2010. 4. 22

白井達郎
E-mail: t_shirai@mvf.biglobe.ne.jp

高分子加工に関する発表報文のアブストラクト

１章　高粘性流体の流動特性

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(1)」, プラスチックス, Vol.49, No.11、P.86(1998)】

高分子溶液や溶融体の流動は、高分子加工の現象を論ずる場合の最も基本的な事項の一つである。この場合の流動は、ほとんどすべてと言ってよいほど層流状態のものであるため、本シリーズは層流を前提に話を進める。

ずり応力（shear stress、剪断応力）とずり速度（shear rate、剪断速度）の間に比例関係があるとみなしてよい流体をニュートン流体といい、ニュートン流体の扱いに必要な諸式を先ず提示する。

実際には、広い範囲のずり速度を考えると、ほとんどすべての高分子流体は非ニュートン性を示し、高分子加工のシミュレーションでは、非ニュートン流体としての扱いが必要となる場合が多い。その扱いに必要ないくつかの非ニュートンモデルを示すと共に、実験値から正しい非ニュートン粘度特性を求めるのに必要となる管末補正のし方、温度依存性の表現法、ずり速度依存性と温度依存性を同時に表す実験式等について解説する。

２章　シート用ダイの流動

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(2)」, プラスチックス, Vol.49, No.12, P.86(1998) 】

非ニュートン流体の流動理論による高分子加工プロセスの解析例として、シート用ダイ（T ダイ、コートハンガーダイ）内の流動、吐出の均一性を検討する方法を記す。

シート用ダイの流動理論で興味あるものに、McKelvey 等のものがある。この理論は等温の指数則型非ニュートン流体の流動について取扱ったものである。これ以前にもシート用内での非ニュートン流体の流動を取扱ったものがあるが、ダイスの各部形状、寸法が比較的簡単な場合についてのものである。これに対し、上記理論は各部形状が相当複雑なものを取扱えるため、より一般的な解析ができ実用的である。

３章　固体の加熱または冷却

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(3)」, プラスチックス, Vol.50, No.1,

P.147(1999)】

丸いロッド状のプラスチックや糸の加熱、冷却は、丸棒の加熱、冷却の問題として取り扱え、フィルムやシートの場合は、平板の問題として取り扱うことができる。丸棒や平板の非定常熱伝達の計算は、ロッドやフィルム等の熱処理工程等を解析する際の有用な手段となる。

本章では、丸棒や平板の伝熱問題を扱うための理論、数値計算法、シミュレーションプログラムについて、詳細に解説する。

４章　高粘度流体の管内流動と伝熱

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(3)」、 プラスチックス, Vol.50, No.1, P.147(1999)】

高分子流体の流動と伝熱を同時に正確に取扱うためには、非ニュートン流体の非等温下の発熱と伝熱を扱わねばならない。この場合、熱伝導、内部発熱、粘度の温度およびずり速度依存性を考慮する必要があり、このレベルになるとシミュレーション解析らしい問題になる。

ここでは、一定壁温に保たれた円管内を流れる非ニュートン流体の温度変化、温度分布、圧損等を数値解析で求める方法について述べる。このような方法は、高分子加工プロセスの解析を行う場合の最も基本的な手法の一つであり、比較的簡単ではあるが、利用度の高いものである。

類似の手法を用いる場合の参考になると思われるので、やや詳しく述べることとする。

５章　高粘性流体のスリット内流動と伝熱

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(4)」, プラスチックス, Vol.50, No.2, P.86(1999)】

スリット内の流動と伝熱の問題は、４章で述べた円管内の場合と類似の取扱いをすればよいが、両面の温度が異なったり、片面が動いたりするやや複雑な取扱いを含めて説明する。

これも、高分子加工プロセスの解析を行う場合の最も基本的な手法の一つであり、比較的簡単ではあるが、利用度の高いものである。

６章　メルト押出機（ニュートン流体）

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(4)」, プラスチックス, Vol.50, No.2, P.86(1999)】

高分子加工で多く用いられる押出機は、固体のペレットやフレークを溶融押出しするいわゆる可塑化押出機（plasticating extruder）であるが、重合缶からの溶融

