

円錐体の偏心円運動を利用した粉体フィーダの改良

宮崎大学 工学部教育研究支援技術センター

○濱畑 貴之

宮崎大学 工学教育研究部

岡部 匡

1. はじめに

粉体供給装置（以下、粉体フィーダと呼ぶ）は、粉体貯槽設備（以下、ホoppと呼ぶ）内の粉体を排出させ、後段のプロセスへ供給する装置である。粉体フィーダには、粉体供給量の定量性が良好なこと（定量性）、粉体供給量の調節が容易なこと（制御性）、運転・保守が容易なこと（管理・操作性）、消費動力が少なく、設備費・保守費が安価なこと（経済性）が要求される¹⁾。さらには、広い範囲の粉体物性に対応できること、供給量の測定ができることなども求められる。現在、各種産業の製造工程などでは様々な粉体が扱われており、その目的に応じて、多種多様な粉体フィーダが利用されている¹⁾²⁾。本研究では、前述した粉体フィーダに対する定量性、制御性、操作性の要求を満足する新たな粉体フィーダを開発することを目的とする。本研究で提案する粉体フィーダは、ホopp下部に設置した円錐状の形状をした物体の偏心円運動により、ホopp内の粉体を連続的に、かつ定量的に供給するものである。本報告では、本粉体フィーダの概要を説明するとともに、これまでの装置の改良及び静電容量型粉体流量計を用いた粉体供給量の定量性の検証実験結果を示す。

キーワード：粉体フィーダ，円錐体，ホopp，偏心円運動

2. 粉体フィーダの構造

本研究で開発した粉体フィーダの全体図を図1、粉体供給部の詳細図を図2に示す。本粉体フィーダでは、偏心円運動を行う円錐状の物体（以下、円錐体と呼ぶ）をホopp下部に配置している（図2）。円錐体の寸法は、底辺直径 $D=42\text{mm}$ 、頂角 $\theta=98.8^\circ$ であり、ホopp出口内壁の直径は $D_0=50\text{mm}$ である。円錐体は、円錐体の中心軸（ $C-C'$ ）とホoppの中心軸（ $H-H'$ ）に対し、 $r=3\text{mm}$ 偏心するように配置されている。この円錐体は、水平面内でホopp中心軸に対し、偏心円運動を行う。円錐体の偏心円運動は平行クランク機構を利用して実現した。円錐体の偏心円運動により、円錐体の表面とホoppの内壁との隙間 δ が変化し、隙間が最も小さくなった位置（最小隙間 $\delta_{\min}=3.5\text{mm}$ ）で、ホopp内の粉体は掻き出されるようにして排出される。円錐体は、円錐体の中心軸とホopp中心軸に対し、一定の偏心量 r を保って運動する。隙間の最小となる箇所 δ_{\min} は、ホopp内壁に沿って移動するので、ホopp内の粉体を連続的かつ定量的に供給できる。

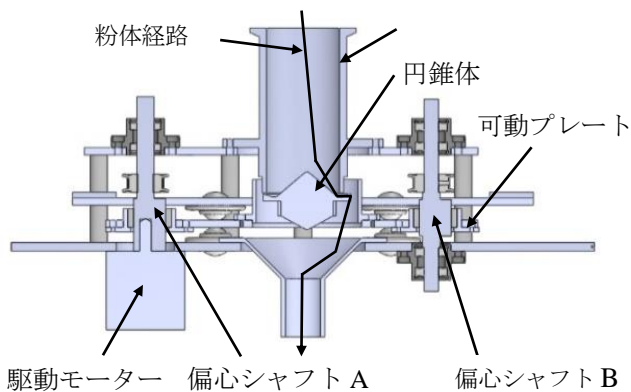


図1 粉体フィーダ全体図

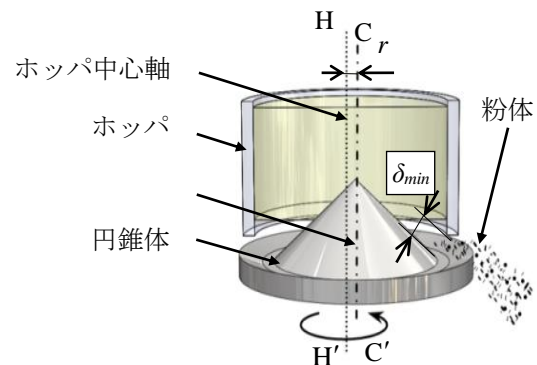


図2 粉体供給部

3. 粉体フィーダの粉体供給量に影響を及ぼす要因

3.1 円錐体の偏心円運動の精度

円錐体の運動精度は、本粉体フィーダの粉体供給量の精度に関わる重要なものである。円錐体が正確な円運動を行わなければ、最小隙間 δ_{\min} が一定にはならず、粉体供給量の変動の要因となる。

