

# 回転速度やその他の要因による ベルト横ずれの基礎的研究

Fundamental Study of Belt Mistracking Affected by Rotation Speed and Other Factors

小林 祐子 戸谷 公紀

■ KOBAYASHI Yuko ■ TOYA Kiminori

最近の製品は搬送速度の高速化が要求されているものの、それに伴うベルト外れの不安があり、速度を含めてベルト横ずれの要因を定量的に把握したいとの要望が強い。

東芝は、有限要素法ソフトとしてのベンチマーク（比較のための指標、基準）を兼ね、機構解析系の市販ソフトウェアを用いて実験と解析の両面から検討を行った。解析結果は定性的に実験結果に近づき、ローラの傾斜、軸方向のずれ、及びベルトのひずみ量を変数としてベルト横ずれ量を算出する実験式を得た。ベルト搬送速度の増大によるベルト横ずれの増加傾向は認められず、この現象に自動車工学を適用し、解析モデルの妥当性を検討した。ベルトひずみ量ではなくローラ軸荷重を一致させた結果、解析と実験の結果は定量的にもおおむね一致した。

Demand for higher-speed rotating products may cause belts to come off their rollers. In order to understand the effect of belt transport speed and other factors that may cause belt mistracking, Toshiba has begun by examining belt mistracking for a basic belt conveyor system, consisting of one flat belt and two crown-face rollers, by experimentation and simulation. Simulations were conducted using a commercial motion system analysis software. Another purpose of our study was to obtain simulation technology for flexible sheet-type media.

It was found that the qualitative tendencies of the simulation results were in good agreement with the experimental results. We also formulated an experimental expression of the amount of belt mistracking using roller misalignment parameters. With regard to transport speed, higher speed did not increase belt mistracking. This phenomenon was explained by automotive engineering. Quantitatively, when the axial load on rollers and other parameters were made equal, belt mistracking according to the simulation was generally in agreement with the experimental value, confirming the applicability of the analysis model.

## 1 まえがき

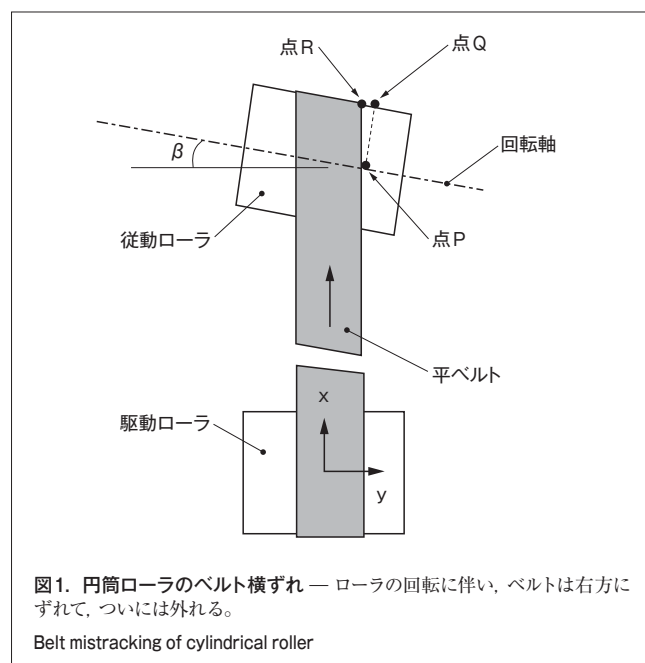
製品開発期間の短縮化の要求に伴い、複写機や現金自動預払機（ATM）などにおけるシート類の搬送解析技術の研究開発が最近盛んに行われている<sup>(1)</sup>。設計・製造部門は、搬送速度の高速化に伴いベルトの横ずれ量が助長されるためベルトが外れないか不安があり、ベルト横ずれ要因を定量的に把握したいと要求している。

