

ブラジル国
サンパウロ市交通公社

ブラジル国
サンパウロ市都市交通整備事業
準備調査最終報告書

平成22年5月
(2010年)

独立行政法人国際協力機構
(JICA)

日本工営株式会社
株式会社トステムズ
株式会社トーニチコンサルタント
中南米工営株式会社

目次

第 1 章	要約.....	1-1
1.1	プロジェクト概要	1-1
1.2	本準備調査について.....	1-2
1.3	調査の要約.....	1-6
第 2 章	対象路線の現況.....	2-1
2.1	経済社会状況	2-1
2.2	土地利用	2-2
2.3	交通システム.....	2-7
2.4	都市交通計画	2-12
2.5	都市交通プロジェクト.....	2-16
2.6	各路線の交通状況	2-18
2.7	自然環境と社会環境	2-20
第 3 章	需要予測.....	3-1
3.1	社会経済フレームワーク	3-1
3.2	推計方法	3-2
3.3	将来交通量.....	3-5
3.4	シナリオ分析	3-6
第 4 章	路線および輸送計画	4-1
4.1	路線計画	4-1
4.2	システム選定	4-10
4.3	運行計画	4-20
4.4	車両計画	4-34
第 5 章	事業スコープ.....	5-1
5.1	路線計画および土木施設計画に係る設計方針と設計基準.....	5-1
5.2	路線線形	5-9
5.3	駅.....	5-11
5.4	軌道桁.....	5-27
5.5	トンネル.....	5-34
5.6	車両基地	5-44
5.7	電力供給システム.....	5-52
5.8	信号・通信	5-69
第 6 章	事業実施計画	6-1
6.1	施工計画	6-1
6.2	資機材調達.....	6-7
6.3	事業費積算.....	6-10
6.4	実施工程	6-34
6.5	発注パッケージ	6-45
6.6	技術支援計画	6-46
第 7 章	運営及び維持管理	7-1

7.1	実施計画	7-1
7.2	運営及び維持管理計画.....	7-3
7.3	維持管理経費の算出	7-18
第 8 章	環境社会配慮	8-1
8.1	法律及び組織制度	8-1
8.2	代替案の検討	8-11
8.3	プロジェクトの環境スコーピング	8-17
8.4	EIA 調査仕様の提案	8-23
8.5	環境社会面への影響に対する緩和策の予備的検討	8-27
8.6	特に重要な環境社会面への影響に対する緩和策	8-41
8.7	環境管理・モニタリング計画(EMMP).....	8-53
8.8	住民協議	8-64
第 9 章	事業効果.....	9-1
9.1	運用・効果指標	9-1
9.2	定性的・定量的効果	9-3
9.3	環境改善効果	9-5
第 10 章	経済財務分析	10-1
10.1	概要.....	10-1
10.2	前提条件	10-1
10.3	経済評価	10-1
10.4	財務分析	10-8
10.5	国際援助機関によるのブラジルにおける運輸セクター支援の現状	10-16
第 11 章	結論と提言	11-1
11.1	結論.....	11-1
11.2	提言.....	11-2

表一覧

表 1-1	プロジェクト概要	1-1
表 1-2	走行性能と輸送能力	1-10
表 1-3	各路線への提案システム	1-10
表 1-4	開業段階.....	1-11
表 1-5	トンネル工法の概要	1-18
表 1-6	通信の要求機能とシステム.....	1-23
表 1-7	プロジェクト全体の事業費	1-26
表 1-8	全体スケジュール	1-27
表 2-1	人口	2-1
表 2-2	戦略計画で定められている一般ゾーン	2-4
表 2-3	東京とサンパウロの都市交通の比較.....	2-8
表 2-4	システム別の路線数とバス車両数.....	2-10
表 2-5	建設中の地下鉄拡大事業	2-16
表 2-6	M'Boi Mirim 道路におけるピーク時間交通量の推計	2-18
表 3-1	人口予測 2005・2045	3-1
表 3-2	雇用者数と学生数の推計	3-2
表 3-3	発生交通量の推計(RMSP 合計)	3-3
表 3-4	発生交通量の推計(RMSP 合計)	3-3

表 3-5	ピーク時ピーク方向交通量.....	3-5
表 4-1	LINE-1 の駅配置.....	4-5
表 4-2	LINE-2A オリジナルルート の駅配置.....	4-6
表 4-3	LINE-2A 地域開発ルート の駅配置.....	4-6
表 4-4	LINE-2B の駅配置.....	4-7
表 4-5	LINE-2C の駅配置.....	4-7
表 4-6	LINE-2D の駅配置.....	4-8
表 4-7	各路線のピーク時ピーク方向輸送需要(人/時).....	4-10
表 4-8	各候補の特徴.....	4-15
表 4-9	走行性能と輸送能力.....	4-16
表 4-10	LINE-1 向けシステムの評価.....	4-16
表 4-11	LINE-2A 向けシステムの評価.....	4-17
表 4-12	LINE-2B 向けシステムの評価.....	4-17
表 4-13	LINE-2C 向けシステムの評価.....	4-18
表 4-14	LINE-2D 向けシステムの評価.....	4-18
表 4-15	各路線への提案システム.....	4-19
表 4-16	折返し設備および非常渡り線の位置.....	4-23
表 4-17	第一期・ピーク時列車運行パターン.....	4-26
表 4-18	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-26
表 4-19	第二期・ピーク時列車運行パターン.....	4-27
表 4-20	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-27
表 4-21	第三期・ピーク時列車運行パターン.....	4-28
表 4-22	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-28
表 4-23	列車編成数.....	4-30
表 4-24	追加ケース 1・ピーク時列車運行パターン.....	4-31
表 4-25	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-31
表 4-26	列車編成数.....	4-31
表 4-27	追加ケース 2・ピーク時列車運行パターン.....	4-32
表 4-28	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-32
表 4-29	列車編成数.....	4-32
表 4-30	追加ケース 3・ピーク時列車運行パターン.....	4-33
表 4-31	ライン毎の輸送力と運転間隔.....	4-33
表 4-32	列車編成数.....	4-33
表 4-33	輸送力と車両重量.....	4-35
表 4-34	列車編成あたり輸送容量.....	4-35
表 4-35	車両仕様.....	4-37
表 4-36	日本における中量輸送システムの走行速度.....	4-39
表 4-37	曲線部の速度.....	4-39
表 4-38	表定速度の計算結果.....	4-40
表 5-1	設計コンローラー一覧(1) (LINE-1).....	5-3
表 5-2	設計コンローラー一覧(2) (LINE-2A - 1/2).....	5-4
表 5-3	設計コンローラー一覧(3) (LINE-2A - 2/2).....	5-5
表 5-4	設計コンローラー一覧 (4) (LINE-2B).....	5-6
表 5-5	設計コンローラー一覧 (5) (LINE-2C).....	5-7
表 5-6	設計コンローラー一覧 (6) (LINE-2D).....	5-8
表 5-7	バリアフリー基準比較表.....	5-12
表 5-8	駅プラットホームの形式比較.....	5-16
表 5-9	駅形式.....	5-17
表 5-10	SUMARE 駅形式比較.....	5-23
表 5-11	プラットホーム幅員.....	5-26

表 5-12	設計荷重の組み合わせ	5-32
表 5-13	軸重.....	5-33
表 5-14	トンネル工法の概要	5-39
表 5-15	トンネル工法の比較	5-40
表 5-16	RAMAL JAGUARA 留置施設の施設.....	5-48
表 5-17	JARDIM ANGELA 留置施設の施設.....	5-49
表 5-18	車両基地の主要な保守用設備	5-50
表 5-19	RAMAL JAGUARA 留置施設の主要な保守用設備	5-51
表 5-20	自家用発電機の設置間隔	5-54
表 5-21	電力消費率による整流器容量.....	5-55
表 5-22	最大消費電力による整流器容量	5-56
表 5-23	平常運転時の電圧降下	5-57
表 5-24	隣接変電所故障時の電圧降下	5-58
表 5-25	電車線路断面	5-61
表 5-26	形状諸元.....	5-62
表 5-27	碍子支持点間隔.....	5-64
表 5-28	電車線長.....	5-65
表 5-29	駅配電負荷の合計	5-67
表 5-30	変電所における全負荷	5-68
表 5-31	通信方式とその特徴.....	5-74
表 5-32	配線略図の解説.....	5-79
表 5-33	通信の要求機能とシステム.....	5-80
表 5-34	冗長化手法の比較	5-81
表 5-35	ネットワーク構成の比較.....	5-81
表 5-36	通信システムの種類	5-82
表 5-37	無線システムの比較	5-83
表 6-1	長スパン橋一覧.....	6-4
表 6-2	建設期間および対象ライン	6-10
表 6-3	全体事業費.....	6-13
表 6-4	第一期 オリジナルルート案 建設費	6-14
表 6-5	第一期 オリジナルルート案 事業費	6-15
表 6-6	第一期 オリジナルルート案 コスト年次配分	6-16
表 6-7	第一期 地域開発ルート案 建設費	6-17
表 6-8	第一期 地域開発ルート案 事業費	6-18
表 6-9	第一期 地域開発ルート案 コスト年次配分	6-19
表 6-10	第二期 建設費	6-20
表 6-11	第二期 事業費	6-21
表 6-12	第二期 コスト年次配分.....	6-22
表 6-13	第三期 建設費	6-23
表 6-14	第三期 事業費	6-24
表 6-15	第三期 コスト年次配分.....	6-25
表 6-16	第 3-2 期 2025 年増備分建設費	6-26
表 6-17	LINE-2A 建設費比較表	6-26
表 6-18	駅の分類.....	6-28
表 6-19	第一期 オリジナルルート案 コンサルタント作業工程	6-32
表 6-20	第一期 地域開発ルート案 コンサルタント作業工程.....	6-32
表 6-21	第二期 コンサルタント作業工程.....	6-33
表 6-22	第三期 コンサルタント作業工程.....	6-33
表 6-23	全体工程.....	6-35
表 6-24	第一期 実施工程.....	6-36

表 6-25	第一期 工事区間.....	6-37
表 6-26	第二期 実施工程.....	6-40
表 6-27	第二期 工事区間.....	6-41
表 6-28	第三期 実施工程.....	6-43
表 6-29	第 3-2 期 (追加投資).....	6-44
表 7-1	メトロ 4 号線運営計画の概要.....	7-1
表 7-2	バス運営の概要.....	7-2
表 7-3	段階整備計画.....	7-3
表 7-4	要員数算出における職種と原単位.....	7-10
表 7-5	日本のモノレールにおける要員数原単位実績.....	7-11
表 7-6	サンパウロ計画路線における主要数量(ケース別).....	7-11
表 7-7	サンパウロ計画路線における要員数(第一期～第三期の場合).....	7-12
表 7-8	サンパウロ計画路線における要員数(第一期のみの場合).....	7-13
表 7-9	車両に係る定期検査.....	7-14
表 7-10	線路設備・構造物及び駅設備に係る維持管理(検査・修繕)の概要.....	7-16
表 7-11	電気設備に係る維持管理(検査・修繕)の概要.....	7-16
表 7-12	カテゴリー別人件費単価.....	7-18
表 7-13	サンパウロ計画路線における直轄人件費.....	7-19
表 7-14	人件費以外の経費算出における費目と原単位.....	7-20
表 7-15	日本のモノレールにおける経費原単位実績.....	7-21
表 7-16	サンパウロ計画路線における日本実績ベース経費(第一期～第三期の場合).....	7-22
表 7-17	サンパウロ計画路線における日本実績ベース経費(第一期のみの場合).....	7-23
表 7-18	サンパウロ計画路線における現地価格ベース経費(第一期～第三期の場合).....	7-24
表 7-19	サンパウロ計画路線における現地価格ベース経費(第一期のみの場合).....	7-25
表 7-20	サンパウロ計画路線における維持管理経費のまとめ.....	7-26
表 8-1	プロジェクトに関わる環境社会配慮についての主な法律一覧.....	8-1
表 8-2	プロジェクトに関わる環境社会配慮関連組織一覧.....	8-4
表 8-3	主要な環境法及び関連法制度一覧.....	8-5
表 8-4	オリジナルルートにおける主要な悪影響.....	8-11
表 8-5	代替ルート.....	8-14
表 8-6	プロジェクトの環境スコーピングマトリックス.....	8-18
表 8-7	プロジェクトの環境スコーピングチェックリスト(1/4).....	8-19
表 8-8	プロジェクトの環境スコーピングチェックリスト(2/4).....	8-20
表 8-9	プロジェクトの環境スコーピングチェックリスト(3/4).....	8-21
表 8-10	プロジェクトの環境スコーピングチェックリスト(4/4).....	8-22
表 8-11	現地調査の概要.....	8-25
表 8-12	モニタリングの主要な基準.....	8-26
表 8-13	社会的弱者の居住するエリアのタイプ.....	8-42
表 8-14	平均的な土地と建物の価格.....	8-43
表 8-15	移転住民へ提供される家屋の単価.....	8-43
表 8-16	土地と建物の取得費用.....	8-44
表 8-17	移転先の区画整備に必要な経費.....	8-44
表 8-18	移植の場合の換算レート.....	8-46
表 8-19	伐採の場合の換算レート.....	8-47
表 8-20	移植の場合の代償係数.....	8-49
表 8-21	伐採の場合の代償係数.....	8-50
表 8-22	業務実施・サービス提供の単価.....	8-50
表 8-23	各ルートで影響を受けることが想定される樹木の数量.....	8-51
表 8-24	各ルートで想定される移植、伐採数および代償として求められる植樹数.....	8-51
表 8-25	街路樹の伐採に関連する概算コスト.....	8-52

表 8-26	提案される騒音・振動モニタリングの計測点の数	8-59
表 8-27	提案される大気質モニタリングの計測点の数	8-61
表 8-28	EIA に関わる住民協議への提案の概要	8-65
表 8-29	住民移転行動計画(RAP)に関わる住民協議への提案の概要	8-66
表 9-1	運用指標 (PHASE-1)	9-1
表 9-2	運用指標 (PHASE-2)	9-1
表 9-3	運用指標 (PHASE-3)	9-2
表 9-4	効果指標	9-2
表 9-5	事業による「人時」削減量	9-4
表 9-6	本事業による台キロの削減	9-4
表 9-7	燃料消費量(リットル)あたり排出原単位の推計	9-7
表 9-8	台キロあたりの燃料消費率の推計(車両とバス)	9-7
表 9-9	CO ₂ 排出削減量の推計(全線開通のケース)	9-8
表 9-10	走行キロあたり排出量(グラム)	9-9
表 9-11	サンパウロにおける乗用車とバスの平均排出原単位の推計	9-10
表 9-12	窒素酸化物(NOx)及び浮遊粒子状物質(PM ₁₀)の排出削減量の推計	9-10
表 10-1	サンパウロにおける VOC 推計	10-2
表 10-2	サンパウロにおける普通バスの VOC 推計	10-3
表 10-3	自動車とバスの VOC 推計の要約	10-4
表 10-4	サンパウロにおける時間価値の推計	10-4
表 10-5	経済分析のためのキャッシュフロー表	10-6
表 10-6	NPV と B/C の結果(経済評価)	10-7
表 10-7	一人あたり料金収入の推計	10-8
表 10-8	収益予測(統一料金の場合)	10-9
表 10-9	収益予測(独立料金制の場合)	10-9
表 10-10	FIRR ON PROJECT 計算のためのキャッシュフロー	10-10
表 10-11	財務キャッシュフロー	10-13
表 10-12	資金の構成(全線開通)	10-15
表 10-13	資金の構成(第一期、オリジナルルート)	10-15
表 10-14	運輸セクターにおける IDB・世銀の協調融資	10-20

図一覧

図 1-1	モノレール事業	1-3
図 1-2	調査対象路線の位置図	1-4
図 1-3	システム選定図	1-7
図 1-4	路線案	1-8
図 1-5	跨座型モノレールの外観と構造物の一例	1-10
図 1-6	概略配線図	1-13
図 1-7	プロジェクトの線形	1-15
図 1-8	上部工選定チャート	1-16
図 1-9	モノレール橋脚の標準横断面図	1-17
図 1-10	トンネル位置図	1-17
図 1-11	車両基地レイアウト	1-19
図 1-12	RAMAL JAGUARA 留置施設	1-20
図 1-13	JARDIM ANGELA 留置施設	1-20
図 1-14	電力供給システム	1-21
図 1-15	信号システムの概念図	1-22

図 1-16	PC 桁の架設.....	1-24
図 1-17	電車線とケーブルトレイ.....	1-25
図 1-18	維持管理経費及び要員数(第一期～第三期、地域開発ルートの場合).....	1-28
図 2-1	サンパウロ首都圏(RMSP)における人口増加率.....	2-1
図 2-2	ファベレーラの位置.....	2-2
図 2-3	現在の土地利用図.....	2-3
図 2-4	土地利用計画.....	2-6
図 2-5	都市間道路と主要道路.....	2-7
図 2-6	ナンバープレート規制の地域.....	2-8
図 2-7	サンパウロの鉄道網.....	2-9
図 2-8	コンセッションのゾーン.....	2-10
図 2-9	BRT 路線図.....	2-11
図 2-10	トリップの分布(2007 OD).....	2-12
図 2-11	時間帯別のトリップ割合.....	2-12
図 2-12	ROUTE MAP OF RODOANEL.....	2-13
図 2-13	将来地下鉄網図.....	2-14
図 2-14	公共交通計画 PDE 2020.....	2-15
図 2-15	EXPRESO TIRADENTES 位置図.....	2-17
図 2-16	EXPRESO CELSO GARCIA 位置図.....	2-17
図 2-17	標高.....	2-27
図 2-18	土地利用.....	2-28
図 2-19	歴史的遺産と遺跡.....	2-29
図 3-1	交通解析ゾーン.....	3-2
図 3-2	交通配分用ネットワーク.....	3-4
図 3-3	2015 と 2045 の需要予測.....	3-5
図 3-4	路線別 ピーク交通量と人・時の減少量.....	3-6
図 3-5	路線の組み合わせ(2 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量.....	3-6
図 3-6	路線の組み合わせ(3 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量.....	3-7
図 3-7	路線の組み合わせ(4 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量.....	3-7
図 3-8	料金体系の代替案分析.....	3-8
図 3-9	LINE-1B の影響.....	3-9
図 3-10	SANTO AMARO と JARDIM ANGELA 間の旅行時間.....	3-9
図 4-1	路線案.....	4-2
図 4-2	駅位置.....	4-9
図 4-3	都市交通システム- システム選定チャート.....	4-11
図 4-4	M'BOI MIRIM の朝ピーク時の混雑状況.....	4-12
図 4-5	BRT の表定速度と PHPDT.....	4-13
図 4-6	中規模輸送システムの候補.....	4-14
図 4-7	単線渡り線.....	4-22
図 4-8	Y 字引上げ線.....	4-22
図 4-9	シーサスクロッシング.....	4-23
図 4-10	折返し設備のレイアウト.....	4-23
図 4-11	概略配線図.....	4-24
図 4-12	第一期・列車運行ダイヤの例.....	4-26
図 4-13	第二期・列車運行ダイヤの例.....	4-27
図 4-14	第三期・列車運行ダイヤの例(2024 年以前).....	4-29
図 4-15	第三期・列車運行ダイヤの例(2025 年以降).....	4-29
図 4-16	大型モノレールの座席配置.....	4-34
図 4-17	大型モノレールの輸送力(6 人/M2).....	4-36
図 4-18	車両寸法と建築限界.....	4-36

図 4-19	スパイラル・シュートの配置例	4-38
図 4-20	LINE-2A (JARDIM ANGELA から SANTO AMARO) の列車運転曲線	4-40
図 5-1	LINE-1 設計コントロール	5-4
図 5-2	LINE-2A 設計コントロール(1/2)	5-5
図 5-3	LINE-2A 設計コントロール(2/2)	5-6
図 5-4	LINE-2B 設計コントロール	5-7
図 5-5	LINE-2C 設計コントロール	5-8
図 5-6	LINE-2D 設計コントロール	5-9
図 5-7	平面・縦断線形要素割合	5-9
図 5-8	プロジェクトの線形	5-10
図 5-9	サンパウロ市のバリアフリー施設	5-11
図 5-10	日本の多摩モノレールのプラットフォームドアの例	5-13
図 5-11	車両とプラットフォーム間の円滑な移動	5-13
図 5-12	車内の LCD 画面による情報提供	5-14
図 5-13	日本のバリアフリーエスカレータ・エレベータの例	5-14
図 5-14	バリアフリー施設図の例	5-15
図 5-15	A タイプ駅のパース図	5-19
図 5-16	A タイプ駅の断面	5-19
図 5-17	A タイプ駅の平面図	5-19
図 5-18	B タイプ駅のパース図	5-20
図 5-19	B タイプ駅の断面	5-20
図 5-20	B タイプ駅の平面図	5-20
図 5-21	SOCORRO 駅のパース図	5-21
図 5-22	SOCORRO 駅の断面図	5-21
図 5-23	SOCORRO 駅の平面図	5-21
図 5-24	FARIA LIMA 駅のパース図	5-22
図 5-25	FARIA LIMA 駅の断面図	5-22
図 5-26	FARIA LIMA 駅の横断面図	5-22
図 5-27	SUMARE 駅の断面図 (オプション 2)	5-23
図 5-28	JARDIM ANGELA 駅	5-23
図 5-29	JARDIM ANGELA 駅平面図	5-24
図 5-30	F タイプ駅のプラットフォーム断面図	5-24
図 5-31	F タイプ駅のプラットフォーム平面図	5-24
図 5-32	上部工選定チャート	5-27
図 5-33	PC 桁の断面図 (L=25M)	5-28
図 5-34	鋼桁橋の断面図 (L=50M)	5-28
図 5-35	鋼橋の例	5-29
図 5-36	モノレール橋脚の標準横断面図	5-29
図 5-37	門型橋脚の標準横断面図	5-30
図 5-38	独立型橋脚の標準横断面図	5-30
図 5-39	モノレールの分岐器橋の断面図	5-31
図 5-40	支承と伸縮装置 (例)	5-31
図 5-41	多摩モノレールの終端の車止め (写真)	5-32
図 5-42	軸配置	5-33
図 5-43	重心位置	5-33
図 5-44	トンネル位置図	5-34
図 5-45	トンネル 3D イメージ	5-34
図 5-46	縦断図 No.1	5-35
図 5-47	縦断図 No.2	5-35
図 5-48	縦断図 No.3	5-36

図 5-49	縦断図 No.4	5-36
図 5-50	No.1 における必要面積	5-37
図 5-51	No.2 における必要面積	5-37
図 5-52	No.3 における必要面積	5-38
図 5-53	トンネル建設の手順(1/2)	5-41
図 5-54	トンネル建設の手順(2/2)	5-42
図 5-55	道路覆工版の使用例	5-43
図 5-56	道路覆工版の詳細	5-43
図 5-57	車両基地および留置施設の配置	5-44
図 5-58	車両基地レイアウト	5-45
図 5-59	車両工場レイアウト	5-47
図 5-60	RAMAL JAGUARA 留置施設レイアウト	5-48
図 5-61	JARDIM ANGELA 留置施設レイアウト	5-49
図 5-62	電力供給システム	5-53
図 5-63	饋電回路単線結線図	5-59
図 5-64	電車線構造	5-61
図 5-65	架台形状	5-62
図 5-66	信号システムの概念図	5-70
図 5-67	列車検知の原理	5-71
図 5-68	従来の ATP による多段階制御	5-72
図 5-69	列車検知の原理	5-73
図 5-70	CBTC システムの連続制御パターン	5-73
図 5-71	LINE-1A の配線・信号配置図	5-75
図 5-72	JARDIM ANGELA 車両基地の配線・信号配置図	5-75
図 5-73	LINE-2A の配線・信号配置図	5-76
図 5-74	車両基地の配線・信号配置図	5-76
図 5-75	LINE-2B の配線・信号配置図	5-77
図 5-76	LINE-2C の配線・信号配置図	5-77
図 5-77	LINE-2D の配線・信号配置図	5-78
図 5-78	LINE-2D ヤードの配線・信号配置図	5-78
図 6-1	PC 軌道桁部標準横断図と写真	6-1
図 6-2	鋼製軌道桁部標準横断図と写真	6-2
図 6-3	PC 軌道桁架設図	6-3
図 6-4	杭工事コンクリート打設・橋脚工事コンクリート打設	6-4
図 6-5	長スパン橋の架設手順	6-5
図 6-6	河川上駅の建設順序	6-5
図 6-7	電車線とケーブルトレイ	6-6
図 6-8	コンサルタント作業体制	6-31
図 6-9	公共企業体の O&M 組織形成スケジュール	6-47
図 6-10	民間企業体による O&M 組織形成スケジュール	6-48
図 7-1	コンセッション地域区分	7-1
図 7-2	運行管理センター(重慶モノレール)	7-3
図 7-3	販売窓口における乗車券購入者の待ち行列(土曜日午後)(メトロ TIETE 駅)	7-5
図 7-4	メトロにおける組織図(概要)	7-6
図 7-5	SPTRANS における組織図	7-7
図 7-6	営業キロ当たり要員数の比較	7-8
図 7-7	提案するモノレール運営組織図	7-9
図 7-8	列車検査 (多摩都市モノレール)	7-15
図 7-9	全般検査 (多摩都市モノレール)	7-15
図 7-10	モノレールにおける維持管理用車両	7-17

図 7-11	維持管理経費及び要員数	7-27
図 8-1	サンパウロ市における事前環境許可(LAP)に関わる手続き	8-7
図 8-2	サンパウロ市における事前環境許可(LAP)取得後から操業環境許可(LAO)取得前までの手 続き	8-7
図 8-3	サンパウロ市における用地取得手続き	8-9
図 8-4	LINE-1 と LINE-2A の関係	8-12
図 8-5	代替ルート	8-13
図 8-6	LINE2A 沿いの移転先候補地の位置	8-41
図 9-1	ピーク時における JARDIM ANGELA から SE までの所要時間 (バス – 地下鉄)	9-3
図 9-2	ピーク時における JARDIM ANGELA から SE までの所要時間 (バスのみ)	9-3
図 9-3	プロジェクトによる二酸化炭素排出量削減効果の試算方法の概要	9-6
図 9-4	本事業による CO ₂ 排出削減量の推計	9-8
図 9-5	大気汚染物質試算手順	9-9
図 10-1	EIRR の感度分析(全線開業のケース)	10-7
図 10-2	財務キャッシュフロー(全線開業のケース)	10-10
図 10-3	財務分析(FIRR 計算)の感度分析(全線開通)	10-11
図 10-4	財務分析(FIRR 計算)の感度分析(第一期、オリジナルルート)	10-11
図 10-5	借入金利別 必要な自己資金の割合	10-12
図 10-6	借入金利別 必要な自己資金の割合	10-14
図 10-7	IDB 過去 5 年間の対ブラジル支援セクター別資金額(単位:百万ドル)	10-17
図 10-8	セクター別資金配分比較(%)	10-17
図 10-9	IDB 過去 5 年間の対ブラジル支援セクター別資金額	10-18

略語集

ABNT	ブラジル技術規格協会
ABRADEE	ブラジル配電会社協会
AFC	自動料金収集
AGT	側方案内式交通
ANA	国家水局
APP	恒久的保護地区
APRM	水源保護・復元地域
APRM-G	Guarapiranga 流域
ASTM	米国材料試験協会
BOD	生物化学的酸素要求量
BRT	バス・ラピッド・トランジット／幹線快速バスシステム
CADES	環境及び持続的開発に関わる市評議会
CEPEC	開発権証書
CET	交通管理会社
CETESB	環境衛生技術公社
CONAMA	国家環境委員会議決書
CPTM	サンパウロ首都圏鉄道会社
DAEE	サンパウロ州政府:水・電力エネルギー部
DECONT-2	環境質管理部登録・許可発効課
DECONT	環境質管理部
DEPRN	サンパウロ州自然資源保護部 (State Department of Natural Resources Protection)
DESAP	サンパウロ州政府:資産取得部 (Department of Property Expropriation)
DETRAN	サンパウロ州交通局
DO	溶存酸素
DPAA	サンパウロ市緑地環境局環境保護・評価部技術課

EIA	環境影響評価
EIV	地域影響調査
EMMP	環境管理計画及び環境モニタリング計画
EMPLASA	サンパウロ首都圏計画公社
EMTU	首都圏都市交通会社
FURNAS	Furnas 中央電力会社
GDP	国内総生産
HSST	エイチ・エス・エス・ティ(日本で開発された磁気浮上式鉄道システムの一つ)
IBAMA	連邦政府:環境・再生可能天然資源院
IBGE	ブラジル地理統計協会
IEE	初期環境調査
IPHAN	連邦政府:国家歴史芸術遺産院
ITAIPU	Itaipu Binacional (発電会社の名称)
JARTS	海外鉄道技術協力協会
JICA	独立法人 国際協力機構
JIS	日本工業規格
LAeq	等価騒音レベル
LAI	設置環境許可
LAO	操業環境許可
LAP	事前環境許可
LIM	リニアモーター
LRT	エル・アール・ティー／軽量鉄道／次世代型路面電車
METRO	サンパウロ地下鉄
OD	起終点
OUC	共同都市事業
PAP	被影響住民
PDDT	交通開発マスタープラン
PDE	戦略計画
PHPDT	ピーク時ピーク方向交通量
PITU	総合交通計画
PRAD	鉱業セクター企業による変更区域回復計画
PSD	プラットフォーム・スクリーンドア
RAP	非自発的住民移転行動計画
RESOLO	サンパウロ市土地登録/登記事務所
RIMA	環境影響評価報告書
RIVI	地区影響報告書
RMBS	Baixada Santista メトロポリタン地域
RMC	Campinas メトロポリタン地域
RMSP	Sao Paulo メトロポリタン地域
ROW	道路用地
SEHAB	サンパウロ市住宅都市開発局
SEMPLA	サンパウロ市交通局
SISNAMA	国家環境システム
SMA	サンパウロ州環境局
SNJ	サンパウロ州法務局
SPT	標準貫入試験
SPtrans	サンパウロ市交通公社
STM	首都圏交通局
SVMA	サンパウロ市緑地環境局
TSP	全浮遊粒子状物質
USP	サンパウロ大学
ZEPEC	特別文化保存地区

第1章 要約

1.1 プロジェクト概要

表 1-1 プロジェクト概要

No.	項目	摘要				
		第一期		第二期	第三期	
		オリジナル	地域開発			
1	建設区間	Line-1, Line-2A Capao Redondo ~ Jardim Angela ~ Santo Amaro		Line-2B, Line-2D Santo Amaro ~ Largo da Batata ~ Ramal Jaguará	Line-2C Largo da Batata ~Barra Funda	
2	開業年度	2014 年 10 月	2015 年 3 月	2016 年 7 月	2018 年 4 月	
3	路線長 (km)	14.2	15.6	22.6	7.2	
	トンネル延長(km)	0.24	0.63	0.0	0.0	
4	駅数 (将来駅を含む)					
	- 高架駅	16	16	26	8	
	- 地下駅	1	3	0	0	
	計	17	19	26	8	
5	平面線形	最小曲線半径：原則的に 100m とする。 ただし、やむを得ない場合として R _{min} = 50m を適用した。				
6	勾配	最急勾配：原則的に 6%とする。 ただし、やむを得ない場合として i _{max} = 8% を適用した。				
7	軌道	複線、右側通行、軌道中心間隔： 3,700mm				
8	PC 軌道桁寸法	長さ: 22m~30m, 高さ: 1700mm, 幅: 850mm				
9	用地取得(m ²)	116,520	182,630	59,655	2,240	
10	事業費 (単位: 百万円)				第三期	第三期-2
	- 建設費 (ベースコスト)	122,466	133,855	161,002	38,913	9,784
	(物騰, 予備費)	18,946	21,185	37,846	13,051	9,179
	- コンサルティングサービス費	8,924	9,621	9,145	6,997	0
	- 用地取得費	4,895	8,415	3,179	114	0
	- 一般管理費	4,657	5,192	6,335	1,772	569
	- 付加価値税	25,900	28,388	36,250	9,746	3,414
	- 輸入関税	0	0	0	0	0
	- 建中金利, 金融手数料	7,039	10,468	11,453	3,202	441
	合計	192,827	217,123	265,209	73,795	23,385
11	列車	跨座型モノレール				
	- 列車編成	6 両編成 (Mc-M-M-M-M-Mc) および 8 両編成(Mc-M-M-M-M-M-M-Mc)				
	- 輸送力	1,000 人/6 両編成, 1,300 人/8 両編成 (立席 6 人/m ²)				
	- 列車編成長	90m / 6 両編成, 120m / 8 両編成				
12	運行システム	ATO 運転士 1 人体制				
13	信号システム	キャプシグナル、CBTC				
14	電力供給システム	給電用変電所は AC138kV を受電し運転用変電所に AC34kV で送る。運転用変電所にて AC34kV から DC1500V に変換し電車線に送る。				
15	需要量	第一期		第二期	第三期 + Line 1B	
	2015 年	23,200 PHPDT		29,500 PHPDT	27,300 PHPDT	
	2045 年	28,800 PHPDT		34,800 PHPDT	32,100 PHPDT	
16	輸送力 開業年	25,000 PHPDT		29,600 PHPDT	31,200 PHPDT	
	2045 年	---		---	32,500 PHPDT	
17	最短運転間隔	ピーク時の最大断面にて 2 分 15 秒~2 分 30 秒間隔				
18	必要列車本数	6 両編成 29 列車		6 両編成 26 列車 8 両編成 35 列車	6 両編成 7 列車 8 両編成 60 列車	
19	経済的内部収益率	Phase1 (MB), Phase1(AD), Entire case = 17.0% – 19.0% > minimum rate of 12%				
	財務的内部収益率	Phase1 (MB): 1.4%, Phase1(AD): 0.5%, Entire: -0.7%				

注) オリジナル: オリジナルルート、地域開発: 地域開発ルート

1.2 本準備調査について

1.2.1 背景

サンパウロ市は、人口 1100 万人を擁するブラジル最大の都市であり、その首都圏地域の人口は 2000 万に達する。サンパウロ市は、ブラジルにおける経済活動の中心であり、国民総生産の約 12%が集中する。

人口と経済活動の規模を背景に、サンパウロでは交通需要が非常に高く、深刻な交通混雑と大気汚染をもたらしている。交通混雑を減少させるため、公共交通の輸送力増強が市にとっての緊急の課題となっている。

現在、サンパウロ市における公共交通システムは、輸送力が小さい高速バス（BRT）と、輸送力が大きい鉄道で支えられている。総合都市交通計画（PITU）では、鉄道ネットワークの拡大が計画されており、現在、拡大事業がサンパウロメトロとサンパウロ首都圏鉄道会社（CPTM）によって実施中である。公共交通のヒエラルキー上、BRT は鉄道ネットワークを補完するものである。しかしながら、サンパウロでは需要を満たすため、BRT より高い輸送力を持つ公共交通が必要である。

サンパウロ市は 2002 年に交通計画を含む総合戦略計画 2020 (PDE 2020) を策定した。一方、SPTrans（サンパウロ市のバス公営企業）は、2008 年に中量輸送システムの優先路線として 3 路線を特定した。

日本は、AGT（Automated Guideway Transit）、モノレール、HSST（磁気浮上式鉄道）、LIM（リニアメトロ）などの中量輸送システムを開発している。日本にはモノレール 10 路線、AGT 10 路線、リニアメトロ 5 路線が運行されている。日本におけるこれらの実績は、これから中量輸送システムを導入しようとしている他の国でも活用される事が期待される。中量輸送システムの長所は以下の通りである。

- 地下鉄より安い建設費と短い建設期間
- 地下鉄より急な勾配と小さな回転半径で、より柔軟な線形が可能
- BRT よりも高い輸送力
- BRT よりも道路交通への影響が小さい

国際協力機構（JICA）とサンパウロ市交通局は、「サンパウロ市都市交通整備事業調査」を実施する事を 2008 年に合意した。

1.2.2 調査の目的

本調査の目的は以下の通りである。

- 各調査路線における最適輸送モードの選択
- 各路線の F/S 調査

1.2.3 調査路線

(1) オリジナルルート

本調査の開始時においては、以下の7路線 58km が調査対象路線であった。各路線の位置は、図 1-2 に示す通りである。本報告書では、調査の過程でいくつかの代替案が検討された事を踏まえ、これら調査対象路線を「オリジナルルート」と呼ぶ。

路線	区間	延長 (km)
Line-1	Jardim Angela – Capelinha	5
Line-2A	Jardim Angela – Santo Amaro	8
Line-2B	Santo Amaro – Largo da Batata	12
Line-2C	Largo da Batata – Barra Funda	6
Line-2D	Largo da Batata – Ramal Jaguará	9
Line-3A	São Judas – Aguas Espraiadas Jabaquara – Aguas Espraiadas	11
Line-3B	Aguas Espraiadas – Morumbi	7
Total		58

(2) Line-3

調査開始後に、メトロ社（地下鉄を運行している州の会社）が、Line-3A と Line-3B の建設事業を、メトロ 17 号（ゴールド線）として引き継いだ。メトロ社は、導入システムの基本仕様を公開し、意見を公募している。提案されているシステムは、時間 20,000 人/方向の輸送力を持つモノレールである。

メトロ社による Line-3 事業の進捗を考慮し、2009 年 11 月、JICA と SMT 及びメトロ社の間で、本調査から Line-3 を除外することにつき、合意された。

(3) モノレールプロジェクト

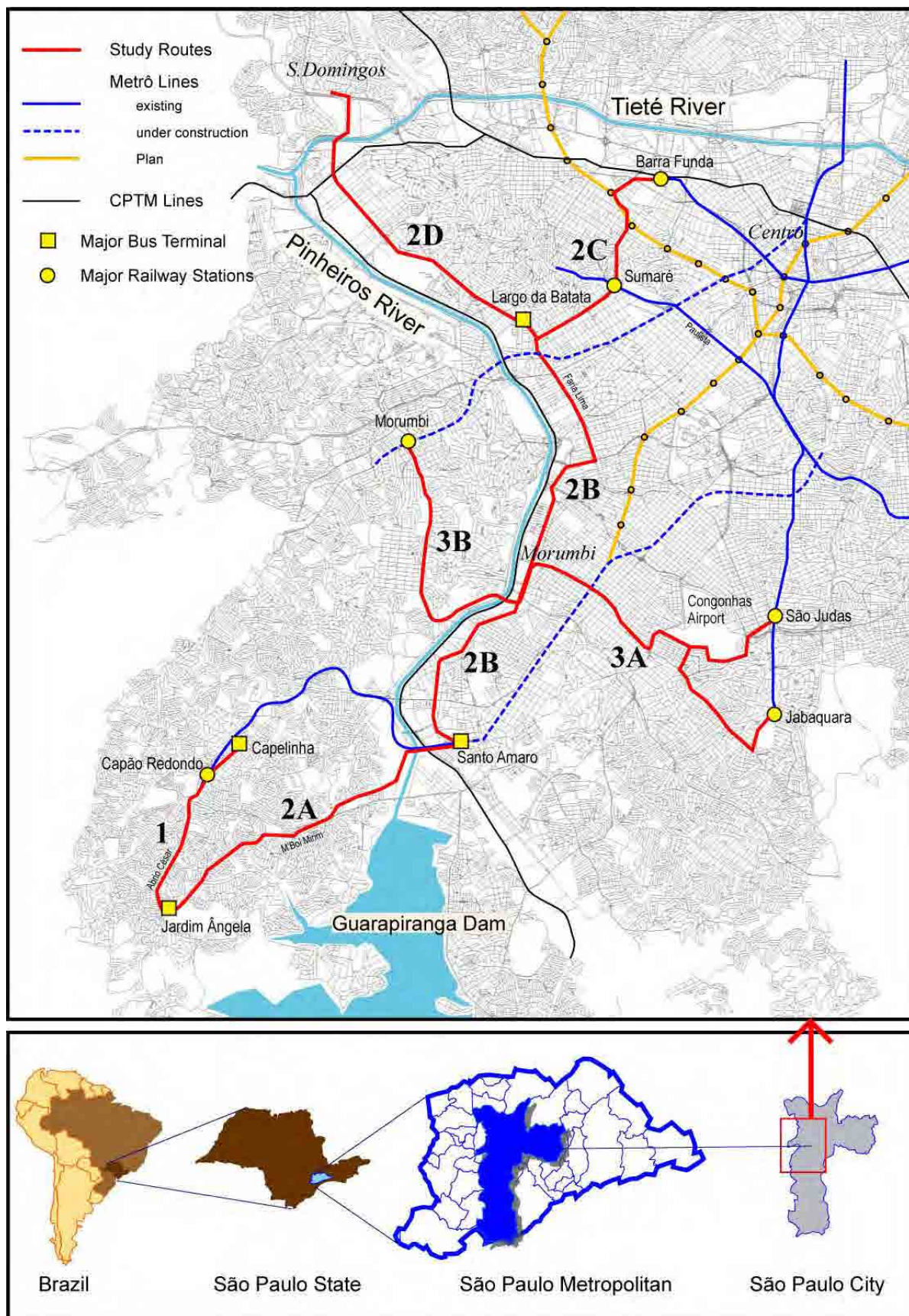
2009 年の 8 月末に、サンパウロ市長によってモノレール事業の実施が公にされた。図 1-1 はその路線図である。モノレールの路線は、調査対象路線の一部、すなわち Line-1、Line-2A 及び Line-2B と重なる。一方で、Capão Redondo と Vila Sonia を結ぶ全長 10km の路線が追加されている。この路線は、本調査の中で Line-1B と表記される。区別のため、Line-1 は Line-1A と表記されることになった。

Line-1B は本調査の対象外であるが、その影響は需要予測と経済財務分析の中で考慮された。



出典：現地紙

図 1-1 モノレール事業



出典：JICA 調査団

図 1-2 調査対象路線の位置図

1.2.4 調査スコープ

本調査のスコープを以下に要約する。「6-4. Support of EIA」と「6-5. Support of RAP」については、EIAの実施主体である SPTrans が、本調査期間中に EIA 着手することが出来なくなったため、内容が多少変更された。本報告書の章立ては、必ずしもスコープ通りの順番ではなく、スコープと章の関係は右の列に示してある。

