

スプライス通過時のスライドビードの挙動

— Splice Passage Phenomenon on Slide Coating Flow —

長嶋 克祐*

Nagashima, Katsusuke

Slide coating is widely used for precision coating, especially in photographic industry. For continuous coating operation, substrates are spliced each other and supplied to a coating station. No matter which splice means is used, thickness variation around the splice can hardly be avoided and this variation might cause coating defects. In order to understand the phenomenon occurs when the splice passes coating region, two-dimensional unsteady Navier-Stokes system was solved. By parameter study, movement of dynamic wetting line recovers faster when the splice is thinner, vacuum is greater and bead gap is smaller.

1 はじめに

スライド塗布装置は、機能の異なる数多くの層を同時に高品質で塗布することが可能であり、写真感光材料等の製造に広く用いられている。

Fig. 1にスライド塗布の概要を示す。スライド塗布ではスロットより流れ出た液が斜面（スライド面）を流れ落ち、多層塗布の場合そこで積層される。塗布液は塗布装置先端（リップ）と走行する支持体との間のクリアランスに液架橋部（ビード部）を作り、支持体に付与される。このビード部、とりわけ液が支持体に接する接液線、が故障のない精密な塗布に非常に重要な役割を担っており、この部分を安定化することが故障のない高品質の塗布につながる。

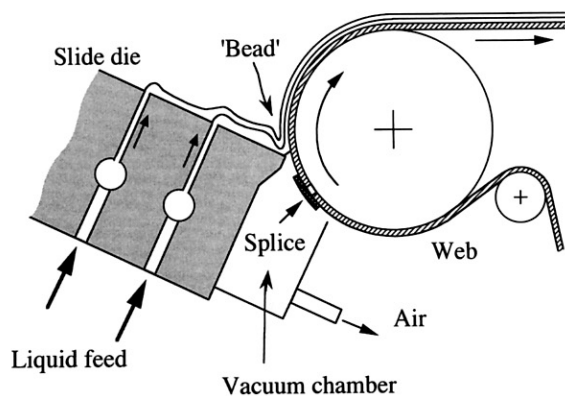


Fig. 1 Slide coating flow with splice passage.

実際の塗布操作は数時間から数十時間の連続操作である。可撓性の支持体（ウェブ）は元巻きと呼ばれるコイル状で供給されるが、一つの元巻きが支持体を供給し終わったら、次の元巻きから新しい支持体が接続（スプライス）され供給される。（Fig. 2）

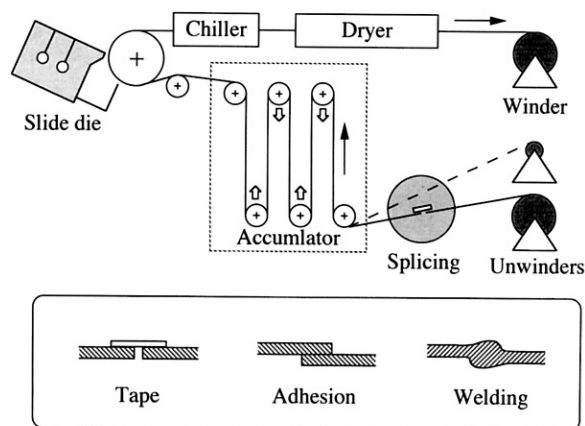


Fig. 2 Schematic of slide coating and shape of splicing.

スプライスの手段にはテープ・接着・溶接等各種存在するが、どのような方法を用いてもスプライス部での支持体の厚みの変化を避けるのは難しい。

今日一般的なスライド塗布においては、塗布速度が50～200 m/minでありスプライス部がビードを通過するのは数十ミリ秒の現象である。またビード部のリップとウェブの間隙は100～500 μmであり、スプライス部の厚みは50～100 μm程度はあり、スプライスの通過によりビード間隙は数十%も変化することになる。一本の元巻きには数千mのウェブが巻かれているが、塗布速度が100 m/minの場合、数十分に一度の頻度でスプライスがビード部を通過することになる。このためスプライス部が塗布に与える影響は非常に大きい。

スプライス部がビード部を通過した後はV字型の未塗布部分や泡の巻き込み、さらにそれらの後端から生じる筋状の故障が発生することがあり生産性に悪影響を及ぼす。（Fig. 3）

* 感光材生産本部 技術センター開発グループ

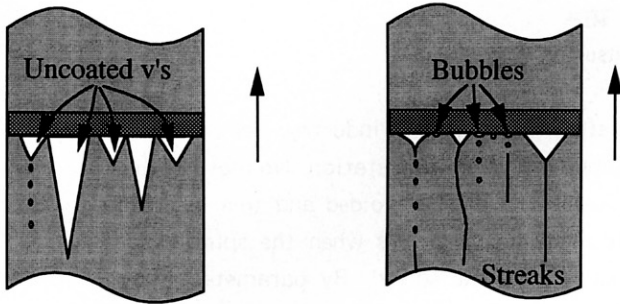


Fig. 3 Coating defects after splice passage.

