

新型コーンクラッシャー AC-Zオーロラコーンについて New Type Cone Crusher “ AURORA CONE Z ”

中嶋紀行*

Noriyuki Nakajima

オーロラコーンZは、新世代のコーンクラッシャーとして開発された。オーロラコーンZの二つの特徴的な構造は、環状油圧シリンダとダイレクト駆動方式である。

両者の構造を採用したことにより投入原料毎に適切な回転数を選べ、破碎製品のセットアンダー率の向上や粒形の改善がはかれるという高性能化につながった。

バウルが昇降し自由回転するので、マントルライナ、バウルライナの摩耗にともなう破碎能力の低下はなくなり、その使用率がたかまった。

AURORA CONE Z has been manufactured as the new generation cone crusher. The two characteristic structures of AURORA CONE Z are the circular hydraulic cylinder and the direct driving system. Adopting these structures, we can select the proper revolution of the crushing head in regard to the various feed materials, and it has been brought the high performance that the set under ratio of the crushing product is increased and the particle shape is improved. The decrease of the crushing capacity with the wearing of the mantle and bowl liner disappears by elevating and free rotating of the bowl, and consequently the mantle and bowl liner are used fully.

1. 緒言

最近の骨材生産設備では、生産性の向上と作業効率の改善を目的とした合理化が進められている。

しかし、設備の中核である破碎機は、依然として、保守管理と消耗部品に費やす時間と経費の比率が高く、設備稼働率の低下、および製品のコスト高につながっているのが現状である。

特に、コーンクラッシャーでは、他のクラッシャーに比べ破碎粒度の調整が簡便なことから、使用状況も過酷であり、相応の保守が必要となる。

このような状況を踏まえ、各種旋動式破碎機を半世紀以上手掛けてきた豊富な経験と実績に基づき、機構の簡素化による消耗部品の削減、容易な保守管理、操作性の向上、そして低騒音、低振動を実現した“オーロラコーンZシリーズ”を開発、実用化したのでここに紹介する。

2. オーロラコーンZの機構概説

オーロラコーンZの断面構造を図1に示す。本機の構造の特徴は、環状油圧シリンダ機構とダイレクト駆動機構にある。この二つの機構について以下で詳述する。

2.1 コーンクラッシャーの破碎メカニズム

コーンクラッシャーは、人頭大の骨材を拳程度の大きさに破碎する機械であるが、破碎のメカニズムは以下のとおりである。ベルトコンベヤなどでホッパに投入された骨材は、円錐状のマントルライナとバウルライナ間の破碎室に導かれる。マントルライナが取り付けられているクラッシングヘッドは、エキセンスリーブと称する偏心筒の回転により旋動運動する。旋動運動によってマントルラ

イナとバウルライナ間に閉じ開きの旋回運動が連続的に引き起こされる。この閉じ開きの運動により、破碎室内の骨材は、圧縮、衝撃の力を受け砕かれる。この閉じ開きの振幅をスローと呼びマントルライナとバウルライナ間の隙間を出口間隙と称している(図1参照)。この出口間隙を拡張することによって破碎物の粗細を変更する。

2.2 環状油圧シリンダ機構

オーロラコーンZは、バウルライナが取り付けられているバウルと上部フレームの間に環状の複動シリンダを形成している。この複動シリンダの上部と下部の作動油の出入りによってバウルを昇降させ、上述の出口間隙の拡張を実施する。図2に本機の油圧回路図を示す。油圧回路図からわかるとおり、この上部高圧側シリンダと下部低圧側シリンダ間にハイフロー形リリーフバルブを設け、鉄片などの異物噛み込み時の油圧保護装置の役割をもたせている。すなわち、破碎室内に破碎不可能な異物が噛み込んだ場合、上部高圧側シリンダ内の圧力が高まる。ハイフロー形リリーフバルブは、直動型のリリーフ弁で設定圧力以上に上部高圧側シリンダ内の内圧が高まればバルブが開き、上部高圧側シリンダ内の作動油が下部低圧側シリンダへ流れ込む。これによってバウルが上昇し出口間隙を拡げ異物を排出する。その後、シーケンサのフィードバック制御によりもとの出口間隙に復帰する。

2.3 環状油圧シリンダのシール

環状油圧シリンダの径は2000近くあり、破碎力を上部高圧側シリンダの油圧にて保持する。作動油のシールにはUパッキンを採用しているが、これほどの大径の複動シリンダは他に類をみないと考える。このシールの

