

3.2.2 電気学会 1機V系統モデルを用いた基礎的解析例

(1) はじめに 本節では、学生や初学者を対象に電圧安定性解析の入門に使いやすい小規模系統モデルと

して電気学会 1機V系統モデルを提示する。この系統モデルは、電源は発電機 1 台のみとし、1 章の標準データをベースに、電圧安定性の問題が発生しやすいように作成したものである。本系統モデルの潮流図を図3.35に示す。

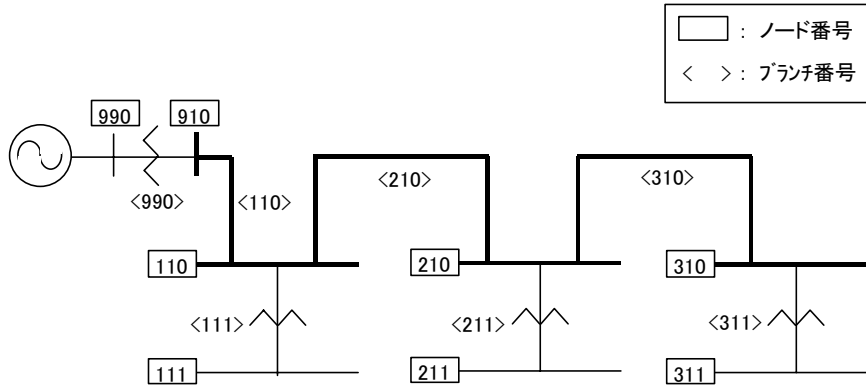


図3.34 電気学会 1機V系統モデル系統図

表3.33 電気学会 1機V系統モデルの概要

項目	数値	備考	
系 統	系統基準容量	1,000MVA	WEST10機系統モデル同様
	系統周波数	60Hz	WEST10機系統モデル同様
	発電機数	1機	
	ノード数 (母線数)	8ノード	
	ブランチ数 (送電線数) (変圧器数)	7ブランチ (3) (4)	送電線数は、2回線分を1ブランチとしてカウント
発電機	発電機定格容量及び出力値	別紙入力データ参照	WEST10機系統モデル G10 (スイングノード) データを使用
	GOVモデル	別紙入力データ参照	
負 荷	負荷合計	2,700MW +675MVar	各220kV負荷 900+j225 (力率97%)
	負荷特性 (基本特性) (有効電力) (無効電力)	定電流特性 定インピーダンス特性	WEST10機系統モデル同様
	負荷特性 (周波数特性) (有効電力) (無効電力)	0.0%/Hz 0.0%/Hz	
	調相設備 (SC) 合計	180MVA	各220kV母線 SC60MVA
変圧器	発電機昇圧用変圧器 (リアクタンス (自己容量ベース)) (タップ比)	別紙入力データ参照	WEST10機系統モデルG10-Tr同様 (タップ比のみ変更)
	500kV (リアクタンス) (タップ比) (タップ制御データ)	別紙入力データ参照	標準データテーブル 500/220Trデータ (P-S)
送電線	500kV送電線 TACSR810・4 導体 連系線: 1区間200km 電源線: 1区間100km	別紙入力データ参照	送電線はすべて2回線 500kV送電線はWEST10機 系統モデルデータより算出

