

サイクロンファーンレスボイラについて

Cyclon Furnace Boilers

小玉美芳* 利部浩** 岸秀樹*
 Miyoshi Kodama Hiroshi Kagabu Hideki Kishi

内 容 梗 概

今回三井化学工業株式会社、および国策パルプ工業株式会社よりそれぞれサイクロンファーンレスボイラを受注して、目下鋭意設計、製作中であり、また日立製作所日立工場の25t/h試験用ボイラを改造して直径5フィートの試験研究用のサイクロンファーンレスを製作中であり、近くこれらが運転にはいる予定であるから、これらの構造、特性などについて簡単に紹介する。

1. 緒 言

サイクロンファーンレスボイラはすでにイギリス、アメリカ、ドイツのB & W社においては200 餘近い実績をもち、最近における最も進歩した燃焼方式としてその特色をいかんなく発揮している。

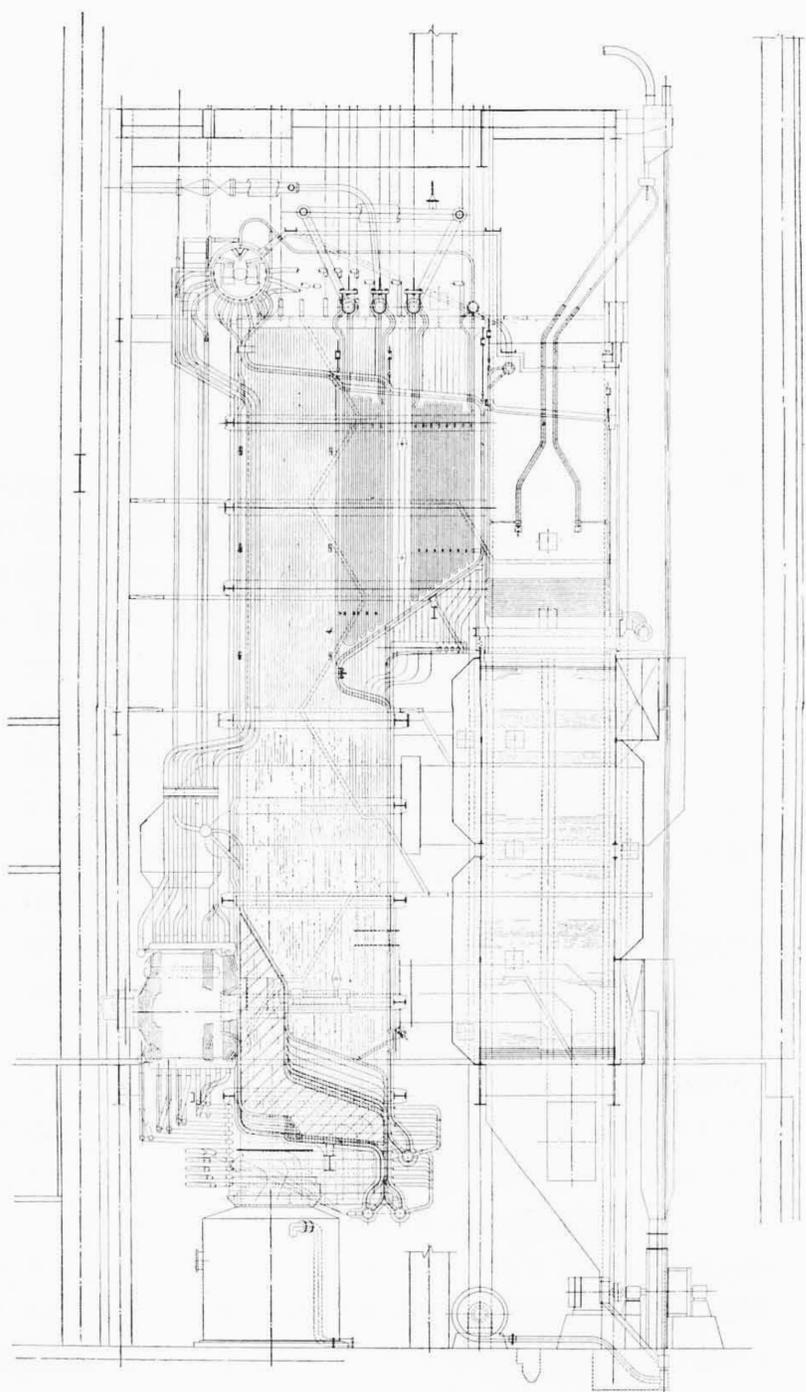
サイクロンファーンレスの日本炭への採用については、数年来日立製作所日立研究所において着実な研究が続けられ、着々その成果をあげている。

欧米の貴重な実績および日本での研究成果を基にして、今回三井化学工業株式会社および国策パルプ工業株式会社に二つのサイクロンファーンレスボイラを納入できることは喜ばしい限りである。その一つは九州地区で、他の一つは北海道地区であり、これらがともにわが国の二大石炭生産地であることを思えばきわめて意義深いものがある。サイクロンファーンレスの形式も前者はアメリカ式、後者はドイツ式であり、これらの運転実績により急速な普及が期待される。サイクロンファーンレスは湿式燃焼の一方式であるが、従来わが国においてはスラッグタップなどの湿式燃焼の経験はきわめて少なかった。しかし、現在ドイツなどでは最新の発電所に湿式燃焼を多数採用し、ドイツ B & W 社でも多数のサイクロンファーンレス付強制貫流ボイラおよび自然循環ボイラを建設している。またアメリカ B & W 社でも同様に、有名な Philo 発電所などの強制貫流ボイラもサイクロンファーンレスで製作されている。これらの事実は現在サイクロンファーンレスが立派に完成された有力な燃焼方式であることを示している。もちろん実際の採用に際しては、灰の熔融性などの使用炭の性質によりある程度制限されることもあるが、きわめて優秀な燃焼方式である。その最も大きな特色としては、灰の問題が容易に解決でき、従来の微粉炭焚の欠点を克服している点にある。イギリスで現在まで製作された7 餘のサイクロンファーンレスボイラのうち、5 餘は灰処理の問題が特にうるさい化学会社で採用されていることはきわめて興味深いことである。そのほか、低負荷運転、炭粒の変動に対し従来のスラッグタップ方式よりまさり、過剰空気率がきわめて少なくても完全燃焼が可能なので廃ガス損失が減少する。

後部伝熱面に飛び去る灰が少なくなるので、汽室伝熱面のよごれ、浸食の問題がなくなり、設計に際しては伝熱面の配置が容易で、したがって長期運転、保守の面で非常な利点を有するなど、サイクロンファーンレスは幾多の特色をもっている。

従来、サイクロンファーンレスの燃焼理論などについては多くの論文が発表されているので、本稿では三井化学工業株式会社および国策パルプ工業株式会社納のボイラを中心にして、おもにサイクロンファーンレスボイラの具体的構造、計画について説明したい。

