

日本国有鉄道納 中央出力制御装置 Central Power Controller Delivered to the Japanese National Railways

林 正 己* 管 健** 大 槻 国 秋***
Masami Hayashi Takeshi Kan Kuniaki Ôtsuki
静 間 敏 男**** 竹 村 克 己***** 谷 中 雅 雄*****
Toshio Shizuma Katsumi Takemura Masao Yanaka

内 容 梗 概

中央出力自動制御装置(CPC)は国鉄中央給電指令所より千手、小千谷(水力)、川崎(火力)発電所の出力を制御して、国鉄系統内の負荷変動を吸収し、東京電力株式会社との連系線汐流の変動を最小にするものである。

本装置はトランジスタ式のデジタル形演算制御装置で、次のような特長をもっている。

- (1) 1 MW 単位の計算ができ精度が高い。
- (2) 負荷変動分よりサステンドとフリンジ分とを分離し、水力、火力発電所の特性に応じた比率配分ができる。

現地試験の結果は次のとおりで大きな制御効果が得られている。

- (i) 連系線汐流変動幅が無制御時、約 50 MW あったものが CPC 制御により 20 MW 前後におさえられた。20 MW の大部分はガバナ特性上追従し得ない 1.5 分以下の短周期成分と調整容量不足のため吸収しきれなかった分である。
- (ii) 試験中は、負荷変動幅が 50~60 MW あり、これに対し調整能力は試験の都合上 36 MW しか得られなかったため、当初目的とした 2~3 分の周期変動の吸収は 60% 程度しか達せられなかった。しかし、この結果、国鉄の全発電力を調整すれば、90% 以上の吸収ができることが明らかとなった。

1. 緒 言

日本国有鉄道は川崎火力発電所、信濃川水系の小千谷、千手の 2 水力発電所計約 400 MW の自営電力をもち、東京を中心とする電車、列車負荷に電力を供給するとともに新鶴見変電所において東京電力系と連系している。国鉄電力系統の電車、あるいは列車負荷は間断なく繰り返される起動停止により、ほかに類をみない急しゅん、大幅な変動が多い。

