

ドラム・バーカーによる チップ用材の剥皮試験

中村 源一⁽¹⁾ 大平 裕⁽²⁾
星 通⁽³⁾ 齋藤 真寿夫⁽⁴⁾

1. は し が き

パルプ用材の供給事情としていわゆるチップに対する依存度は最近とみに高まりつつあり、昭和 35 年度におけるチップ生産量はパルプ原木全需要量の約 30% に達している。チップ原料は工場廃材と末木・枝条・小径丸太をふくむ林地残材に大別されるが、木材の完全利用の立場から特に後者の場合、ますますその依存度が大きくなる傾向があり、技術的問題点のひとつとして剥皮工程の能率化・改善が急務とされている。この問題についてはかねてから全国木材チップ工業連合会を通じ、木材部に研究の推進の要望がなされていたが、このたびドラム・バーカーの運転について実態調査を実施し、問題点のはあく・経験的知識の確認および技術的に開発すべき事項について検討を加える機会を得たので、その結果について報告する。もちろんこの 1 回の調査・試験で満足すべきものではなく、回を重ねて充実してゆくことを期待し、またこの報告で採用された方法などについても検討され助言されることを念願するものである。

この調査の機会を与えられた全国木材チップ工業連合会、実行に協力された静岡県木材チップ工業会・静岡チップ工業 K. K.、協和木材 K. K.、ならびに試験の計画・実行について有益な助言をいただいた木材部小倉部長・化学部米沢科長に謝意を表する。

2. 調査・試験方法

わが国で工業的剥皮法として採用されている方式は大別して、(1) 刃物・チェーンなどの工具により機械的に樹皮を切削剥皮するいわゆるカット・バーカーによる場合と、(2) 回転円筒中に材を投入し、主とし

Table 1. 各試験の材料, ドラム・バーカー, 実施工場
Materials drum-barker and chip-mills surveyed for each test.

試験 Test	材 料 Materials	ドラム・バーカー Drum barker	実施工場 Chip-mills surveyed
試験 I Test I	アカマツ小径丸太 <i>Pinus densiflora</i> , small logs	密閉式 Close type 直径 Diameter : 2.35 m 長さ Length : 3.65 m	静岡チップ工業 K. K. Shizuoka Chip Ind. Co.
試験 II Test II	in diameter	回転数 Numbers of rotation : 14 rpm	
試験 III Test III	広葉樹材小径丸太と割材 Hardwood, small logs in diameter and cants	連続式 Continuous type 直径 Diameter : 2.35 m 長さ Length : 6.0 m 回転数 Numbers of rotation : 14 rpm	協和木材 K. K. Kyōwa Timber Co.

(1) 木材部加工科長 (2) (3) (4) 木材部加工科加工研究室員

て衝撃と摩擦効果により剥皮するドラム・パーカーによる場合に分けられ、補助的には手加工による剥皮も採用されている。諸外国²⁾⁴⁾⁵⁾においては剥皮機械の型式と剥皮方法はさらに広範囲にわたり、これらの方式は企業的に採用されているが、前述したようにわが国の事情としては能率の点でドラム・パーカー方式がカット・パーカー方式よりも普遍的に採用されている関係上、まずドラム・パーカーについて調査・試験を実施したゆえである。このような調査・試験は稼働機械を対象とする関係上、あらかじめ剥皮に関係をもつ材料的または機械的要因を個々にとりあげ、これらの関係を追究する方法は採用しがたいので、対象とするドラム・パーカーの性能・工場管理上の問題や調査・試験期間などをふくめて考慮し、Table 1 のようにきめた。

2.1 材 料

試験 I において対象とした材はアカマツ小径丸太で伐採後約 1 カ月以内の材で、ドラム・パーカーに仕込んだ材はすべて中央直径・材長を実測した。この場合の直径別本数構成は Fig. 1 に示されるようである。試験 II において対象とした材は同じようにアカマツ小径丸太で、試験 I と同様にドラム・パーカーに仕込んだ材はすべて中央直径・材長を実測したが、試験 I と異なる点は仕込み材の直径範囲がより大きい方に属することと仕込み量が多いことである。

試験 III の対象材はすべて広葉樹材であつて、樹種は 15 樹種（うち 2 樹種不明）におよび、伐採後約 6 カ月を経過した材約 30 % をふくみ、その他は伐採後 2 カ月以内経過したものである。なお、その形状は丸太と丸太を帯鋸機により樹心を通り長さ方向に二つ割り、四つ割りにした割材もふくんでいる (Fig. 2)。各試験の供試材料の主要事項についてまとめると Table 2 のようである。

2.2 ドラム・パーカー

試験 I, II を実施したドラム・パーカーは内径 2.35 m、長さ 3.65 m、厚さ 8 mm の鉄製円筒で、円筒面に材投入口、一端に材取出し口を有し、円筒内面には長さ方向に並列してアングルに溶接したバーと剥皮された皮が流出するための孔を有する型式であつた。運転時にはドラム内に取りつけられたパイプを

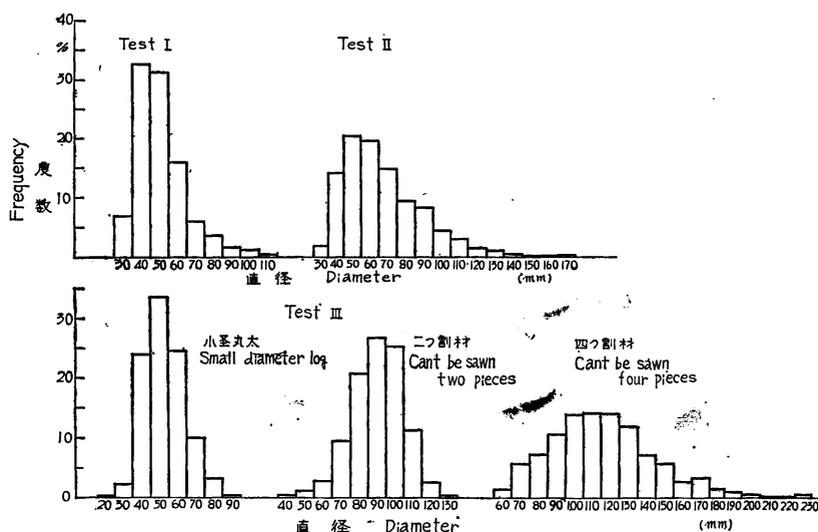
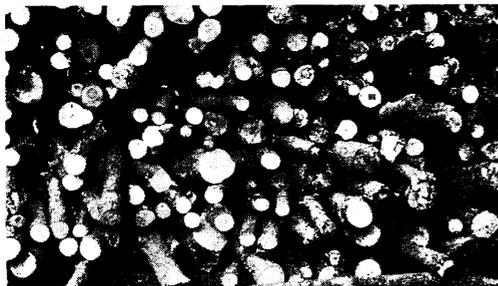


Fig. 1 供試材の直径別本数構成

Frequency distribution of diameter of logs tested for each test.

Table 2. 供試材料の樹材種・平均含水率・直径範囲・本数・材積
Species, assortment, average moisture content, range of diameter, number and volume of the materials tested.