業務内容	項目	章
1. 事業の必要性と背景の確認	1-1. 土地利用の状況 1-2. 現在の旅客輸送の現状概要及び課題の確認 1-3. サンパウロ州およびサンパウロ市における運輸セクターの政策・計画の確認 1-4. 他ドナーの運輸セクターに対する支援方針、支援状況及び支援計画の確認 1-5. 他ドナーとの連携の可能性	2-1 & 2-2 2-3 2-4 & 2-5
2. 需要予測の実施	2-1. 対象ルートを検討 2-2. 社会経済フレームの整理 2-3. 機関分担モデルの作成 2-4. 需要予測(事業あり／なし) 2-5. 対象モードの検討	2-1, 2-2, 2-3, 2-6 3-1 3-2 3-2 4-2
3. 事業スコープの検討	3-1. 路線計画 3-2. 車両諸元 3-3. 運行計画 3-4. 施設整備	4-1 4-4 4-3 5
4. 事業計画の策定	4-1. 建設工法 4-2. 資機材調達 4-3. 実施スケジュール 4-4. T/A 概略案の提言 4-5. 事業費積算	6-1 6-2 6-4 6-5 6-3
5. 事業実施体制の確認	5-1. 事業実施体制の確認と提案 5-2. O&M 体制の確認	7-1 7-2
6. 環境・社会配慮面の確認	6-1. 環境社会影響の観点からの代替案の比較 6-2. 環境影響の確認 6-3. 社会配慮の確認	8-2 8-1, 8-3, 8-4, 8-5 8-1, 8-3, 8-4, 8-5
7. 事業効果の確認	7-1. 運用・効果指標の提案 7-2. 環境改善効果の分析 7-3. 定性的・定量的効果の確認 7-4. EIRR、FIRR の算出	9-1 9-3 9-2 10
8. 結論と提言	8-1. 結論と提言	11

1.3 調査の要約

1.3.1 調査路線の現況

サンパウロ市は、人口 1100 万人を擁するブラジル最大の都市で、国内総生産の 11% が集中する同国における経済の中心都市である。このため多大な交通需要が発生し、ピーク時間帯には多くの道路が激しく混雑しており、例えば午後のピーク時間における平均走行速度は、1997 年の時速 21.8km から 2007 年の時速 17.2km に低下した。

サンパウロ市内における主要な公共交通手段はバスであり、徒歩・自転車以外の交通手段の 65%を担っている。一方で鉄道は 22%である。市内には BRT が主要な道路に 10 路線あるが、ピーク時間には激しく混雑し、走行速度の著しい低下を招いている。

新規の地下鉄（イエロー線）建設とメトロ 5 号線（ライラック線）と 2 号線（グリーン線）の延伸事業が進行中であるほか、2017 年までの 37.4km 延伸を含む 2020 年までの将来延伸事業が計画されている。

このような公共交通への積極的な投資により、サンパウロ市内の主要な道路は大きく改善される事が期待される。しかしながら、調査対象路線はこれらの投資計画には含まれていない。

Line-1A は Jardim Angela ターミナルとメトロ Capao Redondo 駅を結ぶ。現在、この路線にはバスサービスはない。メトロのフィーダー路線は、Line-1A の北側区間のみであるが、この区間は狭い二車線道路で、街路と多く交差し、ピーク時の混雑が激しい。Line-1A はサンパウロの南西部からメトロへのアクセスとして期待される。

Line-2A は、Jardim Angela ターミナルと Santo Amaro 駅を M'Boi Mirim 道路と Guarapiranga 通りに沿って結ぶ。このルートは対象路線の中で最も混雑するルートであり、交通事故は非常に深刻で、市内で最も死亡事故が多い路線である。M'Boi Mirim 道路には BRT が二つ運行されている。ピーク時には、BRT 路線で接続バスが列をなして並び、BRT の速度は時速約 10km にまで低下している。この路線の交通需要は、BRT の最大輸送力を超えている。

Line-2B はサンパウロにおける新興の商業・業務地域を通過する。路線に沿って、民間による開発を促進するための共同事業区（OUC）が指定されている。CPTM のエメラルド線と建設中のメトロ 5 号線（ライラック線）が平行して南北に走るが、商業・業務地域における高い交通需要が予測される。

Line-2C はメトロの Barra Funda 駅（レッド線）と Sumare 駅（グリーン線）及びイエロー線の新駅を南北に結ぶ。

Line-2D は、サンパウロの北西部と、Faria Lima の商業・業務地域とを南北に結ぶ。現在、北西部からのアクセスは、Tiete 川と路線上の激しい混雑のため、非常に不便である。

1.3.2 需要予測

需要予測は、2007 年 OD 調査の中の 1158 ゾーンをもとに行われた。将来の経済社会フレームは、総合都市交通計画 2025 と、ブラジル地理統計局の人口予測をもとに設定された。

サンパウロ首都圏における公共交通のトリップ数は、2007 年を基準として、2015 年に 1.09 倍、2025 年に 1.17 倍、2045 年に 1.24 倍と推計された。調査対象路線における交通量は、将来 OD 表を、将来の交通ネットワークに配分して、以下のように 3 つのケースについて計算された。

		Line-1A + Line-2A		Line-1A+2A+2B+2D		All lines	
Year		2015	2045	2015	2045	2015	2045
PHPDT	Line-1A	13,900	18,800	11,200	15,500	14,600	20,100
	Line-1B	-	-	-	-	21,400	25,900
	Line-2A	23,200	28,800	29,500	34,800	27,300	32,100
	Line-2B	-	-	26,600	29,900	23,400	26,300
	Line-2C	-	-	-	-	4,600	5,700
	Line-2D	-	-	13,400	20,000	13,200	19,800
Daily Passengers		400,000	506,000	745,000	911,000	1,109,000	1,246,000
Passenger hours (000)		88	109	270	321	355	403
Passenger kilometers (000)		2,615	3,264	7,983	9,512	10,599	12,027

*PHPDT: Peak Hour Peak Direction Traffic

Line-2A の交通量は最も高く、2045 年に時間あたり最大 32,100 人/方向と推計され、一方 Line-2C は最も低い 5,700 人と推計された。Line-2B が建設されない場合、Line-2A の交通量は 34,800 人に増加する。この結果は、Line-1A、1B、2B 及び 2D では中量輸送システムが適当であることを示す。一方、Line-2A の交通需要を満たすためには、大型モノレールが必要である。Line-2C の需要は、中量輸送システムとしては低い需要となった。以下の図は、交通需要に応じて採用が望ましい交通システムを図示したものである。

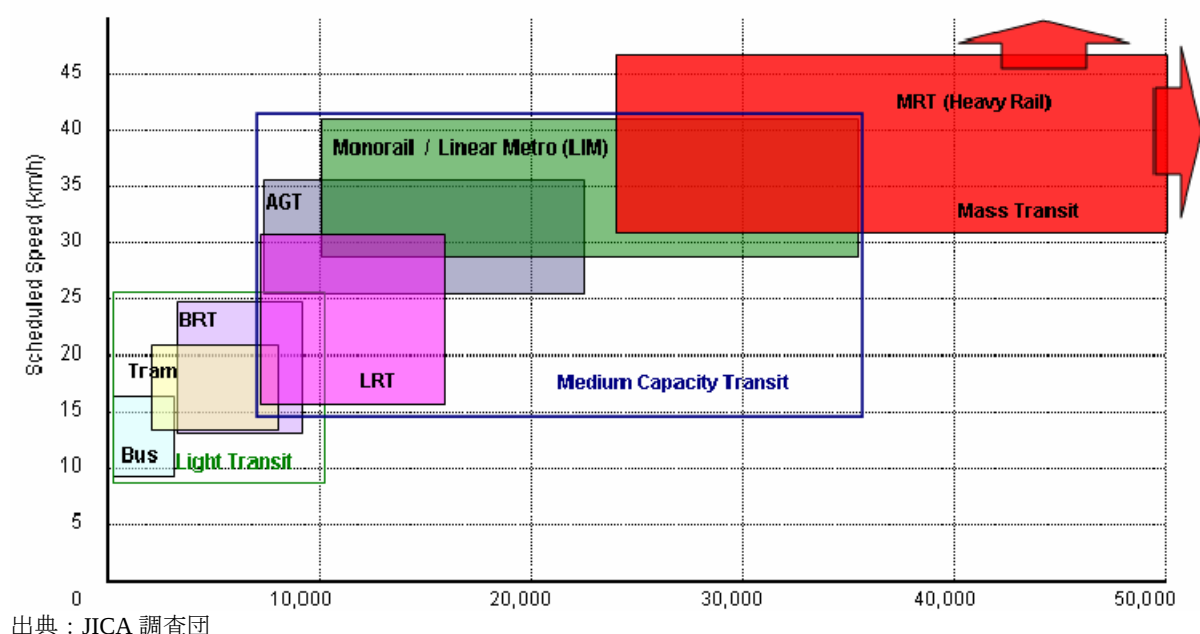
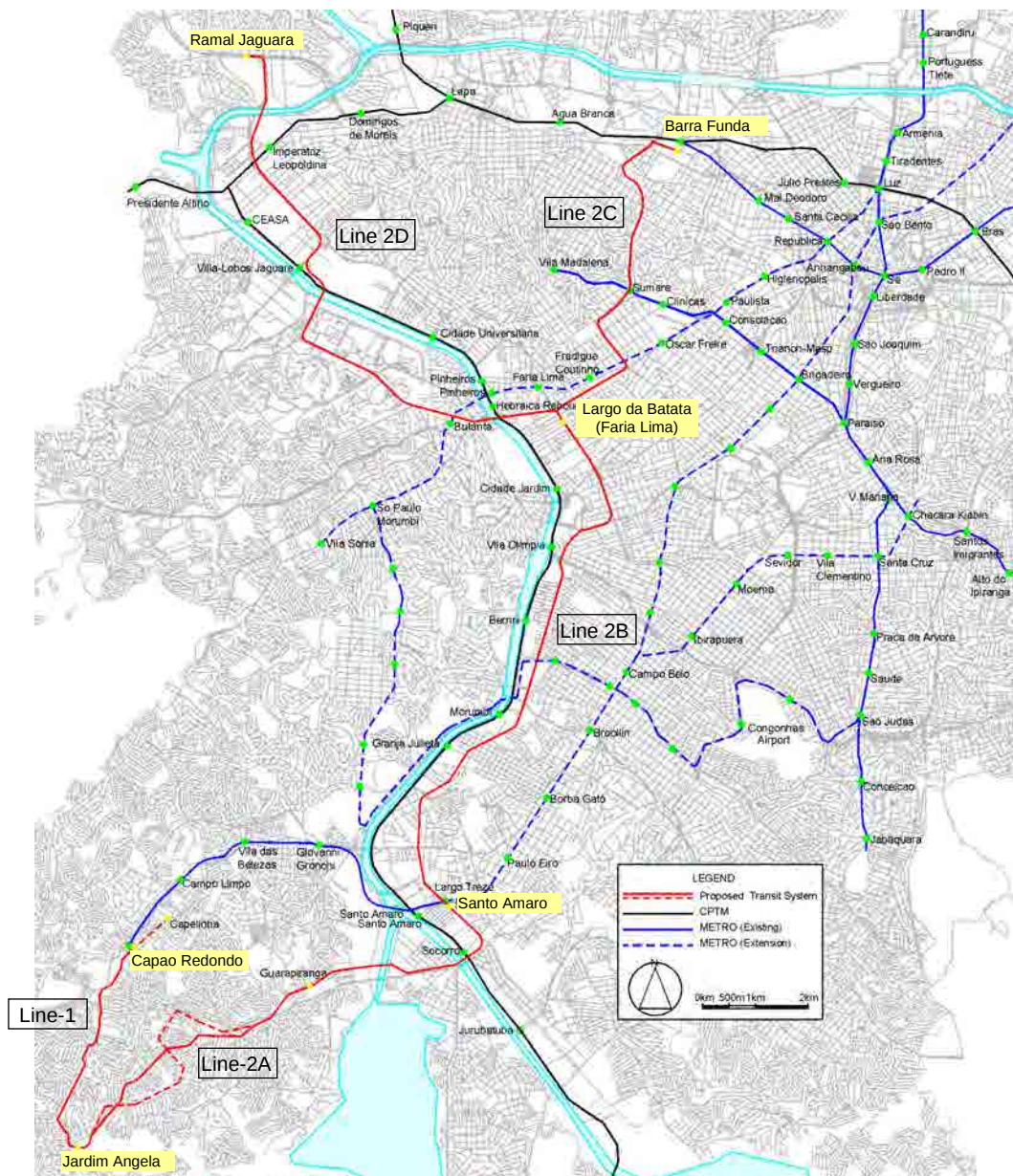


図 1-3 システム選定図

1.3.3 路線および輸送計画

(1) 路線計画



出典：JICA 調査団

図 1-4 路線案

1) Line-1

Line-1 は、Jardim Angela から Capao Redondo 間の 4.2km の区間とする。Line-1 の軌道構造物は、中央分離帯を持たない 4 車線の Av. Simao Caetano Nunes、R. Abílio Cesar、Av. Ellis Maas の道路上空、および Av. Comendador Santana と並行に流れる河川の上空の空間に建設される。

2) Line-2A

Line-2A は、M'Boi Mirim 道路に沿って、Jardim Angela と Santo Amaro とを結ぶ約 10km の路線である。Guarapiranga 付近では、路線はバスターミナルの北側を流れ

る河川上に導入される。Line-2A には 2 つの案があり、1 つは M'Boi Mirim 道路を通過する案（オリジナルルート）、もうひとつは、沿線の再開発をコンセプトとして、M'Boi Mirim 道路から左右に 500m 程度の範囲で路線を蛇行させる案（地域開発ルート）である。地域開発ルートの路線長は 11km である。

3) Line-2B

Line-2B は、Largo da Batata と Santo Amaro とを結び、南北方向の新たな交通軸をなす 11km の路線である。南側 2km の区間に相当する Santo Amaro から Av. Dr. Chucuri Zaidan 間には、サンパウロ市が幅員の広い道路の新設を計画しており、提案システムは、この道路空間上に導入されることになる。

4) Line-2C

Line-2C は、Largo da Batata から Barra Funda に結ぶ 7.2km の路線である。路線が導入される街路である Av. Sumare の一部は、開発が規制される文化保存特別地域に属しており、中央分離帯の樹木もその保護対象に含まれる。

5) Line-2D

Line-2D は、Largo da Batata から Ramal Jaguala を結ぶ 11.6km の路線であり、Pinheiros 川と Tiete 川を渡るために 3 箇所で架橋を必要とする。

(2) システム選定

1) 導入システムの候補

サンパウロに導入される中量輸送システムの候補は、LRT(light rail transit)、リニアメトロ(LIM train)、跨座型モノレール、懸垂式モノレール、及び AGT である。

LRT (Light Rail Transit)

LRT は、伝統的な路面電車より輸送力があり、速度も速いが、メトロより輸送力が低く、速度が遅い近代的な鉄道システムである。

LIM Train (Linear motor railway)

リニアメトロは磁力を駆動力として使う小型の鉄道システムである。輸送力はメトロよりやや低い、より急な坂と小さいカーブが可能である。

跨座型モノレール

跨座型モノレールは、桁の上を鉄輪の代わりにゴムタイヤで走行する。輸送力は、小型のものは LRT 程度に小さいが、大型のものは LIM と同程度に大きい。

懸垂式モノレール

懸垂式モノレールは、直線の構造物にぶら下がり、ゴムタイヤで走行する。輸送力は跨座式の小型モノレールよりわずかに小さい。

AGT (Automated Guideway Transit)

AGT はガイドウェイに導かれてゴムタイヤで走行する無人の交通システムである。輸送力は LRT と同じ程度である。

表 1-2 走行性能と輸送能力

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
諸寸法					
車両寸法 (L x W x H) (m)	53.4 x 2.45 x 3.65 (9 両編成列車)	16.0 x 2.50 x 3.15 (車両あたり)	15.0 x 2.98 x 5.2 (車両あたり)	15.0 x 2.65 x 4.8 (車両あたり)	9.0 x 2.47 x 3.34 (車両あたり)
列車長 (m)	53.4m / 9 両編成	96m / 6 両編成	90m / 6 両編成	90m / 6 両編成	54m / 6 両編成
軸重・軸数	10 tons (100KN) 10 軸 / 9 両	11 tons (110KN) 4 軸 / 車両	11 tons (110KN) 4 軸 / 車両	8.5 tons (85KN) 4 軸 / 車両	9 tons (90KN) 2 軸 / 車両
本線上の走行性能					
最小曲線半径	R=20m	R=100m	R=50m	R=50m	R=50m
最急勾配	i = 40‰	i = 60‰	i = 60‰	i = 60‰	i = 60‰
輸送力					
列車定員	430 人 / 9 両	980 人 / 6 両	1,000 人 / 6 両	710 人 / 6 両	470 人 / 6 両
PHPDT 運転間隔 3 分	8,600 PHPDT	19,600 PHPDT	20,000 PHPDT	14,200 PHPDT	9,400 PHPDT
運転間隔 2 分	12,900 PHPDT	29,400 PHPDT	30,000 PHPDT	21,300 PHPDT	14,100 PHPDT

注) 輸送力の算出にあたり、立席定員は 6 人／平方メートルとする

出典：JICA 調査団

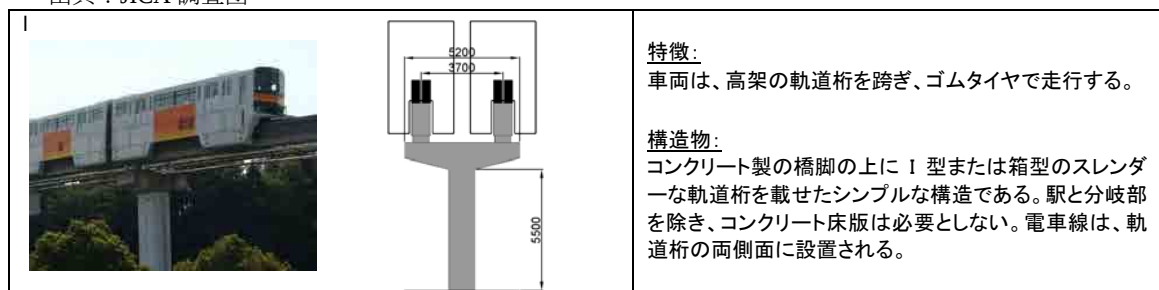
2) システム選定における評価指標

システムの選定は、輸送力、縦断勾配、線形条件および街路樹への影響の面から評価する。さらに、路線間の直通運転の可能性も考慮する必要がある。この結果、サンパウロの中量輸送システムとして、跨座型モノレールが選定される。

表 1-3 各路線への提案システム

Line	路線長	提案システム	ネットワーク	ネットワークを考慮した 上での提案システム
1	4.15 km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Vila Sonia への将来延伸	跨座型モノレール または 懸垂式モノレール
2A	11.38km	- リニアメトロ - 跨座型モノレール	路線の統合	跨座型モノレール
2B	11.29km	- 跨座型モノレール - 新交通システム		
2C	7.23km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Line-2B との直通運転	
2D	11.40km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Line-2B との直通運転	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 1-5 跨座型モノレールの外観と構造物の一例

(3) 運行計画

1) 運行方針

利用者にとってより魅力的かつ経済的なサービスを実施することとする。主に以下の機能を含める。

- a) ピーク時ピーク方向の需要量に相応しい輸送力を提供するため、最適な列車の運転間隔を選定する。
- b) 特に大きな需要量が予測される Line-2A と Line-2B においては、メトロと同様の高頻度運転を実施する。
- c) ピーク時における運転間隔は 6 分以下とする。運転間隔の算出において、ピーク時の値が 6 分を超えた場合、運転間隔は 6 分とする。
- d) オフピーク時においても、利用者の利便性を確保するため、運転間隔は 10 分以下とする。

2) 概略配線図

図 1-6 に路線全体の配線図を示す。

3) 前提条件

a) 開業段階

本事業では全線開通を 2018 年と想定しているが、路線延長が 44km もの長さであることから、完成した区間から順次、供用を開始させる事が望ましい。このため、輸送需要を踏まえ、一体的な運行が可能な路線の組み合わせを検討し、以下の表のように開業段階を設定した。

表 1-4 開業段階

段階	開業区間	開業年度
第一期	Line-1 + Line-2A	2014
第二期	Line-1 + Line-2A + Line-2B + Line-2D	2016
第三期	Line-1 + Line-2A + Line-2B + Line-2D + Line-2C	2018

出典：JICA 調査団

b) サービス水準

表定速度： 30km/h
 駅停車時間： 20 秒
 最小運転間隔： 120 秒
 営業時間： 午前 5:00～午後 24:00 までの 19 時間
 列車輸送力： 1,000 人/6 両編成
 1,300 人/8 両編成
 (立席定員 6 人/m2)

4) 運行パターン

a) 特徴

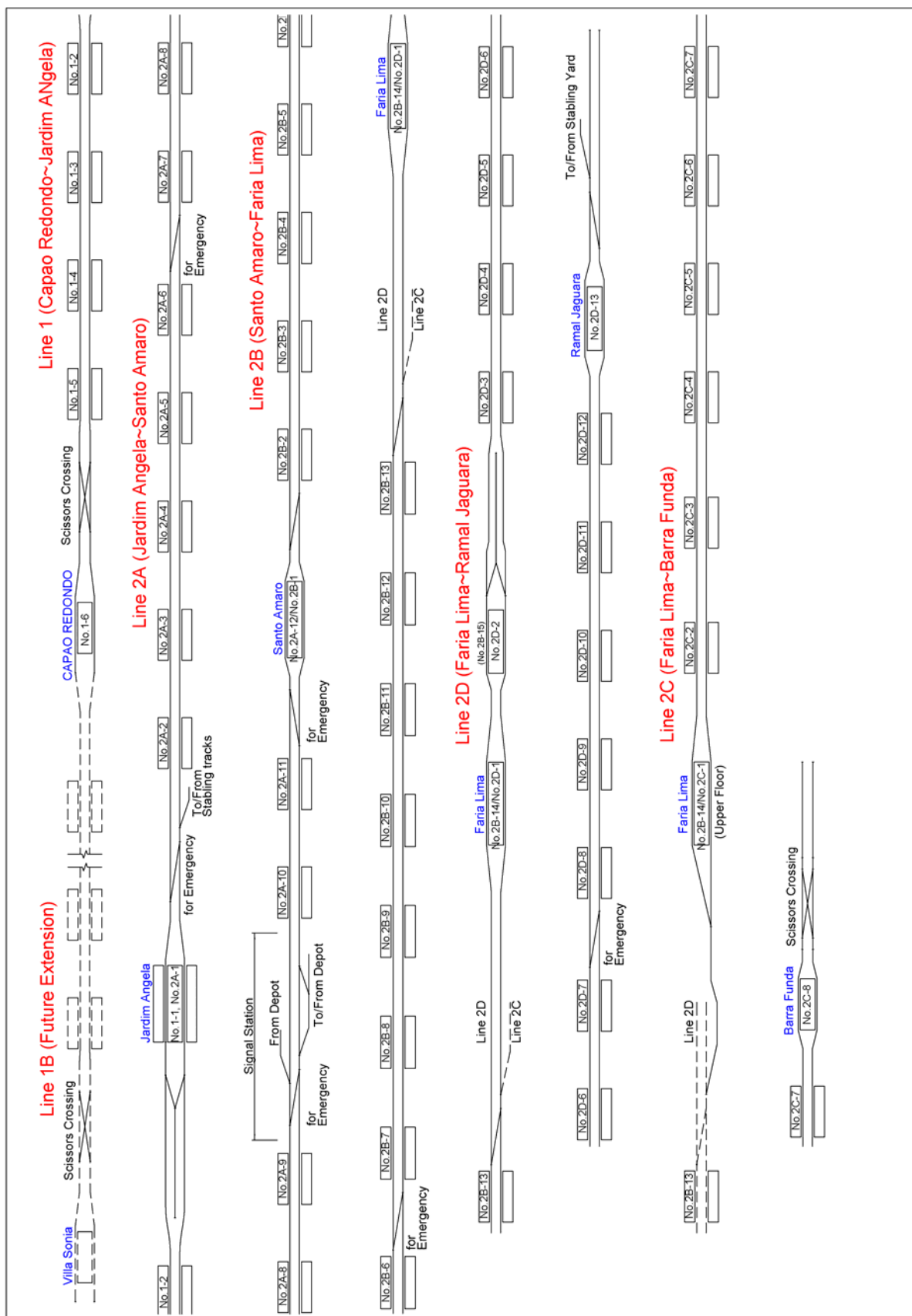
第三期において Line-2C が延伸されるが、高頻度運転が行われる Line-2B の列車運行を阻害しないよう、Line-2C の運転は Line-2B とは分離する。Line-2B から Line-2C への直通運転は行わない。

b) ピーク時最大断面における運転間隔

第一期:	2 分 30 秒 (Line-1)
第二期:	2 分 15 秒 (Line-2A, 2B)
第三期(2024 年まで):	2 分 45 秒 (Line-2A, 2B)
第三期(2025 年以降):	2 分 30 秒 (Line-2A, 2B)

c) 列車編成

第一期:	6 両編成の列車でモノレールの運行を開始する。
第二期:	8 両編成の列車を増備する。
第三期:	6 両編成の Line-1, 2A, 2B, 2D は 8 両編成で運行する。 Line-2C のみ 6 両編成とする。



出典：JICA 調査団

図 1-6 概略配線図

1.3.4 事業スコープ

(1) 路線計画および土木施設計画に係る設計方針と設計基準

路線計画および土木施設計画にあたっては、現地視察結果および SPTrans と協議を経た上で、次の方針の下、計画を行うこととした。

< 路線計画 >

- 需要計画と運行計画の結果設定された始終点および乗換駅を接続する
- 墓地、大学、学校、重要な教会等社会的に負の影響が大きい施設への影響を避ける
- モノレールの特徴である急勾配や小さな平面曲線を活かしてサンパウロの地形に合った線形とする
- 開発計画を考慮する
- 埋設管、高圧線、高架構造物等の公共サービス施設等の移設や撤去を避ける
- サンパウロ市は不法占拠住民の移設や土地利用状況の改善を交通インフラ整備事業を推進力として実施していることを配慮し、住民移転の影響を評価する
- 景観への影響を配慮
- 建設期間中の影響を評価

< 土木構造物 >

- 基本的に設計計画はブラジルの技術基準である ABNT (ブラジル技術基準協会) に準拠する
- すべての利用者にとってアクセス容易な駅施設等をめざす
- 利用者および住民にとって魅力的なデザインとする

採用する基準は基本的にブラジル国内の基準である ABNT とし、補完的に日本の基準を参考とする。

現地視察を通して設計コントロールの選定を行い、主要な道路、学校、病院、公共交通インフラ、変電所、高圧線、墓地、住宅密集地等を確認したほか、新規の道路建設計画等も路線設計に考慮した。

(2) 路線線形

下図に、検討の結果プロジェクトの線形を概要とともに示す。

プロジェクトの次の段階で用地取得の可能性、環境影響評価等を実施していく中で線形についてさらなる検討を行い、調整することが求められる。Line-1 や Line-2 地域開発ルート、Line-2B の南側では新規建設道路計画とモノレールが並行している。同路線についてはモノレールのインフラが道路インフラと共存できるよう、州または市政府との連携が求められる。

Line 2D		
Length	11553.158	
Stations	14	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	23	8571.897
=> 300m	10	1874.123
=> 100m	8	1036.893
100m >	1	70.246
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	0	0
> 5‰	15	2666.667
5‰ >	15	8886.492
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	3	509
Tunnel	n.a.	

Line 2C		
Length	7298.747	
Stations	9	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	27	5120.445
=> 300m	13	1437.97
=> 100m	5	533.48
100m >	2	206.853
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	1	144.276
> 5‰	12	4509.738
5‰ >	11	2644.733
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	n.a.	
Tunnel	n.a.	

Line 1		
Length	4237.188	
Stations	4	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	14	2986.36
=> 300m	7	775.31
=> 100m	4	311.316
100m >	2	164.202
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	1	300
> 5‰	6	1183.333
5‰ >	8	2753.856
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	n.a	
Tunnel	n.a	

Line 2A (Area development)		
Length	11451.613	
Stations	14	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	32	8255.011
=> 300m	10	1238.465
=> 100m	19	1802.736
100m >	1	155.404
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	0	0
> 5‰	20	5000
5‰ >	15	6451.614
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	2	150
Tunnel	3	630

Line 2B		
Length	11291.723	
Stations	14	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	25	8133.119
=> 300m	11	2519.238
=> 100m	4	396.891
100m >	2	242.476
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	0	0
> 5‰	26	3075
5‰ >	25	8216.724
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	n.a.	
Tunnel	n.a.	

Line 2A (Original Mboi Mirim)		
Length	10071.832	
Stations	12	
Horizontal Alignment		
	Nos	Length
Tangent	31	7015.362
=> 300m	14	1367.242
=> 100m	16	1533.823
100m >	1	155.404
Vertical Alignment		
	Nos	Length
> 60‰	0	0
> 5‰	18	4039.913
5‰ >	13	6031.92
Special features		
	Nos	Length
Large bridge	2	150
Tunnel	1	240

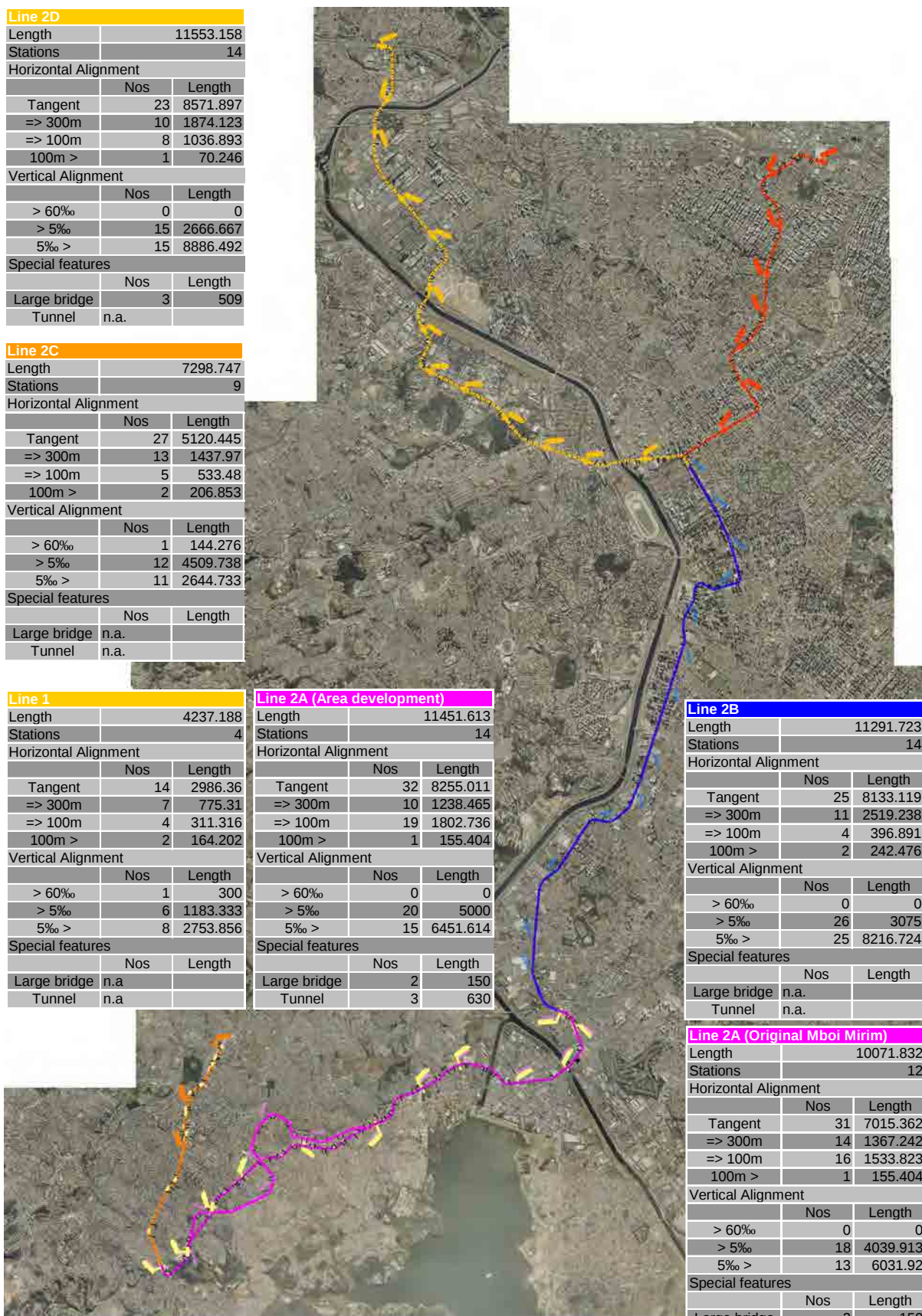


図 1-7 プロジェクトの線形

(3) 駅

モノレールシステムの駅の大きさは列車の延長と乗客数で決まり、乗客の利便性に配慮した配置とする。すべての乗客にとって利便性を考慮し、バリアフリーおよびユニバーサルデザインを採用する。駅の最低延長は列車長に 10m の余裕長を考慮したものとする。

ふたつの標準プラットホーム形式が提案された。図に示すとおり島式と対向式で、本プロジェクトでは対向式プラットホームを中間駅の標準、島式をターミナル駅の標準型とした。



(4) 軌道桁

1) 上部工の桁形式の選定

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

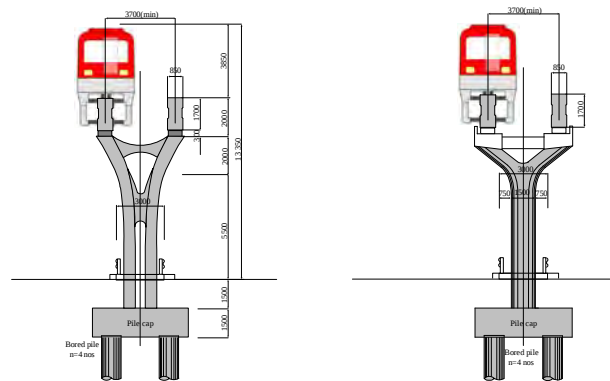
橋梁形式	支間長 (m)															
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250			
RC桁橋	短支間橋															
PC桁橋 (R<700m)		標準支間橋														
PC桁橋 (R ≥ 700m)			標準支間橋													
鋼桁橋 (単純桁)				中支間橋												
鋼桁橋 (連続桁)				中支間橋												
鋼箱桁橋					中支間橋											
鋼アーチ橋						長支間橋										
エクストラードード橋							長支間橋									
斜張橋								長支間橋								

出典：JICA調査団

図 1-8 上部工選定チャート

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で直径 1.5m 程度となり、道路の中央分離帯に設置可能である。モノレールの標準横断面図を以下に示す。



出典：JICA 調査団

図 1-9 モノレール橋脚の標準横断面図

(5) トンネル

下図に示すとおり、Line-2A (地域開発ルート)で 4 箇所のトンネル建設の検討を行い後の建設費見積もりや経済財務分析でその影響を考慮した。オリジナルルートは 4 つのうち 1 箇所を共有する。

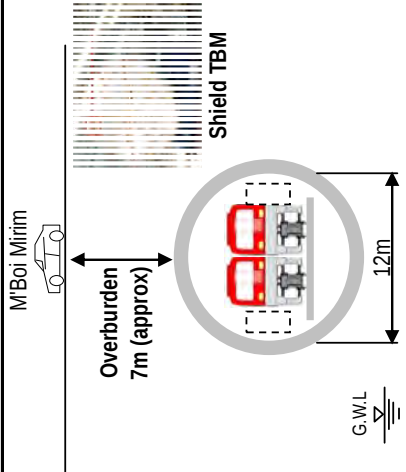
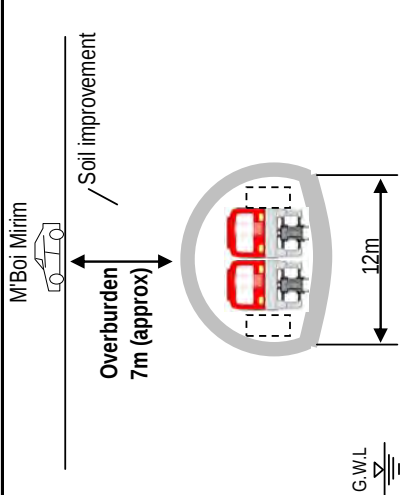
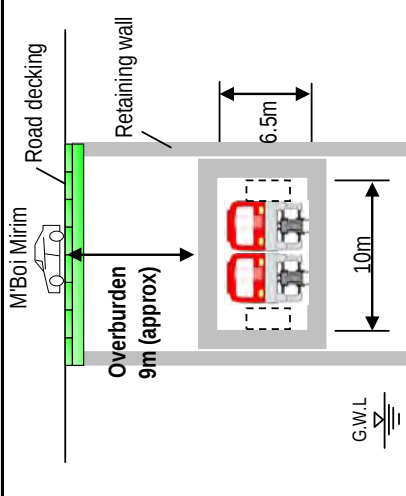
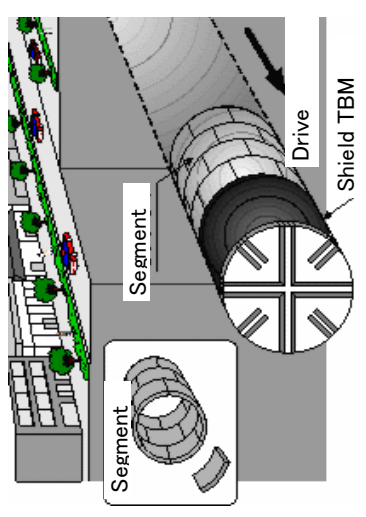
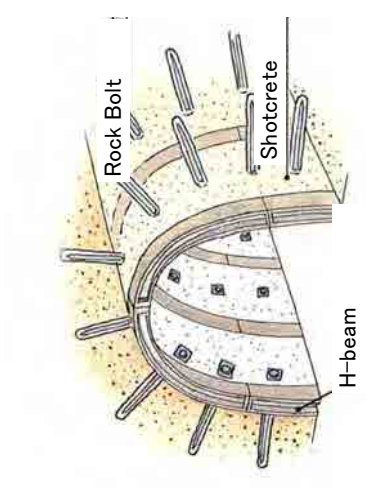
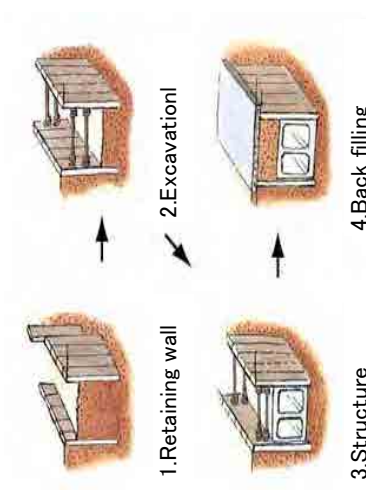


出典：JICA 調査団

図 1-10 トンネル位置図

トンネル工法の選定にあたり、現場の状況、障害物の有無、地形の状況、工事作業の影響、周辺の状況、建設工期、工法の経済的側面等を評価した。検討した結果、表 1-5 に示すとおりカットアンドカバー工法が No.1~No.3 において最適な工法であると結論づけられた。

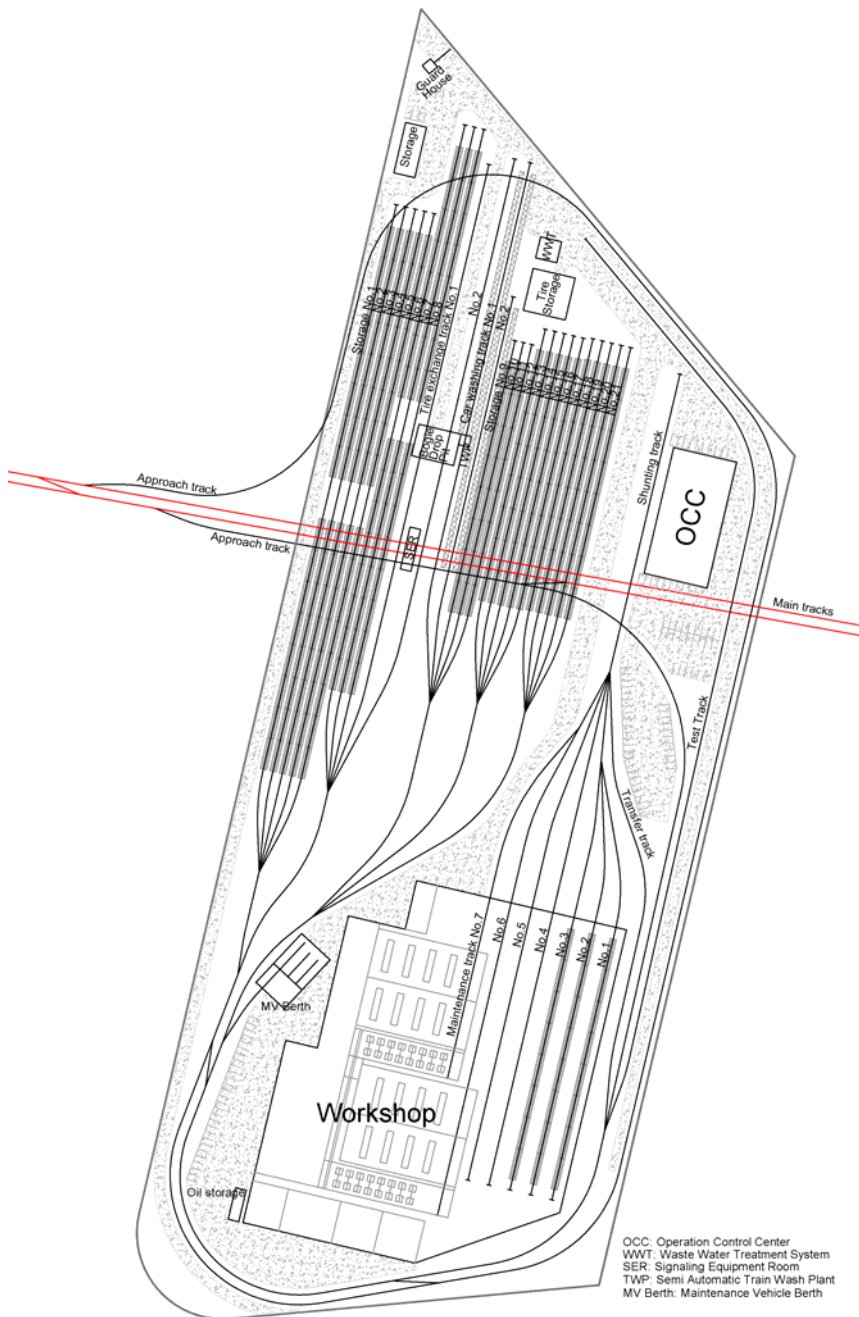
表 1-5 トンネル工法の概要

	Shield method	Mountain tunneling method	Cut and cover method
Section in this site	 Shield TBM Overburden 7m (approx) 12m G.W.L.	 Soil improvement Overburden 7m (approx) 12m G.W.L.	 Retaining wall Overburden 9m (approx) 10m G.W.L.
Outline of method	 Segment Segment Drive Shield TBM A Shield is thrust in the ground to make a tunnel. Outer layer of the shield and segment support the walls of the tunnel. Closed-type shield stabilizes the face using earth or slurry to bear the earth and hydraulic pressures. Open-type shield is only usable when the face remains standing. Otherwise, countermeasures are necessary.	 Rock Bolt Shotcrete H-beam Makes full use of natural support function of surrounding ground. The ground is stabilized during excavation with shotcrete, rock bolts, steel supports etc. Prerequisite condition that a 'ground arch' is formed and that the face remains standing when excavated. Otherwise, countermeasure are necessary.	 1.Retaining wall 2.Excavationl 3.Structure 4.Back filling Ground is excavated from the surface using earth retaining wall system to build a tunnel at the desired depth. Then the excavated earth is brought back to restore the surface.

