

フィルム成形用逐次二軸延伸装置と同時二軸延伸装置との特長比較

Comparison of Sequential and Simultaneous Biaxial Film Stretchers



博士(工学) 申崎 義幸
Dr. Yoshiyuki Kushizaki



池田 圭介
Keisuke Ikeda



中村 素惟
Motoi Nakamura



二宮 俊幸
Toshiyuki Ninomiya

要 旨

当社は、フィルム製造装置として、既存の逐次二軸延伸装置だけでなく、同時二軸延伸装置もラインナップに加えることで、お客様のより幅広いニーズに答えることが可能となった。

逐次二軸延伸装置は、フィルムを走行と平行方向である縦方向(以下、MD)に延伸した後、その直行方向である横方向(以下、TD)に延伸する。同時二軸延伸に比べて延伸機構、および操作がシンプルなため、高い生産性が特長である。

一方、同時二軸延伸装置は、MDとTDとに同時に延伸するプロセスである。延伸機構は逐次よりも複雑になるが、MD・TDに極めて高い等方性を有する付加価値の高い延伸フィルムを成形できることが特長である。

上記製法の違いから、得られるフィルムの特性にも差異が生じる。そこで本報では、逐次二軸延伸と同時二軸延伸とで、フィルムの厚み、延伸張力、光学特性などのフィルムの特性を比較・評価したので報告する。

— Synopsis —

JSW has added the simultaneous biaxial film stretching equipment to the product lineup. This allows JSW to meet the diverse customer needs more effectively.

The sequential biaxial film stretching method can achieve higher productivity by means of MD and TD stretchers in the conventional lineup. On the other hand, the simultaneous biaxial film stretching equipment can produce high-value added films with excellent isotropic properties in MD and TD.

In order to make full use of the advantages of both film stretching methods, we made comparative evaluations of film properties, such as thickness profile, stretching tension and optical characteristics in sequential and simultaneous stretching technologies as below.

1. はじめに

プラスチック製品は、フィルム、容器、パイプ・継手、発泡製品、シートなど様々な用途があるが、その中でもフィルムの生産量は全体の約39%と、大きな割合を占める(図1)^①。このフィルムの適用分野は、液晶用、表示用、電池関係、環境対応、食品包装、透明包装・トレイ、加飾など幅広い。表1は、各適用分野でのフィルムの用

途、要求特性などの一覧を示す。用途によってフィルムに要求される特性が大きく異なるため、これらに適合するフィルムの成形方法を選択することが重要である。

一般的に、フィルムの成形は、フィルムの走行と平行方向である縦方向(以下、MD)とその直行方向である横方向(以下、TD)の二方向に延伸することで行うことが多く、その代表的な成形方法が、逐次二軸延伸法(以下、逐次)、および同時二軸延伸法(以下、同時)である。

当社は、お客様ニーズに対して最適な延伸方法を提供するため、社内に逐次と同時の両方のテスト延伸装置を保有し、両装置の性能向上、およびプロセッシング技術の高度化・蓄積を図っている。

本報では、フィルム延伸中の挙動を精密に測定可能なバッチ式小型延伸試験機(以下、テーブルテスター)を用いて、逐次と同時を模擬した延伸試験を実施した。得られたフィルムを用いて、成形方法の違いに起因するフィルム物性の差異を評価し、それぞれの成形方法の利点について比較を行ったので報告する。

