

選別風を受けるソバの空気力学特性

誌名	農業食料工学会誌 = Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers
ISSN	2188224X
著者名	上加,裕子 松井,正実 青柳,悠也 三浦,泰
発行元	農業食料工学会
巻/号	81巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 243-249
発行年月	2019年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



選別風を受けるソバの空気力学特性

上加裕子^{*1†}・松井正実^{*2}・青柳悠也^{*3}・三浦 泰^{*2}

要 旨

汎用コンバインの作業性能の基準となる穀粒損失は、水稻は2%程度、小麦は1%程度であるのに対し、ソバは4%程度と高い。本研究では、汎用コンバインの風選別部における穀粒損失低減と選別性能向上のために、ソバ粒子の空気力学特性を明らかにし、粒子の飛散範囲予測に必要な抗力係数、揚力係数のモデル化を行った。ソバは、粳や麦、大豆に比べると姿勢変化による抗力係数、揚力係数の変動が大きいことが分かった。その結果、粒子の飛散範囲と夾雑物の飛散範囲との重複が大きくなり、1番口で回収される収穫物の選別精度を上げようとする、機外に排出される穀粒量が大きくなることが示唆された。

[キーワード] 汎用コンバイン、ソバ、風選別、抗力、揚力

Aerodynamic Characteristics of Buckwheat Receiving the Cleaning Wind

Yuko UEKA^{*1†}, Masami MATSUI^{*2}, Yuya AOYAGI^{*3}, Shin MIURA^{*2}

Abstract

The grain loss, a standard for determining the operating performance of for multi-crops, is 2% for paddy, 1% for wheat, and as high as 4% for buckwheat. In this study, to reduce the grain loss and improve the cleaning performance, the aerodynamic characteristics of buckwheat were investigated, and the coefficient of drag and lift necessary for predicting the scattering range of buckwheat were modeled. Owing to attitude changes, the buckwheat was found to have greater coefficient variations than paddy, wheat, and soybean. Thus, the overlap of scattering range between the buckwheat and trash increased, suggesting that the amount of buckwheat discharged outside the machine increases when trying to improve the quality at the clean grain outlet.

[Keywords] combine for multi-crops, buckwheat, cleaning wind, drag, lift

I 緒 言

日本では、高齢化、人口減少等による米の消費減少が見込まれる中で、米政策改革により需要に応じた生産を推進するとともに、食料自給率・食料自給力の維持向上を図るため、飼料用米等の戦略作物の生産拡大を推進している。さらに、健康志向により雑穀や油糧種子類が注目され栽培のニーズが増えつつある。農林水産省が発表するソバの生産動向では、経営所得安定対策が導入された2011年以降、作付面積が拡大し、2017年度産は2010

年度産に比べて約24% (15,200ha) 増加し、全国で62,900haとなっている。国内生産量は約14% (4,700t) 増加し、全国で34,400tとなっている (農林水産省, 2019)。生産量の増加割合は、作付面積よりも低く、環境要因が大きいと思われるが、経営所得安定対策は、収量ベースで支払われていることから、収穫損失の更なる低減は重要である。

これまでは、水稻や麦の収穫には自脱コンバイン、大豆、そばなどには普通コンバインのように使分けされていた。近年では、収穫対象物の多様化に資する汎用普通

*1 会員、愛媛大学大学院農学研究科 (〒790-8566 愛媛県松山市榑味 3-5-7)

Ehime University, Graduate School of Agriculture, 3-5-7, Tarumi, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan

*2 会員、宇都宮大学大学院農学研究科 (〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町 350)

Utsunomiya University, Faculty of Agriculture, 350, Mine-machi, Utsunomiya, Tochigi 321-8505, Japan

*3 会員、東京農工大学大学院連合農学研究科 (宇都宮大) (〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町 350)

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology (Utsunomiya University), 350, Minemachi, Utsunomiya-shi, Tochigi 321-8505, Japan

† Corresponding author: ueka.yuko.mx@ehime-u.ac.jp

コンバイン（以下、汎用コンバインとする）が市販化され、出荷台数も微増傾向にある（日本農業機械工業会, 2017）。

汎用コンバインの作業性能の基準となる穀粒損失について、ソバと他の作物を比べると、水稻は 2% 程度、小麦は 1% 程度であるのに対し、ソバは 4% 程度と高い（市川, 1996）。

