令和元年度質の高いインフラの海外展開に向けた

事業実施可能性調査事業

トルクメニスタン国における鉄道近代化事業

調査報告書

令和 2 年 2 月

経　　済　　産　　業　　省

委託先：
株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル

ま　え　が　き

本報告書は、株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバルが経済産業省より受託した「令和元年度質の高いインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業：トルクメニスタン国における鉄道近代化事業」の成果をとりまとめたものです。

本調査「トルクメニスタン国における鉄道近代化事業」は、トルクメンバシ～アシガバット～トルクメナバットまでの東西回廊 1,176 km を対象区間として、国の鉄道セクターの現状と課題の把握、．既存路線の現況把握と電化を中心とする鉄道近代化計画のための情報収集、電化を中心とする鉄道近代化事業の日本側の協力体制と資金調達の検討を行い、トルクメニスタン国の既存路線の電化を中心とする鉄道近代化に向けた事業実施可能性調査を行ったものです。

本報告書が上記プロジェクト実現の一助となり、加えて我が国関係者の方々のご参考になることを希望します。

令和 2 年 2 月

株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル

目次

1. 調査の概要 1-1

1.1 調査の背景と目的 1-1

1.2 調査の内容 1-1

1.3 調査スケジュール 1-2

1.4 調査団の構成 1-3

1.5 調査の対象機関 1-4

2. トルクメニスタンの概要 2-1

2.1 対象国概要 2-1

2.2 人口 2-1

2.3 国内総生産（GDP） 2-1

2.4 消費者物価指数（Consumer Price Index, CPI） 2-2

2.5 電源事情 2-3

2.5.1 送電線網 2-4

2.5.2 需要と供給 2-4

2.6 自然環境の概要 2-5

3. 対象セクター及び対象区間の現況 3-1

3.1 路線図 3-1

3.2 組織 3-1

3.3 貨物・旅客需要の概況 3-2

3.3.1 貨物 3-2

3.3.2 旅客 3-5

3.4 運行状況 3-5

3.5 土木施設 3-7

3.5.1 建築限界 3-7

3.5.2 路盤及び軌道 3-8

3.5.3 橋梁・排水カルバート 3-13
3.5.4 跨線橋 3-16
3.5.5 踏切 3-18
3.6 貨物駅・旅客駅 3-18
3.6.1 貨物駅 3-18
3.6.2 旅客駅 3-20
3.7 信号・通信 3-21
3.7.1 信号 3-22
3.7.2 通信 3-22
3.8 車両、車両基地・車両工場 3-23
3.8.1 車両数 3-23
3.8.2 検査種別と検査周期 3-24
3.8.3 車両基地・車両工場における車両種別 3-25
4. 基本計画の策定 4-1
4.1 関連計画のレビュー 4-1
4.2 需要予測 4-1
4.2.1 はじめに 4-1
4.2.2 需要予測の条件 4-2
4.2.3 鉄道貨物・旅客の需要予測結果 4-5
4.2.4 列車運行数 4-10
4.3 近代化代替案と段階整備案の検討 4-11
4.3.1 全区間の近代化代替案の設定 4-11
4.3.2 全区間の近代化代替案の比較検討と選定 4-15
4.3.3 段階整備案の検討 4-20
4.4 第一段階の近代化計画 4-21
4.4.1 運行計画 4-22
4.4.2 土木施設計画 4-26
4.4.3 駅施設計画 4-36

4.4.4 電気システム計画 4-37
4.4.5 信号・通信計画 4-48
4.4.6 車両計画 4-49
4.4.7 車両基地・車両工場計画 4-52
4.4.8 事業費概算 4-55
4.4.9 運営計画 4-55
4.4.10 経済的・財務的事業評価 4-56
5. 環境社会配慮調査 5-1
5.1 環境社会面における現状分析 5-1
5.1.1 自然環境 5-1
5.1.2 社会環境 5-2
5.2 プロジェクトの実施に伴う環境改善効果 5-4
5.3 プロジェクトの実施に伴う環境社会面の影響 5-4
5.4 相手国の環境社会配慮関連法規の概要 5-8
5.4.1 環境影響評価に係る法制度等の概要 5-8
5.4.2 EIA 国家基準(National Standard of Turkmenistan for Environmental Impact Assessment on the proposed economic and other activities) (2001) 5-9
5.4.3 土地収用 5-11
5.5 プロジェクト実施のために当該国（実施機関その他関係機関）が成すべき事柄 5-11
6. 事業計画及びプロジェクトの資金調達の見通し 6-1
6.1 事業実施スキーム 6-1
6.2 想定される契約パッケージ 6-2
7. プロジェクトの実施スケジュール 7-1
8. 我が国企業の優位性の確認と強化策 8-1
8.1 車両（電気機関車・EMU） 8-1
8.2 受変電機材 8-1
8.3 信号 8-2
8.4 車両基地・車両工場機材 8-2
9. 実現に向けた課題とアクションプラン 9-1

9.1　詳細な技術的検討と資金調達に向けた準備 9-1
9.2　資金調達 9-1
9.3　鉄道運輸庁の財務体質の改善 9-2
9.4　関係機関との技術的協議 9-2
9.5　保守・維持管理体制の構築（車両・軌道） 9-2
9.6　技術基準・規格の改訂 9-2

図表目次

図 2-1　人口及び人口増加率 2-1
図 2-2　Constant GDP（2010 USD）及び GDP 成長率 2-2
図 2-3　セクター別 GDP（in Current Price） 2-2
図 2-4　消費者物価指数（CPI）の変化 2-3
図 2-5　トルクメニスタン国の主な発電所と送電線の位置 2-4
図 2-6　トルクメニスタン国の気候区分 2-5
図 2-7　アシガバットにおける降水量と平均気温 2-5
図 2-8　「ト」国周辺における主な地震発生地点（M6.0 以上） 2-6
図 2-9　「ト」国周辺における主な活断層位置 2-6
図 3-1　トルクメニスタン国及び対象区間の路線図 3-1
図 3-2　鉄道運輸庁の組織図 3-2
図 3-3　2015 年から 2018 年のタイプ別の貨物量 3-3
図 3-4　2018 年の月別の貨物量 3-3
図 3-5　2018 年の品目別の貨物量 3-4
図 3-6　鉄道の旅客数（2015～2019 年） 3-5
図 3-7　対象区間セクションごと 2019 年の運行中の列車本数 3-6
図 3-8　非電化区間の建築限界 3-7
図 3-9　現況の軌道標準断面図 3-8
図 3-10　路盤噴泥 3-9
図 3-11　バラスト不足箇所 3-10
図 3-12　バラスト採石場位置図 3-10
図 3-13　マクラギの損傷 3-11
図 3-14　「ト」国におけるロングレール 3-11
図 3-15　レール端部の損傷 3-12
図 3-16　上部工構造 3-14
図 3-17　鋼製下路式トラス桁の水平補強材 3-15
図 3-18　アム・ダリヤ川に架かるトラス橋のクリアランス（参考） 3-15

図 3-19　排水カルバート 3-16
図 3-20　アシガバット付近の跨線道路橋のクリアランス 3-17
図 3-21　アシガバット駅構内の跨線人道橋のクリアランス 3-18
図 3-22　踏切（左：自動遮断機タイプ、右：車道跳ね上げタイプ） 3-18
図 3-23　トルクメンバシ貨物駅 3-20
図 3-24　旅客駅 3-20
図 3-25　旅客プラットホーム 3-21
図 3-26　現在使われている主な機関車 3-24
図 4-1　トルクメニスタン国の将来人口 4-3
図 4-2　シナリオ別の貨物量の予測結果 4-4
図 4-3　2025 年のノントランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメンバシ→トルクメナバット方向） 4-6
図 4-4　2025 年のノントランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメナバット→トルクメンバシ方向） 4-6
図 4-5　2025 年のトランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメンバシ→トルクメナバット方向） 4-7
図 4-6　2025 年のトランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメナバット→トルクメンバシ方向） 4-7
図 4-7　トルクメナバット→トルクメンバシ区間の 2040 年の必要な列車本数 4-10
図 4-8　トルクメナバット→トルクメンバシ区間の 2055 年の必要な列車本数 4-11
図 4-9　近代化代替案のフローチャート 4-11
図 4-10　Gokdepe ～Ashgabat ～ Anew の対象区間 4-15
図 4-11　Garybata ～ Mary～ Bayramaly の対象区間 4-15
図 4-12　代替案の評価項目 4-16
図 4-13　段階整備案 4-21
図 4-14　第一段階の近代化計画 4-22
図 4-15　2040 年の対象区間の必要な列車本数 4-24
図 4-16　2055 年の対象区間の必要な列車本数 4-25
図 4-17　噴泥対策工の選定フロー 4-26

図 4-18　マルチプルタイタンパー 4-27
図 4-19　現状のレールボンド 4-28
図 4-20　線路立入防護柵 4-28
図 4-21　工事用道路 4-29
図 4-22　複線化のための新設橋梁（案） 4-30
図 4-23　複線化のための盛土工事 4-30
図 4-24　鉄道運輸庁が検討している電化時の建築限界 4-32
図 4-25　中国～キルギス～ウズベキスタンを繋ぐ鉄道のトンネルにおける縮小限界 4-33
図 4-26　縮小限界を考慮した電化時の建築限界（案） 4-34
図 4-27　日本で用いられているロングレール用伸縮装置 4-35
図 4-28　鉄道運輸庁（トルクメンバシ～アシガバッド間）連絡送電線を考慮した
変電所計画（案） 4-39
図 4-29　鉄道運輸庁（アシガバッド～トルクメナバット間）連絡送電線を考慮した
変電所計画（案） 4-40
図 4-30　現行の貨車空気ブレーキ装置 4-50
図 4-31　架線のイメージ 4-53
図 4-32　パンタグラフのイメージ 4-54
図 4-33　運行・維持管理体制 4-56
図 5-1　トルクメニスタン国の地形図 5-1
図 5-2　トルクメニスタン国の保護区域一覧 5-2
図 5-3　都市及び郊外の鉄道沿線の土地利用状況 5-3
図 5-4　MoAEP の組織図 5-11
図 6-1　プロジェクト実施スキーム 6-1
図 6-2　想定される契約パッケージ（ケース１） 6-2
図 6-3　想定される契約パッケージ（ケース２） 6-3
図 6-4　想定される契約パッケージ（ケース３） 6-4
図 7-1　プロジェクトの実施スケジュール 7-2

表 1-1　現地調査スケジュール 1-2
表 1-2　調査団員 1-3
表 1-3　調査関係機関・企業 1-4
表 2-1　「ト」国周辺で発生した主な地震（M6.0 以上） 2-7
表 3-1　2018 年の品目別の貨物量（単位：'000 トン/年） 3-5
表 3-2　現況の軌道構造、軌道線形の仕様（トルクメナバット～トルクメンバシ間） 3-9
表 3-3　主要駅間毎の分岐器数 3-12
表 3-4　トルクメナバット～トルクメンバシ間の曲線情報 3-13
表 3-5　トルクメナバット～トルクメンバシ間の縦断勾配 3-13
表 3-6　「ト」国が所有する車両数 3-23
表 3-7　検査種別と検査周期 3-24
表 3-8　車両基地・車両工場における担当車種 3-25
表 4-1　「ト」国および近隣諸国の実質 GDP（2010 年価格、10 億 US ドル） 4-2
表 4-2　弾性値の計算結果 4-4
表 4-3　将来需要予測で考慮した工場のリスト 4-5
表 4-4　トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の貨物需要予測（‘000 トン/年） 4-8
表 4-5　トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の旅客需要予測（'000 人） 4-10
表 4-6　近代化代替案の改良項目の速度向上と容量増大への寄与度 4-12
表 4-7　近代化の代替案 4-12
表 4-8　容量についての各代替案の評価結果 4-16
表 4-9　速度についての各代替案の評価結果 4-17
表 4-10　現在運行中の列車への影響 4-17
表 4-11　鉄道運行への影響についての各代替案の評価結果 4-17
表 4-12　各代替案の概算事業費 4-18
表 4-13　費用についての各代替案の評価結果 4-19
表 4-14　環境影響についての各代替案の評価結果 4-20
表 4-15　代替案の総合評価 4-20
表 4-16　第一段階の近代化の対象区間の必要な電気機関車数 4-24

表 4-17　曲線通過速度と曲線半径（参考）.....4-31
表 4-18　電車線の電圧.....4-41
表 4-19　貨車の応荷重装置.....4-50
表 4-20　想定した電気機関車の仕様.....4-51
表 4-21　想定した EMU の仕様.....4-51
表 4-22　第一段階の近代化で必要な車両数.....4-52
表 4-23　ディーゼル機関車と電気機関車の構造上の特徴（重要部品のみ抜粋）.....4-52
表 4-24　第一段階の概算事業費.....4-55
表 4-25　経済便益.....4-58
表 4-26　経済費用.....4-58
表 4-27　費用便益分析結果.....4-59
表 4-28　料金収入.....4-60
表 4-29　費用.....4-60
表 4-30　キャッシュ・フロー分析結果.....4-60
表 4-31　FIRR 感度分析結果（政府補助金による変化）.....4-61
表 4-32　FIRR 感度分析結果（政府補助金による変化・貨物料金収入 2 割増の影響）.....4-61
表 5-1　トルクメニスタン国の保護区域一覧.....5-2
表 5-2　市州別の人口構成比.....5-3
表 5-3　スコーピングマトリックス.....5-5
表 5-4　スコーピング結果.....5-6
表 5-5　環境影響評価に係る法制度の概要.....5-9
表 5-6　環境有害事業リスト.....5-10

略　語　表

No.	略語	英語名称	日本語略語	日本語名称
1	ADB	Asian Development Bank	ADB	アジア開発銀行
2	ATS	Automatic Train Stop	自動列車停止装置	自動列車停止装置
3	CAREC	Central Asia Regional Economic Cooperation Program	CAREC	中央アジア地域協力プログラム
4	CWR	Continuous Welded Rail	ロングレール	ロングレール
5	DEMU	Diesel-Electric Multiple Unit	DEMU	電気式気動車
6	DF/R	Draft Final Report	DF/R	ドラフトファイナルレポート
7	DMU	Diesel Multiple Unit	DMU	気動車
8	ECAs	Export Credit Agencies	ECAs	輸出信用機関
9	ECO	Economic Cooperation Organization	ECO	経済協力機構
10	EMU	Electric Multiple Unit	EMU	電車
11	EU	European Union	EU	欧州連合
12	F/R	Final Report	F/R	ファイナルレポート
13	F/S	Feasibility Study	F/S	実現可能性調査
14	GDP	Gross Domestic Product	GDP	国内総生産
15	IMF	International Monetary Fund	IMF	世界通貨基金
16	IsDB	Islamic Development Bank	IsDB	イスラム開発銀行
17	JBIC	Japan Bank for International Cooperation	JBIC	株式会社国際協力銀行
18	JICA	Japan International Cooperation Agency	JICA	独立行政法人国際協力機構
19	MTT	Multiple Tie Tamper	マルチプルタイタンパー	マルチプルタイタンパー
20	NPV	Net Present Value	NPV	純現在価値
21	RA	Railway Agency of Turkmenistan	鉄道運輸庁	トルクメニスタン鉄道運輸庁
22	ROW	Right of Way	ROW	鉄道用地・用地境界・事業用地
23	SEA	Strategic Environmental Assessment	SEA	戦略的環境アセスメント
24	Turk Exim Bank	Export Credit Bank of Turkey	トルコ輸銀	トルコ輸出入銀行
25	WB	World Bank	WB	世界銀行
26	JPY	Japanese Yen	JPY	日本円
27	TRM	Turkmenistan Manat	TRM	マナト
28	USD	United States Dollar	USD	米ドル

1．調査の概要

1.1　調査の背景と目的

トルクメニスタン国（以下、「ト」国という）は、中央アジアの中心に位置する内陸国で、隣国との国際輸送において、鉄道ネットワークは非常に重要な位置づけにある。しかし、ソビエト連邦及びロシア帝国時代に建設された鉄道の老朽化が進んでおり、平均運行速度が 30-50km/h までという非効率な運行を強いられている状況である。鉄道が近代化されれば、需要の増加が見込まれ、鉄道輸送の効率性が向上することによる、高い経済波及効果が見込まれる。「ト」国政府も、今後の産業振興の発展において、鉄道の近代化は不可欠だと認識しており、2018 年に経済産業省に鉄道電化事業についての支援の要請があり、日本の質の高い鉄道技術とサービスに対して非常に高い期待を寄せている。

本調査では、トルクメンバシ～アシガバット～トルクメナバットまでの東西回廊 1,176 km を対象区間として、「A. 「ト」国の鉄道セクターの現状と課題の把握」、「B. 既存路線の現況把握と電化を中心とする鉄道近代化計画のための情報収集」、「C. 電化を中心とする鉄道近代化事業の日本側の協力体制と資金調達の検討」を行い、「ト」国の既存路線の電化を中心とする鉄道近代化に向けた事業実施可能性調査を行う。

1.2　調査の内容

トルクメンバシ～アシガバット～トルクメナバットまでの東西回廊 1,176 km を対象区間について、以下の項目について調査・検討を行った。

1. 「ト」国の鉄道セクターの現状と課題の把握
    - 鉄道セクターの現状（組織体制、鉄道施設・設備、車両、列車運行、貨物輸送量等）の把握
    - 鉄道セクターの開発計画と鉄道電化を中心とする鉄道近代化計画の位置づけについての確認
    - 鉄道セクターの課題（軌道の老朽化、非効率な運行、技術者の高齢化等）の把握
2. 鉄道近代化に向けた情報収集・調査・分析
    - 貨物輸送の現況と将来予測についての情報収集・整理、及び簡易的な需要予測の実施
    - 電化を中心とする鉄道近代化に向けた鉄道システム（軌道、電力、架線、信号・通信、機関車、貨車、車両基地、保守設備等）について、技術的調査の実施
    - 電化、機関車、信号通信システムの仕様について、路線が接続しているウズベキスタンの鉄道システムの現状や将来計画を考慮し、本邦技術の実現性と整合性の検討
    - 想定される貨物輸送量をもとに、列車運行の輸送計画の作成・分析

- 電化を中心とする鉄道近代化事業にかかる初期環境調査の実施
- 事業費積算に必要な調達機材の単価についての情報収集・整理
- 経済性評価に関連する情報収集・整理し、需要予測に基づき、経済評価の実施

3. 鉄道システムの基本設計

- 2 で得られた鉄道システムの情報や調査・分析結果を踏まえて、鉄道システムの概略整備計画、及び鉄道システム改善計画を作成し、調達機材の整理
- 特に、車両、信号・通信システム、変電所については、本邦技術の導入を考慮した検討

