HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	垂直気流によるわら・穀粒の選別に関する研究
Author(s)	牛, 雨; 南部, 悟; 高井, 宗宏; 端, 俊一; 酒井, 憲司
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 17(2), 210-219
Issue Date	1990-08-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12127
Type	bulletin (article)
File Information	17(2)_p210-219.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大農邦文紀要 17(2):210～219, 1990

垂直気流によるわら・穀粒の選別に関する研究

牛　雨・南部　悟・高井宗宏
端　俊一・酒井憲司
(北海道大学農学部農業機械学講座)
(平成2年6月14日受理)

Grain-Straw Separation Using vertical Airstream

Yu NIU, Satoru NAMBU, Munehiro TAKAI
Shun-ich HATA and Kenshi SAKAI
(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

I. 緒　言

A. わら・穀粒の選別方法の発達および現状

わら・穀粒の選別方法は脱穀方式・生産量および工業技術の発達とともに変化し，発達して来た。古代エジプト，中国，ヨーロッパでの脱穀は，杵でつく・棒でたたく・牛や馬に踏ませるなどの方式が用いられ，日本では，主に杵つき脱穀法が採用されていた。これらの方法で脱穀した場合は，わら・穀粒の選別が少量の時を除いて，手作業でわらを天地返ししたり，放り上げによって穀粒を分離して回収した。さらに，回収された穀粒は自然風を利用してチャフ類などの軽い夾雑物を除去した。また，記録によるとBC200年頃中国ではすでに唐箕を利用して選別が行われていた。

近世になって，生産量の増大とともに生産の効率化が要求され，脱穀方式および選別方法も変化し，より効率の高いものになって来た。18世紀の中頃から20世紀のはじめにかけて，ヨーロッパ・アメリカを中心に回転式脱穀機，回転式選別機，振動式選別機，気流を導入した選別装置など多くの脱穀・選別機構が発明され，動力源も人力，畜力，水力，風力，内燃機関，電力と変化して来た。これらの選別機構と刈り取り機構を総合したものが普通型コンバインであり，これらの技術の集大成とも言える。一方日本においては，米の脱穀に適する回転脱穀機，逆V字形こぎ歯などが発明され，さらに唐箕，刈り取り部分を組み込んで日本独特の自脱型コンバインが生産され，利用されるようになった。

1930年代以後，北アメリカ・ヨーロッパ・オーストラリアなどの地方において，普通型コンバインの普及によって穀類の収穫が機械化され，わら・穀粒の選別はほとんど振動式のストローラック型選別装置を利用している。1960年代の後半になって，軸流型コンバインの研究開発が始まり，70年代の中頃から市販が始まった。現在これらの地方で利用されているコンバインは主にこの二つのタイプである[1)]。

日本では小規模な米作りが中心であるので普通型コンバインより自脱型コンバインを主流として普及し，1984年まで，バインダと自脱型コンバインによる水稲の収穫面積は作付面積の95%に達した[2)]。

B. 最近のわら・穀粒選別に関する研究動向

コンバインが発達する前の収穫作業は刈り取り，天日乾燥，脱穀，選別，乾燥貯蔵の順であり，わら・穀粒の水分を20%前後に乾燥してから脱穀作業を行うようになっていた。コンバインの出現によって，刈り取り，脱穀，選別が一度に行われ，脱穀する前の乾燥作業がなくなった。すなわち生脱穀が行われるようになった。これによって収穫作業が効率化したと同時に，気候による影響も少なくなった。しかし，生脱穀する時，わら・穀粒の水分が高いので，脱穀が難しくなり，わら・穀粒の分離も困難になった[3)]。

早期のコンバインの選別部分には主にストローラックが利用され，その選別性能はわら・穀粒の比率，水分，単位時間当たり処理量，わらの長さなどの外部因子によって左右され，これらの研究も早くから行われていた。最近の研究としてはB. H. Boyceら（1974年），W. B. Reedら（1974年），G. Wangら（1987年）などの研究が発表されている[4),5),6)]。

Boyceはコンバインを改造し，圃場作業においてコンケーブおよびストローラックの選別性能を測定し，穀粒の落下分布を明らかにした。同時にストローラック上方にあるカーテンの影響をも調べた。この報告によると，収穫される穀粒の60～80%がコンケーブで選別され，残った穀粒が排わらとともにストローラック上に排出される。ストローラック全体の選別効率は高い値を示すが，単位長さ当たりの選別率が低く，特に前端・後端での選別能力が低い。また，カーテンが選別能力を高める作用があることが判明した。

一方，W. B. Reedは脱穀シリンダとストローラック部分（4連）のみを取り出して実験室に設置し，実験を行い，単位時間当りのわら処理量，わら・穀粒比，わらの長さ，ストローラックの角度などによる選別性能への影響を調べた。わらの長さおよびストローラックの角度の変化（±10%以内）が選別性能に与える影響はあまり大きくないが，わら処理量およびわら・穀粒比が選別性能に大きく影響し，同一の選別率でのわら処理量はわら・穀粒比1.43の場合が1.0の場合の約半分である。同一のわら・穀粒比においては，穀粒の損失はわら処理量の増大とともに大きくなる。さらに，ストローラックの選別能率が次の式で表せると指摘した。

$$G_r=(G_o)\times(e^{-bL}) \qquad (1.1)$$

G_r： 穀粒の残存量

G_o： 穀粒の排出量（ストローラック上で）

L ： ストローラックの長さ

b ： 能力係数

この能力係数は単位時間当たりのわら処理量，わら・穀粒比，水分，作物の品種，ストローラックの形状によって決定される。能力係数が一定の場合は，この式を利用して，希望する選別率を得るためのストローラックの長さを予想することが可能になった。

