

# ビールオオムギの脱穀過程における発芽障害に関する研究 (2)

誌名	岐阜大学農学部研究報告 = Research bulletin of the Faculty College of Agriculture Gifu University
ISSN	00724513
著者	三輪, 精博 小林, 一 小川, 三良
巻/号	48号
掲載ページ	p. 221-231
発行年月	1983年12月

ビールオオムギの脱穀過程における発芽障害に関する研究 第2報

高速度写真による脱穀状況の観察

三輪精博・小林 一・小川三良\*

作業機械学研究室

(1983年7月28日受理)

On the Damage upon Germination of the Malting Barley  
at the Threshing Time (2)

The Observation of the Threshing State from  
the Photograph by a High-Speed Camera

Yoshihiro MIWA, Hajime KOBAYASHI and Mituyoshi OGAWA\*

*Laboratory of Agricultural Equipment and Machinery*

*(Received July 28, 1983)*

**SUMMARY**

The steel cylinder cover and the steel side plate of a thresher were replaced with those made of colorless, transparent, acrylic resin. A photograph of the inside of the thresher by high-speed camera was made to measure the velocity and to observe the orientation of the flying malting barley grains.

(1) Flying orientation and velocity of grains

The results of observation of the high speed films coincided with the results of density distribution curve of the collision in the preceding report. The orientation of the flying grains were divided into two main cases, that in which the grains are struck by threshing teeth and then fly straight, the other in which the grains fly along inside the cylinder cover and then collide with the elevated portion on the cover.

Average flying velocity increased linearly with the peripheral velocity of the cylinder. Perpendicular components of collision velocity of grains on the part of great curvature form of cylinder cover are larger than on the other parts.

(2) Flying orientation and the collision orientation

The majority of grains revolved on the long axis or short axis of the kernel and flew in the threshing chamber. And the collision orientations are classified, as (a) direct frontal collision, (b) angle collision and (c) revolving collision. Most grains collided with the cover with combinations of (a), (b) and (c) orientations.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (48) : 221-231, 1983.

---

\* ヤンマー農機株式会社 (Yanmar Agricultural Equipment Co. Ltd.)

## 要 約

脱穀機内部での脱粒時のこぎ歯と麦粒の衝突状態および麦粒の覆蓋に対する衝突状態を把握して、衝突時の速度、姿勢、衝突部位等と傷害との関係を調べるために高速度カメラにより脱穀機内部の撮影を行った。

### (1) 飛行軌跡と飛行速度

高速度フィルムによる観察結果と、前報<sup>1)</sup>のカーボン紙による衝突分布測定の結果とはよく一致しており、こぎ室内を飛行する麦粒はこぎ歯に打たれて直線的に飛行し覆蓋に衝突する場合と、覆蓋の曲面にそって飛行している場合とに大別される。こぎ胴周速度の増加にともない平均飛行速度は大となる。覆蓋の曲率の大なる形状の部分に衝突するときの衝突速度の覆蓋への垂直成分は、他の部分にくらべて大なることが明らかとなった。

### (2) 飛行姿勢と衝突姿勢

大部分の麦粒は回転しながら飛行しており、長軸あるいは短軸を回転軸とした場合と、それらが組合わされた場合とに大別される。量的には後者のように重心を中心として種々複雑な姿勢で回転している場合が多く観察された。また衝突姿勢を、(a)正方向衝突、(b)斜方向衝突、(c)回転衝突、と名づけた。その結果(a)、(b)それぞれに(c)が組合わされた姿勢で衝突しているものが多く観察された。麦粒が回転している場合、長軸と短軸の長さの割合から長軸の先端が打たれて短軸を回転軸とする場合が多く、背腹よりも基部あるいは頂部の部分がより多く衝突すると考えられ、この傾向は、こぎ胴周速度が大となり、麦粒の飛行速度が大になったとき顕著にみられた。

