楕円振動を利用した分別搬送*
(垂直振動が跳躍限界を超える場合)栗田 裕^{*1}, 梅塚 紗百理^{*2}Separation and Transportation of Works Using Elliptical Vibration
(The Case of Vertical Vibration over the Jump Limit)Yutaka KURITA^{*3} and Sayuri UMEZUKA^{*3} Department of Mechanical Systems Engineering, The University of Shiga Prefecture,
2500 Hassaka-cho, Hikone-shi, Shiga, 522-8533 Japan

Simultaneously separating and transporting works by using elliptical vibration with vertical vibration over the jump limit is described. In the condition of vertical vibration from 1.2 to 2.0 G, works with a smooth contact surface and those without a smooth contact surface can be separated and transported by adequately controlling the phase difference of elliptical vibration. Experimental results show that electronic parts with electric terminals can be separated at high speed in accordance with the difference between the shapes of the face and reverse sides. A change in the transportation characteristics of electronic parts without a smooth surface increases the speed of the separation and transportation. The difference between the transportation characteristics of parts without a smooth surface and those of parts with a smooth surface has increased. We clarified that the change in the transportation characteristics was derived from the jumps of parts by observing the behavior of electronic parts during separation and transportation with a high speed camera.

Key Words: Vibration Control, Friction, Industrial Machine, Elliptical Vibration, Vibration Transportation, Separation

1. 結 言

楕円軌跡を描くように振動台を加振すると、振動台上の物体は高速に搬送される^{(1),(2)}。水平方向と垂直方向の振動の位相を 90° ずらし、反時計回りの楕円振動を与えると物体は右方向へ搬送され、時計回りの楕円振動を与えると物体は左方向へ搬送される。位相差が $\pm 90^\circ$ の楕円振動を利用した振動搬送では、摩擦力が効率よく物体に作用するため、位相差が 0° の直線振動搬送に比べて数倍の搬送速度が得られる。この楕円振動機械を、水平方向、垂直方向ともに、共振点付近で加振するために、速度フィードバック制御や引込み現象を利用した共振点駆動法が提案されている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。

垂直振動が跳躍限界以下のとき、水平振動と垂直振動の位相差を 10° 付近に設定すると、振動台上の物体は、摩擦係数の大きさに応じて、その場で停止したり、右方向あるいは左方向へ移動したりする。この現象を

利用して、前報では、材料ごとの分別や、電子部品や平座金の表裏分別を実現した⁽⁶⁾。しかし、停止位相差付近で駆動するため、左右に分別する搬送速度が小さく、大量の部品が供給されると分別できなかった。

そこで、本研究では、跳躍限界を超える垂直振動を与えて、物体を高速に分別搬送する方法について検討する。垂直振動が跳躍限界を超える場合は、物体は跳躍しながら搬送されると考えられ、跳躍限界以下の場合とは異なる挙動を示す。この挙動の変化が分別搬送に与える影響を検討する。まず、垂直振動の大きさによる搬送特性の変化について調べる。跳躍限界を超えると搬送特性が大きく変化する物体と変化しない物体があることを示し、高速な分別搬送の可能性を提示する。次に、電子部品や平座金を用いて、分別搬送の高速化について検証する。さらに、分別搬送時の挙動を高速カメラで観察し、跳躍限界を超えたときに搬送特性が変化する要因について考察する。

2. 楕円振動機械

図1に、本研究で用いた楕円振動機械の模式図を示す。楕円振動の振幅と位相差を任意に与えられるように、水平方向と垂直方向を独立して加振できる構造とした。水平振

* 原稿受付 2008 年 9 月 16 日。

^{*1} 正員、フェロー、滋賀県立大学工学部 (☎ 522-8533 彦根市八坂町 2500)。^{*2} 正員、(株)村田製作所野洲事業所 (☎ 520-2393 野洲市大篠原 2288)。

