乾燥工程における紙の寸法安定性の改善（第4報）

—紙端部における収縮抑制とカールの防止—

三菱重工業株式会社 広島研究所 久野廣明, 蓮池牧雄, 鈴木節夫, 真田 晃
 三菱重工業株式会社 紙・印刷機械事業部 大平和仁

Improvement of Dimensional Stability of Paper in a Drying Process (Fourth Report)

—Shrinkage Prevention of Sheet Edge and Curl Control—

Hiroaki Kuno, Makio Hasuike, Setsuo Suzuki and Akira Sanada
 Hiroshima Research & Development Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Kazuhito Ohhira
 Paper and Printing Machinery Division, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Commercial machine-made paper often has uneven dimensional stability in the cross machine direction. Especially, both edges of the paper show much greater amount of elongation and contraction comparing with the paper from the middle in the cross machine direction. This is due to less restrained drying in the both edges of the paper. To improve the dimensional stability of paper from the edges, the effect of aspect ratio in the open draw section was investigated in laboratory scale. Higher aspect ratio has ability to reducing the shrinkage of the both edges. A combination of promoting evaporation of water from paper on a heating roll and preventing drying in the open draw section also resulted in the improvement of unevenness of CD shrinkage profile in the cross machine direction. Additionally, a technology of curl control is also required for the drying. Fundamental study on cylinder drying with air impingement was conducted to prevent a curl of paper. Impingement drying through a dryer felt with high permeability was realized to be one of best drying methods to control a curl.

Keywords : Shrinkage, Curl, Dimensional stability, Aspect ratio, and Impingement drying

分類 : S₁ 紙の性質一般, Q₆ 紙板紙品質試験法, M₇ ドライヤー

1. 緒 言

紙の寸法安定性は乾燥工程における拘束率や拘束力,あるいは表裏の乾燥負荷などにより大きく影響をうける。実機の抄紙機ドライヤのうち,従来の二段式ドライヤーはオーブンドロー部が長く,この領域で乾燥が進行するため,収縮率が大きく出来上がった紙の寸法安定性が劣る。一方オーブンドロー部が短く拘束率も大きい単段式ドライヤーは収縮率も小さく,二段式ドライ

ヤーに比べ寸法安定性も優れている。しかし,前報¹⁾で報告したように,いずれの方式においても紙の端部では幅方向の収縮率が大きく,印刷時には,湿し水の吸収による横伸びでファンアウト障害を生じやすい。そのため,実機ドライヤーの寸法安定性改善の課題は,紙幅方向とくに端部の収縮率を抑制することで,中央部から端部にかけての急激な物性変化をなくし均一化することである。Hansson²⁾は紙の幅方向を積極的に拘束して寸法安定性を改善するアイデアを提案してい

る。本研究では、ドライヤでのオープンドロー部のアスペクト比（紙幅/オープンドロー長さ）に着目して、幅方向の乾燥収縮特性を定量化し、さらに紙端部の拘束がない部分では乾燥を抑制するとともに、カンバス拘束のある加熱ロール上で積極的に乾燥促進する方法を考案し、要素検証を行った。

また一方、最近の単段式ドライヤでは断紙処理を容易にするため、全群トップフェルトの配置が採用される傾向にある。しかし一方加熱のため、紙表裏の乾燥負荷に差が生じ、乾燥終了直前では紙厚方向に内部応力状態の異なる紙ができる。このような紙は乾燥終了後、拘束が解放されると紙厚方向に伸縮差を生じ、カールが起きやすくなる。この場合、カールの防止には表裏の乾燥負荷を制御する機能が必要となるため、本研究では表裏の熱負荷を制御する手段としてカンバス越しの熱風噴流乾燥の併用を考案し、その効果を要素実験的に検証した。

