

# 堅型ローラミルの将来的な課題

宇部興産機械株式会社  
産機部 粉碎破砕設計 Gr.  
繁本 康弘

## 1. はじめに

成熟しつつある中国のセメント業界において将来的な課題を考えると、省エネ(CO<sub>2</sub>削減)、燃料差益の創出、高付加価値化および廃棄物を含むキルン燃料の多様化が挙げられる。

セメント業界における省エネ(CO<sub>2</sub>の削減)に関して言えば既に高効率の最新型堅型ミルを採用しているが、セメント仕上げ分野については従前形のチューブミルが採用されている。効率的には粉碎速度の差異によりチューブミルはローラミルに比べて電力原単位は悪いがローラミルが取って替わるまでには至っていない。

一方キルン、ミルのファンダンパーによる動力の浪費が注目され、ファン電動機の可変速化を図ることがセメント業界において常識化しつつある。このような近況の中で今回は、燃料差益の創出と高付加価値化および廃棄物を含むキルン燃料の多様化についてその対応へのキーワードを見つけ課題克服の手掛かりとする。

## 2. キーワード

先ず燃料差益の観点より燃料転換について考える。既にキルンの燃料に石炭が採用されているが国際的に石炭価格も市場動向により乱高下している状況下で、低価格の低品位炭の使用が着目されつつある。

代表的な低品位炭である亜炭については成分中の灰分が非常に少なく重宝がられることもあるが、一般的に固有水分が多く、粉碎時に滑り現象が発生し、ミル振動を誘発することが知られている。

このため亜炭の単独粉碎、燃焼することが出来ず瀝青炭に混合し混合粉碎するという形態をとらざるを得ない状況である。

次に高付加価値化の観点より石灰石用途の多様化を考える。セメントメーカーの豊富な石灰石を元に石灰石のみを微粉碎し製紙関連、プラスチック関連、排煙脱硫等の分野に平均粒子径で3~5 $\mu$ m単位の製品が求められている。この場合粒子径の細かい製

を得ようとすればするほどミル振動が大きくなり、最終的に振動により運転不能に陥ることが多い。

また廃棄物を燃料とすることは、既に知られているが新たな予測課題はセメントの需要と廃棄物のバランスである。即ち、セメント需要の低下した時に廃棄物が供給過多になることが懸念される。堅型ミルにおいて減産運転するとミル振動が発生し易くなるため振動を避ける目的で過剰なミル設定を行う。この結果電力原単位が悪化する。

これ等の事象において、結果的に阻害要因はミル振動であり、ミル振動の抑制が解決への大きなキーワードであることに間違いない。

そこでミル振動について改めて考えてみる。



(写真—1) UBE型ローラミル

3. ミル振動とは

ミル振動は大きく”衝撃的な振動”と”自励的な振動”に大別される。

衝撃的な振動は粉碎層と加振側の振動数の割合によって生じる場合が多く、一方、自励的な振動は摩擦係数と速度、荷重の3要素から成り立つことが知られている。

当社において種々の研究・開発の結果 型ローラミルの振動の起点が粉碎ローラと原料間の微小なスリップ、いわゆるスティックスリップ現象であり摩擦係数が低下した場合に振動の起点となっていることが判明した。

そこで微小なスリップ現象を誘引する最大の原因である摩擦係数と衝撃振動の元となる振動数について再考する。

4. 摩擦係数

粉碎機(ミル)の中では、粉碎過程において原料には強い圧縮荷重とせん断荷重が作用するようになっている。このせん断荷重が有効に原料に作用するか否かは原料の摩擦係数に起因することが多く粉碎のフィールドにおいては摩擦係数が低下した場合にミル振動が発生し易い。

