セクショナルドライブ方式によるグラビア輪転印刷機の
モデリングと見当制御*吉田 世 顕^{*1}, 高木 慎一郎^{*2}
武藤 康彦^{*3}, 申 鉄 龍^{*4}

Modeling and Resister Control of Sectional Drive Gravure Printing Press

Tsuguaki YOSHIDA^{*5}, Shinichiro TAKAGI,
Yasuhiko MUTO and Tielong SHEN^{*5} Technology Development Center, Dai Nippon Printing Co., Ltd.,
1-1-3 Midorigahara, Tsukuba-shi, Ibaraki, 300-2646 Japan

In this paper, a method of modeling and control of a printing press is considered. In the recent standard gravure printing press called "sectional drive" with multi-units, register control causes register errors in the downstream units. The problem is not only the increase of the number of defections but also the complexity of adjusting procedure of controller parameters. Because of this, it is needed to introduce a new control system to shorten the total settling time. For this purpose, in this paper, a mathematical model of the sectional drive gravure printing press is proposed, and then, a cooperative control method using feedforward is designed in consideration of the relation between units. It turned out that this control system makes the total settling time short, and furthermore, using the mathematical model, the simulation based design method is established, which also shorten the time period of control system design procedure. The paper also presents some experimental results to show the validity of proposed mathematical model and control system.

Key Words: Gravure Printing Press, Sectional Drive, Modeling, Simulation, Register, Feedforward, Controller

1. 緒 言

グラビア輪転印刷機は、ウェブと呼ばれる巻き取り状の連続印刷媒体に、版胴、圧胴から構成される機械単位（以下、ユニットと称す）毎に行われる単色印刷を重ね合わせて印刷画像を形成する。そのため、見当と呼ばれる単色印刷毎の重ね合わせ位置精度（図1）が重要となり、一般的なグラビア輪転印刷機では隣接する上流側ユニットとの見当誤差を専用の光学式セン

Fig.1 Register

サにて計測し、見当の自動制御を行っている。見当制御の方式は、移動可能なロールにて版胴間のウェブパス長を調整するコンペンサートルール方式（図2）と、各版胴を個別のモータにて駆動し版胴位相差を調整するセクショナルドライブ方式（図3）の2種類がある。

Fig. 2 Schematic of compensator roll system

Fig. 3 Schematic of sectional drive system

* 原稿受付 2007 年 10 月 10 日.

^{*1} 正員, 大日本印刷(株)技術開発センター(☎ 300-2646 つくば市緑ヶ原 1-1-3).^{*2} 大日本印刷(株)技術開発センター.^{*3} 上智大学理工学部(☎ 102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1).^{*4} 正員, 上智大学理工学部.

E-mail: Yoshida-T7@mail.dnp.co.jp

いずれの方式も、従来の制御則は図2、図3に示すPD制御に代表される単純なユニット間毎の独立制御を用いている。その結果、上流側の見当制御の影響が張力変動として下流側へ伝播し、下流側の見当変動ほど整定時間が長くなるという欠点を持っていた。

そこで、筆者らは先の報告⁹⁾にて、現在産業界で多用されているコンペンサートルール方式に関し、印刷機の数式モデル化と見当制御系の開発を行っている。従来のユニット間毎の独立PD制御を発展させ、上流側の制御量を下流側へフィードフォワードする制御系により、下流側見当変動の整定時間を短縮可能としている。

また、近年のグラビア輪転印刷機の開発はセクショナルドライブ方式を中心に行われており、本方式に適した見当制御系の開発が望まれている。セクショナルドライブ方式は、版胴とモータを直結し機械的遊びが極小化可能なため版胴の回転安定性が高く、見当の定常安定性に優れるという特長を持つ。また、各版胴が独立で駆動できるため作業自由度が高いという利点もあり、今後のグラビア輪転印刷機の主流になると考えられる。

