

日本におけるサイクロンファーンネスボイラの実績

The Operating Records of Cyclone Furnace Boilers in Japan

利 部 浩* 和 島 淳**
Hiroshi Kagabu Kiyoshi Wajima

内 容 梗 概

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納入されたサイクロンファーンネスボイラは運転開始以来それぞれ二年以上現在まで順調な運転を続けており、その優秀性が実証されている。なお最近九州電力株式会社からも大容量サイクロンファーンネスボイラの製作を命ぜられたので、運転実績を中心としてサイクロンファーンネスボイラについて述べることにする。

1. 緒 言

サイクロンファーンネスボイラは欧米においてはすでに広く採用され、特にこの数年間の飛躍は目ざましくその地位を固めているし、わが国においても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納入されたものがそれぞれ優秀な運転成績を示している。なお最近九州電力株式会社から事業用大容量サイクロンファーンネスボイラを受注した。

三井化学工業株式会社ならびに国策パルプ工業株式会社納めのもはそれぞれ予想効率を上回り、ここ一年間の公称稼働率は前者が100%、後者が99.7%ときわめて良好な成績を納めている。

九州電力株式会社新港二期用ボイラはさきに清水共同発電株式会社に納入したものと同一形式のベンソンボイラにサイクロンバーナを取り付けたもので運転の暁には十分な成果をあげうるものと確信する。

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めのボイラの運転実績と九州電力新港二期用サイクロンファーンネスベンソンボイラの計画概要を中心としてサイクロンファーンネスボイラについて述べる。

2. サイクロンファーンネスの実績

主として石炭を燃やすボイラの燃焼方式には、大別して乾式燃焼と湿式燃焼とがある。湿式燃焼にはいわゆるスラッグタッパファーンネスによる燃焼とサイクロンファーンネスによるものがあるが、いずれも燃焼後の石炭の灰は溶融して炉壁の内面にそって流下し流動スラッグの形で取り出される。

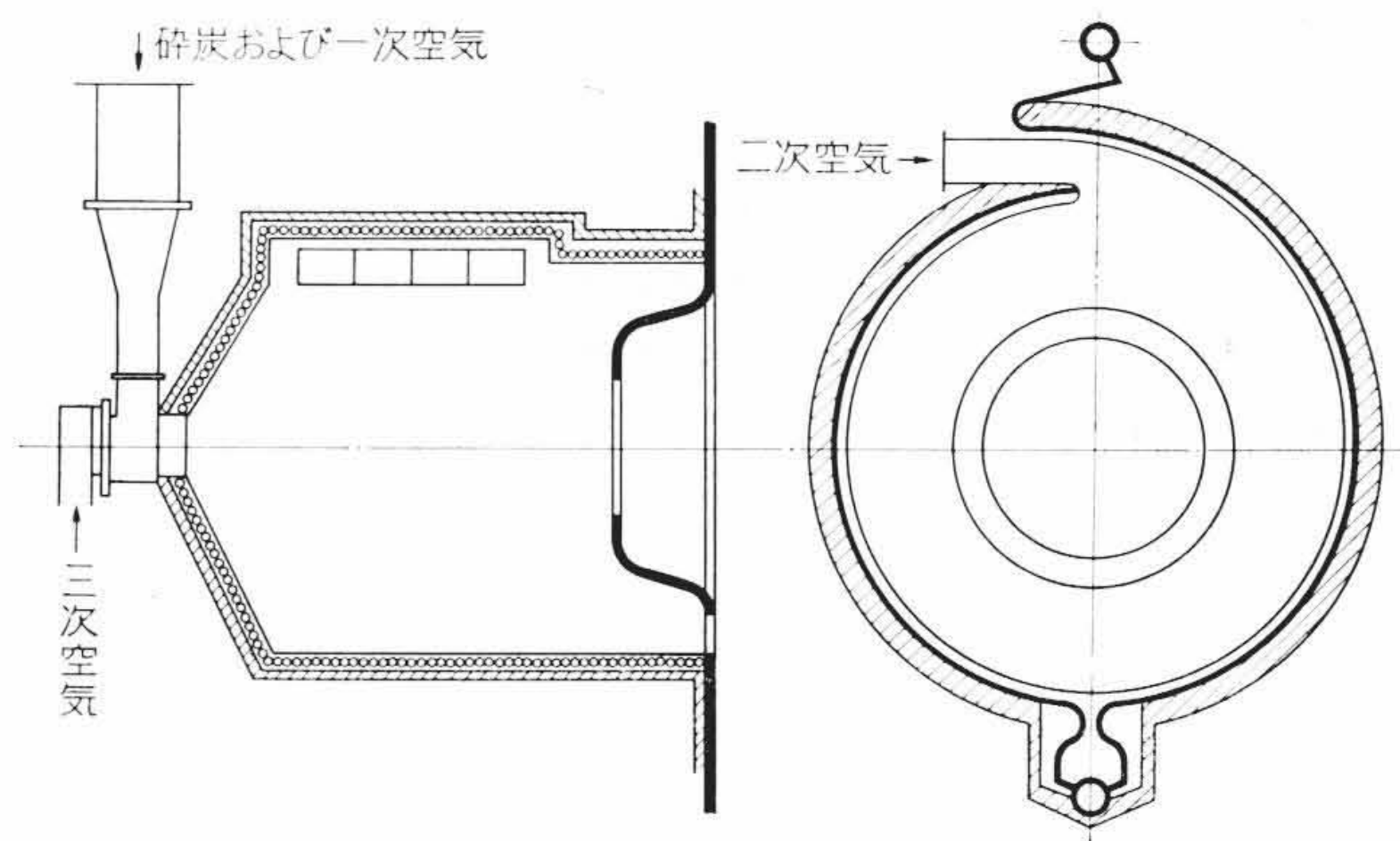
サイクロンファーンネスにはアメリカ式とドイツ式の二通りあり燃料および空気の送入方法が異なっている。第1図に示すアメリカ式サイクロンファーンネスでは、燃料と一次空気がサイクロン円すいセン頭部から、旋回を与えられながら軸方向に二次空気が円筒部から接線方向にはいる。第2図に示すドイツ式サイクロンファーンネスでは、燃料と一次空気が二次空気入口下にあるいくつかの開口部より吹きこまれる。いずれも強力な旋回運動と良好な混合作用により高温の完全燃焼が行なわれる。この際強い旋回運動による遠心力で燃料粒子はサイクロン内壁に分離されて溶融ラッグ膜上に捕えられスラッグとともにゆるやかに運動する。したがってこれに接する高速旋回気流との間に大きな相対速度が得られ、同時に粒子の燃焼室内滞留時間が長くなるので高温となり、高火炉負荷のもとで完全燃焼が行なわれる。

