

ドラム・バーカーの機能に関する模型の実験(1)

回転水平円筒内の材の運動と人工樹皮材の 剥皮経過について

中 村 源 一⁽¹⁾
大 平 裕⁽²⁾

1. ま え が き

最近木材チップ用材として直径 3~10 cm 程度の小径丸太材の利用が急増し、これらの剥皮は現在最も能率のよいドラム・バーカーによりなされる場合が多い。ドラム・バーカーによる剥皮工程の実態についてはすでに工業試験⁴⁾⁵⁾を実施し、その結果を公表したが剥皮の機構を説明できるドラム内の材の運動の状態および剥皮の経過などについては、工場内の稼動機械を対象とした関係上、関係要因の選択に制約があり普遍的結論をうるには十分ではなかった。したがって、ドラム・バーカーを模型化した水平回転円筒により、その回転数・材の仕込量などの主要制御因子と材の運動の状態の関係を観察し、さらに人工樹皮を付着させた試験体により剥皮経過を解明し、ドラム・バーカーの設計と作業操作上の基礎資料をうる目的で、この模型の実験を行なったものである。

2. 実験用水平回転円筒

使用した水平回転円筒は厚さ 2 mm の鉄板を曲げて作った内径 300 mm、長さ 400 mm の円筒が主体で、両端は厚さ 4 mm のガラス板でカバーされた構造で、これを 2 本の駆動軸上に定置し、駆動軸には替え調車をとりつけ無段変速機を通じて 1 HP の電動機で回転するようにした (Fig. 1)。円筒の回転数

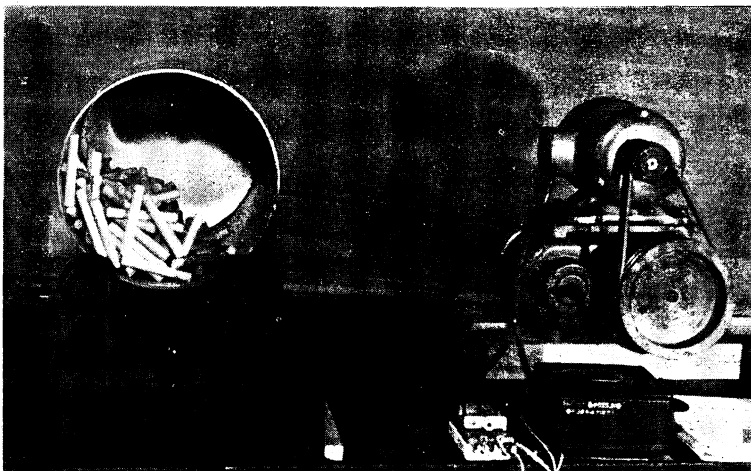


Fig. 1 実験用回転円筒
Horizontal drum rotor.

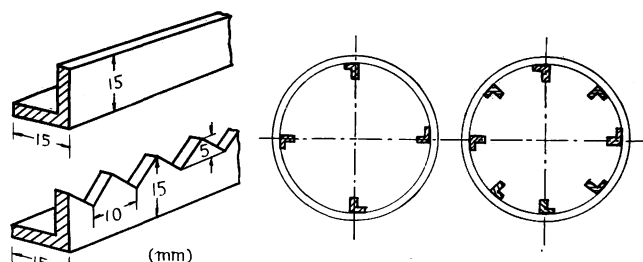


Fig. 2 パーキング・バーとドラム内の取付け位置

Barking bar and position in drum.

は 20~122 r.p.m. の範囲に無段に変えることができる。また円筒内には、長軸方向にその内周面の 1/4 または 1/8 の個所に剥皮用バー (barking bar) をとりつけられるようにした。この形状は Fig. 2 に示す。

3. 試 験 材

この実験で使用した試験材はアカマツ・マカンバの気乾材を約 15 mm 角に挽材し、これをダボ削り機械により直径 8~14 mm の丸棒につくり、これらを長さ 50~100 mm に横切したものを供試した。直径・長さは実際のドラム・バーカーの直径に対する小径丸太の直径・長さの割合を考慮して、この実験用円筒の場合にきめたものである。回転円筒内の材の運動の観察には、これらの丸棒をそのまま用いたが、剥皮の経過を確かめる実験には、以下述べる方法でこれらに人工樹皮を付着させた。すなわち、直径 14 mm、長さ 100 mm の試験片を速乾性ペイント中に浸漬し、次にこれを 18 メッシュの篩によりふるいわけした鋸屑中に入れ、なるべく均等に鋸屑が付着するように手のひらですりあわせて、鋸屑を丸棒面に付着させた。この場合鋸屑は樹皮に相当するのであるからこの付着力はドラム・バーカーに対する原木の樹皮付着力と同程度の割合であることが望ましく、したがって接着剤の選定にあたっては、(1) 尿素系樹脂の増量接着剤、(2) 酢酸ビニール接着剤、(3) ウッド・フェラー、(4) 各種ペイントなどを試用する予備実験を行った。この場合付着力は前述したように、(1) 実験用回転円筒により剝離する程度であること、(2) 剝離の経過はなるべく実際の樹皮剝離の状況と近似すること、(3) 鋸屑の接着による試験体の重量増加に安定性があること、などについて検討した結果、速乾性白色ペイントが最も適当であると認め、これを使用することとした。

このようにして調製した試験体は約 1 週間室内に放置し定量に達したのち実験に供した。この場合の鋸屑の付着重量は試験体 20 本あたり平均 38.8 g (36.8~40.1 g) であったが、他の実験系列に用いたものは平均 48.1 g (46.1~54.7 g) であって、その厚さはおおむね 0.6~0.7 mm 程度であった。

4. 回転円筒内の材の運動状態

水平回転円筒内の粉体または物体の運動状態の観察または解析は、いままでに工学上回転粉碎機・粒体混合機などの機械設計上の基礎資料をうるための研究として行なわれた。さらに最近においては、金属製品の表面仕上げを目的とするバレル仕上法として、同じように回転する円筒または角柱内の工作物の運動について基礎研究が行なわれ、これらの結果から材の運動状態については系統的体系として説明がなされている。これらの結論として回転円筒内の物体の運動は三次元で複雑であるが、二次元に限り次の 3 域に

分けて考察されている。

(1) 第1域 回転円筒内の粒体は、まず円筒内壁に接した粒層は摩擦により引き上げられ、それとなりあう粒層も内部摩擦により引きずり上げられる。粒体のうける円周速度は遠心力を生じ、それにより粒体は内壁にさらに押し付けられて引き上げられるが、ある高さに達すると重力の作用をうけて粒体面を滑りおち混乱状態で流下する。この状態は円筒の回転がかなりおそいときにみられる状態で第1域とよばれる。

(2) 第2域 回転数をさらに高めると円筒壁により、ある高さまで引き上げられた粒体は円運動から離れると放物線を描いて円筒壁に対し自由運動をするに至り、この状態を第2域とよぶ。

(3) 第3域 回転数をさらに高めると粒体は円筒壁に遠心力により固着して円筒中心に近い部分以外は円筒と全く同じように回転する。これを第3域とよばれている。

これらの物体の運動で加工物に対し最大仕事量を与える回転数は第1域と第2域との中間にあるが、精密仕上を目標としたバレル仕上では第1域の運動範囲が最も重要であるといわれている。剥皮を目的とするドラム・パーカーの従来の試験・経験によれば、すでに述べたように材相互の摩擦(共ずり)と壁体または壁体内部構造物との衝撃・摩擦が剥皮効果に関係することからすれば、円筒内の物体の運動状態の分類にしたがえば剥皮の最大仕事量を与える領域は第2域が最も重要であろうと考えられ、第1および第3域は剥皮効果が、はるかに低いであろうことが推察できる。

内壁面にバーをもたない円筒内の材の運動状態を、回転数 35~122 r.p.m. 材の仕込量を10~90%の範囲に変化させた場合について、シャッター速度 1/200 sec で撮影した結果の数例をあげると Fig. 3 (1~5) に示すようである。さらに映写機による高速撮影記録から1本の材について、その運動の軌跡を時間的に追跡した場合の典型的数例をあげると Fig. 4(1~5) に示されるようである。さらに同様にフィルムの駒数の順に運動状態を示すと Fig. 5(1~2) に示されるようである。回転円筒内の材は観察によれば、材長方向がドラムの軸方向に対し全く不規則に内壁面に沿う円運動と流下運動または飛行運動をするようであるが、典型的には材長方向が円筒回転方向に平行(接線方向)になるように運動する場合であって、円筒回転数が高速な第3域では、すべての材がこのようになることは、Fig. 3-5 にも示されるとおりである。

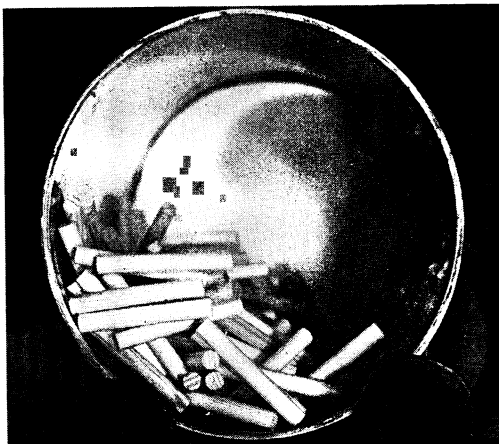


Fig. 3-1

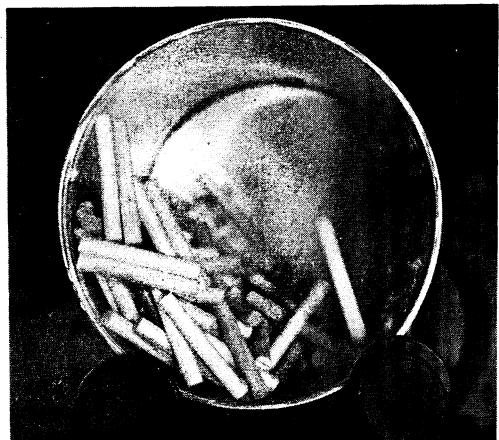


Fig. 3-2

Fig.3 ドラム内の材の運動
Movement of materials in drum.



