

平成21年 6月19日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560765
 研究課題名 (和文) ウェーブレット解析を用いたフィルム製造プロセスの分布制御
 研究課題名 (英文) Distribution Control of Film Production Process using Wavelet Analysis
 研究代表者 橋本 芳宏 (HASHIMOTO YOSHIHIRO)
 名古屋工業大学 工学研究科 教授
 研究者番号 90180843

研究成果の概要：

フィルム製造工程の品質のつくりこみのための know-how を、モデルベースの技術力に向上させるため、フィルム製造プロセスのシミュレーションモデルを開発した。走行するフィルムの温度と応力の変化を解析することにより、光学フィルムの特性を決める結晶構造を推定する。結晶構造によりフィルムには異方性が生じるため、塑性変形のための物性も動的に変化するシミュレーションを行う。さらに、ウェーブレット解析を利用したフィルムの分布制御用のアルゴリズムを開発した。測定値は、操作量の並びに対応するようにサンプルし直してから、ウェーブレット分解する。ウェーブレットごとに制御を設計し、合成することにより、その最小の大きさのウェーブレットにより操作端と観測値との対応のずれの検出と抑制、修正を動的に行うことを可能にした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・ 反応工学・ プロセスシステム

キーワード：プロセス制御

1. 研究開始当初の背景

大型が進む液晶テレビでは、性能の異なる複数の光学フィルムが利用されている。結晶が特定の並びをしていると、透過する光はねじれる。液晶は、電圧で、結晶の向きを変え、光のねじれを変化させるが、光学フィルムでも、フィルムを延伸することで、高分子

の糸の並びを調整し、その延伸の仕方でも各波長の光のねじれを調整できる。大きな画面で、この求められる光学特性を均一しなければならぬが、その製造条件を決定することは容易ではない。

フィルム製造工程には、図1に示すように、吐出口の開口広さ分布、複数の延伸ローラー

の回転速度、多数のヒーターの温度と、数多くの調整パラメータがあり、それらの調整がずれると、厚さや光のねじれ方などの特性が場所により異なってしまふことになる。

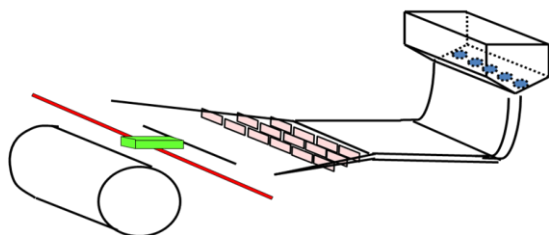


図1. フィルム製造工程の構成例

韓国の会社の液晶パネル生産高が世界一になったときにも、その原料である液晶や光学フィルムなどの部材は、日本から供給していたように、光学フィルムはその製造条件のつくりこみが難しく、その設定の know-how が日本企業の競争力の源泉になっていた。

また、フィルムの特性の均一性の要求度が向上すると、一部に加わる外乱も精度良く除去できるように、高い密度で、数多くの操作端が用意され、スキャンにより測定された厚さや光軸などの測定値が均一になるように制御系が構築される。

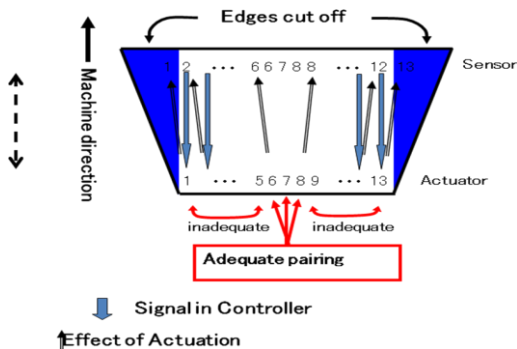


図2. 幅方向の操作端と測定端の対応

図2は、フィルムが図の下から上の向きに走行しているうちに幅が広げられ、延伸されたフィルムの端がカットされ、巻き取られるという工程を示している。延伸されたフィルムは、最後に巻き取られる際には、均一な厚さ、光学特性にあるように制御するが、延伸工程の内部では、フィルムの温度も厚みも均一とは限らない。延伸工程ではフィルムの下に、ヒーターが多数並んでいて、フィルムの幅方向の温度分布は、中央部が周辺部よりも高くなっている可能性が高い。温度が異なると伸びやすさが異なり、また、厚さが薄い方が伸びやすい。そのため、たとえば、原料の吐出口の操作端が等間隔に並んでいても、製品として巻き取られる際には、各操作端を出てきた分が等間隔に並んでいるとは限らない。

