

もみすり機に関する 2, 3 の提案 (第3報)*

— 在来型脱ぶ方式以外の試みについて —

宮地豊房・吉崎 繁**・山崎堯右・松岡孝尚

(農学部機械工学研究室, **東京教育大学農学部)

Some Proposals on Husker (3)

— The Trial of Husking besides Traditional Methods —

Toyofusa MIYADI, Sigeru YOSHIKAWA**,

Takasuke YAMASAKI, Takahisa MATSUOKA

(Laboratory of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture;

**Faculty of Agriculture, Tokyo University of Education)

Two experiments were tried on the new husking methods. The first is husking due to rapid decompression. The second is that due to jet flow.

The former was supposed very profitable in the injury of husked rice, but it resulted in failure. It may be owing to airtightness of hull.

The latter was supposed very profitable in mass treatment. But it arised an important problem on the standpoint of the injury of husked rice.

The following results were obtained on the jet husker:

- 1) Both husking ratio and ratio of broken rice increase with the jet velocity.
- 2) Both husking ratio and ratio of broken rice decrease with increase of the opening ratio.
- 3) Both husking ratio and ratio of broken rice may be effected scarcely by the curvature of the rectangular bend.
- 4) Both husking ratio and ratio of broken rice may be effected scarcely by the wet basis moisture content.
- 5) Both broken rice and skin damaged rice arise regardless of the jet velocity, the opening ratio and the jet length. And these arise mainly the boundary parts of embryo and endosperm.

緒 言

もみすり機は脱穀したもみの稈（もみ殻）を剥いで、玄米にすることを主目的とした機械である。その主操作である脱ぶの方式は、摩擦式、半衝撃式、衝撃式に大別でき、現在最も広く普及している形式は、摩擦式であって、しかも二つのゴムロール間で、もみを摺る形式が一般的である。

近年完全脱ぶを目的とした3本ロールのもみすり機や、高速回転板による衝撃式、さらにロール回転を極度に高めた脱ぶ機も製作または試作されているが、所要動力が極めて大となり、また碎米も増加するなどのためあまり普及せず、新しい形式の半衝撃式などが一部研究されているが、やはり2個の周速差を有するロールによる摩擦式がその主流である。しかしながら稈を取り除くという根本目的に着目すれば、必ずしも固体的接触が必要条件とは考えられない。すなわち、何らかの力を玄米ともみ殻の間に加えることにより、互いに分離するとか、もみ殻そのものに力を加えてこれを破壊しさえすればよいはずである。

したがって本実験は在来型以外の脱ぶ方式について、とくに気体を用いてこれらの力を加える試みを行なったものである。その第1は玄米ともみ殻の間隙に高圧気体を侵入せしめ、周囲を急激に減圧することにより、これの急速な膨張力でもみ殻破壊を行なわんとするものであり、第2はもみ

* 第28回農業機械学会総会講演会（昭和44年4月東京）講演

を高速乱流と圧力変化の大きい流体中に置くことにより、その運動すなわち、もみ相互および壁その他の摩擦も一部加わった作用により脱ぶせんとしたものである。後者は連続大量処理に極めて有利であり、前者は玄米に対する固体摩擦のごとき損傷を避けることを目的としたものである。

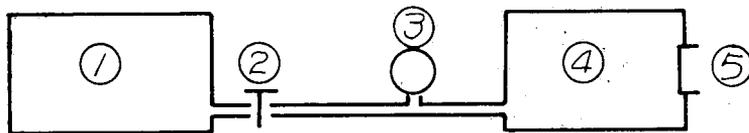
結果よりみれば実用的にはまだ殆んど失敗であり、より高度の条件を与えない限り、脱ぶ機構の方式としては不相当と考えられる。したがって実用されて長年月の経った方式ながら、接触脱ぶ方式の改善にわれわれは主力を傾注するものであるが、後述のごとく、これらの方式の示唆も若干見聞し、また多量連続処理方式の要求されている現在、存外の発展もあるかも知れず一応のデータ報告をするしだいである。なお本実験は文部省科学研究費の一部で行なったものであり、付記して感謝の意を表したい。

