

石炭火力用微粉炭機

Pulverizers for Coal-Fired Boilers

長井次男* Tsuguo Nagai
 石井敬二* Keiji Ishii
 幸田文夫** Fumio Kōda

火力発電用燃料は石油依存を脱脚し、石炭依存の比率を増加させようとしている。これに伴ってわが国でも大容量石炭火力発電所の建設計画が増加しつつあり、更に既設油燃焼ボイラの石炭転換計画も各所で進められている。

ミル(微粉炭機)は、石炭燃焼ボイラで重要な役割をもつ機器であるが、火力プラントのユニット出力の増加に伴い大容量ミルの適用が必要となってきた。ミルには種々の形式があるが、本稿では石炭火力発電所で主として使用されている縦形ミルについて説明する。バブコック日立株式会社では従来からボール形Eミルを製作してきたが、1,000MW級火力への対応として大容量のローラ形ミルを導入する予定で、本ミルも併せ紹介する。

1 緒言

脱石油に端を発し、最近の火力発電は、LNG(液化天然ガス)、COM(混炭重油)、更に将来方向として水スラリーやガス化発電など多岐にわたった燃料転換計画が進められようとしているが、当面石炭の生だき、いわゆる従来方式の石炭燃焼火力が火力発電の主流となってゆくものと見られる。

一方、発電設備の大容量化に伴い、ボイラ付帯機器も大形化が要求されている。石炭燃焼装置としては、石炭消費量の増大に伴いミル(微粉炭機)及びその付属設備の設置台数が増加するのを極力抑えるため、単機容量の大きなミルが必要となっている。

石炭燃焼プラントでのミルは、単に石炭の粉砕だけでなく、電力安定供給の観点からプラントの信頼性を大きく左右する重要な機器であると言える。

事業用火力発電所で、石炭粉砕量が約30t/h程度のミルを使用した場合、出力250MW級のボイラには4~5台、出力700MW級のボイラの場合には約10台、出力1,000MW級となると約15~16台のミルを設置しなければならない。したがって、経済性、運用性などを考慮した場合ミル台数を節減する必要があり、今後の1,000MW級火力に対しては単機容量として100t/hクラスの粉砕容量をもつミルの適用が要求される。

バブコック日立株式会社では、従来英国バブコック社との技術提携によって、大形Eミル(ボールレースミル)を採用してきたが、今後の1,000MW級火力への対応としてより大容量のローラレースミルを導入することを予定している。

表1 粉砕原理と特徴比較 ミル形式によって、粉砕部の構造は異なっており、各々のミルの粉砕原理とその特徴について比較したものである。

ミル形式	縦形ミル		横形ミル
	ボールレースミル	ローラレースミル	チューブミル
粉砕部構造			
粉砕原理	加圧されたボールと上下粉砕リング間の圧縮・せん断作用によって粉砕を行なう。	加圧されたローラと粉砕リング間の圧縮・せん断作用によって粉砕を行なう。	鋼球の落下によるボールと石炭の衝突作用によって粉砕を行なう。
特徴	ボール、リングの摩耗は常に一定であるため、容量低下がない。	ローラは2方向に動き、片寄り摩耗が少ないため、特に運転途中での切削の必要もなく、多少の動力増加はあるが容量低下がない。	多数の小径ボールの落下によって粉砕を行なうため、摩耗によるボール径変化によって容量低下が生じるので、周期的にボール補充を行なう必要がある。
主要摩耗部品	ボール及び上下粉砕リング	ローラ(タイヤ部)及びセグメントタイプの粉砕リング	ボール及びシェルライナ

* バブコック日立株式会社 ** バブコック日立株式会社呉工場

2 ミル形式と構造

2.1 ミル形式

石炭燃焼ボイラに用いられるミルとしては、縦形ミル(ボールレースミル…以下、大形Eミルと呼ぶ。)やローラレースミル(以下、ローラミルと呼ぶ。)、横形ミル(チューブミル)などのタイプがあり、表1にこれらのミルの粉碎原理と特徴を示す。

縦形ミルは下部粉碎リングの回転により、ボールあるいはローラを周動させ石炭をすりつぶし粉碎を行なう。一方、横形ミルは多数の小径の鋼球を入れた横形の円筒を回転させ、主に鋼球の落下によって粉碎を行なうもので、構造が簡単で保守も容易であるが、据付所要面積及び所要動力が大きい。また、チューブミルでは胴径・長さ・回転数に限界があるため、大容量化に問題がある。

したがって、最近の大容量ボイラでは、配置スペース及び消費動力が小さく、運転操作が容易で、しかも粉碎能力が大きい縦形ミルが主に用いられている。

2.2 ミル構造

本項では縦形ミルとして、図1に示す大形Eミルと、図2に示すローラミルの構造について説明する。両ミル共、駆動部・粉碎部・分級部の三つの主要構成部から成り、更に、粉碎部に荷重を加えるための加圧部が設けられている。

(1) 駆動部

下部粉碎リングに回転を与える駆動部は(電動機回転→ギヤボックス→ヨーク→下部粉碎リング)といった伝達機構によって構成されている。また、ギヤボックス内の温度上昇を抑えるため、潤滑油を強制循環するポンプ、冷却器などの潤滑油装置を設置している。

