研 究

振 動 輸 送 の 研 究 (第 1 報)*

—振動する面上にある物体の運動—

岡部 佐規一** 横山 恭男** 神保 泰雄***

Motion of a Particle on a Vibratory Conveyor

Sakiichi OKABE, Yasuo YOKOYAMA, Yasuo JIMBO

A study is made of the motion of a particle on a vibratory conveyor. When a particle is conveyed without jumping on a vibrating surface, the type of motion is classified into seven modes. The classification of these modes is determined by two dimensionless quantities Q_a and Q_b . They are

$$Q_a = \frac{a\omega^2 \sin(\gamma + \rho)}{g \sin(\theta + \rho)}, \quad Q_b = \frac{a\omega^2 \sin(\gamma - \rho)}{g \sin(\theta - \rho)},$$

in which

 $a\omega^2$: acceleration of the vibrating surface, ρ : friction angle between the vibrating surface and the particle, θ : inclination of the surface, γ : direction of linear vibration of the surface.

In mode I, $|Q_a| \leq 1$ and $|Q_b| \leq 1$, there is no relative slip between the particle and the vibrating surface. In mode II, $|Q_a| > 1$ and $|Q_b| \leq 1$, the particle slides forward relatively and intermittently, and in mode III, $|Q_a| \leq 1$ and $|Q_b| > 1$, it slides backward also relatively and intermittently. In mode IV, $|Q_a| > 1$ and $|Q_b| > 1$, the particle slides forward and backward alternately during one period of vibration. Mode IV is divided, moreover, into four modes according to the relation between Q_a and Q_b .

A diagram with Q_a to Q_b plotted on a rectangular coordinate clarifies the regions of modes, and it is also useful to calculate the conveying velocity, which will be discussed in subsequent reports.

It is confirmed that the above theoretical results agree well with experimental studies.

1. 緒 言

振動する面に物体をのせて輸送する振動輸送の方法は簡単な機構により連続的に輸送部品を選別あるいは整列させることも可能であり、生産設備の自動化にとって非常に有用な方法と考えられ、振動フィーダや振動エレベータなどいろいろの形で広い分野に応用されている。

輸送に際し、輸送物体は振動面上で跳躍のある運動を行なう場合と跳躍せずすべり運動のみ行なう場合とがあるが、精密機器部品や電子部品を輸送する場合品物の損傷や騒音の発生などの点から跳躍を生じない条件で輸送する方が望ましいことも少くない。

このような振動輸送における輸送条件や輸送速度に関する研究として、杉本¹⁾が跳躍を含みかつ比較的摩擦

係数の大きな条件の場合について、谷口²⁾が跳躍を含む場合と含まない場合のそれぞれについて運動の形と輸送速度を論じ、また Booth³⁾は跳躍を含まない場合の輸送速度の予測計算について論じている。

本報は基礎的研究として直線正弦振動を利用した振動輸送における跳躍のない場合の物体の運動形態を理論的に解明し、振動条件および摩擦条件と運動形の関係を明らかにするとともに実験的にこれを実証したものである。

さらに本報の結果にもとづいて続報で最適輸送条件について論ずる予定である。

2. 物体の運動

2.1 運動の式と運動形の分類

図1に示すように質量 m の物体が角 θ だけ傾いた平面上におかれているとする。すべりの方向を X 方向(斜面上に沿って上昇する方向を正とする)、すべり面に直角な