本装置はこの負荷変動を合理的に吸収し、ひいては東京電力系との連系線汐流を一定に保とうとするものである。

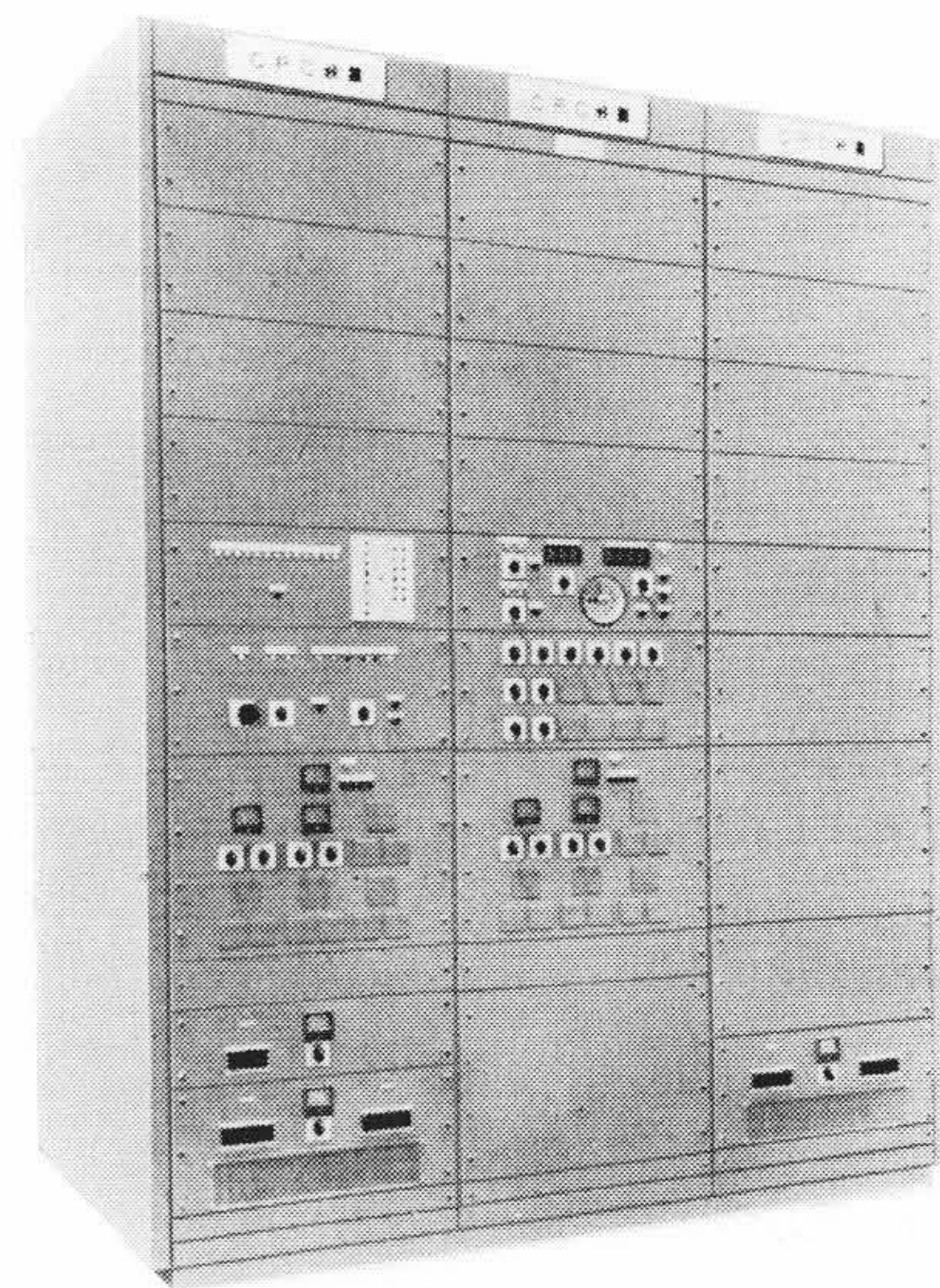
以下本装置の構成および特性につき概要を述べる。

2. 装置機能の概要と特長

本装置は中央給電指令所に設置され、小千谷、川崎発電所を制御して需給の平衡をとるものである。主要負荷の集計値が入力としてこの装置に与えられ、ELD 予想計算で想定した総需要と比較して当日の負荷ブレ分が計算される。この負荷ブレ分は急変分と緩変分とに分離され、各発電所の特性に応じた比率で配分され、ELD 予想計算で求めた基準出力と加えて各発電所へ指令される。各発電所はこの指令に合致するよう出力制御するので、最経済出力を中心として当日の負荷分担を行なうことができる。

本装置のおもな特長をあげると次のとおりである。

- (1) トランジスタを用いたデジタル方式であるため、フルスケールのいかににかかわらず 1 MW 単位の計算ができ、計算精度が高い。このため主要負荷の集計値と各発電所出力指令値の総和を 1 MW 以内の誤差に収めることができる。
- (2) 当日の負荷変動分より緩変分(サステンド分)と急変分(フ



