

# チューブミル用音響式炭面計の指示に 対する解析と検討

中 富 葆 造\*・川原浩一郎\*\*

## ANALYSIS OF THE INDICATION ON THE ELECTROACOUSTIC- TYPE MILL-LEVEL METER FOR THE TUBE-MILL

Hōzō NAKATOMI, Kōichirō KAWAHARA

The electroacoustic-type Mill-level meter, developed by the author, indicates a different value according to the size of grain, even when the tube mill is running at the same mill level.

As shown in this paper, after experimentally researching mutual relations between the mill level and the size of grain by using a small model mill, the following facts could be confirmed. In case of an air-swept tube mill, the mill-level meter faithfully indicates its mill level, and furthermore there is some linear functional relation between them at the range of normal running (except such a transitional case as mill over or empty mill).

Now the result of the study is summarized as follows:

- (1) If mill level is of the same granulous size, the indication of the mill-level meter has a different value according to the size of grain. Hence, as in the case of a cement mill, when a given quantity is once thrown into a mill, and is continually crushed without supplying raw materials and exhausting the powdered grain while the mill is in motion, this apparatus can be used as a meter of indicating the granulous size.
- (2) As an air-swept tube mill has a mechanism in which pulverized coal is exhausted by air-draft while raw coal is continuously fed, it is noticed that coal of many kinds of granulous size is found mixed in the mill. Therefore, if mill level consists of mixed grains of various size, a linear functional relation is established between the indication and the mill level.
- (3) Taking as an example pulverized coal with a grain size from 0.297 mm to 0.074 mm (48-200 mesh), the coal has the property similar to that of liquid, which gives a lubricating action to a mill ball like oil and a very noticeable effect to the indication. It may be said that character of pulverized coal whose grain is smaller than 0.074 mm rather approaches a gaseous state than a liquid. In fact, these particles manifestly tend to float above the mill level, the influence of which on the motion of a mill ball will be negligible.

Received June 8, 1961.

### は し が き

音響式炭面計のミルレベル指示はミル内の石炭の粒度によつて異なる。この現象が実際のチューブミルのミルレベル検出に如何に影響するかは極めて重要な問

題であるから、これを究明するためモデルミルを用いて種々の角度から実験的に検討したものが本報告書である。

本研究の結果としては現用されつつある火力発電所のエァースウェプト・チューブミルの通常運転状態ではミル中の石炭は各種粒度が混在して総合的粒度は大

\* \*\* 電気工学教室

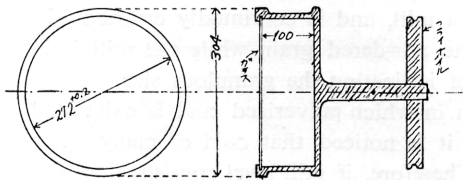
体同じであるから炭面計電流とミルレベルとの関係は直線関数で表わされ正確に炭面計電流はミルレベルを検出出来ることが明かとなった。唯空ミルに急に給炭する時のような過渡的変動時に於ては石炭の粒度によつて炭面計電流が影響をうける。

又セメントミルのようにエースウェプト型でなく投入粉砕物を連続粉砕する場合、微粉の粒度を検出する目的に対しては、音響式炭面計を応用することが出来ることも明かとなり、その場合の炭面計電流と粒度との関係を求めることが出来た。

1. 供試モデルミル

この種の研究は火力発電所の現用ミルを用いることは不可能であるからモデルミルによつて代替実験を行つて比較検討する方法をとつた。

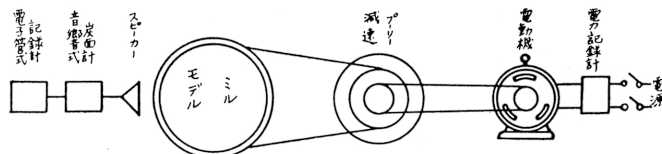
使用した供試モデルミルは第1図で実用ミルのドラム直径の約10分の1とし、従つて他の部分も総て寸法に於て約1/10とした。又ライナーの影響を究明するためモデルミルドラムの内側を取替えて、円滑な円筒ライナーや波形のライナー等に差し替えるようにした。



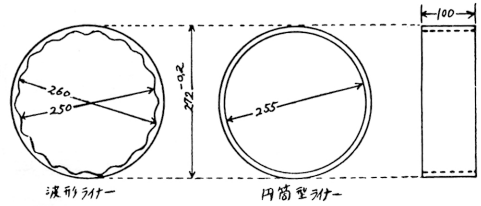
第1図 モデルミルドラム部

第2図は差し替えるライナーの部分を示すものである。モデルミルドラムの平均内直径は 255 mm 長さ 100 mm でフライホイールを直結し、電動機によつて駆動する。更に減速プーリーを取替えて回転速度を段階的に変化して数種の定速運転出来る設計とした。又ドラム側面の片側はガラス張りとして、ミルボールの運動を観測出来るようにした。

