

東京電力株式会社 日立火力発電所納

自動燃焼制御装置

Automatic Combustion Control System Supplied
to Hitachi Thermal Power Plant, Tokyo Electric Power Co.,

吉岡孝幸*
Takayuki Yoshioka

内容概要

日立製作所においては古くから ACC の国産化を計るべく試作研究を行ってきたが、昭和29年に到りその試作も完成し、引続き題記発電所用 30 t/h ストーカ焚汽罐用 ACC 2 罐分を受注納入し、順調に運転中である。

ダンパなどの調節端の制御には磁気増幅器によるサーボ方式を開発し、検出部より調節端に到るまでのすべての増幅作用を磁気増幅器で行い、すぐれた性能と信頼性を得ることに成功した。以下はその紹介である。

第1表 汽罐設備の概要

		1~2 号罐
汽 罐	型 式	YH-S2F 日立ヤロー水管罐
	蒸 気 圧 力	23 kg/cm ²
	蒸 気 温 度	415 °C
	蒸 発 量 最 大	38 t/h
	蒸 発 量 経 済	30 t/h
	給 水 温 度	100 °C
	空 気 温 度	20 °C
	石 炭 消 費 量	6,250 kg/h
石 炭 発 熱 量	4,000/4,500 kcal/kg	
石 炭 燃 焼 率	131 kg/h/m ²	
給 炭 機	型 式	移行炉格子型強圧分函通風式
	数 量	2 台 (1 罐に対し)
	火 床 巾	2×3,400 mm
	火 床 長	7,000 mm
	火 床 面 積	47.6 m ²
押 込 通 風 機	型 式	両吸込型ターボファン
	製 作 者	日立製作所
	数 量	1 台 (1 罐に対し)
	風 量	1,670 m ³ /min
	風 圧	180 mm Aq
誘 引 通 風 機	回 転 数	965 rpm
	直 結 電 動 機	巻線型 三相 IM 125 HP
	回 転 数	1,000~500 rpm
	型 式	両吸込型ターボファン
	製 作 者	日立製作所
通 風 機 用	数 量	1 台 (1 罐に対し)
	風 量	2,910 m ³ /min at 167°C
	風 圧	150 mm Aq
	回 転 数	725 rpm
	直 結 電 動 機	巻線型 三相 IM
回 転 数	750~375 rpm	
通 風 機 用	ダ ン パ	バタフライ型

〔I〕 緒 言

ボイラにおける自動燃焼制御装置 (以下 ACC と略称する) は1930年頃より実用に供され始めているが、次第にその効用が一般に認識されるとともにその普及の度を加えてきている。日立製作所においては、古くより ACC の国産化を計るべく試作研究を行ってきたが⁽¹⁾昭和29年に到りその試作も完成し⁽²⁾、引続き東京電力株式会社日立火力発電所 30 t/h 汽罐用 ACC 2 罐分を受注納入し、順調に営業運転に入った。すでに延運転時間は数千時間を超えたが、この間における自動制御装置の故障は皆無であり、また ACC 設備全体の利用率は100%に近い。また性能的な面でも従来使用されている ACC よりもはるかに優れた性能を示しており、定常運転時における汽罐圧力変動はほとんど零に近い。

本 ACC は国産化に成功した最初の製品としても大きな意義を有しており、また電気式無接点連続制御方式を採用している点も大きな特色の一つである。

以下本 ACC の概要について述べ、大方の御批判と御指導を仰ぐ次第である。

〔II〕 発電所の概要

ACC の説明に先立ち、今回 ACC を納入運転に入つた日立火力発電所の概要について述べる。

本発電所は昭和13年に建設され、その後種々の変遷を経て電力網の増強された今日では東京電力株式会社の基礎負荷発電所として運転されており、常時 10,000kW の発電能力を有する。

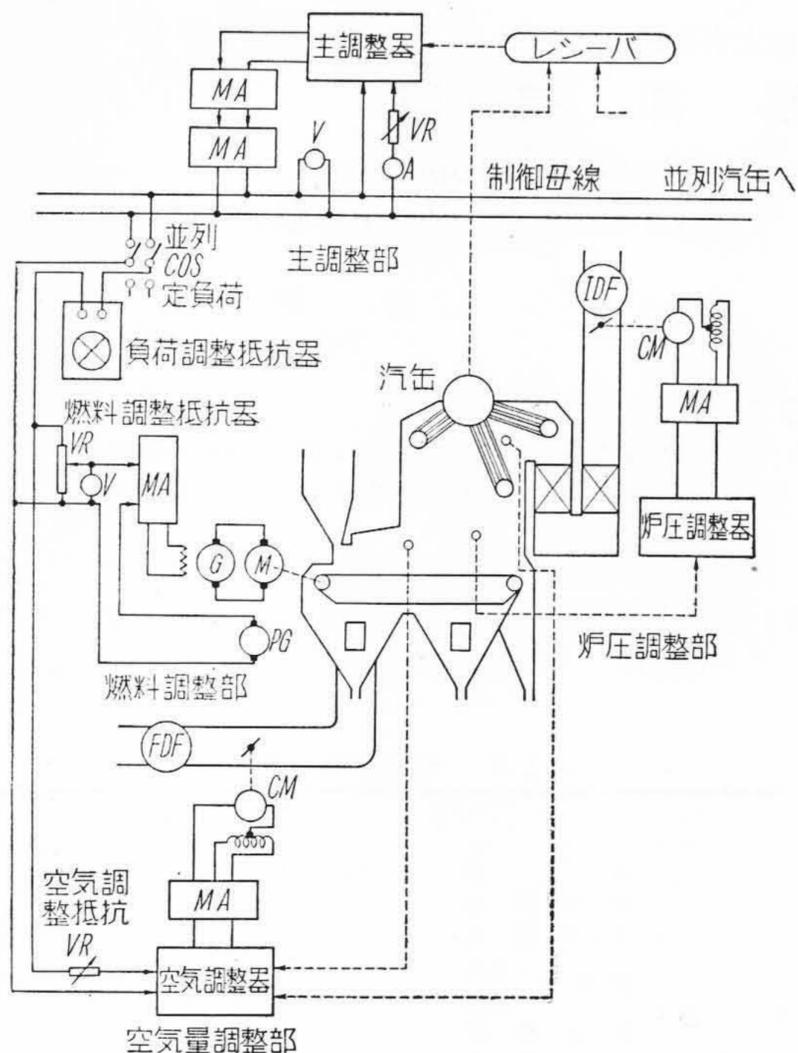
汽罐構成は1機2罐方式であつて、1号罐、2号罐2罐の発生蒸気はレシーバに集められ、それよりタービンに導かれている。第1表に本発電所の汽罐設備の概要を示す。

* 日立製作所日立工場

〔III〕 ACC の方式⁽¹²⁾⁽¹³⁾

今回納入運転に入つた ACC は、方式として分類すれば電気式に属するが、従来諸外国で行われていた電気式 ACC⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾とはまったく趣きを異にしており、制御調整にはすべて構造堅牢な磁気増幅器を使用し、その動作により連続的に制御調整が行われるようになっている。

一般的にいつて ACC に要求される事項としては



第1図 ACC 制御系統図

- (1) 負荷の変動にかかわらず汽缶圧力を一定に保つように燃焼量を自動制御すること。
- (2) 蒸気量と給炭機との速度との比を任意に選ぶこと。
- (3) 給炭量と空気量との割合を自由に調整できること。
- (4) 炉内圧力を常に一定値に保つこと。
- (5) 並列汽缶の負荷配分を自由に変えうること。
- (6) ACC 運転中でも簡単な操作により、任意の電動機を手動操作できること。
- (7) 故障誤動作などが無いこと。

