

叩解技術の変遷

相川鉄工株式会社 技術部

藤田 和巳

	頁
はじめに -----	2
1. ビーターからリファイナーへ-----	2
2. リファイナーの変遷-----	3
3. 新しい技術開発によるリファイナー-----	6
4. 刃物の開発-----	8
5. 原料の変遷と叩解-----	9
6. まとめ-----	16

この資料は、平成 21 年 10 月 6 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

1981 年 静岡大学工学部卒業

同 相川鉄工(株)入社

1982 年 設計部配属

パルパー、パルプ開梱設備、スクリーンなど、原料調成設備の設計に従事

1990 年 技術部配属

原料調成設備の開発、エンジニアリング業務に従事、現在に至る

はじめに

こんにちは。相川鉄工機技術部の藤田です。

「叩解技術の変遷」というテーマで講演しますが、相川鉄工は叩解機に大きくかかわりを持ってきました。最初の叩解機の大きな変遷は、1950年代から始まり1960年ぐらいに行われています。この部分の歴史については、実際に経験された先輩かたを目の前にして説明するのは非常に恥ずかしい限りなのですが、それをお許しいただきたい。

1. ビーターからリファイナーへ

叩解機としては、一番初めにビーターから始めなければいけないと思います。1950年以前は、このビーターが使用されていました。ヨーロッパでは1600年代から使われていたという記録があります。当時、紙の原料としてぼろ布などを使っていたので、長繊維を叩解していくという機械でした。この機械は非常に万能で、離解も叩解もでき、それから染色、薬添などもできます。場合によっては脱水もできる、すべての原質調成が一つのこの桶の中で行われていました。

ビーターの問題点は、いわゆるバッチ運転になることです。連続式ビーターが開発されたようには聞いていますが、実現がなかなか難しかったようで、大量生産には向いていませんでした。今でも特殊紙の分野においてはビーターが使われています。規模が合えば有効な機械だろうと思います。

叩解機の開発は、機械的な加工技術の進歩と紙の需要の変遷が複雑に絡んで発達しました。

紙の需要が伸びたことから、大量生産をする必要があり、1950年代前半に、連続式の叩解機、コンカルタイプのリファイナーが開発され、設置面積の割には非常に大きな生産量に対応できました。

次に、1950年代後半になりますと、さらに紙の需要が増し、針葉樹だけでは紙の需要が賄いきれず、広葉樹が使われだします。このコンカル型のリファイナーは、まだ機械の製造技術が幼稚なため、刃と刃の間が非常に広く、長繊維でしたら叩解できるのですが、短繊維のLBKPは溝を流れてしまって、なかなか叩解が進みません。それで開発されたのが、シリンドリカル型のリファイナーです。これは、刃物に天然石（玄武岩）を使っていました。火山岩ですから、表面にたくさん

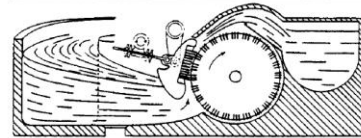
叩解技術の変遷

相川鉄工株式会社
藤田 和巳

最古の叩解機 ビーター



『紙はビーターで作られる』
『叩解機はビーター』
とも言われる最古の叩解機



リファイナーType	
負荷調整機構	手動
運転方式	バッチ運転

ビーターの利点と問題点

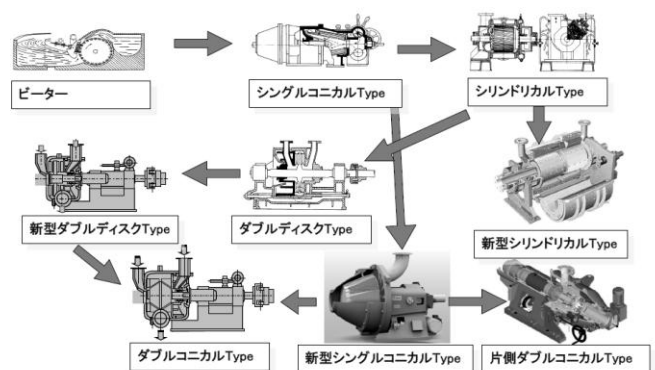
ビーターの利点

- ・低動力消費である
 - ・繊維改善に非常に有効である
 - ・あらゆる叩解に適用可能である
- 『叩解機はビーター』
『紙はビーターで作られる』
と昔から言われているほど多くの製紙工場で使用されていた。

