

## リングレーザージャイロを用いた ロール平行度アライメント計測

- 高機能ウェブの不良発生を防ぐ予防診断技術 -

(有)ティティエス

テクニカルマネジャー 横野 智明

# CONTRIBUTION

### 1. はじめに

フィルム、不織布、金属箔製造設備など、シート状や糸状の生産物を連続して生産する設備の多くには、ロールが使用されている。

近年、ロール設備は大型化や高速化が進んでおり、それに伴い、より精度の高い設備据付が要求されてきている。また、製品そのものも高機能化が進んでいるため製造工程がより繊細なものとなり、わずかな据付のエラーが製品品質に大きな影響を与えるようになってきている。

設備の据付精度を確認するパラメータの1つに、各ロールの平行度（垂直方向の平行度「レベル」と水平方向の平行度「ラインに対する直交・直角・平行」）がある。ロールの平行度が悪いと、一般に以下に挙げられる問題の一因になると言われている。

#### (1) 製品が蛇行する

製品が蛇行すると、①運転速度を設計値通り上げられない。②蛇行調整装置があるが、その調整範囲を超えてしまう場合がある。③巻取ユニット関係の平行度が悪いと巻取が上手くいかない。④スリッターで不良品が出やすくなる、等の問題に結びついている。

#### (2) シワや絞り・破れ（破断）

蛇行にも関連するが、ロール平行度の不良が製品にシワや絞り・破れなどが生じる一因となり得る。シワや絞りなどが大きいと、状況によっては製品1ロットが不良品となる場合もある。また、製品

が破断した場合は、生産を一時停止して復旧するなど、生産機会損失も発生する。

#### (3) 品質の低下

ロール平行度不良により、生産物の厚みムラ・偏りなどの品質に影響が出る要因となり得る。

#### (4) 設備の寿命低下

ロール平行度が、設備や用具、あるいはロールそのものの寿命にも影響するというデータもある。

勿論、ロールの平行度を完全にすることで、上記の問題点がすべて解決されるとは限らない。しかしながら、平行度を完全なものとするすることで、上記問題が解消された事例も多く、また、平行度以外に真の原因がある場合は、平行度の問題を除外できることで、真の原因特定が早急になしえた事例もある。したがって、ロール平行度の精度を良くすることは、現在の生産活動において非常に重要であり、今後、ますますその重要度が増していくことが想定される。

### 2. 従来のロール平行度計測技術とその問題点

従来のロールの平行度計測には、テープゲージ（メジャーテープ）や下げ振り、光学式機器としてセオドライト・トランシット、あるいはレーザー光線を使ったシステムが用いられていた。

テープゲージの場合、熟練者が計測すれば近接するロールは比較的精度よく計測できるが、ロール間の距離が離れたり、障害物が存在したりすると、高精度

の計測結果は望めない。また、下げ振りを使用する場合でも、フロアの違うロールの測定をする場合などは、下げ振りを垂らすために干渉物の撤去・足場組みなどが必要になる。ライン上に水糸が張れないケースは、干渉物の撤去やライン脇へ仮ベンチの作成が必要になるし、付近にベンチマークがないケースなどは、離れた基準点より仮ベンチを作成する必要がある。

セオドライトやトランシットなどの場合も、正確に数値を読み取るためには習熟が必要であり、かつ、個人誤差が生じる可能性もある。さらに、実際の設備にはロール以外に多数の付帯設備が存在するため、それが障害物となり、すべてのロール平行度を直接計測できない。そのためベンチマークを移しながらの計測になるが、ベンチマークを移す際にも誤差が生じる可能性があり、しかも設備全体の計測には何度もセッティングを実施するため、膨大な時間を要する。さらに、計測器とターゲット間の温度変化の影響も受けるため（光の屈折）、運転停止直後のドライヤーパートのロール計測などには注意が必要である。