第 1 図 日本国有鉄道納中央出力自動制御装置本体

リンジ分)とを分離して、水力、火力発電所の特性に応じた比率配分ができる。

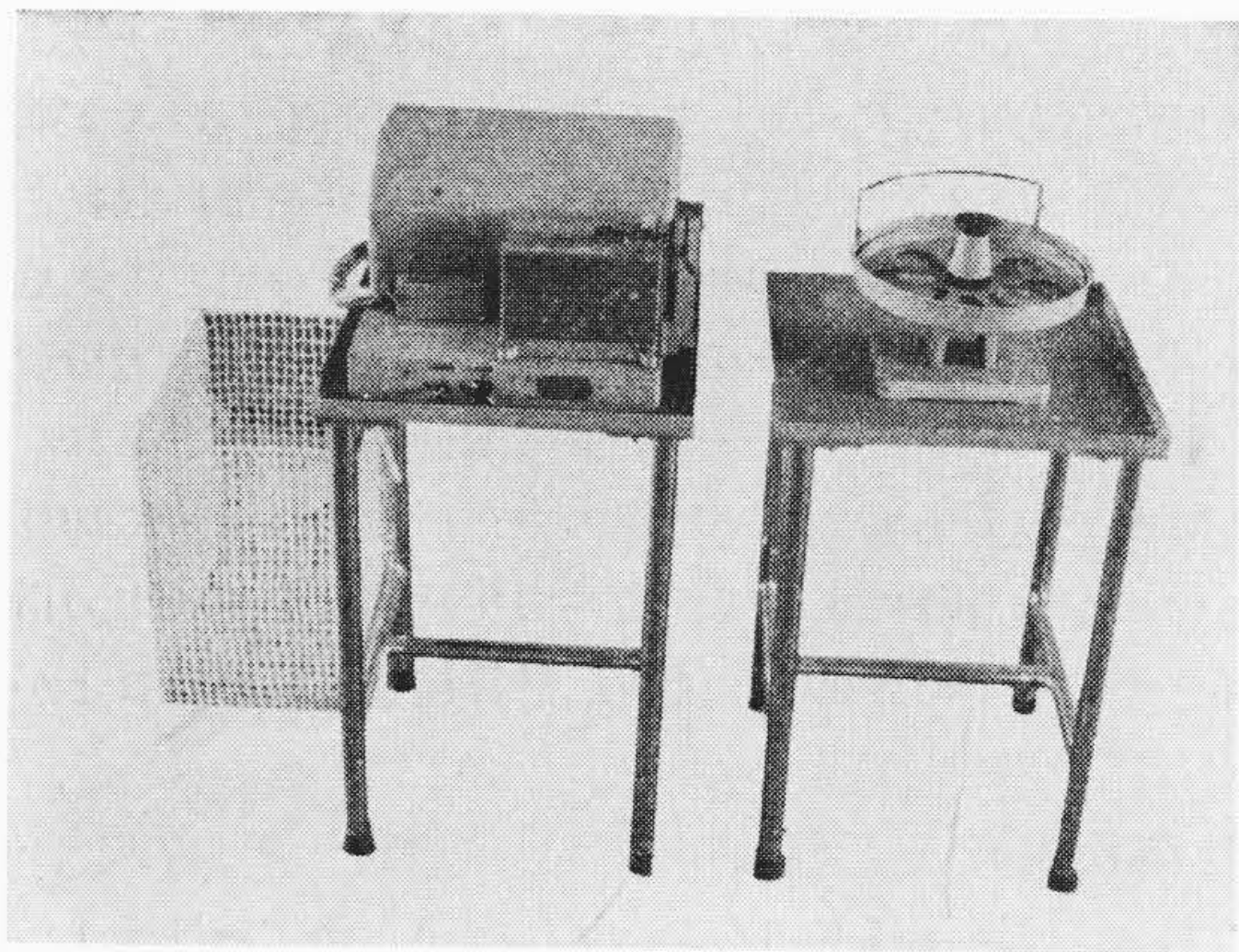
3. 各部の動作

本装置を大別すればテープリダ部、入力手動整定部、コード変換部、負荷変動検出部、サステンド分検出部、フリンジ分検出部、サステンド分配部、フリンジ分配部、送量変換部、誤動作検出部、演算制御部よりなっている。第 1 図は本体、第 2 図はテープリダ部、第 3 図は装置の構成図である。以下第 3 図について各構成の動作を説明する。

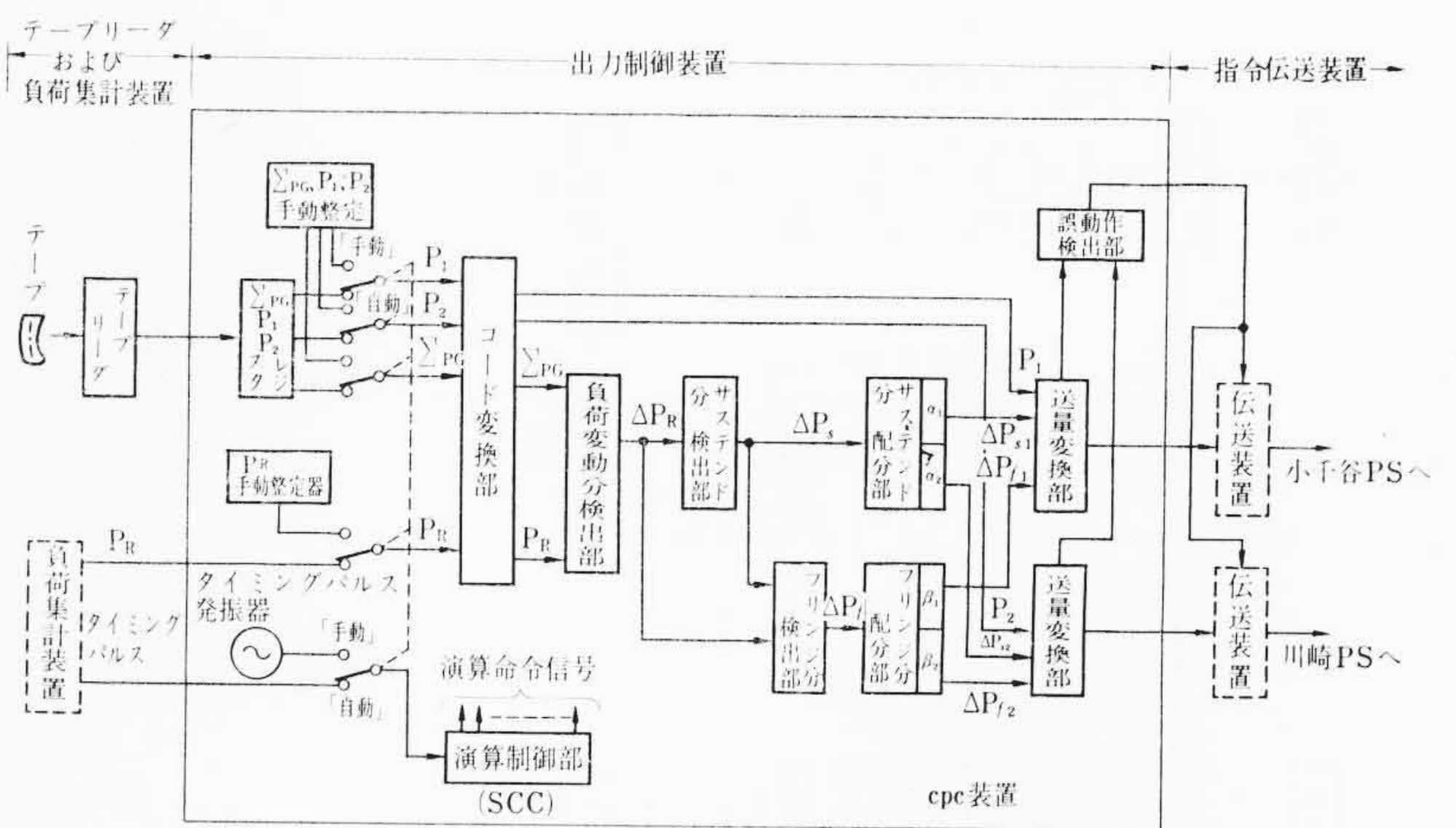
(1) テープリダ部

ELD 計算機で計算された予想総需要値($\sum P_c$)、発電所最経済出力値(P_1, P_2)は各時間帯とも 10 分ごとにスムーズ化され、テープにせん孔される。この部分はこのテープにせん孔された 10 分ご