Fig. 3-3

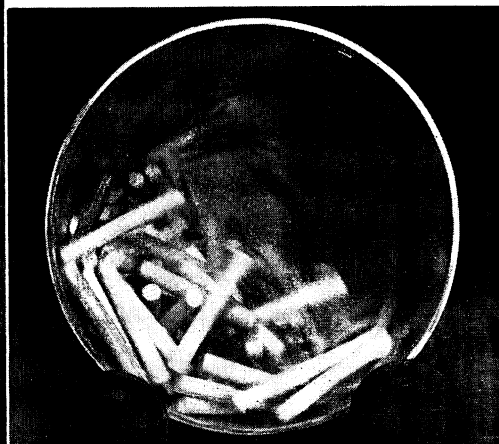


Fig. 3-4



Fig. 3-5

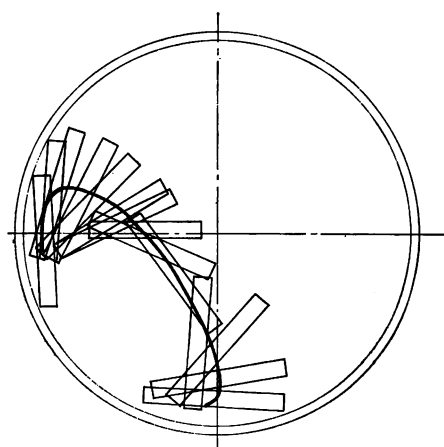


Fig. 4-1

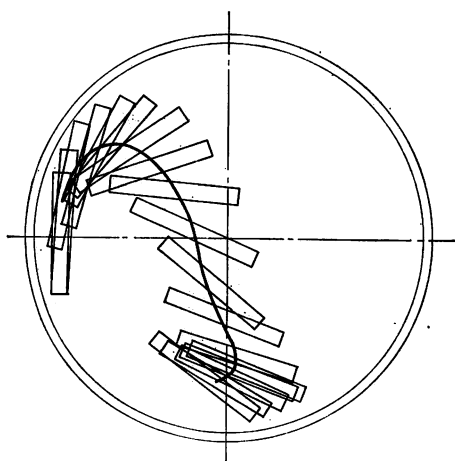


Fig. 4-2

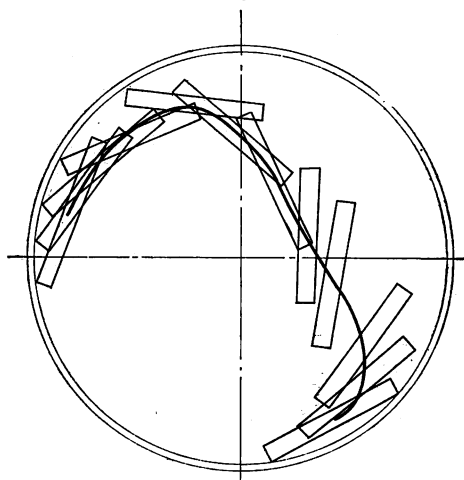


Fig. 4-3

Fig. 4 ドラム内の 1 本の材の運動状態

Movement of a material in drum.

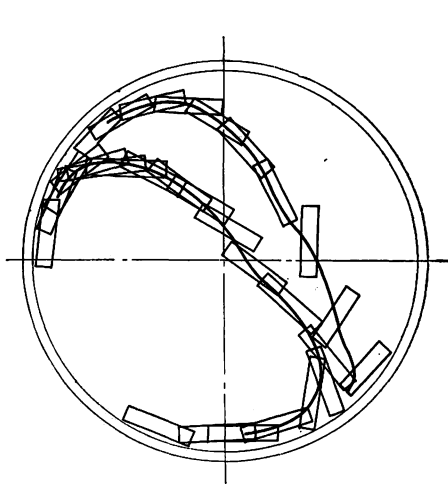


Fig. 4-4

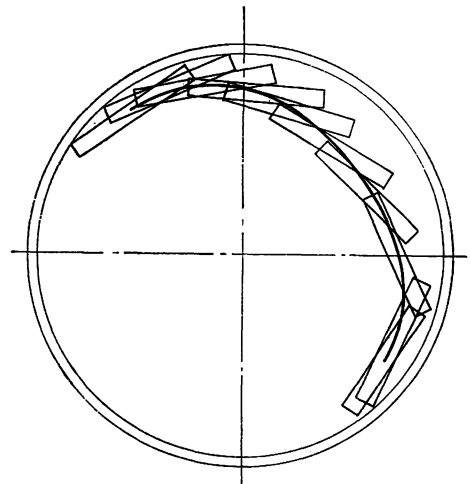


Fig. 4-5

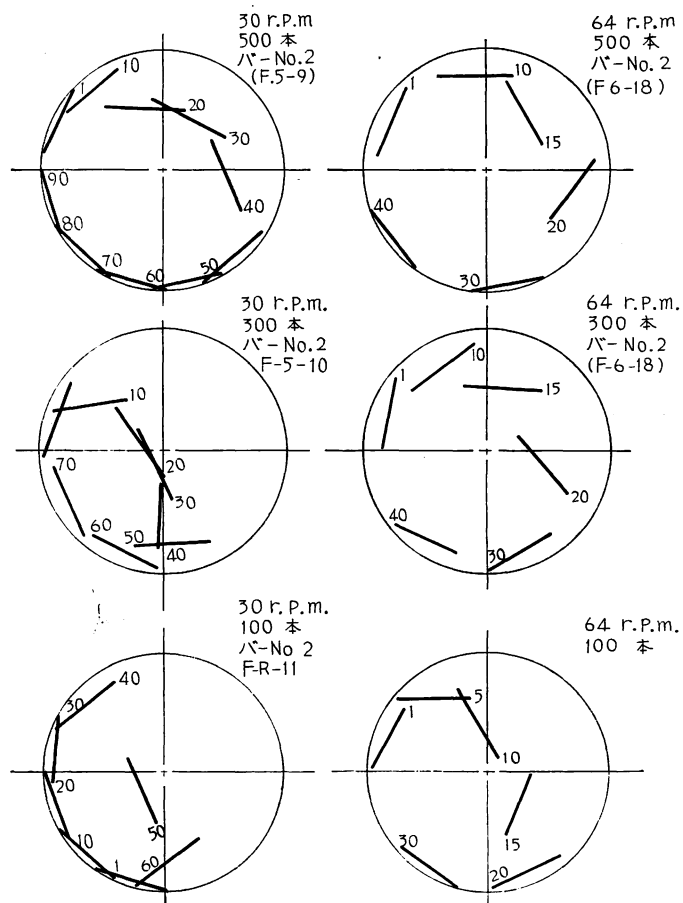


Fig. 5-1 ドラム内の1本の材の運動の時間的追跡 (図の数字はフィルムのコマ数を示す)

Process of motion for a material.

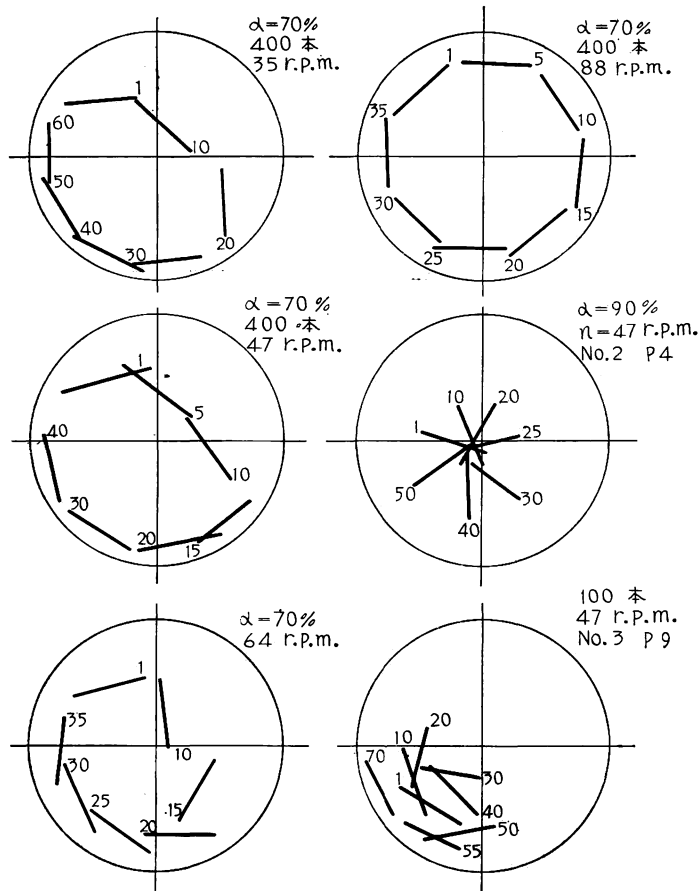


Fig. 5-2

また解析に便利であるため Fig. 4, 5 は撮影記録から円筒内の多数の材より、このような方向に運動している材を選んで図示したものである。回転円筒内の材は第 1, 第 2 域において内壁面に沿う円運動をなし、ひきつづき流下または飛行運動をしふたび円運動をくり返すことになり、材全体についてみれば円筒中心を通る鉛直線に対し回転方向にかたよった範囲内で運動が行なわれる。内壁面と材の運動範囲が形成する材全体の形状は、粉体の場合と異なり材寸法が円筒寸法に対しはるかに大きいから、撮影記録からではさほど明りょうではない。したがって、最外層を運動する材の重心を結ぶ線を求めて図示すれば Fig. 6 (1~2) に示すようである。この場合、円筒回転数が 35 r.p.m. 程度では前述した運動状態の区分からいえば第 1 域に相当し、47~64 r.p.m. は第 2 域に属するとみなしてよいようで、材に遠心力が作用し壁面に沿う材は落下しないで円筒壁に固着した状態で回転する円筒回転数は計算値と一致する。すなわちこの条件は、円筒内の材のうける重力と遠心力の関係から材の回転半径を r 、重力の加速度を g 、その角速度を ω とすれば、 $\omega \geq \sqrt{g/r}$ の条件が成立するから、円筒直径 $D(m)$ 、回転数 $n(r.p.m.)$ とすれば $n \geq 42.2\sqrt{D}$ の回転数の場合で、この実験では $n \geq 77 r.p.m.$ で第 3 域になるはずである。88 r.p.m. では完全に第 3 域の運動状態となって、仕込量にもよるが、ほとんどの材が固着状態となって回転運動をするようになる。したがって、この実験に用いた直径 300 mm の回転円筒の場合は 35~64 r.p.m. の範囲が実用上のドラム・パーカーの運動状態を類推するのに適切な条件と考えられる。

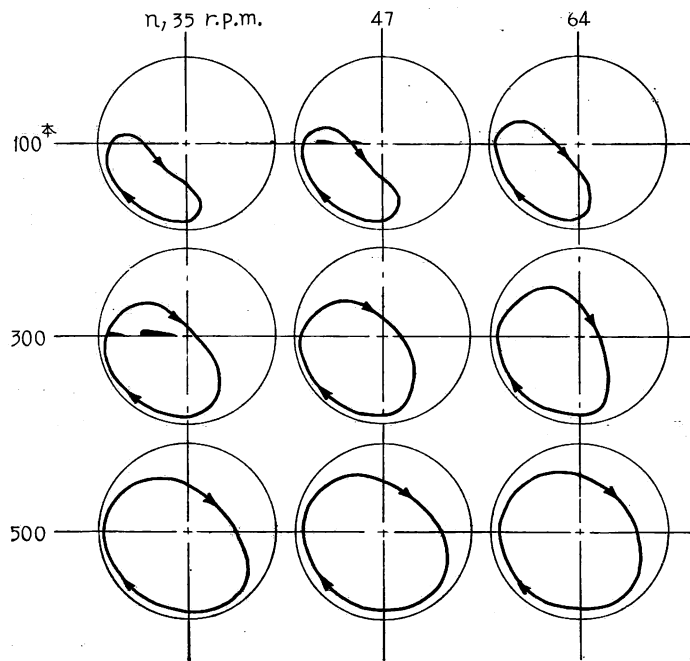


Fig. 6-1 バーをとりつけてないドラム内の材の運動範囲
Motion sphere of materials in drum without barking bar.

