

鉛直管内穀粒流動化の終端速度

塔娜^{a)}・毛利建太郎・難波 和彦・門田 充司

(農業生産システム学講座)

Terminal Velocity of Fluidizing Grains in a Vertical Pipe

Tana^{a)}, Kentaro Mohri, Kazuhiko Namba and Mitsuji Monta

(Department of Agricultural Production Systems)

It is necessary to know the characteristics of grain when grain is transferred and processed. In this research, in order to clarify the fundamental flow characteristics of grain, the flow state in a vertical pipe was investigated. Brown rice, BB shot (pellets) "BB's" and soybean were fluidized by the air style. We determined minimum fluidization velocity and terminal velocity, recorded the flow state, and observed the flow state with a video camera.

The results of the experiment were as follows:

- 1) Minimum fluidization wind velocities were 1.6–2.1 m/s in soybean, and 1.2–1.7 m/s in BB's, and 0.6–1.1 m/s in brown rice respectively.
- 2) A fountain state appeared in brown rice, but not in either soybean or BB's. This might be because of the shapes of soybean and BB's.
- 3) Terminal velocity was 6.8 m/s in brown rice, 9.5 m/s in BB's, and 12.2 m/s in soybean respectively.

Key words : grain, minimum fluidization velocity, static pressure drop, terminal velocity

I 緒 言

農産物、特に各種穀粒においては、収穫後に乾燥、選別、計量などの処理を必要とするので、それぞれの機械装置の間を輸送されることが多い。しかし、現在の搬送、輸送装置は単に輸送のみしか行わず、加工処理能率の上からは損失が多い。もし、輸送しながら各種の加工処理が行えるならば、加工施設はさらに簡単になり、また品質の向上も期待できる。

本研究は各種の加工、輸送手段として流動層を利用し、輸送しながら加工処理を行う方法を追求しようとするものである。

流動化方法は粉粒体層に流体を送り込み、粉粒体を液体のような流動状態を保つ方法で、この方法はすでに科学工業方面で実用化され、乾燥、反応、輸送などに利用されているが、大部分は細かい粉粒体について行うもので、穀粒のような比較的大きな粒体についてはあんまり行われていない。

細かい金網、布などのような多孔質の整流板の上に穀粒を体積し、下から空気を送ると、風速の小さいとき、空気は穀粒の間を通過して吹き抜けるが穀粒は動かない(固定層)。これはいわゆる通風乾燥の時の状態である。風速を次第に大きくすると、穀粒が動き始め、ついには水が沸騰するように激しく動き回るようになる。これが流動

層である。さらに風速が大きくなると、穀粒は空気によって吹き飛ばされる(輸送層)。これはいわゆる空気輸送の状態である。すなわち、流動層は固定層と輸送層の中間の状態であるが、同じ流動層でも風速、その他の要因によって穀粒の流動状態は変化する¹⁾。

本研究では、以上に述べた穀粒の流動状態を調べるために、鉛直管内穀粒の流動状態について検討し、風速と静圧降下を測定して、穀粒の流動化開始風速と終端速度を求めた。

II 実験装置と方法

1. 実験装置

本研究に図1のような実験装置を使用した。風力源となる送風機には昭和電動送風機(SB-452-L313)を用いた。管には直径113.4mmの透明アクリルパイプを使用し、実験材料となる穀粒が充填される整流板はJIS真空フランジ(B2290-1998)で挟み込んだ。整流板から下400mmのところをA点とし、整流板の上800mmのところをB点として、A、B点で静圧の測定を行った。また、B点から管の終端までを1,200mmとした。本実験に使用した整流板に

Received October 1, 2002

a) 大学院自然科学研究科

(Graduate School of Natural Science and Technology)

は縦線と横線が交互に交わる平織金網(JIS G 3555-1964)を使用し、静圧の測定にはグルトンのマルチパラメータ風速計8386型(風速測定範囲は0~50m/s, 静圧範囲は-1,245~3,735 Pa)を用いた。