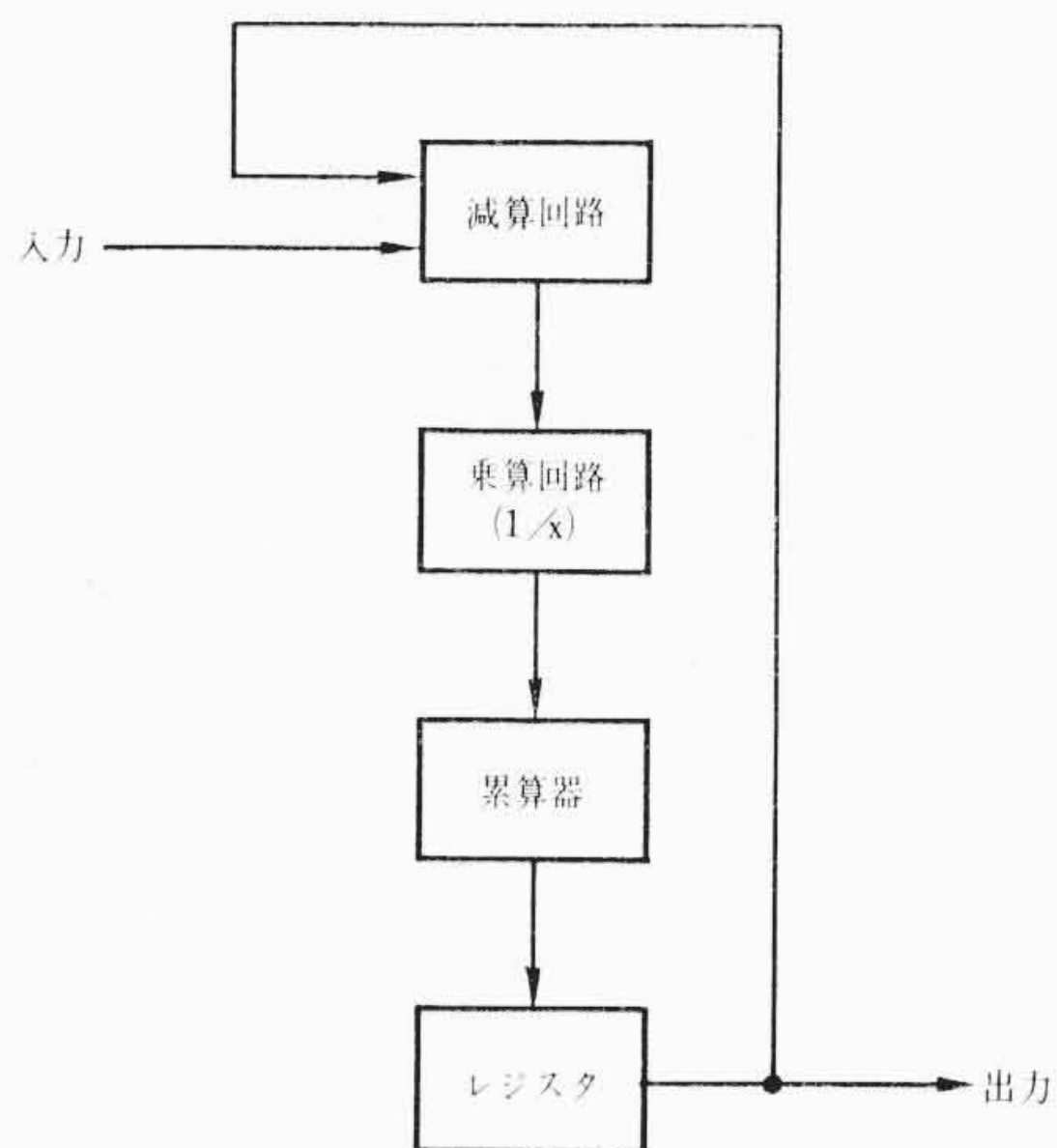
* 日本国有鉄道鉄道技術研究所主任研究員
** 日本国有鉄道鉄道技術研究所研究員
*** 日本国有鉄道東京給電管理局技術課長
**** 日立製作所国分工場
***** 日立製作所日立研究所



第2図 日本国有鉄道納中央出力自動制御装置
テーブリーダ部



第3図 中央出力自動制御装置構成図



第4図 中央出力自動制御装置1次遅れ
要素の計算結果

との ΣP_G , P_1 , P_2 値をテーブリーダで読み取り、いったんレジスタに納めた後、その出力を次段のコード変換部に与えるものである。各値はいずれも2進10進コードで与えられ、その容量は下記のとおりである。

予想総需要値(ΣP_G) 0~400 MW の間 1 MW 刻み
発電所最経済出力(P_1 , P_2) 0~99 MW の間 1 MW 刻み

(2) 入力手動整定部

予想総需要値(ΣP_G)、発電所最経済出力(P_1 , P_2)は(1)項記載のELD計算機から、また主要負荷の集計値(P_R , 0~399 MW)は既設負荷集計装置より与えられるが、本整定部はこれらの値を手動でも整定できるように付加したものである。本整定部で設定された各値は(1)項記載のレジスタへ読み込まれた後コード変換部へ送られる。