体の抜き出し等の用途には、流体輸送だけが目的のスクリューポンプも使用される。
本章と次章では、押出しスクリューの流体輸送の理論について述べる。この理論は、可塑化押出機のメタリング部やスクリューポンプの解析に適用できる。また可塑化押出機の概略の押出し性能を推定する際にもよく用いられ、実性能とも案外よく合う。
先ず、本章では、ニュートン流体の押出しを取扱う。

７章　メルト押出機（非ニュートン流体）

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(5)」，プラスチックス，Vol.50，No.3，P.90(1999)】

前章のニュートン流体の理論は、押出機の概略の吐出性能を求めるような目的に対しては、有用なものであるが、より厳密な取扱いをするためには非ニュートン、非等温の解析を行わねばならない。例えば、高い粘度の高分子溶融体の押出しでは、粘性発熱の影響は無視し得ず、温度変化の状況を知ることは重要な意味を持つが、このためには非ニュートン、非等温の取扱いが必要である。
非ニュートン流体の押出し理論は、かなり以前から色々発表されているが、厳密な取扱いをしようとすればするほど、解析が複雑になる。
高度で実用性が高いと思われる解析法は、溝の長さ方向と断面方向の流れを同時に考慮した Fenner の（two-dimensional）非ニュートン、非等温の理論である。本章では、この理論とそれを用いた計算法について詳しく述べる。

８章　可塑化押出機（Tadmor モデル）

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(5)」，プラスチックス，Vol.50，No.3，P.90(1999)】

可塑化押出機（plasticating extruder）は、３つの作用、すなわち固体輸送、可塑化溶融、流体輸送の３つの段階を経て、高分子溶融体を送り出す働きをする。
この３つのうちで、可塑化の段階が最も重要で、複雑な工程である。
可塑化工程の理論解析は、Tadmor の手によって最初に行われた。この理論解析は、溶融体をニュートン流体として取扱っており、実際とはあまり良い一致を示さないが、非ニュートン流体理論への展開のベースをなすもので、重要である。
引き続いて Tadmor 等は、上記理論を元にした有名な非ニュートン流体の理論モデルを提出した。この理論モデルは、実験結果ともかなり良く合い、押出機の可塑化工程を理論的に取扱えるようにしたという意味で、画期的なものである。
本章では、Tadmor のニュートン流体モデルについて先ず述べ、続いて非ニュートン流体モデルについて記す。さらに非ニュートン流体モデルのシミュレーションプログラムとそれを用いた計算例について詳しく述べる。

９章　可塑化押出機（Donovan モデル）

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(6)」，プラスチックス，Vol.50，No.4，P.122(1999)】

Tadmor の可塑化押出しモデルの改良モデルとして、その後多くの理論モデルが発表されている。その中で、理論的にも顕著な改良がなされた Donovan モデルについて述べる。

Tadmor モデルでは、固体層の z 方向速度が一定で、伝熱に関しては固体層の厚さを無限大としているのに対し、Donovan モデルでは、固体層加速パラメータ（solid bed acceleration parameter、SBAP）を導入して固体層速度一定の条件を外している点と、有限厚さの固体層での層内の温度変化を考慮している点が、大きな改良点である。

本章では、Tadmor モデルと対比しながら、Donovan のモデルに関する理論について述べ、さらに Donovan モデルを用いた計算例について述べる。

１０章　押出機の固体輸送部

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(6)」，プラスチックス，Vol.50，No.4，P.122(1999)】

固体輸送用のスクリュー押出機ないしは可塑化押出機の固体輸送部については、溶融体の輸送部とは異なった取扱いをしなければならない。即ち、固体は一体のプラグ状で溝内を移動するとし、スクリュー形状、回転数、バレル及びスクリュー表面と固体層プラグ間の摩擦係数、圧力勾配を考慮した取り扱いが一般的になされる。

押出機の固体輸送理論は、Darnell 及び Mol によって最初に発表された。この理論では、バレルとスクリューの摩擦係数が同一であり、スクリュー山巾を無視するという簡略化が行われている。この点を考慮に入れた改良式が Tadmor 等により再導出されている。

