

産業を支える輸送機器 『振動コンベア』

粉粒体の輸送にはベルトコンベアやスクリーコンベアなどのほか、振動コンベアも使われており、各種の粉粒体を取り扱う産業で採用され活躍中である。こうした輸送機は、生産ラインの動脈・静脈ラインで、とくに信頼性を要求される機器である。振動を利用した輸送方式である振動コンベアは、ごみ処理設備や医薬・食品をはじめファインケミカルの分野でも多く使用されている。また、振動コンベアはトラフ寸法を短くすれば振動フィーダであり、コンベアに網を付ければ振動スクリーンとなり、振動応用機器の中核をなす装置である。ここではその輸送原理・特徴などについて紹介する。

1. 輸送原理

振幅 a で垂直振動する平板の上に粒子があるモデルを考える。粒子を質点とみなし、粒子と平板の衝突時の反発を無視して、粒子の運動を検討する。図1のように振動面が XY 座標軸において

* Yoshiro HANASAKI ; ユーラステクノ(株)
(Tel. 03-3863-6421)

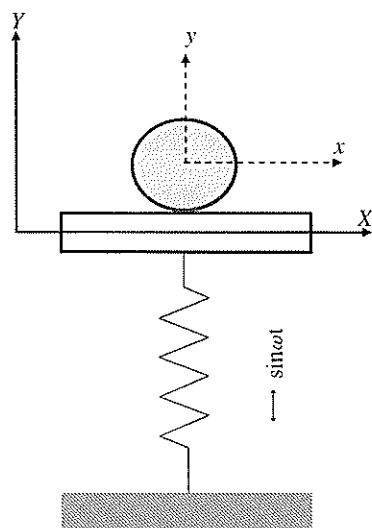


図1 輸送原理モデル

$$Y = a \sin \omega t \quad (1)$$

の垂直正弦波振動を行っている。 a : 振幅 (片振幅), ω : 角速度 (rad/sec), f : 振動周波数 (1/sec) とすれば, $\omega = 2\pi f$ であるから,

$$\dot{Y} = dY/dt = a\omega \cos \omega t \quad (2)$$

花崎 芳朗*

$$\ddot{Y} = d^2 Y/d^2 t = -a\omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

平板上の粒子の質量を m とし、座標軸を xy 平面で表す。粒子が平板から受ける法線力を N , 重力加速度を g とすると、粒子の運動方程式は

$$m\ddot{y} = N - mg \quad (4)$$

① 粒子が飛び上がらない場合

$y = Y$ であり, (3)(4)式より

$$N = m(g - a\omega^2 \sin \omega t) \quad (5)$$

である。振動する平板上の粒子は平板の効力を受けているから, $N > 0$ である。よって(5)式より

$$\sin \omega t < g/a\omega^2 = 1/G \quad (6)$$

ここで $G = a\omega^2/g$ は振動強度と呼ばれ、振動の加速度と重力加速度の比である。

$$|\sin \omega t| < 1$$

のため, $G < 1$ の場合, (6)式は常に満足され、粒子は常に平板とともに運動し飛び上がることはない。

② 粒子が飛び上がる場合

(5)式で $N = 0$ となる瞬間に粒子は飛び上がる。

$$0 = m(g - a\omega^2 \sin \omega t)$$

$$\rightarrow g/a\omega^2 = 1/G = \sin \omega t$$

粒子が飛び上がった瞬間の粒子の速度は、この瞬間の平板の速度である。後は、重力場での粒子の飛行となる。また、粒子を飛び上がらせるための最小振動条件は、 $\sin \omega t$ の max は 1 であるから、振動加速度 $G = 1$ となる。

平板に垂直な振動を与えた場合を検討したが、この平板 (振動コンベアではトラフと呼ぶ) に、角度 θ の傾斜振動を与えると、垂直方向成分の振動加速度が重力加速度と等しくなった時点で、粒子はトラフから飛び上がり、角度 θ 方向の振動速度に等しい初速度で重力場に投げ出され、粒子は再びトラフに接触するまで飛行し、ある距離 L だけトラフ上を移動する。これを繰り返すことで粒子がトラフ上を移動する。これが振動による輸送の原理である。