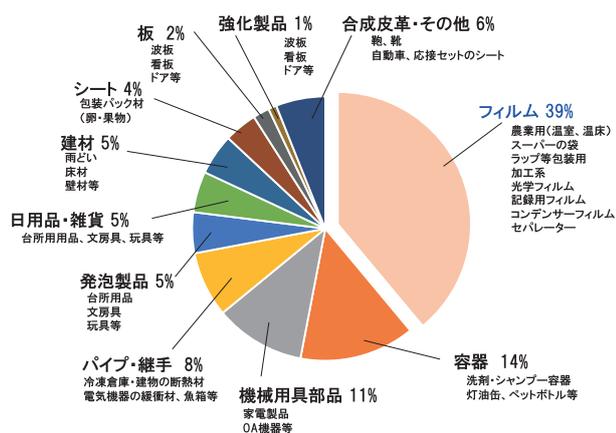


図1 プラスチック製品の分野別生産比率 (重量ベース)⁽¹⁾

2. 逐次二軸延伸装置と同時二軸延伸装置の比較

図2に、逐次と同時の装置構成を示す。逐次と同時との大きな差異として、逐次はMDに延伸した後、その直行方向であるTDにフィルムを延伸するが、同時は、MD・TDを同時に延伸する。以下に、さらに詳細に説明する。

逐次は、押出機先端のTダイから吐出した熔融樹脂をキャスト工程でシート化した後、複数のロールから構成される縦延伸機にて、前段よりも後段のロールの周速度

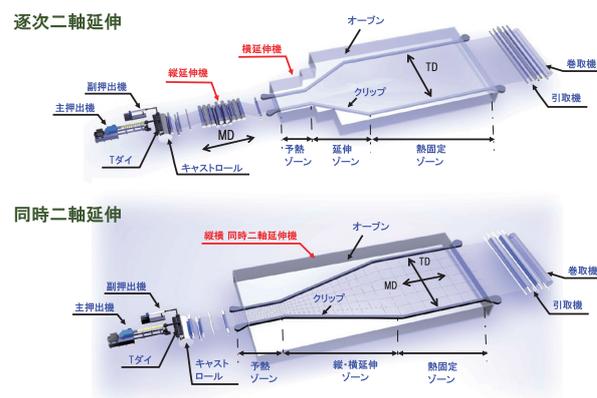


図2 逐次および同時二軸延伸装置の構成

表1 フィルムの種類、用途、要求特性⁽¹⁾

フィルムの種類	名称	用途	要求特性
液晶用	偏光、離型、位相差	大型TV	高透明、寸法精度、低残留応力、低位相差、耐熱・透明薄膜、低異物、ハイバリア
	拡大、反射プリズム	パソコン	
	拡大、プロテクト	携帯電話	
表示用	有機EL用バリア	照明、TV、携帯	耐候性、耐熱、反射性、低吸水性
	導電性フィルム	タッチパネル	
	電子ペーパー	電子書籍	
電池関係	バックシート	太陽電池	均一孔径、融点、自己修復、高強度、ヒートシール、深絞り
	封止材シート		
	セパレーター	Liイオン電池	
	ソフトパッケージ		
	超薄膜フィルム	大容量コンデンサー	
環境対応	ポリ乳酸、生分解性	ゴミ袋、農業資材、スピーカーコーン	加工性、生分解、高弾性
	植物由来材料(セルロースナノファイバー)	微細発泡体	
食品包装	ハイバリア	長期保存食品	ハイバリア
	レトルトフィルム	レトルト食品	易裂性、衝撃性、ボイル特性
透明包装・トレイ	高透明フィルム	文房具、化粧品パッケージ、電子レンジ対応トレイ	高透明、剛性
加飾	加飾フィルム	自動車、家電、IT	高透明、印刷

を速くすることでシートをMDに延伸してフィルム化する。続けて横延伸機では、図3に示すようにフィルムの両端をクリップで把持し、このクリップがハの字状に広げられたレールを走行することで、フィルムをTDに延伸する。MD、TDの延伸機構が独立した比較的シンプルな機構であるため、超高速成形(～600 m/min)が可能であり、生産性の面で同時よりも有利であることが知られている。