### (3) こぎ歯による脱粒機構：特に穂および茎の振動について

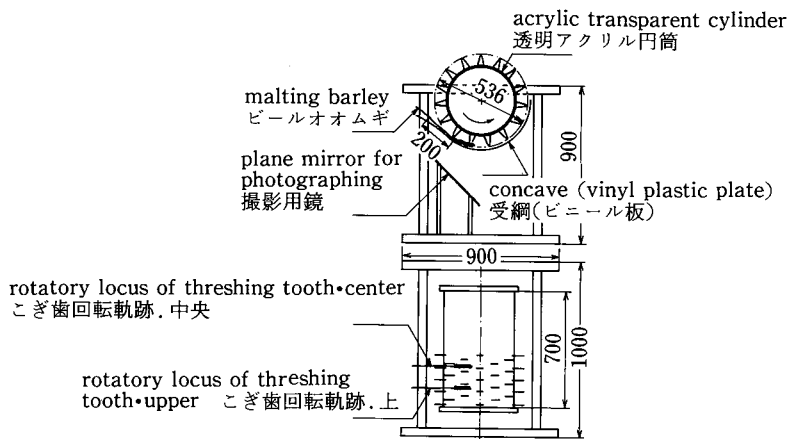
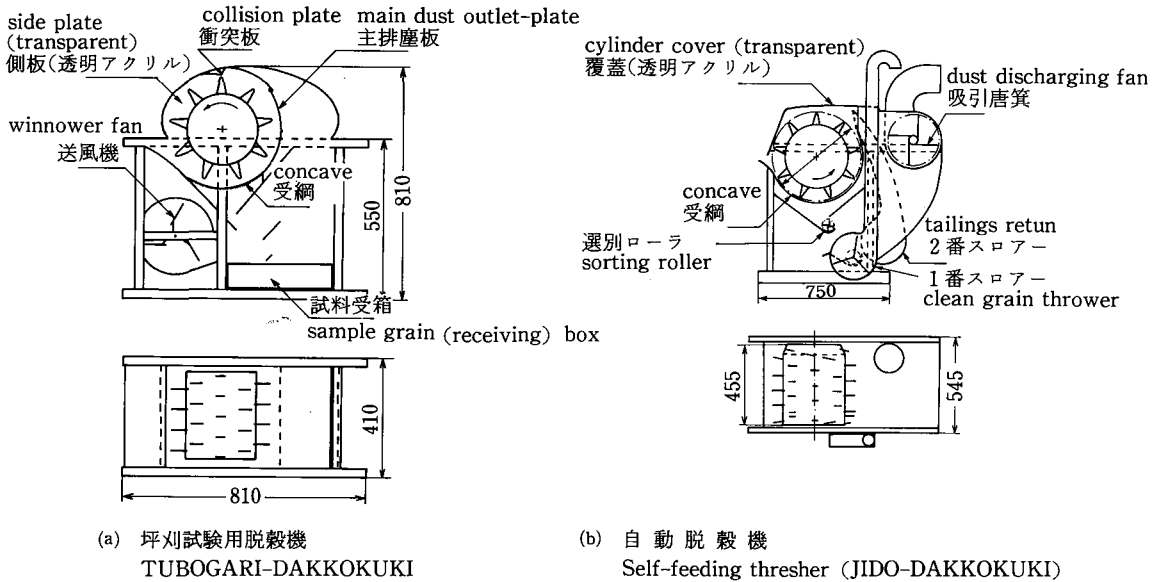
穂および茎ともそれぞれ短周期の振動をしながら、全体としては長周期の振動を繰返していることがわかった。また互に連成振動を行っていることも示している。また振動初期においては穂の振動数、振幅はともに小であり、穂と茎はほとんど同相である。つぎに時間が経過するにつれて位相差は大となり、穂と茎は弓状に曲がりながらこぎ歯に接触しつつ振動し、ちょうどしごかれるような状態で脱粒が始まる。このことがいわゆる「抜く」という作用であると思われる。

## 1 はしがき

前報<sup>1)</sup>の実験結果より脱穀時に発生する不発芽粒の多くは覆蓋への衝突、こぎ歯による打撃によって麦粒の胚芽部に何等かの損傷が発生したことによると考えられ、この損傷は覆蓋へ衝突するときあるいはこぎ歯の打撃によって脱粒するときの衝突部位、または打撃部位とその速度が大きく関係するものと考えられる。庄司<sup>2)</sup>らおよび江崎<sup>3)</sup>らは高速度カメラにより脱穀機内を撮影し上記関係を解析しているが、筆者らは自動脱穀機と坪刈試験用脱穀機の内での脱粒時のこぎ歯と麦粒の衝突状態およびこぎ室内を飛行後、麦粒が覆蓋に衝突する状態を把握して、衝突時の速度、姿勢、衝突部位と傷害との関係を調べるとともに、脱穀機構を明確にするために高速度カメラにより脱穀機内部の撮影を行った。

## 2 実験装置および方法

脱穀中のこぎ室内における麦粒の衝突状態を高速度カメラにより撮影し、衝突速度、衝突姿勢、飛行軌跡を調べるために、坪刈試験用脱穀機と自動脱穀機の覆蓋部と側板を透明アクリル板を用いて張替えた。第1図(a)、(b)にそれらの概略図を示した。実験にあたって、坪刈試験用脱穀機ではこぎ室全面、排塵板附近、衝突板、こぎ口の上側覆蓋部分を脱穀機側方から撮影した。自動脱穀機ではこぎ室全面、覆蓋部分、1番スロウ、スクリュウコンベアを脱穀機側方から撮影するとともに、覆蓋部分を上方から撮影した。使用束数は各撮影毎に3束用い、こぎ胴周速度を450、540、630、720、810m/minの5段階に変化させた。つぎに第1図(c)に示すようにこぎ歯による脱粒作用を撮影するために、厚さ10mm、直径400mmの透明アクリル製円筒に自動脱穀機用逆V字形こぎ歯(高さ68mm、脚の開き40mm)を坪刈試験用脱穀機のこぎ歯配列にしたがってこぎ歯の回転軌跡間隔24mm、らせん植に取付けた。受網として図のように厚さ3mmの透明ビニール板をこぎ歯と



第1図 供試脱穀機概略図

Fig. 1. Plan and side view of test thresher.