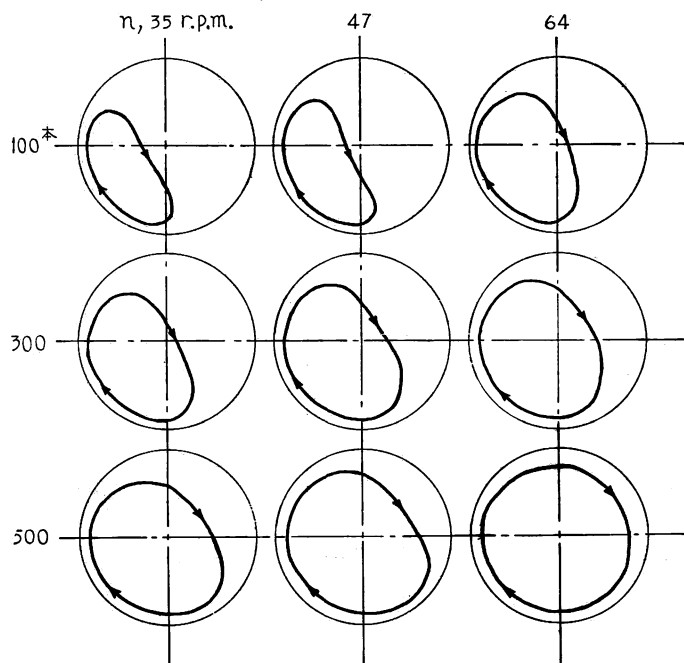


Fig. 6-2 バーをとりつけたドラム内の材の運動範囲
Motion sphere of materials in drum with barking bar.

円筒内壁に barking bar をとりつけた場合とつけない場合を比較しながら、材の運動状態について観察された事項について、次に述べる。

(1) 回転円筒内において材の運動する範囲は Fig. 6 (1,2) に示されるとおりであるが、この運動範囲は同じ仕込量で比べると、回転数が大であるほど大になり、また同じ回転数で比べると当然のことではあるが仕込量が多いほど大きい。このことは回転数をませば材の飛行運動が行なわれるからである。

(2) 回転円筒内壁にバーをとりつけた場合は、とりつけない場合に比べ、同じ回転数でも材が円筒壁に沿って持ち上げられる高さが高い。この傾向は仕込量が少ないほど著しい。

(3) 仕込量が大きくなれば、当然のことではあるが材が自由に運動する範囲が狭くなり、したがって円筒内のバーの有無による影響は少ない。

(4) 材の回転運動の中心すなわち不動点は、円筒中心を通る鉛直線に対し回転方向にある角度をもつ半径上にあり、回転数・仕込量をますます円筒中心に近づく傾向がみられるが、実験条件ごとに明らかにすることはできなかった。

5. 回転円筒内の材の運動速度

回転円筒内の物体（円筒内径に対し約 5% の最大長の物体の場合）の運動は、それぞれの条件の材の運動範囲内で運動速度についてほぼ同心円状の層を形成し、円筒の半径方向にかなりの速度勾配をもち、これは円筒とそれに接する層の間が特に大きく、また円筒容積に対する物体の全容積比が大きくなるほど小さくなり、それが 60~70% の場合ほとんど零になることが実験的に確かめられている。ここで取り扱っている材は円筒内径に対し約 30% におよぶ材長をもつから、円筒の半径方向の層別は区分しがたく、したがって、また精密に材の運動速度を求めることは困難である。そこで円筒内壁に接した材の角速度をまず取り上げ、撮影したフィルム速度（毎秒 64 コマ、1 コマの送りは $1/64=0.056$ sec）より、各コマごとの同一材の位置を追跡し、前出 Fig. 5 に示す図より角速度を算出した。この結果について円筒回転数

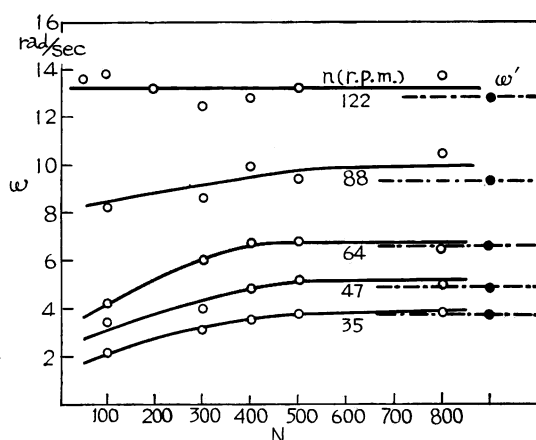


Fig. 7-1 バーのないドラムの仕込本数と材の角速度

Relation of angular velocity of a material to loading capacity in drum without barking bar.

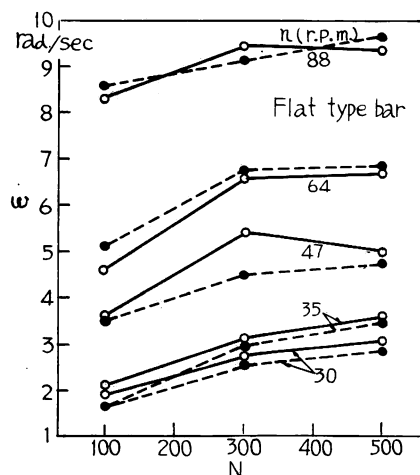


Fig. 7-2 バーをとりつけたドラムの仕込本数 N (本) と材の角速度 ω (rad/sec)

Relation of angular velocity to loading capacity in drum with barking bar.

ごとに仕込量との関連で整理すると Fig. 7 (1~3) に示すごとくである。次にこれらについて考察する。

(1) 円筒内壁にパーをもたない場合、内壁に接して運動している材の角速度は、Fig. 7-1 で明らかに示されるように仕込量が大きくなるほど、回転数をますます大きくなる。仕込量は本数で 500 本(みかけの仕込率 $\alpha=75\%$)以上では一定値を示す。

(2) この一定値は回転円筒の周面の角速度 ω' とほとんど同値であるから、 $\alpha > 75\%$ では円筒壁と材の間に速度勾配があり、すべりが存在することがわかる。すべりは仕込量が小さいほど大きい。

(3) パーをとりつけない場合では $\alpha > 75\%$ で、材の角速度は円筒の角速度にほぼひとしくなることが確かめられたので、パーをつけた場合については仕込本数を 100,

300 および 500 本(それぞれ $\alpha=15, 45, 75\%$) についてのみ測定したが、仕込量が小さい場合は同様にすべりを生じていることがわかる。しかし、パーをとりつけた場合は円筒との速度勾配が零になる仕込量が、つけない場合で $\alpha < 75\%$ であるのに対し、つけた場合は $\alpha < 50\%$ となる。

(4) この傾向は平型パーよりも鋸歯型パーの方が明らかであって、一般的にいえばパーは仕込量が少ない場合でも材の運動速度を円筒周速とほぼ同程度にする効果があるといえる。

(5) 円筒内の材は前述したように円筒壁に沿い、ある程度の高さにもちあげられたのち、飛行運動または流下運動をするが、この速度を求めると Fig. 8 のようである。すなわちこの速度は、回転数が同じであれば仕込量が小さいほど急激に大となる傾向を示し、円筒壁に沿う回転運動の場合と逆の傾向を示す。

(6) この速度は円筒回転数が支配的因子であって、回転数が大きいほど大きい。材の落下速度はこの実験条件の範囲ではおおむね 12~32 cm/sec 程度である。

(7) いままで述べた実験結果は材長が 100 mm の場合についてであるが、材長が 50 mm の場合およびこれら両者を混合した場合についても同様に観察したが、材の角速度または落下速度は同程度であり、また直径 8 mm と 14 mm の場合と同程度であって、材の重量・形状などによる差はほとんどみられなかった。

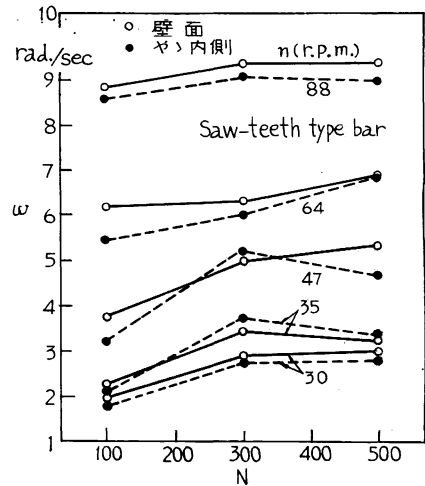


Fig. 7-3

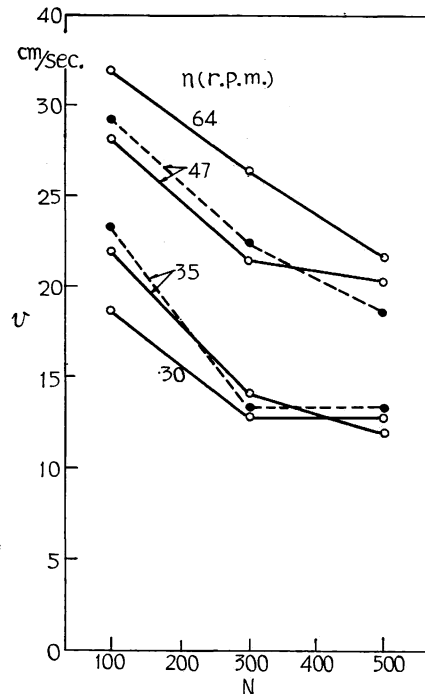


Fig. 8 材の落下速度 v (cm/sec) と材の仕込本数 N (本)

Relation between loading number of materials and dropping speed.