運転中はミル内が加圧状態になるため、駆動部から微粉炭のリークを防止するため、シールエアを供給している。

(2) 粉碎部

ミル中央部上方から供給された石炭は、下部粉碎リングの

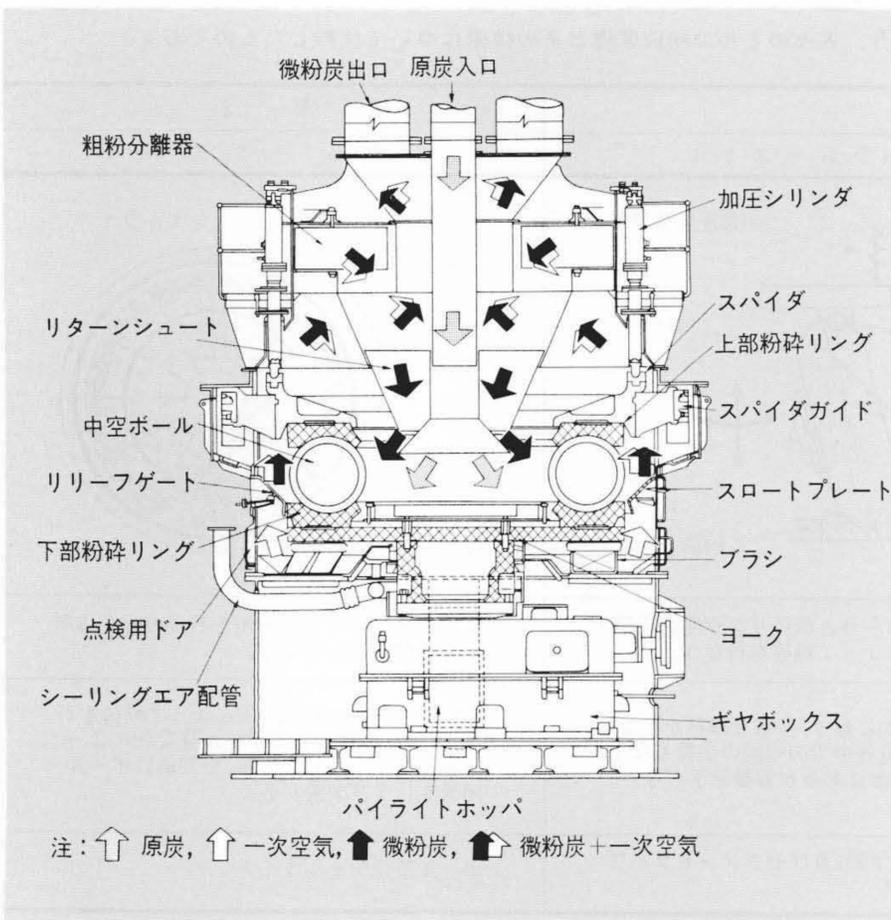


図1 大形Eミル構造図 大形Eミルはボールレースミルであり、大径の中空ボールが上下の粉碎リングの間にはさまれ、周動し、石炭を粉碎する。図中に原炭、一次空気及び微粉炭の流れを矢印で示す。

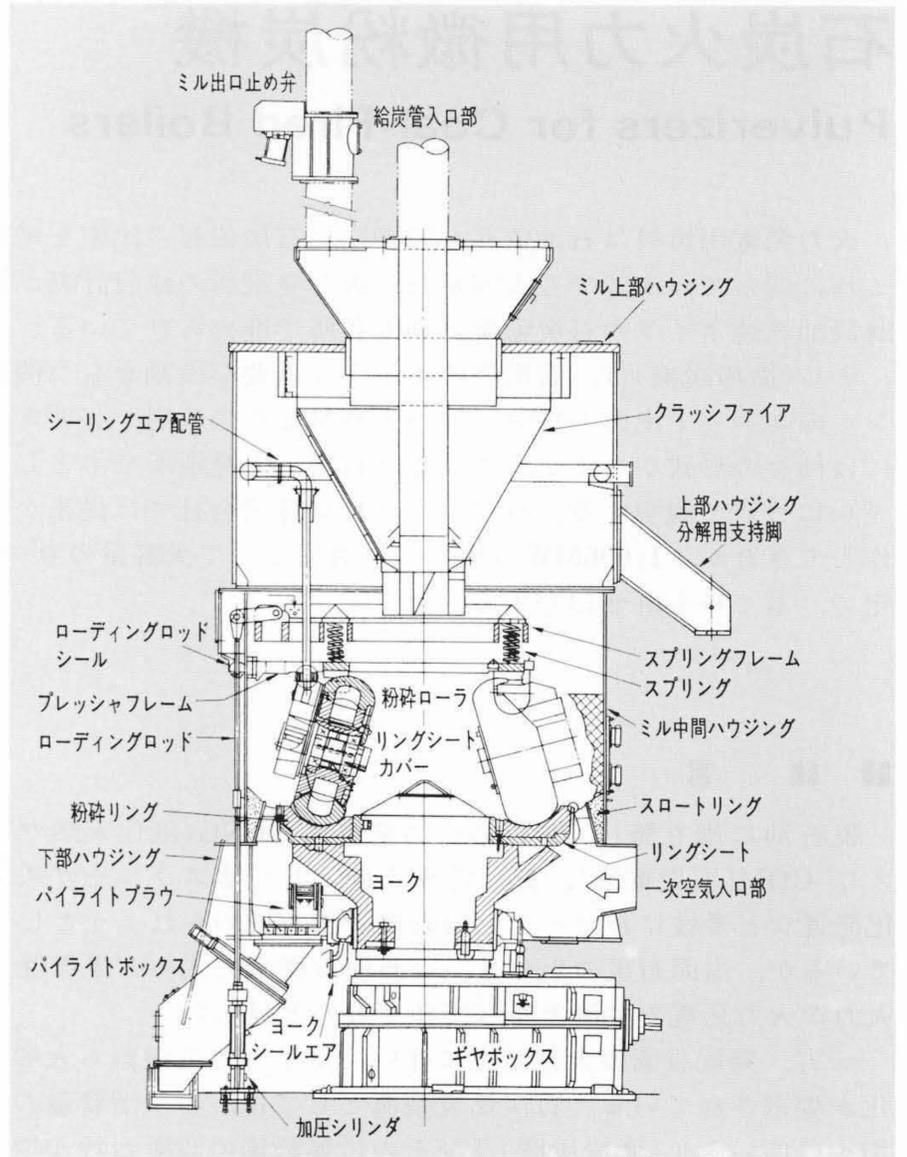


図2 ローラミル構造図 3個の大径ローラと下部リングによって石炭を粉碎するローラ形ミルの断面構造を示す。

回転に伴って遠心力によりその外周に送られ、粉碎リングを通過する間に微粉となって粉碎リングの外側に排出される。ミルの全周に供給された高温の一次空気は、下部粉碎リングとミルハウジングに取り付けられたスロートを通して微粉炭を吹き上げると同時に、石炭中の水分の乾燥を行なう。なお、ローラミルのローラ固定車軸には、ローラベアリングが設けられており潤滑油を注入しているが、この潤滑油の汚染、損失を防止するためシールエアを供給している。

(3) 分級部

図3にローラミルの分級機構を示す。粉碎された微粉炭は、スロートから投入される一次空気によって吹き上げられる。スロートを通過した一次空気は、容積膨脹作用と旋回によるサイクロン効果によって粗粉の分級を行ない、小粒径の微粉をクラッシュファイアへ導く(一次分級)。クラッシュファイアへ入った微粉は、サイクロン効果によって更に分級され、微粉粒子をそろえられバーナへ搬送される(二次分級)。二次分級は、クラッシュファイアのベーン角度の設定によって調整できるようになっている。

