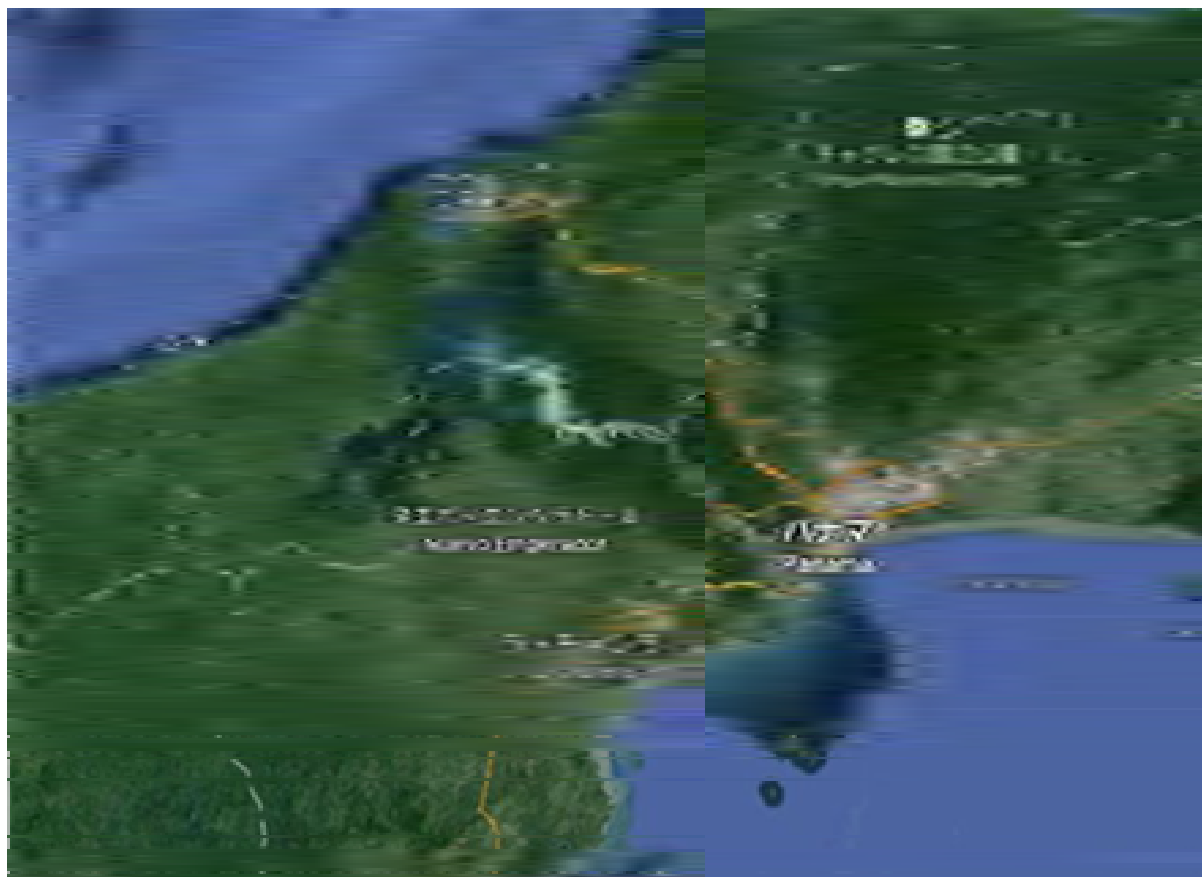


第4章 自然条件

4.1 地勢

パナマは、北はカリブ海、南は太平洋に面し、東はコロンビア、西はコスタリカに接しており、面積は7万7082平方キロメートルを有する。国土の中央部は南北アメリカ大陸で最も狭くなった地狭部で、海洋航路の世界的要衝であるパナマ運河が通っている。

図4.1にパナマの概況を示す。



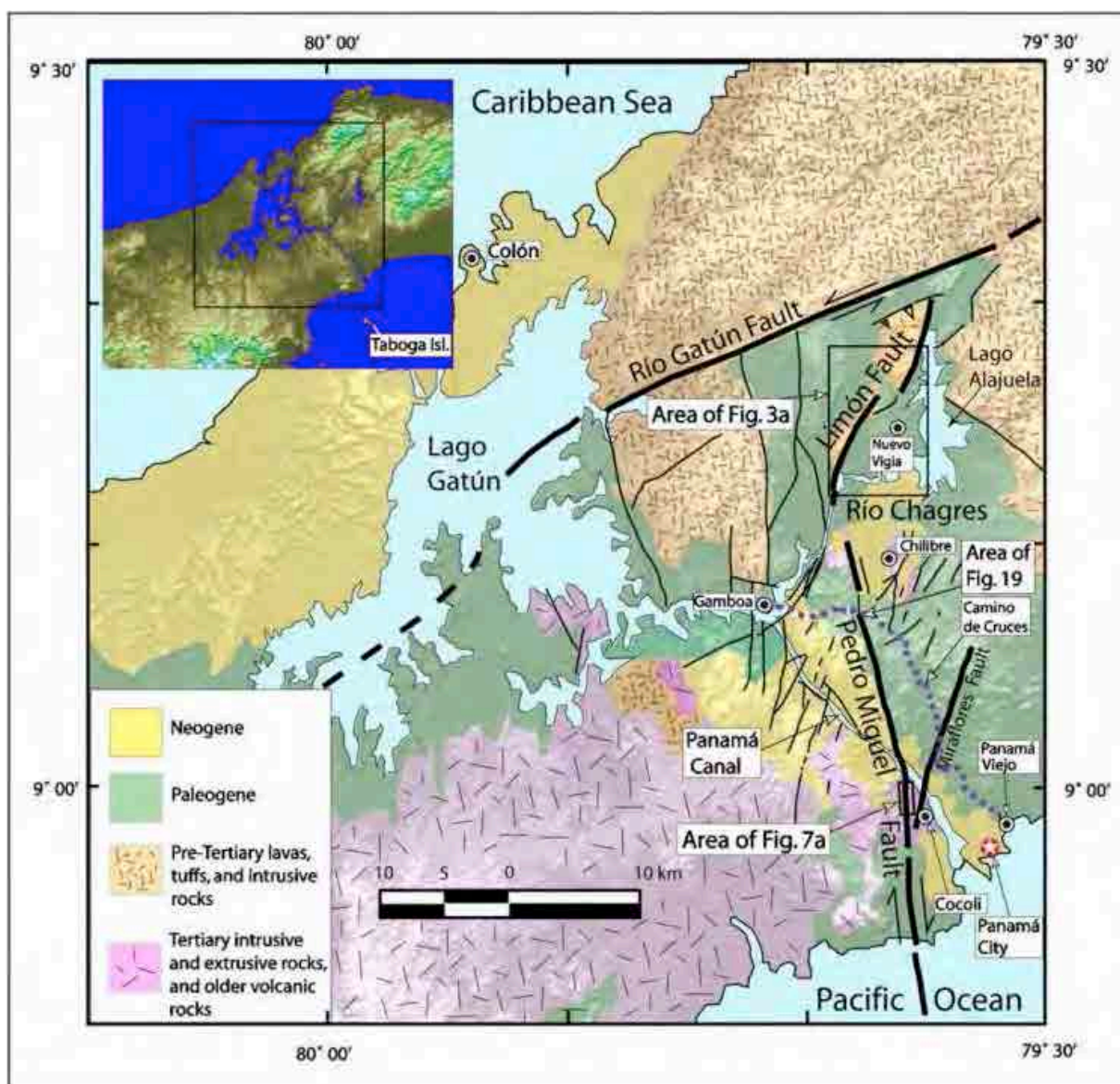
出典：Google Earth

図4.1 パナマの概況

4.2 地形

パナマは中央アメリカプレートと南アメリカプレートが突き合わさった位置にあり、調査対象地域は、急激な地殻変動によって形成されたパナマ盆地に位置する。ペドロ・ミゲル断層、リモン断層等がシェラネバダ山脈南端から南方に向い、ミラフローレス閘門とペドロミゲル閘門の間を横切って更に南下している。ペドロ・ミゲル断層は第4パナマ運河橋の架橋予定近くにあり、1621年に大地震が発生した場所である。

図 4.2 に調査対象地域の地層・活断層図を示す。



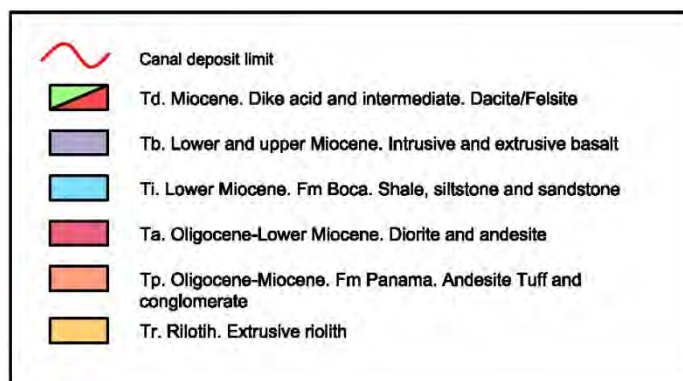
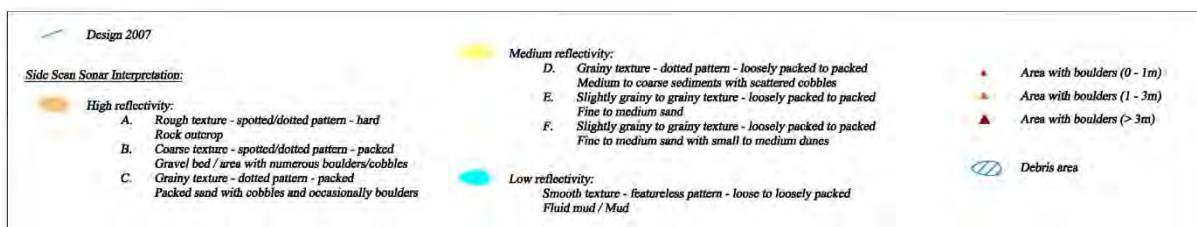
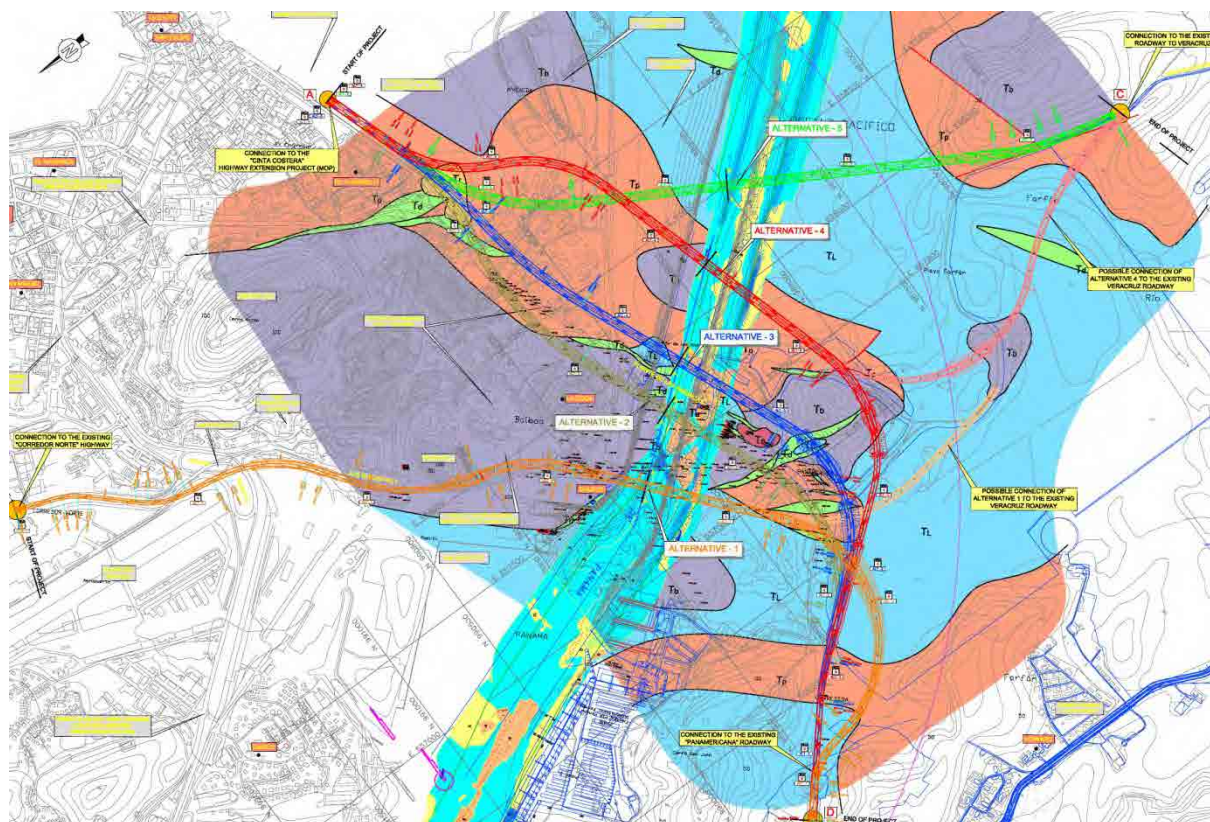
出典：BSSA (Bulletin of the Seismological Society of America)

図 4.2 パナマの地層・活断層図

4.3 土質

運河より東側は、玄武岩の山が、西側については、シルト岩及び砂岩の丘陵地が広がっている。また、運河沿いは、低湿地帯であり、軟弱な泥が堆積している。

図 4.3 に本事業地域の土質状況図を示す。



出典：Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月））（ACP）

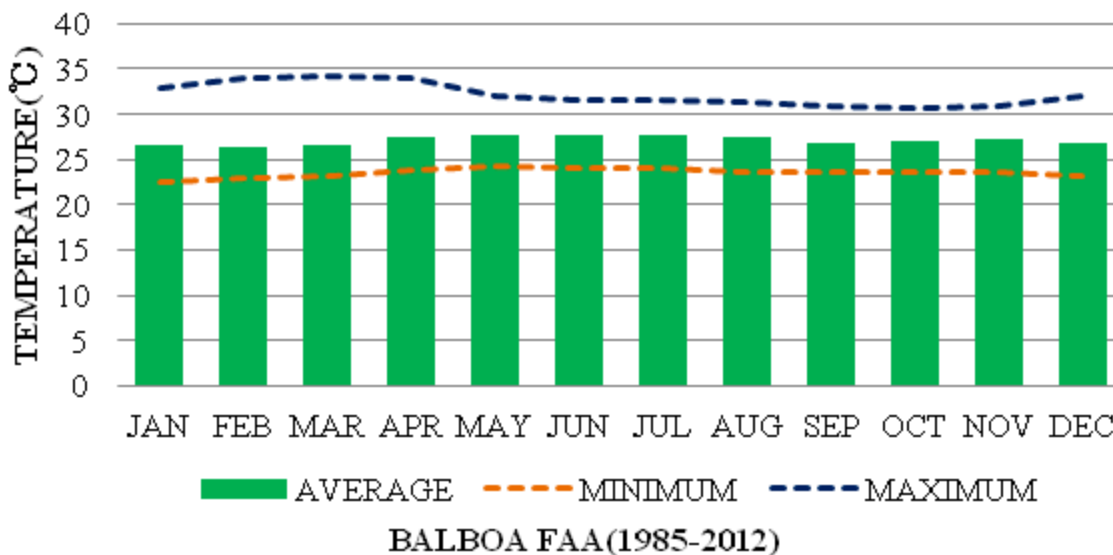
図 4.3 本事業地域の土質状況図

4.4 気象

4.4.1 気温

パナマの気温は、一年を通じて各月とも 27°C前後でほぼ一定である。

図 4.4 に本事業地域の平均気温（バルボア）を示す。



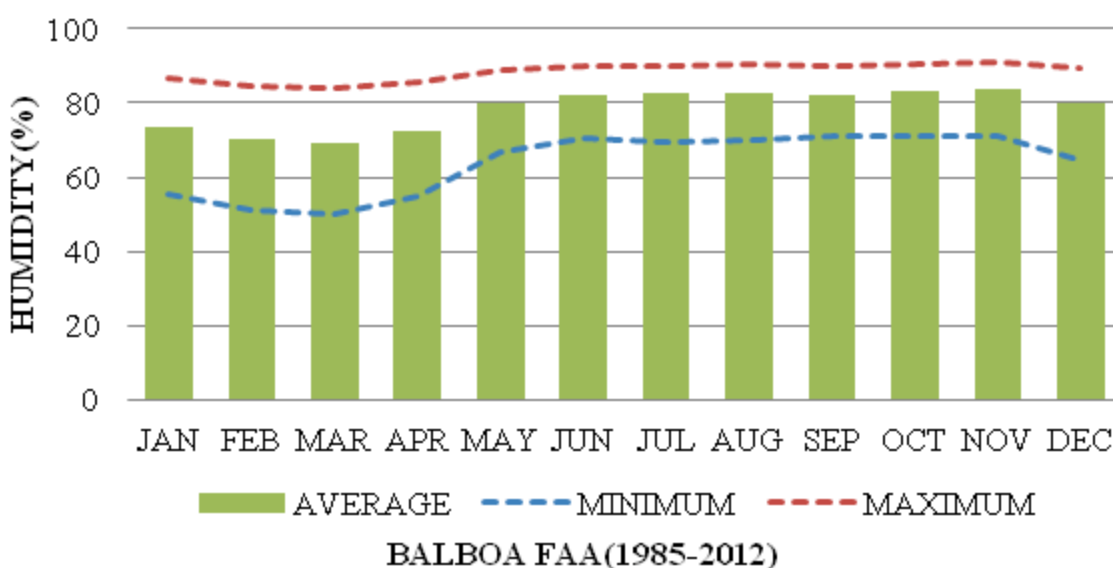
出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.4 本事業地域の平均気温（バルボア）

4.4.2 湿度

当地域周辺の相対湿度を以下に示す。1985～2012 年にかけての月毎の平均相対湿度は、73.7～83.7%となっており、5月から11月にかけては、80%を超えている。

図 4.5 に本事業地域の平均湿度（バルボア）を示す。



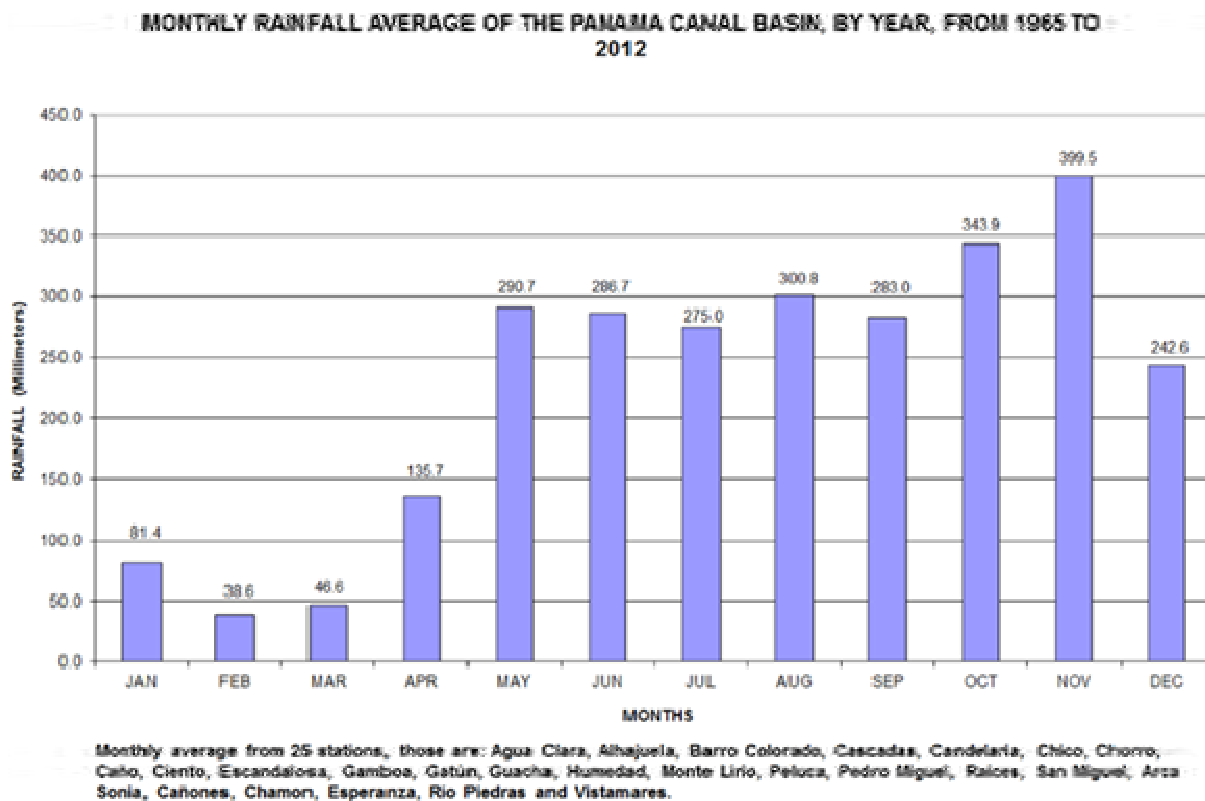
出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.5 本事業地域の平均湿度（バルボア）

4.4.3 降雨

パナマは、高温多湿の亜熱帯気候であり、5月～12月が雨季にあたる。最も降水量が多いのは、11月である。

図 4.6 に本事業地域の平均降水量（パナマ運河流域）を示す。



出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.6 本事業地域の平均降水量（パナマ運河流域）

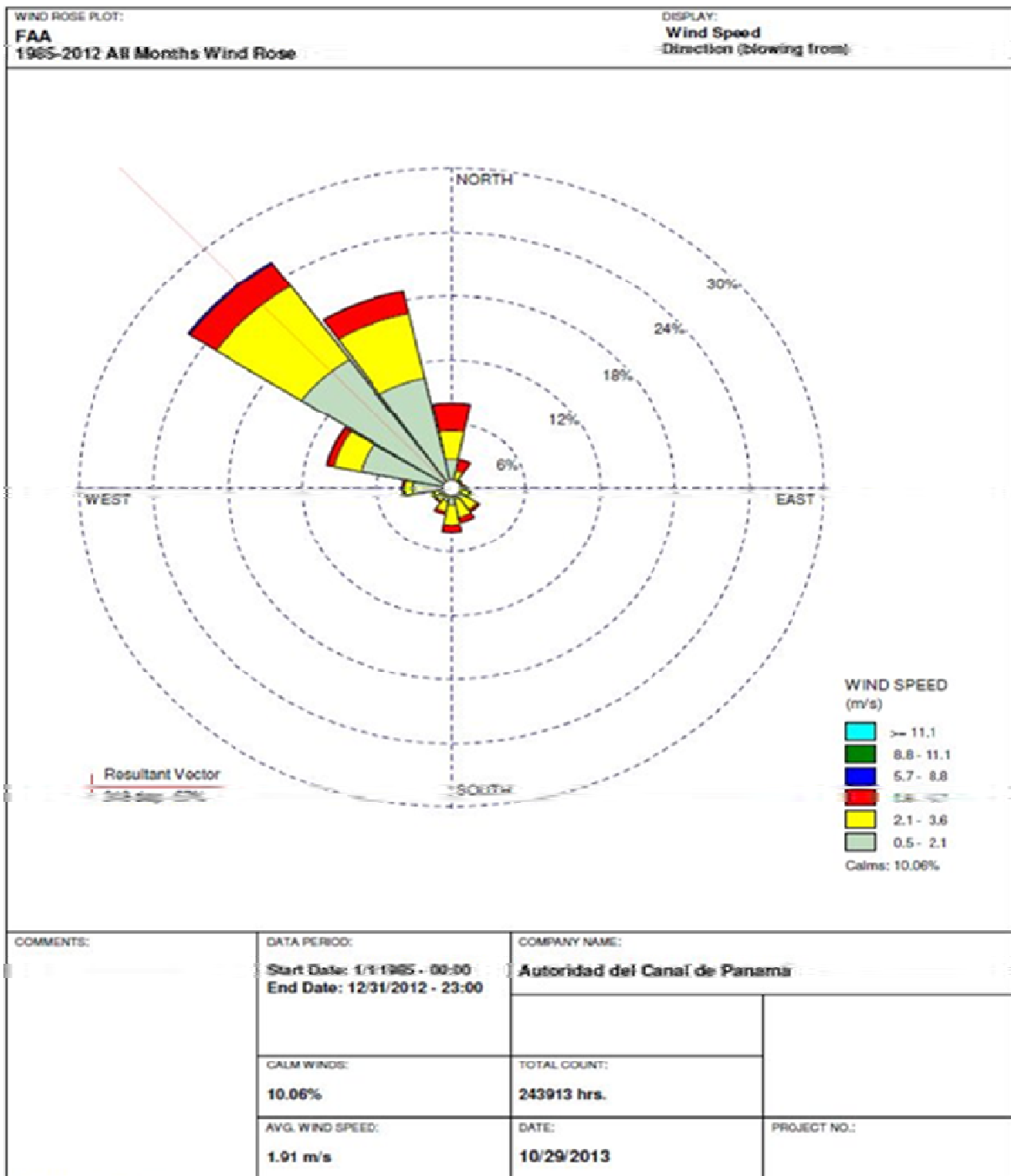
4.4.4 風

第 4 パナマ運河橋に最も近い、バルボア観測所の風向、風速及び風速頻度を以下に示す。

(1) 風向

第 4 パナマ運河橋付近では、北西方向から風が吹く頻度が高い。

図 4.7 に本事業地域の風向・風速図（バルボア）を示す。



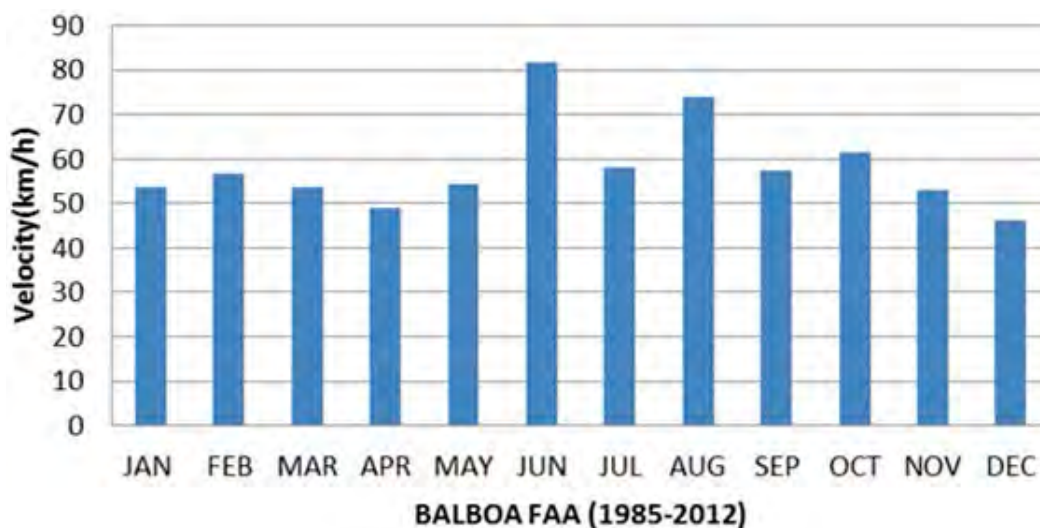
WRPLOT View - Lakes Environmental Software

出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.7 本事業地域の風向・風速図（バルボア）

(2) 風速

第4パナマ運河橋付近では、1990年6月に81.9km/hrの最大風速を観測している。
 図4.8に本事業地域の最大風速（バルボア）を示す。

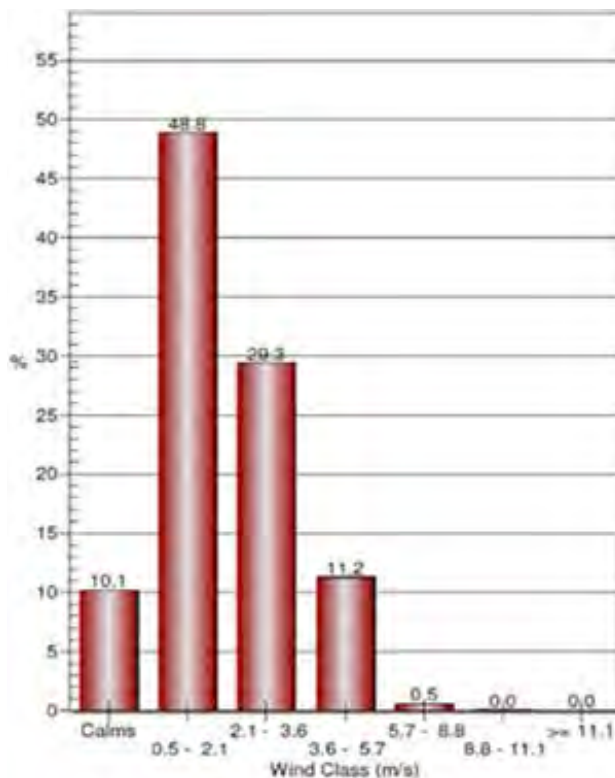


出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.8 本事業地域の最大風速（バルボア）

(3) 風速頻度

第4パナマ運河橋付近では、風速0.5~2.1m/sの頻度が最も高く、約50%を占めている。
 図4.9に本事業地域の風速頻度（バルボア）を示す。



出典：Hydrometeorological Report (ACP)

図 4.9 本事業地域の風速頻度（バルボア）

4.5 水文（パナマ運河（含む洗掘））

パナマ運河は殆ど流速がなく、第4パナマ運河橋付近も流速0.3m/s程度で安定している。

また、運河岸にヒアリングした結果、パナマ運河では第4パナマ運河橋位置を含め、洗掘は発生していないことを確認した。

表4.1に本事業地域の流速（第4パナマ運河橋付近）を示す。

表 4.1 パナマ運河の流速（第4パナマ運河橋付近）

		Localización						Velocidad del viento	
Punto	UTM Este Norte	Latitud	Profundidad ⁽¹⁾ , m	Magnitud ⁽²⁾ , m/s	Dirección ^{(3), (5)} , grados (N=0, E=90)	Intervalo del promedio ⁽²⁾ , min.	Hora ⁽³⁾	Magnitud MPH	Dirección ⁽⁴⁾
		Longitud							
Marea subiendo									
B19	Boya 19	Verde	2	0.25	169	6	11:11	7.4	167
			4	0.27	194				
			6	0.31	213				
B21	Boya 21		2	0.25	170	4	11:58	4.9	114
			6	0.24	179				
			10	0.3	196				
Marea bajando									
B24	Boya 24A	Roja	2	0.31	180	4	16:41	12.3	359
			6	0.29	160				
			10	0.27	177				
B19	Boya 19	Verde	2	0.31	168	3	18:16	9.2	334
			6	0.28	156				
			10	0.31	154				
B21	Boya 21		2	0.34	160	2	18:55	3.4	332
			6	0.33	160				
			10	0.27	170				

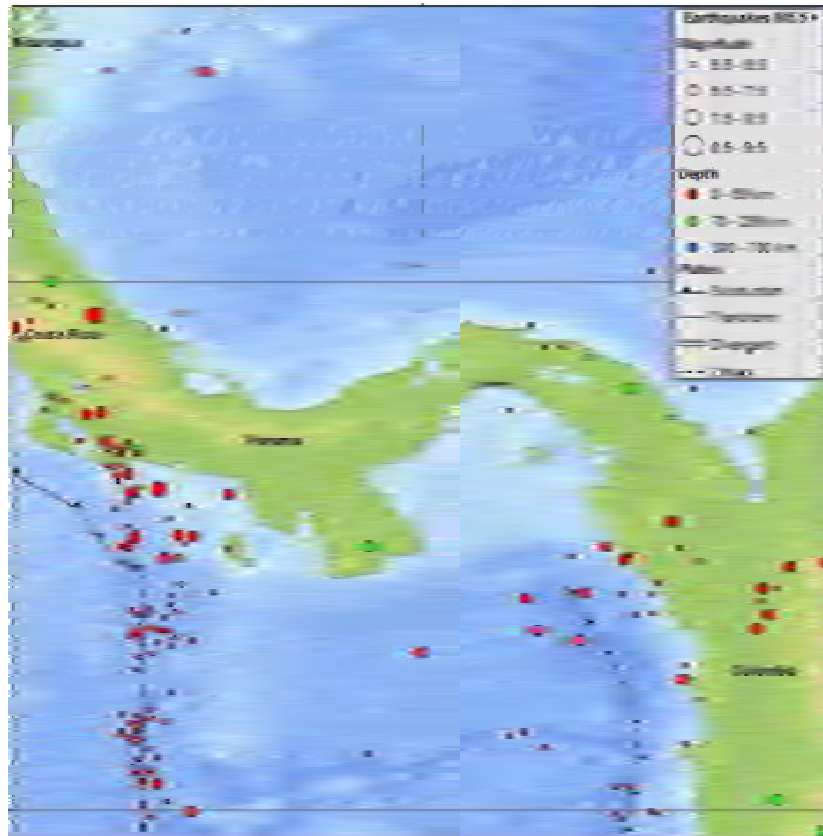
出典：Hydrometeorological Report（ACP）

4.6 地震

パナマでは、過去に多くの地震が発生し、被害を受けている。1882年に発生した地震の際は、パナマ市街地で多くの建物が崩壊している。また、ペドロ・ミゲル断層が第4パナマ運河橋付近に存在し、1621年の大地震の際の震源である。

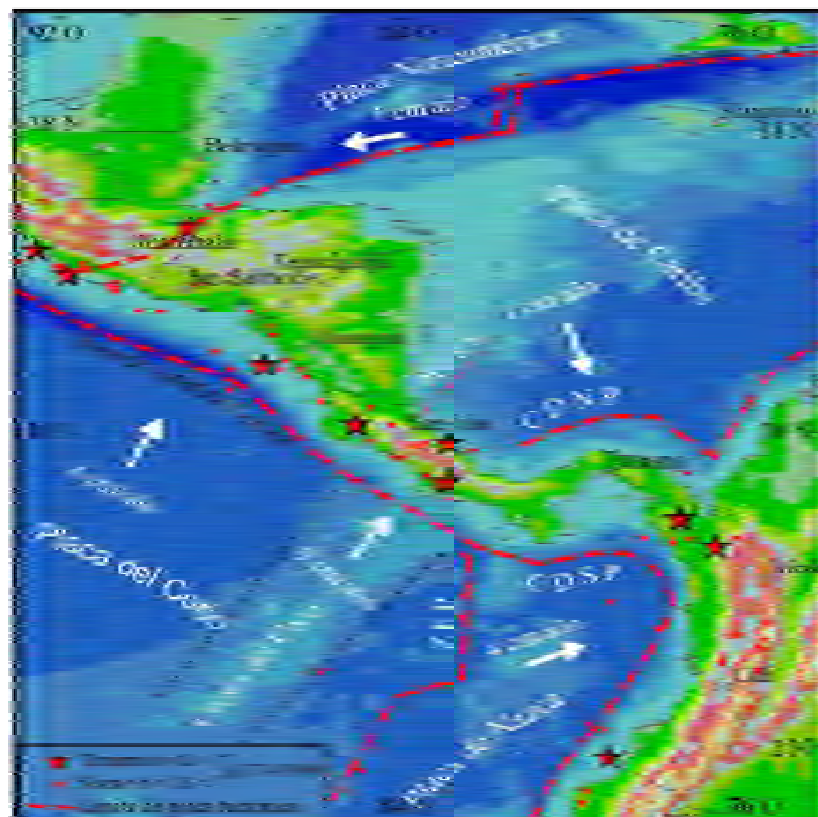
図4.10にパナマの地震分布図（1997年以降）、図4.11にセントラルアメリカ地域におけるプレートテクトニック要素を示す。

なお、パナマの活断層の分布については図4.2に示した通りである。



出典：USGS Network, Panama Seismicity Map (1900 to March 2012)

図 4.10 パナマの地震分布図（1997 年以降）



出典：Seismic Hazard Assessment of the Second Panama Canal Crossing (Preliminary Report)

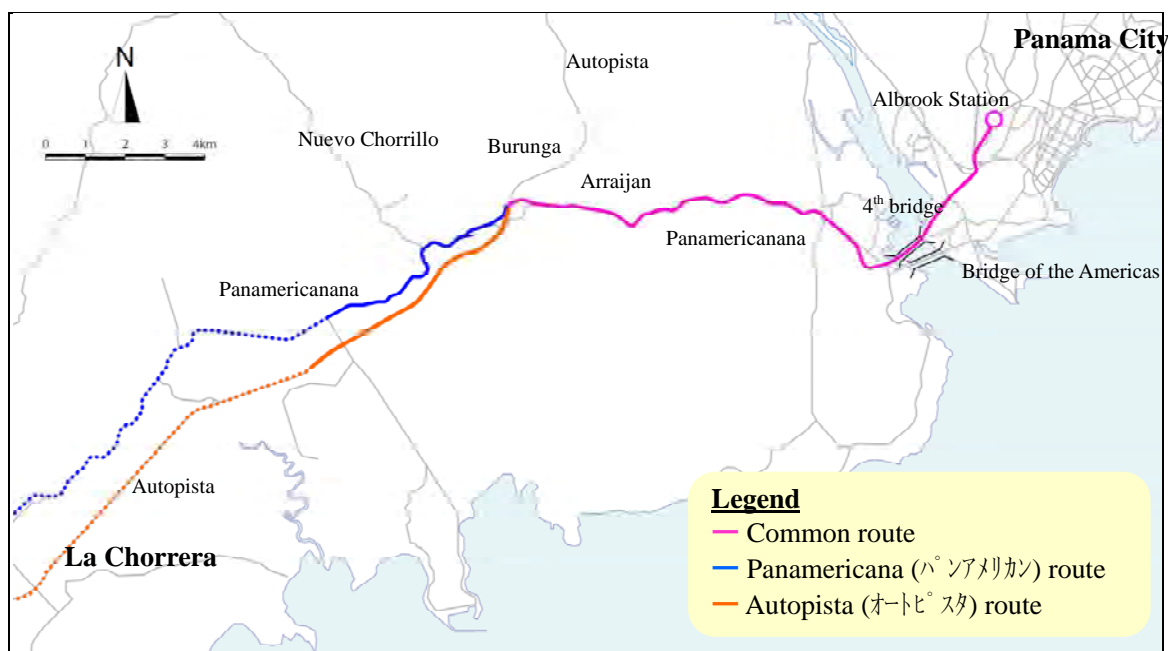
図 4.11 セントラルアメリカ地域のプレート・テクトニック要素

第5章 システム選定

5.1 ルート案

パンアメリカン道路はパナマ市からアライハンを経由してラ・チョレラに至る幹線道路である。新たに建設されたオートピスタもまたパナマ市内とラ・チョレラを結ぶが、パナマ市内～アライハン間の経路は北に大きく迂回するバイパスとなっており、パナマ市内の北部に接続する。このバイパス区間は3号線の計画ルートから大きくずれており、パナマ市内からアライハンまではパンアメリカン道路以外に選択肢はない。

METI 調査では3号線は既存道路沿線に建設が提案された。しかしながら、アライハンの交差点西方向には2つの道路が走っている。つまり、3号線には2つの代替ルート、すなわちパンアメリカン道路のみを通るルートとアライハンからオートピスタを通るルートがある。



出典：調査団

図 5.1 3号線代替ルート図

METI 調査では3号線のルートとして、オートピスタルートが提案されている。このルートは道路幅員が広く、勾配やカーブのきつい箇所がないためである。一方、パンアメリカン道路のルートは、6%を超える勾配や曲線半径 100m 以下のカーブが存在するなど、都市交通の導入には地形的に厳しい条件であり、このため METI 調査では採用されなかった。勾配が 6% を超える線形は一般的に都市交通システムには考慮されないためである。

ところが、本調査が始まった段階で、メトロ庁(SMP)より3号線へのアクセスと将来需要のためパンアメリカン道路を再検討するよう要請があった。そこで、本調査ではルート選定を行った。本報告書に結果を記載する。

5.1.1 比較項目

メトロ庁との協議を通して、2ルート案を評価するためにいくつかの比較項目が調査団より提案されている。いくつかの協議の結果、11個の比較項目が合意された。それらは以下の4つに分類される。(1) 需要とサービス (2) 物理的側面 (3) 土地利用可能性と移転 (4) 環境影響、である。更に、各項目に重みが与えられ、メトロ庁との議論を通して下表に示されている値で合意した。各比較項目で評価し、合計点で評価する。

表 5.1 比較項目表

分類	比較項目	重み
1. 需要とサービス		50
	(1) ルート選定のコンセプト：各ルートのサービスタイプ 1) 通勤客 2) 通勤客と郊外移動	
	(2) 現状と将来の集客需要ポテンシャル	
	(3) 将来ラ・チョレラまでの延伸を考慮した予想需要	
	(4) 駅	
	(5) 交通結節点整備（パークアンドライド）	
	(6) フィーダーバスサービス	
	(7) 運行速度	
2. 物理的事項		18
	(1) 部分開業時の総延長と将来延長時のラ・チョレラまでの延長	
	(2) アライハンからヌエボ・アライハンまでの線形 1) 急こう配区間 2) 急カーブ 3) 公共施設へのインパクト	
3. 土地利用可能性と住民移転		12
	(1) 車両基地 (2) 駅 (3) 交通結節点整備 (4) 線形	
4. 建設時と供用時の自然環境と社会環境へのインパクト		20
	(1) 一時的なインパクト 1) 大気汚染 2) 騒音と振動 3) 安全性 4) 交通 (2) 長期的なインパクト 1) 地域経済と雇用、生計 2) 土地利用	
	合計	100

出典：調査団

5.1.2 比較方法

全ての比較項目は下表の通り、Excellent から Not Applicable の6段階で評価される。評価に拠って1から0の係数が与えられ、それらの係数は割り当てられた重みと掛け合わせることで評点を得る。

表 5.2 段階評価と係数

評価	係数	評点
(A) Excellent:	1.0	重み × 1.0
(B) Good:	0.8	重み × 0.8
(C) Fair:	0.6	重み × 0.6
(D) Insufficient:	0.4	重み × 0.4
(E) Poor:	0.2	重み × 0.2
(F) Not applicable:	0.0	重み × 0.0

出典：調査団

5.1.3 評価

調査団とメトロ庁との協議の場で、オートピスタとパンアメリカンの両ルートについての各比較項目を分析、評価した。以下に評価結果を示す。

(1) 需要とサービス

1) サービスのタイプ（通勤）

ルート	分析	評価
オートピスタ	運行速度は通勤サービスを満足する水準である。これは緩やかな地形状況、駅間距離が長い、PA ルートより短い距離であることによる。	Excellent
パンアメリカン	運行速度は AP ルートより低い。これは、距離がより長く、西側地域コミュニティーへのサービスのため頻繁に停車するためであるが、満足できる水準である。	Fair

2) サービスのタイプ（通勤と地域移動）

ルート	分析	評価
オートピスタ	沿線の郊外移動需要は低い。	Poor
パンアメリカン	このルートは郊外の人口が集中している地域を通り、郊外移動を行う利用者が受益者である。通勤移動のためには朝夕のピーク時には急行運転も計画可能である。	Excellent

3) 需要創出の潜在性

ルート	分析	評価
オートピスタ	オートピスタは市間高速道路であり沿線開発は計画されていない。無計画の開発により住宅地が分散することや、この沿線は主に車両を利用する中所得者の住居で、南方向への開発もまた中所得者の住宅であることからこの評価とした。	Fair
パンアメリカン	パンアメリカン道路にはアライハンとラ・チョレラ間の焦点とする都市地域がある。主な郊外ビジネスと住宅地（特に所得の低い世帯）が近い。この地域は古い建物と新開発が混在している。北方向の開発は中所得者向けの開発と思われる。郊外ビジネスを開拓することで需要の発生が見込まれる。	Excellent

4) ラ・チョレラまでの将来延伸を想定した需要

ルート	分析	評価
オートピスタ	ルートはラ・チョレラのパンアメリカン道路とオートピスタの交差点まで延ばすことができるが、ルートはラ・チョレラを中心からは離れている。	Fair
パンアメリカン	通りが狭いため、ラ・チョレラを中心まで延ばすのは難しいが、このルートは市内出入り口である計画中のバスターミナルまで到達できる。	Excellent

5) 駅（アクセスの容易さ）

ルート	分析	評価
オートピスタ	駅への歩行者施設が乏しい。	Insufficient
パンアメリカン	現在の歩行者ルートは徒歩アクセスで使用できる。	Excellent

6) パーク&ライド（アクセスの容易さ）

ルート	分析	評価
オートピスタ	パークアンドライド施設へのアクセスを整備すべきである。	Insufficient
パンアメリカン	既にある道路ネットワークを使用して車でアクセスできる。	Good

7) 端末バスサービス

ルート	分析	評価
オートピスタ	フィーダー乗り換えは高速道路としてのオートピスタの交通を阻害するため、駅へのアクセス道路と他交通への乗り換え場所を整備すべきである。	Insufficient
パンアメリカン	既にある道路ネットワークでフィーダーバスは駅にアクセスできるが、他交通への乗り換え場所は整備すべきである。	Good

8) 運行速度

ルート	分析	評価
オートピスタ	表定速度は 45-50km/h である。	Excellent
パンアメリカン	表定速度は 35-40km/h である。	Fair

(2) 施設面

1) 総延長

総事業費はラ・チョレラまでの将来延伸を含む路線の総延長に依存する。

ルート	分析	評価
オートピスタ	Arraijan – Nuevo Arraijan: 7.42km Nuevo Arraijan – Chorrera: 7.07km Total: 14.49km	Excellent
パンアメリカン	Arraijan – Nuevo Arraijan: 8.91km Nuevo Arraijan – Chorrera: 7.62km Total: 16.53km	Good

2) アライハン～ヌエボ・アライハン間の線形（急こう配区間）

ルート	分析	評価
オートピスタ	6%を超える勾配の区間は存在しない。	Excellent
パンアメリカン	6%を越える勾配の区間が3箇所ある。該当する区間の延長は780mである。	Poor

3) アライハン～ヌエボ・アライハン間の線形（急カーブ）

ルート	分析	評価
オートピスタ	曲線半径が160mを下回るカーブは存在しない。	Excellent
パンアメリカン	曲線半径が160mを下回るカーブが5箇所ある。	Fair

4) 公共設備への影響

ルート	分析	評価
オートピスタ	影響を受ける公共設備は少ない。	Excellent
パンアメリカン	道路沿線に多くの公共設備が存在する。	Fair

(3) 用地の有効性と住民移転

1) 車両基地

ルート	分析	評価
オートピスタ	車両基地はオートピスタに隣接して設置できる。	Excellent
パンアメリカン	ヌエボ・アライハン西側に車両基地対象用地がある。	Fair

2) 駅

ルート	分析	評価
オートピスタ	駅は道路脇に設置する。道路脇の ROW は駅設置には十分である。	Excellent
パンアメリカン	駅は道路中央に設置する。	Good

3) 交通結節点整備

ルート	分析	評価
オートピスタ	交通結節点は道路脇には建設できない。これは、オートピスタが高速道路であることに拠る。交通結節点は ROW 外側に建設する必要がある。	Fair
パンアメリカン	交通結節点は道路脇に準備できるが、道路断面に影響を与える。	Good

4) 線形

ルート	分析	評価
オートピスタ	線形は ROW に収まる。	Excellent
パンアメリカン	丘陵地域で蛇行していることから線形を ROW に収めることは難しい。	Insufficient

(4) 環境社会配慮（一時的）

1) 大気汚染と騒音・振動

ルート	分析	評価
オートピスタ	人口密度が低く、インパクトは小さい。	Excellent
パンアメリカン	路線には中程度の人口密度のコミュニティーが存在するため、インパクトがある。	Fair

2) 安全

ルート	分析	評価
オートピスタ	建設現場沿いの歩行者需要が低いため、建設期間中の交通事故リスクは小さい。	Good
パンアメリカン	建設現場沿いの歩行者が多いため、建設期間中の交通事故リスクは高い。	Fair

3) 交通

ルート	分析	評価
オートピスタ	道路脇に構造物を建設するため、交通阻害の影響は低い。	Good
パンアメリカン	道路中央に建設するため、交通阻害の影響は大きい。	Fair

(5) 環境社会配慮（長期）

1) 地域経済、雇用と生計

ルート	分析	評価
オートピスタ	事業は将来、駅沿線におけるビジネスを誘発することが見込まれる。	Fair
パンアメリカン	事業は将来のビジネス誘発に加えて、現在存在するコミュニティ地域経済にも貢献する。	Excellent

2) 土地利用

ルート	分析	評価
オートピスタ	新しい都市開発が沿線で見込まれる。	Good
パンアメリカン	新しい都市開発と都市化地域の密集が見込まれる。	Excellent

5.1.4 結論

協議を重ねた結果、調査団はメトロ庁と下表の評価結果で合意に至った。評価点は 100 点満点で、パンアメリカンルートの評価点は 79.8 点、それに対してオートピスタは 71.8 点であった。

表 5.3 ルート選定比較結果

No.	構成要素	比較項目	重み	アウトビスタルート	点数	パンアメリカンルート	点数			
1	ルート選定のコンセプト:各ルートのサービス対象者	通勤者	4	主要対象利用者はパナマ市への通勤者である。地形状況が比較的緩やかであるためパンアメリカン・ルートより高速運転が可能。路線の距離も短い。	4	パナマ市通勤者に限らず、アライハ、ラ・チャレラ地域内の旅客も対象利用者となる。午前・午後のピーク時間帯に急行列車を計画できる。路線はアウトビスタルートより長い。	2.4			
		通勤及び地元利用						6	1.2	6
2	現在・将来的開発により需要を生み出す潜在力	既存の空間占有及びその傾向	50	アウトビスタは都市間高速道路であるため、近辺の開発は計画されていない。今までの開発は車を所有する中間所得者用の分散された無計画の住宅プロジェクトである。南へ続く開発は中間所得者用住宅である。	7.2	アライハとラ・チャレラ間の市街地はパンアメリカン道路を中心とする。ほとんどの地元ビジネス及び住宅地(特に底所得世帯)は近くにあり、古い建物と新開発が混合する。北へ続く開発は底・中間所得者用住宅のようである。	12			
		ラ・チャレラへの将来延長で期待できる需要。						8	4.8	8
		駅						5	2	5
		交通結節点(パーク&ライド)						5	2	4
		フィーダバスサービス						5	2	4
		表定速度						5	5	3
		部分開業案全線とラ・チャレラへの将来延長線(全線開業案)						5	5	4
3	具体的構造	75m~スズ・75m線形	18	75m~スズ・75m線形 アライン~スズ 7.42km スズ 7.07km 合計:14.49km	5	アライン~スズ 7.42km スズ 7.07km 合計:16.53km	4			
		(1) 急勾配部分						5	5	2
		(2) 急曲線						5	3	3
		(3) 公共設備へのインパクト						5	1.8	1.8
4	用地取得可能性と住民移転	用地所得及び住民移転(用地)の入手可能性	32	アウトビスタ道路沿い	3	パンアメリカン道路から800m	1.8			
		(1) 車両基地						3	2.4	
		(2) 駅						3	2.4	
		(3) インターモーダル施設						3	1.2	
		(4) 線形						3	1.2	
5	環境	建設・運用時の自然・社会環境へのインパクト	32	低人口密度	1	中間人口密度	0.6			
		(1) 空気汚染						1	0.6	
		(2) 騒音・振動						1	0.6	
		(3) 安全						3	1.8	
		(4) 交通						3	1.8	
		(5) 地元経済、雇用、生計						8	8	
		(6) 土地利用						4	4	
Total			100	71.8	79.8					

出典：調査団

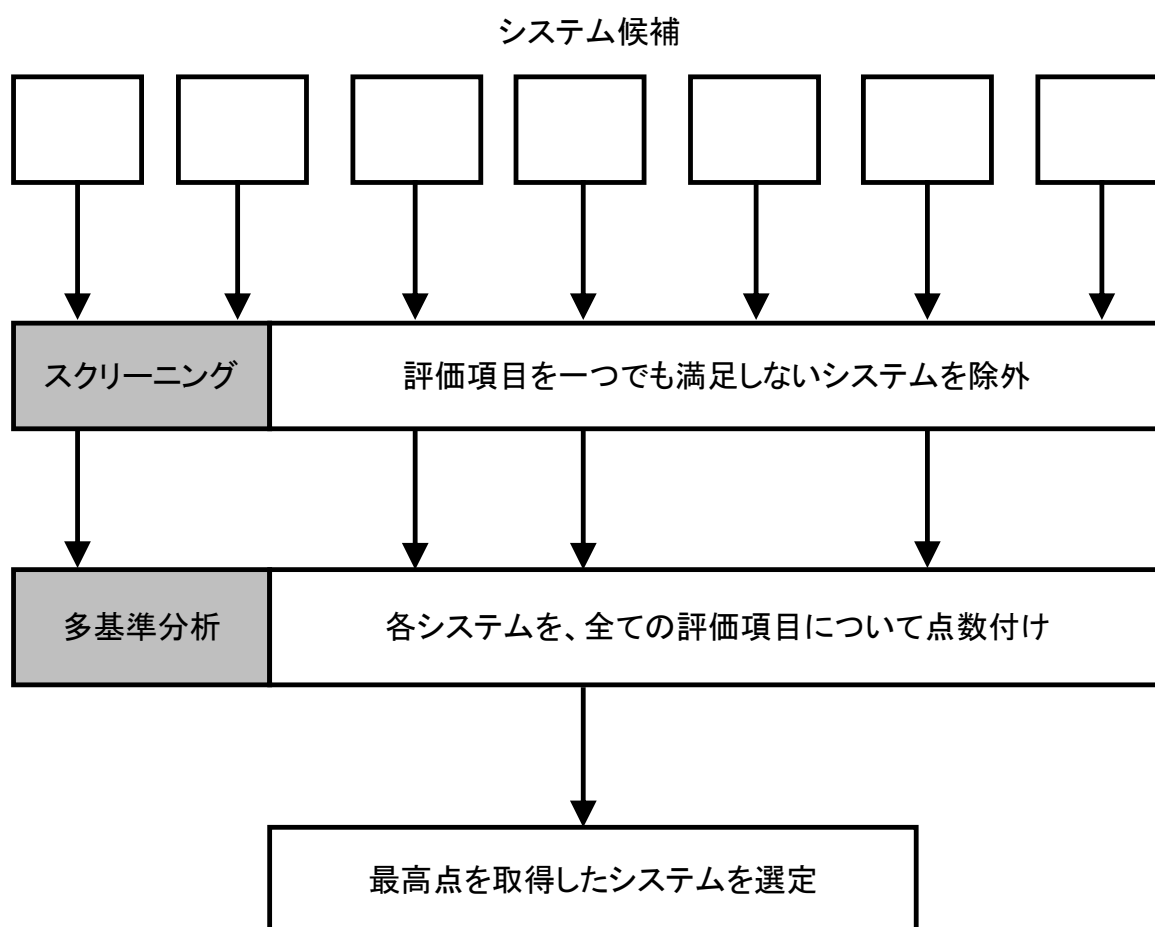
5.2 システム候補と1回目のスクリーニング

5.2.1 システムスクリーニングの手順

3号線に相応しい交通システムを選択するため、本調査では図5.2に示す通り、2回のスクリーニングにより選定する。

はじめに、1回目のスクリーニングでは可能性のある全ての都市交通システムを複数の指標を用いて下表のとおり評価する。1回目のスクリーニングで残ったシステムを次のステージで比較する。そして、ふさわしいシステムを評価してシステムを選定する。

次に、2回目のスクリーニングでは残った交通システムを輸送力や保守、費用等、分野別の評価項目により評価し、点数化する。最終的には、この評点に抛り3号線に相応しい交通システムを選定する。



出典：調査団

図 5.2 システム選定の模式図

5.2.2 システム候補

世界には多くの交通システムが存在する。主要なものを次表に示す。

表 5.4 交通システム候補

システム候補	特徴	システム候補	特徴
 <p>BRT</p>	バスが道路と同じレベルを通行するため、輸送力は低い。	 <p>懸垂式モノレール</p>	スペースが作られた軌道桁から車両が伸びており、道路頭上をゴムタイヤで走る。
 <p>BRT（専用レーン）</p>	バスは専用レーンを走行するため他交通の影響を受けない。	 <p>跨座式モノレール</p>	車両は軌道桁を跨ぎ、そこに作られたスペースを使ってゴムタイヤで道路頭上を走る。
 <p>LRT</p>	軌道は専用の道路空間に敷設可能で、地下や高架にも対応する。	 <p>Maglev</p>	車両は軌道桁から磁力で浮いて走行する。適用事例が少ない。
 <p>専用軌道式 LRT</p>	軌道は専用構造物に敷設されている。車両のサイズは小さく、輸送力は中程度である。	 <p>リニアメトロ</p>	推進力はリニアモーターを用いてトラクションプレートで得られる。これは軌道と車両に設置され、鉄輪と軌道はガイドと荷重を支えるためにある。
 <p>AGT</p>	車両は専用のコンクリートスラブで作られた軌道桁をゴムタイヤで走る。	 <p>MRT</p>	世界中に適用事例があり、輸送力が高い。
<p>出典：調査団</p>		 <p>急こう配用 LRT/MRT</p>	このシステムは MRT システムが登れない急こう配を走行可能であるが、そのためにモーターが多く必要である。

システムは要求される容量や予算等によって選定されるべきである。調査団はまず、これらのシステム候補を1回目のスクリーニングで評価した。

5.2.3 第1回目のスクリーニング

システム選定のプロセスを2つの段階に分けて実施した。はじめに、全ての可能性のあ

る都市交通をリストして、メトロ庁と調査団の間で合意された4つの評価項目で評価した。評価項目は以下の通り。

- 1) 道路交通に重大な影響を及ぼすか
- 2) 既に整備されたシステムであるか、または実用的な段階であるか。
- 3) 化石燃料を使用するシステムであるか
- 4) 一般的な輸送力が20,000PHPDTを越えるか

BRT（地上、または専用レーン）、LRT、懸垂式モノレールそして maglev は上記の比較項目を満足しないことから選考から外れた。

従って、残る6つのシステムを第2段階の比較で検討することとなる。

表 5.5 1回目のシステム選定表

		交通システム										
		BRT	BRT(専用レーン)	LRT	専用軌道式LRT	AGT	懸垂式モノレール	懸垂式モノレール	Maglev	リニアメトロ	MRT	急こう配用LRT/MRT
1回目のスクリーニング項目	道路交通へのインパクト											
	実用段階											
	化石燃料使用											
	標準輸送力	3,000-5,000	5,000-10,000	3,000-8,000	8,000-20,000	8,000-22,000	5,000-10,000	10,000-36,000	5,000-12,000	20,000-50,000	25,000-60,000	15,000-45,000
1回目のスクリーニング												

出典：調査団

5.3 多基準分析

5.3.1 システム選定表






この2回目の比較段階では6つのシステムを評価する。評価結果を表5.6に示す。メトロ庁とJICA調査団によるブレインストーミングや協議の結果、10個の比較項目が、多くの比較項目候補の中から選ばれた。評価のプロセスの中で、はじめにメトロ庁とコンサルタントとの協議を通じて重み付けを行った。その後各比較項目の評価が行われた。最終的に、全体評価の計算は自動的に係数（0～1）と重み値を各比較項目に掛け合わせることで得た。ここで得られる点差の意味について留意する必要がある。

例えば、今回比較した全てのシステムは高い安全性を持っている。評価における1点と0.9点の差は一方のシステムが相対的に10%安全であるという意味ではない。その逆も然りである。しかし、比較要素において相対的な優位性があると考えられたものに過ぎない。

一連の協議と分析の後、結論として跨座式モノレールが3号線に最もふさわしいシステムとして選定された。比較表に見る通り、跨座式モノレールが最高点を獲得し、MRTは次点であった。専用レーンのLRT、AGT、リニアメトロと急こう配用LRT/MRTは3号線には相応しくないシステムと判断された。これは、3号線においては、モノレールやMRTと比較して顕著に劣る点があるためである。また3号線はモノレールが望ましいとする特筆すべき側面がある。以下に2点示す。