* 機械事業部 産業機械技術部

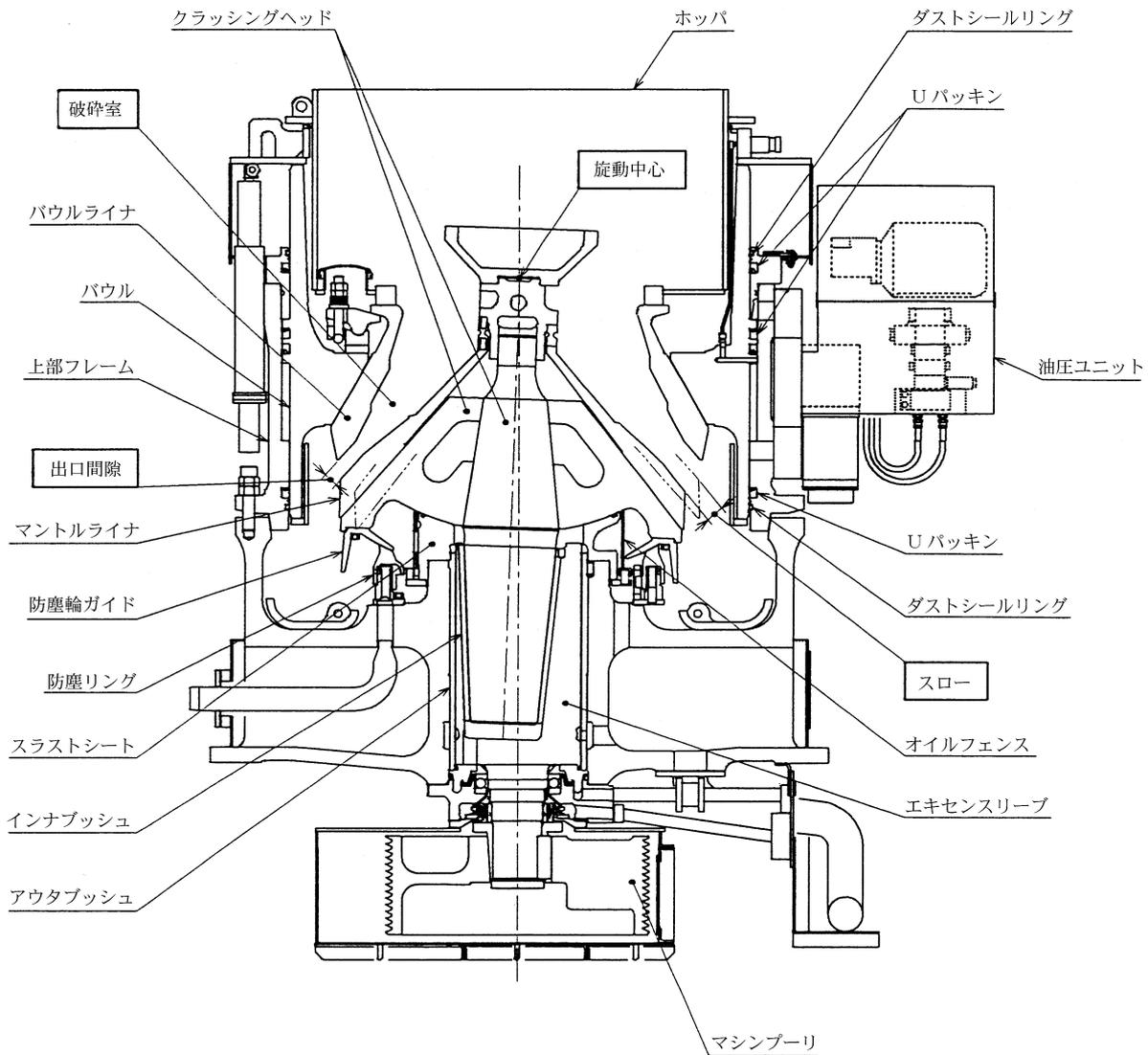


図1 オーロラコーンZの断面図
Fig.1 Sectional drawing of AURORA CONE Z

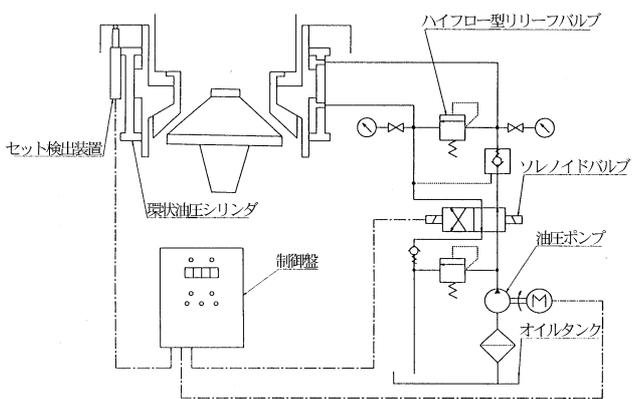


図2 油圧回路図
Fig.2 Hydraulic system circuit diagram

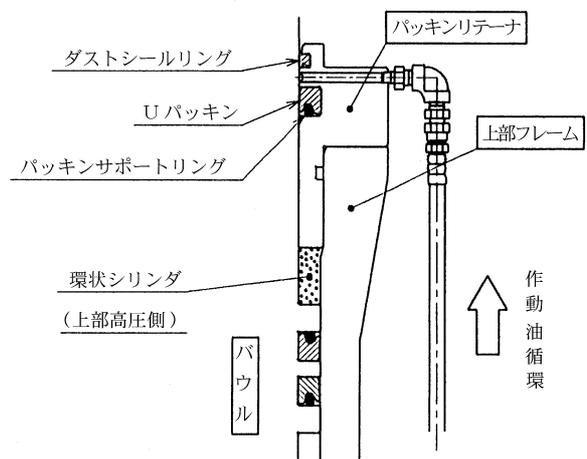


図3 Uパッキン部の構造詳細図
Fig.3 Detail structure of U-packing parts

ために当社では種々の斬新な技術手法をとっている。以下に簡単ではあるが説明する（図3参照）。

2.3.1 Uパッキン形状と適正材質の選定

Uパッキンリップ部のシリンダ隙間への機械的な噛み込みを避けるため非対称断面としている。UパッキンのU溝からの縦裂き損傷を回避するためU溝のR寸法を極力大きくとり応力緩和がはかれるよう工夫を凝らしている。また、材質については従来のNBRに比べニトリルの配合を増すことにより引張強度、引裂強度、耐摩耗性および高温強度を増加させるとともに熱硬化の影響を軽減させている。

2.3.2 サポートリングの取付

