チップスクリーニングの新技术

アクロウッドコーポレーション ケンドール クレフト*³, デズモンド スミス*²

シャノン ジャビッド*¹

シー・ター・高橋*⁴ 新田 昌彦*⁴, 鍛冶 稔泰*⁴

New technology of chip screening

Kendall Kreft, D. E. Smith and Shannon Javid

Acrowood Corporation

1. チップ厚みスクリーニングの傾向

はじめに

チップの厚みをコントロールし、蒸解釜での未蒸解チップをなくしパルプ歩留向上と使用薬品および蒸気を軽減することは重要である。チップスクリーニング法としては、振動タイプのスクリーンでチップの長さ又は幅を選別する方法、ディスクタイプスクリーンで厚み選別をする方法が開発された。チップ厚みコントロールシステムとしては各種ディスクスクリーンとオーバサイズチップのスライス用にスライサーと組合わせる方法が使われてきた。1989年に従来のディスクスクリーンよりも簡素でチップをより効果的に分離でき、より耐久性のある構造の新しいロールタイプの厚みスクリーン、すなわち“スパイロロールスクリーン”（商品名：特許申請中）が開発された。

1次厚みスクリーンは効果的にオーバサイズのチップを分離し、オーバサイズリジェクトチップ中にアクセプトチップのキャリオーバーを最小限にすることと考える。種々の厚み選別法とチップスライサー法がこの目的のために開発された。スパイロロールスクリーンはオペレーターがオーバサイズチップの分離やアクセプトチップのキャリオーバーをコントロールするためにスクリーンシステムの効率を選別出来るすぐれた特徴を備えている。

1.1 チップ工程とパルピング

次工程に行く前のチップからパルプ化に際し悪影響を及ぼす厚いチップを効率よく分離するためにチップ厚みスクリーニングシステムが開発された。分離された厚いチップはスライサーで薄くされ、アクセプトチップと共に蒸解釜に送られる。一方、チップ工程で発生したダストは、パルプの歩留や品質を改善した薬品の消費を抑えるためにスクリーンで取り除かれボイラーの燃料や他の用途に用いられる。ある工場ではピンチップを連釜に供給する前に分離して別の工程で使用したり、連釜へ送るピンチップの量を調整し連釜での薬液の循環を改善している。

チップの厚みによるスクリーニング、厚いチップのチップスライシング及びダストの除去は蒸解釜への均一なチップ品質を充填し、パルピング薬液の低減、より安定したパルプ品質、パルプ歩留向上、そして製造コストの低減につながる。

カナダのある工場ではチップスクリーニングによるコスト節約を次のように報告している。

- ① 日産 950 admt/d の BKP 生産で年間 500 万カナダドルの節約。
- ② カッパー価 24 でソフトウッドのノットを 65% 減少、カッパー価 10.5 でハードウッドのノットを 75% 減少。
- ③ カッパー価 24 でソフトウッドの未晒スクリーンのリジェクトを 15% 減少、カッパー価 10.5 でハードウッドの未晒スクリーンのリジェクトを 50% 減少。
- ④ ソフトウッドでの全消泡剤量の 44% を減少、ハードウッドでは全消泡剤量の 13% を減少。
- ⑤ 連釜の循環流量が 20% 以上増加。

*¹ 副社長

*² 営業部長

*³ 専門技師

*⁴ 技術営業部（東京都中央区八重洲 1-4-14
TEL: (03) 3281-2831）

- ⑥アルカリ添加を2%減少。
- ⑦パルプ t 当り芒硝が 11.3 kg 減少。
- ⑧パルプ t 当り 15.3 kg の石灰が減少。
- ⑨ノットの減少により生産量増加。
- ⑩チップ品質の変動減による安定した操業性の確保。

1.2 スクリーニングとスライシングによるチップ特性への影響

チップサイズの特性評価はサイズ毎に分類することにより容易に判定できる。木材の材種, 特にハードウッドかソフトウッドであるかと同様にチップサイズの分布もまた重要な要素の一つである。チップのかさ比重もまた重要である。なぜならば, かさ比重以外の要素が同じでも軽いチップの方がスクリーンで選別するのがよりむずかしいからである。チップ水分は水分 45~55% の通常の“生木”以外の場合一つの要素となる。乾いたチップはスクリーンでのダスト分離には簡単だが, スライサーにおいてピンやダストの発生が多くなる。

スクリーンに投入されるオーバサイズのチップの量もチップスクリーンの性能に影響を与える。チップスクリーンでのオーバサイズの比率が増えると蒸解釜に行くオーバサイズの量も増加する。例えば 1 次スクリーンのオーバサイズの選別効率を 90% スライサーでのオーバサイズの減少効率を 94% とした場合, オーバサイズの投入比率が 10~15% から 20% に増えるとパルプ工程に入る オーバサイズチップの比率は 1.5~2.3% から 3.1% に増加する (図 1.1)。

1.3 チップスライシングにおける厚みスクリーン性能の影響

1 次厚みスクリーンの大きさ, オーバサイズチップ

図 1.1 1 次スクリーンのオーバサイズ除去率とシステムに投入されるチップのオーバサイズ比率がダイジェスター送りのチップのオーバサイズ混入率に与える影響 (スライサーのオーバサイズ減少効率 94% 一定の時)

の選別効率そしてアクセプトチップのキャリオーバはチップスライサーの機種選択, そのギャップの設定, 部品の摩耗時間, 消費電力そして性能に影響を与える。

1) 厚みスクリーンのリジェクト量の影響

スライサーへの投入率はスクリーンシステムに入るチップの特性や 1 次スクリーンの性能によって決まる。スライサーへの投入量 (負荷量) はスライサーの性能に影響する (図 1.2)。軽負荷の状態ではオーバサイズのチップはナイフリング上に適性に配列するための十分なスペースがある。しかし負荷を増すにつれてチップはナイフリングの上で他のチップと重なり合ってスライスされる可能性が増してくるのでピンチップやダストを発生させる結果となる。オーバサイズチップの減少効率は軽負荷の状態と同じギャップでより多くの量を処理する場合でもほとんど一定である。

