

富士製鉄株式会社東海火力発電所 50 MW 3号発電用日立電子式ボイラ制御装置

Solid-state Automatic Boiler Control Equipment for 50 MW Thermal Power Station

鈴木 郁朗* 村田 裕司* 西村 昭**
Ikuro Suzuki Yûji Murata Akira Nishimura
中野 善之*** 矢杉 正明****
Yoshiyuki Nakano Masaaki Yasugi

要 旨

富士製鉄株式会社東海火力発電所の前例のないベンソンボイラ2缶と自然循環ボイラ2缶の並列運転は、計画当初からのアナコン解析と現地試験によって安定な制御特性を得ることができた。

この並列運転制御には、大容量ボイラに適合するように信頼性を高め、機種を増し体質を改善した日立電子式ボイラ制御装置を適用し、良好な制御結果と十分な信頼性が確認された。

1. 緒 言

富士製鉄株式会社東海火力発電所は製鉄用の電力、蒸気の確保および廃ガスの有効利用を目的としている。特に製鉄炉用ブロワをタービン駆動しているため、ブロワタービン用の蒸気の確保が製鉄所の運転面からきわめて重要なものとなっている。

安定な蒸気源の確保のために4缶のボイラをヘッドで並列接続し並列運転を行なうが、既設設備はベンソンボイラ2缶よりなり、一方新設備は自然循環ボイラ2缶であるため、前例のない貫流ボイラと自然循環ボイラの並列運転となった。このため計画当初から、あらかじめアナコン解析で十分な検討を行ない、安定な制御が得られる制御系を採用した。

日立電子式ボイラ制御装置は従来産業火力用として多くの納入実績をもっているが、50 MW 発電用は国産記録品であり、仕様のには事業用と同等のものであるため詳細に検討して、信頼性を向上し総合監視に便利な計器構成とし、さらに新機種の開発を進めるなど大容量火力にも適したものとした。

本制御装置の特長の一つは製鉄所として要求される多種類の燃料制御を行なうとともに、重油バーナとして自動バーナを採用したことであるが、良好な運転結果を得ることができた。

このように信頼性の高い大容量火力発電設備向けの日立電子式ボイラ制御装置を開発したのでここで紹介する。

2. プラント概要

2.1 動力プラントの概要

動力プラントの系統は図1に示すとおりである。

ボイラは150 t/hの既設ベンソンボイラ2缶、新設175 t/h自然循環ボイラ2缶の合計4缶が蒸気ヘッドによって並列接続し、並列運転をする。蒸気負荷としては12.8 MWのブロワタービン2基、25 MWのブロワタービン1基、25 MW発電用タービン2基、50 MW発電用タービン1基と工場蒸気であり、これらを蒸気ヘッドに接続する。これら蒸気負荷のうちブロワタービンが最も重要な負荷であるので、ボイラ1缶トリップ時には発電用タービンの蒸気を絞ってブロワタービン用の蒸気を確保するように計画してある。

2.2 新設プラントの概要

今回新設した50 MW発電プラントの概要は次のとおりである。

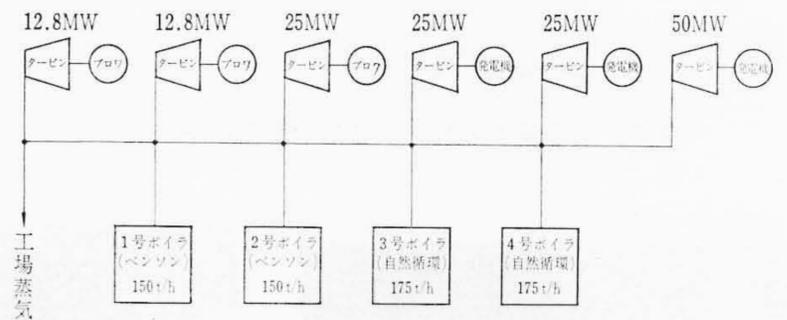


図1 動力プラント系統図

ボイラ仕様

数	量	2缶
ボイラ形式		B & W 2胴放射形屋外式
蒸発量 (最大連続負荷)		175 t/h
蒸気圧力 (過熱器出口にて)		93 kg/cm ² g
蒸気温度 (過熱器出口にて)		515°C
給水温度 (節炭器入口にて)		210°C
通風方式		平衡通風
使用燃料		タール, コークスガス (COG), 高炉ガス (BFG), 重油

タービン仕様

台数	数	1基
形式		日立衝動式抽気復水タービン
出力		50,000 kW
主蒸気圧力 (主塞止弁前)		88 kg/cm ² g
主蒸気温度 (主塞止弁前)		510°C
回転数		3,600 rpm
抽気圧力		25 kg/cm ² g
工場抽気量		60 t/h

発電機仕様

台数	数	1基
形式		日立円筒回転界磁閉鎖通風形
容量		58,823 kVA
電圧		11 kV
周波数		60 Hz
回転数		3,600 rpm
冷却方式		水素冷却式