E-mail: kurita@mech.usp.ac.jp

動は鉛直に取り付けた4枚の平行板ばねで与え、垂直振動は水平に取り付けた2枚の平行板ばねで与えた。振動台の搬送面は長さ180mm、幅30mmで、材質は表面を酸化皮膜処理したアルミニウム、搬送面表面の算術平均粗さ Ra は $0.432\mu\text{m}$ である。板ばねの厚さと長さを調整して、水平振動、垂直振動ともに固有振動数を82Hzにした。次章以降の実験では、駆動周波数を82Hzにして共振点駆動した。装置を共振状態で駆動するために、速度フィードバック制御を用いて減衰を大きくし、駆動周波数と固有振動数が多少ずれても振幅や位相があまり変化しないようにした。加振力は、バイモルフ構造となるように板ばねに貼り付けた圧電素子の変形で与えた。振動台上の物体の搬送速度は、搬送面上の所定距離(100mm)を移動する時間から算出した。

3. 垂直振動が跳躍限界以下の場合

垂直振動が跳躍限界(振動加速度が1.0G)以下のときの分別搬送の原理と実験結果を簡単にまとめる。

図2に、楕円振動の位相差と物体の搬送速度の関係(以下、搬送特性)を示す。図2は、前報⁶⁾で示したシミュレーション結果および実験結果をもとに作成した概念図である。楕円振動の位相差によって、物体の搬送速度は大きさと方向が大きく変化する。位相差が -80° 付近のとき搬送速度は正方向に最大となり、位相差が 100° 付近のとき搬送速度は負方向に最大となる。また、位相差が 10° 付近のとき搬送速度はほぼ0m/sとなる。この位相差を停止位相差と呼ぶ。

物体と振動台との間の摩擦係数が大きくなると搬送特性が右に平行移動する性質を利用して、物体を摩擦係数ごとに分別搬送できる。楕円振動の位相差 ϕ を摩擦係数 μ_2 の物体の停止位相差 ϕ_2 に調節する(図2中の一点鎖線)。このとき、摩擦係数 μ_2 の物体の搬送速度は0m/sとなり、その場で停止する。また、摩擦係数 μ_1 の物体は負の搬送速度をもって負方向へ搬送され、摩擦係数 μ_3 の物体は正の搬送速度をもって正方向へ搬送される。このように、適切な楕円振動を与えると、振動台上の物体は、摩擦係数の大きさに応じて、停止したり、正方向または負方向に搬送されたりするので、

Fig. 1 Elliptical vibration machine

物体を摩擦係数ごとに分別できる。

摩擦係数の異なる物体の分別搬送の例として、電子部品を用いて行った検証実験⁶⁾を紹介する。

図3に、実験で用いた電子部品を示す。電子部品は横2.8mm、縦1.5mm、高さ1.1mmで、樹脂製の胴体に金属製の爪が3本付いている。爪で接地する姿勢を表向き、胴体で接地する姿勢を裏向きとした。表向きのときは胴体と振動台の間に $55\mu\text{m}$ の隙間がある。静止摩擦係数 μ_s は表向きが0.54、裏向きが0.62であった。

電子部品を表と裏に分別搬送するため、電子部品の搬送特性を調べた。実験条件は、水平振幅 a を0.4mm、垂直振幅 b を0.037mmとした。水平振幅0.4mmは実験装置の出力限界であり、垂直振幅0.037mmは駆動周波数82Hzにおける跳躍限界である。実験の結果、表向きの停止位相差は $8\sim 11^\circ$ 、裏向きは $24\sim 28^\circ$ であった。そこで、楕円振動の位相差 ϕ を表向きと裏向きの停止位相差のほぼ中間に当たる 17° に調節した。このとき、表向きの搬送速度は -0.020m/s 、裏向きの搬送速度は 0.019m/s となった。