本粉体フィーダの円錐体及び円錐体が固定されている可動プレートは、ホッパ中心軸まわりに半径 $r=3\text{mm}$ の円運動をするように設計されている。円錐体の偏心円運動の精度を確保するために、構成部品の加工誤差及び組付誤差を極力小さくする必要がある。

3.2 ホッパと円錐体の位置

本粉体フィーダでは、ホッパと円錐体の位置も粉体供給量に影響を及ぼす。円錐体の正確な円運動が実現できても、正確にホッパ中心軸と円錐体中心軸が $r=3\text{mm}$ で設置されていなければ、円錐体が円運動を行う際に、最小隙間 δ_{\min} が一定にはならず、粉体供給量の変動の要因となる。このため、ホッパの円錐体の組付け誤差を小さくする必要がある。

4. 粉体フィーダの改良

4.1 円錐体の偏心円運動の精度向上のための改良

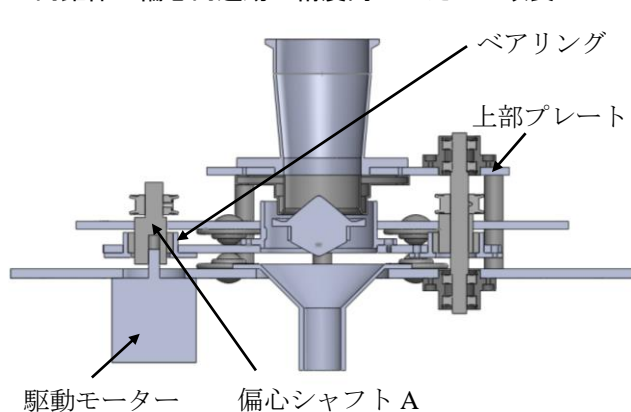


図3 改良前の粉体フィーダ

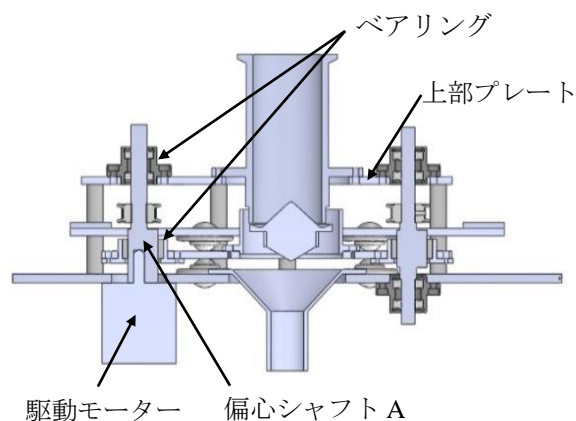


図4 改良後の粉体フィーダ

改良前の粉体フィーダを図3に示す。改良前の粉体フィーダでは、モーター側の偏心シャフト A が片持ち支持であった。このために、偏心シャフト A にフレが生じ、円錐体の偏心円運動の精度に影響を与えていた。この偏心シャフト A のフレの影響を低減するために、上部プレートにベアリングを設置し、モーター側の偏心シャフト A を両支持に改良した(図4)。また、各部品の加工誤差の改善を行うために、ベアリングの交換、偏心シャフトの改良をした。

本研究では、この円錐体の運動精度を確認するため、2つのレーザー変位計(キーエンス社製 IA-100)で、図5のように円錐体が固定されている可動プレートの側面の変位を計測した。矢印の方向は、レーザー変位計を用いて、計測した方向である。改良前の円錐体の運動精度の計測結果を図6に、改良後を図7に示す。破線は、半径 3mm の円(設計値)である。実線は、運転時の本粉体フィーダの可動プレートの計測結果である。この結果より、改良前よりも改良後の方が円錐体の運動精度が改善されたことが確認できた。しかし、改良前も改良後も実際の円錐体の運動は真円とは異なる運動をしていることがわかる。このときの設計値との最大の差が 0.43mm (改良前)、 0.16mm (改良後)であった。この誤差により、円錐体の表面とホッパの内壁との隙間 δ_{\min} が一定にならず、粉体供給量の変動の要因となる。この誤差の改善には、本粉体フィーダのさらなる構成部品の加工誤差や組付誤差などの低減が必要である。

