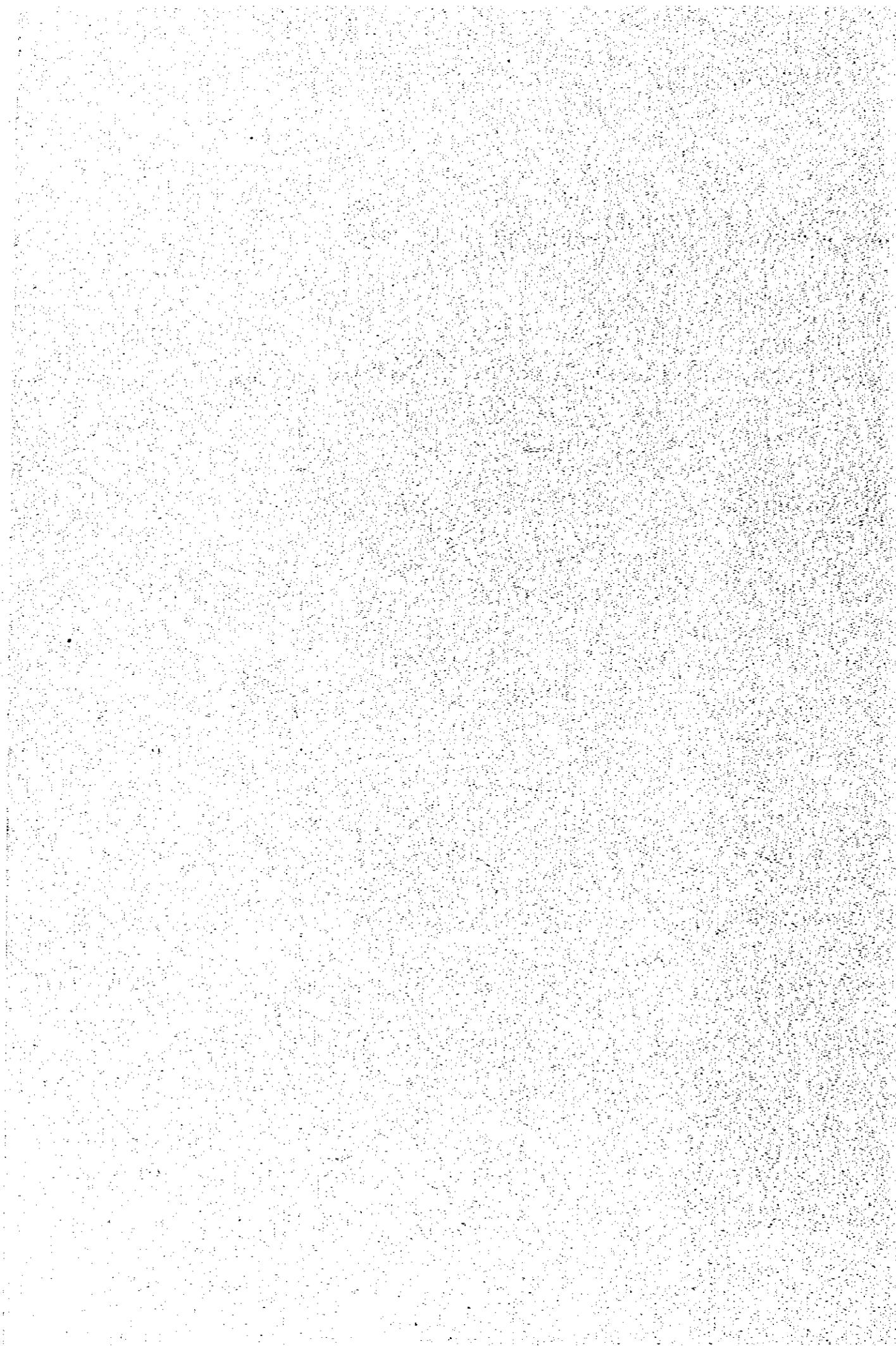


### 3. き電方式と変電設備



### 3 き電方式と変電設備

#### 3-1 き電方式と変電設備の検討

##### 3-1-1 電力供給システムの機能

電力供給システム機能は次が基本となる。

- (1) 良質な運転用電力を安定して、かつ安価に供給できる。
    - 1) 平常の列車運転状態および多少の列車運転の遅れでも列車運転電流を安定して供給出来る設備であること。
    - 2) 平常の列車および多少の列車運転の遅れでも、き電回路の末端の電車線電圧が規定値以下にならないこと。
  - (2) き電回路の何処で事故が発生しても人および設備の安全のため、早急にこれを検出し、確実に事故電流をしゃ断し、被害の拡大を防ぐこと。

しかし運転電流の過負荷では無用の停電をさせてはならない。
  - (3) 高電圧大電力を取扱うので感電防止等についての配慮が充分なされていること。
- 以上の基本事項に経済性を加味して次の事項を考慮する。

- 1) 信頼性の高い、手のかからない設備、すなわちメンテナンススリーな設備とし、設備事故を少なくする。
- 2) 設備の保全作業が簡単に安全、確実出来るようにする。この場合列車運転への影響を極力少なくする。
- 3) 万一、局所的な故障が起った場合は、1ヶ所の局所的な事故が、全体のシステムダウンに発展しないようにするとともに復旧作業が容易で復旧時間が短いこと。
- 4) 電線や他の設備（例えば通信設備、信号設備等）に影響を及ぼさないように電圧や電流の不均衡や誘導障害が少いこと。
- 5) 将来の輸送計画に対し設備の増強、改良が手戻りなく、容易に出来ること。

以上のほか、電力事情、用地事情で変電所位置やき電区分を決め、必要な開閉装置や機器を設備する、そしてこの目的のため機器の定格や配置をきめ、必要な主回路導線や補助回路配線をする。

##### 3-1-2 き電方式

単相交流60Hz、25kvのき電方式として現在世界で建設され運転されているものを大別すると

- (1) 直接き電方式
- (2) BTき電方式
- (3) ATき電方式

の三方式に分類出来、その特徴は別表II-3-1のようである。

表II-3-1 交流き電方式の種別と特徴

名	称	系	統	図	特	徴	用	
							本	外
直接き電方式	① 基本形 (T-R)	SS	V		<ol style="list-style-type: none"> <li>最も簡単なき電回路構成である。</li> <li>通信誘導特性が悪い。</li> <li>がいしせん線等の保護対策が必要である。</li> <li>レール電位が他のき電方式より理論的に高い。</li> </ol>		海外で広く実用	
	② NFあり (T-R-NF)				<ol style="list-style-type: none"> <li>NFを設けることにより、①基本形より線路インピーダンス及びレール電位が多少低減される。</li> <li>通信誘導に対し、①基本形よりしゃへい効果がある。</li> </ol>			
	③ NFあり				<ol style="list-style-type: none"> <li>通信誘導低減効果が大きい。</li> <li>BTセクションを必要とする。</li> <li>BT間隔は通常3~4kmである。</li> </ol>	在	米線 イギリスの一部 フランス スウェーデン	
	④ NFなし				<ol style="list-style-type: none"> <li>BTの特性を生かしながら、NFを省略できる。</li> <li>通信誘導低減効果は、NFありの③より若干悪い。</li> <li>レール絶縁を必要とする。</li> <li>がいしせん線等の保護対策が必要である。</li> </ol>		ノールウェー イギリスの一部 フランス スウェーデン	
⑤ ATき電方式 (AT:単巻変圧器)		SS	2V		<ol style="list-style-type: none"> <li>き電電圧 (SS 送出し電圧) を電線線電圧より高くできる。大容積負荷への供給に適する。</li> <li>SS間隔を他のき電方式より長くすることができ。</li> <li>BTセクション等のセクションがない。</li> <li>AT間隔は10km~20km程度である。</li> </ol>	在	米線 アメリカ 山陽新幹線 (25Hz) 東北・上越 (ノ連及びアラ 新幹線 ンスで開発中)	

1979年 JICA 戸石調査団の報告書では日本国有鉄道で実績のある AT き電方式を提案しているが、仕様書原案を作成したフランス SOPRERAIL は簡単な経済比較をして直接き電方式を提案している。

我々の調査および検討では前記前提条件および日本における工事費の比較の結果、該区間の電化にはやはり AT き電方式が有利と判断した。

検討の段階では使用する電気機関車の性能が正式に決っていないので、機関車の一次電流、勾配区間の速度等は、提示されたダイヤおよび JNR の実績から想定した。

### 3-1-3 変電所間隔

変電所間隔はき電回路の電圧降下、架線電流容量、平常時、異常時におけるき電運用の考え方によってきまる。

AT き電方式と直接き電方式と比較した場合、見掛上のき電電圧は AT 方式が直接き電方式の 2 倍であり、したがって電車線に同一電圧降下を許容される場合の変電所間隔は理論上は 4 倍まで延ばすことが可能である。

しかし、AT の特性上、き電回路のインピーダンスの値（日本の場合 AT 方式のインピーダンスは直接方式のインピーダンスの約  $1/3$ ）、または変電所間隔が拡大されると、き電区間に入る列車が多くなり、それに比例して負荷電流も増加するので、その間隔は直接方式の約 2～2.5 倍程度が最も適当な間隔であると考えられる。

1990年ダイヤで負荷条件ならびにき電運用、電源系等を考慮して、電車線電圧降下、電流容量を検討した結果、変電所間隔は AT き電方式では約 100 km（常時のき電距離約 50 km）直接き電方式では 42 km が最も合理的、かつ経済的な間隔であると考えられる。

したがって以下の検討は AT き電方式 100 km について、提示された原案の直接き電方式と対比して行った。なお検討したロケーションを図 II-3-1 に称す。

### 3-1-4 き電回路の電力特性

き電方式別の回路定数および電流容量、架線電圧降下レール電位上昇などの検討結果は次のとおりである。

#### 3-1-4-1 き電回路定数

AT き電方式の大地帰路回路における線路インピーダンスを図 II-3-2 の電線配置（装柱図）およびメキシコ国において実測した大地導電率  $= 0.01 \text{ S/km}$  を用いて求めた結果は表 II-3-2 のとおりである。

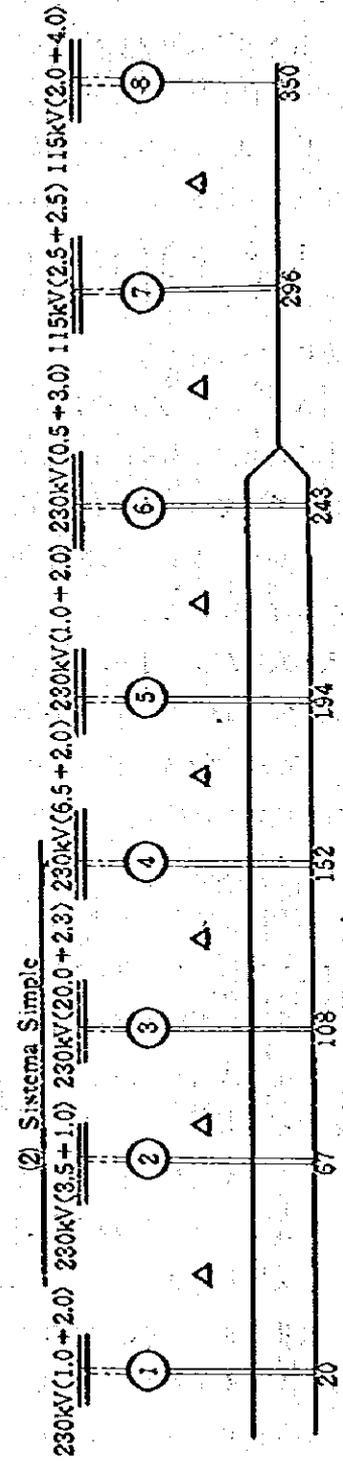
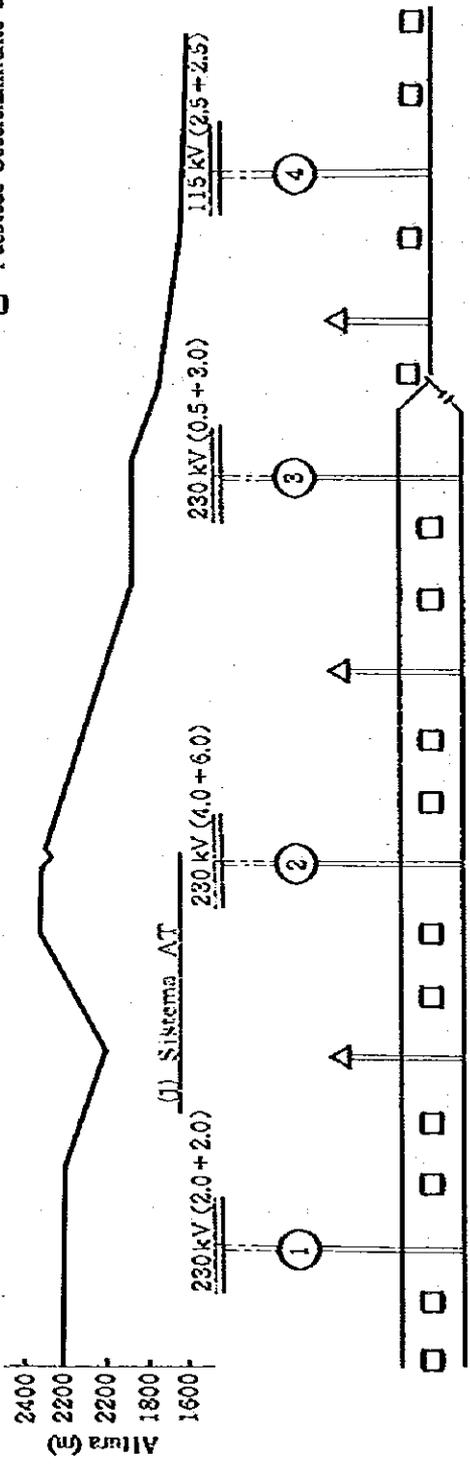
#### 3-1-4-2 架線電流容量

##### (i) AT き電方式の架線電流容量

AT き電方式のき電電圧は直接き電方式の 2 倍であるので AT 回路のき電電流は直接き電方式のほぼ  $1/2$  となる。

したがって同一輸送量に対して電線は細くてすむ。これを具体的に示すと次のようにな

- Tension de transmisión linier
- Sub - estacion
- △ Puestode Seccionamiento
- Puestode Seccionamiento auxiliar



図II-3-1 ATき電方式と直接き電方式のロケーション

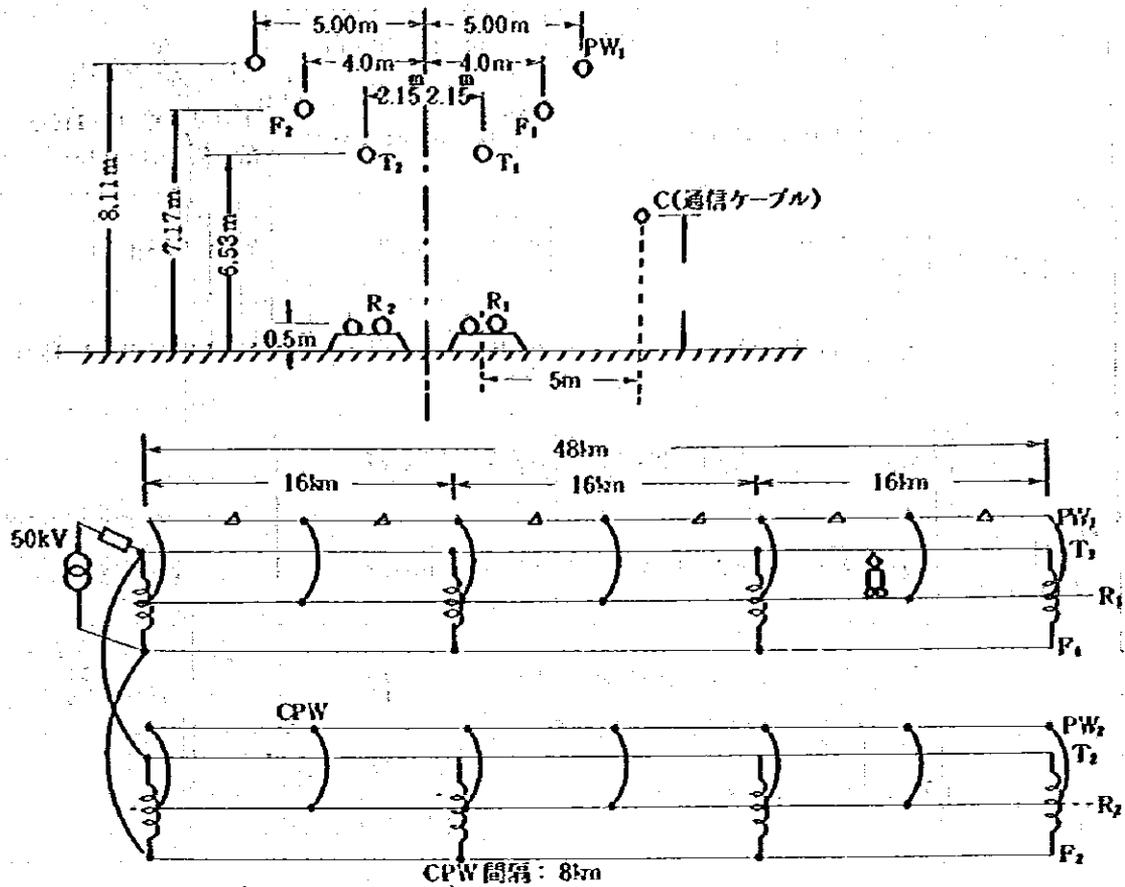


図 3-2 ATき電方式の線路装柱位置とき電回路の系統

る。

ATき電回路の負荷電流分布はATの巻線比1:1の場合にはき電線(LA)には負荷電流の1/2の50kv系の電流が分布する。一方架線(トロリー線)(LC)と吊架線は変電所引出口付近の変電所と第1AT間に負荷がある場合には50kv系の電流に25kv系の負荷電流が重畳するので、き電区間のある列車が同一負荷電流で運転される場合に変電所から架線に供給する電流は図3-3のようになる。同一き電区間に多数列車が分布される場合の電流はこれらの和となる。したがってATき電回路の電流容量の算定に当ってはこれらを考慮して検討する必要がある。

(2) 直接き電方式の架線容量

直接き電回路はき電回路内に分布される多数列車のとり電流の総和で電線の熱容量が決められるのでその算出は容易である。

(3) 裸電線の温度上昇の計算

架線の電流容量は温度上昇によって決まるのでその計算手法をのべる。

1) 計算の条件

表II-3-2 MEXICO電化計画区間の線路定数

種別	記号	導体	線路定数	記事
Self Impedance	$Z_T$	トロリ線 (含吊架線)	$0.2105 + j 0.8589 \Omega/km$	トロリ線 Cu $110mm^2$ 吊架線 st $135mm^2$
	$Z_R$	Rail	$0.1526 + j 0.6760$	Rail 60 kg/m
	$Z_A$	ATき電線	$0.2787 + j 0.8926$	ATき電線 HA1 $150mm^2$
Mutual Impedance	$Z_{TR}$	トロリ線とRail相互間	$0.0581 + j 0.4487$	
	$Z_{TA}$	トロリ線とATき電線相互間	$0.0586 + j 0.3738$	
	$Z_{RA}$	ATき電線とRail相互間	$0.0585 + j 0.3570$	
Line Impedance	$Z_{\Sigma}$	$Z_{\Sigma} = Z_T + Z_R - 2Z_{TR}$	$0.3720 + j 0.9039$ $= 0.9774 \angle 76^{\circ}20 \Omega/km$	
	$Z_{\Delta}$	$Z_{\Delta} = \frac{Z_T + Z_R - 2Z_{TR}}{4}$	$0.092 + j 0.2259$ $= 0.2443 \Omega/km$	単位km当りの電圧降下 $V_L = 0.2091 / A - km$ ( $\cos \phi = 0.8$ )
計算条件	1. 周波数 = 60 Hz			
	2. 大地導電率 = $0.01 S/m$			
	3. 装柱間 = 別紙			

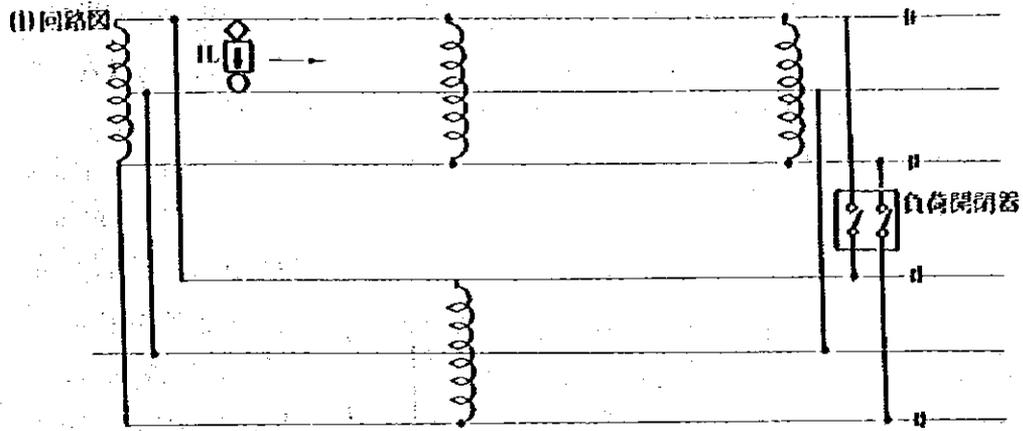
計算にあたっては次のことを考慮する。

- a ジール熱による温度上昇
- b 日射による温度上昇
- c 大気温度

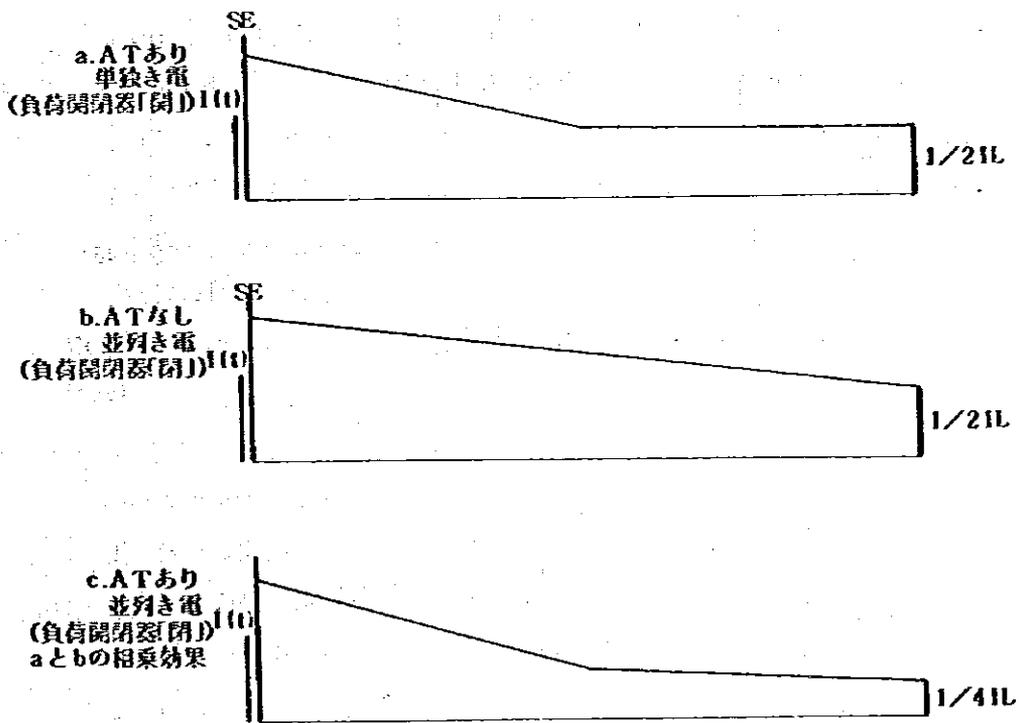
2) 計算式を次に示す。

- a 矩形波電流to秒通電後の上昇計算

$$\theta_0 = \frac{Pr}{A} (1 - e^{-\frac{A}{c} t_0})$$

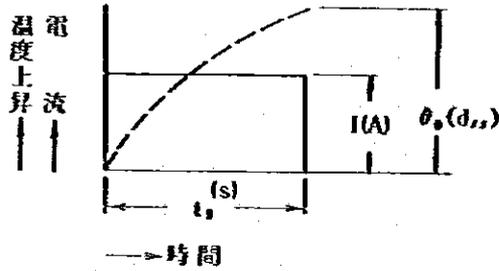


(2) 電流分布



図II-3-3 AT方式で並列き電の場合のトロリー線電流

- $\theta_0$  :  $t_0$  秒通電後の温度上昇 (deg)
- A : 電線単位長熱放散率 = 単位長当り表面積 × 熱放散係数 (W/deg)
- C : 電線単位長の熱容量 (W・sec/deg)
- r : 電線単位長の抵抗 (Ω)
- $t_0$  : 通電時間 (sec)
- I : 電流 (A)



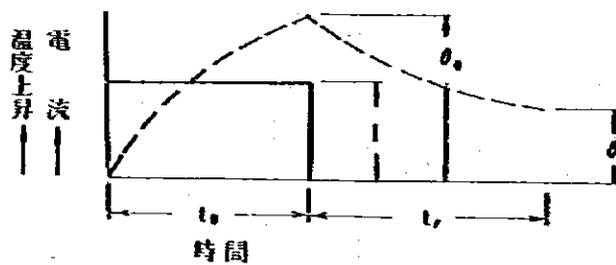
図Ⅱ-3-4 温度上昇の説明(1)

b 矩形波電流  $t_0$  秒通電,  $t_1$  秒放熱後の温度上昇の計算

$$\theta_r = \theta_0 \cdot e^{-\frac{A}{C} t_1}$$

$$= \frac{I^2 r}{A} (1 - e^{-\frac{A}{C} t_0}) \cdot e^{-\frac{A}{C} t_1} \dots \dots \dots (9-46)$$

- $\theta_r$  :  $t_0$  秒通電,  $t_1$  秒放熱後の温度上昇 (deg)
- $t_1$  : 放熱時間 (sec)



図Ⅱ-3-5 温度上昇の説明(2)

3) 具体的な計算

ATき電方式では図Ⅱ-3-3のような負荷が重畳されるので、最も負荷が重いと思われる7%の連続勾配区間について行った。

すなわち提示ダイヤ(2000年)で最も列車が多い時間帯を選び、き電距離40kmと50kmの場合につき検討した。すなわち機関車電流と運転速度を想定し、変電所直下のト

ローリー線の電流について、電流-時間曲線(図II-3-6)を作成し次にこの電流を各時間ごとにプロットし、電子計算機で温度上昇を計算する。

計算結果を要約すれば次のことがいえる。

a ATき電方式の場合

電車線の線種は日本が推奨する重架線方式(トロリー線Cu110mm<sup>2</sup>, 吊架線st135mm<sup>2</sup>)の場合で最もきびしい重負荷時間帯においてもトロリー線の温度上昇は制限値の90°C以下であり熱容量的には充分である。

b 直接き電方式の場合

同様な手法で電距離18kmの直接き電方式について電車線構成をトロリー線Cu110mm<sup>2</sup>, 吊架線st135mm<sup>2</sup>について検討した結果トロリー線温度上昇は制限値を大きく上廻り、吊架線にCu60mm<sup>2</sup>以上を用いるか、または変電所付近には補助き電線の増設が必要となる。

3-1-4-3 架線の電圧降下

電圧降下の検討に当っては変電所からき電区分所までの正常き電時と作業や異常時における隣接変電所までの延長き電などの運用を考えなければならない。しかし、今回は延長き電時の取扱い、列車規制等についての議論をしてないので、正常き電時の検討を主とした。したがって今後は列車運転の要求と設備の実情に合わせた、延長き電時の取扱い、列車規制の方法等を整理する必要がある。

