U.D.C. 662.933.19:621.311.22-661

石炭火力用灰処理設備

Ash Handling Plants for Coal-Fired Thermal Power Plant

次郎坊　昭*　Akira Jirobou
川野　敬*　Kei Kawano
長井次男**　Tsuguo Nagai

石炭が火力発電所の主要な燃料としての地位を確保した現在，灰処理設備をいかに計画するかが重要な課題となっている。国内実績の灰処理方式は，大容量化に伴うホッパ数，輸送距離の増加により複雑化する傾向にある。石炭灰による摩耗，閉そくなどを考慮すると，構造，制御共に単純で，信頼性に富む必要があるとの観点から，火力発電用として，

(1)　チェーンコンベヤを用いたクリンカ処理
(2)　エアスライドを用いたフライアッシュ処理
(3)　エアエダクタを用いたシンダ灰処理

の新しいシステムの技術を確立した。プラント条件によっては，省動力，省用水の面でも従来の方式に比較して合理的な面があることを紹介する。

1　緒　　言

従来の国内の灰処理方式は水流輸送を主体としたものであったが，石炭火力の大容量化に伴い，省動力，節水，灰の有効利用などを考慮した灰処理システムが求められている。

これらのニーズに対応するため，バブコック日立株式会社では，昭和55年に英国BHP社(バブコック・ハイドロ・ニューマチック社)との技術提携を基にして，欧州の経験・日立の最新技術を取り入れて新しい灰処理システムの開発を完了し，各種各様の条件に応じたシステムの選択，設計を可能とした。

灰処理設備の計画に当たっては，灰量，配置，灰捨方法，灰の有効利用など各プラントの条件を考慮するとともに，次の観点から最も合理的なシステムを選択することが必要であると考えられる。

(1)　石炭灰の性質(摩耗，閉そくなど)を考慮して，
　(a)　機器構造，制御共に単純で信頼性に富むこと。
　(b)　緊急時のバックアップを考慮しておくとともに，メンテナンスが容易であること。
(2)　所要動力，用水量が少ないこと。
(3)　自動化が容易であること。

以下，本稿では上記の観点から，各種灰処理方式の概要を述べるとともに，従来の国内実績である，プール式ホッパを用いたクリンカ処理方式，真空式又は圧力式を用いたフライアッシュ処理方式に対比して，欧州を中心として実績のあるチェーンコンベヤ，エアスライド及びエアエダクタを採用した灰処理方式を説明し，プラント条件によっては，従来方式に比べて合理的であり，優位性をもてることを紹介する。

2　灰処理システム

火力発電用燃料として使用される石炭は，炭種によって異なるが，5～30%の灰分を含んでいる。ボイラ火炉での微粉炭燃焼により**図1**に示すように，種々の粒径の石炭灰が生成され，火炉及び煙道に設けられた各ホッパに落下又は捕集される。石炭灰は，高温燃焼下の炉内で溶融結合して成長し炉底に落下するクリンカと，燃焼ガスに随伴して煙道各部及びEP(電気式集塵装置)で捕集される微粒のフライアッシュ(粒径の比較的粗いものをシンダ灰と呼んで区別する場合もある。)に大別される。

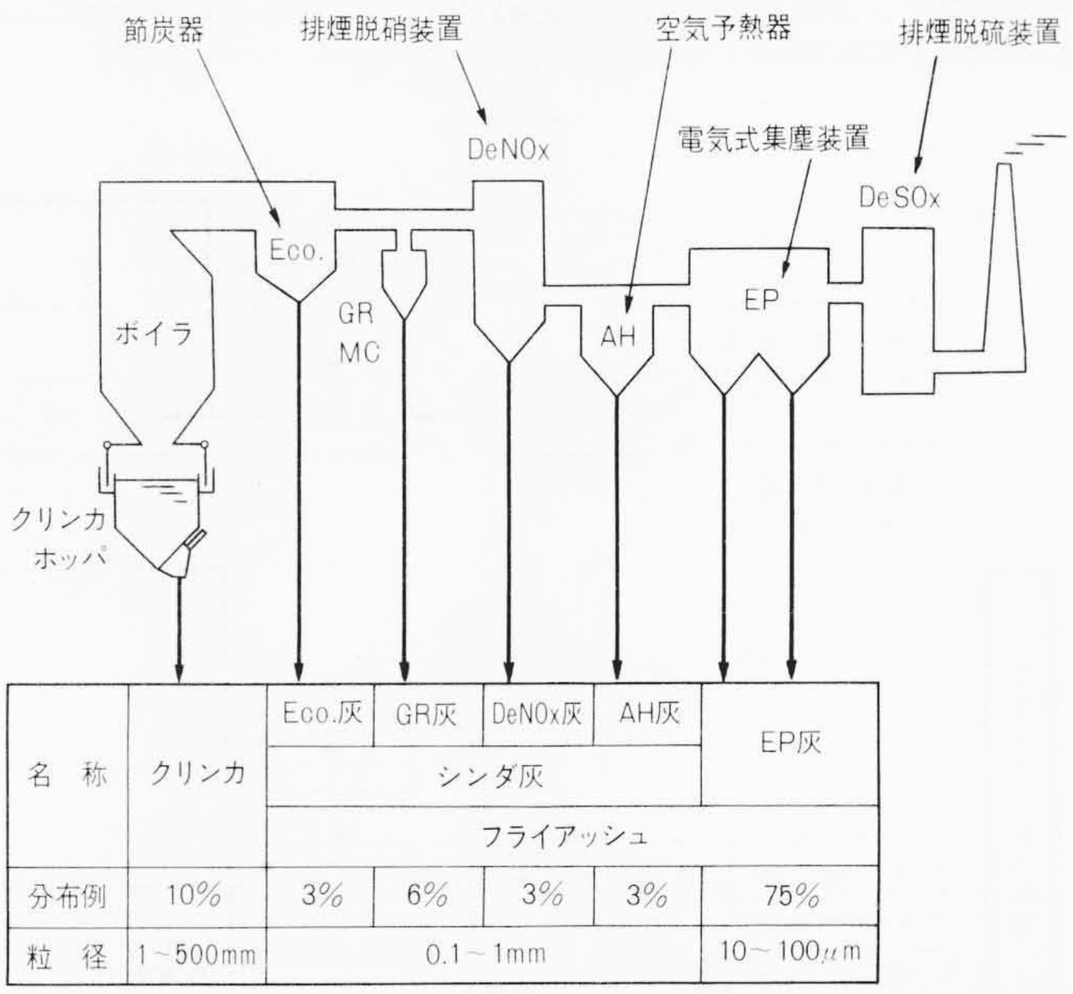


図1　石炭灰排出箇所及び分布　　石炭灰の種類，分布，粒径例を示す。

灰処理設備はこれらの石炭灰を，間欠的あるいは連続的にボイラ及び煙道系外に排出し，ボイラの正常運転を保持することを目的とした設備である。排出の手段により各種方式に分類される。更に，灰捨場所，灰捨方法，サイロの有無，灰の有効利用，用水の循環再使用の有無などによって各種各様の灰処理システムが実用に供されている。**図2，3**に各々，クリンカ処理，フライアッシュ処理設備系統の主要機器構成を示す。