- 3号線におけるモノレールの初期コストはMRTに比べて2億ドル以上安い
- MRTは広範囲の用地取得を避けるために非常に高い橋脚が必要となる、技術的に困難である。

表 5.6 システム選定表

		都市交通システム						
		専用軌道式LRT	AGT (Automated Guideway Transit)	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT	
供用中の典型的な例 (国)		マニラLRT 1号線 (フィリピン)	ゆりかもめ (日本)	東京モノレール (日本) ドバイモノレール (ドバイ)	都営大江戸線 (日本)	世界中多くの都市で適用事例あり	神戸電鉄有馬線 (日本)	
								
評価項目	重み							
1) 輸送力 (*1)	15	0.8	0.4	0.8	0.7	1.0	0.8	
2) 初期費用 (システム) (*2)	10	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	
3) 初期費用 (インフラ) (*2)	20	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	
4) O&M 費用 (*3)	10	1.0	0.8	0.9	0.8	1.0	0.9	
5) 市場独占性 (*4)	10	0.8	0.6	0.5	0.5	1.0	0.8	
6) 安全性 (*5)	5	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	
7) 住民移転 (*6)	15	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	
8) 自然環境へのインパクト (*7)	5	0.8	0.9	1.0	0.8	0.8	0.8	
9) 景観 (*8)	5	0.6	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6	
10) 維持管理性 (*9)	5	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	
合計得点	100	81.2	76.6	88.6	80.4	86.5	82.3	

注記

合計得点は 10 個の比較項目の係数に重みを足し合わせたものを合計して得られる。

- *1: 全てのシステムで運転ヘッドは 3 分で固定し、6 両編成と仮定。
- *2: 初期コストは土木工事、電気機械そして車両をカバーする。最大支柱高さは 20m と仮定。
- *3: 年次毎 O&M コストで補正している。
- *4: 国際入札による調達が可能であること。
- *5: 評価方法、脱輪の可能性、そして救出方法を評価した。
- *6: 用地取得と住民移転を評価した。
- *7: 伐採面積
- *8: 高架構造による景観へのインパクト
- *9: 維持管理作業の容易さ

出典：調査団

5.3.2 条件と比較手法

下記の与条件と仮定を用いて比較分析を行った。

- パンアメリカン道路経由の路線延長 L=25km
- 駅数は 10 とする。
- 初期需要は 20,000PHPDT で最終的には 35,000PHPDT とする。
- MRT と LRT には 4%、モノレールその他のシステムは 6%の勾配を使用した。
- R=100m をモノレール、AGT およびリニアメトロの最小曲線半径とし、MRT その他のシステムは R=160 とする。
- 比較には 4 人/m² の乗車率および 3 分ヘッドの運行間隔という条件を使用した。

メトロ庁と JICA 調査団の議論の中で、固有な条件をもつシステムをそれぞれ比較するのは難しいということが指摘された。例えば、システムの輸送力は旅客が利用可能なスペースに応じて比例的に計算される (例：仮定する車両の長さ×幅)。評価は平米当りの旅客密度 4 人/m² と 3 分ヘッドという条件で行った。35,000PHPDT をターゲットとしたことで AGT とリニアメトロは輸送力の面で脱落する可能性が高い。これは条件の異なるシステムを評価することが難しい一つの例である。

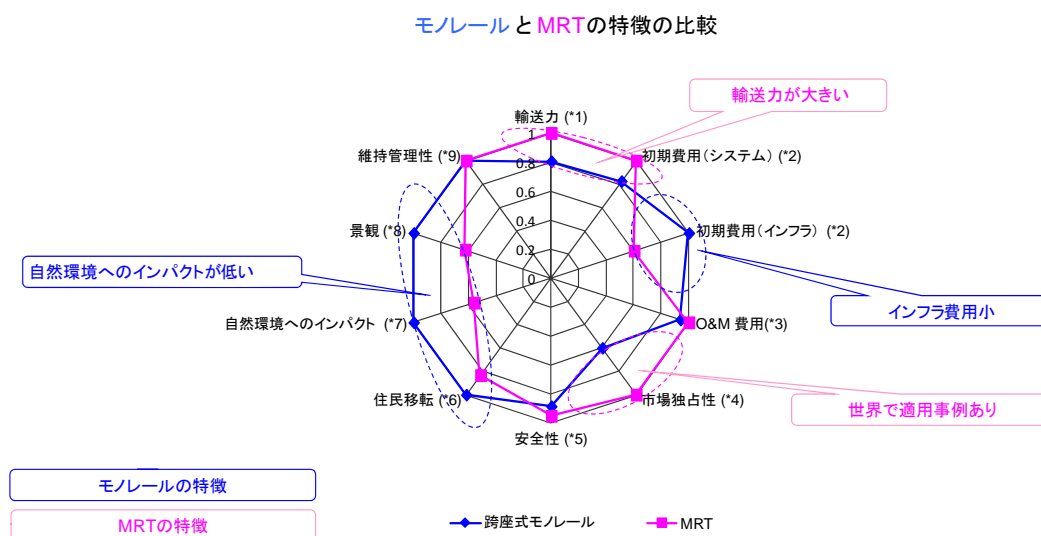
他の難しさの例としては、景観へのインパクトの評価方法が挙げられる。これは長期的な構造物が平面、縦断投影方向においてカバーする面積に基づき比較した。評点は、平面投影方向については上部構造の幅、縦断投影方向については桁・その他上部構造の長さの縦断投影方向幅をもとに計算した。結果は直接視界を覆い隠す面積で比例的に評価した。評点の算出方法は他にも様々な意見が出る可能性がある。

客観的に評価できる要素を出来るだけ採用しているが、いくつかの項目では専門家の主観的な意見が点数に考慮されている。市場競争性という条件はそのうちの一つである。

5.3.3 レーダチャートによる比較

上述のような難しさはあるものの、多基準分析による比較はシステムの特徴を強調するのに役立つ、さらに、特定の条件（このケースであれば3号線）への適用可能性を抽出できると考える。図 5.3 は MRT とモノレールの比較結果である。この2つのシステムは高い評価を得ている。モノレールは初期インフラ投資費用が安い、景観が良い、自然環境への影響が低い、そして用地取得や住民移転へのインパクトが小さいという重大な優位性がある。一方で、MRT は輸送力と市場競争環境に優位性がある。

モノレールと比較するとき前記の優位性を得るためには MRT システムは 20m という大きな車両長としなければならない。もし短い MRT 車両とモノレールを比較する場合、輸送容量は、ごくわずかな差となる。



出典：調査団

図 5.3 レーダチャートによるモノレールと MRT の比較

5.3.4 10 個の比較項目

(1) 輸送容量

システムごとの輸送容量の比較のために、乗車率は 4 人/m² を使用した。評点は基本的には車両幅と長さから計算される。本比較において車両数は全システム 6 台で固定した。結果は計算式に拠り自動的に算出される。AGT は最も車両が小さいため、低い点数となった。MRT は他システムと大きな差をつけて最高点となっているが、これは 20m 長の大型車両を採用した場合を想定している。

表 5.7 輸送容量の比較

車両と床面積、 輸送容量	LRT (専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
車両幅 (m)	2.7	2.5	3.0	2.5	2.8	2.7
車両長 (m)	17.0	9.0	15.0	16.0	20.0	17.0
1編成車両数	6	6	6	6	6	6
床面積	263.64	128.16	259.26	228.96	322.38	263.64
輸送量	1,055	513	1,037	916	1,290	1,055
車両容量	176	85	173	153	215	176
1時間当たり1方向輸 送力	21,091	10,253	20,741	18,317	25,790	21,091
合計得点 1)	12.27	5.96	12.06	10.65	15.00	12.27
係数 1)	0.82	0.40	0.80	0.71	1.00	0.82

注記：係数＝各合計得点÷合計得点の最大値

出典：調査団作成

(2) 初期コスト

点数は車両数、車両単価と初期電気・機械コストによる関数から求められる。初期コスト比較のための必要車両数比較の計算には需要 20,000PHPDT を用いた。総運行距離は 50km（プロジェクト範囲の 25km の往復）で 35km/h の表定速度が適用されている。この価格は本調査におけるシステムの比較のみに使用するもので、今後の調査ではより詳細な分析が必要であることに留意すべきである。本比較で用いたシステム間の相対的な関係は妥当なものとする。

本要素では MRT に次いで LRT が最も費用が安い結果となった。

表 5.8 交通システム初期コストの比較

初期費用 (システム)		LRT (専用 レーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
車両	車両数	186	354	186	210	156	186
	概略単価 (万ドル)	180	100	240	200	200	210
	合計 (億ドル)	3.40	3.50	4.50	4.20	3.10	3.90
電気機械 (億ドル)		4.10	4.30	4.30	4.20	4.10	4.10
合計 (億ドル)		7.50	7.80	8.80	8.40	7.20	8.00
係数 2)		0.97	0.93	0.82	0.86	1.00	0.91

注記：係数＝合計の最小値÷各合計

1号線では車両1台あたり 270 万ドルで、それには訓練、設計、プロトタイプテスト、マニュアルの作成等が含まれる、上記比較には正味の金額のみが考慮されている。

出典：調査団作成

車両は市場価格調査を参考にしつつ、現地条件を考慮して得られた単価を使用している。モノレールと AGT の価格は市場調査に基づく。MRT (車両長 L=20m) は 4% の勾配を見込んだ車両価格を現地状況に合わせて調整したものである。急こう配用 LRT/ MRT については車両のサイズを元に MRT の値を比例させて算出した。電動車数の増加についても考慮されている。

この比較を通して、モノレールと MRT の価格差が初期の技術的な概略推定よりも大きな値となっている。これは MRT の市場がより成熟しており、それが価格競争力を保つことに貢献していることが考えられる。価格差は世界的にモノレール市場が広がれば狭まる可能性がある。これは、新設モノレール、例えば、中国・韓国・UAE・マレーシアでは

開業、インド・ブラジルでは建設中であるという最近の傾向から期待できる。また、最近では多くの都市がモノレール技術で新線開発を検討している。

(3) 初期インフラ費用

初期インフラ費用の比較は主構造物のみを対象として行った。比較に考慮された駅数は10駅で、両端ターミナル駅を含む。比較は、1) 高架構造費用 2) 駅費用 3) システムごとの適用可能な線形差による追加コスト、の3要素が含まれる。

高架構造の基本費用は1号線を元に算出している。これは高架区間1km当たり2,800万ドルと推定されている。駅部建設費用の差は駅必要長は必要編成と両端に5mを加えた長さを元に計算された結果である。ピーク時における需要として35,000PHPDTでは2分間隔の運転を仮定する。追加費用はLRTとMRTで計上した。これは、これらのシステムは3.5%の最大勾配を保つために高い橋脚が必要であることによる。このような違いがパナマ・パシフィコへのアクセス、および運河を越えてヌエボ・アライハンに至る区間で存在する。比較結果の要約を以下に示す。橋脚の高さ平均差についても追加費用で考慮した。MRTとLRT（最大勾配3%）はAGTやモノレール、リニアメトロおよび急こう配用MRT（最大勾配6%）と比較して平均的に高い橋脚を必要とする。

表 5.9 縦断線形の特徴比較

	MRT・LRT	AGT, モノレール、リニアメトロ、急こう配用MRT
最大縦断勾配	3.5%	6.0%
平均橋脚高:	14.8m	8.5m
最大橋脚高	45.6m	18.6m
橋脚高毎の分類	20m未満: 78.9% (14.47km) 20m<h<30m :14.5% (2.66km) 30m<h<40m :3.6% (0.66km) 40m以上 :3.0% (0.54km)	20m未満: 100% (18.41km)

出典：調査団

この比較の結果を下表に示す。モノレールは平面・縦断ともに柔軟な線形のため本評価においては1位の評価を受けている。AGTやリニアメトロ、急こう配用LRT/MRTといったシステムは共に2位となった。6%対応のシステムの中でモノレールと他のシステムとの費用差はモノレールがシンプルな構造であることによる。

表 5.10 初期インフラ費用の比較

初期コスト（インフラ）	LRT（専用レーン）	AGT	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用LRT/MRT
駅長（m）	130	140	120	140	130	130
車両編成数（cars）	7	14	7	8	6	7
高架構造（USD）	640.0	637.2	450.0	625.9	640.0	625.9
駅（10 nos.）	157.3	169.4	145.2	157.3	157.3	157.3
土木工事（追加作業）	182.7	0.0	0.0	0.0	182.7	0.0
合計	980	807	595	783	980	783
係数 ³⁾	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8

注記：係数＝合計の最小値÷各合計

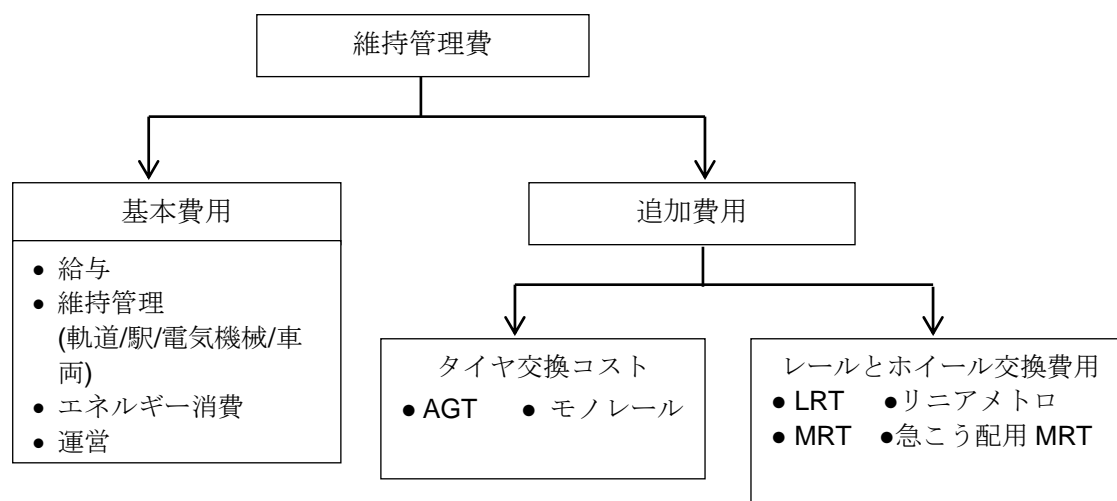
1. 高さ H=20m 以上の橋脚は追加土木工事を考慮した。
2. 35,000 PHPDT と 30 本/時という条件を本計算では用いた。
3. 値段は比較検討のみに用いた参考価格。

出典：1号線の費用を基に調査団作成

(4) 運営維持管理（O&M）費用

メトロ庁とコンサルタントの協議を通して O&M 費用の比較には 1) 必要職員、維持管理、電力消費と運営における基本費用を比較する 2) システムの違いによる費用の差、の 2 通りの比較方法が考えられる。どちらのケースも同じ需要を対象としている。

基本費用は主に車両数と走行距離（car-running km）が影響する。費用単価は METI 調査と有効な統計データを基にして設定した。追加維持管理費用はシステムにより異なり、モノレールと AGT ではゴムタイヤの交換は走行距離 150,000km ごとに交換することを考慮し、レールの交換は LRT および MRT では 20 年ごと、リニアメトロや急こう配用の MRT など、急こう配を登れるシステムであれば 10 年ごとに交換することを考慮した。ホイールの交換は 100 万 km の走行距離で交換することを考慮している。



注記:

- 1) ゴムタイヤは 150,000km 走行毎交換、値段はモノレールでタイヤ 1 本 1,000 ドル・AGT で 600 ドル
- 2) レールは LRT/MRT で 20 年毎、リニアメトロ、急こう配用 MRT ではホイール 100 万 km 走行毎交換

出典：調査団

図 5.4 O&M 費用比較の構造

この要素における比較では、MRT が LRT とモノレールに僅差で 1 位という結果となっている。

表 5.11 O&M 費用の比較

O&M Cost	LRT（専用レーン）	AGT	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
一般的な運営／維持管理作業	31.8	38.7	31.9	41.9	30.4	37.5
ゴムタイヤ交換費用	0.0	0.9	1.5	0.0	0.0	0.0
レール／ホイール交換費用	0.4	0.0	0.0	0.5	0.4	0.5
合計 4)	32.2	39.6	33.4	42.4	30.8	38.0
係数 4)	0.97	0.79	0.94	0.73	1.00	0.83

注記：係数＝合計の最小値÷各合計

出典：調査団

(5) 市場競争性

本比較項目では 2 つの比較を行った。すなわち、初期建設段階と拡張段階である。専門家の意見がこれらの点数に考慮されている。初期建設段階では、大きな市場でメーカー間の競争原理が働くため、MRT が最高点となる。LRT, AGT, リニアメトロとモノレールは市場が小さい、または車両を供給できるメーカーが少ないため点数は下がる。ただし、理論的には、初期調達においてはこれらの考慮は小さいと考えられる。AGT、モノレールおよびリニアメトロは限定された市場を背景としてメトロ庁の考えを反映し、3 点を付けた。

拡張段階では、MRT と他のシステムの差は大きくなっている。これは、標準化されていないシステムではメトロ庁は追加の車両をいくつかのメーカーから購入せざるを得ないという点で説明できる。これは、パーツの供給者という視点では、状況は異なる。この現象は MRT でも起こりうるが、点数を下げるほどの影響はないと判断した。このバイアスは顧客を囲い込もうとするメーカーの影響であると考えられる。

表 5.12 市場競争性の比較

市場競争性	LRT（専用レーン）	AGT	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
初期建設段階における市場競争性	5	3	3	3	5	4
拡張段階における市場競争性	3	3	2	2	5	4
合計	8	6	5	5	10	8
係数 5)	0.8	0.6	0.5	0.5	1.0	0.8

注記：係数＝各合計÷合計の最大値

出典：調査団

(6) 安全性

安全性の評価は技術毎に異なると考えられる項目ごとに行った。留意すべきは、全ての比較システムの安全性は一般的に高いということである。点数の 1.0 と 0.9 の差は一方のシステムと比較して 10%安全もしくは、危険という意味ではなく、比較要素において相対的優位性があるという意味である。リスク評点の評価（値が高いと、よりリスクにさらされるとという意味）は事象の発生確率と重大性を掛け合わせたもので算出した。

下表は評価の段階を示している。各安全性に係るイベントの発生確率と重大性はメトロ

庁と調査団の専門家により評価した。発生確率と重大性はそれぞれ下表の上部ブロックと中部ブロックに示した。発生確率と重大性を掛け合わせた結果は下表の下部ブロックに総リスク評点として示した。総リスク評点と全体評価に使われる係数は下表の最下行に示した。

表 5.13 安全性の比較

発生確率	LRT(専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
脱線	2	2	1	2	2	3
火災	2	3	3	2	2	2
障害物	3	3	2	3	3	3
ホームからの落下	2	2	2	2	2	2
大きなシステム/車両故障	4	4	4	4	4	5
5: 頻繁に発生する, 4: 時折発生する, 3: 発生する可能性がある, 2: まれ, 1: 発生しない						
重大性	LRT(専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
脱線	4	4	5	4	4	4
火災	3	4	4	3	3	3
障害物	2	2	2	2	2	2
ホームからの落下	2	2	4	2	3	3
大きなシステム/車両故障	2	2	2	2	2	3
5: 極めて重大, 4: 重大, 3: 影響が大きい, 2: 少し影響がある程度, 1: 殆ど支障のない程度						
リスク評点 = 発生確率 x 重大性						
総計評点	LRT(専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
脱線	8	8	5	8	8	12
火災	6	12	12	6	6	6
障害物	6	6	4	6	6	6
ホームからの落下	4	4	8	4	6	6
大きなシステム/車両故障	8	8	8	8	8	15
合計	32	38	37	32	34	45
係数 6)	1.00	0.87	0.89	1.00	0.96	0.71

備考：係数＝合計の最小値÷各合計値

出典：専門家との議論を参考に調査団作成

要素の評価に係る考慮について関連するものを下記に示す。

1) 脱線

モノレールは軌道桁を両脇の安定した車輪とガイド輪でつかむ構造の車両である。従って、たとえ車両の走行速度が高い、または線形が急カーブである地点において、強い横風に煽られても脱線の可能性は極めて低い。

2) 火災

ゴムタイヤは鉄輪と比較して火災を起こす可能性が比較的高いと想定される。ゴムタイヤが燃えるケースがあるが、日本ではそのような例がないことに留意すべきである。更にゴムタイヤは火災発生時、鉄輪よりも被害が潜在的に大きいということも考慮した。これは重大性に反映させている。

3) 障害物

モノレールの桁は他のシステムのスラブや、地面に設置されるものと比較して狭い。従ってモノレールの障害物の侵入確率は他のシステムと比較して低い。

4) ホームからの落下危険性

モノレールは駅床面からプラットホームまでの高さが高いため、ホームからの落下時における安全性の面では不利である。この違いについては重大性のみ評点を反映させており、発生確率については全てのシステムと同様とした。

5) 大きなシステム/車両故障

大きなシステムまたは車両の故障、すなわちそのシステムがその地点から動けなくなる状況の発生である。システムや車両の小さな故障は、適用技術間で大きな差は見られないと考えられるため、この比較から除外した。評価において、急こう配用 LRT/ MRT は車両機器が大きいために不利であるとした。リニアメトロも機器が重たいため同じ論理ができる。これは、MRT で電動車を多く積む場合にも同様である。

(7) 用地取得と住民移転

この比較は建設の際に必要なとされる用地取得地域と住民移転の範囲に基づいた。いくつかの地点においては、どのシステムであっても既存の道路用地を外れてしまい、用地取得が必要となる。その他の区間においては最小曲線半径について LRT と MRT のみが R=160m で、モノレール、リニアメトロ、AGT のそれ (R=100m) と比較して大きいことにより、追加の用地が必要となる。この比較において住民移転の規模については、全てのシステムで同一である。以上の結果、本項目については、AGT、モノレール、そしてリニアメトロが高い得点を得た。

この比較調査では、最大勾配 3.5% を満足するために高い橋脚が LRT と MRT で使用された。これは、初期インフラコストの方で考慮されている。高い橋脚を適用しなければ大きな用地取得と住民移転が発生する。

本項目では用地取得と住民移転の 2 つの要素があり、重みがそれぞれ 30%、70% の割合で割りつけられた。全体としての結果は要素を足し合わせて算出される。例えば、LRT であれば 0.8 という結果は $0.4 \times 30\% + 1.0 \times 70\%$ で算出される。

表 5.14 用地取得と住民移転の比較

用地取得と住民移転	LRT (専用レール)	AGT	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
用地取得に必要な面積 (m ²)	7,724	3,432	3,432	3,432	7,724	7,724
係数 (用地取得)	0.4	1.0	1.0	1.0	0.4	0.4
住民移転家屋数	3	3	3	3	3	3
係数 (住民移転)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
係数 9)	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8

備考：用地取得と住民移転の係数は、最小値÷各システムの値

出典：調査団

(8) 自然環境へのインパクト

この比較は建設において樹木の伐採が必要な地域に基づく。これは長期的な構造物と車両の幅が平面的に覆う面積を算出した。パナマ・パシフィコからアライハンの入り口にかけて樹木が密集している。

表 5.15 自然環境への影響

自然環境への影響	LRT(専用レール)	AGT	跨座式モノレール	リニアメトロ	MRT	急こう配用LRT/MRT
建設により伐採が必要な森林面積(m ²) パナマ・パシフィコからアライハンの区間のみ	72,000	64,800	57,600	72,000	72,000	72,000
係数9)	0.8	0.9	1.0	0.8	0.8	0.8

備考：係数＝最小面積÷各面積

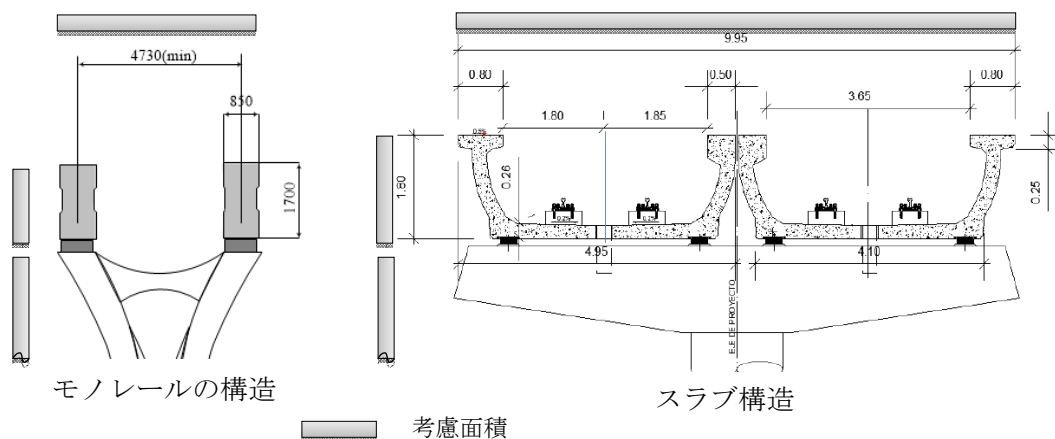
出典：調査団

騒音のインパクトは本項目で議論されたが、最終的に考慮しないこととなった。モノレールやAGTのような静音性に優れるゴムタイヤが鉄輪よりも高得点を得るとしても、そのような騒音は技術の改善（U字型スラブが1号線では用いられた）により緩和可能である。

その他の環境インパクトはシステム間で考慮されている（例えば排水の必要性、エネルギー消費や建設期間）しかし、技術チームと環境チーム間の協議により、これは、この地域では他の項目と比較してシステム間の差は最小限に留まることを確認した。従って、これらは評点分析では考慮していない。

(9) 景観

この比較は長期的な構造物が平面的・縦断的に覆う面積に基づいて行った。点数は上部構造の平面方向と縦断方向の柱をベースにして算出した。結果は直接算出された視界を覆う面積に応じて比例的に計算した。



出典：1号線とサンパウロ都市交通調査をもとに調査団作成

図 5.5 景観項目における構造物毎のインパクト比較

この結果は本項目ではモノレールに大きな利点があることを示している。これはモノレールがシンプルな構造であるというセールスポイントの一つが点数に反映された結果となっている。

表 5.16 景観比較

景観	LRT(専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
高架構造物に覆われる面 積(m ²)	323,750	323,750	207,000	323,750	331,250	323,750
係数 9)	0.6	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6

備考：係数＝最小面積÷各面積

出典：調査団

(10) 維持管理性

維持管理性は各システムにおける維持管理作業の煩雑度を調査することで評価した。コスト面は本評価項目の決定的な要素ではない。これは O&M 費用の項目で既に評価されている。システム間で違いが示され、本項目考慮された要素は下記に示した通りである。この比較では比較システム間で点差はわずかであるが、下表は各システムが異なる特徴を持っていることを理解するのに役立つものである。

表 5.17 維持管理性の比較

維持管理性	LRT(専用レ ーン)	AGT	跨座式 モノレール	リニア メトロ	MRT	急こう配用 LRT/MRT
軌道構造	4	5	5	3	4	3
電気設備 (軌道上)	5	4	3	5	5	5
車両	4	5	5	5	5	4
ホイール交換	4	5	5	4	4	4
タイヤ交換	5	3	3	5	5	5
合計	22	22	21	22	23	21
係数 10)	0.96	0.96	0.91	0.96	1	0.91

備考：係数＝合計値の、最大値に対する比率

出典：専門家との協議をもとに調査団作成

いくつかの関係する考慮事項を評価要素ごとに下記に示す。

1) 軌道構造

AGT とモノレール（ゴムタイヤ）は軌道構造上ではほぼメンテナンスフリーである。リニアメトロと急こう配用 LRT/ MRT は軌道構造を維持管理するのは急こう配のため比較的難しく、リニアメトロは特徴的な構造であるリアクションプレートも必要である。

2) 電気設備（軌道上）

AGT とモノレールは複数の固定式の接触線がある。LRT、リニアメトロ、MRT と急こう配用 LRT/MRT（鉄輪）は頭上にカテナリーが存在する。モノレールは特別な保守車両が接触線検査のために必要である。

3) 車両

急こう配用 LRT/MRT は全ての車両が電動車で構成される。従って、電気施設の保守がより頻繁に必要なになる。

4) 車輪削正・交換／タイヤ交換

AGT とモノレール（ゴムタイヤ）はゴムタイヤを LRT やリニアメトロ、MRT や急こう配用 MRT/LRT といった鉄輪よりも頻繁に交換する必要がある。

鉄輪の車輪は、交換前に何度か削正する必要がある。曲線半径の小さいカーブのある 3 号線の線形では車輪削正の頻度は高まる。

5.4 結論

各評価項目の係数に、それぞれの重みを乗じて集計した結果を表 5.6 に示す。候補となるシステムのうち、モノレールの合計得点が 88.6 で最高であった。

本節において述べている分析により、メトロ 3 号線に関してはモノレールが最適な選択であると結論付けた。各輸送モードについて多基準比較検討を実施する際に 3 号線のルート状況を考慮した。この比較検討によりモノレールが最適であり、一般的な MRT がそれに次ぐことが確認された。評価の点数においてこの上位二者の差はわずかであったが、モノレールが 3 号線について最適であることを決定づける要素として以下の二点が挙げられた。

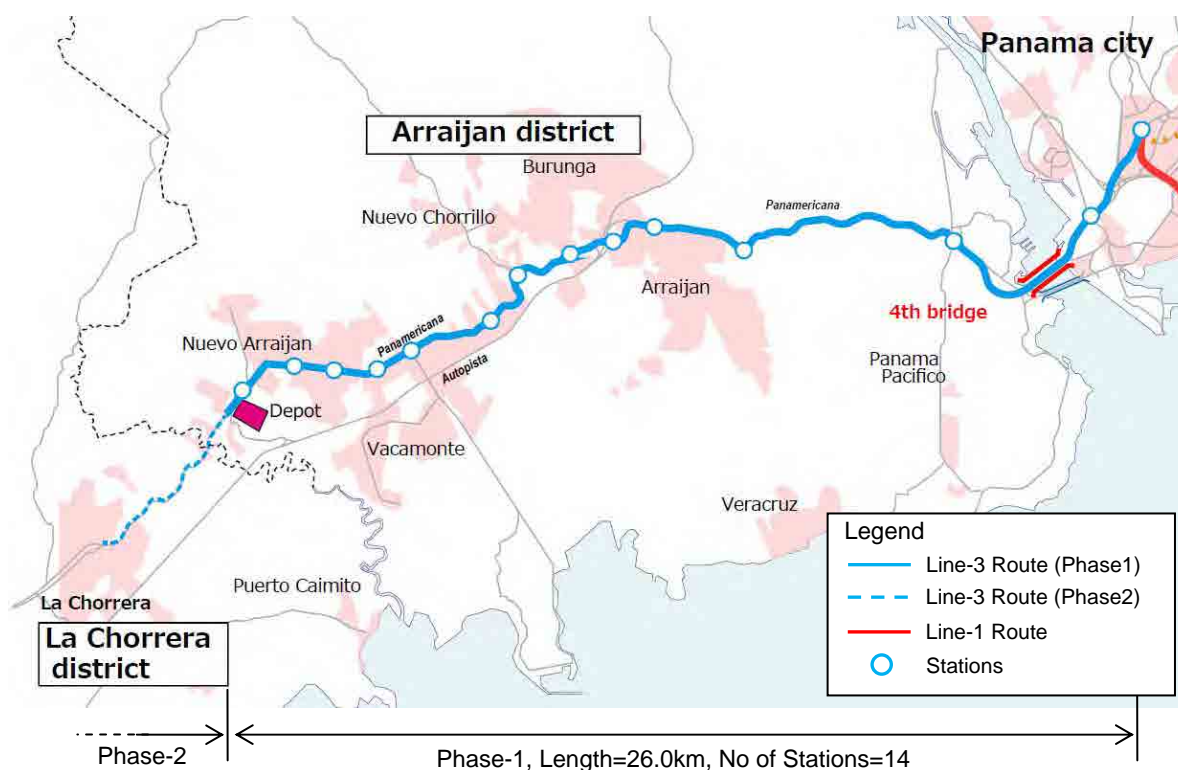
- 3 号線の初期投資額においてモノレールは一般的な MRT に比較して 2 億ドル以上低いこと。
- MRT を採用した場合、大規模な用地買収を避けて良好な縦断勾配を得るために数カ所において非常に高い（40m 以上）橋脚が必要となること。

第6章 路線計画

6.1 3号線の路線

メトロ3号線は1号線の起点駅であるアルブルック駅を路線東側の起点駅とし、第4パナマ運河橋に接続する道路とほぼ並行に南西に延び、パナマ共和国パナマ県の3つの地区（パナマ地区、アライハン地区、ラ・チョレラ地区）を東西に結ぶ全長30kmを超える路線である。路線は2期に分割して計画されている。第一期はアルブルックから車両基地が計画されているアライハン地区とラ・チョレラ地区の境界付近までの約26km、第二期は第一期の終点からラ・チョレラ方面へ延伸される計画であるが終点及び路線詳細は未定である。

第一期の路線は、アルブルック駅を起点駅とし、第4パナマ運河橋をへて運河をわたり西へ延びる。運河東側では起伏が激しい丘陵地帯をパンアメリカン道路沿いにほぼ真西に走り、アライハンを経由した後、オートピスタ道路を横断する。オートピスタ道路以降も西へパンアメリカン道路沿いを進み、ヌエボ・アライハンを経由しヌエボ・アライハンから3km程西に位置する車両基地付近の終点駅に至る。始点駅から終点駅までの全路線長は26.0kmに及ぶ。



出典：調査団

図 6.1 3号線路線概要

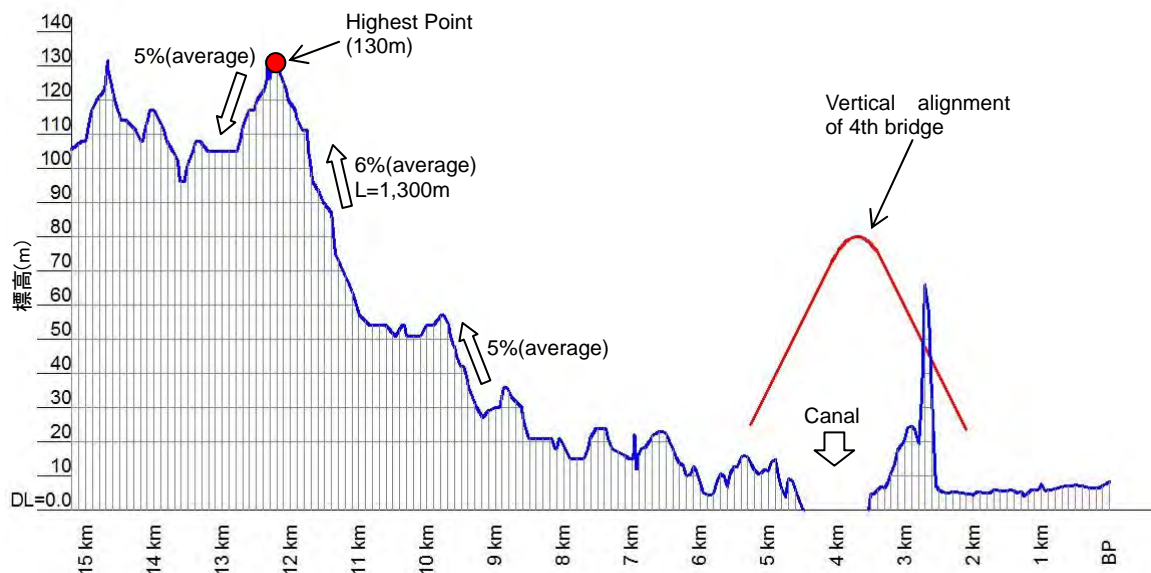
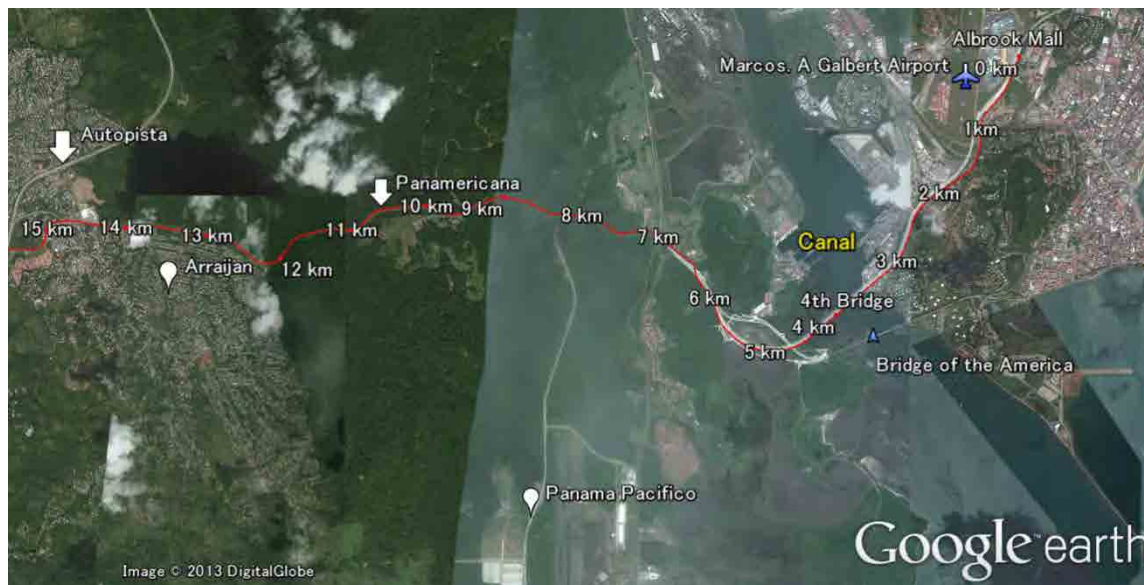
6.2 路線状況

6.2.1 地形条件

3号線の路線沿いはパンアメリカン道路に一致する。3号線路線沿いの地形条件は運河の西側と東側で大きく異なる。運河の東側は地形の起伏がほとんどない平地であるが、運河の手前に標高80m程度の丘があり、路線はこの丘の一部を切土して第4パナマ運河橋へ接続する。

運河の西側は丘陵地帯が広がり、路線沿いに平坦なところはほとんどない。パナマ運河を渡河した地点（標高約10m）から徐々に高度があがりアライハン手前の最高点では標高130mに達する。この間、パナマ・パシフィコからアライハンまでの区間は道路の両側に森林地帯が広がっており、カーブや急勾配の坂道が連続している。また、最高点手前の1,300mの区間では平均勾配が6%に及ぶ。

路線前半区間の平面線形と衛星写真、路線沿い縦断図及び路線上の写真を図6.2に示す。



Arraijan 手前の最高点（標高 130m）付近
出典：調査団



急カーブや急勾配坂道が連続する
ジャングル区間



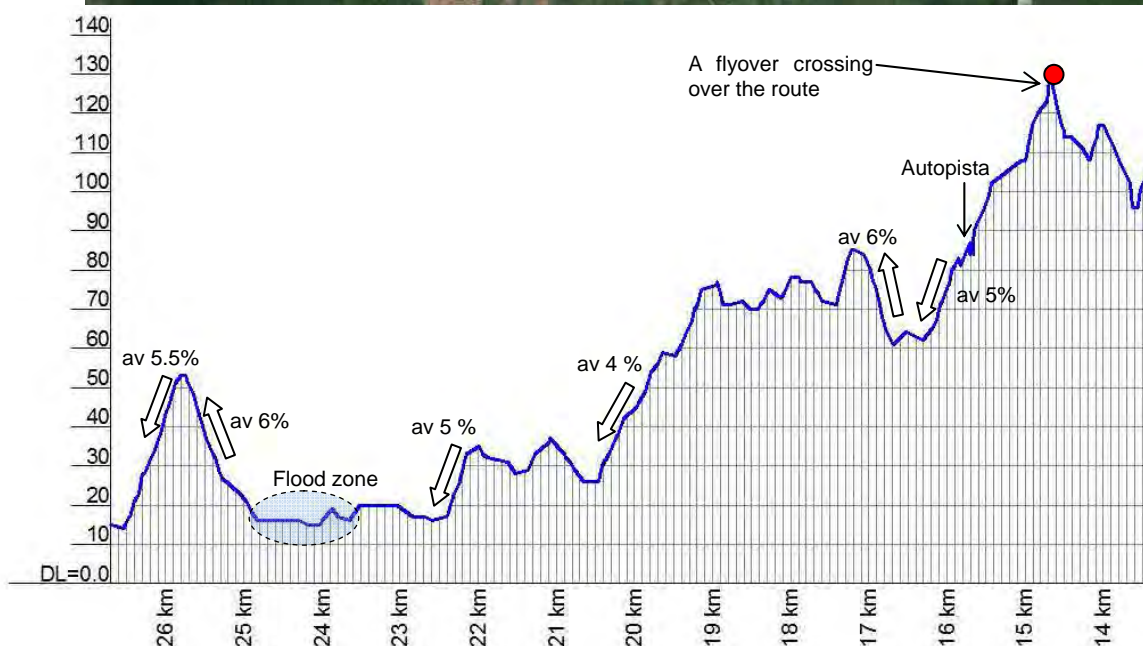
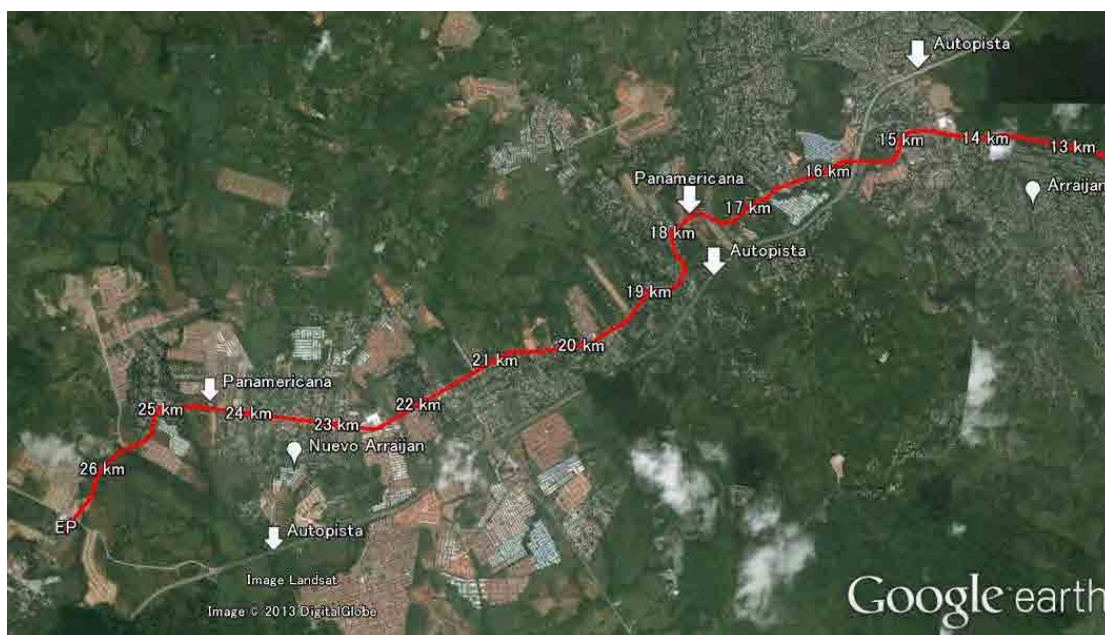
切土が発生する 2 km 700 付近の丘
(Cerro Sosa)

図 6.2 路線前半部地形状況と写真

アライハン以西、パンアメリカン道路沿いには民家や商店が散見されるようになる。3号線路線とほぼ並行して走るオートピスタは高速道路であるため、急カーブもなく切盛り土工事を行って道路の勾配を押さえているのに対して、路線に選定された旧道のパンアメリカン道路は基本的に起伏の激しい地形沿いに道路が施工されており、周辺はある程度開発が進んでいるものの急カーブや急勾配坂道が連続している。路線後半はヌエボ・アライハンに向けて高度を徐々に落としており、ヌエボ・アライハンでは標高 10 数

メートルの平地が 2km 程度にわたって存在するが、この低地区間では 2012 年に洪水が起きている。

路線前半区間の平面線形と衛星写真、路線沿い縦断面図及び路線上の写真を図 6.3 に示す。



2012年に洪水が発生した区間（路線終点付近）

出典：調査団



旧道（Panamericana）沿いに走る路線



路線の上空を交差するフライオーバー

図 6.3 路線後半部地形状況及び写真

6.2.2 地質条件

地質調査は現地再委託により実施した。計 51 か所で実施したボーリング調査結果および運河東部については、運河庁から提供された調査結果も踏まえて、本調査の設計に用いる支持層を表 6.1 にしめす通り決定した。

表 6.1 ボーリング結果に基づいて決定した支持層

区間	支持層	説明
起点～2+600	20m	本調査によるボーリング 1 か所 運河庁から提供されたデータ 7 か所を参考に決定
2+600～5+050	---	モノレールは第 4 パナマ運河橋の構造に乗る区間であることから、第 4 パナマ運河橋の報告書を参考
5+050～10+000 (6+900～7+100)	10m (20m)	本調査によるボーリング 9 か所を参考に決定 左記区間のみ 20m を使用（ボーリング結果を参考に決定）
10+000～19+000	15m	本調査によるボーリング 19 か所を参考に決定
19+000～終点 (24+000～25+500)	25m (30m)	本調査によるボーリング 18 か所を参考に決定 左記区間のみ 30m を使用（ボーリング結果を参考に決定）

出典：ボーリング結果報告書

(1) 第 4 パナマ運河橋からアライハンまでの地質状況

この区間の土質は、主に深さ方向に圧密度の異なるローム層で構成されている。圧密度の低いローム層が上部にあり、次いでやや圧密されたローム層が中間に位置する。その下、平均約 9m の位置には圧縮度の高いローム層が存在する。表面は碎石、もしくは草木の薄い層でおおわれており、N 値は圧密度の違いにより 3 から 15 までの範囲で広がる。固い岩が平均約 10~20m 付近に出現することが確認されている。

(2) アライハンからヌエボ・アライハンまでの地質状況

この区間も材料の分布は類似しているが、支持層は西に向かうに従って深くなる傾向にある。また、河川付近は支持層がさらに深く、25m 程度の箇所も確認された。

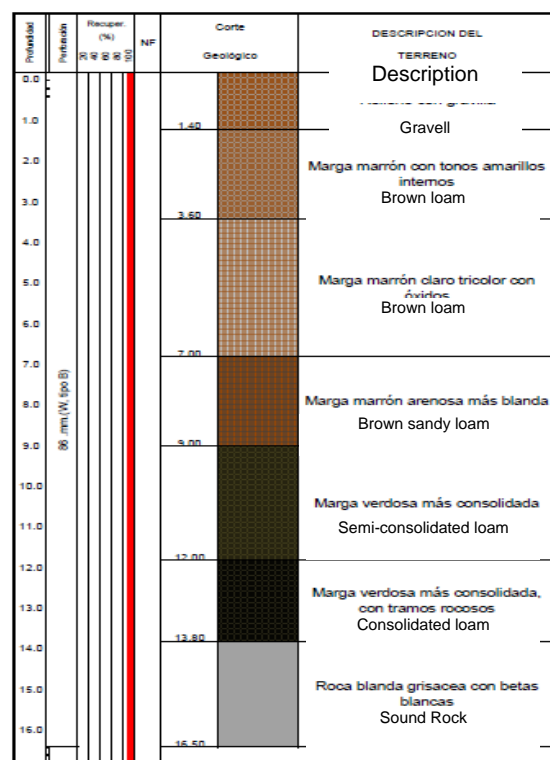


図 6.4 第 4 パナマ運河橋からアライハンまでの区間の典型的な柱状図

6.2.3 ユーティリティ

路線上にさまざまな種類の公共サービス設備が存在する。燃料パイプラインや水道本管等の公共サービス設備は移設における費用の増加と社会的インパクトを避けるため設計上のコントロールとして考慮する。小水道管、比較的低容量の送電線・通信回線等、その他の公共設備がプロジェクト路線を妨げる場合は移設する。

情報収集は現場調査のみならず、水道管に関しては上下水道局（IDAAN）、燃料パイプラインはMEF所属の返還地行政機構（UABR）等の関連当局への聞き取り調査を実施した。これらの機関からのデータはハード・コピーや電子ファイルの形式で入手した。

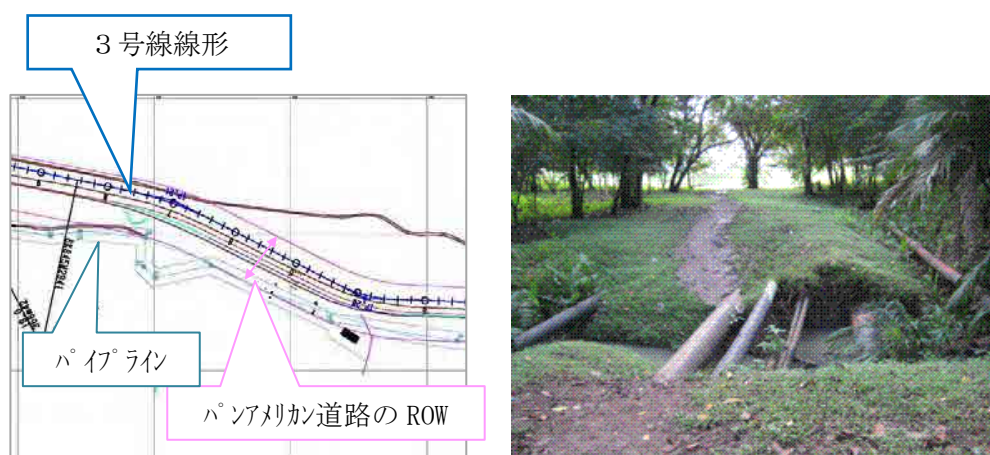
下表にプロジェクト路線上の公共サービス設備と関連当局を示す。

表 6.2 プロジェクト路線上の公共サービス施設と関連当局

公共設備の種類	当局名	説明
返還地に存在する燃料パイプライン及び水道管	返還地行政機構 (Unidad Administrativa de Bienes Revertidos)/ Petroamerica Terminal S.A.燃料タンク企業	アライハンからバスコ・ニュンニェス・デ・バルボア海軍基地への燃料パイプラインへの影響を避ける。位置情報はCADフォーマットで入手。
水道/下水道	上下水道局 IDAAN	路線沿いにパイプが存在する。位置情報は一部 GISフォーマットで入手。
電力供給	電力会社 ETESA	3号線は少数の中容量電線と交差する。回線網の情報は書面で入手。
ガス供給	ガス会社 Tropigas/Panagas	当サービスはガスタンクで供給されている。
通信/ケーブル	電話・インターネット会社 Cable & Wireless / Cable Onda	大手通信会社がプロジェクト路線地域でサービスを提供している。

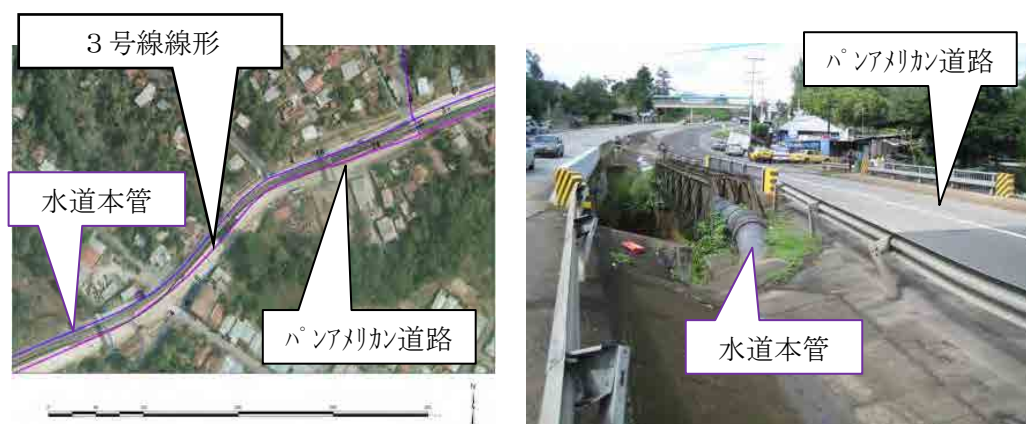
出典：調査団

公共サービスに関して一番困難な要素は路線沿いにある燃料パイプライン及び上下水道管である模様。現場調査と当局聞き取り調査により、これら重要施設の位置を把握した。下記にいくつかの例を示す。



出典:調査団

図 6.5 3号線線形沿いの燃料パイプライン位置と写真



出典:調査団

図 6.6 3号線線形沿いの IDAAN 水道管位置と写真

6.2.4 水文条件

(1) 地表水

パナマ運河は、事業対象地における最も重要な水の本体である。太平洋に運河が流れ込む河口は、運河流域からの淡水と太平洋潮の干満の影響を受ける。

パナマ市には、マタシニージョ川、マティアス・エルナンデス川、カバヤ川、リオ・アバホ川、トクメン川、タピア川、クルンドゥ川などが形成する、多数の分水界がある。これらは、準用河川であり、いくつもの小川から形成される。

3号線は、分水界 142（カイミト川とファン・ディアス川の間）と、分水界 140（カイミト川）に位置する（図 6.7 参照）。3号線は、カイミト川、クルンドゥ川、ベラスケス川、ペリコ川、カセレス川、ブルンガ川、アグアカテ川、ベルナルディーノ川を渡河する。

3号線の東側の起点は、運河、マルコス・ヒラベルト国際空港を含むクルンドゥ川分水界に位置する。小規模な小川は既存の構造物の下に埋蔵されている。

分水界 140 は、アグアカテ川、カセレス川、ベルナルディーノ川、ポトレロ川、カイミト川から形成され、カイミト川がこの分水界の主要な河川である。

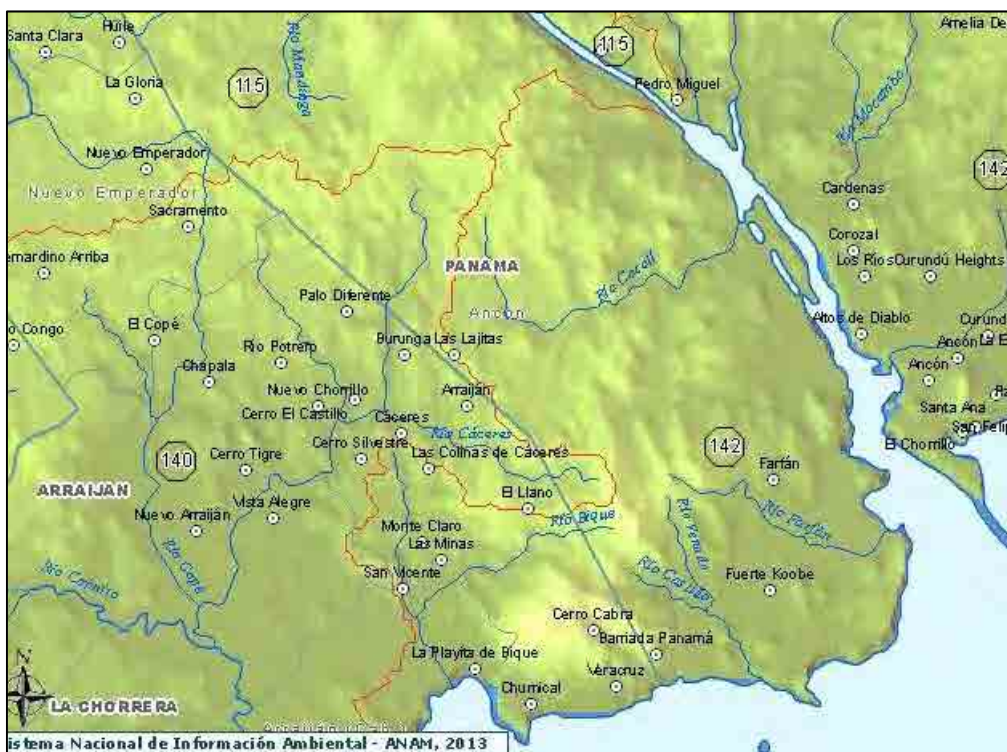
同地域の河川水は、灌漑及びラ・チョレラ市の家庭用水として利用されている。河川は都市部に近づくほど、過剰な揚水や、廃棄物の破棄、工業排水・下水の垂れ流しの影響を受けている。

カイミト川における外部からの悪影響の結果として、流域の水質はすでに悪化しており、この傾向は将来とも継続しそうである。

(2) 地下水

ETESA の水理地質図（1999）はラ・ボカ＝パナマ地層の地質群内にある調査対象地域の水層を明らかにしている。この水層は、概して碎屑性で、生化学的（石灰岩）なものを一部に含む海成層から成る。化学的な水質は変化しやすい。

地下水面は季節変動が顕著で、乾季には表面から 5m 以上水面が低下する。水面は雨季には表面から 50cm 以内までに上昇し、表面の排水に問題を起し、ある場合には地表に湧出する。



出典：http://mapserver.anam.gob.pa/website/cuencashidrograficas/viewer.htm

図 6.7 対象地域の水域

6.2.5 気候

パナマは熱帯性気候に属し、気温は年間を通して 27 度程度であり、最高でも 39 度、最低でも 15 度である。季節は雨季と乾季に分かれ、5 月から 11 月にかけての雨季には雷を伴う激しい雨が降り、対象路線の月間降雨量は 200～250mm である。対象路線においては、年間 50 日程度は落雷の日があり、そのほとんどは雨季に観測されている（2008～2012 年平均：ETESA）。ちなみに日本でモノレールが運行されている地域における年間の落雷日数は、東京 12.9 日、大阪 16.2 日、福岡 24.7 日、那覇 21.6 日である（1981～2010 年までの 30 年平均値：日本気象庁）。上記のパナマの雷日数は対象路線の非常に狭い地域における日数であるため、落雷に関しては日本よりも条件が遥かに厳しい。一方、風は年間を通して穏やかで、台風やハリケーンは無い。

