

2層押出成形雨樋のインライン樹脂厚み計測システム

In-Line Thickness Measuring System of Double-Layer Extruded Rain Gutters

杉本 憲昭* ・ 前川 正己**
Noriaki Sugimoto Masaki Maekawa

2層押出成形雨樋の樹脂厚み計測において、超音波パルス反射法によるインライン非破壊計測システムを開発した。

本システムの特徴は、押出成形条件の経時変動により雨樋樹脂表面にわずかな反りが発生した場合でも、エコー波形の特徴から反り方向を判定して演算することによって、安定した樹脂厚みの計測ができる点にある。

本システムの開発により、リアルタイムな雨樋樹脂厚みの計測が可能となり、製造工程においてより確実な製品品質管理が実現できる。

In the resin thickness measuring of double-layer extruded rain gutters, an in-line non-destructive measuring system has been developed based on the ultrasonic pulse echo technique.

The key feature of this system is its stable measurement of resin thickness by calculating the direction of warpage from the features of echo wave shape even if a small warp is generated on the resin surface due to variations in the extrusion conditions over time.

The developed system enables real-time measurement of rain gutter thickness and more reliable product quality control in the manufacturing process.

1. ま え が き

プラスチック押出成形は、溶融したプラスチック材料を所定形状の金型から押し出し、同じ断面形状の製品を連続的に生産する製造方法で工業製品などに広く用いられている。生産が途切れることなく連続的に行われるため、製品の品質管理方法としては一定時間ごとの抜取検査が一般的である。しかしその検査が破壊検査を伴う場合、生産性や検査工数が問題となり頻繁に実施することはできない。

当社の雨樋押出成形ラインでも、これまで樹脂厚みの管理を以下の手順で行っていた。

- (1) 生産開始時に製品を抜き取り、断面を研磨した後、光学顕微鏡を使って樹脂厚みを測定する。
- (2) 厚みが製品規格の中央値から外れている場合、成形条件を調整した後、(1)の手順に従って再度測定する。
- (3) 厚みが製品規格の中央値になるまで、手順(1)～(2)を繰り返す。
- (4) 一定時間ごとに製品を抜き取り、手順(1)～(3)に従って成形条件を微調整する。

しかし、この方法では測定に手間が掛かるうえに、成形条件の経時的なぶれによる樹脂厚みの変動に即応できない問題があった。

そこで筆者らは、この問題を解決するために超音波センサを用いた押出成形雨樋のインライン樹脂厚み計測システムを開発した。

2. 住宅用雨樋

2.1 高耐候性タイプ住宅用雨樋

雨樋とは屋根に降った雨を受けて流すために軒先に設けた樋のことで、雨水をスムーズに寄せ集め、地面の排水口へと排出するためのものである。主な役割として以下の項目が挙げられる。

- (1) 雨水が軒先・軒裏や外壁に回り込み、建物が腐食することを防ぐ。
- (2) 躯体や基礎周りへの雨水の浸入を防ぎ、湿気から住まいを守り、快適性を高める。
- (3) 雨垂れによる軒下地面の侵食や飛沫による外壁や庭木などの損傷を防ぐ。

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

** 住建事業本部 雨樋事業部 Rain Gutters Division, Building Products Manufacturing Business Unit

当社の高耐候性タイプ住宅用雨樋「たてといPC30」の外観と構造を図1、図2に示す。これは硬質塩化ビニル樹脂に高耐候性特殊樹脂を被覆した2層構造となっており、紫外線による退色や変色に強く、耐久性に優れるという特徴がある。