試験 Test	樹材種 Species, assortment	含水率 Moisture contents %	直径範囲 Range of diameter cm	本数 Number of logs	材積 Volume m ³	見掛け仕込率 Apparent putting amount of materials for drum volume %
試験 I Test I	アカマツ, 小径丸太 <i>Pinus</i> , small diameter log	79.7	3~11	1,210	2.069	50
試験 II Test II	アカマツ, 小径丸太 <i>Pinus</i> , small diameter log	79.7	3~17	1,040	3.547	80
試験 III Test III	広葉樹材, 小径丸太と割材 Hardwoods, log and cant コナラ <i>Quercus serrata</i> クリ <i>Castanea crenata</i> ブナ <i>Fagus crenata</i> ホオノキ <i>Magnolia obovata</i> シデ <i>Carpinus</i> sp. ヤマザクラ <i>Prunus serrulata</i> ヒメシヤラ <i>Stewartia monadelpha</i> イモギ <i>Kalopanax innovans</i> エゴノキ <i>Styrax japonicus</i> ヤナギ <i>Salix</i> sp. カシ <i>Quercus</i> sp. カエデ <i>Acer</i> sp. リヨウブ <i>Clethra barbinervis</i> ほか 2 種 and two species others	30.0	2~23	1,829 このうち材種別割合 Percentage of each assortment in this total volume 小丸太 log 30(%) 二つ割材 Cant be sawn two pieces 31 四つ割材 Cant be sawn four pieces 22 その他割材 Other cant 17	4.655	80



あかまつ小径丸太 *Pinus*, small diameter logs.



広葉樹材小径丸太 Hardwood, small diameter logs (end view).

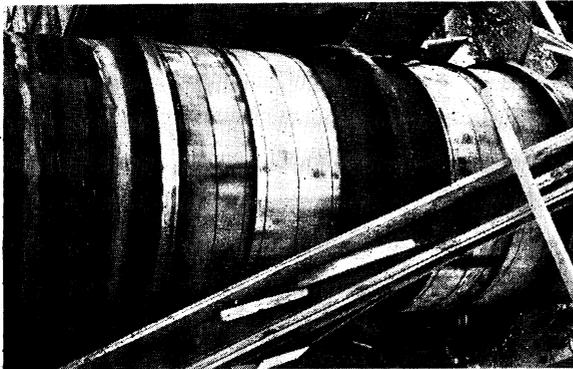


広葉樹材割材 Hardwood, cant.

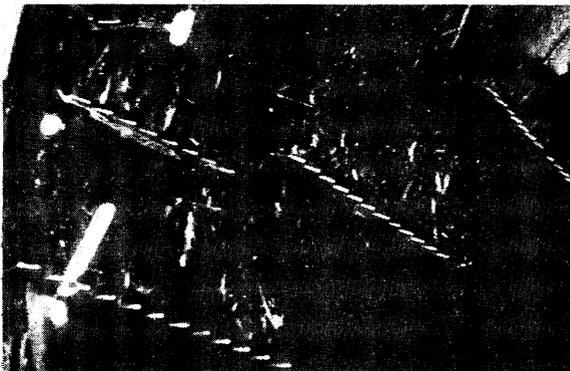


広葉樹材小径丸太 Hardwood small diameter logs (side view).

Fig. 2 供試材料 Materials tested.



回転中の連続式ドラム・パーカー，前方のコンベアはリターン・コンベア
View of operating drum with return conveyor from upper position.



ドラム内壁面にとりつけられた鋸歯状パー
Saw-teeth type bar be installed
in side of the drum.

Fig. 3 連続式ドラム・パーカー
Continuous type drum barker used Test III.

試験 I, II において対象としたドラム・パーカーは実際作業においては原材料をコンベアにより仕込んでから、約 40 分間回転運転したのち、材の取出し口を開放し、ドラムを回転させながら材を取り出す操作を行ない、この所要時間は約 15 分であるから 1 工程の剥皮所要時間は約 1 時間を標準としている。この標準工程に準拠し材を仕込んで後、ドラム運転時間を 10 分ごとに、材の全仕込み本数の約 10% に相当する材を無作為に取り出し、その剥皮率を求め、これらの試験材をふたたびドラム内に投入したのち、さらに 10 分間運転することを続行し、試験 I においては全運転時間 40 分、試験 II においては 50 分間にわたり調査した。各 10 分間ごとに各剥皮率の材の出現割合を整理すれば Table 3 のようである。

なお、剥皮率とは樹皮全面積に対し剥皮された面積の割合(%)で示し、剥皮率 0% は全く剥皮されない場合、100% は完全に剥皮された場合である。この測定法はあらかじめ 1cm の方眼をかいたビニールシートを供試材料にまきつけ、剥皮面積と樹皮面積の面積比を計測することとし、習熟することにより目測とした。したがって測定誤差は剥皮率 <10%, >90% では小さく、中間の場合は比較的大きくなる傾向があるが、測定数を多くすることにより平均化することとした。

同様のことを、広葉樹材を対象とした試験 III の結果を小丸太、割材別にまとめると Table 3-3 のよう

通じ水が流入するようになってい、いわゆる湿式密閉式ドラム・パーカーである。試験 III を実施したドラム・パーカーは内径 2.35m、長さ 6m、厚さ 12.5mm の鉄製円筒で、一端は上部に材投入口を有し、その開口部は材送入用ベルト・コンベアに連続し、他端は上部に材取出し口があり、円筒内面には鋸歯状突起をもつパーを有し、円筒の両端に近い部分には樹皮の流出孔を有する型式である。材はコンベアによりドラムに送られ、回転して剥皮された材は逐次送り出され、連続作業ができるようになってい。このパーカーも運転時には水揚げポンプにより水がドラム内に流入するようになっており、いわゆる湿式連続型ドラム・パーカーである (Fig. 3)。ただし試験 III においては材をドラム内に仕込んだのち、密閉式と同様に材を送りこまないでドラムを一定時間運転するごとに剥皮状況を試験することとした。

3. 試験結果と考察

3.1 ドラム運転時間と剥皮率

Table 3. ドラム運転時間と各剥皮率の出現度数
Operating time of the drum and frequency of each percentage of bark removal.

3-1 Test I

剥皮率 Percentage of bark removal %	ドラム運転時間 Operating time of the drum (mm)							
	10		20		30		40	
	f	Σf	f	Σf	f	Σf	f	Σf
5 (0~10)	49	49	17	17	0	0	0	0
15 (11~20)	5	54	9	26	3	3	0	0
25 (21~30)	2	56	10	36	2	5	0	0
35 (31~40)	6	62	4	40	2	7	0	0
45 (41~50)	2	64	3	43	3	10	0	0
55 (51~60)	6	70	6	49	5	15	1	1
65 (61~70)	5	75	4	53	5	20	2	3
75 (71~80)	5	80	7	60	13	33	2	5
85 (81~90)	11	91	23	83	20	53	11	16
95 (91~100)	9	100	17	100	47	100	84	100

3-2 Test II

剥皮率 Percentage of bark removal %	ドラム運転時間 Operating time of the drum (min)									
	10		20		30		40		50	
	f	Σf	f	Σf	f	Σf	f	Σf	f	Σf
5 (0~10)	56	56	21	21	2	2	0	0	0	0
15 (11~20)	6	62	9	30	3	5	0	0	0	0
25 (21~30)	5	67	8	38	5	10	0	0	0	0
35 (31~40)	5	72	8	46	7	17	2	2	0	0
45 (41~50)	4	76	8	54	3	20	1	3	0	0
55 (51~60)	5	81	8	62	7	27	6	9	0	0
65 (61~70)	2	83	3	65	12	39	5	14	1	1
75 (71~80)	7	90	3	68	10	49	6	20	2	3
85 (81~90)	7	97	13	81	22	71	24	44	16	19
95 (91~100)	3	100	19	100	29	100	56	100	81	100

3-3 Test III

剥皮率 Percentage of bark removal %	ドラム運転時間 Operating time of the drum (min)														
	10				20				30						
	L		C		L, C		L		C		L, C				
	f	Σf	f	Σf	Σf	f	Σf	f	Σf	Σf	f	Σf	Σf		
5 (0~10)	38	38	35	35	36.5	21	21	27	27	24.0	17	17	18	18	17.5
15 (11~20)	9	47	7	42	44.5	4	25	9	36	30.5	5	22	5	23	22.5
25 (21~30)	7	54	7	49	51.5	4	29	5	41	35.0	2	24	8	31	27.5
35 (31~40)	2	56	7	56	56.0	3	32	6	47	39.5	4	28	7	38	33.0
45 (41~50)	9	65	6	62	63.5	3	35	8	55	45.0	5	33	4	42	37.5
55 (51~60)	4	69	11	73	71.0	6	41	10	65	53.0	4	37	6	48	42.5
65 (61~70)	5	74	4	77	75.5	9	50	3	68	59.0	5	42	6	54	48.0
75 (71~80)	3	77	10	87	82.0	8	58	7	75	66.5	6	48	11	65	56.5
85 (81~90)	11	88	8	95	91.5	21	79	18	93	86.0	10	58	7	72	65.0
95 (91~100)	12	100	5	100	100.0	21	100	7	100	100.0	42	100	28	100	100.0

