

3.1.3 電気学会 WEST10 機-0/V 系統モデルを用いた解析例

[例 W0-1] 最大エントロピー手法に基づく最適潮流計算の解析例

(1) 目的

発電機種別に基づく燃料費関数および各種制約条件を考慮して、総燃料費最小化等を目的とする最適潮流計算の基本的な検討を実施する。

(2) 解析条件

(a) 計算手法：最大エントロピー手法による最適潮流計算^[10]

(b) 各発電機の種別および内訳例

各発電機の種別および内訳例は表 3.24 の通り。WEST10 機-0/V 系統モデルにおける発電機はそれぞれ複数台の発電機が縮約されている。

表 3.24 各発電機の種別および内訳例

発電機	定格容量(MW)	種別	内訳例
G1	13500	石炭	1000MW×12 台 750MW×2 台 (700MW クラス)
G2	9000	石炭	1000MW×9 台
G3	9000	石炭	1000MW×9 台
G4	9000	LNG	700MW×12 台 200MW×3 台
G5	9000	LNG	700MW×12 台 200MW×3 台
G6	9000	LNG	700MW×12 台 200MW×3 台
G7	9000	LNG	700MW×12 台 200MW×3 台
G8	4500	コンバインド	250MW×18 台
G9	9000	LNG	700MW×12 台 200MW×3 台
G10	27000	石油	700MW×35 台 500MW×5 台

(c) 初期状態

WEST10 機-0/V 系統モデルの潮流断面を初期状態とする。電源開発(株)所有プログラムを用いた計算結果は電力中央研究所の潮流計算プログラムによる結果とほぼ一致している(後記図 3.8 インピーダンスマップ および図 3.9 潮流計算結果参照)。

(d) 燃料費

発電機種別毎の燃料費の比較を下図に示す。燃料費は高い順に、石油、LNG、石炭と設定されていることがわかる。また、コンバインドは250MWクラスであることを考えると、石炭並に燃料費の安い設定となっていることがわかる。

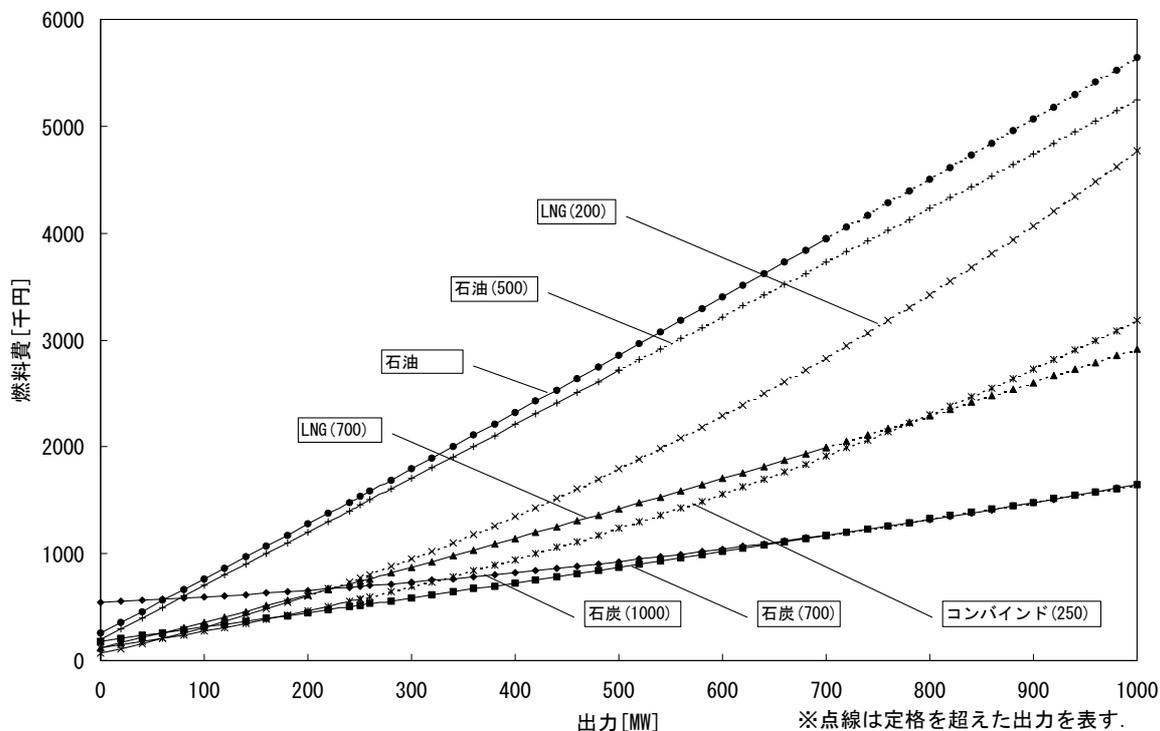


図 3.6 発電機種別毎の燃料費の比較

10 機系における各発電機の燃料費特性は、内訳例から最も定格出力・台数の多い発電機の燃料費特性に代表させる。ただし、以下に記す係数換算を行う。

縮約されている発電機において、最も定格出力・台数の多い発電機の出力を P、台数を N、燃料費特性の係数を a_1 、 b_1 、 c_1 とおく。このとき、燃料費 F は

$$F \doteq (a_1 + b_1 P + c_1 P^2) \times N = a_1 N + b_1 (NP) + c_1 / N \times (NP)^2$$

となることから、この発電機群の燃料費特性の係数は $a = a_1 N$ 、 $b = b_1$ 、 $c = c_1 / N$ とする。各発電機の燃料費特性係数は表 3.25 の通りとなる。

表 3.25 各発電機の換算後の燃料費特性係数

発電機	種別	a [千円]	b [千円/MW]	c [千円/MW ²]
G1	石炭	6600	400	58.333
G2	石炭	4950	400	77.778
G3	石炭	4950	400	77.778
G4	LNG	1404	2400	33.333
G5	LNG	1404	2400	33.333
G6	LNG	1404	2400	33.333
G7	LNG	1404	2400	33.333
G8	コンバインド	2160	1400	92.222
G9	LNG	1404	2400	33.333
G10	石油	9100	5000	10.857

(e) 制約条件

(i) 発電機の有効・無効出力上下限

有効・無効出力上下限は、与えられた出力可能曲線より出力可能な最大の長方形で近似する。各発電機の出力可能曲線は内訳例から最も定格出力・台数の多い発電機に代表させた。これらの近似を用いると、初期状態のG10のQは上限を逸脱する。