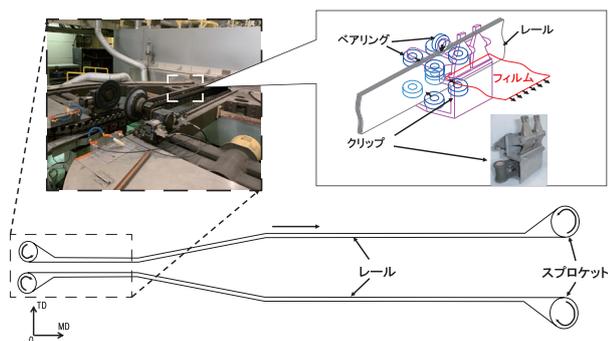


図3 逐次二軸延伸装置の横延伸機

一方、特に結晶性樹脂では、MDに延伸した際に分子がMDに配向しやすいため、その後、TDに延伸すると、条件によってはフィルムが割ける可能性がある。そのため、所望のTDの延伸倍率(延伸前のフィルム幅に対する延伸後のフィルム幅の比)を実現するために、前段のMDの延伸倍率を調整するなどのMDとTDとの延伸条件のバランスの考慮や、延伸倍率の組み合わせに限界があるなど、成形条件が制約される場合がある。よって、同時に比べて延伸条件の最適化には煩雑さが伴う。

同時は、押出機からキャスト工程までの装置構成は概ね逐次と同様だが、フィルム延伸の工程は逐次とは異なり、MDとTDに同時に延伸する。図4に示すように、当社の同時は、左右に配置された片側2本の走行レール上を、リンク機構を有するクリップが走行する方式である。TDへの延伸は、逐次と同様に、左右のレールの幅方向距離をハの字状に広げることで行うが、同時に、左右各々にある2本のレール間の幅方向距離を狭めることでフィルム把持部をMDに広げ、フィルムをMDに延

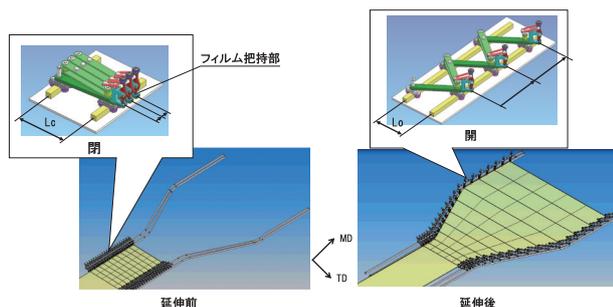


図4 縦横同時二軸延伸機

伸する。よって、クリップ把持機構も逐次と異なり、各リンクの先端に独立した把持部を設けてある(図5)。この機構により、延伸されていない、すなわち特定方向に分子が配向していない状態の樹脂をMD・TDに同時に延伸できるため、逐次のように所望のTD倍率実現のために前段のMDの延伸条件とのバランスを考慮するなどの煩雑さが低減され、延伸条件設定の自由度が高い。

加えて、同時の特徴を利用して、延伸フィルムの最大の課題であるポーイングの対策が可能となる。ポーイングとは、図6に示すように、延伸工程でTDにフィルムを延伸するとMDは収縮する挙動に起因し、フィルムが図中の破線のように非等方的に変形する現象を示す。この現象が生じると、熱固定工程に模式的に示すように、クリップで把持しているフィルム端部は傾斜して延伸され、幅方向中央近傍はTDに強く延伸される。これにより厚みや光学特性などの物性ムラが生じる。これに対し同時では、延伸後に、MDに弛緩する(クリップのフィルム把持部のMD距離を短くする)ことが可能であり、ポーイングが低減される。