本章では、この Tadmor 等の改良理論について詳しく述べた後、その計算例を示す。

１１章　フィルタ

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(7)」，プラスチックス，Vol.50，No.5，P.96(1999)】

高分子加工では、濾過やゲル分散の目的でスクリーンフィルタがしばしば利用される。この種のフィルタは、メッシュの異なった複数の金網を組み合わせて用いる場合が多いが、その計算法が Carley 等により発表されている。理論式は、等温の非ニュートン流体について導出されている。

本章では、この理論とそれを用いた計算例について述べる。

１２章　スパイラルダイ内の流動(1)

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(7)」，プラスチックス，Vol.50，No.5，P.96(1999)】

均一な円筒状のフィルムやシートを製造するために、スパイラル状の溝を有するマンドレルを内蔵したスパイラルダイがよく用いられる。

このようなダイの流動は、スパイラル溝部の流れと、ダイ出口に向かって流れるスリット部の流れが組み合わされたものである。高分子流体がスパイラル部とスリット部を複雑な経路を経て流れる過程で、ミキシングを計り、周方向の各部から均一に吐出させることが、このダイの主要な役割である。

このタイプのダイの解析については、Procter のものがあるが、相当な仮定と簡略化に基づいたものである。ここでは Procter の理論を出発点として、より健全な取り扱いをするため、筆者が拡張した方法について述べる。

本章では、ダイ内の流れと圧力について、その理論、シミュレーションプログラムの作成、計算例を詳述し。次章では、ダイ内のミキシングについて述べる。

１３章　スパイラルダイ内の流動(2)

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(8)」，プラスチックス，Vol.50，No.6，P.120(1999)】

前章でスパイラルダイ内の流れと圧損を解析する方法を述べたが、本章ではさらにダイ内での高分子流体のミキシングの程度を評価するための理論について述べる。本章の最後で、前章および本章の方法を用いて、ダイの構造を検討する具体的な例を記す。

１４章　インフレーション成形(1)

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(8)」，プラスチックス，Vol.50，No.6，P.120(1999)】

フィルム成型法の一つであるインフレーション法は、色々な樹脂のフィルム成形法として広く用いられている。

本章では、インフレーション成形理論の分野で著名な Petrie による理論のうち、最もオーソドックスな理論式を用いた解析法について、その理論、シミュレーションプログラム及び計算例を述べる。この理論では、樹脂を非等温のニュートン流体として扱っている。

１５章　インフレーション成形(2)

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(9)」，プラスチックス，Vol.50，No.7，P.86(1999)】

インフレーション成形のシミュレーションに関して、前章では Petrie の理論に

基づくものについて述べたが、Petrie の取り扱いにおける問題の一つは、成形過程のヒートバランスを導入せず、一定の温度勾配を仮定していることである。この点を改善した理論が金井等によって発表されているので、それに基づくヒートバランスを考慮したシミュレーションについて述べる。

１６章　カレンダー

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(9)」，プラスチックス，Vol.50，No.7，P.86(1999)】

カレンダーは、２個の回転ロールを用いて、軟化した樹脂を均一なシートに連続的に成形するのに用いられる。

カレンダーの理論には、McKelvey によるものがあるが、この理論は、ニュートン流体についてのものであり、流体は層流、等温、非圧縮性で、壁面でスリップがなく、ロール半径に対し隙間が小さく、従って徐々にロール間ギャップが変化するとみなしてよいとの仮定のもとに、導出された最も基本的な理論である。

本章では、この理論について述べると共に、これを用いて製品厚みの変動を解析するシミュレーションプログラムと、その計算例について述べる。

１７章　コータードライヤ

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(10)」，プラスチックス，Vol.50，No.8，P.95(1999)】

プラスチックフィルム等のシートにコーターで塗工液を塗布し、引き続き溶剤を乾燥させて、ポリマー等の塗工成分をシート上に固着させるコーティングプロセスは、例えば粘着テープ、写真用フィルム、各種包装用シート、磁気テープ、プリント基板製造の際に使用される感光性樹脂シート（ドライフィルムレジスト）等の加工に用いられる、重要なフィルム加工プロセスの一つである。