### 3. リングレーザージャイロを用いた新しいロール平行度計測システム「バラライン」

先述のように、ロールの平行度調整は非常に重要であるが、その計測技術には課題も多かった。この度、そうした課題をクリアし、ロールの平行度を高精度か



写真1 パラライン計測器

つスピーディに計測するシステムとして、ドイツのプルーフテック社により、新ロール平行度計測システム“PARALIGN（パラライン）”が開発された。日本においては、(有)ティティエスが、そのシステムを使用した計測サービスの独占契約を締結し、サービスを提供している。

このシステムには、宇宙・航空工学で利用されているリングレーザージャイロが内蔵されており、その精度はスペースシャトルや航空機などに使用されているものと同等で非常に高精度であり、同シ

ステムにおける解像度は $4\mu\text{m}/\text{m}$ である。また、計測に必要なものは、計測器本体（写真1）とデータロガーとなるノートPCのみで、現場でも機動力がある。

リングレーザージャイロ（図1）は、基本原理としてサニャック効果を利用しており、光路中を進む光の速度が光路の運動に関係なく一定であることから、光路（この場合ジャイロ）の動きによって光路の長さが変わったかのように見え、干渉が生じる現象を利用している。

パララインには、そのリングレーザージャイロが3つ、互いに直交するように内蔵されており、それぞれロール（Roll）・ピッチ（Pitch）・ヨー（Yaw）量を計測している（図2）。

実際のロール計測では、ロール表面をパララインで滑らせる（あるいはロールに固定しロールを回転させる）ように計測し（スウィープ計測、図3）、計測中のロール・ピッチ・ヨーの変化量から、ロールの回転軸を算出する。

この全く新しい概念で開発されたパラ

ラインの優れた特徴としては、下記の項目が挙げられる。

①ロール間の距離は問題にならない。距離が離れていても、ロールの設置されているフロア

や部屋が変わっても計測可能（ロール同士が直接見えなくても問題なし）。

②1度に水平・垂直方向の偏角を同時に計測できる。

③ロールにアクセスできれば1本1〜5分で測定可能。

④テフロンシートをロール表面に貼り付けることで傷を防止できる。

⑤最小直径80mmのロールまで計測可能。

⑥ロール間の距離に関係なく、すべてのロールに対して計測精度は $\pm 0.05\text{mm}/\text{m}$ （分解能は $4\mu\text{m}/\text{m}$ ）。

⑦計測後、即座にレポート提出が可能。

#### 4. パララインによる計測手順

次に、実際の計測手順を紹介する。

##### (1)リファレンスプレートの設置

リングレーザージャイロを用いたシステムは、宇宙空間に対しての変位量を計測する。言い換えれば、地球上にて計測器を使用した場合は、地球の自転の影響を受ける（地球の自転量が計測値に含まれる）。実際にロールの平行度を評価する場合には、地球の自転を考慮する必要がないため、測定値の補正が必要となる。このシステムによる計測では、測定精度を維持するため、20分毎に地球の自転を計測する（5分間）。地球の自転計測はリファレンスプレートの上で実施される。リファレンスプレートは、基準と

