

令和元年度

質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた
事業実施可能性調査事業

コロンビア国・メデジン市における都市交通マスタープラン
検討調査報告書

令和 2 年 2 月

経 済 産 業 省

委託先：パシフィックコンサルタンツ株式会社

参考写真

メデジン市中心部と交通状況・交通システム



写真－1 メデジン市(溪谷の底に広がる街)



写真－2 メデジン市の中心部



写真－3 都心部交通状況



写真－4 メデジンメトロ利用状況



写真－5 メデジンメトロ



写真－6 メトロカブレ



写真－7 メトロプルス(BRT)



写真－8 トランビア

AGT ルート路線状況 (San Juan ルート)



写真－9 AGT の起点付近（バス回転場）



写真－10 車両基地候補の運動場



写真－11 Tranvia との交差部



写真－12 Tranvia ルート



写真－13 自転車道の中央分離帯



写真－14 ルート上にある立体交差（斜張橋）



写真－15 メトロ A 線



写真－16 メトロ A 線 Alpujarra 駅

略語表

略語	Complete name	Nombre completo	日本語名称
ACI	The Agency for International Cooperation of Medellín	Agencia para la Cooperación Internacional de Medellín	メデジン国際協力機構
AGT	Automated Guideway Transit	Transporte Público de Guiado Automático	新交通システム
AMVA	The Metropolitan Area of the Aburrá Valley	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	アブラ溪谷メトロポリタンエリア
ANLA	National Authority of Enviromental Licences	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	国家環境ライセンス機関
ARC	Automatic Route Contral	Contral automático de ruta	自動進路制御装置
ATC	Automatic Train Control	Control automático de trenes	自動列車制御装置
ATO	Automatic Train Operation	Operación automática de trenes	自動列車運転装置
ATP	Automatic Train Protection	Protección automática de trenes	自動列車防護装置
ATS	Automatic Train Stop	Parada automática de trenes	自動列車停止装置
ATCS	Area Traffic Control Systems	Sistemas de control de tráfico de área	エリア交通管制システム
B/C	Benefit and Cost	Beneficios y Costos	費用対便益
B/D	Basic Design	Diseño Básico	基本設計
BRT	Bus Rapid Transit	Sistema de Autobús de Tránsito Rápido	バス高速輸送システム
CBTC	Communications-Based Train Contral	Control de trenes basado en comunicaciones	-
CCTV	Closed Circuit Television	Circuito cerrado de televisión	有線テレビ
CIS	Centralized Interlocking System	Sistema de enclavamiento centralizado	基地連動装置
Climate-FIT	Climate Finance Impact Tool	Herramientas de Financiamiento de Impacto para el Cambio Climático	気候変動対策支援ツール
COP	Colombia Peso	Pesos colombianos	コロンビアペソ
E&M	Electrical and Mechanical	Eléctrico y Mecánico	鉄道電気機械システム
EBF	Equity Back Finance	Financiamiento de capital compensatorio	-
EI	Electronic Interlocking	Enclavamiento electrónico	電子連動装置
EIA	Environment Impact Analysis	Estudios de Impacto Ambiental	環境影響評価

EPM	Public Enterprises of Medellín	Empresas Públicas de Medellín	メデジン公益企業（電力部門）
FDN	-	Financiera de Desarrollo Nacional	-
F/S	Feasibility Study	Estudio de Factibilidad	実現可能性調査
GCA	Government Contacting Agency	Agencia de contratación del gobierno	政府契約機関
GDP	Gross Domestic Product	Producto Interno Bruto	国内総生産
GRDP	Gross Regional Domestic Product	Producto Interno Bruto Regional	地域内総生産
IRR	Internal Rate of return	Tasa Interna de Retorno	内部利益率
ITV	Industrial Television	Televisión industrial	産業用テレビ
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	Banco de Japón para la Cooperación Internacional	国際協力銀行
JCM	Joint Crediting Mechanism	Mecanismo de Financiación Conjunta	二国間クレジット制度
LED	Light Emitting Diode	Diodo Emisor de Luz	発光ダイオード
JICA	Japan International Cooperation Agency	Agencia de Cooperación Internacional del Japón	国際協力機構
JIS	Japanese Industrial Standards	Estándares Industriales Japoneses	日本工業規格
LRT	Light Rail Transit	Tránsito de Tren Ligero	軽量軌道交通
M/P	Master Plan	Plan Maestro	マスタープラン
MRT	Mass Rapid Transit	Transporte Rápido Masivo	大量高速輸送交通・都市鉄道
NEXI	Nippon Export and Investment Insurance	Seguro de Exportación e Inversión de Japón	日本貿易保険
NPV	Net Present Value	Valor Presente neto	正味現在価値
OCC	Operation Control Center	Centro de Control de Operaciones	中央指令所
OD	Origin and Destination	Origen y Destino	交通起終点
ODA	Official Development Assistance	Asistencia Oficial para el Desarrollo	政府開発援助
O&M	Operation and Maintenance	Operación y Mantenimiento	運営・維持管理
PC	Prestressed Concrete	Hormigón Pretensado	プレストレストコンクリート
PPHPD	Passengers Per Hour Per Direction	Pasajeros por Hora por Dirección	片道1時間あたりの輸送量

PPP	Public Private Partnership	Asociación Público-Privada	官民共同パートナーシップ
PRC	Programmed Route Control	Contral de ruta programado	自動進路制御装置
RAP	Resettlement Action Plan	Plan de Acción de Reasentamiento	住民移転計画
RC	Reinforced Concrete	Concreto reforzado	鉄筋コンクリート
ROW	Right Of Way	Derecho de Paso	敷設用地
RSS	Receiving Substation	Subestación Receptora	受電変電所
SPV	Special Purpose Vehicle	Vehículo para Fines Especiales	特定目的事業体
STEP	Special Terms for Economic Partnership	Términos Especiales para la Asociación Económica	本邦技術活用条件
TD	Train Detection	Detección de trenes	列車検知装置
TOR	Terms Of Reference	Términos de Referencia	仕様書
TSS	Traction Substation	Subestación de Tracción	き電変電所
VGF	Viability Gap Funding	Financiamiento de la Brecha de Viabilidad	-
WB	World Bank	Banco Mundial	世界銀行

為替レート

1 USD = 円

1 USD = COP

1 円 = COP

※

目次

1. はじめに	1-1
1.1 調査の背景と目的	1-1
1.1.1 調査の背景	1-1
1.1.2 調査の目的	1-1
1.2 調査内容	1-2
1.3 調査の実施体制	1-3
2. 提案に必要な情報収集・調査・分析	2-1
2.1 コロンビアの概要	2-1
2.2 メデジン市の現況把握	2-2
2.2.1 メデジン市の概況	2-2
2.2.2 メデジン市の公共交通の概要	2-8
2.2.3 メデジン市の道路交通の概要	2-13
2.3 メデジン市の上位計画	2-17
2.3.1 都市マスタープラン(POT)	2-17
2.3.2 2030年を目標年とする環境都市構築のロードマップ(BIO 2030 Medellin Master Plan)	2-19
2.3.3 メデジン総合計画 2016-2019 (Medellin Comprehensive Plan 2016-2019)	2-19
2.4 相手国ニーズ・課題の把握	2-22
2.4.1 公共交通ネットワークの強化	2-22
2.4.2 貧困コミュニティの活性化と治安の向上	2-23
2.5 メデジン市都市交通マスタープランの位置づけ	2-24
2.5.1 検討の考え方	2-24
2.5.2 メデジン市における新たな交通システム(AGT)の導入必要性	2-26
2.5.3 メデジン市都市交通マスタープランの検討	2-28
2.5.4 AGTの導入可能性および必要性の高い路線の選定	2-30
2.6 需要予測	2-32
2.6.1 2030年の交通手段別交通量推計	2-32
3. インフラシステムの基本的な設計等	3-1
3.1 路線計画	3-1
3.1.1 基本方針	3-1
3.1.2 駅の配置	3-1
3.1.3 線形検討上のコントロールポイント	3-2
3.1.4 線形条件	3-4
3.1.5 平面・縦断設計	3-4
3.2 構造物計画	3-7
3.2.1 高架橋部の構造物計画	3-7
3.2.2 駅部の構造物計画	3-11
3.3 AGTシステム検討(電気・信号・通信・運転・車両)	3-16

3.3.1 電力設備	3-16
3.3.2 信号設備	3-19
3.3.3 通信設備	3-20
3.3.4 運行管理システム及び他の管理システム	3-21
3.3.5 運転計画	3-23
3.3.6 車両計画	3-25
3.3.7 車両基地計画	3-25
3.4 インフラシステムの今後の課題、検討項目	3-27
3.4.1 路線計画	3-27
3.4.2 構造物計画	3-27
3.4.3 AGT システムの検討	3-27
3.4.4 運転計画	3-27
3.4.5 環境影響調査	3-27
4. 事業規模・事業費の算出(運営・維持管理費・初期)	4-1
4.1 運営・維持管理費の算出	4-1
4.1.1 運営組織体制	4-1
4.1.2 駅要員配置計画	4-2
4.1.3 維持管理要員配置計画	4-3
4.1.4 運営・維持管理に関わる人件費	4-3
4.1.5 運営・維持管理に関わる経費	4-4
4.2 事業費算出	4-5
4.2.1 積算条件と積算方法	4-5
4.2.2 概算事業費の算出	4-6
5. 事業実施体制(事業スキーム等)	5-1
5.1 資金調達—円借款	5-1
5.1.1 民間資金活用の場合	5-1
5.1.2 公共事業として実施する場合—円借款の活用	5-2
5.1.3 その他の資金の活用	5-3
5.2 円借款の借入条件等	5-4
5.2.1 コロンビアの経済・財政状況	5-4
5.2.2 借入条件	5-4
5.2.3 包括協定	5-5
5.3 まとめ	5-5
6. ファイナンスの検討・提案(財務分析、資金調達計画)、経済性評価	6-1
6.1 財務分析、資金調達計画	6-1
6.1.1 財務分析における条件設定	6-1
6.1.2 財務分析・事業採算性検討	6-3
6.1.3 財務分析・事業採算性検討のまとめ	6-6
6.2 経済分析	6-7

6.2.1 経済費用	6-7
6.2.2 経済便益と経済的内部収益率	6-8
6.2.3 費用対効果	6-11
7. 事業スケジュール(受注、事業化含む)	7-1
8. 環境社会配慮	8-1
8.1 AGT 導入に伴う環境社会面への影響の整理	8-1
8.1.1 現地地域特性の把握	8-1
8.1.2 コロンビア国の環境影響評価制度及び手続	8-1
8.1.3 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響	8-2
8.2 AGT 導入に伴う CO ₂ 削減見込量評価	8-5
9. まとめ、今後の課題等	9-1
9.1 まとめ	9-1
9.2 今後の課題	9-2
図 1-1 事業の全体構成	1-2
図 1-2 組織図(体制図)および実施者の業務内容	1-3
図 2-1 メデジン市の地形的特徴	2-2
図 2-2 Antioquia 県の各都市、Comuna/Corregimiento の位置	2-3
図 2-3 メデジン市の各 Comuna の人口分布	2-5
図 2-4 メデジン市の各 Comuna の人口密度分布	2-5
図 2-5 メデジン市の経年人口推移	2-5
図 2-6 各 Comuna の階層構成比	2-6
図 2-7 各 Corregimiento の階層構成比	2-6
図 2-8 2000~2017 年の交通手段分担の推移	2-7
図 2-9 メデジン市のトリップ目的別トリップ率(2017 年)	2-7
図 2-10 メデジン市の公共交通路線図	2-8
図 2-11 メデジン市の各公共交通機関の概要	2-9
図 2-12 Metro de Medellin のフィーダーバスネットワークとバス停位置	2-10
図 2-13 AMVA のバスネットワークと駅位置	2-11
図 2-14 メデジン市の長距離バスのターミナル位置	2-11
図 2-15 公共交通機関の組合せパターンごとの統合運賃(2019 年現在)	2-12
図 2-16 混雑が深刻な主要 6 道路	2-13
図 2-17 ピーク時・オフピーク時の Comuna 内の自動車の速度[km/h]	2-14
図 2-18 ピーク時・オフピーク時の Comuna 内の時間交通量[台/h/車線]	2-14
図 2-19 Comuna ごとの事故発生件数	2-16
図 2-20 2018 年の死亡事故発生箇所	2-16
図 2-21 メデジンの都市構造と開発ビジョン	2-17
図 2-22 メデジン都市土地利用計画(2019 年調整)	2-18
図 2-23 メデジン市の将来の課題	2-22

図 2-24	メデジン市における貧困コミュニティ	2-23
図 2-25	具体的な検討手順	2-24
図 2-26	メデジンメトロマスタープラン	2-25
図 2-27	メトロプルス混雑状況（駅構内）	2-26
図 2-28	高架式公共交通の必要性	2-26
図 2-29	交通モードの領域図（ピーク時需要および輸送距離との関係）	2-28
図 2-30	参考：都市軸形成の観点から優先的に整備すべき交通軸	2-31
図 2-31	既存交通手段から AGT への交通手段転換仮定	2-32
図 2-32	メデジン市の人口増加率[／年]	2-34
図 3-1	マスタープラン（2016 年改訂版）と設計対象区間の関係	3-1
図 3-2	San Juan ルート上に存在する構造物および関連プロジェクト	3-2
図 3-3	車両基地候補地	3-3
図 3-4	Tranvia との交差部に位置するラウンドアバウト	3-3
図 3-5	Alpujarra 駅付近の状況	3-4
図 3-6	平面図	3-5
図 3-7	縦断面図	3-5
図 3-8	建築限界および乗降場限界	3-8
図 3-9	軸重配置	3-8
図 3-10	メデジン市の地質状況	3-9
図 3-11	地震リスクマップとメデジン市の応答スペクトル	3-10
図 3-12	断面図・側面図（中央分離帯部分に橋脚を立てられる場合）	3-10
図 3-13	断面図（桁直下が道路で橋脚を立てられない場合）	3-10
図 3-14	駅部横断面図（中央分離帯有り）	3-12
図 3-15	駅部横断面図（中央分離帯無し）	3-12
図 3-16	接続駅計画図（中央分離帯有り）	3-13
図 3-17	接続駅計画図（中央分離帯無し）	3-13
図 3-18	メトロ A 線 Alpujarra 駅との接続駅計画図	3-14
図 3-19	駅施設におけるバリアフリー取組	3-15
図 3-20	電車線一般部	3-18
図 3-21	分岐器部電線路設備	3-18
図 3-22	連動端末	3-20
図 3-23	電子連動装置	3-20
図 3-24	CCTV（全方位対応型）	3-21
図 3-25	CCTV 監視装置	3-21
図 3-26	運行管理システム	3-22
図 3-27	設備管理システム	3-22
図 3-28	車両基地連動制御盤	3-22
図 3-29	車両基地モニター	3-22
図 3-30	Urbanismo18	3-24

図 3-31 車両留置線（ゆりかもめ）	3-26
図 3-32 入出区線（奥が本線との合流箇所：ゆりかもめ）	3-26
図 3-33 洗浄線（検査歩道の奥：ゆりかもめ）	3-26
図 3-34 検査ピット（西武山口線）	3-26
図 4-1 運営組織体制	4-1
図 5-1 AGT 建設に係る資金調達スキーム図	5-3
図 5-2 中南米主要国の公共部門対外債務の対 GDP 比予測	5-4
図 6-1 メデジンメトロの基本運賃の推移	6-2
図 6-2 トリップ転換率と運賃収入の考え方	6-3
図 6-3 事業期間における事業収支	6-3
図 6-4 事業期間におけるキャッシュフロー（上下一体）	6-4
図 6-5 事業期間におけるキャッシュフロー（上下分離）	6-4
図 6-6 経済効果（フルスペック）	6-11
図 6-7 経済効果（コスト削減案）	6-11
図 9-1 TOD 型のまちづくりの必要性	9-2
図 9-2 AGT をはじめとする鉄軌道の整備効果	9-3
表 2-1 2016 年～2020 年の各 Comuna の人口推移	2-4
表 2-2 各道路におけるピーク時・オフピーク時の自動車の速度と交通量	2-15
表 2-3 メデジン総合計画 2016-2019 の概要	2-20
表 2-4 高架式中量輸送機関の概要	2-27
表 2-5 交通モード判定結果	2-29
表 2-6 評価指標および評価結果	2-30
表 2-7 本調査と Metro de Medellin の需要予測結果	2-33
表 2-8 検討路線の 2030 年～2059 年の AGT 年間利用者数	2-34
表 3-1 駅一覧表	3-1
表 3-2 日本の AGT 車両基地の敷地面積と留置本数	3-2
表 3-3 AGT システムの線形条件	3-4
表 3-4 平面線形分析表	3-5
表 3-5 勾配分析表	3-6
表 3-6 線形表	3-6
表 3-7 高架構造形式の比較	3-7
表 3-8 桁構造の比較	3-7
表 3-9 設計基本条件	3-8
表 3-10 乗換え移動円滑の視点	3-11
表 3-11 乗換え結節駅タイプ	3-11
表 3-12 円滑な乗り換え移動機能	3-14
表 3-13 変電設備の機能概要	3-16
表 3-14 き電変電所、電気室、き電開閉所の数量および容量等	3-17

表 3-15 電路設備の構成概要	3-17
表 3-16 電力管理システムの機能	3-18
表 3-17 通信設備の構成概要	3-20
表 3-18 日本国内の新交通システム事業者の表定速度	3-23
表 3-19 Urbanismo18 による運行計画	3-24
表 3-20 メデジン市向け AGT 車両基本諸元案	3-25
表 4-1 駅要員配置計画	4-2
表 4-2 維持管理要員配置計画	4-3
表 4-3 運営・維持管理に関わる人件費	4-3
表 4-4 運営・維持管理に関わる経費	4-4
表 4-5 運営・維持管理に関わる経費の内訳	4-4
表 4-6 概算事業費の費目内訳	4-5
表 4-7 為替レート	4-5
表 4-8 概算事業費（フルスペック）	4-6
表 4-9 概算事業費（シンプルスペック）	4-6
表 5-1 資金調達先 比較表	5-2
表 6-1 感度分析結果：上下一体・フルスペック	6-5
表 6-2 感度分析結果：上下一体・シンプルスペック	6-5
表 6-3 感度分析結果：上下分離・フルスペック	6-5
表 6-4 感度分析結果：上下分離・シンプルスペック	6-5
表 6-5 2015-2050 年二酸化炭素の社会コスト	6-10
表 7-1 事業スケジュール	7-1
表 8-1 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響及び緩和策	8-3
表 8-2 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響及び緩和策（続き）	8-4
表 8-3 前提条件	8-5
表 8-4 試算結果（ゾーン間交通流量減少による CO2 削減量）	8-6
表 8-5 試算結果（ゾーン間交通流率減少に伴う表定速度改善による CO2 削減量）	8-6
表 8-6 試算結果（車両・駅舎運用に伴う CO2 排出量）	8-7

1. はじめに

1.1 調査の背景と目的

1.1.1 調査の背景

メデジン市はコロンビア北西部に位置するコロンビア第2の都市（人口250万人）で、アンデス山脈アブラ溪谷の標高1500mの盆地に位置しており、すり鉢状の地形に市街地を形成している。

かつて、大きな都市問題であった治安や貧困問題は、戦略的な都市政策により改善がすすみ、2013年にはウォールストリート・ジャーナルにおいて「最も革新的な都市」に選ばれた。

一方で、人口増加とモータリゼーションの進展により、慢性的な交通渋滞と深刻な大気汚染という新たな都市問題が発生し、都市の持続的な成長を阻害している。

1.1.2 調査の目的

本調査の目的として、メデジン市は慢性的な交通渋滞と深刻な大気汚染という2つの都市問題を抱えているが、事態は刻一刻と悪化しており、既存の道路空間などを活用しながら、公共交通の整備拡充を早急に進める必要がある。公共交通を有効に機能させるためには、都市特性、地形特性、交通需要などに対応した適切な導入システムの検討を行う必要があるが、今まで導入がなされていなかった高架型中量輸送システム（AGTやモノレール等）も選択肢の1つとして想定される。そのため本事業は、メデジン市の新たな総合交通体系の構築にあたって、国際競争力のある日本の都市交通システム（AGT等）を基幹的な公共交通の1つとして位置づけるために、その実現性を検討するものである。

1.2 調査内容

本業務の調査・提案内容を下記に示す。

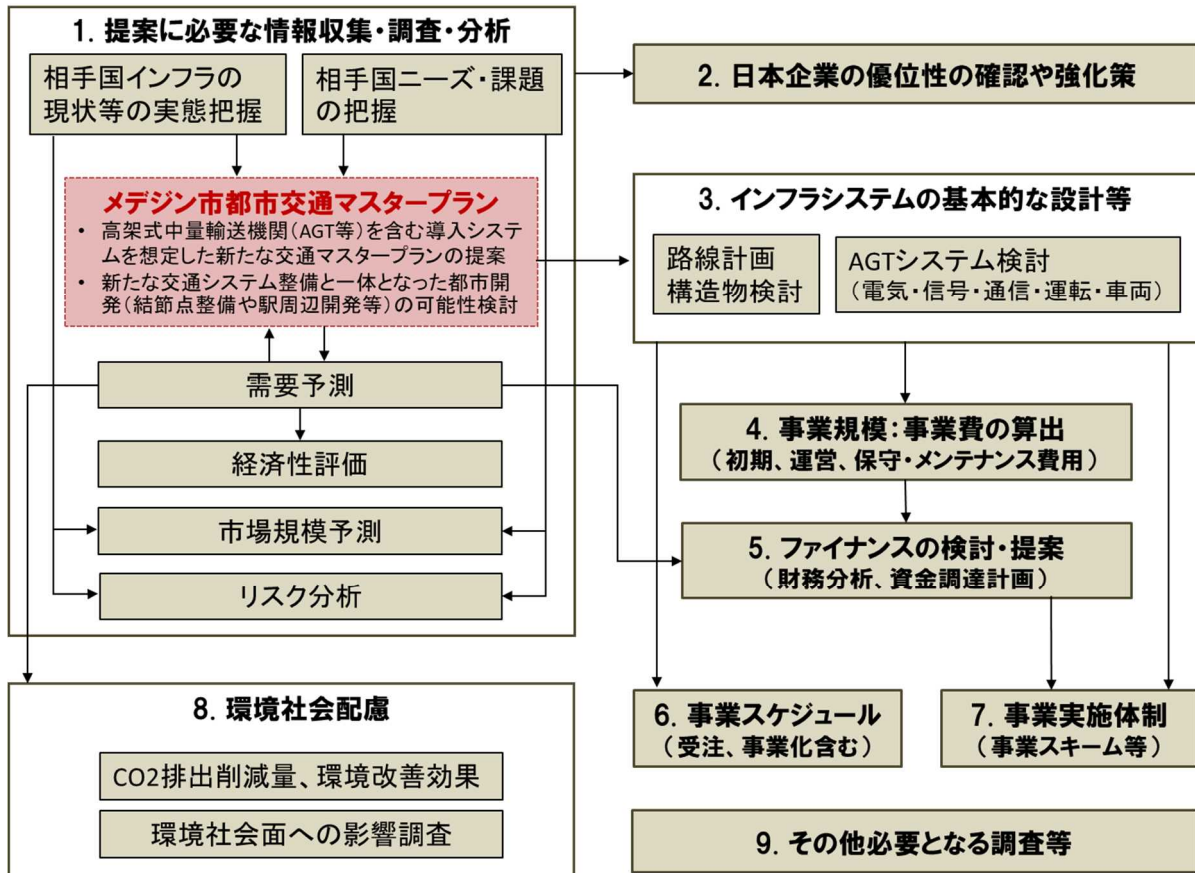


図 1-1 事業の全体構成

1.3 調査の実施体制

本業務の実施体制を以下に示す。

本事業実施体制図を以下に示す。

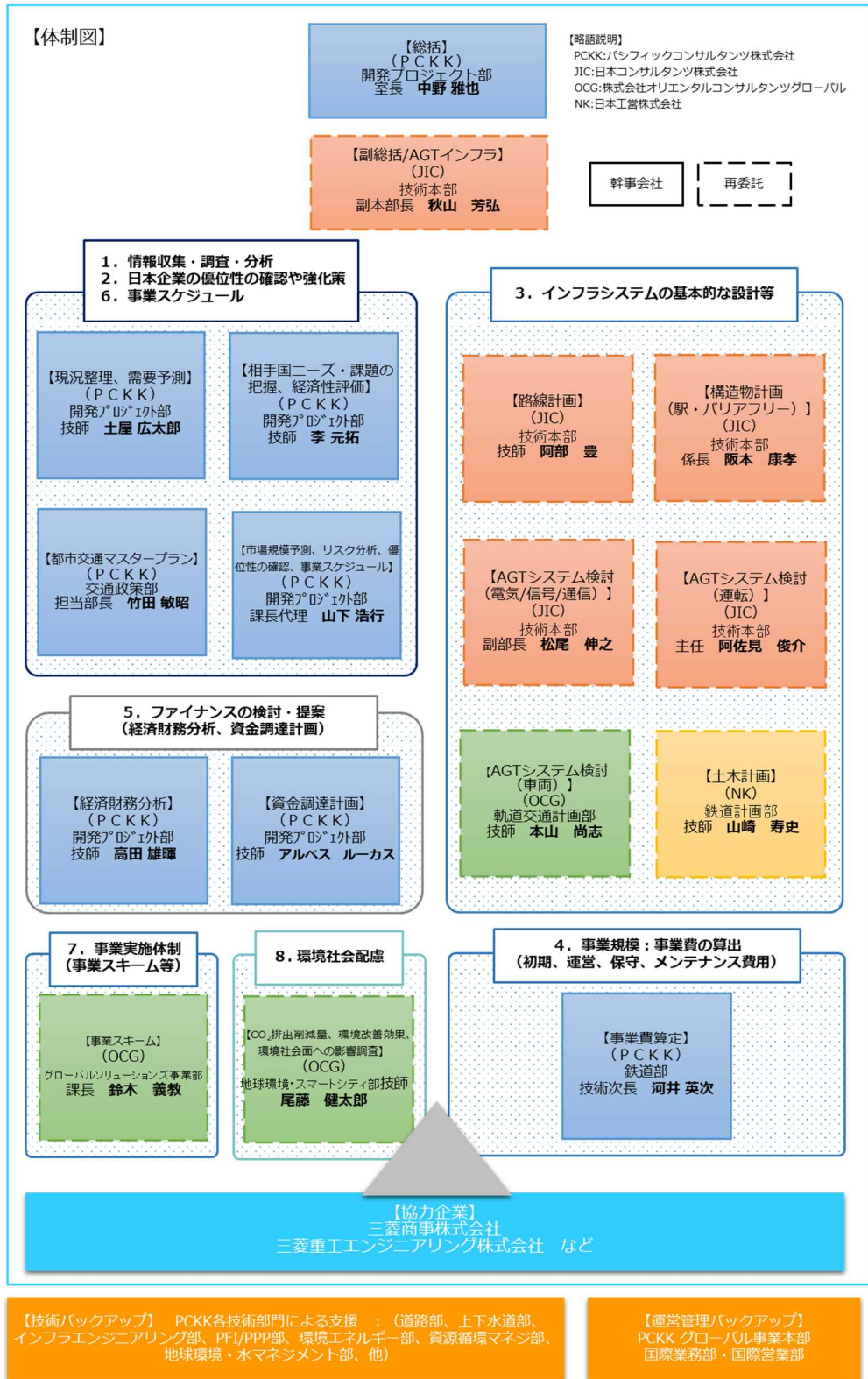


図 1-2 組織図(体制図)および実施者の業務内容

2. 提案に必要な情報収集・調査・分析

コロンビア政府の国家計画でのメデジン市の位置づけやメデジン市の都市開発や都市交通マスタープラン、環境都市構築ロードマップ等の上位関連計画を整理し、コロンビア国・メデジン市の政策動向を整理する。

2.1 コロンビアの概要

コロンビア共和国は、南アメリカの北部に位置し、北はカリブ海、西は太平洋に面している。ボゴタに首都があり、政府は 32 の省から構成される。2017 年時点の人口はおよそ 4,900 万人で、通貨は、コロンビア・ペソ（COP）を使用している。

- 1 面積 1,139,000 平方キロメートル（日本の約 3 倍）
- 2 人口 約 4,907 万人（2017 年世銀）
- 3 首都 ボゴタ
- 4 民族 混血 75%，ヨーロッパ系 20%，アフリカ系 4%，先住民 1%
- 5 言語 スペイン語
- 6 宗教 カトリック
- 7 主要産業 農業（コーヒー、バナナ、さとうきび、じゃがいも、米、熱帯果実等）、鉱業（石油、石炭、金、エメラルド等）
- 8 GDP 3,331 億ドル（2018 年 IMF）
- 9 一人当たり GNP 6,684 ドル（2018 年 IMF）
- 10 経済成長率 2.6%（2018 年コロンビア国家統計庁）
- 11 物価上昇率 3.18%（2018 年コロンビア国家統計庁）
- 12 失業率 9.7%（2018 年コロンビア国家統計庁）
- 13 総貿易額（2018 年コロンビア国家統計庁）
 - (1) 輸出 418.38 億ドル
 - (2) 輸入 512.30 億ドル
- 14 主要貿易品目
 - (1) 輸出 石油、コーヒー、石炭、フェロニッケル、バナナ、エメラルド、切り花
 - (2) 輸入 化学品、自動車・同部品、機械、通信機器、食品
- 15 主要貿易相手国（2018 年コロンビア国家統計庁）
 - (1) 輸出 米国、中国、パナマ、エクアドル、トルコ、メキシコ
 - (2) 輸入 米国、中国、メキシコ、ブラジル、ドイツ、日本
- 16 通貨 ペソ (Colombian Peso)



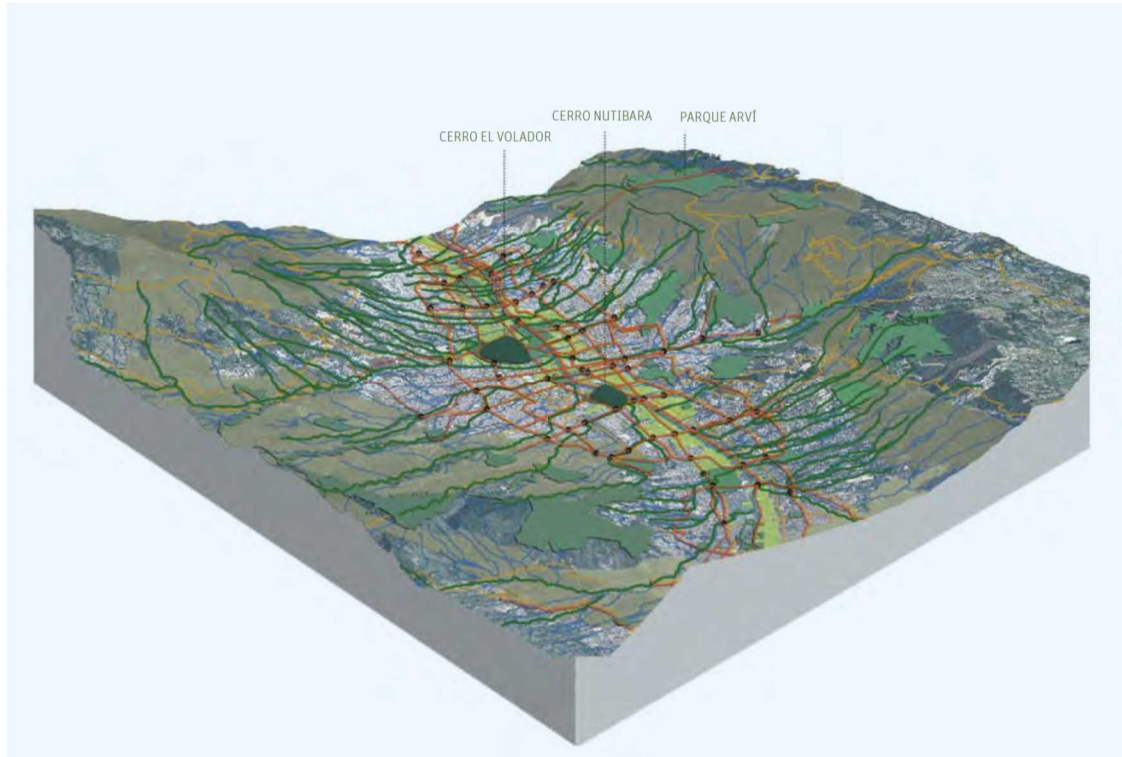
コロンビア国の位置図

外務省HPより抜

2.2 メデジン市の現況把握

2.2.1 メデジン市の概況

メデジン市は、コロンビア共和国の首都ボゴタ市に次ぐ第 2 の都市である。アンティオキア県の県都であり、南北にメデジン川が流れ、メデジン川に並行して鉄道が運行している。メデジン川の東西に向かって標高が高くなっている。標高は 3500m、人口 250.8 万人(2017 年時点)、面積 380km² である。



出典：BIO 2030 PLAN DIRECTOR MEDELLÍN, VALLE DE ABURRÁ Primera edición

Diciembre de 2011

図 2-1 メデジン市の地形的特徴

(1) メデジン市の行政地区

メデジン市は 16 の Comuna と 5 つの Corregimiento からなっており、各 Comuna は複数の Barrio で構成されている。



図 2-2 Antioquia 県の各都市、Comuna/Corregimiento の位置

(2) メデジン市の人口

各 Comuna の人口推移を「表 2-1」に示す。メデジン市の人口の約 88[%]が Comuna に属しており、残りの人口 12[%]が Corregimiento に属している。各 Comuna の人口の年間増加率を比較すると、各 Comuna で毎年人口は増加しているが、増加率に着目すると、減少している。Comuna7 と Comuna14 の人口増加率は比較的高い。

表 2-1 2016 年～2020 年の各 Comuna の人口推移

Comuna	Description	2016	2017	2018	2019	2020	Ratio[%]
Comuna 01	Popular	130,914	131,445	131,968	132,482	132,991	87.7
Comuna 02	Santa Cruz	111,992	112,514	113,024	113,520	114,007	
Comuna 03	Manrique	160,378	161,070	161,735	162,374	162,990	
Comuna 04	Aranjuez	162,596	162,915	163,213	163,489	163,748	
Comuna 05	Castilla	150,347	150,881	151,361	151,785	152,158	
Comuna 06	Doce de octubre	194,239	194,787	195,308	195,800	196,267	
Comuna 07	Robledo	173,075	174,406	175,652	176,810	177,874	
Comuna 08	Villa Hermosa	138,045	138,542	139,025	139,493	139,950	
Comuna 09	Buenos Aires	137,049	137,255	137,402	137,494	137,533	
Comuna 10	La Candelaria	85,587	85,658	85,724	85,783	85,841	
Comuna 11	Laureles Estadio	122,503	122,744	122,972	123,185	123,389	
Comuna 12	La América	96,613	96,918	97,199	97,457	97,698	
Comuna 13	San Javier	138,625	139,175	139,716	140,243	140,758	
Comuna 14	Poblado	130,206	131,486	132,688	133,814	134,873	
Comuna 15	Guayabal	94,960	95,397	95,790	96,142	96,462	
Comuna 16	Belén	197,123	197,399	197,493	197,593	197,625	
Corregimiento 50	San Sebastián de Palmitas	6,687	7,661	7,438	7,819	8,194	12.3
Corregimiento 60	San Cristóbal	86,315	93,072	99,662	105,977	112,088	
Corregimiento 70	Altavista	37,478	38,574	39,725	40,911	42,158	
Corregimiento 80	San Antonio de Prado	113,202	117,594	121,980	126,285	130,575	
Corregimiento 90	Santa Elena	18,789	19,559	20,328	21,081	21,828	
Total		2,486,723	2,509,052	2,529,403	2,549,537	2,569,007	

出典：Perfil Demográfico 2016 - 2020 Comuna 01_Popular～Perfil Demográfico 2016 - 2020 Corregimiento 90_Santa Elena, Alcaldía de Medellín より調査団作成

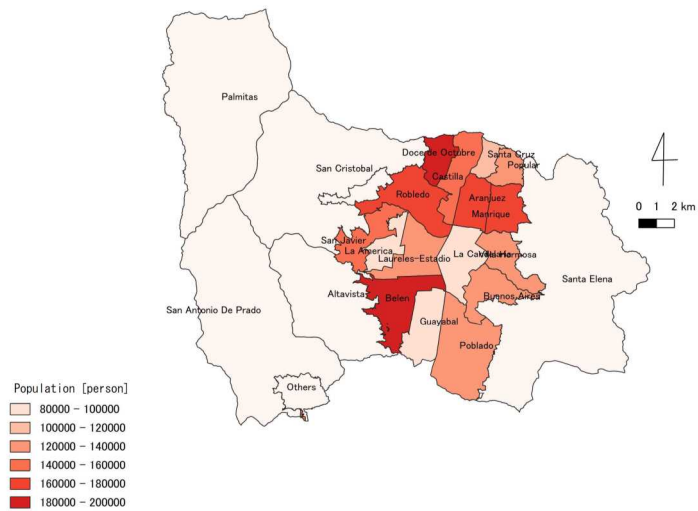


図 2-3 メデジン市の各 Comuna の人口分布

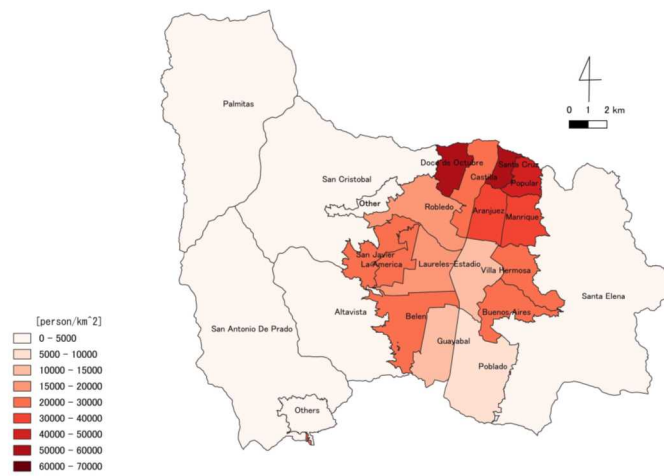
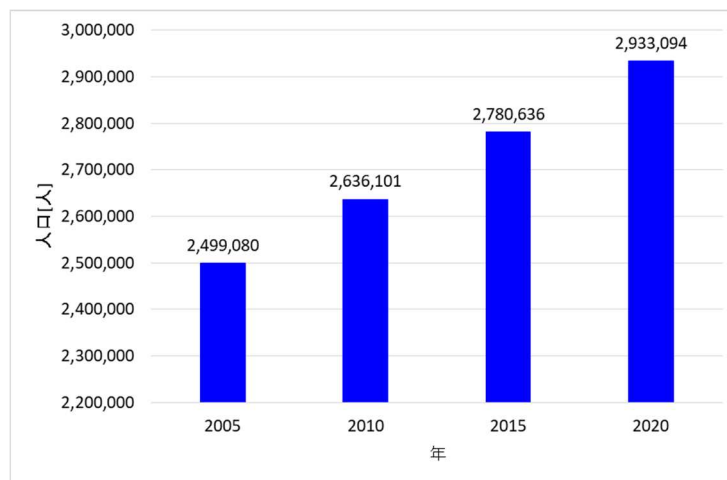