そこで、本報告ではコンペンサートルール方式とは構造的に異なるセクショナルドライブ方式において、下流側見当変動の整定時間が短縮可能な見当制御系の開発を行う。まず、版胴位相差により見当制御を行うセクショナルドライブ方式グラビア輪転印刷機に関して、数式モデル化を行う。そして、本数式モデルを用いたシミュレーションにて、下流側見当変動の整定時間が短縮可能な制御系の検討を行う。そして、本制御系を実際のグラビア輪転印刷機に適用した検証結果を報告する。

2. セクショナルドライブ方式の数式モデル

セクショナルドライブ方式では、版胴位相差を調整するために版胴角速度の加減速を行うと、ユニット間張力が変動する。また、張力が変動するとウェブが伸縮し見当が変動する。よってコンペンサートルール方式における数式モデル¹⁰⁾と同様に、張力変動のダイナミクスと見当変動のダイナミクスの2式で表すことができる。

2・1 張力変動のダイナミクス 版胴角速度と

ユニット間張力の関係を表す張力変動のダイナミクスを求めるにあたり、隣接する2ユニット間のモデル図を図4に示す。3ユニット以上で構成される場合は、隣接する2ユニット間毎の関係式を繰り返し導けばよ

い。

Fig. 4 Model of sectional drive type

図中の T_i は第 i ～ 第 $i+1$ ユニット間のウェブに作用する張力、 ω_i は各版胴の回転角速度であり (1) 式で表されるようにウェブ搬送速度に対応した定常値分 ω^* と、見当制御入力による変動分 $\Delta\omega_i$ から構成される。

$$\omega_i(t) = \omega^* + \Delta\omega_i(t) \quad (1)$$

また、 ω_1 のみはウェブ搬送速度基準となる第1ユニットの版胴角速度であり、 ω^* で一定値である。 r は版胴半径であり各ユニット共通の値、 l_i は第 i ～ 第 $i+1$ ユニット間のウェブパス長である。

張力変動のダイナミクスはコンペンサートルール方式と同じく質量保存の法則を用いて導くことが出来る⁹⁾。コンペンサートルール方式ではユニット間ウェブパス長 l_i が変数であったのに対し、セクショナルドライブ方式では ω_i が変数である点が異なるが、導出過程は同様である。よって、ここでは導出の概略を示すに留める。

第 i ～ 第 $i+1$ ユニット間における単位時間あたりの質量保存則から、(2) 式が導かれる。

$$\rho A(T_{i-1}) r \omega_i - \rho A(T_i) r \omega_{i+1} = \frac{d \rho A(T_i) l_i}{dt} \quad (2)$$

ρ はウェブ密度で定数、 $A(T_i)$ はウェブ断面積で張力 T_i の関数である。ここで張力によるウェブの伸び率を K 、張力が作用していない状態でのウェブ断面積を A_0 とすると $A(T_i)$ は (3) 式で表される。

$$A(T_i) = \frac{A_0}{1 + K T_i} \quad (3)$$

(2) 式、(3) 式より (4) 式が導かれる。

$$\frac{r \omega_i}{1 + K T_{i-1}} - \frac{r \omega_{i+1}}{1 + K T_i} = \frac{d}{dt} \left(\frac{l_i}{1 + K T_i} \right) \quad (4)$$

(4) 式を変形し、版胴角速度 ω_i に (1) 式を用いると、セクショナルドライブ方式における張力変動のダイナミクス (5) 式が得られる。

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \frac{r}{Kl_i} \left\{ (1+KT_i(t))(\omega^* + \Delta\omega_{i+1}(t)) - \frac{(1+KT_i(t))^2}{1+KT_{i-1}(t)}(\omega^* + \Delta\omega_i(t)) \right\} \quad (5)$$

