「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読みとれる。

(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)

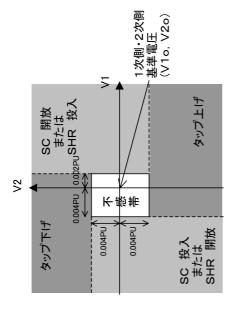
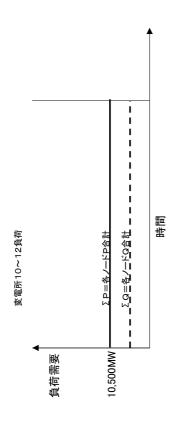


図3.52 V1-V2制御平面

表3.39 VQC設定

		舻		9	0.004	0.004	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	2,004
	下側	子 感带	nd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	•	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	上側	人 聚带	nd	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
2次側(V2)	積分時間		何·Vud	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	電圧	20)	nd	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
***	幸権!	(\20)	kΛ	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	280.5	275.0
	下側	子 廢弗	nd	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	上側	人 聚那	nd	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
1次側(V1)	積分時間		秘·∧nd	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
-	電圧	ô	nd	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	基準電圧	(\\	k\	525	525	525	525	525	525	525	525	525	540	545	220
	動作モード			V1-V2積分制御											
	変電所			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	変電所11	変電所12

139



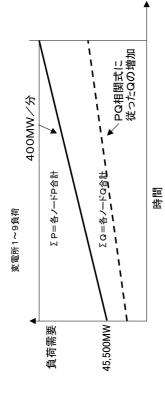
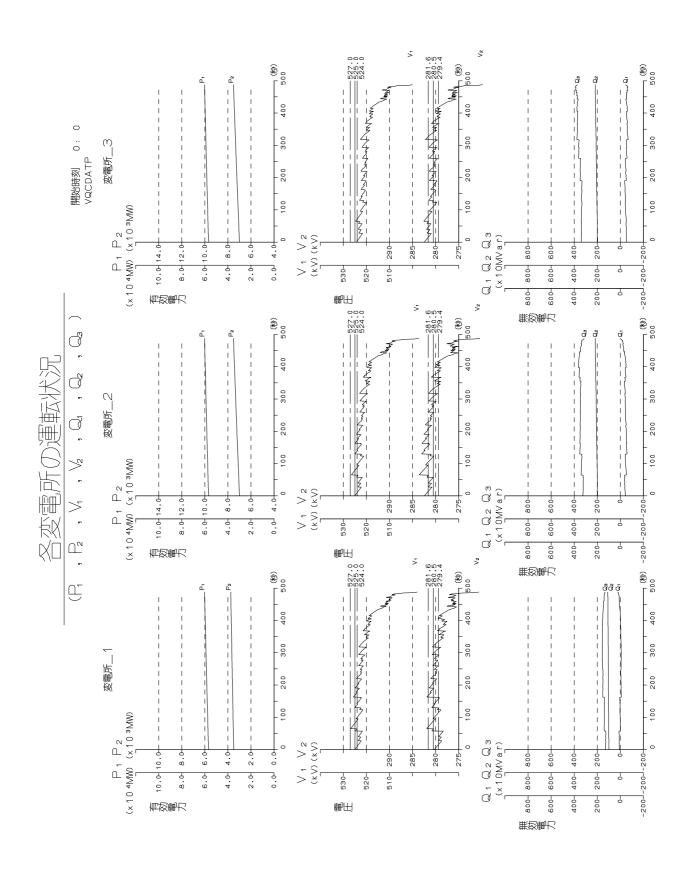
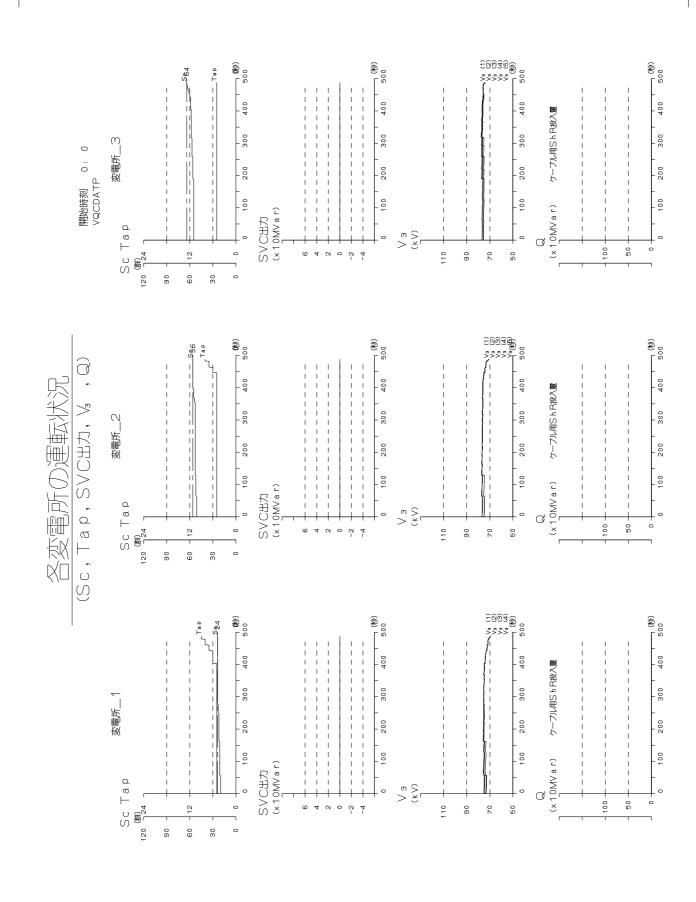