ビーターの問題点

- ・処理量が設置スペースの割りに少ない
- ・バッチ式である為、連続処理ができない

現在までの変遷歴



の穴が開いています。この穴を利用して短い繊維をつかまえて叩解しようとしています。しかし、石のためもろいく、板状には加工できないので、シリンドリカル(円筒型)に加工して使いました。これで、広葉樹の需要にこたえていました。

1960年代になると、さらに紙の需要が増していきました。天然石では造られる大きさが限られ、1台当たりの生産量が賄いきれなくなりました。さらに、機械的な加工技術が進歩、ディスク状の表面に、鑄造技術で細かい刃物がたくさんできるようになったことから、ディスクリファイナ、しかも、ダブルディスクリファイナ(DDR)が開発され、一躍叩解機の能力が増し、それによって紙の需要にこたえていったというのが一連の流れです。

この1960年代半ばのダブルディスクリファイナが開発された時点で、機械的及び構造的な進歩は大体一段落をします。わたしはこのダブルディスクリファイナとつきあってきたこととなります。

2. リファイナの変遷

2.1 スーパーリファイナ


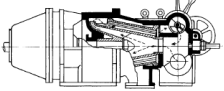
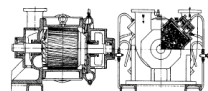
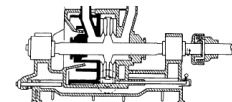
歴史的な話ですが、日本で初めて相川鉄工が連続叩解機を手掛けた機械がスーパーリファイナです。この構造としましては、入口から入った原料が、ローターの内側を通り、まず外径側に達します。外径側から内径側に向かって原料が流れてきますが、ステーターとの間で叩解をされ、出口から出ていく。場合によっては出口の一部の原料が再循環されるという機械でした。この外径側から内径側へ流れるということによって、ケーシングの中の原料が充満し、十分な叩解作用を受けます。それから刃物のギャップ調整がビーターに比べ比較的簡単にでき、いろいろな叩解に対応ができる。設置面積が非常に小さくなる。電力消費量も少なくなったという特徴がありました。

スーパーリファイナ

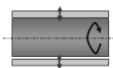
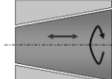
特徴

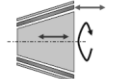
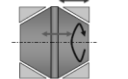
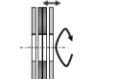
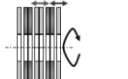
- ・出口側、入口側の圧力差により内部循環する為、十分な叩解作用を受ける
- ・刃物間隔は手動、自動で調節可能であり安定した叩解が可能である
- ・設置面積はビーターと比較すると1/5程度となる
- ・浅い角度のコニカルタイプである為、電力消費が少ない

ビーターからダブルディスクへの変遷

	Beater 1950年代以前	あらゆる叩解に使用 Batch式主体で非効率 現在は一部特定分野のみで 使用されている。
	Conical Type Refiner Super-Refiner 1950年代前半	大量生産時代に対応する 連続式叩解機の誕生 Pulp材は針葉樹が主体 現在は殆ど使用されていない。
	Cylindrical Type Refiner Deluxe-Finer 1950年代後半	針葉樹から広葉樹へPulp 材の変化 紙製品の多様化に対応 現在でも一部使用されている。 特徴は刃物が玄武岩である事。
	Double Disc Type Refiner Model AW-Double Disc 1960年代中頃以降	抄紙機の大型化により 大容量・大馬力の叩解機 の必要性が高まる 省エネルギー 省力化のNeedsの高まり

刃物形状の変遷



— ステーター
←→ 刃物調整方向
— ローター
←→ フローティング方向

スーパーリファイナ

Single Conical Type	Single Conical Type
リファイナ-Type	シングルコニカル
負荷調整機構	手動または電気式ギャップ調整機構
運転方式	連続運転