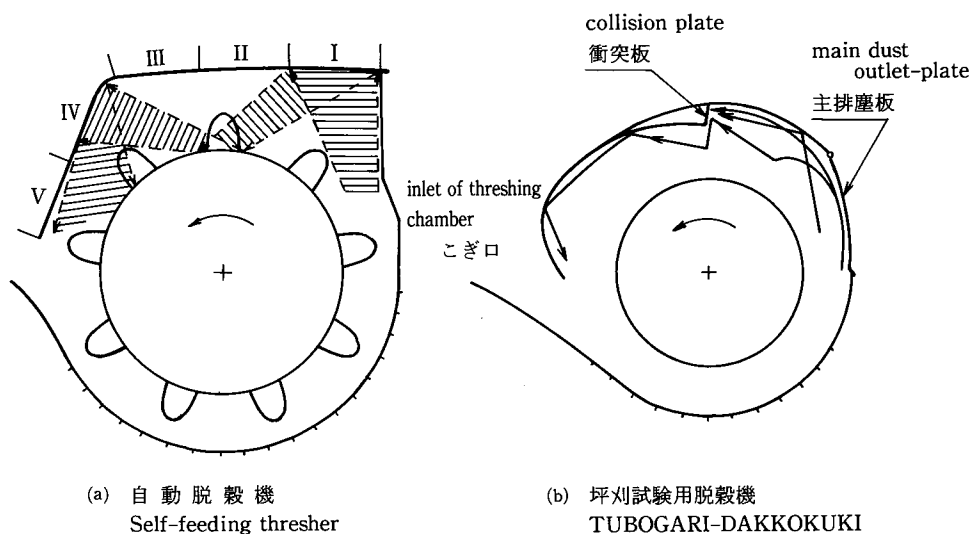
の間隔5mmにて取付けた。実験にあたっては図のように1穂を穂首より20cmの位置で保持し、相隣るこぎ歯回転軌跡間の中央と回転軌跡上にそれぞれ挿入して下こぎ法で脱穀を行い、その状態を高速度撮影した。撮影機は日立製 HIMAC-16HB 形高速度撮影機で、レンズは NIKKOR-AUTO F2.8,  $f = 35\text{mm}$ と同じく  $F1.2$ ,  $f = 55\text{mm}$ を用いた。フィルムはサクラ16mm, High Speed Negative Film, ASA320である。その機構は電動機により駆動するとともに、Timing Generatorにより1/1000秒毎のタイマーをフィルム面上に記録することができる。撮影にあたっては500Wのランプを8~11個用いて照明し、撮影駒数を毎秒200~300駒に調節した。高速度撮影したフィルムの解析にはFilm-motion F-706(川辺電子製)を使用した。この装置は1~10駒の駒送りおよび連続映写ができる。これによりフィルムを映写観察するとともに2, 3駒毎の像をトレースすることにより、脱穀機内を飛行する麦粒の飛跡、飛行速度、飛行姿勢、衝突

姿勢およびこぎ歯による脱穀時の穂と茎の振動状態、脱粒作用、穂切れ状態などを調べた。

### 3 実験結果および考察

#### (1) 飛行軌跡と飛行速度

高速度撮影したフィルムの観察により、自動脱穀機と坪刈試験用脱穀機のこぎ室内における麦粒の代表的な飛跡を第2図に示したが、これは覆蓋の形状により異なることはいうまでもない。自動脱穀機では図中に斜線にて示したように、こぎ胴の回転により受網方向から飛行してきた麦粒は、覆蓋Iの位置に衝突し反発された後、回転するこぎ歯あるいはこぎ胴面によりはね飛ばされて再び覆蓋IVの位置に衝突する場合が非常に多いことがわかる。しかしこれらの観察も透明アクリル板附近の表面観察であることに注意する必要がある。また後述の麦粒の飛行速度の測定もアクリル板近傍の麦粒に対するものであることを予めこたわっておく。