厚さを均一にする制御を考えてみると、測定された厚さが薄すぎる部分があったとしたら、その部分に流れ込むはずの吐出口の流出を増やすことになる。

このとき、間違えた場所の吐出量を増加させたら、補正すべき個所の厚さは回復しないし、補正する必要がなかった場所が分厚くなってしまふことになる。したがって、分布の制御では、測定端とそこに影響するはずの操作端の組み合わせを間違えると、制御は破綻する。そのため、現在、制御を始める前に、この組み合わせが正しいか、わざと分厚い部分をつくる操作をしてチェックするなど、慎重に検討している。

しかし、操作端の密度が高くなると、横延伸での伸び方の小さな変化やフィルム走行の少しの変化で、測定端と操作端の組み合わせのずれが生じる危険性が高くなる。

また、操作端の密度が高くなると、隣接した操作端は、自分の対応する制御量だけでなく、まわりの制御量にも影響し、その影響の差異が小さくなる。その小さな差を利用して、個別の要求を満たすように制御系を設計することになるので、測定値の小さな差に対して大きなゲインで操作量を算出することになる。

組み合わせのずれは生じやすく、各制御系はゲインが大きいので、制御が不安定になる可能性が高くなる。制御することによって、不均一性を増幅してしまう結果になってしまう。

そのため、現状よりも高密度な操作端分布を採用するためには、リアルタイムに制御系を監視して、制御系の操作の発散の予兆を検知して、フィルム特性が大きく悪化する前に、操作端と測定端の組み合わせのずれを検出し、そのずれを修正するアルゴリズムの開発が必要となる。

2. 研究の目的

「品質のつくりこみを know-how から技術力に」という観点で、操作条件と製品の関係を現場で観測される現象をもとに know-how として整理するのではなく、こうなるはずだというモデルを基に、製造条件のあるべき姿を求めるといふアプローチを志向する。

光学特性を決定する高分子の並びをフィルムの温度と応力の分布から推定し、その分子の並びによって生じる異方性がフィルムの工程内の進行とともに変化する様子を算出するモデルの構築を考える。

実際の現場では、ヒーターの温度は測定できても、工程内の透明フィルムの温度を測定することは難しく、オンラインで測定できる変数は、最終段階で幅方向にスキャンして測定される厚さの分布や光軸などの一部の光

学特性に限られる。さらなる品質のデータは、製品をサンプルし、特性を測定して得られ、その結果で、様々な操作条件のつくりこみを行っているのが現状だと考えられる。

工程内でのフィルムの変化が「見える化」できれば、製造条件の設計が可能になる。モデルの構築には、ポリマーの各温度での伸びやすさなどの弾塑性特性、比熱や輻射熱の黒度などの伝熱特性など原料の物性が必要となるので、物性のテスト方法を用意し、さらに、原料の吐出口や、ローラー、テンター、ヒーターの配置などの装置のデータを反映できるモデルになっている必要がある。

この研究では、まず、工程内での温度、厚さ、応力分布の変化を算出できるシミュレーションプログラムの開発をめざす。モデルを構築した後は、モデル中に含まれる伝熱係数などのパラメータを調整する方法や、モデルを基に、測定データから内部状態を推定する方法などを開発する課題に取り組むことになるが、本課題では、まず、計算できるプログラムの開発を目的とした。

(目的1：フィルム製造工程のシミュレータの開発)