(3) コード変換部

主要負荷の集計値 P_R 、ELD計算機から与えられる予想総需要 ΣP_G 、各発電所最経済出力 P_1 , P_2 はすべて2進10進コードで与えられるがCPC装置の内部では純2進コードで演算が行なわれるのでここでコード変換(すなわち2進10進より純2進コードへ)する必要がある。この部分はこのために設けられたもので上記 P_R , ΣP_G , P_1 , P_2 を順次走査して純2進数に変換し、前2者を負荷変動検出部に、後2者を送量変換部へ送り出すものである。ここでは演算制御部より発せられる「 P_R , ΣP_G , P_1 , P_2 コード変換」指令信号によってこれらの値をコード変換する。この変換は0.5秒ごとに行なわれる。

サンプル		減算回路	乗算回路	累算器	レジスタ
1	最初の値	A	$\frac{A}{x}$	$\frac{A}{x}$	$\frac{A}{x}$
	最後の値	$-\frac{A}{x}$			
2	最初の値	$A\left(1-\frac{1}{x}\right)$	$\frac{A}{x}\left(1-\frac{1}{x}\right)$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^2\right\}$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^2\right\}$
	最後の値	$-A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^2\right\}$			
3	最初の値	$A\left(1-\frac{1}{x}\right)^2$	$\frac{A}{x}\left(1-\frac{1}{x}\right)^2$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^3\right\}$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^3\right\}$
	最後の値	$-A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^3\right\}$			
n	最初の値	$A\left(1-\frac{1}{x}\right)^{n-1}$	$\frac{A}{x}\left(1-\frac{1}{x}\right)^{n-1}$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^n\right\}$	$A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^n\right\}\dots(1)$
	最後の値	$-A\left\{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^n\right\}$			

第5図 1次遅れ要素の計算結果

(4) 負荷変動検出部

これは主要負荷の集計値 P_R と予想総需要値 ΣP_G とを比較し、その差を計算して負荷変動分(ΔP_R)を検出するものである。この計算は0.5秒ごとに1 MW単位で行なわれ、 ΔP_R 値は次のサステンド分検出部およびフリンジ分検出部へ送られる。

(5) サステンド分検出部

これは不規則に変化する ΔP_R から数分程度以上の長周期成分 ΔP_S を取り出すデジタル形低域濾波器で、アナログ系における1次遅れ要素と同じ過渡応答を有する回路である。

ここでは第4図に示すように減算回路、乗算回路、累算回路、レジスタより構成される。

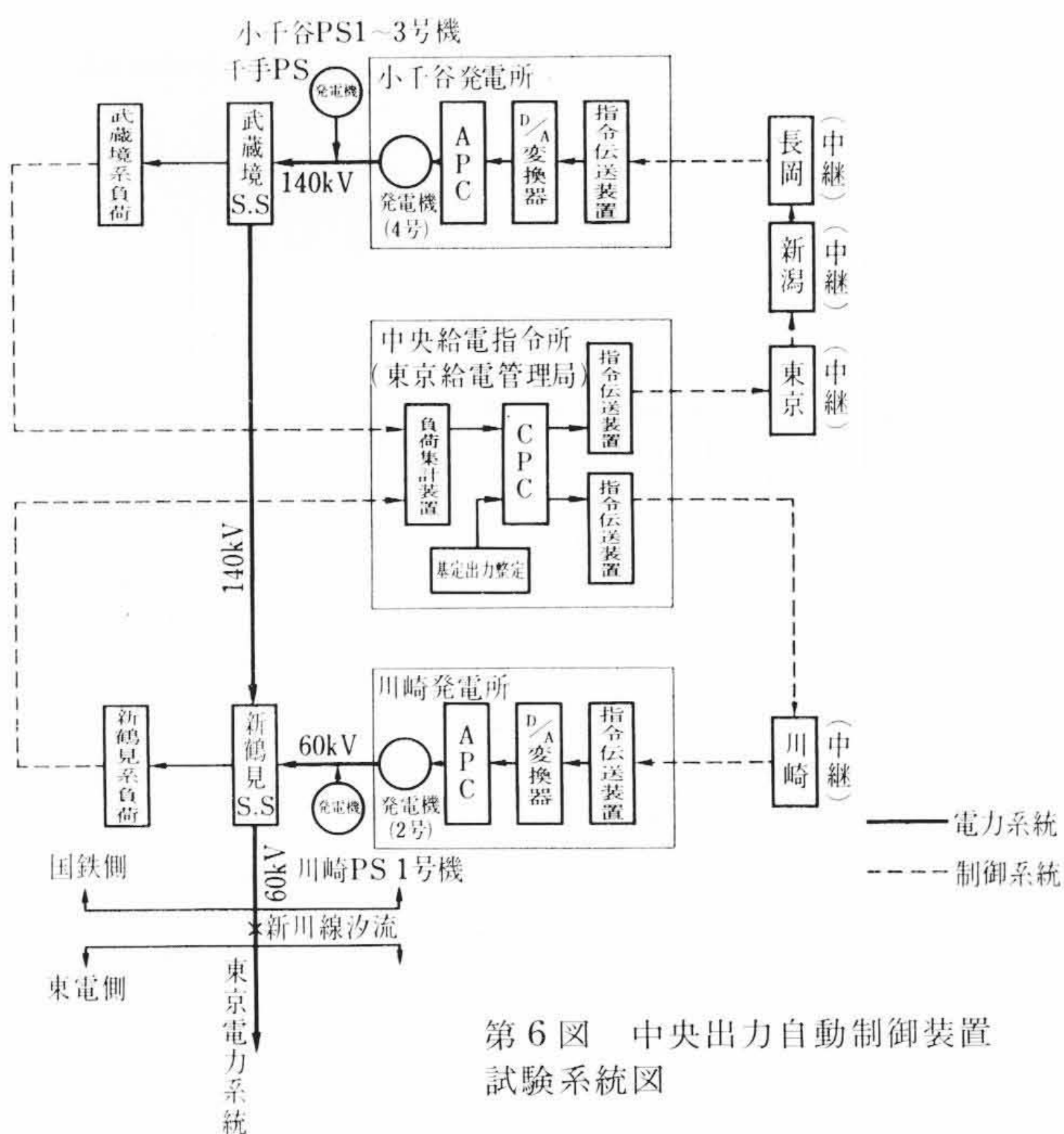
いま装置がリセットされている状態で入力としてステップ「A」がはいってきたときを例にとり動作を説明する。

