

116 圧電円板振動子を用いる微量粉体供給デバイスの試作

Trial of Powder-Supplying Device Using a Piezoelectric Disk with a Two-Step Cylindrical Projection

○高野 剛浩 (東北工大)

小山 博功 (東北工大)

富川 義朗 (山形大工)

青柳 学 (山形大工)

Takehiro TAKANO, Hirokatsu KOYAMA, Tohoku Institute of Technology, Yagiyama Kasumicho, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi 982-8577

Yoshiro TOMIKAWA, Manabu AOYAGI, Yamagata University

A powder-supplying device using the bending vibration mode of a piezoelectric disk with a two-step cylindrical projection at its center is described. The device has simple structure by which powder on the surface of the vibrator flows out the tip of the projection. Two degeneration modes of B_{11} vibration of the disk were considered. The structure of the vibrator and the vibration mode by FEM are shown. Two kinds of powder were tested in the study, one is fly-ash ($D_{p50}=15\mu\text{m}$), the other is optical polishing powder ($D_{p50}=2\mu\text{m}$) and their powder-supplying characteristics were measured. The results show that the device can supply the powder composed of its particle size smaller than the size of $10\mu\text{m}$ at flow rate of less than 1mg/s .

Keywords: Powder-feeding device, Piezoelectric vibrator, Degeneration mode, Bending mode

1. まえがき

現在、医薬品や食料品、電子部品を始めとする様々な分野で粉体を利用されている。この中で粉末成形や粉末の添加などでは、成形品小型化や添加物の高精度化が近年急速に進んでおり、高精度な粉体移送、粉体供給方法の開発が強く望まれている。

筆者らは、超音波伝送体として伝搬損失の多い材料を用いることにより、終端で吸収素子を用いることなく伝送体に屈曲進行波が励振できること、さらにこの屈曲進行波を利用する粉体移送デバイスを提案し、このデバイスが少量の粉体の定量的な移送・供給に有効に活用できることを報告してきた[1~3]。しかしながらこの方法では、一般的に粒径が小さい場合には、パイプへの粉体の取り込みや粉体供給の定量性などに問題があった。

微量粉体の供給・移送を目的として超音波振動を利用した報告はいくつか見られる[4,5]。その一つはランジュバン型振動子を用い、水を介してガラス管を振動させて粉体を落下供給させる方法であり、数 μ 程度の粒径の粉体まで精度良く供給できることが報告されているが、その装置は大きくまた高入力が必要である[5]。そこで我々は超音波振動を直接粉体に与え、落下供給させる方法に着目した[6]。

本文では振動子として、その中央部に2段の突起を持つ圧電円板振動子を用いた構成について報告する。円板の非対称な屈曲振動によって、突起の先端部に励振される振動によって粉体を振り落とす構造となっている。実際には2つの縮退する屈曲モードによって生じる、先端部の楕円運動を利用することでより安定な供給ができることを実験的に確かめた。粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粉体を 1mg/s 程度で安定に供給できることが確認された。

2. 振動子の構造と振動モード

振動子はジュラルミン製で Fig.1 に示すように、円板の中心に大小2段の円筒状の突起を持ち、周辺は薄肉部分を介して図のように固定している。振動子の外径は 40mm 、外周部分の厚さが約 3mm で、中心方向に向かって図のように多少テーパを付けている。駆動用の圧電セラミックス(厚さ 1mm 、外径 40mm)は振動子の下部に、直交する2つの面垂直振動 B_{11} モード(1:節円数、1:節直径数)が励振できるよう分割分極され接着されている[7]。中段部の底部にもテーパをつけているが、これは振動子の上部と同様に振動子の中央部に粉体が集まり易くするためである。実験では中段部突起の寸法の異なる3種類の振動子を用いて、振動モードを基にその粉体移送特性を比較検討している。Table1 に使用した振動子の寸法を示している。ここで、a, bはそれぞれ中段部の内径、外径、cは細管部の内径、dはセラミックスの内径である。

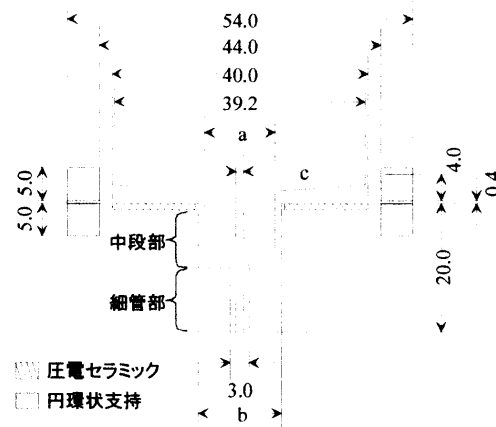


Fig.1 Piezoelectric disk with a two-step cylindrical projection.

