

古紙の離解、粗選、精選技術の変遷

相川鉄工株式会社 専務取締役

金沢 毅

	頁
1. はじめにー技術開発の背景	2
2. パルパー	4
2.1 パルパーの構成要素の変遷 タブ、ローター、デトラッシュ	4
2.2 脱墨用パルパーの開発	8
3. 粗選と精選	10
3.1 システムの変遷	10
3.2 マルチファンクション機械の開発	12
4. スクリーン	13
4.1 スクリーン技術の変遷	13
4.2 スクリーンの網の変遷	16
4.3 ローターの変遷	17
4.4 さらなる性能の追求	18

この資料は、平成 19 年 10 月 9 日に開催された紙パルプ技術協会年次大会前日講演会「製紙産業技術 30 年の変遷」での講演記録を基にまとめたものである。資料中のすべての図の著作権は講演者に属し、無断使用・複製等をご遠慮ください。

講師略歴

昭和 41 年 4 月 相川鉄工株式会社入社
平成 8 年 6 月 同社 取締役技術部長
平成 13 年 2 月 同社 常務取締役
平成 19 年 6 月 同社 専務取締役
平成 20 年 3 月 同社 取締役副社長

1. はじめにー技術開発の背景

ただいま紹介をいただきました、相川鉄工の金沢です。

私は、昭和 41 年に相川鉄工に入社しました。したがって、約 42 年間、製紙業界の皆様がたにご援助をいただき、現在、もう少し仕事を続けたいと思っています。今回、「古紙の離解、粗選、精選の技術の変遷」をという依頼を受けましたので、私が存じています昭和 41 年以降を中心に話を進めます。

私たちの技術は、定量的な話があまなく、どちらかといえば感覚、定性的な話が多いです。そのような意味で、原料調整の、しかも古紙処理というのは、もっと定量的に勉強をしていくべき分野ではないかと思えます。今日の私の話は、そのようなわけでかなり定性的な話になろうかと思えますが、その辺はご容赦ください。

今日、話しますのは離解と除塵になります。古紙処理のシステムは、基本的には離解して除塵して、濃縮して完成します。もちろんこのあとにリファイニングがあるのですが、この三つの分野を総称して古紙処理と言われていると思います。

離解は、パルパーとデフレーターとの二つの機械で行います。離解が終わった原料は、除塵工程に行きます。除塵工程の構成は、クリーナー、コーススクリーン（粗選）、ファインスクリーン（精選）の三つの分野から成り立っています。その後、濃縮の工程（シックナー）に入ります。

近年、デフレーキング（離解）とクリーニング（除塵）を併せ持つマルチファンクションの機械ができています。もう一つは、丸穴とスリットのスクリーンを併せた機能を持つ機械もできています。そして次が、この除塵の工程から出たリジェクトを処理する、リジェクト・プロセッシングです。本日は、この離解と除塵の機械がどのように変化してきたのか話します。

古紙処理の技術の変遷には、大きく分け三つのきっかけがあります。最近、もう一つのきっかけが出てまいりました。それは中国です。中国の紙生産量が、日本を抜き、近いうちに 8,000 万トンまでいくのではないかと指摘もあります。

きっかけの第一は、1973 年に起こりましたいわゆるオイルショックです。中東戦争が勃発して石油の価格

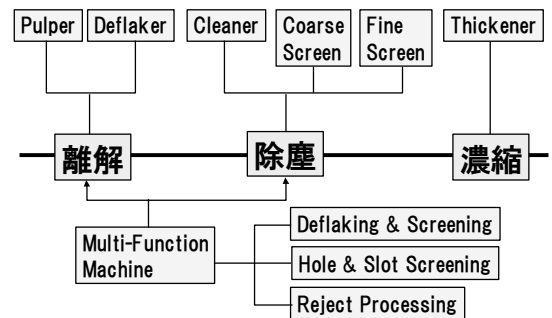
古紙の離解、粗選、精選技術の変遷

Technological Improvement for Deflaking and Coarse & Fine Screening of Waste Paper



相川鉄工株式会社
金澤 毅

古紙処理機器の基本構成



が高騰した一次オイルショック、そして、約5年後ですが、イラン革命による第二次のオイルショックです。それにより石油価格が大幅に上がりました。製紙業界では、原料設備の省エネルギーを進めていこうという動きが出てまいりました。そして、DIP の利用が急速に拡大していききました。それが 1970 年代の前半から後半です。

そのあと、1990 年代に入り、95 年を過ぎていきますと、京都議定書で代表される地球環境保護運動が大幅に高まり、エネルギーを減らしていこうという省エネルギーの追求がおきました。これが古紙処理技術を大きく変えていきました。

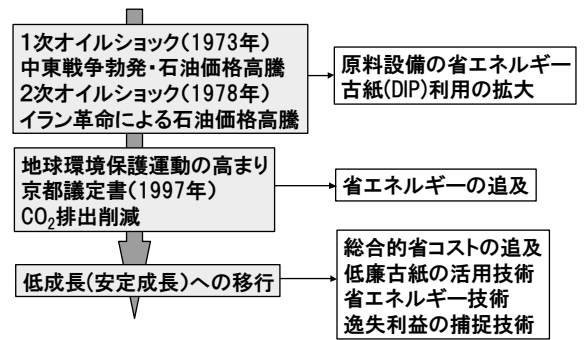
そして、日本においてはバブルがはじけ、低成長、安定成長の時代へ移行しました。拡大経済から安定成長の時代に移りますと、総合的な省コストの追求が行われるようになりました。その一環として、省エネルギー、低廉古紙の利用・活用の拡大、併せて、逸失利益の補足の技術というものが着目されております。製紙原料調整の工程において、どこでどのような利益が失われているのかというのを総合的に解析して、その失われている利益を回収していく技術が求められてきました。そこでまた古紙処理技術は変化しています。

そして、第4のきっかけは、中国における古紙の利用量の大幅な、急速な拡大です。日本の製紙業界では、非常に原料が高くなり、原料手当てが難しくなっていることから、どうしても低廉古紙の利用・活用、古紙の品質が低下した中でよりよい品質の古紙パルプを作っていくというニーズが高まってきました。これらが、古紙処理技術が変化してきました大きな三つないしは四つの背景です。

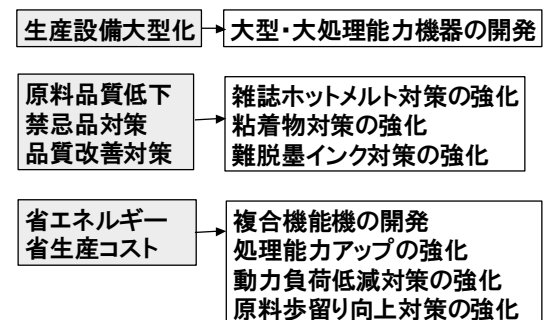
もう一方、切り口を少し変えてみます。かつて古紙処理とは、昭和41年代では20トン/日、DIPにおきましても50トン/日でした。現在は300トン/日が小型の部類で、700-800トン/日の古紙処理から、中国にいきますと1,000-1,200トン/日の古紙処理が一般化されてきています。それに伴い、大型・大処理能力の機器の開発が求められてきました。

そして、先程も申しました原料の品質の低さにもかかわらず、品質をもっともっとよくしたいという要求がありました。その第1が、雑誌のホットメルト対策でした。雑誌がホットメルトを使って製本されるよう

古紙処理技術変遷・三つの背景



古紙機器変遷・三つの要因



になると、何とかホットメルトが取れる機械が欲しいという要望が製紙業界から出てきております。ホットメルトは、比較的硬くて、形状が大きいので扱いやすいのですが、もっと難しいのが粘着物です。この粘着物対策は、ここのところずっと、板紙、それからDIP共通の課題で、粘着物対策の機械が欲しい、もっと改善をしていきたいということです。これには、やはりスクリーンが中心となります。

そして次が、難脱墨インク対策の強化です。これは、除塵にはあまり関係がなく、離解及びインクの分散が関係します。オフセット印刷やUV加工など、脱墨の難しさの原因となるものに対する対策が求められてきました。

そして、省エネルギー、それから生産コストの削減が出てまいりました。そのために行われたのが複合機能機の開発です。この複合機能機の開発は、日本が世界に先駆けて開発してきて、日本がいちばん進んでいると思います。この動力がかからない機械を開発しなさいというニーズは、広い意味で生産コストを削減することになります。

このように、三つの背景、または四つの背景から幾つかの新しい古紙処理機械が生まれてきました。本日は、これらの背景に基づき、パルパー、コーススクリーン、それから精選スクリーン、さらにこれらが組み合わさったマルチファンクションの機械を、時代を追って紹介します。

2. パルパー

2.1 パルパーの構成要素（タブ、ローター、デトラッシュ）

最初はパルパーです。パルパーを構成します主な技術は三つに分けられます。一つはタブのバッフリングの構造です。つぎがパルパーのローターの構造です。それから、デトラッシュです。デトラッシュとは、パルパーからごみを抜き出す機構です。

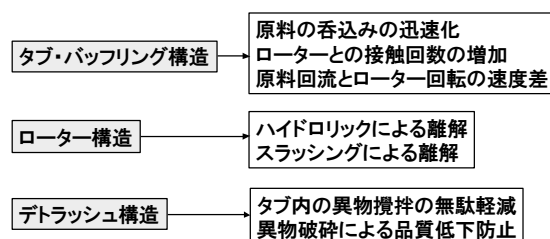
このタブのバッフリングの構造は、原料のみ込みを速やかに行うことと大きく関連します。原料のみ込みを速くすることは、まだ離解されていない原料とローターの接触回数をできるだけ増やして、何回も何回も原料とローターを接触させるということです。