*原稿受付 昭和43年10月15日。昭和42年度春季大会学術講演会(昭和42年4月4日)にて発表

**正 会 員 金沢大学工学部(金沢市小立野 2-40-20)

***正 会 員 東京大学工学部

図 1 振動の方向と物体に作用する力

方向を Z 方向とし, 物体の運動の各方向成分を x および Z , 平面の運動をそれぞれ X および Z で表す。

いま Z 軸から角 γ なる方向に振幅 a , 角速度 ω なる振動が作用するとすれば振動面の運動は

$$X = a \sin \gamma \sin \omega t \quad (1)$$

$$Z = a \cos \gamma \sin \omega t$$

で表わされる。一方物体は振動面より跳躍しないという仮定によって

$$z = Z \quad (2)$$

の関係があり, P とを物体が面より受ける垂直反力とする

$$P \geq 0 \quad (3)$$

なる関係がある。

物体と振動面の間に相対すべりが無い場合は物体の運動は明らかに

$$x = X$$

となって, 面と一体の運動を行ない輸送は行なわれないが, 相対すべりがある場合の運動は次式で表わされる。

$$m\ddot{x} = -mg \sin \theta + F \quad (4)$$

$$m\ddot{z} = -mg \cos \theta + P \quad (5)$$

ここで F は物体が振動面より受ける摩擦力であり, 摩擦係数を μ とすれば P との間に

$$F = \pm \mu P \quad (6)$$

なる関係がある。ここで複号は $\dot{x} < \dot{X}$ のとき上, $\dot{x} > \dot{X}$ のとき下をとる。摩擦係数 μ は摩擦条件によっては必ずしも一定値をとるとは限らないが, 本報ではこの値は一定であるとして解析を行なうことにする。

物体が跳躍しないという条件より (2) (3) (5) 式から

$$P = m(g \cos \theta - a\omega^2 \cos \gamma \sin \omega t) \geq 0 \quad (7)$$

なる関係が得られ, したがって物体が跳躍せずすべり運動のみ行なう条件として

$$\frac{a\omega^2}{g} \leq \frac{\cos \theta}{\cos \gamma} \quad (8)$$

が求められる。一方物体の運動は (4) (6) (7) 式より

(実線は台の運動, 点線は物体の運動を示す)

図 2 物体と振動台の運動

$$\ddot{x} = -g \sin \theta \pm \mu(g \cos \theta - a\omega^2 \cos \gamma \sin \omega t) \quad (9)$$

で表わされる。ここで複号は同順であって $\dot{x} < \dot{X}$ のとき上, $\dot{x} > \dot{X}$ のとき下をとる。

一般に物体の運動は面と相対的に正方向のすべりを行なう運動 (以後 ‘正のすべり’ と呼ぶ), 負方向にすべる運動, および相対すべりが無い ($\dot{x} = \dot{X}$) 場合の 3 種の運動の組合わせからなると考えられ, もっとも基本的な運動形として図 2 に示すような形 (IV_a 形) が考えられる。図 2 (ロ) に示すように t_1 を正方向へのすべり始めの時刻, t_2 を正のすべりがなくなって再び $\dot{x} = \dot{X}$ となる時刻, t_3, t_4 をそれぞれ負のすべりの開始および停止の時刻とすると, これら $t_1 \sim t_2$, あるいは $t_3 \sim t_4$ の存在によって, また t_2 と t_3, t_4 と $t_1 + 2\pi/\omega$ の大小関係によって物体の運動は図 3 に示す 7 種の運動形に分類される。これら各運動形のすべりの関係をまとめたのが表 1 である。

これらの運動形態を決定するすべりの有無は物体と振動面の加速度の大きさに依存し, $|\ddot{x}| \leq |\ddot{X}|$ になったとき輸送物体は相対的にすべり運動を始める。図 2 (ハ) に示す物体 (点線) および振動面 (実線) の加速度曲線において

$$\ddot{x}_- = \ddot{X}, \quad \ddot{x}_+ = \ddot{X}$$

となる時刻をそれぞれ t'_1 および t'_3 とすると, $\mu = \tan \rho$

*すべり始めの時刻 t_1, t_3 においてつねに $\ddot{x} = \ddot{X}$ になるとは限らないから t'_1, t'_3 によって区別する。後述のように II, III, IV_a 形では $t = t'$ となる。

表 1 各運動形のすべりの関係

運動形	時 間		各 時 刻 の 相 互 関 係	$ Q_a -1$	$ Q_b -1$
	$t_1 \leftrightarrow t_2$	$t_3 \leftrightarrow t_4$			
I	○	○		- , 0	- , 0
II	↗	○	$t_1 = t'_1$	+	- , 0
III	○	↘	$t_3 = t'_3$	- , 0	+
IV _a	↗	↘	$t_1 = t'_1, t_3 = t'_3, t_2 < t'_3, t_4 < t'_1 + \frac{2\pi}{\omega}$	+	+
IV _b	↗	↘	$t_2 = t_3, t_1 = t'_1, t_2 > t'_3, t_4 < t'_1 + \frac{2\pi}{\omega}$	+	+
IV _c	↗	↘	$t_1 + \frac{2\pi}{\omega} = t_4, t_3 = t'_3, t_2 < t'_3, t_4 > t'_1 + \frac{2\pi}{\omega}$	+	+
IV _d	↗	↘	$t_2 = t_3, t_1 + \frac{2\pi}{\omega} = t_4, t_1 > t'_1, t_3 > t'_3$	+	+
V	跳 躍 領 域				