円板の面垂直振動 B_{11} モードには Fig.2 に示すように直交する 2 つのモードが存在する[8]。これらのモードを 90° 位相の異なる信号で駆動すると、モード回転が生じることは良く知られている。実験では、このモード回転によって発生する細管部の楕円運動を利用して、その先端から粉体を落下供給している。この理由は、単一の共振モードを利用する場合よりも、モード回転を利用した場合の方が、安定に粉体が供給されたからである。

Figure3 に振動子 1 と振動子 3 のインピーダンス特性を示している。振動子 1 で B_{11} モードは約 43kHz で、73kHz 付近のモードは、 B_{21} モードに対応するモードである。また Fig.3(b) で、 B_{11} モードの共振周波数は 35.8kHz で、振動子 1 より大幅に低下している。これは、振動子 3 は中段部の内径が小さい上に、厚さが多少薄くなっているためである。なお、 B_{21} モードでは有効な粉体供給は行われなかったため、今回は検討の対象としなかった。

3. 振動子の有限要素法解析

有限要素法解析プログラム (Piezo Plus) を用いて振動子 1、振動子 3 の振動解析を行い、各部の振動の様子を調べた。Figure4 は、それぞれの振動子の側面から見たモード図である。全体の動きの様子、特に中段部の小さい(b)の振動子の、先端部の振れが円板部の振れに対して大きいのがよく分かる。また Fig.5 はそれぞれの振動子の断面図のモードであり、中段部から細管部内部の動きがよく分かる。同図(a)、(b)を比べて分かるように、振動子 1 と振動子 3 では中段部と細管部の境界付近の動きが大きく異なっている。すなわち振動子 3 ではこの点で垂直方向の振動が大きく表れており、これが後述のように両振動子を用いたデバイスの、粉体供給量の違いの一因になっているものと思われる。

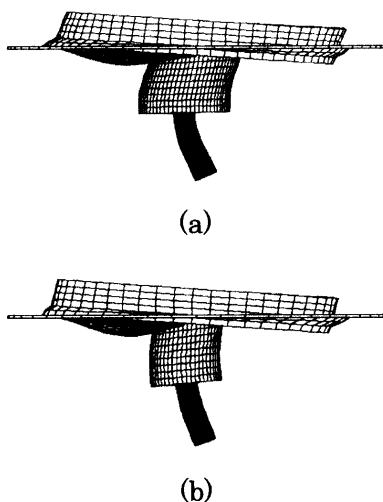


Fig.4 B_{11} modes of disk with a two-step cylindrical projection. (a):Vibrator 1. (b):Vibrator 3.

Table1 Dimensions of the disk vibrator.

	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]
振動子1	11	13	1.2	14
振動子2	11	13	1.5	14
振動子3	8	10	1.2	11

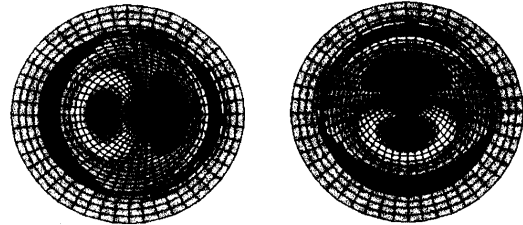


Fig.2 Degeneration modes of B_{11} vibration mode.

