紙層の選択的構成による品質，生産性向上の可能性

スルザーエッシャーウイス社 A. ブービック
訳 日立造船富岡機械(株)

Possibilities for improving quality and productivity by selective sheet structuring

Alfred Bubik

Sulzer-Escher Wyss GmbH

Translated by Hitachi Zosen Tomioka Machinery Co., Ltd.

Multiply sheet forming process, which uses multiply headbox in combination with roll-blade-gapformer, can improve sheet quality and productivity of the paper/board machines while reducing raw material cost, because of its selective and most optimum structuring of each layer. This paper presents its principle, performance and results. (Presented at Eucepa in Vienna, October, 1993.)

1. はじめに

抄紙機の将来像をよりよく推測するためには，過去を外挿して長期的なトレンドを知ることができる。図1は紙層形成システムの将来に大きく影響する8つの重要なトレンドである。

- ・抄速は将来あらゆる紙種についてさらに増大するが，機械幅はもうこれ以上大きくはならない。
- ・抄紙機の実産性は機械の効率を改善（例えばオープンローをなくす，診断システムを設置するなど）することによってさらに高くなる。
- ・紙種ごとに，それぞれ異なった紙層形成方法（長網，ハイブリッド，およびギャップフォーマー，多層抄紙，多層ジェット抄紙）が定着する。

ギャップフォーマーが多く使用されるようになり，将来，多層ジェット抄紙が大きな意味を持つようにな

るであろう。不況期には生産量増大は行われず，品質向上とコストダウンが重要になるため，次のような展開になるであろう：

- ・あらゆる紙種について，坪量はさらに低くなり，原料コストが節減される。坪量プロファイルはさらに改善される。
- ・紙中の繊維が斜めにならないよう配向制御がさらに向上する（カール防止）。
- ・エコロジーの観点から古紙原料の使用増（今日すでに一部では100%）が必須になり，立法機関からの指示が何倍にもなることは免れない。

多層ジェット抄紙は紙質改善に決定的な役割を果たすことができる。この場合，一つの多層ジェット・ヘッドボックスから異なった複数の原料ジェットが出て，一つの紙層形成ユニットで脱水される。ギャップフォ

1. この論文は，1993年10月ウィーンでのEucepa会議で報告されたものである。
2. 邦訳にあたって，「抄合わせ」と「ヘッドボックス内での層形成」を区別するため，前者（英文：Multilayer sheet forming，独文：Mehrlagenblattbildung）を「多層抄合わせ」，後者（英文：Multiply sheet forming，独文：Mehrschichtblattbildung）を「多層ジェット抄紙」とした。

図1 紙層形成の発展トレンド

図2 ギャップフォーマーと各種エレメント

ーマーと組合わせれば、格別性能のよい紙層形成システムが出来上がる。多層ジェット抄紙の結果にとって重要なのは、ツインワイヤ部分の形状を正しく調整することである。フォーマーそのものの発展を図2に示す。

2. 紙層形成の発展ステップ

2.1 ギャップフォーマー

抄速が高くなるに従って、ギャップフォーマーのフォーミングロールは強化され、発展のステップはさらに細分される。当初、古典的な網巻サクションロールが使用され（ブレードフォーマー）、その後、このロールはもっと後の位置で紙層形成エレメントとして使用されるようになった（ブレード/ロールフォーマー）。

今日あるいは将来、フォーミングロールは紙層形成の第一エレメントとして役立つようになり、フォーマーの脱水能力が大きくなるとともに機械のサイズ自身は小さくなった。多層ジェット・ヘッドボックスと組合わせると、フォーミングロール上で圧力パルスなしに異なった複数の原料ジェットから急速に初期脱水することができる。

2.2 ヘッドボックス

ヘッドボックスも多孔ロール式の大型からステップディフューザー式のような小型のものに進展してきた（図3）。ステップディフューザー・ヘッドボックスは高いエネルギーをもった短い波長の乱流発生が可能で、世界中で成功を納めており、特に多層ジェット・ヘッドボックスとして最適な、コンパクトな構造が実現できる。多層ジェット・ヘッドボックスについては、どのような基本的課題があり、どのような開発が可能で、どのように紙品質へ影響を与えることができるであろうか。