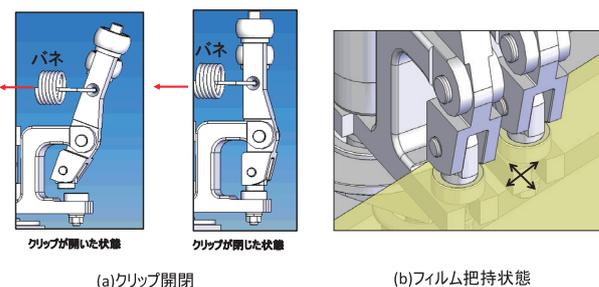


図5 同時二軸延伸装置のクリップ機構

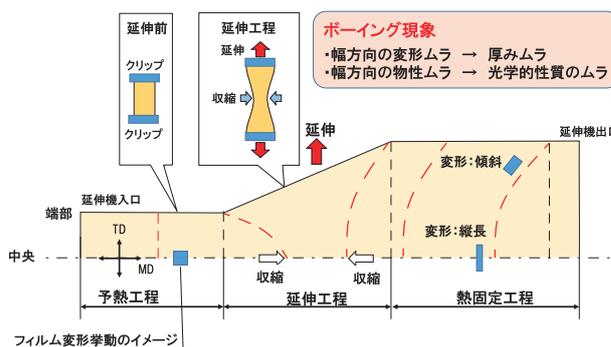


図6 ポーイング現象

3. フィルム物性の比較

逐次と同時の比較を行うため、ポリアミド樹脂の原反フィルムを用いて、テーブルテンターで逐次、および同時を模擬した延伸フィルムを作成し、特性の評価を行った。

(1) 実験条件

原料は、融点 220℃、相対粘度 3.37 の二軸延伸グレードのポリアミド 6 (グレード 1022、宇部興産株式会社) を用いた。原料を、シリンダーの設定温度 250℃、押出量 7.5 kg/h、回転数 150 rpm の条件にて、二軸押出機 TEX25 a III を用いて溶融・可塑化した。溶融・可塑化した樹脂を T ダイから吐出し、設定温度 25℃ のロールに接地させ、幅 250mm、厚さ約 90μm の原反フィルムを成形した。テーブルテナーは、センターストレッチ方式ダブル光学系・二軸延伸/複屈折配向軸測定装置 SDR-527K (エトー株式会社) を用いた(図 7)。延伸特性を正確に評価するため、原反フィルムの中央部から、MD × TD = 85 × 85mm (掴み代 15 mm を含む) に切り抜いたフィルムを延伸した。

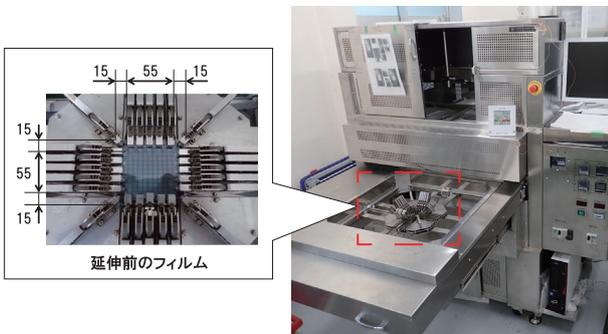


図 7 テーブルテナー

図 8 は、テーブルテナーの計測システムの概要を示す。光弾性変調素子により波長を調整したヘリウムネオンレーザーを、延伸中のフィルムに対して垂直方向と斜め方向から照射することで、速い変形にも追従しながら、光学的な位相差を観察できるようになっている。実験では、延伸中の N_x 、 N_y 方向の屈折率を測定した。

延伸温度は 110℃、予熱時間は 1 min でフィルムを加熱後、延伸を行った。延伸時の平均ひずみ速度は、 $961\%/min \{ (延伸倍率 - 1) \times 100 / 延伸時間 \}$ とした。図 9 に逐次と同時の延伸モードを示す。逐次を模擬し