計算に用いた各発電機の有効・無効出力上下限は表 3.26 の通り。

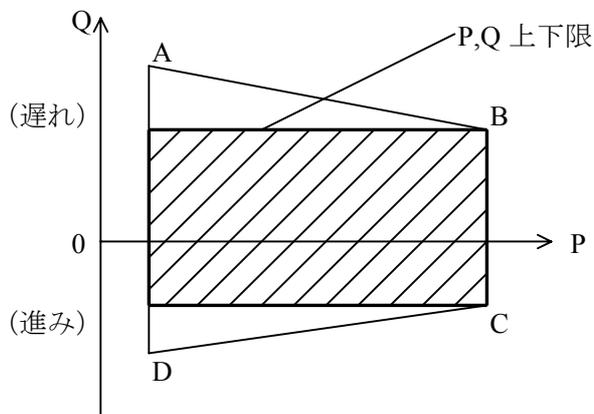


図 3.7 発電機の有効・無効出力上下限

表 3.26 各発電機の有効・無効出力上下限

発電機	代表 発電機	定格出力 [MW]	有効出力 [MW]		無効出力 [MW]	
			下限	上限	下限	上限
G1	石炭 1000	13500	4050	13500	-1350	6750
G2	石炭 1000	9000	2700	9000	-900	4500
G3	石炭 1000	9000	2700	9000	-900	4500
G4	LNG 700	9000	1800	9000	720	3510
G5	LNG 700	9000	1800	9000	720	3510
G6	LNG 700	9000	1800	9000	720	3510
G7	LNG 700	9000	1800	9000	720	3510
G8	コンバインド 250	4500	1125	4500	-1350	2250
G9	LNG 700	9000	1800	9000	720	3510
G10	石油 700	27000	6750	27000	-4050	4050

(ii) 調相設備

容量上限は表 3.27 の通り。これらの容量は連続的に変化するものとして計算する。

(iii) 潮流上限値

各ブランチの潮流上限値は表 3.28 の通り。

表 3.27 調相設備の容量上限

ノード No.	容量上限 [MVA]
301	3500
302	1250
303	1250
304	1250
305	1250
306	1250
307	1750
308	1250
309	7500
312	1750
313	1750
314	1750
315	1750
316	1750
317	1750
318	1000
319	1750

表 3.28 潮流上限値

ブランチ No.	潮流上限 [MW]
20	2200
30	2800
40	3300
50	3100
60	2800
70	2400
80	1800
90	1300
120	3900
130	4300
140	4500
150	4500
160	4500
170	4900
180	3000
190	4900

(iv) 変圧器タップ

変圧器タップについてはすべて初期状態に固定とする。

(v) 母線電圧上下限

母線電圧の上下限は各母線種類別に下表の通りとする。

表 3.29 母線電圧の上下限值

母線種別	上限	下限
500kV	1.05pu	0.99pu
275kV	1.045pu	0.97pu
発電機・負荷・調相	1.05pu	0.95pu

(3) 解析結果

(a) 燃料費最小を目的関数とするケース

(i) 潮流制約の無い場合

計算結果を図 3.10 に示す。結果の特徴は下記の通り。

- ・燃料費の安い石炭火力 G1～G3 の出力が増加する。ただし、母線電圧に関する制約のため、最大出力までは到達できない。
- ・燃料費の高い石油火力 G10 の出力が絞られる。母線 9 に大きな負荷(19810MW)があり、これをまかなうため、燃料費の安いコンバインドサイクル G8 がフル出力になると共に、電氣的に近い LNG 火力 G7、G9 の出力が増加する。
- ・このため、送電線 30、40、130 の潮流および送電線 80、90、190 の潮流が上限を超える。

(ii) 潮流制約の有る場合

計算結果を図 3.11 に示す。結果の特徴は下記の通り。

- ・送電線 30、40、130 の潮流上限制約を満足するため、G1～G3 の出力が絞られる。代わって、G4 の出力が約 1,400MW 増加している。
- ・送電線 80、90、190 の潮流制約上限を満足するため、G7、G9 の出力が絞られると共に、G10 の出力が増加する。燃料費の安い G8 についてはフル出力運転を維持する。
- ・総燃料費は潮流制約無しの際の 222,500 千円から 235,800 千円に増加する。しかし、初期状態における 240,500 千円よりは小さい値となっている。

(b) 異なる目的関数に対する最適潮流計算結果比較

目的関数「燃料費最小」、「 Σ (有効電力ロス分) 最小」、「 Σ (調相設備量)² 最小」のそれぞれについて最適潮流計算を行った。結果の比較を表 3.30 に示す。

表 3.30 WEST10 機-0/V 系統モデル 目的関数を変更した場合の最適潮流計算結果比較 (潮流制約有)

		燃料費 [千円]	Σ (有効電力ロス分) [MW]	Σ (調相設備量) ² [MVAR ²]	結果
初期状態(通常の潮流計算)		240,500	63.6	177,752	図3.9
目的関数	燃料費 最小	235,800	111.4	256,432	図3.11
	Σ (有効電力ロス分) 最小	244,900	41.3	257,763	図3.12
	Σ (調相設備量) ² 最小	240,300	63.3	205,844	図3.13

※目的関数「 Σ (調相設備量)² 最小」において、初期状態より Σ (調相設備量)² が大きいのは、最適潮流計算では G10 の無効出力に制約がかかっていることによる。

参考文献

- [10] 陳・的場・稲辺・岡部：「最大エントロピーによる最適潮流計算」，電力技術研究会，PE-92-65(平成7年)

WEST10 機-0/V 系統発電機を内訳例に従って細かく分割したケースの最適潮流計算結果

WEST10 機-0/V 系統モデルの各発電機を内訳例に従って細かく分割（計 165 台）したケースの最適計算結果を示す。この結果と 10 機系で解いた結果とを比較することにより、10 機系における燃料費特性係数の換算や発電機の有効・無効出力上下限等が妥当であることを確認できる。

(1) 解析条件

基本的には、10 機系で解いたケースと同様の条件とした。ただし、初期状態の各発電機出力は定格容量比で割り当てた。また、分割したケースにおいては燃料費特性の係数は換算せずにそのまま使用できる。