6. 人工樹皮付着材の剥皮重量と円筒回転時間の関係

試験材の項で前述した方法で作製した人工樹皮付着材を用いて Table 1 に示す実験系列により剥皮実験を行なった。すなわち、各条件のもとに円筒を一定時間回転し、円筒内に投入した人工樹皮付着試験体 20 本について、投入前の重量に対する重量減少量を測定して、付着鋸屑の重量減少で樹皮でいえば剥皮重量に相当する量とみなした。このようにして鋸屑がほぼ全部脱落するまで 5~30 min ごとに試験材の重量測定をくり返し、最後に残っている付着鋸屑はナイフなどで取り除いて、試験材に付着していた鋸屑重量を算出した。この実験結果から円筒の回転時間に対する剥皮重量に相当する鋸屑の脱落量の関係の数列を Fig. 9 (1~6) に示す。また剥皮される経過の例を示せば Fig. 10 のようである。鋸屑の剝離除去される様相は木口端近くの部分から剝離する傾向がみられ、実際のドラム・パーカーによる剥皮のそれと近似する。

Fig. 9 で明らかであるように、いずれの条件の場合も円筒運転時間の初期において剥皮重量は比較的多

Table 1. 人工樹皮付着材の剥皮の実験条件
Experimental conditions of debarking.

実験系列 Series	バーの有無 Barking bar	試験材の樹種 Species	円筒回転数 Speed of revolution n (r.p.m.)	仕込本数 Number of loading materials N
A	なし Without	アカマツ <i>Pinus</i>	35, 47, 64	100, 200, 300, 400, 500, 600
B	平型 4 本 4 flat type	マカンバ <i>Betula</i>	35, 47, 64	100, 200, 300, 400, 500, 600
C	鋸歯型 4 本 4 saw-teeth type	マカンバ <i>Betula</i>	35, 47, 64	100, 200, 300, 600
D	鋸歯型 8 本 8 saw-teeth type	マカンバ <i>Betula</i>	35, 47, 64	100, 200, 300, 400, 600

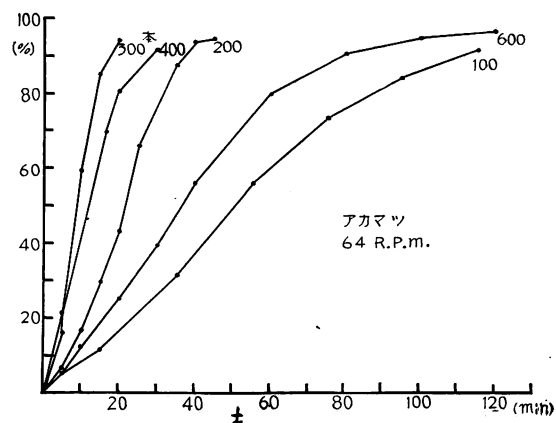


Fig. 9-1 重量減少率（剥皮重量）とドラムの運転時間 t (min)
Relation between operating time of drum and weight loss
(weight of sawdust removed).

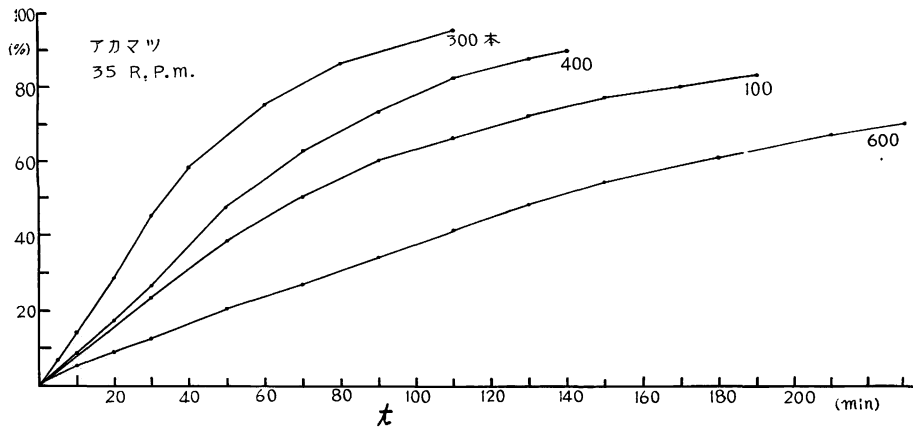


Fig. 9-2

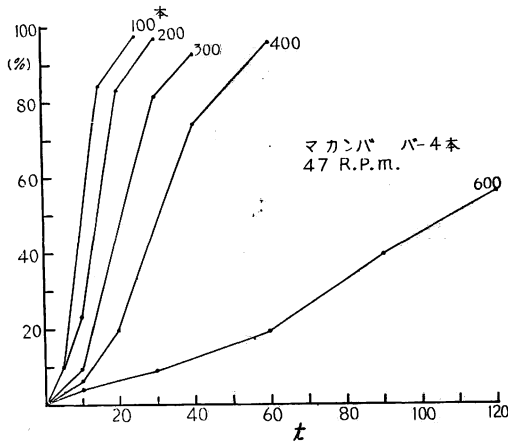


Fig. 9-3

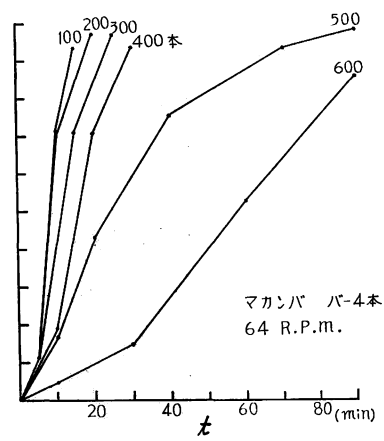


Fig. 9-4

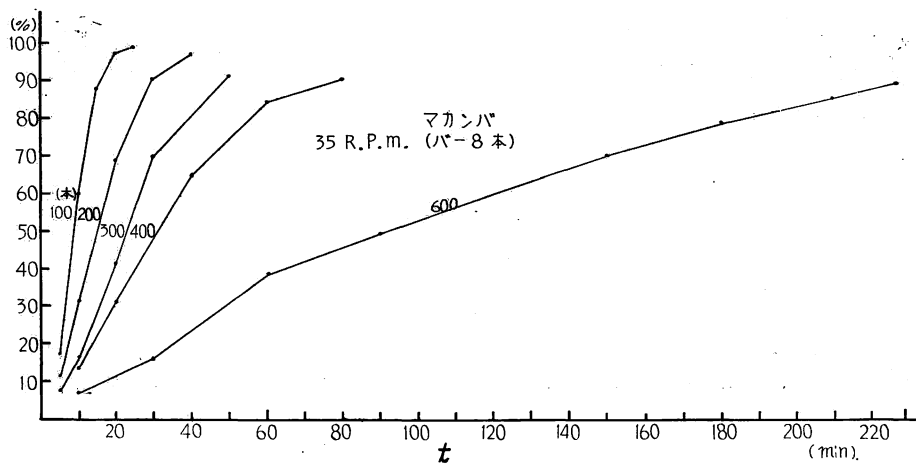


Fig. 9-5

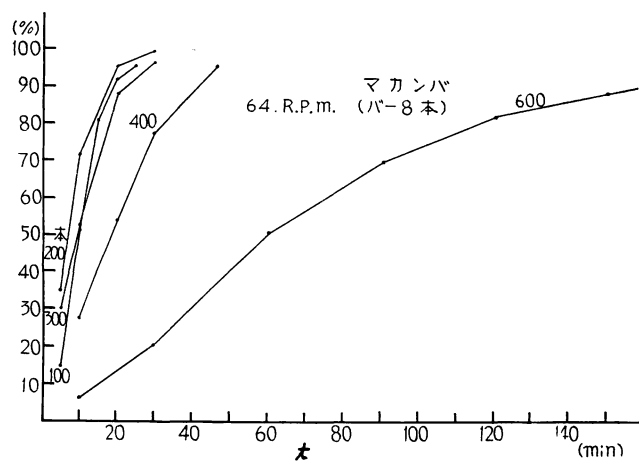
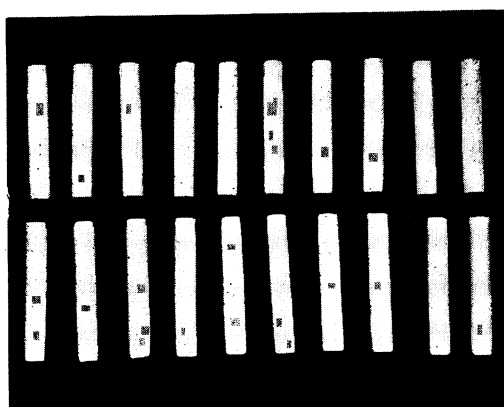
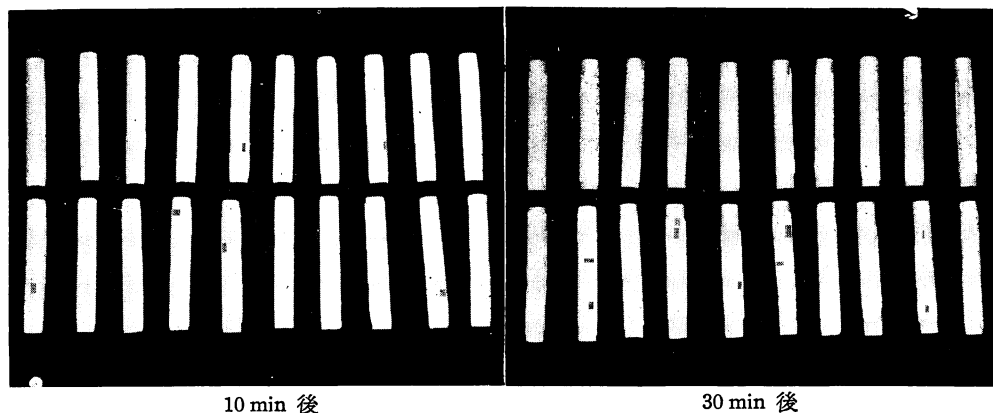


