

# のこぎり歯形状を有する表面によるマイクロパーツの搬送

## ～ 第4報 輸送条件の最適化に関するシミュレーション ～

立命館大学 ○菅野直人, 三谷篤史, 平井慎一

### Micro Parts Feeding by a Saw-tooth Surface 4th Report - Simulation for Optimizing Feeding Parameter

○Naoto SUGANO, Atushi MITANI, Shinichi HIRAI, Ritsumeikan Univ.

This paper describes the simulation of micro-parts feeding using a saw-tooth surface with simple planar and symmetric vibration. In order to design an appropriate saw-tooth surface for various micro-parts, we analyze condition of contact between a micro-part and a saw-tooth surface. Next, we simulate the relationship between the elevation angle of a saw-tooth and the displacement of a part, and the relationship between the vibration amplitude and the velocity of a part.

#### 1 緒言

本研究では, 方形波などの対称な駆動信号を用い, フィーダ表面にのこぎり歯を形成することによって, 対称な平面振動のみでのマイクロパーツの輸送を提案する. 本報告では, パーツとのこぎり歯形状表面との接触状態をモデル化し, シミュレーションを行うことにより, パーツの駆動を検証する.

#### 2 モデル化

輸送ワークには, TDK 製 C シリーズ 2012 型の積層型セラミックコンデンサを用いる. そのサイズは  $2.0 \times 1.2 \times 0.6$  [mm<sup>3</sup>], 質量は 7.5 [mg] であり, セラミック誘導体部と両端の外部電極により構成される. Fig.1(a) にワークの外観を, Fig.1(b) に, ワーク表面を接触式あらさ測定器で計測した結果を示す. 外部電極はセラミック誘導体部より約 40 [μm] 突出している. したがって, パーツフィーダ表面との接触は外部電極において発生する. また, 外部電極表面には多くの凹凸が存在している. ワークの外部電極表面に存在する凸部を Fig.2(a) に示す半径  $r$  の円弧, パーツフィーダ表面が Fig.2(b) に示すのこぎり歯形状の表面であると仮定する.

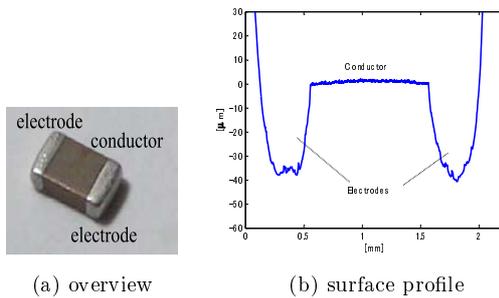


Fig. 1: Ceramic capacitor 2012

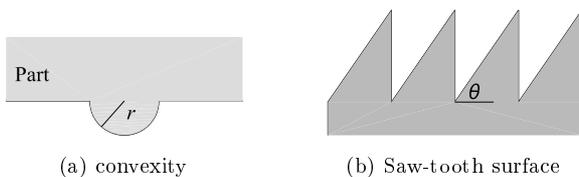


Fig. 2: Part and saw-tooth model

#### 3 接触状態によるワークに働く力

##### 3.1 接触状態の分類

2つののこぎり歯と凸部との接触状態について考察する. 接触状態は, のこぎり歯と凸部との相対位置によって, Fig.3(a) の歯  $k$  の斜面が接触する場合と, Fig.3(b) の歯  $k-1$  の先端が接触する場合とに分けられる.

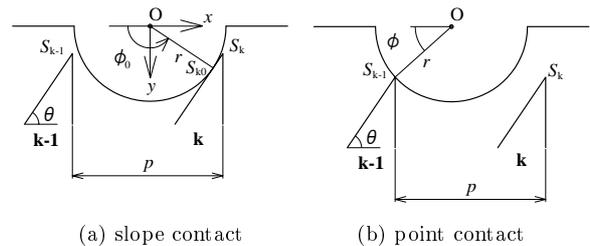


Fig. 3: Contact condition of a convexity and two saw-tooth

##### 3.2 斜面接触

Fig.3(a) に示すように, 凸部中心に座標  $O-xy$  をとり,  $S_{k0} \equiv (x_0, y_0)$  を斜面接触位置,  $\phi_0$  を斜面接触角とする. また,  $S_k \equiv (x_k, y_k)$  および,  $S_{k-1} \equiv (x_{k-1}, y_{k-1})$  をそれぞれ, 歯  $k$  および歯  $k-1$  の先端位置とする. 斜面接触位置  $S_{k0}$  は, 凸部の半径  $r$  と斜面接触角  $\phi_0$  により次式で表される.