(2) 解析結果（目的関数：燃料費最小）

(a) 初期状態（図 3.14）

潮流、母線電圧、位相とも 10 機系で解いたケースとおおよそ一致している。若干の相違は昇圧変圧器を分割したことによる無効電力ロス分の差によるものと考えられる。総燃料費は 10 機系で解いたケースのほうが安くなっているが、10 機系では代表発電機の燃料費特性係数を換算して使用したため、その影響によるものと思われる。

(b) 潮流制約無しの場合（図 3.15）

(i) 発電出力の配分、母線電圧、位相は 10 機系で解いたケースと同様の傾向である。

(ii) G1 の出力が 10 機系で解いたケースと比較して 570MW 増加したことにより、送電線 20 が新たに潮流上限制約を超過した。出力が増加した理由は、G1 において分割後に新たに考慮された石炭火力(700MW クラス)の燃料費が 1000MW クラスと比較して安いことによる。

(c) 潮流制約有りの場合（図 3.16）

発電出力の配分、母線電圧、位相いずれも、上記(ii)で記載した相違を除いて 10 機系で解いたケースと比較して大きな差異はない。

R+ jX (V/2) [% at 1000 MVA Base]

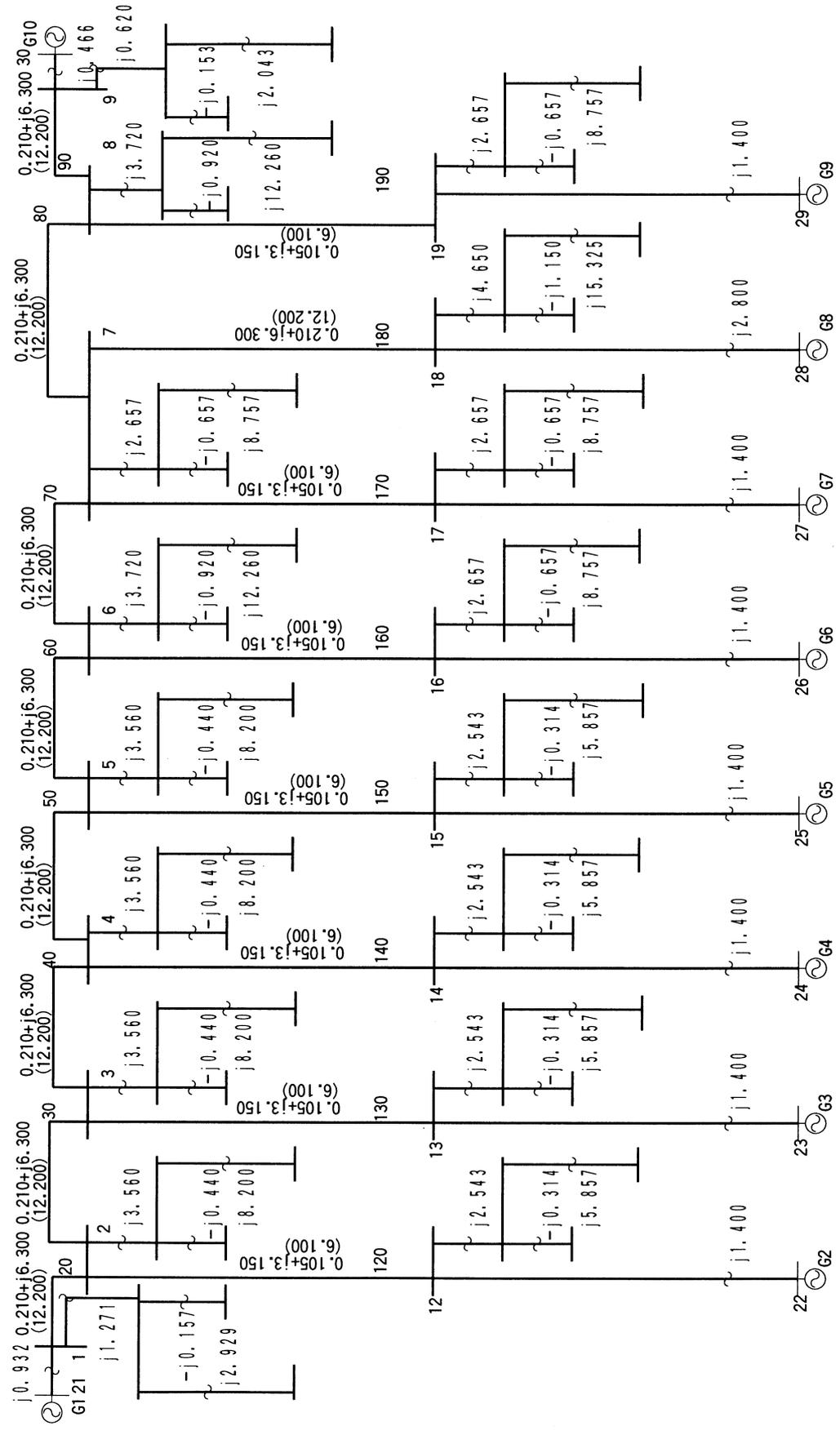


図 3.8 WEST10 機-0/V 系統 インピーダンスマップ

総燃料費 = 240,500 [千円]

