LISIM リニアモーター付きクリップによる 同時二軸フィルム延伸プラント

西山 忠 壬*

1. はじめに

フィルムの二軸延伸プラントに関してはご承知の通り、延伸を縦方向と横方向同時に行う同時二軸延伸機（パンタグラフ方式とスピンドル方式）と、縦延伸、横延伸を別個に行う逐次二段延伸装置の二種に大別される。共通点としては、いずれもクリップがチェーンに連結されて行われている。

最近リニアモーターが開発されたことにより、フィルム延伸技術の分野でもこの新しい技術を採用したフィルム二軸延伸機が世に出ることとなった。即ちリニアモーターを個々のクリップに取り付けることにより、従来必要とされてきたチェーンが必要でなくなり、リニアモーターでのクリップのスピードをコントロールすることにより、これまでの同時二軸延伸機では不可能であった延伸倍率も運転中自由に変更することが可能となったのである。ちなみにこのリニアモーターの原理はドイツで開発された磁気浮上常電導反撥式リニアモーターカー「トランスラピッド」と同一のものである。

このような新しい技術を組み込んだ、今回紹介するリニアモーター付きクリップ使用のフィルム二軸延伸機は21世紀に相応しい近代装置と言っても過言ではない。以下にこの開発経過と実績、新技術の従来機との比較等に関し報告する。

図1 リニアモーター式同時二軸延伸ライン

2. 導入経過

フィルム延伸は過去30年以上にわたり、先進的な技術により開発が行なわれ、PP、PET、PA、PS等の原料を使用し延伸フィルムの価値を高めてきた。

この分野において、ポリプロピレン二軸延伸フィルム（以下、BOPPフィルム）は世界全体を見ても58%と最大の比率を占めている。

BOPPフィルムの多くは（約92%）は縦・横延伸を別個に行う逐次二段延伸機で生産され、残り8%は主としてダブル・バブル方式で生産されている。

ポリプロピレンの場合、同時二軸延伸機は生産量が少ないことと自由度が低いとの理由で1例を除いてこれまで使用されていない。

リニアモーターによる新しい技術を取り入れた同時二軸延伸技術は、従来の同時延伸工程の欠点をなくしており、逐次二段工程のものに比べて良い品質のフィルムを生産できる。何故ならば16本、18本と採用されている縦延伸機のロールを通す必要がなくなったからである。この技術は最初アメリカ・デュポン社が、ドイツのカンプ社より導入したスピンドル方式の同時二軸延伸機を研究所に設置、フィルム研究の作業中、アイデアが生まれ、改良、開発を行ったもので、この発明に就いては、早速世界の先進工業国に特許出願を行った。

この特許の出願を知ったブルックナー社がいち早くデュポン社と接触し、生産機として販売したい旨、申し入れ交渉の結果、最終的同意を得ることができ、1994年5月24

図2 逐次延伸と同時延伸の比較

* Nishiyama, Tadami
Brueckner 社コンサルタント
(自宅) 藤沢市善行 2-10-13 (〒251-0871)
2001.12.18 受理

日に新聞発表を行った。それ以来ブルックナー社では生産ライン製作のための研究開発に入り 1995 年のデュッセルドルフにおけるプラスチック工業見本市に片側の延伸用デモンストレーションスタンドでクリップの走行状態、個々のスピードコントロールおよび非接触タイプクリップクローザー・オープナーの状況を毎分 350 m のスピードでデモンストレーションを行い訪問者からの注目を浴びた。

1998 年にはデュボン・ルクセンブルグに納入した BOPET フィルムプラントが稼動、同じ頃ブルックナー社が新しく建設した研究開発センターと、アメリカの 3 M 社に納入した 1.27 m 幅の LISIM 同時二軸延伸機パイロット・プラントも運転を開始した。

折りから 3 年に 1 度行なわれるデュッセルドルフでのプラスチック工業展も開催され、このパイロット・プラント見学希望の客先を工場にお招きし、実際延伸しているところを見学してもらうこととなった。

このパイロット・プラントによる LISIM 同時二軸延伸機によるテストは客先(樹脂メーカー・フィルムメーカー)の要望が多く、3 ヶ月単位で PP, PET (PA を含む) のテストが間断なく行われている。

