塗装講座 (第XIV講)

色材, 73 [9], 458-465 (2000)

ロールコーター

金井 洋*・長瀬 孫則**

1. はじめに

ロールコーターは機構が比較的単純で、操業が容易であり、また塗着効率がほぼ100%と高いことから、金属板・箔、合板、紙、布、フィルムなど平面状の被塗物（ストリップ）への塗布を目的として、多くの産業で用いられている。実際に用いられている塗液の粘度は $0.01 \sim 100000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、塗装できるウェット膜厚は $1 \sim 1000 \mu\text{m}$ と幅広く、塗装速度は最大500m/分程度といわれている。

本稿では、まずロールコーターの概要について、筆者がかかわっている金属塗装業界の例を基に紹介し、ついで膜厚の制御方法や、発生しやすい欠陥の種類、操業方法について述べた。

2. ロールコーターとは

代表的なロールコーターの例を図-1に示す。いずれの例でも、膜厚制御と、塗液のストリップへの塗りつけ操作がロールによって行われている。塗液の供給は図-1a～eの例では、ピックアップロール（PUR）により、図-1fの例ではポンプなどによってなされる。向かい合った2本のロールの相対的な回転方向には2種類あり、ロール間のギャップ部で2本のロールが同じ方向に動く場合（たとえば図-1aのPURとアプリケーションロール（APR）、図-1dのミートリングロール（MR）とPURなど）をフォワードモード（フォワード回転）、2本のロールが逆方向に動く場合（たとえば図-1cのPURとMR、図-1dのPURとAPRなど）をリバースモード（リバース回転）と呼んでいる。前者はナチュラル回転と呼ばれることもある。片方のロールがストリップに変わった場合でも、同様の呼び方が使われている。

図-1a, bは、ロールの数が3本あるので「3本ロールコーター」、図-1c～fはロールの数が4本あるので「4本ロールコーター」と呼ばれる。なお、金属塗装業界では、通常バックアップロール（BUR）の数は数えず、前者は2本ロールコーター

ー、後者は3本ロールコーターと呼ばれている。

3. ロール間の塗液の流れ

前章で述べたロール間のギャップとは、2本のロールの表面の最小間隔を指している。また、ゴムのように変形可能な素材で被覆された金属ロールが使用され、このロールがもう1本のロールに押しつけられている場合には、変形可能なロールは押しつぶされて両ロールに接触部分ができる。この接触部分をニップと呼ぶ。ロールコーターはすべて、このギャップやニップが組み合わされたもので、このギャップ部あるいはニップ部で塗液が通過する際に、膜厚や膜の均一性が制御される。

2本のロール間の液の流れは、図-2aとbとに示す2つのタイプに分類できる。図-2aはフォワードモードにおいて、下側のロールAの左下からロールによって運ばれた塗液が、上側のロールBとの間のギャップの出口で上下に「分裂」する流れである。この液の分裂によって塗液の計算がなされる。もし片方のロールがゴムのよう変形可能な素材で被覆されており、マイナスギャップ（片側のロールがもう一方に押しつけられている）で操業される場合には、図-2a'のように片側のロールが変形するので液の流路も変形するが、流れの種類は図-2aと基本的に変わらない。図-1aにおけるPURとAPRの間、APRとストリップの間、図-1dにおけるPURとMRの間、図-1eにおけるTFRとAPRの間の流れなどがこれに相当す

〔氏名〕 かない ひろし
〔現職〕 新日本製鐵(株)表面処理研究部
〔趣味〕 ゴルフ、テニス、音楽
〔経歴〕 1980年大阪大学大学院工学研究科修了、同年大日本インキ化学工業(株)入社、1985年新日本製鐵(株)入社、現在に至る。工学博士

〔氏名〕 ながせ まごのり
〔現職〕 新日本製鐵(株)君津製鉄所薄板部
〔趣味〕 ゴルフ、映画鑑賞、旅行、入浴（温泉など）
〔経歴〕 1993年東京理科大学大学院理工学研究科修了、同年新日本製鐵(株)入社、現在に至る