4. 事業規模等の算出

- 3 で得られた鉄道システムの基本設計をもとに、事業規模を算出。
- 「ト」国政府及び関係機関等と事業規模について協議の実施

5. 事業実施体制、事業化スケジュール

- 事業実施体制の構築に向けて、「ト」国政府及び関係機関等との事業実施体制を協議し、今後の事業実施に向けたスケジュールの検討

6. ファイナンスの検討・提案

- 本邦機関や ADB 等の国際機関による資金スキームを検討し、整理したうえで、「ト」国政府及び関係機関等との協議

7. 日本企業の優位性の確認や強化策

- 我が国企業が事業に参加する場合に、日本の企業の強みを発揮しつつ、講ずべきコスト競争力を強化するための方策の検討
- 第三国企業との連携可能性の検討

1.3　調査スケジュール

本調査は、2019 年 8 月から 2020 年 2 月末にかけて実施した。下表に示すとおり、4 回の現地調査を実施した。

表 1-1　現地調査スケジュール

	調査期間	調査都市
第 1 回	2019 年 8 月 17 日～9 月 1 日	アシガバット、トルクメンバシ、マリー、トルクメナバット、タシケント
第 2 回	2019 年 11 月 3 日～11 月 14 日	アシガバット
第 3 回	2019 年 12 月 16 日～12 月 25 日	アシガバット、キプチャク、ベレケット、トルクメンバシ、イスタンブール
第 4 回	2020 年 1 月 19 日～1 月 26 日	アシガバット

出典：調査団

1.4　調査団の構成

調査団員の氏名、担当業務、所属を下表に示す。

表 1-2　調査団員

氏名	担当業務	所属
川口　裕久	総括/ 鉄道計画	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
山岡　一雅	副総括/ 鉄道インフラ 1	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
河合　伸由	鉄道インフラ 2	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
相澤　宏幸	鉄道土木	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
金子　利美	鉄道電力	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
樋口　邦彦	信号・通信	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
船木　勝雄	車両計画	日本貨物鉄道株式会社
大山　賢治	運行計画	日本貨物鉄道株式会社
黄　思佳	事業費精算	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
デブナス　パラブ	需要予測 1	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
村山　直輝	需要予測 2	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
岡山　久美	経済・財務分析/ 資金調達計画	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル
安藤　圭吾	環境社会配慮	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル

出典：調査団

1.5　調査の対象機関

本調査では、下表に示した関係機関に対して、ヒアリングを実施した。

表 1-3　調査関係機関・企業

	機関名
「ト」国政府機関	鉄道運輸庁 （建設局、運輸・物流局、保線局、経済・融資局、設計・調査研究所）
	農業環境省
	財務経済省
	自動車運輸庁
	国家税関庁
	国家統計委員会
	トルクメンバシ国際海港
	トルクメニスタン物流事業者協会
	エネルギー省・トルクメンエネルゴ
	TULM（鉄道物流関連公社）
ウズベキスタン政府機関	ウズベキスタン鉄道
日本政府機関	在トルクメニスタン日本大使館
国際金融機関	アジア開発銀行
	トルコ輸出入銀行
「ト」国民間会社	グレートシルクロード社（物流事業者）
	Dovrebap Ulag Merkezi 社（物流事業者）
	Kuwwatly Yollar 社（物流事業者）
	THT 社（運送会社）
	Ynamly Kepil（EIA 実施企業）
トルコ民間企業	Ronesans Holding（建設企業）
	IC ICTAS Construction（建設企業）
	Nurol Construction（建設企業）
	Yapi Merkezi（建設企業）
	YEO Electrical Automation Inc. (電気関係建設会社)
日系企業	伊藤忠商事・伊藤忠プランテック
	東芝インフラシステムズ

出典：調査団

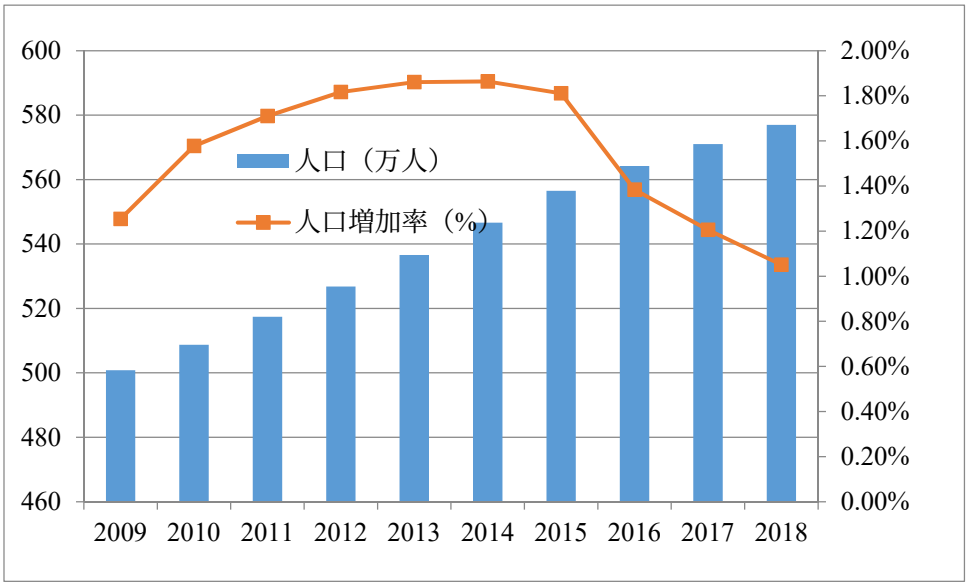
2. トルクメニスタンの概要

2.1　対象国概要

「ト」国は、中央アジアの南西部に位置し、北東をウズベキスタン、北西をカザフスタン、南東をアフガニスタン、南西をイランに接し、西部にカスピ海を臨む。国土は 49 万 1,21 平方キロメートルで、日本の約 1.3 倍だが、国土の約 85%は砂漠に覆われている。国土は、5 つの州で構成され、アハル州（Ahal）、バルカン州（Balkan）、ダショグズ州（Daşoguz）、レバプ州（Lebap）、マリー州（Mary）である。首都はアハル州のアシガバットである。

2.2　人口

2018 年の「ト」国の人口は 577 万人で、人口密度は 11.8 人/㎢となっており、過去 10 年の年平均人口増加率（2009 年～2018 年）は 1.6%で、2016 年以降人口増加率は多少下がっているものの、1.0%以上の増加率を維持している。

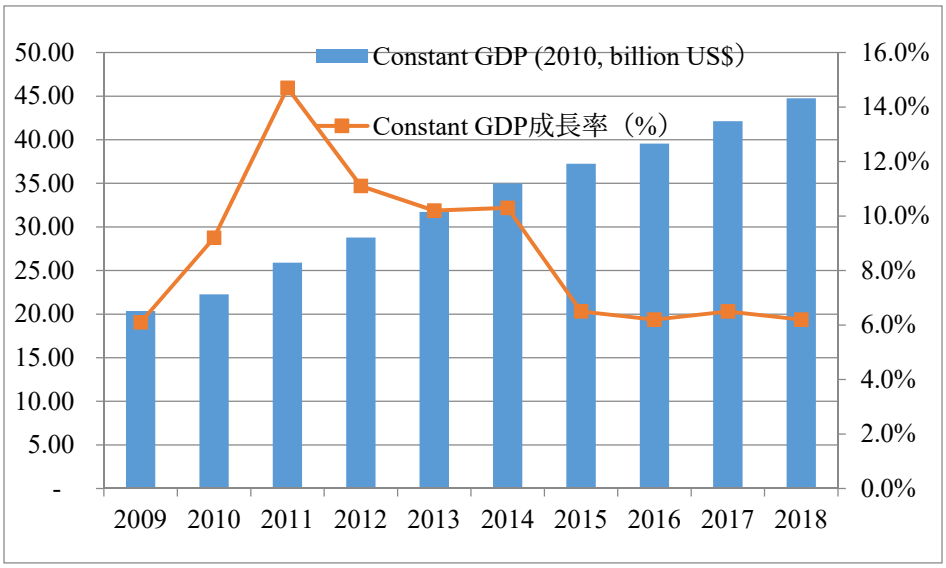


出典：国際通貨基金

図 2-1　人口及び人口増加率

2.3　国内総生産(GDP)

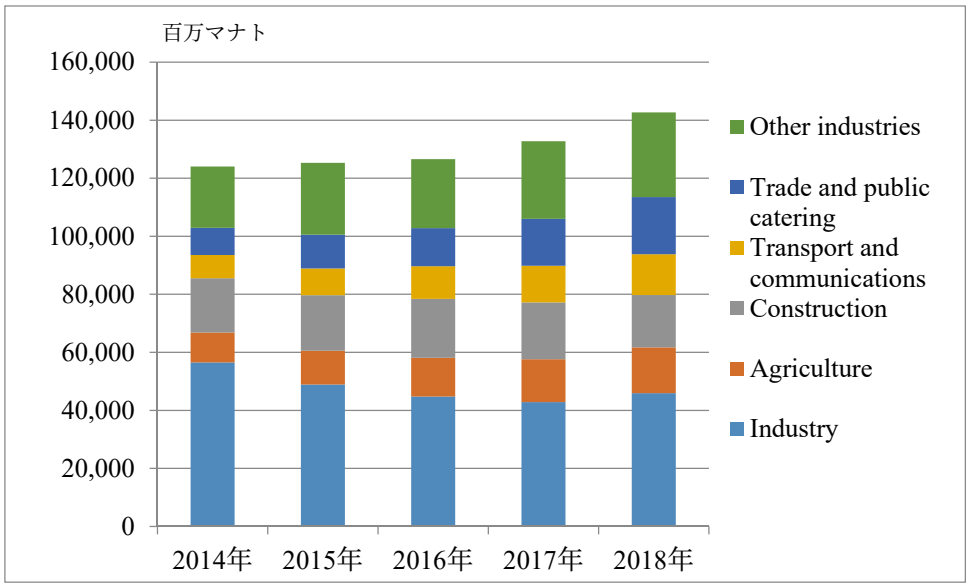
2018 年の「ト」国の Constant GDP は 447.5 億ドルで、過去 10 年の平均 GDP 成長率は 8.7%を記録、2015 年以降は、6%台の安定した経済成長率を維持している。また、2018 年の一人当たり GDP は 7,646 ドルである。



出典：国際通貨基金

図 2-2　Constant GDP（2010 USD）及び GDP 成長率

2018 年の Current GDP をセクター別でみると、工業 32%、農業 11%、建設業 13%、運輸・通信業 10%、貿易・公共サービス 14%、その他の産業 21%となっている。

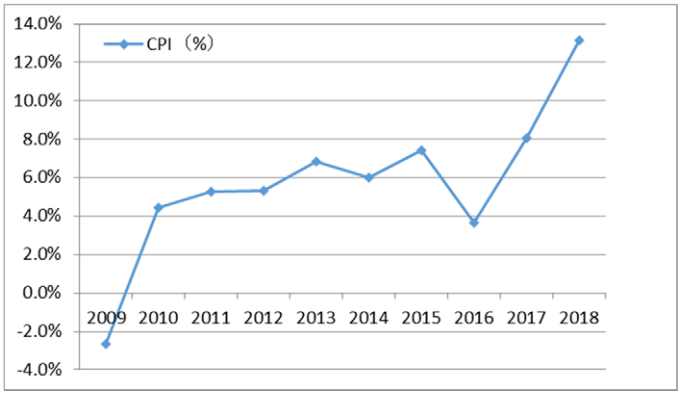


出典：Statistical Yearbook of Turkmenistan 2018

図 2-3　セクター別 GDP（in Current Price）

2.4　消費者物価指数(Consumer Price Index, CPI)

「ト」国の消費者物価指数は、2009 年以降伸び続けており、2018 年の伸び率は 13.2%に達した。国際通貨基金によると 2019 年以降も数年は 13%台の高い伸び率を示すと推計している。



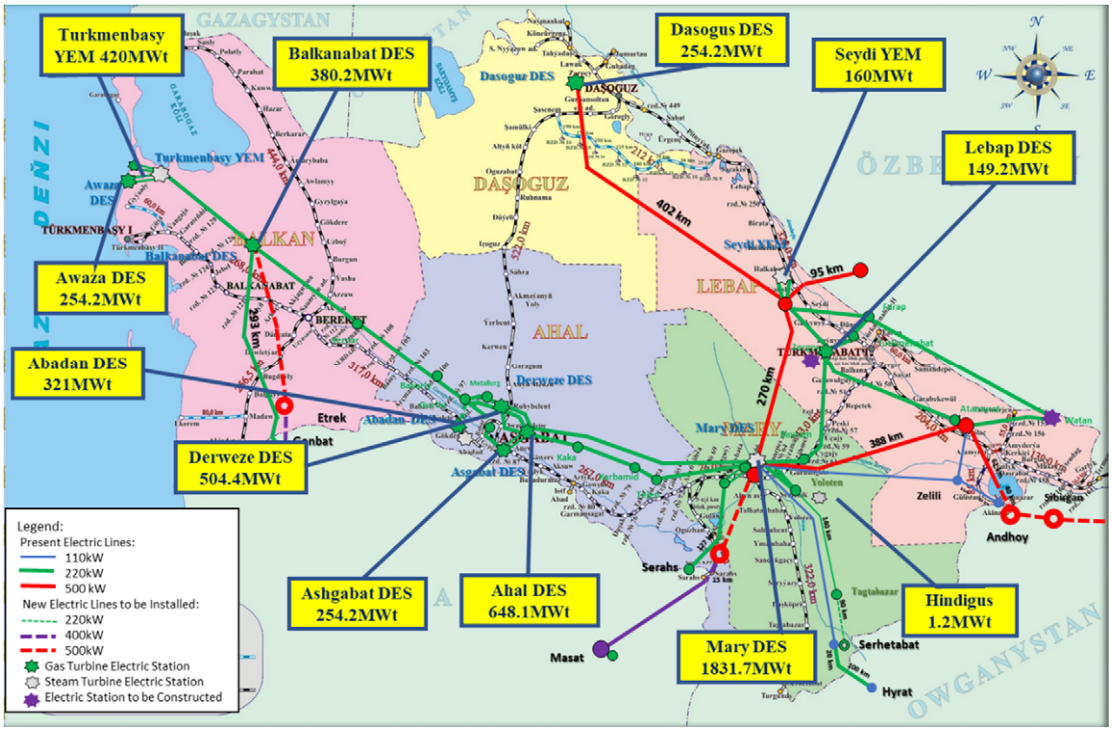
出典：国際通貨基金

図 2-4　消費者物価指数（CPI）の変化

2.5　電源事情

「ト」国では国の政策により発電所、送電線網、変電所などの施設が増強されてきた。1991 年～2016 年の間に発電容量が 2,997MW 増加し、2016 年時点において全体で 4,674MW となった。これにより、発電量が大幅に増加し、電気の輸出を優先課題としている。主にアフガニスタン、イラン及びトルコに輸出しており、ウズベキスタン、タジキスタン、パキスタンとの送電網プロジェクトへの期待も大きい。2016 年現在、12 箇所の発電所において 14 機の蒸気タービン発電機、30 機のガスタービン発電機、3 機の水力発電機が稼働している（図 2-5 を参照）。発電所とタービン発電機のリストを下記に示す。

- マリー発電所に 7 機の蒸気タービン発電機と 3 機のガスタービン発電機
- Abadan 発電所に 2 機のガスタービン発電機
- トルクメンバシ発電所に 2 機の蒸気タービン発電機
- Seydi 発電所に 2 機の蒸気タービン発電機
- アハル発電所に 7 機のガスタービン発電機
- アシガバット発電所に 2 機のガスタービン発電機
- Derweze 発電所に 4 機のガスタービン発電機
- Awaza 発電所に 2 機のガスタービン発電機
- Balkanabat 発電所に 5 機のガスタービン発電機
- ダショグズ発電所に 2 機のガスタービン発電機
- レバプ発電所に 3 機のガスタービン発電機
- Hindigush 水力発電所に、1913 年に作られた 3 機の水力発電機稼働している。



出典：調査団（データ出典：日本エネルギー経済研究所）

図 2-5　トルクメニスタン国の主な発電所と送電線の位置

2.5.1　送電線網

トルクメンエネルゴの送電線の電圧区分は、日本では超高圧と呼ばれる 500kV、及び 220kV、特別高圧と呼ばれている 110kV、35kV、10kV に区分されている。このうち、220kV の送電線は、トルクメンバシ の発電所と Awaza の発電所が連携を取り、Balkanabat の発電所より、Abadan の発電所方面とイラン国の Gonbat に送電線を分岐している。

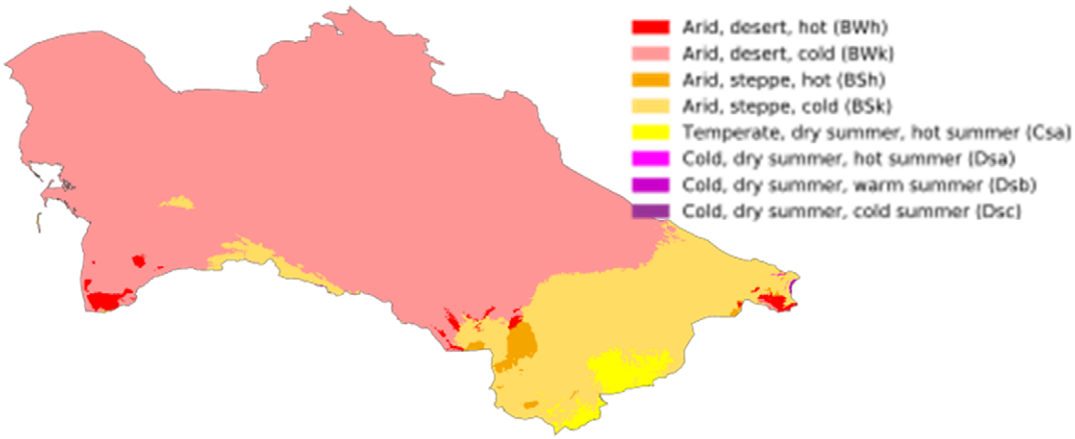
一方、アシガバット周辺は Abadan 発電所と Derweze 発電所、Ahal 発電所及びアシガバット発電所が環状の送電線網で連結されている。さらに Ahal の発電所から送電線を 2 系統に分岐してマリーの発電所に接続されている。マリーの発電所は 1,831.7MW と非常に大きく、500kV、220kV、110kV の送電線に接続されている。マリーの発電所は 500kV 送電線により Seydi 及び Dasoguz の発電所と連携を取っている。また、強化された 110kV の送電線により、アフガニスタンの Hyrat 及び Andhoy 方面に輸出されている。さらに、220kV 送電線により、トルクメナバット方面に Lebap 発電所を経由して送電線網を形成している。