図2，3中の破線は従来国内で主として採用されてきた灰処理方式を，実線は本稿で紹介する欧州を中心に実績のある新方式の灰処理方式を示す。

3　クリンカ処理システム

ボイラ火炉から落下するクリンカを処理するクリンカ処理

* バブコック日立株式会社呉工場　** バブコック日立株式会社

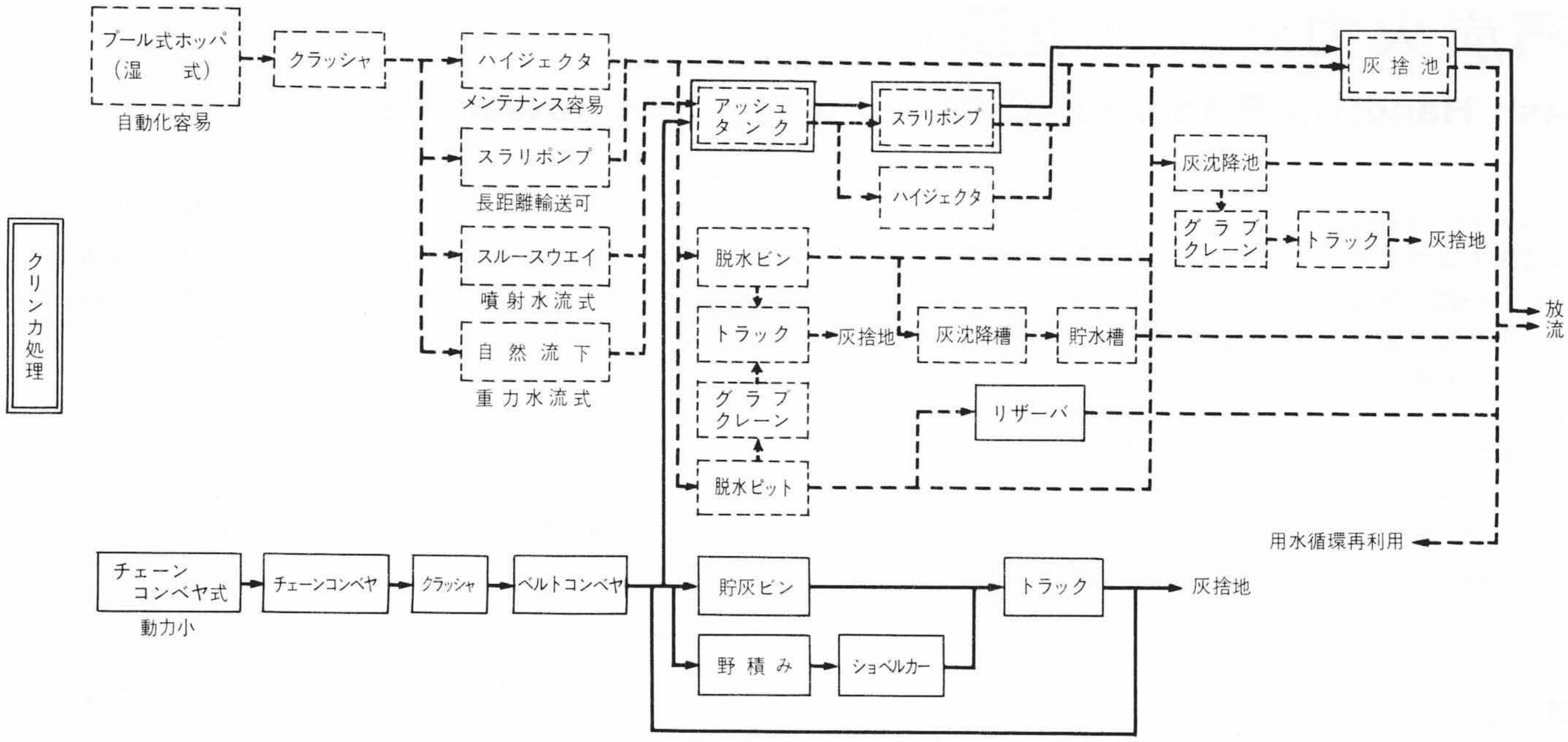


図2　クリンカ処理設備系統主要機器構成　各種クリンカ処理システムの主要機器組合せ例を示す。図中の破線で示すシステムが従来方式で，実線で示すシステムが本稿で紹介する新方式を表わす。

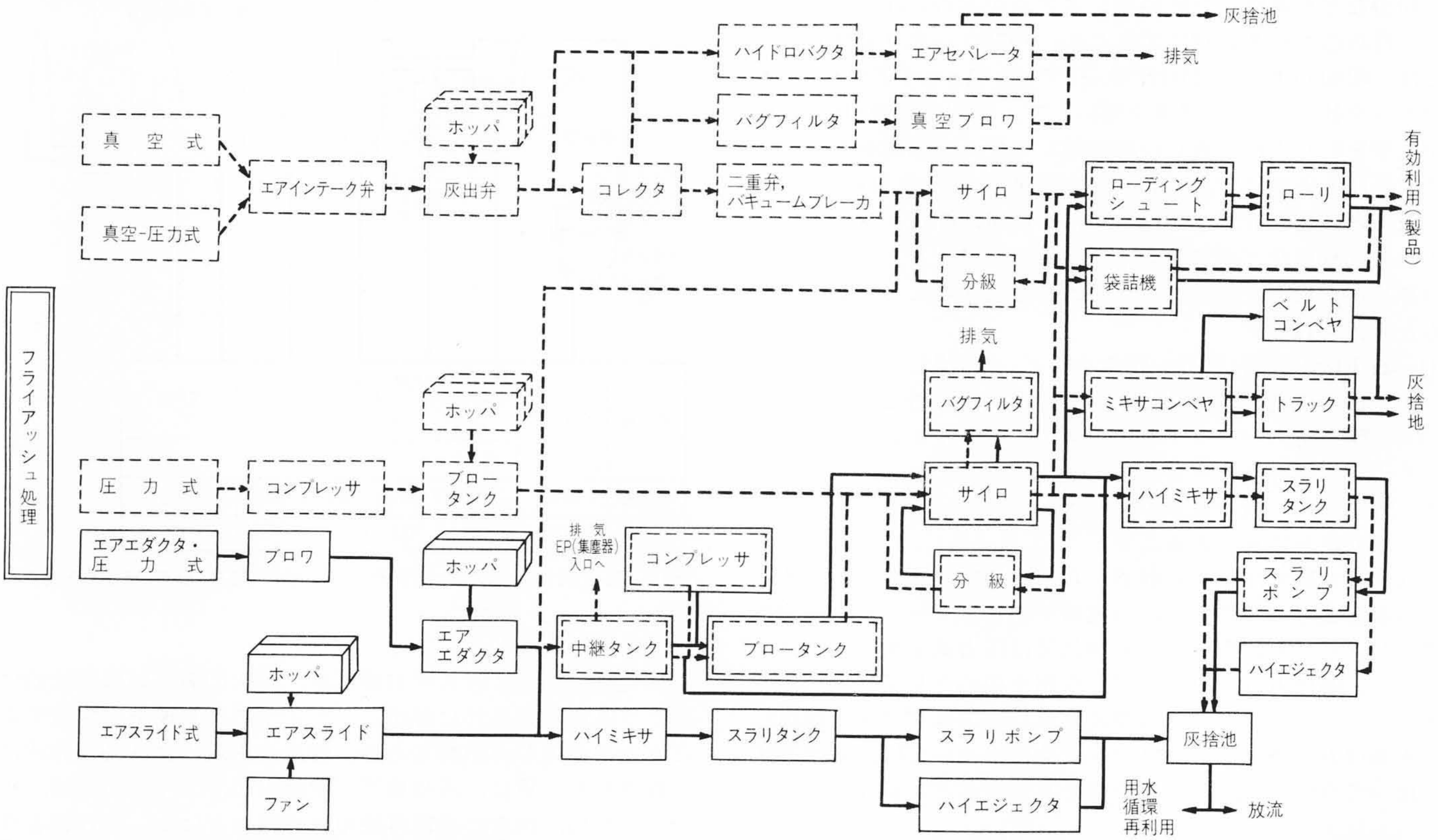


図3　フライアッシュ処理設備系統主要機器構成　各種フライアッシュ処理システムの主要機器組合せ例を示す。破線で示すシステムが従来方式で，実線で示すシステムが本稿で紹介する新方式を表わす。