3. サイクロンファーンネスボイラの開発

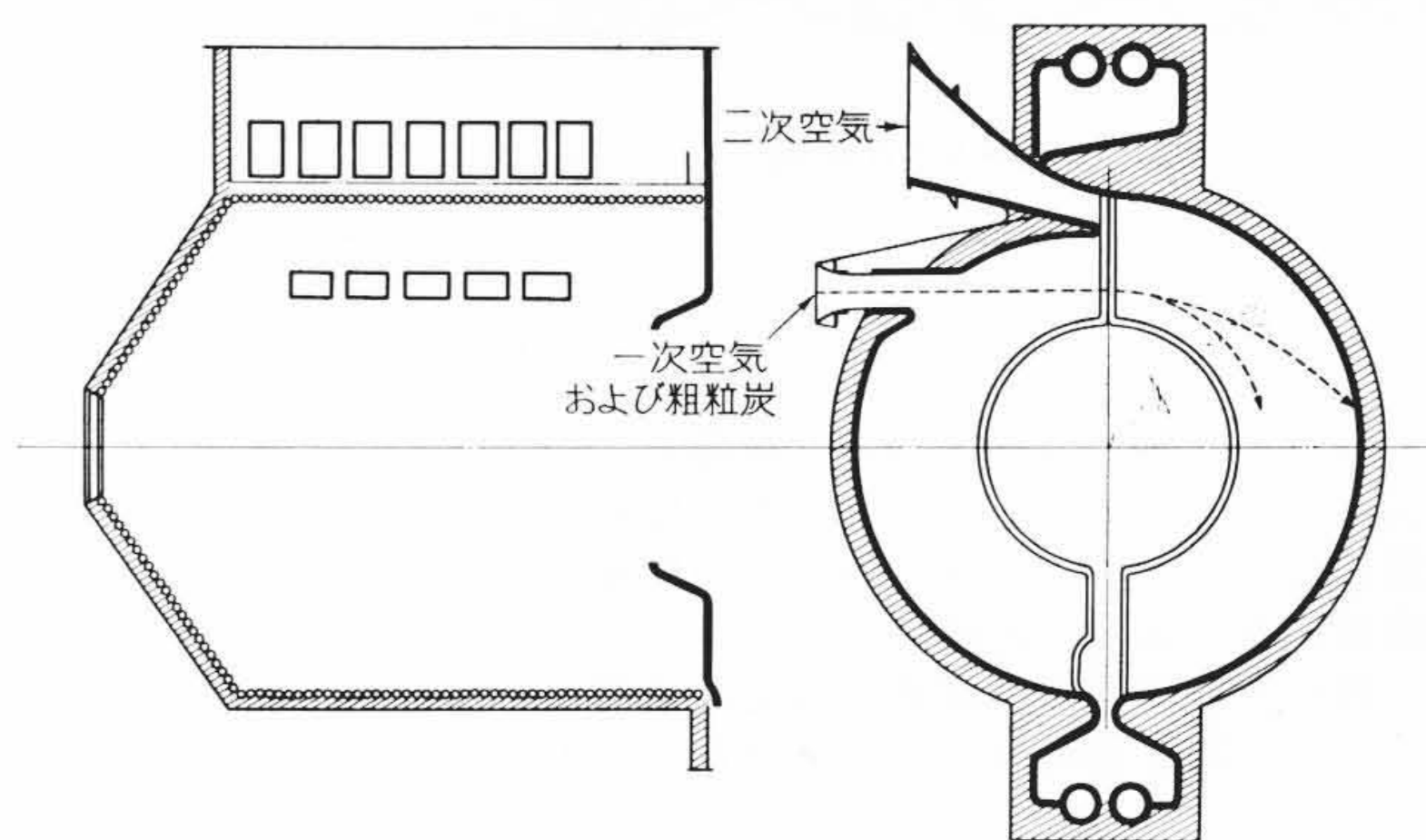
サイクロンファーンネスボイラはアメリカバブコックで考案、1938

* バブコック日立株式会社

** 日立製作所呉工場



第1図 アメリカ式サイクロンファーンネス

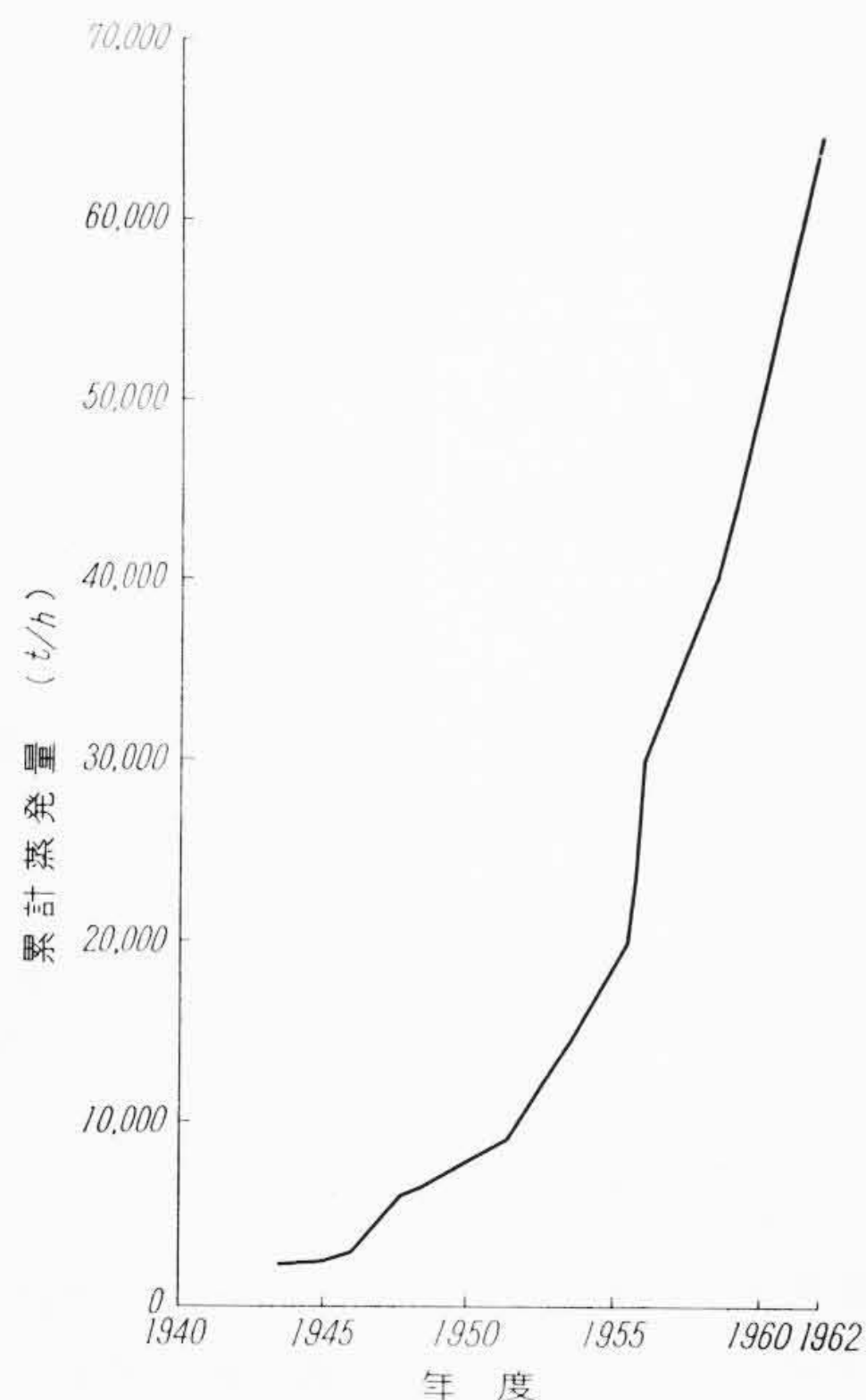


第2図 ドイツ式サイクロンファーンネス

年、バーバートン工場で、初めてのテストサイクロンが試作され、その後同工場に5フィートテストサイクロンを設置して実験、研究を重ねた結果実用化に成功、1944年、カルメット発電所ではじめてサイクロンファーンネスボイラが運転にはいった。

一方ドイツでもサイクロンファーンネスに着目、1950年、デュッセルドルフにある既設ボイラにテストサイクロンを取り付け、実験を開始した。このテストサイクロンはアメリカで開発された構造のものであったが、炭種の相違により構造を若干改変し、1953年初頭まで研究を続け、いわゆるドイツ式サイクロンファーンネスの開発に成功したものである。