2.5.2　需要と供給

需要と供給の過去との見通しについて、従来の発電量からの推移をみると大幅に電力量も増加しており、今後更に近隣諸国に対して送電網を拡大して電力を輸出されるものと思われる。

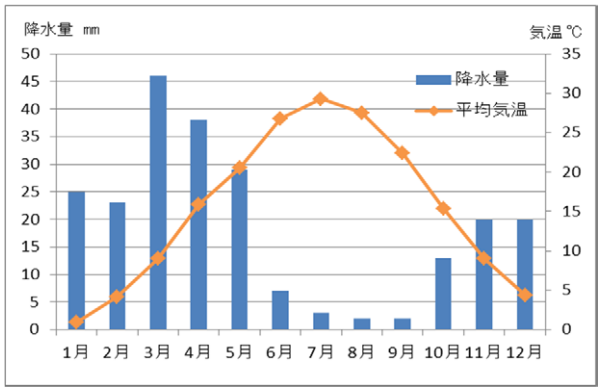
2.6　自然環境の概要

「ト」国は、カラクム砂漠が国土の 85%を占めており、砂漠気候とステップ気候に属している。年間降水量は平均して 109 mm でわずかであり、また気温の寒暖差が激しい地域でもある。アシガバットにおける年間降水量は 228 mm で、年間平均気温は、15.4℃となっている。



出典：topographic-map.com

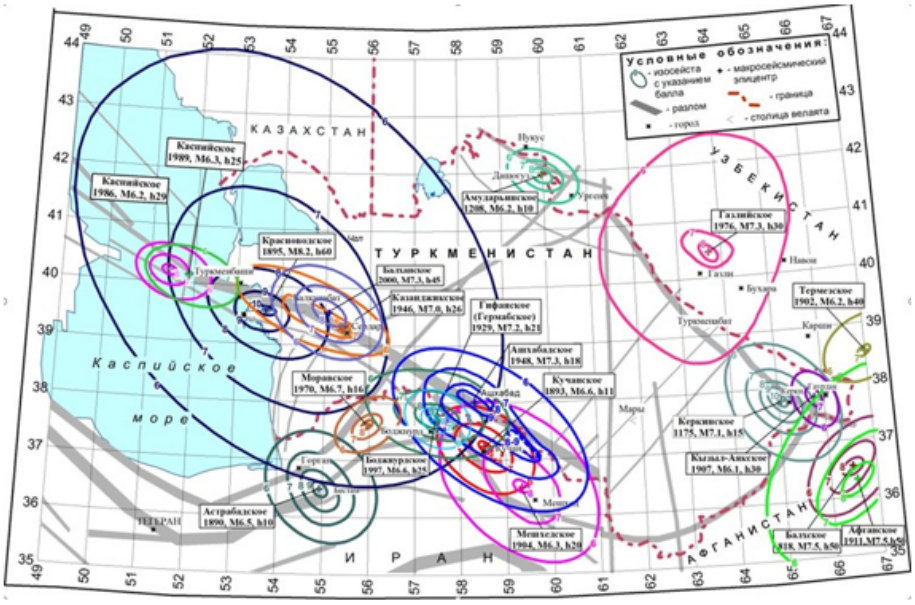
図 2-6　トルクメニスタン国の気候区分



出典：topographic-map.com

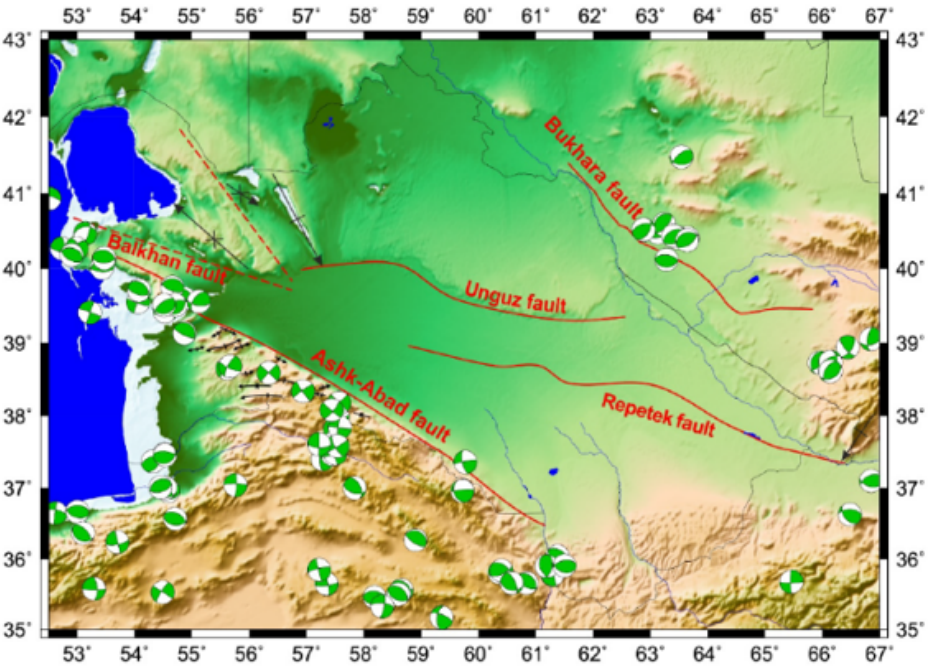
図 2-7　アシガバットにおける降水量と平均気温

「ト」国及びその周辺で過去に発生したマグニチュード 6.0 以上の地震の震源地及び断層図を下図に示す。19 回の地震の内、9 回が Ashk-Abad 断層上で発生しており、直近では 2000 年にマグニチュード 7.3 の地震が発生している。



出典：UNDP Turkmenistan (Left figure), Geology and geomorphology of Turkmenistan: A review, Mohammad R. Ghassemi, Eduardo Garzanti (Right Figure)

図 2-8　「ト」国周辺における主な地震発生地点（M6.0 以上）



出典：UNDP Turkmenistan (Left figure), Geology and geomorphology of Turkmenistan: A review, Mohammad R. Ghassemi, Eduardo Garzanti (Right Figure)

図 2-9　「ト」国周辺における主な活断層位置

表 2-1　「ト」国周辺で発生した主な地震（M6.0 以上）

No.	発生年	マグニチュード	発生場所	国・地域
1	818	7.5	Balkh	アフガニスタン
2	1175	7.1	Kerkin	トルクメニスタン
3	1208	6.2	Amu Darya	トルクメニスタン
4	1890	6.5	Astrabad	イラン
5	1893	6.6	Quchan	イラン
6	1895	8.2	Krasnovodsk	トルクメニスタン
7	1902	6.2	Termez	ウズベキスタン
8	1904	6.3	Mashhad	イラン
9	1907	6.1	Kyzyl-Ayak	トルクメニスタン
10	1911	7.5	Afghanistan	アフガニスタン
11	1929	7.2	Gifan	イラン
12	1946	7.0	Kazanjik	トルクメニスタン
13	1948	7.3	アシガバット, Turkmenistan	トルクメニスタン
14	1970	6.7	Moravian	イラン
15	1976	7.3	Ghazly	ウズベキスタン
16	1986	6.2	Caspian Sea	カスピ海
17	1989	6.3	Caspian Sea	カスピ海
18	1997	6.6	Bojnurd	イラン
19	2000	7.3	Uly Balkan	トルクメニスタン

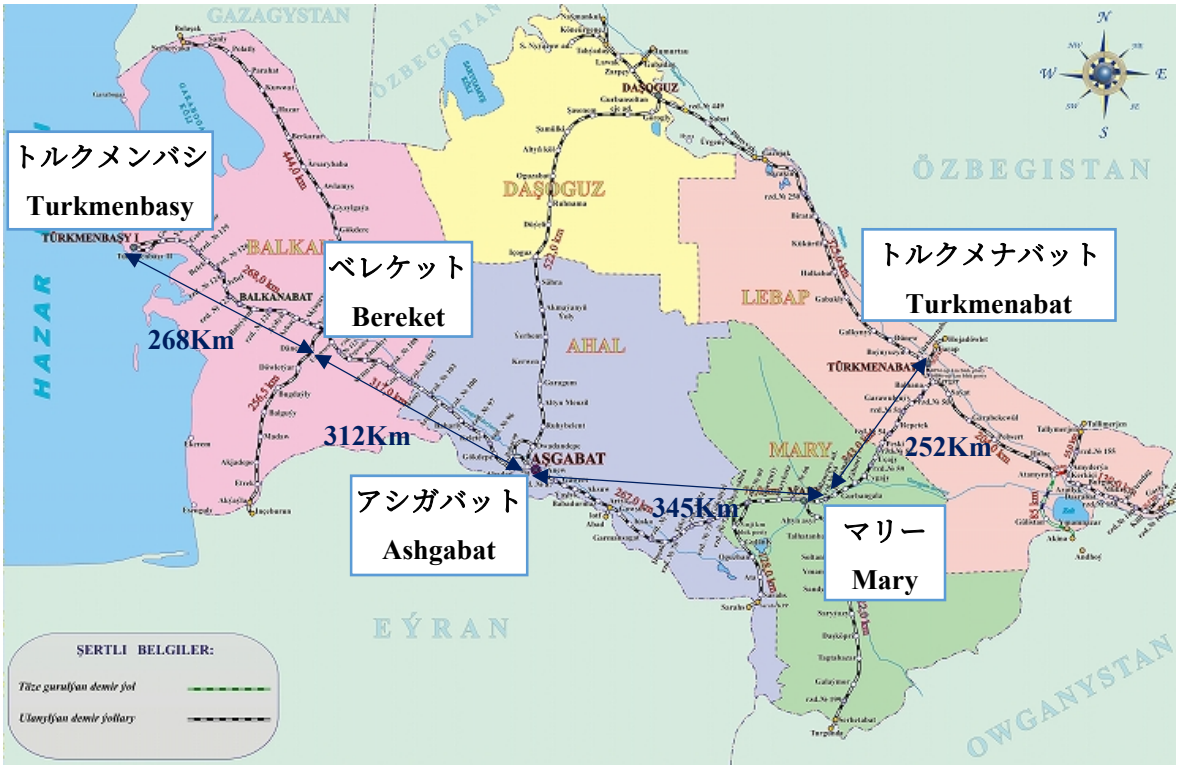
※：網掛はアシガバット断層上で発生した地震

出典：UNDP Turkmenistan

3．対象セクター及び対象区間の現況

3.1　路線図

「ト」国には 3,550.9km に及ぶ鉄道網が整備されており、本調査では、トルクメンバシ～アシガバット～マリー～トルクメナバットまでの東西回廊 1,176 km を対象とする。

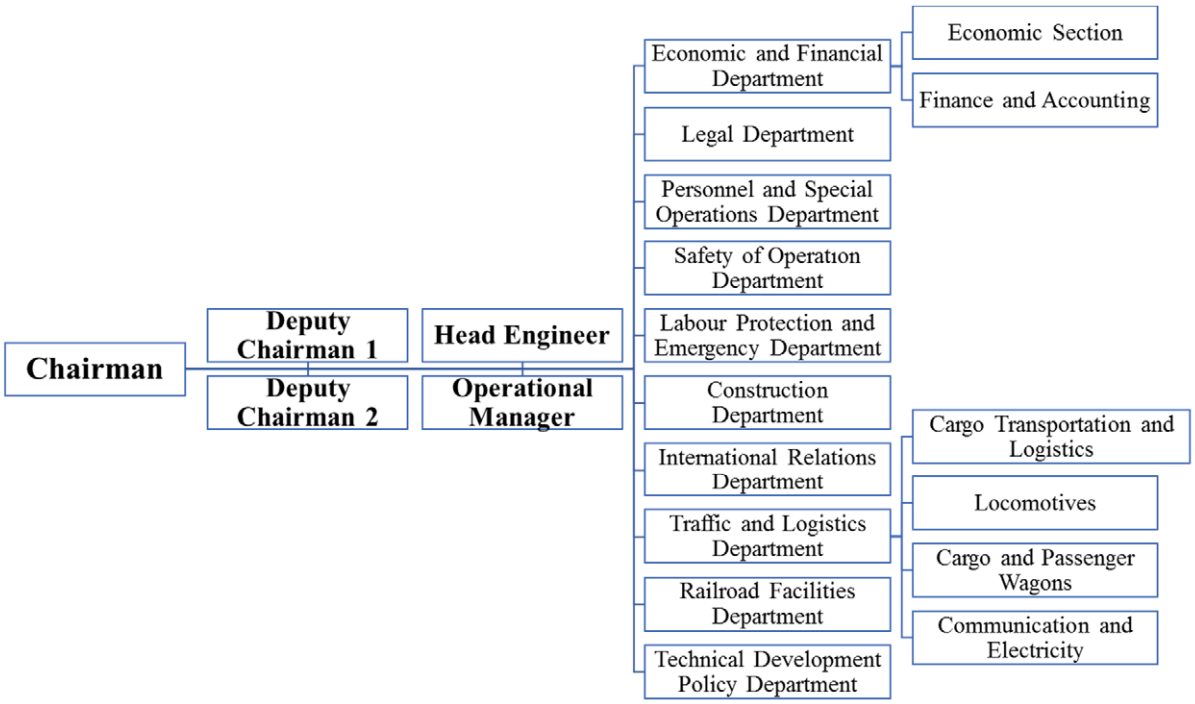


出典：鉄道運輸庁

図 3-1　トルクメニスタン国及び対象区間の路線図

3.2　組織

「ト」国鉄道運輸庁の組織図を図 3-2 に示す。



出典：鉄道運輸庁へのヒアリングをもとに調査団が作成

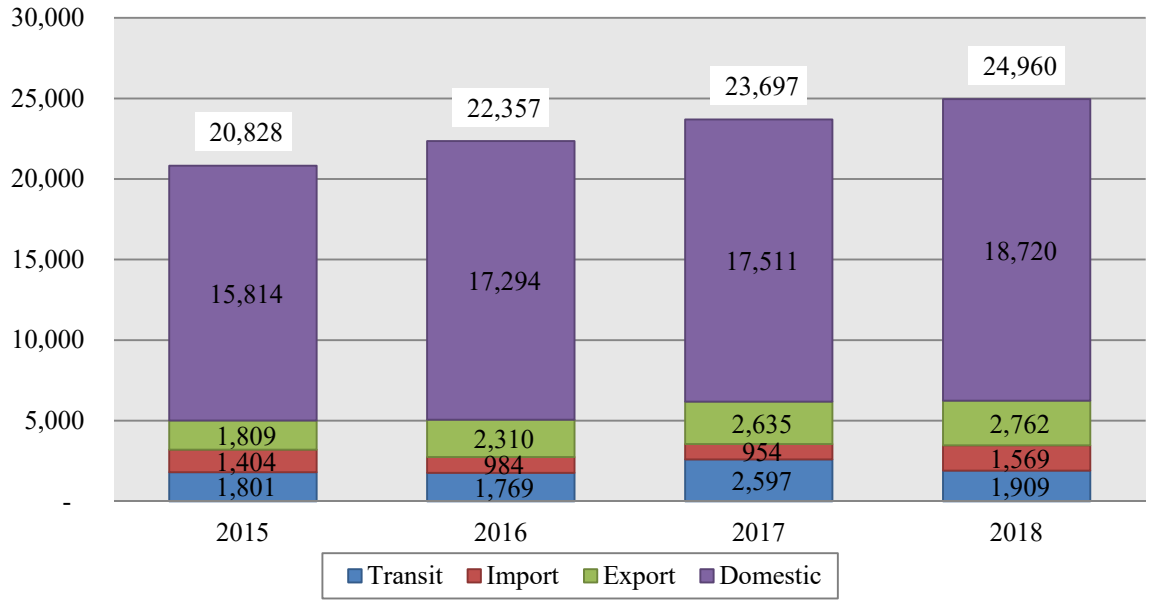
図 3-2　鉄道運輸庁の組織図

3.3　貨物・旅客需要の概況

3.3.1　貨物

(1)　国内、輸入、輸出、トランジットの割合

2015 年から 2018 年の鉄道で輸送した国内貨物と輸入貨物、輸出貨物、トランジット貨物の貨物量を図 3-3 に示す。鉄道で輸送している貨物全体の総取扱量は徐々に増加しており、その内訳は国内貨物の割合が最も高く約 80%である。

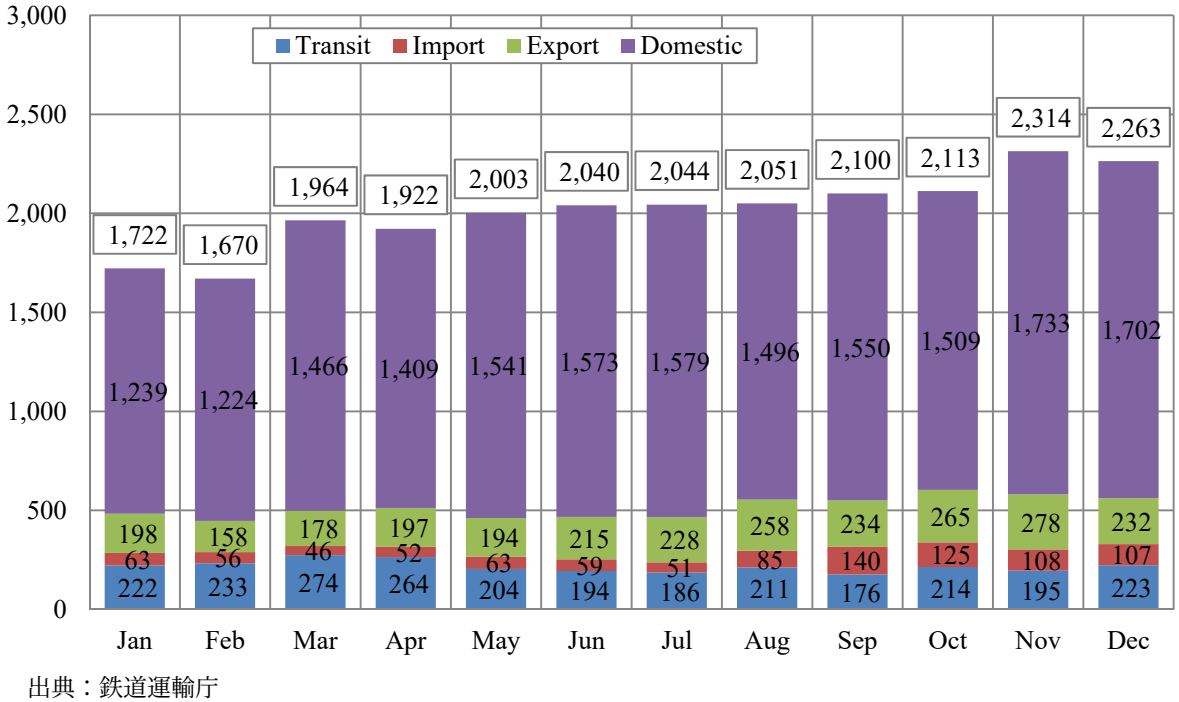


出典：鉄道運輸庁

図 3-3　2015 年から 2018 年のタイプ別の貨物量

(2)　月変動

2018 年に鉄道で輸送した貨物の月別・タイプ別の貨物量を図 3-4 に示す。トランジット貨物は 3 月の貨物量が最も多く、それ以外の貨物は 11 月の貨物量が最も多い。