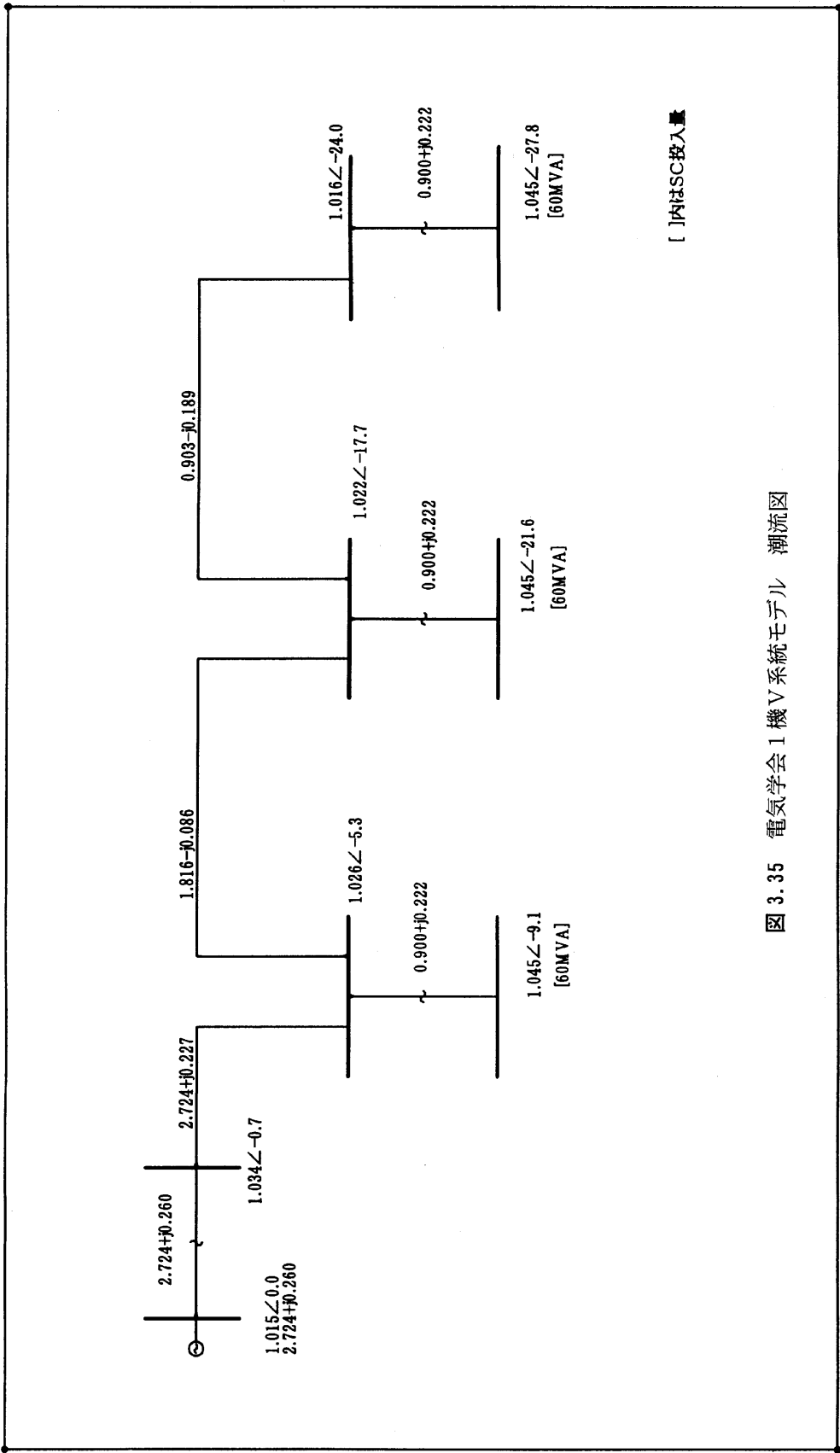


図 3.35 電気学会 1 機 V 系統モデル 潮流図

(2) 電気学会 1機V系統モデルを活用した電圧安定性解析例

(a) 負荷増加ケース

i) 基本ケース (図3.36) 図3.36は、20分後にP、Qとも2倍の需要になるよう負荷を単純増加させていった場合である。時間が経過するにしたがって、負荷が増加するため、各ノード電圧は低下しているが、Tr 2次側電圧については、Trタップが上限となるまでは、LTCにより電圧を維持している。

また、Tr 2次側各ノードのP-Vカーブから、電源から遠い(電源からのインピーダンスの大きい)ノード

311, 211は低め解領域に入っており、電源から近いノード111は低め解領域は入っていないのがわかる。

ii) 電圧安定性対策ケース (図3.37, 3.38) 図3.37は、負荷増加後2分後にノード311へSC120MVAを追加投入したケース。図3.38は負荷増加後2分後にノード990の発電機端子電圧変更(1.015pu→1.035pu)し、系統側の電圧を高めたケースである。いずれの場合も、対策を実施していない図3.36と比較して、P-Vカーブのノーズ端が右側に移行し、電圧安定性限度が向上しているのがわかる。

表3.34 負荷増加のケースの設定

ケース	シナリオ	その他の設定	備考
a-1	20分後にP、Qとも2倍の需要になるよう負荷を単純増加	—	—
a-2		負荷増加後2分後にノード311へSC120MVA追加投入	SC投入時のP-Vカーブの変化
a-3		負荷増加後2分後にノード990発電機端子電圧変更(1.015pu→1.035pu)	系統側電圧変化時のP-Vカーブの変化

(b) 送電線の1回線開放ケース

i) 送電線の1回線開放ケース (図3.39~3.41) 図3.39~3.41は、シミュレーション開始1分後に、ブランチ310を1回線開放(2cct→1cct)した場合のTr 2次側電圧の動きである。負荷特性が定インピーダンス特性の場合(図3.39)、定電流特性の場合(図3.40)、事故後の負荷が電圧特性に従い減少するため、負荷特性が定電力特性の場合(図3.41)に比較して電圧低下量は少ない。

同じであるが、時間が経過するに従い、下位系統の電圧を維持するために、負荷は定電力特性に近づき、系統側の電圧は低下する。

この下位系統の電圧維持のために下位系統のタップが動作する際、本220kV系統の電圧も低下するため、負荷特性が定電力特性のb-3(図3.41)のケースよりもさらに電圧的に厳しくなる。

(参考) 下位系統負荷タップ動作考慮ケース (図3.42)

図3.42は、下位系統負荷タップの動作を考慮してシミュレーション(3.2.1項の(3)参照)した場合の例である。事故直後は、負荷特性を同一としたb-2(図3.40)のケースと

