

## ピストンロッド曲がり測定・矯正技術の開発

光 尾 崇

### 1 はじめに

建設機械や農業機械のアクチュエータとして油圧シリンダが用いられている。例えば図1に示すフォークリフトは工場や倉庫などで物品の輸送や保管の際の積みおろし、倉庫での荷役作業を行うための産業車両の一つである。この機体は荷物の下部やパレットに差し込んで持ち上げるフォークとフォークを上昇させるリフトシリンダを備えている。そのリフトシリンダの構成部品のひとつにピストンロッドがあり、ピストンロッド製造工程の一部に、曲がりの測定及び矯正がある。

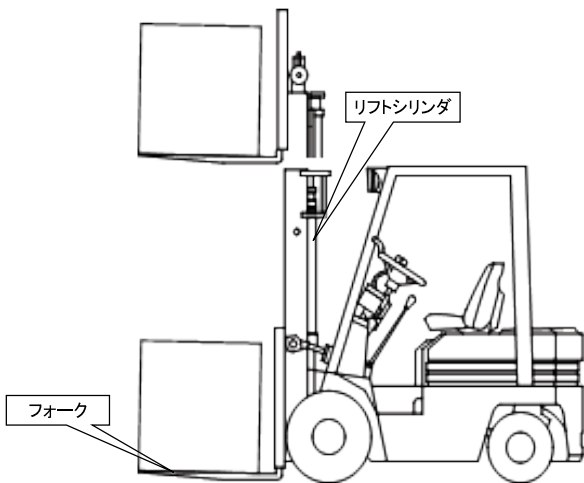


図1 フォークリフト

曲がり矯正工程では図2および図3に示すようにピストンロッドを回転させた時の振れにて曲がりを測定し、曲がりが最大の位置をVブロックで受けて加圧ブロックでワークを押し込み、曲がりを矯正している。ワークを押し込む量は測定した曲がり量より算出している。

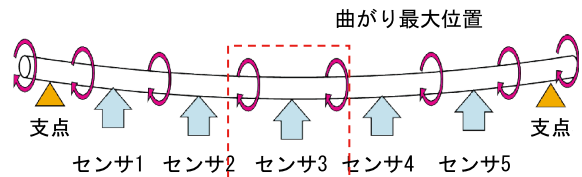


図2 曲がり測定方法

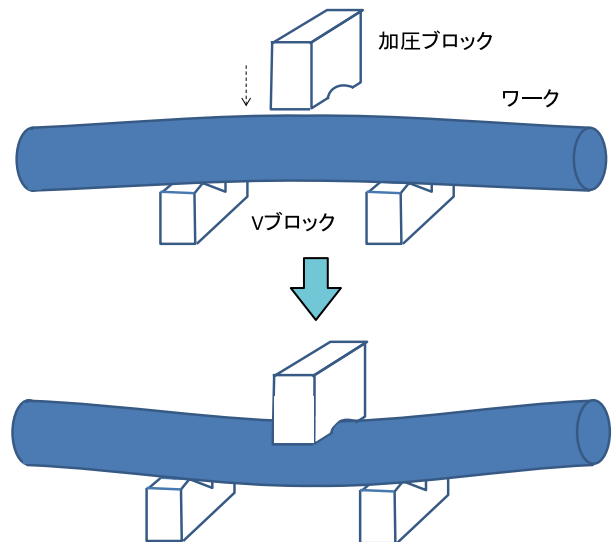


図3 曲がり矯正方法

ただし現状の設備は、曲がりと同時に外形による振れ量も測定している（外形による振れ量の詳細は後述の4.1項にて説明する）ため、真円度の悪い素材が投入されると実際の曲がりが小さくても、設定された矯正アルゴリズムでは曲がりのしきい値を満足せず矯正が完了しないことがある。これにより、矯正工程のサイクルタイム（以下CT）悪化による生産性低下や矯正不良品として廃棄することによる歩留まり悪化の問題がある。