これらのことから、コンバインによるソバの収穫作業精度向上は重要である。

穀粒損失は、頭部損失と脱穀選別損失に分けられる。本研究では、脱穀選別損失、特にコンバイン脱穀選別部の最終工程である、圧風ファンによる風選別部を対象とする。風選別は、圧風ファンから送り出された選別風によって粒子とわら屑、ちり、ほこり等の夾雑物を搬送し、空気抵抗の差、すなわち飛行軌跡の差を利用して分離し、夾雑物を除去している。

風選別部内での穀粒損失が大きくなる一つの原因として、粒子と夾雑物の飛行軌跡が重複することが挙げられる。選別風を受ける粒子の姿勢や選別風の風向や風速によって抗力や揚力変動し、様々な飛行軌跡を辿る。そこで、風選別部における穀粒損失低減と選別性能向上のために、ソバ粒子と夾雑物の空気力学特性を明らかにし、それらの飛散範囲を把握することが重要である。飛散範囲の把握には、松井らが実施した数値シミュレーション（Matsui et al., 2004b; 古野ら, 2006）が活用できる。当該数値シミュレーションは、籾およびわらの最大飛行軌跡および最小飛行軌跡よりそれぞれの飛散範囲予測が可能であり、これを用いて、ソバ粒子の飛散範囲を明らかにすることで、最適な選別風速の予測が可能となり、穀粒損失の低減に寄与できる。

既往の研究では、選別風を受ける籾の抗力・揚力係数に関する研究で単粒の籾の抗力・揚力係数（Matsui et al., 2004a）が、籾・玄米の風選に関する研究で単粒の玄米の抗力係数（土屋ら, 1981）が、穀粒の終末速度に関する研究で単粒のコムギ・エンバク・ダイズの抗力係数（須山ら, 1970）が、選別風を受けるわらの飛散範囲に関する研究でわらの抗力係数（古野ら, 2006）が明らかにされている。また、これらを用いて、2次元の籾の飛行範囲（Matsui et al., 2004b）やわらの飛散範囲（古野ら, 2006）の数値解析が行われてきた。しかしながら、風選別部におけるソバに関する研究は少ない。ソバの形状は、籾や小麦、大豆などと異なって形状が特徴的であることから、その形状に対する空気力学特性を明らかにした。

以上より、本研究では、ソバの形状に対する空気力学特性を明らかにするため、粒子の大きさや含水率、投影面積を測定し、実験から抗力・揚力、抗力係数・揚力係数を求め、粒子の姿勢やレイノルズ数との関係について考察した。

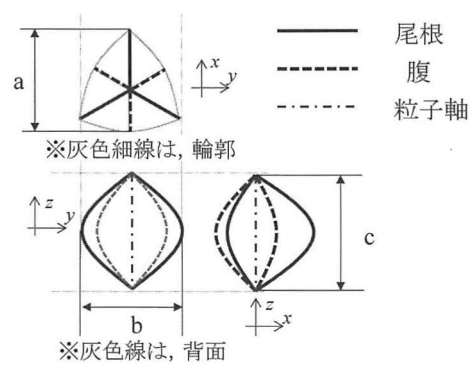


図 1 ソバ粒子の三面図

Fig. 1 Three view of buckwheat

表 1 ソバ粒子の大きさ

Table 1 Size of buckwheat

(1) ソバ粒子の平均寸法と質量				
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	質量 (g/1 粒)
平均	3.86	4.09	5.29	0.0272
標準偏差	0.23	0.32	0.39	—
(2) 供試材料の寸法と質量				
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	質量 (g/1 粒)
soba01	3.8	4.1	5.3	0.0310
soba02	4.2	4.7	5.55	0.0393
soba03	3.3	3.4	4.5	0.0202

II 供試材料

1. 材料の物性値

ソバ粒子の三面図を図 1 に示す。ソバ粒子は、膨らんだ三面で囲まれた特徴的な形状をしている。供試材料は、平成 28 年に宇都宮大学附属農場で収穫した信濃 1 号とした。無作為に 13 個を抽出し、寸法 (a, b, c) をノギスで計測した。質量については、100 個の粒子を電子天秤で測定し、1 粒子当りの質量を算出した（表 1 (1)）。13 個の粒子を平均的な大きさ、平均より大きい、小さい粒子に分類し、さらに各粒子の垂直・水平断面形状を画像取得し、図 1 に示した形状に最も類似するものを 1 つずつ抽出した。平均的な粒子を soba01、平均より大きい粒子を soba02、小さい粒子を soba03 とした。それらの大きさと質量を表 1 (2) に示す。供試した粒子の水分は、105℃-10 g 粒-24 h の方法（細川, 1966）で水分測定した。その結果、含水率は 13.8% であった。