第3図はモデルミル試験の電気回路のブロック図で



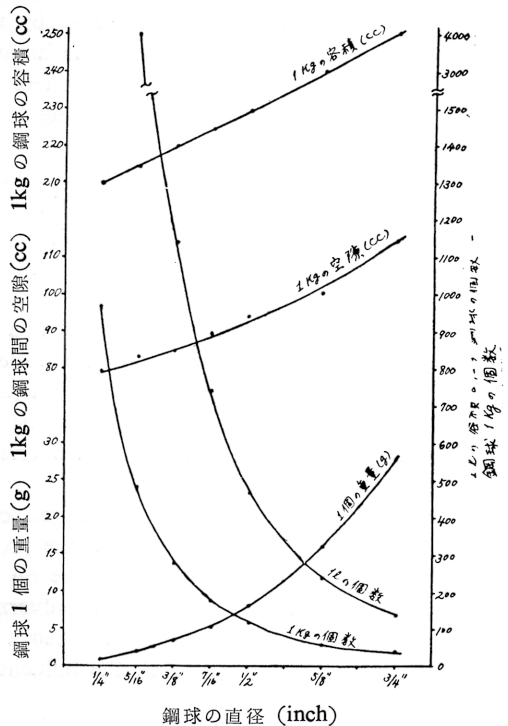
第3図 モデルミル試験ブロック図



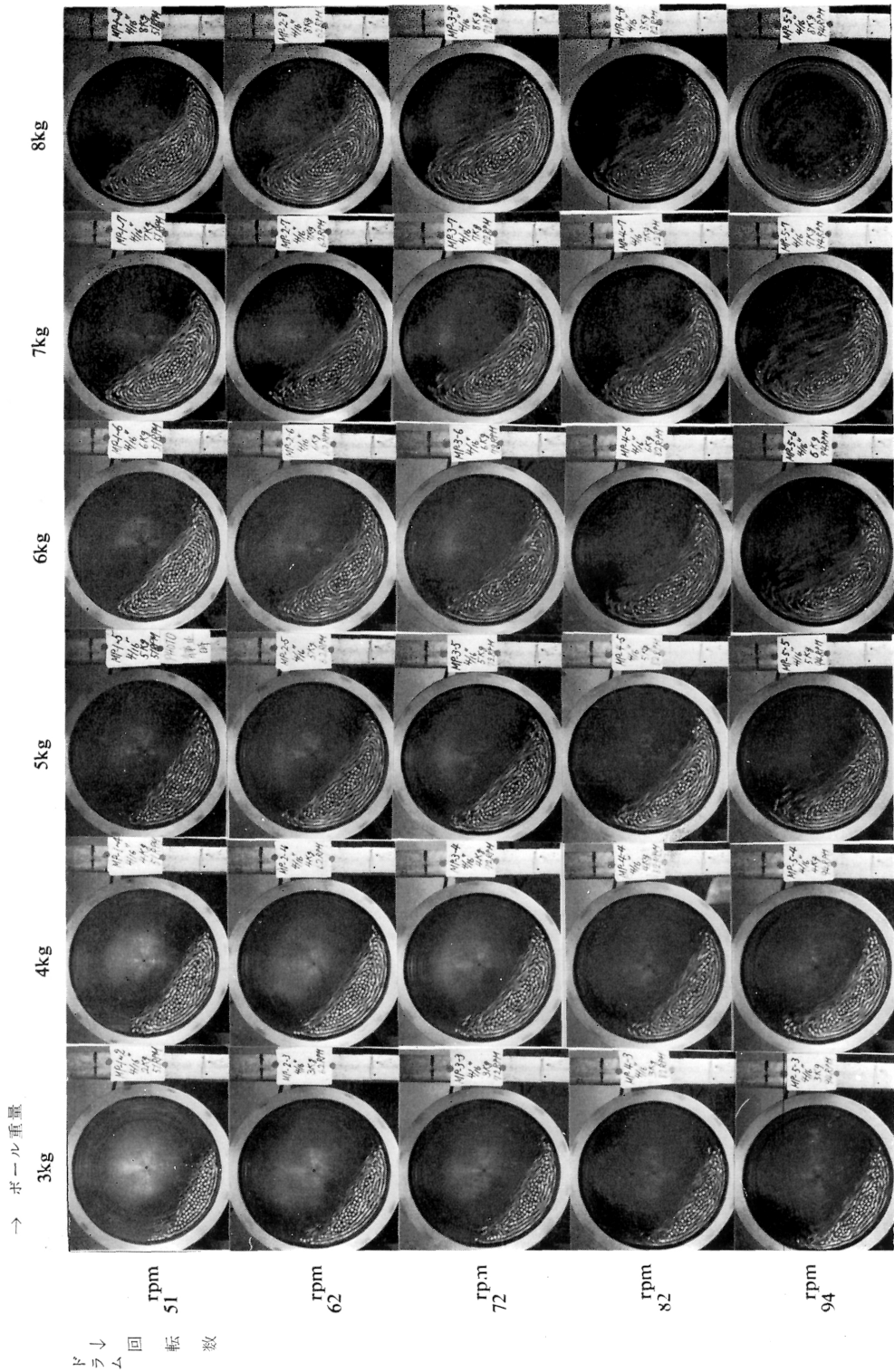