2. 実験材料

穀粒の形状と密度による流動状態の変化を検討するため、本実験に大豆、プラスチック球と玄米を用いた。大豆は平成13年岡山大学付属農場産エンレイであり、玄米は平成13年秋田県産あきたこまちである、プラスチック球には直径6mmのBB弾を使用した。実験材料の物理的特性を表1に示す。

3. 実験方法

送風機の回転速度を28段階に分けてA点の静圧とそこでの風速、B点の静圧を測定した。玄米、大豆、BB弾の充填量を100g~500gまで100gずつ変化させて実験を行った。また、整流板のみの静圧降下も測定した。A点B点の静圧、整流板のみの静圧降下から、穀粒流動化における静圧降下を求めて、流動化開始風速と終端風速を求めた。それぞれの実験条件における穀粒の流動状態はビデオカメラ(ソニー DCR-TRV 950)に記録して観察した。流動状態は穀粒の充填状態によって異なるが、測定に先だって一度穀粒を吹き上げた後、徐々に堆積させ、充填法の差による影響がないようにして、風速を増加させた場合のみについて測定した。

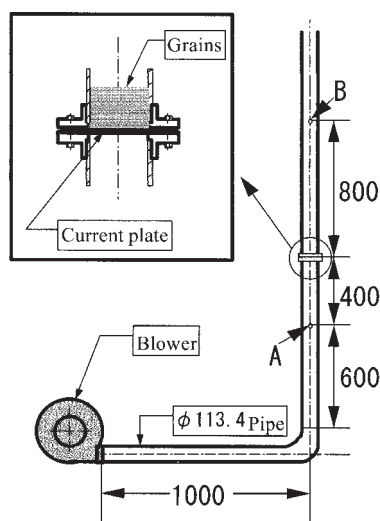


Fig. 1 Outline of experimental apparatus.

Table 1 Physical properties of experimental materials

Materials	Length of three axes (mm)			Bulk density (g/cm ³)	Mass of grain (g)
	Length	Width	Thickness		
Brown rice	5.23	2.94	2.04	0.924	0.021
Soybean	8.82	8.04	7.02	0.796	0.315
BB shot		6.00		0.646	0.113

III 結果及び考察

1. 整流板による静圧降下

空気が穀粒層を通過することによって生ずる静圧降下、すなわち図1 AB間の静圧差は穀粒層と整流板によって生ずる。本実験で10 mesh, 30 mesh, 50 mesh, 80 mesh, 100 meshの五種類の金網を用いて、整流板のみによる静圧降下と風速との関係を測定したところ、図2に示す通り、網の目が細くなるほど静圧降下が大きくなる傾向があった。

2. 流動化開始風速と静圧降下

空気が穀粒層を通過することによって生ずる静圧降下、すなわち図1のAB間の静圧差は穀粒層と整流板によって生じる。図3に30 meshの整流板を使ったときの玄米の風速と静圧降下との関係を示す。流動化開始風速までは、風速の増加に伴って静圧降下も増加するが穀粒は動かなかった。風速が一定値に達すると上層部のわずかな穀粒が動き始めた。この時の風速を流動化開始風速いう。この風速は充填量の差や整流板の種類にはあまり影響がなく0.6~1.1m/sの範囲にあった。玄米が動き始めると静圧降下が少し小さくなり、その後風速が上がっても、

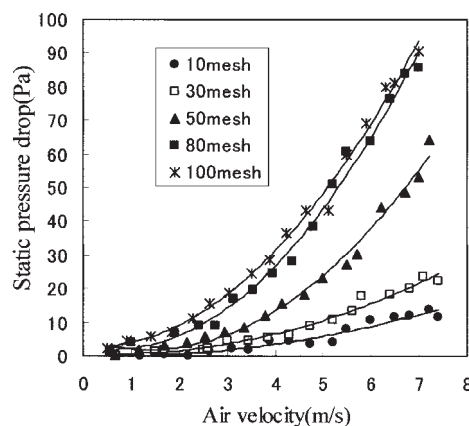


Fig. 2 Static pressure drop at the current plate.

