

肉厚可変ダイが切り開く新規押出成形技術

ハインツ・グロス*

訳：酒井忠基**

はじめに

顧客からの限りない要求や国際的な競合の激化に対応するためには、押出成形品では品質の向上だけでなく、同時に生産コストも下げていかなければならぬ。この2つの要請は、多くの場合、相反関係にあるが、業界ではその両者を満足するような解決策を見出すためのたゆまない努力が続けられている。ここで述べる新技術は押出成形品の寸法変動を最小にするためにダイの流路形状を精密調節して、押出成形品の寸法精度の向上に寄与する新規なダイを提供するものである。このダイの採用により、中空成形の場合には成形中に感度良くパリソンの肉厚を調節することができるなど、押出成形品の品質向上とともに、無駄な材料消費を減らすことができる。

我々の最終目標は、このダイ技術を活用して、すべての押出成形品の肉厚を成形工程中に調節可能とすることである。

1. パイプ成形用ダイへの適用

生産ラインの稼働中にパイプの全周にわたる肉厚寸法を制御するためには、

ダイ内の限られた部位の流路を変えなくてはならない。これはダイの流路壁を弾性的に変形させれば可能である。キャストフィルムの場合には、いわゆるフレックスリップダイを用いてダイリップを変えれば容易に到達できる。その結果、キャストフィルムでは、パイプ成形に比べて、高い寸法精度が達成されている。この技術はパイプにも応用されて当然と考えられる。しかし、フィルムのようなフラットな形状に比べて、円形になるとダイの剛性がかなり高く、その実現はより困難となっていた。

1.1 技術的解決法

機械的には、ダイの流路壁を薄くして変形しやすくすればよいが、問題は薄くすると溶融ポリマーの成形圧力に耐えることができないことがある。この解決法としては、板バネのように、多くの薄板の集合体構造とし、内圧に耐えられる可とう性をもつ隔壁構造とする方法がある。

我々はこの目標に向かって画期的な方法を見出すことができた。それはある部分だけを多層隔壁構造とすることである^{1), 2)}。例えば、図1に示すように、わずか0.05mmの薄板を複雑な多層構造にすればよい。このようにすれば多層隔壁板は完全な弾性変形のみで容易に制御できるし、微小な部位であっても、流路への適用が容易となる。

この目的で考案されたフレックスリングスリープを用いれば、特殊な押出成形分野にも適用することが可能となる。フレックスリングスリープの基本構造である多層隔壁板の個々の厚さや枚数は、変形挙動や成形圧力に応じて、自由に設計することができる。図2はフレックスリングダイを示し、右側が出口付近の断面である。このフレックスリングスリープ出口部は周辺に付属した調節ボルトで容易に変形させることができる。この図の左側はこのフレックスリングスリープを既存のダイに組み込んだところを示す。

1.2 実施例と実験結果

我々は各種のパイプダイにこのフレックスリングスリープを組み込んで、多くの実験を実施した。図3は外径110mmで、肉厚9mmのPEパイプに対する肉厚分布を示したものである。太線で示した肉厚分布は従来法で得られたものである。点線で示したものは、出口の間隙を調節ボルトで制御して得られた結果である。ここで得られた0.09mmという肉厚寸法精度は従来の方法では到達しえない数値である。

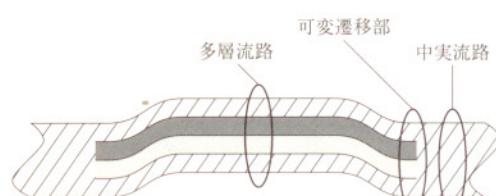


図1 継ぎ目なし遷移部を有する多層流路の断面図

* Dr. Ing. Heinz Gross

グロス高分子加工技術事務所
連絡先：Gross Kunststoff-Verfahrenstechnik,
Ringstrasse 137, 64380 Rossdorf,
Germany

** Tadamoto Sakai
日本製鋼所社友 静岡大学客員教授

パイプ成形にフレックススリングスリーブを用いる利点は運転開始時の操作にも現れてくる（図4）。材料の滞留によって、運転開始直後のパイプの肉厚分布は太線で示した状態となるが、フレックススリングスリーブでは運転中に流路を調整することでラインを止めることなく、またダイを清掃することなく、点線で示した肉厚分布に戻すことができる。

フレックススリング技術の適用はダイ出口での流路調整だけに限定されるものではない。例えば、フレックススリングスリーブはダイの内部にも使用可能であるので、複数の流路を使用する共押出成形においても、生産ラインを止めることなく、円滑な制御が行える。共押出成形において流路を制御するのに最も適した場所は複数の流路が合流する部位である。図5には主材と被覆材とを合流させるフィードブロックの断面を示した。この位置に変形可能な