3. ボイラ制御方式とその特長

ここでは特長のある主蒸気圧力制御装置、並列運転制御装置、燃

* 富士製鉄株式会社名古屋製鉄所
** 日立製作所国分工場
*** 日立製作所日立研究所
**** バブコック日立株式会社横浜工場

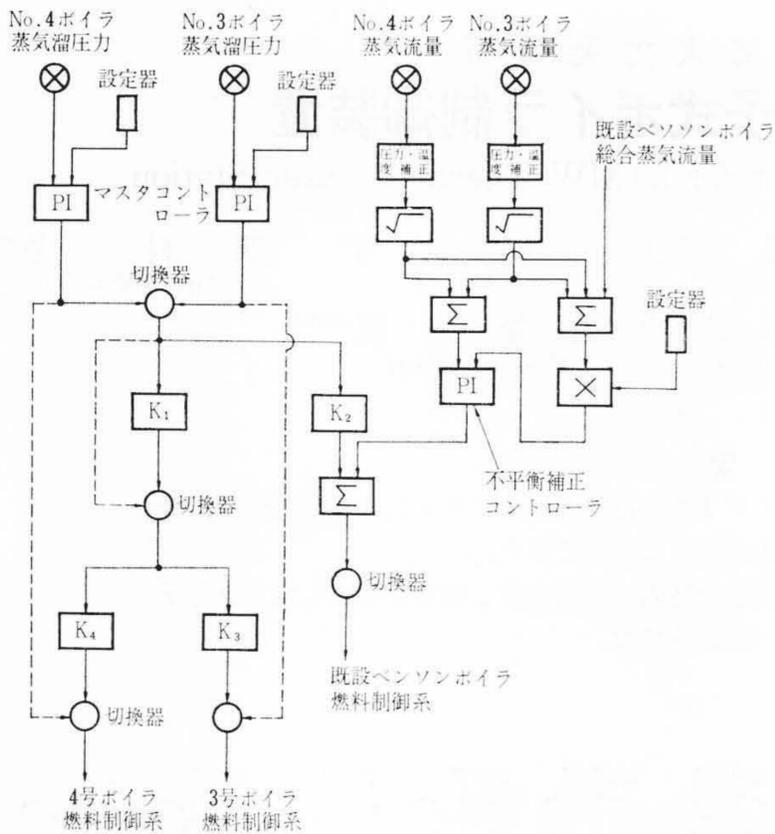


図2 主蒸気圧力および並列運転制御系統図

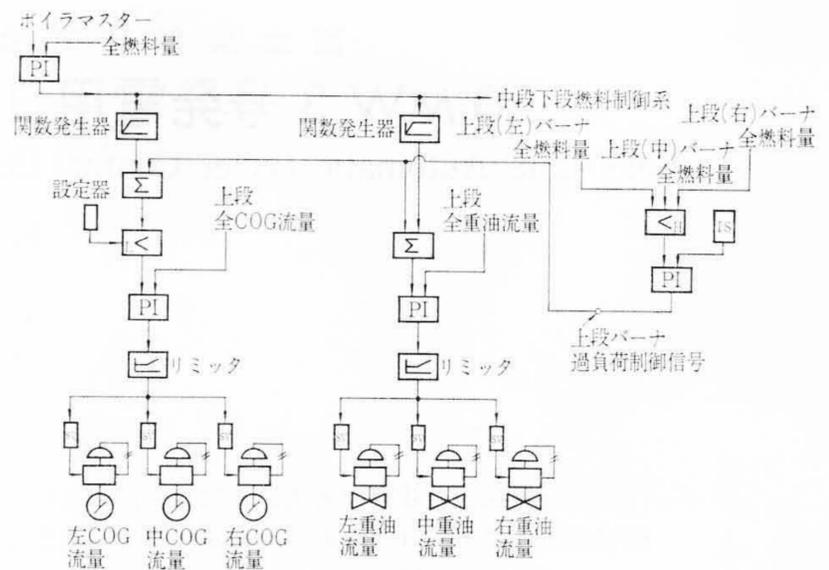


図5 上段燃料制御系統図

このようにして既設ベンソンボイラの動特性を把握するとともに、既設制御系統を考慮に入れ、並列運転の制御性がより良く安定するよう、新設ボイラ本体を設計し、アナコンで模擬して制御特性の解析を行ない、自然循環ボイラを採用するとともに、制御系統を決定した。図2は主蒸気圧力および並列運転制御系の構成を示すものである。

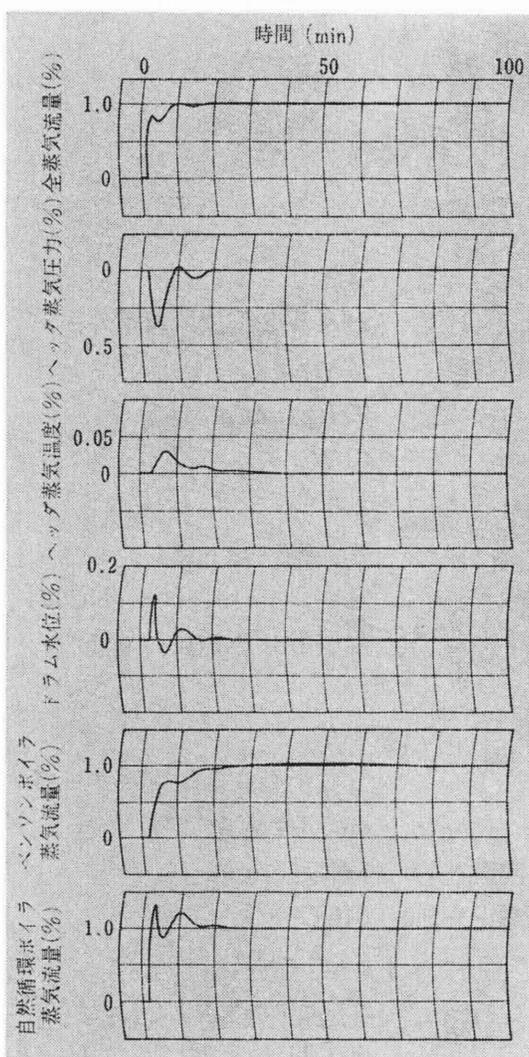
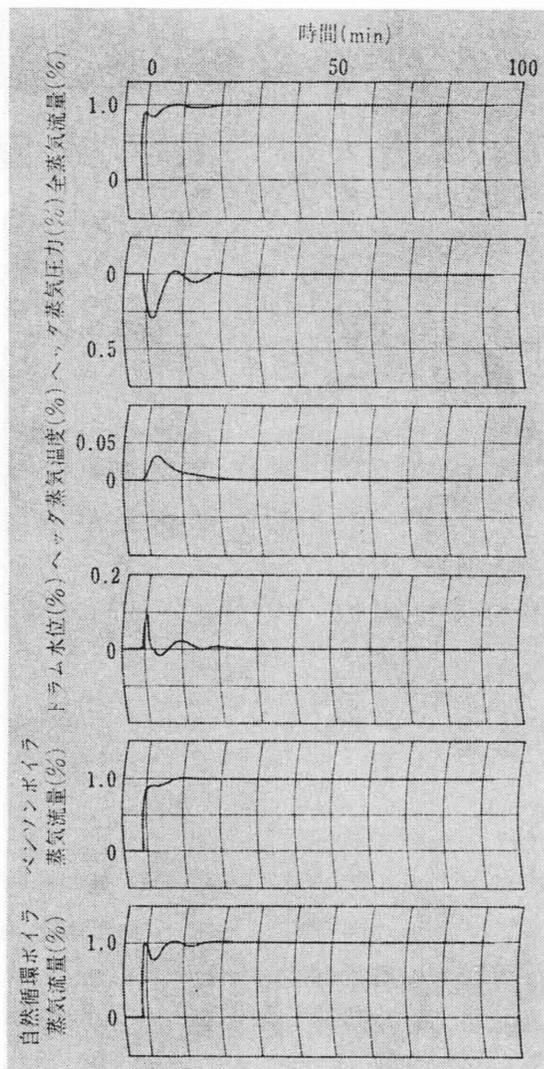