コーターでは、ベースフィルム上に塗工液を塗布後、引き続いて乾燥炉中を走行させ、塗工液中の溶剤を蒸発乾燥させることが一般に行われる。

このようなコータードライヤー中におけるフィルム上の塗工液の乾燥は、塗工液側とベースフィルム側の両面からの熱伝達と、塗工面のみからの溶剤蒸発を伴う物質移動の両方を同時に取り扱う必要があり、複雑で興味のある問題といえよう。

本章では、乾式紡糸理論を参考にして、筆者が行った理論式の導出と、それに基づくシミュレーションプログラム作成及び計算例について詳しく述べる。

１９章　フィルムのキャスティング

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(11)」，プラスチックス，Vol.50，No.10，P.105(1999)】

シート用のフラットダイを出てからロールに接触するまでの間の、フィルムの変

形挙動に関する理論はあまり発表さていなかったが、金井により成形中の温度、速度、厚み、ひずみ速度、応力等の変化の状況をシミュレーションできる理論が出されている。

この理論は、前章で述べた溶融紡糸の理論に非常に近いものであり、共通点が多い。そこで、金井の提示した理論式をさらに変形して、溶融紡糸のシミュレーションプログラムのアルゴリズムをほぼそのまま適用できる形にまで展開したので、それについて述べると共に、その計算例について記す。

２０章　押出機のスケールアップ

【「パソコンでできる高分子加工のシミュレーション解析(11)」, プラスチックス, Vol.50, No.10, P.105(1999)】

シリーズの最後の章で、シミュレーションとは異なった手法を、押出機を題材として取り上げた。シミュレーション解析の利用目的の一つとして重要なものに、スケールアップ検討があげられる。

押出機のスケールアップ検討を、シミュレーション解析を用いて行うことは、よく行われており有効であるが、もっと手軽に利用できる手法が求められることも少なくない。このような目的で用いられるのがスケールアップ則であり、小スケールの装置による実験結果をもとにして、それほど見当違いでない答えを手軽に得る目的で使用される。

押出機のスケールアップ則は、従来から数多くのものが提案されている。それらのほとんどのものは、メルトの挙動に着目したものであり、スケールアップ押出機のメルト品質（混練度）と温度をオリジナル押出機と同じレベルにすることを、基本前提としている。

ここでは、可塑化押出機の品質一定保持をうたうスケールアップ則も含めて紹介し、その計算例を記す。

Chung モデルによる可塑化押出機のシミュレーション

【「Chung モデルによる可塑化押出機のシミュレーション」, プラスチックス 7 月号別冊, P.156(2005)】

Chung モデルは、他のモデルとは異なり、スクリューシミュレーター（screw simulator）と名づけた、単軸スクリュー押出機の模擬装置による実験結果と理論解析をもとにして組み立てた、ユニークな押出し理論である。その妥当性については過去に議論が行われたこともあるが、C. I. Chung は長年にわたって粘り強い広範な研究を進め、その成果を 1 冊の本にまとめて 2000 年に出版した。

この本は、可塑化部分のみならず、単軸スクリュー押出機のすべての部分について、独特の視点から総括的かつ詳細に述べているが、Chung モデルによるシミュレーションに関しては具体的に述べられていない。

筆者は、この Chung モデルを用いて、可塑化押出機の可塑化ゾーンのシミュレ

ーションプログラムを作成したが、本報中のシミュレーション計算例を見ても、リーゾナブルな結果を与えるモデルと言える。

本稿では、この Chung モデルの理論、シミュレーションプログラム、計算例について、他のモデルとの対比しながら、詳細に述べる。

コータードライヤのシミュレーション（実験データ不要のシミュレーション）

【「コータドライヤのシミュレーション（前編）」，プラスチックス, Vol.56, No.12, P.90(2005) 及び「コータドライヤのシミュレーション（後編）」，プラスチックス, Vol.57, No.1, P.175(2006)】

プラスチックフィルム等のシートにコーターで塗工液を塗布し、引き続き溶剤を乾燥させて、ポリマー等の塗工成分をシート上に固着させるコーティングプロセスは、例えば粘着テープ、写真用フィルム、各種包装用シート、磁気テープ、プリント基板製造の際に使用される感光性樹脂シート（ドライフィルムレジスト）等の加工に用いられる、重要なフィルム加工プロセスの一つである。