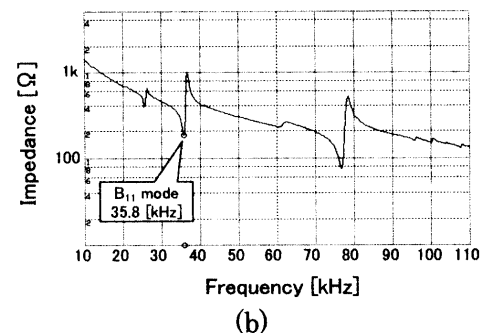
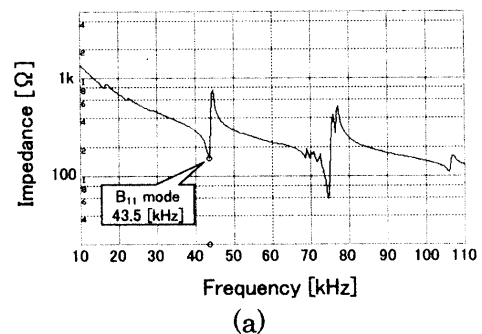


Fig.3 Frequency characteristics of the vibrators. (a):Vibrator 1. (b):Vibrator 3.

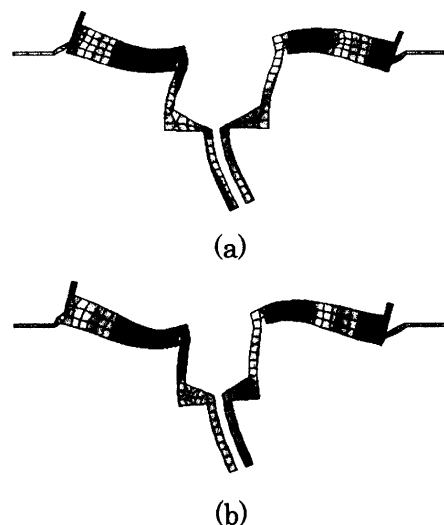


Fig.5 Cross section views of B_{11} mode of the disks. (a):Vibrator 1. (b):Vibrator 3.

Figure 6に振動子上部より見た、振動子表面の振動モードの測定を示している。測定にはレーザドップラー振動計を用い、白黒を強調するために色を反転し、コントラストを強調して示している。同図(a)は振動子1、(b)は振動子3の振動モードを示し、節円、節直径が1本ずつ観測され、Fig.2に示したFEM解析の結果と良く対応している。

Figure 7に振動子突起部の振動速度の測定値を示している。測定は回転モードを励振した状態で、同図中に示すように細管部の先端から中段部まで測定した。最終点は両部の境界から約3mm中段部に入ったところである。Figure 7(a)は振動子1、同図(b)は振動子3の測定値で、共に先端から4mm付近に節点を持っている。振動子3は中段部と細管部の境界付近で、振動速度が一端極大になっており、その点の速度は振動子1の約1.8倍になっている。前にも指摘したように、この境界付近の動きが、粉体供給の状態に大きな影響を与えているものと考えている。

4. 粉体供給特性

測定で使用した粉体は、JISの試験用粉体である「5種のフライアッシュ」と光学レンズの研磨等に使用される「粒度#6000 光学エメリー」である。それらの特性をTable2に示した。粉体の中位径はそれぞれ13~17 μm 、 $2.0\pm 0.4\mu\text{m}$ である。Figure 8に2種類の粉体の顕微鏡写真を示している。撮影時との倍率が異なっているために、両者間の大きさの比較はできないがTable2に示したように、フライアッシュの形状は球形で、粒径分布は広い。一方光学エメリーは、形状は不規則であるが、粒径分布は狭い。また、粒子密度はそれぞれフライアッシュ 2.0~3.0g/cm³、光学エメリー 3.8g/cm³以上である。

Figure 9は振動子1で、粉体としてフライアッシュを用いたときの粉体の排出される写真である。粉体はこのように突起の先端から連続的な排出されるが、多少の濃淡がある。これがデータのバラツキの一因にも繋がることになるが、振動子への入力にも関係すると思われるので、今後詳しい検討を行いたい。