図3 並列運転時の制御特性



(不平衡補正コントローラ付)

図4 並列運転時の制御特性

燃料制御装置および空燃比制御装置を中心に説明する。

3.1 主蒸気圧力および並列運転制御装置

安定な蒸気源の確保のためにボイラ4缶を蒸気ヘッドで並列接続し、貫流ボイラと自然循環ボイラの並列運転を行なう。このような形式および特性の異なるボイラの並列運転は前例がないので運転特性についてあらかじめ解析を行なった。特に既設ベンソンプラントに対しては、動特性試験を行ない、実測データを使用して解析の精度を高めた。

アナコン解析において、定常状態における自然循環ボイラとベンソンボイラの負荷配分は比例演算器 K_1 , K_2 の値の設定によって可能であることが確認された。ただし過渡的な状態ではベンソンボイラと自然循環ボイラの動特性の違いによって図3のアナコン解析結果に示すように、負荷変化時は蓄熱容量の大きい自然循環ボイラが初期負荷変動の大部分を分担し、その後ベンソンボイラが追従してきて両者の負荷配分が規定値となる。

この過渡状態におけるベンソンボイラと自然循環ボイラの負荷分担の不平衡をできるだけ補正するために全体の蒸気流量に対する自然循環ボイラの蒸気流量を計算し、実際の自然循環ボイラの蒸気流量と比較し、この偏差をなくするように不平衡補正コントローラによって応答の早いベンソンボイラの燃料量を補正する。図4に不平衡補正コントローラを使用した場合のアナコン解析結果を示す。図4は図3と比較して過渡時の自然循環ボイラとベンソンボイラの不平衡をかなり小さくしており、十分な効果があることがわかる。

3.2 燃料制御装置

富士製鉄株式会社東海火力発電所では、ボイラの燃料として廃ガスではBFGおよびCOGを利用し、廃液としてはタールを利用する。これのみでは安定な燃料の確保ができません。