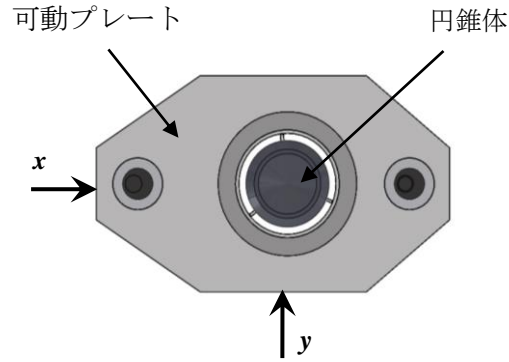


図5 円錐体の偏心円運動測定方法

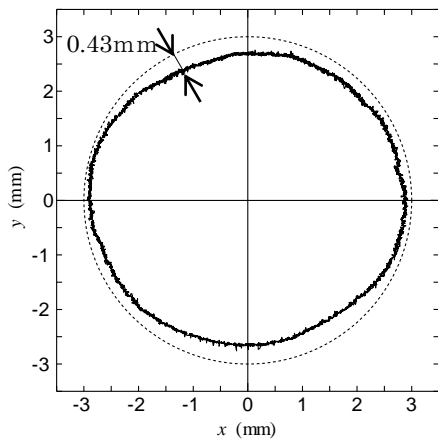


図6 改良前の円錐体運動精度測定結果

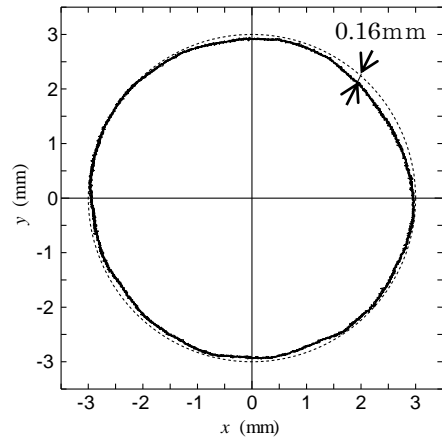


図7 改良後の円錐体運動精度測定結果

4.2 ホッパと円錐体の位置調整

改良前の本粉体フィーダでは、ホッパと円錐体の位置の調整ができなかった。そのために、ホッパと円錐体の位置の組付け誤差が大きく影響し、本粉体フィーダの粉体供給量に影響を与えていた。

この組付け誤差の影響を低減するために、ホッパと円錐体との位置を調整できる簡易的な XY 軸ステージを製作した。製作した簡易的な XY 軸ステージを図 8 に示す。このステージは、上部プレートに、アルミブロックを固定し、アルミブロックに XY 方向に位置調整ネジを取り付けた。この位置調整ネジでホッパを押し、ホッパの位置を調整する。ホッパの移動量は、ホッパにダイヤルゲージを接触させて、調整した。

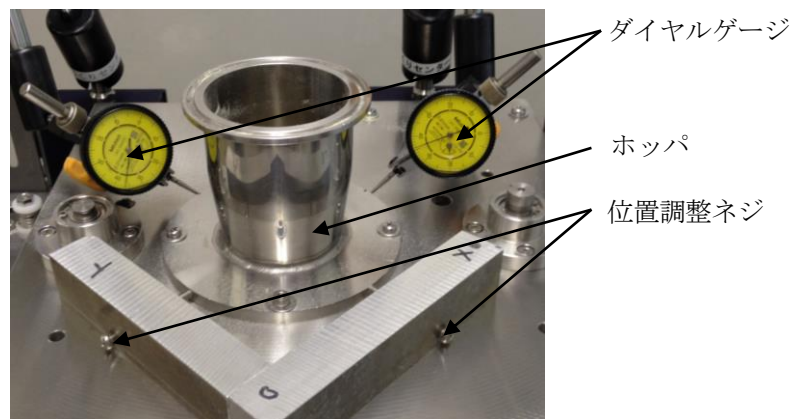


図8 簡易的な XY 軸ステージ

5. 粉体供給量の測定実験

粉体供給量の定量性を確認するために、本粉体フィーダから供給される粉体質量の計測を行った。本研究では、脱脂粉乳（雪印メグミルク（株）社製）を使用した。この脱脂粉乳のかさ密度は 562.7kg/m^3 、安息角は 33.5° 、ホッパ内壁との壁摩擦角は 12° 、水分含有量は 8.9% である。図 9 には、走査電子顕微鏡（日立製作所（株）製 S-4100）により撮影した脱脂粉乳の SEM 画像を示す。