2. 材料に作用する抗力・揚力

x - y 平面を水平面、 z 軸を x - y 平面に対し鉛直上向きとし、流れ方向が x 軸正方向の場合、流れの中にある物体が受ける力は、 x 軸方向に生じる力が抗力、 y 軸および z 軸方向に生じる力が揚力となる。それらの式は以下のようなになる。

表 2 投影面積
Table 2 Projected area

Vertical (°)	soba01 (mm ²)	soba02 (mm ²)	soba03 (mm ²)	Horizon (°)	soba01 (mm ²)	soba02 (mm ²)	soba03 (mm ²)
0	14.263	18.893	10.541	30	14.159	17.194	10.601
15	13.835	18.075	10.266	60	10.715	13.459	8.577
30	13.411	17.612	10.803	90	8.431	11.434	7.514
45	14.260	19.525	11.422	120	9.124	12.277	8.224
60	15.167	20.106	12.148	150	12.638	16.607	10.484

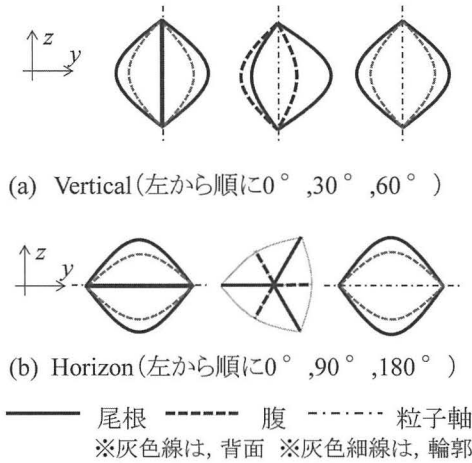


図 2 ソバ粒子の姿勢角

Fig. 2 Attitude angle of buckwheat

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2 \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L A v^2 \quad (2)$$

D : 抗力 (N)

L : 揚力 (N)

ρ : 流体の密度 (kg/m³)

C_D : 抗力係数 (—)

C_L : 揚力係数 (—)

A : 物体の投影面積 (m²)

v : 流体と物体の相対速度 (m/s)

抗力係数 C_D と揚力係数 C_L は、それぞれ物体の形状や姿勢によって決まる。

抗力、揚力を算出する際に必要な投影面積は、高解像度カメラを用いて、粒子が 10 万～30 万画素に収まるように撮影し、2 値化処理を行って画素数を面積に換算した。測定では、粒子軸を垂直に配置し、尾根部が風上に向かって正面の姿勢を Vertical=0° とし、粒子軸を時計まわりに 15° ずつ回転させた (図 2 (a))。また、粒子軸を水平に配置し、尾根部が風上に向かって正面の姿勢を Horizon=0° とし、粒子軸に対し垂直軸を時計まわりに 30° ずつ回転させた。このとき、90° で粒子軸と風向が一

致し、180° で腹が正面になる (図 2 (b))。各姿勢について 3 回ずつ投影面積を測定した結果を表 2 に示す。ただし、Horizon=0, 180° は、それぞれ Vertical=0, 60° と重複しているので測定しないものとした。

III 実験方法

1. 測定システム

抗力、揚力測定は、風洞から送り出された風がピアノ線で垂直に支持したソバ粒子に作用するようにして、ピアノ線のたわみから算出することとした。

測定システムは、送風機 (SHINKO, SHB-530B) と、自作の風洞パイプ、熱線式風速計 (testo, 405i)、供試材料を支持するピアノ線、高速度カメラ (DITECT, HAS-L1) で構成されている。ソバ粒子の抗力・揚力の測定システムを図 3 に示す。

従前の研究 (Ueka et al., 2012) により、コンバイン風選別部の乱流特性が明らかにされている。風洞の出口側パイプの直径は 42 mm で、ソバを設置する座標点 $(x, y, z) = (15, 21, 70)$ を通る y 軸 (horizontal coordinate)、 z 軸方向 (vertical coordinate) の風速分布を図 4 に示す。垂直、水平方向ともに同様の分布傾向で、中心部では、壁面境界層の影響もなく、流速がほぼ均一であるという、乱流状態の特徴を有していることを確認した。