剥皮率 Percentage of bark removal %	ドラム運転時間 Operating time of the drum (min)								
	40			50			60		
	L f	C Σf	L, C Σf	L f	C Σf	L, C Σf	L f	C Σf	L, C Σf
5 (0~10)	7	7	10.5	1	1	6.0	2	2	4.5
15 (11~20)	4	11	15.5	5	6	10.0	2	4	8.5
25 (21~30)	3	14	20.0	1	7	14.0	2	6	11.5
35 (31~40)	5	19	24.0	4	11	16.0	4	10	17.5
45 (41~50)	4	23	29.5	4	15	20.0	2	12	19.5
55 (51~60)	1	24	32.5	3	18	27.0	2	14	21.0
65 (61~70)	4	28	35.5	6	24	31.5	4	18	26.0
75 (71~80)	5	33	41.5	10	34	38.5	4	22	30.5
85 (81~90)	13	46	54.0	9	43	48.5	1	23	33.0
95 (91~100)	54	100	100.0	57	100	100.0	77	100	100.0

f : frequency for each percentage of bark removal.
 Σf : accumulated frequency for each percentage of bark removal.
 L : small diameter logs.
 C : cants.

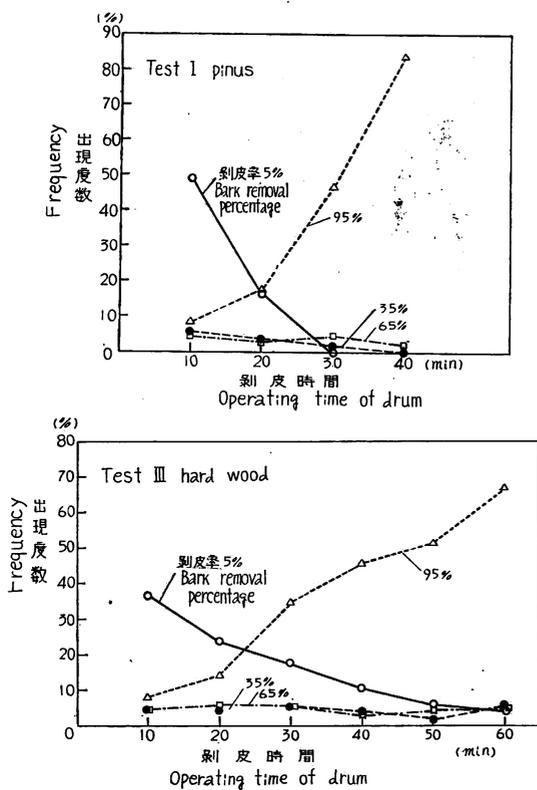


Fig. 4 剥皮時間と各剥皮率の出現度数の一例
 Relation between frequency of bark removal percentage and operating time of drum.

である。

これらの結果からドラム運転時間の経過にもなう剥皮率の変化状況について、次のことが判明した。

a) アカマツの場合、ドラム運転時間 10 分後においてはほとんど剥皮されない材、すなわち剥皮率 0~10% 程度の材が約 50~60% を占めているが、20 分後には約 20% となり 30 分後には全くみられなくなった。これに反し完全に剥皮された材、すなわち剥皮率 100% の材をふくめて 90% 以上に剥皮された材は運転時間 10 分後においても 3~9% みられるが、運転時間の経過にもない出現割合が急速に増加し 40 分後には試験 I, II ともに 80% 程度に達する。この両者の中間の剥皮率を示す材の出現割合は、小さい剥皮率の出現度数は運転時間とともに減少し、大きい剥皮率のそれは増加する傾向が明らかにみられる。この一例は Fig. 4 に示されるようである。

b) 広葉樹材を対象とした試験 III においても全く同様の傾向がみられるが、剥皮時間

の経過にもなう剥皮率90%以上に剥皮された材の出現度数の増加の傾向は、試験 I, II に比較してゆるやかであつて、このことから広葉樹材はアカマツに比較し剥皮が困難といえる。

c) ドラム運転時間がきわめて短時間である 10 分後においても、剥皮率 90% 以上のほぼ完全に剥皮された材が試験 I, II および III ともに約 10% もみられたことは、ドラム内に仕込まれる材の経歴が、たとえば伐採時からの経過時間、仕込まれるまでの運搬その他による損傷などにより剥皮しやすい状態になつている材の混入割合に関係をもつものと考えられる。コンベアによりドラム内に仕込むときに、剥皮された部分がかかりみられた材があつたことは事実である。しかし剥皮過程は巨視的にみて最初の段階で急速に進行し、その後ゆるやかに行なわれる傾向のあることが認められた。

3.2 剥皮率とその累加出現度数の関係

ドラム運転時間が長くなれば大きい剥皮率の材のあらわれる割合(出現度数)が多くなり、遂にはすべての材が完全に剥皮されるであろう経過は前に述べたとおりであるが、これらの関係をさらにわかりやすい図であらわすために、Table 3, 4 に示すように各剥皮率に対する出現度数 f の累加値 $\sum f$ をとり、剥皮率との関係をドラム運転時間を補変数として図に示せば、Fig. 5 のようである。なお、運転時間ごとの剥皮状況の一例は Fig. 6 に示すようである。

これらの結果からドラム・パーカーの剥皮効果を判断する特性直線として、Fig. 7 に示される模式的直線群が想定される。すなわち、ドラムに仕込まれる最初の材はすべて皮つきで、剥皮率でいえば0%の材がすべて(100%)であるから、図の上辺の直線に相当し t_1 時間運転後は全く剥皮されない材(剥皮率 0

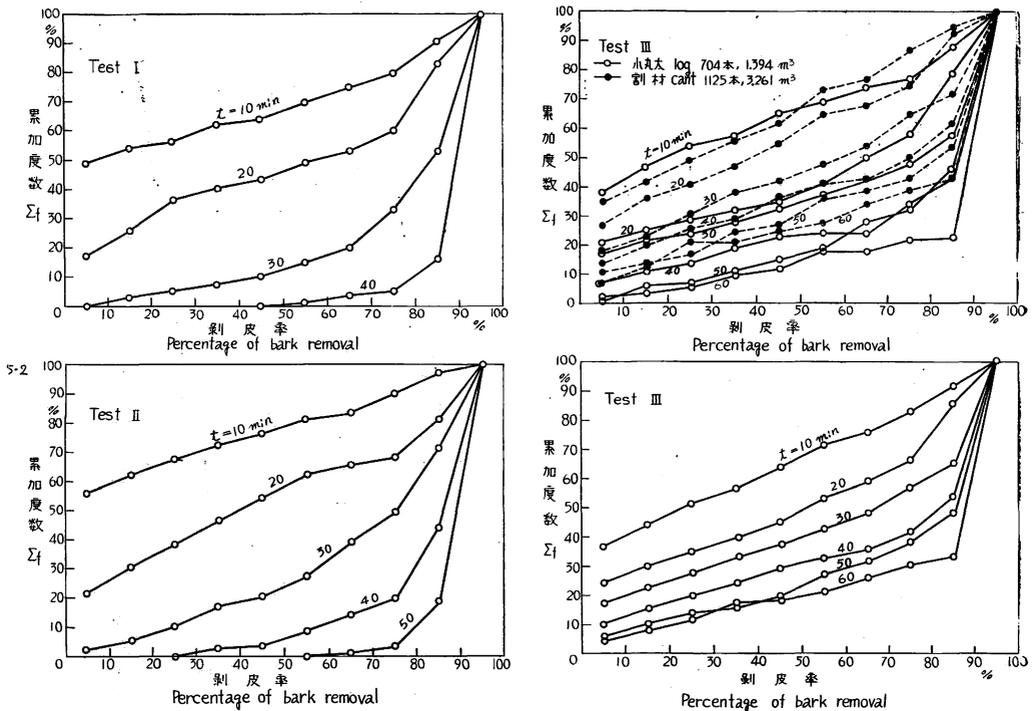


Fig. 5 (1~4) ドラム各運転時間ごとの剥皮率と累加出現度数の関係
Relation between percentage of bark removal B(%) and its accumulated frequency $\sum f$ for each operating time of drum t (min).