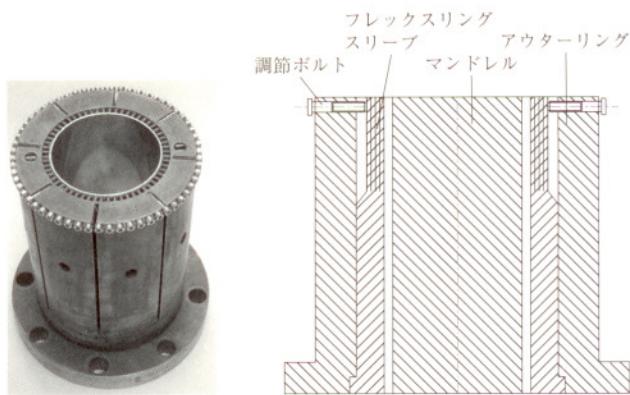


図2 フレックススリングダイの断面図とフレックススリングスリーブと一緒にになったアウターリングの外観

隔壁構造を適用すれば、流路を自由に調整することができる。そうすれば、生産ラインを停止せずに、また、個々の樹脂層の厚さを乱すことなく、全周方向の流路を精密に制御できる。しかも、この操作の間、流路形状は常に漸次的に変化していくので、流路内に滞

留箇所とか不安定な流れを生じさせることはない。従って、PVCのパイプにもこの技術を適用することができる。

試みに、フレックススリングを用いて、Kraus-Maffei社製の一層構造ダイを2層構造のダイに変換してみた。まず、外側被覆層の肉厚分布を精密に制御でき

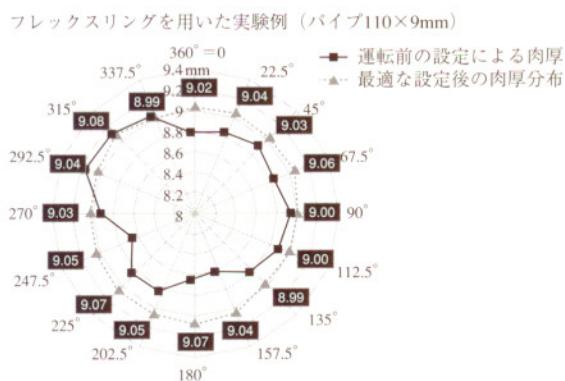


図3 従来法と本流路調整法との肉厚分布の比較

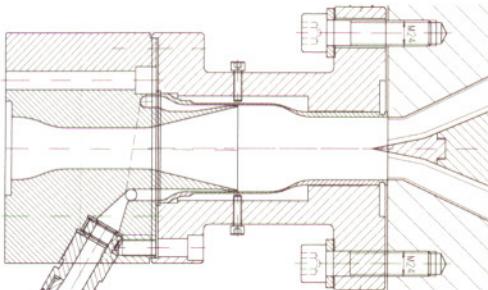


図5 15枚の可とう性を有する隔壁板で構成されたフィードブロックの周りに取り付けられた調節ボルトによるラジアル方向からの流路調整構造

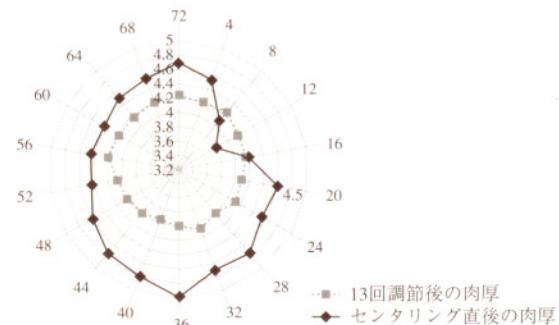


図4 フレックススリングにおける非対称な変形状況（中空成形ダイ）

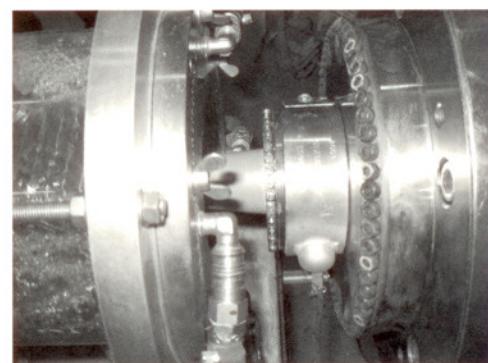


図6 アウターリングを換えて、フレックススリングスリーブと組合せるだけで單一流路ダイを複数流路ダイに変換した例：最初の層はパイプの外径寸法を制御、次の層はパイプの総厚みを制御

