フォーミングの将来

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)

Futuristic Forming

Alfred Bubik

Sulzer-Escher Wyss GmbH

Translated by Hitachi Zosen Tomioka Machinery Co., Ltd.

Over the next twenty years increasing demands will continue to be placed on production and quality for all grades of paper. Environmental considerations will enforce an even more intensive use of waste paper. The various sheet forming concepts known today such as fourdriniers, hybrid formers and gap formers will continue to exist. The following presents criteria and solution possibilities covering the forming zone.

1. はじめに

将来を予測することはいつでも危険を伴うものであるが、何か突飛なことが起らない限りトレンドを外挿すればかなりの想定ができる。この方法がフォーミング技術にも適用できると考えるのは、ルイ・ロベール(長網の発明者)の時代から紙の生産方法としてワイヤーを用いた湿式法が続いているからである。

図1はフォーミングに関する将来のメガトレンド(大傾向)から10項目選んだものである。

- ・将来のフォーミングはさらに洗練された技術によって調整され、より速い速度に適合していくであろう。
- ・印刷用紙用の抄紙機幅は、製作の見地からすればプレスとドライヤーに限界があるため、おそらくすでに頂点に達していると考えられる。ティッシュ抄紙機の幅はまだ大きくなるかもしれないが、幅が狭くてももっと高速の抄紙機が主流を占めるだろう。
- ・将来、抄紙機の生産性をさらに高めることが必要になってくる。また1台の抄紙機で多品種の紙が抄けるように運転上の柔軟性が求められる。
- ・各種のフォーミングシステムが紙製品ごとに最適

化されて形の異なったまま残る結果、フォーマーの形式数は増えるであろう。

紙自身も色々なトレンドに遭遇するであろう。

- ・将来、高価なエコロジー(生態学)上の価値のある原料を節約し、それでいて紙品質を維持、向上させる必要性が高まってくるだろう。正しい方向に向うステップとしては、より軽量化することと2次繊維(古紙)の使用が増えることがある。
- ・将来オンラインでさらに多くの紙の諸性質を測定できるようになり、例えば繊維配向性やカールなども連続チェックして制御できるようになるだろう。

図2は1950年から2010年にかけてのティッシュ、印刷用紙、段ボール原紙(packaging grades)の最高抄速の予想である。近年のトレンドとしては運転速度はほぼ直線的に増加しているので、2000年にはティッシュで約2,600 m/min、段ボール原紙で約1,200 m/minに達することが期待される。本稿では抄速アップと古紙の使用増に影響されるプロセスを詳細に検討し、可能

生産	紙質
・高速度	・坪量低下
・広幅	・より均一な紙
・生産性増大	・古紙使用の増加
・運転の柔軟性増大	・繊維配向の制御
・専門化したフォーマー	・対角線カールの制御

図1 フォーミングに関する将来のメガトレンド10項目

1992年9月ボストンにおけるTAPPI Engineering Conferenceでの発表。これを基にProceedings Book 1, Session 1-4 (p.23~p.36)が発行された。

図2 各紙種に対する抄速の外挿

な改良案を提示する。

2. 長網とハイブリッドフォーマー

速度が速くても地合をよくするには、流れに適合したヘッドボックスが必要である。流れの剥離（流れが乱れて管壁から剥離する現象）やアプローチフローでの圧力脈動が少しでもあれば、これを考慮したオンラインの脈動減衰器と適正なヘッドボックスの設計によって除去しなくてはならない（図3）。渦が発生しないためには、ヘッダーからスライスまで対称型の流れにすることが肝要である。現在、最も進んだヘッドボックス設計技術によれば抄物、抄速、原料温度の変化に対応してスライス開度が幅方向に実質的に均一にできる。これは圧力、温度補正装置によって実現しているが、将来これが幅方向の坪量プロファイルと繊維配向方向の制御装置として用いられることがますます増えるだろう。再現性、形状の安定性および寸法誤差については、幅方向のプロファイル調整装置の高度なものがすでに開発されており、自動スピンドル調整でプロファイルが改善され、スピンドルのピッチの2.5倍くらいの間隔で発生するストリークも補正できる。幅方向の坪量プロファイルと繊維配向はスライスリップの