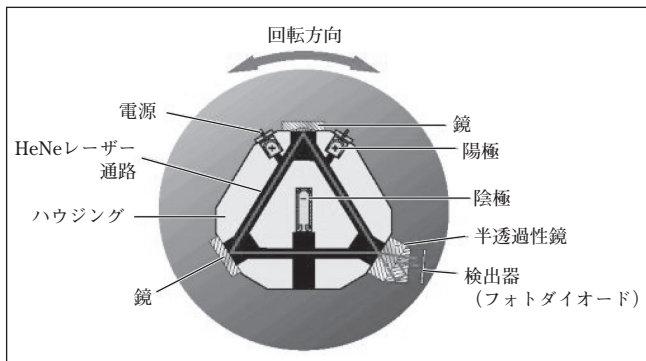


図1 パラライン計測器のリングレーザージャイロの構造



図2 リングレーザージャイロの配置

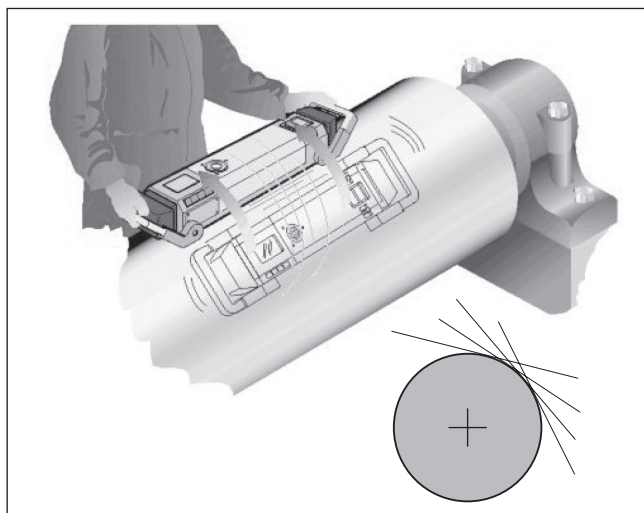


図3 スウィープ計測





写真2 リファレンスプレート

なるロールに対し、平行になるように設置される(写真2)。地球の自転量(理論値)は、15.041deg/hであり、パララインによる計測で、理論値±0.01deg/hに収まっていれば、キャリブレーションは完了となる。

## (2)ロール計測

キャリブレーションが完了すると、各測定対象ロールを順に計測していく。計測(写真3)は、先述のスイープ計測モードで、20°以上の範囲を計測できれば高精度の結果が得られる。測定したデータは、BluetoothによりノートPCに即座に転送される。計測に必要な時間は、ロール1本当たり1~5分と、従来技術と比較し圧倒的な時間短縮が見込める。

フィルム(機能性フィルム等を含む)製造設備の場合、比較的ロールが近接して多数設置されていることもあり、アクセスの容易さにもよるが、実績では70~130本/日の計測が可能である。不織布の製造設備でも、40~80本/日、アルミ薄板の製造設備などでも100本/日程



写真3 パラライン計測器による実際の測定風景

度の測定実績がある。

なお、計測中の手ぶれ等はソフトウェアによりフィルタリングされるとともに、ロールそのものの表面の粗さ・変形なども、スイープエラーパラメータにより確認できるため、非常に精度の高いアウトプットが得

られる。

また、クラウンがついたロールや長尺物のロールについても、それに対応した測定手順が設定されており対応可能である。

## (3)アウトプット

測定が完了すると、即座に結果が表示される。表示はサイドビューで視覚的に表示されるとともに、修正量などを記載した結果リストも提供される(図4)。サイドビューは、設備を操作側から見たイメージとなっており、図中の墨の濃度の濃い円(通常は赤)が駆動側、薄い円(通常は緑)が操作側となり、基準ロールに対するズレ量が大きいほど、濃い円の部分が多く見えるようになる。結果リストはエクセルデータで提供され、各ロールの軸受け間距離を入力することで、正確な修正量を把握することができる。

また、平行度を見るベースとなる基準

ロールはソフト上で任意に設定でき、基準ロールを変えた場合の、設備全体のロール平行度のバランスなども、容易に確認できる(図5)。

## 5. パラライン適用事例

国内ではフィルム製造設備・不織布製造設備、金属薄板表面処理設備・製紙設備などでは既に多くの実績がある。

導入の目的としては、蛇行や品質不良(シワや絞りなど)の原因調査など、現状問題として発覚しているものの調査目的が多く、次いで現状の据付状況の全体像の把握、生産スピードアップのための精度向上、ロール交換時 間の短縮などの目的が挙げられる。

導入効果として、例えば蛇行原因調査を目的として導入されたお客様のうち、82%は導入・修正後に蛇行が改善されており(残り18%のお客様は診断後未修正あるいは効果を定量的に把握されていない)、非常に短時間で精度の高い計測が可能であると好評を得ている。