(1)



(2) 10 分後



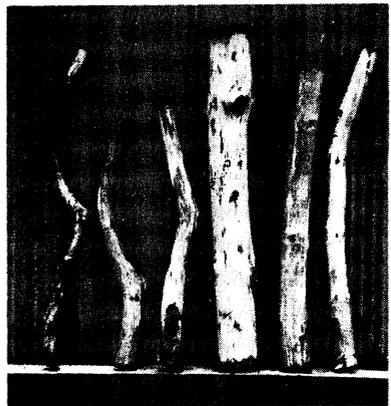
(3) 20 分後



(4) 30 分後



(5) 40 分後



(6) 50 分後

Fig. 6 ドラム運転経過時間ごとの剥皮状態 (アカマツ)
View of *Pinus* logs removed the bark for each operating time of the drum.

%) が f_1 (%) あらわれ、各剥皮率の出現割合は完全剥皮 (剥皮率 100%) に至るまで直線的に変化することを仮定すれば、任意の剥皮率 B_i ; までの累加出現度数 Σf_i として図に示されるような t_1 直線が得られ、同様に t_2 時間運転後は t_1 直線は t_2 直線に順次変化し、直線はしだいに傾斜が急となり遂には t_n 時間運転後すべての材は完全に剥皮されて剥皮率 100% の材が 100% あらわれることとなり、右側の縦軸に一致するはずである。

しかし実際の場合にはこれらの特性直線は曲線であらわした方がより近似するようで特に終末工程に近い、長いドラム運転時間の場合には、小さい剥皮率に至るまで尾をひいた曲線となる傾向がみられ、このことは運転時間をいかに長くしても剥皮が完全に行なわれない材がこつていることを意味する。運転時間を一定にすれば ($t_2 - t_1 = t_3 - t_2 \dots = t_n - t_{(n-1)}$)、これらの t_1, t_2, \dots, t_n

直線が密になるほど剥皮効果が小さいこと、許容剥皮率をきめることにより最適ドラム運転時間の決定、その場合の許容剥皮率以下の材の混入割合、したがって連続式ドラム・パーカーであれば逆送する材の割合、または、たとえば手加工によるカット・パーカーの補助剥皮工程の量的推定などについて具体的にわかり、また剥皮に関する見掛け仕込み量、樹種その他の因子と剥皮効果などが、剥皮率・累加出現度数の関係曲線から知ることができる。

3.3 材仕込量と剥皮効果

従来のドラム・パーカーの運転の経験によれば、剥皮効果におよぼすドラム内の材仕込み量には最適値があるといわれ、試験 I, II に用いたパーカーでは約 60% が最もよいといわれている。

ドラム内に仕込まれる材は材送入用コンベアによりドラム内にきわめて不規則に排列されるので、このような状態で材が積み重なった空間に対する材実質の容積の割合は、薪炭材の場合のような層積係数とは全く異なるもので、試験 I, II, III においては、あらかじめコンベアにより送材されてドラム内に入れられた材が、ドラムの容積に対しおおむねどれくらいになるかを目測し、これを見掛けの仕込み率 α (%) とした。 α は試験 I で 50, 試験 II, III でそれぞれ 80% としたのであるが、各試験においては全仕込み材の材積 $V_1(m^3)$ を詳細に測定してあるので、実質仕込み率 β (%) および層積係数に相当する乱積係数 (仮称) γ を求めると Table 4 のようである。

ドラム容積を $V(m^3)$ 、ドラム内に仕込まれた材の材積を $V_1(m^3)$ 、ドラム内に仕込まれた材の占める空間容積を $V_2(m^3)$ とすれば各仕込み率、乱積係数は次式であらわされる。

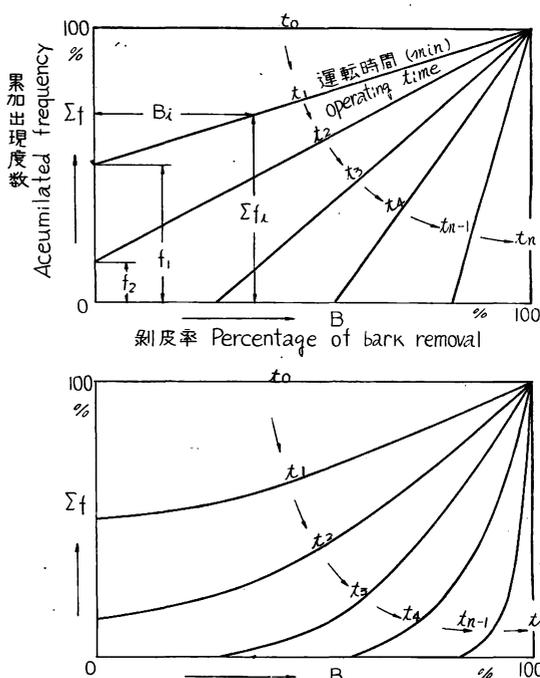


Fig. 7 ドラム運転時間ごとの剥皮率と累加出現度数の関係

Diagrammatically showing the relation between B (percentage of bark removal) and Σf (accumulated frequency).

Table 4. 各試験の仕込率と乱積係数
Apparent, actual putting amount of materials for
drum volume and putting factor for each test.

試 験 Test	見掛けの材仕込率 Apparent putting amount of materials for drum volume %	材仕込材積 Volume put in drum V_1 (m^3)	実質仕込率 Actual putting amount of materials for drum volume β (%)	乱積係数 Putting factor γ
試験 I, Test I	50	2.069	13.1	0.26
試験 II, Test II	80	3.547	22.5	0.28
試験 III, Test III	80	4.655	17.9	0.22

$$\alpha = (V_2/V) \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\beta = (V_1/V) \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\gamma = \beta/\alpha$$

ここでは α 、 β および γ の値は剥皮効果との関連を検討するために求めたのであるが、これらの数値はチップ工業自体の合理的経営上工程管理の適正化が望まれている現状においては、原価計算などの計算基礎因子としても当然明らかにされることが望ましいと考えられるが、ここではこれらの数値の実態の一例としてあげるにとどめる。

この試験においては材の仕込み率を数段階に変えて実験することはできなかつたのであるが、試験結果と観察した事項をあげると次のようである。

(a) アカマツ材の場合、試験 I と II を剥皮率・累加出現度数曲線 (Fig. 5) で比較すると、試験 II すなわち材仕込み率の大きい場合が剥皮効果が劣ることが、ただちに知られる。