図1 軒先に施工された雨樋

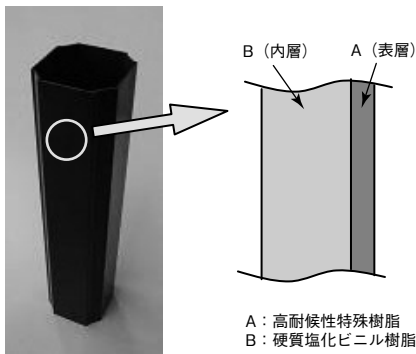


図2 「たてといPC30」の構造

2.2 押出成形雨樋製造ライン

製造ラインの概要を図3に¹⁾、成形フローを図4に示す。雨樋の高耐候性を確保するうえで、表層の特殊樹脂厚みの管理はとくに重要である。これまでは定期的に梱包前の雨樋を抜き取り、先に説明した手順に従って樹脂厚みを測定していたが、現在では表層と内層の樹脂厚みを非破壊かつリアルタイムに測定する超音波厚み計測システムをインライン化している。

以下に、その開発内容について述べる。

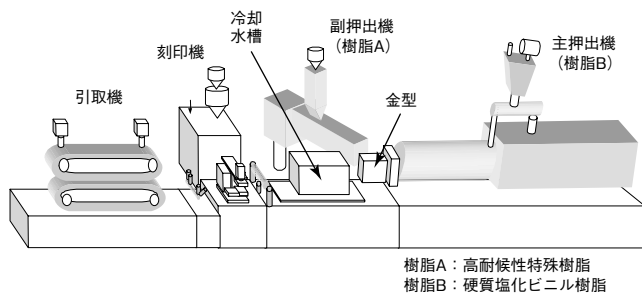


図3 製造ライン概要

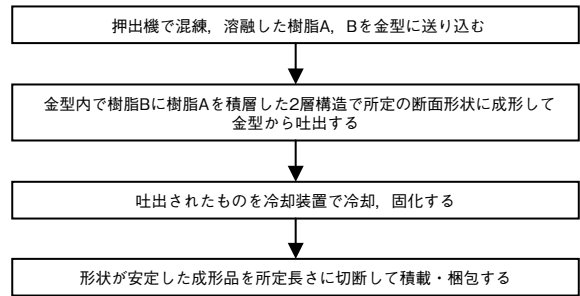


図4 成形フロー

3. 超音波厚み計測

3.1 超音波の性質

一般的に、20 kHz 以上の人に聞こえない領域の音を超音波と呼び、以下の性質がある。

- (1) 電波や光に比べて伝播速度は著しく遅く、被測定物の状態や湿度、圧力などによっても変化する。
- (2) 気体中では減衰しやすいが、液体や固体では効率良く伝播する。
- (3) 超音波の伝わる速さ（音速）は、媒体によって決まり、周波数にあまり影響されない。

音波が伝播するときに、抵抗となる媒体の特性値を音響インピーダンス (Z) と呼び、媒体の密度 (ρ) と音速 (c) から式 (1) で算出される²⁾。

$$Z = \rho c \quad (1)$$

また、音響インピーダンスの異なる境界面で、その差に応じて音波が反射または透過する性質がある (図5)。媒体1の音響インピーダンスを $Z1$ 、媒体2の音響インピーダンスを $Z2$ とし、媒体1から媒体2に向かって超音波を入射すると、式 (2)、式 (3) に従って、媒体1と媒体2の境界面で音波の一部は反射し、残りは媒体2の方向に透過する²⁾。

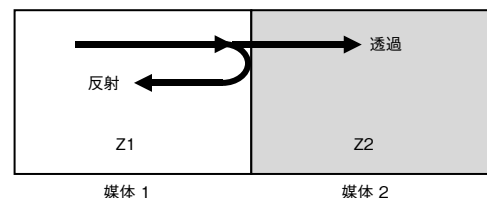


図5 超音波の反射と透過

$$\text{反射率} : R = \frac{Z2 - Z1}{Z2 + Z1} \quad (2)$$

$$\text{透過率} : T = 1 - R \quad (3)$$

3.2 パルス反射法

前述した超音波の反射と透過の性質を利用し、測定物中を超音波が往復する時間によって厚みを測定する方法をパルス反射法という（図6）。振動子から発信された超音波パルスは、測定物表面で反射して表面波エコーが発生する。また、超音波の一部は測定物内部を透過し、測定物底面で反射して底面波エコーが発生するので、振動子で受信するエコー波形は図7のようになる。表面波エコー（S）が振動子に到着してから底面波エコー（B）が振動子に到着するまでの時間（T）は、超音波が測定物中を往復する時間に相当するので、超音波が測定物中を伝わる速度を（C）とすると、測定物の厚み（D）は式（4）より求めることができる³⁾。