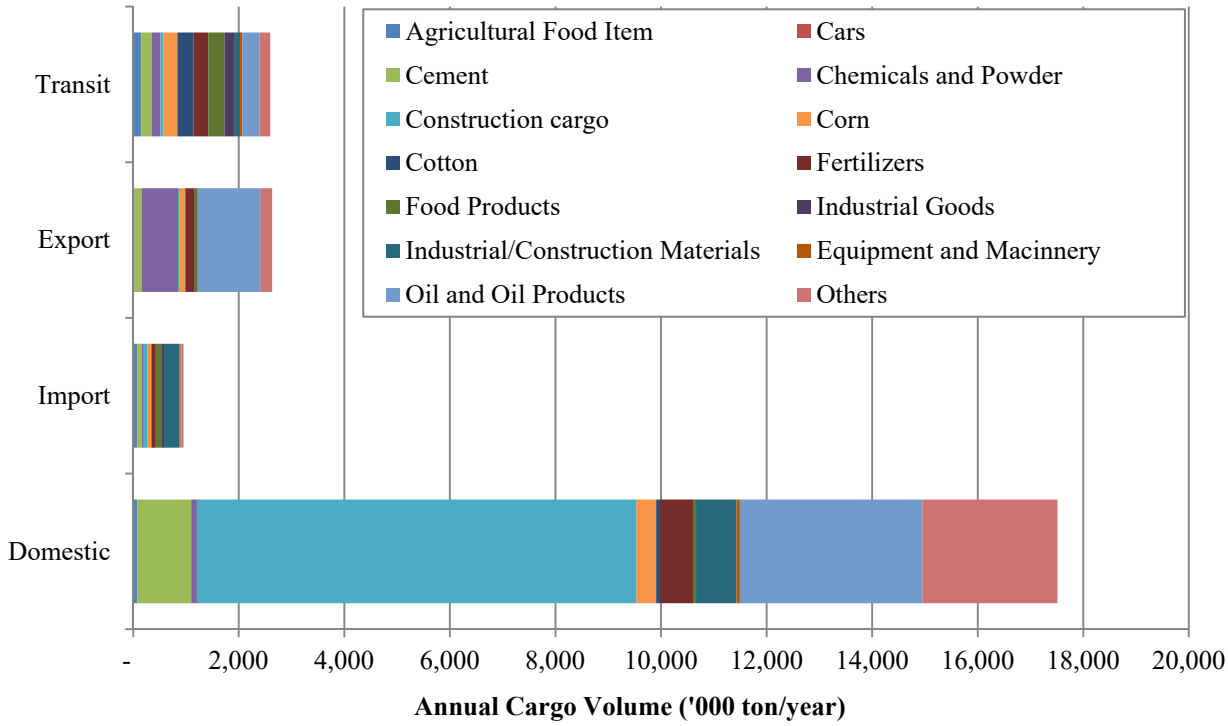


出典：鉄道運輸庁

図 3-4　2018 年の月別の貨物量

(3)　品目

本調査では、鉄道運輸庁から受領した国内貨物と輸入貨物、輸出貨物、トランジット貨物別・品目別の貨物データを、品目や貨物の荷姿を踏まえた 14 品目で再集計し分析を実施した。14 品目の内訳は、農作物、車、セメント、化学製品、建設資材、コーン、綿、肥料、食品、工業製品、工業建設資材、機械・機材、石油および石油製品、その他、である。このうち、国内貨物では建設資材、石油および石油製品の輸送量が多く、輸出では石油および石油製品が主な品目となっている。



出典：鉄道運輸庁

図 3-5　2018 年の品目別の貨物量

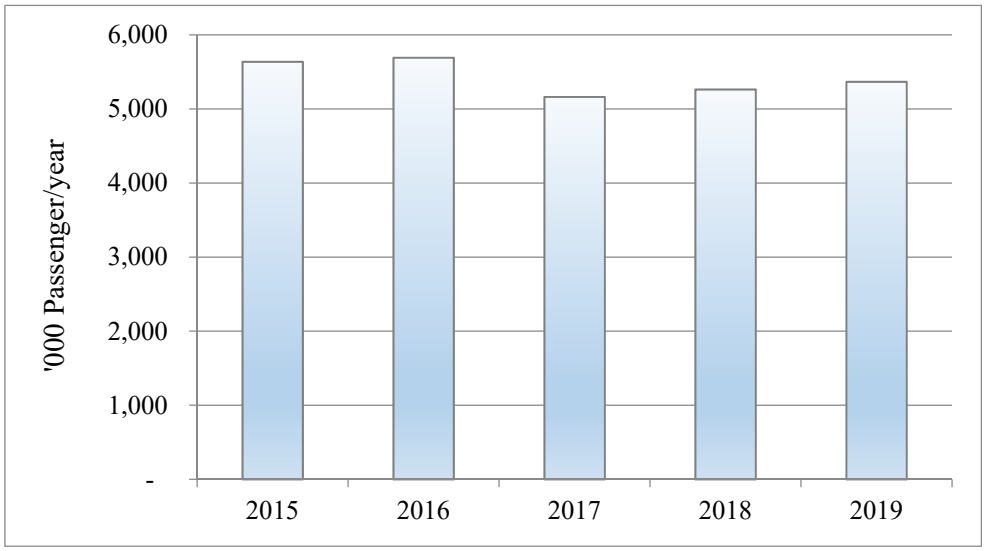
表 3-1　2018 年の品目別の貨物量（単位：'000 トン/年）

	Domestic	Import	Export	Transit	Sub-Total
Agricultural Food Item	74	72	12	147	305
Cars	2	2	0	5	9
Cement	1,021	90	145	201	1,457
Chemicals and Powder	110	39	694	164	1,006
Construction cargo	8,326	62	18	59	8,465
Corn	374	83	116	264	837
Cotton	74	0	7	303	385
Fertilizers	624	83	163	279	1,149
Food Products	57	102	57	309	524
Industrial Goods	2	53	8	181	243
Industrial/Construction Materials	765	294	3	112	1,175
Equipment and Macinnery	65	22	1	44	132
Oil and Oil Products	3,457	8	1,194	326	4,985
Others	2,560	45	216	204	3,025
Total	17,511	954	2,635	2,597	23,697

出典：鉄道運輸庁

3.3.2　旅客

「ト」国全体の 2015 年から 2019 年の総旅客数を図 3-6 に示す。2017 年に旅客数が減少したものの、その後は徐々に旅客数が増加している。



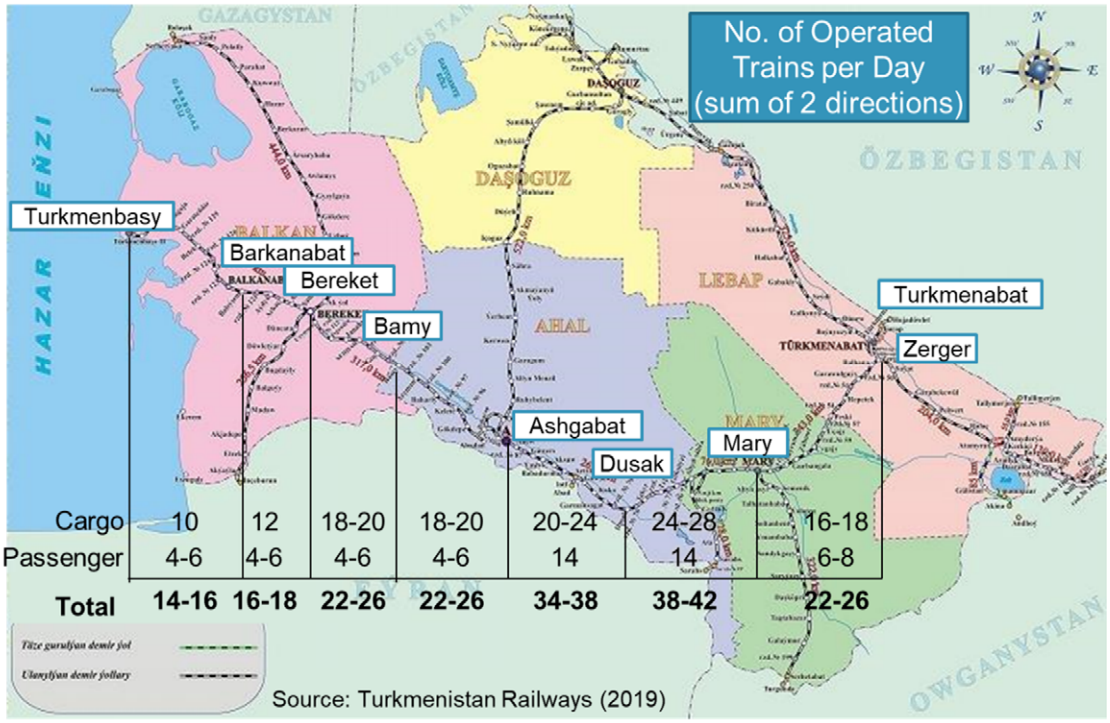
出典：鉄道運輸庁

図 3-6　鉄道の旅客数（2015～2019 年）

3.4　運行状況

現在の対象区間の列車運行本数を図 3-7 に示す。最も運行本数が多いのは Dusak とマリーの間であり、次いでアシガバットーDusak 間である。各区間とも貨物列車の運行本数の方が旅客列車の運行

本数よりも多い。旅客列車はほとんどが夜行列車として運行されており、昼間は貨物列車が運行されるケースが多い。



出典：鉄道運輸庁

図 3-7　対象区間セクションごと 2019 年の運行中の列車本数

貨物列車は、時刻表どおりにすべての列車を運行するわけではなく、採算性を重視して、駅で荷物を待ち、最大編成になった場合のみ発車させる運用を行っている。機関車が不在の時は、編成がそろうのを見計らって回送を要請する。最大けん引重量は 4200 トンであり、実質的な編成制限になっている。空車編成のような場合は、途中駅の交換線路の長さによる。このため、編成を準備、留置しておく線路が必要である。

運行管理は、列車集中制御装置（Centralized Traffic Control, CTC）により、中央指令所から信号制御している。全区間を７つに分けそれぞれ個室にしている。隣接部屋とは電話連絡、運転士とは無線で連絡する。トルクメンバシのような大駅については、現地の信号所で制御し、中央指令とやりとりしている。モニター画面と紙の整理ダイヤを照合して、運行状況をペンでダイヤにチェックしている。整理ダイヤには、列車運行図表のほか、中駅の着発線在線状況の欄もある。

機関車は、貨物用は運転台が両側２つあるものと片側１つのものを２両連結して使用、旅客用は運転台が両側２つあるものを１両で使用している。鉄道運輸庁によると中間部にある運転台でも運転できる。

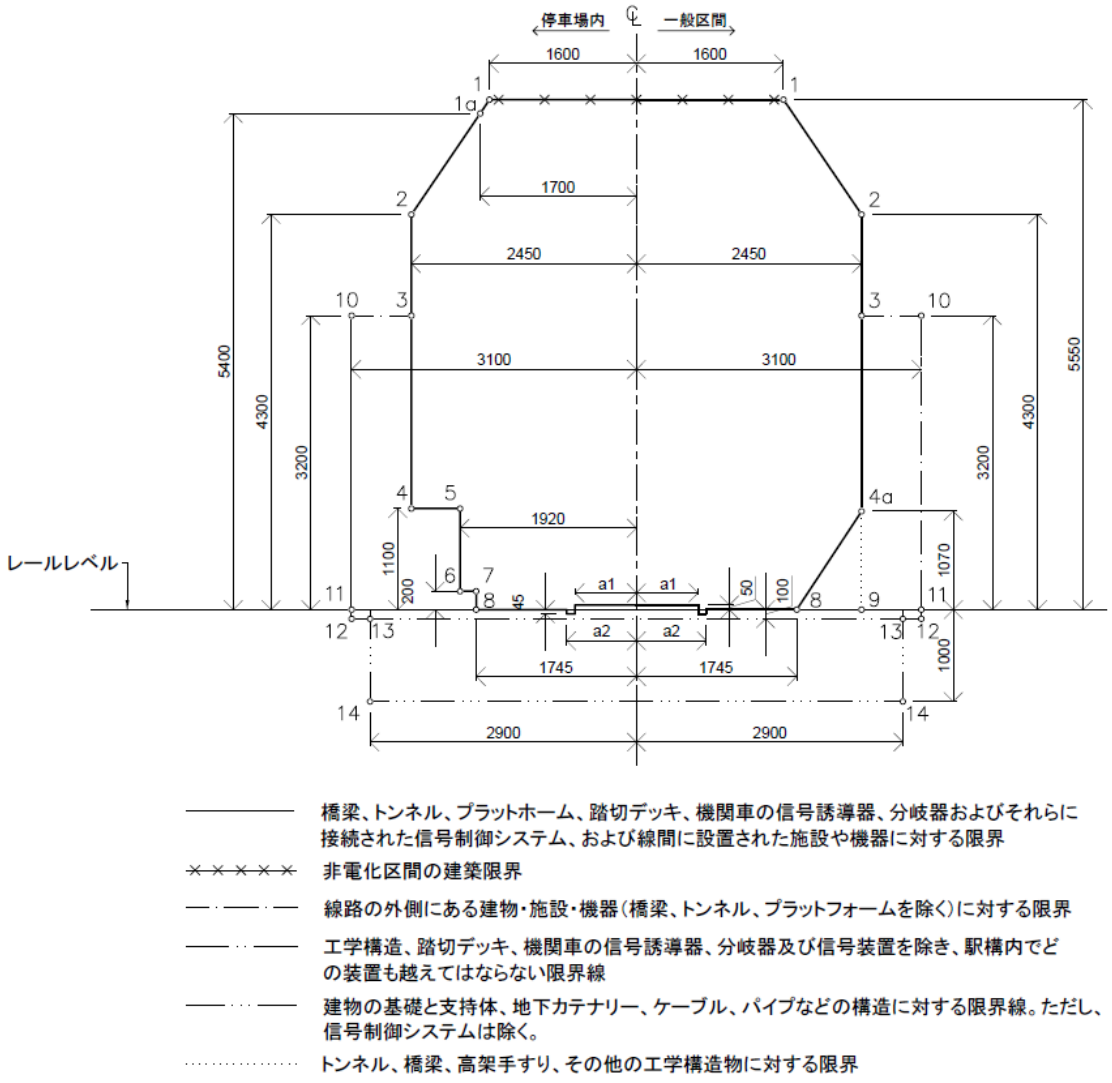
貨車は、空気ホース 1 本のみでつながっており、長編成になった時の空送時間（機関車からの減圧が最後部に到達し制動がかかり始めるまでの時間）と非常制動 800m 以内という条件を考えると、高速化のネックになる可能性が大きい。

3.5　土木施設

「ト」国では、鉄道土木施設の設計に対し、CIS 諸国やロシアで使用されている GOST 規格 (GOsudarstvennyy STandart, осударственный стандарт)（設計標準）が採用されている。

3.5.1　建築限界

「ト」国では、これまでに 3,550.9km に及ぶ鉄道網が整備されてきたが、そのすべてが非電化である。図 3-8 に、現在の非電化区間における建築限界を示す。



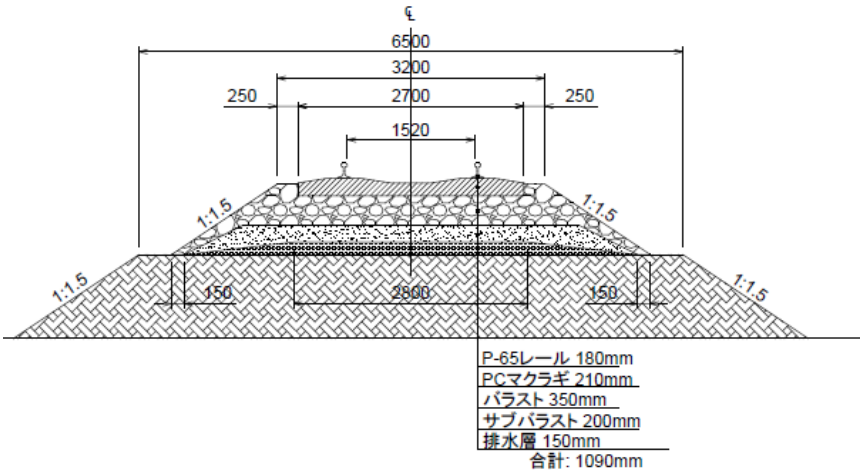
出典：鉄道運輸庁（非電化に係る部分のみ抜粋して作成）

図 3-8　非電化区間の建築限界

3.5.2　路盤及び軌道

(1)　現況の軌道構造、軌道線形に関する仕様

「ト」国で使用されている軌道は、軌間 1,520mm のバラスト軌道で、対象区間における標準軌道断面は図 3-9 に示すとおりである。



出典：鉄道運輸庁

図 3-9　現況の軌道標準断面図

バラスト軌道において、バラスト道床は、マクラギから伝わる作用を路盤に確実に伝える機能に加えて、軌きょうに適度な弾性を与える機能や、騒音振動を吸収するなどの機能を有しており、適切なバラスト厚を保持することは極めて重要である。現在の「ト」国の軌道は、マクラギ直下のバラスト厚として 350mm が確保されている。「ト」国における設計軸重は 25 トンと大きいものの、日本では標準通過トン数が年間 2,000 万トン以上の一級線でも、バラスト厚の基準は 250mm 以上あれば十分とされており、350mm のバラスト厚があれば十分にその機能を果たすことができると判断される。

一方で、道床肩幅は 250mm であり、日本の四級線で標準的に用いられる道床肩幅 350mm に比べても小さい。適切な道床肩幅は、列車走行時の横圧に抵抗するために必要であるため、詳細設計段階では現在の道床肩幅で問題ないか詳細に検討する必要があると思われる。