P+J0 [MW, MVar] V/L0 [%/deg]
 Total PLOSS 63.59MW GLOSS 12226.76MVar

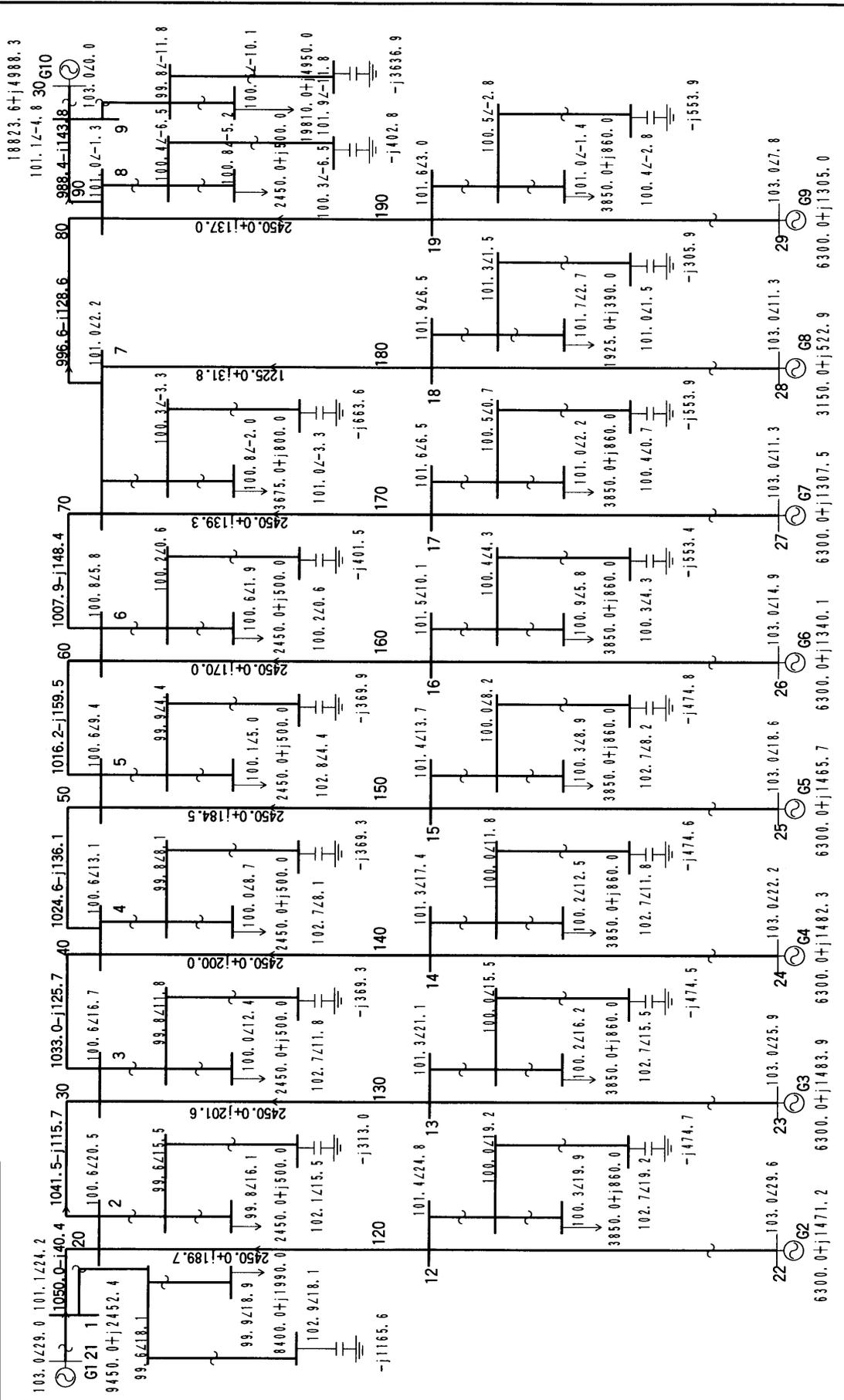


図 3.9 WEST10 機-0/V 系統 潮流計算結果 (初期状態)

総燃料費 = 222,500 [千円]

P+Q [MW, MWVar] Vzf [%/deg]
Total PLOSS 322.29MW QLOSS 20901.06MVar

× : 過負荷送電線

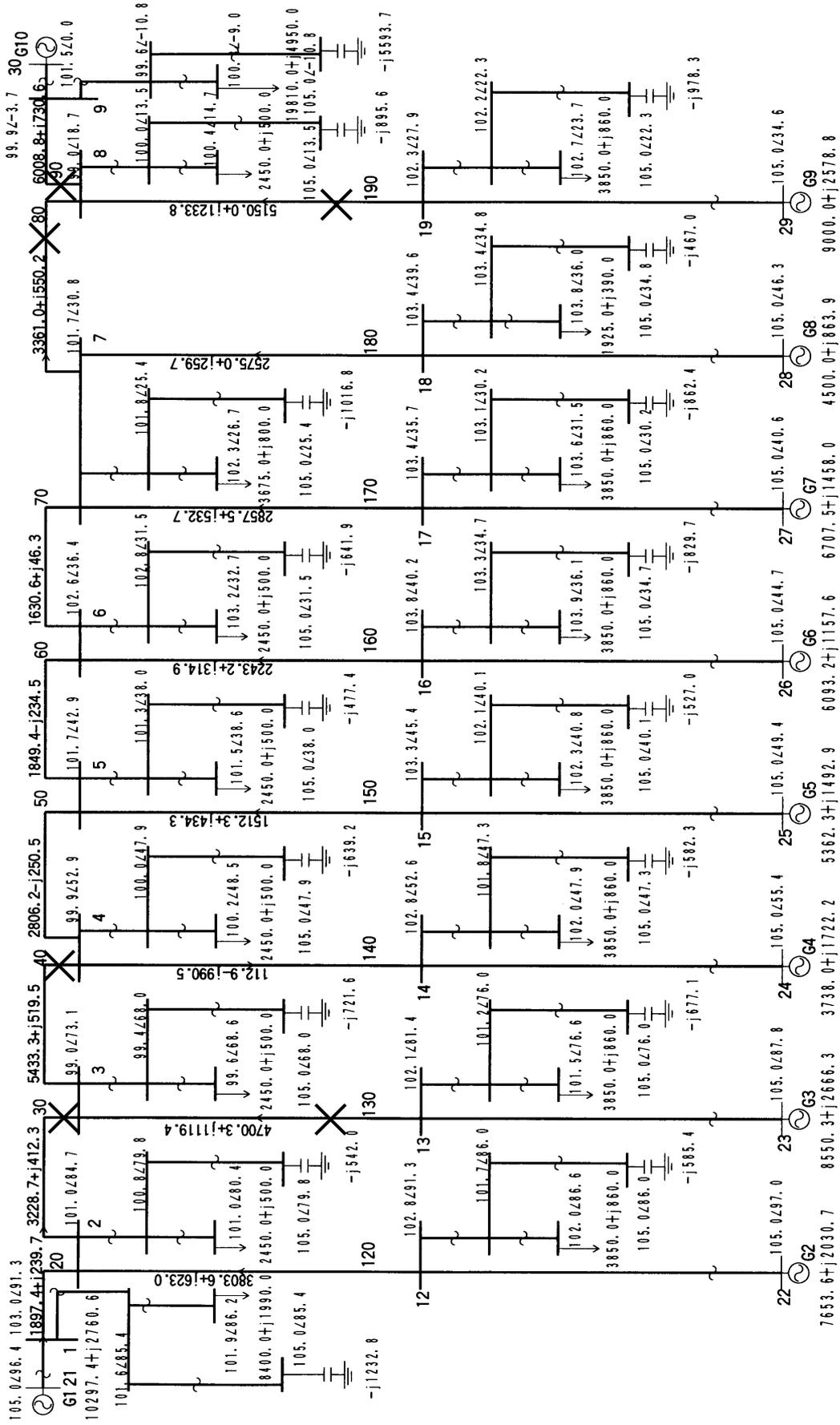


図 3.10 WEST10 機-0/V 系統 最適潮流計算結果 (燃料費最小・潮流制約無)