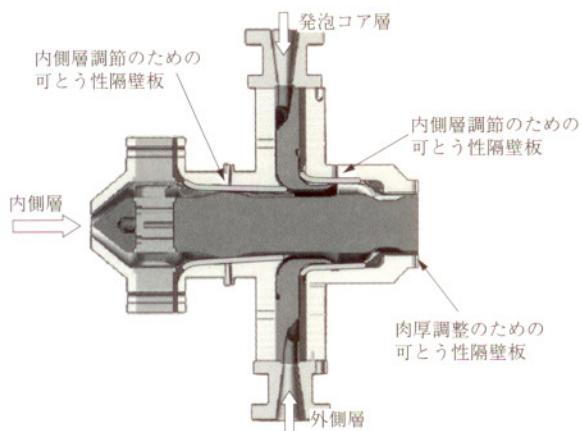


図7 各層の肉厚制御を可能とする三層構造のPVCパイプ成形用ダイ

るよう、2層の合流領域を多層隔壁構造にした。そして、更に、ダイの出口部分も多層隔壁構造に変え、パイプの肉厚全体を調整できるようにした。図6に稼働中のダイを示した。このフレックスリングダイの特徴はアウターリング本体に2列の調節ボルトを装備させたことである。これらの調節ボルトのうち、外径の大きい本体に取り付けたのがパイプの外側被覆層の肉厚を調整するものである。パイプ肉厚の全体調整はダイの出口に取り付けた調節ボルトで行う。

この結果に基づいて、発泡層を中心樹脂層とするPVCパイプ用の新規3層構造ダイを開発した。このダイでは、3層の流路をそれぞれ個別に弹性変形で制御できるようになっており、肉厚全体の調整だけでなく、内側層及び外側層も個別に制御できる（図7）。内側の層を制御するためには、直接、ハウジングに取り付けた変形可能な多層隔壁板を調整する。これにより、部品の点数が減り、ダイからの溶融樹脂の漏洩防止、メインテナンスの容易性も向上させることができた。

外側被覆層は、単軸押出機を用いて、ダイの前に取り付けた分岐管からダイ内に供給される。それぞれの流路の形状は要求される寸法精度に収まるよう、厳密に制御されなければならない。この目的では、2つの流路を一つにう



図8 中央流路調節部品：両端を厚肉のフランジで固定し、中間部は変形しやすい20枚の薄い隔壁板で構成されている

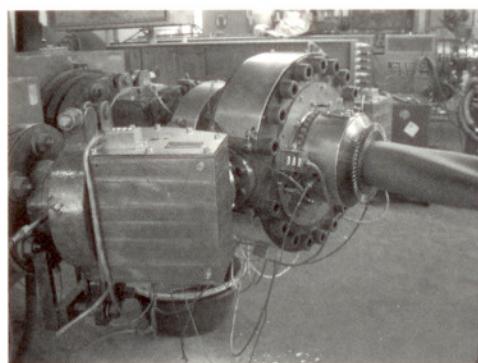


図9 三層の流路を有する共押出成形用フレックスリングダイ（運転開始時）

まく統合できる絞り弁を用いる。これにより、2つ目の流路に応じて、流路抵抗を調節することが可能となった。図8にこの絞り弁を示す。これは、中心のフラット部分に20枚の薄板で、かつ相互に支持された隔壁構造から構成され、その流路断面は特殊な調節装置で自由に調整することができる。初期の頃、ラインに設置されたダイの全体写真を図9に示す。

2. インフレフィルム成形用ダイへの適用

フレックスリングダイはインフレフィルム成形にも適用可能である。インフレダイは主にダイ出口での流路の大きさがパイプダイとは大きく異なる。通常のインフレ成形ではフィルム厚さが温度と空冷速度の制御で調整されている。

一方、多段インフレ成形を用いると、

より高度なフィルム特性が得られるため、昨今益々重要になってきているが、この成形法では前述の肉厚調整手法を適用することができない。多段インフレ成形では、溶融ポリマーはダイから出ると、空冷ではなく、水で直ちに冷却されるため、冷却過程中に延伸操作を適用することができないからである（図10）。その結果、フレックスリングダイが登場するまでは、多段インフレフィルム成形に対するクローズドループ制御の適用は不可能であった。

実際の多段インフレ成形ラインでの実験の結果、フィルム厚さはダイ出口流路のわずかな変化でも大きな影響を受けることが判明したので、手動の調節ボルトのピッチを0.25mmにとした。しかし、いくら小さな調節ボルトを用いてもその調整幅があまりにも小さく、とても手動で制御できるものではなかった。すなわち、寸法精度を出すためにはかなり高度の技能と訓練を必