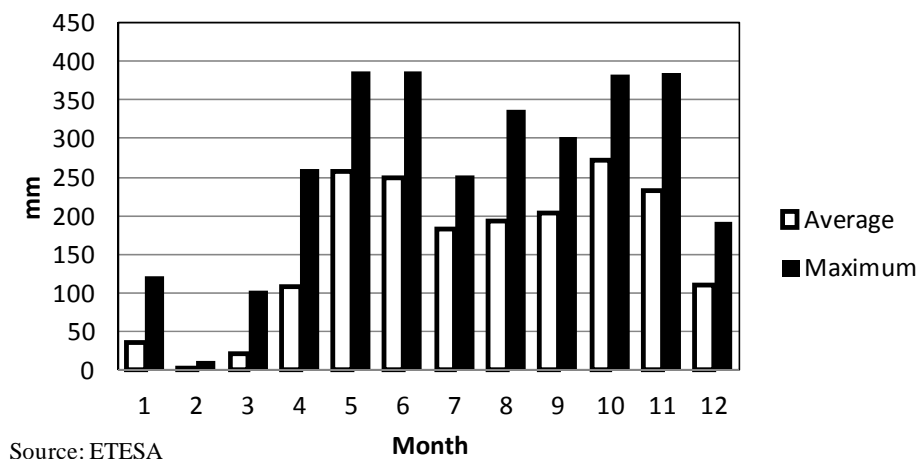


図 6.8 対象地区の月別平均降雨量

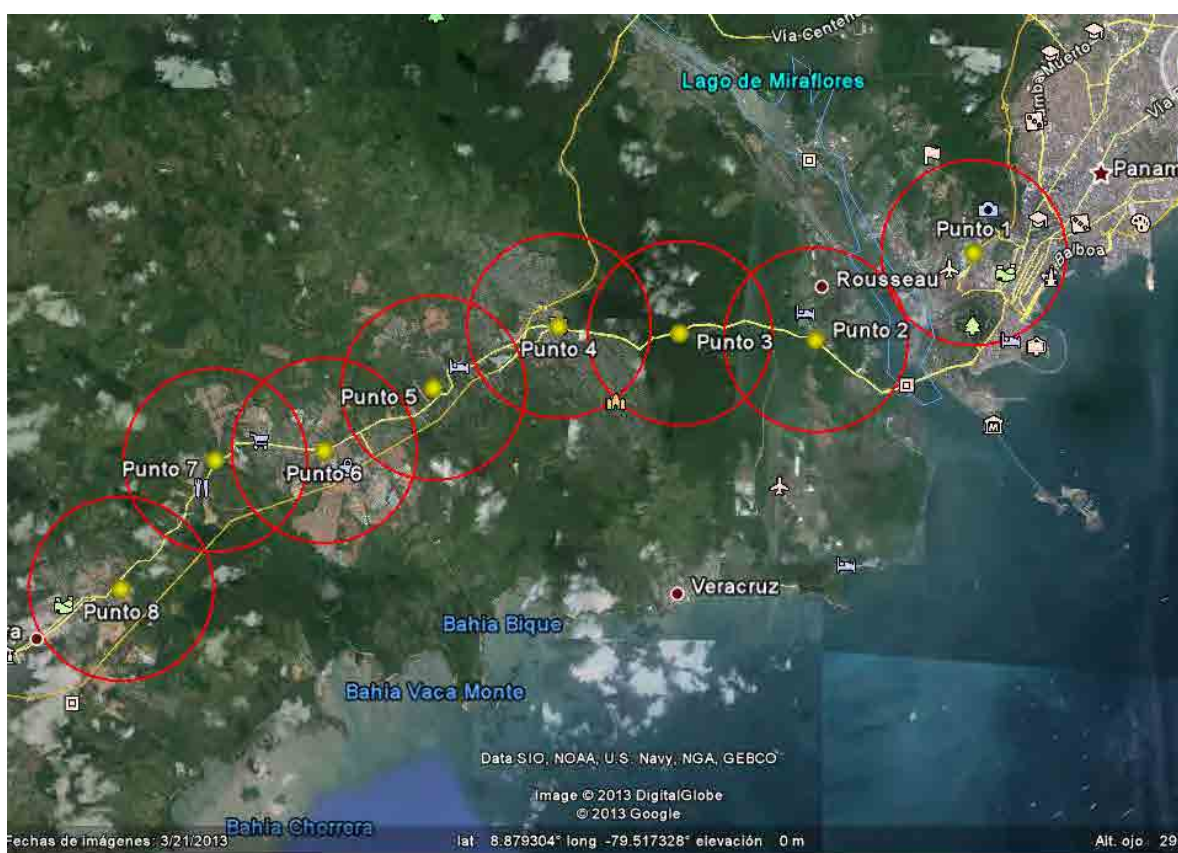


図 6.9 落雷統計の取得箇所

表 6.3 年間平均落雷日数（2008～2012 年）

8	7	6	5	4	3	2	1
39.3	43	47.7	47.3	48.3	48.7	189	53

出典：ETESA

6.3 駅位置

駅は、3号線における潜在需要の高い地域にあって多くの利用客が望まれる箇所において設置される。駅位置については、以下の視点に基づき、決められた。

- 駅設置のため、水平となる区間が確保可能な箇所
- 既存の交通結節点機能を持つ箇所の近傍
- 主要道路の交差付近
- 背後地に住宅団地が形成されている地域
- 産業地域として開発が進む地域

3号線は、アルブルックを起点として、公共機関が集まるバルボア地区を抜け、新規に建設される第4パナマ運河橋を渡りパナマ運河の西側に到達する。パナマ運河通過後、ヌエボ・アライハンに至るまで沿いにパンアメリカン道路沿いに、約26kmの高架区間として建設される。パナマ・パシフィコからロマ・コバ間は、5.56kmと駅間距離が長く、気象条件によりモノレールの運行が中止された場合の乗客の車両内への閉じ込められる状況を避ける必要がある。

上記に示した駅設置の条件に基づき、14駅と緊急避難用の駅が設置される。これらの駅は、車両基地内にある最終駅を除き、高架駅となっている。

表 6.4 駅位置






No.	駅名	距離		備考
		位置 (Km)	駅間 (Km)	
E1	Albrook	0+000		Metro Line-1 と AGNT への接続
			2.050	
E2	Balboa	2+050		行政地域へのアクセス
			4.800	
E3	Panama Pacifico	6+850		産業地域へのアクセス
			3.450	
	(Emergency Platform)	10+300	5.560	
			2.110	
E4	Loma Coba	12+410		既存市街地へのアクセス
			1.940	
E5	Arriajan	14+350		アライハン、ブルンガ地区へのアクセス
			1.120	
E6	Arrijan Mall（将来駅）	15+470		新規に建設されるショッピングセンターへのアクセス
			0.980	
E7	Burunga	16+450		既存市街地へのアクセス
			1.410	
E8	Nuevo Chorrillo	17+860		ヌエボ・チョリーヨ地区へのアクセス
			1.290	
E9	Caceres	19+150		新興住宅地へのアクセス
			2.300	
E9-1	(将来駅)	20+370	1.450	
			0.850	
E10	Vista Alegre	21+450		パンアメリカン道路とバカモンテ地区との交差点
			0.920	
E11	Vista Alegre 2	22+370		既存のショッピングセンターへのアクセス
			1.180	
E12	Nuevo Arriajan	23+550		既存市街地へのアクセス
			0.700	
E13	San Bernardino (将来駅)	24+250		新興住宅地へのアクセス
			1.600	
E14	Ciudad del Futuro	25+850		ラ・チョレラ方面からの接続
		Total	25.850	


出典:調査団


平均駅間距離は 1.99 km となっている。これは、アルブルックからパナマ・パシフィコに至るパナマ運河通過区間があることに加え、パナマ・パシフィコからロマ・コバに至るパナマ運河の水源涵養を目的とした森林保護地域が広がる地域を 3 号線は通過することに起因している。これらの区間を除いた平均駅間距離は、1.34 km である。この距離は、概ね、都市内鉄道における駅間距離となる。


以下に、特徴的な駅の概要を示す。

表 6.5 代表駅の概要

Station	St.No.1 アルブルック駅	Picture
Structure	2面2線 折り返し用分岐設置	 <p>Planned Site of Station</p>  <p>Station of Metro Line-1</p>
Daily Ridership	日乗降客数； 221,708	
Characteristics	1号線及び、AGNT（バスターミナル）との接続地点であり、パナマ市における交通の要所である。3号線の駅は、これらの施設の間建設される。両交通機関へのアクセス利便性を高める必要がある。特に、3号線の利用者の大半が朝のピーク時間に降車するため、プラットホーム幅等に、考慮が必要である。	
Station	St.No.4 パナマ・パシフィコ駅	Picture
Structure	2面2線 非常時用の延長プラットホームの設置	 <p>Planned site of Station</p>  <p>Entrance/ Exit of Panama Pacifico</p>
Daily Ridership	日乗降客数； 30,325	
Characteristics	産業団地として開発が進むパナマ・パシフィコとパナマ市と郊外部を結ぶパンアメリカン道路の交錯地点であり、朝のピーク時において、二番目に多くの利用客が発生する。また、強風等の気象条件による第四橋部分の通行が不可の場合を想定し、プラットホームを通常のものより延長し、後発の先頭車両がプラットホームに接着できるようにする。	
Station	St.No.6 アライハン・モール駅	Picture
Structure	2面2線	 <p>Planned site of Station</p>
Daily Ridership	日乗降客数； 13,375	
Characteristics	将来商業開発が進められる地域である。商業地と直結することで、乗客が商業地を利用が出来、利便性が高まる。また、周囲は、旧市街地に加え、新興の住宅団地開発が進むところ、商業開発地内に交通結節点を取り込む計画とし、周囲からの Feeder 交通の集約地とする。	

<i>Station</i>	St.No.8 Nuevo Chorrillo	<i>Picture</i> 
<i>Structure</i>	4面3線 折り返し用分岐設置	
<i>Daily Ridership</i>	日乗降客数； 21,708	
<i>Characteristics</i>	Phase-2を含めた全線開業時における概ね中間に位置し、Phase-1における需要段差が発生する駅である事から、折り返し運転を行う駅となる。また、住宅団地からの自家用車からのアクセスする乗客のために、Park & Ride 施設を設ける。	

<i>Station</i>	St.No.10 Vista Alegre	<i>Picture</i> 
<i>Structure</i>	2面2線	
<i>Daily Ridership</i>	日乗降客数； 31,567	
<i>Characteristics</i>	本駅は、オートピスタ建設に伴い、急速な開発の進む、バカモンテ方面からの主要道路との交差点に設置される。これらの Feeder 交通のため、また、自家用車でのアクセスを考慮して、大規模な交通結節点整備が行われる。	

<i>Station</i>	St.No.14 Ciudad del Futuro	<i>Picture</i> 
<i>Structure</i>	2面2線 Depot/Workshop へのアクセス施設の設置	
<i>Daily Ridership</i>	日乗降客数； 2,333	
<i>Characteristics</i>	Phase-1における最終駅となる。また、隣接地において、Depot / Workshop が建設される。この隣接地においては、ラ・チョレラ方面からのモノレール利用の受け皿となり、大規模な交通結節点機能を持つ。	

注；日乗降客の値は Phase-2 を含む全線開業時のもの
出典:調査団

第7章 事業計画

7.1 線形

7.1.1 平面線形

(1) 基本方針

平面線形検討上の基本方針は以下のとおりである。

- 第4パナマ運河橋の東側（アルブルック～第4パナマ運河橋）区間では、マルコス・ヒラベルト国際空港の航空制限を考慮すると滑走路から離れた位置に線形を設定する方が有利であることから、モノレールの平面線形は第4パナマ運河橋に接続する道路の東側に、道路と並走させることを基本とする。
- 第4パナマ運河橋においては橋梁の南側に路線を設定する。
- 第4パナマ運河橋の西側区間

a) オートピスタとの交差点以東の区間

パンアメリカン道路沿いに線形を設定するが、中央分離帯がないこととキロ程9k500~11k000付近にある燃料貯蔵タンクからのパイプラインがパンアメリカン道路の南側に埋設されていることから、道路の北側を走らせる。

b) オートピスタとの交差点以西の区間

パンアメリカン道路全線にわたって幅約2~3m程の中央分離帯が存在するため、このスペースを活用してモノレールの線形を設定する。

(2) 検討条件

曲線の最少半径は下表のとおりである。

表 7.1 最少曲率

位置	最小曲線半径
軌道部	100m
駅部	300m
車両基地	50m

出典：調査団

平面線形を検討するにあたり、曲線部と直線部の間には下記の式によって計算される数値以上の長さの緩和曲線が挿入できるように考慮している。

$$L = \frac{V^3}{14R}$$

但し、 L: 緩和曲線長(m)

R: 円曲線半径 (m)

V: 当該区間を走行するモノレール車両の最高速度(km/h)

7.1.2 縦断線形

(1) 基本方針

縦断線形検討上の基本方針は以下のとおりである。

- 全線高架構造物とし、将来の交差道路に考慮して現道高さから 5.5m の建築限界を確保する。また、路線上交差する道路についても同様に 5.5m の建築限界を確保し、歩道橋については 2m を確保する。

(2) 検討条件

縦断線形の検討条件は下表のとおりである。

表 7.2 縦断線形の検討条件

項目	値
最大勾配（本線）	60‰
最大勾配（駅）	10‰
最小曲線半径	1000m

出典：調査団

また、勾配区間に曲線を伴う場合は下記に示す換算勾配を考慮して最大勾配を補正する。

$$g = \frac{80}{R}$$

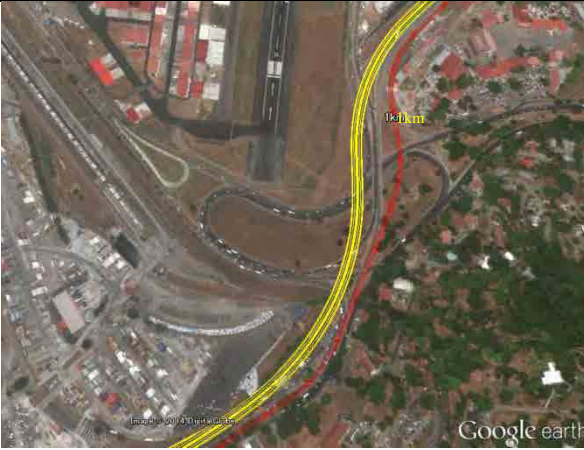



但し、 g: 曲線による換算勾配(%)



R: 円曲線半径 (m)

7.1.3 コントロールポイント

線形計画上の主要なコントロールポイントを以下の通り整理した。

表 7.3 主要コントロールポイント

Location	Description	
1k000m ~1k600m		<p>マルコス A ヘラベルト空港の航空制限を侵さないためには、モノレールの線形は空港の滑走路からできるだけ遠くに設定することが重要である。</p> <p>また、第4パナマ運河橋の建設に伴って新設される交差点道路構造物に支障しないような線形を設定する。</p>
1k600m ~2k200m		<p>ルーズベルト通り沿いの区間では、中央分離帯に線形を設定し、航空制限の内、最も厳しい SAPI ラインに支障させないようにモノレール構造物を低く抑える。また、ACP の変電所と冷却施設、及び第4パナマ運河橋に支障しないよう線形を設定する。</p>
6k700m ~7k200m		<p>パナマ・パシフィコとの接続を考慮してパナマ・パシフィコ駅はパンアメリカン道路の南側に計画する。</p> <p>パナマ・パシフィコ駅直後に路線上空を横断するフライオーバーを超え、パイプラインとの干渉を防ぐため、平面線形はPP駅以降パンアメリカン道路の北側にシフトする。</p>
8k000 ~8k700		<p>パナマ・パシフィコへ接続する道路とのインターチェンジの建設が計画されている。モノレール線形は IC を考慮して道路からの建築限界を確保する高さとする。</p>

Location	Description
<p>11km + 500 ~ 11km + 800</p>	 <p>急カーブが連続し緩和曲線長が確保できないため一部道路からそれる。ロマ・コバ駅に備えて道路北側から南側へシフトする。</p>
<p>12km + 130 ロマ・コバ駅付近</p>	 <p>ロマ・コバ駅付近は急カーブと勾配変化点が重なるため道路を横断させて直線区間を確保し駅を設置する。</p>
<p>14km + 300 ~14km + 700 アライハン駅付近</p>	 <p>アライハン駅手間では平面線形はパンアメリカン道路の南側を走るが、アライハン駅以降、一部区間で中央分離帯があるのと、道路南側に民家が迫っているため線形を中央にシフトする。</p>
<p>路線全線に渡り</p>	 <p>パンアメリカン道路沿いには要所要所に歩道橋が存在する。モノレール高架構造物は歩道橋に支障しないよう高さを確保するが、既存歩道橋と駅位置が重なる場合は歩道橋撤去を前提とする。</p>

出典：調査団

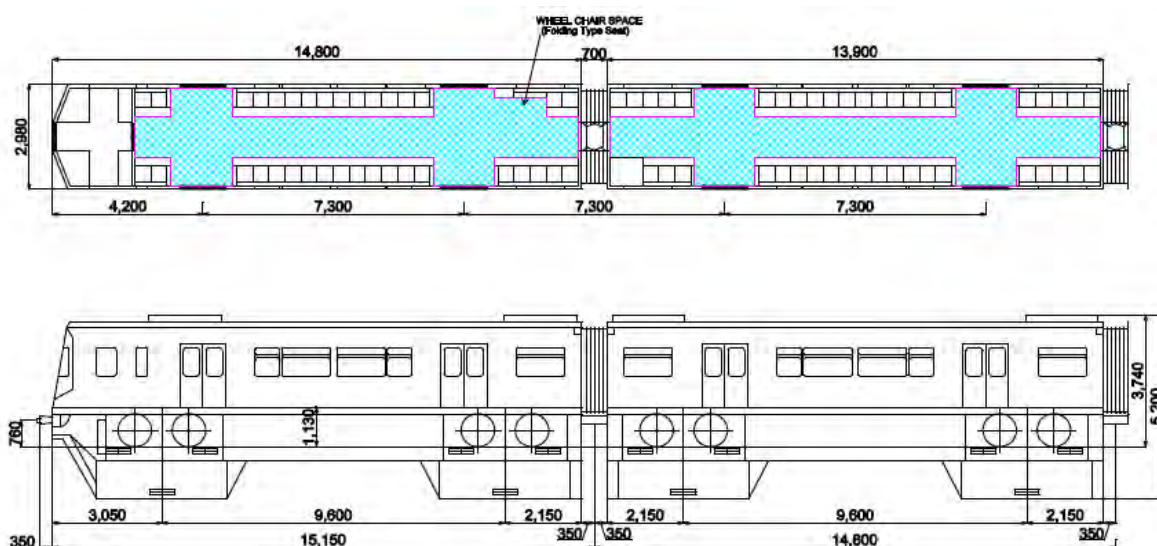
7.2 車両

7.2.1 輸送容量

6.3で述べているように、需要予測結果から必要とされた輸送容量は大形の跨座型モノレールの6両編成で達成される。開業時より将来まで6両編成で運用する。

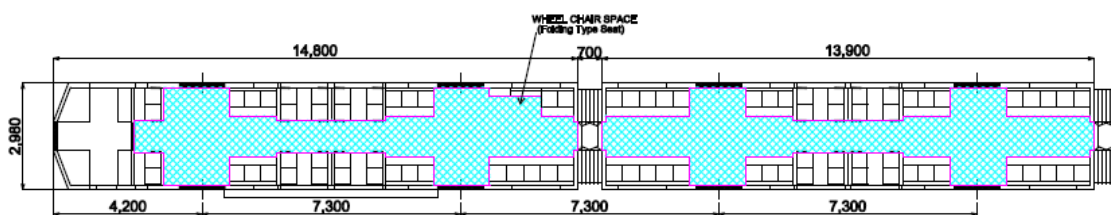
(1) 座席配置

大形跨座型モノレール車両の車両外形寸法と座席配置の例を図7.1と図7.2に示す。図7.1は、ロングシートのみ構成（Long Seat Typeと呼ぶ）であり、座席数は編成で246席となる。図7.2は、ロングシートとクロスシートが混在する構成（Semi-cross Seat Typeと呼ぶ）であり、座席数は編成で270席となる。3号線は主として駅間距離が長い近郊形輸送になることを考慮すると、座席数が多いSemi-cross Seat Typeを導入する方が良いと考える。



出典：調査団

図 7.1 車両外形寸法と座席配置（Long Seat Type）



出典：調査団

図 7.2 座席配置（Semi-cross Seat Type）

(2) 車両の乗車容量と重量

表 7.4 と表 7.5 は車両の乗車容量と重量を計算した結果であり、前者は Long Seat Type の場合、後者は Semi-cross Seat Type の場合を示す。ここで乗客一人あたりの重量は、65 kg としている。

表 7.4 乗車容量と車両重量（Long Seat Type）

Parameter			65 kg/ person				Train	
			End Car		Middle Car		(4M2T)	
Tare weight (t)			27.0		26.5		160.0	
Space for standees (m ²)			20.7		21.3		127	
Seat numbers			35		44		246	
Condition	(person/ m ²)		Person	Weight (t)	Person	Weight (t)	Person	Weight (t)
Tare	0	(AW0)	0	27.1	0	26.5	0	160
	0	(AW1)	35	29.4	44	29.4	246	176
Nominal	3		97	33.4	107	33.5	622	201
	4	(AW2)	117	34.7	129	34.9	750	209
	5		138	36.1	150	36.3	876	217
Full loaded (1)	6	(AW3)	159	37.4	171	37.7	1,002	226
Full loaded (2)	7		179	38.7	193	39.1	1,130	234
Full loaded (3)	8	(AW4)	200	40.1	214	40.5	1,256	242
	9		221	41.5	235	41.8	1,382	250
Crash loaded	10	(AW5)	242	42.8	257	43.2	1,512	258

出典：調査団

表 7.5 乗車容量と車両重量（Semi-cross Seat Type）

Parameter			65 kg/ person				Train	
			End Car		Middle Car		(4M2T)	
Tare weight (t)			27.0		26.5		160.0	
Space for standees (m ²)			19.7		20.3		121	
Seat numbers			39		48		270	
Condition	(person/ m ²)		Person	Weight (t)	Person	Weight (t)	Person	Weight (t)
Tare	0	(AW0)	0	27.1	0	26.5	0	160
	0	(AW1)	39	29.6	48	29.7	270	178
Nominal	3		98	33.5	108	33.6	628	201
	4	(AW2)	117	34.7	129	34.9	750	209
	5		137	36.0	149	36.2	870	217
Full loaded (1)	6	(AW3)	157	37.3	169	37.5	990	225
Full loaded (2)	7		176	38.5	190	38.9	1,112	233
Full loaded (3)	8	(AW4)	196	39.8	210	40.2	1,232	240
	9		216	41.1	230	41.5	1,352	248
Crash loaded	10	(AW5)	236	42.4	251	42.9	1,476	256

出典：調査団

大形モノレールに使用されるタイヤの許容最大荷重は 5.5 トンであることから、車両あたりの最大荷重は 44 トンとなる。これらの表からは、超満員条件（10 人/ m²）でも車両重量が最大荷重を上回らないことが分かる。

AW3 の条件（6 人/ m²）は、都市区間用列車のピーク時間での計算に適用するべきであり、AW2 の条件（4 人/ m²）は、近郊区間用列車のピーク時間での計算に適用するべきである。

7.2.2 車両の仕様

3号線向け車両の主要仕様諸元を表 7.6 に示す。これは日本で実績のある大形跨座型モノレールの仕様に基づいている。

車両の性能に係わる数値については仮に定めたものであり、詳細設計時には変わり得るものである。

表 7.6 主要仕様諸元

項目	仕様		
	Tc	M	Train
列車編成	6両固定編成: Tc-M-M-M-M-Tc		
寸法			
車両長	15.5 m	14.6 m	89.4 m
車体長	14.8 m	13.9 m	-
車両幅	2,980 mm	2,980 mm	2,980 mm
車高 (最大)	5,200 mm	5,200 mm	5,200 mm
軌道面からの高さ	3,740 mm		
軌道面からの床面の高さ	1,130 mm		
車体重量	27.0 t	26.5 t	160 t
乗車人数			
座席数	39 (35)	48 (44)	270 (246)
3人/m ² (立客)	98 (97)	108 (107)	628 (622)
4人/m ² (立客)	117 (117)	129 (129)	750 (750)
6人/m ² (立客)	157 (159)	169 (171)	990 (1002)
運転	自動列車運転装置 (ATO)、運転士乗務		
性能	最大運行速度: 80 km/h		
	加速度: ATO モードで 3.5 km/h/s (0.97 m/s ²)		
	減速度: ATO モードで 3.5 km/h/s (0.97 m/s ²)		
	常用最大減速度: 4.0 km/h/s (1.11 m/s ²)		
	非常減速度: 4.5 km/h/s (1.25 m/s ²)		
	躍度: 0.75 m/s ³		
最小回転半径	平面: 100 m (本線)、50 m (支線)、垂直: 1000 m		
最大勾配	60 ‰		
車体構造	軽合金溶接、耐火		
座席配置	セミクロスシート型 (またはロングシート型)		
乗降ドア	1 車両あたり片側 2 ドア、幅 1300 mm、高さ 1850 mm		
緊急ドア	先頭車頭部中央に 1 ドア		
台車	2 軸ボルスタレス、溶接鋼構造		
	油圧ディスクブレーキ		
	走行輪: 窒素ガス充填チューブレスタイヤ		
	案内輪と安定輪: ゴムタイヤ		
き電圧	DC 1500V		
動力電動機	三相かご型誘導電動機 110kW		
動力制御	VVVF インバータ制御 (回生ブレーキ) 2 駆動電動機/1 制御機		
補機用電力	静止型インバータ 120 kVA		
ブレーキ	電気指令式電空ブレーキ (回生ブレーキ)		
	ATP/ATO 装置付インターロック、応加重装置		
空調ユニット	天井設置型 18.6 kW (16,000 kcal/時) x 2/車		

注記: () なしは Semi-cross seat type の場合、() 付きは Long seat type の場合を表す。

出典: 調査団

乗客用の側ドアの幅については、日本の標準である 1300 mm としている。これを 1500 mm 程度に広げたとしても、乗降時間はそれほど縮まらないだけでなく、座席数が減ってし

まう。また、3号線の路線の西方は「近郊」とも言える区間があることから、乗降時間が問題になる可能性も低いので、1300 mm のままで良いと考える。

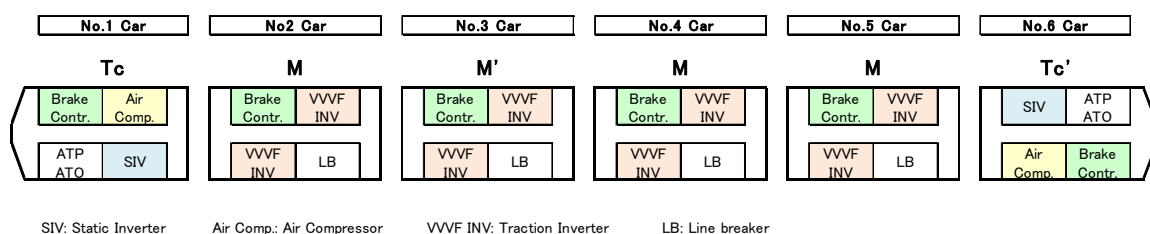
7.2.3 RAMS 関係

(1) 適用規格基準

車両の設計・製作にあたっては、国際的な規格（IEC、EN、BS、そして JIS など）に依ることを条件とする。これらの規格の関係する条項はユニバーサルデザインの指針にもなる。

(2) 冗長系設計

主回路（駆動システム）については図 7.3 に示すように、中間車 4 両を電動車とし、台車単位で制御するように構成する。すなわち、1 台の VVVF インバータ装置で駆動用の誘導電動機 2 個を制御する。一部の装置が故障した場合には、「高加速運転モード」に切り換えて残りの健全な装置の出力を上昇させ、運行時間の遅れを少なくさせることもできるようにする。

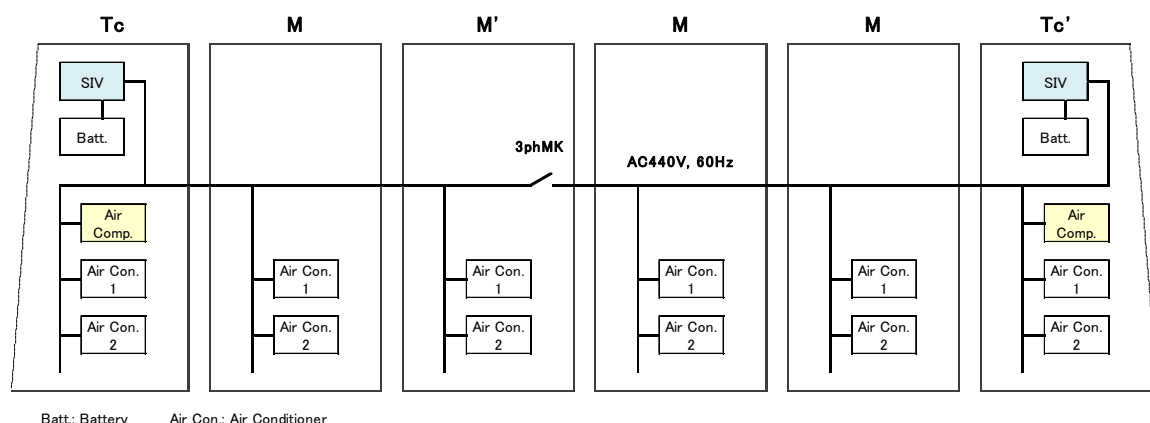


出典：調査団

図 7.3 主要機器配置

「高加速運転モード」は、健全な編成が故障編成を最寄りの駅まで推進または牽引して行く場合にも用い、路線の急勾配地点で動けなくなるような事が発生しないようにする。

補助回路については図 7.4 に示すように、補助電源装置（SIV）、空気圧縮機、バッテリー一回路などは編成内で二重系構成とする。冷房装置は一車両内で二重系構成とする。



出典：調査団

図 7.4 補助機器接続

(3) 非常時の脱出手段

モノレール車両が何らかの理由により軌道上で動けなくなった場合には、隣接する列車により救援するものとする。前後する列車が乗客で満車となっている場合には、最寄りの駅で乗客を降ろし、救援に向うものとする。モノレールの先頭車には救援列車に乗客が乗り移るための非常時避難用ドアを車端に設ける。

パナマでは1号線の建設にあたり、米国火災防止規格（NFPA）を適用した。NFPA-130によればモノレールの場合でも避難通路の設置が必要であるが、日本でこの規格を適用したモノレールの事例はない。これは、車両自体が不燃・難燃構造であるためである。3号線においても、下記の対策により避難通路が不要である。NFPAに準拠した避難通路を設置しない事については、SMPとの協議の結果で決定した。

(4) 火災対策

車体各部や装備品の材料には、不燃材あるいは難燃材を用いることにより、火災が発生した場合に、延焼および炎上することの非常に少ない車両とする。

万が一、火災が発生した場合には、駅を出発して間もない時にそれを検知した時は即時に停車し、駅間走行中にそれを検知した時は次駅まで走行した後に停車する、という運転扱いをする。

火災時でかつ停電により駅間に立往生した場合には、消火器で消火をし、バッテリー電源により照明と換気装置を作動させて復電を待つようにする（最長30分間）。復電に時間がかかる場合には、本調査で提案する非常用蓄電設備を稼働させる。

鉄道では火災時の延焼を防ぐ目的で貫通ドアを設置する例があるが、本事業の場合は上記の対策により、むしろ他の車両への移動を容易にした方が良く、貫通ドアの設置を不要とする。

(5) 曲線通過速度

最小曲線半径は、運行路線では100m、車両基地内では50mとする。

曲線部の走行速度は曲線のカント量と乗客が不快にならない遠心力で決まる。跨座型モノレールは脱線・転倒の恐れがないため、カントは大きく取れる。日本のモノレール技術基準では、12%を最大のカントとしている。また、乗客が不快に感じないカント不足量として5%が提案されている。また、車両基地内では乗客がいないことからカント不足量を7.5%まで可能としている。

表 7.7 は、曲線部の走行速度を計算したものである。

表 7.7 曲線部の走行速度

Unit: km/h

R (m)	Cd (%)	5					7.5				
	Ca (%)	0	5	7.5	10	12	0	2	4	5	7.5
50		15	25	25	30	30	20	20	25	25	30
60		15	25	30	30	35	20	25	25	30	30
70		20	25	30	35	35	25	25	30	30	35
80		20	30	35	35	40	25	30	30	35	35
90		20	30	35	40	40	25	30	35	35	40
100		25	35	35	40	45	30	30	35	35	40
110		25	35	40	45	45	30	35	40	40	45
120		25	35	40	45	50	30	35	40	40	45
130		25	40	45	45	50	35	35	40	45	45
140		25	40	45	50	50	35	40	45	45	50
150		30	40	45	50	55	35	40	45	45	50
160		30	45	50	55	55	35	40	45	50	55
170		30	45	50	55	60	40	45	45	50	55
180		30	45	50	55	60	40	45	50	50	55
190		30	45	50	60	60	40	45	50	50	60
200		35	50	55	60	65	40	45	50	55	60
210		35	50	55	60	65	40	50	55	55	60
220		35	50	55	60	65	45	50	55	55	60
230		35	50	60	65	70	45	50	55	60	65
240		35	55	60	65	70	45	50	55	60	65
250		35	55	60	65	70	45	50	60	60	65
260		40	55	60	70	70	45	55	60	60	70
270		40	55	65	70	75	50	55	60	65	70
280		40	55	65	70	75	50	55	60	65	70
290		40	60	65	70	75	50	55	65	65	70
300		40	60	65	75	80	50	60	65	65	75
320		45	60	70	75	80	55	60	65	70	75
340		45	65	70	80	85	55	60	70	70	80
350		45	65	70	80	85	55	65	70	70	80
380		45	65	75	85	90	60	65	70	75	85
400		50	70	75	85	90	60	65	75	75	85
410		50	70	80	85	90	60	70	75	80	85

Equation

$$V_e = 3.6 * \text{SQRT}(9.807 * R * (Ca + Cd) / 100)$$

V_e = Equilibrium Cant Speed including cant deficiency (km/h)

R = Curve radius (m)

Ca = Actual cant (%) Cd = Cant deficiency (%)

推奨：

3号線のようにカーブが多い路線では、できるだけ曲線部の通過スピードを向上し、路線の総走行時間を短縮するために、実カント（Ca）は最大値（上表に示す12%）とするべきである。また、カント不足量は、良い乗心地を確保するために、大きな値（上表に示す7.5%）を取るべきではなく、5%とすることを推奨する。

実カント量が小さい値の場合、大きな遠心力が車体から台車に作用しないように、走行スピードを下げるべきである。

デポ内の小半径の曲線では、カント不足量を増しても良い。車体の質量は乗客が載っていないので軽くなっているからである。

曲線上で車両がしばしば停車することがあるならば、実カント（Ca）は大きな値にするべきではなく、5%に止めることを推奨する。

出典：調査団

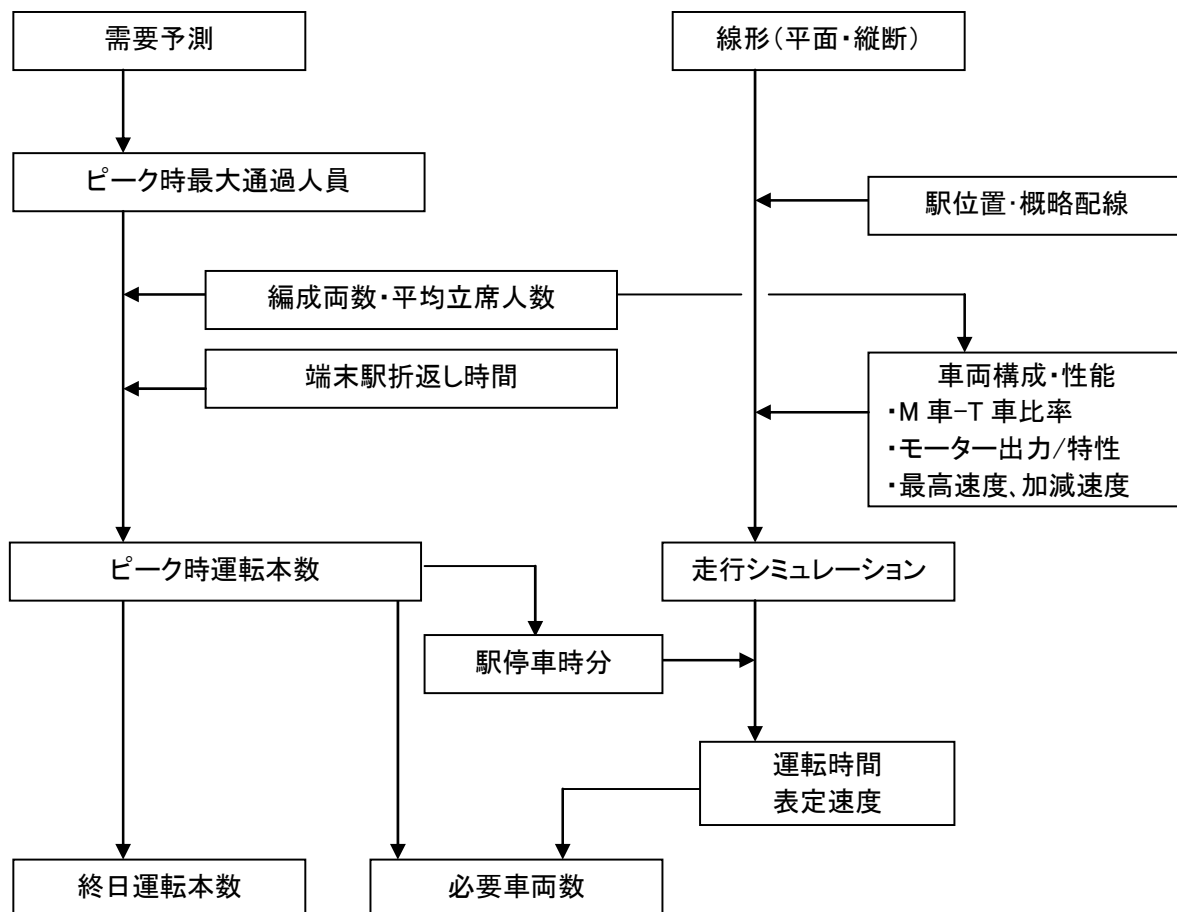
(6) メンテナンス

モノレール車両は、一般の MRT と比べて、鉄輪の代わりにゴムタイヤを使用していることが異なるだけであり、その他は殆ど同じ機器構成になっている。従って、そのメンテナンスは一般の MRT と殆ど変わらない。

7.3 運行計画

7.3.1 検討手法

運行計画は、図 7.5 のフローに示すとおり、需要予測から得られるピーク時最大通過人員から必要な運行本数を検討するとともに、一方で路線計画（平面・縦断線形）と車両性能から運転所要時間・表定速度を検討し、必要車両数等を算出する。



出典: 調査団

図 7.5 運行計画検討フロー

7.3.2 検討の前提条件

(1) 全体的な前提条件

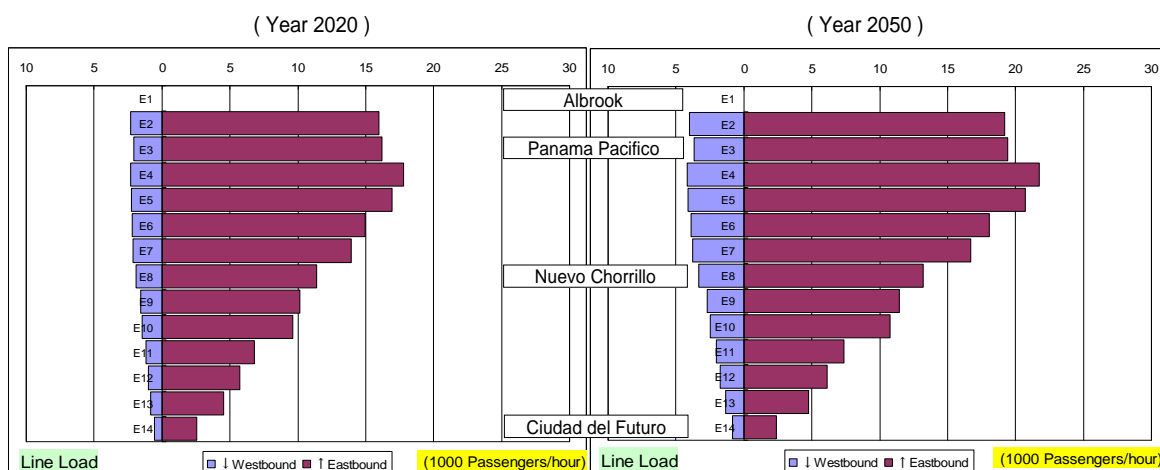
1) 目標年次・区間及び目標輸送量

本調査の検討路線は3号線の部分開業区間（第1期：アルブルック～シウダッド・デル・フトゥーロ間）25.8kmを対象としているが、最終的な目標輸送量は全線開業区間（第2期：アルブルック～ラ・チョレラ間）の2050年、約25,000人/時とし、さらに目標輸送量がある程度増加しても対応できる輸送力を有するよう計画する。

2) 需要予測結果のレビュー

図 7.6 に部分開業区間の開業想定年次である 2020 年、及び予測最終年次である 2050 年における駅間ごとのピーク時通過人員のグラフを示す。通過人員が最大となるのは、いずれの場合も東行き（アルブルック方面）のロマ・コバ(E4)～パナマ・パシフィコ(E3)間で、2020 年約 18,000 人/時、2050 年約 22,000 人/時となっている。

都心と郊外を結ぶ放射状路線としての特徴を反映し、通過人員はパナマ・パシフィコに向かうにしたがって階段状に増加し、パナマ・パシフィコからは若干減少しアルブルックに至る。



出典: 調査団

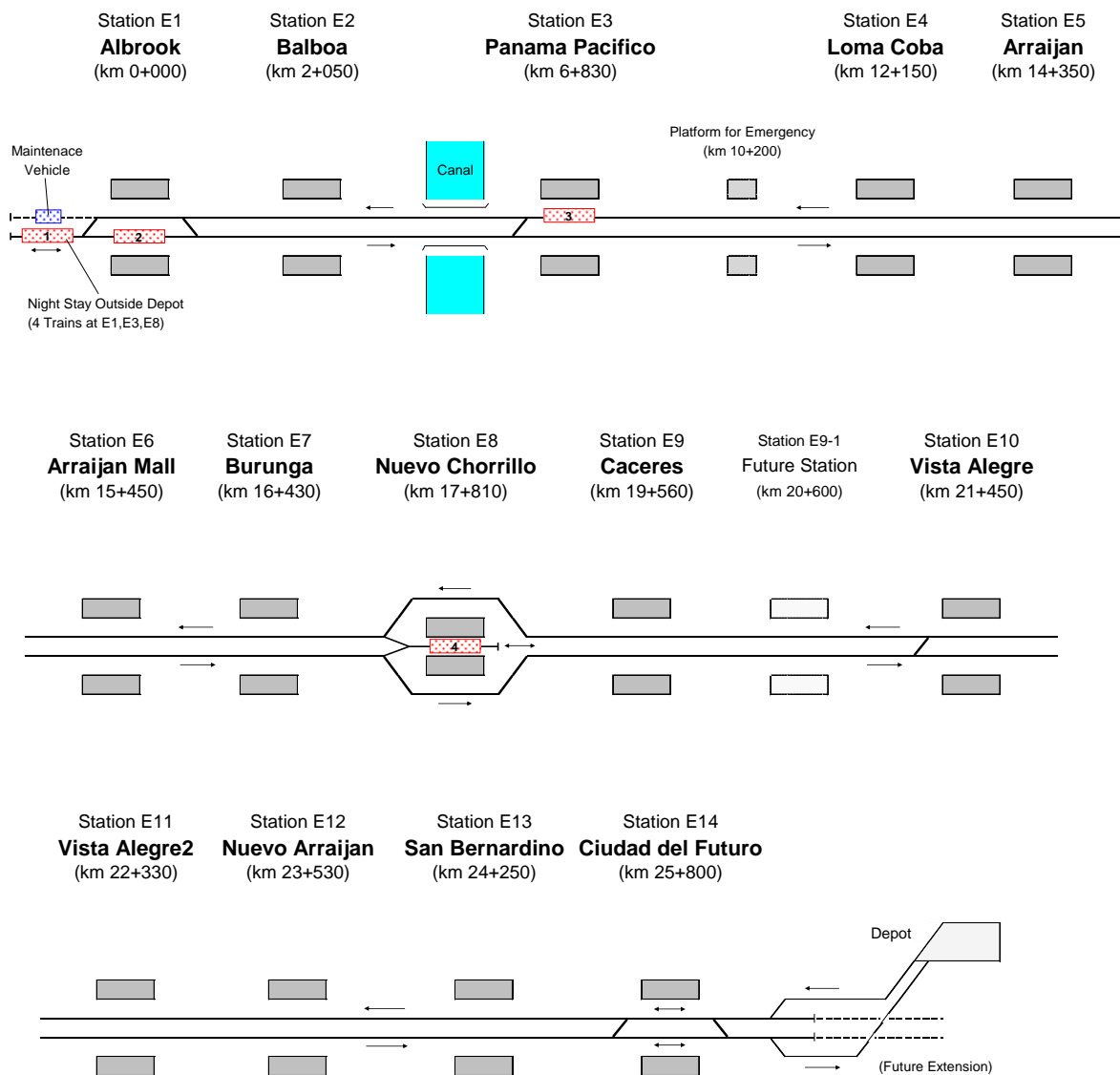
図 7.6 部分開業案におけるピーク時駅間通過人員

3) 駅概略配線計画

図 7.7 に 3 号線第 1 期区間の概略配線図を示す。延長約 25.8km で 14 駅を計画する。全体の平均駅間距離は約 2.0km であるが、アライハン (E5) を境に大きな差があり、東側 (アルブルック側) は約 3.6km、西側 (シウダッド・デル・フトゥーロ側) は約 1.3km となっている。

駅部の配線は、折り返し駅となるアルブルック(E1)、ヌエボ・チョリーヨ(E8)、シウダッド・デル・フトゥーロ(E14)の 3 駅は折り返し可能な配線とし必要な分岐器と折り返し線を配置する。また、終点の E14 は将来本線をラ・チョレラ方向に延伸可能な線形とする。なお、途中のパナマ・パシフィコ(E3)～ロマ・コバ(E4)間は山間部のため駅間距離が約 5.6km と他の区間に比べて長いため、非常時に乗客が地上に脱出できるように E3～E4 間に非常用の簡易プラットホームを設置するとともに、E3 駅に渡り線を設ける。

その他、ビスタ・アレグレ(E10)にも非常渡り線を設置して非常時の運転確保に備える。



出典: 調査団

図 7.7 3号線 (部分開業案:第1期) 概略配線図

4) 車両の構成及び運転性能

車両の構成及び運転性能については表 7.8 のとおりであり、編成両数は開業時より 6 両編成 (うちモーター車は 4 両) とし以降も固定とする。開業時より 6 両編成とするのは、需要予測結果より開業当初の需要が多く 4 両編成では輸送力が不足するためである。輸送力が将来とも 6 両編成で不足しないことの分析は次項(2)で行う。

運転最高速度は 80km/h、加速度・減速度はいずれも 3.5km/h/s とする。

表 7.8 車両の構成及び運転性能

項目	内容
車両構成	6両固定編成、4M2T（Tc-M-M-M-M-Tc）
運転最高速度	80km/h
加速度・減速度	いずれも 3.5km/h/s

出典: 調査団

(2) 編成両数と平均立席人数の検討

ピーク 1 時間の運転本数は、需要予測結果に基づく最大通過人員を輸送力で除して算出する。一方、輸送力は以下の式で算定されるが、着席人数と立客面積は車両デザインから決定されるため、残った変数である「m2 当たり立客数」「編成両数」「最小運転ヘッド」を計画し決定する必要がある。

表 7.9 は、運転ヘッド（運転本数）、編成両数及び平均立席人数の組合せによる輸送力一覧を示すものであり、それぞれの目標輸送量（後述）に対応できる組合せを色分けで示している。

$$\begin{aligned} \text{ピーク 1 時間輸送力} &= \{1 \text{ 列車当たり輸送力}\} \times \{\text{ピーク 1 時間運転本数}\} \\ &= \{(\text{着席人数} + \text{m2 当たり立客数} \times \text{立客面積}) \times \text{編成両数}\} \times \{60 \text{ 分} / \text{最小運転ヘッド}\} \end{aligned}$$

表 7.9 組合せ条件によるモノレールの輸送力（PHPDT）

平均立席人数	運転ヘッド 運転本数/時	運転ヘッド									
		5分	4分	3分	2.5分	2分	2分	110秒	100秒	90秒	
4人/m2	4両編成	5,904	7,380	9,840	11,808	12,792	13,776	14,760	16,236	17,712	19,680
	5両編成	7,452	9,315	12,420	14,904	16,146	17,388	18,630	20,493	22,356	24,840
	6両編成	9,000	11,250	15,000	18,000	19,500	21,000	22,500	24,750	27,000	30,000
	7両編成	10,548	13,185	17,580	21,096	22,854	24,612	26,370	29,007	31,644	35,160
	8両編成	12,096	15,120	20,160	24,192	26,208	28,224	30,240	33,264	36,288	40,320
5人/m2	4両編成	6,864	8,580	11,440	13,728	14,872	16,016	17,160	18,876	20,592	22,880
	5両編成	8,652	10,815	14,420	17,304	18,746	20,188	21,630	23,793	25,956	28,840
	6両編成	10,440	13,050	17,400	20,880	22,620	24,360	26,100	28,710	31,320	34,800
	7両編成	12,228	15,285	20,380	24,456	26,494	28,532	30,570	33,627	36,684	40,760
	8両編成	14,016	17,520	23,360	28,032	30,368	32,704	35,040	38,544	42,048	46,720
6人/m2	4両編成	7,824	9,780	13,040	15,648	16,952	18,256	19,560	21,516	23,472	26,080
	5両編成	9,852	12,315	16,420	19,704	21,346	22,988	24,630	27,093	29,556	32,840
	6両編成	11,880	14,850	19,800	23,760	25,740	27,720	29,700	32,670	35,640	39,600
	7両編成	13,908	17,385	23,180	27,816	30,134	32,452	34,770	38,247	41,724	46,360
	8両編成	15,936	19,920	26,560	31,872	34,528	37,184	39,840	43,824	47,808	53,120

(注) 25,000人(2050年需要予測結果)を輸送可能
 27,500人(2050年需要予測結果の10%増)を輸送可能
 30,000人(2050年需要予測結果の20%増)を輸送可能

出典: 調査団

需要予測結果では 25,000 人が輸送量の最大値と想定された。これに対し、将来のラ・チョレラ以西への路線延伸、新駅設置や沿線開発等による更なる輸送量の増加に対応できるよう、輸送力は 25,000 人に対し多少の余裕を考慮しておく必要がある。そこで、需要予測上の 25,000 人に加え、10%増の 27,500 人、20%増の 30,000 人の 3 パターンを目標輸送量とし、これらに適切に対応可能な 6 両編成、7 両編成に絞ってそ

それぞれの最小運転ヘッドで運行した場合に想定される平均立客人数を算出した結果を表 7.10 にまとめた。

平均立席人数は、都市鉄道の場合 6 人/m²を目安とする場合が一般的であるが、ここではやや余裕を持った設定も考慮し、4 人/m²までの間で分析した。

目標輸送量が 25,000 人の場合、平均立客人数は 6 両編成が 4.04 人/m²、7 両編成が 3.79 人/m²となり、目標輸送量が 27,500 人、30,000 人の場合の平均立客人数は 6 両編成が 4.44~4.85 人/m²、7 両編成が 4.17~4.55 人/m²となり、いずれの場合も 5 人/m²以内となる。

また、6 両編成で分岐器の転換時間の短縮と分岐器通過速度の向上（いずれも現時点で技術的に可能）を図れば 90 秒ヘッドも可能であり、仮に輸送量が 30,000 人になっても 6 両編成で余裕を持って対応可能である。

さらに 7 両編成にするには駅や折り返し線の延長の増加の他、車両基地や変電所等の拡張も必要となり、初期投資や O&M コストの増大を招くことから、本調査では編成両数は 6 両、平均立席人数は 4~6 人/m²で計画することとする。

表 7.10 目標輸送量 (25,000, 27500, 30,000 人) に応じた平均立席人数の算定

条件	目標輸送量		最小運転ヘッド		平均立席人数別輸送力 (PPHPD)			平均立席人数 算定結果 (人/m ²)
			秒	運転本数/時	4 人/m ²	5 人/m ²	6 人/m ²	
6 両編成 現行条件	25,000	2050年需要予測結果	110	33	24,750	28,710	32,670	4.04
	27,500	(上記の10%増)						4.44
	30,000	(上記の20%増)						4.85
7 両編成 現行条件	25,000	2050年需要予測結果	120	30	26,370	30,570	34,770	3.79
	27,500	(上記の10%増)						4.17
	30,000	(上記の20%増)						4.55
6 両編成 改善条件 (参考)	25,000	2050年需要予測結果	90	40	30,000	34,800	39,600	3.33
	27,500	(上記の10%増)						3.67
	30,000	(上記の20%増)						4.00

現行条件 = 分岐器通過速度25km/h、加速・減速度3.0km/h/s、分岐器転換時間20秒

改善条件 = 分岐器通過速度35km/h、加速・減速度3.5km/h/s、分岐器転換時間15秒

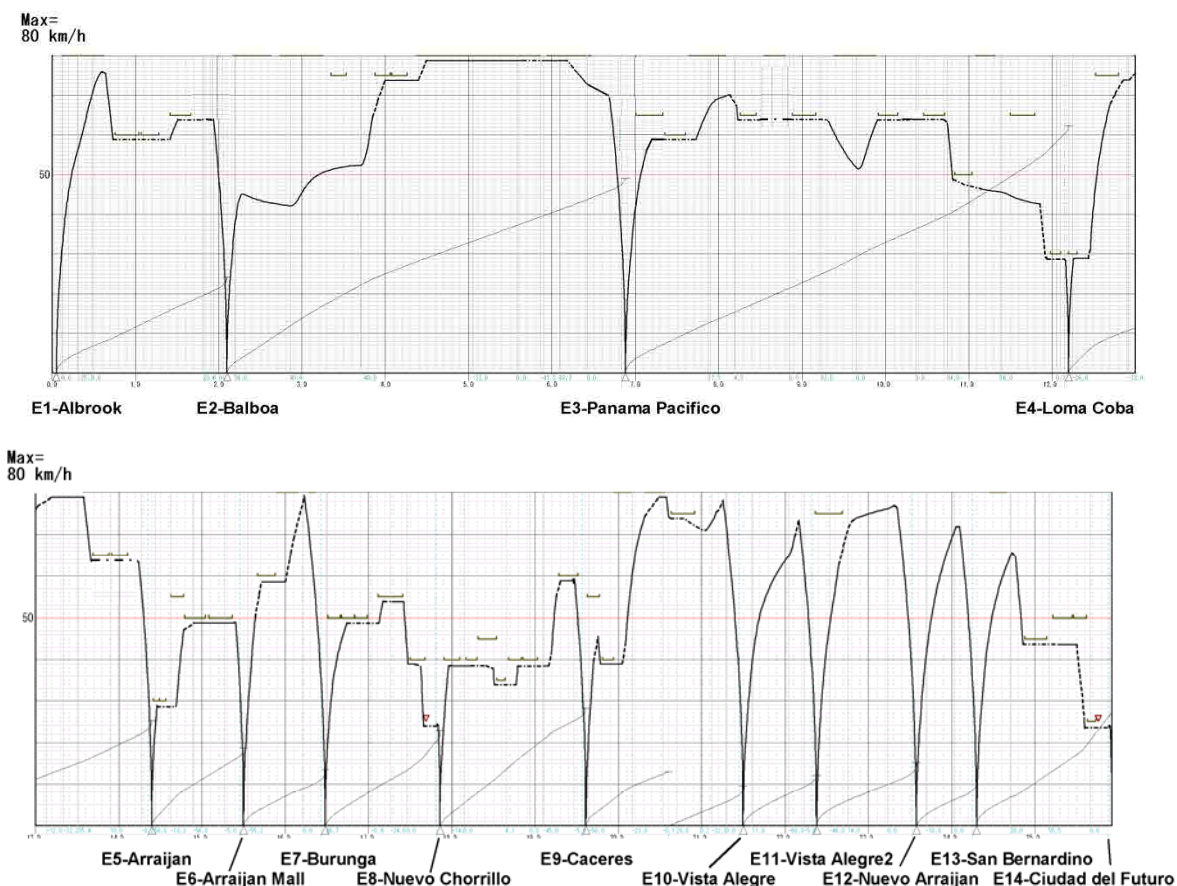
※改善条件はいずれも現時点で技術的に可能

出典: 調査団

7.3.3 走行シミュレーション

(1) 運転曲線（ランカーブ）の作成

今までに検討した線路線形（平面・縦断、駅位置）及び車両運転性能を前提条件とし、運転曲線検討ソフトウェアを用いて運転曲線（ランカーブ）を作成した。作成した運転曲線を図 7.8 に示す。



出典: 調査団

図 7.8 3号線（第1期）運転曲線図

(2) 所要時間及び表定速度

表 7.11 に検討結果を示す。

全区間の所要時間は途中駅の停車時間（標準 30 秒）を含め 39 分 50 秒、うち東側区間（アルブルック～ヌエボ・チョリーヨ間）25 分 20 秒、西側区間（ヌエボ・チョリーヨ～シウダッド・デル・フトゥーロ間）14 分 30 秒となった。

表定速度は全区間で 38.9km/h、うち東側区間 42.2km/h、西側区間 33.1km/h となった。東側区間は駅間距離が長いため西側区間に比べて約 9km/h 速くなっている。

なお、全 14 駅のうち、E6（アライハン・モール）、E9（カセレス）、及び E13（サン・ベルナルディーノ）の 3 駅については、駅周辺の開発状況から開業数年後に設置するものとした。本シミュレーションでは 2025 年に 3 駅同時に設置するものとして計算を行っている。

表 7.11 運転所要時間及び表定速度（全 14 駅開業後）

	区間延長 (km)	平均 駅間距離 (km)	運転時間 (分:秒)			表定速度 (km/h)
			走行時間	途中駅 停車時間	合計	
E1～E14 (全区間)	25.80	2.0	33:50	6:00	39:50	38.9
E1～E8(東側区間)	17.81	2.5	21:50	3:30	25:20	42.2
E8～E14(西側区間)	7.99	1.3	12:00	2:30	14:30	33.1

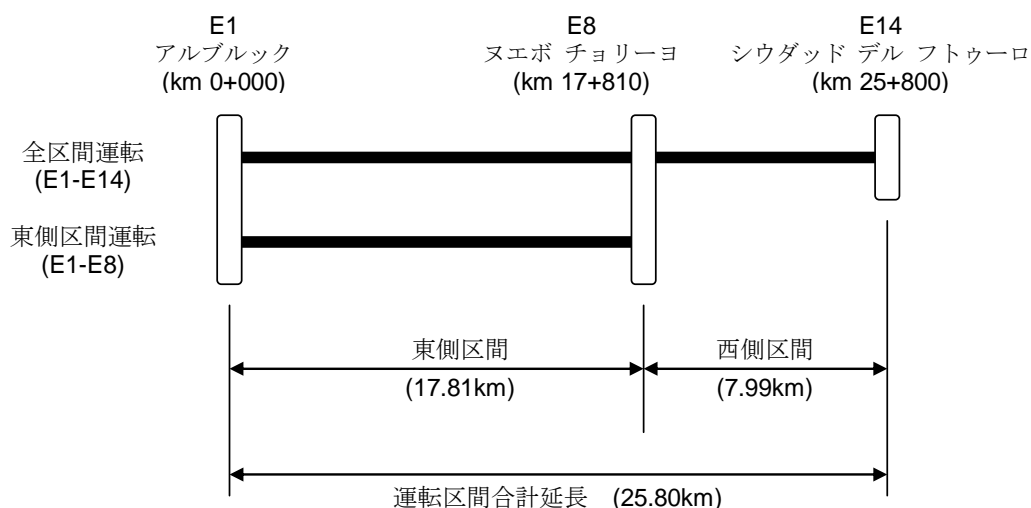
1. 走行時間はシミュレーション結果をもとに駅間ごとに 5 秒単位に切上げて設定
 2. 駅停車時間は 30 秒を標準と設定、ただし、アルブルック(E1)駅は朝ピーク時に大量の降車客があるため、日本の地下鉄の事例より降車時間を 50 秒と設定した（アルブルック駅は終点駅のため表定速度計算のための駅停車時間には含まない）。
 3. 駅番号 E1=アルブルック、E8=ヌエボ・チョリーヨ、E14=シウダッド・デル・フトゥーロ
- 出典: 調査団

7.3.4 運転計画の検討

(1) 運転系統

前述したように、需要予測結果では通過人員が階段状に増加していくが、ブルンガ(E7)～ヌエボ・チョリーヨ(E8)付近に比較的大きな段差がある。そこで、この特徴に適切に対応し効率的な運転が可能となるよう、ヌエボ・チョリーヨ駅でアルブルックからの列車を一部折り返し運転を行うことを提案した。折り返し駅をヌエボ・チョリーヨとしたのは、当駅周辺に住宅等の集積が見られ、折り返し駅として適切と考えたためである。