多層ジェット・ヘッドボックスでは、原料ジェットが厚さ方向（Z-方向）に層をなしており、原料の性質、流量をZ-方向に異なった状態で配置あるいは調整す

図3 ヘッドボックスの乱流の分類

図4 多層ジェット・ヘッドボックスの厚さ方向、幅方向の原料流れの影響

ることができる。その原理を図4に示す。

紙質調整可能なもう一つの方法がジェットコ（JETCO）システムで、希釈水を幅方向に異なった量で注入し、ヘッドボックス内で坪量のプロファイルを非常に正確に調整できる、という既知の事実に基づいている。

湿紙に対して、どのような改善ができるか：

- ・多層ジェット・ヘッドボックスによって、多層の紙の構造、表面性、強度に影響を与えられる（図5）。
- ・幅方向に希釈水を注入すると、狭い区域での坪量プロファイルが調整できる。従来のリップ調整に比較

図5 多層ジェット・ヘッドボックスとジェットコ・システムによる紙質改善

して繊維の斜行がなく、坪量補正によるカール発生がない。

3. 多層ジェット抄紙の実行例

多層ジェット抄紙はすでに低坪量の紙、例えばティッシュにも用いられて成功している。テストライナー(破裂強さ検査済ライナー、我が国にはこのような制度はない)、中芯、製袋用紙にも経験がある。筆記印刷用紙はテストを行いうまくいっている。実績のある紙層形成システムを図6にまとめた。

- ・ティッシュ生産にティスコフォーマー
- ・多層印刷用紙、段ボール原紙生産にツインフォーマーGH
- ・製袋用紙生産に長網用2層ヘッドボックス

多層ジェット抄紙によって得られる一般的な利点は紙品質の向上、コストの安い原料使用可能、多層抄合わせより設備投資額が少ないなどである。

4. 多層ジェット抄紙による紙質向上

多層ジェット抄紙はどのようにして最適な紙質を目指すのか、段ボール原紙と印刷用紙の例で説明する。

2層のテストライナーでは表面に印刷するため、この面には良質の原料を必要とする(図7)。古紙を選別し、長繊維と短繊維に分級するのが経済的な2層分

図6 各種の紙に対する多層ジェット抄紙の特長

図7 2層段ボール用紙の紙層構成

の原料製造方法である。

- ・上面に使う長繊維層にはディスパーションあるいは再リファイニングによって高い強度ポテンシャルを与える。
 - ・長繊維分を選択的に漂白すれば表層の白色度を改善できる。
 - ・下面は、例えばディスパーション処理しない短繊維を用い、選別コストを低減する。
- 多層ジェット抄紙による印刷用紙は同様な性質をもった表裏2面と、別の性質の中層で構成する(図8)。
- ・中層は脱墨古紙、TMP、CTMP、填料などコストの安い原料で構成する。
 - ・同時にこれによって不透明度が改善される。
 - ・中層に例えば脱墨古紙を使用すればコストダウンになる。
 - ・外層の印刷適性と曲げ剛性を改善するために長短繊維と填料を適正な比率で混合する。

多層ジェット抄紙による紙の品質の特長については、参考文献4)に記載されている。手抄きによる3層の紙と、均質に混合した単層の標準紙との間には次のような重要な差が見られた(図9)。

化学パルプ繊維を外層に、機械パルプを中層におい

図8 3層印刷用紙の紙層構成

図9 ブリストウ/パウラーによる、50~170 g/m²の印刷用紙の性質(手抄紙、多層紙と均質紙の比較)

た紙は、均質な紙に対して曲げ剛性が約 30%，他の強度特性が約 10% 高い。凹凸は約 10% 低く、白色度は約 2 ポイント高くなるが、不透明度は影響されなかった。しかし、これらの結果は使用した紙層形成システムによって影響されるため、原料が異なればその都度パイロットマシンでテストするのが望ましい。

5. ギャップフォーマーの結果

次に多層ジェット・ヘッドボックスを装備したギャップフォーマーの構成とその運転結果について報告する。

5.1 段ボール原紙

まず最初に 92 年秋に稼働した中芯，テストライナーなど段ボール原紙を生産する抄紙機の結果について述べる。ウェットエンドはロール／ブレードフォーマーと 2 層ステップディフューザー・ヘッドボックスで構成しており，80~120 g/m² の下級包装紙，中芯と 145 g/m² のテストライナーを 800 m/min 以上で生産している（図 10）。