そこで、これらの問題点を解消すべく真円度に影響されない曲がり測定技術を開発し、量産運用に至ったため、その概要について紹介する。

## 2 開発目的・目標

本技術開発の目的は曲がり測定精度向上による生産性向上と歩留まり改善である。そのため、以下の目標を満たす必要がある。

- (1)曲がり測定精度の明確化
- (2)1本当たりの矯正回数：平均10回以下
- (3)矯正不良数：0/20本（曲がりの大きなワーク対象）

## 3 対象製品・対象工程について

リフトシリンダの構造は図4に示す通りであり、以下のような機能を有す。また、ピストンロッドの概略図を図5に示す。

- ①油圧ポートから油が供給されることで、ピストンロッドが伸びてフォークが上昇する。
- ②油圧を開放し、自重にてフォークが下降する。

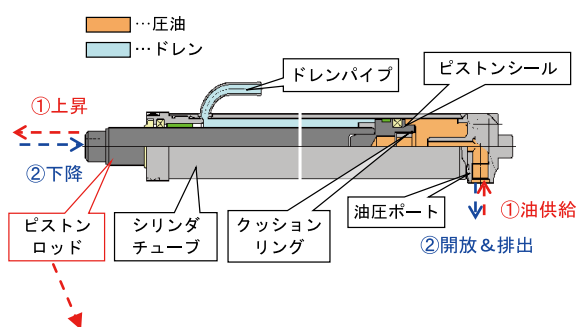


図4 リフトシリンダ構造図

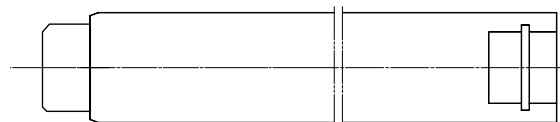


図5 ピストンロッド概略図

ピストンロッド生産工程フローを図6に示す。対象工程である曲がり矯正は、NC加工機におけるワークの振れ防止と切削取り代低減を図るための重要な工程である。なお、本開発の対象であるピストンロッドのサイズは長さL=900~2300mm、外径φ37~52mmである。

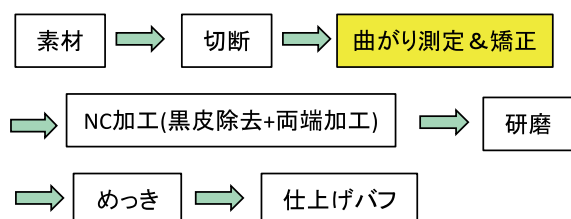


図6 ピストンロッド生産工程フロー

## 4 現状の問題点

### 4.1 曲がり測定精度

ピストンロッド曲がり測定状態を写真1に示す。曲がり測定は1項図2のように、両端の支点の部分をローラで受けてワークを回転させ、各測定位置（センサ1~センサ5）の振れ量を測定する。

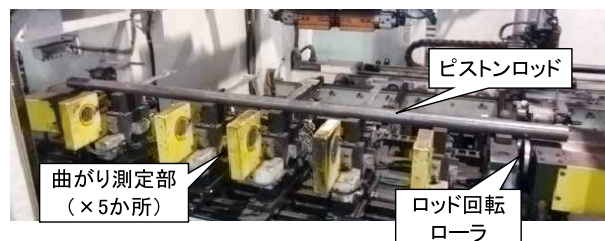


写真1 ピストンロッドと曲がり測定部

この時、図7のように対角上（図でのAとA'、BとB'など）の変位量の差を算出する。その値の最大値を振れ量とし、振れ量の1/2をワークの曲がりとしている。また、図7のように実変位に対してあるレバー比で振れを測定しているため精度に余裕はなく、曲がり測定の高精度化を狙うには振れ測定方法の見直しが必要である。

