ローラ搬送されるフィルムのスキューおよび
しわ発生シミュレーション*矢 鍋 重 夫^{*1}, 猪 股 和 博^{*2}Simulation on Skew and Folded Wrinkle of Film Transferred by
Misaligned RollerShigeo YANABE^{*3} and Kazuhiro INOMATA^{*3} Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology,
1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

Various kinds of films and tapes are produced and widely used in many industrial fields. In order to raise productivity, both speed-up of line velocity and widening film width are highly requested. However, many technical problems occur in film production lines. The problems are skew, wrinkles, winding distortions, and so on. In this study, motion and deformation of a film which is transferred by four rollers including a misaligned roller are simulated by FEM software, in order to clarify characteristics of film skew and wrinkle occurrence and effects of main parameters on these characteristics. The simulation results show that the film skews to the direction in which the roller distance decreases and the film approaches a certain position, when the movement of film width direction is constrained. While, it continues to skew to the opposite direction when the constraint is removed. The skew becomes larger as the width, thickness, Young's modulus of the film or the misaligned roller angle increases or as the roller diameter or roller distance decreases. A wavy wrinkle (trough) of the film due to misaligned roller runs on to the roller, and the width of the wrinkle becomes smaller because of the difference of the skew velocities of the two film areas separated by the wrinkle on the roller, and finally it becomes a folded wrinkle. Decreasing the friction force suppresses the folded wrinkles.

Key Words: Finite Element Method, Simulation, Friction, Film, Roller, Skew, Wrinkle, Misalignment

1. 結 言

現在, 光学フィルム, 機能性フィルム, 包装用フィルム, 磁気テープ類など, 様々なフィルムが大量に生産され, 多くの用途に用いられている。生産性向上のため, 装置の高速化やフィルムの広幅化などが図られているが, フィルムの製造現場では, フィルムの巻出し, 搬送, 切断, 巻取りの過程で様々な技術的課題が生じている。ローラ搬送されるフィルムのスキュー(蛇行, side walk)や折れしわ, 巻取り時のフィルムの巻きずれや巻きしわはその代表例である。フィルムはその搬送中の扱いから, 連続紙や布などと同様にウェブ(web)と呼ばれることも多い。

ローラ搬送されるウェブのしわに関しては Good ら⁽¹⁾の研究がある。彼らは, 薄いプラスチックフィルムを用いた実験から, 折れしわ発生に関するローラ偏角〜張力マップを作成し, 2 種類のしわ発生様式がある

こと, また, 2 種類のしわは, ①ローラ偏角によりウェブに加わるせん断荷重が, 張力を受けるウェブの幅方向座屈荷重より大きくなる場合, ②ローラに巻きついたウェブに作用するローラ軸方向の摩擦力(張力に比例)が, このウェブの幅方向座屈荷重より大きくなる場合, に生じることを示した。橋本⁽²⁾は, ベルト状にした新聞用紙やコート紙を用いて上記実験を追試し, 実験結果が紙のヤング率の異方性を考慮して①, ②の座屈荷重を計算した結果とよく一致することを示した。小林⁽³⁾は, FEM 解析ソフトにより, 静止しているウェブ・ローラ系に適当な境界条件を与えてローラ偏角による波しわ発生状態を計算した。その中で, ウェブスパンが長い場合, ローラ付近に圧縮力が集中することを示し, これが折れしわに発展すると思われること述べている。

一方, 筆者らのひとはこれまで, 偏角をもつ 2 本のローラとベルトからなる系が回転する際に生じるベルトのスキューについて, 実験および FEM 構造解析ソフトを用いたシミュレーションを行ってきた^{(4), (5)}。その結果, スキューはベルトがローラに傾いて巻きつき, 両者がほぼ滑らずに回転する結果生じること, ロ

* 原稿受付 2007 年 5 月 1 日。

^{*1} 正員, フェロー, 長岡技術科学大学機械系 (〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)。^{*2} 長岡技術科学大学大学院。

E-mail: yanabe@mech.nagaokaut.ac.jp

ーラ偏角, ローラ径, ベルト張力, 摩擦係数が大きいほど, また, ベルト幅が小さいほど, スキューが大きくなること, 付加ローラをベルト緩み側スパン中央に設置してスキューを低減できることなどを明らかにしてきた. また, ゴムローラ搬送されるカット紙のスキューシミュレーション⁽⁶⁾も行っている. 谷本ら⁽⁷⁾は, ベルト・ローラ系のしわ発生や幅方向移動量(スキュー)に関して, 理論解析・数値解析を行い, 前者については, ローラ上のベルトに幅方向中央部に向く摩擦力を加えると, ベルトのフリースパンに波しわが発生すること, 後者の定常的なスキューに対して, ローラ偏角や摩擦係数が大きいと, また, ローラクラウン半径が小さいと, スキューが大きくなることを示した.