このためボイラの安定燃料として重油を用いる。このように多種類の燃料をボイラ燃料として使用するのでバーナの構造および制御系にも種々の考慮を払ってある。

多種類の燃料を製鉄所全体からみて有効に利用するためにプログラム燃料制御を行なっている。

実際の燃料制御系の一例として図5に上段燃料制御系統図を示す。

図中の関数発生器は燃料制御順序を決定するためのもので全燃料

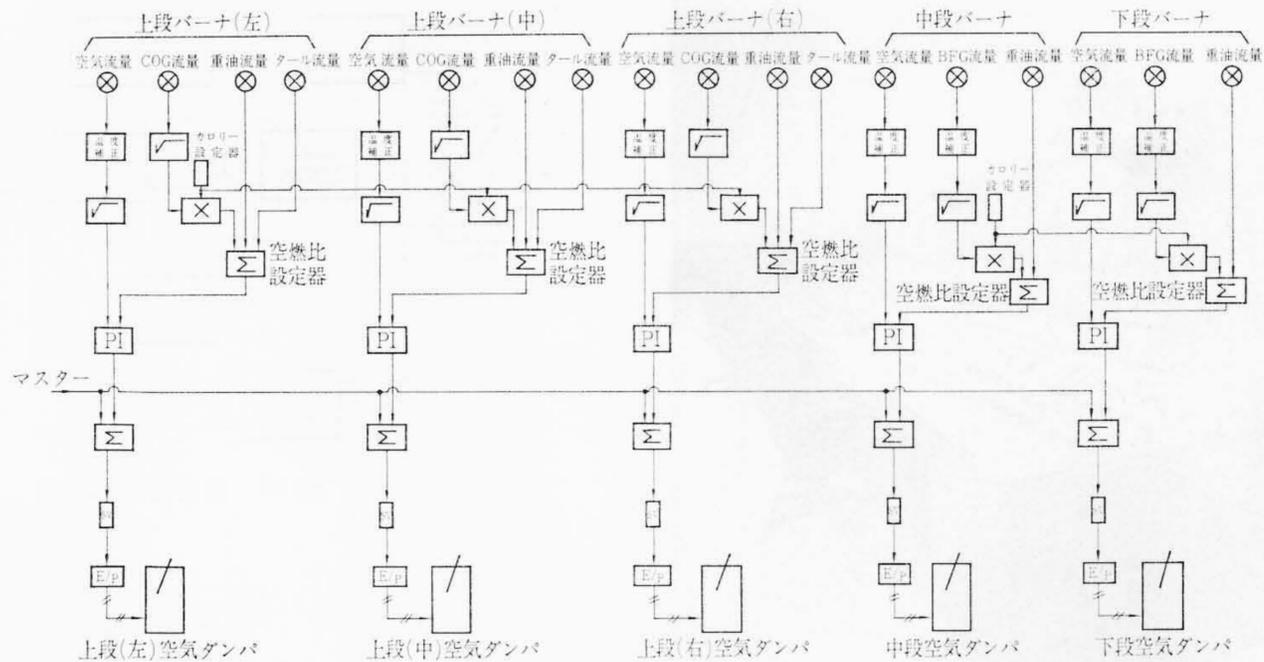


図6 空燃比制御系統図

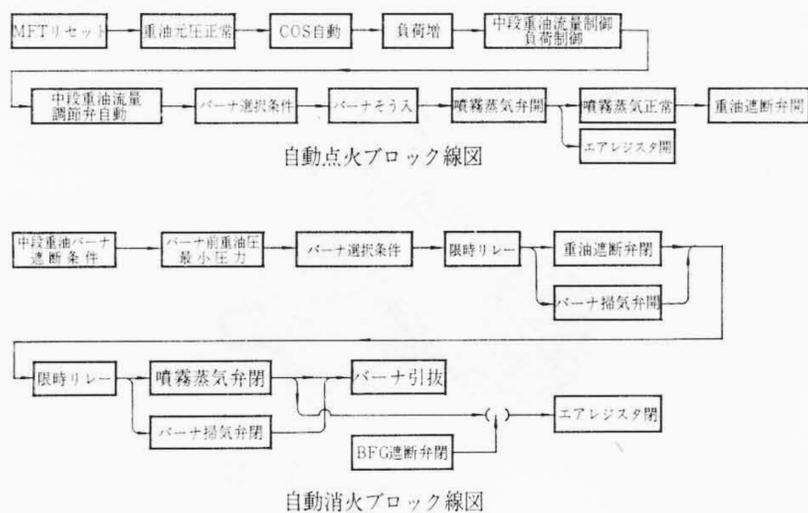


図7 中段自動油バーナブロック線図

量コントローラからの入力信号で動作し、出力信号の立ち上り点はリレー回路からの信号により五つの任意の点に選ぶことができる。この立ち上り点を決定することにより燃料制御の順序を決定する。平常時の燃料制御順序は上段 COG→下段 BFG→中段BFG→上段重油→中段重油とした。この燃料制御順序を特定の燃料に対して定値制御する場合には自動的に飛び越すように関数発生器の立ち上り点をインターロックによって変更する。

図5のCOG流量制御系で低入力選択器は製鉄所のエネルギーセンターより指令されるCOG流量の使用許容最大値を越さないようにPIコントローラへの指令値を制限する。またリミッタはCOGバーナを安定に燃焼させるに必要な最小限の調節弁開度を与える。

バーナ負荷には限界があるので、上段各バーナの全燃料量を計算し、高入力選択器で最高負荷のバーナの燃料信号を選択し、この値がバーナの限界を越えないようにバーナ過負荷コントローラにより燃料制御信号を減少させ、バーナ負荷を絞る。

3.3 空燃比制御装置

多種類の燃料を制御するのでこれに適した空燃比制御とした。

上段バーナは、バーナ1本ごとに風箱をしきり、バーナ個別に空気量を制御し、中段バーナおよび下段バーナは各段を一括し空気量を制御する。このようにして多燃料バーナに対する空燃比制御の制御範囲を広めた。図6は空燃比制御系統図を示したものである。

上段バーナに対しては各バーナごとに空燃比設定器を設け、各バーナのCOG流量、重油流量およびタール流量に対する空燃比設定を行ない、各バーナへの空気量を各バーナの空気ダンパによって制

御した。

COGはカロリーが変動するのでカロリー設定器を設け、カロリー変動による空燃比の変化を補正する。

中段バーナと下段バーナに対する空燃比制御は全く同一であり、中段および下段をそれぞれ一括して空燃比設定器を設け、各段へのBFG流量および重油流量に対する空燃比設定を行なう。

4. バーナ自動制御装置

4.1 バーナの概要

バーナは上段3本、中段3本、下段3本の合計9本である。

COGおよびBFGバーナは着火は手動で、消火は自動で行なわれる。重油バーナは上段は手動着火、手動消火、中段は自動着火、自動消火であり、下段は運転中は常時点火である。

重油バーナおよびタールバーナはシリンダにより遠方から抜差しができる。

点火バーナは各バーナに取り付けられているが、これを常時点火しておき、主バーナの遮断弁が開くと自動的に着火するように考慮してある。

ここでは中段自動重油バーナのみについて以下説明する。

4.2 中段自動重油バーナ

中段重油バーナは自動バーナとし負荷によって自動点火、消火させる。図7は中段自動重油バーナブロック線図を示したものである。

(1) 自動点火

自動点火は自動点火ブロック線図に示すようにMFT (Master Fuel Trip) がリセットされ、重油元圧が正常であれば、自動点火のスイッチを自動にすると中段重油流量制御が負荷制御で負荷増加の信号がある場合は、バーナ選択条件に従って自動点火する。

この際安定な重油バーナの点火を行なうために中段重油流量制御はバーナが3本すべて点火するまでインターロックによって動作が止められ、安定な燃焼を行なわせるに必要なバーナ本数に対応する重油流量調節弁の開度を与える。

バーナ選択条件は中→右→左の順序で行なわれる。ただし1本のバーナが点火完了後火炎を安定させるために時限をおき、さらに負荷増加の信号がきている場合には、次のバーナ自動点火操作を行なわせる。

(2) 自動消火

自動消火ブロック線図を図7に示す。中段重油バーナ遮断条件が成立している場合には、バーナ前重油圧力が最小圧力になるとバーナ選択条件に従って時限をおき自動消火させる。