Fig. 9-6

く、次後低減する傾向がみられ、この傾向は実用のドラム・パーカーの場合と全く同様である。各実験条件ごとにこの傾向は同様ではあるが、その程度は回転数・仕込量およびパーの有無、その本数などにより影響されるので次にこの関係を検討する。



47 r.p.m. 600 本
パー 8 本 マカンバ

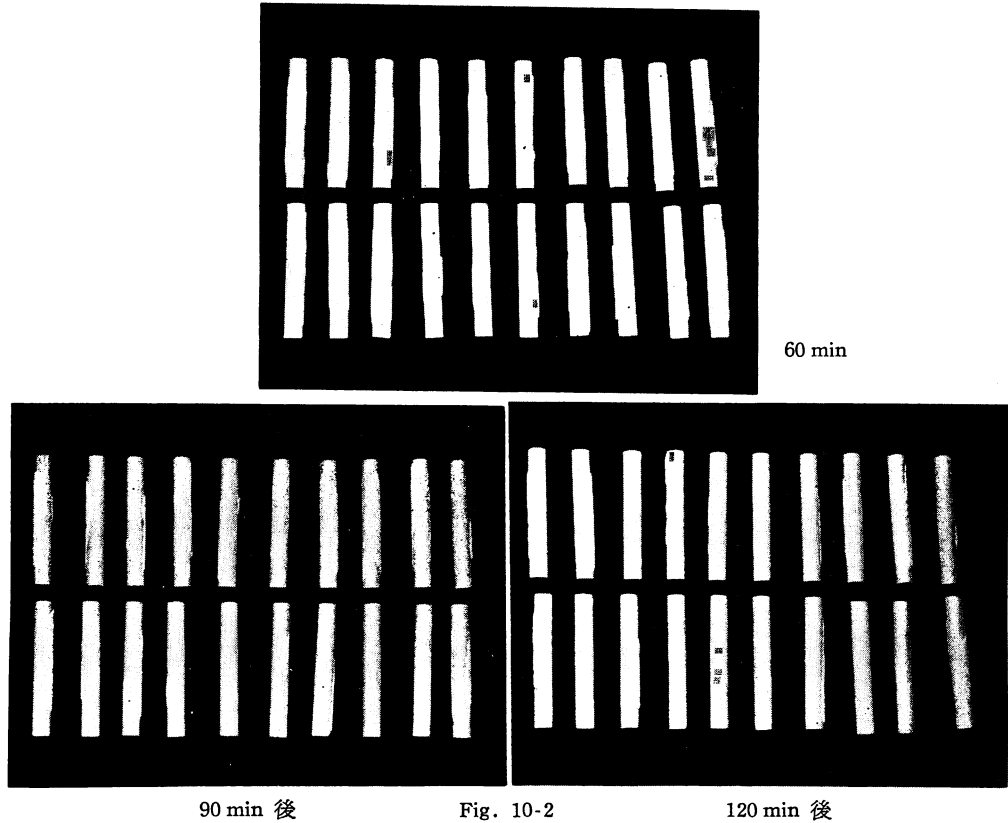


10 min 後

30 min 後

Fig. 10-1 人工樹皮つき材の剥皮経過

Condition of material removed saw-dust for each operation time of drum.



7. 剥皮速度

チップ工場で稼動しているドラム・パーカー2機について試験した結果によれば、剥皮速度はドラム内

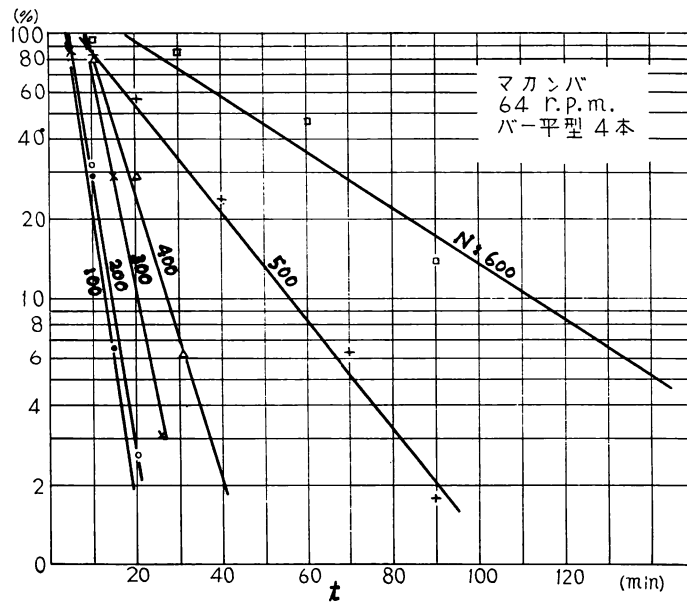


Fig. 11-1 ドラム運転時間と剥皮残量の関係
Relation between operating time of drum and percentage of residual bark (saw-dust) weight.

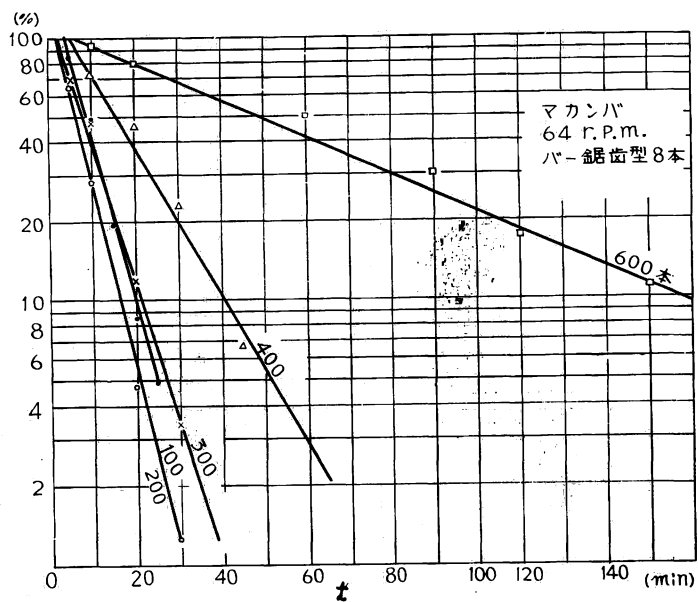


Fig. 11-2

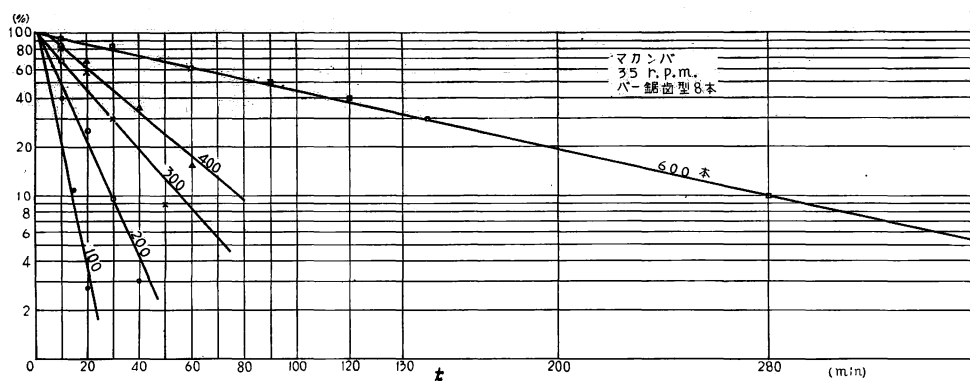


Fig. 11-3

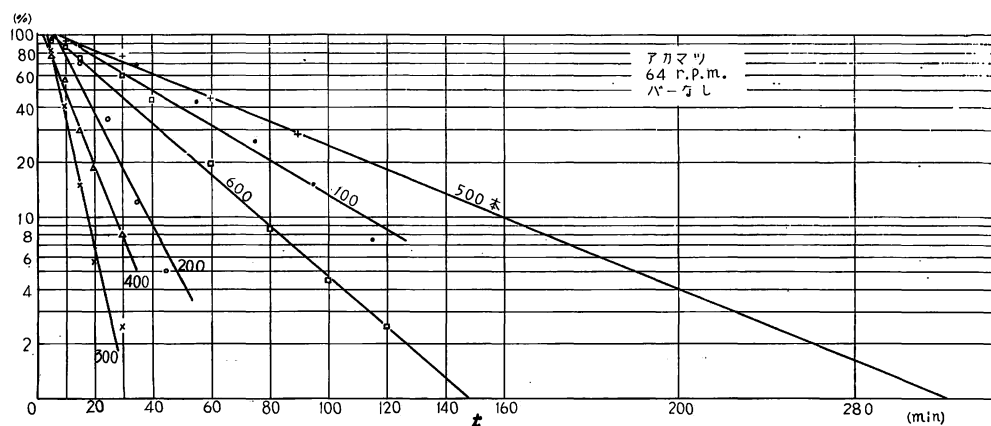


Fig. 11-4

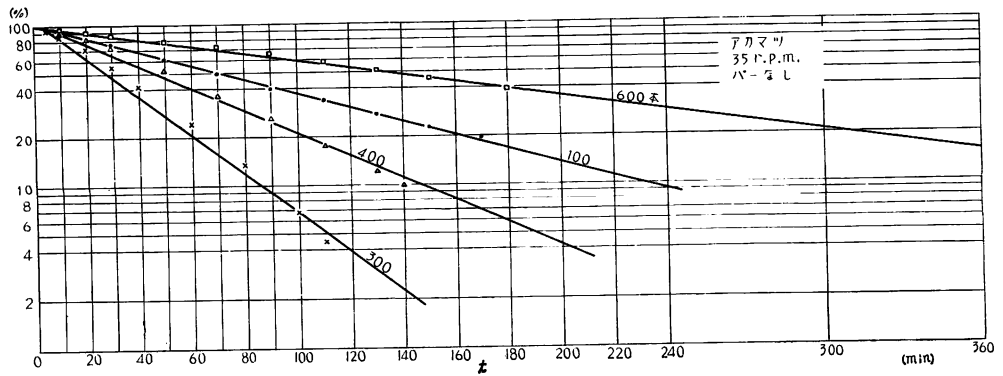


Fig. 11-5

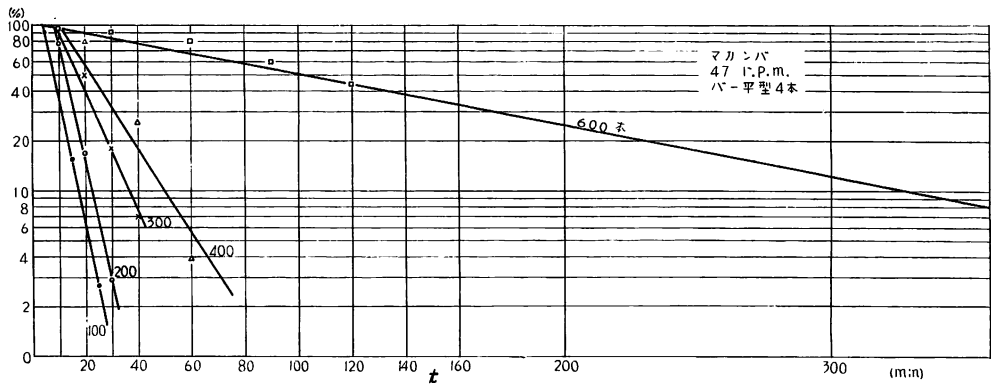


Fig. 11-6

Table 2. 試験材の仕込本数と仕込量

Number of loading materials (N) and
apparent loading capacity (β).