筆者は、高分子加工シミュレーションに関するシリーズ記事の一つで、コータードライヤのシミュレーションについてすでに述べているが、今回ここでとり上げるシミュレーションと上述のものとの重要な違いは、塗工膜内における溶剤の拡散係数の求め方にある。

拡散係数は、塗工膜の乾燥過程を支配する重要なファクターであるが、前回のシミュレーションでは、実際の乾燥テストのデータをもとにフィッティングして逆算する方法をとっていた。それに対して今回のシミュレーションは、塗工液を構成するポリマーと溶剤の物性値だけから計算した拡散係数を使用することになる。

今回の方法は、実際のテストをしなくても、またはする前に、物性値から理論式に基づいて拡散係数を計算することができるので、すべて机上データを用いてシミュレーションができる点が、大きな特長であると言える。しかし、必要物性値を文献から探し出す、ないしは不足するものを自力で求めることが容易でない場合も、少なくはないと思われる。

一方、前回の方法は、テストデータをもとにフィッティングをする必要があるため、実験を行う手間とトライアルアンドエラーのための手間がかかるが、フィッティングが適正に行われれば、より実用的で適応性が高いものにすることも可能である。

これらの２つの方法は、実用的な見地からすると一長一短があり、使い分ける必要があろう。本稿ではそれらの相互比較を交えながら、理論とそれを用いたシミュレーションについて具体的に述べる。

本報における物性値からの拡散係数の算出法として、Vrentas-Duda の自由体積理論によるものを用いた。

コータードライヤのシミュレーション（混合溶剤を使用した塗膜の乾燥）

【「コータドライヤのシミュレーション（混合溶剤を使用した塗膜の乾燥）」，プラスチックス，Vol.57, No.4, P.133 (2006)】

プラスチックフィルム等のシートにコータで塗工液を塗布し、引き続き溶剤を乾燥させて、ポリマー等の塗工成分をシート上に固着させるコーティングプロセスは、例えば粘着テープ、写真用フィルム、各種包装用シート、磁気テープ、プリント基板製造の際に使用される感光性樹脂シート（ドライフィルムレジスト）等の加工に用いられる、重要なフィルム加工プロセスの一つである。

このコーティングプロセスに関連した分野の研究、開発は、基礎から応用に至るまで各方面で活発に行われており、現在も発展段階にある。

筆者は、すでに 2 種類のコータドライヤのシミュレーションを作成し、その内容について 2 つの報文を発表しているが、これ等はいずれも塗工液中のポリマーを溶解する溶剤が 1 種類（単溶剤）の場合のものである。

工業プロセスでは、単溶剤の場合も多いが、混合溶剤が用いられる場合も少なくない。混合溶剤の場合は、乾燥時の塗膜内における溶剤各々の物質移動の挙動が、溶剤相互の影響を受けて理論的な取扱いが格段に面倒になる。

このような方面の研究は、アカデミックな世界を中心として現在も盛んに行われているが、2 種類の混合溶剤の場合でも、ポリマーと合わせて成分は 3 種類となり、理論的な取扱いに必要な物性値を得ることも容易ではない。

このような 2 成分系の溶剤について、塗膜表面における溶剤の蒸発のみを考慮する、巧みな簡便法が杉山等によって発表されている。この方法は、従来から良く知られた乾燥特性曲線の考え方を応用して、2 成分系の溶剤に拡張したものであり、実験データをもとに各種のパラメータ値を設定してシミュレーションを行うものである。

本報では、この理論と、それを元に作成したシミュレーションについて詳述する。

コータードライヤのシミュレーション（混合溶剤を使用した塗膜の乾燥（２））

【「コータドライヤのシミュレーション（混合溶剤を使用した塗膜の乾燥（２））」，プラスチックス, Vol.57, No.6, P.160 & No.7, P.105 (2006)】