もう一つ、このタブのバッフリング機能に求められ

板紙・古紙処理パルパー



パルパーを構成する主技術



ているのは、原料の回流とローターの回転に速度差をつけることです。ローターは速く回しますが、原料はあまり速く回してはいけません。縦回流で原料のみ込みをよくさせますが、水平回流の速度が速くなり、かりにローターの速度と水平回流の速度が全く同じだと仮定すると、ローターは原料に対してなんらのショックも与えず、離解がおきません。原料の速度とローターの回転速度の差をできるだけ大きくして、原料に対して衝撃を与える必要があります、このタブのバッフリング機構が重要になってきます。

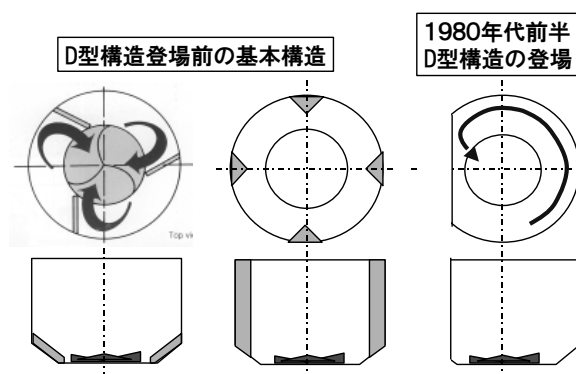
ローターには二つの目的があります。一つは、ハイドロリックによる離解で、できるだけ縦回流を多くして、原料とローターの接触回数を多くして、ローターベーンエッジで離解させる。もう一つは「スラッシング」で、ローターのインペラーの裏側に原料を持ち込んで、その裏側でローターと原料を衝撃させ、スラッシングさせます。

それから、デトラッシュは、パルパーを構成する大きな技術です。以前は、パルパーのタブの中に異物が長く滞留し、この異物を攪拌するために無駄な動力を消費していました。パルパーの中からは、できるだけ速やかに異物を取り除くことが必要です。また、異物がパルパーの中にいつまでも入っていると、異物が破碎され、品質が低下します。それを防ぐためにパルパーの中からは速やかに異物を取り除かなければいけない。これがパルパーのデトラッシュです。

(1) タブとバッフリング

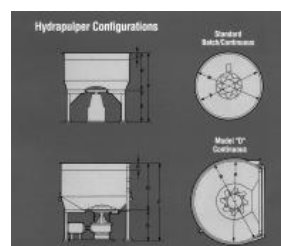
まず、タブのバッフリングの機構です。1980年代の前半に、板紙用の古紙パルパーのタブ構造は大きく変化しました。それは、米国のブラックローソンが特許を取って、日本では、IHI、その後 IIM から、現在は相川鉄工が引き継いでいる D 型パルパーです。パルパーの上から見ますと、大きなバッフリングをつけ、ちょうど D の字になっています。これにより原料が回流して、壁に当たって、ローターに戻ってくる。ローターをパルパーの芯からずらしたというような感じになっています。ローターは円筒形の中心にあるが、タブを変形させたという技術です。D 型以前のパルパーは、パルパーの底部にバッフリングプレートを 3ヶ所、場合により 4ヶ所つけた例もありますが、複数のボトム

タブ・バッフリング構造の変遷



タブ・バッフリング構造の変遷

D型タブ構造登場による技術的改善



原料呑み込み時間の短縮
ローターと原料の接触回数の増加
水平回流に消費される動力の節約
ローター回転と原料流の速度差増加

↓
処理能力、約20%の増加

プレートをつけ、原料の回流のバッフリングを行っていました。そのあと、三角の形のバッフリングをやはり3ヶ所ないし4ヶ所つけまして、これによりローター側に原料が戻っていくという構造もありました。

現在、大型の古紙パルパーは、ほとんどがこのD型の構造で運転されていると思います。これにより、処理能力が、従来の円筒形のパルパーに比べ約20%増加しました。処理能力の20%増加は、20%の動力源単位の削減になります。

その理由は以下のようにになります。丸型のパルパーでは、液面のところに長い間原料がぶかぶか浮いています。D型にすることによって原料が瞬時にのみ込まれて、のみ込み時間が短縮されました。のみ込み時間が短縮されたことは、ローターと原料の接触回数が増加したことになります。すなわち、水平の回流、円周方向への回流が減り、縦回流ができたわけです。そして同時に、ローターの回転速度と原料流の速度差が増加をしたことにより、約20%の生産量のアップが可能となりました。

このD型のパルパーに、三角のバッフリングプレートを付けることで、処理能力が上がり、省エネになったとの報告が、春先の省エネルギーセミナー（紙パルプ技術協会主催）でレンゴー(株)から報告されています。

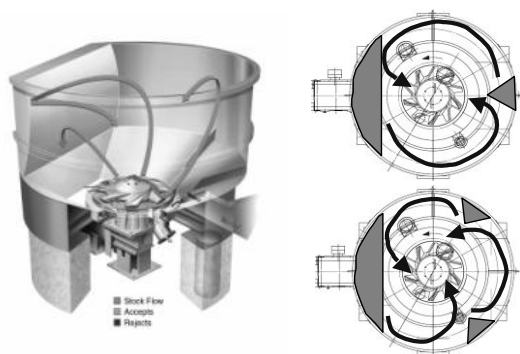
(2) ローター

二つめがローターです。1938年にハイドラパルパーが開発されたとき、ローターは右のような形でした。ローターの円周上にたくさんのブレードがついており、そして真ん中に、原料の回流を作るインペラーがついていました。

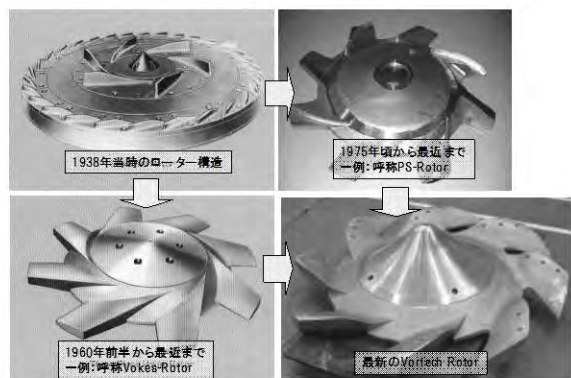
その後1960年代に入り、ボックスローターが開発されました。図のような形で構造が変わっています。1975年頃にPSローターが出てきました。これは、スラッシングベーンの1本置きにポンピングベーンがついているというローターです。現在は、このボックスローターとPSローターが、日本の古紙パルパーの主体となっています。大型のパルパーにはボックスローターが多く使われております。

そして約2年前に、新しくボルテックローターができてきました。ローターの頭、すぐ上にボルテックができます。ボルテックができると、どうしてもエネル

タブ・バッフリング構造の変遷 最新のタブ・バッフリング構造



ローター構造の変遷



ギーのロスになります。そのエネルギーロスを防ぐために三角すいを取り付けて、その形状に沿って原料を流すことで、ボルテックによるエネルギーロスを防止してやろうという考えです。それから、このスラッシングベーンの下側に原料を引き込、スラッシングベーンの下側の面積を大きくして、ストレーナーとスラッシングベーンの下側で原料をこすり、離解を進めという考えです。

このボルテックローターが、省エネルギーに非常に大きな効果があるので、既存のパルパーの改造という形で置き換わりつつあります。例えば、実施例Aの場合、57m³のパルパーに対し、処理量が600トン/日。従来のボークスローターですと570kWですが、このボルテックローターに換えますと、動力が430kWに減り、140kWの動力削減になります。実施例Cも大体同じです。これは500トン/日の処理量ですが、560kWが450kWと、動力削減は120kWが実現されています。このように、このローターにより約20%の動力削減ができたというわけです。

次がこのローターの構造ですが、フラット式とレイズド式があります。フラット式では、パルパーの底板にストレーナー、そしてすぐ上にローターインペラーがついている。それに対し、レイズド式では、パルパーの底板の上に持ち上がった形でストレーナーとローターがついている。1990年代後半になりますと、このレイズド式が登場してきました。このように持ち上がっているため、金物類や石、ボルトなどの異物がこの低い場所に集まり、ストレーナーとローターの間に入って行かないことで、ストレーナー、ローターの寿命が大きく伸びて、または破損が少ないという特徴があります。

板紙の古紙処理でいちばん難しいのが、ラガーの使い方です。ラガーとは、ひも、縄のようなものをロープ状にしてパルパーから引き上げる装置ですが、この底のローターの円周上を、ぐるぐる回るわけです。フラット式では、往々にして、ロープをかんで切ってしまうというトラブルがありました。レイズド式にすることによって、そのようなトラブルも解消されました。1990年代後半からこのようなパルパーになってきたということです。