その後、アメリカ 3 M 社およびイタリアの BIMO 社に納入された 6.6 m 幅の LISIM-BOPP フィルムラインが 1999 年に稼動を始め、昨年 11 月に 2 台目の BOPET ラインの発注があり本年中はブルックナー社から出荷されることになっている。以上の通り、LISIM ラインとして、パイロット・プラント、BOPP ラインおよび BOPET ライン各 2 台(うち 1 台の BOPET ラインはこれから納入)の実績を有している。

BOPP フィルムプラントの場合、年間 26,000 トンの生産能力を有している。

3. リニアモーターを使用した同時二軸延伸技術の原理

全ての平滑なフィルム製造ラインでは横方向に延伸される際、フィルムはクリップで保持され、ガイドレールに沿って引き取られる。同時延伸装置ではクリップの間隔は流れの方向(縦延伸)と幅方向(横延伸)を同時に延伸を行うため連続的にその間隔は広がっていく。

流れ方向と巾方向を同時に延伸することとは別に張力比において大きな相違がある。逐次延伸の場合、最高 5000% /s の変形が縦方向の延伸時に発生するが、これは速い生産スピードと縦延伸の短い延伸距離による結果である。この高い張力比が、延伸装置の更なる高速化の問題点となっている。この問題点はポリマーを改質することによって部分的に改善することが可能であった。しかしながら、一方ではフィルムの品質の面では悪い影響を与えたのである。

対称的に同時延伸の工程においては約 400%/s の変形で達成することができるが、その理由としては延伸区間全体で縦延伸を行うからである。より良い走行性を達成し、フィルムの薄膜化を可能とし、フィルムの機械的特性を向上させるのである。

リニアモーターは固定されたステーターとトラクションの表面で永久磁石を搬送する、クリップで構成されているもので、前述の通りドイツで開発された高速磁気浮上列車「トランスラピッド」に使用されているものと全く同じも

のである。

3 相電流の供給によりステーターワインディングにエネルギーが与えられた際、可動する電磁波はクリップ上の磁石に対して同期軌道と電磁波に沿って反作用を生ずる(図3)。

電磁波の速度は電源供給の周波数と直接比例関係にあり、軌道に沿ったクリップの移動速度はセクターワインディングに供給される交流電源の周波数を変更することによって制御することができる。

この交流電流可変周波数は最先端の可変式周波数変換器により起動するが、このシステムでは幅広い操作上の自由度を与えることにより、生産中でも延伸パラメーターの最適化を可能にするのである。

図4には延伸倍率、延伸曲線、延伸工程(バランスド、テンシライズド)とリラクゼーション曲線を容易に得られることを示している。簡単で頑丈な機械設計により装置は高速運転を達成することができるのである。

この新技術による装置では次の様な条件を満たすことができる。

速 度	最高毎分 400 m まで
仕上り巾	最大 8 m
縦延伸・延伸倍率	3-6 (PET, PA) 5.4-10 (PP)
横延伸・延伸倍率	3-5 (PET, PA) 6-9 (PP)

延伸倍率のデータは単なる一例を示した。

延伸倍率に関しては上限、下限はないが、それぞれの製品を考えた場合経済的に使用できる範囲を示した。

新しい加工方法であるこの LISIM 同時延伸技術が可能となった今日、原則的には全ての延伸可能な原料に適用することが可能である。

材料の延伸適性について初期段階での少量評価を可能にするためブルックナー社ではラボ用の非連続バッチタイプの試験機を開発し、温度制御の比較(溶融、延伸までの加熱、アニーリング温度、冷却温度)および延伸条件(延伸プロファイル、延伸速度)等不可欠な条件を見つけるために自社で使用すると同時に、このラボ用試験機も併せて販売している。