2. 紙端部の寸法安定性改善の手法検討

乾燥工程で生じる幅方向の収縮率のプロファイルは、両端部の収縮率が大きいため、鍋底型のプロファイルと

なることがよく知られており、Wahlströmら³⁴⁾により計測されたデータが報告されている。紙幅全体の収縮率はオープンドロー部の長さに対する紙幅の比で定義されるアスペクト比が関与しており、アスペクト比が大きいほど収縮率は小さくなる。端部の収縮率に与えるアスペクト比の影響を予測するため、単段式ドライヤのオープンドロー部における幅方向応力分布を第2報⁵⁾で報告した有限要素法で解析し、含水率25%近傍で、アスペクト比を8から32まで変化させたときの影響を調べた。図1の乾燥応力解析によれば、アスペクト比が大きくなるほど、幅方向引張応力値が高くなっており、中央部では収縮抑制効果が大いことが推察される。しかし、いずれの場合も端部の応力はゼロ近傍で、収縮しやすく、実機ドライヤで実現可能なアスペクト比の範囲である8から30位では、端部の収縮抑制効果を期待するのは難しい。1960年代にはエキスパンドロールなど幅方向の収縮を抑制する工夫⁶⁾⁷⁾⁸⁾が報告され、1989年にはHansson¹⁾らが短冊の走行ベルトと湿紙端部を接着固定し幅方向を拘束しながら乾燥する実験を行い、幅方向に均一な紙物性特性をもつ紙が得られたことを報告している。しかし、これ

Fig.1 Calculated CD stress profiles in the open draw section (at 25% moisture)

らの改善手法は装置が複雑となり、高速化が進んでいる最近の抄紙機に適用するには課題が多い。そこで、これまでの一連の研究から、拘束領域で収縮を抑制しながら乾燥を促進させ、オープンドロー部のように端部の拘束のない領域では、収縮が起きないように積極的に乾燥抑制する手法を以下に検討した。

- ① オープンドロー部でのアスペクト比の拡大で拘束率を増加
- ② バキュームロールの真空値増加で拘束力向上
- ③ シリンダ乾燥と熱風噴流乾燥の併用により、カンバス拘束下での乾燥促進
- ④ オープンドロー部でのミスト冷却ないし蒸気加湿による乾燥抑制

これらの手法を組み合わせることで、端部の収縮抑制が期待できるものと考え、つぎに要素実験での検証を行うこととした。

3. 実験方法

3.1 実験装置

実験装置を図2に示す。加熱ロールは直径600 mm、幅340 mmで800 Wのヒータで最大180℃まで温度制御が可能である。バキュームロールも同様、直径600 mm、幅340 mmで真空度は最大3 kPaまで吸引できる構造となっている。また加熱ロール上には、カンバス越しに熱風噴流乾燥が併用できる装置を設けている。熱風噴流乾燥の加熱ロール巻付き角は180度とした。カンバスは通気度の影響を調べるため幅方向に二分し、操作側には高通気度用、駆動側は低通気度用をつなぎ合わせたものを使用した。実験装置は湿紙に一定のテンションがかかるように後述する湿紙枠の一端をカンバスに固定し、湿紙をカンバスに帯同させな

Fig. 2 Drying test apparatus

がら、加熱ロールとバキュームロール間を往復駆動させ乾燥を行う構造とした。湿紙の固定は第2報で報告した方法にさらに改良を加え、板厚0.2 mmの黄銅板にOHPフィルムを介して湿紙を固定し、黄銅板の両端を0.3 mmのピアノ線で結び、乾燥が進行すると、MD方向に一定荷重が負荷されるようにした。図3にそれを示す。なおここでは、荷重は80 N/mとした。

3.2 実験条件および方法

実験条件は、ケース1ではオープンドロー部のアスペクト比と真空度を変えて端部収縮抑制効果を検証し、ケース2では熱風噴流乾燥により加熱ロール上で蒸発促進し、オープンドロー部でミスト冷却あるいは加湿により蒸発を抑えて収縮抑制する手段の効果を検証する。実験に用いた湿紙サンプルの仕様を表1に、実験条件を表2に示す。ここでアスペクトの範囲は実機ドライヤ相当の8ないし16程度から完全拘束に近い40までとした。またケース2のミスト冷却については二流体ノズルを使用し、30 g/min.の水量で水ミストをオープンドロー部に噴霧し、加湿の場合は100℃の水蒸気でオープンドロー部を置換した。

また、カンバス越しの熱風噴流乾燥によるカール抑制実験では機械抄きした湿紙のワイヤサイドを加熱ロール面に当てて一方向側からのみシリンダ乾燥を行い、適当な含水率になったとき、カンバス越しで熱風噴流乾燥を行う。実験条件を表3に示す。加熱ロールとバキュームロールの接触時間は実機を模擬して1往復あたりそれぞれ2.5秒、1秒とした。乾燥後のサンプル