表3.35 送電線の1回線開放ケースの設定

ケース	シナリオ	その他の設定	備考
b-1	ブランチ310を1回線開放(2cct→1cct)	・有効電力の負荷特性 =定インピーダンス特性	負荷特性の違いによる事故後の運転点の落ち着き先
b-2		・有効電力の負荷特性 =定電流特性	
b-3		・有効電力の負荷特性 =定電力特性	
b-4(参考)		・有効電力の負荷特性 =定電流特性 ・下位系統負荷タップ動作を考慮	変圧器タップによる負荷の定電力化

参考文献

- [1] 竹中, 児玉, 熊野: 「電圧安定運用のための実用的解析プログラムの開発—系統電圧静的解析プログラム」, 電中研報告, T90072(1991-6)
- [2] 田中: 「求解性を高めた長時間シミュレーション手法の開発」, 電中研報告, T97022(1998-4)

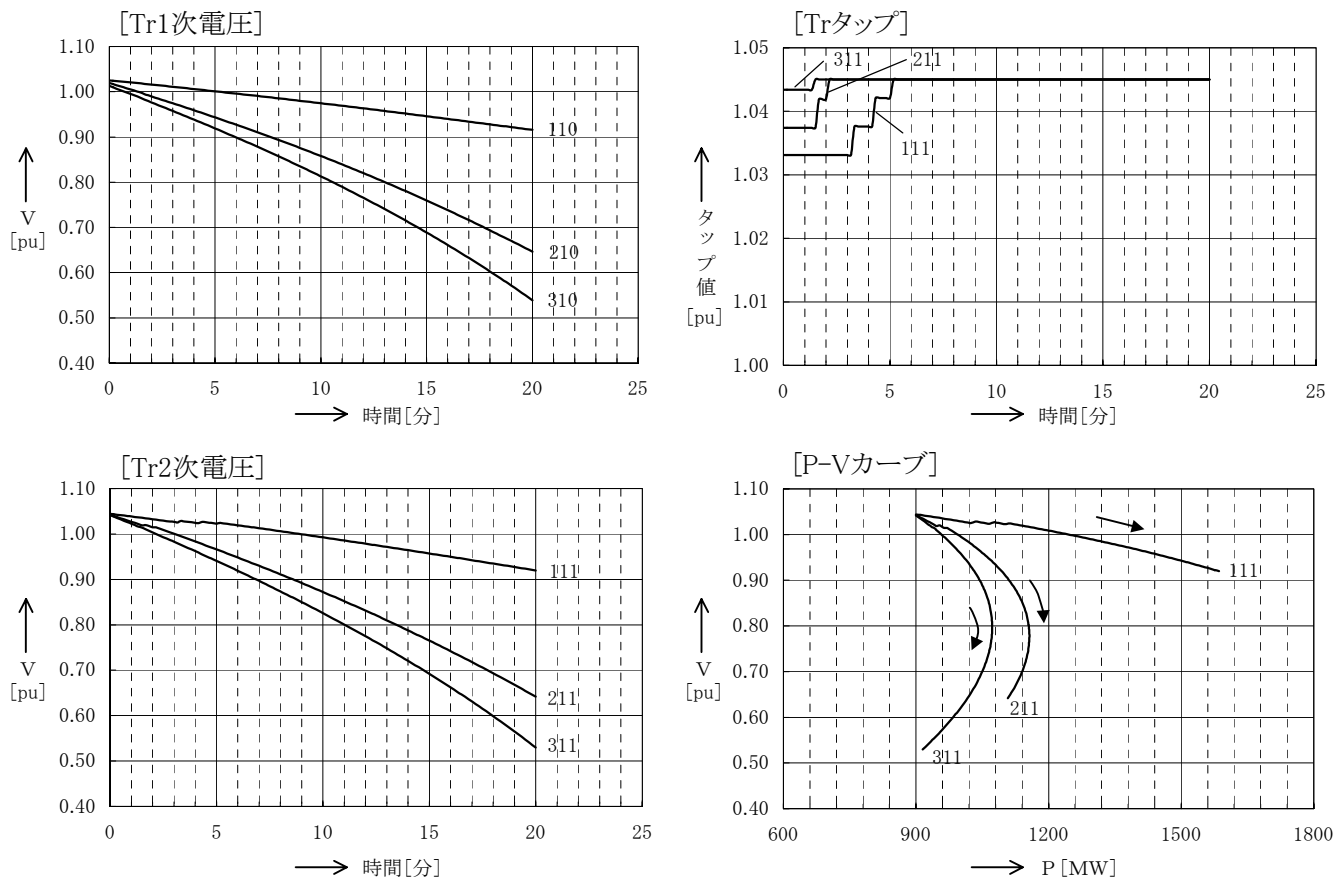


図3.36 a-1 ケース (基本ケース)

