U. D. C. 621.182.26：621.38

全 電 子 式 ボ イ ラ 制 御 装 置

Electronic Boiler Control Equipment

丸　山　英　久*
Hidehisa Maruyama

内　容　梗　概

火力発電プラントの大容量化に伴いそのボイラ制御は高度に複雑なものとなり，すでに計算機によるプラントの全自動制御が試みられている。これら高度の自動制御に対しては従来の空気圧式ではもはや満足な機能を発揮させることは困難で，これに代わるものとして新しく電子式制御が脚光を浴びるようになった。本稿ではこの電子式制御装置のボイラ自動制御への適用について説明する。

1. 緒　　言

火力発電プラントの運転を効率高く，かつ安定して行なうためにボイラ自動制御装置は必要不可欠のものであるが，従来大容量ボイラに採用されているものは大部分が空気圧式と呼ばれるものである。空気圧式は小形で構造は簡単であるが，強制貫流ボイラのように応答性が早く，かつ大容量化して，配管路も長大になれば空気圧信号の伝達遅れを短縮するために，またさらに進んではデータロガー，計算制御を採用していっそう高度の自動化を進めるために，これとの結合が容易で応答性の早い電子式制御装置を使用する必要があり，大きくクローズアップされるようになった。

日立製作所では早くからこの傾向に備え，空気圧式とともに電子式制御装置の開発に努めていたが，今回信越化学工業株式会社直江津工場火力発電プラントのボイラ自動制御に採用するに至った。この電子制御装置はその安定した性能，使いやすさなどにおいてすぐれた特性を十分に発揮している。以下日立電子式制御装置を用いた火力発電プラントのボイラ自動制御について述べる。

2. ボイラ自動制御

2.1 ボイラの蒸気発生系統

火力発電プラントにおけるボイラ自動制御の目的は一言にしていえばボイラから発生する蒸気の圧力温度を常に一定に保たせることである。

発生蒸気の状態に変動を与える要素は次のものである。

（a）　発生蒸気が持ち去る熱量と給水に与えられる燃料の熱量

（b）　発生蒸気量と給水量

上記のバランスすなわち熱量バランスと質量バランスが保たれればボイラ発生蒸気を一定の状態に保持できる。これを表わした基本的なブロック図が**第1図**である。

この図で

i_0：給水エンタルピ

i_2：発生蒸気エンタルピ

i'：飽和水エンタルピ

T_B：ボイラ時定数

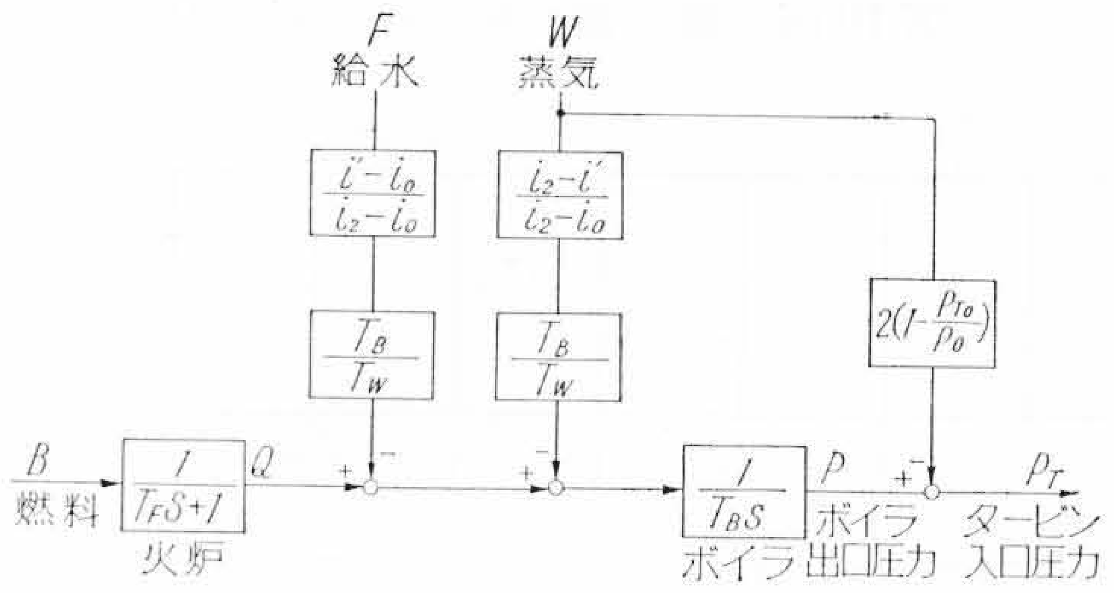
T_W：保有水時定数

T_F：火炉時定数

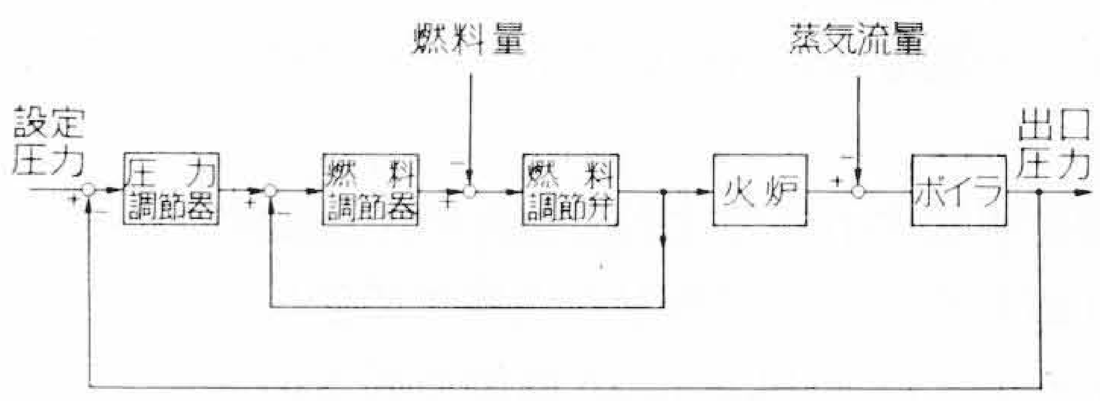
である。図中の各部の伝達関数とそれぞれの数値は理論的，実験的計算により求められるもので，このブロック図を基として解析し最適の制御系を決定することができる。

