

平成21年5月18日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18380149
 研究課題名（和文） コンバイン脱穀部内の風選メカニズムの理論的解明と選別制御への応用
 研究課題名（英文） Theoretical clarification of winnowing mechanism and winnowing control application in the threshing unit of a combine harvester
 研究代表者
 井上 英二（INOUE EIJI）
 九州大学・大学院農学研究院・教授
 研究者番号：00184739

研究成果の概要：

本研究は、穀物の収穫作業機として開発されたコンバインの脱穀部、中でも回収、調整など次工程に大きく影響を及ぼす風選別部を対象とし、選別対象物である籾や藁の物理的特性や選別風の流れ特性を実験により検証し、風選別メカニズムを流体力学的に解析した。また、数値流体力学（CFD）による選別風シミュレーションと個別要素法（DEM）による籾や藁の飛行シミュレーションを行い選別制御に必要なプログラム開発を行った。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|------|------------|-----------|------------|
| 18年度 | 12,400,000 | 3,720,000 | 16,120,000 |
| 19年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 20年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 15,500,000 | 4,650,000 | 20,150,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：コンバイン脱穀部，風選別，選別制御，流体力学，数値流体力学，個別要素法

1. 研究開始当初の背景

従前の研究において、選別風を受ける籾や藁の抗力係数・揚力係数を明らかにし、単一籾や藁の飛行数値モデルを構築した。そのモデルを用いて単一籾や藁の飛行シミュレーションを行った。

2. 研究の目的

脱穀部に流入する穀粒流量に対し適切な選別風速の制御を行うために、群粒の流体力学的特性および気流との相互作用について明らかにし、シミュレーションにより選別風速や群粒の飛行を再現することを目的とし

た。

3. 研究の方法

図1に本研究において使用した風選別装置の概略を示す。

(1) 籾群・藁群の流体力学的特性の把握および粒子間、粒子-気流間の相互作用の解明
 粒子画像流速測定法（PIV）により、籾群・藁群の飛行速度を計測し、群粒の流体抵抗、スペクトル解析により相互作用について解明した。

(2) 選別風の乱流特性の把握

粒子画像流速測定法（PIV）およびレーザ

ードップラ流速計(LDV)により選別風風速計測を行った。平均風速や乱れ強さ、スペクトル解析により乱流特性や穀粒群を通過した選別風エネルギー損失について解明した。

(3) 数値流体解析による選別風速分布シミュレーション

乱流モデルの代表的な手法の一つである $k-\epsilon$ モデルを導入し、有限体積法(Finite Volume Method :FVM)による数値シミュレーションを実施した。粒子画像流速測定法

(Particle Image Velocimetry :PIV) およびレーザードップラ流速計(LDV)による実測値と比較し、その妥当性について検証した。さらに、風路の形状変化に伴う解析を行った。

(4) 個別要素法による粒群の飛行シミュレーション

個別要素法は、要素の集合体において個々の要素ごとに独立した運動方程式を立て、これを差分近似し、時間ステップごとに前進的に解くことにより要素の挙動を追跡し、集合体としての挙動を解析しようとするものである。この手法を用いて、粉群・藁群の飛行シミュレーションを行った。