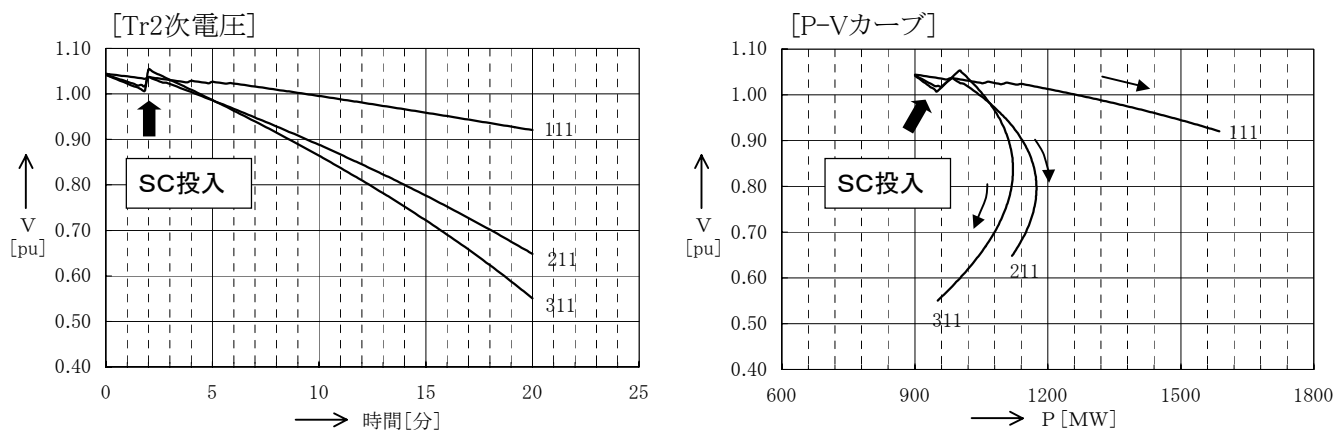


図3.37 a-2 ケース (SC追加投入ケース)

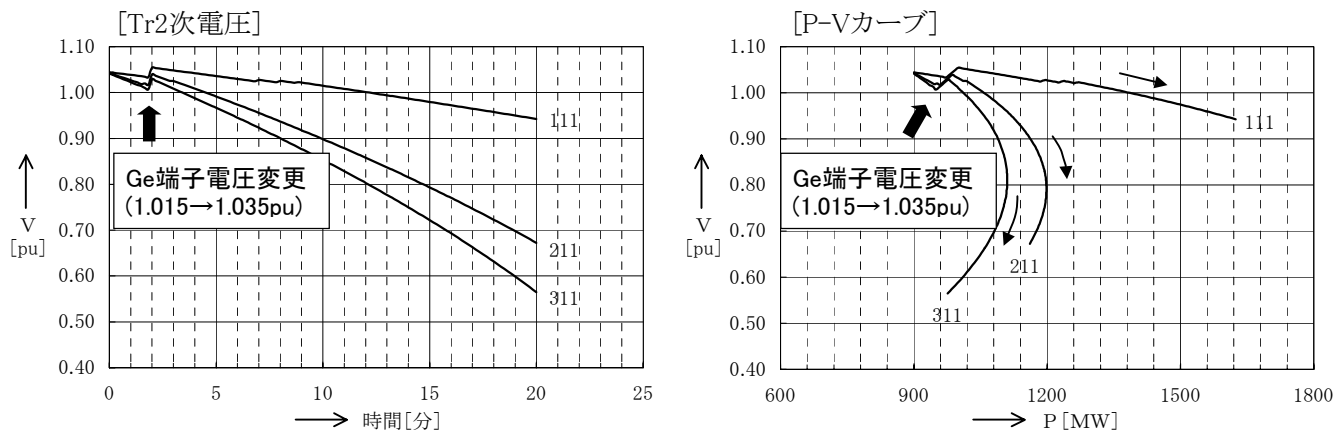


図3.38 a-3 ケース (発電機端子電圧変更ケース)

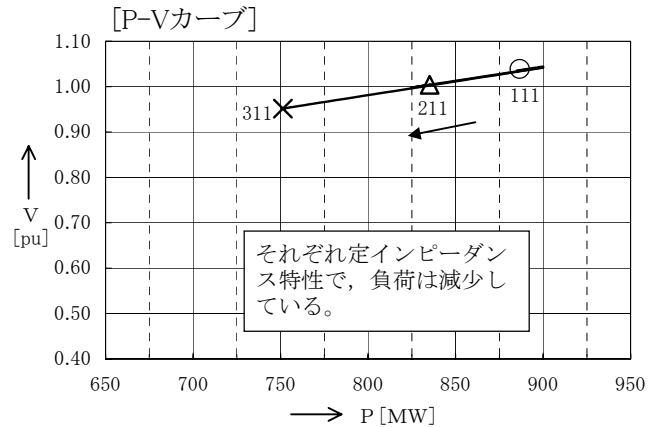
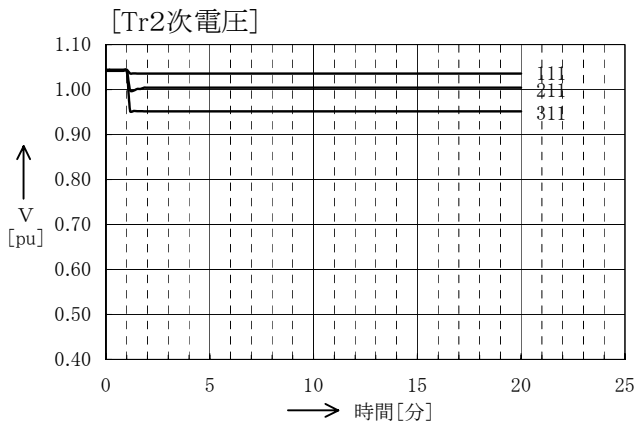


