

色合わせ精度向上のための高精度駆動技術

High accuracy driving technology for improving color registration

小片智史*
Satoshi OGATA

丸山宏之*
Hiroyuki MARUYAMA

植田忠行*
Tadayuki UEDA

大西 淳**
Jun ONISHI

東 由美子*
Yumiko HIGASHI

要旨

当社のプロダクション機は、画像安定性・コンパクト性で商品としての優位性を実現する一方、高耐久・高生産性・メディア対応の拡大が求められている。

当社の最上位カラー機種では、2次転写部の広いニップ構成や感光体ドラムの大口径化等を採用したことで、色ずれ性能を大きく左右する画像形成部（感光体ドラム及び中間転写ベルト）の高精度駆動の制御が難しくなる課題があった。

この課題に対し駆動モデル化を適正にすることで、高速でありながら、メディア範囲を拡大しつつ色ずれ性能目標を達成した。

本稿では、高精度駆動制御技術の中で最も重要な繰り返し制御を中心に、搭載した色合わせ精度向上のための駆動制御技術を報告する。

Abstract

Production print machines of our company achieve superiority in image stability and compactness. At the same time, the market expects higher endurance, higher productivity, and improved adaptability for a wider range of media.

We had a challenge to overcome for our supreme color machine. The machine could not perfectly control its high accuracy drive for the image forming part that determined performance of color registration. This was because of new styles; a nip composition with a wider 2nd-transfer part, and a photosensitive drum with a larger diameter.

Now, we have overcome the challenge. By properly modeling the drive, we have achieved our goal for the performance of the color registration. We also have succeeded to maintain the speed and to improve the adaptability of a wider range of media.

This time, we report our drive technology that improves the performance of the color registration in the machine. This paper mainly explains repetitive control which is the most important control in high accuracy drive control technology.

* 開発本部 エンジン制御開発センター PPエンジン制御開発部

** 開発本部 製品要素開発センター 機能デバイス開発部

1 はじめに

当社のカラープロダクション機では色ずれ抑制のため感光体ドラムと中間転写ベルトの駆動を高精度に制御する技術（高精度駆動技術）に初期から継続的に取り組み性能を向上させてきている。

高精度駆動技術はカラープロダクション機に求められる高耐久性・高生産性・メディア対応の拡大・高安定性に伴い、画像形成部の駆動制御の難易度が高まる中、カラー画像の重要な品質の一つである色ずれ性能向上を目的とした搭載技術である。

2 色ずれとは

色ずれとはカラー画像におけるCMYBk各色のトナー像の位置ずれを意味し、相対位置が一致しないことにより画像劣化となる。色ずれには露光デバイスの静電潜像書き込み走査方向である主走査方向のずれと通紙方向の副走査ずれがあるが、画像形成部の駆動制御の性能が影響するのは副走査方向のずれである。

副走査方向のずれ成分はTable 1に示す書き出し・スキュー・ボウ・変動の4つの成分に分類される。これら4つの成分のうち、書き出し・スキュー・ボウの成分は機内で自動実行される補正機能やメカニカルな部品精度で安定した性能を得ることができるが、変動成分はメカニカルな部品精度だけではカラープロダクション機に求められる性能を確保することが困難である。

そこで、この変動成分を画像形成部の駆動モータの制御によって低減し、目標の色ずれ性能を達成するのが高精度駆動制御の位置付けであり、色ずれ性能向上のために不可欠な技術である。

Table 1 Ingredients of color registration (subscan).