G. Wangは軸流型コンバインのロータリ選別装置に関しても式（1.1）が成立することを確認した。

ストローラック，ロータリ選別装置に関する研究が行われると同時に，これ以外の方法によるわら・穀粒の選別に関する研究も行われた。その代表例としては，J. B. Uhlら（1966年），Paul W. Claarら（1974年），G. Seglerら（1977年）の研究がある[7),8),9)]。

J. B. Uhlはわら，穀粒の空気抵抗の違いに着目し，垂直の送風管の上昇気流中にわら・穀粒の混合物を投入して選別を試みた。この方法では穀粒損失なしにチャフ類の除去ができるが，わら類の除去には，穀粒損失を少なくするために，わらを切断する必要があった。大豆の場合，茎長15 cm以下で穀粒損失なしで選別ができ，小麦の場合，わら長10 cm以下で穀粒損失なしに94%のわらを分離することができた。

Paul W. Claarは水平な回転軸を持つロータを金網上に平行に6本設置し，ロータの回転によってわらを排出し，同時に穀粒を選別した。実験室では良い結果が得られた。

G. Seglerはストローラックの段差を利用して，気流の吐出口を設け，吹上気流の導入によってストローラックの選別能力の向上を図った。この報告によると，同一の穀粒損失率では，わら処理量を20%増大させることができた。

C. 本研究の目的

前述したように，普通型コンバインで主に使用されているわら・穀粒選別装置はストローラックである。ストローラックの後半では，わら層がマット状になり，穀粒の分離を妨げる傾向があると指摘されている[4)]。本研究はわらの排出を確実にすると同時に穀粒の選別を行うのが目的であり，わらを網コンベヤ上に乗せ，垂直気流の作用によってわら層を加振し，穀粒の分離を試みた。気流がわら層の間隙を通って層の上部まで作用するので，機械式加振よりも，層に対する圧縮作用が弱まり，マットが形成しにくく，選別部の全長にわたって，効率のよい選別が期待できる。また，垂直気流による加振を行うことによって，コンバイン全体の振動減少にもなる。本報はこの選別方法を利用する時のわら層の挙動，穀粒の選別パターン，気流作用回数による選別率への影響などに関する基礎的な実験について報告する。

II. 実験装置・供試材料および実験方法

A. 実験装置

Fig. 1は本研究の実験装置を示す。上の部分は選別室で，下の部分は送風装置である。選別室のサイズは，1000×400×300 mm（長さ×奥行き×高さ）で，両側に透明な樹脂板を有し，底は網目5 mmの金網になっている。送風装置はFig. 1に示したように，気流吐出口，空気タンク，ブロワおよび変速モータで構成されている。気流吐出口の大きさは40×450×50 mm（長さ×奥行き×高さ）で，50 mm間隔に8枚の整流板を設けている。金網までの間隔は70 mmである。空気タンクのサイズは900×700×500 mm（長さ×奥行き×高さ）で，気流吐出口ではほぼ均一に分布した気流が得られた。気流の速度は0～17 m/sの範囲で，変速モータによって無段階に調整することができ，最大静圧は165 mmAqである。気流吐出口の両側では長さ50 mm，奥行き400 mmのサンプリングトレイを前方7個と後方30個を設定した。

この送風装置は変速モータで駆動する台車上に固定され，長さ10 mのレールの上を，速度0～2 m/sの範囲で走行することができる。

分離された籾の量の測定はパーソナルコンピュータに接続した電子天秤によって行われ，得られたデータはフロッピーディスクに記録される。測定精度は1/100 gである。

B. 供試材料および実験方法

供試わらは，北大付属農場で，自脱型コンバインで収穫した，最大長が約80 cmの稲わらを用いた。普通型コンバインで収穫することを想定して，このわらの根元から30 cmを切り取り，残った穂先の部分に折れ目を作って，排わらとして供試した。わらを保存するため，一度自然通風乾燥させ，実験を行う前日スプレーヤを使ってわら全体を調湿したのち，密閉容器の中に10時間以上保存して，わらの水分を均一化したのち実験を行なった。調湿後のわら水分は約50%である。