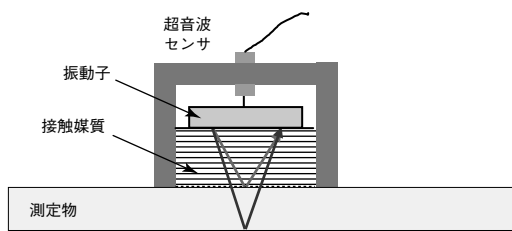


図6 パルス反射法

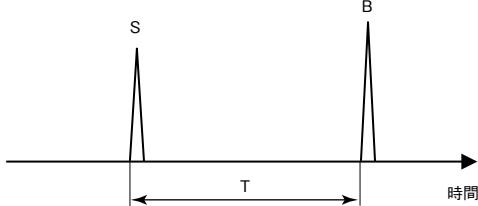


図7 超音波エコー波形

$$D = \frac{1}{2} CT \quad (4)$$

超音波は気体中では減衰が大きいため、超音波センサを用いて精度良く厚みを計測するには、センサと被測定物の間を接触媒質（グリセリン、水など）で満たす必要があるが、今回は既設の冷却水槽内に超音波センサを設置することで、別途付帯装置を設けることなく、この問題を解決している。

3.3 2層押出成形雨樋の樹脂厚み計測方法

2層押出成形雨樋の樹脂厚み測定原理を図8に示す。雨樋表面に向けてセンサより超音波パルスを発信すると、高耐候性特殊樹脂の表面、高耐候性特殊樹脂と硬質塩化ビニル樹脂の境界面、硬質塩化ビニル樹脂の底面で音波が反射され、センサに戻ってくるエコー波形は図9のようにT1、T2、T3にピークをもっている。

このとき、それぞれの波形ピーク値の時間差 T2 - T1、T3 - T2 は、それぞれ高耐候性特殊樹脂と硬質塩化ビニル樹脂の厚みを往復した時間に相当するため、高耐候性特殊樹脂の音速を Va、硬質塩化ビニル樹脂の音速を Vb とすると、高耐候性特殊樹脂と硬質塩化ビニル樹脂の厚みは、式（5）、式（6）により求めることができる。