設備には，**図2**に示すように各種システムに対応したクリンカホッパ形式として，

(1)　プール式ホッパ(湿式)

(2)　チェーンコンベヤ式

がある。クリンカホッパの形式によって必要火炉下スペース，すなわちクリンカホッパ設置高さが変化し，また灰輸送設備が変化するので，設備計画の上で最も重要な選択と言える。

表1に各クリンカホッパ形式の比較を示すが，国内事業用火力での実績はすべてプール式であり，特に最近の大容量火力ではW形が採用されている。

チェーンコンベヤ式は，欧州だけでなく米国でも実績があること，設置スペースが小さいこと，省水・省動力の面などから，国内大容量火力でもその採用は検討に値する方式であると考える。

3.1　プール式ホッパ(湿式)

図4にプール式ホッパの一例としてW形ホッパの構造を示す。プール式ホッパは，火炉下に設置したホッパ内にためた水の中に，クリンカを落下させ急冷破砕，貯灰するもので，

表1　クリンカホッパの比較　プール式ホッパとチェーンコンベヤ式の比較を示す。

項目＼形式	プール式ホッパ	チェーンコンベヤ式
灰出し方法	間欠，水流	連続，機械かき出し
制御	複雑	単純
火炉下設置スペース	大	小
付帯設備消費動力	大	小
付帯設備設置スペース	大（脱水槽 灰沈降槽 貯水槽）	小
用水使用量	大	小
大径クリンカの処理	手動で処置可能	●500mm角以下に限定 ●ボイラ運用で大径クリンカ発生の抑制留意
メンテナンス	運転中は不可 ほとんどメンテナンス不要	運転中も可能
実績	国内外発電所用として実績大	国内実績なし(ただし，産業用では実績あり)。 欧州を中心に実績大で，近年米国でも採用が目立つ。

定期的にアッシュゲートを開き，ホッパ内の水及びジェッチングノズルから噴射する水で，灰出しを行なう形式である。

現在国内ではこの方式が採用されており，小容量ボイラに対しては船底形のホッパ，大容量ボイラに対しては，**図4**に示すようにすべての壁面に傾斜を付け，灰の自重で排出を可能としたW形ホッパが採用されている。

W形ホッパは，自動化も可能であり，またホッパの構造上，万一，内部に大径のクリンカが残留した場合でも，ホッパ壁面に設けた突つき窓，あるいはアッシュゲート部に設けたマンホールから手動で破砕処理することが可能である。ボイラの正常運転保持の面からは，実績上，最も信頼性の高い形式と言える。

プール式ホッパの場合，灰出しに大量の用水を必要とすること，また灰と大量の水が混合しスラリとなることから，脱水槽及び水を循環使用するための灰沈降槽，貯水槽とその付帯設備が大きなものになり，更に循環水量が多いため，運転動力も他の形式に比較して大きなものとなる。

3.2　チェーンコンベヤ方式

図5にチェーンコンベヤの構造を示す。チェーンコンベヤは，耐火材を内張りしたドライホッパの下に設置され，上下2段のトラフ構造となっている。上部トラフには，火炉シール及びクリンカ冷却のため，常時水を一定レベルで貯留している。火炉から上部トラフに落下したクリンカは，急冷破砕されてチェーンに連結されたフライトにより上部トラフ内を水平に運ばれた後，コンベヤ傾斜部に達し，ここで脱水されてクリンカクラッシャ入口に連続的に運び出される。