次に、供試材料を支持するピアノ線 (直径 0.3 mm 長さ 70 mm) の端を垂直壁に固定し、他端におもりを吊り下げ、荷重によるたわみを測定し、縦弾性係数を算出した。縦弾性係数の範囲は $2.00 \sim 2.08 \times 10^5$ (N/mm²) となっており、一般的なピアノ線の縦弾性係数 2.06×10^5 と近い値をとっていることが確認できた。以上より、本実験で用いたピアノ線の縦弾性係数を、平均した値 $E = 2.03 \times 10^5$ (N/mm²) とした。

ピアノ線を垂直に立て、その先端に供試材料を接着し、風洞出口側パイプ断面の中心、風下側、 $(x, y, z) = (15, 21, 70)$ に設置した。風を受ける供試材料の変位を撮影するために、粒子の上方約 13 cm に設置した高速度カメラによって 1/200 s 間隔で 2 s 間 (400 フレーム) 撮影し、動画ファイルで保存した。撮影した動画の各フレームを加算処理し、単一画像として供試材料の位置を求め、これを風速 0 m/s のときと比較することで変位を求めた。この変位をたわみとし、計測したピアノ線の縦弾性係数から断面 2 次モーメント、荷重を算出した。

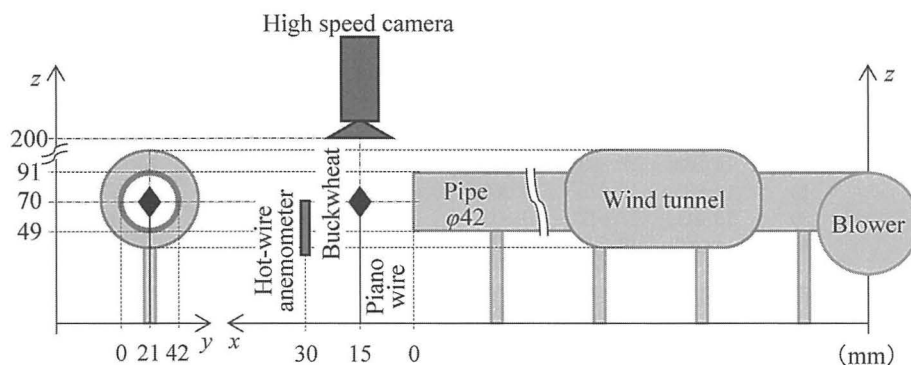


図 3 測定システム

Fig. 3 Measuring system

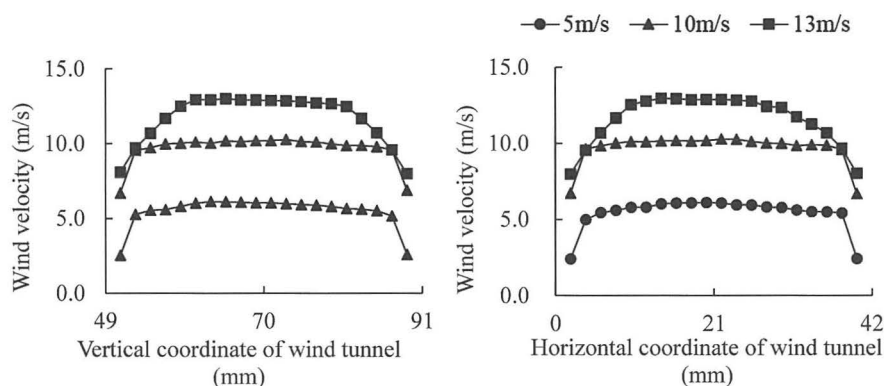


図 4 風洞出口の風速分布

Fig. 4 Wind velocity distribution at the wind tunnel exit

このシステムでは、 x 方向に生じる抗力、 y 方向に生じる揚力とした。熱線式風速計は、供試材料の約 15 mm 後方、 $(x, y, z) = (30, 21, 70)$ にセンサー部がくるように設置し、風速および温度を計測した。

2. 実験条件

風速条件は、図 3 に示した熱線風速計の位置で、約 5, 7.5, 10, 12.5, 14, 15, 16.5 m/s の 7 段階になるように調整した。温度条件は 22℃で行い、空気密度および粘度もその時の値を用いて、レイノルズ数 Re は、式(3)より算出した。代表長さ L は図 1 の c の値を用いた。

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} \quad (3)$$

ρ : 密度 (kg/m³)

u : 風速 (m/s)