Uパッキンリップ部のシリンダ隙間への機械的噛み込みとUパッキン取付溝内での機械的動きによる変形および転倒を防ぐため、U溝部に真鍮性のサポートリングを取付けている。このサポートリングの取付けによってUパッキンリップ部の欠損を防いでいる。

2.3.3 Uパッキン背面への作動油の強制循環

Uパッキン背面に作動油を強制循環させ、Uパッキンの摺動抵抗の緩和をはかるとともに摺動抵抗熱の冷却効果をもたせている。これによりUパッキンの焼き付き防止をはかるとともに、リップ部のスティックスリップ（びびり現象）を抑制している。

2.3.4 漏洩作動油の回収構造

JIS B 8354の規定によれば複動シリンダの外部漏れ量についてはロッド径 180までの線図があるのみである。本機のような大型シリンダでは当然リーク量も増加する。従って、本機では、上部高圧シリンダ側のシールを二重構造とし、高圧側でリークした作動油を油圧タンクへ回収する構造としている。

このように、Uパッキン単独のみでなく環状油圧シリンダのUパッキンのシールシステムとしての技術開発により、大径の環状油圧シリンダの品質向上をはかっている。

2.4 ダイレクト駆動方式

従来、コーンクラッシャの駆動機構として一般化されていたベベルギヤ、ピニオンおよび横軸を廃止し、豎型モータによりVベルトを介して直接エキセンスリーブを駆動させる構造をとっている。