2.2 ボイラの主制御系統

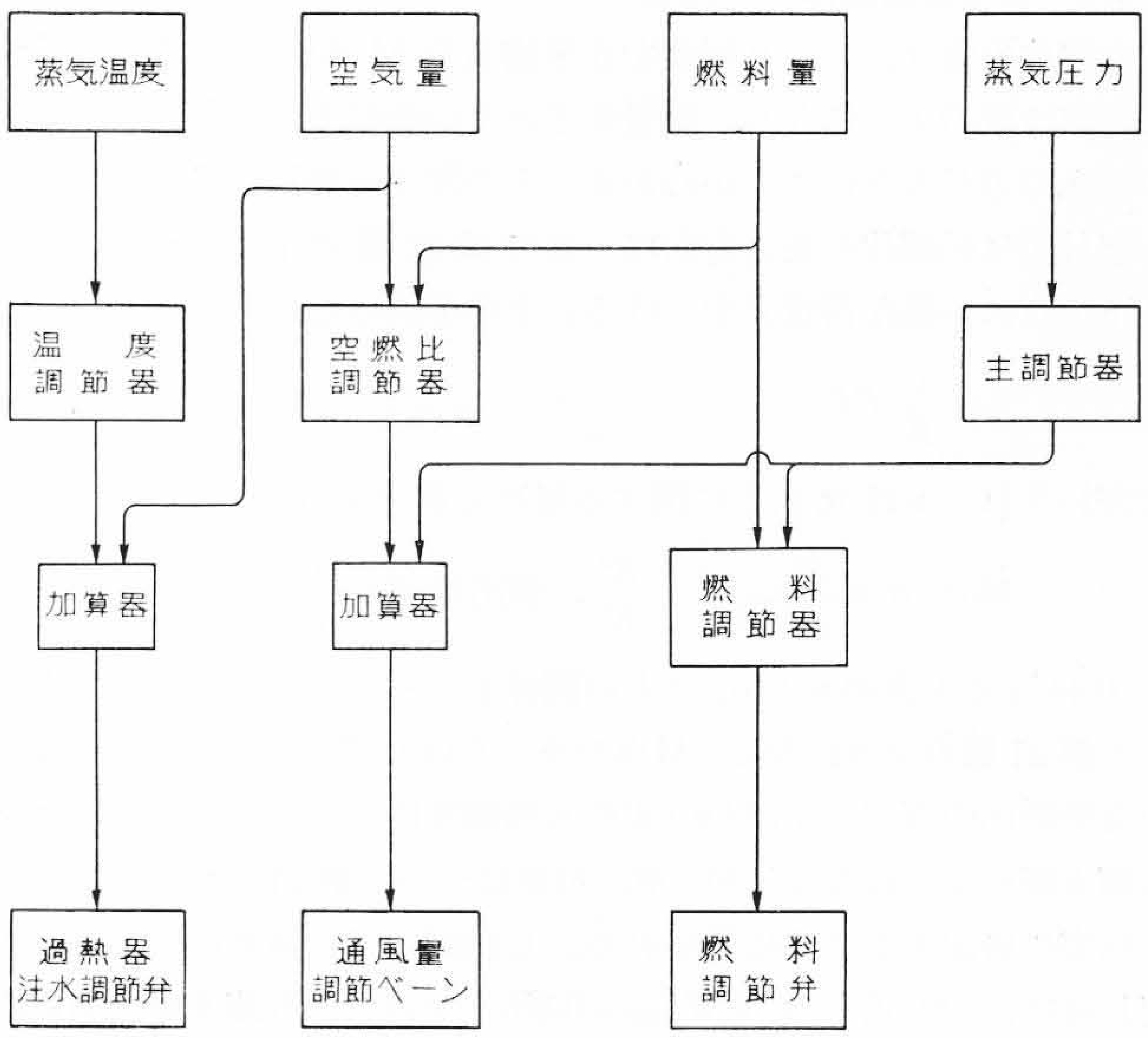
第2図は蒸気圧力一定制御系のブロック図である。この図はドラム形ボイラに対する一般的な制御系統図で，発生蒸気圧力とこれに対する設定値との偏差に応じ燃料量のコントロールを行なう系を備えている。この系の外乱は蒸気流出量であり，この変動の影響は燃料供給量を調整して補正するもので，燃料制御部はそれ自体帰還回路を設け，乱調のない安定した制御系を構成するようにしている。



第1図　ボイラブロック図



第2図　ボイラ制御ブロック図



第3図　ボイラ制御系統図

このブロック図に表わされている系統を一般にボイラの主制御と呼ばれる。

2.3 ボイラ自動制御系統

ボイラ発生蒸気状態を一定に保持するためには前記主制御のほか

*　日立製作所国分工場

に蒸気温度一定制御，燃料通風量の割合を一定に保ち，過剰空気率を適切に制御する空燃比制御などを付加する必要がある。これら制御を加えたボイラ自動制御系統図が**第3図**である。

蒸気圧力の変化は主調節器に加わり，設定圧力との偏差に応じた制御信号を出す。この信号により燃料量および空気量を所要の値に制御するが，まず燃料についてはさらに燃料調節器があり，ここで蒸気圧力からの制御信号と現在の燃料量とを比較し，その偏差が常に零となるように燃料調節弁を制御する。空気量は主調節器からの制御信号を燃料調節弁と同時にうけ燃料量に見合う空気量となるよう強圧通風機の入口ベーン制御を行なう。この結果から得られた空気流量信号と燃料量信号とが空燃比調節器に加わり，一定の割合で比較され過剰空気率が一定に保持されるよう制御信号を出し，入口ベーン開度の補正を行なう。

さらに安定した蒸気条件をうるため蒸気温度一定制御を行なっている。蒸気温度信号は蒸気温度調節器に加えられ，設定温度との偏差に応じた信号により過熱器スプレー調整弁を制御し，注入量の調整を行なう。温度制御の応答性を高めるために空気流量信号を先行値として加え制御速度を早めている。