図 2-4 メデジン市の各 Comuna の人口密度分布



出典: Alcaldía de Medellín, Primera Parte: Generalidades Medellín y su Población, 2006

図 2-5 メデジン市の経年人口推移

(3) メデジン市の社会経済指標

メデジン市では、居住地区によって6つの階層に分類されており（Estrata 制度）、階層に応じてインフラの質が異なっていることから、税金の金額が異なる。また、こうした取り組みは高所得者が低所得者を負担する仕組みとも考えられている。階層1が最も貧しい階層であり、階層6が最も裕福な階層とされている。各 Comuna と各 Corregimiento での階層構成を次図に示す。

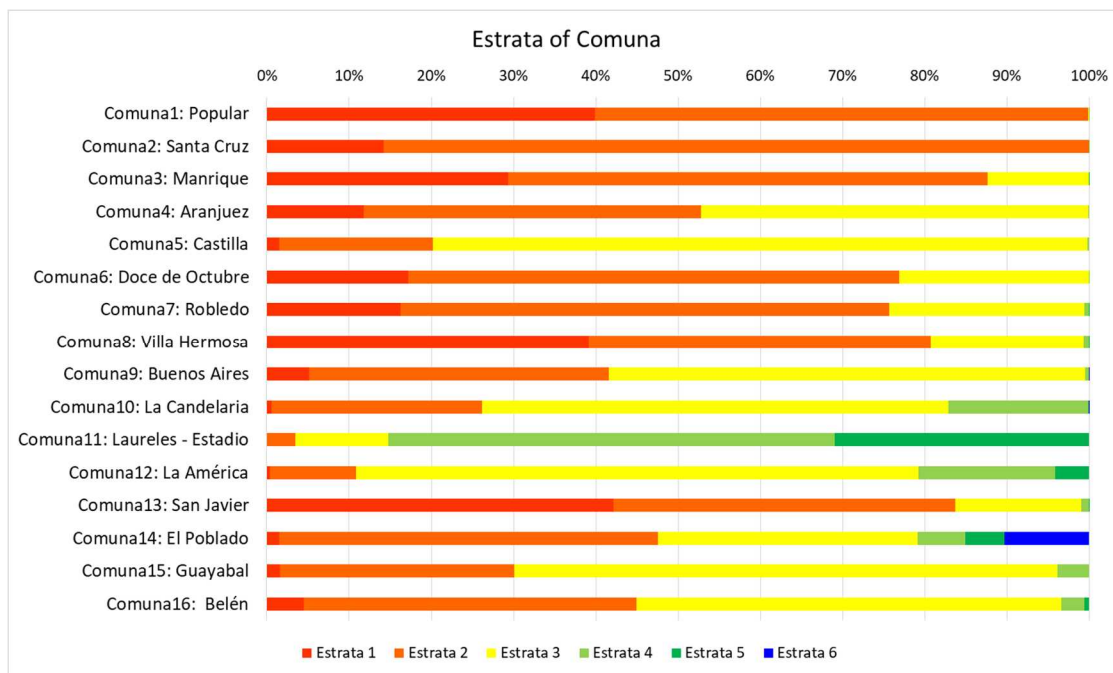


図 2-6 各 Comuna の階層構成比

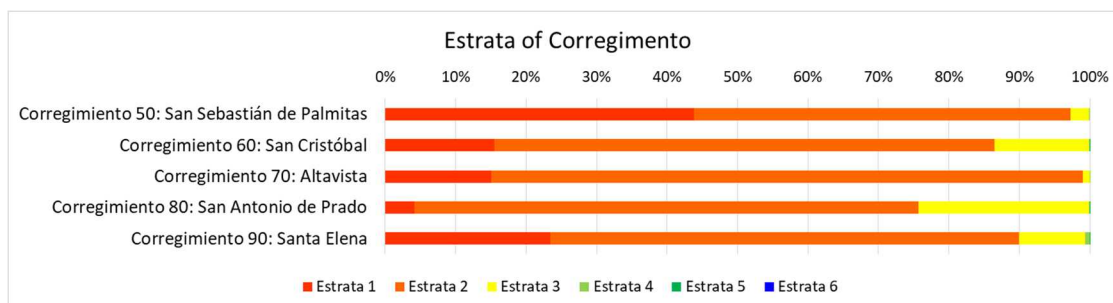


図 2-7 各 Corregimiento の階層構成比

出典：VIVIENDAS ENCUESTADAS Y CLASIFICADAS EN EL SISBÉN SEGÚN ESTRATO DE LA UNIDAD DE VIVIENDA Y COMUNA O CORREGIMIENTO BASE DE DATOS CERTIFICADA POR EL D.N.P - CORTE DICIEMBRE DE 2015, MUNICIPIO DE MEDELLÍN より調査団作成

(4) 交通行動

a) 交通手段分担

交通手段分担について、2017 年度に実施した OD 調査から、Metro de Medellin が集計した結果がある。（図 2-8）経年的に交通手段の変移を見ると、自家用車の利用は大きな増減はないものの、バス利用の減少に比例して、Metro とバイクの利用が増加しているように推測することができる。特に 2005~2012 年はバイクへの転換が多く、2012~2017 年は公共交通への転換が多い。

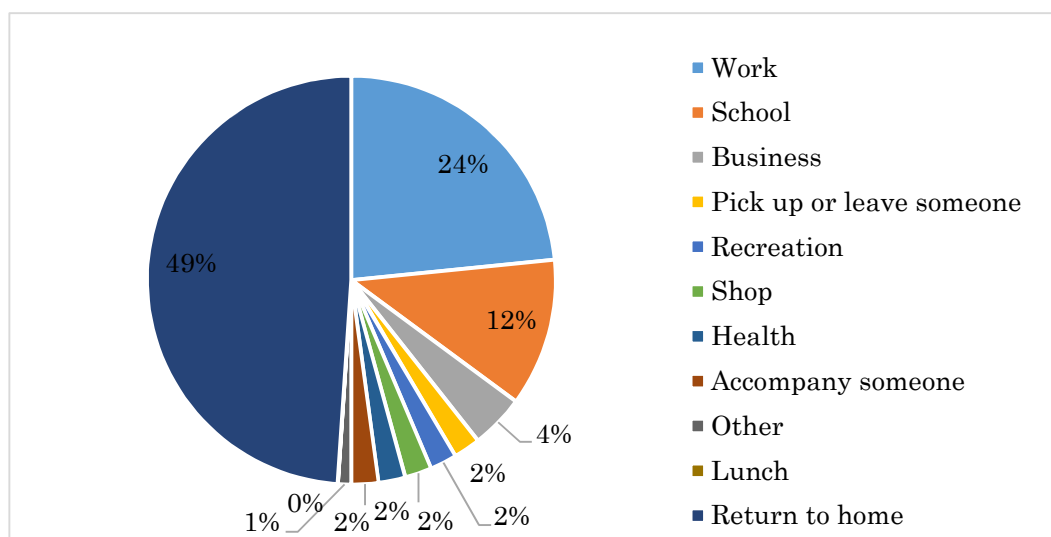


出典：Sesión estratégica Junta Directiva, Metro de Medellin, May 2019

図 2-8 2000~2017 年の交通手段分担の推移

b) トリップ目的

2017 年のトリップ目的別のトリップ率を示す。



出典：https://www.metropol.gov.co/encuesta_od2017_v2/index.html#/

図 2-9 メデジン市のトリップ目的別トリップ率(2017 年)

2.2.2 メデジン市の公共交通の概要

(1) Metro の概要

メデジン市には、鉄道路線が2路線（Line A, B）、ゴンドラが4路線（Line H, J, K, L）と現在2路線を新たに建設中（Line P & Line M）、LRTが1路線（Line T-A）、BRTが2路線（Line 1, 2）と現在1路線（Line 3）が建設中である。南北に鉄軌道が通っており、勾配の高い場所はロープウェイが運行している。それぞれの交通手段の概要を以下に示す。



metrodemedellin HOLA METRO 444 95 98

出典: Metro de Medellín Ltda.

図 2-10 メデジン市の公共交通路線図

路線	A	B	K	J	L	H	M	P	1 BUS	2 BUS	T-A	合計
交通システム	鉄道	鉄道	ケーブルカー	ケーブルカー	ケーブルカー	ケーブルカー	ケーブルカー	ケーブルカー	BRT	フィーダーバス	トラム	3 Modos 11 Líneas 交通手段: 3 路線数: 11
容量 [人/車両]	Coche / car 300 usuarios / users	Coche / car 300 usuarios / users	Telecabina gondola 10 8 sentados, 2 de pie 8 sitting - 2 standing	Telecabina gondola 10 8 sentados, 2 de pie 8 sitting - 2 standing	Telecabina gondola 10 8 sentados, 2 de pie 8 sitting - 2 standing	Telecabina gondola 10 8 sentados, 2 de pie 8 sitting - 2 standing	Telecabina gondola 10 8 sentados, 2 de pie 8 sitting - 2 standing	Telecabina gondola 12 10 sentados, 2 de pie 10 sitting - 2 standing	Bus articulado articulated bus 154 usuarios / users	Bus padrón padron bus 90 usuarios / users	Tranvía tramway 300 usuarios / users	N/A
路線長	31.3 Km 0 km	31.3 Km 0 km	14.62 Km 0 km	14.62 Km 0 km	14.62 Km 0 km	14.62 Km 0 km	14.62 Km 0 km	14.62 Km 0 km	12.5 Km 0 km	13.5 Km 0 km	4.2 Km 0 km	76,12 全モード総キロメートル 31,3 km 鉄道 14,62 km ケーブルカー 12,5 km BRT 13,5 km フィーダーバス 4,2 km トラム
駅数	21 (8 elevadas) (8 elevated)	6 (5 elevadas) (5 elevated)	3	3	2	2	2	3	20	8 (paraderos) (stops)	3 Estaciones stations 6 Paraderos stops	79 駅 (14バス停)
車両数	80 trenes de 3 coches three-car trains 240 coches 240 cars		93 telecabinas gondolas	119 telecabinas gondolas	55 telecabinas gondolas	44 telecabinas gondolas	49 telecabinas gondolas	138 telecabinas gondolas	30 a gas gas 1 eléctrico electric	47 bus padrones a gas gas feeding buses	12 vehículos tranviarios tramway cars	240 鉄道車両台数 498 ゴンドラ台数 31 連節バス台数 47 路線バス台数 12 トラム車両台数
柱数	N/A		20	31	23	10	11	29	N/A	N/A	N/A	124
起点〜終点 旅行時間[分]	42 minutos minutes	10,5 minutos minutes	9 minutos minutes	12 minutos minutes	15 minutos minutes	5 minutos minutes	4 minutos minutes	10 minutos minutes	45 minutos minutes	52 minutos minutes	19 minutos minutes	
平均旅行速度 [km/h]	40 (Máx.80 km/h)		18 (km/h)	18 (km/h)	18 (km/h)	18 (km/h)	18 (km/h)	19 (km/h)	16 (Máx.60 km/h)	13 (Máx.60 km/h)	16 (Máx.70 km/h)	
ピーク時の 運行時間	Minutos Segundos minutes seconds 3:00	Minutos Segundos minutes seconds 3:50	Minutos Segundos minutes seconds 0:12	Minutos Segundos minutes seconds 0:12	Minutos Segundos minutes seconds 0:14	Minutos Segundos minutes seconds 0:13	Minutos Segundos minutes seconds 0:09	Minutos Segundos minutes seconds 0:11	Minutos Segundos minutes seconds 2:45	Minutos Segundos minutes seconds 4:17	Minutos Segundos minutes seconds 4:44	
乗客 [人/車両/分]	41.480	16.231	3.000	3.000	1.200	1.800	2.500	4.000	3.270	1.417	3.807	81.705
サービスエリア の範囲	• Acevedo • San Antonio • Hospital • Industriales	• San Antonio • San Javier	• Acevedo • Santo Domingo	• San Javier	• Santo Domingo	• Oriente	• Miraflores	• Acevedo	• Hospital • Cisneros • Industriales	• Industriales	• San Antonio • Miraflores • Oriente	
開業年月	30/11/1995	29/02/1996	7/08/2004	3/03/2008	9/02/2010	17/12/2016	1er trimestre 2019 Q1 2019	En construcción	22/12/2011	22/04/2013	31/03/2016	

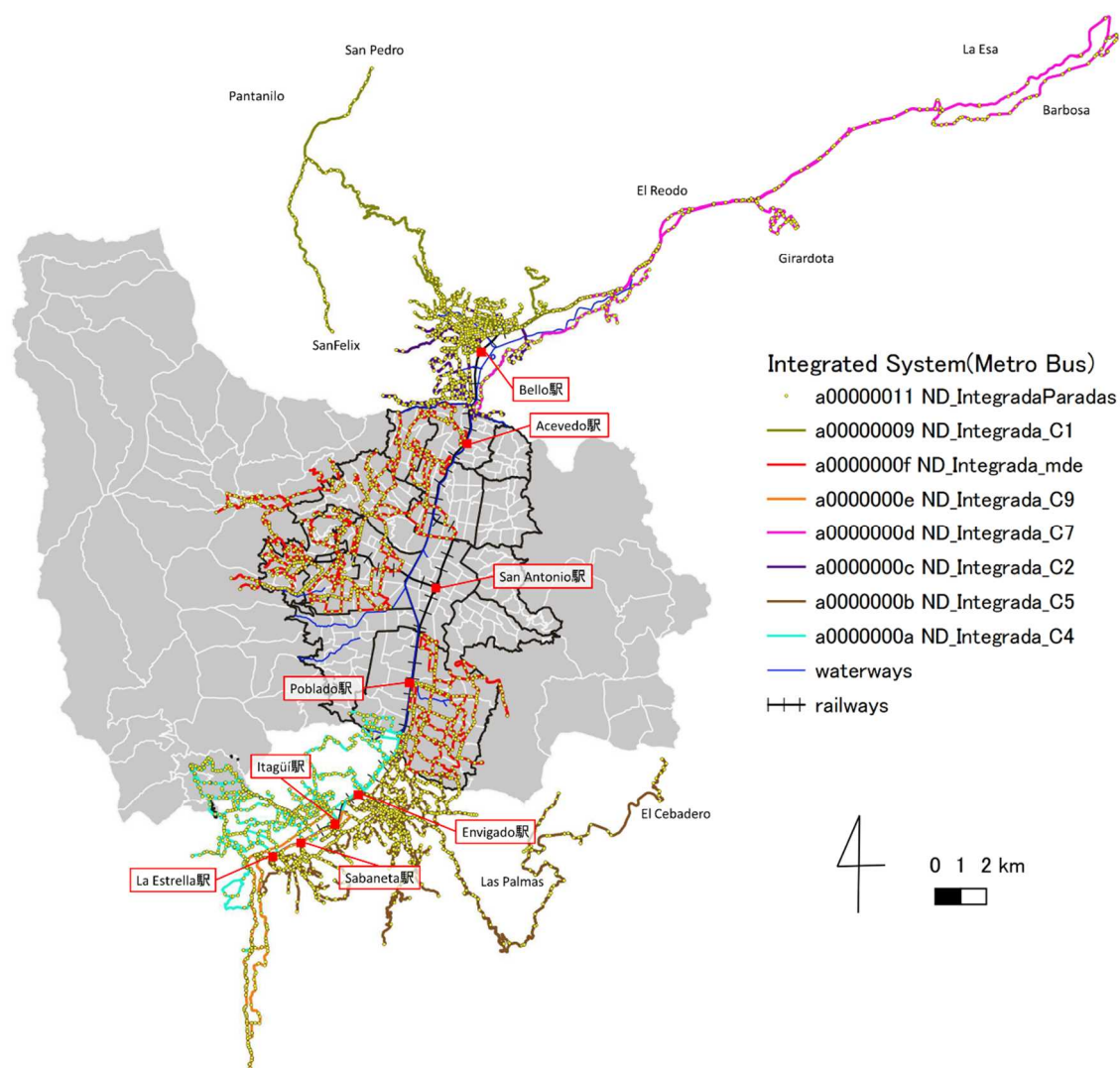
出典: Metro de Medellín Ltda.

図 2-11 メデジン市の各公共交通機関の概要

(2) メデジン市のバスの概要

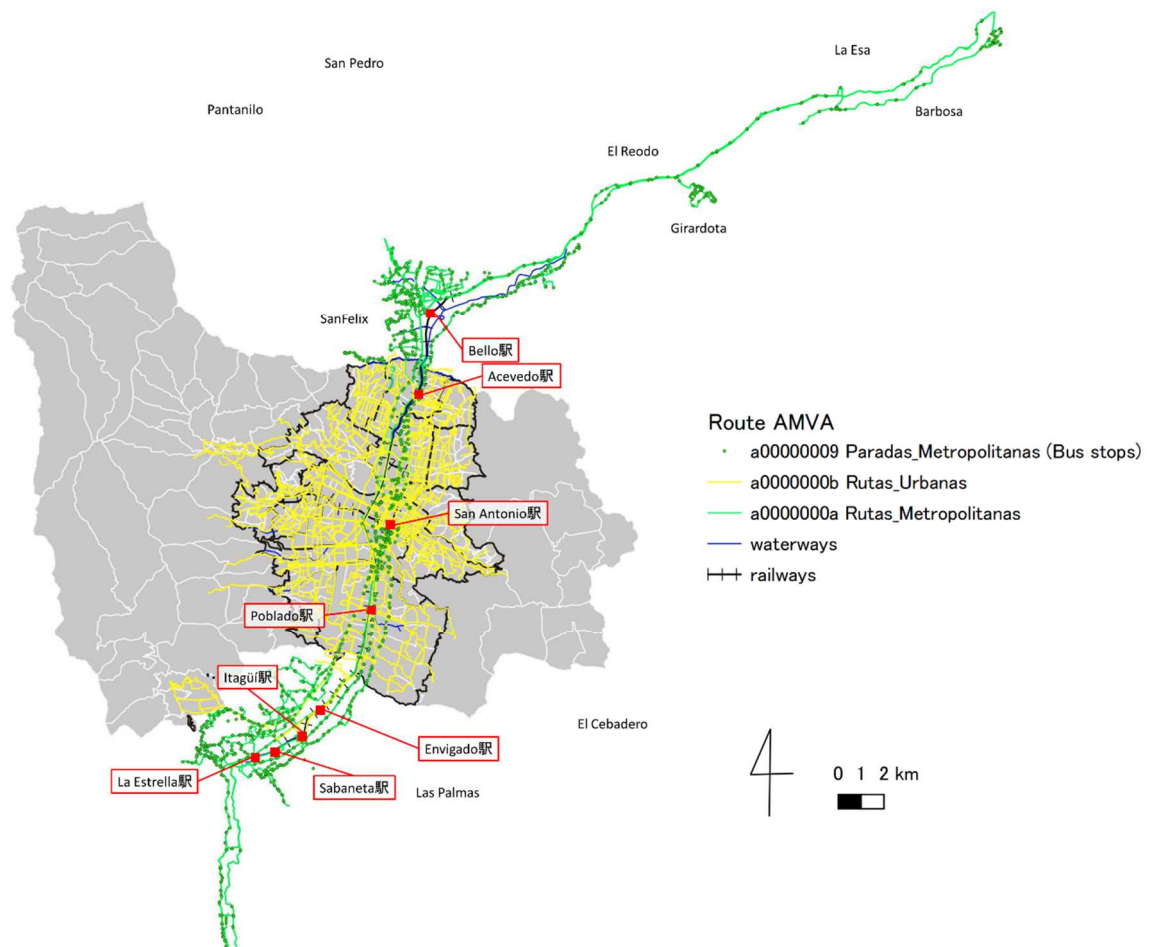
メデジン市には、大きく分けて、①Metro が運営する公共交通手段を目的としたバスと、②メデジン市外及び都心内を運行する Metro 以外（AMVA: Área Metropolitana del Valle de Aburrá）が運営するバスに分けることができる。前者は、全部で 35 路線あり、40 人乗りのバス車両が 302 台、19 人乗りのバス車両が 65 台保有している。バス停の数は、①が 6,231[バス停]、②が 1,267[バス停]で、合計で 7,498[バス停]があり、バスネットワークが充実していることがわかる。次図に、Metro が運営している路線と AMVA が運営しているバス路線を示す。

長距離バスの主要なターミナルが南北に 1 つずつ存在する。メデジン市内のバスの 3/4 が北ターミナルから出発しており、1/4 が南のターミナルから出発している。



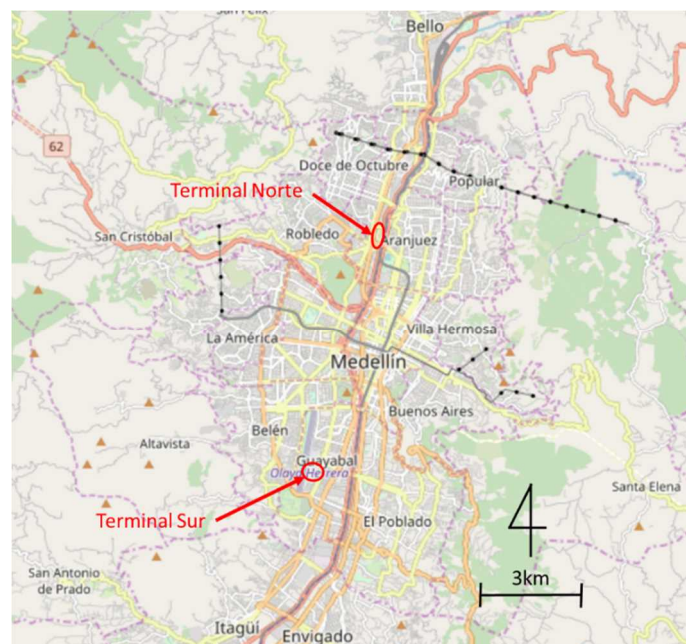
出典: Metro de Medellín

図 2-12 Metro de Medellín のフィーダーバスネットワークとバス停位置



出典: Metro de Medellín

図 2-13 AMVA のバスネットワークと駅位置

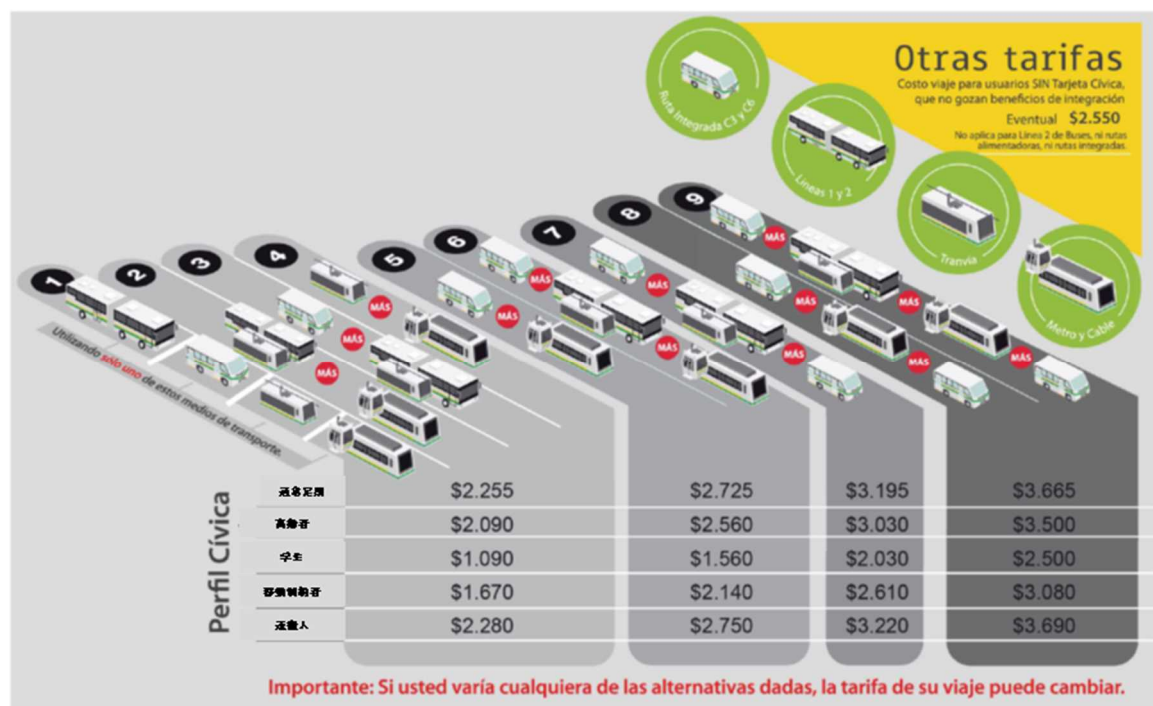


出典: Open Street Map より調査団作成

図 2-14 メデジン市の長距離バスのターミナル位置

(3) メデジン市の公共交通の運賃制度

メデジン市では、Metro de Medellin が運営している公共交通については、統合運賃制度で利用できる。公共交通の組合せとして9つ提示されており、4つの運賃体系から成る。例えば、下図の①の方法では、BRT/フィーダーバス/LRT/メトロ及びゴンドラの単一利用の場合は、定期利用者（Frecuente）の場合 2,255[COP]で利用できる。下図の⑤の方法では、フィーダーバスとメトロ及びゴンドラを利用した場合に、学生（Estudiantil）の場合 1,560[COP]で利用できる。また、メデジンメトロでは、2007 年から IC カードの導入を進めており、既に 5,600,000 枚（2019 年 5 月時点）の IC カード（Cívica）が普及している。（事前登録が必要）



出典: Sesión estratégica Junta Directiva, Metro de Medellin, 2019

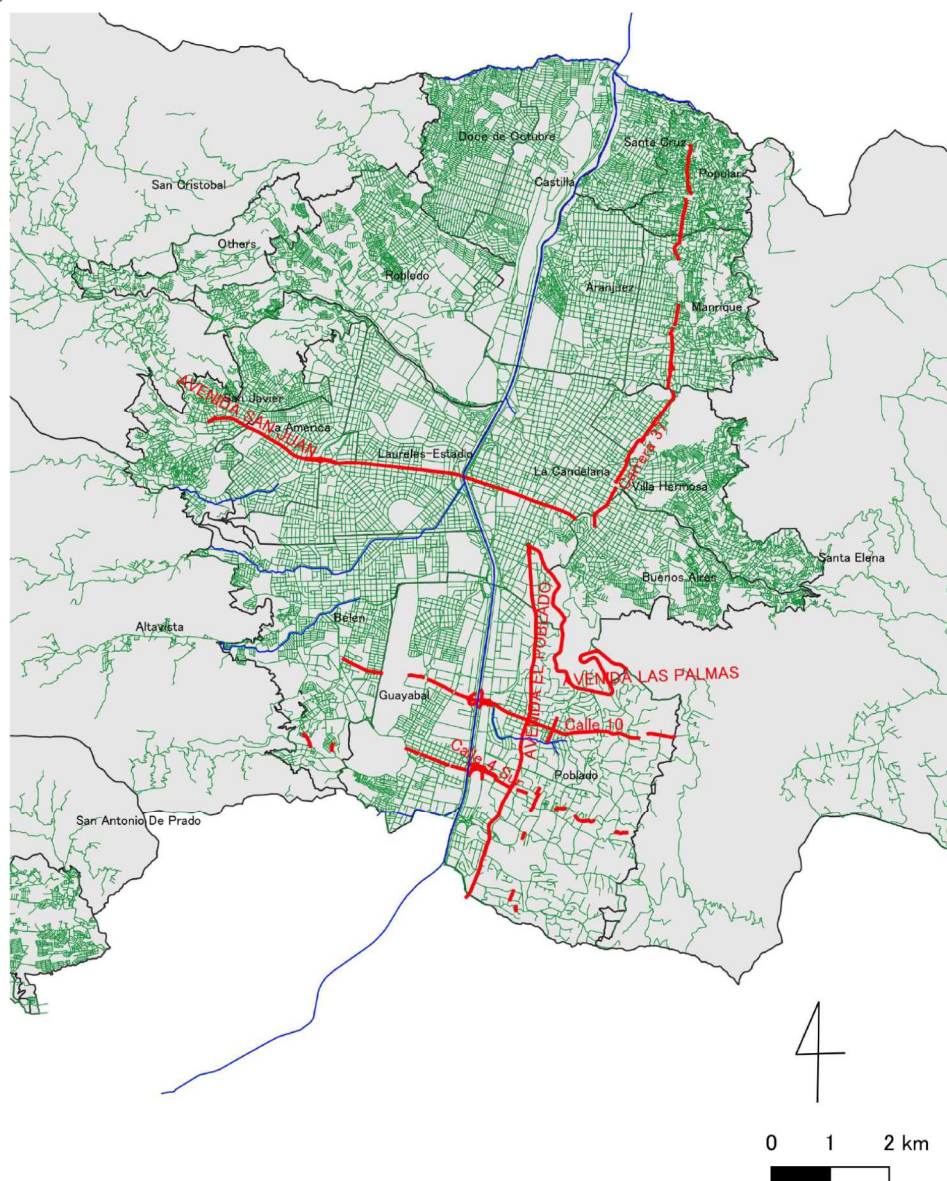
図 2-15 公共交通機関の組合せパターンごとの統合運賃（2019 年現在）

2.2.3 メデジン市の道路交通の概要

(1) 主要幹線道路の交通量、旅行速度

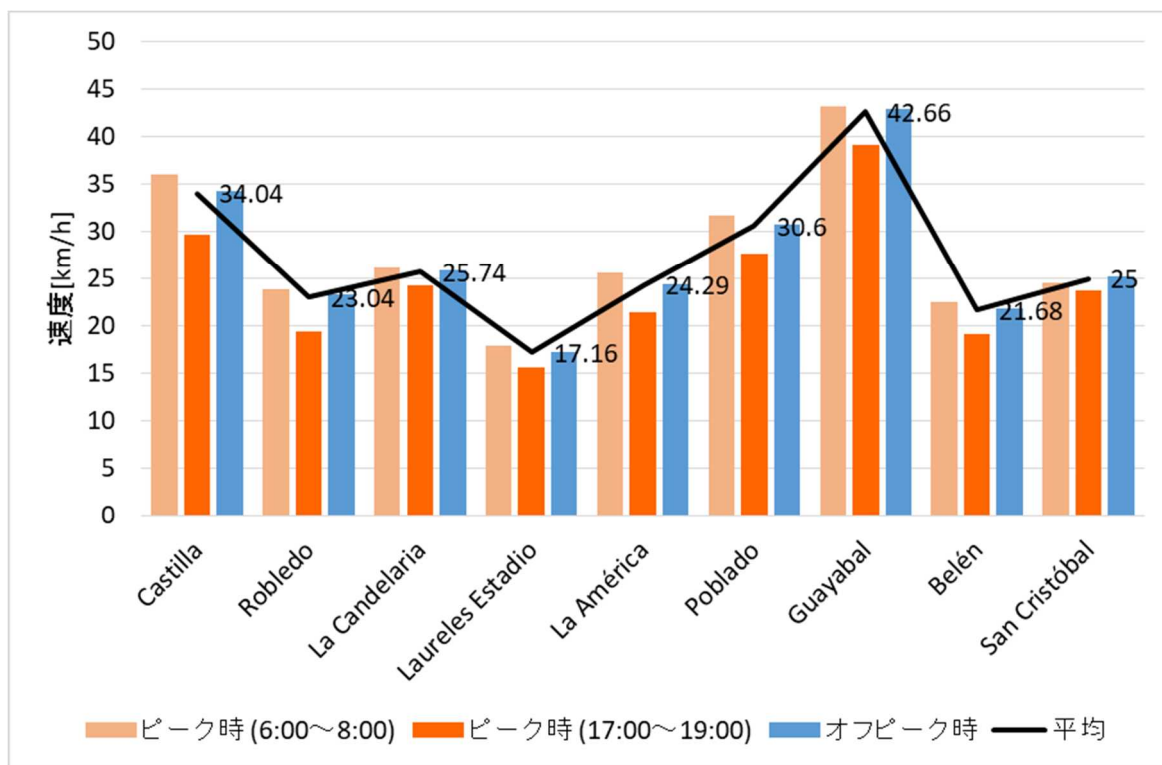
Alcaldia de Medellin では、2017 年 4 月から、複数の Comuna と道路における車の平均的な速度及び交通量を観測している。6:00~8:00、17:00~19:00 とピーク時間帯が 2 つあるが、観測地点における車の交通量においては午後の方が多いことがわかる。また各道路における速度では、ほぼ全ての道路で、ピーク時とオフピーク時で速度に違いがあり、中でも”Calle 3 Sur”、”Calle 71”、”Calle 4 Sur”は 5~10[km/h]の差が見られる。本検討路線に含まれている道路区間については、道路名称を赤字で示している。

Plan Maestro DE MOVILIDAD において、都市内の自動車交通量が多いことが指摘されている。特に、メデジン川と並行している道路においては、深刻な渋滞や大気汚染が激しいと報告されている。



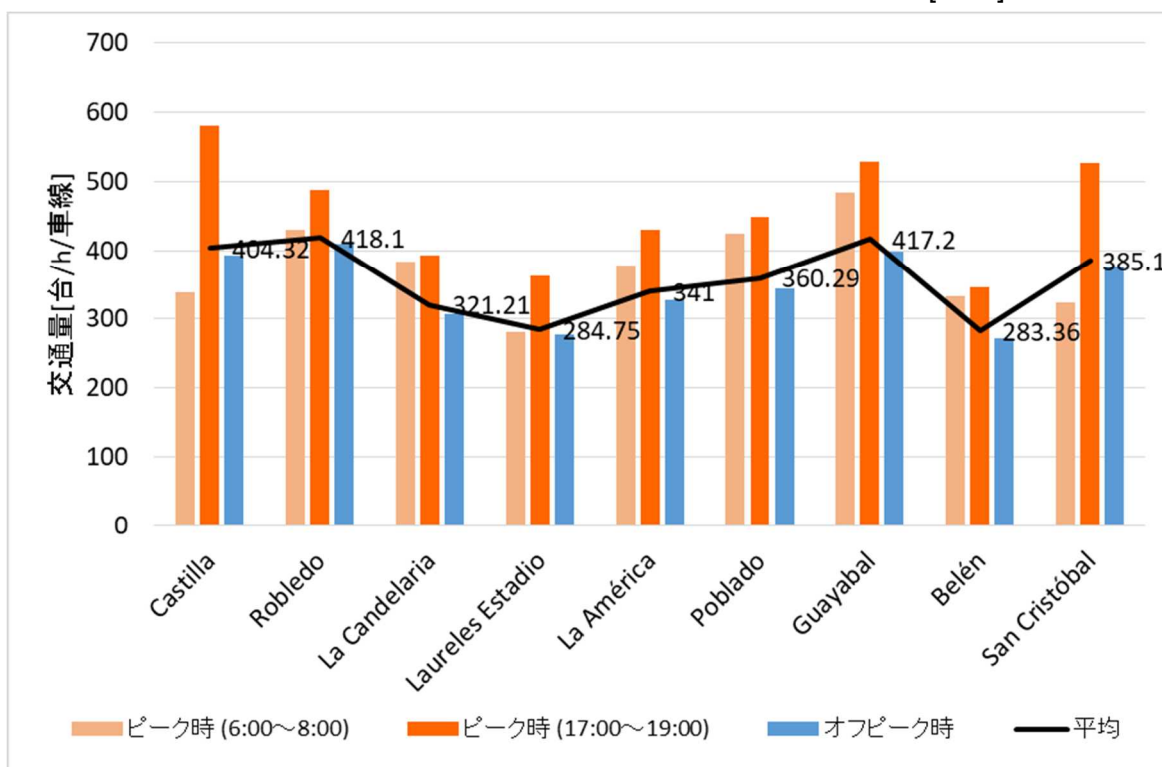
出典: Alcaldía de Medellín OpenData より調査団作成

図 2-16 混雑が深刻な主要 6 道路



出典: <https://www.medellin.gov.co/movilidad/observatorio/indicadores#2-incidentes-viales>Accidentalidad georreferenciada 2018 より、調査団作成

図 2-17 ピーク時・オフピーク時の Comuna 内の自動車の速度[km/h]



出典: <https://www.medellin.gov.co/movilidad/observatorio/indicadores#2-incidentes-viales>Accidentalidad georreferenciada 2018 より、調査団作成

図 2-18 ピーク時・オフピーク時の Comuna 内の時間交通量[台/h/車線]