図3 リニアモーター付クリップの走行原理

4. LISIM 延伸ラインの特長

4.1 概要

基本的には延伸そのものが非接触で行われるため、非常に品質の良いフィルム表面を得ることができ、また、光学特性を従来のものより、より良いものが得られるのである。

さらに非接触延伸を介して共押出しフィルムは低温シール温度を達成するのも可能である。70℃ 位の低温でシール可能な上、シール力は高まる。

・ 逐次二段延伸プロセスとの比較では

非接触延伸

光学的特性が良くなる

走行性

低温シーリングが可能となる

フィルム切れが減る

超薄物のフィルム生産可能

高効率

等方性

等方性が高いフィルムが生産可能

延伸機投入速度

低速度（イン・ライン・コーティングおよびラミネーションが容易）

配向性特性

高テンシライゼーション可能（卓越した物性を有する

MD と TD 方向のテンシライズドフィルム), 同時リラクゼーション可能 (MD, TD の収縮制御可能)

・ 機械的同時二軸延伸プロセスとの関連では
制御性

数分内で延伸パラメーターを変更できる

高速性

生産ラインの能力アップ

ライン効率

幅広フィルムにより向上

簡単な機械的原理

保守の必要が少ない

運転時間が長くなる

ダイス出口付近のフィルムの速度が低く巻き取り側速度の約1/8から1/9という低い速度により、イン・ライン・コーティングや、イン・ライン・ラミネーションが可能となったのである。もう一つの長所として縦方向における同時もしくは段階的なリラクゼーションが延伸ゾーン以降クリップ間隔を小さくすることにより可能となることである。

このリラクゼーションにより縦方向、横方向で非常に低い収縮値を得ることができるだけでなく、収縮値も指定した数値を達成することさえ可能である。これにより、収縮フィルムの新しい展望を与えているのである。

また、同時二軸延伸技術では配向制御性が高いことも特

図4 延伸倍率の柔軟性

図5 R&D Environment

徴である。特定方向への分子配向による物性の異方性発現（テンシライゼーション）、等方性の発現が可能である。例えば、BOPP フィルムの強度比、光学特性等が向上する。テープにおいては縦方向の強度の向上と延伸時の破れ減少をもたらすのである。また、同時延伸加工によるフィルムの光学特性の向上による蒸着、ラミネートの他、他の光学的な高品質商品を得る目的に利用することが可能である。さらに要求度の高い商品として煙草の包装フィルムがあり、この用途には完全な光学特性、高い強度、良好なシール特性および収縮性のコントロールが求められるが、LISIM 同時二軸延伸機により、これらの要望を完全に満たすことができる。

4.2 BOPP フィルムにおける逐次二段延伸と同時二軸延伸の比較

逐次二軸延伸の場合、通常ポリプロピレンは縦、横両方向に 8 倍宛延伸できると言われるが、現実には縦を 8 倍いっぱい延伸すると、横延伸の工程で 8 倍に延伸しようとする場合フィルム切れが発生しやすく、連続運転が不可能となる。したがって現実には縦延伸では約 5.1~5.4 倍に延伸したものを横方向に 8~9 倍に延伸することが通常である。これに対して LISIM 同時二軸延伸では縦・横々バランスのとれた 8 倍延伸（面積比 64 倍）と、さらに同時延伸したものをさらに縦延伸をすることにより、テンシライズド・フィルムを生産することもできるのである。その場合のグラフを図 6 に示す。

また、縦方向で延伸倍率を一定の面積を保ちながら変更した場合、フィルム特性が向上するという現象も見られたのである。縦方向と横方向の延伸比を同一の 8 倍×8 倍としたものを何段階かの工程を経て 10×6.4 の延伸倍率とし、159℃ の一定延伸温度を保ちながら変更調整をし、面積延伸比を 64 倍とした時のテスト結果は図 7, 8, 9 に示す通りである。

4.3 ブルックナー社に設置された LISIM パイロット・ラインの概要

1998 年 7 月に運転を開始したパイロット・ラインは、次のような目的で設置されたのである。

- ・リニアモーター同時二軸延伸工程の立証

- ・加工条件の最適化
- ・新しいフィルムの開発
- ・製造ラインへの移行
- ・ライン装置の信頼性テスト
- ・更なる開発テスト
- ・客先オペレーターのトレーニング
- ・研究プロジェクトの能力