振動台の中央に6個の電子部品を表裏交互に一列に並べて、表裏分別を行った。摩擦係数が小さい表向きは負方向に、摩擦係数が大きい裏向きは正方向に搬送されて、電子部品の表裏を分別できた。

同様の駆動条件において、大量(100個)の電子部品を振動台の中央に山積みにして供給し、表裏分別を行った。所望の方向とは反対方向に引きずられて搬送される電子部品がいくつかあり、表裏を完全に分別できなかった。跳躍限界駆動では、表向きと裏向きの搬送特性の差が小さいので、分別時の搬送速度が小さい。そのため、電子部品が他の部品を押しつけて所望の方向に搬送されるのに十分な推進力が得られなかった。

Fig. 2 Transportation velocity as a function of phase difference with various coefficients of friction

4. 垂直振動が跳躍限界を超える場合

4・1 電子部品の表裏分別 大量の電子部品の表裏分別を実現するために、垂直振動が跳躍限界を超える場合の搬送特性について調べた。図4に、垂直振幅による搬送特性の変化を示す。実験条件は、水平振幅 a を0.4mmとして、垂直振幅 b を0.015mm(0.4G)～0.052mm(1.4G)まで変化させた。

図4(a)に、表向きの搬送特性を示す。図4(a)から、垂直振動が跳躍限界以下のときは、垂直振動が大きくなるにつれて搬送速度が大きくなる。垂直振動が跳躍限界を超えると、表向きの搬送特性は右方向に大きく平行移動した。このとき、停止位相差は 10° から 90° 付近まで増加した。

図4(b)に、裏向きの搬送特性を示す。図4(b)から、垂直振動が跳躍限界以下のときは、表向きと同様に、垂直振動が大きくなるにつれて搬送速度が大きくなる。しかし、垂直振動が跳躍限界を超えても、裏向きの搬送特性はほとんど変化しなかった。このとき、停止位相差は 30° 付近でほぼ一定であった。

垂直振動が跳躍限界を超えたときの表向きと裏向きの搬送特性の違いを利用すると、分別時の搬送速度を大きくできる。図5に、垂直振動が1.0Gと1.4Gのときの搬送特性を示す。

まず、●○印で示した垂直振動1.0Gのときの表裏分別を検討する。位相差を 17° に調節すると(図5中の点線)、表向き(●)は負の搬送速度、裏向き(○)は正の搬送速度をもつ。分別時の搬送速度を相対速度で評価すると、1.0Gのときの相対速度は0.039m/sであった。

次に、▼▽印で示した垂直振動1.4Gのときの表裏分

Fig. 3 Electronic part

別を検討する。位相差を 60° に調節すると(図5中の一点鎖線)、表向き(▼)は正の搬送速度、裏向き(▽)は負の搬送速度をもつ。1.4Gのときの相対速度は0.158m/sであり、1.0Gのときと比べて4倍の分別速度が得られた。跳躍限界を超える垂直振動を与えると、表と裏の分別時の搬送方向が逆転するだけでなく、相対速度が大きくなる。

分別搬送に適した駆動条件を検討するために、垂直振動が停止位相差に与える影響を調べた。図6に、電子部品5個分の垂直振幅による停止位相差の変化を示す。実験条件は、水平振幅 a を0.4mmとして、垂直振幅 b を0.0074mm(0.2G)～0.096mm(2.6G)まで変化させた。垂直振動2.6Gは実験装置の出力限界である。●印が表向き、○印が裏向きの停止位相差の平均値、バーがばらつきの範囲を表す。

図6から、1.0Gを超えると、表向きの停止位相差が大きく変化することがわかる。1.0G以下では、表裏ともに停止位相差があまり変化しなかった。しかし、1.0Gを超えると、表向きの停止位相差は大きく変化して、 90° 付近まで増加した。さらに、2.2Gを超えると表裏