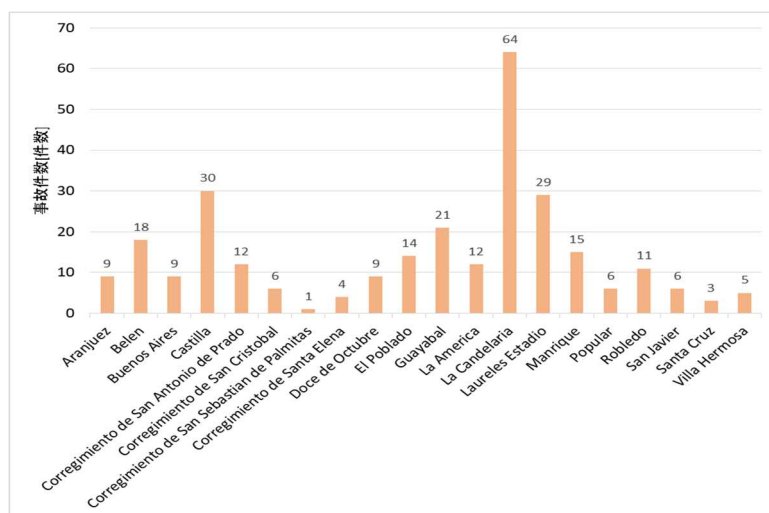
表 2-2 各道路におけるピーク時・オフピーク時の自動車の速度と交通量

		速度[km/h]				時間交通量[台/h/車線]			
		ピーク時		オフピーク時	平均	ピーク時		オフピーク時	平均
		6:00～8:00	17:00～19:00			6:00～8:00	17:00～19:00		
		70.0	67.2	69.7	69.5	433	433	312	333
		48.2	45.2	44.8	45.2	486	780	697	686
		46.3	40.7	44.7	44.5	389	482	322	341
		44.5	40.5	43.0	42.9	811	822	608	644
		42.0	39.3	42.7	42.4	499	552	401	423
		43.1	38.7	40.3	40.4	349	235	193	210
		41.1	38.0	41.5	41.2	1,154	1,087	889	929
		40.2	37.5	42.0	41.5	1,050	1,032	832	869
		36.8	34.4	37.3	37.0	724	934	642	674
		35.1	32.1	33.6	33.6	234	218	162	173
		33.7	29.5	33.2	32.9	721	752	539	574
		35.1	29.3	32.6	32.5	514	566	449	465
		33.3	28.9	33.2	32.8	382	463	327	344
		32.3	28.3	31.8	31.5	406	403	318	333
		28.1	27.9	26.9	27.1	217	204	161	170
		27.9	27.5	28.4	28.3	252	304	204	217
		27.3	27.2	28.8	28.5	460	503	382	399
		29.4	27.2	29.3	29.2	454	448	342	361
		32.2	26.6	32.7	32.1	197	179	130	140
		34.9	23.9	32.8	32.2	813	767	630	657
		25.1	23.3	23.9	24.0	219	269	207	213
		24.6	23.0	24.6	24.4	350	372	285	298
		26.9	22.6	25.6	25.5	388	323	293	304
		26.5	22.3	25.8	25.6	398	427	339	352
		24.0	21.9	23.3	23.3	336	427	326	335
		23.4	19.9	22.6	22.4	388	415	330	342
		21.4	19.9	21.6	21.5	394	756	568	569
		27.9	19.6	25.3	25.0	389	354	231	255
		19.4	18.8	19.3	19.3	387	423	329	342
		19.6	17.4	15.3	15.9	272	358	259	269
		22.6	16.8	20.4	20.3	142	214	142	148
		20.1	16.7	20.3	20.0	299	493	536	512
		17.7	16.3	16.9	16.9	240	232	181	191
		18.2	16.3	17.7	17.6	292	318	234	246
		20.1	16.2	19.8	19.5	362	428	323	336
		23.2	16.1	19.9	19.8	108	212	143	146
		16.8	14.9	15.2	15.3	143	147	113	119
		19.6	14.7	15.6	15.9	272	217	144	162
		16.1	14.5	15.7	15.6	330	406	315	325
		20.2	14.2	18.0	17.9	202	286	186	196
		18.2	13.8	17.6	17.3	242	301	211	222
		15.7	12.6	14.7	14.6	352	373	312	321
		11.8	9.7	11.1	11.0	152	176	132	138
				: オフピーク時とピーク時との速度に0～5[km/h]の差がある道路区間					
				: オフピーク時とピーク時との速度に5[km/h]以上の差がある道路区間					

出典： <https://www.medellin.gov.co/movilidad/observatorio/indicadores#2-incidentes-vialesAccidentalidad> georreferenciada 2018 より、調査団作成

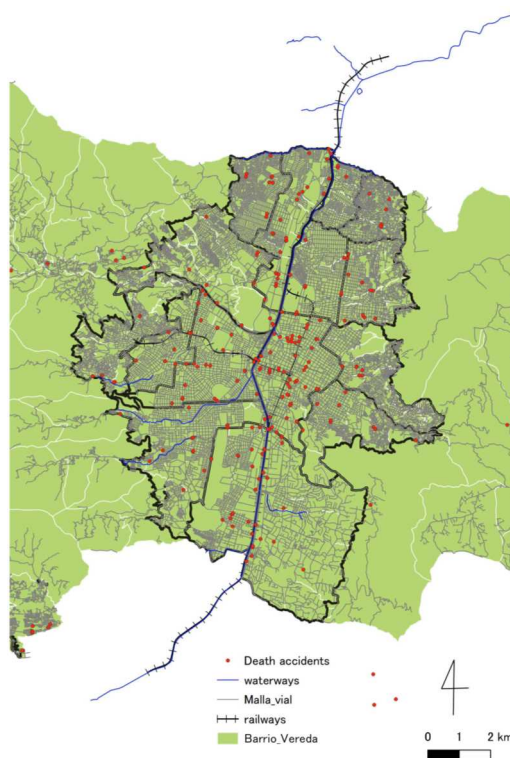
(2) 事故(死傷者数)

Alcaldia de Medellin が公表している”Accidentalidad georreferenciada 2018”より、事故が発生した地点、事故内容、事故による被害者の死傷等を集計している。主に交差点での事故が多く、死亡事故についても同様の傾向が見られた。次図に、Comuna ごとの事故件数と、事故発生箇所を示す。2018 年の総死亡事故件数 285 件（内 1 件、場所不明）であった。



出典:Accidentalidad georreferenciada 2018

図 2-19 Comuna ごとの事故発生件数



出典:Accidentalidad georreferenciada 2018

図 2-20 2018 年の死亡事故発生箇所

2.3 メデジン市の上位計画

2.3.1 都市マスタープラン(POT)

メデジン市の開発概念については、2つの基軸となる地域が明らかにされている。東西の基軸となる地域は、メデジン市とコロンビアの他の地域を結ぶ主要回廊地帯となる。南北の基軸となる地域は、アブラ谷の平原地帯を活用した都市開発用の地区である。都市の再生が必要な地域は、丘陵地帯の多くに存在するスラム街のコミュニティになる。

メデジンの都市開発はバジェ・デ・アブラ地域の中でも最も平坦な川沿いの地域（下図の青い部分）に集中している。このエリアは、より高密度利用されていますが、多様な都市機能、土地利用、公共サービスを備えた合理的な容量です。

POT 土地利用計画によると、都市計画区域の面積は 11,161ha、都市計画区域外の面積は 26,304ha である。その土地の種類によって、個別の土地利用規制が適用される。

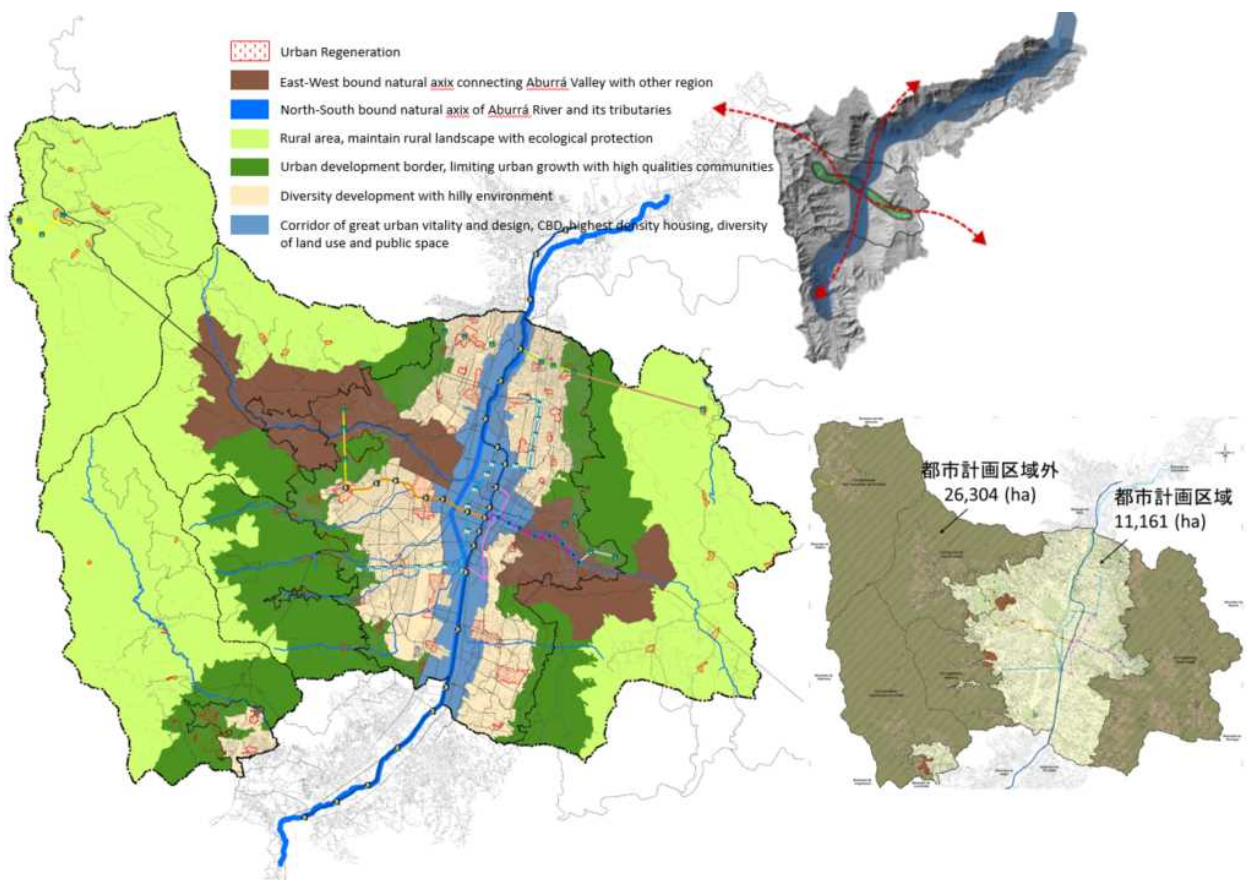
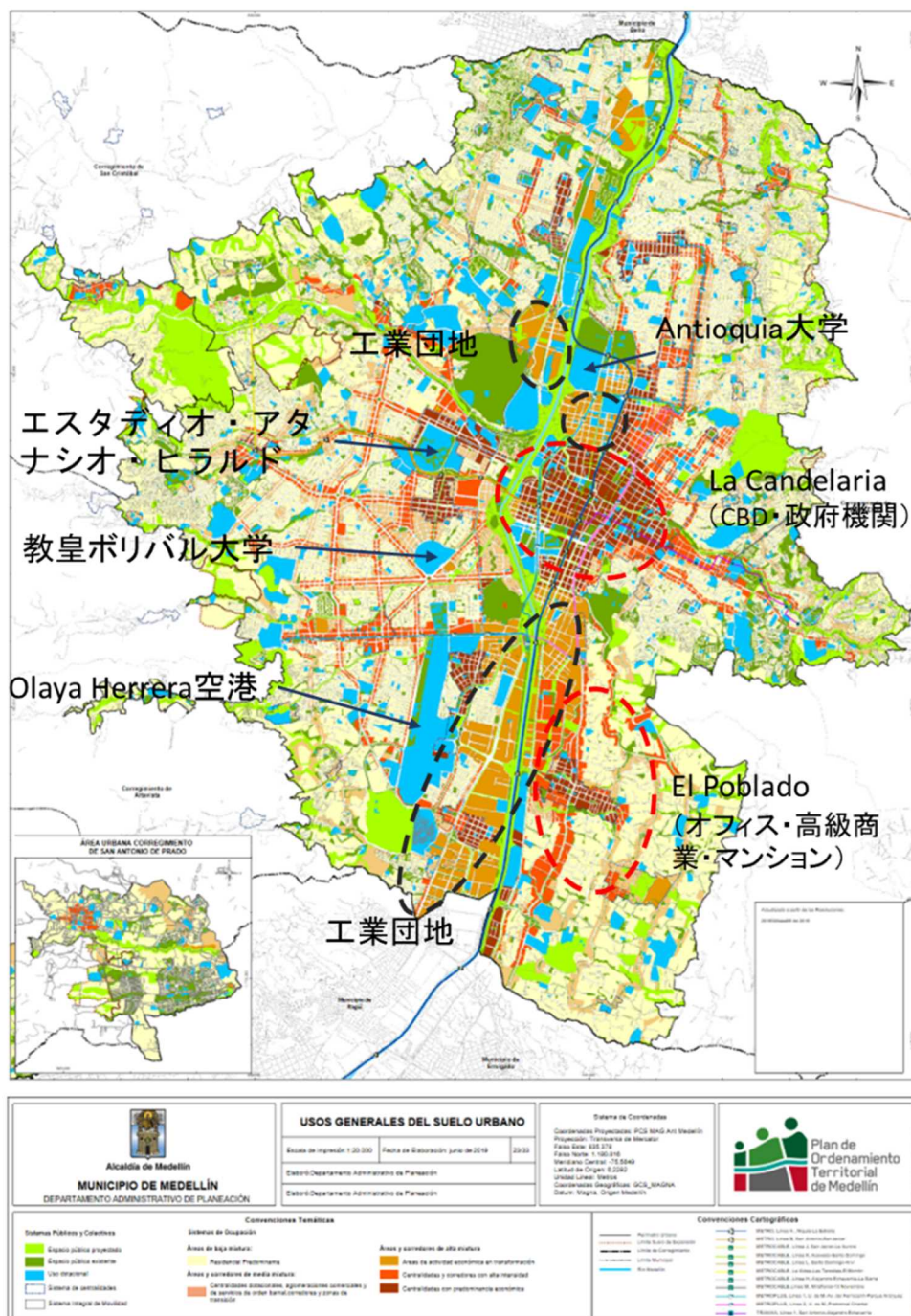


図 2-21 メデジンの都市構造と開発ビジョン

メデジンのコミュン 10、La Candelaria はメデジンの中心業務地区であり、メデジン史上独特の発展を遂げた場所である。メデジン市役所、Empresas Públicas de Medellín (EPM)、アンティオキア県庁、メデジン国際協力機構(ACI)、Plaza Mayor of Medellín 等を含むほとんどの公共サービスや公的機関が La Candelaria にある。中心業務地区の南方、コミュン 14、El Poblado には、ほとんどの高級ショッピングモール、ビジネスオフィス、高級住宅街が位置しており、メデジンでは最も安全な地区のひとつとされている。



出典：メデジン POT

図 2-22 メデジン都市土地利用計画(2019 年調整)

2.3.2 2030 年为目标年とする環境都市構築のロードマップ(BIO 2030 Medellin Master Plan)

BIO 2030 メデジン・マスタープランにおいて提案されている計画の趣旨は、社会統合や、地域開発及び雇用（仕事）や都市サービスへのアクセスのバランスを再調整することである。BIO 2030 は、より広い範囲をカバーする公共交通機関のニーズやメデジンにおける登録車の著しい増加に対応する為の道路網の改善を喫緊の課題として挙げている。インフラ整備の実施と比較しても、公共交通機関のサービスの質や公共交通機関のサービスを通じた社会的不均衡の緩和は同等に重要である。

2.3.3 メデジン総合計画 2016-2019（Medellin Comprehensive Plan 2016-2019）

メデジン総合計画 2016-2019 では、メデジン市の代表的な分野について市民を対象にした包括的な活性化計画を策定している。同計画には、都市の委員会、各コミュニティ及びコレギミエントの社会組織、メデジン市職員、2015 年時点の新規内閣が参画した。計画書には、骨子としてメデジン市の総合的な開発に対する取り組み及び世界的な環境を考慮して、2016 年から 2019 年までの都市開発に関する提案が記述されている。（国家計画庁 DNP 2011）開発計画は、都市計画管理省が、立案及び作成した。

メデジン市が今日直面する問題を示す 3 つキーワードは、LEGAL（法定）、SAFETY/SECURITY（安全・安心）及びEQUALITY（平等）となる。そのため、この計画には、これらの 3 つの問題に対応する解決策が記述されている。

3 つのキーワードに関する 7 項目の戦略的側面が提案された。それぞれの側面は、4 段階にさらに分割されている。第 1 段階は、「戦略的側面」で、政府の機能への影響を及ぼす都市の根本的な機能を対象としている。第 2 段階は、「課題」で、各テーマ・問題に関する課題を意味する。第 3 段階は、「プログラム」で、同じ問題を解決することを目的としたプロジェクトのグループを意味する。最後の第 4 段階は「プロジェクト」で、立案機関である DNP が策定した計画で、社会の具体的なニーズを満たす一連の措置が記述された公的に管理される基本単位を意味する。



メデジンにおける都市開発課題は次のようにまとめられる。

メデジンにおける都市開発課題は次のようにまとめられる。

表 2-3 メデジン総合計画 2016-2019 の概要

	戦略的側面	全体的な課題と目標
1	“We believe in citizen”の文化	- 市民参加の促進 - 市民の健康、生活環境のケア、価値観、参加、共存、及び日常生活全般に関するアクション - 市民文化の変化により発展する活動
2	市民のセキュリティと共存（Security and coexistence of Citizen）	- 耐性のある都市 - セキュリティ・インフラへの投資 - 計画分野における活動全般、都市のセキュリティに関わる物理的・技術的インフラ、及び市民間の共存に向けたイニシアチブ全般 - メデジンの信頼度及び社会構造の再構築
3	社会的平等の為に新しいモデル	- 社会的包括 - 社会制度の改善 - クオリティ・オブ・リビングの低いコミュニティ（ポピュラー、サンタクルーズ、パルミタス）でのねらい - 公平性の立場の検討：ジェンダー、ライフコース、民族の可視性*（、及び健康
4	開発と競争力のための質の高い教育	国家、地方政府、企業、家族間の責任感が、イノベーションのためのインセンティブの生成を可能にする生産的及び社会的プロジェクトを刺激する上で不可欠であるということの強調
5	持続可能なモビリティ	- 市民、コミュニティ、及び企業が市の提供する多様なサービス、設備、機会にアクセスできるよう、様々な道路や公共スペースを組み合わせ、人々や貨物の輸送モードを階層的、相互依存的に統合したもの。 - シームレスで安全かつ環境的に持続可能な開発 - 包括的な道路網と公共交通システムの階層（市民のアクセスへの権利や社会的隔離のない移動を確保する為）
6	総合的な都市開発と中心業務地区の再生	- 特定されている課題： - 交通渋滞 - 基本的なサービスを提供する上での資金不足 - 適切な住宅の不足 - インフラの劣化 - 主な解決策： - 総合計画の計画戦略により公共空間の質の向上を図る - 暴力・犯罪等の状況から主要なコミュニティを復旧させる - 郊外地域の環境改善 - 政府のプレゼンス強化
7	環境意識へのコミットメント	- 質の高い公共サービスの提供とアクセス促進 - 脅威やリスク要因の予防・管理を強化し、環境建築への意識の向上を図る（都市設計と再生の組み合わせ）

メデジン市により提案された革新的な戦略の一つに、モビリティ・マネジメントがある。持続可能なモビリティの観点では、モビリティ・マネジメントにおける課題解決を試みるのと同時に、公共交通システムの重要性について認識している。これの促進に向け、政府は低所得者ほど公共交通機関を利用するのに費用がかかるという社会的不平等の是正だけでなく、環境的側面からの配慮（空気の質を含む）についても働きかける必要がある。

ここでは、公共交通機関の開発は貧困解消の手段、及び、犯罪・薬物乱用・武装衝突などの危機的状況を抱えるコミュニティに対して機会を提供する連結性として考慮されている。要約すれば、不安定性と共存は引き続きメデジンにとっての課題であり、それらの存在のもとでは、人口増加や都市の発展は妨げられてしまうのである。市民や彼らの財産に対する犯罪、法律の軽視、及び市民間の共存・紛争の問題が依然として存在していることは、無視できないことである。

2.4 相手国ニーズ・課題の把握

メデジン総合計画によって、記述された開発課題は、交通渋滞、公共サービスを提供する為の資金不足、適切な公営住宅の不足、インフラの劣化、及び最も重要なインフォーマル居住地・居住者のより良い生活環境であった。

2.4.1 公共交通ネットワークの強化

メデジン総合計画に記述されている道路及び公共交通プロジェクトを実施するなど、メデジン市民のセキュリティやモビリティ改善に向けて努めている。バジェ・デ・アブラの広く段々になった地理的特徴により、同地域のグリッド道路網は交通渋滞の激しい4本の幹線道路が平行に並ぶ、幅1km、長さ15~20kmのとなっている。

メデジン市は、現在までのところ自家用車の保有率に大きな変化はないものの、バイクの利用率は著しく増加している。また、徐々に公共交通機関が整備されていることから、トリップ頻度は増加傾向にあるが、メデジン市全体での平均旅行時間は毎年増加傾向にあり、都市部のさらなる拡大化が懸念される。

自家用車の保有率は、階層別に異なっており、今後経済発展をしていく過程で、自家用車の利用が急激に増加する可能性がある。既に、メデジン川に平行する道路、特に San Juan 通りが交差する Comuna10: La Candelaria では深刻な交通渋滞、大気汚染が問題となっており、環境に優しい交通手段への転換が必要である。

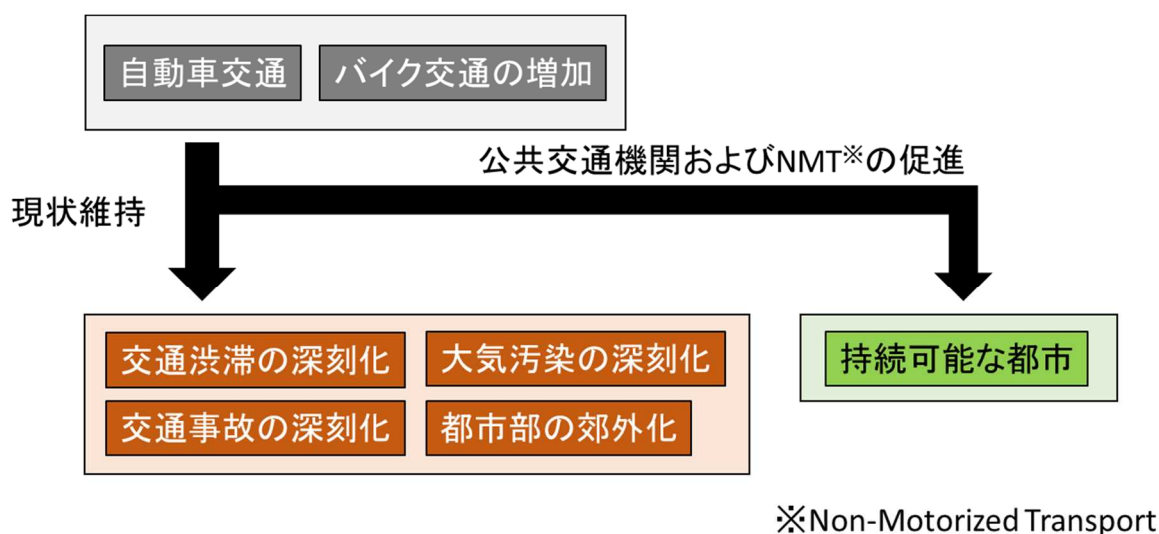


図 2-23 メデジン市の将来の課題

2.4.2 貧困コミュニティの活性化と治安の向上

メデジンはかつて犯罪組織・カルテルの活動拠点だったことがあり、薬物の密売や犯罪等に苦しんでいた。その上、内戦による難民を含む多くの貧困層がメデジンに避難し、バジェ・デ・アブラの山間部にも定住・占拠したため、規制されていない住宅開発や、公共事業やサービスの欠如に繋がってしまった。山間部エリアではインフォーマル居住地が密集している為、一般的には職場、中心業務地区及び公共サービスへのアクセスが悪い。

メデジン市にとって一般に認識される問題の 1 つは、貧困対策及び社会的平等である。丘陵地帯に居住するスラム街がいくつか存在する。この問題の解決には、メデジン市が採用する主な政策として、都市プロジェクトの計画及び開発が必要になる。この取り組みにより、物理的な環境を変革する一方で、このようなコミュニティの社会的及び文化的な転換を大幅に促進することになる。

メデジン市の都市部では過去 10 年の間に貧困率が大幅に減少したものの、貧困率と比較して、近隣地区及びコミュニティでの犯罪率は依然として高い。丘陵地帯のはずれに最貧困層のコミュニティがあるが、エルポブラド（メデジン市の南東部）の殺人事件数は実質ゼロである。図 2-24 では、各コミュニティの世帯の平均的な経済状況を示す。メデジン市の北部地域の住民は公共交通に依存している。

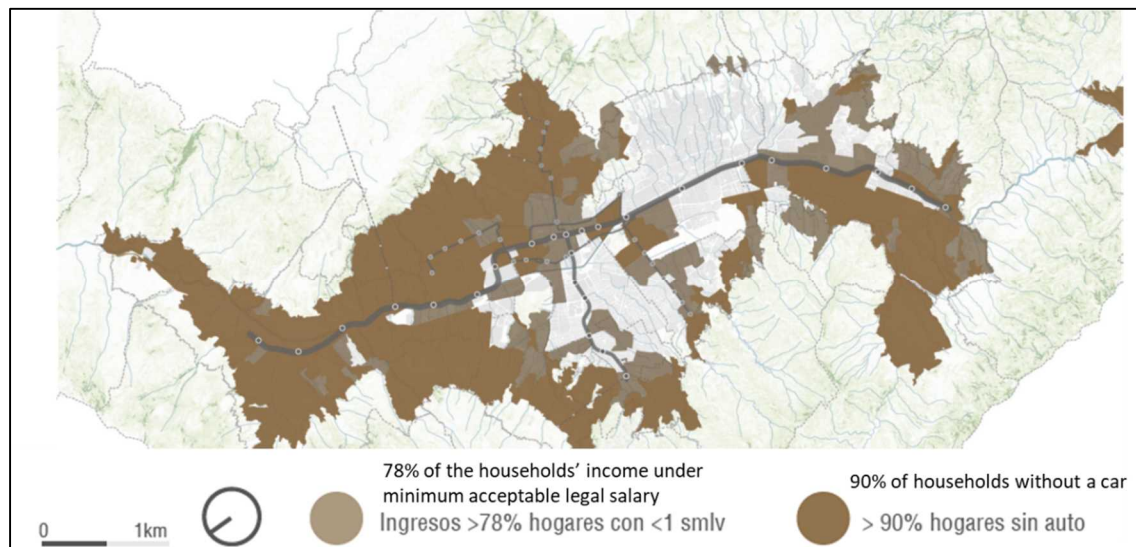


図 2-24 メデジン市における貧困コミュニティ

2.5 メデジン市都市交通マスタープランの位置づけ

2.5.1 検討の考え方

メデジンメトロより提供されたマスタープラン検討路線に対して、それぞれ適切な交通モードの選定を行う。

検討対象路線は次ページに示されたうち、Fase0 に該当する④～⑯の計 13 路線である。

また、想定される交通モードに関しては、現在、導入がなされている鉄道（メデジンメトロ）、BRT（メトロプルス）、LRT（トランビア）に加えて、現時点においては導入がなされていない中量輸送機関も対象に加える。メデジン市にふさわしい中量輸送機関に関しては次項で述べる。

さらに、この段階において AGT の導入が適切と判断された複数候補路線に対して、本調査で設定した評価指標に基づき、具体的な F/S を行う 1 路線の選定を行う。

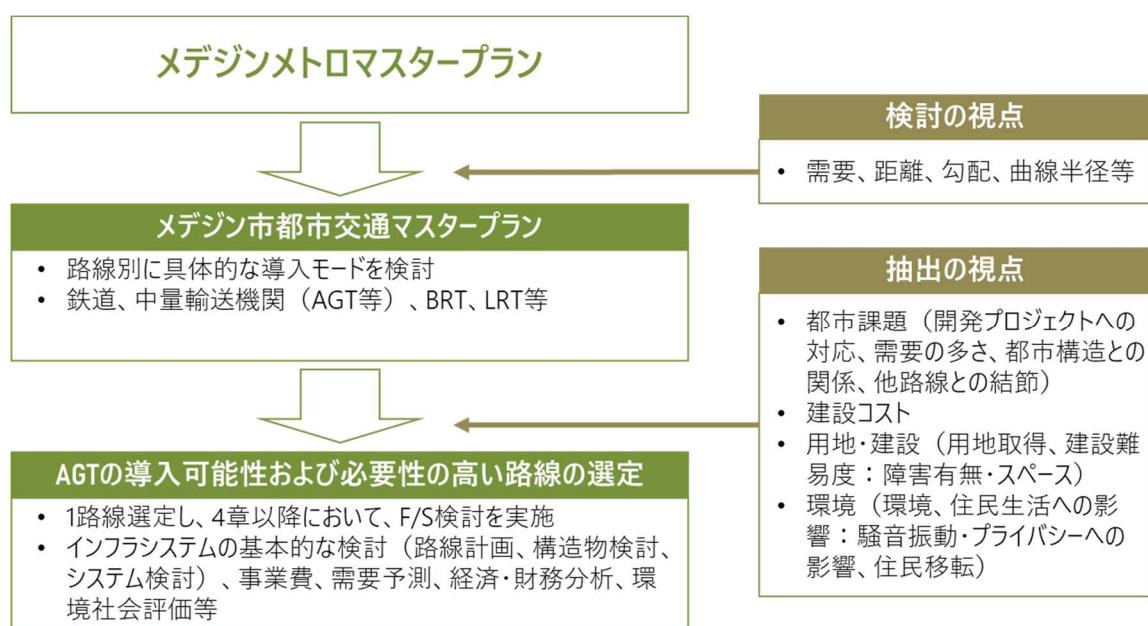


図 2-25 具体的な検討手順

出典：調査団

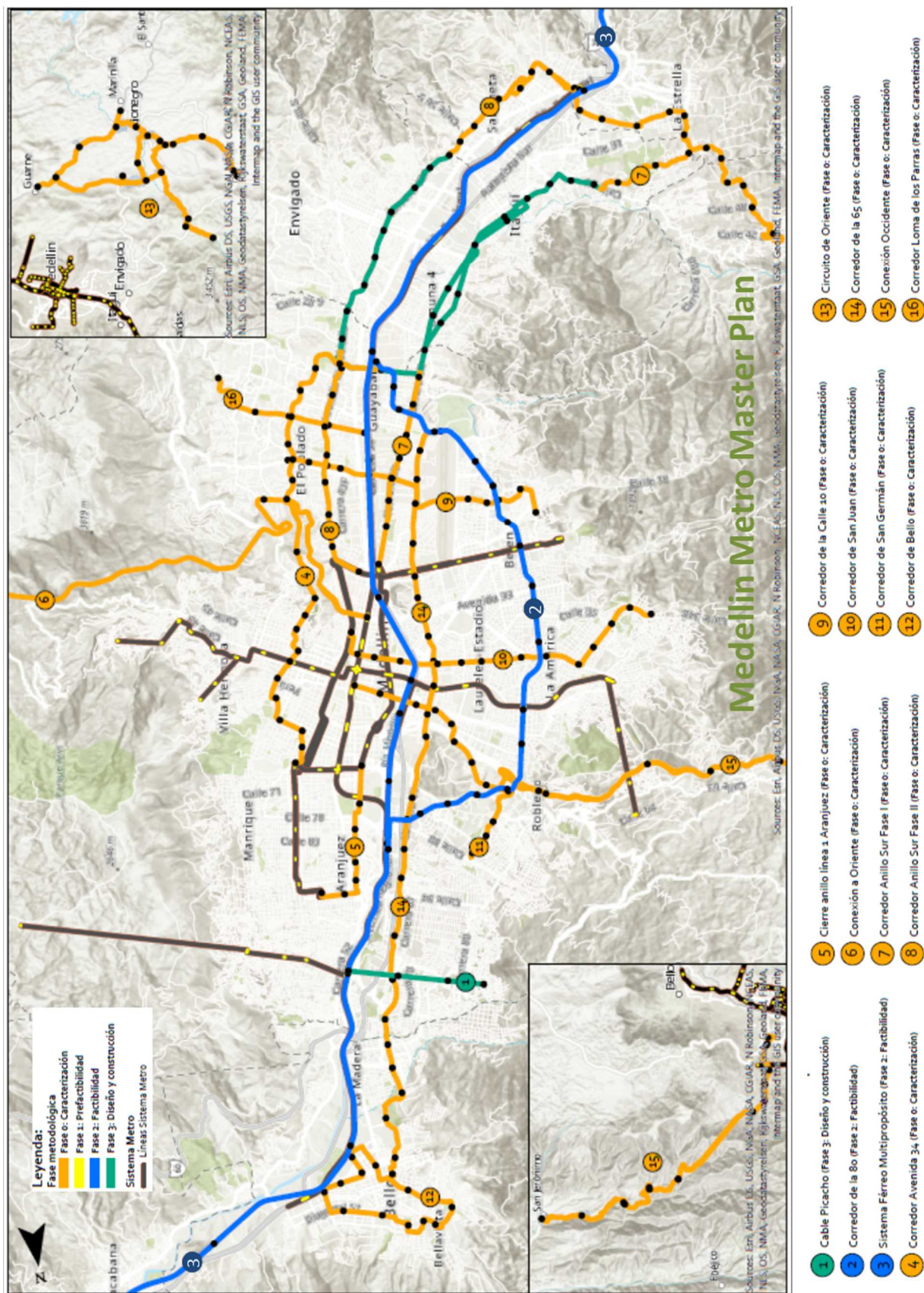


図 2-26 メデジンメトロマスタープラン

出典:メデジンメトロ資料を一部加工

2.5.2 メデジン市における新たな交通システム(AGT)の導入必要性

(1) 中量輸送機関の必要性

現在、同市には中量輸送機関の導入はないが、例えば、メトロプルス（BRT）は朝夕のみならず、昼間時も混雑が慢性化している状況である。

今後の交通需要に適切に対応した中量輸送機関（「メトロ」と「メトロプルス、トランヴィア、メトロカブレ」の輸送容量の中間をカバーする交通機関：AGT やモノレール等）の整備の検討も必要である。



図 2-27 メトロプルス混雑状況(駅構内)

出典:調査団

(2) 高架式中量輸送機関の必要性

メデジン市は、盆地の斜面と谷間に市街地が集積し、新たな都市交通システムの導入にあたっては空間的制約がある。今後、同市は環境にやさしい街づくりの観点から自転車道の整備も進めており、今後は、限られた道路空間に自動車、公共交通、自転車の走行空間を収めていく必要がある。このため、選択肢の1つとして、道路空間を効率的に活用可能な高架式公共交通機関の導入検討も必要である。

路面公共交通と比較して、表定速度、交通安全の観点からも高架式公共交通は優れている。

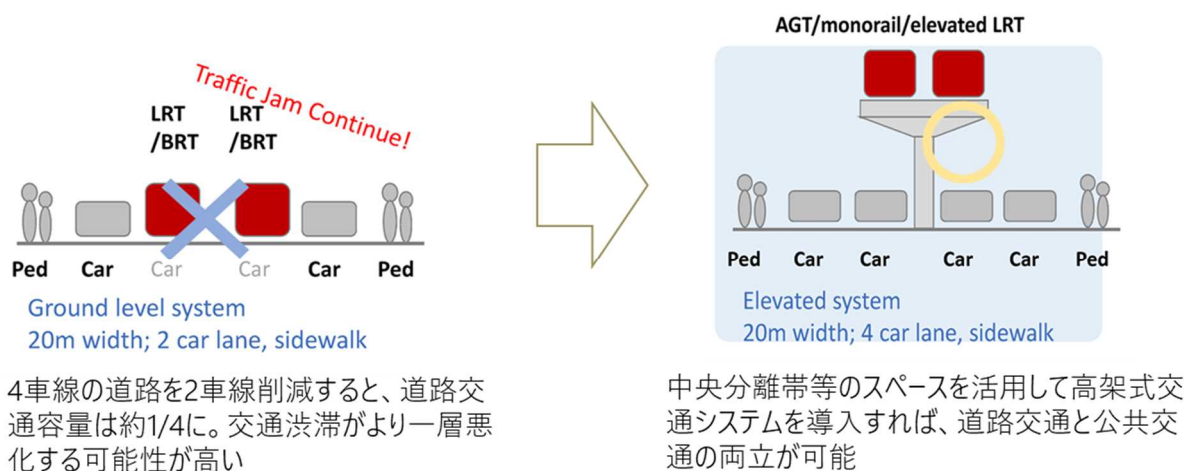


図 2-28 高架式公共交通の必要性

出典:調査団

(3) AGT の特徴～他的高架式中量輸送機関との比較～

AGT（Automated Guideway Transit）は最小曲線半径や最急勾配の点で他的高架式中量機関と比較して優れており、斜面が多く、土地が限られたメデジン市においてより望ましい交通機関の一つといえる。