このことにより、図 7.9 のとおり全区間運転と東側区間運転の 2 種類の系統で運転する。



出典: 調査団

図 7.9 3号線（部分開業案）運転系統図

(2) ピーク時運転計画

ピーク時運転計画は、需要予測結果に基づくピーク時最大輸送量（2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2050 の6年次）を、編成両数（6両編成）と計画平均立席人数6人/m²（より乗客数の少ない西側区間は4人/m²）から求まる1列車当たり輸送力（990人）で除して算出する。

算出された運転本数は、東側が2020年18本/時（3.33分ヘッド）、2050年22本/時（2.73分ヘッド）、西側が2020年11本/時（5.45分ヘッド）、2050年12本/時（5分ヘッド）となる。

表 7.12 ピーク時運転計画（東側区間・西側区間別）

区間	項目	単位	年							備考
			算出式	2020	2025	2030	2035	2040	2050	
東側区間 (E1-E8)	ピーク時最大輸送量(通過人員)	人/時・片方向	a1	17,763	18,757	19,440	20,060	20,604	21,766	E4→E3(東行列車)
	編成両数 *1	両/列車	b1	6	6	6	6	6	6	
	計画平均立席人数	人/m ²	c1	6	6	6	6	6	6	
	1列車当たり輸送力 *1	人/列車	d1	990	990	990	990	990	990	
	必要列車運転本数	本/時・片方向	e1=a1/d1	18	19	20	21	21	22	
	列車運転ヘッド	分	f1=60/e1	3.33	3.16	3.00	2.86	2.86	2.73	
	算出平均立席人数	人/m ²	g1	5.95	5.95	5.82	5.69	5.90	5.97	E5→E1間は5.0を超える
西側区間 (E8-E14)	ピーク時最大輸送量(通過人員)	人/時・片方向	a2	10,136	10,631	10,789	10,957	11,069	11,423	E9→E8(東行列車)
	編成両数 *1	両/列車	b2=b1	6	6	6	6	6	6	
	計画平均立席人数	人/m ²	c2=c1	6	6	6	6	6	6	
	1列車当たり輸送力 *1	人/列車	d2=d1	990	990	990	990	990	990	
	必要列車運転本数	本/時・片方向	e2=a2/d2	11	11	11	12	12	12	
	列車運転ヘッド	分	f2=60/e2	5.45	5.45	5.45	5.00	5.00	5.00	
	算出平均立席人数	人/m ²	g2	5.41	5.78	5.90	5.34	5.41	5.66	E10→E8間は4.0を超える

注(*1): 6両編成列車=Tc-M-M-M-M-Tc

1両当たり輸送力(人、Tc/M) 4人/m²の場合=117/129人、5人/m²の場合=137/149人、6人/m²の場合=157/169人

出典: 調査団

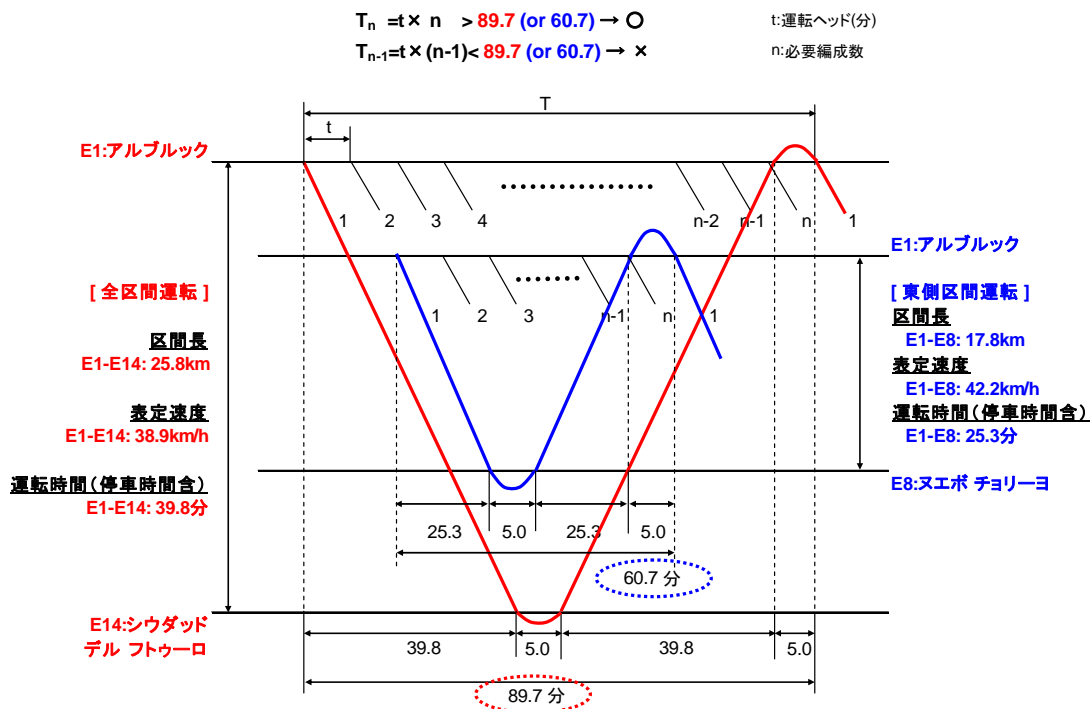
(3) 必要車両数の算出

1) 算出方法

必要車両数は、ピーク時の車両（編成）の回転時間から算出した。本路線では全区間運転及び東側区間運転の2系統の運転を行うため、図 7.10 のとおり各系統ごとに回転時間を算出し、回転時間を運転ヘッドで除して求めた系統ごとの必要編成数を合計し、予備編成数（3編成）を加えて必要な編成数を算出した。

2) 算出結果

上述の方法により算出した結果、表 7.13 に示すとおり、必要編成数・車両数は2020年（E6、E9、E13の3駅未開業）で26編成・156両、2025年以降は全14駅開業となり29編成・174両、2050年で32編成・192両となる。開業時2020年の需要が多いため、開業時から比較的多くの車両が必要となる。



出典: 調査団

図 7.10 必要車両数 (編成数) 算出方法 (全 14 駅開業後)

表 7.13 必要車両数算出結果

運転系統	項目	単位	算出式	年					
				2020	2025	2030	2035	2040	2050
全区間運転 (E1-E14) (25.80km)	区間長 (片方向)	km/片方向	a1	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80
	列車運転本数	本/時・片方向	b1	11	11	11	12	12	12
	運転ヘッド	分	c1=60/b1	5.45	5.45	5.45	5.00	5.00	5.00
	1編成回転時間	分	d1	84.5	89.7	89.7	89.7	89.7	89.7
	運転必要編成数	編成	e1=d1/c1	16	17	17	18	18	18
東側区間運転 (E1-E8) (17.81km)	区間長 (片方向)	km/片方向	a2	17.81	17.81	17.81	17.81	17.81	17.81
	列車運転本数	本/時・片方向	b2	7	8	9	9	9	10
	運転ヘッド	分	c2=60/b2	8.57	7.50	6.67	6.67	6.67	6.00
	1編成回転時間	分	d2	59.2	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
	運転必要編成数	編成	e2=d2/c2	7	9	10	10	10	11
必要編成数 /車両数合計	運転必要編成数(合計)	編成	e=e1+e2	23	26	27	28	28	29
	予備編成数	編成	f	3	3	3	3	3	3
	必要編成数合計(運転+予備)	編成	g=e+f	26	29	30	31	31	32
	編成両数	両/編成	h	6	6	6	6	6	6
	必要車両数合計	両	i=g*h	156	174	180	186	186	192

(注)1. 予備編成数は運転予備、月検査予備、重要部・全般検査予備各1編成、計3編成とした。

2. 2020年はE6,E9,E13の3駅は未開業で、全14駅開業時に比べ所要時間が全区間で2分35秒、E1~E8間で45秒短縮される。

出典: 調査団

(4) 終日運転本数

終日運転本数は、朝ピーク時 (交通量調査及び需要予測結果から朝 6:00~7:00 の 1 時間と設定) の運転本数を基準に、車両の運用も考慮して表 7.14 のとおり算出した。

営業時間は朝 5 時から深夜 24 時までの 19 時間とし、片方向の終日運転本数の 2 系統合計は、2020 年 211 本、2050 年 244 本となる。

表 7.14 終日運転本数・運転ヘッド算出結果（2020-2050年）

年 項目 時間	2020				2025				2030				2035				2040				2050			
	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)	運転本数 (本/時・片方向)			合計運転 ヘッド (分)
	全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計		全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計		全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計		全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計		全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計		全区間 運転 (E1-E14)	東側区間 運転 (E1-E8)	計	
5-6	9	5	14	4.29	9	5	14	4.29	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	10	6	16	3.75
6-7	11	7	18	3.33	11	8	19	3.16	11	9	20	3.00	12	9	21	2.86	12	9	21	2.86	12	10	22	2.73
7-8	9	5	14	4.29	9	5	14	4.29	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	10	6	16	3.75
8-9	9	5	14	4.29	9	5	14	4.29	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	10	6	16	3.75
9-10	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
10-11	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
11-12	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
12-13	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
13-14	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
14-15	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
15-16	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	5	13	4.62
16-17	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	5	13	4.62
17-18	9	5	14	4.29	9	5	14	4.29	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	10	6	16	3.75
18-19	9	5	14	4.29	9	5	14	4.29	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	9	6	15	4.00	10	6	16	3.75
19-20	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	5	13	4.62
20-21	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	4	12	5.00	8	5	13	4.62
21-22	6	3	9	6.67	6	3	9	6.67	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	4	10	6.00	6	5	11	5.45
22-23	5	2	7	8.57	5	2	7	8.57	5	3	8	7.50	5	3	8	7.50	5	3	8	7.50	5	3	8	7.50
23-24	4	1	5	12.00	4	1	5	12.00	4	1	5	12.00	4	1	5	12.00	4	1	5	12.00	4	1	5	12.00
計	139	72	211		139	73	212		139	87	226		140	87	227		140	87	227		145	99	244	

設定根拠: 5-6時(始発/朝遷移時間帯) = 朝ピークと日中の平均

6-7時(朝ピーク) = 適切な運転頻度でピーク時の需要を輸送できる本数(計画平均立席人数の範囲内)

7-9時(朝遷移時間帯) = 朝ピークと日中の平均

9-15時(日中) = 朝ピークの半数

15-17時(夕遷移時間帯) = 日中と夕ピークの平均

17-19時(夕ピーク) = 朝遷移時間帯と同じ

19-21時(夕遷移時間帯) = 日中と夕ピークの平均

21-22時(夜間) = 日中と同じ

22-23時(深夜) = 夜間と終電の平均

23-24時(終電) = 最低限必要なサービスレベル(10-20分ごと)

注: 1. 運転本数については、なるべく運転ヘッドが乗客に分かりやすくなるよう計算結果を丸めて設定した。

2. 各時間帯における運転本数は、入庫等実際の車両運用により増加する可能性がある。

出典: 調査班

7.4 土木構造物

7.4.1 基本方針

- 設計は基本的に ASTM, AASHTO, JIS の基準に従うこと。
- パナマ国の基準がある場合にはそれを参照すること。
- 駅の設計は全ての利用者にアクセスしやすいものであること。
- 設計の外観は利用者及び社会に魅力的な外観であること。

7.4.2 適用設計基準

(1) 幾何構造設計

- 国土交通省- 都市モノレールの構造設計基準

(2) 地質工学関連調査

- ASTM D1586 -地盤の標準貫入試験（SPT）
- AASHTO M145 -土砂試料・分類試験方法

(3) 土工事

- AASHTO T 27 - ふるいわけ試験
- AASHTO T 90 - 液性・塑性限界試験
- AASHTO T 180 - 締固め試験
- AASHTO T 193 - 室内 CBR 試験
- AASHTO T 193 - 貫入試験
- AASHTO T 191 - 現場含水率
- AASHTO T 191 - 現場密度試験

(4) 基礎

- 設計・施工仕様 - ASTM, AASHTO, JIS
- ASTM D1143 - 杭・静荷重
- ASTM C-39 - シリンダーによる圧縮試験
- ポートランド・セメント - 構造物に利用するセメントは JIS R 5210, ASTM C 150, AASHTO M 85 に適合するポートランド・セメントや相当品、及び ASTM C150 に適合するタイプ1のポートランド・セメントや相当品であること。
- ASTM D4945 - 杭の動的荷重試験方法

(5) コンクリート構造物

コンクリート製造に利用する原料及び施工は JIS A 1101, ASTM C 143, AASHTO T 119, JIS A 1108, ASTM C 39, ASSHTO T 22, ACI 214, JIS A 1132, ASTM C 31, AASHTO T 23,

JIS A 1105, ASTM C 87, AASHTO T 71, ASTM C-150, ASTM C-1077, ASTM -94 C, ASTM C-33、又はコンクリート工事に適切であり、承認された同等の国際基準、および仕様書の改定に適合すること。

(6) 鋼構造物

コンクリート構造に利用される補強鋼は JIS G 3112, ASTM A615, AASHTO M 31, ACI 408.1 R の必要事項に適合すること。

(7) 防災

パナマには火災防災のルートとして、“Reglamento de las Oficinas de Seguridad para la Prevención de Incendios de la Republica de Panamá”(パナマ共和国防火安全事務所の規制)が存在するが、内容が非常に基礎的であることから、米国の NFPA 基準に準拠することが多い。

(8) バリアフリー設計

パナマ共和国においては、“Decreto Ejecutivo N° 88 de 12 de noviembre de 2002”（1999年8月27日の第42法）が規定されている。体の不自由な人向けに制定されたパラメータ、設計基準あるいは必要最低仕様が、建設・拡張工事に適用される。建物・公園・舗装・庭・道路・衛生サービスや他の公共の場においては推奨基準となっている。

7.5 軌道桁構造

7.5.1 上部構造物

モノレールの桁は以下の4形式に分類される。各スパンにおける最適な桁形式は下図に従って選定する。

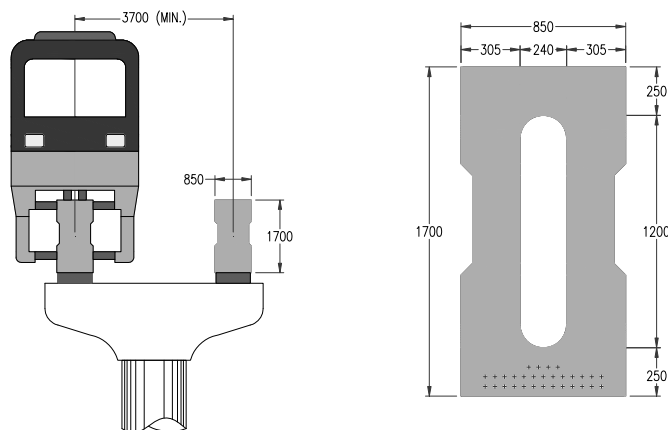
- 1) 短スパン（スパン長：～10m）：RC 桁
- 2) 標準スパン（スパン長：22～30m）：PC 桁
- 3) 中スパン（スパン長：30m～80m）：鋼桁
- 4) 長スパン（スパン長：80m～）：鋼アーチ橋等

Type of girder	Span (m)													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	
RC girder	Short span													
PC girder (R<700m)		Standard span												
PC girder (R≥700m)														
Steel girder (single span)			Middle span											
Steel girder (continuous)														
Steel box girder														
Steel arch														
Extradosed bridge														
Cable stayed bridge														

出典：調査団

図 7.11 上部工選定チャート

- 1) 短スパン（スパン長：～10m）：RC 桁
 車両基地の留置線等に用いる。桁長は 10m 未満とする。
- 2) 標準スパン（スパン長：22～30m）：PC 桁

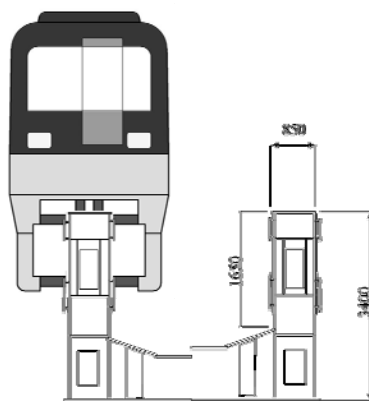


出典：調査団

図 7.12 PC 桁の断面図 (L=25m)

標準的な PC 桁で、単純、連続桁の両方に採用可能である。単純桁の場合桁長は最大 25m とする。桁は工場で作成し架設地まで運搬後、支承上に設置する。連続桁の場合は構造上優位となることから桁長は 30m 程度まで伸ばすことが可能となるが、施工時に桁間の鉄筋工、型枠工、コンクリート打設を現場で行うことになるので、単純桁よりも施工時間がかかる。

- 3) 中スパン（スパン長：30m～80m）：鋼桁



出典：調査団

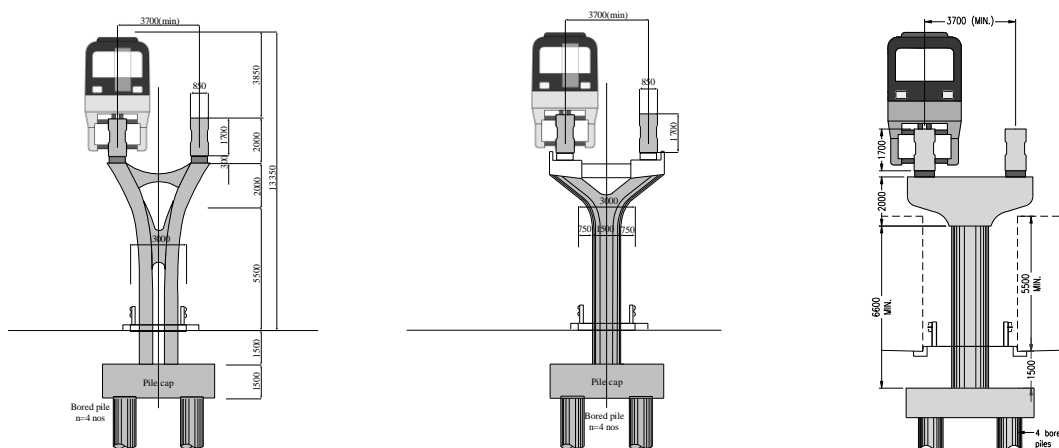
図 7.13 鋼桁橋の断面図 (L=50m)

交差点等、標準的な PC 桁が採用できない箇所でスパン長 30m～80m の範囲で鋼桁を採用する。

- 4) 長スパン（スパン長：80m～）：鋼アーチ橋等

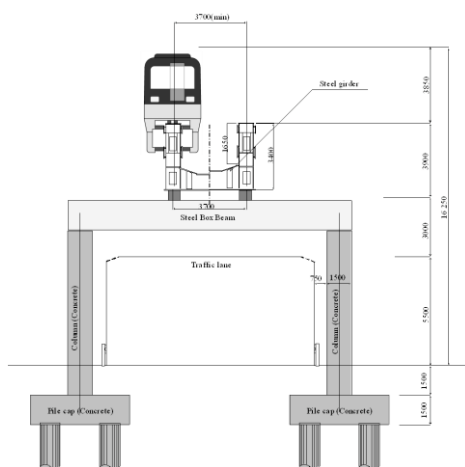
7.5.2 下部工

標準的なモノレールの橋脚に必要な断面は円柱の場合は、橋脚高により、直径 1.4～2.15m 程度であり、道路の中央分離帯に建設可能である。橋脚の断面は作用する荷重に対して設計を行う。高い橋脚やスレンダーな形にする場合は高強度のコンクリートを使用する。桁受けの大きさはベアリングの沓座を載せるために必要な寸法とし、道路の建築限界である 5.5m の高さ以上に設置する。桁用ジャッキのスペースをベアリングと沓座の間に設ける。桁受けの表面は排水用として 1:200 程度の勾配を設ける。モノレールシステムは前述の橋脚と軌道桁が上空に建設されるのみで、道路地表面は占有しない。モノレール橋脚の標準横断面図を図 7.14 と図 7.15 に示す。



出典：調査団

図 7.14 モノレール橋脚の標準横断面図



出典：調査団

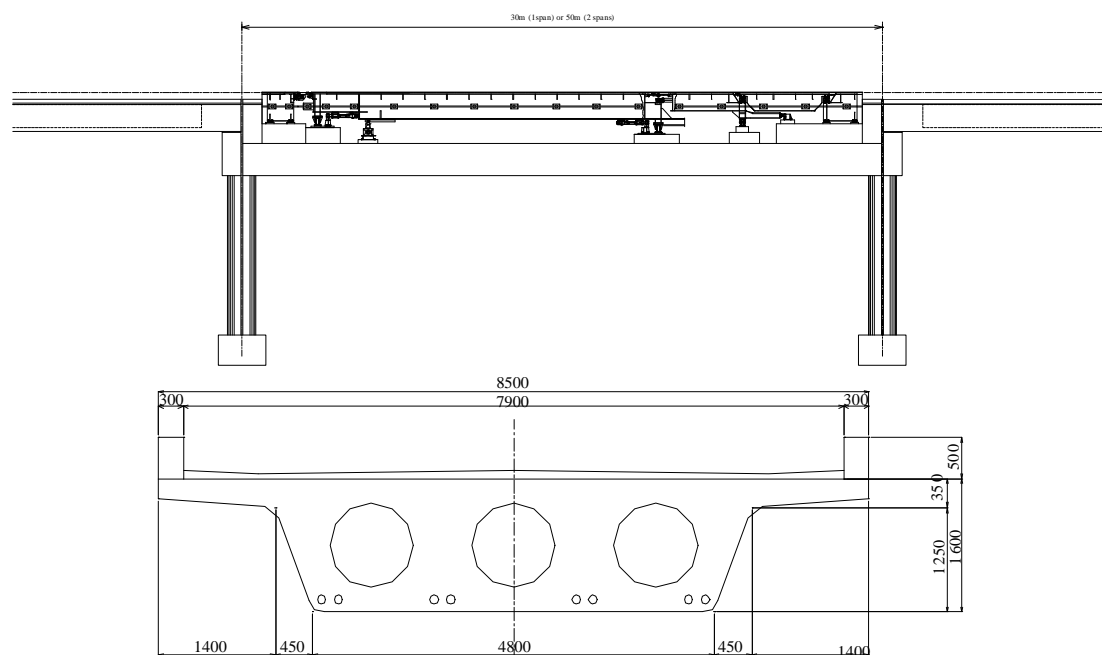
図 7.15 門型橋脚の標準横断面図

7.5.3 基礎工

基礎の形式と深さを検討することを目的として、計画路線沿線で地質調査を実施した。調査の結果、全線で杭基礎が必要なことが判明した。支持層は 5 章に示す通り、地表から 10m～30m の間に分布している。杭基礎は、現地で一般に採用されている、直径 1000mm/1200mm/1500mm の現場打杭が想定される。杭頭に設置するパイルキャップは 1.5～2m の厚さで地表から 1500mm 以上の深さを確保する。

7.5.4 分岐橋

分岐器と関連設備は分岐橋上に設置される。分岐橋はPCスラブ構造とする。



出典：調査団

図 7.16 モノレールの分岐器橋の断面図

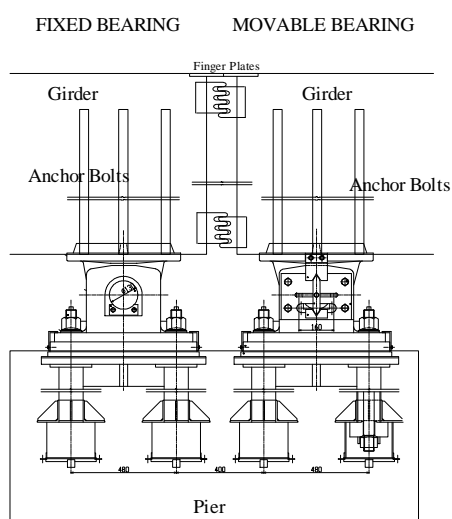
7.5.5 その他の軌道関連設備

(1) 走行面のすべり止め処理

鋼製軌道桁の上部表面はタイヤのスリップを防ぐため、溝付鋼板の使用もしくは滑り止め塗装を施す。溝付鋼板は、走行面に溝を加工してゴムタイヤとの摩擦力を増やすものであり、一方滑り止め塗装は珪砂を骨材とするエポキシ樹脂モルタルを塗布する事により表面の摩擦力を高めるものである。

(2) 支承と伸縮装置

単純軌道桁の支承は平行、垂直およびねじれの作用に抵抗しなければならない。また、温度変化や活荷重による作用に対しても円滑な動作が要求される。支承の設計は将来、軌道桁の交換が容易かつ、桁の位置調整が容易なものとする。円滑で快適な乗り心地を提供するために桁に鋼製の伸縮装置を取り付ける。



出典：調査団

図 7.17 支承と伸縮装置（例）

(3) 車止

軌道の終端の桁または支柱にオーバーランによる事故を防ぐための車止を設置する



出典：調査団

図 7.18 多摩モノレールの終端の車止め（写真）

7.5.6 設計荷重

(1) 設計仕様

パナマにおける構造設計の仕様は公共事業省（MOP）が承認している設計基準に準拠する。構造設計に使用する主な設計仕様で現在存在するのは下記の通り。

- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Third Edition, 2004.
- American Concrete Institute, ACI-318.
- American Institute of Steel Construction, AISC.
- Seismic Code for the Republic of Panamá, Reglamento de Diseño Estructural de La República de Panamá.

設計の方法は AASHTO LRFD に拠るものとするが、いくつかの特殊な仕様については下記を追加するものとする。

- 活荷重は AASHTO に規定されていないため、軸重の配置と荷重は本報告書後半で述べるモノレールの荷重に従うものとする。
- 地震の設計は AASHTO LRFD により行い、地震条件を取りこむためにパナマの地震ゾーニングコードから地震荷重係数 (A) を考慮する。
- 更に、設計荷重の組み合わせは AASHTO ではなく、モノレールの構造設計基準で規定されているものを使用する。設計荷重の組み合わせと係数および許容応力度は表 7.15 に示す通りである。

(2) 設計荷重

上部工の設計は以下の荷重を考慮して行う。

<主荷重>	<従荷重>
a) 死荷重 (D)	a) 制動荷重および始動荷重 (BK)
b) 活荷重 (L)	b) 風荷重 (W)
c) 衝撃 (I)	c) 温度変化の影響
d) プレストレス (PS) [該当時]	d) 地震の影響
e) コンクリートのクリープの影響 (CR) [該当時]	e) 衝突荷重(CO) [該当時]
f) コンクリートの乾燥収縮の影響 (SH) [該当時]	f) 架設時荷重 (ER) [該当時]
g) 遠心荷重 (CF)	g) 支点の摩擦による影響 (F) [該当時]
h) 土圧 (E) [該当時]	h) 車止めの影響 (ST) [該当時]
i) 水圧 (HP) [該当時]	
j) 浮力 (U) [該当時]	
k) 支点移動の影響 (SD) [該当時]	
l) 高欄に作用する荷重 (HF) [該当時]	
m) 車両横荷重 (LF)	

表 7.15 設計荷重の組み合わせ

荷重組合せ	荷重												係数 a
	D	L	I	LF	CF	T	W	BK	EQ	ER	ST		
1	○	○	○	○	○								1.00
2	○	○	○		○	○							1.15
3	○	○	○		○		○						1.25
4	○	○	○		○			○					1.25
5	○	○	○		○		○	○				○	1.35
6	○	○											1.60
7	○						○						1.25
8	○	○			○	○			○				1.60
9										○			1.25

出典：調査団

モノレールの荷重は走行輪を通して軌道桁に伝えられる他、場合によっては軌道桁側方の案内輪から伝えられる横方向の荷重も発生するため、軌道の設計にあたってはこれを考慮する必要がある。横荷重は進行方向に垂直の向きに、軌道面に作用する。

(3) 死荷重

本事業における標準的な死荷重は以下の通り。

- 鉄筋コンクリート：2,400 kg/m³
- 鉄構造：7,800 kg/m³
- 土：1,500 - 1,800 kg/m³

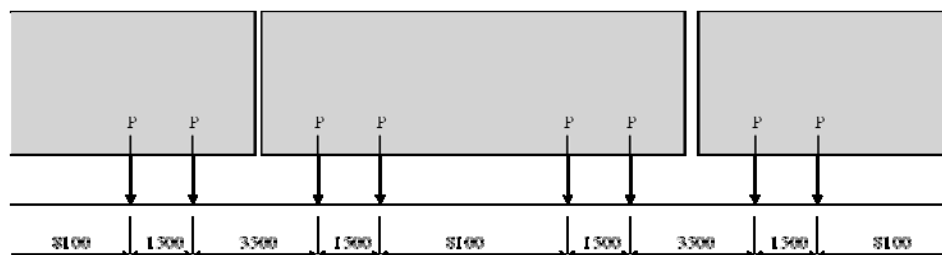
(4) 活荷重

本事業で使用する大型跨座式モノレールの「Mc」、「M」と一致する活荷重を使用する。荷重は6両編成（Mc-M-M-M-M-Mc）である。

(5) 活荷重の垂直方向の影響

軸配置と設計に用いる軸力は図 7.19、表 7.16 および図 7.20 に示されている。

軸配置は下図の通り。



出典：調査団

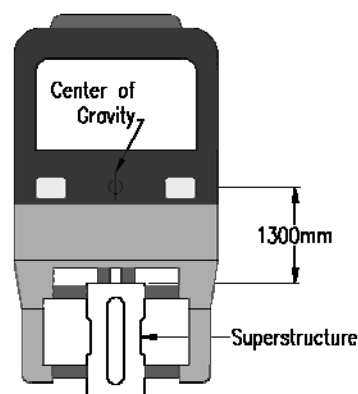
図 7.19 軸配置

表 7.16 Axle Loads

説明	P(トン)	計算	根拠
衝撃荷重	11.0	= 44.0/4	表 7.4
名目荷重	9.0	= 35.2/4	
車体重量	7.0	= 27.6/4	

出典：調査団

遠心力とブレーキ力の計算のための重心位置は上部構造端から 1,300mm とする（図 7.20）。遠心力とブレーキ力は AASHTO LRFD に示されるとおり、垂直方向の活荷重の摩擦抵抗として作用する水平方向荷重とする。



出典：調査団

図 7.20 重心位置

(6) 地震荷重

既に記載した通り、地震設計は AASHTO LRFD による手法で行う。地表加速度係数 A の値はパナマの地震コードを参照して使用する。この値は最小で 0.15g、最大で 0.2g である。

水平地震荷重は上部工の死荷重と応答係数の掛け算で算出する。地震係数は以下の式で求められる。

$$Cs = 1.2 A S / T^{2/3} < 2.5 A$$

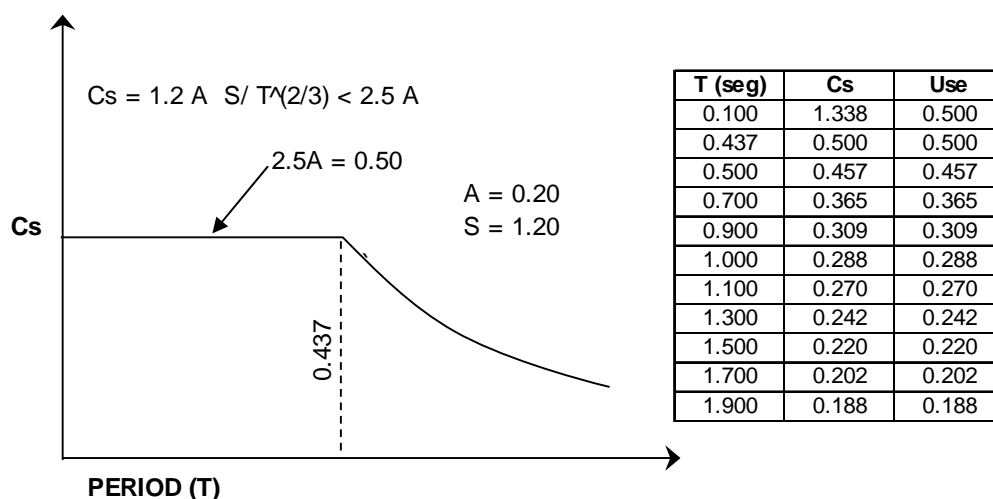
Cs, 応答係数

A, パナマのゾーニングに従った地盤加速度

S, 支持層の AASHTO LRFD に基づく土質分類

T, 構造物固有周期

構造物固有周期の算出分析には AASHTO のマルチモード伸縮法を用いた。下図に示すように与周期に対して応答係数が応答スペクトルから算出される。橋脚高によって 0.90 秒～1.80 秒の周期と 0.31～0.20 の地震係数が得られた。



出典：調査団

図 7.21 応答スペクトルの計算

7.6 駅

7.6.1 駅導入機能

3号線の駅に導入する機能と設備について検討した結果を以下の表に示す。

駅の機能・設備	3号線での採用方針
1) 切符販売口	切符の販売は駅の販売口で駅員によって行う。将来は自動販売機を設置するため、販売口のサイズはそれを収容するのに十分なサイズとする。
2) 改札ゲート	改札ゲートを設置する。改札ゲートは車椅子利用者や大きな荷物を持った利用者が容易に通過できるように 90cm の幅を確保する。
3) 駅事務所と券売室	駅事務所は駅員が働きやすいように、また待機する駅員の休憩のため出入り口付近に配置する。駅事務所の隣には切符室を設ける。ここには券売口と旅客情報ディスプレイが含まれる。しかしながら、小規模の駅においては最小限の券売室に留め、切符販売と旅客情報の提供のみとする。
4) 電気機械（E&M）室と信号通信機器（S&C）室	電気機械（E&M）室と信号通信機器（S&C）室はコンコース階に設ける。電気機械室には電力を駅施設と照明に供給する電気機器が含まれる。信号通信機器室には信号と通信の機器が含まれる。
5) トイレ	1号線では駅にトイレは設けられていない。3号線においては、主要駅にトイレを設ける。
6) 昇降施設（エレベーターとエスカレーター）	階段に加えて、エレベーターとエスカレーターを全てのプラットフォームに設置する。
7) プラットホームスクリーンドア	プラットフォームスクリーンドアは利用者が転落するのを防止するため、高さ 1.2m 以上の高さでプラットフォーム端に設置する。
8) エアコンと人工換気	プラットフォームには設置しない。
9) 変電施設	変電施設のいくつかは駅のコンコース階に設ける。
10) 防犯システム	駅構内モニタリングのため CCTV を導入。

7.6.2 駅デザイン

モノレールの駅寸法は車両長と旅客数および、利用者の利便性を考慮して決める。

設計方針は下記の通りとする。

- (1) 利用者の利便性のため、バリアフリーおよびユニバーサルデザインの考えを取り入れる。
- (2) モノレールの特徴を強調するため、シンプルな構造とし、自然換気を活用する。
- (3) 可能な限り既存道路の中央にモノレールを配置することで、用地取得を最小限に抑える。

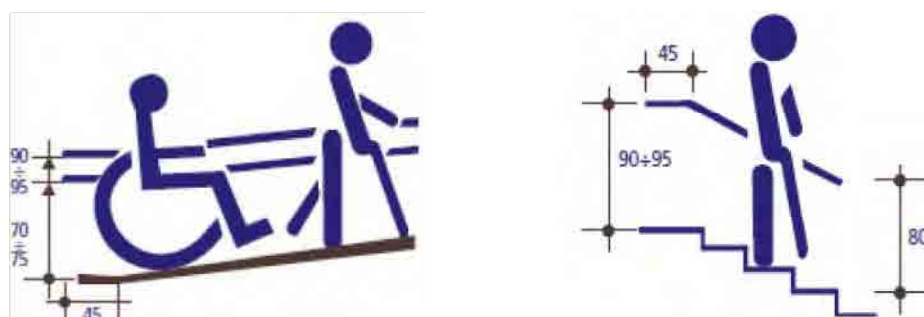
駅に必要な空間は以下の通り。

- (1) 最小プラットフォーム長さは車両長から余裕長 10m を確保する。3号線における6両編成の車両長さは 90m であるため、最小プラットフォーム長さは 100m となる。
- (2) 有効プラットフォーム幅は交通需要予測から予想される旅客数を基に計算する。旅客の循環流動を確保するため、最小幅として 3m を確保する。
- (3) 火災時に消火活動を行えるよう、駅舎周りは 6m を確保する。密集している都市部では、道路上に駅舎を設置することによる閉そく感を避けるため、駅舎外側の壁と周辺の建物間は少なくとも 10m 以上離れていることが望ましい。

7.6.3 バリアフリー・ユニバーサルデザイン

(1) パナマにおけるバリアフリーの基準

パナマでは、「Practical Guide for Accessibility」が設計時に使用される。図 7.22 に考慮の例を示す。



スロープの建設

手摺りの設置

出典：Practical Guide for Accessibility

図 7.22 パナマのバリアフリー基準（例）

(2) 設計基準の比較

表 7.17 にパナマと比較的先進的な日本のバリアフリーにおける設計基準の比較を示す。

表 7.17 バリアフリーにおける設計基準の比較

項目	パナマにおける設計基準	日本の設計基準
1. 法律とガイドライン	法律：Decreto Ejecutivo（第 88, 2002 年 12 月 12 日制定） 第 42, 1999 年 8 月 27 日制定の身体障がい者機会均等法による。	法律：「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(2006, 日本)」 他 「公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化ガイドライン(2013, 日本)」
2. 一般	建物と全ての公共スペースは利用者にとって利用しやすく、アクセス性および移動性に富み、身体障がい者にとって実用的でなくてはならない。	全ての公共スペースは上記記載の法律とガイドラインに従うべきである。
3. 通路	規制第 42,1999 年制定の 34 条に詳細が規定されている。 -スロープは最小幅 1.5m を確保する -手すりは両側に各 2 段設置する。それぞれの高さは 70cm と 90cm とする。 -滑らない床とする。 -最適スロープ勾配は 8% とする。	スロープと通路はガイドラインに詳述されている。 - 最小幅は 1.2m 以上とする。 - 手すりを両側に設置する。2 段手すりとする場合は、65cm、85cm 程度とする。 - 滑らない床とすること。 - 勾配は 1/12 以上とする。
4. トイレ	トイレのデザインは規制第 42,1999 年制定の 35 条に適正とされる詳細が規定されている。	トイレのデザインはガイドラインに規定されている。
5. サインボード	アクセシビリティのマニュアル「Desarrollo de la Normativa Nacional de Accesibilidad en temas de Urbanística y Arquitectura(都市計画と建築におけるアクセシビリティに関する基準の整備)」, 2012 年 1 月に詳細な記述がある。	サインボードはガイドラインに規定されている。
6. 駅部プラットフォーム	規制第 42, 1999 年制定の第 49 条に詳細が記述されている。 駅においてはプラットフォームと車両との段差は特に車椅子の利用者の出入りで移動しやすいように必要な機器を提供しなければならない。	車両とプラットフォームの間隔は最小化し、段差をなくしてフラットとする。 事故防止のため、可能であればプラットフォームスクリーンドア (PSD) を取り付けること。
7. 音声情報と通知画面	詳細は規制第 42, 1999 年制定第 47 条に規定されている。 ルート、次の停車、現在の停車情報を情報システムに含めること。これらは視覚・聴覚障がい者に配慮して知らせるべきである。	音声案内サービスと通知画面を車両に設置することが推奨される。
8. 誘導ブロック	視覚障害者のための連続的な案内(手摺り、タイル、音声)を設置する必要がある。	公共用通路との出入口から改札口を経て乗降口に至る経路に、線状の誘導ブロックを設定する必要がある。
9. エレベーター	- エレベーターのサインとボタンは高さ 80cm~140cm の間で設置する。 - サインとボタンはエンボス加工して点字でも示すこと。 - エレベーターには音声による情報提供を含めること。	- 車椅子利用者の届く範囲にボタンは配置する。 - 視覚障害者のため、音声情報が推奨される。

10. エスカレーター	詳細は規制第 42, 1999 年制定第 51 条に規定されている。 エスカレーターのはじめと終わり部分は被膜加工し、ステップとは異なる色で対比させる。	ステップの角を区別できるようにする。
11. 駅施設レイアウトマップ	-	メインの入り口と（または）チケットゲート付近に、駅の施設案内地図を示すこと

出典：パナマと日本の基準を基に調査団作成

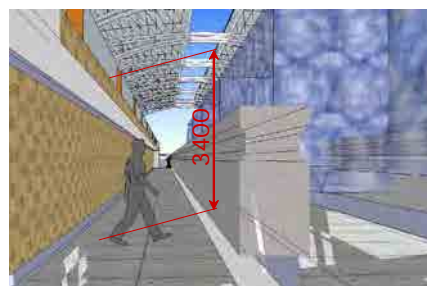
(3) 駅設計に適用する基準

本事業においては、モノレール駅の利便性向上のため、より内容の充実した日本基準の項目を参考にすることを推奨する。

(4) 推奨事項

1) プラットホームスクリーンドア

日本では、事故防止のためにプラットホームドアを設置することが推奨されている。プラットホームのレベルとスラブのそれが一般的な列車と比較して大きいため、プラットホームドアの設置を推奨するものである。



出典：調査団

図 7.23 多摩モノレール(日本)のプラットホームスクリーンドア

2) 車両とプラットホームの円滑な移動

日本の基準では、平面的・縦断的な列車とプラットホームの段差や隙間は最小化しなければならない。円滑な移動が推奨される。

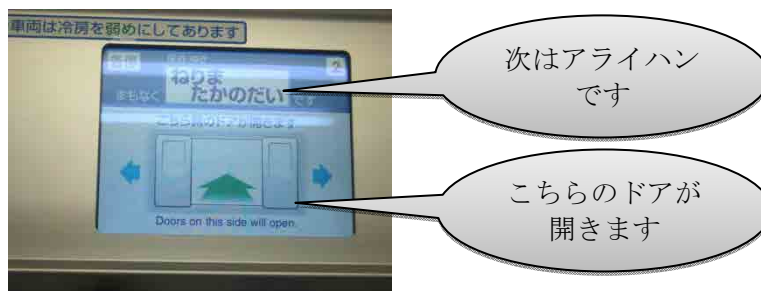


出典：調査団

図 7.24 車両とプラットホームの円滑な移動

3) 音声案内と通知画面

声とモニターで運行情報を障害車へ提供することが推奨される。



出典：調査団

図 7.25 車両内部の通知 LCD ディスプレイ

4) ユーザーフレンドリーなエレベーターとエスカレーター

パナマでは、公共スペースにおけるエレベーターとエスカレーターは現在ユーザーフレンドリーな設計となっている。

- エレベーターのボタンは車椅子利用者の手の届く範囲に配置され、視覚障がい者用に点字のサインと音声案内が提供される。
- エレベーターにおける障がい者用の手すり
- 視覚障害者用の音声案内
- エスカレーターの見やすいステップの端
- エスカレーターにおける障がい者のための3段分のフラット部分



視覚障がい者用の点字表示



車椅子利用者用のスムーズなスロープ

出典：調査団

図 7.26 ユーザーフレンドリーなエレベーターとスロープ

5) 障害者用施設の駅レイアウト図

障がい者用の施設の駅レイアウトマップを設置することを推奨する。



出典：大阪モノレール

図 7.27 障がい者用の施設を記した駅レイアウトマップ

7.6.4 駅構造

都市交通システムにおける高架駅で一般的に採用される3階建て、プラットホーム階、コンコース階および地上階（道路のレベル）で構成される構造を提案する。

プラットホームの階層では、利用者は列車を待ち、そして乗車する。プラットホーム階には屋根を設置し、転落予防用の柵を設置する。また、利用者は降車してプラットホーム階からコンコース階へ移動する。

コンコースの階層では、列車に乗る利用者は切符を買い、ゲートを通過する。もし利用者が列車運行情報を必要とする場合は、コンコース階の事務所駅員が手助けする。

全てのモノレール駅は高架構造で主に道路真上に位置するため、歩道橋や階段といったアクセス通路を設置して道路階とコンコース階を接続する。アクセス通路を両側の道路からコンコースを通して繋ぐことで、モノレールを利用しない歩行者も道路を横断するために歩道橋を利用できる。

駅は乗務員室を除き、外気に開放された構造とし、空調は設置せず自然換気を行なう。

7.6.5 プラットホーム

(1) 島式と対面式の比較

典型的な駅において2つのプラットホームの形式を検討した。一つは島式で、もう一方は対面式である。表 7.18 にモノレールシステムに適用する2形式の比較を示す。本事業においては、線形の優位性を優先し、対面式を採用することとした。

表 7.18 駅プラットホーム形式の比較

項目	島式	対面式
イメージ		
説明	駅のアプローチ部分では、軌道は「漏斗」のように広がり、プラットホームは軌道間に配置される。	プラットホームは軌道によって分断される。駅アプローチ部における軌道の間隔は一般部と同じ距離に保たれる。
線形	「漏斗」形状の線形のため、列車の走行性能と乗り心地は対面式に劣る。	軌道の間隔は駅アプローチ部でも広がらない。 (+)
駅施設	対面式プラットホームと比較して、エレベーターやエスカレーターといった施設の数はいくつか少なくできる。(+)	階段やエレベーター、エスカレーターが両プラットホーム毎に必要。
構造物幅	合計の駅幅は対面式よりも狭くなる。(+)	合計の駅幅は島式よりも若干広くなる。
軌道構造	軌道桁を広げる必要があるため、建設費は対面式よりもかさむ。	連続で平行な軌道桁 (+)
維持管理	プラットホームが1つなので駅員は上り・下り方向どちらにも業務対応可。(+)	各プラットホームに駅員を送る必要がある。
列車運行管理	列車は駅手前のカーブで減速する必要があるため、平均速度は対面式よりも落ちる。	駅部手前にカーブはない。(+)
その他	運行管理の観点では、プラットホームの形式は路線ごとに標準化されている（対面式：東京モノレール・多摩モノレール／島式：大阪モノレール／混合型：沖縄モノレール）。	

* (+) は有利な点を示す。

出典：JICA 調査団

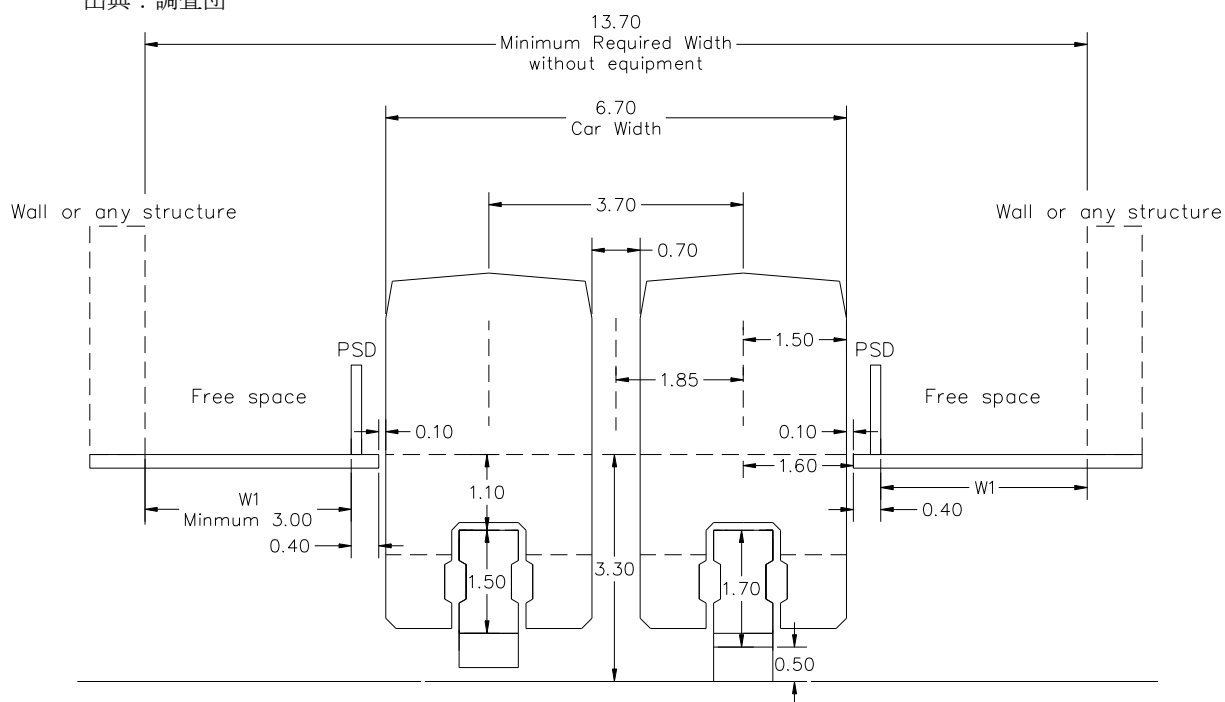
(2) プラットホーム幅

ピーク時における推定旅客量を基に必要プラットホーム幅を算出した。本プロジェクトの方針として、プラットホームの幅は3mとした。これを確保すれば旅客の循環流動を担保できる。これは、一般的な他国の最小自由空間（壁やその他構造物がない）幅の実例が1.2mから1.5mの間であることと比較して、広いものである。下表に各駅における必要プラットホーム幅を示す。

表 7.19 プラットホーム幅

駅名	駅タイプ (7.7.1 で定義)	プラットホーム幅 W1= (m)
1 アルブルック駅	主乗換駅	4
2 バルボア駅	乗換駅	3
3 パナマ・パシフィコ駅	乗換駅	3
4 ロマ・コバ駅	乗換駅	3
5 アライハン駅	乗換駅	3
6 アライハン モール駅	主乗換駅	3
7 ブルンガ駅	乗換駅	3
8 ヌエボ・チョリーヨ駅	パークアンドライド駅	3
9 カセレス駅	乗換駅	3
10 ビスタ・アレグレ駅	主乗換駅	3
11 ビスタ・アレグレ2 駅	乗換駅	3
12 ヌエボ アライハン駅	乗換駅	3
13 サン・ベルナルディーノ駅	乗換駅	3
14 シウダッド・デル・フトゥーロ駅	主乗換駅・車両基地	3

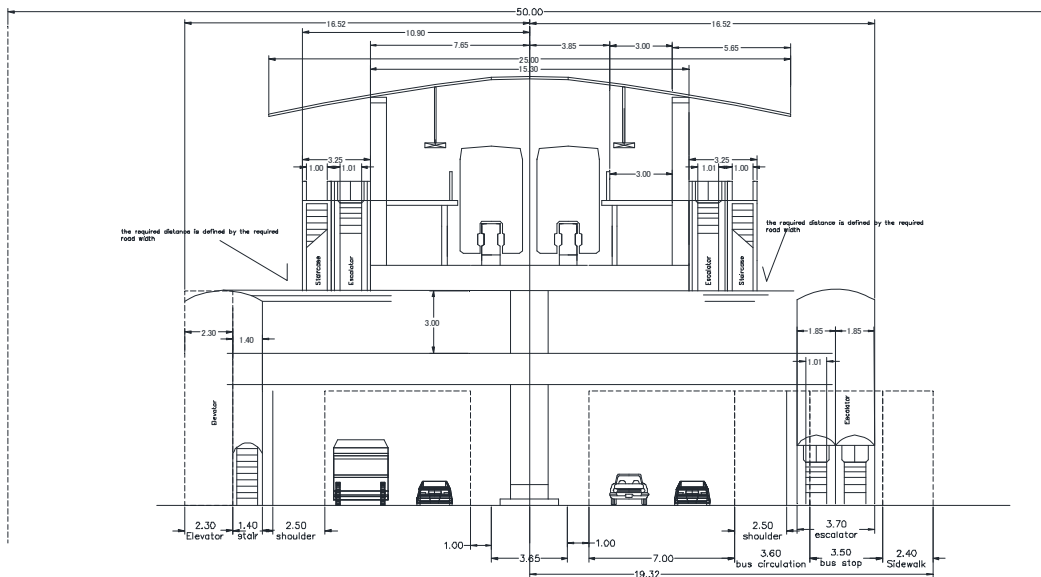
出典：調査団



出典：調査団

図 7.28 駅断面図（プラットホーム階）

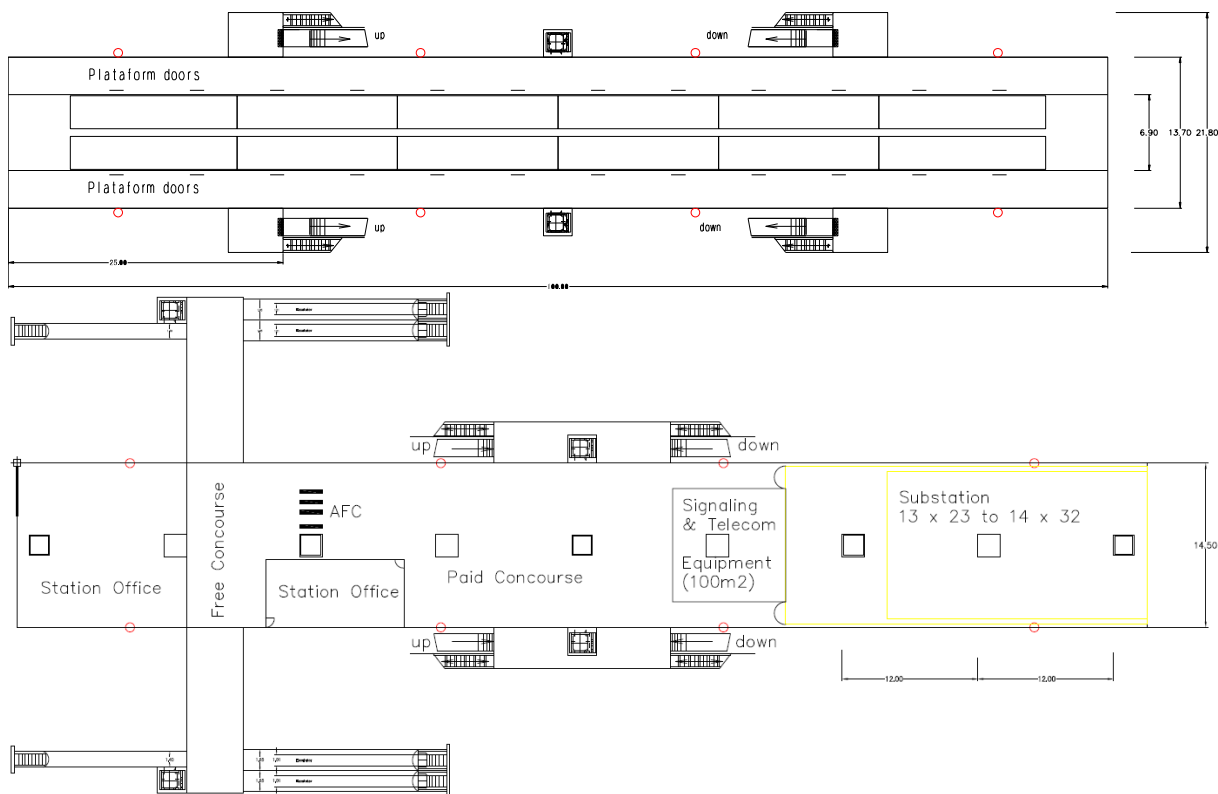
標準駅（アルブルックとヌエボ・チョリーヨ駅を除く全駅）における駅部必要幅員は 38.64m となる。これは駅部に設置するバス停に必要な道路幅員や歩道幅員を考慮したもので、プラットホーム階は屋根の支柱を含めて 15.3m、外付けとなる昇降施設（エレベーター、エスカレーター、階段）を含めると 21.8m が必要幅員となる。パンアメリカン道路の用地幅員は 50m であることから、駅は用地幅員範囲内に収まる予定である。図 7.29 に駅部の道路横断構成を示す。



出典：調査団

図 7.29 駅部道路断面図

駅の平面レイアウトは図 7.30 のとおりで、プラットフォーム階のホーム端から各 25m の位置に階段とエスカレーターを設置し、プラットフォーム中央にエレベーターを設置する。このレイアウトはパナマで採用している NFPA130 の安全基準を満たすものとなっている。コンコース階は切符販売口、改札ゲート、駅事務所、電気室と信号通信機器室に加え、変電施設が設置される。図 7.30 は変電施設を設置する場合のレイアウト例を示している。



出典：調査団

図 7.30 駅平面レイアウト図

7.6.6 プラットホームスクリーンドア

(1) PSDの目的

プラットホームスクリーンドアは（PSD）の導入目的には下記がある。

- a) 旅客の安全性確保
- b) 一般人の軌道への進入の抑制
- c) 旅客の落下事故防止
- d) プラットホーム対応駅務員の省力化
- e) 地下部分の空調による快適性の維持（地下鉄、高温地域の鉄道等）

これらの目的のため、多くのシステムで PSD を導入している。3号線においては上記 e の目的は該当しないが、a)～d)の目的のため、PSD の導入を提案する。

(2) 列車運転方法との関連

多くの都市交通では運転方法について、運転士 1 名運転のワンマン運転、運転士の乗車しないドライバレス運転（アテンダント乗車）、誰も乗車しない無人運転（UTO 運転）がある。この運転方法の選択に PSD の要否が関係する。

3号線は ATO 付きワンドライバ運転である。これは UITP 定義の GOA 2 (Grade of Automation Level 2)であり、この場合は PSD の導入は必ずしも義務付けられてはいない。

しかしながら、最近の都市交通システムでは、ATO 付きワンドライバ運転でも多くのシステムで PSD を採用している。3号線においても上述した目的のため、PSD を導入する。

(3) PSDの種類

PSD には高さが（腰高の）ハーフ高さのタイプとフル高さのタイプの 2 種類があり、導入線区の環境条件に合致した選択が必要である。

フル高さタイプの特徴は主目的の旅客の安全確保に加えて、駅の内部空間を外部から隔離する事で空調を効率的に行なえる点にある。メトロ 3号線は高架のオープンエリアであるため、フル高さの PSD の必要はない。上記の理由により、ハーフ高さの PSD の導入を推奨する。

(4) PSD運用要件

PSD は半分高さで二重引き戸構造で構成される。それぞれの車のサイドドアに対応し、その開閉装置および関連制御装置、及び、固定スクリーン、緊急通路のドア、センサー、制御システム、電力を含む供給および他の必要な施設がある。

PSD は 6 両編成を収容するように設計しなければならない。スライドスクリーンドアは、列車の乗客ドアと対応する位置に設置する。

PSD の通常の動作モードは、自動でなければならない。ドアオープンコマンドは、ATO による定点停止が行われた上で、PSD コントロールユニットに出力される。

ドアクローズコマンドは通常、運転席の列車オペレータ（運転士）によりなされる。運

転士が PSD とドアのクローズが安全であることを確認した時、それが PSD コントロールユニットに送信される。運転士が安全を確認するためにプラットフォームの画像を運転台のモニター装置に伝送し、表示する。

ドアを閉じる時に障害物が検出された場合には、ドアは停止されなければならない。またドアを開け、障害物をリリースする。完全な閉鎖が検出されるまで、事前設定された間隔の後、繰り返し自動開閉しなければならない。

すべてのドアが閉じられ、ロックされた場合、“全ドア閉鎖”表示が車上の ATO/ATP ユニットに送信される。

車両運転台に近い位置にあるローカルコントロールパネルからの、運転士または駅スタッフによる、PSD オペレーションは、自動設備故障時の状況に対応するために提供されなければならない。

電力障害が発生したとき、各ドアを手動で軌道側から、またはプラットフォーム側から開放することができる。

(5) ハーフ高さ PSD の構成

図 7.31 に PSD システムのシステム概略構成を示す。各装置の機能は以下の通りである。

1) プラットホームスクリーンドア (PSD)

すべてのプラットフォームスクリーンドアは各車両の乗客のドアの位置に対応してプラットフォームの端に設置される。ドア制御ユニットは PSD フッターやサイドボックスに格納される。

2) 手動ドア (MSD)

手動ドアは、プラットフォームから軌道側へのアクセスを可能とするためプラットフォームの端に設置される。各手動ドアは、軌道側やスタッフキー操作でプッシュバータイプの手動リリースを備えなければならない。

3) 緊急脱出ドア (EED)

EED は、手動ドアに隣接し、先頭車と後尾車の停止位置に対応した位置に設置するものとする。これらのドアは、緊急手動解除機構を持つ。各 EED は、プラットフォーム側の軌道側やスタッフキー操作でプッシュバータイプの手動リリースを備えなければならない。