○: すべりなし ↗: 正方向のすべり ↘: 負方向のすべり

図 3 運動形の分類

とおけばそれぞれつぎのように求めることができる。

$$\sin \omega t'_1 = \frac{g \sin (\theta + \rho)}{a \omega^2 \sin (\gamma + \rho)} = \frac{1}{Q_a} \quad (10)$$

$$\sin \omega t'_3 = \frac{g \sin (\theta - \rho)}{a \omega^2 \sin (\gamma - \rho)} = \frac{1}{Q_b} \quad (11)$$

この二つの時刻 t'_1, t'_3 は物体に作用する重力の X 成分と慣性力の和の絶対値が摩擦力より大きくなる時刻で

あり、これらの時刻が存在するかないかによってすべりの存在が決定される。すなわち物体が正のすべりを生ずるには t'_1 が存在しなければならないから $\ddot{x} = \ddot{X}$ の方程式の実根の存在を検討すればよく、したがって(10)式によって定義される Q_a を用いれば、正のすべりの存在条件は

$$|Q_a| > 1 \quad (12)$$

の形で表わすことができる。同様にして負のすべりの存在条件は(11)式によって定義される Q_b を用いれば

$$|Q_b| > 1 \quad (13)$$

で表わされる。なお等号のときは実根は存在するがすべりはない。

このように輸送物体の正負のすべりの有無は $|Q_a|, |Q_b|$ と 1 との大小関係によって決定されるわけであり、さきに示した図 2 の IV_a 形の運動は $|Q_a| > 1, |Q_b| > 1$ の場合でかつ $t_1 = t'_1, t_3 = t'_3$ なる運動形を表わしている。すなわち時刻 t_1 において正のすべりを生じた物体は t_2 で再び振動面と同速度になるが、このとき $|\ddot{x}_+| > |\ddot{X}|$ の関係にあるため以後面と同一の正弦振動を行ない ($\dot{x} = \dot{X}$) t'_3 に至る。この場合の物体の加速度波形は図 2 (ハ) に示すように $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ と移る。もし t_2 において $\ddot{x}_+ < \ddot{X}$ の場合物体は正弦運動をすることなくただちに正のすべりから負のすべりに移行し、 $t_2 = t_3 \neq t'_3$ となって別の運動形 (IV_b 形または IV_d 形) になる。同様にして $t_3 \sim t_4$ の間は逆に負のすべりを行ない、時刻 t_4 において $|\ddot{x}_-| > |\ddot{X}|$ であるため運動は $\dot{x} = \dot{X}$ となって相対的にすべることなく $t_5 (= t_1 + 2\pi/\omega)$ に至る。このとき物体の加速度は (ハ) 図 $d \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow a'$ へと移行する。

いずれの運動形においても時刻 t_1, t_2, t_3, t_4 において物体と振動面の速度は同一になるから

$$\dot{x} = \dot{X}$$

の関係があり, いまこの端末条件を用いて(9)式の微分方程式を解けば, t_1 と t_2 , t_3 と t_4 の間に次式の関係が導かれる.

$$\frac{\cos \omega t_2 - \cos \omega t_1}{\omega(t_2 - t_1)} = -\frac{g \sin(\theta + \rho)}{a\omega^2 \sin(\gamma + \rho)} = -\frac{1}{Q_a}, \quad (14)$$

$$\frac{\cos \omega t_4 - \cos \omega t_3}{\omega(t_4 - t_3)} = -\frac{g \sin(\theta - \rho)}{a\omega^2 \sin(\gamma - \rho)} = -\frac{1}{Q_b}. \quad (15)$$

これらの式からすべり始めの時刻 t_1 , t_3 が決まれば t_2 , t_4 を求めることができる. またそれぞれの式の左辺から明らかなように, $-Q_a$, $-Q_b$ の逆数はおののお時間 $t_1 \sim t_2$, $t_3 \sim t_4$ における物体の運動の速度こう配を $a\omega$ で割った値となっており, 平均速度こう配と呼ぶことにする.

2.2 各運動形の条件式

2.2.1 I, II, III 形およびIV形の運動

輸送物体の正負のすべりの存在は $|Q_a|$, $|Q_b|$ と 1 との大小関係によって決定されることは前述のとおりである. ここで Q_a , Q_b は (10), (11) 式に示されるように輸送条件によって決定される値であり, これらの値を計算することによって容易に運動形を知ることができる.