(i) 第1サンプル目

入力「A」が減算器にはいると減算器は零であるので「A」が置数される。この値は乗算器を介して累算器へ読み込まれる。この際乗算器で設定した時定数に依り「A」は $1/x$ される(x は時定数によって決まる定数)。累算器に置数された「 A/x 」はレジスタにシフトされた後、第1サンプル目のサステンド分として読み出される。また「 $-A/x$ 」は減算器に読み込まれ置数される。

(ii) 第2サンプル目

入力「A」が減算器にはいると減算器では $A - A/x = A(1 - 1/x)$ が計算される。この値は乗算器を介して累算器へ読み込まれる。すなわち累算器では、第1サンプル目の置数値 A/x と第2回サンプル目の値 $A/x(1 - 1/x)$ との和、 $A\{1 - (1 - 1/x)^2\}$ が計算される。この値はレジスタにシフトされた後、第2サンプル目のサステンド分として読み出される。また $-A$



第 6 図 中央出力自動制御装置
試験系統図

$\{1 - (1 - 1/x)^2\}$ は減算器に送り込まれ置数される。

(iii) 第 n サンプル目

第 5 図は第 n サンプル目のサステンド分の計算結果を示す。
一方、1 次おくれ要素の出力を y ，最終目標値を A ，時定数を T とした場合，伝達関数は $y = A / (1 + TS)$ で表わされるが，このインデシャルレスポンスは下式のようになる。

$$y = A(1 - e^{-\frac{nt}{T}}) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 n : サンプル数

t : サンプル間隔

(1)，(2) 式より下式が成り立つように x を決めれば正しく 1 次遅れの特性をもたせることができる。

$$A(1 - e^{-\frac{nt}{T}}) = A \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{x} \right)^n \right\}$$

$$\therefore \frac{1}{x} = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$$

本装置では時定数は 0，2，4，8 分のいずれか一つを選ぶことができる。またこの出力は 0.5 秒ごとに次のサステンド分配分およびフリンジ分検出部へ送り込まれる。

(6) フリンジ分検分部

この部分は負荷変動分 ΔP_R の中に含まれている変動周期の短いフリンジ分 ΔP_f を検出するものである。これは ΔP_R よりサステンド分 ΔP_s を差し引くことによって求められる。

(7) サステンド分およびフリンジ分配分部

これは負荷変動分より分離した ΔP_s ， ΔP_f を各発電所の能力に応じた比率で分担させるための配分回路で，その比率は手動で所定の値 (0～100%) に設定することができる。この配分によって応答速度の遅い火力発電所には緩変分を多く，応答速度の速い水力発電所には急変分を多く分担させることができ，各発電所は特性にマッチした合理的な運用を行なうことができる。

また発電所の数が多くなっても配分端数の合計が 1MW 以上にならないよう特別の考慮が払われている。

(8) 送量変換部

これは各発電所向け出力指令値を計算するものである。これらの指令値は発電所最経済出力 (P_1 ， P_2) にサステンドおよびフリンジ配分量を加算して求められる。この指令値は信号伝送装置に渡

すため C_2 コードに符号変換される。

発電所最経済出力 (P_1 ， P_2) はコード変換部 ((3) 項記載) で 2 進化 10 進コードより純 2 進コードに変換され，送量変換部に置数される。一方サステンドおよびフリンジ分も各配分量に応じて送量変換部に読み込まれる。これらの値は加算され，発電所出力指令値となる。またフリンジ，サステンド分の配分端数は集計され，その値が 1MW を越える場合には特定の発電所出力指令値に加算される。この再配分計算によって，負荷の集計値と発電所出力指令値の総和との差を 1MW 以内に収め，計算精度を高めることができる。