4) 固定スクリーン (FP)

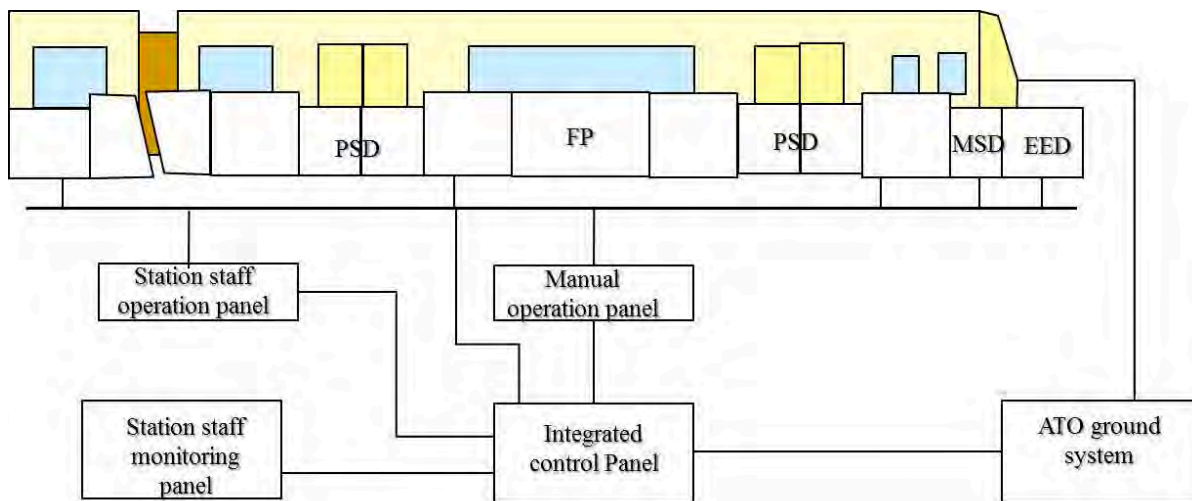
固定スクリーン (PF) は、プラットフォームの縁に沿って PSD 間の隙間を埋めるために設置される。

5) コントロールユニット

コントロールユニットは、駅務室に配置しており、以下の機能を持っている。軌道側に設置された ATO のバリスから受け取った電車の定点停止を示す信号に基づき、同時に PSD を開ける。各 PSD、MSD、EED の運転状態をアラーム信号と共に監視する。

6) その他

PSD にはアラーム表示、電源およびその他の必要な設備を含むものとする。



Note; PSD; Platform Screen Door, MSD; Manual secondary Door, EED; Emergency Escape Door, FP; Fix screen Panel

出典：調査団

図 7.31 PSD システムの概略構成

7.6.7 自動料金収集システム

(1) 一般事項

パナマメトロ3号線システムは、多数の乗客を対象としている。チケット発行や料金収集は、システムの効率的かつ適切な運営に重要な役割を果たしており、運賃逃れなしの正しい運賃収集のためのミッションを持っている。この目的を達成するために、自動料金収集システムを導入する必要がある。メトロ1号線とメトロバスはタイプAの非接触式カードを利用した自動料金収集システムを導入している。自動料金収集システムの特徴は以下の通りである。

1) 自動料金収集システム（AFC）の特徴

- a) ICカードチケットを採用する事によるコスト効率の良さ
- b) 自動ゲート導入により、旅客の処理時間（ゲート通過時間）の短縮が可能
- c) 効率向上により駅のスタッフの数の削減が可能
- d) すべてのチケットのゲートでの自動チェックにより、不正乗車等の可能性を低減させることが可能
- e) 素早く、簡単に料金変更への対応が可能である。
- f) 管理情報資料の発行が簡単に素早く可能である。
- g) 他の交通機関との共通カードによる相互運用が可能である。
- h) 非接触ICカードは他のアプリケーションのために使用する事も可能である。

上記のごとく、コンピュータベースの自動料金収集システム（AFC）は、有効なソリューションである。

2) 非接触ICカードの特徴

自動料金収集システム（AFC）の核となるメディアとして非接触ICカードがあるが、この特徴を下記の通りである。

- a) 処理の高速化；非接触ICカードの使用により、ゲートの処理時間を短縮することによる旅客ハンドリングの高速化が可能である。
- b) 個人のODデータを容易に把握する事ができる。これは適切に加工する事によりマーケティング情報に利用する事ができる。
- c) コスト要因；非接触ICカードは従来の磁気チケットシステムよりも物理的なコンタクトがない事、カードの再利用が容易である事により、低コストである。また自動化により発券に関わる人件費の削減が容易にできる。
- d) 保守の容易性；摩耗やほこりの影響を受けにくい環境のため、保守コストの低減が可能。

(2) 非接触ICカードの選択

非接触ICカードにはタイプA、タイプB、タイプCの3種類がある。パナマ1号線とバスではタイプAが採用されている。非接触ICカードについても標準化がなされており、ISO/IEC21481ではタイプA、タイプB、タイプCのすべての無線インターフェイスを包含してR/Wの規格化がされている。周波数はいずれも13.56MHzである。

1) 各カードの特徴

表 7.20 に、3号線で利用される非接触 IC カードを選択するためのタイプ A、タイプ B、及びタイプ C の比較を要約したのである。

表 7.20 非接触 IC カードの比較

カード種類	メリット	デメリット	評価
タイプ A	交通機関カードとして普及している。 既設バス路線、1号線で使用中 3号線で採用すれば完全互換となる。	タイプ C に比較して処理速度が低い。セキュリティレベルが高くない。	導入にあたっての問題はなく、推奨できる。
タイプ B	タイプ A の次に交通機関カードとして普及している。	タイプ C に比較して処理速度が低い。セキュリティレベルが高くない。	タイプ A を置き換える積極的意義はない。
タイプ C	処理速度が速い。セキュリティレベルが高い。乗車券だけでなく、電子マネー等、用途が広い。携帯電話等へ拡張できる。将来発展性が高い。タイプ C 設備でタイプ A カード使用可。	タイプ A カードの 3号線設備での使用は可だが、タイプ C カードのバス路線、1号線での使用不可。 →完全な互換性確保は期待できない、	付加価値が高く推奨できるが、既存設備の置き換えが必要。

出典：調査団

2) 検討

タイプ A カードを使用すれば、既設バス路線、1号線との共用が可能であり、問題はない。しかし処理速度（設置ゲート数に関係する）、セキュリティ、将来の非接触 IC カードとしての発展を考えると、タイプ C の採用も候補案としてある。

ISO/IEC21481 ではタイプ A、タイプ B、タイプ C のすべての無線インターフェイスを包含して規格化されている。R/W (Reader/Writer) がタイプ A、タイプ B、タイプ C いずれのカードであっても自動的に検知して通信する事ができることを意味する。1枚のカードでタイプ A、タイプ B、タイプ C いずれにも使えるカードは存在しない。従って複数の通信タイプのカードが混在する環境で相互利用を実現するためには R/W 側がマルチ通信に対応している必要がある。3号線でタイプ A カードを使用するためには 3号線設備で ISO/IEC21481 に合致した R/W を使用する必要がある。将来バス路線、1号線でタイプ C カードを使用可能にするためには、マルチ通信可能なタイプへ R/W を切り替える必要がある。

3号線で性能の高いタイプ C カードを採用し、ISO/IEC21481 に合致した R/W を採用しても、基本的なニーズであるバス路線、1号線とのカードの共用（インターオペラビリティ）のニーズに対しては、完全に満足する事が出来ない。満足させるためには 3号線でもタイプ A カードを使用する考え方を選択せざるを得ない。

(3) 発券方法、精算方法

現行のバス路線で運用されているやり方に近い方法を想定している。

- 1) 非接触 IC カードの発券は人による対面販売とする。また非接触 IC カードに対する料金チャージは人による対面販売と自動券売機による方法があるが、ここでは自動券売機による方法を推奨する。
- 2) 乗り越し時は料金不足で Gate でチェックアウトされる。この場合の精算は駅事務員が TOM（チケット事務室機）を用いて行う。専用の自動精算機の導入はしない。
- 3) カードの残高のチェックができるチケットリーダー（Ticket Reader）を駅の Gate 付近に設置する。

(4) AFC 装置要件

格納式フラップタイプの制御ゲートが高いスループットと少ない保守のために提案されている。実際、このタイプが現代の世界の地下鉄で最新のものである。三脚ターン型ゲートは非常に少ないスループットと多くのメンテナンスを必要とする。フラップは、通常ピークモード中にゲート制御ユニットによって選択されている時は、通路からゲート構造に退避されている。そしてもしも許容できないカードが R/W 上で検出された時は、フラッシュアラームランプと共に通路にフラップを突き出す。対照的に、“オフピーク”がゲート制御機に選択されている間は、フラップは通路に出ており、許容できるカードが検出された時に、通路に格納する。そして許容できないカードの時にはランプ点灯と共に、フラップ出力を維持する。

格納式フラップタイプのコントロールゲート例を図 7.32 に示す。



出典：調査団

図 7.32 格納式フラップタイプのコントロールゲートの例

AFC の各装置の要件を表 7.21 に示す。

表 7.21 AFC 各装置の要件

項目	説明
運賃メディア (Fare Media)	a) 非接触 IC カード; タイプ A またはタイプ C とする。タイプ C 採用の場合は R/W は ISO/IEC21481 で標準化されている R/W を使用する必要がある。 b) 非接触トークンは使用しない。
ゲート (Gates)	コンピュータが入口と出口での引き込み式のフラップ式自動ゲートを制御する。ゲートの種類は次の通り： ・入口 ・出口 ・リバーシブル- 入口または出口に設定することができる。 ・体の不自由な旅客のための・ワイドリバーシブルゲート。 タイプ C 採用の場合は ISO/IEC21481 標準 R/W 装置を装備。
ゲート制御ユニット (Gate Control Unit)	必要に応じて開閉のゲートの状態"ピーク"と "オフピーク"を制御するために、駅スタッフ事務室に設置する。 緊急の場合には、動作モードからすべてのゲートを解放する。
自動券売機 (AVM) (Add Value Machine)	非接触 IC カードに対する料金チャージを行う機械である。 (非接触 IC カードはチケット事務室機から販売される。)
駅コンピュータ、中央 コンピュータと AFC ネットワーク (Station server, Central server and AFC network)	すべての料金収受機器は、すべてのマシンのトランザクションおよび動作状態の活動を制御する駅サーバとローカルエリアネットワークの中で接続しなければならない。これらの駅サーバは光ファイバー通信チャンネルを通じて運用制御センターにある中央のコンピュータに接続される。システムの集中制御は、実収入の時間データ、旅客流動解析を提供しなければならない
チケット事務室機 (TOM) (Ticket Office Machine)	有人チケット事務機は乗客にカードを販売し、必要に応じてそれらを検証するために駅に設置されなければならない。この機械により Gate で料金不足となった乗客に対する料金精算を行う。 このマシンはまた、R/W 装置を装備している。
チケットリーダーとポータブル検証機。 (Ticket reader and Ticket portable validator)	チケットリーダーは、カードに保存されている情報を乗客が確認するために、コンコース入り口とゲートの近くに設置しなければならない。 ポータブルチケット検証機はスタッフのための検証機能を持つハンドヘルド型チケット事務機である。
UPS (uninterrupted power at stations as well as for OCC).	共通の UPS は、一般電力線のシャットダウン時に一時間 AFC 機器への電力供給を維持するために利用される。
保守の考え方 (Maintenance concept)	完全非接触システムであることにより、メンテナンスのためのマンパワー要件は、磁気切符を持つシステムに比べてはるかに少ない。

出典：調査団

(5) AFC 装置の実装

1) ゲートの数

必要なゲートの数は、ゲートあたりの平均通過人数を 1 分あたり 45 人と仮定して計算した。

- a) 標準タイプ； 29 台 (Ref. Table 6.5.2-3 Installation of AFC gates)
 - b) リバーシブルタイプ； 8 台
 - c) 合計 = 37 台
- 2) AVM の実装
- a) 端末駅； 4 台/駅-----8 台
 - b) 通常駅； 2 台/駅-----24 台
 - c) 合計 = 32 台
- 3) TOM の実装
- a) 端末駅； 4 台/駅-----8 台
 - b) 通常駅； 2 台/駅-----24 台
 - c) 合計 = 32 台
- 4) チケットリーダー
- a) 端末駅； 4 台/駅-----8 台
 - b) 通常駅； 2 台/駅----24 台
 - c) 合計= 32 台
- 5) チケットポータブル検証機----15 台, 合計=15 台
- 6) UPS
- a) CCR (Central Control Room)-----1 台
 - b) SCR (Station Control Room)-----14 台
 - c) 合計= 15 台

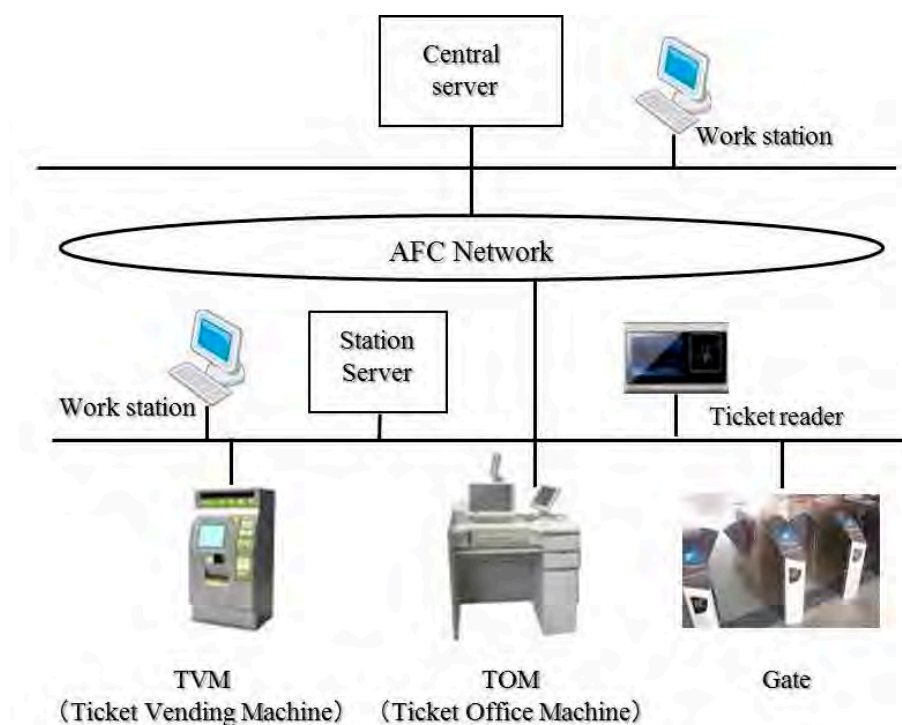
表 7.22 AFC ゲートの設置台数

Station	Board			Alight			Total No. of Gates
	To West	To East	No. of Gates	From West	From East	No. of Gates	
Albrook	2,472		1	20,582		8	10 (R)
Balboa	113	205	1	290	179	1	2
Panama Pacifico	534	392	1	309	0	1	2
Loma Coba	1	1,079	1	16	48	1	2
Arraijan	193	2,577	2	159	196	1	4
Arraijan Mall	6	1,266	1	10	77	1	2
Burunga	4	3,186	2	41	182	1	4
Nuevo Chorrilo	0	1,753	1	10	523	1	2
Caceres	0	711	1	0	180	1	2
Vista Aregre	0	3,517	2	0	345	1	4
Vista Aregre 2	0	1,367	1	0	224	1	2
Nuevo Arraijan	0	1,260	1	0	273	1	2
San Bernardino	0	2,092	1	0	402	1	2
Ciudad del Futuro		2,012	1		694	1	2

R; Reversible type gate

出典：調査団

また図 7.33 に AFC システム構成を示す。



出典：調査団

図 7.33 AFC システムの構成

7.6.8 本邦技術及び経験の活用について

(1) 駅関連施設の商業利用

建設中の1号線の駅レイアウトを見ると、路線延長が短いことにもよるのであろうが、あくまで旅客の効率的な移動のみを考慮した設計となっている。例えば一般駅にトイレの設備はなく、ターミナルである Albrook 駅にのみ計画されている。また売店などの計画もない。

日本においては、旅客の移動距離や移動時間が長いことにもよるが、どの駅にもトイレや売店の設備がある。近年駅構内スペースの有効活用が非常に盛んになっており、運賃外収入の比率も大きくなってきている。大都市圏の私鉄の場合、運賃外収入の比率が10%を超えており、2013年のデータで最大で17.9%という例がある。東京メトロで10.9%となっている。

パナマメトロの場合、3号線は将来的に30km程度の路線延長を持つことになるので、乗降客の多い主要な駅にはトイレの設備を設けることとしている。また駅構内に売店を設けるスペースを確保し、駅前にはパークアンドライドのスペースも用意することとしている。

(2) 構内防犯システム

旅客の安全に関して駅構内及び車内における防犯対策も考慮しておく必要がある。犯罪防止にはCCTVによるモニタリングが有効であるが、特に夜間の乗客の少ない場所や時間帯に対する高解像度／高感度CCTVによる死角のないモニタリングは防犯対策としてもっとも効果がある。また列車内における犯罪の可能性もあるため、各車両にCCTVを設置することが望ましい。また監視や犯罪防止業務に当たること目的として逮捕権を有する鉄道警察の設立を提案する。

7.7 交通結節点

7.7.1 交通結節点整備の目的

一般的に、交通移動は目的地から終着地に至るまでに、複数の交通手段を利用することになる。そのため、例えば、以下の図に示す、自宅からオフィスまでの移動は、バス/鉄道/徒歩の3種類の交通手段と、2箇所の交通結節点からなる。



出典:国土交通省資料を参考に調査団作図

図 7.34 交通移動のイメージ

開業後、恒久的な大規模輸送システムとして広く市民に利用される為に、モノレールだけではなく、乗り換えのための交通結節点整備を併せて進めていく事が重要である。

円滑な乗り換え施設を計画する上で、乗り換え抵抗を低減する事は重要である。一般的に、以下の状況において、乗り換え抵抗が発生するとされている。

- 上下の乗り換え移動が発生
- 乗り換え移動距離が 200m以上

(1) 交通結節点整備の事例

交通結節点の事例として、以下を掲げる。

表 7.23 交通結節点の事例

大規模な乗換駅(駅前広場)	駅隣接の Park & Ride 施設	駅隣接のバス停
		
<p>駅前広場は、交通結節点だけでなく市民の集う場所としてのアメニティの要素を併せ持つ。駅前広場面積の算定にあたっては、駅前広場利用の特性や必要となるサービスレベルに合わせ、将来における必要施設量を確保するよう必要がある。</p>	<p>Feeder 交通の不十分な地域、郊外部に広がる大規模な住宅団地から駅へのアクセスを補完するために、設置される大規模駐車場を利用した乗換方法である。鉄道利用者の駐車場利用料の割引を実施することで、都心部での交通混雑の緩和に寄与する。</p>	<p>一般的に徒歩による乗換移動抵抗が発生するのは 200m と言われ、この距離の中に、鉄道から Feeder 交通へ乗り換えるバス停を設置するのが望ましい。既存のバス停が既にある場合、駅の入出口の設置時に、より近い位置へ設置する必要がある。</p>

出典:調査団撮影、(財)豊田都市交通研究所「これからの駅前広場」を参照

(2) 駅のタイプ別区分け

1) 各駅の種類

乗り換え客の規模、地域特性を勘案し、以下の3つのタイプに乗り換え方法を分類する。

- Major Interchange Station
- Exchange Station
- Park&Ride Station

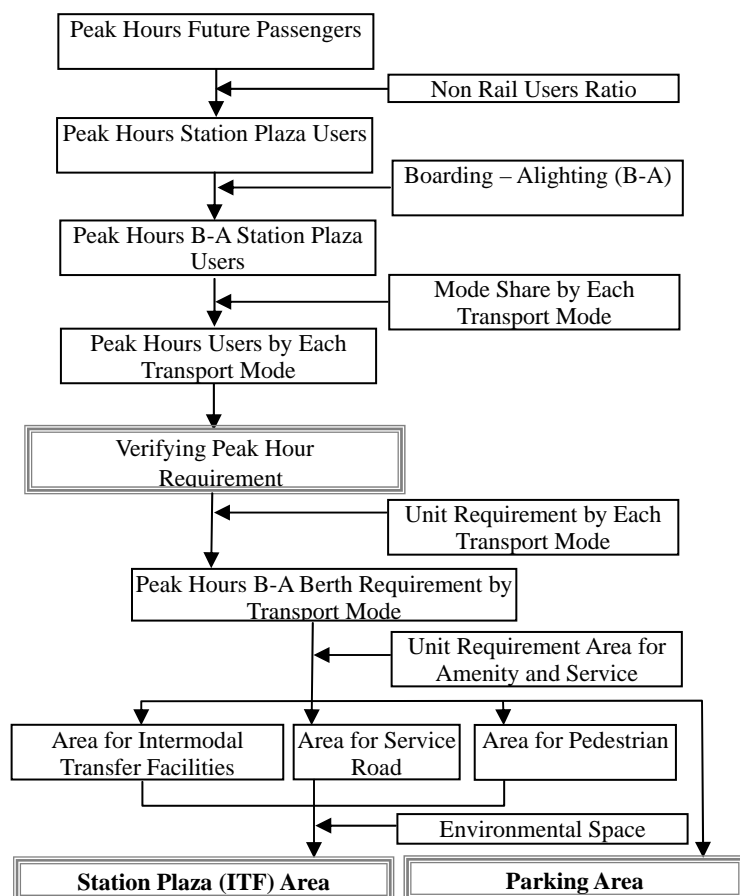
Major Interchange Station は、各種の公共交通機関が集まる駅の機能に加え、周辺の就業地域へのアクセスを考慮した大規模な乗り換え施設である。**Exchange Station** は、駅周辺において **Feeder** 交通を集め、モノレールへの乗り換えを容易にする機能を持つ。現在、バス停が設置されている箇所においては、モノレール開業後も引き続き **Feeder** 交通の集約場所として使用することを想定する。**Park&Ride Station** は、幹線道路から離れた地域に住宅地が存在することに加え、公共交通サービスも不足することで、自家用車にて駅にアクセスすることを想定して、駐車場の設置を行うものである。上記に基づき、各駅の乗り換え方法の分類を行った。

2) 施設規模算定方法

交通結節点の必要量の検討プロセスは図に示される。このプロセスは、日本のガイドライン「駅前広場計画指針」日本交通計画協会(1998)に基づいている。これは、最も一般的な算定の流れである。

この施設規模は、需要予測の結果に基づき、算定される。需要予測の計算過程において、モノレール開業後のモード転換が表現される。このモード転換する乗降客数の内、駅までの到達モードが徒歩と **Feeder** 交通に分類される。そして、本調査にて実施した交通調査によって得られたモード分担割合を勘案し、各駅の **Feeder** 交通量を推計した。調査対象地域の駅のモード分担割合を均一にするのではなく、交通調査の結果を用いたことにより、地域特性が表現された結果となっている。

本節において、最も施設規模の大きくなるシウダット デル フトゥーロ駅における2050年の施設規模の算出を事例として示す。



出典：調査団

図 7.35 交通結節施設規模推計の流れ

各交通モードの分担率を以下のように設定した。

表 7.24 シウダット デル フトゥーロ駅におけるアクセス交通分担率

Mode	Code	Modal Share
Bus	Mb	41%
Minibus	Mmb	1%
Taxi	Mt	34%
Pirata	Mst	1%
Car (K&R)	Mck	11%
Walk	Mw	9%
Bike	Mbk	0%
Car (P&R)	Mcp	5%

出典：調査団

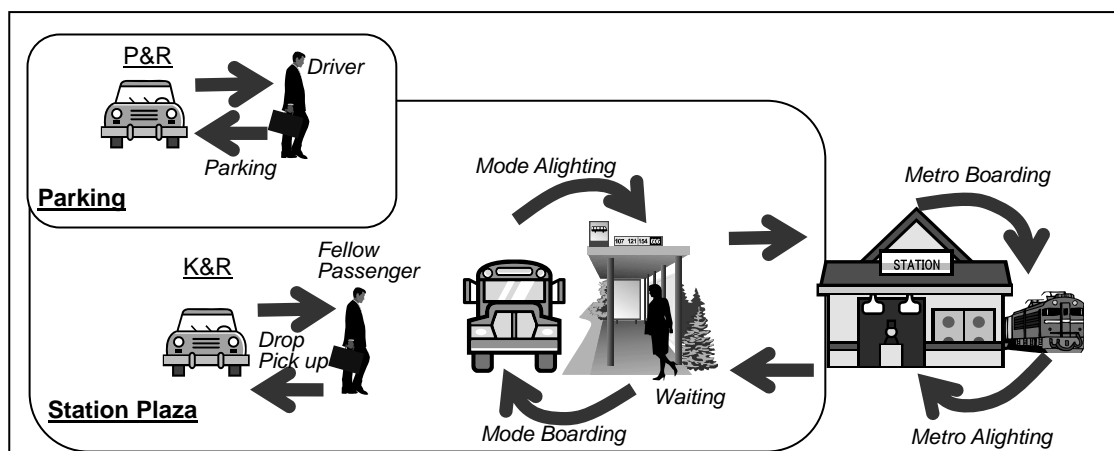
また、交通分担別の駅前広場算定指標を以下に示す。

表 7.25 交通分担別の駅前広場算定指標

Items	Code	Bus	MiniBus	Taxi	Pirata	Car	Bike	Unit
		<i>b</i>	<i>mb</i>	<i>t</i>	<i>st</i>	<i>c</i>	<i>bk</i>	
Average passenger service	Px	40	30	2	5	1.3	1	person/car
Time required to board	Tbx	-	-	10	10	60	30	/60 min/berth-person
Time required to alight	Tax	2	2	30	30	1	1	/60 min/berth-person
Headway to wait	Hx	2	2	5	5	-	-	min/car

出典：調査団

駅及び駅前広場での乗客の乗り降りのイメージを図 7.36 に示す。以降の施設算定で示されるモノレール及び各モードの乗降について分類している。



出典：調査団

図 7.36 駅及び駅前広場利用者の乗り換えイメージ

以下に、ピーク時間における必要交通施設量を算出した。

表 7.26 ピーク時間における必要交通施設量

Items	Equation	Quantity			Unit	Remarks	
		2020	2030	2050			
Future passengers	$P =$	25,858	26,308	26,992	parson/hour	Demand Forecast	
Future Station Plaza Users	$N = P \times 1.3$	33,620	34,200	35,090	parson/hour		
Future peak hour passengers (boarding)	$PPb =$	571	682	848	passenger/day	Demand Forecast	
Future peak hour passengers (alighting)	$PPa =$	2,532	2,475	2,391	passenger/day	Demand Forecast	
Peak hour station plaza users	$PTU = PPb + PPa$	3,103	3,157	3,239	parson/hour		
Peak hour station plaza users (boarding)	$PTUb = PPb \times 1.3$	740	890	1,100	parson/hour		
Peak hour transport mode users (Mode boarding)	Bus	$PTUMbx = PTUmb \times (Each Mode Share Ratio)$	300	360	450	parson/hour	
	Minibus		0	0	10	parson/hour	
	Taxi		250	300	370	parson/hour	
	Pirata		10	10	10	parson/hour	
	Car (K&R)		80	90	120	parson/hour	
	Bike		0	0	0	parson/hour	
	Car (P&R)		30	40	50	parson/hour	
Waiting passenger	Bus	$PTWb = PTUMbx \times Hb / 60$	10	10	20	parson	
	Minibus	$PTWmb = PTUMbx \times Hmb / 60$	0	0	0	parson	
	Taxi	$PTWt = PTUMbx \times Ht / 60$	20	30	30	parson	
	Pirata	$PTWst = PTUMbx \times Hst / 60$	0	0	0	parson	
Peak hour required berth (Mode boarding)	Bus	$PBBMb = \{(PTUbb / Pb) \times Hb\} / 60$	2	2	2	berth	Include 1 berth for Evening Peak
	Minibus	$PMBBMB = \{(PTUmb / Pmb) \times Hmb\} / 60$	1	1	2	berth	Include 1 berth for Evening Peak
	Taxi	$PTBMB = (PTUbt \times Tbt) / 60$	1	1	2	berth	
	Taxi Standby	$PTLMB = \{(PTUbt \times Pt) / 60\} / Hbt$	11	13	16	berth	
	Pirata	$PSTBMB = (PTUbst \times Tbst) / 60$	1	1	1	berth	
	Pirata Standby	$PSTLMB = \{(PTUbst \times Pst) / 60\} / Hst$	1	1	1	berth	
	Short-time Parking	$PCBMB = (PTUbc / Pc \times Tc) / 60$	4	4	4	berth	Include 2 berth for emergency vehicles
	Parking-Car	$PPC = (PUB \times Mpc / Tc) / 2$	600	610	620	berth	2 cycles
Parking-Bike	$PPBK = (PUB \times Mpbk / Tbk) / 2$	0	0	0	berth	2 cycles	
Peak hour station plaza users (Metro alighting)	$PTUMa = PPb \times 1.3$	3,290	3,220	3,110	parson/hour		
Peak hour transport mode users (Mode alighting)	Bus	$PTUMax = PTUMa \times (Each Mode Share Ratio)$	1340	1310	1270	parson/hour	
	Minibus		20	20	20	parson/hour	
	Taxi		1110	1090	1050	parson/hour	
	Pirata		30	30	30	parson/hour	
	Car (K&R)		350	340	330	parson/hour	
Peak hour required berth (Mode alighting)	Bus	$PBBMa = (PTUab / Tb) / 60$	1	1	1	berth	
	Minibus	$PMBBMA = (PTUamb / Tmb) / 60$	1	1	1	berth	
	Taxi	$PTBMA = (PTUat \times Tat) / 60$	10	10	9	berth	
	Pirata	$PTBMA = (PTUast \times Tast) / 60$	1	1	1	berth	
Traffic volume	$PV = \sum \{PTUbx \times (Each Mode Share Ratio)\}$	220	270	340	pcu/hour	Bus:1.7, Bike:0.5	

注: 算出計算の方法、乗車人数・降車所要時間・停車時間は日本の98年式駅前広場算定式を参考に作成

参考文献: 「駅前広場計画指針」日本交通計画協会 1998

出典: 「駅前広場計画指針」日本交通計画協会を基に調査団が計算

次に、得られた計算結果に基づき、各施設の最低必要面積を算定する。駅前広場に必要
な交通分担毎のバース面積を以下に示す。

表 7.27 交通モード別必要バース面積

Items	Unit berth area (m ²)	2020						2030						2050					
		Berth			Required area(m ²)			Berth			Required area(m ²)			Berth			Required area (m ²)		
		Boarding	Alighting	Total	Boarding	Alighting	Total	Boarding	Alighting	Total	Boarding	Alighting	Total	Boarding	Alighting	Total	Boarding	Alighting	Total
Bus Berth	70	2	1	3	140	70	210	2	1	3	140	70	210	2	1	3	140	70	210
Mini Bus Berth	35	1	1	2	35	35	70	1	1	2	35	35	70	2	1	3	70	35	105
Taxi Berth	20	1	10	11	20	240	260	1	10	11	20	200	220	2	9	11	40	180	220
Taxi Standby Lot	30	11	0	11	390	0	390	13	0	13	390	0	390	16	0	16	480	0	480
Pirata Berth	25	1	1	2	25	25	50	1	1	2	25	25	50	1	1	2	25	25	50
Pirata Standby Lot	35	1	0	1	35	0	35	1	0	1	35	0	35	1	0	1	35	0	35
Short-time Parking Lot	25	4	0	4	100	0	100	4	0	4	100	0	100	4	0	4	100	0	100
Total	-	-	-	-	-	-	1,015	-	-	-	-	-	1,075	-	-	-	-	-	1,200

出典:「駅前広場計画指針」日本交通計画協会を基に調査団が計算

必要な交通モード別の乗車待ち滞留空間面積を以下に示す。

表 7.28 交通モード別の乗車待ち滞留空間面積

Items	Unit Wating Space (m ²)	2020		2030		2050	
		Waiting Parson	Required area(m ²)	Waiting Parson	Required area(m ²)	Waiting arson	Required area(m ²)
Bus	1	10	10	10	10	20	20
Mini Bus	1	0	0	0	0	0	0
Taxi	1	20	20	30	30	30	30
Pirata	1	0	0	0	0	0	0
Total	-	-	30	-	40	-	50

出典:「駅前広場計画指針」日本交通計画協会を基に調査団が計算

必要な車両走行空間面積を以下に示す。

表 7.29 車両走行空間面積

Items	pcu/hour	Road Length(m)	Width of Road (m)	Width of Margin(m)	Required area (m ²)
Road and Buffer for Vehicle	2020	220	120	3	660
	2030	270	140	3	770
	2050	340	170	3	935

注: 道路延長 $L_c = 0.4 \times PV + 36.1$

出典:「駅前広場計画指針」日本交通計画協会を基に調査団が計算

必要な歩行者用空間面積を以下に示す。

表 7.30 歩行者空間面積

Items		Pedestrian	Density	Length	Required area (m ²)	Remarks
Pedestrian Space	2020	3,103	27	100	190	A= 1,705
	2030	3,157	27	100	190	A= 1,885
	2050	3,239	27	100	200	A= 2,185

注: $Lw = (0.009 \times A) + 82.4$,

出典: 「駅前広場計画指針」日本交通計画協会を基に調査団が計算

必要な Park & Ride 用の駐車場面積を以下に示す。

表 7.31 P&R 用必要駐車場面積

Items	Unit Berth area (m ²)	2020		2030		2050	
		Berth	Required area (m ²)	Berth	Required area (m ²)	Berth	Required area (m ²)
Parking Lot	30	600	18,000	610	18,300	620	18,600
Parking-Bike Lot	1.14	0	0	0	0	0	0
Total		-	-	18,000	-	18,300	-

出典: 需要予測結果及び交通調査を基に調査団が計算

上記までで計算した結果を交通結節点整備に必要な面積として、以下にまとめる。

表 7.32 交通結節点整備面積

Items	Required area (m ²)			Remarks
	2020	2030	2050	
Berth Area	1,015	1,075	1,200	
Waiting Area	30	40	50	
Road Space	660	770	935	
Pedestrian Space	190	190	200	
Amenity & Open Space	950	1,040	1,190	50% of above
Sub-total	2,845	3,115	3,575	
Parking Area	18,000	18,300	18,600	
Total	20,845	21,415	22,175	

出典: 調査団

バスの夜間留置場所の確保のため、バスの留置場の面積を加えることを提案する。

表 7.33 バスの夜間留置場所

Items	Required area (m ²)			
	2020	2030	2050	
Stabling Yard Space	3,500	3,500	3,500	Bus Parking, 70m2

出典: 調査団

上記で算出された交通結節点整備面積（約 30,000 m²）を参考に、施設配置の計画が行われる。他の駅においても、同様の計算方法にて施設規模が算定される。

3) 交通結節点整備概要

駅 Type を各駅に設定するとともに、必要な乗り換えのための施設、及び図 7.35 で示された算定方法に基づく、施設規模を、以下に取り纏める。

表 7.34 交通結節点整備概要

Station Name	Connect to	Integration Service	Facility Scale for Intermodal
1. Albrook (0+000km) (Major Interchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Integrate with MRT Line-1 and AGNT ➢ Access to Albrook Shopping Mall 	<ul style="list-style-type: none"> ● Connecting to MRT Line-1, AGNT and Shopping Mall 	<ul style="list-style-type: none"> ● Access deck to other facility
2. Balboa (2+050km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Balboa area 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2)
3. Panama Pacific (6+650km) (Major Interchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Panama Pacifico and Veracruz area ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Terminal ● Taxi Stop 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (3) ● Minibus Bay (3) ● Taxi Stop (9) ● Taxi Standby (70) ● Pirata Stop (3) ● Short-time Parking (9)
4. Loma Coba (12+400km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Arraijan Area 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (3)
5. Arraijan (14+350km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Access to Commercial Area(Super X-tra) ➢ Internal Bus Traffic in Burunga and Arraijan Area ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay ● Taxi Stop (<i>Sharing with Arraijan Mall</i>) ● Connecting Deck to commercial area 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (7) ● Taxi Stop (25) ● Taxi Standby (24)
6. Arraijan Mall (15+500km) (Major Interchange Station) (Park & Ride Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Access to newly constructed shopping mall ➢ Bus Terminal ➢ Taxi Service ➢ Park & Ride 	<ul style="list-style-type: none"> ● Huge Sized Intermodal Facility ● Connecting Deck or pedestrian to commercial zone 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2) ● Taxi Stop (3) ● Taxi Standby (2) ● Short-time Parking (3) ● Multilevel Parking (780)* (* Shared Use with Commercial use)
7. Burunga (16+400km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Burunga Area 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2)
8. Nuevo Chorrillo (17+850km) (Park & Ride Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Nuevo Chorrillo ➢ Taxi Service ➢ Park & Ride 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay (Internal Bus Traffic in Nuevo Chorrillo Area) ● Park & Ride Space included Taxi Stop 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2) ● Taxi Stop (3) ● Taxi Standby (5) ● Short-time Parking (3) ● Multilevel Parking (160)
9. Cáceres (19+600km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2)
10. Vista Alegre (21+450km) (Major Interchange Station) (Park & Ride Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Arterious Bus Traffic from Vacamonte ➢ Taxi Service ➢ Park & Ride 	<ul style="list-style-type: none"> ● Huge Sized Intermodal Facility 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (3) ● Taxi Stop (5) ● Taxi Standby (5) ● Pirata Stop (1) ● Short-time Parking (3) ● Multilevel Parking (330)
11. Vista Alegre 2 (22+350km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Access to Commercial Area (Super Rey) ➢ Access to West Land Mall ➢ Internal Bus Traffic in Nuevo Arraijan Area ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay ● Taxi Stop ● Connecting Deck to commercial zone 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (2) ● Taxi Stop/Standby (5)
12. Nuevo Arraijan (23+550km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Nuevo Arraijan Area ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay ● Taxi Stop 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (4) ● Taxi Stop/Standby (8)
13. San Bernardino (24+300km) (Exchange Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in Nuevo Arraijan Area ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal Bus Bay ● Taxi Stop 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (4) ● Taxi Stop/Standby (13)
14. Ciudad del Futuro (26+100km) (Major Interchange Station) (Park & Ride Station)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Internal Bus Traffic in La Chorra ➢ Park & Ride ➢ Taxi Service 	<ul style="list-style-type: none"> ● Huge Sized Intermodal Facility 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bus Bay (7) ● Taxi Stop (16) ● Taxi Standby (20) ● Pirata Stop (3) ● Short-time Parking (4) ● Parking (780)

出典：調査団

7.7.2 交通結節点におけるユニバーサルデザインの適用

ユニバーサルデザインを適用し、誰もが利用可能な公共交通機関の運営が必要となる。このユニバーサルデザインは、駅施設の設計に適用されることはもちろんのこと、駅周辺における歩道、バス停等、モノレール施設を取り巻く環境の全てへ適用することで、円滑な公共交通機関同士の乗り換えが円滑となる。

駅施設内におけるユニバーサルデザインの設計への反映は、前章に記載があるが、以下に、交通結節点内、及び駅周辺における、円滑な乗り換え移動のために必要な施設を取りまとめる。

表 7.35 交通結節点におけるユニバーサルデザインの適用

	Item	Station Yard	Station Plaza	Railway Passage or Around Station
Barrier Free	Escalator	◎	—	—
	Elevator	◎	—	—
	Staircase rail	◎	○	—
	Braille block	◎	◎	◎
	Audio Assist	◎	◎	◎
	Remove of difference in level around pathway	—	◎	◎
	Disabled stall	◎	○	—
Providing Information	Visual Display Facility for Train Time Table	○	—	—
	Visual Display Facility for Integrated with other transport	◎	◎	—
	Polyglot Visual Display Facility	○	○	△
Reservoir Space	Bench	◎	○	—
	Waiting Room	○	○	—
	Roof on Bus Stop	—	○	—
Intermodal Transfer	Station Plaza	—	○	—
	Parking (for the disabled)	—	○	△
	Cycle parking space	—	—	○

◎：必須 ○：必要 △：要検討
出典：調査団

7.7.3 交通結節点整備の提案

(1) Major Interchange Station の代表例

大規模な交通結節点として、駅前広場及び、Park & Ride 用の駐車場が設置される。施設規模は、7.7.1(2)2)に示す通りであり、需要を満たす形で、整備を行う必要がある。

また、駅前広場においては、次に示す内容を満たす施設配置が必要である。

- (Case1) 交通動線が極力重ならない
- (Case2) 各車両軌跡を考慮した設計
- (Case3) 交通空間だけでなく、Amenity Space の確保

（Case1）は、駅前広場内を一方通行として、円滑な交通の流れを実現する方法がある。また、Access 道路との接続箇所も、一方通行とする。交通の流れを複雑になることによる駅前広場内、また、広場へのアクセス箇所において、事故の可能性を減らすことだけでなく、運転手の確認動作が減ることによる心理的負担を軽減する設計とする。

（Case2）は、例えば、良いデザインであっても、車両が広場内で旋回することが出来なければ、交通広場としての機能が発揮できない。また、縁石部分に車両が乗り上げることで、車両への影響があるだけでなく、歩行者の安全性も脅かされることになる。そのため、設計を行うに当たり、以下の車両諸言に基づく車両軌跡を用いて、確認を行う必要がある。

表 7.36 車両設計諸元

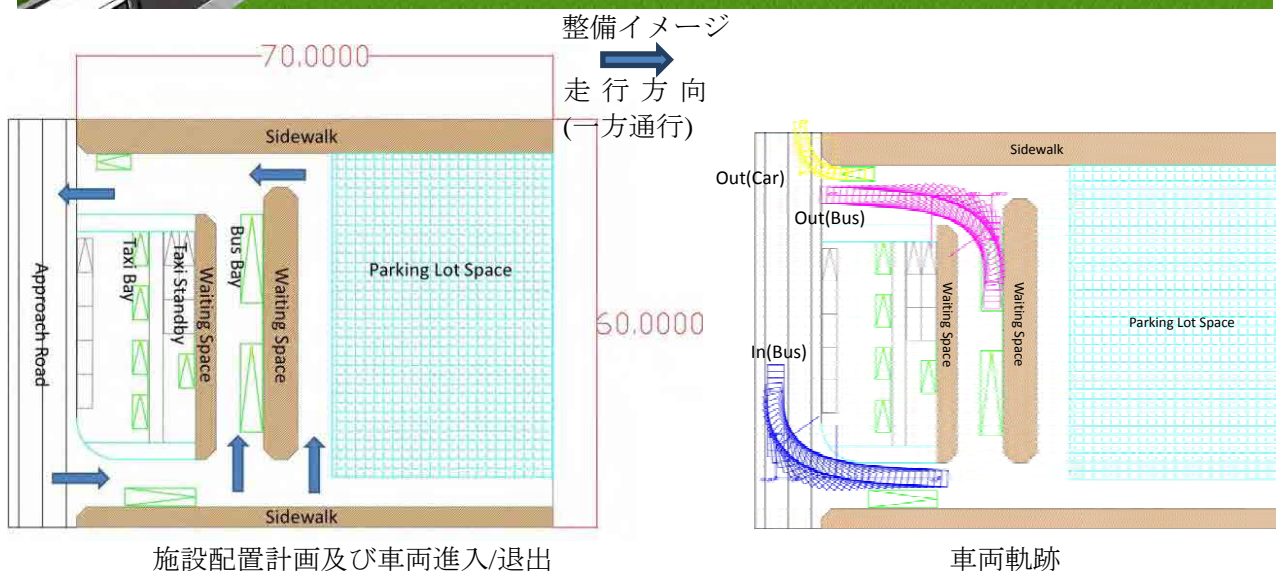
緒元	車体長	車体幅	前方オーバーリング	ホイールベース	後方オーバーリング	最小回転半径
乗用車	4.7m	1.7m	0.8m	2.7m	1.2m	6.0m
バス	10.0m	2.5m	2.15m	4.7m	3.15m	12m

出典：道路構造令、及び日本建築学会編 建築設計資料集成

アクセスが想定される最大形状の車両は、駅前広場においてバス型、駐車場において乗用車型が確認される。形状確認箇所は、特に、施設内隅切り部分、進入口における歩道 or 車道における交錯地点で行う必要がある。

（Case3）は、大規模な交通接結点においては、交通機能だけでなく、地区の中心地区として人々の憩いの場、防災拠点としての機能を持つ。そのため、これら交通行動以外の役割を担う、Amenity 施設も必要に応じて、設置することが望ましい。一般的に、交通広場の半分程度が望ましい整備と言われている。

これらの条件を満たした、整備のイメージを以下に示す。



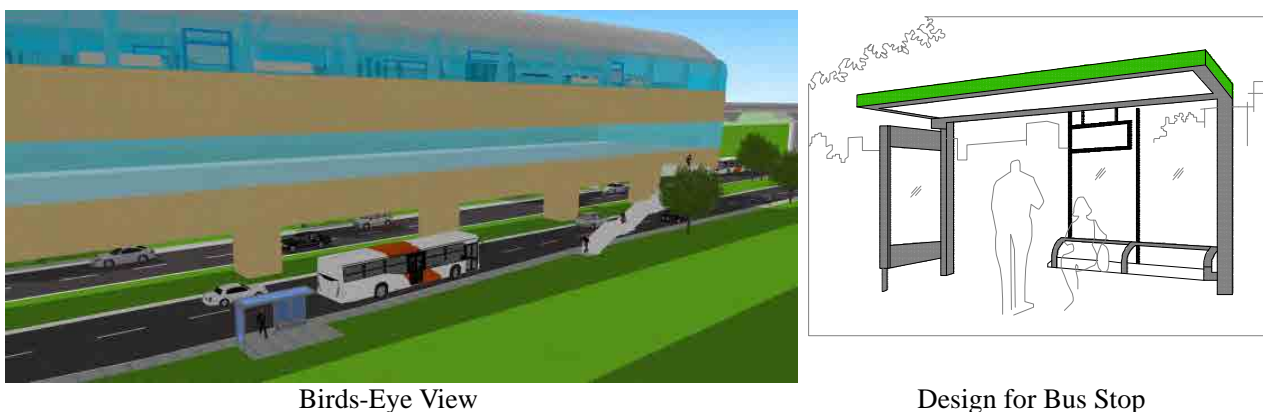
施設配置計画及び車両進入/退出
出典：調査団

車両軌跡

図 7.37 Major Interchange Station 整備イメージ（案）

(2) Exchange Station の代表例

Feeder 交通からモノレールに乗り換えることを目的とする交通結節点整備を行う。一方で、駅の設置個所は、モノレール開業より前よりバス停等の、Feeder 交通の集約場所であり、既に整備されているものについて、引き続き使用していただくことを前提とする。この場合、駅側の設計において、モノレールの出入り口を既存のバス停に近づける等の対策が取られる。以下に、整備のイメージを示す。



出典：調査団

図 7.38 Exchange Station 整備イメージ（案）

(3) Park & Ride Station の代表例

自家用車からモノレールへの乗り換えを行うため、大規模な駐車場を駅に隣接する形で設置するものである。モノレールの Alignment 上のパンアメリカン沿線は、開発が進み、用地確保を行う上で、難しい状況が発生する可能性がある。そのため、駐車場を複層階にすることで、用地を取得する面積を極力減らすことが必要である。また、乗降客の上下移動による乗り換え抵抗を無くすために、モノレールの駅から直結する形で、駅のコンコース階から歩道橋が伸びる形とし、建設される駐車場と直結することが望ましい。以下に、整備のイメージを示す。



出典：調査団

図 7.39 Park & Ride Station 整備イメージ（案）

(4) 交通結節点整備に伴う土地取得

交通結節点整備における土地取得は、ヌエボ・チョリーヨ駅、及び、ビスタ・アレグレ駅において、発生する。取得規模は、7.7.1(2)にて示す施設規模算定方法に従う。交通結節施設を設置予定の駅の内、アライハン・モール駅は将来的な商業開発地内に共有の

駐車場設置を予定し、シウダット デル フトゥーロ駅は Depot 建設予定地に設置されるため、交通結節施設のためだけの用地取得は必要ない。用地取得は、移転が発生しないこと、及び、駅より水平移動抵抗が発生しない箇所において、選定される。また、複層階にすることで、用地取得面積を低減させ、プロジェクト費用の低減を図ることも、設計を行う上で、重要である。両駅における、交通結節施設の設置予定箇所は、以下の通りである。



Nuevo Chorrillo 駅 (3,720m²)

Vista Alegre 駅 (4,200m²+Access Road)

出典：衛星画像を基に調査団作成

図 7.40 交通結節点整備に伴う土地取得予定地

一方で、シウダット デル フトゥーロ駅は、平面駐車場とする。これは、Phase-2 の開業以降、ラ・チョレラ方面からの乗客は、新規に建設される駅で乗降することになり、交通結節点としての役割が、本駅において、縮小する。その際に、この交通結節点として使用されている用地を、住宅地開発等に転用することを考慮して、構造物を設置しないことを、基本とする。

7.8 車両基地

7.8.1 車両基地の規模と位置

(1) 車両基地の規模

車両基地には、モノレール車両を留置、検修するための留置線、車両検修工場、車体洗浄施設およびタイヤ交換施設等に加え、メトロ3号線全体の運行に係る運行管理センターが入る管理棟、変電所、倉庫等の施設を設ける。

2050年までの需要予測に基づく必要列車編成数は、2022年（開業年）に26編成、その後3駅の将来駅の開業を考慮した場合、2050年には32編成となる。いずれも6両固定編成とする。この内、2編成はアルブルック駅、1編成はパナマ・パシフィコ駅、1編成はヌエボ・チョリーヨ駅に夜間留置する。更に、将来延伸した場合に備えて、車両基地には10編成分の留置線を追加可能なスペースを確保する。その他に必要な施設と設備のスペースを考慮すると、車両基地用地の広さは、約10ヘクタールとなる。

(2) 車両基地の候補地

1) 前提条件と候補地

車両基地の位置は、METI調査ではヌエボ アライハンのオートピスタ沿道の空地が提案されている（下記、候補地-3）。本調査では、この空地に加え、路線に近く、ある程度の広さを有する3か所を加えた下記の4か所を候補地とする。



出典：調査団

図 7.41 車両基地候補地

候補地 - 1 運河の西岸

運河庁(ACP)の所有地であり、運河の西岸に位置し、土や砂の堆積所として使用されている。車両基地は、第4パナマ運河橋のアプローチ道路沿いへの設置が想定される。

候補地 - 2 アライハン

アライハンの Xtra（スーパーマーケット）の北側にある空地で、本線より標高が高

い所に位置する。用地は平坦ではないため、土地の造成が必要となる。

候補地 - 3 ヌエボ アライハン（オートピスタ沿い）

METI 調査において提案された空地である。オートピスタ沿いのウエストランドショッピングモール西側に位置する。

候補地 - 4 ヌエボ アライハン（パンアメリカン道路沿い）

パンアメリカン道路沿いのヌエボ アライハンの西側の高台にある。土地の造成が必要であるが、候補地の中で最も広い面積を有する。

2) 車両基地用地の選定

建設と運用の容易さから候補地を評価し、車両基地用地を選定する。なお、建設の容易さとは必要な面積を持つ平坦な土地の確保や環境への影響の程度、運用の容易さとは、効率的な運転計画の立案や将来延伸への対応の可能性を考慮した。下表のうち、(A)は Advantage, (D)は Disadvantage を示す。検討の結果、車両基地の位置は候補地 - 4 とする。候補地 - 4 は、パンアメリカン道路沿いに位置し、土地の造成により必要な面積を確保でき、運用の容易性も高い。

表 7.37 各候補地の評価

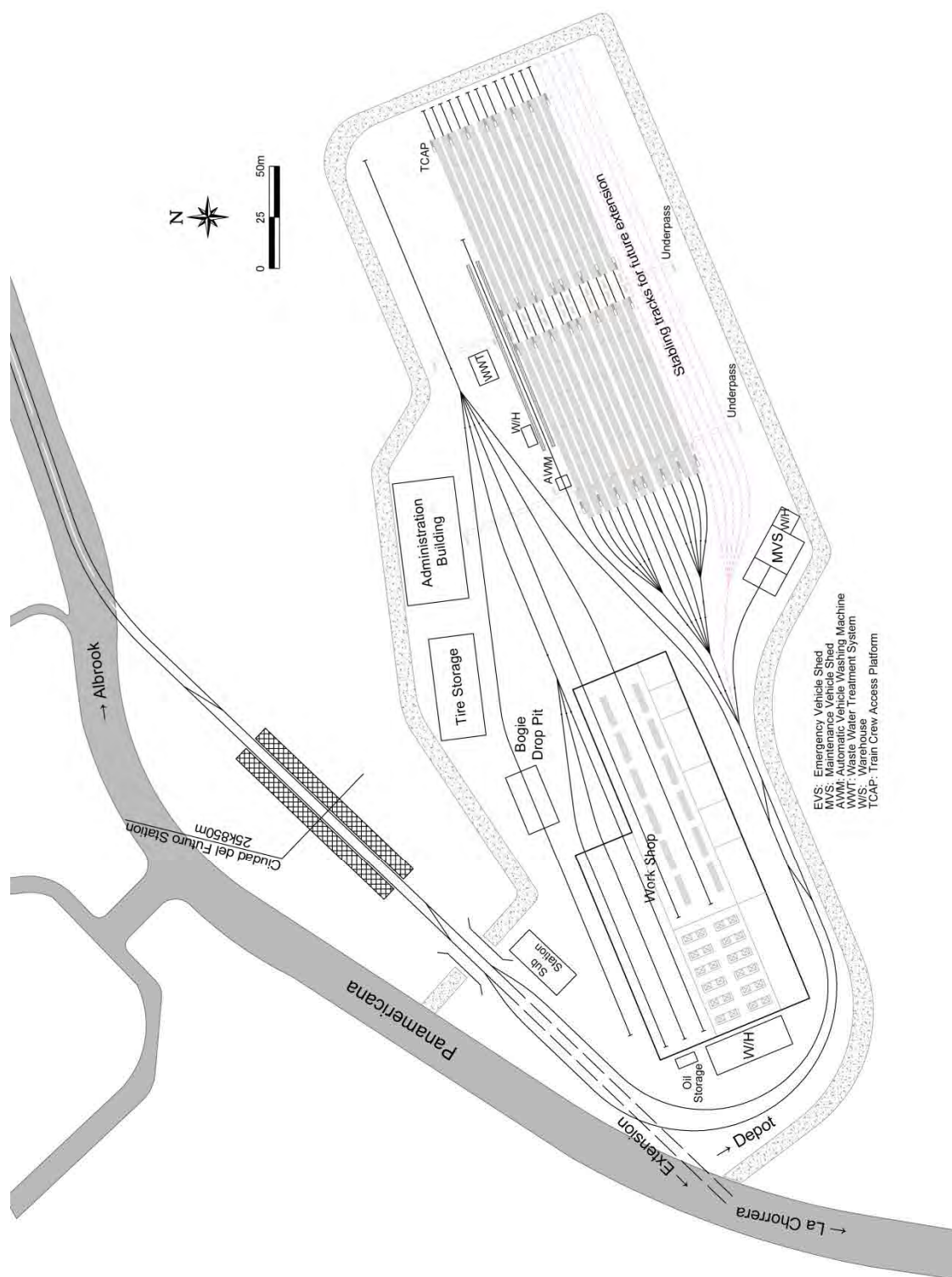
候補地	建設の容易性	運用の容易性
1 運河の西岸	(A)必要面積を超える平坦な土地が広がっている。運河岸の所有地であり民間からの用地取得とはならない。 (D)土砂の堆積場であり、車両基地を設けるためには地盤の改良に費用が掛かる恐れがある。	(A)路線の将来延伸により車両が追加された場合にも、留置線を追加可能な面積がある。 (D)朝ピークに需要が多く発生するヌエボアライハンに遠いため、早朝に回送列車が発生し、効率的ではない。
2 アライハン	(A)土地の標高が高いため、洪水のリスクは無い。 (D)土地の東側が谷であり、大規模な造成工事が必要である。人工的に土砂を堆積した土地の可能性もあり、地盤改良工事の必要性も考えられる。	(A)路線のほぼ中間に位置するため、列車運行の効率性の面では運河西側の候補地より優れている。 (D)本線との距離や高低差のために入出庫線が長く、線形が複雑となる。将来延伸時の車両留置スペースの確保は困難である。
3 ヌエボ アライハン (オートピスタ)	(A)2013 年現在、建設機材置き場に使用されており、8.2ha が販売中である。土地は平坦に整地済である。 (D)土地所有権をめぐる係争中のため土地の購入にはリスクがある。	(A)朝ピークに需要が多く発生する路線の西側にあり、早朝から列車を効率的に運用できる。 (D)本線からの離れており、入出庫線の長さが約 2km と長く効率的ではない。
4 ヌエボ アライハン (パンアメリカン道路)	(A)造成により、候補地の中で最も広い面積を確保できる。高台のため洪水のリスクは無い。 (D)高台に位置するため、大規模な造成工事が必要	(A)端末駅を隣接して建設可能であり、入出庫線が短く効率的である。朝ピークに需要が多く発生する路線の西側にあり、早朝から列車を効率的に運用できる。

出典：調査団

7.8.2 車両基地と車両工場

(1) 車両基地のレイアウト

車両基地のレイアウトを図 7.42 に示す。



出典：調査団

図 7.42 車両基地のレイアウト

(2) 車両基地内の線路設備

車両基地内の各線路設備の役割と機能及び線数を表 7.38 に示す。

表 7.38 各線路設備の役割と機能及び線数

線路設備	役割と機能	線数
入出庫線	入出庫線は、本線と車両基地を繋ぐ線路で、列車や工作車が車両基地に入出庫する際に使用する。また、入出庫線は、効率的な入出庫が可能な複線とする。2線ある入出庫線の内、外側の線は本線から分岐した後、本線の上を立体交差した後、地上まで降下して車両基地内に入る。	2線
留置線	留置線は、車両を留置するための線路である。留置線には、1つの線路に2列車を留置する。	13線 (将来18線)
列車検査線	列車検査を実施するための線路で、車両工場内に設ける。	2線
月検査線	月検査を実施するための線路で、車両工場内に設ける。	1線
重要部検査線	重要部検査を実施するための線路で、車両工場内に設ける。	1線
全般検査線	全般検査を実施するための線路で、車両工場内に設ける。	1線
タイヤ交換線	タイヤ交換線は、ゴムタイヤの検査、交換時に使用する線路である。タイヤ交換線には、タイヤの検査、交換を行う作業場となるタイヤ交換場を設ける。	1線
車両洗浄線	車両洗浄線は、車体洗浄を行うための線路である。洗浄線の一部線路両脇には、手洗い洗浄の時に足場となるプラットフォームを設置する。2線ある洗浄線の内、1つの線路には車体洗浄機を設ける。	1線