(4) 加圧部

一定した粉碎力を得るため、ボールあるいはローラに加圧力を加える装置が設けられており、粉碎部が摩耗した場合に対しても所定の加圧力を保持し、容量低下が生じないように考慮されている。

構造的には大形Eミルでは、窒素シリンダによってスパイダに加圧し、上部粉碎リングを介してボールに加圧力を与える。ローラミルは、3点の油圧シリンダによって調節された予圧荷重を、上部のプレッシャフレームを介してスプリング

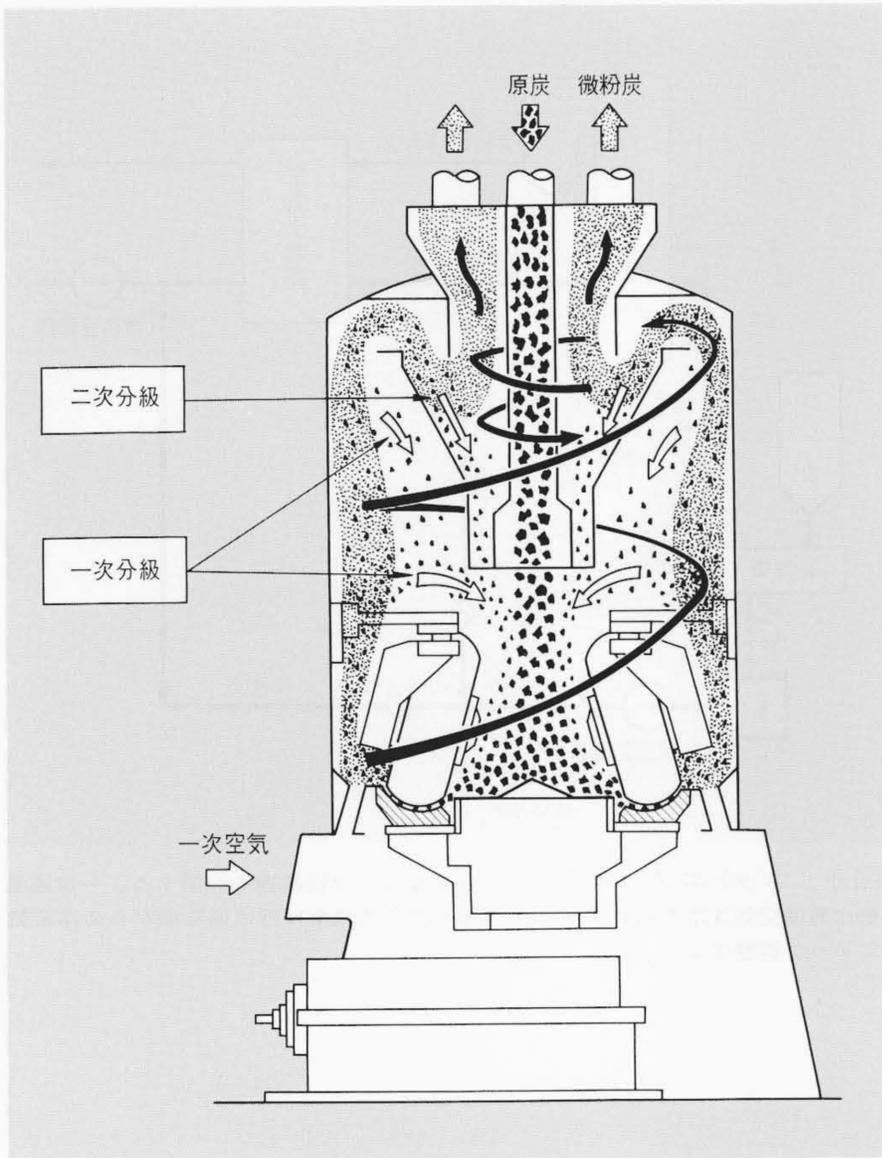


図3 ローラミルの分級機構 ミル内の分級機構を示すもので、粉碎された微粉炭は、旋回を与えられた一次空気流により吹き上げられ粗粉の一次分級を行ない、更にクラッシュファイアへ導かれ、微粉粒子をそろえるための二次分級が行なわれる。

によりローラに加圧力を与えている。

3 仕様

縦形ミルは、容量に影響を及ぼすレース径、レース回転速度及び粉碎荷重の三つの因子の設定により、ミルサイズ及びその仕様がシリーズ化されている。また、ミルの実容量は石炭の性状、ミル出口の微粉度などによって影響を受ける。

表2に大容量ミルの仕様を示す。単機容量としては17t/h程度の小容量のものから95t/hの大容量のものまで幅広い適用が可能である。ミル形式及びミルサイズを選定することによって設置ミル台数は決定されるが、プラントの運用、配置スペース、動力消費量、保守・点検など総合的に考慮する必要がある。

3.1 大容量ミル仕様

図4に出力700MW用石炭火力発電所に設置される大形Eミルの断面を示す。このミルの仕様は下記のとおりである。

- (1) 形式 12E10ミル
- (2) 数量 6台
- (3) 公称容量(湿炭ベース・200メッシュ通過70%)
64.0t/h(HGI=50のとき)
51.2t/h(HGI=40のとき)
- (4) 電動機出力 640kW
- (5) 主軸回転数 34rpm
- (6) 給炭方式 中央給炭
- (7) 乾燥方式 エアドライイング

- (8) 粗粉分離器 サイクロン形(ミル内蔵)
- (9) 粉碎輪輪径 3,302mm(120in)
- (10) ボール 外径921mm(36¼in), 数量10個(1台当たり)
- (11) フィルインボール 外径821mm(33½in), 数量1個/台

3.2 ミル回り系統

大容量石炭火力発電所では、性状の異なる多種銘柄炭を使用する機会が多く、ミル回り系統としては、図5に示すコー

表2 大容量ミル仕様 大容量ミルの仕様を示す。公称容量とは粉碎度がHGI=50、微粉度が200メッシュ通過70%時を基準とした標準容量で表わしている。

ミル形式	7E10	8.5E10	10E10	12E10	ローラミル
項目					
公称容量 (t/h)	17.3	27.4	40.6	64.0	95.3
ボール	形状	中空ボール	同左	同左	同左
	数量	10個	10個	10個	10個
リング	形状	上下同形	同左	同左	同左
	径(mm)	1,780	2,160	2,540	3,300
粗粉分離器	内蔵式可動ベーン形	同左	同左	同左	内蔵式可動ベーン形
給炭方式	中央給炭	同左	同左	同左	中央給炭
加圧方式	N ₂ シリンダ方式	同左	同左	同左	ばね及び油圧による加圧