ローラ間を走行するエンドレスなベルトとローラ搬送されるフィルムでは, 変形形状やスキュー挙動, しわ発生状況が異なるように思われる.

そこで本研究は, ローラ搬送されるフィルムのスキューや折れしわ発生過程をシミュレーションする方法を構築し, フィルムの境界条件や各種パラメータ(ローラの偏角・配置・直径, フィルムの物性値・寸法・張力, フィルム・ローラ間の摩擦力など)がこうした現象に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする. シミュレーションの結果, フィルムの幅方向の境界条件の違いによりスキュー挙動がかなり異なること, 摩擦係数が大きいと, ローラ偏角による波しわがローラに乗り上げて折れしわになりやすいことなどが得られたので, 以下に報告する.

Fig.1 FEM simulation model

Table 1 Simulation reference parameters

β [deg]	W [mm]	L [mm]	h [mm]	t [mm]	E [MPa]	ν	D [mm]	P [N]	B [deg]	μ	V [mm/s]	C [mm/s]
5	20	60	15	0.01	0.1	0.1	10	4.2e-4	90	5	2.62	1

2. シミュレーションのモデルおよび方法

2.1 シミュレーションモデル 図1(a),(b)に示すように, 直径 $D=10\text{mm}$ の4本の平行円筒ローラと, 長さ 1m , 幅 $W=20\text{mm}$, 厚さ $t=0.01\text{mm}$ のフィルムからなるフィルム搬送系を考える. 1本のローラに偏角 β を与えてフィルムを搬送した場合のフィルムのスキューおよびしわ発生過程をFEM汎用解析ソフト Marc を用いてシミュレーションした. 座標系 O-XYZ は図示した通りで, フィルム搬送方向, 幅方向をそれぞれ, X, Z 軸方向としている. フィルムは4節点膜要素で分割し, メッシュサイズは, スキュー解析の場合 $1 \times 5\text{mm}$ (全4,000要素), しわ解析の場合 $1 \times 1\text{mm}$ (全20,000要素)とした. ローラは, 下流側から, 駆動ローラ, 偏角ローラ, 従動ローラ2, 従動ローラ1とし, これらはすべて剛体円筒で, 駆動ローラ以外は負荷が作用せず自由回転とした. 本シミュレーションで用いた摩擦力 F の特性は, 摩擦係数 μ , 押し付け力 Q , すべり速度 V_r , 基準すべり速度 C として, 式(1)および図2で表される. 本スキュー解析では $C=1$, しわ解析では $C=0.05$ としているが, これは, 前者では C を大きくして摩擦力が小さくなるように(スキューしやすいように), 後者では C を小さくして摩擦力を大きくする(しわが発生しやすいように)配慮したためである.

$$F = \mu Q \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{V_r}{C} \quad (1)$$

2.2 シミュレーション方法 シミュレーションの手順を以下に示す. ①2次元モデルをZ方向に押し出して, 4本の平行なローラおよびフィルムを, 図1(b)のように作成する(初期状態). フィルムの両端のすべての節点に等しい荷重をX軸方向に加えて, フィルムに張力 P を加える. ②偏角ローラをY軸まわりに角度 β 傾ける. 必要に応じて, フィルムの両端や側端の幅(Z軸)方向および面外(Y軸)方向の変位を拘束

Fig.2 Correction coulomb friction model

 Fig. 3 Definition of skew S and incident angle ε

したのち、駆動ローラを周速 V で強制回転させ、フィルムを搬送する。搬送距離は、スキュー解析の場合、754mm (駆動ローラ 24 回転分、計算時間約 22 時間)、しわ解析の場合 220mm (駆動ローラ約 7 回転分、計算時間約 18 時間) とした。シミュレーションに用いたパラメータの基準値を表 1 に示す。③シミュレーション結果から、偏角ローラおよび従動ローラ 2 におけるフィルムのスキュー量 S (フィルム中心のローラ軸方向への移動量 S_D, S_M 、図 3(a)参照) およびフィルムの各ローラへの進入角 ε (ローラ軸直角方向とフィルム中心線のなす角、 $\varepsilon_D, \varepsilon_M$ 、図 3(b),(c)参照) を読み取り図示する。