図5に示すようにチェーンコンベヤと火炉間に，一時的な貯灰が可能な緊急ドライホッパを設置することにより，万一

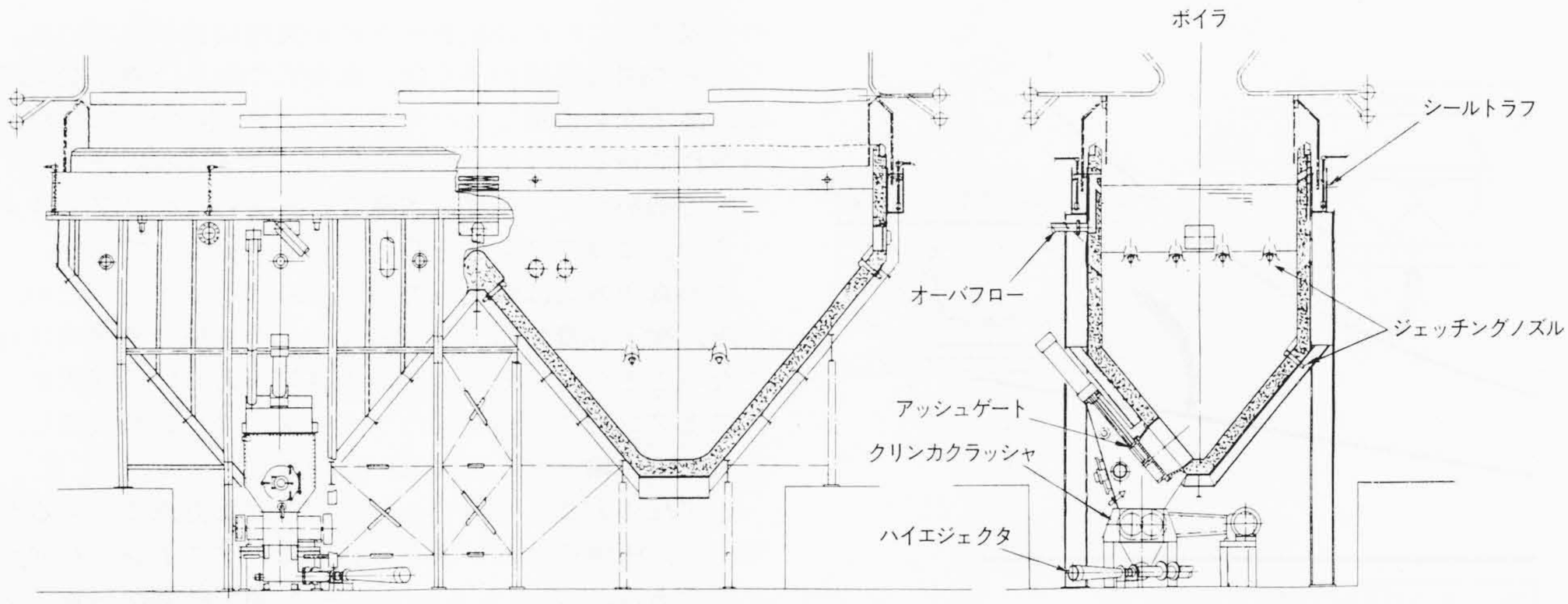


図4　プール式ホッパ(W形)　大容量火力に採用されるプール式ホッパの構造例を示す。

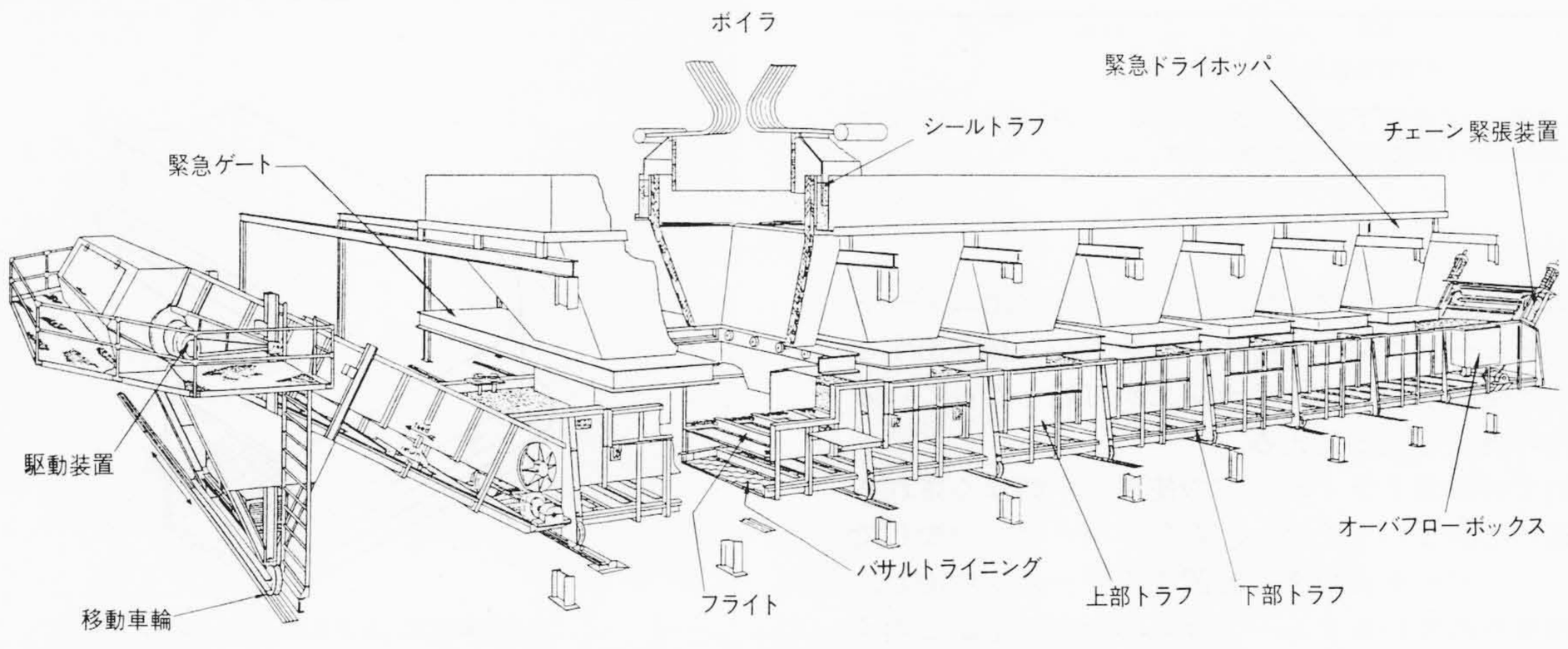


図5　チェーンコンベヤ(ドライホッパ付き)　緊急用ドライホッパ付きのチェーンコンベヤの構造を示す。近年，ドライホッパを設けない例が多い。

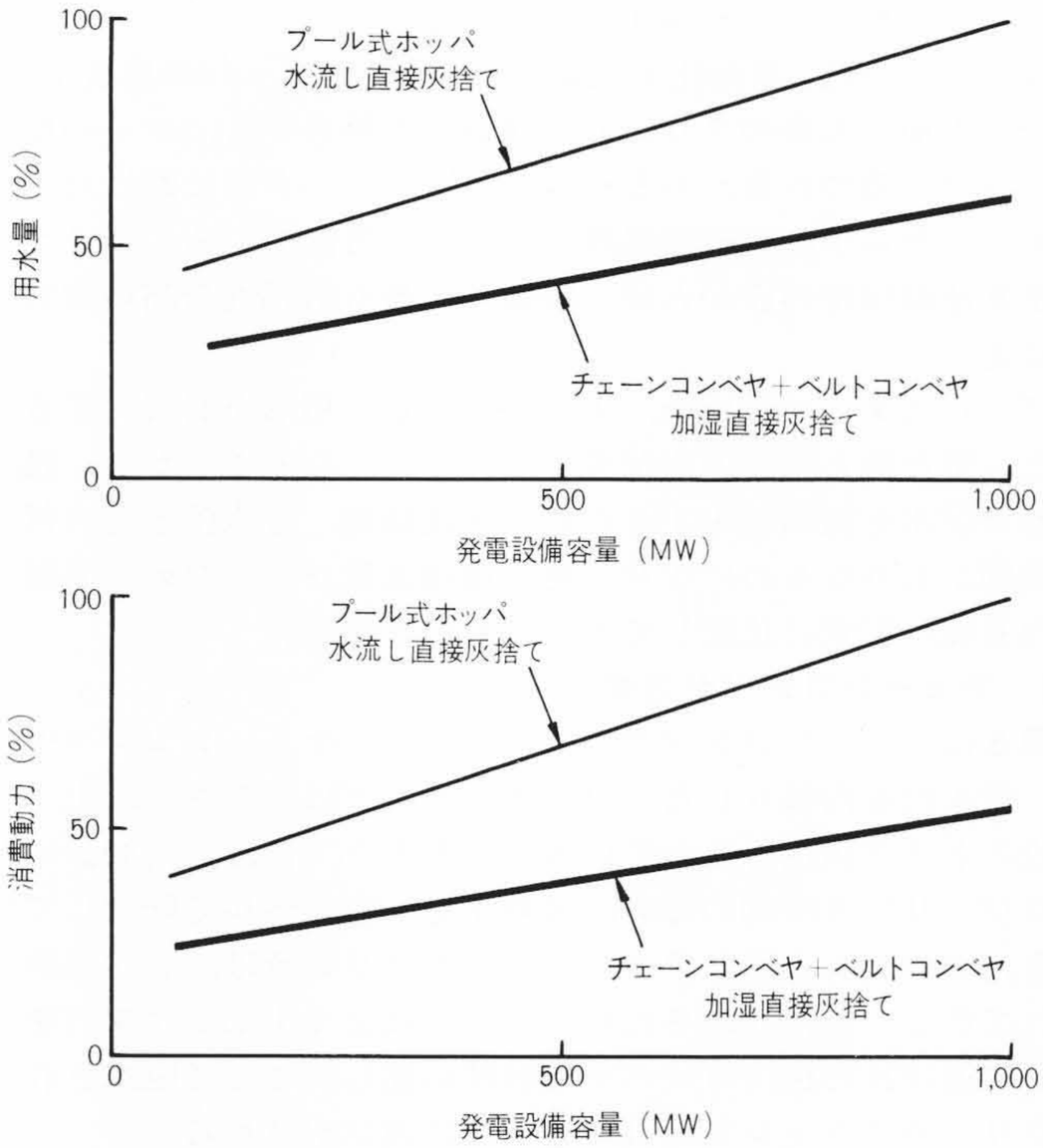


図6 クリンカ処理設備のユーティリティ比較 灰輸送距離1,000mの場合のプール式ホッパとチェーンコンベヤとの用水量及び消費動力の比較例を示す。

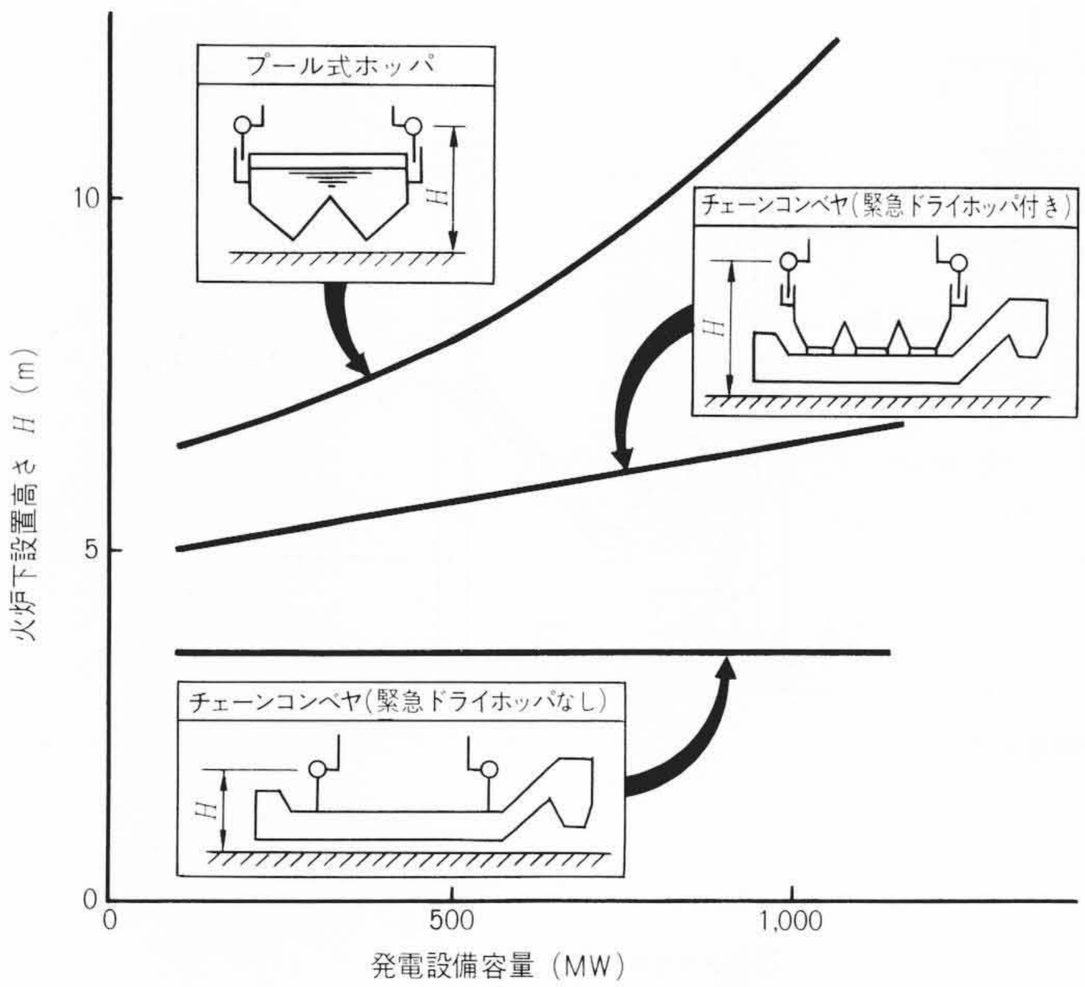


図7 クリンカホッパ火炉下設置高さの比較 プール式ホッパとチェーンコンベヤとの火炉下設置高さの比較例を示す。

のチェーン切断などのトラブル時，ドライホッパ出口ゲートを閉として，チェーンコンベヤ全体を火炉下から抜き出すことによりボイラ運転中でもメンテナンスが可能となっているため，信頼性の高い方式と言える。

近年，実缶での緊急ドライホッパの使用を余儀なくされるトラブルは極めて少ないことから，緊急ドライホッパなしで直接チェーンコンベヤを火炉下に設置するケースが増加し，現在米国で採用されているチェーンコンベヤの多くがこのタイプである。

本方式は前述のプール式ホッパと異なり，連続排出であることから，制御はチェーン速度の調節だけとなり，単純で自動化には最適な方式である。