(6) 車両基地計画

1) 車両基地

車両基地は、Jardim Sao Luis 地区に位置し Guarapiranga 川に面した遊休地に建設する車両基地用地は Line-2A の沿線にあり、2A-9 駅と 2A-10 駅の間に位置する。車両基地用地の広さは、長さ約 600m、幅約 200m、面積は 11 ヘクタールである。



主要な基地設備

軌道

- 1) 入出庫線 (2 線)
- 2) 留置線 (21 線)
- 3) タイヤ交換線 (2 線)
- 4) 車両洗浄線 (2 線)
- 5) 移動用軌道、引上げ線
- 6) 試験線 (1 線)

車両工場

- 1) 月検査、列車検査用軌道 (4 線)
- 2) 移動式集塵装置 (1 線)
- 3) 重要部・全般検査用軌道 (2 線)
- 4) 検修場

総合指令所棟

- 1) 運行管理センター
- 2) 管理事務所
- 3) 乗務区事務室
- 4) 車両区事務室
- 5) 施設区事務室
- 6) 電気区事務室
- 7) 信号・通信設備区事務室
- 8) 警備室
- 9) 会議室
- 10) 見学者スペース
- 11) 食堂

その他

- 1) 保守用車両庫
- 2) 倉庫
- 3) 他

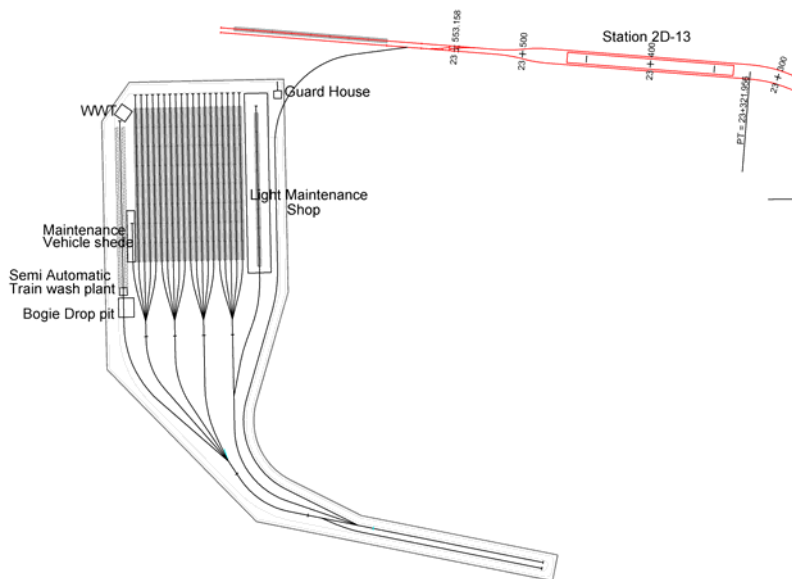
OCC: Operation Control Center
 WWT: Waste Water Treatment System
 SER: Signaling Equipment Room
 TWP: Semi Automatic Train Wash Plant
 MV Berth: Maintenance Vehicle Berth

出典：JICA 調査団

図 1-11 車両基地レイアウト

2) Ramal Jaguará、Jardim Angela 留置施設

第二期の開業による車両数の増加に合わせて、Ramal Jaguará と Jardim Angela の留置施設を設ける。



Ramal Jaguará 留置施設の主な施設

軌道

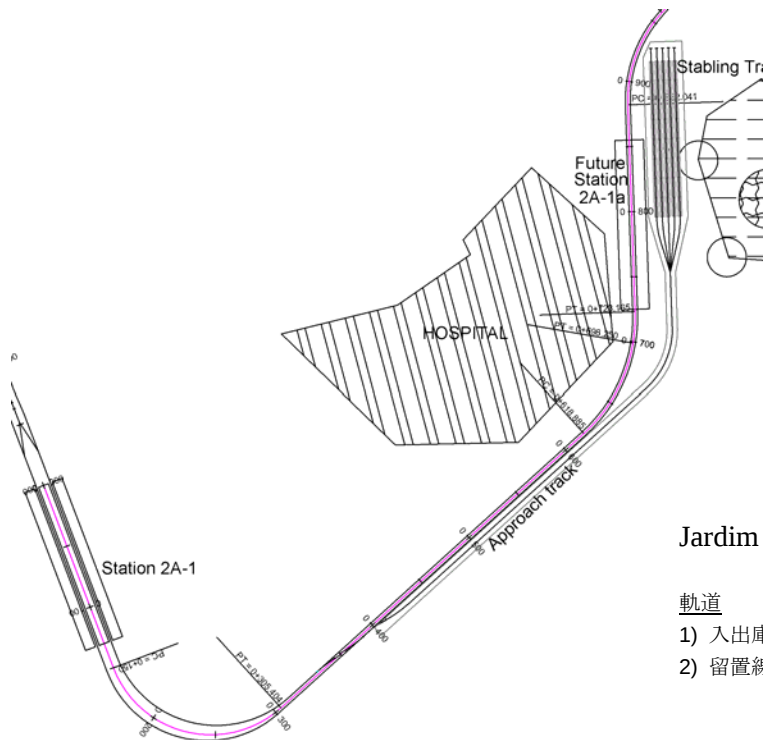
- 1) 入出庫線(1 線)
- 2) 留置線(19 線)
- 3) 引上げ線(1 線)
- 4) 車両洗浄線 (1 線)

施設

- 1) 軽整備工場(1 線)
- 2) タイヤ交換設備
- 3) 保守用車両庫
- 4) 他

出典：JICA 調査団

図 1-12 Ramal Jaguará 留置施設



Jardim Angela 留置施設の主な施設

軌道

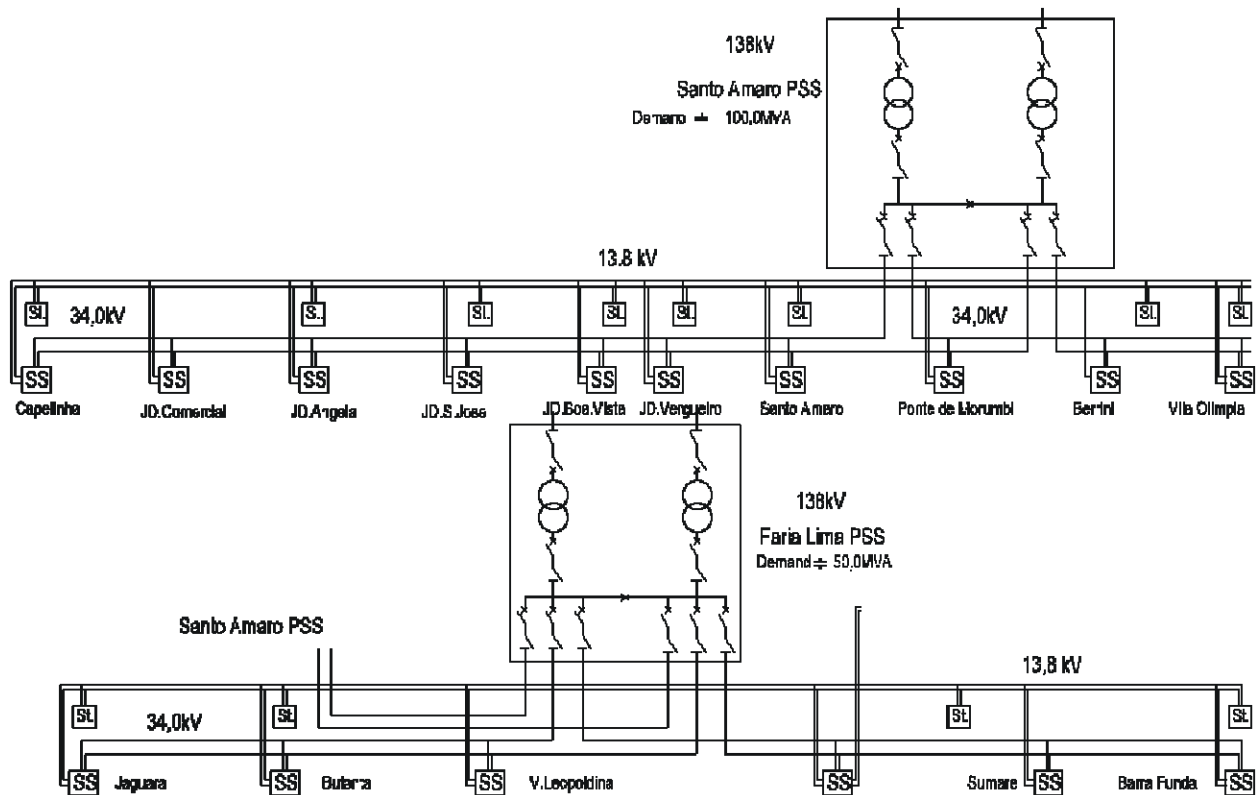
- 1) 入出庫線 (1 線)
- 2) 留置線 (5 線)

出典：JICA 調査団

図 1-13 Jardim Angela 留置施設

(7) 電力供給システム

運転用変電所に給電するための安定した給電用交流発電所を設けるシステムを採用する。図 1-8 に、提案する給電システムのレイアウトを示す。



出典：JICA 調査団

図 1-14 電力供給システム

モノレールへの給電システムの概要は次のとおりである。電力は、AC60Hz から DC1500V に変換され、モノレール車両に提供される。モノレールへの給電の変動範囲は、IEC 基準に準じ、高压側は 1800V、低压側は 1000V とする。

給電用変電所は AC138kV で受電し、運転用変電所には AC34kV で送られ、そこでモノレール車両に供給するために DC1500V に変換される。

一般用電力は、各々の運転用変電所で AC13.8kV に変換され、駅等に供給される。Santo Amaro 地区では、現在、給電用変電所の 13.8kV の安定した電力供給が行われている。Jardim Angela 地区で安定した送電線が利用可能な場合、この地区にもう一つの給電用交流変電所を建設し、初期段階より 2 つの給電用変電所からシステムに給電することが強く推奨される。

給電用変電所の全ての電線が送電を停止した場合、全てのモノレール車両が停止する。この対策として、列車を最寄駅まで移動させるために、運転用発電所には、タービン発電機を設備する。

(8) 信号・通信

1) 信号システム

本調査で提案する信号システムの概要を図 1-15 に示す。

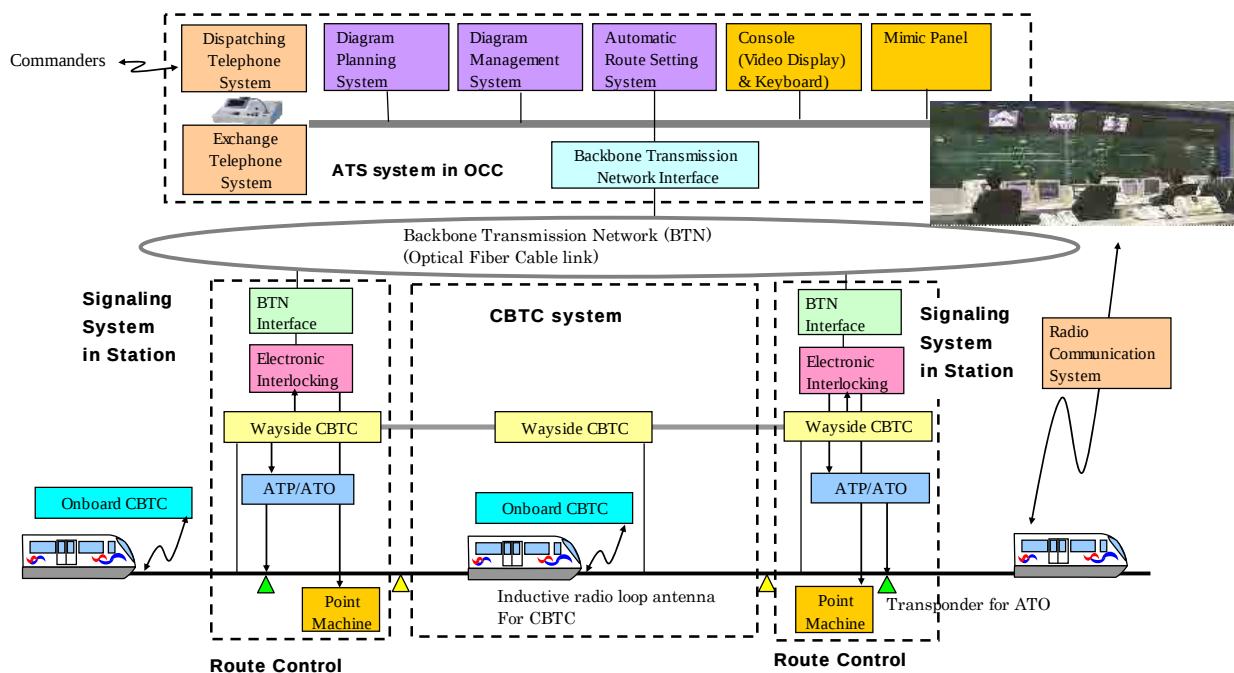
一人乗務の、自動運転システム（ATO 装置）を提案する。列車は本線については ATO 装置により自動的に運転される。そして通信を使用した列車制御システム（CBTC）を使用した車内信号方式である。

CBTC は車上で列車位置を検知し、また従来の軌道回路に依存した固定閉塞ではなく、移動閉塞を新しい基本原則とすることに基づいた信号システムの一つである。CBTC は先行列車と後続列車の間の安全間隔を、この 2 つの列車速度に応じて最小化することが可能である。そしてまた信号システムの改修作業をすることなく、交通量を増やすことが可能である。

列車の運転士は、ATO 装置の監視と、進行前方の目視確認を行う。そして非常時の場合には手動モードに切替え、手動運転する。

駅構内の入換とデポへのアクセス線については手動運転である。

列車防護システム（ATP）システムは本線とデポの留置線に使用される。一方地上信号はデポの留置線と車両工場間で使用される。



出典：JICA 調査団

図 1-15 信号システムの概念図

2) 通信システム

a) 要求機能とシステム

通信システムの目的は保安や効率的な列車運転そして仕事の環境を支援することである。次の機能とシステムが一般的に要求される。

表 1-6 通信の要求機能とシステム

必要なサービス	必要な機能	必要なシステム
保安目的のための通信システムサービス	・ 指令制御機能 ・ 緊急防護機能	・ 無線通信システム ・ 監視テレビシステム
旅客サービスのための通信システムサービス	・ 旅客監視機能 ・ 情報提供機能	・ 旅客案内表示システム ・ 放送システム ・ 時計システム
一般業務向け通信サービス	・ 情報伝達・共有機能 ・ 通信ネットワーク機能	・ 電話システム ・ 総合伝送路システム

出典：JICA 調査団

保安レベルを確保するために、指令制御システムや重要なシステムには、完全二重系のシステムを推奨する。

b) ネットワーク構成

不必要な通信を低減するため、および故障したときに影響を最小化するために、最適なネットワークシステムを導入することを提案する。

c) 通信システムの種類

通信システムは7つのサブシステムで構成される。

- ・ 無線通信システム
- ・ 電話システム
- ・ 監視カメラシステム(CCTV)
- ・ 旅客情報システム(PIS)
- ・ 時計システム
- ・ 基幹伝送ネットワーク(BTN)
- ・ OA ネットワークとクライアント PC で構成される OA&IT システム

無線通信システムは OCC と列車間で、指令電話、非常時の防護、それらに關係するデータ伝送から構成される、保安通信システムとして取り扱われる。電話システムは、管理および一般電話システムと、指令電話システムに分けられる。旅客情報システム(PIS)は案内放送設備(PA)と旅客案内表示盤(PIDS)の二つにより構成される。

LCX 無線通信方式を本プロジェクトに提案する。

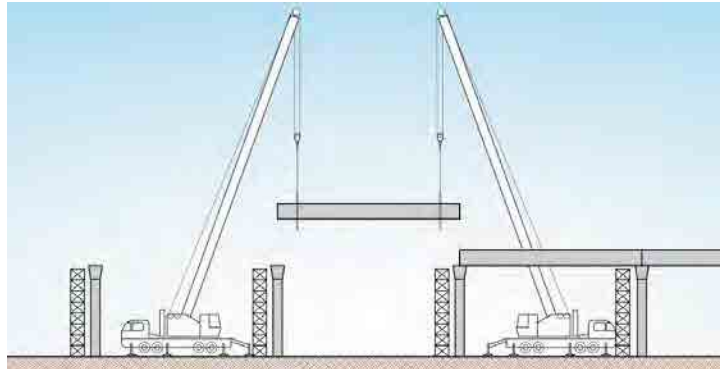
1.3.5 事業実施計画

(1) 施工計画

モノレールの軌道桁は、プレストレストコンクリート(PC)製軌道桁と鋼製軌道桁の 2 タイプに分類される。

PC 桁は、専用の PC 桁製作ヤードで製作する。PC 桁製作ヤードには、様々な形状の桁に対応でき、均質かつ高い精度の桁を製作する型枠設備（モールド装置）を設備する。

桁製作ヤードで作製された PC 桁は、道路交通に影響を与えないよう昼間を避けて交通量の少ない夜間に運搬し、クレーンで架設する。



出典：JICA 調査団

図 1-16 PC 桁の架設

鋼製桁は、工場で各部材を製作後、現場に搬入し架設する。

モノレールの下部工は一般的な構造物の支持構造と同様で、特別な型式を必要とせず、特別な施工法は不要である。

1) 杭工事手順

- a) ケーシング管の設置
- b) 削孔
- c) スライム撤去
- d) 鉄筋籠の設置
- e) トレミー管挿入
- f) コンクリート打設
- g) 埋戻し
- h) ケーシング管の引抜

2) 橋脚工事手順

- a) 柱の足場組立
- b) 柱の鉄筋組立
- c) 柱の型枠設置
- d) 柱のコンクリート打設
- e) 横梁の足場組立
- f) 横梁の鉄筋組立
- g) 横梁の型枠の設置
- h) 横梁のコンクリート打設

軌道桁の下側に設置されたトレイに信号通信ケーブルと電力ケーブルが配置され、軌道桁の両側には電車線が設置される。この工事では、工事の安全と効率を確保するため、自走式の作業車を使用することが推奨される。

作業車は、搭載されたバッテリーまたは内燃エンジンにより軌道桁上を設置場所まで作業員と資機材を載せて移動する。作業車は軌道桁上部、側部、下側の作業が安全に作業できるように製作されている。



出典：JICA 調査団

図 1-17 電車線とケーブルトレイ

(2) 資機材調達

モノレールシステムの建設に使用される資機材を、調達方法別に以下の3種類に分類する。

- 1) 国内財として調達される資機材
- 2) 貿易財として調達される資機材
- 3) 国外の工場からプロトタイプを調達、残りのロットを国内の工場で組立て製造

(3) 事業費積算および実施スケジュール

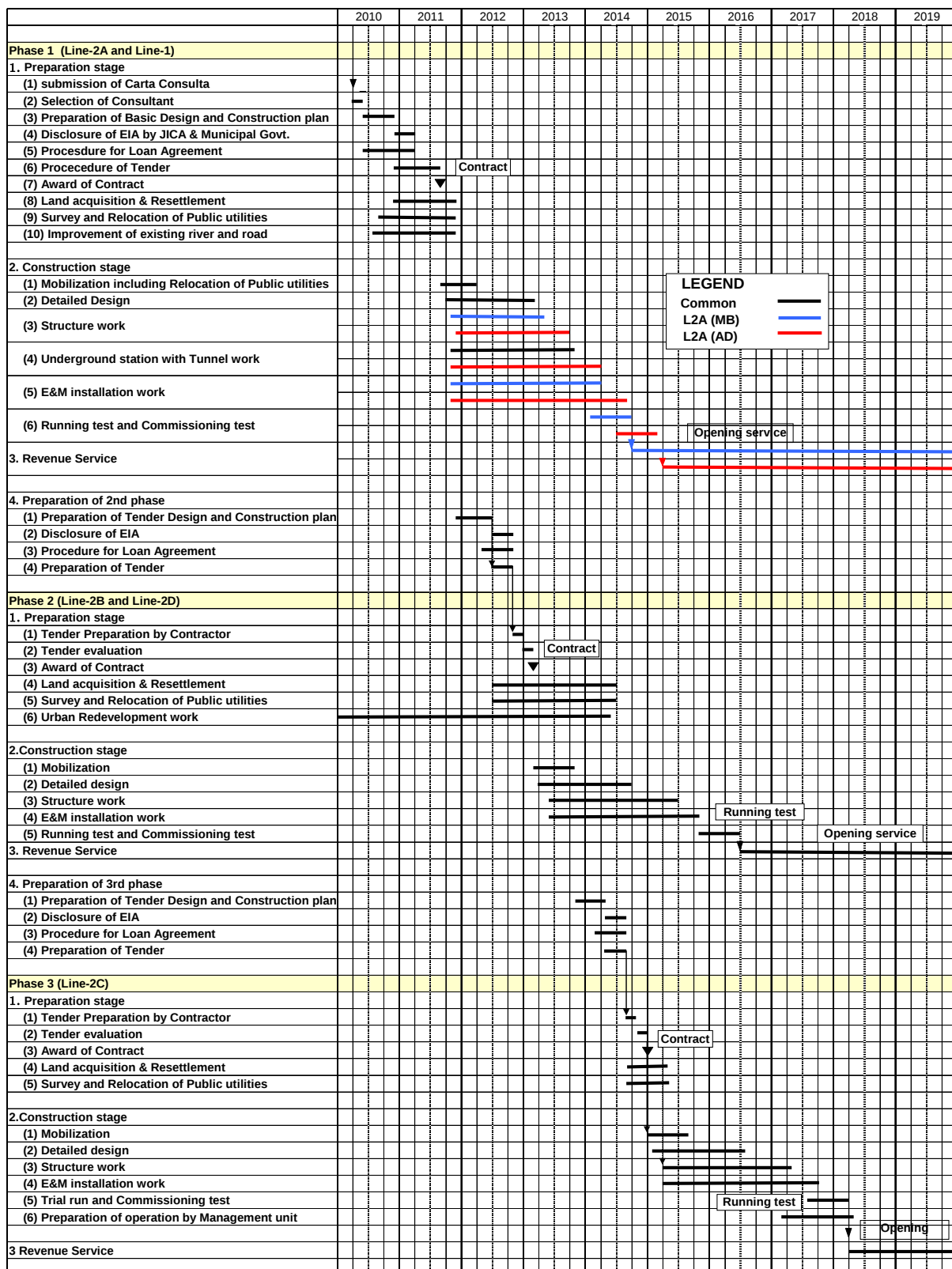
プロジェクト全体の事業費を表 1-7 に示す。実施スケジュールを表 1-8 に示す。なお、表中、第二期の2つの代替案について、共通項目を黒線、オリジナルルート案を青線、地域開発ルート案を赤線で示す。

表 1-7 プロジェクト全体の事業費

Item	Phase 1 Original route			Phase 1 Area Development route			Phase 2			Phase 3			Phase 3-2		
	FC million JPY	LC million BRL	Total million JPY	FC million JPY	LC million BRL	Total million JPY	FC million JPY	LC million BRL	Total million JPY	FC million JPY	LC million BRL	Total million JPY	FC million JPY	LC million BRL	Total million JPY
A. ELIGIBLE PORTION															
I Procurement / Construction	22,160	2,330	141,411	22,587	2,588	155,040	20,588	3,484	198,848	3,948	938	51,964	1,003	172	9,784
Mobilization	0	53	2,708	0	62	3,161	0	71	3,622	0	22	1,124	0	0	0
Relocation of Public Utilities	0	27	1,394	0	33	1,683	0	39	1,989	0	13	655	0	0	0
Substructure	0	153	7,835	0	168	8,595	0	221	11,310	0	81	4,123	0	0	0
Superstructure	0	299	15,288	0	322	16,470	0	460	23,559	0	152	7,779	0	0	0
New Road Construction	0	0	0	0	17	856	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Station Building	0	360	18,444	0	360	18,444	0	614	31,440	0	194	9,916	0	0	0
Station with Tunnel section	0	96	4,909	0	229	11,733	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Switch	855	47	3,282	855	47	3,282	755	36	1,848	0	8	417	0	0	0
Depot	1,145	135	8,078	1,145	135	8,078	755	90	5,335	0	0	0	0	0	0
Rolling stock	5,257	577	34,793	5,257	577	34,793	0	897	45,891	0	130	6,656	0	164	8,408
Power Supply system	8,831	164	17,225	9,054	172	17,845	10,226	208	20,893	2,516	59	5,526	1,003	7	1,376
Signalling and Telecommunication system	4,247	75	8,100	4,364	80	8,451	7,474	131	14,164	928	28	2,366	0	0	0
Automatic Fare Collection system	0	8	384	0	9	435	0	12	614	0	4	205	0	0	0
Environmental Mitigation and Compensation	0	0	25	0	1	30	0	7	336	0	3	147	0	0	0
Base cost	20,335	1,996	122,466	20,675	2,212	133,855	18,455	2,786	161,002	3,444	693	38,913	1,003	172	9,784
Price escalation	770	224	12,212	837	253	13,802	1,153	532	28,377	316	201	10,577	0	0	0
Physical contingency	1,055	111	6,734	1,076	123	7,383	980	166	9,469	188	45	2,474	0	0	0
II Consulting services	4,188	96	9,094	4,462	105	9,816	4,346	99	9,423	3,456	75	7,305	0	0	0
Base cost	3,841	82	8,012	4,086	88	8,614	3,892	79	7,910	3,009	55	5,813	0	0	0
Price escalation	147	10	649	163	11	735	248	16	1,065	282	17	1,144	0	0	0
Physical contingency	199	5	433	212	5	467	207	5	449	165	4	348	0	0	0
Total A = (I + II)	26,348	2,426	150,506	27,049	2,693	164,856	24,935	3,583	208,271	7,403	1,014	59,269	0	0	0
B. NON ELIGIBLE PORTION															
a Land Acquisition	0	96	4,895	0	164	8,415	0	62	3,179	0	2	114	0	0	0
Base cost	0	87	4,477	0	152	7,758	0	53	2,696	0	2	87	0	0	0
Price escalation	0	4	185	0	5	256	0	6	331	0	0	21	0	0	0
Physical contingency	0	5	233	0	8	401	0	3	151	0	0	5	0	0	0
b Administration cost 3%	0	91	4,662	0	102	5,198	0	124	6,343	0	35	1,781	0	0	0
c VAT	0	506	25,909	0	555	28,398	0	709	36,264	0	191	9,763	0	0	0
VAT 18% for Procurement /Construction	0	497	25,454	0	545	27,907	0	699	35,793	0	183	9,354	0	0	0
VAT 5% for Consulting Service	0	9	455	0	10	491	0	9	471	0	7	365	0	0	0
d Import Tax	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total B = (a+b+c+d)	0	693	35,465	0	821	42,011	0	895	45,786	0	228	11,658	0	0	0
TOTAL (A+B)	26,348	3,119	185,971	27,049	3,514	206,867	24,935	4,478	254,057	7,403	1,241	70,928	1,003	172	9,784

出典：JICA 調査団

表 1-8 全体スケジュール



出典：JICA 調査団

1.3.6 運営及び維持管理

(1) 事業手法

サンパウロモノレール事業における事業手法には、SPTrans による直営方式、コンセッション等による PPP (Public-private partnership)方式の 2 つの代替案が考えられ、サンパウロ市における公共交通機関ではいずれの実績もある。

モノレールは、サンパウロでは導入実績のないシステムである。運営方式は、SPTrans がバス運営で実施しているコンセッション方式に比べ、直営方式の方が、責任が明確でより安定性が高いことから、現実的である。ただし、直営方式の場合、事業資金の調達方法が課題である。

(2) 維持管理計画及び組織体制

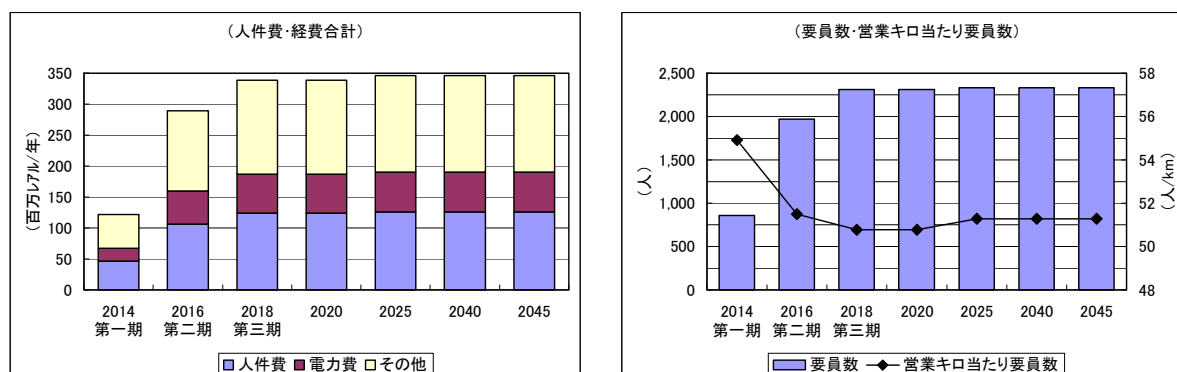
維持管理については、サンパウロでのモノレール導入が初めてであることを踏まえ、日本のモノレールにおける維持管理に準じて実施する。特に、予防保全の考え方に基づき、車両や諸設備については定期的に検査し、検査により不具合が発見された場合は直ちに修繕を行うこととする。

組織体制は、モノレール事業が安全かつ安定的に実施できるよう、日本のモノレール事業者の組織体制に準じて計画する。ただし、サンパウロ市の公共交通機関の特徴である駅要員（警備要員及び出札のための営業要員）について併せて考慮する。

(3) 要員数及び維持管理経費

モノレール事業における維持管理経費及び要員数について、代表的な検討ケースである“第一期～第三期、地域開発ルート”の場合を図 1-18 のグラフに示す。本ケースは 2014 年の開業年から 2018 年の第三期開業までの間順次営業キロが延伸され、それに応じて維持管理経費及び要員数も増加する。

第一期開業の 2014 年においては、営業キロ 15.6km、維持管理経費（1 年分に換算した場合の 2010 年基準価格、以下同じ）122 百万リアル、要員数 856 人（営業キロ当たり 54.9 人）で、第三期開業の 2018 年においては、営業キロ 45.5km、維持管理経費 338 百万リアル、要員数 2,310 人（営業キロ当たり 50.8 人）となり、ほぼ営業キロの伸び（2.9 倍）に比例して増加する。



出典: JICA 調査団

(注) 各年価格はいずれも基準年度（2010 年）価格、また、開業年の 2014 年の値は 1 年分の価格

図 1-18 維持管理経費及び要員数(第一期～第三期、地域開発ルートの場合)

1.3.7 環境

(1) 環境法制度の確認

環境影響評価(EIA)について、連邦の定めた規定に加え、州及び市がそれぞれの管轄に応じて定めた規定を確認した。関係機関と協議した結果、EIA に関する許認可の取得手続きは、本事業はサンパウロ市内に位置するため、主にサンパウロ市の規定に則り、市政府機関により行われる見込みである。

(2) 環境影響評価

EIA 調査の予備調査として、初期環境調査(IEE) レベルの調査を実施した。IEE レベルの調査では、提案路線に関わる EIA を見据えて提案路線の環境スコーピングを行い、予想される環境面、社会面に対する影響を明確にし、スコーピングマトリックス及びチェックリストを作成した。また EIA に関わる住民協議の内容も提案した。更に環境スコーピング結果を踏まえ、EIA 調査仕様 (ToR 案) を作成した。ToR 案の中では、関連 EIA 調査及び類似プロジェクトの EIA 報告書を踏まえ、EIA 報告書の目次案も示した。

(3) 環境社会面への影響に対する緩和策の予備的検討

スコーピングマトリックスの中で特に環境への負の影響が重大だと判断される項目について、それぞれ緩和策を検討した。各影響項目の緩和策については、現在のサイトの状況と過去の類似案件の事例から総合的に分析、判断した。特に配慮が必要な影響項目は、用地取得及び非自発的住民移転、樹木の伐採であることが判明した。

住民移転と用地取得に要する経費の概算を、サンパウロ市における類似プロジェクトの事例を参考にして行った。必要となる用地取得面積と住民移転数は、航空写真と土地利用現況図を用いて取得すべき用地と建物を特定し、推計した。また、地域の不動産情報を収集し、土地・建物の平均単価を割り出した。低所得者層への家屋提供のための経費は、各ルートで移転に必要な世帯数を求め、住民が入居する集合住宅の建設コストを概算した。その結果、土地と建物の取得には約 R\$170 百万が必要であること、また低所得者層へ住居を提供するための移転先の区画整備には、約 R\$63 百万が必要であることが判明した。

樹木/植物の伐採/移植許可を得るために必要な緩和策と補償策の、定義、実施概要を整理した。対象ルート上で伐採が想定される樹木数は、航空写真と簡易的な現地調査による樹木のサイズ、種類などの把握によって概算した。環境代償のための業務実施やサービス提供の金額は、SVMA のガイドラインに基づいて概算した。その結果、全ルートで、約 3,500 本の樹木が影響を受けると想定され、その緩和策では約 R\$10 百万が必要だと判明した。

(4) 環境管理・モニタリング計画

ブラジルの法制度と過去の類似案件の事例を参考にして、環境管理・モニタリング計画(EMMP)を提案した。環境管理・モニタリング計画(EMMP)の最も重要な項目として、環境許認可、環境管理、環境モニタリングに関連した3つのモジュールの内容を示した。これらのモジュールは独立したものではなく、お互いに密接に関連しているため、効率的・効果的に調整・実施するため、環境管理の専門家チームを雇用することが確認された。

(5) 住民移転行動計画

ブラジルの用地取得、住民移転に関わる法制度では、住民移転行動計画(RAP)を独立した文書として作成する事は求められていないが、協議の結果、環境影響評価報告書(EIA/RIMA)の中で住民移転に関するプログラムを作成することが確認された。本調査団は、EIA の ToR の中で、RAP 作成に必要な事項を提案した。また RAP のための個別の住民協議はブラジルの法律では求められていないが、本調査団は用地取得や非自発的住民移転の影響を被る非影響住民に対して、EIA とは別の協議を行うことを提案した。また住民協議の概要も提案した。

1.3.8 事業効果

(1) 定量的効果

本事業における主要な事業効果は、旅行時間の短縮である。本事業により、Line-2A や Line-2D では、以下に示すようにおよそ 30 分の時間短縮となる。

Major Trip	Present time in peak hours	After construction monorail	Time reduction
Jardim Angela Terminal – Santo Amaro Terminal	55 minutes	20 minutes	35 minutes
Imperatriz Leopordina Station – Faria Lima/Reboucas intersection	50 minutes	15 minutes	35 minutes

自家用車も同じく旅行時間を短縮できるが、その量は公共交通ほどは大きくはない。「事業なし」ケースから「事業あり」ケースを比較して、「人・時」の差を計算したところ、一日あたり約 320,000 人・時の減少となった。

本事業は、同時にバスの台数も削減する。2045 年における台キロの減少は 170,000 台キロと計算された。この量は、「事業なし」の場合に 2015 年から 2045 年までに増加するバスの台キロよりも大きい。

(2) 環境改善効果

本プロジェクトの実施に伴い、環境社会面への影響が予想される一方で、モノレールの利用に伴う自動車交通量の減少により、自動車排出ガスに含まれる主な温室効果ガスである二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減効果、及び大気汚染物質排出量の削減効果が期待できる。

プロジェクトによる CO₂ 排出量削減効果の試算は、モノレール利用に伴う自動車交通量の減少による CO₂ 排出量削減効果（正の効果）と、モノレール運行に伴う電力消費に伴う二酸化炭素排出（相殺効果）を考慮し、実施した。試算の結果、2015 年において、プロジェクトによる CO₂ 排出削減量は、約 83 トン-CO₂/日と推定された。

合わせて、モノレール利用に伴う自動車交通量の減少による大気汚染物質削減効果を検討するため、窒素酸化物(NO_x)及び浮遊粒子状物質(PM₁₀)の排出削減量を試算した。試算の結果、2015 年において、プロジェクトによる NO_x 排出削減量は約 760kg-NO_x/日、浮遊粒子状物質(PM₁₀)の排出削減量は、約 200kg-PM₁₀/日であった。

(3) 運用効果指標

本事業は、運営開始後に運用・効果指標にもとづいて評価されるべきである。ここでは、第一期終了後に評価することを提案する。交通量は、運用・効果指標として用いられる。また、Line-1A の運転間隔 4 分、及び Line-2A の 2 分半が実現出来ているかという点を運用指標として提案した。効果指標としては、M'Boi Mirim 道路におけるバスの速度が、本事業の効果を端的に示す指標として提案された。

1.3.9 経済財務分析

経済財務分析は、以下のプロジェクトケースについて実施された。

- 第一期(オリジナル案)区間のみ
- 第一期(地域開発案)区間のみ
- 全線開通

第一期区間のみのケースは、第二期と第三期の区間を追加しなくても事業化される代替案として評価された。

経済評価の結果は、上記の全てのケースについて、経済的内部収益率（EIRR）の最低基準とされる 12%を上回る 17～19%と計算され、経済効果を見込める事が示された。感度分析を経た場合でも EIRR は健全な値を示しているが、費用が 20%増加し、かつ経済便益が 20%減少するという場合では 12%弱である。本事業では車両走行費用の削減効果より、時間節約効果の方が大きな便益を生み出す（全体便益の 80%以上）と推計された。

この種の都市交通事業で一般的であるように、本事業もまた財務的な収益は非常に小さく、財務的内部収益率（FIRR）は、長期的な資本コストとされる 12%と比較してはるかに低い値となった。全線開通の方が、第一期区間のみの場合より FIRR が低い結果となっている。感度分析では、コストの増加より収入の減少に対する影響が大きい事が示された。

資金計画の分析では、本事業では 60%程度の自己資金が必要であることが示された。一方、第一期のみの場合では、40%程度の自己資金が必要である。

第2章 対象路線の現況

2.1 経済社会状況

サンパウロ市は、人口 1100 万人のブラジル最大の都市であり、製造業と商業や金融などのサービス産業が発達したブラジル経済の中心都市である。ブラジルの国内総生産（GDP）は約 R\$2.9 兆（2008 年）で、サンパウロ市の GDP は全国の約 11.9%を占める（2006）¹。以下の表は、サンパウロの人口を示したものである。

表 2-1 人口

Unit: 000

	1980	1991	2000	2006
Brazil	119,003	146,825	169,799	186,770
São Paulo State	25,041	31,589	37,032	41,056
São Paulo Metropolitan	12,589	15,445	17,879	19,678
São Paulo Municipality	8,493	9,646	10,434	10,995

出典: サンパウロ市HP www.emplasa.sp.gov.br, sempla.prefeitura.sp.gov.br/infocidade/

サンパウロ首都圏の人口は年々増加を続けており、サンパウロ市も同様である。しかしながら、人口が増加しているのは郊外部であり、下図に示すように市の中心部の人口は減り続けている。Line-1 と Line-2A の路線沿線では人口が増加しているが、他の路線沿線では減少している。

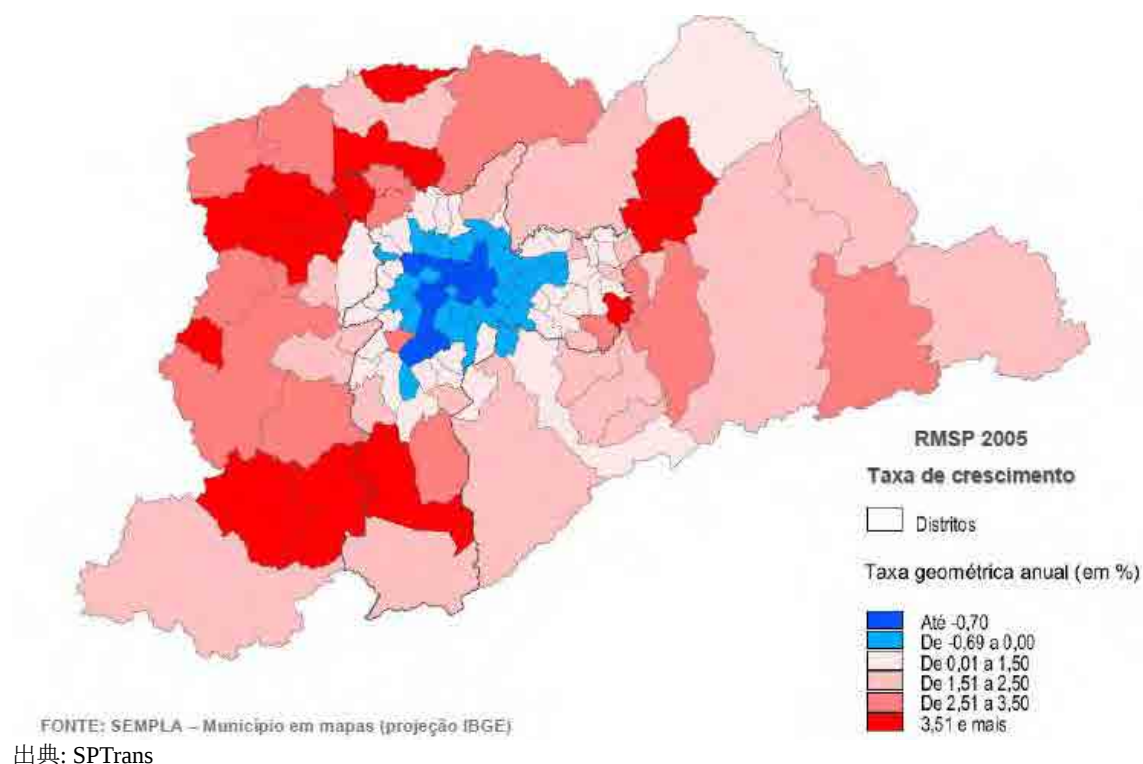
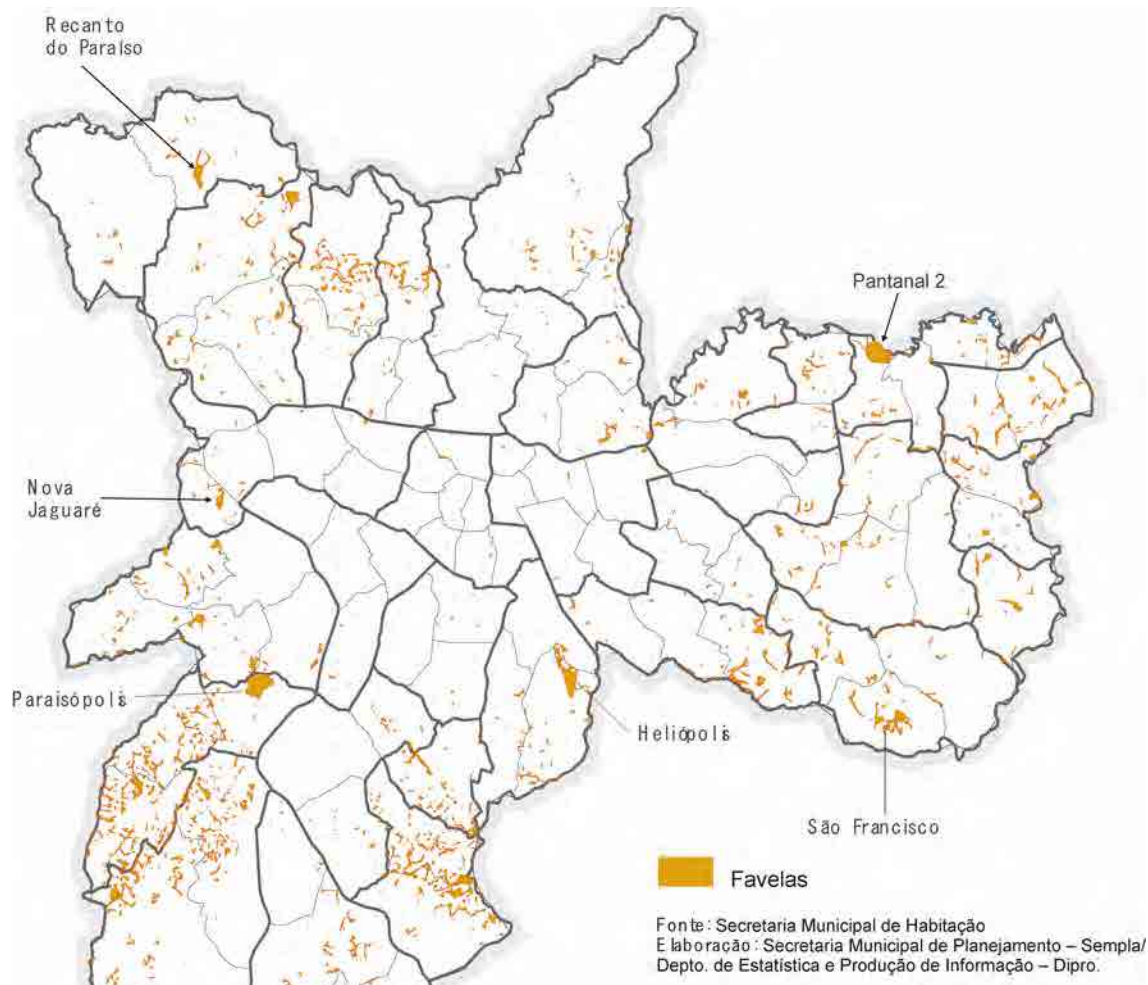