ピンやダストの発生を減らし摩耗時間を延ばすためにはスライサーの投入量を適量におさえることが必要である。

2) チップスクリーン総合的性能

厚みチップスクリーンの選別能力はオーバサイズチップの分離効率とアクセプトチップがリジェクト中に混入する比率であらわす。スライサーへの投入チップの品質, 投入量はスライサーの性能を極端に変える。アクセプトチップが大量に含まれているとチップ厚みスクリーンからオーバサイズチップと一緒にキャリオーバされスライサーの負荷が大きくなる。オーバサイズとともにスライサーに投入されるアクセプトチップはピンやダストを発生させスライサーの部品の摩耗を早める。従って最適なシステムはオーバサイズチップの効率的な除去とアクセプトチップの最低限のキャリオーバとの組み合わせによって達成されることになる。

アクセプトチップの混入比率がスライサーでのピンやダストの発生率に及ぼす影響を図 1.3 に示す。

図 1.2 スライサー性能と負荷率の関係 (スライサーギャップ 6.5 mm の時)

図 1.3 スライサー性能とオーバサイズ／アクセプトチップの混合比率との関係

ギャップ設定が7mmで処理量が113m³/Hrの時、アクセプト混入量が全投入量の10%から50%に増えるとピンの発生は10%から17%に増えた。スライサーが最適性能を発揮するのはオーバサイズとアクセプトチップの比率が70:30又はそれ以下の場合である。

3) オーバサイズ減少効率とスライサーギャップとの相関関係

厚みコントロールの目標を決める時、次のような2つの方策がある。1つは厚みスクリーンでのオーバサイズの分離効率を調整することであり、もう1つはスライサーでオーバサイズの減少効率を調整することである。高い厚みスクリーン効率とはオーバサイズチップを減少させることによってスライサーの効率を軽減出来ることである。例えばシステムへ投入されるチップ中のオーバサイズの比率が16%で、蒸解釜送りはこれを2%にする目標の場合、幾つかのスクリーンとスライサーの効率の組み合わせが考えられる(表1.1)。

オーバサイズチップの分離率が94%の厚みスク

表 1.1 スクリーンシステム全体のオーバサイズ減少率が一定の場合の1次スクリーンのオーバサイズ分離効率とスライサーのオーバサイズ減少効率の相関関係(投入オーバサイズ16%の時)

ケース	1次スクリーンオーバサイズ分離効率 %	スライサーオーバサイズ減少効率 %	システム全体オーバサイズ減少効率 %	次工程へのオーバサイズ混入比率 %
A	96	91	87.4	2
B	94	93	87.4	2
C	92	95	87.4	2
D	90	97	87.4	2

次工程へのオーバサイズ = $(100 - 87.4) \times 0.16$

図 1.4 スライサー性能とスライスギャップとの関係

リーンを使い、アクセプトチップのキャリオーバーが少なければ、ピンやダストの発生を抑えるためにスライサーのギャップを広げることは可能である。スライサーのギャップはスライス後のチップの厚みを決めるものである。

一方、もしアクセプトチップのキャリオーバーが多い状態でオーバサイズの分離率が94%にしたい場合、スライサーでのピンやダストの発生を抑えることは期待できない。この場合には、より低い厚みスクリーン分離効率の1次スクリーンと厚み減少効率のより高いスライサーの組み合わせが必要となる。表1.1のケースA～Dに示したものはシステム全体のオーバサイズ減少効率が全て同じになっている。しかしながら、アクセプトチップのキャリオーバーが少ない状態でのケースAが最も好ましい。なぜならばピンやダストの発生が少なく、そしてスライサーのナイフも長持ちするからである。

予想されるようにスライサーのギャップを狭く設定すればオーバサイズの減少には高い効果をもたらす(図1.4)。しかしダストの発生は3%近くなりピンの発生も15%を越える。ギャップを広げるとオーバサイズの減少効率は低下するがピンやダストの発生率は少なくなる。ダストの発生率はスライスギャップの影響をあまりうけない。またシステム全体のオーバサイズの減少効率を一定にした場合スクリーン自体の性能が蒸解釜送りのピンやダスト混入に影響を与える。

また当然のことながら、ギャップを広くするとチップの平均厚みが厚くなるためオーバサイズの減少効率は低くなる。

1.4 オーバサイズの選別方法

厚いチップを分離するために有効なスクリーン方式を選ぶことが重要である。理想的なスクリーニングシステムとは：

○投入原料からオーバサイズチップを全く分離する。

- スライサーへはアクセプトチップを全く送り込まない。
- 投入特性（チップ品質）の変化にも柔軟性を有している。
- 廉価な保守, 最小の設置面積, そして少ない消費電力であること。

でありこの目的を達成する技術には1段方式と多段方式がある。スクリーニングの構成機器はこれまでの振動スクリーンから最も進んだ最新技術の機器までが網羅されている。

1) 1次ディスクスクリーン

一般的に厚すぎるチップの分離には1次ディスクスクリーンが用いられている。チップは回転シャフトアセンブリーのディスク上に導かれる。隣り合ったシャフト間のディスクは相互にアクセプトチップが通過する隙間をもって回転する。オーバサイズのチップはディスク間の隙間を通過できずに出口に送られる。

ディスクスクリーンについては幾つかの基本的な配列が考えられた。最初に考案されたのはフラットタイプスクリーンで, 全てのシャフトは水平で平行に並べられ同一方向に回転するものであった。直径を変えたディスクを使用したり上り勾配に設置したものもあった。この技術はディスク間隔を狭めたことと小さなチップを攪拌することを除いてはディスクスカルピングスクリーン（樹皮をとるスクリーン）の概念を踏襲したものである。

次に考案されたのは, チップの流れに対してディスクを直角方向に配列した“V”字形のシャフト構成のディスクスクリーンである。V字形の中央を境にして両方の外側方向へシャフトは左右反対方向に回転し, 投入側から出口側に向かってシャフトを下がり勾配に傾けてあり, スクリーン中央部に投入されたチップのうちオーバサイズはスクリーン上を出口の方向へと流れる。

最近, 最初のフラットスクリーンの設計思想が再現された。“ライズドロール”（図1.5）と呼ばれるスクリーンでオーバサイズの分離率を落さずにアクセプトチップのキャリオーバを減らすために, スクリーンの表面でチップの攪拌を高めたものである。このスクリーンはシャフトを1本おきに高く配置することでチップに波状の流れをつくりだしてこの効果を達成している。スクリーン上の滞留時間が延び, 優れた耐磨耗性, 耐衝撃性を維持しながら処理量を高めかつ瞬間的な量変動を吸収することが可能である。