* 日立製作所日立工場
 ** バブコック日立株式会社

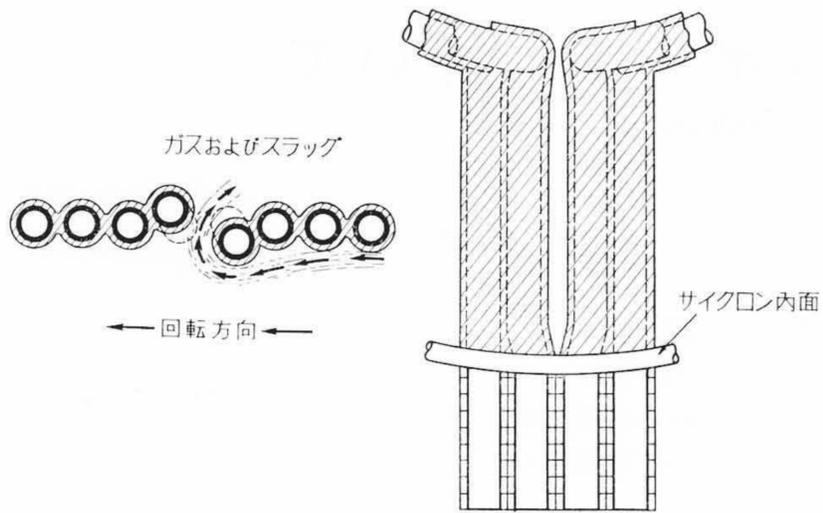


第1図 サイクロンファーンレスボイラ
 (三井化学工業株式会社納)

2. ボイラ計画仕様

現在製作中のボイラの概略仕様は下記のとおりである。

三井化学工業株式会社		国策パルプ工業株式会社
ボイラ形式:	B & W 単胴放射形 サイクロンファーン レスボイラ	B & W 単胴放射形 サイクロンファーン レスボイラ
サイクロン:	アメリカ式6フィー ト2個	ドイツ式7フィー ト2個
通風方式:	平衡通風	平衡通風



第 2 図 サイクロンスラッグタップ孔

蒸 発 量:		
(最大連続時)	95 t/h	100 t/h
蒸 気 圧 力:		
(過熱器出口)	52 kg/cm ² g	100 kg/cm ² g
蒸 気 温 度:	438°C	540°C
給 水 温 度:	150°C	120°C
燃 料:	三池炭 (6,600 kcal/kg)	北海道炭
	重油, コークスガス	(5,858 kcal/kg)

3. ボイラ本体の構造

第 1 図に三井化学工業株式会社納 95t/h ボイラの断面図を示す。国策パルプ工業株式会社納 100t/h ボイラも主要仕様は大差ないので、サイクロンファーンネス以外のボイラ本体はほとんど同じ構造である。すなわちサイクロンファーンネス内で燃焼を完了したガスは、サイクロン出口スロートを通り次の二次燃焼室にはいる。そこでは、ガスは床面の流動スラッグの上を流れて、二次燃焼室出口にあるスラッグスクリーンを通過して普通のボイラの火炉に相当するオープンパスにはいる。これ以降はほかのボイラと大差ない。一方、サイクロンで燃焼中、全灰分の約 85% が熔融スラッグとして補集されるが、これはサイクロン出口スロート部のスラッグタップ孔(第 2 図参照)より二次燃焼室に流れ落ちる。第 2 図に示すように、この孔の向きはサイクロン内燃焼ガスの回転方向と逆方向にして、大きな石炭粒が燃えきらぬうち、外に飛び出すのを防止する。さらに熔融スラッグは、二次燃焼室底にあるスラッグ取出孔まで流れてゆき、これより連続的に下の灰処理装置に落下する。このスラッグ取出孔は今回の計画では 1 籠につき 1 個で、二つのサイクロンからのスラッグが、ボイラ中心のガス最高温部にある一つのスラッグ取出孔からいっしょに流れ落ちる。サイクロンファーンネスより二次燃焼室出口までは、熱吸収を制限してスラッグの流動を容易にするため、管にスタッドを熔接し、プラスチッククロムオーアを塗り込む。二次燃焼室出口スラッグスクリーンは、さらにガス中の灰を補集する。アメリカではスラッグスクリーンのない設計もあるが、その際灰の補集率は約 5% 低下する。

籠水循環系統としては、ドラム両端より 2 本の太い降水管をおろし、火炉入口管寄およびサイクロンファーンネス入口管寄に給水する。サイクロン内では左右半割の管を上昇する間に加熱され、上部管寄にまとめられたのち上昇管となり、もう一度火炉上部の前壁内にはいて熱吸収を行い汽胴にもどる。これはサイクロンを 1 個しか運転しない低負荷運転のときも、良好な籠水循環を維持し、熱膨張および熱応力の差を生じないようにするためである。サイクロンファーンネス自体の支持方法としては、前壁およびサイクロン上昇管を一度型鋼で締めて、前壁上昇管はそのまままっすぐあげ、サイクロン荷重をもつようになっている。オープンパス部の炉壁は、裸管をす

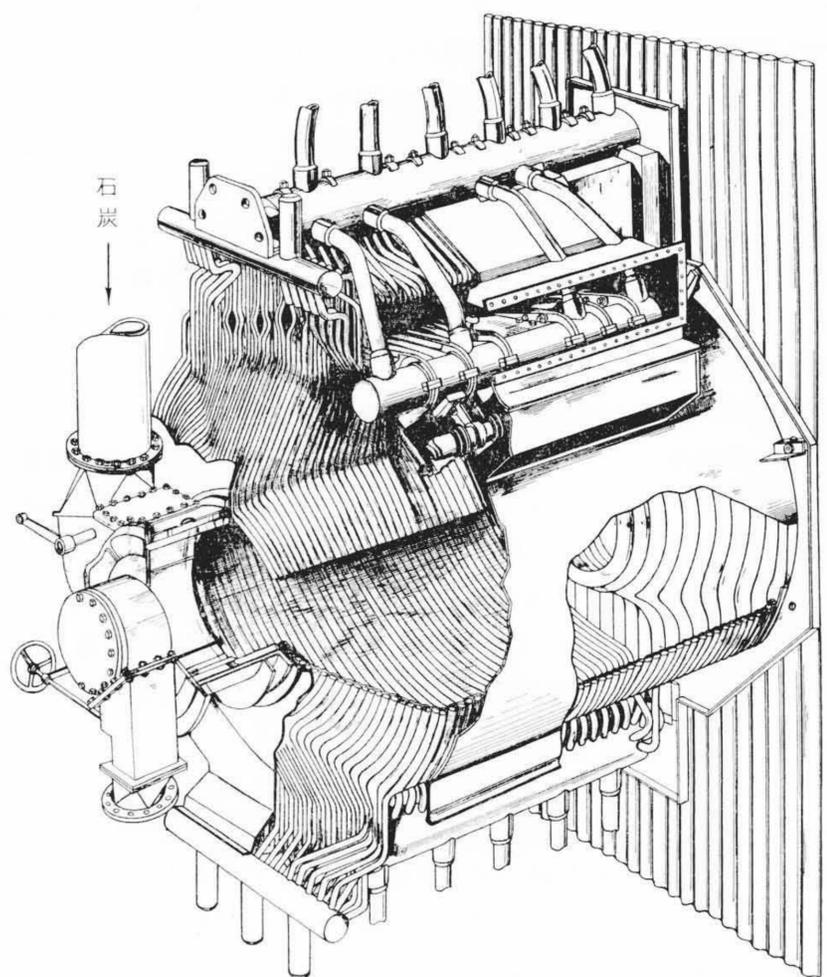
き間なしに並べた通常のボイラと同じである。この部では、もはや燃焼には関係せず、次の接触伝熱面にはいるガス温度を灰の軟化点以下に下げることだけが目的なので、自由な配置が可能である。また後部伝熱面の配置も、灰分の少ない燃焼ガスが流れるので浸食、つまり等の問題もなく容易となる。最近サイクロンファーンネスボイラで正圧運転のものもあるが、これはこの利点を利用して動力消費を節約したものである。