成分	書き出し	スキュー	ボウ	変動
主要因	補正の性能	中間転写ベルトの姿勢	中間転写ユニットのローラの反り	・ギヤ/軸の精度 ・その他変動(滑剤ブラシ等) ・カップリングの伝達誤差

3 高精度駆動制御を難しくする背景

耐久性・生産性・メディア対応・安定性の向上のために採用した技術により、前述画像形成部の駆動変動が増大するため、ますます画像形成部の駆動変動を低減する制御技術が重要となってきた。

駆動変動増大要因の主なものとして、

- 1) 耐久性向上を目的とした感光体ドラム径の大口徑化によって同じ角速度変動では感光体表面の位置ずれが拡大
- 2) 耐久性/生産性向上を目的としたクリーニング補助部材の塗布ブラシ及び2次転写の駆動は感光体ドラム/中間転写ベルトに直接接触していることで駆動変動が生じ易い
- 3) メディア対応性/安定性向上を目的とした2次転写ニップ部の拡大は通紙による中間転写ベルトへの変動が増加

といった課題がある。

特に各色の感光体ドラムを縦に配列した縦型タンデム且つ幅の広い2次転写部のニップ構成 (Fig. 1) は当社カラープロダクション機の「コンパクト且つ高画質」という特徴を支える構成である。

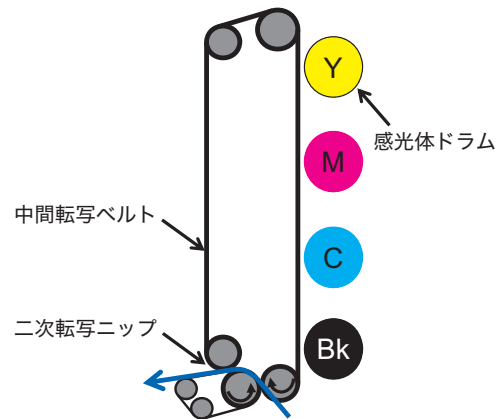


Fig. 1 Layout of Vertical tandem imaging system.

これら画像形成部の駆動の変動が増大する条件下でも色ずれ性能を確保するために、高精度駆動制御による性能向上が必要となる。

4 画像形成部の駆動構成及び制御

4.1 画像形成部の駆動構成

感光体ドラム及び中間転写ベルトの駆動はFig. 2のような構成を採用している。

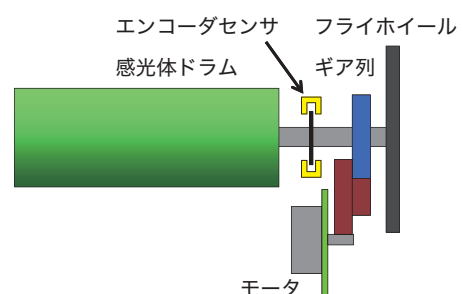


Fig. 2 Block diagram of Driving unit.

モータからギヤ列を介して駆動軸があり、駆動軸にカップリングを介して感光体ドラム及び中間転写ベルト駆動ローラが連結されている。厚紙通紙時の変動低減を目的としたフライホイールも駆動軸に設置している。

駆動軸の変動を抑制する手段として、一般的にはモータ軸の変動を最小とするように制御し、ギヤを高精度とすることで対応している。しかしながら高精度ギヤを使用しても主に駆動軸の偏心によって発生する駆動軸1回転成分の変動に対しては低減効果がないため、カラープロダクション機に求められる色ずれ性能を達成できない。

この駆動軸の変動成分を低減するために、駆動軸に設けたエンコーダセンサを用いてモータを制御する仕組みを当社のカラープロダクション機にて採用した。

4.2 高精度駆動制御概要

前述駆動軸に設けたエンコーダセンサを用いたモータの制御はFig. 3に示す通り2重ループの構成とした。

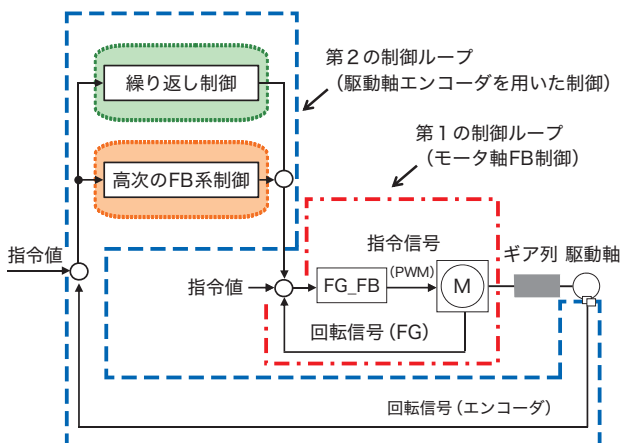


Fig. 3 Overview of High accuracy drive control.

