

用紙搬送シミュレーションソフトの開発と効率的な設計適用

Development of Paper Feeding Simulator and the Efficient Application to Product Design

芝田 兆史*
Shibata, Yoshifumi

要旨

MFP/LBP製品の用紙搬送性能の向上を目指して、二次元のシミュレーションソフトウェアを開発した。紙の正確なモデル化は困難だが、利用目的を考えれば幾分精度が低い計算でも、条件にばらつきを与えることで実用になると判断した。また、厳密な精度検証に工数を費やすことを避け、目視による比較と品質工学手法に基づく利得再現の確認によって妥当性を評価した。二次元の計算システムであるが、ばらつきをベースに考えることで三次元的な課題でも成果を上げることができた。今後とも数値解析と品質工学を組み合わせ、効率よく製品品質を向上させたい。

Abstract

With the target of improving paper feeding ability of MFP/LBP, I have developed 2-dimensional paper behavior simulation software. It seems difficult to make a precise model of paper behavior. However, I have judged that a model of paper behavior can be applied to a practical use even with a relatively low accurate calculation by providing variations in parameters by considering the purpose of the application. In addition, I evaluated the validity of simulation by comparison through visual observation and verification for gain reproduction on the basis of quality engineering techniques. With regard to a 2-dimensional calculation system, the system has made an achievement even on 3-dimensional problems under the consideration based on variations. Hereinafter, I am going to improve the quality of products efficiently by combining numerical analysis and quality engineering.

1 はじめに

MFP (Multi-Functional Peripherals)、LBP (Laser Beam Printer) の重要な品質項目として確実な用紙搬送が挙げられている。用紙の搬送時挙動はジャムなどの搬送不良だけでなく、画像品質の良否にも影響を及ぼす。

多様な用紙を確実に搬送するためには、余裕度の高い

用紙搬送経路の設計が行なわれていなければならない。ところが、試作機による搬送性の評価は容易ではない。近年、ユーザの使用紙種は多岐にわたり、また使用条件も幅広い。また、逆方向のカールを持つ場合がある。多種の紙を用意した上で、任意のカールを与える実験準備の負担は軽くない。さらに、試作機内での用紙搬送状態を全て観察することはできず、数値化も困難である。得られる情報の少なさからOK/NGのみの判定になりがちであり、OKの場合の余裕度を測ることが難しい。

そのような背景から、用紙搬送性を数値シミュレーションによって評価し、設計の早い時点で一特に試作機を作る前の変更が容易な段階で十分な品質を確保する取り組みを開始することにした。

ソフト開発に必要な情報を入手するために、精密工学会 柔軟媒体搬送技術と学理に関する研究会に参加した。本研究会は経験に頼ることが多かった紙などの媒体の搬送技術を学理的に探求するために、関係する大学研究者・企業技術者が集まり情報を共有する場であり、1998年6月から2002年5月まで開催された。私は2000年7月より参加し、シミュレーションソフト開発への多くの知見をいただき、また逆に発表を通じて情報を提供した。

2 シミュレーション技術開発の方針と課題

2.1 開発方針

用紙搬送に関するシミュレーション技術はまだ確立された状態にはなく、大学においても企業においても様々な方向からの取り組みが行なわれていた。その中で効率的な設計適用を目指し、次の計算技術開発方針を立てた。

- 新知見の獲得ではなく、設計改善を主目的とする
- 装置全体の用紙搬送を現実的な工数で評価する
- 計算精度の追求・検証を第一義的課題としない
- 二次元のシミュレーションとし、効率を追求する

一般には1ローラNIPないしはローラ-ローラ間の小規模な計算を行なうシステムを開発し、そこから大規模モデルを扱えるシステムへのスケールアップが図られる。

しかし、私は当初よりMFP/LBPの装置全体をシミュレートするフレームワークを構築し、ある程度大きな規模の計算を前提に内部の処理を詰めていった。

* コニカミノルタ ビジネステクノロジーズ(株)
機器開発本部 機器第2開発センター 第21開発部

2. 2 紙の物性ばらつきと計算精度

紙の物性はそのばらつきが非常に大きい点に特徴がある。用紙搬送シミュレーションにおいて重要となる弾性係数についても、基本的に荷重に対して非線形性を示す他、湿度によって2倍程度の幅を持ち、画像形成によるトナー付着によっても最大1.3倍程度の変化が起きることが報告されている。¹⁾