図 2-1 サンパウロ首都圏(RMSP)における人口増加率

Line-1 と Line-2A、及び Line-3B は低所得層が多い住宅地域を通過し、他の路線は中高所得層が多い住宅地域を通過する。図 2-2 は、ファベラとよばれる不法居住区の

¹ www.ibge.gov.br

分布を示す。ファベールの所得水準は非常に低く、生活インフラも不十分である。
Line-1 と Line-2A の路線沿線には多くのファベールがあり、Line-3B はサンパウロ最大のファベールである Paraisópolis を通過する。



出典:サンパウロ市HP sempla.prefeitura.sp.gov.br/infocidade/

図 2-2 ファベールの位置

2.2 土地利用

2.2.1 土地利用現況

対象路線周辺の土地利用現況を図 2-3 に示す。商業・業務機能は、中心市街地（セントロ）、Paulista 通り、Faria Lima 通り、Morumbi 通りに集中している。工業地域は Tiete 川と Pinheiros 川に沿って立地している。中高層住宅地は、セントロと Paulista 通りの周辺に広がっている。低層住宅地は、Paulista 通りと Faria Lima 通りに挟まれた地域や、Line-2C、Line-2D、Line-3B の路線沿線に分布している。Line-2D に平行する Pinheiros 川の西側にはサンパウロ大学が立地している。

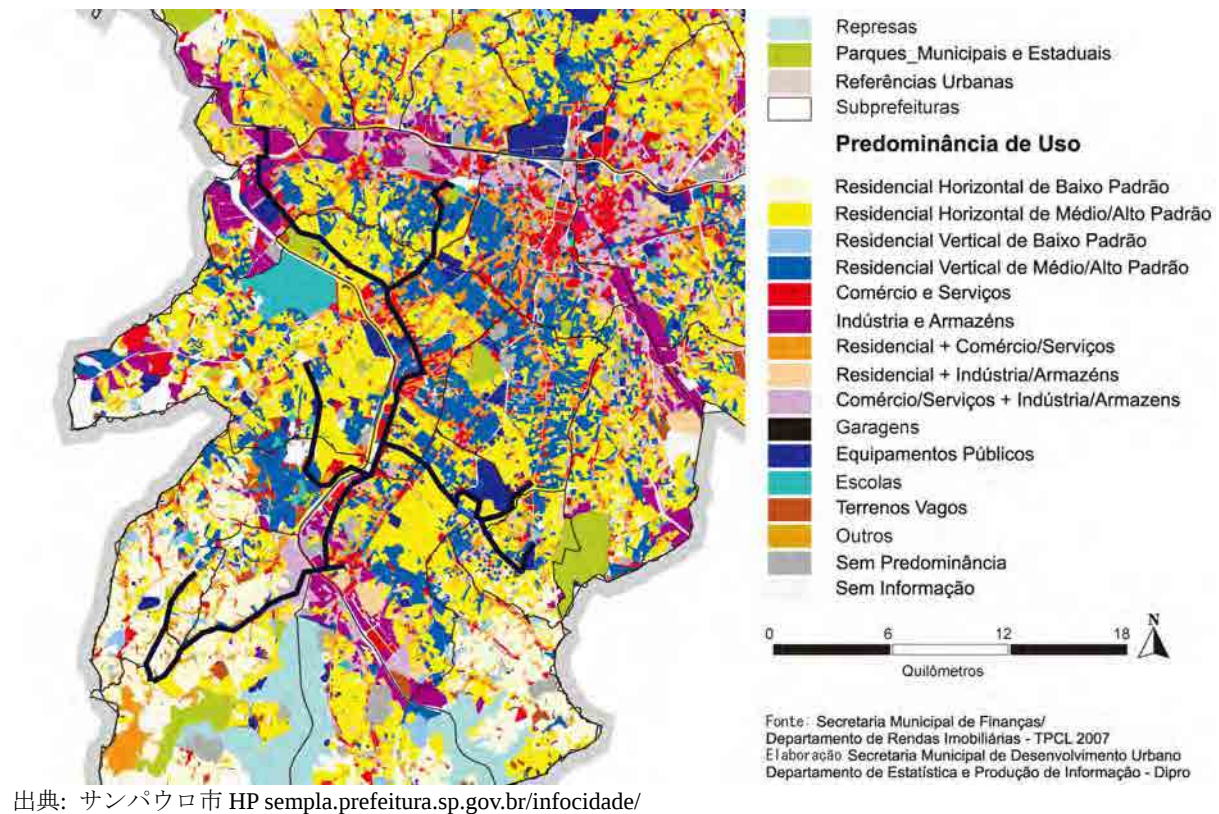


図 2-3 現在の土地利用図

調査対象路線沿線の土地利用の概要は以下の通りである。

路線	主要土地利用
1	- 低所得層の低層住宅地 - 路線沿いの近隣商業施設
2A	- 低所得層の低層住宅地 - 路線沿いの商業・業務・住宅の混在的土地利用 - 工場
2B	- 路線沿いの商業・業務用の中高層ビル - 倉庫・工場(南側の区間)
2C	- 中高層住宅 - 墓地
2D	- 高所得層の低層住宅地(南側区間) - 公園 - 倉庫・工場(北側区間)
3A	- Congonhas 国際空港 - ファベラ - 中高所得層の住宅地
3B	- 高所得層の高層住宅地 - ファベラ(Paraisópolis) - 低層住宅地 - モルンビ競技場

2.2.2 土地利用計画

(1) マクロゾーン

公的な土地利用計画は、戦略計画（法令番号 13.430）に記述されている。サンパウロ市内は、大きく環境保全地域と都市化地域に線引きされている。環境保全地位は、自然環境の保全が都市的土地利用に優先し、都市化地域では地域計画に従うものとされている。調査対象路線の大半は都市化地域を通過するが、Line-1 と Line-2A の一部は環境保全地域を通過する。

(2) 一般ゾーン

マクロゾーンの中に、一般ゾーンが定められている。下表に示すように、環境保全地域には 6 種類の一般ゾーンがあり、都市化ゾーンには 10 種類の一般ゾーンがある。調査対象地域は、都市化ゾーンの中では様々な一般ゾーンを通過するが、環境保全地域の中では「混在地域（ZM-p）」のみ通過する。これらのゾーンの中で、駅舎や高架式の交通システムの建設を禁止しているゾーンはない。

表 2-2 戦略計画で定められている一般ゾーン

環境保全地域	都市化地域
- Central zone of Environmental protection - Mix zone of Environmental protection (ZM-p) - Sustainable development and protection zone - Residential zone of Environmental protection - Leisure and tourism zone - Protection special zone	- Low density residential zone - Medium density residential zone - High density residential zone - Industrial zone - Low density mix zone - Medium density mix zone - High density mix zone - Central zone (a) - Central zone (b)

(3) 特別ゾーン

一般ゾーンに加え、以下の特別ゾーンが指定されている。調査対象路線の中では、Line-2C の一部が Lapa の ZEPEC を通過するのみである。これは、Line-2C の建設自体を不可能にするものではないが、各種の審査が必要となる。

- Social interest special zone (1, 2, 3, and 4)
- Environmental protection special zone
- Special zone of mineral resource and agricultural production
- Cultural preservation special zone (ZEPEC)
- Special occupation zone

(4) 水資源保護地域

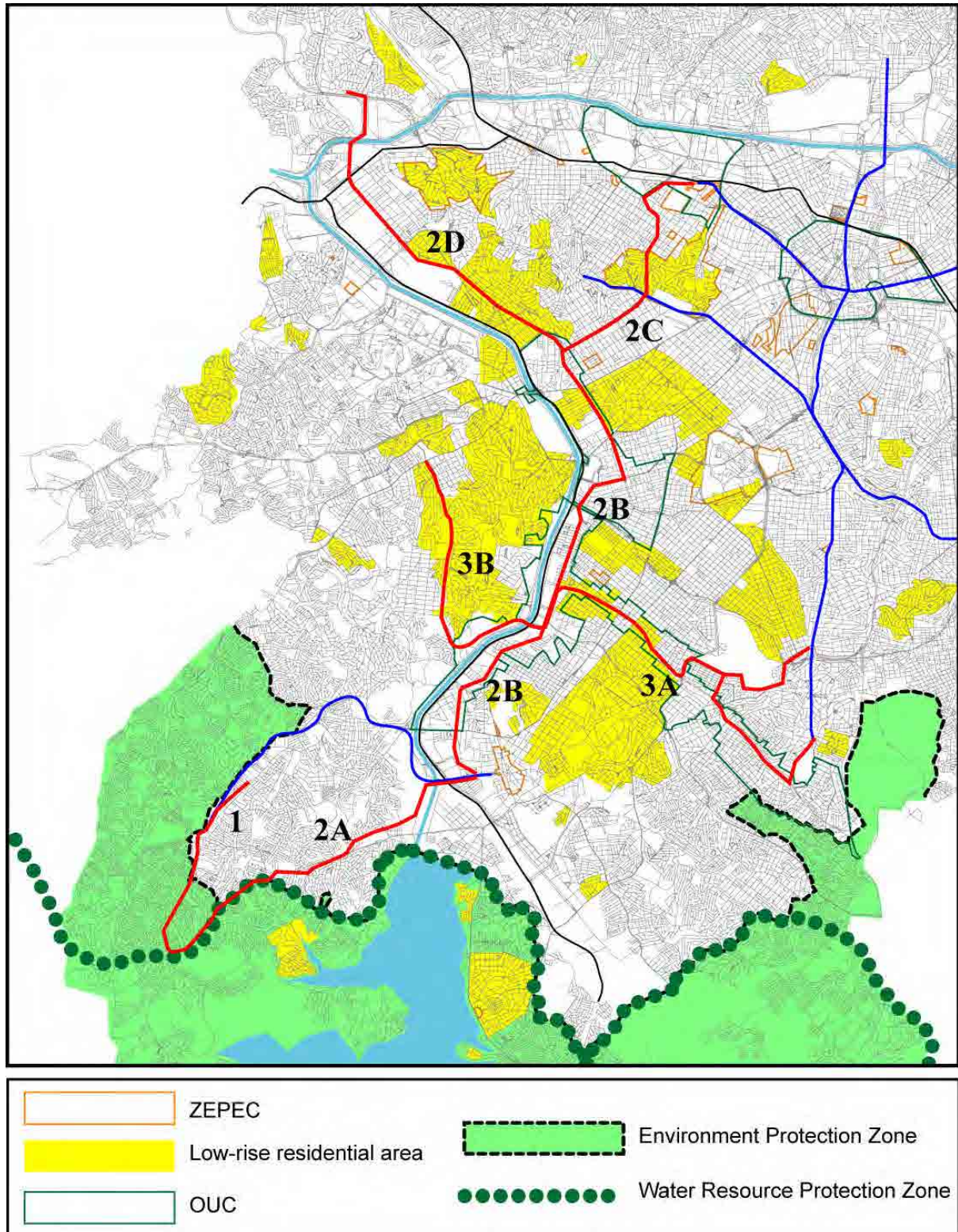
サンパウロ市による上記のゾーニング制に加え、サンパウロ州政府により、水資源保護地域（APRM）が定められている。APRM の主要な目的は、Guarapiranga ダムやその他の水源地の水質保全と回復である。

(5) 共同都市事業

サンパウロ市内では、官民共同による都市開発を進めるため、いくつかの共同都市事業（OUC）地区が指定されている。共同都市事業地区では、民間投資家に開発のインセンティブが与えられる。追加的な開発権証書（CEPEC）は、インセンティブの一つである。これはゾーニングで定められた床面積以上に開発する権利を開発業者に付与したことを、サンパウロ市が証明するものである。

調査対象路線の中では、Line-3A と Line-2B の南側区間は、Agua Espraiadas 共同都市事業地区を通過し、Line-2B の北側区間は、Faria Lima 共同都市事業地区を通過する。これらの地区はサンパウロ市における新興の商業業務地区であるが、今後とも共同都市事業の仕組みを利用した開発が進むと予想される。このため Line-2B や Line-3A などの都市交通システムの整備が課題になると考えられる。

図 2-4 は、低密度住宅地域の位置と、ZEPEC、APRM、そしてマクロゾーンの境界を示したものである。



出典: ZONEAMENTO São Paulo

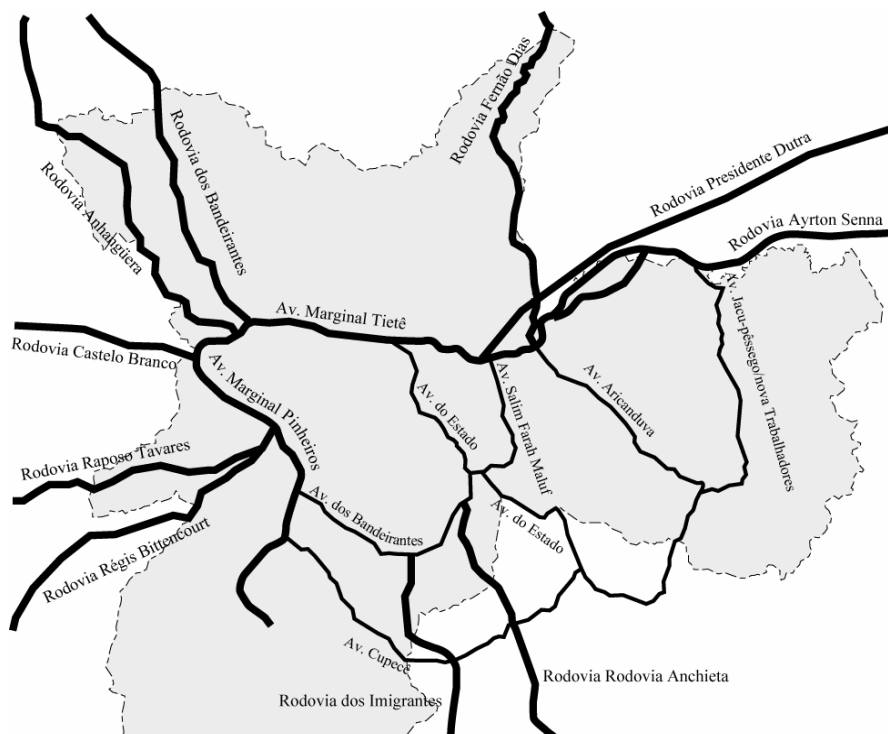
図 2-4 土地利用計画

2.3 交通システム

2.3.1 道路網

サンパウロ市は、他の都市と 10 の都市間道路で結ばれている。

Marginal Tiete 通りと Marginal Pinheiros 通りは、同じ名前の川沿いに走り、環状道路の北西部分を構成するとともに、8 路線の都市間道路の起点となっている。環状道路の南側には Bandeirantes 通りが走り、そこから 2 路線の都市間道路がサンパウロとサントスを結んでいる。



出典：JICA 調査団

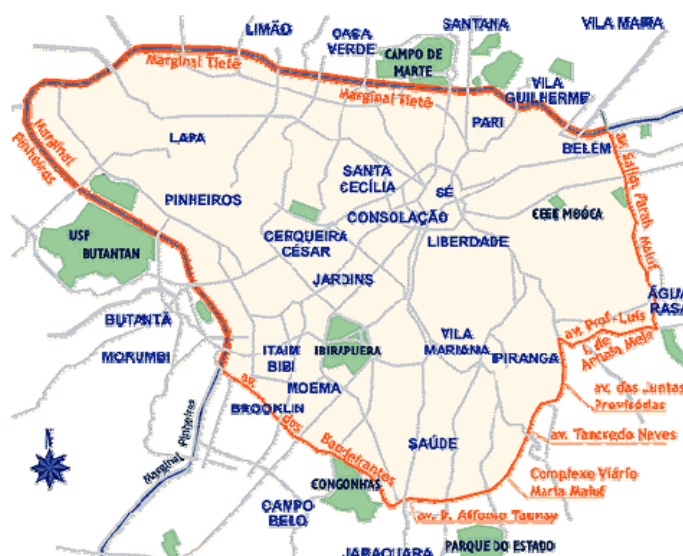
図 2-5 都市間道路と主要道路

対象地域の道路網は、中心部から放射方向に伸びる道路と、Pinheiros 川に平行する梯子状の道路とが混在したような形態となっている。重要な幹線道路は、中心部から郊外に延びる Nove de Julho 通り、23 de Maio 通り、Reboucas 通り、Brigadeiro Luis Antonio 通りである。これらの通りは Pinheiros 川に平行して伸びる Paulista 通りや Brasil 通り、Faria Lima 通りなどと交差する。他の幹線道路としては、Luis Berrini 通り、Santo Amaro 通り、Ibirapuera 通り、Washington Luis 通りなどがある。Pinheiros 川の西側では、M'Boi Mirim 道路や Itapecerica 道路が郊外とサンパウロ市西側の Marginal Pinheiros 通りを東西に結んでいる。

これら幹線道路の多くは 6 車線や 8 車線の広幅員道路であり、主要な交差点は立体交差化されている。Nove de Julho 通り、Reboucas 通り、Santo Amaro 通り、M'Boi Mirim 道路では BRT が導入されている。

2.3.2 道路交通

サンパウロでは道路交通量が非常に多く、ピーク時には多くの道路で激しい混雑が発生している。朝と夕方の渋滞長はそれぞれ 85km と 120km に達し、時には 250km を超す事もある。午後のピーク時における道路の平均走行速度は、1997 年には時速 21.8km であったが、2007 年には時速 17.2km である。サンパウロ市における登録車両台数は、2009 年に 650 万台であり、そのうち乗用車が 480 万台を占める²。登録車両台数は、1980 年には 160 万台、1991 年には 510 万台、2000 年に 510 万台であった。サンパウロ市では市の中心部（下図）に車両のナンバープレート規制（ホジージョ）を導入しており、月曜日から金曜日までナンバープレートの末尾に応じて 20% の車両に規制がかかる。



出典: CET (www.cetsp.com.br)

図 2-6 ナンバープレート規制の地域

下表はサンパウロ市と東京の交通混雑を比較したものである。人口規模は類似しているが、自動車の登録台数はサンパウロ市の方が多い。渋滞長はサンパウロ市の方が短い、観測対象の路線が東京の 3 分の 1 程度であることから、実際の渋滞長は東京より長くなる可能性もある。またピーク時の走行速度は時速 16.2km と、東京の平均時速 19.9km よりも遅い。都市圏の規模は東京の方がはるかに大きく、比較の条件も大きく異なるが、サンパウロ市は大きな交通問題を抱えていると言える。

表 2-3 東京とサンパウロの都市交通の比較

	東京	サンパウロ
人口	13 million	11 million
面積	2,188 km ²	1,523 km ²
乗用車台数	3.16 million (2009.3) ^{(*)1}	4.79 million (2009.3) ^{(*)3}
平日の平均渋滞長	195km in 2,406km (2007) ^{(*)2}	120km in 830km (2007) ^{(*)4}
ピーク時平均走行速度	19.9km/h (2007) ^{(*)2}	16.2km/h (2007) ^{(*)4}
地下鉄延長	304.1km	61.3km

出典: ^{(*)1} Automobile Inspection & Registration Information Association (Japan), ^{(*)2} Metropolitan Police Department (Japan), ^{(*)3} DESAP, ^{(*)4} CET

² DETRAN-SP

2.3.3 鉄道

サンパウロの鉄道は、州の交通局に属するメトロ（サンパウロ地下鉄）と CPTM（サンパウロ首都圏鉄道会社）の二つの会社によって運行されている。現在、メトロは 4 路線（レッド、ブルー、グリーン、ライラック）を運行し、路線延長は地下区間 34.6km を含む 61.3km である。一方、CPTM は全長 261.7km に達する 7 路線を運行している。メトロは一日に 330 万人を輸送し、CPTM は 190 万人を輸送している。メトロと CPTM は、同じ均一料金体系（R\$2.55）³に属しており、乗換は無料である。

メトロは駐車場会社と契約して、駅の近くに割引料金の駐車場を確保している。また、メトロや CPTM の車内には自転車の持ち込みが可能である。自転車利用者のため、メトロでは 7 駅、CPTM では 14 駅で自転車駐輪場を設置している。



出典: São Paulo Metro

図 2-7 サンパウロの鉄道網

³ The fare of Metro and CPTM was revised to R\$ 2.65 in January 2010.

2.3.4 バス

サンパウロ市内のバスは、市内バスの民営化後に導入されたコンセッション方式のもと、民間のバス会社によって運行されている。バスを管轄する公的組織は、サンパウロ交通 (SPTrans) と首都圏都市交通会社 (EMTU) である。SPTrans は市の交通局(SMT) に属する会社で、EMTU は都市間交通を担当する州交通局 (STM) に属する会社である。SPTrans は、一日あたり 950 万人を輸送し、EMTU は 170 万人である。

サンパウロのバスネットワークは、基幹システムと地域システムに分類されている (表 2-4)。基幹システムは、中心部に接続する幹線ルートであり、地域システムは基幹システムを補完し、フィーダーサービスを提供している。市内 28 カ所のバスターミナルが、この幹線・フィーダーのシステムを支えている。

表 2-4 システム別の路線数とバス車両数

システム	路線数	車両数
基幹	880	8,860
地域	450	5,890
合計	1,330	14,750

出典: SPTrans

バスサービスのコンセッションは、8 ゾーンに分かれており、それぞれのゾーンにおけるバス運行の排他的運行権利を民間企業体に与えている。図 2-8 はコンセッションのゾーンを示したものである。

市内のバス料金は R\$ 2.3 均一である⁴。SPTrans は、ビレッチェ・ユニコと呼ばれる電子チケットシステムを導入している。このカードを利用することにより、バス同士の乗換は 3 回まで自由であり、バスと鉄道の間の乗り換えに割引料金が適用される。

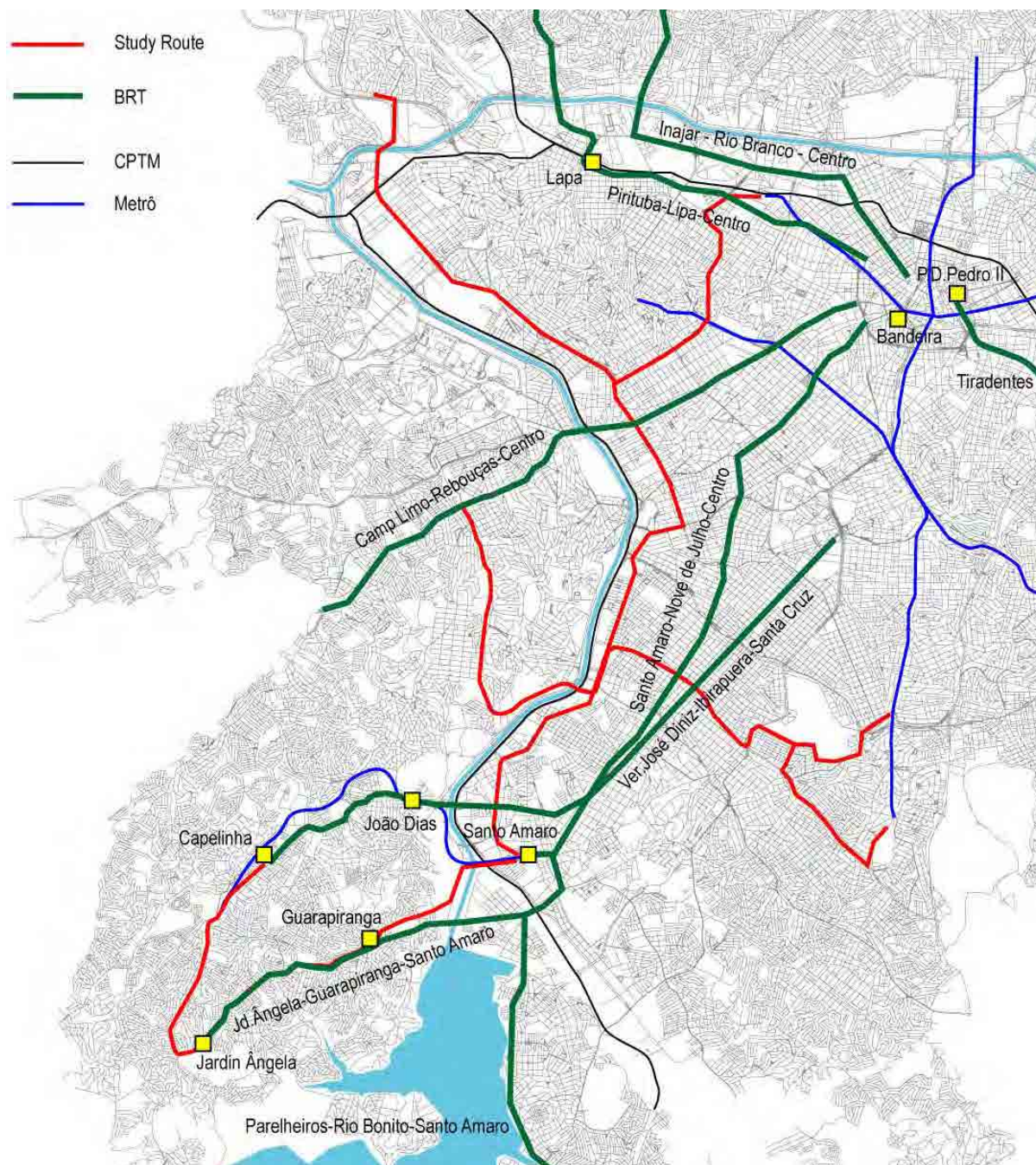
サンパウロ市内では 10 本の BRT 路線が基幹システムを構成している。通常、BRT 路線は道路の中央に専用レーン (1 方向 1 レーン) を持ち、中央分離帯にバス停のためのプラットフォームが設置されている。バスの走行は、交差点で他の交通の信号待ちがあるほか、BRT のバス停への歩行者横断のための信号待ちが発生する。Expreso Tiradentes (チラデンテス・エクスプレス) は BRT の一つであるが、他の交通とは完全に分離されており、平均走行速度は 35km/h である。一方、他の BRT はオフピーク時でも 20km/h 程度であり、ピーク時には 10km/h である。現在、Expreso Tiradentes は一日約 51,000 人を輸送している。



図 2-8 コンセッションのゾーン

図 2-9 は調査対象路線周辺の BRT 路線を示したものである。

⁴ Bus fare was revised to R\$ 2.7 in January 2010.



出典：JICA 調査団

図 2-9 BRT 路線図

2.3.5 交通特性

(1) 分布交通

サンパウロ都市圏における主要な人の動きは、中心部と郊外を結ぶトリップである。図 2-10 は、首都圏における公共交通の主要な動きを図示したものである。図中 IX 地区（ホージーョ地区とほぼ同じ）は 280 万トリップの目的地であり、そのうち 210 万トリップは IX 地域外から来ている。Line-1 と Line-2A に関連する IX 地区と VIII 地区からは一日 10 万人が IX 地域に移動している。Line-2D に関連する動きとして、I 地区から IX へは一日 20 万人の移動がある。

2.4.1 PDDT 2020

PDDT は州の交通局（STM）によって定められた交通開発のマスタープランである。この計画は、サンパウロと港を結ぶ南北の交通に焦点をあてている。PDDT の中で最も重要なプロジェクトは「ロドネル」である。

ロドネル・マリオ・コバス（または単にロドネル）は、サンパウロの外周を走る全長170kmの環状道路である。この道路は、サントスの港から来る交通を迂回させる機能を持つ。ロドネルの北西区間（32km）は完成し、供用を開始している。



出典: Dersa (www.dersa.sp.gov.br/rodoanel/especial/)

図 2-12 Route Map of Rodoanel

2.4.2 PITU 2025

総合交通計画（PITU）は、サンパウロ都市圏（RMSP）、Campinas 都市圏（RMC）、Baixada Santista 都市圏（RMBS）の3つの首都圏地域で定められているものである。サンパウロ都市圏では、1997年のOD調査にもとづいて2020年を目標年次とするPITU 2020が策定され、2006年に改訂版のPITU 2025が策定された。PITU 2025では、交通需要予測モデル（TRANUS）にもとづき、いくつかのシナリオについて分析している。

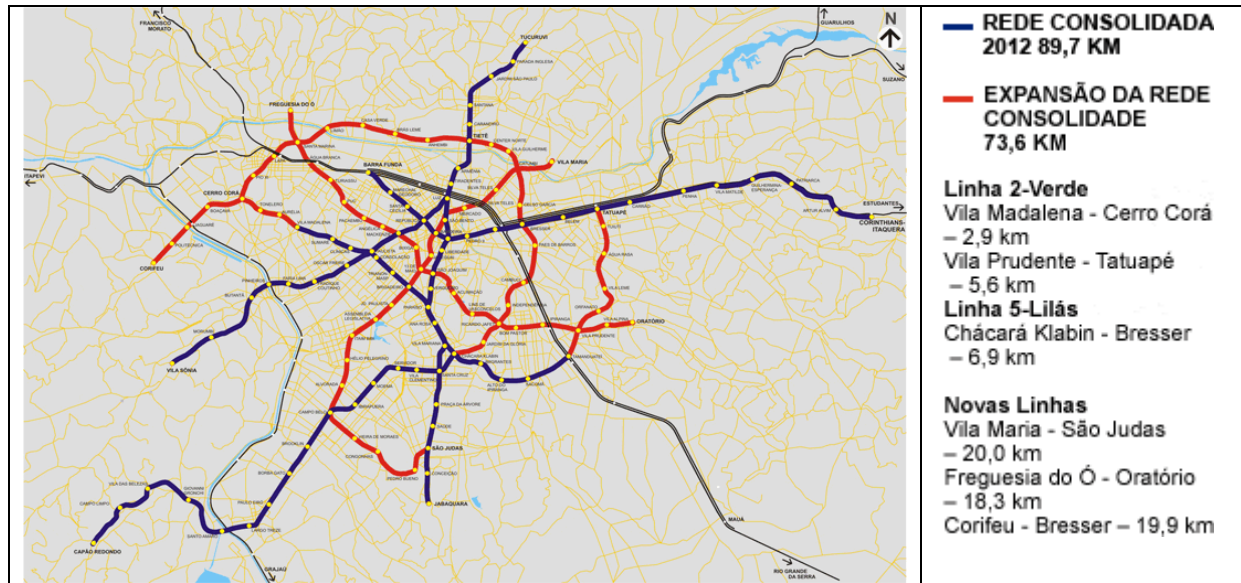
PITU 2025では5つの方針が述べられている。

- 交通インフラ周辺の土地の利用促進
- 低所得層の住宅プログラム
- ロジスティックスセンターの開発
- 開発利益の活用による財源確保
- 副都心の開発

交通インフラ周辺の土地利用促進というのは、公共交通システムの駅周辺で、より高密度の開発を許可していく事により、公共交通志向型開発を進めるというものである。

PITU 2025 における投資総額は、地下鉄網の拡大、郊外鉄道の改良、空港アクセス、BRT、バスターミナル、交通管理、その他の交通プロジェクトを含め、R\$487 億と推計されている。

図 2-14 は、地下鉄網の拡大計画を示したものである。地下鉄網の全長は 110km と計画されている。



出典: REDE ESSELCIAL, Metro

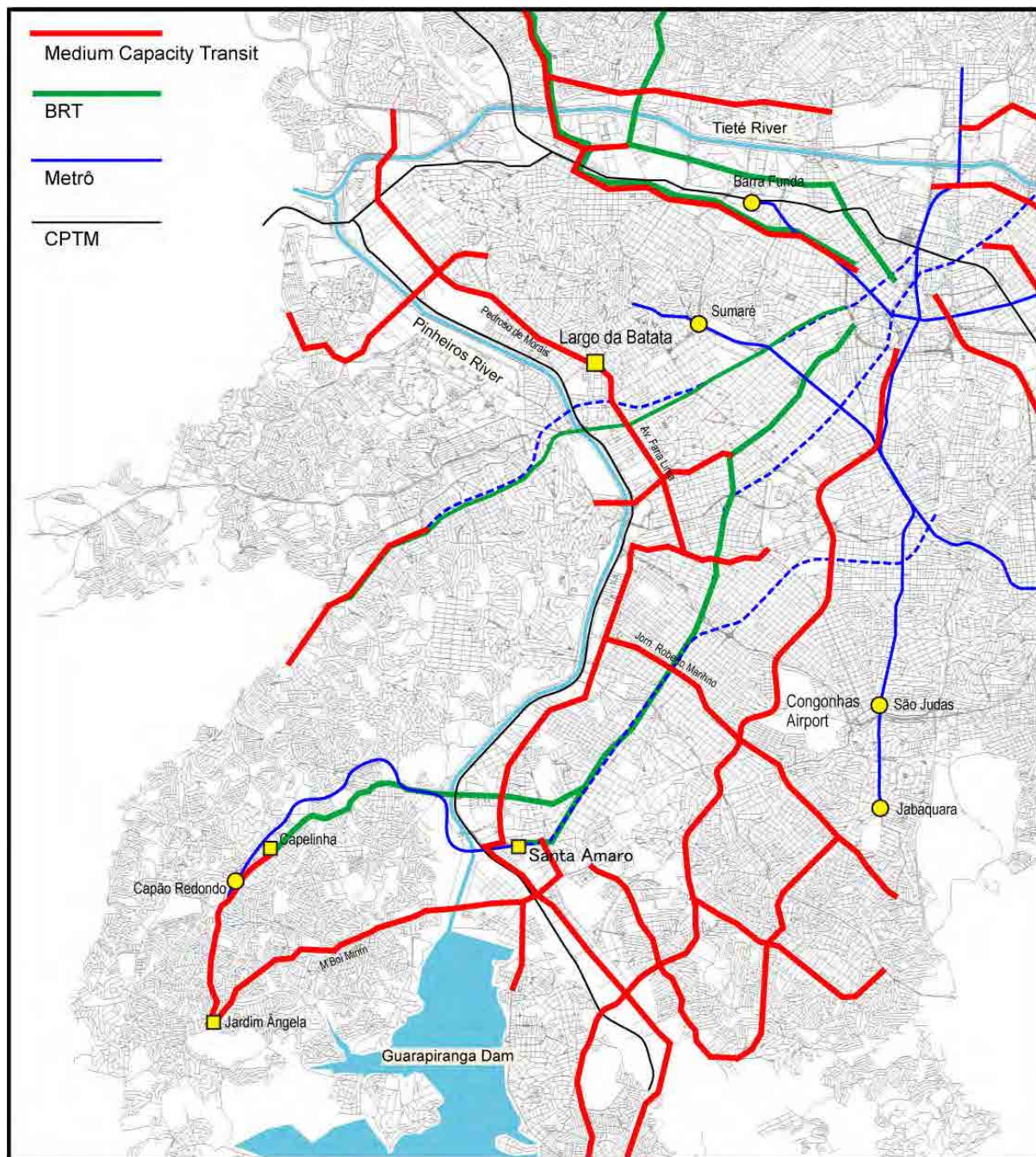
図 2-13 将来地下鉄網図

2.4.3 PDE 2020

戦略計画（PDE）は、サンパウロ市のマスタープランで、2002 年に承認されたものである。目標年次は 2020 年で、現在 2025 年を目標年次とする改訂版の PDE が承認待ちである。PDE では 12 の原則が述べられているが、交通に関しては以下のように記述されている。

- ユニバーサルな移動性とアクセス性
- 公共交通の優先

PDE 2020 には、図 2-14 にあるように、いくつかの中量輸送システムが提案されているが、改訂版の計画では公共交通システムの種類ではなく、事業主体が示されているものに変更されている。Line-1A、Line-2A、Line-2B、Line-2D の各ルートは、PDE 2020 の中で中量輸送システムの路線として提案されているものである。



出典: PDE をもとに JICA 調査団作成

図 2-14 公共交通計画 PDE 2020

2.5 都市交通プロジェクト

2.5.1 地下鉄網の拡大

地下鉄網の拡大事業は、表 2-5 に示すように、現在グリーン線延伸、イエロー線建設、ライラック線延伸の事業が進行中である。

表 2-5 建設中の地下鉄拡大事業

路線	延長	駅数	開業予定
Green Line (Line-2) Extension	4.3 km	3	2010
Yellow Line (Line-4)	12.8 km	11	2010
Lilac Line (Line-5) Extension	11.7 km	11	2012

出典: Metro (www.metro.sp.gov.br)

メトロと CPTM 及び EMTU は、州の交通局 (SMT) による「拡大計画」を進めている。「拡大計画」には、以下のようなものがある。

- メトロ 2 号線 (グリーン線) の延伸
- メトロ 4 号線 (イエロー線)
- メトロ 5 号線 (ライラック線) の延伸
- メトロ 6 号線 (オレンジ線)
- 軽量鉄道 (コンゴニャス空港)
- 10 号線 (ターコイズ線) と ABC エクスプレス
- 11 号線 (コーラル線) ～ 東エクスプレス ～ ファラズ・モギ軽量鉄道
- 空港エクスプレスと Guarulhos リオス鉄道
- Guarulhos ～ サンパウロ・コリドー
- Itapevi ～ サンパウロ・コリドー
- Diadema ～ サンパウロ・コリドー

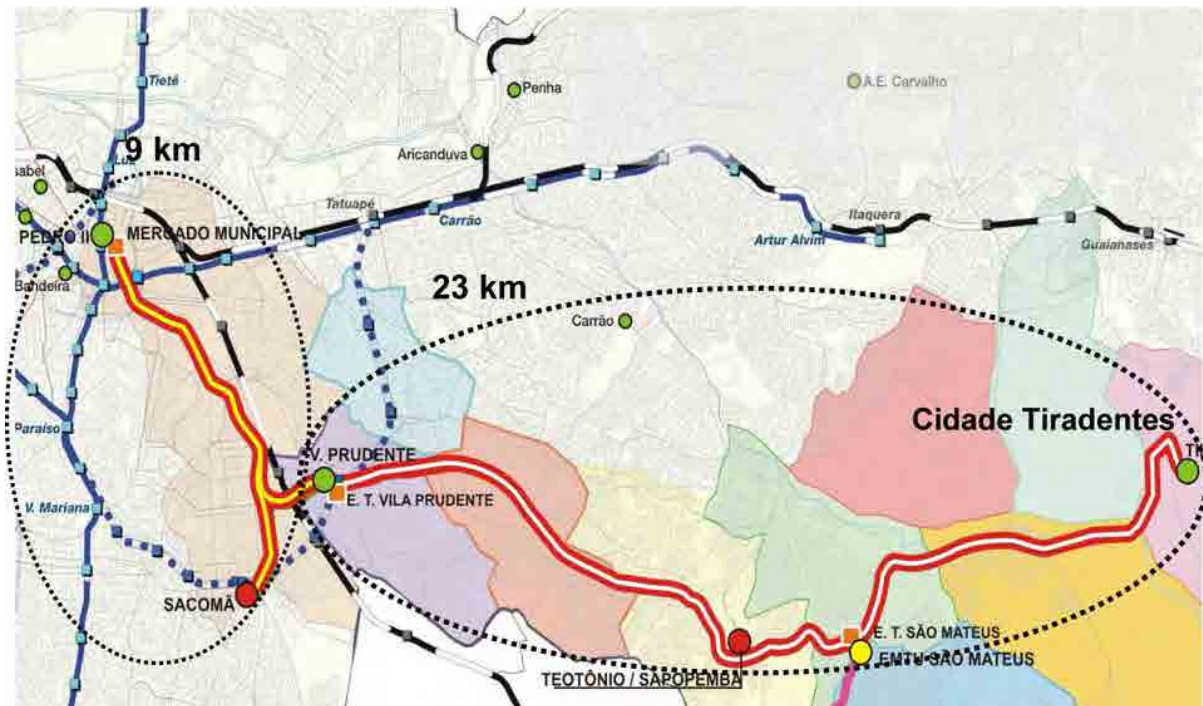
2.5.2 Expresso Tiradentes (チラデンテス・エクスプレス)

チラデンテス・エクスプレスは、Pedro II と Sacoma 及びサンパウロ東部の Tiradentes 市を結ぶ全長 32km の BRT で、高架構造による専用区間 (9km) は既に完成し、供用を開始している。残りの 23km については、元の計画ではバス専用レーンを利用する予定になっている。図 2-15 は、チラデンテス・エクスプレスの位置を示したものである。