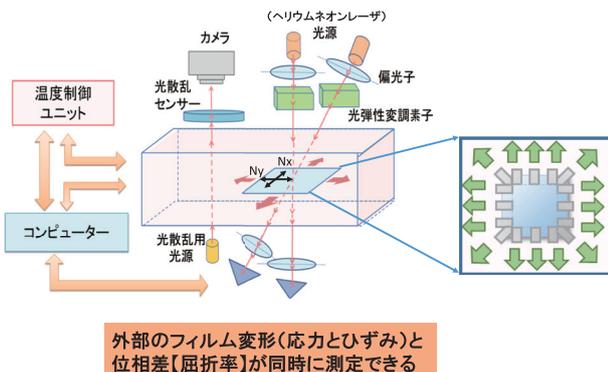


図 8 テーブルテナーの計測システムの概要

た実験では、まず TD を拘束して MD 延伸し、その後、MD を拘束して TD 延伸を行った。一方、同時の場合は、MD と TD を同時に延伸した。

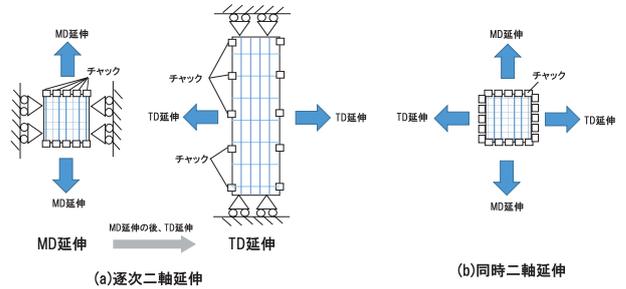


図 9 延伸モード

(2) 実験結果

① 延伸倍率の比較

逐次、同時共に、種々の延伸倍率の組み合わせでの実験を行った。表 2 に延伸結果のまとめを示す。○はフィルムが破断することなく延伸が完了した条件を示す。△は局所的な厚みムラが生じたことで厚肉部が発生し、延伸が困難であった条件を示す。×は延伸中に破断した条件を示す。

逐次と同時を比較すると、逐次は、MD 倍率、および TD 倍率がおおむね 2 倍を超えると、局所的な厚みムラの発生(△)や破断(×)を生じるが、同時は、2 倍を超える領域でも破断せずに延伸が可能で、面倍率(MD 延伸倍率 × TD 延伸倍率)を大きくできることが確認された。

表 2 延伸結果

(a) 逐次二軸延伸

		TD倍率									
		1.00	1.41	1.73	2.00	2.24	2.45	2.65	2.83	3.00	3.50
MD倍率	1.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.41	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.73	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.24	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×
	2.45	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×
	2.65	○	○	○	△	△	×	×	×	×	×
	2.83	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	3.00	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	3.50	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×

(b) 同時二軸延伸

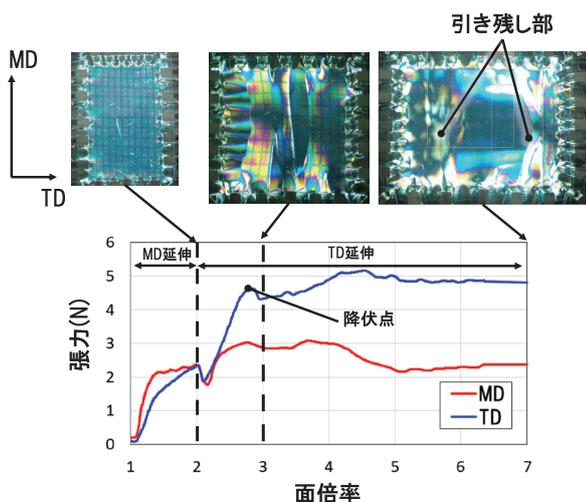
		TD倍率									
		1.00	1.41	1.73	2.00	2.24	2.45	2.65	2.83	3.00	3.5
MD倍率	1.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.41	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.73	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2.24	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	2.45	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
	2.65	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
	2.83	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
	3.00	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
	3.50	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×