Fig. 3 Supporting method of wet sheet sample for drying test

Table 1 Paper Properties of Test Samples

Test	Material		Freeness CSF	Basis Weight g/m ²	Density kg/m ³
	Grade	Furnish			
Test for edge shrinkage control	Wood-free	LBKP : 90% NBKP : 10%	240	63.1	0.632
Test for curl control	Wood-free	LBKP : 90% NBKP : 10%	382	59.2	0.643

Table 2 Test Conditions for Shrinkage Control of Paper Edge

	Case 1	Case 2
Canvas Speed (m/min.)	15	15
Aspect Ratio	8, 16, 25, 32, 40	40
Heating Roll Temperature ℃	80	80
Vacuum Roll Pressure kPa	-1.0 -2.2* (* : Aspect Ratio 40)	-1.0
Sheet Tension N/m	80.0	80.0
Open Draw Condition	Hot Air Temperature : 120℃	1) Mist Cooling Supply of water mist : 30 g/min 2) Humidification by steam Pressure : 100 kPa
Air Impingement Drying on a Heating Roll	Non	Temperature : 150, 200℃ Air Velocity : 60 m/s

は30℃一定で、65%, 1h→35%, 1h→85%, 1h→65%, 1hの調湿サイクル後のカールを測定する。乾燥のパターンとしては熱風噴流乾燥を開始する際の湿紙含水率を60%, 40%, 30%とし、熱風噴流乾燥を行わない場合と比較した。また熱風噴流乾燥によるカール抑制効果は紙層内の温度水分履歴から評価した。

3.2.1 幅方向収縮率測定

250 mm (MD) × 200 mm (CD) の供試湿紙をパソコン制御によりプロットにてCD方向5 mmピッチで基準標点をマーキングし、乾燥後の標点距離をルーベ付きデジタルスケールで測定、次式で収縮率を求めた。収縮率プロファイルは中央部とその前後10 mmの3列測定した。

$$\text{収縮率 (\%)} = \{(L_0 - L_x) / L_0\} \times 100 \cdots \cdots (1)$$

ここで、 L_0 : 基準標点 = 5 mm

L_x : 乾燥後標点 mm

なお、読み取り精度について、3列各50点測定した時のばらつきの標準偏差は0.05 mmであった。

3.2.1 湿紙紙厚方向の温度含水率測定

湿紙紙厚方向の温度・含水率の測定は、筆者らの開発した紙層間の温度・含水率同時測定法⁹⁾によった。図4にその測定法を示す。湿紙中の温度分布は紙層間に25 μmのk型熱電対を埋め込んで測定した。また含水率測定においては25 μmの電極を1層当り60 g/m²の湿紙を挟み込むように配置し、3層重ね合わせ、紙層間のインピーダンスを測定し、あらかじめ作成した含水率とインピーダンスの検量線から含水率を求めた。なお電極間のインピーダンスは次式で示される。

$$Z = [R^2 + (\omega C)^2]^{-0.5} \cdots \cdots (2)$$

ここで、 Z : インピーダンス Ω

Table 3 Test Conditions for Curl Control of Paper

	Drying Pattern	Air Impingement		Heating Roll Temp.
		Air Velocity	Air Temp.	
1	All top felt sections without air impingement drying	—	—	90℃
2	All top felt sections with air impingement drying	20 m/s 40 60 80	140℃	90℃
3	Air impingement drying at 40% moisture content	20 m/s 40 60 80	140℃	90℃
4	Air impingement drying at 30% moisture content	20 m/s 40 60 80	140℃	90℃

Fig. 4 Measuring method of sheet temperature and moisture content

R : 抵抗成分 Ω
 ω : 角振動数
C : 容量成分 F

なお、ロール加熱と熱風噴流乾燥併用時の紙層内の温度差・水分差の履歴を調べるため、図5に示すよう

に、多層紙のカンバス側温度 T_1 、含水率 M_1 と加熱ロール側温度 T_3 、含水率 M_3 を計測し、 $(T_3 - T_1)$ 、 $(M_3 - M_1)$ をそれぞれ紙層内の温度差と水分差とした。

Fig.5 Measurement of temperature and moisture content through the thickness of a paper sheet