総燃料費 = 235,800 [千円]

P+Q [MW, MWaj] V&F [%<deg>]
 Total LOSS 111.35MW LOSS 13316.37MWaj

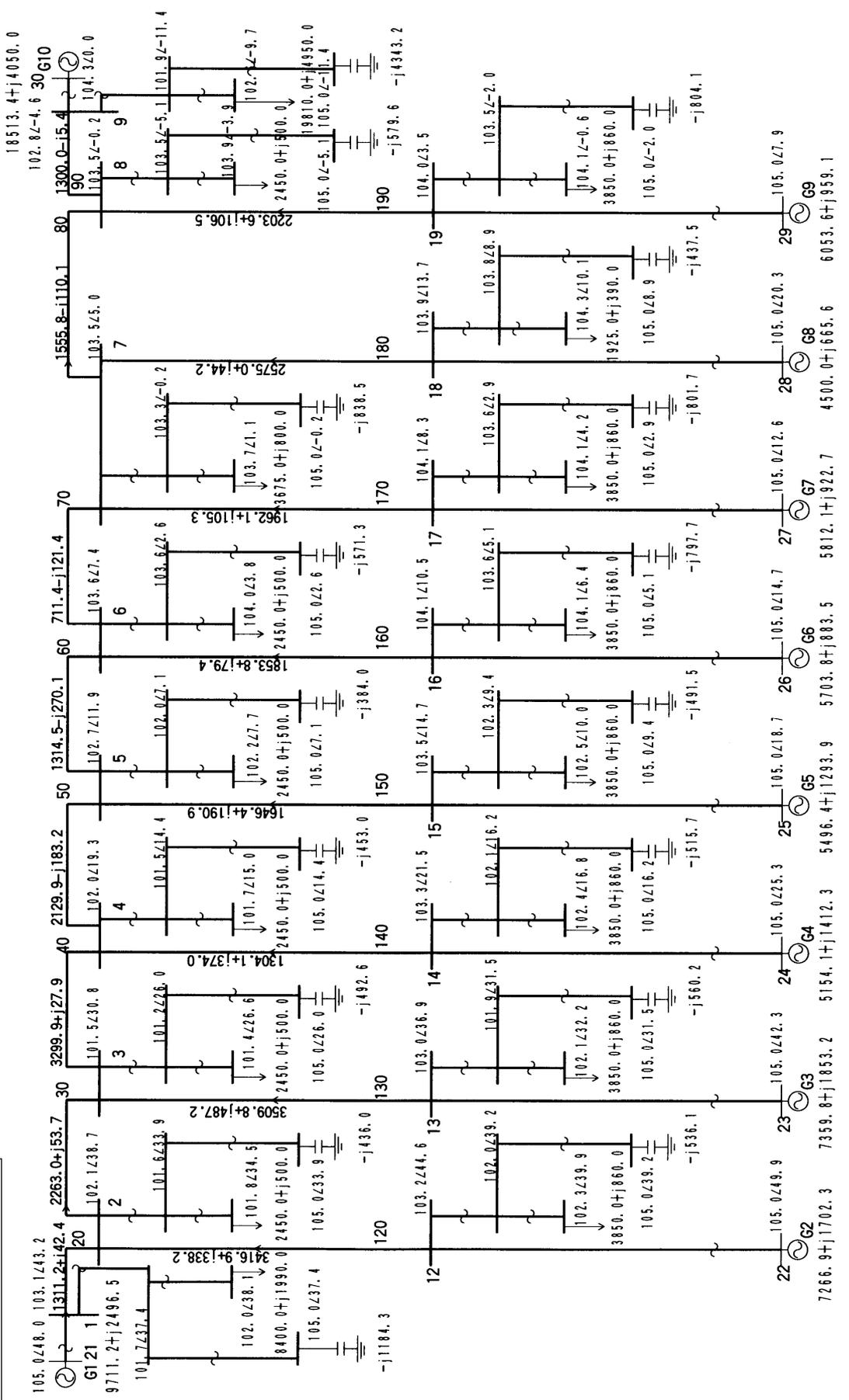


図 3.11 WEST10 機-0/V 系統 最適潮流計算結果 (燃料費最小・潮流制約有)

総燃料費 = 244,900 [千円]

