

報 告

樹脂多層ホース・インライン肉厚計測技術

加藤 武彦^{*1}, 須原 克洋^{*2}

In-line Thickness Measurement of Multi-layer Plastic Hose

Takehiko Kato^{*1}, Katsuhiko Suhara^{*2}

要 旨

樹脂多層ホース（エバポ規制に対応するため、2層構造の内層にフッ素樹脂を採用したホース）において、製品の重要特性である内層肉厚を保証する必要がある。

ここでは内層肉厚であるフッ素樹脂部肉厚を超音波計測方式にてインラインで計測できる技術を開発したので報告する。

Abstract

For the quality insurance of multi-layer resin hose (using fluoroplastics for inner layer in order to meet Evaporative Emission Standard), it is necessary to assure the thickness of inner layer which is one of the most important specification of the product.

Therefore, we developed and applied the ultrasonically measuring system in the production line to measure the thickness of inner layer automatically.

^{*1} Takehiko Kato 開発部 生技開発室

^{*2} Katsuhiko Suhara 開発部 生技開発室

1. はじめに

今回の対象製品である樹脂多層ホースは、エバポ規制対応のためフッ素樹脂を内層とした2層構造の燃料ホース（図1）であり、内層肉厚の保証を行う必要がある。

現状の肉厚保証方法は人による破壊検査にて実施しており、これをインラインにて非破壊計測できる技術の確立ができたので報告する。

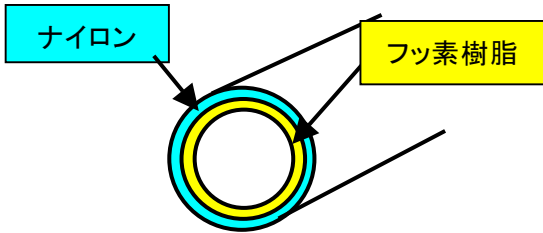


図1. 燃料ホース

2. 計測箇所

計測箇所は偏肉の状況も把握するために、フッ素樹脂層の円周方向の4箇所を計測する（図2）。

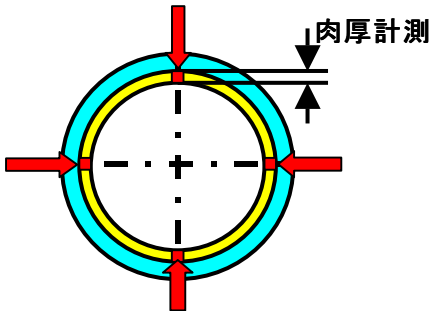


図2. ホース断面図

3. 開発目標

計測対象肉厚 $200\mu\text{m}$ を4点計測する場合の開発目標は下記（表1）のように設定した。

表1. インライン計測の開発目標

計測分解能	$2\mu\text{m}$ 以下
計測誤差	$\pm 5\mu\text{m}$ 以下
計測時間	1 sec以下

4. 非破壊計測方式の事前検討

非破壊計測手法について、いくつかの事前検討を実施した。

4-1. X線透視計測方式

内層肉厚が測定できるレベルでの透過画像が得られることが確認できた。しかし、4点計測するには透視計測方式では2台の装置が必要となる。

4-2. X線CT計測方式

全断面の画像を得ることができたが、計測時間や設備コストの面で実用化は難しいと判断した。

4-3. 超音波計測方式

超音波計測方式は設備コストが安く抑えられる利点がある反面、全ての材質の肉厚が計測できるとは限らない。そこで、対象ワークにて反射パルスを測定したところ、 20MHz の水浸式の超音波センサを用いることで、外管層、境界面、内管面の3つの反射波が得られ、計測の可能性が確認できた。

4-4. 計測方式の選定

事前検討結果を下記の表2に示す。事前検討結果により、超音波計測方式を採用し計測装置の開発を実施することにした。

表2. 事前検討結果

	X線透視	X線CT	超音波
計測精度 $\pm 5\mu\text{m}$ 以下	$\pm 5\mu\text{m}$ ○	$\pm 10\mu\text{m}$ ×	$\pm 5\mu\text{m}$ ○
計測時間 1sec以下	約1 sec ○	約2 min ×	1sec以下 ○
設備コスト	約2500 万円 ×	約5000 万円 ×	約500 万円 ○
評価	×	×	○

5. 超音波計測方式

5-1. 機器構成

超音波センサ（以降センサと呼ぶ）とは超音波の発射と反射波の検出を行うための圧電素子であり、超音波パルスを発射、検出するためのパルサーレーザと共に構成する。今回は4点計測のため、パルサーレーザ1台で4個のセンサをチャンネル切替器にて処理する方式とした。また検出した波形データを処理するため、A/D変換器を通した後、パソコンを用いて処理する。（図3）