(b) みかけの材仕込み率 80% の場合は 50% に比べ、剥皮効果が同程度になるドラム運転時間は約 10 分間長く必要とする。

(c) 広葉樹材の場合は試験 III だけであるため、材の仕込み率と剥皮効果の関係は明らかに数字的にあらわすことができなかつたが、試験 I, II から類推しておそらく剥皮効果を最大にする材の仕込み率があることはうかがわれる。ただし連続式ドラム・パーカーの実際作業においては、ドラムへの材の送りこみ量と材の流出量の関係で仕込み率が変わるわけで、この調節は剥皮状態の観察により便法で行なわれている現状である。なおドラムの回転剥皮中、あらかじめマークした材を投入しドラムより流出するまでの時間を測定した結果は、短いもので 15~30 分間で、おそいもので 1 時間以上におよぶ。連続式ドラム・パーカーにおいて材がドラム内に投入されてから出口側に送られる力は、ドラム壁内面にとりつけられたスパイラル状に排列された鋸歯状バーにより、スパイラル状に回転しながらもちあげられ出口で押し出されることで与えられるだけであつて、この運動は実際上あまり強力なものではなく、むしろ逐次投入される材により押し出されることにより出口から材がとび出すようにみうけられた。

(d) したがつて連続式ドラム・パーカーは密閉式ドラム・パーカーの試験結果からみて、剥皮が行なわれるにはドラム内に材がある時間はとどまることが必要条件であるから、連続的に剥皮が行なわれるためには、さらに (1) 材の送り速度、(2) 送り速度に関係をもつと考えられる材の仕込み率、材の形質、(3) スパイラル状に送られるための内壁面のバーの排列と、角度および回転数などについて実験する必要がみとめられた。

3.4 樹種と剥皮効果

すでに知られるように樹皮は形成層を中間層として木質部に付着するから、形成層から剥皮されるのが望ましく、このためには形成層細胞の付着力の強さ、したがって伐採時期、樹種が剥皮効果に関係をもつことは容易に推定される。また同時に樹皮の形態・構造・厚さなども樹種固有の性質のひとつであり、これらもまた剥皮に関係をもつ。これらのことについては従来経験的知識があるにすぎないし、公表された文献は国の内外を問わずほとんどない。この試験を通じ樹種と剥皮効果について確認されたことをあげると次のようである。

(a) アカマツ材は広葉樹材に比べ剥皮は容易であり、広葉樹材のなかではクリ・コナラ・ヤナギは比較的剥皮が容易であるのに反し、サルスベリ・リョウブは最も困難であり、シデ・カエデ・カン類・サクラはこれに次ぐ。

(b) 試験Ⅲにおいて運転時間を長くしても剥皮率が小さいままにとどまり、剥皮が十分行なわれないで残る材は剥皮の困難なサルスベリの類であるから、実際作業上はこれらの樹種をあらかじめ選別して適当な前処理を行なうことが適切ともいえる。

(c) サクラのように強靱な外皮をもつ樹種は、摩擦によるよりは傷つけることが効果的のようである。

なおドラム運転経過中にとり出した広葉樹小径丸太の剥皮された状態は、Fig. 8 に示すようである。

3.5 材種と剥皮効果

ここでいう材種とは横切りしたままの丸太を縦割りに半分または四半分に挽いた割材の別をいう。広葉樹材を対象とした試験Ⅲでは丸太と割材を込みにして同時にドラム内で剥皮したのであるが、前に述べたように剥皮率・累加出現度数曲線 (Fig. 5-2) で比較すると、割材が丸太よりも剥皮効果は劣る結果になっている。すなわち、剥皮がほぼ完全になされたと考えてよい剥皮率 90~100% の材は、60分間運転後丸太の場合には 77% あらわれたのに対し、割材では 57% にすぎず、したがって割材の場合には運転時間が丸太に比べなお長時間を要することが推定されるからである。ドラム内に仕

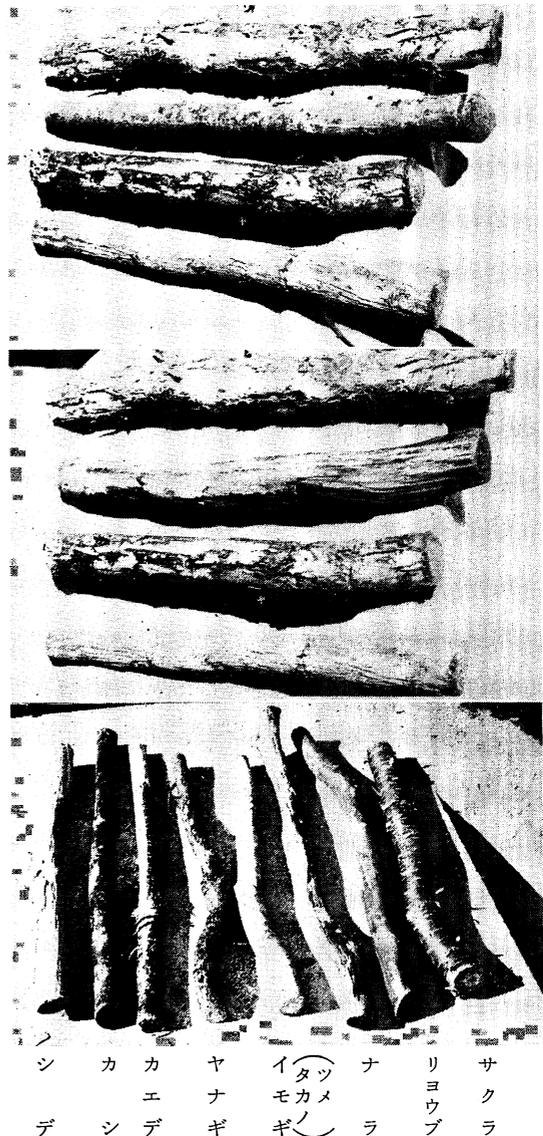


Fig. 8 広葉樹小径丸太の剥皮状態の一例
Some example of hardwood logs being put out from the drum in operation.

込む前に割材にすることは、おそらく直径の大きい材ではチップの能力・容量に制約されることと、諸作業の便利さがその主なる理由と考えられるが、剥皮効果からすれば、この試験結果からも剥皮された面積とドラム運転時間の関係は直線的ではなく、剥皮された面積が大きくなるほど残りの樹皮部分を剥皮するに要する時間は、長くかかることが考えられるので、割材にしたために剥皮効果が大きくなることは期待できないようである。

3.6 剥皮経過と剥皮効果

ドラム・パーカーによる剥皮の機構については従来まとまつた理論的考察がなされていない現状であつて、ただ常識的に回転円筒中における物体の運動の様相から類推し、ドラム内の材は回転にともなう遠心力によりある程度もち上げられ、重力と遠心力の関係から物体は落下し、ドラム壁体と材相互の衝撃力により樹皮部分が傷つけられ、その間これらの間に摩擦力がはたらき剥皮されると考えられている。直径 D (m) の回転円筒の毎分回転数を N (r. p. m.) とし、 m (kg) の物体がその中で回転するとき、遠心力により壁面に押しつけられて高くもち上げられ頂点に達したとき落下するような条件を与える回転数 (限界回転数) は、 g を重力加速度とすれば、

$$m \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2 \left(\frac{D}{2} \right) \leq mg$$

より一般に次式で与えられる。

$$N \leq 42.3 / \sqrt{D}$$

この調査で対象としたドラム・パーカーの直径は 2.35 m であるから、 N は約 28 r. p. m. でなければならないが、測定によれば 14 r. p. m. であるから、材の落下が行なわれないような状態ではもちろんない。観察によれば回転ドラム中の材の運動の概略は、ドラム頂点を通る鉛直線に対し約 30° 付近の高さにもちあげられたときに瞬間的に落下し、Fig. 9(2) の状態となり、回転につれて (3) の状態を経てふたたび (1) の状態となり落下することがくりかえされる。このことは材の仕込み量が少ないほど顕著であつて、またこの状態は運転時断続的落下音がきこえること、駆動電動機の入力側電流計の振れがこの材の運動状態に伴つて大幅にあらわれることによつても知られる事実である。したがつて、材が落下するときの衝撃力が樹皮に加わり剥皮効果を発揮するためには、適当な落下高さが必要で、したがつて、ドラム直径とドラム内の材仕込み量が関係し、ドラム直径が大きいほど、材仕込み量が少ないほど、この効果が大きいことが推定される。

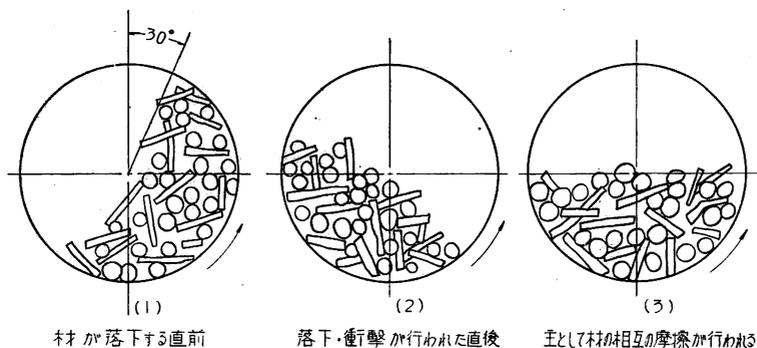


Fig. 9 ドラム内の材の運動状態の模式図
Diagrammatically diagram showing motion of logs in drum.