過熱器の蒸気温度調整にはスプレイ式減温器を採用した。空気予熱器には三井化学では横置管形空気予熱器を採用した。湿式燃焼であるため空気温度をかなり上げる必要があり、三井化学の場合はそのため予熱器の層が厚くなったので、ショットクリーニングを採用した。イギリス Barking C 発電所などで見学したところによると、後部伝熱面に飛ぶ灰は、非常にさらさらした細かい灰であるが、伝熱面そのものは従来の微粉炭焚ボイラより清浄に保たれていた。

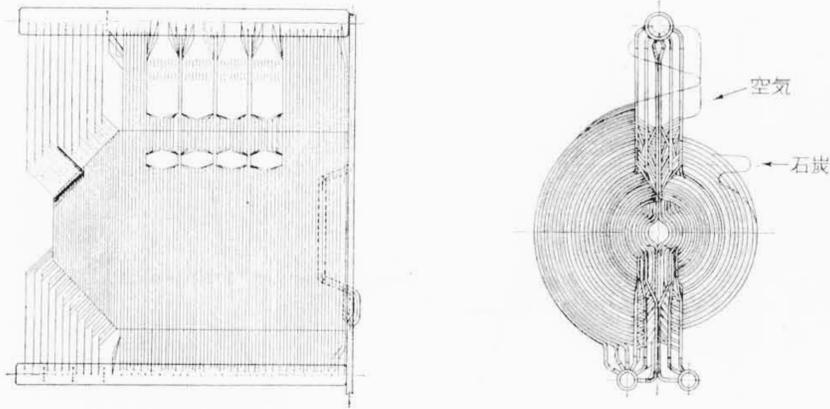
湿式燃焼では大部分の灰を熔融状態で取り出すので、ボイラの運転に際しては、普通の乾式燃焼と多少異なる。サイクロンファーンネス 1 個の燃焼からきまる最低負荷は約 50% である。すなわち今回の計画ではサイクロンが 2 個あるので、ボイラ負荷が 50% 以下になったときは、サイクロン 1 個で運転する。ただし 1 個の運転でも 25% 負荷とはいえず、その際は燃焼に関する問題でなく、それを出た熔融スラッグの二次燃焼室内での流動性により制限される。これはまた使用炭の性質などに影響される。実際運転のときは、空気過剰率を適正值に保ってガス温度を高く保ち、熔融性の悪い石炭に対しては混炭による改良や、また必要あれば石灰石などを添加することもある。また平衡ドラフトで運転するとき、二次燃焼室スラッグスクリーン出口で、ドラフトが大体 0 になるようにする。これにより、二次燃焼室内はわずかに正圧になり、外部からの冷空気のもれ込みを防止し、ガス温度低下によるスラッグ流動性悪化をさける。このため、今回の計画では二次燃焼室付近は、スキニングを採用し、検査窓などは圧縮空気によりシールする。

4. サイクロンファーンネスの構造

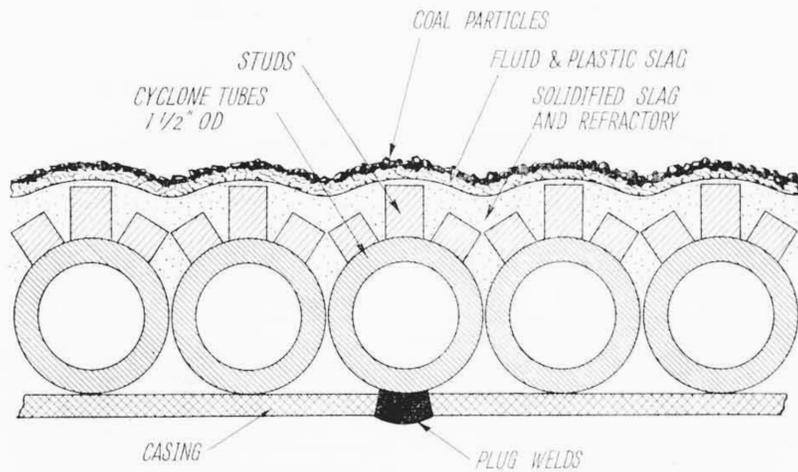
サイクロンファーンネスは 1944 年アメリカ B & W 社で発明され、そ



第 3 図 アメリカ式サイクロンファーンネス



第4図 ドイツ式サイクロンファーンネス



第5図 サイクロンファーンネス炉壁構造図

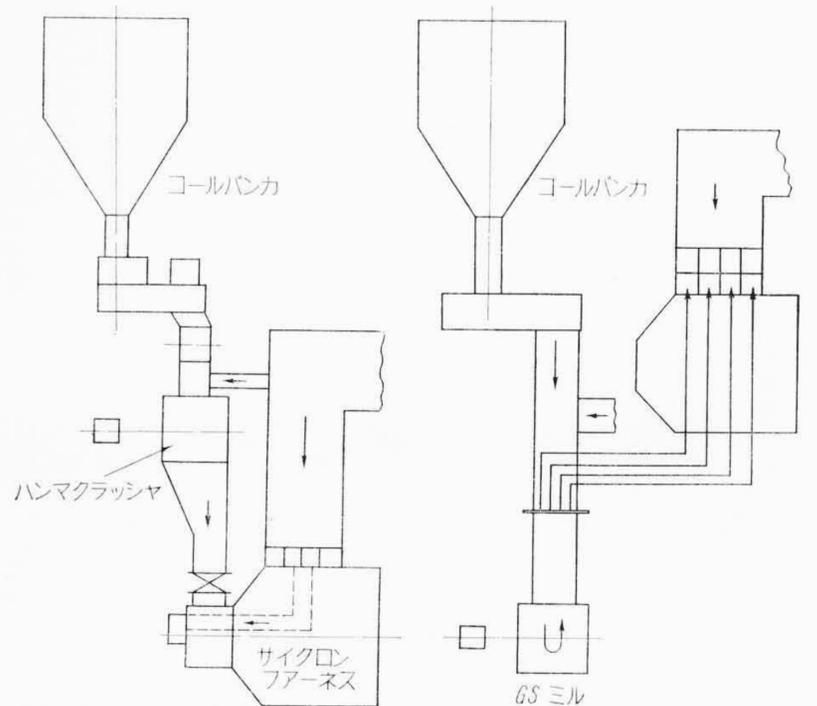
の後ドイツおよびイギリス B & W 社でも製作されている。ドイツ式は原理的にはアメリカ式と大差ないが、サイクロン自体の構造や微粉炭系統をドイツの石炭に適するように直したものである。