3. オーロラコーンZの特徴概説

上述の独特な機構の採用により、オーロラコーンZには従来機に比べ、以下の高機能を付加している。

3.1 環状油圧シリンダの採用による効果

3.1.1 マントルライナ、バウルライナの摩耗時の能力低下を回避

環状油圧シリンダを採用し、バウル昇降方式としたため、マントルライナ、バウルライナの摩耗進行に伴うスローが増加する。これについて、図4に従って説明する。

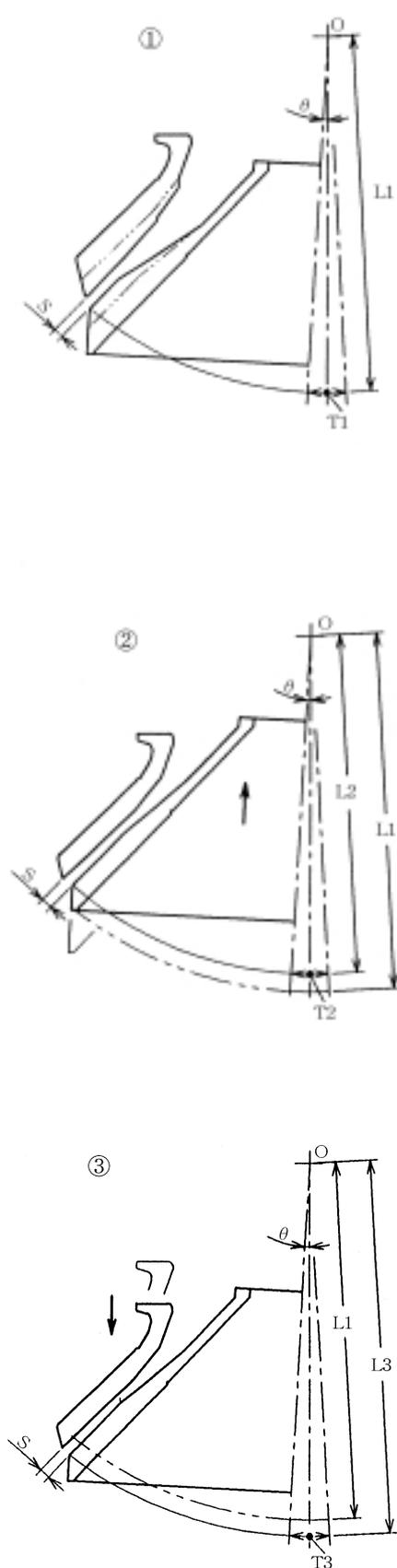


図4 マントルライナ、バウルライナ摩耗時の説明図
Fig.4 Model diagram indicating wear of mantle and bowl liner

図4において はマントルライナ、バウルライナの新品時、 は従来のマントル昇降式でマントルライナ、バウルライナが摩耗した場合、そして、 はバウル昇降式でマントルライナ、バウルライナの摩耗した場合の状態を表す。Oを旋動中心、 を偏心角度、Sを閉じ側セット、Tをスロー、LをO点からマントルライナ破砕面最下端までの距離とする。 、 および の各々の場合について添字1、2、3を付け表す。O、 、 Sを一定すると図4からわかるとおり $L3 > L1 > L2$ であり、 $T3 > T1 > T2$ となる。マントルライナ、バウルライナが摩耗した場合、マントルライナ、バウルライナが新品時に比べマントル昇降式ではスローは減少し、バウル昇降式では増加することになる。したがって、バウル昇降式では、スローが増加しただけ破砕処理物の通過容積が増加し、この増加分とマントルライナ、バウルライナの摩耗による破砕室の容積の減少分と相殺され、マントルライナ、バウルライナの摩耗進行に伴う処理能力の低下がなくなっている。図5に、このことを実証するフィールドテストデータを示す。横軸はマントルライナ、バウルライナの摩耗量を、縦軸は処理能力および各粒度生産率を表している。この図からマントルライナ、バウルライナの摩耗の進行に伴っての各粒度の生産率の変化もなく一定していることが理解できる。

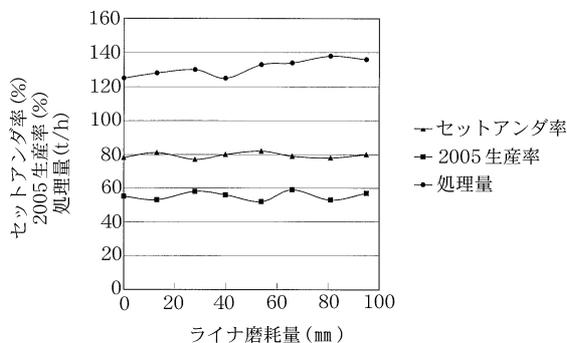


図5 ライナ摩耗進行に伴う生産比率
Fig.5 Production rate with wear of liner

3.1.2 マントルライナ、バウルライナの偏摩耗の回避

マントルライナ、バウルライナの最大摩耗量と最小摩耗量の偏差を偏摩耗と呼んでいる。従来機は、バウルライナが固定されているため、骨材の破砕室内の分布状態によってはバウルライナの偏摩耗が発生しやすい傾向にある。つまり、破砕室内で骨材の充填密度の高い部分は摩耗しやすく、充填密度の低い部分は摩耗しにくい傾向となる。一端、局部的摩耗が発生するとその摩耗部分へ骨材が流れ込み、この摩耗個所の充填のみが高まり偏摩耗を増長させる。