3. 電子式制御装置

電子式制御方式は制御対象である圧力，流量，温度などの諸量をすべて電気量に変換して測定し，これを電子回路で調節演算を行ない，最後に機械力に変換し調節端を動かし，制御対象を所期の状態に保たしめている。

3.1 電　気　信　号

日立製作所においては電子式制御装置の伝送信号にDC 0～16mAを採用しているが，その特長は次のとおりである。

（a） 誘導その他の雑音をＲＣフィルタで容易に除去できる。

（b） 伝送線浮遊容量の影響を受けないのでＡＣを使用した場合のような位相補償が不必要である。

（c） データロガー，計算機との組み合わせが容易である。

（d） 伝送線の抵抗値が精度に影響しない。

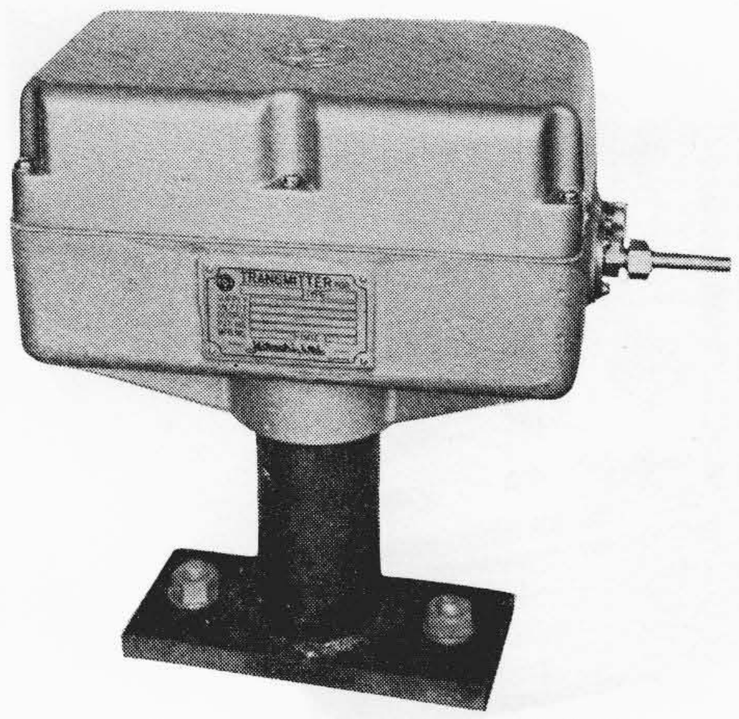
（e） 伝送途中での信号の計測が簡単に行なえる。

次に電子式制御装置用として開発された個々の機器について述べる。

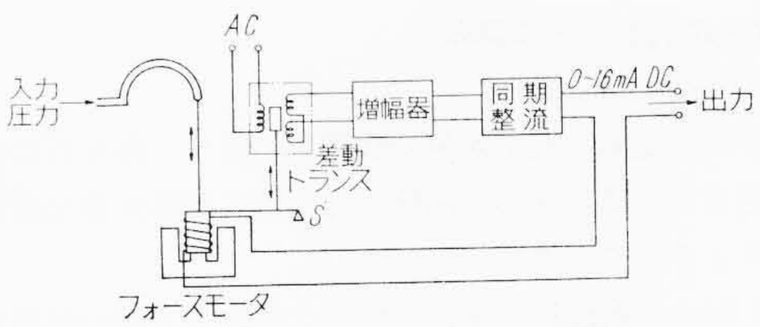
3.2 検 出 変 換 器

3.2.1 圧力変換器（E-PBR$_1$形）

圧力をブルドン管の機械的変位として検出し，さらにＤＣ 0～16mAの信号に変換するものである。その外観は**第4図**に示すとおり全密閉屋外構造になっている。**第5図**は動作原理で，入力圧力はブルドン管の変位となりそれに連なる差動トランスの鉄心位置を変化させる。差動トランスはこれをＡＣ電圧変化とし増幅器により増幅し，さらに同期整流して所定のＤＣ出力をうる。出力の一部は帰還され，フォースモータでブルドン管の変位を引き戻すように働き，動作を安定にしている。