$$S_{k0} = (-r \cos \phi_0, r \sin \phi_0) = (r \sin \theta, r \cos \theta) \quad (1)$$

ただし,

$$\phi_0 = \frac{\pi}{2} + \theta \quad (2)$$

である. ここで凸部がのこぎり歯によって  $x$  軸方向に  $F_c = -F_0$  の力で押される場合を考える. このとき凸部は, のこぎり歯の斜面を右へ滑りながら左方向へ押されることになる. 凸部が斜面接触により受ける力を Fig.4 に示す. 凸部の質量が十分に軽量であると仮定すると, 斜面を右へ滑る力  $F_s$  は,  $F_c$  による反力  $F_0$  の斜面方向分力  $f_{rs} = F_0 \cos \theta$  と, 法線方向分力  $f_{ns} = F_0 \sin \theta$  によって次式で表される.

$$F_s = f_{rs} - \mu_s f_{ns} \quad (3)$$

ここで  $\mu_s$  は, 凸部と斜面との摩擦係数である. 駆動力  $F$  は,  $F_s$  の  $x$  方向成分  $F_{sx}$  と  $F_c$  の和で表される. すなわち, 駆動力

$F$  は次式となる .

$$F = F_c + F_{sx} = -F_0 + (F_0 \cos \theta - \mu_s F_0 \sin \theta) \cos \theta \quad (4)$$

ただし,  $F_0 \cos \theta - \mu_s F_0 \sin \theta < 0$  となる場合には, 斜面でのすべりが生じないため, 駆動力  $F$  は  $F = -F_0$  となる .

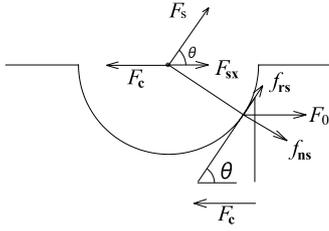


Fig. 4: Slope contact forces

### 3.3 先端接触

凸部がのこぎり歯によって,  $x$  方向成分に  $F_0$  の力で押される場合を考える . のこぎり歯の先端は凸部の円周に沿って右へ滑りながら, 凸部を右方向へ押すことになる . Fig.5(a) に  $F_0$  の分力を示し, Fig.5(b) に凸部が受ける力ベクトルを示す . 滑りが生じる場合には, 接線方向の分力は, 摩擦力を考慮する必要がある . すなわち,  $F_0$  による接線方向の分力を  $f_{rp} = F_0 \sin \phi$ , 法線方向の分力を  $f_{np} = F_0 \cos \phi$  とすると, 接線方向の駆動力  $f'_{rp}$  は次式で表される .

$$f'_{rp} = f_{rp} - \mu_p f_{np} = F_0 \sin \phi - \mu_p F_0 \cos \phi \quad (5)$$

ここで  $\mu_p$  は, 凸部と先端との摩擦係数である . したがって, 滑りが生じる場合の駆動力ベクトル  $F_p$  及び, 角  $\eta$  は次式で表される .

$$F_p = \sqrt{f_{np}^2 + f'_{rp}^2} \quad (6)$$

$$\eta = \tan^{-1} \frac{f'_{rp}}{f_{np}} \quad (7)$$

力  $F_p$  の  $x$  方向成分である駆動力  $F$  は,  $F_p$  と  $x$  軸とのなす角が  $\phi - \eta$  であるので, 次式で表される .