2・2 見当変動のダイナミクス まず図5のモデルを用いて、第*i*～第*i+1*ユニット間における見当誤差発生の流れを説明する。

図5(a)は時刻 t_0 における初期状態を示しており、第*i*ユニットで黒三角マークの1絵柄目が刷り出された状態を示している。この時の第*i*ユニット印刷部と1絵柄目との間の長さを $\lambda_i(t_0)$ とする。

図5(b)は図5(a)から時間 t_1 が経過し、*i*ユニットの1絵柄目の印刷が第*i*～第*i+1*ユニット間に留まっている状態を示す。この時の第*i*ユニット印刷部と1絵柄目との間の長さ $\lambda_i(t_0+t_1)$ は(6)式で表される。

$$\lambda_i(t_0+t_1) = \lambda_i(t_0) \frac{1+KT_i(t_0+t_1)}{1+KT_i(t_0)} + (1+KT_i(t_0+t_1)) \int_{t_0}^{t_0+t_1} \frac{r\omega_i}{1+KT_{i-1}(\tau)} d\tau \quad (6)$$

ここで、(6)式中にある $1+KT_i(t)$ は、張力 $T_i(t)$ の有無によるウェブの長さ比を表す。例えば、張力 $T_i(t)$ が作用している長さを $1+KT_i(t)$ で割ると、張力が作用していない長さ（以下、無張力長さと称す）に直すことが出来る。(6)式の右边第1項は、 $\lambda_i(t_0)$ に関し張力 T_i の時間変化を考慮した長さを示す。同第2項は時間 t_1 の間に第*i*ユニットから送り出されたウェブ長さを示す。積分部分で張力 T_{i-1} にて第*i*ユニットから送り出されるウェブの無張力長さを求め、改めて時刻 t_0+t_1 におけるユニット間張力 $T_i(t_0+t_1)$ が作用した長さに直している。また、(6)式の両辺を $1+KT_i(t_0+t_1)$ で割ると(7)式となる。

$$\frac{\lambda_i(t_0+t_1)}{1+KT_i(t_0+t_1)} = \frac{\lambda_i(t_0)}{1+KT_i(t_0)} + \int_{t_0}^{t_0+t_1} \frac{r\omega_i}{1+KT_{i-1}(\tau)} d\tau \quad (7)$$

(7)式は(6)式の各項を無張力長さにした関係を示している。連続紙印刷では無張力長さで考えると取り扱いが容易になる場合が多いので、以降は無張力長さで考える。

図5(c)は、時刻 t_0+L において第*i*ユニットの1絵柄目が第*i+1*ユニットに到達した様子を示す。この時に第*i+1*ユニットで印刷される灰色三角マークの絵柄が、第*i*ユニットの1絵柄目と同じ位置に印刷されている。この様に両絵柄が同じ位置に印刷される場合

が、見当誤差は発生していない理想的な状態である。

図5(d)は図5(c)と同じ時刻 t_0+L において、第*i+1*ユニットの版胴位相などの条件により両印刷が同じ位置とならず、第*i*～第*i+1*ユニット間の見当誤差 e_i が発生した状態を示す。

図5(e)は、見当誤差 e_i がセンサにて計測されている状態を示す。なお、見当誤差発生からセンサにて計測されるまでの遅れ時間は十分短いとして無視する。この時の第*i+1*ユニット印刷部と第*i+1*ユニットで刷り出された絵柄との間の長さを $\lambda_{i+1}(t_0+L)$ 、見当誤差を $e_i(t_0+L)$ とし、(7)式の λ_i に図5(e)における左側ローラからセンサまでの長さである $\lambda_{i+1}+l_i$ と $e_i+\lambda_i$ を適用して、各部の無張力長さを考えると(8)式が成り立つ。

$$\begin{aligned} & \frac{\lambda_{i+1}(t_0+L)}{1+KT_{i+1}(t_0+L)} + \frac{l_i}{1+KT_i(t_0+L)} \\ &= \frac{e_i(t_0+L)}{1+KT_{i+1}(t_0+L)} + \frac{\lambda_i(t_0)}{1+KT_i(t_0)} \\ & \quad + \int_{t_0}^{t_0+L} \frac{r\omega_i}{1+KT_{i-1}(\tau)} d\tau \quad (8) \end{aligned}$$