なお、サブバラストと排水層を合わせた路盤厚は、350mm であり、路床の軟弱化に伴う噴泥防止のために、一般的に必要とされる 300mm 以上が確保されていることが確認できる下記の図に、軌道構造及び軌道線形に関する現況の仕様を示す。

表 3-2　現況の軌道構造、軌道線形の仕様（トルクメナバット～トルクメンバシ間）

項目		内容	備考
軌間		1,520 mm	ロシア規格
最大軸重		25 トン	設計値
軌道	レール規格	65 kg/m レール	GOST 規格
	設計バラスト厚	350 mm	マクラギ直下
	レールジョイント	溶接又は継ぎ目板	最長 700m のロングレール
設計最高速度		120 km/h（旅客列車）	実際の最高運行速度は 70 - 80km/h 程度
最小曲線半径		R=504 m	
縦断勾配		15‰以下	
分岐器		9#、11#	

出典：調査団

(2)　現況の軌道と路盤の状況

上述のように、道床肩幅は横圧に対する詳細な検討が必要であるが、それ以外については、基準通りに整備されているならば、旅客列車が現在の設計最高速度である 120km/h で走行しても、特に問題となることはないと思われる。しかし、実際には軌道整備が十分なされておらず、十分な速度が出せない状況となっている。以下に、現地で確認された路盤及び軌道の状況を示す。

1)　路盤

路盤自体は 1885 年の開業から 130 年以上が経過しており、現在も軸重が 23 トンの中国製機関車（DF8B）が主に走行していることから十分に締固められていると考えられる。また、鉄道近代化後も、設計荷重はこれまでと同様であることから、路盤の改良は基本的には必要ないと判断される。しかし、実際には排水不良により、図 3-10 に示すような路盤噴泥が生じている箇所が現地調査で確認されている。

出典：調査団

図 3-10　路盤噴泥

2)　バラスト

バラストについては、図 3-11 に示すように、バラストが殆どなく土が見えている箇所やマクラギ端部においてバラストがマクラギ上端まで充填されていない箇所が散見された。バラストがマクラギ上端まで充填されていない箇所では、6 段配置されている PC ケーブルのうち半分にあたる 3 段の PC ケーブルが確認できる状態であった。バラストが殆どなく、粒径の小さい土等で軌きょうを支持している箇所では、列車の繰返し荷重による地盤破壊が進行しやすく、沈下が生じる可能性が高い。また、マクラギ上端までバラストが充填されていない箇所では列車の横圧に抵抗できないため、軌道狂いが生じやすく、高速度で列車を走らせることができない。従って、これらが原因で軌道狂いが生じ低速で運行せざるを得ない状況になっている可能性が高く、適切なバラストの整備が必要である。なお、バラストの採石場は図 3-12 に示す通り、「ト」国に 6 箇所存在する。

出典：調査団

図 3-11　バラスト不足箇所

出典：調査団、地図は Economic Cooperation Organization

図 3-12　バラスト採石場位置図

3)　マクラギ

マクラギは、基本的には PC マクラギが使用されており、分岐部では木マクラギが用いられている。マクラギ間隔は、現地で簡易的に測定した結果によると、25m 当たり 37 本程度以上が配置されており、通過トン数及び設計最高速度から勘案すると特段の問題はないと思われる。しかしながら、図 3-13 に示すようにマクラギが損傷している箇所も確認されており、日常のメンテナンスの中で早急に交換される必要がある。現在のマクラギ製作工場は、Baharly の 1 箇所のみであり、生産能力は 50 万個/年である。

出典：平成 27 年度「ト」国における交通システム実施可能性調査報告書（METI）

図 3-13　マクラギの損傷

4)　レール

現在のレールは、GOST 規格の 65kg レールで、長さ 25m（若しくは 12.5m）の定尺レールを溶接し、700m までロングレール化している。伸縮部には図 3-14 に示すように 12.46m、12.44m、12.40m のレールが挿入されている。鉄道近代化後も軸重の増加がないことを考えると、レールの規格は現在使用されている 65kg レールで特に問題ないと考えられる。しかし、実際にはレールの継ぎ目部の損傷（図 3-15）や軌道狂いが発生しており、それらの交換・改良が必要となる。

出典：調査団

図 3-14　「ト」国におけるロングレール

出典：調査団

図 3-15　レール端部の損傷

5)　軌道の維持管理

軌道の維持管理に関しては、鉄道運輸庁に Rail Maintenance Standard と Daily Maintenance Standard for Bridge and Tunnel の 2 種類の基準を有しており、「ト」国の 3,550.9km に及ぶ鉄道網で 4,952 人の作業員が保守作業に従事している。一方で、タンピング（バラストの突き固め）、レベリング（線路の高さ調整）、ライニング（線路の曲がりの修正）を一度に行うマルチプルタイタンパーは特殊運転手の費用が高いことなどの理由で 3 台しか保有しておらず、大規模改修を除き、基本的に人力により維持管理作業を行っている状況である。

6)　分岐器

本線の分岐器には、9 番分岐または 11 番分岐が使用されている。表 3-3 に示す通り、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間では合計で 327 個の分岐器が設置されている。

表 3-3　主要駅間毎の分岐器数

区間	分岐器設置箇所数
トルクメナバット ― マリー	90 箇所
マリー ― アシガバット	98 箇所
アシガバット ― トルクメンバシ	139 箇所
合　計	327 箇所

出典：鉄道運輸庁

(3)　現況の軌道線形

1)　曲線半径

添付資料-5 に、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間の全ての曲線に係る情報を、表 3-4 に曲線半径ごとに整理した曲線情報を示す。同区間の曲線数は、292 箇所であり、最小曲線半

径は R=504m である。また、半径 1,000m 以下の曲線は、全長 1,176km のうち 16 カ所と比較的少ない。

表 3-4　トルクメナバット～トルクメンバシ間の曲線情報

曲線半径	箇所数
504m≦R≦850m	10
850m＜R≦1,000m	6
1,000＜R≦2,000m	132
2,000m＜R≦3,000m	104
3,000m＜R≦4,000m	20
4,000m＜R≦6,000m	20
合計	292

出典：鉄道運輸庁

2)　縦断勾配

表 3-5 に、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間の縦断勾配を示す。縦断勾配は、15‰以下である。

表 3-5　トルクメナバット～トルクメンバシ間の縦断勾配

No.	区　間	区間長 [km]	内訳					
			水平区間 [km]	傾斜区間 [km]	縦 断 勾 配			
					4 ‰ 以下	4,1 - 8 ‰	8,1 - 15 ‰	15 ‰ 以上
1	トルクメナバット ― マリー	252	68.2	175	117.5	55.2	2.3	0
2	マリー ― アシガバット	344	68.6	275.1	204	68.6	2.5	0
3	アシガバット―トルクメンバシ	580	120.4	439.6	304.5	121.5	13.6	0
	合計	**1,176**	**257.2**	**889.7**	**626**	**245.3**	**18.4**	**0**

出典：鉄道運輸庁

3.5.3　橋梁・排水カルバート

(1)　鉄道橋

添付資料 6 に、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間における鉄道橋の一覧を示す。2008 年に建設された橋梁や現在改修中の橋梁もあるが、多くの橋梁は 1885～1920 年に建設されており、100 年近く経過している。なお、対象区間に存在する橋梁の主な上部工の形式を以下に示す。

- 鋼製下路式トラス桁
- 鋼製下路式プレートガーダー
- 鉄筋コンクリート桁
- プレストレストコンクリート桁

鋼製下路式トラス桁

鋼製下路式プレートガーダー

鉄筋コンクリート桁

プレストレストコンクリート桁

出典：調査団

図 3-16　上部工構造

1)　鋼製下路式トラス桁の水平補強材

鋼製下路式トラス桁の出入り口部及び中間部には、図 3-17 に示すように水平補強材が設置されている。鉄道が架線電化される場合には、非電化の場合よりも建築限界が高くなるため、レールレベルから水平補強材までの高さを把握することは極めて重要であるが、本調査では、対象区間内の下路式トラス橋におけるクリアランス測定はできていない。そのため、今後実施される追加調査または詳細設計で、全箇所測定することが必要である。なお、対象区間外ではあるが、図 3-18 に示すトルクメナバット～ファラブ間のアム・ダリヤ川に架かるトラス橋で参考に測定したところ、レールレベルから水平補強材までの高さは 6.784m であった。

出典：調査団

図 3-17　鋼製下路式トラス桁の水平補強材

出典：調査団

図 3-18　アム・ダリヤ川に架かるトラス橋のクリアランス（参考）

(2)　ボックスカルバート、パイプカルバート

添付資料 7 に、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間における排水カルバートの一覧を示す。なお、以下に排水カルバートの主な構造形式を示す。

- ボックスカルバート
- パイプカルバート

ボックスカルバート

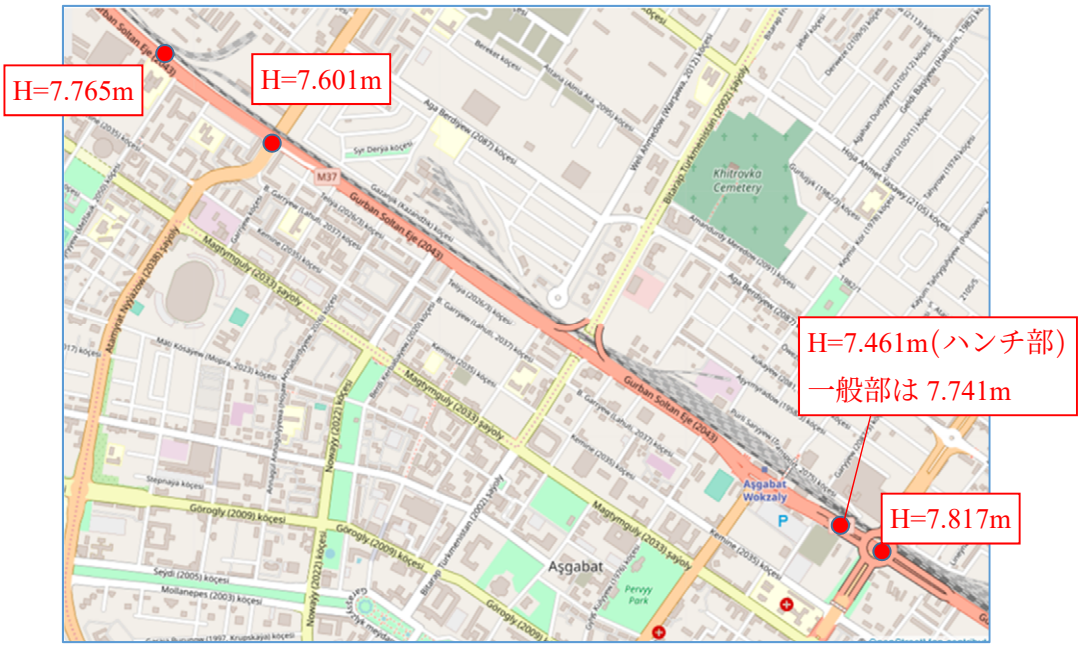
出典：調査団

図 3-19　排水カルバート

3.5.4　跨線橋

(1)　跨線道路橋

トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間の特に都市部においては、鉄道との平面交差を避けるために、跨線道路橋が架設されている。前述の通り、鉄道が架線電化される場合には、建築限界が高くなるため、レールレベルから跨線道路橋の底面までの高さを把握することは極めて重要であるが、今回の現地調査ではアシガバット駅周辺の 4 箇所の跨線道路橋以外でのクリアランスの測定はできていない。そのため、今後実施される追加調査または詳細設計では、対象区間全てのクリアランスを測定することが必要となる。なお、図 3-20 に示すアシガバット駅周辺の 4 箇所の跨線道路橋に対して行ったクリアランス測定では、レールレベルから道路橋下面までの高さは最も低い箇所で 7.461m であることが確認されている。



出典：調査団、地図は Open Street Map

出典：調査団

図 3-20　アシガバット付近の跨線道路橋のクリアランス

(2)　跨線人道橋

添付資料 8 にトルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間の跨線人道橋リストを示す。トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間では、合計で 7 箇所の跨線人道橋が存在している。なお、アシガバット駅構内で行ったクリアランス測定では、レールレベルから人道橋下面までの高さは 7.296m であった。今後行われる追加調査または詳細設計では、対象区間の全ての跨線人道橋のクリアランスについて調査を行い、電化に伴う改修が必要かどうか検討することが必要である。

出典：調査団

図 3-21　アシガバット駅構内の跨線人道橋のクリアランス

3.5.5　踏切

添付資料 9 にトルクメナバット駅～アシガバット駅～トルクメンバシ駅間の踏切リストを示す。トルクメナバット駅～アシガバット駅～トルクメンバシ駅間には 99 箇所の踏切が存在し、そのうちの 32 箇所では保安装置が設置されている。保安装置は、今回現地調査した範囲では、図 3-22 に示すように自動遮断機タイプと自動の車道跳ね上げタイプの 2 種類が確認されている。

出典：調査団

図 3-22　踏切（左：自動遮断機タイプ、右：車道跳ね上げタイプ）

3.6　貨物駅・旅客駅

3.6.1　貨物駅

貨物駅には貨物専用駅と旅客と貨物で併用している駅がある。調査対象区間のうち、主要な貨物用の駅であるキプチャック駅とトルクメンバシ１駅及びトルクメンバシ２駅について現場調査を行った。現場調査の結果概要を以下に示す。

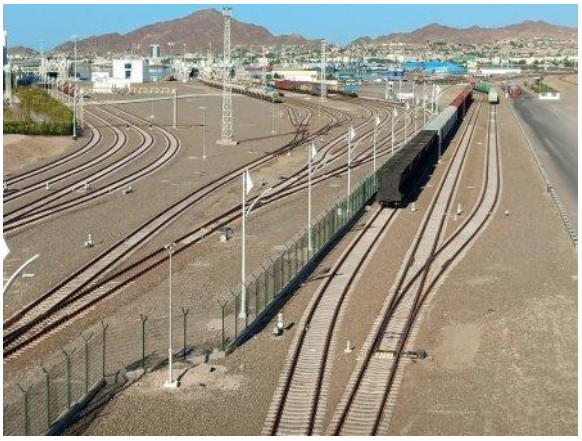
(1)　キプチャック貨物駅

- 1 面 2 線のコンテナホームと、バルクエリアがある。レール輸送車を使用してコマツ製重機等の輸送も行っている。
- ガラスの輸送を行っており、カラコルム砂漠の砂を原料として製造されているとのことだった。その他鋼材も輸送されている。
- レバプ州からの電柱（断面が長方形）も取り扱っている。
- コンテナホームでの荷役は、クレーンを基本としているが、フォークリフトで行うこともある。クレーン荷役では、四隅にワイヤーを引っかけて吊る方式で、無蓋コンテナからは、コンテナをホームに卸すことなく、直に出し入れしている。
- カザフスタン等外国向け引越しコンテナ輸送の場合、税関職員が来駅、送り人立会のもと積み荷を確認して、その場で施封する仕組みになっている。
- コンテナや積み荷の積卸に時間がかかっている。輸送量を抜本的に増加させるには、荷役時間を短縮して荷役線の回転数をあげるか、新たにホームを増設させる必要がある。

(2)　トルクメンバシ１駅・トルクメンバシ２駅

- 港と直結し、アゼルバイジャンとの航送貨物の輸送や、船積みからの貨車への積み換えをしているトルクメンバシ１駅と、石油化学工場に隣接し、ガソリン、ディーゼルエンジン用燃料、航空機用燃料の輸送を主としているトルクメンバシ２駅がある。
- １駅、２駅それぞれに信号扱所があり、それぞれ２班のデスパッチャーがおり、列車の着発と駅構内操作に分かれて信号操作をしている。着発を管理している係は、中央指令とやりとりしながら、列車の到着と出発の信号操作を行い、出発線に編成を組成したり、到着線を空線にするのを含め構内入換作業は、駅構内担当で、構内係員への指示は無線によっている。新しいトルクメンバシ１駅は１フロア、古いトルクメンバシ２駅は 2 部屋に分かれて作業している。
- トルクメンバシ２駅には、検修庫があり、機関車のライトメンテナンスを実施している。列車出発用に３線あり、工場から出場してきた貨車を置いている。返ってきた空車の中身を洗浄して工場に入れる。
- 駅構内入換用にディーゼル機関車のスイッチャー３両（うち 1 両は予備）、バルカナバットとの輸送用に本線機を３両使用している。機関車が不足するときは、機関車だけ回送されるときもある。
- トルクメンバシ１駅は、貨車の留置（積みかえ）する線路に余裕があるように見える。トルクメンバシ２駅は、現在のピークでいっぱい満杯になる（収容能力８００両～９００両）とのことなので、今後の抜本的な増送（列車本数の増加）のためには、列車着発線の増強、

工場内の積み込み時間の短縮か積み込み設備の増強、貨車洗浄の能力アップが必要と思われる。



トルクメンバシ 1 駅

トルクメンバシ 2 駅

出典：調査団

図 3-23　トルクメンバシ貨物駅

3.6.2　旅客駅

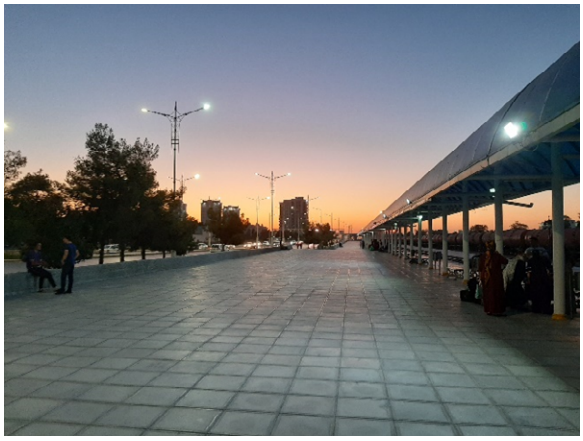
既存駅舎は、この何年間の内に建て替えられたばかりであり、比較的良い状態である（図 3-24）。駅ではプラットホームに入るための改札は無く自由に出入りできるようになっており、プラットホームで行っている。プラットホームについては、アシガバット駅、ベレケット駅、バルカナバット駅など一部の駅では、高床ホームとなっており段差無く車両へ乗り込むことができるが、トルクメンバシ駅などはプラットホームが低く、車両乗車口との間に段差が生じている（図 3-25）。

