

# B & W E 型 ミ ル

## B & W Type E Mills

福 田 幾 昌\* 小 玉 美 芳\*\*

### 内 容 梗 概

我国のボイラ用微粉炭機は従来ボールミルが多く使用されていたが、近年堅型ミルが採用され、その性能、粉砕部の寿命などは業界の注目の的になつている。バブコック日立は昭和28年よりE型ミルを国産化し、約2年間の運転結果は満足すべき成果を収めている。

我国の石炭に対し、E型ミルの粉砕部の寿命は現在までの実績から14,000~15,000時間と推定され、外国の実績に匹敵する。湿炭に対する適応性、微粉細度、微粉濃度などについても、従来のボールミルよりすぐれていることが実績により示された。

### 〔I〕 緒 言

我国のボイラ用微粉炭装置として、従来ボールミルが多く使用されていたが、近年堅型ミルが採用されその実績は業界注目の的になつている。バブコック日立は昭和28年 B & W 社の設計図に基き、中国電力株式会社三幡発電所納入の我国最初のE型ミルを製作し、引続き東京電力株式会社、北海道電力株式会社に納入しいずれも優秀な成績を収めている。E型ミルは今日まですでに2,000台以上世界各地に設置され、10年以上の運転実績を有し、このすぐれた実績がE型ミル設計の基礎になつている。バブコック日立は現在まで二十数台製作し、2年間の運転実績からみて、灰分の多い我国の石炭に対して性能の面からも、粉砕部の寿命の点からも満足すべき結果を得ている。この実績に基いてE型ミルの特長、運転実績、ならびに構造の概要を述べる。

### 〔II〕 石炭粉砕方式とミル出力に影響する要素

粉砕の基本作用として衝撃、圧潰および磨滅の三つがあり、微粉炭機はこれらの一つまたは二つ以上を組合せたもので計画されている。普通ボイラに使用されている微粉炭機は、Ball Mill, Impact Mill, Ring-roll Mill, および Ball-race Mill がある。Ball Mill は在来の我国微粉炭焚ボイラに多く用いられた型で、低速で主として衝撃と磨滅作用により粉砕される。Impact Mill は高速ミルで主として衝撃によるものである。Ring-roll Mill はリングとローラ間の圧潰および磨滅作用によるもので、主軸の回転によりローラが遠心力によりリング面に圧力を加えつつ回転する。なおローラを使用したものに Bowl Mill がある。これはボウルが回転し、バネによりローラとボウルの接触圧力を調節するもので、粉砕は圧潰と磨滅作用による。Ball-race Mill は粉砕部がスラストボールベアリングと同じ構造で、上下の粉砕輪の間にボール

を入れ、上部固定粉砕輪にバネで圧力を加え、下部粉砕輪を回転せしめ圧潰と磨滅作用により粉砕する中速ミルで、E型ミルはこの型式の最もすぐれたものである。

石炭の粉砕はミルの型式により多少差異はあるが、ミル出力に影響する要素としてつぎの四つが考えられる。

- (1) 供給炭の粒度
- (2) 石炭水分
- (3) 微粉炭の細度
- (4) 石炭のグライндаビリティ

#### (1) 供給炭の粒度

粉砕に要するエネルギーに関し Kick の法則, Rittinger の法則が古くから知られており、近くは Bond の法則その他が発表されているが、被粉砕物によりかなりの差が実験的に示されている。中条氏の発表によれば、石炭の微粉砕には Rittinger の法則が適合するといわれている<sup>(1)</sup>。

Rittinger の法則は

$$E = C \left( \frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_1} \right)$$

ここに

- $E$  = 粉砕に要するエネルギー
- $L_2$  = 粉砕前の粒子の代表長さ
- $L_1$  = 粉砕後の粒子の代表長さ
- $C$  = 定数

で表わされるので、粉砕後の細度を一定とすれば、原炭粒度により所要エネルギーは変化する。Rittinger の法則により計算すると、例えば  $3/4$ " の大きさの石炭の一定量を200メッシュに粉砕するに要するエネルギーを100%とすれば  $2$ " のものは100.1%、 $1/8$ " のものは97.5%程度で、通常使用している石炭粒度範囲ではその影響は無視できる程度であろう。

しかしボールミルにおいては供給炭粒度は第1表(次頁参照)に示すようにミル出力に大きな影響を与えている<sup>(2)</sup>。この大きな差異は粉砕に要するエネルギーだけによるものでなく、給炭をミル内部へ送り込むのにエネルギー

\* バブコック日立株式会社

\*\* 日立製作所日立工場



第1表 給炭粒度とボールミル出力係数  
Table 1. Size of Feed Coal and Ball Mill Output Coefficient

給炭の大きさ (100%通過するリングの直径) (吋)	ミル出力係数 (%)
1/6	120
1/8	113
3/4	100
1	97
2	90

を要し<sup>(3)</sup>、ファン特性に影響する。すなわちファンは微粉炭をミルから排出するだけでなく、給炭をミル内へ送り込むためにも働き、給炭が大きくなるとそれに費やされるエネルギーが増し、したがって微粉炭排出量が減りミル出力が低下すると考えられる。

E型ミルは給炭は重力によりミル内へ送られるので、供給炭の粒度によるミル出力変化は無視できよう。

(2) 石炭水分

石炭水分は一般にミルドライイングにより乾燥される。ミルドライイングの効果はミルに入る空気温度と空気量により左右されるが、空気温度は普通300°C前後で、空気量は燃焼の面から一次空気の過多は望ましくないのでミルドライイングもある範囲に制限される。ミルドライイングにより乾燥されない過剰水分は、ミル内壁に粉炭を附着せしめ粉砕効率を低下させると同時に、できた微粉が凝集し、一次空気による微粉炭の搬出が困難になり、ミルの出力を低下せしめる。第1図にE型ミル出力と石炭水分の関係を示す。

(3) 微粉炭細度

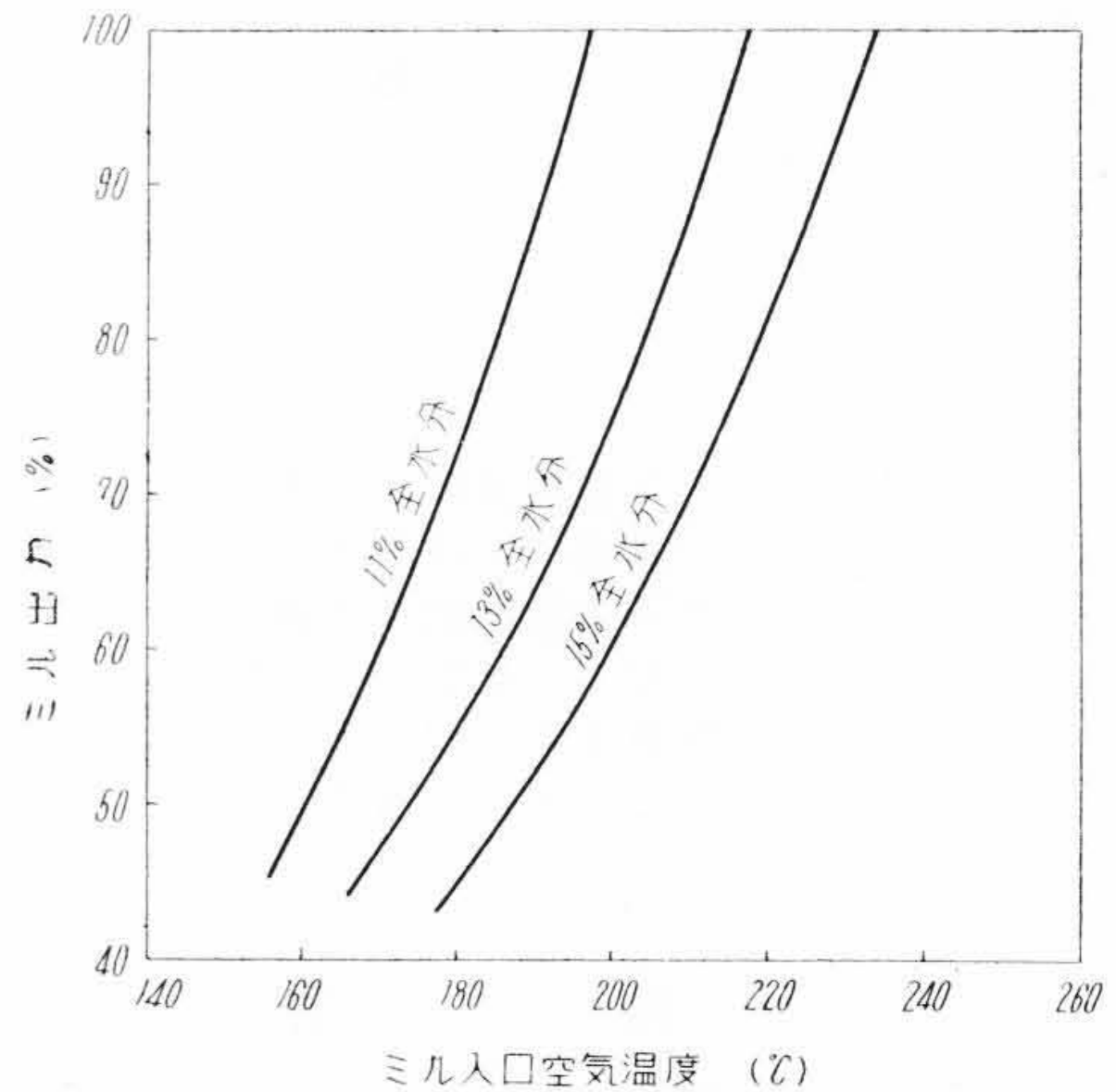
微粉炭細度を所要値に維持することは、未燃損失、スラッキングの面から必要である。粉砕された微粉が逐次ミル外へ排出され、超微粉砕に余分なエネルギーを費さぬようにすることが肝要で、ミルの型式によりかなり所要動力の差がある。

森氏がチューブミルの衝撃応力、ボール貫入深さの関係につき発表しているが<sup>(4)</sup>、それによればチューブミルは粉砕が進行するにつれて粉砕効率が悪くなるのは、粉体が細くなる程落下ボールに対する緩衝作用が大きくなるためであるといわれている。これは粉砕作用の一部を衝撃による方式のミルは、微粉細度がミル出力に影響する度合いが大きいといえよう。