計算対象の物性値の変動が大きい場合には、開発した計算理論や手法が、ある一点で正確であるかの実験検証でさえ容易ではない。さらに幅広い条件で高い計算精度を保證できるシステムを確立することは至難である。

計算精度を追求すると紙のシミュレーションは高い壁につきあたる。しかし、製品開発における計算課題はその紙の物性やカール量が不確定にばらついた場合の搬送性であることを考えると、幾分低い精度であっても計算条件にばらつきを与えることで実用的な評価が可能であると判断した。

3 簡略化された計算モデル

3. 1 質点リンクによる紙モデル

実用的な時間で装置全体にわたる用紙搬送挙動を計算するために、最も単純な計算モデルを採用した。紙をFig.1に示す二次元の質点リンクモデルにより表わす。質点間の距離は通常1mmである。紙の質量は分割された質点に均等に配分され（先端・後端については1/2の重さとする）、隣接する質点同士を結ぶ梁の間に線形の回転ばねを配置する。

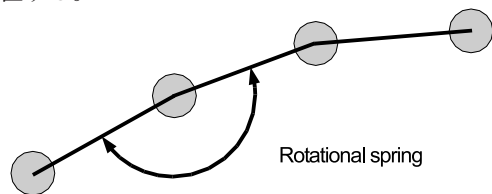


Fig.1 Simplified paper model

カールを持つ用紙は回転ばねの力が0となる隣接梁間角度を180度（直線）からずらすことにより表現する。

3. 2 ローラによる紙の搬送

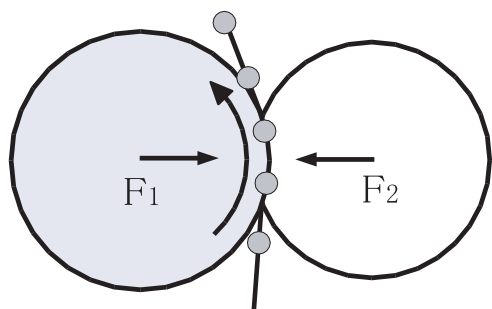


Fig.2 Roller feeding model

実際のローラNIPの形状は複雑だが、本計算においてはローラ対のいずれかを剛体として、その表面に沿って用紙が進むものとする (Fig. 2)。

各ローラには押圧力 (F_1 , F_2) を指定し、その和とローラNIPでの摩擦係数によって質点に搬送力を与えている。従って、用紙の搬送速度は必ずしもローラの周速とは一致しない。また、ローラNIP内に質点の一つもない状態 (NIP長が質点間隔以下の場合に発生する) では、NIP前後の質点に搬送力を割り振って与えている。