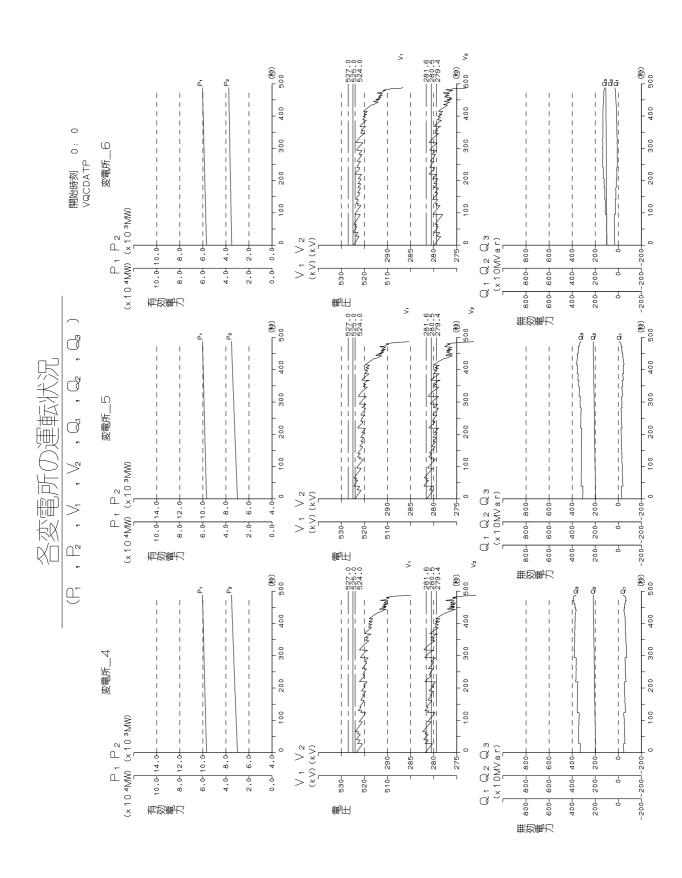
図3.53 負荷需要増加パターン

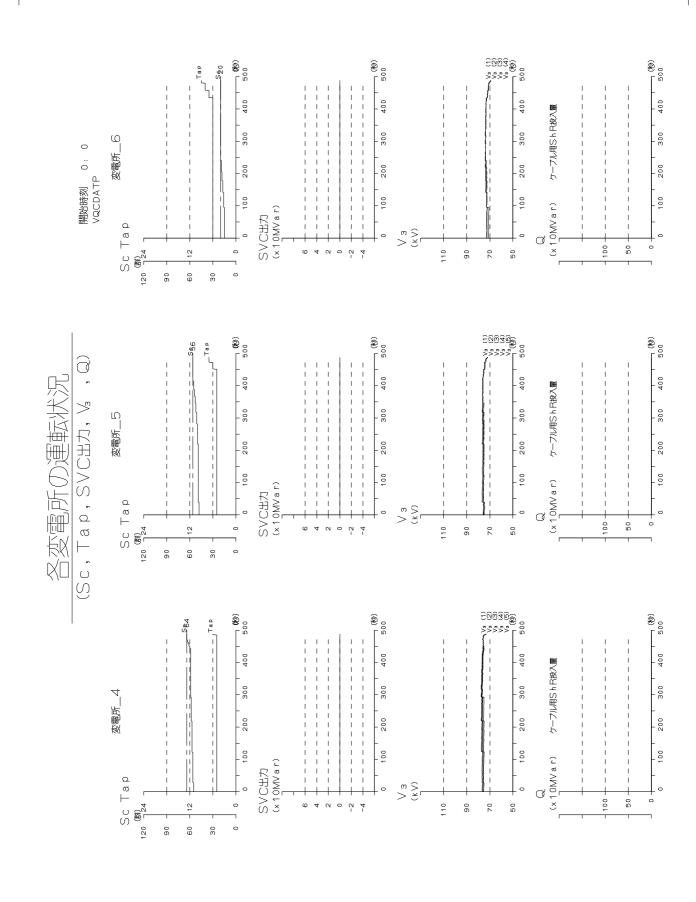
140

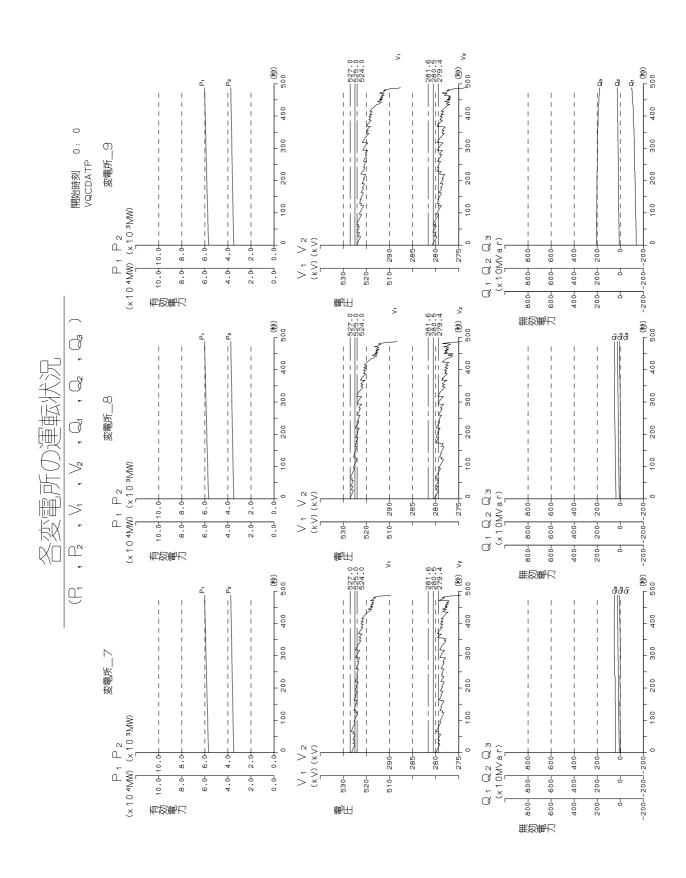
●監 定格出力 揚水発電機 G5 Т2 Ε G5 発電機出力 初期出力 ● 監盤 火力発電機 G1, 4, 6 Ε 初期出力 発電機出力 火力発電機 G8,9,10原子力発電機 G2,7 定格出力 時間 図3.54 発電機運転パターン 発電機出力