(a) Face side

(b) Reverse side

Fig. 4 Transportation characteristics of electronic parts

が頻繁に反転し、測定が困難になった。一方、裏向きの停止位相差は、1.0Gを超えてもあまり変化しなかった。そのため、垂直振動が1.2~2.0Gのとき、表向きと裏向きの停止位相差の差が大きく広がった。そこで、表と裏の停止位相差の差が大きく、ばらつきが小さい1.4Gを分別搬送の実験条件とする。

図7に、電子部品100個をまとめて供給して、表裏分別を行ったときの映像を示す。実験条件は、水平振幅 a を0.4mm、垂直振幅 b を0.052mm(1.4G)、位相差 ϕ を 60° とした。白く着色した電子部品が裏向きである。図7から、表向きは正方向に、裏向きは負方向に短時間で搬送されて、大量の電子部品の表裏分別ができることがわかる。山積みの状態で供給されても、振動台上の部品は、すぐに均されて所望の方向へ搬送される。跳躍限界を超える垂直振動を与えることで、投入時の配置に関係なく、大量の電子部品の表裏を短時間で分別できた。

Fig. 5 Comparison of transportation velocity at separation

Fig. 6 Phase difference with zero transportation velocity as a function of vertical amplitude

4・2 平座金の表裏分別 次に、機械部品の分別搬送の例として、平座金を表と裏に分別搬送する方法について検討した。図8に、実験で用いた平座金を示す。平座金は外径10mm、内径5mm、厚さ1mmで、質量は0.35gである。プレス加工によって内外周部にばりができている。ばりが下向きになる姿勢を表向き、ばりが上向きになる姿勢を裏向きとした。

図9(a)に表向き、図9(b)に裏向きの接触面形状を示す。表面粗さ測定機(ミットヨ社製 SURFTEST701)を用い、縦軸の分解能を $0.05\mu\text{m}$ として、平座金の半径方向に $1.0\mu\text{m}$ ごとに測定した。図9(a)から、表向きの場合は内外周部のばりで接地することがわかる。ばりの高さを5箇所測定したところ、内周部のばりの高さは $68\mu\text{m}$ ~ $105\mu\text{m}$ 、外周部は $69\mu\text{m}$ ~ $118\mu\text{m}$ であった。また、図9(b)から、裏向きの場合は平坦な面で振動台と接触することがわかる。このように平座金の表と裏では、振動台との接触状態が異なっている。

跳躍限界を超える垂直振動を与えた楕円振動を利用して、平座金の表裏分別を行った。図10に、垂直振動が1.4Gのときの停止位相差付近における平座金の搬送特性を示す。実験条件は、水平振幅 a を0.4mm、垂直振幅 b を0.052mm(1.4G)とした。▽印は表向き、▼印は裏向きに対応する。表向きの停止位相差は 97° 、裏向きは 17° であった。位相差 ϕ を表と裏の停止位相差のほぼ中間に当たる 50° に調節すると(図10中の一点鎖線)、表向きの搬送速度は 0.064m/s 、裏向きは -0.081m/s となる。1.4Gのときの相対速度は 0.145m/s となり、1.0Gのときの相対速度 $0.033\text{m/s}^{(6)}$ と比べて約4倍の分別速度が得られた。

Fig. 7 Separation of a hundred electronic parts

図11に、平座金14個をまとめて供給して、表裏分別を行ったときの映像を示す。着色した平座金が裏向きである。表向きは正方向に、裏向きは負方向に短時間で搬送されて、表裏を分別できた。垂直振動1.0Gのときの表裏分別では、平座金6個の分別に約8秒かかった⁽⁶⁾。1.4Gの垂直振動を与えることで、約2倍の数の平座金を3分の1程度の時間で分別搬送できた。