わが国においては、日立製作所で1955年より研究に着手し、まず口径400mmのサイクロンファーンネスを備えた燃焼用テストプラントと、その後日立工場の既設25t/h試験ボイラを改造して5フィートのサイクロンファーンネスを設置した実物大ボイラにより、わが国各地区の多種銘柄炭の燃焼実験を行なった。またライツの高温加熱顕微鏡による石炭灰の溶融性、回転式高温粘度計によるスラッグ粘度の測定などによりほとんどの日本炭に対しての特性をは握し、サイクロンファーンネスに対して日立独自の見解を得るにいたった。



第3図 サイクロンファーンネスボイラによる発生蒸気量

第1表 サイクロンファーンネスボイラ設置実績 (国別 1962 調査)

国名	ボイラ数	サイクロンファーンネス数	全蒸気量 (t/h)
アメリカ	106	410	48,389
ドイツ	79	146	13,444
イギリス	7	12	1,273
フランス	1	4	360
日本	3	8	705
カナダ	2	4	408
計	198	584	64,579

サイクロンファーンネスボイラは、上述のように第一号機がアメリカのカルメット発電所で運転にはいつてからまだ二十年たらずであるが、その間の発展は第3図に示すように目ざましいもので、1962年の調査では、全世界における実績は次のとおりである。