などであるが、これらの動作調整は十分円滑に、しかも正確に行われなければならない。

本 ACC ではこれらの点を十分考慮して設計製作されており、その効果は後述するごとく運転結果に明瞭に現われている。

第1図はその動作原理を示す制御系統図であつて蒸気圧力の検出はレシーバの圧力を以て行い、汽缶よりレシーバまでの圧力降下を利用して、汽缶負荷に汽缶圧力を加味した値を検出するように考慮されている。すなわち、汽缶圧力が規定の圧力にある時は制御母線電圧は蒸気流量に比例し、汽缶圧力が低下すればそれよりも高い電圧を、また汽缶圧力が高過ぎる時は、それよりも低い電圧を示すように変換される。したがつて、汽缶圧力が高過ぎる時蒸気流量が増加したために制御母線電圧が比

例的に増加して、圧力をさらに増加させるような不合理は生じない。燃料制御、空気量制御は精度および安定性の点より測定制御方式を持つており、詳細は後述するごとく制御母線電圧に比例した量となるようにそれぞれ自動制御される。したがつて制御母線電圧と給炭機速度および風量との関係は常に比例関係となり、その3者の比例常数すなわち、速度の調整、過剰空気の調整はそれぞれ附属の抵抗器で行われる。

それらの制御調整を行う調整器はトルクバランス型調整器で精度、感度ともに優れた方式である。ダンパなどの調節端の制御管制には、諸外国の ACC では、油圧や空気圧や接点方式が使用されているが⁽⁶⁾、日立においては磁気増幅器によるD.C.サーボ方式を開発し、検出より制御調整まですべて一貫して電氣的に制御指令を行うことに成功した。

接点方式や油圧、空気圧式もそれぞれ独自の長を有するが、一面種々の欠点も有している。しかし本 ACC で採用した磁気増幅器によるD.C.サーボにおいてはほとんど欠点のない理想的なサーボ方式であつて、制御調整を一貫して電氣的に行い得ること、遠隔操作調整が容易なこと、信号の伝達に時間遅れを生じないこと、精度が高く速応性がよいこと、連続的に制御を行い得ること、したがつて、集中制御、多要素多元制御などますます高度の技術を要求されつつある自動制御の要求にも応じ得ること、サーボのみでなく電動機の手動制御など、電気制御一般の制御装置とも直接組合せ得ること、テレメータとの組合わせを直接行い得ること、機器間の連動、インターロックなどが容易なことなどほかの制御方式では得がたい幾多の特長を有する。

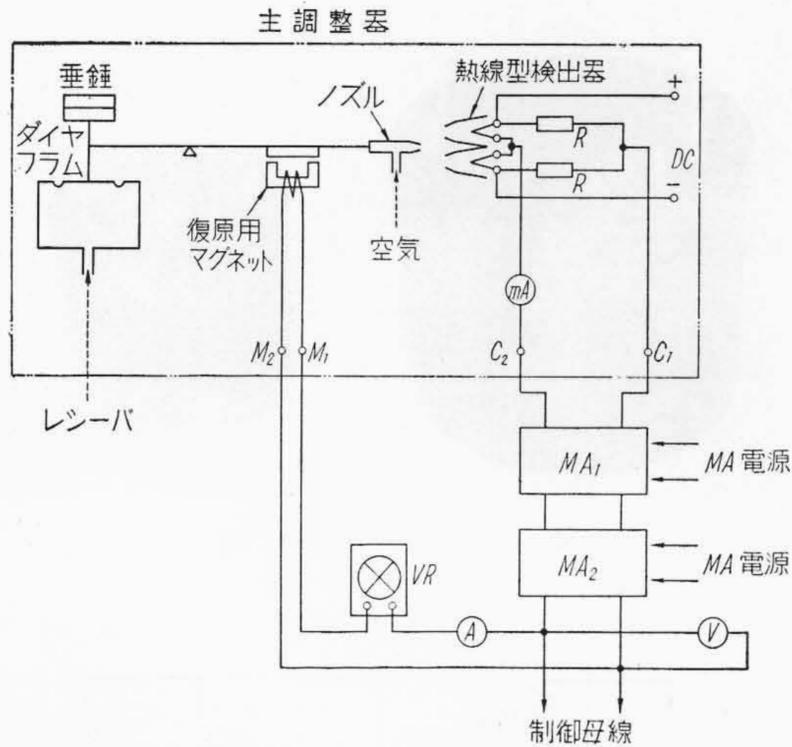
また、自動燃焼制御の面からも、精度、速応性が優れているために、給炭量、空気量の制御が正確で、燃料—空気比が正確に保たれること、汽缶圧力は一定に保たれ安定した燃焼状態が得られること、またストーカ焚汽缶にあつては、火床の火の延びも安定化されることなど優れた制御を期待し得る。

〔IV〕 自動制御装置

本 ACC は主調整器、空気調整器、炉圧調整器、給炭機制御装置の4種より成つてゐるが、それらは第1図に示すように体裁優美なキュービクルに組込まれており、正面側より容易に内部の点検保守を行ひ得る構造となつてゐる。また、キュービクル内部には各調整器用磁気増幅器が組込まれていて、D.C.サーボへ制御信号を送るようになつてゐる。以下各調整器の構造および動作について述べる。

(1) 主調整

主調整器は汽缶圧力負荷を検出して ACC 全体に制御



第2図 主調整器原理接続図

信号を発する作用をつかさどる部分である。第2図は主調整器の動作を原理的に示したもので、図に示すように主調整器は一種の天秤型トルクバランス調整器で蒸気の圧力を受けるダイヤフラムと、圧力の設定用重錘と自乗復原用マグネットより成り、それらの力平衡を得るようになっている。天秤の一端にはリンクを介して熱線型検出器がついており、レバーの不平衡の度合いに応じて正負の電位差を生ずる。この電位差は磁気増幅器 MA_1 MA_2 で増幅されて制御母線電圧を変化させる。したがって蒸気流量が増加したとすると、レシーバの圧力は減少し天秤の平衡は破られるから熱線型検出器によりその不平衡度は検出され、制御母線電圧を上昇させる。制御母線電圧より主調整器に自乗復原が行われているから、制御母線電圧は蒸気流量に比例し等圧点を汽胴に選ぶことができる。これは第3図のブロック線図より容易に理解されよう。

(2) 燃料制御

移床式ストーカであるから燃料制御は給炭電動機の手動速度制御によつて行われる。速度制御方式はワードレオナード方式であつて、磁気増幅器によつて、制御母線電圧を基準として直接速度制御を行つている。すなわち第1図のごとく給炭機電動機にパイロット発電機 PG を附し、その電圧と制御母線電圧との差電圧を磁気増幅器で増幅し、レオナード発電機の電圧制御を行うことによつて、速度制御が行われる。