(a) 自動脱穀機  
Self-feeding thresher

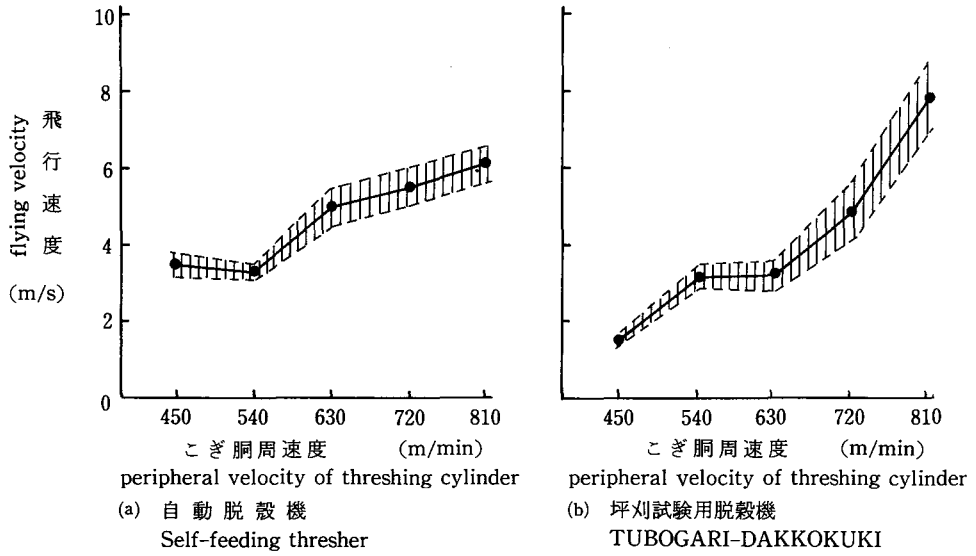
(b) 坪刈試験用脱穀機  
TUBOGARI-DAKKOKUKI

第2図 脱穀機内における麦粒の飛跡

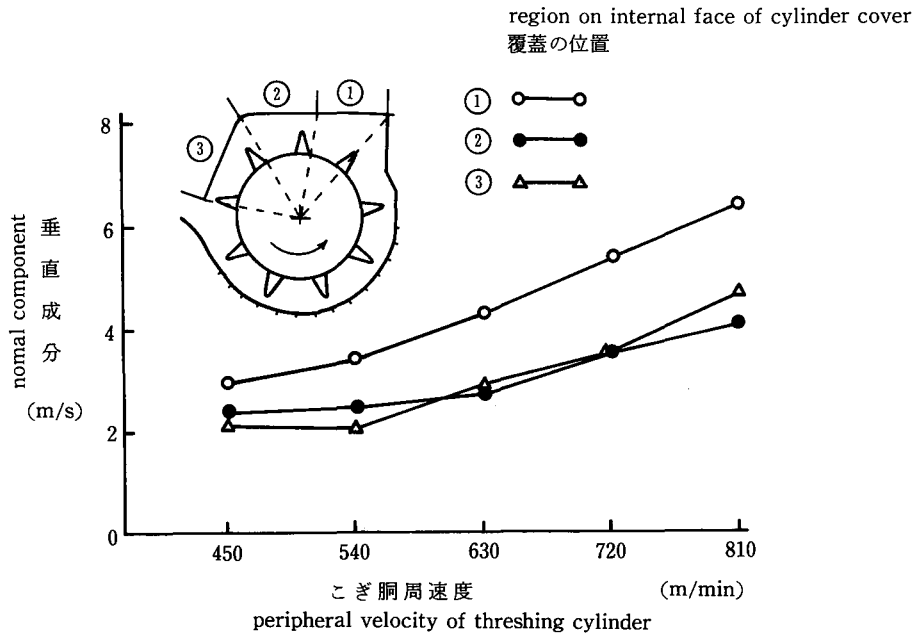
Fig. 2. Flying locus of grains in threshing chamber.

坪刈試験用脱穀機では、第2図(b)中に矢頭を付けた実線で示したように、大部分の麦粒は主排塵板下方から覆蓋にそって飛行し、ほとんど衝突板に衝突して落下し、再びこぎ歯により弾じき飛ばされたり、回転するこぎ胴面によりはね飛ばされたりしてこぎ口上部の覆蓋に衝突する場合が非常に多いことがわかった。このフィルムによる観察結果と前報<sup>1)</sup>のカーボン紙による衝突分布の測定結果とはよく一致しており、特に自動脱穀機の覆蓋部IあるいはIVの部分に対しては、飛行してきた麦粒はほぼ垂直にしかもかなり集中して衝突していることが明らかとなった。第2図に示したような飛跡を描いてこぎ室内を飛行する麦粒は、こぎ歯に打たれて12~16m/sの速度で直線的に飛行し覆蓋に衝突する場合と、覆蓋の曲面にそって2~3m/sの速度で飛行している場合とに大別される。そこで麦粒の飛行速度の平均値とこぎ胴周速度との関係を第3図(a), (b)に示した。図中の点線は平均二乗誤差の幅を示す。自動脱穀機および坪刈試験用脱穀機ともこぎ胴周速度の増加にともない、平均飛行速度は大となる。自動脱穀機では、こぎ胴周速度450m/minにて平均飛行速度3.5m/sであり、810m/minにて6m/sとなる。坪刈試験用脱穀機では、こぎ胴周速度450m/minにて平均飛行速度2m/s以下であり、810m/minで8m/sになる。

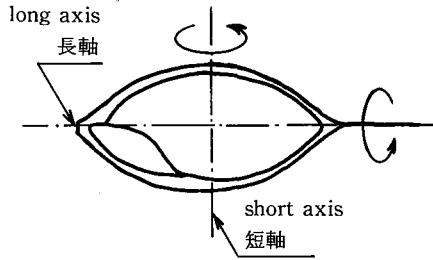
自動脱穀機について、第4図中の左上に示したように覆蓋を①, ②, ③の3部分に分けて麦粒が覆蓋に衝突するときの衝突速度の覆蓋内面に対する垂直成分を第4図に示した。図より覆蓋①の部分に衝突するときの衝突速度の覆蓋面への垂直成分は、他の部分にくらべて1~2m/s大なることが明らかとなった。



第3図 こぎ室内の平均飛行速度  
Fig. 3. Mean flying velocity of grains in threshing chamber.