検討の目標としてはUIC 600の規格

電圧の最高 27.5 kv

最低 19.5 kv

瞬時最低 17.5 kv

の制限値を満足することを目標にした。

(I) 計算の条件

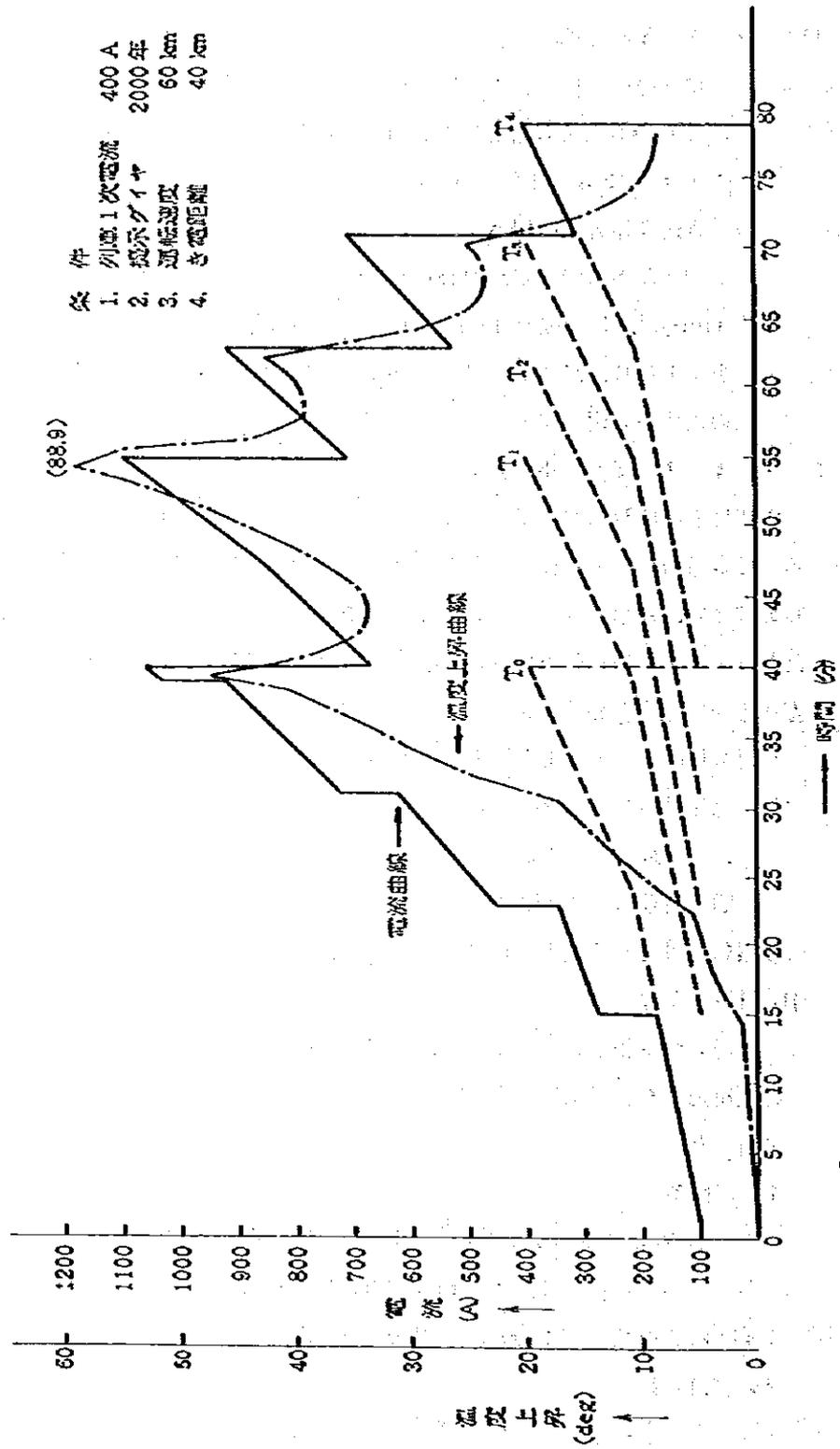
輸送力が増強される2000年のダイヤで連続7%の上り勾配区間(南行PK140km付近)の電圧降下をき電距離AT40km, AT50kmおよび直接き電方式の場合につき下記の条件で行った。

1) 運転条件

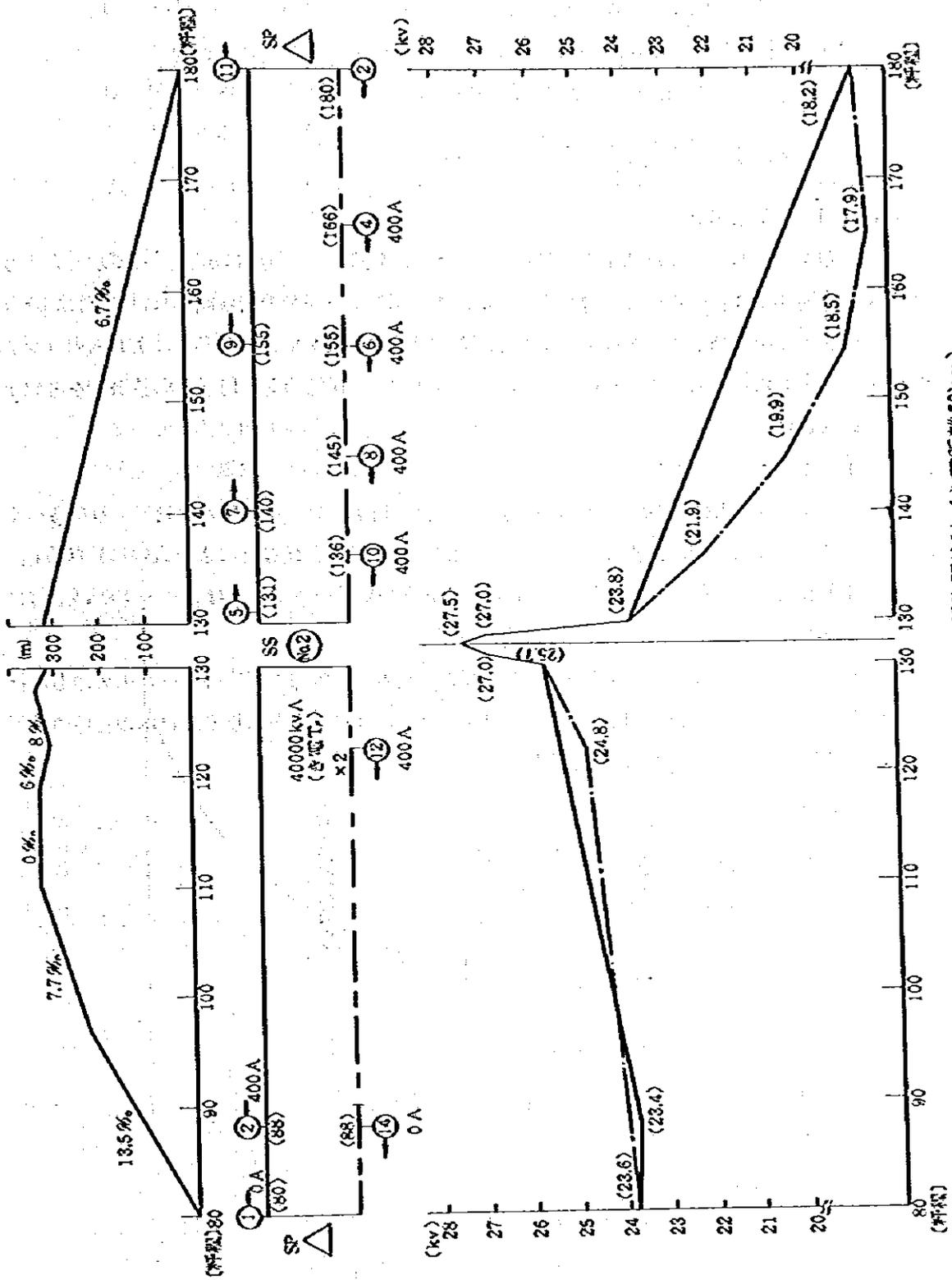
- a 2000年の提示ダイヤ
- b 平均けん引重量, 4,800 ton (6,000 tの80%)
- c 機関車電流 4,400 kw × 2 で 400 A

2) 線路定数

- a 直接き電方式 0.527 V/A-km (cos φ = 0.8)
- b ATき電方式 0.209 V/A-km (cos φ = 0.8)



図II-3-6 トロリ電流-時間曲線



図II-3-7 A T 式電方式電圧降下検討 (送電距離50km)

3) 電源インピーダンス

単相 27.5 kV 換算  $j 0.3 \Omega$

4) き電用変圧器の漏れインピーダンス

$T_r$  40,000 kVA (20,000 kVA  $\times 2$ ) %Z<sub>1</sub> = 7%

$$Z_l = j \frac{(27.5 \times)^2 \times 7 \times 10}{20,000} = j 2.65 \Omega$$

(2) 計算結果と考察

最も苛酷なき電距離 AT方式 50km の場合の例を図 II - 3 - 7 に示す。図に示したようにき電用変圧器の電圧降下分が大きい、電化開業から当分の間は問題ないが、将来 2000 年ダイヤを実施するときには実績をみて、き電延長の取扱を検討し、必要により直列コンデンサ等による漏れインピーダンスの補償(き電用変圧器の電圧降下分の救済)を考慮すればよい。

3-1-4-4 レール電位

レール電位は人体への危険電圧、信号軌道回路に対するレール絶縁の耐量等よりなるべく低いことが望ましいが、その値はレールの大地漏れ抵抗や天候などにより大幅に異なる。

日本国鉄では、在来線は 100 ~ 120v 電流の大きい新幹線 AT方式は 300 ~ 400 v を目標にしている。

メキシコ国鉄に ATき電方式を適用した場合、日本の新幹線と同等のレールの大地もれ抵抗を考慮してレール電位を検討した結果は図 II - 3 - 8 に示すとおりで、日本の目標値を下廻っており AT方式では特に問題はない。

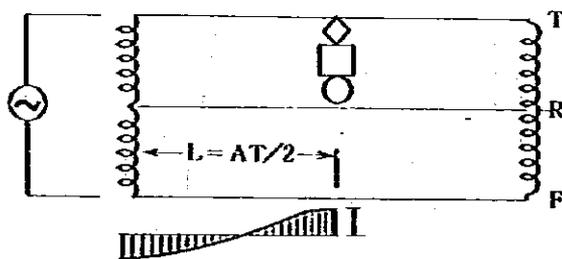


図 II - 3 - 8 レール電位の回路図

$$V_n = 1/2 (1 - n_2) I / 2 \times Z_0 (1 - e^{-TL})$$

( $V_n$  = レール電位)

$$n_2 = Z_{rR} / Z_{RR} = 0.4524 / 0.6929 = 0.6529$$

$Z_{RR}$  = Rail の自己インピーダンス

$Z_{rR}$  = トロリー線 - Rail 間相互インピーダンス  $\Omega/km$

$$Z_{RR} = 0.1526 + j 0.6760 = 0.6729$$

$$Z_{rR} = 0.0581 + j 0.4487 = 0.4524$$

$Z_0 = Z_{r0}/Y_0$ , レールの特性インピーダンス  $Z_0 = 0.6929/0.02 = 5.886$

$Y_0 =$  対地アドミッタンス  $Y_0 = 0.02$  (新幹線対応値)

$r = Z_{r0} \cdot Y_0$ , レール伝搬定数  $r = 0.6929 \times 0.02 = 0.11772$

$L =$  レールに電流が流れる距離  $L = 8.5 \text{ km}$

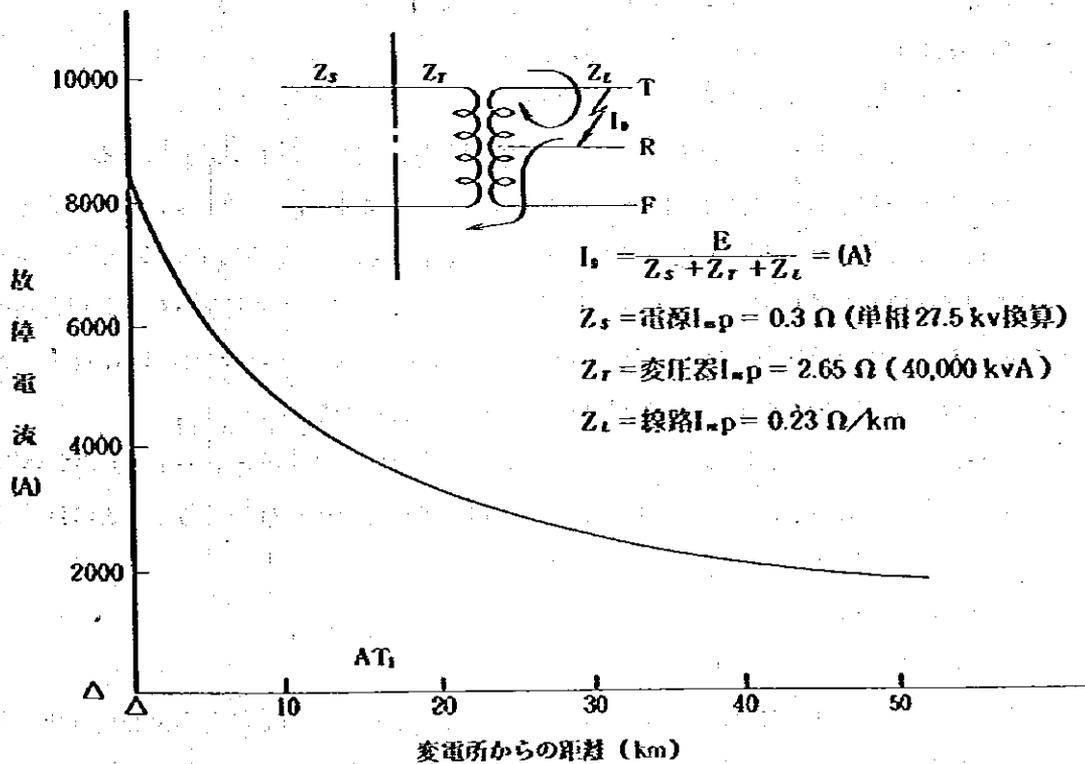
$I =$  負荷電流  $400 \text{ A} (200^A \times 2)$

$V_n = 1/2 (1 - 0.6529) \times \frac{400}{2} \times 5.886 (1 - e^{-0.11772 \times 8.5}) = 129.2 \text{ w}$

### 3-1-4-5 事故電流

ATき電回路においてトロリー線レール間短絡など金属故障時における電流は電源容量、き電用変圧器の漏れインピーダンスおよび線路インピーダンスによって定まるが、き電用変圧器 40,000 kVA (27.5 kv, 20,000 kvA) の漏れインピーダンスを7%として求めると図II-3-9のようになる。

従ってこの事故電流曲線を用いて変圧器の短絡耐量、通信誘導などを検討する。



図II-3-9 ATき電方式の事故電流曲線  
(25kv 側金属故障時)

### 3-1-5 並列き電方式

この方式は同一三相送電網が鉄道路線に沿って付けいされておき電源容量も比較的大きく単相受電可能な場合、該当する電鉄変電所の単相変圧器の三相電源への接続相と隣接する電鉄変電所との位相を同相とすることにより両変電所内の並列き電を行なう方式でこの方式の長所は

(1) 変電所間に異相突合せのニュートラルセクション(デッドセクション)が不要となるので電車線設備が簡素化される。

(2) ニュートラルセクションに対する電気運転上の制約が緩和される。

(3) 架線電圧降下が大きく軽減される。

など大きなメリットがある。

本方式は日本では長い年月使用実績があり、7%の勾配区間でATき電方式のニュートラルセクションをやめることができる。

### 3-1-6 電源設備

単相交流60Hzの電気鉄道を運転する場合、電源側への影響として考慮しなければならない事項は次のようである。

(1) 単相負荷のために発生する不平衡電流、電圧の影響。

(2) 集中負荷が繰返えされるための電圧変動の影響。

(3) サイクスタによって発生する高調波の影響。

これらは電源の容量が小さいときには特に問題があり、種々の対策が必要になる。

しかし今回の電化計画地帯は、鉄道路線に比較的近接して400kvと230kvの送電線2ルートが並行して設備されており、電力庁との打合せでも230kvから任意にT分枝で受電出来ほとんど専用送電線として利用できるのとこととで、電源の背後系統容量が大きいから前記各項の問題は特にない。また該区間には230kvの大口需要家もないので、送電線の保護も、従来どおりの方法で行なえるのとこととでありこのための検討は特に行なわなかった。

しかし送電線が線路に並行しているといっても、やはり場合によると10km以上の引込線の工事が必要な場所もあり、変電所の数が少くてすむATき電方式が有利であることには変りがない。

### 3-1-7 変電設備

#### 3-1-7-1 変電所(S・E)

き電用変電所は市街地の第1変電所は85kv受電であるが、その他は230kvを別回線からT分枝して3相2回線受信を計画している。したがって受電系の信頼度は高い。き電用変圧器は単相変圧器を2台設備し、正常時にはこれをV結線とし、電源に対する電圧不平衡、電圧変動を軽減するとともに、作業時や異常時には1台運転も可能な設備とし、極力シンプルな結線である。この計画案に対しては特に異存はないので、この計画に対しATき電方式を適用する場合の結線図を図II-3-10に示す。

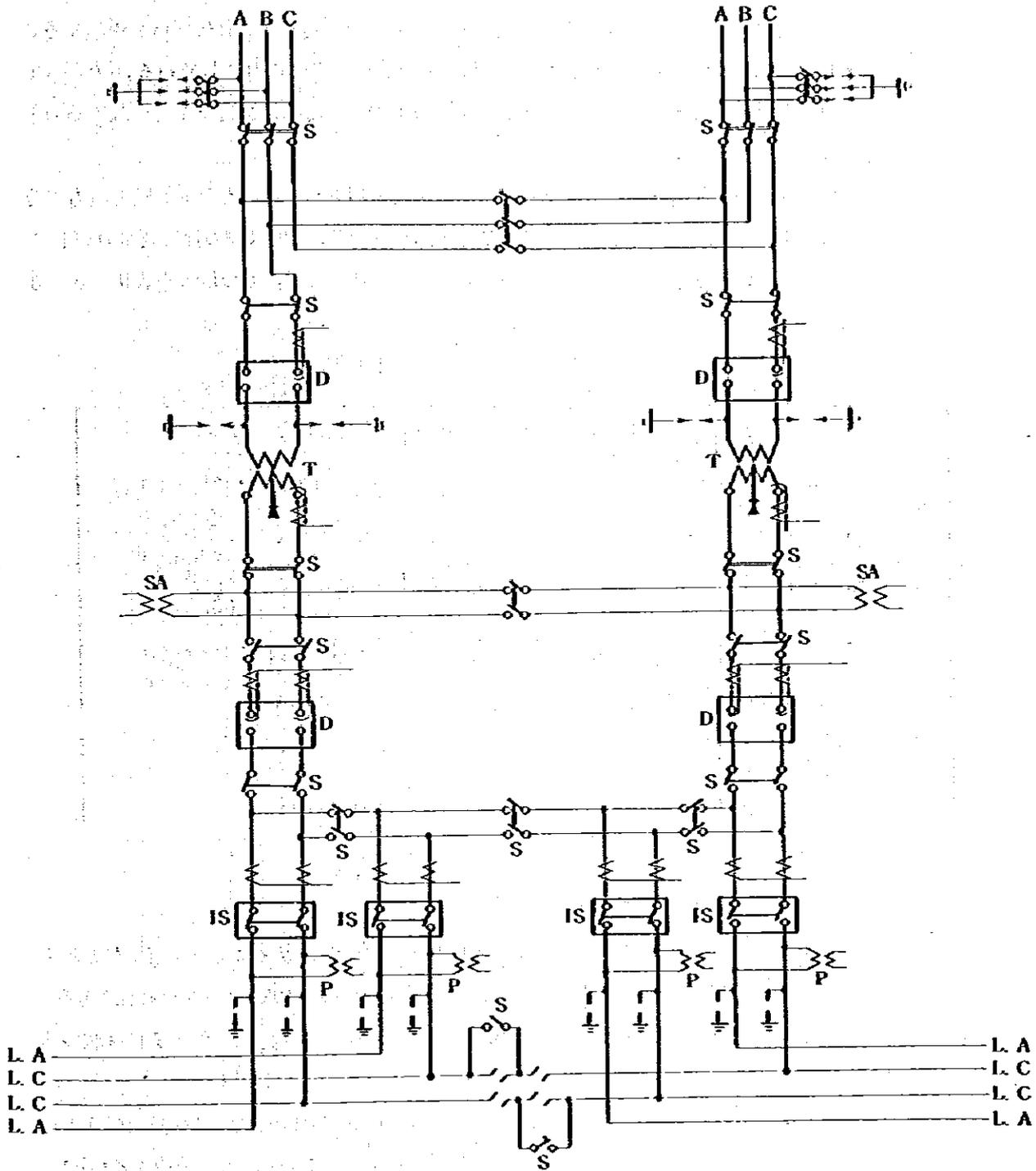


图 3-10 变电所主回路接线图

### 3-1-7-2 主変圧器容量

主変圧器容量は一般に一時間最大電力又は瞬時最大電力に対する過負荷耐量を規制することにより定格出力を定める。JNRではこの値を経験的に250%以内になっている。したがって変電所間隔が定めば与えられた列車ダイヤ上より最も密な1時間帯を選び1時間最大電力と瞬時最大電力を計算出来る。

計算の方法としては前記運転電流より算出する手法と列車キロとけん引トン数と電力消費率より算出する方法が一般的で、この検討ではJNRにおける勾配区間の貨物列車の運転実績から、列車キロとけん引トン数、負荷力率を想定して算出した。その結果を表Ⅱ-3-3に示す。

表Ⅱ-3-3 主変圧器容量 (概算値)

	項 目	ELの出力	A T 方式	S F 方式	記 事
正 常 き 電	き 電 距 離	4400×2 kw	50+50 km	18+18 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転ダイヤ</li> <li>1990年電化用</li> <li>・電力消費率</li> <li>15.0<sup>kw</sup>/1000<sup>km</sup></li> </ul>
	時間最大電力		23,820 kvA	8,580 kvA	
	瞬時最大電力		48,000 kvA	36,000 kvA	
延 長 き 電	き 電 距 離	4400×2 kw	100+50 km	36+18 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気車力率</li> <li>Cosp = 0.85</li> </ul>
	時間最大電力		36,000 kvA	12,870 kvA	
	瞬時最大電力		60,000 kvA	48,000 kvA	
	主変圧器容量	単 相	40,000 kvA	20,000 kvA	

### 3-1-7-3 AT容量と設置間隔

ATの設置間隔は主に線路に併行して設置される通信線への誘導又はレール電位などによって定まるが線路近傍に通信線のある場合、AT設置間隔は概ね10km~20km程度である。

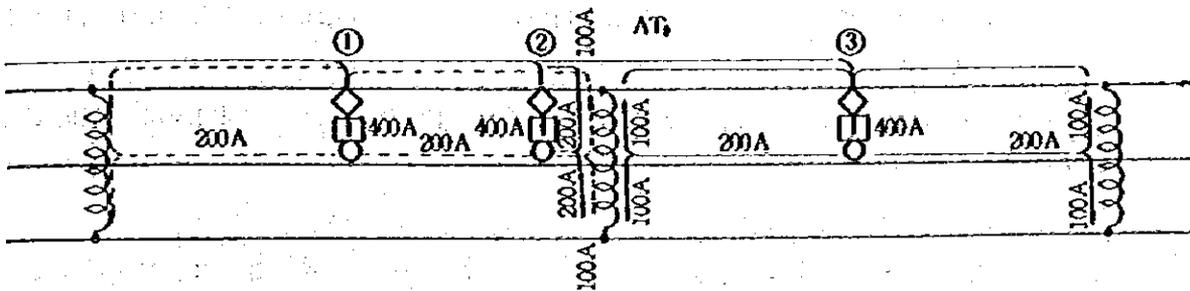
AT容量については設置間隔と電気車出力、運転ダイヤなどの運転条件が定めれば次のように選定する。

ATの短時間過負荷耐量は300%、2分間程度であるから電気機関車の運転間隔がAT設置間隔より大きい場合はその線区を走行する電気機関車4400×2kwの電流の約1/3をATの容量に選定する。

また列車間隔がAT設置間隔より小さい場合はAT巻線に流入する電流実効値を求め、これと比較して大きい方をAT容量とすればよい。計算回路図を図Ⅱ-3-10に示す。

### 3-1-7-4 き電区分所 (P.S)

き電区分所は常時の系統では異相電源の突合せ箇所になるのでニュートラル部分が必要であ



(図の説明) AT<sub>1</sub>の容量を求めると②列車は全電流、①③列車は1/2負荷を分流しAT<sub>1</sub>の巻線に流れるから。

$$W_{AT} = \frac{E \times I}{2.5} = \frac{25\text{kv} \times (200 + 100 + 100)}{2.5} = 4000 \text{ kVA}$$

2.5 = 過負荷容量

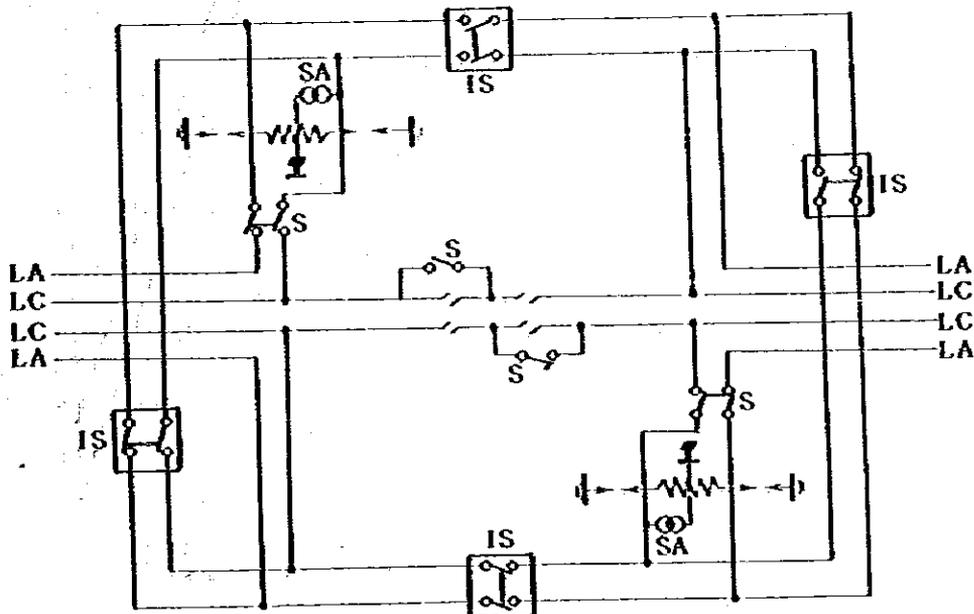
∴ 設備容量 4000KVAとなる。

図Ⅱ-3-9 AT容量の算出回路図

り、このニュートラル部分はノッチオフで通過を原則とするが、ニュートラル部分での車両停止も考慮し加圧の可能な設備としている。

AT方式ではATを上下線1台とし、上下又は片線のみの方種加圧のできるよう配慮し設備の経済化を計っている。

き電方式別の複線区間の結線図の1例を示すと図Ⅱ-3-12のようになる。



図Ⅱ-3-12 き電区分所単線結線図

### 3-1-7-5 補助き電区分所 (P.S.A)

補助き電区分所は次の2つの目的をもっている。

(1) 停電作業のとき、き電回路を区分するため、

(2) き電回路の事故時に、き電区分所を利用して停電区間を限定し、列車の運行を最大限に行うため、

補助き電区分所の間隔は列車密度によって異なるが、10~20kmに設置するのが一般的である。

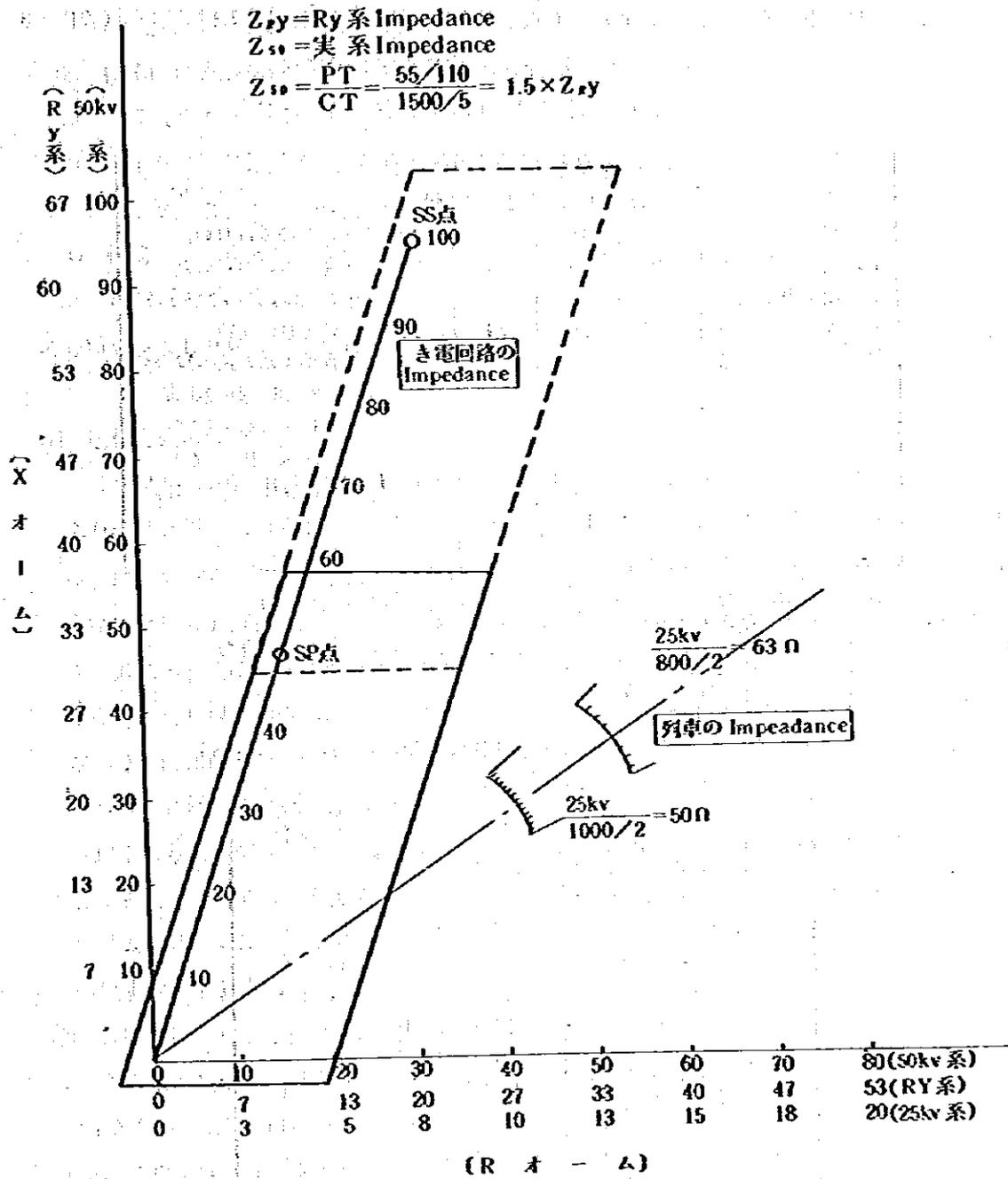
#### 3-1-7-6 事故時の保護

き電回路における事故時の保護はリアクタンス形の距離継電器を図II-3-13に示すように変電所およびき電区分所に設備する。

保護範囲は、常とき電時は変電所で検出可能であるが、き電延長時はき電距離が長くなるのでき電区分所の継電器により隣接変電所まで保護する。

なお事故時の故障点標定については日本では運転密度が高いためAT方式では標定精度の高い吸上電流比方式を採用している。

メキシコ国鉄においても将来、標定装置を用いる必要がある。



図II-3-13 用継電器 (44F) によるき電回路保護

### 3-1-8 工事費の比較

3-1-2でのべたき電方式について、条件を同じにして工事費の比較を行った。

き電方式の差によって生ずる工事費の差について、表II-3-4に変電所の例と、き電区分所および補助き電区分所の例を示した。全体の工事費の比較は図II-3-1の配置図で行なった。直接き電方式とATき電方式の工事費の比は $787/661=1.19$ となる。(表II-3-5)