(9) 誤動作検出部

本装置にあっては各部はもちろん，構成要素たる 1 論理素子の動作に至るまでその動作は正確かつ確実であることが必要であるが，たとえ誤動作があっても調整発電所に誤った指令を送らないようにする必要がある。このために付加したのが誤動作検出装置である。これは前サンプルにおける各発電所出力指令値の総和を記憶しておき，今回サンプルのそれと比較しその差が所定値以内ならば良，以上なら誤りとするものである。以上の比較によりもし異常を検出した場合には信号伝送装置の送信を停止し，発電所は前サンプルの指令値で運転されるので無益な誤操作をさせることができる。

(10) 演算制御部

これは CPC 装置の各部に必要な演算命令を与えるための制御部である。

演算命令の数は 14 個あり，負荷集計装置のタイミングパルスにより，0.5 秒の間に順次所要の信号を発して上述の演算動作を秩序正しく行なわせることができる。

4. 試験結果と効果

4.1 試験の概要

- 実施日時 昭和 40 年 3 月 13～30 日
- 試験系統 第 6 図に示す 中央給電指令所，小千谷発電所，川崎発電所を含む国鉄電力系統
- 使用発電機 小千谷発電所 4 号機 (定格出力 28 MW)
川崎発電所 2 号機 (定格出力 75 MW)
- CPC の整定は次のとおり

総 需 要 (ΣP_G)	155MW
1 次遅れ時定数 (T_s)	0 分
小 千 谷 発 電 所	サステンド分配分比 (α_1) 40%
	フリンジ分配分比 (β_1) 0%
川 崎 発 電 所	サステンド分配分比 (α_2) 35%
	フリンジ分配分比 (β_2) 0%

(5) 許容調整幅 (許容発電所出力変動幅)

水 力 系	20 MW
火 力 系	16 MW (瞬時変動分 12 MW)
合 計	36 MW

4.2 試験結果の検討

ここでは，各発電所単独の過渡応答試験と全系総合の実負荷応動試験とが行なわれたが，その結果は第 7 図に示すとおりである。

実負荷応動試験における結果と効果は下記のとおりである。

(1) 小千谷発電所

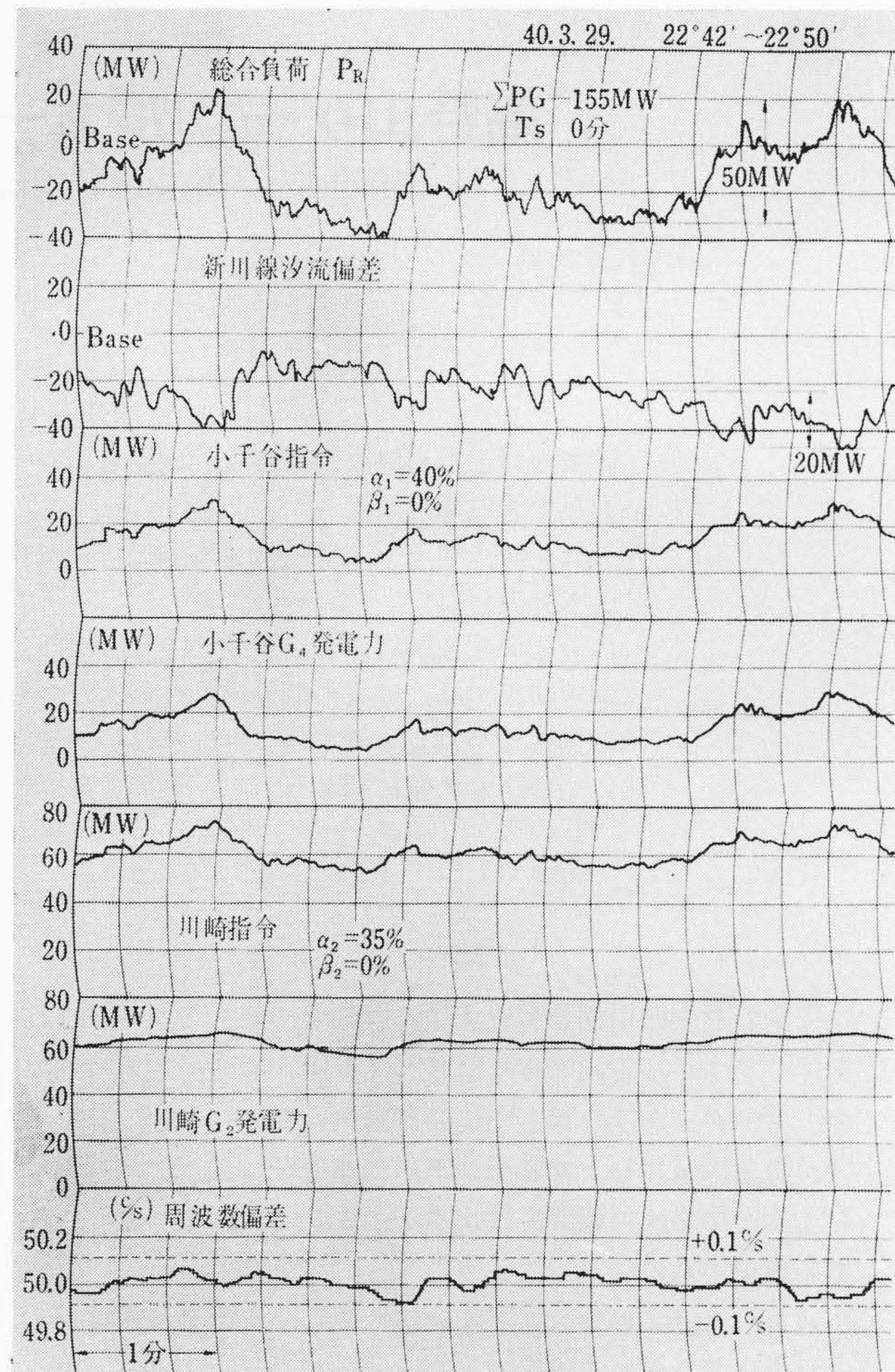
指令に対する発電機応答出力の遅れ (指令値の 90% まで移行する時間) は約 4 秒で，偏差 (指令－発電機応答出力) の成分中，1.5 分以上の周期成分は吸収されて，ほとんどなくなっている。