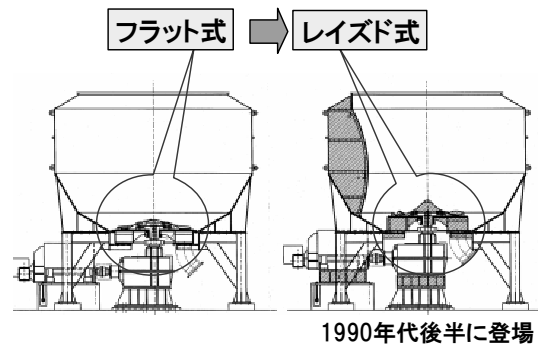
最新ローターと従来ローターの動力比較

インペラー・スラッシュベーン周りの効率改善
ローターベーンの回転抵抗値の低減
原料の堅回流の強化・呑込み速度のアップ

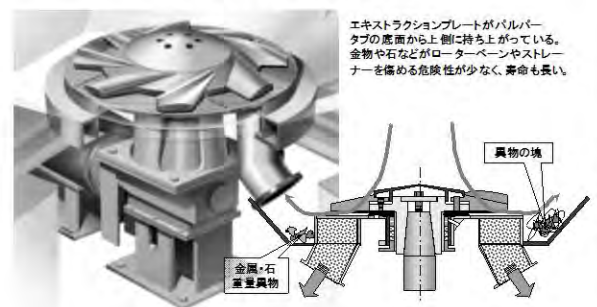
	パルパー	ホール径	処理量	ボークス	ボルテック	省エネ効果
実施例A	57m ³	Φ8.0mm	600T/D	570KW	430KW	▲140KW
実施例B	57m ³	Φ6.5mm	550T/D	570KW	465KW	▲105KW
実施例C	57m ³	Φ8.0mm	500T/D	560KW	450KW	▲120KW
実施例D	57m ³	Φ6.5mm	650T/D	600KW		(0.92KW/T)
	57m ³	Φ6.5mm	750T/D		520KW	(0.69KW/T)

パルパーサイズは10DR,20HV-C, 20DHV-C相当

ローター構造の変遷



ローター構造の変遷 レイズド式による改善



(3) デトラッシュ

次がデトラッシュです。この写真が世界最初のデトラッシュ装置です。パルパーの側面に、補助パルパーのようなものがあります。そして、ローターがありますが、ストレーナーはありません。ローターの外周に非常にたくさんのインペラーがついており、ここにすき間があります。このすき間を通して、良質の原料が離解をされながらパルパーに戻る。そして、異物はこのタブの中にとまり、バッチ式で系外に抜き出す。これが世界最初のデトラッシュ装置です。実はこの装置は、後ほど紹介しますDIPの高濃度パルパーのごみ取り装置の開発の基礎になった技術でした。

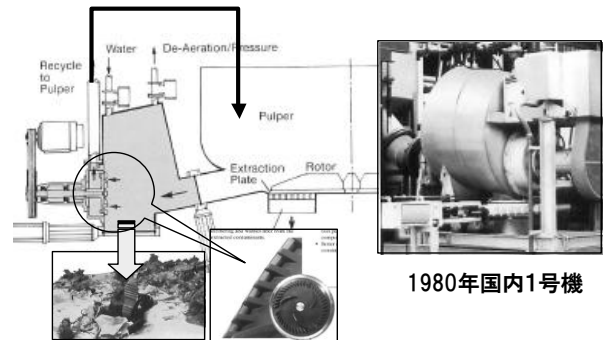
元へ戻りますが、右図が低濃度パルパーのデトラッシュ装置の標準的なシステムです。出口が2か所あります。この1か所からは、常時原料を抜いて、ダンプチェストに送ります。このデトラッシュ装置の内部にはストレーナーとインペラーがあります。ストレーナーの穴径は、パルパーの穴径とほぼ同じか若干大きくくらいで、4.5mm から9mm ぐらいの穴が開いています。これを抜けた原料は、ポンプのサクション側に入り、先送りされます。この中にごみがあります、バッチ式でこのドラムスクリーンにごみを送り、系外に出します。これが現在の標準的なデトラッシュ装置です。

2.2 脱墨用パルパー

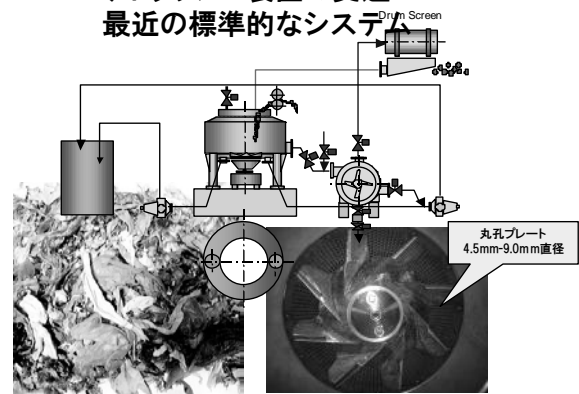
次が脱墨用パルパーです。脱墨の場合には、板紙で説明した低濃度パルパーのほか高濃度パルパーとドラムパルパーがあります。1970年代前半に脱墨プラントの新設が始まりましたが、主流となりましたのが高濃度パルパー方式とドラムパルパー方式でした。

日本では、ドラムパルパー方式が1970年代前半から最近までずっと使われています。ファイバーフローという商品名で呼ばれています。離解ゾーンがあり、ドラム式のスクリーンがあります。異物はドラムスクリーンのところで系外に排出され、スクリーンを通過した原料が得られるという機構です。この装置は、連続式であり、大処理量に向いているという特徴がありますが、一方、脱墨の場合に必要なインクの剥離効果が比較的少ないという欠点も指摘されています。もう一

世界最初のデトラッシュ装置 海外商品名: Scavenger, 国内: 2次分離パルパー

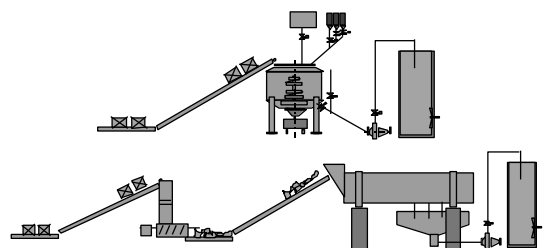


デトラッシュ装置の変遷 最近の標準的なシステム

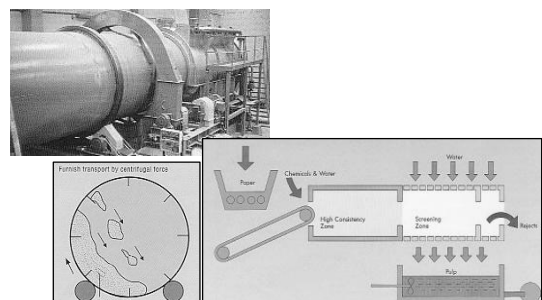


脱墨パルパーの変遷

1970年代前半: 脱墨プラントの新設が始まる。
二つのパルピング方式の登場
1. 高濃度バッチ式パルパー
2. 高濃度連続式パルパー(ドラム式)



脱墨パルパーの変遷 代表的ドラム式パルパー 1970年代前半~最近迄



つは、約6mmのストレーナーを使うのですが、このストレーナーを異物が抜けてしまい、抜けた異物が後ろの工程のポンプやスクリーンの羽根に絡むという欠点も指摘されています。それからもう一つは、長期間使っていると、振動が出てくるという欠点も指摘されています。利点と欠点を併せ持ったものであろうかと思えます。

数年前にVoithからツインドラムパルパーが発表されました。このパルパーは、前半が離解ゾーン、後半がドラムスクリーンという二つのゾーンに分け、それぞれの最適な回転数で運転できるのが特徴です。もう一つは、原料に、より大きなシェアを加える構造にして、インクの剥離効果をもっと強くしています。

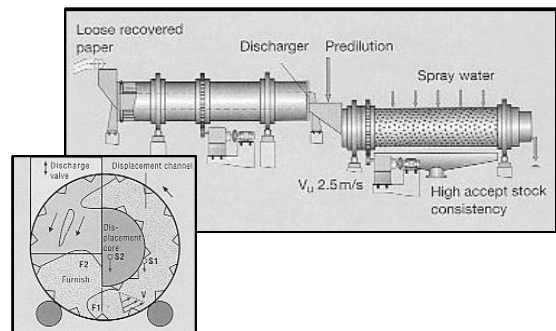
一方、高濃度パルパーと日本では呼ばれているものがあります。1972年に、日本で最初に開発されたものです。少し宣伝になりますが、相川鉄工がいちばん最初に開発し、フランスのラモーに技術を提供して、ヨーロッパで売り始めました。ヨーロッパで急激に200台ばかり発売されたあと、他社が類似の機械をヨーロッパで始め、さらに、米国でも始めたというしだいです。日本のお客様で育てられて、現在の新しい高濃度パルパーに変わっていったという流れです

初期のパルパーはごみ取り装置がありません。パルパーからごみが絡まないポンプで抜き出したあと、三角のおけをつけ、ここに何本も棒をつけました。何時間かたちますと人間がここへ行きまして、棒に絡んだ異物を取り除くという、非常に原始的な方法です。これが世界最初の高濃度パルパーでした。実際の作業レベルで大型化していくには無理があるということで、先程申しましたデトラッシュ装置を取り付けました。さらに改良されたのが1988年に生まれました。ダンピングスクリーンと言っていますが、丸穴のプレートの中に取り付けてごみ取りを行うのが開発されました

実はローターも変わりました。現在の高濃度パルパーのローターは、右図のようなディスクタイプのローターになっています。このローターにすることにより、動力消費量が約30%減少いたしました。同時に、異物の破砕量が約30%減りました。

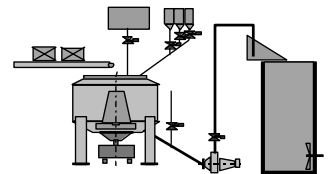
右図の左側が初期のごみ取り装置です。現在は（右側）、フラットなストレーナーのほかに、シリンドリカルのスクリーンのバスケットをつけ、二重の除塵設備