図3 長網用ステップディフューザー・ヘッドボックスとコンペンサシステム

調整に大きく影響される。将来、繊維配向にほとんど影響せずに坪量プロファイルを調整できる新しい装置を見つけなくてはならない。一つの方法はヘッドボックス内に希釈水を入れることである。ヘッドボックスの心臓部はタービュランスセネレータで、ステップディフューザーが流れの均一化とある特性のタービュランスを発生させる装置として有用であることが多くの実績で示されており、今後もその重大性は増加するだろう。速度の増加に対してタービュランスセネレータやそのブロックを交換できれば紙質、地合の調整や坪量変動の平準化に役立つ特長となることがわかった。

2.1 ジェット衝突ゾーン

ヘッドボックスを出た後、原料のジェットはある距離をおいてからワイヤーに衝突するが、ここが全フォーミングゾーンの中でジェットが完全に自由な唯一のパートであり、高速度では特に注意を要する（図4）。長網へのジェット衝突はフォーミングボードで起るが、その衝撃によってジェット流の乱れが増大・増幅される。

約1,000 m/min以上になるとジェットの衝撃はさらに強くなり、ワイヤー上でジャンプするようになるが、これは次のような方法で低減できる：

- ・乱れの小さい、滑らかで自由に飛ぶジェットを作る。
- ・ワイヤーへの衝突角度 α を小さくする。
- ・フォーミングボード直前に衝突点をおく。
- ・均一な直線性をもったジェット衝突状態にする。
- ・フォーミングボードの形状を適正にする。
- ・ギャップフォーマーでジェットの両面をガイドする。

2.2 長網

将来さらに抄速が高くなれば、ヘッドボックスを出る時のジェットの乱流レベルが高すぎる場合があり、運転中にタービュランスセネレータを調整できるような装置が特に必要になるだろう。図5は抄速が高い場

図4 高速における長網へのジェット衝突

図5 抄速の関数としての坪量の残留偏差係数

合、ジェットの流れを低減することによってどのように坪量変動を補正するかを示す。タービュランスジェネレータが小さいピッチのものになると(1, 2, 3), 坪量変動を増大させずに運転速度を高められる。このトレンドからは、抄速が高くなれば坪量変動が多かれ少なかれ増えることがわかる。

二面性も同じである。従って将来は長網は低速、ある種の上質紙、多層抄きの板紙に限られることになるだろう。

2.3 ハイブリッドフォーマー

ハイブリッドフォーマーはワイヤパートでの脱水能力をアップし、地合を改善する設備としてコスト的に有利であり、また将来もそうであろうからずっと存在し続けるだろう。この機種は新設マシンにも適しており、広い範囲の製品と抄速において特に運転特性がよい。

ブレードだけを組込んだハイブリッドフォーマーはさらに改良が加えられており、ギャップフォーマーに匹敵する優れた地合が得られている。地合が良くなる理由は例えば、ワイヤーの下側に可撓性のあるブレードを押し付けた場合などに多数の圧力パルスが発生するためである。図6はこの種のフォーマーで、圧力を選択的に各ブレード、あるいはブレードのグループご

図6 ツインフォーマーSPの調整

とに加えることによって地合はさらに大幅に向上する。

上網側のシューは入口側が直線であるため、原料液は流れを乱されずに2枚ワイヤーの区域に入ることができ、従って原料液の上面の繊維がMD方向に並ぶのを防ぎ、Z方向に対して繊維配向が均一化するのでカールも減少する。

2.4 長網、ハイブリッドフォーマーとギャップフォーマーの比較

1) 坪量の残留偏差値

抄速が高くなると、ハイブリッドフォーマーも乱流は長網と同様に初期脱水部で大きくなるが、これはワイヤーを支持している固定脱水エレメントとワイヤー自身のためである。図7は抄速の関数として坪量の短時間変動を示したもので、長網とハイブリッドフォーマーは速度とともに変動が増加するのに対して、ギャップフォーマーは全く異なった挙動を示し、ヘッドボックスから出たジェットは直ちに2枚のワイヤーで固定され、ガイドされるために脱水ブレードによるパルスが原料液の表面に乱れを起すことなく、残留偏差は高速度においても低くなり、また速度に対して影響されないようである。