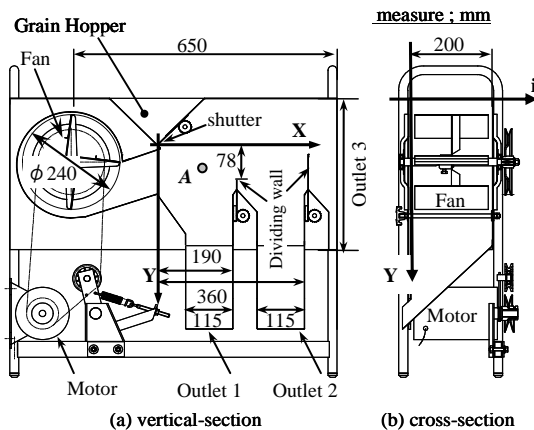


図1 実験用風選別装置

4. 研究成果

(1) 粉群・藁群の流体力学的特性の把握および粒子間、粒子 - 気流間の相互作用の解明

図2に示すように風選別部に落下する粉群・藁群は、選別風や粒子間の相互作用(接触・衝突)を受け拡散する。

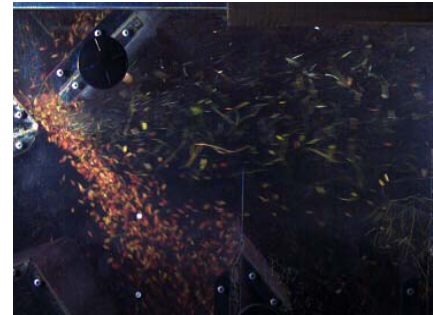
粒子間、粒子 - 気流間の相互作用を明らかにするために、粉群を連続体と仮定し、粒子画像流速測定法により、その飛行速度を計測した。平均飛行速度と連続体の不規則現象の指標となる乱れ強さ、さらにパワースペクトル分布を算出し、粒子間、粒子 - 気流間の相互作用を流体力学的に解明した。その結果、最適風選別精度を維持するには、粒子間の相互作用の影響が生じない程度に選別風速を調節する必要があることが明らかとなった。

穀粒群が受ける空気抵抗は、風選別メカニ

ズムを研究する上で重要である。粒子画像流速測定法により粉群の飛行速度を測定し、空隙率の低下に伴う空気抵抗の影響が明らかにした。その影響を考慮するための補正係数を理論的考察および実験より導出した。穀粒群の終末速度を算出し実験結果と比較したところ、補正係数の妥当性を確認した。



(a) 400 rpm

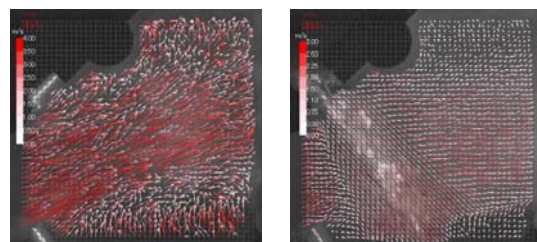


(b) 800 rpm

図2 風選別の様子

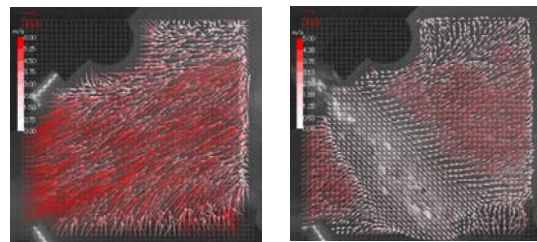
(2) 選別風の乱流特性の把握

図3にPIV計測による選別風の風速ベクトル分布を示す。選別風の風速・風向とも穀粒群の影響を受けていることが確認できる。



(a) 400 rpm, 0 kg/h

(b) 400 rpm, 1100 kg/h



(c) 800 rpm, 0 kg/h

(d) 800 rpm, 1100 kg/h

図3 PIVによる風速ベクトル分布

穀粒群を通過した選別風のエネルギー損失の要因を明らかにするため、風速の時系列データのスペクトル解析を行った。その結果乱流エネルギー推移の傾向に違いはなかった。すなわち乱流の粘性によるエネルギー散逸は穀粒群を通過する選別風も同程度であり、穀粒群を通過する際の流体抵抗による損失が多くを占めていることがわかった。

(3) 数値流体解析による選別風速分布シミュレーション

図4にFVMより得た風速分布、図5にPIVにより得た風速分布、図6に400rpm時のFVMによる計算結果とLDVによる実測値を示す。

FVMによる風速ベクトル分布は、PIVの計測結果と比較すると比較的よく再現できている。LDVの風速値と詳細に比較すると、境界領域付近では、誤差があるが分布の傾向的には一致している。