こうした故障によるロスを少なくするために、スプライス通過時のビード部の挙動に関する知見を得ることが重要である。

スライド塗布のビード部分の流体力学的研究は定常数値解析や安定性解析、周波数応答性などこれまで多くなされているが、スプライスを含めた非定常流れの解析例はほとんど無い。

一方、スプライス通過に関する特許は数多く提出されている。それらには、スプライス後端部の形状をなだらかにする、後端部に何らかの処理を施す、あるいはスプライス通過時に一時的にビード減圧を強くする、ビード間隙を広くする、等がある。

本研究ではスライド塗布におけるスプライス通過現象を2次元非定常解析によりシミュレートし、各種条件に対するビード部の基本的な挙動を理解することを目的とした。

2 計算概要

スプライスの通過に起因する故障を解析するためには3次元非定常解析が必要となるが、ここではビードの動的な挙動に関心を絞って2次元での解析を行った。

2次元非定常のNavier-Stokes方程式、連続の式を、Fig. 4に示すような境界条件のもとに解いた。

スライド塗布の流れ場は自由表面を持つため、計算点の位置も変数となるが、これは内部格子点の位置を求める2つのラプラス式 (Eliptic Mesh Generator) を自由表面上の運動学的境界条件 (Kinematic Boundary Condition) のもとに解くことで得られる。

上述の連立方程式を、空間の離散化はガラキーン重み付き有限要素法、時間積分には可変次数・可変ステップサイズの陰的な予測子-修正子法を用いて解いた。支配式を見てわかるようにすべての量は、スライド面上流部の液膜の厚さおよびその部分の平均流速で無次元化してある。

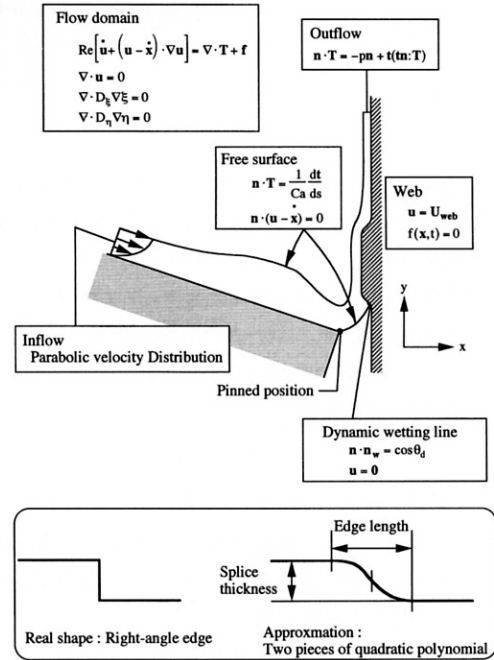


Fig. 4 Governing equations and approximation of splice shape.

スプライス部のビードの通過は時間と共に支持体の形状が変化するものとして取り扱った。すなわち流れ場の境界の形状を時間の関数として与えた。その際、スプライス部表面の物理化学的物性 (濡れ性等) の変化は考慮していない。また今回用いた計算手法では直角の様な急激な形状の変化を取り扱うことができないため、スプライス端部の形状は計算格子の大きさに比べて充分大きな滑らかな多項式 (2つの2次関数) で近似した。この形状は計算のパラメータの一つであるが、ベースケースとしてスプライス端部の長さとの比は20 : 1 (長さが1 mm とすると厚み0.05 mm) とした。

計算はまずある条件のもとに定常解を求め、それを初期値としてスプライス通過の非定常解を計算した。

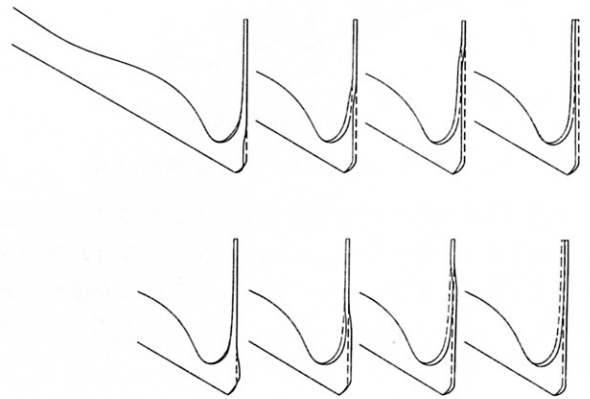


Fig. 5 Time evolution of flow outline.