Fig. 5 Flow diagram of register error generation

ここで、(8)式の右辺第2項と第3項で図5(e)における λ_i の無張力長さを表しており、これは(7)式より導かれる。

また、見当制御装置で扱う見当誤差の範囲は数mmであり、通常の印刷条件下での張力による変化は数 μm オーダーである。これに対しセンサの分解能10 μm であるため、張力による見当誤差の変化分は無視できる。そこで、(8)式の右辺第1項を $e_i(t_0+L)$ で近似し、あらためて $t=t_0+L$ として整理すると(9)式となる。

$$e_i(t) = \frac{\lambda_{i+1}(t)}{1+KT_{i+1}(t)} + \frac{l_i}{1+KT_i(t)} - \frac{\lambda_i(t-L)}{1+KT_i(t-L)} - \int_{t-L}^t \frac{r\omega_i}{1+KT_{i-1}(\tau)} d\tau \quad (9)$$

以上の流れで、第 i ユニットの1絵柄目に関する見当誤差量 $e_i(t)$ が求められた。以降は、第 i ユニットの2絵柄目、3絵柄目…が見当センサを通過するときに見当誤差量が計測され、見当誤差量 $e_i(t)$ は各印刷絵柄毎に対応する時間離散的データとなる。しかし、ここでは版胴一回転中は見当誤差は変化しないという仮定のもと、見当誤差データ間をゼロ次ホールドした連続時間系として扱うこととする。

次に、見当変動のダイナミクスを求めるべく、(9)式を時間微分し、版胴角速度 ω_i に(1)式を代入すると(10)式が求められる。

$$\begin{aligned} \frac{de_i(t)}{dt} = & \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\lambda_{i+1}(t)}{1+KT_{i+1}(t)} \right\} - Kl_i \frac{dT_i(t)}{dt} \frac{1}{(1+KT_i(t))^2} \\ & - \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\lambda_i(t-L)}{1+KT_i(t-L)} \right\} \\ & - \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_i(t))}{1+KT_{i-1}(t)} + \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_i(t-L))}{1+KT_{i-1}(t-L)} \end{aligned} \quad (10)$$

(10)式の右辺第2項に(5)式を代入、整理すると(11)式となる。

$$\begin{aligned} \frac{de_i(t)}{dt} = & \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\lambda_{i+1}(t)}{1+KT_{i+1}(t)} \right\} - \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_{i+1}(t))}{1+KT_i(t)} \\ & - \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\lambda_i(t-L)}{1+KT_i(t-L)} \right\} \\ & + \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_i(t-L))}{1+KT_{i-1}(t-L)} \end{aligned} \quad (11)$$

ここで(11)式の右辺において、次に示す理由により(12)式が成り立つ。

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{\lambda_i(t)}{1+KT_i(t)} \right\} \approx \frac{r\Delta\omega_i(t)}{1+KT_{i-1}(t)} \quad (12)$$

(12)式は両辺とも無張力下における長さの変化率である。左辺は第 i ユニット印刷部～第 i ユニットにて印刷された絵柄間の長さ変化率、右辺は第 i ユニットでのウェブ送り長さの変化率であり、無張力下において両者は同値と見なせる。よって、(11)式の右辺第1項、第3項に(12)式を適用することにより、(11)式は(13)式となる。

$$\begin{aligned} \frac{de_i(t)}{dt} = & \frac{r\Delta\omega_{i+1}(t)}{1+KT_i(t)} - \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_{i+1}(t))}{1+KT_i(t)} \\ & - \frac{r\Delta\omega_i(t-L)}{1+KT_{i-1}(t-L)} + \frac{r(\omega^* + \Delta\omega_i(t-L))}{1+KT_{i-1}(t-L)} \end{aligned} \quad (13)$$