レオナード制御であるから、機械的に速度調整を行う

場合のような制御上好ましくない不感帯を生ずることもなく、速度の調整範囲も広い。また、電氣的に直接速度制御装置と接続できることも本方式の特長である。

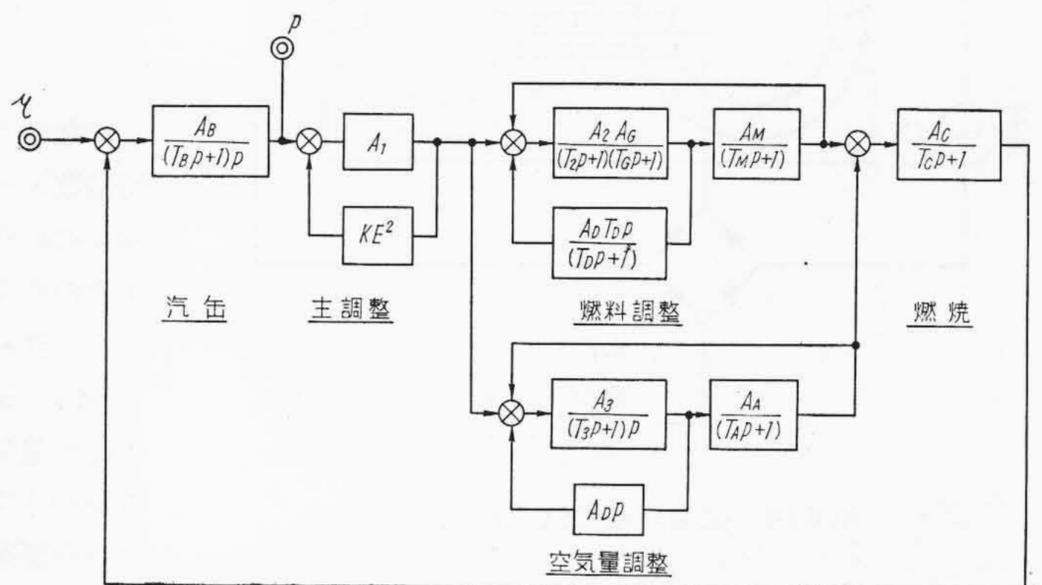
(3) 空気量調整

燃料を負荷に比例して供給するとともに空気供給量も負荷に比例して供給しなければならない。そのために空気調整器によつて押込通風機で炉内に送られる供給空気量を燃料供給量に比例するように自動制御している。

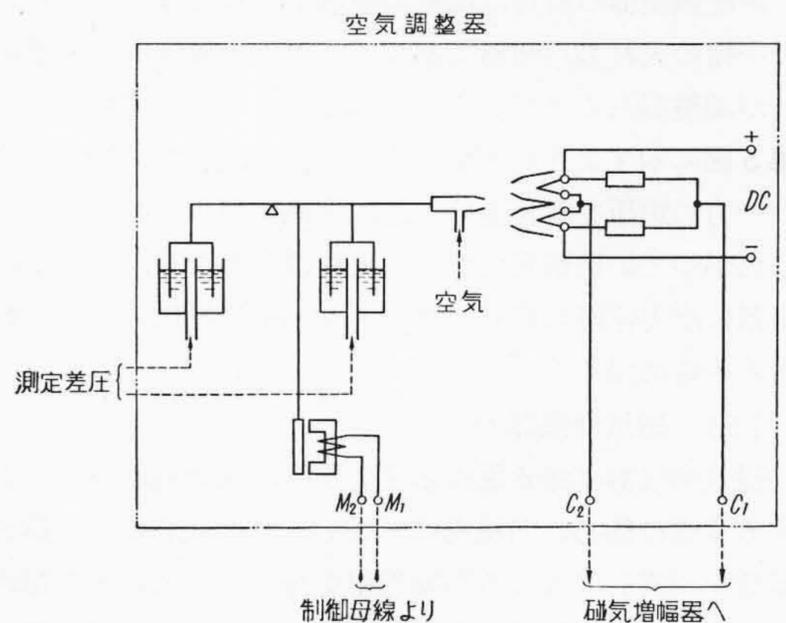
空気調整器も第4図に示すように一種の天秤型調整器であつて、空気量は炉内2点間の差圧で以て検出し、空気調整器の内部でその差圧と制御母線電圧によつて励磁される電磁石とが平衡するようになつていて、その不平衡の度合いに応じて熱線型検出器は差電圧を生じる。その差電圧をプッシュプル接続の磁気増幅器により増幅してその出力で D.C. サーボモータを動かし、風道ダンパを操作するようになつている。

(4) 炉圧調整

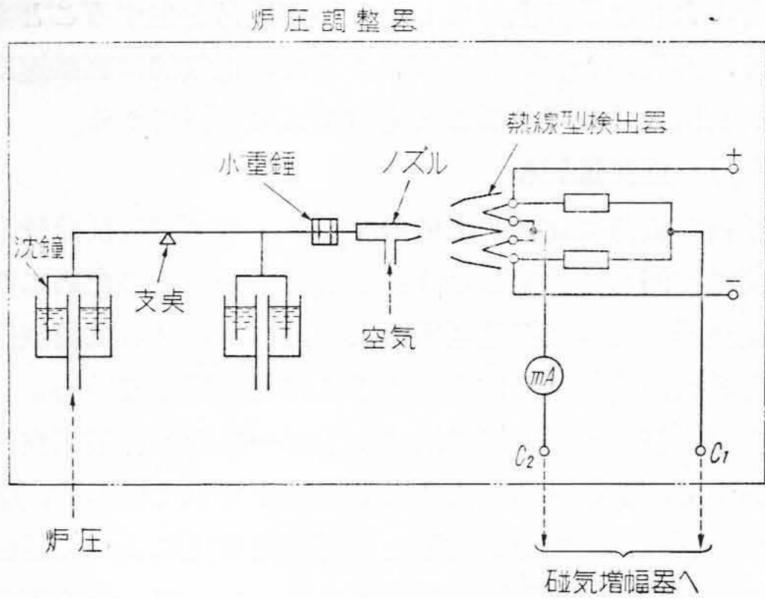
負荷の増減によつて、また、燃焼状態の変化によつて炉圧は変動するから、これを一定値に保持しなければな



