1989 年 TAPPI ツインワイヤーセミナーの概要

山陽国策パルプ(株)商品開発研究所 坂 本 祥
日立造船(株)技術本部技術研究所 清 水 徹

A Report of 1989 TAPPI Twin Wire Seminar

Akira Sakamoto

Sanyo-Kokusaku Pulp Co. Ltd

Tohru Shimizu

Hitachi Zosen Corp.

本セミナーは1989年TAPPI Papermakers Conferenceに引続き4月12日から14日まで正味2日間、同一会場であるWashington, DC州のHilton & Towersホテルで開催され、4のセッションで15の講演と10のパネルディスカッションが行われた。

受講者は約80名であり、大多数がアメリカおよびカナダからの出席であったが、西独、日本、オーストリア、スウェーデン、フィンランドからも講演者も含め数名の登録が見受けられた。

講演内容はハードメーカー各社の代表的ツインワイヤーマシンの装置概要とその操業経験、品質特性への影響を主体に歴史的発展経緯、分類と特徴などの基礎的なものからヘッドボックス、ジェット設定理論、使用ワイヤー、シャワーやドクターの使い方まで多岐に渡っていた。参加者の中には現場のマシンテナーも

聴講していたようであり、活発な質疑応答が交わされた講演もあった。メーカー側の説明は概してPR的内容になっていたことは否めないが、以下に講演の中からいくつかを抜粋し、その概要を紹介する。

1-1 Fundamental and Commercial Overview of Twin Wire and Multiple Wire Forming

B. A. Thorp ; James River Corp.

ツインワイヤー抄紙の発展経緯、抄紙機の分類とその特徴、各社の実用化マシンの概要などについて基礎的に解説した。

ツインワイヤーの開発は1950年代から急速に活発化した、その背景には次の3つの重要な補助的抄紙装置の開発がある。

- ・ハイドロリックヘッドボックス…ワイヤーへの均一分散原料の供給
- ・ハイドロfoil…ブレードによる脱水方法の改革
- ・プラスチックワイヤー…柔軟性と多重織りによる品質向上

ツインワイヤー抄紙機は①ロールフォーマ ②ブ

坂本氏 (左) と清水氏 (右)

図1 Roll Former-Dominion Papriformer

図 2 IPC Experimental Unit

レードフォーマ ③ ハイブリッドフォーマ (プリフォーマ) の3つに分類される。

1) ロールフォーマ

2枚のワイヤー間に噴射された原料はワイヤーに挟まれたまま直ちにロールに抱かれる。

脱水圧力 P は、 $P=T/R$ で与えられる。

ここで T ; ワイヤーテンション

R ; フォーミングゾーン (ロール) の曲率半径
 実用化マシンには Dominion 社の Papriformer, Beloit 社の Tissue C および S Wrap, KMW 社の Periformer LW, MW, Valmet 社の Speed Former, Voigt 社の Duoformer T などがあり, 1,500~2,000 m/min の高速でティッシュの抄造に用いられている例が多い。

Institute of Paper Chemistry では図2に示すダンディロールを用いたユニークな抄紙機を検討中である。

特殊なサクションボックスをダンディの下部に設置し, シングルワイヤーで “ツインワイヤー効果のあるフォーマ” を目標としている。まだ実験段階であるが 240~840 m/min までは抄紙できるとしている。

2) ブレードフォーマ

2枚のワイヤー間に噴射された原料はその後, 脱水用のブレード (フォーミングシュー, デフレクターなど) を備えたストレートまたは大径を有する曲面に沿って走行する。脱水圧力は次式で与えられる。

$$P = T \sin \alpha \quad \alpha ; \text{デフレクターの角度}$$

図 3 Blade Former-Bel Baie II

ロールフォーマに比べ地合はさらに向上し, 欠点である消費動力, 歩留りも改善がなされている。実用機には Beloit 社の Bel Baie II, III, Horizontal Bel Baie, Black Clawson 社の Verti Forma J, V, Valmet 社の High Speed, Horizontal High Speed Former などがあり, 新聞用紙を主体に印刷筆記用紙, ライナーなどの抄造に用いられている。

