

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 ~ 第5報 より微小なワークの輸送における駆動条件の検討 ~

札幌市立大学 三谷 篤史
立命館大学 吉村 俊厚, 平井 慎一

Micro-parts Feeding by a Saw-tooth Surface 5th Report - Feeding conditions for smaller micro-parts

Atsushi Mitani, Sapporo City Univ.

○Toshiatsu Yoshimura and Shinichi Hirai, Ritsumeikan Univ.

This paper describes the study of feeding conditions for submillimeter size micro-parts using a saw-tooth surface with simple planar and symmetric vibration. The driving condition changes according to the size of micro-parts because smaller parts decrease weight, surface area and convexity size, which influences the dynamics of these parts. Relationship between driving conditions and feeding velocities of **0603**-type capacitors (size: $0.6 \times 0.3 \times 0.3$ mm, weight: 0.3 mg) are represented experimentally. Surface parameters such as convexity size, friction coefficient and adhesion force are estimated by comparing experimental results with simulation.

1 はじめに

筆者らは、のこぎり歯形表面を有するマイクロパーツフィーダを提案している [1]。この機構は、振動式フィーダの表面にのこぎり歯形状の溝加工を施し、マイクロパーツとフィーダの接触条件を正負方向で変化させることで、対称な平面振動による一方向輸送を実現する。前報 [2, 3] では、マイクロパーツのダイナミクスを導出し、それらを用いたシミュレーション結果と 2012 型チップコンデンサ ($2.0 \times 1.2 \times 0.6$ mm, 7.5 mg) の輸送実験結果を比較することによりダイナミクスの妥当性を検討した。本稿では、より小さいサイズの 0603 型チップコンデンサ ($0.6 \times 0.3 \times 0.3$ mm, 0.3 mg) の輸送について検討する。より小型かつ軽量のマイクロパーツを輸送する場合、質量や表面積だけでなく、表面粗さ、摩擦力、凝着力が変わり、それらがマイクロパーツの輸送に影響を与える。本報では、シミュレーションを用いてこれらのパラメータ推定を試みる。ここでは、輸送実験を行うことによりパーツフィーダの駆動条件と輸送速度の関係を明らかにする。次に、シミュレーションにおいて、実験結果と同一の結果が得られるようにパラメータを調整し、マイクロパーツの表面に関するパラメータを推定する。

2 輸送実験

パーツフィーダの駆動条件と 0603 型チップコンデンサの輸送速度について検証する。輸送実験に用いたのこぎり歯表面形状を表 1 に示す。パーツフィーダの駆動電

Table 1 Saw-tooth surface profiles

Type	θ [deg]	p [mm]	$d \times 10^{-1}$ [mm]
15deg	15	0.1	0.268
20deg	20	0.1	0.364
25deg	25	0.1	0.466
30deg	30	0.1	0.577
35deg	35	0.1	0.700
40deg	40	0.1	0.869

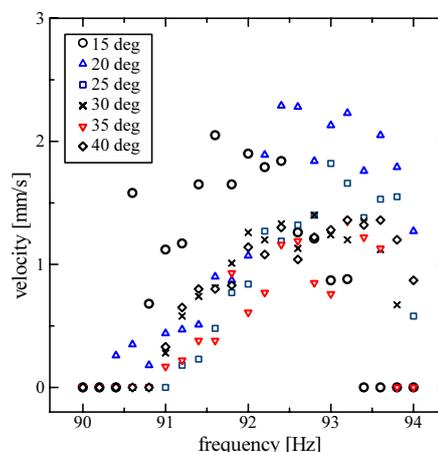


Fig. 1 Experimental results of 0603-type capacitors

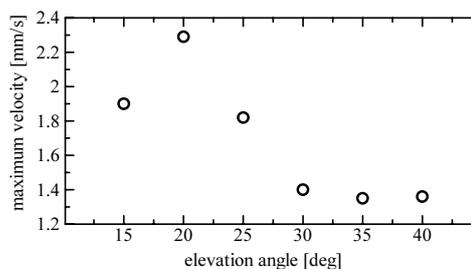


Fig. 2 Maximum feeding velocity on each surface

圧を 120 V の方形波とした。それぞれの表面において、駆動周波数を $f = 90.0, 90.2, 90.4 \dots 94.0$ Hz とした場合のマイクロパーツの輸送速度を図 1 に示す。なお、輸送速度の計測にはビデオカメラを用い、一定距離の輸送に要したフレーム数から輸送速度を計算した。各駆動条件において 10 回の輸送実験を行い、それらの平均値を実験結果とした。

それぞれの表面において、91 Hz から 93 Hz で安定した輸送が実現できている。図 2 に各表面での最高輸送速度を示す。これらの結果から、最も高速な輸送を実現できる表面は、20deg 表面であり、92.4Hz 駆動において 2.29 mm/s の輸送速度を実現している。したがって、0603 型

チップコンデンサの輸送においても 2012 型の実験結果 [3] と同様な傾向を示しているものの、駆動周波数および輸送速度は大きく異なっている。これらの原因としてあげられるのは、マイクロパーツの小型化によるパラメータの変化である。マイクロパーツの小型化により、重量が減少するだけでなく、パーツの表面積も小さくなる。それに伴い、パーツの表面パラメータ、すなわち凸部半径や摩擦力、凝着力も変化する。次節では、ダイナミクスモデルを用いたシミュレーションにおいて、実験結果と適合するようにシミュレーションパラメータを調整することにより、0603 型チップコンデンサの表面パラメータを推定する。