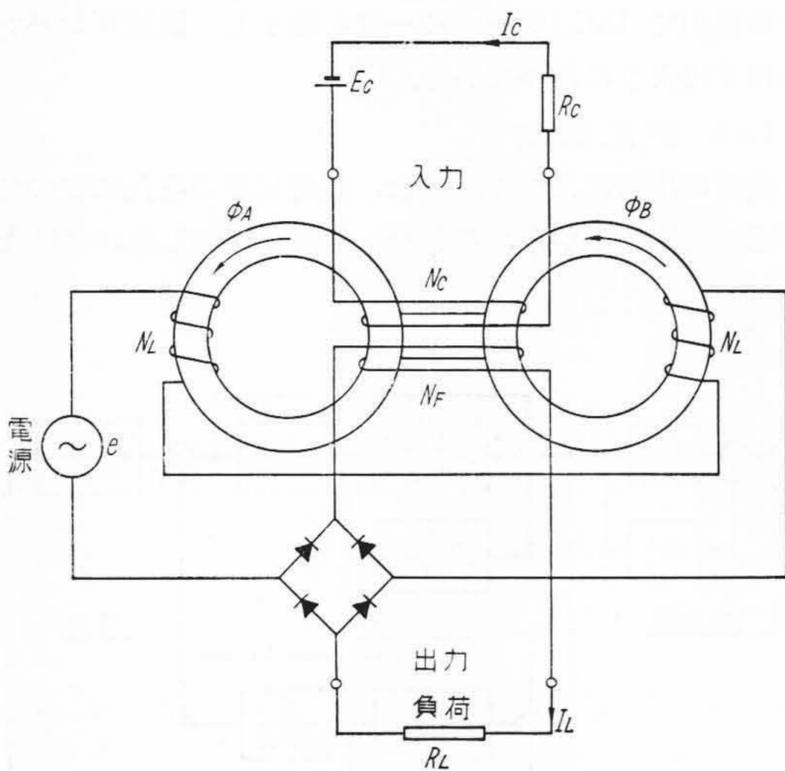
第3図 制御系のブロック線図



第4図 空気調整器



第5図 炉圧調整器



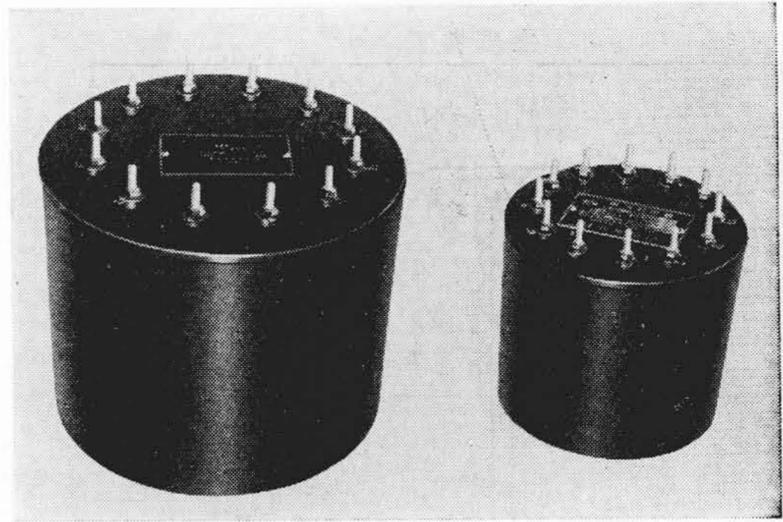
第6図 磁気増幅器原理接続図

らない。そのために炉圧調整器を設けて煙道ダンパを操作し炉内圧力を一定に保つようになっている。

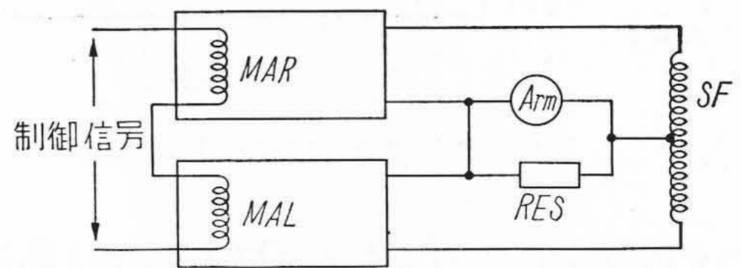
炉圧調整器の構造は風量調整器のそれとほとんど同一で一種の天秤型調整器であつて、炉圧と設定用の小重錘とが調整器内で平衡するようになっている。すなわち、第5図に示すように調整器内に2個の沈鐘があつて、その一方に炉圧を導き他の一方は大気に開放されている。したがつて炉圧が変化すれば天秤は動かされ、熱線型検出器の出力電流に応じて煙道ダンパを自動操作にして炉圧を一定に保つ。

(5) 磁気増幅器^{(7)~(9)}

磁気増幅器は第6図に示すように、直角飽和特性を有する2個の鉄心に差線をほどこし、その鉄心の直角飽和特性を利用して大なる増幅作用を行うもので、その原理は古くより知られていたが、戦後わが国においても磁性材料と整流器が急速に進歩し、良質のものが得られるよ



第7図 磁気増幅器



第8図 D.C. サーボ原理接続図

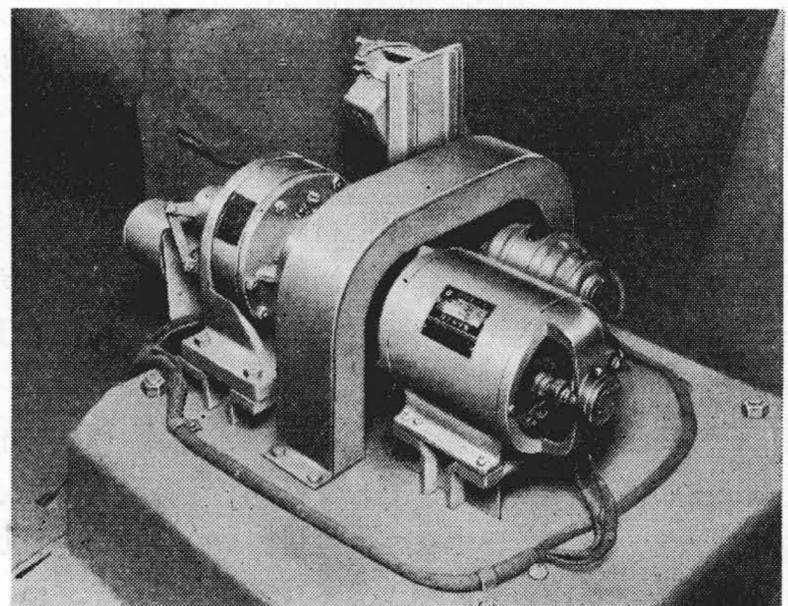
MAR: 正転用磁気増幅器
MAL: 逆転用磁気増幅器

うになつてから著しく発達し、その優れた増幅率と短い時定数とその堅牢性が買われて、今日では電動力応用方面を初め各種の自動制御に広く応用されており、ますますその応用分野は広まりつつある。第7図はその写真である。詳細は巻末に文献を附したから参照願いたい。