そこで東芝は、実機の色度相当におけるベルト横ずれ量の定量的把握、及び機構解析ツールによる解析技術の構築を目的とし、その第一歩として、クラウンローラ（円筒曲面が太鼓のように膨らんだローラ）2個と平ベルト1本からなる系に対して実験及び解析を行った。

ここでは、この実験と解析の結果、及び自動車工学に適用した結果をもとに、解析モデルの有効性を検討した。

## 2 ベルトの横ずれとクラウン効果

円筒ローラが角度 $\beta$ 傾斜した場合を図1に示す。ローラを回転させて平ベルトを図中矢印方向に動かすと、ベルトは右方向にずれ外れる。ベルト上の点Pは点Rではなく、ローラ軸



の回転に合わせて点Qに移動するからである。しかし、クラウンローラにはクラウン効果と呼ばれる自動調心機能が働き、ベルトが端のほうに寄っていても回転中に中央に復帰する<sup>(2)</sup>。

### 3 クラウン効果の実験と結果

実験装置は、平ベルト1本とクラウンローラ2個から構成されている(図2)。実験はまず、ローラ間距離Lを設定し、ベルトに張力を与える。ベルト内周長が1%伸長した場合、ベルトひずみ量1%とする。次に、従動ローラの重心を中心としてz軸回りの傾斜(面内傾斜 $\beta$ )、x軸回りの傾斜(面外傾斜 $a$ )、従動ローラの初期平行ずれSなどのミスアライメントを与える。

次に図中の矢印方向にローラを回転させる。ベルトが動くときy軸方向に横ずれしていくが、クラウン効果が働くためベルトの横ずれは収まる。この量をベルト横ずれ量Yとし、非接触式のセンサで測定する。

実験の結果、 $\beta$ 及び $a$ とYは原点を通る直線関係がある(図3)。Yは、 $\beta$ と $a$ 、ベルトのひずみ量 $\varepsilon$ 、Sの関数として実験式で表すことができる。ローラのクラウン量<sup>(注1)</sup>Hとベルト