このような状態になれば、偏摩耗量分だけ実体の出口間隙の差ができ、破砕室の一部分では過小隙間となる。この過小隙間での破砕状況は過剰負荷状態となる。した

がって、偏摩耗の発生によって破砕室内での過剰負荷部分と軽負荷部分が不均等分布し、コーンクラッシャの運転状態は不安定となる。このような運転状態に不安定が発生すると、マントルライナ、バウルライナの早期交換が必要となる。

一方、環状油圧シリンダの場合、バウルは円周方向に対しての束縛がなく自由支持となっている。したがって、破砕力の鉛直方向成分は上部高压側シリンダの油圧によって保持されるが破砕力の円周方向成分に対しては支持がない。(ただし、Uパッキン、ダストシールリングおよびバウル摺動面の摩擦抵抗力は受ける。)したがって破砕力の円周方向成分力を受け、バウルは自由回転する。この回転によってバウルライナの摩耗の均等化がはかれ、上述の偏摩耗の発生を抑制する効果となる。このようにしてオーロラコーンZの運転は安定し、マントルライナ、バウルライナの使用率が高まる。その結果、生産量と製品歩留まりの安定がはかれ、ひいてはランニングコスト低減につながる。

3.1.3 環状油圧シリンダの耐久性、保守

環状油圧シリンダは、受圧面積が大きいため破砕による圧力上昇が一般的な油圧シリンダに比べ低く、さらに鉄片などの噛み込みによる局部的な衝撃荷重が発生しても瞬時に環状油圧シリンダ全面積に分散され圧力緩和される。したがって、環状油圧シリンダの耐久性は極めて高い。

また、骨材の破砕時と出口間隙の調整時以外は環状油圧シリンダ内にシリンダ圧力が発生しないため、シリンダの保守管理が簡便になる。

さらに、環状油圧シリンダは複動シリンダであるため油圧タンクの少容量化がはかれ、油圧制御バルブなどの油圧機器類の点数も少なく、作動油の使用量は従来機に比べ40%程度に減少されている。このコンパクトにまとめられた油圧ユニットを本体機側に取り付けているため、従来の大型の油圧装置や大径の高压配管の据付作業が不要となり、メンテナンスも容易となっている。

3.2 ダイレクト駆動方式の採用による効果

3.2.1 エネルギー伝達効率の向上

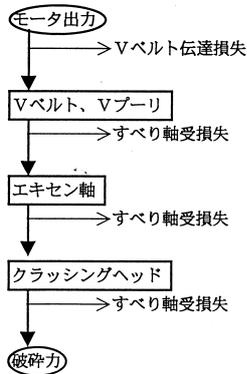
オーロラコーンZと従来機についてモータ出力から破砕力への変換経路を図6に示す。この図からもわかるとおり、オーロラコーンZは従来機に比較して横軸損失とギヤ損失がない。これを無負荷運転で試算すると約10%の低減となる。このことはモータ動力の骨材の破砕へのエネルギー変換効率が高まったことを意味し、従来のギヤ駆動方式に比べ骨材の破砕の動力原単位を低下させたことになる。

このことは、骨材プラントでの消費電力の低下につながる。

3.2.2 旋動回転数の上昇

オーロラコーンZは高い荷重および衝撃力に耐えるホ

(1)オーロラコーンZ



(2)従来機

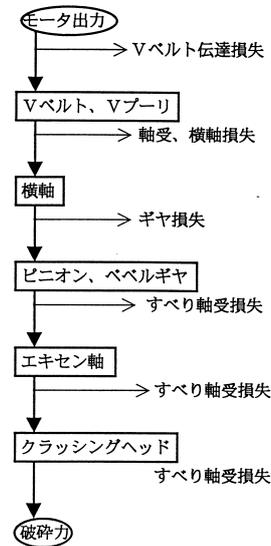


図6 モータ出力の破碎力への変換経路
Fig.6 Power transformation from motor output to crushing force

ホワイトメタルを使用したすべり軸受けを採用しており、そのPV値は現状では十分な余裕がある。従来機のギヤ駆動では、ギヤ、ピニオンの歯強度ならびに歯数の制限から旋動回転数の上昇は望めなかった。しかし、ダイレクト駆動方式を採用したことにより旋動数が従来機に比べ約25%のアップがはかれることになった。この効果については後述する。