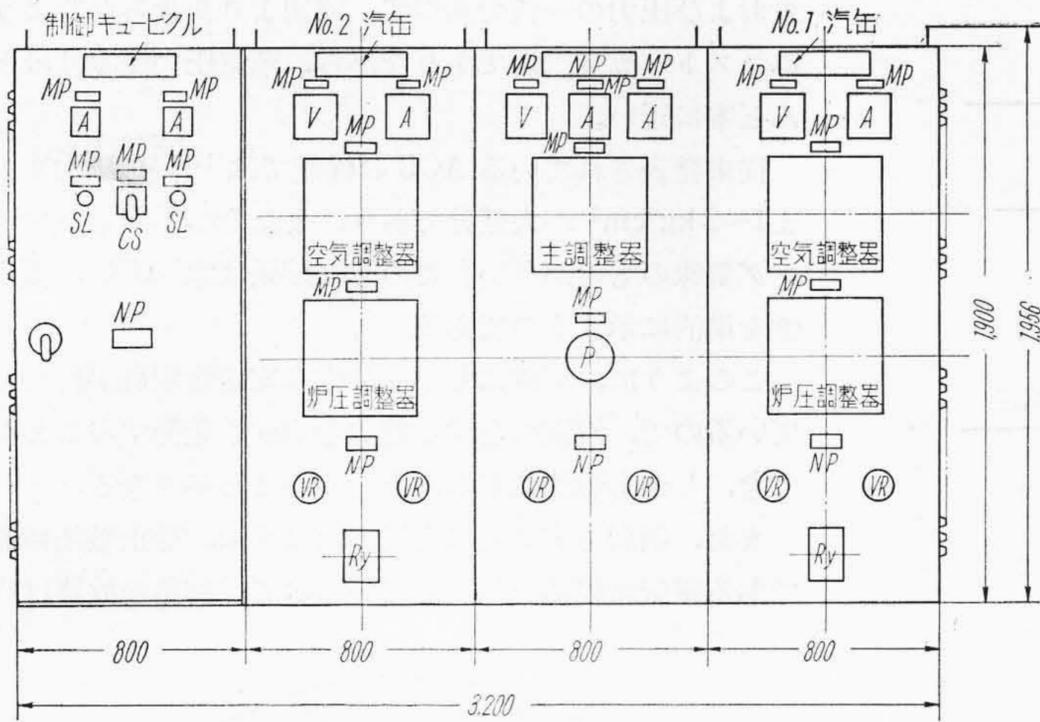
(6) 磁気増幅型 D.C. サーボ⁽¹⁰⁾

従来電気式サーボにおいては微小変化を検出してサーボを行う場合、いかにして調節端を円滑に操作するか、一つの懸案となつてきた。

日立の方式は従来のこの懸案を、一挙に解決した新方式であつて、欧米においても研究されつつある方式である。第8図はその基本的結線図であつて図に示すよう



第9図 操作電動機

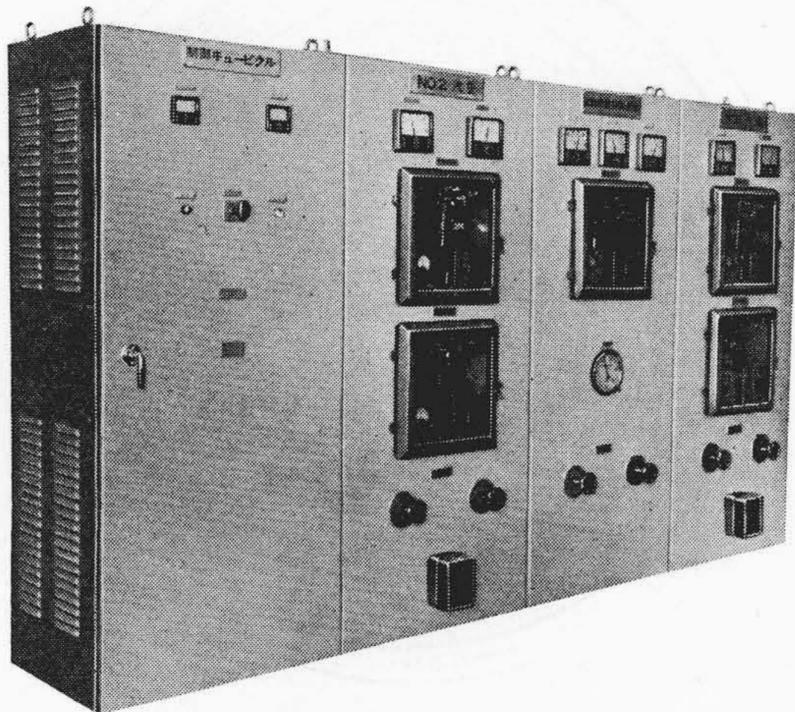


第10図 ACC キュービクル正面図

に、サーボモータには複直巻線輪を有する直流操作電動機を使用し、各界磁線輪にはそれぞれ正転用および逆転用の磁気増幅器が接続されている。したがって、制御信号の正負に応じて正転用、または逆転用磁気増幅器が出力電流を流し、サーボモータを正転または逆転させる。操作電動機は直巻特性を有するから大なる起動トルクと早い操作速度が得られ、静摩擦と動摩擦係数にマッチした優れた操作特性が得られる。第9図は本ACCの調節端の写真である。

〔V〕 ACC キュービクルおよび操作盤

前述の各調整器制御装置は汽缶ごとにキュービクルに纏めて電気室に設置し、運転操作器具は操作盤に纏めて既設の籐前操作盤と列盤として設置し、運転操作が従前と大差なく容易に行い得るように配置されている。



第11図 ACC キュービクル外観

(1) ACC キュービクル

第10図に示すように、主調整器キュービクルと各汽缶調整用キュービクルと制御キュービクルの4面より成っており、各調整器は保守点検に便なるようキュービクルの正面に計器類とともに半埋込構造で以て組込まれており、またキュービクル内部には磁気増幅器が組込まれている。各調整器の正面はガラス戸になつていて、内部を容易に点検できる構造である。第11図はその外観である。

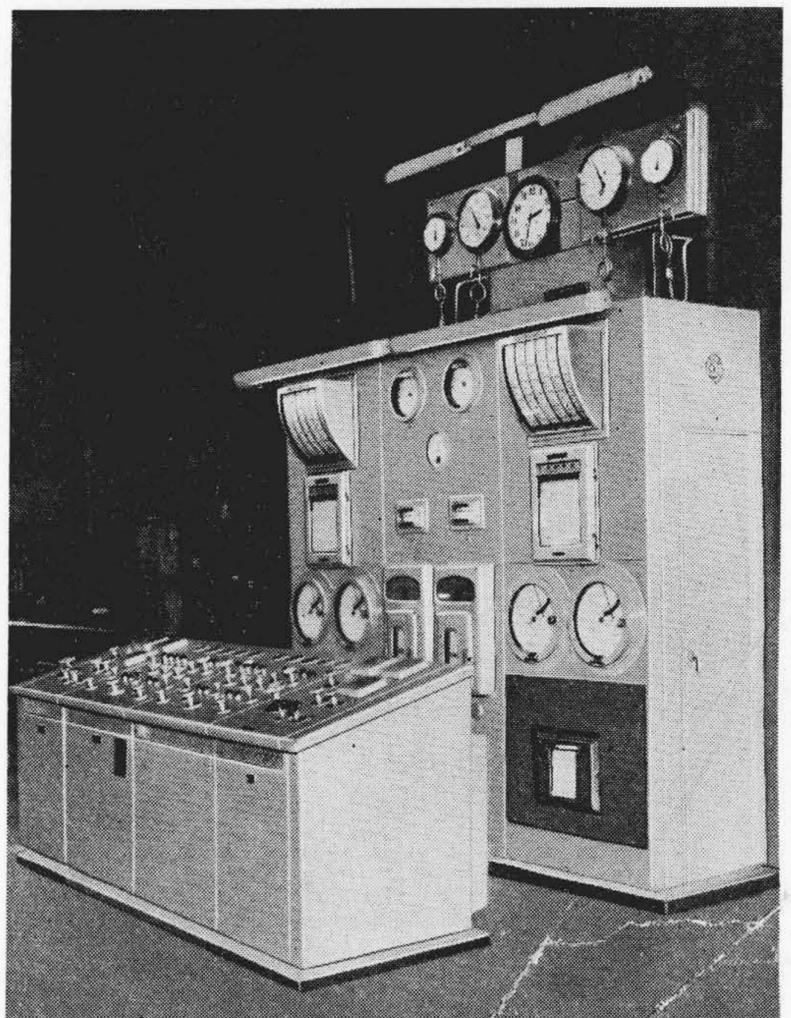
(2) 運転操作盤

本発電所は発電所建設当時よりACCの設置が計画されていて、運転操作盤には自動手動切換開閉器が設けられていたので、今回ACC設置に対しては既設の改造はほとんど行わないですますことができた。

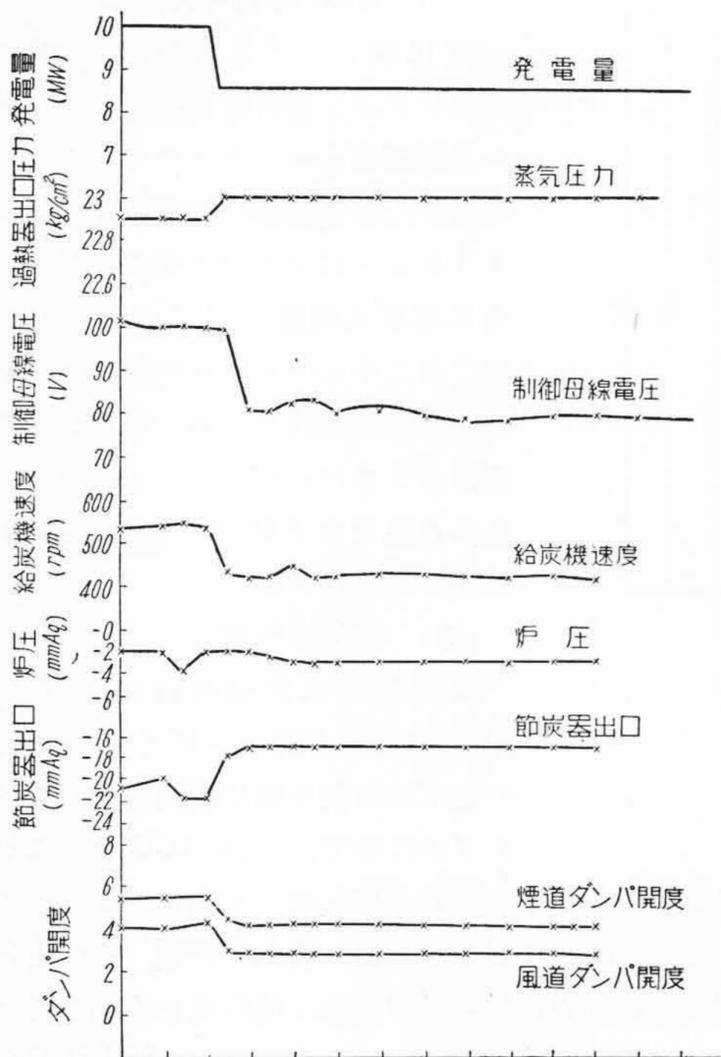
またACCに必要な計器、操作開閉器、負荷配分抵抗器などは既設の操作盤の両袖に操作盤を追加してコンパクトに纏め既設との関係寸法も合わせて極力体裁をそこなわぬよう設計製作されてある。第12図は籐前操作盤の写真である。

