三菱コータ高速化への取り組み*

三菱重工業株式会社 技術本部広島研究所 ○杉原 正浩, 山田 建治
紙印刷機械事業部 三浦 洋司, 宮倉 敏明

Development of Mitsubishi High Speed Coater

Masahiro Sugihara and Kenji Yamada

Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Hiroshima R&D Center

Hiroshi Miura and Toshiaki Miyakura

Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Paper & Printing Machinery Division

杉原正浩

Mitsubishi Pilot Coater has been rebuilt to improve highspeed coating performance. This rebuild enables our high-speed coating technology developments, fundamental studies on high-speed coating phenomena, and customer's highspeed coating trials which verify the performance of coater or coating color composition.

The state of the art "Ejector & Steam substitution System" for high-speed free jet type applicator, which prevents the air entrainment at the interface between coating color jet and base paper surface, has been developed by using this high-speed pilot coater. Fundamental studies on film splitting and misting phenomena are also carrying out to realize the high-speed film coater.

In this report, we present our new high-speed pilot coater and some new technologies for high-speed coating.

分類：N₃ 塗工機, S₃ 塗工印刷用紙（微塗工印刷用紙含む）

1. はじめに

最近のコート紙市場では、オンデマンド印刷機、パソコン、携帯電話といったIT機器の急速な普及に伴うカタログ、取扱説明書用紙の需要増大と、パソコン雑誌等の情報量増加に伴う増ページに伴って、塗工速度の増加と軽量・微塗工化が進みつつある。

このような動向に対応すべく、当社ではパイロットコータの増速とレイアウト変更を行った。これにより、各種塗工装置、塗工液の高速塗工性能検証・評価など、各種ニーズに合ったトライアルが実施可能となった。

また著者らは、この高速パイロットコータを用いて、ロッドメタリング、ゲートロールなどピグメント塗工用フィルムコータ、S-Flow などフリージェット型ブレードコータ、及びカーテンフローコータの高速化に向けた、様々な技術開発を行っている。

本報では、上述の三菱パイロットコータ高速化改造の概要、運転経験、及び各種コータの高速化技術開発状況について述べる。

2. 紙コータに関する最近の動向

前章で述べたように、コート紙の生産速度は年々高速化する傾向を示している。図1は、当社が納入した紙コータの設計速度実績を示したものである。この図

*平成12年度年次大会講演（講演 No. A 20）

に示されるように、コータ設計速度は1970年頃には1,000 m/min程度であったものが、最近では1,600 m/minまで増加しており、近い将来2,000 m/minに達するものと予測される(図1)。

一方で、パソコン、携帯電話などの取扱い説明書、

図1 コータ設計速度の変遷

Text Tonnage Breakout by Basis Weight (per 3,300 ft²)

図2 坪量別コート紙消費割合
(米国 単位 Lb/3,300 ft², 及び short tons)

パソコン雑誌等の情報誌向けとして、軽量、超軽量微塗工紙(LWC, ULWC)の消費量が増加している。この傾向は海外でも見られ、図2に示した米国における1999年のテキスト向け塗工紙消費動向¹⁾では、坪量43~46 g/m² (29~31 Lb/3,300 ft²)のULWC, LWCの消費量が全体の50%弱を占めている。

以上に示した市場動向から、紙コータに対する最近の市場ニーズは、「高速化」「軽量・微塗工化」に向っているものと考えられる。

3. 三菱パイロットコータの高速化と仕様

前述のような「高速化」「軽量・微塗工化」といった市場ニーズに対応するため、当社ではパイロットコータの高速化改造工事を行った。図3及び表1は、改造後におけるパイロットコータのレイアウト及び仕様について示したものである。表1に示したように、高速化に対応するため、

- ①ドライブ能力の増強とセクショナル化
- ②テンション制御・加減速の自動化
- ③アンワインダ/リール最大巻取り径の大径化

図4 S-FLOW コータ

図3 三菱パイロットコータ

④フィルムコータステーションのレイアウト変更を行い, 最高塗工速度 2,800 m/min (ブレードコータ, フィルムコータとも), 最大加減速率 30 m/min/sec, 巻取り最大直径 2,000 mm で運転することが可能となっている。

なお④は, 軽量・微塗工向け²⁾としてのゲートロール, ロッドメタリングなどを用いたピグメント塗工テスト, 及びサイズ塗工テストが, 高速で安定して実施できるようにしたものである。