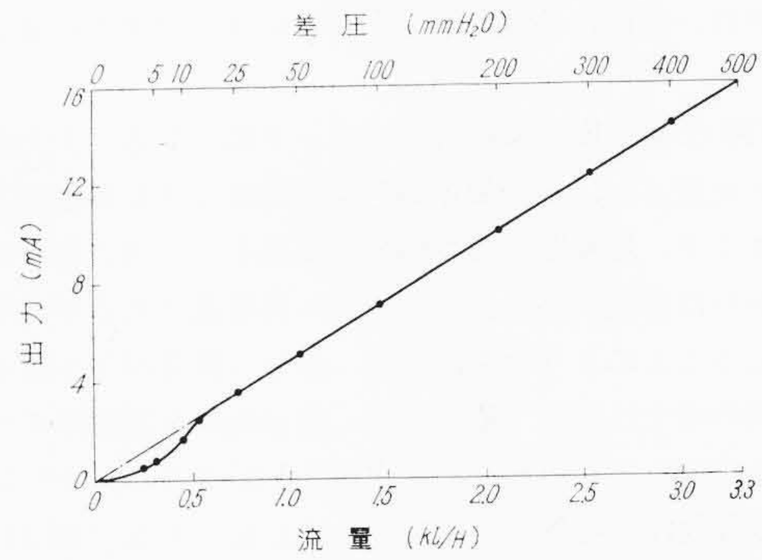
第4図　E-PBR$_1$形圧力変換器



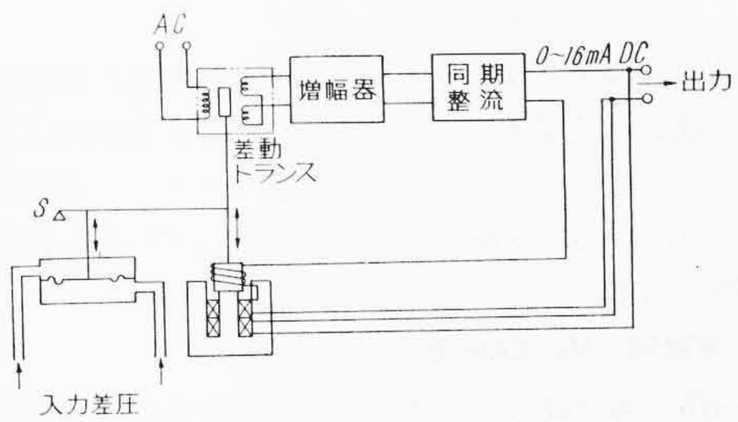
第5図　E-PBR$_1$圧力変換器動作原理図

3.2.2 流量変換器（EFR形）

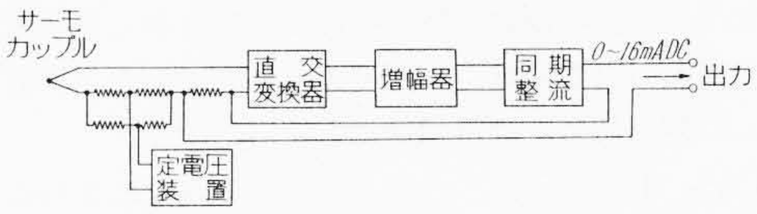
流量測定は流体の通路にオリフィスまたはフローノズルをそう入し，その前後の差圧を測定し，流量をうる方式としている。この場合差圧と流量とは二乗関係となるが，EFR形流量変換器は差圧を電気的に開平し，流量対出力の関係を直線としている。**第6図**はその特性で，全目盛の18％以上でよい直線性を有するのはもちろんであるが，零点の精度が高いのが特長である。動作原理は**第7図**に示すとおりで，受圧ダイアフラムの変位は差動トランスでＡＣ電圧変化となり増幅，同期整流されＤＣ出力となる。出力側からは出力電流の二乗に比例する変位が差動トランスに復元機構を介して負帰還され開平演算が行なわれる。



第6図　EFR形流量変換器流量-出力特性



第7図　EFR形流量変換器動作原理図



第8図　E-TR形温度変換器動作原理図

3.2.3 温度変換器（E-TR形）

サーモカップルで発生した直流起電力からＤＣ 0～16mＡをうる変換器で，動作原理を**第8図**に示す。入力電圧は零点用バイアス回路を通って磁気変調器でＡＣ電圧に変換，増幅，同期整流して温度変化に応じたＤＣ電流出力を得る。

第9図　V_{61}-E 形 調 節 計

3.3 電子式調節計と演算器

3.3.1 調節計（V_{61}-E 形）

調節計は設定値と制御対象の状態を比較し，得られた偏差に対し最も適当な制御とすべき演算を行なって制御対象を設定値に一致させるよう信号を出す。

V_{61}-E 形は偏差に対し比例，積分，微分の3種の演算を行なうPID調節計で，**第9図**に示すとおり設定部，すなわち比例帯，積分時間，微分時間の整定および自動手動調整つまみがすべて前面に配置され，操作に便利でしかも非常にコンパクトにまとめられている。

第10図はV_{61}-E 形調節計のブロック図である。入力信号は設定信号と比較され，その偏差が磁気変調器でACに変換され，さらにフィルタ，増幅器および同期整流器をへて出力信号となる。出力側からは帰還回路により入力側に負帰還されるが，その帰還量を変えることにより比例，積分，微分の演算がなされる。この帰還回路の中で比例帯，積分時間，微分時間を制御系にマッチするよう任意にしかも単独に整定することができる。また目的によっては微分動作を除外して使用することもできる。**第11，12図**はその特性の実測値で**第12図**の方は微分動作を除外した例である。いずれも調節計にステップ状の偏差を加えたときの出力電流を測定したものを示す。

この調節計はソリッドステート化されており，設定部が定電流装置を内蔵した設定ユニット，設定信号と入力信号とをある割合で比較できる比率設定ユニットおよびカスケード制御ユニットの3種類あり，容易に交換できるようになっている。**第1表**はその標準仕様である。

3.3.2 演算器（V_{61}-CASn 形）

制御回路で加減算および乗算を行なわせるのに3種類のものがあり，その標準仕様を**第2表**に示す。

V_{61}-CAS_1 形は二つの入力信号の一方にある倍率を掛けて加減算を行なうもので，制御系統の中に先行値を加える場合，あるいは2種の異なった燃料量を一定のカロリーベースで加算したり，またたんに制御信号の利得調整にも使用できる。

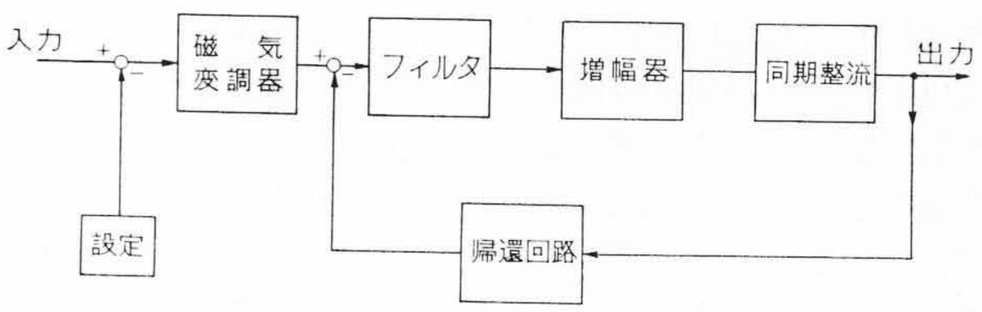
V_{61}-CAS_2 形の場合は二つの入力の間の減算にさらにバイアスを掛けることができるため，通常運転で出力を必要とせず異常状態になったときのみ制御出力を必要とするような用途に使用する。