図 10~13 にパイロット・ラインの概要を示す。設置された LISIM・ラインの長さは押出機から巻取機まで約 50

図 7 延伸倍率と縦方向の弾性率の関係

図 8 延伸倍率と縦方向の引張強度の関係

図 6 同時/逐次延伸フィルムにおける弾性率の極線グラフ

m 以下の様な基本データを有している。

- ・ PP, PET, PA, PS 等の加工
 - ・ フィルム巾 = 巻取機上でのネット・フィルムで 1.27 m
 - ・ 最高速度 = 150 m/min
 - ・ 最大出力 = 巻取機上での実量が BOPP の場合で 85 kg/h, BOPET で 140 kg/h
- 個々のフィルムのデータ仕様は以下に示す通りである。

フィルム・タイプ	PET	PP	PA
フィルムの厚み範囲(ミクロン)	1-36	3-50	5-15
縦方向延伸倍率	3-6	6-10	3-5
横方向延伸倍率	3-5	5-10	3-5
最高速度(m/min)	150	150	75
最大純出力(kg/h)	140	85	60

ラインの配置も最大限、多目的のテストができる様に考慮され、そのために必要な押出機、延伸前処理、延伸後処理装置を含む全ての延伸技術を有しているのである。特に縦方向では同時延伸、多段延伸とリラクゼーション加工等が自由に行なえるようになっている。

参考までにこのパイロットプラントで作られた各種フィルムタイプは表 1 の通りである。

5. 結 び

今回の新技術であるリニアモーターのついたクリップによる LISIM 同時二軸延伸機は、例えば BOPA の場合でもボーイングゼロといった、従来どの機械設備によっても生産不可能であったものを可能とするような現象が実証された。

図 9 延伸倍率と縦方向の破断の関係

図 11 パイロット・ラインの入口側

図 12 縦延伸プロファイルの運転モニター

図 13 ラボラインの出口側

図 10 LISIM 技術を有するパイロット・ライン

表1 LISIM パイロット・ラインで試作された同時二軸延伸 PP フィルムタイプの概要

	Type	Thickness	Application	Features	Typical Values
1	Balanced Film	10-50 μ m	General Packaging Tape	Balanced Mechanical Properties	TS>250 N/mm ² in MD and TD
2	MD Tensilized Film	20 μ m	Tape	High MD Properties	TS>300 N/mm ² in MD
3	TD Tensilized Film	15 μ m	General Packaging Tape	Similar Properties as Sequential Stretched Film	TS>300 N/mm ² in TD
4	Super Tensilized Film	15 μ m	General Packaging Tape	High MD and TD Properties	TS>290 N/mm ² in MD and TD
5	Mat Film	15 μ m	Lamination Labelling Tapes	Excellent Surface good Overall Properties	Haze>70%
6	Cigarette Film High Shrink	15 μ m	Overwrapping Tight Pack	High Shrink Values in Combination with good Mechanical and Optical Properties	S>15% in MD and TD
7	Pearlized Film	25 μ m	Special Packaging	White opaque with Combination with good Properties	Density<0.85 kg/m ³
8	Reclaim Film	14 μ m	General Packaging Tape	Good Runnability and Good Properties	TS>230 N/mm ² in MD and TD
9	Low Shrink Film	10 μ m	Lamination Special Packaging	Low Shrink Values in MD and TD	S<1% in MD (at 120℃) S=0% in TD (at 120℃)
10	MD Shrinkable Film Type A	25 μ m	Labelling	High MD Shrink Low TD Shrink	S>15% in MD S<1% in TD
11	MD Shrinkable Film Type B	25 μ m	Labelling	High MD Shrink Low TD Shrink	S>40% in MD S<4% in TD
12	Balanced Shrink Film Type A	25 μ m	Shrink Wrapping	High Shrink Values in Combination with good Mechanical Properties	S>50% in MD and TD
13	High Shrink Film Type B	25 μ m	Shrink Wrapping	High Shrink Values in MD and TD	S>70% in MD and TD
14	Low Sealing Coex-Film	15 μ m	General Packaging	Low Sealing Temperatures in Combination with good Mechanical and Optical Properties	Sealing Temperature<75℃
15	High SealingStrength Film	40 μ m	Heavy Duty Packaging	High Sealing Strength	Sealing Strength>7 N/15 mm
16	Capacitor Film	3.5 μ m	Metallized for Capacitors	Isotropic Properties	TS>230 N/mm ² in MD and TD
17	Foamed Film	85 μ m	Packaging Synth. Paper	Low density	Density<0.21 g/m ³

