

粉体供給

1. 粉体供給装置

粉体供給装置は、貯槽内の粉粒体を所定量取り出して下流の工程へ送り出す装置であり、とりわけ定量性が重要となる。すなわち、定められた速度で供給・排出できること、壁面への付着による残留が少ないことが要求される。また、輸送中の粉粒体を分散させて粒子特性を均一化する役割もある。供給装置には、定量性と気密性に優れた振動式(振動フィーダー)、供給速度の調節が容易な回転運動式(スクリーフィーダー、ロータリーフィーダー、テーブルフィーダー)、岩石や鉱石など大型の塊状物に適したエンドレス式(ベルトフィーダー、エプロンフィーダー、チェーンフィーダー)や往復運動式(レシプロケーティングフィーダー)、微粉体の空気輸送に適した流動化式、単純な構造で密閉性の高い重力式(シュート)がある。

①**振動フィーダー** 粉粒体を載せたトラフを斜め方向に往復振動させる。定位置にあるトラフが斜め下方向へ引くと、トラフ上の粒子は宙に浮いて相対的にトラフの前方へ落下して前進する。また、定位置に戻ってきたトラフが斜め上方向へ移動して振幅の上端に到達すると、トラフ上の粒子は斜め上方向に投げ出されて前進する。これを繰り返すことで粒子が前方へと移動する。

②**ロータリーフィーダー** 羽根付きのローター(回転羽根)を円筒内で回転させ、上方から供給された粉粒体を羽根と羽根の間の空間に受けて下方へ排出する。定量性と気密性に優れている。

③**スクリーフィーダー** 断面形状が円またはU字をした本体内でらせん状のスクリーを水平方向に回転させ、粉粒体を前方へ押し出して供給する。供給速度の調節が容易。

④**ベルトフィーダー** 装置内をえんえんと循環する搬送体(ベルトなど)に粉粒体を積載して輸送する。粉粒体と搬送体の間に作用する摩擦のために粉粒体が前進する。大型化が容易であるため貯槽からの切り出しに用いられることが多い。密閉化が困難であるため微粉など飛散しやすいものは適さない。

⑤**レシプロケーティングフィーダー** 塊状の岩石や鉱石を載せた往復板を水平方向に往復運動させる。往復板が前進すると、供給物は板とともに前進する。往復板が後進すると、供給物は後方が詰まっているため後ろへ動けず、供給物からすっぽ抜けるようにして板のみが後進する。これを繰り返すことで供給物が前方へと移動する。

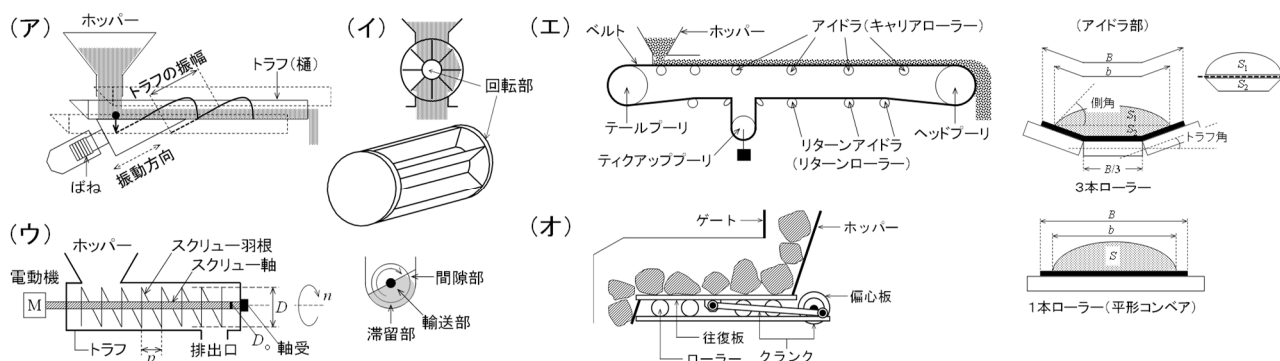


図 1.1 粉体供給装置の例

(ア) 振動フィーダー、(イ) ロータリーフィーダー、(ウ) スクリューフィーダー、(エ) ベルトフィーダー、(オ) レシプロケーティングフィーダー

2. 振動式供給装置

振動フィーダーの供給性能 Q [t/h] は、次式で与えられる。

$$Q=60B\delta u\rho_b C_1 C_2 C_3 \quad \cdots(2.1)$$

ただし、 B はトラフ幅[m]、 C_1 は粒子径に関する定数、 C_2 は粉粒体中の水分量に関する定数、 C_3 はトラフ傾斜角に関する定数、 u は供給速度[m/min]、 δ はトラフ上の供給物の積載高さ[m] (平均 $0.165B$)、 ρ_b は供給物のかさ密度[t/m³]。

供給速度 u [m/min] は、次式より求める。【文献 1】

$$u=60[ag\{K\sin\alpha-(K\sin\alpha)^{-1}\}]^{1/2}(\cos\alpha/\sin\alpha) \quad \cdots(2.2)$$

$$K(=a\omega^2/g)=4\pi^2 n^2 a/g \quad [\omega=2\pi n] \quad \cdots(2.3)$$

ただし、 a はトラフ半振幅[m]、 g は重力加速度[m/s²]、 K は振動強度[-] (遠心効果に相当)、 n はトラフ振動数[Hz]、 α は投射角 (振動方向に対するトラフ面の角度) [deg.]、 ω は角速度[rad/s]。

