

八幡製鉄株式会社戸畑工場納 100t/h ボイラについて

100 t/h Boiler Supplied to Yawata Iron and Steel Co., Ltd.

利 部 浩* 成 田 恒 雄*
Hiroshi Kagabu Tsuneo Narita

内 容 梗 概

最近製鉄設備の拡張に伴ってガス焚ボイラ増設、あるいは新設の傾向が強くなってきた。事業用ボイラの高圧、高温化の影響を受けてこの種産業用ボイラでもかなり高圧高温の蒸気状態を採用する傾向にあり、さらに加えて、烈しい負荷変動に応答しうる各種制御機器および計器類の採用により安全かつ合理的運転も十分期待しうるようになってきた。ここに紹介する八幡製鉄株式会社戸畑工場納 100t/h ボイラはそれらの近代的要素を取り入れた代表的ボイラとして間近な運転開始を控えて斯界の注目もまた大なるものがある。

1. 緒 言

現在八幡製鉄株式会社戸畑工場納 100 t/h ボイラ 2 罐を鋭意設計製作中であるが、本ボイラは溶鋳炉新設に伴う 25,000 kW 発電用タービンおよび 8,500 kW 高炉ブロワ用タービンと組合わせて使用されるものであつて、B & W 二胴輻射型汽罐を採用した。

製鉄所としての特殊事情により本ボイラはその各部構造、運転方法などにおいてほかの事業用、産業用のものとかなり違つたところがあるが、主な特色として以下の点があげられる。

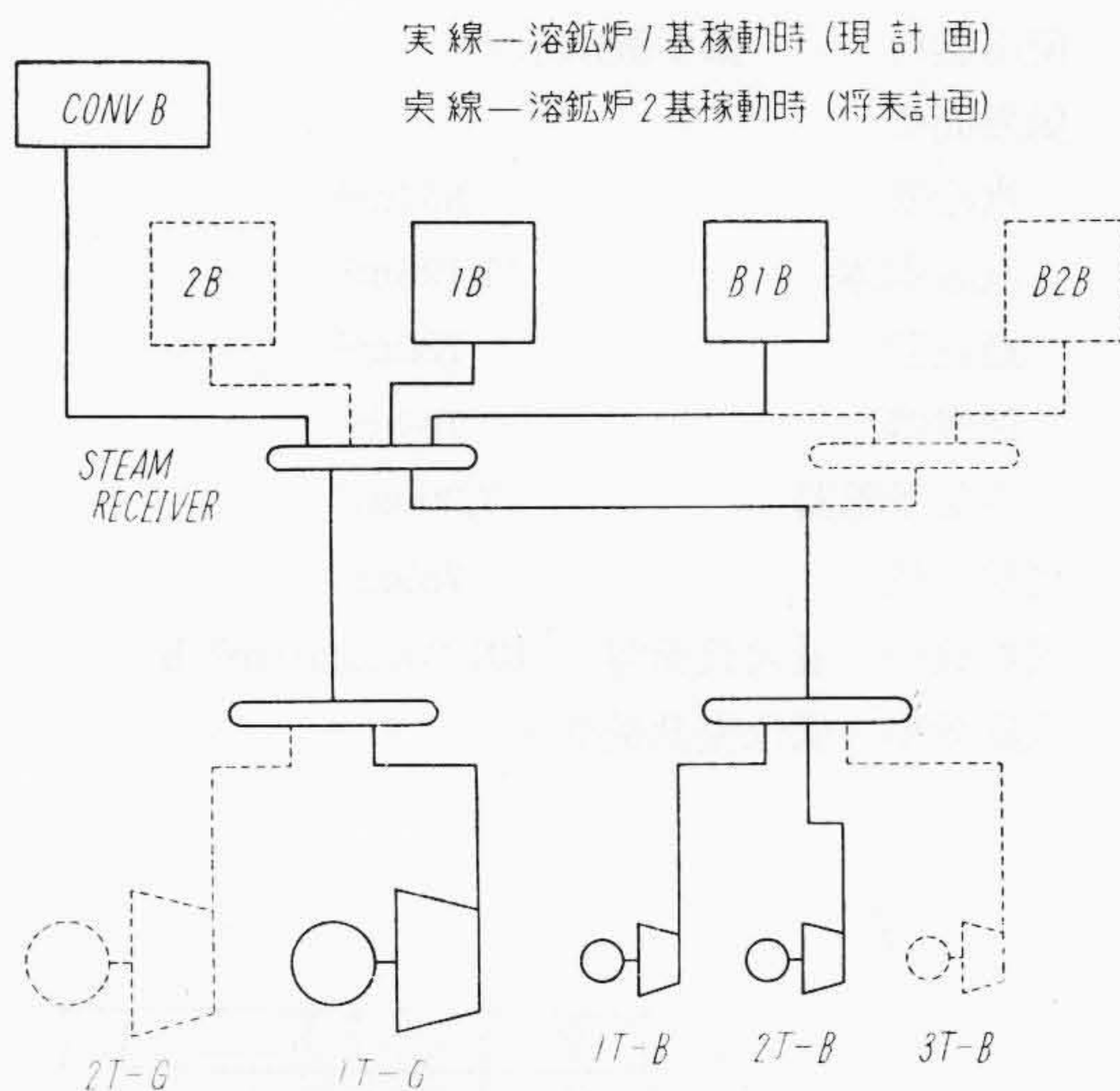
- (1) 製鉄所特有の激しい負荷変動のほかに、数十分の周期をもつて蒸気を発生する転炉ボイラと並列運転を行うため本ボイラの負荷調整はきわめて広範囲かつ急激な要求を受けるが、こうした状況においても安全確実な運転のできる構造とした。
- (2) ボイラを全屋外式構造としてプラント全体の建設費を低減しかつ建設期日の短縮を図つた。
- (3) 中央制御方式を採用し運転監理の人員を最小ならしめた。
- (4) 燃料には通常は高炉ガス、コークス炉ガスを、さらに非常用として重油を使用する多種燃料用ボイラであるのでこれらをすべて満足させるための設計に特に考慮を払つた。