各運動形と Q_a , Q_b の関係をまとめると表 1 のようになる. なおIV形は正負両方向のすべりを交互に繰り返す運動形であるが以下述べる条件式によってさらに 4 種の形に分けることができる.

2.2.2 IV_a 形の運動と IV_b, IV_c 形の運動の境界

IV_a 形の運動は表 1 に示すように

$$t_1 = t'_1, \quad t_2 < t'_3, \quad t_3 = t'_3, \quad t_4 < t'_4 + \frac{2\pi}{\omega},$$

なる時間関係にあり, それぞれ t_1 , t_2 , t_3 , t_4 は Q_a , Q_b の値から (10), (11), (14), (15) 式によって求めることができる. すなわち $|Q_a|$ ($|Q_b|$) の増大とともにすべり始める時刻 t_1 (t_3) の値は小さくなり, 同時に物体の運動の平均速度こう配はゆるやかになって図 4 に示すように物

図 4 Q_a , Q_b に対する運動形の移り変わり

体の運動は矢印の方向に変化する. したがって $t_2(t_4)$ は $|Q_a|$ ($|Q_b|$) の増大とともに大きくなっていく. いま

$$|Q_a| > |Q_b|$$

なる条件のもとに IV_a 形の運動から $|Q_a|$ をしだいに大きくしてゆくと t_2 はしだいに t_3 に近づきやがて t_2 と t_3 が一致するに至る. このときが IV_a 形と IV_b 形の運動の境界であり(14)式に $t_2 = t_3 = t'_3$, $t_1 = t'_1$ の関係を代入することによってつぎの関係式が導かれる

$$\frac{\cos \omega t'_3 - \cos \omega t'_1}{\omega(t'_3 - t'_1)} = -\frac{1}{Q_a} \quad (16)$$

ここで t'_1 , t'_3 は (10), (11) 式によって求められる値であり, これから (16) 式を満たす Q_a と Q_b の関係を求めて $Q_a - Q_b$ 平面上に図示すると図 5 の ab および a'b' となる. 同様にして

$$|Q_a| < |Q_b|$$

の場合, IV_a 形と IV_c 形の運動形の境界は図 5 の ac および a'c' で表わされる.

2.2.3 IV_d 形の運動

輸送物体が跳躍しない場合の運動は速度, 加速度についてみると安定な周期運動となり, IV_d 形の運動形では定常状態で

$$t_2 = t_3, \quad t_1 + \frac{2\pi}{\omega} = t_4 \quad (17)$$

なる関係がある. この式を (14), (15) 式に代入することにより次式の関係が導かれる.

$$t_2 - t_1 = -\frac{2\pi Q_a}{\omega(Q_b - Q_a)}, \quad (18)$$

$$t_4 - t_3 = \frac{2\pi Q_b}{\omega(Q_b - Q_a)}, \quad (19)$$

$$\cos \omega t_2 - \cos \omega t_1 = \frac{2\pi}{Q_b - Q_a} \quad (20)$$

簡単のため

$$\frac{2\pi Q_a}{Q_a - Q_b} = \Omega$$

とおいて $\sin \omega t_1$, $\sin \omega t_2$ を計算すると次式のようになる.

$$\sin \omega t_1 = \frac{1}{2Q_a} \left\{ \Omega \cot \frac{\Omega}{2} + \sqrt{2Q_a^2(1 - \cos \Omega) - \Omega^2} \right\}, \quad (21)$$

$$\sin \omega t_2 = \frac{1}{2Q_a} \left\{ \Omega \cot \frac{\Omega}{2} - \sqrt{2Q_a^2(1 - \cos \Omega) - \Omega^2} \right\}. \quad (22)$$

いま $|Q_a| > |Q_b|$ の条件のもとに IV_a 形の運動から振動面の振幅 a を増大させていった場合 $|Q_a|$ と $|Q_b|$ とは比例的に増大し, 運動形は IV_b 形へと移って

$$t_2 = t_3, \quad t_1 = t'_1, \quad t_4 < t'_4 + \frac{2\pi}{\omega},$$

となることは前述のとおりであるが, さらに振幅を増大

させた場合 t'_1 の値はさらに減少し、かつ平均速度こう配はゆるやかになって t_4 と $t'_1 + 2\pi/\omega$ が一致するに至る。このときが IV_b 形と IV_d 形の運動の境界であり、(21) より計算される t_1 と (10) 式より求められる t'_1 が一致する。すなわち

$$\Omega \cot \frac{\Omega}{2} + \sqrt{2Q_a^2(1 - \cos \Omega) - \Omega^2 - 2} = 0 \quad (23)$$