表II-3-4 変電所設備工事費の比較

230kv変電所の例とき電区分所、補助き電区分所

項 目	ATき電方式		直接き電方式		記 事
	複 線	単 線	複 線	単 線	
A. 受 電	40	40	40	40	・両者の差はない。 ・変圧器の容量の差 ・C:D:E=20:50:30 ・CとDの比較 直接き電方式の減少分 断 路 器~20% しゅ断器~50% き電盤~4% (CDEで約40%)
B. 変 圧 器	25	25	17	17	
C. 変圧器2次側					
D. き 電	35	26	31	24	
E. 共 通					
計	100	91	88	81	
き電区分所	19	12	12	4	
補助き電区分所	10	5	3	2	

- 注1. 受電には受電柱、受電母線、変圧器柱、変圧器1次側を含む。
2. き電にはき電柱等を含む。
3. 共通には所内盤、バッテリー、遠材装置、コンプレッサーを含む。
4. 土地入手代、建物は含まない。
5. ロケーターは含まない。

表II-3-5 き電方式の工事費比較 (Mexico~Irapuato)

項 目	ATき電方式 単価×数	直接き電方式 単価×数
230kv 複線変電所	100 × 3	88 × 5
115kv 複線変電所		70 × 1
115kv 単線変電所	71 × 1	63 × 2
複線き電区分所	19 × 22	12 × 5
単線き電区分所	12 × 1	4 × 2
複線補助区分所	10 × 10	
単線補助区分所	5 × 4	
変電設備小計	511	704
電車線増加分	86	
送 電 線	34	83
合 計	661 比(1)	787 (1.19)

- 注1. 工事費はJNRの例を参考にし230kv複線変電所を100にした場合の比較
2. 変電所等の配置案は図II-3-1参照。
3. この数値は当初の概略計算でその後仕様書で示された条件を加味してチェックしたがATき電方式の有利性は変わらない。

### 3-2 仕様書原案に対する意見

#### 3-2-1 検討の考え方

仕様書の原案に対して、

- (1) 国際的な入札書類として適当であるか、  
(特定の国や会社の製品を強要するおそれがないか)
- (2) 技術的に誤がないか
- (3) 建設費を不当に高くすることはないか
- (4) メキシコ側が希望する国産化を積極的にとり入れているか

等をチェックした。国内での検討結果を

- (1) 総論として申入れる事項
- (2) 各项目的に申入れる事項

に分類し整理し意見具申をした。

#### 3-2-2 全対に対する意見

##### (1) 電化方式について

仏ソフレ (SOPFRERAIL) Report では、仏方式に於ける価格比較を行なってAT方式より直接き電方式の方が約24%低廉であるとし、以下は全て直接き電方式が主体となった仕様書にしている。一方日本側で同上価格の日本方式による比較を行なうと直接き電方式の7変電所よりAT方式の方が安価になる。区間をMexico～Queretaro間250kmを対象とし、AT方式の変電所数を4変電所としているが、日本側の考えでは3変電所で充分である。即ち1変電所分だけ受電線路、変電所機器、区分所数が増え、価格を上げる要素となっている。なおQueretaro～Irapaut間は単線なのでAT方式の方がワイヤーが一本なので復線にくらべさらに経済的になる。

以上より日本側見解として、今回の仕様書は、直接方式一本に絞らず、より良いシステムとするため、AT方式を含めた他方式の提案も出来るよう前文で「本提案による直接き電システム以外にも技術、価格面で優れたシステムであればこれを代案として提案すること」と明記すべきである。

##### (2) き電系統の基準絶縁 (Basic Insulation Level) について

き電系の電圧は、27.5kv (直接き電) 単相である。3相電圧系統では、 $27.5\text{kv} \times 3 = 47.6\text{kv}$  となり、40kv又は50kv系に相当するが、単相き電系は一方が直接レールに接続されるので、3相中性点直接々地系と同じになる。即ち中性点直接々地系では線間電圧40～50kv相当でも絶縁低減が可能である。今回の仏側提案ではき電系統はアレスターを設置せず、各機器のブッシングには放電ギャップをつけ、機器の絶縁をインパルスで190～250kv、商用周波数で81～95kvと、40～50kv 3相系相当にしている。

一方日本に於ける25kv (送り出し電圧30kv) 単相交流電化では1線レール接続による低

減効果を考えインパルスで200kv、商用周波で70kvとし、系統基準値をアレスターでとっている。この場合は、アレスターにより異常電圧が制限値に確実に管理されるのでブッシングに放電ギャップをつけるような事はしていない。但し機器のコロナ放電については、これにより破壊しない考慮を払うこととしている。

このような代案提案もできるよう「き電系の機器の基準絶縁については、27.5kv単相き電方式系に適した代案も認める」こと。

### (3) 設備設計の基本事項

原案の仕様書の中に記入もれしているものをあげると次のとおりである。

変電所設備の設計に当っての仕様書としての一般条件を明確にすべきである。それは直接き電方式のみならず他のき電方式も提案できるようにすること。

- 1) 気象条件〈温度、外気、室内、風速、湿度、高度(気圧)〉を明確にすること。
- 2) 変電所設計に当っての最小限度の運転条件を明確にすること。
- 3) 変電車等用地の選定条件を明確にすること。
- 4) き電回路の保護方式について言及しないが、最もよい案を提案できるようにすべきである。
- 5) 電気連動要項、機器の操作の手順、保護リレーで動作されるしゃ断器等のきめについて何ら明確にされていない。
- 6) 受電系統(CFC)の中性点、接地方式機器の各項目で85kv系、245kv系の中性点が巻線方式となっているが、一般に直接々地で機器の絶縁は低減する方式になっている。この件を明確にすること。

### (4) 規格仕様書の問題

一般的な国際入札書に於いては、国際規格(IEC)以外にも、これと同等もしくは同等以上であれば、その他各国の独自の規格も認めている。なおこれは「性能」に関するもので、機器の材料については、各国独自の規定があり、これを認めること「各機器の性能については、IEC及びこれと同等もしくは同等以上の規格に従うこと。」と文章を全機器につき変更のこと。

### (5) 変電所の遠制御方式

遠制御方式については、Systemの運用方式制御の箇所数とPosition数、連絡回線の特性や回線数保守体制等によって、C.T.C.とC.S.Cを一体化するか分離するかを経済比較して決定すべきと考えられる。

従って仕様書では、制御する箇所とPositionだけを決めてどちらの方式でも提案できるようにすべきと考える。

## 3-2-3 各項目に対する意見

各項目は直接き電方式を対象としているので、主に技術的問題にしぼって意見具中を行った。内容的は多様多様で専門的なのでこの報告書では省略する。(付属提出資料リスト参照)

### 3-3 応札書の技術的評価の基準

#### 3-3-1 システムの分類

変電設備を建設する場合その設計は将来の運用、保守方式も含め3-1-1項で述べたシステム機能を考慮し仕様書にこれらの事項を明確にする必要がある。

今回、これらの前提の整理が不十分で仕様書に忠実な応札書であっても必ずしもよいシステムが出来ると思われない。特にき電方式は我々がしばしば指摘しておるとおりAT方式が優れていると思われ、メキシコ側もすぐれた代案があれば受入れることを表明している。

したがって応札書の技術的評価も、システムとしての機能評価を提言し、システムの分類として、

- (1) ロケーション
- (2) 受電系
- (3) 変圧器系
- (4) き電系
- (5) 共通系

に分けて、その採点比重は系のシステムダウンによる影響度、JNRの保守実績、事故実績から表Ⅱ-3-6を提案した。

表Ⅱ-3-6 変電設備評価配点表

	電源の確保 (電力会社との関係)	き電回路 の特性	き電保護	事故の 影響度	ウェイト
ロケーション	△	○	△	○	20
受電系	○	△		△	10
変圧器系	△	△		○	20
き電系		○	○	○	40
共通系				△	10
*遠 達 斜 系	△		△	○	(10)
ウ ェ イ ト	△	○	◎	△	100

注 1.\*信号の仕様書に含まれている参考値  
2. 重要性：○>△>空

#### 3-3-2 設備機能の技術的評価の考え方

有機的なシステムの評価をする場合、機器全体の評価、または単位部品の評価はあまり意味がない。

例えば弱い箇所は二重化すればシステムダウンにならないし、同じ機種でも使用場所によって重要度が異なる。

例えば変電所のき電用しゝ断器の故障はその影響が変電所から供給する全き電区間に及ぶが、

表II-3-7 変電設備評価項目表

項目	電力会社関連	き電回路の諸特性	き電保護	事故の影響度
ロケーション	受電への配慮	電圧降下 運 用	事 故 検 出	運用 (区間を区切って 電気を止めたり、送っ たりすること) 電源の確保
受電系 (変電所のみ)	電源の確保 電源の質 電力料金 効 率	電源の質		
変圧器系 (変電所のみ)		電圧降下 (変圧器のインピーダンス)		信 頼 性
き電系		き電電流容量	事故電流検出 き電電流容量	信 頼 性 運 用
共通系				信 頼 性 冗 長 性
遠 制 系	情 報		確 実 性	直接運転との切換 情報

き電区分所のしゃ断器の故障の場合はその影響が部分的ですむ。したがって個々の機器の信頼性を求めても全体の評価はむずかしい。

JNRでは設備の単体の信頼度を仕様書で規定するとともに、機器はどんな低い確率でも故障が必ずあると仮定し、その機器が事故のとき他に波及する区間を極力少くするとともに、もし影響が大きいかまたは復旧に時間がかかると予想される機器または機能は、予備機器を設備したり、2重系にしたりする等の対策を配慮する。(ただし、過大な投資をさけるため、同じ時刻に2ヶ所で同時に事故は発生しないものと仮定する。)

換言すれば変電設備の故障では完全に列車を止めないような設備を優先し、その順位は長い保守実績とたえない機器の改良実績からきめている。

以上を前提にしてシステムとしての評価をJNRの経験を参考にして、大粗に提示すれば「設備別、機能別項目」に分類し、性能別に評価をする方法が料かりやすいと思われるので、システムとしての影響度を考慮した。

### 3-3-3 評価のチェックポイント

表II-3-7に評価の項目を示し各項目ごとのチェックポイントを簡単に次に示す。

#### (I) ロケーション

- a. 受電の考慮 ◦ 高圧電気を受電するのに都合がよいか。
- b. 電 圧 降 下 ◦ 常時、異常時の電車線電圧が規定の値を保てるか。
- c. 事 故 検 出 ◦ 考えられるあらゆる場合のき電回路で事故が発生しても事故電流を検出し、これをしゃ断出来るか。
- d. 運 用 ◦ 事故時に事故電流を制限し、他の健全区間への影響がないか。

- 設備の点検時に列車をダイヤ通りに運転することへの悪影響が少いか。
- き電区間に電気を供給したり、停めたりすることが確実に迅速に出来るか。

(2) 受電系(変電所のみ)

- a. 電源の確保
  - 受電電源は信頼性があるか。(停電が少いか)
  - 電源や送電線の事故のとき、容易に健全な他回線に切換えて受電出来るか。
- b. 電源の質
  - 電圧の変動が少く、電鉄特有の不平衡や高調波に対して強い。
  - 前記の対策費が必要になるか。
- c. 電力料金
  - 電力を安く購入出来る契約が出来る設備になっているか。

(3) 変圧器系(変電所のみ)

- a. 効率
  - 変電所の効率はほとんど変圧器で決まるがこの効率がよいか。
- b. 変圧器内部の電圧降下(インピーダンス)
  - き電回路の電圧を規定に保つためには、変圧器内部の電圧降下が無視出来ないもので、その値は小さいか、またはその対策はあるのか
- c. 信頼性
  - 変圧器は特に事故の影響が大きく、また復旧に時間がかかるので電鉄のような大負荷の繰返しに充分耐える設計になっているか。またその実績があるか。

(4) き電系

- a. 事故電流検出
  - いかなる場合の事故電流も確実に検出し、事故電流を確実にしゅ断出来るか。
- c. 信頼性
  - き電用のしゅ断器は特に公衆の安全に関係するので高い信頼性が要求だが、この要求に応じられるか。
- d. 保守性
  - 保守作業のとき、正常な列車運行に支障の少ない設備、システムになっているか。
  - 事故をおそれるあまり過度の保守作業を要求されていないか。
- e. 運用
  - 他の事故や、保守作業のため列車運行への影響を少なくするための運用が容易か。
- f. き電電流容量
  - 正常時はもとより、異常時の負荷電流に耐え、短絡電流に対しても安全か。

(5) 共通系

- a. 信頼性と冗長性
  - 共通系(バッテリー、所内用電源等)の事故のため、システム事故に発展しない配慮がなされているか。
- b. 建物、構
  - 公衆や動物が容易に入ることが出来ない考慮がしてあるか。

(6) 遠制御系(この項目は信号に含むが参考として下記に示した)

- a. 確実性
  - 誤選択や、誤指令が絶対のないシステムになっているか。

- b. 運用取扱 ・取扱いが簡単で、事故や作業のとき局所的な直接運転が簡単に出来るか。
- c. 情報 ・関係ヶ所への連絡がもれなく確実に迅速に行えるか。

以上は特に注意すべきチェックポイントを連記したので、機器単体の信頼性や保守作業への配慮、保守費の軽減などは共通的な事項なので説明を省略してあるが、判定への重要な要素である。

### 3-3-4 国産化について

#### (1) ランク

変電設備の機器を国産化する場合の技術転移について検討を行い、機器製作の技術的な面から次のランク付をした。

- A : すぐ可能なもの。
- B : 仕様書を変更すれば適用品がある。
- C<sub>1</sub> : 条件付(軽度)で可能なもの。
- C<sub>2</sub> : 技術指導(軽度の)を受ければ可能なもの。
- C<sub>3</sub> : 設備投資(軽度)を行えば可能なもの。
- D<sub>1</sub> : 技術指導を要するもの。(ある期間)注: 3年程度
- D<sub>2</sub> : 設備投資を要するもの。(ある程度)
- E : 技術的には将来可能であるがむづかしい。
- F : 経済的に不合理であるので国産化しない。

特殊品で少量である。

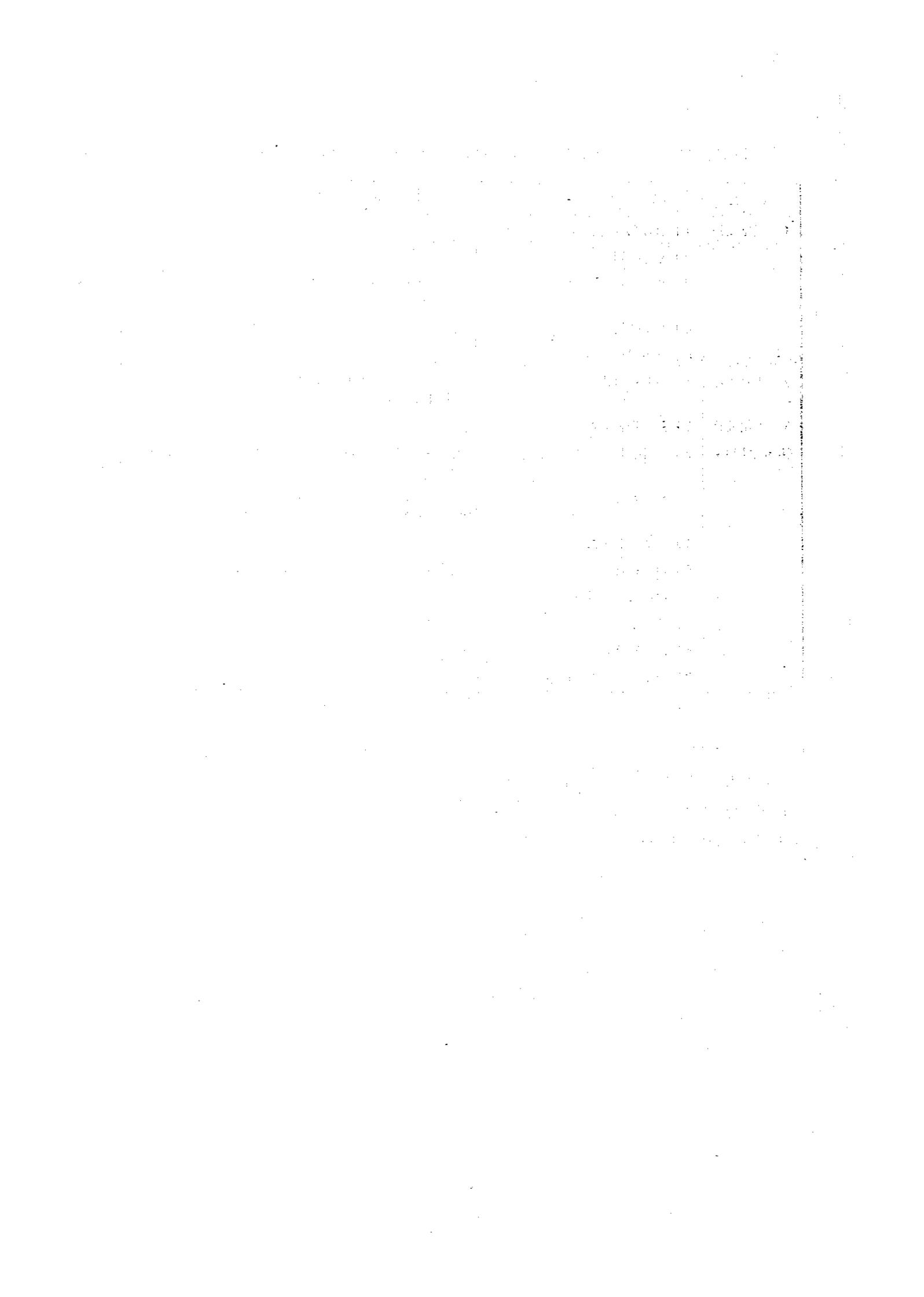
#### (2) 見解

変電設備の機器は遠東装置、インピーダンスリレー等特殊なものを除いてはメキシコで製作されている。したがって価格や信頼度を問題にしなければメキシコで生産が可能である。

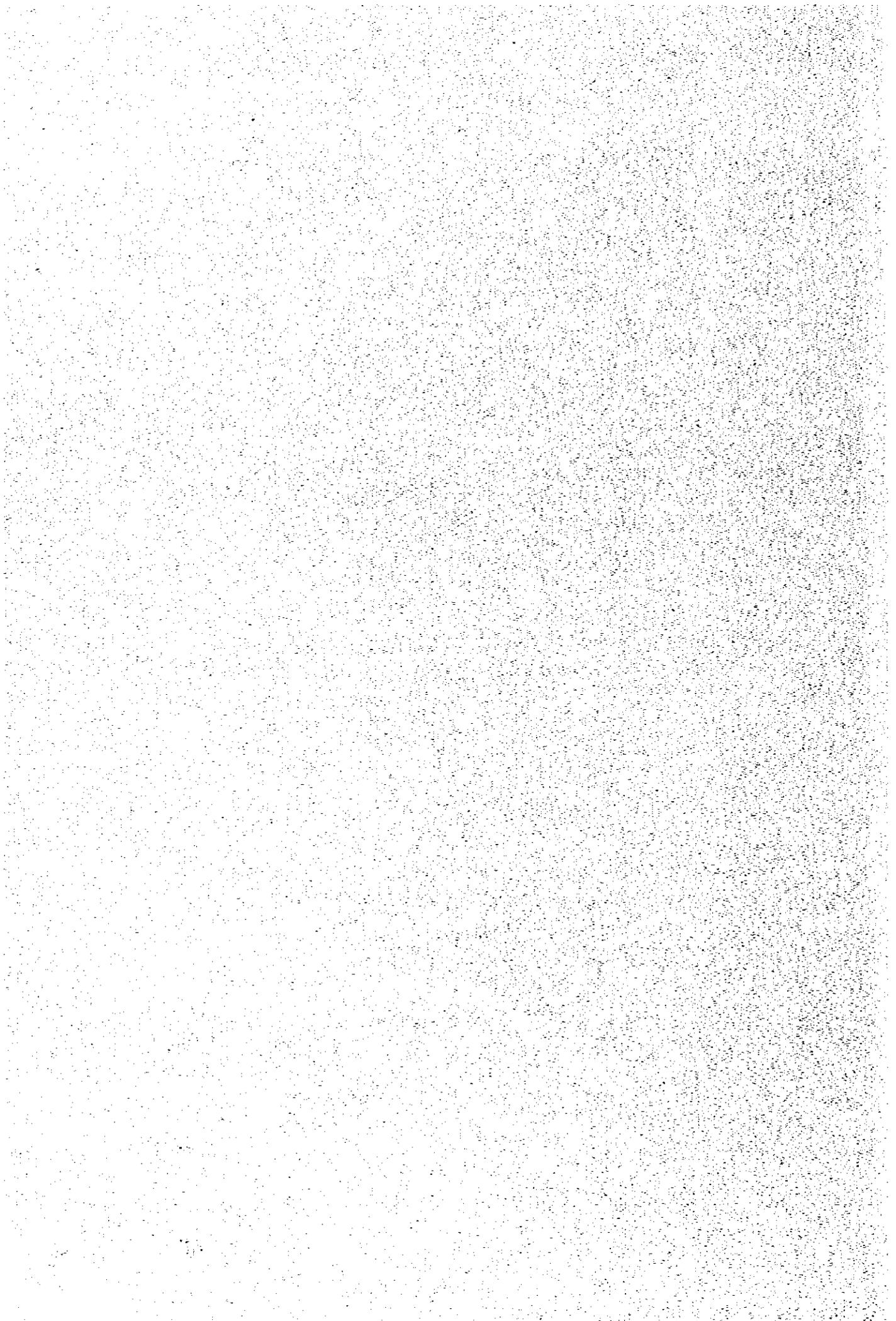
しかしき電関係の主要機器については断するひん度が多く負荷としても機関車のような負荷であり性能について長い時間をかけて改良を行ってきたので技術的転移が必要と思われる。

表II-3-8 変電関係国産化(技術移転)の要約

名 称	構 成 機 器	技 術 問 題 点	ラ ン ク
1. 受電設備	1) 計器用変圧器(コンデサー形)		A
	2) 避雷器		A
	3) 断 路 器	機器の機構等について遠割のためや、2極用への改造が必要。	A~C <sub>1</sub>
	4) ショ断器	機器の機構等を2極用に改造が必要	A~C <sub>1</sub>
	5) 計器用変流器		
2. 主変圧器	1) 単相自令式	ひん度の多い、き電回路の短絡電流に耐えなければならない。	C <sub>1</sub>
3. き電設備 (単相27.5kv)	1) 計器用変流器		
	2) 断 路 器	機器の機構等について遠割のためや、2極用への改造が必要。	A~C <sub>1</sub>
	3) ショ断器	閉路方式を採用し、ショ断回数も多いので耐久性的のあるものでなければならない。	C <sub>1</sub>
	4) 計器用変圧器		A
	5) 避雷器	普通の形式ではなく重責務が要求される。	C <sub>1</sub>
	6) 総括盤とき電盤	特殊な回路(連動)や機器具を含んでいる。	C <sub>1</sub>
	7) A, T	低インピーダンスで作ることが必要。	C <sub>1</sub>
	8) 負荷断路器	真空設備の投資が必要。	D
	9) バッテリーと制御盤		A



## 4 電車線路



## 4 電車線路

### 4-1 電車線路の検討

#### 4-1-1 検討の前提条件

電車線路は、移動する負荷に変電所で作成された電力を確実に供給できる設備であると共に、一重系の電気運転設備として、充分なる信頼度と保安度を有する設備でなければならない。

この条件を満足するために、電車線路には次のような性能を備えていることが要求される。

1. 電気車の集電々流、運転速度などの運転条件に適合する集電性能を有すること。
2. 風、振動等の外力に対して十分な機械的強度を有すること。
3. 塵埃等による汚損や電流容量、電圧降下に対して十分な電氣的強度を有すること。
4. 事故が他の区間に波及しないようにし、運転支障を極力少なくできること。
5. 一般公衆や人畜に危害を与えないこと。

そのほか、「前提条件」の項で述べた条件に加えて次の条件を前提とした。

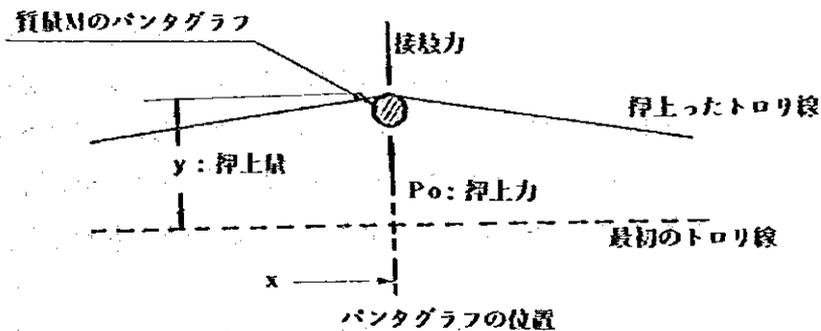
1. 温度  $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
2. 最大風速  $60\text{ km/h}$

#### 4-1-2 集電特性

##### (1) 集電特性概論

一般に電車線路はちょう架線、トロリ線とも各々1トンの張力で張られていた。近時列車速度の向上に伴って、張力を変えずに支持点にY線を付加する事やプレサグ（あらかじめ径間中央のトロリ線高さを支持点のトロリ線高さより低く設備しておく事）を設ける事が行われて来た。一方架線理論の発達により、架線全体の張力をあげる事が集電特性の向上ならびに架線振動の軽減につながる事が分って来た。日本ではちょう架線を2トン、トロリ線は従来のまま1トンにした重架線が開発され、この10年全面的に使用されている。

トロリ線はバネ作用を持っており、これをパンタグラフで押し上げながらパンタグラフが動いて行く。



一般に架線とパンタグラフとからなる一つの系（システム）の運動は次の式で表される。

$$Y = \frac{P_0}{K} \{1 + \epsilon f(x)\} \text{-----} (4-1)$$

Y：架線の押上量，K：バネ定数の平均値， $\epsilon$ ：バネ定数の不等率，X：パンタグラフの位置， $f(x)$ ；Xの関数（振動項）， $P_0$ ：パンタグラフの押上力。