3. スキューのシミュレーション結果

3.1 上流側フィルムの幅方向変位を拘束した場合

これは、フィルムの巻き出し部近傍のスキュー挙動を想定している。表 1 に示す基準条件のもと、従動ローラ 1 より上流側のフィルムの幅 (Z 軸) 方向変位を拘束し、その範囲をフィルムの搬送距離により順次変更してシミュレーションを行った。図 4 は、駆動ローラが 24 回転し、スキューが十分定常状態になった時のフィルムの状態を示している。図より、フィルム上流が幅方向に拘束されているため、従動ローラ 1, 2 上では、フィルム中心位置はその初期位置 (水平な破線) とほとんど同じで、スキュー量 S_D や進入角 ε_D はほぼゼロであることがわかる。また、偏角ローラ上では、

 Fig. 4 Film skew and configuration during transfer (Z : constrained, $T=754[\text{mm}]$)

フィルムは上方 ($-Z$ 方向、ローラ間隔が狭くなる方向) へスキューし、フィルム幅 W が 20mm であることを考慮すれば、 $S_M \approx -4\text{mm}$ 、 $\varepsilon_M \approx 0$ であること、両ローラ間でフィルムがゆるやかに湾曲 (曲げ変形) していることがわかる。図 5 は、上記の諸量がフィルム搬送距離 T (=駆動ローラ回転角 $\times$ ローラ半径) に対してどのように変化するかを示している。 S_D は常にほぼゼロ、 S_M はゼロから $-Z$ 方向に移動し、 $S_M \approx -4\text{mm}$ へ漸近する。 ε_M は 4° から急激に減少し、ほぼゼロへ漸近する。

以上のことから、フィルム巻き出し部近傍ではローラに偏角があると、フィルムの幅方向変位はローラ間隔が狭まる方向へある量移動 (スキュー) したのち一定値を保つこと、その値はフィルムが曲げ変形し、偏角ローラへの進入角がほぼゼロになる状態になって定まるものと思われる。

3.2 フィルムの幅方向変位を拘束しない場合

これは、フィルムの自由搬送部におけるスキューを想定しており、表 1 の基準条件でシミュレーションを行った。前掲した図 3(a) は、駆動ローラ 24 回転時のフィルムの状態を示している。図よりフィルム中心線はその初期位置 (水平な破線) より下方 ($+Z$ 方向、ローラ間隔が広がる方向) に移動し、 $S_D \approx 10\text{mm}$ 、 $S_M \approx 5\text{mm}$ であること、 ε_D 、 ε_M は目視ではほぼゼロで、フィルムは両ローラ間でわずかに湾曲していることなどがわかる。図 6 は、上記諸量のフィルム搬送距離 T に対する変化を示している。フィルムの幅方向拘束がない本図の場合、図 5 と比較してスキュー量 S_D 、 S_M の変化が特徴的である。偏角ローラ上では、 $S_M=0$ から最初 $-Z$ 方向にスキューした後、 $+Z$ 方向にスキューする。 S_D 、 S_M は $T=400\text{mm}$ 以降ほぼ同じ傾きで直線的に増加し続ける (定常スキュー)。一方、 ε_D 、 ε_M はほぼ一定の値に漸近する。定常スキューにおいて、 S_D 、 S_M の直線の傾きに相当し、式(2)で表される S_r をここではスキューレートと呼ぶ。

$$S_r = \frac{S}{T} \times 100[\%] \quad (2)$$

ここで、 S :スキュー量、 T :フィルム搬送距離である。本図では、従動ローラ2および偏角ローラ上でのスキューレイトはそれぞれ、 $S_r=1.57, 1.59$ でほぼ同じである。