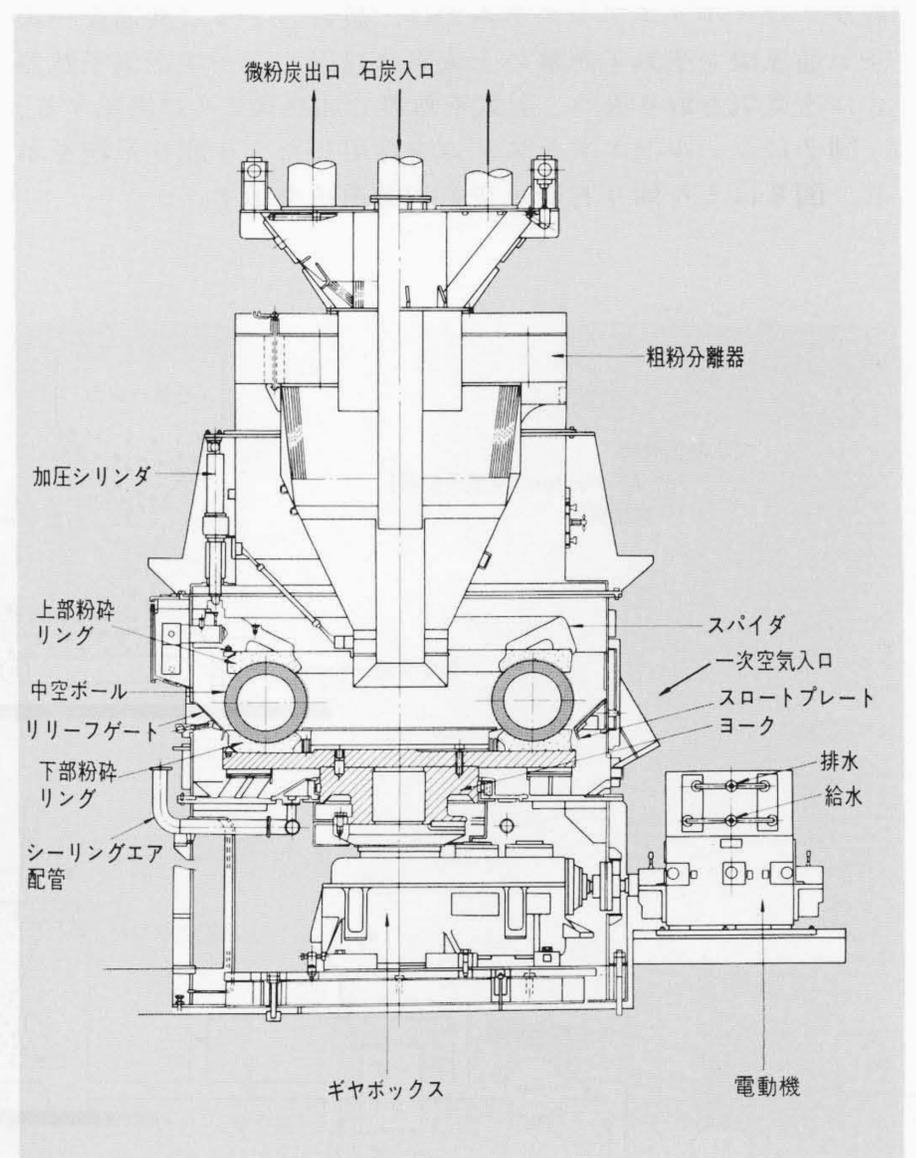


図4 大形Eミル断面図 大形Eミルの一例として12Eミルの断面図を示す。電動機回転がギヤボックスで減速され、ヨークを介して下部リングを回転し、中央から給炭された石炭を微粉碎する。

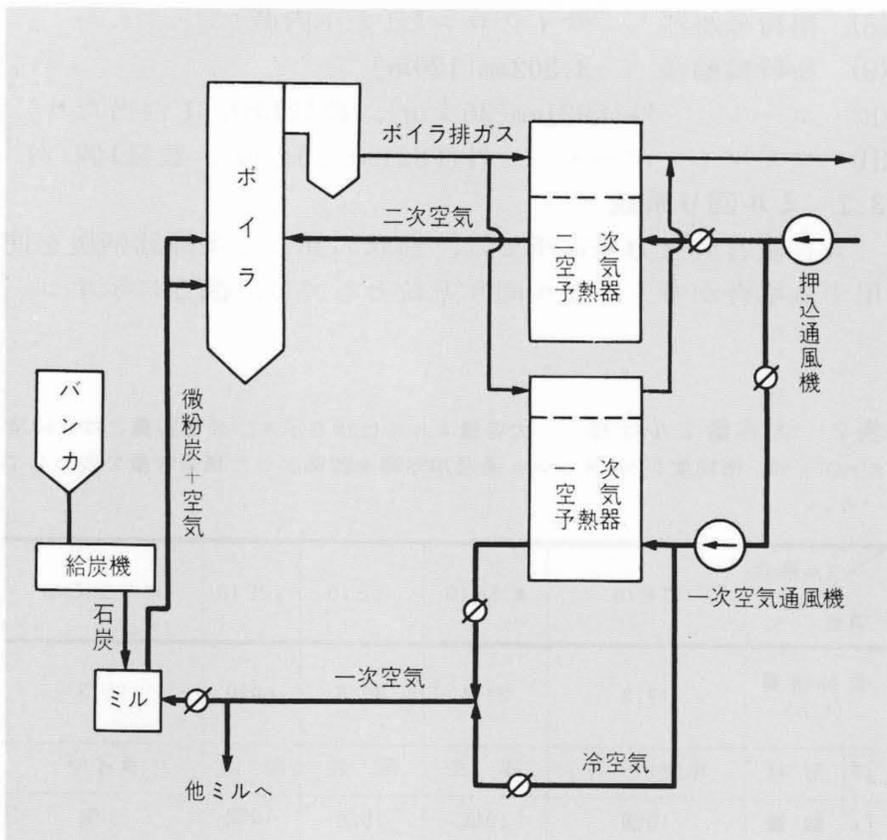


図5 コールドエアシステム(一次空気、二次空気を分割した空気予熱器別置方式) 一次通風機をミルから分離し、独立に設置する。一次通風機は低温空気を取り扱う。空気予熱器を一次、二次に分割し別置する。ミル入口の空気温度は一次空気通風機出口の冷空気によって調整する。

