

[例 EV-2]個別 VQC 方式を用いた電圧安定性解析例

(1) 目的

電気学会 EAST10機-O/V 系統モデルを用いて、平日昼休み後の負荷需要の急激な上昇に伴う無効電力損失の増加、系統電圧の低下に対して、変電所1次側母線電圧および2次側母線電圧の基準電圧からの偏差を検出し、変圧器 LTC と電力用コンデンサ(または分路リアクトル)を協調制御する方式(個別VQC方式)により、電圧安定性が維持される様子をシミュレーションする。

(2) 解析条件

変電所の1次側母線電圧と2次側母線電圧が、あらかじめ設定した基準電圧±不感帯を逸脱した場合は、1次側母線電圧の逸脱に対しては、当該変電所の電力用コンデンサ(または分路リアクトル)の開閉制御により、1次側電圧および2次側電圧の両者を不感帯内に回復させ、2次側母線電圧の逸脱に対しては、当該変電所の変圧器 LTC によるタップの上げ下げ制御により、2次側電圧のみを不感帯内に回復させる(V1-V2 制御)。各制御のタイミングは、基準電圧からの偏差(正確には不感帯からの逸脱量)の時間積分があらかじめ設定した値を超過した時に行う。1次側・2次側母線の運転電圧と、制御方法の対応関係を、V1-V2 の2次元平面に表した図を図3.52に示す。各変電所のVQC設定値(基準電圧・積分時間など)を表3.39に示す。

電圧安定性のシミュレーション例として、初期潮流断面(図2.4, 図2.5, 図2.6)から、負荷需要を400MW/分の速度で増加させた場合の、発電所 AVR 方式—変電所個別 VQC 方式による電圧無効電力制御例を示す。

負荷需要の具体的な増加パターンは、図3.53参照。

発電機運転パターンは、原子力機は常に定格出力とし、火力機の出力を定格出力まで優先して増加させ、揚水機はその後の不足分を補うよう出力を増加させる。(図3.54)

なお、昇圧用変圧器のタップについては、簡単のため、初期断面のタップ位置を使用タップとして固定のままシミュレーションを実施した。

(3) 解析結果

負荷需要増加の開始時刻から、1秒毎の負荷需要、発電機出力、バンク潮流、変電所母線電圧状況、電圧無効電力制御機器の動作などの系統諸量をプロットしたグラフを図3.55～図

3.56に示す。

(a)変電所の運転状況(図3.55)

各変電所の、バンク有効電力潮流、無効電力潮流、1次・2次電圧、調相設備・タップの動作の時系列グラフ。

各変電所の母線電圧グラフには、1次側・2次側それぞれ3本の基準線が引かれているが、中線は設定目標電圧を示し、その上下線はそれぞれ、上側・下側不感帯を示している。

負荷増加とともに、各所の電圧は低下するが、シミュレーション初期の段階では、電圧を不感帯内に引き戻すよう、調相設備の投入台数・変圧器タップが制御され、概ね下側不感帯に沿って動作点が推移したのち、徐々に無効電力の供給不足による電圧低下が著しくなるとともに、調相設備の開閉やタップ動作に対する電圧変動も著しくなり、最終的に崩壊に至っている様子が見とれる。

(b) 発電機の運転状況(図3.56)

各発電機の有効電力・無効電力出力の時系列グラフを示す。

AVR 制御の効果により、負荷増加とともに無効電力供給が増加し、発電機によっては上限値に達している箇所もある(発電機3)が、概ね、無効電力出力に余力を持たせてある。これは、発電機の電圧無効電力制御方式を、PSVR制御方式・AQR制御方式、その他の制御方式を試みる余力を持たせるためである。

参考に、電圧崩壊直前の最終収束断面の潮流図を図3.57, 図3.58, 図3.59に、初期断面と最終収束断面の変圧器タップの状態・調相設備の状態を表3.40, 表3.41に示す。

[参考文献]

電気学会技術報告 第743号「電力系統の電圧・無効電力制御」(電気学会)

電気協同研究 第47巻 第1号「電力系統安定運用技術」(電気協同研究会)

図3.52 V1-V2制御平面

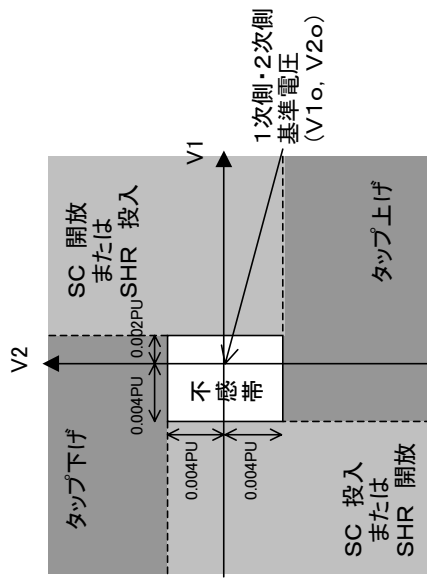


表3.39 VQC設定

変電所	動作モード	1次側(V1)				2次側(V2)					
		基準電圧 (V1o)		積分時間	上側 不感帯 pu	下側 不感帯 pu	基準電圧 (V2o)		積分時間	上側 不感帯 pu	下側 不感帯 pu
		kV	pu	puV・秒			kV	pu	puV・秒		
変電所 1	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 2	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 3	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 4	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 5	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 6	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 7	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 8	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所 9	V1-V2積分制御	525	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所10	V1-V2積分制御	540	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所11	V1-V2積分制御	545	1.05	0.50	0.004	0.002	280.5	1.02	0.50	0.004	0.004
変電所12	V1-V2積分制御	550	1.05	0.50	0.004	0.002	275.0	1.02	0.50	0.004	0.004

図3.53 負荷需要増加パターン

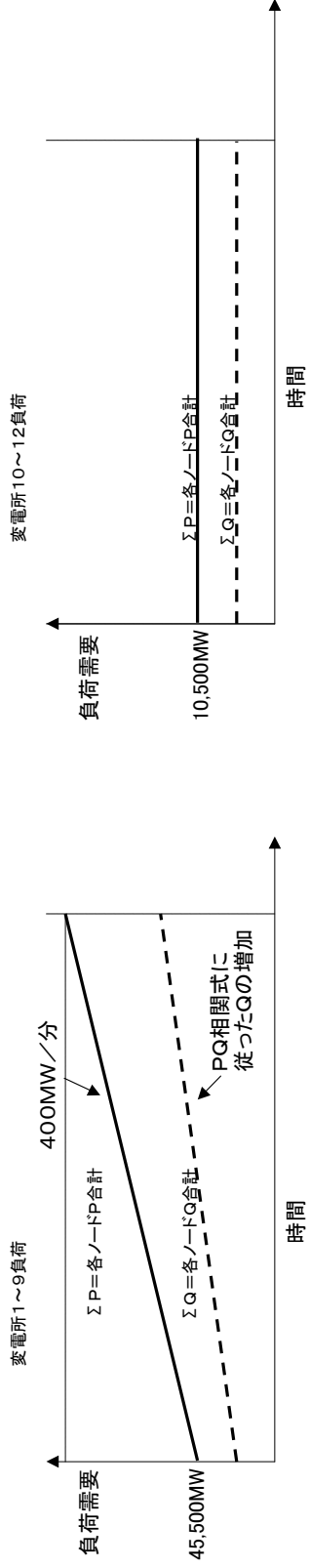
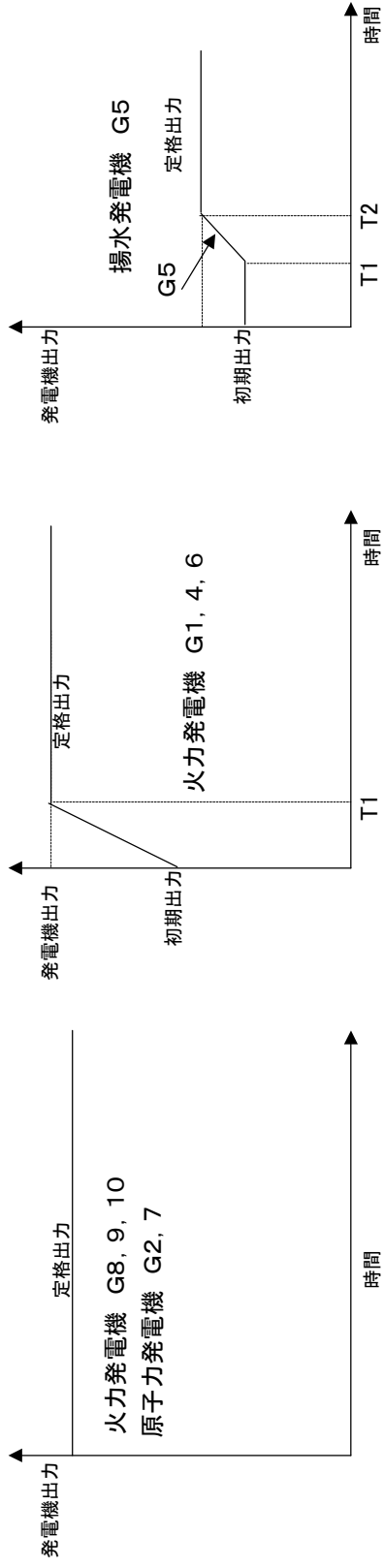