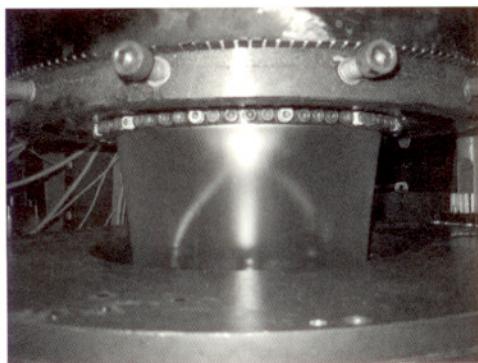


図10 外径が248mmで72個の調節ボルトを有するフレックスリングダイ（水冷リング挿入部）

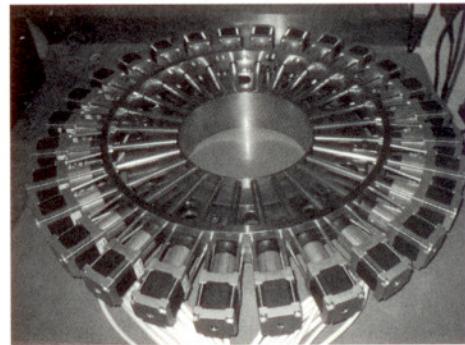


図11 多段インフレ成形に用いる自動フレックスリングダイ：流路を感度良く制御するために28個の自動送り機構を付属したもの

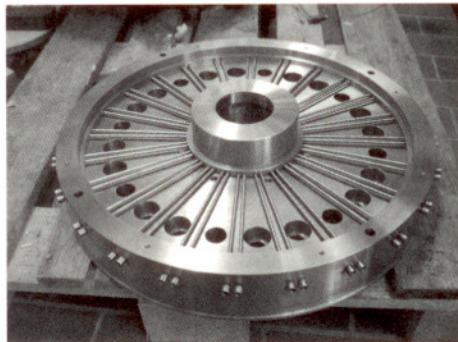


図12 三層の流路を有する多層ダイに用いるフレックスリングディスク：中間層の肉厚を最適化するために可とう性のある隔壁部に48個の調節ボルトを付属させている

要としたのである。そこで、我々は出口流路を自動的に制御する新しいフレックスリングダイを設置することとした（図11）。

精密な自動送り機構を用いると、200nmという微少な変位を正確に、かつ再現性良く制御することが可能である。現在、生産ラインのクローズドループ制御のために、オンライン厚み計との連携制御システムの構築を目指している。

当然のことながら、フレックスリングダイ技術は通常のフィルム成形ラインにも適用可能であるが、特に、共押出フィルムに対しては大きなメリットが提供できる。

この試みはIKVのプラスチック加工研究所において最初に行われ、3層のフレックスリングダイを用いたインフレ成形ラインで成功を収めることができた。

きた。これは内部層の周方向の肉厚を制御できるようにした世界初の3層インフレフィルム成形ダイである。このダイでは、内部層の流路をその合流点で正確に調整できる変形自在な可とう性隔壁構造を採用した。図12にこのダイのフレックスリングディスクを示す。この多層隔壁板は20枚であり、それぞれの板厚はわずか0.2mmである。このダイを用いれば、一層のダイの出口でも、3層のダイの内部でも、可とう性隔壁板を介して精度よく肉厚制御を行うことが可能であることが判明した⁵⁾。それにより、多層インフレ成形においても、各層のフィルム厚さを感度よく調整できるものと期待される。手動での研究が成功したので、IKVでは内部層をクローズドループ制御するシステムを確立するために、まず内部層の肉厚を計測する研究プロジェクトを発足

させることになった。

3. 発泡フィルム・シート成形用丸ダイへの適用

発泡剤入りの溶融樹脂を発泡押出しするのは、通常の押出成形よりも困難である。また、発泡剤を溶融樹脂内に均一に混合する難しさと、発泡剤による溶融粘度の低下も、プロセス上、別の問題を引き起こす要因となっている。発泡押出しでは、一般に、丸ダイが使用されるが、ダイ出口でのわずかの肉厚変動に対処できるフレックスリングダイを採用すればもっと制御しやすくなることは明白である。事実、フレックスリングダイを用いれば、発泡フィルムやシートの肉厚寸法精度をかなり上げることができた。図13に外径120mmのダイにフレックスリングを装備させた例を示す。精密な調整ができるよう、ここでは、全周に60個の調整ボルトを取り付けている。図14は発泡PEシートの生産ラインを示したものである。