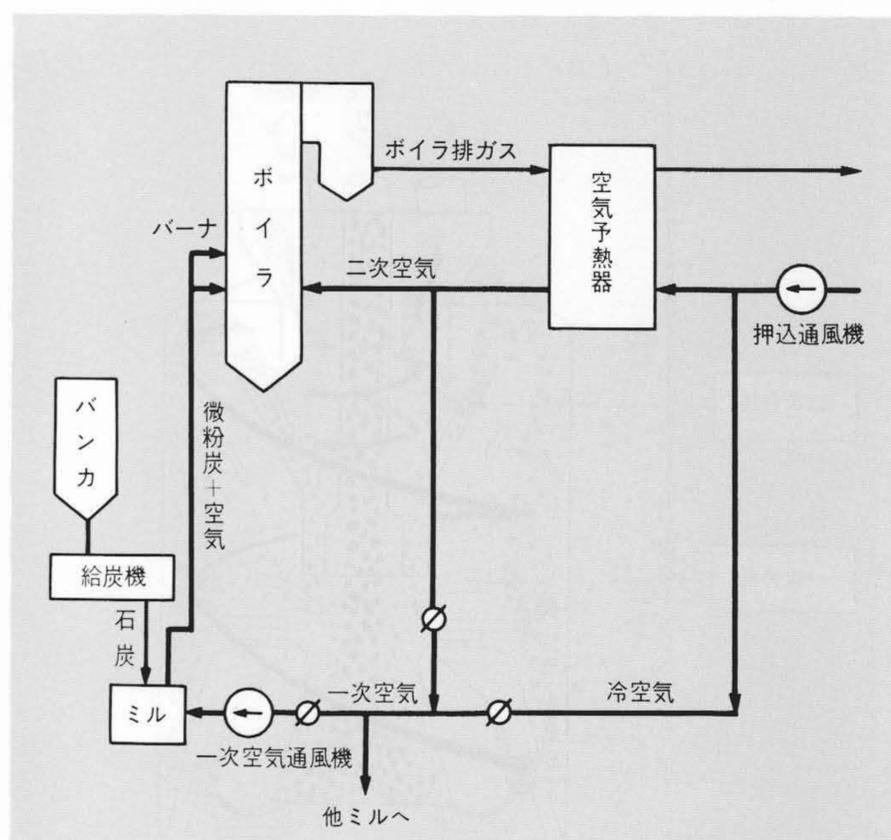


図6 ホットエアシステム 各ミルに一次通風機を設置する。一次通風機は高温空気を取り扱い、ミル入口の一次空気温度は押込通風機からの冷空気によって調整する。

ルドエアシステムが多く採用される。ホットエアシステムの場合には、図6に示すようにミル1台ごとに一次空気通風機が設置され、空気予熱器で加熱された熱空気をミルに供給するが、コールドエアシステムでは、数台のミルに共通な一次空気通風機を空気予熱器の上流側に設置し、一次空気予熱器では冷空気を取り扱い、空気予熱器で加熱後ミルに供給する。

図7にコールドエアシステムを採用したミル回りシステムを示し、図8にミル回り石炭・空気制御システムを示す。

4 性能

ミルの粉砕性能は、石炭の性状(原炭、粒度、水分及び粉砕度)、ミル出口の微粉度、乾燥用空気などの影響を受ける。

図9に石炭粉砕容量と粉砕度(HGI:ハードグローブ指数)の関係及び石炭粉砕容量と微粉度(200メッシュ通過パーセント)の関係を示す。また、石炭の全水分も粉砕性能に影響を及ぼす。