4 シミュレーションの実用性評価

4. 1 ビデオ観察による簡易検証

装置内の全ての位置での紙挙動を観察することは困難だが、一部についてはビデオ撮影などによって計算結果との比較を行なうことができる。

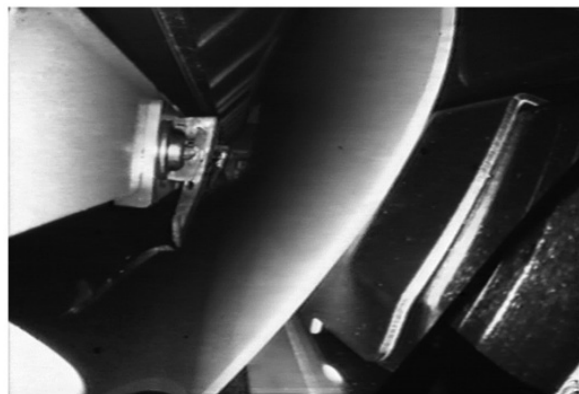


Fig.3 Paper behavior observation

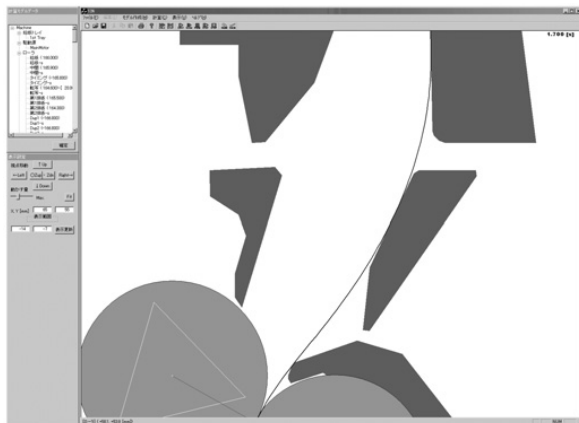


Fig.4 Paper behavior calculation

Fig. 3とFig. 4では同じ条件での紙挙動（ガイドとの当たり状態など）を実物と計算で対照している。簡易的な評価だが、概ね対応が取れていることが確認できた。

4. 2 実機実験によらない計算の評価

新しい数値シミュレーションソフトウェアが実物での再現性を持ち、信頼のおけるシステムであると認知され

るためには、詳細な実験検証が求められる。

しかし、本テーマについては精度の高い実機検証を行なわなかった。代わりに簡単かつ具体的なモデルの計算を品質工学と組み合わせて実施した。品質工学的評価において、S/N比の利得再現性が確保できれば、実物でも再現する確率が高いためである。

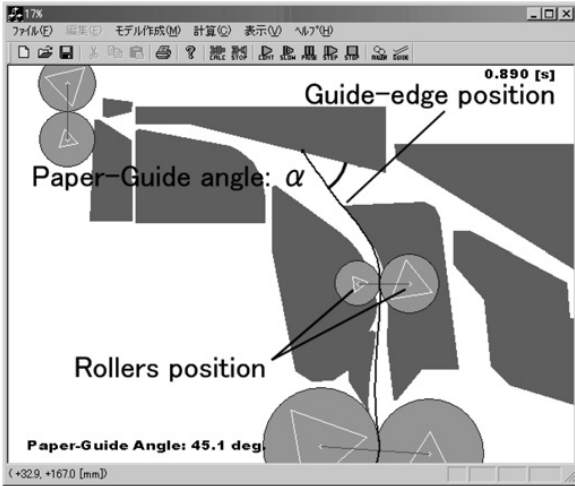


Fig.5 Paper-Guide contact angle evaluation

Fig. 5 は定着から排紙にかけての経路における用紙挙動の計算例であり、バックカールを起こした用紙がやや大きな角度で上部ガイドに衝突している。用紙の状態が変化してもガイドへの接触角度を小さく安定に保つことは重要な設計課題である。

ここでは、搬送ローラの位置とガイドの先端位置を制御因子として直交表L9を用いた計算条件の割り付けを行ない、接触角度 α を出力とした望小特性による評価を実施した。ノイズとして用紙の剛性（3水準）とカール量（3水準）を取り、L9×ノイズ9の81計算（および現行/最適の18計算）を行なっている。

推定利得 2.02 [db]	確認 2.81 [db]	差 0.79 [db]
----------------	--------------	-------------

最適と推定された組み合わせを用いて確認計算を実施すると、S/N比の利得が許容できる範囲（0.79[db]）で再現した。

ビデオ観察による簡易的な妥当性評価と品質工学手法における利得再現の結果から、本シミュレーションは実用に堪えると判断した。

5 三次元課題への応用事例

5.1 “計算不可能”な三次元課題

本シミュレーションは4節で示したような二次元の経路設計評価によって用紙搬送の安定性を改善するとともに、転写部での用紙巻き付き量を評価することで画質の向上にも寄与している。