これらの特色が、ボイラ伝熱面の配置、各部構造、燃焼装置、制御関係においていかに考慮されたかを次に簡単に紹介したい。

2. 計 画 概 要

プラント全体の系統を第 1 図に示す。本図中、実線が今回の計画で、点線は将来の計画を示す。本図により明らかのように、現計画では今回のボイラ 2 罐と転炉ボイ

* バブコック日立株式会社



第 1 図 戸 畑 発 電 所 配 置 概 略

ラ 1 罐が同一レシーバで組合わされ 25,000kW タービン 1 台とブロワ用タービン 2 台を運転することになる。このほか、圧延機などに使われる工場用蒸気、約 55t/h を供給する。

次にボイラの計画仕様を示す。

数量	2 罐
ボイラ型式	B & W 二胴輻射型屋外式汽罐
蒸発量	最大連続負荷 100t/h
	経済負荷 80t/h
蒸気圧力 (過熱器出口)	65kg/cm ² g
蒸気温度 (過熱器出口)	485°C
給水温度 (節炭器入口)	150°C
空気温度	20°C
通風方式	平衡通風
燃焼方式	高炉ガス、コークス炉ガスおよび重油の混焼または専焼

第 1 表 使用燃料の性質

分析値 (体積%)	高 炉 ガ ス	コークス炉ガス
CO ₂ (%)	13.0	2.8
O ₂ (%)	—	0.2
C ₂ H ₄ (%)	—	3.8
CO (%)	25.6	7.9
CH ₄ (%)	0.1	29.8
H ₂ (%)	1.9	53.6
N ₂ (%)	59.4	1.9
低位発熱量(Kcal/Nm ³)	830	4,708

重 油	
種 類	PS400
高 位 発 熱 量 (Kcal/kg)	10,347
低 位 発 熱 量 (Kcal/kg)	9,792
硫 黄 分 (%)	1.0

使用燃料	第 1 表に示す。
伝熱面積	
水冷壁	664m ²
汽罐本体	1,196m ²
過熱器	730m ²
節炭器	789m ²
空気予熱器	7,300m ²
火炉容積	759m ³
火炉負荷 (最大負荷時)	101,200kcal/m ³ /h
汽罐効率 (低位発熱量基準)	

最大連続負荷	85.1% (高炉ガス専焼)
	87.2% (高炉ガス, コークス炉ガス 2 : 1 の混焼)
経済負荷	87.6% (高炉ガス, コークス炉ガス 2 : 1 の混焼)
燃焼装置	ガコバーナ 8 個/1 罐 (重油バーナ付)

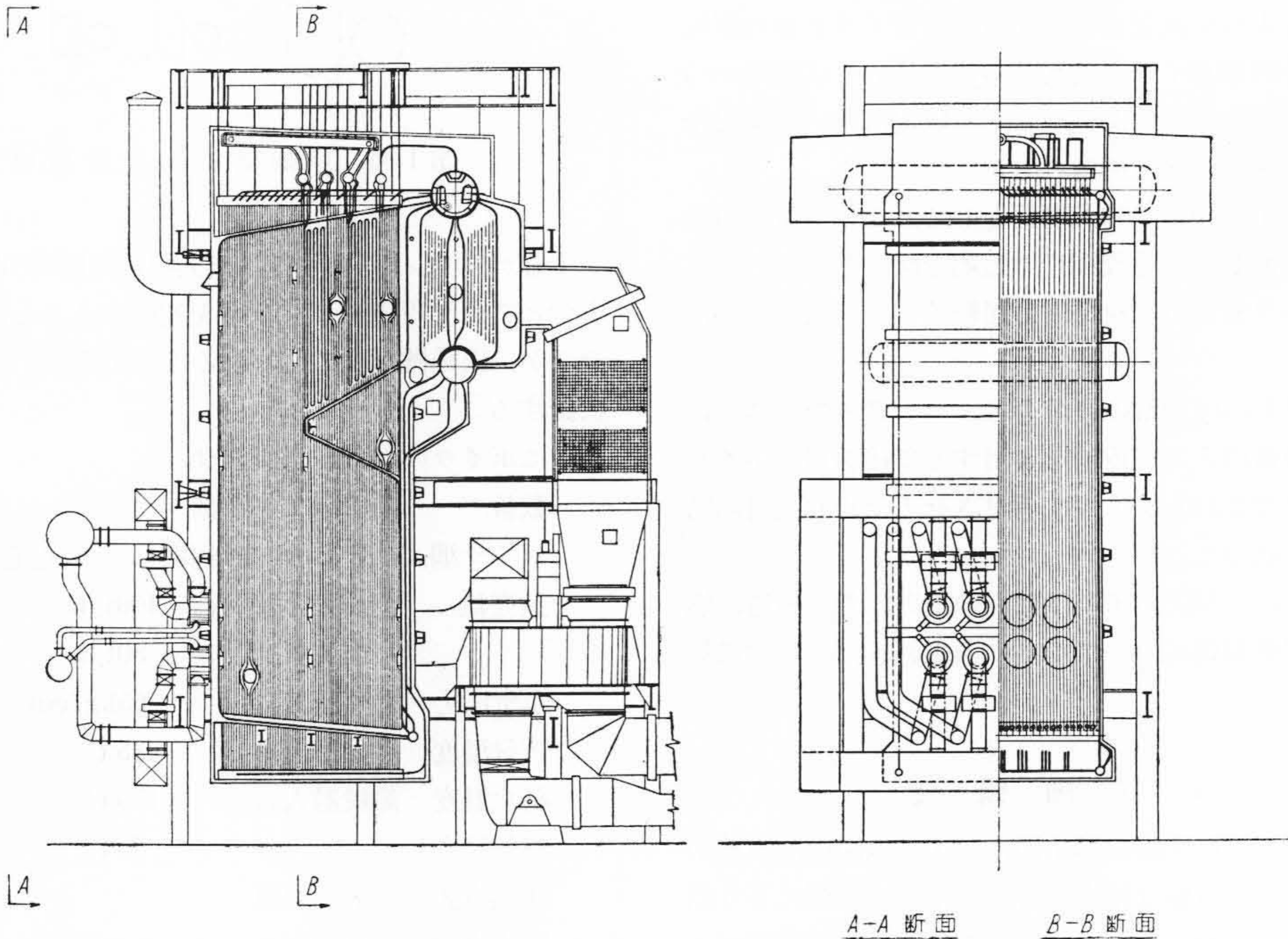
燃焼装置, 汽罐の計画にあつては高炉ガスとコークス炉ガスを熱量比 2 : 1 の割合で混焼したとき, または高炉ガス専焼のとき 100% の蒸発量を発生できるようにした。重油は非常用のみに使用し, その容量は 75% 負荷が可能なるよう計画した。