今回の解析において、壁面の境界条件は速度0(m/s)と設定したが、乱流状態にある壁面付近の流れは速度勾配が大きいため、壁関数の導入や壁面近傍に多くの格子点を集中させるなど境界条件の変更を試みる必要がある。

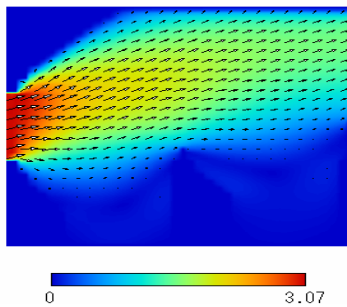


図4 FVMの風速分布(400rpm)

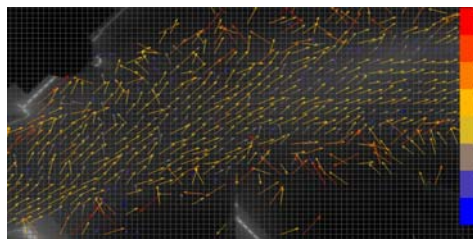


図5 PIVの風速分布(400rpm)

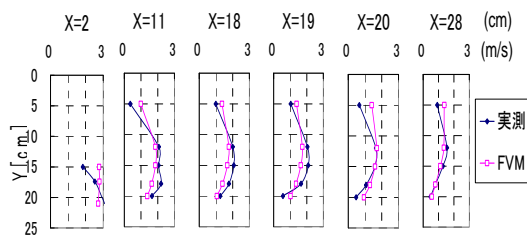


図6 400rpm時の水平速度

(4) 個別要素法による粒群の飛行シミュレーション

図7, 8に示すように粗粒子を楕円体、藁粒子を直方体と仮定し、円要素および線要素により粗群・藁群の形状モデルを構築した。

$r_1=0.459\text{mm}$
 $r_2=0.940\text{mm}$
 $r_3=1.296\text{mm}$

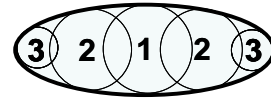


図7 粗形状モデル

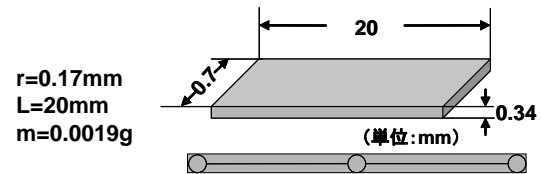


図8 藁形状モデル

粗粒子・藁粒子を25粒、初速度0m/sで自由落下させた。ホッパから風選別部に流下したところで、風選別部の風速条件は、水平方向から17.5°の方向に、0m/s, 1.2m/s, 2.4m/s, 3.6m/s, 4.8m/sの5段階の条件を設定し、それぞれの条件について流下のシミュレーションを行った。

選別風速が大きくなるにつれて粗群・藁群の飛散軌跡も上方に移動していく傾向は再現できた。実験による結果と異なる部分もあるが、シミュレーションに用いる粒子数の増加により改善される。

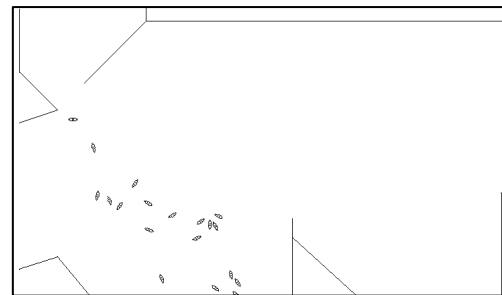


図9 粗群の飛行シミュレーション

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

1. 松浦大海, 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 乱流モデルを導入した選別風の数値流体解析, 農業機械学会九州支部誌, 査読無, 57, 2008 7-12.
2. Yuko FURUNO, Masami MATSUI, Eiji INOUE, Ken MORI, Takashi OKAYASU, Ryusuke FUKATA, Study on the Air Drag of Grains, 農業機械学会誌, 査読有, 70(3), 2008