V_{61}-CAS_3 形は V_{61}-CAS_1 形とほぼ同様な用途に使用されるが，3入力の加減算ができるためさらに広い適用範囲をもっている。

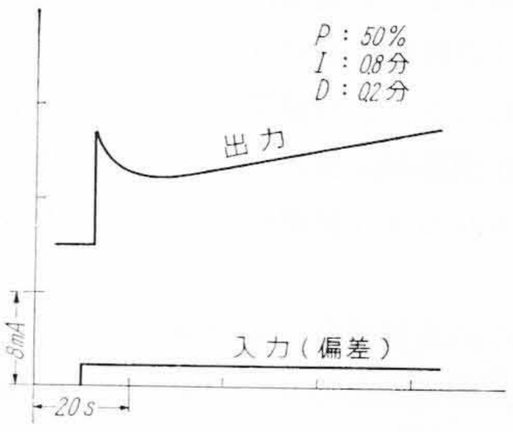
3.3.3 手動調節器（E-MC 形）

制御回路の各所にそう入し，調節端の手動調節，自動手動の切り替えを行なうものである。前述のV_{61}-E形調節計が調節端に最も近いところにあり，それ以降にほかから信号が加わらない場合には調節計の自動手動切替機構が使用でき，この手動調節器を必要としない。

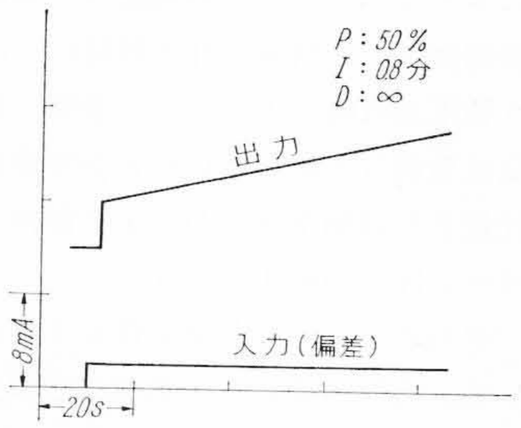
E-MC形は自動手動切替つまみおよび電流計を有し，現状を確認しながら円滑に切り替えを行なうことができる。



第10図　V_{61}-E 形調節計ブロック図



第11図　V_{61}-E 形調節計の特性（1）



第12図　V_{61}-E 形調節計の特性（2）

第1表　V_{61}-E 形 調 節 計 標 準 仕 様

設定部	設定ユニット	比率設定ユニット	カスケード制御ユニット
設定信号	内　　蔵	DC 0～16mA 入力/設定信号 0.5～2	DC 0～16mA
入力信号	DC 0～16mA	DC 0～16mA	DC 0～16mA
出力信号	DC 0～16mA	DC 0～16mA	DC 0～16mA
比例帯	2～200% （連続可変）	2～200% （連続可変）	2～200% （連続可変）
積分時間	0.1～30min （18ステップ可変）	0.1～30min （18ステップ可変）	0.1～30min （18ステップ可変）
微分時間	0.03～10min （19ステップ可変）	0.03～10min （19ステップ可変）	0.03～30min （19ステップ可変）
電　　源	AC 100V 50/60 c/s 40VA	AC 100V 50/60 c/s 40VA	AC 100V 50/60 c/s 40VA
外形寸法（mm）	幅160×高さ190×奥行500	幅160×高さ190×奥行500	幅160×高さ190×奥行500

第2表　V_{61}-CASn 形演算器標準仕様

形　式	V_{61}-CAS_1	V_{61}-CAS_2	V_{61}-CAS_3
入力信号	DC 0～16mA	DC 0～16mA	DC 0～16mA
出力信号	DC 0～16mA	DC 0～16mA	DC 0～16mA
演算式	I_1, I_2 → V_{61}-CAS_1 → I_0 $I_0=\pm I_1 \pm KI_2$ $K=0$～20 （連続可変）	I_1, I_2 → V_{61}-CAS_2 → I_0 $I_0=I_1-I_2-I_b$ $I_0 \geq 0$ $I_b=0$～10mA DC （連続可変）	I_1, I_2, I_3 → V_{61}-CAS_3 → I_0 $I_0=K(\pm I_1 \pm a_2 I_2 \pm a_3 I_3)$ $a_2 a_3=0$～10 $K=0.5$～2（連続可変）
電　源	AC 100V 50/60 c/s 5VA	AC 100V 50/60 c/s 5VA	AC 100V 50/60 c/s 5VA
外形寸法	幅150×高さ163×奥行500	幅150×高さ163×奥行500	幅150×高さ163×奥行500

3.4 操　作　部

調節端には一般に空気圧式のパワーシリンダおよびダイアフラム弁が使用される。このため制御回路のDC電流信号を空気圧信号に変換する必要がある。この目的から作られたX-EP形電空変換器はDC0～16 mA を 0～1.0 kg/cm² の空気圧信号に変換するものである。パワーシリンダおよびダイアフラム弁は各種用途に応じ最も適当なものが選択される。なおダイアフラム弁の場合はバルブポジショナとしての役割を兼ねたX-EPV形電空バルブポジショナを使用すれば，ヒステリシスのない安定した動作を弁に行なわせることができる。

4. 電子式ボイラ自動制御装置

今回信越化学工業株式会社納の火力発電プラントの 25,000kW 用ドラム形ボイラに電子式自動制御装置を採用したが，その運転実績はきわめて好調で，その特性を十分に発揮している。

4.1 発電設備概要

この発電所は化学工場の自家用発電所として建設されたもので，ボイラ発生蒸気の一部は工場内での熱源に使用，さらに燃料には工場内で発生する化学プロセス中の排ガスを利用し，全体として非常に高い効率をねらったものである。

第 13 図 は電気関係主回路接続図で常時は 66 kV 系統と並列運転し，系統側と発電所の両者の電力で工場負荷をまかなっているが，系統事故発生すれば直ちに連けいを断ち，重要負荷のみを発電所負荷として残し，ほかの負荷を遮断し発電所はそのまま単独運転が継続できるよう考慮されている。