第3, 4図にアメリカ式およびドイツ式サイクロンファーンネスの概略を示す。アメリカ式のときはハンマクラッシャで約6ミリ以下に粗砕された石炭が一次空気とともにサイクロンの尖頭部にはいり、85%程度的高速二次空気がサイクロン長手方向にあるいくつかの空気送入口より接線方向にはいる。また図に示すように中心部より5%程度の三次空気を入れることもある。この強力な二次空気の旋回により、石炭と空気との相対速度が大きくなり、燃焼により生成した石炭粒の周囲の炭酸ガスが、ただちに吹き払われ、急速な燃焼が続けられていく。ドイツ式のときは、200メッシュ通過30%程度にGSミルで粉砕された石炭は、石炭乾燥および運搬用の一次空気とともに、二次空気孔の下側にあるいくつかの石炭孔より吹きこまれる。このように、ドイツ式のほうがアメリカ式より石炭をこまかに粉砕するので、湿分の多い石炭などでも着火が早く、より広範囲の炭種を使用できる。その代りミルなどの動力消費は増加する。三井化学納のものは、特に灰の熔融点の低い三池炭を主燃料として設計され、国策パルプ納のものは種々の北海道炭の使用を考えたので、それぞれアメリカ式およびドイツ式の採用となった。

第5図にサイクロンファーンネスの炉壁構造を示す。大半はスタッドを熔接し、その表面にプラスチッククロムオーアを塗り込む。この表面を流れる流動スラグは、水冷管の冷却効果によりその上に薄いかたまった膜を作り、さらにその上を熔融スラグが流れる。すなわち耐火材は、同目的のスラグでおおわれるので、たとえ多少とれてもすぐスラグがついて固まって補修されてゆくの、保守はほとんど必要としない。接して配置された管の外にはケーシングがあり、管の所々をこれに熔接して強固な構造とし、ケーシング外面を保温する。

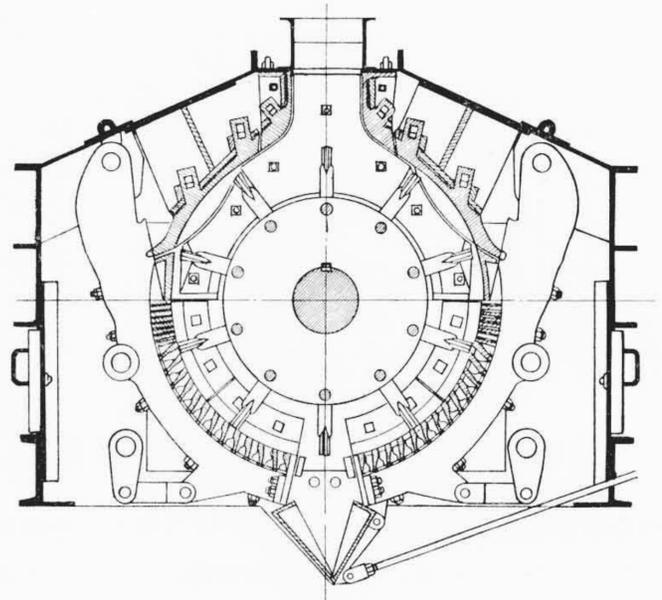
5. 微粉炭装置

微粉炭系統にはドイツ式、アメリカ式ともに直接式と貯蔵式とがある。ドイツ式では最近特別の粗悪炭でなければ、直接式を採用し、



アメリカ式直接燃焼方式 (三井化学工業株式会社納) ドイツ式直接燃焼方式 (国策パルプ工業株式会社納)