の関係式が成立ち、この式を $Q_a - Q_b$ 平面上に図示すると図5 ad および a'd' で表わされる。

同様に $|Q_a| < |Q_b|$ の条件では

$$\Omega \cot \frac{\Omega}{2} - \sqrt{2Q_a^2(1 - \cos \Omega) - \Omega^2 - 2} = 0 \quad (24)$$

が IV_c と IV_d の境界となり図5 ae および a'e' で表わされる。

3. 運動形分類図

前節において物体の運動形とその条件について述べてきたがこれらの関係を $Q_a - Q_b$ 平面上に図示し、各運動形の領域を示したのが図5である。

これらの各運動形の境界線は座標

$$\left(\frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2}, -\frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2} \right), \left(-\frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2}, \frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2} \right)$$

図5 各運動形の領域と動作線 (Q_a, Q_b 平面)

の2点で交わり、またこの点における微係数は ab ($a'b'$), ae ($a'e'$) が $\pi^2/4$, ac ($a'c'$), ad ($a'd'$) が $4/\pi^2$ となってそれぞれなめらかにつながっていることがわかる。

このように輸送物体の運動形は (Q_a, Q_b) の値によって決定されるが、いま

$$\frac{a\omega^2 \cos \gamma}{g \cos \theta} > 1$$

の関係になったとき前節で述べたように物体は跳躍運動を始める。この式に (10), (11) 式で定義される Q_a, Q_b を代入し $a\omega^2/g$ および γ を消去すると次式が得られる。

$$Q_b > \frac{2}{1-\theta} - \frac{1+\theta}{1-\theta} Q_a \quad (25)$$

ここで

$$\theta = \frac{\tan \theta}{\mu}$$

この式は $Q_a - Q_b$ 平面上では (1, 1) を通り $\tan \theta/\mu$ をパラメータとする直線を境界とする領域を表わし、これが物体の跳躍運動領域となる。

また (11), (12) 式より $a\omega^2/g$ を消去し, $\tan \theta/\mu = \theta$, $\tan \gamma/\mu = \Gamma^*$ において変形すると

$$\frac{Q_b}{Q_a} = \frac{(1+\theta)(1-\Gamma^*)}{(1-\theta)(1+\Gamma^*)} \quad (26)$$

が得られる。この式は $Q_a - Q_b$ 平面上では θ, Γ をパラメータとして原点を通る直線となり、これを動作線と呼ぶ。動作線は θ, Γ 一定のもとに振動加速度を変えていったとき (Q_a, Q_b) がとる軌跡と考えられ、振動加速度が0のときは原点となるが加速度の増大とともに動作点は比例的に原点から遠ざかる軌跡をとる。

一方 $a\omega^2/g$ を一定にして γ をいろいろ変えたとき (Q_a, Q_b) のとる軌跡は (10), (11) 式より γ を消去すると明らかなように $\rho, \theta, a\omega^2/g$ をパラメータに含み原点を中心とする円群となる。すなわち $Q_a - Q_b$ 座標は別の見方をすれば、 μ, θ を固定して考えると、 $\gamma - a\omega^2/g$ の変形極座標と考えることができる。

このように μ, θ, γ が決まれば $Q_a - Q_b$ 平面に動作線が決定されるが、ここで振動角 γ は位相を考慮に入れることにより $\pi/2 \geq \gamma \geq \pi/2$ の範囲について考えれば十分である。したがって跳躍を含まない運動条件では(25)式で表わされる跳躍境界線と $\gamma = \pi/2$ および $-\pi/2$ の動作線(原点を通過して跳躍境界線に平行な線となる。)に囲まれ

* $\frac{a\omega^2}{g} = 1$, $\frac{\tan \theta}{\mu} = \theta$, $\frac{\tan \gamma}{\mu} = \Gamma$ を用いて Q_a, Q_b を表わすと次式のようになる。

$$Q_a = A \frac{1+\Gamma}{1+\theta} \sqrt{\frac{1+\mu^2\theta^2}{1+\mu^2\Gamma^2}}, \quad Q_b = A \frac{1-\Gamma}{1-\theta} \sqrt{\frac{1+\mu^2\theta^2}{1+\mu^2\Gamma^2}}$$