3.2.3 低振動、低騒音および保守管理の効果

ギヤがないということから分かる通り、ギヤ、ピニオンおよび横軸の保守管理は不要となる。また、低騒音、低振動がはかれた。以下に低振動実現について詳述する。

従来、旋動式破碎機の振動源は、マントルライナ、クラッシングヘッドが機械中心に対して偏心回転することによって発生する。オーロラコーンZでは、ダイレクト駆動方式を採用したことにより、この振動を発生させる力と相殺する反力をマシンプーリのカウンタウェイトにて発生させ機械本体をバランスさせる。このことを図7のモデルにて簡単に説明する。図7においてO点を旋動中心(マントルライナ、クラッシングヘッドはこの点を支点として旋回運動する。)とすると、Oaは機械本体の中心線、Obはマントルライナ、クラッシングヘッドの中心線である。ここに、

- Gc; マントルライナ、クラッシングヘッドの重心点
- Ge; エキセンスリーブの重心点
- Gp; マシンプーリの重心点
- Mc; マントルライナ、クラッシングヘッドの質量(kg)
- Me; エキセンスリーブの質量(kg)
- Mp; マシンプーリの質量(kg)

とすると、Gcは、Ob上の点であるから、機械中心Oaから、Ec(mm)の水平方向の偏心量がある。ここに旋動回転数を (rad/s)とすると、 $F_c = M_c \times E_c \times \omega^2$ (N)の水平力が作用する。この力が振動発生の原因である。図7のようにエキセンスリーブ、マシンプーリは機械中心に対して偏心した構造となっておりその偏心量をEe、Ep(mm)とすると、上記のPcと反対向きの力として、それぞれ、

$$F_e = M_e \times E_e \times \omega^2$$

$$F_p = M_p \times E_p \times \omega^2$$

が発生する。

そこで、

$$F_c = F_e + F_p$$

となるようマシンプーリのカウンタウェイト(図7の斜線部分)を調整することにより、振動発生力を打ち消し機械のバランスを計っている。

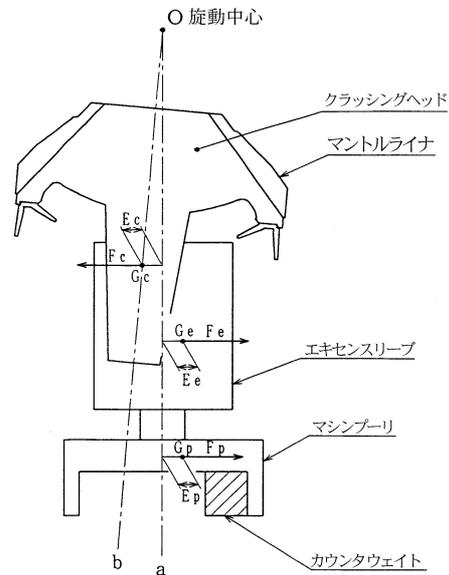


図7 振動力発生モデル図
Fig.7 Model diagram about generation of vibrating force

3.3 その他の構造とその効果

3.3.1 高耐久軸受の採用

オーロラコーンZの破碎負荷は大きく、衝撃的である。この過酷な運転に耐えるスラストシート、インナブッシュ、およびアウトブッシュは高速高荷重軸受用のホワイトメタルWJ2(Sn、Sb、Cuの合金)をライニングしたすべり軸受にて対応している。ホワイトメタルは、軸受材料としてなじみ性が良好である。また、軸受の構造面からもテーパー逃がしなどの工夫を凝らし軸受面の片当りを回避している。鉄片などの異物を噛み込んだ場合やパッキング運転(高水分の原料を破碎した時に発生するクラッシングヘッドの上下動)の場合、衝撃力が瞬時に軸受に伝達し、従来のすべり軸受(砲金など)やころがり軸受では片当り現象や塑性変形が生じやすいという欠点を解

消し、また、熱膨張によるダキツキ現象を防止する効果がある。

3.3.2 防塵リングとオイルフェンス

破碎室中のダストが機械内部への侵入しないよう図8のような防塵シールの構造を採用している。防塵リングはクラッシングヘッドの動きに追随するようスプリング力により防塵輪ガイドに密着させ、常にその隙間を最小に保つ作用を持たせている。スラストシートへ送られた潤滑油は、クラッシングヘッドの旋動回転によって外部へ飛沫するため図8のようにオイルフェンスを設け、潤滑油をきる効果を持たせている。従来、このオイルフェンスは固定式であったが、オイルフェンスが摩耗した時、また、パッキング状態でのクラッシングヘッドの上下動時には隙間が生じ、潤滑油をきる効果が少なかった。オーロラコーンZではこのオイルフェンス下面にスプリングを設置し、自動的に浮き上がらせて隙間を抑え、潤滑油をきる効果を高めている。さらに、エアブローによって圧縮空気を機械本体内部へ送りエアパージを実施することによりダストの侵入を阻止している。