前処理したわらをよく混ぜてから選別室内に均一な層状に投入した。垂直気流の風速は16 m/sに固定し，わらの投入量を500～800 g（4.5～7.2 t/m・h）の範囲内で100 g単位で変化させ，投入量による籾選別率への影響を調べた。収穫作業では，わら・穀粒比が圃場状態によって変化するが，1.0～2.0がほとんどである。わら・穀粒比を1.0として，穀粒の20～40%が排わらと一緒に脱穀部から排出されるとすれば，排わら中のわら・穀粒比は2.5～5になる。本実験においては，選別室中央部のわら層表面に長さ約10 cm，奥行き40 cmの範囲で着色した籾20 gを撒き，気流がわら層に作用するごとに，各サンプリングトレイで回収した籾の量を測定し，選別率と長さ方向についての籾落下分布を調べた。わら・穀粒比は2.5～4であった。供試した籾は種籾用に選別されたもので，千粒重は約24 gで，長さ，幅，厚さの平均値はそれぞれ7.00，3.28，2.34 mmである。わら層の動きによる選別率へ影響を知るために，わらの投入量を800 gにし，送風装置の移動速度は0.7，1.0，1.3 m/sに設定して実験を

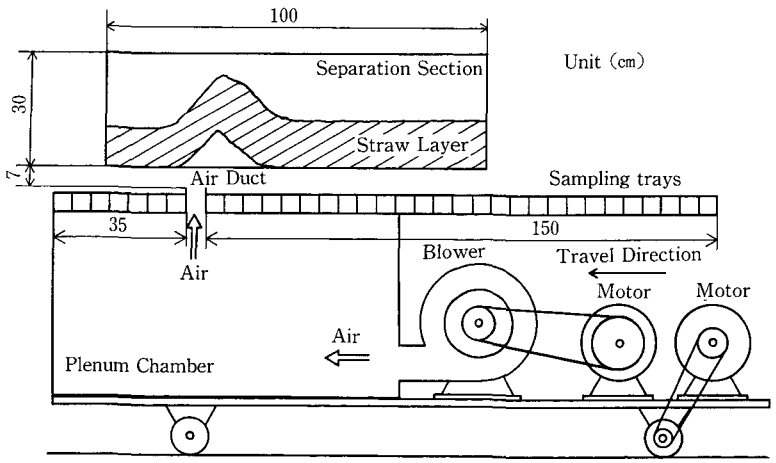


Fig. 1. Schematic Diagram of Separation System

行った。

わらの状態は籾の選別率・籾の落下分布に影響するので，同じ条件のもとで3回実験を行い，得られたデータの平均値を測定値とした。選別率は次式のように定義した。

$$\eta_s=\frac{G_s}{G_t}\times 100(\%) \qquad (2.1)$$

η_s： 穀粒選別率

G_s： 分離された穀粒の量

G_t： わら中に含まれる穀粒の量

一方，累積選別率は次式のように定義した。

$$\eta_t=\frac{G_{ts}}{G_o}\times 100(\%) \qquad (2.2)$$

η_t ： 穀粒累積選別率

G_{ts} ： 選別された穀粒の累積量

G_o ： 選別部に投入した穀粒の量

わら層の挙動を観察するために，選別室片側の樹脂板に1cm間隔の格子スケールを入れて，電子シャッタ付き8ミリビデオカメラによる撮影を行い，コマ送り再生で，わら層の動きを観測した。撮影時のシャッタ速度は，1/2000秒とした。

III. 実験結果および考察

A. わら層の挙動

Fig. 2にコマ送り再生により測定した選別室の中央のわら層の表面および底面の軌跡を示す。わらの投入量は800gで，送風装置の走行速度は1.0m/sである。Fig. 2で示すように，気流によってわら層

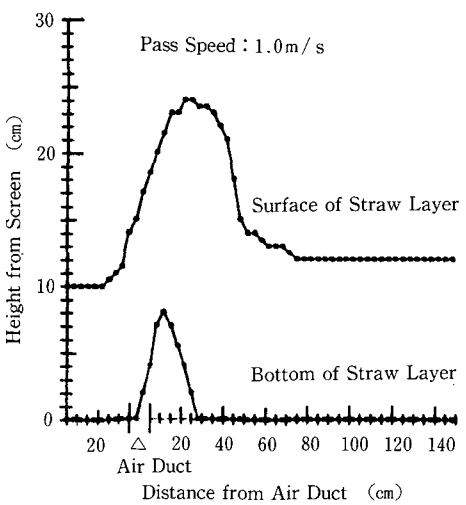
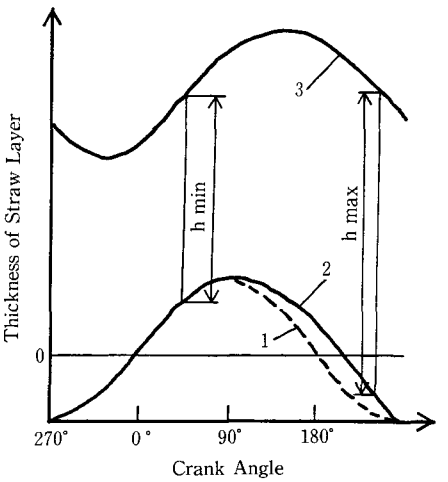


Fig. 2. Motion of Straw Layer



1:Straw walker's Surface
2:Bottom of Straw Layer
3:Surface of Straw Layer

Fig. 3. Motion of Straw Layer and Strawwalker[10]