以下にいくつかの具体的な適用事例を紹介する。

### (1)化学：高性能フィルム・シート製造設備

設備の生産性向上のためにスピードアップが図られたが、現状よりスピードを上げると蛇行や品質不良が発生するため速度を上げられずにいた。今回、設備

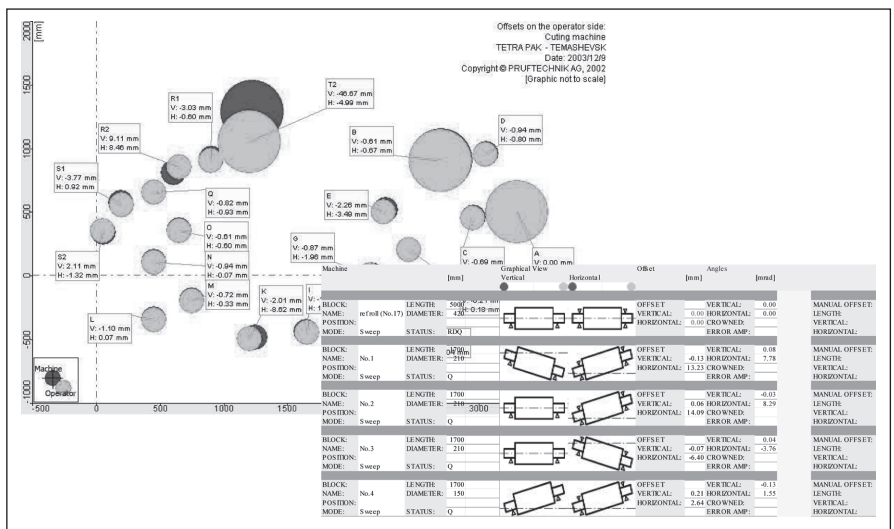


図4 測定結果のアウトプットの一例

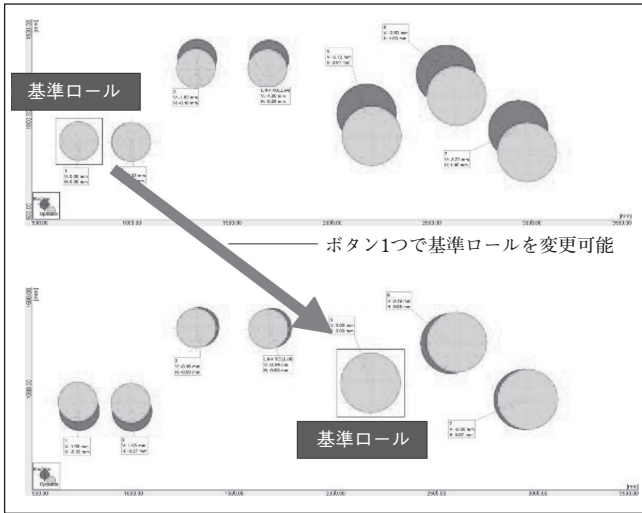


図5 基準ロールの変更

の一部を改良するとともに、問題の発生していた区間のロール平行度を、パララインにより測定・修正することで、生産スピードを現状の1.6倍に上げることができた。現在、さらなる生産性向上に向けて、測定範囲の拡大が計画されている。

**(2)金属：金属薄板の表面処理設備**

この設備では慢性的な蛇行が問題となっていた。さらに、様々な品種を製造しているが、薄板で幅広の製品を生産すると、設備のあるセクションで品質不良である絞り（シワ）が発生していた。しかしながら、十分な生産停止時間もとれず過去から継続して発生していた問題であったため、新技術であるパララインが初めて採用された。