次に, このパイロットコータを用いた塗工実績につ

表 1 三菱パイロットコータの仕様

項 目	仕 様
駆動能力	150~2,800 m/min
紙幅	標準 800 mm 塗工可能紙幅 500~850 mm
テンション制御	ロードセルによる自動制御
加減速率	最大 30 m/min/sec
ブレードコータ	ブレード形式…ベベルブレード, ベントブレード アプリーケーター形式…FN, SDC, S-FLOW, BA-1500
フィルムコータ	GRC, RMSP, GRIC…片面塗工 2 ロールサイズプレス…両面同時塗工
乾燥設備	電気式 IR ドライヤ…1 台 フィルムコータ部にも移設可
	両面エアドライヤ…8 台 蒸気式 最高温度 160℃
	シリンダドライヤ…4 本 蒸気式 2 本にキャンバス付
ソフトニップ カレンダ (SNC)	ヒートロール (トップ)…φ 510 誘電加熱式 温度: 50~250℃
	ソフトロール (ボトム)…φ 510 スタティックシュー式 CCR 硬度: ショア D 90°, 91°
	線 圧…30~400 kN/m
	最大通紙速度…1,500 m/min
塗工量計測	BM 計…原紙用/塗工紙用 各 1 台

図 5 フィルムコータ (ロッドメタリング)

表 2 紙品質評価設備

項 目	測 定 機 器
平滑度	バック式平滑度計
	レーザ変位計（2次元表面粗度）
紙 厚	紙厚計（平板式）
	レーザ変位計（2次元紙厚分布）
白色度	ハンター白色度計
光沢度	村上式光沢度計
透気度	ガーレ透気度計
塗工液粘度	B型粘度計
	ハーキュレス粘度計
	キャピラリー粘度計
	ハーケ粘弾性計
	コーンプレート粘弾性計
	レオベキシーアナライザ
表面強度	ワックスピック
サイズ度	ステキヒトサイズ度
印刷試験機	RI印刷試験機
	ブルーパウ印刷適性試験機
	クロードインキ
紙層構造	ミクロトーム＋紙層断面観察設備
紙厚方向成分分析	EPMA
Z方向灰分分布	シートスプリッタ
その他	画像処理装置 (透過光/反射光均一性評価など) 印刷品質評価設備

いて示す。2000年末現在のブレードコータによる最高塗工速度実績と塗工条件は、次の通りとなっている。

- ・最高塗工速度：2,600 m/min
- ・塗工量：9 g/m²（片面塗工）
- ・供試ブレード：76 mm×t 0.508 mm
ブレード角 45 deg
- ・加圧方法：Sマティック
- ・アプリケーション：S-FLOW（図4）

また、フィルムコータによる最高塗工速度実績と塗工条件は、次のようになっている。

- ・最高塗工速度：2,500 m/min

- ・塗工量：9 g/m²（片面塗工）
- ・コータ形式：ロッドメタリング
（実機概略 図5）

なお、このパイロットコータで塗工したサンプルの品質評価は、表2に示す機器などで行っている。

4. 高速塗工時の課題と取組み

本章では、パイロットコータを用いた高速塗工試験において経験した技術的課題と、これに対する当社の取組み、及び新技術について述べる。

4.1 ブレードコータの高速化技術

近年、塗工速度の高速化と高品質化に対応するため、ブレードコータのアプリケーションにはフリージェット型（S-FLOW など）が多く採用されている。このアプリケーションを用いた2,000 m/min以上の高速塗工では、下記のような現象が問題となる³⁾。

- (1) 塗工液噴流と原紙表面間への空気巻き込みによる転写膜の乱れ
- (2) 遠心力による転写液膜の飛散（スブラッシュ）

上記の現象は、塗工面のオレンジピール、ピンホール、及び図6に示すスキップ塗工といった塗工不良に繋がる恐れがある。なお図6は、高速塗工時にスキップ塗工が生じたサンプルを、透過光観察・画像処理した結果を示したものであり、図中の黒色部が塗工部、白色部がスキップ（非塗工）部を示している。

これらの現象は高速塗工時に塗工液転写膜と原紙表面との間へ空気が巻き込まれることによって生じるものであるため、高速塗工時において塗工液転写膜と原紙表面との間への空気侵入を抑制することは、高速・高品質塗工を実現する上で重要である。この空気巻き込み発生メカニズムを明らかにするため、図7に示すようなアプリケーションノズルから噴出する塗工液の流動解析を行った。

解析に用いた基礎方程式は、次式の通りである。

$$\frac{\partial(\delta v)}{\partial s} = 0 \quad \cdots(1)$$

$$F = 4\delta\eta \frac{\partial v}{\partial s} \quad \cdots(2)$$

$$\frac{\partial}{\partial s} [F \cos(\theta)] = \rho \delta v \frac{\partial v}{\partial s} \cos(\theta) \quad \cdots(3)$$

$$\frac{\partial}{\partial s} [F \sin(\theta)] = -\rho g \delta - \rho \delta v \frac{\partial v}{\partial s} \sin(\theta) \quad \cdots(4)$$