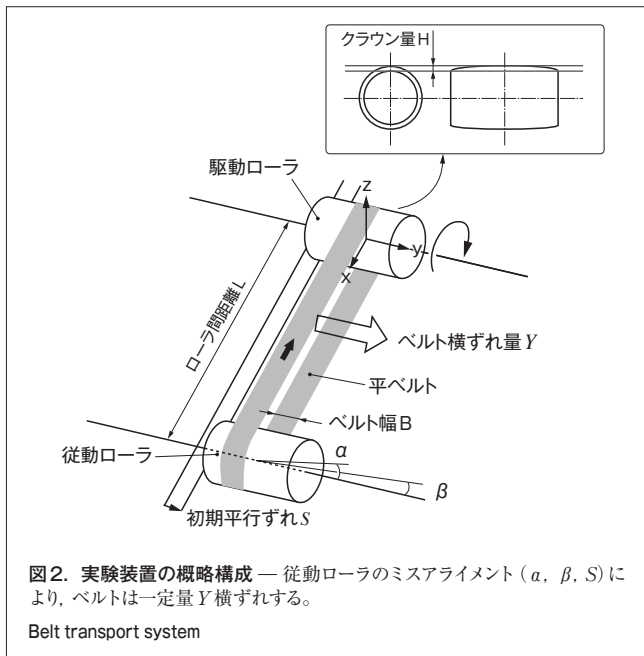


図2. 実験装置の概略構成 — 従動ローラのミスアライメント( $a$ ,  $\beta$ , S)により、ベルトは一定量Y横ずれする。

Belt transport system

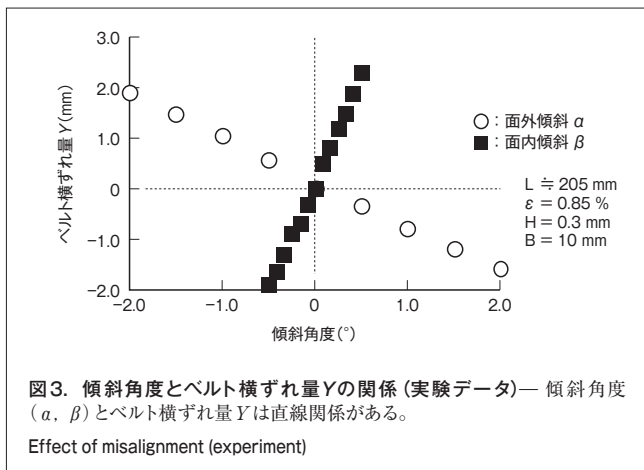


図3. 傾斜角度とベルト横ずれ量Yの関係(実験データ) — 傾斜角度( $a$ ,  $\beta$ )とベルト横ずれ量Yは直線関係がある。

Effect of misalignment (experiment)

幅Bに依存する定数をK1及びK2, K3, K4とすると次式(1)で表される。

$$Y = -(K1 \times \varepsilon + K2) \times a + (K3 \times \varepsilon + K4) \times \beta + 0.5 \times S \quad (1)$$

次にローラの回転速度Vを変化させた結果を図4に示す。低速(1 m/s以下)ほどベルト横ずれ量が若干大きくなり、速度が大きくなるとベルト横ずれ量はほぼ一定となる。すなわち、高速(10 m/s程度)になってもベルト横ずれ量が大きくならなかった。この現象については4章で述べる。

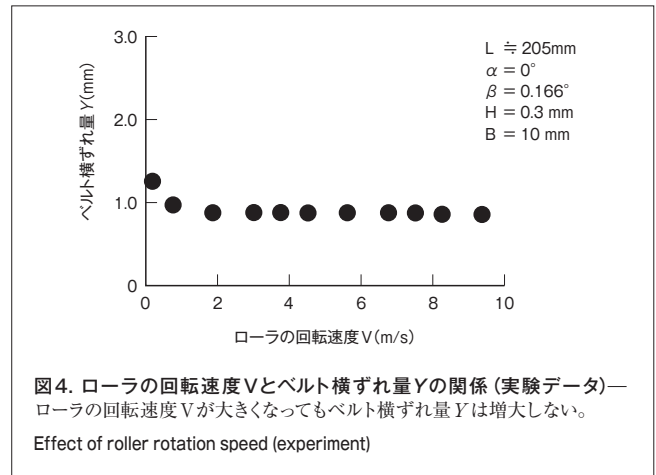


図4. ローラの回転速度Vとベルト横ずれ量Yの関係(実験データ) — ローラの回転速度Vが大きくなってもベルト横ずれ量Yは増大しない。

Effect of roller rotation speed (experiment)

### 4 ベルト横ずれの解析と結果

#### 4.1 解析モデル

解析は市販の機構解析ソフトウェアを利用し、用いた系は図2と同様である。クラウンローラは剛体とし、ベルトは剛体要素をばねとダンパにより連結したモデルとした。ベルト幅方向の分割はあらかじめ精度と解析時間を考慮して、3分割とした。ベルト搬送方向はローラ半周に1列10個のベルト要素が接触するようにした。ベルト張力は実験同様にベルトひずみ量で設定した。

解析パラメータは、ローラの回転速度V及び面内傾斜 $\beta$ 、面外傾斜 $a$ 、ローラのクラウン量H、ローラ間距離L、ベルトひずみ量 $\varepsilon$ 、ベルト幅B、ベルト厚さt、ベルトのヤング率E、ローラとベルト間の摩擦係数 $\mu$ 、ベルトのポアソン比 $\nu$ とし、各条件下におけるベルト横ずれ量Yを評価値とした。