トラフ幅 B [mm] とトラフ長 L [mm] (供給距離に相当) は、 Q の式よりトラフ幅 B [mm] を求めてメーカーの標準仕様に近いもの (計算値よりもひとまわり大きいもの) を選定する。

$$B=Q/(60\delta u\rho_b C_1 C_2 C_3) \quad \cdots(2.4)$$

$$B^2=Q/[(60)(0.165)u\rho_b C_1 C_2 C_3] \quad [\delta=0.165B] \quad \cdots(2.5)$$

$$B=[Q/(9.9u\rho_b C_1 C_2 C_3)]^{0.5} \quad \cdots(2.6)$$

トラフ幅 B [mm] × トラフ長 L [mm] = 60×310, 100×500, 120×550, 150×610, 200×610, 310×762, 356×914, 458×914, 558×1067, 610×1067, 762×1219, 914×1524, 1372×1524, 1524×1829, 1829×1829 【文献 1】

表 2.1 定数 C_1 【文献 1, 2】

目開き [mesh]	200	100	60	40	30	20	10	5	2
粒子径 [mm]	0.08	0.15	0.25	0.43	0.6	0.85	2.00	4.00	10.5
C_1	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.2	1

表 2.2 定数 C_2 【文献 1-3】

水分含量 [%]		0	1	3	5	7	10	20
C_2	不溶性粉体*	1	0.8	1	0.95	0.9	0.8	0.55
	可溶性粉体**	1	0.8	0.85	0.8	0.7	0.6	0.3

*砂、石炭、コークスなど **塩、粘土、石膏など

表 2.3 定数 C_3 【文献 1-3】

トラフ傾斜角*	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°
C_3	0.5	0.75	1.0	1.25	1.55	1.85

*正の場合、トラフの向きは斜め下向き。負の場合は斜め上向き。

【計算例】 振動式供給装置

- (1) かさ密度 0.75 t/m^3 、粒子径 4.0 mm の小豆(水分含量 16% 、不溶性)をトラフ幅×トラフ長= $200 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$ の振動フィーダーで水平方向に供給する場合の処理性能 $Q \text{ [t/h]}$ を求めよ。トラフ全振幅 2.5 mm 、トラフ振動数 50 Hz 、投射角 30° 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。 (6.60 t/h)

$$a=0.0025/2=0.00125 \text{ mm}$$

$$K=aw^2/g=a(2\pi n)^2/g=4\pi^2 n^2 a/g=(4\pi^2)(50)^2(0.00125)/(9.81)=12.575$$

$$K\sin\alpha=12.575\sin30^\circ=6.2875$$

$$u=(60)[ag(K\sin\alpha - 1/K\sin\alpha)]^{0.5}(\cos\alpha/\sin\alpha)=(60)[(0.00125)(9.81)\{(6.2875 - (1/6.2875))\}]^{0.5}(\cos30^\circ/\sin30^\circ)$$

$$=28.488 \text{ m/min}$$

$$\delta \doteq 0.165B=(0.165)(200)=33.0 \text{ mm}$$

$$y=y_0+[(y_1-y_0)/(x_1-x_0)](x-x_0)$$

$$C_2=0.8+[(0.55-0.8)/(20-10)](16-10)=0.65 \text{ (直線補間)}$$

$$Q=60B\delta u\rho_b C_1 C_2 C_3=(60)(200 \times 10^{-3})(33.0 \times 10^{-3})(28.488)(0.75)(1.2)(0.65)(1.0)=6.5995 \text{ t/h} \doteq \boxed{6.60 \text{ t/h}}$$

- (2) かさ密度 1.7 t/m^3 、粒子径 0.85 mm の砂(水分含量 0% 、不溶性)を振動フィーダーで斜め下向き 5° の方向に 1 時間あたり 25 t 供給する場合のトラフ幅 $B \text{ [mm]}$ とトラフ長 $L \text{ [mm]}$ を求めよ。トラフ全振幅 2.5 mm 、トラフ振動数 60 Hz 、投射角 30° 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。 ($200 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$)

$$a=0.0025/2=0.00125 \text{ mm}$$

$$K=aw^2/g=a(2\pi n)^2/g=4\pi^2 n^2 a/g=(4\pi^2)(60)^2(0.00125)/(9.81)=18.109$$

$$K\sin\alpha=18.109\sin30^\circ=9.0545$$

$$u=(60)[ag(K\sin\alpha - 1/K\sin\alpha)]^{0.5}(\cos\alpha/\sin\alpha)=(60)[(0.00125)(9.81)\{(9.0545 - (1/9.0545))\}]^{0.5}(\cos30^\circ/\sin30^\circ)$$

$$=34.416 \text{ m/min}$$

$$B=[Q/(9.9u\rho_b C_1 C_2 C_3)]^{0.5}=[25/\{(9.9)(34.416)(1.7)(1)(1)(1.25)\}]^{0.5}=0.18582 \text{ m} \doteq 186 \text{ mm} \rightarrow \boxed{200 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}}$$