3 結果

計算結果の一例として流れ場の自由表面の形状の時間変化を Fig. 5 に示す。

上図ではスプライスの前端がビード部を通過し、その後ある時間経過後、下図では後端が通過している。自由表面の動きを見ると、スプライス通過の影響はビードの近傍のみに限られていることがわかる。

そこで接液線の上下方向の動きの時間変化を各操作条件に対してプロットしたものが Fig. 6(a)~(d) である。

スプライスの前端 (time = 0) 及び後端 (time = 2) のエッジ部分で大きく動かされた接液線はその後のスプライス上、あるいはウェブ上の平坦な部分で指数関数的に減衰する波のように、その位置が回復していることがわかる。

Fig. 6(a) ではパラメータとしてスプライス部の厚みを変化させた。スプライス部が厚いほど初期の乱れが大きく、その後の減衰に時間がかかっていることがわかる。

Fig. 6(b) では Fig. 4 に示されるスプライス端部の長さの影響を調べた。スプライス部後端の形状を滑らかにすると故障が少なくなるとの特許が多くあるが、今回の計算範囲内では大きな変化は見られず、特許にあるようなスプライス後端の形状の影響を見ることはできなかった。これは前述のようにスプライス端部を滑らかな曲線で近似したために、計算した最短の長さでも十分に滑らかだったためと考えられる。特許の効果を見るためにはより短い、より急峻な現実的な形状で計算する必要があると考えられる。