出典：調査団

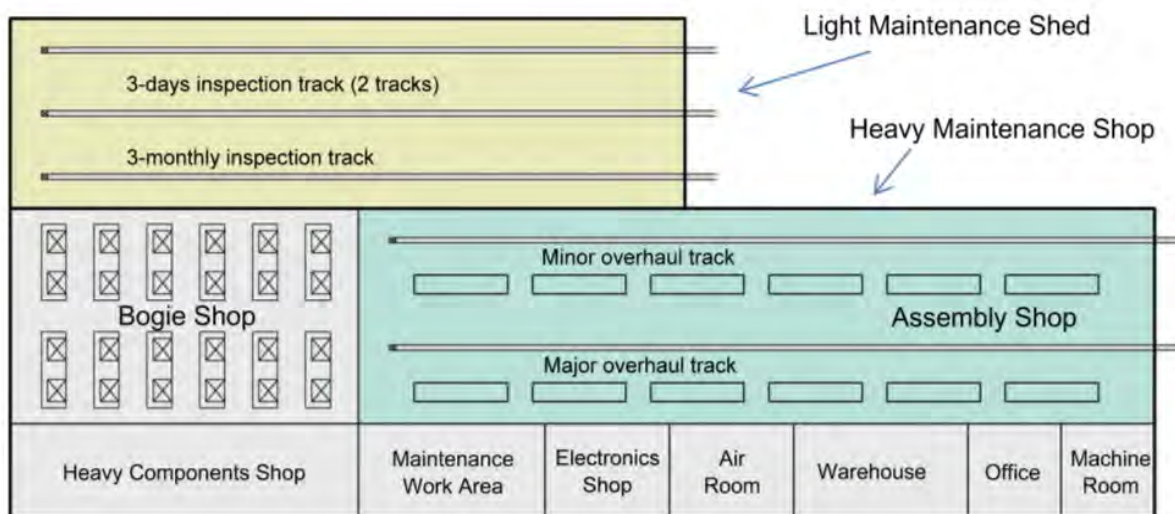
(3) 車両工場

車両工場は、車両の検査と修繕を行うための施設である。工場内のエリアは、大きく分類すると、列車検査・月検査場と検修場に分けられる。

列車検査・月検査場では在姿状態で車両の状態・機能について列車検査および月検査を実施する。また、列車検査、月検査を実施していない場合は、臨時検査線として活用する。

検修場は、重要部検査と全般検査を実施する場所で、車両を分解して各部品を検修する。作業場は、検修内容により分かれており、解艀装場、台車場、回転機場、弱電場、空制場等がある。重要部・全般検査が実施されていない場合は、留置線として活用する。

車両工場のレイアウトを図 7.43 に示す。



出典：調査団

図 7.43 車両工場のレイアウト

(4) 管理棟

管理棟には、本社機能を置くほかに、本線および車両基地内の列車の運行管理を行う運行管理センターやデポコントロールルームを置く。管理棟に設ける施設を以下に示す。

- 本社
- 事務所
- 運行管理センター
- デポコントロールルーム
- 電気機器室
- 信号機器室
- 通信機器室
- 会議室
- 食堂・休憩室
- 仮眠室・更衣室
- 見学者スペース
- 警備室

(5) 工作車車庫

モノレールの営業終了後に行う軌道や電路の保守用および資材の運搬や保守作業用の工作車を留置、整備するための車庫を設ける。工作車車庫には、工作車を3台留置することが可能で、車庫の前には、工作車の転線のためのトラバーサを設置する。

(6) その他施設

上記の施設の他に、資材倉庫、排水処理施設、油庫、変電所、緊急自動車車庫を設ける。

7.8.3 検修設備

検修作業に用いる設備リストを以下に示す。

表 7.40 設備リスト

作業場	設備	数量
列車検査場	昇降台	2台
	ATC/TD 単体試験装置	1式
	タイヤ内圧補充設備	1式
月検査場	移動式集塵装置	2台
	高所作業足場車	2台
	屋根上点検足場	3台
	車両自動検査装置	1式
検修場 解艀装場	昇降台	2台
	天井クレーン (10t/2.8t)	2基
検修場	床下機器着脱装置	2台
	けん引車	1台
	車体支持台	24台
	取り外し桁	1式
	高所作業足場車	2台
	空調機点検台	1式
検修場 台車場	台車検修台	12台
	台車気吹洗浄装置	1式
	台車拔取り桁	2式
	減速機置台	24台
	水平輪押付力測定装置	1台
	交流アーク溶接機	1台
	磁気探傷機	1台
	油圧プレス	1台
検修場 回転機場	治具・専用ツール	1式
	バッテリー充放電装置	1式
	回転機気吹装置	1式
	回転機試験装置	1式
	主電動機分解組立装置	1式
検修場 弱電場	空気圧縮機試験装置	1式
	VVVF 制御装置試験機	1式
	ATC/TD 単体試験装置	1式
	耐圧試験器	1台
検修場 空制場	絶縁試験器	1台
	小物洗浄気吹装置	1台
	空制弁試験機	1式
	圧力ゲージ	1台
タイヤ交換場およびタイヤ倉庫	超音波洗浄機	1台
	台車着脱装置 (沈下桁装置)	1式
	車体支持台	1式
	タイヤラック	192台
	タイヤ着脱機 (走行輪、案内・安定輪用)	各1台
	仮台車	1台
	台車置台	1式
	天井クレーン (500kg)	1基
	タイヤ内圧補充設備	1式
	空気圧縮機	1台

	ハンドリフター	4台
車体洗浄線	車体洗浄機	1式
	手洗い洗浄台	1式
工作車車庫	工作車	3台
	トラバーサ	1式
	交流アーク溶接機	1台
	治具・専用ツール	1式

出典：調査団

検修作業に用いる主要な設備の写真と用途を、作業場所ごとに示す。


(1) 列車検査場

1. 昇降台		2. その他	
数量：2台		<ul style="list-style-type: none"> ・ATC/TD 単体試験装置（1式）：ATC/TDの機能を試験する装置 ・タイヤ内圧補充設備（1式）：走行輪および案内・安定輪に窒素ガスを充填するための設備。 	
モノレール車両に出入りするための階段。			

(2) 月検査場

1. 移動式集塵装置		2. 高所作業足場車	
数量：2台		数量：2台	
車両の下側、台車、スカートの内側の塵埃を圧縮空気で吹き飛ばし、吸引する装置。		高所における点検、整備等の作業に使用される機械で、作業床および昇降装置その他の装置により構成されている。	
3. 屋根上点検足場		4. その他	
数量：3台		<ul style="list-style-type: none"> ・車両自動検査装置（1式）：車両の諸機能を自動で検査する装置。 ・昇降台（2台）：モノレール車両に出入りするための階段。 	
屋根および空調設備の点検、補修時に使用する作業用の足場。			


(3) 検修場

1. 天井クレーン（10t/2.8t）	
数量：2基	
車体を軌道から吊上げ、移動運搬および車体部品の整備用の天井クレーン。	

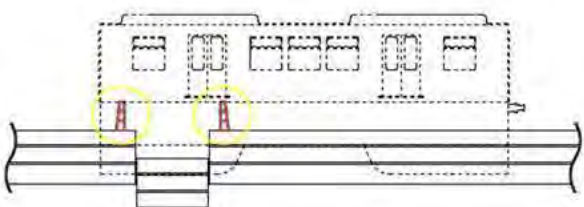
出典：調査団

＜解艀装場＞			
<p>2. 床下機器着脱装置</p> <p>数量：2台</p> <p>車体の床下機器を着脱するための専用台車。</p>		<p>3. けん引車</p> <p>数量：1台</p> <p>重点検車両の解結の際に使用する小型けん引車。</p>	
<p>4. 車体支持台</p> <p>数量：24台（12両分）</p> <p>軌道桁から吊上げた車体を支持しておく支持台。</p>			
<p>5. その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・取り外し桁（1式）：検修場入口部の取外し可能な軌道桁。 ・高所作業足場車（2台）：高所における点検、整備等の作業に使用される機械で、作業床および昇降装置その他の装置により構成されている。 ・空調機点検台（1式）：空調装置の機能をチェックするための置台。 			
＜台車場＞			
<p>6. 台車検修台</p> <p>数量：12台</p> <p>台車装置を検修するための台車置台。</p>		<p>7. 台車気吹洗浄装置</p> <p>数量：1式</p> <p>台車枠等の大型部品を高圧スチーム洗浄するための装置。</p>	
<p>8. 台車抜取り桁</p> <p>数量：2式</p> <p>軌道桁から台車装置をクレーンで容易に抜き取るため、タイヤの押付圧力を軽減するため軌道幅を狭めた軌道桁。</p>			
<p>9. その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・減速機置台（24台）：減速機用の置台。 ・水平輪押付力測定装置（1式）：案内・安定輪の押付力を測定する装置。 ・交流アルゴンアーク溶接機（1台）：アルミ材（車体等）の溶接に使用する。 ・交流アーク溶接機（1台）：一般鋼材の溶接に使用する。 ・磁気探傷機（1台）：溶接部等の亀裂を検査するための検査機。 ・油圧プレス（1台）：走行輪、減速機などのベアリングや歯車を抜き取る際に使用する。 ・治具・専用ツール（1式）：作業用の工具類。 			

出典：調査団

<回転機場>		
10. バッテリー充放電装置		11. その他
数量：1式		<ul style="list-style-type: none"> ・回転機気吹装置（1式）：回転機類の気吹を行う装置。 ・回転機試験装置（1式）：回転機類の回転試験用装置。 ・主電動機分解組立装置（1式）：主電動機の分解組立作業用の装置。 ・空気圧縮機試験装置（1式）：空気圧縮機の性能をチェックする試験装置。
車両用のバッテリー維持のために充放電を行う設備。		
<弱電場>		
<ul style="list-style-type: none"> ・VVVF 制御装置試験機（1式）：制御装置の構成機器の試験機。 ・ATC/TD 単体試験装置（1式）：ATC/TD の構成機器の試験装置。 ・耐圧試験器（1台）：測定機器 ・絶縁試験器（1台）：一般電気回路の絶縁試験器 		
<空制場>		
<ul style="list-style-type: none"> ・小物洗浄気吹装置（1台）：小物部品の気吹を行う装置 ・空制弁試験機（1式）：空制弁の性能をチェックする試験機。 ・圧力ゲージ（1台）：タイヤの圧力を測定する機器。 ・超音波洗浄機（1台）：小物精密部品を洗浄するのに使用する洗浄機。 		

(4) タイヤ交換場およびタイヤ倉庫

1. 台車着脱装置（沈下桁装置）		
数量：1式		
車体から台車を着脱するための油圧式装置。走行タイヤの交換および台車装架部品の点検・整備作業のため使用する。		
2. 車体支持台		
数量：1式		
車体から台車を抜く際、車体を軌道桁上に保持する支持台。		
3. タイヤラック		4. タイヤ着脱機（走行輪、案内・安定輪用）
数量：192台（8編成）		数量：各1台
走行輪、案内輪・安定輪のタイヤの保管棚。		走行輪、案内・安定輪のタイヤとリムの着脱を行う装置。 

<p>5. 仮台車</p>	<p>6. その他</p>
<p>数量：1台</p> <p>取外した本台車の代用として車体に装備し車両の車庫内移動に供するもの。</p>	<div data-bbox="474 324 790 542" data-label="Image"> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・台車置台（1式）：分解した台車の仮置台。台車を臨時的に整備するための作業台としても使用される。 ・天井クレーン（500kg）（1基）：台車着脱装置から台車を吊上げ、吊下しに使用する。 ・タイヤ内圧補充設備（1式）：走行輪および案内・安定輪に窒素ガスを充填するための設備。 ・空気圧縮機（1台）：エアー工具用空気動力源並びに気吹作業の空気供給源。 ・ハンドリフター（4台）：タイヤの積み降ろし作業用の移動式支持台。

(5) 車両洗浄線

<p>1. 車体洗浄機</p>	<p>2. 手洗い洗浄台</p>
<p>数量：1式</p> <p>車両外板パネルを自動的に洗浄する装置。</p>	<p>数量：1式</p> <p>洗浄線の両側に固定の作業台を設置するほか、車両停止位置の前後には車両の前後部を手洗い洗浄するための取外し可能な作業台を設置する。</p>
<div data-bbox="518 792 769 1057" data-label="Image"> </div>	
<div data-bbox="1106 831 1388 1016" data-label="Image"> </div>	

(6) 工作車車庫

<p>1. 工作車</p>	
<p>数量：3台</p> <p>軌道および軌道回りの電気品を点検するための専用作業車。重量物、長尺物等の運搬および保守作業に使用する作業車。</p>	<div data-bbox="805 1227 1093 1397" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1114 1227 1385 1397" data-label="Image"> </div>
<p>2. トラバーサ</p>	<p>3. その他</p>
<p>数量：1式</p> <p>工作車を他の軌道に移動させる装置。</p>	<div data-bbox="512 1467 783 1637" data-label="Image"> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・交流アーク溶接機（1台）：一般鋼材の溶接に使用する。 ・治具・専用ツール（1式）：作業用の工具類。

出典：調査団

7.9 き電・変電

7.9.1 電力供給システム

(1) パナマにおける電力供給状況

パナマにおける電力供給は、発電会社、送電会社及び配電会社によって行われている。発電会社は数社あり、発電した電力は「EMPRESA DE TRANSMISSION ELECTRICA, SA (ETESA)」に送られ、ETESA が送電系統管理を行っている。

ETESA の送電網は、図 7.44 に示すように、最高電圧の 230kV 系の送電線と、その下部系としての 115kV 系があり、この系統から配電用に使用されている 34.5kV または、13.8kV に降圧され一般需要家に供給されている。40kV や 12kV 等も一部に使われているが、新しく作られるものはなく、都市内等での主供給電圧は、前記 2 種である。

一般需要家への供給は、配電会社 2 社によって行われている。調査対象地域周辺においては、ELECTRA NORTE, S.A. (ENSA) が東部地域での電力を供給し、西部地域は、GASNATURAL FENOSA (Gas Fenosa) により供給されている。

本計画の 3 号線に対する電力供給は、全区間を GasFenosa によっておこなわれる予定である。

一般電源の信頼度は高くなく、パナマシティ地区においても、一般都市内電源には時おり停電がある。対象地域における電力供給は、大量輸送公共交通機関にとっては、必ずしも安定しているとは言えない。

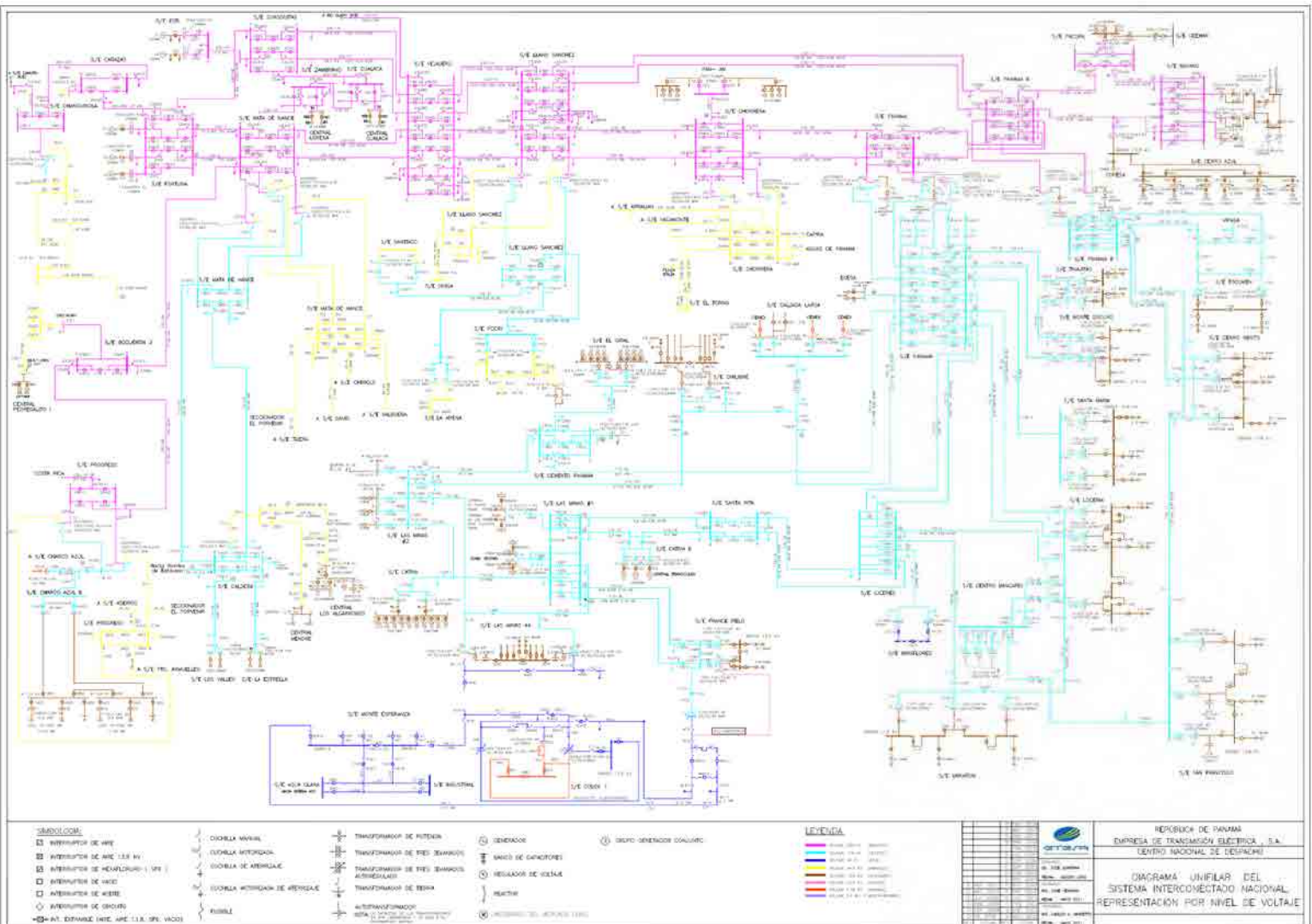
(2) 都市交通 3 号線に対する電力供給

調査団と GasFenosa との会議（2013 年 10 月 2 日）において、GasFenosa による電力供給能力を確認した。GasFenosa によれば、今回の必要電力に対して、34.5kV 及び 13.8kV による供給は可能という回答であった。供給地点についてもアルブルック、路線の中間付近、及び今回終点（デポ）付近で供給可能である。ただ現在は、上記 2 種の電源は想定される供給要求地点付近には、十分な能力のものではなく、メトロ庁側から要請があれば準備するとのことであった。現在電源が想定できていないので、電源容量・コストは不明であった。

また GasFenosa よれば、今計画の 3 号線の中間付近のブルンガで、すでに変電所新設の計画が進行しており、用地取得の準備が行われているとのことであった。この新設変電所は、ETESA の 230kV 送電線を直接分岐（挿入）する、230kV/34.5、13.8kV の変電所であり、3 号線に必要な電圧・容量の電源が確保される。工事完了予定は 2015～2016 であり、3 号線の試験・開業に十分間に合わせることが可能である。

新設変電所は、230kV の送電線に直接つながるため、信頼度が高くなることが想定できる。230kV の 2 方面 4 回線の電源で運転されることになる。この変電所は最新の信頼性の高い機器類で構成される。3 号線の電力は、そこから他需要家の影響を受けにくい専用線で受電される。

新設変電所の位置は、図 7.45 に示すように、本路線に近く 2km 程度であり、送電線の信頼性及び建設費用にとっての利点である。



出典：メトロ庁

図 7.44 電力会社 (ETESA)送電系統図



出典: GasFenosa

図 7.45 ブルンガ変電所予定地

7.9.2 送電系統計画

(1) 送電線の電圧

本事業の必要電力は大きく、開業時で 25MVA（き電用電力 19MVA、帯電力 6MW）程度、2050 年時点で、30MVA（き電用電力 23MVA、附帯電力 6MW）程度と想定される。裕度を取って 50MVA を供給目標電力とすると、要求電流は、13.8kV と 34.5kV でそれぞれ下記に示す通りであり、電流容量による架橋ポリエチレン（XLPE）ケーブルの必要断面積は下記のようになる。

- 13.8 kV 2090A XLPE 630mm² x2x3（3 芯） 1110Ax2=2220A
- 34.5 kV 840A XLPE 400mm² x1x3（3 芯） 840A

中間点付近で分割するとして、要求値を 25MVA とすると

- 13.8 kV 1050A XLPE 630mm² x1x3（3 芯） 1110A
- 34.5 kV 420A XLPE 150mm² x1x3（3 芯） 470A

実際の配線では、電圧降下の要素も大きく上記より大きくなる。

建設費用については、ケーブル電圧に違いがあるため直接の比較は難しい。ケーブル断面が広くなると高価になるが、電圧が高い方が接続機器の費用を含めても有利と考えられる。本事業の負荷の大きさでは、34.5kV が有利であると考えられる。

(2) 送電線の構成比較と推奨案

送電線の構成については、GasFenosa の電源供給に対する情報をもとに、34.5kV の電圧を前提として、以下の 4 案を比較検討した。

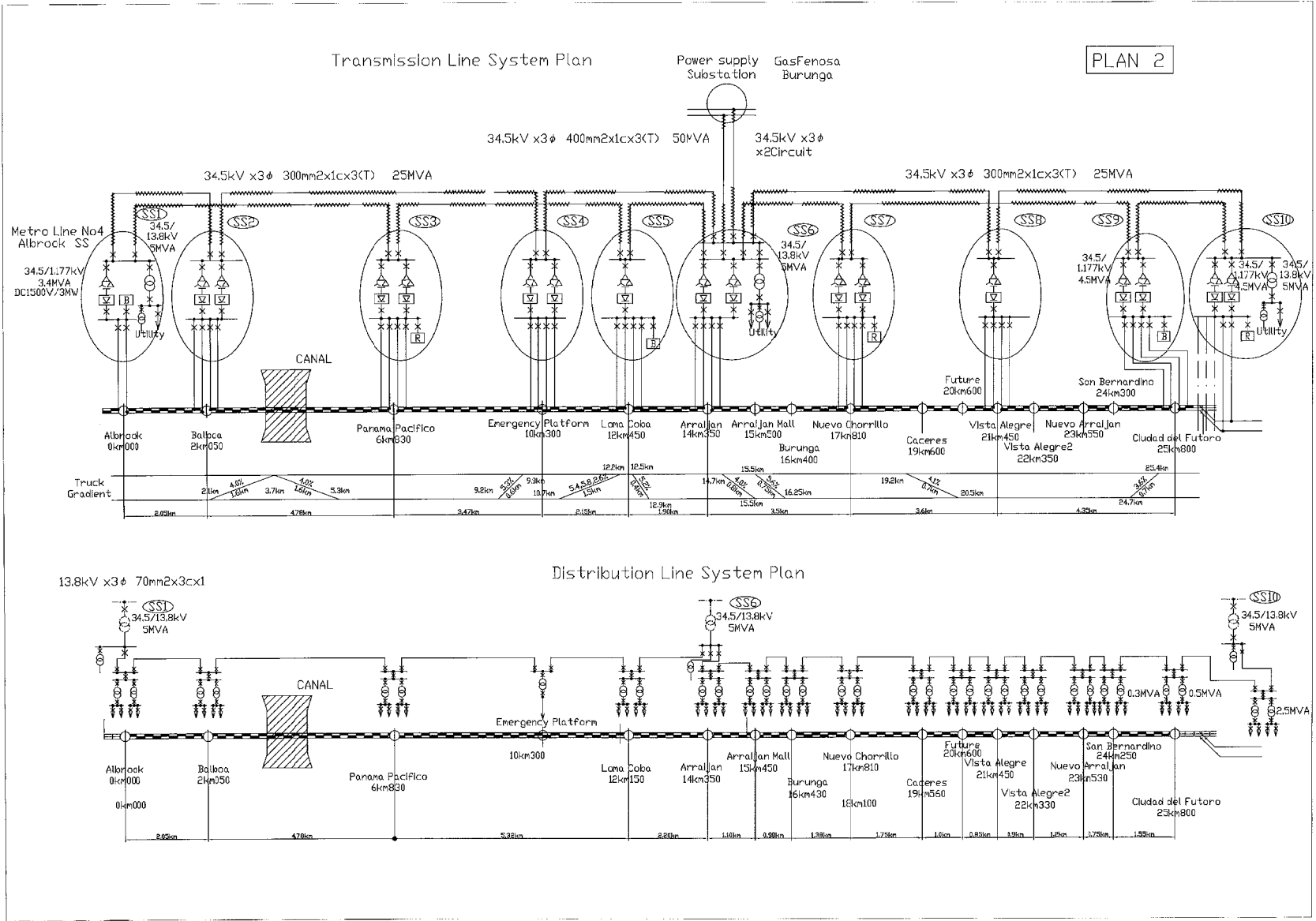
- 第 1 案：34.5kV 両端受電のループ送電方式、
- 第 2 案：34.5kV での、中央（ブルンガ）電源の 2 回線ループ
- 第 3 案：同じ 34.5kV 中央電源の相互予備（2 回線）方式、
- 第 4 案：13.8kV の中央に加え両端で同電圧の受電による、3 箇所受電によるループ方式

費用面には、電圧が低く、ケーブル・機器の安価な第 4 案が安いと考えられるが、ケーブルが太く、また 3 箇所受電であるため、電力会社への負担金が大きくなることが想定され、大きな差はないと考えられる。

信頼性と運用の容易さでは第 3 案が最良であるが、機器数が多くコストがかさむと考えられる、ただし信頼性を最重要とすれば、第 3 案の評価が一番高い。

本計画では、十分な信頼性を持ち、費用面でも妥当な第 2 案を推奨案とした。

第 2 案を、図 7.46 に示す。また、第 2 案に対する電圧降下計算を、表 7.39 に示す。最悪条件と考える長いほうのループについて計算した。



出典:調査団
図 7.46 送電系統計画図

表 7.39 送電線電圧降下計算

34.5kV Transmission Lines for Traction Substation
Calculation of Voltage Drop

NO.	Electric System				Load							Cabling				Line Constants		Impedance		Voltage drop d-v-E -100 -100	Voltage drop d-v-E -100 -100	Note
	Phase Number of Cables	Voltage E (V)	FREQ. QUANTITY F (Hz)	Section	Circuit Capacity P	Unit Power Factor COSφ	Effi- ciency η	Circuit Current I (A)	Circuit Length L (m)	Type			No. of Cable N	Current Carrying Capacity I _c (A)	Resistance R ₀ (Ω/km)	Reactance X ₀ (Ω/km)	Resistance R ₁₀₀₀ (Ω)	Reactance X ₁₀₀₀ (Ω)				
										Kind of Cables	SIZE	Weight										
CASE1																						
SS5 to SS6 Worst case																						
				SS-6																		
1	3	3	34500	60	~ SS-5	30,000	kVA	0.0	1	725	2,050	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.1623	0.2780	335.6	0.07	
				SS-5																		
2	3	3	34500	60	~ SS-2	36,000	kVA	0.9	1	669	5,850	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.4632	0.7933	883.7	2.56	
				SS-3																		
3	3	3	34500	60	~ SS-1	30,000	kVA	0.9	1	558	6,750	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.5245	0.9153	950.5	2.47	
				SS-1																		
4	3	3	34500	60	~ SS-2	27,000	kVA	0.9	1	502	2,150	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.1702	0.2915	243.7	0.71	
				SS-2																		
5	3	3	34500	60	~ SS-4	21,000	kVA	0.9	1	390	8,350	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.6611	1.1323	735.3	2.13	
				SS-4																		
6	3	3	34500	60	~ SS-6	15,000	kVA	0.9	1	279	4,150	33kV XLPE-10	300	1	740	0.079	0.136	0.3286	0.5627	261.4	0.76	
																				Total	2974.6	8.6

Permissible conductor temperature : 90°C
 Ambient temperature : 40°C
 Formula for Voltage Drop : $e = K \cdot I \cdot (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta)$
 (K=2: 1φ, K=√3: 3φ)

出典:調査団

き電用変電所負荷は、変動が大きくまた整流器負荷のため高調波の発生がある。これらの他需要家への影響の防止また、管理が緩い一般需要家からの影響を避けるため、専用線とすることが望ましい。

7.9.3 き電系統計画

(1) き電系統構成

車輛への電力供給は直流 1500V 方式とし、IEC に準拠して最高電圧 1900V、最低電圧 1000V とする。

電力供給は、信頼度の高い2重系方式とし、システム内のある一組の機器が故障しても通常運転が可能な構成とする。2組以上の機器が同時に故障した場合は、制限された運転となる。

変電所間隔は、整流器容量、電圧降下により決定される。

き電回路の電圧変動を、上記の電圧変動範囲に収めるための方式に、二種類が考えられ、分散配置と集中配置となる。

分散配置案は、標準容量の変電所をおおむね等間隔に置き、1箇所が故障した場合は、隣接の変電所より電源供給される方式であり、電圧降下上苦しい末端を除き、整流器は各一組とする。

集中配置案は、一変電所あたり複数の整流器を置き、変電所が停止しないように考える。

両方式とも、システム内の機器一組の事故時には、要求される電圧変動範囲内に収まるが、集中配置は、常時の車両の電圧が、分散方式に比べて低い。また電車線事故時に、集中配置だと、切り離して区分する区間が広く、広範囲が停電することとなる。

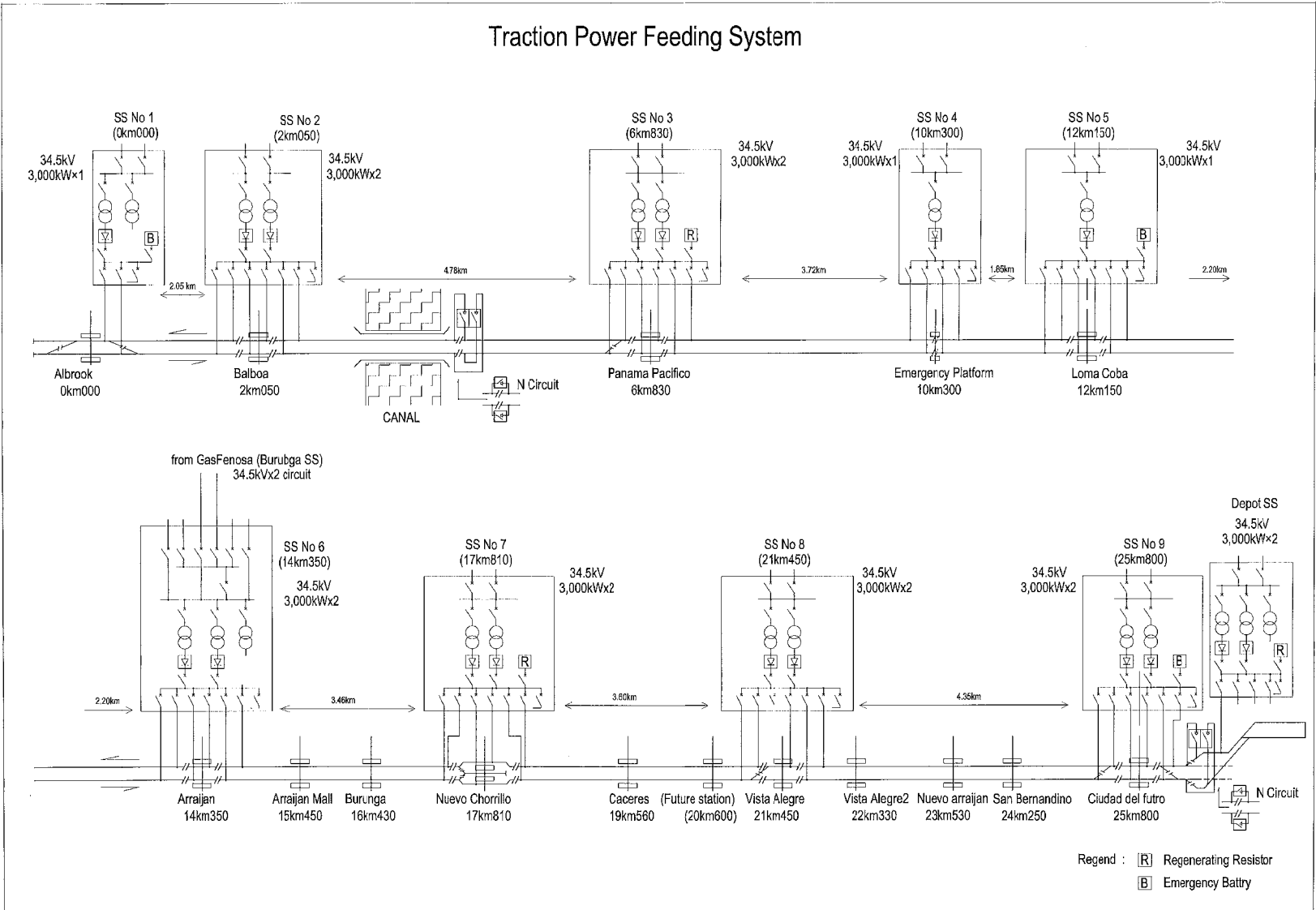
コスト的には集中方式のほうが安価であり、同一所内で機器を一組点検可能等、保守の

やりやすさもあるが、機能的には分散方式の方が優れており、分散方式を選択する。

メンテナンス、及びセキュリティの観点より、メトロ庁から変電所を、駅内に取り込むとの要求があり、全ての変電所を駅内設置とした。駅の間隔が均等でなく、駅間の長いところが有り、後記する、き電系統の検討の、整流器容量、電圧降下の計算より、位置及び容量を決定したが、不均衡な配置となった。

上記の検討により策定した、き電系統を、図 7.47 に示す。

き電系統図及び運転計画による、開業時及び 2050 年時点での負荷の集計を、表 7.40 に示す。表 7.41 に、常時及び異常時の電圧計算を示す。



出典：調査団

図 7.47 芝電系統図

表 7.40 き電用電力の計算

Power consumption for traction		PANAMA METRO LINE No 3																					
2020-2050-		P-consumption rate		100 kWh/1000t-km (includes utility power)																			
		P. weight		65 kg/parson		TC-car weight(t)		27 (t)		M-car weight(t)		26.5 (t)											
		Sch speed1		42 km/h		Sch speed2		33 km/h		Line Resistance(Ω/km:		0.027											
										(+ and -)													
No of Cars		4 Cars		No of Pass.		492		572		652		732											
		6		750		870		990		1112													
		8		1008		1168		1328		1492													
Conjestion		(person/m2		4		5		6		7													
Car No /set (car/set)	Headway (Minutes)	Consp. Rate (Approx.) (kWH/kt-km)	Capacity Passengers par/m2	Car Weight (Ave.) (t)	1.Albrook service area 0.00 (km)	2.Balboa 2.05	3.Panama Pacifico 6.83	4.Emergency Platform 10.30	5.Loma Coba 12.15	6.Arrijan 14.35	7.Nuevo Cinohrilo 17.81	8.Vista - Alegre 21.45	9.Cuidad EL Futro 25.80	Ciudad El Futro(2) 25.85	Depot+ 28.35 (26.1)	Total Lgn. (km)	Total (kW)	Pf=0.95 (kVA)	Reference total transportation Capacity				
6	3.3 (3min20S) (18train/h) at y. 2020	100	6	37.39 224.4	1.03 836.2	3.42 2786.0	4.13 3365.3	2.66 2170.1	2.03 1652.0	2.83 2308.8	3.55 2896.2	4.00 3259.2	2.20 1794.8 2019.2	0.3 224.4	26.1	21292.9	22414	Pass. No per Direction 18000.0					
6	5.4 (11train/h) at y. 2020	100	6	37.4 224.4	1.0 511.0	3.4 1702.6	4.1 2056.5	2.7 1326.2	2.0 1009.6	2.8 1410.9	3.6 1769.9 2269.5 (*)	4.0 1991.7	2.2 1096.8 1233.9 (**)	0.3 137.1	26.1 Partial O.	13012.3 18113.9	13697 19067	11000.0					
6	2.7 (2min40Sec) (22train/h) at y. 2050	100	6	37.4 224.4	1.0 1022.0	3.4 3405.1	4.1 4113.1	2.7 2652.3	2.0 2019.2	2.8 2821.8	3.6 3539.7	4.0 3983.5	2.2 2193.6 2467.9	0.3 274.2	26.1	26024.6	27394	22000.0					
6	5 (5min.00sec) (12train/h) at y. 2050	100	6	37.4 224.4	1.0 551.9	3.4 1838.8	4.1 2221.1	2.7 1432.3	2.0 1090.3	2.8 1523.8	3.6 1911.5 2633.7 (*)	4.0 2151.1	2.2 1184.6 1332.6 (**)	0.3 148.1	26.1 Partial O.	14053.3 21428.7	14793 22557	11880.0					
6	2 (120sec) (40train/h)	100	6	37.4 224.4	1.0 1379.8	3.4 4596.9	4.1 5552.7	2.7 3580.6	2.0 2725.9	2.8 3809.5	3.6 4778.7	4.0 5377.7	2.2 2961.4 3331.6	0.3 370.2	26.1	35133.2	Pf=0.95 36982	Pass. No per Direction 29700.0					
6	2.4 (2min 20sec) (22train/h)	100	6	37.4 224.4	1.0 1149.8	3.4 3830.8	4.1 4627.2	2.7 2983.9	2.0 2271.5	2.8 3174.6	3.6 3982.2 4335.5 (*)	4.0 4481.4	2.2 2467.9 2776.3 (**)	0.3 308.5	26.1 Partial O.	29277.7 32885.2	Pf=0.95 30819 34616	Pass. No per Direction 24750.0					
Substation Capacity (KW)					3000	3000 x2 set	3000 x2 set	3000	3000	3000 x2 set	3000 x2 set	3000 x2 set	3000 x2 set										

Note * Proportional to service distance for each direction
** Add end direction bad

出典：調査団

表 7.41 き電線電圧降下計算

Result of Voltage Drop Calculation in the DC Feeding System for Line No3

Minimum Voltage				0.027Ω/km: Contact line system resistance									
Voltage V>1000	Head way (min)	Year	Rect- fire (MW)	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	SS9	LEnd
Location (km)				0.00	2.05	6.83	10.30	12.15	14.35	17.81	21.45	25.80	26.10
Distance (km)				2.05	4.78	3.47	1.85	2.20	3.46	3.64	4.35	0.30	
Normal condition	3.3 5.4 2.7 5.0	2020 2020 2050 2050	6 6 6 6	3M 1466	1411	1384	1407	1428	1444	1451	1441		
SS1 Fail with SP	3.3 2.7	2020 2020	6 6	1438 1413									
SS1 Fail without SP	3.3 2.7	2050 2050	6 6	1385 1360	1set down		SS down						
SS2,4 Fail with Contr	3.3 2.7	2020 2050	3 3	1372 1340	1331 1287	1301 1245							
SS3,6 Fail with Contr	3.3 2.7 2.0	2020 2050 —	3 3 3	1302 1251 1162	1322 1284 1200	1395 1368 1317	1377 1350 1290						
SS7 Fail with Conn.	3.3 2.7 2.0	2020 2050 —	6 6 6			1329 1290 1208	SS down	1347 1313 1240	1377 1279 1159	5.4 5.0 2.0			
SS8 Fail with Conn.	5.4 5.0 2.0	2020 2050 —	6 6 6						1363 1352 1119	1353 1342 1089	1set down		

出典：調査団

(2) 変電所内主要機器構成

変電所は屋内設備とし、全ての機器を駅内に設備する。設備は、キュービクル収納や機器直結等により、充電部の露出しない構造とする。

1) 変圧器

整流器用変圧器は、屋内設置のため、火災対策として乾式又はモールドタイプとする。ガス絶縁タイプは大型で費用が高いため推奨しない。装置容量は、容量計算より 3000kW で、電圧は 34.5kV である。

2) 整流器

整流器設備は、6相で全波整流 12パルス方式とし、高調波の発生を抑える。定格はき電設備として通常使用される過負荷定格を持つものとし、150%の過負荷に2時間、300%の過負荷に1分間耐えるものとする。整流器の形式としては、乾式風冷、油入自冷その他が存在するが、火災対策も考慮し、閉鎖型で保守の必要の少ない沸騰自冷式を推奨する。

変圧器～整流器間は、バスダクト接続として、充電部露出・配線の複雑さを避ける。

34.5kV 機器は、キュービクル収納型とする。

3) 回生電力吸収装置

車輛の要求より、回生失効対策に、回生電力吸収装置（抵抗消費型）を設ける。設置箇所は、2箇所にか所とする。

4) 非常用電源

パナマ市内では、電力システムの安定性が弱く市内の一般送電網ではかなりの停電が起きている。今回の電源は、最上位系統直結で停電の可能性は少ない。ただこの系統も停電が皆無ではなく、情報によれば、5年前に停電したことがあるという。

停電対策として、系統内の5か所の変電所の回生吸収設備のうち、3箇所を大容量バッテリーによる停電対策装置に置き換えることを提案する。

ただこの設備は開発されて日が浅く、やっとな実系統に投入されたばかりで、非常に高価であり、導入に当たっては注意を要する。またバッテリー設備であるため、定期的交換等特別な保守の発生する可能性がある。この機器は回生電力吸収機能があるため、抵抗消費型の機器と入れ替えとなる。

5) 遮断装置

き電区間が長く、また故障等によるき電延長時にも確実な保護を提供するため、連絡遮断装置を設ける。通信設備として設備される、光ケーブルを使用するタイプを選択する。

き電設備の保護には、直流高速度しゃ断器を使用する、キュービクル入り屋内型とする。

変電所が駅構内設置となるため、電車線に中セクションを設け、しゃ断器を設備する。保守の便を考え、予備しゃ断器を設備し、各き電回線しゃ断器と切り替えて使用する。

保守の便、事故時の運用を考慮し、すべての機器を標準化し、異常時の運用ができるようにする。機器類は主に輸入品であるため、再調達に時間を要することが考えられ、予備機を設備することが必要である。

電気機器の無加圧状態での保管は、問題があり注意を要する。

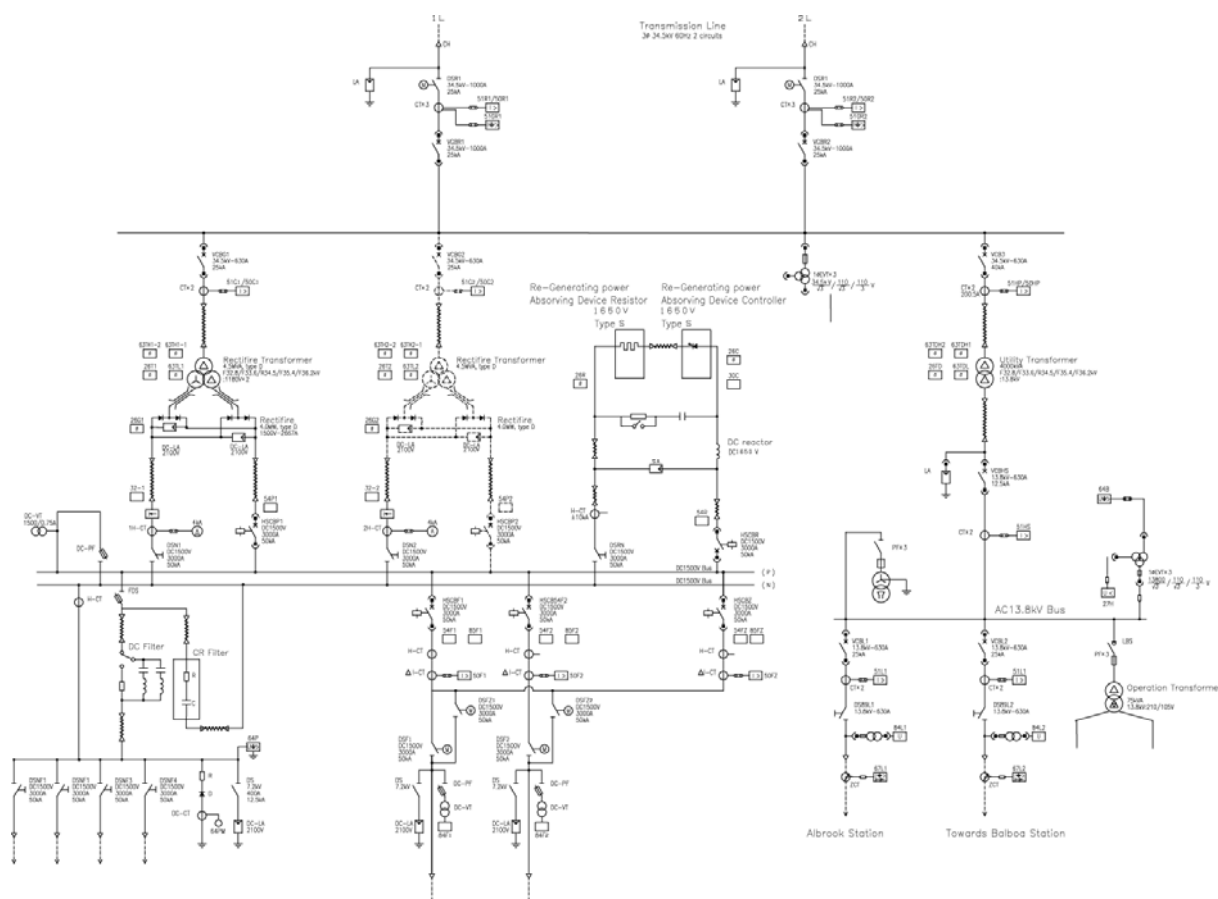
上記の検討より計画する変電所の結線図例を、図 7.48 に示す。

(3) 遠方制御装置（P-SCADA）

中央監視設備を OCC 内に設置し、変電所内及び駅電気室の主要機器の制御及び監視を行う。

通信方式は、汎用の TCP/IP 方式による、LAN 構成とし、装置は可能な限り、汎用の機器を採用し、コストを抑える。通信システムにより設備される、光 LAN ケーブルを使用しイーサネット方式をベースに考える。

SCADA システムとの接続を容易にするため、及び PLC（プログラマブルコントローラ）等の汎用機器を使用してコストを下げため、変電所の制御も IP 接続を基本としたシステムで構成する。



出典：調査団

図 7.48 変電所主回路結線図

7.9.4 電車線設備計画

(1) き電線

き電線は電車線に直流 1500V を供給するため、表 7.42 に求めた必要電流を供給出来る電流容量を有するケーブルとする。

き電線は、狭隘箇所の電車線に通電するため、可撓性を備えたケーブルを使用する。

本線のき電区分は、変電所の送り出し地点、車両基地への分岐地点、及び第 4 パナマ運河橋を区分する地点の、運用上必要な個所に設備し、セクションを設ける。

(2) 電車線路設備

電車線の標準電圧は直流 1500V とし、(IEC に準拠し最大電圧 1900V とする)、列車の適切な運行を確保するため十分な値を保つものとする。

電車線の架線方式は複線式剛体架線、側面接触方式とし、構造は T 形架台とトロリー線で構成する。図 7.49 に電車線構造を示す。

電車線負荷の計算より、1 時間最大電流で 2700A、短時間最大電流で 6700A を流せる構成とする。

T形架台の断面積を2200mm²、トロリー線は170mm²とする。表 7.42 に断面計算を示す。抵抗値は0.027Ωとなる。

表 7.42 電車線断面検討

PART	Material	Section	Current Capacity	Resistance Ω/km(20°C)	Total Ω/km
Aluminum Trestle	A-6063-T5	2200mm ²	2700A	0.01536	0.0134
Contact Wire	GT-170	170mm ² (68)60% wear		0.104	

出典：調査団

同一の構造で、P 及び N 回路を構成するため、線路抵抗として、0.027Ω/km として計画する。

電車線は、軌道面側面に取り付けられた碍子により支持し、車両パンタ摺板が平均に摩耗する様、電車線高さ（軌道走行面からの高さ）に一定の偏位を持たせた、スネーク状に布設する。

電車線は、電車線の温度変化による伸縮、取付工事の作業性を考慮した長さとする。なお、中央部にアンカーリングを設け、接手部には伸縮継手を設ける。

変電所が駅構内設置であるため、駅近傍にセクションが設備されるが、起動電流、回生電流の移行により、セクションの損耗が発生する可能性がある。またセクションオーバー対策も必要であり、ロングセクションの採用を考慮する。

(3) 正電車線路防護板

正電車線路防護板は正電車線のうち、ホーム前面にある部分、分岐器受桁上及び地上高が規定値に満たない部分に設ける。

(4) 車体接地板

車体接地板は、負電車線上部の軌道桁に設け、機械的強度、たわみ量を考慮し、車体接地に支障のないものとする。

車体接地板は、各駅のホーム及び車両基地内で車両点検が行なわれる箇所に設ける。

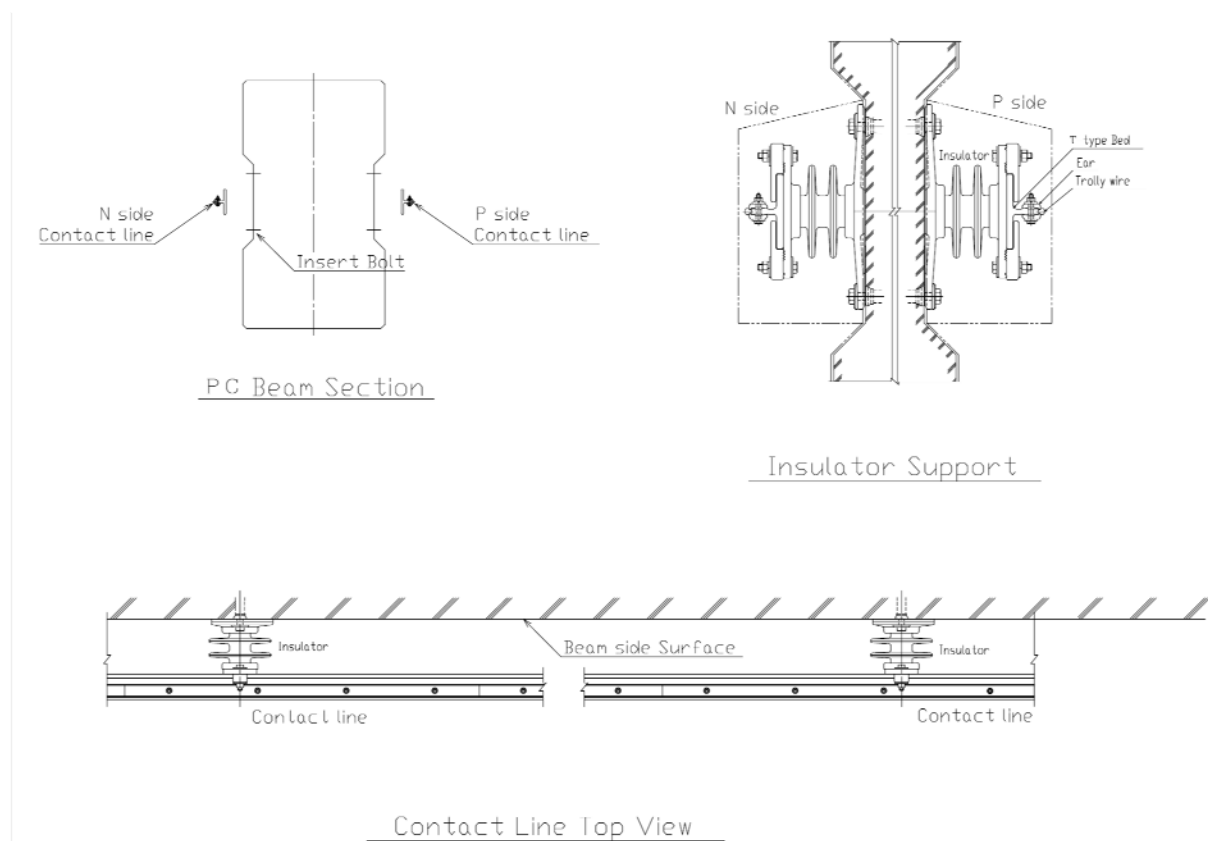
(5) 避雷器

避雷器は変電所の引出部、分岐部、電車線等に設ける

避雷器は、正電車線側に直流 1500V 用、負電車線側に直流 600V 用の定格とする。

避雷器は上下線の正電車線用・負電車線用に各 2 組、計 4 個を避雷器箱に納めて設備する。

電車線本線に設備する避雷器は、500m 間隔とする。



出典:調査団

図 7.49 電車線構造図

7.9.5 配電設備計画

(1) 配電線路の構成

配電線路構成はき電用変電所に設備された配電用変圧器の2次側から、交流13.8kVに変換された回線にて各駅、車両基地に配電される。

配電用変圧器は両端のき電用変電所及び中間のき電変電所（SS5）の合計3ヶ所に設備される（図7.47下段参照）。

配電線の電源が停電した場合に対して、各設備は独自にUPS等を設置する。非常用発電設備は、燃料、保守等に独自の対応が必要である。非常用発電設備は起動に時間がかかり、瞬停対策にはならない。本事業においては、車両基地と管理建物にのみ非常用発電設備を設置する。

各駅には両端および中央のき電用変電所より配電される構成となり見かけ上2回線配電となる。定位側のき電用変電所が停電した場合、反位側のき電用変電所より配電される。

各駅に設置される配電用の主要機器についてはOCCのSCADAシステムにより監視及び制御する。

配電ケーブルは、片側の桁下に設置するケーブルラックに敷設する。

(2) 配電負荷設備

駅の負荷設備としてはエスカレーター、エレベーター、ホームドア、自動改札、自動券売機、通信放送設備、信号設備、分岐器用電源、照明空調等建築付帯設備がある。

駅電気室には一般負荷と重要負荷を分け列車運転に重大な影響を及ぼす重要負荷には停電時非常用電源が供給されるようにする。

本計画における駅配電負荷の想定は表 7.43 の通りである。

表 7.43 駅負荷電力の計算

LOAD OF DISUTRIBUTION LINE

STATION NO	STATION NAME	CAPACITY (kVA)	LOAD FACTOR (%)	ACTUAL LOAD (kVA)	Transformer Capacity (kVA)
NO.1	Albrook	500	70	350	4000
NO.2	Balboa	300	70	210	
NO.3	Panama Pacifico	500	70	350	
	Emergency Platform	20	70	14	
NO.4	Loma Coba	300	70	210	
NO.5	Arraijan	300	70	210	4000
Subtotal-1		1920		1344	(1500)
NO.6	Arraijan Mall	500	70	350	
NO.7	Burunga	300	70	210	
NO.8	Nuevo Chorrillo	500	70	350	
NO.9	Caceres	300	70	210	
NO.9-1	Future	300	70	210	
NO.10	Vista Alegre	500	70	350	
NO.11	Vista Alegre2	300	70	210	
NO.12	Nuevo Arraijan	300	70	210	
NO.13	San Berrnadino	300	70	210	
NO.14	Ciudad del Futoro	500	70	350	
	Depot	2500	50	1250	4000
Subtotal-2		6300		3910	(4000)
Total LOAD		8220		5254	12000

出典：調査団

(3) ケーブル仕様

ケーブルは、15 k V XLPE-T 95mm² を使用する。

電圧降下計算は条件の最も厳しくなる中間のき電変電所から終端のき電変電所間を計算し表 7.44 に示す。

13.8KV Power Distribution Lines for LPS
Calculation of Voltage Drop

NO.	Electric System			Load						Cabling				Current Carrying Capacity Ip (A)	Line Constants		Impedance		Voltage drop e (V)	Voltage drop d=e/E *100 (%)	Note	
	Phase Number of Cables φ w	Voltage E (V)	Frequency f (Hz)	Section	Circuit Capacity P	Unit	Power Factor COSθ	Efficiency λ	Circuit Current I (A)	Type			No. of Cables H		Resistance Ra (Ω/km)	Reactance Xa (Ω/km)	Resistance R=Ra*L *1000 (Ω)	Reactance X=Xa*L /H *1000 (Ω)				
										Circuit Length L (m)	Kind of Cables	Size (mm ²)										
																						Line Constants
CASE4																						
SS10 to SS5 contrary																						
1	3	3	13800	60	SS-10 ~ Depot	4,155	kVA	0.9	1	193	600	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.1480	0.0857	57.0	0.41	
2	3	3	13800	60	Depot ~ NO.14 ST	2,905	kVA	0.9	1	135	1,250	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.3082	0.1785	83.1	0.60	
3	3	3	13800	60	No14 stn ~ NO.13 STA	2,555	kVA	0.9	1	119	1,650	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.4069	0.2356	96.6	0.70	
4	3	3	13800	60	NO.13 STA ~ NO.12 STA	2,345	kVA	0.9	1	109	850	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2096	0.1214	45.6	0.33	
5	3	3	13800	60	No12 STA ~ SS11 STA	2,135	kVA	0.9	1	99	1,300	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.3206	0.1958	63.3	0.46	
6	3	3	13800	60	No11STA ~ NO.10 ST	1,925	kVA	0.9	1	89	1,000	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2466	0.1428	43.8	0.32	
7	3	3	13800	60	No10STA ~ NO.9-1 STA	1,575	kVA	0.9	1	73	950	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2343	0.1357	34.1	0.25	
8	3	3	13800	60	No9-1stn ~ NO.9 STA	1,365	kVA	0.9	1	63	1,100	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2712	0.1571	34.1	0.25	
9	3	3	13800	60	No9 stn ~ NO.8 STA	1,155	kVA	0.9	1	54	1,850	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.4562	0.2642	49.2	0.36	
10	3	3	13800	60	No8 stn ~ NO.7 STA	805	kVA	0.9	1	37	1,550	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.3822	0.2213	28.2	0.20	
11	3	3	13800	60	No7 stn ~ NO.6 STA	595	kVA	0.9	1	28	1,000	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2466	0.1428	13.8	0.10	
12	3	3	13800	60	No6 Stn ~ NO.5 STA	245	kVA	0.9	1	11	1,200	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.2959	0.1714	6.5	0.05	
13	3	3	13800	60	No5 Stn ~ SS 6	35	kVA	0.9	1	2	150	15KV XLPE-1C	95	1	320	0.247	0.143	0.0370	0.0214	0.1	0.00	
																				Total	555.5	4.0

Permissible conductor temperature : 90 °C
 Ambient temperature : 40 °C
 Formula for Voltage Drop : e = K*I*(R*cosθ + X*sinθ)
 (K=2: 1φ, K=√3: 3φ)

表 7.44 配電線電圧降下計算

出典：調査団

7.9.6 落雷対策

(1) 落雷の種類

落雷は、影響を与えた場所や対象物によって以下のように分類される。

- 1) 直撃雷：一般的な落雷で、雷放電による電流の大部分が人体や建造物・設備、樹木などを通過する。直撃によって雷電流が大地まで貫通した場合には構造物の破損、発火などの大きな損害が生じる。
- 2) 誘導雷：建物、樹木などに落雷があった場合に、電源線や通信線、アンテナなどに雷電流からの電磁誘導によって発生する高電圧をいう。この現象によって生じる雷サージ（落雷によって発生する過渡的な高電圧によって電流が流れる現象）により、電気機器や通信機器が故障する場合がある。
- 3) 逆流雷：建造物への雷撃時、接地抵抗が十分低くないと、電源を供給している電源線および通信線に雷電流の一部が逆流するように入り込み過電圧が生じる。この現象も雷サージとなって電気機器や通信機器に侵入する。

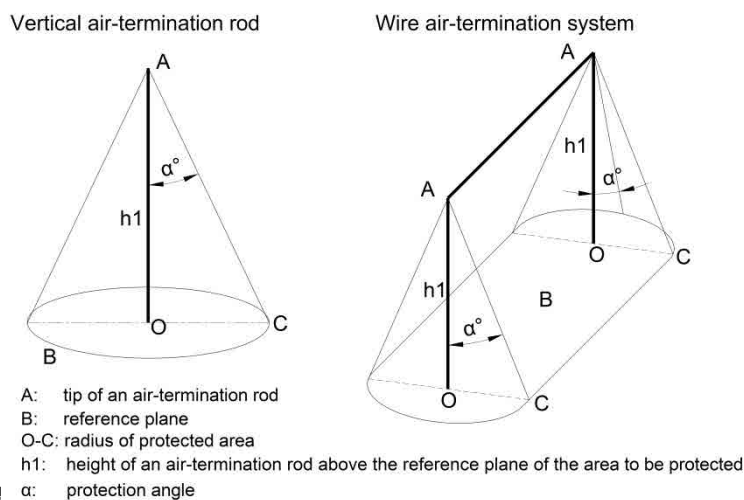
避雷に関わる規格である IEC 62305 シリーズおよび JIS A 4201-2003 では、雷保護システムを外部雷保護システムと内部雷保護システムに分類している。外部雷保護システムとは、受雷部、引下げ導線および接地システムからなり、接近する雷を受雷部で補足して雷電流を迅速に、効果的に大地に放流するシステムである。また、内部雷保護システムとは、被保護物において雷の電磁的影響を低減させるため、外部雷保護システムに追加する、等電位ボンディングおよび安全隔離距離の確保を含めた措置をいう。