サイクロンファーンネスボイラ数 198

サイクロンファーンネス数 584

全蒸気量 64,579 t/h

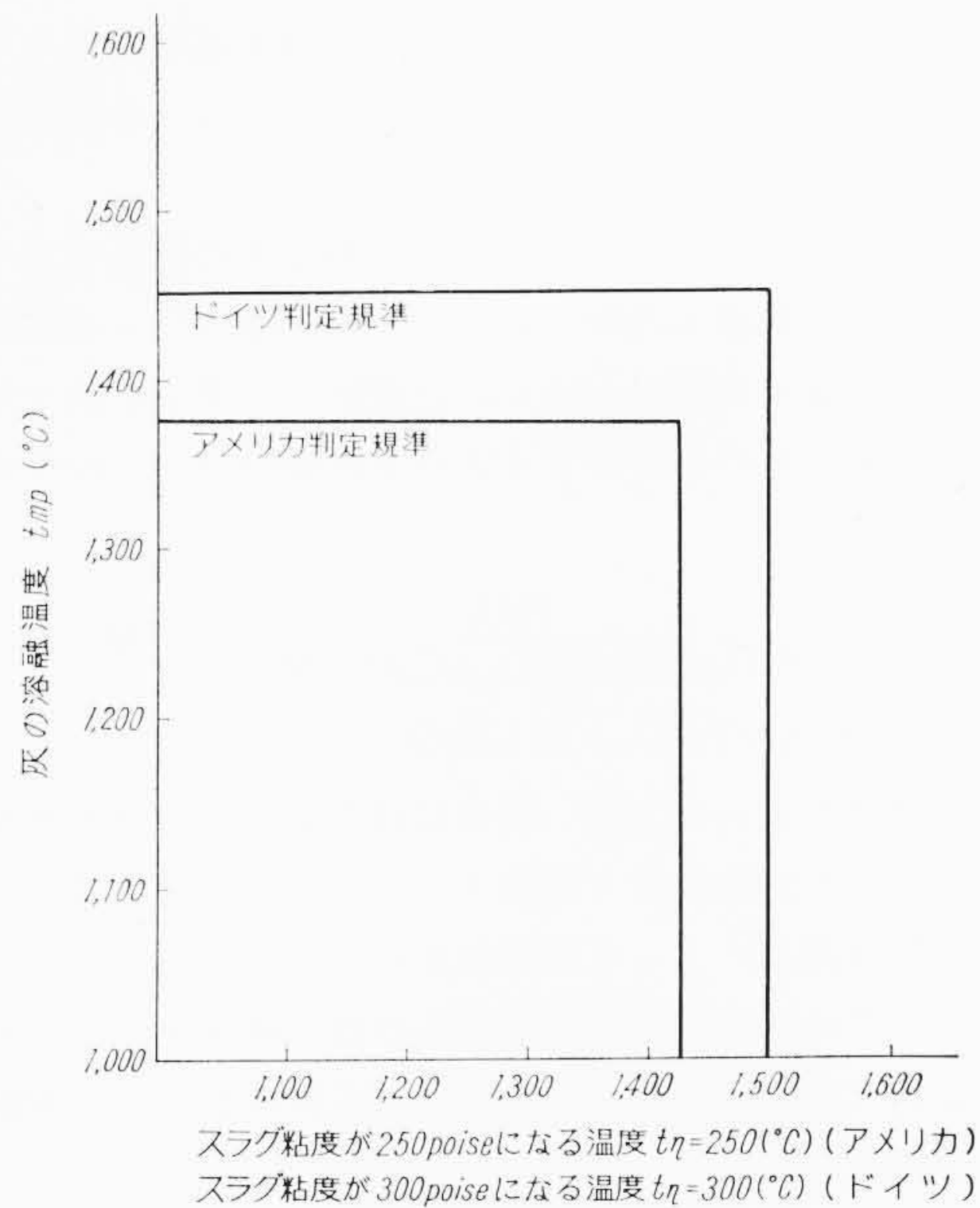
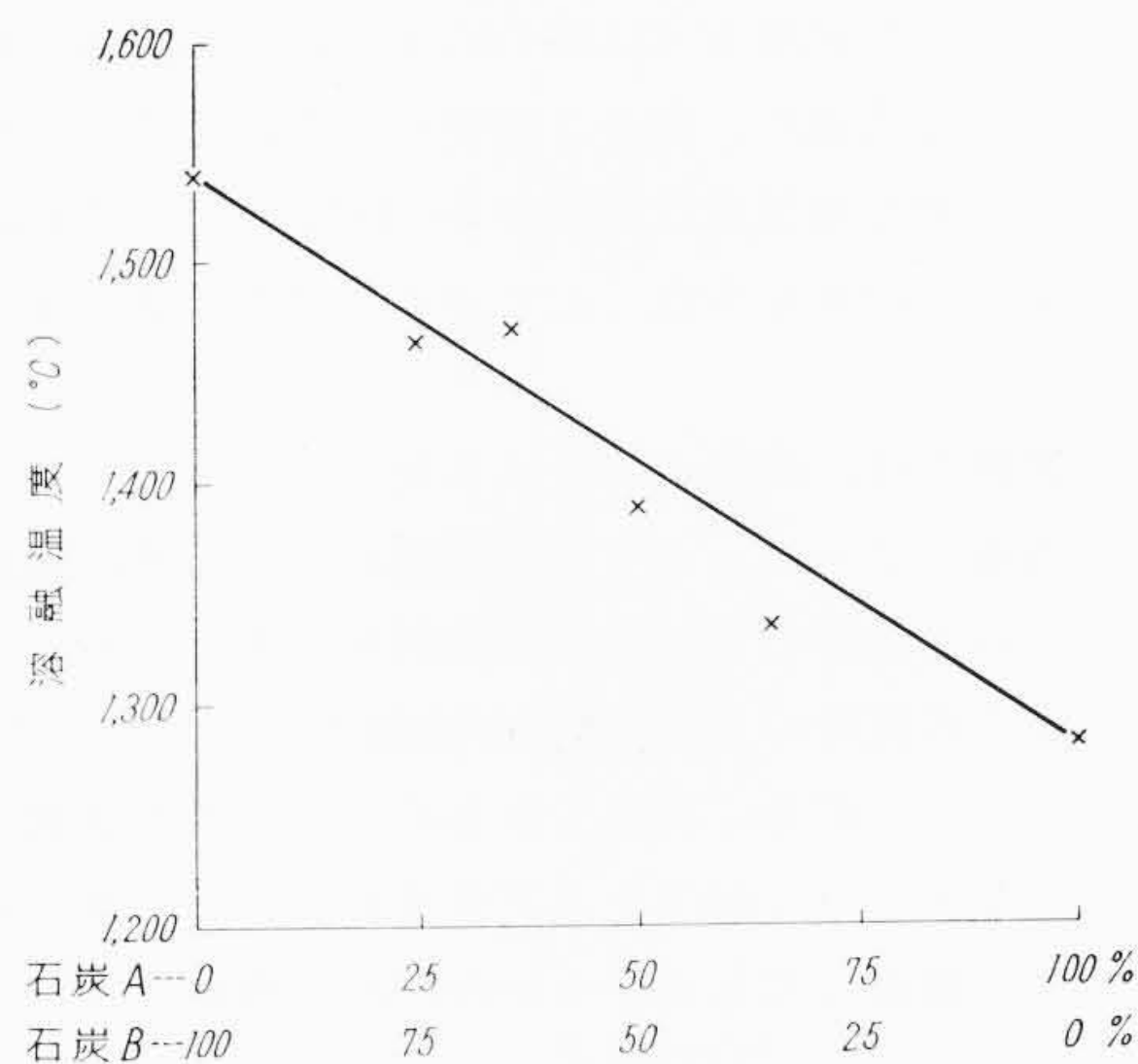
これを国別に分けてみると第1表のようになる。

わが国においては、産業用ボイラとして2機稼動しているが、事業用ボイラとして、最近九州電力株式会社新港発電所二号機用 510 t/h ボイラを受注している。アメリカバブコックでは、ここ数年間石炭焚きボイラで受注したものうち半数以上はサイクロンファーンネスボイラであり、TVA パラダイス発電所には10フィートサイクロンを14個取り付け蒸気量2,225 t/hのものが建設中である。