プラスチックフィルム等のシートにコータで塗工液を塗布し、引き続き溶剤を乾燥させて、ポリマー等の塗工成分をシート上に固着させるコーティングプロセスは、例えば粘着テープ、写真用フィルム、各種包装用シート、磁気テープ、プリント基板製造の際に使用される感光性樹脂シート（ドライフィルムレジスト）等の加工に用いられる、重要なフィルム加工プロセスの一つである。

このコーティングプロセスに関連した分野の研究、開発は、基礎から応用に至るまで各方面で活発に行われており、現在も発展段階にある。

工業プロセスでは、単溶剤の場合も多いが、混合溶剤が用いられる場合も少なくない。混合溶剤の場合は、乾燥時の塗膜内における溶剤各々の物質移動の挙動が、溶剤相互の影響を受けて理論的な取扱いが格段に面倒になる。

このような方面の研究は、アカデミックな世界を中心として現在も盛んに行われているが、2 種類の混合溶剤の場合でも、ポリマーと合わせて成分は 3 種類となり、理論的な取扱いに必要な物性値を得ることも容易ではない。

筆者はすでに、このような混合溶剤を用いる場合の塗膜の乾燥プロセスを、乾燥特性曲線の考え方を利用して計算するシミュレーションの方法について述べた。この方法は、難度がそれ程高くなく、乾燥プロセスを適切に表現できるため利用度が高く優れたものと言えるが、塗膜内部の溶剤の濃度分布を無視しているので、そのような情報を必要とする場合は利用できないという問題もある。

近年、自由体積理論を用いた混合溶剤の塗膜乾燥理論が発表されているが、単溶剤の場合に比して理論的な取扱いが格段に複雑になり、必要な物性値を得ることは必ずしも容易ではなく、広く一般的に利用するにはまだ敷居が高いと言わざるを得ない。

本報では、溶剤 1／溶剤 2／ポリマーの 3 成分系塗膜の乾燥プロセスに関して、塗膜内の溶剤の濃度分布も含めて計算する実用的な方法を考案したので、その方法とそれを用いたシミュレーションについて述べる。本報で述べる方法は、自由体積理論の考え方を取り入れながら、一方でフィッティングパラメータを導入して、混合溶剤の場合での自由体積理論利用の困難性を解消したものである。

リバースロールコーターの流動解析とシミュレーション

【リバースロールコーターの流動解析とシミュレーション」，コンバーテック，No.410，P.64 (2007. 5)】

数多くの形式のコーターの中でも、リバースロールコーターは、塗工可能な液の粘度範囲が広く、塗工厚さも広い範囲で使用することができ、速度範囲は低速から高速まで適用可能であり、塗工厚みの精度も高くて、最も汎用性の高いコーターとされている。

リバースロールコーターの流動解析は、これまでにも多くの研究者によって行われており、潤滑油理論を適用した方法から、有限要素法を用いたものまで、数多くの報文がすでに発表されている。

潤滑油理論を適用した方法は、理論的な取扱いが容易であるにもかかわらず、それによる膜厚の計算は、通常の塗工条件下で実際とも良く合い、実用性が高いので頻繁に用いられているが、ビードの大きさが塗膜厚変動にどう影響するかまでは、解析対象とはなっていなかった。

本報では、ビードの大きさにより膜厚がどのように変化するかを含めて解析できるようにした筆者の方法と、それを用いたシミュレーションについて述べる。

コータードライヤのシミュレーション　（混合溶剤を使用した塗膜の乾燥（３））

【混合溶剤塗膜乾燥シミュレーションの改良と最適化の検討，プラスチックス，Vol.58，No.6～

No.8 (2007)】

プラスチックフィルム等のシートにコータで塗工液を塗布し、引き続き溶剤を乾燥させて、ポリマー等の塗工成分をシート上に固着させるコーティングプロセスは、例えば粘着テープ、写真用フィルム、各種包装用シート、磁気テープ、プリント基板製造の際に使用される感光性樹脂シート（ドライフィルムレジスト）等の加工に用いられる、重要なフィルム加工プロセスの一つである。

工業プロセスでは、単溶剤の場合も多いが、混合溶剤が用いられる場合も少なくない。混合溶剤の場合は、乾燥時の塗膜内における溶剤各々の物質移動の挙動が、溶剤相互の影響を受けて理論的な取扱いが格段に面倒になる。