このプログラムに最適化アルゴリズムを組み合わせると、要求特性を実現するための操作条件の探索が可能になると思われるが、実際には、フィルムの走行のずれなど、外乱が発生し、操作条件を一定にしていれば、品質が保たれるわけではなく、制御が必要になる。高品質なフィルムを製造するために、小さな一部への変動も打ち消すことができるように、高い密度で、数多くの操作端を用意され、スキャンにより測定された厚さや光軸などの測定値が均一になるように制御系が構築される。

操作端の密度が高くなるほど、測定端と操作端の対応のずれが生じやすくなる。ずれが生じると、制御系が発散してしまう。そのため、ずれを検出して、ずれを修正するアルゴリズムを開発する。

(目的2：操作端と測定端の組み合わせのずれに強い制御系の開発)

3. 研究の方法

(フィルム製造工程のシミュレータの開発)

フィルム工程の中のフィルムは、温度、応力の異なる場所を移動しながら、弾塑性変形する。しかし、装置でみると、同じ場所の条件はほとんど変化せず、新たなフィルムが流入しては、流出するという状態である。このフィルムの変化を、装置のエリアに新たなフィルムが流入し、計算結果の一部が流出するという計算を繰り返すことでシミュレーションする。

図3に、横延伸を行うテンターでの計算方法を示す。まず、フィルムの走行速度を v と

して、シミュレーションの刻み時間を dt とする。テンターの部分とその入口の $v \cdot dt$ 長さの部分初期のフィルムを設定し、有限要素法のメッシュを設定する。次に dt 時間後のテンター内のフィルムの位置を境界条件として、延伸による弾塑性変形の計算を行う。変形後のフィルムの $v \cdot dt$ 長さの流出部の結果を製品ローラーに巻き取られるとして、計算対象から取り除き、新たにテンターに流入する $v \cdot dt$ 長さのフィルムを計算対象に加える。その新たな計算対象に対して、メッシュのデータを設定しなおし、延伸の計算を行うという手順で、時間を進めることにより、テンターでのフィルムの変化をシミュレーションする。

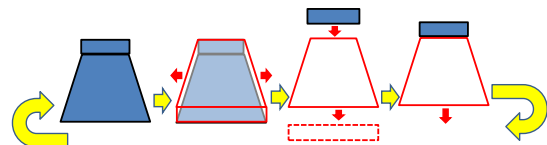


図3. テンター内での横延伸の計算

テンター内には、多数のヒーターも存在するので、フィルムの黒度を仮定した輻射伝熱による温度変化も計算する。

(操作端と測定端の組み合わせのずれに強い制御系の開発)

幅方向の分布の制御には、操作端と測定端をひとつずつ組み合わせ、多数の制御ループを構成する制御系が考えられるが、これでは、対応がずれると発散するという危険性が高くなる。

分布の制御には、測定データの分布、操作端の分布をそれぞれフーリエ変換し、変化の周期の長さで分解した成分ごとに制御系を設計するという方法もある。この方法は、時間関数に対するフーリエ変換であれば、入力の正弦波は、出力にも同じ周期の正弦波のみとして現れるという直交性を有しているので、周波数ごとに独立した入出力関係を議論できるという理論を幅方向の制御にも適用しようというものである。均一な延伸を仮定すれば、操作量の分布を幅方向に分解した周波数成分が出力に現れる結果は、出力の幅方向の周波数成分に対応すると考えられるので、幅方向に入出力を周波数分解して、周波数ごとに制御を検討するアプローチも提案されている。しかし、実際のフィルム製造工程では、均一な変化が生じているわけではないので、正弦波形状の幅方向の分布をもった入力、同じ周波数の正弦波の出力として現れるわけではない。伸びやすい部分や伸びにくい部分が生じるのを制御によって最終状態を均一にしようとするものなので、入力の幅方向の正弦成分と出力の幅方向の正弦成分に直交性は成立しない。

一部のみ変化した場合、フーリエ変換では、全幅に対する正弦波で表現するので、すべて

の周波数成分を変化することで表現することになるが、ウェーブレット変換では、周波数だけでなく、場所の違いも表現できるので、変化した部分近くに変化を集中できる。

ウェーブレットでは、サンプル間隔を基準にその2のべき乗倍で分解するが、フィルムの横延伸においては、センターでの幅の変化に応じて、測定値のサンプル間隔を調整し、均一を仮定した延伸では、ウェーブレット成分どうしが対応するように設定する。