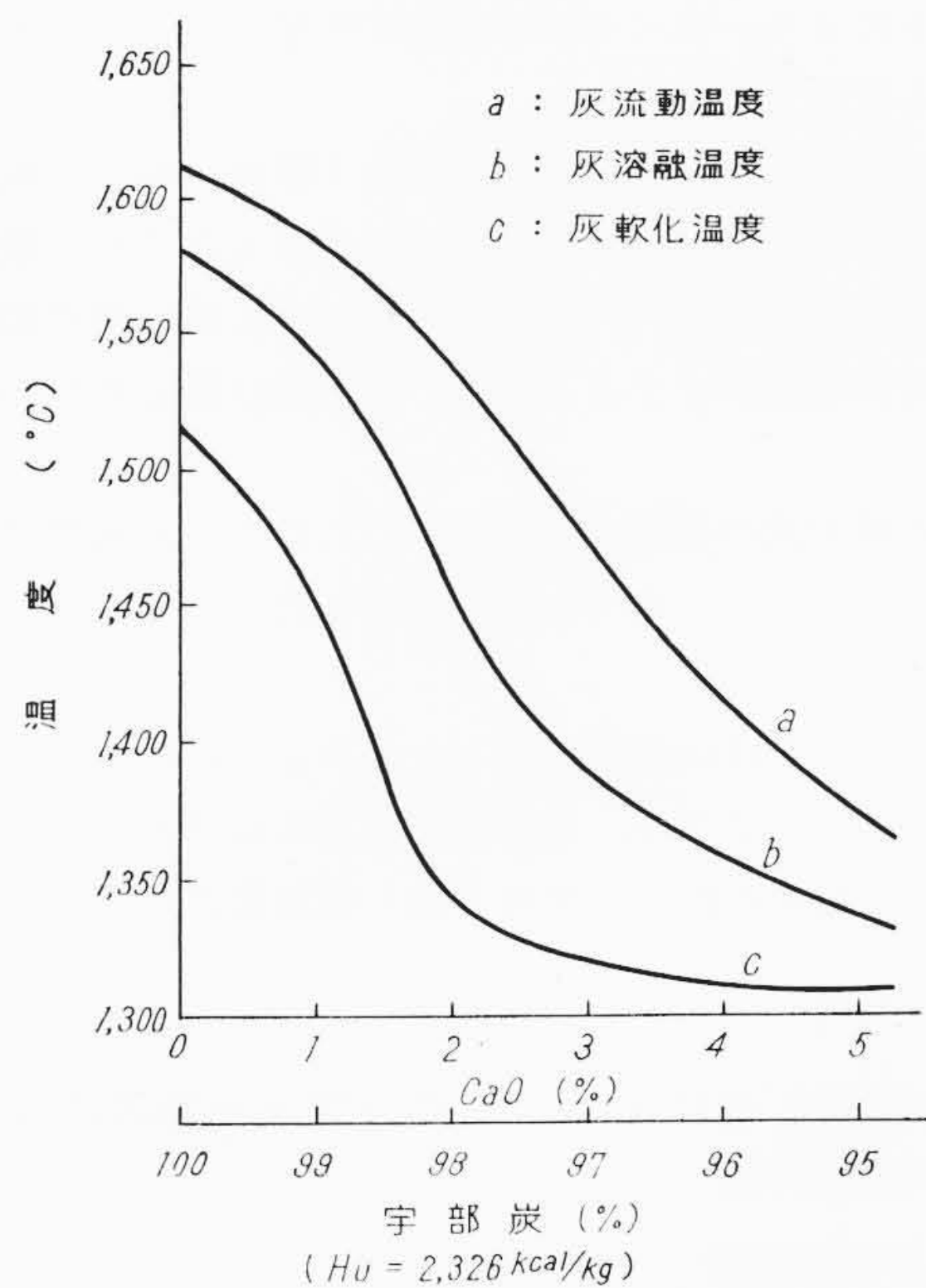
上述のようにサイクロンファーンネスボイラはすぐれた燃焼方式、経済性、信頼性から広く全世界で採用されており、今後とも石炭焚きのボイラでは大きな比率を占めて行くであろう。

4. 燃料のサイクロン燃焼の適合性について

サイクロンファーンネス採用の適、不適は石炭灰の熔融温度ならびに熔融スラグの粘度に強く支配される。アメリカバブコックでは適性炭の範囲を一応の標準として灰の熔融温度が 1,381°C 以下で、1,427°C におけるスラグ粘度が還元気中で 250 ポアズ (絶対粘度) 以下としているが、ドイツバブコックでは灰の熔融温度が 1,450°C 以下で、1,500°C におけるスラグ粘度が 300 ポアズ (絶対粘度) 以下としている。国状により判定基準に若干の差があるが、わが国に

第4図 灰熔融温度 (t_m) と $t_{\eta} \cdot 250$ (あるいは 300) の関係

第5図 混炭による熔融温度の変化



第6図 石灰添加による灰熔融性の変化の一例

においては後者すなわちドイツパブコックの判定基準により十分であるとしている。なおこの範囲外のものについてはその都度試験によって判定している。

第 4 図は判定を決める灰の溶融温度と粘度との関係を示す。灰の溶融温度はライツ高温加熱顕微鏡により、溶融スラッグ粘度は回転式高温粘度計により測定されるが、石炭灰の工業分析値を知れば次式の SiO_2^* 値からその石炭のサイクロン燃焼のおおむねの適否を判定することができる。

$$\text{SiO}_2^* = \frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{Eq} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}} \times 100$$
$$\text{Eq} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1.11 \text{FeO}$$

石炭灰の溶融性がきわめて悪い場合には混炭あるいは石灰を添加することにより灰の溶融温度と流動スラッグの粘度を下げるができる。第 5 図は混炭によって溶融温度がいかに変化するかを示すもので、ドイツでは山元に混炭設備があり低品位炭をサイクロンファーンネスによって処理している。第 6 図は石灰添加による溶融温度低下を示す実測の一例である。

5. サイクロンファーンネスボイラの特長

サイクロンファーンネスでは、スラッグ膜上に捕えられた燃料粒子と高速の燃焼空気との間に大きな相対速度があるため、燃焼の際、石炭の周囲に生成した炭酸ガスは直ちに吹き払われ、新しい石炭の面が酸素と結合して迅速に、完全な燃焼が行なわれる。この強い旋回燃焼によって必要な空気量は過剰率 5~13% というきわめて少ない量ですみ、廃ガス損失を少なくしてボイラ効率を高くすることができる。