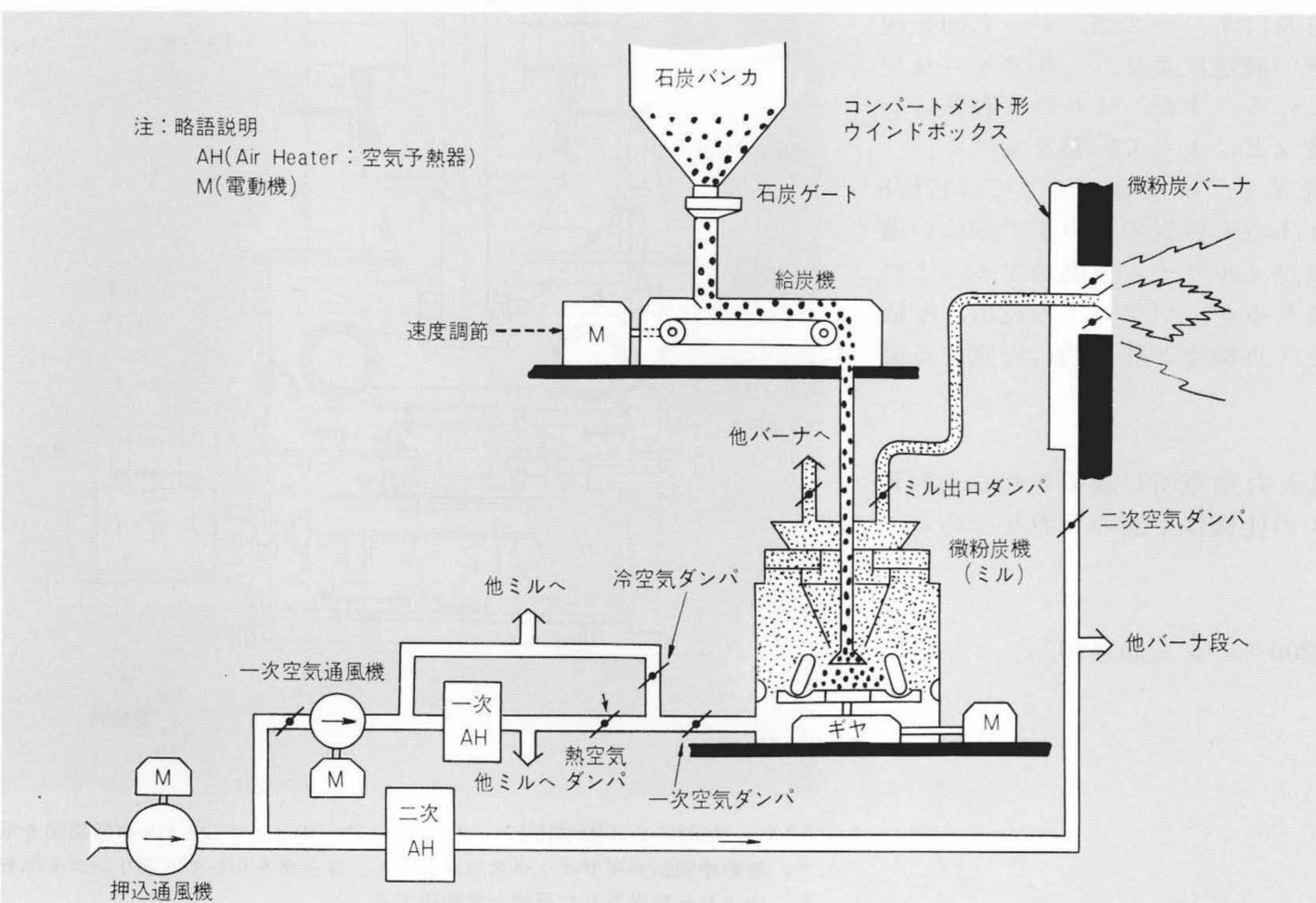


図7 ミル回りシステム 大容量火力発電所に主に適用されるコールドエアシステムの場合を示し、複数組みのミルから成る微粉炭直接燃焼システムを構成する。

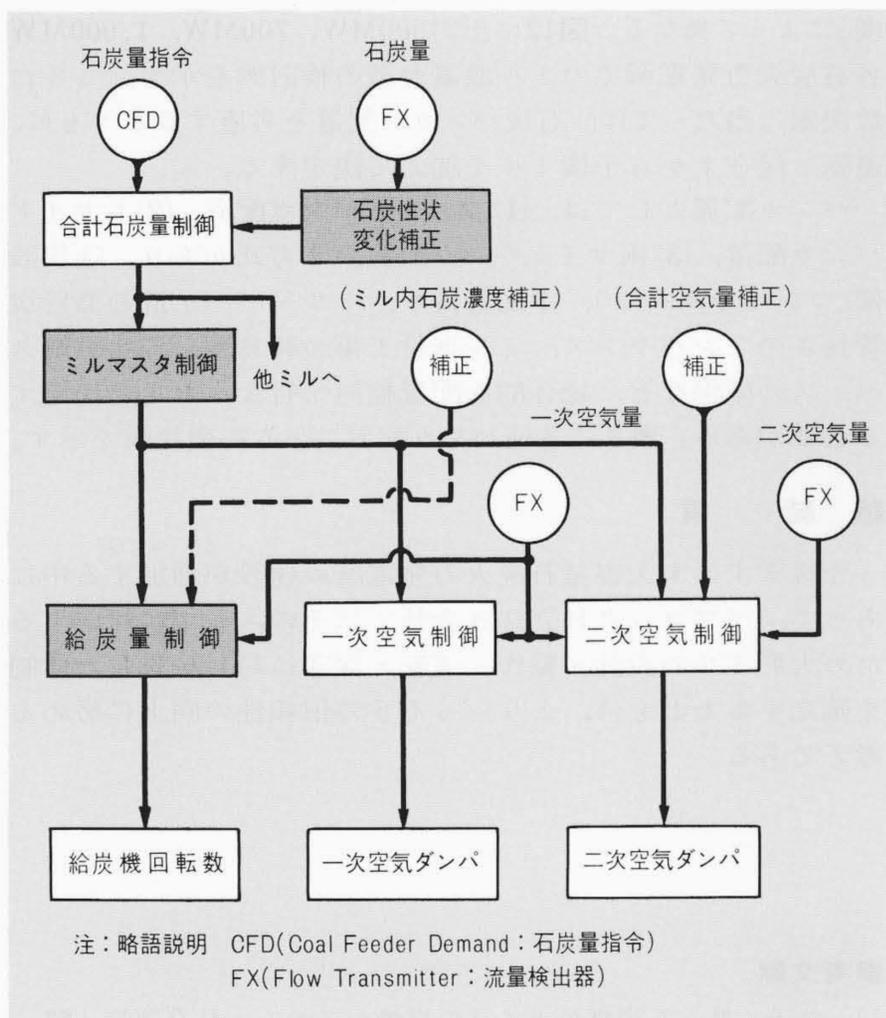


図8 ミル回り石炭・空気制御系統 ミル起動・停止，負荷増減などの運転条件によって変化するミル動特性に適合して最適な操作信号を与え，ミル運転の応答性向上と安定化を図る。