【問題】 振動式供給装置

- (1) かさ密度 1.7 t/m^3 、粒子径 0.85 mm の砂(水分含量 0% 、不溶性)をトラフ幅×トラフ長= $100 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ の振動フィーダーで斜め上向き 10° の方向に供給する場合の処理性能 $Q \text{ [t/h]}$ を求めよ。トラフ全振幅 2.5 mm 、トラフ振動数 60 Hz 、投射角 30° 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。 (2.90 t/h)
- (2) かさ密度 0.75 t/m^3 、粒子径 4.0 mm の小豆(水分含量 16% 、不溶性)を振動フィーダーで水平方向に 1 時間あたり 25 t 供給する場合のトラフ幅 $B \text{ [mm]}$ とトラフ長 $L \text{ [mm]}$ を求めよ。トラフ全振幅 2.5 mm 、トラフ振動数 50 Hz 、投射角 30° 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。 ($458 \text{ mm} \times 914 \text{ mm}$)

3. 回転落下式供給装置

①供給性能 ロータリーフィーダーの供給性能 $Q \text{ [t/h]}$ は、次式で与えられる。

$$Q=60qn\eta\rho_b \quad \cdots(3.1)$$

ただし、 n はローター回転速度[rpm]、 q はローター 1 回転あたりの供給量[m³]、 η は容積効率[-]、 ρ_b は供給物のかさ密度[t/m³]。

ローター 1 回転あたりの供給量 $q \text{ [m}^3\text{]}$ は、幾何学的に次式で表される。

$$q=(\pi/4)(D^2-D_0^2)L-Nt_R L \quad \cdots(3.2)$$

$$l=(D-D_o)/2 \quad \cdots(3.3)$$

ただし、 D はローター径[m]、 D_o はローター軸径[m]、 L はローター長[m]、 l はローター翼幅[m]、 N はローター翼枚数[-]、 t_R はローター翼厚み[m]。

容積効率 η はローター回転速度の関数であり、実験的に求める必要がある。

ローターの寸法は、 Q の式より 1 回転あたりの供給量 q を求めてメーカーの標準仕様に近いものを選定する。

$$q=Q/(60n\eta\rho_b) \quad \cdots(3.4)$$

$$t_R=[(\pi/4)(D^2-D_o^2)L-q]/(NIL) \quad \cdots(3.5)$$

t_R 式中の q 値は、仕様上の値を用いる。

②**臨界回転速度** ローター内の粉粒体には重力と遠心力が作用する。供給物がローターの外へ排出されるには、遠心力よりも重力が大きいことが条件となる。ローターの最大許容回転速度(臨界回転速度) n_c [rps]は、両者が釣り合う条件で導かれる。【文献 4】

$$(\pi/6)D_p^3\rho_p g=(\pi/6)D_p^3\rho_p Z_c g \quad \cdots(3.6)$$

ただし、 D_p は粒子径[m]、 g は重力加速度[m/s²]、 Z_c は臨界遠心効果[-]、 ρ_p は粒子密度[kg/m³]

臨界遠心効果 Z_c は、次式のように導かれる。

$$Z_c(=mr\omega^2/mg)=r\omega^2/g=(D/2)(2\pi n_c)^2/g=2\pi^2 n_c^2 D/g \quad \cdots(3.7)$$

上式に代入すると、臨界回転速度 n_c [rps]が導かれる。

$$2\pi^2 n_c^2 D/g=1 \quad \cdots(3.8)$$

$$n_c=(1/\pi)[g/(2D)]^{1/2} \quad \cdots(3.9)$$

この値よりも大きいと遠心力によって供給物が持ち上げられるため、排出が困難となる。実際のローター一回転速度 n は、20~40 rpm 程度が目安となる。

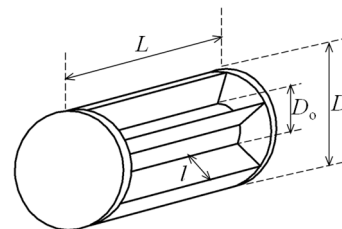


表 3.1 ローターフィーダーの標準仕様例【文献 5】

q [m ³]	D [mm]	D_o [mm]	L [mm]	N
0.0035	210	30	150	6
0.0080	250	35	230	8
0.0140	300	40	260	8

【計算例】回転落下式供給装置

(1) かさ密度 0.7 t/m³ の粉炭をローター径 210 mm のローターフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h]を求めよ。ローター回転速度 30 rpm、容積効率 0.9、重力加速度 9.81 m/s² とする。(3.97 t/h)

$$Q=60q\eta\rho_b=(60)(0.0035)(30)(0.9)(0.7)=3.969 \text{ t/h} \approx 3.97 \text{ t/h}$$