スーパーリファイナ

Single Conical Type
原料は小径側に流れ回転力とポンプ反力を受け十分な叩解作用を受ける
連続処理を可能とし大量処理量を可能とした

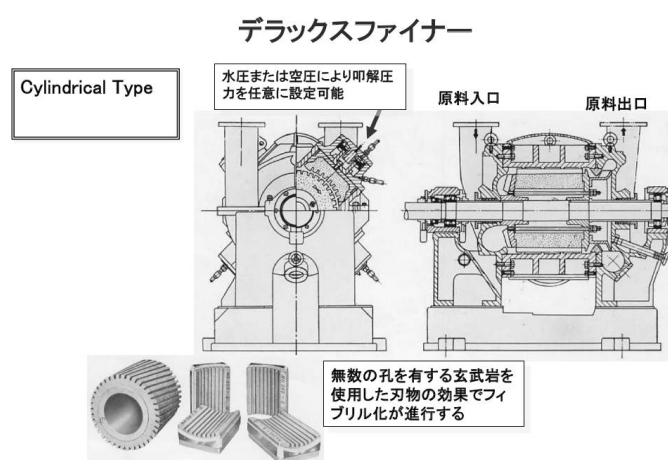
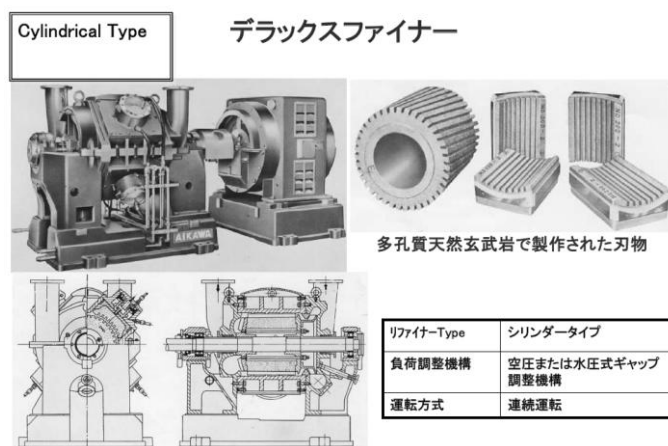
原料出口
原料入口

入口側と出口側の圧力差により循環し繰り返し叩解作用を受ける

2.2 デラックスファイナー

さらに、針葉樹だけではなくて広葉樹を使っていき
たいということで開発されたのがデラックスファイナー
です。ローターは天然石（玄武岩）で作られていま
す。それに対するステーターが4カ所から独立して押
しつけられる形になっています。このローターもステ
ーターも、玄武岩できており、表面が多孔です。こ
のたくさんの穴が、短繊維であるLBKPもつかまえて叩
解するというものでした。

ただ、円筒形のため、入り口から出口へ向かった原
料の流れがなかなかできにくい。したがって、入
口側と出口側にポンピングベーンを用意して、原料を
入口から出口へ向かって流す力を作っています。し
たがって、この機械は、叩解するための力だけではなく、
原料を動かすためのポンピングアクションのためにも
動力も使っている機械になります。しかしながら、
さらなる紙の需要の増加に対して、玄武岩は自然石で
はなかなか大きな刃物ができないという欠点があり、
次のディスクリファイナーに交代していきます。（火山
岩のため、火山のそばで採取されるのですが、火山の
近くは順次、国立公園に指定をされていき、採取自体
が難しくなっていた）。



デラックスファイナー

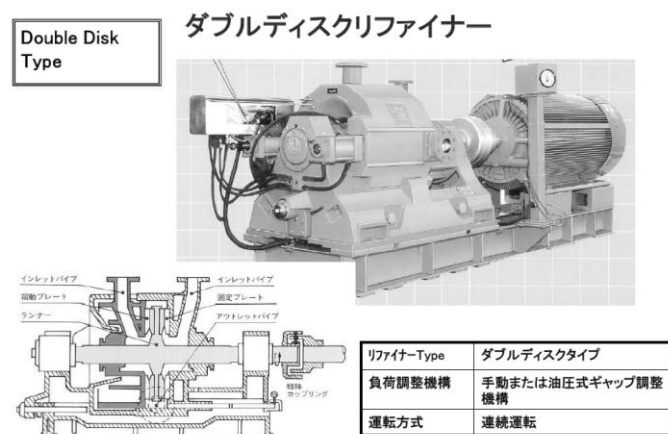
特徴

- ・ストーンローター及びステーターは共に多孔質ラバーストーンである為、繊維に対する外部フィブリル化は勿論、内部フィブリル化も十分に振興させる為、紙質が非常に向上する
- ・刃物間隔は自動で調節可能であり安定した叩解が可能である
- ・シリンダー式である為、電力消費は少ない

2.3 ダブルディスクリファイナー

それで、機械的な加工技術が発達し、天然石に頼らなくても細かなLBKPも叩解できる機械（ダブルディスクリファイナー）が開発をされました。ダブルディスクリファイナー（DDR）は、完全に固定された二つのステーターの間にローターの板が入り、そのローターの両側に刃物を取り付けられています。原料は両方の叩解ゾーンに均一に導入され、両方で叩解を受ける構造になっています。