試験材数 N	試験材の全容積 $V \text{ (cm}^3\text{)}$	みかけの仕込量 $\alpha \text{ (%)}$	実質仕込量 $\beta \text{ (%)}$	乱積係数 γ
100	1,539.4	15	5.4	0.36
200	3,078.8	30	10.9	0.36
300	4,618.2	45	16.3	0.36
400	6,157.6	60	21.8	0.36
500	7,697.0	75	27.2	0.36
600	9,236.4	90	32.6	0.36
700	10,775.8	95	38.0	0.40
800	12,315.2	100	43.6	0.44

(注) 円筒内容積 V_0 : 28,274.4 cm³

β : actual loading capacity ($= V/V_0$)

γ : loading factor ($= \beta/\alpha$)

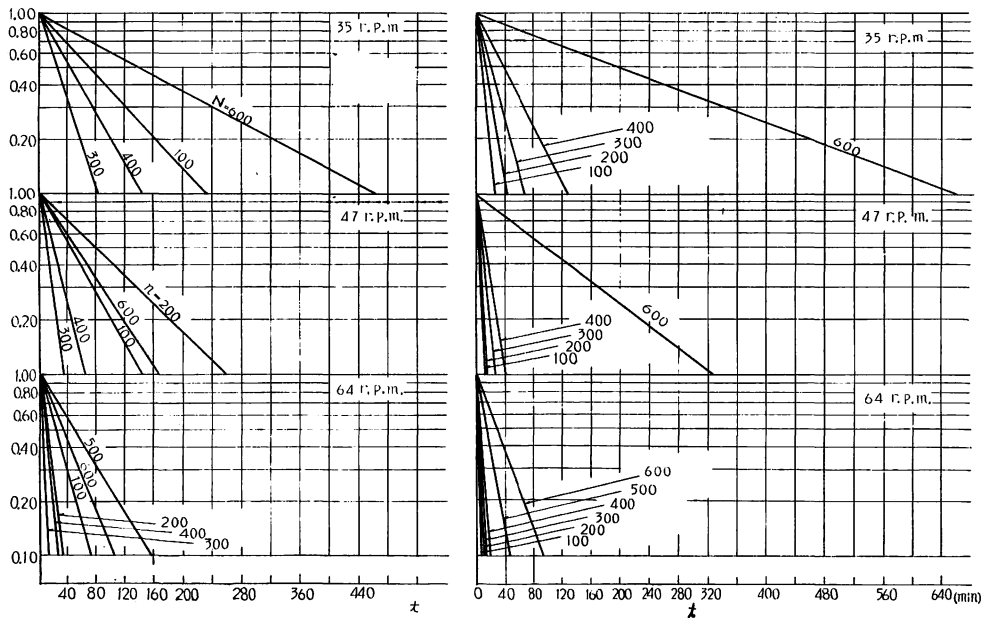


Fig. 12-1 各実験条件に対するドラム運転時間と剝皮残量の関係

Relation between operating time of drum and percentage of residual bark (saw-dust) weight for each experimental factors.

左図, アカマツ
バーなし
右図, マカンバ
バー 4 本

の仕込材にふくまれる樹皮残重量に比例することが確かめられ、したがって、これらの関係は次式であらわされる。すなわち、

$$dw/dt = C(W-w)$$

したがって、 $w = W(1 - e^{-Ct})$

ここに t : ドラム運転時間 (min), w : ドラム運転時間 t 分間の剝皮重量 (kg), W : ドラム中の全仕込材にふくまれる最初の全樹皮重量 (kg), C : ドラム回転数: 仕込量によりきまる定数、この実験においては W は試験材 20 本にふくまれる鋸屑全重量であり、 w は円筒 t 分間運転後同じ試験材にふくまれる鋸屑重量に相当するわけであるから、 $(W-w)(g)$ が樹皮残量に相当する。したがって、鋸屑残量が最初の鋸屑付着重量に対する百分率を求め、この値の対数を縦軸とし、横軸に円筒回転時間をとり、得られた実験値をプロットすれば、両者の関係の数例を Fig. 11 に示す。この結果によれば、両者の関係は多少のばらつきはみられ、また曲線で近似させる方がよいような場合も認められたが、

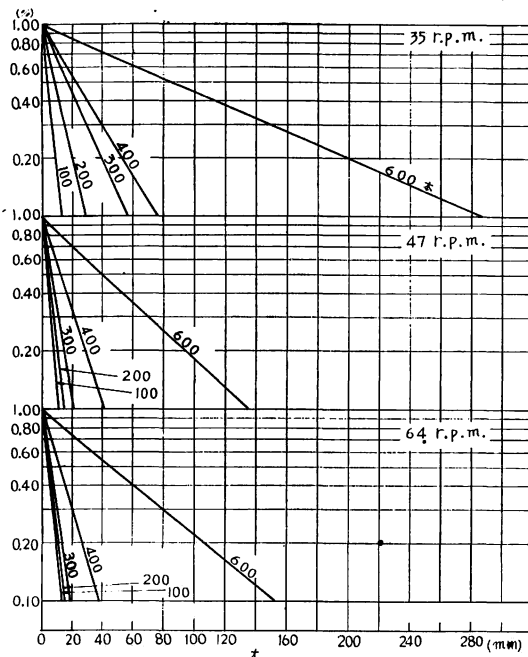


Fig. 12-2 (マカンバ、バー 8 本)

Table 3. 各実験条件に対する実験定数 C
Calculated values C for each conditions.

仕込本数 N	実験系列 A			B			C			D		
	バーなし			平型4本			鋸歯型4本			鋸歯型8本		
	$n(r.p.m.)$			$n(r.p.m.)$			$n(r.p.m.)$			$n(r.p.m.)$		
	35	47	64	35	47	64	35	47	64	35	47	64
100	0.010	0.016	0.022	0.112	0.171	0.288	0.063	0.118	0.131	0.177	0.219	0.154
200	—	0.009	0.071	0.055	0.159	0.242	0.033	0.112	0.154	0.081	0.159	0.166
300	0.027	0.066	0.159	0.034	0.082	0.177	—	—	—	0.041	0.107	0.121
400	0.016	0.036	0.085	0.018	0.057	0.125	—	—	—	0.031	0.055	0.063
500	—	—	0.015	—	—	0.047	—	—	—	—	—	—
600	0.005	0.014	0.032	0.004	0.007	0.024	0.008	0.010	0.019	0.008	0.017	0.015

多くは直線で近似させて妥当と認められた。すなわち、この模型実験でも剥皮速度は樹皮残量に比例することが、明らかにいえる。ただしこの実験の結果によれば、両者の関係を示す直線は必ずしも $t=0$ のとき剥皮残量が 100% [$(W-w)/w=1$] の点を通らない場合がみられるが、このことは円筒回転時間の初期約 5 分間程度の短時間は試験材相互の自己摩擦(共ずり)のため、接着力の比較的弱い表層部の鋸屑が除去されることが原因の 1 つであろうと考えられる。したがって、実験値になるべく忠実に $\log(W-w)/w$ と t の関係をあらわした直線を $t=0$ のとき $\log(W-w)/w=1$ の点をとるように平行移動をして、各実験条件ごとに示せば Fig. 12(1~2) のようである。

8. 剥皮速度に及ぼすバー、円筒回転数および仕込量の影響

前出の剥皮速度をあらわす式の実験定数 C は各条件における剥皮速度の大小を示す指標であり、この値が大であれば剥皮速度は大であることは明らかである。実験条件別に C の計算値を求めると Table 3 に示すようである。この結果から次のことが考察される。

(1) 円筒内のバーの有無と剥皮速度 バーがない場合の剥皮速度は各回転数ともに仕込量 300 本の場合

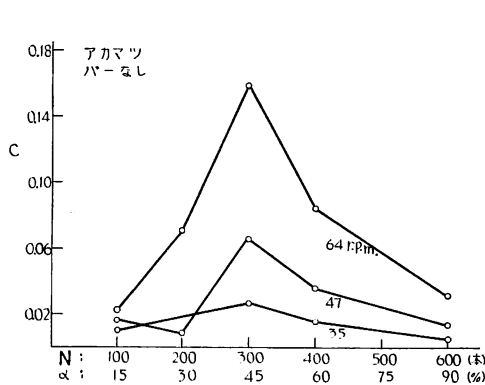


Fig. 13-1

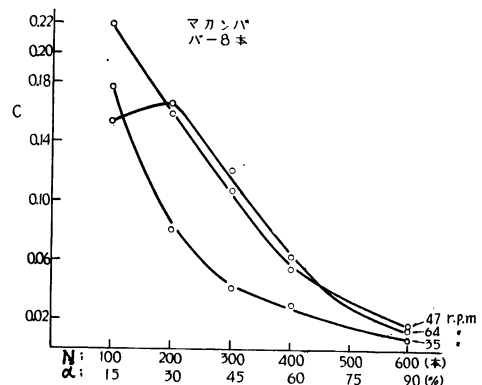


Fig. 13-2

Fig. 13 パーの仕込本数と実験定数 C の関係

Relation between experimental constant C and loading capacity in drum without barking bar.