一般に集電特性を向上させるためには次の二つの条件が考えられる。

- 1) パンタグラフの振動を小さく，できれば0とする。
- 2) 架線の偏位を小さく，できれば0とする。

(4-1)式から分ることは，上記1)の条件を満たすためには $\epsilon \rightarrow 0$ とすればよい。上記2)の条件を満たすためには $P_0$ はあまり小さく出来ないので，Kを大きくすればよい。

## (2) 変形Y形シンプル架線

変形Y形シンプル架線は，支持点のバネ定数を径間中央に合わせて小さくし，バネ定数の不等率 $\epsilon$ を小さくする事を意図した架線である。即ち(4-1)式の $\epsilon$ を小さくする事を意図している。これは高速用架線として日本でも以前から使われていた架線であるが，以下に述べる欠点を持っている。即ち

- 1) 押上量が大きくなり，電線，金具類に振動疲労が生じやすい。

バネ定数を径間中央（最低値）にそろえれば当然押上量が大きくなり，その結果振動量も大きくなる。そのため，電線，金具類に振動疲労が生じやすい。（量的比較は後述する）このため，架線事故，保守量の増大をもたらす。

- 2) セクション（オーバーラップ）構造

セクション部のバネ定数を一般箇所とそろえる事は不可能である。このためセクション通過時に異常振動を生じやすい。

- 3) 横風の影響

カテナリーに横風が当たると電線は風下倒れに傾き，張力が大きくなりトロリ線が上倒れに傾く。この量は架線系の風圧が大きいほど，またその張力が小さいほど大きい。この架線系は等高を意図したので，風によりその意図は不可能となる。

- 4) 日本での経験

日本で変形Y形架線が使われなくなったのは上記の振動疲労のためのY線の切断，ちょう架線支持点でのちょう架線の素線切れの発生，および風による特性の変化による事故発生ならびにY線部の調整（特にセクション部）に多量の保守人工を要した事が原因であった。変形Y形架線を次に述べる重架線への変更工事を施行した。

## (3) ヘビーシンプル架線

この架線系は架線の張力を上げ，バネ定数を全体に大きくした架線系であり，日本で高速用架線として使われている。

#### 1) 押上量

全体として押上量が小さい範囲におさえられるため、電線、金具類の振動疲労が少ない。

#### 2) セクション（オーバーラップ）構造

セクション部で異常振動を生ずる事は変形Y形架線と同じであるが、押上量が小さいため振動による架線系への影響は少ない。

#### 3) 横風の影響

架線系の風圧は一般に高張力化に伴う線種径の太径化により大きくなるが、張力が大きくなるため全体的な偏位量は小さく風による架線系の特性への影響は少ない。

#### 4) 日本での経験

日本で変形Y形架線をやめてヘビーシンプル架線を使い始めた理由は、以上の様に、振動疲労や調整の容易さからである。しかしながら一般に高張力化に伴うちょう架線の線種の太径化、支持物強度のアップ等に伴う建設費の増大が考えられる。この対策として太径化はちょう架線にスチールを使う事により、銅系ちょう架線より安価となる。又、銅系ちょう架線の場合より支持物径間を延ばせる事からコストアップを防止している。（参考1）

### 4-1-3 コンピューターシミュレーション

変形Y形シンプル架線とヘビーシンプル架線とをコンピューターを用いてシミュレーションを行い、両架線系の比較を行った。

#### (1) 前提条件

1) 架線系は図II-4-1に示す3種類である。シミュレーションは5径間両端引留構造とし、第3、第4径間のデータを解析した。

#### 2) パンタグラフ系

パンタグラフ系は図II-4-2に示す1個パンタグラフ系を考え等価質量20kg、押上量は静止時68.6N、160km/h走行時117.6Nとし、この空力的力は速度の2乗に比例して増加するものとした。パンタグラフの走行速度は最高160km/hとした。

#### 3) プレサグ

プレサグについては架線系の中央点でスパン長の1/1000のプレサグをつけた。

#### (2) 結果

図II-4-3に示す。

#### 1) 押上量（径間中央）

160km/h時の径間中央での押上量は

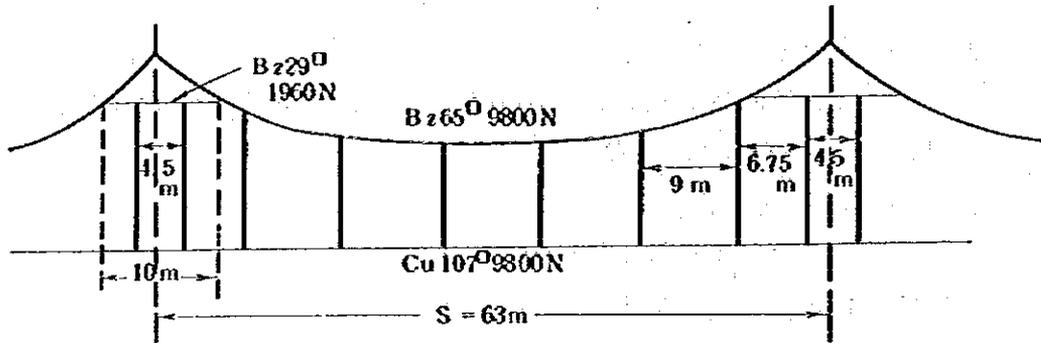
α) 146mm、β) 87mm、γ) 118mmである。

#### 2) 押上量（支持点）

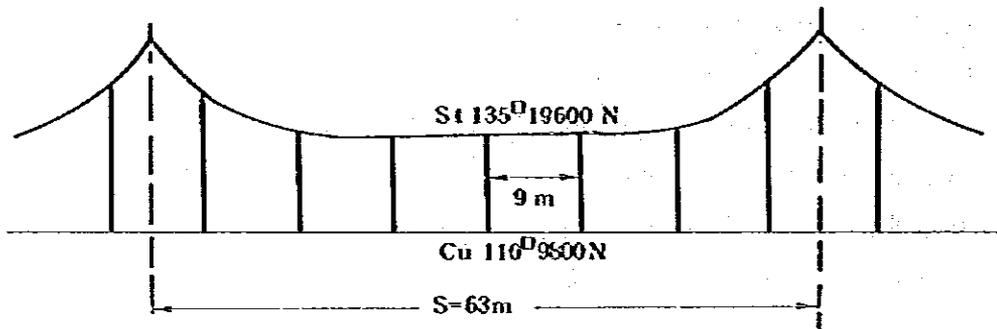
160km/hの支持点での押上量は

α) 92mm、β) 30mm、γ) 30mmである。

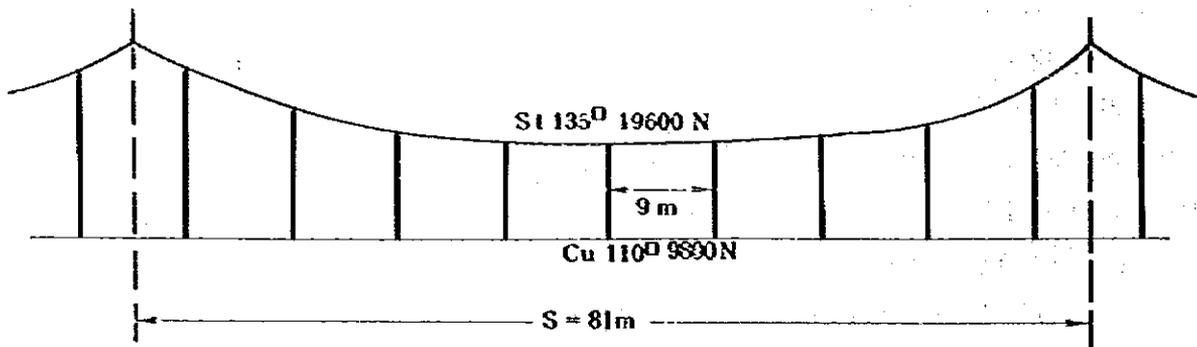
(α) 変形Y形シンプル架線 (径間63 m)



(β) ヘビ-シンプル架線 (径間63 m)



(γ) ヘビ-シンプル架線 (径間81 m)



図II-4-1 コンピュータシミュレーションに適用する架線構造

### 3) パンタグラフの上下振動幅

160 km/h時のパンタグラフの上下振動幅(パンタグラフの最高点-パンタグラフの最低点)は

α) 60mm β) 40mm γ) 60mmである。

#### (3) 考察

β) がパンタグラフの上下動、押上量とも最も小さく良い特性を示している。γ) についてもパンタグラフ上下動はα)と同程度であるが、押上量ではα)より良い特性を示している。α)はパンタグラフ上下動ではγ)と同程度であるが、押上量ではβ) γ)のいずれよりも大きく振動特性が良くない事を示している。

一つの問題としてプレシグのつけ方が適当であるかどうかの問題もあるが、振動特性ではα)はβ) γ)より劣っていると云える。特に振動により最も影響を受けて損傷しやすい金具としてき電分枝があるが、重架線よりシンプル架線の方が2倍以上の応力発生が実測されている。



$$M = 20 \text{ kg}$$

$$P_v = P_0 + A V^2$$

M: パンタグラフの動的質量

P<sub>v</sub>: 動的押上力

$$P_0 = 68.6 \text{ (N)}$$

$$A = 1.19 \times 10^{-3} \text{ [N/(km/h)^2]}$$

図II-4-2 パンタグラフモデル

#### 4-1-4 架線材料からみた考察

##### (1) 電流容量

重架線系は架線全体の張力をあげるため、経済性を考慮して、ちょう架線に鋼を使い、ちょう架線のみ張力を上げて構成されている場合が多い。このため電流容量の面からいえば、ちょう架線が鋼系の変形Y形シンプル架線の方がすぐれている。

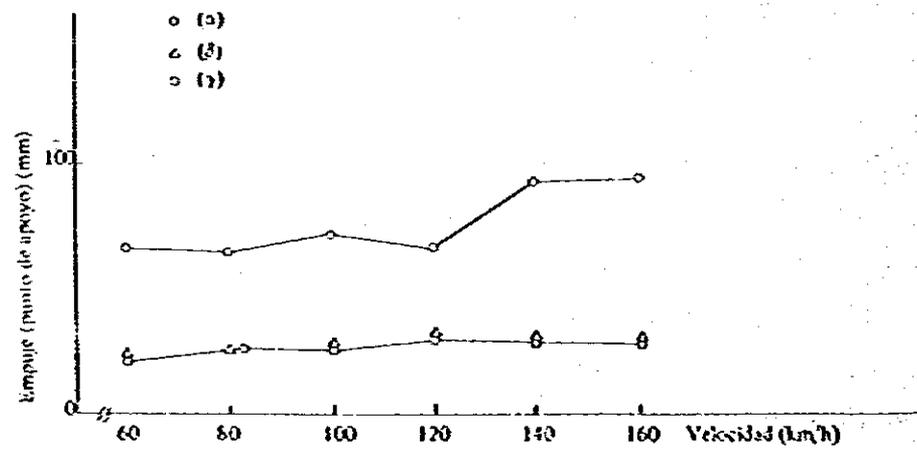
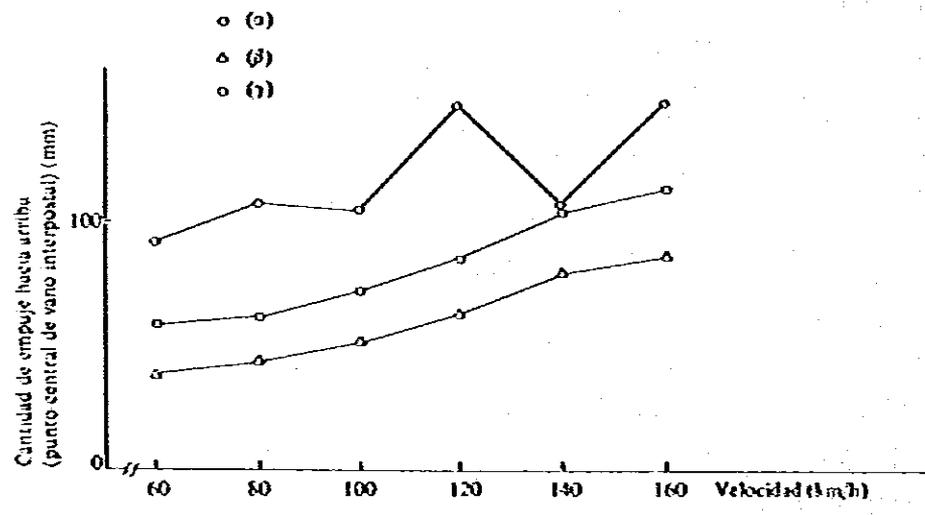
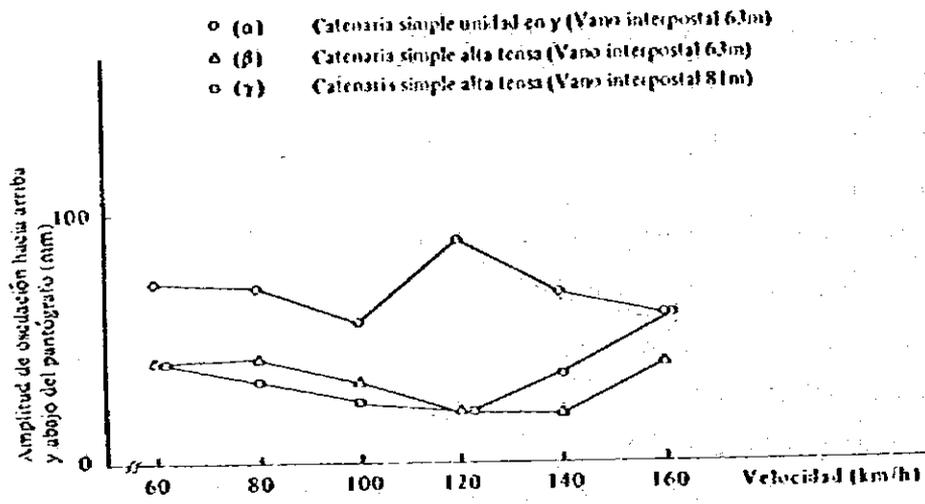
AT方式で電流容量が問題となるのは、変電所~第一AT間のみであり、場合によっては、この区間のトロリ線を2本張る等の対策が必要となるが、具体的な検討は「き電方式と変電」の項で述べたとおりである。

##### (2) 機械的強度

今回提案された変形Y形シンプル架線のちょう架線及びY線の成分明細が不明のため、その機械的特性は不明であるが、一般に、かかる抗張力のある銅合金系では10'回振動時点での疲労限は約15 kg/mm<sup>2</sup>程度であり、支持点附近での素線切れが発生しやすい。日本ではスチールへ取り替えられつつある。特に、銅系材料の場合は表面に疵がつき易く、一度疵が出来ると振動によりこの点からき裂が発展し、切断に至る例が多い。(参考2)

##### (3) その他特性

またBr 65mm<sup>2</sup>のように素線径の小さい銅系材料の場合、アーク発生時の大電流によって溶断しやすい事、また摩耗しやすい事から保安点検の必要な設備となる。



図II-4-3 シミュレーションによる計算結果

一方、鋼は耐摩耗性にすぐれ、錆がつきにくく、錆がついても耐振動特性が優れている事から、機械的にはちょう架線材として優れた材質という事が云える。特に素線径の大きい程、亜鉛めっき量の大きい程、飛躍的にその特性が良くなる。

しかしながら、一般に亜鉛めっき鋼より線より銅系のより線の方が環境条件に強く、錆による腐食の少ない利点もある。

#### 4-1-5 工事費の比較

今回計画された電化区間、即ち México ~ Irapuato まで 350 km について、き電方式及び架線方式別に概算工事費により比較を行った結果を表 II-4-1 に示す。但し、México ~ Querétaro 間 250 km は複線電化、Querétaro ~ Irapuato 間は単線電化である。

表 II-4-1 架線方式別工事費比較

	Br65 <sup>0</sup> -Cu107 <sup>0</sup> ConY +ACSR40 <sup>0</sup> (A)	St135 <sup>0</sup> -Cu110 <sup>0</sup> +ACSR40 <sup>0</sup> (B)	St135 <sup>0</sup> -Cu110 <sup>0</sup> St 90 <sup>0</sup> -Cu110 <sup>0</sup> +ACSR40 <sup>0</sup> +Al200 <sup>0</sup> (C)	記 事
支 持 物	64	55	55	電化柱、ビーム、可動 ブラケット、支線を含む
き 電 線	--	--	16	
電 車 線	34	20	10	
諸 設 備	2	2	4	保護線、避雷器を含む
合 計	100	77	85	

注 1) 全区間 St135<sup>0</sup>-Cu110<sup>0</sup> とした場合、合計 86 となる。

2) 変電所 ~ 第 1 AT 間を St135<sup>0</sup>-Cu110<sup>0</sup> × 2 とし、その他区間を St135<sup>0</sup>-Cu110<sup>0</sup> とした場合、合計は 95 となる。

#### 参考 1

##### 1 風による電車線の偏位

電車線の偏位量は次の式で示される。

$$e = \frac{(W_m + W_t)}{8 (T_m + T_t)} \cdot S^2 \times 10^3 \text{ (mm)}$$

W<sub>m</sub> : ちょう架線の風圧

W<sub>t</sub> : トロリ線の風圧

T<sub>m</sub> : ちょう架線の張力

T<sub>t</sub> : トロリ線の張力

(1) 風による変形 Y 形架線の偏位 (Bz 65<sup>0</sup>, Cu 107<sup>0</sup>, 径間 63 m)

ちょう架線：直径 10.5mm, 張力 1.000 kgf

トバリ線：直径 12.24mm, 張力 1.000 kgf

風速  $V = 25\text{m/S}$  のとき

$$\sigma = 220.3\text{mm}$$

(2) 風による重架線の偏位 (St135, Cu110, 径間 63m)

ちょう架線：直径 15mm, 張力 2.000kgf

トバリ線：直径 12.34mm, 張力 1.000kgf

風速  $V = 25\text{m/S}$  のとき

$$\sigma = 176.6\text{mm}$$

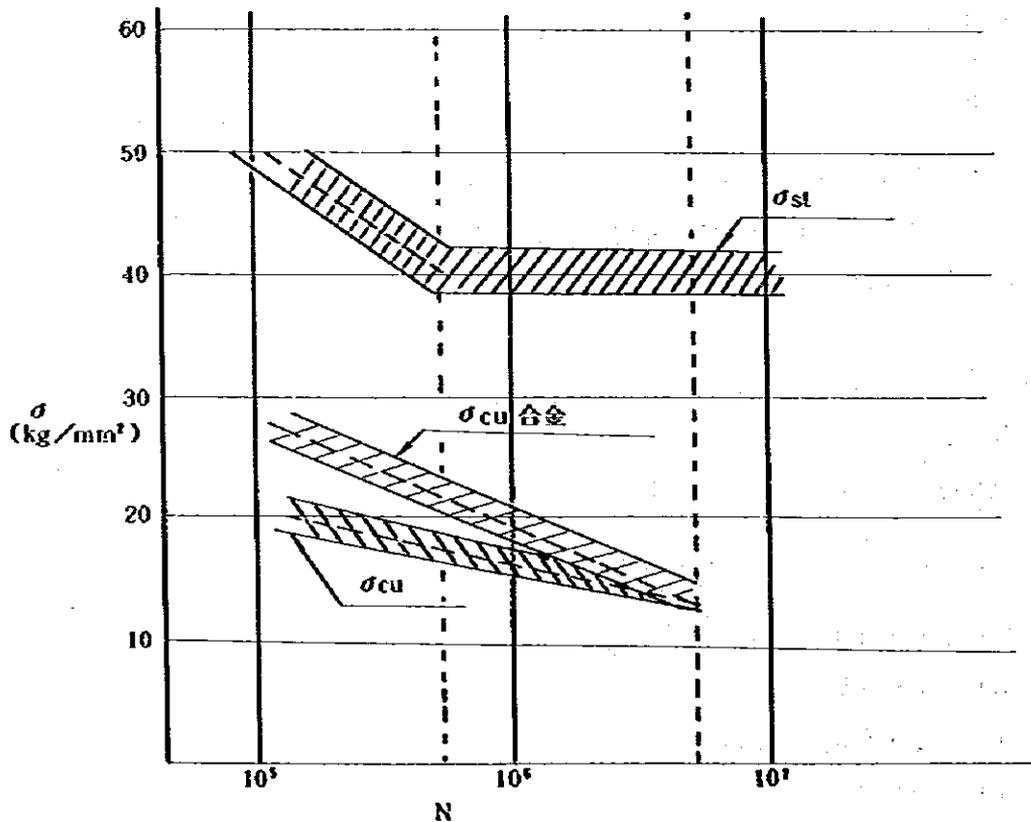
もし重架線に  $\sigma = 220.3\text{mm}$  を許すとすれば径間は次の式で示される値に延伸可能である。

$$S = \sqrt{\frac{8 \sigma m (T_m + T_l)}{(W_m + W_l) \times 10^3}} \quad (\text{m})$$

$$\therefore S_{\sigma, \pi} = 220.3 = 70.4 \text{ m}$$

## 2. 結 論

変形 Y 形架線の最大径間は 63m であるが、重架線の場合 70.4m になる。従って、支持物の数、可動ビームの数は変形 Y 形架線の場合重架線より 10% 多くなる。



図II - 4 - 4 S - N 曲線

## 参考2

鋼のS-N曲線（応力と繰返し回数を示す曲線）を図II-4-4に示す。鋼のS-N曲線によれば、一般に鋼は振動回数が $5 \times 10^6$ 回になっても $40 \text{ kg/mm}^2$ より少なくなることはない。図II-4-4に示すように鋼と鋼合金のS-N曲線を見れば応力は振動回数に比例して低くなり、振動回数 $10^6$ 回で $\sigma = 15 \text{ kg/mm}^2$ になる。

従来の研究によれば、張力の高いもの程、 $\sigma$ の低下の度合いが大きい。

鋼線は絶えず曲げを繰り返すと容易に折れるようになるのは日常経験することである。

日本国鉄の経験によれば、ちょう架線とY線は金具との接触箇所で切れやすい。というのは、この部分は大きな力を受けるからである。

### 4-2 仕様書原案に対する意見

SCTより仕様書原案が提示され、この仕様書原案の内容について検討を行い、意見具申を行った。

#### 4-2-1 全体に対する意見

##### (1) 設計条件について

###### 1) 温度

温度が非常に高く決められている。この30年間に公表されたデータを検討すると、México・Irapuato間では、気温は $40^\circ\text{C}$ であるべきである。

###### (2) 支持物について

電化柱は鉄柱に限定せず、コンクリート柱も使用出来るようにすべきである。

その理由として

1) 単体の鉄柱はペイント塗りが考えられるが、塗り替えに非常に手間どる。亜鉛メッキでもサビの問題が発生する。コンクリート柱は半永久的である。

2) メキシコでは、電力会社でも、電車線路に使われる柱と同様に曲げモーメントを受ける柱に、大々的にコンクリート柱が使われる。

3) 今まで人力で柱を建てた時でも、その取扱いに何ら問題を生じていない。現在機械化施工が大々的に採用されており、工事中的取扱いについては何ら問題ない。

4) 日本のように、平均風速 $40 \text{ m/S}$ をこえる台風が毎年数回襲来する国でもコンクリート柱を標準としているが、何ら問題を生じていない。設計以上の過大な力がかかった時は折れるが、鉄柱は曲がる。取りかたづけるのに、鉄柱と同じように容易である。H型鋼はねじり力に弱いので、設計上慎重に検討されるべきである。

(2)-1 コンクリートは必要な強度のみを規定すれば十分である。

###### (3) 電線について

電線の太さは、電線を通る電流によって決められるべきである。この目的のため、仕様書

に運転計画（特に列車電流を計算するデータ）を明確に記入すべきである。

#### 1) トロリ線

トロリ線は、各国において種々の規格の下に使われている。（表Ⅱ-4-2参照）この仕様書原案はSNCFで使用されているものの例である。

#### 2) ちょう架線

ブロンズに限る必要はない。高い張力で使用する銅合金は、その成分の完全融合が必要となり、製作に技術を要するため、輸入品にせざるを得ないと思われる。むしろ製作の容易な、国産化の可能な亜鉛メッキ鋼より線を推しようしたい。高速区間にはちょう架線張力を2トンとする重架線を推しようしたい。高速区間の電流容量不足箇所（ATき電の場合S S～第一AT間）は、架線を二重にすることを推しようしたい。この方がちょう架線にブロンズを使うよりも経済的である。（表Ⅱ-4-1参照）

#### 3) Y線

Y線は長時間使用していると、Y線の箇所から切れ易い欠点を持っているので推しよう出来ない。上記の架線を推しようしたい。

#### 4) き電線

アルミ線を使った電線の使用が経済的である。日本ではここ20年以上アルミ線を使っているが問題ない。

#### 5) トロリ線のプレストレッチ

トロリ線のプレストレッチの時間が非常に長い。というのは、プレストレッチによるトロリ線の伸びは、最初が大きく、時間とともに対数的に減っていくからである。

### (4) 電線系統について

#### 1) セクション

エアセクションを二箇所もったデッドセクション。この箇所を列車がノッチインのまま通過すれば、車両のもっているトランスのインダクタンスによってアークを発生し、セクション部に多大の損傷を生じ、ちょう架線等のアーク熱による溶断のおそれが生じ、極めて危険である。特に連続勾配区間では、列車が大電流をとっているので極めて危険である。

また、信号と連動して、セクション部の架線に列車の進入側・退出側と同じ相の電圧を加える方法もあるが、装置が複雑となり、多大の保守を要する。原則的には運転士にノッチオフを義務づけ、列車は無負荷で通過すべきである。かかる場合には、FRP（一種の合成絶縁材料）を使うことができる。これは日本で20年以上問題なく使われている。経済的で保守も容易で列車運転上もよい。ATシステムを採用する場合には、これらの設備は直置き電の半分以下になり、7.5%の連続勾配区間には並列き電を行うことにより、これらの設備は必要なくなる。

#### 2) 電線区分について

電車線の区分が非常に小さすぎる。電車線の区分は、変電所、SP、SSPによって行われる。これは事故が発生した時、また、定期的な保守の時に無加圧にする区間である。従って、この区間は小さい程便利であるが、区分の数が多いと建設費が増加し、また保守量の増となる。

電車線の区分の数は、列車数と保守量に関係する。日本では一般に、10数kmから20数kmに区分される。この仕様書原案ではSSとSPの間のSSPを省くことを推し進める。

#### (5) 金具について

大規模に電化された国は、その国独自の金具を持っている。金具には、その国に採用されたシステムに従って、必要な圧縮力、引張り力、保持力および耐久力やその他の特性等がきめられている。

この仕様書原案で指示された金具は、一つの例とみなされるべきである。

##### 1) 可動ブラケット

可動ブラケットは常に長幹がいしを使ったタイプに限定する必要はない。懸垂がいしを使う可能性もなければならない。この仕様書原案に示された可動ブラケットは、もっと改善の余地があるように思われる。

#### 4-2-2 代案の受入れについて

各国の国鉄で問題なく採用されているものは、代案として受入れるべきである。そして、メキシコの実環境条件と運転条件とに適合したものにすべきである。

従って、代案を容易に出せるように、仕様書の中に明記することが、メキシコにとって有利であると思われる。

#### 4-2-3 各項目に対する意見

各項目については、技術的問題にしぼって意見具申を行った。個々の内容については、多種多様なので、この報告書では省略する。(付属 提出資料リスト)

### 4-3 応札書の評価の考え方

#### 4-3-1 評価項目

合理的な電車線路システムとするため、経済性、保全性を考慮した次のような設備であることが必要である。

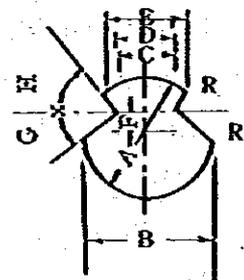
1. できるだけ簡素化され、省略化された、構成部品の少ない設備とする。
2. 信頼度の高い、こわれ難い設備とすることにより事故を少なくする。
3. 取替費用の低減等を考慮して、有効寿命の長い設備とする。
4. 設備の保守作業が簡単、安全、確実にできるように、調整作業が簡単な、あるいは不要な設備とする。