トルクメンバシ駅

トルクメナバット駅

出典：調査団

図 3-24　旅客駅



アシガバット駅

トルクメンバシ駅

出典：調査団

図 3-25　旅客プラットホーム

3.7　信号・通信

鉄道運輸庁からの聞き取り調査の概要を以下に示す。

- 対象区間の信号・通信システムは 1970 年頃導入されたシステム（ボンバルディア製）であるため改善が必要である。
- アシガバット駅、ベレケット駅は信号と通信共に新しい装置である。
- トルクメンバシ駅の通信設備は新しい装置である。
- 全長 700km 以上の光ファイバーケーブルを敷設しおり、現在の使用率は約半分である。今後、アシガバット～トルクメナバットまで光ファイバーケーブルを引く必要がある。
- 通信回線は通信省と協力して運用している。
- 運行管理システムによってセンターから指令員が列車の運行管理を行っている。
- 30 人の指令員と 4 人のリーダーが在籍し、12 時間交代により 7 人で運用している。
- トルクメンバシ駅は、駅にて管理している。
- 信号と通信設備を改善するプログラムは、現在計画されていない。
- 電化時に新しい信号・通信システムを導入するのを期待している。
- 信号・通信システムの交換部品が問題であり、故障時に交換部品を探すことに苦労している。
- ベレケット～カザフスタンおよび、ベレケット～イランへの路線には新しい信号と通信のシステム装置を導入した（ボンバルディア製）。

3.7.1　信号

聞き取り調査によると軌道回路は概ね 1.5km であり、信号機が設置されている。列車検知装置はロシア式の複数種類の装置が導入されているが、各種設備の数量については情報が入手できなかった。信号機は柱上の設置、構内の地上設置が見られる。2 現示または 3 現示である。設置の基準や標識の用途については今後の調査にて確認が必要である。連動装置は今回の調査では実機調査は調査対象外とした。対象線区には大きな駅から行き違いのための停留所まで様々な規模の駅がある。また、いくつかの駅では線路が周辺の工場やプラントと接続されている。

トルクメバシ駅での調査は操作室だけであり、操作盤の表示を確認した。トルクメバシ駅は比較的新しい設備を導入している。留置線の進路制御は駅にて行っている。

運行管理システムについては、アシガバットに中央指令所がある。システムが導入されたのは 1980 年頃であり、現地からはシステム更新の希望がある。中央指令所からコントロールしている区間や 2 つの区間に跨る列車の運用に関する詳細な情報収集は今後必要である。

今後、より詳細なト国全体のシステム構成、運行の分担、制御範囲が分散されている場合は運転取り扱いを確認する必要がある。また、今後の速度向上と運転計画の効率化により、同時に運転される列車本数が大幅に増えるため、既存システムの仕様における上限を確認する必要がある。同時運行本数、駅数、運転整理機能、ダイヤ作成および修正機能、線形変更への対応可否（複線化および駅構内の線形変更）。

3.7.2　通信

通信設備については「ト」国全体でのケーブル延長の情報は入手したが、調査対象区間のネットワークの構成については情報提供を受けていない。一部の施設では光ファイバーが導入されている。駅の内部ではネットワークカメラによる監視も行われている。駅やコントロールセンターと列車間の通話に使用している通信仕様の種類や詳細は不明であった。既存の光ファイバーケーブルの使用状況についてまだ余裕はあるが、さらなる光ファイバーケーブルの新規敷設によるネットワーク化を要望している。

3.8　車両、車両基地・車両工場

3.8.1　車両数

表 3-6 に「ト」国が所有する車両数を示す。

表 3-6　「ト」国が所有する車両数

車両種別	用途	形式	製造国	両数
ディーゼル機関車 軌間（track gauge） 1,520mm	貨物列車用	2TЭ10Y	Ukraine	6
		DF4B(CKD9C)	China	38
		DF8B(CKD9C)	China	46
		TE33A	Kazakhstan	1
		（計）		（91）
	旅客列車用	DF8B(CKD9C)	China	25
		（計）		（25）
	入換用	CKD6E	China	56
		CME-3	Czechoslovakia	12
		TEM-2	Russia	1
		TEM-18	Russia	11
		TGM-4a	Russia	1
		TGM-4b	Russia	1
		TGM40-01	Russia	1
		（計）		（83）
	機関車合計			199
貨車			Russia・Ukraine	11,065
客車			Russia, Germany, China	519

出典：鉄道運輸庁（2019.12.23 時点）

※※貨物列車用ディーゼル機関車は 2 両連結タイプで、動輪の数は 12 軸となっている。

※旅客列車用ディーゼル機関車は 1 両のみで、動輪の数は 6 軸となっている。

※新たに導入された中国製の機関車は、デイーゼル発電機方式となっており、直流モーターによって駆動されている。

機関車モデル TE33A キルギスタン製（貨物列車用）

機関車モデル CKD9C 中国製（貨物列車用）

機関車モデル CKD6A 中国製（旅客列車用）

出典：鉄道運輸庁

図 3-26　現在使われている主な機関車

3.8.2　検査種別と検査周期

検査種別と検査周期について表 3-7 に示す。

表 3-7　検査種別と検査周期

車種別	検査種別	検査周期	検査時分
ディーゼル機関車	Locomotives　technical maintenance inspection No.1 is the daily visual inspection		
	Locomotives　technical maintenance inspection No.2(regular)	Every 200km～ 600km	3 hours
	Locomotives　technical maintenance inspection No.3(periodic)	Every 20,000km	18 hours
	Locomotives technical repair work No.1	Every 60,000km	36 hours
	No 2 was existed before , now this inspection is not carried out		
	Locomotives technical repair work No.3	Every 300,000km	14 working days
	Major repair work(overhauling)	Every　900,000km　～ 960,000km	Done outside Turkmenistan, send to abroad (to the manufacture), so duration is unknown
貨車	When they stop at a station, the train will be inspected at station		
	Up to 12months (for more than 20 years old) or 24(for new ones) or 36 months (for brand new) the wagons can be used or 210,000km which one reach faster.		8～9 hours (1 working day)

出典：鉄道運輸庁
注：上記は本線機関車用で、駅での入換用の機関車は別の基準が適用される。

3.8.3　車両基地・車両工場における車両種別

車両基地・車両工場における担当車種を表 3-8 に示す。

表 3-8　車両基地・車両工場における担当車種

配置箇所	担当車種別	
	貨車	ディーゼル機関車
トルクメンバシ	○	○
ベレケット		○
セルダール	○	
アシガバット	○	○
DUSAK		○
SARAHS		○
マリー	○	○
AMYDERIYA		○
トルクメナバット	○	○
ダショグズ		○
（計）	（５）	（９）

出典：鉄道運輸庁

※※貨車のオーバホールはセルダールで行われている。

※機関車のオーバホールはロシアへ委託されている。

4．基本計画の策定

4.1　関連計画のレビュー

鉄道の将来の需要予測に影響を与える可能性がある関連計画についてレビューを行った。大統領府が発行した「2019-2025 年のトルクメニスタン大統領府の社会経済開発計画」という国家計画には、将来の主要な開発プロジェクトのリストが掲載されており、開発が予定されている大規模工場等について記載されている。 将来の需要予測にあたって計画に掲載されている工場の場所及び製品について考慮した。鉄道運輸庁も 2019 年～2025 年の貨物輸送の計画を策定しており、この中で示されている目標は将来のシナリオの設定に使用した。

「2019-2025 年のトルクメニスタン国産業および通信セクター計画」では、貨物の輸送時間を短縮する（つまり、列車の平均速度を上げる）ために、現在の鉄道システムとインフラストラクチャの近代化が計画されている。貨物輸送及び旅客の移動の改善するために、以下の改良が必要であると示されている。

- 最新のテクノロジーの適用
- 有能で熟練した人材の育成
- 既存の鉄道施設の近代化
- デジタル化された管理および販売システムの導入
- 環境にやさしい鉄道車両（排気ガスがクリーンな機関車など）の導入
- 鉄道の電化による環境改善
- 国際基準を満たすコンクリート枕木の設置

4.2　需要予測

4.2.1　はじめに

「ト」国の貨物は、国内貨物と輸入貨物、輸出貨物、トランジット貨物の 4 つのタイプに分類される。本調査では、貨物の将来需要予測に先立ち、品目別の駅間 OD データの入手を試みたが、鉄道運輸庁はトランジット貨物を除く鉄道貨物の品目別駅間 OD データを有していないことが明らかとなった。そのため、本調査では、本調査期間で入手できたデータを最大限に活用することで、鉄道貨物の需要予測を実施している。今後、詳細な検討を行う際には、本調査では入手が出来なったデータの入手も視野に入れた、より詳細な需要予測を実施することが望ましい。

一般的に、貨物量の伸びと国内総生産(GDP)成長率は相関があることが知られており、本調査では、「ト」国の過去のタイプ別貨物量の増加量と GDP 成長率の相関を活用することで、将来の需要予測を実施した。具体的には、ノントランジット（国内、輸入、輸出）貨物は「ト」国の GDP 成長率、

トランジット貨物は「ト」国を含む「ト」国の近隣諸国の GDP 成長率を算定し、その GDP 成長率とタイプ別の貨物量の増加率の比から弾性値を算定し、その弾性値を用いて将来の需要予測を実施している。旅客の需要予測については、旅客数の増加率と人口増加率の弾性値を適用している。なお、品目別駅間 OD データが入手できなかった国内貨物、輸入貨物、輸出貨物は、駅別品目別貨物量と駅間距離の逆数を使ったフレーター法により、品目別駅間 OD を推計し、それを基に弾性値による需要予測を実施した。

4.2.2　需要予測の条件

(1)　社会経済フレーム

本需要予測の社会経済フレームワークは、「ト」国政府の協議・承認を経てからデータを公開している国際通貨基金のデータを基本として用いることとした。

1)　「ト」国および近隣諸国の GDP

GDP 成長率を需要予測に活用するにあたり、「ト」国および近隣諸国の GDP を整理した。国内貨物、輸入貨物、輸出貨物の需要は「ト」国の GDP 成長率と強い相関を有しているが、トランジット貨物は「ト」国だけでなく近隣諸国の経済成長の影響を強く受ける。そのため、トランジット貨物の需要予測にあたっては、「ト」国に隣接する中央アジア地域協力プログラム（CAREC）の加盟国に加え、中国とトルコも含めた GDP 成長率を基に弾性値を算定した。

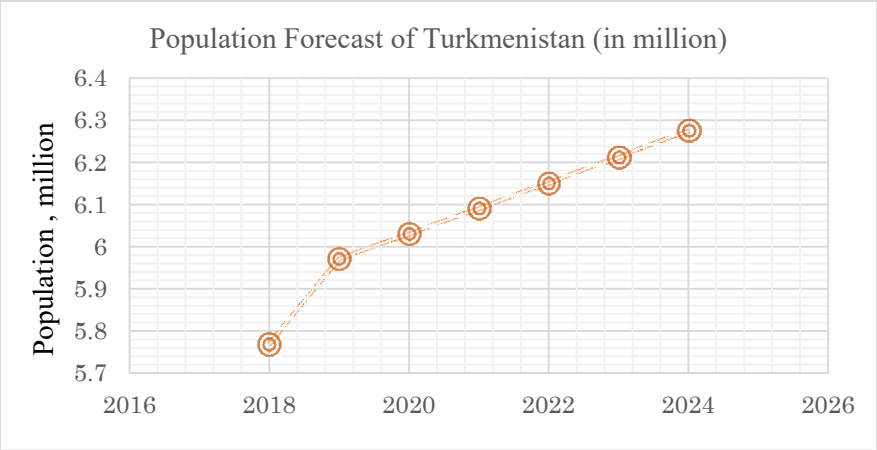
表 4-1　「ト」国および近隣諸国の実質 GDP（2010 年価格、10 億 US ドル）

Country	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Afghanistan	20.7	21.0	21.6	22.3	23.2	24.3	25.5	26.9
Azerbaijan	56.6	57.4	59.3	61.1	62.4	63.4	64.4	65.5
China	10,131.9	10,800.6	11,481.0	12,181.3	12,912.2	13,648.2	14,412.5	15,205.2
Georgia	15.9	16.7	17.4	18.3	19.3	20.3	21.3	22.4
Kazakhstan	196.0	204.1	210.6	217.3	224.5	231.9	242.6	253.5
Kyrgyz Republic	6.6	6.9	7.1	7.4	7.6	8.0	8.3	8.6
Pakistan	240.9	253.9	261.3	268.6	276.1	283.6	291.0	298.2
Tajikistan	9.1	9.8	10.3	10.7	11.2	11.7	12.2	12.7
Uzbekistan	63.5	66.8	70.1	74.0	78.4	83.1	88.1	93.4
Iran	560.9	581.9	547.0	548.1	553.1	558.6	564.2	570.4
Turkey	1,206.0	1,237.0	1,206.1	1,236.2	1,273.3	1,311.5	1,357.4	1,404.9
Turkmenistan	42.1	44.7	47.6	50.4	53.2	56.2	59.4	62.8

出典：2017-2018 World Bank (https://data.worldbank.org/); 2019~2024 Growth Rate of 国際通貨基金

2)　「ト」国の人口

需要予測に用いた国際通貨基金の将来人口の予測値を図 4-1 示す。2018 年から 2024 年の人口は、1 年間の平均で 1.41%増加すると予測している。



出典：国際通貨基金

図 4-1　トルクメニスタン国の将来人口

(2)　需要予測の推計年次

本調査では、2025 年（短期）および 2040 年（中期）、2055 年（長期）を推計年次とした。なお、今後詳細な調査を実施する際には、最新の旅客データと貨物データ、経済状況に基づいて、本調査で算定した将来需要についても再度レビューすることが望ましい。

(3)　将来需要の増加率

1)　シナリオ設定

鉄道貨物の需要予測では、本調査の中で得られたデータとそれに基づく検討の結果、3 つのシナリオを設定した。

a)　シナリオ 1

シナリオ 1 は、鉄道運輸庁が設定している 2020 年から 2025 年の目標値から、鉄道貨物の増加率を算定し、2025 年以降も同じ増加率で鉄道貨物が増加すると仮定した。その結果、年平均成長率（AAGR）は 1.64%となった。

b)　シナリオ 2

シナリオ 2 は、鉄道運輸庁の 2015 年から 2018 年の鉄道貨物量の実績値から増加率を算定し、同じ増加率が 2055 年まで続くと仮定した。その結果、年平均成長率（AAGR）は 3.22%となった。

c)　シナリオ 3

シナリオ 3 は、鉄道運輸庁の過去の貨物量と GDP 成長率から弾性値を算定し、今後も同じ傾向で 2055 年まで貨物量が増加すると仮定した。過去と将来の GDP については、前述のとおり、国際通貨基金の公表値を適用している。

ノントランジット（国内、輸入、輸出）貨物の弾性値の算定式は以下のとおり。

$$\text{弾性値 1 } (e1) = \frac{\text{ノントランジット貨物の変化率 (\%)}}{\text{「ト」国の GDP の変化率 (\%)}}$$

ノントランジット貨物の弾性値の算定式は以下のとおり。

$$\text{弾性値 1 } (e2) = \frac{\text{トランジット貨物の変化率 (\%)}}{\text{「ト」国及び近隣諸国の GDP の変化率 (\%)}}$$

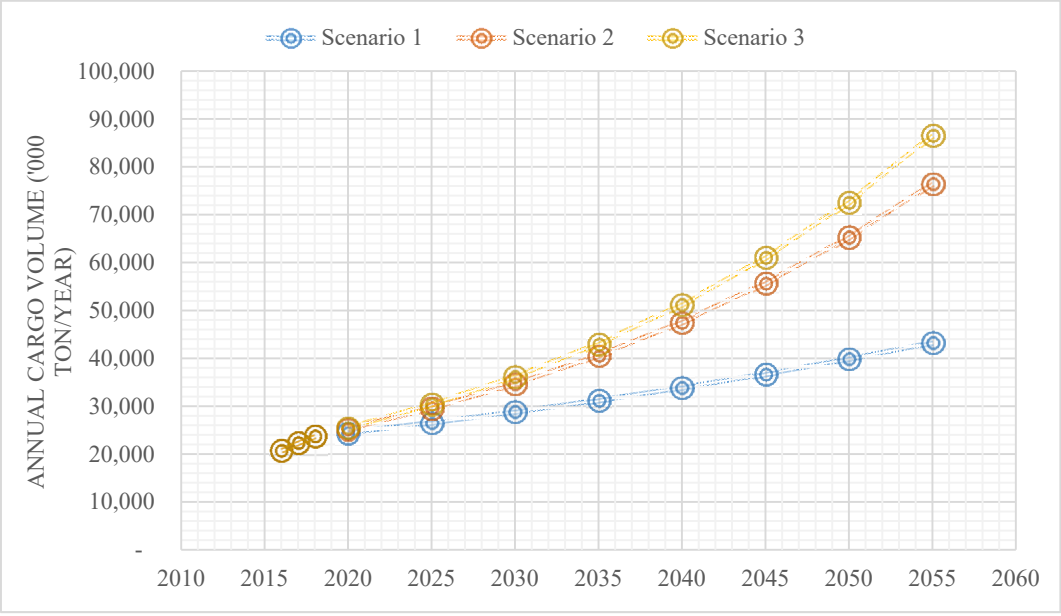
表 4-2　弾性値の計算結果

	GDP Growth (AAGR)			Elasticity Value (e)	Adjusted Growth Rate (AAGR*e)		
	2019-20	2021-25	2026-55		2019-20	2021-25	2026-55
Transit	5.11%	5.21%	5.13%	0.72	3.66%	3.73%	3.67%
Export	6.15%	5.64%	5.70%	0.62	3.82%	3.50%	3.54%
Import	6.15%	5.64%	5.70%	0.62	3.82%	3.50%	3.54%
Domestic	6.15%	5.64%	5.70%	0.62	3.82%	3.50%	3.54%

出典：調査団

2)　シナリオの選定

設定した 3 つのシナリオの将来の貨物量の推計結果を図 4-2 に示す。



出典：調査団

図 4-2　シナリオ別の貨物量の予測結果

シナリオ 3 は、鉄道貨物輸送量の実績値と過去の GDP 成長率の相関性、「ト」国が承認している将来 GDP、「ト」国の近隣諸国の将来 GDP を踏まえて設定している。また、余裕を持った施設設計を行うため、以下ではシナリオ 3 の需要予測結果を基に検討を実施する。

(4)　産業開発にともなう将来需要

前述のシナリオに加え、4.1 に記載した「ト」国政府の将来の産業計画（“Socio-economic Development Plan of the President of Turkmenistan for 2019-2025”）、日本企業の新規工場の計画を踏まえ、品目別に将来の貨物需要の調整を行った。需要予測に考慮した工場リストは表 4-3 に示す。