これが将来ギャップフォーマーが主流となると考えられる理由である。

2) 坪量の幅方向変動

・長網とハイブリッドフォーマー

過去5~10年をみると長網とハイブリッドフォーマーでも坪量の幅方向変動は適当なプロファイル制御によって減少してきた。スライスリップの開度微調整スピンドルがその制御の役割を果たすが、開度を局部的に調整すると長網上に横流れが発生し、これが抄速によって色々な影響をもたらすため、紙の幅方向坪量プロファイルにも種々の変動が現れる。幅方向坪量プロファイルについて言えば、ハイブリッドフォーマーではリップ開度調整スピンドルの影響による横流れが

図7 現在と将来の各種フォーミングの残留坪量変動

図 8 現在と将来の各種フォーミングの幅方向坪量変動

初期脱水部で消滅し、2枚ワイヤーの区域に入らない限り長網と同じ領域に属する(図8)。スライスリップよりもさらに適当な調整装置があれば横流れを防止でき、プロファイルも一層改善されるだろう。

・ギャップフォーマー

現在のギャップフォーマーはすでに長網やハイブリッドフォーマーよりも幅方向プロファイルは良い。

長網で見られるようなプロファイルの山谷は原料液が常に2枚のワイヤーの間でガイドされているため起り得ない。ヘッドボックスのスピンデル間隔には限度があるため、スピンデルでは狭い幅の坪量変動(ストリーク)をこれ以上は補正できないが、さらに適当なワイヤーの織り方の設計、ワイヤーラン自身の設計およびフォーミング区域でのワイヤーの支持方法の改良によってストリークが減り、あるいは無くなるだろう。

フォーミング・エレメントの配置や順序も地合の善し悪しに大きく影響する。将来、ギャップフォーマーが市場において大きな役割を果たすことになるだろう。

3. ギャップフォーマー

3.1 フォーミング長さ

抄速が速くなると坪量、ヘッドボックス濃度、脱水条件が一定ならばフォーミングレングスは直線的に増加する。

図9は100%古紙原料による段ボール原紙、新聞用紙、ティッシュのフォーミングレングスである。新聞用紙と段ボール原紙についてはロール/ブレードフォーマーを使えば短いフォーミングレングスでもよく、ティッシュマシンでの表面を閉じた(closed)フォーミングロールによる片側脱水の場合には古紙原料でも1.5m径のロールで適正な脱水長さが得られる。

3.2 ティッシュの地合

将来においてもティッシュ生産はなおフォーミング

図 9 100%古紙による各紙種ごとのフォーミング長さ

図 10 ティスコフォーマー F

ロールで行われるだろう。ジェットをフォーミングロール上で2枚のワイヤーの間に吹込むことは2,000 m/min 以上でも何ら問題ない。ピンホールのない緻密な地合を得るためには、ワイヤーが湿紙に与える力とその回数を最小限にしなければならない。その点から図10のワイヤー/フェルト・フォーマーに存在価値がありそうである。多層抄きのヘッドボックスも将来多数用いられるようになるだろうが、外側のワイヤーに脱水の早い原料を、またフォーミングロール側に脱水の遅い原料(例えば短繊維、古紙原料など)を配すると地合が改善される。

3.3 印刷用紙と段ボール原紙

この場合もフォーミングレングスは抄速とともに大きくなる。ギャップフォーマーに脱水力の強いフォーミングロールを用いると、フォーミングレングスは短くできる。ワイヤー上で長い距離にわたって水圧負荷を加えると幅方向の坪量変動を起しやすいが、この負荷も低減される。将来ギャップフォーマーにフォーミングロールが用いられることが多くなるだろう(図11)。坪量が低くなり、古紙の配合が多くなると微細繊維や填料の歩留がますます重要になる。従ってギャップフォーマーにフォーミングロールを付ける重要性が

図 11 将来のロール/ブレード・フォーマー

増してくる。フォーミングロールをブレードの前に置か後に置くかによってブレード/ロール・フォーマーあるいはロール/ブレード・フォーマーと呼ぶことにすると、歩留、湿紙の性質、プロファイルの均一性の点でロール/ブレード・フォーマーが優れている。