4. 押出ブロー成形用ダイへの適用

製品対象が多岐にわたる押出ブロー成形にフレックスリング技術を適用するためには、小型ブロー成形品から大型ブロー成形品に及ぶ、どのような大



図13 発泡ポリオレフィンシートを成形するためのフレックスリングダイ：流路形状を高精度で制御するために出口付近に60個の調整ボルト（M6）を付属させている



図14 フレックスリングダイを用いた発泡シートの成形ライン

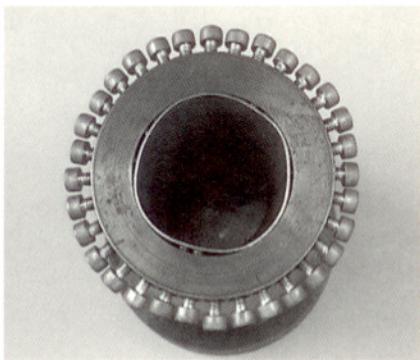


図15 フレックススリングの変形状態を実証するための実験用ダイ

きさのダイにもこの技術が当てはまることが前提となる。その主目的はパリソンの肉厚調整をより高い精度で行うことである。このためには、次の基本的な要求項目を満たさなければならぬ。

- ・流路形状に対する設計の自由度が大きいこと。
- ・通常の成形圧力に耐えられること。
- ・この技術を適用しても新たなパーティングラインを生じさせないこと。
- ・なるべく漏洩流を引き起こすような部位をもたないこと。
- ・流路形状の調整中に滞留を生じさせないこと。
- ・システムは腐食環境に耐えられ、どのようなダイにも適用できること。
- ・位置決めシステムは単純で、かつ正確なこと。
- ・位置決め速度が大きいこと。
- 板バネ構造を変形させるため、フレ

ックススリングスリーブの曲率部位の長さは非常に短くて済み、ダイの全周のどの位置からでも純粋に弾性変形させることができ容易である。口径がわずか43mmのフレックススリングダイの例（図15）のように、フレックススリングを用いると、塑性変形を引き起こさずにかなり大きな弾性変形を引き出すことが可能となる。ダイ抵抗は流路間隙の3乗で大きくなるので、パリソンでは、非常に大きな局所的な肉厚変化が生じてくる。しかも、フレックススリングスリーブでの変形は常に漸次的であるので、滞留部を生じさせるような流路の急激な変化を引き起こすことはない。

32個の調節ボルトを使用すれば、パリソンの肉厚制御精度は規準値よりも高くなる（図15）。これにより、プログラマブル肉厚調整機構（PWDS）で最大4つの位置を調整した場合よりも最終製品との対応が良好となる³⁾。

もちろん、生産ラインで32個を動的に調整する必要はない。図15に示したのは実験用のモデルである。これにより、新製品に適したダイの最適流路設計が可能となる。パリソン長さに対応して、最初は静的な調整により全周の流路形状の概略を決め、その後は成形しながら、最適値へと調整していくのである。

4.1 実験結果

流路調整が静的にしか対応できない

ダイでも、動的な自動制御機構を付加することは簡単である（図16）。ここでは、現状の調整ボルトを部分的に取り外し、一軸方向の位置調整モータを付属させた自動肉厚調節ジョーを取り付け、フレックススリングスリーブが周方向のかなりの部位に対して局所的な変形ができるようにした。図16で示した肉厚調節ジョーの幅は14個の調節ボルトに相当するが、肉厚調節ジョーの形状はこれに限定されるものではなく、それぞれの製品に対応して選択すればよい。

このシステムでは、動く部位の質量が小さいので、極めて迅速な応答が可能である。ここでは、パリソンが形成される間に、アクチュエータを介して、0.3秒で流路を閉鎖することができる。しかも、これを従来のブロー成形では不可能であった製品の部位に対して行い、その結果を図17に示した。このように、フレックススリングダイを用いれば、製品肉厚を極端に、かつ、迅速に変化させることが可能であることが一目瞭然で分かると思う。肉厚部と薄肉部との肉厚変化をこのように迅速に行うことのできるシステムはこのフレックススリング技術だけである。

アーヘン工科大学の加工技術研究所（IKV）において、フレックススリングダイの研究が2年間のプロジェクトとして実施された。ここでは、35mmの口径のダイに、16個の自動送り機構を用

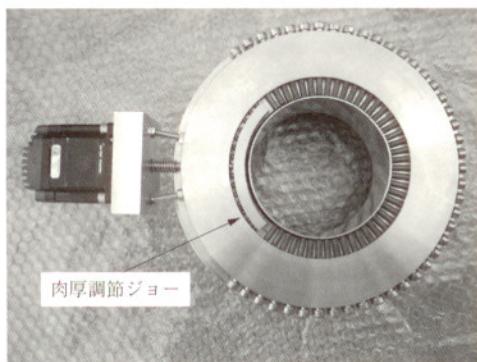


図16 従来の静的な肉厚調節機構を有するダイに動的な自動調節機構を付属させた例



図17 極端な薄肉部を有する押出ブロー成形品例：流路を部分的に絞ってみせた実験例

い（図18），更に，ボトルの形状を複数の区分に分けている（図19）。このボトルの肉厚は口金部（R1），肩部（R2），楕円部（OVAL），更に底部（RECTANGULAR）の区分に分かれており，それぞれで異なる数値で制御しなければならない。手動制御では，図19に示したように，各区分とも，非常に良い肉厚分布のボトルが得られたが，自動制御では，16個の送り機構間の同期の取り方に問題があり，うまく制御できなかった。

