Development of Feeder which Continuously Discharges Powder of Constant Amount

正 岡部 匡 (宮崎大)
谷口 徹 (冷化工業)

○ 大隅 知敬 (宮崎大院)

Tadashi OKABE, Miyazaki University, 1-1, Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki
Tomokazu OSUMI, Miyazaki University
Toru TANIGUCHI, REICA Co.ltd.

Key Words : Powder, Feeder of powder, Parallel crank mechanism, Pressure of powder, Janssen's equation.

1. 緒 言

粉粒体供給装置は、粉粒体貯槽設備（以後ホップと呼ぶ）内の粉粒体を強制的に排出させ、後段の設備またはプロセスへ供給する装置である。この供給装置には、粉粒体排出量の定量性が良好なこと、排出量の調節が容易なこと、運転・保守が容易なことなどが要求される。各種産業の製造工程では様々な粉粒体が扱われており、それら粉粒体の種類、粉粒体供給量などにより、様々なタイプの粉粒体供給装置が利用されている⁽¹⁾。とくに、食品、医薬品の生産など安定した粉粒体供給量の定量性が要求される場合には、バッチ的な処理⁽²⁾を行わなければならないのが現状である。

本研究では、ホップ下部に設けた円錐状の形状をした物体の偏心回転運動により、ホップ内の粉粒体を連続的かつ高精度に供給する粉粒体供給装置について報告する。本研究で提案する装置は、構造が簡単ながら粉粒体の連続的排出が可能である。さらに安定した定量性を実現することができ、粉粒体供給量の調節も容易である。本報告では、提案した粉体供給装置の機構を紹介し、実験結果を示し本装置の有効性を検証する。

2. 粉粒体供給装置の構造

本研究で開発した粉粒体供給装置の概略図を図1、図2に示す。ホップ下部(出口部)には、円運動を行う円錐状の物体（以後円錐状体と呼ぶ）を設置している。この円錐状体の中心はホップの中心から r だけ偏心しており、この円運動により、円錐状体の表面とホップの側壁と間隙の変化により粉粒体を掻き出すように排出する。円錐状体はホップに対し常に一定の偏心量を保ち運動し続けるので、連続的かつ定量的に粉粒体を排出することが可能である。円錐状体の下部に、皿上の返り部を設けることでホップ内の粉粒体の漏出を防止した。

円錐状体の円運動を実現するため、本研究では平行クランク機構を用いた。4つの回り対偶を有するリンク機構を利用し、2つの対辺をそれぞれ等しくすることで、平行クランク機構を構成する。ADは固定リンクでベースプレート上、BCは可動プレート上である。駆動用ステッピングモータはA軸に取り付けられており、AB(偏心シャフト)が回転することによって可動プレートが回転し、可動プレート上に設置された円錐状体も円運動する。なお、平行クランク機構の思案点においてCD(従属節側の偏心シャフト)が逆回転するという不具合が生じた。そのため、図1に示すようにタイミングベルトを用いて、A軸のモータの回転運動をD軸に伝えることで、思案点での逆方

向への回転運動を防止した。

3. ホップ出口部の粉粒体圧力

3.1 ホップ出口部の粉粒体圧力の推定 本装置ではホップの下部に円錐状体を設け強制的に粉粒体を排出する構造のため、その排出量はホップ出口部の粉粒体の圧力により大きく変化することが考えられる。ホップ出口部の粉粒体圧力は、図3に示す容器内粉粒体高さ h により変化する。粉粒体圧力は、次の Janssen の公式⁽³⁾により推定することができる。

Fig.1 Experimental device.

Fig.2 Schematic diagram of feeder.

Fig.3 Analytical model of pressure of powder in hopper.

Fig.4 Pressure of powder in hopper.

Fig.5 Weight of discharging powder.

Fig.6 Relation of weight of discharging powder per unit time and rotational speed of motor.

Fig.7 Weight of discharging powder for five seconds.

$$\sigma_v = \frac{\rho_b g D}{4 \mu_w k} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{4 \mu_w k}{D} h \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで円筒ホップの直径 D [mm], 粉粒体の密度 ρ_b [kg/mm³], 粉粒体の壁摩擦係数 μ_w で均一に粉粒体を充填したとき, 粉粒体の高さ h [mm] の時の垂直方向の圧力を σ_v [Pa] とする. また, k は粉粒体の垂直圧と水平圧の比である.

