

回転駆動系のねじり振動シミュレーション

Simulation of Rotational Vibration with a Rotational-Drive System

加藤 昌彦* 小塚 直樹**
Masahiko KATO Naoki KOZUKA

要　　旨

バンディングの低減による高画質化のために、その主要因の1つである回転系振動に対して振動の予測技術を構築した。本技術は駆動系の構成部品に対し有限要素法を用いて、ねじりバネ要素とイナーシャに置換し単純モデル化する手法であり、バンディングの要因となる回転系の共振周波数と振動モードの予測が可能である。これにより、設計段階で駆動系の共振周波数が予測できるだけでなく、トラブルシューティングへの対応も可能であり、汎用的な回転駆動系に対して水平展開可能な技術である。

ABSTRACT

The prediction technique has been developed to realize high quality of picture with office machinery. This technique is performed, that is, various components are substituted and simplified into the torsional spring and inertia by using the finite element method. Thus, it is possible to predict resonance frequency and vibration modes, which are causes of banding in the rotational system. This technique is utilized not only at design stage but also at trouble shooting, and applied to the wide range of purposes of the rotational drive system.

* 画像技術開発本部 柳川塾

Yanagawa Laboratory, Imaging Technology Division

** 研究開発本部 中央研究所 環境技術研究センター

Environment Research Department, Research and Development Group

1. 背景と目的

近年における複写機やプリンターの画像機器は、更なる高画質化が進んでおり、これを達成するための1つの手段として高精度な駆動技術が必要とされている。また、パーソナルユーザーの増加などにより、デジタル画像機器の更なる小型化や軽量化が望まれている。現状の画像機器においては、感光体の回転駆動系振動が要因となる速度変動により、ビームの書き込み線間隔に疎密が生じ、“バンディング”と呼ばれる濃度ムラが問題となっている。また、速度変動を低減させるための1つの手段として、感光体ドラム軸上に慣性量を増大させるためのフライホイールを用いているが、現状のフライホイールは、十分な慣性量を得るために重量及び半径の大きなものを使用しており、重量、機器の大型化など様々な面で制約を受ける問題がある。従って、これら問題の主要因の1つである振動問題の改善は、高画質化を実現させ更に小型化を図るために必要な技術である。

本稿では、上記問題を改善するための手段として、回転駆動系における振動予測技術の構築を目的とし、画像劣化の要因となる感光体ドラム表面速度変動と振動との関係を明らかにした結果を報告する。

2. 技術

2-1 シミュレーションの方法

2-1-1 ねじり振動モデル

タイミングベルトにより駆動される感光体ドラムを、回転駆動系のターゲットとしてねじり振動シミュレーションを検討した。今回ターゲットとした駆動系の概略図をFig.1に示す。

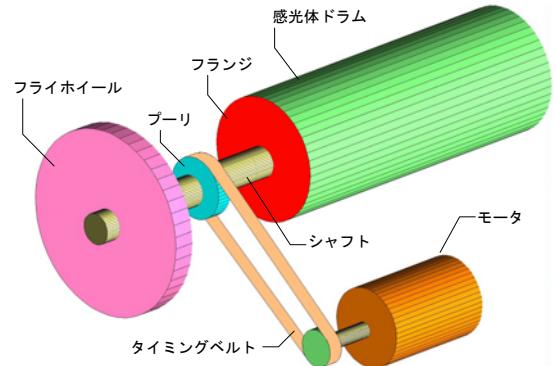


Fig.1 Schematic of driving system.

感光体ドラム、法兰ジ、シャフト、ブーリ及びフライホイールから構成されるドラム系がタイミングベルトを介して、モータにより駆動される構成である。本駆動系のフライホイールは、シャフトとの締結部であるアダプター及び金属製の複数の円盤からなり、円盤の枚数を変化させることによりイナーシャのパラメータを変化させることができる構成である。この駆動系に対して、構成部品を慣性であるイナーシャと剛性であるねじりバネを用いて、単純なねじり振動モデルに置換することを試みた。イナーシャ及びねじりバネを用いて置換したねじり振動モデルをFig.2に示す。

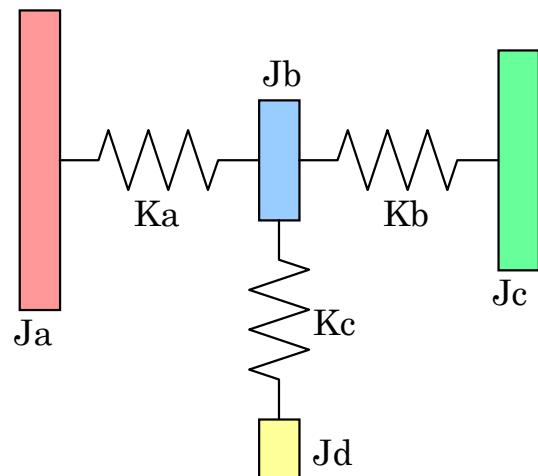


Fig.2 Torsional vibration model.