また，**図6**に直接灰捨する場合のユーティリティ消費量の比較を，**図7**に火炉下設置高さの比較を示す。**図6**から基本的に用水量，消費動力の面で，設備容量が大きいほど優位性をもつことが分かる。更に，脱水槽，灰沈降槽，貯水槽などの付帯設備が不要となるばかりでなく，火炉下設置高さが小さいことにより，ボイラ建屋を低くすることができる。

本方式は，国内事業用火力での採用実績はないが，欧州を中心に多くの実績があり，更に近年米国でも，多く使用されてきている。

本方式の採用に当たっては，排出クリンカの大きさに制限があることからボイラの運用との協調をとること，ベルトコンベヤなどの設置に伴う配置面の協調をとることが必要となるが，上記したように，省動力の面からも，国内火力で採用が検討されている。

4 フライアッシュ処理システム

フライアッシュ処理システムとして先の**図3**に示すように，基本的なものとして，

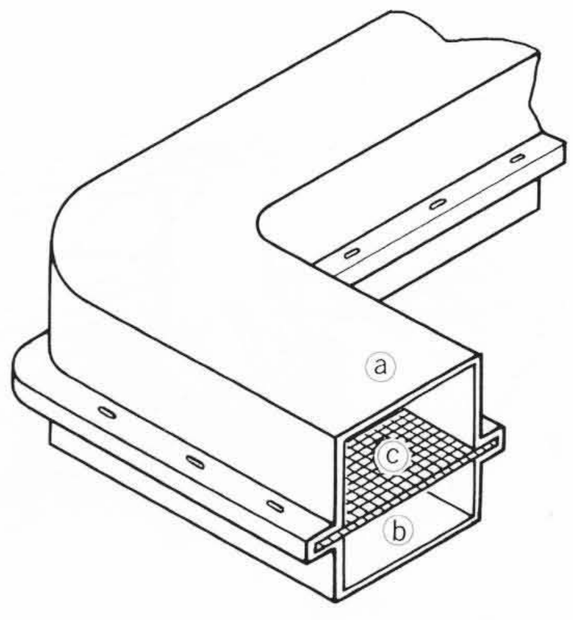
(1) 真空式
(2) 圧力式
(3) エアエダクタ・圧力式
(4) エアスライド式

の方式及びこれらの組合せ方式が実用に供されている。

従来の国内実績の多くは，真空式であり，真空空気源として，高圧水を使用したハイドロバクタ(水エゼクタ)が多く採用されている。近年，灰処理用水に含まれる灰がフライアッシュで細かく，後処理が困難なことから，バグフィルタを用いて後流に真空ブロワを設ける例が多くなっている。

この真空方式は輸送圧力(真空度)に限界があるため，輸送距離，輸送容量の面で大容量火力への単独での適用は合理的でないことから，最近の国内大容量火力では各部灰ホッパ下に二重ダンパで仕切られたブロータンクを直接設置し，高圧空気で圧力輸送する圧力式が採用されている。