入出力間には、遅れがあるので、各瞬間での値だけで判断するのではなく、その発散傾向を判断する。操作端と測定端の組み合わせにずれがあると、補正したはずの場所の観測値は回復せず、他の所がずれることになる。その場所の補正もその場所には働かず、他の場所に伝わるので、変動が伝播し、積分制御により、操作が増大し、偏差が伝播していくが、組合せが正しい位置になると、制御が働き、偏差の伝播はさえぎられる。フィルムでの偏差の伝播の時間変化を追うことができ、測定値と操作の変化を対応づけられれば、ずれを検出できるし、そのずれを補正することも可能になると考えられる。

このずれの伝播は、操作端の単位で生じるので、操作端の最も小さな幅でのウェーブレット分解がずれの解析の対象になる。

制御では、その小さな幅のウェーブレットを制御の対象から外せば、ずれに強い制御になる。そして、ずれの可能性を考えながら、その小さな幅のウェーブレットに対する制御を調整する。ずれている可能性を検出すると、まず、そのウェーブレットに対する制御を止めて、悪化が進展しなくなれば、ずれが発生していることが判定でき、操作量と測定端の組み合わせを変更して、また様子を見るというアルゴリズムを考える。

4. 研究成果

現在、温度と応力の時間変化が計算できるプログラムが開発できた。図4、図5に、フィルムの伸びと応力時間の時間変化の計算例を示す。

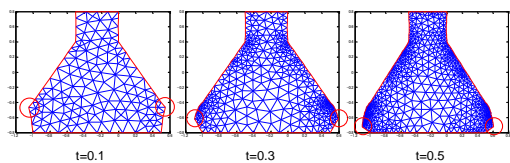


図4. フィルムの伸びの分布の時間変化

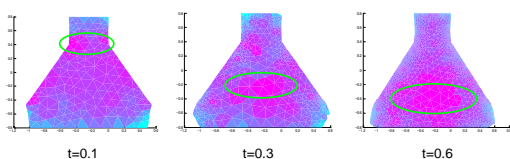


図5. フィルムの応力分布の時間変化

このプログラムにより、フィルムの走行、温度、応力分布の変化は計算できるようになり、制御による時間変化を検討できる状態になった。

しかし、光学フィルムの製造工程のシミュレータとして公開するためには、フィルムの物性の異方性、温度による変化に対するモデルをさらに取り入れ、実際のポリマーの物性を入れたのち、実際の工場でのデータとマッチングする必要がある状態であり、まだ、公開する段階には至っていない。

(操作端と測定端の組み合わせのずれに強い制御系の開発)

ウェーブレット変換により、ずれをチェックするアルゴリズムを開発し、まず、悪化を抑制し、さらに、ずれを修正することにより、分布の高精度な制御を可能にできることをシミュレーションにより示した。

操作から観測まで、フィルムは長距離を移動するため、その遅れが大きく、速応性のある回復ではないが、操業の安定性を保つには有効に働く。今後、実際に工場の装置に適用し、その有効性を検証したい。

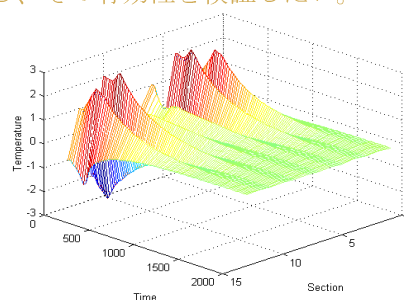


図6. ずれによる偏差の伝播と操作端と測定端の組合せの修正による偏差の抑制

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

化学工学論文集への投稿を準備している段階である。

[その他]

山崎美希 平成19年度名古屋工業大学都市社会工学科卒業研究

佐原勇輝 平成20年度名古屋工業大学都市社会工学科卒業研究

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本芳宏 (HASHIMOTO YOSHIHIRO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90180843