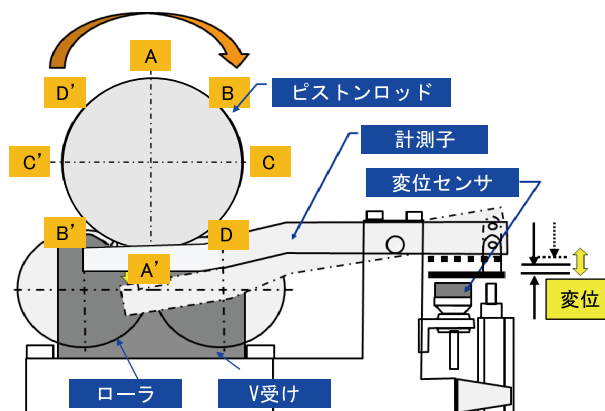


図7 曲がり算出方法

さらに、図8に示すような断面形状が真円ではないワークが投入された場合、真円度形状とワークの上下動による振れ量（以下、外形による振れ量）の両方の値が測定値に含まれ、曲がりを正確に測定できない。つまり真円度が悪い場合、外形による振れ量の影響が大きく、振れ量をしきい値以下とすることが困難となり、矯正が完了しないことがある。

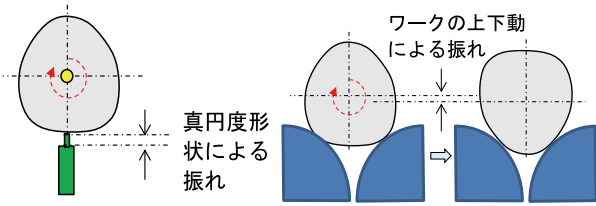


図8 誤差原因となる外形振れ量

#### 4.2 材料変更によるワーク押し込み量不足

曲がり矯正工程では、材料の初期曲がりの大きさに応じてワーク押し込み量を設定し、曲がりを矯正している。現状の曲がり矯正において、初期曲がりが小さいワークに対しては設定される押し込み量で矯正ができています。しかし、初期曲がりの大きなワークに対しては設定されるワーク押し込み量では押し込み量が不足し曲がりを所定のしきい値以下とすることができない、つまりは矯正が完了しないことがある。

### 5 曲がり測定・矯正技術の開発

#### 5.1 曲がり測定技術の開発

##### 5.1.1 振れ測定精度の向上

接触式高精度変位計を採用し、直接振れを測定する構造を採用することで振れ測定精度（仕様上の指示精度） $\pm 0.003\text{mm}$ を確保した。

##### 5.1.2 外形による振れ量の除去

各センサにて測定される振れ量には外形による振れ量が含まれるため、曲がりを正確に測定するためにはこの値を除去する必要がある。そこで、図9のように両側ローラ直近にセンサ0及び6を追加した曲がり測定方法を考案した。センサ0及び6はローラ直近であるため、曲がりによる振れ量がなく外形による振れ量のみを測定できる。この振れ量より外形振れ量を以下のように設定し、各センサにて測定される振れ量より各センサでの曲がりを以下のように算出する。各センサでの曲がりの最大値をワークの曲がりとする。

$$b = (b_0 + b_6) / 2 \quad (1)$$

$$Z_n = (b_n - b) / 2 \quad (2)$$

$b$ : 外形振れ量,  $b_0$ : センサ0の振れ量,  
 $b_6$ : センサ6の振れ量,  $b_n$ : 各センサの振れ量,  
 $Z_n$ : 各センサでの曲がり

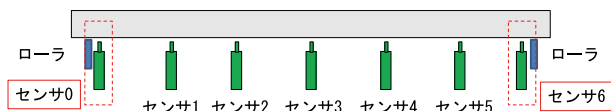


図9 現状の曲がり測定方法

#### 5.1.3 断面形状ねじれの影響の補正

5.1.2項の考えを検証した結果、式(1)および式(2)にて算出した曲がり量と三次元測定機にて測定した曲がり（真値）との間に誤差が発生した。各センサ位置におけるワーク断面形状を確認すると、センサ0とセンサ6の位置における断面形状は図10のようにねじれていることが分かった。このねじれの影響を考慮していない式(1)では、外形振れ量に誤差が発生するため、ねじれを考慮した算出方法を検討した。