2. 輸送速度

鑄物砂 (かさ密度 ; 1.3 kg/l) を使用して、振動

コンベアの輸送速度を実験的に求めた例を示す。実験条件は以下の通り。

- 振動周波数： $f=13.5\sim 16.5$ Hz
- 振 幅： $a=2.2\sim 8$ mm (片振幅)
- 振動速度： $af=27.5\sim 100$ mm/s
- 振動強度： $G=1.5\sim 6.1$ (-)
- トラフ巾： $B=250$ mm
- コンベア長： $L=5$ m×2台連結=10 m
- 輸送速度 V (m/min) は、実験式

$$V=0.283 af-5.12 \quad (7)$$

で表すことができる。一般的に使用されている振動条件は $af=70$ mm/s ($G=4$) 程度までである。また、単粒子を輸送した場合の輸送速度も実験値の回帰直線として図2に示した。すなわち、層厚 $B=0$ から厚くしていくに従い、輸送速度は、低下する傾向があることが分かる。なお、輸送量 Q (kg/h) は、

Q =トラフ巾×層厚×輸送速度×輸送物かさ密度で求めることができる。これは、振動するトラフ上の粉体層の振動系に及ぼす特性、振動負荷重量係数(0.2~0.25)、粉体層の粘性減衰係数などによるものである。一般的な振動コンベアの使用ではとくに問題はないが、輸送層厚を厚くする必要がある場合は、設計に十分に検討すべき項目である。

3. 振動コンベアの種類と特徴

振動コンベアは、トラフ上の粒子などワークをトラフに一定の投射角で直線振動をあたえ、トラフからワークを放り投げ、ワークの放物線運動による前進でワークを輸送する装置である。この直線運動をトラフに与える機構(方式)により振動コンベアが分類される。その代表的な種類のみ紹介する。

振動系により、1自由度の振動系(強制タイプ)と2自由度の振動系(共振タイプ)に分類され、共振タイプは、2質量タイプと完全バランス型と呼ばれる3質量タイプに分類される。

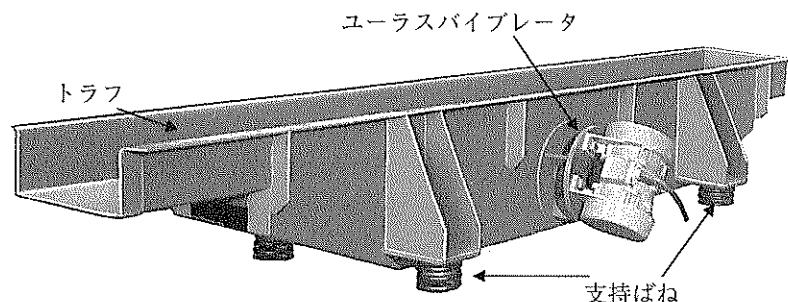


写真1 強制タイプ 振動コンベア

3-1. 強制タイプ

写真1に強制タイプの例を示す。構造はトラフにユーラスパイプ2台を取り付けた単純な構造である。2台のパイプも回転方向を変えることで、直線振動をトラフに与え、輸送をする。強制タイプは基礎に伝達する振動が大きいと言われている。振動系をもっとも単純化したモデルで示すと図3となる。