Fig.2の振動モデルは、 $J_a \sim J_d$ の4イナーシャと $K_a \sim K_c$ の3バネで構成され、駆動系の各部品をそれぞれのパラメータに設定した。

2-1-2 パラメータの算出

ねじり振動モデル解析に必要なパラメータである駆動系の各要素のイナーシャは、3D(3次元)モデルを作成し、それぞれの部品に対する物性値を入力することにより算出した。算出に用いたモデルの一例をFig.3に示す。

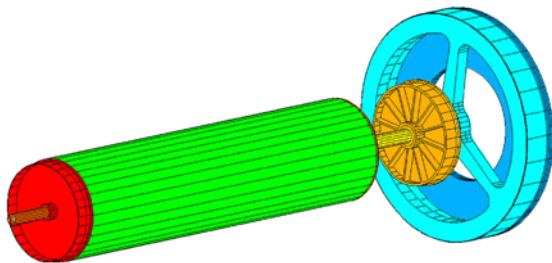


Fig.3 3D_model of inertia.

また、もう1つのパラメータであるねじりバネ定数は有限要素法の静解析を用いて算出した。バネ定数算出の一例としてシャフトの解析例をFig.4に示す。

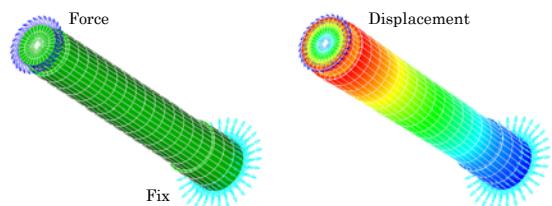


Fig.4 Analysis example of shaft stiffness.

Fig.4に示すように、ねじりバネとして扱う部品に対して有限要素モデルを作成し拘束条件を与える。次に、ねじり方向すなわち円周方向に対して荷重を加え、有限要素法の静解析を行う。解析より得られた円周方向変位と加えた荷重より、ねじりバネ定数を算出した。また、感光体ドラムのフランジに関しても同様の手法を用いて回転方向のバネ定数を算出した。この方法によるバネ定数の算出においては、拘束条件や加える荷重位置により得られる値が大きく左右される。従って、精度良くパラメータを獲得するためには、これらの境界条件を与える位置の有限要素モデルメッシュを詳細に作成し、適切な境界条件を設定する必要がある。また、ドラム系とモータ系を連結するタイミングベルトは、ドラム軸プーリとモータ軸プーリ間に並進方向に作用する1自由度バネとしてモデル化した。バネ定数の算出方法は、タイミングベルトに

荷重を与えた時の、ベルトの伸びと荷重との関係より算出した。

2-1-3 ねじり振動モード

今回検討を行ったねじり振動モデルは、イナーシャとバネで構成されたモデルであるために、共振周波数の算出は可能であるが振動状態を表す振動モードを視覚的に把握することが出来ない。そこで、ねじり振動モデルをベースとして、振動モードをアニメーション的に判り易く表せるように計算モデルの作成を行った。作成した振動モード解析モデルをFig.5に示す。

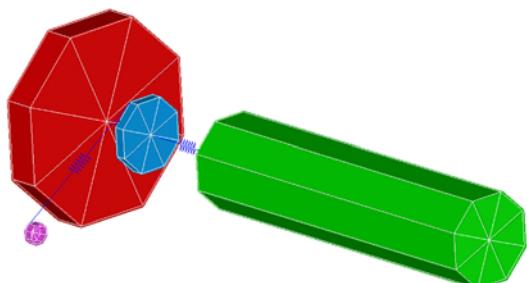


Fig.5 Analysis model of vibration mode.

Fig.5のモデルは、ねじり振動モデルと同様にイナーシャとねじりバネから構成されており、視覚的に振動モードが把握可能となるように、それぞれのイナーシャに対して、部品形状に似せたダミーモデルを関連づけた。また、ダミーモデルの慣性や剛性は、共振周波数の算出に影響を与えないよう設定した。

2-2 実験振動解析

2-2-1 回転駆動系の振動特性

ねじり振動シミュレーションの妥当性の検証として、実験による振動特性解析を行った。方法は、感光体ドラム表面端部に対して加振器により加振を行い、感光体ドラムの他端部、シャフト、プーリ、フライホイール、モータプーリに加速度ピックアップを取り付け、それぞれの間におけるねじり方向の周波数応答関数を測定した。

2-2-2 感光体ドラムの速度変動

駆動系の共振が駆動状態における感光体ドラム表面速度に与える影響を把握するために、モータをランダム駆動回転させた場合のドラム表面における速度変動周波数を解析した。ランダム駆動実験の概略図をFig.6に示す。