平成12.6.1受理

Roll Coater

Hiroshi KANAI and Magonori NAGASE

* 新日本製鐵株式会社 技術開発本部 表面処理研究部
千葉県富津市新富 20-1 (〒293-8511)

** 新日本製鐵株式会社 君津製鉄所 薄板部

図-1 a

図-1 d

図-1 b

図-1 e

図-1 c

図-1 f

図-1 金属塗装業界で使用されているロールコーターの例

る。

図-2 b はリバースモードにおいて、下側のロール a の右下から運ばれる液の一部が、ギャップ部で上側のロール m に転写され、残りの液がギャップ部を通過して下側のロール a に残る流れである。下側のロール a に残るのが、計量された塗液である。図-1 c の PUR と MR との間の流れがこれに相当する。もし片方のロールがゴムのような変形可能な素材で被覆されており、ギャップがゼロかマイナス（片側のロールがもう一方に押しつけられている）になっている場合には、図-2 b' に示すように、下側のロール a の右下から運ばれた液は、ほぼ全量が上側のロール m に転写される。ただし、わずかの量の塗液はロ

ール間をすり抜けて下側のロール a 上に残るので、基本的には図-2 b の流れに類似している。このすり抜ける塗液がないと、ロール間の潤滑がなくなりゴムなどの被覆素材が傷ついてしまう。図-1 b, c, d, e, f の APR とストリップの間、図-1 c, d の PUR と APR の間の流れなどがこれに相当する。なお、非常に薄い膜を塗布するために、すり抜けたほうの塗液をストリップに塗りつけることもある。

4. 膜厚の制御

4.1 ロール間を通過する塗液の流量

ロールコーターでは、膜厚はロール間のギャップあるいはニッ

図-2a フォワードモードにおける液の分裂（プラスギャップ）

図-2b リバースモードにおける液の計量（プラスギャップ）

図-2a' フォワードモードにおける液の分裂（ゼロまたはマイナスギャップ）

図-2b' リバースモードにおける液の転写（マイナスギャップ）

ブと、ロールの周速（表面速度）とによって制御される。ギャップやニップの調整は、ロール間の距離か、ロールの押しつけ圧力によって行われる。ロールコーターにおいて、2本のロールA, B間を通過する塗液の単位幅当たりの流量 \$Q\$ は、

$$Q = \lambda (H \cdot U) \quad (1)$$

\$\lambda\$: 比例定数（無次元流量） \$1.2 < \lambda < 1.33\$

\$U\$: 2つのロールA, Bの平均周速

フォワードモードのとき \$(U_A + U_B)/2\$

リバースモードのとき \$(U_A - U_B)/2\$

\$U_A\$: ロールAの周速, \$U_B\$: ロールBの周速

で与えられる¹⁾。式(1)中の \$H\$ は、ロールが2本とも剛体ロールの場合には、

\$H_0\$: ロール間のギャップ

であり、ロールの1本が変形可能ロールである場合には、

\$H_m\$: ニップ内の圧力が最高になる点におけるロール表面間の距離

である。

\$H_m\$ は、2つのロールが等速で回転する場合、弾性流体潤滑理論を用いて、つぎのように表現できることが示されている²⁾。

$$H_m = 3.12 \mu^{0.6} \cdot U^{0.6} \cdot E^{-0.4} \cdot W^{-0.34} \cdot R_e^{0.6} \quad (2)$$

\$H_m\$: ニップ内の圧力が最高になる点におけるロール表面間の距離 (m)

\$\mu\$: 塗布液の粘度 (Pa · s)

\$U\$: 両ロールの平均周速 (m/s) \$(U_A + U_B)/2\$

\$U_A\$: ロールAの周速, \$U_B\$: ロールBの周速

\$E\$: 両ロールの平均ヤング率 (MPa)

$$1/E = 1/2 \{ (1 - \nu_A^2)/E_A + (1 - \nu_B^2)/E_B \}$$

\$E_A\$: ロールAの被覆のヤング率

\$E_B\$: ロールBの被覆のヤング率

\$\nu_A\$: ロールAの被覆のポアソン比

\$\nu_B\$: ロールBの被覆のポアソン比

\$W\$: ロール押しつけ力=負荷/ロール面長 (N/m)