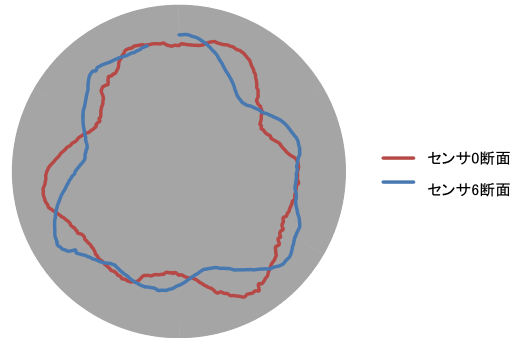


図10 センサ0及び6における断面形状

このねじれは材料メーカーのロール矯正工程にて発生したと推測され、ねじれ量はワークごとに異なるが、各断面におけるねじれ量は距離に比例しほぼ一定の比率でねじれていることを確認した。この特性を利用して、外形振れ量をセンサ0及び6の平均値でなく各センサからの距離の逆比で算出することとした。例えばセンサ1の外形振れ量は以下のようになる。

$$b = \{b_0 \times (L - L_1) / L\} + b_6 \times L_1 / L \quad (3)$$

$L_1$ : センサ1の距離,  $L$ : ワーク全長

#### 5.2 曲がり矯正に関する変更点

曲がり矯正方法は1項図3に示す現行の方式を採用し、測定した曲がり量に対して機種ごとに設定した係数を掛けて算出した押し込み量にて矯正を行う。ただし、初期曲がりが大きなワークでは前述したように、押し込み量が足りず矯正できない場合があったため、初期曲がりの大きなワークについては押し込み量算出設定値を改めて設定した。

### 6 開発結果

#### 6.1 曲がり測定技術の開発結果

曲がり測定実験機を試作し、外径 $\phi 37$ , 42mm, 長さ $L=900$ , 2300mmのワークの曲がりを測定した。この時の曲がり測定精度は表1のようになった。ここでは、真円度測定機及び三次元測定機で測定した

曲がりをワークの曲がりの真値としている。

外形振れ量の算出方式別に測定精度を比較すると、L=900mmでは両方式で大きな差はなかったが、L=2300mmでは差が発生した。これは全長の短いL=900mmでは両端におけるねじれ量が小さく、各センサにおける外形による振れ量の影響が小さかったためである。一方、L=2300mmでは両端のねじれが大きくなり、式(1)では各センサにおける外形による振れ量の誤差が大きくなったことが測定精度悪化の原因である。つまり、式(3)の方が長さ依存することなく測定精度は良好であり、有効な補正方式であるといえる。

表1 曲がり測定精度

全長	外形振れ量	ave[mm]	$\sigma$ [mm]	測定精度 (ave $\pm 3\sigma$ ) [mm]
L=900 [mm]	平均値	-0.007	0.011	$\pm 0.040$
	距離の逆比	-0.008	0.011	$\pm 0.041$
L=2300[mm]	平均値	-0.008	0.024	$\pm 0.080$
	距離の逆比	-0.004	0.013	$\pm 0.043$

また、この測定精度を考慮した曲がりしきい値を設定して矯正を行えば、次工程であるNC工程も特に問題なく加工可能であることを確認した。

以上のことから、真円度に影響されない曲がり測定技術には、5.1項図9に示すセンサ0および6の追加と外形による振れ量を算出し除去する方案が有効であることが明らかになった。

## 6.2 ワーク押し込み量の変更結果

初期曲がり大きなワークに対して矯正ができるよう、押し込み量設定値を変更し矯正を実施した。矯正前後における曲がり量の変化及び矯正回数を図11に示す。図より初期曲がり大きなワークにおいても目標CTに入る矯正回数平均10回以下に対し、平均8.2回で曲がり矯正を完了することができた。