3) ハイブリッドフォーマ (プリフォーマ)

原料はフォードリニアと同じ水平なワイヤー上に噴射された後にツインワイヤー部に導入される。前述の純粋なツインワイヤーの利点 (二面性, 印刷適性など)

図 4 Valmet Sym-Former R

を維持しながら、その欠点を補う以下の特徴がある。
①ストリークが少ない。②良好な地合を維持したままでの歩留り改善。③安価な設備コスト。④脱水能力の向上

しかし古紙使用時のワイヤー洗浄とミストの排除が課題である。Beloit社のBel Bond, Bel Roll, Bel Form, Escher Wyss社のTwin Form H, Black Clawson社のTop Flyte, C former, Voith社のDuoformer H,F,L,D, Valmet社Sym Former F,N,Rなどがあり、ほとんど全ての品種の抄造に使用されている。

この中のTop Flyte C Former (図5) は比較的新しい概念のマシンであり、ほとんどのフォードリニアマシンに乗せることができる。ロールとブレードの両フォーマのモードを有し、装置全体を持ち上げてフォードリニアとしても操業可能である。

図5 Black Clawson Top Flyte C Former

2-1 Twin-Wire Forming Development

J. C. Nash ; Beloit Corp.

Beloit社の各種ツインワイヤーマシンについて装置概要と消費動力、脱水、歩留りなどの操作性および地合二面性などの品質を実機データから比較した。

結果のまとめを表1に示す。

この他、Bel Baie IIIはIIに比べ、地合は両者とも優れるが紙質はより緻密で均一、微細繊維が表裏差が少ない、駆動力が40%少ない、歩留りが7%アップ、白水濃度が半分などの改善がなされたとしている。

また、Horizontal Bel Baieは改造によってギャブフォーマの特性を実現できるマシンとして設計した。

詳細については紙パ技術タイムス 62年8月号を参照されたい。

3-1 Duoformer D-A New Approach to Top Wire Forming

W. D. Baumann ; Voith Inc.

ハイブリッドフォーマとしてのDuoformer Dの配置を図6に示す。ツインワイヤー部の中には図7に示すような特殊な脱水ユニットがワイヤーの上下に設置され、トップ側はさらに3つの脱水ゾーンに分けられる。

ボトム側には空気圧でボトムワイヤーを押しつけ、トップワイヤーへの負荷、即ちトップの脱水圧力を流れ方向で分割して調整できるフレキシブルなエレメントがある(図8)。装置はコンパクトで容易に既存のフォードリニアに設置できる。

脱水能力、地合が向上し二面性も減少する。歩留りは長網より低下するが脱水圧の調整により適正化可能。

表1 各フォーマの比較

型 式	適用品種	駆動エネルギー	脱 水 能 力	繊 維 歩 留	地 合
Fourdrinier	軽量～重量	基準	普通 限界あり	基準	並
Bel-Bond	軽量～重量	同等 (長網と負荷分配)	高い (入口濃度 1.0%)	10ポイント低下	良～優
Bel-Roll	軽量	同抄速で40%低下	適度 (入口濃度 1.5%)	2ポイント低下	良
Bel-Form	軽量～中量	同抄速で20%低下	適度 (入口濃度 1.5%)	5ポイント低下	良～優
Bel-Baie	軽量～中量	同抄速で40%低下 (ベルベIII)	高い (入口濃度 0.8%)	10ポイント低下 (ベルベIII)	優

また抄速および坪量の適用範囲が広い。

なお、同様の脱水機構を有するツインワイヤーに Valmet 社の Alform-MB がある。

図 6 Forming Concept

図 7 Arrangement of Top and Bottom Forming Units

図 8 Principles of Flexible Dewatering System

図 9 Alform MB Unit

(山陽国策パルプ 坂本)