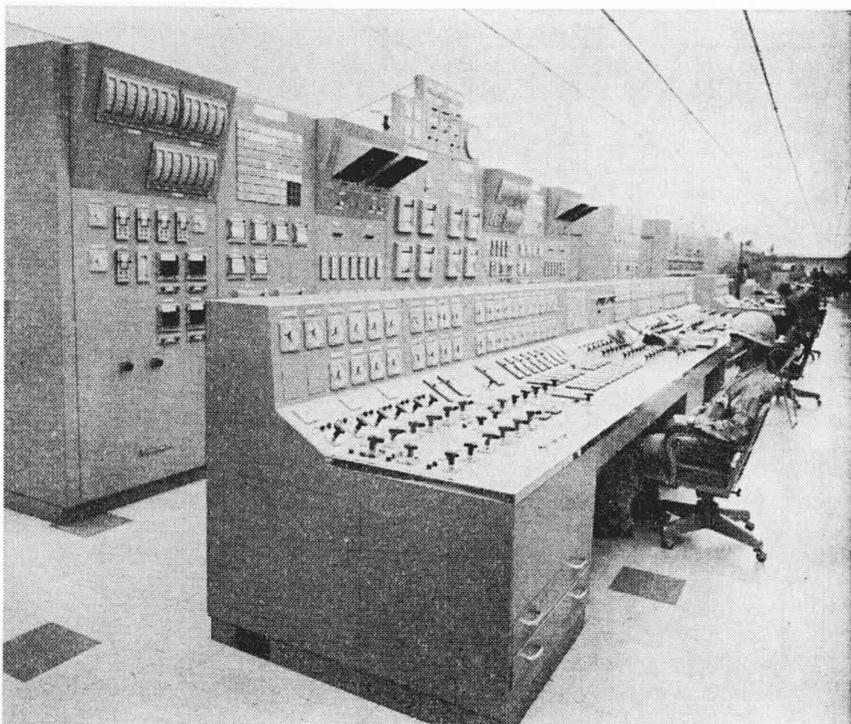
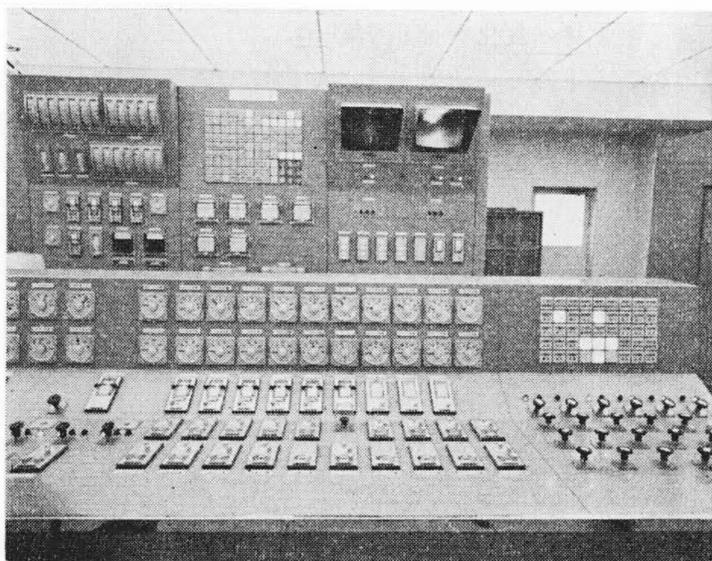


図8 富士製鉄株式会社東海火力発電所
50 MW 発電プラント中央制御盤



(部分拡大図)

図9 富士製鉄株式会社東海火力発電所
50 MW 発電プラント中央制御盤

自動消火の場合のバーナ選択条件は左→右→中の順序である。

5. 日立電子式ボイラ制御装置

図8は富士製鉄株式会社東海火力発電所納 50 MW 発電プラントの中央制御盤を示したもので、図9はその拡大図である。

日立電子式ボイラ制御装置は、演算装置の種類を増し、計器構成を変更したものであり、次のような特長をもっている。

(1) 使用部品の統一

使用部品をすべて電力用に統一し、エージング試験を行ない信頼性の高いものとしている。

(2) 発信器にひずみ計を採用

変位-電気変換要素用の発信器には日立独自の高出力安定のひずみ計を採用し、リンク機構、力平衡機構、可動シール部分を省き高圧シールを可能とし、可動部分のない信頼性の高い発信器である。

