

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 $2.0 \times 1.2 \times 0.6$ [mm³], 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.

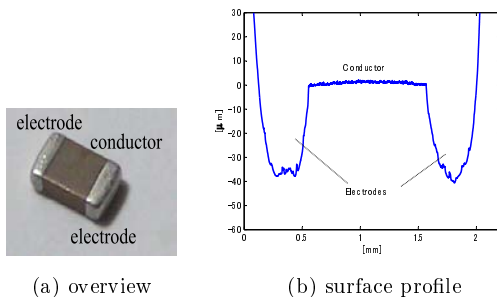


Fig. 1: Ceramic capacitor 2012

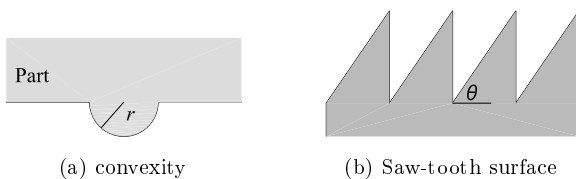


Fig. 2: Part and saw-tooth model

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.

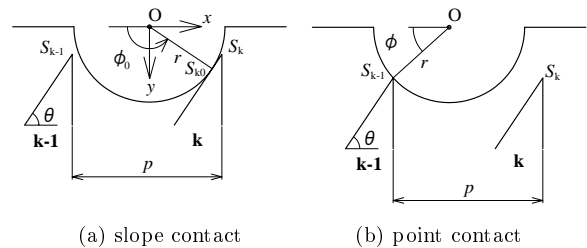


Fig. 3: Contact condition of a convexity and two saw-tooth

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, ϕ_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 ϕ_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 μ_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 .

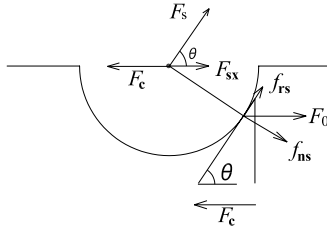


Fig. 4: Slope contact forces

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 μ_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 η 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 .

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

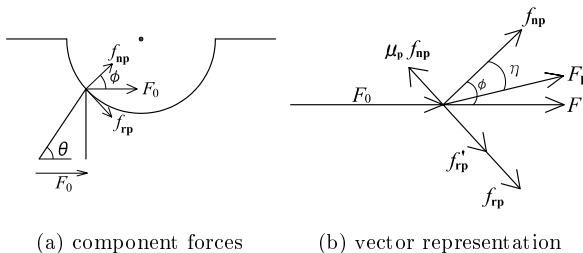


Fig. 5: Point contact forces

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

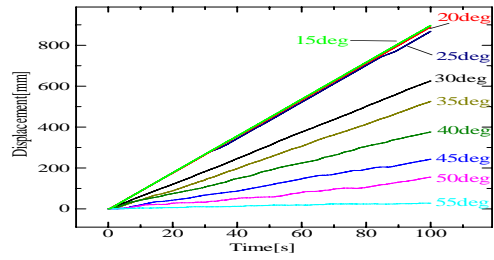


Fig. 6: Relationship between elevation angle and displacement

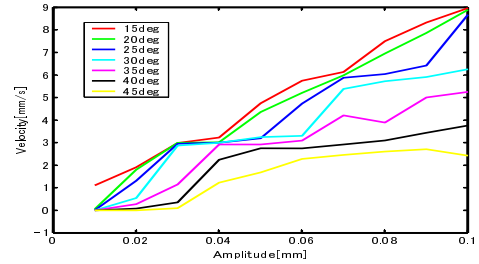


Fig. 7: Relationship between amplitude and velocity

を行なった . なお, サンプリングタイム 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 .