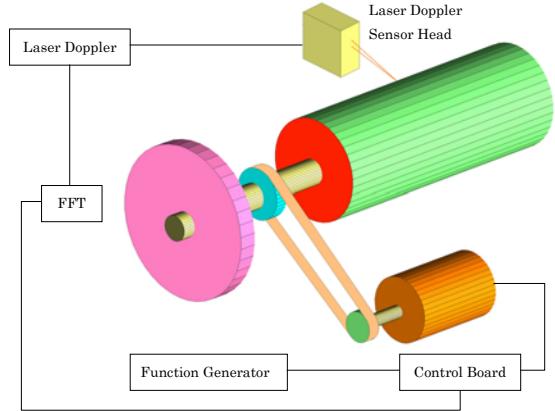


Fig.6 Schematic of random torque drive experiment.

感光体ドラム表面の速度変動周波数成分は、モータのトルク変動を表す電流を入力パラメータ、レーザードップラーによる感光体ドラム表面速度を出力パラメータとして、FFTを用いて周波数分析を行った。

2-3 解析結果

2-3-1 イナーシャの変化と共振周波数の関係

フライホイール板の取り付け枚数を変えることにより、イナーシャを変化させた場合について、ねじり振動シミュレーションによる解析結果と実験より得られた周波数応答関数の共振周波数について比較を行った。対象とした駆動系は、解析対象周波数帯域に2つのねじり共振を持ち、イナーシャの増加に対して共振周波数がシフトするものと、ほぼ同じ周波数に共振周波数を持つものが見られた。実験による周波数応答関数の1例をFig.7に、シミュレーションと実験の共振周波数の比較をFig.8に示す。

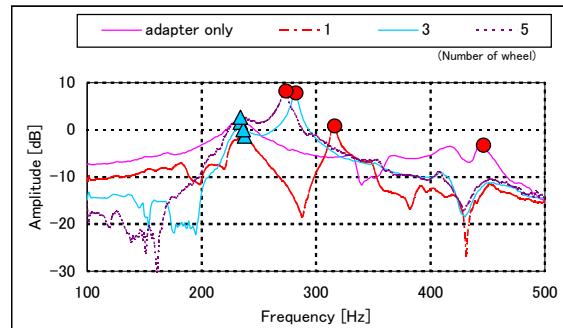


Fig.7 Frequency response function of experiment.

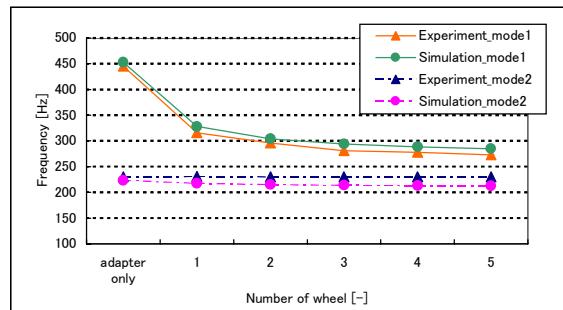


Fig.8 Resonance frequency comparison of simulation and experiment.

Fig.7における丸のマーカーはイナーシャの増加に伴いシフトする共振を表し、三角のマーカーはイナーシャの増加に對してあまり変化しない共振を示す。またFig.8より、イナーシャの増加に對して共振周波数が低いほうへシフトする共振及びイナーシャの増加に對してあまり変化しない共振の両者を、ねじり振動シミュレーションにより解析可能であることが確認できた。この時の周波数解析精度は10%以内であった。さらに、今回対象とした駆動系のドラムフランジに構造変更を加えたもの、すなわちねじり振動モデルのバネ定数を変化させた場合についても上記と同様な解析を行った。その結果、シミュレーションと実験による共振は良好な一致を示した。これらの解析結果より、ねじり振動シミュレーションを用いることにより駆動系の構造変更に対する共振周波数の予測が可能であることを確認した。

2-3-2 ねじり振動モード

ねじり振動モードの解析モデルを用いて得られた2つの振動モード例をFig.9及びFig.10に示す。

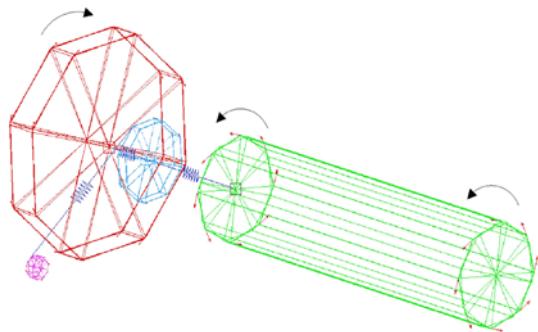


Fig.9 An example of vibration mode_1.