た帯状の領域内が (Q_a, Q_b) の値のとりうる領域となる。なお図5において第一象限の $Q_a > 1, Q_b > 1$ の領域と第三象限全域が空白になっているが、振動面の傾きが摩擦角より小さいという条件、 $\rho \geq \theta \geq 0$ 、からこの領域の (Q_a, Q_b) は存在しないことになる。

図5に示した跳躍境界線および動作線は一例として $\theta = 0.1$ の場合について示したものである。たとえば $\theta = 0.1, \Gamma = 5.0$ のもとに振動加速度を0からしだいに大きくさせていった場合動作点は原点から出発して動作線上をしだいに原点から遠ざかる軌跡をとり、輸送物体の運動形はⅠ形→Ⅱ形→Ⅳ_a形→Ⅳ_b形→Ⅳ_a形と移りやがて跳躍領域に入る。また $\theta = 0.1, \Gamma = -2.0$ の場合、運動形は加速度の増大とともにⅠ形からⅢ形に移り、Ⅳ形の運動をとることなく跳躍領域に入る。

また図5において跳躍境界線がⅣ_a形とⅣ_b形の接点aを通る条件は

$$\theta = \frac{\tan \theta}{\mu} = \frac{2}{\sqrt{\pi^2 + 4}}$$

であり、 θ がこの値より小さければⅣ_b形の運動は存在しうが θ がこの値より大きくなるとⅣ_b形の運動は存在しなくなる。

このように運動形分類図に動作線を描くことにより振動方向と運動形、あるいは振動加速度と運動形の関係を容易に理解することができる。

図8, 9図は実際 μ および θ の値を代入し、振動角 γ と $g/a\omega^2$ を座標軸にとって各運動形の領域を書き替えたものである。図8は $\mu = 0.15, \theta = 2^\circ$ 、図9は $\mu = 0.15, \theta = 5^\circ$ の場合であり、実線および点線が各運動形の境界を表わしている。これらの図において $|Q_a| = 1, |Q_b| = 1$ の両境界線はそれぞれ(10), (11)式から明らかなように $g/a\omega^2 = 0$ で $\gamma = \pm \rho$ を通る正弦曲線となっている。

このように γ および $g/a\omega^2$ を座標軸にとった場合各パラメータと運動形の関係が直感的に理解できる反面、 μ, θ のパラメータごとに図を描く必要があるという欠点がある。

4. 実験

図6に実験装置主要部の写真を示す。平行ばねで支えられた振動台は動電形加振機によって励振され必要な振動数と振幅が得られる。一方平行ばねの傾きは 5° 間隔で 0° から 90° まで変えることができ、これと振動台にとりつけたすべり面の角度を適当に調節することによって振動角を -90° から 90° まで変えられるようになっている。振動すべり面としては研削した軟鋼板、ガラス板、ラップしたアルミニウム板を主として用い、輸送物体としては $19\text{mm}\phi \times 9\text{mm}$ の円柱状軟鋼に $4\text{mm}\phi$ の鋼球を3個固定した重さ約 20g のスライダと、圧電形加速度ピックアップをとりつけた重さ約 110g のスライダを用いた。これらの振動面とスライダの摩擦部はベンジンによって表面の油脂、ゴミを取り除く程度処理を行ない摩

図6 実験装置主要部

図7 輸送物体の加速度波形例

軟鋼板-鋼球 $\mu=0.15$ $\theta=2^\circ$
(点線および実線は理論計算による運動形の境界線を
示す。実験結果は実線で示した理論曲線についてプ
ロットしたものである。)

図 8 運動形と振動加速度および振動角の関係

軟鋼板-鋼球 $\mu=0.15$ $\theta=5^\circ$
(点線および実線は理論計算による運動形の境界線を
示す。実験結果は実線で示した理論曲線についてプ
ロットしたものである。)

図 9 運動形と振動加速度および振動角の関係

擦係数のばらつきができるだけ小さくなるようにして実験を行なった。

振動面の振幅は差動トランスと加振機に内蔵された動電形ピックアップを用いて検出し、輸送物体の運動はすべりによって生ずる接触電気抵抗の変化または物体にとりつけた加速度ピックアップの出力をブラウン管オシログラフで観測することにより検知した。