第6図 給炭系統図

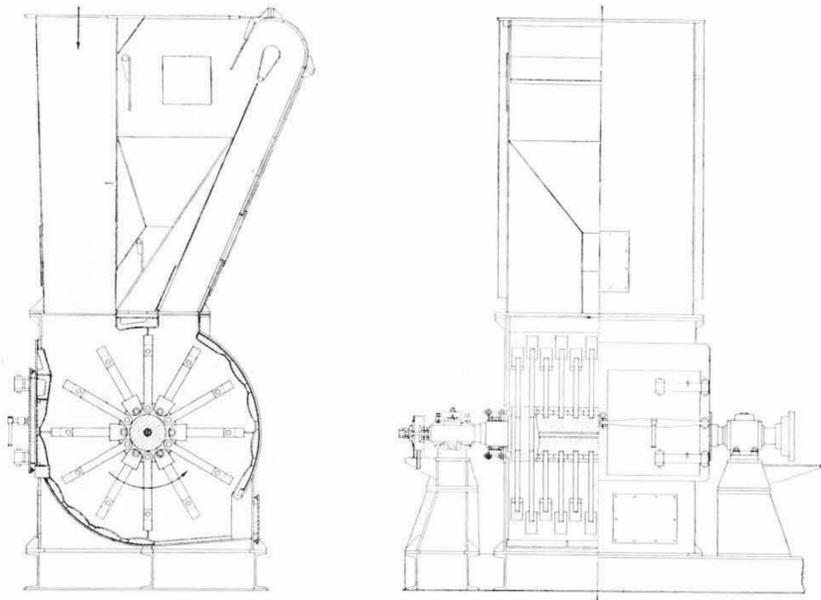


第7図 ハンマクラッシャ

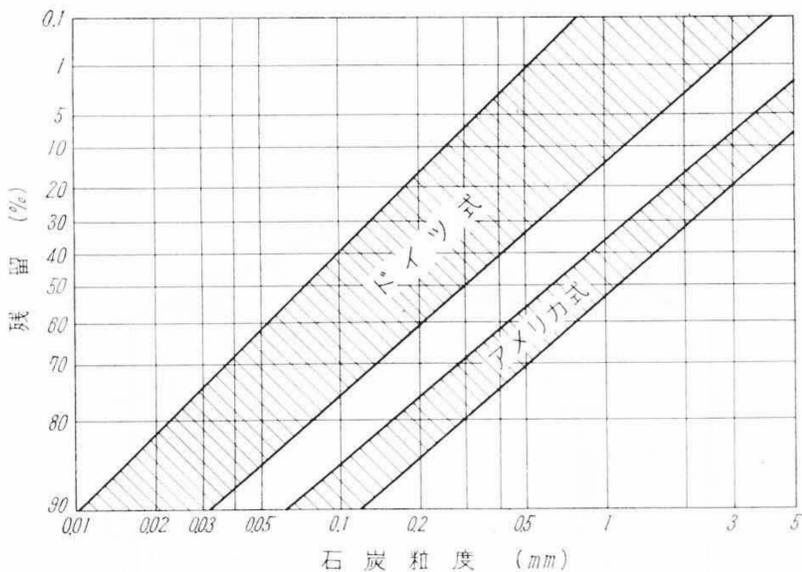
ミル乾燥、微粉運搬には空気予熱器出口の高温空気を使用する。湿分の特に多い石炭に対しては、ミル乾燥のために通常の空気予熱器を出たあと、一次空気のみをさらに一次空気用予熱器で加熱した例もある。以前用いられた貯蔵式のときは、火炉燃焼ガスおよび空気を混合してミル乾燥に用いたこともある。普通の微粉炭焚に似たドイツ式が、最近直接式で設計されるようになったことは、微粉炭焚の歩みと同じで興味深いことである。アメリカ式では、貯蔵式のときもクラッシャ後の石炭は粗砕なので、コンベアなどに運搬が可能で、直接式と大きな違いを生じない。第6図に三井化学および国策パルプ用の直接燃焼方式の系統を示す。

第7図にアメリカ式直接燃焼方式に用いられるハンマクラッシャを示す。一次空気の正圧がかかるので、ケーシングは耐圧構造となっている。軸受貫通部は、外から高圧空気でシールされる。石炭は上部よりはいる、中の回転するハンマと回りのケージの間で粉砕され、下のスクリーンで必要粒度にふるい分けられて下方に給炭する。石炭粒度分布は、このスクリーンとハンマの間げきの調整により変えられる。また、鉄片などの異物は下部のポケットにたまる。なお三井化学用ハンマクラッシャは、正逆転切換可能で回転方向を時々変えることによりハンマの摩耗を一様にしてその寿命を長くするよう考慮されている。

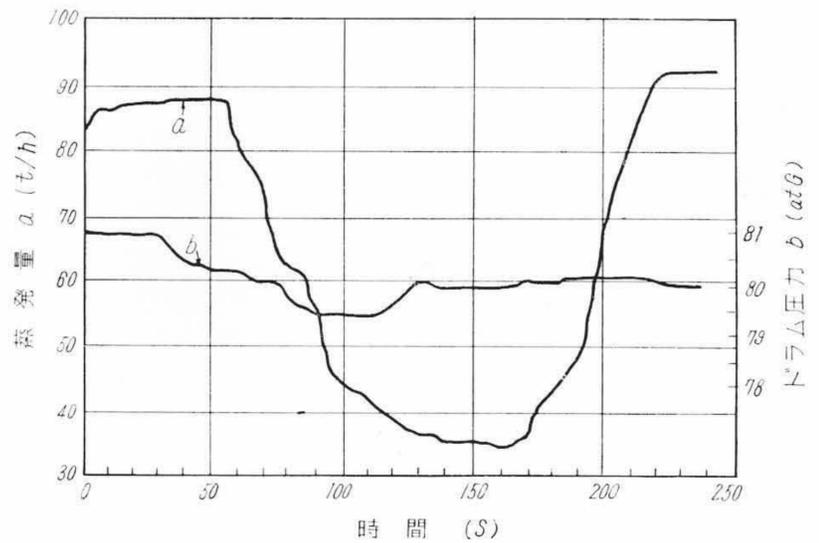
第8図にドイツ式に用いられるGSミルを示す。原炭および乾燥、運搬用空気は上方よりはいる、ミル内で乾燥粉砕された石炭は空気



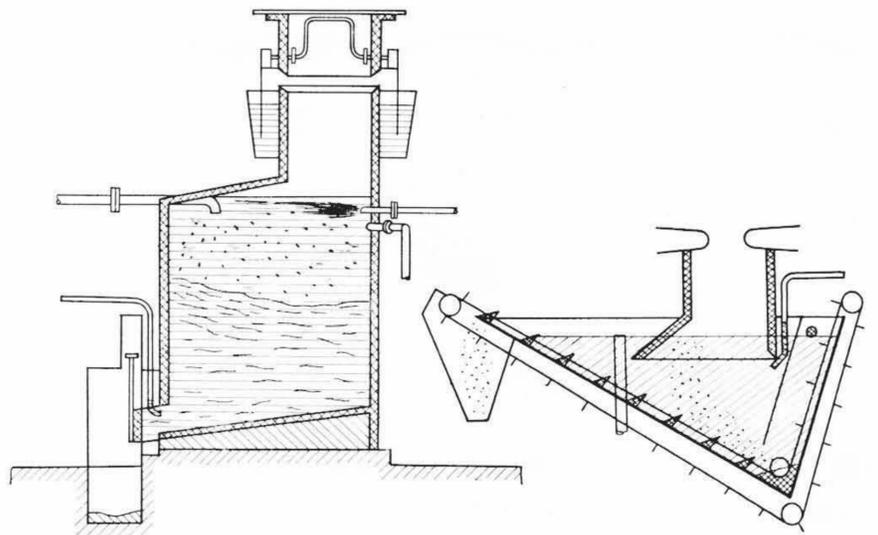
第 8 図 G S ミル



第 9 図 サイクロンファーンネス用石炭粒度分布



第 10 図 サイクロンファーンネスボイラ制御特性例



第 11 図 スラッグタンク方式

第 12 図 ドラグリック方式

る。粗粉分離器は数個の調整可能なダンパより成り、その角度の調節により粒度が変えられる。分離された粗粉はふたたびミル入口側にもどる。このミルの運転時の騒音は小さく、最近の他の立型ミルよりむしろ小さいほどである。ただ運転中石炭落下部で、バラバラ石炭の落下音が聞える。

第 9 図にアメリカ式およびドイツ式に通常用いられている粉碎後の石炭粒度分布を示す。

6. ボイラ自動制御

自動制御は従来の微粉炭焚ボイラと大差ない。すなわち蒸気圧力の変動に応じて、給炭機の世界制御により給炭量を、サイクロン入口ダンパにより空気量を変える。空気/燃料の比率制御は蒸気量/空気量比率により行われる。1 籠に数個のサイクロンがあるときは、燃焼のアンバランスを防止するため、各サイクロンごとの空気量か、あるいは各サイクロン出口ガスの $O_2\%$ を測定して再調整する。サイクロンファーンネスの特殊制御として空気圧力制御がある。これは空気予熱器出口の空気圧力をほぼ一定になるよう、強圧通風機のペーンまたはダンパを調整して、バーナにはいる二次空気を約 100 m/s の高速に保って、良好な燃焼を維持する。ミル出口の温度制御は、通常の微粉炭焚と比べて石炭粒度があらいで危険性が少なく、遠方手動で行われるのが普通である。運転に際してはミル用一次空気量は負荷にかかわらずほとんど変化させない。