以降、本市における中量輸送機関としては高架式中量輸送機関の 1 つである「AGT」を想定する。

表 2-4 高架式中量輸送機関の概要

項目	AGT	高架式 LRT	モノレール
写 真			
導入都市 (アジア諸都市) ★建設中	東京、横浜、大阪、神戸、広島、マカオ★、釜山、議政府、シンガポール、広州等	マニラ、長春、バンコク、クアラルンプール、ドバイ、ジャカルタ★等	東京、大阪、北九州、沖縄、重慶、クアラルンプール、シンガポール、ドバイ等
最小曲線半径	30m	50m	50m
最急勾配	10%	6%	8%
走行方式	粘着式ゴムタイヤ走行	粘着式鉄車輪走行	粘着式ゴムタイヤ走行
イニシャルコスト	約75億円/km	約75億円/km	約90億円/km
非常時対応	中央通路より避難	側方通路より避難	シューターにより避難
メーカー	三菱重工業、新潟トランス、ボンバルディア、シーメンス、宇進産電等	近畿車輛、日本車輛、カフ、アルストム、現代ロテム等	日立、ボンバルディア、スコミ等

出典：調査団

2.5.3 メデジン市都市交通マスタープランの検討

メデジンメトロより入手した検討対象路線のピーク時需要（PPHPD）および路線長を交通モードの領域図（ピーク時需要および輸送距離との関係）に落とし込むことにより適切な交通モードを判定した。

これより Calle10 および San Juan の 2 路線が中量輸送機関（AGT）の領域となった。また、導入に際して、これらの路線の勾配、曲線半径、道路幅員等に関しては、大きな問題はない。

以上のことから、この 2 路線に対して、どちらの路線がより導入可能性および必要性が高いかの評価を行う。

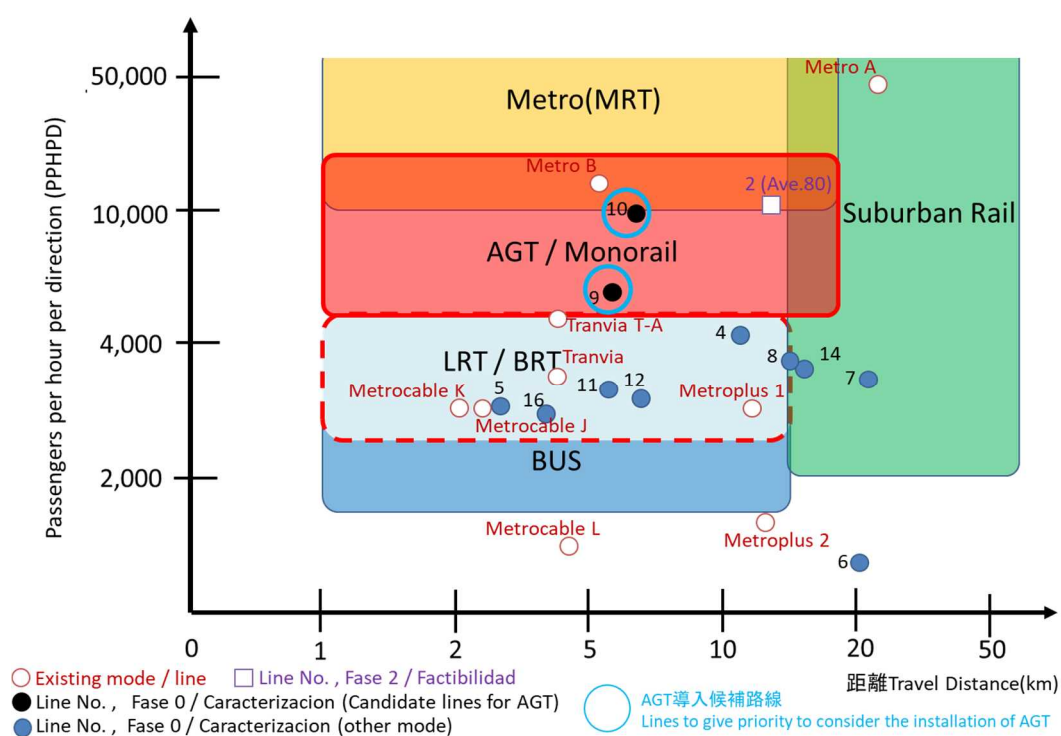


図 2-29 交通モードの領域図(ピーク時需要および輸送距離との関係)

出典: 調査団

表 2-5 交通モード判定結果

路線番号 Line No.	路線名称 Line Name	距離 (km) Distance (km)	ピーク時需要 (PPHPD:人/時/方向) Peak Hourly Demand (Persons/hour/direction)	交通モード Transportation Mode
4	Av.34	11.5	4,491	LRT/BRT
5	Cierre anillo line 1 Aranjuez	3.3	3,269	LRT/BRT
6	Conexion Oriente	21.6	470	Bus
7	Corredor Anillo Sur Fase 1	24	3,457	Sub Urban Rail
8	Corredor Anillo Sur Fase 2	15.2	3,822	LRT/BRT
9	Calle10	5.9	7,314	AGT
10	San Juan	7	9,590	AGT
11	San German	5.8	2,858	LRT/BRT
12	Bello	7.8	2,678	LRT/BRT
13	Circuito de Oriente	84.5	-	-
14	de la 65	15.7	3,744	LRT/BRT
15	Conexion Occidente	32.4	-	-
16	Corredor Loma de los Parras	3.9	2,547	LRT/BRT

出典:調査団

2.5.4 AGT の導入可能性および必要性の高い路線の選定

本項では、前項で検討した都市交通マスタープランにおいて AGT の導入がふさわしいと判断された 2 路線（Calle10 および San Juan）に対して、どちらの路線がより導入可能性および必要性が高いかの評価を行う。最も評価の高い路線について、以降のパートにおいて、具体的な検討および評価を行うものとする。

(1) 評価指標の設定

評価指標については、大項目、中項目、小項目の 3 段階とし、本調査の目的を鑑みつつ、また、メデジンメトロの評価の考え方を参考にしながら設定した（大項目としては、「都市課題への対応」、「建設コスト」、「用地・建設」、「環境」の 4 項目）。

評価にあたっては、大項目ごとにウェイトを設定した（合計して 100 になるように設定）。ウェイトに関しては、類似調査での設定事例を参考にしたもの、今回は、交通渋滞の緩和（＝需要の多さ、公共交通ネットワークの充実度）を AGT 導入の目的の 1 つとして位置づけていること、また、都市開発と一体的となった交通システムの整備が今後のメデジン市の成長・発展に不可欠であると考え、都市課題への対応のウェイトを最も高く設定した。

(2) 評価の実施

各項目に対して、5 点（最も評価高）→4 点→3 点→2 点→1 点（最も評価小）の 5 段階評価を行った。評価については、可能な限り定量的な指標に基づき行った。

また、ウェイトを大項目ごとに設定したことから、大項目単位で、それに含まれる評点の平均値を算出した。この平均値と設定したウェイトの積和を総合得点とした。

結果、San Juan の総合得点が高く、San Juan 通りへの導入可能性および必要性が高いことから、以降は、当該区間に対して AGT を導入した場合の具体的な検討および評価を行う。

表 2-6 評価指標および評価結果

大項目	中項目	小項目	Calle10	SanJuan	ウェイト
都市課題への対応	開発プロジェクトへの対応…(a)		3	5	35
	需要の多さ…(b)		2	3	
	都市構造との関係…(c)		3	4	
	他の路線との結節 …(d)		2	2	
	平均点		2.50	3.50	
建設コスト	km あたり建設費 …(e)		3	4	25
	平均点		3.00	4.00	
	用地取得…(f)		2	4	
用地・建設	建設難易度	障害有無…(g)	3	3	25
		スペース…(h)	4	5	
	平均点		3.00	4.00	
	環境	景観…(i)		2	
住民生活への影響		騒音・振動…(i)	2	3	
		プライバシーへの影響…(i)	2	3	
住民移転…(i)		2	4		
平均点		2.00	3.25		
総合得点			267.5	371.3	

(参考)評価方法について

- (a) ルート上の Urban Renewal Area、Building Capacity Transfer Zone の延長を算出し、その割合が高いほど高得点
- (b) 1日あたりの需要が多いほど高得点
- (c) 当該路線が担う交通軸に対して以下の配点を実施。
 - 5点：都市軸（南北方向）を担う幹線
 - 4点：支線（東西方向）のうち都心部接続もしくは都市軸を担う幹線の平行路線
 - 3点：支線のうち周辺部接続
 - 2点：環状線（外側）
 - 1点：補助線（郊外部）
- (d) 交差路線数をカウントするものの、交差路線の性質に応じてウェイト付け。
- (e) 建設費が安価であるほど高得点
- (f) 1kmあたりのデポの用地取得面積を算出し、その値が小さいほど高得点。また、取得容易性も考慮。
- (g) 交差する道路の立体交差の数などを考慮し、その値が小さいほど高得点。
- (h) 幅員の狭い道路での整備は拡幅が必要となることからその延長を算出。kmあたりの延長が少ないほど高得点
- (i) 影響大を1点→影響小を5点として評価

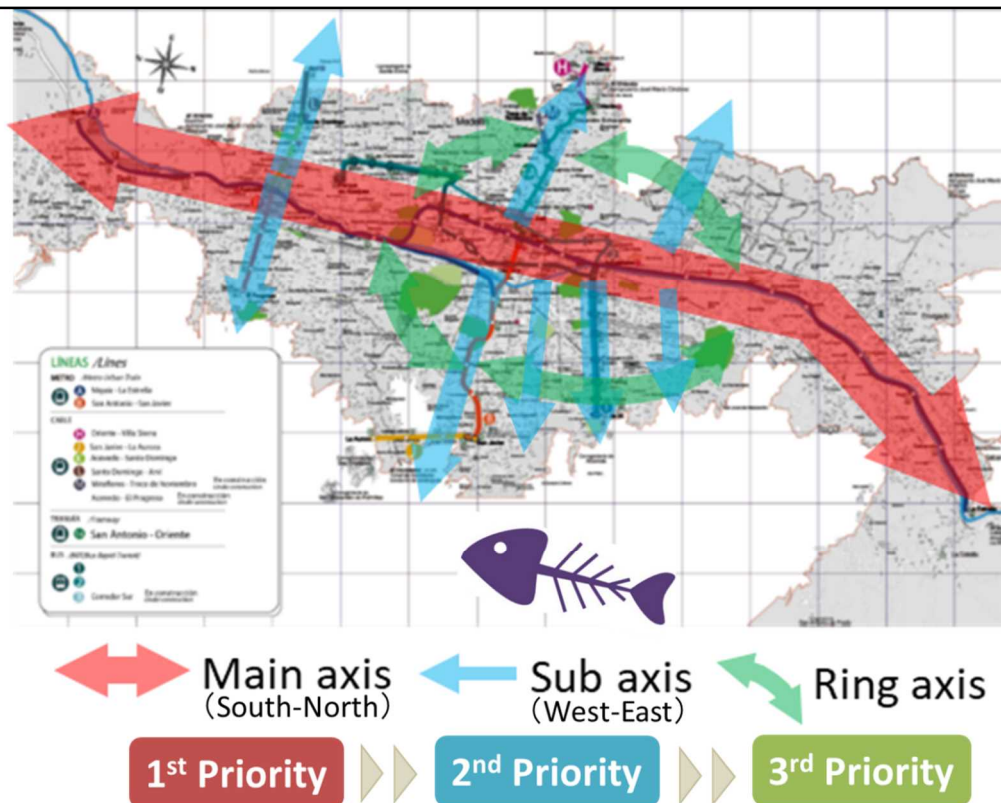


図 2-30 参考:都市軸形成の観点から優先的に整備すべき交通軸

出典:調査団

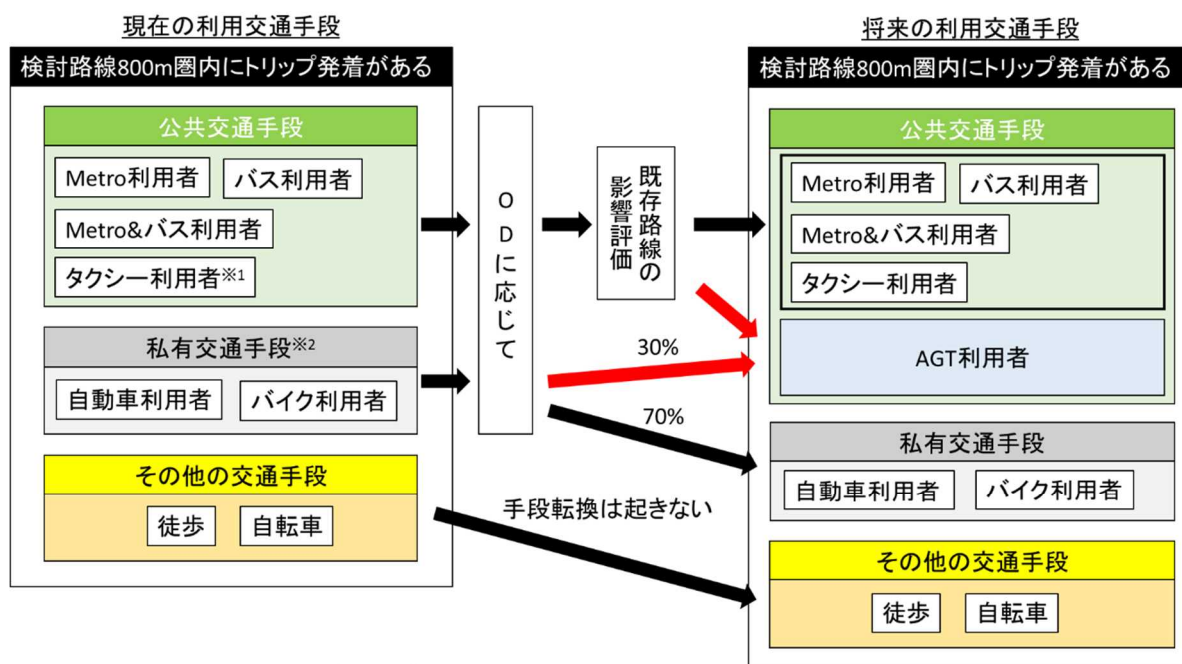
2.6 需要予測

2.6.1 2030 年の交通手段別交通量推計

(1) 現在の各 OD 別の交通手段分担率

a) 各別 OD の交通手段分担率の推計方法

「2030 年の検討路線周辺の OD 表」に、現在の代表交通手段の割合を乗じることにより、2030 年の交通手段別の OD 表を作成した。代表交通手段として、公共交通機関（Metro）、バス（Metro 以外）、Metro&バス、自動車、バイクを設定した。



※1: タクシーについては手段転換を考慮しない

※2: ナンバープレート規制、ロードプライシング等による自動車利用の抑制対策が行われた場合

図 2-31 既存交通手段から AGT への交通手段転換仮定

b) 検討路線の AGT 利用者数

上記 5 つの交通手段から AGT へ手段転換する人数を推計した。Metro de Medellin 推計した需要予測結果と、本調査での需要予測結果を比較すると、本調査での需要予測結果の方が少ないことがわかる。四段階推計を Metro de Medellin も利用していることから、差異の原因としては 1.) 既存の Metro 路線による影響の評価の違い、2.) 他モードからの AGT 転換仮定が主要因と考えられる。

表 2-7 本調査と Metro de Medellin の需要予測結果

現在の利用交通手段からの AGT 転換者数予測		本調査	Metro de Medellin
現在の利用交通手段	Metro[人/日]	56,790	NA
	バス [人/日]	87,970	NA
	Metro & バス[人/日]	14,010	NA
	自動車[人/日]	17,710	NA
	バイク[人/日]	9,610	NA
合計[人/日]		186,090	191,170

(2) 2030 年から 2059 年までの年間 AGT 利用者数

本プロジェクトの運用期間は 30 年を予定している。2030 年からの年間 AGT 利用者数推計に当り、需要の定着と伸び率を考慮した。需要の定着とは、情報不足やこれまでの習慣などから新規の路線に対する輸送サービスに過大あるいは過小に判断していることにより、需要が開業後数年は安定しないことをいう。新倉ら（2004 年）によると、概ね開業後 4～5 年で需要が定着することが伝えられている。需要の定着率については、開業直後から需要予測の結果より 80%、85%、90%、95%していき、開業後 5 年後に需要予測結果と一致するようにした。需要の伸び率は、メデジン市の人口成長率と同一とした。

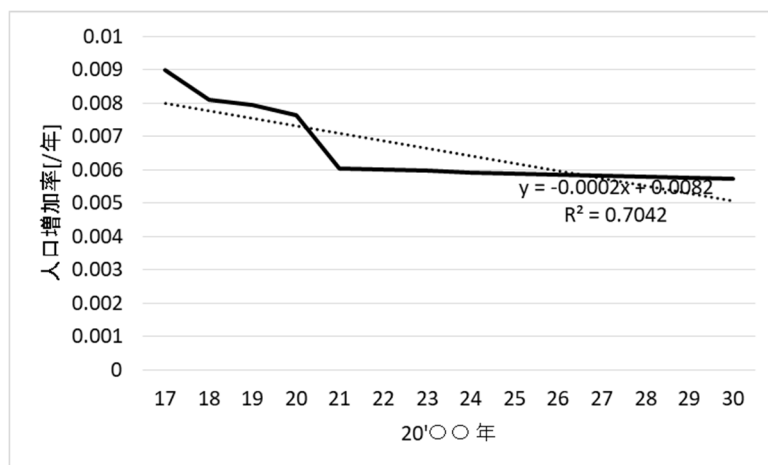


図 2-32 メデジン市の人口増加率[／年]

表 2-8 検討路線の 2030 年～2059 年の AGT 年間利用者数

AGT 利用者数[千人/年間]		AGT 利用者数[千人/年間]	
年	San Juan	年	San Juan
2030	54,330	2045	71,673
2031	58,014	2046	71,817
2032	61,722	2047	71,946
2033	65,450	2048	72,061
2034	69,198	2049	72,162
2035	69,489	2050	72,248
2036	69,767	2051	72,321
2037	70,032	2052	72,379
2038	70,284	2053	72,422
2039	70,523	2054	72,451
2040	70,749	2055	72,465
2041	70,961	2056	72,465
2042	71,160	2057	72,451
2043	71,345	2058	72,422
2044	71,516	2059	72,379

3. インフラシステムの基本的な設計等

3.1 路線計画

3.1.1 基本方針

本項では、メデジン市西部 Betania 地区を起点に 92 番通り～San Juan 通りを経て市街地中心部 Alpujarra 駅（メトロ A 線）に至る San Juan ルートについて検討を行う。なお、本ルートは基本的にメデジン市が 2016 年に改訂したマスタープランのルートに沿ったものになっているものの、東側の終点の Alpujarra 駅（メトロ A 線）から Barrio Colon 駅の間（図 3-1）については現地での Medellin Metro との協議の結果、本路線に含まない方針とした。



出典：Metro de Medellin

図 3-1 マスタープラン(2016 年改訂版)と設計対象区間の関係

3.1.2 駅の配置

駅の設置個所は旅客が比較的に集中する道路交差点付近を基本し、駅間隔は徒歩圏内を目安とする。San Juan 通りには横断する道路が多々在り、特に南北を結ぶ主要道路交差点付近に駅を設けることとし、駅周辺での歩行や他の交通からの乗り継ぎにおける利便性・快適性を確保できる位置にする。また、ラウンドバウト式交差点においてロータリー直径が 50m 以上有る場合にはロータリーの上空を避けて駅を設置する。各駅の一覧を表 3-1 に示す。

表 3-1 駅一覧表

No.	駅名（仮称）	概略キロ程	備考
DP	車両基地		運動場と未整備の用地の土地収用が必要
ST-01	A 駅	0k058m	
ST-02	B 駅	0k845m	
ST-03	C 駅	1k614m	
ST-04	D 駅	2k876m	建設予定の Tranvia との接続駅
ST-05	E 駅	4k252m	Calle70 上に配置（Metro de Medellin の要望）
ST-06	F 駅	4k913m	自転車道の移転が必要
ST-07	G 駅	5k733m	BRT 1 号線との接続駅
ST-08	H 駅	6k359m	メトロ A の Alpujarra 駅との接続駅

出典：調査団作成

3.1.3 線形検討上のコントロールポイント

San Juan ルートには図 3-2 に示すような様々な関連構造物・プロジェクトが存在する。その中でも線形検討上の特に拘束条件となる 3 つのコントロールポイントについて以下に示す。



- コメント
- ・ 起点から2kmは平均で約40%勾配。特にDepot候補地（予備）の手前は最急勾配約125%となり望ましくない。
 - ・ 最小曲線半径は40m。
 - ・ 全体で立体交差が3箇所あり内1箇所は斜張橋のため迂回する必要がある。
 - ・ Depot候補地（予備）のバスの転回場を利用するためには多額の補償金（約1,000万円/台）が必要。
 - ・ メトロB線と並行しているため他路線への影響あり。
 - ・ 樹木の移植が必要。1本抜く毎に周辺へ2本植える。

出典：OpenStreetMap を利用して調査団作成

図 3-2 San Juan ルート上に存在する構造物および関連プロジェクト

(1) 車両基地候補地

AGT の車両基地において必要な設備は、工場、検査ピット、車両留置線、試運転線、車両洗浄線、入出庫線、保守用車庫などがある。San Juan ルートの場合、車両基地の用地として 5.0ha 程度の確保が必要である。参考として日本国内の AGT 車両基地面積、車両留置本数を表 3-2 に示す。

表 3-2 日本の AGT 車両基地の敷地面積と留置本数

運営 事業体	ゆりかもめ (有明車両基地)	日暮里舎人ライナー (舎人車両基地)	埼玉新都市交通 (丸山車両基地)
敷地 面積	56,650 m ²	40,240 m ²	28,318 m ²
留置 本数	6 両×30 編成 (180 両)	5 両×17 編成 (85 両)	6 両×14 編成 (84 両)

出典：調査団作成

車両基地の候補位置としては、起点の A 駅西側に位置するバス転回場と A 駅東側に位置する運動場と未整備の空き地を候補地として計画する。メデジンメトロ技術者により用地の取得及び整地が可能であることを確認している。

車両基地は地上レベルに建設するため、起点駅から見て西側の車両基地側の線形は車両基地候補地の地盤高さに合わせる必要があり、またバス転回場への最急勾配が 12.5%であることから、運動場を車両基地の候補としては優位である。



起点駅西側バス転回場



起点駅東側運動場

出典：調査団作成

図 3-3 車両基地候補地

(2) Tranvia との結節点

AGT の利便性を向上させるためにも、本検討ルートと関連する路線については乗り換え利便性を確保する必要がある。本検討ルートは、Tranvia (Av. 80) に建設が予定されている Tranvia と下に示すラウンドアバウト位置にて接続する予定であり、ST-04 : D 駅は Tranvia との乗り換えを考慮した位置に設定することが求められる。



出典：調査団作成

図 3-4 Tranvia との交差部に位置するラウンドアバウト

(3) 終点駅でのメトロAへの乗換え

終点に位置する H 駅では、メトロ A 線の Alpujarra 駅にスムーズに乗り換えられるようにする必要がある。乗換の際に上下方向の移動が伴うと乗り換え利便性が低下するため、メトロ A 線の Alpujarra 駅のコンコースレベルと AGT のコンコースレベルを合わせる必要がある。



既存 Alpujarra 駅（メトロ A 線）



自由通路計画位置

出典：調査団作成

図 3-5 Alpujarra 駅付近の状況

3.1.4 線形条件

平面、縦断線形の検討に用いた AGT システムの線形条件を下表に示す。

表 3-3 AGT システムの線形条件

項 目	基 準 値
最高速度	60km/h (設計最高速度 80km/h)
本線駅間線数	2 線 (複線)
本線中心間隔	3.45m
軌間	1,700mm (タイヤ幅中心間隔)
最小曲線半径	本線 R=40m 車両基地等 R=30m
最急勾配	停車場外本線 60‰、地形上やむを得ない場合 100‰ 停車場内 3‰ (原則 Level)、車両基地等 Level

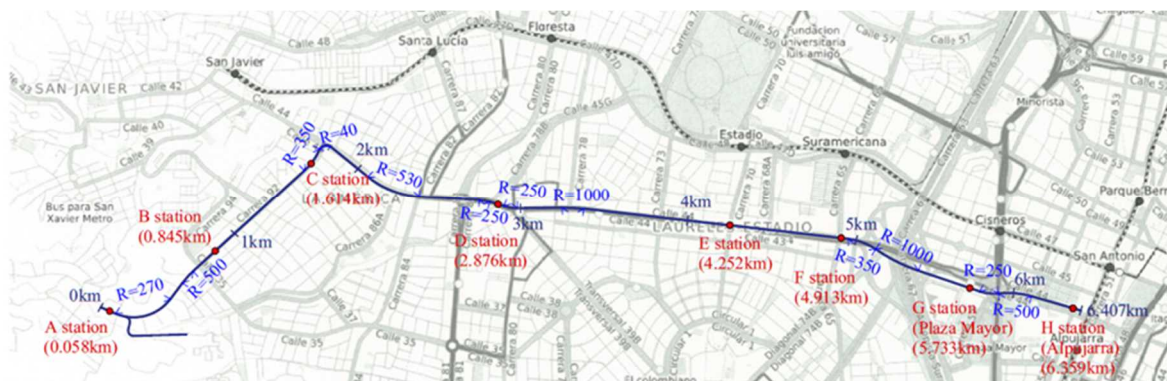
出典：調査団作成

3.1.5 平面・縦断設計

以上、3.1.1 から 3.1.4 で整理した項目を踏まえ、San Juan ルートの平面および縦断線形の設計を行った。

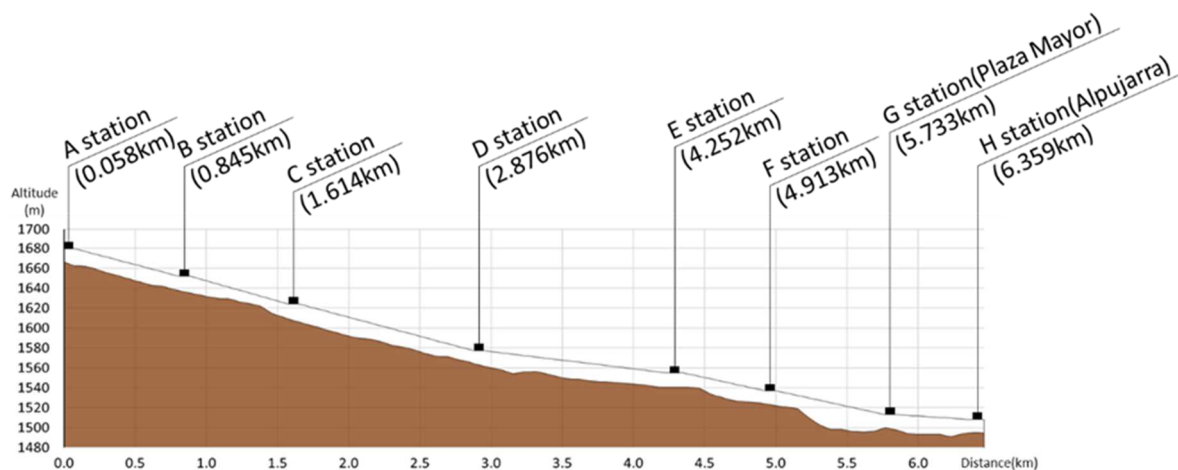
平面図および縦断図を図 3-6 および図 3-7 に示す。また、それぞれの平面線形分析表および勾配分析表を表 3-4 および

表 3-5 に示し、表 3-6 に線形表を示す。



出典: OpenStreetMap を利用して調査団作成

図 3-6 平面図



出典: 調査団作成

図 3-7 縦断面図

表 3-4 平面線形分析表

曲線半径 (m)	Number	距離 (m)	割合 (%)
straight	10	4346.3	67.8
R=40	1	74.3	1.2
$100 < R \leq 200$	0	0.0	0.0
$200 < R \leq 300$	4	616.4	9.6
$300 < R \leq 530$	4	957.5	14.9
$R \geq 1,000$	2	412.1	6.4

出典: 調査団作成

表 3-5 勾配分析表

勾配 (%)	Number	距離 (m)	割合 (%)
Level	8	790.4	12.3
$0 < G < 10$	1	540.7	8.4
$10 \leq G < 20$	1	1276.4	19.9
$20 \leq G < 30$	0	0.0	0.0
$30 \leq G < 40$	2	1281.0	20.0
$40 \leq G < 50$	3	2518.2	39.3
$50 \leq G$	0	0.0	0.0

出典:調査団作成

表 3-6 線形表

Station Name	Chainage (m)	Curve		Gradient		Altitude	
		Radius (m)	Distance (m)	(%)	Distance (m)	AGT Level	Ground Level
Start Point	0.0000		96.3127	0.000	107.5153	1679.500	1666.340
1 A station	57.5153						
	96.3127 L	270	361.0218				
	107.5153			-40.010	687.3303	1679.500	1662.500
	457.3345		115.2975				
	572.6320 R	500	96.3566				
	668.9886		887.2447				
	794.8456			0.000	100.0000	1652.000	1637.505
2 B station	844.8456						
	894.8456			-41.873	668.6935	1652.000	1635.100
	1556.2333 L	350	158.6289				
	1563.5391			0.000	100.0000	1624.000	1609.145
3 C station	1613.5391						
	1663.5391			-40.443	1162.1312	1624.000	1605.780
	1714.8622 R	40	74.3035				
	1789.1657		285.7492				
	2074.9149 L	530	332.5148				
	2407.4297		352.5132				
	2759.9429 R	250	63.6704				
	2823.6133		88.4272				
	2825.6703			0.000	100.0000	1577.000	1564.205
3 D station	2875.6703						
	2912.0405 L	250	81.7309				
	2925.6703			-17.236	1276.4296	1577.000	1561.320
	2993.7714		262.7807				
	3256.5521 R	1000	128.2059				
	3384.7580		1573.0512				
	4202.0999			0.000	100.0000	1555.000	1545.700
4 E station	4252.0999						
	4302.0999			-32.074	561.210	1555.000	1544.740
	4863.3098			0.000	100.0000	1537.000	1524.070
5 F station	4913.3098						
	4957.8092 R	350	172.1679				
	4963.3098			-33.345	719.7535	1537.000	1522.150
	5129.9771 L	1000	283.8987				
	5413.8758		380.8554				
	5683.0633			0.000	100.0000	1513.000	1500.040
6 G station	5733.0633						
	5783.0633			-9.248	540.6857	1513.000	1497.630
	5794.7312 L	250	109.9562				
	5904.6874 R	500	197.8303				
	6102.5177		304.0933				
	6323.7490			0.000	82.862	1508.000	1495.230
7 H station	6358.7490						
Ending Post	6406.6110					1508.000	1494.750

出典:調査団作成

3.2 構造物計画

3.2.1 高架橋部の構造物計画

a) 構造形式の選定

i) 高架構造の選定

一般に鉄道の高架橋は、桁式高架橋とラーメン高架橋のどちらかの構造形式となる。両者の比較結果を下表に示す。比較の結果、桁式高架橋の有利性が確認できたため桁式高架橋（PC 桁+RC 橋脚）を採用することを提案する。

なお、高架下の空間についてはメデジン市でヒアリングを行った際にメデジンメトロ担当者も治安の悪化につながらないか懸念を頂いていたため、安全面でも桁式高架橋の方が望ましいと考えられる。

表 3-7 高架構造形式の比較

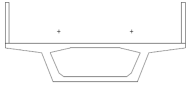
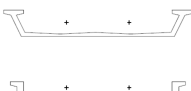
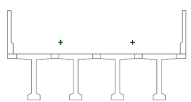
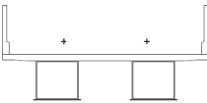
項目	桁式高架橋	ラーメン高架橋	比較結果
経済性	△	○	ラーメン高架橋の方が安く施工可能。
施工性	○	×	ラーメン高架橋の方が広い施工幅を必要とする。
施工期間	○	×	桁式高架橋の方が施工期間は短くて済む。
景観	○	×	桁式高架橋の方がよりシンプルで優れている。
環境影響	○	×	施工必要幅が広いことため交通渋滞の原因となる。

出典：調査団作成

ii) 桁構造の選定

高架区間において考えられる桁構造とそれらの比較結果を下表に示す。特に PC 箱型桁に優位性が確認できたため箱桁式の桁構造とすることを提案する。

表 3-8 桁構造の比較

桁タイプ	経済性	施工性	施工期間	景観	環境影響	特徴
PC 箱桁 	○	○	○	○	○	施工中道路占有が少ない。施工期間が短い。景観良好。環境影響少ない。
PC U桁 	△	×	○	○	○	急カーブ区間に対応できない。施工期間短い。景観良好。環境影響少ない。
PC I桁 	○	△	△	△	○	比較的成本が安い。施工中道路占有が多い。
合成鋼箱桁 	×	△	△	△	△	非常にコストが高い。運行期間中の騒音が大きい。

出典：調査団作成

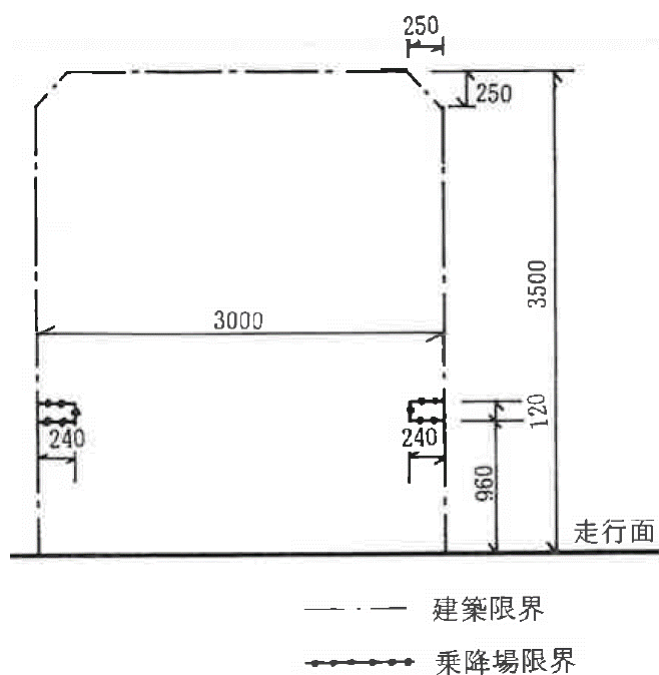
b) 設計条件

標準断面の設計にあたっては下記の条件を考慮した。

表 3-9 設計基本条件

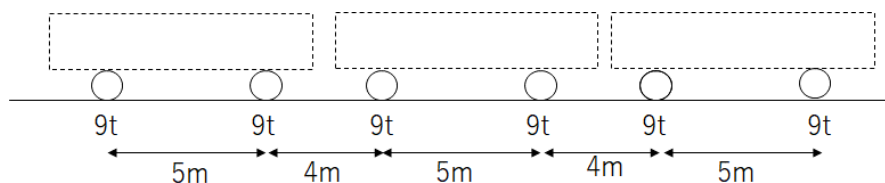
番号	項目	内容
1	システム	AGT
2	車両タイプ	中型ツードアタイプ(JTPA Type B)
3	編成	8両編成
4	建築限界、乗降場限界	図 4-8 参照
5	最大軸重	9t (満車質量 18t) 図 4-9 参照
6	空車軸量	5.25t (車両質量 10.5t)
7	上下線間	3,450 mm
8	軸距	1,700mm
9	点検歩廊	無し
10	緊急避難路通路	軌道を利用
11	道路上建築限界	4,800mm

出典: 調査団作成



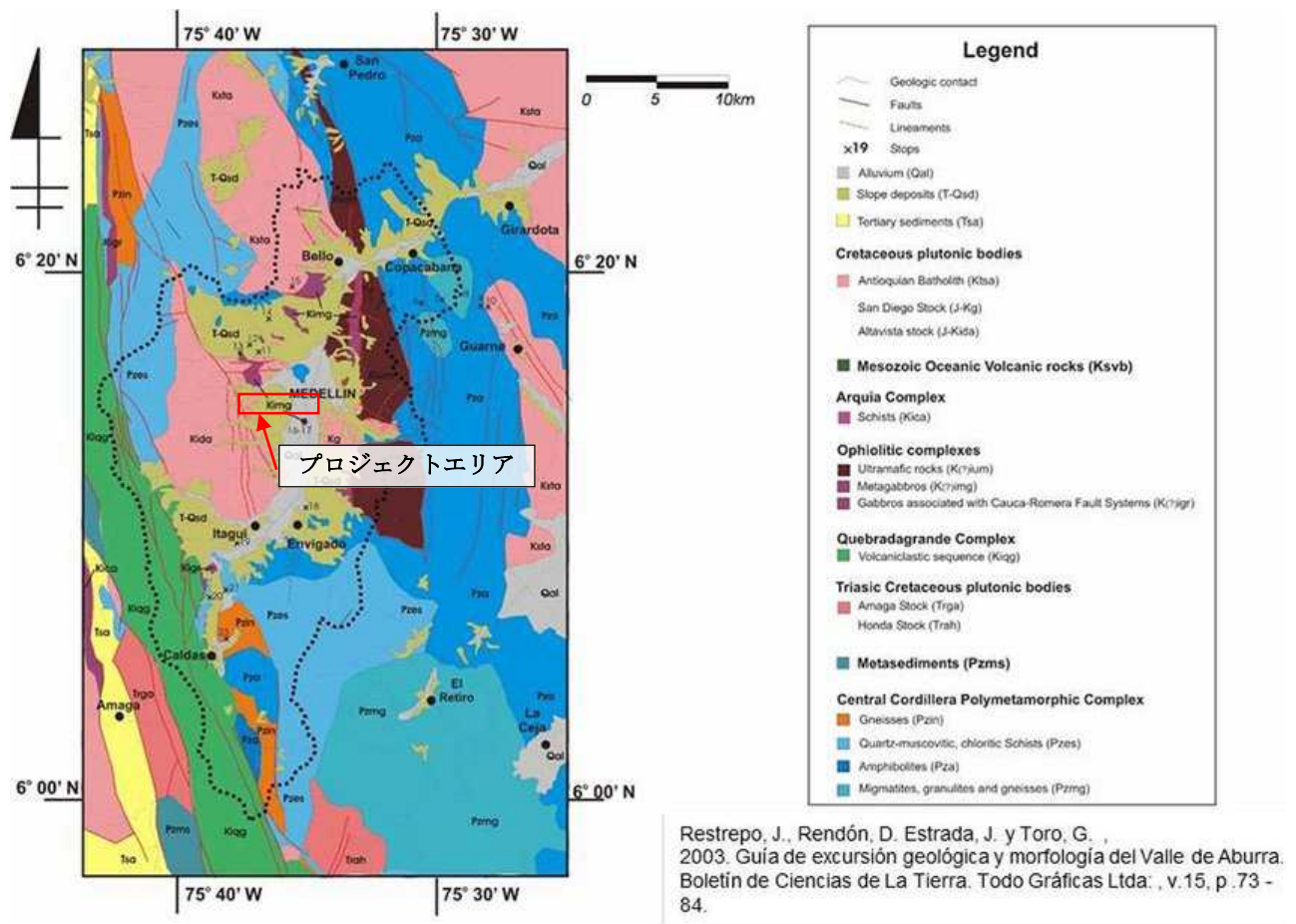
出典: 新交通システムの標準化とその基本仕様、日本交通系計画協会、昭和58年3月