主機の仕様は次のとおりである。

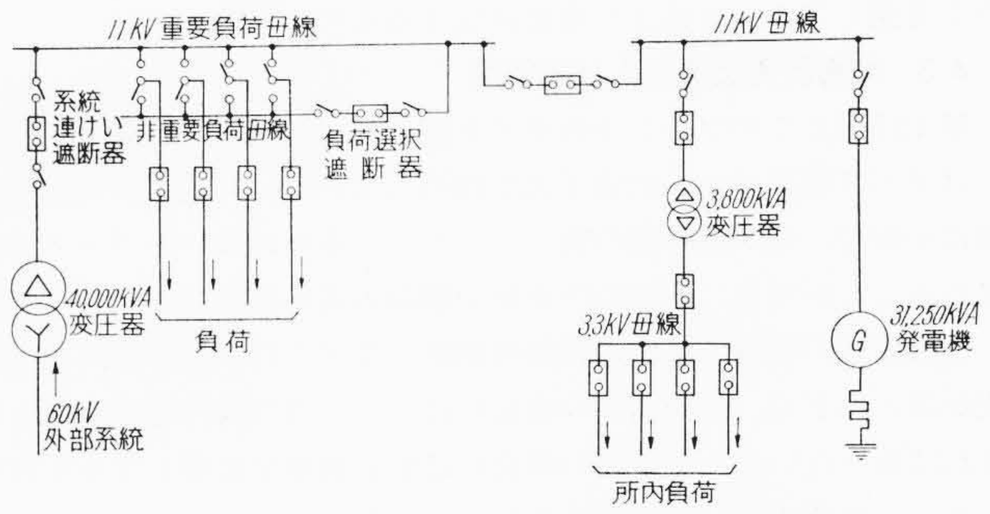
ボイラ	形　　式	B＆W 2胴放射形（屋外式）
	蒸発量	最大連続負荷　160 t/h
		経済負荷　150 t/h
	蒸気圧力	最高使用圧力　103 kg/cm²G
		常用圧力　92 kg/cm²G
	蒸気温度	過熱器出口　485℃
	燃　　料	天然ガスおよび化学プロセス廃ガス
	通風方式	強圧通風
タービン	形　　式	日立衝動式抽気復水タービン
	定格出力	25,000 kW
	回転数	3,000 rpm
	蒸気圧力	定格　88 kg/cm²G
	蒸気温度	定格　482℃
発電機	形　　式	日立閉鎖通風円筒回転界磁形
	定格出力	25,000 kW　pf 80%
	定格電圧	11,000 V
	容　　量	31,250 kVA
	回転数	3,000 rpm タービン直結

4.2 電子式ボイラ自動制御装置

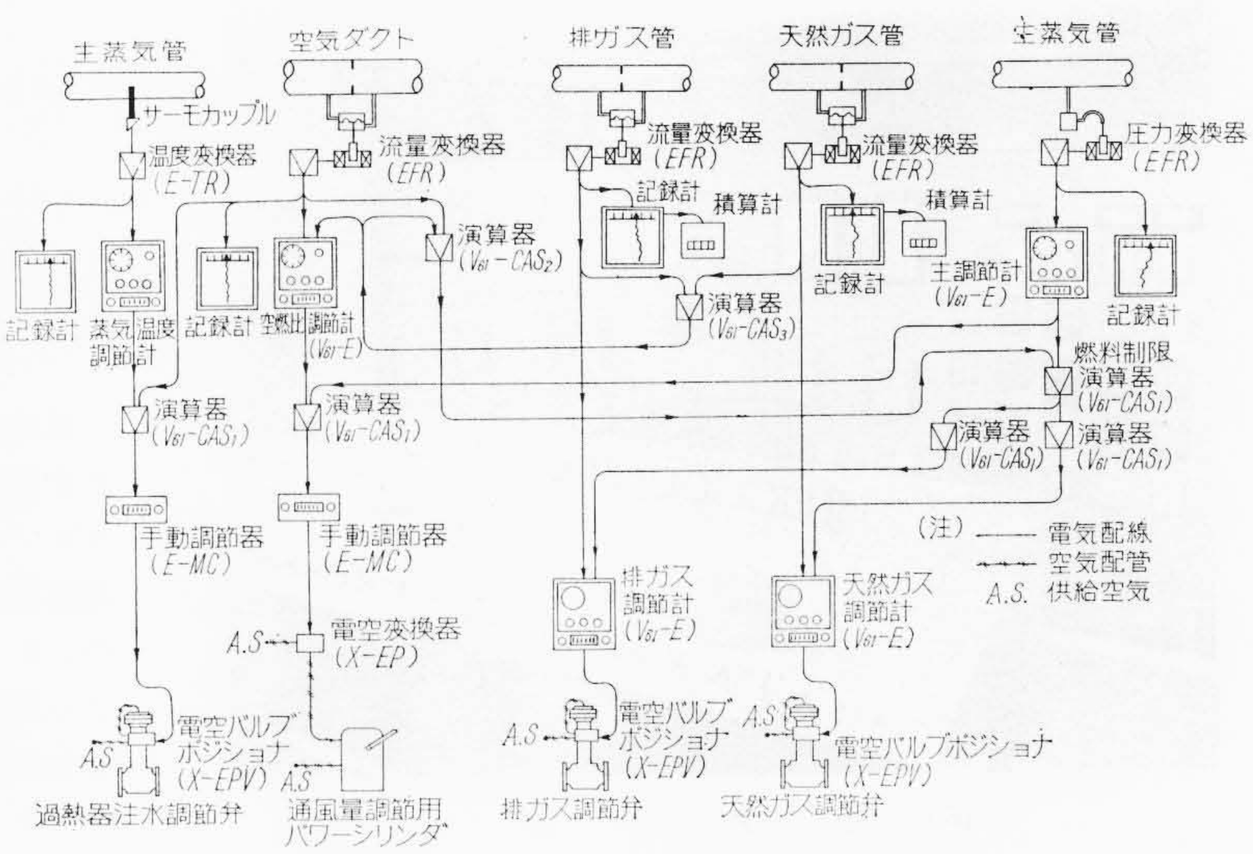
第 14 図 は実用された電子式ボイラ自動制御の系統図である。基本的には 2.3 項で説明したとおりであるためここでは特異点のみ述べる。