(3) ラック式調節器、演算器の採用

調節器、演算器をラック式としキャビネットなどにコンパクトに収納し、保守点検を容易にしている。

(4) 調節器を調節部と自動切換部に分離

デスク盤には自動手動切換器だけを取り付け、調節部はラックにまとめて総合監視を容易にしている。

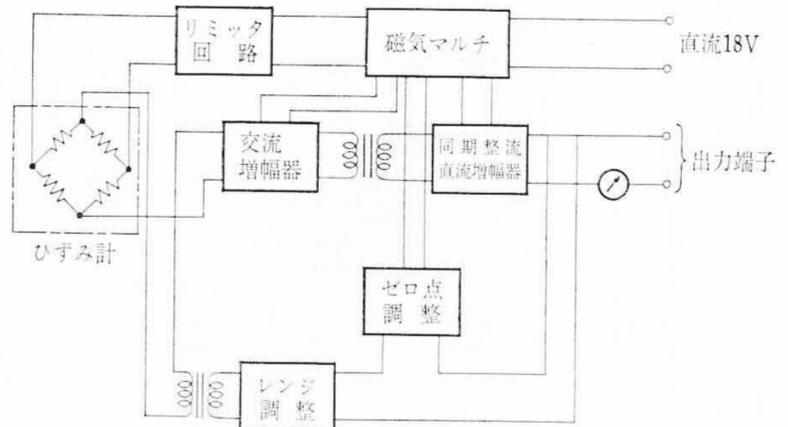


図10 発信器基本回路

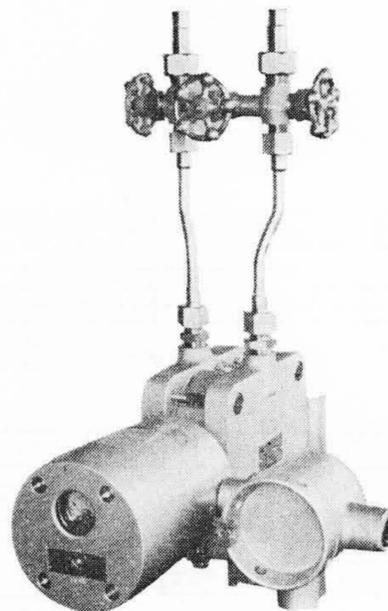


図11 EDR-11 形差圧発信器

(5) トランジスタチップの採用

高性能でかつ機械的消耗部分のない低ドリフトトランジスタチップを採用している。

(6) 直流電流信号の採用

信号電流はゼロ点校正や演算器との組合せの容易な直流4~20 mAを採用しており誘導に対して強いものになっている。

(7) 直流電源の採用

安定化された直流18Vの電源で動作するので、電源電圧、周波数の影響がない。

次に日立電子式ボイラ制御装置に使用される制御器について以下説明する。

(1) 発信器

発信器の基本回路を図10に示す。

発信器はひずみ計を検出機構とし圧力、流量、液面などを測定して4~20 mAの直流信号を発信する。

図11に発信器の一例としてEDR-11形差圧発信器を示す。

(2) ラック式演算器

加減算、乗算、開平演算、高低入力選択、高低信号制限などの演算器、調節器はラック式演算器としてラックに収納されている。

図12はラック式演算器を、図13はラック式演算器収納盤の一例を示したものである。

(3) 偏差指示設定器

操作盤に取り付ける設定器で、設定するとともにその偏差指示を示す。図14は偏差指示設定器である。

(4) 自動手動切換器

図15に自動手動切換器を示す。

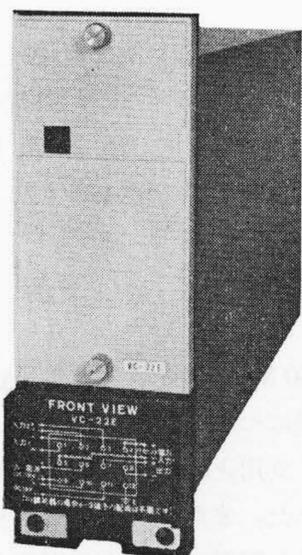


図12 ラック式演算器

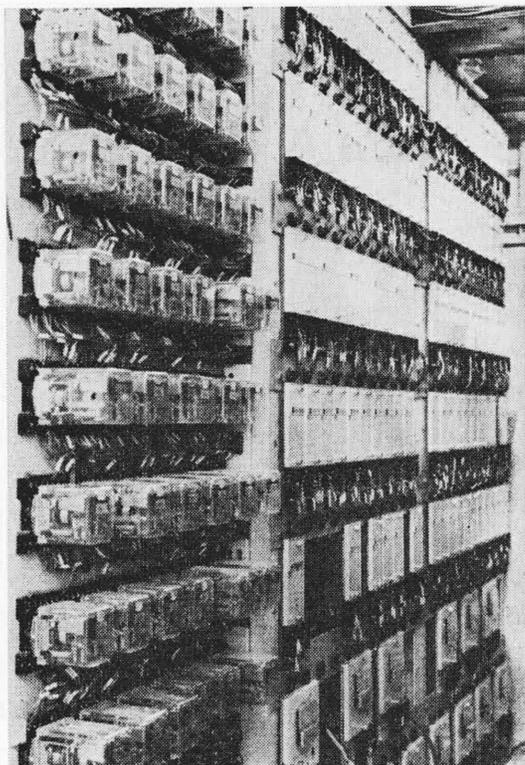


図13 ラック式演算器収納盤

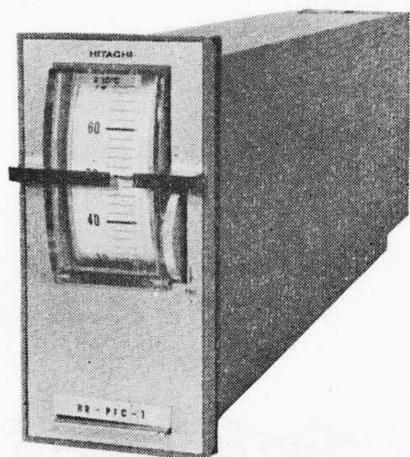


図14 VI81-S形偏差指示設定器

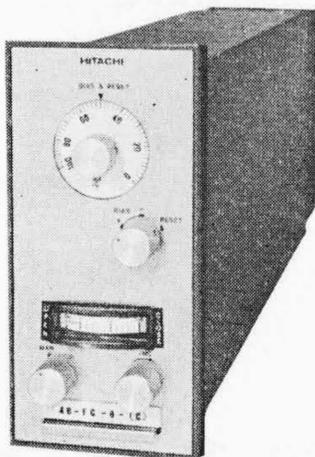


図15 VM83-B形自動手動切換器

この自動手動切換器は自動信号にバイアスをかけたり、または調節器にリセット電圧をかけて複雑な制御の場合でも自動信号を手動信号に合致させてパンプレスな切換を可能としている。

6. 現地試験結果

日立電子式ボイラ制御装置は好調に運転されており、大容量ボイラ用として十分信頼性の高いものであることが実証された。試運転中新設の自然循環ボイラの動特性試験、負荷応答試験および既設ペンソンボイラとの並列運転試験を行なったのでその結果について説明する。