一般的にディスクスクリーンはオーバサイズの分離率は優れているが, アクセプトチップのキャリオーバ

図 1.5 チップ厚みスクリーンシステムレイアウト
（1次スクリーンにライズドロールディスクスクリーンを使用）

が問題になる。一方, 窪みやVタイプシャフトの配列ではアクセプトのキャリオーバは低いレベルであるが, オーバサイズチップの多くがディスク間に引き込まれてスクリーンを通過するためその除去率は低くなり, またディスクの不均一な磨耗をも生じる。これに対してライズドロールディスクスクリーンはアクセプトチップのキャリオーバは少なくオーバサイズの分離率も優れている。

2) 1次ロータリ厚みスクリーン

古典的な振動スクリーンは機種により性能に程度の差はあるがオーバサイズの分離に広く使われている。この方式はチップの長さ（全体の寸法）とチップの厚みとの関係を重視している。通常, 上網はオーバサイズのチップの分離に適当な目穴径を統計的に選択して用いられている。

3) 振動式とディスク式の組み合わせによる厚みスクリーニング

チップの厚み管理の面から, 振動スクリーンでのアクセプトチップのキャリオーバを補うために, 北米の工場では2次スクリーンとしてディスクスクリーンを使用している。この方式では振動スクリーンの上網はオーバサイズチップの分離率を上げるために穴径を20~26 mm まで小さくできる。ディスクスクリーンの役割はスライサーへ行くべきオーバサイズチップを分離し, 振動スクリーンからキャリオーバしてきたアクセプトチップを回収することにある。

1.5 スパイロール厚みスクリーニング

スパイロールスクリーンは表面特殊溝加工のロール40~80本が平行に配列されている（図1.6, 1.7）。溝はスパイラル状に加工され左スパイラルと右スパイラ

図 1.6 チップ厚みスクリーンシステムレイアウト
(1次スクリーンにスパイロロールスクリーン使用)

図 1.7 スパイロロールスクリーンのロール表面上のチップ

ルのロールが交互に取付けられている。ロール間の隙間 (I.R.O.=Inter Roll Opening) によってスクリーンを通過するチップの厚みを調整する。

1) 運転の原理

スパイロロールスクリーンはチップ投入側からリジェクト側の方向に回転しており、チップはスクリーン上を流れながらロール隙間 (I.R.O.) に向って厚み方向が向き、ロール間隙間より薄いチップはロールとロールの間を通過する。オーバーサイズのチップはロールから次のロールに移動してスクリーンの端から排出される (図 1.8)。ロールの材質は合金鋼製で表面は硬質クロムメッキが施されているため磨耗に対する寿命が長い。ベアリングのセンターはコンピュータにより位置決めされているためロール間の隙間の精度は非常に高い。またディスクスクリーンに比較しはるかに簡単に保守管理ができる。

スパイロロールはチップや異物を無理に押込むことがないので損傷をほとんど受けることがない。AC イン

図 1.8 スパイロロールスクリーンの基本配置と運転原理

バータモータを採用しているので運転中にスクリーンのロール速度を調整し効率を変更することができる。これにより投入されるチップの品質や処理量の変動に対して広い範囲で高い性能を維持し、簡単に故障のない全自動運転が可能となる。

2) スパイロロールの性能

パイロットプラントでの広範囲なテストでスパイロロールスクリーンの高い性能が証明されている。オーバーサイズチップの分離率はロールスピードと負荷率によって変わるが 90~96% 範囲である (図 1.9, 1.10)。ディスクスクリーンでもこの範囲の分離率は達成されているが、アクセプトチップのキャリオーバーははるかに高率となる。スパイロロールではキャリオーバーが 4~14% の範囲でオーバーサイズは高い分離率が得られている。

スパイロロールの性能はロールの回転速度に影響を受ける。回転速度を上げることにより低負荷でもオーバーサイズの分離効率を増加又は一定に維持することが出来る。また高負荷時 (自動モードで運転の場合) 処理

図 1.9 スパイロロール性能とロールスピードの関係 (中負荷)

図 1.10 スパイロール性能と負荷の関係

表 1.2 蒸解釜への一定オーバーサイズ混入率での 1 次スクリーン性能

	オーバー サイズ %	アクセ プト %	ピン %	ダスト %
投入チップ品質 蒸解釜へ	16.0	69.0	10.0	3.0
ライズドロール	2	84.7	12.3	1.0
スパイロール	2	86.9	10.5	0.6

量を維持するためロールスピードは低下するように制御される。

3) システム性能上のスパイロールスクリーンの効率の影響

表 1.2 にライズドロールとスパイロールのスクリーン性能を比較して示す。

オーバーサイズの分離率が同じ場合、スパイロールスクリーンではアクセプトチップのキャリーオーバーは少なく、従ってスライサーのギャップを広げピンやダストの発生を低く抑えることが出来、またスライサーの寿命も延びることとなる。

2. 微細チップ分離の新しいロールタイプ スクリーニング技術

はじめに

“ダイヤモンドロールスクリーン” (商品名：特許申請中) はチップ中のダストを効果的に分離したいというユーザの要望にこたえて開発された。ダイヤモンドロールスクリーンは 1987 年に初めてパルプ工場に導入され、その後、種々のアプリケーションに採用されている。ユーザは最少のピンチップロスで最大のダスト除去、もしくは最少のアクセプトロスで最大のダスト及びピンチップの除去を目標としている。ダイヤモンドロールスクリーンのロールスピードはピンとダスト選別に大きな影響をおよぼし、ロールスピードを変

更することでスクリーンの選別効率を変えることが出来る。

2.1 ピンとダスト選別の利点

パルプの品種によって異なるが現在、チップはパルプ製造コストの 25～55% を占めており、この事がチップ品質をコントロールする意義でもある。また高い生産性や優れた製品品質への要望から、パルプ化工程に影響を与える微細チップを分離のための高性能チップスクリーンへの要望が増している。機械パルプ、化学パルプ共にチップからダストを除去することでパルプ強度、歩留向上が図られ同時に薬品消費量の低減につながった。さらにダストと共にチップに混入している砂や樹皮などの異物除去もパルプ品質の向上にも寄与する。