乾式微粉炭燃焼では、燃焼ガス中に多量のフライアッシュが含まれ、伝熱面の汚染、アッシュカットの問題があり、特に最近では都市環境衛生の面からも効率の良い集じん装置を必要とする。サイクロン燃焼では石炭中の灰分の 80% 前後を溶融スラッグとして処理し、ただちに火炉底部から炉外に排出できるので、灰処理装置はきわめて簡単な上フライアッシュがほとんど含まれないので集じん装置を必要としないが、設置してもコットレルのみで機械式集じん器は必要としない。

燃焼はサイクロンファーンネス内でほとんど完了しているので、火炉は小形化され、また燃焼ガスの含じん量が少ないのでガス速度を上げ接触伝熱面積を節減できる。すなわちサイクロンファーンネスを採用することにより、ボイラの小形化が可能であり、したがって建屋の節約をも意味する。

サイクロン燃焼では燃焼用二次空気を 100 m/s 程度の風速で炉内に送入する関係から押込通風機の動力が大きくなるが、微粉炭燃焼に比べ粗砕炭を燃焼するため炭質が低いほど粉碎機の動力量が減り、乾式微粉炭燃焼ボイラと比較して総体の動力消費が節減される。

また強圧通風方式の採用も容易で、これにより通風機関係の動力消費を大幅に減らすこともできる。最近の設計例はほとんどこの方式を採用している。

サイクロン燃焼では伝熱面のアッシュカットの問題とか、火炉におけるクリンカートラブル、過熱器高温部におけるスラッグトラブルなどがなく、石炭の粉碎、燃焼設備も簡素化されているので稼働率が良い。

6. わが国におけるサイクロンファーンネスボイラの運転実績

6.1 ボイラ計画仕様

現在運転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	B & W 単胴放射形
サイクロン	サイクロンファーンネスボイラ	サイクロンファーンネスボイラ
	アメリカ式	ドイツ式
通風方式	6 フィート 2 個	7 フィート 2 個
蒸 発 量(最大連続時)	平 衡 通 風	平 衡 通 風
蒸 気 圧 力(過熱器出口)	95 t/h	100 t/h
蒸 気 温 度	52 kg/cm ² g	100 kg/cm ² g
給 水 温 度	438℃	540℃
	150℃	120℃
燃 料	三 池 炭 (6,600 kcal/kg 乾炭高位)重油, コークスガス	北 海 道 炭 (5,858 kcal/kg 乾炭高位)

6.2 ボイラ効率

三井化学工業株式会社納サイクロンファーンネスでは数回にわたる性能試験でも十分その性能を発揮し、第 2 表に示すように計画値を上回る高いボイラ効率を示した。

国策パルプ工業株式会社納のサイクロンファーンネスボイラについても全く同様で、第 2 表に示すとおりである。

三井化学納のものでは上記燃料消費量からボイラ効率を求めるとともに、損失計算からも検討するためいくつかの測定が行なわれた。その内訳を第 3 表に示す。未燃分損失は、フライアッシュおよびスラッグ中の未燃分測定をもとにしたが、従来の微粉炭焚ボイラの約 1/10 程度になっている。スラッグに持ち去られる熱量損失は、流出スラッグ温度を光高温計によって測定して求めた。もちろん空気過剰率は空気予熱器出口 5% で非常に少ないので、廃ガス損失は大幅に減少している。第 2 表と第 3 表の効率の差は測定誤差によるものと思われる。

6.3 含 じ ん 率

三井化学工業株式会社納のボイラには、集じん装置をつけなかったが、サイクロンファーンネスの効果は十分に発揮された。第 4 表は空気予熱器出口の含じん量測定結果を示す。試験は蒸発量が最大連続負荷近くで、正常運転時、スートブロウ運転時、節炭器、空気予

第 2 表 性 能 試 験 結 果

	単 位	三 井 化 学・大 浦		国 策 パ ル プ・旭 川	
		計 画 値	実 測 値	計 画 値	実 測 値
試 験 期 日		—	36. 1. 10	—	37. 5. 29
燃 料 の 種 類		三池炭	三池特上粉	北海道炭	赤平特細粉
燃 料 発 熱 量	kcal/kg	5,977(低位)	6,025.1(低位)	5,000(低位)	5,370.3
蒸 発 量	t/h	最大連続95	94.45	最大連続100	100.8
蒸気圧力(過熱器出口)	kg/cm ² g	52	53.0	100	100.6
蒸気温度(過熱器出口)	℃	438	434	540	541.6
給 水 温 度	℃	150	144.6	120	116.2
廃 ガ ス 温 度	℃	171	152.7	160	176.3
空 気 過 剰 率	%	13(火炉出口)	5(空気予熱器出口)	10(サイクロン出口)	6
燃 料 消 費 量	kg/h	11,216	10,877	15,800	14,457
ボイラ効率(低位基準)	%	89.8	92.1	最大連続時90.1	92.5

第 3 表 三井化学工業株式会社ボイラ効率内訳
(低位発熱量基準 損失計算)

石炭専焼時					
乾	ガ	ス	損	失	(%)
水	蒸	気	損	失	(%)
未	燃	分	損	失	(%)
ス	ラ	グ	損	失	(%)
放	射		損	失	(%)
そ	の	他	損	失	(%)
合				計	(%)
効				率	(%)
					5.190
					0.574
					0.116
					0.760
					0.530
					1.000
					8.170
					91.830

第4表 含じん量測定結果（三井化学工業株式会社）

試験番号	運 転 状 態				含 じ ん 量	
	蒸発量 (t/h)	廃ガス温 (℃)	O ₂ (%)	条 件	(g/m ³)	(g/Nm ³)
1	92	167	—	スートブロワー時	1.642	1.89
2	92	155	1.6	正 常 時	1.058	1.23
3	90	156	1.8	ショットクリーニング時	7.381	9.44
4	92	154	1.8	正 常 時	1.137	1.40
5	93	170	1.6	ショットクリーニング時	4.592	5.26

第5表 スラッグ流動面らか見た最低負荷試験

(三井化学工業株式会社)

試験日時	燃 焼 方 式	蒸 発 量 (t/h)	使用サイ クロン数	試験 時間	ス ラ ッ グ 流出状況
9月26日	石 炭 専 焼	45(47%)	2	3	良 好
	石 炭 専 焼	40(42%)	2	1	流出せず
	石 炭 専 焼	45(47%)	1	3	良 好
9月28日	石 炭 専 焼	40(42%)	1	3	良 好
	石 炭 専 焼	36(38%)	1	2	良 好
	石 炭 専 焼	32(34%)	1	0.5	流出せず
9月29日	石炭専焼 (3%CaO添加)	30(32%)	1	1.5	良 好
	石炭専焼 (3%CaO添加)	27(28%)	1	1	良 好