3. 構造概要

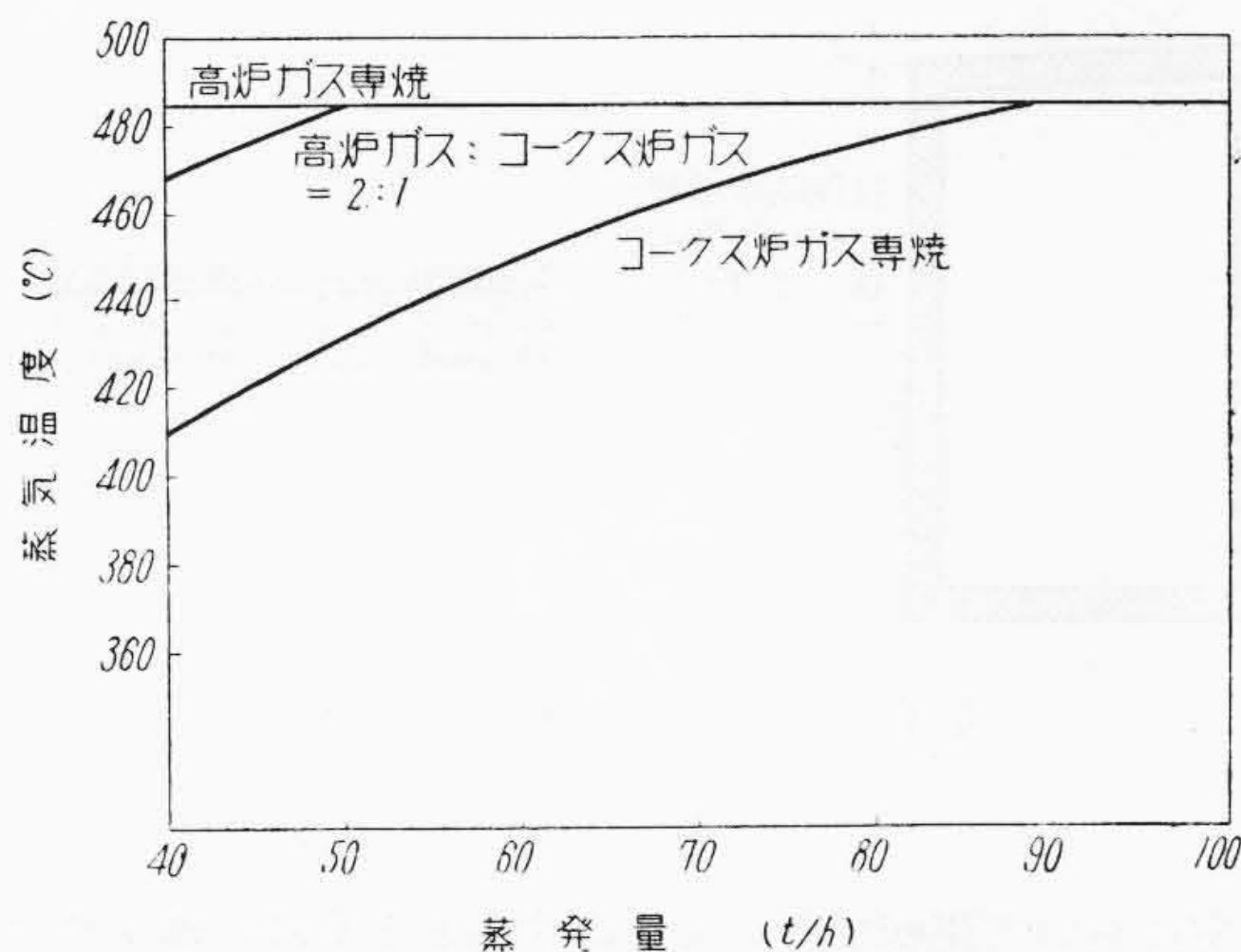
3.1 汽罐各部構造

本ボイラは B&W 二胴輻射型で第 2 図にその断面を示す。図より明らかなように完全屋外式で汽胴水胴およびそれを連絡する蒸発管よりなる汽罐本体と火炉, 一次, 二次各過熱器, 節炭器およびユングストローム型空気予熱器より構成される。

輻射伝熱面を形成する火炉は低発熱量の高炉ガス専焼のときでも火焰を安定させ, また火足が長くなりがちな高炉ガスの燃焼が炉内で完了するようにその大きさおよび水壁の配置をきめた。