- 58-64.
3. Yuko FURUNO, Masami MATSUI, Eiji INOUE, Ken MORI, Takashi OKAYASU, Ryusuke FUKATA, Analysis of Winnow Mechanism on the Basis of Particle-Particle/Particle-Airflow Interaction (Part 1)—Dispersion Characteristics of Paddy Grains/Straws—, 農業機械学会誌, 査読有, 70(1), 2008 65-71.
 4. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 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, 査読有, 68(3), 2006, 46-51.
 5. Yuko FURUNO, Masami MATSUI, Eiji INOUE, Ken MORI, Takashi OKAYASU, Ryusuke FUKATA, The Winnowing Characteristics of Grains in The Threshing Unit of a Combine Harvester, Proceedings of the 3rd International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering, 2006.

[学会発表] (計 12 件)

1. Tomomi Matsuura, Yuko Ueka, Masami Matsui, Eiji Inoue, Takashi Okayasu, Numerical Analysis of Cleaning Wind Based on Turbulence Model (poster), The 5th International Joint Symposium between Japan and Korea The Recent Status and Perspectives of Food System, Agricultural Environment and Biology in 2008, 2008.11, Dejeon, Korea.
2. 松浦大海, 古野裕子, 深田龍介, 松井正実, 井上英二, 岡安崇史, 2008.8, 一定風速条件下における藁の飛散シミュレーション, 第 63 回農業機械学会九州支部例会, 熊本県.
3. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 松浦大海, 藁群の終末速度および選別風との相互作用に関する研究, 農業機械学会第 67 回年次大会, 2008.3, 宮崎県.
4. 古野裕子, 松浦大海, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, $k-\epsilon$ モデルを導入した選別風の数值流体解析, 農業機械学会第 67 回年次大会, 2008.3, 宮崎県.
5. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 深田龍介, 選別風を受ける籾群・藁群の飛行特性, 農業環境工学関連 5 学会 2007 年合同大会, 2007.9, 東京都.
6. 古野裕子, 深田龍介, 松井正実, 井上英二, 岡安崇史, 森健, 一定風速条件下における穀粒群の飛散シミュレーション, 農業環境工学関連 5 学会 2007 年合同大会, 2007.9, 東京都.

7. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 深田龍介, 2007.8, 穀粒群が受ける抗力に関する研究, 第 62 回農業機械学会九州支部例会, 鹿児島県.
8. Yuko FURUNO, Masami MATSUI, Eiji INOUE, Ken MORI, Takashi OKAYASU, Ryusuke FUKATA, The Winnowing Characteristics of Grains in The Threshing Unit of a Combine Harvester (poster), The 3rd International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering, 2006.11, Seoul, Korea.
9. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 深田龍介, 流下する穀粒群の拡散現象に関する考察, 農業環境工学関連 7 学会 2006 年合同大会, 2006.9, 北海道.
10. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 森健, 岡安崇史, 深田龍介, 穀粒群を通過する選別風の圧力損失特性, 農業環境工学関連 7 学会 2006 年合同大会, 2006.9, 北海道.
11. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 深田龍介, 森健, 岡安崇史, 2006.9, 流下する穀粒群の飛散速度に関する考察, 第 61 回農業機械学会九州支部例会, 福岡県.
12. 古野裕子, 松井正実, 井上英二, 深田龍介, 岡安崇史, 森健, 2006.9, 画像処理による穀粒群の飛散範囲の考察 (ポスター), 第 61 回農業機械学会九州支部例会, 福岡県.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 英二 (INOUE EIJI)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 00184739

(2) 研究分担者

森 健 (MORI KEN)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 50117272

岡安 崇史 (OKAYASU TAKASHI)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 70346831