実験は振動方向および面の傾きを所定の値にセットし一定の振動数で徐々に振幅を増大または減小させ、運動形が所定の形になったときの振幅を読みとった。なお加速度波形の検出には圧電形加速度ピックアップにチャージアンプを組合わせて用いた。

図 7 はこのようにして検出した加速度波形の例とそれに対する理論波形を示しており、かなりよく一致していることがわかる。ここで (a) 図は IV_a 形、(b) 図は IV_d 形の例であり、これらを積分すれば図 3 に示すような速度波形を容易に得ることができる。

図 8, 9 に運動形の境界を求めた実験結果の一部を理論曲線と対照して示す。他の多くの実験結果もほとんど同程度のばらつきで理論曲線とかなりよく一致した傾向を示している。

5. 結 論

1) 跳躍を含まない場合の輸送物体の運動としては相対すべりが無い場合を含め 7 種類の形態があり、これら

各運動形の条件は 2 個の無次元量 Q_a , Q_b によって決定される。

2) $|Q_a| \leq 1$, $|Q_b| \leq 1$, (I 形), の場合相対すべりはなく輸送は行なわれないが, $|Q_a| > 1$, $|Q_b| \leq 1$, (II 形), の場合間けつ的正方向のすべり運動を, $|Q_a| \leq 1$, $|Q_b| > 1$, (III 形), のとき間けつを負方向のすべり運動を, $|Q_a| > 1$, $|Q_b| > 1$, (IV 形), のとき正, 負両方向のすべりを交互に行なう運動となる。さらに IV 形は別の関係式によって 4 種の形に分類される。

3) これらの関係は Q_a - Q_b 平面上に各運動形の領域として図示することができ、輸送条件から容易にそのときの運動形を知ることができる。また Q_a - Q_b 平面は振動角 γ と振動加速度比 aw^2/g の変形極座標になっており、この図から各輸送条件と運動形の関係を容易に理解することができる。

4) Q_a , Q_b によって跳躍領域を表わすと

$$Q_b > \frac{2}{1-\theta} - \frac{1+\theta}{1-\theta} Q_a$$

となる。ここで $\theta = \tan \theta / \mu$ であり, Q_a - Q_b 平面上では (1, 1) を通って θ をパラメータとした直線群になる。この跳躍境界線と原点を通してこれに平行な線に囲まれた帯状領域が本報で論ずる有効な運動領域となる。

5) これらの理論解析の結果は実験の結果とよく一致している。

終わりにこの研究に関して御指導賜りました東京大

学名誉教授 西村源六郎先生, 御討論賜りました東京大学 高野政晴助教授に感謝致します。また実験に協力された金沢大学 野村久直氏に感謝致します。

文 献

- 1) 杉本信夫, 秋山高治, 所 謙三, 増田 武: 振動面上にお

ける粒体の進行速度 (第1報), 日本機械学会論文集, **27**, 182 (1961) 1494.

- 2) 谷口 修, 坂田 勝, 鈴木康之, 小山内泰生: 振動式フィードの研究, 日本機械学会論文集, **28**, 188 (1962) 485.
3) J.H. Booth, H. McCallion: On Predicting the Mean Conveying Velocity of a Vibratory Conveyor, Proc. Instn. Mech. Engrs. **178**, 20 (1964) 521.

情 報

NC 工作機械白書

日本工作機械工業会 (会長市川政章氏) はこのほど, わが国における NC (数値制御) 工作機械の生産ならびに出荷状況をまとめた。これはいわば “NC 工作機械白書” というべきもので, 国産 NC 工作機械の生産状況を明らかにしたのはこれがはじめてである。それによると 43 年の NC 工作機械の生産実績は 380 台, 65 億 9,200 万円で工作機械全生産に対する割合は金額でまだ 3.7% であるが, 45 年には 242 億 3,100 万円と 43 年実績の 3.5 倍になることが予想され, こんど NC 工作機械の生産が, 本格化するものとみられる。NC 工作機械はわが国でもようやく普及段階にはいり, 各メーカーとも生産に本腰を入れたが, これまで NC 工作機械に関する統計資料が, まったくないため, 日本工作機械工業会が, このほど生産状況をまとめたもので, 調査対象になったのは同会々員メーカー 107 社で, 調査項目は 40 年, 41 年, 42 年, 43 年の生産実績と 44, 45 年の生産予想である。これによると 40 年の生産は 39 台 (工作機械総生産に対する割合は 0.04%) 41 年は 90 台 (0.08%) 42 年は 129 台, 21 億 2,700 万円 (金額比で 1.7%) 43 年は 388 台, 65 億 9,200 万円 (同 3.7%) と急増している。44 年の生産予想は 984 台, 142 億 7,200 万円, 45 年は, 1,720 台, 242 億 3,100 万円となっている。