よって、(13)式より見当変動のダイナミクスは(14)式で表される。

$$\frac{de_i(t)}{dt} = \frac{r\omega^*}{1+KT_{i-1}(t-L)} - \frac{r\omega^*}{1+KT_i(t)} \quad (14)$$

2・3 線形近似モデルの導出 次に、両ダイナミクスの取り扱いを簡単にするため各々の線形近似式を導出する。両ダイナミクスにおいて、変数は e_i 、 T_i 、 $\Delta\omega_i$ であり、このうち平衡状態がゼロでない T_i に関し(15)式で近似する。

$$T_i(t) = T^* + \Delta T_i(t) \quad (15)$$

ここで、 T^* は平衡状態における各ユニット間共通の張力値である。その他の変数 e_i 、 $\Delta\omega_i$ は平衡状態がゼロであるため、そのままの変数を用いる。

張力変動のダイナミクス(5)式をテーラー展開の1次項で近似すると(16)式となる。

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T_i(t)}{dt} = & \frac{r\omega^*}{l_i} (\Delta T_{i-1}(t) - \Delta T_i(t)) \\ & + \frac{r(1+KT^*)}{Kl_i} (\Delta\omega_{i+1}(t) - \Delta\omega_i(t)) \end{aligned} \quad (16)$$

同じく、見当変動のダイナミクス(14)式をテーラー展開の1次項で近似すると(17)式となる。

$$\frac{de_i(t)}{dt} = -\frac{Kr\omega^*}{(1+KT^*)^2} (\Delta T_{i-1}(t-L) - \Delta T_i(t)) \quad (17)$$

2・4 実験によるモデルの検証 各ダイナミクスの線形近似モデル(16)式、(17)式の妥当性を検証するため実験との比較を行う。まず開ループに関しては、制御入力を行わないため版胴が定速回転となり、文献1で示したコンペンセータロール方式の開ループと同じモデルとなる。コンペンセータロール方式では、開ループでモデルと実験結果がよく一致している

ため、今回は閉ループのみ検証結果を示す。

また、シミュレーションを行うにあたり、数式モデルに反映されていない印刷機の制御入力に関する制約要件を考慮する。急激な変化の制御量を連続して入力すると、ウェブの破断や、版胴とウェブの間のスリップによる印刷不良が発生する。そこで制御入力 $\Delta\omega_{pi}$ は、版胴一回転毎に一回パルス状に入力され、パルス幅は印刷速度によらず4msで固定とする。

図6は、閉ループにおいて実験用セクショナルドライブ印刷機を用いた実験結果とシミュレーションとの比較結果を示す。印刷機は3ユニットから構成されており、第1～第2ユニット間見当 e_1 に外乱として誤差0.5mmを与えた場合の結果である。外乱入力は見当誤差を測定する見当センサに計測オフセット量を与え、擬似的に見当誤差が発生したと認識させる手法を用いている。制御則は、従来から用いられているユニット間毎に独立したPD制御である。各パラメータは $r=0.0955[\text{m}]$ 、 $\omega=17.45[1/\text{s}]$ 、 $T=100[\text{N}]$ 、 $l_i=6.30[\text{m}]$ 、 $K=2.30 \times 10^4[1/\text{N}]$ であり、制御ゲインは各ユニットの比例ゲイン $K_{pi}=31.9$ 、及び微分ゲイン $K_{di}=352.6$ とした。いずれもシミュレーション結果は実際の印刷機の挙動とよく一致している。

Fig. 6 Closed-loop dynamics

以上より、セクショナルドライブ方式のグラビア印刷機モデルを定式化することが出来た。本数式モデルが導出されたことにより、文献1のコンペンセータ方式と合わせてグラビア輪転印刷機2方式のモデル化を