Pf+jQ [MW, MVar] V_L [%zdeg]
 Total PLOSS 41.29MW QLOSS 10975.21MVar

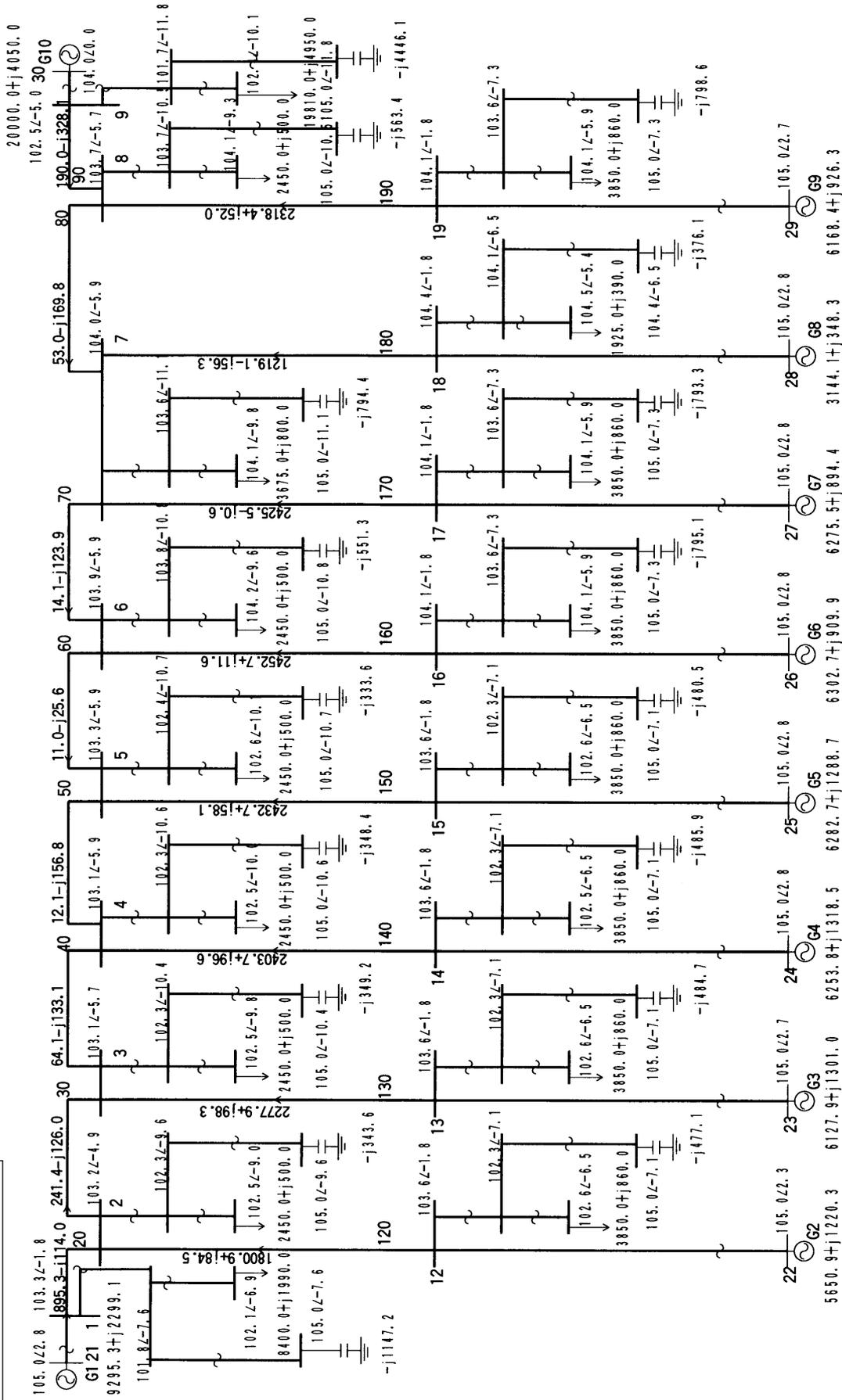


図 3.12 WEST10 機-0/V 系統 最適潮流計算結果 (有効電力ロス分最小・潮流制約有)

総燃料費 = 240,300 [千円]

P+10 [MW, WVar, j V/cb [%/deg]]
Total PLOSS 63.30MW GLOSS 12216.77MVar

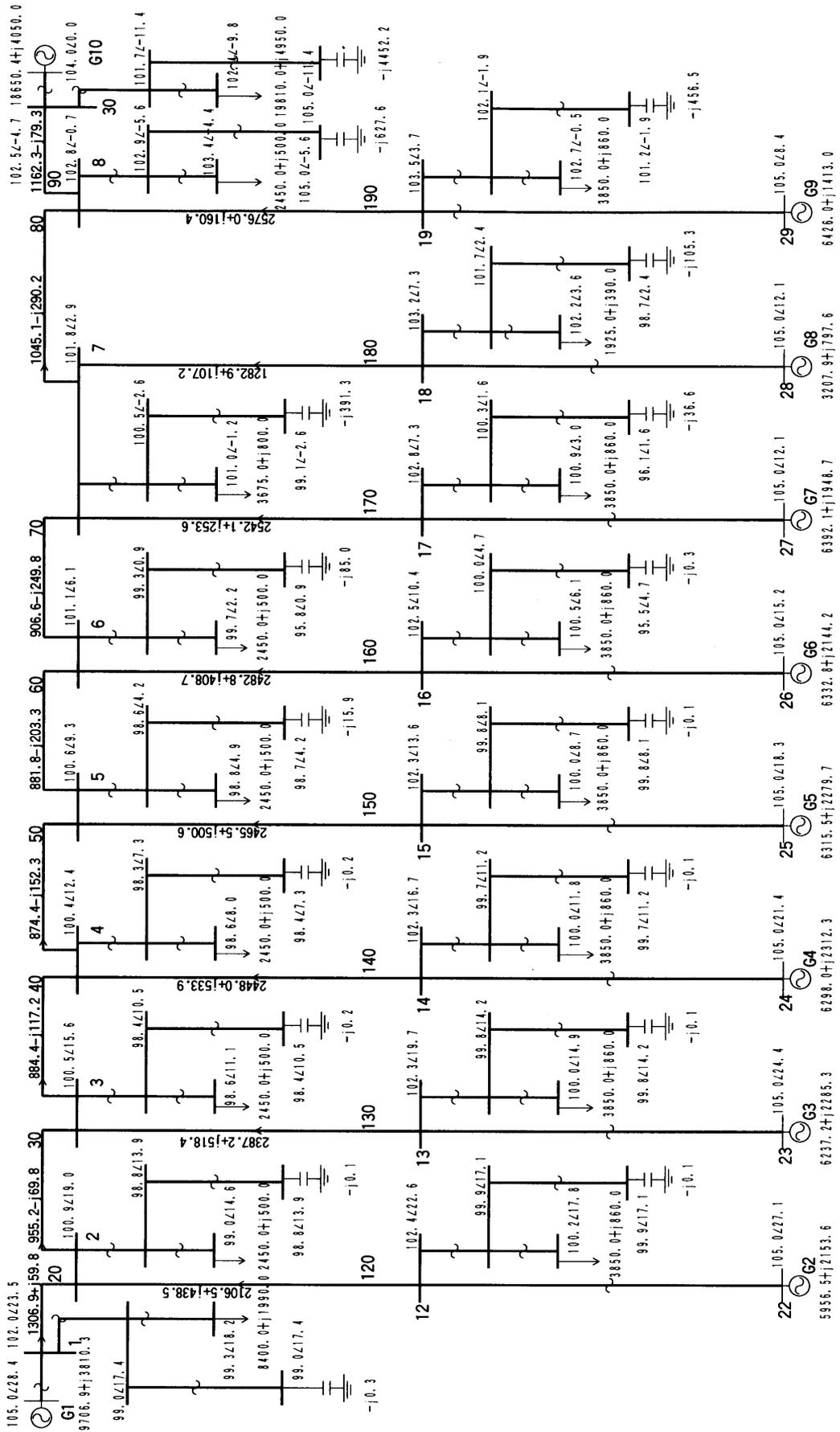


図 3.13 WEST10 機-0/V 系統 最適潮流計算結果 (Σ (調相設備)² 最小・潮流制約有)