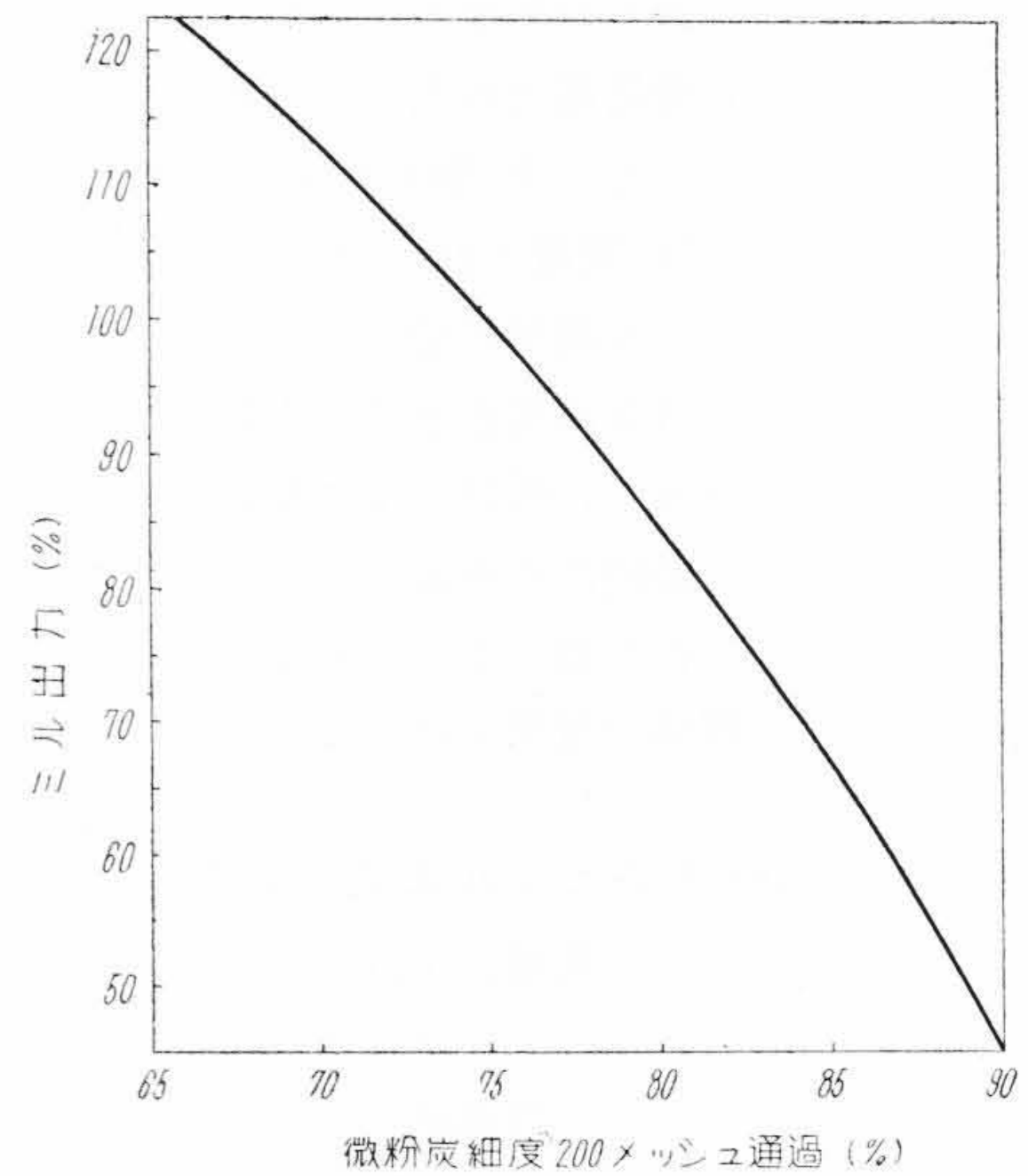
微粉細度の調節は粗粉分離器の調整と共に、ボールミルではボールの寸法または挿入量を変え、バネ荷重式ミルではバネを調整する。第2図にE型ミルの微粉細度に対するミル出力係数を示す。

(4) グラインダビリティ

グラインダビリティは粉砕難易性の指度で、ミル設計



第1図 E型ミル出力と石炭水分の関係  
Fig. 1. Anticipated Performance of Type E-Mill Mill Output vs. Moisture in Coal



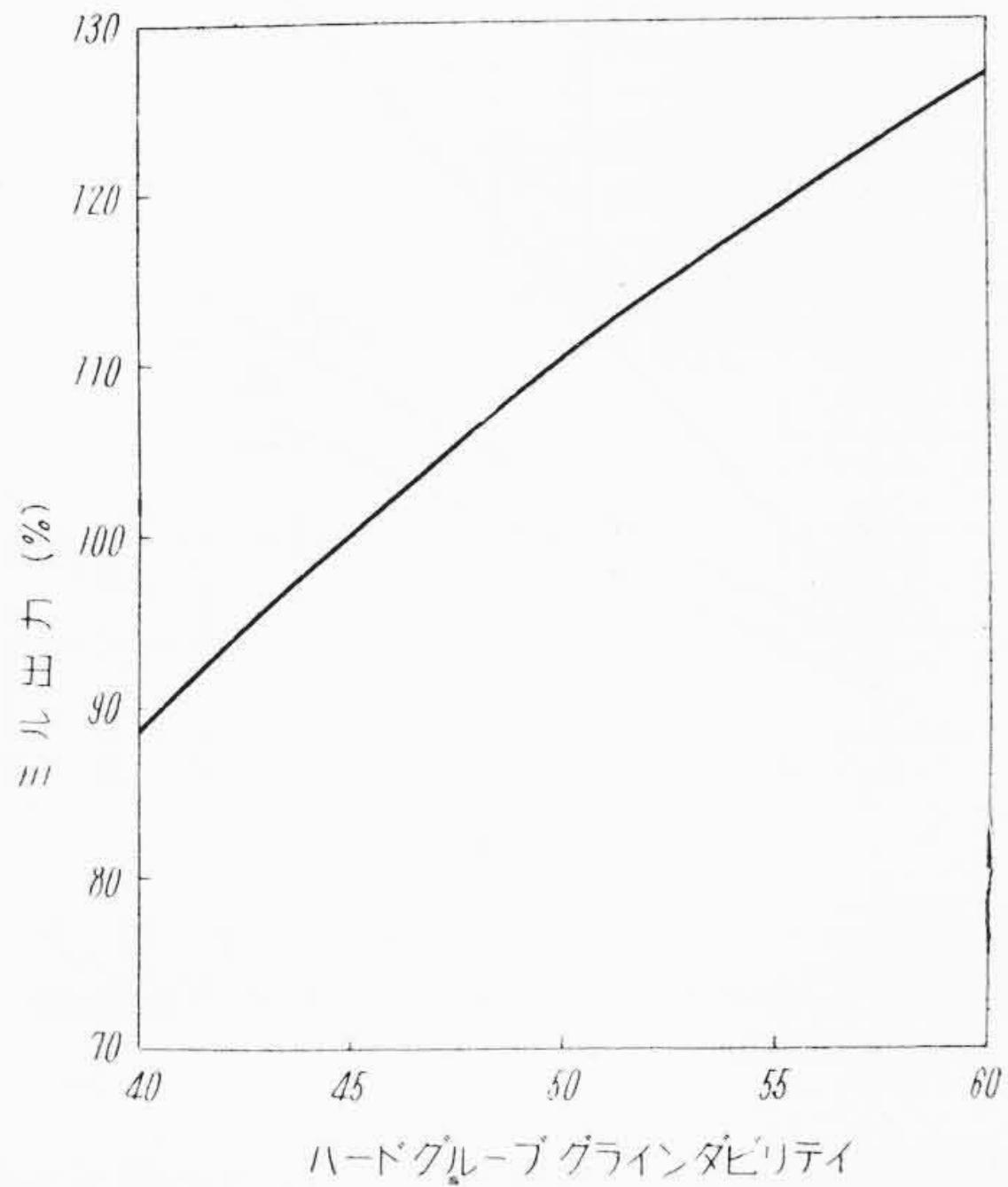
第2図 E型ミル出力と微粉細度の関係  
Fig. 2. Anticipated Performance of Type E-Mill Mill Output vs. Pulverized Coal Fineness

上重要な要素である。普通ハードグループ法、ボールミル法などで測定されるが、試験機と実際のミルでは、粉砕方式、大きさの差異によりグラインダビリティ指数がそのままミル出力に比例しないので実際のミルにつきグラインダビリティ指数との関連を求めなければならない。第3図はE型ミルのグラインダビリティに対するミル出力係数を示す。

〔III〕 E型ミルの特長

(1) 粉砕部が磨耗してもミルの性能が変わらない





第3図 E型ミル出力とグラインダビリティの関係  
Fig. 3. Anticipated Performance of Type E Mill. Mill Output vs. Grindability

粉碎部はボールとレースの組合せであるので、ボールはすべての軸上に自由に回転でき、磨耗した場合でも真球体であるので、石炭とボールおよびレース間の接触状態は常に変らずしたがって出力と微粉細度の低下が生じない。勿論ボールの磨耗によりバネの調整を行い、ボールがある寸法まで磨耗したときは、その寸法に合うボールを追加してボール間の間隙を一定に保つようになっている。第4図は東京電力鶴見第一発電所納 E-64 ミルで 8,000 t 粉碎後のボールの磨耗状態で、均一な磨耗により球形を保っており、ボールがあらゆる軸上で回転していることがわかる。

(2) 粉碎部の寿命が長い

ボールと粉碎輪は熱処理を施した特殊材料を使用しきわめて長時間使用に耐える。第5図に示すごとく最初  $10\frac{1}{2}$ " のボールを使用し、補充ボールを追加しつつ  $6\frac{7}{16}$ " まで使用することができる。

(3) ミル系統が圧力運転であること

E型ミルはミル入口側に一次送風機を置き熱風をミルに送り、微粉炭をバーナまで圧送するので、ミル出口に排炭機を置いた場合のように送風機の磨耗がない。送風機の磨耗がないことは補修費の低下、稼働率向上の面からほかの型式のミルに比しすぐれた点の一つである。

(4) 異物が自動的に排出される

石炭中に鉄片類が混入した場合、ミルの損傷、出力の阻害をきたすので異物排出装置は重要である。構造の項に記述のごとき簡単な機構で確実に排出される。鶴見第一発電所 E-64 ミルの異物排出の実績はつぎの通りで、ミルに何等損傷を与えず良好である<sup>(5)</sup>。