この研究で原則的な可能性は確認できた。対称な形状のボトルを製造する実際の生産ラインならば，従来の4個の自動送り機構による制御システムで十分であり，送り機構間の同期の問題は解決できると考えている。最初の实用化例として，玩具であるボビーカーの成形ダイにフレックスリングスリープを取り付けた事例を示す。ここでは，図20に示すように，この製品形状の特殊性に対応するために，自動送り機構を非対称に配置した。その結果，従来の成形ダイを用いた場合には，製品底部の肉厚を必要以上に大きくせざるを得なかつたが，本技術を用いた場合には，底部の肉厚を6mmから2.7mmにまで減少させることができた（図21）。

フレックスリング技術を用いれば，最適なマンドレル形状を得るのに費用がかからないという利点も生じてくる。マンドレル形状を後加工するのは，

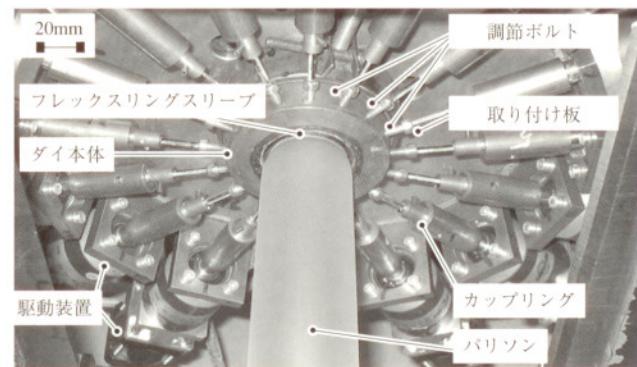


図18 IKVで使用していた35mmのフレックスリングダイ：16本の自動調節装置を付属している⁴⁾

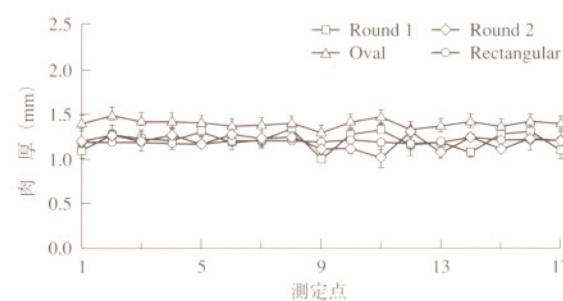


図19 スリープの最適変形時における肉厚分布⁴⁾

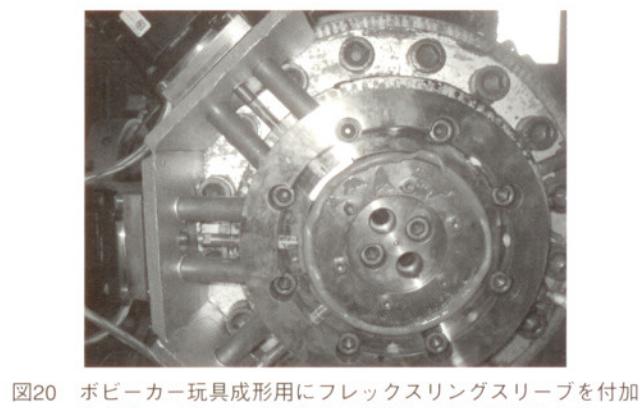


図20 ボビーカー玩具成形用にフレックスリングスリープを付加した例：パリソン肉厚分布の動的な制御が可能となる

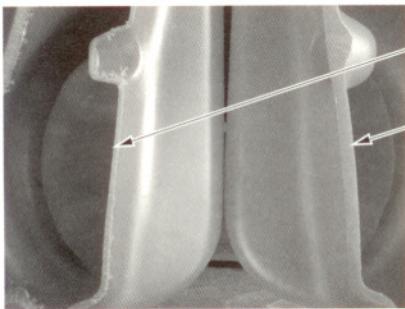


図21 ダイを修正したことにより製品肉厚を減少できた例：
製品肉厚が6mmから2.7mmに減少した

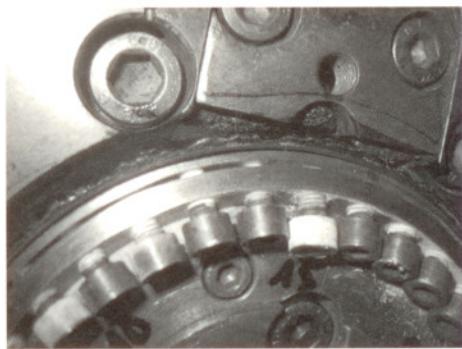


図22 プログラマブル肉厚制御機構（PWDS）を有する
フレックスリングマンドレルの部分写真：
マンドレルの最適形状を短時間で調整できる

時間的な無駄が多いばかりでなく、非常に経験と勘を要する技術でもある。人手や無駄な材料消費のほか、加工費用負担も大きい。図22に示す一軸方向制御のフレックスマンドレルを用いれば、運転開始後に簡単に形状が最適化でき、前述のような無駄を省くことができる。しかも、このマンドレル形状はショット毎に調整できるので、特定個所の肉厚を過剰に減らし過ぎるとか、失敗したら最初からやり直さなければならぬなどの懼れが全くなくなる。フレックスリングマンドレルを用いれば、調節ボルトを動かすだけで、いつでも元の状態に復帰させることも容易である。

5. フラットフィルム・シート成形用ダイへの適用