図II-4-2 (1)各国トバリ線の標準寸法

国 別	断面積 (mm <sup>2</sup> )	計算断面積 (mm <sup>2</sup> )	単位重量 kg/km	各 部 の 寸 法 (mm)										記 事
				A	B	C	D	E	F	R	G	H		
イギリス	107	107	951±3%	12.30	12.30	5.1	5.50	8.0	2.6	0.38	27°	51°	BS 23	
	161	161	1.430±3%	15.00	15.00	8.1	8.50	12.0	1.75	0.38	27°	51°		
	193	193	1.715±3%	16.40	16.40	8.1	8.50	12.0	2.90	0.38	27°	51°		
アメリカ	107	107.4	955	12.2	12.2	6.35	6.78	9.55	1.60	0.381	27°	51°	ASTM B 9 及び B 47	
	152	151.9	1.350	14.6	14.6	6.35	6.78	9.55	3.23	0.381	27°	51°		
	177.3	177.9	1.581	15.7	15.7	6.35	6.78	9.55	3.96	0.381	27°	51°		
フランス	100	100	889±3%	12.0	12.00	5.10	5.60	—	1.87	0.38	26°	50°	NF 34- 800	
	107	107	951±3%	12.24	12.24	6.50	6.92	—	1.69	0.38	26°	50°		
	150	150	1.334±3%	14.50	14.50	6.50	6.92	—	3.25	0.38	26°	50°		
西ドイツ	100	100±4%	890	12	12	—	5.6	—	2	0.3-0.4	26°	50°	DIN 43141	
	120	120±4%	1.070	13.2	13.2	—	5.6	—	2.6	0.3-0.4	26°	50°		
	150	150±4%	1.335	14.8	14.8	—	5.6	—	3.4	0.3-0.4	26°	50°		
日 本	110	111.1	987.7±2%	12.34	12.34	6.85	7.27	9.75	1.7	0.38	27°	51°	JIS E 2101 JRS GT-M	
	150	150.7	1.340±2%	14.40	14.40	6.85	7.27	9.75	3.2	0.38	27°	51°		
	170	172.2	1.531±2%	15.30	15.30	6.85	7.27	9.75	3.9	0.38	27°	51°		

(2)各国規格における導電率と引張荷重

国 別	規 格	材 質	導 電 率 (% iacs)	最小引張荷重 (kgf/mm <sup>2</sup> )
イギリス	BS 23	Cu	97	36.7
		Cu - Cd 0.7	84	43.9
アメリカ	ASTM 89	alloy 40	40	48.5
		55	55	48.5
		80	80	45.7
	ASTM B17yB116	Cu	97.2	32.8
フランス	NF 34.800	Cu	98	36.5
		Cu	90	94.0
西ドイツ	DIN 43140 及び 43141	Cu	96.5	35.7
		Cu Ag 0.1	96.5	36.7
		Cu C 0.7	86.2	41.3
		Cu C 1	80.2	43.4
日 本	JSE 2101	Cu	97.5	35.1
	JRS 36512-3P	Cu - Ag 0.12	97	36.9
	JRS 36512-7A	Cu - S 0.3	70	36.9



5. 断路器等設備の集約化できるものは集約化する。
6. 機械による検査、測定によつて容易に科学的管理ができるような設備とする。
7. 部品間の調和のとれた設備とする。

以上の事柄が勘案された設備にすることにより、信頼度の高い、メンテナンスフリー化された電車線路となる。

そこで、電車線路設備の保守性、信頼性を考慮して、設備の重要度の位置づけを表Ⅱ-4-3に、評価項目表を表Ⅱ-4-4に示す。

表Ⅱ-4-3 電車線路設備評価配点表

項 目	保 守 性	信 頼 性		特 性	配 点
		事故発生ひん度	事 故 の 影 響		
1. 電 車 線	○	△	○	○	30
2. 金 具	○	△	△	○	20
3. 支 持 物	○		○	△	15
4. 諸 装 置					
4-1 自動張力調整装置	△	△	△	△	10
4-2 わたり線装置	△	△	△	△	10
5. 絶 縁 物	△		△	△	10

要性：○ > △ > 空欄

#### 4-3-2 評価のチェックポイント

表Ⅱ-4-4は評価の項目を記述したただけのものである。そこで以下に評価の要点とその説明をする。

電車線路は一重系の電気運転設備であるので、その評価のウエイトは事故が発生した場合の影響の大小、事故処置の難易等によって決められる。

また、電車線路として、仕様書に提示された基本条件（※印）を満足するものでなければならない。

以上の事柄を前提として、以下に各項目のチェックポイントを示す。

#### (1) 電車線

- 1) 機械的強度……風及びパンタグラフ通過による振動及び張力に対して、十分な機械的強度を持っているか。
- 2) 電流容量……電気車に対して、電力を十分に供給できるものとなっているか。
- 3) 耐食性……塵埃及び経年による機能低下を防止するとともに長寿命化をはかるため、耐食性のものを使用されているか。
- 4) パンタグラフ集電性能……電車線として、電気車の運転条件に適合した構造になっているか。
- 5) 感電防止対策……と線道路橋、踏切、ホーム上及び道路接近箇所等で、一般公衆及び

人畜に対しての感電防止対策がとられているか。

6) 耐アーク性……電車線はアークに対して十分な品質であるか。(ちょう架線を含めて)

(2) 金具

1) 構造……つとめて単純な構成とし、ゆるみ、素線切れ等の生じない構造となっているか。また、パンタグラフの通過に対して余裕のある構造となっているか。

2) 機械的強度……パンタグラフの通過による振動及び電線の張力に対して十分な機械的強度をもっているか。

3) 寿命……架線本体と協調のとれた寿命をもったものか。

4) 電流容量……所要の電流容量を有し、接線抵抗の小さいものとなっているか。

(3) 支持物

1) 防錆対策……錆の発生防止対策をとることにより、設備の長寿命化対策がとられているか。

2) 構造……設備として十分な強度と機能を有しているか。

(4) 諸装置

(4)-1 自動張力調整装置

1) 性能……電車線の伸縮に対して、滑車の回転機構が速応できるものであるか。又、調整範囲を満足しているか。

2) 耐久性……ワイヤロープの摩耗及び繰り返し曲げ等に対する耐久力は十分か。

(4)-2 わたり線装置……パンタグラフが高速で通過する場合に問題のない構造となっているか。

(5) 絶縁物

1) 絶縁性能……所定の電圧に対して、十分な絶縁強度、漏えい距離を有しているか。

2) 機械的強度……引張り荷重、曲げ荷重に対して十分な機械的強度を有しているか。

3) 絶縁協調……設備間の絶縁協調がとれているか。

4) 構造……パンタグラフの通過に対して、問題のない構造となっているか。

以上チェックポイントを掲げたが、電車線路は一重系設備であるので、どの部分が故障しても事故につながる可能性が大きい。したがって総合的見地から評価する必要がある。

表 II-4-4 電車線路設備評価項目表

項目	保守性	信頼性		特性
		事故発生ひん度	事故の影響度	
1. 電車線				
a 機械的強度	{ ちょう架線 トロリ線 電車線	同左	同左	{ 耐振動性 断面積 断面積
b 電流容量		同上	同上	

c	バンクグラフ 集電性能	電車線			カテナリー方式
d	耐食性	同上	同左	同左	太さ
e	耐アーク性	同上	同上	同上	電車線の材質
f	感電防止対策		{ ちょう架線 トロリ線	同左	
2. 金具					
a	機械的強度	{ ハンガイヤー 曲線引金具 接続金具	左	同左	耐振動性 引張り強さ
b	電流容量	{ フィードイーヤ 接続金具	同上	同上	断面積 接続抵抗
c	耐食性	{ ハンガイヤー 曲線引金具 接続金具 フィードイーヤ	同左	同左	材質
3. 支持物					
a	機械的強度			{ 電柱 固定ビーム スパン性ビーム 可動ブラケット	{ 電柱断面特性 ビーム断面性能
b	防錆対策			同上	長寿命化
4. 諸装置					
4-1 自動張力調整装置					
a	性能	滑車	同左	同左	{ 回転機構 調整範囲
b	耐久性	ワイヤーロープ	同上	同上	{ 耐摩耗性 曲げ強さ
4-2 わたり線装置					
a	性能	構造	同左	同左	速度性能
5. 絶縁物					
a	機械的強度	{ けん垂がいし 長幹がいし セクションインシュ レーター		長幹がいし	{ 引張り強度 曲げ強度
b	絶縁性能	同上			漏えい距離
c	絶縁協調	けん垂がいし 長幹がいし			
b	構造	セクションインシュ レーター		セクションインシュ レーター	バンクグラフ通過 性能

#### 4-3-3 電車線金具の評価

電車線路設備の評価については、保守の点からいって、特に金具について重点的に評価することがかんようである。この点は今回の入札書類の中に明記されていない。金具の中で保守上注意すべきものは

1. 電流の通路に用いられている金具
2. パンタグラフの周辺に使われるもの。(トロリ線に付帯するもの)
3. 張力のかゝるもの
4. その他

この各々について、評価項目を列挙すれば、表Ⅱ-4-4の通りである。この中で特に重要な項目をアンダラインで示す。このアンダラインの箇所のみで、大体の金具の特性は判別出来るといっても過言でない。

ただし、金具の単体のみの評価で金具の良否を判定するのは危険であり、この金具が電車線システム全体と協調しているかどうかを判定する必要がある。

即ち、

1. 金具、電線等と組合せて設備が出来上っているのか、これらの間に長寿命協調が出来ているか。
2. 異種金属の接融している箇所に、何らかの対策がとられているか。

等のチェックが必要である。

この他に、架線系としての振動特性、集電特性、じゅんば電流対策があるが、既に大部分は提示済みであるのでここでは省略する。

表Ⅱ-4-5 電車線金具評価項目

種 別	対 象 金 具 類	評 価 項 目
電流を通す金具	圧縮接枝管 コネクタ金具	材質、 <u>最大引張荷重</u> 製作誤差 <u>材質</u> 、 <u>接枝抵抗</u>
トロリ線に付帯する金具	曲線引、振止金具 ハンガイヤー コネクタ金具	材質(寿命等)、 <u>把持力(耐振動、横すべり)</u> 製作精 度、 <u>横構(へタリに対する対策)</u> 、トロリ線の移動 (温度伸縮、昇上げ)に対する <u>追いつき性</u>
張力のかゝる金具	引留金具 圧縮接枝管 連結金具	材質、形状(連結ボルト又はコック用穴の適性なカタ) <u>引張荷重</u> 、安全率
セクションインシュレータ	FRP製 ガイシ製	<u>引張耐荷重</u> 、絶縁抵抗、耐電圧、漏れ電流(FRP製)
可動ブラケット		<u>耐荷重</u> 、高さ傾位調整の容易

#### 4-3-4 国産化の検討

電車線路の設備は一見分かり易く、各部品は容易に製作出来そうな感じを与える。たしかに現時点で国産化出来る部品も多い。しかしながら次の点に充分考慮して、国産化を慎重に対処する事が望ましい。

日本では東京・大阪近郊は戦前から電化されていたため、交流電化が始まった昭和30年代当初は、東京から1000 kmも離れた九州等で、非電化区間の中に突如電化の営業を開始した。この時問題になったのは簡単な鋼構造物は九州の産業界から調達する事であった。固定ビーム、電柱バンド等が地元産業界で調達されたが、大きな張力、大きなモーメントのかかる金具、部品の一部に不良品が出て、厳重な検査をやらざるを得なくなり、一部は再生産を行ったので、工期的に非常に苦しくなった経験がある。

電車線路は一重系の設備であり、張力のかかっている部品一つが壊れても、又、大きな電流が通っている部品一つが発熱しても、電車線路の切断につながる。

従って、張力のかかっている箇所に使われる金具、大電流の通路に使われている金具等については、完全な品質管理のもとに100%機能を満足することが要求される。

今回は、メキシコで始めて架線が使用される事を考慮し、まず最初の一箇年に使用するものは先進国で使用実績のある品物とし、この間に国産化出来るものは材料の信頼度等を充分吟味するとともに、国産化したものも充分な検査を行ってから使用にふみきる事が望ましい。

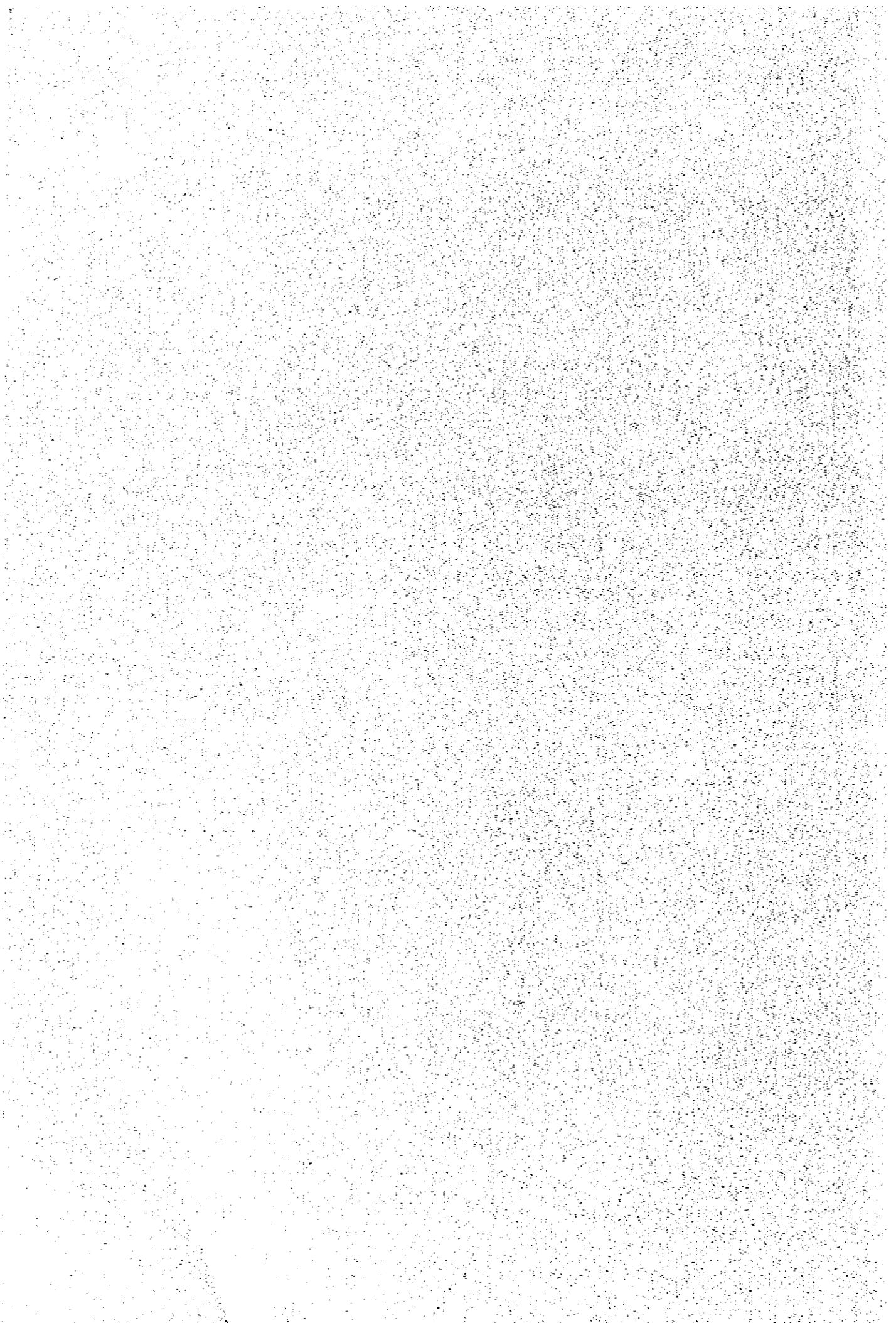
国産化(技術移転)のランク付けを表II-4-6に示す。ただし、ランク欄の記号は下記による。

- A : すぐ可能なもの
- B : 仕様書を変更すれば適用品があるもの
- C<sub>1</sub> : 条件付(軽度)で可能なもの
- C<sub>2</sub> : 技術指導(軽度)を受ければ可能なもの
- C<sub>3</sub> : 設備投資(軽度)を行えば可能なもの
- D<sub>1</sub> : 技術指導を要するもの (ある期間) 注: 3年程度
- D<sub>2</sub> : 設備投資を要するもの (ある程度)
- E : 技術的に将来可能であるがむづかしい。
- F : 経済的に不合理であるので国産化しない。  
特殊品で少量である。

表II-4-6 電車線路設備国産化(技術移転)の要約

名 称	構成材料 構成部品	技術的むつかしさ	ランク
1. 支持物			
(1) 電化柱	(1) 遠心力鉄筋コンクリート製 (2) H形鋼製	大きな曲げモーメント, たわみ制限, 大きさ制限 亜鉛メッキ, X軸, Y軸の二次モーメント に大きな差がある。	A
(2) 可動ビーム	一般構造用炭素鋼々管の組立 構造		C
(3) ビーム	構造用鋼材の組立構造 高張力鋼系合金電線等の組合せ		A
a) 固定ビーム b) スパン線ビーム			C
2. 電 線			
(1) ちょう架線	(1) 亜鉛メッキ鋼より線 (2) 鋼系合金より線	高張力で使用するため, 製品の成分均一 性を要する。 大きなインゴットの製造, 107mm <sup>2</sup> 用の 引延し装置に投資を要する。	A F(B)
(2) トロリ線			E~F
(3) き電線	(1) 鉄アルミより線 (2) 鉄鋼より線		A A
3. 金 具			
(1) ハンガイヤー	(1) ステンレス, アルミ青銅 鋳物 (2) 銅, 銅合金	アルミニウム青銅鋳物の品質, 製作精度  同 上	D D
(2) 曲線引, 振止金具 (3) コネクタ金具	アルミ青銅鋳物, アルミ合金		D~F
a) フィードイヤー b) 圧縮接続金具	軟鋼製, 鋼の鍛造品 銅, アルミニウム, ステンレス鋼		D~E D
(4) 引留金具 (5) 張力自動調整装置	構造用鋼材 鋳物で構成		A D
4. 絶縁物			
(1) けんすいがいし (2) 長管がいし (3) セクションインシュ レーター	FRP製	端部の铸铁部と磁器部の接合	A E~F D

## 5. 信 号



## 5. 信 号

### 5-1. 信号設備の検討

信号設備は、列車の安全を確保し輸送能率の向上を目的として、列車運行上求められる内容を十分に満たす機能をもった設備でなければならない。メキシコ国鉄幹線の電化計画実施において信号設備をどのように考えまとめていくかは、次のような諸点について判定しバランスのとれたシステムを組み上げなければならない。なお、メキシコでは、鉄道用信号設備についてはすでに十分な経験をもっているため、今回はこれを基礎としてあとはいかに交流電化に対応できる設備を導入し、保守していくかということが重要なことである。

#### 5-1-1 信号設備の基本的考え方

信号保安設備は列車を防護し、安全に運転し、更に積極的に輸送能率を向上するための設備である。信号保安設備の使命は鉄道輸送の安全、正確、迅速の目的を達成させるためにある。いま、信号保安設備が故障すると列車は乱れ、正確、迅速の特色を失ない、さらに悪性の故障のために衝突、車両の脱線などが発生すると輸送業務の基本である安全輸送さえも覆えることになる。従って信号保安設備は、故障の少ないこと、すなわち高い信頼度を必要とすることは言うまでもない。更にたとえ故障が起きて、また取扱いを誤っても、悪性の故障にならない。即ち安全に動作することを原則にしている。

#### 5-1-2 システムの考え方

信号保安設備は、列車運転に直接影響を与えるので、予想され、計画された、輸送ダイヤに対応することが可能な適切な設備でなければならない。又、CTC設備を導入することにより保安度の向上と単に進路制御のみでなく、運転指令、輸送制御を含めた運転システムと営業輸送システムと結びつけた運転管理システムを確立しなければならない。

#### 5-1-3 交流電化区間の信号設備と保護

交流電化によって信号設備に及ぼす誘導の影響はつきのとおりで

##### 1) 静電誘導による保守者への影響

##### 2) 電磁誘導による信号機器への妨害および保守者への影響

静電誘導にたいしては、一般に誘導電流が小さいため信号機器が誤動作することはないが、保守者に対する電撃の危険を生ずる。

電磁誘導の場合は誘導電流によって機器の動作に大きな妨害を与え、また線電圧は信号線路に雑音電圧を生じあるいは保守者或いは公衆に対する電撃の危険を生ずるので特に問題が大きい。即ち誘導電圧、電流による妨害(事故)は、

- a 機器に対する妨害としては軌道リレーの誤動作の恐れがある。従って妨害対応の機器でなければならない。

b 主として電線路においてその一端が接地された状態であるとき、他の一端とアースとの間に、電圧が加わり、人間が手を触れて電撃をうける危険がある。

この現象は電線路のみならず大地と絶縁され電車線回路に平行して設けられている導体に生ずるものであり、鉄管、軌条などによっても電撃をうける危険がある。

軌道リレーにたいし交流電気車からの電磁誘導の妨害が加わっても、その加わる時間の長短、また軌道回路が駅構内か中間かによって、誤動作の意味が異なっている。

即ち、駅構内においては瞬時といえども誤動作は許されない。しかし駅中間では瞬時的な軌道リレーの誤動作はリレーの時素によって保護され、危険な状態となることはない。したがって、常時の運転電流による妨害に対しては、駅中間であると構内であるとを問わず対策を行っているが、異常時（事故電流）に対する対策は駅構内のみで良いと考える。

#### 5-1-4 システムの拡張性

将来の需要増加、改良計画に対応できるような拡張性をもったシステムにする必要がある。

#### 5-1-5 経済性

交流電化の信号設備は保安度、保守、運転、保険等各方面の立場を考慮した経済的に安価なものでなければならない。

#### 5-1-6 保守

保守とは輸送の安全を確保するため、装置の状態及び動作を検査し、不良箇所及び不良となるおそれのある箇所を調整、修理又は更換して、装置の機能を常に正常な状態に保持することをいうのであって、保守の結果がすぐに数字にあらわれるものでなく、年月が経過してから成績が判明するものが多いだけに保守の体系即ち責任の分担、組織及び要員等について特に慎重を要する。従って効果的な保守を行うためには、設備として機器の信頼度を高め寿命を延長したり、冗長系を持たせて一方が故障しても他方がその動作を補う等の処置を講じて検査周期の間隔の延長を考慮すべきであり、保守に手のかからない機器を選定することが望ましい。

又信頼度を高めることは装置を構成する各部の故障率を軽減することになるので、機器の寿命が延るため取替経費の軽減にもなる。

#### 5-1-7 信号設備の故障による運転事故の防止

列車運転の高速化と密度の増大に伴って、運転事故の社会的影響が大きくなり、利用者に迷惑をかけることになる。従って運転事故に直接繋る信号設備の故障は極力少なくしなければならない。そのためには高信頼度の機器を使用するか、冗長系を持たせる等の処置を講じて設備の機能維持を図らなければならない。又設備の機能維持のための事故防止対策として

- 1) 検査の質的内容の向上と検査計画の適正化
- 2) 修繕費の重点的投入
- 3) 過去の事故の検討による同種事故の未然防止
- 4) 設備の改良強化

などが考えられるが若し故障が生じた場合機器の互換性、設備の標準化による方式の統一等を行ない、事故復旧を容易にすべきである。

#### 5-1-8 工事

今回の電化工事は、現在すでに列車運転を行っている線の工事施工であり、単純にすべてを新設する工事とは異った特殊性をもっている。つまり、列車運転を支障することなく列車と列車の間合でいろいろな切換や工事を行なうことになるのでどのような切換方法や工事方法を採用するか、また運転される列車の安全を守るためどのような方法を採用するかなどの考え方によって工事費にも大きく影響をあたえる。

しかし、第一に考えておかなければならないことは、単に工事費を安くすることのみにとらわれることなく列車運転の安全を最重点にした工事方法をとるべきである。

#### 5-2 仕様書原案に対する意見

提示された仕様書原案に対し

(1) 技術的な問題に関すること

(2) 国際入札に関すること

(3) 経済的な問題に関すること

などの意見を提出した。

#### 5-2-1 軌道回路について

交流 25 K V 60 Hz の電気機関車を運転するためには、その機関車 (60 Hz) の交流を軌道を通じて変電所に戻すことになる。それでまた、軌道回路の電流も軌道 (レール) を通過することになる。

従って軌道回路は機関車を動かす電流によって、何らの影響をうけない方式でなければならない。直流電化に於ては、軌道回路に 60 Hz の電流が使われているため、したがって軌道回路の電流は直流のき電々流によって影響をうけない。交流電化に於ては、機関車の電流によってレールに生じる電圧の量は、信号にて使用される電圧よりはるかに大きい。また最近の交流電化ではサイリスタ使用の機関車が使われているため、機関車の電流 (帰線電流) は多くの高調波を含んでいる。したがって、60 Hz の電圧及びその高調波は、軌条の継電器に加圧されても絶対につぎに述べる条件を満たすものである。

(1) 軌道の継電器が無励磁であるべきときに励磁状態に絶対ならないこと。

(2) 軌道の継電器は何ら支障をきたすことなく平常動作を行うものであること。

上記の基本的な条件をみたすために次のことが考りよされる。

(1) 軌道回路には 60 Hz 以外の周波数を用いること。

(2) 軌道を通して変電所に戻る機関車電流による誘導電圧と不平衡電圧を軽減したりする装置 (防護) が設けられること。

以上の条件を考慮に入れると、交流電化プロジェクトに於いては、次のような方式が採用できる。

- 1) MG軌道回路方式 この方式は、電気機関車の電流及びその高調波のいずれとも一致しない周波数が使用されており、その発生装置は容易なものである。
  - 2) 直流単軌条軌道回路方式 この方法には、数種の装置を付加する必要がでてくる。
  - 3) AFコード軌道回路方式
  - 4) 無変調非対称であり、瞬時高圧によるパルス軌道回路方式
  - 5) 分倍周軌道回路方式 この方式は、送信側で分周して、軌道に送り出し、受信側で倍周してもとの周波数になおす。
  - 6) 分倍周軌道回路方式と基本原理が同じ長大軌道回路方式
- 上記で述べた数種の軌道回路方式は、つぎに示すように利点および欠点をもっている。

#### 5-2-1-1 各軌道回路方式の利点及び欠点

##### (1) MG軌道回路方式

- 1) この方式には同期発電機が使用されているので、制御盤関係よりも低い故障率である。
- 2) 配電方式は2相4線式を採用しているため、高調波電流に対して、高い信頼度を持っている。
- 3) 経済的に言って、軌道回路数が15個以上集中した所に使用することが望ましい(たとえば駅構内のような場所をさす)。なぜならこの種の装置は大きくて多大な費用を要するからである。
- 4) 多種現示機能を備えている。

##### (2) 直流軌道回路方式

- 1) 初期の投資額が少ない。
- 2) 電力消費が少なくすむ。
- 3) 電気機関車の突進電流に含まれる直流分に関するある種々の対策が必要となる。
- 4) レール破断検知に関しては、その能力に欠けてくる(機能低下)。
- 5) 蓄電池の保守が必要となってくる。
- 6) 多種現示機能を付加すると新たな投資(設備費)が必要となってくる。

##### (3) AF軌道回路方式

- 1) 電力消費が少なくすむが、蓄電池もしくは安定した電源が必要となってくる。
- 2) 多種現示機能を備えている。
- 3) 予想される故障をとり除くため定期検査が必要である。
- 4) かなりのメンテナンス費を必要とする。

##### (4) AF(2周波組合せ)軌道回路方式

- 1) ATC(列車自動制御装置)機能への転化が簡単である。

(2) 多種現示機能を備えている。

(3) 電力消費が少ない。

(4) かなりのメンテナンス費を必要とする。

(5) パルス軌道回路方式

1) 短絡感度が良い。

2) AP軌道回路のメンテナンス費より少なくすむ。

3) 電力消費が少なくすむ。

4) 蓄電池から電源を供給される場合はメンテナンスが必要であり、架線から電源を供給する場合には、き電電圧の変動を十分考慮する必要がある。

5) 多種現示機能を付加すると新たな投資（設備費）が必要となる。

(6) 分倍周軌道回路方式

1) 一種のトランス類であり、故障は少なくすむ、その寿命は半永久的である。

2) そのメンテナンス費は非常に少ない。

3) 多種現示機能を備えている。

4) 電力消費が多い。架線から電源を供給するときき電電圧の変動には十分考慮する必要がある。

(7) (分倍周)長大軌道回路方式

1) この方式は、制動のための軌道回路長（最大で6 km）がほかの軌道回路長（最大で1～2 km）より約3倍である。

2) 設備コストが安価である。

3) 動作原理は分倍周軌道回路方式と同じであるが、電子機器をより多く使用しているため、そのメンテナンスには費用がかかる。

4) 分倍周軌道回路方式のように多大な電力消費をする。

5) それ自体に多種現示機能を備えていない。そのためその機能を付加するためには新たな投資が必要になる。しかしその投資額はパルス軌道回路方式のより少額ですむ。

今回はパルス軌道回路方式のみが提示されている。

メキシコに於ては、太陽の日ざしがとても強いので、軌道に沿っておかれた電子機器をもった装置を採用するかどうかは、十分に時間をかけて検討される必要がある。しかし他にも良い特性をもつ方式があるのでこのプロジェクトでは軌道回路方式として、その他の方式も考慮すべきである。