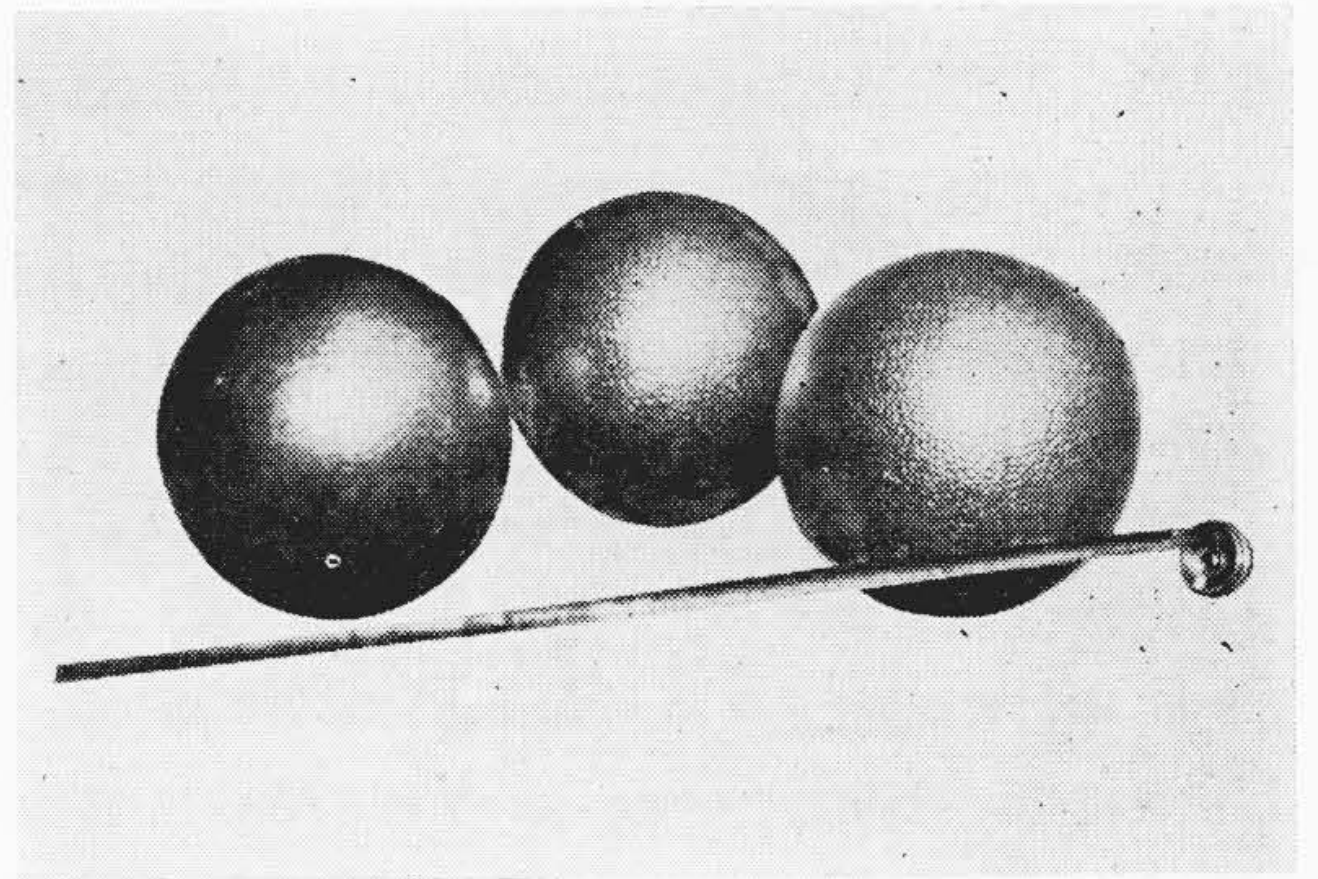
鉄片類

大型 175mm×75mm×25mm } 粉碎部に噛まれた形跡なし  
小型 6mm ナット }

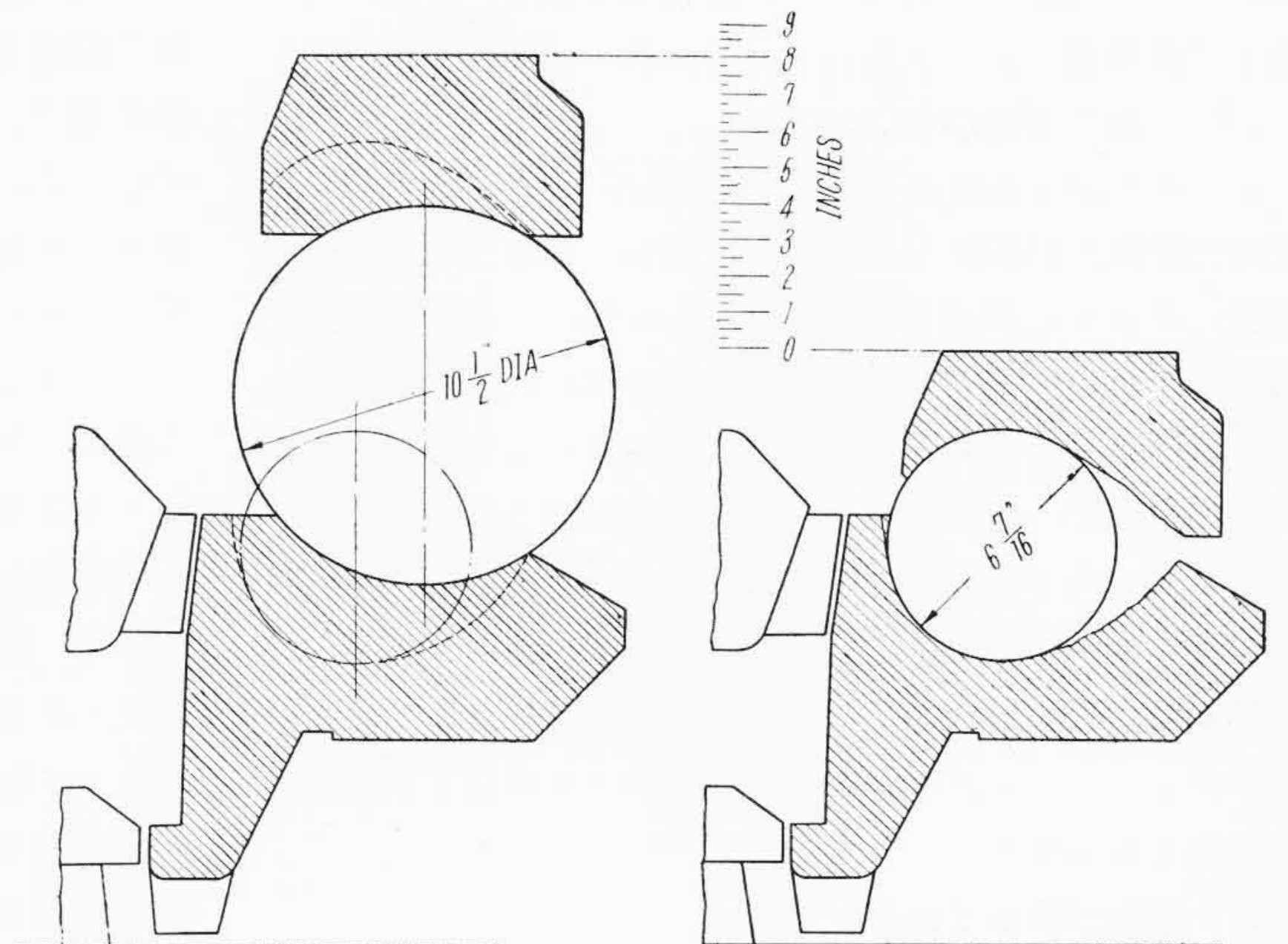
3mm くらいの釘、針金類は噛まれ圧延されて排出

(5) 負荷調整が簡単で応答が早い

一次送風機の出口ダンパを調整し、ミルの出力調節が容易にできる。給炭量は一次空気量との関連で、自動給炭制御装置によりミル内に適正な炭量が維持されるので、A.C.C. の燃料調整は一次送風機ダンパのみ制御すればよい。



第4図 8,000 t 粉碎後のミルボール  
Fig. 4. Mill Balls After Ground 8,000 ton of Coal



第5図 粉碎部の磨耗  
Fig. 5. Wear of Grinding Element



ミル内の石炭保有量が比較的少ないので、この簡単な調整によつて、バーナに対する微粉炭供給の調節はほとんど瞬時にボイラ負荷変動に応答する。その一例を示すと、ボイラ蒸発量が 45 t/h から 125 t/h に増加してそれを維持するのに3分以内である。ミル出力を下げたとき一次空気速度が遅くなるので200メッシュ通過90%程度の粒度になり、また運転実績の項に示すごとく、ボールミルなどに比べ低負荷においても微粉濃度が高いので、良い燃焼状態が持続できる。これは低揮発分の石炭を燃やすときに有効である。

#### (6) 床占有面積が小さい

E型ミルは給炭機、減速装置、粉碎部、分離部を一体として設計されているので、床占有面積が小さい。一次送風機を含んだE型ミルの占有面積は排炭機を除いたボールミルの約1/2である。この据付面積の小さいことは建家そのほかの費用を低減させる。

#### (7) 湿炭の処理が可能である

適当な一次空気温度の調整により、石炭湿分の広い変化に適用できる。コールシュートでミルに供給できる程度の石炭なら有効に処理できる。石炭は温度の高い高速の空気との接触、ミル内の石炭量に比べて非常に大きい表面のミル内部の伝熱面との接触により乾燥されるので、E型ミルは湿分により影響される程度はボールミルに比べて少ない。

#### (8) 稼働率が高い

頑丈な構造、粉碎部の寿命が長い、異物の排出作用が確実、シーリングエヤーにより防塵が完璧に行はれている、保守点検が容易であることなどにより非常に稼働率が高い。1年から10年までの運転の100台以上のE型ミルについて調査した処96%の稼働率を示し、それに対応して維持費も低いと報告されている。