脱墨パルパーの変遷 最近発表されたツインドラム式

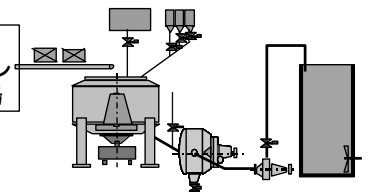


脱墨パルパーの変遷

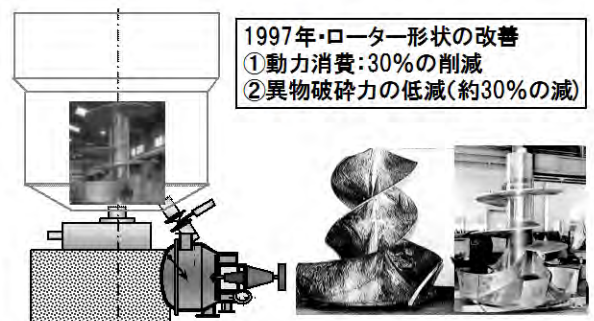
1972年:
初期の高濃度パルパー
簡易バー式ゴミ取り装置



1988年:
丸孔ダンピング・スクリーン
新しいゴミ取り装置の登場



脱墨パルパーの変遷 ローター形状の改善



を備えた機械になっています。図では、6 mm のフラットと 3 mm のシリンドリカルとありますが、現在は 2—2.5mm まで小さくなりました。したがって、パルパーから原料を抜き出す段階において 2 mm の丸穴スクリーンの除塵が完了しているわけです。

3. 粗選と精選

3.1 システムの変遷

次が粗選と精選です。その前に、システムがどのような形で変わってきたかを説明します。まず 1960 年代の古紙処理は、板紙の場合ですが、パルパーから始まり、高速離解機を経て、ヤンソンスクリーンでした。今では、ヤンソンスクリーンとはどのようなスクリーンか、分かならないかたもいるかもしれません。このヤンソンスクリーンがメインのラインに使われていた時代があったのです。後ほど写真を示します。

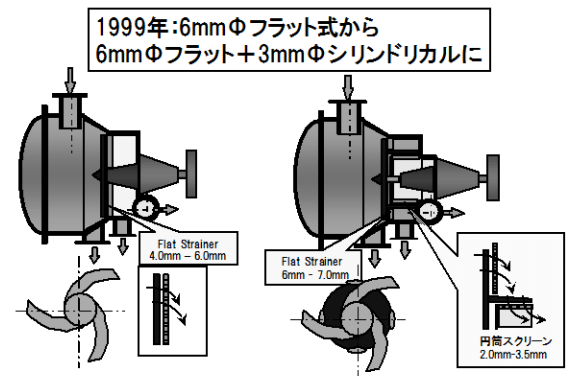
そのあと、生産設備の大型化につれ、ヤンソンスクリーンに代わって、丸穴の密閉スクリーンの時代がありました。そしてそのあと、先程申しました雑誌のホットメルトが紙業界にとっては非常に大きな問題になりました。そして現れたのが、スリットスクリーンです。このスリットが日本の製紙業界で使われたらいちばん最初の理由は、ホットメルトだったのです。

ところが、ここで大きな問題が出てまいりました。高速離解機で離解した原料をスリットスクリーンに直に入れると、スリットスクリーンが詰まってしまうトラブルが発生しました。それから、動力がオーバーロードしてしまうという問題が出てまいりました。それを防止するために工夫されたシステムが、高速離解機に丸穴スクリーンを付け加えたという機械です。ここでマルチファンクションの機械が生まれたわけです。そのあとにスリットスクリーンをつけることによって、操業の不安定が解消されていきました。

このマルチファンクションの概念はその後にも発展しまして、離解と丸穴のスクリーンとスリットのスクリーンも全部併せ持った、一つの機械で処理してしまおうというのが生まれました。これが 1980 年代の前半でございます。これは、世界に先駆けて、日本で初めて開発されました。

その次に、省エネルギーが話題になってまいりまして、丸穴のスクリーン、ついで、スリットスクリーン

脱墨パルパーの変遷 ゴミ取り装置の改善



板紙古紙処理・粗選/精選の変遷



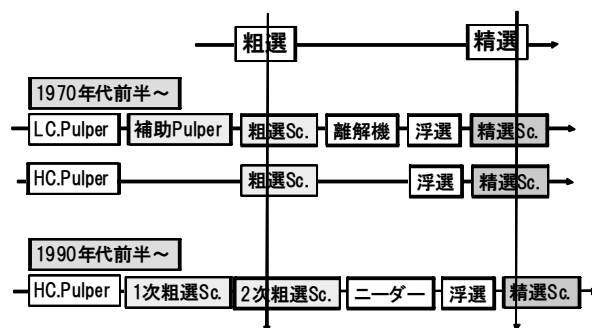
をシリーズに設置して、リジェクトのラインだけに離解機をつけていくシステムが開発されました。これはアメリカで開発され、ブラックローソンが「リップシステム」という名前を出しました。最近はさらに進歩しまして、パルパーのあとに、直にスリットスクリーンをつけてしまう。その代わりに、パルパーのストレーナーを4.5 mmや5.5 mmに小さくする流れです。そして、リジェクトのラインに離解機をつけ、丸穴の密閉スクリーンをメインラインから省略してしまうシステムが稼動し始めています。

次が脱墨のシステムの変遷です。脱墨も変わりました。1970年代前半のシステムでは、最初は低濃度パルパーに補助パルパーをつけ、そのあと粗選スクリーンをつけ、デフレーターでさらに離解してインクの剥離を行って、フローテーションを行い、そして精選スクリーンをかける。これが一般的なシステムでした。この低濃度パルパーでは、インクの剥離が悪い。しかも、異物を砕いてしまうという問題がありました。そして現れたのが高濃度パルパーです。高濃度パルパーの場合はインクの剥離をやってしまいますので、離解機と補助パルパーが不要となり、いきなり粗選スクリーンにかけ、フローテーションから精選スクリーンにかけけるシステムに移っていきました。

そして、次が1990年代前半です。この時代になると、粘着の問題、オフセットの問題、UVの問題など、いろいろ出てきました。そのためニーダーが必要になってきました。そうすると、ニーダーの前でゴミを取っておかないと、ニーダーがゴミを砕いてしまい、後で取れなくなってしまうという問題が出ました。そのため、この除塵工程を強化し、粗選の一次スクリーン、粗選の二次スクリーン、または、ここを「一次精選スクリーン」と呼ばれる場合もあります。そして、最後に精選スクリーンがある。こういった形のシステムに変わっていきました。

1970年代では、DIPの動力源単位は250 kWh/Tから、多くても300 kWh/Tで済んでいました。ところが新しいラインになると、動力源単位が500 kWh/Tになってしまいます。さらに、最近ではディスパーザーを2段にかけましょう、フローテーションを2段にかけましょうというシステムになり、動力源単位はトン当たり700 kWh ぐらいにまで増えてしまう。最近はそのよう

脱墨処理・粗選/精選の変遷



なことに反省しまして、もう一度昔の 300 kWh/T の時代に戻そうではないかというのが、製紙会社のニーズとして出てまいりました。私たちも新しいシステムを提供しまして、大体 300 kWh/T 以内で収めることが可能となってきました。

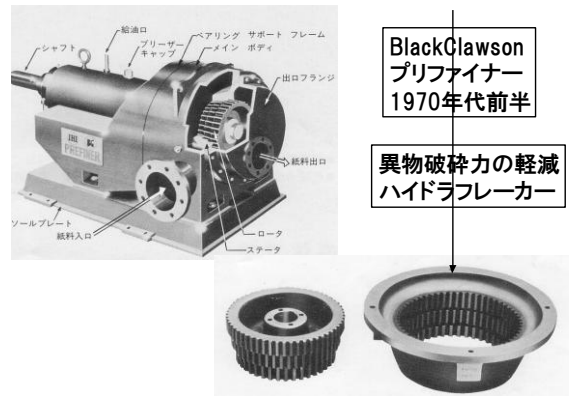
3.2 マルチファンクション機械の開発

話を元へ戻しますが、右が高速離解機です。1970 年代前半、ブラックローソンが古紙処理として出しましたもので、プリファイナーという商品名です。このプリファイナーはやはり異物を破碎してしまうということで、ハイドラフレーターという機械に変わりました。右は相川鉄工の例ですが、1970 年代にトップファイナーを出しましたが、歯が非常に細かいため、異物を砕いてしまい、また、異物が詰まってしまうということで、セブンファイナーに変わりました。

本題に入りスクリーンです。右がクラッシュファイナーという機械です。フラットのストレナーがあり、中で円盤のローターが回っています。原料が入り、離解されます。そして、丸穴ストレナーを通過させることによって、除塵を行うという機械です。これは、原料中のひも類の異物がスリットスクリーンのフォイルに絡み、モーターの過負荷などのトラブルを発生させたので、これを防止するために、このような機械の開発がされたわけです。

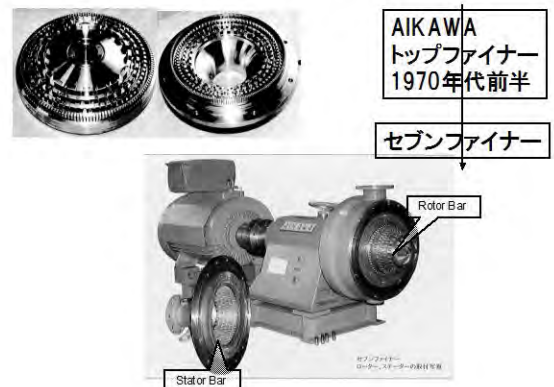
ところが、離解性能がよくない。それから除塵効果もよくないということで、別の機械に置き換わっていったのが、この分離ファイナーという機械です。この分離ファイナーは、ローターのある離解ゾーンに続いてスクリーンがあります。スクリーンはシリンダリカルの網で、除塵効果が非常に優れています。精選スリットスクリーンの前段で、粗大異物の除去、粗選スクリーンの総合的性能を高めるという目的で使用されましたが、動力消費量が大きい欠点があり、だんだん市場から消えていきました。