図 3-8 建築限界および乗降場限界



出典: 調査団作成

図 3-9 軸重配置

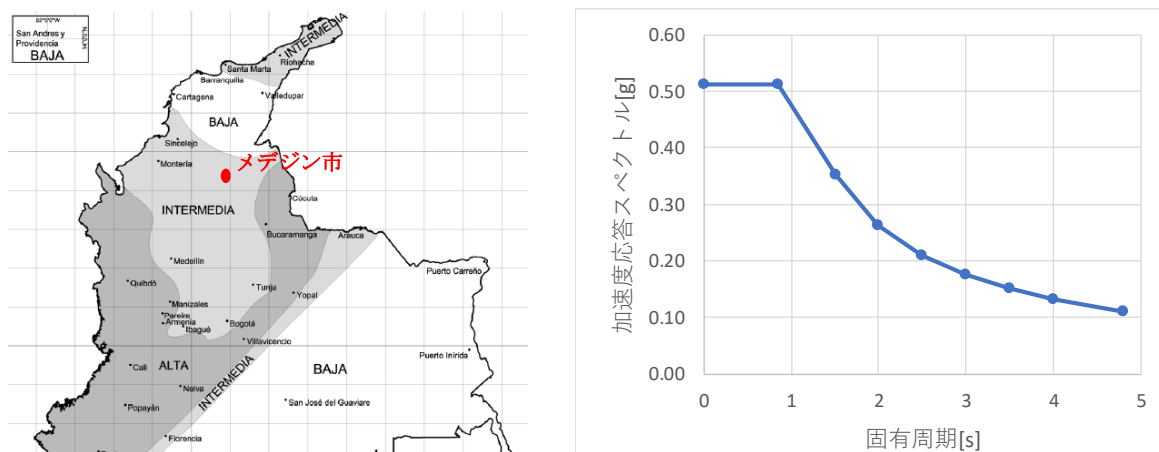


出典: Restrepo, J., Rendón, D. Estrada, J. y Toro, G., 2003. Guía de excursión geológica y morfología del Valle de Aburra. Boletín de Ciencias de La Tierra. Todo Gradicas Ltda., V.15, p. 73-84

図 3-10 メデジン市の地質状況

地質条件としては、図 3-10 から東の H 駅周辺が沖積層、中央の San Juan 通り沿いに斜面堆積物、西側の車両基地周辺にアンティオキアバソリスという構成になっていることが分かる。しかしながら、本調査ではボーリング調査を実施していないため支持層までに必要な杭長さを正確に把握することは困難であるため、メデジン市の平均的な杭長で設定する。

また地震条件については、コロンビアの耐震設計基準である NSR-10(Associacion Colombiana de Ingenieria Sismica)に下記の記載があり、メデジン市については地震リスクについて 3 段階で Intermedia (中程度) と分類されている。参考までに、地盤条件分類を D (平均 N 値 15~50) として算出した応答スペクトルを示す。

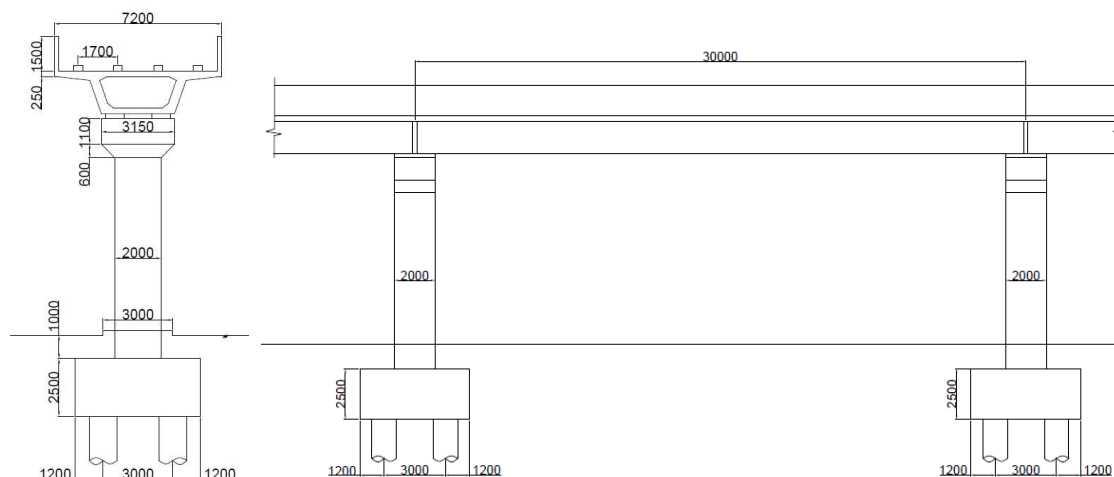


出典: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

図 3-11 地震リスクマップとメデジン市の応答スペクトル

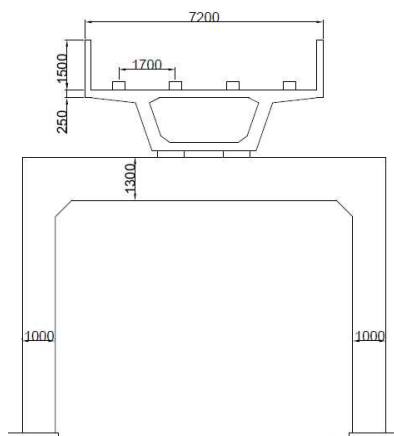
c) 標準断面

検討した標準断面を下図に示す。なお、桁直下が中央分離帯のない道路空間上に関しては図 3-13 に示すような門型橋脚として対応することを提案する。施工基面幅については、基準値 7.16m とし高架橋全幅を 7.20m とする。



出典: 調査団作成

図 3-12 断面図・側面図(中央分離帯部分に橋脚を立てられる場合)



出典: 調査団作成

図 3-13 断面図(桁直下が道路で橋脚を立てられない場合)

3.2.2 駅部の構造物計画

(1) 乗換え移動円滑化に関する検討方針

駅の乗換え移動を円滑に行なうには、「施設規模の適正化」「施設の利便性」を重視して検討する。表 3-10 において、乗換え移動円滑化を行なうために重視する検討項目を整理する。

表 3-10 乗換え移動円滑の視点

検討項目	施設規模の適正化	施設利用の利便性
	施設容量の確保 施設位置の適正化	乗継ぎ抵抗の軽減 旅客動線交錯の低減
検討項目	駅は、限られた道路上の地上空間に建設することから、建設規模が十分に確保できない場合があり、ピーク時における容量確保の方策や適正な施設配置の方法等について検討	乗換えにおいて、距離、通路の折り曲や上り下りの移動に対する抵抗感を和らげる方策について検討
関連する利用主体	通勤、通学者 (ピークタイム利用者)	全利用者

出典:調査団作成

(2) 乗換え結節駅のタイプ別分け

乗換え結節駅の形態は、駅の交差形態により制約を受け、水平移動・鉛直移動距離等の差が生じる事が考えられる。表 3-11 において、相互間の乗継ぎ駅について、タイプ別区分け、乗継ぎの抵抗の特徴について示す。

表 3-11 乗換え結節駅タイプ

交差形態		イメージ図	水平移動 (特徴)	鉛直移動 (特徴)
交差型	十字型交差 (駅が相互に重なる)		ホーム、コンコース、連絡通路の移動が必要であるが、いずれも小さい移動量である。	相対式ー島式のホームの組合せの場合は一般に移動量は小さい。
	T字型交差 (駅が相互に近接)		ホームの移動量は一方の線でホーム端部までの移動が必要であるが、他方のホームでの移動量は少ない。	
	L字型交差 (駅が相互に近接)		ホーム移動は両線ともにホーム端部までの移動が生じ、最大となる。	
分離型	乗継ぎ駅が近くにあるが、駅は交差することなく、連絡通路等で結ばれている。		ホーム、コンコース、連絡通路の移動が必要で、連絡通路の移動量が大きなシェアを占め、水平移動は最大となる。	分離している駅は一般に鉛直移動量も大きい。

出典:日本鉄道技術協会資料を基に調査団作成

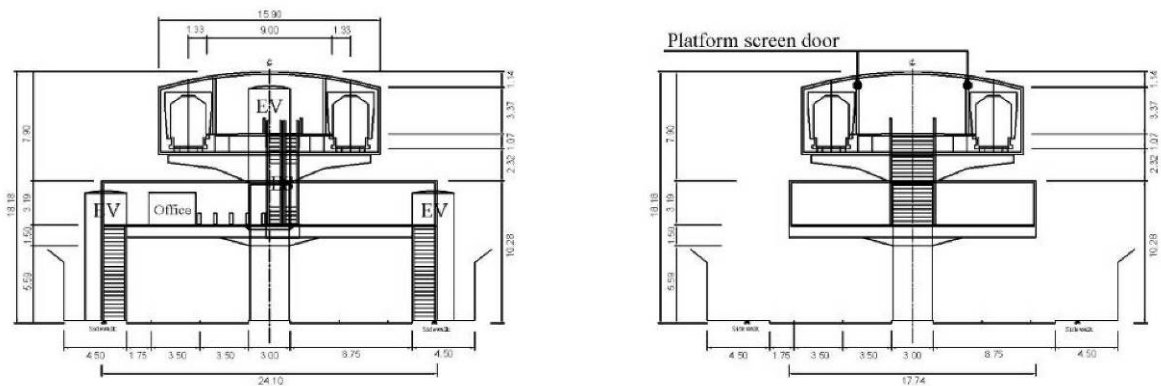
(3) 標準断面の検討

路盤は、道路中心を通過する事を条件とし、道路両側の分離を避けるため高架構造とする。どうしても道路中心において路盤を取るスペースが無いときには、門型橋脚の検討も行なう。

この路線は都市交通であり、快速運行に必要な通過線あるいは退避線は考慮する必要はない。従って駅形式は1面2線（島式ホーム）、乗降場幅員はホーム柵等を考慮し9mとする。乗降場延長は1列車長が約54mであることで56mとする。

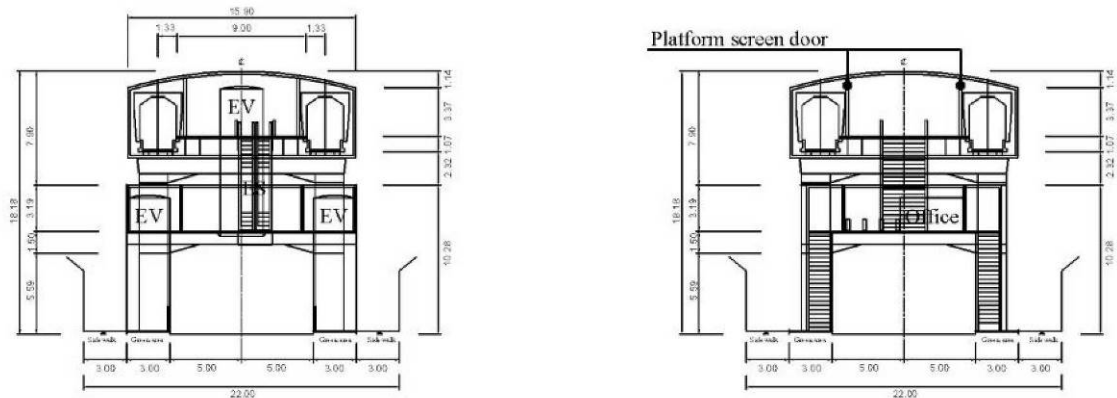
駅構内へのアプローチは、道路両側の歩道空間等から車道部分を超えて駅にアクセスする通路を確保する。

駅中央部の断面図と主要な駅の計画図を図 3-14～図 3-18 に示す。



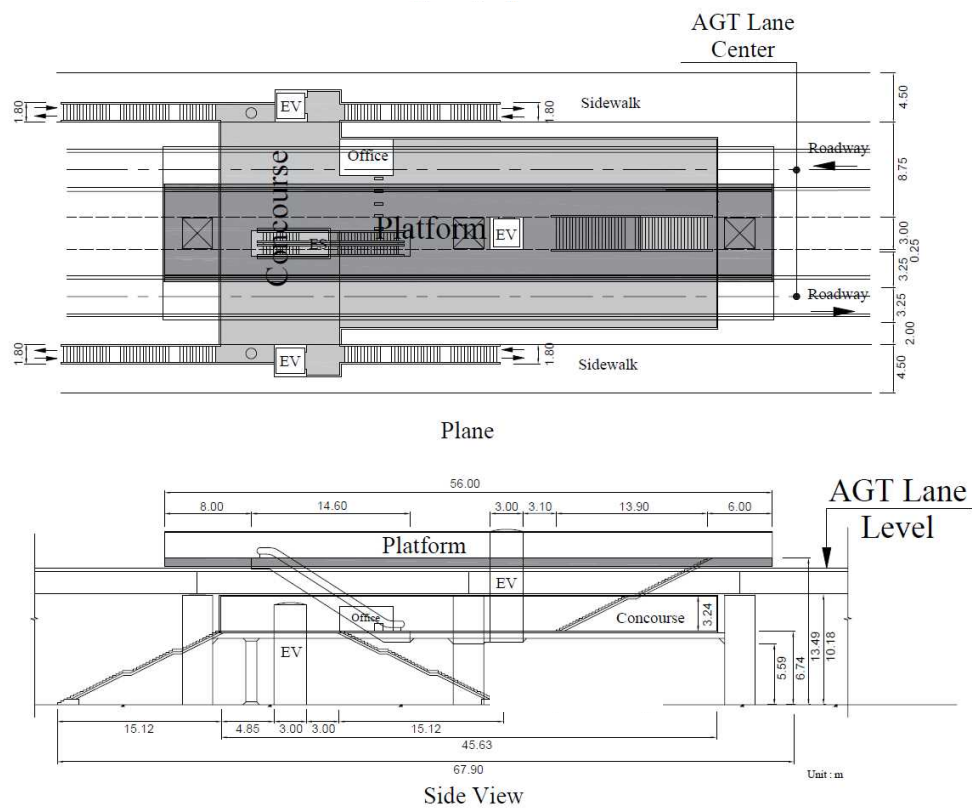
出典:調査団作成

図 3-14 駅部横断面図(中央分離帯有り)



出典:調査団作成

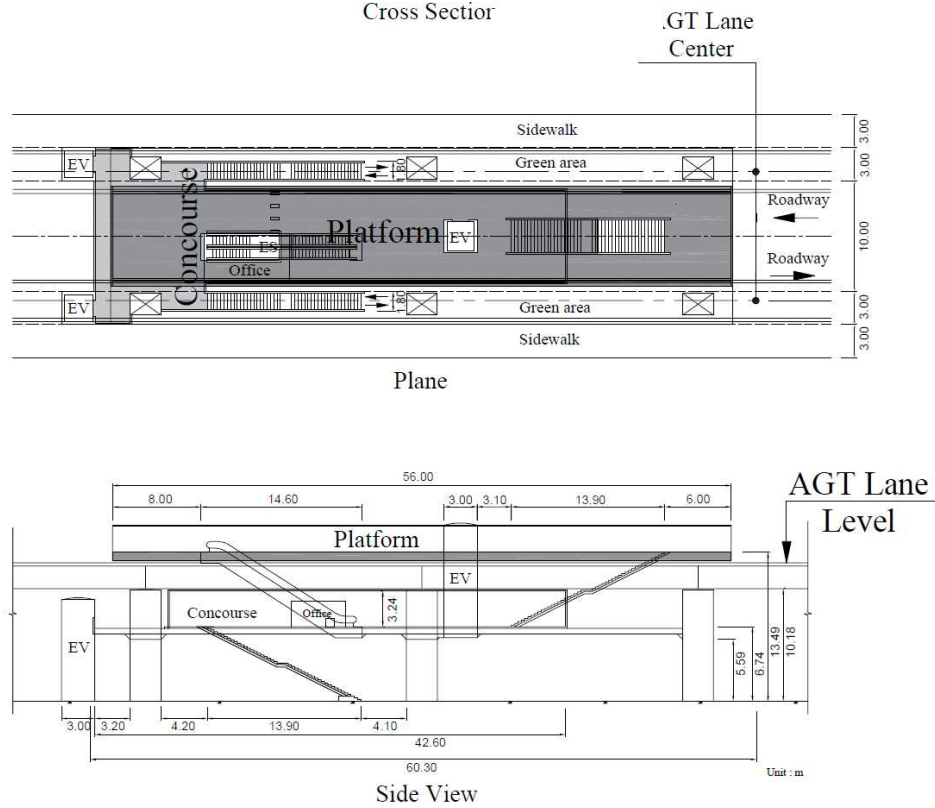
図 3-15 駅部横断面図(中央分離帯無し)



出典:調査団作成

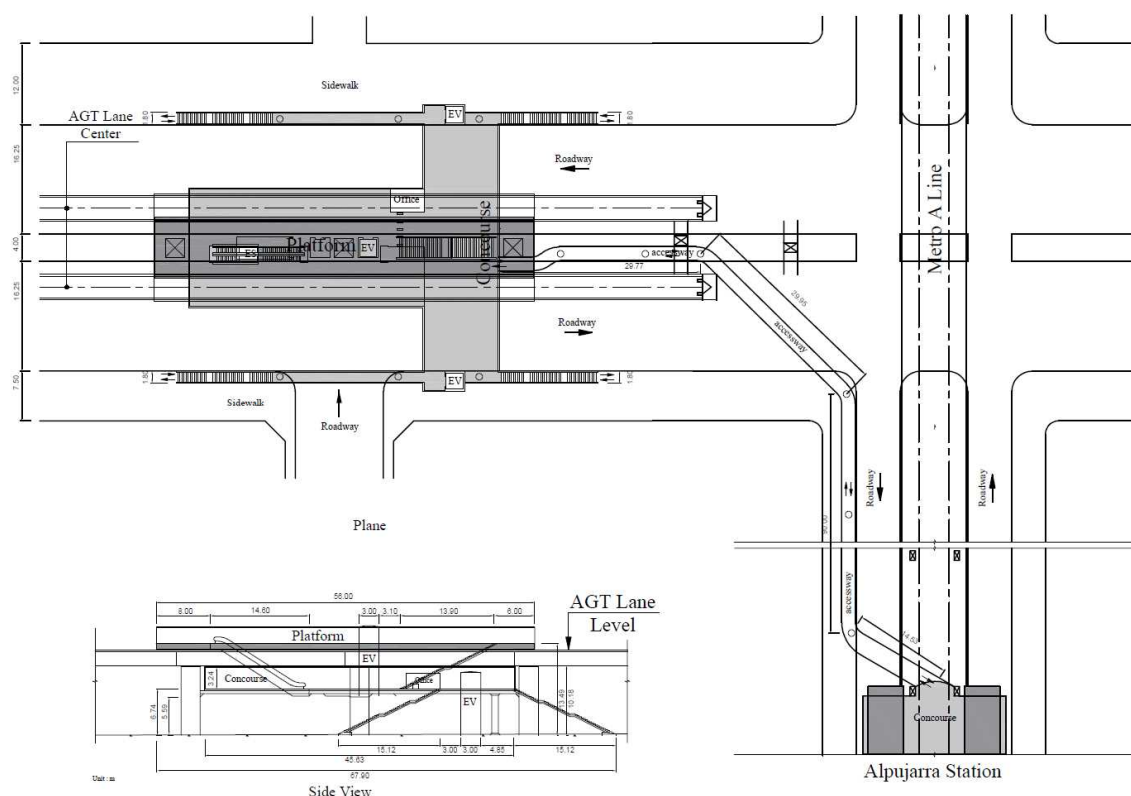
図 3-16 接続駅計画図(中央分離帯有り)

Cross Section



出典:調査団作成

図 3-17 接続駅計画図(中央分離帯無し)



出典：調査団作成

図 3-18 メトロ A 線 Alpujarra 駅との接続駅計画図

(4) 駅のバリアフリー機能

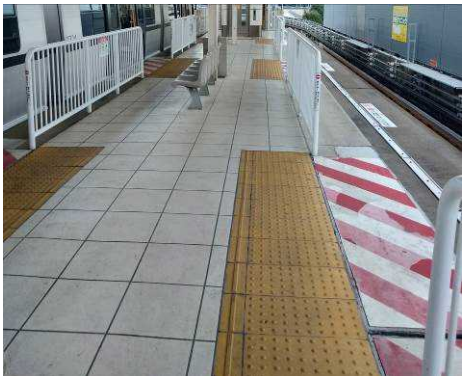
駅での円滑な乗り降り移動、さらに安全性として、バリアフリー機能・ユニバーサルデザインが必要となる。高齢者、障害者、ベビーカー利用者等への配慮を考え、駅の出入口からホーム、乗降までを1人で移動できることが重要である。

表 3-12 円滑な乗り換え移動機能

	項目	駅構内	駅自由通路及び駅周辺
バリアフリー機能	エスカレーター	○	
	エレベーター	○	
	ホームドア	○	
	階段手すり	○	
	点字ブロック	○	○
	音声案内	○	○
	通路における段差除去	○	○
	障害者用トイレ	○	

出典：調査団作成

駅施設におけるバリアフリーの取組では、エレベーター・エスカレーターやホームドアを整備があげられる。更に、車椅子がホームで通路を通過するための段差除去に加えて通路幅の確保が必要である。

	エレベーター	エスカレーター
写真		
概要	昇降路の出入口は、車椅子利用が出入りできる 90 cm以上、広さ（奥行く）は車椅子の回転に支障がない構造	乗降口は水平ステップ（3枚以上）とし、有効幅は 80 cm以上である。滑りにくい仕上げ
	ホームドア型（フルバージョン）	可動式ホーム柵型（ハーフバージョン）
写真		
概要	ホーム上に設けた壁状の施設で、軌道敷側に身体を出せない構造	ホーム上に設けた高さ 1.3m 程度の柵状の構造
	車椅子利用者の通路確保	点字ブロック
写真		
概要	車椅子で 360 度回転できる直径 150 cm（電動車椅子：180 cm）の空間がとれる構造	敷設において誘導動線を設定し誘導箇所を明確化し感知しやすい床材の使用

出典：調査団作成

図 3-19 駅施設におけるバリアフリー取組

3.3 AGT システム検討(電気・信号・通信・運転・車両)

3.3.1 電力設備

(1) 変電設備

メデジン公益企業 (Empresas Públicas de Medellín : EPM) の電力部門からの聞き取り調査によると、AGT を新設し、運営していくための電力は十分にあるということであった。電力は購入することとし、以下の変電設備について、日本での採用が多い、交流、60Hz、600V をベースとして検討するが、詳細な検討で直流 750V が好ましいと判断した場合でも、全体として大きな変更のない設備として計画する。変電設備に関する機能概要については、表 3-13 に示す。

表 3-13 変電設備の機能概要

設置区分	機 能 概 要
受電変電所	電力公社 (EPM) の基幹変電所から受電降圧、き電変電室等へ配電
き電変電所	受電変電所から受電降圧し、本線、基地へき電用の電力供給
電気室	受電変電所から受電降圧し、駅設備等へ電力供給
き電開閉所	車両基地変電室から受電し、基地内及び入出区線へのき電制御

出典:調査団作成

a) 受電変電所(Receiving Substation : RSS)

受電変電所は、メデジン公益企業 (EPM) が所有する異系統の変電所から常用および予備の 2 回線以上で受電し、車両用動力としてのき電設備、信号通信設備、駅車両基地等の諸設備へ電力を供給する。受電変電所には、停電時に、各駅の重要負荷施設に電力を供給するため、非常用発電機を設置する。

同変電所の候補地は、車両基地 (現サッカー場付近) の候補地内とし、スペースが厳しい場合は、バス車庫付近とする。

b) き電変電所(Traction Substation : TSS)

き電変電所は、受電変電所より 2 回線で高圧で受電し、き電変圧器 (常用/予備各 1 台) で交流三相 600V へ降圧後、き電用電力を供給する。また、室内には、き電回路 (交流三相 600V) の保護用及びき電区分用として遮断器を設置する。

c) 電気室

電気室は、受電変電所より 2 回線で高圧受電し、構内変圧器 (常用/予備各 1 台で、室内及び駅設備へ電力を供給する。

d) き電開閉所

き電開閉所は、車両基地変電室より A.C 三相 600V を受電し、基地内および出入区線へき電をする。

表 3-14 き電変電所、電気室、き電開閉所の数量および容量等

設置区分	数 量
き電変電所	4 駅（+ 基地）
電気室	8 駅（+ 基地）
き電開閉所	1 駅

出典：調査団作成

(2) 電路設備

電路設備に関する構成概要については、表 3-15 に示す。

表 3-15 電路設備の構成概要

設備区分	構 成 内 容
送配電線	受電変電所からき電変電所・電気室・き電開閉所に送配電する設備
電車線 き電線	車両用動力を供給する設備（補助き電線を含む）
電力制御線	き電回路の保護に係わる伝送回線
接地装置避雷器	感電・雷害防止、設備保護に係わる設備
その他	照明・連絡用等の保守作業に付随する設備

出典：調査団作成

a) 送配電線

送配電のケーブルは、受電変電所から各き電変電所及び電気室へ布設する方式とする。また、高圧ケーブル 2 回線は、各回線にトラフに分離して収納する。

b) き電線

き電線は、き電変電所、電気室又はき電開閉所から電車線のき電接続箇所まで布設する。なお、補助き電線は、電車線の電圧降下を補償するため、電車線と並列に布設し、適切な間隔で電車線に接続する。

c) 電車線

構造は、剛体複線式とし、コンタクト方式は、側線接触式を適用する。標準電圧は、交流三相 3 線式 600V とする。電車線の一般部を図 3-20 に、分岐器部における電線路設備を図 3-21 に示す。



図 3-20 電車線一般部



図 3-21 分岐器部電線路設備

出典:調査団作成

d) 電力管理システム

電力管理システムは、電力設備に係わる保守・運用の効率性と安全性を向上するため、無人の変電所、変電室、電気室及びき電開閉所の遠隔状態監視制御をする。異常時には、指令員が適切な処理ができるようなシステムとなっている。

本システムは、中央処理装置、遠隔監視制御装置、系統表示盤および操作卓より構成され、表 3-16 に示す主な機能を有する。

表 3-16 電力管理システムの機能

機 能	内 容
機器の監視・制御	電力機器の状態表示と個別の入切制御
スケジュール制御	電力機器のスケジュール設定による自動制御
系統表示・計測表示	系統の運用状態・受電及びき電系の電圧/電力量表示
自動再閉路制御	事故時等に対応したき電変電室の再閉路制御
緊急制御・停電制御	非常発報による遮断器の自動開放・非常時の負荷の切離

出典:調査団作成

3.3.2 信号設備

日本の AGT では、各種の信号設備が導入されている。以下に主な設備を示す。

a) 自動列車停止装置(Automatic Train Stop : ATS)

本装置は、運転士が信号現示に従って運転をしなかった場合に、他の列車と追突や衝突を防止するために列車を自動的に停止させる設備で、自動的にブレーキがかかる仕組みになっている。車両内に搭載された車上子・受信機などの車上装置とレール間に設置された地上子によって構成される。

b) 自動列車制御装置(Automatic Train Control : ATC)

本装置は、自動的に列車の速度を制御する装置で、地上の信号機に信号を現示する代わりに、列車検知装置(Train Detection : TD)によって、運転台に信号を現示するとともに、必要に応じてブレーキをかける。信号機の視認性の確保、列車間隔が短い区間の安全性向上を目的として導入された。

c) 自動進路制御装置(Automatic Route Control : ARC)

本装置は、列車順序を管理せずに予め登録された進路に対して信号制御を行う装置で、有人運転の AGT で使用されることが多い。鉄道の在来線では、信号や分岐器を自動操作する類似のシステムである自動進路制御装置(Programmed Route Control : PRC)が用いられる。

d) 自動列車運転装置(Automatic Train Operation : ATO)

本装置は、全本線および車両基地の入出区線に対して、必要により、自動運転を選択可能な設備とする。本装置は、車上装置および地上装置から構成される。

駅中間では、地上装置は、停止地点情報や速度制限情報等を車上装置に送信する。車上装置は、これらの情報に受信して、列車の運転速度パターンを作成し、これに基づいて自動運転を実行する。同時に列車位置情報を一定間隔で地上装置へ送信する。

駅構内では、車上装置は、列車が ATO 地上子を通過する毎に情報を受信し、列車を定位置に到着させる。そして、同装置は、車両とホームドアを連動させた自動開扉を行い、一定時間後に、自動閉扉そして列車を自動的に出発させる。

e) 自動列車防護装置(Automatic Train Protection : ATP)

本装置は、列車の相互間隔制御による列車の衝突防止及び路線条件や作業条件による速度制限を確保する。

f) 電子連動装置(Electronic Interlocking : EI)

連動装置は、転てつ機を転換して目的の進路を構成し、構成された進路を列車が通過し終わるまで途中で転換させず、またこの進路を妨げる他の進路が構成されないようにする装置で、電子技術を取り入れて安全性と機能を向上させた連動装置である。

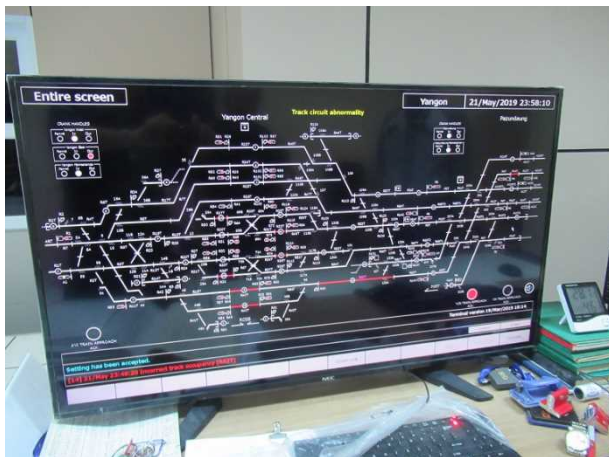


図 3-22 連動端末



図 3-23 電子連動装置

出典:調査団作成

3.3.3 通信設備

通信設備は、列車運行および保守作業を円滑かつ効率的に確保する手段である。また、異常時の列車運行の乱れ回復にも寄与する。本設備に関する構成概要については、表 3-17 に示す。

表 3-17 通信設備の構成概要

区分名	構 成 内 容
無線通信装置	列車無線 保守無線 非常発報
有線通信装置	指令電話、業務交換電話、沿線電話等
CCTV	映像監視
光伝送装置等	光伝送、時計、通信電源
旅客案内表示・駅放送装置	運行案内表示器、案内放送

出典:調査団作成

a) 列車無線装置

本装置は、列車運行の安全向上および業務の円滑化を実現するため、中央指令所と本線上の列車および車両基地内の車両との連絡を行う。また、非常発報装置は、異常時対応として、非常発報と非常列車停止の機能を有す。

b) 光伝送装置

本装置は、列車運行や保全作業等に際して、雷害や雑音等の影響の恐れのある環境下でも、中央指令所と現場機関での交信ならびに中央指令所からの遠隔監視・制御に係わる情報を効率的かつ高品質で提供する伝送回線とする。

c) CCTV(Closed Circuit Television)

従来は、監視カメラを用いて建物内部の重要場所を監視する設備として ITV (Industrial Television) が用いられていた。近年、各駅のホーム・コンコース等にケーブルとカメラ間を結ぶ CCTV を設置し、状況を中央指令所で監視する。近年のカメラは、全方位型に対応したカメラが普及している。



図 3-24 CCTV(全方位対応型)



図 3-25 CCTV 監視装置

出典:調査団作成

d) 電話装置およびインターホン装置

電話装置は、交換機を通した業務電話回線と直通方式による指令電話回線で構成する。インターホン装置は、各駅のコンコース（券売機、集改札機付近等）およびホームに設置され、顧客と中央指令所との間で通話連絡を可能とする。

3.3.4 運行管理システム及び他の管理システム

a) 運行管理システム

本システムは、列車運行を確保するために、信号通信設備、電力設備および防災情報システムを結合させて、本線および入出区線を対象に列車ダイヤ管理、進路制御、旅客案内情報表示及び列車制御・監視に係わる機能を実行する。

列車監視・制御機能は、車上装置および地上装置間の交信データは光伝送装置を介して、全列車の位置・状態把握すると共にダイヤ情報や OCC (Operation Control Center) 指令卓から必要な制御指令を可能とする。

b) 設備・防災情報管理システム

本システムは、設備状態について光伝送回線を通じて、中央指令で監視する。また、駅火災の発生ならびに中央設備および駅設備の異常発生を警報報知する。



図 3-26 運行管理システム



図 3-27 設備管理システム

出典:調査団作成

c) 車両基地管理システム

本システムは、車両基地内への入出区作業および入換作業を効率化するため、CBTC（Communications-Based Train Control）と基地連動装置（CIS）の結合によって、本線から入区線を経由して着発線へ並びに着発線から出区線を経由して本線までを自動運転を可能とする。また、CISは、着発線から留置線へおよび留置線から着発線への入換進路を自動設定する。



図 3-28 車両基地連動制御盤



図 3-29 車両基地モニター

出典:調査団作成

d) 駅務管理システム

本システムは、運賃精算等の駅業務の省力化、無人化を実現するため、中央指令所の駅務卓から各駅の改集札機及び精算機、券売機等に係わる監視・制御する。

中央指令所の駅務卓は、各駅務機器に関する運用情報と機器異常を監視すると共に機器の使用開始・停止および扉の開閉を制御する。また、中央指令所データ処理機は、各駅の券売機による売上、各改集札機の通過人員や利用者の乗降データ等に係わる帳票作成をする。

3.3.5 運転計画

a) 運行間隔と総車両数の算出方法

運行間隔、及び総車両数の算出方法を以下に示す。

PPHPD の最大値と、1 列車の定員からピーク 1 時間における運行間隔を次式で算出する。

$$(\text{ピーク 1 時間の列車本数}) = (\text{PPHPD の最大値}) \div (\text{1 列車の定員})$$

$$(\text{ピーク 1 時間における運行間隔}) = 60 \div (\text{ピーク 1 時間の列車本数}) \dots\dots\dots (1)$$

次に、路線延長、表定速度、折り返し時間から、1 往復の運行時間を次式で算出する。

$$(\text{片道の運行時間}) = (\text{路線延長}) \div (\text{表定速度})$$

$$(\text{1 往復の運行時間}) = (\text{片方向の運転時間} + \text{折返時間}) \times 2 \dots\dots\dots (2)$$

(1)、(2)より、必要列車本数は次式で算出される。

$$(\text{必要列車本数}) = (\text{1 往復の運行時間}) \div (\text{ピーク 1 時間における運行間隔})$$

必要編成数は次式で算出される。

$$(\text{必要編成数}) = (\text{必要列車本数}) \times (\text{1 列車構成編成数})$$

予備編成数は 2 編成（運行予備及び保守用予備の各 1 編成）と仮定し、総編成数、総車両数は次式で算出する。

$$\text{【総編成数】} \qquad (\text{必要編成数}) + (\text{予備編成数})$$

$$\text{【総車両数】} \qquad (\text{総編成数}) \times (\text{編成両数})$$

b) 計算条件

日本国内の新交通システム事業者の路線延長、および所要時間から算出した表定速度を表 3-18 に示す。表定速度は 28.5km/h～31.8km/h に設定されていることから、本調査における表定速度は 30.0km/h とした。

表 3-18 日本国内の新交通システム事業者の表定速度

名称	路線延長 (km)	所要時間 (分)	評定速度 (km/h)
埼玉新都市交通（ニューシャトル）	12.7	24	31.8
日暮里・舎人ライナー	9.7	20	29.1
ゆりかもめ	14.7	31	28.5
神戸新交通（六甲ライナー）	4.5	9	30.0

出典：調査団作成

また、終着駅における折返時分は、乗務員の乗務員室移動時間を考慮して 5 分とした。

c) 投入列車と運行計画

PPHPD は 2030 年で 10,480（人）、最大値は 2055、2056 年で、13,978（人）となっており、この需要を満たすような運行間隔、及び総車両数を算出する。車両は三菱重工（株）の「Urbanismo18」（写真 4-3-1）で、5 両、6 両（3 両×2、及び 6 両×1）、7 両で組成された 4 パターンの列車で運行計画を比較検討した。車両定員については JIS による算出方法ではなく、海外向け車両の定員算出に広く用いられている平米あたりの立席人数の設定により算出することとし、8 人/m²を前提として検討した。

一般的には定員として 6 人/m²が使われるが、PPHPD は最大乗客数を示すものであり、車両としては満員状態での運用と考えられ、立席人数を 8 人/m²とした。それにより、初期車両数の低減を図り、初期投資を抑える。