図3.54 発電機運転パターン

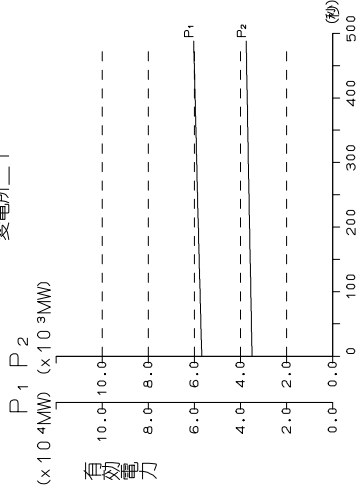


各変電所の運転状況

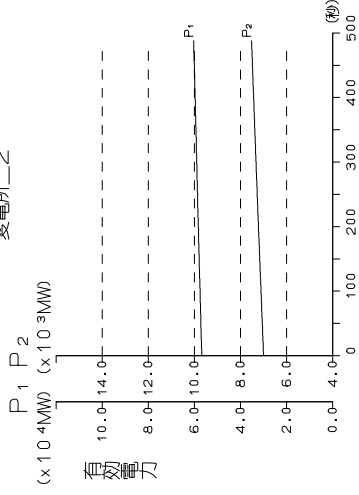
(P_1 , P_2 , V_1 , V_2 , Q_1 , Q_2 , Q_3)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

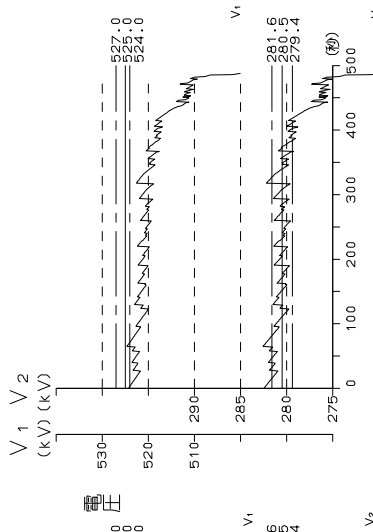
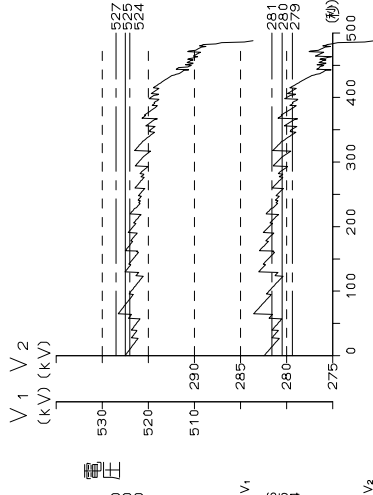
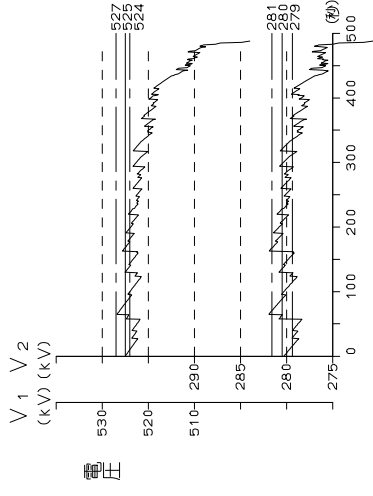
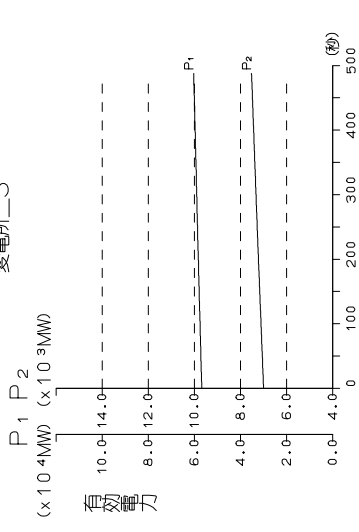
変電所_1