MD = Machine Direction
TD = Transverse Direction

S = Shrinkage at 130℃/5 min
TS = Tensile Strength

現在の二軸延伸フィルムビジネスあるいは開発環境が

- 1) 製品フィルムの利益が減少
- 2) 受注量/受注金額が減少
- 3) 環境問題が厳しくなる

様な状況下で今後の市場傾向として

- 1) 付加価値を有する特殊フィルム, 例えば
 - バリアー性フィルム
 - 収縮フィルム
 - シール温度の低いフィルム
- 2) ダウン, ゲージ (薄膜化)

3) フレキシビリティ

4) PVC あるい紙からの置換

が考えられる。これからの市場で、この LISIM 同時二軸延伸機がその実力を発揮できる日がやがてやって来るものと期待しているのである。

最後にこの原稿を書くにあたり、ブルックナー社の研究開発部長、ブライル博士に多大のご支援ご協力をいただきましたことに対し、誌上を借りて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Kurth, P. : *BOPP Markets and Growth-Development in Technology*, PP '94 Applications, Markets and Business Development in Zuerich, Switzerland (4-5 Oct, 1994)
- 2) Breil, J. : *LISIM Linear Motor Simultaneous Stretching Technology*, CMM Inter. Conference in Chicago, USA (16. Apr. 1997)
- 3) Breil, J., Oedl, G. and Sieber, B. : *Synchronous Linear Drives for Many Secondaries with Open Loop Control*, 2nd Intern.Symposium LDIA '98 in Tokyo, Japan (4-5 Oct, 1994)
- 4) Nentwig, J. : *Entwicklungen bei der Simultanreckung von Folien*, Papier + Kunststoff-Verarbeiter 12-98, S. 22-23
- 5) Breil, J : *S-BOPP-Film Enhancement by LISIM Technology*, SP '98 14th Annual World Congress in Duesseldorf, Germany (19-21 Oct, 1998)
- 6) Frognet, J.P. : *Oriented PP Market and Technology*, PP '99 8th Annual World Congress in Zuerich, Switzerland (14-16 Sept. 1999)
- 7) Campbell R.N. : *Polypropylene Film Comparisons From Sequential Simultaneous Tenter BOPP Process*, TAPPI Polymers, Lamination&Coatings Conference in Atlanta, USA, (23-5 Aug. 1999)
- 8) Scarati, M.A. : *Polyolefinfilms benefit from Simultaneous Orientation*, *Modern Plastics Intern.*, **29**(7), 103 (July 1999)
- 9) Scarati, M.A. : *Simultaneous Biorientation of PP Based Films-The Quantum Leap in Film Technology*, PP '98 8th Annual World Congress in Zuerich, Switzerland (14-16 Sept. 1999)

■ 文 献 抄 録 ①

Kunststoffe

• Vol.90(2000), No.5

Weller, S. : Inner Pressure Measurement During Injection Moulding (p. 20)

Hell, M. : Three Weeks Until the Start (p. 21)

Tüllmann, R. et al. : Data Quality in Commercial Databases (p. 23)

Baumgärtner, M. et al. : Logistic Centres for the Polymer Industry (p. 27)

Hannemann, A. et al. : Low-Pressure Mixing Technology in PUR Processing (p. 29)

Alig, I. et al. : Continuous Monitoring of Quality Parameters (p. 31)

Erlenkämper, E. et al. : Escalators Made of Plastics (p. 34)

Merz, P. : RTM Parts with a Class A Surface (p. 36)

Gremmels, J. and Karger-Kocsis, J. : Impact Modification of Thermosets (p. 38)

Ludke, H. and Klein, G. : Shaping New Realities ! (p. 40)

Bittmann, E. : High-Grade Design (p. 42)

• Vol.90(2000), No.6

Redmann, M. : Vacuum Systems for Polymer Degassing (p. 6)

Michaeli, W. et al. : Dynamic Frictional Data (p. 9)

Berghaus, U. : Flat-film Extrusion Lines (p. 11)

Kudlik, N. : Injection-Moulded Packaging (p. 13)