本来、理学において摩擦係数は擦りあう物質とその表面粗さにより定まり、

- 垂直力に比例し、接触面積の大小には無関係である。
- 滑り速度の大小に無関係である。  
とされている。

4-1. 見かけの摩擦係数

ミルの粉碎部においては物質が単純に擦り合う現象とは異なり、ガスという媒体と物質が混合した粒子群で捉えることが重要である。

さらに粒子自体も大きさにより媒体とされるガスを取り込む容量が異なる。

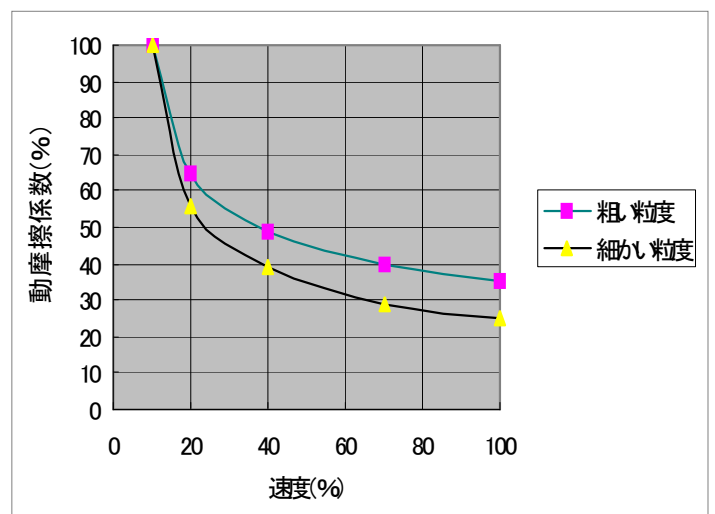
またミルの大きさにおいて擦り合う部分の速度については小型から大型にいたるまで速度差異があることは事実である。

これらの粒子径、速度と摩擦係数について当社は各種の試験結果から下記の知見を得た。

- 摩擦係数は粒子径および速度に逆比例する

このことは上述の理学面からみれば理論に反することであるが粉碎の分野で扱っている粉粒体は単一粒子で存在するのではなく、粒子群として存在し細粒子群と粗粒子群はその粒子の周辺に抱え込むガス量に大きな違いが発生することから、空気を多量に抱え込んだ細粒子群の方が、摩擦係数が小さいという結果を生む工学の世界においては発生し得る現実である。

この場合、従来から定説とされている理学の摩擦係数に対して新たに ”見かけの摩擦係数”と呼ぶことが正しいかもしれない(図—1)。



(図—1)

4-2. 摩擦係数の改善

(1) 従来法

① 散水法

ミル内に散水し、摩擦係数の改善策(=摩擦係数を上げる)を図ることがある。これは一見ミルの出口温度を制御するかのように見受けられるが摩擦係数の改善に他ならない。ただし水分蒸発に余分な乾燥熱量を必要とする欠点がある。

② ダムリング調整法

粉碎テーブルの外周に設置しているダムリング(土手)の高さを変更することも積層状態の摩擦係数を変更する方法である。

この方法も欠点としては ミル内に入りダムリングの交換作業が必要となることである。

(2) 新たな方法

当社の新たな知見 ”摩擦係数は速度に逆比例

する” この知見を展開し粉砕テーブルを可変速する方法を立案し、国際特許出願を実施した。また中国においては既に公開開示されている。

同方法を用いればミル振動が発生する傾向が予測される時、または振動が発生した場合、粉砕テーブルの回転数を低減することにより振動の拡散を抑制することができる。

この方法の特徴は粉砕テーブルの可変速化であり、電動機をインバータ化すればミルを停止することなく連続的な制御が可能であることである。

またテーブル回転数の低減がミル能力の低下に繋がるのではとの懸念は払拭される。なぜならば摩擦係数を改善(=増加)するためミルの粉砕部においては原料の噛み込む量は振動発生時よりも大きくなるからである。

#### 4-3. 摩擦係数の実感

実際のフィールドにおいて上述の摩擦係数を実感するのに長い時間は必要としない。

- ① ミル通過風量を低減させればミル振動が発生する
- ② 細かな製品を造るときミル振動が発生する
- ③ 滑り易い原料を粉砕する時、粉砕されずにミルから原料および中間製品が漏出する
- ④ ミル内に散水するとミル振動が低下する
- ⑤ ダムリング(テーブル外周の土手)を高い設定にするとミル振動は低減できる  
-----  
-ただしミル動力は増加する

これらは 全て摩擦係数の低下による派生的な事象である。

### 5. 振動数比( $\omega/\omega_0$ )

#### 5-1. 振動数の実態

ミル振動の内、衝撃的な振動を大きく左右させるものに加振側の振動数( $\omega$ )と粉砕層に相当する振動数( $\omega_0$ )がある。この両者の比率により振動増幅係数が定まる。

ここで振動数( $\omega$ ,  $\omega_0$ )の個々について考える。先ず加振側の振動数は、粉砕ローラの回転数に比例する。即ちテーブルの回転数に比例関係になる。一方粉砕層に相当する振動数は原料性状と粉砕機に要求される製品の粒度から決定されるもので運転サイドでは変更できない。