$$\text{高耐候性特殊樹脂厚み} = \frac{V_a \cdot (T_2 - T_1)}{2} \quad (5)$$

$$\text{硬質塩化ビニル樹脂厚み} = \frac{V_b \cdot (T_3 - T_2)}{2} \quad (6)$$

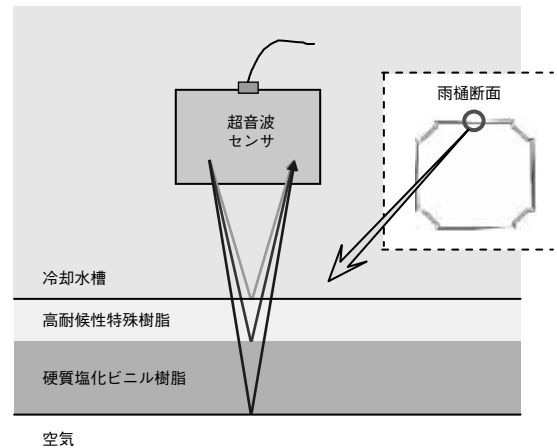


図8 2層押出成形雨樋の樹脂厚み計測原理

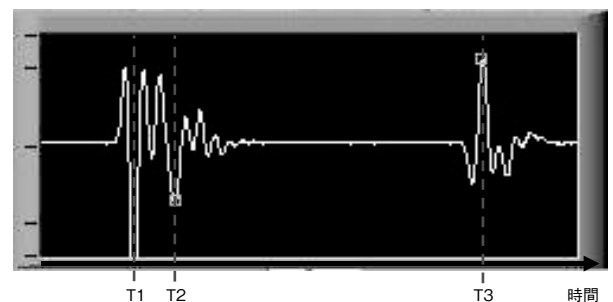


図9 超音波エコー波形

なお、各物質の音速と音響インピーダンスの大小関係を表1に示す。

表1 音速・音響インピーダンス表

	音速	音響インピーダンス
水	V	Z
高耐候性特殊樹脂	Va	Za
硬質塩化ビニル樹脂	Vb	Zb

(V < Vb < Va, Z < Za < Zb)

厳密には温度変化により音速は変化するが、樹脂温度および樹脂厚みを測定する冷却水槽内の水温は一定となるように温度管理されているため、一定として考える。

3.4 エコー波形ピーク検出

式 (5)、式 (6) から明らかなように、押出成形雨樋の樹脂厚みを安定して計測するには、超音波エコー波形のピーク (T1, T2, T3) を正確に検出することが重要である。通常の超音波厚さ計では、あらかじめ閾値を設定してこの値を越える範囲で波形のピークを求める方式を採用していることが多い。センサと被測定物の位置関係が一定の場合 (エコー波形を確認しながらセンサの角度を手動で調整する場合) は、エコー波形が安定しているため、この方式でも安定した測定が可能であるが、インラインで雨樋の樹脂厚みを計測する場合には、製造条件の変動によって雨樋の表面にわずかな反りが生じてエコー波形が一定とならない。そのため閾値の設定が難しく、ピークが検出できずに測定不能となったり、間違ったピークを検出して測定誤差を生じたりする。

そこで筆者らは、エコー波形の形状に着目し、固定の閾値を設定することなく波形ピーク値を正確に検出する方法を開発した。

エコー波形を分析すると、すべての波形は雨樋表面の状態によって次に示す三つのパターンに分類できる。

(1) 通常の波形

雨樋の表面が所定の位置で水平を保っている場合の波形 (図 10)。



図 10 通常のエコー波形

(2) エコー信号が強い波形

雨樋の表面が膨らんで、超音波センサと樹脂表面のギャップが狭くなった場合の波形 (図 11)。

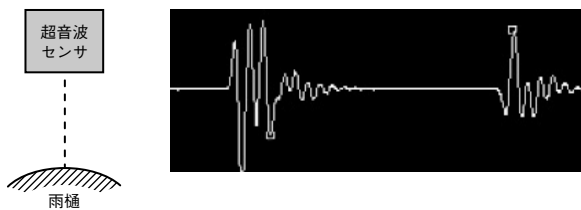


図 11 エコー信号が強い波形

(3) エコー信号が弱い波形

雨樋の表面が凹んだり傾いたりして、超音波パルスが樹脂表面に垂直に入射しない場合の波形 (図 12)。

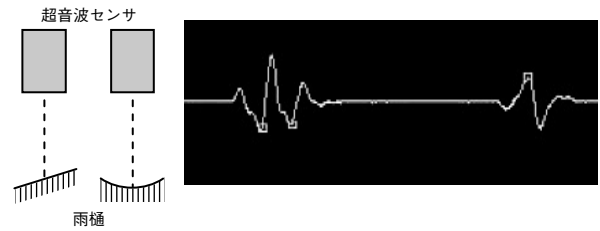


図 12 エコー信号が弱い波形

これらの波形のピーク値に着目すると、雨樋表面の状態が変化しても、以下に示す波形の基本的な特性は変化しないことがわかる (図 13)。

エコー波形前半部の最小値が高耐候性特殊樹脂の表面からの反射ピーク値 (A) を、2 番目に小さい値が高耐候性特殊樹脂と硬質塩化ビニル樹脂の境界面からのピーク値 (B) を表す。また、エコー波形後半部の最大値が硬質塩化ビニル樹脂の底面からのピーク値 (C) を表す。