I. 急速減圧脱ぶ方式について

本方式はもみの状態においては玄米ともみ殻の間に空間のあることは認められるので、玄米そのものの膨張により、もみ殻破壊を行なうことも示唆されている¹⁾が、この場合、脱ぶ後の玄米に悪影響をおよぼすことが予想されるので、もみ内の間隙を利用することとした。もみ殻の破壊抵抗力については、各部位により異なり、一般に護えいにつつまれた内外えいの付け根部分が最も弱いと考えられるが、さらに内外えい全体としてもその方向により強度に差が存在すると思われる。一例として 1) の報告があり、もみ殻内部の圧力によりもみ殻が破壊されるとすれば約 0.7 kg の力を要することとなる。この数値を基礎として以下のような実験を行なった。

1) 実験装置および実験方法

装置の概略図は図 1 に示すとおりである。鋳鋼製容器は約 40 kg/cm² の内圧に耐え、内容積 2 l



① N₂ ボンベ ② バルブ ③ 圧力計 ④ 鋳鋼製容器 ⑤ もみ出し入れ口

図 1 急速減圧式による実験装置の概略図

のものを使用した。この容器の一側面には、急激に開放（衝撃力による開放）できる直径 70 mm の蓋のついた開孔部を作り、他端より高圧気体（N₂ ガス）を供給し、途中で容器内の圧力を測定するために、ブルドン管圧力計を取りつけた。

実験方法は、容器の中にもみを挿入し、完全密封し、N₂ ボンベ（最高圧力 250 kg/cm²）より直接気体を供給して、規定の圧力（本実験においては 4, 8, 12 kg/cm²）に達するまで N₂ ガスを送り込み、その圧力のまま 5～10 分間保持したのち、容器の蓋を瞬間的に（1/100～1/1000 sec）開放し、器内のもみの大部分をガス体と共に最高約 300 m/s の速度で噴出させた。この排出されたもみを受網により採取することとした。

2) 実験結果および考察

急速減圧によるもみの脱ぶは玄米の損傷の面から非常に有利であると思われたが、4, 8, 12 kg/cm² において、いずれの場合ももみ殻の脱離は殆んど認められなかった。気体膨張がもみ殻に及ぼす力と、もみ殻の強度からすれば、もみ殻破壊は十分可能であると考えられたが、結果から判断すると、もみ殻の気密度が高いために、十分もみ殻内に高圧気体が侵入し得なかったか、あるいは

1) 籾摺機の改良に関する実験的研究, 中村忠次郎 p. 304～317.

は気密度が極めて低いために、高圧気体が十分作用し得なかったかのいずれかと考えられる。

前者の場合は、その可能性が少ないがもしこれによる失敗とすれば、より長い高圧保持時間を必要とし、実用化する場合の連続処理機構とした場合、きわめて非効率な形となるか、または膨大な装置となる可能性があり、いずれの場合も不適當と認められる。つぎに後者の場合とすれば、より高速な開放装置とする必要があり、これまた実用化の場合、開放孔の大きさが容器内容積に比し、きわめて大きい必要を生じ実現性に乏しいと判断されたので、上のいずれの判断も明確にしないまま実験を終えた。ただ、両者のいずれの場合でも何らかの前処理後、本方法を行なうことも考えられ、もみすりの前処理中、なかんずく乾燥精選処理中にこの前処理を含ませ得る場合には一考を要する方法と考える。

II. ジェット流による脱ぶについて

ジェット流による脱ぶは、穀粒の空気輸送よりヒントを得たもので、輸送される穀粒がある条件のもとで急激に損傷粒が増大する。この損傷が穀粒の種類によっては比較的表面で終ることを利用しようとしたものである。すなわち、本実験においては、ジェット流を利用した混入機、すなわちエジェクタフィーダを含む垂直輸送装置を利用し、試験を行なったところ、碎米を多量に発生しながらもかなりの脱ぶ率が観測された。しかしながら本装置は、図2-1にも示すとおり、ノッチ、フィーダ、ディフューザ、直管、曲管、サイクロンよりなっており、脱ぶはそのいずれの部分で行なわれるか明確でなく、したがってその脱ぶ機構も明確でないため、以下に述べる装置と方法で実験を行ない、あわせて脱ぶ最適条件を見つけようと試みたものである。