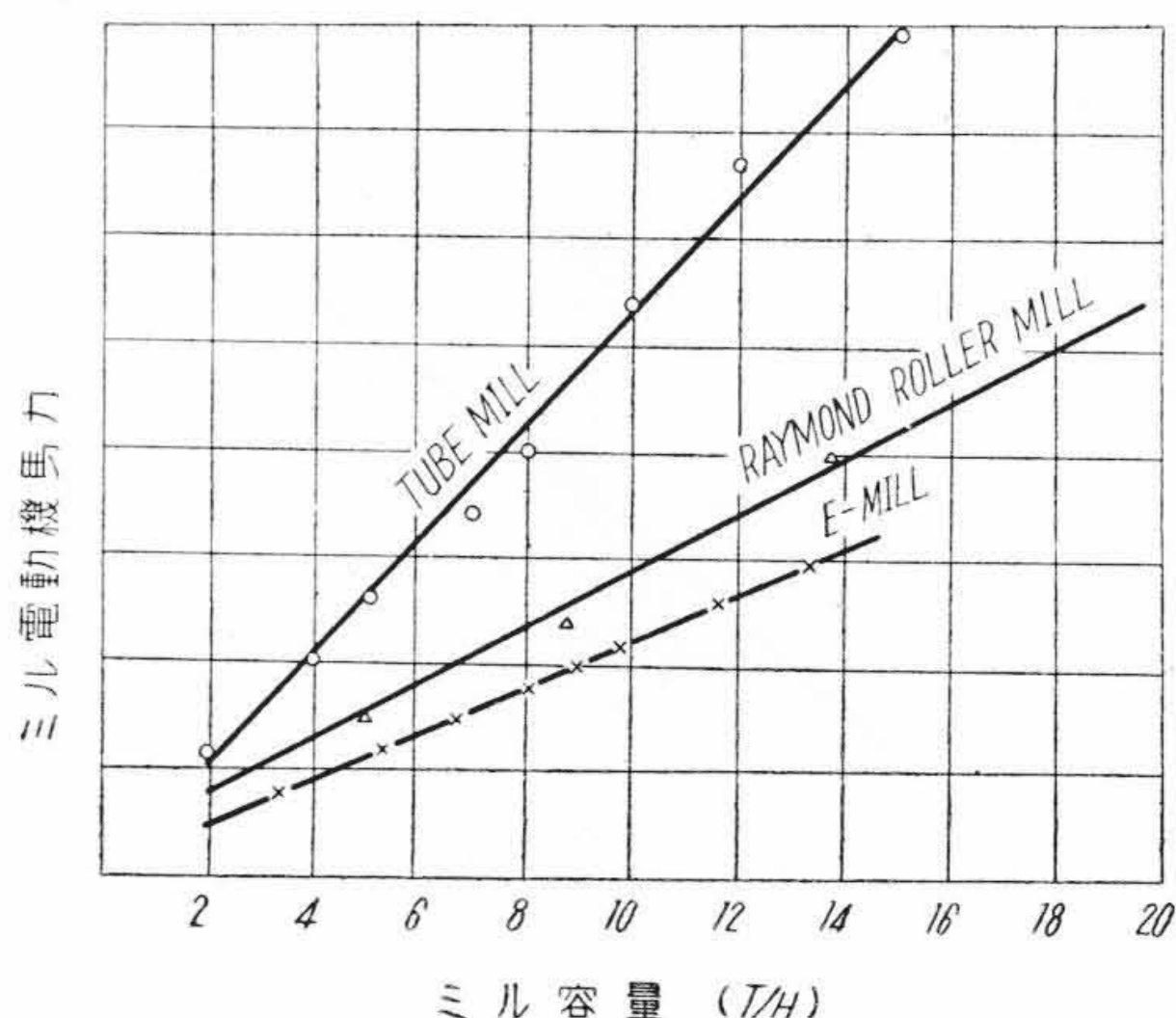
#### (9) 動力消費が小さい

ミルの石炭保有量が少く、乾燥効果がよい、粉碎作用を受けた粉炭が粉碎部からたづちに取去られること、微粉細度、グライндаビリティに対する調整がバネにより敏感に行はれ、空気の導入が均一で粉碎部が有効に使用されていることなどによりほかの型式のミルより消費動力が小さい。また一次送風機は空気のみを取扱うので、微粉によるブレードの磨耗、微粉の慣性による空気流の不均一がないので高効率で維持され消費動力が低減される。

第6図に微粉細度200メッシュ通過70%、グライндаビリティ、ハードグループ55の場合ミル容量と所要電動機馬力を示す<sup>(6)</sup>。

#### (10) 運転が静かである

強固な構造、ヘリカルギヤー、ローラベアリングの使用およびスラストボールベアリング型式の粉碎機構によ



第6図 ミル型式と所要馬力  
Fig. 6. Motor Horse Power for Various Type Mills

り振動もきわめて少く、音響もほかのミルに比べて小さい。一例としてミル近傍で測定したチューブミルとの比較を示す。

チューブミル	113~115 フォーン
E型ミル	92~97 フォーン

### [IV] E型ミルの構造

本ミルは Ball-race Mill で第7図に示すごとく、粉碎部はスラストボールベアリングと同じ構造で、上下粉碎輪間にボールを入れ、上部粉碎輪は調節可能のバネによつて下方へ押えられながら固定し、下部粉碎輪を回転し圧潰と磨滅作用により石炭を粉碎するものである。

本機は給炭装置、駆動部、粉碎部、分離部、シーリング装置、自動給炭制御装置より構成されている。

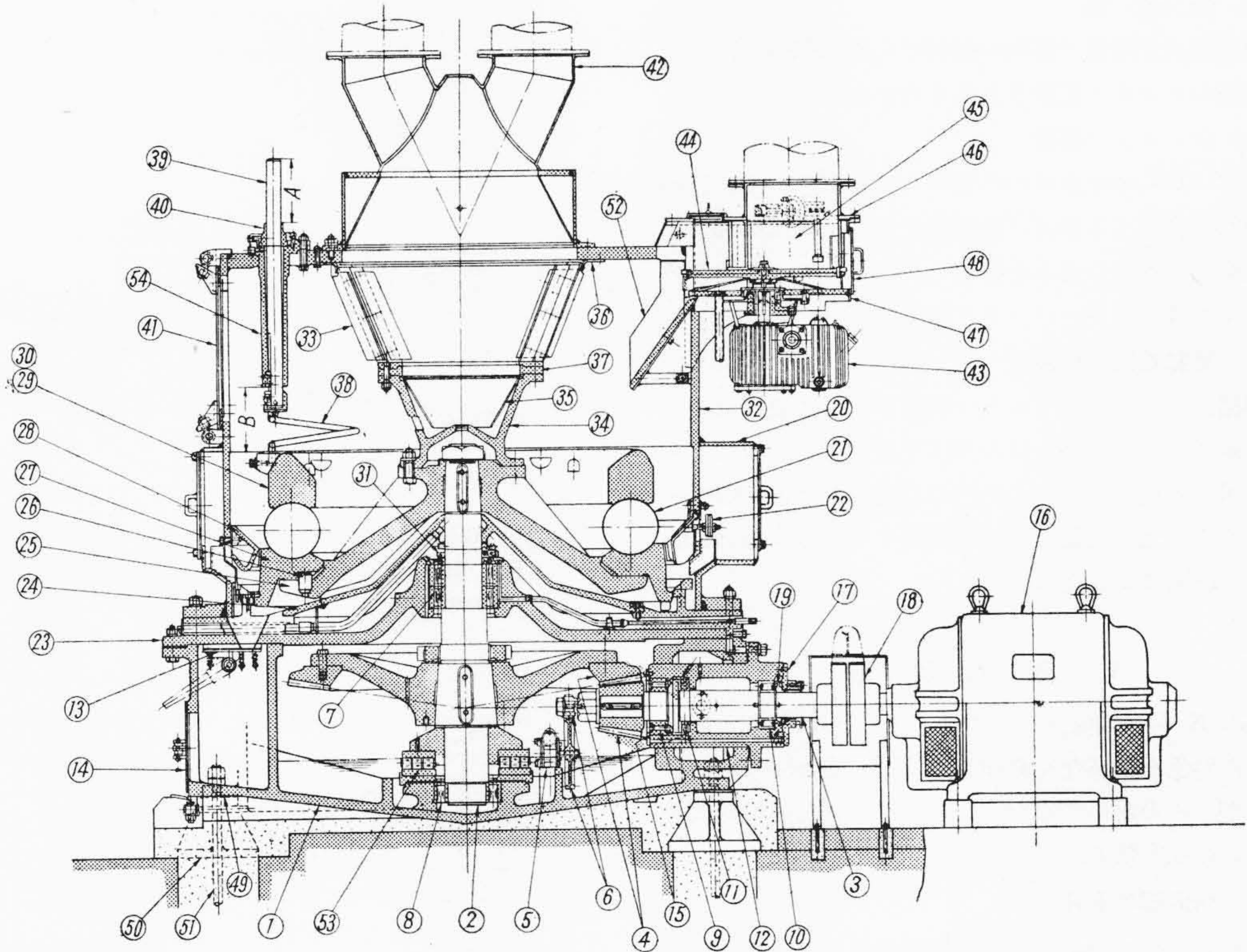
#### (1) 給炭装置

第7図右上部の④③~④④に図示されているごとく円盤式給炭機で、モータ、減速機と共にミルハウジングに取付けられる。給炭量の調整は自動給炭制御装置により二速度モータを高速、低速、停止に切替えて行う。また調整ゲートをハンドホイール操作により調節することによつてもできる。テーブル軸の摺動部に圧力空気を送り炭塵の侵入を防止している。湿分の多い石炭を使用する場合、ミル入口の熱風を導きテーブル上の石炭を乾燥し、ミルへの給炭を容易にするよう配管されている。

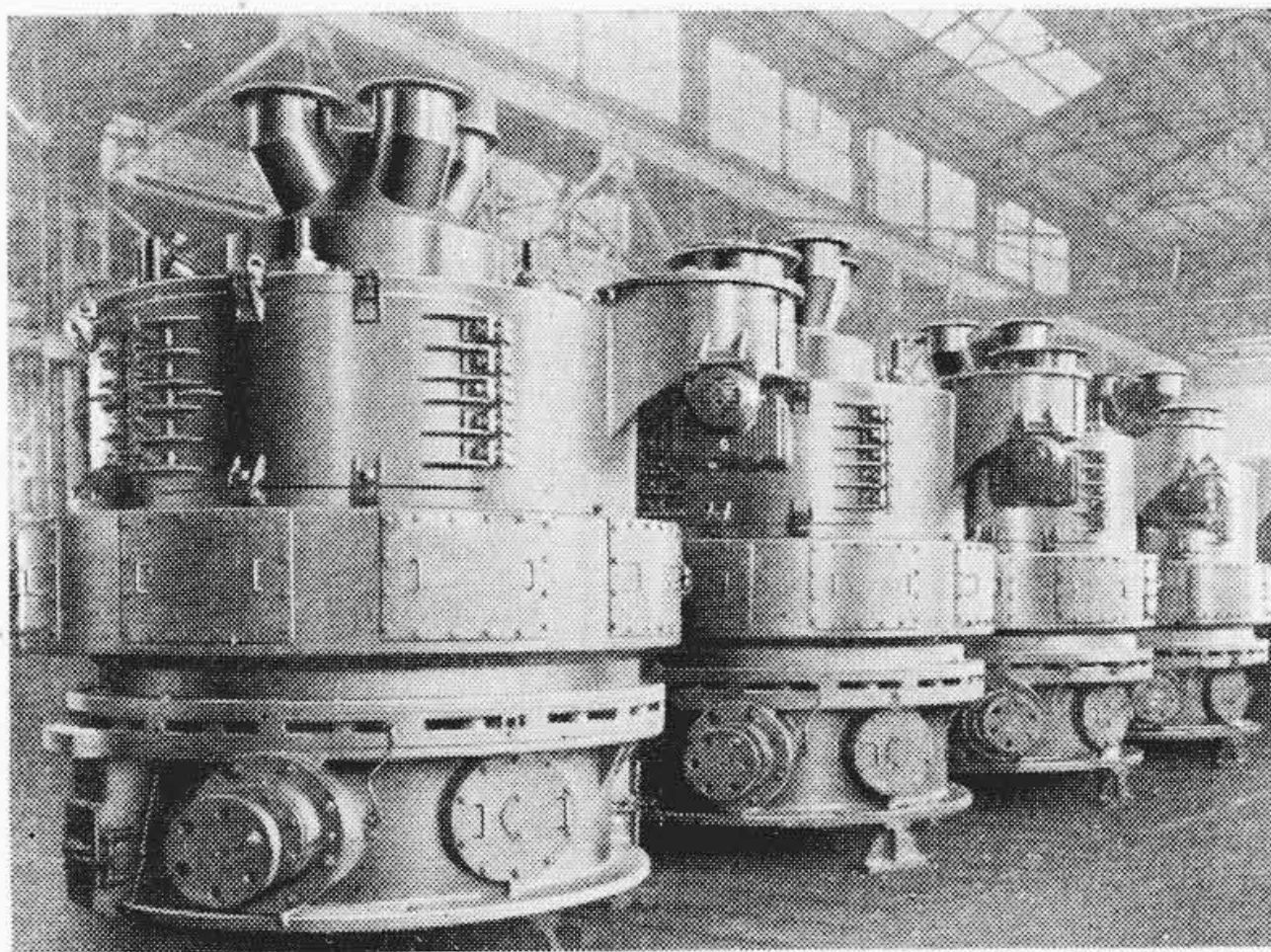
#### (2) 駆動部

モータより傘歯車を経て縦軸が回転し、縦軸に取付けたヨーク②⑤上の下部粉碎輪②⑦は案内ピン②⑥を介し縦軸と共に回転する。ピニオン軸③から歯車④により油ポンプ⑤が駆動され、圧力油は軸承⑦⑨⑩および歯車へ送られる。シーリングエヤーファンよりの圧力空気を導き⑦ベアリングをエヤーシールし炭塵の侵入を防いでいる。