次にリップと支持体のクリアランス (ビード間隙) の影響を見たのが Fig. 6(c) である。間隙が狭いほど接液線

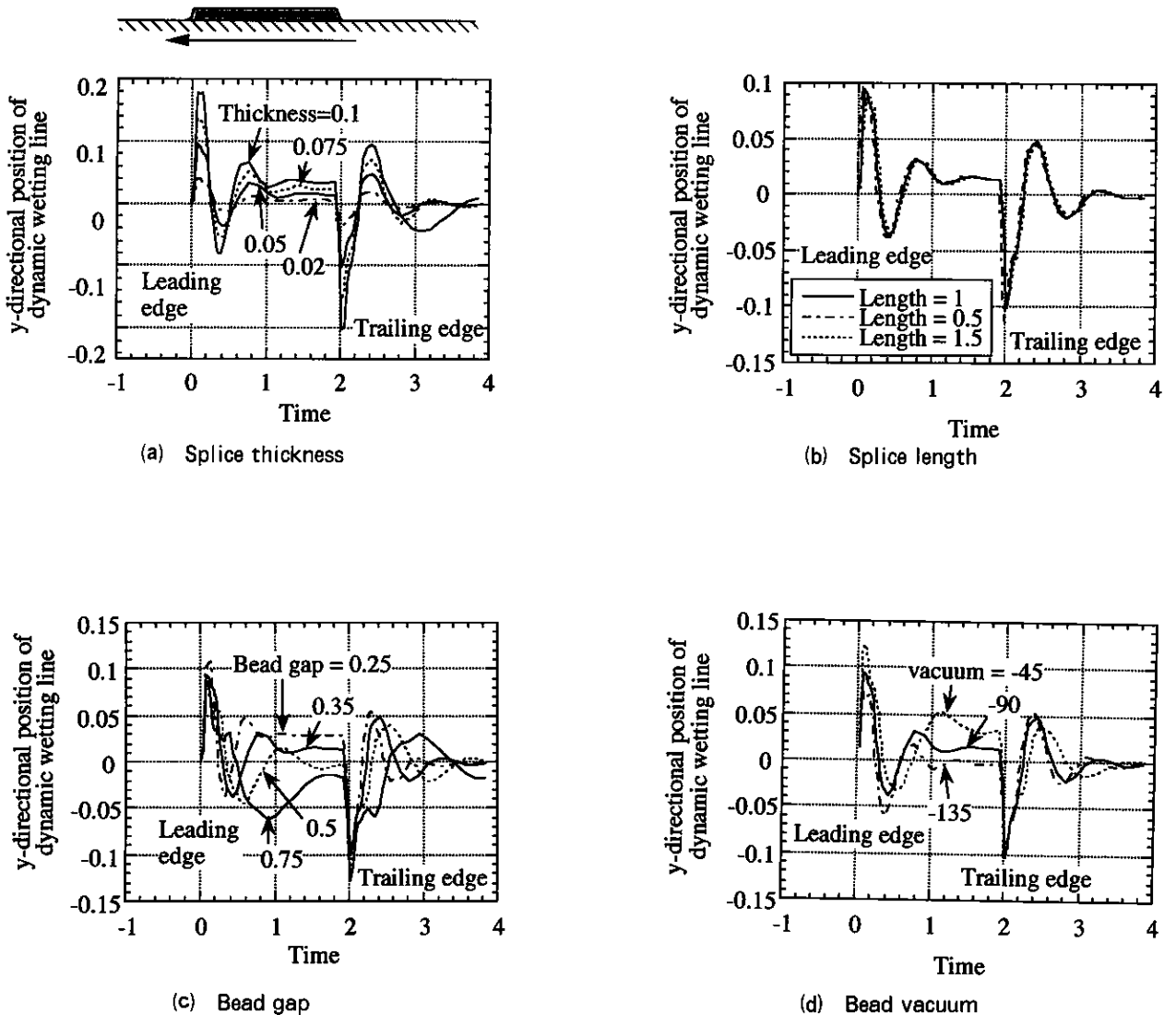


Fig. 6 Time change of dynamic wetting line : Effects of (a) splice thickness, (b) splice length, (c) bead gap and (d) vacuum.

の位置の回復が早い。この結果は“一時的にビード間隙を大きくするとスプライス通過が安定する”という特許とは対応していない。実際の故障と接液位置の時間変化との間に直接的な関係が無いか、あるいは計算では考慮していない現象が起きていると考えられる。

最後にビード部分の減圧の違いによる接液位置の変化を見たのが Fig. 6(d) である。接液線の定常位置への回復はビード減圧が強いほど速いことがわかる。スプライス通過時に一時的に減圧を大きくするという特許は、ここで見られるように外乱に対する回復が早いことと対応する。

4 むすび

数値計算により、スプライス通過時のビード部の非定常挙動が明らかになった。

本計算によると、接液線の乱れは指数関数的に減衰する波のように回復する。

またこの位置の回復は、スプライス厚みが小さいとき、ビード減圧が大きいとき、ビード間隙が小さいときに速いことがわかった。この回復の速さは一部の特許と対応しているが、矛盾するものもある。

今後の課題としては、以下があげられる。

- 乱れの回復と塗布故障の対応
- スプライス部の形状をより現実的にする
- スプライス部の濡れ性といった物性を考慮する
- 3次元への拡張

これらを考えることで数値計算と故障との対応が明らかになり、故障低減のための条件が数値計算から明らかになると考えられる。

●参考文献

- van Abbeynen, W. and Scriven, L. E., Frequency Response; Slide Coating, paper 2d, AIChE Spring National Meeting (1988)
- Benjamin, D. F., de Snatos, J. M. and Scriven, L. E., Methods for Viscous Free Surface Flow as Solutions to Elliptic P. D. E.'s of Transport, Unpublished manuscript (1994)
- Brandon, N. and Hackler, M., Coatable Splice Process in Photographic Film Coating; Theoretical Prediction and Experimental Investigation of Process Latitude, paper 2b, AIChE Spring National Meeting (1994)
- Chen, K. S. A., Studies of Multilayer Slide Coating and Related Process, PhD Thesis Univ. of Minn. (1992)
- Christodoulou, K. N. and Scriven, L. E., The Fluid Mechanics of Slide Coating, J. Fluid Mech., **208**, pp321 (1989)
- Katagiri, Y., Comparative Study of Unsteady Behavior in Slide and Curtain Coating, paper 96C, AiChE Spring National Meeting (1990)
- Kistler, S. F. and Scriven, L. E., Computational Analysis of Polymer Processing (EDs. J. R. A. Pearson and S.M. Richardson), Applied Science Publishers, London and New York, pp243 (1983)