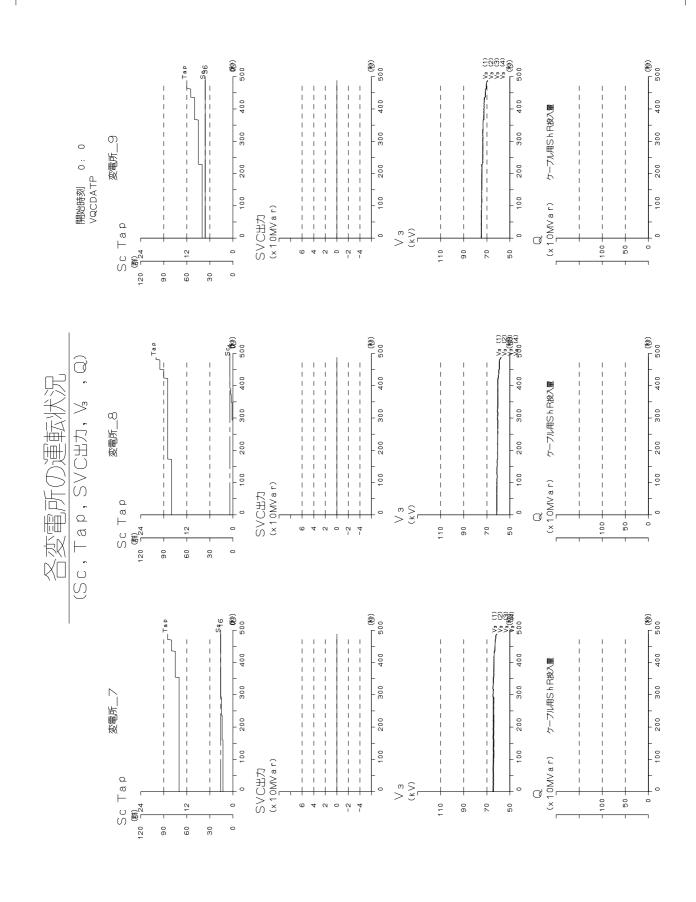


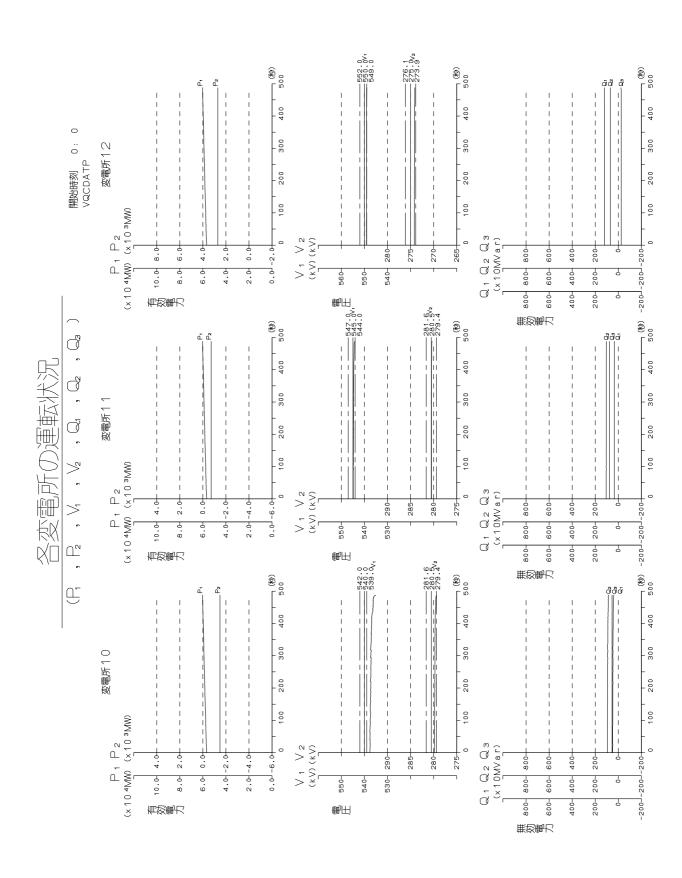


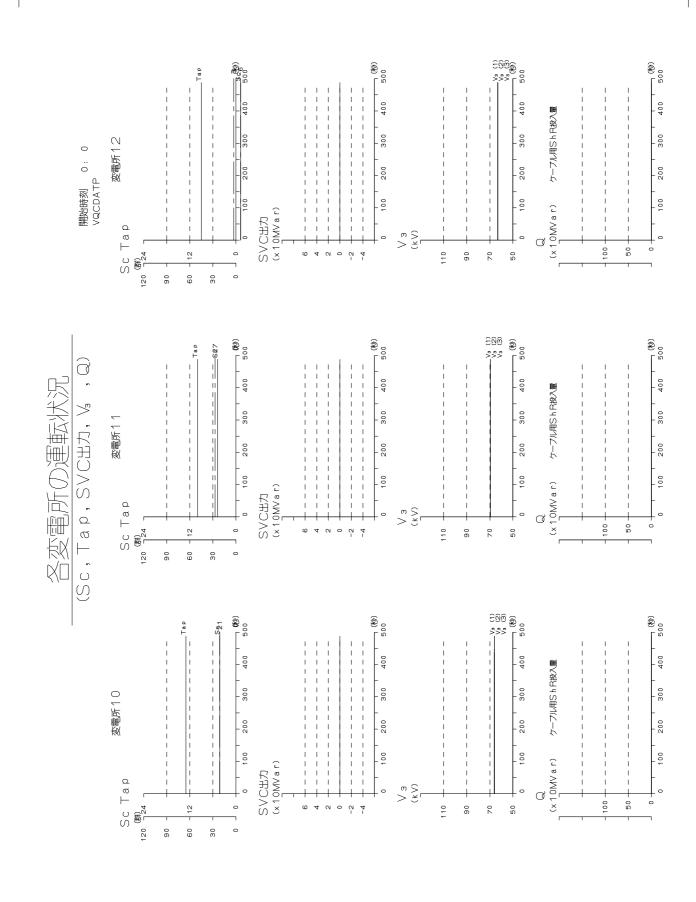


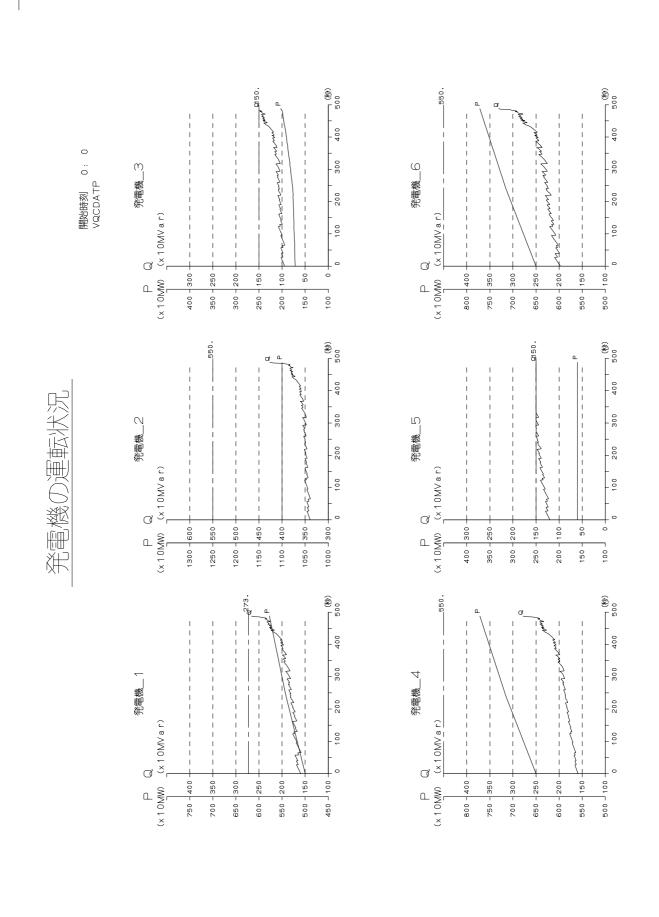