刃物の調整、ギャップの調整は、右図の黒い部分である軸方向に移動可能な摺動盤を押したり引いたりすることにより行います。ただし、ローターには、軸方向に動く動力はありません。摺動盤が動くことにより、両側から均一に供給されている原料の力学的中立とい



う形をとり、常に両方の固定板の真ん中に位置することで、両側のギャップを均一にしていく構造になっています。

その構造として、両側から入ってきて両側の叩解ゾーンを通過して出ていく方式をスリーパイプデュオフロー式と呼んでいます。もう一つの方法は、入口は1カ所ですが、ローターの内側に穴が開いており、そこを通過して奥側のギャップのほうにも供給されるツープイプデュオフロー式というのがあります。また、モノフロー型といいまして、片側から入ってきて、いったん外側へ叩解されて出てきたものが、もう一度外径側から内側へ向かって叩解を受けながら通過して、もう一方の片側から出ていく方式もあります。この流れとしては、必ずしもローターを挟んで左側と右側で均一な叩解ができない。端的にいうと、例えば左型は未叩解の原料が流入しますし、右側はもうすでに叩解されたものが通過するため、左と右側の条件が一定にならないことから、高い動力をかけた叩解、ギャップの狭い叩解には向かなかった方式です。

2.4 マルチディスクリファイナー

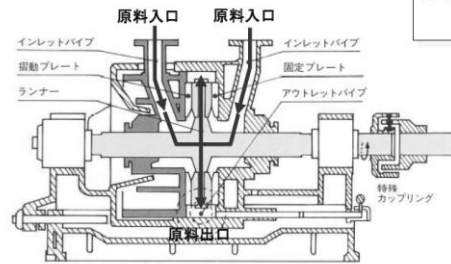
それから、マルチディスクリファイナーというのがあります。これは今の DDR の考え方をさらに進めて、ローターの盤面をもっと増やしてやろうという考え方です。従いまして、どこか1カ所のステーターは固定ですが、あとのローターおよびステーターはすべて軸方向に可動で、たくさんの隙間を通して叩解するための装置でした。これも機械的には実現されておりますが、可動部分が多すぎて、メンテナンスが難しい、それから常に最適な条件に保つということが難しい等から、一般には広がりませんでした。

ダブルディスクリファイナー

Double Disk Type

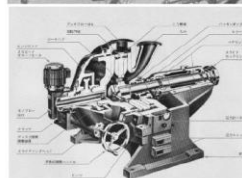
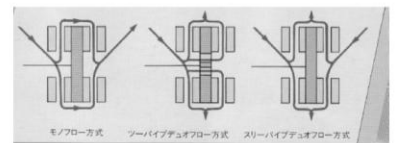
叩解室を2つ設けることで省スペース、省エネルギーを実現

メカサーボ導入によりメタルタッチ、低負荷処理、フリーネスコントロールが可能となる
刃物種類が各種目的により豊富に用意されている



ダブルディスクリファイナー

Double Disk Type

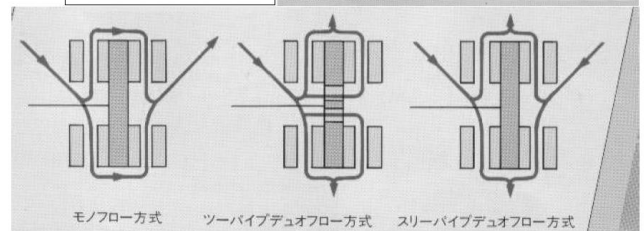
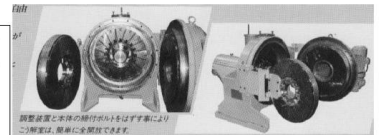