但し、F：塗工液に作用する伸長力（粘性力）

ρ ：塗工液密度

δ ：塗工液噴流厚さ

v：塗工液流速

図 6 スキップ塗工

図 7 塗工液噴流解析モデル

(a) 噴流全体の軌跡

(b) 接液位置近傍の軌跡

図 8 塗工液噴流の軌跡解析結果

その他の定義は図 7 参照

図 8 に、塗工液粘度 2 Pasec, 転写膜厚 150 μm の場合における塗工液噴流の形状を計算した結果について示す。図 8(a) はアプリケータリップ先端から原紙に塗工液噴流が接する位置 (以下「接液位置」と称す) までの塗工液噴流軌跡を、(b) は接液位置近傍の塗工液噴流軌跡を、それぞれアプリケータノズルリップから原紙表面までの垂直方向距離 y_0 で無次元化して示している。

図 8 に示したように、塗工液噴流は塗工速度の増加に伴って通紙方向下流側に引張られ、接液位置において塗工液噴流と原紙表面とが形成する動的接液角が鋭角になる。このような鋭角のくさび形空間が形成された結果、接液位置におけるくさび形空間の空気圧力が潤滑理論に従って上昇し、空気巻込みが生じるものと考えられる。

図 9 蒸気置換シールシステム

図 10 蒸気置換シールシステムによる動的接液線の変化

このようなメカニズムによって発生する空気巻き込みを避けるため、図9に示すような「蒸気置換シールシステム」を開発した^{4)~6)}。このシステムでは、原紙上の同伴空気境界層を、「エゼクタ」と称する対向空気噴流で除去した後、接液位置近傍のくさび形空間内の空気を塗工液に可溶性水蒸気に置換する。空気と置換された水蒸気は、くさび形空間内で凝縮して負圧を発生し、この負圧によって塗工液噴流を通紙方向上流側に引き戻す。この塗工液噴流の引き戻し作用によって、接液位置における塗工液の動的接触角を鈍角にし、くさび形空間の圧力上昇を抑制する効果を示す。さらに、空気と置換された水蒸気が転写液膜と原紙表面の間に巻込まれても、凝縮水は塗工液に溶け込むか、速やかに原紙内に浸透するため、塗工品質に影響を及ぼさない。

この蒸気置換シールシステムを適用した場合における動的接液線の可視化結果を、図10に示す。図10のうち(a)は蒸気置換シールシステムが無い場合、(b)は蒸気置換シールシステムが有る場合を、それぞれ示している。なお、撮影時の塗工速度は2000 m/min、転写膜厚は75 μm である。図に示したように、蒸気置換シールシステムの無い(a)の動的接液線は、紙幅方向に乱れて不均一となっている。これに対し、蒸気置換シールシステムを適用している(b)の動的接液線は紙幅方向に一樣になっている。この時、動的接液線の時間的変動も大幅に減少していることがビデオ撮影画像により確認された。

以上に述べた蒸気置換シールシステムを採用することにより、動的接液線が安定化し、空気巻き込みに起因するスキップ、スプラッシュなどの問題のない、安定した高速塗工が実現できることを、高速パイロットコータを用いた塗工テストで検証した。

4.2 フィルムコータ高速化への取組み

フィルムコータは微塗工紙から軽量コート紙への対

応性に優れている。このフィルムコータで高速高品質塗工を実現するため、近年アプリケータロールニップ出側で発生するミスティング現象に関する研究が盛んに行われている⁷⁾。

ミスティング現象の発生メカニズムは、一般に以下のようなものと説明されている⁸⁾。即ち、

- ・アプリケータロールニップ出側で塗工液膜が分裂する際に塗工液の「糸引き (filament formation)」が発生し、
- ・これがちぎれる際に糸引きの一部がミストとなって飛散する。

このようなミスト発生メカニズムを確認するため、著者らはパイロットコータを用いて実際の紙用塗工液でミスティングが発生する様子の可視化を試みた。実験条件は以下の通りである。

- ・アプリケータロール周速：600 m/min
- ・アプリケータロール上液膜厚：15 μm
- ・供試塗工液粘度特性：B型60rpm $\cdots$ 1.25 [Pa sec]

図11にその結果を示す。図11に示したように、ミスティング現象は、明らかに塗工液膜分裂時の糸引きが崩壊することによって発生していることが確認された。

図12は、紙なし（ロール転写）テストで計測したアプリケータロール上の塗工液膜厚に対するミスト発生量を、アプリケータロール周速別に示したものである。図中の縦軸に示したミスト量 Q は、アプリケータロール上に形成されている塗工液膜の流量（ δ = 塗工液膜厚さ、 U = ロール周速）で無次元化して示している。また凡例中の数字は、アプリケータロール周速 (m/min) を示している。なお塗工液の固形分濃度は60.5 重量%である。