1) ピンチップとダストの分類

ダイヤモンドロールスクリーンにより分離されたダストは一般的なダストスクリーンで分級されたダストとは異なったものとなる。実際の工程から採取したチップについてのラボでの分級結果はダイヤモンドロールスクリーンの高い選別効率を実証している。図 2.1 に見る如くスクリーンを通過した 3 mm 以下のチップはアクセプトチップの中に残っている 3 mm 以下のチップより非常に短く繊維分も少ない。さらにダストと共に除去されたピンチップはアクセプトチップ

図 2.1 スクリーンを通過したダスト (左下) はアクセプトフロー中に残った原料 (右下) よりも短く繊維分がない。ダストと共に除去されたピンチップ (左上) はアクセプトチップフロー中のピンチップ (右上) より小さく薄い

中に残っているピンチップよりも小さく且つ薄い。

ここでダストとはスタルスベッツタイプの分級機の3 mm 穴を通過した切り粉のような形状のものと定義する。ピンチップは7 mm 目穴のスクリーンプレートを通過し、3 mm 目穴のスクリーンプレートに残った楊枝のようなものと定義する。ピンチップのみを分類したい場合には7 mm と3 mm のスクリーンプレートの間に5 mm のスクリーンプレートを設ける。

2) 小さなチップのスクリーニング方法

ピンとダストの分離用チップスクリーンは最近、急速に発展してきた。各種スクリーンについてピンとダストの分離を主体とした議論は十分に行われていなかった。現在ダストの分離に使用されているスクリーンのタイプとしては回転シリンダスクリーンプレート(ドラムスクリーン)、振動するフラットスクリーンプレート(ロータリスクリーン他)、そして旋回スクリーンプレート(ライウェルスクリーン)などがある。また小さなI.F.O.(ディスク間の隙間)のディスクスクリーン、静電式あるいは空気式分離システムを利用したタイプもある。新しく開発されたダイヤモンドロールスクリーニングは調整できる回転ロールを利用して高効率なダストとピンチップの分離を行うものである。

2.2 ダイヤモンドロールスクリーンの原理

ダイヤモンドロールスクリーンは同一方向に回転する並列に配置されたロールとロール支持フレームから構成される。図2.2に2つの違ったロール断面をもったものの組合せを示すが、通常は1台のスクリーンには同一断面のロールを使用する。スクリーン上に投入されたチップのうち細かいものはロール表面のピラミッ

図 2.2 ダイヤモンドロールの断面図解と運転原理

ド状の窪みに移行してロール間のI.R.O.(ロール間の隙間)を通過する。またロール間の隙間を通過できない大きなチップはスクリーンの端から運び出される。

このスクリーンはチップ厚み選別システム中の多様な位置に使用されている。1次スクリーンに使用される場合(図2.3)、スクリーンには雑多なサイズのチップが入ってくる。この様な用途の場合はIROを通過するためのぶつかりあいと比較的少なく、大きいチップは簡単にスクリーンの端に運ばれ細かいものは速やかにチップのマットを通して移行するのでスクリーンの処理能力は高い。

ダイヤモンドロールスクリーンを2次スクリーンとして使用した場合(図2.4)は小さいサイズのチップの比率が増加するのでロール間の隙間、ロールスピード、ロール表面形状及びスクリーンサイズ等を調整する必要がある。3次スクリーンとして使用する場合(図

図 2.3 1次スクリーンとしてのダイヤモンドロールスクリーンの運転フロー

図 2.4 スパイロール厚みスクリーン後の2次スクリーンとしてのダイヤモンドロールスクリーンの運転フロー

図 2.5 3次スクリーンにダイヤモンドロールスクリーンを使用した運転フロー（1次：ライズドロールディスク厚みスクリーン 2次：フラットディスク厚みスクリーン）

2.5)は細かいチップの比率がさらに高くなるのでアクセプトチップと共にピンチップやダストはIRO通過のさいぶつかり合うこととなる。従ってダスト除去効率を維持するためには負荷率は2次スクリーンとして使用する時より小さくなる。しかし、2次スクリーンより3次スクリーンの方が供給量は少ないのでスクリーンサイズはあまり大きいものとはならない。

2.3 性能に影響する要素

スクリーンを通過するチップサイズはスクリーンの性能に影響を与える。またロールの回転数や開口面積もスクリーン性能を左右する要素である(表 2.1)。スクリーンの開口面積はロール間の隙間(IRO)とロール表面の窪みの深さによって決まる。

1) ロールスピード

ロールの回転スピードを速くすればチップの移動速度も大きくなる。またチップの攪拌に対しても影響を与える。これらチップの滞留時間と攪拌力の違いはスクリーンで除去されるチップサイズと量を変化させることになる。

ロールスピードの増加によりダストの除去率は減少する(図 2.6)。同時に使用可能な繊維ロス率も減少する。この特性を利用してダスト除去率を維持しながら繊維分のロスを調整することができる。全繊維分ロス率とはダストと一緒に除去される3mm径よりも大きなチップの割合でシステム中の前段に設置されているスクリーンの形式には関係しない。

表 2.1 ダイヤモンドロールスクリーンの性能変動要素

変 動 要 素	ダスト除去率	ピンチップ歩留
スクリーン要素		
ロールスピード		
低	最 高	中 間
高	中 間	最 高
開口部分		
IRO		
標準ギャップ	高	高
広いギャップ	最 高	最 低
窪み深さ		
全窪み	最 高	高
1/2 窪み	高	最 高
チップ要素		
投入率		
少	最 高	中 間
高	高	最 高
投入品質		
平均的比率	高	最 高
ダスト高比率	高	最 高
ダスト低比率	中 間	中 間

図 2.6 ダイヤモンドロール性能とロールスピードの関係

2) ロール間隙間 (IRO)

ダイヤモンドロールスクリーンをダストスクリーンとして使用する場合、1.5mm程度のIROを選択する。IROが1.5mmで3mm以下の原料を除去する効率とIROが2.5mmで5mm以下の原料を除去する効率はほぼ同じである(図 2.7)。IROを大きくすると使用可能な繊維をより多く除去することになるので、ピンチップによるトラブルを見極めてIROを適正化する必要がある。