行った。これにより、両方式への各種制御則の適用、方式間の性能比較など、様々のグラビア輪転印刷機の見当制御に関するシミュレーションが可能となった。

3. ユニット間協調制御の開発

3・1 シミュレーションによる検討 線形近似モデル式(16)式、(17)式をもとに、下流側見当変動を抑制し整定時間を短縮可能とするセクショナルドライブ方式に適した見当制御系の検討を行う。

(16)式よりユニット間張力の変動 ΔT_i は、当該ユニット間の制御入力 $\Delta\omega_{pi}$ に加えて、上流側ユニット間の制御入力に相当する $\Delta\omega_i$ が影響している。そこで、上流側の制御入力の影響をキャンセルするため、まず $\Delta\omega_{pi}$ に $\Delta\omega_i$ を加算するフィードフォワードを行う。

さらに下流側の見当変動を抑制するためは、上流側の張力変動を引き起こす要素を下流側へフィードフォワードする方法が有効である。(17)式より見当変動に影響する上流側の張力変動は $\Delta T_{i-1}(t-L)$ である。また、この上流側の張力変動 $\Delta T_{i-1}(t-L)$ を引き起こす要素は、上流側の版胴速度差に相当する $\Delta\omega_i(t-L)-\Delta\omega_{i-1}(t-L)$ である。そこで、 $\Delta\omega_i$ に加え、 $\Delta\omega_i(t-L)-\Delta\omega_{i-1}(t-L)$ をフィードフォワードする制御系の検討を行う。

従来のユニット間毎の独立制御に各フィードフォワード要素を加えた第 i ～第 $i+1$ ユニット間の制御入力 $\Delta\omega'_{i+1}$ は(18)式にて表される。

$$\Delta\omega'_{i+1}(t) = \sum_{j=0}^{i-1} \sum_{k=1}^{i-j} \Delta\omega_{k+1}(t-j-L) \quad (18)$$

また、5ユニットを使用した本制御系のブロック線図を図7に示す。図7の最下段に示される第4～第5ユニット間を例にとり、本制御則を説明する。従来のユニット間毎のPD制御による制御入力 $\Delta\omega_5$ に加え、上流側の制御入力の影響をキャンセルするための $\Delta\omega'_4$ と、上流側の張力変動 $\Delta T_3(t-L)$ を引き起こす版胴速度差である $\Delta\omega'_4(t-L)-\Delta\omega'_3(t-L)$ を加算し、第4～第5ユニット間の制御入力 $\Delta\omega'_5$ を求めている。以降、本制御系をセクショナルドライブ方式におけるユニット間協調制御と称す。

従来のユニット間毎の独立制御とユニット間協調制御とのシミュレーションによる比較結果を図8に示す。第1～第2ユニット間の見当 e_1 に外乱として誤差0.5mmを与えた場合の結果であり、各パラメータは $r=0.0859[\text{m}]$ 、 $\omega=19.4[1/\text{s}]$ 、 $T=100[\text{N}]$ 、 $l_i=5.17[\text{m}]$ 、 $K=2.30 \times 10^4[1/\text{N}]$ 、 $K_{pi}=20.3$ 、 $K_{di}=206$ である。特に第3～第4ユニット間以降の見当誤差 e_3 、 e_4 において効果が

顕著であり上流側の見当変動の影響は見られず、ユニット協調制御の効果を示している。

Fig. 7 Block diagram using feedforward

Fig. 8 Effects of feedforward

3・2 実験結果 実際にセクショナルドライブ

方式の印刷機にて(18)式で表されるユニット間協調制御を適用し、実験によりその効果を検証する。図9に本実験に用いた印刷機を示す。大日本印刷(株)にて開発したセクショナルドライブ方式グラビア輪転印刷機であり、主仕様がユニット数7、版幅1100mm、ライン速度最大350m/minの実生産向け印刷機である。