ところで、用紙搬送においては三次元的な評価が必要な課題も多く存在する。例えばFig. 6に示すような“紙の

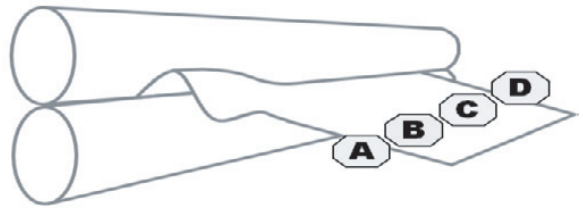


Fig.6 "Twist", the 3-dimensional problem

よれ”が品質問題を引き起こす場合がある。常識的には三次元の課題解決には三次元のシミュレーションが必要であり、二次元計算を行なう本シミュレーションでは、“よれ”の検討は不可能だと考えられた。

5.2 “よれ”の発生メカニズムの考察

ここで、“よれ”が発生する原因を考える。“よれ”はFig. 6において、用紙のA, B, C, Dの部分が異なる動きをするために発生するとみなすことができる。A, B, C, Dの挙動が異なる原因は用紙の部分ごとの物性やカール量の違い、あるいは接触しているガイドやローラの状態の差と考えられる。これらの原因は“ノイズ”と総称できる。すなわち、ここから次の仮説が提起できる。

各種の“ノイズ”に対して挙動のばらつきが少ない構成を“二次元的”に追及すれば、その結果は“三次元的”にも安定した用紙挙動をもたらす。そして、“よれ”などの問題を抑えることができるのではないかと。

5.3 二次元計算による搬送安定性の改善

このような方針の下で二次元シミュレーションによる“よれ”問題への取り組みを行なった。

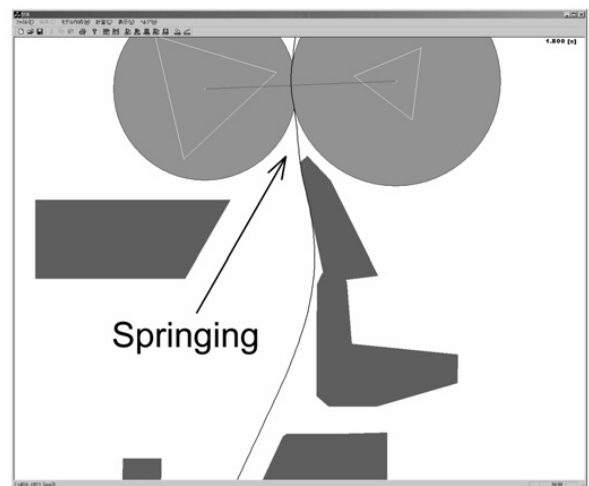


Fig.7 Calculation model and the evaluation point

対象となるローラ付近のガイド板の位置や傾きを制御因子とし、直交表L9に条件を割り付けた。用紙の正逆方

向のカールと搬送ガイドの位置変動をノイズとして与え、時間経過にともなう評価ポイント (Fig. 7 に矢印で示す) での用紙の跳ね上がり量を計算からグラフ化した。用紙が通過する間のグラフの面積を出力として、望小特性で評価している。