5. 分別搬送が高速化した要因

5・1 分別搬送時の電子部品の挙動 跳躍限界を超える垂直振動を与えると、表向きの電子部品の搬送特性が変化する要因について検討する。高速度カメラ（ナックイメージテクノロジー社製 MEMRECAM fx RX-6）を用いて、分別搬送時の電子部品の挙動を観察した。サンプリングは6000fps、有効画素数は512×384pixel、分解能は0.017mm/pixelである。実験条件は、4・1節の表裏分別と同様に、水平振幅 a を0.4mm、垂直振幅 b を0.052mm(1.4G)、位相差 ϕ を 60° とした。

図12に、分別搬送時の電子部品の映像を示す。左が裏向き、右が表向きである。重心を白点で示し、跳躍

の高さを矢印で示す。駆動開始から0.15秒付近まで、表裏ともに左方向へ搬送された。しかし、0.18秒を過ぎたところで、表向きの部品の搬送方向が変わって右方向へ搬送された。このとき、表向きの部品は跳躍している。一方、裏向きの部品は跳躍することなく、左方向へ搬送された。このことから、搬送特性が変化する要因は電子部品の跳躍であると考えられる。

図13に、図12の表裏分別における振動台と電子部品の変位を時間軸波形で示す。変位の算出には、2次元運動解析ソフト（ディテクト社製 DIPP-Motion 2D）を用いた。図12の作成に用いた映像データから、振動台側面の1点と、表向きと裏向きの電子部品それぞれの重心の水平方向変位と垂直方向変位を算出した。点線は振動台、太実線は表向き、細実線は裏向きに対応する。

図13の上段は、振動台と電子部品の水平方向の変位 X 、 x を表す。振動台の水平方向振動は、振幅0の初期状態から徐々に大きくなり、時刻0.15秒付近ではほぼ目標振幅の0.4mmに到達する。この振動台の水平振動の成長に合わせて、表向きおよび裏向きの電子部品と

Fig. 8 Plain washer

Fig. 9 Surface shape of a plain washer

Fig. 10 Transportation characteristics of plain washers

Fig. 11 Separation of fourteen plain washers

もに搬送速度が次第に大きくなり、0.1秒を越えたあたりで一定速度になっている。裏向きの電子部品は、そのままの速度で負方向へ搬送されているが、表向きの電子部品は、0.15秒～0.18秒付近で搬送方向が反転して正方向へ搬送されている。

図13の下段は、振動台と電子部品の垂直方向の変位 Y, y を表す。表向きおよび裏向きの電子部品ともに、初めは振動台と一体となって運動する。裏向きの電子部品は最後まで振動台と一体となって運動しているが、表向きの電子部品は0.1秒付近で振動台から跳躍するようになる。跳躍が大きくなる0.13秒あたりから、負方向への搬送速度が小さくなり、0.15秒～0.18秒付近で搬送方向が反転している。

次に、物体が跳躍しない場合は左方向へ搬送され、

物体が跳躍する場合は右方向へ搬送されるしくみを考える。図14に、位相差が 60° のときの楕円振動と物体に働く摩擦力の方向を示す。振動台が右向きに運動しているとき物体には正の摩擦力が働き、振動台が左向きに運動しているときは物体に負の摩擦力が働く。

図14(a)に、物体が跳躍しない場合を示す。楕円振動の下半分るとき、物体は振動台に強く押し付けられるため、この期間に物体が受ける摩擦力は大きくなる。逆に、楕円振動の上半分では、摩擦力は小さくなる。そこで、物体が跳躍しない場合は、負の摩擦力が大きくなるので、物体は左方向へ搬送される。

図14(b)に、物体が跳躍する場合を示す。跳躍限界を超える垂直振動が加わると、楕円の最上点の少し前で物体は振動台から浮き、楕円の最下点を少し過ぎたところで着地する。物体が跳躍している間は摩擦力が発

Fig. 12 Observation of the separation of electronic parts

Fig. 13 Movement of the table and electronic parts

Fig. 14 Direction of the force on an electronic part

生しない。そのため、負の摩擦力を受ける期間が短くなり、負方向の搬送速度が低下する。時間が経って跳躍が大きくなると、負の摩擦力を受ける期間がさらに短くなるため、搬送方向が逆転すると考えられる。