3 シミュレーションによるパラメータ同定

以下のダイナミクスモデル [3] を用いてシミュレーションを行なう。

$$F = m\dot{v} + cv + F_{gsaw-tooth} \quad (1)$$

ここで、 m はマイクロパーツの質量、 c は粘性係数、 $F_{gsaw-tooth}$ はパーツに働く凝着力である。また、 F はマイクロパーツの駆動力であり、マイクロパーツとのこぎり歯の接触状態によって変化する。実験結果とシミュレーションが同一の輸送距離となるように、シミュレーションの各パラメータを調整する。参照する実験結果は、図 2 に示す最高輸送速度とした。

のこぎり歯のピッチを $p = 0.1 \text{ mm}$ 、凸部半径を $r = 0.03 \text{ mm}$ 、フィードテーブルの振幅を $Amp = 0.5 \text{ mm}$ 、パーツの質量を $m = 0.3 \text{ mg}$ 、のこぎり歯先端の摩擦係数を $\mu_p = 1.0$ 、斜面との摩擦係数を $\mu_s = 0.001$ 、粘性係数 $c = 1.0 \text{ mg/s}$ 、のこぎり歯の駆動力を $F_0 = 450 \text{ mg}\cdot\text{mm}/\text{s}^2$ 、無加工時にパーツ全体にかかる凝着力を $f_g = 130 \text{ mg}\cdot\text{mm}/\text{s}^2$ とした。サンプリングタイムを 0.001 s とし、 100 s 間のシミュレーションを行った。シミュレーション結果および実験結果とそれらの比較を表 2 に示す。シミュレーションでは $25 \sim 40 \text{ deg}$ 時の到達距離が実験値より大きい事が分かる。

4 考察

0603 型チップコンデンサの輸送を実現する駆動周波数は、2012 型チップコンデンサと比較して大きくなっている。これはワークの小型化により凝着力の影響が大きくなると同時にワークの慣性力が減少し、凝着力に打ち勝つために必要なフィードの振動力が大きくなったため

Table 2 Comparison between simulation and experiments

Surface Type	Simulation [mm]	Experiment [mm]	Error [%]
15deg	189.701	190.249	0.28
20deg	224.007	228.665	2.03
25deg	235.588	182.044	29.41
30deg	219.998	139.720	57.46
35deg	211.801	135.497	56.31
40deg	180.095	135.920	32.50

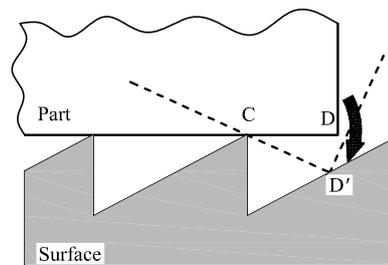


Fig. 3 Rotation around horizontal axis along saw-tooth

である。また、0603 型の輸送速度は 2012 型に比して $1/10$ 程度となった。これは、マイクロパーツの小型化に伴い凸部の大きさも減少し、輸送時において無接触状態が生じ輸送効率が減少したためである。すなわち、マイクロパーツの小型化に応じて、のこぎり歯表面を微細化する必要がある。

シミュレーションと実験結果を比較すると、仰角 $15, 20 \text{ deg}$ において誤差はそれぞれ $0.28\%, 2.03\%$ なのに対し、 25 deg 以降では誤差は大きくなっている。また、輸送速度がピークとなる仰角を比較すると、実験結果が 20 deg なのに対しシミュレーションは 25 deg である。これらの原因としては、シミュレーションにおいてワークの回転を考慮していないことが挙げられる。図 3 に示すように、ワークが横軸周りに回転した場合、ワークの突き出し部分が接触点 C を中心に回転し、ワークの先端 D がのこぎり歯の斜面上の点 D' と接触する。このとき負方向駆動力が生じ、輸送速度が減少する。負方向駆動力は、ワークの横軸周りの回転角に依存する。ワークの回転角は、ワークが小さいほど大きくなり、溝深さが深いほど大きな回転角でのこぎり歯斜面と接触する。すなわち、のこぎり歯の仰角が小さい $15, 20 \text{ deg}$ ではシミュレーションと実験結果の誤差が小さくなり、仰角が大きくなると誤差も大きくなる傾向にある。したがって、より高精度な同定を行うためには、ワークの回転を考慮したダイナミクスによるシミュレーションが必要となる。

5 おわりに

本研究では、前報で検討した 2012 型チップコンデンサより、より小さいサイズの 0603 型の輸送について検討した。今後の課題としては、パーツの回転まで考慮したシミュレーション、角度 20 deg 、周波数 92.4 Hz における最適なピッチ幅の検討が挙げられる。

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, pp.1169-1176, 2005.
- [2] 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 ~ 第 3 報 輸送のダイナミクス ~, SI2005(熊本), CD-ROM, 2005.
- [3] 菅野 直人, 三谷 篤史, 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 ~ 第 4 報 輸送条件の最適化に関するシミュレーション ~, SI2005(熊本), CD-ROM, 2005.