\$R_e\$: 平均ロール半径 (m) \$1/R_e = 1/R_A + 1/R_B\$

\$R_A\$: ロールAの半径, \$R_B\$: ロールBの半径

これは、ロールどうしの押しつけ荷重を一定にした操業を想定して求められている。式(2)と同じ形でべき指数のみが異なる式が、実験結果のフィッティングからいくつか提案されている^{3,4)}。いずれの式も、得られる膜厚の絶対値は異なるものの、べき指数の値は大きくは異ならず、各パラメーターの変化に対する膜厚の変化は式(2)のような形で表現できている。

式(1)の \$\lambda\$ の値は、塗液がニュートニアンの場合にはロール周速比が変化しても \$1.2 \sim 1.33\$ の範囲に入る^{1,5-12)}。塗液がシェアシンニング性（シェアをかけると粘性係数が低くなる性質）を持つ場合には \$\lambda\$ は大きくなり、\$1.4\$ 程度まで増えるといわれている^{1,13)}。

4.2 各ロール上の膜厚

図-2aやa'のようなフォワードモードの流れの場合には、ロールの出口で塗液は上側のロールBと下側のロールAとに分配されるが、より速く動くロールに多くの液が分配され、両ロール上の膜厚比は、

$$T_A/T_B = \alpha (U_A/U_B)^\beta \quad (3)$$

\$T_A\$: 一方のロールAに分配される厚み

\$T_B\$: もう一方のロールBに分配される厚み

\$U_A\$: ロールAの周速

図-3 剛体ロールのリバースモードにおけるロール上の無次元膜厚 (T_m/H_0)¹⁴⁾ (ロール周速比 U_m/U_a と Ca 数との影響)

(American Institute of Chemical Engineers のご厚意による)

U_B : ロール B の周速

α : 比例定数 $\alpha \sim 1$

β : 比例定数 $\beta \sim 2/3$

で表される^{5,13)}。塗液がシェアシンニング性を持つ場合には、 β が $2/3$ よりも小さくなり、両ロールの膜厚差は小さくなる傾向にある¹⁾。 α は、液膜が分裂する部分のメニスカス形状が重力の影響を受けない場合には 1 であるが、重力の影響が出ると (たとえば、メニスカスの形状が重力によって変わると) 1 からはずれてくる¹³⁾。変形可能ロールを用いた場合、ロール出口のメニスカス部における液分裂についてはまだ十分に解明されていないが、剛体ロールと同じように式(2)にしたがうと考えてよいと思われる。

図-2b や b' のようなリバースモードの場合には、計量された後のロール a 上の膜厚 T_m は、

$$T_m = (\lambda/2) H_0 (1 - U_m/U_a) \quad (4)$$

T_m : 計量された後のロール a 上の膜厚

H_0 : ロール間のギャップ

U_m : ロール m の周速

U_a : ロール a の周速

λ : 比例定数

とあらわせる¹⁴⁾。図-2b に式(1)を適用すると、

$$Q = T_m \cdot U_a = \lambda \cdot H_0 \cdot (U_a - U_m)/2$$

となり、この式の両辺を U_a で割ると式(4)が得られる。式(4)は、 U_m/U_a が小さいときにはよく成り立つ。しかし、図-3に示すように、剛体ロールを使用した場合には U_m/U_a が大きくなると膜厚が急激に厚くなる現象が起こる¹⁴⁾。図-3から、キャピラリー数 Ca が小さいときに、より大きな速度比まで膜厚が下がり続け、したがって薄い塗膜が得られることがわかる。ここで、

$$Ca = \mu U_a / \sigma$$

Ca : キャピラリー数 (粘性力と表面張力の比)