自然循環ボイラの動特性はアナコン解析に用いたボイラ仕様からの計算値と総合的にみた場合、ほぼ一致していた。自然循環ボイラの実際の保有熱量は計算値より大きくなっており、ボイラ時定数は若干大きくなってしたが、これはペンソンボイラとの並列運転を考えた場合、特性としては良い方向であった。

図16は自然循環ボイラの負荷応答特性を示したものである。この試験は重油専焼時、ガバナフリー運転を行なっている50 MWのタービン発電機の加減弁開度を傾斜変化させたものである。主蒸気流量を130 t/hより約20 t/h変化させた場合の主要な値の設定値からの変化幅は次のとおりである。

- 主蒸気温度変化幅: -7°C , $+3^{\circ}\text{C}$
- ヘッド圧力変化幅: $+2\text{ kg/cm}^2$, -1.5 kg/cm^2
- ドラム水位変化幅: $\pm 5\text{ mm}$

上記のように良好な結果であり時間も30分以内である。特にド

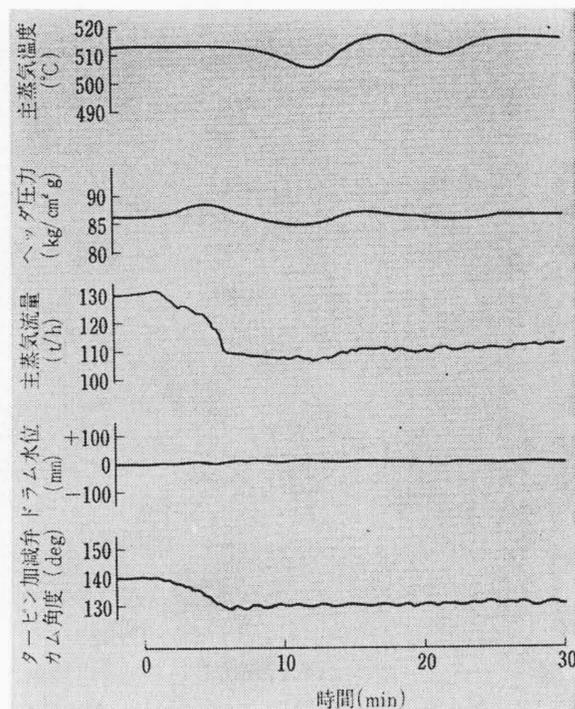
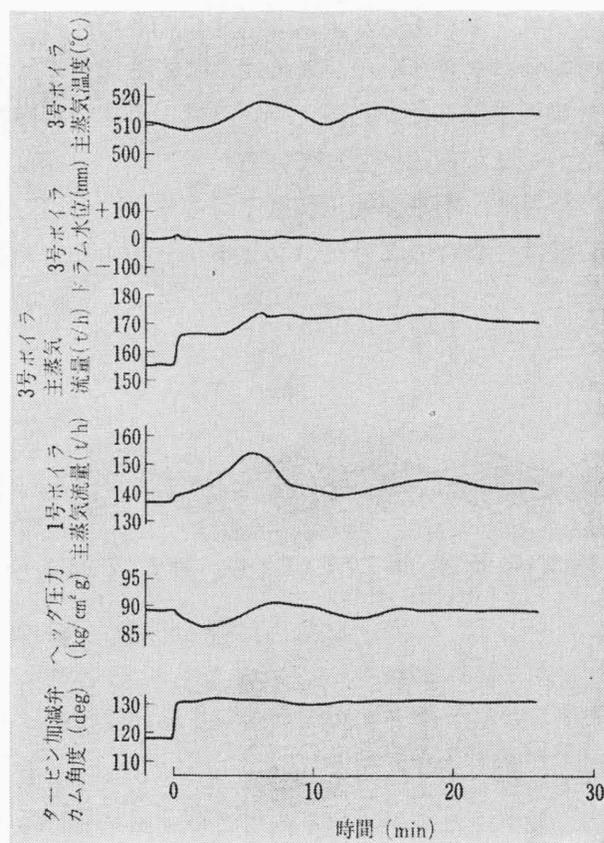


図16 自然循環ボイラ負荷応答特性



(不平衡補正不付)

図17 No.1ボイラ, No.3ボイラ並列運転制御特性

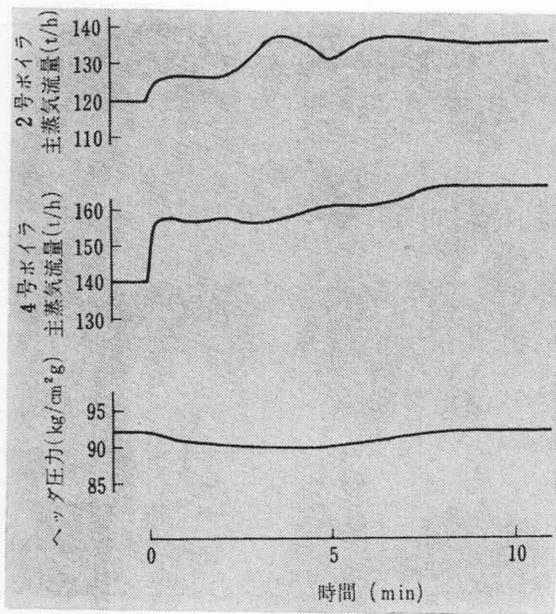
ラム水位制御は非常に良好である。この結果は、ペンソンボイラと並列運転時、ペンソンボイラが1缶トリップした場合でも、自然循環ボイラは、ドラム水位の制限にかかることなく負荷を分担できることを示している。

図17は自然循環ボイラとペンソンボイラの並列運転制御特性を示したものである。この試験は1号ペンソンボイラの燃料制御をCOGで行ない、3号自然循環ボイラの燃料制御を重油で行ない、50 MW発電機の出力を6 MWステップ状に増加させたときのものである。このときの主要な値は次のとおりである。