基礎に伝達する振動力 Fb は、支持ばねのばね定数(K_1)と変位 x_1 、すなわち振動振幅 a の積となる。この系の固有振動数 f_n とすると、

$$f_n=1/2\pi \times \sqrt{\frac{K_1}{M}}$$

と表せる。当然であるが、固有振動数を低く抑えることで、 Fb を小さくすることが可能である。一般に強制タイプが使用されるのは、小型のコンベアで

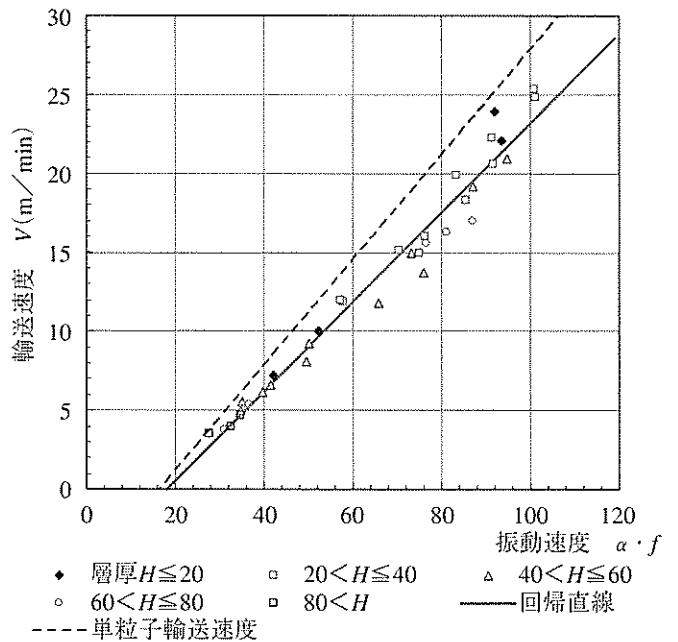


図2 輸送速度と振動速度

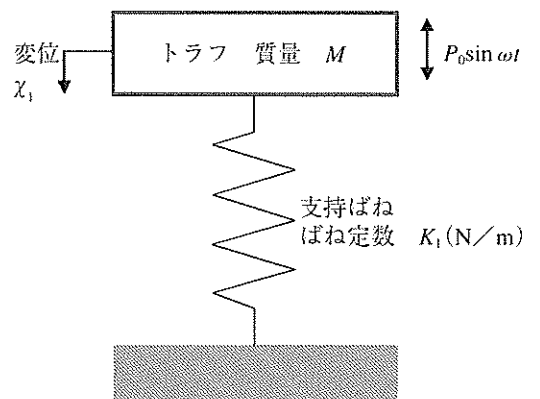


図3 1自由度振動系

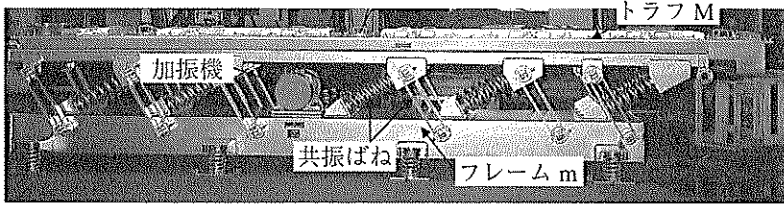


写真2 2質量共振タイプ 振動コンベア

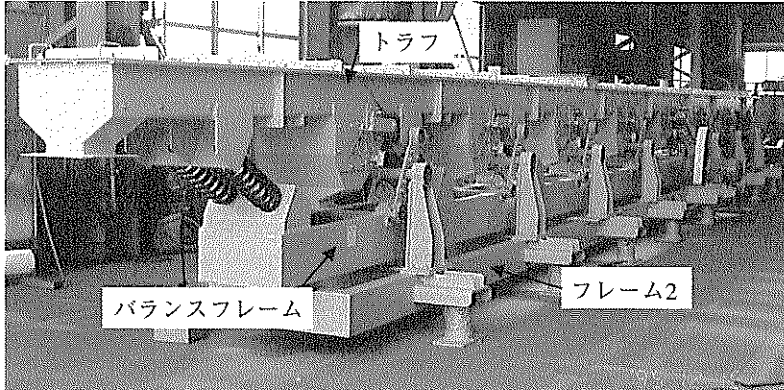


写真3 完全バランス型 振動コンベア

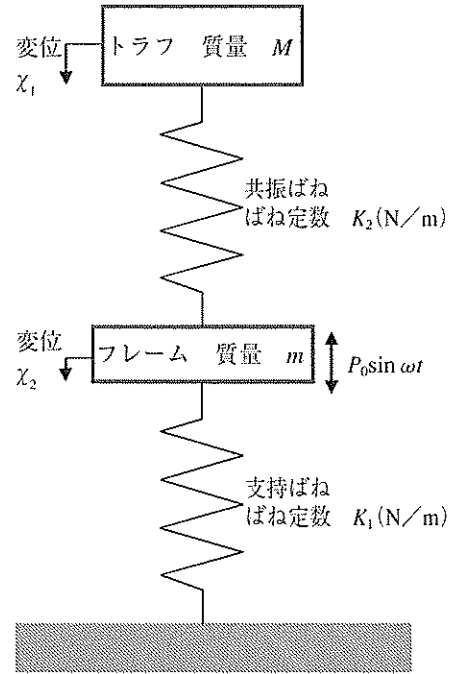


図4 2自由度振動系

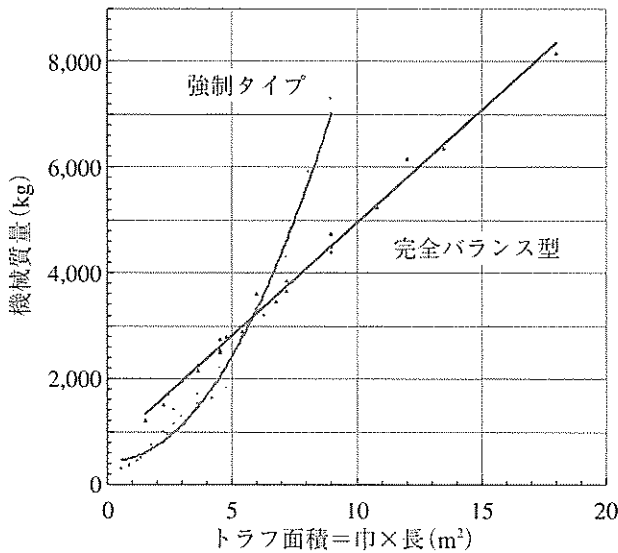


図5 振動コンベアの比較

あり、 Fb は大きな問題になりにくい。

3-2. 共振タイプ

2質量タイプと完全バランス型を写真2, 3に示す。

(1) 2質量タイプ