$$F = F_p \cos(\phi - \eta) \quad (8)$$

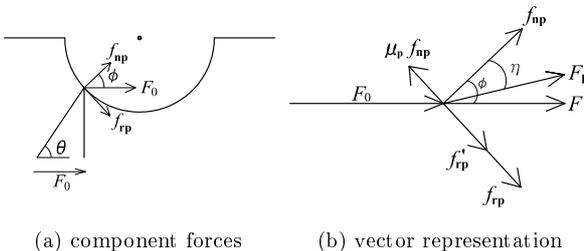


Fig. 5: Point contact forces

## 4 輸送シミュレーション

のこぎり歯のピッチを  $p=0.2$ [mm], 凸部半径を  $r=0.1$ [mm] とし, 駆動周波数  $15$ [Hz], のこぎり歯が凸部を  $x$  方向に押す力を  $F_0 = 1.0 \times 10^{-6}$ [N], 凸部と斜面との摩擦係数を  $\mu_s = 0.8$ , 先端との摩擦係数を  $\mu_p = 0.01$  とした場合のシミュレーション

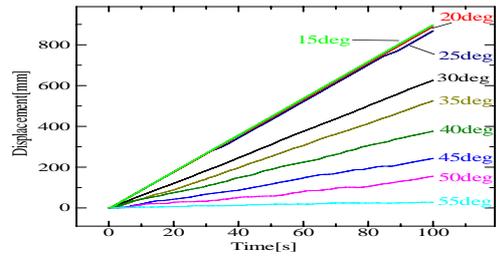


Fig. 6: Relationship between elevation angle and displacement

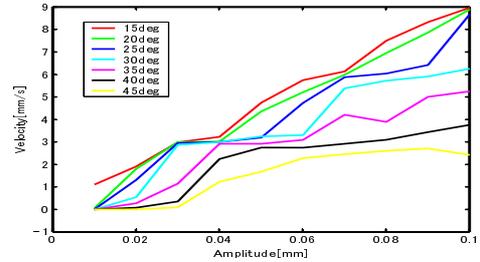


Fig. 7: Relationship between amplitude and velocity

を行なった . なお, サンプルタイム  $0.01$ [s] で  $100$  秒間の運動をシミュレーションした .

Fig.6 に, のこぎり歯の振幅を  $0.1$ [mm] と一定とし, 仰角を  $15$ [deg] から  $55$ [deg] まで  $5$ [deg] 刻みに変化させたときのパーツの輸送距離のシミュレーション結果を示す .  $100$ [s] 後の輸送距離を見ると,  $30$ [deg] ではおよそ  $620$ [mm] 輸送できているのに対し,  $40$ [deg] では  $390$ [mm],  $50$ [deg] では  $150$ [mm] 程度と, 輸送距離が短くなっている . このことより, のこぎり歯の仰角が大きくなるほど, 一定時間での輸送距離が短くなると考えられる . また,  $25$ [deg] 以下の仰角では輸送距離にほとんど変化が現れない .

Fig.7 に, それぞれの仰角において振幅を  $0.01$ [mm] から  $0.1$ [mm] まで変化させた場合の輸送速度のシミュレーション結果を示す . のこぎり歯の仰角が  $30$ [deg] のとき, 振幅が  $0.04$ [mm] で輸送速度が約  $3$ [mm/s],  $0.08$ [mm] で約  $3.8$ [mm/s],  $0.1$ [mm] で約  $5.2$ [mm/s] となり, 振幅を大きくするほど早い輸送が行なえる . また, 同一振幅での駆動では, 仰角が小さいほど, 高速に輸送ができる .

## 5 結言

本研究では, のこぎり歯とマイクロパーツの接触状態を解析することにより, 先端接触と斜面接触における駆動力の静力学的モデルを導出した . それらのモデルを用いてシミュレーションを行なうことにより, のこぎり歯仰角と輸送距離との関係, およびフィード振幅と輸送速度の関係を検証した . 今後, これまでに実験を行なった仰角  $30$ [deg],  $p=0.2$ [mm] 以外ののこぎり歯を作成し, シミュレーション結果と比較することにより, 接触モデルの妥当性を検証する .

## 参考文献

- [1] 三谷篤史, 菅野直人, 平井慎一: のこぎり歯形状を有する表面によるマイクロパーツの輸送, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.71, No.704, (2005-4), pp.57-64 .