変電所_2



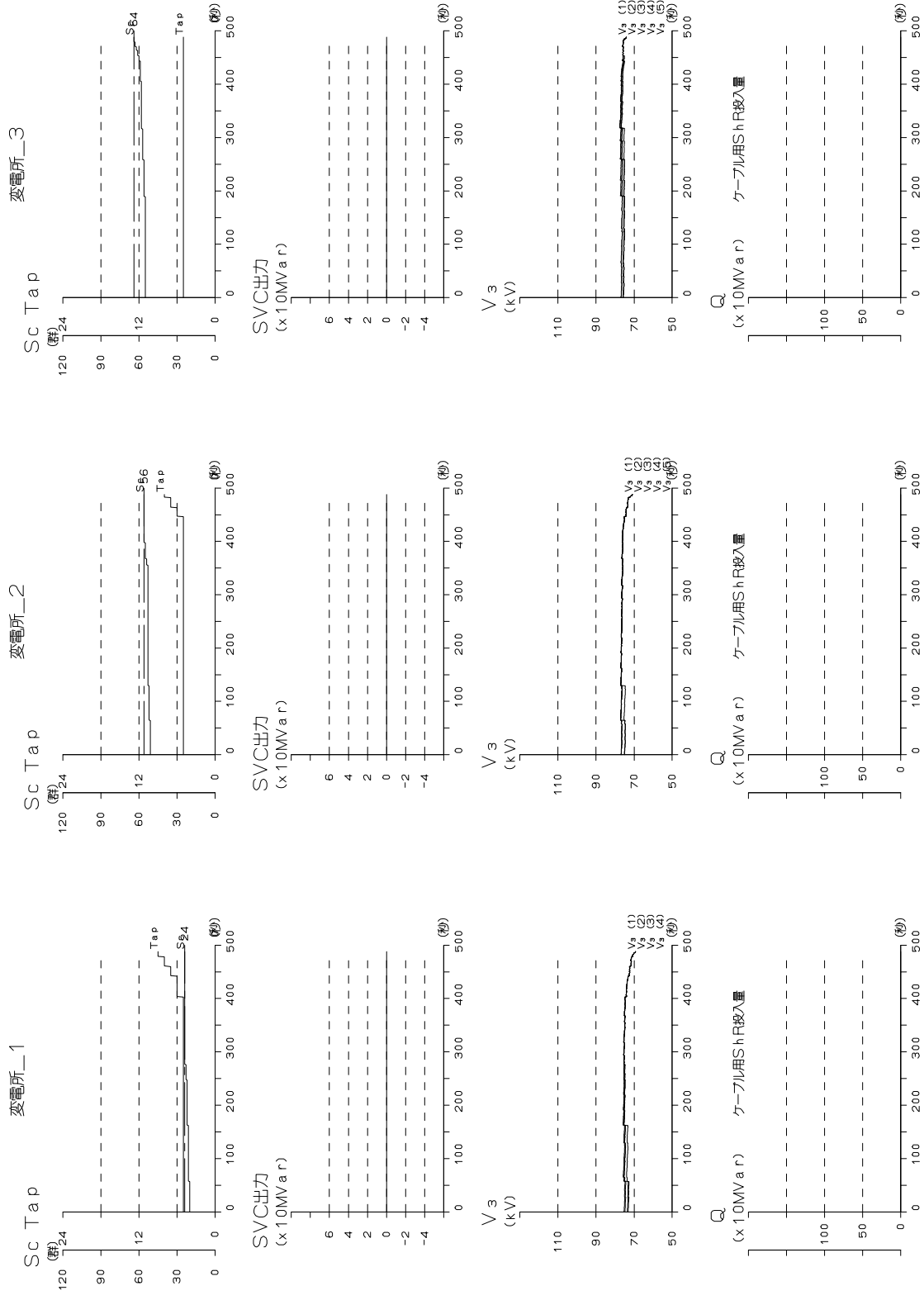
変電所_3



各変電所の運転状況

(Sc, Tap, SVC出力, V_s , Q)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

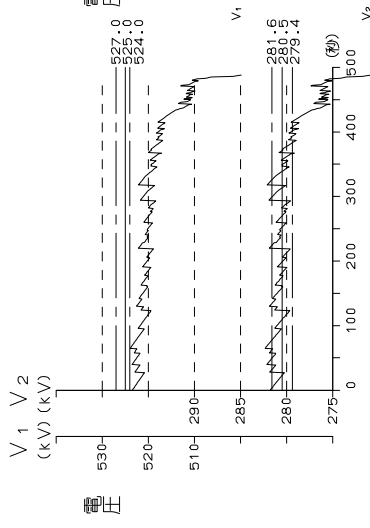
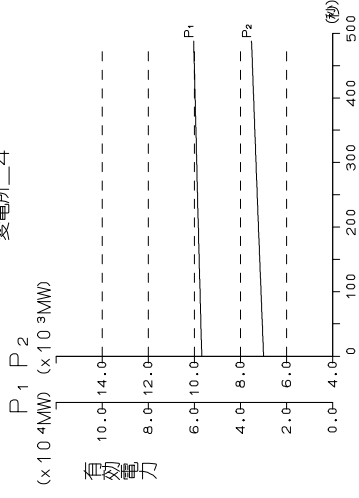


各変電所の運転状況

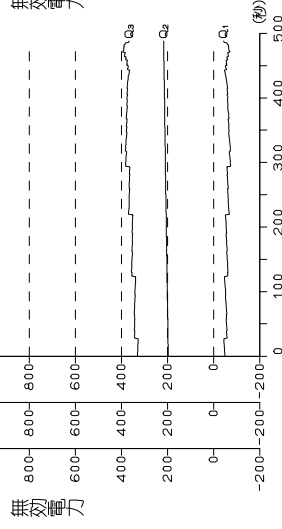
(P_1 , P_2 , V_1 , V_2 , Q_1 , Q_2 , Q_3)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

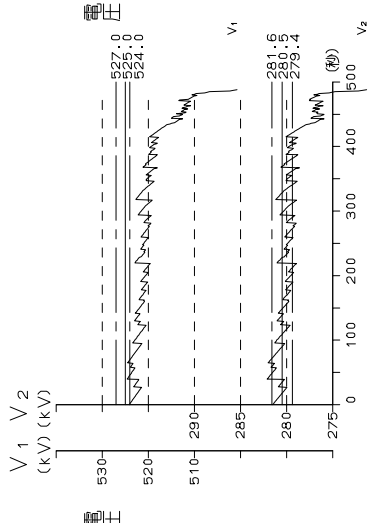
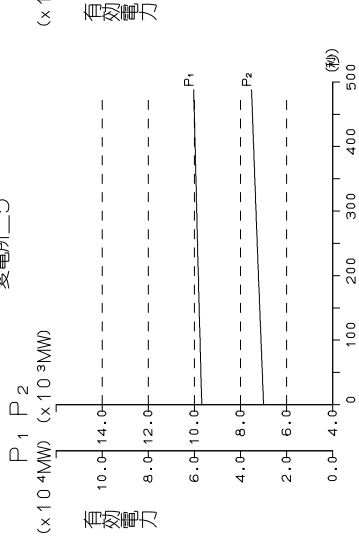
変電所_4



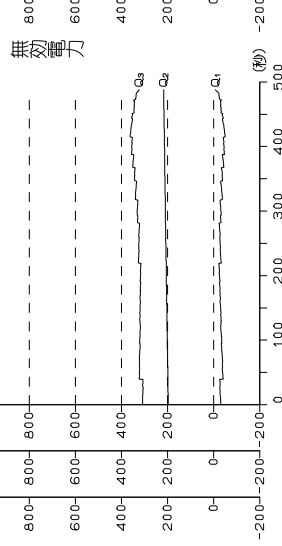
無効電力 (x 10 MVa.r)



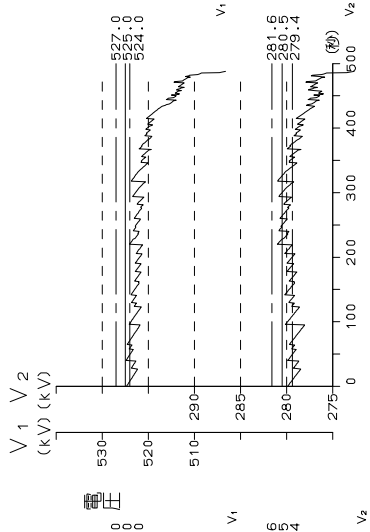
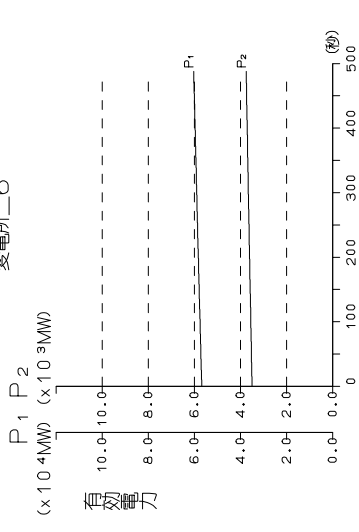
変電所_5



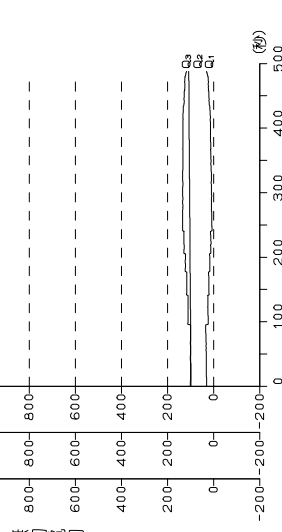
無効電力 (x 10 MVa.r)



変電所_6



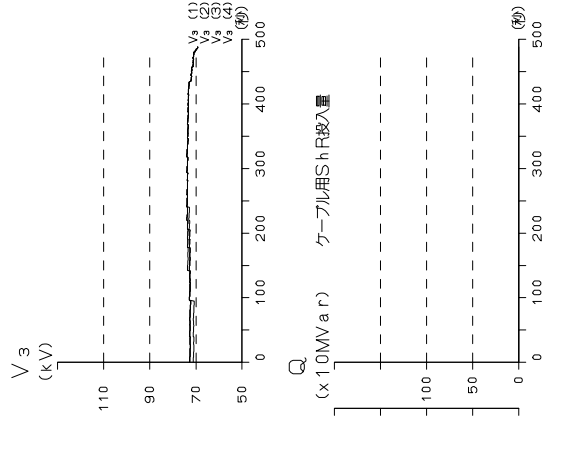
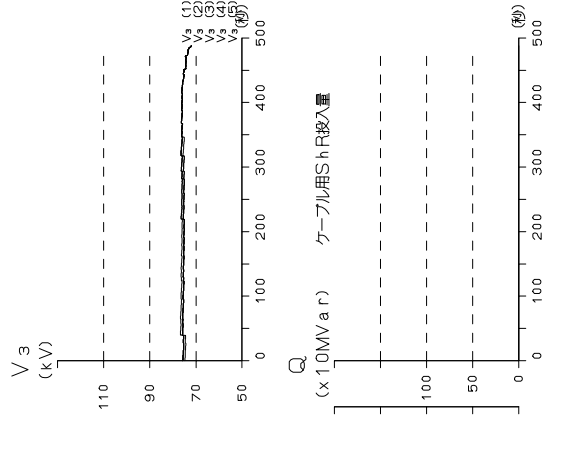
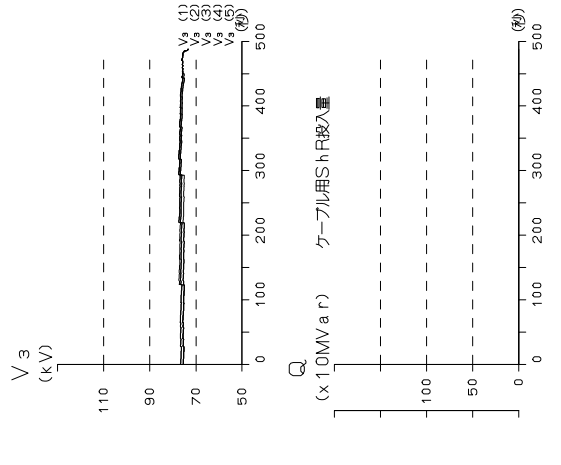
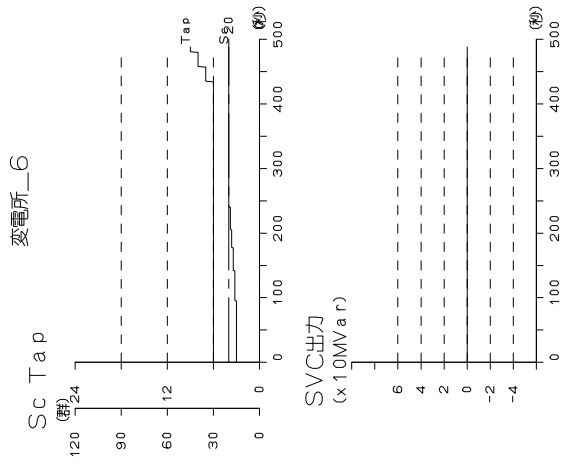
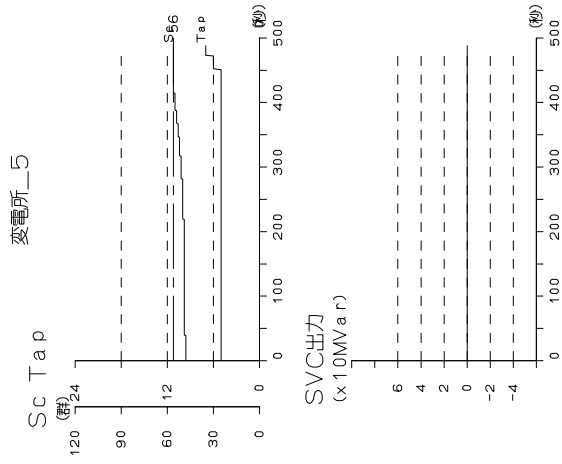
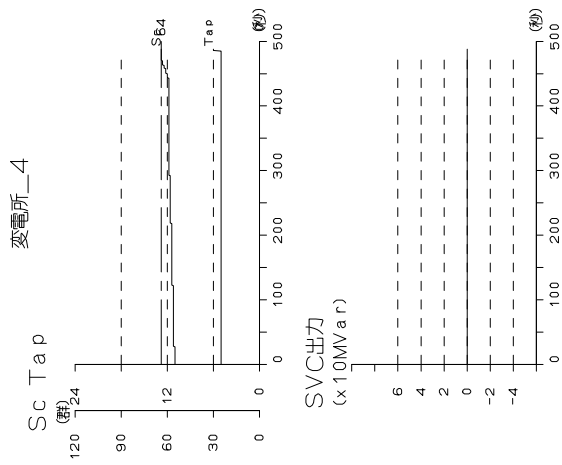
無効電力 (x 10 MVa.r)