このような方面の研究は、アカデミックな世界を中心として現在も盛んに行われているが、2 種類の混合溶剤の場合でも、ポリマーと合わせて成分は 3 種類となり、理論的な取扱いに必要な物性値を得ることも容易ではない。

自由体積理論に基づく塗膜の乾燥理論は、混合溶剤を用いる場合にも適用可能となり、塗膜内の溶剤濃度分布を含めて詳細な解析を可能にした高度で有用な理論であるが、ポリマーと溶剤の組み合わせが現実には数多くあるため、自由体積理論のパラメータ値を入手することは必ずしも容易ではなく、実用上のバリアとなっていた。

筆者は先に、自由体積理論をベースとした実用的な混合溶剤塗膜の乾燥シミュレーションについて報告した、乾燥過程の変化の状況は的確に表現できるものの、塗膜乾燥の実験データとの一致性は必ずしも十分とは言えなかった。

この度、上記のシミュレーションモデルを改良して、実験データとの一致性のより良いシミュレーションプログラムを作成したので、それについて述べるとともに、このプログラムを用いて行った塗膜乾燥の最適化検討についても報告する。

ブレードコーターの流動理論とシミュレーション

【「ブレードコーターの流動理論とシミュレーション」，コンバーテック，No.417，P.59（2007.12】

ブレードコーターは、フレキシブルな板またはリジッドな板を、ウェブに対して斜めに配置して、ウェブと板の隙間で塗工液を制約しながら計量、塗布する方式のコーターであり、ナイフコーターと呼ばれるものと似かよった形式のものである。

本コーターは、顔料等の粉末を多く含む塗工液に適しており、数ミクロンから 100 ミクロン超の塗布が可能である。

グラビアコーターと呼ばれる、グラビアロールを用いるコーターでは、フレキシブルなブレードが使用される場合が多く、この型式のもはブレードをグラビアロールに押し付けて変形させ、塗工液の液圧とバランスさせて形成する狭い隙間で計量を行うものであり、薄膜塗工を行うのに適している。

塗工液の流動状態を決定するブレードの接液部の形状には多種のものがあるが、本報で述べるプログラム作成法に従えば、形状が異なったものにも容易に対応する

ことができる。
　本報では、ブレードコーターの基本形と考えられる一定勾配の傾斜版による場合、コンマコーターと呼ばれる円形断面のおよそ 1/4 を切り取った形のロッドを用いる場合、並びにフレキシブルブレードコーターの簡易的な取扱いの 3 ケースを取り上げて、その流動理論とシミュレーションについて具体的に述べる。

スロットコーティングの安定塗工限界

【「スロットコーティングの安定塗工限界」，コンバーテック, No.418, P.29 (2008. 1)】
　スロットコーティングは、あらかじめ計量された塗工液を、幅方向に均一に分配するためのスロット部を有するダイを経由して、基材上に塗布する前計量コーティング方式の一種であり、日本ではダイコーティングと呼ばれる場合も多い。
　本コーティング法は、低粘度の塗工液による薄膜形成に適した高精度コーティング方式であり、従来商品分野だけではなく、電子関連部品等のスペシャリティ分野での利用が拡大しており、その重要性は益々高まってきている。
　スロットコーティングは前計量方式であるため、あらかじめ高精度に計量された塗工液が、供給スロット部で基材の幅方向に均一に分配されるよう設計されたダイが使用されるが、塗膜の安定塗工の確保には、スロットを出た後のビード部の流動挙動が決定的な役割を果す。
　プロセス条件、液特性、ダイ形状等が塗工部の流動状態や塗工プロセスの安定性に影響をおよぼすことが知られているが、安定塗工のキーポイントは下流側メニスカスの安定化にあることが分ってきた。工業的に重要な高速塗工領域での塗工安定性に関する新しい知見も出ているので、その点も含めて説明する。
　本報は、スロットコーターの安定塗工限界に関する理論的なアプローチとその検証について、Calvalho と Kheshgi の報文を主とし、他の研究者の実験結果を加えてまとめたものである。