を吹き上げる時，わら層の変位は気流吐出口の直前で表面から始まり，次第に底面に広がり，逐次膨軟になる。気流の吐出口を過ぎても，わら層は慣性力で上昇し続ける。ある時間を経過すると，底面のわらから落下が始まる。層内のわら間での相互作用および空気抵抗の作用によってわらの落下速度は底面より表面の方が遅くなっており，底面のわらが金網に戻る前後の時点でわら層全体が最も膨軟な状態になる。

Fig. 2に示したわら層の初期状態での厚さは10cmであるが，吹き上げられたのち落下後の厚さは12cmになっている。また，わら層が最も膨軟な状態での厚さは24cmで，初期状態の2.4倍に体積が増大しており，これは，わら間隙の増大を意味する。

Fig. 3はストローラックで選別する時のわら層の厚さの変化を模式的に示したものである。わら層は一体となってストローラックによって放り上げられる。放り上げられたわら層は落下過程に入ると，厚さ方向に膨張し，わら層の底面がストローラックに接触するまで膨軟な状態が維持され，この間で穀粒の分離が行われる。わら層がストローラック上に落下すると，ストローラックと一緒に運動し，接触してから再び放り出されるまでの間は圧縮作用を受け

るので，この間での穀粒の分離がほとんど行われない[10]。

一方，Fig. 2で示した気流による選別では，一個所で気流の作用を受けて吹き上げられる時，隣接するわらが内部摩擦力によってつり上げられ，Fig. 2のような曲線状となるので，長さ方向にわら層が伸張される。また，気流はわらの間隙を通って層内の厚さ方向全てのわらに直接作用し，わら層を厚さ方向に膨張させる。すなわち，わら層は厚さ方向だけでなく長さ方向にも膨軟になる。また，この選別方法を用いる時，ストローラックのような圧縮する段階がないので，膨軟化が効率よく行なわれ，穀粒が通過しやすくなる。わら層での曲線状の変形は垂直気流の移動とともに，波のように気流吐出口との相対位置を保ちながらわら層上を移動する。

B．籾の落下分布

Fig. 4に気流速度16 m/s，台車速度1.0 m/s，わらの投入量が800 gの場合の籾の落下分布を示す。籾の回収量は各サンプリングトレイでの累積回収量である。籾の分離は気流吐出口を過ぎて50 cm付近を中心にして，前後方30 cmの範囲で主に行われる。この範囲で回収した籾の量は気流の作用5回の時，籾回収量全体の約85～90%を占めている。また，この範囲はFig. 2のわら層が金網に落下している範囲に相当する。すなわち，わら層が気流の作用で膨軟になり，わら間の間隙が増大し，籾が通過しやすくなっていることを示している。籾の分離

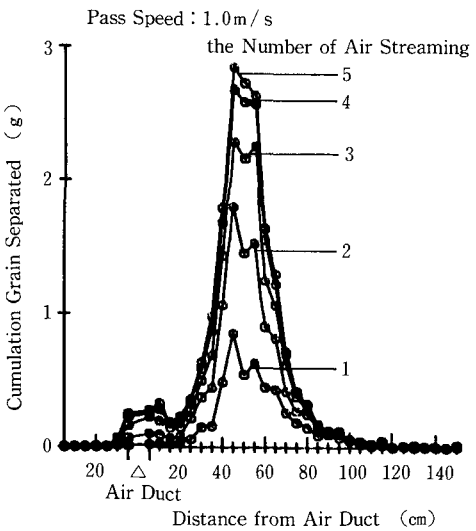


Fig. 4. Distribution of Grain Separated

はわら層の動きが停止すると同時に停止する。

また，籾の分離は気流吐出口の直前・直後でも行われ，わら層の表面が動き始まると同時に開始する。この範囲での籾の分離は主に2回目の気流作用以後に行われるので，1回目の気流作用で，金網とわら層との間または金網に近いわらの中に落下した籾がここで分離するものと考えられる。金網とわら層との間の籾は，気流の直接作用を受ける直前の層が長さ方向の膨軟化が始まる時に落下し，吐出口直前で回収されるが，吐出口の直後に回収される籾は，落下が遅れた金網近くの籾が落下する途中で気流の直接作用を受け，再び上昇して金網またはわら層に衝突し，跳ね返えされたものと判断される。それ以外の籾はわら層と一緒に上昇し，わら層が落下する過程で選別される。

わら投入量が500～700 gの時にも，Fig. 4とほぼ同様な落下分布を示すが，投入量が少ないほど，少ない気流作用回数で分離完了に近づく。

C．気流の作用回数による籾の選別への影響

Fig. 5にわらの投入量が500～800 gの時の籾の累積選別率の変化を示す。累積選別率はわらの投入量によって異なるが，同じ変化パターンを示す。気流作用回数の増加につれ，累積選別率は確実に100%に近づく。わらの投入量が500 gと少ない場合，気流作用回数3回で累積選別率が約95%に達するが，わらの投入量の増大につれ，籾の分離が困難になり累積選別率が低下する。特に，気流の作用回数が少ない時，投入量による籾の選別への影響は大きい。わらの投入量500 gと800 gの場合の籾の累積選別率の差は，初回の気流作用で，約25%であるが，3回目で約20%で，5回目では6%までに接近した。わら中の籾を分離するには，わら層の間隙を大きくすると同時に，わらと籾との間に，相対運動を発生させる必要がある。Fig. 1で示した実験装置は，わら層の間隙を大きくするには有効であるが，わらと籾とを相対運動させる機能が不足であると思われる。よって，わらの投入量が少ない場合は，わら層が薄く，籾が通過しやすいので，2～3回の気流の作用で90%以上の累積選別率が得られるが，わらの投入量が多くなると，籾が厚いわら層を通過するには，わら層の間隙を大きくするのみでは不十分であり，籾とわらとの間に相対運動を起こすためのエネルギーが必要となり，気流の作用回数がより多く必要となる。本研究においては，わらの