表 4-3　将来需要予測で考慮した工場のリスト

案件	カウンターパート	場所	製造量
ガス火力発電所設備	国営電力公社トルクメンエネルゴ	レバプ州	・ 発電容量 400MW
化学肥料プラント設備	国営化学公社トルクメンヒミヤ	バルカン州	・ アンモニア(2,000 ﾄﾝ/日) ・ 尿素(3,500 ﾄﾝ/日)
エチレンコンプレックス設備	国営ガス公社トルクメンガス	バルカン州	・ エチレン（40 万ﾄﾝ/年） ・ 高密度ポリエチレン（40 万ﾄﾝ/年） ・ ポリプロピレン（8 万ﾄﾝ/年)
Gas to Gasoline プラント設備	国営ガス公社トルクメンガス	アハル州	・ 高品質ガソリン（60 万ﾄﾝ/年）
硫酸製造プラント設備	国営化学公社トルクメンヒミヤ	レバプ州	・ 硫酸（50 万ﾄﾝ/年）
アンモニア及び尿素肥料製造プラント機器	トルクメニスタン国営化学会社	マリー州	・ アンモニア（40 万ﾄﾝ/年） ・ 尿素（64 万ﾄﾝ/年）

出典：Socio-economic Development Plan of the President of Turkmenistan for 2019-2025 及び鉄道運輸庁へのヒアリング結果

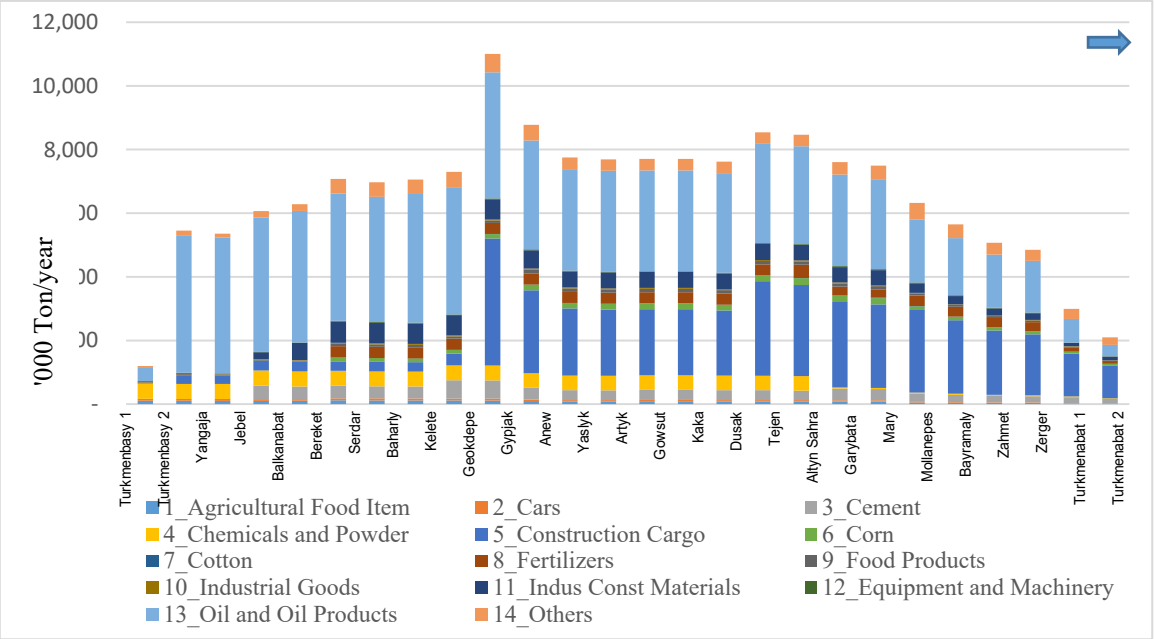
(5)　旅客の需要

旅客の需要予測は、過去の旅客データと１日の列車の運行本数、将来の人口増加率を基に実施した。また、鉄道プロジェクトの実施後は、現在よりも運行速度の速い 10 両編成で各車両の平均旅客数は 63 人（乗車率 90%）の昼行列車が運行されると想定した。約 35%が昼行列車残りの 65%が夜行列車を利用すると想定した。

4.2.3　鉄道貨物・旅客の需要予測結果

(1)　将来の貨物需要

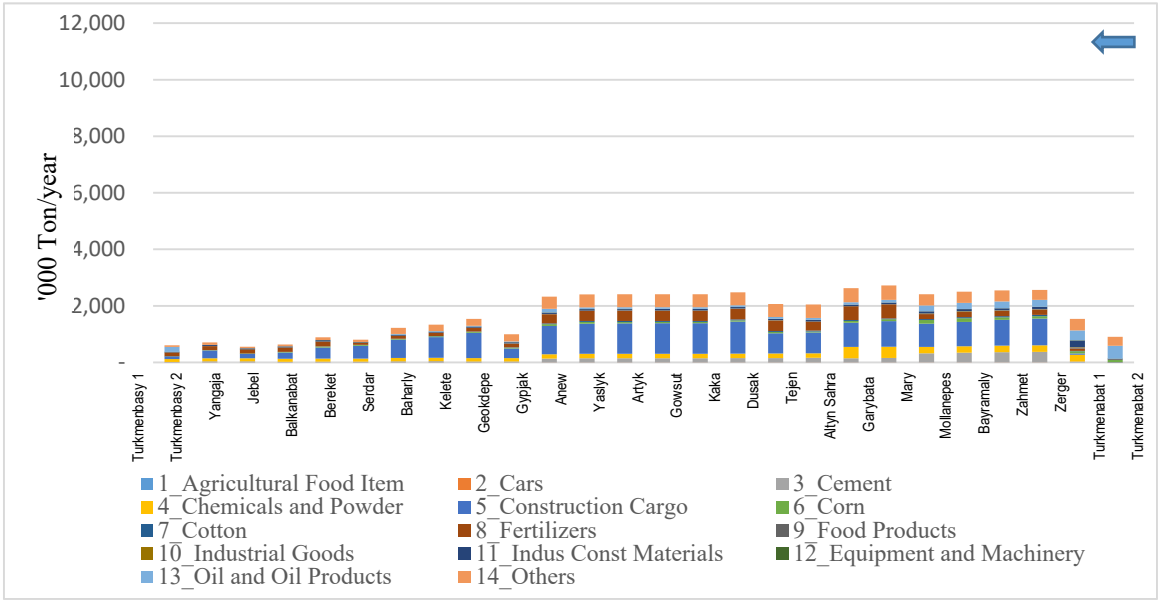
前述の前提条件に基づき、2025 年、2040 年および 2055 年の将来の鉄道貨物の需要予測を実施した。貨物需要は、国内貨物、輸出貨物、輸入貨物、トランジット貨物のタイプ別で実施したが、下記では国内貨物、輸出貨物と輸入貨物をノントランジット貨物として集約して記載している。2025 年のトルクメンバシからトルクメナバットまでの方向別品目別のトランジット貨物およびノントランジット貨物の貨物量を図 4-3 から図 4-6 までに示す。ノントランジット貨物は、トルクメンバシからトルクメナバットに向かう方向の需要が、反対方向の需要と比べて非常に大きい。



出典：調査団

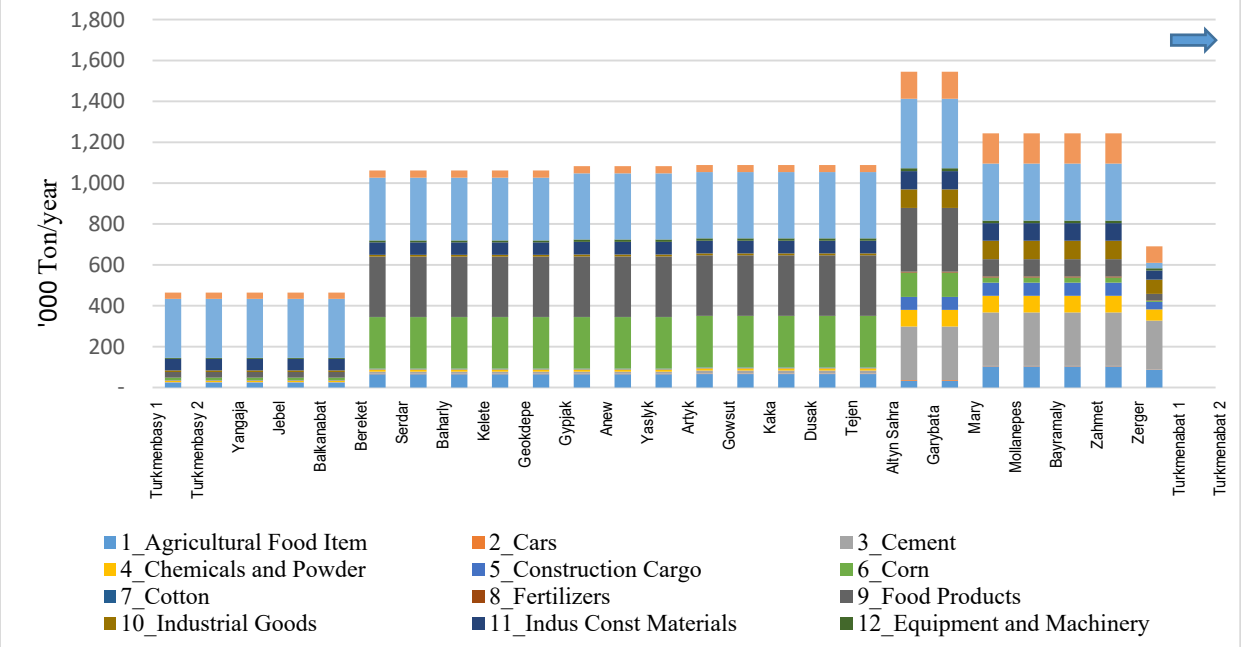
図 4-3　2025 年のノントランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメンバシ→トルクメナバット方向）

図 4-3 に示すとおり、トルクメナバット方向に向かって、トルクメンバシ 2 駅から石油製品、Geokdepe 駅から建設資材を非常に多く輸送していることが分かる。トルクメナバットからトルクメンバシ方向には、建設資材の輸送が主流となっている。



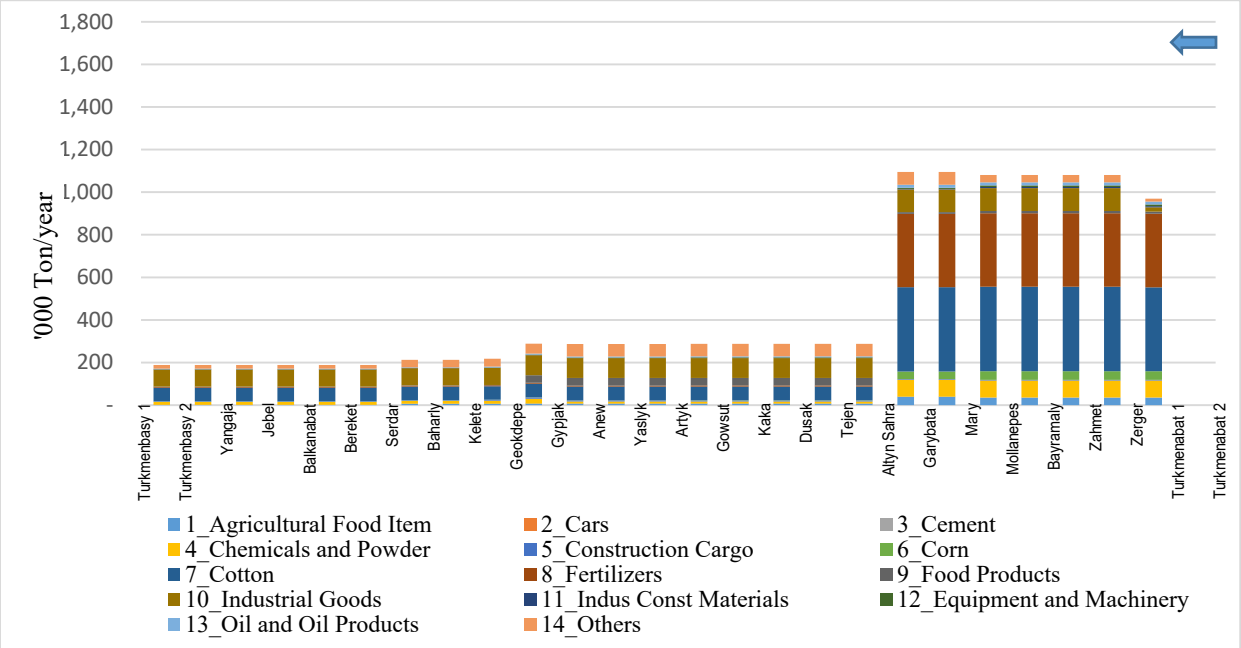
出典：調査団

図 4-4　2025 年のノントランジット貨物の品目別貨物需要
（トルクメナバット→トルクメンバシ方向）



出典：調査団

図 4-5　2025 年のトランジット貨物の品目別貨物需要（トルクメンバシ→トルクメナバット方向）



出典：調査団

図 4-6　2025 年のトランジット貨物の品目別貨物需要（トルクメナバット→トルクメンバシ方向）

表 4-4 に、トルクメンバシとトルクメナバット間の 2040 年と 2055 年の鉄道貨物の区間別需要予測結果を示す。区間は鉄道運輸庁へのヒアリングにより貨物の取り扱いが行われている主な駅を対象として設定した。表中では、トランジット貨物とノントランジット貨物に集約して整理している。

表 4-4　トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の貨物需要予測（‘000 トン/年）

	2040				2055			
	Transit		Non-transit		Transit		Non-transit	
Section	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down
Turkmenbasy 1 - Turkmenbasy 2	798	323	2,020	1,023	1,369	555	3,406	1,723
Turkmenbasy 2 - Yangaja	798	323	9,187	1,188	1,369	555	15,485	2,002
Yangaja - Jebel	798	323	9,029	930	1,369	555	15,219	1,567
Jebel - Balkanabat	798	323	10,220	1,067	1,369	555	17,226	1,799
Balkanabat - Bereket	798	323	10,590	1,499	1,369	555	17,850	2,527
Bereket - Serdar	1,823	323	11,928	1,351	3,128	555	20,104	2,278
Serdar - Baharly	1,823	365	11,747	2,062	3,128	627	19,800	3,475
Baharly - Kelete	1,823	365	11,896	2,255	3,128	627	20,050	3,800
Kelete - Geokdepe	1,823	374	12,304	2,596	3,128	642	20,738	4,375
Geokdepe - Gypjak	1,823	495	18,542	1,675	3,128	849	31,253	2,823
Gypjak - Anew	1,859	493	14,789	3,922	3,191	846	24,927	6,610
Anew - Yaslyk	1,859	493	13,061	4,052	3,191	846	22,014	6,829
Yaslyk - Artyk	1,859	493	12,963	4,065	3,191	846	21,849	6,851
Artyk - Gowsut	1,869	494	12,984	4,068	3,207	847	21,885	6,857
Gowsut - Kaka	1,869	494	12,984	4,068	3,207	847	21,884	6,857
Kaka - Dusak	1,869	494	12,842	4,181	3,207	847	21,645	7,047
Dusak - Tejen	1,869	494	14,393	3,482	3,207	847	24,260	5,868
Tejen - Altyn Sahra	1,869	494	14,263	3,451	3,207	847	24,041	5,816
Altyn Sahra - Garybata	2,652	1,880	12,817	4,429	4,552	3,227	21,603	7,466
Garybata　- Mary	2,652	1,880	12,634	4,591	4,552	3,227	21,295	7,738
Mary - Mollanepes	2,134	1,854	10,654	4,060	3,663	3,183	17,956	6,844
Mollanepes - Bayramaly	2,134	1,854	9,522	4,221	3,663	3,183	16,050	7,114
Bayramaly - Zahmet	2,134	1,854	8,546	4,290	3,663	3,183	14,404	7,231
Zahmet - Zerger	2,134	1,854	8,177	4,326	3,663	3,183	13,782	7,292
Zerger - Turkmenabat　1	1,186	1,664	5,047	2,591	2,035	2,856	8,507	4,367
Turkmenabat 1 - Turkmenabat 2	-	-	3,541	1,530	-	-	5,968	2,578

注: Up = From Turkmenbasy to Turkmenabat　;Down = From Turkmenabat to Turkmenbasy
出典：調査団

需要予測結果をみると、最も貨物需要が高い区間は、Geokdepe 駅（アシガバット駅近郊）からマリー駅の区間である。

(2)　将来の旅客予測

表 4-5 に 2025 年、2040 年及び 2055 年のトルクメンバシからトルクメナバト区間の将来の旅客需要を示す。下表では、旅客需要の傾向から 3 つの区間に集約している。その結果をみると、2025 年の旅客需要は、アシガバット～マリの区間で最も高く、年間に約 316 万人が利用する結果となった。

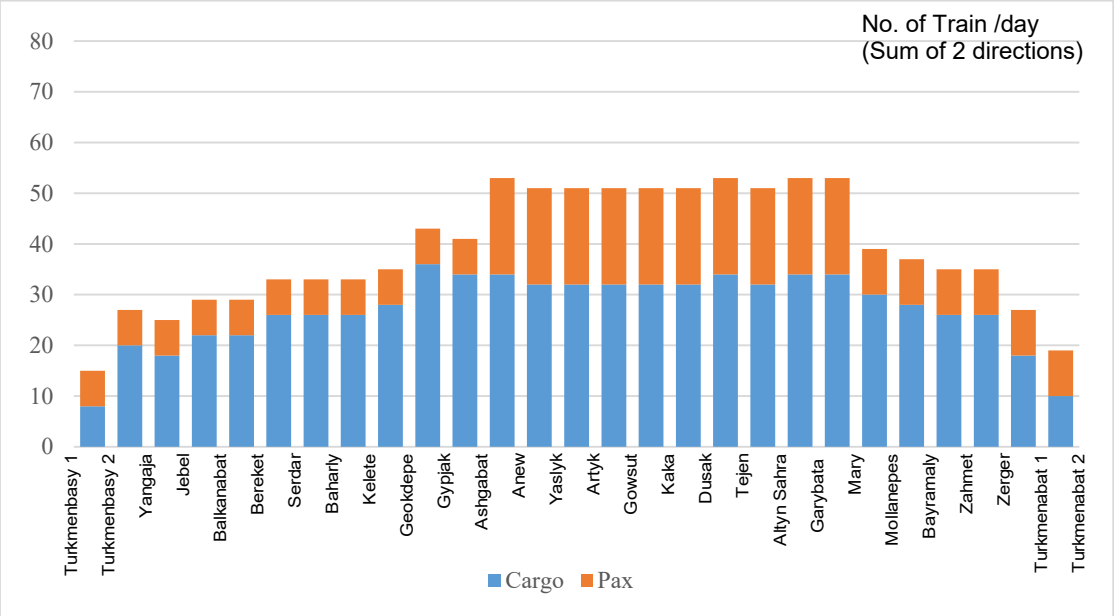
表 4-5　トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の旅客需要予測（'000 人）