サイクロンファーンネスの負荷変動に対する応答性は通常の微粉炭焚ボイラと同様で、第 10 図に実際の制御例を示す。

7. 灰 処 理

サイクロンファーンネスでは、通常の微粉炭焚ボイラと異なり、灰の

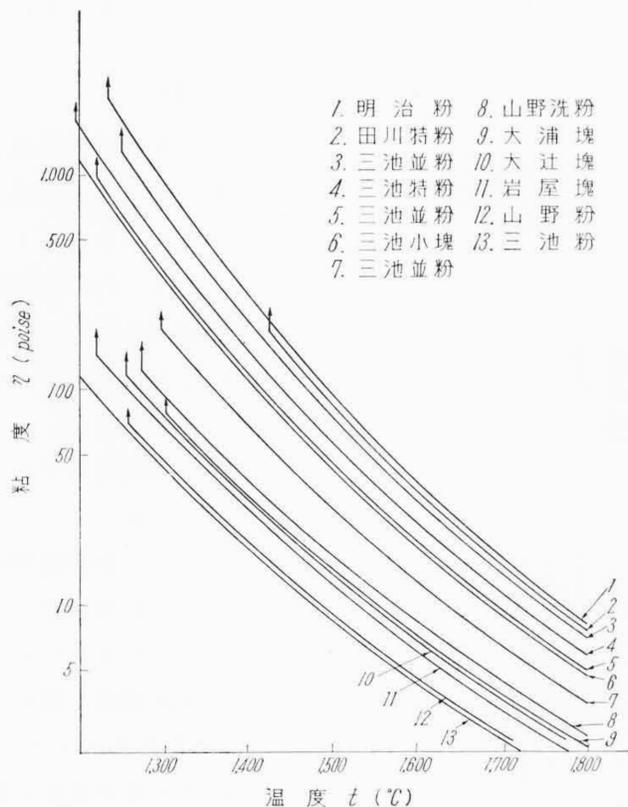
大部分は熔融スラッグの形で処理されるので火炉下の灰処理が一番問題になる。これに対し、現在主としてスラッグタンク方式またはドラグリック方式が使われている。

第 11 図にスラッグタンク方式を示す。火床のタッピングホールより落下する熔融スラッグは、タンク内の水中に落ちて急冷され、大きさの細かいそろった固い粒になる。このスラッグは微粉炭焚ボイラのフライアッシュと異なり、砂利状になるので後処理が容易になる。スラッグタンクでは、水中に落下したスラッグが一箇所に積り、シュートのつまりの原因となったり、またタンク容量を十分利用できなくなることを防ぐため高圧ジェット水を水面下に吹き、スラッグの層を平にする。またスラッグの持ち込む熱量によりタンク内水温が上らぬように補給水を入れ、他端よりオーバーフローさせる。タンク内にたまった灰は一定時間後水圧ゲートを開けて、灰流溝に落とすことは従来の微粉炭焚と同様だが、ただしその際タンク内水面が危険水位以下にならぬよう、補給水量などを考慮しなければならぬ。

第 12 図にドラグリック方式を示す。この方式では、スラッグは連続的に排出され、その後ベルトコンベアまたは、水洗式灰流しみぞで運ばれる。これを採用すれば必要水量は少なくなるが、そのかわりにドラグリックを常時運転しなければならぬ。

アメリカにおいては主としてスラッグタンク方式を、ドイツではドラグリック方式を、イギリスではその両方式を採用しているが、ともに順調に運転されている。

なお今回の三井化学および国策パルプ用ボイラには、集じん装置は設けなかったが、廃ガス中の含じん量をもっときつく制限するときは、簡単な電気集じん器をつける。その際集じん器で補集されるフライアッシュは、その量が従来の微粉炭焚ボイラに比べてはるかに少ないので、ふたたび空気輸送してボイラにもどして熔融スラッグの形でいっしょに処理することもできる。これにより従来のフラ



第13図 九州炭の粘度特性

イアッシュによるよごれの問題は完全に解決される。

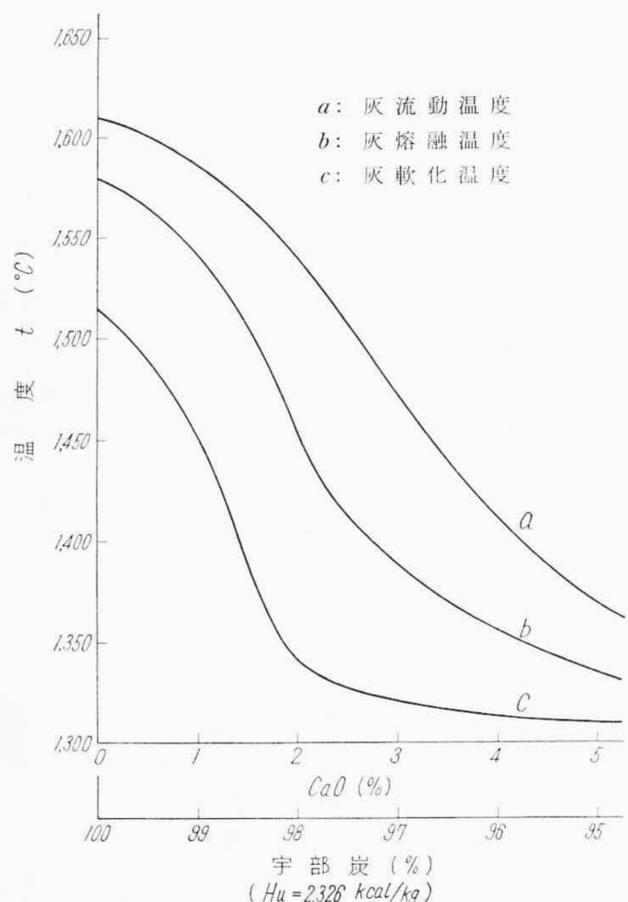
8. 日本におけるサイクロンファーンネスの研究

第13図は日立製作所日立研究所で回転式粘度計によって測定した九州炭の灰の粘度特性であるが、このほかにも数多くの日本炭に対する研究が進められている。日本炭のなかでも発熱量が低く灰の熔融温度が高いため、サイクロン燃焼に適しないものもあるが、これまでの研究結果によれば大部分の日本炭に対してサイクロンファーンネスは有効に使用しうることが判明した。従来ともするとサイクロンは低品位炭のほうが高発熱量の良質炭よりも利用度が高いように考えられがちであったが、これはまったくの誤解であって良質炭に対しても非常に有効な燃焼法であることは欧米における利用実績からしても明らかである。