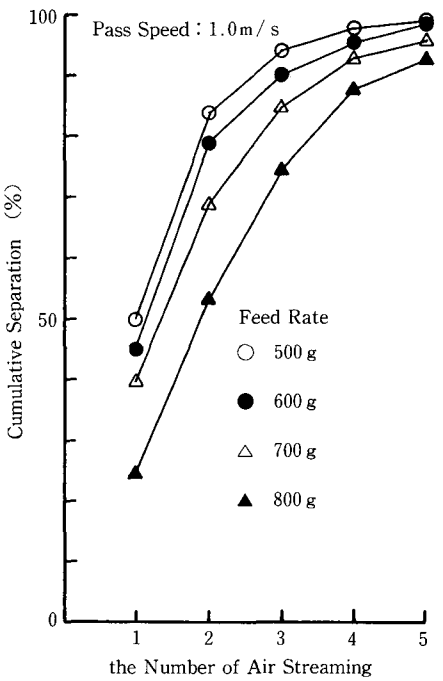


Fig. 5. Effect of Straw Feed Rate on Separation

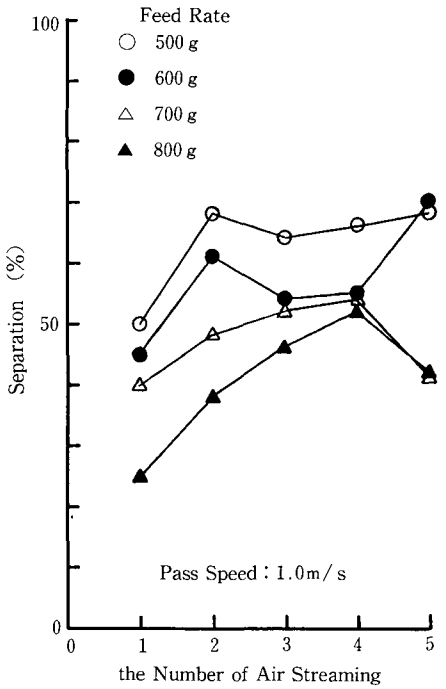


Fig. 6. Effect of the Number of Air Streaming on Separation

投入量 800 g の場合，3 回の気流作用では籾の累積選別率が 75%と低いが，気流を 5 回作用させると，累積選別率は，わらの投入量が 500 g の時 99%，800 g の時 93%といずれも高い選別率を得ることができた。

気流の作用回数による籾の選別率の変化を Fig. 6 で示す。一般に垂直気流作用回数の増加にしたがって選別率は増大する傾向があり，その増大の様相はわら投入量に影響されている。わらの投入量が 500，600 g と少ない時には，初回の気流作用によるわら層の膨軟化が著しいため，2 回目の選別率が急増するが，その後はほぼ一定となっている。わらの投入量が多くなると選別率が気流作用回数 4 回まで増大する傾向を示した。すなわち，垂直気流による加振方法では，わら層がマット状にならないことを示している。わらの量によって、層の間隙には増大の限界があり，投入量が少ない場合は，一回の気流作用で限界に達するが，投入量が多くなると，間隙の増大限界に達するまでの気流作用がより多く必要となると考えられる。

D. 台車走行速度による籾選別への影響

本実験装置を用いて，わら・穀粒の選別を行う場合，わら層の挙動が選別率に大きく影響すると考えられる。わら層の動きに影響する要因は，わら層の状態，すなわち，わらの投入量，長さおよび水分である。またわら層の状態を一定にすると，気流の風速，作用時間が選別率に影響する。Fig. 7 はわらの状態と気流の風速が一定の時，気流の作用時間，すなわち，台車走行速度を変化させた時の籾の落下分布の変化を示す。Fig. 7 の縦軸に示している籾の回収量は気流作用 5 回での累積回収量である。籾の落下分布は台車速度が速くなるにつれて，最大値が小さくなり，その位置は気流吐出口から離れて行き，分布範囲が広くなる。一方，台車速度による籾の選別率の変化は Fig. 8 で示す。台車速度 0.7 m/s と 1.0 m/s の場合を比較すると，籾の累積選別率は両者とも約 90%とほとんど差はないが，台車速度が 1.3 m/s になると，5 回での累積選別率は約 83%と低下する。籾累積選別率の変化においては，前者が 3 回目の気流作用までほぼ直線的に増大するに対して，後者は 4 回目まで直線的に増大する。