いずれの方式も国内で十分実証された方式ではあるが，原理的に，灰供給部及び灰の分離部でのダストシール弁が多数必要である。このダストシール弁は，開閉制御が複雑であり，リークにより運転不能トラブルを引き起こすことから，ダストシール部のメンテナンス管理が，プラントの正常運転保持のかなめとなる。設備の大容量化に伴い，ダストシール面の



注：ⓐ輸送室，ⓑ空気室，ⓒキャンバス

図8 エアスライド エアスライド灰輸送部の構造を示す。

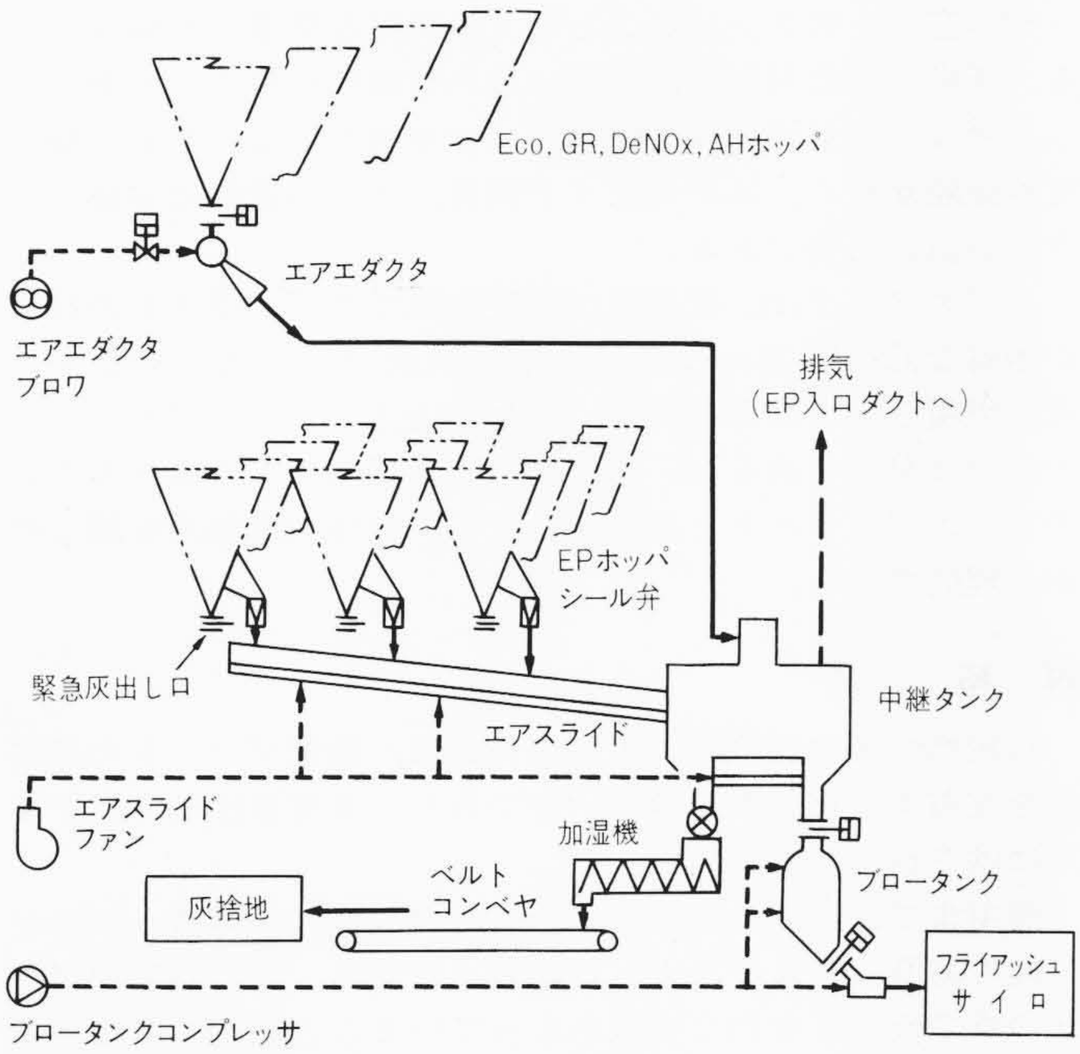


図9　エアスライド，エアエダクタ系統　シンダ灰にエアエダクタ，EP灰にエアスライドを用いたフライアッシュ処理系統例を示す。

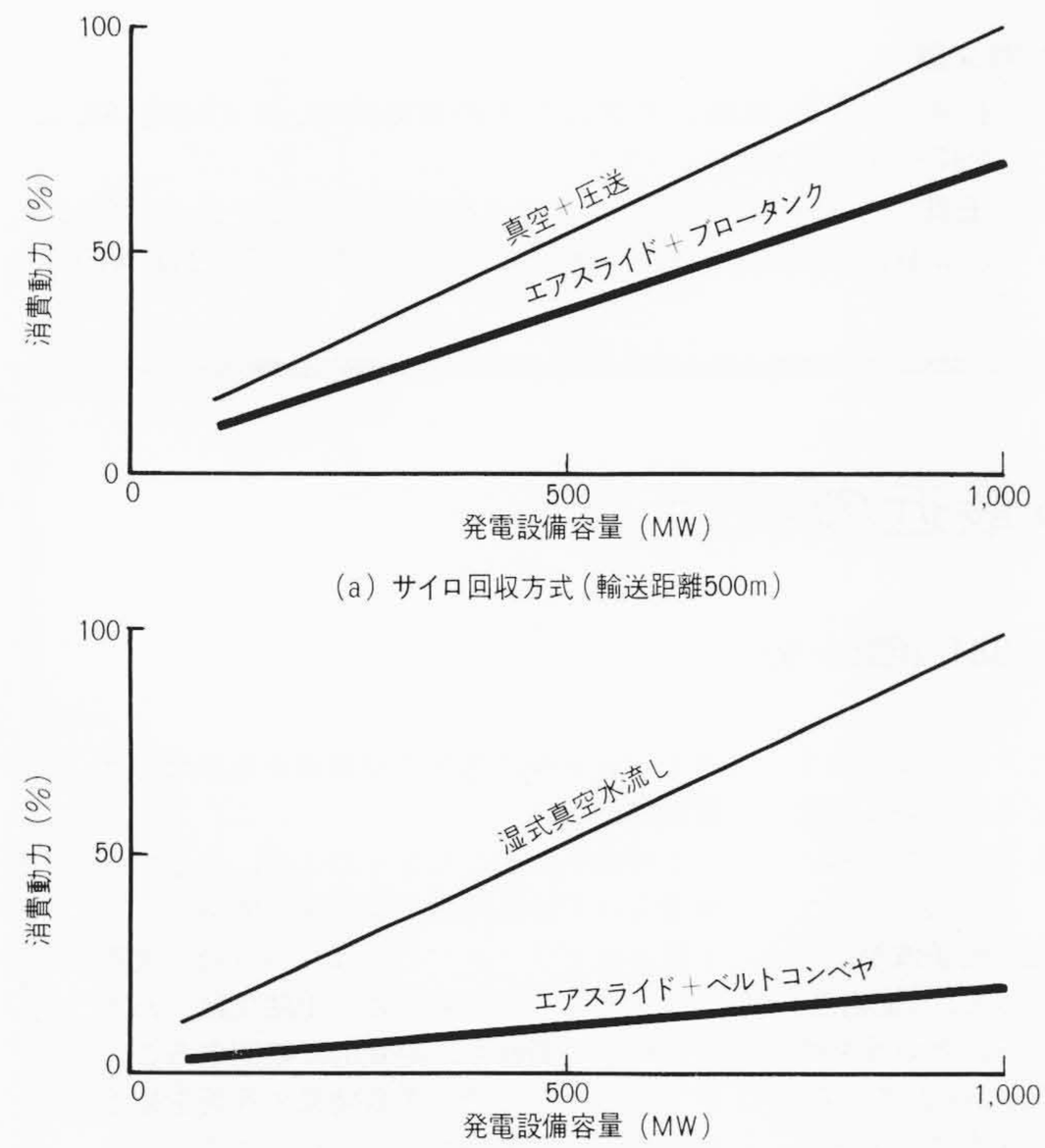


図10　フライアッシュ処理設備の消費動力の比較　真空・圧力空気輸送方式とエアスライド方式との直接灰捨て及びサイロ回収する場合の消費動力の比較を示す。

数が増加し，その管理を困難なものとしている。

以上のような従来方式の問題点を解決する方式として，エアスライド，エアエダクタを採用した灰処理方式がある。これらの方式はダストシール部を必要とせず，構造及び制御が単純であり，信頼性が向上するとともに，消費動力の低減が図れることからも，今後の大容量火力にその採用を検討するに値する方式と考えるので，以下に紹介する。

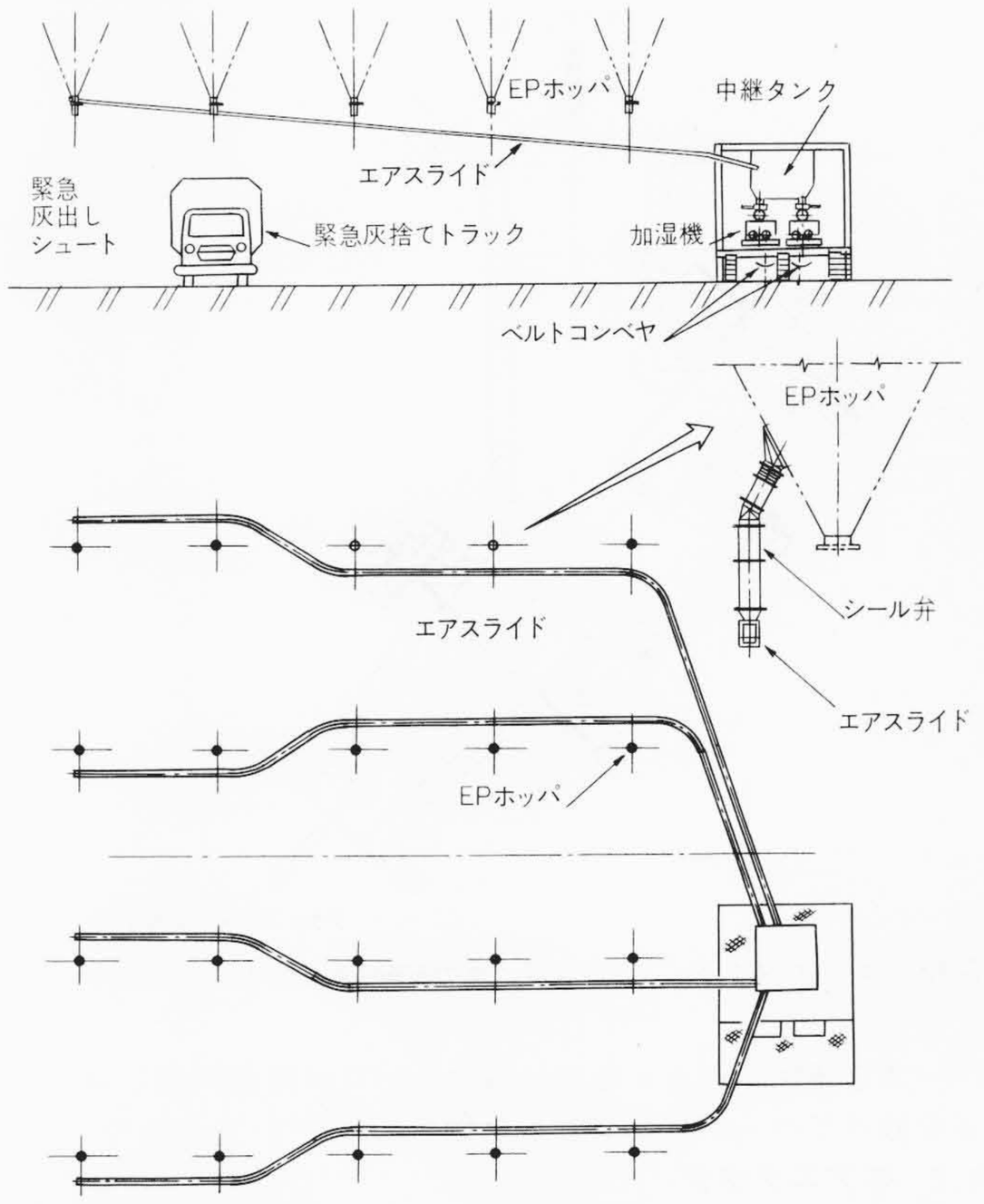


図11　EPホッパ部エアスライド配置例　緊急灰捨てトラック通路を考慮したEPホッパ部のエアスライド配置例を示す。