搬送特性が変化する要因は、物体の跳躍である。垂直振動が跳躍限界を超える場合の分別搬送では、跳躍する物体は右向きに、跳躍しない物体は左方向に搬送されて、分別できる。

そこで、跳躍限界を超える垂直振動を与えた場合に、跳躍する物体と跳躍しない物体に分かれる要因について考える。電子部品の場合、跳躍して右方向に搬送されるのは表向きである。図3に示したように、表向きのときは、金属製の3本の爪で接触しており、胴体と搬送面との間に55 μm の隙間がある。一方、平坦な面で隙間なく接触している裏向きのときは、跳躍限界を超える垂直振動を与えても跳躍しない。

5・2 平坦な接触面をもつ物体の跳躍 跳躍限界(1G)を超える垂直振動を与えても跳躍しない平坦な接触面をもつ物体が、どの程度の振動で跳躍するのかを検討した。図15に、接触面が平坦な試験片を用いて搬送実験したときの映像を示す。試験片は底面積 S を15mm $\times$ 10mm、高さ h を6mm, 12mm, 18mmとした。材質はSUS303で、算術平均粗さ Ra は0.594 μm である。実験条件は、水平振幅 a を0.4mm、位相差 ϕ を50°として、垂直振幅 b を0.052mm(1.4G), 0.074mm(2.0G), 0.096mm(2.6G)と変化させた。左から高さ h が6mm,

12mm, 18mmの試験片を並べ、重心を黒点で示した。

図15(a)に、垂直振動が1.4Gのときの結果を示す。跳躍限界の1.4倍の垂直振動を与えても、どの試験片も跳躍しなかった。このときの搬送速度は高さに依存せず約-0.05m/sの搬送速度をもち、左方向へ搬送された。接触面が平坦であれば、垂直振動が跳躍限界を超えても跳躍しないことがわかる。

図15(b)に、垂直振動が2.0Gのときの結果を示す。2.0Gの垂直振動を与えても、試験片は跳躍しているようには見えなかった。しかし、搬送速度に着目してみると、高さ h が18mmの試験片の搬送速度は垂直振動1.4Gのときと比べて約半分になった。

図15(c)に、垂直振動が2.6Gのときの結果を示す。2.6Gの垂直振動を与えると、高さ h が18mmの試験片は跳躍しながら右方向へ搬送された。このときの搬送速度は0.068m/sで、搬送方向が逆転した。また、高さ h が6mmと12mmの試験片は跳躍しているようには見えなかったが、高さ h が12mmの試験片の搬送速度は1.4Gのときと比べて4分の1になった。垂直振動を大きくしたときに、試験片の高さによって、搬送速度が小さくなったり、搬送方向が変化したりした。

図16に、平坦な物体が実際に跳躍する限界について、物体の高さに着目して調べた結果を示す。試験片の高さ h を5mm $\sim$ 20mmまで変化させた。実験条件は、水平振幅 a を0.0mmとして、垂直振幅 b を0.037mm(1.0G) $\sim$ 0.096mm(2.6G)まで変化させた。定常状態にお

Fig. 15 Front view of transportation of three works

Fig. 16 Vertical amplitude on condition that works with various height jump

ける試験片の挙動を高速カメラで観察し、試験片と振動台の間に隙間が生じた場合に試験片が跳躍したと見なした。分解能は 0.013mm/pixel である。●印は物体が跳躍あり、○印は跳躍なし、×印は判別不能を表す。□印の条件は図 15 の実験条件に対応する。図 16 から、物体の高さが高くなるにつれて、物体が跳躍する限界の垂直振動が小さくなることがわかる。