非円形キャビティのスロットダイにおける流動理論とシミュレーション　（連載記事、全 3 回）

【「非円形キャビティのスロットダイにおける流動理論とシミュレーション(1)、(2)、(3)」，コンバーテック, No.425, P.53 (2008. 8); No.426, P.119 (2008. 9); No.427, P.36 (2008. 10)】
　スロットコーティング（slot coating）は、あらかじめ計量された塗液を、幅方向に均一に分配するためのスロット部を有するダイを経由して、基材上に塗布する前計量コーティング方式の一種であり、日本ではダイコーティングと呼ばれる場合も多い。このコーティング方式は、低粘度の塗液による薄膜の高精度コーティングや、微粉体を含む塗液のコーティングにも適しており、従来商品分野だけではなく、電子関連部品等のスペシャリティ分野での利用が拡大しており、その重要性は益々高まってきている。

上記のスロットコーティングプロセス等で使用されるスロットダイの理論モデルは、適正なダイの設計やダイ性能の評価を行うためのツールであるシミュレーションのベースをなすものであり、重要性は極めて高い。

本連載では、非円形キャビティのスロットダイに関する流動理論と、それによるシミュレーションについて詳しく述べる。

連載の第 1 回目は、「1 段キャビティのスロットダイ内を指数則型非ニュートン流体が流れる場合」を取り上げる。第 2 回目は、「1 段キャビティのスロットダイ内を上限付指数則型非ニュートン流体が流れる場合」を取り上げ、第 3 回目は、「2 段キャビティのスロットダイ内を上限付指数則型非ニュートン流体が流れる場合」を取り上げる。

リバースロールコーターの流動と安定塗工限界

【「リバースロールコーターの流動と安定塗工限界」，コンバーテック, No.434, P.74 (2009. 5)】

リバースロールコーターは、塗工可能な液の粘度範囲が広く、塗工厚さも広い範囲で使用することができ、低速から高速まで適用可能であると共に、適切な条件下では塗工厚みの精度も高いので、各種の製品の製造に用いられる汎用性の高いコーターである。

このように、リバースロールコーティングは重要なコーティングの方式であるが、その流動に関する理論的な解明と理解は必ずしも十分とは言えない。これは、その流動状態が複雑であることに起因していると考えられる。

均一な塗膜厚さを得るための適正な塗工条件を見出すためには、経験的な知見だけではなく、理論的な知見を併せ持っていることは極めて有用である。

筆者は既に、潤滑油理論を適用したリバースロールコーターの流動解析の理論とシミュレーションについて詳述したが、潤滑油理論を適用する方法は、理論的な取扱いが容易である一方適用範囲に限界あり、適正な塗工条件を知るための理論的な手段としては不十分である。

そこで本報では、リバースロールコーターの流動に関するより広範な理論と、不安定現象に関する知見について記すことにする。

ワイヤーコーティングの理論とシミュレーション

【「ワイヤーコーティングの理論とシミュレーション」，コンバーテック, No.445, P.86 (2010. 4)】

ワイヤーコーティングプロセスは、金属線を絶縁するためのものであるが、強度を上げたり、外気の影響を防いだりするためのものでもある。ワイヤーコーティングは、通常押出機で供給される溶融ポリマー中を金属線が走行して、連続的に被覆するプロセスである。ワイヤーコーティングは、押出機（extruder）を用いるプロセスの中でも、最も古くから行われているものの一つである。

本報では、ワイヤーコーティングの理論とシミュレーションプログラムについて

述べることとする。本報で述べるのは、筆者が考案した解析法であるが、従来のものより複雑なダイ形状や指数則モデルより複雑な非ニュートン流体モデルに適用できる理論モデルと、それを用いたシミュレーションについてである。

なお光ファイバーのコーティングも、ワイヤーコーティングと同じ原理が用いられており、理論モデルや解析法はワイヤーコーティングに準ずると考えて良いが、ダイと走行線間の隙間がワイヤーコーティングに比べると非常に小さく、コーティングする流体の粘度も低いという違いがある。そのためシミュレーションプログラムの収束をはかるためのチューニングの面等で、ワイヤーコーティングとは多少異なった工夫が必要である。