4. 実験結果及び考察

4.1 紙端部の収縮抑制

4.1.1 アスペクト比の影響

図6にオーブンドロー部のアスペクト比と収縮プロファイルの関係を示す。ここで幅方向位置は全幅に対して規格化し、無次元位置で表示している。今回の実験では200 mmと非常に狭い紙幅のサンプル紙を用いたが、収縮プロファイルは実機の全幅紙と同様に、端

部で収縮率が高く、中央部に向かうに従って低くなる凹型のプロファイルを示しており、実機の紙の収縮特性を模擬できたと考える。実験結果はアスペクト比8から25までは収縮プロファイルにほとんど変化がみられないが、端部収縮率はアスペクト比を増大すると緩やかに減少し、中央部の収縮率の最も低い部分の平坦部長さも長くなる傾向にある。アスペクト比を大きくすることで、端部と中央部の収縮率の差は縮まる。図7に中央部と端部の収縮率差をアスペクト比に対してプロットした結果を示す。アスペクト比を8から40にすると、収縮率の差は6%から4%弱まで低減する。また、バキュームロールの真空値を-1 kPaから-2.2 kPaまで高め拘束力を上げることで、さらに収縮抑制が図れ、端部と中央部の収縮率の差は1.5%程度に縮まる。このように、オーブンドロー部の長さを短くしてアスペクト比を大きくするとともに、バキュームロールの真空値を高めることで、幅方向に均一な収縮プロファイルが達成可能である。

Fig.6 Shrinkage profiles vs. aspect ratio

Fig. 7 Shrinkage difference between middle and edge of paper vs. aspect ratio

4.1.2 加熱ロール部乾燥促進とオープンドロー部乾燥抑制

カンバス拘束のある加熱ロール上で熱風噴流乾燥を行い蒸発促進するとともに、オープンドロー部では乾燥抑制する手段を採用したときの幅方向収縮プロファイルを図8に示す。5-1のケースはノズル吹出し流速 60 m/s, 温度 150℃ の熱風噴流乾燥を行ない、オープンドロー部でミスト冷却した時の幅方向収縮プロファイルを示したものであるが、紙端部の収縮率を 2% 以下に低減でき、プロファイルも均一化できる。5-2 および 5-3 はオープンドロー部を 100℃ の蒸気で高温加湿して蒸発抑制しながら、熱風噴流温度の影響を調べたものである。温度が 150℃ のケースでは、端部収縮率を 4.5% 程度まで低減できたものの、抑制効果は十分ではない。5-3 の 200℃ のケースでは端部の収縮率も 3% 以下となり、拘束下での乾燥促進の効果が現れている。さらにカンバス通気度を 19,000 cc/min./cm² (差圧 125 Pa) と大きくした操作側の収縮率はさらに 2% 以下に下がり、さらに均一化が図れる。以上の結果から、オープンドロー部の乾燥抑制はミスト冷却の方が蒸気加湿より効果があることがわかる。蒸気加湿の場合は加湿した裏面(カンバスと接する面)からの蒸発があったため、収縮量がミスト冷却の場合を上回り乾燥抑制が不足したものと思われる。なお熱風噴流乾燥における熱風温度の蒸発量に与える影響度は、紙温度との差 ΔT にはほぼ比例するので、紙温度を 70℃ とすれば、200℃ の場合は 150℃ に比べ約 1.6 倍単位時間当りの蒸発量が増えることになる。また熱風温度 150℃ を一定とした場合、円孔ノズル衝突噴流熱伝達からの物質移動のアナロジー¹⁰⁾を用いてノズル吹出し流速の効果を推定すると、蒸発速度はレイノルズ

数の 2/3 乗に比例するので、約 2 倍 120 m/s の吹出し流速があれば 200℃ と同等の効果が得られると考えられる。

4.2 カールの抑制

4.2.1 温度水分分布とカール

図9は熱風噴流の有無による紙層内の表裏の温度差・水分差の履歴とカールの挙動を示したものである。水分差の履歴をみると、従来の加熱ロールのみの乾燥では、乾燥全領域にわたって加熱ロール側層の含水率がカンバス側層に比べ低い。これはロール側からの一方向加熱のためで、乾燥後半ではロール側の温度がかなり高くなっていることがわかる。このような条件下で、拘束乾燥が終了して解放されると、カールは最終的に乾燥される面を内側に、この場合はフェルト側にカールし、不可逆カールも大きい。一方、熱風噴流乾燥を併用した場合は、表裏の温度差は大きく変化しないが、カンバスに接している紙層側の表面蒸発が促進されるため、水分差は逆転し、加熱ロール面側の含水率が高くなる。これによりカールは従来の熱風噴流乾燥のない場合より小さくなり、湿度サイクルによるヒステリシスすなわち不可逆カールもなくなっていることがわかる。このようにシリンダ乾燥下での熱風噴流乾燥併用によるカールの抑制は効果が大きいので、つぎに熱風噴流条件についてその効果を調べた。