Fig. 9 Experimental apparatus

5ユニットを使用した実験結果を図10に示す。シミュレーションと同様に、第1～第2ユニット間の見当 e_1 に外乱として誤差0.5mmを与えた場合の結果であり、各パラメータはシミュレーションと同じ値である。シミュレーション結果と同様の波形をしており、従来のユニット間毎の独立制御と比較して下流側の見当変動伝播が抑制されている。特に e_3 、 e_4 は変動量±0.05mm以下とほぼ定常見当変動と区別が出来ないレベルとなっており、実際の印刷機においてもユニット間協調制御の有効性が確認された。

さらに、図11は給紙切り替え時の見当変動の様子を示す。連続紙印刷において見当変動により最も製品不良が発生するのは給紙切り替え時である。新紙と旧紙はテープ等で貼り合わせられ用紙ヤング率が変化しており、これが原因となって見当変動が発生する。この様な場合においても第2～第3ユニット間見当 e_2 以降の変動が大幅に抑制されており、見当誤差の製品基準値を±0.1mm以内とした場合、 e_2 以降では製品不良が発生していない状態まで見当制御性能が向上している。

4. 結 言

今後のグラビア輪転印刷機の主流となるセクショナルドライブ方式において、下流側見当変動を抑制し安定時間を短縮可能とするユニット間協調制御の開発を行った。セクショナルドライブ方式は、従来多用され

Fig. 10 Experimental results of feedforward

Fig. 11 Experimental results at unwinder change

ていたユニット間パス長を変更して見当補償を行うコンペンサータロール方式と異なり、各版胴を個別モータにより駆動し版胴の位相差にて見当補償を行う。そこで制御系の開発に先立ち、まずセクショナルドライブ方式グラビア輪転印刷機の数式モデル導出を行い、本モデルの妥当性を実験により検証した。そして本モデルより、下流側への見当変動伝播を抑制可能なユニット間協調制御を検討し、まずシミュレーションにてその効果を確認した。そして、本制御系を実際のセクショナルドライブ方式の印刷機に適用し、シミュレーションと同様にその有効性を確認した、また、実生産において見当変動による製品不良が発生する紙継ぎ時においても、本ユニット間協調制御を用いることで製品不良が大幅に削減可能であることを示した。

今後は、今回導出した数式モデルに基づきセクショナルドライブ方式のグラビア輪転印刷機に対し、より有効な制御系の検討を行う予定である。特に見当変動に直接影響する張力を制御変数として扱う制御系の検討と、張力推定用のオブザーバの設計を今後の課題としたい。

文 献

- (1) Yoshida, T., Takagi, S., Shen, T., Muto, Y., Modeling and cooperative register control of gravure printing press, *Transactions of the Japan society of mechanical engineers C*, Vol.74, No.738 (2008), pp.339-345.
- (2) Converting technical institute, *Gravure printing technology pandect*(in Japanese), (1994).
- (3) Ushiroda, H., Current technology of gravure printing press(in Japanese), *Japan printer*, Vol.85, No.11 (2002), pp.3-9.
- (4) Jotaki, K., Hamada, S., Compens-less control optimization(in Japanese), *Japan printer*, Vol.85, No.11 (2002), pp.11-19.
- (5) Sugimoto, T., Mikami, S., Development of new type gravure register controller, *Journal of Printing Science and Technology*, Vol.24, No.2 (1987), pp.43-60.
- (6) Sakamoto, T., Analysis and control of web tension control system, *T.IEE Japan*, Vol.117-D, No.3 (1997), pp.274-280.
- (7) Wolfemann, W., Tension control of webs - A review of the problems and solutions in the present and future, *Proceedings of the third international conference on web handling*, (1995), pp.198-229.
- (8) Reid, K.N., Lin, K.C., Control of longitudinal tension in multi span web transport systems during start-up and shut-down, *Proceedings of the second international conference on web handling*, (1993), pp.77-95.