代表的な古紙・高速離解機



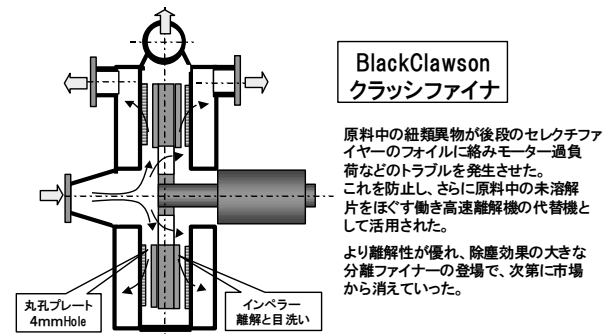
**BlackClawson
プリファイナー
1970年代前半**
**異物破碎力の軽減
ハイドラフレーター**

代表的な古紙・高速離解機



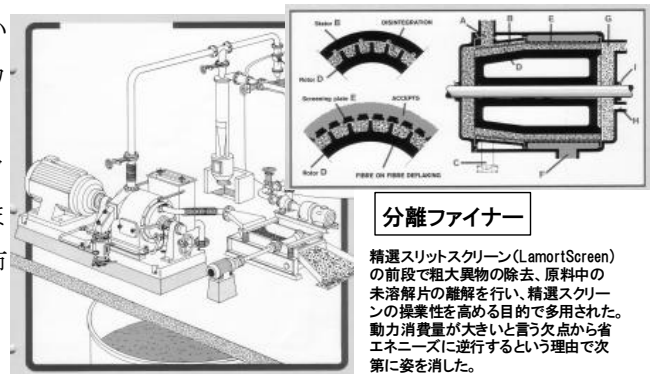
**AIKAWA
トップファイナー
1970年代前半**
セブンファイナー

代表的な離解・丸孔粗選、兼用機 1960年代前半～1970年代前半



**BlackClawson
クラッシュファイナー**
原料中の紐類異物が後段のセレクトファイナーのフォイルに絡みモーター過負荷などのトラブルを発生させた。これを防止し、さらに原料中の未溶解片をほぐす働き高速離解機の代替機として活用された。
より離解性が優れ、除塵効果の大きな分離ファイナーの登場で、次第に市場から消えていった。

代表的な離解・丸孔粗選、兼用機 1970年代前半～1980年代前半

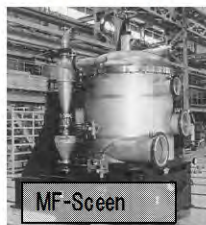
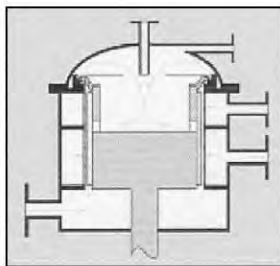


分離ファイナー
精選スリットスクリーン(LamortScreen)の前段で粗大異物の除去、原料中の未溶解片の離解を行い、精選スクリーンの操作性を高める目的で多用された。動力消費量が大きいと言う欠点から省エネニーズに逆行するという理由で次第に姿を消した。

そして、こちらは補助パルパーです。ターボセパレーター、ファイバライザー、スラッシュセパレーター、ベルコア等の名前の機械です。パルパーの直後に取り付け、パルパーで取りきれない細かい異物を取り除き、離解を行いました。1970年代から1980年代前半まで低濃度パルパーの後工程につないで使われました。

右が、離解と丸穴の粗選、それからスリットの精選を兼ね合わせた機構を持ったダブルセパレーターという複合機械です。主として板紙の分野に使われたマルチファンクションの機械です。ダブルセパレーターは相川鉄工の機械です。次のMFCスクリーンは石川島産業機械のものです。MFCは、やはりパルパー直後に設置して、パルパーで原料中に含まれる粗大異物を除去した後に設置し、原料を離解・除塵する機械です。そして、離解とスリットスクリーンの兼用の機械がMFスクリーンです。これもやはり、スリットスクリーンの一次と二次の機能を1台の機械で併せ持つという複合機能機です。

離解・スリット精選、兼用機 1990年代前半～2000年代前半



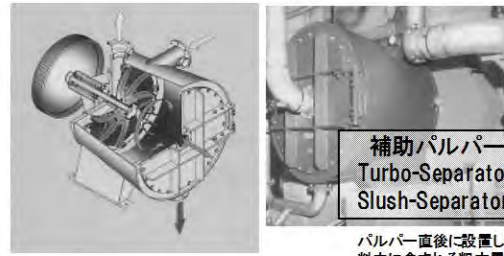
MF-Screen
スリットスクリーンの1次、2次機能を一台のスクリーンに同時に持たせ、同時に、原料中の未溶解片の離解を行う複合機能機。リジェクト中の離解機の節約、システムの簡素化が期待された。更なる省エネ観点から単機能スクリーンの性能アップが図られ、これに置き換えられてきた。

4. スクリーン

4.1 スクリーン技術の変遷

右図がヤンソンスクリーンです。1960年代の前半まで、密閉スクリーンが出るまでは、このようなものが使われていました。そして、4種類の密閉スクリーンが登場しました。この4種類の密閉スクリーンというのは、インワードタイプの密閉スクリーン、アウトワ

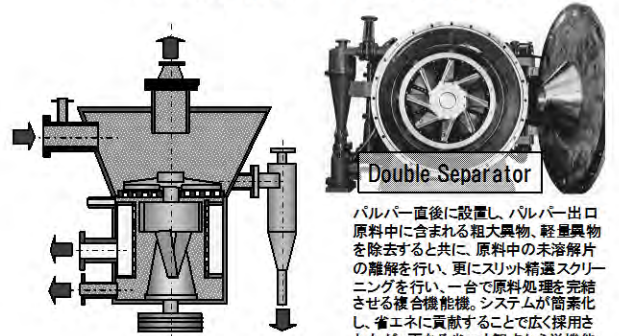
代表的な離解・丸孔粗選、兼用機 1970年代半ば～1980年代前半



補助パルパー
Turbo-Separator, Fiberizer, Slush-Separator, Bel-Core

パルパー直後に設置し、パルパー出口原料中に含まれる粗大異物、軽量異物を除去すると共に、原料中の未溶解片の離解を行い、精選スクリーンの操作性を高める目的で使用された。除塵効率、離解効率が不十分であると言う欠点から次第に

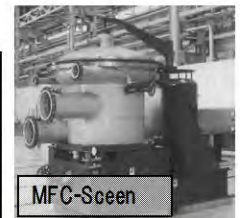
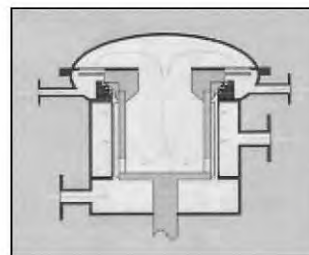
離解・丸孔粗選・スリット精選・兼用機 1980年代前半～1990年代前半



Double-Separator

パルパー直後に設置し、パルパー出口原料中に含まれる粗大異物、軽量異物を除去すると共に、原料中の未溶解片の離解を行い、更にスリット精選スクリーニングを行い、一台で原料処理を完結させる複合機能機。システムが簡素化し、省エネに貢献することで広く採用されたが、更なる省エネ観点から単機能スクリーンの性能アップが図られ、これに置き換えられてきた。

離解・丸孔粗選、兼用機 1990年代前半～2000年代前半



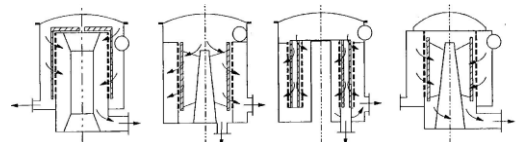
MFC-Screen

パルパー直後に設置し、パルパー出口原料中に含まれる粗大異物を除去すると共に、原料中の未溶解片の離解を行う複合機能機。リジェクト中の離解機の節約、システムの簡素化が期待された。更なる省エネ観点から単機能スクリーンの性能アップが図られ、これに置き換えられてきた。

スクリーンの変遷 開放型から密閉型への変化

開放型スクリーン
ドラム型回転式
振動式スクリーン

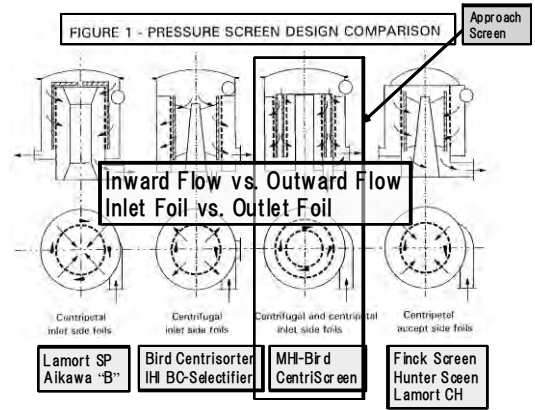
1960年代前半
密閉式スクリーンの登場



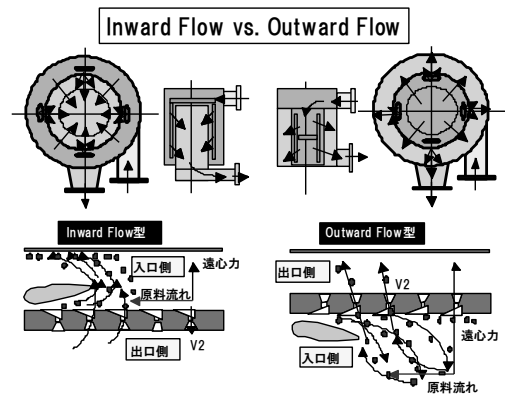
ードタイプの密閉スクリーン、インワードとアウトワードを併せ持ったスクリーン、インワードのタイプですが、ホイールがアクセプト側で回っているというものです。代表的なものとしては、ラモースクリーン、セントリソーターと言われているスクリーン、そして、セントリスクリンです。さらにフィンクスクリーンやハンタースクリーンと言われていたスクリーンがありました。