4.2.2 熱風噴流乾燥によるカールの抑制

全群トップフェルト配置の単段式ドライヤを模擬して、熱風噴流乾燥を併用した時のカールの抑制効果を検討した。熱風温度 140℃ 一定で、吹出し流速をパラメータとし、熱風噴流乾燥を開始するときの湿紙含水率に対し、調湿サイクル後のカール値を図示すると図10のとおりである。流速が大きくなるにしたがって、

5-1

Aspect Ratio: 40

With Air Impingement

Temperature: 150 °C

Canvas Permeability:

Front: 19000 cc/min. cm²Back: 2000 cc/min. cm²

Open draw section:

Mist cooling

5-2

Aspect Ratio: 40

With Air Impingement

Temperature: 150 °C

Canvas Permeability:

Front: 19000 cc/min. cm²Back: 2000 cc/min. cm²

Open draw section:

Humidification by steam

5-3

Aspect Ratio: 40

With Air Impingement

Temperature: 200 °C

Canvas Permeability:

Front: 19000 cc/min. cm²Back: 2000 cc/min. cm²

Open draw section:

Humidification by steam

Fig. 8 Improvement of shrinkage profiles of paper

カール抑制効果が顕著となり、80 m/s では、ドライヤセクションの後半となる含水率 30% から熱風噴流乾燥を始めても大きなカール修正効果が期待できる。これは拘束下での乾燥収縮が含水率 35~40% 付近から起り始めるためと考えられる。一方、20 m/s の噴流速度程度では、初期の高含水率の領域から熱風噴流乾燥を行ってもその効果は顕著にはみられない。乾燥時間からこの時の蒸発率を実測すると、カンバス越しの熱風噴流乾燥では 18.5 kg-H₂O/m²/h であり、熱風噴流乾燥のない場合の蒸発率の実測値 15.9 kg-H₂O/m²/h と比較して、16% 増と乾燥への寄与が低いと推察

される。以上の結果から、熱風噴流乾燥によるカールの抑制効果は有効であり、紙端部の収縮抑制と合わせて紙の寸法安定性改善の有力な手段として実用化が期待される。

5. 結 言

本研究では、乾燥工程における紙の寸法安定性の改善、とくに紙端部の収縮率を低減し、幅方向の収縮特性を均一化することで、寸法安定性に優れた紙を作ること、もう一方は、紙の厚さ方向の収縮特性を均一化し、カールが起らない紙を作る乾燥手法を考案し、そ

Fig. 9 Comparison with curl behavior and moisture & temperature differences in the thickness of paper during drying with and without air impingement

Fig. 10 Curl control by air impingement drying

の実験的検証を行った。その結果、カンバス拘束下でのシリンダ乾燥とカンバス越し熱風噴流乾燥の併用による乾燥促進とオープンドロー部でのミスト冷却などによる紙端部の乾燥抑制で、幅方向、紙厚さ方向に均一な伸縮特性を有する寸法安定性に優れた紙に改善できる目処が得られた。繊維原料、紙層構造の違いは紙の寸法安定性を決める最も大きな要因ではあるが、これまでの一連の研究を通して、乾燥部は寸法安定性を制御できる唯一重要な工程であることが実証された。