#### 4.2 解析結果

解析でも実験結果と同様、 $\beta$ 及び $a$ とYは原点を通る直線関係があった(図5)。

次に、VとYの関係のシミュレーション結果を図6に示す。この結果は、パラメータが実験系とは異なっているので定量的には比較できないが、定性的傾向は一致している。

(注1) ローラの膨らみ度。

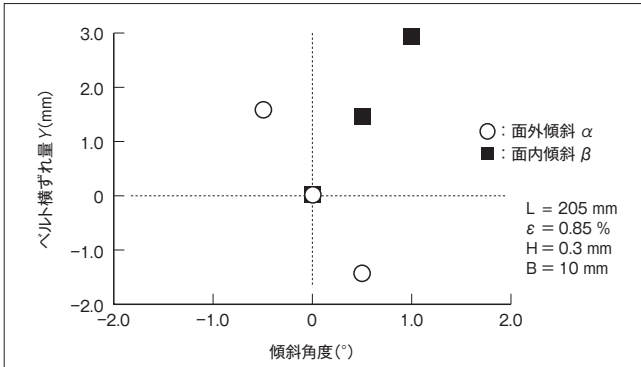


図5. 傾斜角度とベルト横ずれ量Yの関係(解析データ)—傾斜角度(α, β)とベルト横ずれ量Yは直線関係があり、実験結果と定性的傾向が一致する。

Effect of misalignment (simulation)

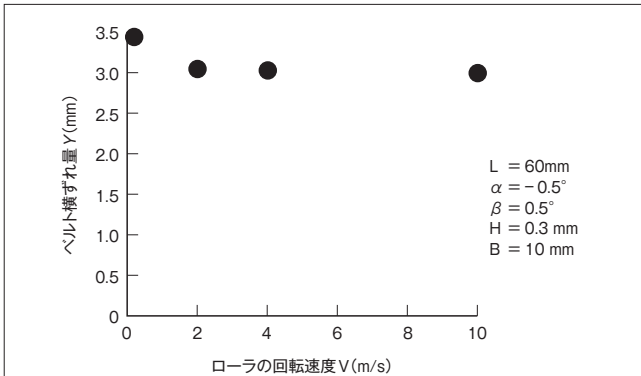


図6. ローラの回転速度Vとベルト横ずれ量Yの関係(解析データ)—ローラの回転速度Vが大きくなってもベルト横ずれ量Yは増大せず、実験結果と定性的に一致した。

Effect of roller rotation speed (simulation)

次に解析パラメータ10種類(速度は2 m/sで統一)に対して、3水準10因子の27直交表によりシミュレーションを実施した。ベルト横ずれ量の要因効果図を図7に示す。横軸は制御因子(パラメータとその値)を、縦軸はSN比(ベルト横ずれ量Yの感度)を示す。この要因効果図からβ, αがベルト横ずれ量にもっとも影響を与えることがわかった。ベルト横ずれ量の低減には、Hを大きく、Lを長く、Bを広くすることが有効である。

## 5 自動車工学の適用

### 5.1 速度依存性に関する考察

円筒ローラにおけるベルト横ずれの発生原因は、ミスアライメント角度に比例する力と転がりサイドスリップ(横滑り)から生じるスラスト摩擦力<sup>(注2)</sup>の和である<sup>(3)</sup>。この摩擦力は自動車がカーブを曲がる時のスリップ角 $a_f$ に比例し(図8)、速度に依存する。スリップ角 $a_f$ は、すべり角β(車両の姿勢方向と進行方向の成す角度)、重心の並進速度 $V_f$ とヨーレート $r$ (車両姿勢のz軸回りの角速度)、前輪実舵角(だかく)  $\delta_f$ 、車体重心と前輪重心間の距離 $l_f$ を用いて次式(2)で表される。

$$a_f = \beta + r \cdot l_f / V_f - \delta_f \quad (2)$$

(2)式で重心の並進速度 $V_f$ は分母に現れる。したがってベルト横ずれ量は、重心の並進速度 $V_f$ に相当するローラの回転速度Vが速くなると、増大せずに一定値に漸近する現象となる。