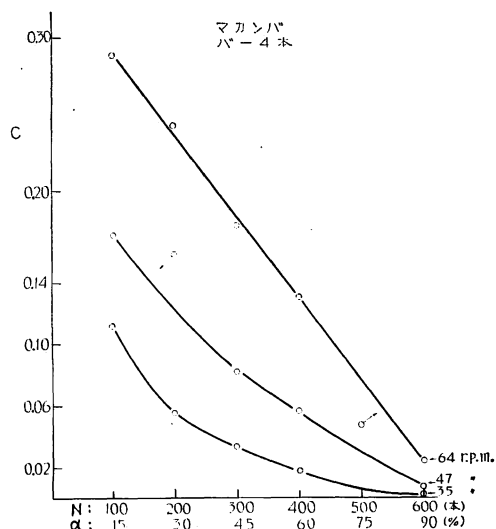


Fig. 13-3

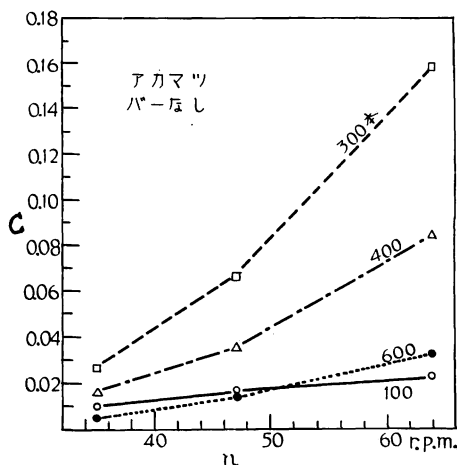


Fig. 13-4 回転数 n (r.p.m.) と実験定数 C
Relation between C and drum revolution.

合最高を示し、仕込量がこれよりも大きい場合も、小さい場合も剥皮速度は小となる傾向を示す (Fig. 13-1~3)。特にこの場合回転数が大きいほど、この傾向が著しい。バーがあるときは、ないときに比べ著しい差異は剥皮速度が中間の仕込量の場合に最大となる傾向を示さないことで、仕込量が小さいときほど大きくなる傾向を示すことである。この事実はバーがない場合は、前述の材の運動状態より明らかなように、仕込量が少ないときは円筒回転につれて材がもちあげられる高さが低いこと、したがって落下による衝撃力が少なく、しかもバーがないためバーによる剥皮が行なわれないで単に摩擦だけで剥皮が進行する

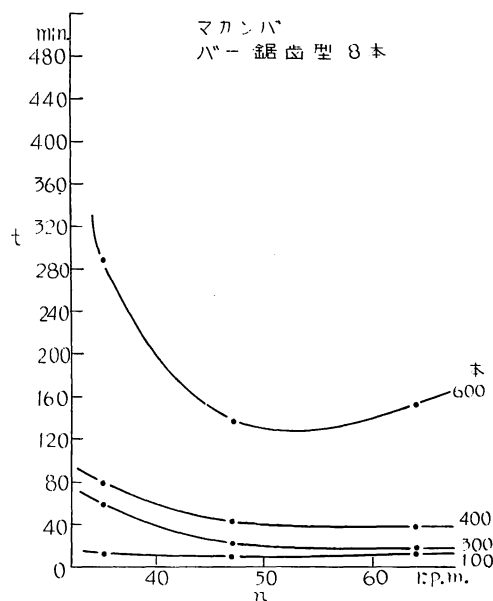
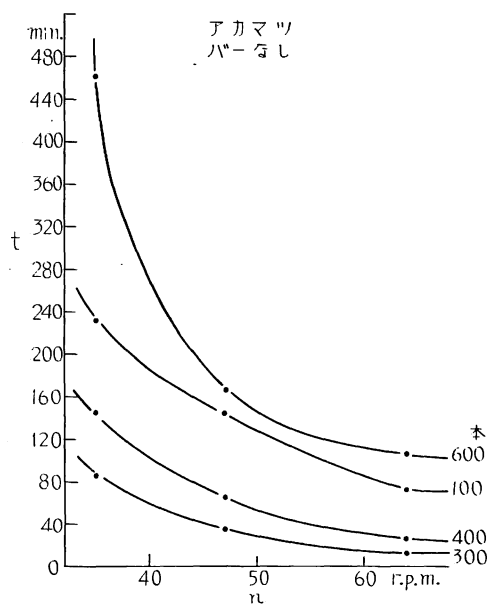


Fig. 14-1 ドラム回転数と 90% 剥皮に要するドラム運転時間
Relation between speed of drum revolution and operating time
of drum required 90% bark removal.

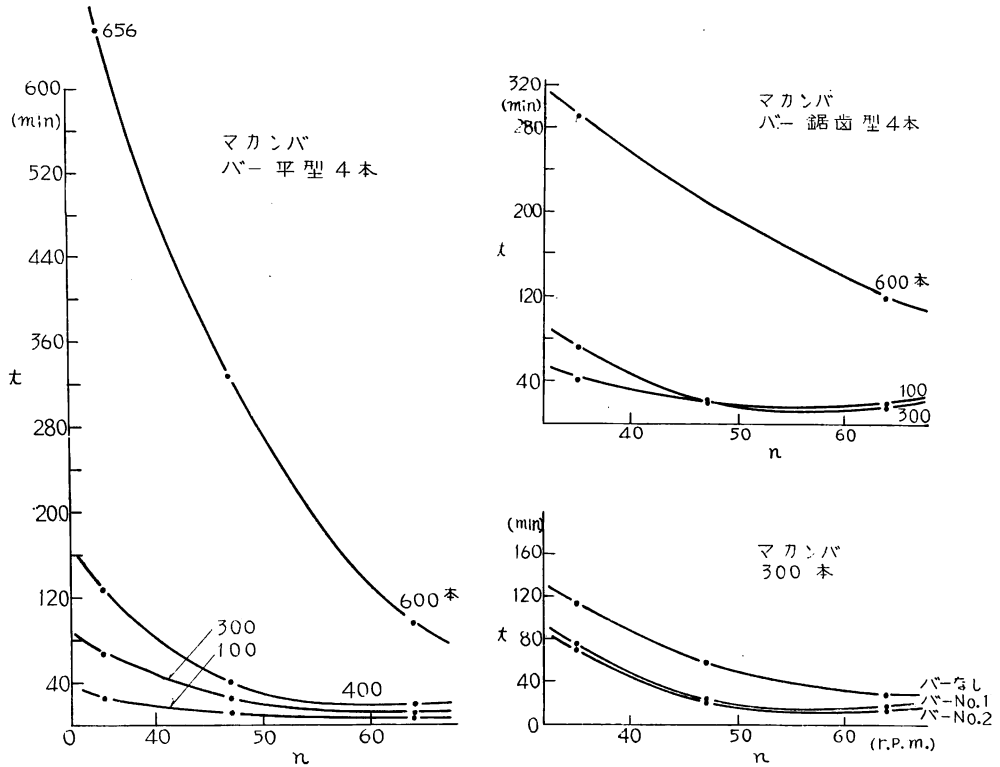


Fig. 14-2

ことに起因するであろうと考察される。したがって、パーがドラム内壁にとりつけられる意義は従来からいわれているように、パーによる衝撃効果のほか、パーにより材がもちあげられることにもあるのではないだろうか。また仕込量が約 50% よりも大きい場合は剥皮機構として摩擦（共ずり）が重要であり、仕込量がこれより少ない場合は衝撃の効果がこれに比べて剥皮に対し影響が大きいことが、このことからいえる。

(2) 仕込量と剥皮速度 仕込本数 600 本 ($\alpha=90\%$) ではパーの有無やその本数の影響がきわめて少なく、またパーのない場合は前述したように仕込本数 300 本 ($\alpha=45\%$) のとき剥皮速度が最高であったが、パーのある場合は、いずれの回転数の場合も仕込量が少ないほど剥皮速度は大きい。

(3) 回転数と剥皮速度 ドラム回転数と剥皮速度の関係を図示すれば Fig. 14 に示されるようである。このことから、鋸歯型パー 8 本の場合を除けば剥皮速度は回転数が大きいほど大となる傾向を示す。この傾向は仕込量により異なり仕込量が多いほど剥皮速度に及ぼす円筒回転数の影響は小であって、 $\alpha=90\%$ 程度ではほとんど影響がないといえる程度である。なおこのことは、パーの有無によらないで成り立つことがわかる。

(4) 剥皮に要する円筒運転時間 Fig. 8 により各実験条件ごとに剥皮量とドラム運転時間の関係を知ることができるが、さらに主要因子である材の仕込量、回転数あるいはパーの有無などごとに、90% 剥皮（最初の鋸屑付着重量の 90% の鋸屑が除去されるに要する円筒運転時間）に要する円筒の回転所要時間の関係を Fig. 12(1~2) より整理して示せば Fig. 14(1~2) のようである。これらの図から、剥皮速度で述べたと同様に剥皮速度が大きい条件は円筒運転時間が短くてよいことが知られる。

9. 回転円筒の相似則

回転円筒内の材の運動は前述したように、円筒回転数により低速の場合は円筒壁に沿う回転運動から混乱流下運動（第 1 域）、さらに回転をませば材の飛行落下運動（第 2 域）となり、ついには円筒壁に固着状態となった回転運動（第 3 域）に基本的に分けられる。これらの状態は円筒直径に無関係に回転数だけで同一状態を再現することが、石灰石の粒体の場合確認されている。もちろん実用のドラム・パーカーとこのような模型実験が円筒径を除いて、あらゆる条件がひとしいことはあり得ないことではあるが、従来のドラム・パーカーの試験・観察からも円筒回転数により材の運動状態が変わることは推察できる。この

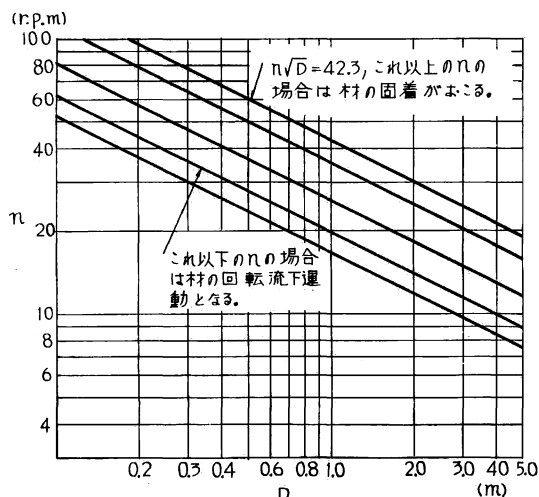


Fig. 15 ドラム直径 D (m) と回転数 n (r.p.m.) の相似則

Similar law on drum diameter and speed of drum revolution.