第2図 ドラムライナー

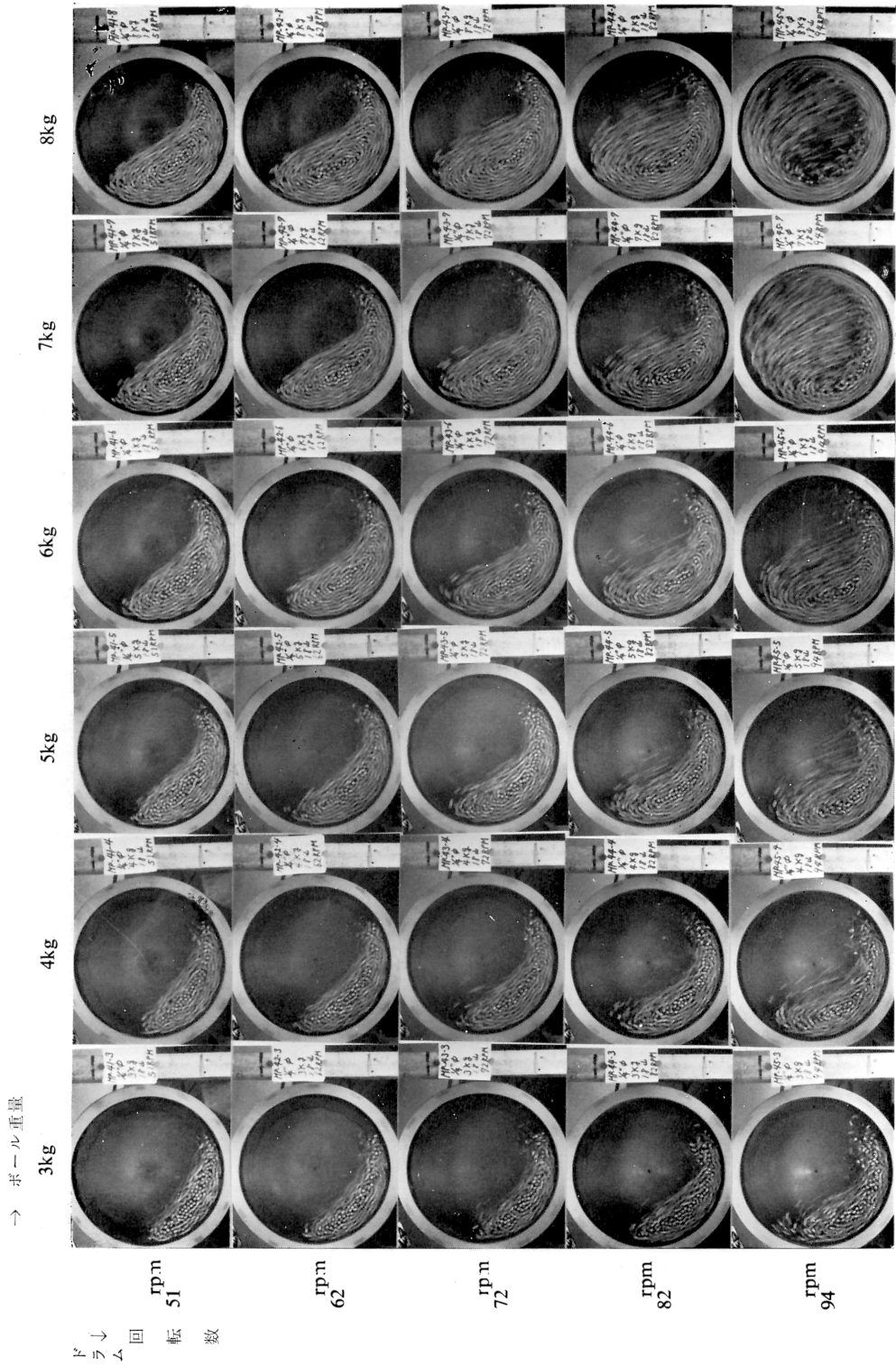
音響式炭面計を用いてミルレベルを観測し、ミルの入力を記録電力計によつて実測することとした。