5-2-1-2 ATSKについて

ATSKには各種の方式がある。したがって、この種、各方式を比較すること、及び、全メキシコに便利なものを選ぶことを勧告する。すなわちATSシステムはメキシコの全国鉄線路に関係し、また全機関車に関係する。ATSの装置は全線及び全機関車にできるだけ早く、設置

することが必要と思われる。このプロジェクトで提案されたシステムは各種方式のうちの一つに過ぎない。メキシコにとってはATSの各方式のうちで、もっと単純で経済的な方式がよいと思われる。といえるのは全線にわたって、速やかに設備するためである。電気機関車にはこれらの装置をつむ余地を残しておき、地上の信号設備には将来設備を付加することを考りよることが必要である。電化とは別に早急に検討すべきである。

#### 5-2-1-3 信号機間隔について

われわれに提示された想定された輸送量を考慮すると、信号機間隔はかなり小さい。この入札書では運転の基本計画が示されていない。もし計画が示されるなら信号機間隔の計画を提案することができる。

#### 5-2-1-4 CTCについて

CTCの設備に関係した運転取扱については電化後も基本的には変更する必要はないと思われる。しかしながら設備に関係のない一般的な運転取扱についてはいくつかの改良点がある。すなわち、CTCのシステムは変える必要はない。ただし、CTCの設備の信頼性の向上ならびに運転の情報を増加するために、通信、とくに無線と関連した装置を導入し、仕事と設備の管理を改良する必要がある。

#### 5-2-1-5 その他設備

われわれに提示されたすべての設備はフランスの国鉄式である。スペックと図面は非常に詳細である。さらに信号の設計と設備の基礎となる、運転の基本概念が、われわれにはなにも示されていない。

#### 5-2-2 代案について

入札書類の装置、材料、図面は詳細に示されており、回路、製造方法がきめられている。軌道回路、またはATSの項でのべたように、代案はスペックの各条項にとらわれることなく、自由に採用されねばならない。というのは、スペックにきめられたものよりも秀れたものがあるからである。

#### 5-2-3 仕様書原案各項目に対する意見

SCTより提示された仕様書原案の各項目に対する意見を提出した。(付属資料リスト参照)

### 5-3 応札書の評価の考え方

#### 5-3-1 評価項目

プロポーザルで提出された各国の信号設備の基本的な考え方を考慮し、保守性、信頼度(事故の発生率、事故の影響度)、工事の難易を検討すべきである。

表II-5-1は、その検討すべき事項の重要度と採点について示したものである。

表II-5-2は、検討すべき保守性、信頼度、部品の特性、工事の難度等の事柄を示したものである。

表Ⅱ-5-1 信号設備評価配点表

設 備	保守性	信 頼 度		工事の容易	ウエイト
		事故発生率	事故影響		
1- CTC					45
1.1- 中央制御装置					
1.1.1- モニター装置 (表示盤)					
1.1.2- 制御卓			○	○	
1.1.3- 機器室	△		○	○	
1.1.4- 電源			○		
1.2- 被制御装置 (連動装置)					
1.2.1- 転てつ機	○	○	△	○	
1.2.2- 信号機	△		△	○	
1.2.3- 軌道回路	○	○	△	○	
1.2.4- ケーブル			△		
1.2.5- 電源			△		
1.2.6- 機器及び機器室			△		
1.3- 伝送方式	△		△		3
2- 列車ダイヤ記録					
2.1- 処理装置					
2.2- 端末装置 (コントローラー)					
2.3- 確認用ディスプレイ					
2.4- 駅中間装置					
3- 自動閉そく方式					10
3.1- 信号機	△		△	△	
3.2- 軌道回路	○	○	△	△	
3.3- ケーブル			△		
3.4- 電源			△		
3.5- 機器室 (器具箱)			△		
4- ATS					5
4.1- 地上装置 (駅中間の)					
4.2- 車上装置					
5- 検箱発熱検知器					5
5.1- 中央制御装置					
5.2- 地上装置					
5.3- ケーブル					
5.4- 電源					
6- 踏切					5
6.1- 地上装置					
6.2- 軌道回路	○	○			
6.3- 電源					
7- インターフェース					2
7.1- 新田方式間				○	
7.2- その他				○	
8- 接地箇所と保護	△		△		5
9- 電力制御方式	△		△		20

注： 重要性： ○ > △ > 空欄

1-	CTC	45
1.1-	中央制御装置	
1.2-	被制御装置	
1.3-	伝送方式	
2-	列車ダイヤ記録	3
3-	自動閉そく方式	10
4-	ATS	5
5-	軸箱発熱検知器	5
6-	踏切	5
7-	インターフェース	2
8-	接地箇所と保護	5
9-	電力制御方式	20
	計	100

表II-5-2 信号設備評価項目表

設 備	保守性	信頼度	部品特性	工事の難易
1- CTC				
1.1- 中央制御装置				○
1.1.1- モニター装置 (表示盤)				
1.1.2- 制御卓				
1.1.3- 機器室	多重系 (方式)	電子部品のユニット構成	2重系の構成 電子部品の信頼度 予備電源 予備設備	
1.1.4- 電源	予備系 (方式)			
1.2- 被制御装置 (連動装置)				○
1.2.1- 転てつ機	機器の連動 軌道と検測 電球	転換不能	転換力 摩耗	
1.2.2- 信号機				
1.2.3- 軌道回路	レール絶縁 調整の難度 ボンド	レール絶縁 電気けん引の帰線回路	運転事故の予防 短絡感度 レールの絶縁 保安器 誘導電圧の防護	
1.2.4- ケーブル			予備電源 予備設備 電圧変動	
1.2.5- 電源	予備系 電圧調整		連動機 長寿命	
1.2.6- 機器及び機器室		リレー	2重系の構成 電子部品の信頼度	○
1.3- 伝送方式	多重系	電子部品のユニット構成		
2- 列車ダイヤ記録	記録方式	記録方式		
2.1- 燃燈装置				
2.2- 検束装置 (コントローラー)				
2.3- 確認用ディスプレイ	ディスプレイ		長寿命	
2.4- 駅中監視装置			電源方式	○
3- 自動閉そく装置				
3.1- 信号機	電球			
3.2- 軌道回路	レール絶縁 調整の難度 ボンド	レール絶縁 電気けん引の帰線回路	運転事故の予防 短絡感度 レールの絶縁 保安器	
3.3- ケーブル				
3.4- 電源	予備系 電圧調整		予備電源 予備設備 電圧変動	
3.5- 機器室 (器具箱)		リレー	リレーの耐用期間	
4- ATS				
4.1- 地上設備			正常閉接点 (周波数安定度)	
4.2- 車上設備				
5- 結箱発熱検知器				
5.1- 中央制御装置		記録方式		
5.2- 地上設備	熱検知			
5.3- ケーブル				
5.4- 電源	予備系	予備電源 予備設備		
6- 踏切				
6.1- 地上設備				
6.2- 軌道回路	修繕の難度		運転事故の予防 短絡感度 保安器	
6.3- 電源	予備系 電圧調整		予備電源 予備設備 電圧調整	
7- インターフェース				○
7.1- 折田方式間				
7.2- その他				
8- 接地箇所と保護	装置の防護 人間の保護		短絡回路によって生ずる高電 圧のアーチ 保安器	
9- 電力送電方式	多重系	電子部品のユニット構成	2重系の構成 電子部品の信頼度	

注: ○は工事の難易の表示

### 5-3-2 評価のチェックポイント

#### 5-3-2-1 一般事項

(1) 多くの設備を個々に評価するよりシステムとして評価することが非常に大切である。

(2) 保守性について

最新設備には次のように使用すること。

1) 電子部品で構成される種々な設備は高信頼性のあること。

2) 多重方式であること。

その場合にシステムの評価は機器ごとであることが大切である。レールに附帯する設備は一例えば軌道回路、転てつ機—多くの保守を必要とする。それ故にそれらの装置には十分の評価を行うこと。

(3) 電源設備の各種様式

鉄道専用電源か又は商用電源か、交流か又は直流か且つ直流の場合蓄電池か又は乾式直流か又は無停電電源であること。これらの設備の評価については保守性と経済性を考慮に入れることが重要である。

(4) 全ての設備は高信頼性を持ちその上、保守に際して経費がかからず手間のかからないこと。

#### 5-3-2-2 各々の設備

(1) CTC

- 1) 駅装置のCTCの主要回路は2重系であるか？
- 2) その回路構成は信頼性のある故障検知が可能でかつ故障復旧が容易であるか？
- 3) 電源の拾電方式は予備があるか？
- 4) 転てつ機の転換力は十分かつ構造は満足しているか？
- 5) 軌道回路の送電設備と着電設備は高信頼性かつ交流電化の妨害特性を持っているか？
- 6) けん引電流の帰線回路構成はよいか？
- 7) 駅の連動装置は列車の運転保安とフェールセーフが構成されているか？
- 8) 遠隔制御の伝送システムは操作と選別機能の信頼性と符号の信頼性があるか？
- 9) 装置の取扱いが簡単でかつ故障や保守の場合に駅で直接操作の変更ができるか？
- 10) 信号設備と関係を持つ場所の通信処理は高信頼性を備えているか？

(2) ATS

- 1) 地上子の配置は車上子と地上子の相対関係を考慮に入れているか？
- 2) 列車運転の調整に十分応じる機能があるか？

(3) き電制御方式

- 1) 遠隔指令と遠隔制御の伝送システムは指令符号と選別機能について高信頼性があるか？
- 2) 装置の取扱いが簡単でかつ故障や保守の場合に変電所で直接操作の変更ができるか？

(4) 交流電化に対する注意項目

- 1) 自動閉そく方式
- 2) 踏切
- 3) 接地箇所と保護

(5) 設備

- 1) 工事の新しい手続導入は確実さと経済性を取入れているか？
- 2) 列車の運転を継続しながら工事施工を考慮しているか？
- 3) 新設備切換の方法の提案はどうか？

5-3-3 信号システムの評価

幹線電化計画における、信号システムの評価を行うに際し、特に配慮すべき主な点は次のとおりである。

- (1) サイリスタ制御車投入に伴う高調波に妨害されないような軌道回路は十分な対策が配慮されているか？ 軌道回路は列車検知を確保する重要な装置である、その場合高信頼度を持った安定動作を行うものでなければならない

注： 5-3-3-1 参照（軌道回路への影響）

- (2) き電回路の地絡事故等により電源やラインが混入する異状電圧に対して設備が十分防護できるように絶縁協調や保護回路について考慮されているか？

注： 5-3-3-2 参照（絶縁協調）

- (3) 信号の保守作業の大きな部分を占める、軌道回路と電気転てつ機が保全性をどの程度考慮されているか？

注： 5-3-3-3 参照（設備の保全性）

- (4) 信号設備は通信設備と協調がとれているか？

若し信号と通信の設備間に調和がとれていない場合、列車の運行管理及び設備管理のための伝送信号が十分に機能しない場合がある。

注： 5-3-3-4 参照（信号と通信の協調性）

- (5) A T S 設備は何を重点に設計されているか？

メキシコでは国鉄の全線に A T S を設備する必要があると思われる。何故ならば車両工場に於ては A T S が設備されていないために起った衝突事故によって破損した機関車が数多く収容されている状態である。それは列車の正常な運行を阻害するものである。

注： 5-3-3-5 参照（A T S の拡張性）

5-3-3-1 軌道回路への影響

電気車の種類にもよるが、ダイオード制御車の場合一般的に電気車電流の奇数次高調波の電流  $I_n$  は、基本波電流を 1、高調波次数を  $n$  とすると、 $I_n = \frac{1.5}{n} I$  で表わされ、使用する信号周波数が高くなるに従い逆比例して、高調波成分は減少するが、同時に軌道回路の減衰

量も増加するため、その伝送距離も短くなるという特性をもっている。

今仮 2000 Hz という A F 帯の信号周波数を使用した場合、基本波の負荷電流を 1000 A とすると、その近傍には 33 次の高調波成分である 1980 Hz が、1.4 A 程度発生する。従って軌道回路不平衡率 10% であれば、受信器には 70 mA の妨害波が混入するため、9 db の S/N を得るためには、受信器の最小動作電流を 200 mA を確保する必要がある。

(参考)

$$33 \text{ 次 (1980 Hz) の高調波電流 } I_n = \frac{1.5}{33^2} \times 1000 = 1.4 \text{ A}$$

また、その時の軌道回路受電端における妨害電流  $i_n$  は、

$$\begin{aligned} i_n &= \frac{1}{2} \cdot I_n \cdot U & U: \text{軌道回路不平衡率} \\ &= \frac{1}{2} \times 1.4 \times 0.1 = 0.07 \text{ A} = 70 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$S/N = S/70 = 9 \text{ db} = 2.8$$

$$S = 2.8 \times 70 \text{ mA} \approx 200 \text{ mA}$$

一方サイリスタ制御車では高調波含有率がダイオード制御車の 2~3 倍となると同時に、偶数次高調波も増加する傾向にあり、仮に含有率を 2 倍としても 140 mA の 33 次高調波成分 (1980 Hz) が発生するため、S/N は 3 db ( $200/140 = 1.42$ ) 程度しか確保できないことになる。何時れにしても 33 次の高調波成分は完全に 2000 Hz の信号の信号波帯域に妨害波として混入してくるため、信号波と妨害波のレベル差だけでしか、動作の安定性は保証されず、何らかの現象で S/N が低下し、これが同レベルになれば、受信器のリレーは落下する。このため A F 軌道回路をサイリスタ制御車が走る交流電化区間で採用する場合は設備が複雑となり、設備費も高く、保守の面からいっても、手のかかる設備となる。

これに対し、例えば 80 Hz のように基本波に近い信号周波数を使用した軌道回路の場合、基本波 1% の変動に対し、60.6 Hz の妨害波は完全にフィルターで除去されるため、仮りに 4 Hz で変調しても  $80 \pm 4$  Hz の信号使用帯域内には混入する恐れはなく動作は安定している。同様にパルス軌道回路も高調波成分に対しては大きな問題はないと思われる。

このように使用する信号周波数によっては、電気車電流の高調波成分が軌道回路の安定性を左右するため、軌道回路方式の選定にあたっては特に周波数割当や S/N 確保の点に十分配慮されていることが必要である。

### 5-3-3-2 絶縁協調

交流電化区間では過去にも CTC の中央装置に雷サージによる異常電圧が混入し、長時間機能が停止したため、列車運転が混乱した事故例があり、この種の障害を防止するため、

- 1) 信号設備の主要機器に対しては、電倒に絶縁変圧器を挿入する。
- 2) レールにつながる軌道回路、回路構成が長距離にわたる CTC や踏切等には、それぞれラインごとサージ電圧を防護する中継線輪や保安などの保護回路を設備するなどの配慮

が必要である。

この方法は回線構成されているものは有効で、直流の場合は回路構成が複雑になるなどの欠点を有している。また、機器によっては耐圧を高くして焼損防止をはかるのも一つの方策であるが、機器が高価になり、経済性が損なわれることになる。

#### 5-3-3-3 設備の保全性

近來の信号設備は電子化や集中化による高信頼化が進み全般的に保全性は向上しつつあるものの、軌道回路や摩耗部分を含む電気転つ機は分散形の機器であるうえ、設備数も多いためその保全には信号分野の中でも相当な割合を占めている。今回の電化計画においてもその規模からすれば、これらの設備の保全には信号の80%にも及ぶものと推定され、使用開始以降の保全体制に大きなウエイトを占めることは否めない。

したがって、特に保全性の面からいけば次の点が配慮されなければならない。

1) 軌道回路に関しては装置自体の信頼性が高く、かつ設備数も極力少ないこと、今仮に閉そく区間長が平均3 KMの線区に制距離1.5 KMのAF軌道回路(AF帯では減衰量が大きい)、一般的に制距離は短い)又はパルス軌道回路を適用した場合、一閉そくごとに2組の軌道回路構成となり、中継装置も設備されるため、設備増に加えシステムが複雑になる。これに対し、3 KM制距離可能な軌道回路であれば設備数も半減するため、故障の発生率も必然的に減少し保全性の効果は増大する。

このように制距離は設備数と相関関係にあり、設備数が半減することにより要員面では20~30%の改善が期待でき、さらに装置が信頼性の高いものであればその保全性は相乗的に向上するものと考えられる。

2) 電気転つ機に関しては摩耗部分が少なく、かつ制御電源は付帯設備も要しない交流方式であること、交流電源を採用しブラッシュレス形式の誘導形電気転つ機を設備すればやはり要員面で20~30%の改善が期待でき、さらに安定した交流電源の供給により付帯設備の蓄電池も不要となるため、その効果は一段と増大されることになる。

このように制距離の長大化やブラッシュレス化により信号設備全体の保全性は、要員面についていけば、ほぼ40~50%に近い大巾な改善が期待できるものと思われる。

#### 5-3-3-4 信号通信の協調性

交流電化に対応した信号設備、通信設備としては、電源、機器室、機器の故障管理など設備的に共用できる部分も多く、特にCTCの伝送路は通信ケーブル及びマイクロ回線を使用するなど相互に関連性がつよく、システムとしての協調が重要な要素である。

特に、CTCの中央装置、駅装置間の符号伝送を通信ケーブル回線を使用して行なう場合には、他回線に対する漏話減衰量を勘案し、かつCTC回線のノイズレベルとの相関々係から送受信レベルを決めなければならない。

又、マイクロやケーブル搬送回線を使用する場合も、同様のことがいえ、マイクロ線局装

置の標準入出力レベル $-4$ 、 $+4$  dBm、搬送端局の標準入出力レベル $-8$ 、 $0$  dBmをCTC伝送レベルに使用したのでは、端局装置の増巾器の飽和をおこし、歪が多くなる。このためCTC伝送レベルを下げなければならないが、CTCは重要回線であり良質な符号伝送品質を確保するため、出来る限りレベルを高くする必要がある。

迂回回路を付加することにより、CTC設置の故障箇所を部分的に限定することができ、システムとしての情報信頼性は向上する。

こうした点から工事施工上入出力レベル等を含めてインターフェイスに関し、常に通信側との協調性を維持しながらすゝめることが重要である。

以上述べたように評価にあたっては、交流電化という特異な角度から判断する部分も多く、さらに保全性についても極力省力化を図るなどシステム全体としては異常時対応も含め、信頼性の高い保安システムとして配慮されていることが重要な条件である。

こうした点で、特に交流電化の実績から培われた技術と経験を、システムの設計・施工等あらゆる面で、有効に活用することが望ましいことといえる。

#### 5-3-3-5 ATSの拡張性

ATSは列車運転の保全を維持する上で、極めて重要な装置であるため、信頼性が高いことはもちろんのこと、全国共通システムとしての拡張性を有していることが必要である。それはATSのシステムが地上と車上装置から構成されているため、車両の線区担当運用を考えると、地上子を用いた点刻式ATSの場合、地上設備は軌道回路と直接関連性がないため、電化、非電化区間にかかわらず、地上子を増加することにより、単純に電化区間でも、あるいは、非電化区間の他の線区への適用が可能であり、しかもシステムが極めてシンプルであるため、信頼性が高いという特長を有している。

これに対し、AF軌道回路による連続式ATSは、例えば非電化区間に適用する場合、AF軌道回路を増設しなければならない、電化区間外でも複雑なシステムを設備しなければならないため、経済性、保全性の面からもその拡張性に対する自由度は低いシステムといえる。

なおAF軌道回路による連続刻式ATSはCab化が可能であり、ATC化も可能であるが、それは80Hz軌道回路でもCode数を増加することにより実現でき、その付加投資は両者とも大きな差はないと思われる。

#### 5-3-4 信号装置の国産化

##### 5-3-4-1 信号装置

信号装置は、多種少量生産であり、しかも使用する部品は広範囲にわたり高度なシステム技術が要求される。従ってメーカーは、1社又は2社の専門メーカーにしぼり、継続的な受注が出来るように当局が配慮する必要がある。そうでなければ技術の蓄積が出来ず、良い機器を作り出すことは出来ない。当然、技術提携に基づいたノックダウンから開始されることが必要である。

専門メーカーに要求される事は、主として次項である。

(1) 図面通り正確に製作が可能な技術力設備を確保する。

(2) 品質を確保するため、製造過程で必要な検査と完成時の確実な検査を実施する。

又、C<sub>0</sub>、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>にランクされている機器でも若干の部品を輸入することが必要である。特に、Eにランクされている機器は、部品の輸入に最大限の考慮をして、機器の安全性及び信頼性を高めなければならない。

#### 5-3-4-2 国産化(技術移転)ランク付け

国産化を行う場合の順位は下記による。

A : すぐ可能なもの

B : 仕様書を変更すれば適用品がある。

C<sub>0</sub> : 条件付(軽度)で可能なもの

C<sub>1</sub> : 技術指導(軽度の)を受ければ可能なもの

C<sub>2</sub> : 設備投資(軽度)を行えば可能なもの

D<sub>1</sub> : 技術指導を要するもの(ある期間) 注: 3年程度

D<sub>2</sub> : 設備投資を要するもの(ある程度)

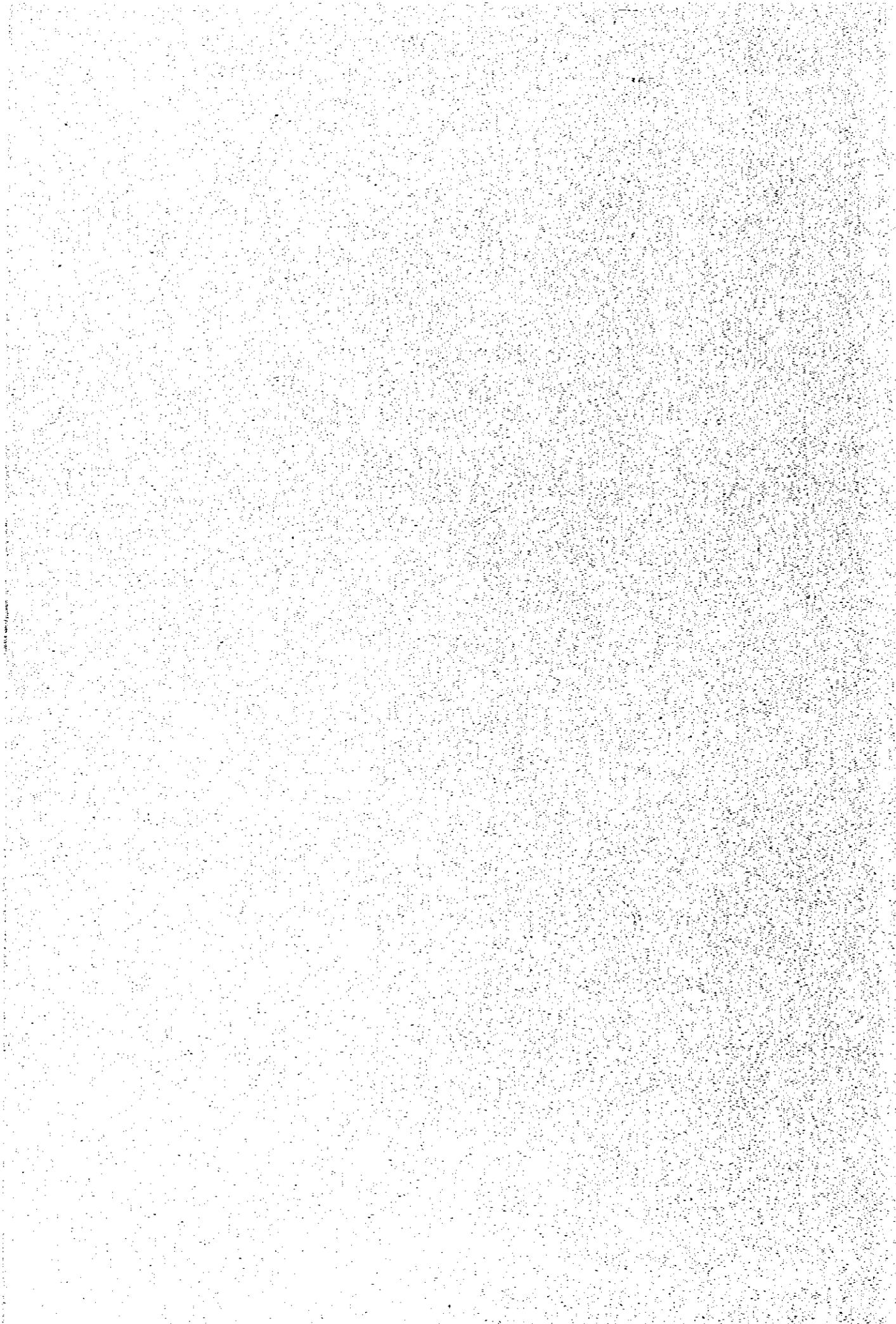
E : 技術的には将来可能であるがむづかしい。

F : 経済的に不合理であるので国産化しない。特殊品で少量である。

表 II-5-3 信号設備 國際化 (技術移転) の要約

名 称	構 成 機 器	技 術 問 題 点	ラ ン ク
1 CTC設備			
(1) 制 御 盤	架, 押釦類, 制御ユニット	a. 特殊な板金加工が必要である。 b. 電子部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(2) 表 示 盤	列車器表示器, 制御ユニット	1-(1)-bと同じ	E
(3) CTC装置	電子ユニットとリレユニット	リレ部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(4) コンピューター	コンピューター, インターフェイス架	ハード, ソフト共に技術的にむづかしい。	F
(5) 列車ダイヤ自動記録装置	制御器, 記録用紙	特殊なもので技術的にもむづかしいものがある。	F
b. その他部品	タイプライター, ディスプレー, プレスター, 電源機器, 配線用ケーブル	部品の中には技術的にもむづかしいものがある。	C
2 信号設備			
(1) 繼電連鎖装置	リレー架, 配電盤, 機器取付架, 電源機器,	a. 部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。 b. 技術的な経験と技術的な熟練が必要である。 c. 特殊なブレーカーについては技術的な経験を必要及び特許も関係があるので購入またはライセンス生産が適当である。	E
(2) 信号機	信号機架, 信号機柱	加工精度にかなり高度のものが要求される。	C
(3) 電気転てつ機	交流及び直流転てつ機, てこ, 銅錠器	2-(2)と同じ	E
(4) A T S	地上子, 検続箱	a. 技術的に熟練を要する。 b. リレ-は部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(5) 路 切 装置	警報機, 制御ユニット, 器具箱	a. 製品の精度にかなり高度のものが必要 b. リレ-部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(6) 軌道回路	レール絶縁, ボンド架, インピーダンスボンド, 送受信機器	a. 材料の品質保証で技術的にもむづかしい。 b. リレ-, フィルターは部品の調達, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(7) 車軸発熱検知装置	発火器, 検知器, 伝送装置	米國製品を輸入	A
(8) 信号用電線路	器具箱, ユニット装置	リレ-部品の調達, 組立配線, 試験及び品質保証等で技術的にもむづかしい。	E
(9) 自動列車検知装置	配線用工具, 測定器	特殊なもので技術的にもむづかしい	F

## 6 通 信



## 6. 通 信

### 6-1 通信の基本システムの考え方

鉄道経営には通信機能の活用は不可欠であり、その機能の近代化によって輸送の安全性を高め、利用者に対するサービスの向上と鉄道経営の能率化を図ることができる。鉄道通信システムの近代化あるいは次のような考え方によって計画すべきであると考えらる。

- (1) 鉄道通信システムは、輸送の安全性を高め、利用者に対するサービスの向上と鉄道経営の能率化を図るものであり、そのシステムは鉄道の組織、輸送の流れに適合したものでなければならない。
- (2) 鉄道における情報源は、鉄道沿線にそって線上に分布しており、ゾーン対ゾーンあるいは面上に分布する地域内の通信を目的とする公衆通信と様相が異なる。また、輸送業務の特徴から即時的に処理されるべき情報が多く、そのため鉄道通信システムの機能の大部分は、最繁時の通信量に対応し得る容量を持ち、且つ信頼性の高い設備でなければならない。
- (3) 一方鉄道通信システムの近代化のための投資計画は、最新技術の導入を図り、将来期待される諸機能に対応すると同時に、現有設備の転活用を図るなど、投資効果の高いものでなければならない。
- (4) 特に情報伝送路は当面の通話回線やCTC、CSCの制御回線のみならず、将来のデータ伝送回線として使用可能なように、長期的展望のもとに総合的に計画されなければならない。通信設備を設計、建設する場合考慮すべき主な事項は以下のとおりである。  
全ての基本となるのは、目的を明確にした回線構成である。

