プリンタのキャリッジのスティックスリップ挙動 に及ぼす表面形状の影響

Effect of Surface Topography on Stick-slip Motion of the Printer Carriage

○正 内舘 道正 (岩手大)

正 清水 友治 (岩手大)

正 片野 圭二 (アルプス電気㈱)

正 岩渕 明 (岩手大)

Michimasa UCHIDATE, Iwate University, Ueda 4-3-5, Morioka-shi, Iwate

Tomoharu SHIMIZU, Iwate University

Keiji KATANO, Alps Electric Co., Ltd., 50 Aza, Kami-imoda, Tamayama, Iwate

Akira IWABUCHI, Iwate University

Keywords : Thermal Serial Printer, Stick-slip Motion, Jitter, Simulation, Surface Roughness, Surface Waviness

1. はじめに

シリアルプリンタのさらなる高解像度化を実現するための重要課題の一つは、キャリッジのスティックスリップによるジッタ（濃淡のむら）である。

著者らは、これまでキャリッジシステムをモデル化した実験を行い、軸の表面形状のうねり成分がスティックスリップ挙動に影響を及ぼすことを明らかにしてきた。

本研究では、軸と軸受の三次元表面形状を考慮したスティックスリップのシミュレーションを行い、軸の表面形状がスティックスリップ現象に与える影響を詳細に検討する。

2. プリンタキャリッジのモデル化

キャリッジの機構は、Fig.1のように表される。すべり軸受は左右に2つあり、摺動面の材料はガラス繊維強化のエンジニアリングプラスチックである。また、シャフトの材質は、快削鋼である。キャリッジは、タイミングベルトによって左右に駆動される。このキャリッジの挙動の運動方程式を、次式とする。

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - v) + k(x - vt) = F \quad (1)$$

ここで、 x はキャリッジの位置、 v は駆動速度、 k はばね定数、 c は粘性減衰係数、 m はキャリッジ質量、 F は摩擦力である。

3. 計算方法

3.1 接触解析

接触解析には、軸と軸受の表面形状より接触領域を求め、その接触領域の個々の接触点に対しヘルツ接触を適用する方法を用いた。さらに軸受の位置を軸方向に移動させ、それぞれの位置における接触状態を求めた。ここで、軸と軸受のヤング率はそれぞれ 200GPa、5GPa、ポアソン比はどちらも 0.3 とした。以上のような計算によって求められた真実接触

面積に、実験より求められた摩擦係数となるように凝着部せん断応力を掛け合わせ、それぞれの位置における F の値とした。

3.2 スティックスリップ挙動解析

スティックスリップ挙動は、式 (1) によって計算される。ここでは、式 (1) の数値解法には 4 次のルンゲ・クッタ法を適用した。式 (1) のパラメータは、 $v=5.08 \times 10^{-2} \text{m/s}$, $k=4.70 \times 10^4 \text{N/m}$, $c=17.0 \text{Nm/s}$, $m=0.465 \text{kg}$ とした。また、 F は接触解析の結果より求められた値であり、場所による変動を考慮する。なお、速度による摩擦係数の変動は小さいものと考え、考慮していない。

4. 軸と軸受の表面形状

本研究では、軸の表面形状がスティックスリップ挙動に与える影響を検討するため、非因果的二次元自己回帰 (2-D AR) モデルによって種々の特徴を有した三次元表面形状データを創成し、シミュレーションに用いた。

Fig.2 Schematic diagram of the non-causal 2-D AR model

Fig.3 Generated surface roughness for the shaft

Fig.1 Schematic diagram of the carriage driving system

Fig.4 Generated waviness component for the shaft

Fig.5 Contact points from the contact analysis results

三次元表面形状を $\{z_{xy}\}$ とすると、非因果的 2-D AR モデルは、

$$z_{xy} = \sum_{(i,j) \in D} \phi_{ij} z_{x-i, y-j} + a_{xy} \quad (2)$$

$$D = \{(i, j) | -m \leq i \leq m, -n \leq j \leq n, (i, j) \neq (0, 0)\} \quad (3)$$

で表される¹⁾。ここで、 $\{\phi_{ij}\}$ は AR パラメータ、 $\{a_{xy}\}$ は表面形状の不規則性を表すノイズ成分、 m, n は AR の次数である。このモデルの概念図を Fig.2 に示す。この表面形状モデルによって種々の特徴を有した三次元表面形状データを創成した²⁾。

軸の表面形状は、短波長成分の粗さと長波長成分のうねりをカットオフ長さ 1mm のガウシアンフィルターで分離して取り扱った。Fig.3 に創成された粗さ成分を示す。この粗さ成分は、実際の軸の表面形状をモデル化して創成されたものであり、 $Ra=0.12\mu m$ である。また、Fig.4 には創成されたうねり成分の三次元表面形状の例として、(a) $\beta=0.4mm$ と (b) $\beta=1.0mm$

(β : 相関距離) の表面形状を示す。これらは算術平均粗さ Wa はともに約 63nm であるが、うねりの波長が異なる。軸の表面形状は粗さ成分とうねり成分の和とした。また、解析においては、軸と軸受のクリアランス $90\mu m$ とし、クリアランスによる曲面を足し合わせシミュレーションに用いた。

Fig.6 Friction force calculated from the contact analysis results

Fig.7 Simulation results of position error

軸受の粗さ成分については、軸と同様に実測の表面形状に非因果的 2-D AR モデルを適用して創成した。ただし、軸受のうねり成分については実測の形状より測定された中央付近のくぼみを考慮した表面形状とした。

5. 解析結果

接触解析によって求められた接触点を Fig.5 示す。円筒形状の上部の点が、軸上の接触点を示している。接触点の分布のかたよりが、うねりによってもたらされていることがわかる。Fig.6 に接触解析の結果より計算された摩擦係数の変動を示す。粗さによる周期の短い変動とうねりによる長周期の変動が見られる。また、 $\beta=0.4mm$ と $\beta=1.0mm$ の場合では、うねりによる変動の周期が異なる。Fig.6 の摩擦力の変動を考慮に入れた、スティックスリップによる変位誤差のシミュレーション結果を Fig.7 に示す。比較のため、軸のうねりがない場合も同図に示す。粗さによる短い周期の変動はほとんど見られず、おもにうねりによってスティックスリップ挙動が大きく異なることが示されている。

6. まとめ

本研究では、プリンタキャリッジの軸と軸受の表面形状の影響を考慮したスティックスリップ挙動のシミュレーションを行った。その結果、軸のうねり成分の波長がその挙動に大きな影響を及ぼすことが示された。

参考文献

- 1) 清水友治・内館道正・岩渕明, トライボロジスト, 45, 6 (2000) 177-483.
- 2) Michimasa Uchidate, Tomoharu Shimizu and Akira Iwabuchi, Proc. Int. Tribol. Conf. Nagasaki 2000(Now Printing).