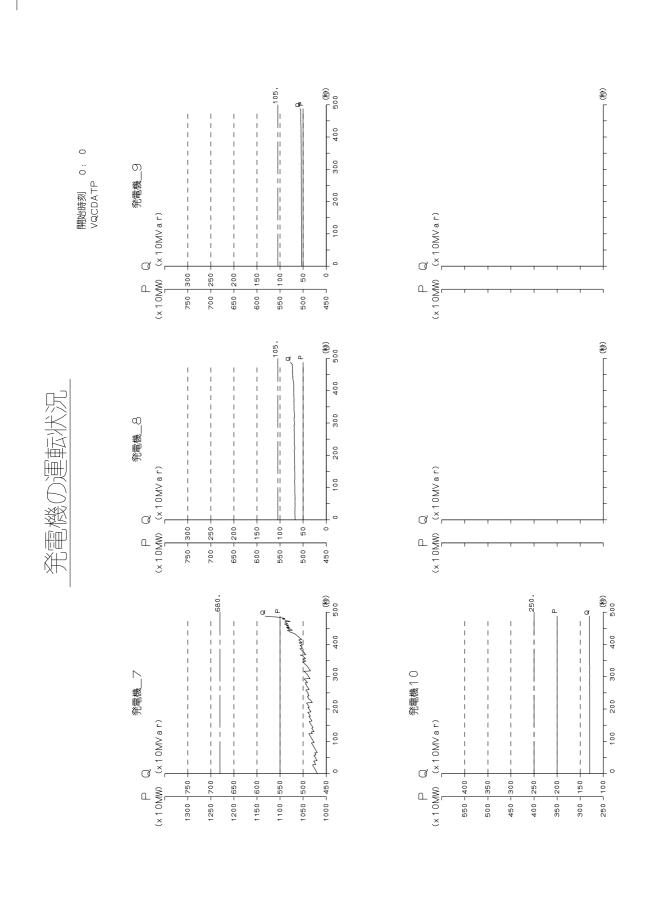
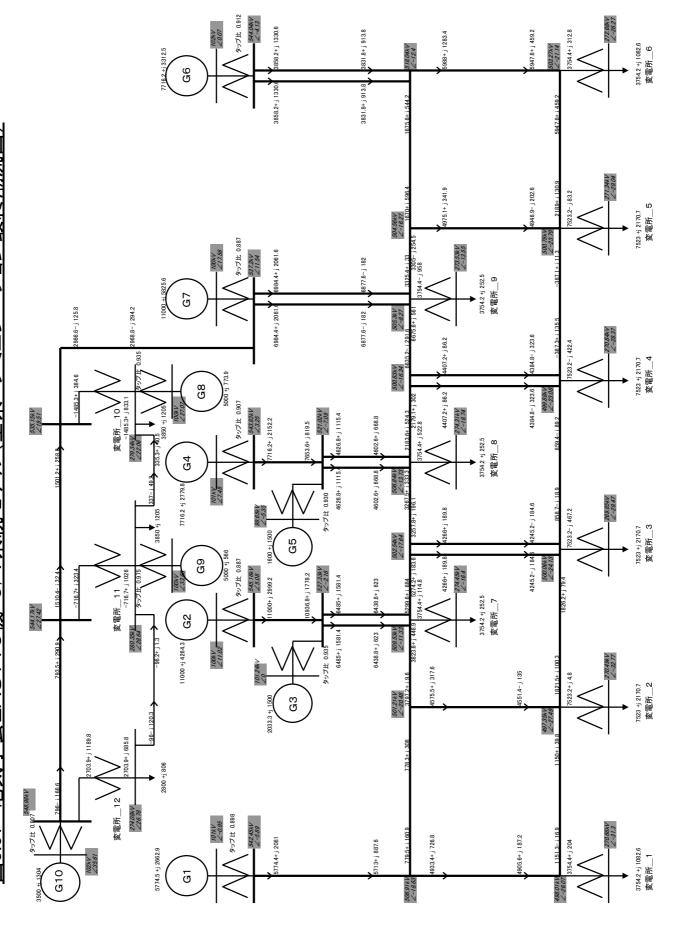


図3.57 電気学会EAST10機-O/V系統モデル(全系 シミュレーション最終潮流図)