(2) かさ密度 0.7 t/m³ の粉炭をローターフィーダーで 1 時間あたり 2.5 t 供給する場合のローター径 D [mm]、ローター軸径 D_o [mm]、ローター長 L [mm]、ローター幅 l [mm]、ローター翼枚数 N [-]、ローター翼厚み t_R [mm]、臨界回転速度 n_c [rpm]を求めよ。ローター回転速度 20 rpm、容積効率 0.9、重力加速度 9.81 m/s² とする。($D=210$ mm, $D_o=30$ mm, $L=150$ mm, $N=6$, $l=90$ mm, $t_R=19.6$ mm, $n_c=92$ rpm)

$$q=Q/(60n\eta\rho_b)=2.5/[(60)(20)(0.9)(0.7)]=0.0033070 \text{ m}^3$$

$$q=0.0035 \text{ m}^3(\text{仕様値}), D=\boxed{210 \text{ mm}}, D_o=\boxed{30 \text{ mm}}, L=\boxed{150 \text{ mm}}, N=\boxed{6 \text{ 枚}}$$

$$l=(D-D_o)/2=(210-30)/2=\boxed{90 \text{ mm}}$$

$$t_R=[(\pi/4)(D^2-D_o^2)L-q]/(NIL)=[(\pi/4)(0.21^2-0.03^2)(0.15)-(0.0035)]/[(6)(0.090)(0.15)]=0.019621 \text{ m}$$

$$\doteq 19.6 \text{ mm}$$

$$n_c = (60/\pi)[g/(2D)]^{0.5} = (60/\pi)[(9.81/2)/(0.210)]^{0.5} = 92.302 \text{ rpm} \doteq 92 \text{ rpm} (>n)$$

【問題】回転落下式供給装置

- (1) かさ密度 0.65 t/m^3 の大豆をローター径 250 mm のロータリーフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h] を求めよ。ローター回転速度 20 rpm 、容積効率 0.9 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。(5.62 t/h)
- (2) かさ密度 0.65 t/m^3 の大豆をロータリーフィーダーで 1 時間あたり 10 t 供給する場合のローター径 D [mm]、ローター軸径 D_o [mm]、ローター長 L [mm]、ローター幅 l [mm]、ローター翼枚数 N [-]、ローター翼厚み t_R [mm]、臨界回転速度 n_c [rpm] を求めよ。ローター回転速度 40 rpm 、容積効率 0.9 、重力加速度 9.81 m/s^2 とする。($D=250 \text{ mm}$, $D_o=35 \text{ mm}$, $L=230 \text{ mm}$, $N=8$, $l=108 \text{ mm}$, $t_R=15.5 \text{ mm}$, $n_c=84 \text{ rpm}$)

4. 回転運動式供給装置

①供給性能 スクリューフィーダーの供給性能 Q [t/h] は、次式で与えられる。

$$Q = 60 S u \rho_b \quad \cdots(4.1)$$

ただし、 S は供給物の輸送部占有断面積 [m^2]、 u は供給速度 [m/min]、 ρ_b は供給物のかさ密度 [t/m^3]。

供給物の輸送部占有断面積 S は、充填率 ϕ [-] の定義式(スクリュー断面積と輸送部における占有断面積の比)より導かれる。

$$\phi = S / [\pi(D^2 - D_o^2)/4] \quad \cdots(4.2)$$

$$S = (\pi/4)(D^2 - D_o^2)\phi \quad \cdots(4.3)$$

ただし、 D はスクリュー外径 [m]、 D_o はスクリュー軸径 [m]。

スクリュー外径 D は、供給物の粒子径をもとに標準仕様の表から選ぶ。粉粒体の粒子径や塊状物の割合が大きい場合は、スクリュー径を大きくとる。充填率 ϕ は、表より読み取る。

供給速度 u は、スクリューのピッチ p [m] と回転速度 n [rpm] (=1/min) の積で表される。

$$u = pn \quad \cdots(4.4)$$

安息角が大きく流動性が悪いもの、摩擦性があるもの、勾配がある場所で使用する場合は、スクリューのピッチ(らせんの山と山の間隔)を小さくして供給速度を小さくする。

②臨界回転速度 質量 m_p [kg] の単一固体粒子が有効半径 R [m] (=スクリュー半径 - 粒子半径 \doteq スクリュー半径) のスクリューの回転によって持ち上げられているとき、固体粒子にかかる遠心力と重力はつり合っている。

$$m_p u_p^2 / R = m_p g \cos \theta \quad \cdots(4.5)$$

$$(R\omega)^2 / R = g \cos \theta \quad \cdots(4.6)$$

$$R^2 [2\pi(n/60)]^2 / R = g \cos \theta \quad \cdots(4.7)$$

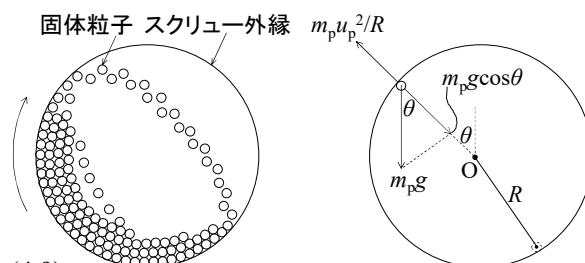
$$(2\pi/60)^2 R n^2 = g \cos \theta \quad \cdots(4.8)$$

$$n = [g \cos \theta / \{(2\pi/60)^2 (D/2)\}]^{1/2} \quad [R = (D/2) - (D_p/2) \doteq D/2] \quad \cdots(4.9)$$

$$n = 42.3 [(\cos \theta) / D]^{1/2} \quad \cdots(4.10)$$

粒子がスクリューの頂点 ($\theta=90^\circ$) でスクリューから離れるときの回転速度が臨界回転速度 n_c [rpm] となる。

$$n_c = 42.3 / D^{1/2} \quad \cdots(4.11)$$



この値よりも大きいと固体粒子はスクリーと一体となって回転するため、排出が困難となる。フィーダーとして用いる場合は 100 rpm 程度以下、コンベアとして用いる場合は 180 rpm 程度以下が目安となる。