図12に示したように、ミスト発生量は、ロール状の塗工液膜厚およびアプリケータロール周速の増加に伴って急激に増加する傾向を示している。

図 11 ニップ出側での糸引き

図 12 ミスト発生量計測結果例

このように、現在弊社では、フィルムコートによる高速・高品質塗工のための研究・開発、即ちミスト発生特性把握とメカニズム解明のための基礎データ収集、および対策案の検証テストを精力的に推進している。今後更に研究を重ね、高速・高品質塗工を実現するフィルムコートを近々市場投入する所存である。

5. ま と め

以上、三菱パイロットコート高速化の概要と、これを用いた紙コート高速化に関する研究・開発についてご紹介した。今後、更に市場ニーズにマッチしたコートの開発を推進してゆく所存であり、皆様のご意見、ご協力をお願い申し上げます。

参考文献

- 1) McCann, R., Proc. 2000 TAPPI Coating Conf. And Trade Fair (May, '00), p 3.
- 2) 例えば Dickson, R., et. al., Proc. 2000 TAPPI Coating Conf. and Trade Fair (May, '00), p 167.
- 3) Roper III, J. A., et. al., Proc. 1999 TAPPI Coating Conf.
- 4) 杉原ほか, 実案 2532902
- 5) 杉原ほか, 特願平 6-218313
- 6) 杉原ほか, 特願 2000-100924
- 7) 例えば Roper III, J. A., TAPPI J. vol. 82 No. 1 (Jan. '99), p 231.
- 8) 例えば Fernando, R. H., Proc. 1999 TAPPI Advanced Coating Fundamentals Symp. ('99), p 99.

紙パルプ産業の歴史・特徴とエコロジー

紙パルプ技術協会 飯田 清昭

日本の製紙産業は、恵まれない立地条件にもかかわらず、生産量は世界第2位で、国内経済の中でも重要な地位を占めている。これは、製紙産業が資本、原料、生産技術、環境等の問題に挑戦的に取り組んできた結果である。この報告では、そのいくつかの努力を紹介すると共に、製紙産業の歴史・特徴を概説する。

今後も、製紙産業は幾多の新しい問題に直面するであろう。それを切り開くのは、若い世代の柔軟な挑戦的な取り組みで、それに産業の将来が託される。

(本文1ページ)

三菱コータ高速化への取り組み

三菱重工業株式会社 技術本部広島研究所 杉原 正浩、山田 建治
紙印刷機械事業部 三浦 洋司、宮倉 敏明

最近のコート紙市場における塗工速度の増加と軽量・微塗工化の動向に対応すべく、当社ではパイロットコータの増速改造とレイアウト変更を行った。これにより、塗工速度2,800 m/minでの各種塗工装置、塗工液の高速塗工性能検証・評価など、各種ニーズに合ったトライアルが実施可能となった。また著者らは、この高速パイロットコータを用いて、ロッドメタリング、ゲートロールなどピグメント塗工用フィルムコータ、S-Flowなどフリージェット型ブレードコータ、及びカーテンフローコータの高速化に向けた、様々な技術開発を行っている。高速フリージェット型アプリケーション及び高速カーテンフローコータの開発においては、塗工液ジェットの流動解析を行い、塗工液膜と原紙との間に空気が侵入するメカニズムを明らかにすると共に、接液部における空気侵入により発生するスキップ、スブラッシュを抑制する「蒸気置換シールシステム」を新たに開発した。一方、ゲートロール、ロッドメタリングなどフィルムコータの開発においては、アプリケーションロール上の塗工液膜が原紙表面に転写されるロールニップ出側で発生するミスティング現象について、その発生メカニズムとミスト発生量特性について把握し、これを基に高速フィルムコータの開発を行っている。

本報では、上述の三菱パイロットコータ高速化改造の概要、運転経験、及び各種コータの高速化技術開発状況について紹介する。

(本文12ページ)

オプティコンセプトによる最新の洋紙用抄紙機

住友重機械工業株式会社 機械事業本部 田頭 弘章

上質コート紙は、原紙の生産と仕上げ加工を分けて行うオフマシン方式でほとんどが生産されている。オフマシン方式には、原紙生産と仕上げ工程が独立しているため各工程毎に最適化を図り易いという特長がある一方、各工程毎に専任のオペレータを必要とするため操業員の数が多い、設置スペースが大き