μ : 粘度 (Pa·s)

ソバ粒子の姿勢は、Vertical の 0°~60° (15° 間隔) と Horizon の 30°~150° (30° 間隔) の 10 姿勢で行った。風速 0 m/s については、ピアノ線のみ、ピアノ線に供試材料 soba01, soba02, soba03 をそれぞれ接着した 4 条件で行い、それぞれ 3 回ずつ画像を取得した。

IV 結果および考察

1. ソバ粒子の抗力・揚力

風洞から送り出される風の影響を受けた状態の抗力、揚力は、ピアノ線の抗力の影響も含んでいるため、ピアノ線のみ抗力、揚力を差し引いた、ソバのみの抗力、揚力の結果を図 5, 6 に示す。3 回繰り返した測定の平均値を示す。代表して soba01 のデータのみを記載した。ラベル表記は、供試材料名 (soba01)_姿勢角である (以下、同じ)。

粒子姿勢が Vertical の時 (図 5)、抗力は姿勢角が 45~60° で大きく、姿勢角 0° で小さくなった。姿勢角 15~30° では、その中間となった。表 2 の投影面積は、60° で最大値となり、0° と 45° が同程度で次ぎ、15~30° が最も小さい投影面積となっている。抗力が大きい 60° では、腹部が風上側に向いており、この面でせん断応力に起因する摩擦抗力が大きくなっていることが考えられる。抗力が小さい 0° では、尾根部が風上側に向いており、正面の尾根部から腹部を通過し両端の尾根部に向けての流れにおいてせん断応力が発生しにくいいため、摩擦抗力が小さくなったと考えられる。

揚力は、姿勢角が 0, 60° で最も小さくなった。0° では

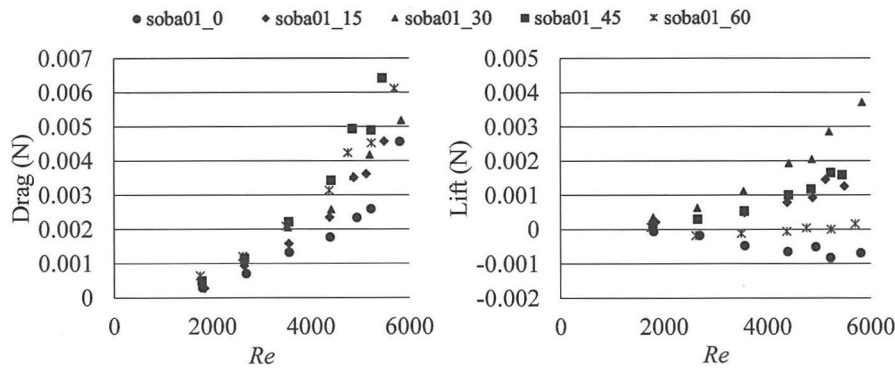


図 5 Vertical の時の抗力・揚力

Fig. 5 Drag and lift of vertical

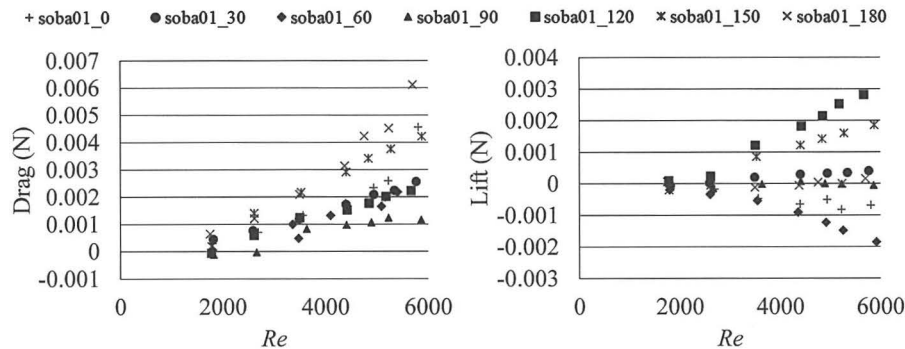


図 6 Horizon の時の抗力・揚力

Fig. 6 Drag and lift of horizon

風上側に尾根部、 60° では腹部がきて、ともに粒子軸に対し左右対称の姿勢となっている。 $15, 30, 45^\circ$ では左右非対称の姿勢となり、 y 軸正方向に偏った投影面積となるため、揚力が正方向へ作用している。