最近になって、チラデンテス・エクスプレスの残り区間は、メトロ 2 号線 (グリーン線) に接続するモノレール計画に置き換えられた。

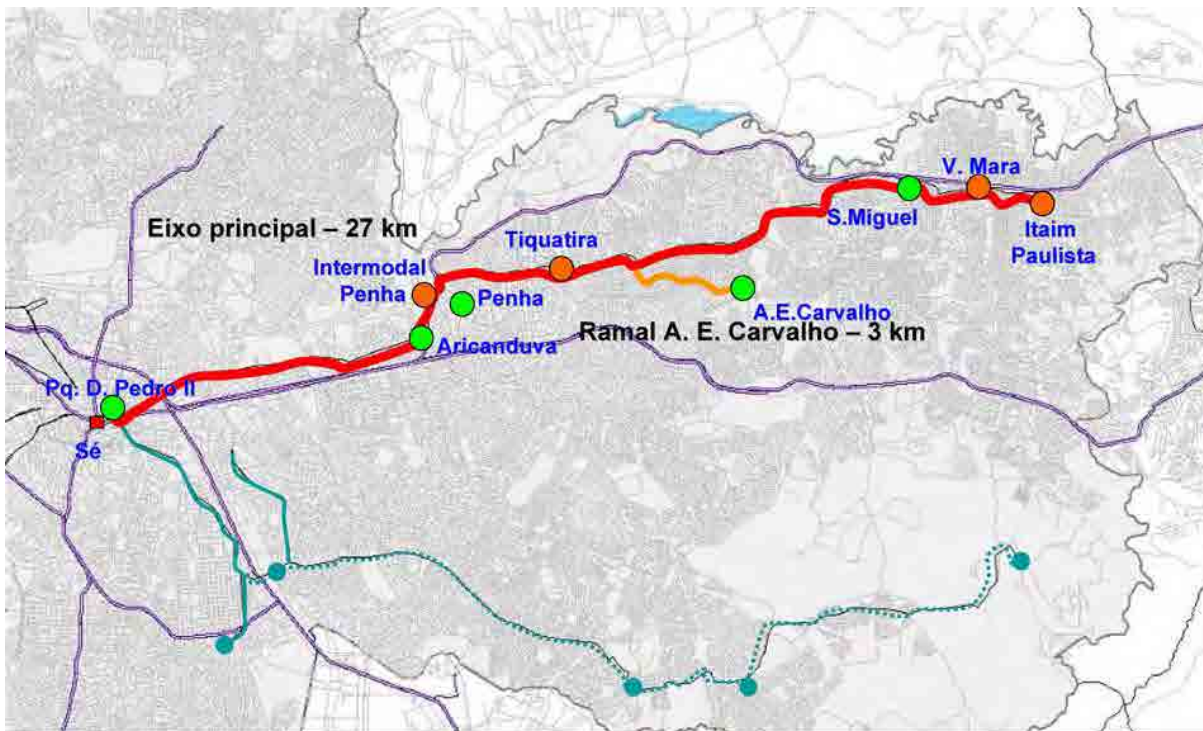
2.5.3 Expresso Celso Garcia (セルソ・ガルシア・エクスプレス)

セルソ・ガルシア・エクスプレスは、サンパウロ市の中心部と北西部を約 30km の距離で結ぶ新しい BRT の計画のプロジェクトである。図 2-16 に、セルソ・ガルシア・エクスプレスの位置を示す。この BRT では、追い越しを可能とするよう、専用レーンに追加のレーンを設けている。



出典: SPTrans

図 2-15 Expreso Tiradentes 位置図



出典: SPTrans

図 2-16 Expreso Celso Garcia 位置図

2.6 各路線の交通状況

2.6.1 Line-1A

Line-1 は、Itapecerica – Joao Dias – Santo Amaro BRT のフィーダー路線上にあり、BRT と結ぶターミナル駅は Capelinha ターミナルである。Line-1 は、BRT に平行するメトロ 5 号線（ライラック線）とも、端末駅の Capao Redondo 駅で接続する。

北側区間のピーク時交通量は多く、バスの交通量は約 130 台である。一方南側急勾配区間ではバスは運行されていない。

2.6.2 Line-2A

Line-2A のルートになっている M'Boi Mirim 道路には、BRT の専用レーンがあり、Jardim Angela と Santo Amaro を結んでいる。BRT 路線には 17 のバス停がある。輸送容量の高い接続バスが BRT 上を走るほか、その他のレーンでは通常サイズ又は小型のバスが運行されている。

M'Boi Mirim 道路における交通量は多く、ピーク時には接続バスが BRT レーンの中で列をなし、走行速度が約 10km/h まで低下するほか、通常のレーンでも混雑している。バスの台数は、ピーク時に 300-400 台である。M'Boi Mirim 道路では多くの交通事故が発生している。M'Boi Mirim 道路を抜けてから都心に到達するまでさらに時間がかかるため、M'Boi Mirim 道路における朝のピークは非常に早い時間に始まる。Jardim Angela から中心部までの所要時間は、ピーク時には 2 時間に達する。

Line-2A ルートの交通量は、一日に両方向で 47,800 台（615,00 PCU）であった（2009 年 6 月 3 日調査）。下表に示すように、M'Boi Mirim 道路におけるピーク時旅客交通量は、ピーク方向でおよそ 21,000 人と推計された。

表 2-6 M'Boi Mirim 道路におけるピーク時間交通量の推計

	時間あたり車両数	車両あたり乗客数	旅客総数
小型バス	120	30	3,600
標準バス	145	60	8,700
接続バス	85	100	8,500
合計	350	—	20,800

出典：JICA 調査団



2.6.3 Line-2B

Line-2B は、Pinheiros 川沿いに走る CPTM のエメラルド線から 500～1000m 程度離れて平行に走っている。エメラルド線には、Santo Amaro 駅から Presidente Altino 駅まで 10 駅ある。Santo Amaro 通りには、Santo Amaro – Nove de Julho – Centro BRT（全長 14.8km）が Line-2B の東約 1.5km の距離で平行に走っている。

Line-2B 沿いの道路は、朝夕のピークだけではなく、昼間も混雑している。対象路線の交通は乗用車が大半を占める。Faria Lima 通りでは、朝ピーク時には片方向約 2600 台の交通があり、そのうち 9 割は乗用車である。

Santo Amaro 周辺は、サンパウロ市における主要なボトルネックになっている。

2.6.4 Line-2C

メトロ 3 号線（レッド線）Barra Funda 駅とグリーン線 Sumare 駅を結ぶ Line-2C のルート（Sumare 通り）にはフィーダーバスが運行されている。Sumare 通りの中央にはバイクの専用レーンがある。また、Campo Limpo – Reboucas – Centro BRT が Reboucas 通りを通り、市の中心部と西側を結んでいる。

ピーク時における Sumare 通りの交通は激しいが、主要な交通は乗用車が占め、バスの台数はピーク時でも両方向 60 台程度に過ぎない。

2.6.5 Line-2D

Line-2D のルートと、平行する道路で、フィーダーバスが運行されている。また Line-2D に平行して CPTM のエメラルド線が走っている。なお、Line-2D は本調査でルートがサンパウロ大学を通るルートに変更された。

Line-2D 沿いの交通は乗用車が中心である。朝のピークの交通量は、ピーク方向に約 4,500 台で、このうち乗用車が 90%を占める。Line-2D の当初ルート（Dr. Gastaon Vidigal – Prof. Foncesa Rodrigues – Brigd. Faria Lima）は、混雑のため朝のピーク時の走行速度が約 10km/h 程度である。

2.6.6 Line-3A

Line-3A のルートでは、Congonhas 空港とメトロ Sao Judas 駅がバスで結ばれている。Congonhas 空港から西に向かう Line-3A 沿いのルートでは、バスの本数が非常に少なく、公共交通の利用が不便である。

Washington Luis 通りは、Congonhas 空港と中心部を結び、乗用車やバスの交通が激しい。Roberto Marinho 通りと Bandeirantes 通りは、乗用車やトラックで混雑している。

2.6.7 Line-3B

Line-3B 沿いでは公共交通が非常に貧弱である。

高所得層の住宅地では乗用車が利用されている。一方ファベラは発生交通量自体が少ない。モルンビ競技場が立地しているため、不定期の交通が発生する。

2.7 自然環境と社会環境

2.7.1 Line-1

(1) 自然環境

1) 地形条件

Jardim Angela 駅の建設予定地は、本地域の最高地点である標高約 840m に位置している。Line-1 は、その地点から始まり、約 600m に渡って小規模な丘陵地帯を下り、Água dos Brancos 川の形成した谷部地形へ至る。谷部地形は標高約 770m で緩やかな斜面であり、Line-1 はここからの平坦な地形を通り、Maas Ellis 通りと Itapecerica da Serra 道路の上を伸びている。

2) 自然保全に重要な地区

本ルートの近傍にある自然保全上の重要な地域として、メトロ 5 号線の車両基地の横に位置する Santo Dias 公園が挙げられる。

3) 環境汚染の状況

本ルート沿いの騒音や大気汚染の主な原因派交通車両である。特に Itapecerica da Serra 道路では、日常的に交通渋滞が発生し、騒音や大気汚染が発生している。また、本ルートの周辺にある河川のすべては生活廃水によって深刻に汚染されている。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

本ルート沿線の居住区は、比較的所得水準が低い者が住んでおり、特に M'Boi Mirim 道路と Ellis Maas 通りの間は、いくつかのファベラ(favelas)が点在している。一方、Ellis Maas 通りと Itapecerica da Serra 道路には、商業施設が軒を連ねており、経済状況は比較的良好と言える。

2) 歴史的遺産と遺跡

本ルート近傍には、CONDEPHAAT⁵によって指定された歴史的な建造物や遺跡はない。

2.7.2 Line-2A

(1) 自然環境

(1) 自然環境条件

1) 地形条件

M'Boi Mirim 道路 は、Pinheiros 川と Guarapiranga 貯水池への傾斜の中間付近（尾根部分）に位置しており、道の両側の斜面の一部は極めて急である。本ルートは大きく 3 つの異なる土地レベルと斜面タイプによって特徴付けられる。1) Jardim Angela 病院の背後にある丘の上から始まる本ルートは、M'Boi Mirim 道路沿いを 810 – 840m の高度で約 2.5km の区間を傾斜して進む、2) M'Boi Mirim 道路沿いの次の区間は、約 750 – 810m の標高で、なだらかな斜面または平坦な地域には約 2km の区間続く、3)最後の区間は約 730 – 750m の高度で、約 3.5km の区間で、非常に平坦である。

2) 自然保全に重要な地区

本ルート近傍では、いくつかの緑地があるが、そのほとんどはファームハウス、行政機関の建物やマンションなど、比較的大規模な建物の敷地内に存在する。Jardim Angela 病院背後の、Jardim Angela 駅の建設予定地には、現在松などを主体とする小規模な植林が行われている。

3) 環境汚染の状況

騒音や大気汚染については、交通渋滞により、特に午前と午後の通勤ピーク時に、M'Boi Mirim 道路沿いで発生する。本地域のすべての河川は、家庭廃棄物と処理されていない家庭排水によりひどく汚染されている。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

Jardim Angela 地区は、高い人口密度で、低所得者層が居住していることが特徴と言える。本地区からサンパウロ中心部へ多くの人が通勤しており、特に Santo Amaro 地区や中心地区への通勤が多い。M'Boi Mirim 道路沿いでは、店舗やビジネスサービスが盛んであり、多くは小規模企業であるが、いくつか中大規模な企業も存在する。主な店舗の種類は、中古車販売店、自動車修理場、タイヤ修理、バー、レストラン、家具、衣類、家庭用品、マットレス、材料、ガステーション、銀行、等が挙げられる。

⁵ Council for Protection of Cultural, Archaeological, Artistic and Tourist Heritages (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico)

2) 歴史的遺産と遺跡

CONDEPHAAT⁶による、文化財や遺跡の登録はない。

2.7.3 Line-2B

(1) 自然環境

1) 地形条件

本ルートは、Pinheiros 川の形成した平野地形を走っており、非常に平坦であり、200m-1000m 程度の距離を保ちながら川とほぼ平行に走っている。メトロ Santo Amaro 駅の地区は、約 10m-15m 標高が高い。

2) 自然保全に重要な地区

本ルート近傍には、重要な自然地区はない。緑地は主に歩道、大通りや公園に存在する。

3) 環境汚染の状況

Santo Amaro 地区は、かつてはサンパウロ市内で最も工業が盛んな地域であった。しかしながら工業区域は縮小しており、産業汚染はほとんど見られない。ただし、車両による騒音や大気汚染は発生している。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

Santo Amaro 地区は、かつてはサンパウロ市で最も重要な工業地域だった。今日、これらの産業の多くは、様々な理由から本地区を離れており、使われていない倉庫や工場などが目立つ。これらの施設の一部は、店舗、展示会、イベント会場として使用されている。市営バスの Santo Amaro 駅隣の Largo Treze 地区は、サンパウロ市南部の商業活動の中心的な地区であり、多くの店舗、小規模工場、医療サービス店舗などが見られる。

Dr. Chucri Zaidan 通りと Luis Carlos Berrini 通り沿いには、小企業の事務所や、店舗が建っており、また中・大規模のショッピングセンターやデパートもある。多くの雇用機会を提供している。

Faria Lima 通りと Juscelino Kubitschek 通りは、本プロジェクトの対象ルートの中で最も高級な商業地区として知られ、またサンパウロの主要な交通路でもある。多くの大規模なオフィスビルや中・大規模のショッピングセンターがある。イグアテミ・ショッピングセンターは、サンパウロで最も洗練されたショッピングセンターとして知られる。一方、Faria Lima 通りはサンパウロで最も高級な住宅街であるでもあり、Jardim Paulista 地区を通る。本地区でも、様々な分野で多くの雇用を創出している。また、Pinheiros エリアにも様々な商業施設がある。この地区では、市バスの駅およびメトロ 4 号線の駅を建設している。本地域は、サンパウロ市の南部と西部から、買い物のために大量の人々が流入する地区である。

⁶ Council for Protection of Cultural, Archaeological, Artistic and Tourist Heritages (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico)

2) 歴史的遺産と遺跡

Line-2B の近くには、Jardim Europa 地区と Jardim Paulista 地区があり、“Bairros Jardim” と呼ばれる。CONDEPHAAT によって景観保護地区に指定されている。また、“Sede do Sitio Itaim” と呼ばれる CONDEPHAAT によって歴史的建物がある。

2.7.4 Line-2C

(1) 自然環境

1) 地形条件

本ルートは標高 745m の Reboucas 通りと Brigadeiro Faria Lima 通りの交差点から始まる。始めの区間は Reboucas 通りを北東に進み、その後北西に曲がり Henrique Schaumann 通りへ入る。

Reboucas 通り沿いは Pinheiros 川への緩やかな斜面を描きながらも平坦である。Henrique Schaumann 通りは、本ルートで最も標高の高い 785 メートル地点へ向かい上方に傾斜している。John Paul VI 通りと Sumare 通りは 2 つの丘の間を走り Tiete 川の平野地形へ向かう。Antarctica 通りでは、Tiete 川に近づきながら平坦になる。

2) 自然保全に重要な地区

本ルート近傍には、自然保全のための重要な地域はない。緑地は歩道と大通りの中央分離帯沿いなどにある。特に Sumare 通りの中央分離帯には、大木が植えられている。

3) 環境汚染の状況

本ルート沿いでは、特に午前と午後の通勤ラッシュのピーク時に、車両による騒音や大気汚染が発生する。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

本ルートの沿線は、中・高級レベルの商業地区もしくは住宅地である。Pinheiros 地区はルートに沿って多くの販売店舗（家具店）、サービス店舗（銀行、カーアクセサリー、パブやレストランのお店）、および多くの事業所がある。

2) 歴史的遺産と遺跡

Line-2C の終点近くに CONDEPHAAT の登録した歴史遺産として Memorial of Latin America がある。

2.7.5 Line-2D

(1) 自然環境

1) 地形条件

本ルートを通過する地域は、Pinheiros 川と Tiete 川の氾濫原に発達した地形であり、両河川の合流地点にほど近い場所を通過する。ルートの全区間を通して、地形は平坦である。

2) 自然保全に重要な地区

本ルート近傍には、広大な 3 つの緑地がある。一つ目は Butanta 研究所であり、2 つ目はサンパウロ大学で（生物学的森林と呼ばれている）、3 つ目は Villa Lobos 公園である。

3) 環境汚染の状況

Eusebio Matoso 通り沿いでは、本ルート上で最も交通量が多く、騒音や大気汚染の問題は発生している。また Vital Brazil 大通りと Dr. Gastao Vidigal 通り沿いにも交通渋滞が見られる。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

Eusebio Matoso 通りの西部には、高級住宅地である Jardim Paulista 地区があり、東部は商業活動の盛んな Pinheiros 地区である。Butanta 地区の Vital Brasil 通り沿いは中級住宅地であり、また商業活動も行われている。Alvarenga 通りでは木材加工品（ドア、窓、家具用部品等）を販売する店舗が多くある。

2) 歴史的遺産と遺跡

本ルート近傍には、Jardim Paulista 地区（庭園地区と呼ばれる）と Butanta 研究所の、多くの歴史的建造物の持つ 2 つの重要な地区がある。またサンパウロ大学のキャンパス内には、歴史上重要だと考えられる建造物がいくつかある。

2.7.6 Line-3A

(1) 自然環境

1) 地形条件

本ルート上の Jabaquara 通りは図 2-17 で示されるように、標高 801 - 825m である。本ルートは Jabaquara 川の谷状の地形に向かって傾斜している。Jabaquara 川は途中から Água Espraiada 川となり、この川沿いに標高 751-775m の Jornalista Roberto Marinho 通りが伸びている。Água Espraiada 川は Pinheiro 川はへ向かいながら標高 700 - 725 m. で伸びている。

本ルートの東端から伸びた 2 本の枝状のルートは、(Jabaquara/Congonhas Airport Station と St. Jude/Congonhas Airport Station)、一部急な傾斜を持つが、ほとんどが緩やかな傾斜である。

2) 自然保全に重要な地区

本ルート of 交わる通り沿いには、街路樹が植えられているが、自然保全上重要な緑地はない。

3) 環境汚染の状況

Congonhas 空港では、航空機による騒音問題が発生している。また航空機の排気ガスなどの大気汚染の発生源でもある。その他の地域は、車両が騒音と大気汚染の発生源である。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

Congonhas 空港の周辺は、低・中所得層の住宅街である。 Jabaquara 駅から分岐する枝状のルートはいくつかのファベラ(favela)を通過する。

Journalist Roberto Marinho 通りは、住宅密集地を通過する。Washington Luis 通りと Vereador Jose Diniz 通り(Brooklin、Paulista、Campo Belo 地区)は、比較的高所得者が居住する住宅地である。

2) 歴史的遺産と遺跡

中量輸送システムにより影響を受ける可能性は低いですが、本ルート近傍には CONDEPHAAT が登録した文化遺産である Sitio da Ressaca がある。

2.7.7 Line-3B

(1) 自然環境

1) 地形条件

本ルートの東の区間は、Pinheiros 川の氾濫原を通過しており平坦である。本ルートは途中からモルンビ競技場に向かって、Morumbi 通り沿いを緩やかに傾斜している。

2) 自然保全に重要な地区

Pinheiros 川を挟んで広がる Morumbi 地区のほとんどは、緑地の多い高級住宅街である。本地区は図 2-18 に示すように、サンパウロ市内でも最も多くの緑地の残る地域である。自然保全に重要な地域として、Pinheiros 川沿いのハイウェイ近くに、ブルマルクス公園がある。

3) 環境汚染の状況

本地区の幹線道路である Morumbi 通り、Giovanni Gronchi 通り、Joao Jorge Saad 通り、Francisco Morato 通り沿いでは、交通による騒音や大気汚染の問題が発生している。

(2) 社会環境

1) 社会経済的特性

本ルート沿いのほとんどの地区は、高層マンションの建つ高級住宅街である。た

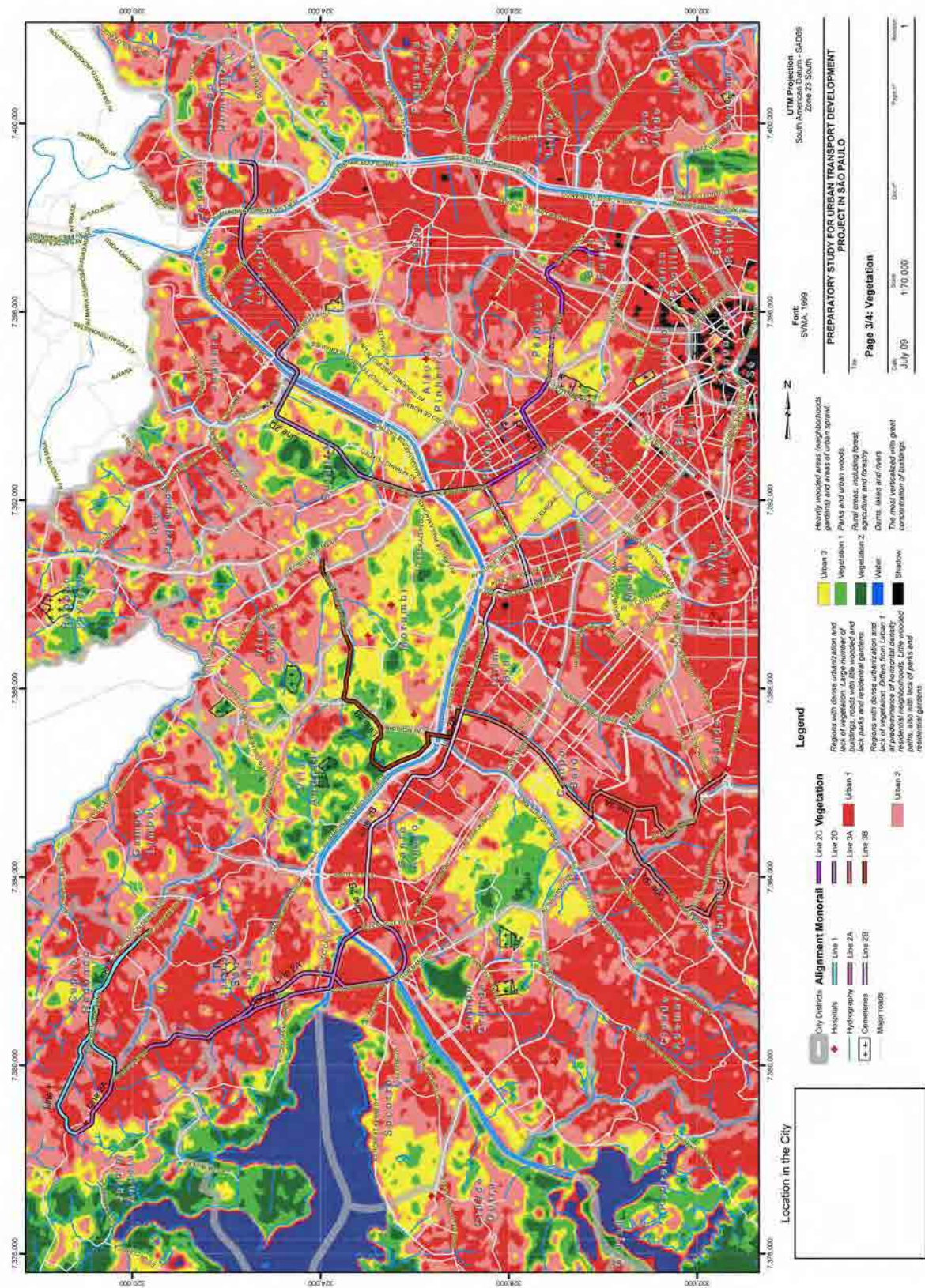
だし本地区には、サンパウロで最も大きなファベーラ(favela)である Paraisopolis を内包している。

2) 歴史的遺産と遺跡

古い州庁舎である The Palacio dos Bandeirantes 並びにモルンビ競技場の建築は、本地区で最も重要な歴史遺産と言える。

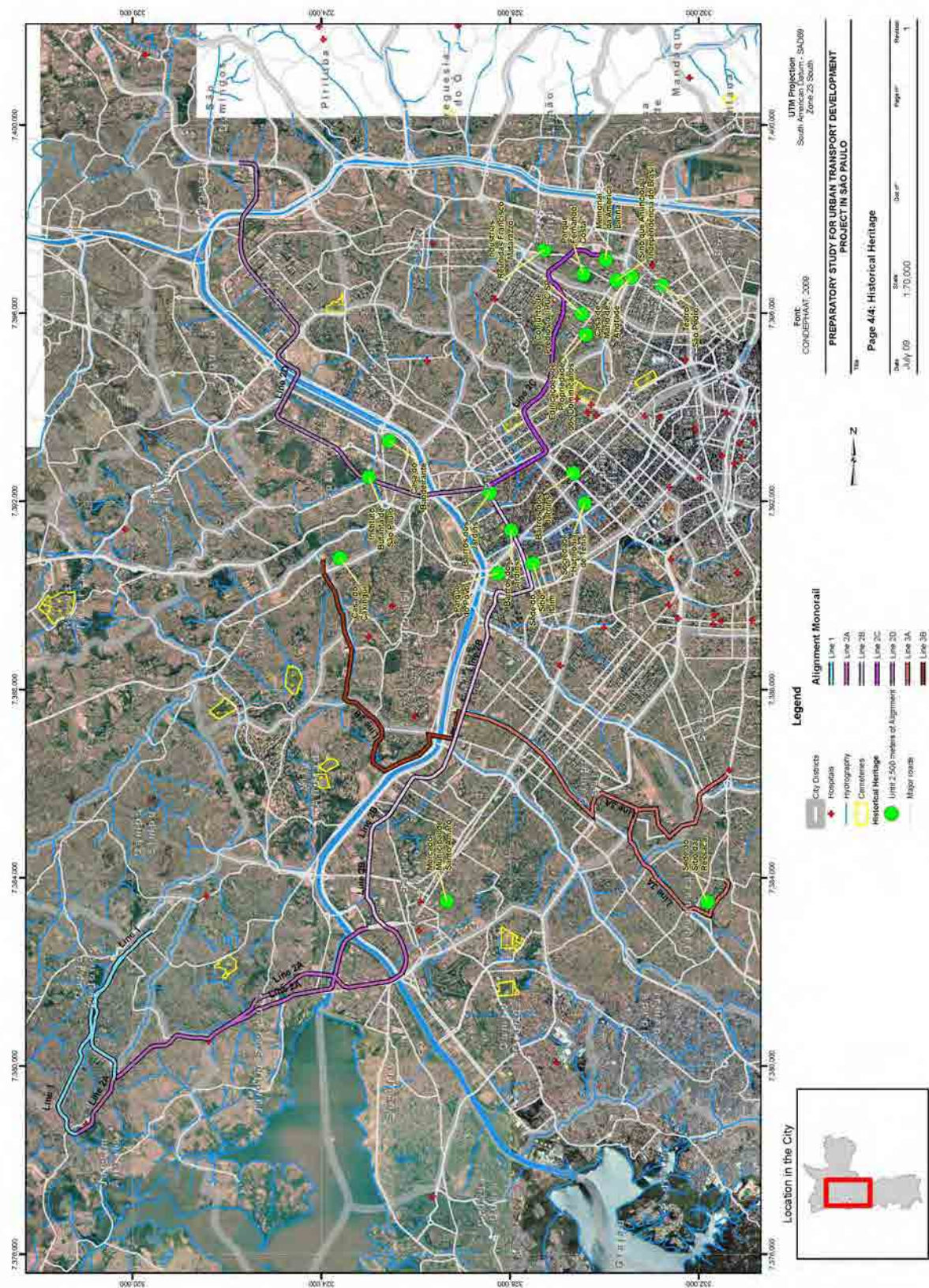
出典: EMPLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA)

圖 2-17 標高



出典: SVMA (Department of Paper and Environment in São Paulo)

図 2-18 土地利用



出典: Council for Protection of Cultural, Archaeological, Artistic and Tourist Heritages (CONDEPHAAT)

図 2-19 歴史的遺産と遺跡

第3章 需要予測

3.1 社会経済フレームワーク

サンパウロ首都圏（RMSP）における将来の社会経済フレームワークは、2025 年総合交通計画（PITU 2025）の中で分析されている。その内容は、2025 年までの人口、雇用者数、学生数である。RMSP の人口は 2005 年の 19.1 百万人から、2025 年の 23.0 百万人へと 20 年間で 1.2 倍増加すると推計されている。一方で、PITU 2025 には 2025 年以降の人口推計が含まれていない。

ブラジル地理統計局（IBGE）では 2050 年までのブラジル全国の将来人口と、サンパウロ州の 2030 年までの人口を推計している。その推計によると、ブラジルの人口は 2039 年にピーク人口の 219 百万人に到達する（2006 年の 186.8 百万人の 1.17 倍）。

サンパウロ州、サンパウロ都市圏、各自治体の人口を推計するため、下位の行政単位における人口増加率と、上位の行政単位における人口増加率の比（州と国、首都圏と州、市と首都圏）が 2025 年以降同じであると仮定した。それぞれの比は以下の通りである。

- サンパウロ州／ブラジル全国＝0.971,
- RMSP／サンパウロ州＝1.326,
- サンパウロ市／RMSP＝0.362
- サンパウロ市以外の市／RMSP＝1.734

サンパウロ市と、RMSP 内の他都市における将来人口の推計は表 3-1 に示す通りである。PITU 2025 の交通ゾーン別（389 ゾーン）の人口は、各ゾーンにおける増加傾向が 2045 年まで一定であると仮定して推計した。

表 3-1 人口予測 2005 - 2045

(Unit: 000)

Year	Brazil	São Paulo State	RMSP	São Paulo Municipality	Others	
2005	183,383	39,575	19,130	10,744	8,386	IBGE
2010	193,151	41,343	20,310	11,015	9,294	
2015	200,976	42,742	21,247	11,183	10,064	PITU
2020	207,228	43,873	22,185	11,350	10,834	
2025	212,280	44,071	22,972	11,464	11,508	JICA
2030	216,505	45,534	23,521	11,558	11,963	
2035	218,645	45,971	23,839	11,611	12,228	
2040	219,075	46,059	23,904	11,622	12,282	
2045	217,888	45,817	23,917	11,624	12,293	

出典：IBGE (濃い灰色), PITU (淡い灰色), JICA 調査団

2045 年までの雇用者数と学生数は、PITU 2025 の予測値をもとに推計した。ここでは、PITU 2025 の中で想定されている 2005 年から 2025 年までの増加率が 2045 年まで継続すると仮定した。表 3-2 は、雇用者数と学生数の推計結果である。交通ゾーン別の値は、PITU 2025 の交通ゾーン（389 ゾーン）別増加率が続くと仮定して推計した。

表 3-2 雇用者数と学生数の推計

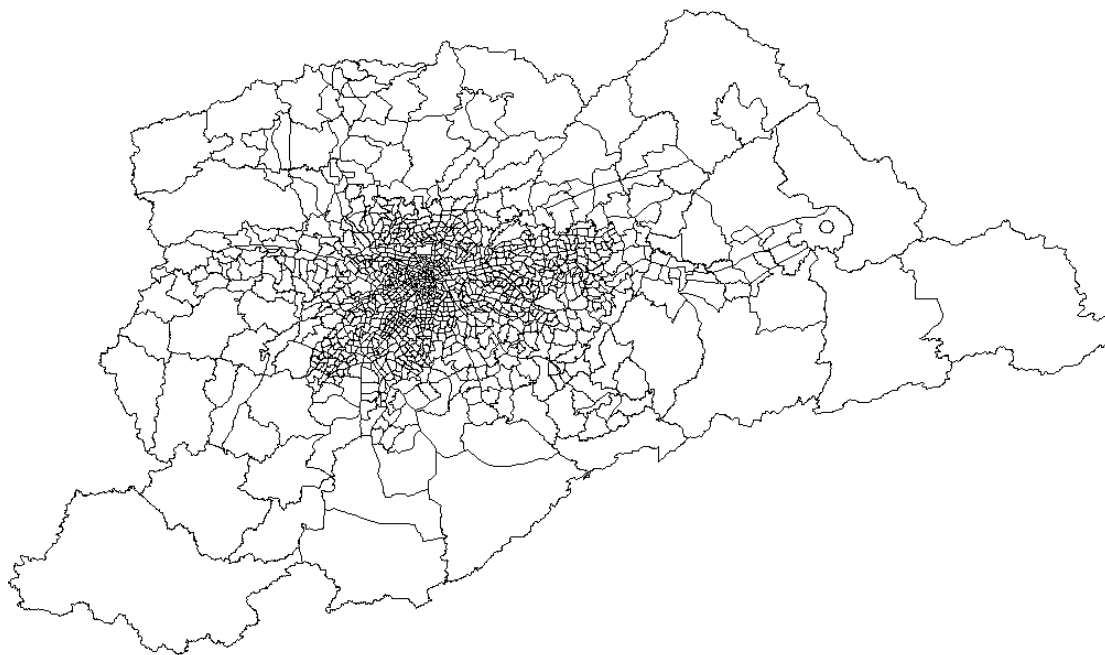
(Unit: 000)

年	雇用者数		学生数	
	São Paulo	Others	São Paulo	Others
2005	5,370	2,760	3,295	2,413
2010	5,744	2,990	3,485	2,575
2015	6,058	3,189	3,636	2,704
2020	6,372	3,389	3,787	2,833
2025	6,649	3,574	3,914	2,941
2030	6,881	3,740	4,013	3,026
2035	7,064	3,885	4,084	3,085
2040	7,193	4,004	4,124	3,117
2045	7,265	4,096	4,132	3,121

出典：PITU (淡い灰色), JICA 調査団

3.2 推計方法

SPTans では 1997 年 OD 調査をもとに交通需要予測モデルを構築しており、サンパウロ市内のバス交通計画に利用しているほか、Celso Garcia エクスプレスなどの新規のプロジェクトでも利用している。そこでは、1997 年の OD と PITU 2025 で推計された社会経済指標をもとに、フレーター法により 2012 年の OD 表が作成されている。その将来 OD は、自家用車利用と公共交通利用の OD に分かれ、サンパウロ大都市圏 (RMSP) を対象とする 1158 ゾーンで構成されている。下図は RMSP の 1158 ゾーンを示したものである。上記の OD 表は、2007 年 OD 調査をもとに修正されている。



出典：SPTans

図 3-1 交通解析ゾーン

3.2.1 発生集中交通量

ゾーン別の発生集中量は、SPTrans より提供を受けた 2012 年 OD 表（ピーク時）を基準として、上記で推計した社会経済指標の増加率を適用して推計した。交通発生量の推計にはゾーン別の人口増加率を用い、交通集中量の推計にはゾーン別の雇用者数と学生数の増加率の平均値を用いた。発生量の合計と集中量の合計は、全ゾーンの発生集中量に一致するように調整した。RMSP における総トリップ数は、下表に示すように、2012 年に 2.37 百万トリップ（ピーク時）、2025 年に 2.69 百万トリップ（同）、2045 年に 2.84 百万トリップ（同）と推計された。

表 3-3 発生交通量の推計(RMSP 合計)

年	2012	2015	2025	2035	2045
発生交通量	2,371,132	2,452,806	2,685,091	2,795,824	2,836,840
対 2012 年比	1	1.03	1.13	1.18	1.20

出典：JICA 調査団

3.2.2 交通手段分担

2007 年 OD 調査によれば、公共交通は、徒歩・自転車を除く交通の約 55.1%を占める（残りの 44.9%は自動車交通である）。1997 年 OD 調査では、公共交通の割合は 51.2%であった。公共交通のシェア拡大は、統一料金制の導入やバス運行のコンセッション方式導入による民間活力の導入¹、公共交通ネットワークの拡大など、近年における公共交通促進策の結果である。

現在、バスは公共交通の 65%を占め、メトロと CPTM は 15%と 6%の割合である。徒歩・自転車を除く全体の交通に対する割合は、バス 35.9%、メトロ 8.8%、CPTM 3.2%である。

今後メトロ 5 号線の延伸やメトロ 4 号線の開業、さらには Tiradentes 線の建設など、サンパウロでは公共交通ネットワークの拡大が続く見込みである。一方で所得の向上と郊外開発により、自動車の利用も増加すると予想される。PITU 2025 では様々なシナリオを想定した公共交通の将来シェアを推計しており、徒歩・自転車を除く割合で 55～70%までの幅がある。本調査の需要推計では、将来の公共交通の割合は、2025 年に 65%に達し、その後は一定と仮定した。

表 3-4 発生交通量の推計(RMSP 合計)

年	2012	2015	2025	2035	2045
自家用車	884,162	901,596	955,550	988,144	1,006,018
公共交通	1,486,970	1,551,210	1,729,541	1,807,680	1,830,822
公共交通の割合	63%	64%	65%	65%	65%

出典：JICA 調査団

¹ コンセッションの導入以前は、バス会社に良好なサービスを提供するインセンティブがなく、バスサービスの水準は低かった。

3.2.3 分布交通

将来のピーク時 OD 表（389 ゾーン）は、2012 年の午前ピーク OD 表を基準に、将来の発生集中交通量を用い、フレーター法によって推計した。

3.2.4 交通量配分

交通量配分のためのネットワークデータは、SPTrans が保有するネットワークデータを、本調査のために加工したものを利用した。例えば、将来の地下鉄計画にあわせ、必要なネットワークを追加した。ネットワークデータは RMSP 全域をカバーしており、約 13,500 リンクと 7,400 ノードで構成される。図 3-2 はネットワークの一部を示したものである。



出典：JICA 調査団

図 3-2 交通配分用ネットワーク

本調査の配分モデルは、道路ネットワークと公共交通路線データから構成される。計算には EMME/3 が用いられた。モデルには公共交通各路線の容量や頻度、走行速度、料金、駅位置などの運行情報が必要である。一方、調査対象路線におけるこれらの運行情報は F/S の初期段階では不明であり、需要予測の結果から設定すべきデータである。言い換えると、この需要予測モデルには運行情報が必要であるが、運行データを定めるためには需要予測の結果が必要である。

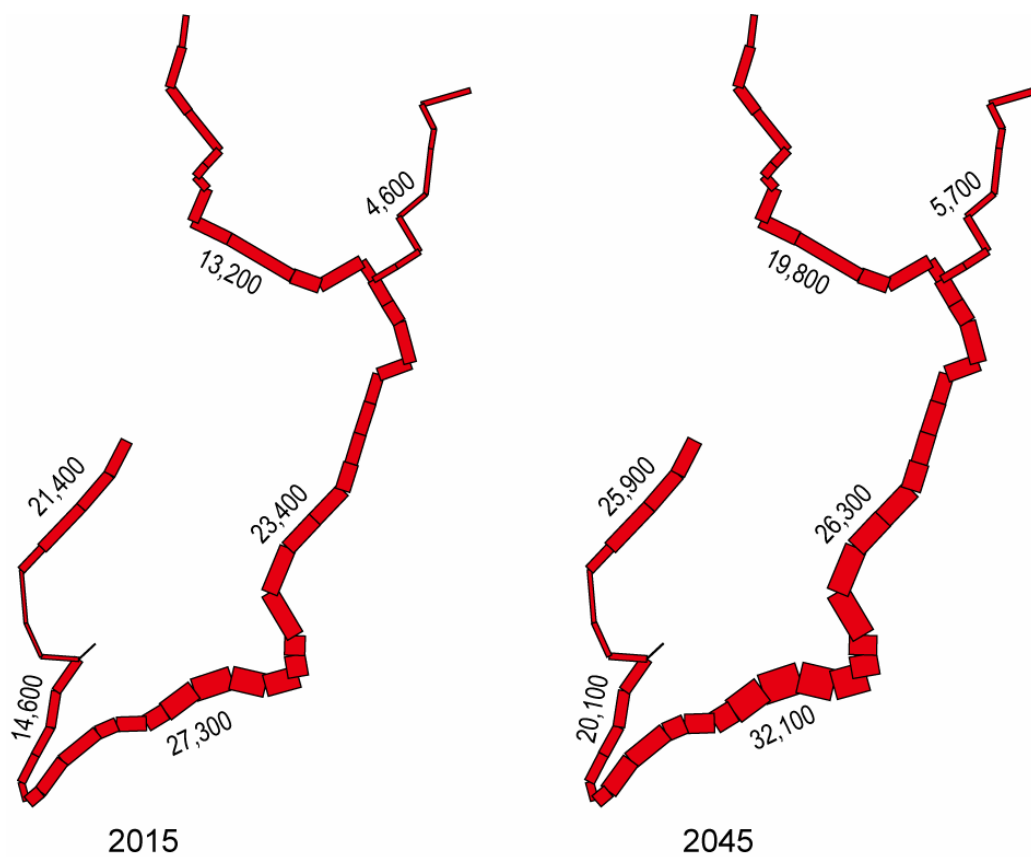
このため、上記の需要予測に先立ち、運行情報を確定させるため初期的な需要予測を行った。この初期的需要予測は、以下のように非常に簡単な仮定で計算を行っている。

- バスの走行速度は、車と同じ「速度-交通量関係式」から計算
- 鉄道と中量輸送システムの速度は 35km/h に固定²
- 鉄道と中量輸送システムの容量は無制限
- 公共交通の料金は無料(あるいは全て乗り換え自由の均一料金)

² 運転曲線の検討結果では、運行速度は 30km 程度と推計された。

3.3 将来交通量

中量輸送システムの将来交通量は、上記の方法で計算された。下図はその結果を示したもので、中量輸送システムの容量が無制限である場合の推計値である。PHPDT であらわした将来交通量は、Line-2A で、2015 年に 27,300 人、2045 年に 32,100 人と推計された。これは中量輸送システムの輸送量としては大きめの値である。一方、Line-2C では、2015 年に 4,600 人、2045 年に 5,700 人と推計された。



出典：JICA 調査団

図 3-3 2015 と 2045 の需要予測

表 3-5 ピーク時ピーク方向交通量

		Line-1A + Line-2A		Line-1A+2A+2B+2D		All lines	
Year		2015	2045	2015	2045	2015	2045
PHPDT	Line-1A	13,900	18,800	11,200	15,500	14,600	20,100
	Line-1B	-	-	-	-	21,400	25,900
	Line-2A	23,200	28,800	29,500	34,800	27,300	32,100
	Line-2B	-	-	26,600	29,900	23,400	26,300
	Line-2C	-	-	-	-	4,600	5,700
	Line-2D	-	-	13,400	20,000	13,200	19,800
Daily Passengers		400,000	506,000	745,000	911,000	1,109,000	1,246,000
Passenger hours (000)		88	109	270	321	355	403
Passenger kilometers (000)		2,615	3,264	7,983	9,512	10,599	12,027

Jardim Angela 駅における乗客数は、Jardim Angela 駅以南の M'Boi Mirim 道路（2 車線）の交通容量の制限を受ける。需要予測では、バスと中量輸送システムの乗り換え駅となる Jardim Angela 駅における交通処理が周辺道路網の交通容量に影響を与えないと仮定した。