関係は従来の研究結果から、大体において円筒直径 D が変わったとき円筒回転数 n は $1/\sqrt{D}$ に比例させれば円筒内の材の運動状態が相似するという、いわゆる相似則が成り立つことが知られている。材の運動状態はもちろん前述したように材の仕込量・パーの有無などによっても異なるが、この相似則はこの実験結果から実際のドラム・パーカーについても適用できると考えられるから、この実験条件として採用した円筒回転数から、きわめて直径の大きいドラム・パーカーの場合の状態を推定する規準として Fig. 15 が示される。すなわちここで取り扱った直径 0.3 m の回転円筒で、たとえば回転数 47 r.p.m. の場合は直径 2 m のドラム・パーカーであれば回転数が 18 r.p.m. の場合に相当すると考

えてよいということである。

む す び

内径 300 mm、長さ 400 mm の水平回転円筒中の材の運動状態を高速度撮影機により観察し、その結果を解析し、さらに人工樹皮を付着させた試験材について剥皮の経過を模型実験として取り扱った。主要関係因子としてドラム回転数・材の仕込量およびパーの有無などを取り上げ、その結果は次のことが明らかにされた。

1. 回転円筒内の材の運動はドラム回転数により様相が異なり、この実験では 35 r.p.m. 以下の場合は壁体に沿いある高さにもちあげられた材は自重により混乱流下する運動を繰り返す。47～64 r.p.m. 範囲では遠心力による円運動から自由状態で放物線状の飛行運動をする。さらに 76 r.p.m. 以上になるとドラム壁に近い材は遠心力により壁に固着した状態で回転運動をするようになる。剥皮効果の最大になる運動状態は第 2 域（この場合は 47～64 r.p.m.）であって、この範囲について特に材の運動状態に対する各種因子の影響を観察した。すなわち、ドラム壁のパーの効果は材の落下による衝撃作用のほかに材をもちあげ

て落下高を大にする効果があることが観察された。またドラム内壁と材の間には材の仕込量が少ない場合に速度勾配がみられ、パーがあるときにはない場合に比べさらに小さい仕込量まですべりがみられない。材が円運動から流下または飛行運動で落下するときの速さは仕込量が少ないほど比較的急激に大となり、ドラム回転数が大きいほど大きい。

2. 鋸屑を付着させた人工樹皮つき試験材で剥皮試験を行なった結果は、実際使用されているドラム・パーカーでの試験結果と同様に、剥皮される速度はドラム内に残っている残留樹皮重量に比例するという法則が成り立つことを確認した。

3. 模型実験で得られた材の運動状態と剥皮に関する因子を実際のドラム・パーカーに適用する場合は、おおむね回転数 n (r.p.m.) をドラム直径 D (m) の \sqrt{D} に比例させれば材は同じ運動状態を示す相似則が適合することが知られた。

以上材の運動を二次元的に観察したものであるが、密閉式ドラム・パーカーについては、おおむね適用できると考えられる。連続式については材の送り方向の運動状態を考慮して三次元的に取り扱う必要があり、これは今後の実験にまちたい。

文 献

- 1) 大山義年：水平回転円筒内の粒体の運動，理化学研究所彙報，12，pp. 953～975，(1933)同 14，pp. 770～780 (1935)，同 19，pp. 1070～1087，(1940)。
- 2) 倉藤尚雄・木下夏夫：回転研磨法の研究，精密機械，21，p. 260 (1955)，同 18，p. 89，(1952)。
- 3) 松永正久：バレル仕上法，誠文堂，pp. 197，(昭 34)。
- 4) 中村源一・大平 裕・星 通・斎藤真寿夫：ドラム・パーカーによるチップ用材の剥皮試験 (1)，林試研報，138，pp. 157～176，(1962)。
- 5) 中村源一・大平 裕：ドラム・パーカーによるチップ用材の剥皮試験 (2)，林試研報，155，pp. 88～109，(1963)。

Fundamental Studies on Debarking by Means of Small Size Drum Rotor (I).

On the observation of movement of materials and the progress of debarking by the horizontal rotating drum.

Gen-ichi NAKAMURA and Yutaka ÔHIRA

(Résumé)

Drum barkers for small size pulp wood are increasingly being used in Japan because of their high efficiency on debarking. Industrial trials on the debarking by some types of the drum barker were carried out and the results obtained have already been published, but the results were insufficient to provide comprehensive information or data on debarking because the selection of main factors such as drum revolution and loading amount was restricted to the barkers available in the chip mills. So this paper deals with the observation of movement of the materials and the progress of debarking by means of the horizontal rotating drum which is designed on a small scale for a drum barker.

The horizontal drum rotor used

The horizontal drum rotor used in this experiment consists of thin steel cylinder 300 mm in diameter and 400 mm long, which is equipped with a glass lid 4 mm thick at the both ends.

This cylinder can be driven on two driving shafts at a speed of 22~122 r.p.m. by the non-step change device of revolution with 1 HP induction motor (Fig. 1). Lengthwise there are 4 or 8 barking bars (Fig. 2) in the inside wall of the drum.

Materials used in this experiment

Materials used in this experiment are round wooden bars 8~14 mm in diameter and 50, 100 mm long which are cut by a dowel making machine. The round wooden bars (14 mm diameter, 100 mm length) are used for the observation of the movement in the drum, and for the debarking experiment by the drum, materials used are round wooden bars with artificial bark made of saw-dust glued with fast-drying paint. The weight of saw-dust per 20 round bars is about 36.8~40.1 g, but this does not apply to another experiment series.

The movement of materials in rotating drum

The results of the study of the movement in the rotating drum concerning some powder or small-size metal fragments have been classified into the following three types by speed of drum rotation, and they are (1) First type, the materials that run down confusedly after being lifted up at some height along the drum wall. This can be seen only at slow revolution of drum, (2) Second type, the materials that are thrown or fly in free after a circular motion along the wall of drum. (3) Third type, the materials that rotate along the inside of the drum in fixed condition by centrifugal force. This type occurs only at high revolution of drum. It may be concluded that the maximum work efficiency shows at the intermediate type between the 1st and 2nd type for crusher, finishing barrel operation. On the other hand in the case of debarking, the 2nd type may be the most important among them. Fig. 3 (1~5) show some examples of movement condition of materials in the drum at a speed of 35~122 r.p.m. and 10~90% of loading capacity for drum volume. Fig. 4 (1~5) illustrate some examples of motion locus of a material in drum. These pictures were analyzed by the films taken with the high-speed camera. Summarizing the observation of movement of such material in the rotor, the speed of drum n below 30, 35 r.p.m., belongs to the first type above mentioned and the third type appears at above 77 r.p.m., that is, it corresponds to reasonable value calculating from the formula $\omega \geq \sqrt{g/r}$, where ω represents angular velocity of a material, r represents radius of gyration in a material, and g represents gravity acceleration.

The sphere of material motion in drum is diagrammatically shown in Fig. 6, in which the motion sphere of materials tends to decrease with decreasing of speed of revolution, loading capacity and also in the case of having barking bars at inside of drum as opposed to the case of drum without such bars.

Velocity of material in drum

Velocity of material was measured by the records of pictures taken with a high-speed camera as angular velocity along the wall of drum, and dropping velocity as a projectile after circular motion. Fig. 7 shows the relation between the angular velocity (ω rad./sec.) and loading capacity of material in drum (α %) and also indicates that in the case of above 75% of loading capacity, angular velocity becomes a constant value for each speed of revolution (n r.p.m.) and it decreases with decreasing the value of α for $n > 64$ r.p.m.. While this constant value is similar to the angular velocity of the drum wall, it may be noted that the slip between material and drum wall occurs under the condition of below 75% of α , but in the case of equipping the drum wall with barking bars, such a slip occurs only below approximately 50% loading capacity (Fig. 7-2,3). Fig. 8 shows the dropping speed of material for each condition, from which it will

be seen that contrary to the case of angular velocity, the dropping speed increases with the decreasing of the loading capacity, and the values obtained in this experiment are shown as 12: ~32 cm/sec.

Relation between operating time of drum and weight loss of materials with artificial bark

Investigation of weight loss (weight of saw-dust removed) during each operating time of the drum was carried out under the conditions given in Table 1. The results are shown in Fig. 9 which indicate a similar tendency as in drum debarkers in chip mills, as previously reported. According to the previous report on the removal of bark with the drum barker, the rate of bark removal in a drum barker is proportional to the residual weight of bark present in raw materials in the drum. Therefore the following formula may be used.

$$dw/dt = C(W-w)$$

$$\text{then } w = W(1 - e^{-ct})$$

Where, W : weight of saw dust, w : weight of saw dust removed in t (min.) of operation time.

If this presumption can be considered adequate for the results of this experiment, the logarithm of $(W-w)/W\%$ and operating time of drum t (min.) should be presented as linear relation. Fig. 11 shows that this relation can be approximately formed; however, such a linear relation presented as straight line as faithfully as possible for experimental measured values does not satisfy the conditions of 100% in $(W-w)/w$ value for $t=0$ under some conditions. This may be due to the fact that delamination of saw-dust at the surface occurs as weight loss at initial stage of drum operation by tumbling or rubbing against each other. The relation between the value of $(W-w)/W\%$ and operating time of drum t (min.) for each experimental condition. is shown in Fig. 12.

The experimental constant C in the above formula is considered as the index of the rate of bark removal; the calculated values for each condition are shown in Table 3. The effect of barking bar, speed of drum revolution, loading capacity for the rate of bark removal, are summarized as follows; the value of C is maximum at about 50% loading capacity in the case of the drum without barking bar, whereas for the drum with barking bar, the value of C increases with decreasing of loading capacity (Fig. 13). And the value of C increases with the decreasing of speed of drum revolution for each loading capacity (Fig. 14).

Similar law on movement of materials in a drum

As previously mentioned, condition of motion in a rotor is divided into 3 types by speed of drum revolution, so it can be assumed that the condition of movement is similar in general, if speed of rotation n (r. p. m.) changes proportional to the value of \sqrt{D} (D : diameter of drum). Consequently this similar law, Fig. 15 will be available to check the speed of drum revolution for each diameter of drum barker used in chip-mill for the purpose of applying the data obtained in this experiment to actual operation of debarking with a drum barker.