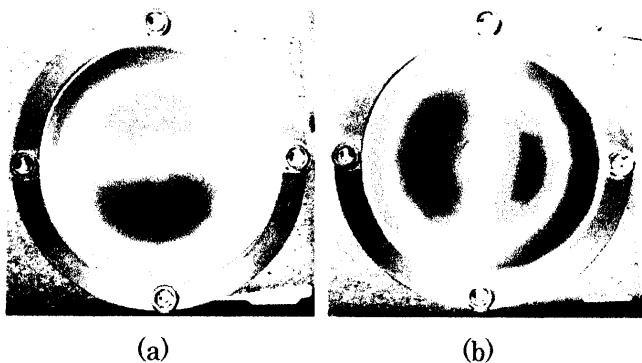
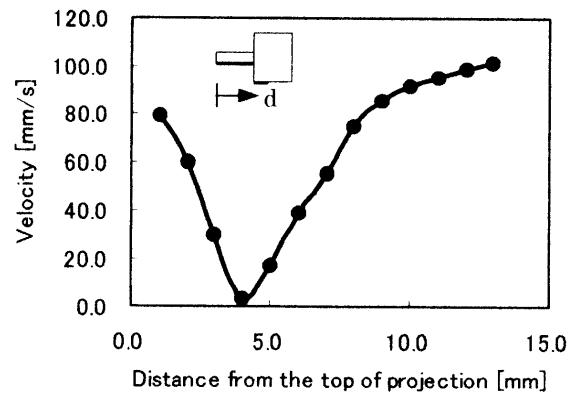
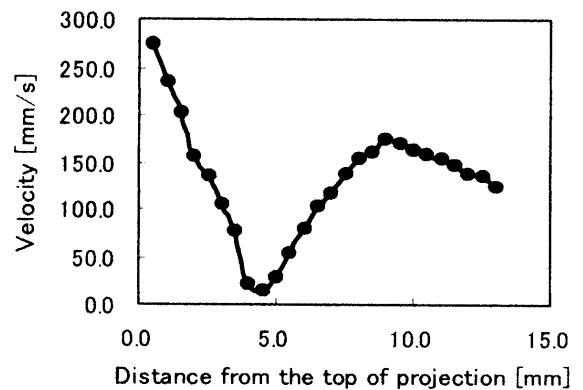


Fig.6 Top views of B₁₁ mode of the disks.
(a):Vibrator 1. (b):Vibrator 3.

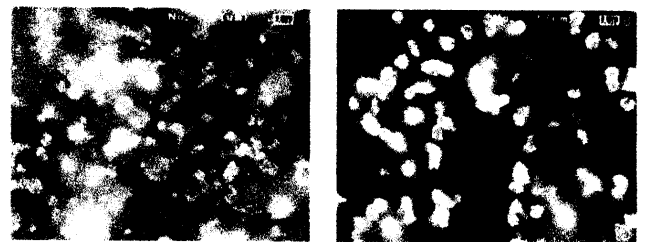


(a)



(b)

Fig.7 Vibration velocity of the two-step projection.
(a):Vibrator 1. (b):Vibrator 3.



(a)

(b)

Fig.8 Pictures of sample powder. (a):Fly-ash(No.5).
(b):Optical emery(#6000).

Table2 Characteristics of the sample powder.

粉体名	フライアッシュ	光学エメリー(#6000)
中位径	13~17 [μm]	2.0 ± 0.4 [μm]
粒径分布	広い	狭い
形状	大半が球形	不規則形状
成分	SiO ₂ : 45%以上 Al ₂ O ₃ : 20%以上	Al ₂ O ₃ : 98%以上

粉体供給特性を振動子別に Fig.10～Fig.12 に示す。測定は、振動子に粉体を充填した状態で、10～20 秒間の供給を行い毎秒当たりの平均重量を求め、これを入力電力を変えて 4 回行い、プロットしている。いずれの振動子においても、入力電力が大きくなるとバラツキが大きくなるが、1mg/s 以下の微量粉体の供給が可能であることを示している。

Figure10 と Fig.11 を比較すると、両試料とも細管部の内径が大きい振動子 2 の供給量は増加するが、フライアッシュの増加は光学エメリーに比べて顕著である。これはフライアッシュが広い粒径分布を持つことから、排出量が細管部の内径に大きな影響を受けるためと考えているが、粒子形状や粒子密度の違いなども含めて今後検討したい。

中段部の直径が小さい振動子 3 の供給量 (Fig.12) は、振動子 1 の供給量 (Fig.10) の約 2 倍になっている。これは前述したように振動子 1 と振動子 3 では、中段部底部の振動速度が大きく異なっており、これが粉体の供給に影響を与えているためと思われる。今回振動子 3 の測定では、特に入力が大きくなるとバラツキが多いが、これは高次モードの影響もあると思われるので、振動子形状の変更などの検討が必要である。なお、フライアッシュと光学エメリーの供給量の違いは、各振動子で異なっており一概の比較はできなかった。粉体の粒子形状や粒径分布、粒子密度などの影響について今後検討したい。