μ : 塗液の粘度

U_a : ロール a の周速

σ : 塗液の表面張力

である。膜厚が急激に増加している条件 (U_m/U_a が大きい領域) では膜厚の制御は困難で、さらに「カスケード」あるいは「さざ波模様」と呼ばれる欠陥が生じるため、通常は膜厚が U_m/U_a 比と直線関係のある領域で操業される (カスケードについては後述)。変形可能ロールが用いられる場合には、ロール周速比が大きい領域でも、 Ca 数にかかわらず膜厚が急に厚くなる現象は見られなくなり、結果としてより薄い膜厚が得られる¹⁵⁾。高 Ca (たとえばライン速度が速い場合) でも低膜厚が塗布できることになる。

5. 塗装欠陥と操業上の問題点

5.1 リビングとカスケード

ロールコーティングにおいて最も代表的な欠陥は「リビング」と呼ばれるもので、塗膜の厚みがストリップの幅方向に $\sin$ 曲線状に変化する現象である。膜厚の変化が一定間隔で起こるため、ストリップの進行方向に平行にスジが入ったように見える。金属塗装業界ではこの欠陥を「ローピング」あるいは「ロール目」と呼んでいる。

このリビングの発生機構は、Svage¹⁶⁾ らによって詳細に検討されており、回転するロール間における液体の圧力勾配 dp/dx が正の場合に、リビングが発生しやすいことが明らかとなっている。図-4に、剛体ロールを用いたフォワードモードでロール間を流れる塗液の圧力変化を示す⁵⁾。横軸は図-2aの X 軸方向の位置をあらわし、0 の点はロール表面間の距離が最小となる点である。塗液がロール間に入るときには、ロール間隔が狭くなっていくので圧力は高くなる。逆に出口ではロール間隔が広がるので圧力はいったん大気圧よりも小さくなり、やがて大気圧にもどる。図-4からわかるように、問題となる出口付近 (図-4では右側) での圧力勾配 dp/dx は正 (X が大きくなると圧力が上がる) である。したがって、フォワードロールではリビングが発生しやすくなる。

このリビングを平滑化する重要な因子が表面張力である。こ

図-4 剛体ロールのフォワードモードにおけるロール間を通過する塗液の圧力分布⁵⁾
(Cambridge University Press のご厚意による)

図-5 フォワードモードにおけるリビंग発生臨界条件¹⁸⁾
(剛体ロールと変形可能ロールとの比較)
(World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.のご厚意による)

の表面張力の効果を考え合わせると、液膜が分裂するところのメニスカス(図-2a参照)で次の式が成立すればリビंगは平滑化される^{14,16)}。

$$dp/dx < (1/Ca) \{ (1/r^2) (dr/dx) + N^2 \} \quad (6)$$

Ca: キャピラリー数 = $\mu U / \sigma$

(U はロールの平均周速)

r: メニスカスの曲率半径

N: リブの波数 = $2\pi / \text{波長}$

この式に定量性はないが、リブ発生を抑制できる条件を定性的に考えるためには有効である。つまり、リビंग発生を抑制するためには右辺が大きくなれば良く、そのために有効な操作として、塗液粘度を下げる、ロール速度を下げる、ロールギャップを大きくする(rが小さくなる)などが挙げられ、これらは実際の操業での経験と一致する。

フォワードロールにおけるリビंग発生と塗装条件との関係は図-5のように整理されている^{17,18)}。横軸はロール間ギャップとロール径との比、縦軸はCa数(速度としてはロールの平均速度をとる)で、図中の線より上の点ではリビंगが発生する。ロールのひとつを変形可能なロールに変えた場合には、図-5に示すようにロール間ギャップが小さいか、あるいはギャップがマイナスのとき(ロールが変形しているとき)に、剛体ロールを使用した場合にくらべて高いCa数までリビंगが発生しない。つまり、変形可能なロールを使用すれば、ロールをより早く回転しても(ライン速度を上げて)、また塗液が高粘度であってもリビंगが発生しにくくなる。ロールの変形によりロール間の液流路が長く、かつ平行に近くなるため、ロール出口の圧力勾配が小さくなるためと説明される。

リバースモードの場合には、2つのロールの速度比(U_m/U_a)が大きくなると、ロールの出口付近(図-2bでは左側)での圧力勾配は負となることが知られている。この負の圧力勾配が、リビंग発生を抑制する¹⁹⁾。これが、リバースモードでは、表面張力が重要な平滑化効果を発揮しない高Ca領域でも、リビंगが発生しにくい理由である。リバースモードで変