その結果、古紙 70% でも印刷適性の良い紙が生産できる。古紙と填料の配合比の高い印刷用紙や段ボール原紙用としてロール/ブレード・フォーマーが多くなるだろう。

3.4 ロール/ブレード・フォーマー

図 12 は古紙 100% を用いて 1,000 m/min で 110 g/m² の段ボール原紙を生産するために設計されたロール/ブレード・フォーマーである。ジェットはフォーミングロールとそれより少し小さいプレストロールで形成するニップに入るまでに 230 mm 自由に空間を飛ぶが、これは小さい距離である。フォーミングロールはヘッドボックスの乱流を利用するが、原料がロール表面をまわって行くうちに乱流は減衰する。ヘッドボックスからの水の最大 50% まだがここで脱水される。これに続くフォーミングシューが液に圧力パルスを与え、地合を改善する。こうしてロール 50%、ブレード 50% の脱水が効果的に行われる。将来、抄速がもっと高くなれば、ロール表面とギャップフォーマーの汚

図 12 ツインフォーマー GH

れに対する要求はさらに高まるであろう。ギャップフォーマーの汚れと操作性に大きく影響し、注意を要する重要な点は次の通りである：

- ・フォーミング区域の調整の再現性。
- ・低騒音。
- ・白水中の空気混入低下。
- ・構造部材の振動低減、全ロールの調子がよいこと適切に設計された基礎。
- ・適切なフォーマー構成とワイヤーの設計によって、できる限りスプレッターロールをなくす。
- ・ミストが発生しない適切、清潔な設計。
- ・白水とワイヤー洗浄水を発生場所から直ちに除去。
- ・運転、メンテナンスが容易であること。

図 13 は各種のフォーミングエレメントがもつプラス要因の特性である。フォーミングロールは圧力変動がないため歩留に有利である。原料ジェットをプレストロールとフォーミングロールの間に吹込むのは容易で、地合は崩れず、繊維配向も広い範囲で調節できる。

フォーミングシューは非常に良い地合を出す。適正なシューの長さがあれば脱水性の悪い原料や厚物にも扱える。ロール/ブレード・フォーマーとしてこれらを組合せ有利な特性を加算すれば、将来その潜在能力に期待がもてる。これに加えて、抄紙機の特定の性能と紙品質に関する利点をもった色々な形式のギャップフォーマーが増えてくるだろう。ロール/ブレード・ギャップフォーマーではワイヤーの摩耗が少なく、幅全体にわたって均一性が維持できる。

3.5 ジェット速度調整

抄速が高くなっても、繊維配向性を調整することは可能だろう。これに用いるジェット速度設定範囲は図 14 に示す通りで、プレス後で測定した引張強度の縦横比を原料ジェット速度とワイヤー速度の差に対してプロットした。ロール/ブレード・フォーマーの方が長網よりも縦横比を調整しやすい。縦横比が最小である範囲は比較的広く、また傾斜もゆるやかであるため、

図 13 将来の各種フォーミングエレメントの性質

図 14 長網とギャップフォーマー (GH) の引張縦横比の比較

幅方向で縦横比を均一にしやすい、繊維配向の主方向がマシン流れ方向からほとんど偏向しない。このことは将来ギャップフォーマーで高い横方向強度を得られる可能性があることを示唆している。

3.6 ヘッドボックス濃度

抄速が高くなってきてもギャップフォーマーで地合に悪影響を及ぼさずに高濃度で運転できるようになるだろう。事実、1.5%以上で地合がよくなる場合が多々ある(例えば段ボール原紙)。ロール/ブレード・ギャップフォーマーでは長網やハイブリッドフォーマーのようにヘッドボックス濃度が強度特性に決定的な影響を及ぼすことはない(図 15)。フォーミングブレードを高速で用いれば、繊維のネットワークに適度な圧力パルスを与えることができるため、1.5%以上の高濃度でも一定したよい地合と強度が得られるだろう。歩留がよくなり、ファンポンプの動力が節減できる。原料濃度が上ると引張強度はわずかに下がるが Z 方向の強度はある程度よくなる。高濃度での運転となるとアプローチフローの設計にも影響する。クリーニングはいまだに低い濃度で行わなくてはならないが、現在あるスクリーンはすでに高濃度に対応できるようになっている。