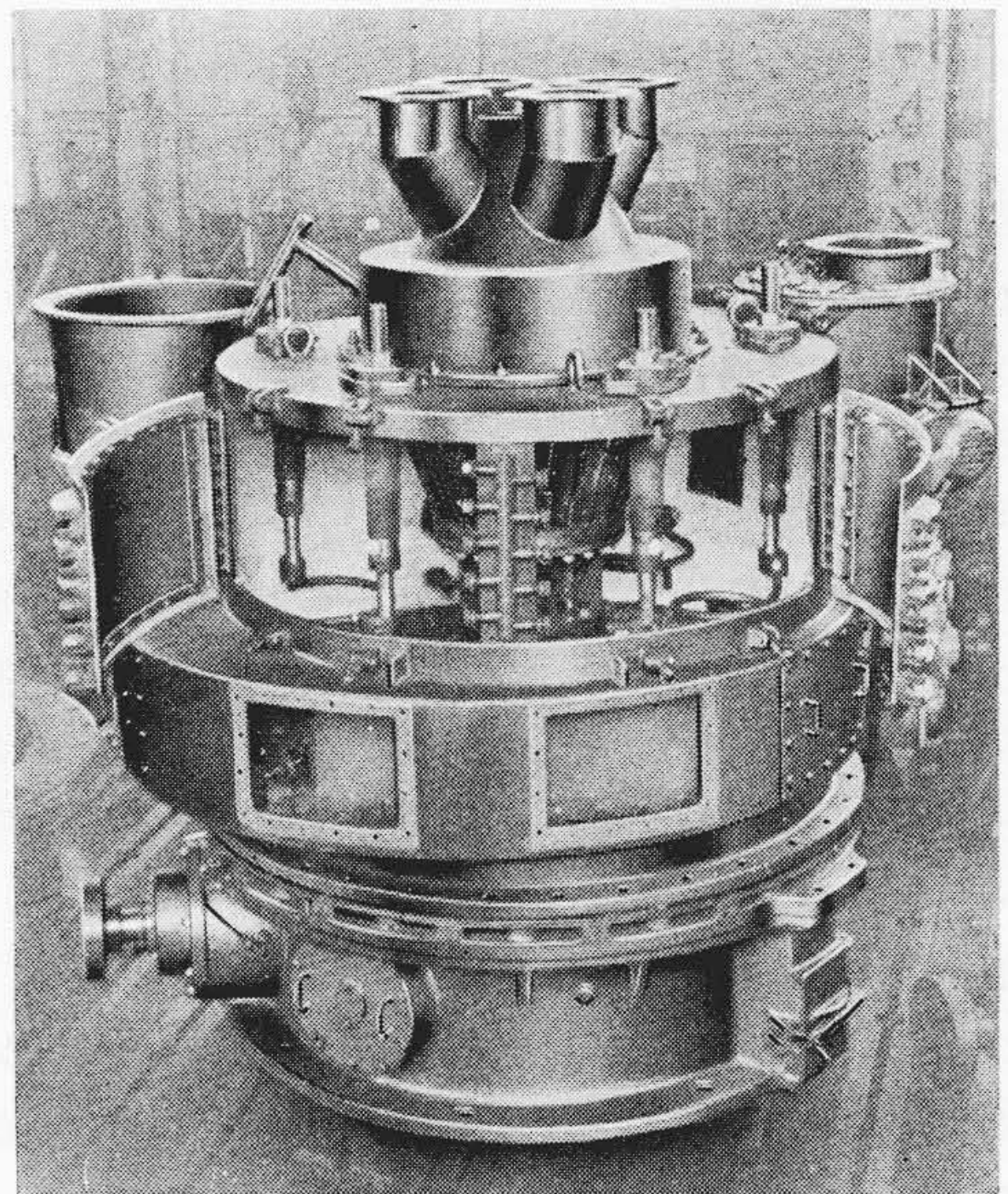
第7図 E 型 ミ ル 断面図  
Fig. 7. Sectional View of Type E Mill



第8図 E 型 ミ ル 外観図  
Fig. 8. External View of Type E Mill

(3) 粉 碎 部

下部粉碎輪の外周から送られる熱風により、石炭は乾燥されつゝ粉碎され、微粉は一次空気に運ばれ分離器を経て炉へ送られる。給炭中の異物は下部粉碎輪の外周にあるスロートリング⑳の一部に設けられたゲートより排出される。このゲートは重錘㉑により常時は閉じているが、異物の圧力により開き自動的に排出する。排出された異物は異物室に溜り、運転中適当なときにドア⑭より



第9図 E 型 ミ ル 外観図  
Fig. 9. Type E Mill, Partially Assembled

り取出される。ボールの点検、補充はミルハウジング㉒を取外さずドア⑭から行う。



(4) 分離部

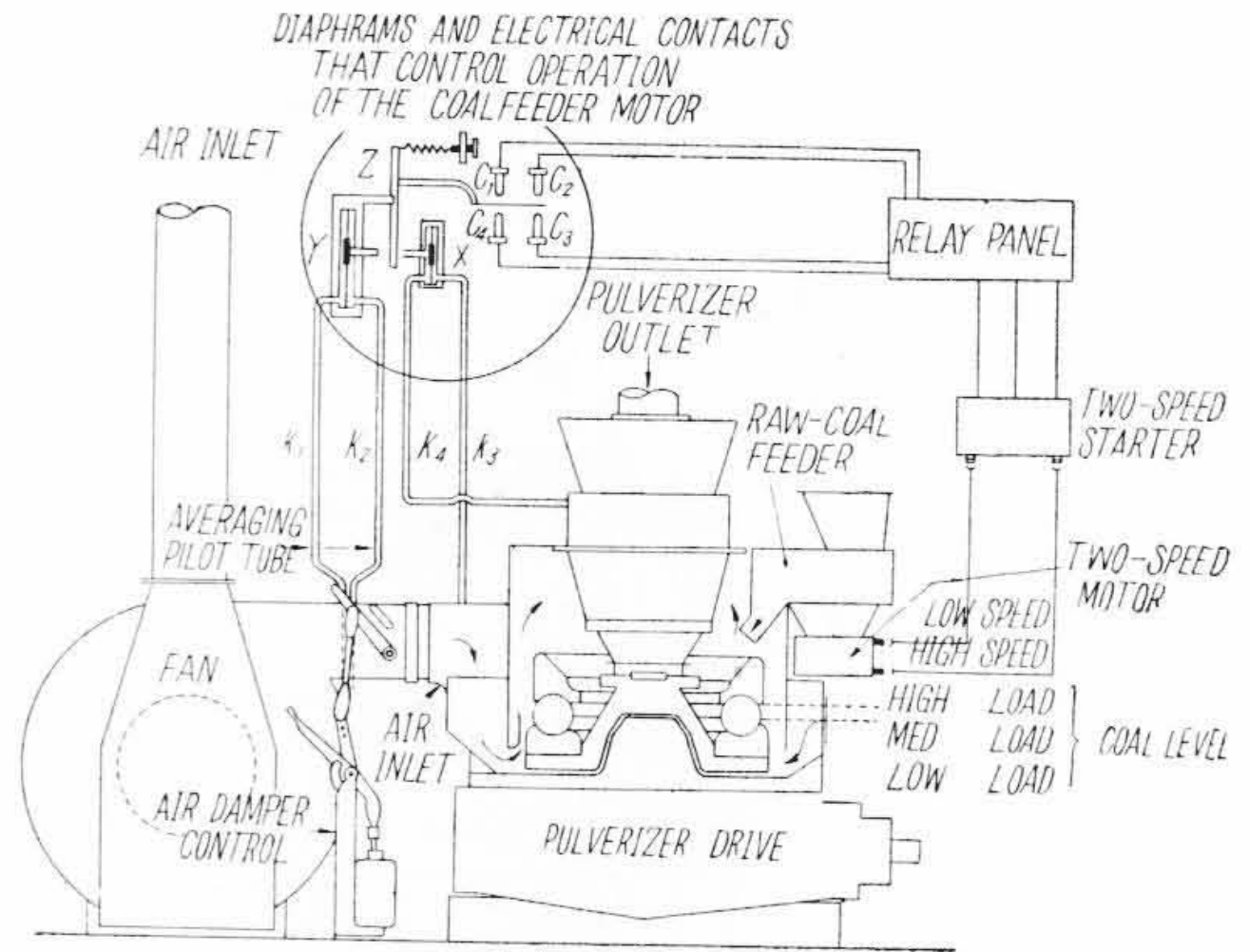
多翼回転式分離器で縦軸に取り付けられ回転するものと、別箇のモータで駆動されるものがある。

(5) シーリング装置

風圧約 1,000 mm 水柱の小型ブロワを置き、ミル縦軸が粉碎部へ貫通する部分、給炭機テーブル軸摺動部へ圧力空気を送り炭塵の侵入を防止している。シーリングブロワとミルはインターロックされている。

(6) 自動給炭制御装置

第10図に示すごとくミル入口空気ダクトに設けたオリフィス差圧と、ミル出入口の差圧を検出し、この比率を一定に保ち各負荷に対しミル内の石炭量を適正に維持する。この差圧比の変化により給炭機モータを高速、低速、停止の三段階に切替える。