以上のことから、フィルムの自由搬送部では、ローラに偏角があるとフィルムの幅方向変位(スキュー)はローラ間隔が広がる方向へ増加し続けることがわかる。

3.3 自由搬送部のスキューに及ぼすパラメータの影響 表1の基準条件に対して各種パラメータの値を数通りに変化させて3.2節と同じスキューシミュレーションを行い、これらがスキューレイト S_r に及ぼす影響を調べた。結果を図7,8,9に示す。図7,8の横軸は各パラメータの値を基準条件の値で除したもの、縦軸は S_r で、偏角ローラ上と従動ローラ2上で値がほぼ同じなので平均値を示した。図7より、 S_r は、フィルム幅 W 、厚さ t 、ヤング率 E が大きい程(フィルムの剛性が高くなることを意味する)、大きくなり、ポアソン比 ν には無関係で、 h (図1(b)参照) が大きい程、 S_r は小さくなることわかる。図8より、ローラ偏角 β が大きい程、ローラ径 D 、フィルム張力 P が小さいほど、 S_r は大きくなることわかる。フィルムの巻き付き角 B については S_r の極値が存在する。図9は、摩擦係数 μ と駆動ローラ周速 V の影響を調べたもので、 μ 、 V の一方の値を固定し、他方を変えた場合の S_r の変化を示している。図より他のパラメータとは異

なる特徴を示していることがわかる。例えば、 μ が十分小さいと、 $S_r < 0$ になる。これはローラが滑りやすいと、フィルムは張力によってローラ間隔が狭くなる方向へスキューすることを意味している。 μ が大きいと $S_r > 0$ となり、フィルムは逆方向へスキューする。 μ が十分大きくなると、 S_r が小さくなり、スキューしにくいことがわかる。図より、駆動ローラ周速 V は μ と似た影響を S_r に及ぼすことがわかる。これは V の値によってフィルム・ローラ間の滑り速度 V_r が変わり、式(1)より摩擦力が変化する結果であると思われる。なお、 $\mu=1$ 、 $V=2.62[\text{mm/sec}]$ が基準の値である。以上見たように、各パラメータがフィルムの S_r に及ぼす影響は、これまで明らかにされているベルトの S_r への影響⁽⁴⁾と逆なもの(D, P, W, μ)がほとんどで、フィルムのスキューの特性はベルトのそれとかなり異なるものと考えられる。唯一、ローラ偏角だけが両者の S_r に同じ影響を及ぼす。

3.4 偏角をもつ2本のローラ上の剛体棒のスキューメカニズム 3.2節のフィルムのスキュー(図6)は、図10に示すような偏角をもつ2本のローラ上に置いた剛体棒のスキューとして考えると理解しやすい。棒とローラの接触点では滑りがないとすると、棒は2個所の接触点で各ローラ軸と直角方向に速度ベクトルをもつので、この瞬間、棒は2本のローラ軸の交点を瞬間中心とする回転運動を行う。棒が水平の状態を初期状態とすると、次の瞬間、棒は右上がりに傾き、従動ローラの軸上では棒は下方にスキューし、偏角ローラ軸上では上方にスキューする。その後、棒の傾きが

Fig.5 Change of skew S and incident angle ε in case of z -disp. constrained ($\beta=5^\circ$, $V=2.62\text{mm/s}$, $\mu=5$, $C=1$)

Fig.6 Change of skew S and incident angle ε in case of free z -disp. ($\beta=5^\circ$, $V=2.62\text{mm/s}$, $\mu=5$, $C=1$)

Fig. 7 Effects of film parameters on Sr
($\beta = 5^\circ$, $V = 2.62 \text{ mm/s}$, $\mu = 5$, $C = 1$; free z-disp.)

Fig. 8 Effects of roller parameters on Sr
($V = 2.62 \text{ mm/s}$, $\mu = 5$, $C = 1$; free z-disp.)

Fig. 9 Effects of friction coefficient and driving roller velocity on Sr
($\beta = 5^\circ$, $C = 1$)

大きくなると偏角ローラに対して棒の進入角が正となり、棒は両ローラに対して下方ヘスキューし、この状態が続く。このスキューの変化過程は、図 6 のスキューや進入角の変化過程と定性的に一致している。

4. しわ発生シミュレーション結果

4.1 偏角ローラ上での折れしわ発生過程 表 1 の基準条件のうち、摩擦係数を $\mu = 7$ として 2.1 節の条件 (メッシュサイズ $1 \times 1 \text{ mm}$, $C = 0.05$) を用いてしわ発生過程をシミュレーションした。これらの値は、シミュレーションで折れしわが発生するように試行錯誤して選んだものである。結果を図 11, 12, 13 に示す。