- 蒸気ヘッド圧力変化幅: -3.5 kg/cm^2 , $+0.5\text{ kg/cm}^2$
- No. 3ボイラ主蒸気温度変化幅: $+8^{\circ}\text{C}$, -0°C
- No. 3ボイラドラム水位変化幅: $+12\text{ mm}$, -10 mm
- 整定時間: 約16分

上記のようにペンソンボイラと自然循環ボイラの並列運転は十分安定な結果を得ている。

蒸気流量に着目してみるとタービン加減弁開度変化に対して最初



(不平衡補正付)

図 18 No. 2 ボイラ, No. 4 ボイラ 並列運転制御特性

蓄熱容量の大きい 3 号自然循環ボイラが負荷の大部分を分担し、次第に 1 号ベンソンボイラが追従してきて約 8 分くらいで両者が決定した負荷配分になっている。このように自然循環ボイラとベンソンボイラを並列運転したことによりプラント全体の制御特性が両者の特長を生かしながら改善されている。

上記の結果は、不平衡補正装置不付の場合であるが図 18 は不平衡補正装置付の場合の 2 号ベンソンボイラと 4 号自然循環ボイラの

並列運転制御特性を示したものである。

この試験は、2 号ボイラは重油、4 号ボイラは BFG で燃料制御し、50 MW 発電機で 6 MW の出力のステップ変化を与えたものである。

図 17 と比較してわかるようにベンソンボイラと自然循環ボイラの負荷の不平衡が補正され、ヘッダ圧力の変化もかなり小さくなっており、より改善されていることがわかる。

7. 結 言

以上富士製鉄株式会社東海火力発電所 50 MW 発電用日立電子式ボイラ制御装置の内容および現地試験結果について説明した。

日立電子式ボイラ制御装置は大容量ボイラ用として十分信頼性があり、制御性も良好であることが確認された。また自然循環ボイラと貫流ボイラの並列運転制御も当初計画した制御方式で十分安定な制御ができ、プラント全体の制御特性が改善された。

このように日立電子式ボイラ制御装置は良好な結果を得たので、今後さらに大容量の事業用ボイラに進出する道が開かれた。

最後に計画および試験に対して有益なご援助およびご協力をいただいた電力中央研究所竹内元氏、富士製鉄株式会社名古屋製鉄所の動力工場および臨時名古屋建設本部の各位、バブコック日立株式会社の関係者、日立製作所の関係者に対し謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 西村, 駒田: オーム 55 卷 2 号 (昭 43-2)
- (2) 鈴木, 小原: 火力発電 V 16-8 (昭 40-8)



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第 777112 号, 第 777113 号

鈴木 均

空 気 分 離 装 置 の 保 護 装 置

この考案は、アセチレンが引き起こす爆発の惨事より空気分離装置を安全に保護せんとするものである。

空気分離装置にはその防爆対策の一つとしてアセチレン除去器が保冷槽内に設置されている。そしてこのアセチレン除去器にはアセチレンの量が爆発限界に到達する以前に、アセチレンを大気に放出するためのアセチレンブロー弁が連設されている。

この考案は、爆発の惨事がこのアセチレンブロー弁の個所で多発していることにかんがみ、このアセチレンブロー弁を保冷槽と独立した保冷兼防爆室内に収納したもので、爆発の惨事を最小限に阻止し、装置を安全に保護するとともに人体に対する危害も少なくできる効果がある。

すなわち、保冷槽 1 内に設置されたアセチレン除去器 2 に連設されるアセチレンブロー弁 3 を配管 4 を介して保冷槽 1 の外部に設け、かつ内面が保冷箱 10、外面が防爆コンクリート 11 とよりなる保冷兼防爆室 9 の中にこのブロー弁 3 を収納し、さらに配管の一部に設けられた屈曲部 5 に弱点個所 6 を設けたものである。図中 7 はブロー弁操作棒であり、8 はアセチレンを大気に放出する配管である。また 12 および 13 は爆圧で容易に破壊し得るようにされた切欠部および安全板である。

(山元)

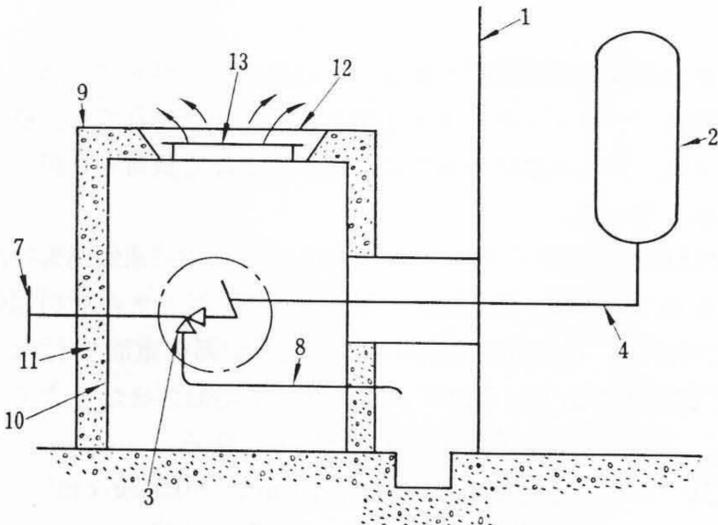


図 1

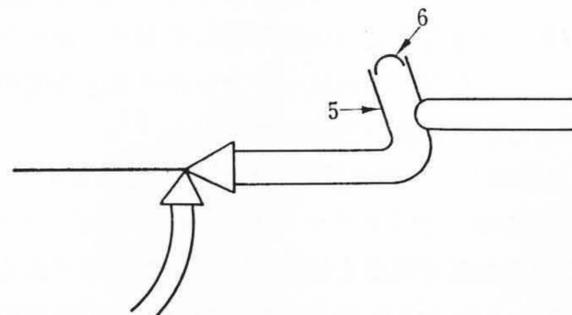


図 2