3.2 ホップ出口部の粉粒体圧力の測定 図4に, ホップ下部における側壁の粉粒体圧力の実験結果(○印)と, 式(1)による計算結果(実線)を示した. 縦軸は, 粉粒体層の高さ h , 横軸は圧力 σ_v である. 計算に使用したパラメータ値は $D=46$ [mm], $\rho_b=0.806 \times 10^{-6}$ [kg/mm³], $\mu_w=0.24$, $k=0.49$ とした. 粉粒体圧力の計測は圧力センサ (ニッタ(株)社製, Flexi Force A201-1) を使用した. 計算結果と実験結果は定量的にはやや誤差があるものの, 定性的にはほぼ一致していることが確認できる. 粉粒体においては, 流体の場合と異なり, 粉粒体層の自重の一部が容器壁との摩擦によって支えられるため, 粉粒体圧力は, 粉粒体の高さ h は350[mm]以上でほぼ一定となる. 以上の結果より, ホップ内粉粒体層を十分な高さに保持することで, 粉粒体出口部の粉粒体圧力はほぼ一定に保持され, 粉粒体供給装置は同一環境下で粉粒体を排出できる. したがって, 本研究で提案する粉粒体供給装置は, 粉粒体層をある一定値以上に保持すれば, ホップから排出される粉粒体量は安定し, その量を精度良く調整することが可能となる.

4. 粉粒体の排出実験

4.1 実験方法 本装置からの粉粒体の排出量の精度を確認するため, 粉粒体の排出量の重量計測実験を行った. 本実験では, 比較的流動性が良好な粉粒体である脱脂粉乳を用いた. 注入法により計測した脱脂粉乳の安息角は40.1°, 崩壊角は31.5°であった. 本研究ではホップ出口部の粉粒体圧力の変化が無いように, ホップ内の粉粒体の高さを十分に確保し, 図1に示す大型ホップと円筒型のホップを用いて実験を行った. ホップから連続的に排出される粉粒体重量を随時計測することは困難である. このため, 排出した粉粒体の重量の計測は, 粉粒体供給装置の粉粒体出口部の下に, 一定速度で動くベルトを設置し, そのベルト上に計量用の容器を置き, その容器内に排出された粉粒体の重量を計測した. 本研究では計測容器がフィーダ排出部を5秒で通過するように調整し, 5秒間に排出された粉粒体が入った計測容器内の粉粒体重量 W_i を計測する.

4.2 粉粒体排出量の定量性の評価 粉粒体の排出量の定量性を示すため, 次の式(2)に示す平均排出量 $\bar{W}$ に対する最大相対誤差 $E_{\max}$ で評価する. 5秒間に排出された粉粒体量 W_i ($i=1 \sim n$) を n 回計測したときの $E_{\max}$ を次式で定義する.

$$E_{\max} = \frac{e_{\max}}{\bar{W}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに,

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i, \quad e_{\max} = \max_{i=1 \sim n} (|W_i - \bar{W}|) \quad \dots\dots\dots (3)$$

であり, $\bar{W}$ は全計測時間中の排出量の平均値, $e_{\max}$ は最大絶対誤差である.

4.3 実験結果 モータ回転数100[rpm], ホップ内粉粒体層高さを $h=750$ [mm] とした場合, 粉粒体供給装置の運転開始から50[s]までの粉粒体の総排出量を図5に示す. 図5中に示した T は室温, H_u は湿度である. 図5から, 運転時間に比例的に総排出量が増加していることが確認できる. また, モータ回転数と単位時間当たりに排出された粉粒体の平均重量 w との関係を図6に示した. ここで, 実験では5秒間排出された重量を計測しているため, w は $w = \bar{W}/5$ で求めることができる. 図6から回転数の変化によって排出量が比例的に増加していることがわかる. このことからモータの回転数を変化させることで, 粉粒体排出量の調節を容易に行うことができる.

次に, 粉粒体フィーダの排出量の定量性を評価するため, 排出量 W_i ($i=1 \sim n$) の結果を図7に示す. 縦軸は粉粒体の排出量 W_i , 横軸は排出された粉粒体の重量を計測した容器の番号である. 式(3)から求めた平均排出量 $\bar{W}$ は8.91[g]であり, 最大相対誤差 $E_{\max}$ は1.39[%]であった. 本研究で開発した粉粒体フィーダは, 粉粒体供給装置として粉粒体排出量の定量性が良好であることが確認できる.

5. 結 言

本報告では, ホップから粉粒体を連続的に排出する粉粒体供給装置について報告した. 本研究で提案した粉粒体供給装置は, 機構が極めて簡単ながら, 粉粒体排出量の定量性が良好であり, さらに, モータ回転数の変化させることのみで粉粒体排出量を調整できる. 本報告では, 実験用の粉粒体として, 流動性が良好である脱脂粉乳を用いた実験の結果を紹介した. しかしながら, 流動性が悪い粉粒体については, 本供給装置における粉粒体の排出精度は悪化することを付記しておく.

参考文献

- (1) 伊藤光弘, 粉体機器・装置の基礎, (2005), 120-142, 工業調査会.
- (2) 林恒美編, 粉体技術ポケットブック, (1996), 338, 工業調査会.
- (3) 粉体工学会編, 粉体工学便覧(第2版), (1998), 215-216.