ミルボールは現用ミルでは直径30, 40, 50, 60 mm が用いられ、ドラム直径の 100 分の 1.27 乃至 2.86 の範囲である。モデルミルでは直径 6.35mm (1/4'), 9.5 mm (3/8'), 11.0 mm (7/16'), 12.75 mm (1/2') の鋼球を用いたのでモデルのドラム直径の 100 分の 2.5 乃



第4図 供試鋼球の大きさ、重さの比較





第6図 鋼球の運動：鋼球 6.35mm(1/4"φ) 波形ライナー

至5.0程度で、実際の発電所の場合よりもボールの方が大きいことになる。モデルミルで直径6.35 mm (1/4") のボールは実際のミルのミルボール直径50~60 mmに相当する。

第4図はモデルミルに用いた鋼球の直径に対する重量1 kgの占める容積、ボール間の空隙並びに個数を図示したものである。

### 2. モデルミルの速度の選定

モデルミルの速度をそれぞれ51, 62, 72, 82, 94, rpmに保持し直径6.35 mm (1/4") の鋼球1 kg宛増加して運転し、ボールの運動を撮影したものが第5図, 第6図である。第5図は滑らかな円筒ライナー、第6図は波形ライナーに於けるボールの運動である。

波形ライナーのドラムについて調べると速度を20%増加した時のボールの運動と速度を変えずにボール量

を50%増加した時のボールの運動とが大体対応する。

勿論ライナーの波の形によつて%は異なるが概して速度を増す方がボールの運動は激しく変る。

ボールの運動は粉碎作用の点から云えば第7図のように、総てのボールが自転しつつネックレス状に回転する状態が最も良好である。然しドラム速度が増したり、ボール量が多くなればボールは第8図のように運動する。即ちdの部分ではボールが飛びcの部分でもボールが踊るような運動をする。かようなボールの運動となれば粉碎作用が悪くなる。

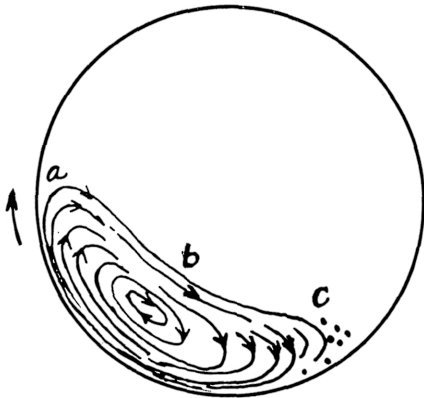
ライナーが円滑な円筒となれば、ボールの滑りが起るため、ボールは第9図のような運動をする。第7図に比較するとa b c面が直線に近くなり、ボールの層が薄く円周に沿つて長くなる傾向がある。この場合もドラム速度を増加するか、ボール量を増せば、波形ライナーの場合に近づく。円筒ライナーの場合の今一つの特長はボール量の比較的少量の時は、ボール全体として揺れの現象が起ることである。現用のミルは総て波形ライナーが取付けられているが、ライナーの摩耗した時の現象に非常によく似ている。

以上の観察の結果、モデルミルの速度としては62 rpmを選定した。この速度は現用ミルと比較して周辺速度は約1/3となるが、ボールの遠心力は同じ値となるものである。

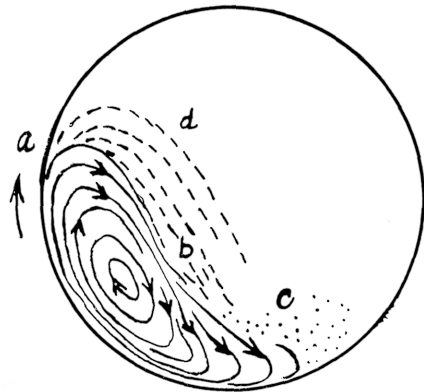
### 3. 投入石炭の粒度による炭面計電流の変化

元来ミルレベルをミルの発する雑音によつて検出するのは、ミルボール間に介在する石炭が粉碎されるに従つてボール間に這入り込んでクッションとなり雑音が制圧される現象によるものである。