図3.39 b-1 ケース (負荷有効電力特性=定インピーダンス特性)

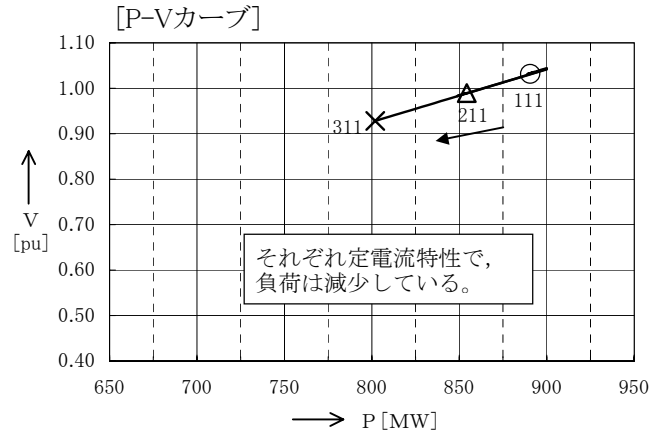
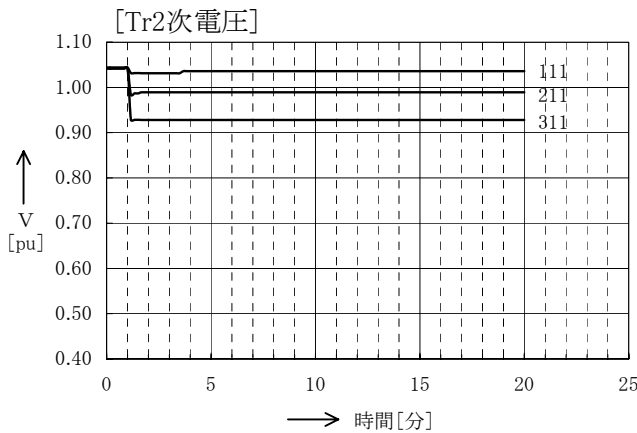


図3.40 b-2 ケース (負荷有効電力特性=定電流特性)

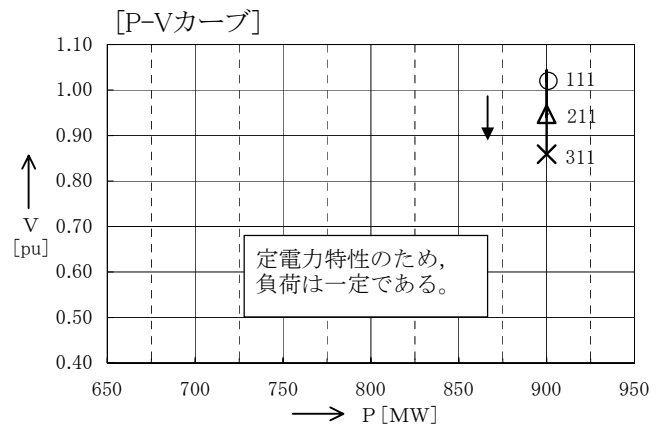
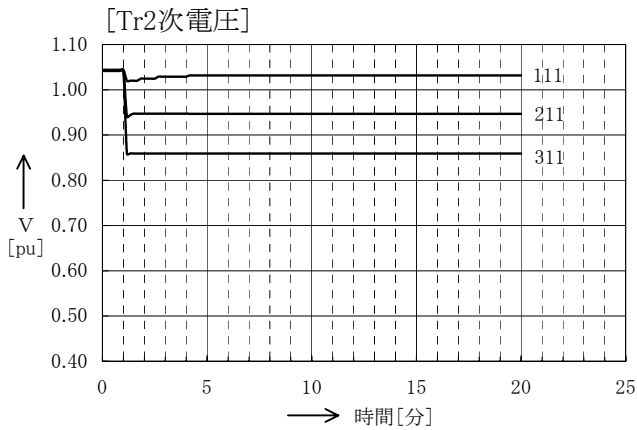


図3.41 b-3 ケース (負荷有効電力特性=定電力特性)