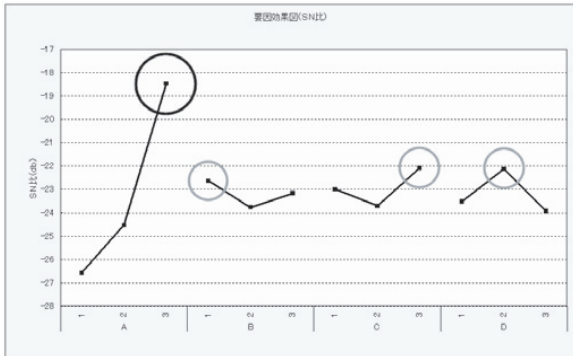


Fig.8 Parameters effect chart

Fig. 8 に示された要因効果図は、あるガイド板の条件を適切に設定することで用紙搬送の安定性が高まることを示している。

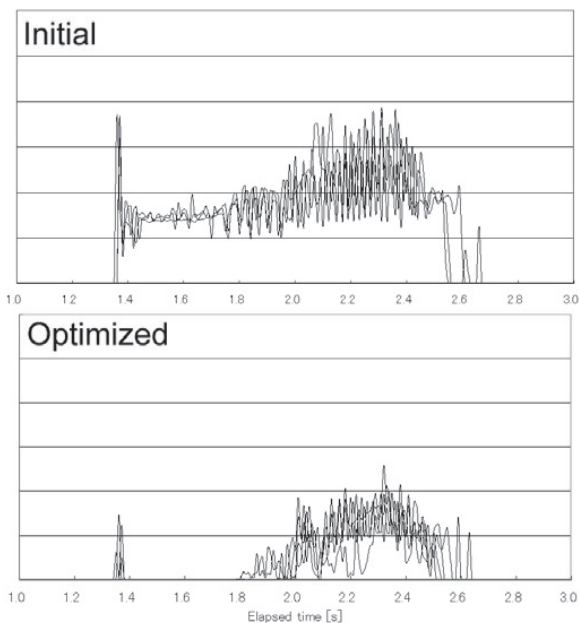


Fig.9 Calculated paper behaviors (with "noise")

計算結果を見ると、当初の設計と最適化された形態では用紙の跳ね上がり挙動がFig. 9 のように変化している。それぞれのグラフにはノイズに対応した4つのラインが重ねられている。最適化後のグラフではノイズを受けた場合の影響の差が少なく、また全体としても跳ね上がりが抑えられていることがわかる。

5. 4 三次元課題の解決

この計算においても利得の再現性を見ると、推定利得12.28[db]に対して確認利得11.00[db]であり、その差は

1.28[db]とほぼ再現した。

そこで、最適と考えられた条件を実際の製品設計に適用した。試作機を用いて、実際の用紙搬送性評価を行なったところ、“よれ”に起因すると考えられた品質問題が解消した。

今回、“よれ”という三次元課題を、問題の捉え方を変えることにより、二次元のシミュレーションによって解決することができた。二次元計算は三次元計算に比べてはるかに高速であり、また計算コストが低い。数値シミュレーションの効率的な設計適用を考えると、次元を落として評価することのメリットは大きい。

6 まとめ -開発方針に対する結果と所感-

MFP/LBP内の用紙搬送をシミュレートする数値解析ソフトウェアを開発し、実用化することができた。本シミュレーションシステムは新規の搬送経路を持つほぼ全ての製品の設計で利用され、用紙搬送における高い信頼性を実現する一助となっている。

本稿で示したような局所的なモデルであれば、1回の計算時間は数分である。低い位置のカセットから給紙し、スイッチバックして反転経路を通り裏面作像といった長い経路の計算を行なう場合には1計算が数時間に及ぶ。その際には複数台のPCで別々の条件を同時に計算させることにより、目標とした現実的工数での装置全体のシミュレーションを実現している。

用紙搬送シミュレーションは精密な実験検証が難しいことから、あえて実機を用いた計測評価を行わず、品質工学的評価におけるS/N比の利得再現性を妥当性の根拠とした。利得再現は計算理論の正当性を保証しないが、内部に矛盾がないことと設計要素間の交互作用の小ささを示し、実物再現性が得られる可能性が高いことを示している。短時間に低いコストで実用化の判断を下せることから、企業内で活用する数値シミュレーションソフトの開発においては有効な手法ではないかと考える。

また、品質工学をヒントに問題の捉え方を変えることで、二次元の計算であってもある種の三次元課題を解決できた。用紙搬送シミュレーションに限らず、一般に二次元と三次元の計算負荷の差は大きく、三次元計算が実用上不可能なケースも多い。問題の単純化は数値シミュレーションによる設計評価を迅速かつ低コストに実施するための重要なポイントである。今後とも数値シミュレーションと品質工学を組み合わせることで、効率的に製品品質を向上させる取り組みを続けていきたい。

●参考文献

1. 小寺秀俊、精密工学会 柔軟媒体搬送技術と学理に関する研究会 成果報告書 第二巻、21、2002