[文献 6]

実際の回転速度 n [rpm] は、供給性能の式より求める。

$$Q=60Spn\rho_b \quad [u=pn] \quad \cdots(4.12)$$

$$n=Q/(60Sp\rho_b) \quad \cdots(4.13)$$

③供給所要動力 スクリューフィーダーの供給所要動力 P [kW] は、水平供給動力と垂直供給動力(下りの場合は負)の和で与えられる。 **[文献 3, 7, 8]**

$$P=(KQL\pm QH)/367 \quad \cdots(4.14)$$

ただし、 H は垂直揚程[m](上り下りの高さ。下りの場合は負)、 K は定数、 L はスクリー長さ [m](供給距離に相当)、 Q は供給性能[t/h]。 K 値は表より読み取る。

電動機動力 P_M [kW] は、次式で求める。

$$P_M=P/\eta_M \quad \cdots(4.15)$$

ただし、 η_M は電動機の機械効率[-](=0.7~0.8)。

電動機の定格出力を以下に示す。計算値よりもひとまわり大きい規格を選定する。 **[文献 9]**

0.2, 0.4, 0.75, 1.5, 2.2, 3.7, 5.5, 7.5, 11, 15, 18.5, 22, 30, 37, 40, 50, 60, 75, 100, 120, 150, 200 kW

表 4.1 運搬物のかさ密度と充填率の関係(水平輸送の場合) **[文献 6, 10]**

運搬物の例	穀物	粉炭、豆類	石炭	セメント、砂利	鉱石
運搬物の嵩密度[t/m ³]	0.5~0.7	0.6~0.8	0.8~1.2	0.8~1.8	1.8~
運搬物の寸法	微粉	粉~粒	粒~小塊	塊状	塊状
運搬物の摩耗性	無し	無し~小	中	中~大	大
充填率(コンベア)	0.45	0.38	0.31	0.25	0.125
充填率(フィーダー)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K 値(動力推算式)	1.2	1.8	2.5	4	7

表 4.2 スクリューコンベア(またはフィーダー)の標準仕様例 **[文献 2, 11-13]**

運搬物の平均粒子径 D_p [mm]	10	18	25	35	45	50
運搬物の最大粒子径 $D_{p,max}$ [mm]	25	50	75	100	125	150
スクリー外径 D [mm]	100	200	300	400	500	600
スクリー軸径 D_o [mm]	35	55	70	80	90	100
ピッチ p [mm](コンベア)	80	150	210	280	340	400
ピッチ p [mm](フィーダー)	50	100	150	200	250	300

【計算例】回転運動式供給装置

(1) かさ密度 0.65 t/m³、粒子径 7 mm の大豆をスクリーフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h] を求めよ。スクリー回転速度 30 rpm とする。(0.322 t/h)

$$S=(\pi/4)(D^2-D_o^2)\phi=(\pi/4)(0.100^2-0.035^2)(0.8)=0.0055134 \text{ m}^2$$

$$u=pn=(0.050)(30)=1.5 \text{ m/min}$$

$$Q=60Su\rho_b=(60)(0.0055134)(1.5)(0.65)=0.32253 \text{ t/h} \doteq \boxed{0.322 \text{ t/h}}$$

- (2) かさ密度 1.5 t/m^3 、粒子径 25 mm の砂利をスクリーフィーダーで 1 時間あたり 20 t 、水平方向に 5.0 m 供給する場合の①スクリー外径 D [mm]、②スクリー軸径 D_o [mm]、③ピッチ p [mm]、④スクリー回転速度 n [rpm]、⑤臨界回転速度 n_c [rpm]、⑥供給所要動力 P [kW]、⑦電動機の定格出力 P_M [kW]を求めよ。電動機効率 0.7 とする。(① 300 mm , ② 70 mm , ③ 150 mm , ④ 28 rpm , ⑤ 77 rpm , ⑥ 1.09 kW , ⑦ 2.2 kW)

$$D=300 \text{ mm}, D_o=70 \text{ mm}, p=150 \text{ mm}, \phi=0.8$$

$$S=(\pi/4)(D^2-D_o^2)\phi=(\pi/4)[(0.300)^2-(0.07)^2](0.8)=0.053469 \text{ m}^2$$

$$n=Q/(60S\rho_b)=20/[(60)(0.053469)(0.150)(1.5)]=27.707 \approx 28 \text{ rpm}$$

$$n_c=42.3/D^{0.5}=42.3/(0.300)^{0.5}=77.228 \text{ rpm} \approx 77 \text{ rpm} (>n)$$

$$P=(KQL\pm QH)/367=[(4)(20)(5)\pm(20)(0)]/367=1.0899 \text{ kW} \approx 1.09 \text{ kW}$$

$$P_M=P/\eta_M=1.0899/0.7=1.5570 \text{ kW} \approx 1.56 \text{ kW} \rightarrow 2.2 \text{ kW}$$

