

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 1 報 一方向輸送原理 ～

三谷 篤史(立命館大), 菅野 直人, 平井 慎一

Micro-parts Feeding by a Saw-tooth Surface 1st Report - Principle of Unidirectional Feeding

Atsushi Mitani(Ritsumeikan Univ.), Naoto Sugano and Shin-ichi Hirai

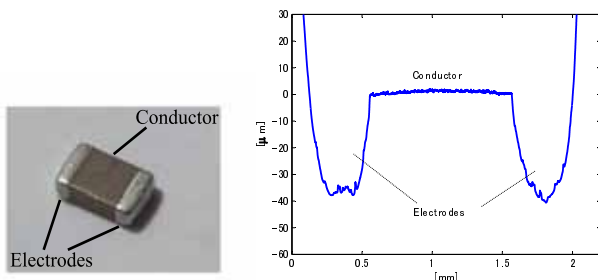
This paper describes micro-parts feeding using a saw-tooth surface. In parts feeding, a driving force applied to each part must vary according to the moving direction of the part so that the part moves in one direction. First, we propose micro-parts feeding using a saw-tooth surface with simple planar and symmetric vibration. We describe the principle of the proposed technique. Second, we conduct experiments to prove the feeding directionality of the proposed method.

1 はじめに

マイクロパーツのように微小かつ軽量の輸送対象物(ワーク)の輸送においては,重力など体積に比例する力に比して,接触面積に比例する凝着力の効果が支配的である [1]. これらの点に着目すれば,振動式フィーダの入力信号波形や駆動周波数を変更するよりむしろ,ワークとフィーダ表面の接触条件を変更する方が,ワークの運動により大きな影響を与えられる.本研究では,フィーダ表面にのこぎり歯形状の溝加工を施し,接触面積減少による凝着力低減効果を得つつ,正負方向の接触条件を変えることによって,対称な平面振動による輸送を実現する方法を提案する.本報告では,フィーダ表面にのこぎり歯形状を適用した場合の一方向輸送原理を示し,その実現性を実験により確かめる.

2 輸送原理

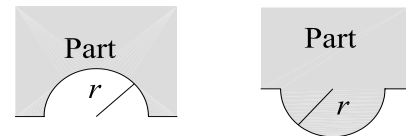
本研究では,ワークとして積層型セラミックコンデンサを用いる. Fig.1(a) にワークの外観を, Table1 に TDK 製 C シリーズの仕様を示す. これらのワークは,セラミック誘導体部と両端の外部電極により構成される. Fig.1(b) は, 2012 型の表面を接触式あらさ測定器で計測した結果である. 外部電極がセラミック誘導体部より約 $40\mu\text{m}$ 突出していることがわかる. したがって, パーツフィーダ表面との接触は外部電極において発生する. また, 外部電極の表面は平らでなく, 多くの凹凸が存在することがわかる.



(a) overview (b) surface profile
Fig. 1 Ceramic capacitor 2012

Table 1 TDK C series specification

| Type | Size(t × w × h[mm ³]) | Weight[mg] |
|------|-----------------------------------|------------|
| 1005 | 1.0 × 0.5 × 0.5 | 1.2 |
| 2012 | 2.0 × 1.2 × 0.6 | 7.5 |



(a) concavity (b) convexity
Fig. 2 Surface model

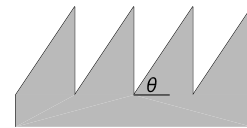


Fig. 3 Saw-tooth surface model

ワークの外部電極表面に存在する凸部や凹部が, Fig.2 に示すように半径 r の円弧であると仮定し, パーツフィーダの表面が Fig.3 で示すのこぎり歯形状であると仮定する. のこぎり歯の仰角を, Fig.3 に示すように θ で表す. パーツの凹凸部とフィーダ表面ののこぎり歯一枚との接触は, Fig.4 に示す先端接触と, Fig.5 に示す斜面側接触に分けられる. 一方向輸送を実現するには, 先端接触状態ではすべりを生じさせず, 斜面接触状態においてのみすべりを生じさせることが必要である.

Fig.4 に示す先端接触において, パーツフィーダの振動による駆動力を F_p とする. パーツの凹凸とのこぎり歯の接触点と, 凹凸を示す円の中心を結ぶ直線が水平線と成す角を ϕ とする. このとき, ワークに伝わる力は, 次式で示すように法線方向の分力 $F_{np} = F_p \cos \phi$ と接線方向の分力 $F_{rp} = F_p \sin \phi$ で表される. ワークが十分軽量であるとし, 接触点での摩擦係数を μ_e とすると, ワークとのこぎり歯の間にすべりが生じない条件は, 式 (1) で与えられる.