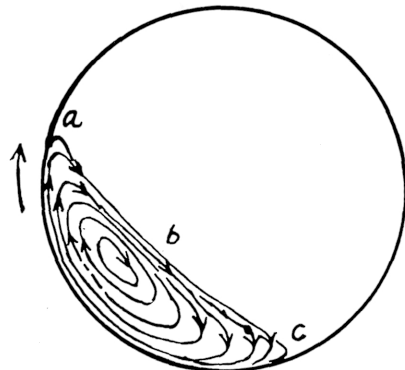
被粉碎物として次の分析表 (九電, 総合研究所分



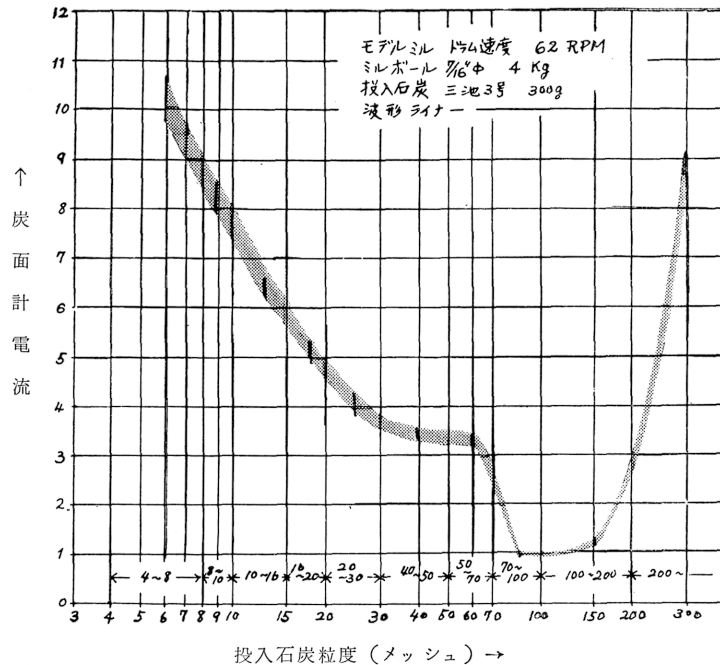
第7図 最良の粉碎作用のボールの運動 (波形ライナー)



第8図 粉碎の悪くなるボールの運動 (波形ライナー)



第9図 円筒ライナーに於けるボールの運動



第10図 投入石炭粒度と炭面計電流との関係 (投入石炭重量一定)

析)の品質の三井三池炭を用いた。

水分	1.34%
灰分	19.05%
揮発物	37.48%
固定炭素	42.13%
発熱量	6760 Kcal/kg
粉碎性指数	70.1

投入石炭の粒度は第1表のように分類して実験に供した。粒度によつて粉炭の占める容積は異なるが、これを正確に測定することは困難でもあり、厳密には意

第1表 供試石炭の粒度とその占める容積

石炭粒度(メッシュ)	100gの容積(cc)
4 ~ 8	120
8 ~ 10	125
10 ~ 16	125
16 ~ 20	130
20 ~ 30	135
30 ~ 50	140
50 ~ 70	140
70 ~ 100	145
100 ~ 200	150
200 ~	200

味がないので、参考資料として各粒度の粉炭を 100g 宛目盛グラスに自然に投入し特に押えることなく、目盛グラスを3度軽く叩いて容積を測定した値を挙げた次第である。

### 3.1 石炭の粒度とクッション効果との関係

第10図は投入石炭量を一定として、石炭の粒度(メッシュ)と炭面計電流との関係を実験的に求めたものである。

粒度は変つても投入石炭量が等しい時には、粒度が微細となるに従つてクッション作用が有効となり雑音が抑圧されて炭面計電流は小さくなる。殊に 70~200 メッシュでは炭面計電流は急激に減少するのが認められる。然し更に粉碎化して 200 メッシュを通過する粒度となれば電流は増加する。これ等粒度と炭面計電流との関係について更に考察を加えてみよう。

粗い石炭粒を投入する時は、ミルボールと混り同様な運動をするのでクッション効果は少く、結局ボールの量を増加したと同様のボールの運動をなし、炭面計電流は余り減少しない。石炭粒が 10~20 メッシュ程度となればボール分布図の頭部(回転上昇する部分)の方へ推し上げられ、尾部の方の石炭粒は少くなる。各ボールは自転しつつネックレス状の運動が活発とな