Fig. 10 Skew mechanism of a bar on two misaligned rollers

図 11 は初期状態からローラに偏角 $\beta = 5^\circ$ を与えた状態で、従動ローラと偏角ローラ間 (フリースパン) に波しわが発生しているのがわかる。図 12 は、フィルム搬送距離 T の増加に伴い、偏角ローラへ波しわが乗り上げ、その後、折れしわが発生する過程を示している。また、図 13 は、図 11 の偏角ローラ上 (フィルムの接触開始位置、図中の太斜線) で測定した乗り上げしわの幅 (しわを形成する 3 節点の Z 方向変位) の変化過程を示している。これらの結果から、偏角ローラによるフィルムの折れしわ発生過程は、次のように説明できる。①ローラに偏角を与えると、フリースパン間の最大引張り (右下がり) の方向に走る波しわが生じる (図 11 参照)。このときフィルムの偏角ローラへの進入角は負 (フィルムは左上方から右下方へ向かって偏角ローラに進入する) である。②駆動ローラを回転させると、負の進入角のため偏角ローラ上ではフィルムは上 ($-Z$) 方向ヘスキューする。この影響でフリースパン間の波しわの走行方向が、右下がりから、水平、右上がり方向へと変化し、図 12(a) のようになる。同図では、偏角ローラに始めて乗り上げたしわが見られる。③駆動ローラの回転が進むにつれて、乗り上げたしわは、その幅を狭くしながら偏角ローラ上を進む

(図12(b), (c)) . しわ幅が狭くなる状況は図13からもわかる。すなわち、図13で偏角ローラに乗り上げたしわの上側節点の軸(幅)方向変位はほぼ一定か減少傾向にあり、しわの下側節点は上方向へ移動するため、しわ幅が狭くなる。こうしたフィルムの節点のローラ軸方向への移動の違いは、図12(a), (b), (c)に見られるように、しわの上下部分のフィルムの偏角ローラ軸(立て斜めの一点鎖線)への進入角の違いに起因すると考えられる。特に、図(b)ではしわ上側のフィルムは偏角ローラに直角に進入し、しわ下側のフィルムは負の進入角をもち偏角ローラに対して左上から右下へ進入する。この結果、しわ上側のフィルムはローラの軸方向へ変位せず、しわ下側のフィルムは軸上方へ変位(スキュー)し、しわ幅が減少する。④回転がさらに進むと、しわ幅は極端に狭くなり、ついには図12(d) (または、図13の(d))に示すようにしわは手前に倒れて折れしわが発生する。⑤このあと回転が進むと、折れしわのすぐ下側の波しわが新たに偏角ローラに乗り上げ(図12(e), 13(e))、同上の経緯をたどって折れしわになる。なお、本計算では、フィルムの幅方向の変位を拘束していないが、式(1)のCの値を0.05と小さく指定しているため、フィルムのスキューは図5(フィルム上流の幅方向変位を拘束した場合)のような特性を示す。

Fig.11 Initial wavy wrinkle due to roller misalignment

($\beta=5^\circ$, $V=2.62\text{mm/s}$, $\mu=7$, $C=0.05$; $T=0[\text{mm}]$)

Fig.13 Change of wrinkle width at the measurement line

Fig.12 Occurrence of folded wrinkle on the roller

($\beta=5^\circ$, $V=2.62\text{mm/s}$, $\mu=7$, $C=0.05$)

4.2 パラメータが折れしわ発生に及ぼす影響

表1の基準条件に対して、それぞれ、摩擦係数を $\mu=1\sim15$ (8段階)、ローラ偏角を $\beta=1\sim5^\circ$ (5段階)、フィルム張力を $P=4.2\times10^{-4}\sim8.4\times10^{-4}[\text{N}]$ (5段階)、偏角ローラと従動ローラ2の軸間距離(フリースパンの距離、図1(b)参照)を $L=30\sim60\text{mm}$ (4段階)に変化させてシミュレーションを行い、これらのパラメータが折れしわの発生に及ぼす影響を調べた。得られた結果を図14に示す。

摩擦係数については、 μ が大きいほど、折れしわが発生しやすく、かつ、早くしわが発生する。これは μ が大きいと、ローラ上に乗り上げたしわは摩擦力によりその形状を保ちやすいためと考えられる(μ が小さいとフィルムはローラ上で伸びて平坦になりやすい)。偏角 β が大きいと、折れしわが発生しやすい。これは、 β が大きいと、波しわの高さが高くなるので、波しわがローラに乗り上げやすくなるためと思われる。張力Pが大きいと、折れしわは発生しにくくなる。これは、波しわがローラに乗り上げ始めても大きな張力によってしわはローラ上で伸ばされて消滅するためと思われる。フリースパンの距離Lが大きいと、乗り上げしわの発生が遅くなる。これは、同じローラ偏角でもLが大きいとフィルムのローラへの進入角が小さくなり、