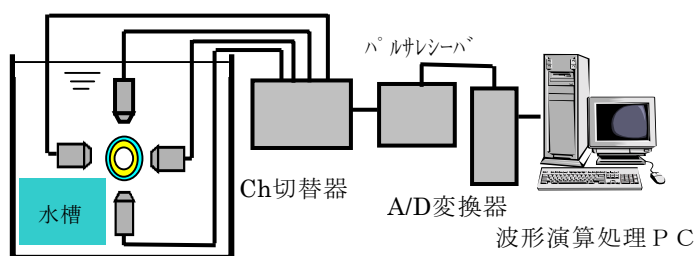


図3. 超音波計測機器構成図

5-2. 計測原理と肉厚計測方法

センサから対象ワークに向けてパルスが発せられ、パルスは表面、境界面、内管面でそれぞれ反射波が戻ってくる。その反射波をセンサにて検出すれば、反射波の時間差からそれぞれの層の肉厚を求めることができる。図4はワークの反射波波形であり、 Δt_1 はフッ素樹脂層肉厚の時間差である。フッ素樹脂肉厚を求める式を(1)式に示す。

$$\text{フッ素樹脂肉厚} = \text{音速(m/s)} \times \Delta t_1 \div 2 \quad \dots (1)\text{式}$$

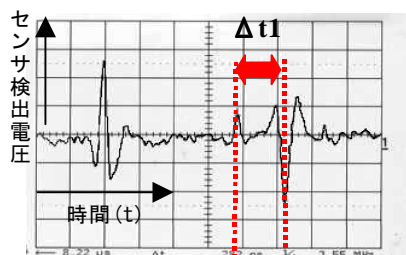


図4. ワークの反射波形

6. フッ素樹脂の音速値算出

材料の物性値から導く音速値を求める方法として公式(2)式がある。あるロットでの物性値から音速値を求めると1580(m/s)となり、もう一つの求め方として、既知の肉厚のテストピースを用いて超音波の反射時間から(1)式により、逆算して求めてみると1574(m/s)となった。どちらの方法でもほぼ同じ結果を得ることが確認できた。

$$\text{音速} = \sqrt{\frac{\text{弾性率} \times (1 - \sigma)}{\text{比重} \times (1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}} \quad \dots (2)\text{式}$$

7. 分解能と計測精度（静止状態）

7-1 分解能

超音波による肉厚計測の技術的なポイントは反射波の時間間隔計測が要であり、目標分解能である2μmを実現するには、2.6ns以下のサンプリング周期での検出電圧計測が必要となる。そこで、今回は500MHzの高速なA/D変換器を採用し、1.5μmという分解能を実現した。

7-2 静止状態での繰返し精度

同一ワークによる繰返し精度(n=30)を表3に示す。繰返し精度=±2.6μm（片側3σ）。

表3. 繰返し精度

	フッ素樹脂層
平均	212 μm
Range	3 μm
σ	0.88 μm

8. ノイズ対策による信頼性確保

実際の波形は図5に示すようにナイロン層とフッ素層の境界面波形がノイズにより、識別できない状況がまれに発生していた。そこで、ノイズ対策によりS/N比を高めるため、次に示す項目について対策を実施した。

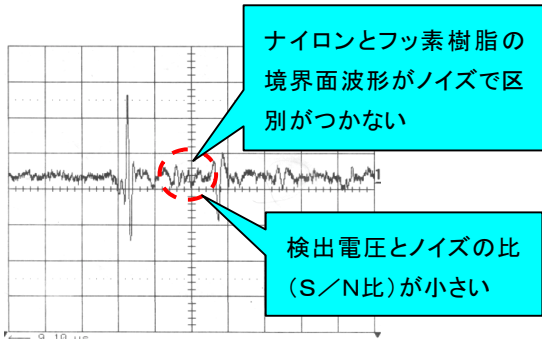


図5. ノイズ発生時の波形

- ①計測BOX内の発生ノイズ対策
- ②電源ライン, 信号線のノイズ対策

8-1. ノイズ対策結果

ノイズ対策を実施した結果, 図6に示すように対策前と対策後のS/N比は2倍以上に向上し, 反射波ピークの検出が確実になった.

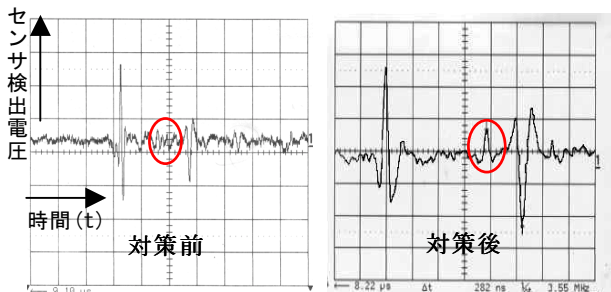


図6. ノイズ対策結果

9 インライン計測実施時のばらつき測定

実際にインライン計測を実施した場合に予想される下記項目について, ばらつきを測定した.