【問題】回転運動式供給装置

- (1) かさ密度 1.5 t/m^3 、粒子径 25 mm の砂利をスクリーフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h] を求めよ。スクリー回転速度 30 rpm とする。(21.7 t/h)
- (2) かさ密度 1.0 t/m^3 、粒子径 35 mm の石炭をスクリーフィーダーで 1 時間あたり 50 t 、上り方向に 10 m (揚程 2.0 m) 供給する場合の①スクリー外径 D [mm]、②スクリー軸径 D_o [mm]、③ピッチ p [mm]、④スクリー回転速度 n [rpm]、⑤臨界回転速度 n_c [rpm]、⑥供給所要動力 P [kW]、⑦電動機の定格出力 P_M [kW]を求めよ。電動機効率 0.7 とする。(① 400 mm , ② 80 mm , ③ 200 mm , ④ 43 rpm , ⑤ 67 rpm , ⑥ 3.68 kW , ⑦ 5.5 kW)

5. エンドレス式供給装置

①供給性能 ベルトフィーダーの供給性能 Q [t/h]は、次式で与えられる。

$$Q=60S\rho_b \quad \cdots(5.1)$$

$$S=K(0.9B-0.05)^2 \quad \cdots(5.2)$$

ただし、 B はベルト幅[m]、 K は定数、 S は供給物の積載断面積[m²]、 u はベルト速度[m/min]、 ρ_b は供給物のかさ密度[t/m³]。

ベルト幅 B とベルト速度 u は、所定の供給性能 Q を満たす組み合わせを表より選ぶ。 S の式を Q の式に代入して u の式を導く。

$$Q=60K(0.9B-0.05)^2u\rho_b \quad \cdots(5.3)$$

$$u=Q/[60K(0.9B-0.05)^2\rho_b] \quad \cdots(5.4)$$

上式に適当なベルト幅 B を試行錯誤的に代入して、標準仕様の表の最大ベルト速度になるべく近くなるようなベルト速度 u を見つける。

②供給所要動力 ベルトフィーダーの供給所要動力 P [kW]は、無積載時動力 P_1 [kW]と水平供給時動力 P_2 [kW]と垂直供給時動力 P_3 [kW](下りの場合は負)と自走式トリッパ(コンベアの間で運搬物を降ろす装置。コンベアのみにも適用)運転時動力 P_t [kW]の和で求める。

$$P=P_1+P_2\pm P_3+P_t \quad \cdots(5.5)$$

無積載時動力 P_1 [kW]は、次式で与えられる。

$$P_1=0.06fwu(L+L_0)/367 \quad \cdots(5.6)$$

ただし、 f はローラーの回転摩擦係数[-](標準値 0.03)、 L はベルト長さ[m](供給距離に相当)、 L_0 はベルト長さの補正值[m](標準値 49 m)、 u はベルト速度[m/min]、 w は供給物以外のベルト長さあたり運動部分重量[kg/m]。

式中の 0.06 は、ベルト速度の単位を[m/min]から[m/h]に換算する分(=60 min/h)と動力の単位を[W]から[kW]に換算する分(=10⁻³ kW/W)に相当する。式中の 367 は、力と速度の積 $w(L+L_0)^{kgf} \times (60u)^{m/h}$ で表される動力の工学単位[kgf・m/h]から SI 単位[N・m/s]に換算する分(=(9.8)^{N/kgf}(1/3600)^{h/s} ≒ 1/367)に相当する。

水平供給時動力 P_2 [kW]は、次式で与えられる。

$$P_2=fQ(L+L_0)/367 \quad \cdots(5.7)$$

ただし、 Q は供給性能[t/h]。

垂直供給時動力 P_3 [kW]は、次式で与えられる。

$$P_3=HQ/367 \quad \cdots(5.8)$$

ただし、 H は垂直揚程[m](上り下りの高さ。下りの場合は負)。

自走式トリップ運転時動力 P_1 [kW]は、表より読み取る(ベルトコンベア)。

電動機動力 P_M [kW]は、次式で求める。

$$P_M=P/\eta_M \quad \cdots(5.9)$$

ただし、 η_M は電動機の機械効率[-](=0.75~0.85)。

電動機の定格出力を以下に示す。計算値よりもひとまわり大きい規格を選定する。[文献 9]

0.2, 0.4, 0.75, 1.5, 2.2, 3.7, 5.5, 7.5, 11, 15, 18.5, 22, 30, 37, 40, 50, 60, 75, 100, 120, 150, 200 kW

表 5.1 ベルト幅と最大ベルト速度の関係(ベルトコンベア) [文献 14-16]