(2) 川崎発電所

指令に対する出力の応動は小千谷発電所に比べ若干おそく約

試験種別	試験項目	試 験 結 果																						
		中央給電指令所	小千谷発電所	川崎発電所																				
過 度 応 答 試 験	(1) ステップ応答		<table><tr><th>APCに与えた出力指令</th><th>発電機 応答出力</th></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	APCに与えた出力指令	発電機 応答出力									<table><tr><th>APCに与えた出力指令</th><th>発電機 応答出力</th></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	APCに与えた出力指令	発電機 応答出力								
	APCに与えた出力指令		発電機 応答出力																					
APCに与えた出力指令	発電機 応答出力																							
(2) 周波数応答		<table><tr><th>APCに与えた指令変動周期</th><th>偏差 指令入力-発電機出力 指令入力</th></tr><tr><td>1.5分</td><td>25%</td></tr><tr><td>3分</td><td>20%</td></tr></table> (注) 指令出力	APCに与えた指令変動周期	偏差 指令入力-発電機出力 指令入力	1.5分	25%	3分	20%	<table><tr><th>APCに与えた指令変動周期</th><th>偏差 指令入力-発電機出力 指令入力</th></tr><tr><td>1分</td><td>40%</td></tr><tr><td>1.5分</td><td>30%</td></tr><tr><td>2分</td><td>30%</td></tr><tr><td>3分</td><td>25%</td></tr></table>	APCに与えた指令変動周期	偏差 指令入力-発電機出力 指令入力	1分	40%	1.5分	30%	2分	30%	3分	25%					
APCに与えた指令変動周期		偏差 指令入力-発電機出力 指令入力																						
1.5分		25%																						
3分		20%																						
APCに与えた指令変動周期		偏差 指令入力-発電機出力 指令入力																						
1分	40%																							
1.5分	30%																							
2分	30%																							
3分	25%																							
実 負 荷 応 答 試 験	(1) 実負荷応答	(1) 無制御時、周期3分変動幅50MWの連系線汐流変動が制御によって20MWに抑えられた。	(1) 偏差(指令-発電機応答出力)の成分のうち約1.5分以上の周期成分はほとんど吸収されてなくなっている	(1) 偏差(指令-発電機応答出力)の成分のうち約1.5分以上の周期成分はほとんど吸収されてなくなっている																				
		(2) 残留分20MWは下記成分が大部分である。 (イ) 発電機が応動できぬ周期1.5分以下の短周期成分 (ロ) 周期1.5分以上の変動負荷の中、発電所調整容量不足による非制御分	(2) 指令値からの発電機応答出力(指令値の90%まで移行する時間)のおくれは約4秒	(2) 指令値からの発電機応答出力(指令値の90%まで移行する時間)のおくれは約4~5秒																				

第7図 中央出力自動制御装置試験結果の概要



第8図 中央出力自動制御装置実負荷応答試験オシログラム

4~5秒であるが、約1.5分以上の周期変動にはよく追従し、偏差として残った成分は周期約40~50秒の速いものである。

(3) 制 御 効 果

CPC制御をしない時間帯では、国鉄系統内の負荷変動分(P_R)はほとんどそのまま新川線汐流の変動分となってあらわれる。したがって制御による総合的な効果は負荷変動分に対して新川線汐流の変動分がどれだけおさえられたかということで表わすことができる。

第8図は実負荷応答試験オシログラムの一例を示すものである。周期3分、変動幅50MWの負荷変動に対して、新川線汐流の変動幅は20MWに押えられている。この20MWの大部分は下記の成分である。

- (1) 1.5分以下の短周期成分(ガバナ特性上これ以下の周期の負荷変動には追従できない)。
- (2) 周期1.5分以上の変動負荷のうち、発電所の調整容量不足のため制御しきれなかった成分。

試験では、負荷変動幅が50~60MWあり、これに対して調整能力は試験の都合上36MWしか得られなかったもので、当初目的とした2~3分の周期変動の吸収は60%程度しか達せられなかった。しかし、国鉄の全発電力を調整すれば、90%以上の吸収ができることが明らかとなり、その効果が大きいと期待される。

5. 結 言

本装置は経済負荷配分装置、負荷集計装置など新鋭機器より情報を受けて総合的な自動給電を行なうもので信頼度、精度の点でもすぐれた性能をもっている。今後ますますこの種装置が活用され、制御システムの拡大とともにその成果が大きいと期待される。

本装置完成までに現地試験その他でご協力いただいた関係者各位に深く謝意を表する。