各変電所の運転状況

(Sc, Tap, SVC出力, V_s, Q)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

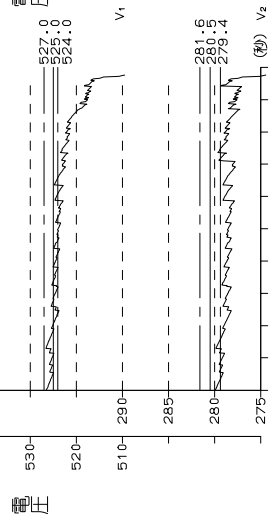
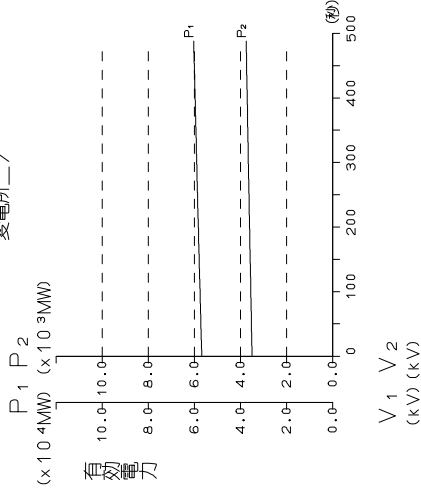


各変電所の運転状況

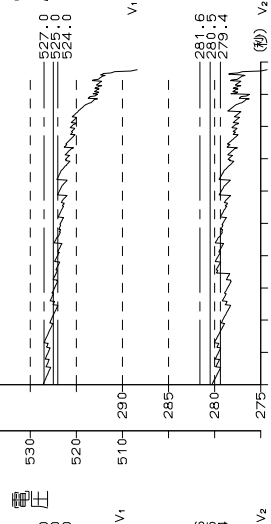
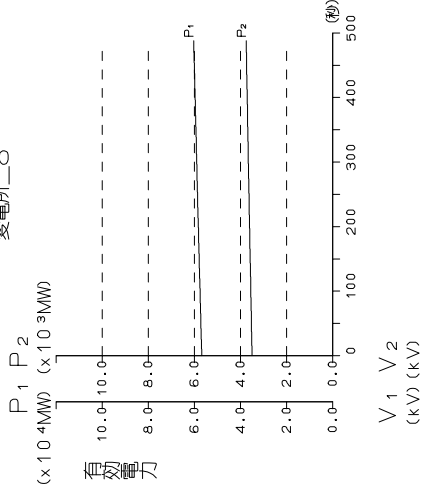
(P_1 , P_2 , V_1 , V_2 , Q_1 , Q_2 , Q_3)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

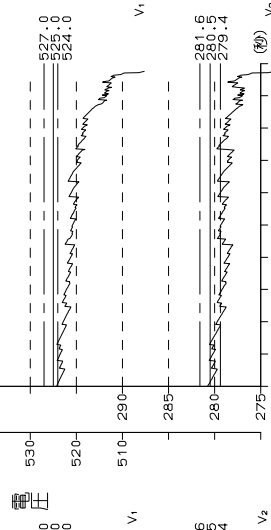
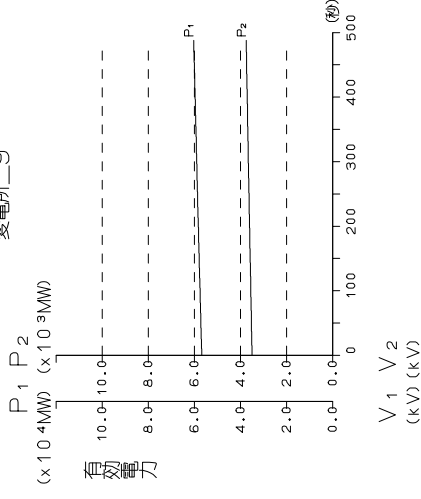
変電所_7