形可能なロールが用いられた場合には、ロール出口付近における圧力勾配が、ロール周速比が小さいところでもゼロに近く、剛体ロールを使用した場合よりも小さくなる。このため、ロール周速比が小さい操業でもリビंगが発生しにくい¹⁵⁾。

図-2b'のような液の転写流れでも、ロールm上の塗液にリビंगが発生することが知られている。Kangらは²⁰⁾ U_m/U_a 比が1.2を越えたりリビंगが発生すること、ポリマーを添加して塗液の弾性を高めると U_m/U_a 比が1.6になるまでリビंगが発生しないことを報告している。

リバースモードでは、4章で述べたように U_m/U_a 比が大きい領域で「カスケード」と呼ばれる欠陥が発生する。これは、のこぎり刃状の、ストリップを横断する欠陥で、図-2bに示した下流側(左側)の接触線が、2つのロールの中心を結んだ線よりも上流側(右側)に移動することが原因とされている¹⁴⁾。この場合、上側のロールmに随伴される空気の流れで、この接触線は不安定に動き、膜厚の不均一を生じるとともに、しばしば空気が同伴される。図-3で説明した U_m/U_a が大きい領域で急に膜厚が厚くなる現象は、この「カスケード」の発生によるものである。なお、ロールの一方が変形可能ロールである場合には、このカスケードは発生しにくくなり、とくにマイナスギャップで操業される場合には、カスケード発生はまったくなくなるとされている¹⁵⁾。このように、変形可能ロールを用いたリバースコーターは、高いライン速度で薄膜が欠陥なく塗装できるために、多くの業界で多用されている。

5.2 空気同伴

図-1a, bに示すようなロールコーターでは、塗液はPURと呼ばれる金属ロールで汲み上げられて、APRに供給される。このPURが回転するときに、ロールが空気を巻き込むことがある。この現象は、ロールが液溜まり中に入るときにできるメニスカス部で、ロールにあらかじめ付着している塗液の慣性力(メニスカスを液溜まり中に引き込もうとする力)が、表面張力(メニスカスを小さくしようとする力)より大きくなると発生する。この臨界のロール速度 U^* は、

$$U^* \mu / \sigma = Ca^* = 1.68 \gamma^{-0.6} \quad (7)$$

ここで $\gamma = \sigma \{ \rho / (\mu^4 g) \}^{1/3}$

μ : 塗液の粘度 σ : 塗液の表面張力

ρ : 塗液の密度 g : 重力の加速度

Ca^* : 臨界キャピラリー数

と表現できる²¹⁾。実験によって求められた空気同伴のない臨界ロール速度は、式(7)から求められる U^* の値の2倍程度となり絶対値は一致しないが、べき指数の-0.6は実験結果とよく一致すると報告されている²¹⁾。また、塗液に高分子添加剤を加えて弾性を付与すると、この臨界速度が速くなる(空気同伴しにくくなる)²¹⁾。

この空気同伴は、ロール/ロール間やロール/ストリップ間でも発生するが、いずれもロールが速く回転する(或いはストリップが速く移動する)ことによって、フォワードモードにおいて液が分裂するメニスカス部の形状が不安定になったり、リバースモードにおいて下流側の塗液とロールとの接触線の位置が

図-6 ロールコーターで発生する不具合の例

振動しながら移動するなど不安定になる結果生じる現象だと考えられる。

5.3 その他

PURに関連する現象として「ピックアップ不良」がある。これは、PURによって塗料溜まりから汲み上げられる塗液の量が十分でなく、ロール間での塗液の分裂や転写にムラを生じ、結果としてストリップ上でのムラや、無塗装部の発生を引き起こす現象である²²⁾。5.2で述べた空気同伴が同時に起こることも多い。藤谷らは、塗液の動的弾性率が高いほど、汲み上げられる塗液の量が多くなる（ピックアップ性が良好となる）ことを報告している²³⁾。また、塗液の動的弾性率を向上するための樹脂構造や溶剤組成についても言及している²⁴⁾。このピックアップ性は、PURの塗料溜まりへの浸せき深さが深いほどよくなることも知られている。また、PURの材質や表面性状によっても異なり、表面に凹凸の多いダルロールやメッシュロール、あるいはグラビアロールやセラミックロールを用いてピックアップ性を改善している例がある。