サイクロン燃焼方式では灰の熔融特性はきわめて重要であるが、この熔融温度は燃焼室のふん閉気によって若干変化するものであり、ふん閉気が配化閉気よりも環元閉気のほうが約100°C程度低くなるが、実際の燃焼室では配化閉気よりもむしろ環元閉気の状態にある。熔融スラッグの粘度を求めるには実験式も発表されているが、実際のサイクロンファーンネスボイラの計画に際してはその使用炭の灰について実測するのがよい。

先般日立製作所日立研究所では発熱量2,895 kcal/kg、灰分60.1%、灰の熔融温度1,630°Cという鯉田低品位炭の単味燃焼試験を実施した。これには空気温度を400°Cまで加熱してサイクロン周壁の熱損失をできるだけ減らすことにより灰を流出せしめたものであるが、このような極端に悪い石炭では灰の流出状況は必ずしも良好とはいえなかった。このような悪い石炭に対しては良質炭あるいは重油を混焼するか、あるいはフラックスとして石灰などを混入すれば、灰の流出状況は著しく好転する。第14図は宇部炭(低位発熱量2,326 kcal/kg)に対して石灰を混入した場合の灰の変形温度、熔融温度、流動温度を示したもので、わずか数%の石灰の混入によって約250°C近く流動温度が低下することがわかる。

従来日立研究所で行った燃焼試験は直径400mmのテストプラントによるものであるが、このテストプラントでは直径5フィート乃至10フィートの実際の大型サイクロンファーンネスの状況が明確にはあくしにくいので、現在日立製作所日立工場の既設25t/h試験ボイラを改造して、直径5フィートのサイクロンファーンネスを設置中



第14図 石灰(CaO)添加による灰熔融性の変化

である。

このサイクロンファーンネスは近々完成の予定であり、本文が発表されるまでには運転実績も出ると思われるので以下に概略を紹介する。

第15図はサイクロンファーンネスボイラの組立断面図を示し、第16図はその系統図を示したものである。サイクロンの直径は5フィート(1,588mm)であり燃焼ガスは二次炉を通過して25t/hボイラの底部に送入されるような構造とした。サイクロンファーンネスの全周は直径48.6mmの管を接して配置し、フルスタッド構造として耐火材を塗り込んであり、熔融スラッグはサイクロンのスラッグ孔から二次炉を通り満水したスラッグタンクに流れ落ちる。

一次空気、二次空気の送入孔はそれぞれ上下4個に分割され、サイクロン上部に設置された。一次空気は粉炭とともに下側の4個の孔より送入し、二次空気は上部の孔から押込む構造とした。またサイクロン頂部には三次空気の送入孔を設けてあり、二次空気風道の途中から分岐している。これら一次、二次、三次空気の割合は種々に変えて実験する予定であり、したがってサイクロン入口風速も空気温度、空気量などとともに広範囲に変化させられる。

燃焼用空気としては独立空気予熱器を設置して25t/hボイラの空気予熱器で加熱したものを、さらに400~500°C程度まで加熱するよう計画されているので、実際の燃焼試験に際しては空気温度もいろいろに変化させることができる。

石炭粉砕機にはハンマクラッシャを使用した。微粉炭系統にはビンシステムを採用した。石炭粉砕機で粉砕された粉炭を一次、二次のサイクロンダストコレクタで補集して粉炭バンカに貯蔵し、石炭計量機で計量して一次空気で輸送してサイクロンファーンネスに投入する。押込通風機は実験用であるから風圧も1,200mm WGとして風量もかなり余裕をもたせてあり、研究用としての特種目的に合致するよう種々細かいところまで注意をはらって計画したので、これら諸元を大幅に変化させて最適運転条件を決定しうると考える。

本装置によって得た資料は直接実際のボイラに対する資料として石炭の燃焼限界、最低負荷、灰の補集率、スラッグの流動状況、運転の難易性などを知ることができるので関係方面から寄せられてい

る期待もまた大きいものがある。

9. 結 言

以上、三井化学工業株式会社および国策パルプ工業株式会社納サイクロンファーンボイラの計画を基にして、これの実際計画および研究の概要を述べたが、今後われわれの進むべき方針として下記のことを考えられる。

(1) 日本炭に対する最適設計の追究

灰分の多い比較的低発熱量の日本炭の特殊性を考へて、それに最も適した設計をするためには、今後絶えず改良研究を進めてゆかねばならぬ。たとえばドイツ B & W 社では、アメリカ式から始めてドイツ炭に最も適したドイツ式を開発し、今日の隆盛を築いたように、われわれはこの努力を学ばねばならない。

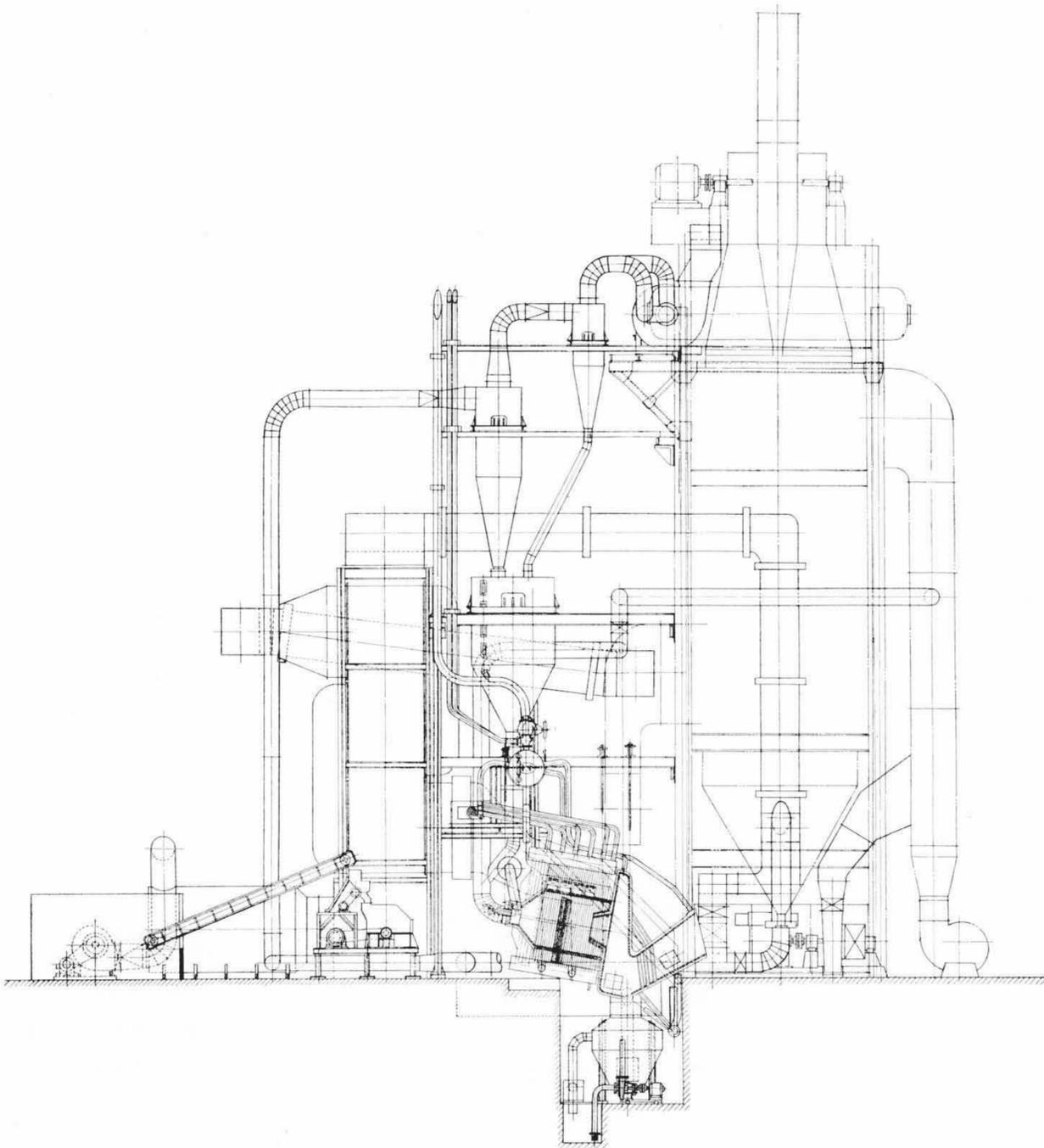
また、使用可能な日本炭の範囲もこの二つのボイラの完成と着実な研究により、より明確になるものと期待される。