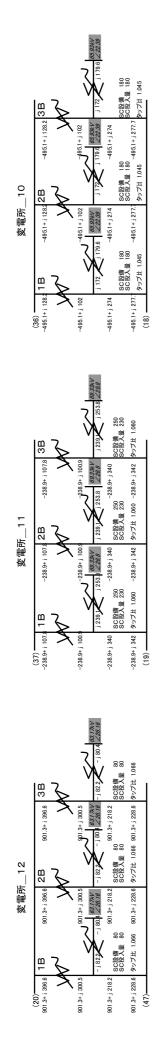


151

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) 义3.58

938 6+ j 78.2 4B 938 6+ j 78.2 4B 938 6+ j 259.1 526.2 526.2 526.2 526.2 526.3 526.4 572.4 1.015				
3B 1258 200 200 	3868 1368	8B 1416 8CQQ = 370 8CQQ = 370 9v7H 1005	8 B B S B B S B B B B B B B B B B B B B	8 B 13875 4045 7584 8 340 8050 8 340 9577 H 1028
9386+j782 ZB 9386+j782 9386-j16.7 9386-j16.7 9386+j270.7 9386+j270.7 9386+j270.7	7B 9404+j08 9404-j022 1356大13919 2-3243 5-55大量 340 9404+j298 6 5-55大量 340 9404+j298 6 5-55大量 340 9404+j298 6	7B 940.4-j 58.4 1418 30.940.4-j 289.5 SC設人量 370.940.4+j 289.5 SC設人量 370.940.4+j 289.5 SC対人量 370.940.4+j 271.3	7B 9404-j 528 3404-j 528 3404-j 528 3404-j 528 3404-j 151.9 3404-j 259.6 3404+j 271.3 3404+j	7B 940.4-110.4 1367.大104.5 7.89% 7.80% 7.8
6 9386+j782 1B 9386-j167 1275 <u>9</u> 9386+j259.1 5C段所書 270 9386+j2707 43) (43)	6B 940.4-j 97.2 2 340.4-j 97.2 3 356.8	6 B 940.4-j 58.4 8.4 J 118.5 J 168.4 J 189.4 1.118 J 168.4 J 189.6 8.5 SCENA. 370 940.4-j 289.5 9.9.7 H 1035 940.4+j 271.3	6 940.4-j 92.8 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4 940.4	6 840.4 10.4 10.8 10
	+106 5B 9404+106 -1972 3404-1972 -1972 3404-1972 -1972 5568 5568 13919 25958 5584 1020 9404+12513	F-J 58.4 5B 940.4-J 58.4	4B 940.4-j 52.8 5B 940.4-j 52.8 5B 940.4-j 52.8 540.4-j 52.8 540.4-j 151.9 540.4-j 151.3 540.4-j 161.3 540.4-j 151.3 540.4-j 1	-1 10.4 5B 9404-110.4 110.78 1307.5 1404.5 1259.7
	4B 940.4 1356.8 31919 5000 500 500 500 500 500 500 500 500 50	584 4B 940. 1984 1985 198		300.6 1-367.5 5C設備 340.6 5C設計 340.940.6 5セプ井 1.025 940.6
	4-j 06 3B 4-j 97.2 (1988年) 13668 13 04-j 29-9 GC設備 340 9-y7世 1020	3B 3B 1418 1418 1418 1418 1418 1418 1418 141	3B 14115 14115 1486 8C版為 8C版為 8C版 7ップ社 1.030	3 B 13 3 B 2 3 B 2 3 B 2 3 B 2 3 B 2 3 B 2 B 2
938 6+ j 51 4B 938 6- j 455 330 2-31 86 304 4 330 1 300 938 6+ j 259 SC設所 300 1015 838 6+ j 270 7比 1015	2B 9 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	940.4-j.58.4 2B 940.4-j.58.4 940.4-j.58.4 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34	2B 1411条 1411条 1450 8C機 3C機 370 9ップ比 1,030	2B 1367,5 14,025 2B 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C 5C
2B 898.6+151 3B 5 304.4 7330 28.6-1455 508.6	9404-106 9404-12596 9404-12596 5CBM 9404-12596 5CBM 9404-12596 5CBM 9404-12596 5CBM 340 9404-12596 (39)	940.4-j 58.4 1B 9 940.4-j 158.4 1A18 71.086.4 940.4+j 259.5 SCER 70 9 940.4+j 271.3 \$5.77 \text{if 103.5} 940.4+j 271.3 \$5.77 \text{if 103.5}	9404-j528 1B 9404-j528 9404-j1519 14115 1459 2526 9404+j2596 SCEW 370 9404+j259.6 SCEW 370 9404+j2713 (41)	(33) 940.4-j10.78 940.4-j259.7 940.4-j259.7 940.4-j259.7 940.4-j271.3 940.4-j271.3 940.4-j271.3 940.4-j271.3
938.6-j51 938.6-j45.5 938.6-j45.5 10 330 10 330 大量 300 938.6+j270.7 10 938.6+j270.7	8	終 (A) (B) (B) (B) (B) (B) (B) (B) (B) (B) (B	98 文画所4 98	w 一百二5 8 8 8
(22) 938.6+j51 1B 938.6-j45.5 1 304.4 938.6+j259 50袋 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6% 6				

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)