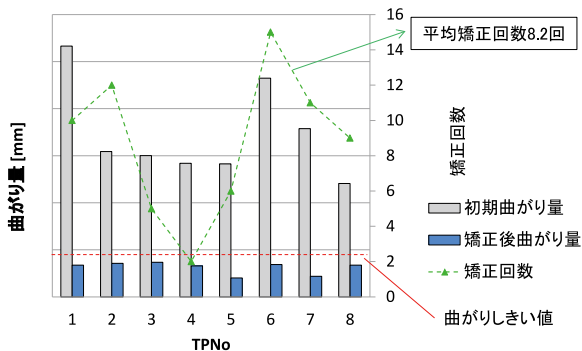


図11 初期曲がりの大きなワークの矯正結果

## 7 量産設備への展開

### 7.1 量産設備の曲がり測定精度

6項の結果を受け、量産設備へセンサの追加及び開発した曲がり測定方式の機能追加をした。センサ追加後の曲がり矯正機は写真2のようにになっている。

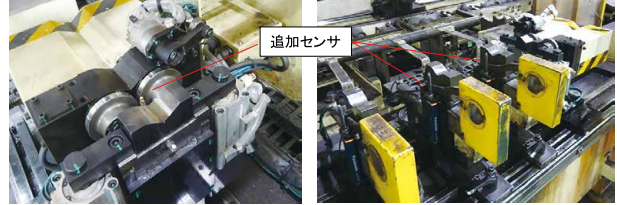


写真2 センサ追加後の曲がり矯正機

量産設備への機能追加後の曲がり測定精度を、表2に示す。

表2 曲がり測定精度

全長	外形振れ量	ave[mm]	$\sigma$ [mm]	測定精度 (ave $\pm 3\sigma$ ) [mm]
L=2300[mm]	距離の逆比	0.005	0.016	$\pm 0.052$

表1の値と比較し、ほぼ同等の測定精度が得られており、真円度などの外形による振れの影響を受けず、曲がりを測定できるようになった。

### 7.2 曲がり矯正工程の評価

量産設備への機能追加後、初期曲がりの大きなワークに対して矯正を実施した。曲がり矯正前後における矯正結果は図12のようになり、矯正不良となったワークは0本であった。また、平均矯正回数は8.95回であり、目標CTに入る矯正回数平均10回以下であった。

以上の結果より、改造前の設備で矯正できなかった真円度の悪いワークや初期曲がりの大きなワークに対しても、曲がりをしきい値以下に矯正できる設備能力が確保できたといえる。

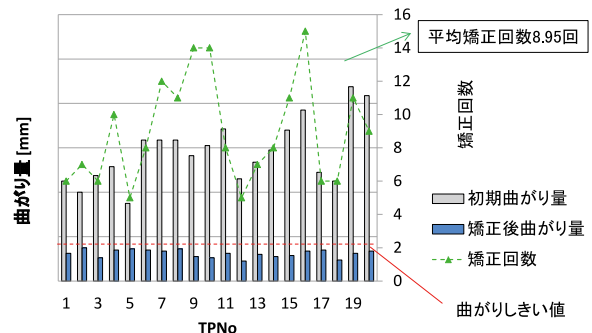


図12 自動曲がり測定及び矯正結果

## 8 結果

- (1)曲がり測定精度を明確にできた。  
曲がり測定精度：真値に対し $\pm 0.052\text{mm}$
- (2)1本当たりの矯正回数：平均8.95回
- (3)矯正不良数：0/20本

## 9 おわりに

真円度の悪いワークや初期曲がりの大きなワークに対応可能な曲がり矯正技術を開発し、量産運用を

開始した。これにより生産性の向上や歩留まりの改善を図ることができた。

今後も生産性向上や低コスト化につながる、様々な検査計測技術開発に取り組んでいきたい。

最後になりましたが、今回の開発、量産運用に至るまでに多大なご支援、ご協力をいただきました社内外関係者各位にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 著者



光尾 崇

2006年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室。検査、計測技術の開発に従事。