第4図 覆蓋各部に対する衝突速度の垂直成分  
Fig. 4. Relation between peripheral velocity of threshing cylinder and normal component of collision velocity of grain on three region on internal face of cylinder cover.

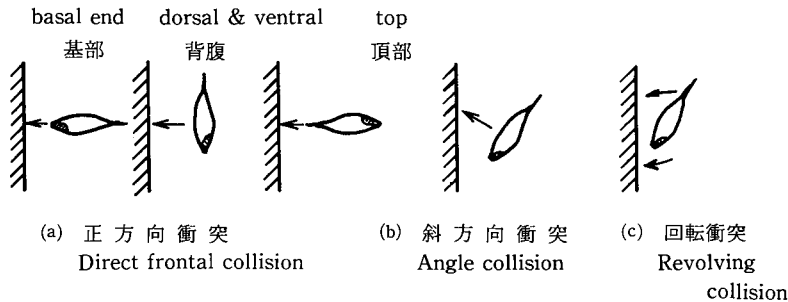


第5図 麦粒の回転  
Fig. 5. Revolution of grain

このことから、麦粒には覆蓋①の部分に衝突するとき他の部分に衝突するときよりも、不発芽粒が発生しやすいと推定される。

(2) 飛行姿勢と衝突姿勢

飛行姿勢に関して、須藤<sup>4)</sup>は麦粒の形状が流線形に近く、さらに外面の突起体が芒の方向を向いていることから、麦粒がどのように回転していても、飛行距離が50cm以上になると、重心に近い基部を先端として飛行するようになり、特に芒がついたままの麦粒は基部を先端として飛行としている。しかし筆者等が高速度撮影したフィルムによって観察したところ、麦粒がこぎ歯で打たれた後、直線的に飛行する場合、あるいは覆蓋によって飛行する場合におい



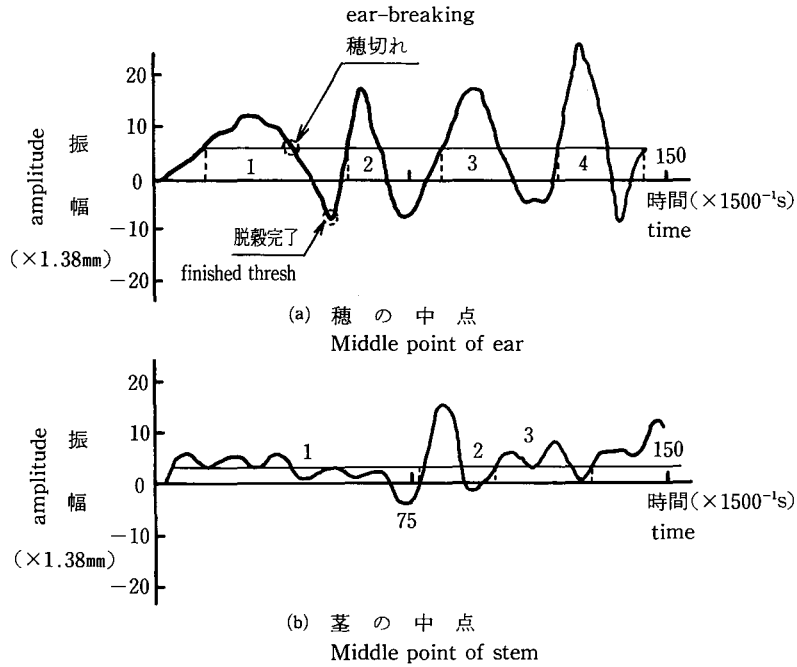
第6図 衝突姿勢

Fig. 6. Collision orientation of grain.

ても大部分の麦粒は回転しながら飛行しており、前記のように基部を先端にしている場合や、頂部あるいは背腹を先端にして一直線に飛行している場合は極めて少なかった。このことは、筆者等が供試した脱穀機内における直線軌道の飛行距離が最大でも約25cmと短いことと、こぎ歯の打撃により麦粒に与えられる偶力が大きいことによるものと考えられる。この麦粒の回転は、第5図に示したように、長軸あるいは短軸を回転軸とした場合と、それらが組合わされた場合とに大別されるが、量的には後者のように重心を中心として種々の複雑な姿勢で回転している場合が多く観察された。さらに麦粒が覆蓋に衝突するときの姿勢を高速度撮影フィルムにより観察分類したものを第6図に示した。それぞれの衝突姿勢を(a)正方向衝突、(b)斜方向衝突、(c)回転衝突と名づけた。(a)正方向衝突は自動脱穀機の覆蓋部分IとIVあるいは坪刈試験用脱穀機の衝突板のように、麦粒が覆蓋面に垂直に衝突している場合であり、最も傷害が発生しやすいと考えられる。(b)斜方向衝突は、自動脱穀機ではI、IVを除く他の部分で、覆蓋の曲率がゆるやかに変化する部分に多く観察された。この場合、その衝突角度が異なれば、同じ速度で衝突しても、麦粒の受ける衝撃力は変化し傷害の程度も異なるものと思われる。(c)回転衝突は、たとえば頂部側が衝突したとき、その衝突により生じた偶力で回転して其部側が衝突する場合などである。しかしながら実際の衝突の場合、麦粒が飛行するときには、前述したように複雑な姿勢で回転しているために、(a)、(b)それぞれに(c)が組合わさった姿勢で衝突しているものも多く観察された。また麦粒が回転している場合、長軸と短軸の長さの割合から長軸の先端附近がこぎ歯等に打たれて短軸を回転軸とする場合が多く、そのときには、背腹よりも基部あるいは頂部の部分がより多く衝突すると考えられ、この傾向はこぎ歯周速度が大となり、麦粒の飛行速度が大になったとき、顕著にみられた。