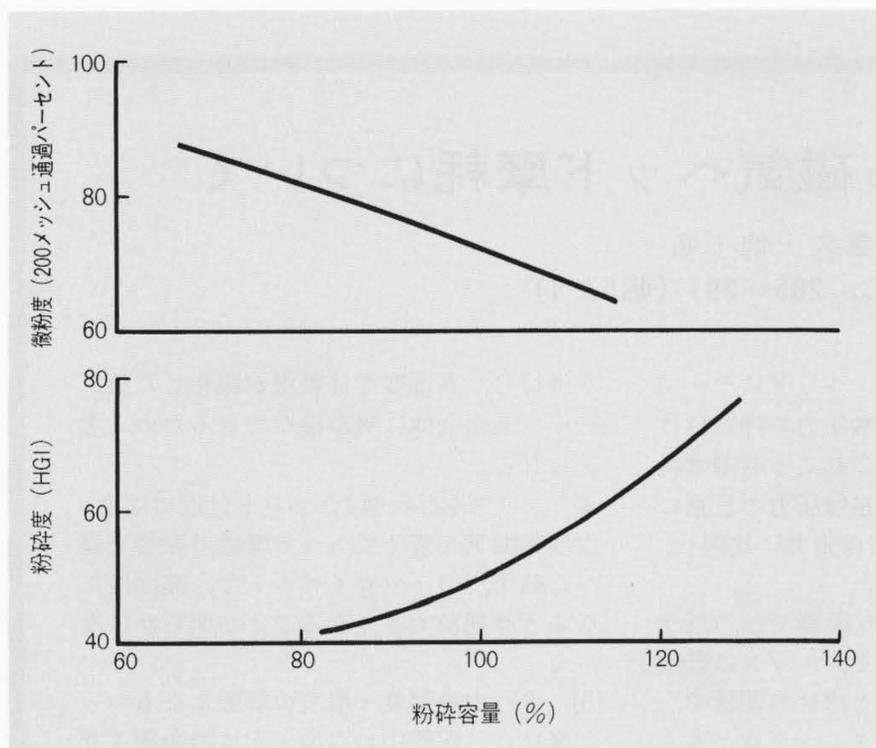


図9 粉碎容量と粉碎度・微粉度との関係 石炭粉碎容量は，石炭の粉碎度(HGI)によって影響される。また，ミル出口の微粉度によっても異なる。

ミルの所要空気量及び所要動力は，ミル形式及びその負荷によって異なる。図10にミル負荷率と所要空気量及び所要動力の関係を示す。

また縦形ミルは広範囲な炭種に対して適用が可能であり，その使用炭の実績を図11に示す。

5 ミル台数と配置

前述のようにミル設置台数は，ミル形式と石炭性状(粉碎

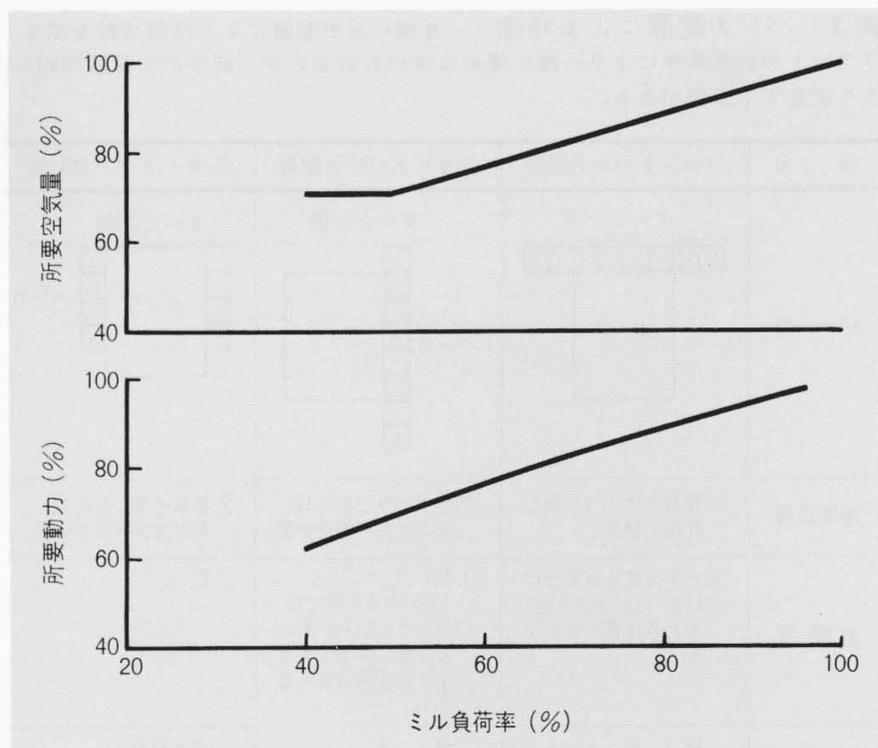


図10 ミル負荷率と所要動力・所要空気量の関係 一次空気量はミル負荷率に応じて調整されるが，負荷50%以下では火炎伝搬速度以下とならぬように，空気量は70%一定としている。また，ミル負荷率と所要動力の関係を併せて示す。

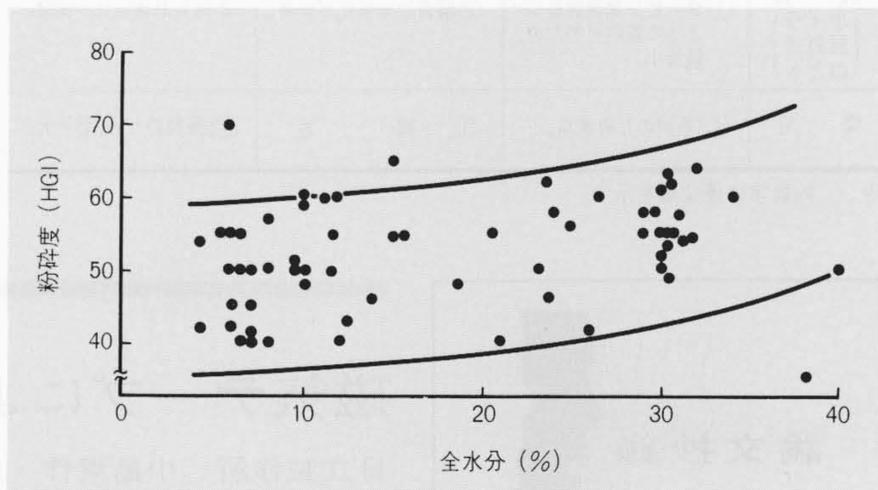


図11 縦形ミルの使用炭の実績 縦形ミルの使用炭の実績として，HGIと全水分の関係を示したもので，広範囲な炭種に対し使用実績をもっている。

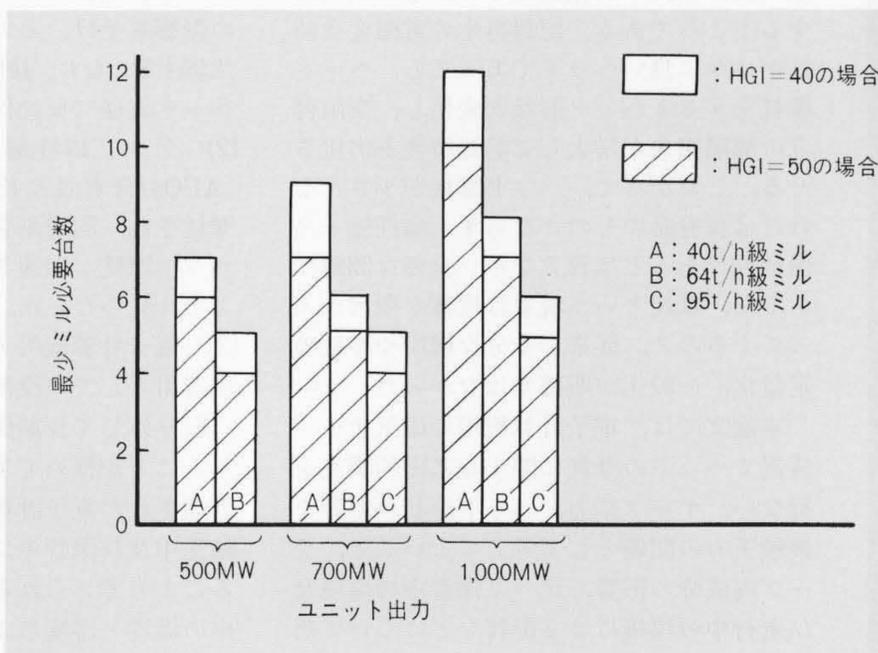
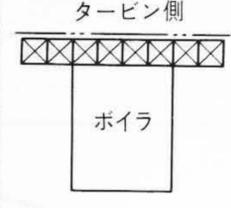
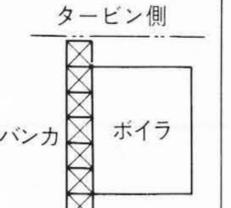
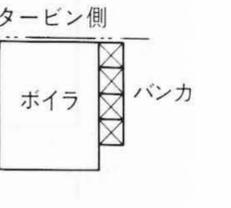