1-3 Setting The Jet

G. Stenberg ; Valmet KMW Inc.

ヘッドボックスから噴出するジェットの設定について Dr. Wahren (現 Stora Technology) のテキストに基づいて説明があった。このテキストは 3 つのパートに分かれており、それぞれ次のタイトルとなっている。

Part 1 : Roll-Type Twin Wire Formers

by Douglas Wahren

Part 2 : Fourdriniers and Fourdrinier/Twin Wire Hybrids

by Douglas Wahren

Part 3 : TIS 0410-02 [Flow from a vertical slice]

TIS 0410-03 [Flow from a 45° slice]

TIS 0410-04 [Flow from a nozzle (slice) with inclined upper lip]

パート 1 ではロールタイプツインワイヤーフォーマのジェット設定について解説があった。

ロールタイプのフォーマは高いキャパシティ、高リテンションの特徴があり、繊維の配向性の完全な制御が可能であるが、これを達成するためにはジェットの設定に注意を払う必要がある。一般的な手順は次の通りである。

(1) 着地点でのジェットの条件

紙質やマシン速度をもとに必要な条件を決定し、あらかじめジェット厚さ・速度・角度フォーミングロールの仰ぎ角、「突っ込み」など着地点での適切なパラメータを推測する。これには二つの方法があり、一つはジェットがフォーミングロールと外ワイヤーの接線方向に入射されるべきだとする考え方、他の一つはジェットがフォーミングロールの接線と外ワイヤーの間の角度を 2 分するという必要条件をもとにした考え方である (図 10)。

(2) ジェットの軌跡

フォーミングゾーンの入口領域でジェットの速度と配置が決まるとスライスでのジェットの速度と方向が決定できる。スライスからフォーミングロールまでのジェットの重力の影響が考慮され、その軌跡は放物線形状となる。摩擦なし流れと自由落下で単純化している。

(3) ヘッドボックスの設定

最後に必要な速度・厚さ・方向のジェットを生み出すヘッドボックス圧力・位置・傾き・スライスセッティングが計算できる。

パート 2 ではフォードリニア型のワイヤーパートにおけるヘッドボックスとフォーミングボードの配置に関

図 10 Symmetrical placement of free jet between forming roll and outer wire

して解説があった。

ヘッドボックスからフォーミングファブリックへのジェットの正しい着地が、良い地合・リテンション・紙質のコントロールのために重要であるが適用範囲の広いものは公表されていない。また地合を視覚的に扱う人々にとっては抄紙は未だに芸術という面があり、

抄紙操業の調整に唯一最良の方法があるとは思えないのであろう。しかしここで述べる方法は第1近似あるいはガイドラインとして紙の多くの種類でうまく使われてきたものである。

基礎的な仮定

- (1) 垂直方向速度は小さく、しかもワイヤーを完全に通過する
- (2) ジェットの一部分はフォーミングボードの先端で下向きに反らされ、ボード上の懸濁液は完全に水平方向速度成分をもつ。
- (3) 全ての外乱は無視される。

図 11 において以上の仮定が満たされたならフォーミングボードにおける望ましい条件が決まり、これからヘッドボックスのセッティングが計算できる。実験的あるいは理論的に種々の文献が出されている。ここでは Appel の解析例が示され、これをもとにヘッドボックスの高さとフォーミングボード位置・フォーミングボード先端の角度・マシン速度・ヘッドボックス形状・ジェット厚さ・ボード角度とヘッドボックスのセッティング・ヘッドボックスの傾き L/b などの計算結果が示されている。

ディスカッションの要点は以下の通りである。

高速よりも低速の方がジェットがフォーミングボードに急な角度で近付くことになる。低速マシンではヘッドボックスの上げ方を少しにし、さらにフォーミングボードとの距離を短くする方が利点がある。

図 11 Grossly exaggerated definition sketch of the headbox, slice, and forming board area. Depending on the actual values of the angle α , the channel height and the height of the “parrot beak”, the sketch may represent a modern channel-type headbox with or without a “parrot beak” or an air-padded headbox