また剥皮に対する摩擦の効果は、単位時間で比較すれば壁体および材相互が摩擦する公算の大きいほど、その効果もしたがって大きいことからすれば、ドラム直径の大きいほど、材仕込み量も多いほど効果的であることが推定される。それゆえ同じドラム直径であれば材仕込み量はある最適値があるはずであつて、アカマツの場合、従来¹⁾の運転結果の経験によれば 60% 程度であるといわれていることは、前に述べたとおりである。

このようにドラム・パーカーによる剥皮は衝撃力と摩擦力による効果を期待するものであるが、原理的にいえば木材質から樹皮を除去するに有効な力は引張力であつて、直接に樹皮を剥がすような張力を与えることは困難であるため衝撃と摩擦が適用され、これらの作用は複雑な分力を生じ剥皮に有効な力は非常にわずかであつて、その他の力は損失となるものであるから機械の効率は原則的に高いものではない。

従来のドラム・パーカーの改良法は衝撃力を重視し、特に材のドラム壁体面に対する衝撃力を効果的に作用させるため、内壁面に種々なる突起物を装置することが行なわれてきた。この限られた試験結果ではあるが、これらの点もふくめて問題点は次のようである。

(a) 材の自由落下の状態は常識的に考えられるように決して長手方向が水平になるような状態で落下するものではなく、木口面が衝撃面となるのが通例である。したがつて、木口面はドラム運転時間に比例して圧潰・ささくれが顕著にあらわれ(Fig. 10)、この傾向は硬さの小さい材ほど顕著である。このような事実から、ドラム内壁面の突起状バーの剥皮効果は、期待されるほど大きいものではないのでなからうか。しかし剥皮する前提条件として樹皮にある程度の傷をつけることは必要条件であるから、仕込む前に適当な方法でいわゆるインサイジングすることも効果的と考えられる。

(b) 衝撃力を十分利用するためには材の仕込み量が少ないほど、ドラム回転数は限界回転数に近づくほど、ドラム直径の大きいほど効果的であることはいうまでもないが、後 2 者はドラム設計上の問題点でもあるから触れないとすれば、材仕込み量をさらに数段階に変化させて系統的に追究することにより、この関係を明らかにし剥皮効果におよぼす衝撃力と摩擦力の割合を知る必要があると考えられる。

(c) しかし材仕込み量が多くなれば、材相互の摩擦による剥皮効果が支配的になるはずであるが、試験結果によれば仕込み量が多い場合剥皮効果も小さいことからすれば、剥皮におよぼす効果としては実際のドラム・パーカーの運転条件内では衝撃力が摩擦力よりも大きい影響を与えているのではなからうか。

(d) 剥皮経過中ドラム内に注水することは、剥皮された樹皮を洗い流すことと回転運転中の騒音を消す作用、微粉の飛散を防ぐ作用および剥皮しやすくする作用があるといわれているが、剥皮におよぼす影響は今回は確かめることができなかつた。樹皮利用上からは乾式が望ましいので広く行なわれている湿式法のほかに、乾式法についても今後比較試験を行なう必要がある。

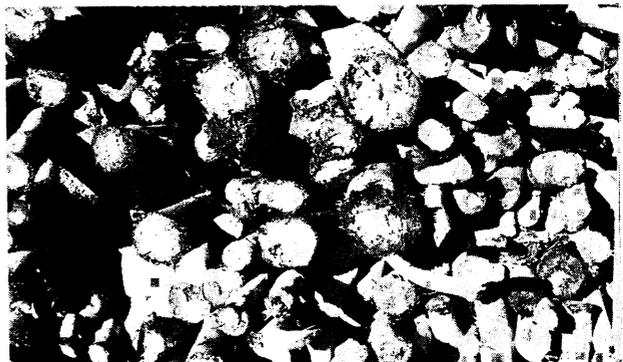


Fig. 10 剥皮された材の木口のささくれ・圧潰の状況（アカマツ）（Fig. 2 の剥皮前の木口と比較）

View of brooming or splintering at the ends of logs.

3.7 マツ材の樹皮率と直径の関係

樹皮率と直径の関係は剥皮効果とは直接の関係はないが、剥皮量の推定や樹皮利用上の基礎資料として必要と考えられるので、ここで述べる。

一般に皮つき幹材積に対する樹皮の容積比として定義される樹皮率は、樹種・産地・形質・樹幹中の位置などにより異なるが、樹皮率の概略値や直径との関係などを知ることはドラム・パーカーの設計上も必要事項と考えられるので、マツ材について約 50 本の各直径階から選んだサンプルについて樹皮率を測定

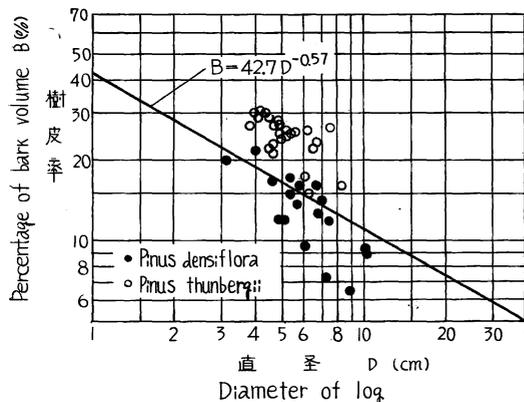


Fig. 11 マツ材の直径と樹皮率の関係
Relation between percentage of bark volume and diameter of log in *Pinus*.

した。この結果は Fig. 11 に示すようである。

樹皮率の測定については、古くわが国では林業試験場⁹⁾で行なわれた報告があるだけであつて、その後公表された文献はほとんどない。山本⁹⁾によれば、直径範囲 3 寸～1 尺のアカマツの丸太の個々の皮つき幹材積 V (尺³) と樹皮率 B (%) の関係は、

$$B = 7.238 V^{-0.215}$$

で示されるとし、樹皮率は幹材積が大きくなるほど、その約 0.2 乗に逆比例して小さくなることを見出している。この関係を幹材積の代わりに直径におきかえた方がわかりやすいと考えられるので、同氏の資料から幹材積

V (尺³) と皮つき直径 D (寸) (この場合は胸高直径) の関係を整理すると次式をうる。

$$V = 0.0048 D^{2.64}$$

この関係を前式に代入し、材積・直径の単位をメートル法に換算すれば、樹皮率 B (%) と直径 D (cm) の関係として次式が得られる。

$$B = 42.7 D^{-0.57}$$

すなわち樹皮率は直径の約 0.6 乗に逆比例して小さくなる傾向がみられ、Fig. 11 に示されるように、この試験に用いられたマツ材についてもおおむねこの傾向があてはまる。この試験に用いられたマツ材は枝条・末木をふくみ、測定した直径は胸高直径ではないが、小さい直径の材ほど樹皮率は大きくなる傾向がみられ、チップ用マツ材の直径 3～10 cm の範囲では樹皮率が平均的にみて 10～30% におよぶことが知られる。チップ用材の材積の約 20% が樹皮であるから、樹皮利用の数量的重要性も認識されるであろう。