ミスティングと呼ばれる塗液のロールからの飛散もしばしば問題となる。この現象は、ロール周速が速くなったときに、ロールに付着している塗液が飛散する現象で、ロールの周速による遠心力が、ロールに付着している塗液の凝集力（弾性力）より大きくなったときに発生すると説明される。塗液物性としては、粘度と動的弾性率とに関係があり、前者が高いときにミスト量が多くなり、後者には適正值があると報告されている²⁵⁾。

ロールコーターで発生する可能性のある塗装欠陥、作業上の問題点について図-6にまとめた。

6. ロールコーター選択の考え方

最も簡単なロールコーターは図-7に示すタイプで、スキーズコーターと呼ばれることもある。2本のロールで塗料の供給、計量、塗り付けの3つ操作を行っている。これら3つの操作を分離することができないため、必要な膜厚を得つつ、良好な塗装外観を得ることは困難な場合もある。そこで、ロールの数（つまりロール間のニップやギャップの数）を増やして機能を分離することが考えられ、図-1のようなロールコーターが考案された。ロールの数を増やして機能を分離することで、3つの操作を独立で行うことができる。

図-1に示したロールコーターは、塗布外観（主にリビング

図-7 最も簡単なロールコーターの例

表-1 図-1に示したロールコーターの特徴（使い分け）

項 目	ロールコーター種類 (図-1中の記号)				
	a	b	c	d	e
ロール本数	3	3	4	4	4
回転モード	APR/ストリップ間	F	R	R	R
	PUR/APR間	F	F	R	R (F)
	PUR/MR間	—	—	R	F —
塗布外観	△	○△	◎	◎	○
膜厚	低	中	高	高	低

回転モード F: フォワード回転, R: リバース回転

塗布外観 ◎非常に平滑, △やや凹凸（リビング）あり

膜厚 低: 低膜厚を塗布しやすい, 高: 低膜厚は難しく高膜厚が得意

発生の有無)と、塗布できる膜厚範囲を考慮して使い分けられている。各塗装方法の特徴を表-1にまとめた²⁶⁾。

図-1の中で、網掛けされているロールは変形可能なゴムで被覆された金属ロールである。変形可能なロールが使用される理由は、以下のようにまとめられる。

- 1) 剛体ロールを使用すると、剛体ロールと金属ストリップが誤って接し、ロールを破損する恐れがある。
- 2) 剛体ロールで μm オーダーの膜厚を制御するためには、ロールや塗装機器の機械的精度がきびしく要求されるため、コストが高くなってしまう。
- 3) リビングやカスケード等の欠陥抑制にゴム被覆ロールが有利である。
- 4) 計量された塗液をほぼ全量ストリップに転写することが可能である（リバースモードの場合）。

上述の1)の理由で図-1に示したAPRは例外なくゴム被覆ロールであり、一方、BURは金属ストリップとの接触によって破損ないように金属ロールが用いられる。ほとんどの場合、金属ロールとゴム被覆ロールとが交互に配置され、ゴム被覆ロールと金属ロールとの間はマイナスギャップで作業される。図-1cの場合のみ、向き合っているMRとPURとが両方ともに金属ロールで、MRとPUR間はプラスギャップで作業される。

表-2 膜厚に影響を及ぼす因子

設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ロール配置 ・ロール被覆材質 ・ロール被覆厚み ・ロール表面の性状や粗さ ・PURの浸漬深さ
塗液	<ul style="list-style-type: none"> ・粘度 ・表面張力 ・その他のレオロジー特性
操作	<ul style="list-style-type: none"> ・ライン速度 ・ロール周速 ・ロール間ギャップ(押し付け圧)

