conv. 1954
- 3) O. Swanberg "How open mesh dryer fabrics affect pocket ventilation" PTJ, Sep. 18, 1967
- 4) E. Race "The Scapa pocket ventilator for use with open-mesh fabrics and highly permeable felts" PPMC Feb. 1967
- 5) 7) 石黒久三郎 "ドライヤ熱風乾燥装置について" 紙パルプ技術タイムス46年1月～3月号
- 6) 石黒久三郎 "抄紙機の理論と実際" 紙パルプ技術タイムス41年2月号

「紙 の 抄 造」 刊 行!!

本の体裁：A5判，上製本

ページ数：本文534ページ

図並びに表：図—420，表—27

定 価：4,000円+100円=4,100円

(小包料金値上げのため)

非常に発行が遅れておりました待望の紙パルプ製造技術全書第8巻「紙の抄造」が刊行の運びとなりました。既刊技術全書と同様、ご購入をお願い致します。

本書は、この方面に経験の深い諸氏により、入念に執筆、監修されたもので、完成までかなりの年月が費されております。これによっても、本書の内容の信頼性と充実振りを想像して頂けると考えます。

また、本書は次の諸点に特に留意して執筆されており、これが大きな特長となっております。

すなわち、

- (1) 現場で直接役立つ事項の集録
- (2) 最新の抄紙機械設備、抄紙技術の紹介
- (3) 420に及ぶ図版の挿入による理解の助長。
- (4) 広い範囲の内外文献の渉猟。