ベルト幅 [mm]	最大ベルト速度[m/min]								
	石炭 (大)*	石炭 (小)**	鉱石 (大)*	鉱石 (小)**	砂利 (大)*	砂利 (小)**	砂	木材 チップ	穀物
400	90	90	75	90	75	90	90	135	135
450	120	120	90	120	90	120	120	135	135
500	120	120	105	120	105	120	120	150	150
600	135	150	120	150	120	150	150	180	180
750	150	180	135	180	135	180	180	210	210
900	170	195	150	195	150	195	195	240	240
1050	180	210	150	195	150	195	210	240	240
1200	180	210	165	195	165	195	210	240	240
1400	195	210	165	195	165	195	210	240	240
嵩密度***	約 0.75		約 2.3		約 1.8		約 1.7	約 0.24	約 0.75
側角***	約 19°		約 19°		約 19°		約 20°	約 27°	約 12°

*75 mm 以上, **75 mm 未満, ***乾燥状態や含有成分等によって変動する。

フィーダーとして用いる場合は、最大ベルト速度 30 m/min 以下が目安となる。

ここでは便宜上、上の表を 1/8 倍した値を用いる。

表 5.2 積載断面積 S 式の K 値 [文献 14-16]

トラフ角度	運搬物側角		
	10°	20°	30°
0°	0.0295	0.0591	0.0906

20°	0.0963	0.1245	0.1535
30°	0.1232	0.1488	0.1754
45°	0.1484	0.1698	0.1915

表 5.3 運搬物以外の運動部分の仮定重量 [文献 14-16]

ベルト幅[mm]	400	450	500	600	750	900	1050	1200
運動部分の仮定重量[kg/m]	24.0	28.3	31.3	37.3	50.7	65.7	74.3	88.0

表 5.4 自走式トリッパ運転時動力(ベルトコンベア) [文献 14-16]

ベルト幅[mm]	400	450	500	600	750	900	1050	1200
トリッパ運転時動力[kW]	1.50	1.50	1.50	1.50	2.65	2.65	3.55	3.55

【計算例】 エンドレス式供給装置

- (1) かさ密度 2.3 t/m^3 、粒子径 50 mm の鉱石を幅 500 mm のベルトフィーダーで供給する場合の処理性能 $Q \text{ [t/h]}$ を求めよ。ベルト速度は最大速度の $1/8$ 倍、トラフ角度 20° とする。 (41.2 t/h)

$$S=K(0.9B-0.05)^2=(0.1245)[(0.9)(0.500)-0.05]^2=0.01992 \text{ m}^2$$

$$Q=60S\rho_b v=(60)(0.01992)(120/8)(2.3)=41.234 \text{ t/h} \approx \boxed{41.2 \text{ t/h}}$$

- (2) かさ密度 2.3 t/m^3 、粒子径 50 mm の鉱石をベルトフィーダーで 1 時間あたり 20 t 、水平方向に 5.0 m 供給する場合の①ベルト幅 $B \text{ [mm]}$ 、②ベルト速度 $u \text{ [m/min]}$ 、③供給所要動力 $P \text{ [kW]}$ 、④電動機の定格出力 $P_M \text{ [kW]}$ を求めよ。キャリアローラー数 3、トラフ角度 20° 、トリッパ無し、電動機効率 0.8 とする。 (① 400 mm , ② 12.1 m/min , ③ 0.165 kW , ④ 0.4 kW)

$$B=\boxed{400 \text{ mm}}$$

$$S=K(0.9B-0.05)^2=(0.1245)[(0.9)(0.400)-0.05]^2=0.011964 \text{ m}^2$$

$$u=Q/(60S\rho_b)=20/[(60)(0.011964)(2.3)]=12.113 \text{ m/min} \approx \boxed{12.1 \text{ m/min}} (<v_{\max}/8)$$

$$(L+L_0)/367=(5.0+49)/367=0.14713$$

$$P_1=0.06fwu[(L+L_0)/367]=(0.06)(0.03)(24.0)(12.113)(0.14713)=0.076990 \text{ kW}$$

$$P_2=fQ[(L+L_0)/367]=(0.03)(20)(0.14713)=0.088278 \text{ kW}, P_3=0 \text{ kW}, P_t=0 \text{ kW}$$

$$P=P_1+P_2+P_3+P_t=0.076990+0.088278+0+0=0.16526 \text{ kW} \approx \boxed{0.165 \text{ kW}}$$

$$P_M=P/\eta_M=0.16526/0.8=0.20657 \text{ kW} \rightarrow \boxed{0.4 \text{ kW}}$$

【問題】 エンドレス式供給装置

- (1) かさ密度 0.75 t/m^3 の穀物を幅 400 mm のベルトフィーダーで供給する場合の処理性能 $Q \text{ [t/h]}$ を求めよ。ベルト速度は最大速度の $1/8$ 倍、トラフ角度 20° とする。 (7.03 t/h)
- (2) かさ密度 0.75 t/m^3 の穀物をベルトフィーダーで 1 時間あたり 20 t 、上り方向に 10 m (揚程 2.0 m) 供給する場合の①ベルト幅 $B \text{ [mm]}$ 、②ベルト速度 $v \text{ [m/min]}$ 、③供給所要動力 $P \text{ [kW]}$ 、④電動機の定格出力 $P_M \text{ [kW]}$ を求めよ。キャリアローラー数 3、トラフ角度 20° 、トリッパ無し、電動機効率 0.8 とする。 (① 900 mm , ② 8.00 m/min , ③ 0.357 kW , ④ 0.75 kW)