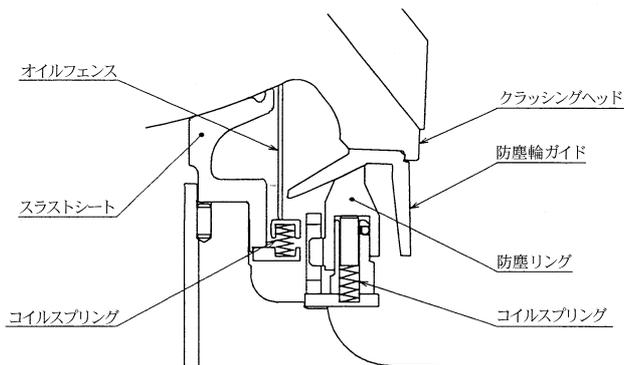


図8 防塵シールの構造図
Fig.8 Dust seal structure

3.3.3 本体据え付けの簡易化

現在、新規の骨材生産プラントの受注は低迷している。新たにコーンクラッシャを販売する場合、他機種とのり

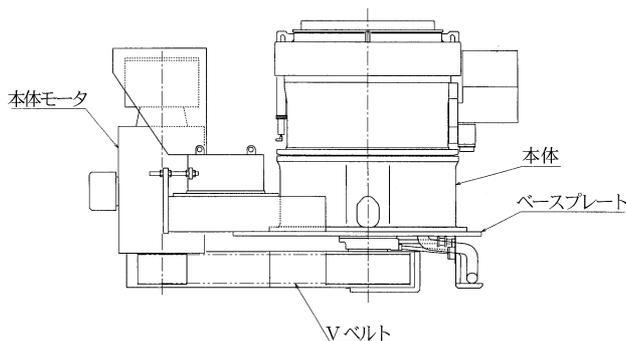


図9 本体全体のアッセンブリ図
Fig.9 Whole assembly drawing

ベースが主となっている。この実情を踏まえ、オーロラコーンZは図9のように本体をベースプレートに取付けると同時に本体モータをアッセンブリし、本体のユニット化をはかった。本体の乗せ替えを想定し、既設の基礎ピッチに合わせ基礎ボルト穴を施工し対応することになっている。

また、上述のとおり、油圧ユニットの簡易化とともに据え付け手間が大幅に簡略された。

3.3.4 対話方式を採用した制御盤

オーロラコーンZでは操作性の充実をはかるため制御盤に液晶パネルを採用し、運転を対話しながら操作できるようにしている。図10は液晶表示の一例である。この制御盤についての特徴は以下のとおりである。

- 1) 運転操作については対話しながら誰もが簡単に操作できるように配慮されている。
- 2) 出口間隙の値およびライナの摩耗量がデジタル表示にて直読できる。
- 3) 出口間隙の補償回路を内蔵しているため、異物噛み込みなどで出口間隙が変化しても自動的に元の設定値に復帰する。
- 4) 運転中、誤ってマントルライナとパウルライナが接触しないよう、誤動作防止回路を設けている。
- 5) 運転中の本体インターロック停止に対してはその原因を対話にて表示する機能を持ち、保守管理の便をはかっている。