つて、粉碎作用は良好である。又石炭粒はボール間により侵入してクッション効果も増し、炭面計電流も減少する。石炭粒が更に微粉化し 20~50 メッシュとなれば、ボールは微粉炭に埋り自転運動がにぶりドラム内面に沿うて上昇し頭部に達すれば、はね飛ばされて頭部と尾部の中間に落下しネックレス状運動が減退するため、粉碎動作は悪くなるがクッション効果は増加し、炭面計電流は益々減少する。即ちこの程度の粒度の石炭粉はボールの自転運動のブレーキとなることが認められる。

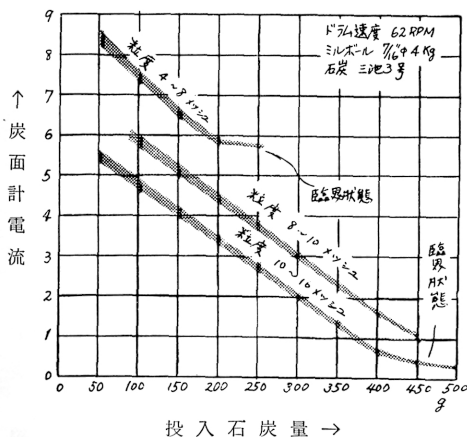
粒度が 50~70 メッシュとなれば液体的性質を帯びて来て、ボールは微粉炭中に沈みボールの運動に対する制動効果が少くなり、再び自転しながら回転する運動が活発となる。そのため粉碎作用もクッション作用もよくなり炭面計電流は更に減少する。

粒度が更に微粉化して 70~200 メッシュ程度となれば液体的性質が顕著に現われ潤滑油のような作用をしボールの自転と回転運動に滑りが生じ全体として静かな動きとなる。従つて炭面計電流は最低値をとる。

更に 200 メッシュ通過の粒よりも細く微細化すれば潤滑油よりもガソリンのような性状となり寧ろ、気体的性状を帯びボールの運動に対して殆んど無関係となる。そのため炭面計電流は空ミルに似て増加する。

### 3.2 同じ粒度の石炭の投入量と炭面計電流との関係

石炭の個々の粒子がボールの回転によつて発生する雑音に対して、均等にクッション作用を有するものと



第 11 図 一定粒度の石炭粒を投入した時のミルレベルと炭面計電流との関係

すれば、その粒が多い程雑音は直線的に減少する筈である。

事実投入する石炭の粒度を例えば 4~8, 8~10, 16~20 メッシュとそれぞれ一定に保つて投入量を次第に増加した場合のミルレベルと炭面計電流との関係を実験的に求めると第 11 図に示すように直線関係となすことが判る。但しミルレベルが高くなれば飽和状態となり遂には臨界状態に達する。その理由はボール量に対して投入石炭量が或限度に達すればボール全部が最大のクッション作用を受け、これ以上投入石炭量を増してもクッション作用はそれほど増さないようになつて飽和現象が起る。更に石炭量が増せばボールと石炭がドラム壁について回転する状態となり粉碎は行われなくなる。これが臨界状態と呼ばれるもので与えられた速度ではボール量を増しても投入石炭量を増して起り、ボール量と投入石炭量が一定の時は回転速度を増して行けば或る速度でこの状態が起る。この場合の速度を臨界速度と称することとする。

要するに空ミル附近とか臨界速度附近を除く常規運転状態ではミルレベルと炭面計電流との関係が直線関係であることが確認され、更にライナーが円筒形の場合も同じであることを確かめ得た。