5.1.1 段ボール原紙用ロール／ブレードフォーマー

紙層形成ゾーンの最初にオープンフォーミングロールがあり，上，下網がこれを抱いて初期紙層形成ゾーンを形作っている。紙層形成は上網の張力によって行われ，フォーミングロールには真空を使用しない。

上網側に脱水した白水はトップサクショボックスで除去する。フォーミングロール後の紙層形成は下，上網それぞれにあるフォーミングシューによって行い，ここでは水柱 1.7~3 m の真空を用いる。これによって高い脱水機能が得られ，脱水方向が制御でき，シュー部分での乱流によって地合がさらによくなる。

5.1.2 多層ジェット・ヘッドボックス

テストライナーと中芯の生産を最適にするためにはギャップフォーマーに 2 層ヘッドボックスを装備する

図 11 2 層ステップディフューザー・ヘッドボックス

（図 11）。これは 2 つの独立したヘッドボックスを一つにまとめたもので，各層ごとにファンポンプ，ディストリビューター，ディフューザーブロック，ノズル部などの原料供給システムをもつ。ヘッドボックスの中には 2 つの層の間に仕切板が固定されている。従って両層の原料濃度，坪量，流速がそれぞれ単独に調整できる。流速はヘッドボックス内の圧力で設定する。

下層用のヘッドボックス内の液圧 p_u を測定し，ファンポンプの回転数を制御する。上層の流速は下層との差圧 Δp を基準として設定する。

5.1.3 紙層の性質への影響

ロール／ブレードフォーマーの特長は裂断長の縦横比が簡単に調節可能なことにある。テストライナーでは最適な RCT 値を得るためには低い縦横比がよい。中芯の CMT 値のためには高い縦横比が必要である（図 12）。

従ってそれぞれの製品によって最適なヘッドボックス内流速を調整する。この例では両方の流れの相対速度差をゼロにした。

長網にくらべ，曲線の谷の部分が非常に広いため，ロール／ブレードフォーマーで生産する紙は全幅にわ

図 10 段ボール原紙生産用ロール／ブレードフォーマー

図 12 原料とワイヤの速度差の関数としての裂断長縦横比

図 13 原料とワイヤの速度差の関数としての裂断長縦横比と CMT

たって均一で、紙メーカーが恐れる対角線カールが減少するか、あるいは全面的になくなる。これに加えて 2 層ヘッドボックスの長所を中芯生産に役立てることができる (図 13)。ヘッドボックスで二つの層の流速差を調整すれば繊維配向も調整され、その結果として高い縦横比が得られる。これは CMT 値を高くするのに役立つ。

5.2 印刷用紙

5.2.1 印刷用紙とロール/ブレードフォーマー

印刷用紙生産には、遠心力を補正するためにギャップフォーマーのフォーミングロールをサクションロールにする。フォーマーの長さは生産能力に合わせて容易に設定できる。3 層の印刷用紙生産にはギャップフォーマーに 3 層ヘッドボックスを組合わせる (図 14)。

5.2.2 多層ジェット・ヘッドボックス

3 層ヘッドボックスは 2 層のものと同様に、独立したヘッドボックスを一つにまとめている。原料濃度と圧力は各層ごとに自由に選択できる。同様に、乱流発生ユニットとしてのステップディフューザーも各層ごとにもっとも適したものにすることができる。

段ボール原紙の時のように、坪量補正はリップ調整と希釈水注入で行える。図 15 は 3 層ヘッドボックスで、中層のステップディフューザーブロックに希釈水を注

図 14 ツインフォーマー (原理)

図 15 3 層ヘッドボックス

図 16 加注水の坪量への影響

入するタイプである。ステップディフューザーの中で局部的に希釈してもヘッドボックスの流量は一定に保つので、ヘッドボックスとワイヤ区域での横流れが防止できる。繊維配向は全幅にわたって不変、一定である。図 16 は幅方向に一つまたは三つのステップディフューザーにおいて希釈水を注入したときの坪量の変化で、紙幅方向の色々なところで試みた。

一つのゾーンに 10% 希釈水を入れた場合と、三つのゾーンにそれぞれ 10% 入れた場合で、両方のカーブに現われたように、坪量への影響は注入した幅からわずかに広い範囲にしか出ない。