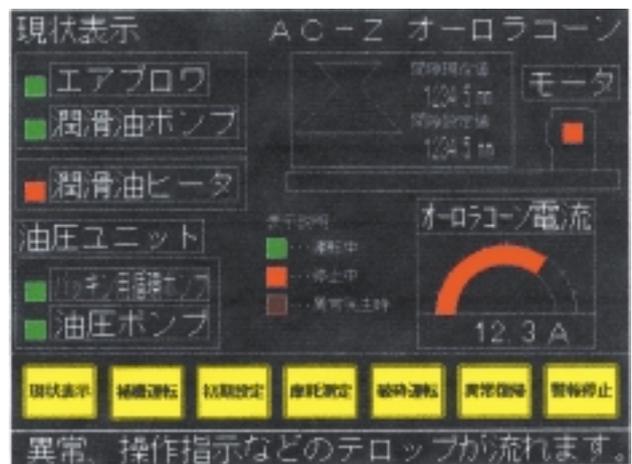


図10 制御盤表示の一例
Fig.10 Example of control panel display

4. オーロラコーンZの破碎能力の向上

今まで述べたとおり、オーロラコーンZは新しい機構を取り入れ、コーンクラッシャとしての機能を十二分に発揮できるようになった。

4.1 セットアンダ率の向上

ダイレクト駆動方式と高耐久軸受の採用により、従来機に比べ旋動回転数については約25%アップ、そしてスローについては約30%のアップが計れるようになった。

論文・報告

このことは、旋動回転数の可変範囲が広まり旋動回転数の選定が可能になることを意味する。コーンクラッシャは、通常スロー増加とともに処理量は増加するが、供給量を減少させるとセットアンダ率（出口間隙の大きさ以下に骨材を破碎する歩留率）は低下する。オーロラコーンZでは、供給する骨材の性状や量により旋動回転数を適切に選定することによってセットオーバの通過量を制限しつつ、処理量は従来機の1ランク上のサイズに匹敵する能力を引出している。以下の表1は従来機とセットアンダ率の比較したものである。ここで、供給される骨材のサイズにより細割用のファイン型、粗割用のコース型さらに、これらの中間であるメディアム型に分類している。

さらに図11は、当社技術センターにて実施した破碎試験結果の一例である。

表1 セットアンダ率
Table 1 Set under ratio

	ファイン型	メディアム型	コース型
オーロラコーンZ	80~90%	75~85%	70~80%
従来型	60~80%	55~75%	55~75%

表2 2005実積率
Table 2 2005 solid content in aggregate

	開回路運転	閉回路運転
オーロラコーンZ	56~59%	58~61%
従来型	54~57%	56~59%

破碎粒度分布表(比較実証データ)

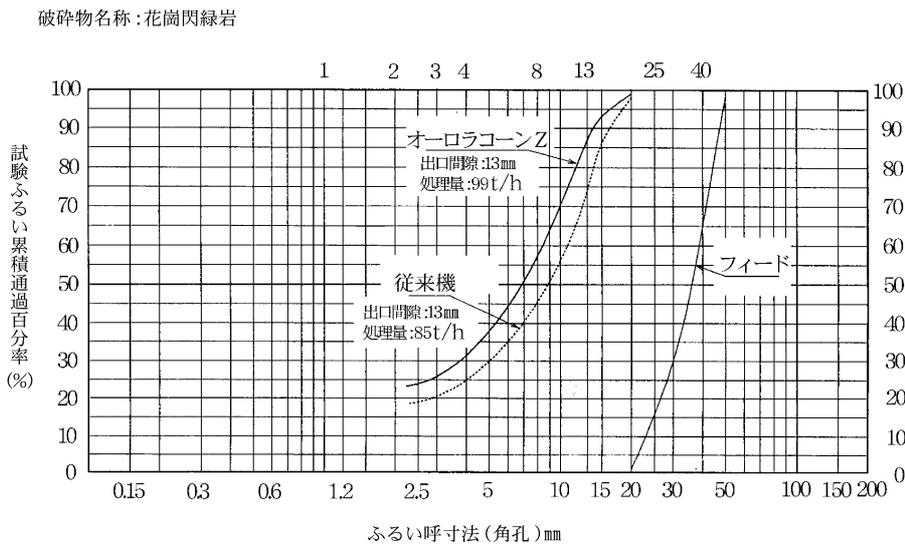


図11 破碎試験結果
Fig.11 Crushing test result

4.2 実積率の向上

現在、骨材の生産ではコーンクラッシャ破碎製品の粒形改善が求められている。これに対応するため、オーロラコーンZは適正なマントル角度と回転数を組み合わせにより破碎室内の圧密状態を適正化し、優れた粒形の製品を生み出す。JIS A 1104 粗骨材の実積率測定にもとづき2005実積率の測定結果、表2のとおりその向上が認められている。

5. 結言

以上、新世代コーンクラッシャとしてオーロラコーンZの構造や特徴を述べてきた。現在、AC-Z100型(マントル直径900mm)およびAC-Z150型(マントル直径1125mm)は実稼動中で好評を得ている。また、AC-Z250型(マントル直径1350mm)は住吉工場にて

製作中である。本機は今後骨材生産現場でのコーンクラッシャの主流となるものと確信している。

執筆者
中嶋紀行
Noriyuki Nakajima
昭和61年入社
破碎機設計に従事