IROが1.8mm、ロール回転が低速の場合、多少ピン

図 2.7 各ロールスピードでのスクリーン性能とロール間ギャップ (IRO) との関係

図 2.8 3次スクリーンとしてダイヤモンドロールスクリーンを使用した場合のイクセプトおよびダストフロー (投入チップはディスク間スキマ [IFO] が4 mm のディスクスクリーンを通過したもの)

図 2.9 2次スクリーンとしてダイヤモンドロールスクリーンを使用した場合のイクセプトおよびダストフロー (投入チップはディスク間スキマ [IFO] 7.2 mm のディスクスクリーンを通過したもの)
 uph=units per hour=5.66 m³/hour

チップロスが増すが最大のダスト除去率と処理量が増える。図 2.8 は 3 次スクリーンにダイヤモンドロールスクリーンを使用した場合のフローダイヤグラムである。この工場では実質上全てのダストと適度の比率でピンチップが除去されており満足すべき連登の操作性が維持されている。

ロールスピードを上げる、また IRO を小さくすると処理量は減少し、スクリーンを通過するピンチップのサイズも小さくなる。図 2.9 は 2 次スクリーンとしてダイヤモンドロールスクリーンを使用したフローダイヤグラムである。このシステムの場合、1 次ディスクスクリーンの前半分の IFO を通過したチップがダイヤモンドロールスクリーンに投入される。このフローはピンチップロスが少なく、ダスト除去率は最良の結果が得られることを示している。

3) 窪みの深さ

ダイヤモンドロールの表面は連続したピラミッド形状の突起で構成されている。このピラミッド頂上 (ダイヤモンドピーク) 間に細かい原料が入り込みロールの回転によってスクリーンを通過する。この窪みの深さは開口面積の全合計に影響を与えると共に窪みの中に入り込むチップのサイズをコントロールする。窪み

図 2.10 ロール表面の窪みを含めたスクリーン性能とロールスピードの関係 (上: 全窪み, 下: 1/2 窪み)

の断面はV形状をしているため、深さを1/2減少させると窪みの面積は1/4に減少することになる。

IROを一定に維持し、窪みの深さを変更させることで、ダストと共に除去されるピンチップのロスをコントロールすることができる(図2.10)。窪みの深さが1/2のロールの方が全深さのものよりもはるかに選別率は高い。

2.4 性能に影響を与えるチップの変化

チップスクリーンの条件と共にチップ自身(処理量及びサイズ別)もスクリーンの性能に影響を与える。

1) 投入率

図2.11はロールスピードを一定にし、処理量を変化させた時のテスト結果である。ダスト除去率は処理量が増加することにより減少する。これは処理量が増えるためIROに移行しようとするチップ相互の競争が増すためである。逆にピンチップの歩留は向上することになる。

処理量のある範囲内での増減に対してロールスピードを変更することによりスクリーン効率をほぼ一定にコントロールすることが可能である(図2.12)。処理量

図 2.11 スクリーン性能と処理量との関係(ロールスピード: 100 ft/min=30.5 m/minの時)

図 2.12 処理量とロールスピードの相互関係からのスクリーン性能

を増加させるためにロールスピードを落してもダスト除去率は同じかほんの少し低下するだけである。

軽負荷の場合にはロールスピードを高速で運転する。これはピンチップがスクリーンを通過する機会を少なくしチップの攪拌を増加させるためである。テストの結果では実質上同じダスト除去率でも繊維のロス率は増えていない。

2) 投入チップの種類

投入されるチップの内訳によりダイヤモンドロールスクリーンの性能は影響を受ける。スクリーンの未処理あるいは1次スクリーンのアクセプトを処理する場合は処理量は最大となる。これは全チップ中にしめるダスト、ピンチップの比率が小さいために細かいチップがIROに移行する競争が少ないことによる。

当然、細かいチップの量が多い場合、スクリーンを通過すべきチップが増加するので処理量は減少する。ピンチップやダストが多量に含まれている場合にはスクリーン面積を広くとり、軽から中負荷で早いロールスピード運転すればよい。

ロールスピードを低速で運転するとダストは除去出来るが、良質チップも除去されてしまう(図2.13)。

2.5 細かいチップの流れ

ダイヤモンドロールスクリーンの興味深い特徴はスクリーンの長手方向で通過するサイズに違いがあることである。大部分のダストはスクリーンの投入側でスクリーンを通過し、薄いピンチップ(5~7 mmより小さく3 mmよりは大きいチップ)の大部分はスクリーンの搬出端近くで通過する。図2.14に各スクリーン位置でのサイズ別比率を示す。

搬出部のシュート内にゲートを設けることによりスクリーンの効果的な搬出位置の調整が可能となる。図2.14のように搬出ゲートを移動することによりダストの除去及びピンチップロスを変えることが出来る。

図 2.13 各ロールスピードでのスクリーンアクセプトフロー比率

図 2.14 ディスク間スキマ [IFO] 3 mm のディスクスクリーンを通過した投入チップの場合のダイヤモンドスクリーンの各位置のサイズ別比率（ゲート位置による結果は表 2.2 参照）

2.6 他の微細チップスクリーンとの比較

ダイヤモンドロールスクリーンは従来使用されてきたダストスクリーンに比較して高い性能を有している。2つの工場で狭い隙間のディスクスクリーンを用いて性能検査を実施し、次にこれと同じチップについてダ

表 2.2 ダスト除去率とスクリーン長さの関係
(図 14 参照)

ゲート位置	ダスト除去率, %	> 3 mm 繊維ロス, %	> 5 mm 繊維ロス, %
A	86.2	8.6	2.8
B	83.1	7.9	2.5
C	76.9	6.8	2.1

イヤモンドロールスクリーンによる比較試験を行った。その結果を表 2.3 に示すがダイヤモンドロールスクリーンはディスクスクリーンよりも明らかに繊維ロスが少なく且つ高いダスト除去率が得られている。

またロータリースクリーン（振動スクリーンの下網を通過した原料についてダイヤモンドロールスクリーンによる処理を行ってみた。この様な厳しい条件下でも 3 mm 以下の細かい原料の 90% 以上を除去し、また 5 mm 径以上の良質チップの 90% 以上を回収することが出来た。

この基本性能以外に振動スクリーンとの比較においてダイヤモンドロールスクリーンの利点は処理能力及び性能が運転を継続しても低下しないことである。振動スクリーンの場合、連続運転を続けるとピンチップ