第10図 自動給炭制御装置系統図  
Fig. 10. Diagram of the B & W Feeder Controller

[V] 運転実績

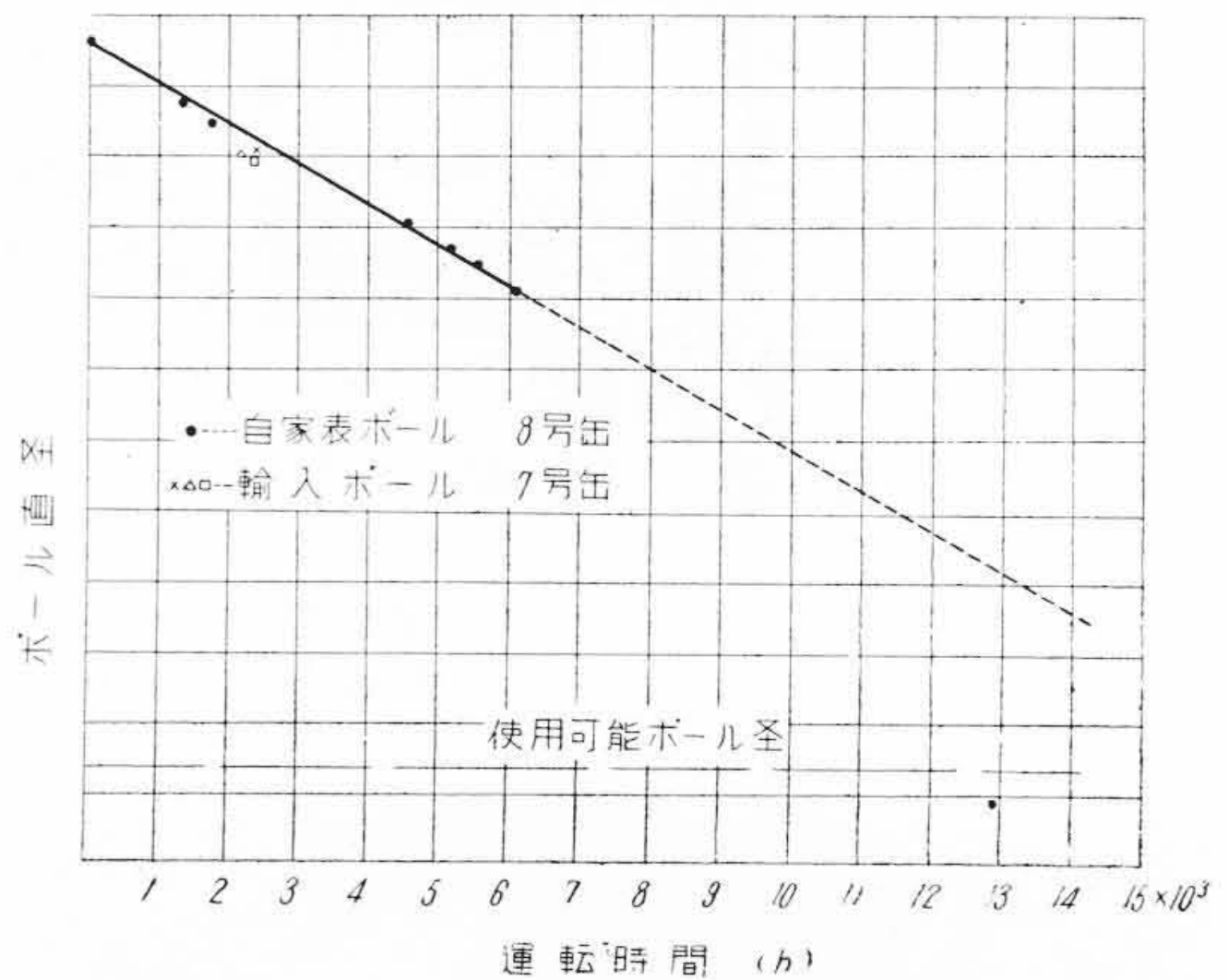
E-53, E-64 が運転に入ってから約2年になり、前項で述べた特色を遺憾なく発揮して好調に運転されている。E型ミルの耐用年限を判定するにはまだ運転期間が短い、運転実績の二三について述べる。

(1) 粉碎部の磨耗

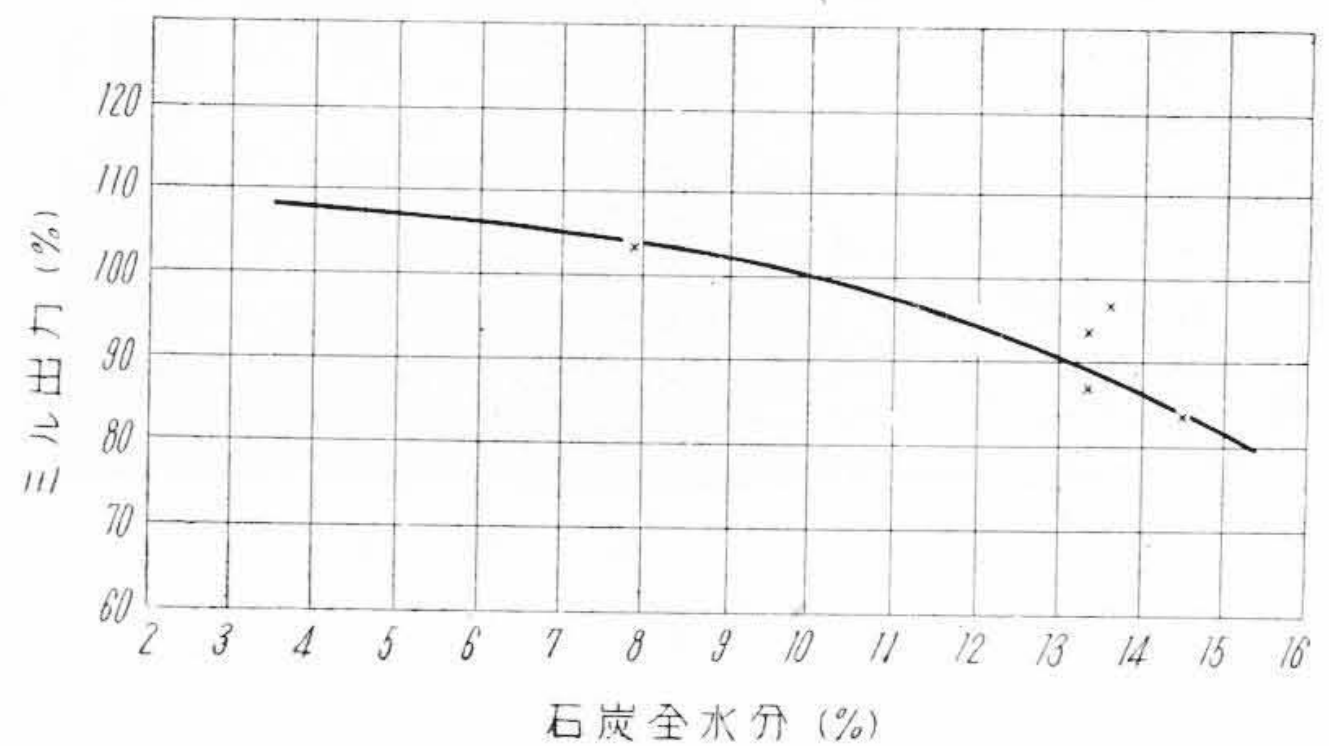
ボールおよび粉碎輪共自家製品を使用した E-64 ミルのボールの磨耗を第11図に示す。この実績は東京電力株式会社鶴見第一発電所 8号缶用で、30年9月15日までに約 6,000 時間運転し、32,000 t の石炭を粉碎している。ボールの磨耗は運転時間に対し直線の関係で進行しておるので、粉碎部の寿命は14,000~15,000時間と推定され、欧米の実績に劣らぬものと思われる。なお同発電所7号缶はボール粉碎輪は米国よりの輸入品を使用しており、その磨耗実績は第11図に併記してあるが、これを見ると自家製品は輸入品に劣らぬ成績を示している。運転時間とボール直径減少がほぼ直線関係になるのは、ボールの磨耗にしたがつて約 15 mm の段階で補充ボールを挿入し、ボールの数が増すので、直径減少量に対しボール全数の磨耗量が終始ほぼ一定であるためである。これはボールが磨耗しても粉碎能力が低下しない理由の一つである。

粉碎輪の磨耗は英国の実績によれば、ボール直径 1" 磨耗に対し上下粉碎輪の合計磨耗寸法は 1.65" であるが、自家製粉碎輪はボール 1" 磨耗に対し 0.95~1.03" で優秀な結果を示している。

この結果から見て磨耗部の保守費はチューブミルの1/2以下と推定される。欧米で多く採用されている堅型ミルが我国では粉碎部の寿命が短く、補修費が嵩む理由で歓迎されなかつたが、E型ミルの実績は従来の観念を全く一掃し得るものといえよう。