(3) こぎ歯による脱粒機構：穂および茎の振動

こぎ歯によるビールオオムギの脱粒機構を調べるために、1穂の脱穀状態を高速度撮影した16mmフィルムに



第7図 穂および茎の振動

Fig. 7. Vibration of ear and stem.

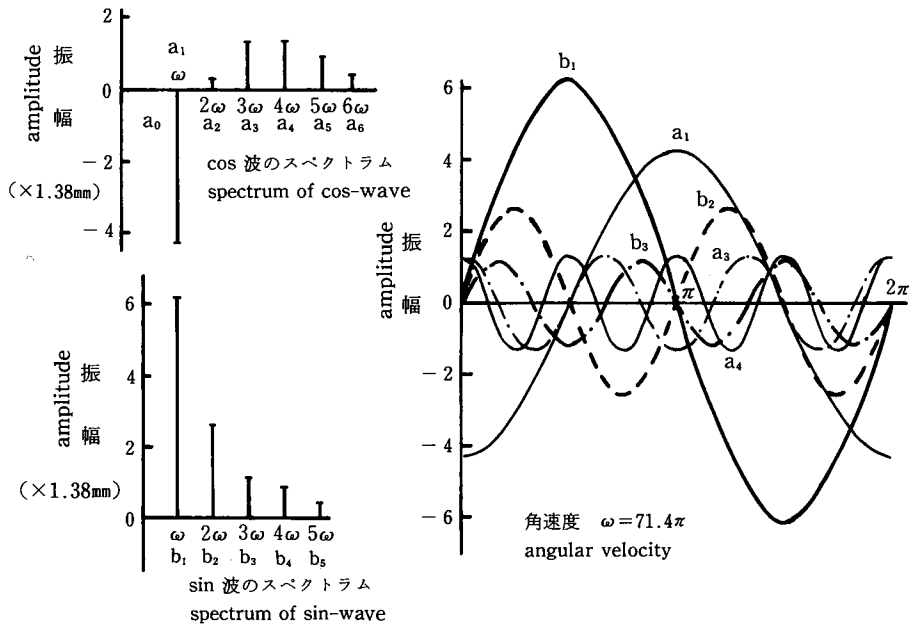
より、3 駒毎の穂と茎の形状をトレースした。その 1 例について穂および茎の midpoint の動きをこぎ手よりみて中立線（茎の支持点を通して、こぎ歯回転軌跡に平行な線）より左側への変位を正とし、経過時間を横軸として第 7 図(a), (b)に示した。なお図中縦軸の  $\times 1.38$  は、実長と高速度撮影フィルムを観察した場合の長さとの比を示す定数である。図より穂および茎ともそれぞれ短周期の振動をしながら、全体としては長周期の振動を繰返していることがわかった。そこでこの振動波形をさらに明瞭にするために図中の番号にしたがって、12 等分法による調波分析を行った。第 7 図(a), (b)の 1 について調波分析により求めた波のスペクトラムおよびそのスペクトラムによって表される波形の代表的なものを第 8 図(a), (b)にそれぞれ示した。図より穂および茎とも基本波  $b_1 \sin \omega t$  の波が最も強い波として含まれることがわかった。そこで、その基本波形を用いて穂と茎の振動の様態を第 9 図に示した。なおこの図中下部に基本波形に対応する穂および茎の実際の形状を図示した。さらにこの図中において、穂首より穂長の約  $\frac{2}{3}$  のところで穂切れを生じた時点と、脱穀が完了した時点とを示すとともに、1 点鎖線は中立線を表している。また穂および茎の振動数と振幅を第 1 表に示した。この表より明らかなように、茎は初期の振動数が  $28 \text{ c/s}$  であったのが 2