前述したようにわら・穀粒の選別にはわらの間隙

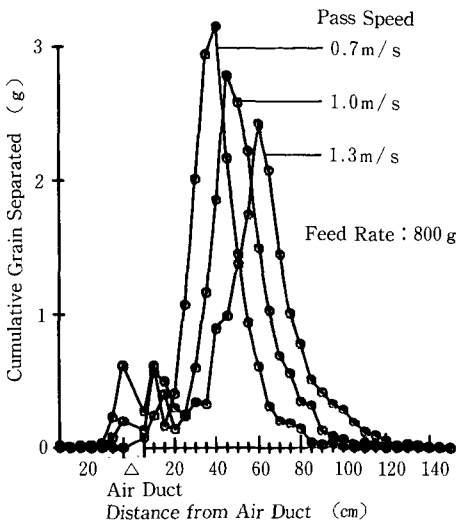


Fig. 7. Effect of Pass Speed on Distribution of Grain Separated

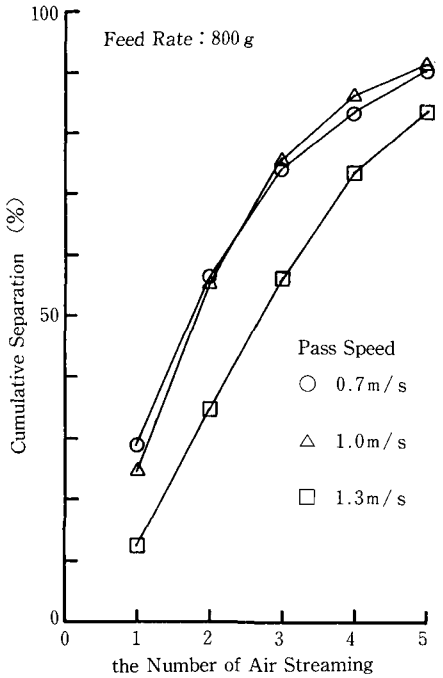


Fig. 8. Effect of Pass Speed on Separation

を大きくすると同時に，わらと穀粒との間で相対運動をさせる必要がある。本選別装置では，わら層を変形させることでこの相対運動を起こさせている。Fig. 2 で示したように台車速度が 1.0 m/s の時，わら層は大きな変形を受けているが，台車速度が 1.3 m/s になると，気流がわら層上の一点に作用する時間が短くなり，隣の点への移動が速くなる。よって，わら層の変形はなだらかな台形になり，隣接 2 点にあるわら間の相対変位量と変位時間が短くなり，長さ方向における変形が不十分になる。よって，籾がわら間を通過できる間隙の存在時間が少なくなり，籾の選別率において差が現れた。

IV. 選別のメカニズムおよび選別理論

A. 選別のメカニズム

脱穀部から排出されるわらの中には収穫された穀粒の 20～40%がささり粒の形で含まれている[3]。このささり粒を分離するにはわら間の間隙を大きくすると同時に何らかの形でわらと穀粒との間に相対運動を発生させる必要がある。すなわち，わら・穀粒の動きの違いを利用して，穀粒の分離を行うわけである。本研究に用いた選別方法は一種の篩分けとして考えられる。すなわち，わら自体が篩の網を構成するワイヤで，間隙が網目部分に相当する。この網目が不規則かつ立体的に分布しているので，穀粒がわら層を通過するためには垂直，水平両方向の移動が要求される。よって，わら層の厚さが選別率に大きく影響する。

気流の作用によってわら層が上昇，変形，落下し，間隙が大きくなり，わら同士の相対運動が生じ，これによってわらと穀粒との間のバランスが崩れ，わら・穀粒同士も相対運動が生じ，穀粒が分離される。特に，わら層の底面が金網に接触した直後は，わら同士の相互作用で，層全体が垂直方向に急減速される。このとき穀粒は，慣性力と重力の作用で落下を続け，わら層を通過することになる。

III. A で述べたように，わら層内の間隙の増大は進行方向と厚さ方向の 2 方向において行われるが，その増大の過程は次のように考えられる。

1. モデルその 1

わらが気流吐出口に平行な場合は，垂直気流の作用で垂直に上昇する。隣接のわら同士が垂直気流の作用を受けるタイミングが異なる時，上昇過程において高度差が生じ，間隙が増大する。Fig. 9 はわら層の厚さがわらの直径に等しい場合，すなわち単層の場合に，垂直気流の作用を受ける時の様子を示す。この場合の間隙の増大は気流吐出口の進行方向