〔VI〕 立会試験および運転結果

据付調整後、和知発電所長を初め関係者多数立会の下



第12図 籐前操作盤



第13図 負荷急変時の過渡応答

に総合性能試験を実施し、順調に予期の成果を収め得た。第13図はその試験結果の一部であつて、15%の負荷急変に対しても汽罐圧力の変動はわずか0.1 kg/cm²以下であつて、ACCは負荷急変に対しても直ちに応動し、オーバーシュート、ハンチングなど汽罐制御上好ましくない現象はまったくみられない。

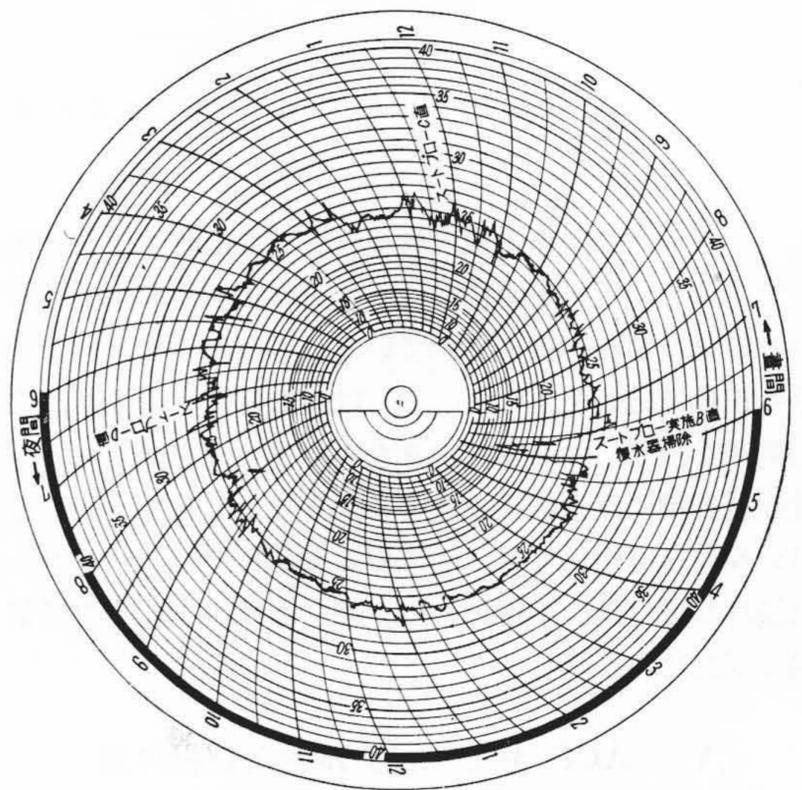
第14～18図は平常運転中の汽罐および汽機の蒸気流

量および圧力の一例であつて、同図よりあきらかなように、ストーカ焚汽罐でありながら、蒸気圧力変動はほとんど零に近い。

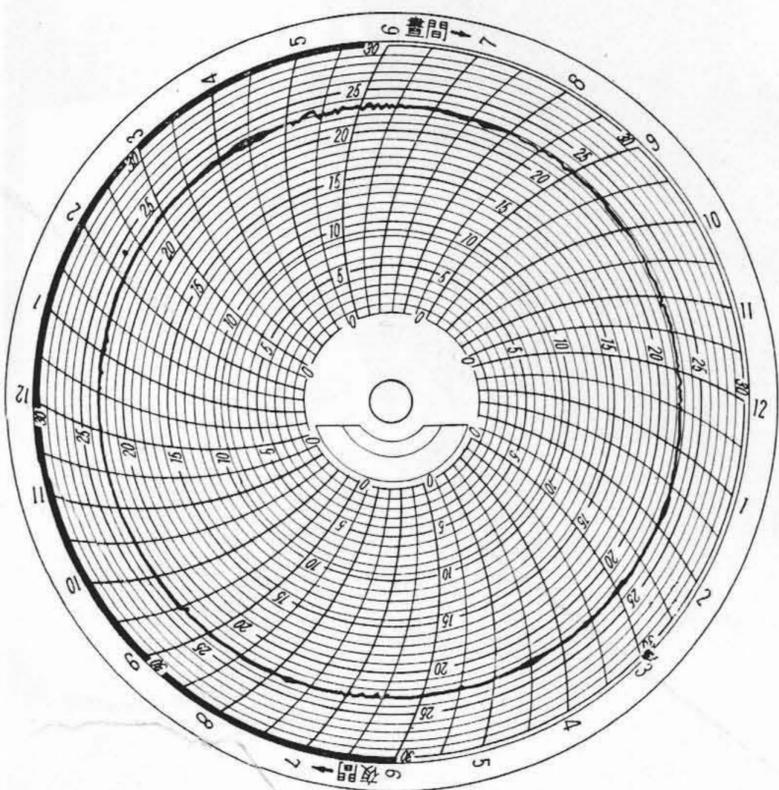
従来発表されているACCの性能では⁽¹¹⁾汽罐圧力変動±1～2 kg/cm²が大部分であり、またその動作もハンチング気味のものが多い。この運転結果は本ACCの優秀性を端的に示すものである。

このように、正確にしかも非常に安定な制御が行われているので、汽罐の有する能力を100%発揮することができ、しかも燃焼効率の向上を計ることができる。

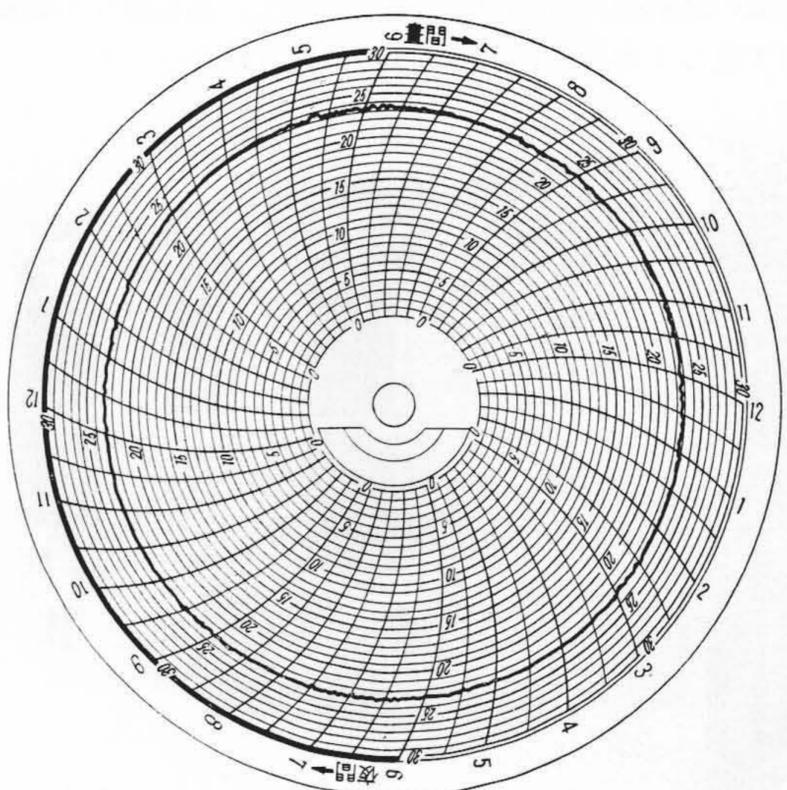
また、制御方式は前にも述べたように、静止型増幅器である磁気増幅器を使用しているため、回路の故障は皆