第 2 図 汽 罐 組 立 図

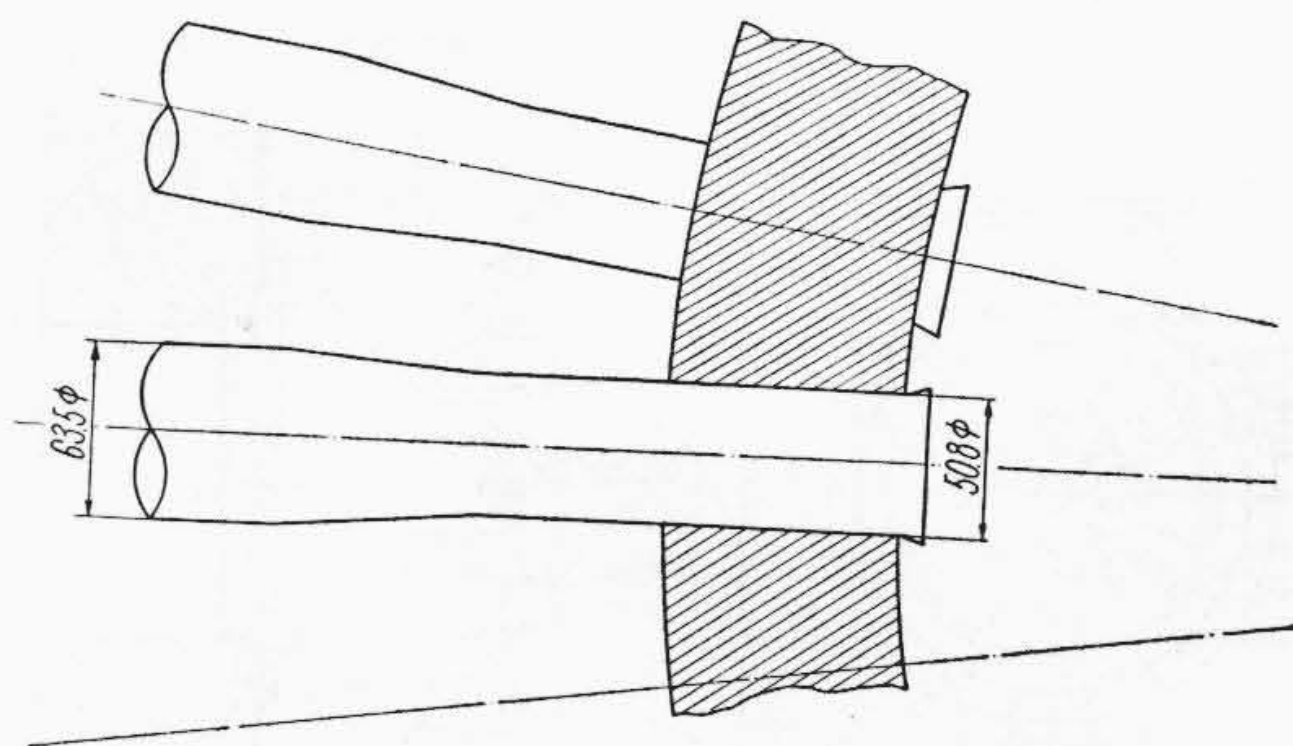


第3図 蒸気温度特性

バーナの配置される前部水壁はスペースドチューブ構造とし、平らな炉底部は水壁管の上を煉瓦でおおつて熱吸収量を制限し、着火の容易と燃焼の安定を図つた。側部および後部水壁はタンジエントチューブ構造とした。

火炉出口に配置された過熱器は一次および二次にわかれその中間にスプレイ式蒸気温度調整装置を設けた。過熱器は吊下型で汽罐鉄骨より独立につり下げられ熱膨脹に対し自由な構造になつている。二次過熱器すなわち高温側過熱管は過度の管壁温度上昇を防止するためガス流に対し並行流の配置となつている。過熱器前のスクリーンチューブは取り止め、二次過熱器における輻射熱吸収量を多くしボイラ負荷に対する蒸気温度特性をできるだけ平らにするよう考慮した。その蒸気温度特性を第3図に示す。すなわち高炉ガス、コークス炉ガスを熱量比2:1として混焼したとき、ボイラの50%負荷以上で蒸気温度を規定温度485°Cに維持できるよう計画した。高炉ガス専焼のときは低発熱量のガスのため過熱器通過の燃焼ガス量がコークス炉ガスあるいは重油専焼時に比べはるかに多く、したがつて蒸気温度が高くなり広範囲の負荷にわたつて調整されねばならず、温度特性をできるだけ平らにすることは最大負荷でのスプレイ量を減少せしめ、また管壁温度を過大にしない点で有利となる。

スプレイ式温度調整装置は本来小型で多量の蒸気を、広い温度範囲にわたり噴射水の水量調整によつて簡単に制御できる特性をもつが、さらに本ボイラでは特に負荷変動が激しく蒸気温度特性が使用燃料の種類、混焼割合にしたがつて大幅に変化し、かつ広範囲の負荷にわたつて制御しなければならない。これらの点を考えて現在ある各種の蒸気温度制御方式の中で一番作動の速いスプレイ方式を採用した。詳細については後述する。なおこの型は噴射水が直接蒸気純度に影響を与えるので噴射水の水質が重要となり、今回の計画では大約5ppm以下の純度をもつ給水の一部を給水ポンプ出口より取り出し注入