そして、次第にインワードとアウトワードの二つのスクリーンに集約されていきました。アウトワードというのは、原料がスクリーンバスケットの中側に入って、外側に向かって流れる。遠心力方向に原料が流れます。インワードは全く逆で、外側から内側に向かって原料が流れていくものです。それぞれ特徴があります。インワードは、重い異物、金物類が遠心力でスクリーンの網から遠ざかる方向に飛んでいき、アウトワードでは網とフォイルの間に異物が集まりやすいということで、スクリーンのバスケットの寿命が短いという欠点がありました。

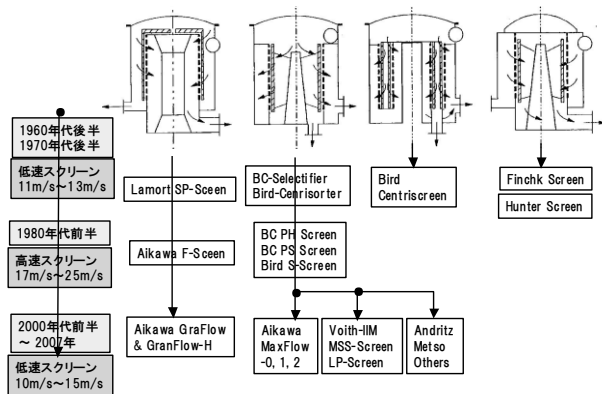
代表的な密閉型スクリーン(基本原理と構造)



代表的な密閉型スクリーン(基本原理の違い)

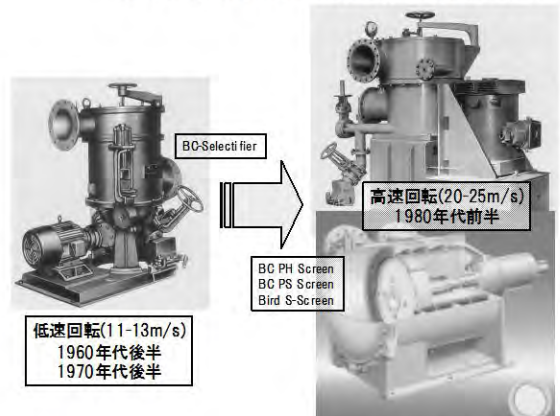


スクリーン基本形と技術変遷



1960年代前半に密閉型スクリーンが出たのですが、当時のスクリーンの回転速度は、大体 11 m/s から 13 m/s でした。ところが、1980年代になりますと、スクリーンの回転速度が 17 m/s から 25 m/s に上がりました。これはなぜかといいますと、高濃度にしたい、高濃度にすることによって、原料マットをスクリーンの網のところに作って、それで除塵効果を上げていこうという考え方です。もう一つは、高濃度にすることによってポンピングの動力を減らして省エネにしようということで、スクリーンの改善が図られました。とこ

Outward Flow Screenの技術変遷

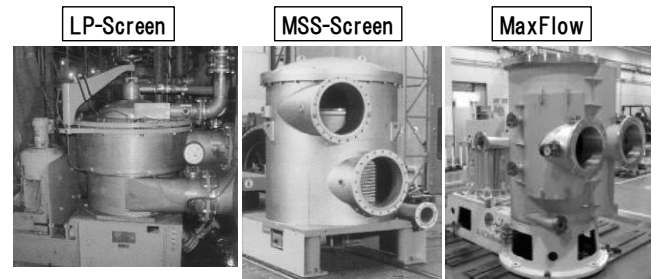


ろが、実際的にはそれは夢物語でして、動力が非常にかかってしまう。そして、スクリーンの表面にマットを作って除塵効果を高めていこうということも、粘着除去という観点から見ますとあまり有効ではないということで、2000年代に入りましてからまたローターのスピードが遅くなり、現在は大体 10 m/s から 15 m/s の周速で回るとというのが常識になってきました。

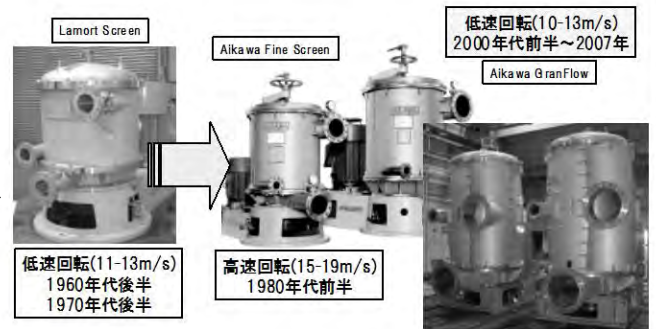
アウトワードのスクリーンは、1960年代では 11 m/s から 13 m/s で回っていました。そして、1980年代に 20 m/s から 25 m/s で回っていたのが、PH、PS スクリーン、または IS スクリーンです。最近のスクリーンとしては、2000年代前半から 2007年現在までですが、LP スクリーン、MSS スクリーン、マックスフロースクリーン等が出てまいりました。

インワードスクリーンの流れは、1960年代にラモースクリーンがありました。その後、1980年代にファインスクリーン、そして、最近ではグランフローというスクリーンが出てきました。

最新の代表的 Outflow Screen 2000年代前半～2007年



Inward Flow Screenの技術変遷

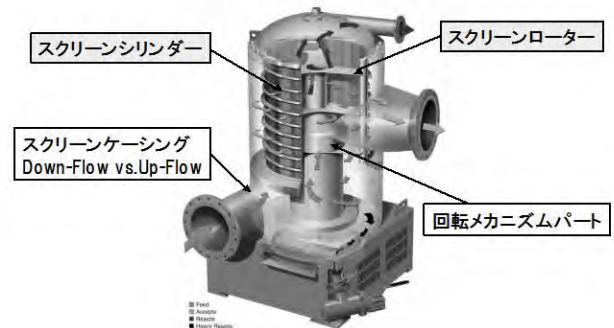


4.2 スクリーンの網の開発

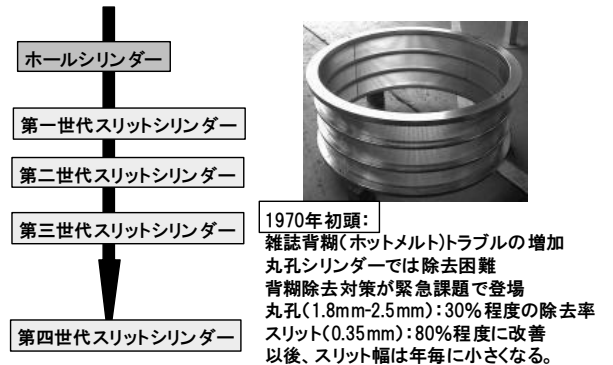
スクリーンの技術の変遷を見ていきます。スクリーンの基本構成はシリンダーとスクリーンのローターしかありません。この二つがどう変わっていったかということです。一つにはスクリーンの網です。スクリーンの網は、第1世代、第2、第3、第4世代に分かれます。第1世代は、スクリーンプレートの表面に何もありません。第2世代は、スクリーンプレートにバップルバーというバーがつかます。これが1960年代の後半に現れました。このスクリーンが出ることによって、初めてスリットスクリーンが安定的に使えるようになり、雑誌のホットメルトが安定的に取れるようになったのです。

そして第3世代です。1970年代の半ばごろから1980年代にかけて、スクリーンプレートの表面に溝を形成させるものです。少し話しがそれますが、1970年代の初頭に、丸穴スクリーンではだめだということでスリットスクリーンが登場しました。丸穴スクリーンでは30%ぐらいしか取れなかったホットメルトが、スリットスクリーン、当時は 0.35 mm で今は 0.15mm ですが、これで80%ぐらい取れるようになったので、以後スリットの幅がだんだん小さくなり、現在、第4世代のス

スクリーンを構成する基本技術 性能改善に大きく影響した要素



スクリーンを構成する基本技術 ホールからスリットへの変遷



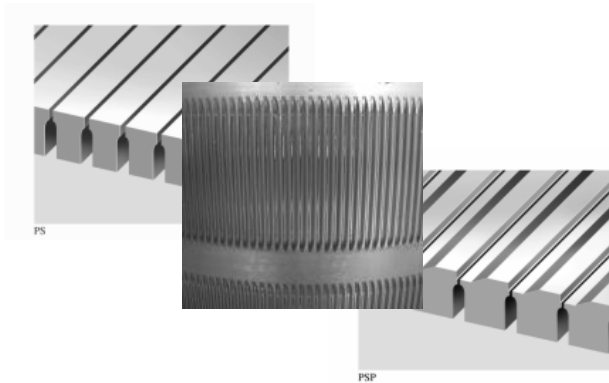
スクリーンを構成する基本技術 スリットシリンダー処理能力の変遷

リットスクリーンに移っています。

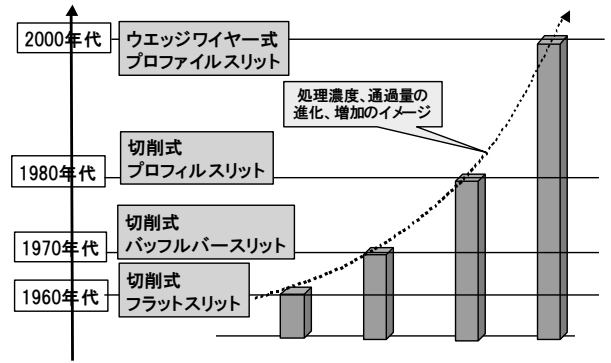
この第1世代から第4世代に移ることにより、処理量がどう変わったかをイメージで示します。第一世代のフラットスリットから、全く同じスリット幅でも数倍の処理量が稼げるようになったというのが第4世代のスリットスクリーンです。フラットスリットからバツフルバーになり、プロファイルになり、そしてウェッジワイヤーになったということです。