7. 実際の操業

膜厚に影響を及ぼす因子を表-2にまとめた²⁷⁾。装置にかかわる部分はラインの設備によって決まっており、実際の操業に際して決定される項目は、塗料の粘度とラインの操作に関わる項目のみである。塗布量は、3本ロールコーター(図-1a, b)ではAPRとPURのギャップ(実際には押しつけ圧で制御されることが多い)、4本ロールコーターの場合(図-1c, d)にはPURとMRのギャップで主に制御される。ロールの周速を変化させると、塗布後の外観が変化することがあるので、一般的には膜厚を変えるためにロール周速を変えることは少ない。図-1eの4本ロールコーターの場合には、PURとTFR間のギャップやTFRの周速によって膜厚が制御される。実際のラインで使用されている膜厚制御式は、田野ら²⁸⁾、飯田ら^{29,30)}によって紹介されている。

飯田らは、図-1bの形のロールコーターで、図-6に示したような不具合を生じることなく塗布できる塗布条件を図-8のように求めている³¹⁾。APR周速は塗料供給不足によるまだら模様(低速側)やリピングの発生(高速側)によって制限され、ピックアップロール周速は塗料持ち上げ量の確保(低速側)と空気同伴によるピックアップ不良の発生(高速側)によって制限される。また、ライン速度が増すと、不具合を生じない条件範囲が狭くなることが示されている。

ゴム被覆ロールが使用されている場合には、ゴムが塗料中の溶剤等によって膨潤し、ロール間距離を一定に設定しても経時でロール間の押しつけ圧が変化する。これによって膜圧が操業中に変化する懸念があるため、ロール間の押しつけ圧を一定にするようにロール間距離を調整する機構が設置されることが多い。当然ながら、ゴム被覆の材質も、使用される塗液の種類によって適正なものを選択する必要がある。

8. おわりに

ロールコーターについて、文献に報告されている知見と筆者の経験にもとづいて簡単に解説した。塗布技術は従来経験に頼る部分が多かったが、近年、流体力学的なアプローチにより科学的に理解しようとする研究が増えている。本報では多くを紹介できなかったが、ロール間の液体の流れをコンピュータシミ

図-8 塗装欠陥のない操業条件範囲(図-1bの形のロールコーター)³¹⁾
(社)日本鉄鋼協会のご厚意による)

ュレーションによって明らかにしようとする研究も多く見受けられる³²⁾。また、本報でも一部紹介したように、塗液のレオロジー特性と塗装作業性との関係についても研究が進んでいる^{33~35)}。今後、これらの理論的な取り扱いを、塗布の現場で実際に起こっている現象の解明と不具合の解消対策に結びつける仕事が必要である。引用文献のあとに、参考になりそうな文献をいくつか紹介しておいた。さらに知識を深めたい方は参考にされたい。

文 献

- 1) H. Benkreira, M.F. Edwards, W.L. Wilkinson: *Chem. Eng. Sci.*, **36**, 429 (1981)
- 2) S.K. Kistler, P.M. Schweizer: "Liquid Film Coating", p.622, Chapman & Hall (1997)
- 3) J.W. Smith, J.D. Maloney: *TAPPI J.*, **49**(11), 63 (1966)
- 4) D.J. Coyle: *Chem. Eng. Sci.*, **43**(10), 2673 (1988)
- 5) D.J. Coyle, C.W. Macosko, L.E. Scriven: *J. Fluid. Mech.*, **171**, 183 (1986)
- 6) E. Pitts, J. Greiller: *J. Fluid Mech.*, **16**, 595 (1963)
- 7) A.S. Williamson: *J. Fluid Mech.*, **52**, 639 (1972)
- 8) K. Adachi, T. Tamura, R. Nakamura: *AIChE J.*, **34**(3), 456 (1988)
- 9) W.S. Ho, F.A. Holland: *TAPPI J.*, **61**(2), 53 (1978)
- 10) J. Greener, S. Middleman: *Polymer Eng. Sci.*, **15**(1), 1 (1975)
- 11) D.J. Coyle, C. W. Macosko, L.E. Scriven: *Ind. Eng. Chem. Res.*, **29**, 1416 (1990)
- 12) H. Benkreira, M.F. Edwards, W.L. Wilkinson: *Chem. Eng. Sci.*, **37**(2), 277 (1982)
- 13) D.J. Coyle, C.W. Macosko, L.E. Scriven: *AIChE J.*, **33**(5), 741 (1987)
- 14) D.J. Coyle, C.W. Macosko, L.E. Scriven: *AIChE J.*, **36**(2), 161 (1990)
- 15) T.J. Anderson, L.E. Scriven: 8th International Symposium on Coating Process Science & Technology, New Orleans (1996)
- 16) M.D. Savage: *J. Fluid Mech.*, **80**, 757 (1977)
- 17) M.S. Carvalho, T.J. Anderson, L.E. Scriven: *TAPPI*