第1にモータ軸の回転を検出し指令値通りに動作させるためのFB制御ループがある。この制御ループだけでは前述の通り駆動軸に変動が発生してしまう。

そこでモータからギヤ列を介した駆動軸に設けたエンコーダセンサからの信号を用いて制御を行う第2の制御ループが必要となる。

第2の制御ループは、主な変動成分である駆動軸1回転成分を低減するための繰り返し制御とその他のランダムな変動を低減するための高次のFB系制御によって構成されている。この繰り返し制御が色ずれ低減に対する最も重要な制御であるため、以降で詳細に説明する。

4.3 繰り返し制御

繰り返し制御は1回転前の変動に基づいて、その変動を相殺する制御である。そのため、正しく機能させるためのメカニカル条件として、モータから駆動軸までのギヤ列を整数倍にする必要がある。これによって駆動軸に発生する基本的な変動成分は駆動軸1回転周期の整数倍の周波数だけとなる。

繰り返し制御の内容は大きくFig. 4の3つのブロックで構成される。

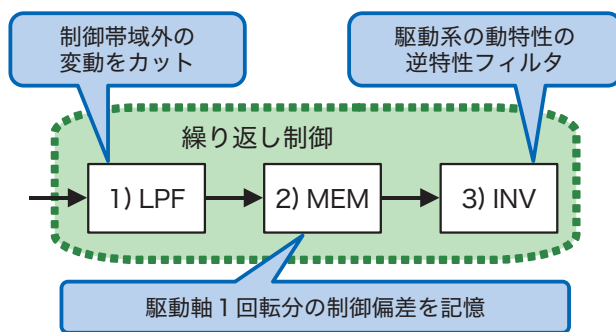


Fig. 4 Block diagram of Repetitive control.

- 1) 制御帯域外の成分をカットするローパスフィルタ (LPF)
- 2) 1回転前の情報を保存しておくメモリ (MEM)
- 3) 検出した変動から適正な指令値を算出するための逆特性フィルタ (INV)

制御系の感度特性をFig. 5に示す²⁾。縦軸の値が小さいほど変動を抑制できることを示しており、駆動軸1回転周期の整数倍の周波数だけに極端な低減効果があることが分かる³⁾。これがギヤ列を整数倍にした理由である。

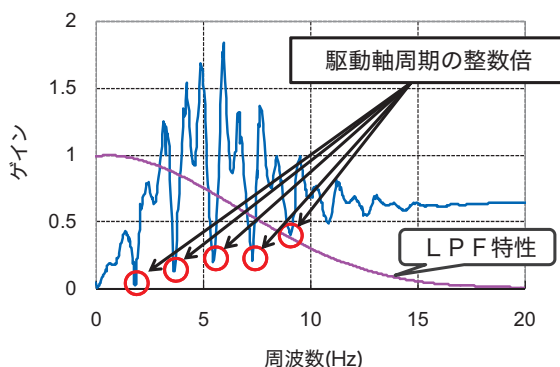


Fig. 5 Characteristic of Repetitive control.