第 1 表 穂および茎の振動数と振幅

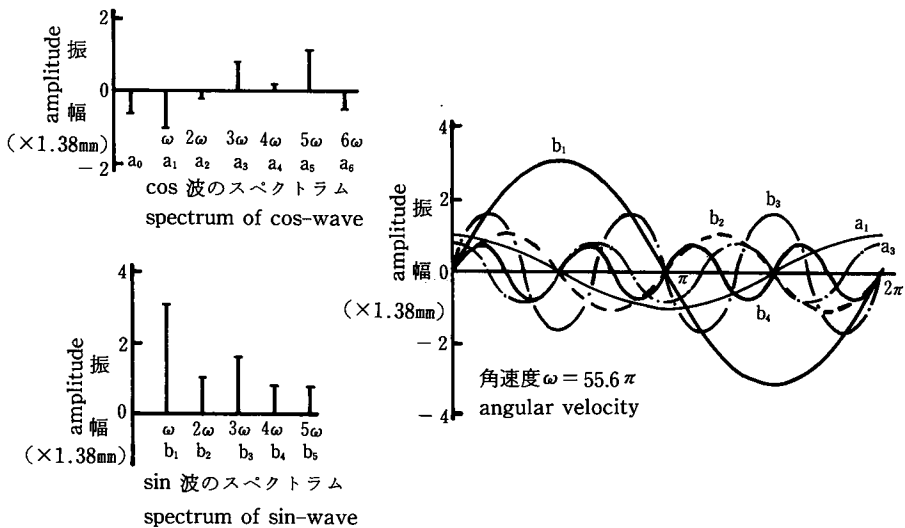
Table 1. Frequency and amplitude of ear and stem

周 期 period	振 動 数 c/s frequency				振 幅 mm amplitude			
	1	2	3	4	1	2	3	4
穂 ear	36	56	44	61	6.22	9.37	10.88	13.93
茎 stem	28	71	108	—	3.11	8.46	2.67	—





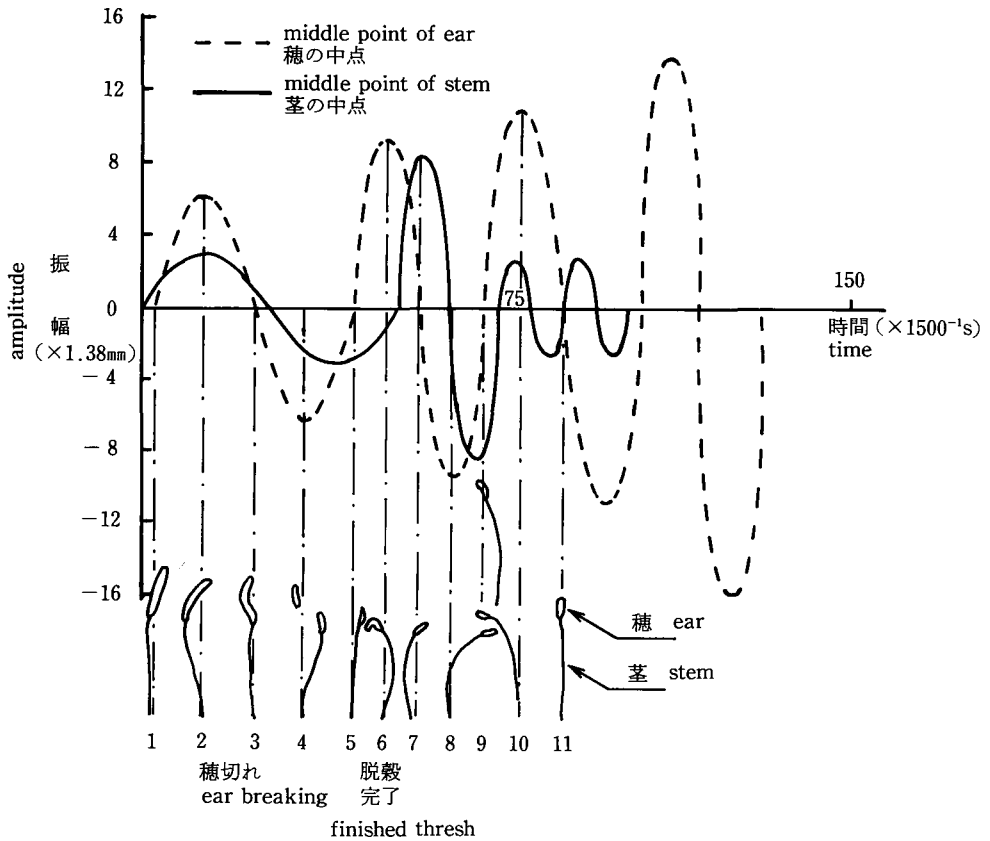
(a) 穂の中心の波形とスペクトラム  
Profile of wave and spectrum  
on middle point of ear



(b) 茎の中心の波形とスペクトラム  
Profile of wave and spectrum  
on middle point of stem

第8図 穂と茎の中心の波形とスペクトラム

Fig. 8. Profile of wave and spectrum on middle point of ear and stem.



第9図 基本波形による穂と茎の振動

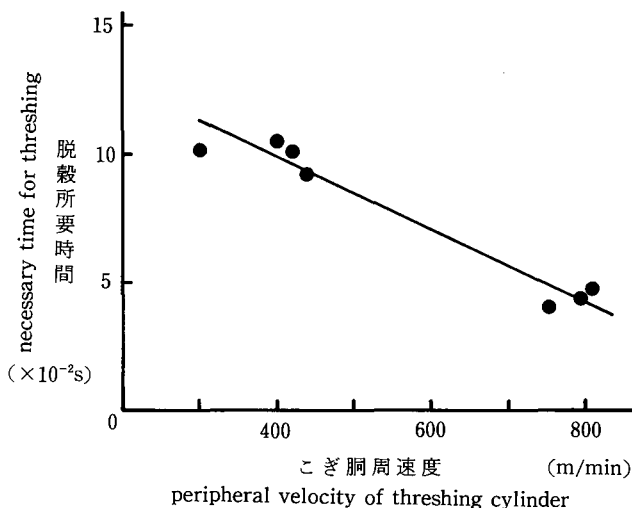
Fig. 9. Vibration of ear and stem on fundamental wave.