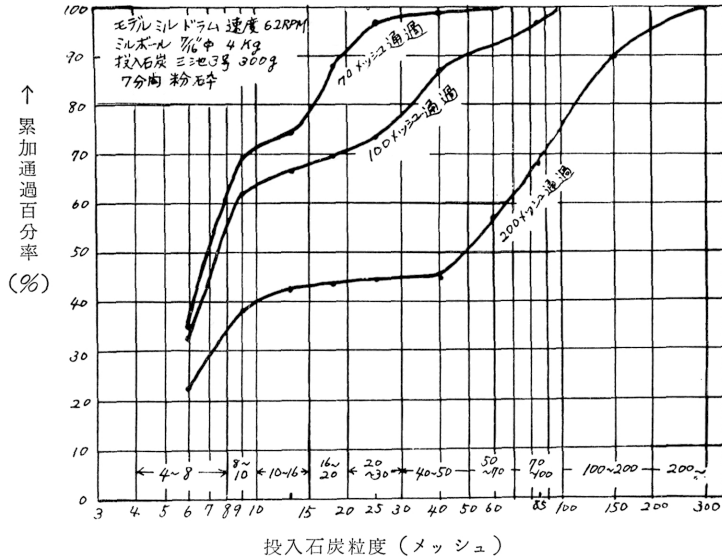
## 4. 投入石炭の粒度と粉碎効果

モデルミルで一定量の石炭を投入し一定時間粉碎する時、石炭は微粉化されると共に、ミルの発する騒音も変るが、その様相を実験的に検討した。先ず或る粒度の石炭粉を一定量投入して、一定時間粉碎した場合の粉碎結果を篩分析し、次に或る粒度の石炭粉を用い投入量を増す場合一定時間の粉碎によつて微粉の生成状態を篩分析によつて実験的に求めた。

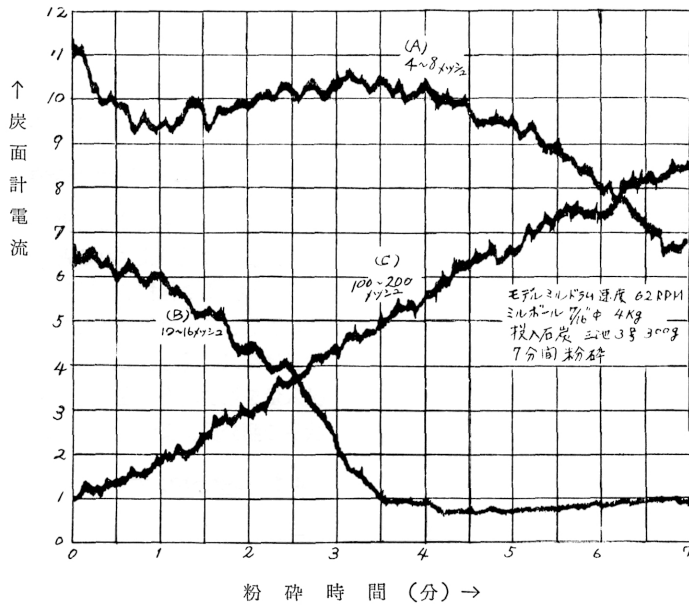
### 4.1 定量の投入石炭の粒度と粉碎効果

一定投入量の場合粉碎過程 7 分間の炭面計電流の変化を実験的に求めたものが第 12 図である。均一な粒度の石炭を一定量投入し 7 分間粉碎した場合生成した微粉炭の粒度分布を実験的に求めたものが第 13 図である。200 メッシュ通過の微粉生成量についてみれば投入石炭の粒度が 10~60 メッシュでは殆んど同じ量で、70 メッシュよりも微細なものは急に多くなり 10 メッシュより粗いものも急に少くなる傾向がある。即ち例えば 10~60 メッシュのように或るメッシュ巾では粉碎作用は余り変らないことが判る。

この場合粉碎過程 7 分間の炭面計電流の変化を描い



第 12 図 一定量の投入石炭に対する 7 分間粉砕後の粒度



第 13 図 一定量の投入石炭に対する 7 分間粉砕過程における炭面計電流の変化

たものが第 13 図である。石炭が粗い間はボールの運動も激しく電流の振動巾が広く微粉化されるとボールの運動も穏かとなり電流の振動巾が狭くなる。そして炭面計の曲線は A, B, C の三つの代表形がある。

A形：一 大体水平線で時間の経過とともに少々垂下特性を持っている。粉砕最終段階で 70 メッシュより細かい微粉炭量が 50 % 以下の場合、

B形：一 時間とともに急に垂下曲線となり谷が出来て、その後上昇する。A形も時間を長くすればB形となる。粉砕最終段階で 200 メッシュより細かい微粉炭量が 40~70 % 生成した場合、

C形：一 時間の経過とともに上昇する直線的斜線となる。粉砕最終段階で 200 メッシュよりも細かい微粉炭が 90 % 以上生成した場合、



かくて、粉碎過程における炭面計電流曲線の形で微粉炭の粒度分布の概数を判断することが出来る。ミルボールの直径が大きくなつてもミルドラムの速度が速くなつても炭面計電流の脈動の振巾は増すが曲線の形は相似的である。

#### 4.2 投入石炭量と粉碎効果との関係

チューブミルに投入される石炭量が多くなるに従つて粉碎能力は悪くなる。この粉碎能力を究明するため投入石炭の粒度が均等な 4~8, 8~10 および 10~16 メッシュを投入して、それぞれ 7 分間粉碎して粒度の 100 分率分布と生成される微粉の総量を実測算定した結果をグラフに描けば第 14 図、第 15 図である。両者とも 200 メッシュ通過の微粉炭量を対象とした実測