4.1　エアスライド

図8にエアスライドの構造を，**図9**にエアエダクタと組み合わせた系統例を示す。エアスライドは，キャンバスを通じて低圧・低流量の空気で灰を流動化し，傾斜によって灰を連続的に流下移送する方式である。

エアスライドの採用により，他方式に比べ，消費動力の大幅な低減が図れる。灰供給部に可動部品及びダストシール部がないので，信頼性が高く，制御不要であることなどから，欧州を中心に大容量石炭火力に対し多くの実績をもつ方式である。

エアスライドは原理上取合ホッパ高さを高くするなど配置上の制約を受け，かつ移送距離に制限があるのでホッパ近傍に中継タンクを設ける。

直接灰捨ての場合は，中継タンク部で加湿してベルトコンベヤにより輸送する。

サイロ捕集の場合は，エアスライドにより各ホッパの灰を中継タンクに集め，ブロータンクでサイロに再輸送するシステムが採用される。ブロータンクの採用により空気輸送方式としては最高の効率が得られ，全体として消費動力の低減が図れる。また，ブロータンクのダストシール面だけのメンテナンス管理で運用が可能であるため，エアスライドとブロータンクの組合せは，輸送距離，輸送容量及びメンテナンスの面で大容量火力のEP灰処理に適した方式と言える。

図10に従来の方式とエアスライドを採用した方式との消費動力の比較を示すが，容量が大きいほど有利であることが分かる。

図11はEPホッパ下エアスライドの配置例を示す。エアスライドによって連続的に排出された灰は，中継タンク部で加湿機により加湿され，ベルトコンベヤで灰捨てされる例である。