表 2.3 ダイヤモンドスクリーンと小さなディスク間スキマ (IFO) のディスクスクリーンの比較 (単位: %)

	A 工 場		B 工 場	
	ディスクスクリーン(小スキマ)	ダイヤモンドロール	ディスクスクリーン(小スキマ)	ダイヤモンドロール
投入チップ				
> 7 mm diam.	61.1	62.7	70.9	67.0
> 3 mm diam.	34.4	32.1	22.1	24.9
< 3 mm diam.	4.5	5.2	6.9	8.0
	100.0	100.0	99.9	99.9
アクセプトフロー				
> 7 mm diam.	70.1	71.1	98.1	81.9
> 3 mm diam.	26.6	28.1	1.6	17.7
< 3 mm diam.	3.3	0.8	0.1	0.3
	100.0	75.2	99.8	56.0
ダストフロー				
> 7 mm diam.	33.7	4.5	36.3	4.5
> 3 mm diam.	58.2	59.4	48.2	55.0
< 3 mm diam.	8.1	36.1	15.5	40.5
	100.0	24.8	100.0	44.0
		100.0		100.0
ダスト除去率	44.6	87.5	98.8	97.7
> 3 mm 繊維ロス	23.9	8.5	40.0	12.5

や湿ったダストがスクリーンプレートの網目に詰まり処理量及び性能が低下する。これに対してダイヤモンドロールスクリーンは、ロールの窪みに詰まろうとするダストを常にピンチップ等により排除するセルスクリーニング作用があるため安定した操業が維持される。

3. チップ用スライサーの性能と運転

はじめに

チップスライサーはチップスクリーンで分離されたオーバーサイズのチップ処理として広く使用されている。スライサーの効率は投入量、投入原料の構成、水分量、スライサーギャップの設定などに影響を受ける。スライサーへの投入量が最適範囲を越えて過大になればピンやダストがより多く発生する。またスライサーへ投入されるオーバーサイズチップの割合が変わればピンやダストの発生量も変化する。

湿った若いチップは乾燥したチップよりもスライス効率は良い。処理量、オーバーサイズの減少効率、ピンやダストの発生率、これらの全てがスライサーのギャップの広さの影響を受ける。

3.1 スライサーの起源

チップスライサーが開発される前はオーバーサイズチップは再度チッパーに送られて処理されていた。しかし、リチッパーではチップの厚みの調整が困難なことや、ピンやダストが過度に発生するという問題が伴っていた。そこで、西独連邦共和国のパーテックルボード業界でフレークを生産するために使われていたチップフレーカーからチップスライサーが開発された。新しいチップスライサーの基本構成に関する特許は1968年に出されている。

3.2 設計と運転原理

チップフレーカーと同様にチップスライサーも2つの同心円の回転体からなっている。外側にドラム形をした鋭利なナイフリングがあり、投入されたチップはナイフリングに押し付けられ、もう一方の中心にあるアンビルロータでスライスするためにナイフの方に押し出される(図3.1)。ナイフリングは回転しているので、投入されたチップは遠心力によってナイフリングの内側に添って並び、スライスする方向(厚み方向)を保つことになる。アンビルはナイフの方にチップを押し、決められた厚みにスライスする。厚みはナイフの前にあるゲージプレートのナイフの突起高さによって決まる。

フレーカーの場合、ナイフとアンビルは反対方向に回転しているので、高い切断スピードを起こす。スライサーではアンビルとナイフは同一方向に低速回転で

図 3.1 チップ厚み方向でのスライスマカニズム

運転されており、アンビルロータはナイフロータの約3倍スピードで回転している(アンビルロータ約360 RPM, ナイフロータ約120 RPM)。

スライスの厚みはダストの発生が最も少ないような条件に調整する。厚みスクリーンのリジェクトをスライスする場合、通常スライスのギャップは5.5 mm ~ 7.5 mm にセットする。

チップスライサーの処理量はアンビルとナイフの通過回数とナイフの長さによって決まるが、ナイフの全幅方向に対し、いかに均一にチップを投入するかも処理量を高めるために必要である。チップはスライサーに送り込まれナイフリング内面に遠心力によって密着するので、スライスするためにチップが正しい方向になるようにナイフとナイフの間に適正なスペースがなければならない。投入量が増えれば性能は低下する可能性がある。チップの方向形成やチップどおしが重なり合うような不十分な条件下ではピンやダストが増加する原因となる。

ナイフリングのナイフを追加すればアンビルとナイフの通過回数が増え、処理量は上がるが、あまりナイフ数を増すとチップが正しい方向に向くためのスペースが減るのでピンやダストの増加原因ともなる。

3.3 チップスクリーンシステムの適用

一般的にチップスクリーンシステムは予想される変動を考慮して型式を選定しているので、通常の負荷条件より大きなスライサーになっている。スライサーの最大処理量は個々の型式によって変わるが、30 ユニット/時 (60 t/hr) から 65 ユニット/時 (130 t/hr) の範囲である。運転によってはスライサーへの負担はしばしばこの処理量よりもはるかに低くなり、時によって

は25ユニット/時(50 t/hr)以下になることがある。

スライサーの処理量はスクリーンシステムへのオーバーサイズの絶対量およびスライサー前のスクリーン(1次スクリーン)の性能により決まる。また1次スクリーンが過負荷になるとスライサーへの投入量に脈動を起こす原因になる。典型的なスクリーンシステムはディスクスクリーンであり、オーバーサイズの分離率は92%を達成出来るが、一方アクセプトも13%キャリアオーバーする。たとえばオーバーサイズ14.4%, アクセプトを74.5%とし、投入量が100ユニット/時とした場合、スライサーの負荷は22.9ユニット/時 $[(14.4 \times 0.92) + (74.5 \times 0.13) = 22.9]$ となる。スライサー送りのチップは56%がオーバーサイズで42%がアクセプトとなる。

大まかにはシステムの投入量の20%がスライサーを通るので、スライサーの性能が全体のシステムの性能に大きな影響を与える。多くのシステムではスライスされたチップは直接アクセプトのコンベア上でスクリーンされたチップと一緒にになる。もし2%のダストがスライサーで発生すると、例えスクリーンでダストを除去しても最大0.4ユニット/時のダストがダイジェスタに行くことになる。