1. 実験装置および実験方法

実験装置は次の三段階に分けて、それぞれの部分についての効果を調べた。

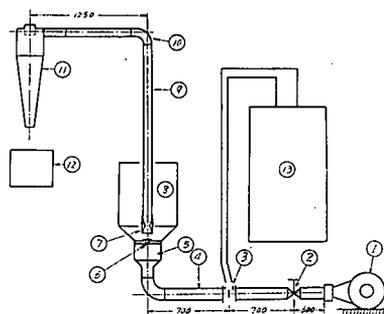
a) ディフューザによる脱ぶ効果 (図2-2)

b) 逆円錐形衝突盤および二重衝突盤による脱ぶ効果 (図3)

c) 直角ベンドによる脱ぶ効果 (図2-1)

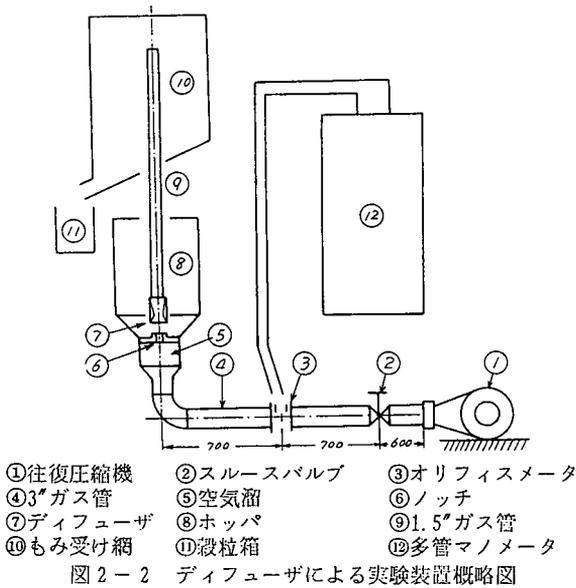
a) ディフューザによる脱ぶ

図2-2に示すとおり駆動用空気は、約143 m³/hの送風能力を有する3気筒15PSの往復圧縮機によって送られ、いったん0.29 m³の空気槽に滞流した後、3"ガス管、スルースバルブを経て、流量測定用オリフィスを通り、約0.03 m³の空気溜に入り、その上部に設けられたノッチより噴出される。一方、もみは空気溜の上部に設けられたホッパより供給され、ノッチより噴出する空気と混合して、ディフューザ部に送られ、1.5"ガス管内を垂直に圧送され、もみ受け網によって捕集される。なお、ディフューザの位置は、中心軸にそって前後左右、上下に移動調整され、またノッチと共に取替えができ、各種の組み合わせが可能になっている。



- | | | |
|----------|----------|-----------|
| ①往復圧縮機 | ②スルースバルブ | ③オリフィスマータ |
| ④3"ガス管 | ⑤空気溜 | ⑥ノッチ |
| ⑦ディフューザ | ⑧ホッパ | ⑨1.5"ガス管 |
| ⑩直角ベンド | ⑪サイクロン | ⑫穀粒箱 |
| ⑬多管マノメータ | | |

図2-1 直角ベンドによる実験装置概略図



b) 逆円錐形衝突盤および二重衝突盤による脱ぶ

本形式は摩擦式半衝撃型脱ぶ機構と原理的に近い効果があるが、その相違はもみの加速方法にあるわけである。すなわち、本実験の場合、輸送も考慮して、もみの加速を空気流で行なっているため、直接加速の場合よりも衝撃効果はむしろ少なくなる可能性があり、衝突前後の粒体の導流をスムーズに行ないうる利点はある。また、衝突盤の構造によっては、もみ殻の分離機能も一部もたせ得る可能性も考えられるが、ともかく以下のごとき円錐形で実験を行なうこととした。