各組成列車における、運行間隔、総車両数の計算結果を表 3-19 に示す。



図 3-30 Urbanismo18

出典：三菱重工 Web Site

表 3-19 Urbanismo18 による運行計画

1列車両数	1列車 構成編成数	編成両数	路線延長 (km)	PPHPD (人)	1列車定員 (人)	ピーク時間の 片方向列車本数 (本)	ピーク時間の 運行間隔 (分)	片方向の 運行時間 (分)	1往復の 運行時間 (分)	必要列車本数 (本)	必要編成数 (編成)	予備編成数 (編成)	総編成数 (編成)	総車両数 (両)
5 両	1	5 両	6.359	10,480	489	22.0	2.7	12.7	35.4	13	13	2	15	75
	1	5 両		13,978	489	28.8	2.1			17	17	2	19	95
6 両	1	6 両	6.359	10,480	590	18.6	3.2	12.7	35.4	11	11	2	13	78
	1	6 両		13,978	590	23.7	2.5			14	14	2	16	96
6 両	2	3 両	6.359	10,480	574	18.6	3.2	12.7	35.4	11	22	2	24	72
	2	3 両		13,978	574	25.4	2.4			15	30	2	32	96
7 両	1	7 両	6.359	10,480	691	15.2	3.9	12.7	35.4	9	9	2	11	77
	1	7 両		13,978	691	20.3	3.0			12	12	2	14	98

出典：調査団作成

5、6、7 両組成の各列車の運行計画を比較すると、5 両の場合は 2.1 分ヘッドと非常に過密なダイヤとなる。また、6 両と 7 両を比較すると、ヘッドに関しては問題ないものの、7 両は総車両数が 6 両に比べて多くなるとともに、駅設備等も 7 両対応のものが必要となり余計なコストが発生する。よって、本調査では 6 両組成列車の投入を提案する。

また、6 両組成列車において 6 両×1 と 3 両×2 で比較した場合、3 両×2 は運行間隔を大きく変えずに、総車両数を 6 両削減することができる。以上のことから、本調査では投入列車として 3 両×2 から成る 6 両組成列車を採用し、2030 年時点においては 3.2 分ヘッドで運行、総車両数として 72 両投入することを提案する。

3.3.6 車両計画

本調査におけるコロンビア国メデジン市向けの車両として、安全性、快適性を満たし、無人運転での運行を可能とする日本製 AGT を念頭に検討した。本調査では、日本の主要各都市（東京、横浜、大阪、神戸、広島）で実績のある車両設計を参考として、車両基本諸元案を次のように設定した。列車運転方式については、ATO による無人運転（添乗員付き）を提案する。

表 3-20 メデジン市向け AGT 車両基本諸元案

諸元		メデジン市向け AGT 車両	備考
編成		6 両編成 (3 両編成 x 2)	
定員	編成定員	574 人	立席定員 8 人/m ²
	先頭車	93 人 (座席数 20 席含む)	
	中間車	101 人 (座席数 19 席含む)	
車体寸法	車体長(先頭車)	8,550 mm	編成長 54,000 mm
	車体長(中間車)	8,500 mm	
	車体幅	2,550 mm	
	車両最大高さ	3,340 mm	
車両重量	先頭車	10.5 ton	
	中間車	10.5 ton	
運転性能	運用最高速度	60 km/h	
	最大加速度	3.5 km/h/s	
	減速度(常用最大)	3.5 km/h/s	
	減速度(非常最大)	4.5 km/h/s	
列車運行方式	運転方式	ATO による自動運転	

出典:調査団作成

3.3.7 車両基地計画

車両基地の候補地は、前述の運動場を候補地として考えている。

一般に車両基地に必要な設備として、工場、検査ピット、車両留置線、試運転線、車両洗浄線、入出庫線、保守用車庫などがある。

工場は、オーバーホール等を行うため、检修設備として、天井走行用クレーンやリフティングジャッキ、各種の工作機械などが整備されている。検査ピットは、法定検査や各種調整を行うため、床面を掘り下げて、車両の両側および下面から作業ができるピット構造としている。また、検査時は、電車線を側方に設置せず、天井のトロリーから電車へ電力を供給して作業を行う。車両留置線は、車両基地中でも大きい面積を占める。そのため、車両基地として得られた敷地の中で、他の設備とともに効率的な運用ができるようなレイアウトとすることが大切である。試運転線は、車庫に納入後に行う各種の調整試験を行う線で、車両基地内の外側に設けられることが多い。車両洗浄線は、自動洗浄機が設置してある線で、その両サイドに手洗いができるようなプラットフォームを設ける。入出庫線は、本線に一番近いと

ころに設けられる。保守用車車庫では、機材搬送用、現地作業用の保守用車を留置しているところで、軽作業をおこなうための資機材も保管している。

以下に、車両基地内における主な施設の写真を示す。



図 3-31 車両留置線(ゆりかもめ)



図 3-32 入出区線(奥が本線との合流箇所:ゆりかもめ)



図 3-33 洗浄線(検査歩道の奥:ゆりかもめ)



図 3-34 検査ピット(西武山口線)

出典:調査団作成

3.4 インフラシステムの今後の課題、検討項目

3.4.1 路線計画

線形計画は、本調査においては簡易な測量に基づいており、また緩和曲線を考慮していない概略設計となっている。本計画を実現させるためには詳細な測量の実施とそれに基づいた線形計画を作成する必要がある。

また、車両基地計画においては、今回省略されている構内配線計画、電気機械等設備の配置計画を作成する必要がある。駅部においても効果的な交通ネットワーク形成に向けて駅結節点の詳細調査（交通量調査）が今後必要である。

3.4.2 構造物計画

本調査では現地建設会社でのヒアリングを基に構造物計画を作成しており、実際の施工を行うにあたっては、全線及び車両基地建設のための地盤調査（ボーリング調査）と仮設ヤードの選定を行う必要がある。加えて、Av. 80 に計画されている *Tranvia* 建設プロジェクトや路線上に計画されているフライオーバー建設プロジェクト等、本調査路線と関係するプロジェクトについて詳細な情報収集を行い、構造物としての整合性を確保する必要がある。

3.4.3 AGT システムの検討

日本の AGT では交流 600V と直流 750V の電気方式が主流で、鉄輪の電気方式と異なって電圧に大きな差がない。本計画ではどちらにも対応できるような変電設備としているが、コスト面を含めた電力計画を精査する必要がある。

また、今回の路線長が比較的短いことから、基幹変電所や中継変電所も設けていないが、将来計画を検討したうえで、設ける必要があるかどうか検討を行う必要がある。

今回の AGT システムは異常時対応の添乗員付きの自動運転システムとしているが、添乗員の役割についての検討（客先の要望（車両ドア閉への人的介入）等）及び通常時・異常時対応の検討が必要である。

3.4.4 運転計画

実際の運行計画をたてるためには、より詳細な曲線と勾配データを含んだ線形データが必要となる。また、加速力曲線などの詳細な車両スペックも必要である。それらを考慮し運転曲線図を描画することで、正確な運転時分を算出する必要がある。また、一日の時間帯別運行計画（ピーク、オフピーク等）を立て、車両保守計画、車両基地計画（検修棟等）を行い、必要となる総車両数を精査する必要がある。

3.4.5 環境影響調査

自然環境影響調査としては、メデジン市特有の課題であるプライバシーと治安を考慮した景観調査や、植生の多い車両基地や中央分離帯の利用に伴う植生移植の検討（移植本数、移植先）を行う必要がある。

また、社会環境影響調査としては、車両基地で必要な用地収用および住民移転について詳細な影響評価を実施する必要がある。

4. 事業規模：事業費の算出(運営・維持管理費・初期)

4.1 運営・維持管理費の算出

4.1.1 運営組織体制

AGT の運営組織体制については、メデジンメトロにヒアリングした結果、メデジンメトロが運営することが望ましいとの見解を得ており、調査団としても同様の考えであるため、メデジンメトロが運営することを前提に提案を行う。わが国における新交通システム運営事業者の事例を参考に、下図の通り AGT の運営組織体制を設定した。

メデジンメトロの既存組織の O & M Management の下に、新たに AGT 運行本部を設置する。AGT 運行本部は運輸部と技術部にて構成され、運輸部は駅業務や指令業務などの輸送に関わる事項を、技術部は車両や電気設備、土木施設等の技術に関わる事項を担当する。また、運輸部と技術部に属する現業部門として駅務区、指令所、車両管理所、施設管理所を配置する。

なお、一般的に本社組織に属する総務部や人事部などの事務系の部署は既にメデジンメトロの本社組織にあるため、組織は改編せずに必要人員の増員のみで問題ないとする。また、無人自動運転を前提としており運転士が不要であるため、運転士が属する運転区の設置は行わない。

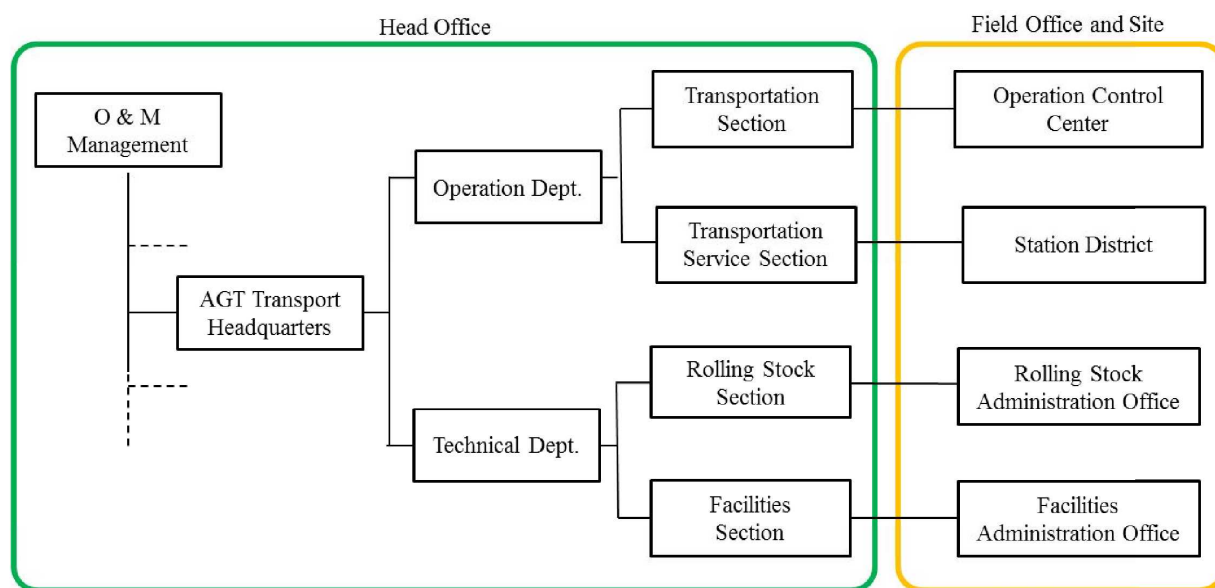


図 4-1 運営組織体制

出典：調査団作成

4.1.2 駅要員配置計画

わが国における新交通システムの駅は、一般的に乗降客が多い駅は有人駅としながら、乗降客の少ない駅は無人駅とし、お客様対応は指令所からの遠隔対応や近接駅からの対応としている。

一方、メデジンメトロの駅の運営状況をみると、自動券売機や自動改札機等が設置されているが、駅員が出改札対応の他、行先案内や乗換案内など様々なお客様対応を行っている。

このため、AGTの全駅を有人駅とし、乗降客の多い駅は2人、乗降客の少ない駅は1人、常時配置する。なお、勤務形態は3交代、週休2日制とする。

また、無人自動運転されている車両に何らかのトラブルが発生し、手動運転の対応が必要になった際は、運転取扱い資格を持つ職員が乗務することとし、定期的にマニュアル運転の訓練を行う。折り返し設備を有する駅と中間駅に常時1人配置するものとし、勤務形態は3交代、週休2日制とする。

トラブルなど異常時の対応として、列車の折り返し設備を有する駅において、信号の現地制御を実施する必要があるため、信号取扱いに関する資格を持つ職員を1人常時配置する。ただし、車両基地に接続するST-01（A Sta）については、指令員2人と合わせて、3人常時配置する。なお、勤務形態は3交代、週休2日制とする。

駅要員数は、駅務専任44人、運転兼任12人、信号・通信・指令所専任20人、合計76人となった。

表 4-1 駅要員配置計画

(Unit: person)

Station		Station staff	Driving handler	Signaling handler
ST-01	A sta	4	4	12
ST-02	B sta	4		
ST-03	C sta	4		
ST-04	D sta	8	4	4
ST-05	E sta	4		
ST-06	F sta	4		
ST-07	G sta	8		
ST-08	H sta	8	4	4
Total		44	12	20
		76		

出典：調査団作成

4.1.3 維持管理要員配置計画

維持管理要員については、本社担当、線路担当、電路担当、車両担当に区分され、各要員の原単位については、国土交通省発行の鉄道統計年報（平成 28 年度版）より、延長 km、車両数等より設定し、各要員数を算出した。原単位の設定にあたっては、埼玉新都市交通、ゆりかもめ、横浜シーサイドライン、神戸新交通を参照した。

維持管理要員数は、本社担当 6 人、線路担当 4 人、電路担当 6 人、車両担当 12 人、合計で 28 人となった。

表 4-2 維持管理要員配置計画 (Unit: person)

Description	Head office staff	Civil eng staff	Electrical eng staff	Rolling stock staff
Unit	–	km	km	Vehicle
Quantity	22	6.6	6.6	72
Unit person	0.253	0.670	0.956	0.166
Number of employees	6	4	6	12
	28			

出典：調査団作成

4.1.4 運営・維持管理に関わる人件費

運営・維持管理に関わる人件費については、コロンビア国メデジン市の非製造業のスタッフ及びマネージャーの月額給与より、人件費単価を各々設定した。

計算の結果、運営・維持管理に関わる人件費は、約 4.34 百万ドルとなった。

表 4-3 運営・維持管理に関わる人件費 (Unit: USD)

Description	Staff	Manager	Sub total	Total
Operation staff	61	15	76	104
Maintenance staff	22	6	28	
Monthly salary	1,390	5,095	–	–
Monthly cost	115,370	106,995	–	222,365
Annual cost	2,249,715	2,086,403	–	4,336,118

出典：調査団作成

4.1.5 運営・維持管理に関わる経費

運営・維持管理に関わる経費については、線路保存費、電路保存費、車両保存費、運輸費、運転費、その他経費に区分され、各費目の原単位については、国土交通省発行の鉄道統計年報（平成28年度版）より、延長 km、車両走行キロ、駅数より設定し、各経費を算出した。原単位の設定にあたっては、埼玉新都市交通、ゆりかもめ、横浜シーサイドライン、神戸新交通を参照した。

計算の結果、運営・維持管理に関わる経費は、約 8.27 百万ドルとなった。

表 4-4 運営・維持管理に関わる経費 (Unit: million USD)

Description	Unit	Quantity	Cost (USA price)
Civil eng	km	6.6	1.326
Electrical eng	km	6.6	1.098
Rolling stock eng	Vehicle km's	5,644	2.007
Train operation *	Vehicle km's	5,644	1.091
Station service	Station	8	1.106
Other administrative expenses	km	6.6	1.643
Total	-	-	8.271

出典：調査団作成

- ①Japan tokyo 0.140 USD/KWh
 ②Columbia Medellin 0.189 USD/KWh
 ① / ② = 1.35 *

出典：JETRO 投資関連コスト メデジン（コロンビア）

表 4-5 運営・維持管理に関わる経費の内訳

費 目	内 容
線路保存費	有形固定資産運送施設中電路（変電所機械及び通信機械を含む。）、車両（線路保存用特殊車両を除く。）及び自動出改札装置等の営業用機械装置を除いた一切の固定資産の維持補修（検査、整備、清掃及び修繕。以下同じ。）に要する作業費（厚生福利施設費及び一般管理費に整理されるものを除く。）
電路保存費	有形固定資産運送施設中電路、変電所機械、通信機械及び電路保存用特殊車両の維持補修に要する作業費
車両保存費	有形固定資産運送施設中車両（線路保存用特殊車両及び電路保存用特殊車両を除く。）の維持補修に要する作業費
運転費	列車の運転に要する作業費
運輸費	旅客及び貨物の取扱い並びに列車の組成及び車両の入換えに要する作業費
その他経費	保守管理費、輸送管理費、案内宣伝費、厚生福利施設費、一般管理費

出典：鉄道事業会計規則

4.2 事業費算出

4.2.1 積算条件と積算方法

概算事業費の費目は、インフラ部とシステム部に区分され。以下に示す費目を計上した。

表 4-6 概算事業費の費目内訳

区 分	費 目
インフラ部	土木構造物（駅部含む）、駅部建築仕上げ、車両基地造成費（用地費含む）
システム部	案内軌条、車両、電力、変電所、信号・通信・中央指令所、駅設備、 車両基地設備

出典：調査団作成

概算事業費は、現地での積算実績、日本国内メーカーへのヒアリング、日本及び諸外国における導入実績に基づいて、単価（延長 km 当たり、面積 ha 当たり、1 駅当たり、車両当たり、一式計上）を設定し、これらの単価に数量（路線延長、面積、駅数、車両数等）を乗じて算出した。

特に、土木構造物については、比較的安価な鉄筋コンクリート構造物及びプレストレスコンクリート構造物を主体に用い、コンクリート系構造物で対応が困難な場合のみ、鋼構造を用いることとした。

本事業は課税対象とならないものとして積算しているため、税金は考慮していない。また、為替レートは、2015 年 1 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日の 5 年平均レートを使用した。

表 4-7 為替レート

為替レート	出 所
1USD : 113.30YEN	Bank of Mitsubishi UFJ
1USD : 2,996.67COP	Banco de la Republica - Colombia

出典：調査団作成

4.2.2 概算事業費の算出

概算事業費については、安全性や快適性、利便性等の確保を最大限図った『フルスペック』（ゆりかもめと同等の仕様）と、運行するための最小限の機能に留めた『シンプルスペック』の2案について提案を行った。『フルスペック』の場合の算出結果を下表に示す。

インフラ部の費用は約 190 百万ドル（キロ当たり約 29 百万ドル）、システム部の費用は約 228 百万ドル（キロ当たり約 35 百万ドル）となり、全体費用は約 418 百万ドル（キロ当たり約 63 百万ドル）となった。

なお、この概算事業費は、現時点で想定した積算条件にて算出したものであり、今後の詳細な調査によってその精度が増すと積算条件が変化するため概算事業費も変化する。また、システム部の内容を変更、周辺状況が変化した場合においても、その変化に合わせて概算事業費は変化する。

表 4-8 概算事業費(フルスペック)

(Unit: million USD)

Description	Project cost
Infrastructure portion	189.7
System portion	227.8
Total	417.5
Cost par km	63.3

出典：調査団作成

運行するための最小限の機能に留めた『シンプルスペック』は、以下の仕様とした。

- ・インフラ部：駅部のコンコース階なし（2 層駅から 1 層駅に変更）
島式ホームから相対式ホームに変更、簡素な建築仕上げ
- ・システム部：ATO による無人自動運転から有人運転（ワンマン運転）に変更
ホームドアなし、エスカレータ・エレベータなし

インフラ部の費用は約 167 百万ドル（キロ当たり約 25 百万ドル）、システム部の費用は約 204 百万ドル（キロ当たり約 31 百万ドル）となり、全体費用は約 372 百万ドル（キロ当たり約 56 百万ドル）となった。

表 4-9 概算事業費(シンプルスペック)

(Unit: million USD)

Description	Project cost
Infrastructure portion	167.3
System portion	204.2
Total	371.5
Cost par km	56.3

出典：調査団作成

5. 事業実施体制(事業スキーム等)

5.1 資金調達一円借款

本 AGT 路線の建設費用については、以下に述べる理由から、PPP 等により民間資金を活用するのではなく、円借款での調達とすることが現実的である。

5.1.1 民間資金活用の場合

コロンビアではこれまで鉄道案件を民間主導の PPP として実施したことはなく、現地での調査結果からも、本 AGT 案件でも民間資金の活用は難しいと考えられる。

(1) コロンビアにおける PPP 案件

コロンビアにおける PPP は 2012 年法律 1508 号によって定義される。コロンビア貿易投資観光促進機構 (ProColombia) によると、コロンビアはラテンアメリカ地域において PPP 案件を最も多く実施して国である。しかしながら、これまでに鉄道案件が PPP で実施された例はない。

同国で鉄道案件を民間主導の PPP で実施する場合は、公共部門は CAPEX を 3 割まで負担することが認められるが、残り 7 割は民間負担としなければならない。また、OPEX は全額民間の負担となる。これらの投資を、鉄道の料金収入により取り戻すというビジネスモデルになる。構造物の建設などがある鉄道案件の場合は CAPEX が高額になる一方、主に中間層以下が利用する公共交通である鉄道は、料金を高額には設定できない。コロンビアの場合、バスやメトロなどの都市交通の料金は 0.6~0.8 米ドルに設定されており、本 AGT においても料金設定をこれ以上とすることは難しいとの意見が、メトロ関係者やその他の訪問先から出された。

また、メデジンメトロの関係者によると、民間資金を導入するにしても、AGT の運行はメデジンメトロが担うと述べているため、民間企業が運行を行い、料金収入によって投資を回収するというモデルを設定できないことも、PPP が難しいと考えられる理由の一つである。参考までに、以下に同国の公共交通の実施例を挙げる。

a) ボゴタメトロの例

2019 年 8 月に入札が行われ、同年 11 月に受注者との契約を締結したボゴタ市のメトロ建設・運行案件では、建設費は中央政府が 7 割、地方政府（ボゴタ市）が 3 割を負担する。運行も建設を担う企業が実施するが、料金収入は市のものとなる。同企業に対する支払は、料金収入によらず、運行実績に応じる。従って、現地ではコンセッションと呼ばれているが、日本で言うところの業務委託契約である。

b) その他の鉄道案件の例

- レヒオトラム (Regio Tram - ボゴタ市から西の郊外へ向かうトラム) : 建設に係る入札が 2019 年に実施され、中国企業が落札したと報じられている。建設は中央政府 7 割、地方政府 3 割で実施予定であり、民間資金は注入しない。運行は同中国企業が実施するかどうかは不明であるが、民間企業が行い、料金収入によって運航費用を賄い、収益を上げるというスキームになる予定である。

- リオネグロ APM（リオネグロ市とメデジン空港を結ぶ AGT）：建設費用はリオネグロ市が 100% 負担する。運行を行う企業は、料金収入により収益を上げる。現在入札を行っているが、リオネグロ市が建設費用を調達できるのか疑問視する声がある。
- クンディナマルカ鉄道（クンディナマルカ県の貨物鉄道）：既存路線のリハビリ。民間主導の案件で、建設費・運行費全てを民間企業が負担する。現在 FS を行っているが、民間資金だけで建設費・運行費全てを回収できるだけの収益を上げられるのかは、不明である。

5.1.2 公共事業として実施する場合一円借款の活用

以上に述べた通り、コロンビアでは民間資金を活用した軌道案件は実績がなく、クンディナマルカ鉄道のように、建設費・運行費のすべてを民間資金で実施する案件については、実現性を疑問視する声がある。従って、本 AGT 案件は公共事業として公的な資金で建設することが望ましく且つ現実的である。

メデジン市は既存の都市交通システムを運営する公社、メデジンメトロを有しており、本 AGT 路線もメデジンメトロが運行を行う予定であることから、メデジン市の他の路線と同様、メデジンメトロが料金収入により運行費を賄う方式が妥当と考えられる。以下の表で、公的資金と民間資金を活用した場合を比較する。

表 5-1 資金調達先 比較表

	公的資金活用	民間資金活用
公的資金による、建設費の負担可能額	100%	最大30%
公的資金によるO&Mコストの負担可能額	運行事業者（メデジンメトロ）と資金提供者との契約による	0%
運行事業者の収益確保スキーム	料金収入	メデジンメトロが運行するため、民間事業者の収益確保スキームは不明
メデジン市における過去の経験	メトロ、BRT、ケーブルカー、路面電車で公的資金の調達経験有り	無し

出典：調査団作成

一方、建設費についてはコロンビア政府の予算で賄う必要がある。本邦技術を活用するためにも円借款での実施が望ましい。ただし、コロンビアは JICA が定義する円借款対象国所得階層別分類によると、「中進国および卒業移行国」に分類されており、アンタイドでの借款供与となる。従って、入札に際しては他国勢との競争となるため、日本勢は入念な準備を行った上で応札する必要がある。

5.1.3 その他の資金の活用

メデジン市の水道や電力事業を行うメデジン公社（EPM—Empresas Públicas de Medellín）は、収益をメデジン市に納付しており、2019 年は約 1 兆ペソ（約 335 億円）を納付予定である。これはメデジン市の一般会計に組み込まれるため、何らかのプロジェクトに紐づけることはできないとの説明を EPM の職員から受けた。しかし、EPM の事業である電気や水の供給に関わる部分については、特定のプロジェクトに紐づけて資金を提供することも検討可能とのことである。AGT 建設の中で電気・水道に関わる部分について、同資金を活用できるかにつき、今後 FS 等を通じて検討することが望ましい。

また、円借款を補完する資金調達先として国際協力銀行（JBIC）が考えられる。JBIC の輸出金融スキームは、日本企業の機械・設備や技術等の輸出・販売の費用を融資するもので、最大で本邦コストの 85%と、ローカルコストのうち本邦コストの金額の 30%にあたる額までの融資が可能である。残りは民間の金融機関との協調融資となる。AGT 建設プロジェクトを 2 つに分け、ローカルポーションが多く、日本企業に比較優位が乏しいインフラ部分を円借款で資金調達し、日本の技術が活かされる AGT のシステム部分を JBIC の輸出金融を利用するということも考えられる。この場合、一部を民間の金融機関からの融資とする必要があるため、上記 EPM 資金と同様、今後の FS 等での検討課題として挙げられる。

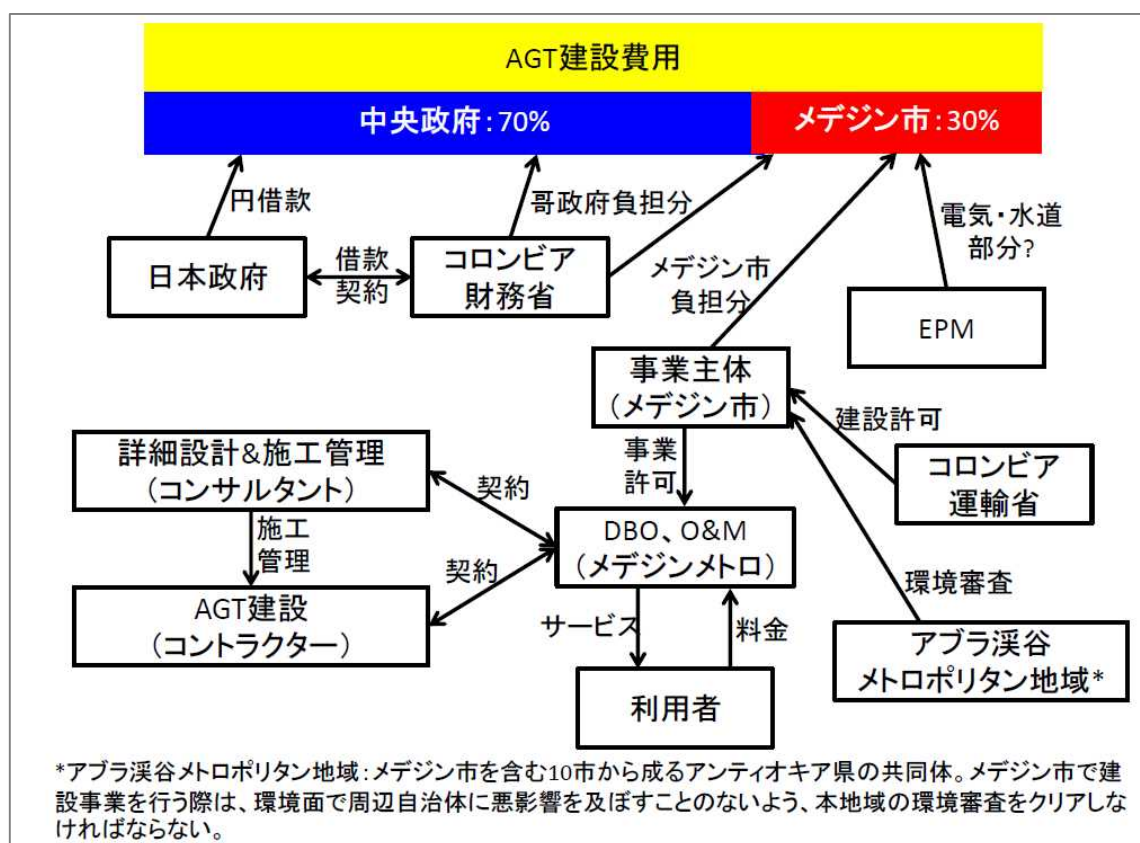


図 5-1 AGT 建設に係る資金調達スキーム図

5.2 円借款の借入条件等

5.2.1 コロンビアの経済・財政状況

本 AGT の建設費は、日本の既存の AGT と同様のスペックで建設した場合、4.18 億ドル程度（460 億円程度）と見込まれている。コロンビア中央政府の 2018 年の歳入から借入を除いた額は、約 4.9 兆円であったため 460 億円は約 0.1%の金額にあたり、対 GDP 比では約 0.2%である。図 5-2 に示す通り IMF は、今後中南米主要国の公的部門の対外債務残高は、対 GDP 比で横ばいか増加すると見ているが、コロンビアについては 2018 年の 52.2%をピークに、2024 年には 41.0%まで漸減すると予測している。同じく IMF は、2019 年以降 2024 年まで、コロンビアの経済成長率は 3%台後半、インフレ率は 3%台前半となると見込み、安定的に推移するとしている。

このような事情により、今後コロンビアの債務受入能力は増加することが期待される。

なお、上述の通り建設費は、最低でも 3 割はメデジン市が負担しなければならない。円借款は中央政府の保証があれば、地方政府や公社等にも供与できるため、貸付先を 100%中央政府とするのか、或いは一部をメデジン市とするのかについて、今後検討する必要がある。

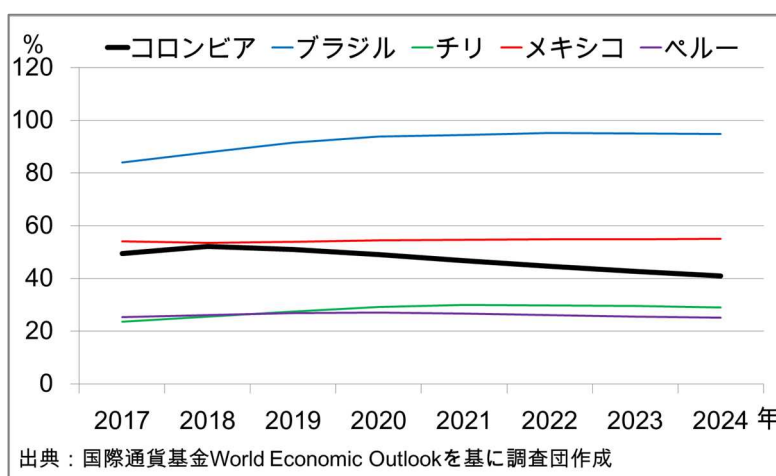


図 5-2 中南米主要国の公共部門対外債務の対 GDP 比予測

5.2.2 借入条件

円借款では、質の高いインフラを推進すると認められるプロジェクトに対して、「ハイスペック借款」というスキームがあり、金利が安く設定されている。本 AGT 案件は同スキームを適用が可能と考えられる。この場合、償還期間 30 年、うち据置期間 10 年で、金利は 0.7%となる。ただし、償還期間を短くすればより低い金利で借款を受けることも可能である。借款を供与することになった場合は、その時点でのコロンビアの財政状況等を鑑みて、条件が設定されることになろう。

なお、メデジン市は市内のトラム建設のため、フランス開発庁（AFD）から 2 億 5,000 万ドルを借り入れた。借入は 2011 年で、償還期間は 20 年、うち据置期間は 5 年とのことである。2011 年末の為替レートは 1 ドル=1,943 ペソだったが、その後ペソは急落し、2016 年 2 月には 3,400 ペソを超え、2020 年 1 月現在も 3,200~3,300 ペソ台を推移している。AFD の借款はドル建てであったため、メデジン市は返済額を軽減するため、償還期間を延長したとのことである。

こうした事情もあつてか、コロンビアの財務公債省は、外貨建て対外債務はなるべく減らす方針である。円借款は円建てで実施されるが、為替レートが大きく動いた際の救済策について、予め検討しておくことが無難であろう。

5.2.3 包括協定

現在日本政府とコロンビア政府は、円借款を含む両国間の協力事業の在り方を取り決める包括協定を締結すべく協議中である。協定内容を確定させた後、署名、批准を経て、発効となる。コロンビア国外務省の関係者によると、協定内容の妥結、署名までに 1 年程度かかる見込みとのことである。その後、コロンビア側では国会と憲法裁判所で批准手続きが行われるが、過去の例から考えると、批准手続きに 3 年程度の時間を要するとのことで、発効までは最短でも 4 年はかかる見込みである。新たな円借款の供与は、包括協定の発効後となるため、この 4 年の間に FS などの準備を進めておくことが望ましい。

5.3 まとめ

本 AGT 路線の建設は、円借款をベースとした実施が望ましい。このために、今後の主な検討課題として以下が挙げられる。

- 包括協定締結に係る手続きの進捗状況の確認
- JBIC、EPM 等、他の資金源の活用可否
- コロンビア側の為替リスク対応策

借款供与対象－中央政府か、地方政府か

6. ファイナンスの検討・提案(財務分析、資金調達計画)、経済性評価

6.1 財務分析、資金調達計画

6.1.1 財務分析における条件設定

(1) 事業費用に関連する条件の設定

建設費は、前述の通り土工部分と AGT システム部分に分けて算出し、フルスペックで計 4.18 億 USD、シンプルスペックで計 3.72 億 USD である。また、運営・維持管理費用は、フルスペックで年間 0.13 億 USD、シンプルスペックで計 0.14 億 USD である。このもとに以下に示す条件に基づき総事業費を算出した。

- 価格基準年：2019 年
- 為替レート：1USD=113.30、1USD=2,996.67COP¹（2015 年～2019 年の 5 年間の平均）
- インフレーション：年+3.0%²
- コンサルティングサービスフィー：建設費の 7%
- 物理的予備費：建設費（及びコンサルティングサービスフィーの）10%
- 管理費：建設費の 5%
- 公租公課：建設費の 10%
- 固定資産税：固定資産の 1%
- 法人税：当期利益の 30%
- 減価償却：定額法を採用

(2) 事業計画に関連する条件の設定

- 開業年：2030 年
- 建設期間：2025 年から 2029 年までの 5 年間
- 事業分析の対象期間：2025 年から 2059 年（開業年 2030 年から 30 年にわたる事業採算性の検討）
- 投資計画：開業年までに必要な設備・機器の建設・整備費用を初期投資額とし、需要増加、機器の耐用年数に対応し順次必要な投資・設備更新をしていくものとする。

¹ <http://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

² <https://www.imf.org/external/datamapper/PCPIPCH@WEO/OEMDC/COL>

(3) 資金調達に関連する条件の設定

前述の通り、コロンビアでは鉄道事業においては民間資金の活用の事例がないことや、メトロメデジンを中心とする事業実施体制を想定することから、本調査では公的資金による整備を前提とし、財務分析を行った。

既往事例を参照し、初期投資費用のうち 70%を中央政府、30%を地方政府等による費用負担とし、中央政府の費用負担のポーションにつき円借款が供与されるものとした。円借款でカバーしない残りのポーションについては、地方政府もしくは中央政府予算からの支出や公社等（メデジンメトロなど）からの自己資金を想定する。

コロンビアは一人当たり GDP から見ると「中進国および卒業移行国」というカテゴリーに分類されるため、タイド借款の適用国とはならない。一方で、AGT システムの導入には日本技術が多く採用され、ハイスpek 借款が適用可能な案件となりうることから、JICA が公表する円借款供与表に基づき、以下の通り借入れ条件を設定した。

- 借入期間：30 年間（うち据置期間 5 年間）
- 金利：0.7%

(4) 料金設定および収入

運賃設定は、メデジンメトロの既存の運賃体系に基づき、0.75USD／トリップを 2019 年時点の基準金額とした。またメデジンメトロは、毎年運賃改定により運賃の値上げを行っている。そこで 2016 年から 2020 年までの運賃値上げ率を考慮し、毎年 5.0%の運賃の値上げを行うこととした。なお、期間全体にわたり、インフレーションが考慮されていることにも留意されたい。

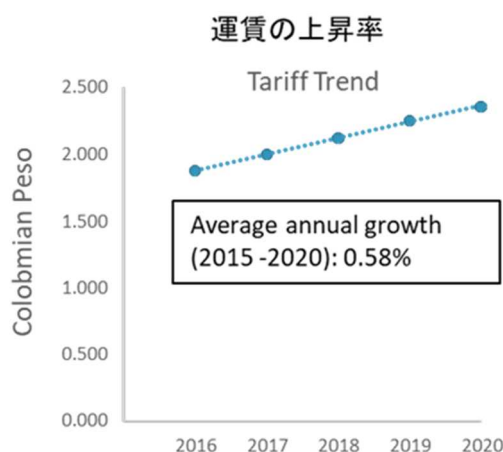


図 6-1 メデジンメトロの基本運賃の推移

また事業者はメトロメデジン社を想定している。San Juan 線が整備されると、自動車やバイク、あるいは既存のメトロ線（A 線・B 線）の利用者の新 AGT 線への転換が想定されるが、このうち既存メトロ線からの新 AGT 線への転換は、既存事業者であるメトロメデジン社に追加の収入をもたらさない。このため、既存メトロ線から転換してくる利用者からの料金収入分は、財務分析の検討では事業者の収入から除外した。一方で、既存路線のバスとメトロを乗り継ぐ利用者の新 AGT 線への転換に関してはその料金収入分の半分が新 AGT 線の事業者（メトロメデジン社）に計上されるものと仮定した。