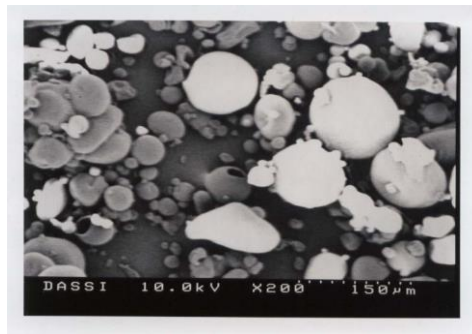


図 9 脱脂粉乳の SEM 画像

本研究では、ホッパから連続的に供給される粉体質量を計測するために、静電容量型粉体流量計（インステック社製 CS-110）を使用した。粉体が粉体流量計を通過したときの粉体流量計からの出力電圧を図 10 に示した。図 10 の色付きの部分の面積 S （以下、粉体質量相当面積と呼ぶ）が通過した粉体の質量に相当する。実際に粉体流量計を通過した粉体質量 m （あらかじめ、電子天秤で測った既知の質量）とその粉体質量相当面積 S の関係を図 11 に示した。図 11 の○は実験値であり、実線は最小二乗法により求めた回帰直線である。この結果より、粉体質量相当面積 S から、流量計を通過した粉体質量を求めることができる。以下に示す粉体質量の値は、この粉体質量相当面積 S により求めたものである。

次に、粉体フィーダの駆動モーターの回転数 n を 50rpm にした場合の粉体流量計からの出力電圧 U を図 12(a) に示す。粉体が流量計を通過しない場合でも、粉体が通過する流量計内のセンサー管等にも静電容量を持つため、電圧が出力される。このため、図 12(a) の縦軸の電圧 U は、粉体が通過していない場合の出力電圧 U_0 、粉体フィーダを駆動させて流量計を通過した場合の出力電圧 U_1 の電圧差 $U=U_1-U_0$ とした。図 12(a) に示すように、出力電圧 U が変動していることが確認できた。出力電力の変動は、粉体供給量の変動であり、図 12(a) の結果から、粉体供給量が周期的に変動していることが確認できる。本研究では、非常に微小な粉体の流量を計測しているため、ノイズの影響は無視できない。図 12(a) に示すように、ノイズの影響のため、出力電圧 U は不規則に変動している。ノイズの影響を低減し、粉体供給量の変動を明確にするために、出力電圧 U に単純移動平均処理を行った。その結果を図 12(b) に示す。単純移動平均処理を用いると、粉体供給量の変動が小さくなるので、実際の粉体供給量の変動量は、図 12(b) より大きい。図 12(b) から、粉体供給量には周期的な変動があることが確認できる。この変動の周期は、駆動モーターの回転数 n に同期したものであった。この要因は、錐体の正確な円運動の精度と円錐体とホッパの設置における組付誤差である。本粉体フィーダにおいては、円錐体が正確な位置で、ホッパ中心軸まわりに半径 r の正確な公転円運動が実現できたとき、粉体供給部の最小隙間 δ_{\min} が常に一定となる。しかしながら、各種部品の組付誤差などにより、偏心円運動の半径 r が一定に保たれない場合には、粉体供給部の最小隙間 δ_{\min} が変動し、粉体供給量に周期的変動の原因となる。このため、本粉体フィーダでは、円錐体の偏心円運動の精度の確保及び円錐体とホッパの位置を正確にするために、部品の加工誤差及び組付誤差を小さくする必要がある。

図 13 には、粉体質量相当面積 S から求めた単位時間当たりの粉体供給質量と駆動モーターの回転数 ($n=50\sim 200\text{rpm}$) の関係を示した。図 13 中の□は実験値であり、実線は、 $n=50\sim 175\text{rpm}$ までの計測値から求めた最小二乗法による回帰直線である。この結果から、 $n=50\sim 175\text{rpm}$ の回転数域では、駆動モーターの回転数 n と粉体供給量の間には線形の関係があり、駆動モーターの回転数 n の変更により、容易に粉体供給量を調整可能である。