(注2) 自動車で幾何学的中心線と進行線(自動車の進んで行く方向)に角度差がある場合に発生する摩擦力。

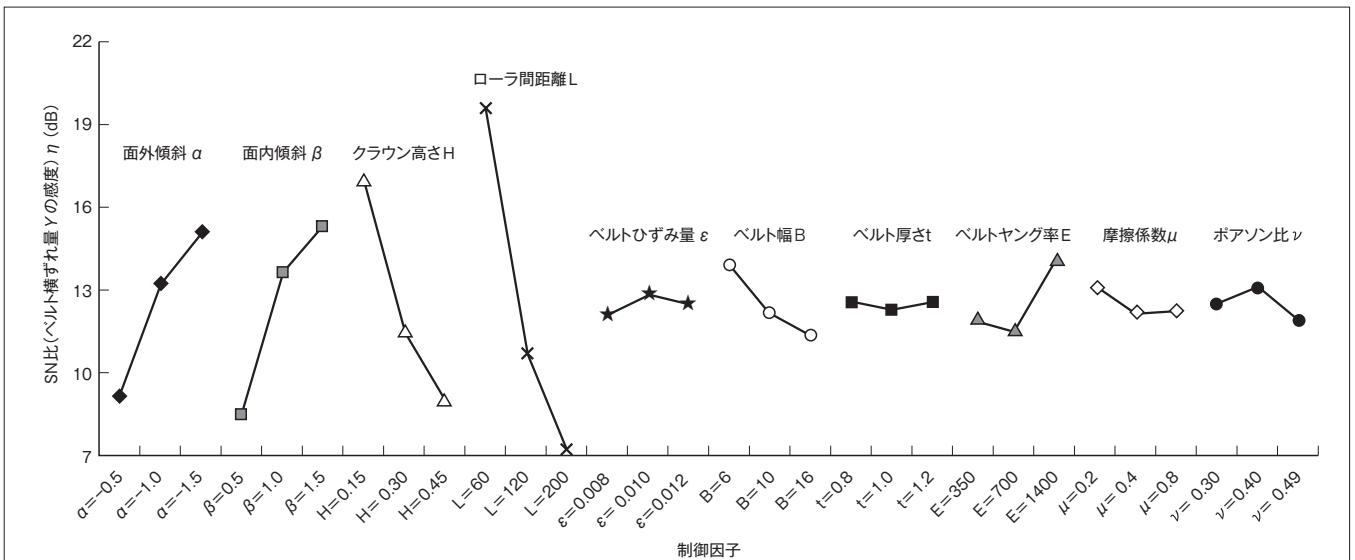
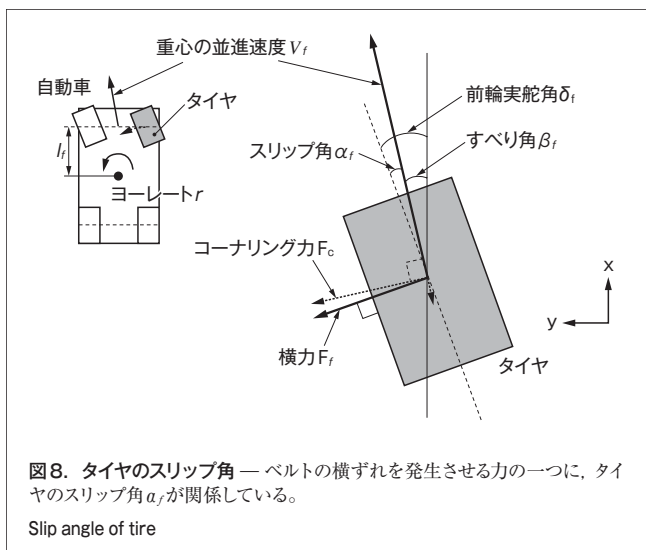