4. 総 括

現在広く用いられているチップ用材の剥皮機械のうちドラム・パーカーについて、2工場を対象として調査試験した結果、次のことが明らかにされた。

(1) ドラム運転時間と剥皮の経過の関係は、一般的に初期の段階で比較的急速に進行し、その後ゆるやかに進められる傾向が認められた。剥皮経過の状態は運転時間の初期において、ほとんど剥皮されない材(剥皮率 0～10%)の出現割合が多く、その後運転時間とともに、その割合は減少し、ほぼ完全に剥皮

された材（剥皮率 90~100%）は初期には少ないがしだいに多くなり、これらの中間の剥皮率を示す材は剥皮率の大小により、上述した極端な場合と同様の傾向で運転時間とともに減増する。この経過からドラム・パーカーの剥皮の条件の適否、同じ条件であれば性能の比較や樹種の剥皮の難易の程度などを推定する目安が得られた。

(2) 各剥皮率の材がドラム運転時間の経過にもなう出現度数の数量的傾向は前項に述べたとおりであるが、さらにわかりやすくするため各剥皮率の運転時間ごとの累加度数をとり、これと剥皮率の関係を運転時間を補変数として図示して得られる模式図 (Fig. 7) が、ドラム・パーカーの剥皮効果をあらゆる方法として適切であると考えられるから、ドラム・パーカーの特性曲線として提案した。この図によれば、ドラム運転時間が長くなつても尾を引いたような曲線を示す場合は、直観的に剥皮効果の劣る場合であることがわかる。

(3) ドラムの材仕込み量と剥皮効果の関係はアカマツの場合、見掛けの仕込み率が 60% と 80% の場合を比べると、前者が剥皮効果がすぐれた結果が得られた。このことはドラム回転中に材がうける衝撃力が大きくなる結果と考えられる。ただしドラム・パーカーの欠点といわれている木口面のささくれがかなりみうけられた。

(4) 広葉樹材はアカマツに比べ剥皮が困難のようで、広葉樹材のなかでは剥皮の難易が樹種によりかなり差異がみられ、サルスベリやリヨウブが最も困難であつた。したがつてあらかじめ樹種の選択・仕訳が必要である。

(5) 割材は丸太材に比べ剥皮効果は劣る結果が得られ、他の理由がなければ割材にする必要はないと考えられる。

(6) ドラム・パーカー内の材の運動は、ドラム回転による遠心力と内壁のバーによりある程度の高さまで持ちあげられたのち、瞬間的にはほぼ一団となつて落下し壁面および材相互の衝撃力で樹皮が傷つけられ、その間に摩擦されて剥皮されるサイクルを繰り返すもので、この状態は見掛けの材仕込み率が 60% 程度のとき典型的にみられ、80% では材のうける衝撃力は弱くなるようにみうけられた。剥皮に有効な力はこれら材にうける力の分力のうち、ごくわずかな樹皮と木材質の間にはたらく引張力であるから、効率は小さいことが考えられる。材に与えられる力は衝撃力と摩擦力であつて、この両者は材仕込み量・ドラム直径・回転数により剥皮にはたらく効果・傾向を異にするから、さらにこれらの関係を明らかにする必要がある。

(7) アカマツの小径丸太の樹皮率は直径が小さくなるほど大きくなる傾向を示すが、チップ用材として 3~10 cm の直径程度では樹皮率は約 20% とみてよい。

なおこの試験はチップ工場の稼働機械を対象としたため、十分な系統的資料は得られなかつたのであるが、ドラム・パーカーの作業上または設計上の示唆または問題点として次のことがあげられる。

i) 密閉式ドラム・パーカーの場合、材はあらかじめインサイジングすることと、仕込み量を大きくすることが剥皮効果を大にし、また木口面のささくれを防ぐ有効な一方法と考えられる。連続式の場合も同様に考えられる。

ii) 樹皮の利用上乾式がのぞましいので開放型ドラム・パーカーの採用も考えられる。この場合はドラム回転数を多くすることが有効と考えられる。なお、材は伐採後なるべく早く剥皮すべきで、必要あれば水中貯材が望ましい。

iii) 広葉樹材のなかで特に剥皮の困難な材はあらかじめ選別し、適當の前処理または他の方法により剥皮することが望ましい。

iv) 割材は丸太材に比べ剥皮能率が劣るから、チップの切削性能・能力を考慮し、比較的大きい直径の材は剥皮後挽材することも考えられる。

v) ドラム・バーカーの回転数・直径および内壁面のバーの形状・排列様式や間隔などの設計には剥皮作業の条件や材料の種類・材質などをふくめて、広義の剥皮関係因子の前提があるはずであるから、設計と使用条件の関連を考慮すべきである。たとえば材仕込み量を大きくする場合は、ドラム内壁面のバーの形状・排列が剥皮効果におよぼす影響は衝撃力に比べ摩擦に、より大きい関係をもつことになるから設計の初期の目的が達せられない場合がおこりうるからである。

vi) 連続式ドラム・バーカーは材仕込み量の調節に難点があるようにみうけられ、材の送入力と流出量の調整、およびドラム内の材の送り速度、これに関係をもつ材の送入力と材に送りを与えるスパイラル状排列のバーの配置とドラム長の関係を明らかにする必要がある。

文 献

- 1) 金内忠彦：剥皮機械について，木材工業 16, 2, (1961) p. 62
- 2) RUDOLF, B.: Betrachtungen über die industrielle Holzentrindung. Holz als Roh. u. W., 13, 4, (1955) p. 147
- 3) 山本和藏：あかまつの樹皮率について，林業試験場報告, 18, (1919) p. 181
- 4) LIHRI, O.: Verfahren u. Maschinen zur Holzentrindung, insbesondere für Sägeblöcke. Holz als Roh. u. W., 13, 8, (1955) p. 281
- 5) SMITH, I. W.: Mechanical methods of bark removal. Jour of F. P. R. S., 2, (1948) p. 119

An Experiment on Bark Removal of Chip-Materials by Drum Barker.

Gen-ichi NAKAMURA, Yutaka ÔHIRA, Tooru HOSHI
and Masuo SAITÔ

(Résumé)

In recent years production of chips for the pulp industry as raw material which were converted from slabs, trimmings of saw-mill waste, and small diameter logs has become more and more important. This being so, the barking technique requires economic barking equipment which is adapted for the real situation of our chip industry. The barking devices, in general, are divided into three types, using (a) cutting tools, (b) mechanical friction and (c) hydraulic action, but in our country the drum type barker applying mechanical friction has been used extensively. The hydraulic barker has not be used except by large-scale pulp-making factories. A survey at two chip-mills in Shizuoka prefecture was made to investigate the effect on barking of small dimension log or cant in soft and hardwood by means of the drum barker. This paper deals with the effect of bark removal by the industrial drum barker which is operating at the chip-mills, and some suggestions for improving the drum barker, based on the survey.

Materials and drum barker used

It is difficult to test individually the relationship of each factor, for example log size,

species of logs, and revolution numbers of drum, affecting the bark removal under such an industrial trial. So the industrial tests as shown in Table 1 were conducted. The materials of Test I and II were *Pinus* logs with small diameter and the materials of Test III, hardwoods logs and cants (Fig. 2). The frequency distribution of diameter of these materials is shown in Fig. 1.

The drum barker used in Test I and II consists of a horizontal drum made up of welded iron-plate, 2.35 m in diameter, 3.65 m long, and has some iron bar arranged parallel to length direction in the drum inside with some holes to permit washing the bark away. Materials are put in the drum through the opening of drum by a conveyor, after the charge they are rolled against each other as the drum rotates and finally ejected from the opening at the end-side of the drum after the barking operation. On the contrary, the drum barker used in Test III is the continuous type, which is almost similar in construction to the drum barker previously described, 2.35 m in diameter, 6 m long, and has an opening to put in materials from the feeding conveyor, and a discharge opening to put out materials at the other end. The barking operation is done by the rotation of drum, the materials are put continuously in the drum and put out through the rotating drum. Incompletely barked materials are returned again by the return conveyor.