写真2で示す通り、トラフと加振機を配置したフレームの2質量の間を共振ばねで結合した構造であり、図4に示す振動モデルとなる。この構造は吸振機と同じ構造であり、この系の固有振動数 $\sqrt{\frac{K_2}{M}}$ を

加振機の運転周波数 ω と等しいように選定すると、フレーム m は振動せずに、振動系 k_2 、トラフ M が振動し、そのばねの力が加振機の力 $P_0 \sin \omega t$ と反対向きで等しい大きさを持つ。このようにフレームに加わる力は全体として、ゼロになり、振動せず、トラフのみを振動させることができる。実際は、コンベアを構成するのにフレーム m をトラフ M に対し大きくするには限界がある。また、共振点(固有振動数)で運転すると、トラフの振幅を制御するのが難しく、機械的強度の面からも、固有振動数から5~10%ずらして運転するよう設計されている。したがって、フレームの振動を完全にゼロにはできず、基礎に伝達する振動力 Fb は、コンベアの静加重の数~20%程度は発生する。

(2) 完全バランス型

振動モデルは、基本的に2質量形と同じであるが、写真3に示す通り、原則としてトラフと同じ質量のバランスフレームを持ち、この2質量が180度位相をずらした動作をして、その動作の中心点をフレーム2で支える構造をとる。このようにして、基礎に伝達する振動力 Fb を抑えているのであるが、 Fb はゼロにはならず、2質量系よりは小さいが、コンベアの静加重の数~10%程度は発生する。