今後はここに考案した新しい乾燥手段の早期実用化に注力し、次の時代の抄紙機ドライヤの実現を目指していく所存である。

謝 辞

おわりに、本研究を続けるにあたり、引続き貴重な助言とご指導を戴いた京都大学木質科学研究所川井秀一教授に深く感謝いたします。

参考文献

1) 久野, 蓮池ら, 乾燥工程における紙の寸法安定性

- の改善(第3報), 紙パ協会誌 55 (2) 215 (2001)
- 2) T. Hansson, C. Fellers, M. Htun, Drying strategies and a new restraint technique to improve cross-directional properties of paper, Transactions of 9th fundamental research symposium, (1989)
- 3) T. Wahlstrom, K. Adolfsson, S. Ostlund, C. Fellers, Numerical modeling of the cross direction shrinkage profile in a dryer section, A first approach, TAPPI International Paper Physics Conference (1999)
- 4) P. H. Viitaharju, K. J. Niskanen, Dried-in Shrinkage profiles of paper webs Tappi Journal, vol. 76, No. 8. (1993)
- 5) 久野, 蓮池ら, 乾燥工程における紙の寸法安定性の改善(第2報), 紙パ協会誌 54 (8) 1098 (2000)
- 6) J. Newman, The use of a textile stenter to reduce the cross direction shrinkage of paper during drying and to increase dimensional stability. Paper Maker 144 (4) 44 (1962)
- 7) R. W. Fairest, F. L. Hudson, The use of a textile stenter to improve the dimensional stability of paper, Paper Technology vol. 4, No. 2, P 149 (1963)
- 8) D. I. Fahey, And W. A. Chilson, Mechanical treatments for improving dimensional stability of paper. Tappi vol. 46, No 7, (1963)
- 9) 星, 久野ら, 紙の乾燥過程における温度分布と水分分布の同時測定, 日本機械学会 論文集(B編) vol. 63, No. 607 (1997)
- 10) H. Martin, Heat and mass transfer between impinging gas jet and solid surfaces, in Advances in Heat Transfer, vol. 13, Academic Press, New York, (1977)

(受理: '00. 8. 4)

紙パルププラント用メカニカルシールの技術動向

—メカニカルシールの選定と最近の適用例—

イーグル工業株式会社 GI 営業本部技術部 高橋 秀和

紙パルププラントにおいては、蒸解工程から抄紙・塗工工程に至るまで、各種ポンプや攪拌機、スクリーン、リファイナほかさまざまな回転機が多数使用されている。これらの軸封部には、省エネ、省資源、省メンテナンスなどの経済性追求および環境保全の目的で、多数のメカニカルシールが採用され、大きな効果が得られている。紙パルププラントにおけるメカニカルシール化は、蒸解および黒液濃縮工程から本格的に始まり、洗浄工程や抄紙工程他に急速に進展した。その背景には、環境保全、省コスト、信頼性・安全性向上などのメカニカルシール化のメリットが検証されたことがある。現在では、新設プラントにおいては、メカニカルシール採用が標準的になってきている。そこで、各工程で取り扱われる液名を主体に、メカニカルシールの選定と最近の技術動向を紹介する。

(本文 82 ページ)

乾燥工程における紙の寸法安定性の改善 (第 4 報)

—紙端部における収縮抑制とカールの防止—

三菱重工業株式会社 広島研究所 久野廣明、蓮池牧雄、鈴木節夫、真田 晃
三菱重工業株式会社 紙・印刷機械事業部 大平和仁

紙の寸法安定性は乾燥工程における拘束率や拘束力、あるいは表裏の乾燥負荷などにより大きく影響をうける。紙の端部では幅方向の収縮率が大きく、印刷時には、湿し水の吸収による横伸びでファンアウト障害を生じやすい。そのため、実機ドライヤの寸法安定性改善の課題は、紙幅方向とくに端部の収縮率を抑制することで、中央部から端部にかけての急激な物性変化をなくし均一化することである。本研究では、ドライヤでのオープンドロウ部のアスペクト比（紙幅/オープンドロウ長さ）に着目して、アスペクト比と幅方向の乾燥収縮特性の関係を定量化し、さらに紙端部の拘束がない部分では乾燥を抑制するとともに、カンバス拘束のある加熱ロール上で積極的に乾燥促進する方法を考案し、動的な要素乾燥実験により検証を行った。またカールの抑制については表裏の熱負荷を制御する手段としてカンバス越しの熱風噴流乾燥の要素実験を行い、その効果を検証した。

その結果、アスペクト比を 40 と大きくするとともに、真空拘束力を上げることで、均一な幅方向収縮プロファイルが得られること、またカンバス拘束下で熱風噴流乾燥による乾燥促進とオープンドロウ部でのミスト冷却などによる乾燥抑制で、幅方向に均一な伸縮特性を有する寸法安定性に優れた紙に改善できる目処が得られた。さらにカンバス越し熱風噴流乾燥はカールの抑制に対して有効な乾燥手段であることが検証された。

(本文 92 ページ)