3.4 シナリオ分析

3.4.1 路線別分析

提案されている中量輸送システムは、Line-1A、1B、2A、2B 及び 2D の 5 つの路線からなる。各路線がサンパウロの旅客輸送に与える影響を評価するため、それぞれの路線のみが建設された場合（例えば Line-2A のみ）の 2015 年におけるサンパウロ市内の交通量配分を実施した。各計算結果は Without ケース（中量輸送システムが建設されないケース）と比較して、各路線による人・時の減少を計算した。人・時（総旅行時間）の減少は、交通事業による便益（効果）として一般に利用されている指標の一つで本事業の効果を端的に示すものである。下図はその計算結果である。

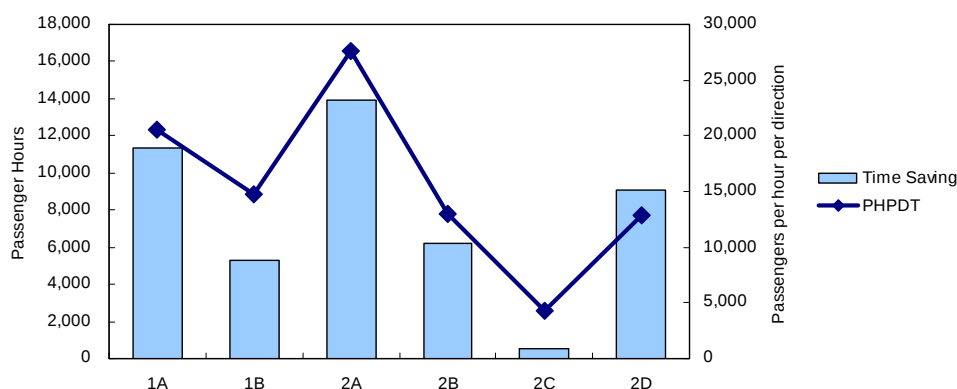


図 3-4 路線別 ピーク交通量と人・時の減少量

総旅行時間を最も減少させるのは Line-2A であり、Line-1A がそれに続く。Line-1B と 2B、2D の影響は小さく、Line-1A 又は Line-2A の半分である。Line-2C の交通量は最も小さく、旅行時間の減少効果も非常に低い。

次に、隣接する二路線の組み合わせの場合を検討した。結果は図 3-5 に示す通りである。人・時間の減少については、Line-1A と 1B、Line-1A と 2A、及び Line-2A と 2B のケースがほぼ同じ程度である。Line-1A と Line-2A を組み合わせても、図 3-4 で示した個々の人・時を単純に足した値よりかなり低い値となっているのは、図 3-4 における Line-1A と Line-2A の客層が重なっているためである。Line-2A と 2B の組み合わせで旅客数が最大となるのは、この二路線を通して利用する旅客が多い事を示す。

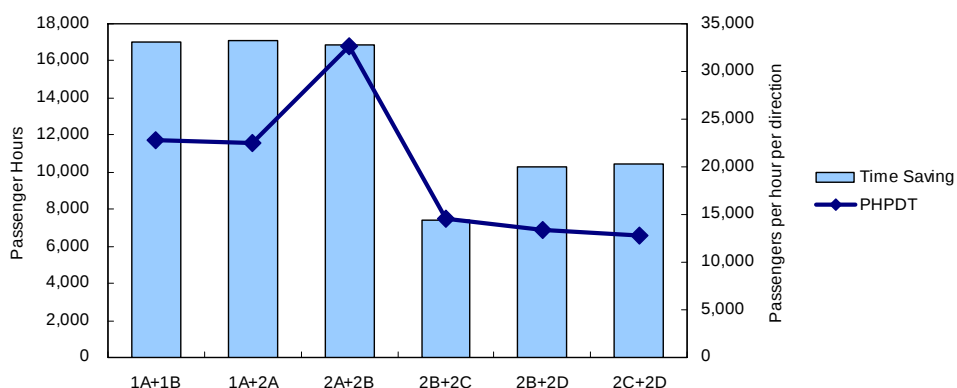


図 3-5 路線の組み合わせ(2 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量

さらに、路線を3つにした場合の人・時を計算した。この場合、下図のように Line-2A、2B、2D の3路線のケースが最も事業効果が高い。一方で、Line-2A を除いた Line-2B、Line-2C、Line-2D の組み合わせは、他の組み合わせより事業効果が低い。

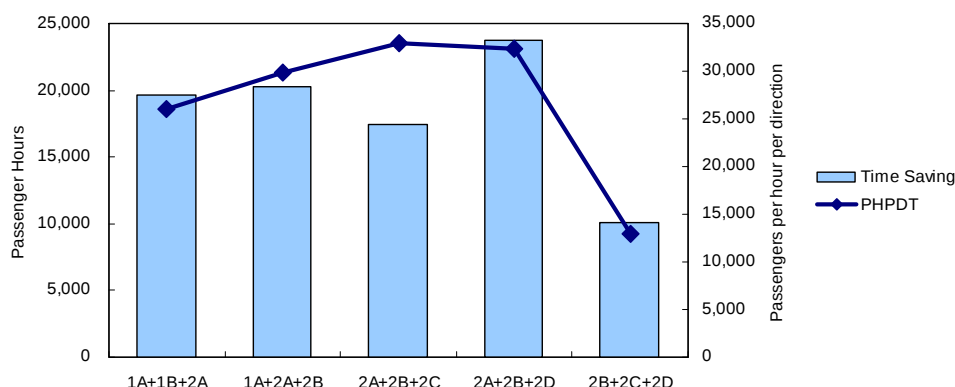


図 3-6 路線の組み合わせ(3 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量

路線の数を4にした場合、最も高い事業効果が期待できるのは、図 3-7 に示すように、Line-1A、Line-2A、Line-2B 及び Line-2D の組み合わせである。

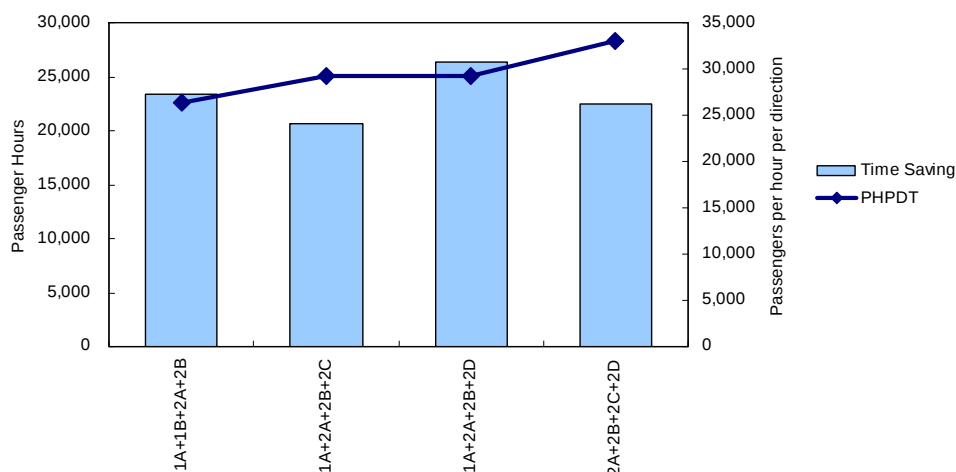


図 3-7 路線の組み合わせ(4 路線)別 ピーク時交通と人・時の減少量

以上の分析から、全部で6路線の優先順位を、2路線ずつ三期に分けるとすると、以下の組み合わせが候補となる。

第1期	第2期	第3期
1A+1B 又は 1A + 2A 又は 2A + 2B	1A + 2A + 2B + 2D	全て

第二期に1Bが含まれないことから、第1期は1A+2A 又は 2A+2B の組み合わせとなる。いずれにしても Line-2A が含まれることになり、Line-2A が最優先路線であると言える。

なお、これらのシミュレーションは初期的需要予測で利用したモデルを利用している。

3.4.2 料金の代替案

サンパウロ市内には、①バスの均一料金（R\$2.3）、②鉄道の均一料金（R\$2.55）、及び③都市間バスの距離帯別料金、の3つの料金体系がある。中量輸送システムにおける料金体系を検討するため、以下の代替案を検討した。

代替案1 中量輸送システムは、バスの料金体系に属し、バスと同じ統一料金と割引が可能である。

代替案2 中量輸送システムは、メトロと CPTM の料金体系に属し、メトロ及び CPTM と同じ統一料金と割引が可能である。

代替案3 中量輸送システムは、独立した料金体系（均一料金）を持ち、他モードとの乗り換えに割引は適用されない。

交通量配分は、EMME/3 を利用したトランジット配分で、以下の条件で計算された。

- 目標年次＝2045
- Line-2A のルート ＝M'Boi Mirim 道路上のルート(オリジナルルート)
- 走行速度＝ 33km/h
- 運行頻度＝ 1.5 分
- 輸送力＝ 29,200 人/時間/方向

下図に、料金体系代替案の検討結果を示す。Line-1B と Line-2A、及び Line-2C は、代替案2（メトロと CPTM の料金体系）の時に断面交通量が代替案1（バスの料金体系）より多くなる。これらの路線は、メトロと接続し、出発地から到着地までの移動の中でメトロへの乗り換えが必要となる乗客を多く運んでいる。一方で、バスとの接続がより重要になるのが、Line-1A、2B 及び 2D である。代替案3（独立料金）の場合は、Line-2A と 2B を除き、交通量が他の代替案より低い。独立料金の場合、乗換料金を避けるため、Line-2A と 2B を通しで通る交通量が多くなる。

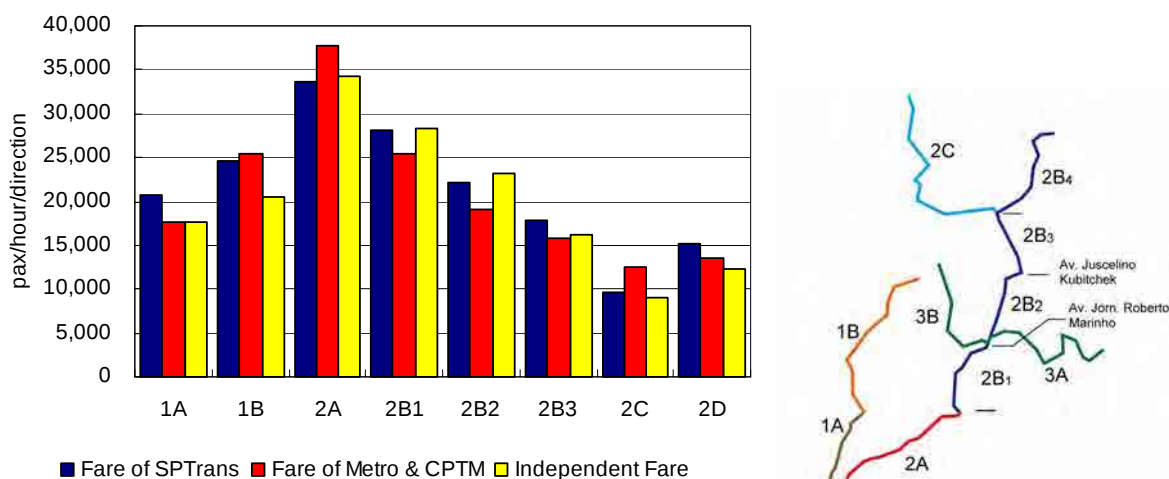
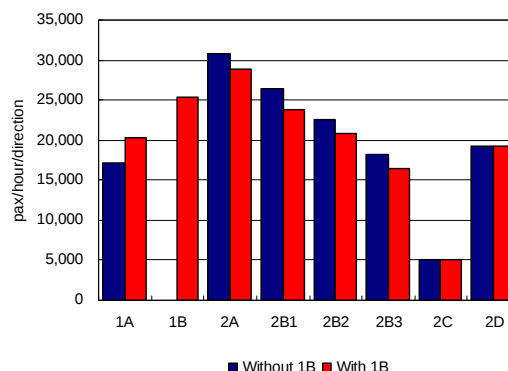


図 3-8 料金体系の代替案分析

3.4.3 Line-1B の影響

Line-1B は調査対象路線には含まれていないが、2009 年 10 月に市が正式発表したモノレール建設区間に含まれており、その効果を考慮する必要がある。Line-1B は、メトロ 4 号線（イエロー線）の主要なフィーダー線と想定されるため、高い交通需要が見込まれる。図 3-9 は、Line-1B がある場合とない場合の比較である。Line-1B は、Line-1A の交通量を増加させる一方、Line-2A と 2B の交通量を減少させる。

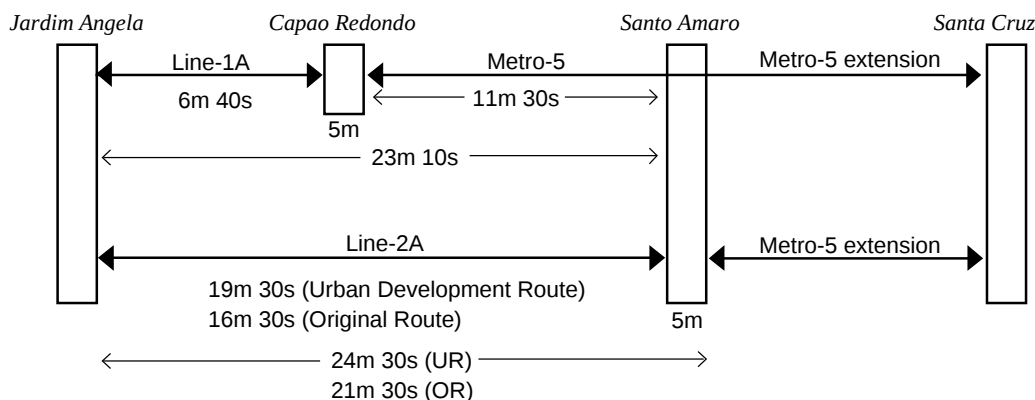


3.4.4 Line-1A と 2A の分担

図 3-9 Line-1B の影響

3.4.1 で示したように、Line-1A と 2A の旅客は重複する。需要予測の中で、朝のピーク時に Jardim Angela から Santo Amaro 方向に行く旅客の起終点を分析したところ、およそ 40%の旅客は Jardim Angela からの移動で、残りの 60%は Jardim Angela 駅と Santo Amaro 駅の途中からの乗客であった。

Jardim Angela と Santo Amaro の間には、Line-2A を使う場合と、Line-1A とメトロ 5 号線（ライラック線）を使う場合の二つのルートがある。利用者にとっては、前者のルートの方が旅行時間も短く料金も安いので好ましい。一方、下図に示すように、Santo Amaro 以遠を目的地とする場合は、Santo Amaro 駅における乗り換え時間のため、ほとんど同じ時間となり、また料金も同じとなる（両経路とも中量輸送システムとメトロの間の乗換が必要）。



出典：JICA 調査団

図 3-10 Santo Amaro と Jardim Angela 間の旅行時間

需要予測は、オリジナルルートを対象に行った。地域開発案の場合、Jardim Angela から中心部に行くには、Line-1A 経由の方が Line-2A 経由より早くなるため、Line-1A の予測交通量が増加して Line-2A では減少する。Line-2A の需要予測は、2045 年に 31,200 PHPDT で、中量輸送システムとしてはやや大きめである。一方、上記の 40%の交通のうち、4 分の 1 の交通を Line-1A に振り分けるとすると、Line-2A の交通量は 28,100 PHPDT となり、中量輸送システムに適した交通量となる。

第4章 路線および輸送計画

4.1 路線計画

4.1.1 ネットワーク

CPTM とメトロの既存路線および将来路線と、本調査で提案する中規模輸送システムの路線を含む鉄道ネットワークを図 4-1 に示す。提案システムの Line-1, 2A, 2B, 2C および 2D の路線案は、旅客需要量、軌道の導入空間、支障物の存在の有無、環境への影響を考慮して検討する。

路線計画の前提条件を以下に示す。

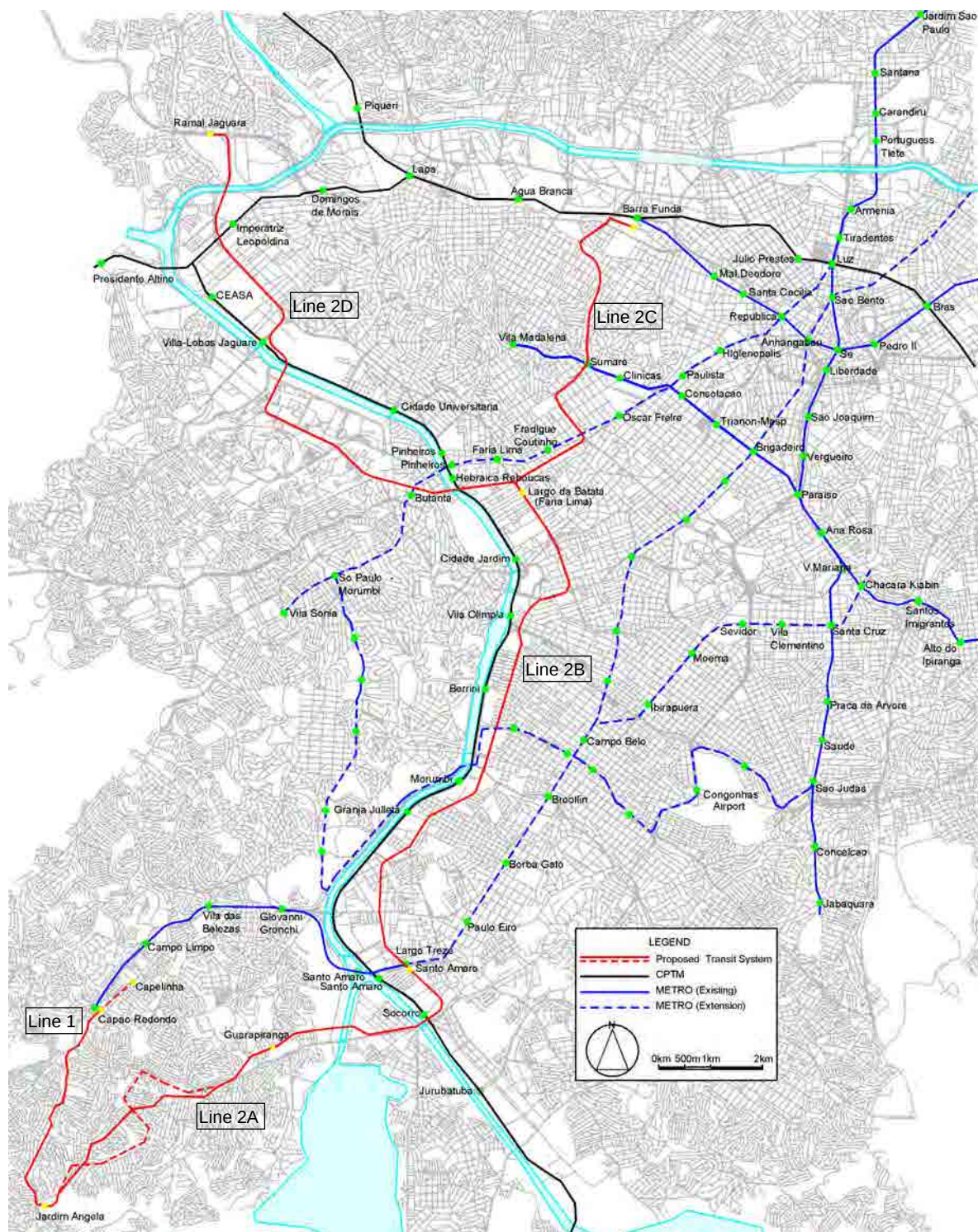
- 1) 基本的に、軌道は、幹線道路の中央分離帯に橋脚を建て、道路上空の公共スペースに導入される。用地取得を最小化するために、路線の導入には広幅員の道路を選択することが望ましい。なお、このような高架構造物は、トンネルに比べて建設費が安い。
- 2) 旅客需要の観点から、路線は、将来の需要に適応した輸送力を提供する必要がある。30km/時以上の表定速度による高頻度運転のための理想的な線形として、以下の条件を考慮する。

軌道： 複線、右側通行

平面線形： 曲線半径は大きくすることが望ましい。基本的に、本線の最小曲線半径は 100m とする。やむを得ない場合は、50m まで小さくできる。

縦断勾配： 基本的に、本線の最急勾配は 6.0% とする。やむを得ない場合は、1 駅間を超えない範囲で、8.0% の勾配を適用する。

- 3) 自然環境および社会環境の観点から、環境に悪影響を与えない路線、あるいは、対策を講じることにより悪影響を回避しうる路線を適用する。



出典：JICA 調査団

図 4-1 路線案

4.1.2 各ラインの路線案

(1) Line-1

Line-1 は、Jardim Angela から Capao Redondo を経て Capelinha に向かう約 5km の区間を前提に検討する。Jardim Angela では、幹線道路 M'Boi Mirim 沿いにバスターミナルがある。Capao Redondo は、Capelinha から約 800m 南西に位置し、メトロ 5 号線の駅をもつ。Capelinha には、メトロ 5 号線の沿線にバスターミナルがあるがメトロの駅は無く、ここではバスとメトロは結節していない。メトロ 5 号線は、2009 年現在、Capao Redondo から Santo Amaro 間で営業しており、更に、メトロ 1 号線の Santa Cruz 駅に向けての延伸工事が進められている。メトロ 5 号線の延伸区間と、本調査で提案する Line-1 が開業することにより、Jardim Angela、Capao Redondo、Santo Amaro の各地域が、セントロ地区と軌道系輸送システムで結ばれることとなる。

Jardim Angela の現在のバスターミナルは、その大きな需要量に比べて敷地面積が狭いため、SPTrans では、新しいバスターミナルの建設を計画している。新バスターミナルの位置は、現在のバスターミナルから M'Boi Mirim 沿いに南西に約 400m 離れた丘の上である。Jardim Angela の Line-1 の駅は、BRT との結節を考慮し、新バスターミナルの位置に設けることになる。

Line-1 には、Capao Redondo を起点に Vila Sonia への将来延伸計画がある。延伸時には、Capao Redondo から Capelinha 間は廃線となる可能性が高い。更に、SPTrans では、現在の Capelinha のバスターミナルを Capao Redondo に移設し、バスとメトロとの結節を計画している。このため、Line-1 は、Capao Redondo から Capelinha 間の 800m を除き、Jardim Angela から Capao Redondo 間の 4.2km の区間とする。

Line-1 の軌道構造物は、中央分離帯を持たない 4 車線の Av. Simao Caetano Nunes, Abilio Cesar, Av. Ellis Maas の道路上空、および Av. Comendador Santana と並行に流れる河川の上空の空間に建設される。

(2) Line-2A

Line-2A は、中央分離帯をもつ 6 車線の幹線道路である M'Boi Mirim に沿い、Jardim Angela と Santo Amaro とを結ぶ約 10km の路線である。この 6 車線のうち、中央の 2 車線は、BRT の専用レーンとして使用されている。Line-2A は Jardim Angela で Line-1 と接続し、また、Santo Amaro ではメトロ 5 号線と CPTM 9 号線に結節する。

Line-2A の地形は、Jardim Angela から Santo Amaro に向けて下り勾配となる。特に、山の尾根を伝う 2.5km から 5km 地点の区間では約 6% の急勾配となる（ここで、Jardim Angela を起点 0km とする）。5km から 7km の区間では、Line-2A は、Guarapiranga バスターミナルの北側を流れる河川上に導入される。この河川では、提案システムの建設に先立ち、サンパウロ市による河川改修事業が計画されている。さらに、Line-2A は、Guarapiranga 川、Pinheiros 川と CPTM 9 号線を越えて Santo Amaro に至る。また、Guarapiranga 川脇の遊休地に、提案システムの車両基地を建設する。

Line-2A には 2 つの代替案があり、一つは上述のとおり幹線道路 M'Boi Mirim を通過する案（オリジナルルート）、もう一つは、沿線の再開発をコンセプトとして、M'Boi Mirim から左右に 500m 程度の範囲で路線を蛇行させる案（地域開発ルート）である。地域開発ルートの路線長は 11km である。

(3) Line-2B

Line-2B は、Largo da Batata と Santo Amaro とを結び、南北方向の新たな交通軸をなす 11km の路線である。路線が導入される幹線道路は、8 路線以上の幅員があり、広い中央分離帯には街路樹が豊かに育っている。

一方、Line-2B の南側 2km の区間に相当する Santo Amaro から Av. Dr. Chucri Zaidan 間には、中規模輸送システムの導入に適した街路が現存しない。しかし、この区間にはサンパウロ市のマスタープランにおいて幅員の広い道路の新設が計画されている。提案システムは、この道路空間上に導入されることになる。

(4) Line-2C

Line-2B の北端の Largo da Batata にて、提案路線は Line-2C と Line-2D に分岐する。Line-2C は、Largo da Batata からサンパウロ墓地の東側を通り Barra Funda に結ぶ 7.2km の路線である。Barra Funda には、メトロ 3 号線、CPTM 7 号線、8 号線が発着する駅がある。

地形的な特徴として、Av. Paulo VI と Av. Sumare は、サンパウロ墓地と Barra Funda 間の丘陵を越えるために勾配をもつ。丘の頂上には、Av. Sumare を横断する 2 層の高架橋が架かっている。上層は、Av. Dr. Arnaldo が通る道路橋であり、下層はメトロ 2 号線の Sumare 駅を兼ねる鉄道橋である。

Av. Sumare は、メトロ 2 号線 Sumare 駅周辺において、広い中央分離帯と 8 車線の車道をもつ。さらに、中央分離帯の両脇には、二輪車用の車線がある。中央分離帯では街路樹が豊かに育っている。Av. Sumare の一部は、開発が規制される文化保存特別地域に属しており、中央分離帯の樹木もその保護対象に含まれる。

(5) Line-2D

Line-2D は、Largo da Batata から Ramal Jaguara を結ぶ 11.6km の路線であり、Pinheiros 川と Tiete 川を渡るために 3 箇所で架橋を必要とする。

(6) 将来延伸区間 (Line-1B)

2009 年 12 月 1 日のサンパウロ市長の発表によれば、Line-1 は、路線の北端の Capao Redondo から Campo Limpo を経て Vila Sonia に向けた北方への延伸が企図されている。以降、この延伸区間を Line-1B と称する。

Line-1B は、11km の路線であり、路線の両端ではメトロの駅と接続する。Capao Redondo にはメトロ 5 号線、Vila Sonia にはメトロ 4 号線の駅がある。

4.1.3 駅配置の考え方

駅位置は、旅客の利便性と安全性を考慮して計画する。駅の配置場所では、スペースの確保と、適切な線形の設定が必要である。さらに、駅は、安全な列車運行のために、傾斜の無い平坦な区間に設けることが望ましい。

駅の配置計画における前提条件を以下に示す。

- 1) 旅客の利便性の観点から、駅は密度の高い住宅地域、商業施設もしくは業務地区に近接した位置に設けることが望ましい。
- 2) 公共福祉の観点から、駅は大規模な病院や学校へのアクセスを重視する。
- 3) メトロ、CPTM、BRT と組み合わせてサンパウロの公共輸送ネットワークを構築するために、提案システムの駅を鉄道駅やバスターミナルの近くに設ける。
- 4) 運行の効率化を図り、沿線の需要を満たすために、駅間距離は 600m～1,500m とする。
- 5) 用地取得を回避するために、駅は幅員の広い道路上に設けることが望ましい。
- 6) 駅部の線形は、以下の条件によるものとする。

平面線形： 駅部は直線とすることが望ましい。基本的に、駅部の平面曲線は R=300m 以上とする。

縦断線形： 駅部は平坦とすることが望ましい。基本的に、駅部の最急勾配は 0.5% とする。

4.1.4 ライン毎の駅配置

表 4-1 から表 4-6 に、各ラインの駅配置を示す。

表 4-1 Line-1 の駅配置

駅名 キロ程	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
L1-1(2A-1) 0+000	775m	Jardim Angela 新バスターミナル	バスターミナル 病院
L1-2 0k810m		R. Abilio Cesar に平行する地点	
L1-3 1k450m	625m	R. Abilio Cesar に平行する地点	
L1-4 2k150m	765m	Av. Comendador Santana 沿いの河川上	交差点
L1-5 2k950m	785m	Av. Comendador Santana 沿いの河川上	
L1-6 4k150m	1200m	Av. Ellis Maas	メトロ5号線 Capao Redondo 駅

出典：JICA 調査団

表 4-2 Line-2A オリジナルルート駅の駅配置

駅名	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
キロ程			
2A-1 (1-1)	(725m)	Jardim Angela バスターミナル前	バスターミナル 病院
0k050m		病院の後背地	バスターミナル 病院
2A-1a (Future)			
0k800m	(895m)	幹線道路 M' Boi Mirim	
2A-M2	765m		
1k500m		幹線道路 M' Boi Mirim	学校
2A-M3	1200m		
2k450m		幹線道路 M' Boi Mirim	
2A-M4	1350m		
3k650m		幹線道路 M' Boi Mirim	
2A-M5	1070m		
4k970m		Ponte Baxia 川	Guarapiranga バスターミナル
2A-8	750m		
6k070m			学校 車両基地
2A-9	1100m		
6k970m		Guarapiranga 地区	
2A-10	890m		
8k020m		Guarapiranga (Pinheiros 川)	CPTM Socorro 駅
2A-11	(810m)		
8k920m		Guarapiranga (Pinheiros 川)	CPTM Socorro 駅
2A-11a (Future)	(380m)		
9k720m		Santo Amaro バスターミナル	Santo Amaro バスターミナル、メトロ 駅、CPTM 駅
2A-12			
10k110m			

出典：JICA 調査団

表 4-3 Line-2A 地域開発ルートの駅配置

駅名	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
キロ程			
2A-1 (1-1)	(735m)	Jardim Angela バスターミナル前	バスターミナル 病院
0k050m		病院の後背地	バスターミナル 病院
2A-1a (Future)			
0k800m	(800m)	M'Boi Mirim との交差位置	
2A-2	1015m		
1k600m		885m	
2A-3			
2k600m	700m	M'Boi Mirim との交差位置	教会
2A-4			
3k500m	1015m		
2A-5			
4k200m	1165m		
2A-6			
5k200m	1070m	M'Boi Mirim	
2A-7			
6k350m	750m	Ponte Baxia 川	Guarapiranga バスターミナル
2A-8			
7k450m	1100m		学校 車両基地
2A-9			
8k350m	890m	Guarapiranga 地区	
2A-10			
9k400m	(810m)	Guarapiranga (Pinheiros 川)	CPTM Socorro 駅
2A-11			
10k300m	(380m)	Guarapiranga (Pinheiros 川)	CPTM Socorro 駅
2A-9a (Future)			
11k100m		Santo Amaro バスターミナル I	Santo Amaro バスターミナル、メトロ駅、 CPTM 駅
2A-12			
11k490m			

出典：JICA 調査団

表 4-4 Line-2B の駅配置

駅名 キロ程	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
2B-1 0k000m	900m	Santo Amaro バスターミナル	Santo Amaro バスターミナル、 メトロ駅、CPTM 駅
2B-2 0k900m		サンパウロ市 M/P 計画道路	
2B-3 1k450m	550m	サンパウロ市 M/P 計画道路	Joao Dias バス コリドー
2B-4 2k550m	1085m	サンパウロ市 M/P 計画道路	
2B-5 3k800m		サンパウロ市 M/P 計画道路	
2B-6 4k750m	860m	Av. DR.Chucri Zaidan	Shopping Morumbi (商業施設) CPTM 駅
2B-7 5k400m		Av. DR.Chucri Zaidan	業務施設
2B-8 6k600m	1150m	Av. Engenheiro Luis Carlos Berrini	業務施設
2B-9 7k250m		Av. Engenheiro Luis Carlos Berrini	業務施設
2B-10 7k950m	750m	Av. Chedid Jafet	CPTM 駅
2B-11 8k850m		Av.Presidente Juscelino Kubitschek	業務施設
2B-12 9k700m	995m	Av. Brig Faria Lima	業務施設
2B-13 10k600m		Av. Brig Faria Lima	業務施設
2B-14 11k290m	690m	Av. Brig Faria Lima	業務施設

出典：JICA 調査団

表 4-5 Line-2C の駅配置

駅名 キロ程	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
2C-1(2B-14) 12k000m	1000m	Av. Brig Faria Lima	業務施設
2C-2 13k000m		Reboucas	メトロ 4 号線の駅
2C-3 14k150m	1150m	Henrique Schaumann	サンパウロ墓地
2C-4 14k950m	800m	Av.Sumare	住宅地
2C-5 15k700m		Av.Sumare	メトロ 2 号線 Sumare 駅 住宅地
2C-6 16k350m	605m	Av.Sumare	住宅地
2C-7 17k200m		Av.Sumare	住宅地
2C-8 18k250m	1065m	Av.Antartica	サッカースタジアム
2C-9 19k225m		Av.Auro Soares De Moura Andrade	メトロ、CPTM Barra Funda 駅

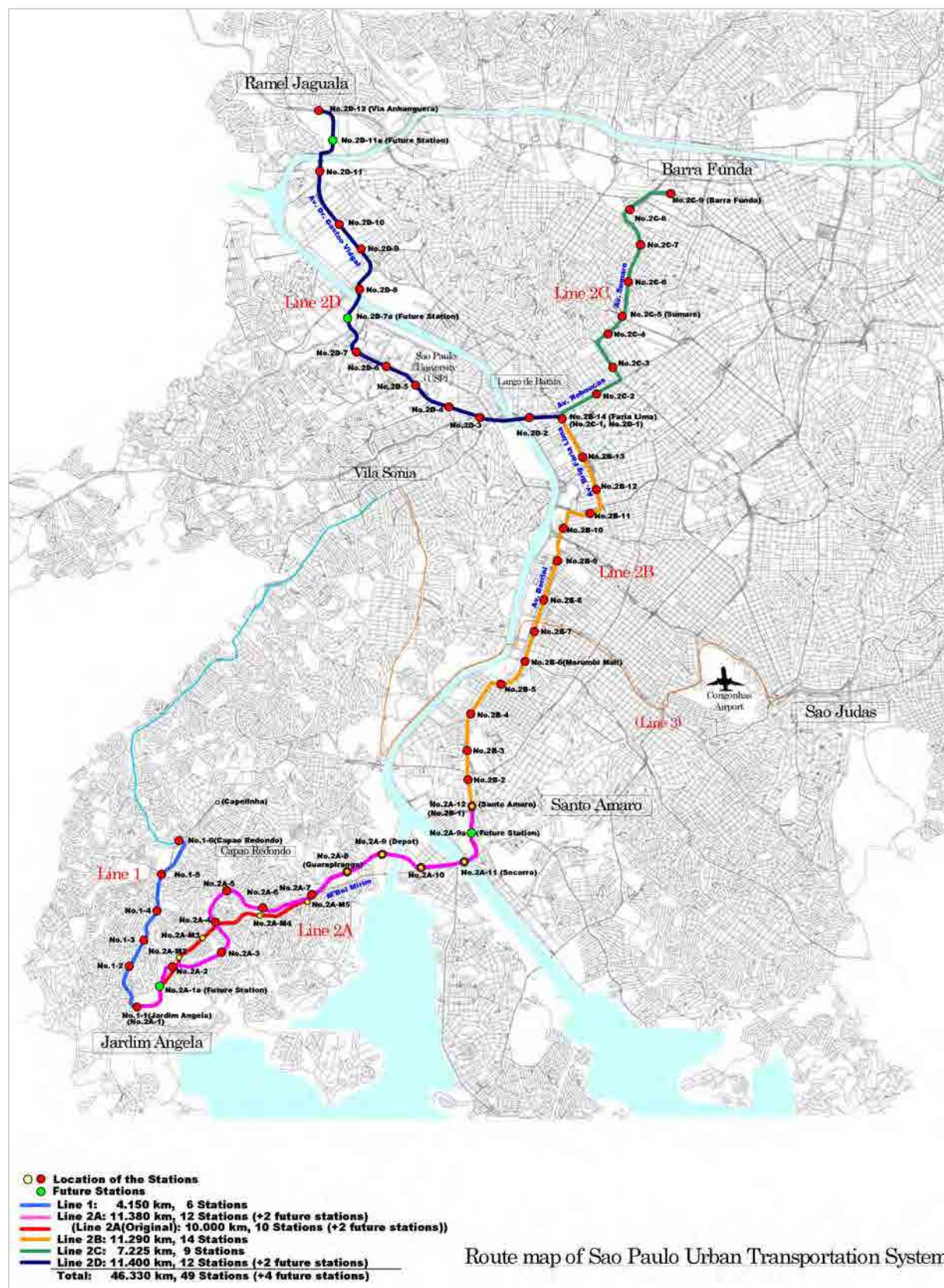
出典：JICA 調査団

表 4-6 Line-2D の駅配置

駅名 キロ程	駅間距離 (m)	駅位置の概要、道路名等	周辺施設
2D-1(2B-14) 12k000m	830m	Av. Brig Faria Lima	業務施設
2D-2 12k830m		Av.Eusebio Matoso	
2D-3 13k850m	1020m	Av.Waldemar Ferreira	メトロ 4 号線 Butanta 駅
2D-4 14k550m	715m	Av.Afranio Peixoto	
2D-5 15k450m	885m	Cidade Universitaria (大学市)	サンパウロ大学
2D-6 16k250m	650m	Cidade Universitaria (大学市)	サンパウロ大学
2D-7 16k950m		Cidade Universitaria (大学市)	サンパウロ大学
2D-7a (Future) 17k700m	(870m)	Av. Escola Politecnica	サンパウロ大学
2D-8 18k570m	(765m)	Av.Das Nacoes	CPTM 駅
2D-9 19k690m		Av.Dr. Gastao Vidgal	Vila Leopuldina 地域工業施設
2D-10 20k480m	790m	Av.Dr. Gastao Vidgal	Vila Leopuldina 地域工業施設
2D-11 21k800m	1285m	Av.Dr. Gastao Vidgal	
2D-11a (Future) 22k300m		Av.Federico Fellini	
2D-12 23k375m	(950m)	Via Anhanguera	

出典：JICA 調査団

図 4-2 に各ラインの駅位置を示す。



出典：JICA 調査団

図 4-2 駅位置

4.2 システム選定

4.2.1 導入システムの要件

導入システムの選定にあたっては、輸送需要、路線の条件、上位計画等との整合性などを考慮する必要がある。

需要予測の結果（表 4-7）によれば、Line-2C 以外の路線では将来的に片方向 20,000 人/時を超える輸送力が必要であり、特に Line-2A と Line-2B では片方向 30,000 人/時近い輸送力が必要になる。

表 4-7 各路線のピーク時ピーク方向輸送需要(人/時)

路線	Line-1	Line-2A	Line-2B	Line-2C	Line-2D
2015 年	14,600	27,300	23,400	4,600	13,200
2045 年	20,100	32,100	26,300	5,700	19,800

出典：JICA 調査団

この輸送需要を満たすには、自動車交通とは分離した専用の空間を利用するシステムが必要である。BRT でこの需要を満たすには、片側 2 車線以上の広幅員道路が必要であるが、対象路線で BRT のためにそれだけの空間を確保することは、地上はもちろん、高架方式でも現実的ではない。

このため都市鉄道の導入が考えられるが、上記路線のうち Line-1 と Line-2A は高低差が大きく、鉄輪で走行可能な勾配で線路を通す事は難しい。また、Line-2B と Line-2C は市街地の街路を通り、カーブや道路空間の制約条件が厳しい区間もある。このため、都市鉄道を高架で導入することは難しい。Line-2B と Line-2C では地下鉄も考えられるが、輸送需要の規模から判断すると経済的ではない。

これら地形的制約と、地下鉄とするにはやや小さな需要という点から、都市鉄道の導入には困難が予想される。一方、次節で記述する中規模輸送システムは、輸送需要を満たすことが可能であると同時に、地形的制約にも対応可能である。

都市鉄道については、PITU 2020 の中に整備計画があり、今回の対象路線は含まれていない。これに対して、市の計画（PDE）では今回の対象路線は市が整備する公共交通路線として計画されているため、都市鉄道の導入には全体的な計画の見直しが必要となる。

以上のことから、対象路線については、中規模輸送システムの導入が推奨される。

一方、Line-2C の輸送需要は 2015 年に 4,600 人/時程度であり、BRT による輸送に適している。しかしながら、Line-2B と同じシステムを導入することで効率的な運行が可能となり、経済性が良くなる可能性もあるため、中規模輸送システムとして検討する。

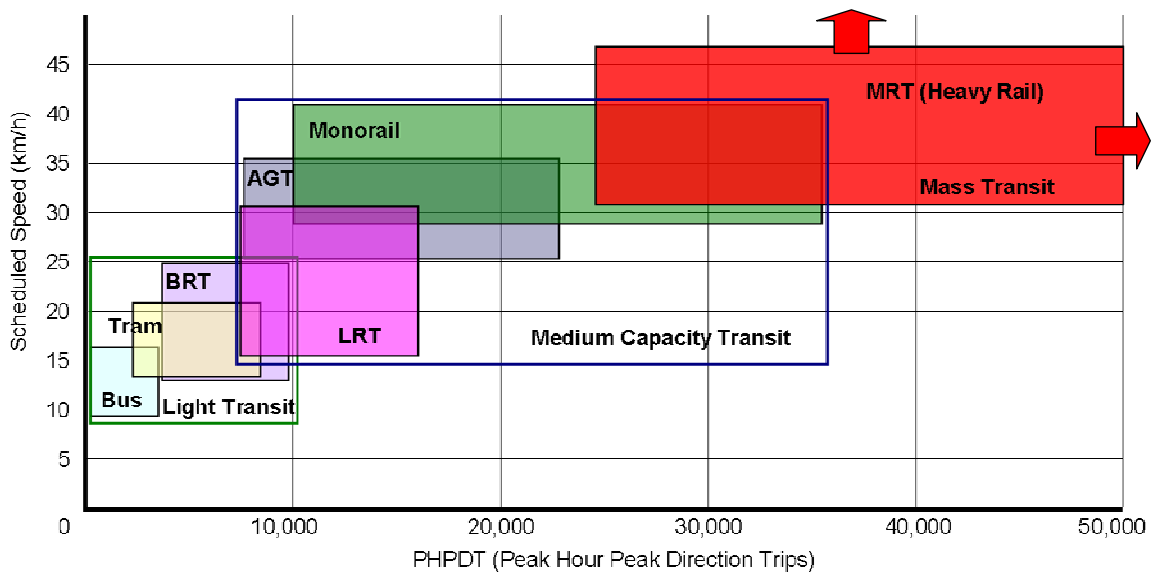
中規模輸送システムにはいくつか種類があり、必ずしも全てのシステムが適しているというわけではなく、最終的にはモノレールが最適システムをして選定されている。次節では、その選定過程を記述する。