フラットからバツフルバーを経てプロファイルになった際、プロファイルの表面の形状がどう影響して、どう変わっていったか話します。初期のプロファイルでは、安定した渦ができ、安定した処理量にはなるのですが、細かい粘着物がこの渦の中に巻き込まれ、通過しやすいということになります。このプロファイルを三角溝にしますと、非常に不安定な流れになり、三角の溝の中に異物があまり集まらない。このため、品質はこちらのほうがよくなります。同じ0.15mmのスリットでも、粘着除去率が、74%から83.6%と増えています。このように、プロファイルの形状が大きく変化していきました。

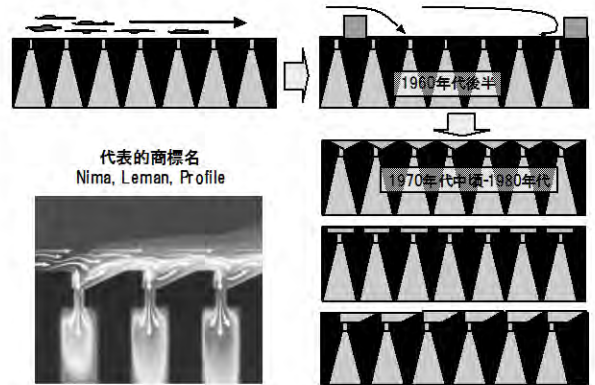
スリットシリンダー、1, 2, 3世代の変遷 フラット型からプロファイル型へ



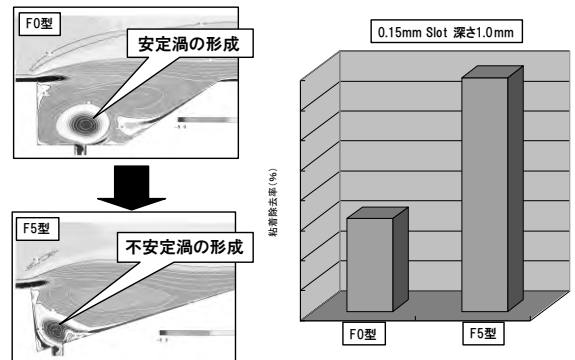
次に、第3世代の切削方式のプロファイルタイプから、ワイヤー方式の第4世代に変わっていきました。切削方式というのは、フライス加工をし、溝を加工し、そしてスリットのミリング加工をするという三つの切削が必要でしたが、ウェッジ方式というのは、ウェッジを組み合わせることによって、原理的には0.1mmでも0.09mmでもできます。一般的には0.15mmが最小のスリット幅で、右はその代表的な写真です。



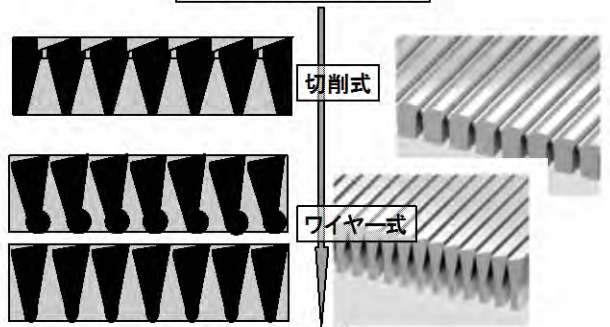
スリットシリンダー、1, 2, 3世代の変遷



スリットシリンダー、第3から第4世代へ 溝形状の変化(除塵効果の改善)

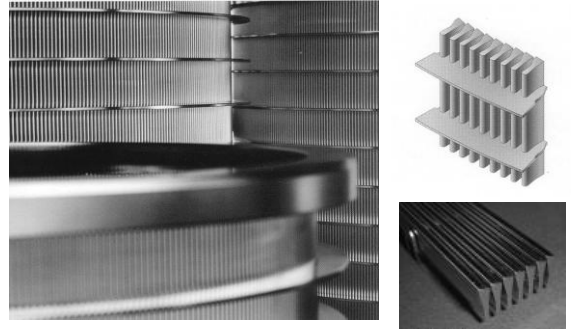


スリットシリンダー、第3から第4世代へ 切削式からウェッジワイヤー式への変遷 処理量の大幅改善

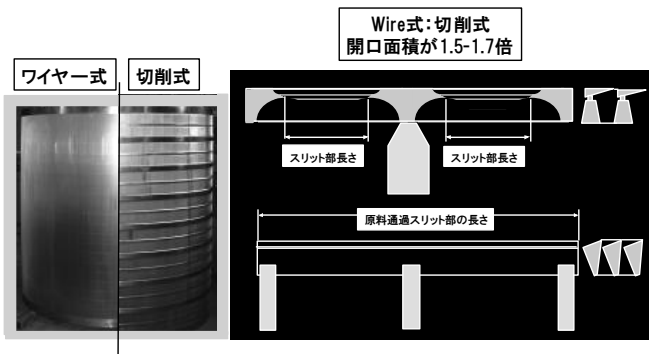


このウェッジ方式にすることにより、開口面積が約1.5倍～1.7倍に増えます。切削方式ではスリットとスリットのつなぎの部分にはスリットがないため、開口面積にはなりません。ワイヤー方式の場合には全面がスリットになりますから、開口面積が1.5～1.7倍に増えるわけです。ウェッジワイヤー方式により、原料の通過抵抗が非常に小さくなりました。同じ通過流速の場合に、従来の切削方式のスリットの差圧に対し、ウェッジでは差圧が少なく、通過量が増えるということです。

切削式からウェッジワイヤー式への変遷 代表的なウェッジワイヤーバスケット

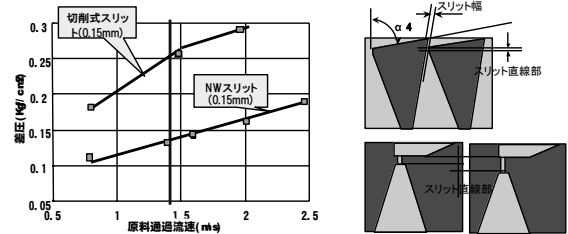


切削式からウェッジワイヤー式への変遷 処理量の増加(開口面積拡大)



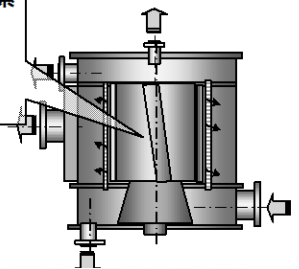
切削式からウェッジワイヤー式への変遷 処理量の増加(通過抵抗の低下)

- 通過抵抗を小さくする設計要素:
- ① スリット直線部長さを短くする。
 - ② スリットの位置を溝上流側面に近づける。
 - ③ 安定渦が形成される溝の形が望ましい。
 - ④ 溝形状は除塵性能に影響するので、通過抵抗と除塵性能の両面からの検討が必要となる。



スクリーンを構成する基本技術 スクリーンローターの変遷

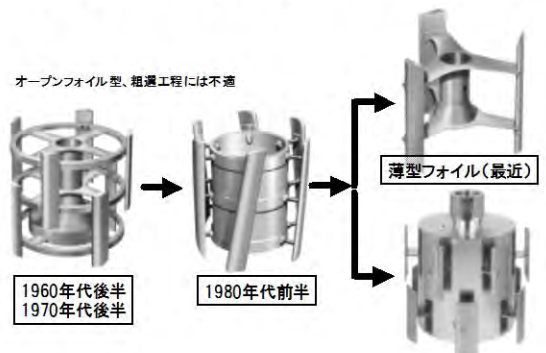
- ローターを構成する基本要素
- ① ローター全体構造
 - ② ローター回転数
 - ③ ハイドロfoil形状



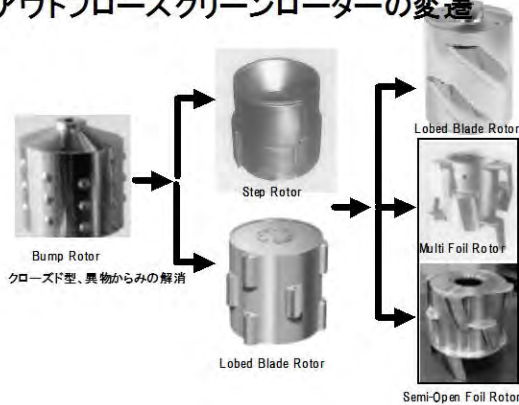
4.3 ローターの開発

次がローターの形状です。ローターを構成するのは、ローターの全体構造、それから回転数、foilの形状です。右が、アウトワードフロー・タイプのスクリーンで、オープンタイプのローターがどのような形に変化していったかを示します。昔は、foilは40mmぐらいの厚さがあったものが、最近では10mmぐらいになってきています。次図は、やはり同じくアウトワードフロータイプのスクリーンですが、原料中に異物が多くある場合には、このようなクローズドタイプのローターが使われました。異物がローターに絡まないからです。羽根の高さが、昔に比べますとどんどん薄くなってきています。続く図はインフロータイプのスクリーンですが、ごみが原料中にない場合とごみがある場合で形が異なります。