変電所_8



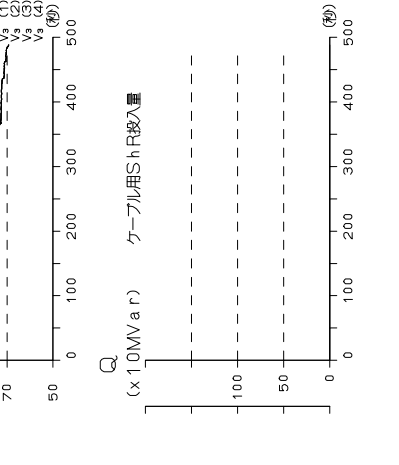
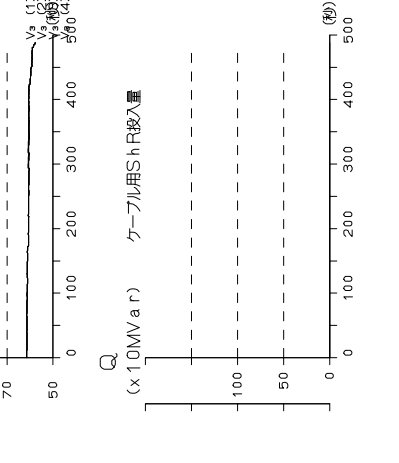
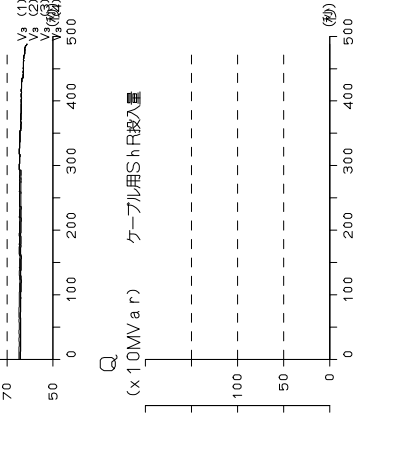
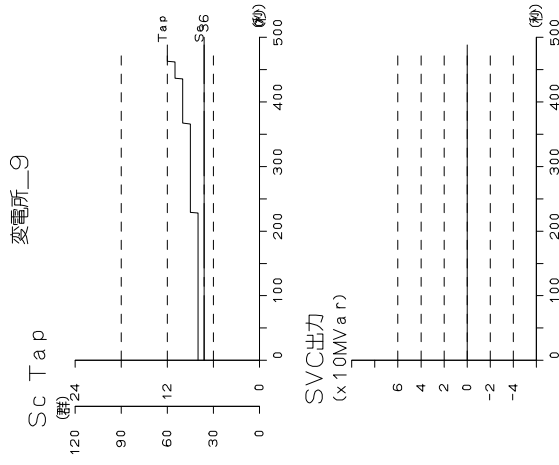
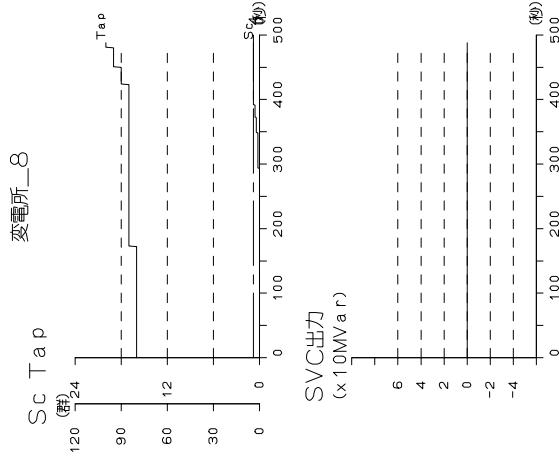
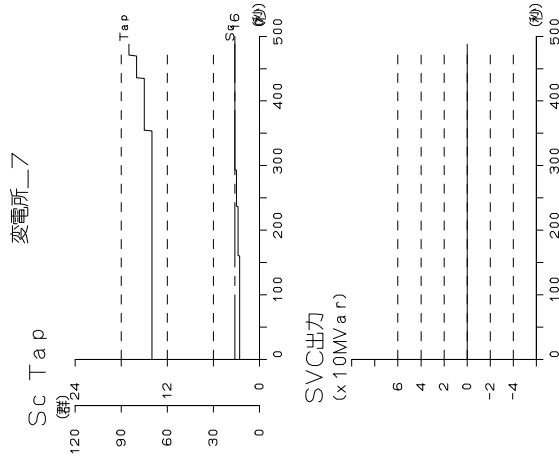
変電所_9



各変電所の運転状況

(Sc, Tap, SVC出力, V_s, Q)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

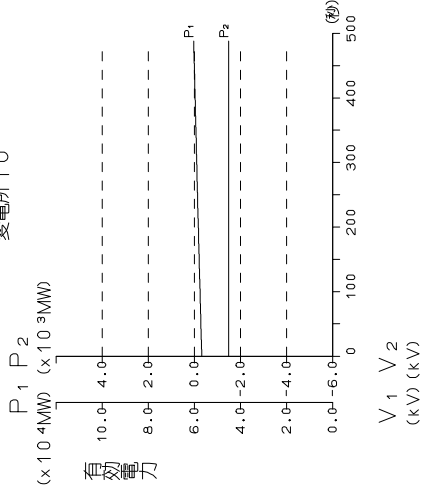


各変電所の運転状況

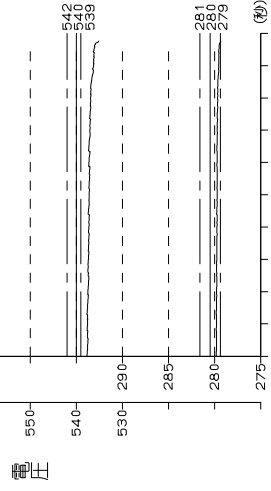
(P_1 , P_2 , V_1 , V_2 , Q_1 , Q_2 , Q_3)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

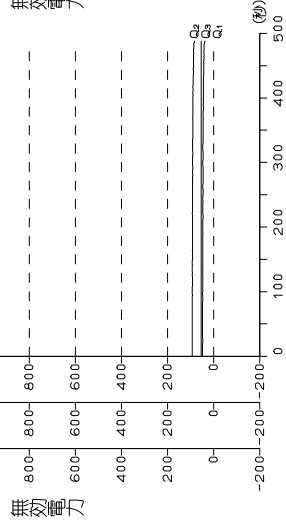
変電所10



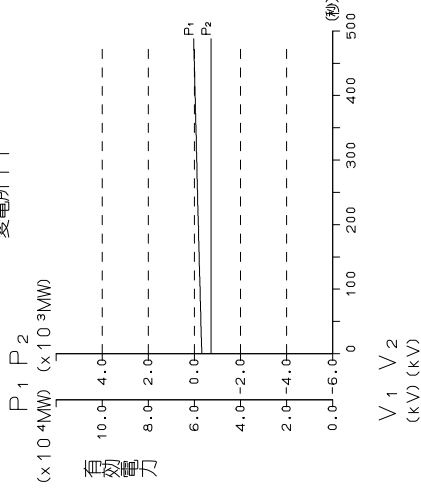
V₁ V₂ (kV)



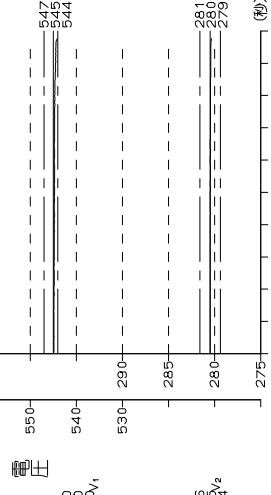
Q₁ Q₂ Q₃ (x 10 MVa.r)



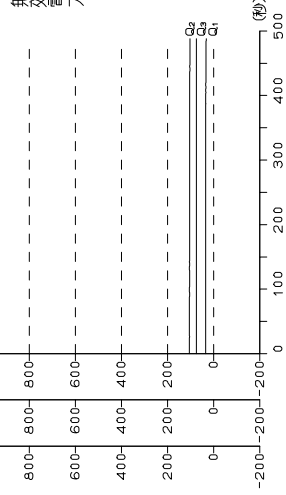
変電所11



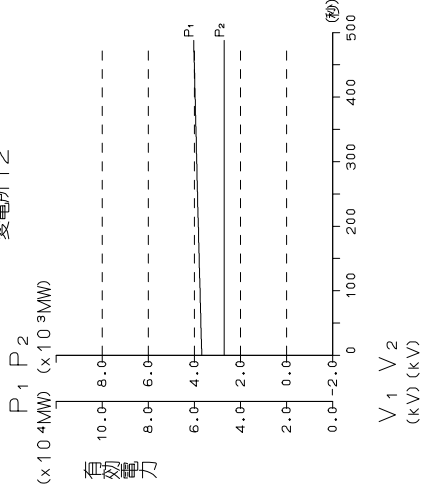
V₁ V₂ (kV)



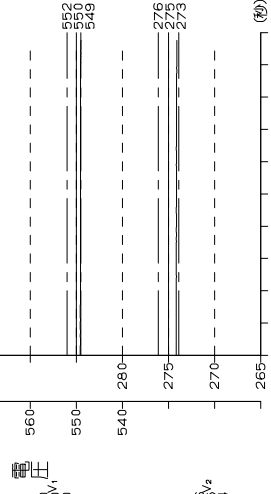
Q₁ Q₂ Q₃ (x 10 MVa.r)



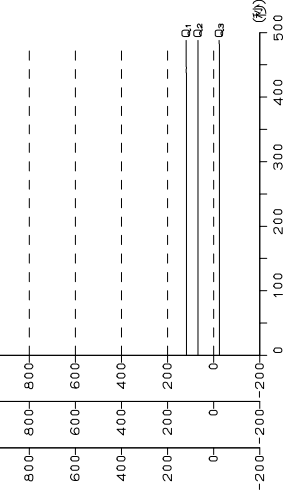
変電所12



V₁ V₂ (kV)



Q₁ Q₂ Q₃ (x 10 MVa.r)