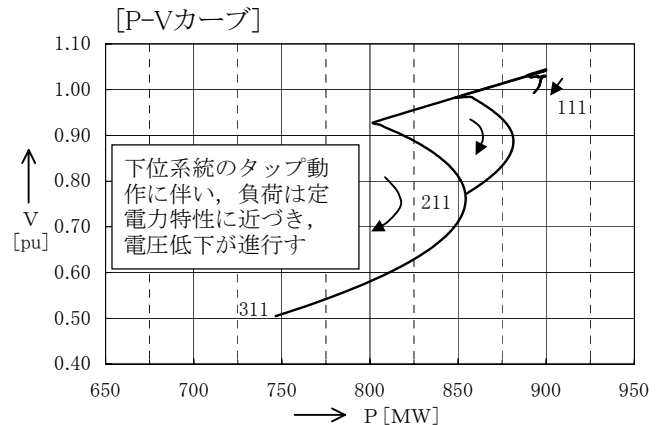
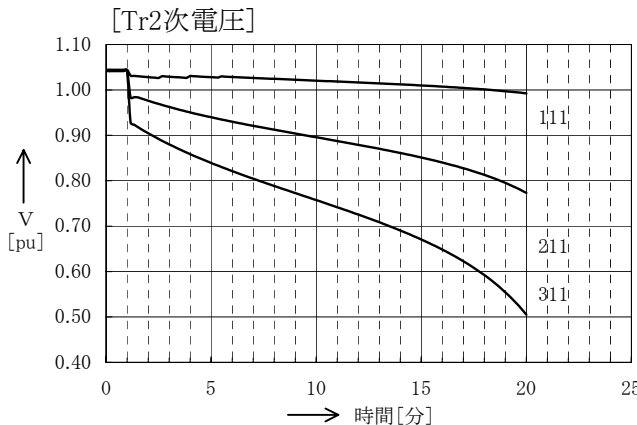


図3.42 b-4 ケース (負荷有効電力特性=定電流特性, 下位系負荷タップ動作考慮)