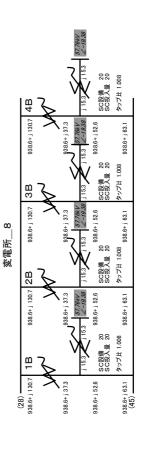


表3.40 変 圧 器 タップ の 状 態

発電機 1次側 2次側ケール 5次側 7条単圧 5分割
正格電/比
20 19.5
18 18
20 19.5
19 18.525
20 19.5
1次側 1次側 クタップ電圧 公称電圧
(kV) (kV)
517.5 500
0 10
7.5
.5
2
517.5 5
2
517.5 500
ıc
517 5
2.5
517.5 50
000
000 0710
000 6.116
517.5 50
517.5
517.5
517.5
517.5
517.5
517.5
517.5 500
517 5 500
2 14
010
212
CT
519.75
519.75 500
75
519.75 500
S 14
0.14.0
7 2
0.1.0
5
10
35.5
000 000
522,375
20002
522.375
522.375
530.25
530.25
20 062
02.000
532.875
532.875

	2次側 公称電圧 (kV)
	(AA) タップ。電圧 関次2
	1次側 定格電圧 (kV)
	発電機 定格電圧 (kV)
	バンカ
○ 坂 腔 附 国クツノ 小 仇	電気所