直撃雷の防護方法は、避雷針などの外部雷保護システムと、建物内部での異常な過電流を防止する内部雷保護システムによる。誘導雷および逆流雷の防護方法は、雷サージから建物内の設備機器を防護するため、内部雷保護システムである避雷器などの雷サージ防護対策による。パナマでは、避雷器の能力の限界と言われる 10kA を超える落雷が年に数回発生するため、外部雷保護システムは重要な役割を担う。

本節では、IEC 62305-3 Protection against lightning – part 3: Physical damage to structures and life hazard および JIS A 4201-2003 に基づき、モノレールの軌道桁の外部雷保護システムの設置方法を検討する。

(2) 外部雷保護システム

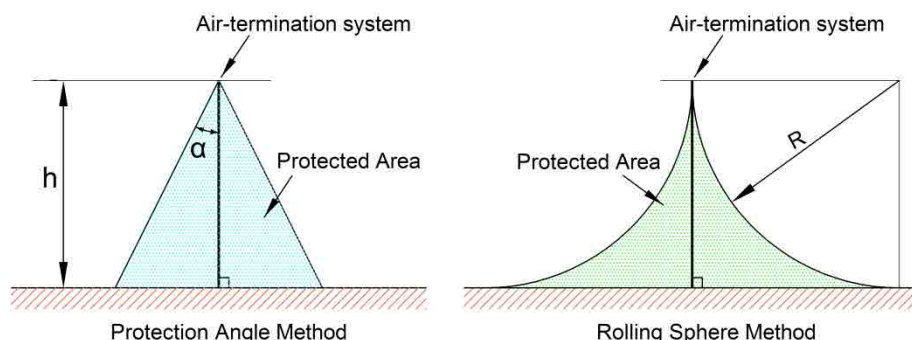
受雷部は、突針と水平導体の組み合わせにより構成する。メッシュはモノレールの軌道桁への適用が困難なため想定しない。



出典：IEC 62305

図 7.50 外部雷保護システム受雷部

保護範囲の算定には、保護レベルに応じた回転球体法および保護角法を個別に、または組み合わせて使用する。



注) h, α, R は次表参照
出典：調査団

図 7.51 保護範囲

保護レベルは、I, II, III, IV の4段階が設定されており、被保護物の種類、重要度、保護効率、費用対効果などを考慮して實際上妥当と考えられる保護レベルを選定し、これに対応する保護システムを施す。JIS A 4201 の解釈では、「一般建築物ではレベル IV、危険物施設ではレベル II を最低基準とし、立地条件、建築物の種類・重要度によってさらに高いレベルを適用する」とされている。

表 7.45 保護レベル

保護レベル	最小電撃電流(k.A)	保護効率	保護角法(α°)				回転球体法 R(m)
			h=20	h=30	h=45	h=60	
I	2.9kA	99%	25	*	*	*	20
II	5.4kA	97%	35	25	*	*	30
III	10.1kA	91%	45	35	25	*	45
IV	15.7kA	84%	55	45	35	25	60

出典：IEC 62305

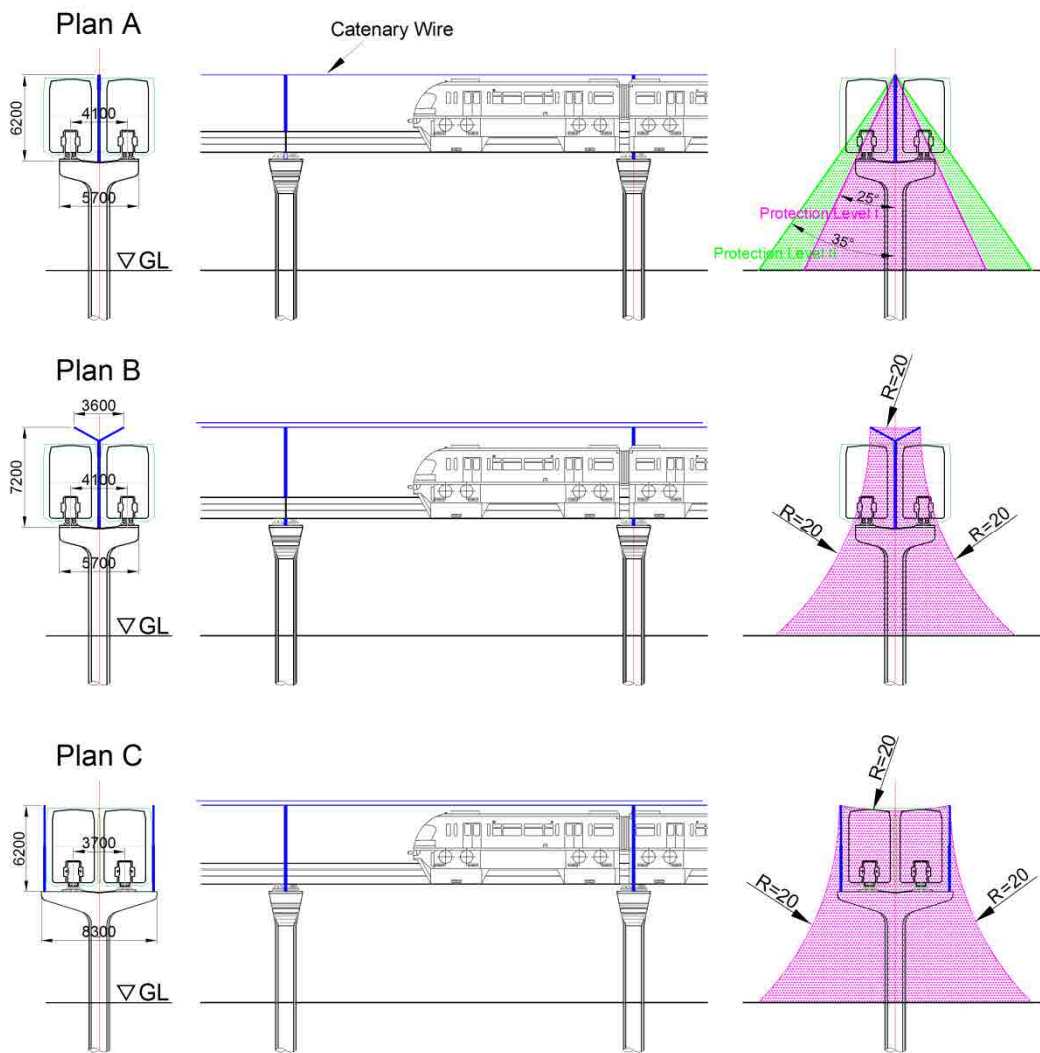
(3) モノレールの外部雷保護システム（受雷部）

保護の対象物は、モノレールの軌道桁と、軌道桁周辺の電車線およびケーブルとする。モノレールの外部雷保護システムの受雷部には水平導体（架空地線）を用い、保護範囲に軌道桁を含むように軌道上空に架空地線を設置する。架空地線の設置方法には次の3案が考えられる。

- Plan A：橋脚上の軌道中心位置に柱を立てて1本の架空地線を設置
- Plan B：橋脚上の軌道中心位置にY字の柱を立てて2本の架空地線を設置
- Plan C：橋脚の軌道の外側に柱を立て、軌道の両外に2本の架空地線を設置

いずれの案とも、曲線部では、軌道桁が円弧を描くのに対し、架空地線は橋脚間を直線の弦で結ぶため、架空地線を車両と同じ高さに設置すると車両に接触する。架空地線は、車両の屋根よりも高い位置に設置する。

3案のうち、保護レベルと保護範囲は Plan C が優れるが、本事業では費用対効果や景観を考慮して Plan A を基本とする。Plan A では保護レベル II の基準で軌道桁と電車線・ケーブルを保護する事が可能である。これよりも保護レベルを高める必要がある区域では、突針（避雷針）の併用や Plan B の採用を検討する。



出典：調査団

図 7.52 架空地線の設置案と保護範囲

表 7.46 特徴と保護レベル

	Plan A	Plan B	Plan C
架空地線の位置	軌道中心に立てる柱の先端		軌道の両外に立てた柱の先端
特徴	橋脚上に立てる柱と車両との接触を避けるため、軌道中心間隔を 400mm 広げ 4,100mm とする。		軌道の両外に柱を立てるため、橋脚の柱頭の幅を 3,000mm 拡大する。
	3 案の中で避雷設備が最もシンプルである。	Plan C に比べて軌道構造物が小さい。	
保護レベル	架空地線を車両の屋根付近の高さに設置した場合、保護レベルは II となる。	架空地線の位置は高くなるが、保護対象の保護レベルは I となる。	架空地線を車両の屋根付近の高さに設置した場合、保護レベルは I となる。
保護範囲	回転球体法を用いる場合、保護対象物を保護範囲に含むには架空地線の位置をより高くする必要がある。	Plan C より低コストで保護対象物を保護範囲に含められる。	車両も保護範囲に含まれる。保護範囲は最も広い。

出典：調査団

(4) 引き下げ導線システム

引下げ導線システムは、外部雷保護システムのうち、受雷部システムと接地システムを接続する部分を指す。本事業では、橋脚の鉄筋を利用する構造体利用引下げ導体を想定する。なお、引下げ導線の間隔は、保護レベル毎に平均間隔の上限が設定されており、これを考慮する必要がある。

(5) 接地システム

本事業では、基礎の鉄筋を利用する構造体利用接地システムを想定する。

7.10 信号

7.10.1 信号システムの役割

信号システムは、安全、正確で、信頼でき、さらに効率的な列車運行を保証する主要な装置である。このために以下の5つの主要機能を持っている。

- (1) ステーション間の列車の間隔を制御する機能（ATP）；
この機能を実現する装置は自動列車保護システム（ATP）と呼ばれる。方式には固定閉塞方式と移動閉塞方式がある。
- (2) 列車を検知する機能（TD）；
この機能は列車検知システム（TD）と呼ばれる。方式は通常の鉄道(MRT/LRT)で使用される軌道回路,モノレールで使用されるループコイル、アクセルカウンタ、無線方式等がある。
- (3) 駅やデポの分岐器のルートを制御する機能（IL）；
この機能を実現する装置はインターロックシステム（IL）と呼ばれる。IL機能はコンピュータにより達成された場合には、電子連動またはコンピュータベースのインターロックシステムと呼ばれている。
- (4) 列車の運転の統括・監視機能（ATS）；
この機能は自動運行監視システム（ATS）と呼ばれる。列車運行状況の監視とともに、列車ダイヤの作成・管理、列車ダイヤが乱れた時の列車ダイヤの修復機能を持つ。これらの機能は指令員とのマンマシンコミュニケーションにより実現される。
- (5) 自動列車運転機能（ATO）；
ワンマン運転、ドライバレス運転、UTO（Unmanned Train Operation）運転の自動運転に対応するためには自動列車運転システム（ATO）が必要である。このような運転を必要としない運転方式の場合はこの機能は不要である。

信号システムは列車運行の安全確保のコア機能であり、車両とは密接な関係を持っている。また機能は車上に搭載されるものと地上に設置されるものとに分かれる。設計上は車両と信号は一体で考えられなければならない。

7.10.2 信号システムのコンセプト

都市交通3号線における信号システムの概念を述べる。

表 7.47 信号システムのコンセプト概要

Item		Basic Concept
Standard	主要適用規格	a) IEC 62278: Railway Applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) b) IEEE1474.1, 2,3: Standard for Communication-Based Train Control (CBTC)
	安全設計	下記では SIL4 (Safety Integrity Level 4) の安全性設計が要求される。 a) ATP b) TD c) IL d) Common components of ATP and ATO
信号システム	ATP (列車防護)	固定閉塞方式、移動閉塞方式を検討したが、移動閉塞方式、具体的システムとして CBTC (Communication Based Train Control) を推奨する。
	TD (列車検知)	ATP 方式が CBTC なので、CBTC を使った列車検知方式とする。またバックアップ用列車検知として、アクセルカウンタを使用する事を推奨する。
	IL (連動装置)	システムの構成方法として分岐器のある駅すべてに連動装置を設置する方法と一部の分岐器は当該駅に連動装置を設置せず、他の駅の連動装置から遠隔制御する事により、連動装置の設置台数を削減する方法がある。後者の方式を推奨する。
	ATO (自動運転)	ATO 付きワンドライバ運転
	ATS (運行管理)	OCC での運行監視とダイヤに従った自動進路制御
デポシステム	車両留置ヤード	運転士による手動運転(車上 ATP による 15km/h 以下の速度制限付き)、信号はデポ連動装置からの制御による路側信号機による。CBTC、ATO 機能はない。
	保守ヤード	路側信号機による手動運転
システムが故障した時のバックアップ	CBTC	駅間 1 閉塞運転、信号は路側信号機、列車検知としてアクセルカウンタが適用される。駅間には 1 列車のみの走行が許される。駅間が長い区間には閉塞を分割する事も可能。
	ATS (運行管理)	マニュアルの進路設定が OCC のバックアップコンソールから実施可能。
	OCC (運行管理センター)	OCC からのマニュアル進路設定もできなくなった場合、駅の連動装置の端末から分岐器の制御を行う事ができる。
	IL (連動装置)	路側にある分岐器制御盤からの手動での制御が可能。これも使えない時は分岐器に設置する事ができる手動制御ハンドルを使って分岐器を動作させることができる。

出典：調査団

7.10.3 列車防護システム（ATP）

(1) ATP の特徴

自動列車保護システム（ATP）は、進行する列車間の安全距離を保つ、ブロックシステムに関連している。ATP は、自動的に追突を回避するために、列車速度を制限している。

ATP は、車上装置と地上システムで構成されている。車上システムは自列車の位置を検知し、地上へ送信する。地上システムは、先行列車の位置から後続列車の停止位置データ LMA（Limit of Moving Authority）を求め、これを後続列車へ送信する。車上システムは先行列車の位置と自列車の位置から適切な制限速度パターンを算出し、速度制御する。

従来の ATP システムは、固定のブロック部に応じて、車上装置に地上システムから速度データを直接送信する。しかし最近の ATP システムでは、地上システムから列車位置データ LMA（Limit of Moving Authority）を送信し、車上装置が、このデータと自列車の位置、列車速度に応じて制限された速度プロファイルを生成して制御する。最近の ATP システムは、インテリジェントな車上装置を持つ傾向がある。

(2) 固定閉塞システムと移動閉塞

自動列車防護装置（ATP）；ATP については従来から実績のある固定閉塞システム（固定の閉塞区間を設定して、この区間に列車を 1 本のみ入れる考え方）と最近の都市交通システムでの適用が増えている移動閉塞（固定の閉塞区間を持たず、列車を安全に停止可能な範囲まで後続列車を走行させる考え方）がある。両者の特徴の比較を表 7.48 に示す。

表 7.48 固定閉塞と移動閉塞の比較

方式	固定閉塞	移動閉塞
高密度運行	①固定閉塞でも最小運転時隔 1 分 50 秒の実績はある。しかし基本的に列車間は 1 閉塞開ける必要があるため、移動閉塞に比較して劣る。運転時隔や駅間走行時分の短縮は閉塞区間の物理的短縮が必要。 ②将来の運行能力向上を実施する際において、固定閉塞の場合は閉塞増加に伴う物理的な設備増設などが必要	①列車間隔をぎりぎりまで短縮可能であり、高密度運行に柔軟に対応できる。運転時隔や駅間走行時分の短縮が柔軟に対応可能である。 ②将来の運行能力向上を実施する際において、移動閉塞では物理的設備増強の必要がない。 ③保守性が高い。
将来の延伸時の対応	将来延伸時、移動閉塞に比較して、設備増強の量が多い。（軌道回路、位置検知ポイント(送受信機等)の設置等)	将来の延伸時、CBTC を例にとると、軌道回路の設置は不要、位置検知ポイント(パリス等)の設置は固定閉塞とほぼ同様。無線アンテナの設置（延伸部分に対して）が必要。コスト比率の高い軌道回路の設置が不要のため、延伸時にコストメリットがある。
実績標準化	MRT、AGT、モノレール等これまでに多くの実績あり。	①最近 MRT、モノレール等でも移動閉塞の 1 方式である CBTC の実績が出ている。 ②新設路線では CBTC が世界的にトレンドになっている。IEEE 規格も制定された。

出典：調査団

(3) ATP の選定

上記の比較により、パナマ3号線の信号システム ATP には移動閉塞が適している。その理由は下記の通りである。

- 1) 高密度運行に適している。列車の最小運転時隔を2分またはそれ以下（90秒）にすることが可能である。但し最小運転時隔は ATP の性能だけでなく、端末駅での折り返し方法等の運用の要因に依存する。厳密に言えば、固定閉塞でも多くのシステムで最小運転時隔を1分50秒程度まで短縮しているが、移動閉塞は効率的に最小運転時隔短縮ができるという点が優位なところである。
- 2) 将来的な運転時隔の短縮に対して設備増強が固定閉塞方式に比較して少なく済む。
- 3) 過去の実績の上では固定閉塞が優位であるが、最近では移動閉塞の実績もでており、また IEEE 規格(IEEE1474)も制定されており、移動閉塞でも対応できるメーカーも増えている。

移動閉塞の方式としては、初期の段階では交差ループを用いた CBTC が多かったが、最近の傾向として、無線を用いた CBTC(Communication Based Train Control)が主流になっている。

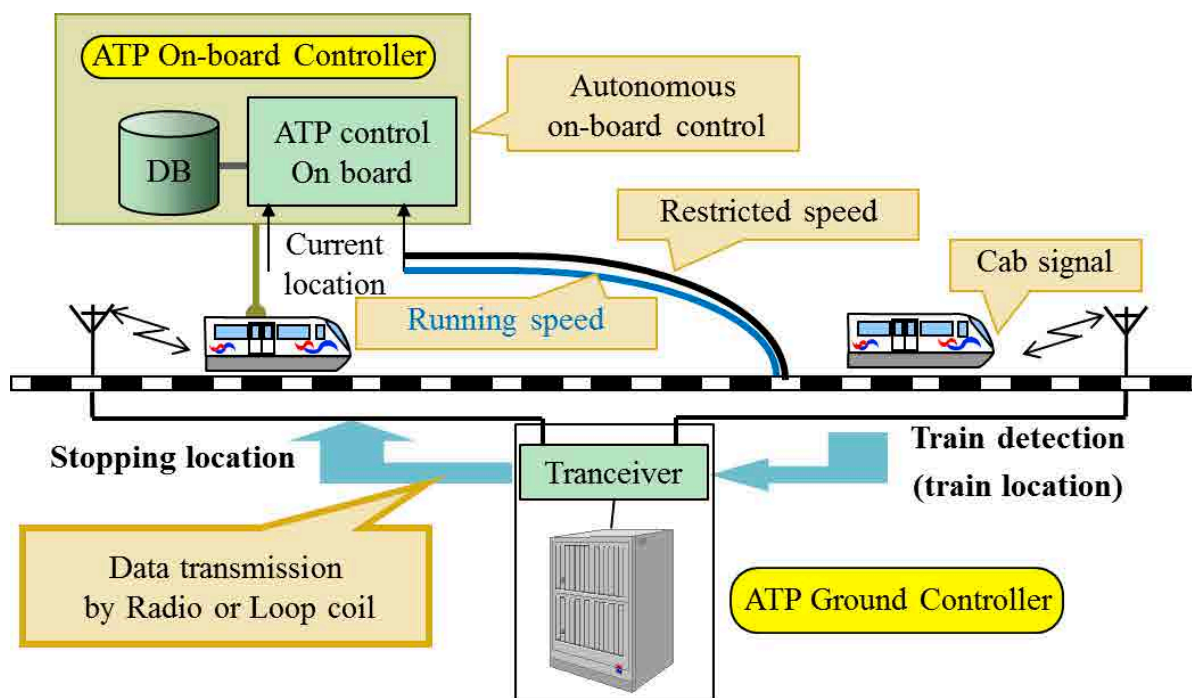
(4) 車上と地上系システムの通信方式

ATP は地上系 ATP と車上系 ATP から構成される。モノレールに関しても、CBTC が ATP システムとして推奨される。地上と車上の間の通信は、下記の2方法がある。

- a) ループコイル方式；
桁と、車上にループコイルアンテナを設置することにより、通信する方式
- b) 無線方式；
地上と車上のアンテナを通して、通信する方式であるが、アンテナの種類として LCX アンテナと空間波アンテナがある。MRT 等はトンネル部分が多く、沿線に敷設する LCX アンテナを使用するケースがあるが、モノレールの場合は桁の構造のため空間波アンテナを使用するケースが多い。

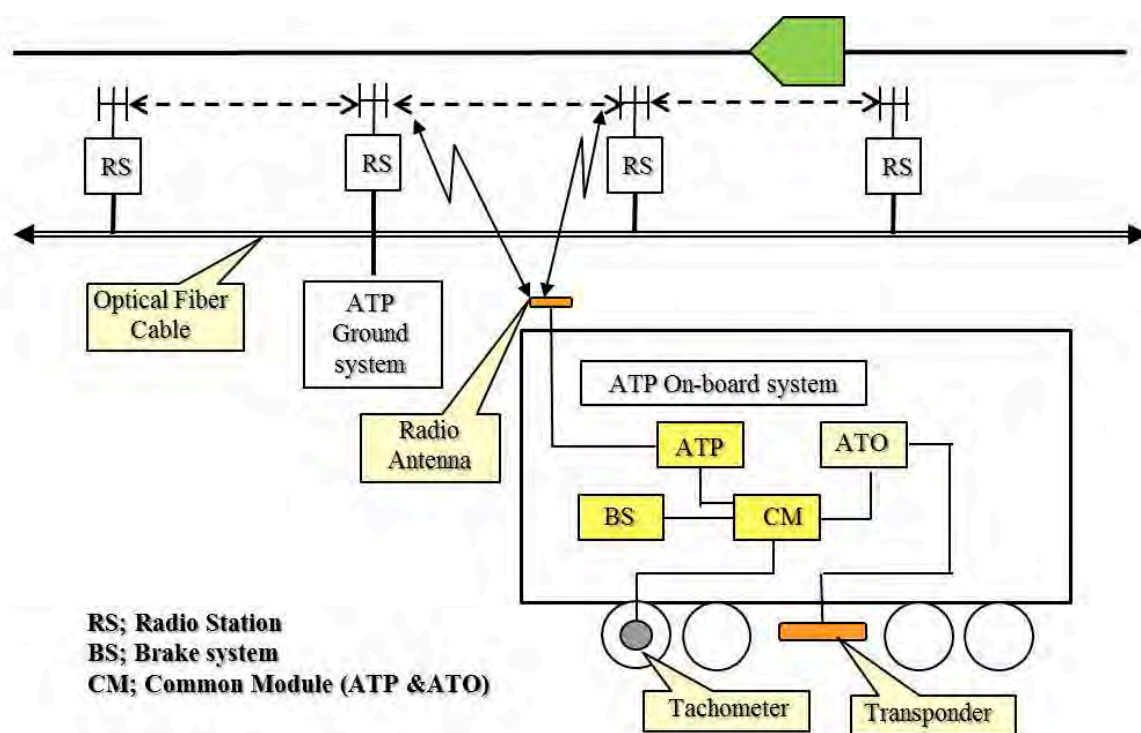
(5) 自動列車保護システム（ATP）

図 7.53 に ATP のコンセプトを示す。また図 7.54 に ATP の構成図を示す。



出典：調査団

図 7.53 自動列車保護システム (ATP)



出典：調査団

図 7.54 ATP システムの概略構成図

7.10.4 列車検知システム（TD）

列車検知システムはいくつかの方式がある。夫々のコンセプトと特徴を表 7.49 に示す。

表 7.49 列車検知システムの特徴

方式	コンセプト	特徴
軌道回路	このシステムは送受信機とセクションターミナルと左右のレールで実現される。列車がセクションに入ると列車が車輪による短絡で検知される。	旧来の方法だが、確実な方法である。軌道回路は ATP 情報を変調技術で送ることができるので、MRT/LRT 向けに適用される。
アクセルカウンタ	このシステムはセクションでの車軸センサーにより実現される。列車は車輪のチェックイン/チェックアウトで検出される。	連続的な列車検知は不可能。このシステムを再スタートした時に列車はスタッフによりチェックされる。通常 2 次的な列車検知として使われる。
ループコイル	このシステムはレール上のループコイルと車両前後に搭載された伝送装置により実現される。列車は車上传送装置からループコイルへの電波の受信で検出される。	これは AGT やモノレールのようなゴムタイヤ向けである
自律ナビゲーション	列車検知はタコメータによる位置の計算で実現され、更に無線によりアナウンスされる。またその位置はバリスにより補正される。	このシステムは CBTC で使用される。

出典：調査団

(1) 列車検知方法と ATP 方式

1) 固定閉塞の場合

MRT では鉄輪軌道を車輪が短絡する事により列車検知する軌道回路方式を採用している。しかしながらモノレールではコンクリート軌道とゴムタイヤのため軌道回路は使えないため、ループコイルによる列車位置検知方式を採用している。

2) 移動閉塞の場合

ATP 制御方式として、CBTC が使用されることが多い。この方式は車上により検知された位置を無線により車上から地上へ伝送する無線方式の列車検知システムが使われている。移動閉塞の場合のバックアップ列車検知方法としてアクセルカウンタが使用される。

(2) 3号線における列車検知システム

列車検知情報は、すべての信号システムにおいて不可欠かつ基本的な情報である。CBTC を使用した TD システムは、モノレールに適用されることが好ましい。

CBTC と列車検知システムの原理は、桁に取り付けられたトランスポンダ（Balise）から与えられた絶対位置からの距離を車輪の回転数をカウントして、列車位置を算出する。車上装置で算出した列車位置を無線で地上に送信する。

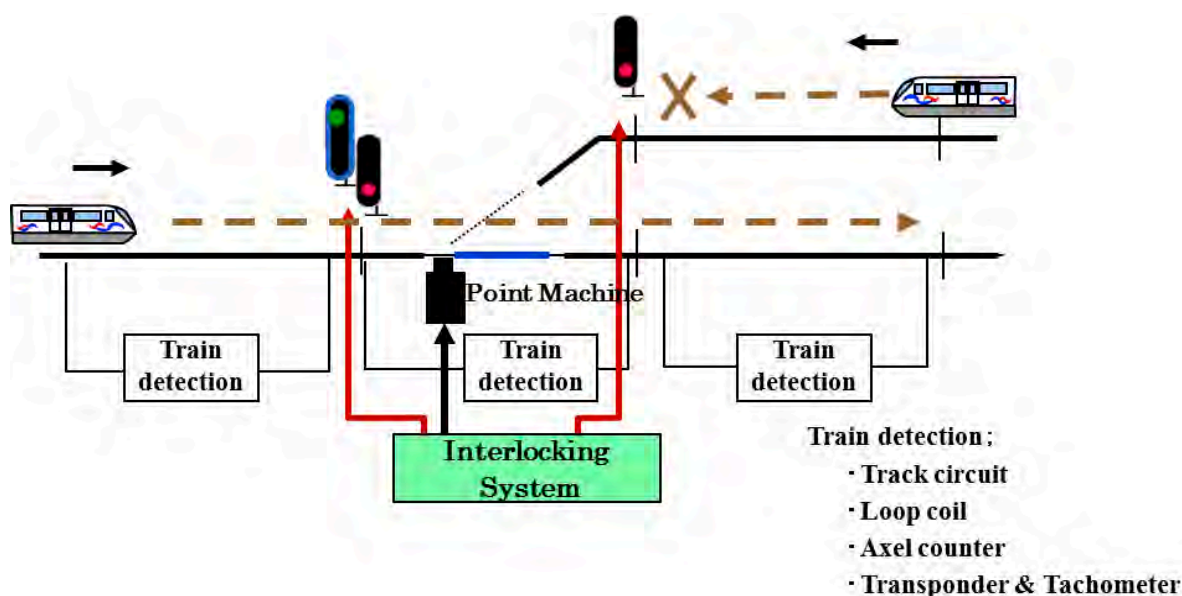
7.10.5 インターロックシステム（IL）

進路設定は、駅構内やデポの信号と分岐器間のインターロックを行う連動装置を通して実行される。インターロックは、進路設定の経路を通過し終えるまで保持される。

インターロックシステムは基本的に分岐器のある駅に設置される個別制御構成が採用されるが、路線が比較的単純なモノレール、AGT、MRT/LRT等の都市交通システムでは、複数の分岐対象駅をまとめて制御する一括制御構成を採用するケースも多い。パナマメトロ3号線も一括制御構成を推奨する。

インターロックシステムは分岐器が存在する駅やデポで提供される。進路設定は、駅やデポの信号と関連する分岐器間で連動して実行される。列車がこの設定進路を通過するまでインターロックは保持されなければならない。また一度進路が設定された後は競合する他の進路を設定することはできない。

通常進路はオペレーションコントロールセンター（OCC）からの自動運行監視システム（ATS）により自動的に設定される。またOCCのマンマシン機能により手動でも進路設定ができる。インターロックシステムとATSはネットワークインターフェイスあるいはCTCを通して接続される。図7.55にインターロックシステム（IL）のコンセプトを示す。



出典：調査団

図 7.55 インターロックシステム

7.10.6 自動運行監視システム（ATS）

(1) 自動運行監視システム（ATS）

自動列車運行監視システム（ATS）は5つの機能を持っている。

1) ダイヤ計画

このシステムは、列車の加速/減速性能、制動性能や距離、曲率及び勾配を考慮して走行曲線を準備する。この走行曲線を利用して基本ダイヤを生成する。

2) ダイヤ管理、運転整理

このシステムは、基本ダイヤに基づいて列車ダイヤを作成する。また列車追跡の結果を実績ダイヤとして記録する。更に列車運行が乱れた時にダイヤを回復するための支援を行う。

3) 列車追跡・進路制御

列車ダイヤに従い、各駅での進路が自動的に出力する。

4) マンマシンコミュニケーション(MMI)

a) MMI の機能

- グラフィック画面とマウス/トラックボール付きオペレータ制御
- 機器のステータス情報（例えば分岐器、信号機）
- ダイヤの計画と実績の比較表示
- 軌道占有情報（列車在線状況）
- 進路表示
- 進路設定機能
- ダイヤ情報表示

b) コンソール機能

2つのコンソール機能がある。一つは、モニタ機能で、運行状況（列車の位置、遅れ等）、ダイヤ状況（計画と実績）のモニタ機能である。もう一つは、入力キーボードを使用して手動での進路設定ができる。

c) 運行表示盤

OCC に設置され、すべての列車在線状況、信号機・分岐器の状況が表示される。これによりすべての指令員、スタッフが同時に運行状況を監視することができる。

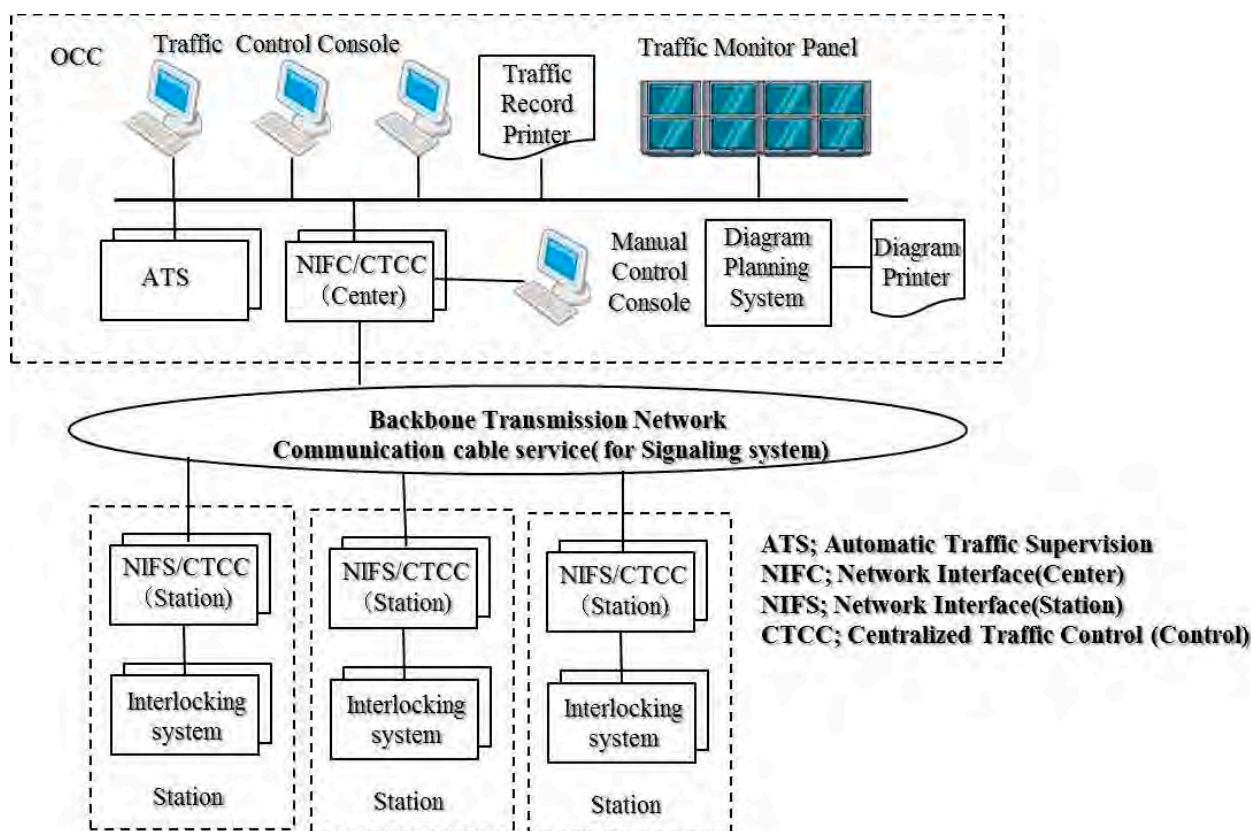
5) 列車集中制御（CTC）

集中型列車制御システム（CTC）は、ATS の 1 サブシステムとして、OCC と各駅の信号システムとの接続のための機能として位置付けることができる。CTC は OCC の ATS と駅 IL（インターロックシステム）を接続する通信機能と OCC に設置される ATS コンソールの手動進路設定機能を持つが、この 2 つの機能は ATS の中で構成しても、CTC として独立して構成しても良い。

CTC は、駅機器室に設置される駅 CTC システムと OCC に設置されるセンター CTC システムから構成され、光ファイバーケーブルにより接続される。インターロック装置のあらゆる状況がグラフィカルにマシンインターフェース（MMI）のモニタディスプレイ上に表示される。

ATS と IL を接続する手段として CTC を設置せず、ネットワークインターフェイスを採用しても良い。

図 7.56 に ATS の構成図を示す。



出典：調査団

図 7.56 ATS システムの概略構成図

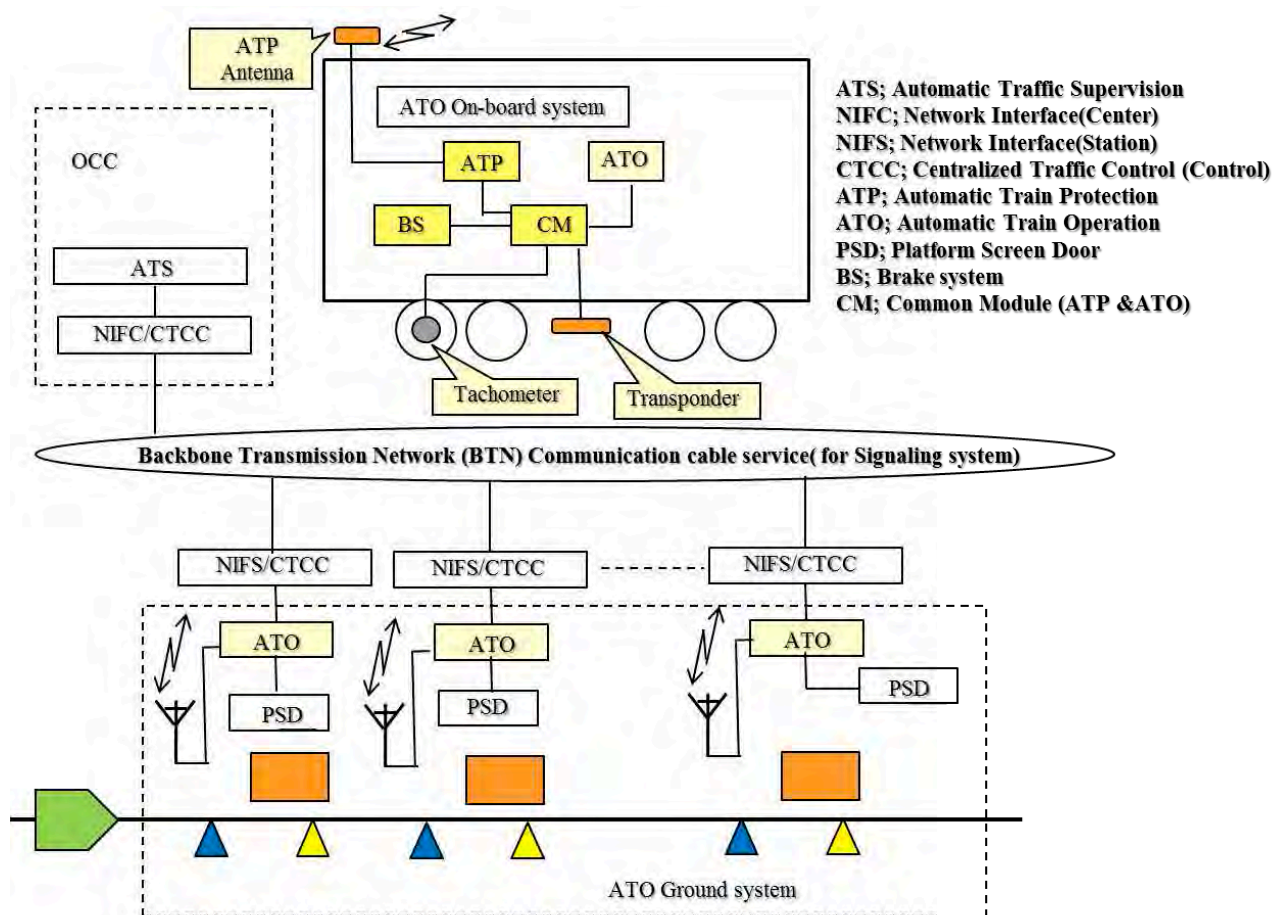
7.10.7 自動列車運転装置（ATO）

自動列車運転（ATO）の目的は、列車の運転者に要求されるスキルや負荷を軽減し、列車密度を高める、安全で時刻に正確な運転及び省電力運転を可能にするものである。

ATO は、基本的に運転手を必要としていないが、ATO におけるワンマン運転では3号線で以下を推奨する。

- 安全性は自動列車保護システムで確保する必要がある。
- 時間厳守運転機能は自動列車運転システム（ATO）に設定される必要がある。
- プラットホーム上での停止位置制御機能は自動列車操作システム（ATO）により提供されるべきである。
- 乗客の安全が確保されていない場合は、列車を出発できない機能は、自動列車操作システム-ATOにより提供されるべきである。乗客の安全のため、プラットホームスクリーンドア（PSD）が提供される場合は、PSDはATOにより制御される。

ATO システムは、車上システムと地上システムから構成される。図 7.57 に ATO の構成図を示す。乗客の安全のためプラットホームスクリーンドア（PSD）を設置する。PSD は ATO で制御される。



出典：調査団

図 7.57 ATO システムの概略構成図

7.10.8 Depot の信号システム

デポ領域には車両留置ヤード (Stabling yard) と保守ヤード (Maintenance yard) がある。

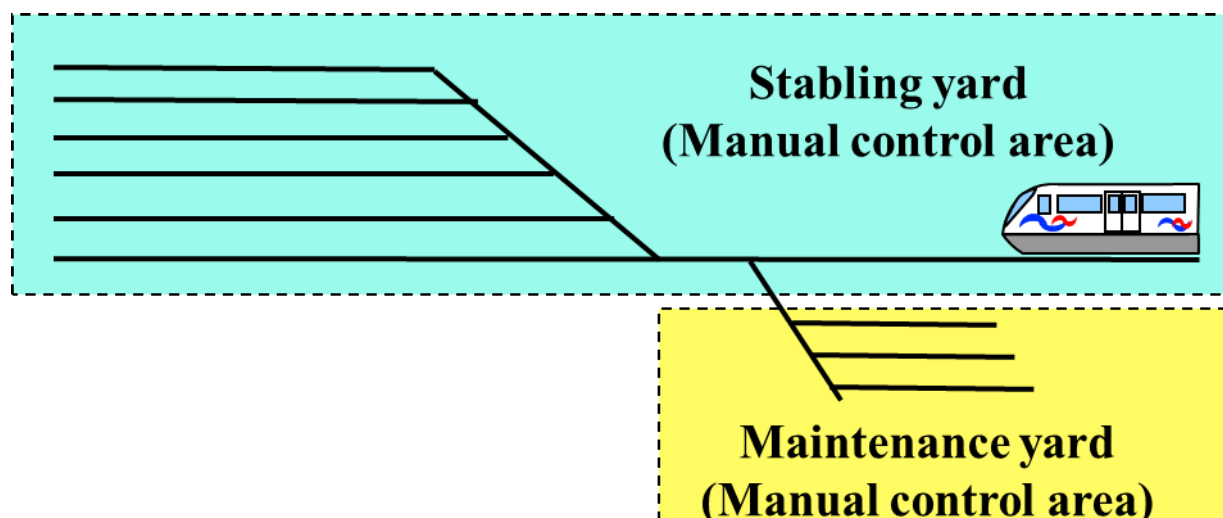
a) 車両留置ヤード (Stabling yard)

運転士による手動運転 (車上 ATP による 15km/h 以下の速度制限付き)、信号はデポ連動装置からの制御による路側信号機による。CBTC、ATO 機能はない。

b) 保守ヤード (Maintenance yard)

路側信号機による手動運転である。列車検知にはアクセルカウンタが使用される。信号と分岐器はデポ連動システムで制御される。

車両留置ヤードの軌道にはバッファストッパー保護システムが提供される。保護目的のために、受動トランスポンダが各軌道の限界点に設置される。列車が停止限界点を超えた時に、非常ブレーキで停止させる。図 7.58 にデポ制御エリアの概要を示す。



出典：調査団

図 7.58 デポ制御システム

7.10.9 信号システム設計基準

信号システムはセーフティクリティカルな（バイタル）システムとノンバイタルシステムに分かれる。セーフティクリティカルな部分については SIL 4 レベルの安全設計が必要である。

- 1) セーフティクリティカルな（バイタル）システム：
 - ATP（自動列車防護）地上装置、車上装置
 - IL（連動装置）
 - TD(列車検知装置)
 - 信号機、分岐器
- 2) ノンバイタルシステム：
 - ATS（自動列車運行監視システム）
 - ATO（自動列車運転システム）¹
 - MMI（運行監視と進路制御のためのマンマシンインターフェース）

表 7.50 信号システムの設計基準

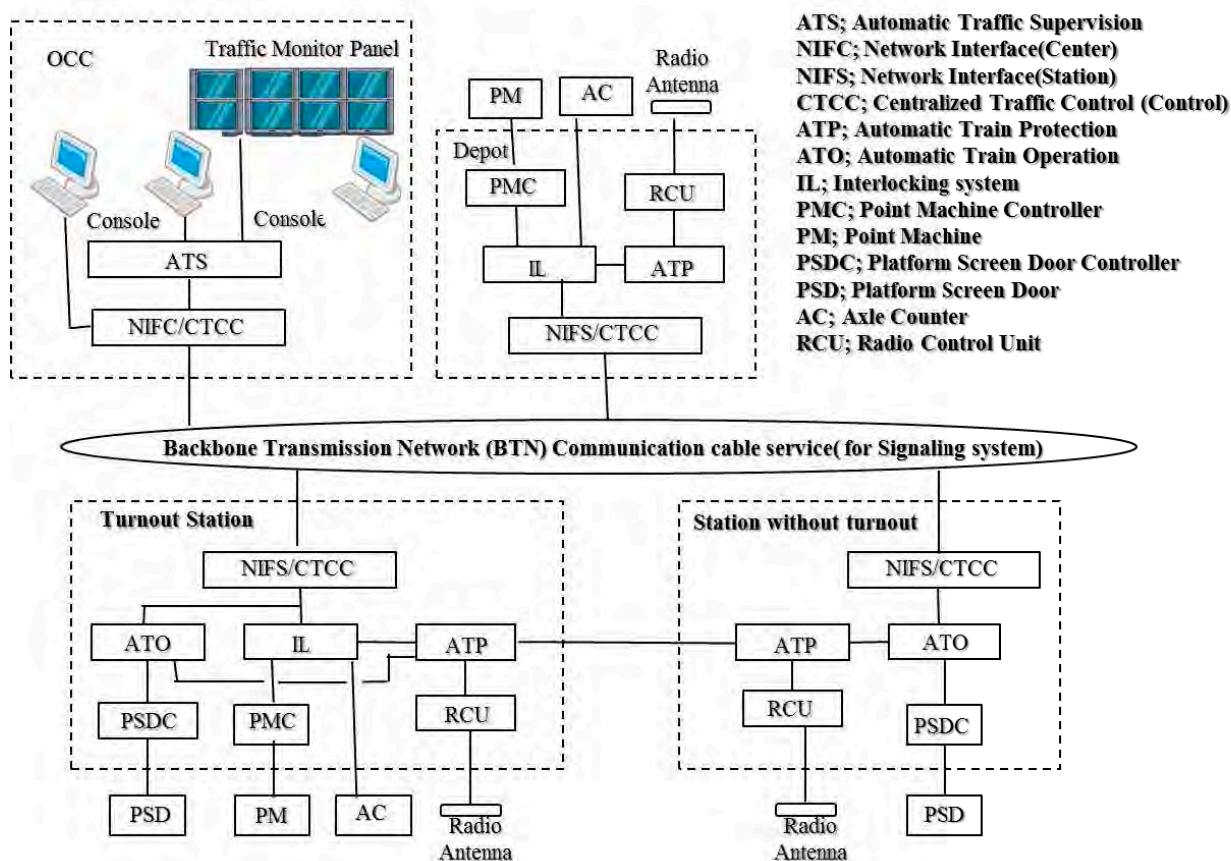
システム	設計基準
列車検知システム（TD）	<ul style="list-style-type: none"> • 固定閉塞向け軌道回路 • ループコイルと車上トランスミッタ • 移動閉塞のための CBTC を使った列車検知 • 安全設計レベル； SIL4
自動列車防護システム(ATP)	<ul style="list-style-type: none"> • 固定閉塞向け ABS • 移動閉塞向け CBTC • ATP の地上と車上のデータ伝送はデジタル方式 • 安全設計レベル； SIL4

¹ ATO には ATP との共通シブナーネットがある。これはセーフティクリティカルな（バイタル）システムとして扱わなければならない。

システム	設計規準
連動装置（IL）	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータベースの連動システム システム2重化 安全設計レベル；SIL4
列車運行監視システム（ATS）	<ul style="list-style-type: none"> ダイヤ計画機能 ダイヤ管理機能 自動進路設定機能 システムは2重化
列車自動運転（ATO）	<ul style="list-style-type: none"> 車上システムはコンピュータベース トランスポンダは各駅で PSD の制御のためにインストールされる
デポ信号システム	<ul style="list-style-type: none"> 路側信号機 車上速度制限規準 バッファストップパー保護システム

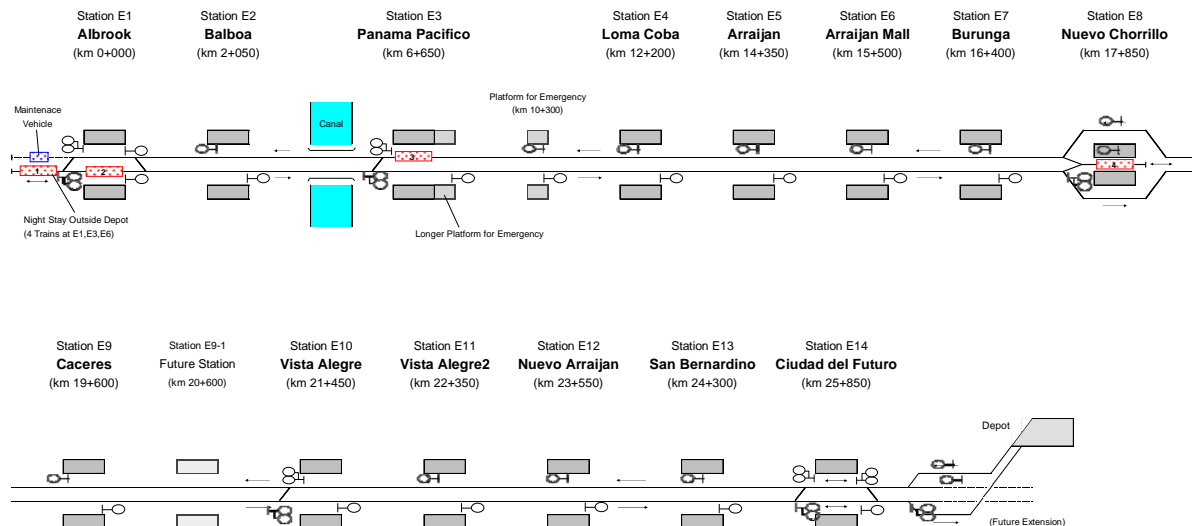
出典：調査団

図 7.59 に信号システム全体の構成図を示す。図 7.60 にメトロ3号線の配線略図を示す。



出典：調査団

図 7.59 信号システムの概略構成図



出典：調査団

図 7.60 都市交通 3号線の配線略図

7.11 通信システム

7.11.1 目的と必要な通信サービス

通信システムの目的は、安全かつ効率的な列車運行およびビジネス環境を支援することである。これを達成するためには、以下の3つの通信サービスが必要である。

- (1) 通信システムは、安全かつ円滑な列車運行を支援するために確保することを目的とした責任部署と関連部署の人々の間で音声およびデータ通信サービスを提供する。
- (2) 通信システムは、利用者のサービスレベルを向上させるために旅客に正確かつ有益な情報を提供し、スムーズな操作をサポートする。
- (3) 通信システムは、安全のためだけでなく、効率的なビジネス環境を作ることを目的とした鉄道事業運営における様々なビジネス分野および一般的なネットワークサービスを提供している。

7.11.2 通信システムの要件

(1) 必要な機能とシステム

表 7.51 に通信機能とシステムの概要を示す。

表 7.51 通信機能とシステム概要

要求サービス	要求機能	システム
安全のための通信サービス	指令コントロール 緊急防護	無線システム CCTV システム
旅客のための通信サービス	旅客のモニタリング 旅客への情報伝達	旅客情報システム (PIS) 旅客放送システム(PAS) 旅客情報表示システム (PIDS) 時計システム
管理と共通サービス	関連部署での連絡 共通ネットワークサービス	電話 基幹ネットワーク(BTN)

出典：調査団

(2) システムの冗長性

いくつかの設備がダウンした時に、冗長性を確保するために、バックボーン伝送ネットワーク（BTN）などのコア通信システムは、連続的なシステム運用を確保する冗長機能を有する必要がある。システム機能を維持するために、システムの2重化（運転と待機）又は設備（ユニットの冗長化）が一般に使用される。システムの冗長化の概要を表 7.52 に示す。

システムのセキュリティレベルの点では、全2重化システムが指令システムと基幹通信システムに推奨される。

表 7.52 冗長化手段の比較

方法	内容	実施
全2重化システム	たとえ装置の機能が停止しても他の装置で機能は維持される。 2つのタイプのシステムがある。 ・並列システム ・待機予備システム	トラブルに最も強い 3つの中で最高の信頼性 3つの中で実装コストは最高
半2重化システム	バイタルな設備にのみ適用	半2重化システムは異常時に最低限の防護をすべき時に適用される。
1重系システム（冗長化なし）	バックアップを持たないシステム 装置の機能が停止した時はサービスの維持は不可能	重要なコミュニケーション装置には適さない。3つの中で最も低い信頼性

出典：調査団

7.11.3 ネットワーク構成およびプロトコル

(1) ネットワーク構成

本システムは不要なトラフィックを低減し、故障時のトラブルの影響範囲を最小限にするために、最適なネットワークシステムの導入を求めている。ネットワーク構成は、下表に示す通り3つの構成を含む。

表 7.53 ネットワークの構成

種類	内容	実装
リングネットワーク	・ ネットワーク端末をリング上で接続するシステム	・ ネットワークケーブルや回路の切断のような障害に最も強いネットワーク ・ 3種類の中で最も信頼性が高い。
スターネットワーク	・ 各システムは独立してネットワークを持ち、それを1か所で統合するシステム。しかし全てのシステムはOCCのような中央システムに接続されている。	・ 一緒に接続するポイントは1つなので、接続ポイントの故障はネットワーク全体に影響を与える。 ・ ネットワークの拡張が容易
独立ネットワーク	・ 各システムが独立してネットワークを持ち、他のネットワークとは統合しない。	・ 独立ネットワークの集合なので他のネットワークの故障に依存しない（影響を受けない）。

出典：調査団

これらの3つのネットワーク構成では、各ラインのリングネットワーク構成は、次の理由でBTNを推奨する。

- a) 広くバックボーンネットワークとして、鉄道や通信セクターに適用されている。リングネットワーク構成は、ITU-T G.841により標準化されている。
- b) 冗長ケーブルの敷設を容易に確保することができる。軌道の両側に設置された2本のケーブルによって、通信ケーブルの片側が切断された場合でも通信を確保することができる。

- c) 少ないケーブル本数：わずか4つのケーブルコアのみがリングネットワーク構成に必要。
- d) トラフィック分散の優位性：ネットワークトラフィックが中央に集中しない。

(2) BTNによるネットワークサービス

鉄道運転やサービス、シグナリング、通信、AFC、電力などに関する情報をいくつかのタイプが必要である。各システムは、駅、路傍、OCCなどに設置され、独自の通信プロトコルを使用している。各システムの要求に基づいてこの情報を収集するためには、BTNは、各システムに、通信ネットワークは、次の2種類のサービスタイプが用意されている。表 7.54 に示す。

表 7.54 BTN ネットワークサービスのタイプ

No.	サービスのタイプ	BTN設備の提供	システムユーザー
1.	トータルコミュニケーションサービス	光ケーブル 伝送ターミナル	CCTV, PA, PIDS, 電話 etc.
2	コミュニケーションケーブルサービス	光ケーブル	信号、電力、AFC, etc.