粒子姿勢が Horizon の時 (図 6)、抗力は、姿勢角が 180° (Vertical の 60° と同じ姿勢) で最も大きく、 150° が次いだ。Vertical の時と同様に摩擦抗力が大きくなったためと考える。 0° (Vertical の 0° と同じ姿勢) と $30^\circ, 60^\circ$ と 120° の順で小さくなり、 90° で最も小さくなった。風向に対し、粒子の正面と背面が凸で、形状が流線形に近くなっているため、粒子の赤道部で流れが剥離し、正面と背面の圧力差が小さく圧力抗力が生じにくいためと考えられる。Horizon の姿勢の投影面積は、 90° で最小、 $60, 120^\circ$ が次ぎ、 180° で最大となる。Vertical の時よりも投影面積の差が大きく、その影響が抗力に反映されている。

揚力は、姿勢角が $0, 90, 180^\circ$ で左右対称の姿勢で小さく、左右非対称となる $60, 120, 150^\circ$ で大きくなった。 60° においては、負方向へ揚力が作用した。

2. ソバ粒子の抗力係数・揚力係数

3 回繰り返し測定した抗力、揚力から各係数を算出し、3 回の平均値をまとめると、どの供試材料もレイノルズ数 3000 以上ではほぼ一定の値に収束した。代表して Horizon の最大抗力となった姿勢角 180° と最小抗力と

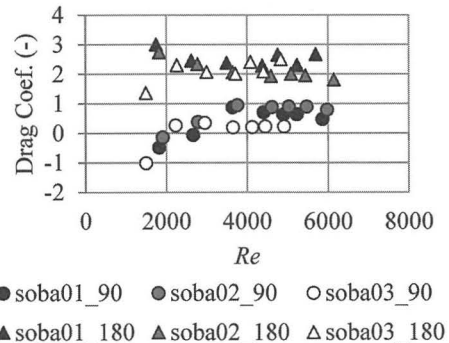


図 7 Horizon の時の抗力係数

Fig. 7 Drag coefficient of horizon

なった姿勢角 90° の抗力係数を図 7 に示す。

供試材料ごと (soba01~03) および全供試材料 (soba-all) のレイノルズ数 3000 以上の平均値を姿勢角ごとにまとめた (図 8, 9)。粒子サイズごとに値には多少の違いがあるが、全粒子平均と同じ傾向を示している。

抗力係数と揚力係数の各姿勢角の関係を明らかにするため、全粒子平均の値をもとに、モデル化した (図 10, 11)。Vertical の 0° および 60° の揚力係数は 0 とし、Horizon の 0° および 180° の揚力係数も、Vertical の 0° および 60° と同値となるため、0 とした。