第4図 swaged tube 詳細図

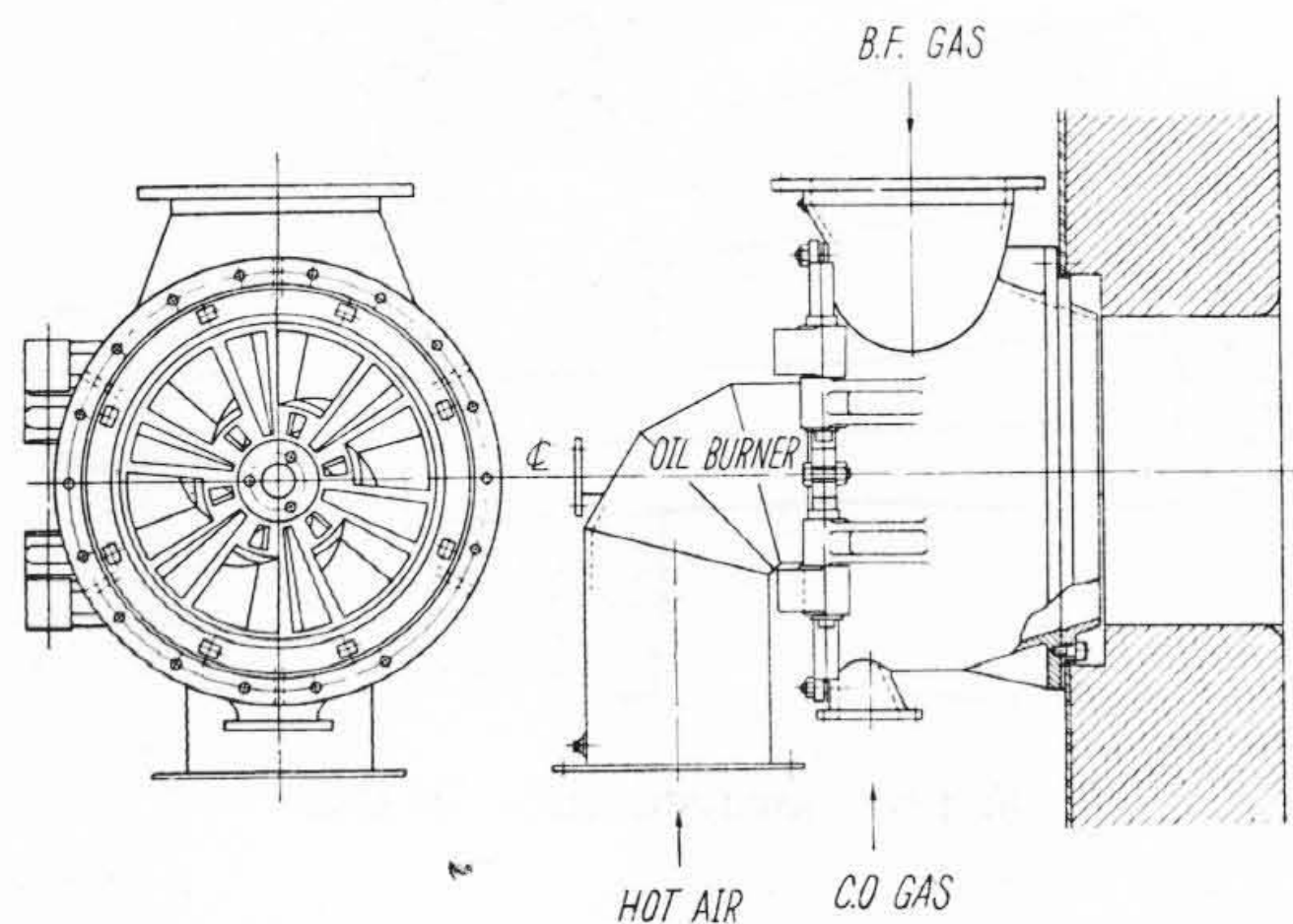
自動調整弁を通してアテンペレータに吹き込むようになつている。

過熱器の後には汽胴水胴を結ぶ多数の蒸発水管が配置される。今回の計画では高炉ガス専焼時100%負荷でかなり高い汽罐効率を得ようとしたのでほかの高発熱量のガスあるいは重油専焼のボイラに比べて全体的に伝熱面をかなり大きくとる必要があつた。一方このためボイラの罐水容量が大きくなり負荷変動に対してきわめて安定した特性をもたせることができた。蒸発水管の伝熱面を大きくするため多数の管を小さいピッチで汽水胴に入れようとすれば、いたずらに管板が厚くなり起動または停止時のドラムの熱応力を増加させるばかりでなく材料、工作、熔接、拡張作業などの困難が増すので本ボイラではswaged tubeを採用した。第4図にその構造を示すが、これは蒸発管の熱吸収部は伝熱面を得るべく本来の管外径を維持するが汽水胴に挿入される両端部を絞つて小口径としたもので、これにより管孔部の効率は増加し約15%の管板の節約が可能となつた。swaged tubeの採用にはその製作上および罐水循環など設計上にも多少の考慮を要するが、アメリカでは盛んに使用されており、バブコック日立株式会社においてもすでに運転中の出光興産株式会社徳山製油所納のCOボイラに実施し良好な実績を納めている。

なお汽胴内にはすでに多くの実績をもつB&W特許の優秀なスチームサイクロンセパレータを備え遠心力による強力な汽水分離により高純度の蒸気を得、かつ罐水循環にも大きな効果を与えている。

節炭器は全熔接型の連続コイル式セルフドレーニング型で汽罐出口の煙道に設置され、それ自身汽罐鉄骨により別個に支持されている。節炭器入口には汽胴との間に罐水の再循環管を設け始動および停止時の節炭器の保護および熱経済を図つている。

空気予熱器にはスペースファクターの良いユングストローム型を採用した。設計基準を高炉ガス専焼時におき、非常用の重油燃焼時には出口廃ガス温度がかなり低下するので腐蝕の点で特に考慮した。すなわち予熱器の



第 5 図 ガコバーナ組立図

エレメントは高温部と低温部に分け後者はバスケット型として取り換えを便にし、また必要あればエレメントの一部を抜いて運転できる構造とし廃ガスによる腐蝕に対処してある。

ケーシングはドラム連絡管などを包含した一体の箱形で、炉壁の四周を連結したボックスティに取り付けられて汽罐本体とともに鉄骨よりつり下げられ、罐本体あるいは炉壁構造と相対運動を行うことなく完全な気密を保持する構造となつている。

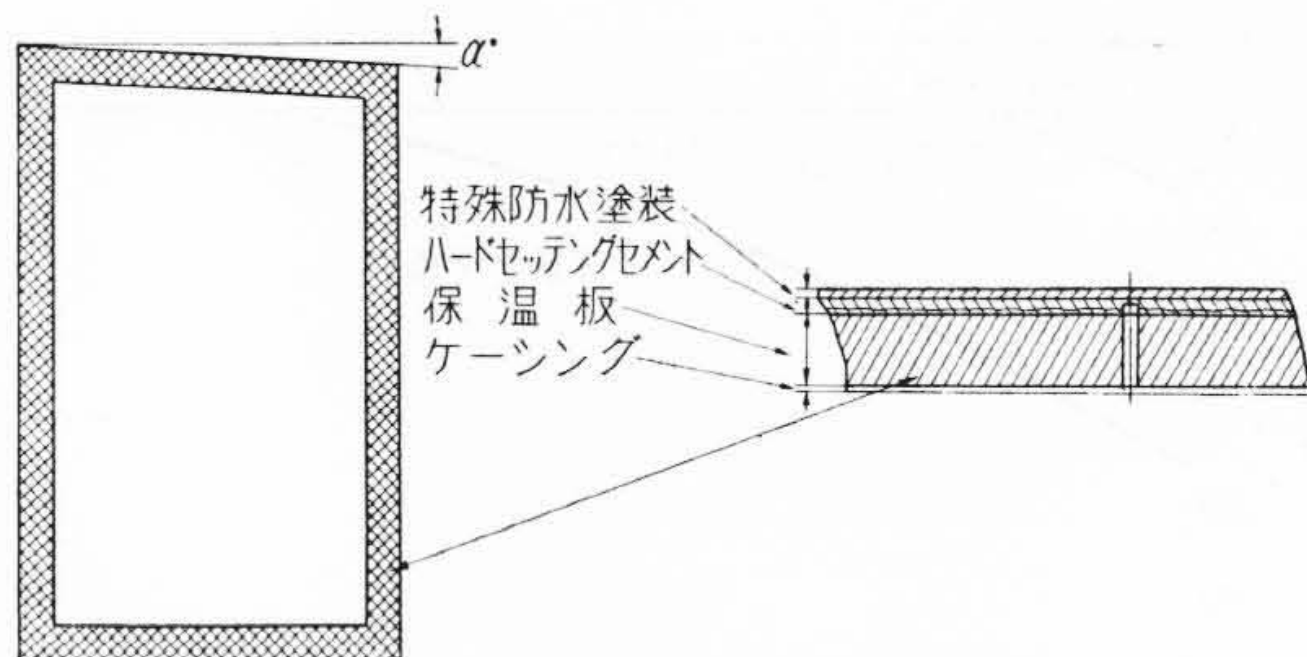
ガスバーナはビゲロリップタック社の特許であるガコバーナを採用した。第 5 図にその構造を示す。これは高炉ガスおよびコークス炉ガスの燃料入口を別個に備えておりバーナの一番外周より高炉ガス、その内側よりコークス炉ガス、中心部より空気が高速度で反対方向に旋回しながら炉内に入るものでこれらの混焼、専焼に対しきわめて良好な燃焼をうるようになつている。なおバーナ中心部には重油バーナを挿入し混焼可能になつている。点火はコークス炉ガスを使つた電気式点火バーナにより行う。