主調節器からの信号は燃料が天然ガスおよび化学プロセス排ガスの両方あるため，これをいかなる割合で混焼するかにしたがって分割し，各燃料調節弁に加える。この場合各燃料系統にそれぞれ 1 個の V_{61}-CAS_1 形演算器を設け，信号の利得調整を行なって目的を達している。空燃比制御は V_{61}-CAS_3 形演算器で加算された天然ガスおよび排ガスの信号と空気量信号とを空燃比調節計に入れ，その出力により通風量制御を行なう。さらに非常用として燃料制限系統があるが，これは通風量が燃料量に追従できなくなったとき燃料を押さえるよう働かせる。すなわちこのプラントでは燃料は通常天然ガス，排ガスの両者混焼を原則としているが，各燃料の単一専焼でもボイラ最大出力を出しうるよう燃料系統を設計している。そのため蒸気圧力に大幅な低下があった場合その圧力が回復するまで調節器の積分動作により制御信号は飽和点に達するまで増加し，各燃料調節弁を全開近くまで開く可能性がある。このとき通風量はこれに応ずるだけ，つまりボイラ最大出力の 2 倍の燃料量に対応するだけの容量を有しておらず，空燃比の大幅なアンバランスを生ずる。この状態のとき一時的に燃料増加を抑制し適当な過剰空気率で運転を継続できるようこの回路を採用した。ただし通常運転時には空燃比調節器の動作で十分目的を達するため空気量に比し燃料量が大幅に増加した場合のみ動作するようバイアスタイプの V_{61}-CAS_2 形演算器をこの回路に適用している。

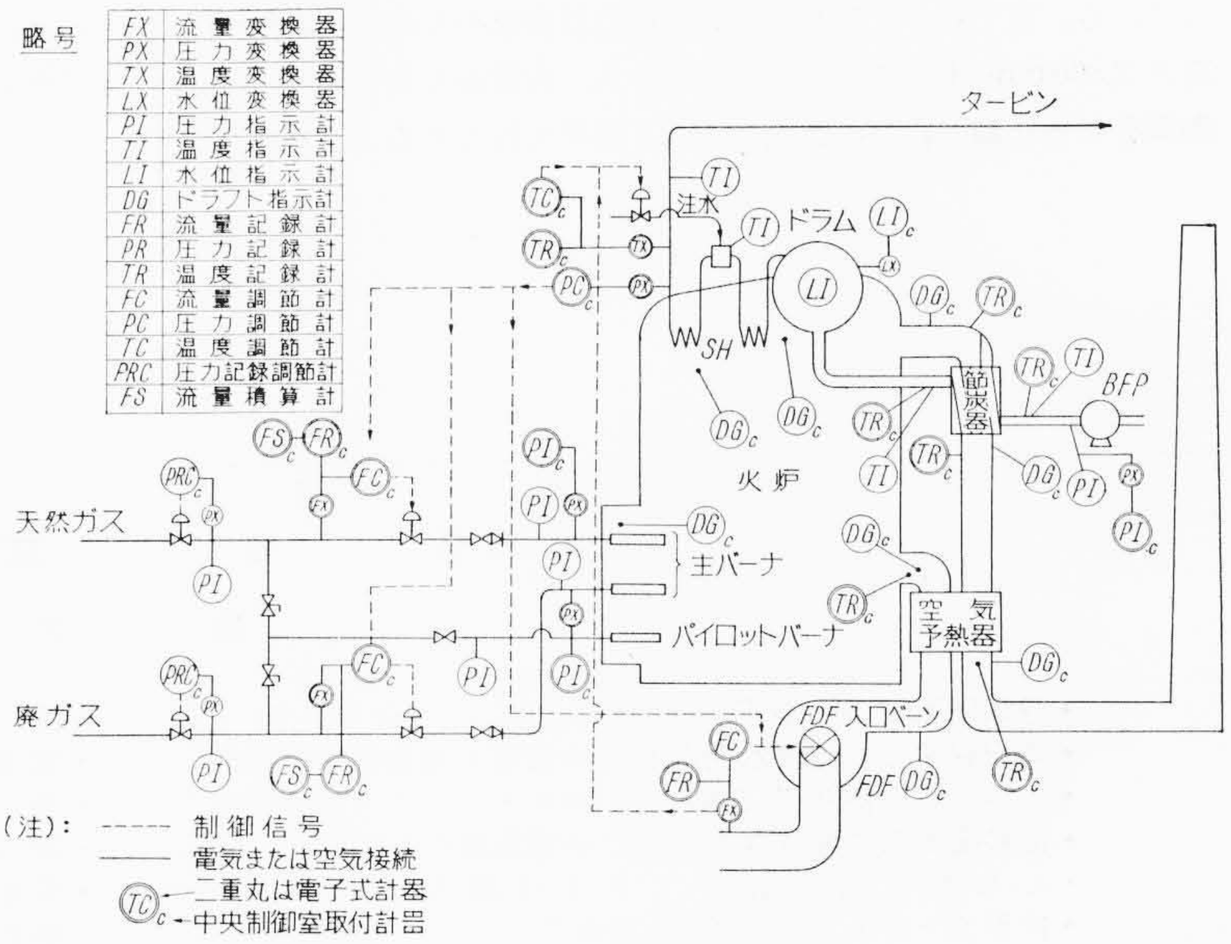
そのほか各検出端の状態を監視し，制御の良否を判定するためそれぞれ記録計をそう入し，また燃料系統には積算計を設けプラント効率の計算の便をはかっている。各調節器演算器の整定はボイラ特