～3周期目においては、その振動数が初期の振動数の3～4倍と急速に増大するが、穂は初期の振動数が36/sであり2周期目には、その振動数がほぼ2倍となり、その後あまり変化しない。この様子は第9図の基本波形からも明らかに観察される。振幅は表に示すように、茎においては最初3.11mmを示したのが、2周期目には最大の8.46mmを示した。以後急速に減少して2.67mmの振幅でほぼ一定値を示した。穂においては、その振幅は漸次増大し、初期の振幅6.22mmのものが4周期目には13.93mmに達し、その後はその増加割合は減少し一定値に達するものと思われる。このように穂と茎の振動数と振幅の変化は互に逆の傾向を示し、穂は茎にくらべて振動数は小であるが振幅は大であることがわかる。これは明らかに穂と茎が互に連成振動を行っていることを示している。このような連成振動においては、穂と茎の間の位相差は増大あるいは減少する。すなわち第9図において、穂と茎の位相差は最初0であったのが時間の経過とともに大となり、振動開始より0.035秒後には最大を示し、以後減少して0.050秒後には再び0となる。脱粒後位相差は茎が穂よりも1周期早くなっている。以上のように位相差は減少増大を繰返し、しかもそれがある周期を持っている。つぎに第9図下部に示した振動中の穂と茎の形状についてみると、図中1～3の間において穂は振動を開始する。この振動初期において主にこぎ歯が穂に強制力を与える様子を高速撮影フィルムより観察してみると、①横に拡がりのある芒が回転しているこぎ歯で打撃反発される場合、②こぎ歯が茎に接触しつつ進行し、穂首にきて穂や芒に衝撃力を加える場合、③こぎ歯に穂が接触し、そこで反発を受けて後、受網の方へ移動する途中でこぎ歯により衝突反発される場合になる。これら3つの状態が、各々単独で穂に強制力を与えるのではなく、①、②、③それぞれ組合わさって作用している。この振動初



第10図 こぎ歯の“扱き作用”分解図

Fig. 10. Diagram of threshing action by threshing tooth.



第11図 こぎ胴周速度と脱穀所要時間

Fig. 11. Relation between peripheral velocity of threshing cylinder and necessary time for threshing.

期においては、穂の振動数、振幅はともに小さく、したがって振動速度も小さく、穂と茎とはほとんど同相である。つぎに3~4と時間が経過するにつれて位相差は大となり、穂と茎は弓状に曲がりながらこぎ歯に接触し、このときこぎ歯は茎より穂の順序に強く接触しつつ移動し、ちょうどしごかれるような状態で脱粒が始まる。このことがいわゆる“扱く”という作用であると思われる。この状態の模式図を第10図に示した。図中の矢印は穂あるいは茎の移動方向を示す。位相差がさらに増大すれば、穂と茎の移動方向は逆となり、こぎ歯にまきつき、こぎ歯によりしごかれるように脱粒されたり、穂切れをおこしたりする。この時には穂の移動速度も相当大となり、特にこぎ歯に巻きつき振り戻される場合の穂先の移動速度は10~17m/sにも達しているの、その時麦粒に作用する慣性力および遠心力も大となり、このために麦粒は振り飛ばされて脱粒する。脱粒後は第9図中の8、9、10のように穂と茎は円弧状を呈しながら穂は大きく茎は小さく振動を繰り返していることがわかった。このように1穂の麦穂がこぎ歯に接触して振動を始めてから、完全に脱粒が終るまでに要する時間とこぎ胴周速度との関係を第11図に示した。図より明らかなように脱穀時間はこぎ胴周速度に比例して減少し、こぎ胴周速度約800m/minにて0.05秒であった。これらの時間中、前記の“しごき”の状態に入ってから脱粒が完了するまでの時間は、前記時間の約2/3すなわち0.070秒~0.035秒であった。

参 考 文 献

- 1) 小林一・三輪精博・小川三良：ビール麦の脱穀過程における発芽障害に関する研究. 第1報. 脱穀条件と発芽率および麦粒の衝突. 岐阜大農研報(48): 209-220, 1983.
- 2) 庄司英信・佐野文彦：高速度撮影による回転脱穀機の脱穀過程に関する一解析. 農機誌19(4): 167-170, 1957.
- 3) 江崎春雄・三浦恭志郎・今園支和・鈴木正肚・間中正雄：自脱コンバインの高性能化に関する研究. 農機研報告(9): 17-22, 1972.
- 4) 須藤勇：国産ビール大麦の発芽障害. 食管月報19(6): 1967.