これらの関係はどのヘッドボックスでも適用できるが、ヘッドボックスによっては次の差が生じる。スライスリップ前に薄いチャンネルを持つヘッドボックスでは流体摩擦の影響が運転圧力に生じる。またこれによる過大な乱れがジェットを乱すようであれば、パロットピークを付加して乱れや摩擦を少なくすることができる。パロットピークや90度までの急角度は共にジェットの急縮小を促す。これはヘッドボックスの薄いジェットの運転には重要で、大きなスライス開度が使えらとスライス設定の精度を増すことができるからである。

実際上はフォードリニアでは正確なジェット着地センサがないこと、また運転中にスライスセッティング可能で下スライスリップの端の点周りに容易に傾けられ、この点と独立に容易に上下できるヘッドボックスがほとんど無いことなどの問題がある。

理論的な取扱いではフォーミングボードの先端は完全に鋭いと仮定されているが、実際は1/4 mm位の半径で少し丸くなっている。この形状は角度の増加と同じ効果がある。またフォーミングファブリックの脱水抵抗の存在もフォーミングボードとの相互作用に影響を及ぼし地合に直接関わってくる。

最後にパート3では垂直スライス、45°スライス、ノズルスライスの各々のスライスリップ形状のパラメータ(液深さとスライスリップ開度の比 b/B およびスラ

イス開度と下リップ長さの比 L/b) に対するジェットの幾何学的形状(縮流係数 C_c 、ジェット角 β など)について理論値と実験値が示され、実用データとして供されている。

2-5 Escher Wyss Formers for Flat Grades-An Overview

A. Bubik and T. Kast ; Sulzen-Escher Wyss GmbH

どのフォーマが生産に適しているかという製紙会社の疑問に答えることを目的として、ブレード型とロール型の比較、およびそれらの組合せによる紙層形成の状況について説明があった。多くのツインフォーマの設計原理が紹介され、パイロットプラントとコマーシャル操業の結果を示して、エッシャーウイスのツインフォーマは高いコスト効果、生産の増加、紙品質の向上、低級原料が使用可能、省エネルギーなどの効果があると述べている。内容は以下の通り。

1) ブレード型とロール型の紙層形成の違い

ツインワイヤーフォーマの脱水要素としてブレード型とロール型のエレメントについて各々のワイヤー間の圧力を計算し、圧力が外側のワイヤーのテンション T 、シュー半径及びブレードとスリットの幅に依存するとしている。

図12に示すように脱水要素としてブレードを使うとワイヤーの間の圧力が紙層形成領域で大きく変化する。圧力の変動の原因はワイヤーの間で懸濁液のせん

図 12 Blade and Roll Type Forming : Comparison of the Drainage Pressure ($T=6 \text{ N/mm}$, 33.6 lbs/in)

断流れであり、それ故すでに形成された繊維のマットは再び壊され地合が改善される。またフォーミングロールでの圧力はロールの入射ゾーンにおいてのみ変化する。ここでは圧力は最大値まで上昇し保持される。圧力変動の欠如によって懸濁液は繊維マットを保持し、この領域で再びフロック化する。

このように圧力変動が紙層形成領域に沿って生じることによって紙の地合と紙品質に貢献する。従ってフォーメーションシュエでアレンジされたブレード型はフォーミングロール型よりも紙質が優れている。

一方、圧力変動は微細繊維や填料を紙から洗い流す傾向がありリテンションが低下する。大きな半径のフォーメーションシュエでは圧力はワイヤーテンションから生じるがそれは小さく、従って懸濁液はほとんど逆流することなしにツインワイヤーゾーンに流入するので、繊維がマシン方向に向かずに低いMD/CD比が達成される。

紙の二面性（紙厚さ方向のフィラーの分布）はトップとボトムのワイヤーアレンジメントに依存しており、フォーマそのものの設計に依存することになる。基本的にはロール型とブレード型のフォーマには本質的な違いは無い。