3.2 屋外式構造

本ボイラは建設費の節減と建設期間の短縮のため八幡製鉄株式会社の要望もあり全屋外式構造を採用した。汽罐天井部に屋根を有するまたは罐前のみに屋根を設けるいわゆる従来の半屋外式のものより一步前進して米国南部の気候温暖な地方にその例をみるような完全なむき出し式で、中央制御室および給水ポンプ類のみ屋内に配置した全屋外式構造である。北九州地方は気候温暖とはいえ冬期の一時期には水道水の凍結が見られ、かつ例年颱風のコースにあり、これら自然現象よりボイラを守るため特に下記の点に考慮を払つた。

3.2.1 中央制御方式

ボイラの起動停止操作の一部を除いて、ほかはすべて自動操作、遠隔操作および警報装置により中央制御



第 6 図 風道断面図

室において運転できるようにするとともに、ボイラ付近の屋外に簡単な現場監視所を設置しボイラの起動停止ならびに運転中の巡視、点検などを便ならしめた。

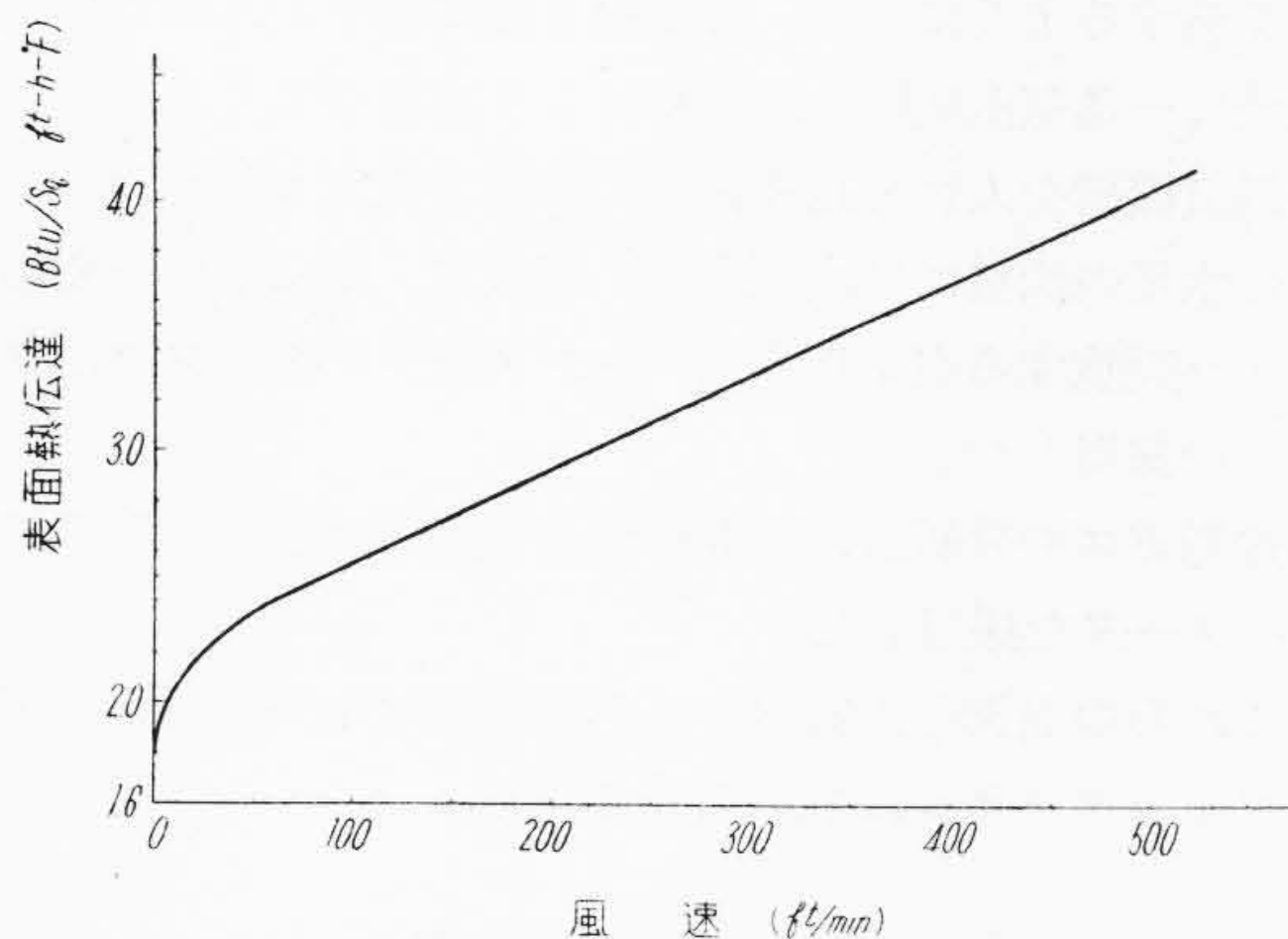
3.2.2 ボイラ構造の自然現象への対処

ボイラは常に風雨にさらされるために特に外面の防蝕、水密、耐風、耐寒および凍結の防止について考慮を払つた。第 2 図の全体組立図のように天井には傾斜をつけて雨じまいに注意するとともに全体的に雨滴の滞る箇所のないよう設計上の考慮を払い、ケーシングは全溶接として、この貫通部分その他の相対的な動きをする部分との密封方法には特に留意した。一例として煙風道の断面を第 6 図に示す。上部は傾斜をつけて排水を良くするとともに外周は特殊防水塗装で包み補強には小孔をあけて万一水がもることがあつてもこの小孔を通つて自然に排水可能な構造になつている。

過熱管以外の汽罐本体圧力部、各配管およびドレン配管は完全に排水できる構造とし、冬期の修理、官庁の定期検査などでの停罐時でも水の凍結により金属部に異状をきたさぬようにしている。またドラムには囲いを設けてドラムおよびドラム付属品類を急激な温度変化より防止し特に水面計および安全弁など汽罐主要付属品の保護に万全を期した。弁類およびスートブロワなどは耐水および蒸気の漏洩に対し十分の保護を与えるためケーシングによりおおいかつ自動制御弁、遠隔操作弁などはほかに手動把手を設け外部よりの手動操作を可能なように計画した。