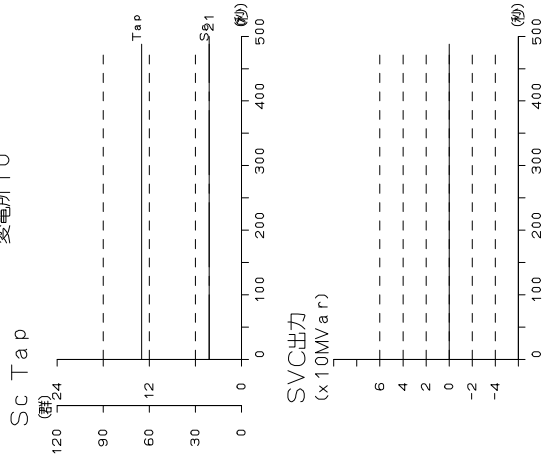


各変電所の運転状況

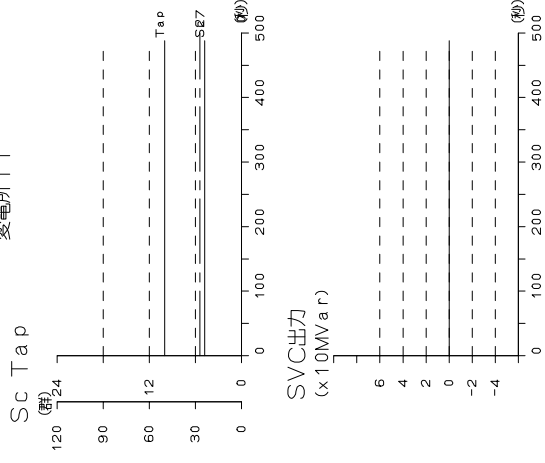
(Sc, Tap, SVC出力, V_s, Q)

開始時刻 0: 0
VQCDATP

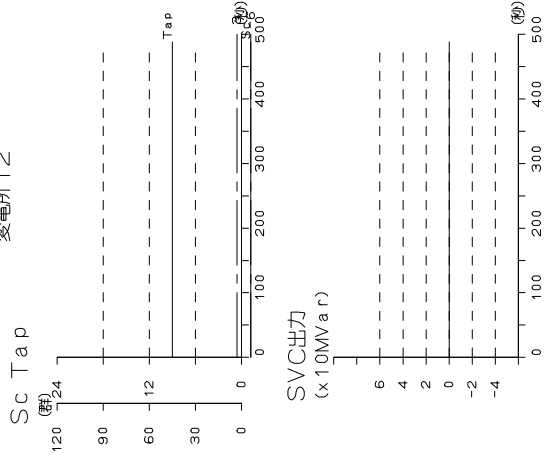
変電所10



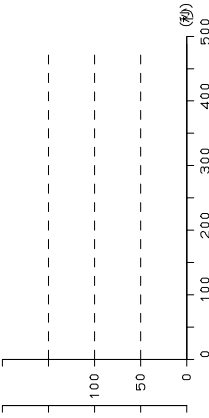
変電所11



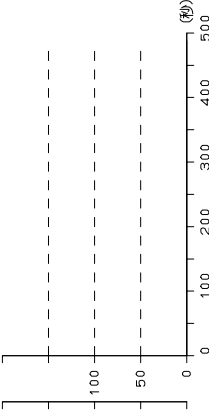
変電所12



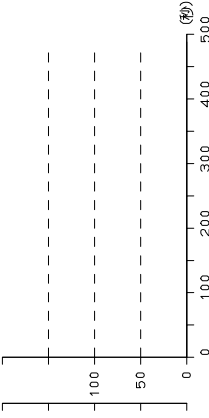
ケーブル用ShR投入量



ケーブル用ShR投入量

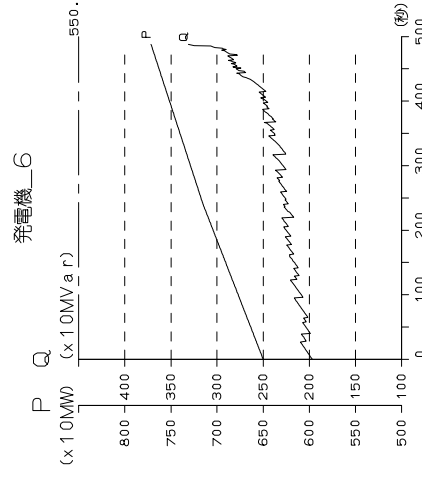
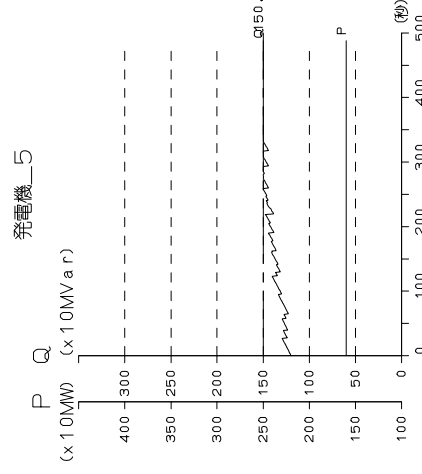
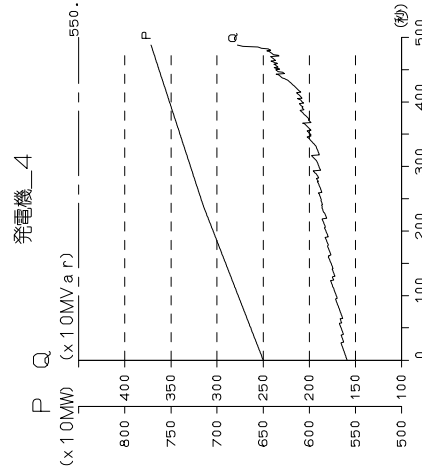
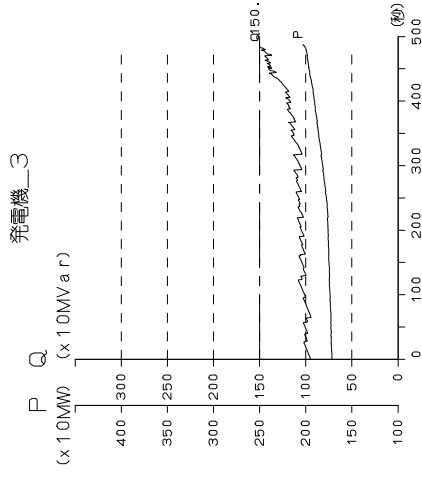
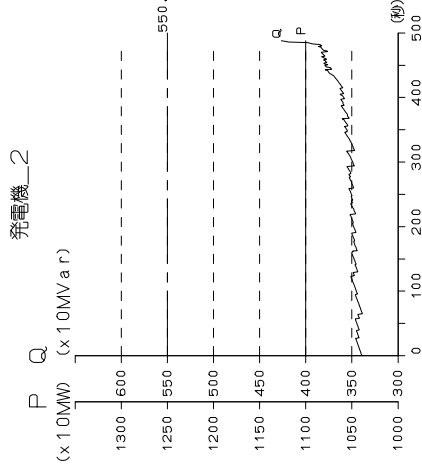
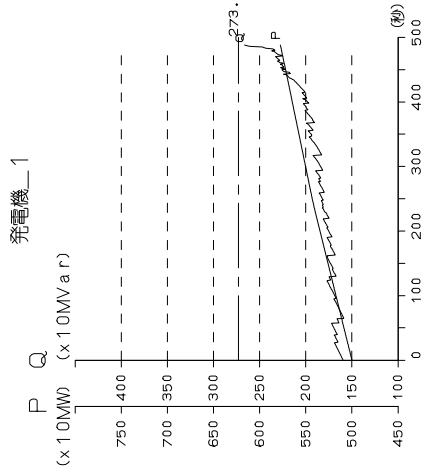