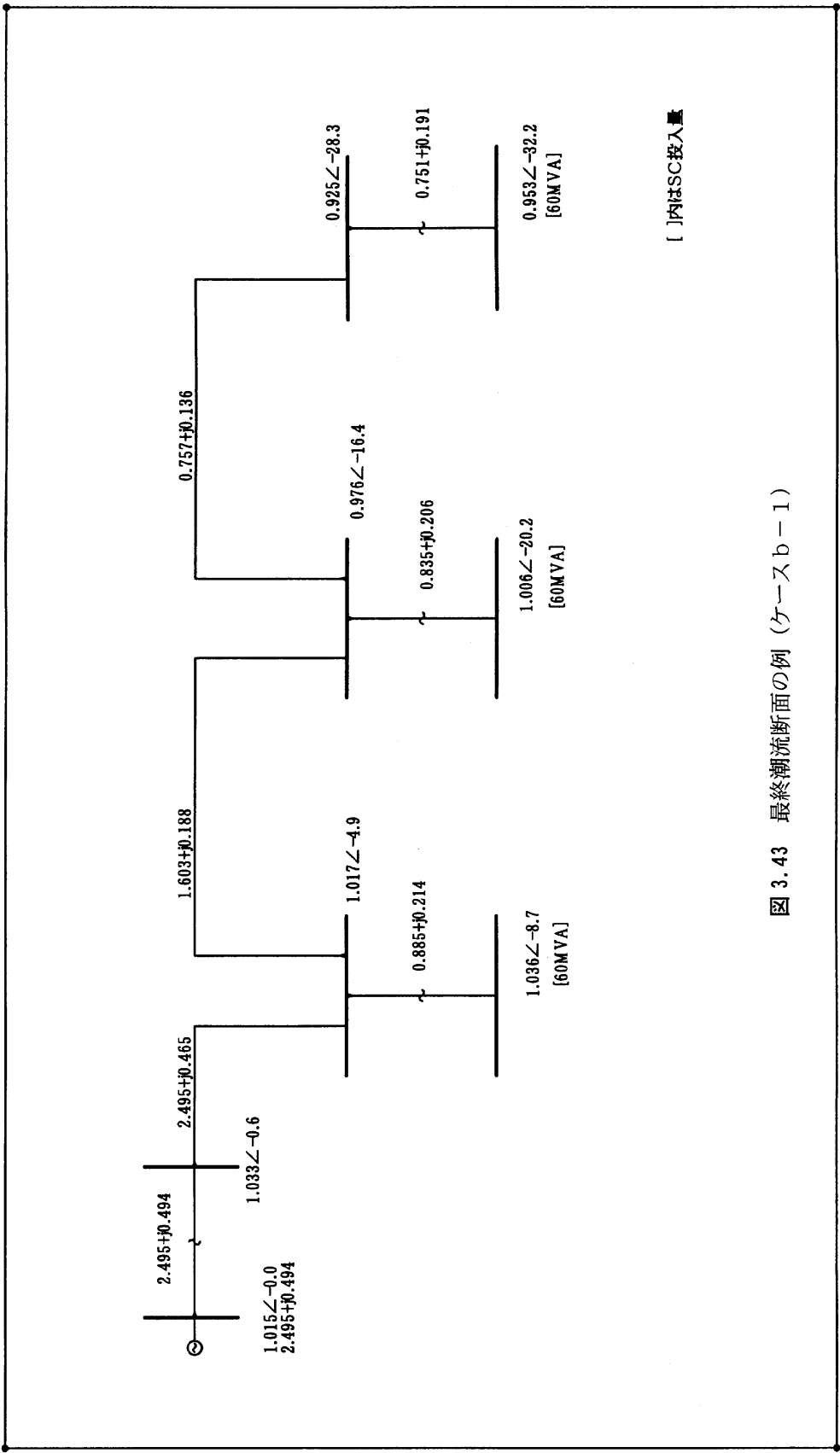


図 3.43 最終潮流断面の例 (ケース b-1)

添付資料 入力データ

```

@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
@電気学会1機V系統モデル
VOLTAGE STABILITY 1KI MODEL          60          990
T    110    910    110  2    0.00210  0.06300  0.03050  L810(4)50KM
T    210    110    210  2    0.00840  0.25200  0.12200  L810(4)200KM
T    310    210    310  2    0.00840  0.25200  0.12200  L810(4)200KM
TEND
X    990    990    910  1    0.00466  1.02000  0.00000  G10-TR
X    111    110    111  2    0.16400  1.03310  0.00000  TR500
X    211    210    211  2    0.16400  1.03740  0.00000  TR500
X    311    310    311  2    0.16400  1.04340  0.00000  TR500
XEND
SEND
N    990    1.01500  27.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000  NODEG10
N    111    0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.06000  0.00000  NODE111
N    211    0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.06000  0.00000  NODE211
N    311    0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.06000  0.00000  NODE311
NEND
@a-1~3ケース, b-2ケース  負荷有効電力特性=定電流特性
D    1.0  0.0  2.0  0.0      0  -1
@b-1ケース  負荷有効電力特性=定インダクタンス特性
@D    2.0  0.0  2.0  0.0      0  -1
@b-3ケース  負荷有効電力特性=定電力特性
@D    0.0  0.0  2.0  0.0      0  -1
@b-4ケース  負荷内在タップ考慮
@D    1.0  0.0  2.0  0.0  120.      -1
DEND
G    990  1  0  0  1  30.00  27.00  1.7  1.7  100.0  4.0  0.0
G    4.0  1.01
GEND
E    1  1.05  3.0  0.98
EEND
R    111  0  0  1.045  0.01  0.5  0.0045  1.045  0.946  6.0
R    211  0  0  1.045  0.01  0.5  0.0045  1.045  0.946  6.0
R    311  0  0  1.045  0.01  0.5  0.0045  1.045  0.946  6.0
REND
CEND
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
@a-2ケース  SC投入
@MC    311  2  0  0.12
@a-3ケース  発電機端子電圧変更
@MV    990  2  0  0.02
MEND
VEND
ZEND
FEND
@a-1~3ケース
L    1  -1
L    20.0  2.0  2.0
LEND
PEND
10  20.0  60
@b-1~4ケース
@Q    310  1  00  0.5
QEND
OG    990
ON    111  211  311
OEND
VOLTAGE STABILITY 1KI MODEL          1100
SM    1  311
VT  1  VT-CURVE(500KV)  0
110  210  310
VT  1  VT-CURVE(220KV)  0
111  211  311
TP  1  TP-CURVE(500TR)  0
111  211  311
VP  1  VP-CURVE(220KV)  0
111  211  311
VP  1  VP-CURVE(220KV)  0
-111 -211 -311
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8

```

入力データの解説

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
@電気学会 1機V系統モデル  ← 第1カラムが&または@の行はコメント行
VOLTAGE STABILITY 1KI MODEL
      ↑
      系統名称
      60      990
      ↑      ↑
      系統周波数 潮流計算の基準母線番号
```

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
T      110      910      110 2      0.00210  0.06300  0.03050  L810(4)50KM
T      210      110      210 2      0.00840  0.25200  0.12200  L810(4)200KM
T      310      210      310 2      0.00840  0.25200  0.12200  L810(4)200KM
TEND
X      990      990      910 1      0.00466  1.02000  0.00000  G10-TR
X      111      110      111 2      0.16400  1.03310  0.00000  TR500
X      211      210      211 2      0.16400  1.03740  0.00000  TR500
X      311      310      311 2      0.16400  1.04340  0.00000  TR500
XEND
SEND ← SVCデータ終了(SVC設置時は、Sカードの入力が必要)
N      990  1.01500  27.00000  0.00000  0.00000  0.00000  0.00000N0DEG10
N      111  0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.0600N0DE111
N      211  0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.0600N0DE211
N      311  0.00000  0.00000  0.00000  0.90000  0.22500  0.0600N0DE311
NEND
```