#### (5) 回線種別と回線数

##### 1) 指令電話

##### 2) 区間電話

##### 3) 交換電話

##### 4) 制御回線

将来予想される回線増を見込む必要がある。

#### (6) 回線構成

##### 1) 実線と搬送

一般に数十杆の回線には、搬送装置を使用した方が有利である。

##### 2) 分枝方法

鉄道特有の指令電話回線は多分枝であるので、シンギング対策や適正なレベル配分を考慮する。

##### 3) 信号方式

## (7) 通信品質

- 1) 損失配分
- 2) 雑音配分

一般に、自営回線では経済性から公衆回線より品質を低下させて考える傾向があるが、将来のデータ伝送等を考慮して適正な通信品質を確保する必要がある。

## (8) 既存系との接続

既存系を有効に活用し、系として信頼度をたかめるため、既存系との接続箇所接続方式、迂回路の構成等を考慮する。

## (9) 誘導対策

交流電化区間では人体、機器の保護対策は当然として、誘導雑音対策は不可欠であり、最も重要である。

この場合、雑音について考えると異常時は頻度が少ないから無視して良く、常時誘導雑音が問題となる。

### 1) 制限値

CCITTの規定(1mv)を順守することが望ましい。

これにより、実回線長が制約される。

送電電話回線は、誘導障害を受けない。

### 2) 誘導電圧値の予測

電化方式、電車線装柱方式、運転される車両の特性と通信ケーブルの位置、構造などから誘導電圧値を予測し、これが制限値を超えないことを確認する。

この場合、次の点を考慮する必要がある。

- a) ケーブルの遮蔽係数とケーブル構造
- b) ケーブルシースの接地方法と接地抵抗
- c) 大地導電率

### 3) 他所属通信線への補償

電化予定線区の近傍に他所属の通信線がある場合、その構造、離隔距離等を調査し、予測計算を行ない適正な補償を行なう必要がある。

対策としてはケーブル化、しゃへい係数の改善、ルート変更などが考えられるが、相手機関と十分協議して過大な補償とならないよう注意する。

以上の基本構想に基づいて通信システムの検討を行なった。

## 6-2 通信ケーブル

### 6-2-1 推奨するケーブルの概要

電気鉄道などの電力線と通信線とが近接して存在すると、電力線の電気エネルギーが一部通

信線に伝達され、通信回線に危険な電圧や、通話に支障を及ぼす雑音障害を発生する。当がい交流電化区間に布設するため、しやへいケーブルについて心線構造としやへい構造について検討した。

## (1) ケーブル構造

### 1) 心線

心線の絶縁材料はメキシコの国産能力も考慮してPEとする。但し搬送カフはPEFとする。心線の構成は対、星と二つあるがどちらでも良いこととする。

### 2) 心線の集合

心線の集合方式としては層構造、ユニット構造が考えられる。日本国鉄ではユニット構造を採用しているが、PCMを重畳するならば層構造の方がよい。

### 3) しやへい構造

当該線区に適用されるであろうき電方式その他について検討した結果として、電磁誘導電圧を制限値以内に止めるにはアルミシースはメキシコで生産できないので、検討の対象にはアルミシースケーブルの他に銅鉄しやへいケーブルを加えて二種類のケーブルについて考察した。

## (2) しやへい係数

ケーブルのしやへい係数は、しやへい構造および接地抵抗により大きく変化する。必要とするしやへい係数を検討するに当り、ケーブル布設位置別に常時誘導基本線電圧が60Vの制限値を超えないような回線長の限度をATき電、直接き電の二つの場合について検討した。

その結果、ATき電方式でケーブルが架空布設の場合でも、6~8 km間隔に絶縁線輪を挿入して回線を分割すれば、しやへい係数は60% (接地抵抗は2Ω/kmとする。)でよいが、直接き電方式の場合は同じ条件のケーブルを使用すると3~4 km毎に絶縁線輪を挿入しなければならないことが判明した。

## (3) 布設工法

経済的で良品質な通信回線を構成するための布設工法につき下記のような検討を行った。

### 1) 直埋設工法

ケーブルを直接地中に埋設すれば誘導電圧を最も受けにくい。しかし岩の多い堅い土質であると、60 cm埋設すると莫大な工事費を要することとなる。従って沿線の地質調査、その他工事費等、経済比較をする必要がある。

### 2) 電車線柱添加方式

電車線柱に通信ケーブルを添加する場合、そのための強度が電車線柱に必要となり、また、電化工事費節減のため電車線柱間隔が60~70 mになるので、通信ケーブルの強度が大きくなりすぎるし、また誘導を受けやすい点でも好ましくない。

一方、電車線柱の架線支持物の脚子が尖結した場合、電位上昇(事故点にもよるが最

高10kV程度) するため、ケーブル支持母子に相当の強度を持たせる必要がある。従って電車線柱添加方式はあまり良い方式とは言えない。

### 3) 通信専用柱架空方式

メキシコ国鉄の在来線区間は、沿線に通信専用柱(現在探線)を有し、新線区間も相当区間通信専用柱を建植している。通信専用柱架空方式とした場合、上記②の問題点が解決する外、誘導電圧も小さくなるため、電車線柱架線方式よりも誘導対策上有利となる。

どの布設工法を採用するかは以下の事柄を検討して決めるとよい。

- ・ 埋設工事費
- ・ 現存通信柱の伏態
- ・ 布設方式による必要しゃへい係数の相異によるコスト差。

### 6-2-2 仕様書原案に対する意見

メキシコ通信運輸省から提示されたケーブルのスペック案に対して次のようなコメントを行った。

- (1) 通信ケーブルのしゃへい係数を0.1にするよう定められていたが、しゃへい係数は実際の使用状態では接地抵抗に依存するため、測定条件を明記すること。
- (2) ケーブル心線の絶縁は紙によるようになっていたが絶縁紙はケーブル内に水が侵入すれば全回線が短時間に使用不能となる確率が高いのでプラスチック絶縁のケーブルを推奨した。
- (3) シースはアルミニウム又は銅+鉛+銅帯となっていたがメキシコで生産できないので、銅+銅帯+ラミネートテープ方式を推奨した。
- (4) 一部の心線を除きほとんどの心線は装荷し実線で伝送する回線構成となっていたが長距離回線は搬送化した回線構成を推奨した。
- (5) ケーブル、ケーブル接続、装荷線輪、中継線輪など、大部分の設備や部品があまりにも細かく規定されていることは国際性を失なうので、修正するよう意見を述べた。
- (6) ケーブル布設方式は、き電方式と関連して決定するよう助言した。例えば、ATき電方式ならば既設通信柱を利用すれば、工事費を低くすることができる。
- (7) 現在すすめられているメキシコ国鉄の無線計画と今回の電化によって必要とする通信回線との総合調整はなされているか。即ち
  - 1) 電化によって新たに生ずる回線のうち無線に収容した方がよいと思われる回線は如何に考慮されているか。
  - 2) 大塚帰路の電信線回路はどのように構成を変えるのか。
  - 3) 将来、電子計算機が利用されるであろうと考えるが、その場合のデータ伝送をどうするかと云うようなことを含めて、入札書類には将来を見た全体的な条件が欠けていた。
- (8) このスペックに規定されたケーブルは、ごく限られた種類のケーブルを前提に接続法など

の工事方法および材料が規定されていた。他にもすぐれたケーブルが考えられるので代案がこれらの条項にしばられることなく受入れられるようにするよう助言した。

#### (9) 誘導対策について

交流電化における通信工事の目的の一つは誘導対策を行なうことにある。このスペックの中には誘導対策の性能（その限度等）についての規定が何もなかったのでスペックに起誘導条件を示し、これに対する計算をさせて、その対策を明確にさせるよう助言した。

### 6-3 通信機器

#### 6-3-1 推奨する通信機器の概要

通信機器の種類や機能は、それがどのような伝送路で用いられるかと云うことを前提として考える必要がある。

そこで当該区間の通信回線系は、経験的な見地から次のように考えた。

- ・ 十数km未満の回線系  
直接通信端末機器に接続される回線で、多重化しにくく、実線使用が最適である。
- ・ 十数kmを超え、数十km迄の回線系  
ケーブルを利用した多重伝送路が最適である。
- ・ 数十kmを超える回線系  
ケーブル搬送、マイクロウェーブ等の多重伝送路が最適である。

#### (1) 伝送設備

前述の回線構成の前提から、ケーブル搬送装置を利用する。この装置は一对の心線で12通話路（CH）の回線を多重伝送できるので、心線の使用効率が非常に大きくなる。

又、伝送周波数は基本CH分でも十数KHz から百KHz 以上の高い周波数帯を用いるので、電化区間で発生する誘導雑音の影響を受けない有利さがある。

この搬送装置では、A地点からB地点への伝送とB地点からA地点への伝送とは同一ケーブル心線を利用しながらも高低の周波数帯に分離して使っているので、伝送レベルの増中が通話品質に影響することなく、容易にできる。

さらにこの装置には、自動利得調整機能（AGC）が組込まれているので、かなりのレベル変動があっても、安定した情報伝送ができる。

このような装置を用いれば、使用ケーブルの対数を大巾に減らすことができ、通信システムの経済性をたかめることができる。

付言すれば、ケーブル搬送装置と実線回線や無線多重伝送システムとの接続は極めて容易であり、通信伝送システムの中核となるものと云えよう。

従ってケーブル伝送路は、この搬送装置の端局を適当な数、適当な間隔で鉄道沿線に配置し、それらの端局と通信端末機器間を実線で結ぶ回線構成となる。

当該線区での端局配置間隔は、約20数kmおきとした。

ケーブル搬送装置は、予備のケーブル心線があれば容易に多くの回線の増設ができ、かつ将来のデータ伝送に対しても品質の良い回線を提供できる。

## (2) 指令装置

運転指令 (Traccion Alarma)、輸送指令 (Regulacion Transporte) および電制御指令 (Regulacion Traccion) 等の指令設備は、簡単な取扱いによって迅速、確実に相手を呼出すことができるものでなくてはならない。又、あわせて容易に多重伝送装置と接続できるものでなくてはならない。

これらのことを考慮し、指令形設備としてF形 (周波数選) 指令電話装置を選んだ。

この装置では相手を呼出す場合は電鍵を操作することにより時間をずらした二周波の信号を送出し短い時間で確実に相手を呼出すことができる。

一つの親装置には、約30の子装置が接続でき子装置から親装置に対する呼出しも容易にできる。

又、親装置から子装置に対して一斉呼出し、いくつかずつに区分したグループ毎の呼出しなどが可能である。

この装置をいくらか中央に並設しておけば、分枝した線路区間に対しても同一指令所から呼出し通話ができる。

## (3) 小数回線用電話交換機

中間駅のうち、変電所や保守詰所等の設置される駅には、各種の通信回線が引込まれる。それらの箇所に人が居ない時間帯には、駅においても通話できるようにしておかねばならない。この場合、駅には一種の回線の接続処理を行なう装置が必要で、これがSCTから提示された仕様の原案によれば、小数回線用電話交換機となっている。これに対応する設備として、日本国有鉄道で採用している集中電話装置の様式を基本とした設備について検討した。接続回線はすべて二線式であり、SCTの仕様書の原案に示されていた四線式よりはるかに簡易な構成である。

## (4) 電話機

通信回線の末端に接続され、通話の入出力端末装置として使用される電話機は、すべて二線式とした。

指令システム用電話機は、約900m毎に沿線に設けるよう規定されていた沿線連絡設備として、運転士等の利用者の緊急時の使用に便利のように電話機付の装置を設けることとした。

このような装置は、沿線電話装置と呼ばれて日本国有鉄道で全線的に用いられ、信頼度や利用性については十分に評価されているものである。

## (5) 電源

中央の指令、各駅等には指令装置、ケーブル搬送装置、小數回線用電話交換装置のための通信用電源装置を設ける。

これらの電源装置は、用電線から直流電圧を得るため、整流装置、電池等から構成する。これらは無停電電源として使用されるので、電池は商用電源停電時間が8時間程度であっても電力を供給できる容量とする。

電話機には局部電源(BL)のもの共通電源(BC)の二種類があり、局部電源のものは電話機の傍に配置される電池を送話や呼出し信号の電源として用い、共通電源のものは上述の各装置の電源装置を共通使用する。

鉄道の沿線に約900m毎に設けられる沿線電話装置に対しては、駅に設ける電源供給装置からケーブル心線を通して電力を供給する遠方給電方式とし、保守の手間を省く。

### 6-3-2 仕様書原案に対する意見

メキシコ通信運輸省(SCT)から提示された通信機器のスペックの原案に対して次のようなコメントを行なった。

(I) 提示された規格に規定されている内容はフランス国鉄の方式にあまりにも片寄りすぎ、形式も古く、国際性に乏しい面が多かった。

通信回線構成に言及すれば、遠距離のケーブル通信回線構成の方法としては、長距離区間を搬送回線、引込区間を2線回線で構成する方式が、提案されている全区間4線方式の他に存在する。この二つの方式を比較してみると、次のような面から2線搬送回線利用方式の方がぞまじい方式であると考えた。

- 1) 回線は全て4線式としているが、一つの回線を構成するのに一カッドを必要とするため、ケーブル心線ひいては通信回線の使用効率が悪い。
- 2) 装荷回線は周波数が大になると伝播時間が大となり、全体として位相の直線性が悪くなる。

このような回線で波型伝送を行なうと歪が生じるので Buenavista・Ahorcado 間のような長距離区間で CTC のようなデータ伝送を行なう事は一般には困難である。

- 3) 音声増巾器の公称帯域は 300~2,500 Hz としているが、この帯域制限も同様に符号伝送の速度を制限する要因となる。

- 4) 4線方式の通信回線では、ケーブルの損失を補償するために、中間に音声増巾器を挿入している通話レベルの最も低いところである音声増巾器の受信端に雑音が混入すると通話と同時に雑音も増巾するので S/N 比は劣化する。

雑音が各増巾区間においてそれぞれ発生するものと考えれば、これらは全線的に相加されるので S/N の劣化の程度はさらに悪くなり、通信に支障を与える他 CTC 等の符号伝送を行なう場合の符号誤りの原因となり得る。

通信ケーブルの心線絶縁が紙である場合は、浸水時にその傾向はさらに大きくなる。

5) 4線方式で中間に音声増中器を複数箇直列に接続した通信回線における利得調整は一般的に非常に厳密に行なう必要がある。

もしケーブルに障害が発生した場合や増中器の利得が変化した場合のレベル調整は全区間にわたって行なう必要があり、この作業は多大の労力を必要とする。

この場合、局所的に増中度を上げると4線の音声増中方式では鳴音を生じる可能性が大きいため、レベル調整に技術的な困難性を含んでいる。

(2) 紙絶縁ケーブルでは、浸水時に回線障害に至る時間が極めて短かく、全心線に支障を発生する危険性が極めて大きい。従ってこの種のケーブルでは、或る箇所で心線障害が発生した場合、全線にその影響が波及しないように単に心線絶縁の監視を行なうのみではなく、そのような場合には不良区間を切りはなし、別途にマイクロ wave 回線を迂回路として構成しておく必要がある。

(3) 駅中間の電話機の電源は、局部給電方式となっているが、これらの電源はケーブル心線に商用周波電力を重畳する方式があり、使用開始後の保守性についてはこの方式の方が望ましい。

(4) 現在メキシコ国鉄においては、F式の指令電話網を整備しつつあるが、当該線区のみをウエスタン方式で構成する事は、国鉄全体で設備の方式の不統一を招き設備運用上、保守上問題が多い。

## 6-4 誘導予測

### 6-4-1 誘導障害とき電方式その1

Buenavista・Irapuato 間の電化において、検討が必要な重要なことの一つとしてき電方式の違いによる誘導障害の程度である。

この比較のやり方の一つとして、危険電圧として取扱う縦方向誘導電圧を60Vの制限値以下又、誘導雑音電圧を1mvの制限値以下にするために、それぞれのき電方式で許容できる通信回線長を検討した。

それぞれのき電方式における通信回線の設定状況は、次のように相定した。

#### 1) ATき電方式におけるケーブル想定位置

通信ケーブルは、レール中心から5m離れた既設通信柱の地上高5mの位置に設ける。

#### 2) 直接き電方式におけるケーブル想定位置

通信ケーブルは、レール中心から3m離れた位置の地中の0.6mの深さに直接埋設する。

なお上記二つの場合についての検討は、いずれも誘導電圧が最も大きくなると考えられる連続勾配区間を対象として行なった。

#### (1) 計算条件

縦方向誘導電圧、誘導雑音電圧の計算に必要な各種の条件を表II-6-1および図II-6

- 1. 図II-6-2に示す。なおこの検討に際しては、許容できる通信回線長を二つのき電回路について比較するのが目的であるので、ケーブルの遮蔽係数は想定値で十分である。実際に当該線区で要求される値ではないが常識的な値として次の数値を用いた。

1) ATき電 (架空ケーブル)

a) 基本波 60 Hz について

$$K_1 = 0.6$$

b) 雑音評価周波数 800 Hz について

$$K_1 = 0.06$$

2) 直接き電 (地中ケーブル)

a) 60 Hz について

$$K_1 = 0.5$$

表II-6-1 ATき電方式と直接き電方式の計算条件

項目	き電方式	ATき電方式	直接き電方式
き電電圧, 周波数		25kv, 60 Hz, 800 Hz	25kv, 60 Hz, 800 Hz
き電こう長		48 km	22 km
区間		複線 (連続勾配線区)	複線 (連続勾配線区)
き電勾路装柱		図・II-6-1	図・II-6-2
AT間隔		16 km	
電車線線種 (T)		M: Cd Cu 60 mm <sup>2</sup> T: Cu 110 mm <sup>2</sup>	M: Cu 125 mm <sup>2</sup> T: Cu 110 mm <sup>2</sup>
き電線 (F)		HAF 150 mm <sup>2</sup>	
AT保護線 (PW)		ACSR 40 mm <sup>2</sup>	
レール (R)		50 kg/m	50 kg/m
ATもれインピーダンス		0.1 + j0.45 Ω ..... 60 Hz 0.1 + j6.0 Ω ..... 800 Hz	
レールの対地もれ抵抗		5.0 Ω・km	5.0 Ω・km
大地導電率 σ		0.01 S/m	0.01 S/m
列車負荷電流 I <sub>p</sub>		1列車 190A × 2 = 380 A	1列車 190A × 2 = 380 A
等価妨害電流 J <sub>p</sub>		6.5 A	6.5 A
通信線の位置		レール中心から距離 5 m 地上高 5 m	レール中心から距離 3 m 埋設深さ 0.6 m
通信線のしゃへい係数		K <sub>1</sub> = 0.6 (60 Hz) = 0.06 (800 Hz)	K <sub>1</sub> = 0.5 (60 Hz) = 0.05 (800 Hz)
通信回線の平衡度		60 dB	60 dB
列車間隔		2列車 20 km	2列車 20 km

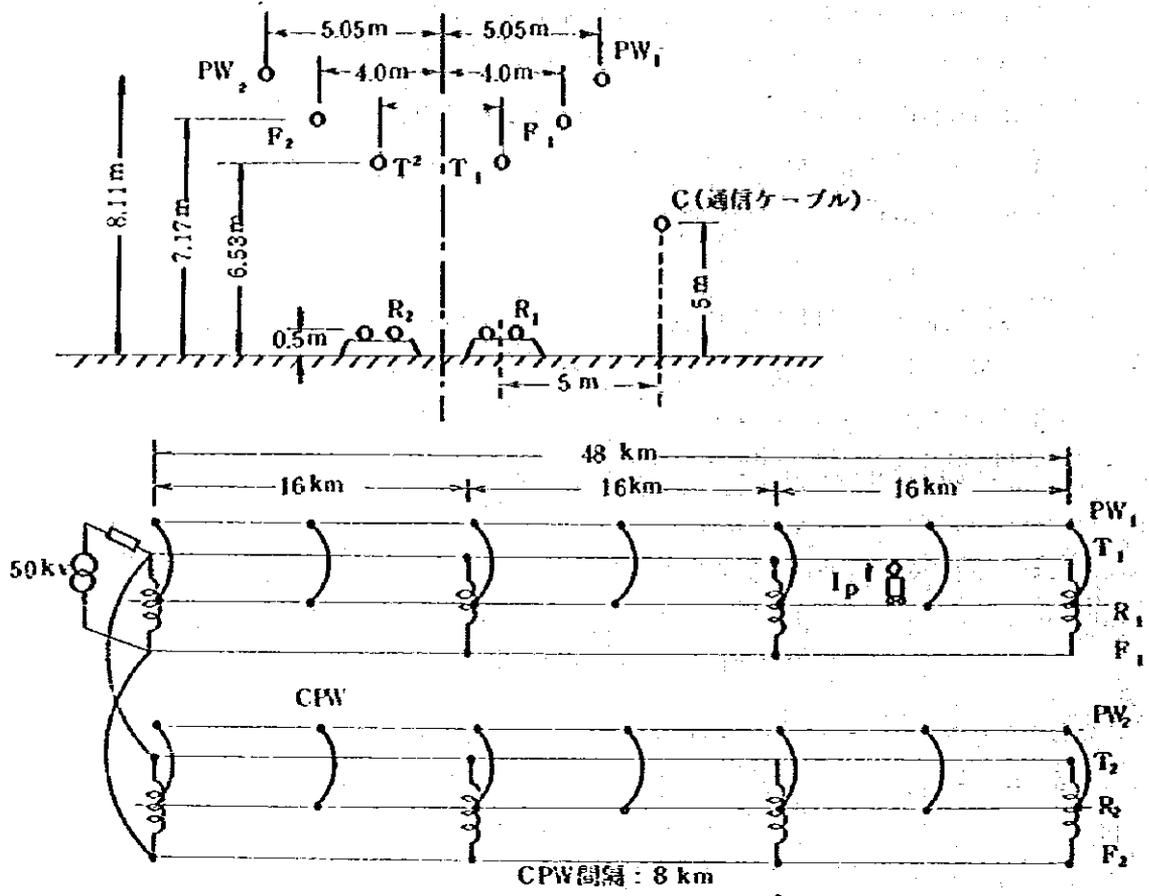


図 6-1 AT 方式の線路装柱位置とき電回路構成

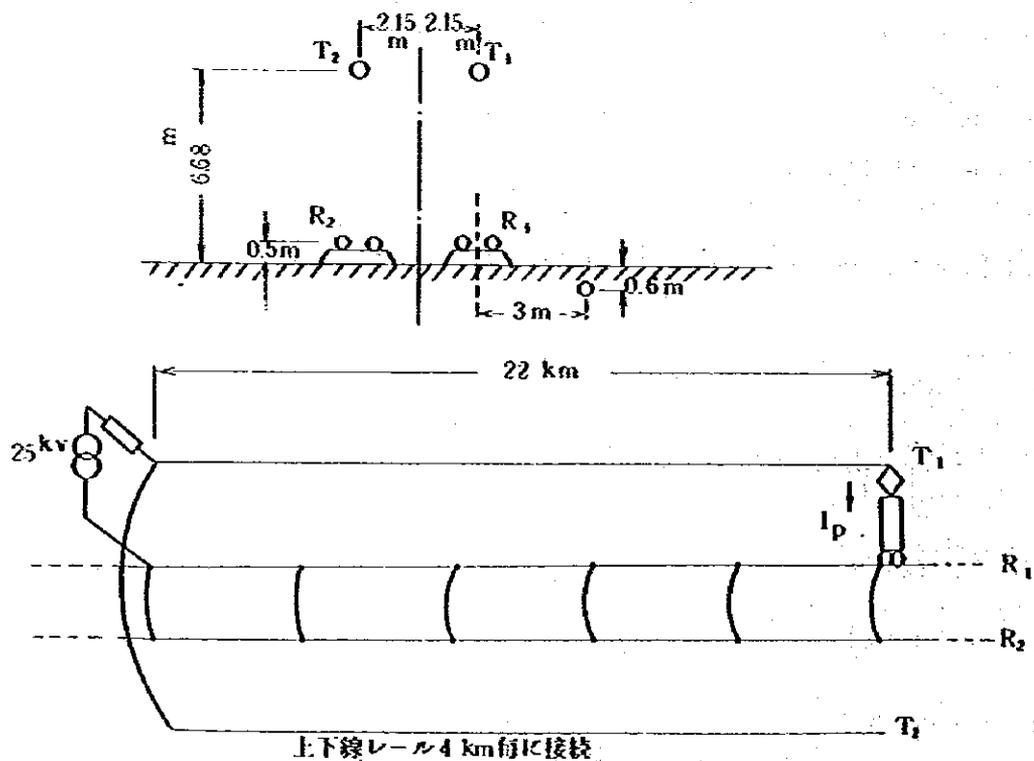


図 6-2 直接電方式の線路装柱位置とき電回路構成

b) 800 Hz について

$$K_1 = 0.05$$

(2) 計算結果

以上の計算条件により計算した結果から、ATき電方式の場合と直接き電方式の場合とを比較すると次の表に示す結果が得られた。

1) 単一負荷の場合

表II-6-2 単一負荷時におけるATき電方式と直接き電方式の比較

誘導電圧60Vを超過しない 通信回線の長さ $l$ (km)		雑音電圧1mVを超過しない 通信回線の長さ $l$ (km)	
ATき電方式	直接き電方式	ATき電方式	直接き電方式
通信回線がAT付近のとき 5~5.5 (6.5~7.5)	通信回線が変電所の近く のとき 約4.5 km	通信回線がAT付近の とき 3.0 (3.4)	通信回線が変電所の近く のとき 約3.5 km
通信回線がATとATの 中間のとき 6.5~7.5 (9.0~9.2)	通信回線が変電所付近 以外の場合 約3.3 km	通信回線がATとATの 中間のとき 4.5~5.5 (6.0~6.5)	通信回線が変電所の近く のとき 約3.3 km
通信柱に添加 しやへい係数0.6 (0.5)	埋 設 しやへい係数 0.5	通信柱に添加 しやへい係数0.06 (0.05)	埋 設 しやへい係数 0.05

(注) ( ) 内の数はしやへい係数が ( ) 内の値に対する数値

この表の結果から次のことが云える。

列車が単一で負荷電流380A、等価妨害電流6.5Aのとき、誘導電圧の制限値60Vを超過しない通信回線の長さは、ATき電方式でしやへい係数0.6で5~7.5km、0.5で6.5~9.2kmとなるが、直接き電方式では変電所近くの一部分を除くと、約3.3kmの長さとなる。

ATき電方式の場合で、通信ケーブルを既設通信柱に添加しても、そしてしやへい係数を0.6としても、直接き電方式の場合より有利である。又、雑音電圧の制限値1mVを超過しない通信回線の長さは、ATき電方式ではしやへい係数が0.06で3.0~5.5km、0.05で3.4~6.5kmとなり、直接き電方式では、しやへい係数0.05でも3.3~3.5kmの長さとなった。

従って雑音電圧の場合も、ATき電方式は通信ケーブルが添加でしやへい係数も0.06と直接き電方式より条件を悪くしても誘導障害の面ではATき電方式の方が直接き電方式に比してほぼ同等以上に有利である。

2) 2列車負荷の場合

表II-6-3 2列車負荷(間隔20km)時のATき電方式と直接き電方式の比較

誘導電圧60Vを超過しない 通信回線の長さ $l$ (km)		雑音電圧1mVを超過しない 通信回線の長さ $l$ (km)	
ATき電方式	直接き電方式	ATき電方式	直接き電方式
負荷位置が変電所から 20kmと40kmの場合 4.3(5.9) 負荷が20km単一の時 5.0(7.3)	負荷位置が変電所から 2kmと22kmの場合 通信回線が変電所の近く のとき 約 3.1 km	負荷位置が変電所から 20kmと40kmの場合 2.8(3.3) 負荷が20km単一の時 約 3 km	負荷位置が変電所から 2kmと22kmの場合 通信回線が変電所の近く のとき 約 3.1 km
負荷位置が変電所から 8kmと28kmの場合 4.5(5.5) 負荷が8km単一の時 5.3(6.6)	通信回線が変電所の近く でない場合 約 3.3 km	負荷位置が変電所から 8kmと28kmの場合 5.0(6.2) 負荷位置が8km単一の とき 約 5.2 km	通信回線が変電所の近く でない場合 約 3.3 km

(注) ( )内の数値は表II-6-2の(注)に同じ

この表から次のことが云える。

2列負荷が20kmの間隔でいずれも380Aの負荷電流および6.5Aの等価妨害電流をとるとき、誘導電圧の制限値60Vを超過しない通信回線の許容長は単一負荷のときの通信回線の許容長より少し短くなり、ATき電ではしやへい係数0.6で4.5km、0.5で5.5~6.5kmとなる。直接き電方式では、電圧長が短かいので2列車負荷の影響は小さく、ほぼ単一列車のときと同じ約3.3kmとなった。

この場合もATき電方式が直接き電方式より有利である。

雑音電圧の場合、ATき電方式ではしやへい係数0.05で3.3~6.2km、0.06で2.8~5.0kmの長さとなったが直接き電方式は3.3kmとなった。

この場合もATき電方式の方が直接き電方式よりもやはり有利と云える。

6-4-2 誘導障害とき電方式その2

6-4-1では誘導障害の比較を誘導電圧の制限値を考慮した際の通信回路の許容される長さで行った。

この場合はケーブルのしやへい係数は常態的な数値を想定して用いれば良かったが、実際に即して問題となるのは、どの位のしやへい係数が要求されるかと云うことである。

これを求めるには、通信回線長も実態に即したものを対象として考えねばならない。ところで通信回線をケーブルの実線回線かつ増巾器なしで構成するアプローチ回線は、種々の条件から十数kmの長さが限度となる。このことと、当該線区に沿って配置されている駅等の通信回線引込箇所数とから最も誘導雑音障害を受ける実線回線長を14kmと設定し、これを対象として誘導予測計算を実施し、その結果から必要なケーブルのしやへい係数を求めた。