5. あとがき

中央部に 2 段の突起を持つ圧電円板振動子を用いた粉体供給デバイスについて報告した。用いた試料が 2 種類と少なかったため、粉体の各性質による影響や試作した振動子各部の影響については、定性的な把握はできなかった。しかしながら、この方法は粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粉体を 1mg/s 程度の微量粉体の定量供給には有効な方法と思われるので、今後さらに改善を加えたい。さらに従来提案している減衰屈曲進行波を利用する移送デバイスとの組み合わせによる微量粉体の定量移送・供給デバイスなども試みてみたい。

参考文献

- [1]T.Takano et al., Jpn.J.Appl.Phys., Vol.30, Suppl.30-1, pp.200-202(1991).
- [2]T.Takano, Y.Tomikawa, Smart Mater. Structure, Vol.7, No.3, pp.38-42(1997-6).
- [3]高野、富川：VS Tech '99 講演論文集, pp.134-137, (1999).
- [4]山田他：日本音響学会誌, 50 巻 5 号, pp.369-373 (1994-05).
- [5]Matsusaka et al., Advance Powder Technology, Vol.6, No.4, pp.283-293 (1995).
- [6]高野、富川他：日本音学会 2001 春季講論集, pp.909-910 (2001-3).
- [7]鈴木他：日本音響学会誌, 58 巻 7 号, pp.398-405, (2002-07).
- [8]近野他：電子通信学会誌, 52 巻 5 号, pp.199-206 (1969-05).

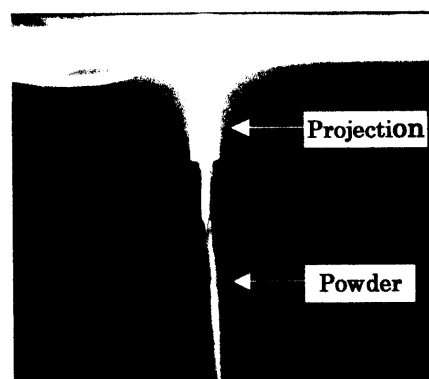


Fig.9 Picture of powder dropping from a hole at the tip of projection.

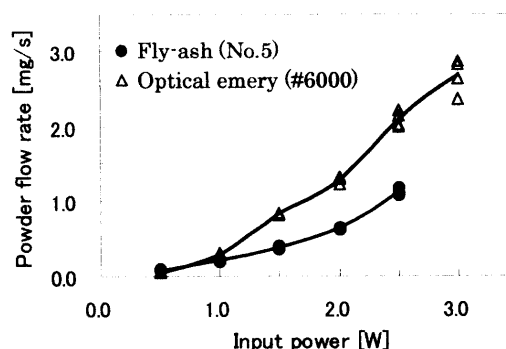


Fig.10 Powder flow rate of the device using the vibrator 1 .

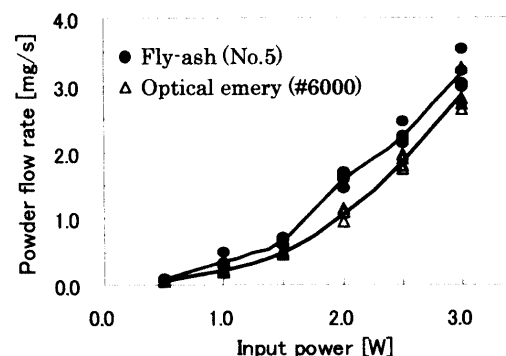


Fig.11 Powder flow rate of the device using the vibrator 2 .

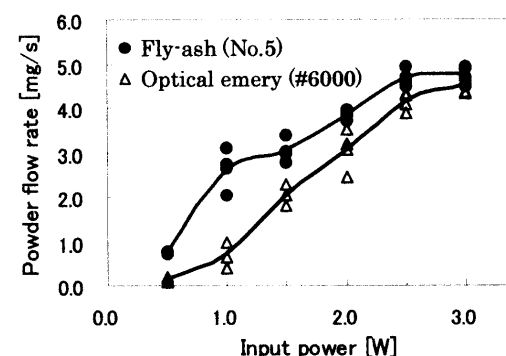


Fig.12 Powder flow rate of the device using the vibrator 3 .