装置の概略図は図3に示すとおりである。衝突盤は厚手(0.35 mm)の亜鉛引き鉄板製で1.5"ガス管の中心にそって上下移動できるようになっている。なお衝突盤の寸法は、狩野氏による衝撃式もみすり機の実験データ²⁾を参考にし、図4のとおり定めた。

c) 直角ベンドによる脱ぶ

図2-1に示すように、ディフューザ部より圧送されたもみは、直角ベンドによって垂直から水平に輸送され、切線サイクロンによって分離される。空気輸送においては、曲管部が輸送効率に大きな影響を与える。すなわち、ベンドの曲率半径が大きければ圧力損失は小さいが管壁の摩擦は激しい。また逆に、曲率半径が小さければ(衝突角度が小さければ)圧力損失は大きいが摩擦が少ないという報告³⁾がある。これより、本実験におけるもみの脱ぶ作用にもこのベンドの曲率半径の影響が考えられ、図5に示すような5種類

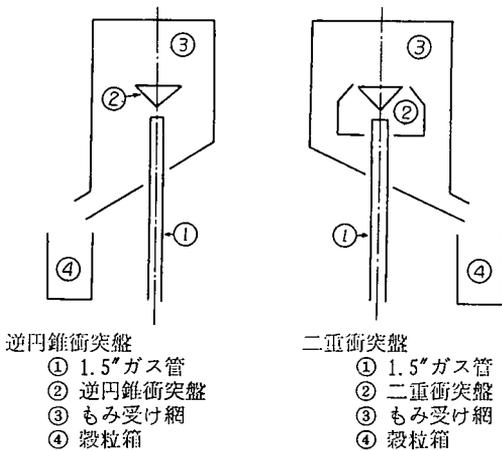


図3 逆円錐形衝突盤および二重衝突盤による実験装置の概略図

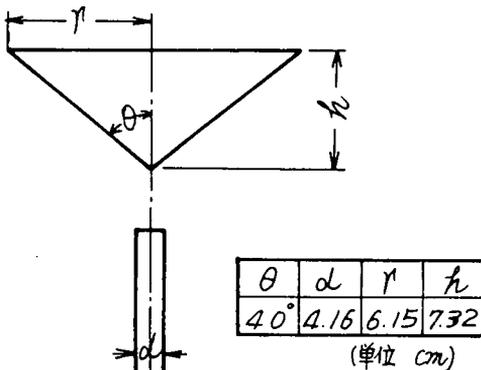


図4 逆円錐形衝突盤の寸法

2) 籾摺における脱ぶ率向上に関する研究(農機研究資料, 21) 狩野他 p. 2.
 3) 粉粒体の空気輸送, p. 118~119.

の直角ベンドを用いて実験を行なった。

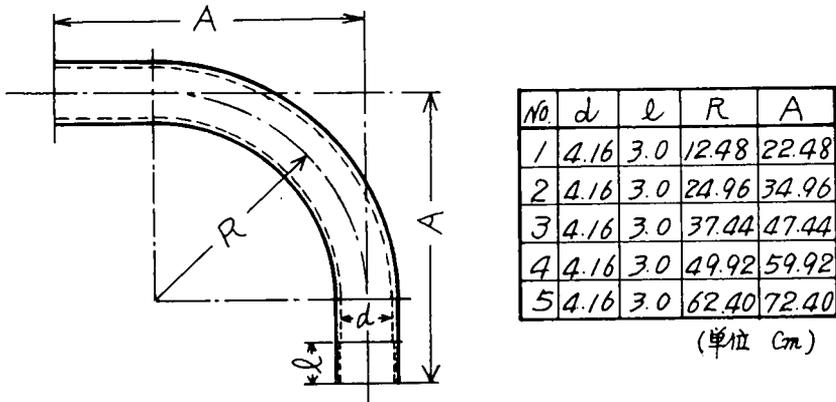


図5 直角ベンドの寸法

なお、ノッチ口径およびディフューザ拡がり角度とスロート口径の寸法は、それぞれ、表1、表2に示すとおりである。表中ディフューザ拡がり角度0の場合はディフューザのない場合、すなわち脱ぶ率、砕米率ともに混合室のみのそれと解釈すべきであり、噴出により生じた乱空気流によるもみ相互および、一部室壁との効果も加わったものと考えらるべきである。

表1 ノッチ口径の寸法

ノッチ番号	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
ノッチ口径 (mm)	25	20	16	12.5