図 15 各種ヘッドボックス濃度における機械抄、手抄紙の比較 (GH)

将来の生産トレンド

・高速度 ・広幅 ・生産性増大 ・運転の柔軟性増大 ・専門化したフォーマー	フォーミングの対応 → ・ギャップフォーマー → ・幅、設置場所最適化 → ・汚れにくい設計 → コンピューターによる運転立上げ → ・ハイブリッドフォーマー → ・ハイブリッドフォーマー, ギャップフォーマー, ロール・ブレードフォーマー, ブレード・ロールフォーマー, ブレードフォーマー, ブレード・ブレードフォーマー

図 16 フォーミングシステムの将来のトレンド

図 16 は生産量増加に対するフォーミングシステムの将来のトレンドである。

- ・高速ではハイブリッドフォーマーよりもギャップフォーマーが優先するだろう。
- ・2枚ワイヤー部が水平、あるいは傾斜した形式の方が垂直のものよりも多くなる。
- ・機械幅は一般に大きくはならないだろう。生産品種、古紙使用比率、工場立地(都市近郊)などによっては狭い幅のマシンが適することもある。
- ・色々な装置の中でも、ワイヤー洗浄がさらに効果的にできるものができれば生産性が向上する。
- ・生産量、品種がよく変更される抄紙機にはハイブリッドフォーマーが今後とも好適である。
- ・紙種、速度範囲に従って、将来は色々な形式のフォーマーが普及するだろう。

4. 多層、多重(抄合わせ)抄紙

4.1 多層抄き紙の構造

将来、多層抄きが重要性を増すだろう。この場合、多層抄き用ヘッドボックスから異なった種類のジェットが同時に出て、ギャップフォーマーあるいは従来型の長網で脱水される。これまでの抄合わせ方式と全く異なるのは、多層方式で 5 g/m^2 までの薄いシートを重ねることができ、また同時に各層にそれぞれ異なった原料が使えるので、最終使用目的に合わせて紙の特性を構成できることである。例えば衛生用紙を2, 3層構成に、印刷用紙を外側を同一にした3層に、また段ボール原紙を2層にするなどである(図 17)。この目的の一つは高価な表層原料の坪量を下げ、古紙のような安い原料を中層や下層に用いることである。また紙の品質を上げることもできる。最新技術では 40 g/m^2 以下の薄い衛生用紙をこの方法で生産できる。近い将来、この技術が印刷用紙、段ボール原紙などにも適用されて需要が伸びていくものと思われる。

図 17 多層抄き印刷用紙の紙層構造

図 19 多層抄紙用ツインフォーマー GH

4.2 多層抄紙

各層の純度（注：他の層と混り合わない度合）を保つには、ある種の前提条件を満たさなければならない。

隣合った原料の流れはヘッドボックスの中ではできるだけ長い間離しておき、自由ジェットを短くしてフォーミング区域に急速に供給する。さらに、最初に脱水される外側の層の形成を早く行いジェットが混合する時間をできるだけ短くする（図 18）。ギャップフォーマーでは脱水の早い原料を外側におくと層純度がよくなる。一方、これらの外側層の坪量を過大にすると、混合発生の可能な時間が長くなりすぎる。従って外側層の適当な坪量は原料の種類にもよるが 5~40 g/m² である。中層の坪量はある範囲内で自由ができるが、ギャップフォーマーの脱水能力にもよる（図 19）。多層抄き用ステップディフューザー・ヘッドボックスでは各層の流速と濃度を独立に変えることができる。

4.3 多重（抄合わせ）抄紙

板紙のような 200 g/m² 以上の厚物には数台の長網による多重抄紙（抄合わせ）が今後も用いられるだろう。

図 20 はハイブリッドフォーマーを中層に使った多

図 20 長網 4 台によるワイヤパート

重長網セクションで、各層は異なった原料に対してそれぞれ最適な地合を出すように調整できる。板紙の場合には、ヤンキードライヤーに限度があって 600 m/min 以上は難しい。例えば白板には加熱カレンダーリングを用いれば将来高い抄速も可能になるだろう。板紙用には数台の長網による抄合わせ抄紙機が重要になり、シリンダー式のもの生産性が低いいため数が減ってくるだろう。段ボール原紙には 1,000 m/min を超える長網 2 台組のものが出現するであろう。