3.2.3 補機類の自然現象への対処

ファン、ポンプ、ユングストローム空気予熱器の軸受部構造は特に雨水に対して完全にシールできるおおいを付けるとともに冬期の冷却水の凍結による事故を防止するためファンにおいては自身のドラフトを利用する空冷ベアリングを、空気予熱器には油冷ベアリングを採用した。各モータ類も全密閉式の防水型とするとともに必要なモータには電熱ヒータを入れて除湿を行つている。また押込通風機ではその吸込側に雨じまいを取り付けることはもちろんであるがさらに冬期の



第7図 風速と表面熱伝達との関係

外気温度低下による空気予熱器の腐蝕を防止するため吸込側にダクトをつけて排ガス煙道との抱き合せ構造とし入口空気温度の上昇につとめた。制御装置、諸計器に使用する空気は、冬期空気配管中のドレン凍結による事故を防止するためすべて除湿装置を通してから送られる。

3.2.4 支持鉄骨

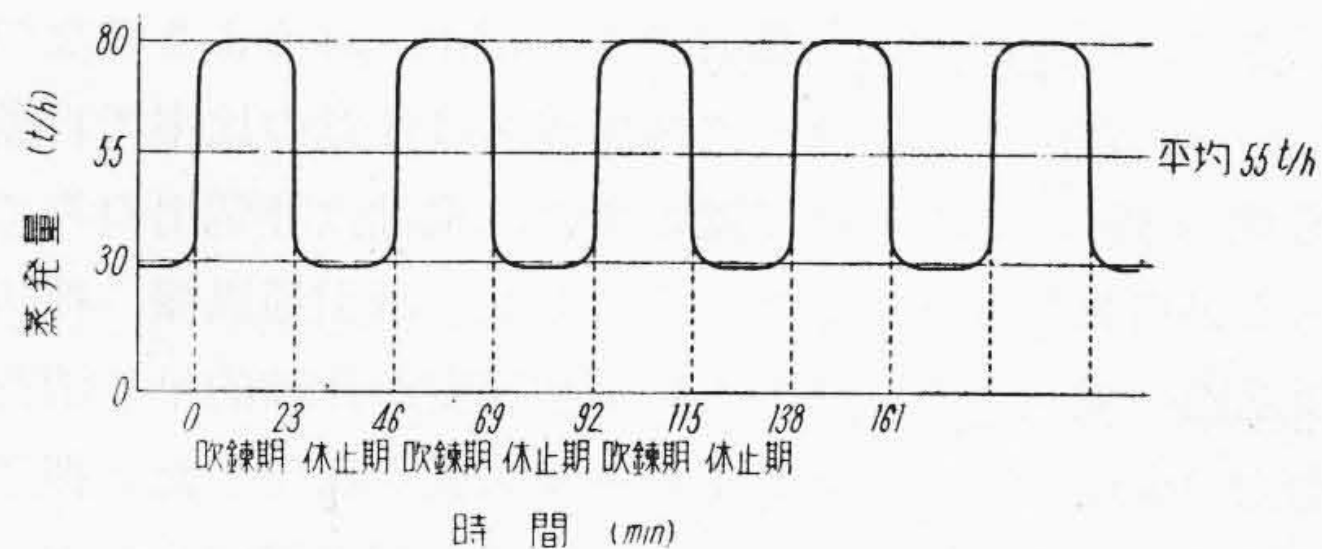
耐震構造を採用したことはもちろんであるが、ほかに颱風などの風圧および積雪による荷重にも十分耐えるよう強度を持たせた。また建屋の鉄骨がないので歩道梯子、スートブロワなどをボイラから直接支持するための支持架構を設けた。

3.2.5 汽罐外面よりの熱放散

屋内式汽罐におけるケーシング外面よりの熱放散量は経済の面から大約 $300\text{kcal/m}^2\text{h}$ 以下に採るのが普通であり、これは同時に室温を運転員の作業しやすい環境に保つことも考慮して決定されるのであるが、屋外式では後者を必要とせぬ代りに外気温度および風速が大幅に変化するためその保温には特別の苦心が払われた。今外気温度を一定にして風速を変化させると、第7図のようになる。ボイラ表面と外気の温度差を 50°F と仮定すると風速が微風状態より 500ft/min 程度に増加すると surface conductance は2倍以上となる。しかし total conductance に比較すると surface conductance の大きさは数パーセントにすぎずしたがって風速の増加による放散熱量の増加はそれほど大きなものではないが、外気温度が下り温度差が大きくなると放散熱量すなわち輻射損失が相当増加するので屋外式の場合特にその条件の設定が問題となる。