第11図 ミルボール磨耗実績  
Fig. 11. Wear Record of Ball for E-64 Mill

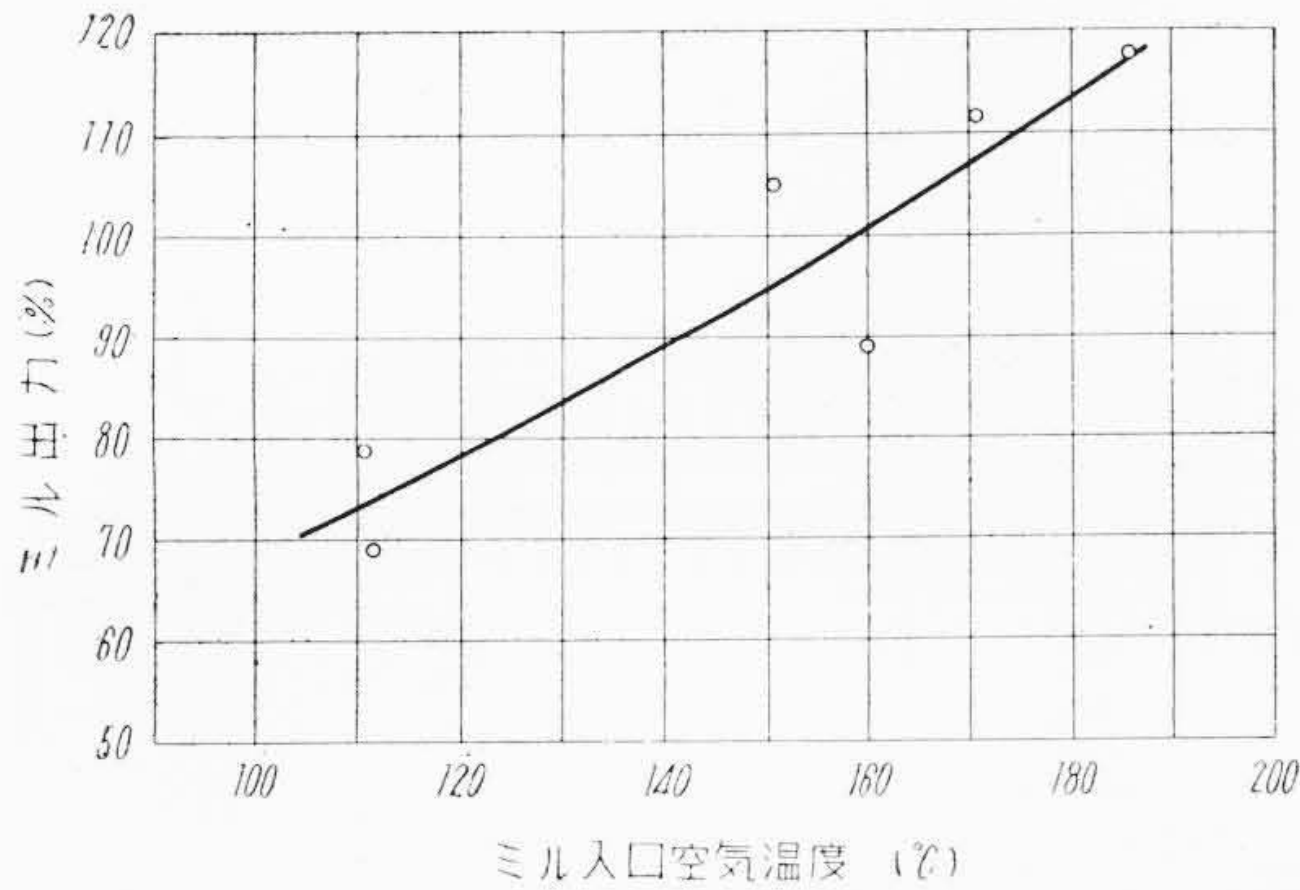


第12図 ミル出力と石炭水分の関係  
Fig. 12. Relation Between Mill Output and Moisture in Coal

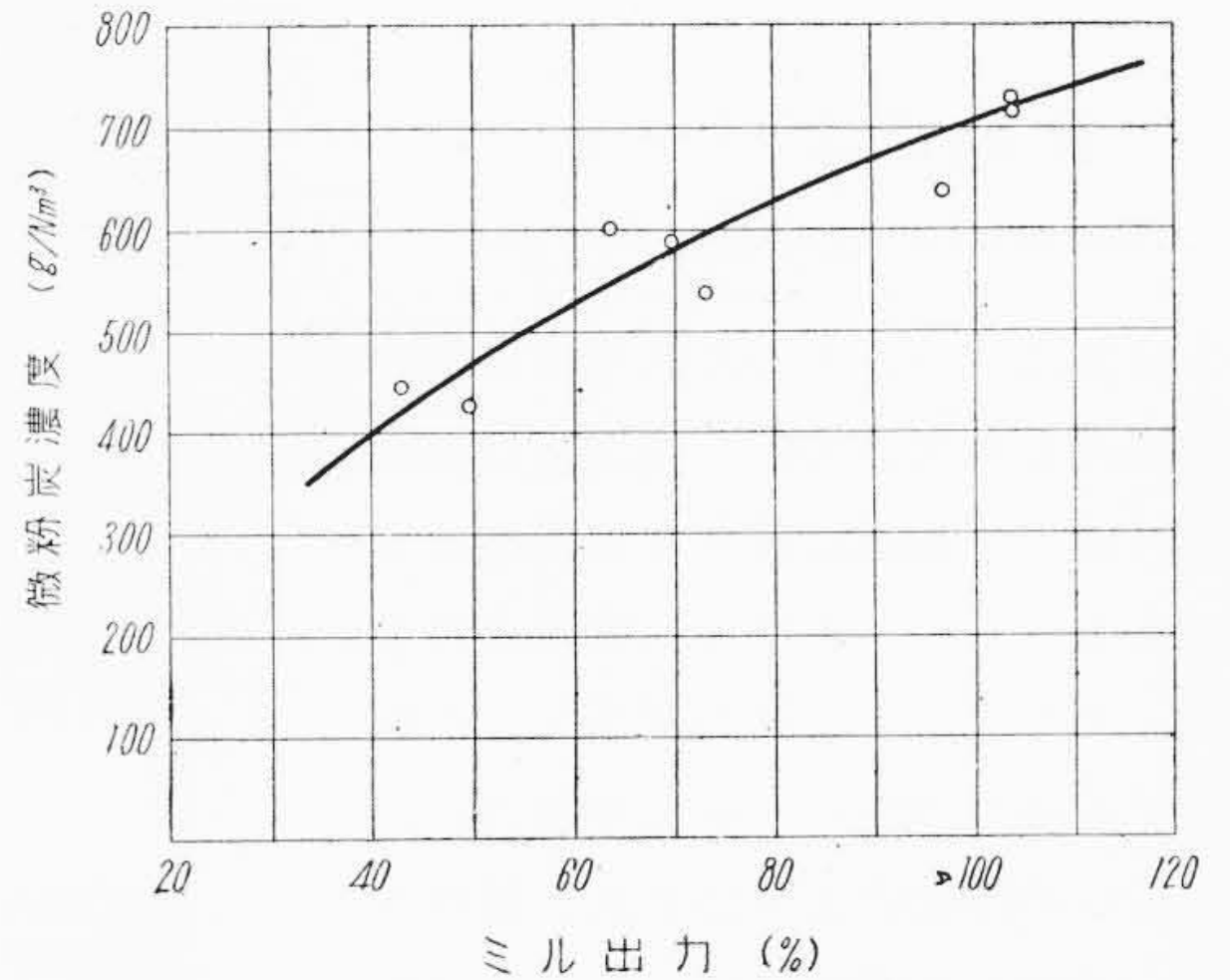
(2) 湿炭に対する適応性

E-64 ミルの出力と石炭全水分の関係の実績を第12図に示す。全水分 14.5% の場合出力約 85% で、ボールミルに比べて水分により影響される程度が少く、湿炭に対し

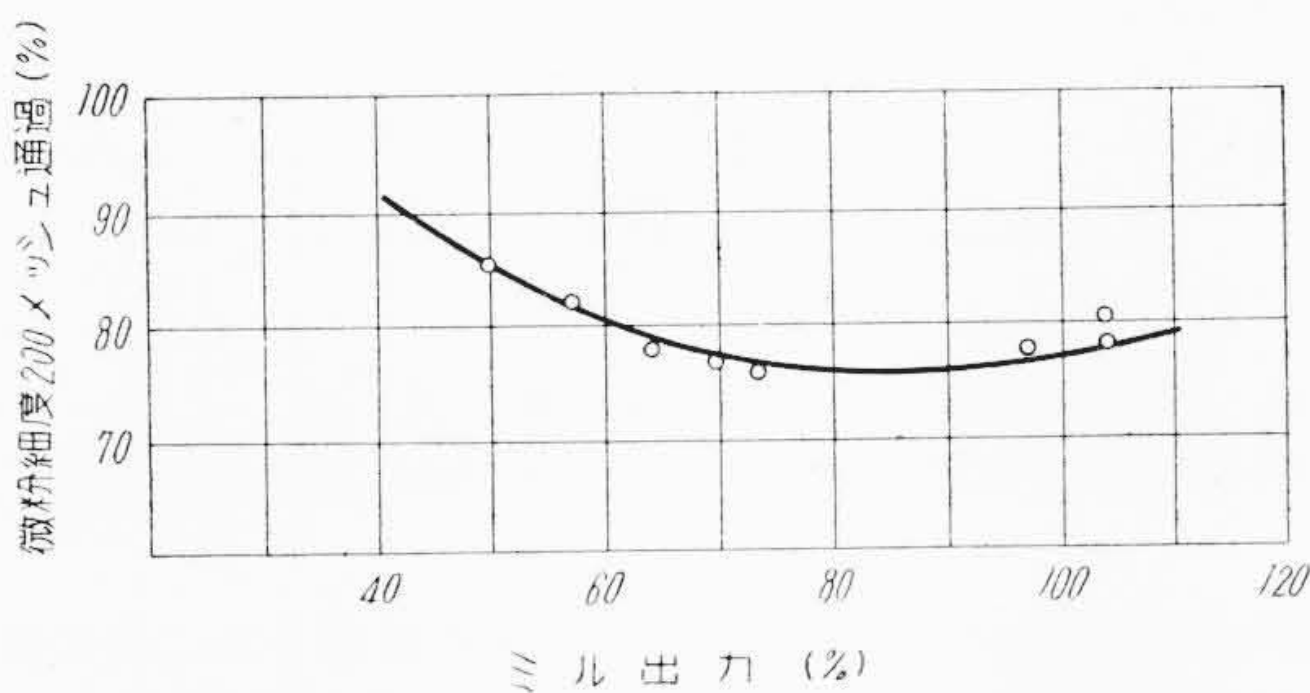




第13図 ミル出力と入口空気温度の関係  
Fig. 13. Relation Between Mill Output and Mill Inlet Air Temperature in Field Test



第15図 ミル出力と微粉濃度  
Fig. 15. Relation Between Mill Output and Pulverized Coal Concentration in Field Test



第14図 ミル出力と微粉細度  
Fig. 14. Relation Between Mill Output and Pulverized Coal Fineness in Field Test

でも適応することを示している。第12図は 2 mm 目通過 32%、グラインダビリティはハードグループ 40 の石炭で、微粉細度は 200 メッシュ通過 70% を保持し、ミル入口空気温度は 181~187°C の場合である。

第13図は石炭湿分一定のときミル入口空気温度の変化に対する実測値で、使用炭はハードグループ46、全水分 8% である。

### (3) 微粉炭細度

第14図にミル負荷と微粉細度の実測値を示す。低負荷の場合微粉度が細く、第15図に見られるごとく微粉濃度も比較的高いので安定した燃焼が得られることがわかる。

### (4) 微粉濃度

微粉濃度は第15図に見られるごとく、ボールミルなどに比べて階段の差があり、ボールミルの 1.5~2 倍の濃度になっている。微粉濃度が低いミルでは一次空気量が多いので、過剰空気率を一定におさえると、二次空気の効果を充分発揮させることが困難で、炭質が低下すると着火困難、燃焼不安定、火焰の延び、スラッキングなど

の問題が起き勝であつた。E型ミルでは一次空気量が少いので着火は良く、二次空気を有効にきかせることができるので燃焼状態が良好で B & W サーキュラバーナと相まつて未燃損失を僅少にとどめ得る。

## [VI] 結 言

我国における E 型ミルの実績は日が浅いが、今日までの運転結果から見て、我国の石炭に対しても充分その真価を発揮しているといえよう。E 型ミルの性能、構造、材質などにつきさらに我国の使用条件に適応するよう研究し、ボイラ用のみならず、粉碎操作を必要とするほかの部門にも貢献したいと念願している。

最近 E 型ミルによる低質炭燃焼試験を行い、満足すべき成績を収めており、また E 型ミルと外形寸法が同じで約 25% 出力が増加している E1 型ミルもすでに製作できる体制にあるが、これらについては後日稿を改めて紹介したい。