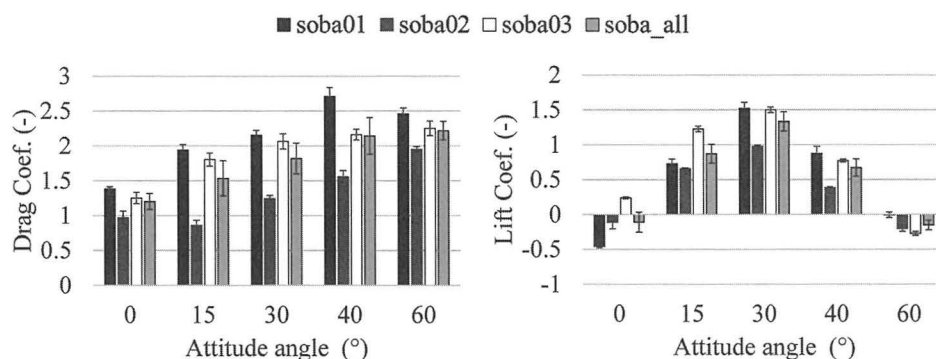


図 8 Vertical の時の抗力係数・揚力係数

Fig. 8 Drag coefficient and lift coefficient of vertical

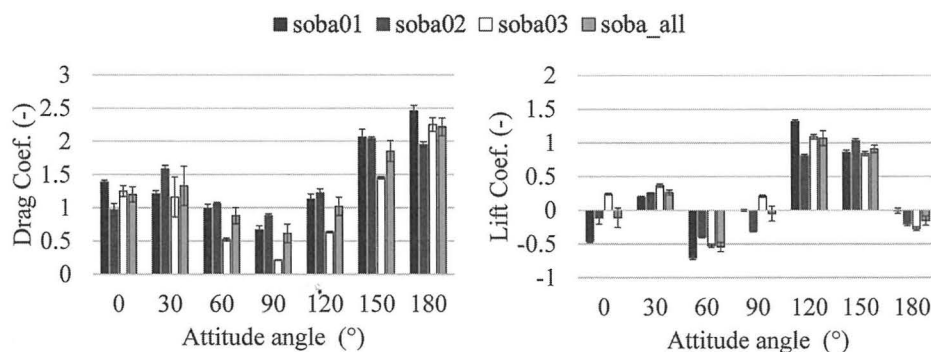


図 9 Horizon の時の抗力係数・揚力係数

Fig. 9 Drag coefficient and lift coefficient of horizon

スプライン補間を行った後、フーリエ級数によりモデル化した。モデル式を式 (4)～(7) に示す。 θ は姿勢角 (rad) である。

Vertical の抗力係数：

$$C_D = 0.49 \cos(3\theta) + 1.79 \quad (4)$$

Vertical の揚力係数：

$$C_L = -1.29 \sin(3\theta) \quad (5)$$

Horizon の抗力係数：

$$C_D = -0.32 \cos(\theta) + 0.60 \cos(2\theta) - 0.10 \cos(3\theta) - 0.05 \cos(4\theta) + 1.24 \quad (6)$$

Horizon の揚力係数：

$$C_L = 0.35 \sin(\theta) - 0.64 \sin(2\theta) + 0.40 \sin(3\theta) + 0.29 \sin(4\theta) \quad (7)$$

図 10 に、Vertical のモデル化の結果を示す。60° から 120° 毎に、抗力係数は最大値 2.22 [0.27]、0° から 120° 毎に、最小値 1.20 [0.23] となっている。([] 内は、実験値の標準偏差を示す。以下同じ。)

30° から 60° 毎に、揚力係数の絶対値の最大は 1.33 [0.27] となっている。ただし、60° 毎に揚力係数の正負

が反転している。

図 11 に、Horizon のモデル化の結果を示す。180° で抗力係数は最大値 2.22 [0.27]、90° から 180° 毎に、最小値 0.61 [0.28] となっている。130° および 230° のとき、揚力係数は最大値 1.20 となっている。また、0°, 41°, 91° のとき、揚力係数は 0 となることがわかった。また、そのとき、揚力の正負が反転することがわかった。

最大抗力係数 2.22 [0.27] と最小抗力係数 0.61 [0.31] は、3.6 倍の差となった。従前の研究で明らかとなっている初抗力係数 0.54～0.87 (Matsui et al., 2004a), コムギ 0.60～0.92 (須山ら, 1970), ダイズ 0.51～0.63 (須山ら, 1970) と比べると、その変動が大きいがわかる。

姿勢変化による抗力係数、揚力係数の変動が大きいため、飛散範囲が広くなり、夾雑物の飛散範囲との重複が大きくなることが予測される。

V 結 言

本研究では、汎用コンバイン内の風選別部における穀粒損失低減と選別性能向上のため、ソバ粒子の空気力学特性を明らかにし、粒子の飛散範囲予測に必要な抗力係数、揚力係数のモデル化を行った。