5. 紙品質のトレンド

図 21 に将来の紙質のトレンドとそのためのフォーミングシステムの対応策をあげた。

- ・ 200 g/m² 以下の薄物についてはギャップフォーマーが第一だろう。その前提はフォーミングエレメントを適切に配置することと、運転条件が安定していることである。
- ・ 例えば地合、質量プロファイル、両面の表面性、繊維配向などの均一性が向上した製品はギャップフォーマーまたはハイブリッドフォーマーで生産されるだろう。2 枚ワイヤー部で真空やブレードを用いて地合を制御する方法がさらに開発されるだろう。

図 18 ツインフォーマー GH による三層フォーミング

図 21 フォーミングシステムの将来のトレンド

- ・古紙を使用した多層抄きについては、長網とハイブリッドフォーマーがバットやサクシジョンフォーマーよりも市場性を強めるだろうが、ギャップフォーマーがここにも用いられるだろう。
- ・フォーミングロールとブレードを組合せたギャップフォーマー（ロール／ブレード・フォーマー）は歩留と地合の面で有利である。
- ・多層抄きヘッドボックスとギャップフォーマー（ロールフォーマー）を用いた多層のティッシュが現在生産されているが、将来も増え続けるだろう。
- ・多層抄きをすることによっても古紙の使用率を高くでき、またそうすることが必要である。微細繊維と填料をできるだけ紙に残すためには、歩留が高いフォーマーであることが特に重要である。多層抄きにすれば最終ユーザーのニーズに合った特定の紙質に調整することができる。
- ・原料調成とアプローチフローの分野はさらに複雑なものになるだろう。分級とそれに続く繊維長別のリファイニングと晒工程で異なった種類の繊維をコスト、エネルギーを効果的に使って製造し適正な構造の紙に作り上げることができる。
- ・最新のロール／ブレード・ギャップフォーマーによって繊維配向がうまく調整でき、ヘッドボックスの調整によって平判の場合の対角線カールを大幅に改善できるだろう。

6. 終 り に

以上述べたことをまとめると次のようになる：

- ・過去 20 年にわたってツインワイヤー抄紙機が市場に行きわたった。
- ・抄速はさらに高くなり続け、ギャップフォーミング技術が広まってほとんどの紙種の生産に使用されるようになるだろう。
- ・回転、固定フォーミングエレメントが条件に応じて色々組合されて、厚物や脱水性の悪い原料、高速マシンには特殊な組合せと形態のものが使用されるだろう。
- ・2 枚ワイヤーの部分が傾斜あるいは水平のものが垂直のものよりも多く普及するだろう。
- ・単層あるいは多層抄の板紙の生産にはバットやサクシジョンフォーマーよりも長網（複数）やハイブリッドフォーマーの方が市場での地位を強めるだろうが、ギャップフォーマーもまた使われるだろう。
- ・ハイブリッドフォーマーではブレードフォーマーがロールフォーマーにとって代わる。2 枚ワイヤー部では真空とブレードによって地合を色々変えられる可能性がさらに発展するだろう。
- ・ギャップフォーマーで生産した紙は、例えば地合、質量プロファイル、両表面の性状、繊維配向などの均一性がよく、これをさらに改善することも可能である。
- ・フォーミングロールとブレードを組合せたギャップフォーマー（ロール／ブレード・フォーマー）は歩留、層純度、縦横比に優れ、広い範囲で調整可能である。
- ・多層抄きヘッドボックスとギャップフォーミング（ロールフォーマー）によって多層抄きのティッシュが生産されている。多層技術は低い坪量で強度や柔らかさのような重要な性状を維持できる。初期投資やワイヤー、フェルトのコストを考えれば、ワイヤー／フェルト・フォーマーが純粋なツインワイヤーフォーマーよりも普及することが期待できる。
- ・環境への考慮とは、古紙や他の安い原料、例えば填料などをますます多く使用することを意味し、製紙業界がこれに対応してゆくためには多層抄きが有意義な道具になるだろう。この技術は厚物の分野にも広まるだろう。