計算条件と要求されるしゃへい係数は表・II-6-4と表・II-6-5に示すとおりである。

表II-6-4 ATき電方式と直接き電方式の計算条件

項目	き電方式	ATき電方式	直接き電方式
き電電圧, 周波数		25 kv, 60 Hz, 800 Hz	25 kv, 60 Hz, 800 Hz
き電こう長		48 km	22 km
区間		複線 (連続勾配線区)	複線 (連続勾配線区)
き電回路装柱		図II-6-1	図II-6-2
AT間隔		16 km	
電車線線種 (M)		M: Cd Cu 60 mm <sup>2</sup> T: Cu 110 mm <sup>2</sup>	M: ST 135 mm <sup>2</sup> T: Cu 110 mm <sup>2</sup>
き電線 (F)		HA1 150 mm <sup>2</sup>	
AT保護線 (PW)		ACSR 40 mm <sup>2</sup>	
レール (R)		50 kg/m	50 kg/m
ATもれインピーダンス		0.1 + j0.15 Ω (60 Hz) 0.1 + j6.0 Ω (800 Hz)	
レールの対地もれ抵抗		5.0 Ω・km	5.0 Ω・km
大地導電率 σ		0.01 s/m	0.01 s/m
列車負荷電流 I <sub>p</sub>		1列車 190 A × 2 = 380 A	1列車 190 A × 2 = 380 A
等価妨害電流 J <sub>p</sub>		20 A, 16.2 A, 18.1 A	20 A, 16.2 A, 18.1 A
通信ケーブルの位置			
通信回線の平衡度		60 dB	60 dB
列車間隔		2列車 20 km間隔	2列車 20 km間隔

表II-6-5 誘導電圧, 雑音電圧が制限値を超過しない通信ケーブルのしゃへい係数

	J <sub>p</sub> (A)	しゃへい係数	
		60 Hz 制限値 60 v	800 Hz 制限値 1mv
ATき電方式	20	0.4	0.032
	16.2		0.032
	18.1		0.029
直接き電方式	20	0.1	0.0045
	16.2		0.0056
	18.1		0.0050

6-4-3 大地導電率の測定結果

メキシコ国鉄のMexico・City・Irapuato間(約352 km)電化計画地区において、誘導障害に大きく影響する大地導電率を比抵抗法(四電極法)により、1980年7月14日にわたり測定を行った。大地比抵抗の測定結果から地質構造を推定し、等価大地導電率を求めると、表II-6-6が得られる。また接地抵抗も一部測定した結果を表II-6-7に示す。さらに測定地点の概略図を図II-6-3に示した。

測定結果

表II-6-6 大地導電率の測定結果

測定月日	測定地点	地質図からの地質	等価大地導電率 $\rho$ (e, m, u)
7/9	M <sub>3</sub> Maravillas 付近 島, 牧草地	灰岩	$1.7 \times 10^{-12}$ (0.17 s/m)
7/10	M <sub>1</sub> San Juan del Rio 付近 道路(舗装なし)	玄武岩	$5.8 \times 10^{-13}$ (0.058 s/m)
	M <sub>5</sub> Queretaro 東方, Villa del Marques 付近 谷間の平坦地	沖積土	$1.6 \times 10^{-13}$ (0.16 s/m)
7/11	M <sub>6</sub> Salamanca のコンビナート付近 高速道路の脇	沖積土	$3.2 \times 10^{-12}$ (0.32 s/m)
	M <sub>7</sub> Celaya 付近 高速道路脇の農場内	沖積土	$9.8 \times 10^{-13}$ (0.098 s/m)
7/14	M <sub>1</sub> Huehuetoca 付近 道路脇, 島	沖積土	$4.2 \times 10^{-12}$ (0.42 s/m)
	M <sub>2</sub> Huehuetoca 付近 島の脇	砂岩+ 灰岩	$4.7 \times 10^{-12}$ (0.47 s/m)
	M <sub>7</sub> Huehuetoca 付近 牧草地	砂岩+ 灰岩	$1.6 \times 10^{-11}$ (0.16 s/m)

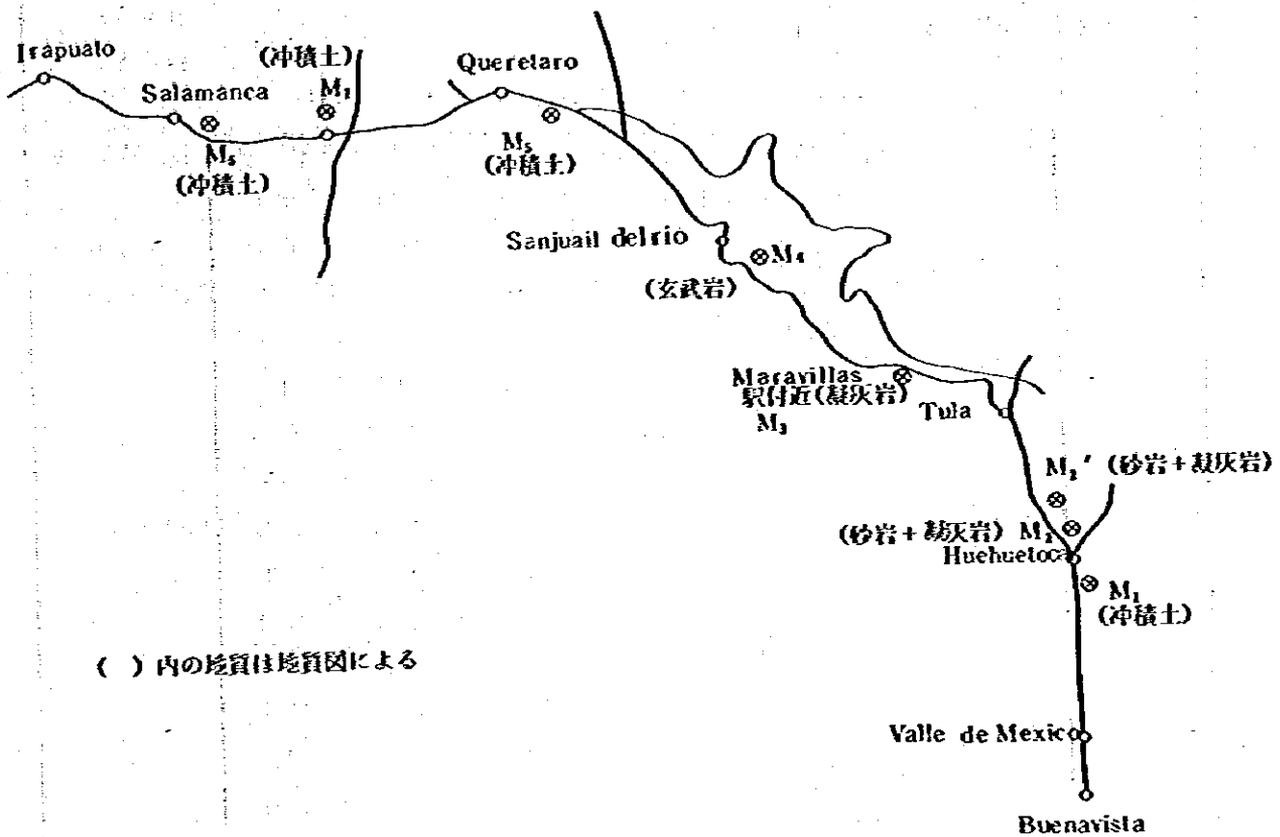
表II-6-7 接地棒の接地抵抗測定結果

測定地点	接地抵抗 (Ω)		
	接地棒打込深さ		
	0.5m	1.0m	1.5m
M <sub>6</sub> 地点 Salamanca 付近	46	20	11.7
M <sub>1</sub> 地点 Huehuetoca 付近	223	31	11.6
M <sub>2</sub> 地点 Huehuetoca 付近	60	27.7	16.5
M <sub>2</sub> 地点 Huehuetoca 付近	52	19.4	10.2

注: 接地棒の外径は5/8インチで、比抵抗計を接地抵抗計として測定。

測定の結果から、大地導電率はかなり良好な値 (約  $6 \times 10^{-13} \text{ e, m, u}$  ( $0.06 \text{ s/m}$ )  $\sim 5 \times 10^{-12} \text{ e, m, u}$  ( $0.5 \text{ s/m}$ )) が得られた。測定点  $M_5$  は、Queretaro の東方、Villadel marques 付近で、地質的に導電率の悪い地域であるが測定上適当な場所が得られず谷間の平均な沖積土となり  $10^{-12} \text{ e, m, u}$  台の良好な値となった。時期的には雨期で地下の水位がかなり高くなっている可能性があるため、乾燥期に地下の水位が下がったとき、大地導電率がどのようなようになるかが問題であろう。

また接地棒による接地抵抗は、大地導電率のよい地点であるため、打込深さ 1.5 m で  $10 \sim 17 \Omega$  と良好な値を示している。



( ) 内の地質は地質図による

図II-6-3 大地導電率測定地点略図 (Buonavista ~ Irapuato 間)

## 6-5 応札書の評価の考え方

### 6-5-1 評価項目

設備の評価を行うには、部品レベルの評価はあまり意味がない。つまり電気通品に使用される部品は一般に高い信頼度を持っており、弱点については冗長系のシステム等の考慮を払えば良いからである。しかし故障はある確率で発生するものであり、その場合の影響を最少にするためJNRの例を参考に評価を行う。

通信は多くの機器が組合わされた総合的なシステムであり、従って個々の機器の評価も大切であるが、通信システムとしての評価がより大切である。

この考えに従って、設備・システム毎に評価の重みづけを行ったものを表Ⅱ-6-7に、その内容を表Ⅱ-6-8に示す。

表Ⅱ-6-7 通信関係評価のウェイト

大項目	小項目	保守性	信頼性	特性
1. 通信戦略 30	(1)通信ケーブル 27 (90)	5.4 (20)	2.7 (10)	18.9 (70)
	(2)配線盤 3 (10)	0.6 (20)	-	2.4 (0)
2. 通信機器 30	(1)搬送装置 12 (40)	2.4 (20)	4.8 (40)	4.8 (40)
	(2)指令電話 9 (30)	1.8 (20)	2.7 (30)	4.5 (50)
	(3)小容量交換機 3 (10)	0.9 (30)	0.9 (30)	1.2 (40)
	(4)電話機数 6 (20)	3.0 (50)	1.2 (20)	1.8 (30)
3. 通信システム 40	-	12 (30)	-	28 (70)

( ) は大項目に対する割合

[ ] は小項目に対する割合

表II-6-8 通信関係評価項目

項 目	保守性	障害時の影響度	システム特性	部品特性
1. 通信線路 1-1 通信ケーブル	1. 総線監視及び感度	○(注1)	1. 伝送損失 2. 漏話特性 3. 装荷の方法 4. しやへい係数 5. 心線の使用方法 6. 平衡度	1. 外 装 2. しやへい構造 3. 気密構造 4. 耐電圧
1-2 配線盤 配線箱	1. 心線の切換 切分け試験の 容易さ			1. 総線抵抗 2. 浸水防止 構造(屋外)
1-3 保安器	1. 点検・取替の容易 さ	△(注2)	1. 動作電圧 2. 電流耐量	
2. 通信機器 2-1 搬送装置	1. 自動利得調整機能 2. 警報表示 3. ユニット交換の 容易さ 4. 冗長系	○(注3)	1. 伝送特性値は CCITTによる。	1. MTBF
2-2 指令電話装 置	1. 警報表示 2. ユニット交換の容 易さ	○(注3)	1. 信号方式 1-1 呼出選択信号 1-2 動作安定度 1-3 選択時間 1-4 応答確認 2. 一斉呼出し時の通 話品質 3. 操作性 4. 割込み/秘密性 5. 子局間通話	1. 操作釘
2-3 小容量 交換機	1. 警報表示 2. ユニット交換の容 易さ	△(注4)	1. 操作性 2. 回線との整合	1. 操作釘
2-4 電話機	1. 交換の容易さ 2. 電池を使用しない 3. 浸水防止構造 (屋外)		1. 通話音量	

項目	保守性	障害時の影響度	システム特性	部品特性
3. 通信システム	1.警報表示・監視 2.定期点検が少ないこと	○	1.実線と搬送の使い分け 2.損失配分 3.S/N 4.誘導対策 5.既存システムとの接続 6.拡張性	
4. 通信誘導		○	1.電化方式 1-1.き電方式 1-2.装柱方法 1-3.負荷電流 1-4.A T間隔及びインピーダンス 1-5.レールの抵抗ともれ抵抗 1-6.大地導電率 1-7 Jp 1-8 同時運転列車本数及びその間隔 2.通信システム 2-1.斜阻値 2-1-1 誘導電圧(常時) 2-1-2 " (異常時) 2-2 ケーブルの位置 2-3 平衡度 2-4 他のしゃへい物 2-5 大地導電率 2-6 実回線長 2-7 予測誘導電圧 2-8 しゃへい係数 2-9 ケーブル構造 2-10 誘導軽減策	

項 目	保守性	障害時の影響度	システム特性	部品特性
			2-10-1 しやへい 係数の改 善	
			2-10-2 相互イン ダクタン スの減少 (ルート変更)	
			2-10-3 誘導電圧 軽減 (Nコイル)	
			2-10-4 過電圧対 策(保安器)	
			2-10-5 区間長の 減少 (搬送化)	

記 事

1. 重要性 O>Δ>空白

2. 重要性の説明

(注1) 絶縁低下の初期は一部システムへの影響にとどまるが、放置すれば全システムが使用不能となる。

(注2) 回線が使用不能になったり、機器・人体に損傷を与える。

(注3) 故障部位によっては全システムに影響。

(注4) 故障部位によっては駅単位で使用不能。

6-5-2 システム評価の考え方

(1) 交流電化区間の通信設備には誘導対策は不可決である。

誘導障害に対して十分な対策が考えられているか？

1) Jp についてはどう考えているか？

2) 通信回線の平衡度についてはどう考えているか？

3) Jp の値と上記の平衡度を基本にして実回線の長さが計算されているか？

(注・1を参照「等価妨害電流 Jp の変化に対する通信回線の影響」)

(2) 通信回線の需要は鉄道の近代化につれて増大する。

1) 通信ケーブルの予備心線は考慮されているか？

現在、UHF回線の工事が施工されている。電化によって建設されるシステムは上記の無線回線網に対して整合しているものでなければならない。無線回線網により迂回ルートを構成することができるので、鉄道輸送の近代化に不可欠なCTCや指令システムの信頼性が向

上する。

2) 通信回線の迂回ルートの構成が容易にできるか？

(注・2を参照)「予備回線数と迂回構成を含めた既設UHF無線との関係」)

(3) 指令電話で最も重要なことはよく聞えることである。従って重要電話回線の安定度は確保されなければならない。

指令電話の安定度は十分であるか？

1) レベル変動に関する安定度はどうか？

2) 周波数変動に関する安定度はどうか？

3) S/N比の変動はどうか？

(注・3を参照「指令電話回線の安定度について」)

(4) 絶縁耐力、通信ケーブルの絶縁抵抗は交流電化のき電回路の短絡故障に対して重要である。

1) 通信ケーブルの絶縁耐力はどうか？

2) 通信ケーブルの絶縁抵抗はどうか？

3) 通信ケーブルの透水性はどうか？

(注・4-1, 4-2と4-3を参照)

(5) すべての設備は保守の手のかからないものでなければならない。特に保守基地から離れている設備においてはそうすべきである。

沿線に点在する中継器の保守作業量はどうか？

(注・5を参照「搬送中継器の保守の容易性について」)

注・1 等価雑音電流 ( $J_p$ ) の変化による通信線の影響

(1) JPの値と通信線の誘導電圧

ATき電システムによる通信線への誘導雑音電圧は次式で表わされる。

$$V_n = \omega_n \frac{1}{D} (\text{Amp} \cdot \text{km})_n J_p M_n \ell \lambda K_1 n K_2 K_3 \times 10^{-3} \quad (\text{mV}) \dots\dots(1)$$

$$\omega_n = 2 \pi f \quad (f = 800 \text{ Hz})$$

D: 線隔距離 (km)

(Amp, km)  $n = 800 \text{ Hz}$  の  $\text{Am} \cdot \text{km}$

$J_p$ : 等価妨害電流 (A)

$M_n$ : カテナリーと通信線の相互インダクタンス

$\ell$ : カテナリーと平行の通信線の長さ

$\lambda$ : 回線の平衡度

$K_1 n$ : ケーブルの800 Hzにおけるしやへい係数

$K_2$ : 他の線によるしやへい係数

$K_3$ : レールによるしやへい係数

この計算は (Amp · km)  $n$  が列車の位置により大きく変化するので、電子計算機を用

いなければ出来ない。

JNRはこのためのプログラムを開発し保有している。さて、 $J_p$  の変化のみを考えると(1)式は次の様に簡略化できる。

$$V_n = V \cdot J_p$$

つまり  $J_p$  が40%増加すれば  $V_n$  も40%増加する。

## (2) メキシコ国鉄の通信線への影響

日本連合の通信で提案するシステムは余裕をみて  $J_p = 17A$  で計算されている。今、 $J_p$  が40%増加すると ( $J_p = 24A$ )、 $V_n$  が制限値 (1 mV) を超えない様にするためには以下の対策のいずれかを実施する必要がある。

### 1) しゃへい係数の改善

$$0.4 \rightarrow 0.3 \quad (\text{AT方式})$$

$$0.1 \rightarrow 0.07 \quad (\text{直接き電方式})$$

特に直接き電方式における0.07というしゃへい係数は、ケーブルシースの厚さ等から、不可能な値である。

### 2) 回線の平衡度の改善

$$61.5 \text{ db} \rightarrow 63 \text{ db}$$

回線平衡度はケーブルのみでなく、接続される機器の影響も受けるので、長期的に60 dbを確保するのは困難である。

### 3) 実線の長さの短縮

$$14 \text{ km} \rightarrow 8 \text{ km} \quad (\text{図II-6-4 参照})$$

この対策は工事費高の原因となる。更に技術的にも困難である。

#### 図II-6-4の見方

AT方式における  $V_n$  の値は計算機を用いなければ正確に算出できないが、図II-6-4はある条件での直接方式に対するAT、BT方式の回線長に対する  $V_n$  の比を示している。直接方式における  $V_n$  はほぼ  $\ell$  に比例するので、この中でATに着目すると、

AT方式における回線長と誘導電圧の比が求められる。

今、14 kmにおける  $V_n$  が1.4倍になったとすると縦軸上で  $0.28 \times 1.4 = 0.39$  となり、逆に  $\ell = 8 \text{ km}$  となる。

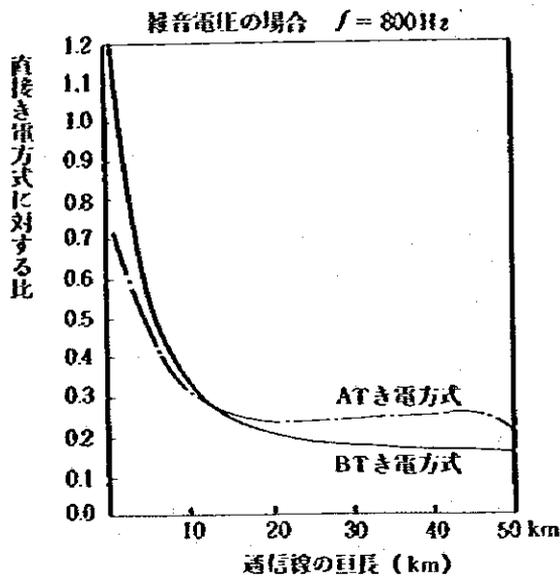
#### 図II-6-5の見方

この図は、直接き電方式において、標線に生じる雑音電圧と回線長の長さにより読み易い様に区別してある。

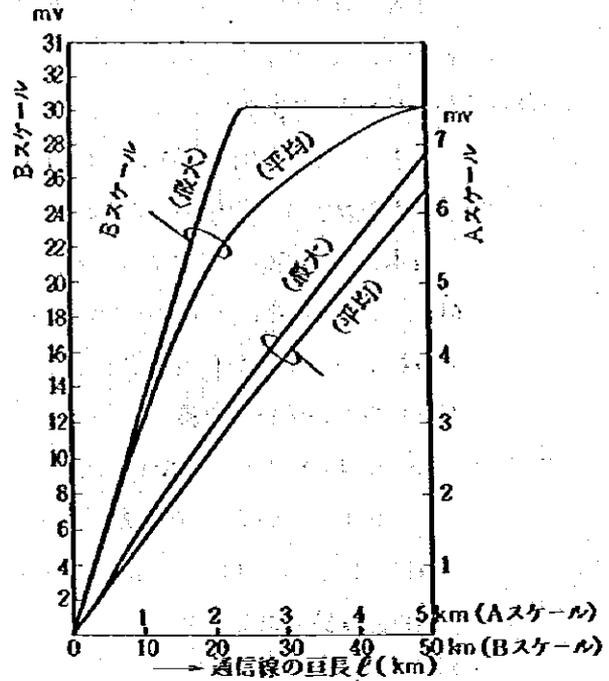
この図の条件は  $f = 800 \text{ Hz}$ , 大地導電率  $\sigma = 0.01 \text{ s/m}$ ,  $J_p = 1 \text{ A}$ ,  $K_1 = 1.0$

$\lambda = \frac{1}{200}$  (= 46 dB)  $d = 100 \text{ m}$  であり、条件が変われば補正する必要がある。

回線長  $\ell = 31 \text{ km}$  とすると、Aスケールより  $V_n = 4.3 \text{ mV}$  となる。(  $J_p = 1 \text{ A}$  )



図II-6-4 直接き電方式に対する倍数  
雑音電圧の場合  $f=800\text{Hz}$



図II-6-5 直接き電方式の通信線  
こう長と雑音電圧

$J_p$  を  $17\text{A}$  とすると、 $V = 4.3 \times 17 \div 73\text{ mV}$  となる。

図II-6-6の見方

図II-6-5で求めた  $V_n$  は  $d = 100\text{ m}$  におけるものであり、離隔  $d$  を変化させた時の  $V_n$  の変化を示すのがこの図である。

A, B, Cスケールは  $d$  の範囲により読み易い様に区別してある。

今、 $d = 900\text{ m}$  とすると、Cスケールより  $d = 100\text{ m}$  に対する倍率は  $0.035$  となり、図の例では  $73\text{ mV} (d = 100\text{ m})$  は、 $V_n = 73 \times 0.035 = 2.55\text{ mV} (d = 900\text{ m})$  となる。

つまり、図II-6-5, II-6-6より、 $J_p = 17\text{ A}$ ,  $d = 900\text{ m}$ ,  $l = 3\text{ km}$  の回線に生じる雑音電圧  $V_n$  が制限値の  $2.5\text{ mV}$  となる事が判る。

注2. 予備回線と迂回構成を含めた既設UHF無線系との関係

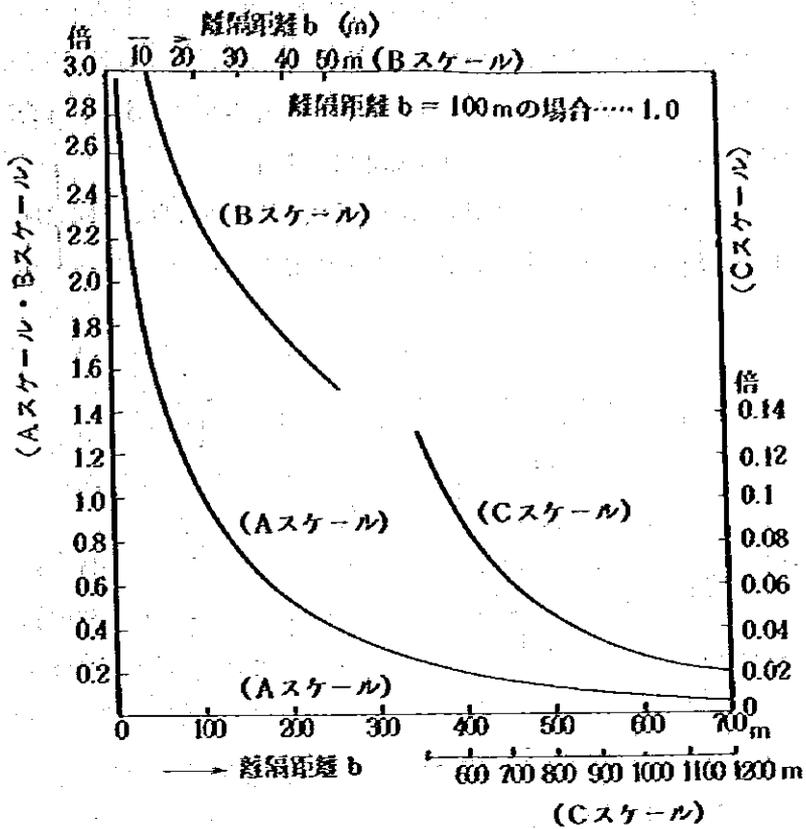
(I) 予備回線数

ケーブル搬送システムでは次の予備回線を考慮している。

1) 音声対

全区間に渡り 3対 (無装荷)

これは駅中間の沿線、電話搬送端局の設置されない小駅での設備増に対応するため



図II-6-6 雑音電圧の距離距離に対する比率

のものである。

2) 搬送カード

Buénavista-PS. №9間	2 Q (48 CH相当)
PS. №9 - Chinleper間	3 Q (72 CH相当)
Chinleper- Ahorcado間	4 Q (96 CH相当)
Ahorcad- Queretaro間	3 Q (72 CH相当)

これは搬送線局の設置されている主要駅 SSでの設備増に対応するためのものであり、また、必要であれば音声対として使用する事も可能である。

3) 搬送システムの予備CH

全区間に渡り 12CH

これは搬送線局の設置されている主要駅 SSでの設備増に対応するためのものであり、また搬送装置の障害時の予備回線としても使用できる。これらの予備回線により

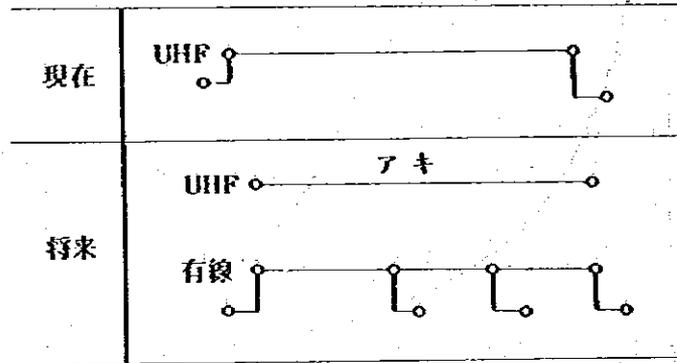
A線、B線への通信路の分枝や、将来の新しい通信システムの導入 (例えば FAX)

にも十分対応できるものと考えている。

(2) 既設UHF無線系との関係

伝送路が有線無線の2系統となるので、回線計画を再編成すれば合理的な使用方法が可能となり回線に余裕が生じるものと考えられる。

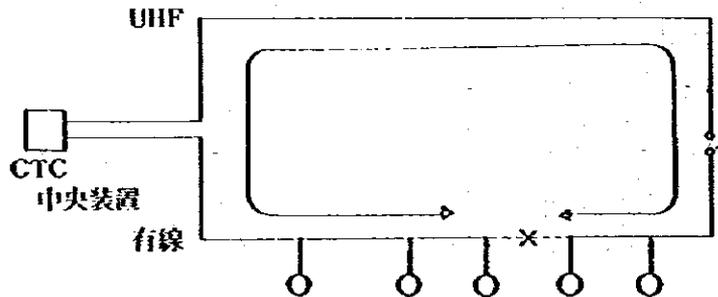
例えば、現在、UHFで主要駅にのみ構成している指令電話回線は、中間駅を含む有線系に移転する事によりUHFに余裕を生じる。



図II-6-7 UHF回線計画図

(3) 迂回による信頼度向上

CTC、指令回線などの重要回線は、ケーブル断線等の場合UHF系と有線系とを使用し、迂回構成を行うことにより信頼度の向上が図られる。(参考別紙)



図II-6-8 迂回構成-1

有線とUHFの接続に際し、1CH毎の無損失接続は勿論のこと、接続されるCH数が多い場合はケーブル搬送とUHFが同じシステム構成であることから群(基礎群12CH, 60~108KHz)単位で接続可能であり、群接続の場合はCH部分が不要となり経済的となる。

(4) 4線式電話機を使用した場合の迂回構成の制約があるケーブル搬送装置を使用した