粒子軸が流れ方向に対し垂直な Vertical の姿勢では、姿勢角変化に伴う投影面積の差も小さく、抗力係数、揚

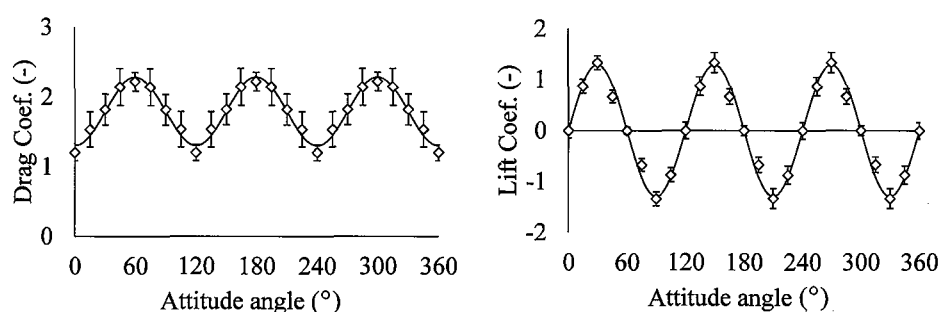


図 10 Vertical の時の抗力係数・揚力係数のモデル化

Fig. 10 Modeling of drag coefficient and lift coefficient of vertical

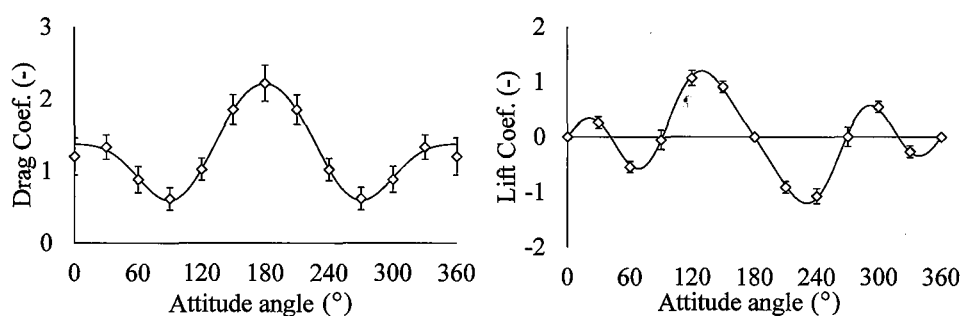


図 11 Horizon の時の抗力係数・揚力係数のモデル化

Fig. 11 Modeling of drag coefficient and lift coefficient of horizon

力係数は、式 (4), (5) のようにモデル化され、 120° 周期で正弦波（余弦波）の変動をすることが分かった。

粒子軸が流れ方向に対し水平な Horizon の姿勢では、姿勢変化による投影面積の差も大きく、抗力係数、揚力係数は式 (6), (7) のようにモデル化され、Vertical の姿勢の時よりも姿勢角変化に伴う変動は複雑となることが分かった。

風選別部内での穀粒損失が大きくなる一つの原因として、粒子と夾雑物の飛行軌跡が重複することが挙げられる。

本研究結果より、ソバは、姿勢変化による抗力係数、揚力係数の変動が稲や麦などより大きくなることが明らかとなり、その飛散範囲が広がることで、夾雑物の飛散範囲との重複が大きくなることが予測される。その結果、1 番口で回収される収穫物の選別精度を上げようとすると、機外に排出される穀粒量が大きくなることが示唆された。

今後は、夾雑物の空気力学特性を明らかにし、数値解析によりソバ粒子と夾雑物の飛散範囲予測から、飛散範囲の重複が少なくなる選別風速を明らかにすることで、風選別部における穀粒損失低減に向けた技術開発指標を提案していく。

References

古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 2006. 選別風

を受ける藁の飛散範囲シミュレーション. 農業機械学会誌, 68 (3), 46-51.

細川 明, 1966. 第 2 編農業機械実験実習. 東京大学農業工学教室編, 農業機械実験便覧. 養賢堂, 東京, 374.

市川友彦, 1996. 第 9 編穀物収穫. 農業機械学会編, 生物生産機械ハンドブック. コロナ社, 東京, 620-623.

一般社団法人日本農業機械工業会, 2017. 日農工統計平成 29 年生産実績 (確定値). <http://www.jfmma.or.jp/data/jfm-kaku2017.xls>. Accessed March 29, 2019.

Matsui, M., Inoue, E., Kuwano, T., Mori, K., 2004a. Study on the flying paddy acting the cleaning wind (Part1). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 66 (1), 43-48.

Matsui, M., Inoue, E., Kuwano, T., Mori, K., 2004b. Study on the flying paddy acting the cleaning wind (Part2). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 66 (1), 49-54.

農林水産省, 2019. 平成 30 年産そば (乾燥子実) の作付面積及び収穫量. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/attach/pdf/index-64.pdf. Accessed March 29, 2019.

須山啓介, 清水 浩, 1970. 穀粒の終末速度に関する研究 (第 1 報). 農業機械学会誌, 41 (2), 263-269.

土屋功位, 上出順一, 石渡健二, 1981. 初・玄米の風選に関する研究. 農業機械学会誌, 43 (3), 433-442.

Ueka, Y., Matsui, M., Inoue, E., Mori, K., Okayasu, T., Mitsuoaka, M., 2012. Turbulent flow characteristics of the cleaning wind in combine harvester. Engineering in Agriculture, Environment and Food (EAEF), 5 (3), 102-106.

(受付: 2018 年 12 月 10 日・受理: 2019 年 5 月 15 日・質問期限: 2019 年 9 月 30 日)