ケーブル用ShR投入量



発電機の運転状況

開始時刻 0: 0
VQCDATP



発電機の運転状況

開始時刻 0: 0
VQCDATP

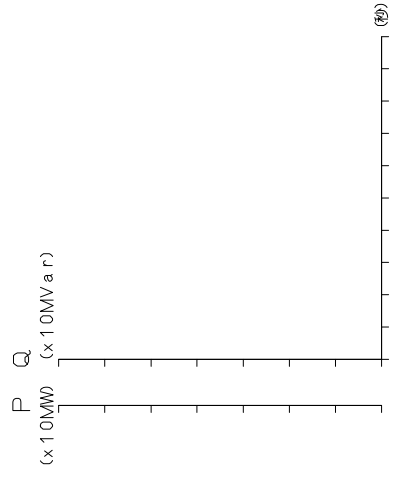
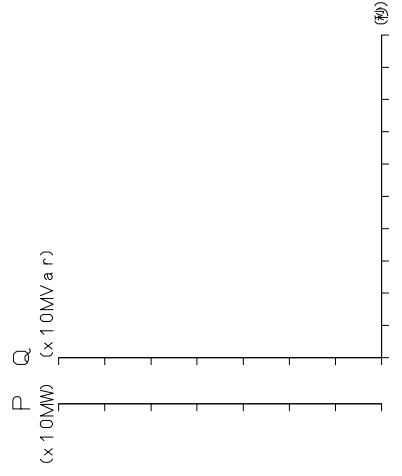
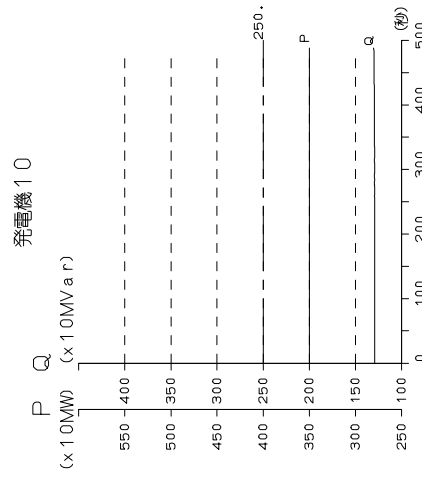
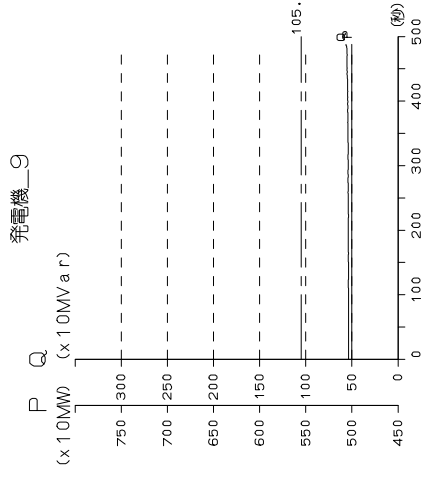
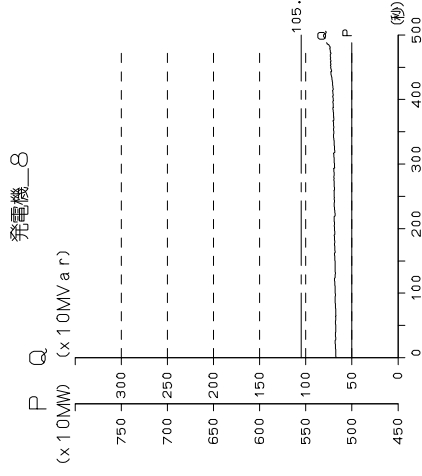
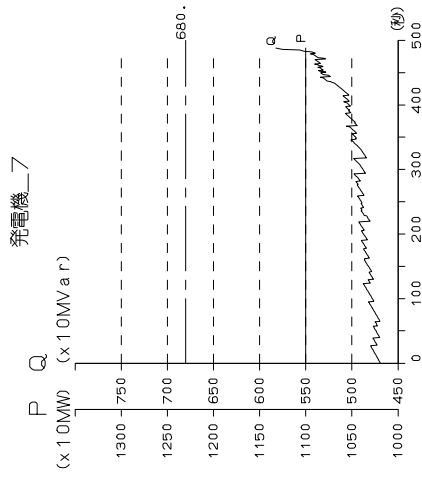


図3.57 電気学会EAST10機-O/V系統モデル(全系 シミュレーション最終潮流図)

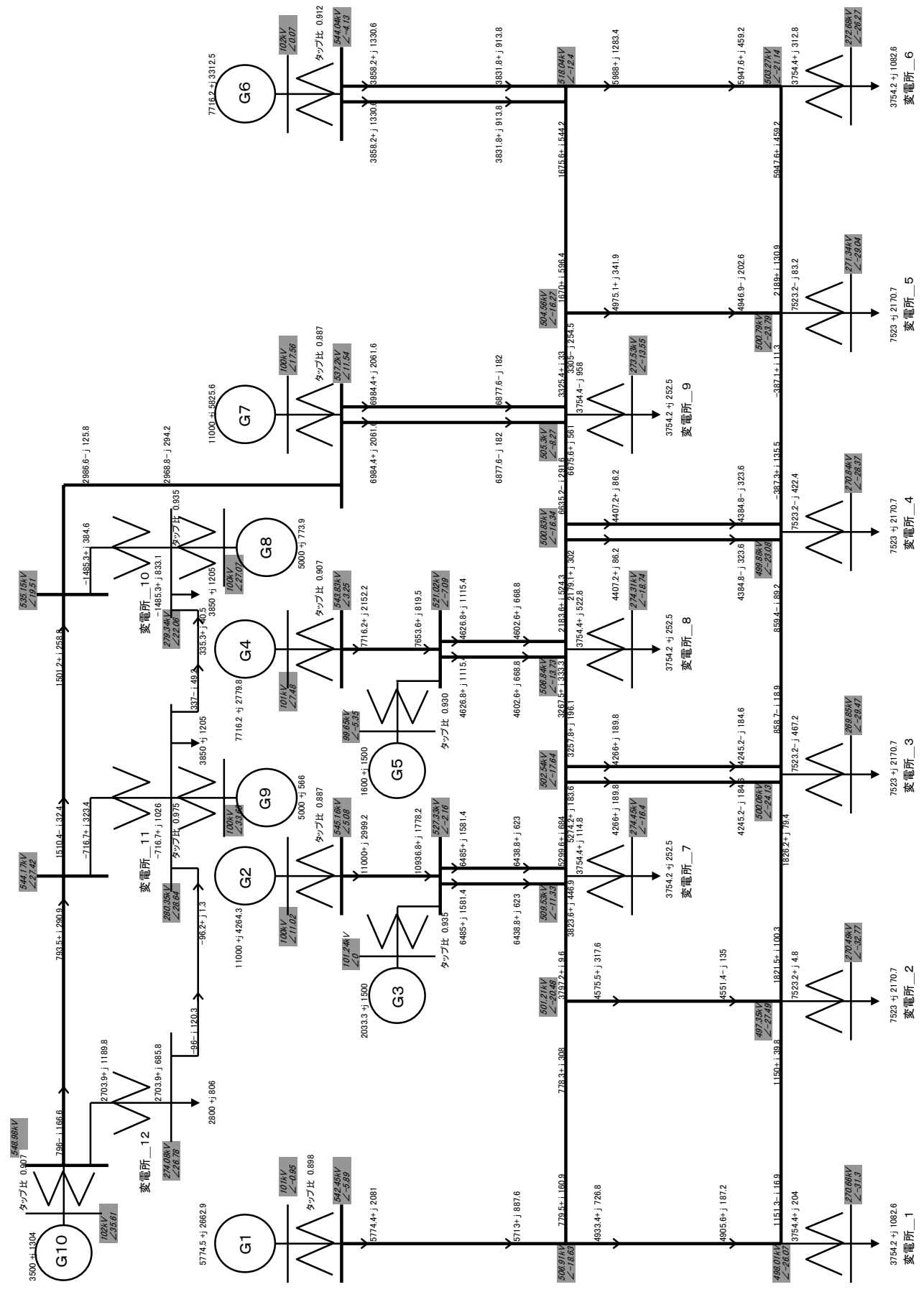


図3.58 電気学会EAST10機-O/V系統モデル(里側変電所 シミュレーション最終潮流図)