結果として、次の効果が確認された。

①慢性的に蛇行問題を抱えていた箇所のロール53本を1日で測定できた。従来技術ではできなかった短い定修時間で多数のロール計測が可能であることを確認できた。

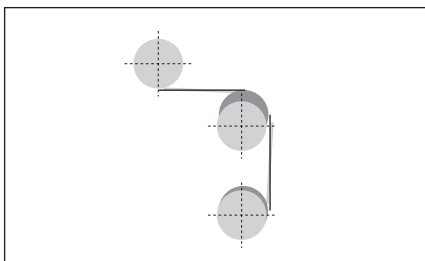


図7 絞り発生区間の修正前のズレ

③絞りが発生していた区間を計測結果に基づき修正をしたところ、絞りの発生はなくなり問題解消できた（図7）。

④製品蛇行傾向と計測結果によるズレの傾向が一致した。結果に基づき修正を実施したところ、蛇行が大幅に軽減し、2年経過後も安定している（図8）。金属薄板設備においては、他のお客様においても、パララインによる測定・修正後に蛇行量が明らかに減少し、かつ蛇行起因の歩留まりも1%改善された事例や、蛇行調整設備の許容ギリギリで運転していたものが、十分その調整範囲内で運転できるようになったなど効果が上がっている。

**(3)化学：不織布製造設備**

シワなどの製品の品質不良が顕著に出していたため、設備全体のロールが計測された。結果として、9mm/m程度のズレが発生しているロールも確認された。この事例では、計測と修正、修正後の再計

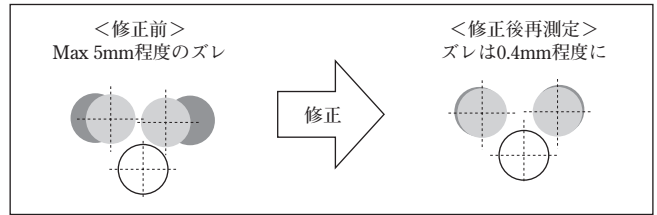


図6 修正前後の確認

測とを併行して行うことで、1日でロールの平行度計測からズレ量の修正まですべてを完了した。その結果、従来法と比較すると、大幅に設備のダウンタイムを短縮することができたとともに、その後の運転で、製品の品質が向上したことが確認された。

測とを併行して行うことで、1日でロールの平行度計測からズレ量の修正まですべてを完了した。その結果、従来法と比較すると、大幅に設備のダウンタイムを短縮することができたとともに、その後の運転で、製品の品質が向上したことが確認された。

**6. おわりに**

先述のように、過去、設備全体のロールの平行度を精度良くかつ包括的に測定する技術がなかったため、問題が発生する度に、製品を見ながら現物合わせでロール平行度を調整してきており、現状全体がどうなっているのか把握できていない事業所が多いと聞く。

現状把握は改善活動の第一歩である。設備の状態を『見える化』し、かつ数値的に押さえて最適な状態にしておくことで、歩留まりや生産物の品質向上に寄与することができ、また、トラブル発生時にも勘に頼ることなく、数値を見て早急に対応できるようになる。

今後、さらに対象アプリケーションを拡大していくとともに、他のレーザー計測技術（平坦度、直進度計測、高精度レベル計測）などと組み合わせ、より意味のある計測サービスパッケージを開発していきたい。

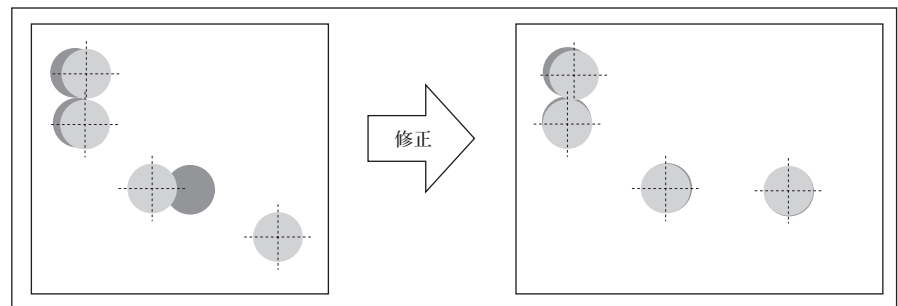


図8 蛇行発生区間の改善