リファイナーType	ダブルディスクタイプ
負荷調整機構	手動または電気式ギャップ調整機構
運転方式	連続運転

ダブルディスクリファイナー

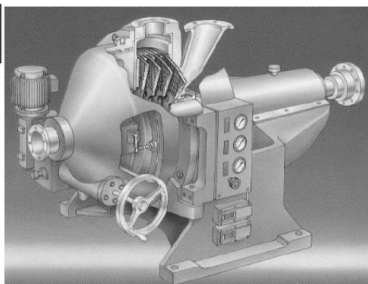
Double Disk Type

モノフロー方式を可能とすることで2段処理を可能とした。ヒンジ式扉とすることで刃物交換が容易である



マルチディスクリファイナー

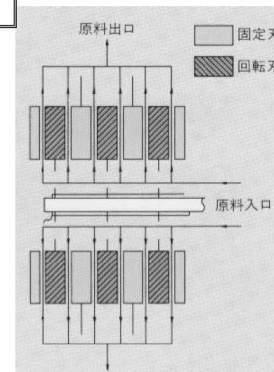
Multi Disk Type



リファイナーType	マルチディスクタイプ
負荷調整機構	手動または電気式ギャップ調整機構
運転方式	連続運転

マルチディスクリファイナー

Multi Disk Type



多段ディスクにより繊維に与える衝撃を緩和する為、フィブリル化が促進される

2.5 新型ダブルディスクリファイナー

右図は、弊社の現行の新型の DDR です。ベアリングを、刃物の交換の便利性を図りまして片側に寄せていますが、内部構造はほとんど変わっていません。以前は、摺動板の位置決めを油圧でやっていた。ギアでもって動かそうとしますと、当時はギアのバックラッシュを殺す方法がありませんでした。一方方向へ押すときはいいのですが、操業を始めて、押したり引いたりを頻繁にしようとする、いわゆるバックラッシュがあつて思ったように動かず、機械的なものはなかなか使えませんでした。しかし、技術が進歩して、減速機で非常に精度の高いものができてくる、あるいはデジタル制御ができるようになってくると、この摺動装置がモーター式でも全然問題ないという状態になりました。しかし、このような変化はあるのですが、中はあまり変わっていないのが現状です。

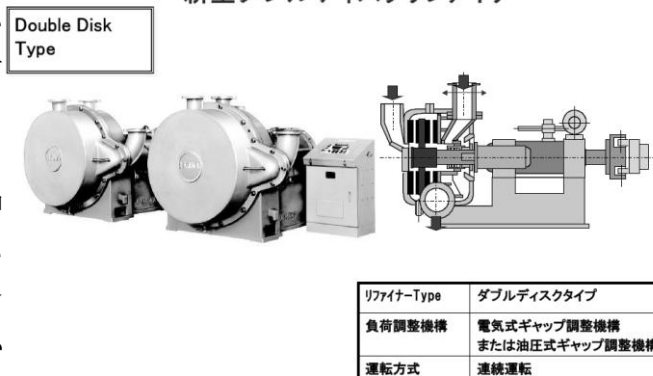
ダブルディスクリファイナーの特徴は、刃物の両面で叩解が可能なこと。これは実は、機械的には非常に大事なことです。シングルディスクでは片側だけで叩解をしています。ローターの両側で叩解している場合の違いは何かというと、バックプレッシャーに対して強いか弱いかという問題になります。片側だけで叩解していると、片側に原料の内圧を受け、その反力がベアリングに働きます。それが動力を消費させます。ところが、両側で叩解をすれば、ローターとしては両側から同じ力を受けますので、ベアリングにアキシャル加重が働かない。したがって、両側で運転するという事は、バックプレッシャーに対する耐性があることとなります。この様な利点があるため、ダブルディスクリファイナーは永年愛用されてきているわけです。

3. 新しい技術革新によるリファイナー

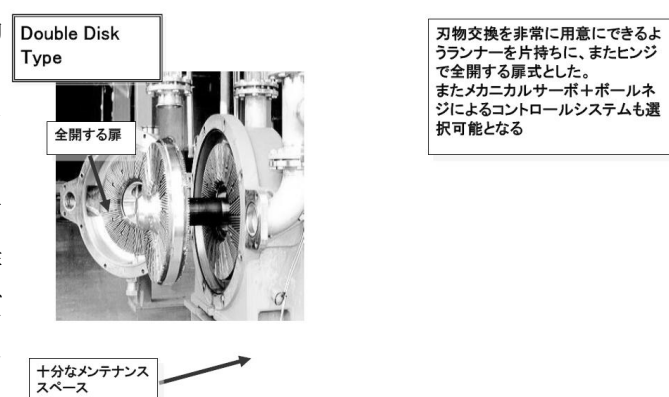
3.1 原料変遷に対応する技術開発

それに対して、刃物の形体は最近いろいろ変わってきました。この変化が第2回目の技術革新です。その背景に繊維の短繊維化があります。LBKP を国内で使う場合には、昔のように伐採木ではなくて植林木を使うことによって、同じ年代を経た材木が一度に収穫される。したがって、平均繊維長が非常に短くなるという様な状況にあります。それからもう一つは、古紙