$$F_{rp} - \mu_e F_{np} = F_p \sin \phi - \mu_e F_p \cos \phi < 0 \quad (1)$$

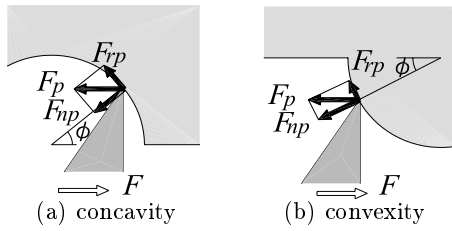


Fig. 4 Point contact between micro-part and saw-tooth

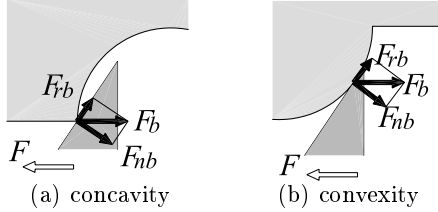


Fig. 5 Slope contact between micro-part and saw-tooth

同様に、Fig.5の斜面接合において駆動力を F_b とすると、ワークに伝わる力は、斜面の法線方向の分力 $F_{nb} = F_b \sin \theta$ と水平方向の分力 $F_{rb} = F_b \cos \theta$ で表される。接触点での摩擦係数を μ_s とすると、すべりの生じる条件は以下の式で表される。

$$F_{rb} - \mu_s F_{nb} = F_b \cos \theta - \mu_s F_b \sin \theta > 0 \quad (2)$$

したがって、パーツフィード表面ののこぎり歯形状とワークの表面との接触状態が、式(1)と式(2)の条件を同時に満たしたときに一方輸送が実現する。

次に、輸送の方向性が得られない場合について考える。式(1)が満たされない場合、先端接触においてすべりが生じる。しかし、Fig. 4(a)に示す凹部での接触では接触位置の角度 ϕ が減少していき、最終的に $\mu_e > \tan \phi$ が満たされるので、すべりの生じない条件での駆動となる。また、Fig. 4(b)に示す凸部の接触においては、 ϕ が増加する方向へすべり、 $\phi = 90^\circ$ を超えた時点で非接触運動へと移行する。しかし、隣ののこぎり歯の先端が突起に接触し、すべりの生じない条件へ移行する。ただし、パーツフィードの振幅が十分でない場合には、すべり状態からすべりの生じない運動状態への移行が行われにくく、輸送効率が低下する。

3 溝加工による摩擦低減効果

接触面積を一定とし、溝深さを変えた時の2012型の摩擦角を計測することにより凝着力の変化を確かめる。溝のピッチを $p = 0.1\text{mm}$ 、溝幅を $l = 0.05\text{mm}$ 、 $\theta = 90^\circ$ とし、溝深さを $d = 0\text{mm}$ から 0.09mm まで変化させた。Fig.6に、横軸に溝深さ、縦軸に各溝深さでの摩擦角 μ と未加工時の摩擦角 μ_0 との比 μ/μ_0 をとった場合の計測結果を示す。溝深さ 0.001mm で摩擦角は未加工時の約90%、 0.01mm で約70%となり、その後はほぼ一定である。したがって、接触面積を50%にした場合には、 0.01mm 以上の溝深さで最大30%の摩擦力低減効果が得られる。

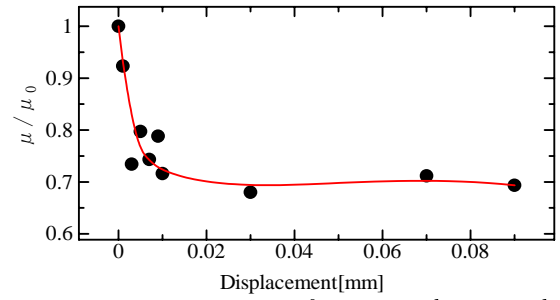
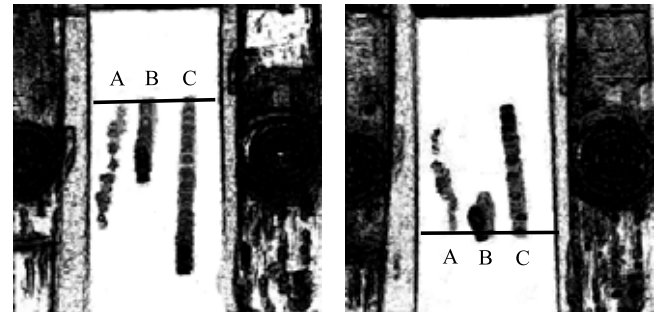


Fig. 6 Relationship between friction and groove depth

4 輸送の方向性

ここでは、ワークの凹凸によりワークが一方へ輸送されることを確認するために、凹凸のない試験用ワークとして $2.0\text{mm} \times 1.0\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ のシリコンウェハ片を用い、セラミックコンデンサとの運動を比較した。フィード表面には、 $\theta = 30^\circ$ のシリコンウェハを用いた。のこぎり歯形状の傾斜面が奥行き側(正方向配置)と手前側(負方向配置)の場合の実験結果をそれぞれFig.7(a)(b)に示す。なお、Aは1005、Bはシリコンウェハ片、Cは2012である。どちらの配置においても、1005、2012はそれぞれ前進運動のみ見られたのに対し、シリコンウェハ片は前進・後退運動の両方が見られた。したがって、凹凸のないシリコンウェハ片では運動の方向性が得られず、凹凸のあるワークにおいては一方輸送が実現されることを確認した。



(a) positive direction (b) negative direction

Fig. 7 Directionality of feeding

5 おわりに

本研究では、フィード表面ののこぎり歯形状を適用し、正負方向の接触条件を変えることにより一方輸送を実現する方法を提案した。また、フィード表面にのこぎり歯形状を適用した場合の一方輸送原理を示し、実験により確かめた。

参考文献

- [1] 藤澤 悟, 安藤泰久, 榎本祐嗣: マイクロスケール摩擦と表面間力, トライボロジスト, Vol.44, No.6, (1999), pp.409-413.