4.2.2 中規模輸送システムの概念

多種多様な都市交通システムが運行されている国を除き、多くの国では、バスと鉄道が公共輸送手段の主役を担っている。これらの国では、バスと鉄道との輸送力の隙間を埋めるために、BRT システムが導入されている。BRT は近年、世界中の多くの都市に広まり、成功を収めている。しかしながら、BRT はバスがベースであるため、輸送力に限界がある。輸送力を増加させるために接続バスや2 連接バスが運用されているが、BRT では、バスと鉄道との輸送力の隙間を埋められてはいない。このため、世界中の多くの都市では、BRT より大きな輸送力を持ち、都市交通システムの一翼を担う中規模輸送システムを必要としている。

いくつかの国々で運行されている中規模輸送システムには、LRT(light rail transit)、新交通システム(AGT: automated guideway transit)、モノレール（跨座型および懸垂式）、常電導磁気浮上システム、リニアメトロなど様々なタイプがある。しかし、これらの国々は非常に限定される。

製造会社と運行実績が限定されるため、常電導磁気浮上システム（日本国内では HSST システムが該当）は、本調査の検討対象から除く。本調査の検討対象は、輸送力が 8,000 ～36,000PHPDT(PHPDT: ピーク時ピーク方向輸送量)の範囲にある LRT, AGT, モノレール、リニアメトロとする。



出典：JICA 調査団

図 4-3 都市交通システム- システム選定チャート

輸送力は、PHPDT と表定速度の組み合わせで表される。PHPDT は、ピーク時間、ピーク方向の旅客数を意味する。表定速度は、駅の停車時間を含んだ平均速度である。

同じ中規模輸送システムとして分類されるが、モノレールと AGT, LRT とでは、PHPDT と表定速度に違いがある。LRT が自動車交通と同じ地上に導入された場合、道路交通信号のため、高い表定速度を維持するのは困難である。AGT は、車体がモノレールよりも小さいため、その輸送力は、一般的にモノレールよりも小さい。

4.2.3 サンパウロの公共輸送システムの輸送力

1974 年のサンパウロメトロ 1 号線の建設当時、同システムは 6 両編成列車の運行が計画され、地下駅は 6 両編成に合わせて建設された。続いて、3 号線(1979 年, 1988 年)、2 号線(1991 年)も同様の規格で建設された。

列車の長さが限られているため、サンパウロメトロは需要量が予想値を上回った段階で、運転間隔の短縮による輸送力の増強を企図した。昨今、サンパウロメトロでは、ピーク時の 90 秒間隔の運行を試行し、そして更に移動閉塞の導入による 76 秒間隔の運転を計画している。運転間隔の短縮により PHPDT は増加したが、路線そのものの混雑により、表定速度は低下した。運転間隔の短縮の試みの理由のひとつは、プラットフォームのスペースが限られていることにある。サンパウロメトロは、旅客が駅のホームから溢れるのを避けるために、旅客を列車に移す必要がある。

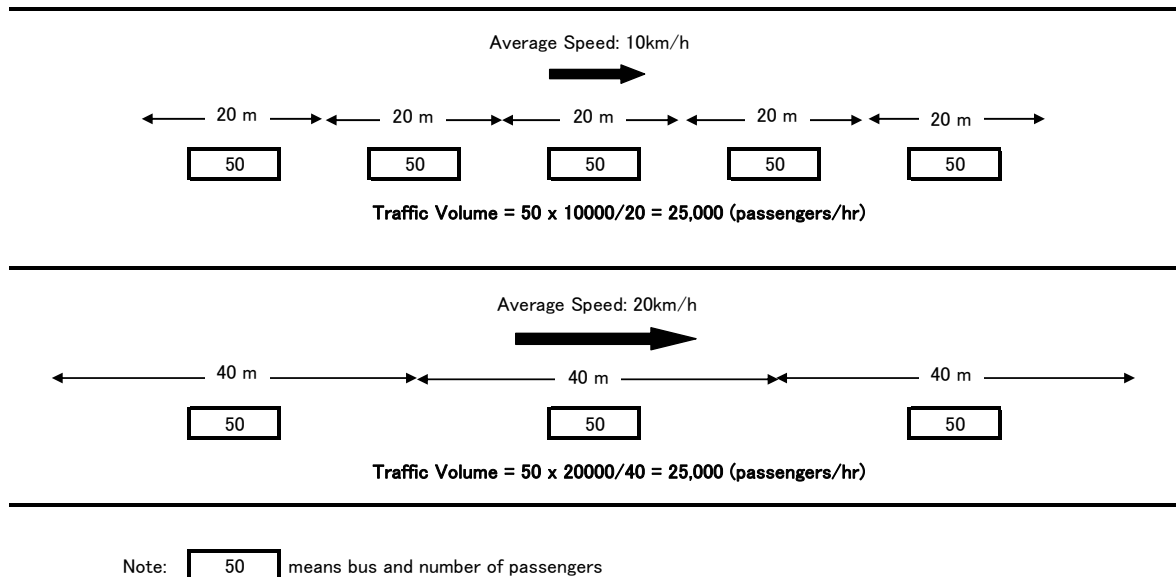
同様の現象が幹線道路にて運行されている BRT でも見ることが出来る。Line-2A (Jardim Angela~Santo Amaro 間) を運行する BRT の輸送量は、朝ピーク時に約 25,000PHPDT と報告されている。しかし、図 4-4 に示される道路混雑の影響により、表定速度は 10km/時以下である。言い換えれば、表定速度が極めて低いため、PHPDT が 25,000 に達したと言える。



出典：JICA 調査団

図 4-4 M'Boi Mirim の朝ピーク時の混雑状況

この現象は、次の簡略化したモデルで説明できる。



出典：JICA 調査団

図 4-5 BRT の表定速度と PHPDT

旅客が 50 人乗車しているバスが、10km/時の速度で 20m 間隔(7.2 秒毎)に走行している場合、この断面での PHPDT は次のとおり算出される。

- $\text{PHPDT (10km/時)} = 50 \text{ (人/台)} \times 10 \text{ km} / 20 \text{ m} = 25,000$

この場合、旅客人キロは 250,000 人キロである。

同じバスが平均速度 20km/時で 40m 間隔(7.2 秒毎)に走行している場合、PHPDT は次のように求まる。

- $\text{PHPDT (20km/時)} = 50 \text{ (人/台)} \times 20 \text{ km} / 40 \text{ m} = 25,000$

この場合、表定速度が高いため、旅客人キロは 500,000 人キロとなる。

上記の計算は、PHPDT が同じでも、輸送人キロの観点からは表定速度の変化により輸送力が異なることを表している。現在、Jardim Angela～Santo Amaro 間の道路混雑は、道路の容量を超える多くのバスが存在するためと考えられる。

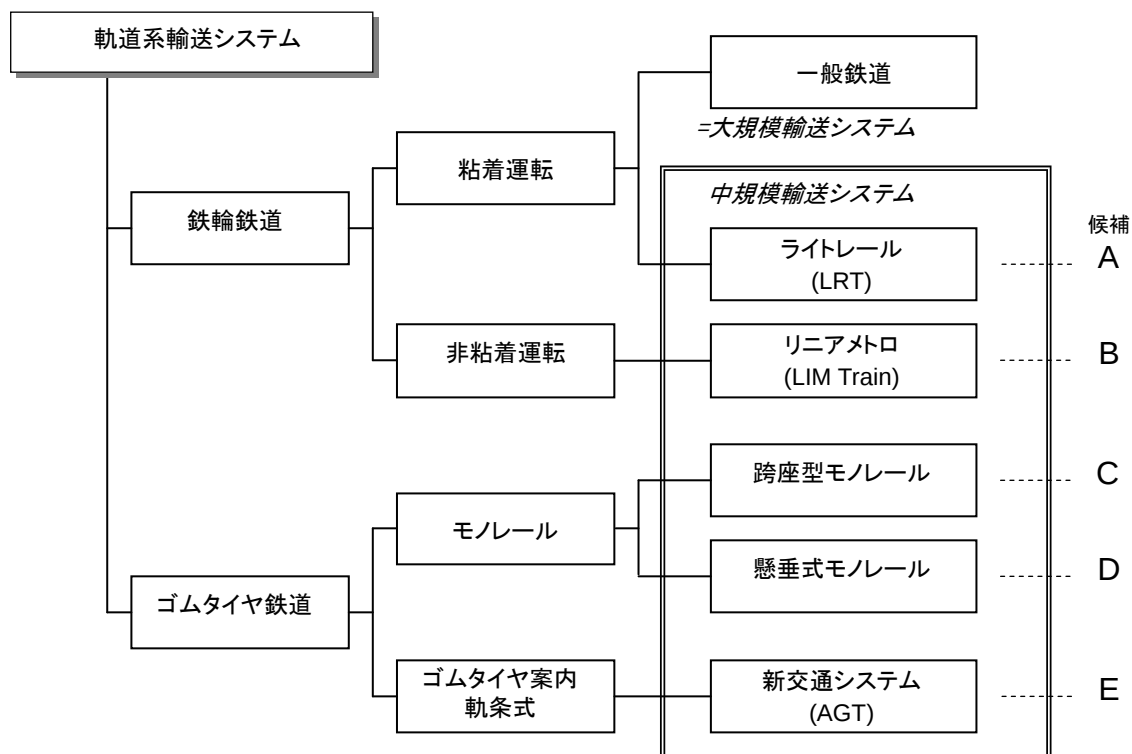
都市交通システムを計画するための別の指標として、乗客の密度がある。サンパウロメトロによれば、立席定員の設計値は、最大 6 人/平方メートルである。朝ピーク時における実際の目視調査でも、この密度での輸送が行われている。しかしながら、CPTM の列車では、運転間隔が大きく輸送距離が長いために、より高い密度で運転されている。CPTM によれば、いくつかの断面において、時々、密度は 10 人/平方メートルを超えている。

上述したサンパウロにおける現象に基づき、中規模輸送システムを計画する際には、列車の輸送能力の設計にあたり、次の要因を考慮する必要がある。

- 将来需要
- 運転間隔
- 立席定員の密度(人/平方キロメートル)

4.2.4 導入システムの候補

世界中の複数の都市に導入されている軌道系輸送システムは、図 4-6 に示すように分類される。このうち、サンパウロに導入される中規模輸送システムは、図中の候補 A～E の中から選定される。



出典：JICA 調査団

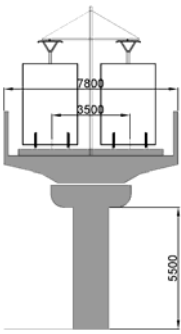
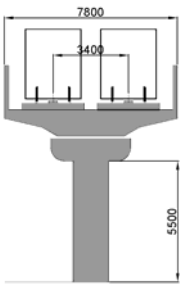
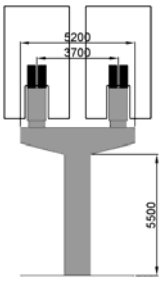
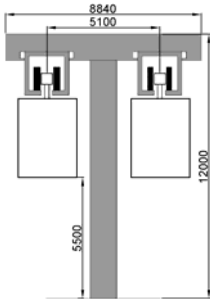
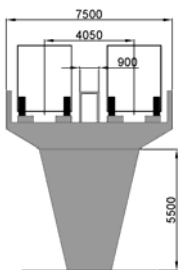
図 4-6 中規模輸送システムの候補

4.2.5 適用可能なシステムの選定

輸送システムの軌道は、主に道路の中央分離帯に橋脚を建て、道路上空の空間に導入される。駅舎も同様に、道路上空の空間に高架構造物として建設される。平均駅間距離はメトロよりも短く、約 880m である。

各候補の特徴と輸送能力を表 4-7 および表 4-8 に示す。

表 4-8 各候補の特徴

	外観	軌道構造の例	摘要
A	LRT 		特徴: 軌道は、地上の車道内あるいは専用軌道敷に設置される。また、高架上や地下への導入も可能である。 構造物: 高架の場合、軌道構造物は、コンクリート床版と鉄レール、および橋脚で構成される。電車線のための架線柱を必要とする。
B	リニアメトロ 		特徴: 推進力は、台車に装備されたリニアモーターと、地上側に設置されたリアクションプレートにより発生する。鉄輪と鉄レールは、ガイドと荷重の支持を分担する。 構造物: 軌道構造物は、コンクリート床版と鉄レール、リアクションプレート、および橋脚から構成される。リアクションプレートは、左右のレール間に正確に設置される必要がある。第三軌条を用いる場合、架線柱は不要となる。
C	跨座型モノレール 		特徴: 車両は、高架の軌道桁を跨ぎ、ゴムタイヤで走行する。 構造物: コンクリート製の橋脚の上に I 型または箱型のスレンダーな軌道桁を載せたシンプルな構造である。駅と分岐部を除き、コンクリート床版は必要としない。電車線は、軌道桁の両側面に設置される。
D	懸垂式モノレール 		特徴: 車両は、軌道桁から吊り下げられ、軌道桁内の走行面をゴムタイヤで走行する。 構造物: 軌道構造物は箱型の軌道桁である。車両を懸垂するため、構造物の高さは、他のシステムより高い。駅部を除き、床版は必要としない。一般的に、軌道桁は鋼製である。電車線は、軌道桁内に設置される。
E	新交通システム 		特徴: 車両は、コンクリート床版上の専用軌道をゴムタイヤで走行する。 構造物: 軌道構造物は、コンクリート床版と橋脚からなる。走行面は、正確に設置される必要がある。電車線は軌道の側面に設置される。

出典：JICA 調査団

表 4-9 走行性能と輸送能力

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
諸寸法					
車両寸法 (L x W x H) (m)	53.4 x 2.45 x 3.65 (9 両編成列車)	16.0 x 2.50 x 3.15 (車両あたり)	15.0 x 2.98 x 5.2 (車両あたり)	15.0 x 2.65 x 4.8 (車両あたり)	9.0 x 2.47 x 3.34 (車両あたり)
列車長 (m)	53.4m / 9 両編成	96m / 6 両編成	90m / 6 両編成	90m / 6 両編成	54m / 6 両編成
軸重・軸数	10 tons (100KN) 10 軸 / 9 両	11 tons (110KN) 4 軸 / 車両	11 tons (110KN) 4 軸 / 車両	8.5 tons (85KN) 4 軸 / 車両	9 tons (90KN) 2 軸 / 車両
本線上の走行性能					
最小曲線半径	R=20m	R=100m	R=50m	R=50m	R=50m
最急勾配	i = 40‰	i = 60‰	i = 60‰	i = 60‰	i = 60‰
輸送力					
列車定員	430 人 / 9 両	980 人 / 6 両	1,000 人 / 6 両	710 人 / 6 両	470 人 / 6 両
PHPDT 運転間隔 3 分	8,600 PHPDT	19,600 PHPDT	20,000 PHPDT	14,200 PHPDT	9,400 PHPDT
運転間隔 2 分	12,900 PHPDT	29,400 PHPDT	30,000 PHPDT	21,300 PHPDT	14,100 PHPDT

注) 輸送力の算出にあたり、立席定員は 6 人／平方メートルとする

出典：JICA 調査団

4.2.6 提案システム

候補とされる LRT、リニアメトロ、跨座型モノレール、懸垂式モノレール、および新交通システムの各々の適応性は、輸送力、縦断勾配、平面線形、街路樹への影響の観点から評価する。

(1) Line-1

Line-1 向けのシステムの主な選定要因を以下に示す。

- Line-1 は、Capao Redondo から Vila Sonia への延伸が提案されている。この将来延伸を考慮する。
- Line-1 は急勾配の区間を走行する。
- Line-1 の需要量は、約 14,000～20,000PHPDT と予測される。
- 路線沿いの道路は幅員が狭く、曲線が多い。

2 点目および 3 点目の要件から、LRT は、提案システムの候補から除外される。また、4 点目の要件から、最小曲線半径が R=100m であるリニアメトロも提案システムには選定されない。新交通システムは、輸送力が需要量を満足しない。このため、跨座型モノレールと懸垂式モノレールが Line-1 向けのシステム候補として選定される。提案システムは、これらシステムの中から、Line-2A との接続を考慮して決定される。

表 4-10 Line-1 向けシステムの評価

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
輸送力	C	A	A	A	C
縦断勾配	---	A	A	A	A
平面線形	A	C	A	A	A
街路樹への影響	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

注: A=満足する, B= 可能である, C= 困難であり推奨できない, -- = 不可能である, N.A.= 関係しない

出典：JICA 調査団

(2) Line-2A

Line-2A 向けのシステムの主な選定要因を以下に示す。

- 将来需要は 23,000～35,000PHPDT であり比較的大きい。
- M'Boi Mirim にて急勾配の区間がある。

急勾配区間が存在するため、LRT は提案システムの候補から除外される。また、懸垂式モノレールと新交通システムは、その輸送力が需要量をカバーできない。リニアメトロと跨座式モノレールが上記の条件を満たし、Line-2A 向けのシステムとして選定される。

表 4-11 Line-2A 向けシステムの評価

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
輸送力	--	A	A	C	C
縦断勾配	--	A	A	A	A
平面線形	A	A	A	A	A
街路樹への影響	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

注: A=満足する, B= 可能である, C= 困難であり推奨できない, -- = 不可能である, N.A.= 関係しない

出典: JICA 調査団

(3) Line-2B

Line-2B 向けのシステムの主な選定要因を以下に示す。

- 路線沿いの道路は平坦である。
- 将来需要は 23,000～30,000PHPDT であり比較的大きい。
- 路線には、道路の交差点部で小半径の曲線を挿入する必要がある。
- Line-2B の沿線は、近代的なオフィスビルや商業施設、整備された街路樹により、景観が優れている。

LRT、懸垂式モノレール、新交通システムは、輸送力が需要量を満足しないため候補から除外される。Line-2B は多くの街路を通り、いくつかの交差点では小半径の曲線で通過する。リニアメトロの最小曲線半径は跨座型モノレールのその値よりも大きい。この平面線形の条件は、リニアメトロには不利となる。都市景観の面からは、跨座型モノレールの桁構造は、リニアメトロの床板構造よりも圧迫感が少ないため、リニアメトロよりも跨座型モノレールの方が優れている。

表 4-12 Line-2B 向けシステムの評価

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
輸送力	--	A	A	C	C
縦断勾配	A	A	A	A	A
平面線形	A	B	A	A	A
街路樹への影響	C	C	B	B	C

注: A=満足する, B= 可能である, C= 困難であり推奨できない, -- = 不可能である, N.A.= 関係しない

出典: JICA 調査団

(4) Line-2C

Line-2C 向けのシステムの主な選定要因を以下に示す。

- 将来需要は、約 5,000PHPDT である。
- 道路の中央分離帯の街路樹は、路線沿線の優れた景観を築いている。街路樹への影響を最小化する必要がある。
- 路線中の 2 箇所直角のカーブがある。

サンパウロ墓地の角と Reboucas 通りの交差点において小半径の曲線があるため、リニアメトロは推奨されない。街路樹による優れた都市景観の維持は重要な条件であるため、モノレールは、LRT や新交通システムよりも適切といえる。

表 4-13 Line-2C 向けシステムの評価

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
輸送力	A	A	A	A	A
縦断勾配	A	A	A	A	A
平面線形	A	C	A	A	A
街路樹への影響	B	B	A	A	B

注: A=満足する, B= 可能である, C= 困難であり推奨できない, --= 不可能である, N.A.= 関係しない

出典: JICA 調査団

(5) Line-2D

Line-2D 向けのシステムの主な選定要因を以下に示す。

- 将来需要は、13,000～20,000PHPDT である。
- 大学構内の道路には多くの樹木が育っている。樹木への影響は最小化されるべきである。
- Line-2D は 3 箇所河川を横断する。
- 路線中に小半径の曲線の挿入が必要とされる。

LRT とリニアメトロは、輸送力が需要量を満足しないために選定システムの候補から除外される。リニアメトロは、路線中に小半径の曲線が存在するために推奨されない。2 つのモノレールシステムは、Line-2D に適応可能であり、更に、都市景観への影響の観点からも有利といえる

表 4-14 Line-2D 向けシステムの評価

	LRT	リニアメトロ	跨座型モノレール	懸垂式モノレール	新交通システム
輸送力	C	A	A	A	C
縦断勾配	A	A	A	A	A
平面線形	A	C	A	A	A
街路樹への影響	B	B	A	A	B

注: A=満足する, B= 可能である, C= 困難であり推奨できない, --= 不可能である, N.A.= 関係しない

出典: JICA 調査団

4.2.7 選定システムの評価のまとめ

上述の評価結果を、表 4-14 に要約する。ライン間の直通運転を可能とするため、システムの統合を考慮する。この観点から、Line-2A, 2B, 2C, 2D には跨座型モノレールが提案される。Line-1 では、跨座型モノレールに加え懸垂式モノレールも提案できるが、車両基地に利用可能な用地が限定されるため、Line-1 にも Line-2A と同じ跨座型モノレールを選定することが推奨される。

表 4-15 各路線への提案システム

路線	路線長	提案システム	ネットワーク	ネットワークを考慮した 上での提案システム
1	4.15 km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Vila Sonia への将来延伸	跨座型モノレール または 懸垂式モノレール
2A	11.38km	- リニアメトロ - 跨座型モノレール	路線の統合	跨座型モノレール
2B	11.29km	- 跨座型モノレール - リニアメトロ		
2C	7.23km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Line-2B との直通運転	
2D	11.40km	- 跨座型モノレール - 懸垂式モノレール	Line-2B との直通運転	

出典：JICA 調査団

以上の検討より、跨座型モノレールを提案システムとして選定する。

4.3 運行計画

4.3.1 運行方針

跨座型モノレール（以下“モノレール”と称す）の運行方針は、中規模輸送システムとして、利用者に対してより魅力的かつ経済的なサービスの提供を図ることとする。運行計画の主な特徴は以下のとおりである。

- 1) ピーク時ピーク方向の需要量に相応しい輸送力を提供するため、最適な列車の運転間隔を選定する。
- 2) 特に大きな需要量が予測される Line-2A と Line-2B においては、メトロと同様の高頻度運転を実施する。
- 3) ピーク時における運転間隔は 6 分以下とする。運転間隔の算出において、ピーク時の値が 6 分を超えた場合、運転間隔は 6 分とする。
- 4) オフピーク時においても、利用者の利便性を確保するため、運転間隔は 10 分以下とする。

4.3.2 運行計画の前提条件

(1) 段階分けおよび開業年度

サンパウロに導入する最適な中規模輸送システムとしてモノレールが選定された。モノレールの導入は、特に M'Boi Mirim の交通状況を改善するために急務である。しかし、路線長が 50km を超えるため、モノレールの建設は、需要面からの優先度に応じて段階分けすることが現実的である。以下の 3 段階を提案する。

1) 第一期

運営区間: Line-1 + Line-2A
開業年度: 2014 年

Jardim Angela～Santo Amaro 間、および Jardim Angela～Capao Redondo 間が 2014 年に開業する。

2) 第二期

運営区間: Line-1 + Line-2A + Line-2B + Line-2D
開業年度: 2016 年

Line-2B と Line-2D を延伸する。Line-2D は Line-2C よりも需要量が大きく、優先度が高い。

3) 第三期

運営区間: Line-1 + Line-2A + Line-2B + Line-2C + Line-2D
開業区間: 2018 年

2018 年には、Line-2C を延伸する。

(2) サービス水準

表定速度：	30km/時
駅停車時間：	20 秒
最小運転間隔：	120 秒
営業時間帯：	5:00 から 24:00 までの 19 時間

ここで、表定速度 30km/時による高頻度運転を掲げたサービス水準を達成するための条件を以下に示す。

1) 表定速度 30km/時の達成

駅停車時間は 20 秒を基準とするが、駅毎の実際の利用状況に合わせた再調整を行い、時間の短縮を図る。また、必要に応じ、列車の加速度を高めることで、表定速度の向上を図る。

なお、路線には、モノレールの特性を活かした小曲線、急勾配の区間が存在するが、以下に示すとおり、線形は、表定速度の低下の回避が考慮されている。実際の線形の設定においても、本調査で考慮した内容を反映することが望ましい。

- a) 本線の最小曲線半径 $R=100\text{m}$ における曲線の通過速度は 45km/時である。また、やむを得ない場合に適用される半径 $R=50\text{m}$ の曲線の通過速度は、25km/時に低下する。ここで、曲線通過速度は、最大カント 12%、最大カント不足量 5%とした値である。本調査では、表定速度を向上するために、大半の曲線を極力採用している。やむを得ず $R=50\text{m}$ の曲線が 1 箇所、 $R=60\text{m}$ の曲線が 2 箇所存在するが、いずれも曲線による速度制限の影響を最小化するように、曲線は、駅に近接した位置に設定している。
- b) 中間駅は、対向式ホームを採用している。対向式ホームは、島式ホームと異なり、駅の前後にて軌道を漏斗状に広げる必要が無く、S 字の曲線が挿入されないため、速度向上の面で有利である。
- c) 縦断線形については、最急勾配を 6%とするが、やむを得ない場合には 8%まで許容している。8%上り勾配での車両性能は、加速度が平坦時の約 1/4 となり、速度も約 30km/時で均衡する。ただし、本調査では、6%を超える勾配を持つ区間は、Line-1 の 300m と、Line-2C の 144m の 2 箇所のみとしている。6%以下の勾配は多く存在するが、これらの区間で均衡する速度は 30km/時を上回る。

2) 高頻度運転の達成

運転間隔は、列車の長さ、加速度・減速度、駅への進入速度、駅停車時間により影響される。さらに、モノレールの場合は、分岐器の転換に 20 秒間必要とし、これは一般鉄道にて要する時間よりも長い。3 分以下の運転間隔にて、安定した高頻度運転を実施するためには、先進的な信号システムおよび列車制御システムの導入と、事業者の経験の蓄積が必要である。

高頻度運転を実現するための設備として、本調査では、信号設備に CBTC を提案するとともに、後述する折返し設備を計画する。中間駅と端末駅に折返し設備を設け、中間駅で折返す列車と、端末駅で折返す列車の 2 つの運行パターンを設定する。中間駅で折返す列車の運転の間合いに、端末駅で折返す列車を挿入する。

また、オペレーション上の工夫として、列車を引上げ線に進入させる際には、列車後部の運転台に交代の運転士を乗車させ、折返し時間の短縮を図る。

(3) 折返し設備

折返し設備と、非常渡り設備は、各開業段階の運転計画を踏まえて設置する。折返し設備については、将来延伸の可能性を考慮し、以下に示す3タイプを適用する。各設備における折返しに必要な時間は以下のとおりである。

1) 単線渡り線

軌道の端部に設置する折返し設備として、単線渡り線が適用可能である。単線渡り線の骨格図を図4-7に示す。路線が延伸された場合には、本設備は非常渡り線とする。

本設備による列車折返し時間は、乗客の駅での乗降時間を含めて4分間と想定される。

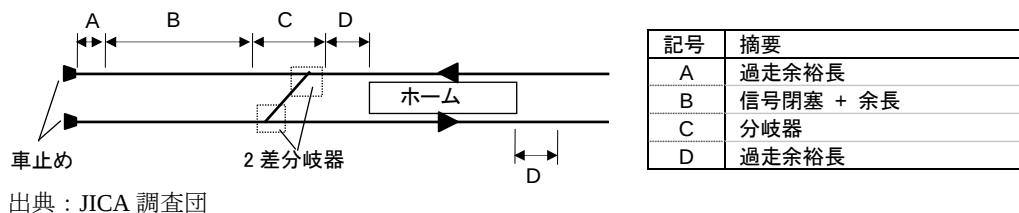


図 4-7 単線渡り線

2) Y字引上げ線

中間駅に設置する折返し設備として、Y字引上げ線が用いられる。この設備では、中間駅において本線上の他の列車の運行を妨げることなく、列車の折返しが可能となる。図4-8に、本設備の骨格図を示す。

本設備の折返し時間は4分20秒である。折返し用の列車をスタンバイさせ、さらに、本線上の列車の合間に折り返すことで、運転間隔120秒を達成する。

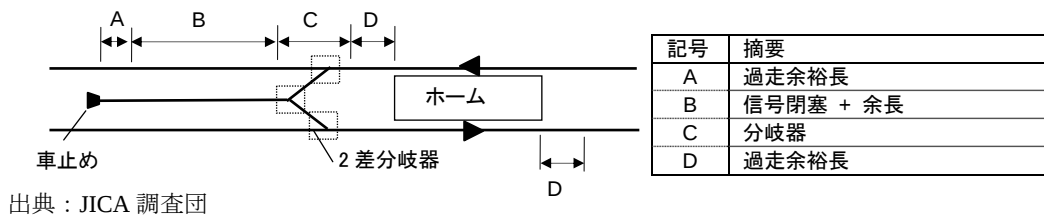


図 4-8 Y字引上げ線

3) シーサスクロッシング

単線渡り線と同様に、シーサスクロッシングも軌道の端部での折返しに用いることができる。本設備を用いることにより、施設後方の2本の引き上げ線の両線に列車を留置することが可能となる。このため、本設備は、車両基地および留置設備から離れた端末駅に設定する。

本設備により、運転間隔150秒に対応した折返しが可能である。

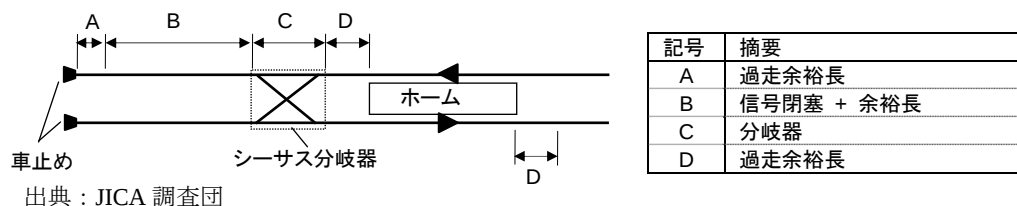


図 4-9 シーサスクロッシング

(4) 分岐器配置

図 4-10、表 4-15 にて折返し設備の配置を説明する。

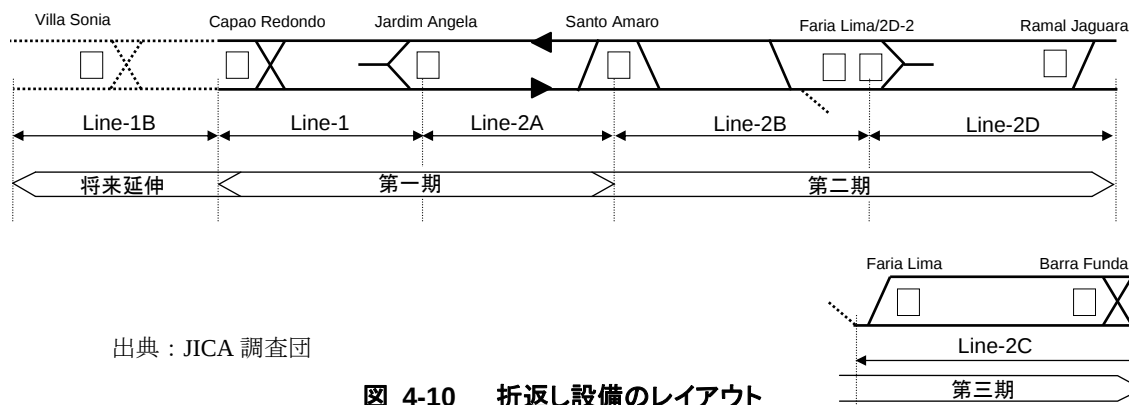


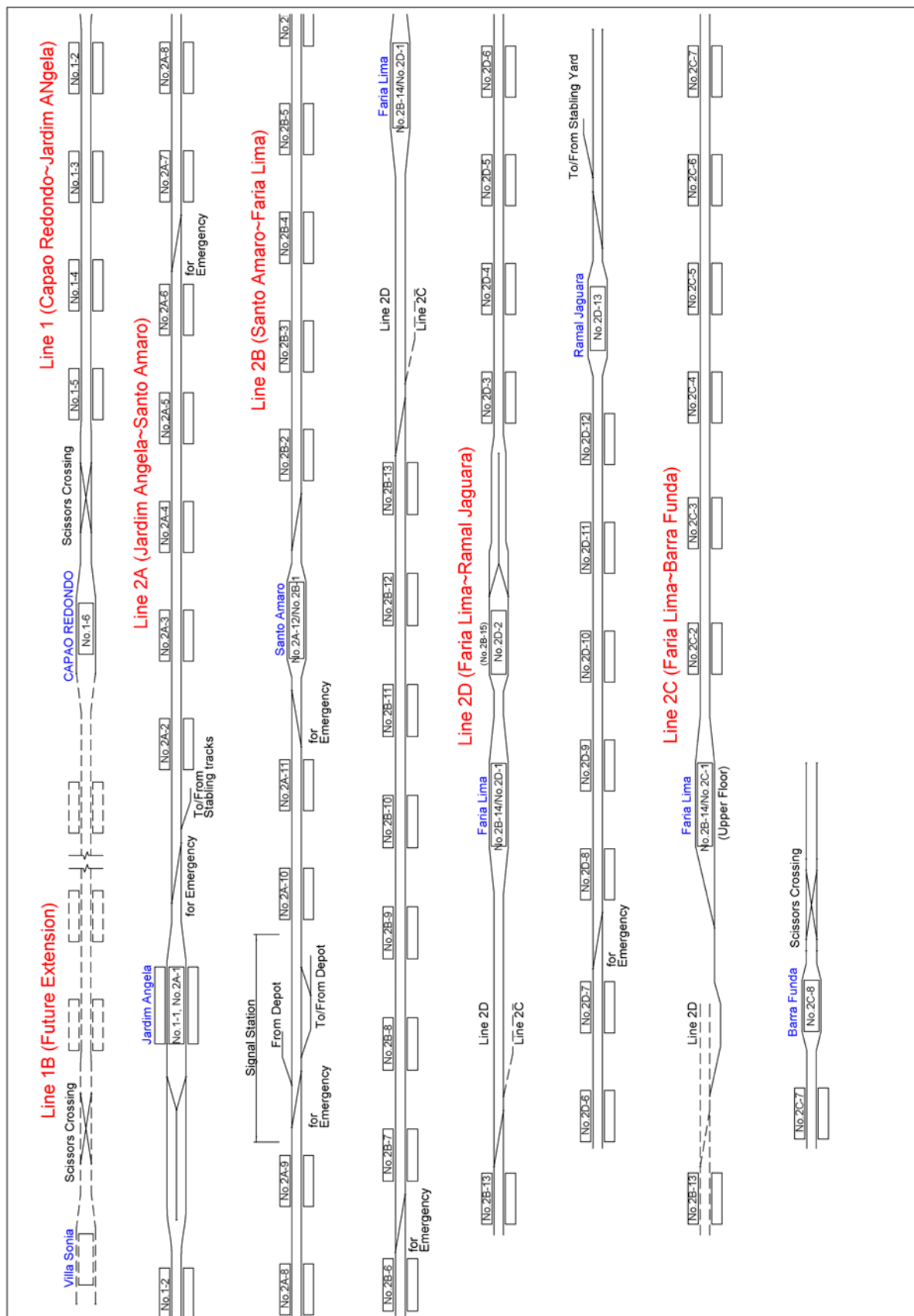
図 4-10 折返し設備のレイアウト

表 4-16 折返し設備および非常渡り線の位置

期	位置	施設
第一期	Capao Redondo (No.1-6)	シーサスクロッシングを設置する。 Capao Redondo 駅後方の線形は、小半径の曲線と急勾配があるため、折返し設備は駅の前方に設置する。
	Jardim Angela (No.2A-1)	Santo Amaro 側からの到着列車のための折返し設備を設置する。
	Santo Amaro (No.2A-12)	駅後方に単線渡り線を設ける。
	その他	非常渡り線を 4 箇所を設置する。
第二期	No.2D-2 駅	Santo Amaro 側からの到着列車のための折返し設備を設ける。 Line-2B の終端駅は、Line-2D と 2C との分岐駅である No.2B-14 駅であるが、同駅の規模が大きくなるため、折返し設備は No.2D-2 に置く。
	Ramal Jaguará (No.2D-13)	単線渡り線を駅後方に設ける。
	No.2B-13 駅～No.2B-14 間	Line-2C への列車の回送のための分岐器を設ける。
	その他	非常渡り線を 2 箇所を設置する。
第三期	Barra Funda (Line-2D)	Santo Amaro 側からの到着列車のための折返し設備を設ける。 夜間の引き上げ線への車両留置のため、No.2C-8 駅後方にシーサスクロッシングを設置する。
将来延伸	Vila Sonia(Line-1B)	シーサスクロッシングを設置する。Line-1B の非常渡り線の配置は、今後の検討とする。

出典：JICA 調査団

図 4-11 に、概略配線図を示す。



出典：JICA 調査団

図 4-11 概略配線図

4.3.3 運行パターン

(1) 概要

以下に、提案される列車の運行パターンの要約を示す。

1) 輸送力

基本的に、運転計画上の立席の乗客の密度は、メトロの事例に倣い 6 人／平方メートルとする。列車の定員は、6 両編成：1,000 人、8 両編成：1,300 人である。

技術的には、車両あたり 4 軸を持つモノレールでは、最混雑時の荷重条件として 9 人／平方メートルを許容できる。上述の 6 人／平方メートルは、快適な乗り心地が提供する運転計画上の目標値であり、実際の輸送力の限界とは異なる。

2) 運行パターンの特徴

第三期において Line-2C が延伸されるが、高頻度運転が行われる Line-2B の列車運行を阻害しないよう、Line-2C の運転は Line-2B とは分離する。Line-2B から Line-2C への直通運転は行わない。

3) ピーク時最大断面における運転間隔

第一期：	2 分 30 秒 (Line-1)
第二期：	2 分 15 秒 (Line-2A, 2B)
第三期(2024 年まで)：	2 分 45 秒 (Line-2A, 2B)
第三期(2025 年以降)：	2 分 30 秒 (Line-2A, 2B)

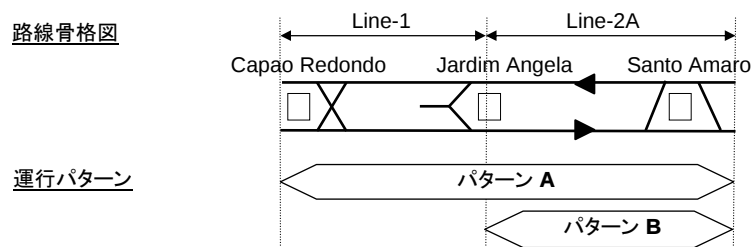
4) 列車編成

第一期：	6 両編成の列車でモノレールの運行を開始する。
第二期：	8 両編成の列車を増備する。
第三期：	6 両編成の Line-1, 2A, 2B, 2D は 8 両編成で運行する。Line-2C のみ 6 両編成とする。

(2) 第一期

第一期は 2014 年に運行を開始する。表 4-16, 表 4-17 に、第一期における列車の運行パターンと輸送力を示す。列車運行は、図に示す A と B のパターンを用いる。Jardim Angela から Santo Amaro 間では、6 両編成の列車で 2 分 20 秒間隔の運転を行う。

表 4-17 第一期・ピーク時列車運行パターン



パターン	運転区間	列車編成	運転間隔	時間あたり運転本数 (列車/時間/片方向)	輸送力 (PHPDT)
A	Capao Redondo -Santo Amaro	6 両編成	4 分 00 秒	15	15,000
B	Jardim Angela -Santo Amaro	6 両編成	6 分 00 秒	10	10,000

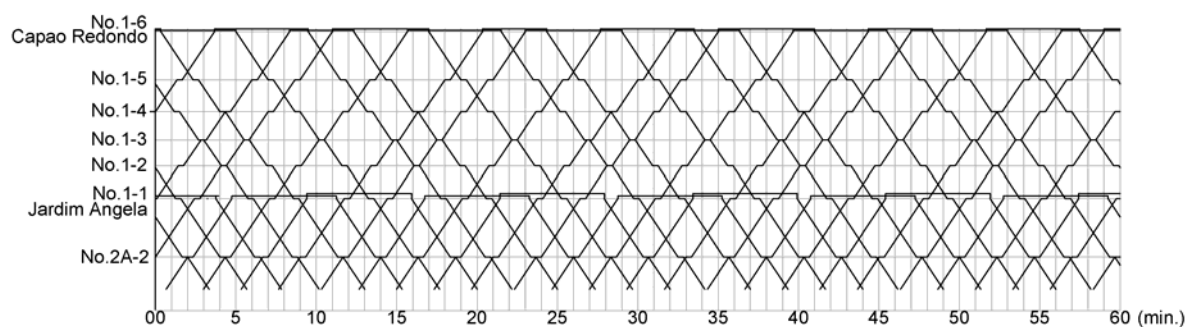
出典：JICA 調査団

表 4-18 ライン毎の輸送力と運転間隔

ライン名	Line-1	Line-2A
区間	Capao Redondo~ Jardim Angela	Jardim Angela~ Santo Amaro
運転列車本数 (列車/時間/片方向)	15	25
運転間隔	4 分 00 秒	2 分 20 秒
輸送力 (PHPDT)	15,000	25,000

出典：JICA 調査団

第一期における、No.2A-2 駅から No.1-6 駅間の列車運行ダイヤの例を図 4-12 に示す。パターン B の列車は No.1-1 駅で折り返す。



出典：JICA 調査団

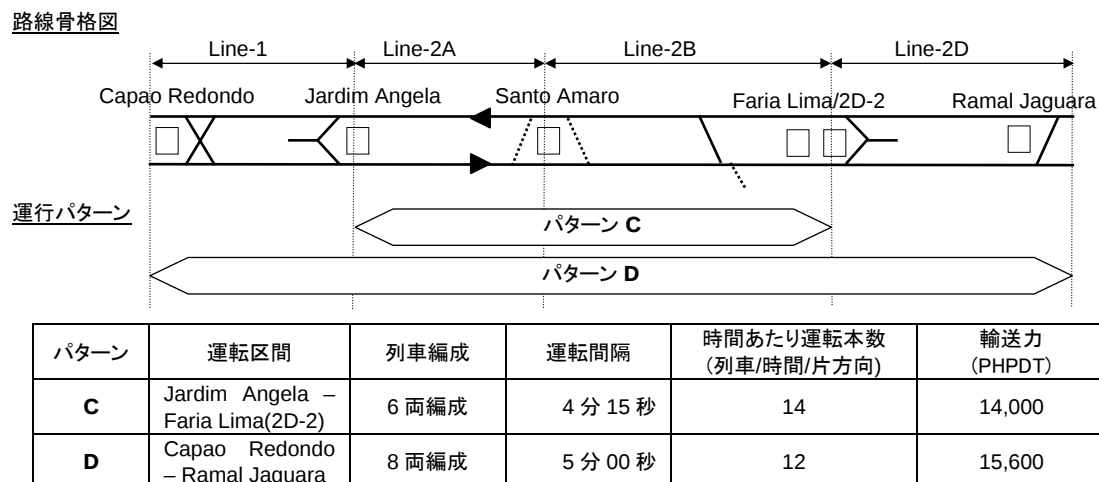
図 4-12 第一期・列車運行ダイヤの例

(3) 第二期

2016 年に Line-2B と Line-2D が延伸され、第二期の運行が開始される。2018 年には次の第三期の運行が開始されるが、30,000PHPDT を超える将来需要を考慮した 8 両編成の車両の導入を第二期から開始する。