・送電線データ
 ・変圧器データ
 ・ノードデータ
 は、「電力系統の標準モデル」の「Y法入力データフォーマット」を参照してください。

負荷特性データ

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
@a-1~3ケース, b-2ケース  負荷有効電力特性=定電流特性
D      1.0  0.0  2.0  0.0      0      -1
      ↑    ↑    ↑    ↑
      有効電力の有効電力の無効電力の
      の電圧の周波数の周波数特性係数
      特性係数 特性係数 特性係数
      LRタップロック時間
      無効電力の電圧特性係数
```

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
@b-1ケース 負荷有効電力特性=定インピーダンス特性
@D      2.0  0.0  2.0  0.0      0      -1
@b-3ケース 負荷有効電力特性=定電力特性
@D      0.0  0.0  2.0  0.0      0      -1
@b-4ケース 負荷内在タップ考慮
@D      1.0  0.0  2.0  0.0  120.      -1
DEND
      ↑
      負荷特性データ終了
      ↑
      タップ動作時定数
```

0 : ガバナロック
1 : GF運転又はLL運転

0 : PSVR制御無
1 : PSVR制御有

(用語説明)
PSVR : 発電所高圧側母線電圧制御
OEL : 過励磁制限特性

発電機データ

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
G      990  1  0  1  30.00  27.00  1.7  1.7  100.0  4.0  0.0
G      4.0  1.01
GEND
```

0 : AVR運転
1 : AQR運転, APFR運転

ガバナ調定率 出力上限 定格容量 定格出力

界磁電圧上限値 界磁電圧下限値

OELデータ

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
E      1  1.05  3.0  0.98
EEND
```

GカードのOEL値“1”のOEL特性を設定する

ODE検出値 OEL動作用積分整定 OEL制御値

LRT変圧器タップ制御データ

変圧器ブランチ	制御目標電圧	不感帯	タップ1段の変圧比変化幅	タップ比下限
1	1.045	0.01	0.0045	0.946
2	1.045	0.01	0.0045	0.946
3	1.045	0.01	0.0045	0.946

タップ制御モード
 0 : 積分形
 1 : 往復時限形

タップ制御指令条件
 0 : NT側
 -1 : NF側
 -2 : 3(単)巻Tr2次

タップ比上限
 タップ動作遅れ時間

調相設備制御データ

調相設備制御データ終了

簡易VQCデータ

@ a-2 ケース S C 投入
 @MC 311 2 0 0.12
 調相設備制御 制御動作時刻指定(分) 制御動作時刻指定(秒) 調相設備変更幅

@ a-3 ケース 発電機端子電圧変更
 @MV 990 2 0 0.02
 発電機端子電圧制御 制御動作時刻指定(分) 制御動作時刻指定(秒) 発電機端子電圧変更幅

a-2のケースでは、2分後に120MVAのSCを311ノードに投入する
 a-3のケースでは、2分後に990発電機の端子電圧を0.02pu上げる

負荷変動カード

@ a-1 ~ 3 ケース
 L 1 20.0 2.0 2.0
 LEND
 変動負荷折点時刻(分) 左記折点時刻における初期値に対する倍率

負荷変動折点数 負荷変動対象ノード指定 (-1 : 全負荷)

a-1~3のケースでは、20分後にP, Qとも2倍になるように設定している

シミュレーション時間指定データ

10 20.0 60
 計算刻み幅(秒) シミュレーション対象時間(分) 計算結果出力間隔(秒)

故障シーケンス指定データ

@ b-1 ~ 4 ケース
 @Q 310 1 00 0.5
 QEND
 故障発生時刻(分) 故障発生時刻(秒) 1回線事故

b-1~4のケースでは、1分後に310送電線の1回線事故が発生し、線路解放となる。

ブランク : 送電線故障

出力コントロールデータ

デジタル値で結果を出力させるためのカード

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
OG      990
ON      111      211      311
OEND
```

← 990 の発電機データを出力
← 111, 211, 311のノードデータを出力

(図形処理プログラム)

ヘッダー

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
VOLTAGE STABILITY 1KI MODEL
```

▲ 系統名称

▼ 1100

▲ 図形の大きさの縮小率 (この場合100%)

図形出力タイプ

- 0 : 1 頁に 1 枚出力
- 1 : 1 頁に 2 枚出力
- 2 : 1 頁に 4 枚出力

種別カード

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
SM
1
311
```

▲ サマリー専用

▲ P (or Q) を初期値で正規化する

▲ 311ノードの電圧を代表としてプロットする (用語説明)

同一要素, 同一タイトル, 同一スケールで作図する図面の枚数

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
VT 1 VT-CURVE (500KV) 0
110 210 310
VT 1 VT-CURVE (220KV) 0
111 211 311
```

▲

▲ タイトル

サマリ: 全体の推移を把握するための情報 (総需要, Qロスなど) をプロットする。

VTカーブを作図

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
TP 1 TP-CURVE (500TR) 0
111 211 311
```

▲

変圧器タップ値の時間的変化を作図

```
@-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
VP 1 VP-CURVE (220KV) 0
111 211 311
VP 1 VP-CURVE (220KV) 0
-111 -211 -311
```

▲

PVカーブを作図