総燃料費 = 241,600 [千円]

P+Q[MW, MWart] VZθ [kzdeg]
Total PLOSS 63.59MW QLOSS 12231.85MVar

18823.6+j4991.7
101.1/-4.1

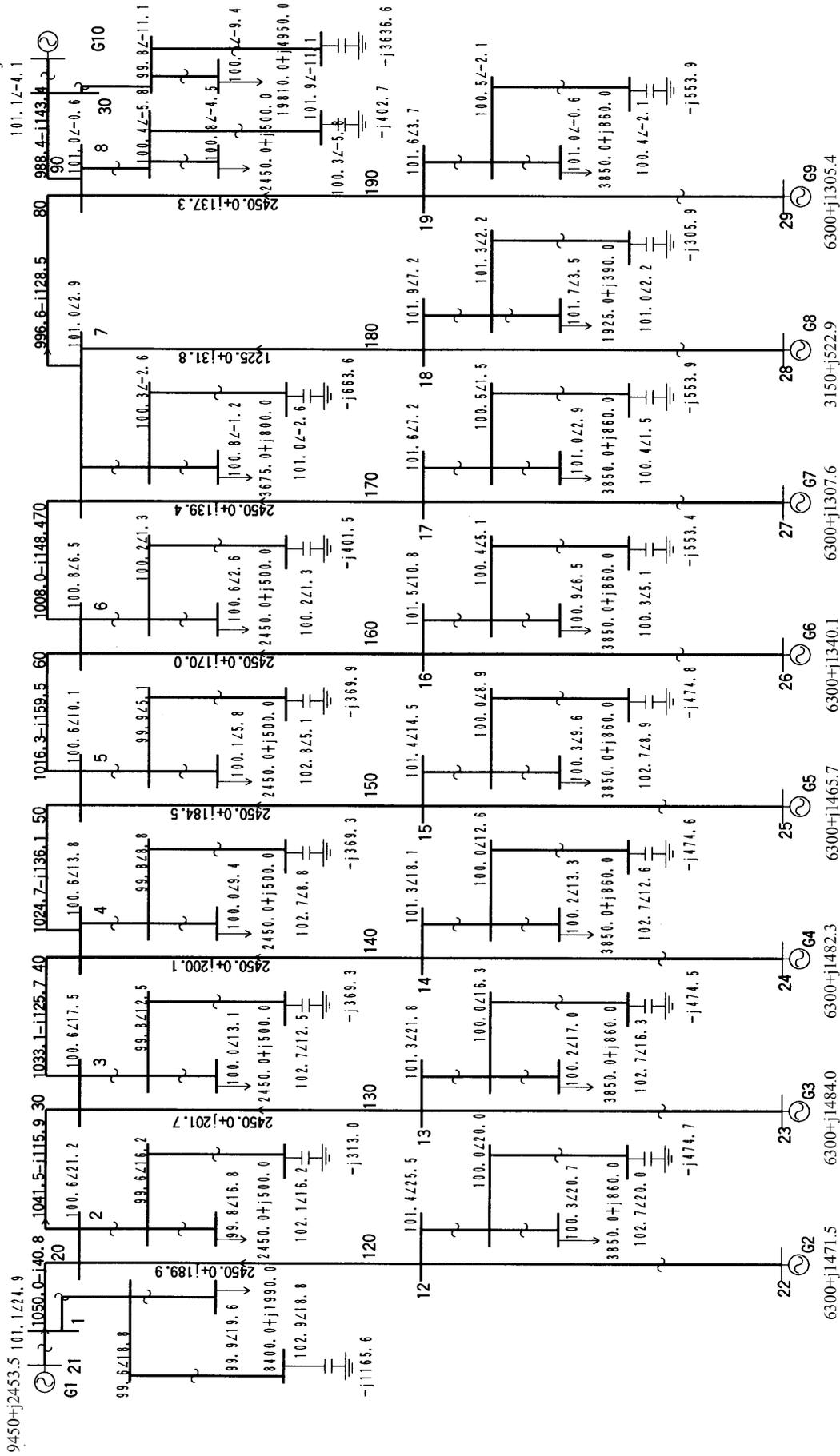


図 3.14 分割ケース 潮流計算結果 (初期状態)

総燃料費 = 223,000 [千円]