新型ダブルディスクリファイナー



新型ダブルディスクリファイナー



ダブルディスクリファイナー

特徴

- ・遠心力と原料出口方向が同一である為、大容量処理が可能
- ・刃物間隔は自動で調節可能であり安定した叩解が可能である
- ・シングルディスクの2倍の叩解面を有する為、設置スペースが処理量に対し非常にコンパクトである
- ・ローターはスラスト方向にフローティングである為、スラストベアリング不要。よって叩解負荷が正確に動力に反映される為、叩解精度均一となる
- ・旧型の両持ち機の場合、刃物交換スペースが狭いが、新型機は型持ちである為、刃物交換作業については非常に簡単である

のリサイクルが進められ、繊維自体が何回も使われるうちにやはり弱くなり、短繊維化してくる。

そのような短い繊維、弱い繊維を何とかうまく使ってやろうという動きが最近出てきました。DDRは、繊維を切ることによって叩解を進めていた一面があります。それを何とか変えていこうということから、コンカルの考え方もその一つです。中には、シリンダリカルのタイプのものもあります。ディスク型の場合、遠心力によって原料は中心部から外側の叩解の出口側へ流されます。しかも、非常に短時間のうちに大きな力を受ける、いわゆるハイ・インテンシティの叩解になっています。

叩解機の変遷には、抄紙機の技術発展も関与しています。以前は、長くて強い繊維があれば強い紙ができるという考え方でした。それが、プロファイルを均一にして幅方向の繊維が均等に流れてくれば、それだけでいい紙ができ、高速で走れ、大量生産できる時代になってくると、繊維は必ずしも長く残す必要はなく、切ってしまうとする考え方が広がりしました。

繊維は切るほうが動力的には小さくて済みます。省エネのため、どんどん繊維を切りましょう、短くしましょうという形に特化されていったのが、ダブルディスクリファイナーで、非常に長い間使われてきたわけです。

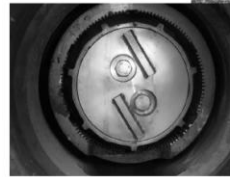
それに対して、繊維が短くなってきたので、なるべく入り口から入って出口へ出ていくまでの時間を長くしようとします。長くすることで単位時間当たりの力は分散され、叩解としては温和な叩解になってきます。そのために刃を斜めにしたり、円筒形にしたりして、遠心力を利用してなるべく早く外へ飛ばすのではなく、しばらくケーシングの中へとどめましょうという考え方をもってきたわけです。

3.2 シリンダリカルタイプリファイナー

例えば新型のシリンダリカルのタイプでは、中心から入って両側へ流れていくのですが、流れ方向に対して遠心力は直角になります。その分だけ原料は外側へ遠心力で張りつけられ、外へいく時間が長くなる、その間にたくさんの刃との接触の時間を取れます。刃との接触時間が長くなり、回数が増えれば増えるほど、1回当たりの刃物のインパクトは小さくなるという考

新型シングルコンカルリファイナー

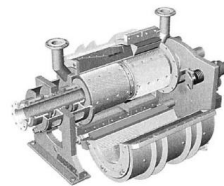
Single Conical Type



リファイナーType	シングルコンカル
負荷調整機構	電気式ギャップ調整機構
運転方式	連続運転

新型シリンダリカルタイプリファイナー

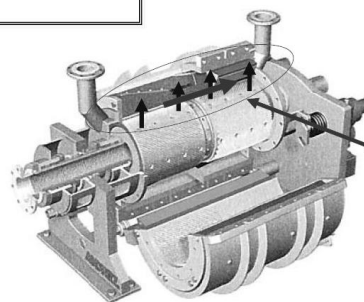
Cylindrical Type



リファイナーType	シリンダリカルタイプ
負荷調整機構	電気式ギャップ調整機構
運転方式	連続運転

新型シリンダリカルタイプリファイナー

Cylindrical Type



ピーターとの叩解作用を大量連続式で処理可能とする。シリンダタイプとすることで無負荷動力を削減する。刃物間隔の調整が全ての位置でできる。

遠心力と原料流れ方向が直行している為、原料は十分に叩解される。

シリンダ形状により無負荷動力が小さく省エネにつながる。