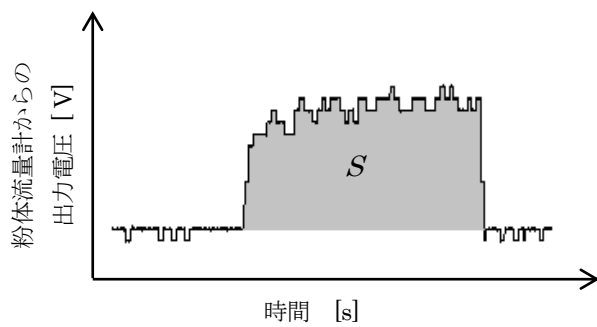


図 10 粉体流量計の出力電圧から計算される粉体質量相当面積 S

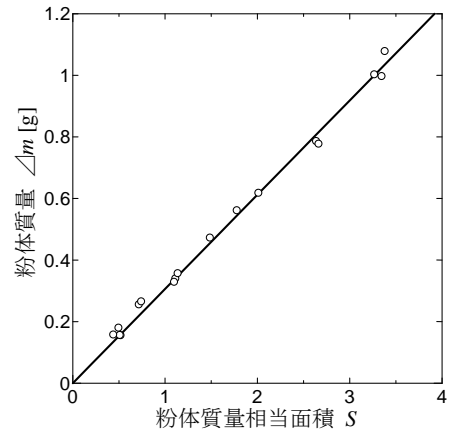


図 11 粉体質量相当面積 S と粉体質量の関係

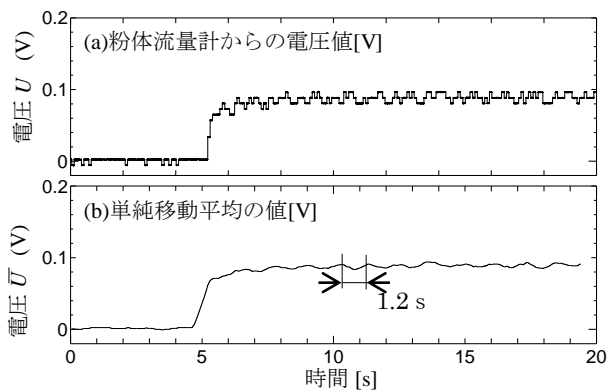


図 12 粉体流量計からの出力電圧 ($n=50\text{rpm}$)

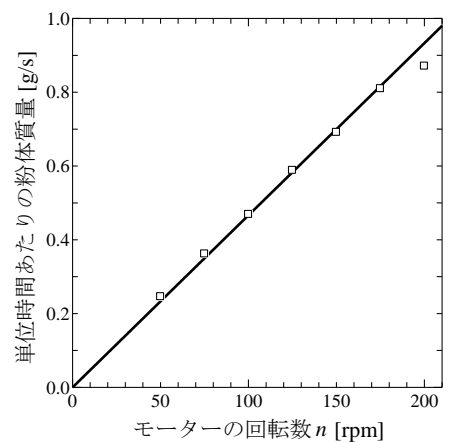


図 13 モーターの回転数 n と粉体供給量の関係

6. おわりに

本報告では、ホップの下部に配置した円錐体の偏心円運動を利用する新しい粉体フィーダを提案した。また、装置の改良を行い、円錐体の偏心円運動の精度向上及びホップと円錐体の位置調整をすることができた。

粉体流量計を用いた改良後の粉体フィーダの粉体供給量の計測結果より、本粉体フィーダでは、駆動モーターの回転数 n と粉体供給量には線形の関係があることが確認できた。これより、本粉体フィーダでは、駆動モーターの回転数 n の変更により、容易に粉体供給量を調整できる。本粉体フィーダは比較的簡単な機構ながら、流動性の良い粉体に対しては、粉体供給の定量性は良好であることを確認した。本粉体フィーダの粉体供給量の定量性の精度は、他の粉体フィーダと比較して良好である²⁾。しかしながら、本粉体フィーダの粉体供給量はモーターの回転数 n に同期した周期的変動が発生していることが明らかになった。この変動については、本粉体フィーダの構成部品の加工誤差や組付誤差などの低減により十分改善することが可能である。

今後については、流動性の悪い粉体に対してのアーチなどの閉塞現象の対策、粒子径等の物性値の異なる粉体においての円錐体の形状、隙間量などの最適な各種パラメータを検討していく計画である。

参考文献

- 1) 狩野武, 粉体輸送技術, pp. 139-185, 1991.
- 2) 増田弘昭, 増田富良, 井伊谷鋼, 各種粉体供給装置の特性実験粉体工学研究会誌, Vol. 7, No. 6, pp. 479-484.