ここ20年前から、フィルム・シートダイでは、可変リップを有し、感度の良い肉厚調整が可能となっている。ただし、シートダイでは、相変わらずチヨークバーを介した調整機構であるため、剛性が高く、運転員が自由に流路の調整を行うことが困難であった。15年前に、我々が最初にフレックス隔壁構造を試みた主目的はシートダイの肉厚調整精度を高めることであった⁶⁾。しかし、当時のフレックス隔壁技術では、厚いダイ本体に隔壁を溶接する加工技術及び成形圧による溶融樹脂の漏

洩を防止することが困難であり、結果として市場には浸透しなかった。

最近は生産技術の進展のお陰で、複雑な三次元の隔壁構造をシートダイ内に溶接せずに取付けることができるようになり、共押出成形のフィードブロックですら、生産中に流路形状を調整できるようになった。これによって、ラインを運転しながら、機械加工で流路修正を行っていくという時間とコストとを要する従来の方法を大きく改善することができた。しかも、この流路調整法は、運転条件の変更に応じて、いつでもラインを止めることなく適用可能であり、供給する樹脂材料を変更しても、ラインの生産速度を変化させても、その動きに対処することができる。従って、フィードブロックの形状も、運転条件の変化に応じて、精度良い微調整が可能であり、製品ロスを生じさせることがない。将来的には、一つのフィードブロックで異なる流動特性を有する樹脂材料に対処することも可能となるだろう。そうすれば、フレックスリングあるいはフィードブロックは全周あるいは全製品幅にわたる層の肉厚分布を制御する世界最初のダイとなる。

図23に示すように、A-B-C型及びA-B-A型の3層フィードブロックは、既に、実際のシート成形ラインで採用されている。現在、この経験を基に、フィードブロックの標準化を試みてい

る。多層シート成形ならば、モジュラー化されたフィードブロックを組み合わせればよいのである。このモジュラー化されたフィードブロックは3つの部位から構成されている。すなわち、2個のダイハウジングと使用される樹脂材料に対応して設計された特殊な隔壁部である。シートダイに不可欠な高感度の流路調整機構はそのまま残されている。複雑な三次元の多層隔壁構造は溶接せずに、ダイ本体に組み込まれているので、応力発生や寸法変化に起因する問題は起こらない。更に、これまでのダイでは、2個のハウジングの曲率部で溶融樹脂をシールしなければならなかったため、曲率部を高い機械加工精度に保つ困難さがあった。しかし、新しいダイでは、フラット部でシールすれば良く、高いシール性能を出すことが容易となり、ダイからの溶融樹脂の漏洩の懼れはなくなっている。このようにして、開発当初にあった構造上の課題は、いずれも解決できたと考えている。

6. プロファイル成形用流路可変ダイへの適用

生産ラインの稼働中にプロファイル成形用ダイの流路を調整することも、もちろん、可能である。興味深いことに、従来のプロファイル成形では目的とする形状のものがダイの出口から出