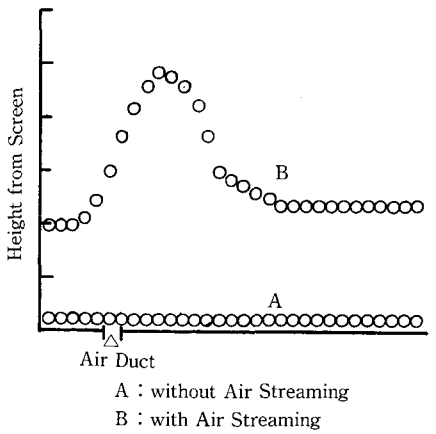


Fig. 9. Model of Straw Motion 1
Straw is placed longitudinally to the Air Duct

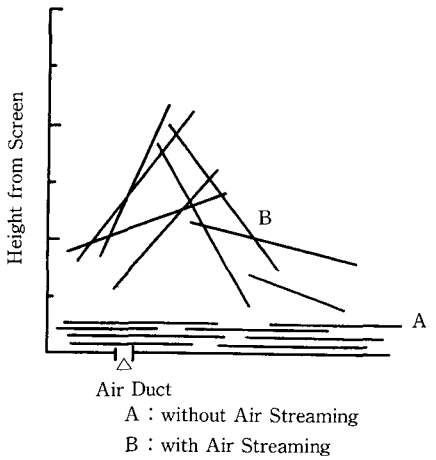


Fig. 10. Model of Straw Motion 2
Straw is placed perpendicular to the Air Duct

に対して起こる。上昇する前では接触しているわら同士が上昇・落下過程においては，互いに離れるようになった。わらが上昇する過程では，垂直気流の作用と空気抵抗力を受け，落下する過程では，重力の作用と空気抵抗力を受ける。したがって，垂直気流の速度によって，わらの上昇加速度が異なり，最高点の左右のわらの軌跡も異なる。

2. モデルその2

わらが気流吐出口に垂直な場合は，わらの一部分が気流の作用を受けることになる。わらが気流の作用を受ける位置によって上昇する姿勢が異なり，平行に並んでいたわらに相対的な角度が生じ，接触する部分が線から点に変わり，間隙が生じる。Fig. 10 にそのパターンを示す。この場合の間隙の増大は進行方向と厚さ方向の両方に起こる。

実際の場合はわらの向きが不規則で，わら同士が絡み合って，互いに作用し，上昇するパターンはさらに複雑である。わら層が落下してもわら層の内部摩擦力によって，わらがもとの位置に戻るのが妨げられ，一度増大した間隙が完全に初期状態に戻ることなく，わら層の厚さが増大したままの形となる。

わら層の上昇高さ，変形の形状はわらの状態，垂直気流の速度，作用時間，すなわち，気流吐出口幅，台車速度によって左右される。選別率を高めるには最適の選別条件を見出す必要がある。また，気流作用回数を増やすことによって累積選別率を高める方法もある。気流作用の効果を上げるためには，穀粒の落下分布の中心を気流吐出口に近づけ，範囲がもっと集中するような分布が望ましいと思われる。

B. 選別理論

前述したようにわら層は一種の立体篩と考えることができ，選別率は穀粒がこの立体篩を通過する確率で評価することができる。篩分けのメカニズムを解析するには最もよく用いられるのがゴーダン確率である。ゴーダン確率は次のように定義されている。

$$P_1 = \frac{I_0}{I} \qquad (4.1)$$

P_1： 粒子の通過確率
I_0： Fig. 11 中の斜線部分の面積
I ： 網目の面積
R ： 粒子の半径

P_1，I_0，I，R はそれぞれ穀粒が選別される確率，穀粒通過可能の面積，単層のわら層の間隙面積，穀粒の等体積球の半径に相当する。

わら層が一定の厚さを有する場合，L_n 個の単層が重なっていると考えることができる。わら層の間隙の分布が不規則であるので，重ねることによって表面から底面までの穀粒通過可能面積 I_0 および間隙面積 I は同時に減少する。ただし，穀粒の通過可能面積 I_0 は間隙面積の直径が穀粒の直径より大きい場合のみ存在するので，わら層が厚くなることによって，I_0 の減少率が I の減少率よりはるかに大き

いことになる。もし，各層が密着している場合，すなわち，わら層の垂直断面に間隙がない場合，わら層が厚くなるにつれ，穀粒の通過は極めて困難になる。各層間に十分な距離があり，穀粒の水平方向の移動に支障がない場合，穀粒が選別される確率は次の式で求められる。

$$P_{Ln}=k_t P_1^{Ln} \qquad (4.2)$$

P_{Ln}：わら層が L_n 個単層に分ける時穀粒選別される確率

L_n：単層数

k_t：わら層厚さによる通過確率減少係数

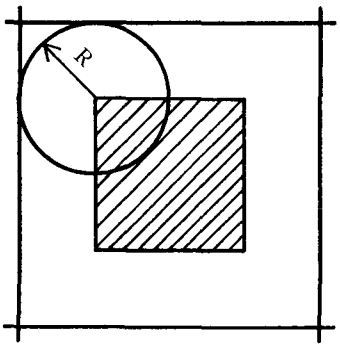


Fig. 11. Gaudin's Probability

すなわち，穀粒が一回の試行で，L_n 枚の篩を通過することに相当する。実際には，各層間の間隙の大きさがわらの状態によって変化するので，穀粒の水平移動に支障が生じ，穀粒の通過確率は P_{Ln} より小さい値になる。

式(4.1)，(4.2)でわかるように穀粒の通過確率，すなわち，穀粒が選別される確率を高めるには，わら層の間隙を大きくして，通過可能面積 I_0 を増大させることと，わら層を振動させ，試行回数を増やすことが必要である。