- ①温度影響による計測ばらつき
設置工程での温度影響による肉厚計測ばらつきは±2.0 μmであった.
- ②ワークぶれによる計測ばらつき
縦ぶれ, 横ぶれ合わせて計測ばらつきは±1.0 μmであった.

10. 机上計測精度まとめ

各計測影響のばらつきをまとめ(表4), 計測ばらつきが目標計測精度に入っているかを正規分布累積法にて確認をおこなった. その結果, 総合計測精度は±3.4 μm (目標計測精度±5.0 μm)となり, 机上での計測精度は目標を満足することが確認できた.

表4. 各計測影響のばらつき

計測影響の因子	ばらつき
繰返し精度	±2.6 μm
温度影響	±2.0 μm
ワークぶれ	±1.0 μm

<正規分布累積法による精度確認>

$$\sqrt{2.6^2 + 2.0^2 + 1.0^2} = 3.4$$

総合計測誤差 ±3.4 μm (開発目標 ±5.0 μm)

11 計測時間

1断面の計測に要する計測時間(表5)は, 450msであり目標計測時間1secを満足することが確認できた.

表5. 1断面あたりの計測時間

超音波送受信時間	50 ns
演算処理時間	200 ms
チャンネル切替時間	250 ms

1 2 インラインでの計測精度検証

インラインでの計測精度を確認するため、計測装置を生産工程（押出工程）に設置し、計測箇所はワーク寸法が一番安定していると思われる水冷槽の最後部にて実施した

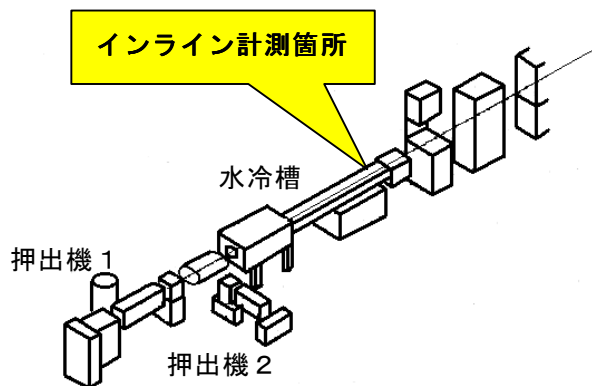


図7. 押出工程での計測箇所

1 2-2 検証結果

インライン計測値と読取顕微鏡の実測値の差を図9に示す.

計測精度 $\pm 3\sigma = \pm 3.9\mu\text{m}$ となり、インライン計測でも目標計測精度 $\pm 5\mu\text{m}$ を満足することが確認できた.

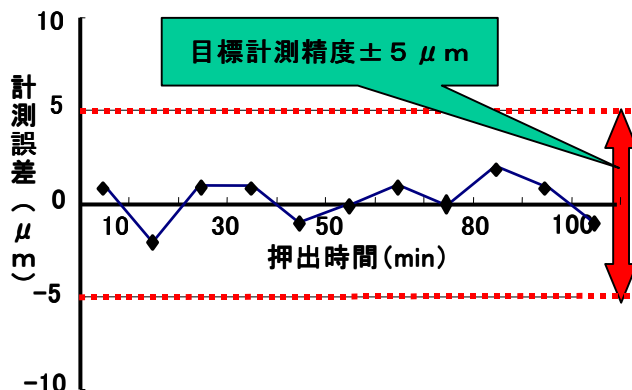


図9. インライン計測での計測誤差

1 2-1 検証方法

押出工程にて超音波によるインライン計測を行うと共に、計測したポイントを切断して断面から読取顕微鏡で測定する（図8）。そして、超音波計測値と読取顕微鏡の実測値を比較し計測精度（計測誤差）を検証した。

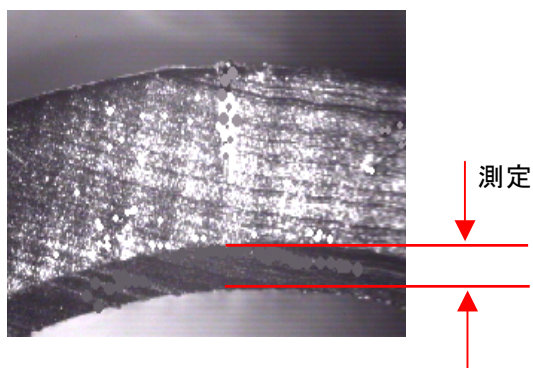


図8. 読取顕微鏡の画像

1 3 まとめ

超音波によるインライン計測で目標の計測精度、計測時間を満足する計測技術の確立ができた。