昇圧用変圧器タップ比の計算式

(1次側定格電圧)/(発電機定格電圧) (2次側タップ電圧) / (2次側公称電圧) タップ比=

送電用変圧器タップ比の計算式

タップ比

1次側 1次側 2次側 2次側 4.7、電圧 2、4.8 2、4.8 2、4.8 2、6.8 2、6.8 2、6.8 3 、6.8 3

バンク

(2次側定格電圧)/(2次側公称電圧) (1次側タップ電圧)/(1次側公称電圧) タップ比=

表3.41 調相設備稼働状況

設 金 数 七 数 七 数

定格 電圧 容量 kV MVA

定電 內		\perp	Щ				Щ			\perp							1		Ш							Ц		\perp	L		Ц			Ļ	Ш		Ļ	Ш						Ш		1		Ш	Ц	\perp
投入台数	2	2 2	2	7 0	2 6	2	2	2	710	2 6	2 2	2	2	2	2 6	2 6	2	2	2	2	2	2 2	2 6	2 2	2	2	2	2 0	7 6	2 2	1	1	-	1							2 0	2 6	2 2	4	4	4	2 2	2		
設 台 数	2 0	7 27	2	77 0	2 6.	2	2	2	21 0	2 6	2 (2)	2	2	2	2 0	7 6	2 2	2	2	2	2	.71 0	7 6	2 2	2	2	2	27 0	7 6	2 2	1		-	1						0	71 0	7 6	2 2	4	4	4	0 00	3		
容 容 MVA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	P.		Ì				9	40	40	40	20	20	200	20 20	20		
所 KV	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	3						00	99	99	99	99	99	99	99	99		
投令人教	2 0	7 (2)	2	.71 C	2 6	2	2	21 0	27 0	21 0	1 (2)	2	2	2 2	77 0	2 0	2 2	2	2	2	2	.71 C	7 6	2 2	2	2	2	C1 C	7 0	1 01	2	2	21 0	2 2	2	010	7				. ZI C	2 6	2 2	2	010	77 10	വ	5	2	7 7
也数 数	2 0	7 2	2	7 0	2 6.	2	2	2	21 0	2 6	2 (2)	2	2	2	7 0	7 6	2 2	2	2	2	2	77 0	7 6	2 2	2	2	2	27 0	7 6	2 2	2	2	7 0	1 2	2	2	7				71 0	7 6	2 2	2	2	7 1	2 0	5	2	7 6
定格 容量 MVA	09	09	09	09	909	09	09	09	09	90	09	09	09	09	90	90	09	09	09	9	09	09	09	09	09	09	09	9	90	09	09	09	90	30 8	30	30	20			0	09	90	09	30	30	30	30	30	-40	-40
定格 電圧 KV	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	90	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	aa			0	99	99	99	99	99	99	99	99	63	63
松 夕 秋			1	- ·	1	1	1		Ţ	- T	1	1			-	1 -	1	1	1	1		- ·	٦.	1	-	1		Ī	7 -	1	1		٠,	2	2	2	7	1	1	1	- T	1		1		1	1	1	0) C
設備台数	1	1	Ī	T	I	I	I	1	Ĭ	T	1	1	1	1	I	1	Ī	1	1	1	1	Ţ	1 1	1	I	1	1	1	1	1	1	1	ĭ	2	2	2	7	Î	1	1	I	I I	1	1	1	1	I	1	Ī	T
所 本量 MVA		8 8		8 8				08			8			08		8 8			80	80			8 8						88				200			40	20		20				8		40	40			20	02.0
原在 META	99	99				99					99		99			99			99	99		99	99			99			99		99			99	99	99	99	99		99		99				99				99
ノード番号	3138	3338	3438	3139	3339	3439	3539	3639	3739	3140	3240	3340	3440	3540	3640	3840	3141	3241	3341	3441	3541	3641	3841	3142	3242	3342	3442	3542	3749	3842	3143	3243	3343	3144	3244	3344	3145	3245	3345	3445	3146	3346	3446	3118	3218	3318	3219	3319	3147	3347
	_	3B	4B	2 IB	3B	4B	5B	6B	/B	3 8B	2B	3B	4B	5B	9B	SB CB	1 1B	2B	3B	4B	5B	6B	- B			3B	4B	5B	OB 7B	8B		2B	3B	4D	2B	3B	3 4D		3B	Ť	T	2B	48	10	2B	3B	11 1B 2B	3B	12 1B	2B
	変電所]			炎電所2						7個冊7	Z = 1						5雷所	į						変電所5	i						変電所6			多雷所			5年198			1	ぐ電別的			変電所]		に帰った。	× 		变電所]	
	IX.W			C10	-					180	- 10						K	v						IKO		<u> </u>				-	18550			180	*		180				200	-		150.50		Į.	2.0		IK/W	
ı		-10		210	alo:	101	0.1	01/0	SII C	NI~	100	- C	01/	01/0	210	al o	1100	l co	I ~	01	O.I.	SII O	vil o	1101	Iloz	0.1	01/2	21/2	NI O	101	_				1 1			1 1		- 1-		#1 -	-1	1 1						