この基礎実験に用いられた選別方法は主にわら層の間隙の増大による穀粒の通過率を高める方法で，わら層を振動させる機能がストローラックと比べると不十分である。わら層を加振する機能を付加することによって，さらに選別率を高めることができると思われる。

今回の実験は稲わらと籾を用いて，わら水分50%で行われて，90%以上の選別率が得られた。わらの水分が低い状態では気流の作用でわら層が膨軟になりやすいと思われ，わら水分を下げることによって選別率が高められると思われる。

V. 摘　　要

底面に金網を有する選別室に，稲わらを層状に入れ，選別室底面から集中した垂直気流を間欠的に当てて，わら層内のささり粒を分離する新しい穀粒選別装置を開発した。本装置は，送風装置を選別室の下面に沿って走行させることにより間欠気流を得ている。

この選別方法によるわら・穀粒の分離はわらの状態，投入量，気流速度，気流の作用時間によって選別率が大きく左右されると思われる。わら層が気流の作用を受ける時，わら層の挙動およびわらの投入量，気流の作用時間による選別率への影響を検討した結果をまとめると次のようになる。

1）わら層が気流の作用を受ける場合は，わら層の変形が表面から始まり，圧縮されずに上昇し，曲線状になる。わら層の膨張は長さ方向と厚さ方向に発生し，2次元的に膨軟になる。わら間の摩擦力および空気抵抗の作用により，わら層の底面が金網に落下する直前でわら層は最も膨軟になる。

2）籾の分離はわら層の変形と膨張によって発生し，気流吐出口の前後で行われる。吐出口の前では金網とわら層の底面にある籾が選別され，その量は少ない。大部分の籾はわら層が膨軟な時，すなわち，わら層が下降する際に分離する。籾の分離はわら層の変形とともに始まり，わら層の動きが停止すると終了する。

3）籾の選別率はわらの投入量および気流の作用回数によって異なる。わらの投入量が少ない場合はわら層が薄いため，籾は分離されやすく，気流の作用が少数回で，高い選別率が得られるが，わらの投入量が多くなるとわら層が厚くなり，気流の作用回数がより多く必要とされる。気流の作用5回での籾選別率は，わらの量が500 g と800 g において，それぞれ99%と93%で，高い選別率が得られた。

4）気流の作用時間によって，わら層の変形程度が異なり，籾の選別率も変化する。送風装置の走行速度が0.7 m/s および1.0 m/s の場合は，わら層の変形が似ており，籾の選別率も同じ変化を示す。速度が1.3 m/s になるとわら層の変形が異なり，籾の選別率も低下した。よって，気流によるわら層の形状が籾の分離に適しているのは速度が1 m/s 付近の時であった。

引用文献

1. 江崎春雄： 穀類収穫機グレーン・ハーベスタ，（株）イセブ，21-70, 1986
2. 同上，16.
3. 鎮江農業機械学院主編，松居勝広訳： 農業機械学（下），北海道大学農学部農業機械専攻課程プラウ会事務局内出版記念事業会，**99**, 174. 1986
4. BOYCE, B. H., PRINGLE, R. T. and WILLS, B. M. D.: The Separation Characteristics of a Combine Harvester and a Comparison of Straw Walker Performance. J. A. E. R., **19**: 77-84. 1974
5. REED, W. B., ZOERB, G. C. and BIGSBY, F. W.: A Laboratory Study of Grain-Straw Separation. Trans. of ASAE., **17**(3): 452-460. 1974
6. WANG, G., ZOERB, G. C. and BIGSBY, F. W.: A New Concept in Combine Separation Analysis. Trans. of ASAE., **30**(4): 899-903. 1987
7. UHL, J. B. and LAMP, B. J.: Pneumatic Separation of Grain and Straw Mixtures. Trans. of ASAE., **9**(2): 244-246. 1966
8. Claar II, P. W. and Porterfield, Jay G.: Rotary Straw Walker Performance. Trans. of ASAE., **17**(5): 830-832. 1974
9. SEGLER, G. and FREYE, T.: Vibro-pneumatische Trennung von Stroh, Korn und Spreu im Mähdrescher. Grundl. Landtechnik. Bd. **27**(4), 101-108, 1977
10. 3. と同じ，171-173

Summary

1. A new grain-straw separation system was developed and the separating performance was investigated in this paper. Grain-Straw Mixture were spreaded on a screen in a certain depth.

In this system, the layer of Grain-Straw Mixture was disturbed and loosened by an air stream introduced from the bottom air duct. As the mixture was loosened enough, the grains were dropped down through the screen and separated from the straws.

2. The most amount of grain was separated at the behind of the air duct. The less amount of grain sitting on the screen was separated at the front of the air duct.

3. The separation ratio of grain was affected by the feed rate and the number of air streaming. Necessary number of air streaming increase, as the feed rate was larger. When the layer was disturbed by 5 times air streaming, the separation ratio was 99% and 93% for feed rate of 500g and 800g respectively.

4. The air streaming interval affected the separation ratio. There was no significant ratio for pass speed of 0.7m/s and 1.0m/s. However, the separation ratio for 1.3m/s was much smaller than that of the others.