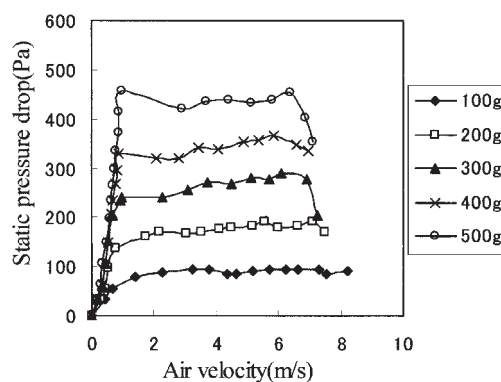


Fig. 3 Relation between air velocity and static pressure drop (Brown rice).

静圧変化はほとんど変化しなかった。流動層では充填量の増加によって静圧降下も増加した。

図4には30 meshの整流板を用いたときの、BB弾の風速と静圧降下との関係を示す。流動化開始風速は1.2~1.7 m/sの範囲にあった。図5には大豆の風速と静圧降下との関係を表す。流動化開始風速は1.6 m/s ~ 2.1 m/sの範囲にあった。以上の結果から、粒径が大きくなるほど流動化開始風速が大きくなることが分かった。

3. 穀粒の形状による静圧降下の変化

図6は、同じ充填量の玄米、BB弾、大豆の場合、風速と静圧降下との関係を表している。流動開始風速までの玄米の静圧降下はBB弾より大きくなり、粒径が大きくなるほど静圧降下が小さくなった。これは玄米のかき密度の方がBB弾と大豆より大きいためであると考えられた。玄米の場合は穀粒が動き始めると静圧降下が少し小さくなるが、大豆とBB弾の場合はこの現象が見られなかった。これは玄米の形状は楕円体であるため、止まっているときと動いているときではその空隙率が異なることが原因であると考えられた。

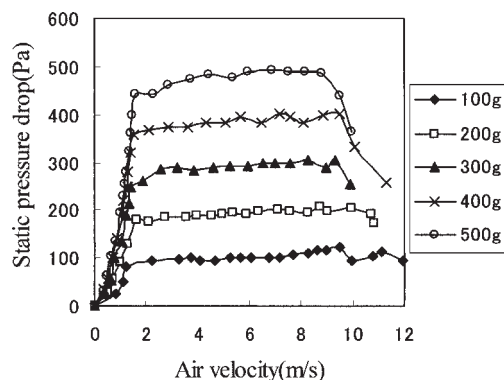


Fig. 4 Relation between air velocity and static pressure drop (BB's).

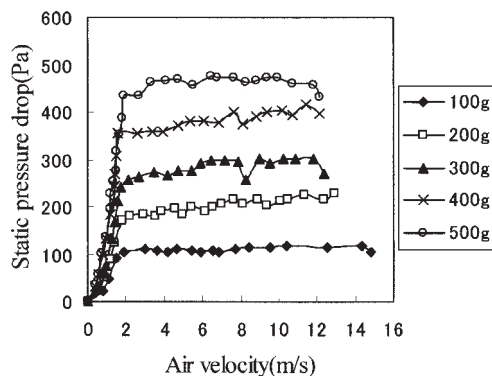


Fig. 5 Relation between air velocity and static pressure drop (Soybean).

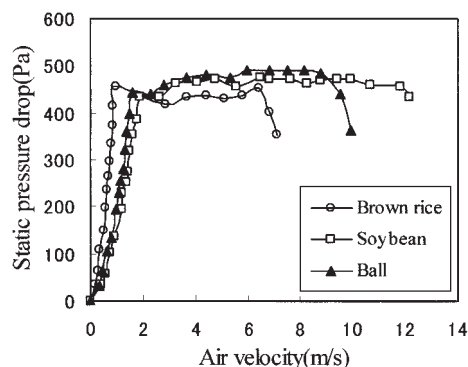


Fig. 6 Change of static pressure drop according to grain shape.