6. 往復運動式供給装置

レシプロケーティングフィーダーの供給性能 Q [t/h]は、次式で与えられる。

$$Q=60BHSn\rho_b\phi \quad \cdots(6.1)$$

ただし、 B は往復板の幅[m]、 H はゲート開度[m](積載高さを調節)、 S は往復板のストローク長[m]、 n は偏心板の回転速度[rpm](20~30 rpm 程度)、 ϕ はスカートプレート高さ と積載高さの比[-](一般に 0.7~1.0)、 ρ_b は供給物のかさ密度[t/m³]。

供給装置の各寸法は、目的の供給量 Q [t/h]がメーカーの標準仕様から求められる供給性能 Q [t/h]と近くなるものを選定する。

表 6.1 レシプロケーティングフィーダーの標準仕様例 [文献 17]

往復板幅 B [mm]	往復板長さ L [mm]	ゲート開度 H [mm]	ストローク長 S [mm]
1200	4000	600	160
1500	5000	750	170
1650	5500	800	180
1800	5500	900	180

【計算例】往復運動式供給装置

- (1) かさ密度 1.0 t/m³ の石炭を往復板幅 1200 mm のレシプロケーティングフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h]を求めよ。偏心板の回転速度 25 rpm、 ϕ 値 0.7 とする。(121 t/h)

$$Q=60BHSn\rho_b\phi=(60)(1.20)(0.600)(0.160)(25)(1.0)(0.7)=120.96 \text{ t/h} \approx \boxed{121 \text{ t/h}}$$

- (2) かさ密度 2.3 t/m³ の鉱石をレシプロケーティングフィーダーで 1 時間あたり 300 t 供給する場合の①往復板幅 B [mm]、②往復板長さ L [mm]、③ゲート開度 H [mm]、④ストローク長 S [mm]を求めよ。偏心板の回転速度 20 rpm、 ϕ 値 0.7 とする。(① $B=1500$ mm, ② $L=5000$ mm, ③ $H=800$ mm, ④ $S=170$ mm)

$$B=\boxed{1500 \text{ mm}}, L=\boxed{5000 \text{ mm}}, H=\boxed{800 \text{ mm}}, S=\boxed{170 \text{ mm}}$$

$$Q=60BHSn\rho_b\phi=(60)(1.50)(0.800)(0.170)(20)(2.3)(0.7)=394.12 \text{ t/h} \approx 394 \text{ t/h} (>300 \text{ t/h})$$

【問題】往復運動式供給装置

- (1) かさ密度 2.3 t/m³ の鉱石を往復板幅 1800 mm のレシプロケーティングフィーダーで供給する場合の処理性能 Q [t/h]を求めよ。偏心板の回転速度 20 rpm、 ϕ 値 0.7 とする。(563 t/h)
- (2) かさ密度 1.0 t/m³ の石炭をレシプロケーティングフィーダーで 1 時間あたり 200 t 供給する場合の①往復板幅 B [mm]、②往復板長さ L [mm]、③ゲート開度 H [mm]、④ストローク長 S [mm]を求めよ。偏心板の回転速度 30 rpm、 ϕ 値 0.7 とする。(① $B=1200$ mm, ② $L=4000$ mm, ③ $H=600$ mm, ④ $S=160$ mm)

参考文献

- [1] 日本粉体工業技術協会編; 粉粒体のバルクハンドリング技術, 日刊工業新聞社(1985)pp.221-226
- [2] 林 恒美; 粉体技術ポケットブック, 工業調査会(1996)8.1 章
- [3] 狩野 武; 粉体輸送技術, 日刊工業新聞社(1991)p.183
- [4] 狩野 武; 粉体輸送技術, 日刊工業新聞社(1991)p.149
- [5] 柴田 力; 粉粒体精密供給技術, アイシーピー(1986)p.231
- [6] 柴田 力; 粉粒体精密供給技術, アイシーピー(1986)3.5 章
- [7] 真島卯太郎; コンベヤ計算法, 工学図書(1970)15 章

- [8] 坂下 攝; 粉体プロセス設計 月刊「化学装置」別冊, 工業調査会(1999)pp.148-149
- [9] 狩野 武; 粉体輸送装置, 日刊工業新聞社(1969)p.148
- [10] 日本粉体工業技術協会編; 粉粒体のバルクハンドリング技術, 日刊工業新聞社(1985) p.238
- [11] 狩野 武; 粉体輸送技術, 日刊工業新聞社(1991)p.169
- [12] 真島卯太郎; コンベヤ計算法, 工学図書(1970)p.302
- [13] 国行一郎(編); 荷役機械工学便覧 改訂3版, コロナ社(1970)pp.229-232
- [14] JIS B 8805-1992
- [15] 小玉正雄, 石川義雄; 機械設計法, 産業図書(1964)6.5章 p.210
- [16] 林 恒美; 粉体技術ポケットブック, 工業調査会(1996)9.1章
- [17] 柴田 力; 粉粒体精密供給技術, アイシーピー(1986)p.76

令和5年10月3日作成

令和6年4月17日改訂

令和6年5月12日改訂