第15図 蒸気流量 (1号罐)



第14図 ACC 運転時の汽罐圧力 (1号罐)



第16図 ACC 運転時の汽罐圧力 (2号罐)

無であつて、保守点検はまったく必要ないので100%の信頼性をもつて使用されており、汽缶運転の労力は大巾に軽減されている。

第19～22図は参考のためにACC設置前の蒸気流量および蒸気圧力の記録を示すものであつて、手動運転の場合と本ACC運転の場合では格段の差を示している。

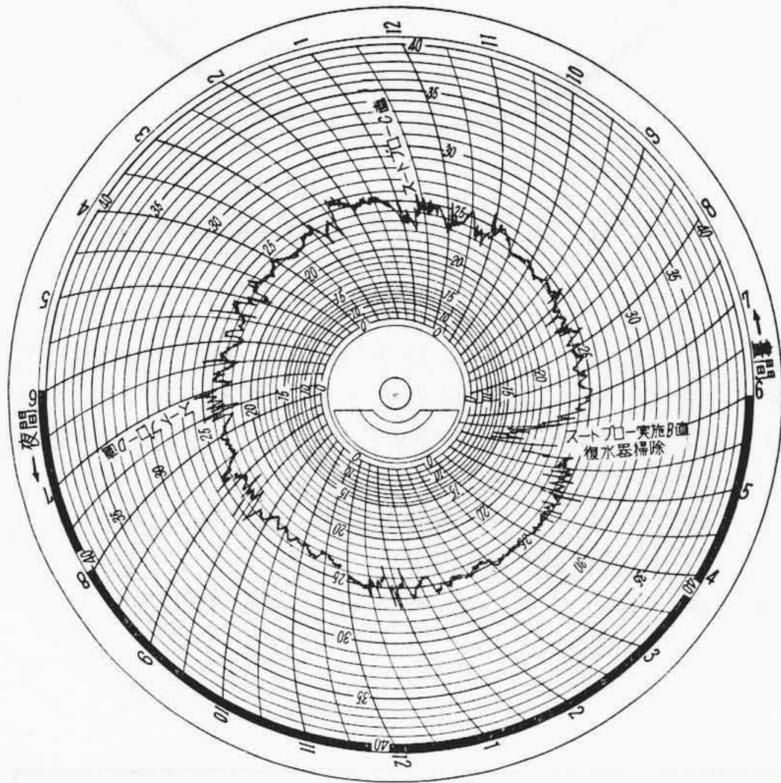
〔VII〕 結 言

以上今回納入運転に入つたACCの概要について述べた。本ACCにおいては、各所に最近の技術と新方式と

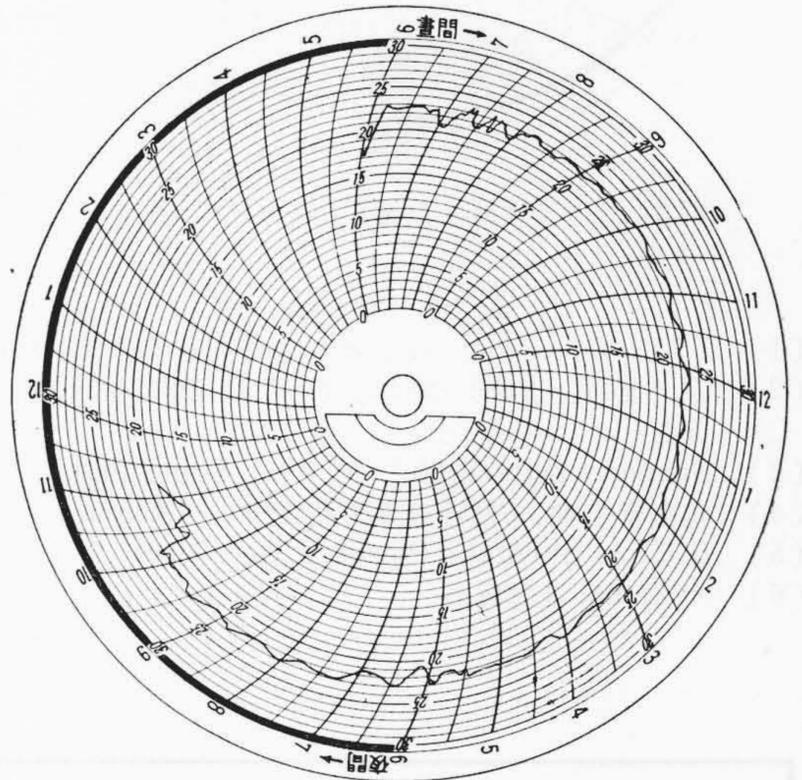
を織込んだ画期的な製品であつて、今後ますます高性能が要求されていく汽缶制御に対しても十分その特長が発揮されるものと思う。

最後に本ACCの計画および現地試験に当つては、東京電力安田元発電所長、和知発電所長はじめ福本係長、井上係長、改良課野村係長、市毛主任など関係者多数の絶大なる御指導と御援助を得た。

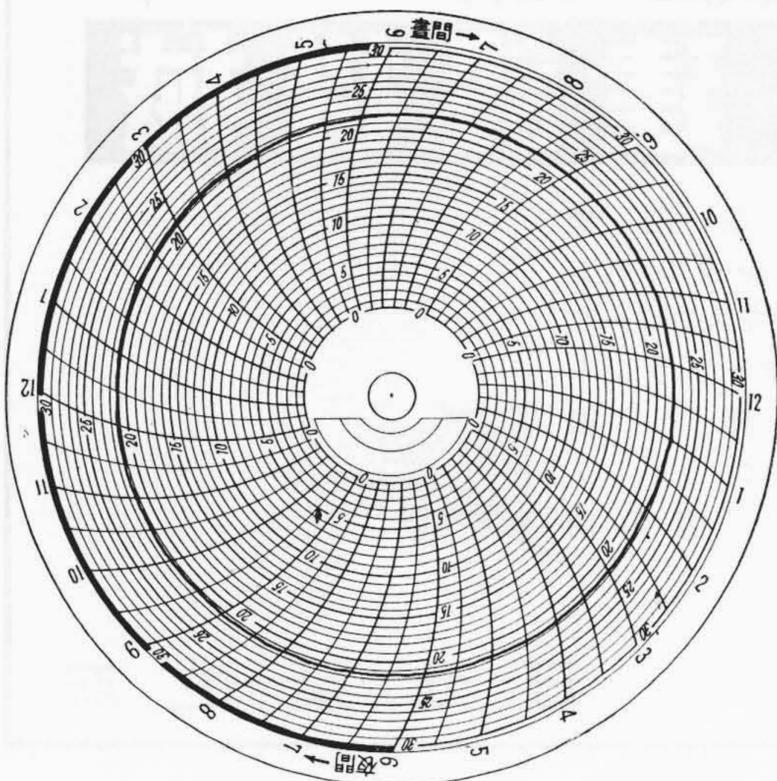
また、ACCの運転実績に関する資料は日立火力発電所の御厚意により提供戴いた。ここにこれらの諸氏の御厚意に対し厚く謝意を表する次第である。