3.2.6 部品の組立輸送

屋外式汽罐の据付工事は天候に左右されるところ大であるが、一方大型の機器部品の搬入が容易であるた



第8図 転炉ボイラ運転特性

め特に複雑な形状を有するバーナ囲り水冷壁などは工場において組立ててから海上輸送する方法をとり大幅に据付工程の短縮を図ろうとしている。

3.3 負荷変動に対する考慮

本ボイラと並列運転される転炉ボイラは変化の激しい転炉の操業状態によりその蒸発量を左右される。その一例を第8図に示すが常に吹鍊時間が休止時間より長くなる。プラント全体の必要蒸気量とこの転炉ボイラよりの発生蒸気量の差をすべて今回計画のボイラでもたねばならぬことになるが、各瞬間瞬間においても圧延機運転などの製鉄所特有の大きな負荷変動を考慮しなければならないのでこのボイラの負荷特性はいつそう激しい変動を受けることになる。幸いガスまたは重油焚きボイラでは燃焼関係の制御性はほかのストーク焚きなどのボイラより容易であるが、このように激しい負荷変動に応ずるためにはボイラ本体、燃焼装置、通風装置、自動制御装置、そのほかの補機類の選択に特に慎重を期さねばならなかつた。

汽罐本体は罐水容量の大きい構造としたことはもちろんであるが汽胴内に設けたサイクロンスチームセパレータは特にこのような負荷特性のボイラにおいて真価を発揮し、負荷、水位の変動に対し蒸気純度はほとんど変化せず完全な汽水分離を行うため罐水の循環に対して大きな効果を与える点で断然ほかの追従を許さないものである。

ボイラ負荷の変動のほかに燃料ガスの発生状況により混焼割合も変えねばならないので、この点ボイラの自動燃焼制御装置の計画には特に注意を払い、マスターコントロール、燃料空気比率制御、炉圧制御、蒸気温度制御などには比例、積分、微分のいわゆる三動作付の調節計を使用して検出作動の時間おくれを極力少なくする方式とした。マスターコントロールはボイラ蒸気溜での蒸気圧力を一定に保つように将来は4罐、今回は2罐同時に制御する。マスターコントローラよりの操作指令により燃料ガス調整用ダンパ、空気量調整用押込通風機ベーンおよび炉圧調整用誘引通風機ベーンは同時に連続操作され、空気量はさらに燃料空気比率補正器で高炉ガス、コークス炉ガスの混焼量に応じた所要空気量を計算して修

正され、炉圧は炉圧調節計により補正されるようになっている。高炉ガス、コークス炉ガスは任意の比率で自動燃焼制御装置にかけて運転でき、重油は非常用のみであるが自動運転も可能なようにした。誘引通風機、押込通風機の風量調整にはともに調整速度が比較的早く消費動力の少ないベーンコントロール方式を採用した。押込通風機は1籠につき1台であるが誘引通風機は高炉ガス専焼時最大負荷でのガス量が多く、また同じボイラ負荷でも重油またはコークス炉ガス専焼時と高炉ガス専焼時には煙道ガス量にかなりの差があり、さらに低負荷時には誘引通風機のベーン全閉時でもある程度のリークを避けられぬので、1籠につき2台設置し燃料の種類にかかわらず低負荷で確実な風量調整のできるようにした。

蒸気温度制御は各種の外乱や相互干渉が多い上に検出やプロセス自身のむだ時間が非常に大きく、この傾向は高圧高温になるほど過熱器金属部の熱容量が大きくなるので特に強くなるが、一方温度の許容変動幅はきわめて小さく要求されるので自動燃焼制御装置では一番困難な問題である。このため今回の計画では検出の時間的おくれを小さくするため蒸気温度のほか蒸気流量も検出し

て調整するようにした。また第3図に示すようにこの蒸気流量—蒸気温度特性が燃料により異なってくるのでこの補償機構を入れて迅速確実に作動するようにした。

給水量の調整には汽胴水位、蒸気量、給水量の三要素により調整する空気作動式コープスバランسدフロータイプを採用した。

煙道ガスの分析計には3種類の燃料を使用するのでO₂メータを採用した。

これらの制御用計器および熱計器類は中央制御室のグラフィックパネルに納められている。

4. 結 言

以上八幡製鉄株式会社戸畑工場納 100t/h ボイラの概要について述べたがその運転条件は一般のボイラに比べかなり苛酷なものであるうえに完全な屋外式を採用したため、その設計製作には今までの貴重な経験を基にして十分検討を行い特に慎重を期したが、やがて運転に入つたときにはその画期的な構造とともに高性能を誇るプラントが実現するであろうと確信する。

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案 (その1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	238241	電 気 清 浄 装 置	日立工場	橋本清隆	33. 1. 14
"	238242	圧力の変化するガスの電気清浄装置	日立工場	諫早清隆	"
"	238259	高効率水車並列運転装置	日立工場	諫早卓爾	"
"	238247	力率補償付自動電圧調整装置	国分工場	河合正義	"
"	238256	遮断器	国分工場	小林哲郎	"
"	238245	特殊狭軌間の機関車試験用台車	笠戸工場	片岡光博	"
"	238252	トラックブレーキ吊下装置	笠戸工場	村田正男	"
"	238253	トラックブレーキ吊装置	笠戸工場	村田正男	"
"	238254	トラックブレーキ	笠戸工場	村田正男	"
"	238225	カーブーラ用アクスルカウンタ	亀有工場	田中春雄	"
"	238226	ドラム	亀有工場	秋部富治	"
"	238230	チップラ操作装置	亀有工場	渡井上儀	"
"	238232	チップラ自転装置	亀有工場	井上啓	"
"	238234	堅坑における自動式ジャンクションレール	亀有工場	田中春雄	"
"	238238	パワショベル系掘削機の操作装置	亀有工場	久保沢	"
"	238239	起重機用メカニカルブレーキ	亀有工場	伊藤賢一	"
特 許	238246	非常停止装置	亀有工場	井上健二	33. 1. 14

(第30頁へ続く)