45 年の生産は 43 年実績の金額で 3.5 倍にもなるわけで, こんど NC 工作機械の生産が飛躍的に増加することを示している。また, 機種別に生産の推移をみると旋盤とマシニングセンタの伸びがいちじるしく, マシニングセンタは 43 年は 42 年にくらべ金額で 21 倍, 旋盤は 6 倍, ボール盤は 4 倍, 研削盤と専用機は 2 倍, 中ぐり盤は 3 倍である。45 年の計画を 43 年にくらべると旋盤が 7 倍, ボール盤とマシニングセンタ 4 倍, 研削盤 2 倍, フライス盤 3 倍となっている。43 年のおもなユーザ別の出荷状況は一般機械業界向けが 25% でトップ, 続いて輸出が 13%, 電気機械, 自動車それぞれ 12%, 造船 10%, 自社用 15% である。また, 最も伸びの大きいマシニングセンタのおもな需要先は 42 年が自動車 33%, 造船, 精密機械各 19%, 自社用 20% であったものが, 43 年は一般機械 22%, 輸出 16%, 自動車 12%, 造船 11%, 自社用 26% となった。さらにわが国とアメリカ NC 工作機械生産状況を比較すると全工作機械の生産に対し昨年, わが国が 3.7% であったのにアメリカは 24% で, わが国とは格段の開きがあるが, このことか

らもこんどわが国の NC 工作機械の生産がいちじるしく伸びるといえよう。なお, 43 年の NC 工作機械機別内訳は次のとおり,

▽ 旋盤=66 台 ▽ ボール盤=73 台 ▽ 中ぐり盤=40 台
▽ フライス盤=96 台 ▽ 研削盤=11 台 ▽ 専用機=25 台
▽ マシニングセンタ=77 台。

工業技術院ノウハウの実施規定制度化

工業技術院は技術開発の面で産業界との連携を強化するためノウハウの実施規定を設ける方針をきめ, 近くその検討をはじめることとなった。これはおもに同院が開発した技術を対象にして, その成果を産業界に普及させる対策の一環となるもので, 同院では現在進めている特許対策と並行してノウハウの範囲についての定義づけ, 産業界がノウハウを利用する際の条件をはじめ, ノウハウに関するあらゆる問題を取りあげて 44 年度中に規定として制度化し, 産業界が利用しやすい体制にもっていく考えである。外国にたちうちできるようにすぐれた自主技術を開発するには, 研究費の国家支出をふやすことがわが国にとって大きな課題となっているが, それと同時に 研究開発にあたって国と産業界との連携を強化することがますます重要になってきた。これは国立試験研究機関における基礎研究の成果を生かして, 産業界が応用研究, 実用化研究に発展させていくという形態が多いがいずれにしても, その成果を産業界が利用しやすい体制をどのようにしてつくるかが問題となっているわけである。このため工業技術院は昨年春, 院内に成果普及対策室を設け, おもに同院翼下の国立試験研究機関が開発した技術についての特許対策を進めてきた。その結果, 昨年末には産業界との共同研究の際の特許共有制度を設け, こんどさらに①同院の出願特許の早期使用②有料技術指導③外国特許出願の一部を産業界に委譲するなど各種の制度を設置する考えである。しかし産業界との連携を強め, 同院の研究成果をいかしていくには, これらの特許対策ではまだ十分な効果を期待することはむづかしい。つまり産業界は同院の特許を使うだけではなく, ノウハウのかたちで同院の技術を利用するケースが多いわけである。そこで同院はこれまでの特許対策と並行してノウハウについても実施規定をつくることになったものである。ノウハウは特許とはちがってその定義の仕方も各国まちまちであるだけに, 規定を設けるには, 解釈上いろいろむづかしい問題もあるが, 同院ではこの実施規定を 44 年度中にきめ, それによって産業界との共同研究を推進したいとしている。(服部敏夫)