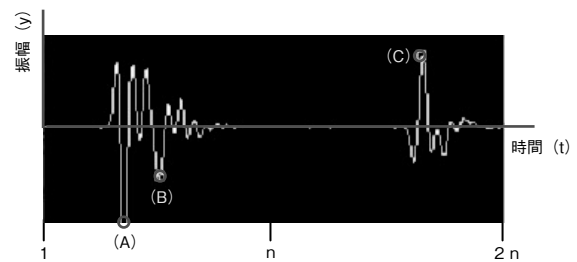


図 13 エコー波形ピーク値

そこで、A/D 変換して離散化したエコー波形データを式 (7) とすると、図 14 に示す手順から、ピーク値 (A)、(B)、(C) を求めることができる。

$$\text{振幅 (y)} = F (t) \quad \{t = 1, 2, 3, \dots, 2n\} \quad (7)$$

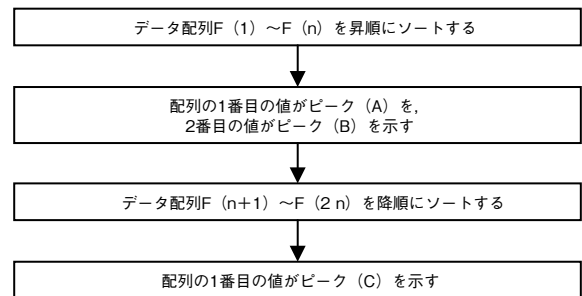


図 14 ピーク検出フロー

4. インライン計測システム

4.1 システム構成

インラインで雨樋樹脂厚みを計測するためのシステム構成を図15に、冷却水槽内に設置する超音波センシング装置の構造図を図16に示す。計測ポイントは雨樋各面1箇所ずつの計4箇所、超音波送受信機と超音波センサの間にマルチプレクサを設けて、一定時間ごとに計測する面を切り替えながら樹脂厚みを計測する。図17にその制御フローを示す。