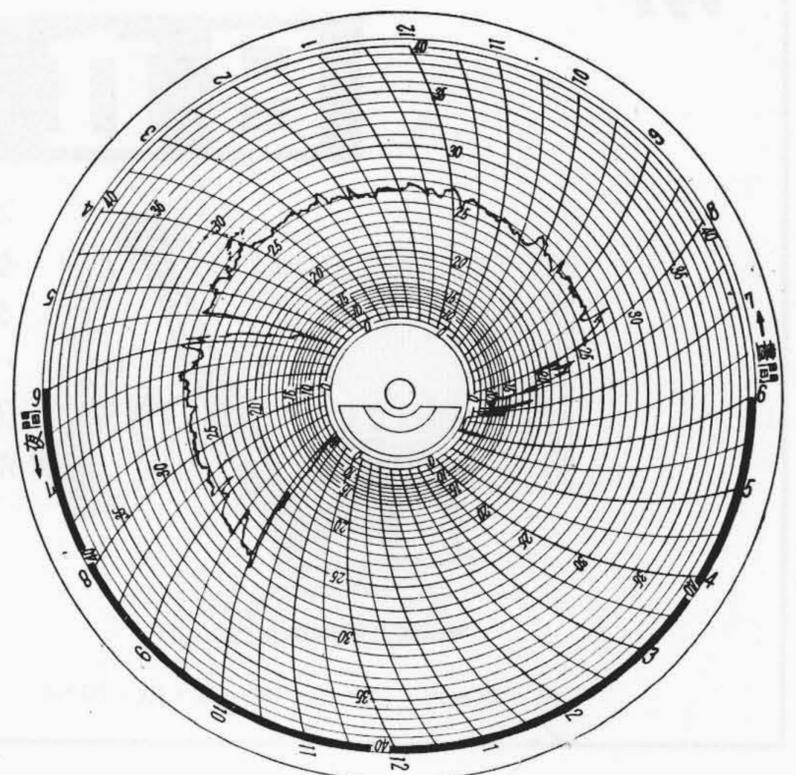
第17図 蒸気流量 (2号缶)



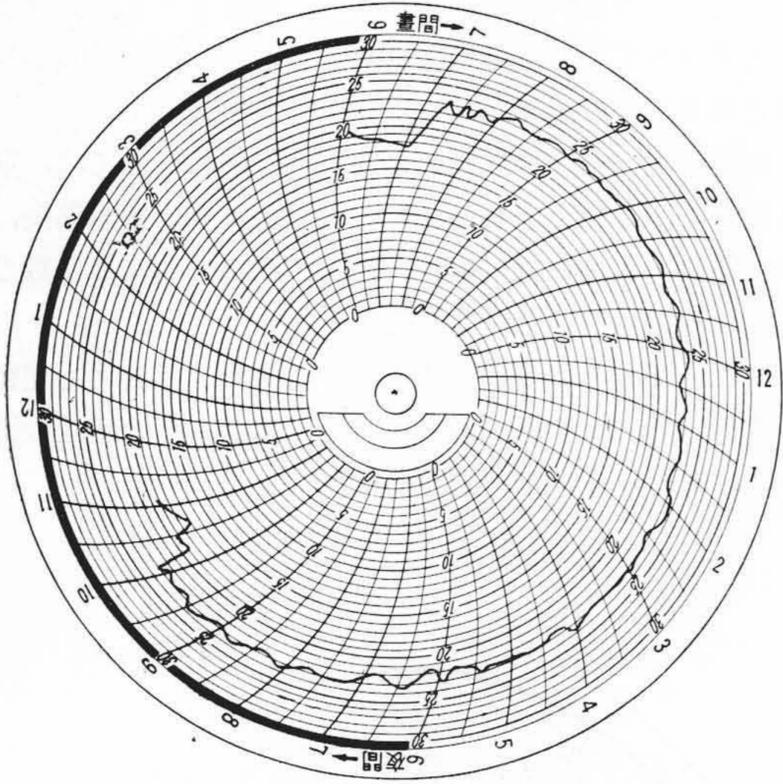
第19図 1号缶汽缶圧力 (ACC 設置前)



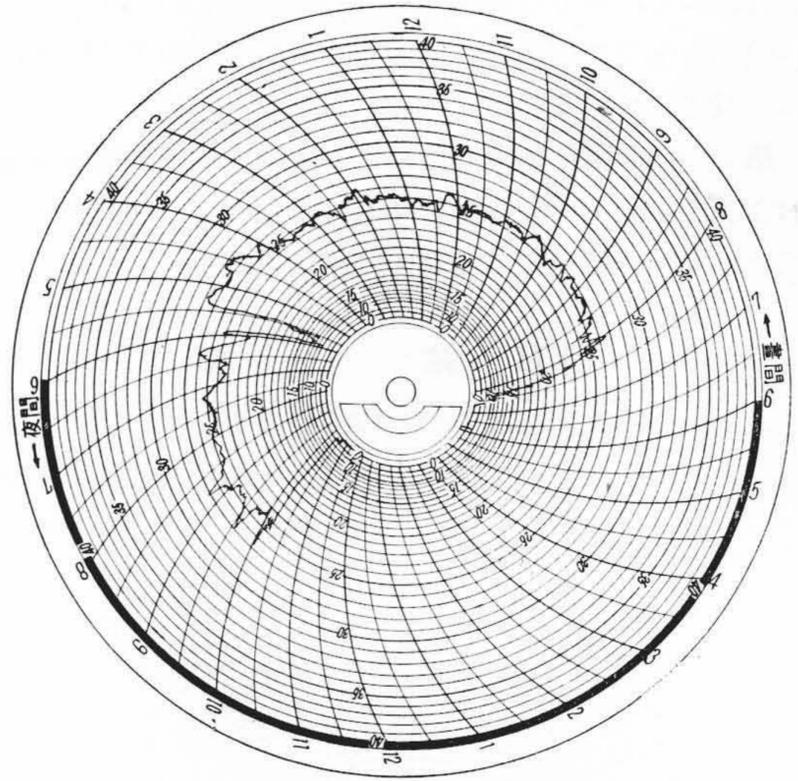
第18図 ACC 運転時のタービン入口圧力



第20図 1号缶蒸気流量 (ACC 設置前)



第21図 2号機, 汽機圧力(ACC 設置前)



第22図 2号機蒸気流量 (ACC 設置前)

参考文献

(1) (7) 泉, 北川: 日立評論別冊4号 87 (昭-29)
 (2) 泉, 北川, 吉岡: 電学会予稿 P. 367 昭和29年5月
 (3) Siemens Zeitschrift: P. 192 Sept. 1951
 (4) 電気学会編: 最近の火力発電所 昭和8年1月
 (5) B.G.A. Skrotzki Power: Dec. 1949
 (6) Askania 社型録外

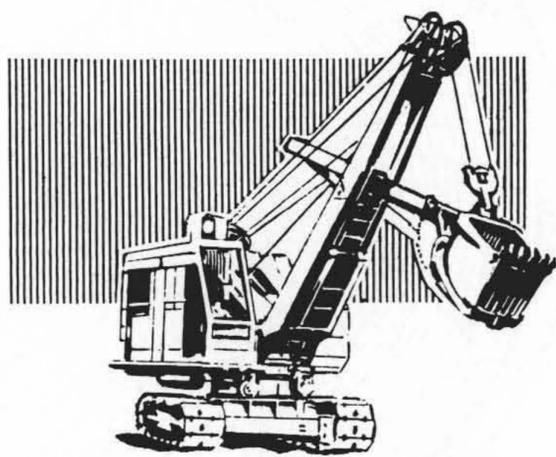
(7) 泉, 藤木: 日立評論別冊8号 117 (昭29-10)
 (8) 茂木 晃: 磁気増幅器とその応用 オーム文庫
 (9) W.C. Johnson AIEE: P. 583 July. 1953 他
 (10) 吉岡: 実用新案
 (11) 橋本, 中菌: 富士時報 P. 268 昭和30年1月他
 (12) 泉: 特許第194849号
 (13) 泉, 吉岡: 実用新案公報 昭31-15573

開発作業に

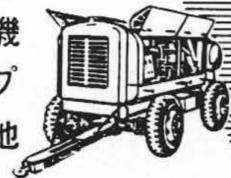
独自の機能を発揮する



日立の建設機械



万能掘削機
 ケーブルクレーン
 タワーエキスカベータ
 バッチャープラント
 圧縮機
 ポンプ
 その他



東京・大阪・名古屋・福岡・仙台・札幌

日立製作所