(2) 大形事業用ボイラへの採用

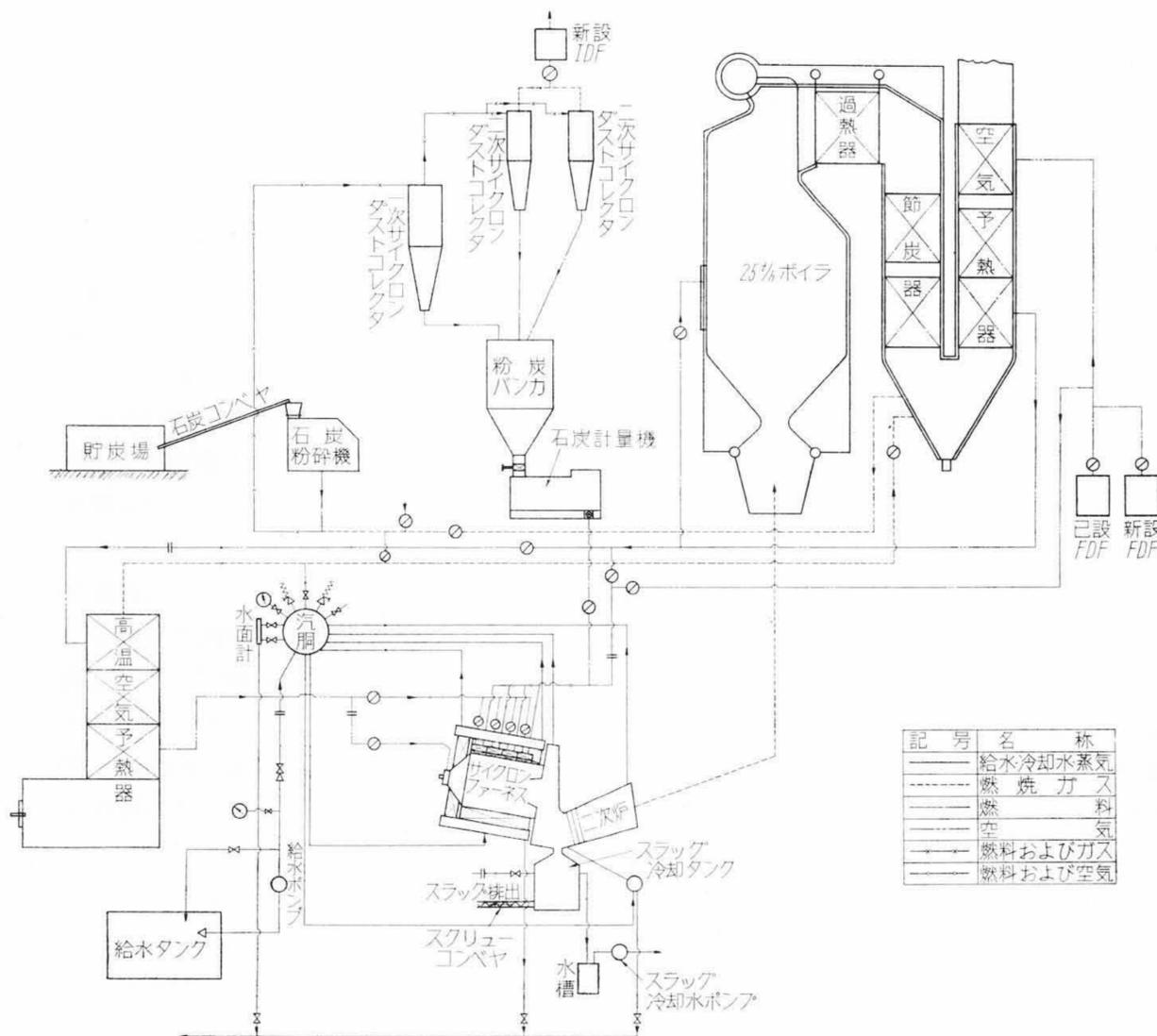
産業用ボイラとともに、当然大形事業用ボイラへの採用も期待される。大形化されても基本設計の考え方は大差ない。すでにアメリカでは 450 MW、イギリスでは 120 MW、ドイツでは 150 MW 級まで製作されている実情である。

(3) 強制貫流ボイラとの組合わせ

サイクロンファーンの中だけで燃焼が完了することは、強制貫流ボイラとの組合わせでさらにその利点を発揮する。たとえばアメリカ Philo 発電所の 125 MW 超臨界圧力ボイラのように、後の火炉を小さくして、ガステンパリングで火炉出口ガス温度を調整することもできる。すなわち燃焼面からの火炉大きさの制限がなくなり、より自由な強制貫流ボイラの設計が可能となる。上記アメリカの 450 MW およびドイツの 150 MW ボイラはともにサイクロンファーンと組合わせた強制貫流ボイラであることは、明日のボイラの一面を示すものといえよう。



第 15 図 5 フィートテストサイクロンファーン組立図



第 16 図 5 フィートテストサイクロンファーン系統図