この例から見ても、もしオーバーサイズの量が増えたり、またはディスクスクリーンの脈動や性能の不良によって多量のチップがスライサーに送り込まれると、ダイジェスタに送られるスライスされたチップも比例して大きくなる。スライサーの過負荷や低性能スライサーの場合、ダストやピンの量を最小に維持するためにはスライスしたチップを再びスクリーンにかける必要性が生じる場合もある。

3.4 スライサーの性能

1) 投入量の要素

投入量はスライサーの効率に影響をあたえる。投入量、オーバーサイズの減少効率そしてピンやダストの発生の関係を図3.2に示す。軽負荷の状態ではチップは

ナイフリングに対して平らに密着する空間が十分にある、負荷が増えれば空間が減少し、そのためチップどおしが重なり合った状態でスライスされかねない。さらに負荷を上げればこの傾向は増大し、その結果ピンやダストをより多く発生させる。オーバーサイズの減少効率は軽負荷の場合はチップがギャップを通過するスペースが十分あるので投入量には関係なくほとんど一定になる。

最適スライサーの条件(鋭利なナイフ、鋭利なアンビル、滑らかな磨耗面)のもとで約10ユニット/時の負荷の時は約95%のオーバーサイズ減少効率が得られる。ダストの発生は最大2%で、ピンの発生率が10%から12%の範囲ならば、一般的にダストはほぼ1.5%となる。負荷を30ユニット/時に増加するとオーバーサイズ減少効率はほとんど変わらないが、ダストの発生は約2%となりピンの発生14%~15%に増える。更にスライサーの負荷を上げるとオーバーサイズ減少効率は基本的には変わらず、ダストの発生はほんの少し増加、しかしピンの発生は上昇しつづける。

2) スライスギャップの要素

スライス後のチップの厚みはスライサーのギャップによって決定される。チップはアンビルによってナイフリングの内面に沿って押されてナイフ部分に導かれる。ナイフリングの内面の先端とナイフの刃先との距離がスライスのギャップである。このギャップを変えることでスライス後のチップの厚みを調整できる。ギャップ量による性能線図を図3.3に示す。予想されるように、ギャップがより狭い方がオーバーサイズ減少効果は大きい。5.5 mm以下のギャップの場合、投入された全てのチップは8 mm以下の厚みにスライスされるが、一方ダストの発生は3%近くなり、ピンの発生は15%を越える。

スライスギャップを広げると、オーバーサイズの減少効率が低下するがピン、ダストの発生は減少する。8 mmのギャップ設定では、投入チップ中のオーバーサイ

図 3.2 スライサー性能と負荷との関係

図 3.3 スライサー性能とスライスギャップとの関係

ズの約80%が8 mm またはこれ以下の厚みとなり、残り20%は全て8~10 mm となる。

時折、スライスされたチップがスライスギャップ長より厚いものになることもある。スライスする場合、遠心力でチップはナイフリングに張り付き、アンビルの押し出し作用でナイフに対し外側にチップを押し出しナイフリングのスリットを曲線的に通抜ける。このためスライスされたチップの面が曲線となり設定ギャップの寸法より少し厚くなるわけである。

ギャップ寸法の別の測り方としてナイフの先端とゲージプレートの端との実際の開口を測ることがある。スライサーによって作られる最大厚みのチップはナイフの先端とゲージプレートの端の最大寸法にあたる。そのため、この距離が最も正確なスライサーのギャップ開口で、チップの厚みを管理するのに有効である。

3) チップ材質の要素

チップ種類もスライサーの性能に影響を与える。ソフトウッドを3種類、混合ハードウッド1種類を投入量とギャップを一定の状態に維持してテストを行った。スライサーへの投入チップはオーバサイズを約60%、アクセプトチップを40%の比率にしたものである。チップは生木を加工したばかりで水分はスライス時36%~47%の範囲にあった。

図3.4はこの一連のテスト結果である。南部の松材と西部の杉(レッドシダー)とは非常に似た結果を示し、ピンやダストの発生はモミ材よりも少なかった。以前のテストでハードウッドはソフトウッドよりもダストが発生しやすい傾向にあるという結果が数多く見られた。しかしながら、テスト条件を一定に管理した

状態ではハードウッドとソフトウッドとの間にはスライサーの性能において明確な差はなかった。木材の比重や生木の含水率が材質によって変わっており、これがスライサーの性能に影響を与える実際の要因であると思われる。テストした材種のかさ比重と水分は下記の通りである。

○南部松	23.8 lb/ft ³ , 47.2%
○杉	12.7 lb/ft ³ , 39.4%
○モミ	16.8 lb/ft ³ , 36.6%
○混合ハードウッド	21.5 lb/ft ³ , 38.6%

4) スライサー投入量に占めるアクセプトチップの比率の要素

スクリーン効率とスクリーンへ投入されるチップの品質変動、そしてスクリーンへのチップ投入量の変動は、スライサーに対してチップロットを変えたと同じ様に大幅な影響を与える。一連のテストでチップサイズとピンやダストの発生との相互作用を調べてみた。使用した材種はソフトウッド混合チップである。かさ比重は17.8 lb/ft³、スライサーは20 ユニット/時で処理をした。スライサーのギャップは6.5 mm である。

テストはアクセプトとオーバサイズのチップ配合率を5水準として行った。配合率は90%オーバサイズ/10%アクセプト、70%オーバサイズ/30%アクセプト、50%オーバサイズ/50%アクセプト、30%オーバサイズ/70%アクセプト、そして10%オーバサイズ/90%アクセプトの5種類である。テスト結果は図3.5の通りである。

スライサーへのオーバサイズの投入比率が低くなると、チップサイズの減少効率は向上した。中度の投入

図 3.4 各材種毎のスライサー性能

処理量=28 ユニット/hr (約 160 m³/hr) スライスギャップ=5.6 mm

図 3.5 スライサー性能とオーバーサイズ/アクセプトの混合比率の関係
処理量=20 ユニット/hr (約 115 m³/hr)
スライスギャップ=6.5 mm

量では厚いチップはナイフリングに対して厚みをスライスする方向に揃うので、オーバーサイズチップは効率的にスライスされる。

アクセプトチップの比率がオーバーサイズに近づく(1:1)とピンやダストの発生率が増えた。しかしアクセプト量がオーバーサイズの量を越えても、ピンやダストの発生はあまり変わらなかった。アクセプトの量とダストの発生の間には相関関係は見だされなかった。この一連のテストでダストの発生率が3%を越す点はなかった。ピンの発生はアクセプトの量が増えると10%から17%に上った。スライサーへ投入されるチップ中に占めるアクセプトチップの量を増やしてもスライサー後の製品には大きな影響があるという結果は現われていない。このことはパルプ生産工程において1つのインパクトとなるかもしれない。