熱器用ショットクリーニングの使用時の各々について行なわれた。正常運転時の予想含じん量は 1.4 gr/Nm³ であったが、実績は 1.23～1.40 gr/Nm³ で予想値以下であった。またスートブロワ使用時の含じん量の増加はあまり大きくなかったが、ショットクリーニング時かなり増加することがわかった。一方、熔融スラッグとして補集された灰量測定のため、スラッグエキストラクタよりの補集スラッグ量も測定されたが、これは全灰量の83.5%になり、そのほか処理水とともに流れ去る約1.5%のスラッグを考えると、全灰量の約85%が熔融スラッグとして補集されていることがわかった。

6.4 スラッグの流動性と低負荷運転

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。三井化学工業株式会社および国策パルプ工業株式会社用のボイラはそれぞれ2個のサイクロンを有するので、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%ボイラ負荷とはいえず、そのときは燃焼に関する問題ではなく、サイクロン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、運転法に影響される。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。

三井化学工業株式会社で行なったスラッグ流動面からの最低負荷試験では、1個のサイクロンでボイラ負荷38%まで三池炭単味で流出するという好結果を得た。その結果を第5表に示す。

なお、三井化学工業株式会社の場合にはスラッグ流動性を安定化するため、当初サイクロンファーンネス内に設置したCOGバーナを二次燃焼室内に移し、国策パルプ工業株式会社の場合には使用炭の仕様が設計炭と異なる場合には3%程度石灰石を混入し、ともに良好なスラッグ流出を得ている。

6.5 重油専焼試験

サイクロンファーンネスは石炭を主燃料として開発されたものであるが、重油、ガスの専焼、混焼も容易に行なえる。たとえば、アメリカでは石炭、天然ガス両方の使用を考えて設計し、燃料供給事情により切り替えている例も多い。三井化学サイクロンファーンネスでは石炭、重油おのおの専焼で全負荷をもたすことができ、また助燃用にコークスガスも使用できるようになっている。

第6表に重油専焼試験結果を示す。この際、重油は高速の二次空気ですべてに噴霧化されるので、簡単なバーナで粗粒の状態で噴射す

第6表 重油専焼試験結果

	単 位	三 井 化 学・大 浦	
		計 画 値	実 測 値
試 験 期 日		—	36. 1. 17
燃 料 の 種 類		C 重 油	C 重 油
燃 料 発 熱 量 (低位)	kcal/kg	9,680	9,254.4
蒸 発 量	t/h	95	90
蒸気圧力 (過熱器出口)	kg/cm ² g	52	52.2
蒸気温度 (過熱器出口)	℃	438	437
給 水 温 度	℃	150	120
廃 ガ ス 温 度	℃	138	140
空 気 過 剰 率	%	10 (火炉)	7.2 (節炭器入口)
燃 料 消 費 量	kg/h	6,804	6,820
ボイラ効率 (低位基準)	%	91.4	93.7

第7表 サイクロンファーンネス稼働率

	三井化学工業株式会社	国策パルプ工業株式会社
期 間	昭和37年度 1年間	昭和37年度 1年間
運 転 時 間 累 計	7,285時間 21分	7,797時間 30分
故障による停止時間	0	24時間 30分
稼 働 率 (%)	100	99.7

ればよく、また重油圧力も約10 kg/cm²gで十分である。サイクロンにおける空気圧力損失も石炭ほど必要でなく、約300耗下げて運転され、燃焼も表に示すように7%程度の空気過剰率で満足すべき状態であった。

6.6 稼 働 率

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ボイラは運転開始時期がほとんど同時であったことと、これまで国内で運転実績のないボイラであったので、両者とも運転頭初は検討を要する多少の問題も発生したが、結局どこのボイラ建設試運転においても経験する程度のトラブルが生じたにすぎないか、あるいは使用炭が設計炭と著しく違っていたために生じたトラブルで現在は問題なく運転されている。

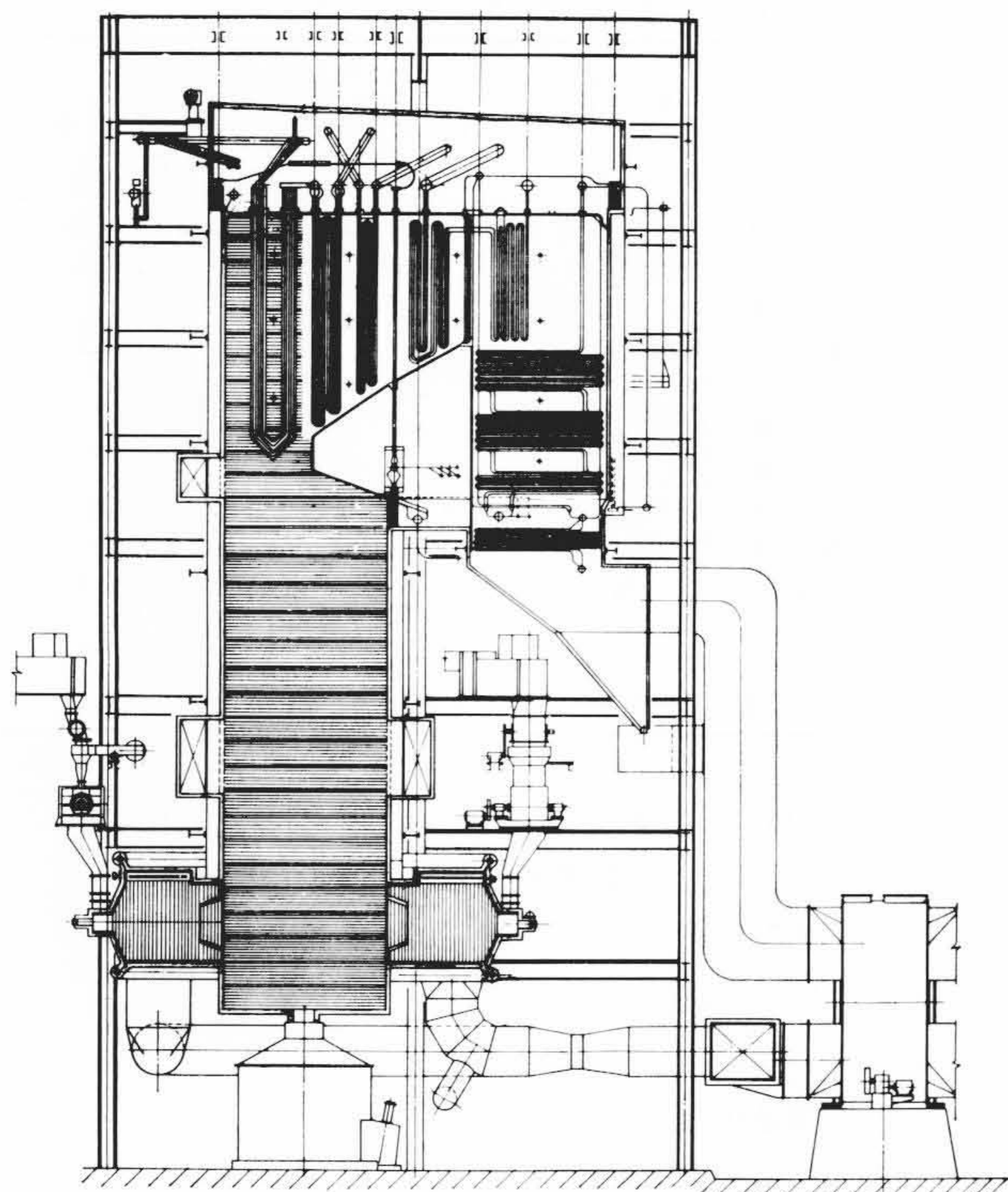
第7表に示すように公称稼働率99.7%ないし100%と当初の計画値を十分満足する成績を示している。