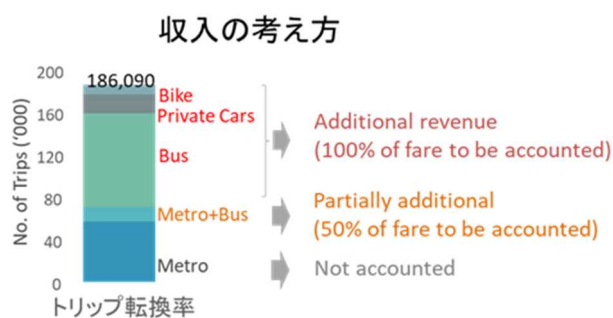


図 6-2 トリップ転換率と運賃収入の考え方

6.1.2 財務分析・事業採算性検討

(1) 財務分析の検討スコープ

以上に示した条件に基づき、財務分析においては主に事業期間中の収支と、初期投資を含めたプロジェクト全体の採算性の検討を行った。

(2) 事業期間中の収支

分析によると、毎年の運行コスト（システム運行費用、人件費、減価償却、税、利息払い等を含む OPEX）は、利用者からの料金収入でカバーできる見込みである。

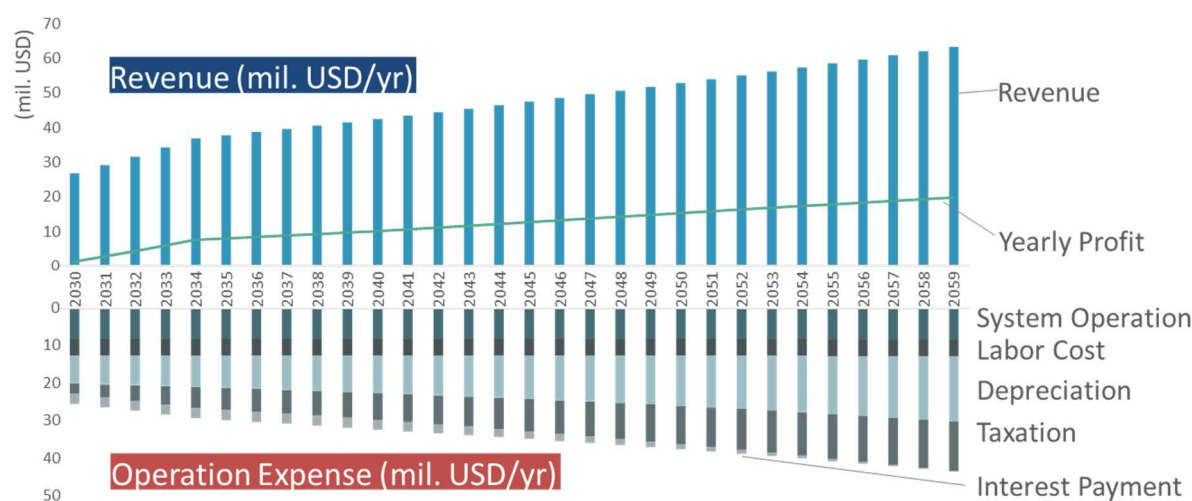


図 6-3 事業期間における事業収支

(3) プロジェクト全体の採算性検討

初期投資も含む事業全体について、フル、シンプルのそれぞれのスペックのオプションに関する事業採算性の程度を把握するとともに、CAPEX の負担の可能性を検討するために、CAPEX の負担度合いに応じて下記ケースを検討した。

- 上下一体：土木工事、及び AGT システム整備費用を負担。
- 上下分離：AGT システムの整備費用のみ負担。

a) 土木工事、及び AGT システム整備費用負担(上下一体)

フルスペックとシンプルスペックで投資回収の見込み年数は、事業開始後それぞれ 24 年目と 22 年目である。設定した事業期間内に投資回収ができる見込みである。

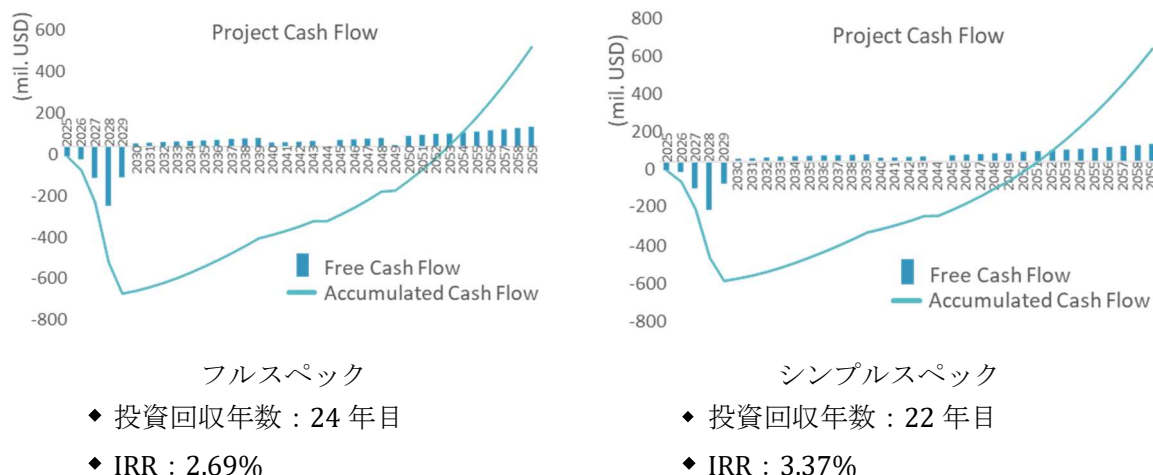


図 6-4 事業期間におけるキャッシュフロー(上下一体)

b) AGT システムの整備費用のみ負担(上下分離)

フルスペックとシンプルスペックで投資回収の見込み年数は、事業開始後それぞれ 14 年目と 13 年目である。上下一体のケースと比較をすると IRR は高い。

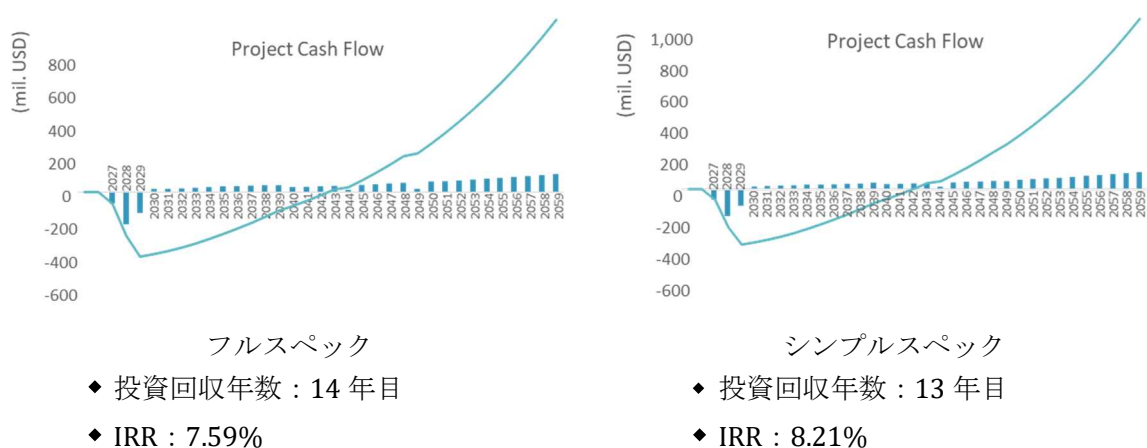


図 6-5 事業期間におけるキャッシュフロー(上下分離)

(4) 感度分析

建設費用が±20%と±10%、及び需要が±20%と±10%となる場合の感度分析結果は下記の通りである。

設定した需要変動と建設費変動の組み合わせの中で、IRR が±4%程度変動しうることが示唆された。

表 6-1 感度分析結果:上下一体・フルスペック

IRR (%)		Construction Cost				
		+20%	+10%	±0%	-10%	-20%
Demand	-20%	-1.37%	-0.61%	0.19%	1.05%	1.98%
	-10%	0.02%	0.74%	1.50%	2.33%	3.24%
	0% (Base)	1.16%	1.86%	2.61%	3.43%	4.34%
	+10%	2.14%	2.82%	3.57%	4.39%	5.31%
	+20%	3.00%	3.68%	4.43%	5.25%	6.18%

表 6-2 感度分析結果:上下一体・シンプルスペック

IRR (%)		Construction Cost				
		+20%	+10%	±0%	-10%	-20%
Demand	-20%	-0.51%	0.21%	0.97%	1.79%	2.69%
	-10%	0.84%	1.53%	2.27%	3.07%	3.97%
	0% (Base)	1.96%	2.64%	3.37%	4.17%	5.07%
	+10%	2.93%	3.60%	4.33%	5.14%	6.05%
	+20%	3.79%	4.46%	5.20%	6.02%	6.95%

表 6-3 感度分析結果:上下分離・フルスペック

IRR (%)		Construction Cost				
		+20%	+10%	±0%	-10%	-20%
Demand	-20%	3.57%	4.27%	5.03%	5.88%	6.84%
	-10%	4.88%	5.59%	6.37%	7.24%	8.25%
	0% (Base)	6.03%	6.76%	7.56%	8.47%	9.52%
	+10%	7.07%	7.81%	8.64%	9.59%	10.68%
	+20%	8.02%	8.79%	9.65%	10.63%	11.77%

表 6-4 感度分析結果:上下分離・シンプルスペック

IRR (%)		Construction Cost				
		+20%	+10%	±0%	-10%	-20%
Demand	-20%	4.16%	4.84%	5.59%	6.43%	7.39%
	-10%	5.50%	6.20%	6.97%	7.85%	8.85%
	0% (Base)	6.68%	7.40%	8.21%	9.12%	10.17%
	+10%	7.75%	8.50%	9.33%	10.28%	11.38%
	+20%	8.74%	9.51%	10.38%	11.37%	12.52%

6.1.3 財務分析・事業採算性検討のまとめ

本調査において検討できる範囲での条件設定の下で行った財務分析では、毎年の運行コスト（システム運行費用、人件費、減価償却、税等を含む OPEX）は、利用者からの料金収入で賄えることが示唆される。一方で、一般的に軌道系の交通システムは初期投資額が大きい。本検討では AGT システムの導入に係る土工や施設整備、機器の購入などの初期投資を含めると、設定した事業期間（30 年間）のうちに投資回収ができる見込みであるものの、IRR は高くない。

なお、自明ながら、本検討で設定した諸条件（整備費用、収入体系、資金調達条件等）は事業要件や実施体制など事業自体の条件のほか、為替、金融市場や制度などの外部環境にも大きく依存する。そのため、事業採算性は、より詳細な計画・設計検討などを通して事業条件が固まった段階で都度更新・精査をしていくことが重要である。

6.2 経済分析

経済分析により、社会全体で投資から利益が得られるかどうかを評価する。この分析から、プロジェクトの実施の有無に分けて、コスト及び利益を比較し、キャッシュフローより EIRR 及び B/C を明らかにする。経済的恩恵は、前のセクションで予測し、財務コストから転換した経済コストには、建設コスト及び O&M コストを含む。社会的割引率 (r) は、コロンビア³の 10 年物国債の利回りを参考に 6.06%に設定した。コストを以下の通り予測し、概要を説明する。

6.2.1 経済費用

(1) 初期費用

経済的初期コストは以下の [ケース 1: フルスペック] 及び [ケース 2: シンプルスペック] の 2 通りのシナリオを検討した。0.85 の標準換算係数 (SCF) を適用した。インフレ及び課税については検討していない。フルスペックの場合には、3 億 5,488 万米ドルと予測し、シンプルスペックの場合には、3 億 1,578 万米ドルとそれぞれ予測した。

(2) 再投資費

2044 年（開始後 15 年目）に駅の設備を運用期間中に取り替える必要があるため、そのコストを 2,448 万米ドルと予測した。さらに、需要の拡大を見込んで、2033 年に追加の全 12 車両の調達コストとして、1,173 万米ドルを予測した。

(3) O&M 費

エンジニアリング費用（土木、電気、全車両）とみなされる O&M 用経済コスト及び、運用コスト（列車の運行、駅の業務及びその他の管理費）さらに、内部費用としてモデルの人件費を除外して、モデルの O&M を 703 万米ドルと予測した。

³ World Government Bonds: <http://www.worldgovernmentbonds.com/country/colombia/>

6.2.2 経済便益と経済的内部収益率

本調査では、以下の3項目を経済的利益として考慮した。1) AGT ユーザーの移動時間の削減、2) 二酸化炭素の排出量削減、3) 運用業者の利益 (運賃による収益)。運用業者の利益は、9.1 章で計算した。但し、以下の6項目についても、別の経済的恩恵として強調する必要がある。1) AGT ユーザー(自動車、オートバイからのシフト)の恩恵、2) 交通渋滞の緩和、3) AGT 駅及びその周辺地域の開発、4) 気候変動及び騒音の緩和による生活環境の改善、5) 雇用機会の拡大、6) アクセスの改善により AGT へのルート沿いの安全性向上。但し、これらの恩恵及び側面は、今回の分析では検討しなかった。そのため、社会全体でのプロジェクトによる影響を理解するために、追加の恩恵を数値化するデータを追加して収集することが期待される。

(1) 旅行時間短縮による便益

AGT を実施することによる主な経済的恩恵の1つは、ユーザーの移動時間の将来の短縮になる。時間的価値を Andrés Gómez-Lobo (2020)⁴ より取得した。この価値は、2019 年 4 月時点のコロンビアで時間当たり 1.3 米ドルと予測される。AGT 開業を予定する年次は第5章で取り上げているが、運用及び管理計画によると 2030 年に運用を開始することを予定している。そのため、2017 年に世銀⁵で予測したコロンビアの平均所得増加率 1.08%をもとに、2030 年の時間的価値を 1.495 米ドルに調整した。

2017 年に実施した OD 調査の結果⁶として AGT ルート (サン・ハビエール - ラカンデラリア) の現行の平均移動時間の削減が予測された。全ての移動手段をもとに、観察された平均移動距離は 9.4 km、予測される移動時間は 41 分だった。提案した AGT ルートは、第2章の結果⁷によりルート沿いの道路の交通移動速度が将来大幅に変化しないと想定して、6.3 km で検討した。AGT ユーザー1人当たりの平均移動削減時間は 14 分と予測した。短縮した時間的価値は、AGT ユーザー1日当たりの時間の節約としても予測することができる。AGT を使用した経済的利益は、2030 年には 1,880 万米ドル、2059 年 (30 年間運用) には 3,440 万米ドルと予測された。移動時間の短縮のために使用した計算式は以下の通り。

(AGT を実施した場合の移動時間の短縮による利益)

$$= (X \text{ 年の日々の AGT ユーザー}) \times (\text{移動時間} \cdot \text{削減された分数} / \text{AGT ユーザー}) \times (X \text{ 年の時間的価値})$$

⁴ Anders Gomez-Lobo, 2020. Transit reforms in intermediate cities of Colombia: An ex-post evaluation. Transportation Research Part A. 132, 349-364

⁵ World Bank, 2017. Annualized average growth rate in per capita real survey mean income, total population (%) <https://data.worldbank.org/?locations=CO-XT>

⁶ AMVA OD survey 2017. https://www.metrocol.gov.co/encuesta_od2017_v2/index.html#/

⁷ Chapter 2 demand forecast estimated the average travel speed of road traffic for morning peak and evening peak and compared with current traffic flows. The results were, morning peak without AGT 23.8km/hr, with AGT 23.8km/hr; evening peak without AGT 21.2km/hr, with AGT 23.3km/hr.

さらに、上述の利益として予測される数値には、以下の 3 つの内容を検討していない。a) 元の移動手段からシフトした AGT ユーザーの削減時間、b) それぞれ予測される移動の終起点駅までの移動時間さらに、c) 移動の目的による需要の差別化。これらのパラメーターは、調査の次の段階又はフェーズで検証する、より詳細にわたる調査に基づいて、より精度の高い調査で検討する必要がある。

(2) 二酸化炭素削減による便益

二酸化炭素の排出削減による恩恵を予測し (8. 環境社会配慮) 将来削減される社会コストの恩恵を測定した。AGT を 2030 年から開始すると、全体で 2,593 t の二酸化炭素が削減され、2059 年には年間 3,141 t まで二酸化炭素が増加する。コロンビアの二酸化炭素の排出による社会コストのデータが不足しているため、本調査では以下の表に示す通り、3%の割引率に基づく、2030 年から 2059 年までの二酸化炭素排出による社会コストに関連する技術支援文書⁸を参照する。CO2 削減トン/年 (t-CO2/yr)は、2030 年に 50 米ドルに相当し、2059 年にはおよそ 75.4 米ドルになる。二酸化炭素排出削減の恩恵は、2030 年には 130 万米ドルと予測され、2059 年までにわずかに上昇し、237 万米ドルに達する。

表 6-5 2015-2050 年二酸化炭素の社会コスト

Year	Discount Rate and Statistic		
	5% Ave.	3% Ave.	2.5% Ave.
2015	\$11	\$36	\$56
2020	\$12	\$42	\$62
2025	\$14	\$46	\$68
2030	\$16	\$50	\$73
2035	\$18	\$55	\$78
2040	\$21	\$60	\$84
2045	\$23	\$64	\$89
2050	\$26	\$69	\$95

Source: EPA, United States (2016)

⁸ Environmental Protection Agency, United States, 2016 (amended). Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866

6.2.3 費用対効果

経済的恩恵及びコストに基づいて「フルスペック」の場合の EIRR は 16.88%、「コスト削減案」の場合は 17.97%と予測された。いずれの場合も、社会割引率 r 6.06%を上回る。「フルスペック」の場合の B/C は 2.75、「コスト削減案」の場合は 2.89 と予測された。いずれの場合も、プロジェクトは全般的に費用対効果がある（利益がコストを上回る）ことが示唆される。経済的キャッシュフローは、以下の図に示す。

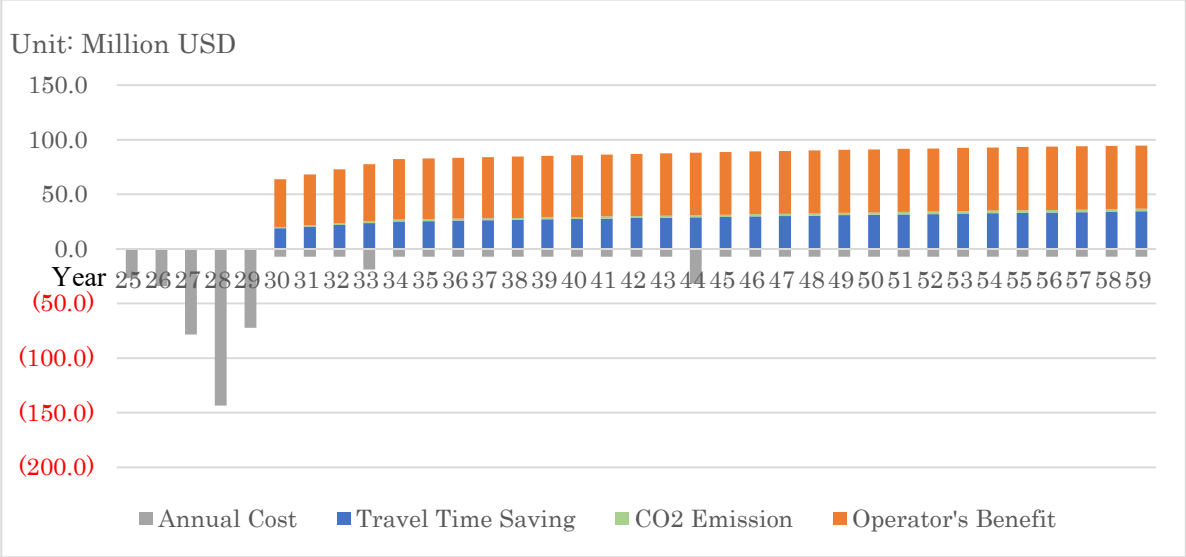


図 6-6 経済効果(フルスペック)

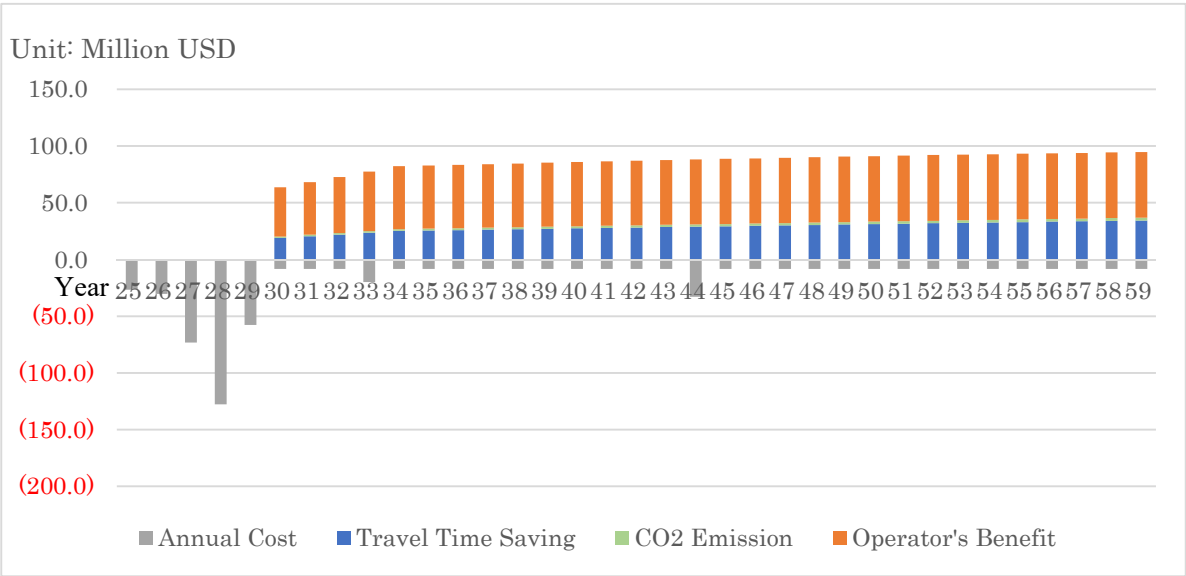


図 6-7 経済効果(コスト削減案)

7. 事業スケジュール(受注、事業化含む)

本事業は円借款による実施を想定しているが、現在、日本とコロンビア間で円借款再開に向けた包括協定の協議が進められているところである。協定締結後、批准手続き（議会、裁判所）も必要となる。その後、詳細設計、コントラクター調達などを経て、建設工事を 2027 年度目途に開始する。建設工事期間は 3 年半程度を想定し、検査、試運転を経て、2030 年後半開業を目指す。

表 7-1 事業スケジュール

Activity	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ブレF/S METI Pre Feasibility study	■	本邦招聘(AGT視察)等									
F/S JICA Feasibility study				■							
社会環境配慮 Environmental impact assessment				■							
政府担当機関およびコンサル タント契約 Government agencies & consultant contracts					■						
詳細設計、入札 Detailed design & Bid						■	■				
コントラクター調達 Contractor procurement							■	■			
建設工事 Construction								■	■	■	■
検査、試運転 Completion inspection & Test run											■
開業 Opening											■

出典：調査団

8. 環境社会配慮

8.1 AGT 導入に伴う環境社会面への影響の整理

8.1.1 現地地域特性の把握

候補ルートである San Juan 通り上の土地は西部から東部にかけて緩やかな下り坂を描く盆地となっている。また、西側斜面を中心に住宅が多数立地し、人口密集地が存在するものの、道路幅員は十分である。中央分離帯に多数の街路樹が存在する。

候補ルート東部は、G 駅と H 駅（いずれも仮称）の間の区間においてメデジン川を跨ぐが、メデジン川流域には市政府による植樹活動が行われている。

なお、候補ルートから隔てたエリアに動物が生息する丘陵地が存在するが、ルート上に保護区等は存在しない。

車両基地建設予定地は、起点駅 A 駅（仮称）西側転開場ないし東側運動場とすることを検討しており、両者はいずれも住宅地の外縁部に立地するが、後者は丘陵地に位置する。

8.1.2 コロンビア国の環境影響評価制度及び手続

コロンビア国の環境影響評価（Estudio de Impacto Ambiental : EIA）制度は、1991 年コロンビア国憲法及び 1993 年環境法第 99 号により導入された。所管官庁は導入当初環境及び持続可能な開発省（Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible : MinAmbiente）であったが、2011 年省決議第 0108 号により、同省環境ライセンス部が独立し、環境ライセンス庁（Autoridad Nacional de Licencias Ambientales : ANLA）へ移管された。

EIA 制度の下、ANLA、広域自治体である地方自治公社（Corporaciones Autonomas Regiales : CAR）及び各都市の環境局が環境ライセンスの審査・発行を担っている。なお、事業の実施対象区域が一自治体の市街地内に止まり、全ての事業関連施設が当該市街地内に存在する場合は、CAR ないし各都市の環境局が審査・発行を行う。一方、実施対象区域が当該自治体の市街地地域境界を超えて分布したり、複数の自治体区域に跨ったりする場合、また、事業の実施対象区域が立地する CAR が事業当事者として出資を行っている場合のいずれかに該当する場合、ANLA が審査・発行を行う。なお、メデジン市環境局及びアブラ溪谷メトロポリターナ地区（Área Metropolitana del Valle de Aburrá : AMVA）環境局へのヒアリングの結果、前者は AGT 事業の環境ライセンス審査・発行の権限を有しない点が確認された。

1993 年環境法第 99 号の施行規則 2015 年第 1076 号では、環境ライセンス取得対象事業を定めており、具体的には港湾、道路、鉄道、海上施設、廃棄物埋立場等の建設が対象となる。なお、本調査時において面談した ANLA 関係者より、AGT はコロンビア国 EIA 制度における「鉄道」に該当しないのではないかとの見解が示されたが、詳細検討の段階において、同国運輸省及び環境及び持続可能な開発省への詳細確認が必要である。

なお、EIA のガイドラインは ANLA により部門別に整備されており、上記の「鉄道」事業に課されるガイドラインは「Términos de referencia para la elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas para proyectos lineales」である。環境ライセンス申請者には、当該ガイドラインに基づく、現地環境実態把握、事業代替案の比較検討、リスク分析等評価実施が課される。

環境ライセンス申請時の手続内容詳細は、1993 年環境法第 99 号第 56 条～58 条及び 2002

年に環境省（現環境及び持続可能な開発省）が制定した「Manual de Evaluacion de Estudios Ambientales- Criterios y Procedimientos」に示されている。

8.1.3 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響

本調査において把握した現地特性やメデジン市政府及び AMVA 環境局関係者へのヒアリング結果を踏まえ、AGT 導入に伴い想定される環境社会影響評価及び緩和策検討を行った。

このうち、現地ヒアリングの際に下記項目に係る環境社会影響に対する懸念が示されたため、緩和策等検討時に当該懸念内容を考慮した。

- ・ 生態系
 - 野生生物の移動経路の遮断、生息地の分断
 - 中央分離帯上の街路樹の伐採による緑地減少
- ・ 水象（橋梁設置による地表水の流れに対する悪影響）
- ・ 文化遺産（候補ルート上の土木工事時における文化財の出土）

以上の内容を踏まえ、JICA 環境社会配慮ガイドラインに基づき、環境チェックリスト「8. 鉄道」に「12. 橋梁」及び「17. 林業」の要素を加味して評価を行った。

評価結果を次表に示す。

表 8-1 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響及び緩和策

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
1 許 認 可 ・ 説 明	(1)EIAおよび環境許可	(a) 環境アセスメント評価報告書(EIAレポート)等は作成済みか。 (b) EIAレポート等は当該国政府により承認されているか。 (c) EIAレポート等の承認は付帯条件を伴うか。付帯条件がある場合は、その条件は満たされるか。 (d) 上記以外に、必要な場合には現地の所管官庁からの環境に関する許認可は取得済みか。	(a)～ (d)–	(a)～(d)本調査におけるコロンビア国環境及び持続可能な開発省ならびにANLAへのヒアリングの結果、本調査において検討中の内容による事業実施に際して、同国制度下における環境ライセンス(EIA)申請及びその他環境許可の取得は不要とのコメントを得た。詳細検討の段階において、ANLAを含むコロンビア国関係省庁へ説明を行う過程で、EIA申請等が必要となった場合は、申請に向けた資料作成・提出を行う。
	(2)現地ステークホルダーへの説明	(a) プロジェクトの内容および影響について、情報公開を含めて現地ステークホルダーに適切な説明を行い、理解を得ているか。 (b) 住民等からのコメントを、プロジェクト内容に反映させたか。	(a)N (b)N	(a)本調査結果を踏まえた詳細検討の段階において、街路樹等伐採対象地域の住民、有識者等ステークホルダーに対して適切な説明を行い、理解を得る予定である。 (b)上記説明結果に基づき、住民等コメントをプロジェクト内容に反映させる。
	(3)代替案の検討	(a) プロジェクト計画の複数の代替案は(検討の際、環境・社会に係る項目も含めて)検討されているか。	(a)Y	(a) 本調査過程において、高架式のみならず、クロスオーバー施工を伴わない地下式工法を含む代替案を検討した。
2 汚 染 対 策	(1)水質	(a) 盛土部、切土部等の表土露出部からの土壌流出によって下流水域の水質が悪化するか。 (b) 駅や車輛基地からの排水は当該国の排出基準等と整合するか。また、排出により当該国の環境基準等と整合しない水域が生じるか。	(a)N (b)N	(a) 土壌流出は生じない。 (b) コロンビア国の排出基準等を遵守し、AGT運用過程においては、排水を下水管に適正に誘導することで、環境汚染が生じないように努める。
	(2)廃棄物	(a) 駅や車輛基地からの廃棄物は当該国の規定に従って適切に処理・処分されるか。	(a)Y	(a)コロンビア国の規定に従って、廃棄物を適切に処理・処分する。
	(3)騒音・振動	(a) 鉄道による騒音・振動は当該国の基準等と整合するか。	(a)Y	(a)本調査において導入するAGTは粘着式ゴムタイヤ走行形式のため、運行時における静粛性が高い。軌道構造物設計に際し、騒音が少ないPC箱桁式の桁構造とする等、コロンビア国の市街地における騒音・振動基準を満たすよう注意する。
	(4)地盤沈下	(a) 大量の地下水汲み上げ等により、地盤沈下が生じる恐れがあるか(特に地下鉄)。	(a)N	(a)地下水汲み上げを行わないため、地盤沈下は生じない。
3 自 然 環 境	(1)保護区	(a) サイトは当該国の法律・国際条約等に定められた保護区内に立地するか。プロジェクトが保護区に影響を与えるか。	(a)N	(a)サイトは保護区内に立地しない。
	(2)生態系	(a) サイトは原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地(珊瑚礁、マングロープ湿地、干潟等)を含むか。 (b) サイトは当該国の法律・国際条約等で保護が必要とされる貴重種の生息地を含むか。 (c) 生態系への重大な影響が懸念される場合、生態系への影響を減らす対策はなされるか。 (d) 野生生物及び家畜の移動経路の遮断、生息地の分断、動物の交通事故等に対する対策はなされるか。 (e) 鉄道が出来たことによって、開発に伴う森林破壊や密猟、砂漠化、湿原の乾燥等は生じるか。外来種(従来その地域に生息していなかった)、病害虫等が移入し、生態系が乱される恐れはあるか。これらに対する対策は用意されるか。 (f) 未開発地域に鉄道を建設する場合、新たな地域開発に伴い自然環境が大きく損なわれるか。	(a)～ (d)N (e)Y (f)N	(a)原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地を含まない。 (b)貴重種の生息地を含まない。 (c)候補ルートの中中央分離帯における大規模な街路樹伐採が行われる。このため、対象地区であるAMVAの植林基金制度に基づき、伐採した樹木の価値に相当した補償植林ないし同基金向け現金支払による補償を行う。 (d)高架式による施工のため、生息地の分断や動物の交通事故は生じないと見込まれるが、本プロジェクト実施に際して、メデジン市内各地に所在する公園緑地の動物・鳥類等の移動経路が妨げられないよう、施工時に適切に配慮する。 (e)2カ所ある車両基地候補地のうち、丘陵部の候補地において基地建設を行う場合、周辺の森林を伐採する必要が生じる可能性がある。このため、候補地選定及び建設計画策定に当たって森林破壊が最小となるよう、最大限配慮する。なお、密漁、砂漠化、湿原の乾燥等は生じない。 (f)都市部における建設であるため、未開発地域の開発による自然環境破壊は生じない。
	(3)水象	(a) 地形の変更やトンネル等の構造物の新設が地表水、地下水の流れに悪影響を及ぼすか。 (b) 樹木の大量伐採や林道の設置等により雨水の流出量や流出特性が変化し、周辺の水象に影響が生じるか。	(a)– (b)N	(a)詳細検討の過程において、車両基地や橋脚、高架等の建設がメデジン河の水流や地下水の水流に悪影響を及ぼさないよう、適切に配慮する。 (b)雨水の流出量や流出特性変化が生じる程度に大規模な樹木伐採や林道設置は行わない。
	(4)地形・地質	(a) ルート上に土砂崩壊や地滑りが生じそうな地質の悪い場所はあるか。悪い場合は工法等で適切な処置が考慮されるか。 (b) 盛土、切土等の土木作業によって、土砂崩壊や地滑りは生じるか。土砂崩壊や地滑りを防ぐための適切な対策が考慮されるか。 (c) 盛土部、切土部、土捨て場、土砂採取場からの土壌流出は生じるか。土砂流出を防ぐための適切な対策がなされるか。	(a)～(c)–	(a)～(c) 候補ルート上に土砂崩壊や地滑りが生じるリスクがある場所は存在しない。なお、二カ所ある車両基地候補地のうち、A駅(仮称)南東の運動場(面積3.5ha)については、サッカーコート周辺部が丘陵地になっているが、本調査実施時点における土砂崩壊・地滑り発生リスクの有無は不明である。詳細検討の過程で地盤調査を行い、適切にリスクを評価する。この上で、評価結果を十分考慮してサイト選定を行う。
	(5)跡地管理	(a) 適切な跡地管理計画が考慮されるか。特に、伐採跡地からの土砂流出を防ぐために適切な対策がなされるか。 (b) 跡地管理の継続体制は確立されるか。 (c) 跡地管理に関して適切な予算措置は講じられるか。	(a)～ (c)Y	(a)～(c)高架部等建設用途による街路樹伐採後における適切な跡地管理計画や降雨時における土砂流出を防ぐため、適切な対策を講じる。このため、詳細検討段階において、予算措置を伴う継続的な跡地管理体制に係る必要な検討を行う。

表 8-2 AGT 導入に伴い想定される環境社会影響及び緩和策(続き)