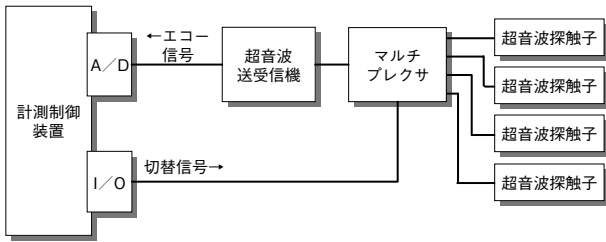


図15 システム構成

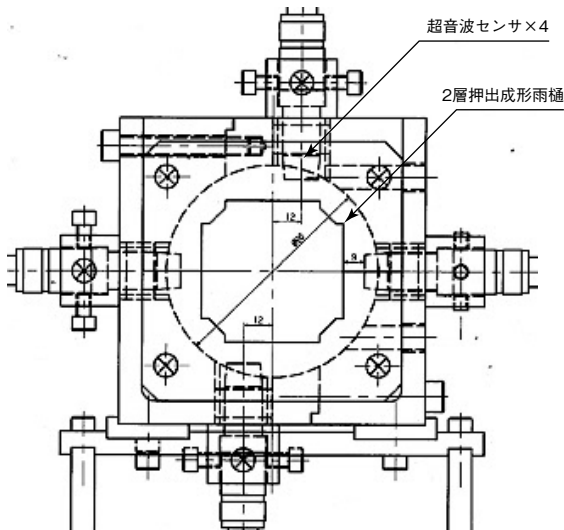


図16 超音波センシング装置構造

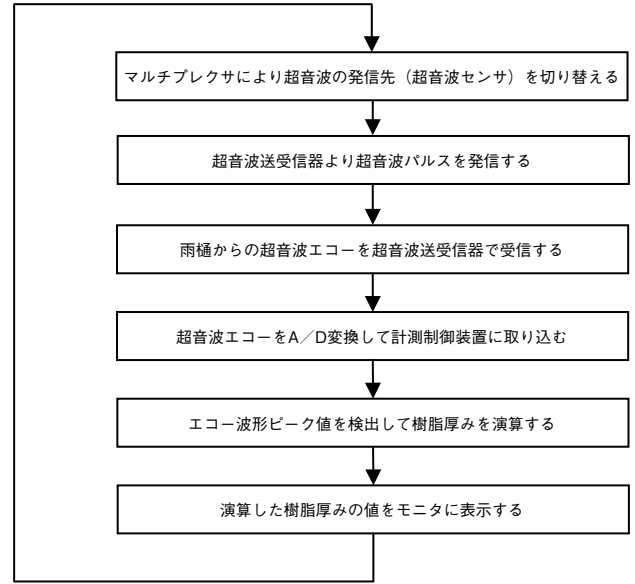


図17 制御フロー

4.2 MMI (マン・マシン・インタフェイス)

インライン計測システムのマイン画面を図18に、トレンドグラフ画面を図19に示す。一定時間ごとに、上→右→下→左の順序で計測する面が自動的に切り替わり、そのときの超音波エコー波形と波形ピーク値から演算した樹脂厚みの値をマイン画面でリアルタイムに確認することができる。また、トレンドグラフ画面では、成形条件と計測した樹脂厚みの値が時系列のグラフ形式で表示されるので、成形条件の変動による樹脂厚みの値への影響についても確認できる。

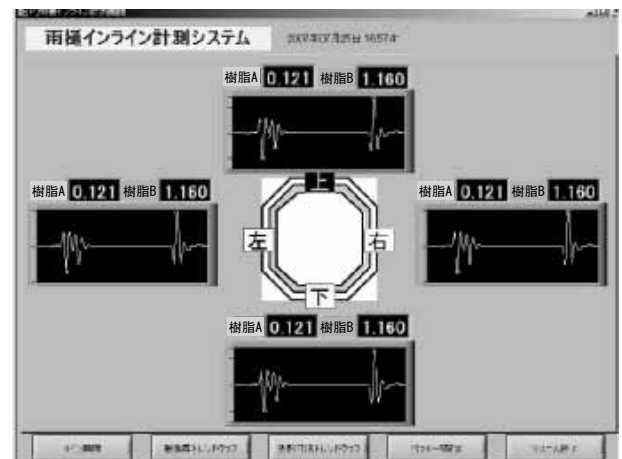


図18 メイン画面



図19 トレンドグラフ画面

5. あとがき

2層押出成形雨樋の樹脂厚み計測において、超音波の反射と透過の性質を利用したパルス反射法によるインライン非破壊計測システムを開発した。

本システムの特徴は、押出成形条件の経時変動により雨樋の表面にわずかな反りが発生した場合でも、エコー波形の特徴から反り方向を判定して演算することによって、安定した樹脂厚みの計測ができる点にある。

本システムの開発により、リアルタイムな雨樋樹脂厚みの計測が可能となり、製造工程においてより確実な製品品質管理を実現した。

今後は、計測した樹脂厚みの値を基にフィードバック制御を行い、成形条件を自動的に調整するシステムの開発を進めていきたいと考えている。

*参考文献

- 1) 沢田 慶司：プラスチック押出成型の最新技術，ポリマーダイジェスト（1993）
- 2) 超音波技術便覧，日刊工業新聞社（1978）
- 3) 丹羽 登：超音波計測，昭晃堂（1982）

◆執筆者紹介



杉本 憲昭
生産技術研究所



前川 正己
雨樋事業部