○: 破断することなく延伸が完了
 △: 局所的な厚みムラが生じたことで厚肉部が発生し、延伸が困難
 ×: 延伸中に破断

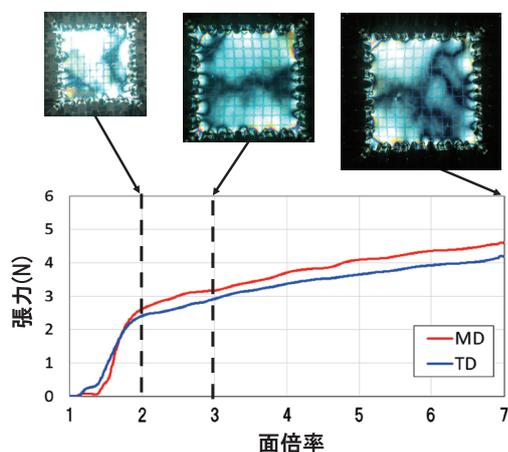
これより、同時は薄膜フィルムの成形に有利な方法といえる。

②延伸張力の比較

表2に示した条件の中から、最大面倍率となった、逐次ではMD×TD=2.0×3.5の条件と、同時ではMD×TD=2.65×2.65の条件とで、張力と面倍率との関係を比較した。結果を図10に示す。面倍率を定量的に把握するために、延伸前のフィルムに5×5mmの格子を印字しておき、延伸中の格子の変形量を測定した。同時に偏光観察を行った。



(a)逐次二軸延伸



(b)同時二軸延伸

図10 張力 - 面倍率特性

逐次的な場合は、MDのみを延伸しているMD延伸工程でもTDに張力が発生している。加えて、その後のTD延伸では、降伏点までTD張力が増大し、その後も4～5Nの張力が発生し続けている。MD延伸時には、MD延伸によりフィルムがTDに収縮しようとするが、クリップで拘束しているためにTDに張力が発生したと考えられる。さらにTD延伸時には、MD延伸工程で分子鎖

がMDに配向することで結晶化が進んだフィルムをTDに延伸したため、MD張力よりも大きなTD張力が発生したと推測される。

また、偏光観察の結果からは、TD延伸の初期段階で、他の部位に比べて虹色が観察される厚い箇所(キック部)が観察された。局所的に厚い箇所が存在することで均一な延伸が阻害されるため、延伸終了時には引き残しが発生し、厚みの均一性を低下させたと思われる。

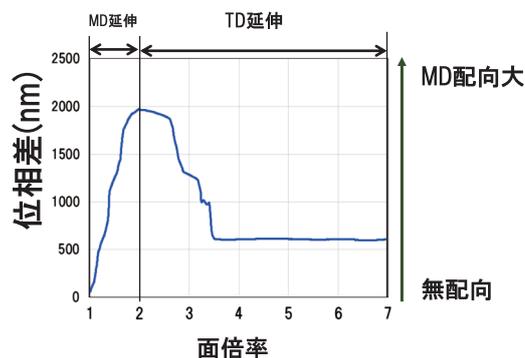
このため、実際の逐次二軸延伸装置では、TD延伸時のフィルム温度を高くし、引き残しが生じない延伸倍率まで延伸を行うなどの延伸条件を設定することで、所望の厚み精度を確保している。

一方、同時の場合は、MD、TDに加わる張力の差が小さく、キック部も発生しなかった。これより、本実験条件においては、逐次よりも厚み精度が良好であった。

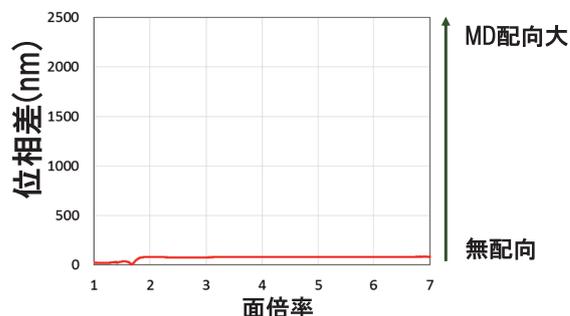
上記より、同時の方が、等方的な延伸が容易で、厚みムラや引き残しなどが発生しにくいといえる。