図7. ベルト横ずれ量Yの要因効果図(解析データ)—ベルトの横ずれ量Yを低減するにはローラの傾斜を小さくし、クラウン高さHやローラ間距離L、ベルト幅Bを大きくすると良い。

Factorial effect of parameters (simulation)



### 5.2 解析モデルの妥当性

この解析モデルの妥当性を検討する。ベルトひずみ量  $\varepsilon = 1.0\%$ 、面内傾斜  $\beta = 0.5^\circ$ 、面外傾斜  $\alpha = 0.0^\circ$  では実験のベルト横ずれ量に対して解析結果は50%程度であった。ベルトひずみ量を一致させ、解析でカタログ値の“ベルトひずみ量1.0%のとき、ローラ軸荷重147 N”を基にヤング率Eを与えたが、軸荷重は98 Nと小さかった。一方、実験装置の軸荷重を間接的に測定した結果235 Nと大きかった。ローラ間距離の微小変化によりローラ軸荷重は大きく変化するため、誤差が大きくなった可能性がある。

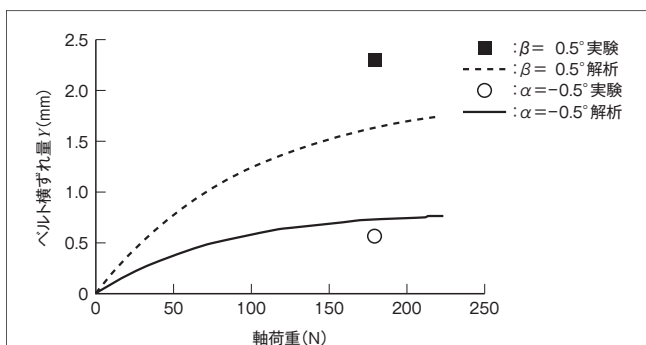


図9. 軸荷重とベルト横ずれ量Yの関係(実験データと解析データ)—ベルト張力をひずみ量ではなく軸荷重で管理した場合、実験と解析は定量的傾向がおおむね一致した。

Relation of axial load and belt sliding distance

そこで、軸荷重を一致させた結果、 $\beta = 0.5^\circ \alpha = 0.0^\circ$  では実験結果に対して解析結果は約70%、 $\alpha = -0.5^\circ \beta = 0.0^\circ$  の実験結果に対して解析結果は約126%となり、定量的傾向がおおむね一致した(図9)。

## 6 あとがき

クラウンローラと平ベルトから成る搬送系に対して、機構解析ツールによる解析を行った。ベルト横ずれ量は定量的に実験結果に近づき、解析パラメータ10個の影響度が把握できた。自動車工学的に、高速化によるベルト横ずれ量の増大はないことが判明した。ベルトひずみ量ではなくローラ軸荷重を一致させた結果、定量的にも実験結果とおおむね一致し、この解析モデルの有効性が明確になった。引き続き解析技術の構築を行っていく。

## 文献

- (1) 矢鍋重夫, ほか. ベルトのスキューに関する研究日本機械学会論文集C編. 67, 658, 2001, p.1749 - 1755.
- (2) 栗田康史. 紙送り機構の設計とトラブル対策(I), 第7章 紙送り機構における材料特性～ベルト～. (株)トリケップス, 1986, 195p.
- (3) 大窪和也, ほか. “平ベルト駆動における最適クラウン高さに関する一考察”. No.98-37 日本機械学会-第7回交通・物流部門大会講演論文集. 川崎市, 1998-12, 日本機械学会, 1998, p.147 - 150.



小林 祐子 KOBAYASHI Yuko

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主務。  
柔軟媒体搬送技術の研究・開発に従事。日本機械学会会員。  
Mechanical Systems Lab.



戸谷 公紀 TOYA Kiminori

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。  
柔軟媒体搬送技術の研究・開発とアクチュエータの開発に従事。日本機械学会会員。  
Mechanical Systems Lab.