2. 測定装置

1) 流量測定

駆動空気流量は開口比 0.234 のオリフィス (オリフィス内径 39.01mm, 管内径 80.70mm) を用いて測定した。オリフィスからビニルチューブを通してその前後の圧力差、絶対圧および空気流の温度を測定して次式より計算した。

表2 ディフューザ拡がり角度とスロート口径の寸法

2θ (°)	0	4	8	12	16
スロート口径 (mm)	41.6	37.4	33.2	29.0	24.7

$$Ga = \alpha \beta A_0 \sqrt{2g \Delta P \gamma_0}$$

ここで

- Ga ; 単位時間当りの空気流量 kg/sec
- α ; 流量係数
- ε ; 気体の膨張に関する修正係数
- β ; 開口比
- A₀ ; 管の断面積 m²
- g ; 重力の加速度 m/sec²
- ΔP ; オリフィス上流側と下流側の差圧 kg/m²
- γ₀ ; オリフィス直前における空気の比重量 kg/m³

である。

γ₀ は次式より求めた。

$$\gamma_0 = \frac{P}{R \cdot T}$$

ここで

P ; 駆動空気流の絶対圧 kg/m^2

R ; 気体定数 $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{kg}^\circ\text{K}$

T ; 使用空気の絶対温度 $^\circ\text{K}$

である。

なお駆動空気流の絶対圧 P はオリフィス直前の圧力を U 字管 マノメータに導き、水銀柱位を読み取り、大気圧を加えて求めた。

2) 重量計

10 kg まで測定可能な重量計 (台秤) を用いた。なお最小目盛は 0.001 kg である。

3) 温度計

アルコール寒暖計を用いて測定した。

4) 含水率測定器

米麦水分計を用いて水分%を読み取った。(KETT. PB-1K 型)。

5) 脱ぶ率および碎米率の算定

脱ぶ率および碎米率は次式により算定した。

$$\text{脱ぶ率} = (\text{玄米粒数}/\text{供給粒数}) \times 100$$

$$\text{碎米率} = (\text{碎米粒数}/\text{玄米粒数}) \times 100$$

採取した混合米をロートに通し、円錐形をつくり四分円錐法を 2 度行ない、混合米をもみ、玄米に分けた。さらに玄米中の碎米を選び出し、粒数歩合で脱ぶ率および碎米率を求めた。

3. 実験材料

実験に使用したもみの品種は藤稔り、および秋晴れであり、その物理的性質は表 3 に示すとおりである。

表 3 もみの物理的性質

長さ (mm)	幅 (mm)	厚み (mm)	含水率 (%)
7.32	3.02	2.16	12.8~14.8

4. 実験結果および考察

4-1. ディフューザ部による脱ぶ率および

碎米率の一例は図 6 および図 7 に示すとおりである。この図から、噴流速度が増加するにつれて脱ぶ率も増加し、碎米率も同様にわずかに増加する傾向にある。噴流速度 150 m/sec において、もみは脱ぶされず、だいたい 200 m/sec 付近においてもみの脱ぶ形跡が現れる。