4.4 逆特性フィルタ

制御設計で最も重要なポイントになるのが3)の逆特性フィルタである。逆特性フィルタとはモータを含む駆動伝達系の動特性を運動方程式に置き直してモデル化したものの逆関数であり、必要とする駆動応答を得るために指令すべき値を算出するものである。ここで得られた指令値を実際の駆動系に入力することで、必要とする応答と一致する結果となる。しかし、正しくモデル化できていない逆特性フィルタを使用すると必要とする応答は得られず、最悪の場合は制御が発振してしまう⁴⁾⁵⁾。

つまり運動方程式で表されたモデルと実特性の一致度が重要と言える。しかし実機の駆動系は非常に複雑であるため精度の高いモデルを作成するのは非常に困難であった。

4.5 駆動特性のモデル化

モータを含む駆動部をモデル化して扱う制御は一般的で、通常はモータ、ギヤ列及びギヤ列で連結された駆動対象（感光体ドラム及びフライホイール）をモデル化して使用する。当社でも検討初期にこの部分をモデル化して制御を作成したが、モデルの一致度が低く、狙いの性能（変動低減効果・制御安定性）が得られなかった。

その後の検討でFig.6に示すような感光体ドラムと中間転写ベルトが粘性で結合する構成、更に他色の感光体ドラム駆動及び中間転写ベルト駆動が全て中間転写ベルトを介して結合しているモデルを用いることで環境や作像プロセス条件の変化を含めて対応可能なレベルとなった。

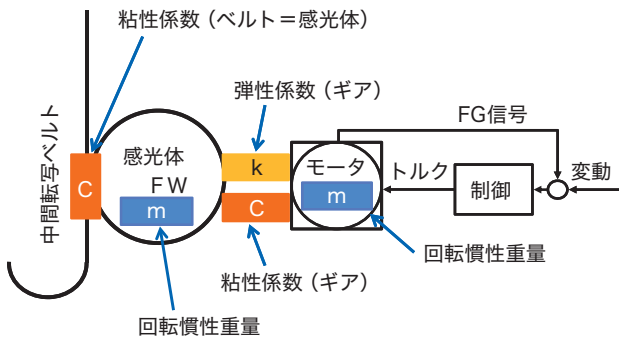


Fig. 6 Modelling of driving characteristics.

本来制御設計としては可能な限りシンプルなモデルで変動低減効果と制御安定性を両立させるべきであるが⁶⁾、当社のカラープロダクション機では中間転写ベルトを介して各部が影響し合う構造であるため、当社特有の取り組みとして、複雑なモデルを使用し且つ多くのパラメータをチューニングする方式を選択している。

当社の最新高速カラープロダクション機の実特性とモデル特性をFig.7に示す。この周波数特性はモータへの指令値に対するモータ軸（FG）及び駆動軸（ENC）への伝達特性であり、実測値（○/□プロット）とモデル特性（実線/破線）がほぼ一致していることが分かる。

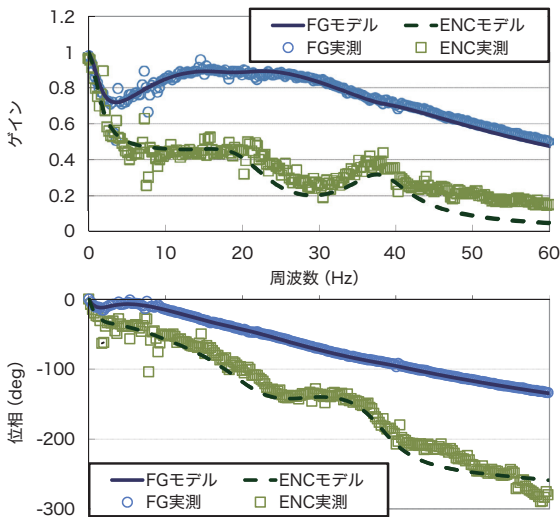


Fig. 7 Characteristic of frequency response.