### 参 考 文 献

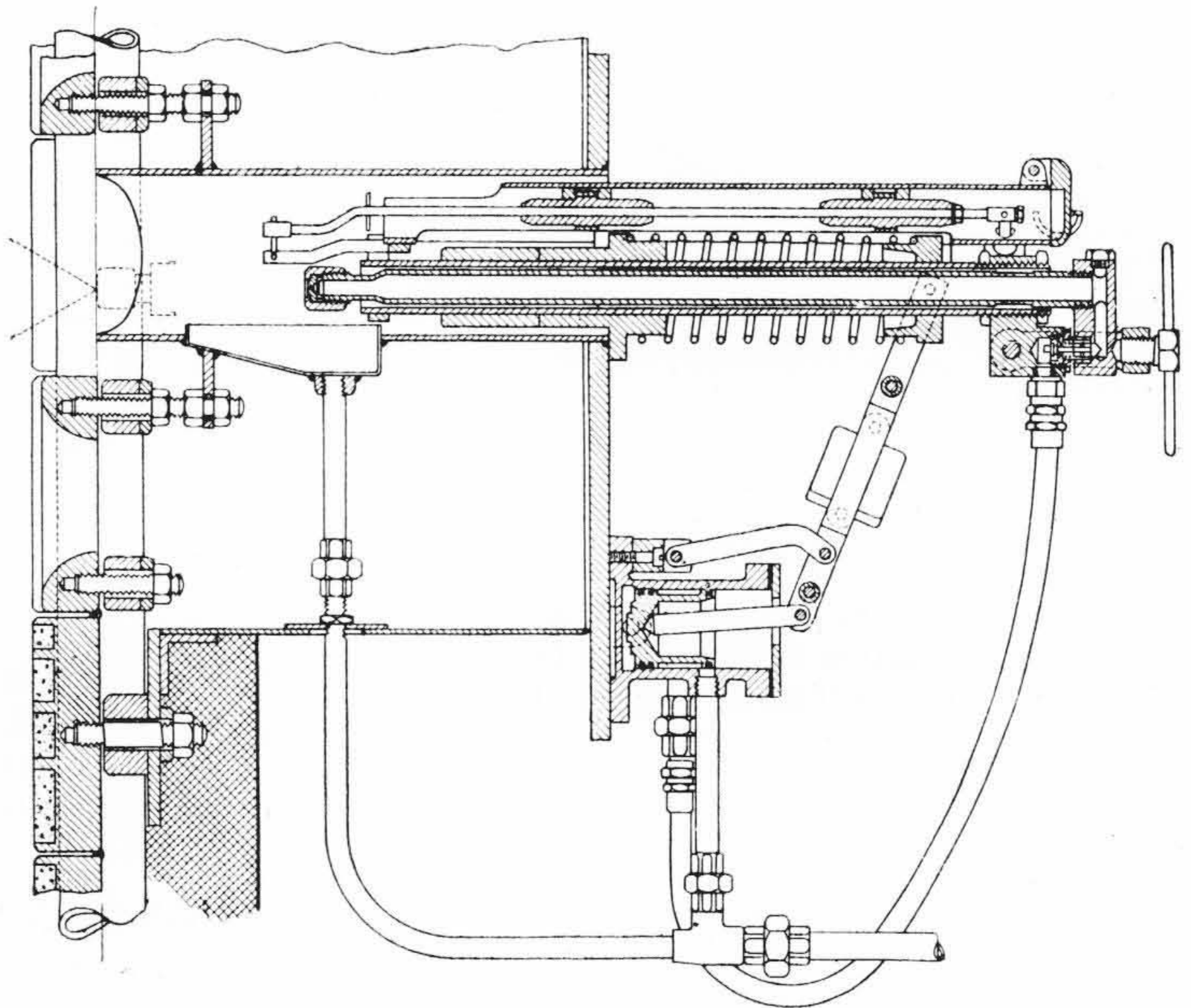
- (1) 中条：機械学会誌 57 卷 424 号  
" 我国におけるセメントおよび燃焼炭用のチューブミルについて "
- (2) J. H. Perrg; Chemical Engineers' Handbook 1950 "Crushing and Grinding"
- (3) P. G. W. Hamksley: Papers to be Discussed at a Conference on Pulverized Fuel. "Mechanics of Present Pulverizing Practice"
- (4) 森：最近の化学工学 1954  
" 最近の粉碎理論と粉碎機 "
- (5) 岩永：発力発電 Vol. 5. No. 6  
B & W E 型ミル
- (6) Raymond-Roller Mill の馬力は下記によつた Combustion Engineering. A Reference Book on Fuel Burning and Steam Generation. 1949



自動点火バーナ

Automatic Ignition Burner

本装置は主バーナの点火用として使用されるもので、火炉の前面或は側面に取付け、自動的に着火する構造のものである。本バーナは圧力噴霧式のもので、オイルシリンダのピストンからリンクを通してバーナに連絡され、ピストンの作動により自動的に操作される。すなわち図に示すごとく給油配管の弁を開きシリンダに燃料油が供給されると、ピストンの作動がリンクを通してバーナを、運転の位置に押し進め、給油が止められるとスプリングにより直ちに停止の位置に戻る。バーナは 250 lbs/in<sup>2</sup> 以下の給油圧力で運転され、その容量は最大 800 lbs/hr である。リンクがピストンの作動にしたがつて動くと、それに取付けられた水銀スイッチが働く。この水銀スイッチはバーナが運転位置にあるとき自動的に「入」となり、高電圧の電流がコンダクターロッドを通りバーナチップの前にあるスパークターミナルでスパークを発生し、噴霧油に点火する。



第1図 自動点火バーナの側断面図  
Fig. 1. Side Sectional Elevation of Automatic Ignition Burner

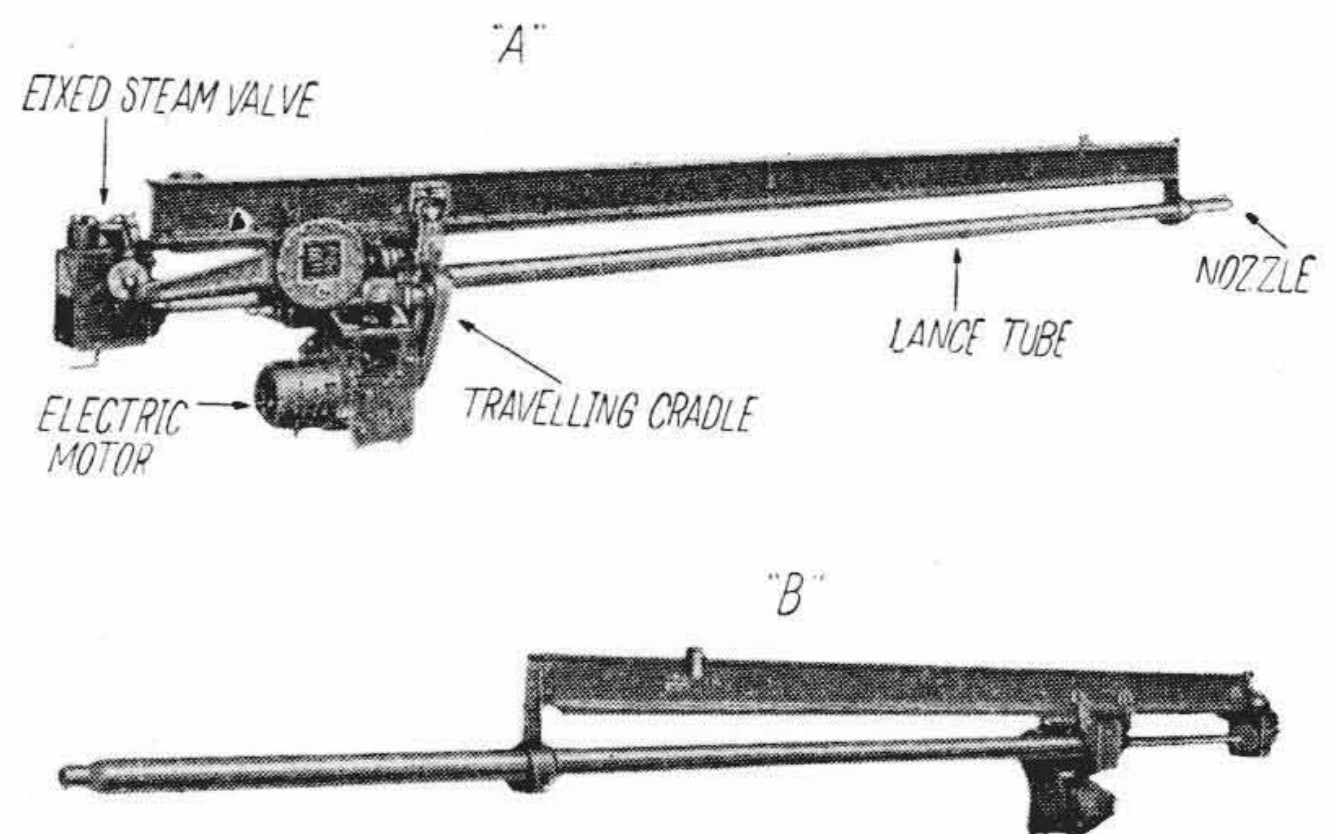
燃料油には軽油、時には上質の重油が使用され、その給油は本装置用のポンプ装置を装備するかあるいは既設の適当な圧力の燃料油配管から噴霧に最も適した温度と圧力をもつて供給される。

バブコック ラック式スートブロワ

Babcock Rack Type Soot Blower

本機は噴口が火炉の幅一杯に移動することのできる長引込式スートブロワで、噴射蒸気はチューブに極めて近い所からそのチューブ面の附着物を効果的に取除くことができ、しかも使用しない時はエレメントは完全に炉外に引出されて炉熱から保護される。汽罐のスクリーンチューブ、過熱器管群などの高温部で固定式ブロワを使用することのできない場所や単噴口短引込式ブロワでは清掃困難な場所に使用される。

本機は減圧弁なしで蒸気圧力 77 kg/cm<sup>2</sup> まで適用されるものと、140 kg/cm<sup>2</sup> 用のものがある。噴射される蒸気はオリフイスを利用して 17.5 kg/cm<sup>2</sup>、以下とする。またノズルチューブの球形ジョイント部のパッキングリングの損傷を防ぐため温度は 315°C 以下に制限してある。有効噴射距離は約 2.5 m である。ボデーはブロワを支えているトラックビームに取り付けられているラック



第1図 バブコックラック式スートブロワ  
Fig. 1. Babcock Rack Type Soot Blower

に沿って移動し、その移動は各ブロワに附属の小型電動機により行われる。A 図は完全に引込められた状態のブロワを示し、B 図は途中まで移動した状態を示す。

本機の作動は直接あるいは遠方操作にても行われ、電動操作装置、逆転機構、リミットスイッチなど附属し完全に自動的でありまた必要に応じて他のブロワとともに自動連動式にすることもできる。