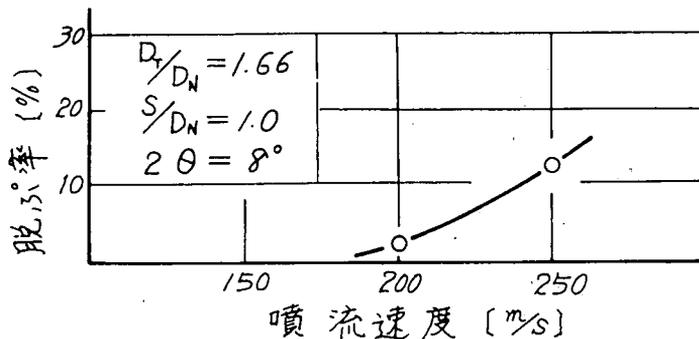


図 6 ディフューザによる脱ぶ率と噴流速度との関係

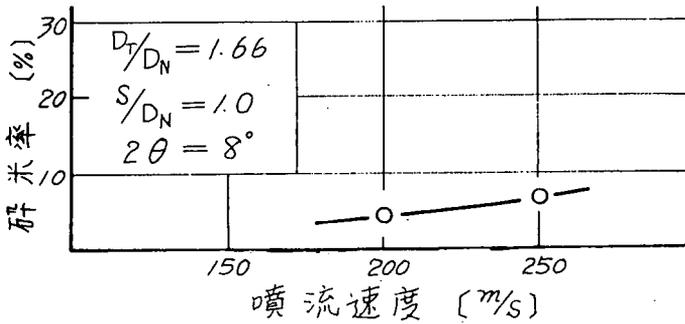


図7 ディフューザによる碎米率と噴流速度との関係

4-2. ディフューザによる脱ぶ率および碎米率と開口比との関係は図8, 図9に示すとおり, 開口比が増加するにつれて脱ぶ率および碎米率は逆に減少している。なお噴流速度 250 m/sec 以

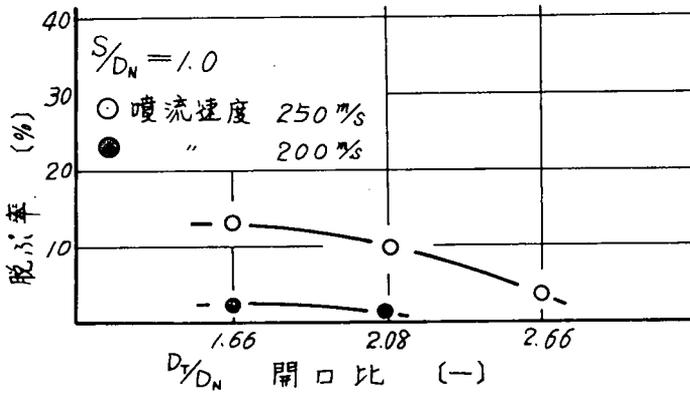


図8 ディフューザによる脱ぶ率と開口比との関係

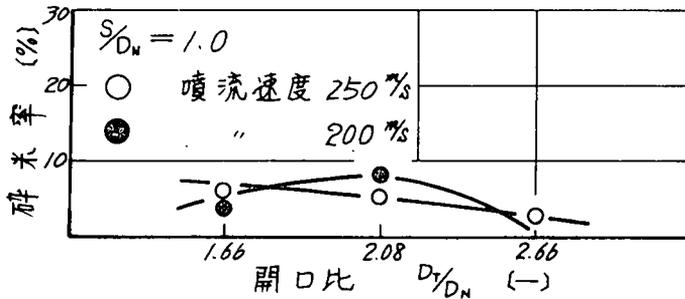


図9 ディフューザによる碎米率と開口比との関係

上は実用化する場合, 相当大規模な装置となる可能性もあり騒音や危険性等より考えても現実性がないと考えこの値にとどめた。実験室では 300 m/sec 近いデータも一部取り得る。

4-3. 逆円錐形衝突盤による脱ぶ率および碎米率と噴流速度との関係を図10, 図11に示す。脱ぶ率は噴流速度とともに増加する傾向にある。なお直接, もみ加速の場合, もみ速度は $35 \sim 60 \text{ m/sec}^2$ がとられることが多いが, 我々の実験の場合もこの領域に達しており, 脱ぶ率が意外に低いことは