分類	環境項目	主なチェック事項	Yes: Y No: N	具体的な環境社会配慮 (Yes/Noの理由、根拠、緩和策等)
4 社 会 環 境	(1)住民移転	(a) プロジェクトの実施に伴い非自発的住民移転は生じるか。生じる場合は、移転による影響を最小限とする努力がなされるか。 (b) 移転する住民に対し、移転前に補償・生活再建対策に関する適切な説明が行われるか。 (c) 住民移転のための調査がなされ、再取得価格による補償、移転後の生活基盤の回復を含む移転計画が立てられるか。 (d) 補償金の支払いは移転前に行われるか。 (e) 補償方針は文書で策定されているか。 (f) 移転住民のうち特に女性、子供、老人、貧困層、少数民族・先住民族等の社会的弱者に適切な配慮がなされた計画か。 (g) 移転住民について移転前の合意は得られるか。 (h) 住民移転を適切に実施するための体制は整えられるか。十分な実施能力と予算措置が講じられるか。 (i) 移転による影響のモニタリングが計画されるか。 (j) 苦情処理の仕組みが構築されているか。	(a)N (b)～(j)～	(a)候補ルートの中央分離帯及び歩道付近を開発するため、ルート沿線における既設住宅の移転等非自発的住民移転は生じない。二カ所ある車両基地候補地のうち、A駅(仮称)南東の土地(面積3.5ha)については、サッカーコート周辺部に隣接する地域において非自発的住民移転が生じる可能性があるため、詳細検討の過程における候補地選定時に十分考慮する。また、当該候補地が選定された場合は、移転対象世帯が最小限となるよう、工法・設計検討時に配慮する。
	(2)生活・生計	(a) 新規開発により鉄道が設置される場合、既存の交通手段やそれに従事する住民の生活への影響はあるか。また、土地利用・生計手段の大幅な変更、失業等は生じるか。これらの影響の緩和に配慮した計画か。 (b) プロジェクトによるその他の住民の生活への悪影響はあるか。必要な場合は影響を緩和する配慮が行われるか。 (c) 他の地域からの人口流入により病気の発生(HIV等の感染症を含む)の危険はあるか。必要に応じて適切な公衆衛生への配慮は行われるか。 (d) プロジェクトによって周辺地域の道路交通に悪影響はあるか(渋滞、交通事故の増加等)。 (e) 鉄道線路によって住民の移動に障害が生じるか。 (f) 鉄道構造物(陸橋等)による日照障害、電波障害は生じるか。	(a)N (b)Y (c)～ (e)N (f)Y	(a)本事業によるAGT導入によって、市内のメトロ、バスより日当たり16万人弱の手段転換が見込まれる。詳細検討の段階において、本事業でも事業を共同実施するメデジンメトロが運営するメトロ事業の減収に配慮した資金回収計画の検討を行い、同社側の合意を得る。また、バス事業者における減収については、詳細検討段階において、バス運転手の一部をAGT事業関連施設において雇用する可能性を検討する。 (b)候補ルート西部の住宅密集地において、住民プライバシーへの悪影響が想定されるため、特に影響が大きいと考えられるエリアを中心に、遮蔽壁設置の可能性を検討する。 (c)人口流入による病気発生は生じない。工事関係者の衛生管理を通じ、適切な公衆衛生への配慮を行う。 (d)プロジェクトによる周辺地域の道路交通への悪影響は生じない。 (e)鉄道線路による住民の移動への障害は生じない。 (f)候補ルート西部の住宅密集地を中心に、高架構造物による日照障害が生じる可能性が想定されるため、詳細検討の過程で日照障害が最小限となるよう、工法・設計を工夫する。
	(3)文化遺産	(a) プロジェクトにより、考古学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産、史跡等を損なう恐れはあるか。また、当該国の国内法上定められた措置が考慮されるか。	(a)N	(a)現状において、かかる遺産、史跡等を損なう恐れはない。しかし、工事過程において文化財等が出土した場合は、コロンビア考古・歴史学庁の定める手続・手順に沿い、出土する文化財のリスクに応じた調査や、文化財取扱及び保護申請に係る対応を適切に行う。
	(4)景 観	(a) 特に配慮すべき景観が存在する場合、それに対し悪影響を及ぼすか。影響がある場合には必要な対策は取られるか。	(a)N	(a)景観上の悪影響は生じない。
	(5)少数民族、先住民族	(a) 少数民族、先住民族の文化、生活様式への影響を軽減する配慮がなされているか。 (b) 少数民族、先住民族の土地及び資源に関する諸権利は尊重されるか。	(a)N (b)N	(a)(b)候補ルート一帯に少数民族、先住民族は存在しない。
	(6)労働環境	(a) プロジェクトにおいて遵守すべき当該国の労働環境に関する法律が守られるか。 (b) 労働災害防止に係る安全設備の設置、有害物質の管理等、プロジェクト関係者へのハード面での安全配慮が措置されるか。 (c) 安全衛生計画の策定や作業員等に対する安全教育(交通安全や公衆衛生を含む)の実施等、プロジェクト関係者へのソフト面での対応が計画・実施されるか。 (d) プロジェクトに関係する警備要員が、プロジェクト関係者・地域住民の安全を侵害することのないよう、適切な措置が講じられるか。	(a)～ (d)Y	(a)コロンビア国の労働環境に関する法律を遵守する。 (b)工事実施及び事業運行に当たり、プロジェクト関係者へのハード面での安全配慮措置を適切に講じる。 (c)安全衛生計画策定や作業員等に対する安全教育実施等、プロジェクト関係者へのソフト面での対応を適切に計画・実施する。 (d)プロジェクト関係者・地域住民の安全に配慮するため、プロジェクトに関する警備要員への教育等予防措置を適切に講じる。
5 そ の 他	(1)工事中の影響	(a) 工事中の汚染(騒音、振動、濁水、粉じん、排ガス、廃棄物等)に対して緩和策が用意されるか。 (b) 工事により自然環境(生態系)に悪影響を及ぼすか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。 (c) 工事により社会環境に悪影響を及ぼさないか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。 (d) 工事による道路渋滞は発生するか、また影響に対する緩和策が用意されるか。	(a)Y (b)N (c)N (d)Y	(a)工事中の騒音、振動、粉塵、廃棄物等による周辺住民及び環境への悪影響を最小限に止めるため、工事箇所にて覆いを設置する等、適切な緩和策を講じる。 (b)工事による自然環境への悪影響は生じない。 (c)工事による社会環境への悪影響は生じない。 (d)工事による道路渋滞を緩和し、交通流への悪影響を軽減するため、主要な工事作業をピーク時間帯以外に実施したり、候補ルート上における工事区画の専有面積を最小限に止めたりする等対策を講じる。
	(2)モニタリング	(a) 上記の環境項目のうち、影響が考えられる項目に対して、事業者のモニタリングが計画・実施されるか。 (b) 当該計画の項目、方法、頻度等は適切なものと判断されるか。 (c) 事業者のモニタリング体制(組織、人員、機材、予算等とそれらの継続性)は確立されるか。 (d) 事業者から所管官庁等への報告の方法、頻度等は規定されているか。	(a)～ (d)Y	(a)補償植林を行う場合は、植林した樹木の活着・生育状況を適切にモニタリングするための計画を策定・運用する。また、候補ルートの一部が市内を流れるメデジン川を通過するため、橋梁周辺の水質モニタリングを定期的に実施するとともに、橋梁機材設置による水流への影響をモニタリングする可能性を詳細調査段階において検討する。 (b)～(d)詳細検討の段階において、モニタリング計画の内容(実施体制やAMVA等所管官庁への報告を含む)を検討する。
6 留 意 点	他の環境チェックリストの参照	(a) 必要な場合には、林業に係るチェックリストの該当チェック事項も追加して評価すること(大規模な伐採を伴う場合等)。 (b) 必要な場合には送変電・配電に係るチェックリストの該当チェック事項も追加して評価すること(送変電・配電施設の建設を伴う場合等)。	(a)Y (b)～	(a)橋梁及び林業のチェックリストの該当チェック事項も追加して評価を行った。 (b)本事業では、既存のメデジンメトロ所有の送変電・配電施設を利用する可能性を検討中であり、新設は検討していない。
	環境チェックリスト使用上の注意	(a) 必要な場合には、越境または地球規模の環境問題への影響も確認する(廃棄物の越境処理、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化の問題に係る要素が考えられる場合等)。	(a)Y	(a)本プロジェクト実施により、候補ルート上における自動車利用の一部が代替されるほか、AGT運行時間帯における渋滞緩和によって自動車の表定速度が向上することにより、温室効果ガス(二酸化炭素)の排出削減に寄与する。

本調査結果を踏まえ、高架レール部、駅部及び車両基地建設予定地における緩和策実施に向けた詳細検討が今後必要である。なお、本調査において検討した駅部(駅舎)及び高架レール部の設計上は候補ルート上の沿線住民の立ち退きは不要と考えられるが、詳細検討の過程で計画の精緻化を図る。

8.2 AGT 導入に伴う CO₂ 削減見込量評価

本調査で想定する AGT 導入による CO₂ 削減見込量の評価に当たり、国連のクリーン開発メカニズム（Mecanismo de Desarrollo Limpio：CDM）の大規模方法論及びコロンビア政府提供のデフォルト値情報等を参照した。

AGT 導入による削減見込量評価に当たり、下表に示す前提条件に基づき、以下の差分を AGT 導入年である 2030 年時点における削減見込量として算出した。

- ・ 第 2 章及び第 4 章で示された需要予測結果及び運行計画に基づく、AGT 導入の結果、AGT により代替される旅客輸送用途による乗用車・バイクの交通流量減少による CO₂ 削減量、及び交通流率減少に伴う表定速度改善の結果としての燃費改善による CO₂ 削減量の和
- ・ 第 4 章で示された運行計画の下における車両・駅舎運用に伴う CO₂ 排出量

表 8-3 前提条件

条件	内容
①候補ルートの交通流率及び平均移動距離	・ 第 2 章の需要予測において算出された、2030 年時点において候補ルート上に AGT が導入される場合及び導入されない場合におけるゾーン間交通流率を基に、各々の場合における当該年時における 1 日当たり交通流率を求める。この際、第 4 章の運行計画で示された営業時間における交通流率の総和を 1 日当たり交通流率とする。 ・ AGT 導入により見込まれる交通流率減少量評価に当たり、バス利用者の交通モード変更は生じず、AGT 導入による交通流量減少に貢献しないと仮定する。 ・ 自動車及びバイク利用者の一人当たり平均移動距離は、需要予測に基づいて算出する。
②現況における候補ルート上の交通機関分担率及び適用する CO ₂ 排出原単位	・ 現況の交通機関分担率は第 2 章の需要予測に基づく値を参考とする。 ・ 適用する CO₂ 排出原単位は、コロンビア政府（UPME）提供のコロンビア国内における標準的な自動車及びバイクの走行距離当たり燃費資料を基に、自動車及びバイクにつき、それぞれ 166g-CO₂/km、149g-CO₂/km とした。また、AGT 運行に伴う電力消費に係るグリッドの CO₂ 排出係数は同国政府提供のデフォルト値を参照し、0.11 t-CO₂/MWh とした。 ・ 現況の候補ルート上におけるゾーン間交通の交通流率に基づき、第 2 章の需要予測に基づく AGT が導入される場合における交通流率減少は自動車及びバイクのみについて発生し、その他交通モードについては貨物輸送需要を賄うことから、AGT により代替されないと仮定した。
③2030 年時点における交通流量減少量	・ 上記仮定に基づき、AGT が導入されない場合及び導入される場合における自動車及びバイクの交通流量減少量を評価するに当たり、第 2 章に示された各交通モードにおける乗員平均に基づき、現時点における各車両の日当たり交通モード別走行量の値を算出した。（バス 2,550 台/日、自動車 12,833 台/日、バイク 9,610 台/日。第 2 章で言及の無いバイクについては、1 台当たり乗員数を 1 人と仮定。） ・ 算出された交通モード別走行量の比率を基に、需要予測で導出された AGT が導入されない場合及び導入される場合における交通流量減少量に占める自動車及びバイクの内訳を求めた。

条件	内容
④車両・駅舎の電力消費量	- AGT を構成する車両の運用により発生する電力消費量設定に当たり、車両重量(満員電車重量)を 17.6t/両、列車当たり車両数 8 両、既存の運行事例から重量・路線長当たり電力消費量を 0.1kWh/t・km を用いる。 - AGT の駅舎の各駅における時間当たり電力消費量については、既存の運行事例から 200kW を用いる。昼夜時間帯における時間差を考慮し、左記値へ 24 時間を乗じた値に係数 0.6 を乗じた値を日当たり電力消費量と仮定する。 - 需要予測に基づき、AGT 導入により、2030 年時点で表定速度が平均約 0.5km/h 改善するとした。(AGT が導入されない場合の平均速度 22.36km/h から、AGT が導入された場合の平均速度 22.86km/h への改善)
⑤AGT 導入による表定速度改善	上記の表定速度改善による燃費改善について、国土技術政策総合研究所測定による代表 8 車種別二酸化炭素排出係数原単位(2015 年式以降。ガソリン自動車)の値を参照し、20～25km/h の速度帯におけるガソリン自動車の燃費変化が線形で推移すると仮定した。このうえで、按分により、CO₂ 排出原単位(燃費)が自動車及びバイク双方について約 1.2%改善するとした。

表 8-4 試算結果(ゾーン間交通流量減少による CO₂ 削減量)

交通流量減少量			走行距離減少量			CO ₂ 排出原単位 (走行距離当たり 燃費 g-CO ₂ /km)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /年)
全体 (台/年)	交通モード別減少量 (台/年)		平均トリップ 長(km/台)	トリップ率 (トリップ/ 人)	交通モード別 走行距離減 少量(km/年)		
1,137,372	自動車	650,354	6.9	1.15	5,170,314	166	855.69
	バイク	487,018	6.9	1.59	5,343,074	149	796.12
小計							1651.81

出典：調査団作成

表 8-5 試算結果(ゾーン間交通流率減少に伴う表定速度改善による CO₂ 削減量)

	交通モード別交通流 量(台/年)	年間走行距 離(km/年)	CO ₂ 排出原単位 (走行距離当たり燃費 g-CO ₂ /km)	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /年)
AGT 導入 なし	自動車	4,209,342	33,464,269	166	5,538.34
	バイク	3,152,168	34,582,435	149	5,152.78
AGT 導入 あり	自動車	3,558,988	28,293,955	164	4,640.21
	バイク	2,665,151	29,239,372	147	4,298.19
					10,691.12
					8938.40
					1752.72

出典：調査団作成

表 8-6 試算結果(車両・駅舎運用に伴う CO2 排出量)

		年間電力消費量 (MWh/年)	CO ₂ 排出係数 (t-CO ₂ /MWh)	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)
車両運用	車両重量(t/両)	17.6		
	重量・路線長当たり電力消費量 (kWh/t・km)	0.1	1.53	
	路線長(km)	7		
駅舎運用	駅舎の消費電力量(kW/h・駅)	200	7,359.93	0.11
	日当たり運用時間(時間/日)	24		809.59
	係数	0.6	7358.40	
	年当たり運用日数(日/年)	365		

出典：調査団作成

以上より、AGT 導入が行われる場合に、開業年の 2030 年時点において見込まれる CO₂ 削減見込量は下記のように求められる。

(AGT 導入により 2030 年時点において見込まれる CO₂ 削減見込量)

= (交通流量減少による CO₂ 削減量) + (表定速度改善による CO₂ 削減量) - (車両・駅舎運用に伴う CO₂ 排出量)

= 1,651.81 + 1,752.72 - 809.59 ≒ 2,594 (t-CO₂/年)

なお、上記の削減見込量は、車両基地を含む AGT 車両・駅舎以外の施設における電力消費等に起因する CO₂ 排出量を含まない。この点も踏まえ、詳細検討の段階において検討されるより詳細な車両・駅舎の設計及び運行・運転計画に基づく、精度の高い削減量評価が今後必要である。

9. まとめ、今後の課題等

9.1 まとめ

(1) メデジン市における AGT の必要性和導入可能ルート

交通渋滞と大気汚染が慢性化している同市において早急な基幹公共交通の整備が必要であるが、盆地の斜面と谷間に市街地が集積し、空間的な制約がある同市においては、今まで導入がなされなかった高架式中量輸送機関の 1 つである AGT の導入が早期の課題解決に有効である。

「都市課題への対応」、「建設コスト」、「用地・建設」、「環境」等の観点を総合的に判断した結果、メデジンメトロマスタープランにおける計画路線の中では、San Juan ルートが AGT の導入にふさわしいと考えられる。

(2) インフラシステムの基本的な検討

San Juan ルートに AGT を導入した場合のインフラシステムの基本的な検討を行った。

AGT は San Juan 通りの中央分離帯空間を活用して高架方式で建設（計 8 駅）し、車両は三菱重工 Urbanisumo18 を前提（開業当初 6 両編成）とした。

概算事業費について、開業年次における初期コストについては、インフラ 189.7 百万\$、システム 227.8 百万\$、計 417.5 百万\$（約 63.3 百万\$/km）となる。必要最小限の施設にするなど、コスト縮減を図った結果は、インフラ費約 167.3 百万\$、システム費約 204.2 百万\$、合計約 371.5 百万\$（約 56.3 百万\$/km）となったものの、引き続きコスト縮減に向けて検討を行うものとする。

(3) 事業実施スキーム、事業実施スケジュール

コロンビアでは PPP による鉄道案件は事業性が見込めず、承認された事例がないことから、公共事業により整備することを想定した。

資金調達に関しては、現在、日本～コロンビア間で、円借款の再開にむけて現在協議中であることをふまえて円借款の活用を前提とし、開業時期は円借款の再開時期（4 年後目処）などをふまえて、2030 年を目標とした。

また、すでにメデジン市内の基幹的な公共交通はメデジンメトロにより運営がなされているため、今回の AGT についてもメデジンメトロによる運営を想定した。

(4) 事業評価

概略需要予測によると、約 18.6 万人/日の需要が見込まれ、経済分析の結果、社会経済的な必要性はあるものの、事業採算面では課題があり、今後、コスト面および収益面での更なる精査が必要である。

本事業実施による GHG 削減効果は 2,593t-CO₂/年と推計され、メデジン市の環境改善に大きく貢献することが見込まれる。

(5) 環境社会配慮

環境ライセンス庁 ANLA によれば、1993 年法律第 99 号施行規則の定める環境ライセンス取得対象事業に AGT が含まれないため、ライセンス取得は不要ではあるが、今後、街路樹伐採、非自発的住民移転等の環境社会影響については詳細に調査する必要がある。

9.2 今後の課題

(1) 検討の更なる深度化

本調査はブレ F/S の位置づけであり、事業化に向けてはより詳細な検討が必要である。

インフラシステムの検討に関しては、詳細な測量の実施とそれに基づいた線形計画、構内配線や電気機械等設備配置を考慮した車両基地計画、地盤調査（ボーリング調査）等に基づく構造物計画、変電設備等の電力計画、詳細な運行計画の検討が必要である。また、これらの検討に基づく事業費の精査が必要となる。あわせて、環境影響調査として自然環境影響調査（景観調査、植生移植等）、社会環境影響調査（用地収容、住民移転）なども今後必要となる。

将来需要予測に関しては、適切なインフラシステムの検討および事業性検討の精緻化のために、一層の精度向上が不可欠であり、将来沿線人口等の精査、需要予測モデルの再構築などが必要である。

財務分析に関しては、事業費および将来需要の見直しに伴う再検討のほか、前提条件の精査や資金調達方法の詳細検討も必要である。

(2) 事業性の向上

事業性の向上においては、土木構造物および AGT システム双方における更なるコスト縮減策の検討が必要であるとともに、モビリティ・マネジメント施策の展開による自動車から公共交通への確実な転換をはかっていく必要がある。

沿線は現時点でも一定の住宅等の都市機能の集積が見られるものの、今後は AGT の駅を中心とした再開発の推進をはじめとした TOD (Transit Origin Development) 型まちづくりを推進し、安定した需要の確保を図り、持続可能な運営につなげていく必要がある。あわせて、開発利益の公共交通整備・運営への還元も行っていく必要がある。

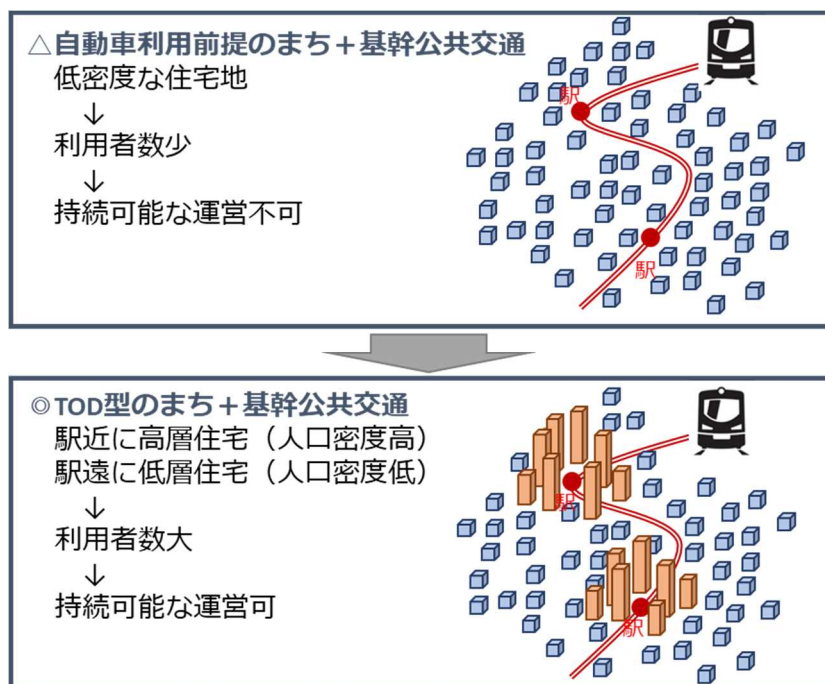


図 9-1 TOD 型のまちづくりの必要性

出典：調査団

(3) 事業の早期実現

メデジン市関係者を対象に、AOTS（一般財団法人海外産業人材育成協会）等の招聘プログラムなどを活用しながら、我が国の AGT や TOD 型まちづくりなどの視察を企画し、AGT 導入に対する更なる理解を深めていく必要がある。AGT をはじめとする鉄軌道はさまざまな整備効果が期待できるが、あわせてこのような点についても引き続き理解を深めてもらう必要がある。

また、メデジンメトロマスタープランやメデジン市総合交通計画等の関連計画において、当プロジェクトを明確に位置づけてもらうべく、引き続き活動を進めていく必要がある。

なお、円借款再開まで最速で 4 年程度要する可能性があるため、事業の早期実現のためにも円借款以外の JBIC ローン等の活用可能性も視野にいれていく必要がある。

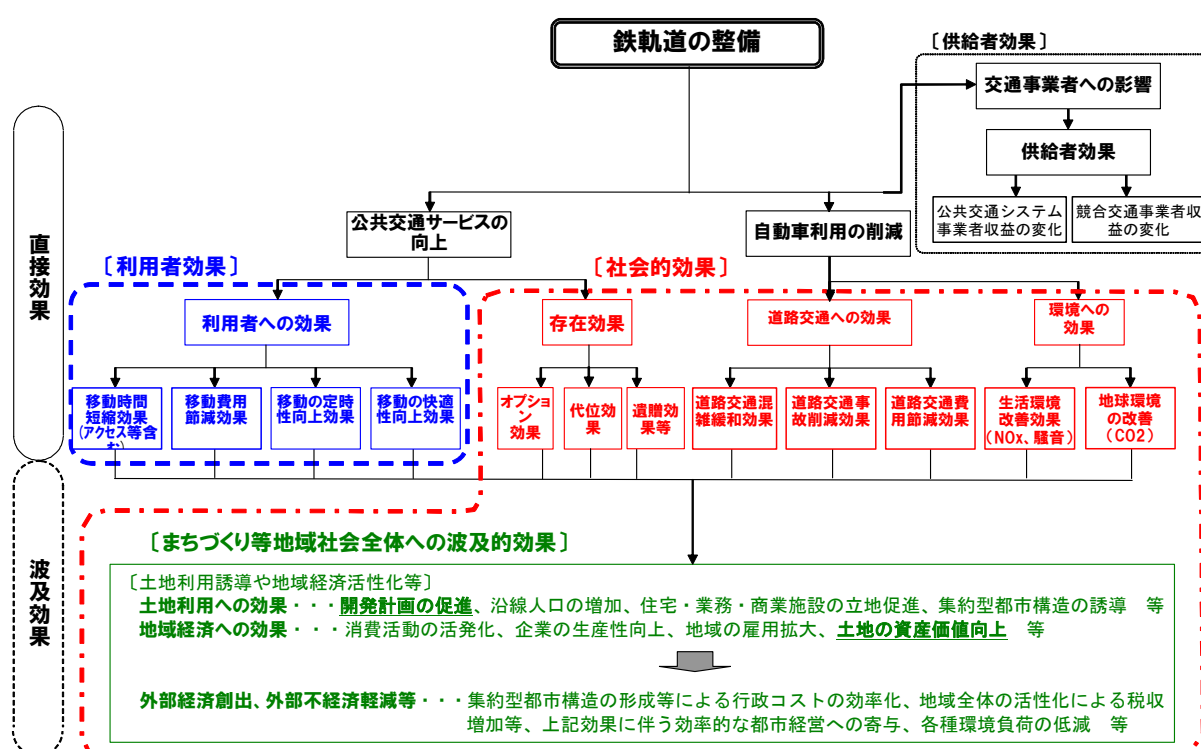


図 9-2 AGT をはじめとする鉄軌道の整備効果

出典：調査団

参考資料1 日本企業の優位性の確認や強化策等

I. 市場規模予測

メデジン市への AGT 導入をきっかけに、コロンビア国内における同システムに関心が高まり、メデジン市周辺地域やコロンビア国第 3 の都市であるサンテアゴ・デ・カリなどへの波及も期待できる。ここでは、中南米における人口 100 万人以上の都市において、仮に 1 都市 1 路線（路線延長 10km）が導入された際の市場規模を予測した。

上記条件における市場規模は、事業規模（インフラ・車両・システム・O&M）は 10 兆円規模、受注規模（車両・システム・O&M）は、8 兆円規模と予測される。以降に、算出に用いた数量（AGT 導入路線数）および単価（1 路線あたりの事業額、及び受注額）を示す。

国際連合が公表（2018 年に公表。将来人口予測値も含む）している 2015 年時点の都市人口を用いて、中南米における人口 100 万人以上の都市を抽出し下表に整理した。19 カ国 66 都市が抽出された。よって、中南米における AGT 導入の可能性のある路線数を 66 路線とした。66 都市の 2015 年時点の総人口は約 2 億 2 千万人であり、20 年後には 24%増加、約 5.4 千万人の増加が見込まれており、ポテンシャルの大きい市場であると考えられる。

表 1 中南米における人口 100 万人以上の都市

No.	Country or area	Urban Agglomeration	Population of Urban Agglomerations (thousands)		Growth rate
			2015	2035	
1	Mexico	Ciudad de México (Mexico City)	21,340	25,415	119%
2	Brazil	São Paulo	20,883	24,490	117%
3	Argentina	Buenos Aires	14,706	17,128	116%
4	Brazil	Rio de Janeiro	12,941	14,810	114%
5	Peru	Lima	9,813	12,972	132%
6	Colombia	Bogotá	9,708	12,753	131%
7	Chile	Santiago	6,523	7,461	114%
8	Brazil	Belo Horizonte	5,754	6,767	118%
9	Mexico	Guadalajara	4,796	6,266	131%
10	Mexico	Monterrey	4,478	5,926	132%
11	Brazil	Brasília	4,168	5,345	128%
12	Brazil	Pôrto Alegre	3,998	4,539	114%
13	Brazil	Recife	3,845	4,635	121%
14	Brazil	Fortaleza	3,800	4,571	120%
15	Colombia	Medellín	3,735	4,488	120%
16	Brazil	Salvador	3,594	4,298	120%
17	Brazil	Curitiba	3,399	4,153	122%
18	Brazil	Campinas	3,047	3,729	122%
19	Paraguay	Asunción	2,967	4,212	142%
20	Mexico	Puebla	2,955	3,868	131%
21	Dominican Republic	Santo Domingo	2,945	4,124	140%
22	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Caracas	2,920	3,318	114%
23	Ecuador	Guayaquil	2,738	3,789	138%
24	Colombia	Cali	2,573	3,140	122%
25	Haiti	Port-au-Prince	2,439	3,810	156%
26	Brazil	Goiânia	2,357	3,142	133%
27	Mexico	Toluca de Lerdo	2,189	3,067	140%
28	Brazil	Belém	2,180	2,618	120%
29	Cuba	La Habana (Havana)	2,124	2,194	103%
30	Colombia	Barranquilla	2,081	2,582	124%
31	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Maracaibo	2,051	2,701	132%
32	Brazil	Manaus	2,019	2,609	129%
33	Mexico	Tijuana	1,939	2,626	135%
34	Brazil	Grande Vitória	1,877	2,376	127%
35	Brazil	Baixada Santista	1,779	2,113	119%
36	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Valencia	1,777	2,249	127%
37	Bolivia (Plurinational State of)	La Paz	1,745	2,358	135%
38	Ecuador	Quito	1,734	2,353	136%
39	Mexico	León de los Aldamas	1,714	2,188	128%
40	Uruguay	Montevideo	1,707	1,843	108%
41	Panama	Ciudad de Panamá (Panama City)	1,673	2,438	146%
42	Bolivia (Plurinational State of)	Santa Cruz	1,532	2,244	146%
43	Argentina	Córdoba	1,514	1,785	118%
44	Mexico	Ciudad Juárez	1,423	1,824	128%
45	Argentina	Rosario	1,423	1,781	125%
46	Brazil	Grande São Luís	1,410	1,649	117%
47	Mexico	La Laguna	1,313	2,123	162%
48	Costa Rica	San José	1,297	1,666	128%
49	Brazil	Natal	1,292	1,689	131%
50	Brazil	João Pessoa	1,289	1,544	120%
51	Brazil	Maceió	1,240	1,480	119%
52	Honduras	Tegucigalpa	1,233	2,042	166%
53	Mexico	Querétaro	1,214	1,643	135%
54	Brazil	Joinville	1,209	1,467	121%
55	Colombia	Bucaramanga	1,208	1,522	126%
56	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Barquisimeto	1,145	1,418	124%
57	Bolivia (Plurinational State of)	Cochabamba	1,136	1,737	153%
58	Venezuela (Bolivarian Republic of)	Maracay	1,134	1,405	124%
59	Mexico	San Luis Potosí	1,126	1,472	131%
60	Brazil	Florianópolis	1,124	1,416	126%
61	El Salvador	San Salvador	1,099	1,242	113%
62	Argentina	Mendoza	1,075	1,375	128%
63	Mexico	Mérida	1,064	1,415	133%
64	Nicaragua	Managua	1,027	1,292	126%
65	Mexico	Mexicali	1,026	1,366	133%
66	Mexico	Aguascalientes	1,017	1,345	132%
Total			221,581	275,404	124%

AGT1 路線(延長 10km)整備時の事業規模および受注規模想定額を下表に整理した。

事業化後の事業規模額(想定)は、延長 10km の路線を整備すると仮定した場合、インフラ、車両・設備等に関して、本調査で設定した概算事業費等をベースに試算すると事業規模(初期投資額及び O&M)は概ね 1 路線あたり、約 1,380 億円程度となることが期待される。(運営費用は、運営期間を 30 年と仮定)

また、受注規模額(想定)は、仮に本邦企業が、初期投資額のうち車両及びシステム、事業運営権を受注した場合、約 1,050 億円程度となることが期待される。以上の想定額では、物価上昇は加味していない。

表 2 AGT1 路線(延長 10km)整備時の事業規模および受注規模想定額

延長 km	初期投資額		O&M	事業規模	受注規模 [初期導入(車両・システム)、運営]
	インフラ・車両・システム [*72億円/km]	内数:車両・システム [*39億円/km]	[*2.2億円/km/年]		
	A	B	C	A+C	B+C
	億円	億円	億円/**30年	億円	億円
10	720	390	660	1,380	1,050

*想定単価

**想定 of 運営期間

***物価上昇は加味していない

出典:調査団作成

II. リスク分析

リスクに関しては下記の項目を想定した。特に、当該国で特有性の高いリスクである、ゲリラ組織対話政策の持続性、治安（外国人・企業対象犯罪）、地震、火山、集中豪雨（ラ・ニーニャ現象由来）について注視する必要がある。

表 3 想定リスク一覧

分類	種類	想定リスク
事業実施に係るリスク	カントリーリスク	政変、動乱（ゲリラ組織対話政策の持続性）、革命、内戦、急激な制度変更、社会情勢の変化、現地政府の不透明な政策運営（外資規制等）、治安（外国人・企業対象犯罪）
	産業リスク	煩雑な行政手続き（税務、許認可等）、インフラの未整備、労働力不足・人材採用難（専門・技術職、マネジメント職）、未成熟・未発展な裾野産業
	マーケットリスク	市場クラッシュ、乗車率不振、収入下落、資金調達、想定需要の未達
	パートナーリスク	破産、資金・信用不足、事業計画変更
	技術リスク	適用技術のアンマッチング、導入技術の不具合
	コスト超過リスク	建築予算オーバー
	製造物責任及び遅延リスク	工期の遅延による購入者への保証の発生等
	レピュテーションリスク	コンプライアンス
	為替変動リスク	為替変動
災害リスク	自然災害リスク	地震、火山、集中豪雨（ラ・ニーニャ現象由来）
	自然災害以外の災害リスク	事故、火災
	自然環境リスク	土壌汚染

III. 競合他社の動向及び競争優位性

世界の鉄道車両市場に関しては、中車(中国)、シーメンス（独）・アルストム(仏)、ボンバルディア(独)が非常に大きなシェアを占め、我が国企業のシェアは圧倒的に小さいものの、AGTなどの中量輸送都市交通システムに関しては我が国企業の優位性が高く、環境優位性や路線設定の柔軟性による空間活用の観点から、各国から関心が寄せられている状況である。これに加えて、我が国のAGT製造メーカーは複数社存在し、価格競争力や入札公平性確保の面で優位となっている。

このことから、国内外のAGTの導入実績をより詳しく調査し、我が国の機材・技術等の優位性について整理をおこなった。AGTは欧米メーカーではボンバルディアとシーメンス、韓国メーカーのウージン社が実績を持つが、日本製のAGTは初期費用となるEPCの価格が欧米・韓国競合メーカーと比べて遜色がない一方で、故障率が低くメンテナンス費用が安いいため、車両購入から置き換えまでのライフサイクルを通しての費用は割安になる。AGTシステムにおいて、日本勢が優勢であり、導入実績も多い。

表 4 中量輸送システムの導入事例

システム	メーカー（国）	導入都市
AGT	三菱重工業（日本）	東京、さいたま、広島、仁川、シンガポール、香港、ドバイ、ワシントン、アトランタ、マイアミ、オーランド、タンパ、マカオ
	新潟トランス（日本）	東京、大阪、横浜、さいたま、広島、台湾桃園、香港
	川崎重工業（日本）	神戸、さいたま
	総合車両製作所（日本）	横浜
	シーメンス（ドイツ）	リール、トゥールーズ、レンヌ、トリノ、台北、ソウル等
	ボンバルディア（カナダ）	シアトル、アトランタ、ダラス、マイアミ、フランクフルト 北京、広州等
	宇進産電（韓国）	釜山、ジャカルタ
	中国中車集団（中国）	導入実績なし
モノレール （参考）	日立製作所（日本）	東京、多摩、浦安、大阪、北九州、沖縄、重慶、ドバイ、大邱、シンガポール等
	三菱重工業（日本）	千葉（懸垂式）、藤沢（懸垂式）
	ボンバルディア（カナダ）	ラスベガス、サンパウロ、リアド
	中国中車集団（中国）	導入実績なし

IV. コスト競争力の強化策の検討

インフラ構造物に関しては安全性等を当然確保しつつ、現地ゼネコン等の活用によりコスト競争力は担保するものとする。また、AGT 整備対象区間は、高架構造で整備することを基本としているが、コンコース階の省略、空間的に余裕のある区間に関しては安価な盛土構造や地平走行の可能性など、安価な構造の可能性を検討することが考えられる。さらに、軌道の H 鋼、電車線等の現地調達や現地ゼネコン等の活用によりコスト競争力の強化を図るものとする。

車両に関しても、現地製品の活用、内外装の簡素化等、品質及び性能は一定量確保したうえで、コスト競争力を確保する方策を検討する必要がある。

システムに関しては、自動運転から手動運転への変更、PSD からホーム柵への変更、その他車両・システムの簡素化によりコストが縮減を図る方策が考えられる。

V. 日本への裨益(経済評価)予測

(1) コロンビア国内への技術移転・教育訓練(建設、保守管理、運営等)

本調査で導入を想定している AGT はコロンビア国内への導入実績はない。しかしながら、AGT の建設や保守管理に関する基礎技術、オペレーション等の運営技術者の教育訓練等について、日本のノウハウが十分に生かされることにより、本邦メーカーやゼネコン、鉄軌道事業者への収益増に繋がるものと考えられる。

(2) 定量的な波及効果の概略試算～産業連関表を利用した国内への定量的な波及効果～

新たな需要を創出した場合における国内への経済波及効果について、産業連関表から試算すると、本邦企業が AGT を受注(約 473 億円)したとすると、日本国内には投資額の 2.3 倍の約 1,082 億円の経済波及効果が生まれると試算される。

表 5 想定される経済波及効果

	部門の例示	新規需要額 (単位：百万円)	波及効果
農林水産業	米、野菜、畜産、漁業	0	123
鉱業	石油、原油、天然ガス、金属鉱物	0	70
飲食物品	食肉、精米、パン類、冷凍食品、酒類	0	36
繊維製品	衣服、じゅうたん、帽子、寝具	0	100
パルプ・紙・木製品	木材、家具、紙、段ボール箱	0	1509
化学製品	化学肥料、医薬品、化粧品、洗剤	0	1455
石油・石炭製品	ガソリン、灯油、LPG、コークス	0	1290
プラスチック・ゴム	プラスチック管、タイヤ、チューブ	0	2213
窯業・土石製品	ガラス、セメント、陶磁器	0	1632
鉄鋼	鋼板、鋼管	0	8436
非鉄金属	銅、アルミニウム、電線、ケーブル	0	1431
金属製品	鉄骨、シャッター、ボルト、ドラム缶、刃物	0	2449
はん用機械	ボイラ、原動機、ポンプ	0	543
生産用機械	パワーショベル、ドリル、印刷機、旋盤、耕うん機	0	118
業務用機械	複写機、自動販売機、医療器具、カメラ	0	59
電子部品	液晶パネル、磁気ディスク、電子回路	0	492
電気機械	電気照明器具、エアコン、冷蔵庫	0	1271
情報・通信機器	パソコン、テレビ、デジタルカメラ、携帯電話機	0	182
輸送機械	乗用車、鉄道車両、航空機、船舶	25809.74	40398
その他の製造工業製品	印刷、革靴、楽器、がん具、時計、装身具	0	515
建設	住宅建築、建設補修、公共事業	21493.01	22007
電力・ガス・熱供給	電気、自家発電、都市ガス、熱供給	0	1540
水道	上水道、工業用水、下水道	0	133
廃棄物処理	ごみ処理、産業廃棄物処理	0	110
商業	卸売、小売	0	5054
金融・保険	金融、生命保険、損害保険	0	969
不動産	住宅賃貸、貸店舗、駐車場管理	0	605
運輸・郵便	鉄道、トラック輸送、航空輸送、水運、郵便	0	2970
情報通信	電話、放送、ソフトウェア、映画制作、新聞	0	1478
公務	国、地方公共団体	0	141
教育・研究	学校、研究所、図書館、博物館	0	2220
医療・福祉	病院、保健所、保育所、福祉施設、介護	0	6
その他の非営利団体サービス	商工会議所、労働団体、学術団体	0	88
対事業所サービス	物品賃貸、広告、法律事務所、労働者派遣、警備業	0	5789
対個人サービス	ホテル・旅館、飲食店、遊園地、冠婚葬祭	0	50
事務用品	鉛筆、消しゴム、テープ、のり	0	84
分類不明		0	621
合計		47302.75	108186

出典：調査団（総務省、平成 23 年（2011 年）産業連関表に基づき試算）

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 コロンビア国・メデジン市における都市交通マスタープラン検討調査報告書

委託事業名 令和元年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に資する事業実施可能性調査事業

受注事業者名 パシフィックコンサルタンツ株式会社

[illegible]