Results and considerations

Operating time of drum and percentage of bark removal

The drum barker used in Test I and II is usually operated for about 40 min. after putting the materials in the drum by feeding conveyor; then the materials free from the bark are thrown out of the drum rotating for about 15 min. from the opening in the side of the drum, so the standard time for one rate of barking work requires about one hour. Test I and II were carried out to examine the bark removal on the samples taken out at random from all materials for each 10 min. interval of operating time in 40, 50 min. of the total operating time. The bark removal may be defined as the percentage of the barked area for all bark area B (%) on a log or a cant. The results of the frequency f (%), accumulated frequency $\sum f$ (%) of each percentage of bark removal B (%) for each operating time of drum t (min.) on Test I, II and III are shown in Table 3, 4, respectively.

The results of these tests are considered as follows:

(a) In the case of *Pinus* logs, logs from which the bark was not removed or slightly removed ($B=0\sim 10\%$) appeared in about 50~60 (%) of all materials put in the drum after operating time of 10 min., and such logs tend to decrease according to the operating time of drum. On the contrary, logs free from the bark or almost barked logs ($B=90\sim 100\%$) appeared in about 3~9% of all materials after operating time of 10 min. and tend to increase rapidly according to the operating time of drum. Fig. 4 (1)(2) also illustrate the examples of this tendency.

(b) In the case of hardwoods, a similar tendency on *Pinus* is indicated as shown in Fig. 4 (3), but the bark removal in hardwoods is difficult as compared with the case of *Pinus*, because the decreasing rate of the frequency of logs from which the bark is removed is smaller than the case of *Pinus*. The process of bark removal by means of the drum barker progresses rapidly at the initial stage, and then gradually at the following stage of the operation.

The relation between the percentage of bark removal (B) and the accumulated frequency for each percentage of bark removal

The calculated values of the accumulated frequency $\sum f$ for each percentage of bark removal

B (%) are shown in Table 4 and Fig. 5 on each operating time as parameter, and also in Fig. 6 showing the example of bark removed conditions for each operating time. From the results, the characteristic diagram evaluating the bark removal is considered as shown in Fig. 7. Assuming the frequency for each percentage of bark removal changes linearly from 0% to 100% of B, the straight line t_1 can be obtained as $\sum f_i$ in the accumulated value of voluntary frequency B; after t_1 min. operating time, the straight line t_2, t_3, \dots, t_n can similarly be obtained, and as the gradient of these straight lines increases gradually, t_n line should correspond to the vertical axis of the right side at final stage in which all logs in the drum are completely barked. However, in the case of practical operation, it may be considered that these characteristic lines can be presented as curves as shown in Fig. 7. This characteristic diagram showing the effect of bark removal are considered as follows:

(a) The more close the curves of t_1, t_2, \dots, t_n , the lower the grade of effect on bark removal.

(b) It is possible to determined the suitable operating time of drum by assuming the allowable grade of bark removal, and in this case to know the mix rate (%) of the logs more than the allowable grade of bark removal.

(c) And also to know the effect of log species, initial amounts of logs to put in the drum, and other factors related to bark removal.

Effect of the initial putting amounts of materials in drum to bark removal

According to the experience gained in the practical operation of drum barker, the most suitable initial putting amounts of the materials in drum have been found, to be about 60% in the case of the drum barker used in Test I and II. These test values in reference to the initial putting amount are determined from the following formula.

$$\alpha = (V_2/V) \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\beta = (V_1/V) \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\gamma = \beta / \alpha$$

where, V : volume of drum (m^3), V_1 : total volume of materials put in drum (m^3), V_2 : volume of space occupied by materials put in drum (m^3), α : apparent putting amount of materials (%), β : actual putting amount of materials (%), γ : putting factor (corresponding to the factor of stacked content used as a rule in fuel, pulp woods).

The values of α, β and γ for each test are shown in Table 5. The values of α, β and γ are considered to be important as the basic factors in calculation of cost, efficiency etc.. However, the tests could not be carried out by regularly changing and varying the amount. A summary of the results follows:

(a) Comparing Test I and II on the characteristic diagram (Fig. 5) Test I ($\alpha=50\%$) is more superior than Test II ($\alpha=80\%$) on the bark removal. It is assumed that the impulsive force may more effectually act upon the logs with decreasing of the putting amount of logs in drum.

(b) In the case of 80% in α , the similar degree of bark removal to 50% in α requires longer time (about 10 min.) of the drum operation.

(c) In the case of the continuous type drum barker used in Test III, the effect of the putting amount to bark removal could not be ascertained, however, points to be considered in

the future studies are: (1) feeding speed of materials as the drum rotates, (2) the related factors to the feeding speed including the putting amount in drum or arrangement shape of the bar in the inside of drum.

The process and the mechanics of bark removal under drum barker have hitherto not be theoretically considered; however, it may be assumed that the materials in drum barker are lifted up to some height along the inside of drum by centrifugal force due to rotation and dropped with impulsive force to inside wall or each other. Through such a repeated motion, the materials create impulsive force and rubbing or friction forces the bark removal. Critical numbers of rotation of drum N_{cr} (r. p. m.) are presented by the formula $N_{cr} = 42.5/\sqrt{D}$, where D , diameter of drum (m).

From this formula, the materials in the drum tested are not governed only by centrifugal force, so the motion state of the materials are diagrammatically shown in Fig. 9. It may be considered that the bark removal in drum barker is conducted by impulsive force and rubbing force, and impulsive force increases with decreasing of the putting amount of materials in drum, with larger diameter of the drum. But a disadvantage of the drum barker is "brooming" or splintering at the ends of the logs by impulsive force, and any dirt lodging in the splintered ends is detrimental to good paper manufacture. In this test "brooming" at the ends of the logs (Fig. 10) also appears at the final stage of barking, especially on *Pinus* wood.

Therefore the putting amount of materials in the drum should be carefully determined in consideration of the efficiency of bark removal, and the design of projective bar at inside wall of drum also needs to be improved. Assuming some damage to the bark is a necessary condition on the bark removal, it should be considered that incising before putting materials in the drum may be effective.

Species of woods and barking effect

In general, as bark and wood are bonded together by cambium layer, it appears necessary to break down the cambium layer. It is obvious that barking effect depends upon the species of woods, namely adhesive strength of cambium cell and logging season. But unfortunately there are no any publications concerning bark, especially structure, form, thickness, strength and other factors of each species being related with bark removal. Fig. 8 shows some examples of barked log on hardwood. As the results of these test, the following facts become known.

(a) The bark removal of *Pinus* is easy comparing with hardwood. Among the hard woods, *Castanea*, *Quercus*, *Populus* bark is easy to remove and *Stewartia*, *Carpinus* is the most difficult. *Acer*, some kind of *Prunus*, *Quercus* is comparatively difficult.

(b) However long time in operation of drum barker, the difficult wood for bark removal tends to remain in the drum in that condition, so suitable species should be chosen, and if possible, such a species should be treated by any appropriate process.

(c) Bark of the logs of *Prunus* which has extremely strong bark may be effectively removed by means of pre-incising process.

The relation of bark percentage to diameter of log

Bark percentage may be defined as the value of bark volume for wood volume with bark on a log, and this depends on species, location, shape, position of stamm etc.. In the tests the logs selected from each diameter class were measured for bark percentage, which is showed

Fig. 11. And the relation of bark percentage B (%) to diameter D (cm) of *Pinus* logs presents approximately the following formula.

$$B = 42.7D^{-0.57}$$

In the range of 3~10 cm diameter for logs to be converted to chips, bark percentage may be about 10~30 %.