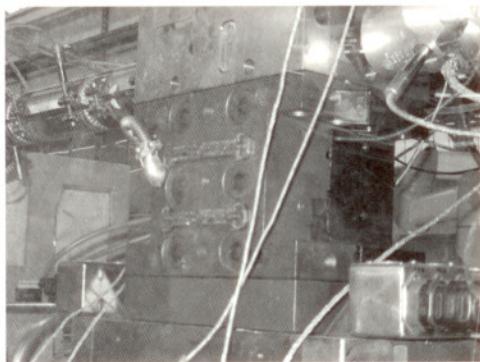


図23 ライン稼働中に肉厚調節が可能な三層の流路を有する
フィードプロック（精密調整のために調節ボルトが
2系列付属している）

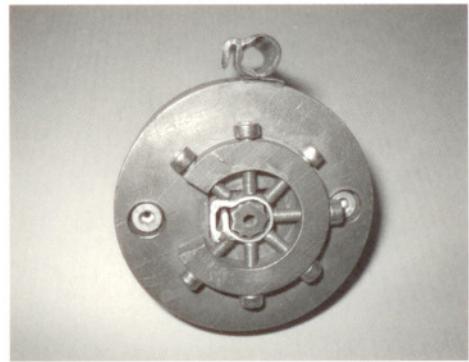


図24 エアバスA380用のシリコーン製シール材の成形に
用いる肉厚調節ダイ

てくるまでにダイの修正を何回も繰り返しており、この修正の度に生産ラインを停め、ダイを組み替える必要があった。この場合、修正が繰り返され、修正しすぎが見出されて初めて最適形状が決定されるという問題がある。流路調整の容易なフレックスリングスリーブならば、生産ラインを止めることなく、流路形状の最適化が可能であり、調節ボルトを緩めればいつでも元の状態に復帰できることに特徴がある。

プロファイルダイでは、大きい製品に適用するほどフレックスリング技術が有利になることは明らかであるが、実際には、図24に示すように、シリコーンシール材の製造ラインなど、比較的小さなプロファイル製品でも、フレックスリング技術が有効に活用されている。

7. 本技術の将来展望

30年前、初めてフィルム製造ラインに肉厚調節付きのダイが使用された時、その意義に関して、専門家の間には多くの疑問の声があがっていた。しかし、現在ではキャストフィルムやインフレフィルム成形における肉厚制御は必要不可欠なものとなっている。

ここでは、他の押出成形品、例えばパイプ、未発泡あるいは発泡シート及び共押出成形品などへの肉厚制御に可変肉厚ダイを適用するための必要条件

について提案しておく。肉厚制御は流路を自動的に制御すれば達成できることであるが、その実現のためにはクローズドループ制御技術が実用化されていなければならない。

今日、パイプ成形の現場では、オンラインで製品の肉厚を計測するシステムが普及しているので、フレックスリングダイの展開は、まず、パイプ成形ラインから始まっていくだろう。この分野では、高価な計測システムを改めて購入する必要はなく、肉厚制御システムの導入だけで済むからである。パイプ成形を対象とした我々の肉厚制御システムは2007年にデュッセルドルフで開催されるK-メッセで初めて展示される予定である。

残念ながら、現状では、良好な運転性能を有したオンライン肉厚計測システムを探すのは容易でない。なぜならば、特殊材料を使用することの多い共押出成形において、個々の層の肉厚を計測するのはかなり難しく、しかも、オフラインで計測する方法に比べて、オンラインでの計測システムは非常に高価となるからである。従って、当然のことながら、計測メーカーもその開発にはあまり乗り気ではない。しかし、非常に高価な原料を使用する共押出成形ラインなどでは、コスト面からみても、肉厚制御の意義が大きいのである。オンラインでの計測技術が追従しない限り、肉厚制御の意義も出てこないので、今後、計測メーカーが計測システムの改良に一層の努力を傾けることを期待したい。なぜなら、この新しい肉厚調整フレックスダイ技術を用いて、どこまで精度良く肉厚変動を制御できるかは、オンラインで肉厚分布をきちんと計測できるシステムに依存しているからである。

参考文献

- 1) H.Gross, Flexible Die Walls, *Kunststoffe Plast Europe*, 93, [8], 8 (2003).
- 2) H.Gross, Adjustable Flow-channel Geometries – the Future in Extrusion Die Making? *Kunststoffe International* 10/2006, www.kunststoffe-international.com; Article PE203708
- 3) H.Feuerherm, Vorrichtung zum Herstellen von aus thermoplastischem Kunststoff bestehenden Hohlkörpern. German Patent No. 26 54 001 C2
- 4) J.Grünewald, Entwicklung und Erprobung neuer Werkzeugkonzepte zur radialen Wanddickenbeeinflussung beim Extrusionsblasformen, Dissertation at the Technical University of Rhineland Westphalia (RWTH) Aachen 2004.
- 5) W.Michaeli, T.Brümmer, S.Wenigmann, B.Fink, Extrusionswerkzeuge. 23. Proceedings of Internationales Kunststofftechnisches Kolloquium, 15.-16.03.2006 Aachen, Germany, Chapter 2.
- 6) H.Groß, W.Michaeli, F.Pöhler, J.Ullrich, Membrane Instead of Restrictor Bar. *Zeitschrift Kunststoffe, Plast Europe*, 84, [10], 20 (1994).