5.2.3 多層ジェット抄紙と紙品質への影響

印刷用紙の多層ジェット抄紙に成功する秘訣は、何にもまして各層の地合が良好で均一なことである。従って各層の混合はわずかでなければならない。これには次のような要素が寄与する：

- ・ヘッドボックス出口での乱流度が低く、最適であること。
- ・ジェットが回転するフォーミングロールにおだやかに衝突すること。これは特に高速の場合に衝突点の近くでの乱れによる混合を防止する。
- ・脈動なしにフォーミングロール近辺での脱水を行い、層の混合を最小にする。
- ・外層がフォーミングロールの近辺で形成される時、

図 17 ロール/ブレードフォーマーによる3層紙層形成

混合時間が短い(図17)。

・ヘッドボックス内の乱流はフォーミングロールで外層を形成するのにうまく利用できる。また後置のフォーミングシュエでの乱流は中層に効果がある。

次に紙質に影響するパラメーターについて検討する。枚葉のオフセット印刷用紙でカールを回避し、良好な寸法安定性を得るには、できるだけ1に近い低い縦横比が必要である。

(1) 裂断長の縦横比

多層ジェット・ヘッドボックス付のギャップフォーマーで低い縦横比を出せるか、という興味のもとにテストを行った。坪量 80 g/m^2 で中層にコストの安い古紙を、外層には白色度の高い繊維を使用した。図18は地合指数MKと縦横比をプレス出口で測定し、ワイヤのくさび部分での原料流速とワイヤの速度との差に対してプロットした。これで分るように、1.2という非常に低い縦横比が得られ、地合指数は縦横比の小さいところで最適になった。ヘッドボックス内での各層の原料濃度と流速は両外層が中層を覆うのに大きな影響がある。

図 18 原料とワイヤの速度差の関数としての地合指数と裂断長縦横比

(2) 中層の被覆

テストの続きとして、図19に三つのヘッドボックス調整例 A, B, C とその被覆の均一性への影響を示す。各層の速度とヘッドボックス濃度を特に外層について色々変化させた。表と裏層の濃度を 0.55% と低くした時に良好な被覆が得られた。表層を中、裏層よりも速くしても良い結果であった。多層ジェット・ヘッドボックスの調整パラメーターにはさらに追加する項目がある。

図20は多層ジェット・ヘッドボックスとギャップフォーマーの調整と最適化の度合で、どのように被覆、地合などが影響を受け得るかを示す。

(3) 白色度と不透明度

中層に脱墨原料、外層に漂白原料を用いると、均質原料よりも白色度がよくなる。図21は 44 g/m^2 の紙において3層構成と均質混合のものを比較したものである。多層ジェット抄紙で白色度が良くなるのは、当然歩留増強剤や灰分の種類にもよるが、容易に1~2.5ポイント白色度がアップ可能であることが分る。補足として、図22では多層ジェット抄紙と均質混合の紙の不透明度を比較した。5%ほど不透明度が上っているのが明らかである。

図 19 濃度と流速差の被覆への影響

図 20 ツインフォーマー GH による多層ジェット紙層形成と紙質への影響度

図 21 灰分の関数としての白色度 (44 g/m²) 図 22 灰分の関数としての不透明度 (44 g/m²)

6. おわりに

以上の説明でお分りのように、将来の紙層形成はますますギャップフォーマーになる傾向にある。従ってロール/ブレードギャップフォーマーが大きな意味をもってくる。多層ジェット抄紙により紙層を意図的に構成でき、優れた紙質を実現できる。強度や光学特性を犠牲にせずに原料コストを低減することもできる。

多層ジェット・ヘッドボックス付のロール/ブレードギャップフォーマーは非常にコンパクトで、一つのヘッドボックスと紙層形成ゾーンしか必要としない。

マシンは容易に調整でき、色々な紙質に対してフレキシブルに対応できる。

参考文献

- 1) R. Bluhm, H. Holik : Herstellung von mehrschichtigen Tissue-papieren, WfP, 1988, 11/12
- 2) T. Schaible : Der TWIN Former GH, ein Gap-Former zur Herstellung von graphischen Papieren und Verpackungspapieren, Deutsche Papierwirtschaft, 1992. 1
- 3) A. Bubik : Mehrschichttechnologie für gezielten Blattaufbau, Das Papier, 1992. 5
- 4) A. Bristow, N. Pauler : Mehrlagenstrukturen in Druckpapieren, Zellstoff u. Papier, 1983. 6