曲線である。投入石炭の或る粒度に対しては或るミルレベルで極大値が生ずるが粒度のメッシュが変わつても大体同じミルレベルである。第 15 図の場合は 8~10 メッシュを投入する時は特に極大点が生せず平坦となる。要するに投入石炭の粒度にかゝらず或るミルレベルで成生微粉炭総量の極大値がある。

#### む す び

モデルミル実験ならびに考察の結果をまとめてみれば、次のようになる。

(1) ミルに投入する石炭の粒度が均一であれば炭面計電流とミルレベルとの関係は直線的(空ミル及び臨界状態をのぞく)であるが粒度によつて炭面計電流は異なる。

(2) 各種粒度が混在する石炭であれば炭面計電流とミルレベルとの関係は直線的である。従つてエヤースウプト、チューブミルの場合は投入石炭、戻り炭等が混在して平均値としての粒度分布はそれ等の平均と考えられるから炭面計電流はミルレベルを忠実に直線関係で表示する。

(3) ミル内にある石炭量を一定にして粉碎する時は炭面計電流は粒度によつて変化する。従つてクリンカーミルのような場合は音響式炭面計を粒度の指示計として使用出来る。

(4) ミルボールの運動は微粉炭の粒度(ミル内の微粉炭が全量均一なるもの)の大小によつて著しく影響を受ける。大体次の 3 種に分類出来る。

70 メッシュ 下通過…粒子的性質

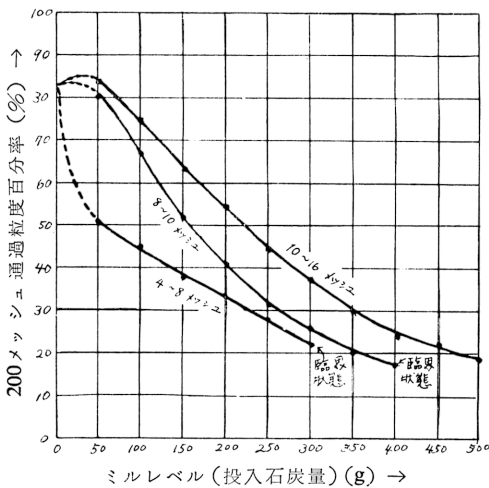
70~200 メッシュ…粘度の大きい液体のような性質(潤滑油的)

200 メッシュ………粘度の小さい液体のような性質(ガソリン的)

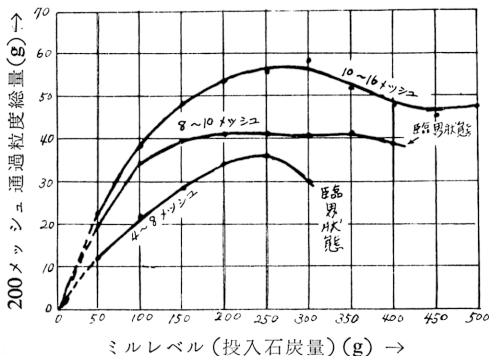
勿論石炭の産地名柄によつて 70 メッシュの境界が 50~70 メッシュ程度の中があるが性質は類似している。

(5) ミルレベルを高くすれば 200 メッシュ通過の微粉炭の生成される百分率は次第に減少する一方、ミル内の石炭量は多くなるから、生成される 200 メッシュ通過程度の生成総量は多くなるが、極大点に達し再び減少する。その極大点の位置はミル内石炭の粒度によつて殆んど影響されない。

(6) 空ミルへ急に給炭する時のような過渡的瞬間や臨界状態附近では、ミルレベルと炭面計電流との関係は直線関係で表わされず粒度によつても変る。



第 14 図 ミルレベルによる 200 メッシュ通過粒度百分率の変化



第 15 図 ミルレベルによる 200 メッシュ通過粒度総量の変化

本研究に対して九州電力株式会社総合研究所，港発電所，築上発電所，戸畑発電所，相浦発電所各位の御援助に対して深甚な謝意を表し，併せて試験用石炭を提供された三井三池鉱業所に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 中富，岩水，安田，宮本，川原：電気音響的方法によるチューブミルの粉碎特性の研究（第1報）一ドラム速度とミルボールの数量について，昭和35年9月，九州電力総合研究所，研究期報，第14巻。
- 2) 中富，岩水，安田，宮本，川原：電気音響的方法によるチューブミルの粉碎特性の研究（第2報）一音響式炭面計のミルレベル指示と微粉粒度との関係について，昭和36年3月，九州電力総合研究所期報，第15巻。