P+IQ [MW, MVar] VZθ [kVdeg]
 Total PLOSS 335.84MW QLOSS 21304.42MVar

13657.7+j4685.8
 100.94-3.2

× : 過負荷送電線

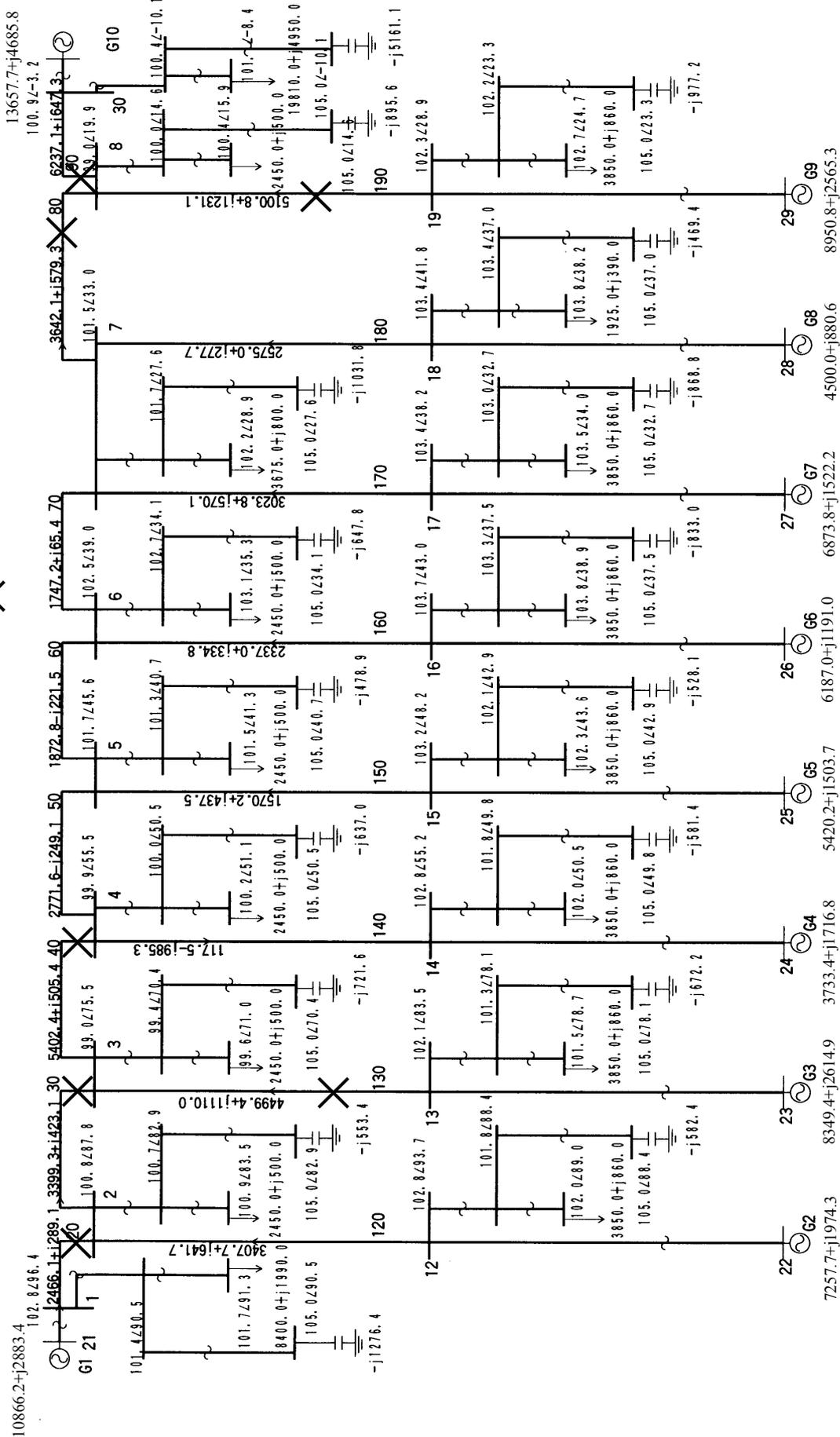


図 3.15 分割ケース 最適潮流計算結果 (燃料費最小・潮流制約無)

総燃料費 = 236,700 [千円]

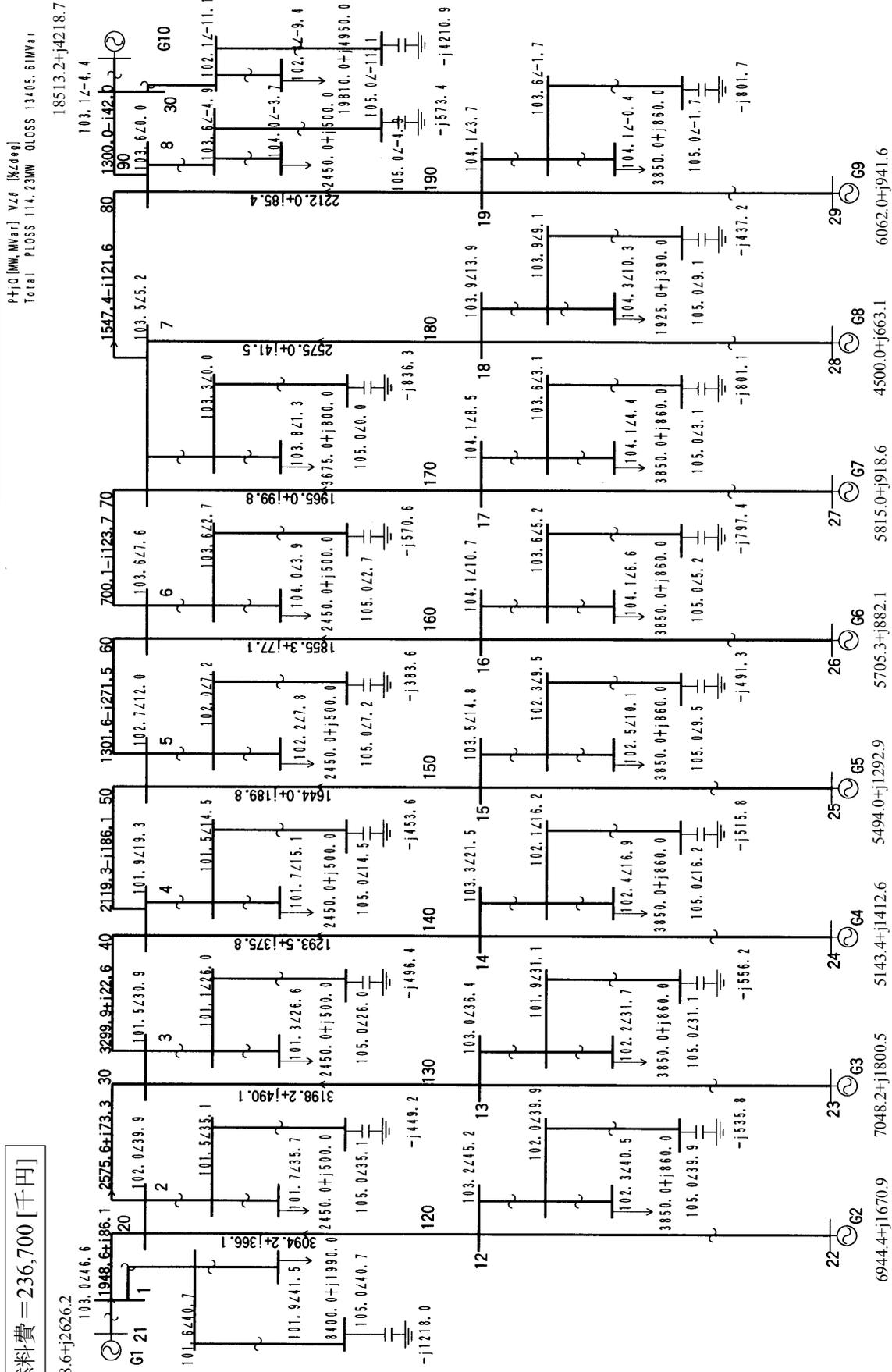


図 3.16 分割ケース 最適潮流計算結果 (燃料費最小・潮流制約有)