Fig.14 Effects of main parameters on the occurrence of folded wrinkle (V=2.62mm/s, C=0.05)

スキューが緩やかになるので、図 11 から図 12(a)へ移行する時間がかかる結果と思われる。

5. 結 言

- (1) 偏角を与えたローラ 1 本を含む 4 本のローラ間を張力を受けながら走行するフィルムのスキュー挙動および折れしわ発生過程を FEM 汎用解析ソフトでシミュレーションする方法を構築した。
- (2) フィルム上流側の幅方向変位を拘束した場合（フィルム巻き出し部近傍では）、ローラに偏角があると、フィルムはローラ間隔が狭くなる方向へ定量スキューした後、スキューは停止する。
- (3) フィルムの幅方向拘束が無い場合（フィルムの自由搬送部では）、ローラに偏角があると、最終的に、ローラ間隔が広がる方向へスキューし続ける。この場合のスキューの変化過程は、偏角を持つ 2 本のローラ上に置かれた剛体棒が滑らずに運動する場合のスキューとして説明できる。
- (4) 自由搬送部でのフィルムのスキューレート S_r (=スキュー量/フィルム搬送距離)は、フィルムの幅、厚さ、ヤング率、ローラ偏角が大きい程、また、ローラ径、ローラ間隔、フィルム張力が小さい程、大きくなる。摩擦係数が十分小さい場合、フィルムはローラ間隔が狭くなる方向へスキューし、大きい場合は、逆方向へスキューする。摩擦係数が十分大きいと S_r の値は小さくなる。
- (5) フィルムの折れしわは以下のように発生する。ローラの偏角で発生したフィルムの波しわは、スキューによりその傾き方向を逆にしたのち、偏角ローラに乗り上げる。その後、乗り上げたしわの上下部のフィルムのスキューレートの違いにより、しわ幅が次第に狭くなり、ついには、倒れて折れしわになる。
- (6) 折れしわは、ローラ偏角や摩擦係数が大きい程、フィルム張力が小さい程、発生しやすい。フリースパン距離が小さい程、しわは早く発生する。

文 献

- (1) Good, J. K., Kedl, D.M. and Shelton, J.J., Shear Wrinkling in Isolated Spans, *Proceedings of 4th International Conference on Web Handling*, (1997, Oklahoma), pp.462-480.
- (2) Hashimoto, H., Prediction Model of Paper-Web Wrinkling and Some Numerical Calculation Examples with Experimental Verifications, *Proceedings of 2006 ASME-JSME Joint Conference on Micromechanics for Information and Precision Equipment (MIPE2006, Santa Clara)*, S12_01(2006-6).
- (3) Kobayashi, T., Simulation of Mechanical Wrinkling in Web Span, *TAPPI International Paper Physics Conference*, (1999-9), San Diego, CA, pp.45-54.
- (4) Yanabe, S., Cheng, H. and Nozawa, I., Study on Belt Skew (2nd Report, Effects of Parameters and Skew Mechanism), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.67, No.658(2001-6), pp.1749-1755. (in Japanese)
- (5) Cheng, H. and Yanabe, S., Effects of Tension Roller on Belt Skew, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.67, No.664(2001-12), pp.3715-3721. (in Japanese)
- (6) Yanabe, S. and Maeda, T., Skew of Paper Transferred by Rubber Rollers in Printers, *Proceedings of 2006 ASME-JSME Joint Conference on Micromechanics for Information and Precision Equipment (MIPE2006, Santa Clara)*, S13_01(2006-6).
- (7) Tanimoto, K., Kohnō, K. and Seto, H., Numerical Analysis of Lateral Walking of Continuous Strip, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*, Vol.69, No.677(2003-1), pp.166-173. (in Japanese)
- (8) Gehlbach, L.S., Kedl, D.M. and Good J.K., Predicting Shear Wrinkles in Web Spans, *TAPPI Journal*, (1989-8), pp.129-134.
- (9) Shelton, J.J., Buckling of Webs from Lateral Compressive Forces, *Proceedings of the Second International Conference on Web Handling*, (1993, Oklahoma), pp.303-321.