#### 5-2: 振動数比の改善

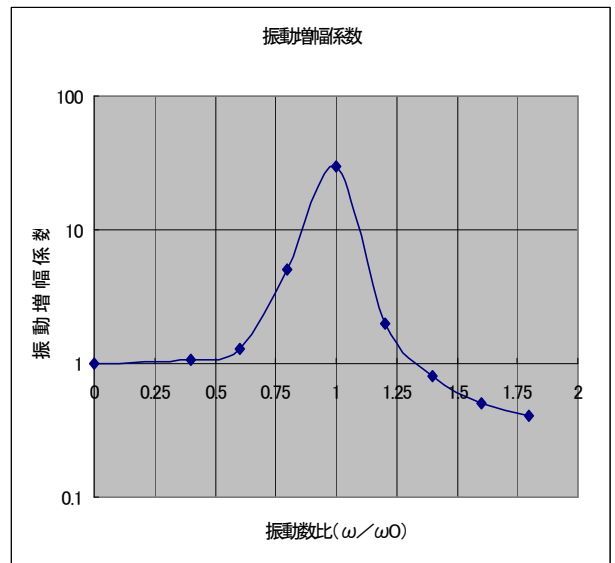
堅型ミルは(図-2)において、 $\omega/\omega_0$ が1.0以下で運転されているので、加振側の振動数( $\omega$ )を低下させること。すなわち、粉砕テーブルの回転数を低減させることにより振動増幅係数を低下させることができることは容易に理解できる。

さらに上述の当社の新たな知見から摩擦係数が改善される領域であれば回転数を低減させてもミル能力には大きく影響がでないことも検証されている。

#### 5-3: 振動数比の改善効果

最も顕著な効果例としては、ミルの低負荷運転時である。低負荷となった場合、新規原料の投入量とテーブル負荷がアンバランスとなり粉砕層は著しく低下し、粉砕層の振動数が小さくなり増幅係数は大きくなる。

この際、テーブル回転数を低減することにより加振側の振動数を低下させ増幅係数を低下させることができる。



(図-2)

\*:(図-2)は振動増幅の一例を示す。

\*:粉砕物の性状、粒度等が異なれば増幅係数のピーク値は幾種にもおよぶ。

## 6. 摩擦係数と振動数比の組み合わせ

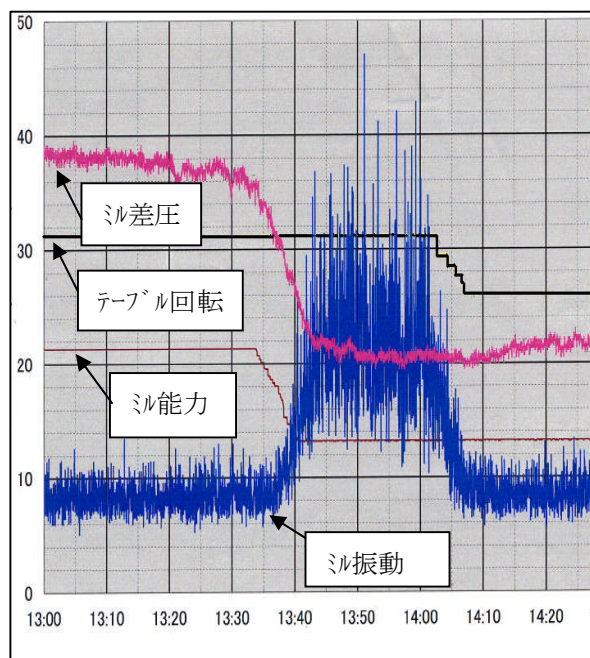
粉砕テーブルの回転数を実状に合うよう制御すると、上述の摩擦係数論とも合致し、ミルの安定運転領域は飛躍的に大きくなる。

特に今後発生するであろう、下記の事項にたいして顕著な効果が期待出来る。

- ① 粉砕が難しい物質の粉砕  
特に摩擦係数が小さい物質  
(例:無煙炭 亜炭、褐炭)
- ② 低負荷で生産調整する場合または生産量の増減比率の高いもの
- ③ 多品種少量生産でミル内に入り、ダムリングの交換作業せず全てを遠隔操作で実施したい場合
- ④ 平均粒子径3~5 $\mu$ mのような微細な製品を得ようとする場合

### 6-1. 検証例

可燃物の粉砕においてミル能力を100%から60%に低下させた場合の経過を(図-3)に示す。



(図-3)

(図-3)において、安定的に運転中のミル能力を段階的に100%~60%まで低下させる。

この結果、ミル振動値が3~4倍増加し非常に危険な状態になってくる。

そこで ミルのテーブル回転数を20%低減させるとミル振動値はミル能力100%時と同様に安定域を取り戻す。

## 7. あとがき

既に、現在セメントプラント等で採用されている我々の宇部堅型ミルは、完成された技術である。

今回は中国のセメント業界が将来、直面するであろう課題を解決する為に、我々の技術を先取りで紹介したが内容の詳細について中華人民共和国国家知識産権局に特許出願している。

本報および各種原料の粉砕に関するお問い合わせお引き合いは、下記の窓口までお問い合わせください。

宇部興産機械(上海)有限公司

営業部 林 志堅

上海市浦東新区外高橋保稅区富特北路91号

電話:021-5868-1633

FAX:021-5868-1634, 0634

以上