また，EPホッパを高く設置し，下部にトラックの通れるス

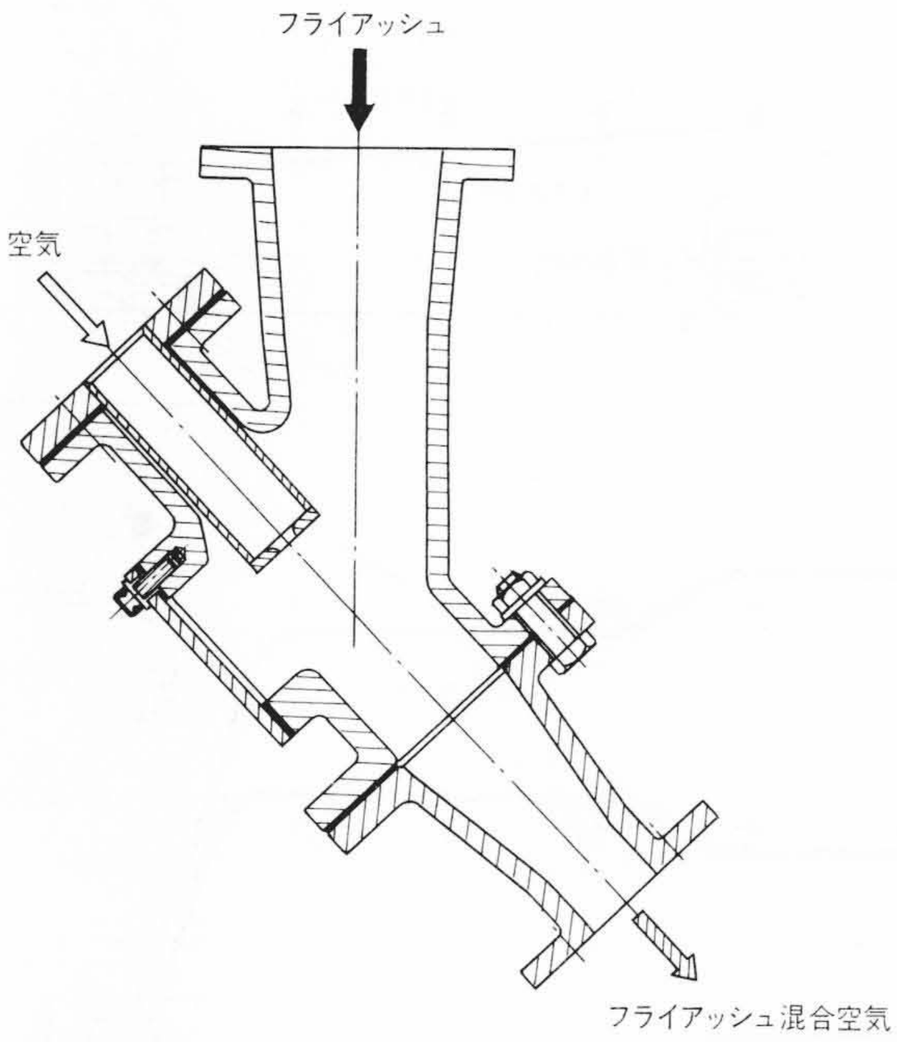


図12 エアエダクタ　エアエダクタの断面構造を示す。

ペースを確保するとともに，各ホッパには緊急灰出しシュートを設けてバックアップとした例である。

4.2 エアエダクタ

先の**図9**にシンダ灰処理用としてエアエダクタを使用した系統例を，**図12**にエアエダクタの構造を示す。

エアエダクタはゲージ圧0.5～1 kg/cm²の中圧空気を使用した空気エゼクタ灰供給機であり，灰の入口部は負圧で，ホッパへ空気を吹き上げることなく，良好な灰落ちが確保できる。灰供給部に可動部品がないため信頼性が高く，制御はホッパ弁及び空気供給弁の開閉だけで単純である。なお，輸送可能距離が短く，エアスライド同様，ホッパ近傍に中継タンクの設置が必要である。

エアエダクタは，配置及び温度の面でエアスライドの設置が困難な節炭器(Eco)，空気予熱器(AH)ホッパなどのシンダ灰処理用として採用される。EP灰用としても，エアエダクタの使用は可能であるが，消費動力はエアスライドより大きいので，エアスライドと組み合わせて，全体の省動力を図るのが合理的である。

5 結　言

石炭燃焼火力発電所の灰処理方式は，発電プラントの経済性を左右する重要な課題の一つであり，多種多様な方式が実用に供されている。

前項までに説明した新方式の灰処理設備は，構造，制御が単純であり，システム上，省動力，省用水，灰の有効利用などの点で極めて有利な特徴をもっていることから，今後の新規プラントに対しては，これらの方式を採用するよう提案していきたい。

石炭灰の有効利用，省動力などの観点から，本稿が灰処理設備計画の一助になれば幸いである。

参考文献

1) 長井，外：灰処理システムと灰の有効利用，日立評論，**62**，4，297～300(昭55-4)
2) 玉貫，外：石炭灰処理システムと有効利用技術，フジ・テクノシステム社，石炭火力発電所における灰処理設備，217～251(昭56-9)

論文抄録

量子力学における最近の話題

日立製作所　外村　彰

電子通信学会誌　67－9，982～984（昭59-9）

電場とか磁場とかいうものは，一体何なのだろうか。例えば，空間の一点に電場Eがあるということは，そこがどのような状態になっているのか。残念ながらその素朴な問いにうまく答えることはできない。せいぜい，「そこに電場というものがあって，単位電荷をもってくると，Eの力が働く。」という程度である。

しかし，これは古典力学の範囲での説明である。電子を波と見る量子力学では通用しない。電子波に力が働くと言われても，波がどのような影響を受けるのか分からない。ここで登場するのが，ポテンシャルである。ポテンシャルならば，「力」を持ち出すことなく，電子波の位相を変化させる量として理解できる。

これまでポテンシャルは，電磁気の問題を解くための数学的な道具と思われてきたが，このように考えてくると，電場や磁場と同じ資格で実在すると考えなければならないのではないだろうか。いや，それどころではない。今では，ポテンシャルのほうが，より基本的な量と考えられている。そう考えざるを得ない証拠もそろっている。それは，ＡＢ(アハラノフ・ボーム)効果である。磁場のない場所を通る電子波が，ベクトル・ポテンシャルによって，「位相差」の形で物理的な影響を受ける，というもので理論・実験の両面から確かめられている。

このＡＢ効果は1970年の後半になると，急に重要性を増す。自然界のあらゆる現象を統一的に取り扱う「ゲージ場の理論」が登場し，その理論を裏づける現象と見なされるようになったのである。この理論では，ベクトル・ポテンシャルは拡張されて「ゲージ場」と呼ばれ，最も基本的な物理量になる。

ところが，ＡＢ効果を子細に検討し直した結果，理論上からは存在し得ないと主張する人が現われた。昔の実験も決定的ではないと言う。近くに置いたソレノイドから磁場が漏れていた可能性があり，ベクトル・ポテンシャルの効果で位相差が生じたとは断定できない。

この論争が激しくなったころ，ちょうど筆者らは干渉性の良い電子線を開発し，電子線ホログラフィーと呼ばれる技術を実現したところであった。この手法では，わずかな磁場の漏れも，定量的に観測することができる。そこで，ＡＢ効果の存否を確かめる決定的な実験を計画した。まず，ソレノイドでは，端から磁場が漏れてしまうので，極めて小さなドーナツ状の磁石を半導体の微細加工技術で作製した。磁力線はドーナツの内部を回転して外には出てこない。万一漏れたときには，電子線ホログラフィーでその量を測定できる。そして，このドーナツの穴の中と，外側の空間を通った電子線の位相差を実測した結果，２本の電子線はいずれも磁場のない所を通ってきたにもかかわらず，両者の間に位相差が検出された。ベクトル・ポテンシャルによって影響を受けたと考えるほかない。