- Proc. Coat. Conf.*, p.99 (1994)
- 18) M.S. Carvalho, L.E. Scriven : *Mech. Thin. Film Coat.*, p.75 (1996)
 - 19) S.K. Kistler, P.M. Schweizer : "Liquid Film Coating", p.565, Chapman & Hall (1997)
 - 20) Y.T. Kang, K. Y. Lee, T. J. Liu : *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 1187 (1991)
 - 21) B. Bolton, S. Miccleman : *Chem. Eng. Sci.*, **35**, 597 (1980)
 - 22) 飯田真一郎, 武石芳明, 荏岐島健司, 吉川幸宏 : 材料とプロセス, **7**, 1525 (1994)
 - 23) 阿久井潤, 藤谷俊英 : 色材, **63**(4), 198 (1990)
 - 24) 藤谷俊英, 阿久井潤, 瓦家正英 : 色材, **67**(4), 223 (1994)
 - 25) 藤谷俊英, 阿久井潤, 瓦家正英 : 色材, **67**(5), 285 (1994)
 - 26) "金属のポリマーコート", (社)表面技術協会編, p. 77, 槇書店 (1996)
 - 27) 粟井清 : 塗装工学, **21**(8), 390 (1986)
 - 28) 田野口一郎, 池永孝雄, 村上進次郎 : 川崎製鉄技報, **26**(1), 39 (1994)
 - 29) 飯田真一郎, 武石芳明 : 材料とプロセス, **9**, 1431 (1996)
 - 30) 飯田真一郎, 武石芳明 : 第8回塗布技術シンポジウム (化学工学会第32回秋季大会), A 323 (1999)
 - 31) 飯田真一郎, 武石芳明, 濱荻健司 : 材料とプロセス, **11**, 540 (1998)
 - 32) M.S. Carvalho, L.E. Scriven : *J. Comput. Phys.*, **151** (2), 543 (1999)
 - 33) D.J. Coyle, C.W. Macosko, L.E. Scriven : *J. Rheology*, **34**(5), 615 (1990)
 - 34) D. C-H. Chang : European Coating Symposium on the Mechanics of Thin Film Coatings, p.301 (1996)
 - 35) C. Tiu, L. Wang, T-J. Lin : *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **87**(2), 247 (1999)

参考文献

- 1) S. Kistler, P.M. Schweizer : "Liquid Film Coating", Chapman & Hall (1997)
代表的なコーターについて, おもに流体力学的な見地から検討された結果がまとめられている。塗布技術を理論的に理解したい人向き。
- 2) Industrial Coating Research, Vol.1 (1991), Vol. 2 (1992), Vol.3 (1995), Vol.4 (1998), 塗布技術研究会
塗布技術のいくつかのトピックスについて, 基礎から最近の研究までがまとめられている。ロールコーターについては D. Coyle 氏が解説している。原著は英語だが, 日本語の対訳がついている。
- 3) 足立毅太郎 : "ロールコーティングにおける流体工学的アプローチ", 塗装工学, **21**(8), 367 (1986)
ロールコーターで重要となる無次元数について具体例とともに解説されている。
- 4) 原崎勇次 : "コーティングの進歩", 総合技術センター (1988)
塗布技術に関連する文献の内容を簡単に解説した本。かなり多くの文献をカバーしており, どのような研究がなされているかを知るのに便利。