4. 流動状態

1) 玄米の流動状態について

玄米の場合は、風速が流動化開始風速に達するまで穀粒が動かず(固定層)、風速が流動化開始風速より大きくなると、穀粒層の中央部に空気の通る溝ができて、そこから穀粒が吹き上げられるのが見られた。充填量が少ない場合はパイプの中心から穀粒が先に噴出され、噴水状態が現れる(図7)。充填量が多い場合(400 g以上)は噴水状態が現れなかったが、充填層の一部が持ち上げられ、またそれが落下するというピストン運動を繰り返すようになった。引き続き風速を上げるとパイプ中の玄米がら旋状に吹き上げられ、さらに風速を上げると均一流動状態に入った(図8)。

2) BB弾と大豆の流動状態について

BB弾の場合、図7に示すように風速が流動化開始風速の状態、それより大きくなるとBB弾は水が沸騰するように循環運動を始めた。風速の増加に伴って、この運動が激しくなるが、穀粒は高く吹き上げられ、かつ次第に細かく分散され、やがてパイプ全体に均一に流動した(図8)。大豆の場合もこれと同じような運動状態が観察された(図7と図8)。これは大豆の形状が球に近いので、運動状態には密度の差はあまり関係がないと考えられた。

5. 終端速度について

本実験で求めている終端速度は穀粒がパイプの中を均一に流動するときに必要な風速である。穀粒は風速が終端速度以上になると吹き飛ばされる。そのために穀粒を輸送する風速範囲はこれ以上でなければならない。気流中の粒子の運動を取り扱う場合に、粒子の運動力学的性質として終端速度が基本的事項になる。終端速度は粒子一粒の終端速度より数値的に大きい。その原因は、パイプの中では穀粒相互間や管壁との摩擦や衝突における気流の不均一、重力の影響などのために穀粒の終端速度より速い空気速度が必要である。図9に示すように流動化開始風速以降は風速を上げても、静圧降下はほとんど変化しな

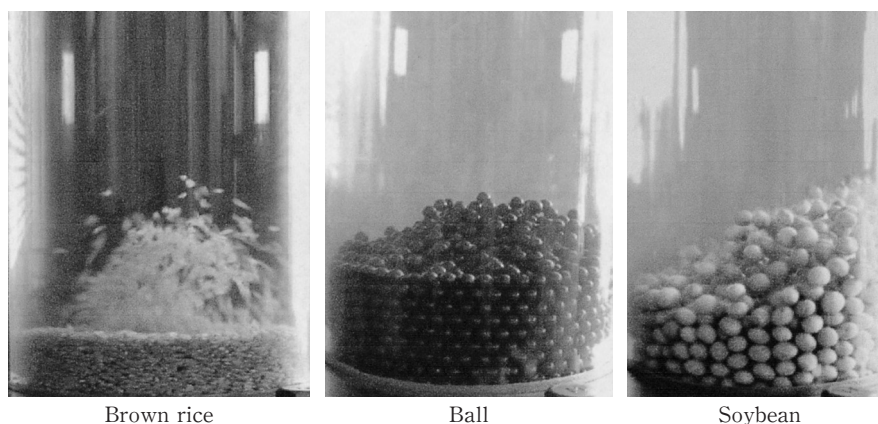


Fig. 7 Fluid state of grain (After minimum fluidization velocity).

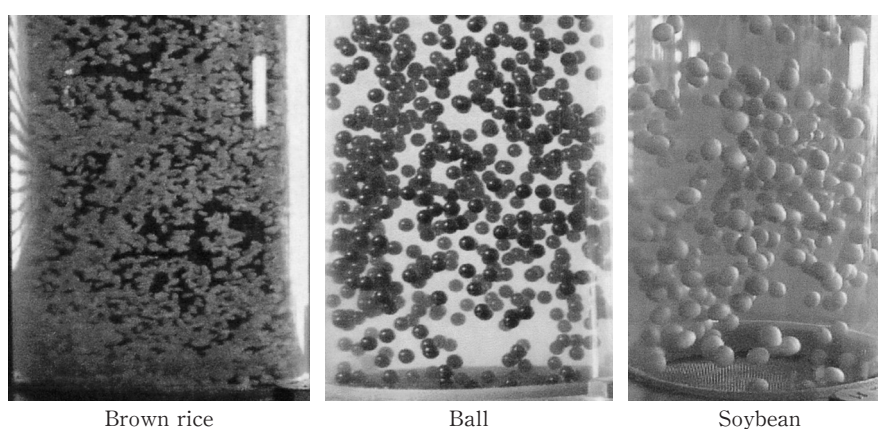


Fig. 8 Fluid state of grain (uniform flow state).