ブレード型脱水要素はワイヤーとブレードの摩耗の

原因となる。それらは高い運転負荷の原因となってロール型要素に比べると欠点といえる。

このように異なった特性の脱水要素がツインワイヤーフォーマに用いられていることは種々の概念が紙会社の多くの要求に一致することを意味する。脱水要素の異なるシーケンスはまた紙品質にインパクトを与える。今日、多くのツインワイヤーアレンジが生れているが、この状況は60年代のフォードリニアの状況と比べられるかも知れない。当時はフォイルやウェットサクシオンボックスが開発された。異なる紙グレードに対するワイヤーテーブルアレンジメントが据え付けられ、多くがいまなお使われている。

ペーパーあるいはボードマシンのウェットエンドにツインフォーマを設置する目的は

- ・紙の中の平均的な填料濃度を高める
- ・コスト効果の高いバージン繊維や二次繊維を使う
- ・マシン速度を上げ生産性を向上させる
- ・二面性の改善
- ・地合の改善
- ・紙の強度特性の改善

などにある。多くのフォーマの技術的な特徴は生産グレード、マシン坪量と速度、設備、フォードリニアの改造あるいは新設などの他に、地合・引張り強度・二

Twin Former	Criteria			Applications		
	Formation	Retention	Energy	Printings	Liner	Board
L	+	- 5 %	+
HS	≡	- 5 %	+
S	≡≡	- 10 %	-
SP	≡≡	- 5 %	+
G	≡≡	- 10 %	+

図 13 Application and Quality Aspects of Twin Formers

面性などの紙品質のパラメータに依存する。

2) ハイブリッドフォーマについて流体力学的原理と紙質への影響

- ・ツインフォーマLは短いポリゴナルシューとグルーブドフォーミングロールから構成され、二面性の改善とカール特性が良いことを特徴としている。
- ・ツインフォーマHSはトップワイヤー側にフォーミングロール、ボトムワイヤー側に真空脱水シューと2番目のフォーミングロールが配置されている。これによって上側の脱水が多くなり、圧力パルスによる地合の改善と特に高坪量のシートドライネスのコントロールを可能にしている。
- ・ツインフォーマSは下ワイヤー側のリードインフォーミングシューと上ワイヤー側のサクシオンフォーミングシューでポリゴナル形状を構成している。これはマシン速度を上げること、二面性の改善、低いMD/CDで地合を改善することを目的としている。結果としては地合は向上したがリテンションが4%程低下した。
- ・ツインフォーマSPとツインフォーマSのシューの代わりに平面のブレードとサクシオンスロットを設けたものである。脱水はワイヤーのテンションに依らなくなるのでこのタイプは300 g/m²以上の多層抄きの中層にも使える。
- ・ツインフォーマGはギャップフォーマであり、新聞

グレード、50 g/m²以下、1,000 m/分以上の速度が適している。またプロファイルの安定性、ストリーク、地合などの改善に効果がある。

総合的にハイブリッドフォーマの地合はフォードリニアより改善されるがギャップフォーマの地合はこれよりも優れている。

各々の結果はフォーマの構造から図13のように分類され地合、リテンション、エネルギー消費などについて評価とそれぞれ適合する紙種が示されている。

またギャップフォーマであるツインフォーマNが多層抄き用オントップフォーマとして紹介されている。ステップディフューザヘッドボックスからのジェットがフォーミングロールとプレストロールの間のギャップに短い距離で挟まれ両面脱水される。改造前後のライナーボードの比較を行ったところ、Burst, CD-RCT, Bond, Mean : Tensileで8~18%増加し、Bulkで約10%低下した。

3) ま と め

ツインワイヤフォーマは多くの紙品種において高速から低速、低坪量から高坪量にわたり使用でき、これらはすべて西ドイツ、ラーベンスブルクのSulzer Escher Wyss リサーチセンタでパイロットマシンテストが可能である。

(日立造船(株)技術研究所 清水)