スクリーンを構成する基本技術 アウトフロースクリーンローターの変遷



スクリーンを構成する基本技術 アウトフロースクリーンローターの変遷



スクリーンを構成する基本技術 インフロースクリーンローターの変遷



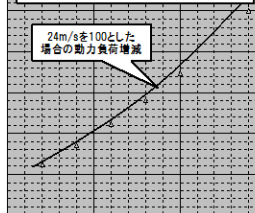
ローターの回転ですが、先程申しましたように、1960年代から70年代後半は11 m/s から13 m/s でした。そして20 m/s から25 m/s に増えて、さらにまた減少して行きました。このローターの回転は、動力に非常に大きく影響します。スクリーンの場合には、経験則で速度の2乗で効いてきます。これは、ポンプの場合の3乗とは少し違います。したがって、回転速度が25 m/s から例えば15 m/s に変わりますと、右図の動力の削減になります。例えば24 m/s を18 m/s に落としただけで、約60%の動力になります。

次にローターの羽根の厚さです。昔は右のように厚いのですが、最近では薄くなってきている。これにより、ローターの前面抵抗値が下がります。すなわち馬力が下がり、原料、異物の押し込みの圧力も下がります。それから、羽根に働く揚力が小さくなります。したがって、羽根に対するブレーキの力が弱まりますから、動力が減少します。2000年代の半ばごろからこのような形に変わってきました。

スクリーンを構成する基本技術 省エネルギー追及に関わるローターの変遷

スクリーン実動力は周速の二乗に比例して増減

24m/sを18m/sに減速: $(18/24)^2 = 0.56$
22m/sを17m/sに減速: $(17/22)^2 = 0.60$
17m/sを14m/sに減速: $(14/17)^2 = 0.68$
15m/sを11m/sに減速: $(11/15)^2 = 0.54$



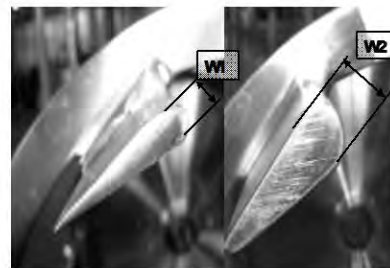
低速回転(11-13m/s)
1960年代後半
1970年代後半

高速回転(20-25m/s)
1980年代前半
2000年代前半

省エネルギーの追求
粘着除去の追及

低速回転への回帰
ウエッジリンダーの誕生
通過抵抗の減少により
低速でも目詰まりなし。

スクリーンを構成する基本技術 ローターフォイルの厚さの検討



4.4 さらに性能の追求

粘着物に対しては回転数が大きく影響します。横軸が回転数ですが、回転数が小さくなるにしたがい異物の押し込み圧力は小さくなっていきますから、粘着物の取れ具合もよくなってきます。特にDIPの場合ではスクリーンは低速回転になっています。

スクリーンを構成する基本技術 省エネと粘着除去の追及に関わるローターの変遷

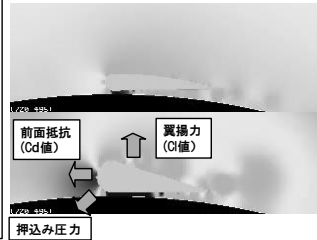


前面抵抗値・異物破砕、動力負荷に關係
20mm-Foil: 0.1990 (3倍)
10mm-Foil: 0.0622

押し込み圧力：異物の強制押し込みに關係
20mm-Foil: 0.39 (1.6倍)
10mm-Foil: 0.24

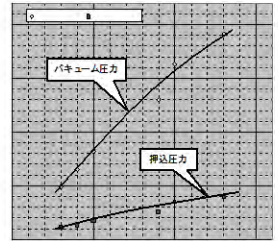
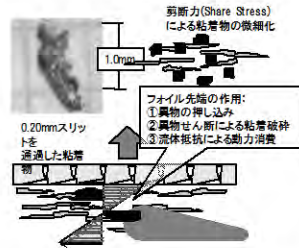
翼揚力：回転の抵抗、動力負荷に關係
20mm-Foil: -2.2596 (2倍)
10mm-Foil: -5.5512

Foil厚さの変遷：
厚型から薄型への変化
2000年代中頃



スクリーンを構成する基本技術 粘着除去に関わる回転数の最適化

低速回転：粘着物の押し込み、変形の力が軽減
2000年代前半からスクリーンの低速化が始まる。

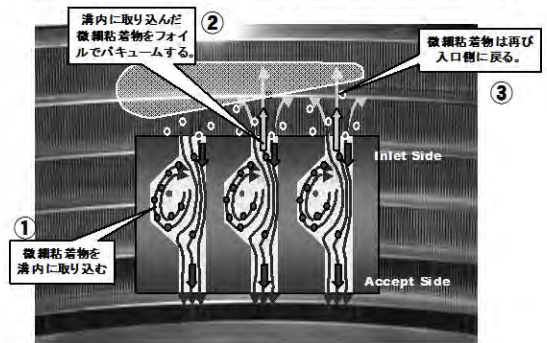


そしてスリットの形状もどんどん新しくなっています。最近の新しいタイプでは、スリットの途中の通過部に溝またはへこみをつけます。そうしますと、原料が入り口から出口に向かうところで渦ができます。この渦により、非常に細かい粘着物がこの渦の中に巻き込まれて、いったんここで止まります。止まった粘着物は、羽根が通過するとバキュームが働いて、また元の入口側に戻ります。いわゆる流体力学的に細かな粘着物を取り除いていこうという技術が最近の傾向です。

スクリーンのシリンダーの形状も変わりつつあります。同じ回転数、同じ開口面積で、有効面積S1が同じでも、径が大きくて高さが低いものと、径が小さくて高さが高いものでは動力的にはどう違うのでしょうか。時間がなくて省きますが、要は同じ開口面積を持った場合には、高さを高くしてシリンダーの径を小さくするほど、動力は小さくなります。最近では、例えば細長いスクリーンがでてきています。これにより動力が非常に少なくなってきました。

粘着除去の更なる改善 最新技術の登場

新しいスリットプレート：粘着物の流体的遮断作用

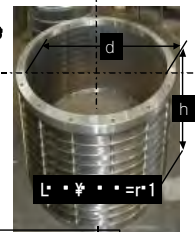
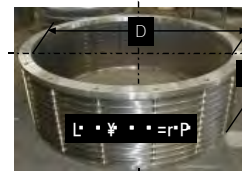


$$\cdot Q \cdot M \cdot X \cdot P$$

$$\cdot V Z p \cdot \sigma \cdot$$

$$X N \cdot V \cdot X \cdot R \cdot Z v g$$

$$\cdot (P2/P1) = (d/D)^2 \cdot x \cdot (n/N)^2 \cdot x \cdot (h/H)$$

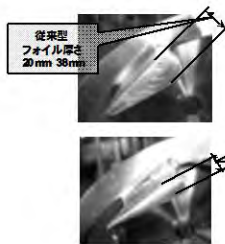


600mm - 600mmH (1.13m²), 17m/s (540rpm) = P1 (KW)
400mm - 900mmH (1.13m²), 17m/s (812rpm) = P2 (KW)
P2 = P1 x (0.4/0.6)² x (812/540)² x (0.9/0.6)
P2 = 0.67EP1¹¹ · σ · X P b r g · · 30% · Q · · · · J

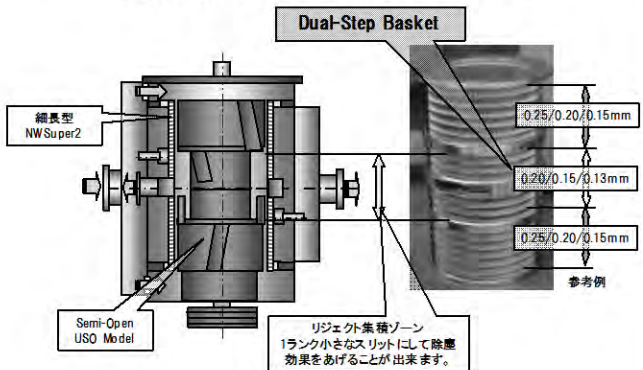
省エネルギーの更なる改善 最新技術によるスクリーンの一例

特長：USI-Foil & 低回転数

特長：細長Basket & NWSuper2



省エネルギーの更なる改善 最新技術によるスクリーンの一例



以上、パルパー、離解機の変遷、粗選スクリーンの変遷、精選スクリーンの変遷を説明しました。どうもありがとうございました。

質問1：DIPで、機械メーカーに対していちばん強い要望は何ですか。

金沢：いちばん強い要望は、粘着物をいかに減らすかということです。そしてもう一つが、難脱墨インク、特に最近UVによる黒ちり、色ちりの問題をいかに小さくするかということです。全般を引っくり返して言いますと、やはり省コストにすべてが集約されると思っています。

質問2：今の古紙の事情と技術の開発の追っかけっこは、どちらが勝っていますか。一方で古紙が悪くなっています。一方では機械のほうで何とかしようとしています。追いついていますか。

金沢：古紙がどんどん悪くなっていく。その中で高品質のものを出していかなければいけない。力を入れておりますのは、やはり除塵の設備です。併せて、もう一つ欲を持っています。鉄の塊の機械から、頭脳を持った機械に変化させていきたいというのが一つの夢です。質問に対して的確な返事ではないかもしれませんが。