5) 水分量の変化の要素

スライサーの性能はチップ水分に影響を受けることを理解しておくことが必要である。

一定の条件のもとに単一種のチップを使用し、一定のスライサーのセッティングで広い水分の範囲に渡って性能の変化を調べた。ほとんど絶乾に近いところから54%と高水分のチップを用いてスライサーの性能プロファイルをとった(図 3.6)。乾燥したチップは同一のギャップ設定では湿ったチップよりもスライスしやすいがピンやダストの発生が増える。水分を含んだチップは破片の発生が少なくきれいにスライスされた。ただしオーバーサイズの減少効率のはんのわずかに低下した。なお、異なった材種についてのデータを再分析した結果、ダストの発生のパターンは水分率に追従することが分かった。

6) スライサーの磨耗による要素

どの様な切断機械でも磨耗はついてまわりスライ

図 3.6 スライサー性能とチップ水分含有率の関係
処理量=28 ユニット/hr (約 160 m³/hr)
スライスギャップ=5.6 mm

サーも例外ではない。どのスライサーでも磨耗部は交換できるように設計されている。ナイフは最も早く磨耗する。その他、アンビルとゲージプレートも磨耗しやすい。磨耗の程度はスライサーの設計、異物混入防止および磨耗部の冶金術と被覆金属材料質に関連がある。

古い型式のスライサーでは、アンビルロータの設計上の問題点と負荷が特にかかる悪条件にある入口シュートの近くのナイフの幅 2/3 が最も磨耗を起こしていた。チップの不均一な投入や少ない投入量であるためナイフの全幅へチップが均一に分布しなければナイフの寿命は短くなる。

新しい設計では不均一な負荷を改善しナイフの全幅を使うことを要点にした。現在、磨耗は可成り均一化され寿命はのびてきた。現在稼働中のものを見ると、低い処理量からほぼ最高の処理量にわたり、より均一なチップの分布を図ることによってナイフの寿命は30~60%も長くなっている。

当然、異物の除去は磨耗部の寿命を大きく改善する。空気式比重分離方式やその他異物除去の効果的な手段を利用して石や金属を除去することによってナイフの寿命は2~6週間に延びた(対策前:3~4日)。アンビルインサートやゲージプレートも同様に交換ピッチが6~12ヶ月になった(対策前:2~4ヶ月)。

スライサーの性能に及ぼすナイフの影響を調べるため、次のような3種類の条件でテストを行った。磨耗したナイフで標準投入量(5ユニット/時)、新しいナイフで標準投入量、新しいナイフで投入量増(9ユニット/時)の3条件である。各々のテスト毎に電流と電圧を測定して必要馬力を求めた。

その結果無負荷の状態では38 HP である。磨耗したナイフを使用し、負荷を掛けた時の必要馬力は46 HP であった。新しいナイフの時は40 HP しか必要としなかった。新しいナイフの時は投入量をほぼ2倍にして

も必要馬力は46 HPであった。これらの各テストにおいてオーバーサイズの減少効率はほぼ一定であった。新しいナイフではピンやダストの発生も少し減少した。しかし、新しいナイフも高負荷の場合は磨耗したナイフで低負荷の場合とピンやダストの発生はほとんど変わらなかった。

3.5 最適なスライサーのセッティングおよび条件

スライスギャップの決定に際しては幾つかの条件を考慮しなければならない。投入チップの材種、チップの容積そして工場の希望投入量全てがこの対象になる。一般的にはチップの厚みを8 mmにコントロールするにはスライスギャップは6.5~7.0 mmにするのが適切である。このギャップでオーバーサイズの減少効率は90%以上達成される。これより狭いギャップの場合にはピンやファインの発生率が高くなる。低い水分率のチップをスライスする場合や、ピンやダストの発生を最小限に押さえたい場合はギャップを広げた方がのぞましい。この広いギャップでは8 mmから9 mm厚のチップがダイジェスターに送られることになるがピンやダストの発生から生じる繊維の劣化は減少する。

高負荷においてはより広いスライスギャップの方が望ましい。これはオーバーサイズチップが少ないスライス回数でアクセプトされるためナイフリングの負荷が下がり、高い処理量を維持できるからである。狭いスライスギャップではナイフリング上でチップが重なり、スライスに最適なチップの方向性が悪くなり、ピンやダストが発生する原因となる。また前述のようにナイフの全幅に渡り均一に負荷がかかる様にすることが最大の処理量と性能を発揮する上で重要である。ナイフの幅方向に対するチップの分散、ナイフの数、アンビル数、アンビルロータの設計および回転スピードの全てが均一な負荷を促進するための重要な要素となる。

スライサーの設計および磨耗部の磨耗状態が必要馬

力に影響する。高効率なスライサーは低馬力で高処理量の能力を発揮する。最適な効率で運転するには、いかなるスライサーでも適切な保守と異物混入防止が必要である。

ライサー処理の決定

処理量は、アンビルとナイフの1分間当りの通過回数、スライスギャップ、ナイフの幅およびナイフ幅の有効利用率が関係する。

回転体のスピード差と同様にナイフとアンビルの数は1分間当りの通過回数を決める。

2種類の型式の例を下記に示す。

○スライサーA型

ナイフ数 : 15枚
アンビル数 : 11個
回転数の差 : 245 RPM
(アンビル RPM - ナイフ RPM)
ナイフ幅 : 20 インチ
 $15 \times 11 \times 245 \times 20 = 808,500$ インチ交差/分

○スライサーB型

ナイフ数 : 14枚
アンビル数 : 11個
回転数の差 : 250 RPM
(アンビル RPM - ナイフ RPM)
ナイフ幅 : 20 インチ
 $14 \times 11 \times 250 \times 20 = 770,000$ インチ交差/分

両方の例でナイフの幅を100%使用したと仮定した場合、スライサーAはスライサーBより5%処理量が高いことになる。