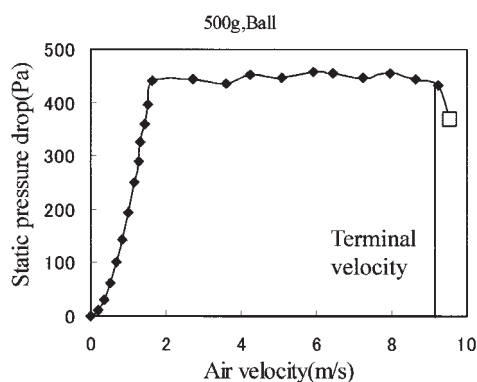


Fig. 9 Relation between air velocity and static pressure drop (position of terminal velocity).

かった。引き続き風速を上げると、穀粒の流動状態が均一流動状態になって、穀粒がパイプの中に均一に分布し、この時点で静圧降下は下がった。この時の風速を終端速度という。図3、図4、図5から終端速度を求めた結果は、玄米は6.8m/sで、BB弾は9.5m/sで、大豆は12.15m/sであることが分かった。

IV 摘 要

穀粒を輸送し、調製加工する場合には、その特性を知る必要がある。本研究は、鉛直管内における流動状態を調べることで、穀粒の基本的流動特性を明らかにする目的で、玄米、BB弾、大豆を空気流によって流動化させて、流動化開始風速と終端速度を求め、その流動状態をビデオカメラで記録して観察した。その結果から：

1. 流動化開始風速は、大豆が1.6~2.1m/s、BB弾は1.2~1.7m/s、玄米は0.6~1.1m/sの範囲にあった。
2. 玄米に噴水状態が現れたが、大豆とBB弾に噴水状態がなかった。これはBB弾と大豆の形状が球あるいは球に近いと考えられた。
3. 終端速度を測定した結果、玄米が6.8m/s、BB弾は9.5m/sで、大豆は12.2m/sであることが分かった。

参 考 文 献

- 1) 梅田重夫：穀粒の流動化処理法に関する研究（第1報）—穀粒の流動化—。農業機械学会誌，32(2)，135-139 (1970)
- 2) 坂口栄一郎・早川千吉郎：穀粒の流動特性に関する研究（第1報）—傾斜とい中を流れる穀粒層の速度分布測定方法—。農業

- 機械学会誌, **50**(6), 61-68 (1988)
- 3) 上滝具貞・西岡富士夫: 粉粒体の空気輸送, pp. 29-52, 80-89, 日刊工業新聞社, 東京 (1961)
 - 4) 狩野 武: 粉粒体輸送装置. pp 58-68, 117-124, 日刊工業新聞社, 東京 (1969)
 - 5) 梅田重夫・滝川 博: 穀粒の流動化処理法に関する研究 (第2報) — 流動層の均一性 —. 農業機械学会誌, **33**(3), 269-273 (1971)
 - 6) 田中敏嗣・辻 裕: 鉛直管内固気二相流の測定. 日本機化学会論文集 (B編), **55**(516), 2302-2308 (1989-8)
 - 7) 越智光昭・武居昌弘: 水平管内固気二相における最小輸送速度. 日本機化学会論文集 (B編), **62**(600), 2978-2985, (1996-8)
 - 8) E. Sakaguchi, M. Suzuki: Numerical Simulation of the Shaking Separation of Paddy and Brown Rice using the Discrete Element method, J. Agric. Eng. Res. (2001) **79**(3), 307-315
 - 9) 辻 裕・森川敬信: レーザ流速計による鉛直管内固気二相流の測定. 日本機化学会論文集 (B編), **50**(452), 1000-1007 (1984-4)
 - 10) 岩元睦夫・中馬 豊: 穀類の流動層乾燥について (第1報) — 流動化と乾燥特性 —. 農業機械学会誌, **32**(4), 322-326 (1970)