表 4-18, 表 4-19 に、第二期の列車の運行パターンと輸送力を示す。パターン C は 6 両編成を 4 分 15 秒間隔、パターン D は 8 両編成を 5 分間隔で運行する。Jardim Angela から Santo Amaro 間での運転間隔は、2 分 15 秒となる。

表 4-19 第二期・ピーク時列車運行パターン



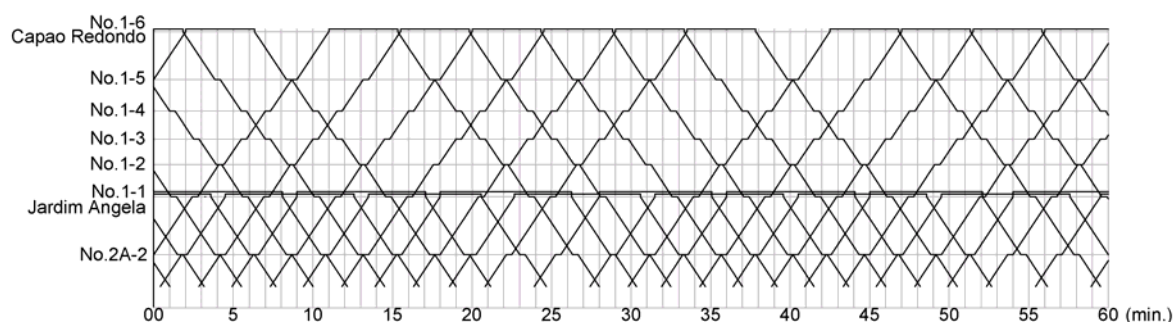
出典：JICA 調査団

表 4-20 ライン毎の輸送力と運転間隔

ライン名	Line-1	Line-2A, 2B	Line-2D
区間	Capao Redondo~ Jardim Angela	Jardim Angela~ Faria Lima	Faria Lima~ Ramal Jaguará
運転列車本数 (列車/時間/片方向)	12	26	12
運転間隔	5 分 00 秒	2 分 15 秒	5 分 00 秒
輸送力 (PHPDT)	15,600	29,600	15,600

出典：JICA 調査団

第二期における、No.2A-2 から No.1-6 駅間の列車ダイヤの例を図 4-13 に示す。パターン C の列車は No.1-1 駅で折り返す。



出典：JICA 調査団

図 4-13 第二期・列車運行ダイヤの例

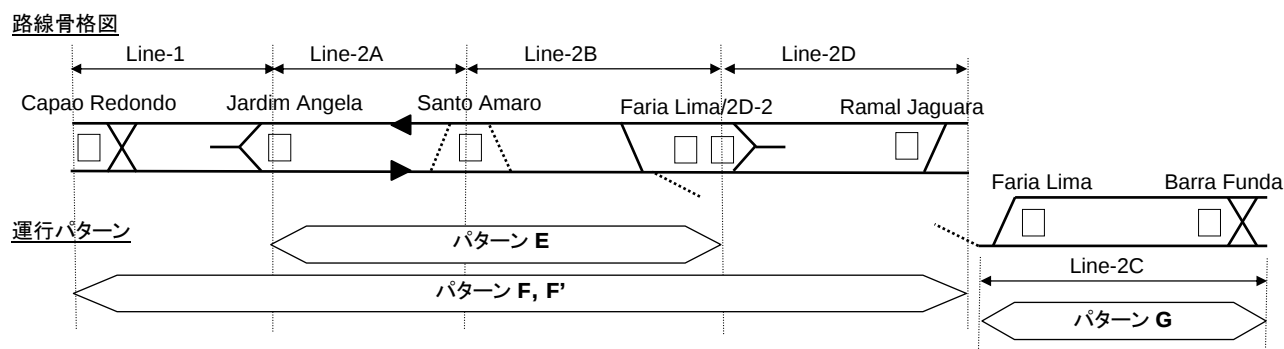
(4) 第三期

2018 年には Line-2C が延伸され、第三期の運行が開始する。Line-2A の将来需要量が 30,000PHPDT を超えるため、Line-2A を通過する列車は全て 8 両編成とする。Line-2C は、6 両編成の列車を Line-2C の区間内を往復させる。Line-2B, 2D から Line-2C への直通運転は行わない。

表 4-20 と表 4-21 に、第三期の列車の運行パターンと輸送力を示す。運行パターン F は、Capao Redondo から Ramal Jaguarara 間で、時間・片方向あたり 12 列車の運転を行う。2025 年以降は、運行パターン F は F'に変更し、運転本数も 14 列車/時間/片方向に増加させる。

Jardim Angela から Faria Lima 間の運転間隔は、2024 年までは 2 分 45 秒、2025 年以降は 2 分 30 秒に短縮する。

表 4-21 第三期・ピーク時列車運行パターン



パターン	運転区間	列車編成	運転間隔	時間あたり運転本数 (列車/時間/片方向)	輸送力 (PHPDT)
E	Jardim Angela - Faria Lima(2D-2)	8 両編成	6 分 00 秒	10	13,000
F (2024 年以前)	Capao Redondo - Ramal Jaguarara	8 両編成	5 分 00 秒	12	15,600
F' (2025 年以降)			4 分 15 秒	14	18,200
G	Faria Lima - Barra Funda	6 両編成	6 分 00 秒	10	10,000

出典：JICA 調査団

表 4-22 ライン毎の輸送力と運転間隔

期間	ライン名	Line-1	Line-2A, 2B	Line-2D	Line-2C
	区間	Capao Redondo~ Jardim Angela	Jardim Angela~ Faria Lima	Faria Lima~ Ramal Jaguarara	Faria Lima~ Barra Funda
2018 年~ 2024 年	運転列車本数 (列車/時間/片方向)	12	22	12	10
	運転間隔	5 分 00 秒	2 分 45 秒	4 分 15 秒	6 分
	輸送力 (PHPDT)	15,600	28,600	15,600	10,000
2025 年~ 2045 年	運転列車本数	14	24	14	10
	運転間隔	4 分 15 秒	2 分 30 秒	4 分 15 秒	6 分
	輸送力	18,200	31,200	18,200	10,000

出典：JICA 調査団

第三期における、No.2A-2 から No.1-6 駅間の列車ダイヤの例を図 4-14、図 4-15 に示す。パターン E の列車は No.1-1 駅で折り返す。

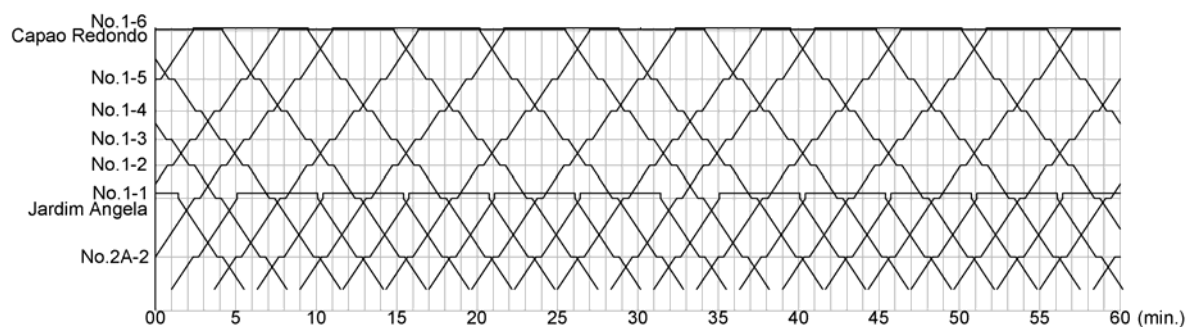


図 4-14 第三期・列車運行ダイヤの例 (2024 年以前)

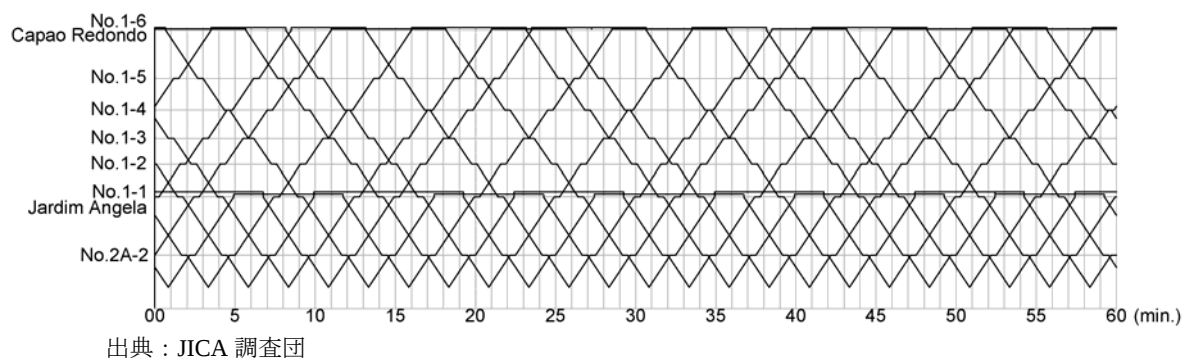


図 4-15 第三期・列車運行ダイヤの例 (2025 年以降)

4.3.4 必要列車本数

必要列車本数は、運用車両数と予備車両数から求められる。

- 運用車両数は、運行パターン別に、列車が運転区間を 1 往復するのに要する時間（サイクル時間）と運転間隔から算定する。
- 予備車両は、保守用予備と運用予備とし、運用車両数の 10%と想定する。

具体的には、Phase 1 の必要列車本数は以下のように求められる。

- Pattern A のサイクル時間は、折返しを含め 67 分、運転間隔は 4 分である。運用車両数は、 $67 / 4 = 17$ 列車となる。
- Pattern B のサイクル時間は 51 分、運転間隔は 6 分である。運用車両数は、 $51 / 6 = 9$ 列車となる。
- Phase 1 では、Pattern A と Pattern B により、運用車両数として 26 列車必要となる。予備車両として 3 列車を加え、必要列車本数は 29 列車となる。

同様に、Phase 2, 3 の必要列車本数は、表 4-22 に示すように算定される。

表 4-23 列車編成数

期	開始 年次	列車		列車本数		摘要
				6両編成	8両編成	
1	2014	運用	パターン A	17	--	列車編成数合計:29 列車 6両編成を 29 列車購入 ($29 \times 6 = 174$ 車両購入)
			パターン B	9	--	
			小計	26	0	
		予備		3	0	
		合計		29	0	
2	2016	運用	パターン C	24	--	列車編成数合計:61 列車 6両編成の 3 列車を 8両化 8両編成を 32 編成増備 (中間車 $2 \times 3 + 8 \times 32 = 262$ 両購入)
			パターン D	--	32	
			小計	24	32	
		予備		2	3	
		合計		26	35	
3	2018	運用	パターン E	--	17	列車編成数合計:61 列車 6両編成の 19 列車を8両化 (中間車 $2 \times 19 = 38$ 両購入)
			パターン F	--	32	
			パターン G	6	--	
			小計	6	49	
		予備		1	5	
		合計		7	54	列車編成数合計:67 列車 8両編成を 6 列車増備 ($8 \times 6 = 48$ 車両購入)
	2025	運用	パターン E	--	17	
			パターン F'	--	37	
			パターン G	6	--	
			小計	6	54	
		予備		1	6	
		合計		7	60	

出典：JICA 調査団

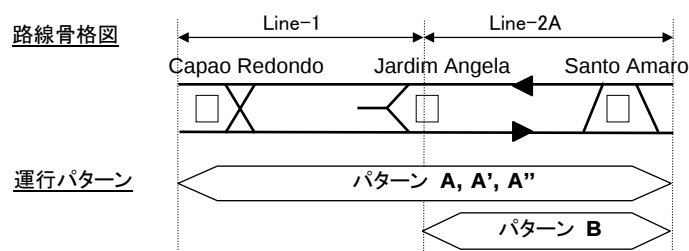
4.3.5 追加ケース 1 (第一期区間を 2045 年まで営業するケース)

第一期の区間の営業が 2045 年まで継続されたケースの検討結果を以下に示す。

(1) 運行パターン

第一期では、運行パターン A と B により、輸送力は 2020 年までの需要量をカバーできる。増加する需要に対応するために、運行パターン A は 2020 年に 3 分 20 秒、2040 年に 3 分 00 秒に運転間隔を短縮する。ただし、2020 年に Santo Amaro 側の折返し設備の増強が必要となる。

表 4-24 追加ケース 1・ピーク時列車運行パターン



期間	パターン	列車編成	運転間隔	時間あたり運転本数 (列車/時間/片方向)	輸送力 (PHPDT)
2014 年~2019 年	A	6 両	4 分 00 秒	15	15,000
2020 年~2039 年	A'	6 両	3 分 20 秒	18	18,000
2040 年~2045 年	A''	6 両	3 分 00 秒	20	20,000
2014 年~2045 年	B	6 両	6 分 00 秒	10	10,000

出典：JICA 調査団

表 4-25 ライン毎の輸送力と運転間隔

期間	ライン名	Line-1	Line-2A
	区間	Capao Redondo~ Jardim Angela	Jardim Angela~ Santo Amaro
2014 年~ 2019 年	運転列車本数 (列車/時間/片方向)	15	25
	運転間隔	4 分 00 秒	2 分 30 秒
	輸送力 (PHPDT)	15,000	25,000
2020 年~ 2039 年	運転列車本数	18	28
	運転間隔	3 分 20 秒	2 分 10 秒
	輸送力	18,000	28,000
2040 年~ 2045 年	運転列車本数	20	30
	運転間隔	3 分 00 秒	2 分 00 秒
	輸送力	20,000	30,000

出典：JICA 調査団

(2) 必要列車本数

表 4-26 列車編成数

		2014 年~ 2019 年	2020 年~ 2039 年	2040 年~ 2045 年	摘要
運用	パターン A, A', A''	17	22	25	2020 年: 6 × 6 = 36 両増備
	パターン B	9	9	9	
	小計	26	31	34	
予備		3	4	4	2039 年: 6 × 3 = 18 両増備
合計		29	35	38	

出典：JICA 調査団

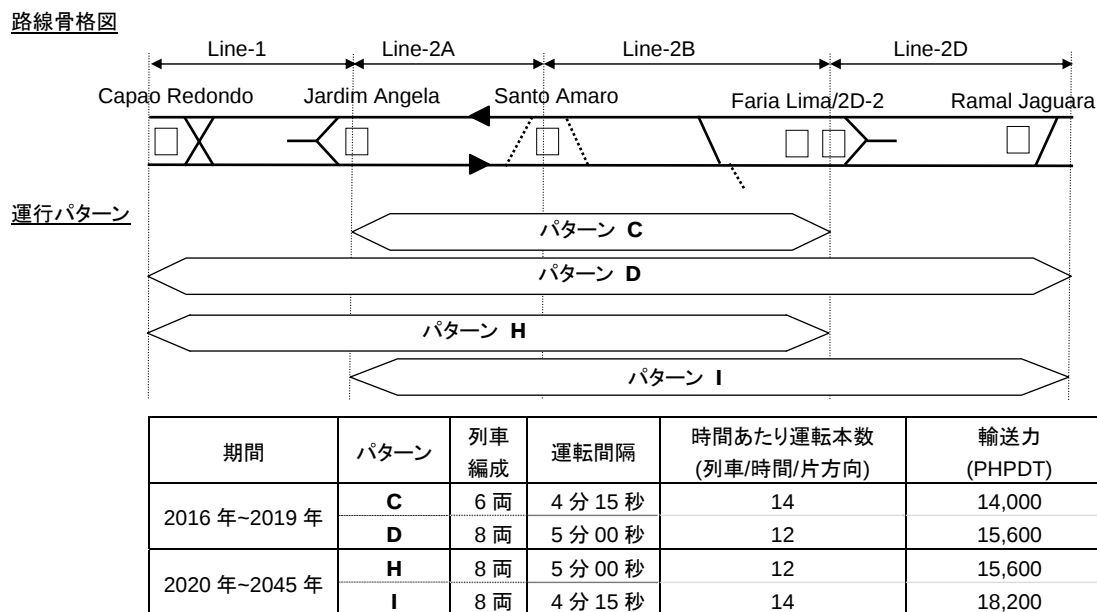
4.3.6 追加ケース 2 (第二期区間を 2045 年まで営業するケース)

第二期の区間の営業が 2045 年まで継続されたケースの検討結果を以下に示す。

(1) 運行パターン

2019 年まで運行パターン C と D、2020 年以降は運行パターン H、I を適用する。

表 4-27 追加ケース 2・ピーク時列車運行パターン



出典：JICA 調査団

表 4-28 ライン毎の輸送力と運転間隔

期間	ライン名	Line-1	Line-2A, 2B	Line-2D
	区間	Capao Redondo~ Jardim Angela	Jardim Angela~ Faria Lima	Faria Lima~ Ramal Jaguará
2016 年~ 2019 年	運転列車本数 (列車/時間/片方向)	12	26	12
	運転間隔	5 分 00 秒	2 分 15 秒	5 分 00 秒
	輸送力 (PHPDT)	15,600	29,600	15,600
2020 年~ 2045 年	運転列車本数	12	26	14
	運転間隔	5 分 00 秒	2 分 15 秒	4 分 15 秒
	輸送力	15,600	33,800	18,200

出典：JICA 調査団

(2) 必要列車本数

表 4-29 列車編成数

期間		2016 年~2019 年		2020 年~2034 年	摘要
列車編成		6 両	8 両	8 両	
運用	パターン C	24			2015 年: 第一期より、6 両編成 3 列車を 8 両化、8 両編成 32 列車増備 (中間車 2×3 + 8×32=262 両購入)
	パターン D		32		
	パターン H			24	
	パターン I			34	
	小計	24	32	58	
予備		2	3	6	2019 年: 6 両編成の 26 編成を 8 両化、8 両編成を 3 編成増備 (中間車 2×26 + 8×3=76 両購入)
合計		26	35	64	

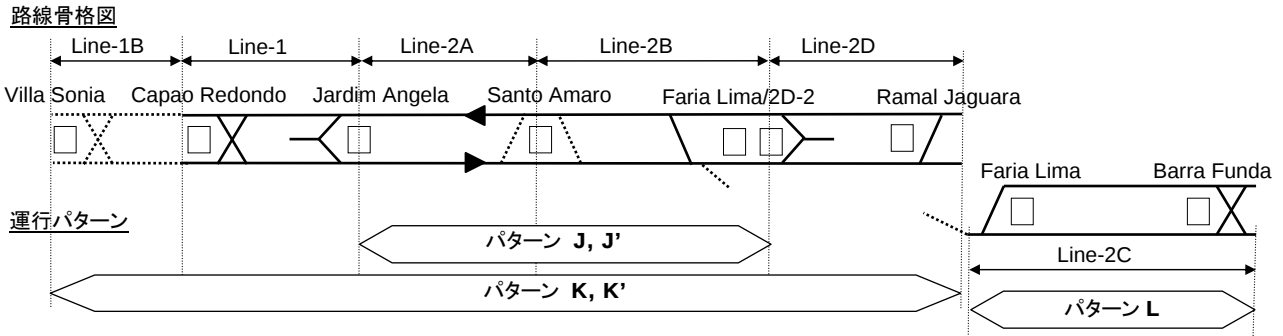
出典：JICA 調査団

4.3.7 追加ケース 3 (第三期に Line-1B 延伸を含む)

第三期において Line-1B が延伸されたケースの検討結果を以下に示す。

(1) 運行パターン

表 4-30 追加ケース 3・ピーク時列車運行パターン



期間	パターン	列車編成	運転間隔	時間あたり運転本数 (列車/時間/片方向)	輸送力 (PHPDT)
2018 年~2039 年	J	8 両	15 分 00 秒	4	5,200
2040 年~2045 年	J'		12 分 00 秒	5	6,500
2018 年~2024 年	K	8 両	3 分 20 秒	18	23,400
2025 年~2045 年	K'		3 分 00 秒	20	26,000
2018 年~2045 年	L	6 両	6 分 00 秒	10	10,000

出典：JICA 調査団

表 4-31 ライン毎の輸送力と運転間隔

期間	区間	ライン名 区間	Line-1B, 1 Villa Sonia~ Jardim Angela	Line-2A,2B Jardim Angela~ Faria Lima	Line-2D Faria Lima~ Ramal Jaguarua	Line-2C Faria Lima~ Barra Funda
2018 年 ~2024 年	運転列車本数 (列車/時間/片方向)		18	22	18	10
	運転間隔		3 分 20 秒	2 分 45 秒	3 分 20 秒	6 分 00 秒
	輸送力 (PHPDT)		23,400	28,600	23,400	10,000
2025 年 ~2039 年	運転列車本数		20	24	20	10
	運転間隔		3 分 00 秒	2 分 30 秒	3 分 00 秒	6 分 00 秒
	輸送力		26,000	31,200	26,000	10,000
2040 年 ~2045 年	運転列車本数		20	25	20	10
	運転間隔		3 分 00 秒	2 分 20 秒	3 分 00 秒	6 分 00 秒
	輸送力		26,000	32,500	26,000	10,000

出典：JICA 調査団

(2) 必要列車本数

表 4-32 列車編成数

期間		2018 年~ 2024 年		2025 年~ 2039 年		2040 年~ 2045 年		摘要
列車編成		6 両	8 両	6 両	8 両	6 両	8 両	
運用	パターン J, J'	--	7	---	7	---	9	2018 年: Line-1B 延伸により 8 両編成 23 列車増備 2024 年: 8 両編成 7 列車増備 2039 年: 8 両編成 2 列車増備
	パターン K, K'	--	63	---	69	---	69	
	パターン L	6	---	6	---	6	--	
	小計	6	70	6	76	6	78	
予備		1	7	1	8	1	8	
合計	列車数計	7	77	7	84	7	86	

出典：JICA 調査団

4.4 車両計画

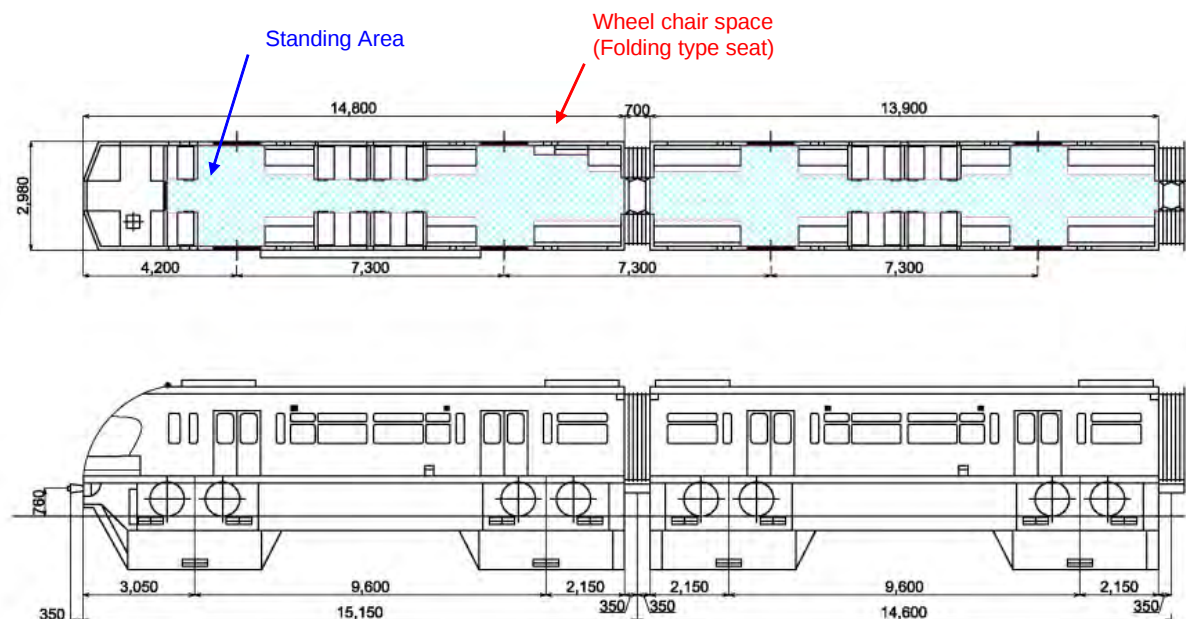
4.4.1 輸送容量

(1) 大型モノレールの乗車容量

大型モノレールの1車両当たりの乗車容量は、定員で約100名、満員で約200名である。その例としては、日本の、大阪モノレール、北九州モノレール、そして多摩モノレールがある。定員は、座席数に加え、立ち席の乗車人数が床面積あたり3人で計算した値であり、満員は、立ち席の乗車人員を床面積あたり7人で計算した値である。満員の乗車人数は、1車両の輸送容量を計算する際に利用される。

(2) 座席配置

大型モノレール車両での座席配置の一例を図4-16に示す。この例では、クロスシートとロングシートが混在している。車椅子スペースや、非常時脱出用の「スパイラル・シュート」の設置により、輸送容量は減少する。また、流線型のデザインにした場合も多少容量が減る。なお、流線型のデザインの場合、車両前後の緊急ドアの設置が難しくなる点に留意する必要がある。若干の増減は生じる。一方で、クロスシートをやめてロングシートのみにした場合に増加する乗車容量はごくわずかである。ただし、クロスシートの場合、車内での人の移動に不便が生じることになり、同じ乗降数でも時間がかかる事になる。



Source: JICA Study Team

図 4-16 大型モノレールの座席配置

(3) 車両の乗車容量

車両あたりの乗車容量は、車両の重量と床面積あたりの人数で決まる。表4-33は、上記の車両における車両重量と乗車容量を計算した結果である。大型モノレールの場合、タイヤの最大荷重が5.5トンであることから、車両あたりの最大荷重は44トンである。表に示すように、9人/m²までは車両重量が最大荷重を上回ることはない（乗客あたりの重量は、サンパウロのメトロと同じ70kgとしている）。

床あたり人数の最大値は、日本の例では上記のように 7 人/m² が一般的である。一方、本事業では以下の理由により、6 人/m² を計画上の床面積あたり最大人数とする。

- サンパウロメトロが 6 人/m² を採用している。
- サンパウロの地下鉄では、駅での停車時間が短く、混雑している車内に無理に詰め込むのではなく、運行間隔を短くして次の列車にさせる方式を採っている。このため車内は満員状態になりにくい。

表 4-33 輸送力と車両重量

Parameter		65 kg /person				70 kg /person			
		End Car		Middle Car		End Car		Middle Car	
Tare weight (t)		28.2		27.6		28.2		27.6	
Space for standees (m2)		19.7		20.3		19.7		20.3	
Number of seats		39		48		39		48	
Condition	Persons/m2	Persons	Weight (t)	Persons	Weight (t)	Persons	Weight (t)	Persons	Weight (t)
Tare	0	0	28.2	0	27.6	0	28.2	0	27.6
Nominal	3	98	34.6	108	34.7	98	35.1	108	35.2
	4	117	35.9	129	36.0	117	36.4	129	36.7
	5	137	37.2	149	37.3	137	37.8	149	38.1
	6	157	38.5	169	38.6	157	39.2	169	39.5
Full loaded	7	176	39.7	190	40.0	176	40.6	190	40.9
	8	196	41.0	210	41.3	196	42.0	210	42.3
	9	216	42.3	230	42.6	216	43.4	230	43.7
	10	236	43.6	251	44.0	236	44.8	251	45.2
Crush loaded			44.0		44.0		44.0		44.0

Source: JICA Study Team

(4) 列車編成あたり輸送力

表 4-34 は、満員条件（6 人/m² 及び 7 人/m²）での列車編成あたり輸送容量を示したものである。メトロの 6 両編成列車より輸送容量よりは低いが、中量輸送システムとしては高い輸送容量である。

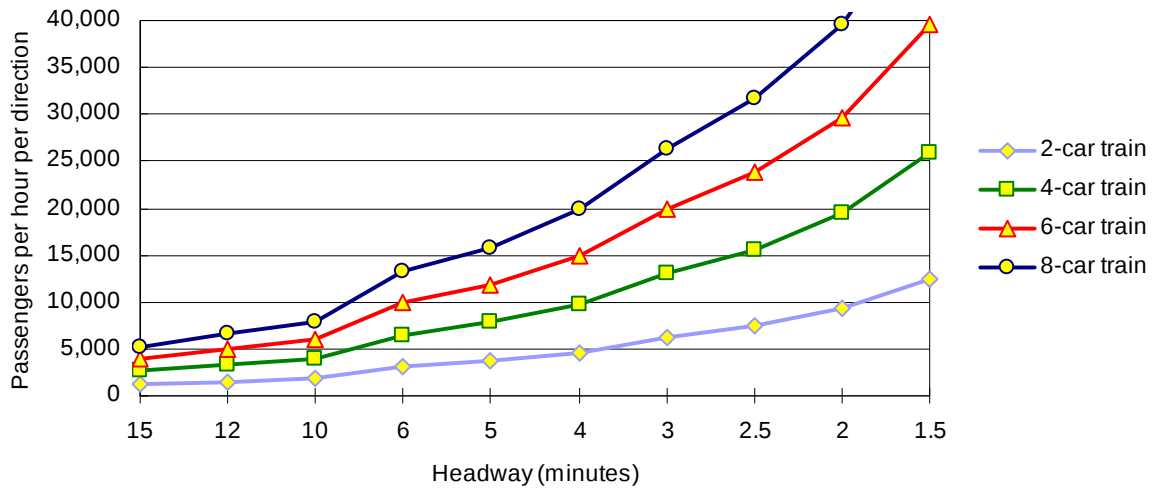
表 4-34 列車編成あたり輸送容量

条件	Unit: person			
	2-car train	4-car train	6-car train	8-car train
定員 (3 人/m ²)	200	410	620	840
6 人/m ²	310	650	990	1,320
7 人/m ²	350	730	1,100	1,500

出典：JICA 調査団

(5) 一時間あたり輸送力

列車編成あたり輸送容量をもとに、運転間隔別に一時間片方向の輸送力を計算した結果を図 4-17 に示す。Line-2A では時間 30,000 人/方向を超える需要予測となっているが、この場合 8 両編成による 3 分間隔の運行、又は 6 両編成による 2 分間隔の運行が必要である。4 両編成では、運行間隔 1.5 分で時間 26,000 人/方向である。モノレールでは 1.5 分より短い運転間隔での運行は技術的に難しいため、4 両編成では Line-2A の需要を捌くことが出来ない。



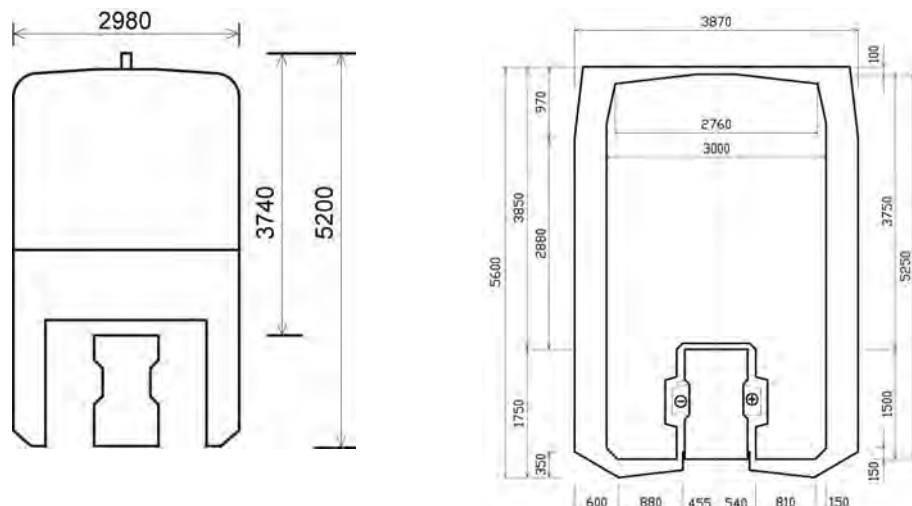
出典： JICA 調査団

図 4-17 大型モノレールの輸送力(6 人/m²)

4.4.2 車両の仕様

本事業における中量輸送システムには、時間 30,000 人/片方向を超える大きな輸送力が必要である。この交通量は、多くの中量輸送システムの輸送容量より大きい。「中量輸送システム」と分類される中では、日本で運行されている大型モノレールもしくはリニアメトロだけが対応可能である。このため、車両仕様は日本における大型モノレールの仕様にもとづいて提案する。

車両寸法と建築限界は、図 4-18 に示す通りである。建築限界は、日本の大型モノレールで利用されているものと同一である。



出典：都市モノレール構造基準（1975）をもとに JICA 調査団作成

図 4-18 車両寸法と建築限界

本事業では、Line-1A と Line-2A で一部 10%程度の急勾配区間がある。路線設計にあたっては極力勾配を抑える事が望ましいが、駅位置や経済性にも考慮する必要があり、これらの路線では一部で 7~8%の勾配が必要である。このため、最大勾配を 8%とする。一方、急勾配による速度低下を避けるため、最大勾配は例外とし、原則的には 6%以下とすべきである。

最大勾配は「都市モノレール構造基準」（運輸省・建設省、1977）の中で 6%と定められており、例外として 10%の最大勾配が認められている。

また、本事業では道路上空を利用するため直角に曲がる箇所が生じる。用地買収の規模を少なくするためには回転半径を小さくする必要がある。このため、モノレールの最小回転半径として技術的に可能な 50m¹を本事業での最小回転半径に採用する。なお、回転半径 50m では速度低下が生じるため例外とし、原則的には 100m 以上にすべきである。

本事業では、駅間距離と曲線部などの速度制限のため、速度が 70km/h を超えることがない。このため、70km/h を最高速度とする。

主要諸元は、表 4-35 に示す通りである。

表 4-35 車両仕様

Item	Feature
Length	Mc: 15.5m, M: 14.6m , Train: 88.7m (6-car), 117.9m (8-car)
Width	2,980mm
Maximum Height	Mc: 5,200mm, M: 5,140mm
Body height above girder	3,740mm
Floor height above girder	1,130mm
Axle-to-axle length	9,600mm
Weight	Mc: 26.3t, M: 26.0t
Normal passengers capacity (3 standees/m ²)	Mc: 83 (standee = 53, seated = 30) M: 88 (standee = 56, seated = 32)
Electrical method	DC 1500V, side catenary wire method
Motor control	VVVF inverter control (with regenerative brake)
Traction motor	Three phase squirrel-cage induction motor 100kW
Brake unit	Electric command electromagnetic straight liquid pressure converter air brake equipment
Maximum operation speed	70 km/ h
Acceleration	3.0 km/ h/s
Deceleration	4.0 km/ h/s
Maximum gradient	8%
Minimum curve radius	50m
Body material	Lightweight aluminum alloy/ Fire- resistant
Seat arrange	bench seat
Door	2 doors / side
Emergency door	The center of face
Air condition	Unit cooler on roof
Truck type	2 axle bogie straddle type
Running wheel	Nitrogen gas tubeless tire
Guided wheel	Air Rubber tire
Stabled wheel	Air Rubber tire

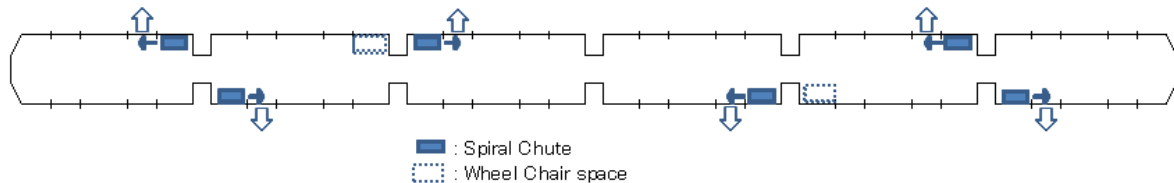
出典： JICA 調査団

¹ 多摩モノレール車両基地では回転半径 50m が採用されている。

4.4.3 安全性

(1) 緊急避難

モノレール車両が何らかの理由により軌道上で静止した場合、いくつかの避難方法がある。「スパイラルシュート」の利用は、その一つである。図 4-19 は、6 両編成の車両に片側 3 カ所ずつスパイラルシュートを設置する場合の配置図である。



出典： JICA 調査団

図 4-19 スパイラル・シュートの配置例

モノレールの緊急避難の基本は、問題が起きた車両を近くの駅まで移動させる事である。



(2) 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は、駅を出発して間もない時にそれを検知した時は即時停車し、駅間を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。平均の駅間距離が 1 km 程度であり走行スピードは 30 km/h 程度であるから、2 分もあれば列車は駅に到着できる。

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（最長 30 分間）させて復電を待つようにする。それでも復電しない最悪の場合には、「スパイラル・シュート」を使用して地上へ脱出することにする。テロリズムによる火災があった場合も、これと同様に対処する。

4.4.4 表定速度

(1) モノレールの表定速度

モノレールの表定速度は平均の駅間距離が約 800m で時速約 27km、1600m で時速約 35km である。東京モノレールは、駅間平均距離が 1987m で、表定速度は時速約 44km

である。モノレールの最高速度は時速 75km である。表定速度は、駅間距離に加え、平面線形と勾配の影響を受ける。調査対象路線では、モノレールの最小回転半径や急勾配など、モノレールの特性を活かした設計を採用しているので、表定速度を推計するためには列車運行曲線が必要となる。

表 4-36 日本における中量輸送システムの走行速度

	Standard size monorail	Large size monorail			AGT
	Tokyo monorail	Tama Monorail	Osaka Monorail	Kita-kyusyu monorail	Yurikamome
Line length	17.8km	16.0km	21.2km	8.8km	14.7km
No. of stations	10	19	14	13	16
Average distance between stations	1,987m	889m	1,631m	733m	986m
Scheduled Speed	44km/h	27km/h	35km/h	27km/h	28km/h

出典： JICA 調査団

(2) 曲線部の速度

モノレールの最小曲線半径は、運行路線では 50m である。曲線部での走行速度は、曲線のカントと、乗客が不快にならない遠心力で決まる。モノレールは転倒の恐れがないため、横方向には高い勾配が可能である。日本の技術標準では、モノレールが曲線部で緊急停車した場合に乗客が我慢できる事を考慮し、12%を最大のカントとしている。さらに日本の技術標準では、曲線部で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。一方、車両基地内ではカント不足量として 7.5%が可能としている。以下の表は、曲線部における速度を計算したものである。

表 4-37 曲線部の速度

Unit: km/h

R (m)	Cd (%) Ca (%)	2.5				5				7.5			
		0	5	10	12	0	5	10	12	0	5	10	12
50		10	20	25	30	15	25	30	30	20	25	30	35
60		10	20	30	30	15	25	30	35	20	30	35	35
70		10	25	30	35	20	25	35	35	25	30	35	40
80		15	25	35	35	20	30	35	40	25	35	40	40
90		15	25	35	40	20	30	40	40	25	35	40	45
100		15	30	35	40	25	35	40	45	30	35	45	45
120		15	30	40	45	25	35	45	50	30	40	50	50
140		20	35	45	50	25	40	50	50	35	45	55	55
160		20	35	50	50	30	45	55	55	35	50	55	60
180		20	40	50	55	30	45	55	60	40	50	60	65
200		25	40	55	60	35	50	60	65	40	55	65	70
250		25	45	60	65	35	55	65	70	45	60	70	75
300		30	50	65	70	40	60	75	80	50	65	80	85
350		30	55	70	80	45	65	80	85	55	70	85	90
400		35	60	75	85	50	70	85	90	60	75	90	95
450		35	65	80	90	50	75	90	95	65	80	100	105
500		35	65	85	95	55	75	95	100	65	85	105	110

出典： JICA 調査団

Note:

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

where, V_e = Equilibrium Cant Speed including cant deficiency (km/h), R = Curve radius (m)

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

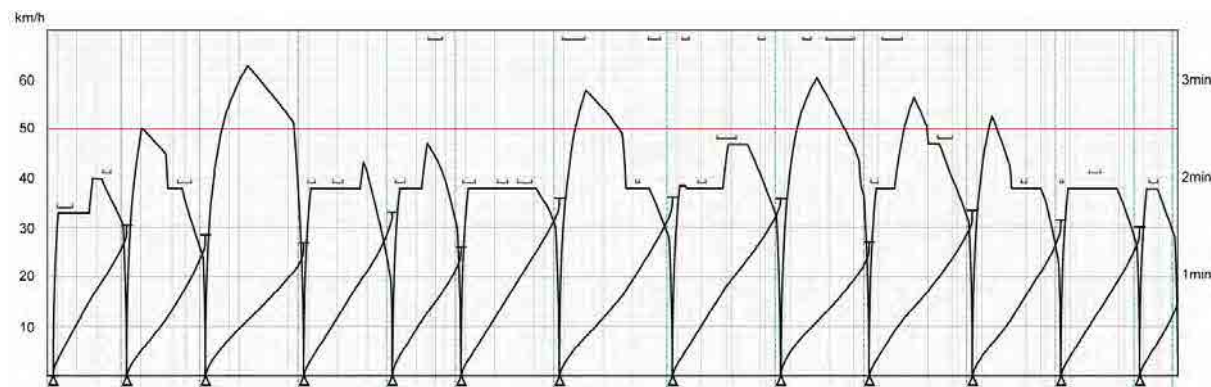
 The speed is applied for the main line at the maximum cat of 12% with the cant deficiency of 5%.

 The speed is applied for the small radius curve of the main line so as not to cause large centrifugal force from car body to bogie.

 The speed is applied for the small radius with high cant deficiency of 7.5%.

(3) 列車運転曲線

列車運転曲線を作成して、8両編成と6両編成における表定速度を推計した。駅間の時間は15分単位に丸めた。図4-20はLine-2A(地域開発ケース)について、Jardim Angela駅からSanto Amaro駅までの列車運転曲線を示したものである。



出典：JICA 調査団

図 4-20 Line-2A (Jardim Angela から Santo Amaro) の列車運転曲線

調査対象路線における表定速度の計算結果を、表 4-6 に示す。6両編成の場合は、8両編成の場合より速いが、その差はごくわずかである。表にしめした表定速度は、駅間の時間を15秒で丸める代わりに5秒単位とすることで、時速約30kmにすることが可能である。

表 4-38 表定速度の計算結果

	8-car train		6-car train	
	Capan Redondo → Remel Jaguala	Ramal Jaguala → Capan Redondo	Capan Redondo → Remel Jaguala	Ramal Jaguala → Capan Redondo
Line-1A	27.2 km/h	28.2 km/h	27.9 km/h	28.2 km/h
Line-2A (UD)	27.2 km/h	28.6 km/h	27.5 km/h	28.6 km/h
Line-2A (OR)	27.3 km/h	28.6 km/h	28.3 km/h	29.0 km/h
Line-2B				
Line-2D	29.4 km/h	29.7km/ h	29.4 km/h	29.7 km/h
	Faria Lima → Barra Funda	Barra Funda → Faria Lima	Faria Lima → Barra Funda	Barra Funda → Faria Lima
Line-2C	28.3km /h	27.4 km/h	28.3 km/h	27.8 km/h

出典：JICA 調査団