5 高精度駆動制御適用の効果

前述した制御を実機に適用した際の色ずれに対する効果をFig.8に示す。縦軸は測定した駆動軸の速度変動を積分し、各色の組み合わせ6通りの位置ずれに換算した値である。

制御なし時には主に感光体ドラム1回転成分の変動が大きく、100 μ m (p-p) 以上だった駆動軸の変動が、制御あり時に40 μ m (p-p) 以下に低減している。また、制御安定性としても駆動特性のモデルへの影響度が高い1次転写電流（感光体ドラムと中間転写ベルトの結合力）、クリーニング負荷、環境、印字画像等の条件を振っても問題ないことを確認している。

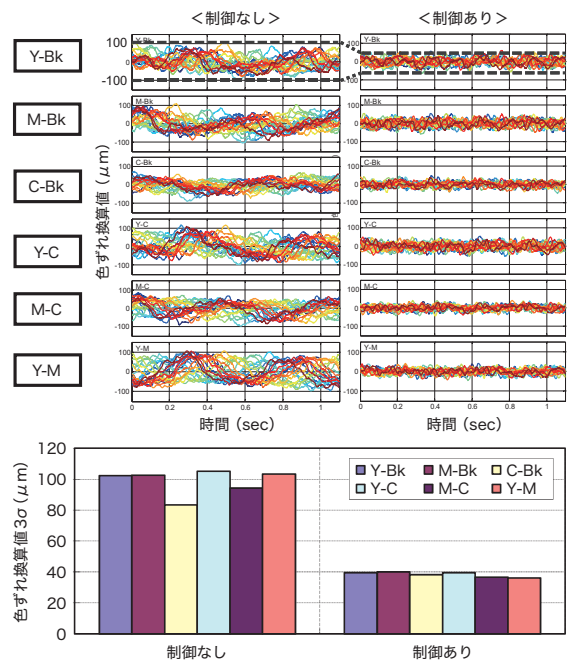


Fig. 8 Effect of High Accuracy drive control.

尚、実機に搭載している制御は前述の制御以外に、各色感光体ドラム駆動のカップリングの位相差起因で発生する色ずれを低減するための感光体ドラム駆動の位相合わせ制御、モータ軸の振れ起因で発生する変動を低減するための外乱オブザーバ制御、クリーニング部の比較的周波数の高い変動と制御周期の干渉によって平均速度が変動する現象を低減するためのオーバーサンプリング等を組み合わせたものとしている。

6 まとめ・今後の課題

当社カラープロダクション機はプロダクション市場にて求められる高耐久性・高生産性・メディア対応の拡大・高安定性を確保する構成を採用している。それが故に画像形成部の駆動制御としては不利な条件となったが、本稿にて説明した高精度駆動制御により画像形成部の駆動変動成分に対する低減効果及び制御安定性は十分なレベ

ルを達成した。特に駆動特性のモデル化は成熟してきており、定常的に発生する変動を抑制するための制御は今後の機種のパフォーマンス向上を考えても大きな課題はない。

今後は更なるメディア対応の拡大に対応するために、通紙によって発生する突発的な画質劣化の改善を図る予定である。

●参考文献

- 1) S.Nishida, K.Kobayashi, T.Omoto, Y.Miyasaka, and Y.Peng, “Technology for Improving the Reliability of the Printer and the Stability of Image Quality in the bizhub PRESS C8000”, KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol.8, 26-32 (2011) [in Japanese].
- 2) J.Onishi, “Photoconductor Drum Speed Fluctuation Control in a Electrophotographic Printer”, KONICA Tech. Rep., Vol.15, 69-72 (2002) [in Japanese].
- 3) 中野道雄, 井上恵, 山本裕, 原辰次, “繰り返し制御”, 計測自動制御学会編, コロナ社, 東京, 1989 [in Japanese]
- 4) 樋口俊郎, 山口智実, システムと制御, 30, 503 (1986) [in Japanese]
- 5) 三浦靖, 富塚誠義, システム制御情報学会論文誌, 2, 261 (1989) [in Japanese]
- 6) P.Dorato (ed.): Robust Control, IEEE Press (1987).

●出典

本稿は日本画像学会 “Imaging Conference JAPAN 2014” 論文集の予稿を加筆修正して転載したものである。本稿の著作権は日本画像学会が有する。