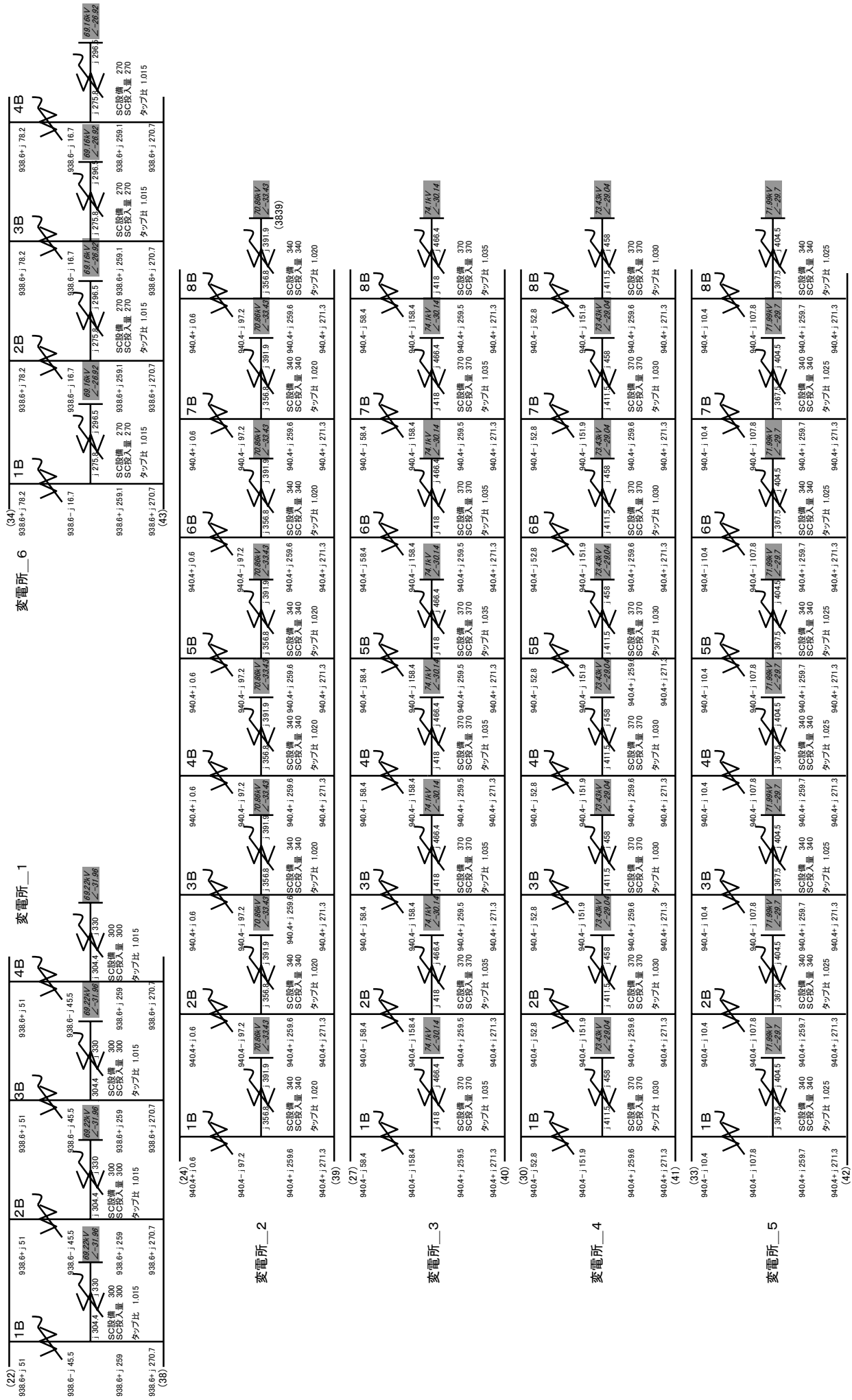
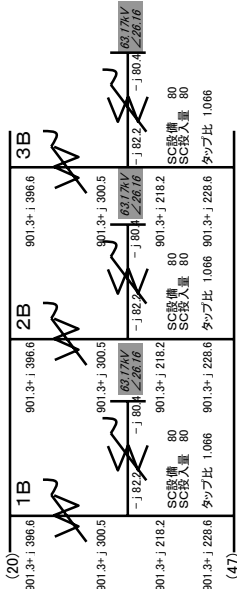
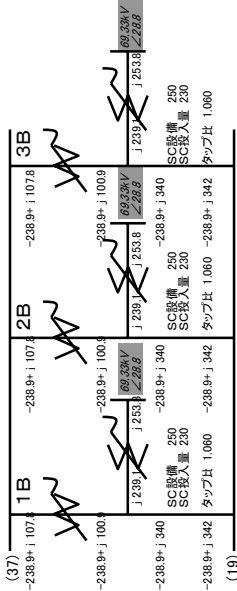


図3.59 電気学会EAST10機-O/V系統モデル(山側変電所 シミュレーション最終潮流図)

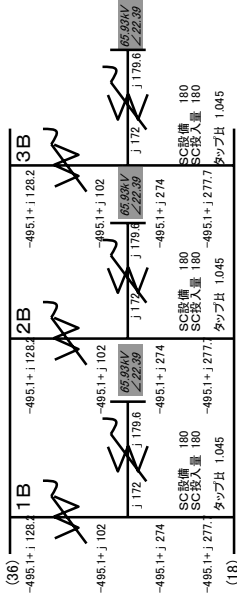
変電所_12



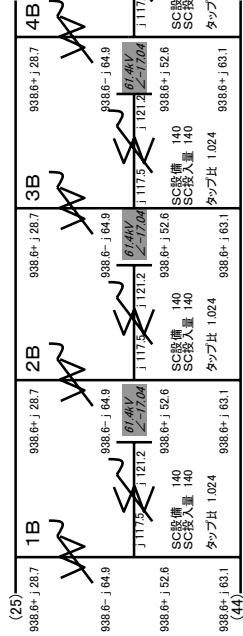
変電所_11



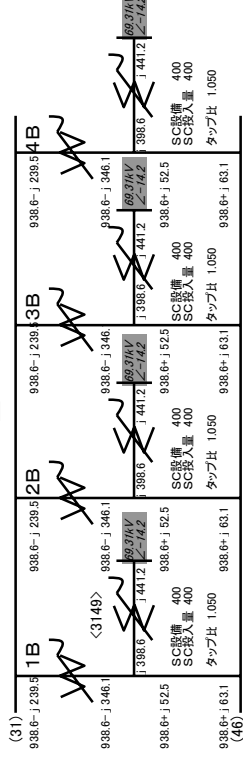
変電所_10



変電所_7



変電所_9



変電所_8

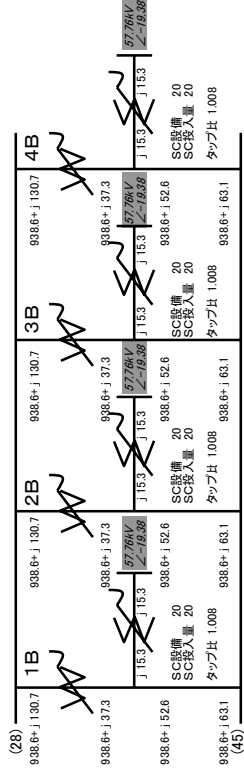


表3.41 調相設備稼働状況

○最終断面調相設備稼働状況

3次側 ノード 番号	○最終断面調相設備稼働状況																																																													
	変電所1	変電所2	変電所3	変電所4	変電所5	変電所6	変電所7	変電所8	変電所9	変電所10																																																				
定格電圧 kV	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11																																																				
定格容量 MVA	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
設備台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
定格電圧 kV	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
定格容量 MVA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																																																				
設備台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
定格電圧 kV	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
定格容量 MVA	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20																																																				
設備台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
1B 3138	2B 3238	3B 3338	4B 3438	1B 3139	2B 3239	3B 3339	4B 3439	5B 3539	6B 3639	7B 3739	8B 3839	1B 3140	2B 3240	3B 3340	4B 3440	5B 3540	6B 3640	7B 3740	8B 3840	1B 3141	2B 3241	3B 3341	4B 3441	5B 3541	6B 3641	7B 3741	8B 3841	1B 3142	2B 3242	3B 3342	4B 3442	5B 3542	6B 3642	7B 3742	8B 3842	1B 3143	2B 3243	3B 3343	4B 3443	1B 3144	2B 3244	3B 3344	4B 3444	1B 3145	2B 3245	3B 3345	4B 3445	1B 3146	2B 3246	3B 3346	4B 3446	1B 3118	2B 3218	3B 3318	4B 3418	1B 3119	2B 3219	3B 3319	4B 3419	1B 3147	2B 3247	3B 3347

○初期断面調相設備稼働状況

3次側 ノード 番号	○初期断面調相設備稼働状況																																																													
	変電所1	変電所2	変電所3	変電所4	変電所5	変電所6	変電所7	変電所8	変電所9	変電所10																																																				
定格電圧 kV	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11																																																				
定格容量 MVA	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
設備台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
定格電圧 kV	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
定格容量 MVA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																																																				
設備台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
定格電圧 kV	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66																																																				
定格容量 MVA	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20																																																				
設備台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																				
投入台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																				
1B 3138	2B 3238	3B 3338	4B 3438	1B 3139	2B 3239	3B 3339	4B 3439	5B 3539	6B 3639	7B 3739	8B 3839	1B 3140	2B 3240	3B 3340	4B 3440	5B 3540	6B 3640	7B 3740	8B 3840	1B 3141	2B 3241	3B 3341	4B 3441	5B 3541	6B 3641	7B 3741	8B 3841	1B 3142	2B 3242	3B 3342	4B 3442	5B 3542	6B 3642	7B 3742	8B 3842	1B 3143	2B 3243	3B 3343	4B 3443	1B 3144	2B 3244	3B 3344	4B 3444	1B 3145	2B 3245	3B 3345	4B 3445	1B 3146	2B 3246	3B 3346	4B 3446	1B 3118	2B 3218	3B 3318	4B 3418	1B 3119	2B 3219	3B 3319	4B 3419	1B 3147	2B 3247	3B 3347