i 投入 一 台数		111	1	710	1 6	2 2	2	2 2	71 0	716		3	2	0	200	2 60		3	3	3	200	200	2 60	2 2 2	2	2	210	210	7 0	1 21	1										4.4	. 7 t t	4							
. 古数 加数	0	00				0	0			00	0		0	0	00			0	0	0	0	0 0					0				0	0	0 0										0							
5		66 20		90		99			99	2 3	99	99	99	9	30		9	9	66 3	99	99	9 9	99	99		66 3			30		99		30	2								30								
を 制 kV kV	2 6	2 2	2 6	7 0	2 6	2 6	2 6	1 6	1 -	0 T	2 2	2 6	2 6	2 6	2 6	7 -	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 2	2 6	2 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 1	1 6	0	9 0	0 0								7 0	2 6	2 2	4	4	4	7 2	2		
数量 放力 数次数	2 0	7 27	2	71 0	2 6	2 2	2	21 0	77 0	21 6	1 (2)	2	2	2 0	21 0	2 0	2 2	2	2	2	2	71 0	7 6	2 2	2	2	21 0	21 0	7 0	1 01	1		٠,	-							71 0	7 6	1 21	4	4	9	2 00	3		
設合	40	40	40	90	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40 40	40	40	40	40	40	40	40 40	40	40	40	40	40	0 P	40	40	40	40	2							40	40	40	50	200	07 0	202	20		_
定容 叭			99										99													. 99		99			. 99											00					99			-
入 数 電圧 kV		7 27		21 0		2 2					1 0		2				2 2			2	2			2 2		2			7 6		2		71 0	7 2	2	2 0	7					7 6			2 0	7 1	വ	5	2	2 6
併奏	2 0	1 0	2	21 0	1 0.	2 2	2	2 0	21 0	7 6	1 01	2	2	27 0	27 0	10	1 2	2	2	2	2	21 0	7 6	1 21	2	2	27	21 0	7 0	1 (2)	2	2 0	71 0	1 (2)	2	27 0	7			c	21 0	10	2 2	2	2 0	27 14	വ	2	2	7 2
格量 ₹	09	09	09	09	909	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	909	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	09	30	30	30	00	H		0	09	09	09	30	30	30	30	30	-40	-40
定格 電圧 kV MA	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	90													63
松 松 松 水 木 画 木		0		0 -	1 -	0	1		1 -	⊣ C	0	0	1		-1-	1 -	10	0	0	1	1	1	10	0	1	П		1	1	1	1		10	2	1 1	-	10	0	0	0	- I			П		-	- 1	1	0	00
也数 数 企			-	- -	-	-	1		-	-	-	1	-		- -	-	╁	1	1	-	-	-	- -	1	1	1		1	1	1 -	1	-	-	2	2	2 0	7 -	-	1	1	- -	-	-	П		1	-	1		-
定格 容量 台 MVA	08	80	80	080	80	80	80	80	080	000	80	80	80	80	000	000	80	80	80	80	80	080	000	80	80	80	80	080	080	80	80	80	000	40	40	40	20	20	20	20	080	000	80	40	40	40	40	40	20	20
定格 電圧 kV M	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
() () () () () () () () () () () () () (3138	3338	3438	3139	3339	3439	3539	3639	3739	3839	3240	3340	3440	3540	3640	3840	3141	3241	3341	3441	3541	3641	3841	3142	3242	3342	3442	3542	3042	3842	3143	3243	3343	3144	3244	3344	3145	3245	3345	3445	3146	3346	3446	3118	3218		3219	3319	3147	3247
,		3B 2B	4B	_		_		_	_																			_				2B				3B					_						2B 3		1B	38 28
	変電所1		1111	炎電所2						吹雪 配3	E// D						雷所4							変電所5	ì						電所6			雷所7			8出書			Ĥ	:電/JJLA			電所10		1100000	电//111		電所12	
	変		Ì	×						Ŕ	K						家	8						亥	(変			*	3		1	3		Ì	×			変		Ě	×		変	丄

99