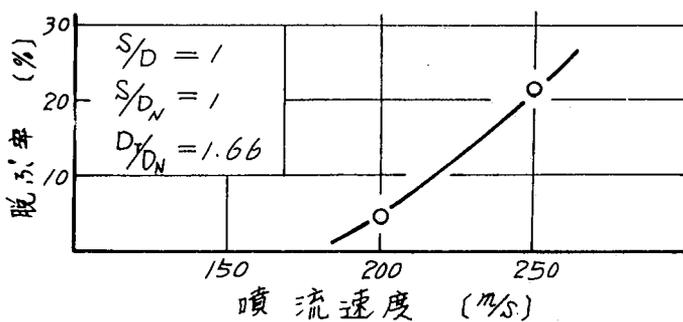


図10 逆円錐形衝突盤による脱ぶ率と噴流速度との関係

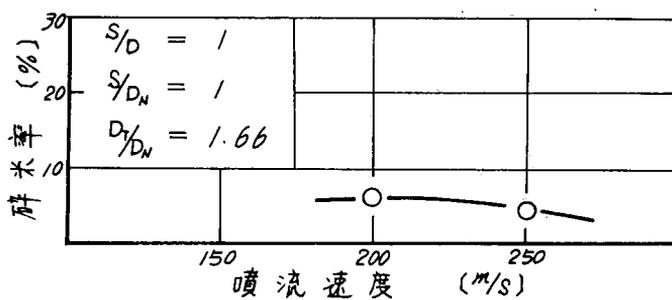


図11 逆円錐形衝突盤による碎米率と噴流速度との関係

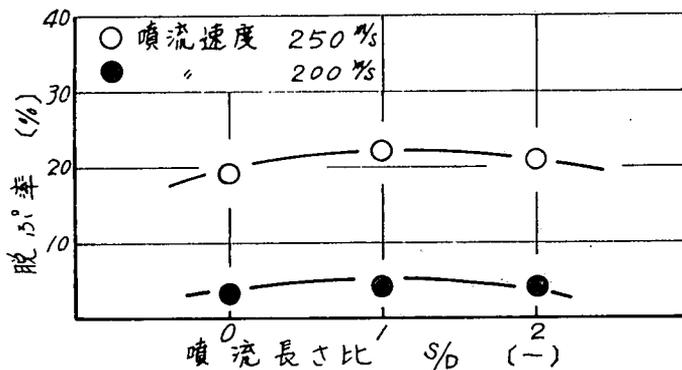


図12 逆円錐形衝突盤による脱ぶ率と噴流長さ比の関係

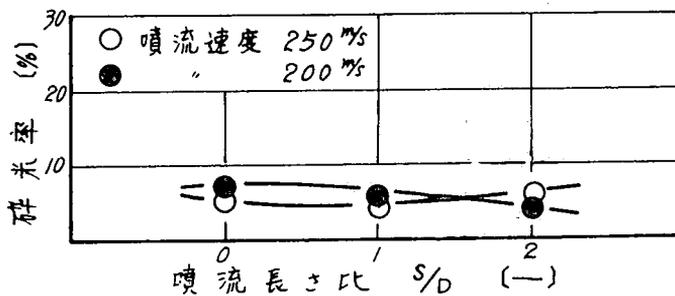


図13 逆円錐形衝突盤による碎米率と噴流長さ比との関係

前述の空気のバッファー効果のためと考えられ、本方法が輸送に有利という面を考へても本装置のみの場合、脱ぶ機構としては能力不足と考えられる。

4-4. 逆円錐形衝突盤による脱ぶ率および碎米率と噴流長さ比との関係は図12, 図13に示すとおり噴流長さ比にはあまり関係しないようである。

4-5. 前項の効果をさらに高めるため繰返し効果をねらって二重衝突盤を作った。我々の場合、もみの加速を空気流で行なっているためこの繰返しの利点があるが、ただ最初の衝突盤により脱ぶされた玄米は碎米または肌ずれ米となる恐れがあり、無制限に段数を増加することはできない。この二重衝突盤による脱ぶ率および碎米率と噴流速度との関係は図14, 図15に示すとおりであ