出典：調査団

(3) BTNによるネットワークプロトコル

上述したように、信号、SCADA、AFC等は自身のネットワークプロトコルを適用する。BTN転送端末はネットワークプロトコルを持ち、CCTV、PA、PIDS、電話システムを含む通信サブシステムを使用している。このため、以下の機能がBTN発信端末プロトコルに必要である。

- a) 一般的で標準化されたプロトコル
- b) 複数のユーザーレベルプロトコルに合う柔軟なプロトコル
- c) リングネットワーク構成に合う信頼性の高いプロトコル

STM（同期転送モジュール）を持つSDH（同期デジタルハイアラーク）は、これらの要件を満たし、広く鉄道や通信セクターによって利用されている。このプロトコルは、ITU-T規格（G.707,708,709,957,958）に従う。SDHは、インターフェイスカードを搭載することにより、ユーザープロトコルの様々な種類を扱うことができる。

SDHを各線区のBTNプロトコルとすることを推奨する。

(4) ユーザーレベルのプロトコル

CCTV、PA、PIDS、電話のような通信サブシステムは独自のユーザーレベルのプロトコルを使用する。設備の互換性を確保するために共通的な標準化プロトコルを利用することが望ましい。

インターネットプロトコル（IP）は、ユーザーレベルの一般的で有名なプロトコルの一つである。低投資で通信システムの拡張性と互換性を確保するために、特にユーザーのサービスレベルのコンピュータベースの装置は、できるだけインターネットプロトコル（IP）インターフェイスを装備することが望ましい。

7.11.4 通信システムのタイプ

パナマ 3 号線の大量輸送システムは、モノレールシステムとして計画されている。パナマの 3 号線の通信システムは以下のシステムで構成されている。

- 無線通信システム
- 電話システム
- 閉回路テレビ（CCTV）システム
- 旅客情報システム（PIS）
- クロックシステム
- 基幹伝送ネットワーク（BTN）

通信システムのタイプは、以下に示すとおりである。

(1) 無線通信システム

- 指令電話：OCC と電車の間
- 緊急防護連絡：電車から OCC へ
- 列車のステータスデータ：電車から OCC へ
- 制御データ：OCC から列車へ

使用されるシステムは、標準アンテナまたは LCX アンテナ（トラックで）または標準アンテナ（デポで）を使用したデジタル無線システムと呼ばれる。無線周波数：400MHz または 800MHz 帯。1 号線が 450-470MHz 帯を使用しており、同一帯域の使用が期待できる。

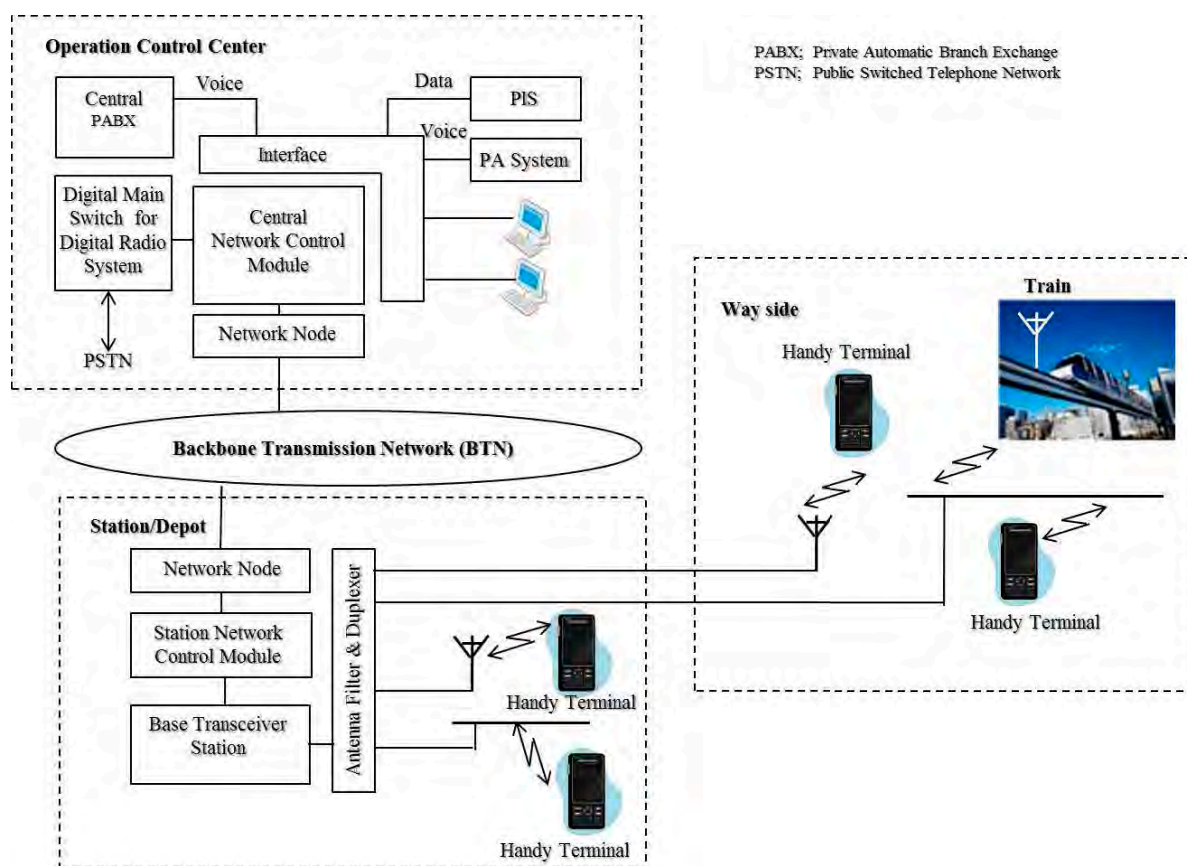
無線通信のユーザーグループは下記に分かれている：

- a) 列車無線通信は指令員と電車運転士間（個別モード）。
- b) 操作通信は、指令員と鉄道オペレーションスタッフ間（トークグループモード）。
- c) 保守無線通信は技術指令、メンテナンス事務所とスタッフの間（トークグループモード）

移動無線通信装置は下記のために供給される。

- a) 列車無線；列車の各キャビンの中で。
- b) 固定的にインストールされた車両無線、またはハンドヘルドコンソールタイプの無線。
- c) ハンドヘルド無線；駅管理者のような運転スタッフ、駅職員、デポ要員。
- d) ハンドヘルド無線；ビルサービス、信号、き電、コミュニケーション、その他のグループのような保守スタッフ向け。
- e) ハンドヘルド無線は概略 100 台程度と想定している。

無線通信システムの構成を図 7.61 に示している。



出典：調査団

図 7.61 無線通信システムの構成

(2) 電話システム

電話システムは、PABX による管理・一般電話、指令電話、オペレーション&メンテナンス電話で構成される。

電話交換システムに必要な PABX は以下の通り。

- 最小 100 ポートの PABX は、すべての駅で提供される。
- 最小ポート 256 の PABX は、端末駅に提供される。
- 最小ポート 500 の PABX は、OCC に提供される。

選択的な通話機能を有する集中化された電話システムを採用すべきである。最小要件は次の通りである。

- 1) 個別コール、
- 2) グループコール、
- 3) ブロードキャストコール、
- 4) ハンズフリー通信機能

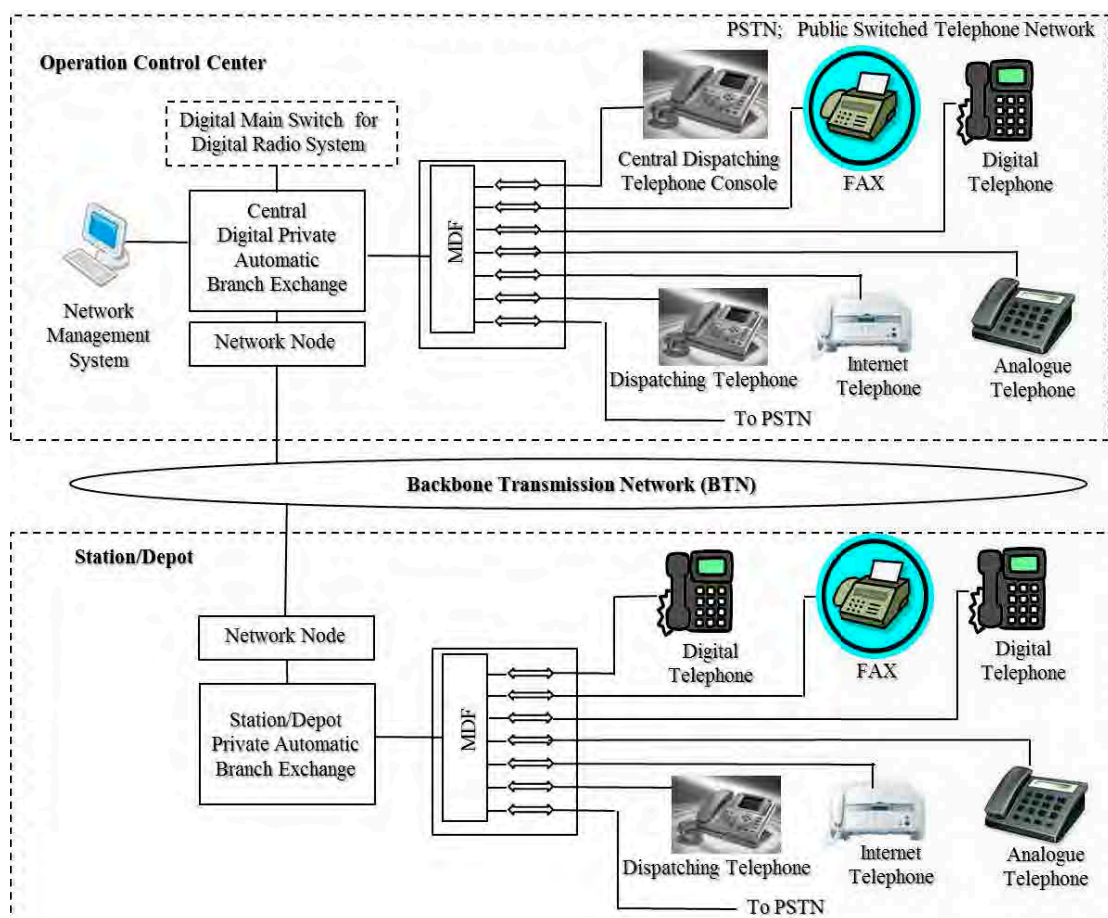
デジタル電話システムは、電話通信用の変換ネットワークのようなものが電話加入者のために提供されるべきである。場所は次の通りである。

- ①管理事務所
- ②CCR
- ③保守のワークショップや事務所
- ④技術者室
- ⑤チケットカウンターと SCR（駅制御室）
- ⑥システム内の指定のポイント（例えばプラットホーム）
- ⑦ダイレクトライン、パーティライン、緊急ホットライン

その他専用電話操作用として次のものがある。

- ①SCR とプラットホーム
- ②警察と消防隊への総括責任者
- ③警察と消防隊への線区指令員
- ④SCR と線区指令員
- ⑤指定の保守事務所への技術指令（緊急チームなど）

電話システムの構成を、図 7.62 に示す。



出典：調査団

図 7.62 電話システムの構成

(3) 閉回路テレビ（CCTV）システム

1) 一般事項

OCC と SCR スタッフが CCTV システム上で列車と旅客の動きだけでなく、人の迅速かつ正確な同定も重要な要件である。監視すべき場所は、プラットホーム、通路、コンコース、エスカレーター降り口、チケットオフィス等である。列車の運転手は列車に乗車、下車時の旅客の動きを制御するために、車上モニターを使用している。デポ指令は入れ替えエリア、留置エリア、洗浄設備、本線への移行エリア、ワークショップ軌道の入り口等、デポエリアの列車の動きを監視している。カメラで撮影したプラットホームの画像は、無線ローカルエリアネットワークを介して車載ディスプレイに送信され、運転士がプラットホームのドア「閉」の確認に使用される。閉回路テレビシステムは、デジタル伝送技術を採用する。カメラの画像は、ネットワークへの配信の前にマトリクススイッチでデジタル化される。デジタル化は駅、デポ、OCC 間の伝送の負荷を低減することができる。

2) システムの説明と機能

駅や OCC レベルの監視機能を備えた固定型カメラが提供されなければならない。液晶モニターは、ドア開閉を表示するために、運転士に提供されなければならない。システムの詳細は、次の通り。

a) ビデオ管理システム

駅でビデオ管理システムのエンコーダはカメラ画像をデジタル形式に変換する。ビデオ管理システムは、セキュリティの目的のためにパスワードを必要とする。

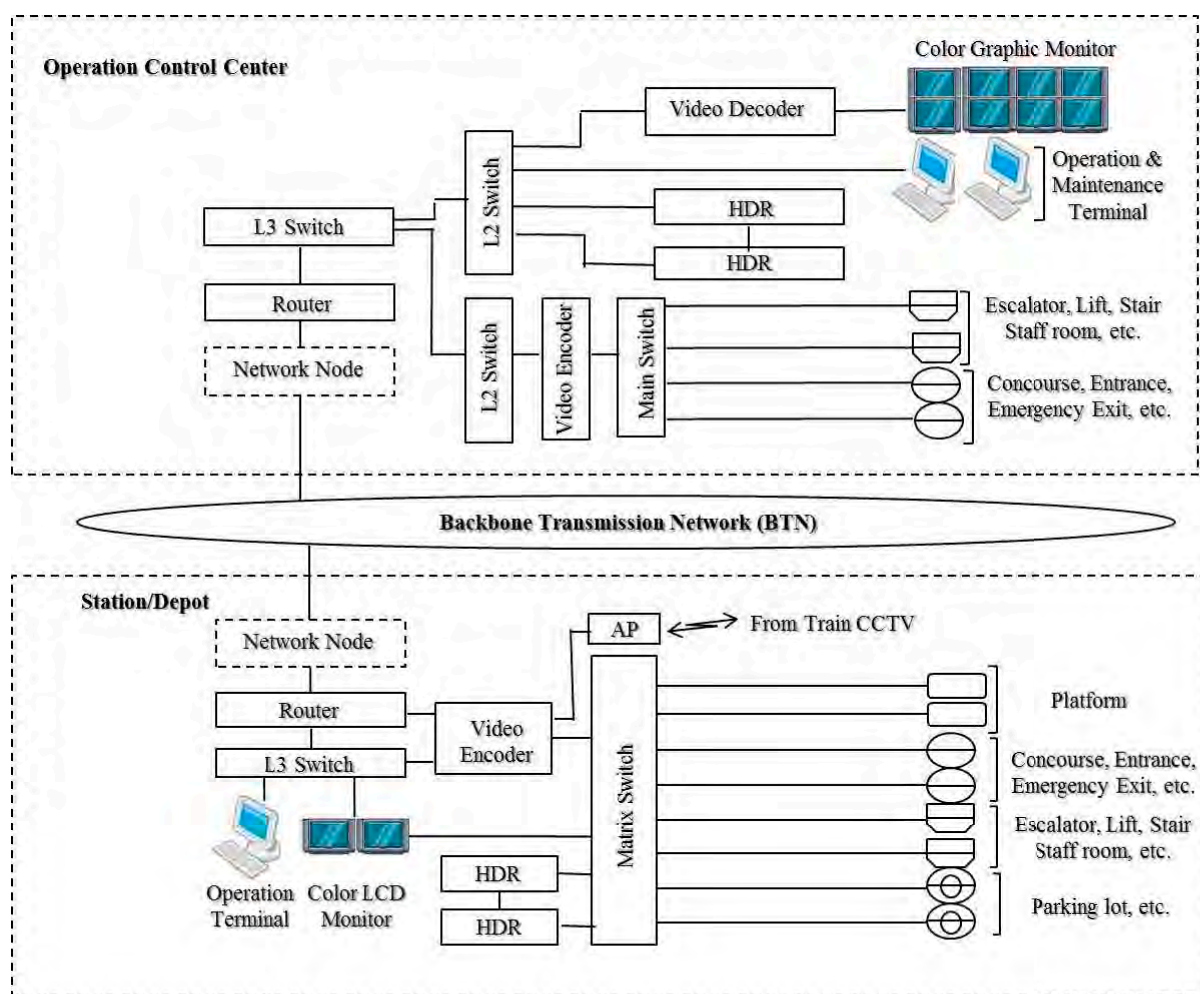
b) デジタルビデオレコーダ

デジタルビデオレコーダシステムは、ワークステーションのハードディスクに画像を記録するために、各ステーションとデポに設置されている。記録された画像は、品質を損なうことなく保存されている。いくつかの検索条件は、日付、時刻、カメラ番号およびイベントタグに基づいて選択可能である。

c) 入出場管理（アクセスコントロールシステム）

OCC、駅、デポの重要箇所にはカード認証による入出場管理を実施する必要がある。予め許可を受けた人だけが入室できる管理が必要である。

CCTV の構成を、図 7.63 に示す。



出典：調査団

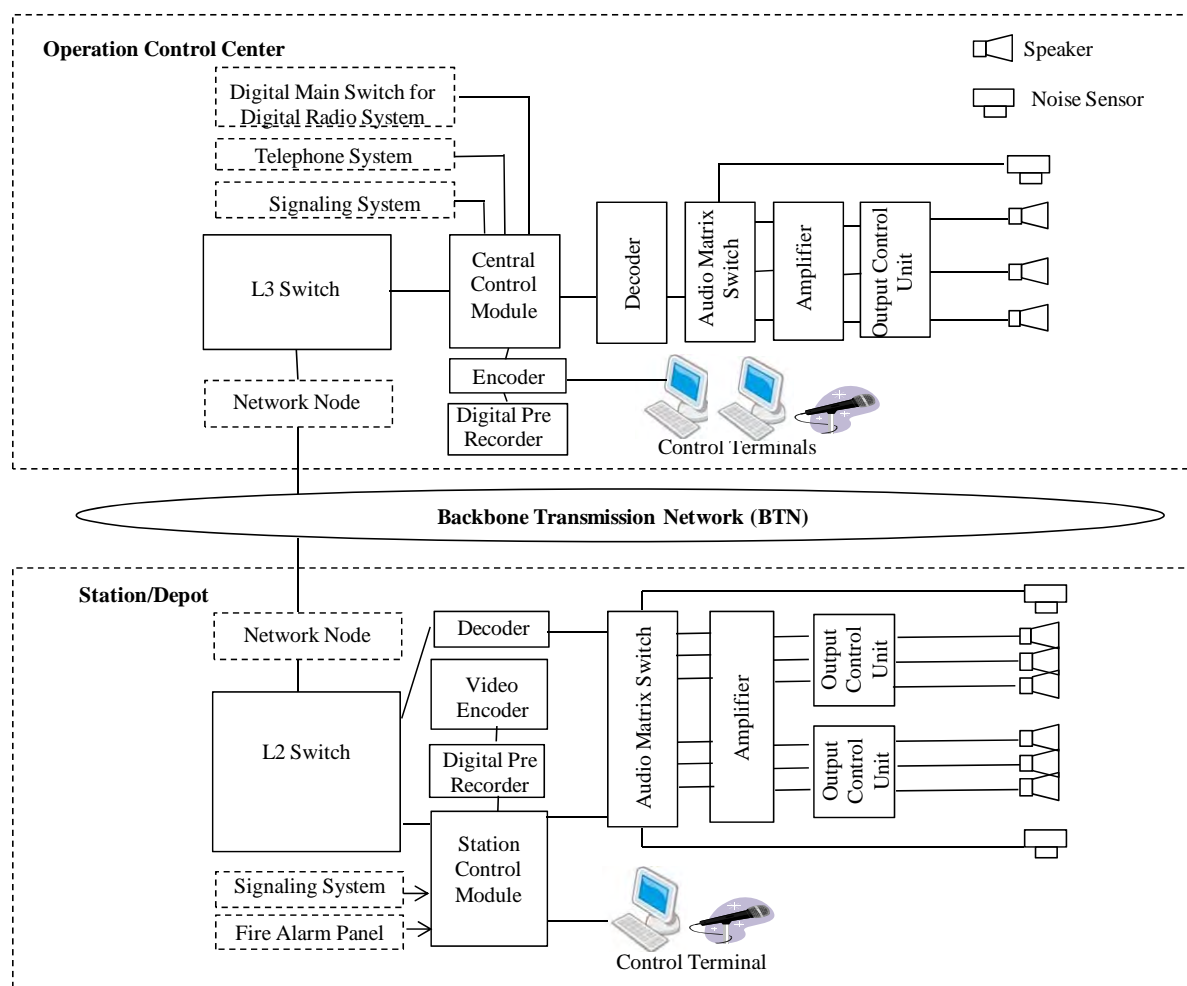
図 7.63 CCTV システムの構成

(4) パブリックアドレスシステム (PAS)

1) 一般事項

PA システムは指令員や駅管理者により定期列車運行情報を顧客へ、そして非定期時や非常時に重要な情報を旅客へブロードキャストする。生活アナウンスに続いて、指令員は、デジタルソースから事前に記録したアナウンスを選択することができる。

PA システムの構成を図 7.64 に示す。



出典：調査団

図 7.64 パブリックアドレス（PA）システムの構成

2) システムの説明と機能

a) OCC-PA システム

ワークステーションおよびオーディオパネルが、駅にメッセージをブロードキャストするために、OCC で指令員に提供される。

b) 駅 PA システム

ワークステーションとオーディオパネルは、駅の PA システムとしてのみ駅自体のメッセージをブロードキャストする駅指令員のために提供される。駅領域は、いくつかのパブリックアドレスのゾーンに分割される。駅指令員ではメッセージや情報をブロードキャストするために、それらを選択することができる。駅で分割されたパブリックアドレスゾーンは以下の通り。

- プラットホーム
- コンコース
- 各エレベーター
- 運賃支払い済み / 未支払いエリア
- 通路

c) デポ PA システム

駅 PA システムとして、デポ領域は複数のゾーンに分割される。デポ領域の分割されたゾーンは、次の通り。

- 保守ワークショップトラック、
- 格納庫ヤードトラック、
- 補助ワークショップ、
- 洗車工場

d) 無線、電話システムへのインターフェース

無線システムと PA システムの PABX へのインターフェイスが認証されたユーザーが選択無線、電話からのアナウンスを可能にするために用意されている。

(5) 旅客情報表示システム（PIDS）

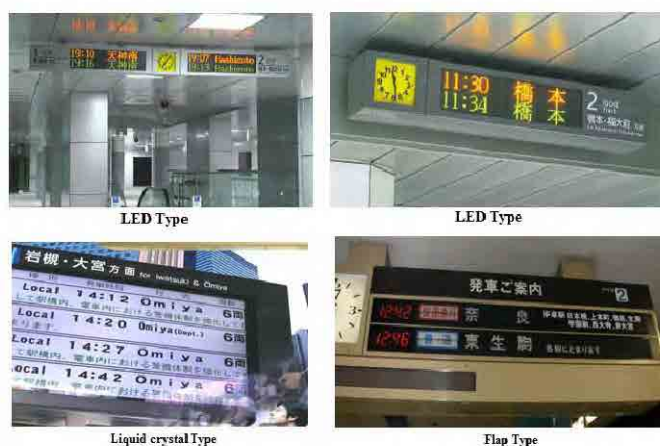
1) 一般事項

旅客情報表示システム（PIDS）は、時間と各駅の特別なアナウンスを含め、入場列車と出発列車を表示するビジュアル表示サービスである。表示場所は各駅のプラットフォームとコンコースである。

旅客情報は、次のシステムとインターフェイスをとる。

- ①信号システム、
- ②クロック(時計)システム、
- ③基幹伝送ネットワーク、
- ④無停電電源装置

PIDS の例を図 7.65 に示す。



出典：調査団

図 7.65 旅客情報表示システム（PIDS）の例

2) システムの説明と機能

a) ハードウェアおよびソフトウェア

旅客情報表示システムは、予めプログラムされたメッセージ情報を乗客に提供する機能を有する。それは、中央制御室に設置され、駅のすべてのディスプレイを管理するために集中化されている。PA システムとして、予めプログラムされたメッセージは、信号システムの自動運行監視システム（ATS）に従って表示される。

b) 旅客情報表示システム（PIDS）のためのワークステーション

OCC の旅客情報のワークステーションは、手動操作を提供し、自動運転を監視する機能を有している。旅客情報表示システムは、テキスト、記号およびグラフィックスメッセージを作成および編集するように設計されている。

c) OCC サーバ（Central Control Module）

OCC にインストールされたサーバは、ワークステーションから作成またはインポートされたメッセージのためのデータベースを持っている。ホットスタンバイサーバは冗長ユニットとして設けられている。

d) 駅サーバ（Station Control Module）

駅サーバは、各ステーションのディスプレイユニットを制御することができる。それはディスプレイに OCC から配信されたメッセージを配布することができる。

e) ディスプレイユニット

次の表示ユニットが旅客情報表示システム（PIDS）に設けられている。

- コンコースディスプレイユニット；2か所/駅
- プラットホームディスプレイユニット；2か所/プラットホーム

ディスプレイユニットは、制御モジュールに接続されている。なお、緊急メッセージを優先度高く表示できるように設計されている。

(6) クロックシステム

1) 一般事項

マスタークロック・システム/集中型クロックシステムがリアルタイムで日付情報の詳細を提供するように設計される。マスタークロック・システムは、 ± 1 秒/月より良い精度で設計され正確な更新情報を取得するために GPS システムにリンクされている。

2) システムの説明と機能

a) 概要

クロック・システムは、以下を含むが、これらに限定されない。

- アンテナ部
- セントラル・マスタークロックユニット
- 駅/デポ・マスタークロックユニット
- ファンアウトユニット（分配）
- スレーブクロックユニット

b) アンテナユニット

OCC での GPS 受信機は、GPS 衛星からの屋上アンテナを介してタイムソースを受信する。

c) セントラル・マスタークロックユニット

中央のマスタークロック部は、アンテナ部からタイムソースを受信し、同期パルスに変換する。中央のマスタークロック部は、ネットワーク転送プロトコルを用いたデータ伝送システムに時刻情報を配信する。中央のマスタークロック部は、鉄道システムを同期させる時刻情報を収集することができる GPS 受信機で構成されている。これは、GPS 時刻信号から改訂正確な時刻を生成するために、独自の発振器を有する。これは、イーサネット、TCP/IP、RS485 と RS232 の接続をサポートしている。それは、ネットワークに接続された機器を同期させる NTP（ネットワーク時間プロトコル）を生成するためにネットワーク・タイムサーバを含む。

d) ファンアウトユニット（分配）

ファンアウトユニットは、中央クロックユニットとスレーブクロックユニットのために、駅/デポ・マスタークロックユニットに接続されている。

e) スレーブクロック

スレーブクロックユニットは、アナログまたはデジタルタイプとして提供される。スレーブクロックユニットのいくつかは、旅客情報表示システムに統合されている。スレーブクロック部は、中央マスタークロックユニットによって同期されている。スレーブクロック単位の表示はどのような照明条件の下でクリアであり、各位置の建築上の制約に従わなければならない。なお、表 7.55 に示す場所に設けられるが、これらに限定されない。

表 7.55 時計システム配置の概要

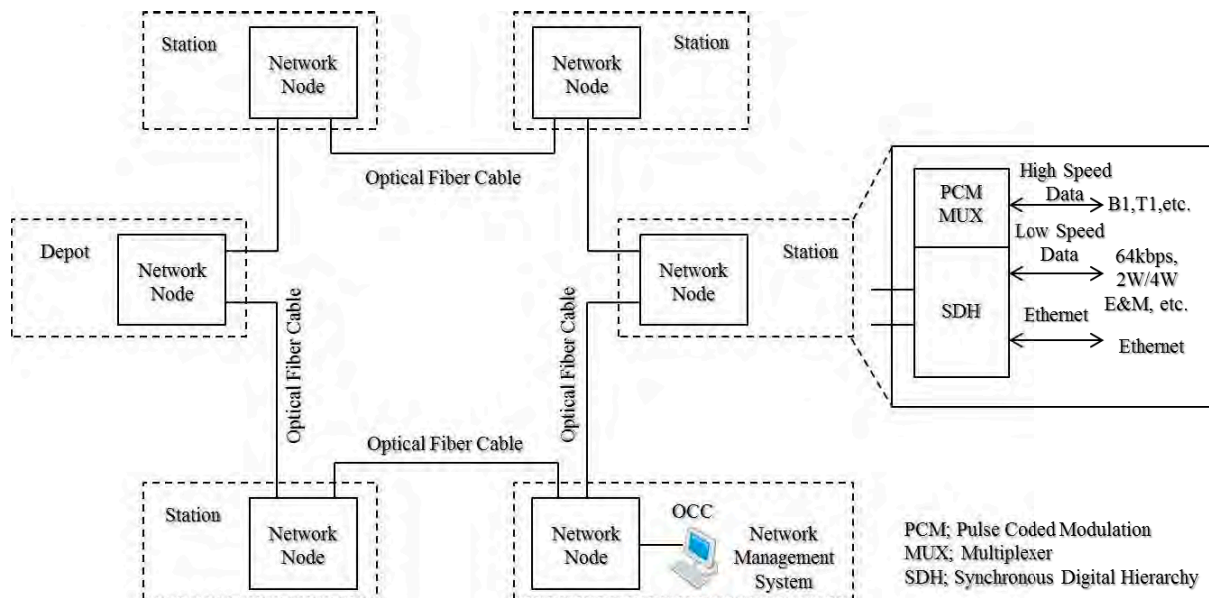
セクション	スレーブクロック配置	設置位置
管理棟	中央機器室(CCR) 入口エリア 休憩室	壁掛け 天井 壁掛け
デポ	ワークショップ内 事務室 車両留置場	壁掛けまたは柱 軌道が見える場所 軌道が見える場所
駅	駅機器室(SCR) プラットフォームエリア コンコースエリア	壁掛け 旅客の見える場所 (PIS) 旅客の見える場所 (PIS)

出典：調査団

(7) 基幹伝送ネットワーク (BTN)

基幹伝送ネットワーク (BTN) は OCC、駅、発電所やデポ間の基幹通信でなければならない。

基幹伝送ネットワーク (BTN) の構成を図 7.66 に示している。



出典：調査団

図 7.66 基幹伝送ネットワーク (BTN) の構成

上述のように、記載されている無線通信システムは、安全かつ効率的な列車運行を確保するために不可欠である。無線通信システムの選択のために、例えば基地局の間隔、外部ノイズの強度、電波伝搬特性等のいくつかの事項を考慮する必要がある。次の表 7.56 に無線通信システムの一般的な比較を示す。

表 7.56 無線システムの比較

項目	誘導無線 (IR)	空間波無線(SR)	漏洩同軸ケーブル (LCX)
方法	電磁誘導	無線波	無線波
周波数	LF 帯 (30kHz-300kHz)	UHF/VHF 帯 (150MHz, 400MHz, 800MHz 帯)	UHF/VHF 帯 (150MHz, 400MHz, 800MHz 帯)
一般的適用場所	地下	オープン空間	地下またはオープン空間
基地局間隔	約 1km	約 2km	約 2km
デジタル化	困難	容易	容易
伝送速度	低い	高い	高い
外部ノイズに対する強さ	弱い	弱い	強い
都市鉄道システムへの適用性	低い	高い	高い

出典：調査団

7.11.5 設計基準と機能

通信システムに採用される設計基準、機能及び性能を表 7.57 に示す。

表 7.57 設計基準

システム	設計基準
列車無線	スタンダードアンテナまたは LCX アンテナ（本線）、スタンダードアンテナ（デポ）付きのデジタル無線システム 無線周波数: 400MHz または 800MHz 帯. 無線コミュニケーションシステムは音声、データ双方に対応
電話交換	最低 100 ポートの PABX がすべての駅、最低 256 ポートの PABX が端末駅、最低 500 ポートの PABX が OCC に提供される。
指令電話システム	選択的コーリング機能付き集中電話システムが採用されるべき。最低要求は下記のとおり。 - 個別コール - グループコール - ブロードキャストコール - ハンズフリー機能（スピーカとマイクロフォン付き）
CCTV	駅、OCC での監視のために固定カメラが提供される。また LCD が運転士のドア閉の確認のために提供される。
時計システム	集中型時計システムが適用される。マスタークロックに起動されるスレーブクロックの同期を通して行われる正確な時刻の表示と駅、デポ内でのサブマスタークロックがある。これはまた他のシステムとの同期のためにも使われる。
公共案内放送システム	公共案内放送システムはローカルとセンターアナウンスを含め、すべてのプラットホームとコンコースエリアをカバーする。
旅客情報システム	十分な視認性の LED / LCD ベースの表示ボードは、走行中の列車の状況を視覚的に表示、また、緊急時に特別なメッセージを提供するために、すべての駅利便性のある場所に提供される。
基幹ネットワークシステム	SDH または Gbps/Mbps イーサネット
インターフェイス	共通・国際標準インターフェイスをできるだけ適用する。
システム冗長化 (主要システム)	モバイル無線基地局と主要局にはフル 2 重化システムを適用。光ケーブルはリング構成の提供によるルート冗長化を適用。

出典：調査団

第8章 事業実施計画

8.1 エンジニアリングサービス

請負業者選定までは非公開とする。

8.1.1 工事開始前のエンジニアリングサービス

請負業者選定までは非公開とする。

8.1.2 工事中のエンジニアリングサービス

請負業者選定までは非公開とする。

8.1.3 工事完了後のエンジニアリングサービス

請負業者選定までは非公開とする。

8.2 用地取得

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.1 用地取得用地概要

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

8.3 事業費推計

8.3.1 積算計画

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.2 積算条件

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

注記：上記の資金調達計画は、円借款融資対象を、総事業費の70%を上限として想定しているが、今後の事業審査過程において、パナマ国とJICAの間で調整が必要となる。

出典：調査団

8.3.2 建設費の内訳

請負業者選定までは非公開とする。

請負業者選定までは非公開とする。

請負業者選定までは非公開とする。

8.3.3 コンサルタント費

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.3 コンサルタント費

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

8.3.4 積算結果

(1) 初期投資

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.4 事業費

請負業者選定までは非公開とする。

注釈：Interest during construction の計算にあたっては、円借款による借入の額を全事業費の 70%、残りをパナマ自己資金と仮定した。
出典：調査団

(2) 追加投資

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.5 追加投資

積算基準年月： 2013年10月

為替レート： USD 1.00 = JPY 99.7

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

注) エスカレーションを含まない2013年10月の値。

出典：調査団

8.3.5 METI 調査との比較

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.6 工事費比較表

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

8.4 建設計画

請負業者選定までは非公開とする。



出典：調査団

図 8.1 パンアメリカン道路車線拡張区間工事手順

8.4.1 下部工

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.7 杭工事・橋脚工事手順

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

8.4.2 上部工

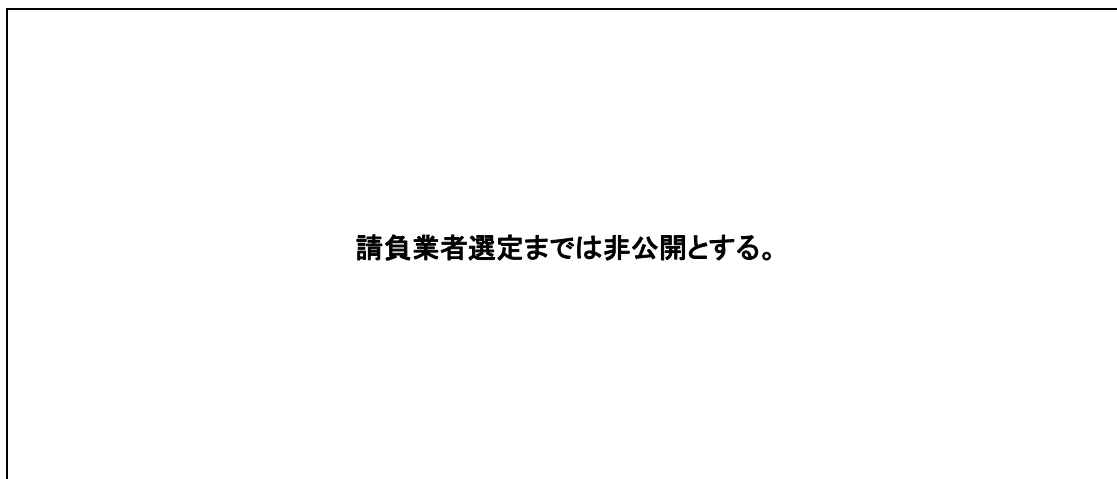
(1) PC 軌道桁の製作

請負業者選定までは非公開とする。

請負業者選定までは非公開とする。

(2) PC 軌道桁架設工

請負業者選定までは非公開とする。



出典：調査団

図 8.2 PC 軌道桁架設工

(3) 第4パナマ運河橋上へのPC軌道桁の架設

請負業者選定までは非公開とする。



出典：調査団

図 8.3 クレーンによる架設と桁運搬架設機

(4) 車両基地内の桁の設置

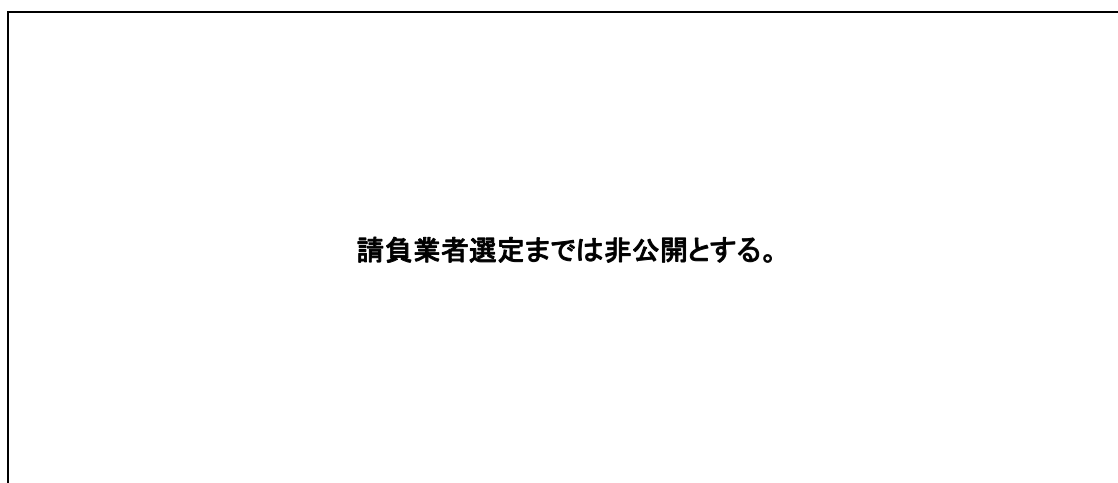
請負業者選定までは非公開とする。

(5) その他土木工事

請負業者選定までは非公開とする。

8.4.3 電気・信号・通信システム設置工事

請負業者選定までは非公開とする。



出典：調査団

図 8.4 作業車

8.4.4 建設期間中の交通管理計画および安全管理計画

(1) 交通管理計画

請負業者選定までは非公開とする。

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.8 交通管理計画策定手順

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

(2) 安全管理計画

請負業者選定までは非公開とする。

8.4.5 資機材調達

(1) 建設資材

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.9 資材調達

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

(2) 建設機械

請負業者選定までは非公開とする。

(3) 土木工事の労働力

請負業者選定までは非公開とする。

8.4.6 コンサルティングサービス

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.10 コンサルティングサービス

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

8.4.7 建設工程

(1) 前提条件

請負業者選定までは非公開とする。

(2) 関連工事

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.11 土木工事工程案

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

(3) 建設工程

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.12 準備段階前提条件

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

出典：調査団

表 8.13 建設段階前提条件

<p>請負業者選定までは非公開とする。</p>

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

表 8.14 建設工程

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

8.5 工事発注パッケージ

請負業者選定までは非公開とする。

8.5.1 建設工事契約

請負業者選定までは非公開とする。

8.5.2 プラント及び設計施工契約

請負業者選定までは非公開とする。

8.5.3 EPC／ターンキー契約

請負業者選定までは非公開とする。

8.5.4 都市交通 3号線における工事発注パッケージ

請負業者選定までは非公開とする。

8.6 官民パートナーシップ（PPP）

現在のところ、官民を問わず、パナマ側・日本側機関のいずれも本事業を官民パートナーシップ（PPP）事業として実施する意思を表明していない。1号線事業はメトロ庁による公共事業として実施されており、また第9章で詳述する通り、3号線についても同様の実施体制が想定されている。ここでは、都市交通セクターにおけるラテンアメリカやその他の地域の経験や、多額の初期投資による財政負担、事業実施に必要な技術等に鑑み、公設公営の実施に対する代替としてのPPPの適用可能性について予備的検討を行う。

8.6.1 パナマ国のPPP環境

(1) 法制度の枠組み

現在のところ、パナマ国ではPPPに特化した法制度は設けられていない。2011年には包括的なPPP法案（2011年法案349号）が国会に提出されたが、公共部門の労働者の反対に晒され成立しなかった。これまでPPPはプロジェクト毎の立法、あるいは調達法など一般的な法制度の活用により、セクター毎に異なった枠組みの下に実施されてきている。

しかし最近では、8.6.3で後述する通り、MEFの見解によれば、行政コンセッション法（1998年法律第5号、2010年改正）に基いて、コンセッション事業方式によりPPP事業を実施することが実質的に可能となっている。

(2) 各セクターのPPP事例

セクター毎に異なったアプローチがされてきているものの、PPP事業は同国の多くのセクターで実施されてきている。最近の事例は以下に要約する通りである。¹

1) 都市公共交通²

新しい都市バス交通サービスは2007年の民活インフラ助言ファシリティ（PPIAF）の技術支援により計画された。ATTTによりメトロバスシステムの入札が行われ、国内2社、国外4社より応札があり、2010年にTransporte Masivo de Panamá, S.A.に事業権が与えられた。コンセッション料金は1,200台のバスなど3億ドルを投資している。2010年7月にはATTTは新たにメトロバスの財務管理に係る入札を行い、2012年よりプリペイドカードによる料金徴収システムが運用されている。

2) 鉄道

パナマ運河鉄道は、1988年法律第15号によるコンセッション契約に基づき、民間による運営が行われている（詳細は第8章参照）。

3) 高速道路

1988年法律第5号により道路・空港のコンセッション事業が規定されている。パナマ市のCorredor Norte・Corredor Surといった主要な道路事業が右法律に基いて実施されている。しかし、コンセッション契約の前提となった収入予測に大きな欠陥があったことが会計監査により明らかとなり、道路の拡幅などの必要な投資を実施す

¹ 本項の情報は主に“Evaluating the Environment for Public-Private Partnerships in Latin America and the Caribbean”（Economist Intelligence Unit 2010年・2013年）による。

² 都市バス交通に関する記述は“PPIAF Assistance in Panama”（PPIAF、2012年7月）による。

るために、政府はコンセッショネア（PYCSA 及び ICA）の救済を余儀なくされた。政府は 2010 年法律第 76 号により国营道路公社（ENA）を設立し、事業権買収を行った。その原資は国家予算に含まれない ENA 発行債券により賄われた。

4) 水道

水道セクターでは、1997 年法律第 2 号により民間部門資金の活用が図られ、国营水道公社 IDAAN の民営化がすすめられたが、市民から強硬な反対にあい頓挫した。議会は 2001 年法律第 77 号を成立させ同公社により独立性を与えるとともに、政府により検針や請求業務など限られた部分での民活が行われている。

5) その他のセクター

電力セクターでは、1990 年代半ばに国营電力公社の発電・送電・配電部門の分離が行われ、配電会社の民営化、発電部門への民間投資誘致が図られた。しかし、電力料金を安く抑える政治的圧力が働き、発電部門への公共投資が依然必要とされている。

港湾セクターでの PPP は事業ごとの立法により実施されてきている。例えばバルボア港・クリストバル港のコンテナターミナル事業は 1997 年法律第 5 号により議会の承認を受け、25 年間の事業権が Panama Ports Company 社に与えられた。

工業・商業地域開発では、パナマ・パシフィコ経済特区（SEZ）が、パナマ運河西側に位置する元米国空軍施設の土地で進行中である。2004 年成立した法律に基づいて、コンセッション契約が承認され 40 年間の事業権が外資系開発業者に与えられている。

(3) 投資環境

パナマ国では外国投資に関する制約はほとんどない。ドルベースの経済であり、外国送金に関する規制もない。1998 年法律第 54 号では、Legal Stability Regime と呼ばれる制度が規定されており、一定の基準を満たした投資家は、現行の法令より不利な法令が将来成立してもその適用を受けないという政府保証を得ることができる。また、石油フリーゾーン、コロン・フリーゾーンなどでの外国投資家に対するインセンティブ制度が存在している。メトロ 1 号線事業では、2010 年法律第 62 号によりコントラクターに対する免税措置が規定されている。

8.6.2 PPP の適用可能性

(1) メトロ庁の公社化による Metro de Panamá, S.A. への移行

2013 年 11 月にメトロ交通システムの制度フレームワークと 100% 政府保有のメトロ公社（Metro de Panamá, S.A.）の設立を定める 2013 年法律第 109 号が成立した。現在のメトロ庁の機能・活動はこのメトロ公社に移管されることとなり、円借款事業の実施機関となる予定である。また、PPP 事業として実施する場合にも、政府側代表機関（Concession Granting Entity）として機能することになる。

しかしながら、メトロ庁によれば³、以下の通り公社化以降もその財政の独立性はかなり

³ JICA 調査団のメトロ庁公社化後の財務管理に係る質問票に対するメトロ庁の法律意見（2014 年 1 月 27 日）による。

限定的なものになる見込みである。

- 公社は非金融国有企業に属し、すなわち国家予算制度の管理下に置かれる。本事業は財務的にフィージブルではなく、多額の政府補助金が必要とされるため、他の政府機関と同様に、国家予算の配賦に頼った運営がなされる見込みである。
- 上記法律では、政府保証の有無を問わず公社が国内外から独自に資金調達をすることが可能となっているものの、円借款による3号線事業の実施体制は、1号線事業と同様に、政府が借款の借入人となると考えられる。政府から公社への転貸は予定されておらず、公社にとって円借款資金は事業建設にかかる政府補助金として認識される。
- 後述の通り、法律は公社がコンセッションによる民間参画を実施することを認めているが、メトロ庁は国家が最も裨益するスキームを政府が決定するという見解を有している。

(2) 1988年法律第5号（2010年改正）：行政コンセッション法

2011年に新PPP法案が頓挫したものの、MEFの見解によれば⁴、行政コンセッション法と呼ばれる1988年法律第5号（及び2010年法律第76号等による改正）に基づいて、民間セクター投資を活用した公共インフラ事業を実施することが実質的に可能となっている。同法はメトロ事業の制度フレームワークを定めた2013年法律109号でも言及されている。公社がメトロ事業のPPPをコンセッション方式で実施する場合には、同法を適用することが明示されており、メトロ3号線にも適用可能である。同法律の概要は以下の通りである。

1) 適用可能な事業（第1条）

道路、高速道路及び内閣が公益に資すると認める公共事業の建設、改善、維持管理、改修等を対象としている。法律では公益を「公共の用に供する国家資産の改善であり、コンセッション期間終了後運転可能な状態で国家に返還されるもの」と規定している。

2) リスク配分及び政府補助（第2条）

コンセッション契約では、政府と民間コンセッショネアでのリスク配分を適切に規定されていなければならない。リスクには建設、運転維持管理、電力など公共インフラのオペラビリティ、需要、環境、法制度の変更、不可抗力などが含まれる。また政府は、事業の実施可能性の確保や利用者の利益のために、オペラビリティ・ペイメントや利用者が負担する料金を抑制するための補助金などの形で、支援を行うことができる。

3) コンセッショネア（第4条、第5条）

民間の法人または、官民で設立するジョイントベンチャーがコンセッショネアとなることができる。事業実施官庁の判断により複数の民間企業で構成されるコンソーシアムがコンセッショネアとなることも認められる。コンソーシアムはすべてパナマ法人により構成されるか、外国企業が入る場合でもパナマ法人により代表されなければならない。

⁴ JICA 調査団による MEF (Directorate of Public Policies) へのインタビュー（2013年10月24日）

4) 事業の計画及び調達プロセス（第6条、第10条、第11条）

コンセッション事業は実施機関の提案により内閣の承認を得て実施される。内閣への申請にあたり、実施機関は独立した企業による調査結果を示さなければならない。コンセッショネアの選定プロセスは事前資格審査（PQ審査）及び入札で構成されている。入札評価で使用されるパラメータは特に定められておらず、事業毎に設定されると解され、技術・財務の条件で最も良い提案で応札した企業に落札される。コンセッショネア選定は内閣の承認を受けなければならない。

5) コンセッション契約（第12条）

コンセッション契約に含まなければならない事項は以下のとおりである。①コンセッショネアの名称・所在及び国籍、②コンセッションの対象物、③コンセッション期間、④投資額、⑤コンセッション対象区域、⑥一般・特別条項、権利義務、⑦事業内容、⑧建設期間、⑨コンセッショネアが提供する担保、⑩利用料金及びその改定制度、⑪事業を救済する場合の条件、⑫契約の終了、⑬裁判管轄に係るコンセッショネアの了解、⑭事業の総投資額と適切な利益を含む総回収可能価額。事業の利用料金の設定と改定については、内閣の承認が必要である。

6) コンセッショネアの義務（第13条）

事業実施に係る一般的な権利義務の他に、コンセッショネアの義務として内閣が定める水準よりも高い料金設定を行わないこと、従業員の90%以上をパナマ市民から雇用しなければならないことが定められている。

7) コンセッショネア、金融機関及び出資者向けの財政補助（第23条、第24条）

上記の条項では、コンセッショネア及び投資家・融資機関等が得られる輸入税・所得税の一部免除などの財政補助の内容が規定されている。

(3) メトロ3号線事業の事業スキーム代替案

事業の特性及び海外での事例に鑑みて、3号線事業で考えられる事業実施スキームは以下の通りである。表 8.15 に各スキームにおける官民の役割分担の概要を示す。

表 8.15 事業スキームのオプション（案）

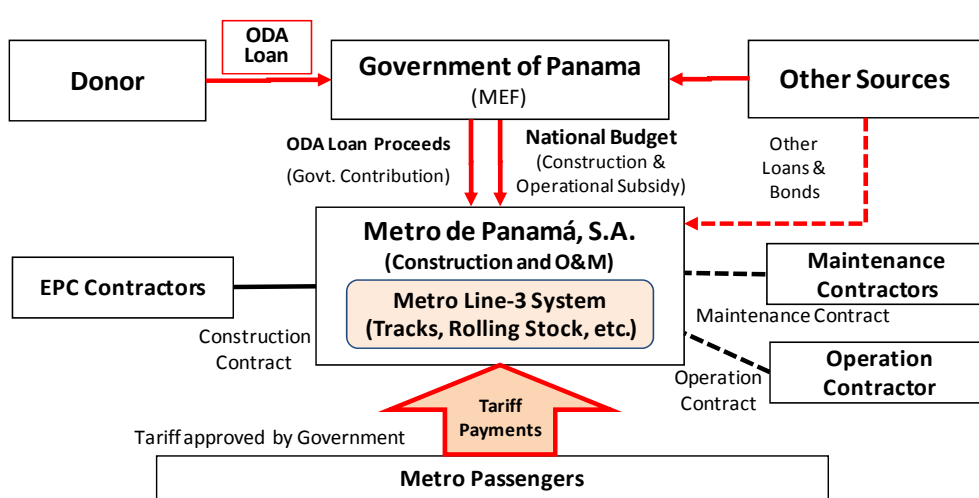
事業スキーム		設計	建設	資金	運営	
1 公共による事業投資・運営	官	✓	✓	✓	✓	
	民	-	-	-	-	
2 コンセッション方式（公共による初期投資）	官	✓	✓	✓		
	民	-	-	-	✓	
3 BOT/BTO スキーム（民間による初期投資）	官	-	-	-	-	
	民	✓	✓	✓	✓	
4 上下分離方式 （車両・機電部分の民間投資）	車両、機電等	官	-	-	-	
		民	✓	✓	✓	
	土木工事	官	✓	✓	✓	✓
		民	-	-	-	-
5 公共による事業運営（民間による初期投資）	官	-	-	-	✓	
	民	✓	✓	✓	-	

出典：調査団

1) 代替案 1：公共による事業運営

前述の通り、円借款資金による公共側の事業実施・運営は、最も蓋然性の高い事業スキームと考えられる（図 8.5 参照）。民間企業の関与は事業施設の建設及び、運営・維持管理のアウトソース（委託）の可能性に限られる。初期投資に係る資金調達はすべて政府の責任において行われる。今後の分析では、本スキームをベースケースとして検討する。

本スキームでは、メトロ公社が円借款と政府補助金に基づいて初期投資を行う。円借款は政府が借入れる。また国家予算が建設費の一部に用いられる。公社がコントラクターと建設契約を締結しすべての施設の建設に責任を負う。運営・維持管理の一部を外部の企業に委託することも考えられる。公社は利用者から運賃を回収し資本・運営費用に充てるが、政府により低水準の運賃が設定される場合、かなりの費用が政府からの補助金により賄われると考えられる。



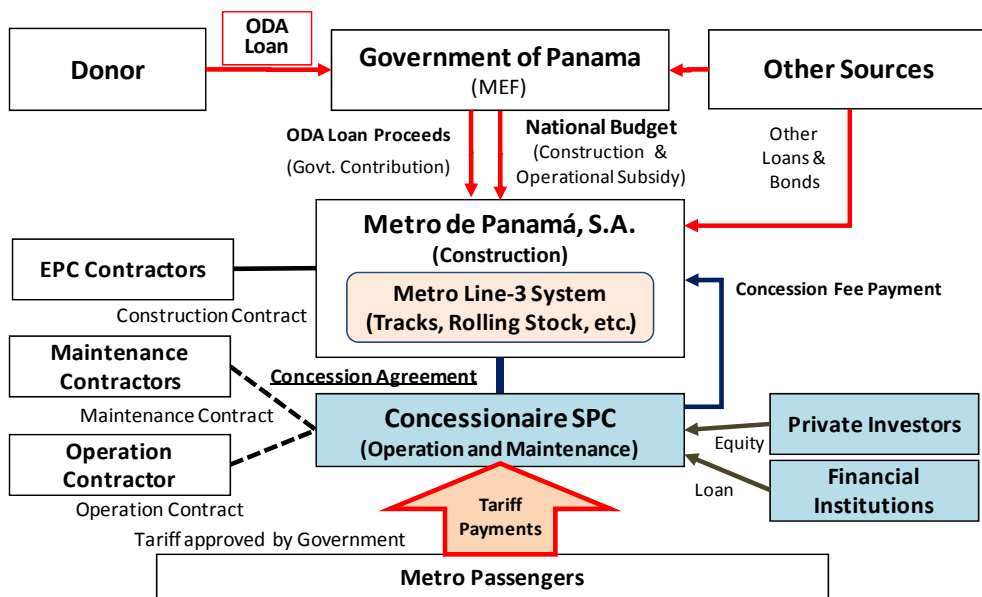
出典：調査団

図 8.5 公共による事業投資・運営

2) 代替案 2：コンセッション方式

公共による事業運営と同様、初期投資を政府が実施するが、運営維持管理は行政コンセッション法に基づいたコンセッション契約により民間が責任を追うことにより、より効率的な運営が期待される（図 8.6 参照）。ただし民間による初期投資は本スキームに含まれていない。政府が円借款を借入れ、メトロ公社がすべての施設建設を行う。コンセッション会社の特別目的会社（SPC）が利用者から運賃を回収しメトロの運営維持管理を行う。公共による初期投資の一部は、コンセッション会社が支払うコンセッションフィーにより回収される。

コンセッションでは、運賃収入を民間が受け運営維持管理を行う方式（Fare-based）と、運賃収入は公共側に移転され公共から民間が予め定められた支払いを受ける方式（Annuity-based）の 2 つの方式が考えられる。前者は需要リスクを民間が負い、後者では公共が負い、民間はコンセッション契約で予め定められたサービス基準に基づいて支払いを受ける。

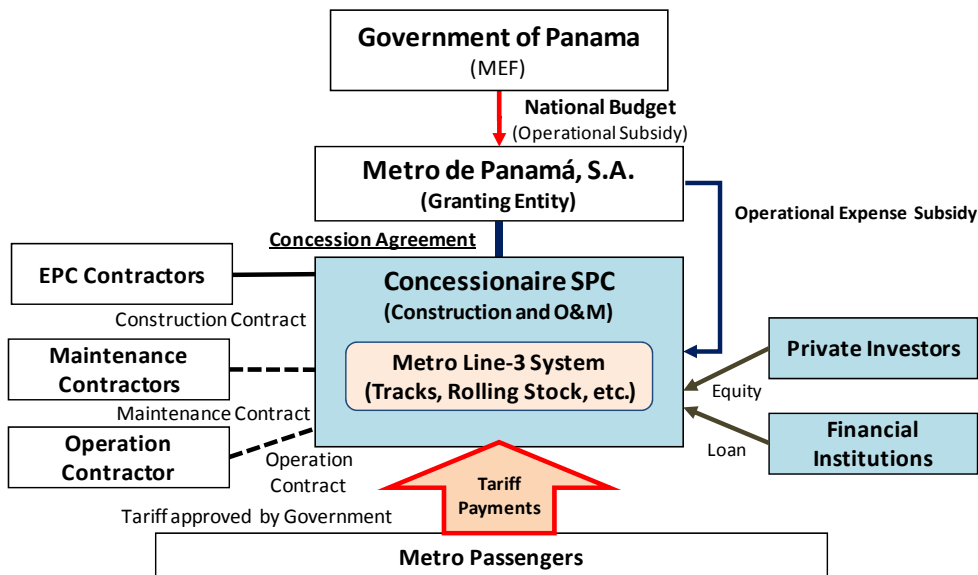


出典：調査団

図 8.6 コンセッション方式（Fare-based）

3) 代替案 3：BOT/BTO 方式

このスキームでは事業の建設・調達、運営に係る事業権を 20～30 年の長期間に亘り民間に付与し、民間投資により事業を実施・運営する（図 8.7 参照）。本事業の収益性は極めて低いことが想定されるため、利用者が負担する料金水準を抑制するために政府から補助金を交付することが不可欠である。



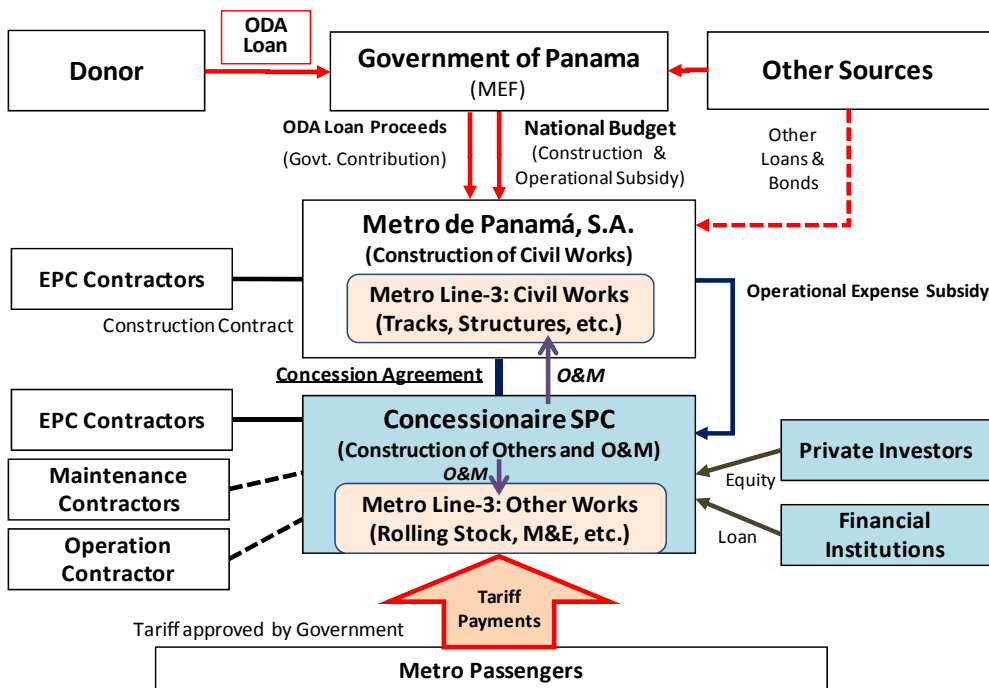
出典：調査団

図 8.7 BOT/BTO 方式

4) 代替案 4：上下分離方式

上下分離方式は、コンセッション方式（代替案 2）と BOT/BTO 方式（代替案 3）の複合であり、事業スコープを上下で分割し、土木工事等を円借款資金により公共側が建設し、車両、機電部分等を民間資金により調達するとともにシステム全体の運営や運賃回収も民間企業が担うスキームであり、政府の初期投資負担の軽減を企図

している。事業の収益性の低さを補うため、運営期間中に政府による資金補助が必要である。コンセッション方式と同様に、本スキームでも Fare-based、Annuity-based の2方式を想定する。

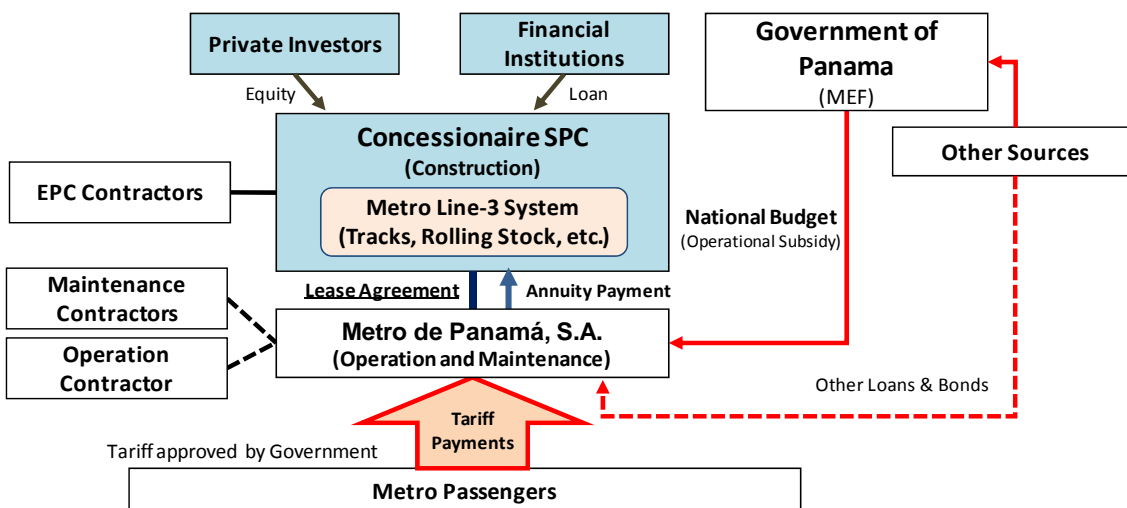


出典：調査団

図 8.8 上下分離方式（Fare-based）

5) 代替案 5：公共による事業運営・民間による初期投資（民設公営）

本スキームでは、民間企業が自己の資金調達によりすべての施設を建設する。運営は公共側により実施され、メトロ公社が運営維持管理の責任を負い、利用者から運賃を回収する。民間が負担した建設費及び資本コストは公社が支払う Annuity により賄われ、公社は政府からメトロ運営に係る補助金を受ける。



出典：調査団

図 8.9 民設公営方式

(4) 事業スキーム代替案の比較

請負業者選定までは非公開とする。

1) 財政負担と民間投資・運営

請負業者選定までは非公開とする。

2) 運賃設定及び調整

請負業者選定までは非公開とする。

3) 調達

請負業者選定までは非公開とする。

表 8.16 事業スキーム代替案の比較

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

8.6.3 PPP 適用可能性検討のインプリケーション

- 事業関係機関はいずれも、本事業に PPP を適用する意図はなく、円借款を活用した公共投資・運営が基本的な事業実施体制である。
- 本事業は財務的にフィージブルでなく、相当な政府補助が必要とされる（第 18 章 18.5 項参照）。PPP 導入により事業運営の効率性がある程度向上したとしても、特に民間事業者が初期投資を行うスキームでは、公共実施のケースと比較して VFM が得られる蓋然性は高くない。
- PPP スキーム代替案の中では、公共側が初期投資コストを負担するコンセッション方式（Annuity-based）は民間に求める効率性があまり高くなく、VFM 実現の可能性が比較的高いオプションであると考えられる。
- 現在、政府にメトロ事業の運賃設定制度は無く、将来の運賃水準予測に不確実性が大きいため、民間事業者が運営する際のリスクとなっており、特に民間事業者が運賃収入に依存する Fare-based のスキームは適さない。現状では Annuity-based のスキームが望ましい。事業の持続可能性を確保するためには、政府による適切な運賃設定・調整制度の確立が必要である。
- 政府が PPP 導入を決定する場合、官民の分担業務の技術的適合性や調達の効率性・実現可能性は更なる市場調査（サプライヤー・オペレーター候補企業に対するマーケットサウンディング）や技術的検討により分析される必要がある。政府が更なる調査を実施する場合、技術／トランザクションアドバイザーの雇用が不可欠である。
- PPP スキームでは、円借款返済に係るデットサービスの他に、民間事業者の収益性を確保するために事業運営期間中の補助金ないし Annuity 支払が予期される。こうした取り決めを行うことは民間による実質的な財政ファイナンスと考えられる。

8.7 実施計画

請負業者選定までは非公開とする。

請負業者選定までは非公開とする。

出典：調査団

図 8.10 実施計画