図12 ユニット出力と最少ミル必要台数 ユニット出力500MW，700MW，1,000MWに対する最少ミル必要台数を示したもので，微粉度：200メッシュ通過70%，石炭発熱量：約6,600kcal/kgと仮定し，HGI40及び50の場合の概算選定台数である(予備ミル台数は含まない)。

表3 バンカ配置による特徴 各種バンカ配置による特徴比較を示す。プラントの計画条件により一概に優劣は決められないが、総合的な配置検討により決定する必要がある。

項目	フロントバンカ配置	片サイドバンカ配置	両サイドバンカ配置
配置			
運炭設備	①複数のボイラに対し配置が簡単。	②各ボイラごとに1系列のコンベヤが必要。	③各ボイラごとに2系列のコンベヤが必要。
主配管	③バンカ室を渡る分だけ長い(バンカを避けるときは更に長くなる)。	①短い(③ただし、1,000MW計画ではバンカ1基分がタービン側に突出するので、主配管は長くなる)。	①短い。
敷地	縦長 (敷地上の制約により優劣はつけにくい。)	横長	最も横長
一次空気ダクト 微粉炭管	③最も長い。 ①短い。	②短い。 ③最も長い。	①短い。 ②短い。
工事搬出入	①据付前後の搬出入に検討を要する。	②片側がふさがりため据付手順の検討を要する。	③両側がふさがりため据付手順の検討を要する。
騒音 (ボイラ屋外式 のとき)	①タービン建屋延長によって屋内可のため、騒音小。	②騒音対策強化が必要。	②騒音対策強化が必要。
保守	①1系列のため容易。	①同左	③2系列のため、若干大。

注：○内数字は優位順を示す。

度)によって異なる。図12に出力500MW, 700MW, 1,000MW各石炭火力発電所でのミル設置台数の検討例を示す。ミル台数決定に当たっては、石炭バンカの配置を考慮するとともに、運転・保守上から予備ミルを加えて決定する。

バンカ配置としては、(1)フロントバンカ配置、(2)片サイドバンカ配置、(3)両サイドバンカ配置の3方式があり、運炭設備(コンベヤルート)、主配管長さ、ミル〜バーナ間の微粉炭管長さのアンバランス、ミル据付工事の難易度、ミル分解スペースの確保など、総合的な配置検討を行なった上で決定する必要がある。表3に各種バンカ配置による特徴比較を示す。

6 結 言

今後ますます大容量石炭火力発電所の建設が増加する中において、バブコック日立株式会社ではそのニーズに対応するため大形ミルの設計・製作・運転・保守に対し一貫した体制を確立するとともに、よりいっそうの信頼性の向上に努める考えである。

参考文献

- 1) 益子, 外: 石炭燃焼ボイラの燃焼システム, 日立評論, 62, 4, 253~258(昭55-4)
- 2) 磯田, 外: 石炭燃焼ボイラの煙風道システムと大形ファン, 日立評論, 62, 4, 259~262(昭55-4)
- 3) 飯岡, 外: 石炭火力発電の自動化と制御, 日立評論, 62, 4, 301~306(昭55-4)

論文抄録

磁気テープによる磁気ヘッド摩耗について

日立製作所 小島東作・鈴木喜久・他1名

電子通信学会論文誌 J65—C, 285~291 (昭57-4)

磁気テープによる磁気ヘッドの摩耗は、電子計算機、磁気テープ録画、録音などの磁気記録方式の情報機器では、常に問題とするところである。記録再生の電磁変換特性がいかに良いヘッドであっても、ヘッド摩耗をするとヘッド形状が変化し、空隙付近の隔離損失が増大して記録特性を劣化させる。したがって、ヘッド摩耗が小さくなければ長寿命のものとならず、高性能・高信頼性であるとは言えない。重要な問題であるが、摩耗という現象は複雑な要因が入ってくるので、従来、十分な解明や摩耗の定量化、一般化が明確ではなかった。

本論文では、電子計算機用の磁気テープ装置でヘッドの摩耗に関する基礎的調査を行ない、テープ張力、ヘッド形状の影響を接触圧力の問題として考えてよいこと、テープ内成分の影響、テープ保管中の環境及び走行中の環境による影響などについて明らかになったことを述べる。これらを列記すると、次のとおりである。

(1) ヘッド摩耗は、走行距離が一定ならば

テープ速度にかかわらず、ヘッドにテープを、その張力に応じた接触圧力で押し付けて、摩擦走行させるときに起こる凝着摩耗の影響を受け、その量は接触圧力の三乗に比例する。なお、接触圧力は張力に比例し、ヘッド直径に反比例する。

(2) テープ磁性層成分の影響で、フィラ(Al₂O₃)含有量に比例して、ヘッドは研削摩耗され、潤滑剤含有量と摩耗の関係で、ヘッド摩耗が加速されるクニック点があることを見いだした。

(3) 電子計算機用テープは、その外部記憶装置用としての役割上、磁気テープ装置から取り外して長期保管したり、輸送したりすることが極めて多く、温度・湿度の良く管理された電子計算機室では問題はないが、輸送中及び保管中には予想外の条件下にあることも考えられる。よって、テープ保管中の温度・湿度によるヘッド摩耗の影響を検討した結果、特に湿度の影響によってヘッド摩耗が大きくなることが分かった。これは保管湿度により、テープへの吸湿拡散

が進行し、高湿度では吸湿が飽和した後、テープ表面全体に吸着層ができるためと考えられる。

(4) テープ走行状態で、ヘッド付近の温度・湿度雰囲気を変えてヘッド摩耗の影響を調べた結果、パーマロイヘッドで、高湿度になると摩耗が大きくなることが明らかになった。

(5) 走行中の温度・湿度の影響によるヘッド摩耗は、保管中の温度・湿度の影響よりも大きい。

(6) 一般に、ヘッド寿命を延ばすのに硬度を硬くすれば、耐摩耗性が良くなると考えられるが、ヘッドの硬度と寿命の関係を調べると、最良の硬度がある。

以上を総合してみると、ヘッド摩耗は接触圧力による凝着摩耗の影響が三乗で大きく寄与している。ヘッドの耐摩耗性向上には、テープ潤滑剤による潤滑性、フィラによる研削性を最適化する必要がある。そのためヘッド摩耗に対する予測式を導いた。