7. 新港二期サイクロンファーンネスベンソンボイラ計画概要

本ボイラはタービン出力156MW用のもので、計画仕様は下記のとおりである。

数 量	1 缶
ボ イ ラ 形 式	B & W ベンソンボイラ
燃 焼 方 式	アメリカ式サイクロンファーンネス (10 フィート×4 個)
通 風 方 式	強圧通風
蒸 発 量	510 t/h (最大連続時)
蒸 気 圧 力	173 kg/cm ² g (過熱器出口にて)
蒸 気 温 度	569℃ (過熱器出口にて) 541℃ (再熱器出口にて)
給 水 温 度	267℃
燃 料	三池炭 (6,800 kcal/kg 乾炭高位基準にて)

本ボイラはサイクロンファーンネスとベンソンボイラのすぐれた特長を同時に発揮するよう計画されている。すなわちサイクロンファーンネスは第7図に示すように火炉前後に各2個ずつ対向配置され、火炉内ガス温度の均一化をはかり、火炉水壁は上昇流および水平流のみで下降流がないミアンダ形水壁を採用したので流動安定性が高く、均一な熱吸収を行なうように伝熱面積を構成している。したがって運転制御性も良好になる。燃焼はサイクロン内でほとんど完了



第 7 図 九州電力株式会社納サイクロン
ファーネスベンソンボイラ

しているのので火炉は小形化され、スラッグトラブルの心配がないように高負荷では火炉上部のガステンパーリングを使用し、火炉上部に放射形過熱器を設けた。またアッシュカットの心配がないので燃焼ガス速度を上げて再熱器、一次過熱器、節炭器の伝熱面積を減ら

し、ボイラ全般を小形化するよう努力した。

蒸気温度は主蒸気に対し 33~100% MCR の範囲で規定値になるよう燃料給水比率調整により、再熱蒸気に対し 50~100% MCR の範囲で規定値を保持するようガス再循環により調整する。本ボイラではサイクロン燃焼によって高い燃焼効率をうるとともに、強圧通風方式を採用することにより、ボイラ効率の上昇と通風装置の補機動力低減をはかった。詳細については現在設計中なので後の機会にゆずる。

8. 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のサイクロンファーネスボイラの運転実績、九州電力株式会社新港発電所二期用サイクロンファーネスボイラの計画概要を中心として述べたが、日本でも一応満足すべき運転実績を得たことと、事業用最新鋭プラントに貫流ボイラと組み合わせて採用されたことは誠に喜ばしい。今後とも日本炭に対する最適設計へ努力するとともに、最近欧米において、石炭スラリ燃焼にサイクロンファーネスがすぐれていることが報告されており、わが国においても石炭スラリ燃焼が大きくとりあげられているのでこの方面における研究、開発にも関心を向けるべきであろう。

参 考 文 献

- (1) 小玉, 利部, 岸: 日立評論 別 37, 33 (昭 35-7)
- (2) 岡村: 火力発電 68 (昭 37-3)
- (3) 岩崎: ケミカル・エンジニアリング (昭 34-6)
- (4) 河原: 研究報告 2163 (昭 31-7)
- (5) 岩崎: 研究報告 3126 (昭 35-2)
- (6) B & W Co.: STEAM
- (7) B & W (独): Zyklonfeuerung



登録新案 第 701609 号

新 案 の 紹 介



岡 光 美・大 和 田 清
星 野 弘 之

架空送電線のジャンパー装置

二導体あるいは四導体送電線のジャンパー装置は、一般に両引留クランプ間にジャンパー線を接続したのみであるため、ジャンパー線が強風により横振れあるいは上方に吹き上げられたりして、鉄塔と接触するおそれがあり、これを防止するため鉄塔アームを長く設計する必要があった。

この考案は、鉄塔アーム 1 に碍子 2 を介して固着されている引留クランプ 3 に両端を接続した複数条のジャンパー線 4 と平行して、アルミ製パイプ、銅パイプ、硬質ビニルパイプのような硬質性パイプ 5 を添わせてその端部をヨーク 6 に固着し、さらにジャンパー線 4 と硬質性パイプ 5 とはスペーサ 7 によって平行状態に維持させたものである。

この考案によれば、硬質性パイプ 5 は剛性が大きく屈曲しがたいから、それに平行に支持されているジャンパー線 4 の横振れ、あるいは上下振動はこのパイプ 5 により完全に阻止できる。この結果、ジャンパー線 4 を鉄塔との接触事故は皆無となり、したがって鉄塔アーム 1 の長さを短く設計することができ、建設費を著しく軽減できる利点がある。

(斎 藤)