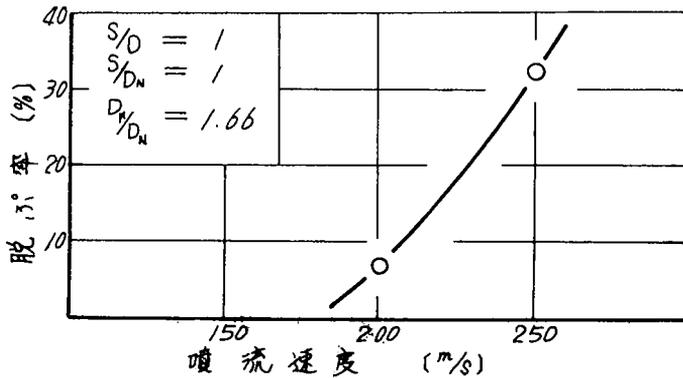


図14 二重衝突盤による脱ぶ率と噴流速度との関係

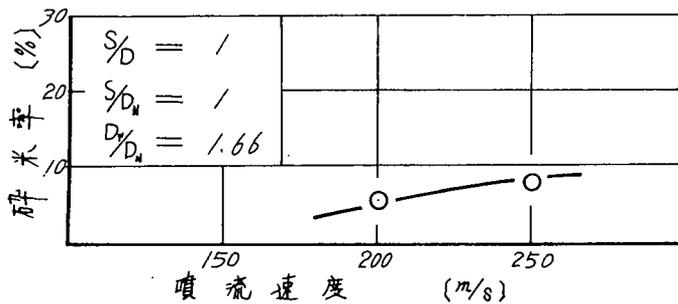


図15 二重衝突盤による碎米率と噴流速度との関係

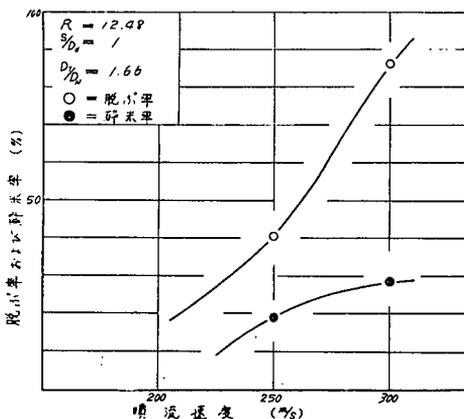


図16 直角ベンドによる脱ぶ率および碎米率と噴流速度の関係

る。一回の衝突より二回の衝突の方が脱ぶ率で10%程度増加しており、碎米率も若干の上昇をみた。

4-6. 以上、各部の結果より脱ぶ、碎米の大部分が曲管部にあることが予想されたので直角ベンドの実験を行なった。輸送実験の損傷がこの部分にあることも考え合せ当然とも考えられる。この直角ベンドにおける脱ぶ率および碎米率と噴流速度との関係は図16に示すように、脱ぶ率は噴流速度が300 m/secにおいて

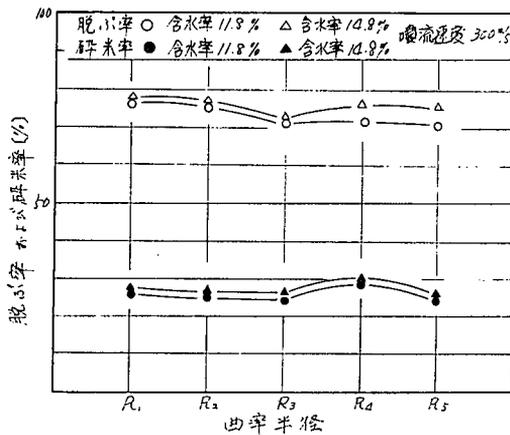


図17 直角ベンドによる脱ぶ率および碎米率と曲率半径との関係

碎米が非常に多いので今後パイプの材質、とくにベンドの材質を考慮することが必要だと思われる。このことは穀粒の空気輸送において、被輸送物の損傷の立場からも大きな問題となる。

結 論

以上の結果をまとめると、次のようなことが言えよう。

- 1) 噴流速度の増加にもなって脱ぶ率および碎米率は増加する。
- 2) 開口比が増加するにつれて脱ぶ率および碎米率は減少する。
- 3) 直角ベンドの曲率半径の違いによって脱ぶ率および碎米率の差異はほとんど認められなかった。
- 4) 含水率の違いによる脱ぶ率および碎米率の差異は認められなかった。
- 5) 碎米、肌ずれは噴流速度、開口比、噴流長さ比に関係なく生じ、その状態は胚芽部と胚乳部の境界部に多く生じる。

(昭和44年 9月30日受理)

80%近くまで得られたが、碎米率も相当高い結果となっている。

4-7. 直角ベンドによる脱ぶ率および碎米率と曲率半径との関係を図17に示す。ベンドの曲率半径の違いによって脱ぶ率および碎米率はそれほど影響はなく、また含水率にもあまり関係しないことがわかる。

以上の結果よりジェット流によるもみの脱ぶ作用は、ベンドの管壁との衝突および摩擦によりなされると考えられる。また脱ぶ率の面から見れば噴流速度の影響が最も大きいと言える。しかし現在の装置では