コンベアの機械的特徴を示すために、図5にコンベアのトラフ面積とコンベアの基本形の機械質量を比較した。トラフ面積約6m²で両タイプの質量がクロスする。すなわち、機械構造がシンプルで質量

表1 振動コンベアの構造による分類と特徴

振動系	構造	機械構造	機械質量	輸送距離 (m/台)	基礎への 振動伝達	価格	特徴
1 自由度	強制タイプ	簡単 ↓	軽い	2~10	大 ↓	安い ↓	輸送負荷の変動に強い、 小型のコンベアに適す
2 自由度	共振タイプ (2 質量型)		中	4~8			機械の高さを低くできる
	共振タイプ (3 質量・完全バランス型)	複雑	重い	5~20	小さい	比較的高い	輸送距離が長いもの、 トラフ巾の広い機械に適す

が小さいという強制タイプコンベアの特徴がなくなる。したがって、強制タイプコンベアはトラフ面積の比較的小さなタイプ（目安として5m²以下）で使用され、大型のコンベアでは完全バランス型が使用されているのが分かる。

4. 振動コンベアの特徴と用途

コンベアのトラフ（U字型の樋）に25~45°の振幅 $\alpha=3\sim 20$ mmの傾斜振動を与えられることにより、トラフ内の被輸送物を搬送するという機構から、振動以外のコンベアとの比較による特徴がある。

(1) トラフ表面に回転体・移動体などが無い

これにより輸送物の形状を問わず、何でも搬送できる。都市ごみや粗大ごみの破砕品などのように、針金・鉄片・ガラス・鋭利な刃物などが混入していても、粒子を挟み込むなどのトラブルなしに搬送することができ、ごみ処理設備などで活躍している。また、各種切削屑の輸送に機械工場でも活躍中。

(2) 被輸送物を跳ね上げながら搬送

このため、トラフの中方向に均一に分散する作用がある。この特徴を利用して、ごみ処理場の再生不適物の除去などの手選別ラインの搬送機として使用されている。ベルトコンベアのようにベルトなどの移動がないため、作業者が巻き込まれるなどの心配がない。薬品・食品工場での検査ラインにも使用できる。

(3) トラフをふた（カバー）で密閉することが容易

したがって、外部からの異物の混入なく搬送可能。また、コンベアトラフ内をガス置換し、たとえば、酸化を防止しながらの搬送もできる。ファインケミ

カル分野・食品分野でも応用されている。

(4) 密閉構造のトラフ

輸送材料の飛散がなく、工場を汚すことがない。

(5) トラフの洗浄が容易

密閉用のふたを開けると、U字型のトラフのみ。したがって、洗浄が容易にできる。品種変えの多い化学工場などで使用可能。

(6) トラフが鋼板製

casting直後の高温鋳物などの搬送が可能。

(7) 2重トラフ構造（またはジャケット付）

内部を冷却・加熱などの熱媒体を通すことで、乾燥・冷却との同時操作が可能。とくに輸送しながら次工程までに冷却する場合など最適である。

(8) 多数の供給口・排出口の取り付けが可能

トラフ上のどの位置からでも、コンベアに供給が可能で、かつ排出ダンパーを取り付けることで、任意の位置での排出が可能。したがって、計量混合プロセスなどで多く使用されている。

振動コンベアを振動機構から分類し、特徴と用途について述べた。振動コンベアは構造も簡単で、被輸送物と接触するトラフがシンプルであり、この特徴ゆえにファインケミカルから、ごみ処理の分野まで多くの産業分野全般で使用されている。万能の輸送機のように見えるが、振動を利用した機械である。使い方を誤ると、工場の床に振動を伝達してしまうなどのトラブルが発生する可能性もある。多くの特徴を持つ輸送機であるが、採用に当たっては、搬送条件など仕様を明確にして、メーカーと十分に討議することをお勧めする。