Fig.9に見られる振動モードは、感光体ドラムとフライホイール間のねじり振動であり両者がそれぞれ反対方向に回転する動きを示している。またこの振動モードは、イナーシャの増加に対して共振周波数が低いほうへシフトするものであることを確認した。

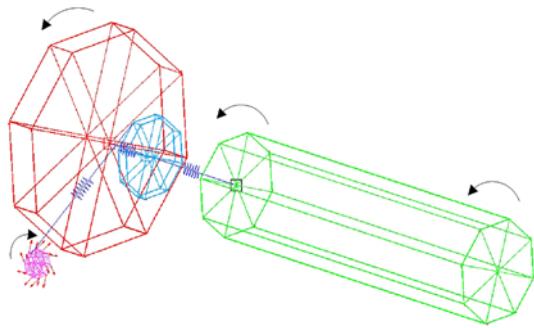


Fig.10 An example of vibration mode_2.

Fig.10に見られる振動モードは、感光体ドラム、シャフト、フライホイールなどから成るドラム系とモータ系の慣性に対して、タイミングベルトを介することにより相対的に逆方向に回転する動きを示したものである。この振動モードでは、モータ系の慣性がドラム系の慣性と比較してかなり小さいために、モータ系が大きな振幅の振動を示しており、共振周波数はフライホイールのイナーシャの増加に対してあまり変化がないことを確認した。

2-3-3 感光体ドラムの速度変動と共振周波数の関係

モータをランダム駆動させた場合の、感光体ドラムの表面速度変動について周波数分析した結果の例をFig.11に示す。

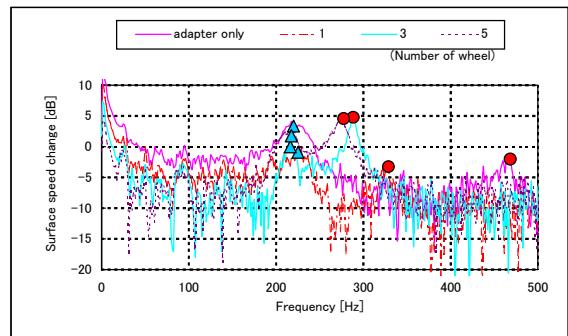


Fig.11 Tendency of drum surface speed against to inertia increment.

Fig.11より、フライホイールのイナーシャが大きくなるとシフトするピークとほぼ同様な周波数に発生するピークが見られ、これらの傾向はねじり振動シミュレーションから得られた共振周波数の変化と同様である。したがって、駆動時に回転方向の振動成分がある場合、ドラムの表面速度は駆動系の持つねじり共振の影響を受けることを確認した。ねじり振動シミュレーションと感光体ドラムの表面速度変動周波数の比較をFig.12に示す。

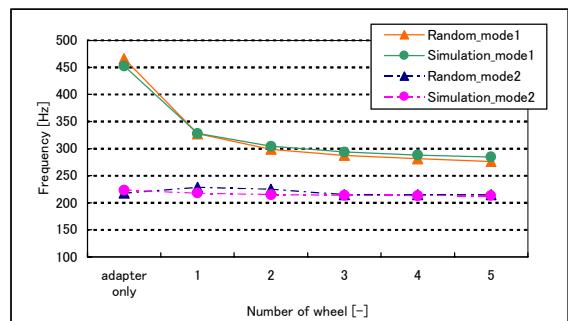


Fig.12 Comparison of vibration simulation and drum surface speed change

Fig.12より、イナーシャの変化に伴う表面速度変動周波数と駆動系のねじり共振の変化は良好な一致を示し、シミュレーションから予測した共振周波数と速度変動周波数との差は10%以内であった。

3. 成果

回転駆動系の振動予測技術を、イナーシャとねじりバネをパラメータとしたねじり振動モデルを用いて構築し、駆動系の構造変更における共振周波数が予測可能であることを確認した。また、回転駆動系のねじり共振と感光体ドラムの表面速度変動との関係を明らかにした。従って、本技術を用いることにより、設計時に回転駆動系の共振周波数があらかじめ予測可能となった。また、構造変更予測により得られた共振周波数と加振源となるモータの回転周波数やギアの噛み合い周波数が一致又は近傍に存在しないような構成とすることで、高画質化を実現させるための一手段となり得ることが確認できた。

4. 今後の展開

本技術を用いた振動予測技術により、

- ・回転駆動系の振動低減が可能な構成の提案
- ・フライホイールレス化、フライホイール適正化を提案
- ・現状開発機に対するトラブルシューティングの早期対応
- ・ギアやブーリーを構成要素に持った回転駆動系の振動特性予測技術の構築及び展開

謝辞

本解析技術の構築を行うにあたり、パラメータ算出にご協力いただいたバンドー化学株式会社の皆様及び装置の製作及び改造にご協力いただいたリコーFCP事業部の皆様に心から感謝いたします。