垂直振動が 1G を超えても、平坦な接触面をもつ物体が跳躍しない理由を考える。物体が跳躍するとき、物体と振動台との間に周囲から空気が流れ込む。物体と振動台との間の隙間が微小のときは、流入抵抗が大きく、周囲からの空気の流入が妨げられる。そこで、平面間の気圧は大気圧より低くなり、圧力差 Δp が生じる。そのため、物体を振動台に押し付ける力 $\Delta p S$ が働く。物体が高くなるほど跳躍しないためには大きな押付力が必要となる。しかし、圧力差による押付力は物体の平面度に依存して定まるため、物体が高いほど跳躍する限界の垂直振動は小さくなる。

平坦な接触面をもつ物体と振動台との間に、どれくらいの圧力差が発生しているのかを推測する。振動台が楕円の最上点のときに、物体に働く垂直抗力は $N = \rho Sh(g - b\omega^2) + \Delta p S$ である。 ρ は鉄の質量密度、 g は重力加速度、 ω は楕円振動の角周波数である。垂直振動が跳躍限界を超える条件において、物体が跳躍しないために必要な押付力は、 $\Delta p S \geq \rho Sh(b\omega^2 - g)$ で表され ($\because N > 0$)、物体が実際に跳躍する限界の高さは、 $h = \Delta p / \rho(b\omega^2 - g)$ となる。図 16 に、圧力差 Δp を 1100Pa と考えたときの物体の跳躍限界を太線で示す。この太線は、実際の跳躍の有無の境界と一致しているため、圧力差 Δp は 1100Pa と推定できる。

高さが 20mm もある鉄のような重量物でも、垂直振

動 1.4G のとき跳躍しなかった。これより、様々な形状や大きさの部品に関して、接触面が平坦な部品と平坦でない部品（隙間のある部品）を高速に分別できると考えられる。

6. 結 論

本研究では、垂直振動が跳躍限界を超える条件において、楕円振動を利用して物体を高速に分別搬送する方法を検討した。主な結果を次に示す。

(1) 跳躍限界を超える 1.2~2.0G の垂直振動を与えた楕円振動を利用して、接触面が平坦な部品と平坦でない部品を高速に分別搬送できる。

(2) 分別搬送の高速化が実現したのは、跳躍限界を超える垂直振動を与えたときに、接触面が平坦でない部品の搬送特性が大きく変化して、平坦な部品の搬送特性との差が広がったためである。

(3) 接触面が平坦でない部品の搬送特性が変化した要因は、部品の跳躍である。

(4) 接触面が平坦な部品は、跳躍限界を超える垂直振動を与えても跳躍せず、搬送特性も変化しない。

文 献

- (1) Okabe, S., Yokoyama, Y. and Jinbo Y., Vibratory Conveying by Elliptical Vibration, *Journal of the Japan Society of Precision Engineering*, Vol.40, No.477 (1974), pp.840-845.
- (2) Yokoyama, Y., Okabe, S., Ishikawa, K. and Koizumi, K., *Vibration applied technology* (in Japanese), (1992), pp.93-98, Kogyo Chosakai Publishing, Inc.
- (3) Muragishi, Y., Kurita, Y. and Matsumura, Y., Synchronization Driving of Elliptical Vibration Machine, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.69, No.684 (2003), pp.2005-2010.
- (4) Muragishi, Y., Kurita, Y., Matsumura, Y. and Nakagawa, J., Driving at Resonance Point of Elliptical Vibration Machine Using Velocity Feedback, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.70, No.693 (2004), pp.1251-1257.
- (5) Muragishi, Y., Kurita, Y., Matsumura, Y. and Nakagawa, J., Driving at Resonance Point of Elliptical Vibratory Machine Using Frequency Entrainment, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.71, No.712 (2005), pp.3381-3387.
- (6) Kurita, Y., Matsumura, Y., Umezuka, S. and Nakagawa, J., Separation and Transportation of Works Using Elliptical Vibration (The Case of Vertical Vibration under the Jump Limit), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.74, No.743 (2008), pp.1710-1717.