第 13 図　主回路単線接続図



第 14 図　ボイラ自動制御系統図



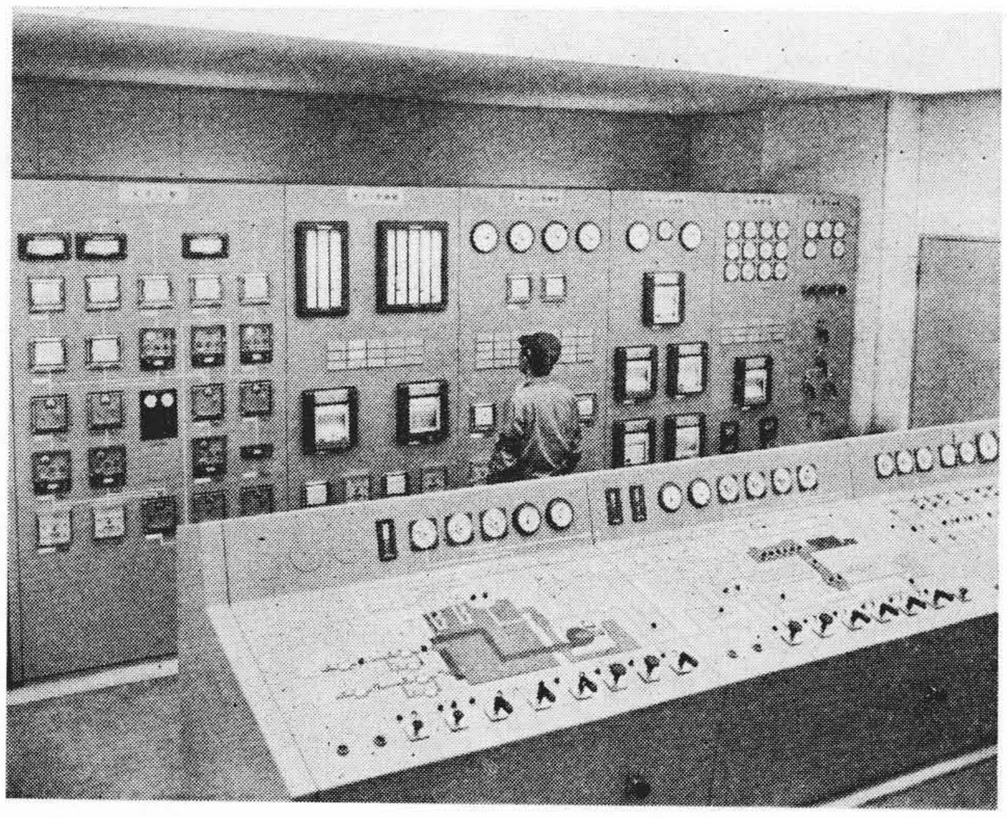
第 15 図　計　装　図

性を考慮しアナコンにより解析決定するものである。

4.3 制御計測装置および配電盤

第15図はこのプラントのボイラ側計装図でボイラ自動制御装置にはすべて前述のように電子式を採用している。日立電子式制御装置は小形で，しかも形態の統一がとれているため狭いスペースにおさめることができ，高度の中央集中制御方式が採用されている。

空気圧式の場合には伝送距離の制限を受けるため演算器は現場設置がほとんどで，その諸元の整定にはさらに別の操作器を使用しなければならないが，電子式の場合には整定調整を必要とするものすべてを一箇所にまとめて置くことができる。



第16図　中　央　制　御　盤

配電盤は**第16図**のように直立形計器盤と机形の操作盤とからなっている。電子式ボイラ制御装置は直立計器盤の左端幅1,300 mm，高さ2,300 mm 1面にすべてまとめられ，各機器の整定値変更，手動調整および制御状態の監視をここ1箇所で行なえるよう考慮してある。

5. 電子式制御装置の特長

電子式ボイラ自動制御装置の特長を列挙して見ると下記のようになる。

（a） 諸量がすべて電気量に変換されるため精度，速応度，安定度の高い制御特性が得られる。

（b） 機械的動作要素を含まないためガタ，ヒステリシスがなくまた消耗部もほとんどない。

（c） 調節器演算器は種々の特性を備えたものを任意に選びうるため制御回路の計画，過渡応答の検討が容易である。

（d） 制御信号がDCの小電流であるため伝送線の選択は容易でかつ実用上伝送距離に制限がない。

（e） 使用電気部品の経年劣化に対しては要所に負帰還を施し，十分補償しているので特性の変化は少ない。

（f） 調節器演算器とも空気圧式に比し小形で設置場所の占有スペースがわずかである。

6. 結　　言

最近の火力発電プラントは高度の運転効率が要求されており，これを満足するためには高級な計算制御が必要となってきた。さらにユニット当たり容量は電力需要の大幅な伸長により飛躍的に増大し超臨界圧強制貫流ボイラの登場となり制御はますます複雑高度なものとなってきた。この結果もはや従来のような人間の判断のみによる運転は限界に達し，今後は必然的に計算機による制御に進まざるを得ないと考えられる。これに対し最も容易に組み合わせることができ，かつ数々の特長を有する電子式制御装置が主要な役割をになうようになることは当然である。

日立製作所では火力発電所の自動制御の面においても上述したとおり，すでにボイラ制御に電子式制御装置を実用しており，さらにプラントの全自動制御を目標として研究を進めている。

第25号　日　立　第3巻

目　次

• 巻頭随筆“廻　転”……串田孫一
• 新記録ずくめの揚水発電所“中部電力畑薙第一発電所”
• エジプト便り“完成間近いエル・メックスポンプ場”
• 常磐臨海工業地帯の表玄関“小名浜港の石炭積出設備”
• どなたにも手軽くできる日曜大工のすすめ
• 世界で一番小さく，感度も良好“レジャー用に最適な日立トランシーバーCH401”
• 軽くて丈夫なアルミシースケーブル“新幹線にも活躍するアルミシースケーブル”
• 健康温度の水を供給する日立ウォータークーラー
• 第1号の日立ハイガレジ
• 電線百話　第26話“地下ケーブルのツイスト”
• 新しい照明施設“第3大手町ビル”
• 読者の声“ラビシールドベアリングとは”
• 明日への道標「アメリカ初輸出のクリヤクリーク発電所納水車据付完了」
• 日立ハイライト「日立業務用電気掃除機と日立フロアポリッシャ」
• 日立だより

発行所　日立評論社　東京都千代田区丸の内1丁目4番地　振替口座 東京71824番
取次店　株式会社オーム社書店　東京都千代田区神田錦町3丁目1番地　振替口座 東京20018番