③位相差 (Nx-Ny) の比較

延伸張力を比較した延伸条件(面倍率)と同じ条件にて、逐次と同時とで、延伸中の位相差の変化を比較した。結果を図11に示す。



(a)逐次二軸延伸



(b)同時二軸延伸

図11 位相差 - 面倍率特性

位相差とは、MDの屈折率NxとTDの屈折率Nyの差で、分子配向の尺度を示す。位相差の値が正の場合はMDに強く配向し、負の場合はTDに強く配向していることを示す。

逐次の場合は、MD 延伸により位相差が増加し、TD 延伸では位相差が減少するが、最終的には約 600 nm の位相差が残った。結晶性樹脂の分子構造は、おおまかには、結晶部と非晶部から構成され、非晶部には結晶部同士をつなぐタイ分子が含まれる。樹脂が特定方向に延伸されると、タイ分子でつながった複数の結晶部が一方向に並ぼうとすると同時に、非晶部の結晶化も進行してタイ分子の数が減少する。よって、逐次延伸挙動としては、MD に延伸した際に、ある程度の MD への配向と結晶化が進行し、その後の TD 延伸時にはタイ分子の数が減少しているため、MD ほど TD への分子配向が進まなかったと思われる。この結果、MD に強く配向していることを示す正の位相差が残ったと推察される^{(3),(4)}。

一方、同時の場合は MD と TD とに同時に延伸されるため、上記のように一方向への延伸による特定方向への配向、および結晶化の進行によるタイ分子の減少が低減されるため、等方的に延伸される。この結果、延伸中および延伸終了後も位相差が小さくなったと推察される。

これらより、等方的な光学的特性を得るには、同時の方が有利といえる。

4. おわりに

逐次は、延伸機構のシンプルさなどに起因する生産速度の速さに特長があることから、包装用途フィルムや、リチウムイオン電池に用いられるセパレータなど、幅広い分野で採用されている。一方、同時は、本報で報告したようにフィルムの薄肉化に有利で、局所的な厚みムラや引き残しを生じにくく、さらに物理的にも光学的にも等方的な延伸が可能であることが特長である。これより、コンデンサーなどの極々薄膜フィルム(0.5～4 μ m)、ナイロンやエチレンービニルアルコール共重合体(EVOH)などの延伸によって結晶化や配向が進行しやすい特性を利用した等方的なバリア特性を持たせたフィルム、ならびに逐次の縦延伸機でのロールによる延伸に起因するわずかな傷も許されない光学系フィルムなど、付加価値の高いハイエンドフィルムを生産する場合に採用されることが多い。

最後に、2019年3月末に広島製作所内に立ち上げた、同時二軸延伸装置の新テスト装置について紹介する。新テスト装置の外観と主要仕様を図12に示す。新テスト装置は、スーパーエンブラ、バリアフィルム、および光学フィルムなど、お客様の幅広いニーズに応えることが出来るように、①高可変倍率機構、②高温延伸対応(延伸温度350℃対応)、③左右リンク同期システム、④MD弛緩機構などの機能を搭載した。加えて、本報でも使用したテーブルテナーでの物性評価などのサポート体制

も整えている。これにより、お客様のニーズにタイムリーに対応していく所存である。

基本仕様

設定温度 : MAX350℃
 MD倍率可変範囲 : 1.5~5.5倍
 TD倍率可変範囲 : 1.0~10.0倍
 MD・TD倍率設定 : 自動(個別モータ)
 入口幅 : 150~800mm
 出口幅 : 150~1500mm
 延伸調整部 : 左右個別
 機械速度 : MAX100m/min
 左右リンク同期 : 同期制御あり
 MDリラックス : 有り



図12 新テスト機外観と仕様

参考文献

- (1) 金井 俊孝：“機能性押出成形品の開発動向”，成形加工第29巻(2017)第4号，pp.104～113
- (2) 山田 敏郎：“フィルム製造工程の解析の基礎と応用”，加工技術研究会，p.32(2015)
- (3) 奥山 佳宗：“PA6とMXD6の二元ブレンド系の二軸延伸成形性評価”，プラスチック成形加工学会秋季シンポジウム2013(2013)，pp.245～246
- (4) 鈴木 章泰、近藤 博之、功刀 利夫：“ナイロン6繊維の延伸条件と高次構造変”，高分子論文集，Vol.50(1993) No.2，pp.107～113