Section	2025			2040			2055		
	Night Train	Day Train	Sub-Total	Night Train	Day Train	Sub-Total	Night Train	Day Train	Sub-Total
トルクメンバシ～アシガバット	714	414	1,127	980	414	1,394	1,101	621	1,722
アシガバット～マリー	1,915	1,242	3,157	2,661	1,242	3,903	3,166	1,656	4,821
マリー～トルクメナバット	957	621	1,578	1,331	621	1,951	1,583	828	2,411

出典：調査団

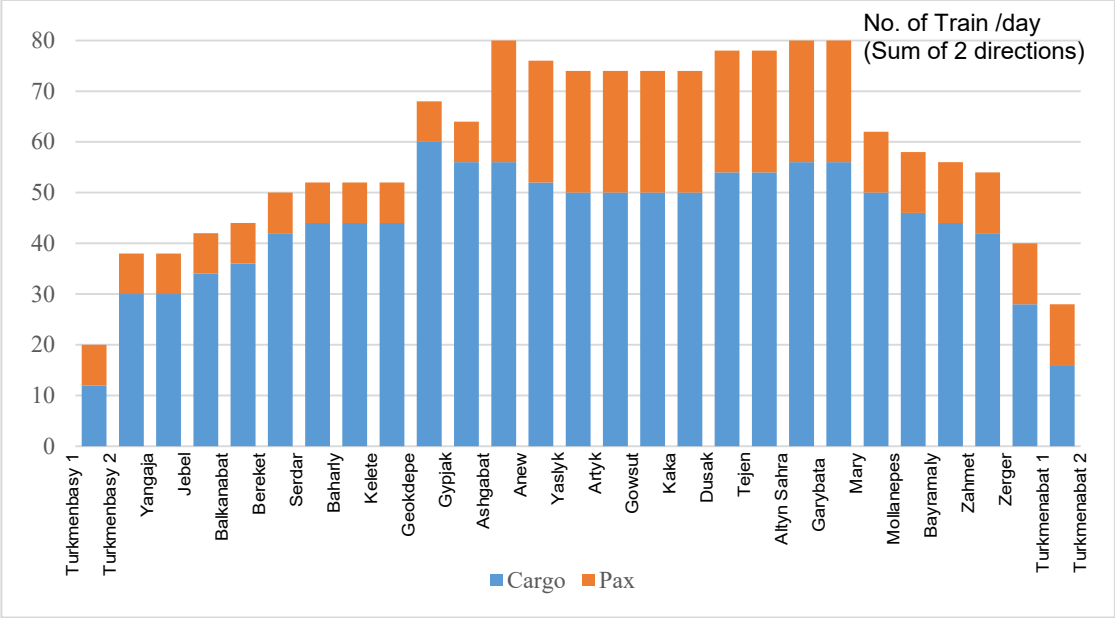
4.2.4　列車運行数

需要予測の結果をもとにし、運行計画を策定し、トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の必要な列車運行本数を算定した（図 4-7 から図 4-8 参照）。最も列車運行本数が多いのはアシガバット～マリー区間であり、貨物と旅客の両方で 2040 年に 52 本、2055 年に 78 本の列車運行が必要である。特にアシガバット近郊とマリー近郊で運行本数が多くなっている。下記は本線上の列車運行本数を示しているが、これに加えて車両基地や車両工場への回送列車があるため、アシガバット近郊とマリー近郊ではさらに列車運行本数が増えることが想定される。このため、これらの列車運行を考慮すると 2055 年には複線化が望ましいと言える。



出典：調査団

図 4-7　トルクメナバット→トルクメンバシ区間の 2040 年の必要な列車本数

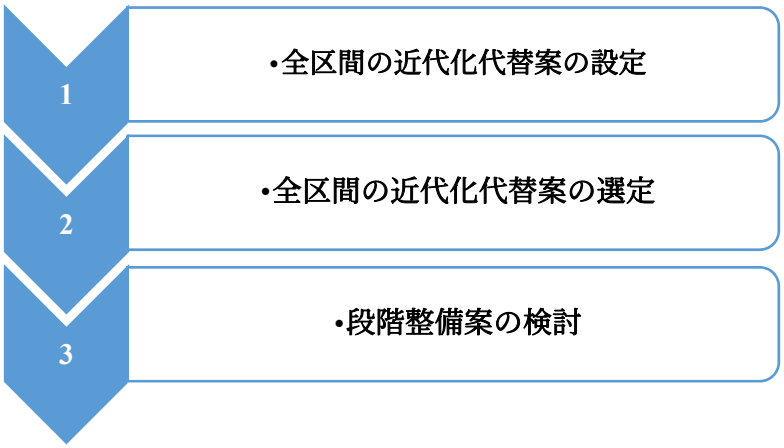


出典：調査団

図 4-8　トルクメナバット→トルクメンバシ区間の 2055 年の必要な列車本数

4.3　近代化代替案と段階整備案の検討

図 4-9 に示すフローチャートに基づいて、１．全区間てを対象として近代化の代替案を選定し、２．その代替案の比較検討を行い、最適な代替案を選定する。その上で、３．段階的整備案を検討する。



出典：調査団

図 4-9　近代化代替案のフローチャート

4.3.1　全区間の近代化代替案の設定

近代化の代替案の設定にあたって想定される近代化の項目とその特徴を表 4-6 に示す。

表 4-6　近代化代替案の改良項目の速度向上と容量増大への寄与度

項目	速度	容量
電化	+	
信号の改良*	+	+
高速化に対応した軌道の改良	+++	+
複線化**	++	+++

*土木施設の改良に伴う軽微な信号改良
**大規模な信号改良を含む
+ 軽微な改善が期待できる
++ 改善が期待できる
+++ 大幅な改善が期待できる
出典：調査団

上記の改良項目を考慮した上で表 4-7 に示す 4 つの代替案を設定した。

表 4-7　近代化の代替案

代替案.	電化	車両・車両基地	土木	信号通信	最高速度	容量
A	✓	120 km/h 用 車両・車両基地	不要	✓	現状と同じ	現状と同じ
B	✓	120 km/h 用 車両・車両基地	軽微な工事	✓	120 km/h (旅客列車・設計速度) 100 km/h (貨物列車)	+
C	✓	160 km/h 用 車両・車両基地	大規模な工事	✓	160 km/h (旅客列車) 100 km/h (貨物列車)	+
D	✓	160 km/h 用 車両・車両基地	複線化のための大規模な工事	✓	160 km/h (旅客列車) 100 km/h (貨物列車)	+++

出典：調査団

各代替案の詳細改良内容について以下に示す。

(1)　代替案 A の概要

1)　土木

- 軌道の狂いの補修とバラストの補填のための 5 台のマルチプルタイタンパー（MTT）の調達（これらの作業は毎日のメンテナンスで行う必要がある。）
- 電化用レール締結装置と枕木の交換
- 電化用レールボンドへの付け替え
- 電気機関車の新しい車両基地の設置
- 工事用道路の設置

2)　電化

- 送電線
- 変電所の設置（14 箇所）
- 配電設備の設置
- 電路設備の設置（架線）

3)　車両

- 電気機関車と電車

4)　信号

- 連動装置
- 自動進路制御装置（Programmed Route Control, PRC）
- 軌道回路装置（列車検知）
- 自動列車停止装置（Automatic Train Stop, ATS）
- 踏切保安施設
- 信号装置

5)　通信

- 伝送路
- 指令電話システム
- 列車無線システム
- 気象監視（雨、地震計、風）
- 閉鎖回路テレビシステム（Closed Circuit Television, CCTV）

(2)　代替案 B の概要

1)　代替案 A の全項目

2)　土木

- 軌道狂いの補修とバラストの交換（全区間の約 40%を対象）
- 損傷レールの交換（全区間の約 40%を対象）

- 線路立入防止柵の設置
- プラットフォームの嵩上げ

(3)　代替案 C の概要

1)　代替案 B の全項目

2)　土木

- 軌道改良（160km/h 用曲線半径改良など）
- 踏切での遮断機の設置（約 50%）

3)　160km/h 運転のための信号と電化

(4)　代替案 D の概要

1)　代替案 C の全項目

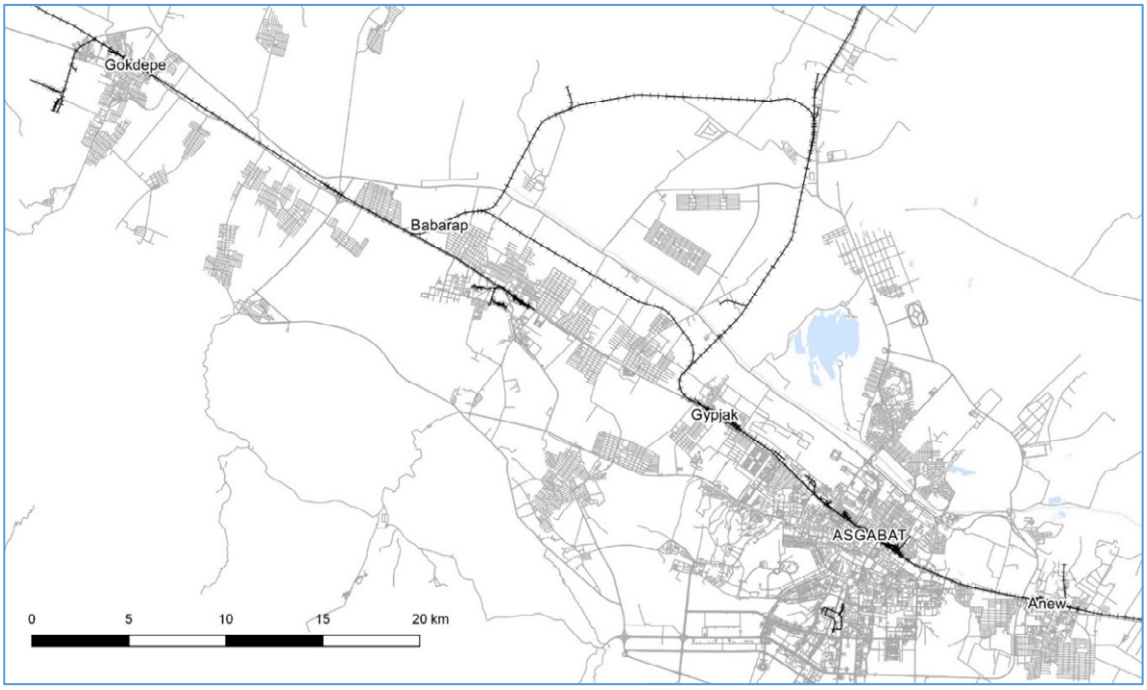
2)　土木

- 複線化工事用新たな橋建設（8.4m 幅、7.9km）
- 排水用の新しいパイプカルバート（φ630, 242km）
- 新たな盛土工事（1.5m 高さ, 1,177km）
- 新たな軌道工事（1,177km）
- 新たな踏切設置（1,177km）
- 13 台のマルチプルタイタンパー（MTT）の調達
- 電化用及び複線化用工事用道路の設置（1,177 km × 6m 幅）

3)　複線化及び 160km/h 運転のための信号と電化

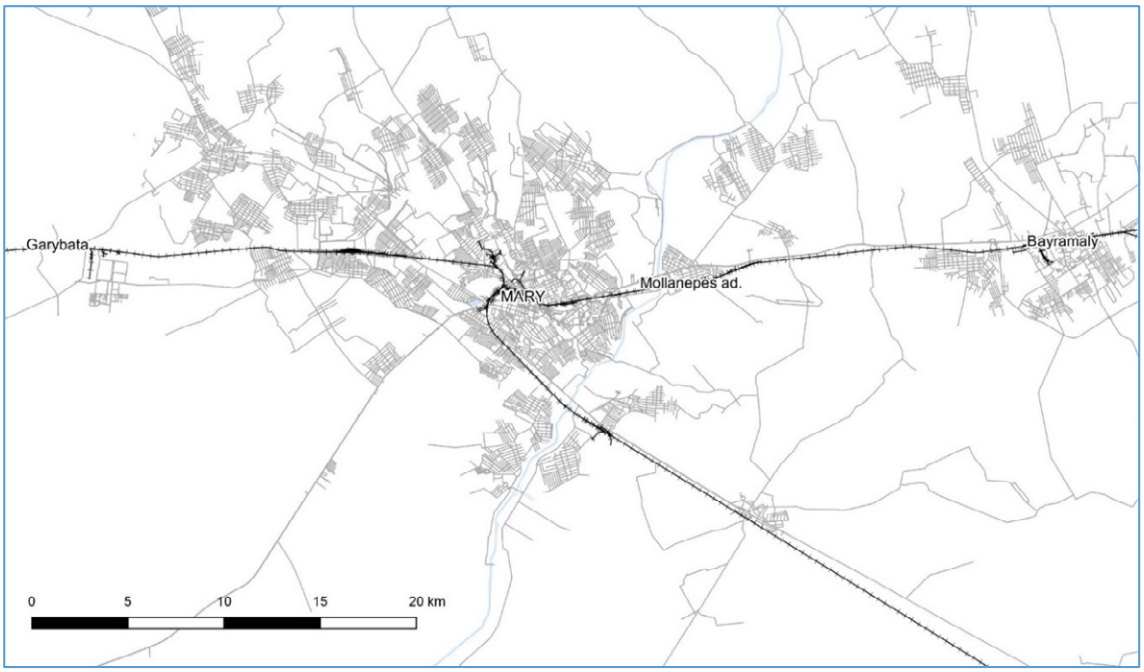
(5)　オプション 1 及び 2

上記の代替案に加えて、鉄道運輸庁からの要請によりさらに 2 つのオプションについても検討した。両方とも特定のセクションの複線化である。1 つは Gokdepe～Ashgabat～Anew 区間で約 80km の延長である。もう 1 つは Garybata～Mary～Bayramaly 区間で約 63km の延長である。これらの区間はもともと列車運行本数が多いことに加えて車両基地や車両工場、貨物駅からの回送列車もあり、列車運用が困難になっている区間である。



出典：調査団

図 4-10　Gokdepe ～Ashgabat ～ Anew の対象区間



出典：調査団

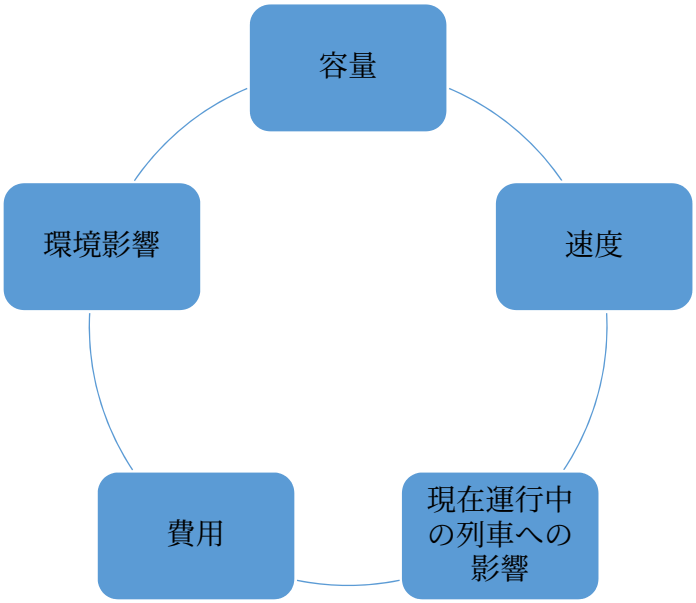
図 4-11　Garybata ～ Mary～ Bayramaly の対象区間

4.3.2　全区間の近代化代替案の比較検討と選定

本節では、全区間の近代化の代替案を比較・評価し、選定を行う。

(1)　評価項目

代替案の評価項目を図 4-12 に示す。鉄道運輸庁と協議を行い、容量、速度、現在の運行中の列車への影響、費用及び環境影響について評価を行うこととした。



出典：調査団

図 4-12　代替案の評価項目

以下に各評価項目の評価結果と総合評価結果を示す。

(2)　容量

容量についての各代替案の評価結果を表 4-8 に示す。

表 4-8　容量についての各代替案の評価結果

代替案	評価	内容
オプション０	0	軌道の容量に変化なし
A	+	信号の改良によって軌道の容量が少し上がる
B	+	信号の改良によって軌道の容量が少し上がる
B＋ オプション 1&2	++	一部区間の複線化と信号の改良によって軌道の容量が上がる
C	+	高速化によって軌道の容量が上がる
D	+++	全区間の複線化と信号の改良によって軌道の容量が大幅に上がる

+++ 重大な正の影響がある
++ 正の影響がある
+ 軽微な正の影響がある
0 現状と変化がない、影響が相殺される。
- 軽微な負の影響がある
-- 負の影響がある
--- 重大な負の影響がある
出典：調査団

(3)　速度

速度についての各代替案の評価結果を表 4-9 に示す。

表 4-9　速度についての各代替案の評価結果

代替案	評価	最高速度	内容
オプション０	0	80km/h	速度に変化なし
A	0	80km/h	速度に変化なし
B	++	120km/h (100km/h)	速度が上がる
B＋ オプション 1&2	++	120km/h (100km/h)	速度が上がる
C	+++	160km/h (100km/h)	速度が大幅に上がる（160km/h）
D	+++	160km/h (100km/h)	速度が大幅に上がる（160km/h）

出典：調査団

(4)　現在運行中のの列車への影響

改良項目ごとに現在運行中の列車への影響について表 4-10 に記載する。

表 4-10　現在運行中の列車への影響

改良項目	運行中止時間
軌道狂いの補修・バラストの交換	1 か所約 4 時間
損傷レールの交換	約 75m～100m ごとで 3 時間 s
路盤と軌道工事	1 分岐器につき約 3-4 時間
160km/h 用軌道工事 (曲線など)	曲線ごとに数日
踏切の設置	不要
新たな軌道用踏切の設置	不要

出典：調査団

工事用道路設置する前提で現在の運行中の鉄道への影響を比較し、各代替案の評価結果を表 4-11 に示す。

表 4-11　鉄道運行への影響についての各代替案の評価結果

代替案	評価	内容
オプション０	0	現在の運行本数に影響はない
A	-	電化用工事で毎日約 3 時間運行中止
B	-	電化と土木工事で毎日約 3 時間運行中止
B＋ オプション 1&2	-	電化と土木工事で毎日約 3 時間運行中止
C	---	電化と土木工事で毎日約 3 時間運行中止 曲線などの工事で数日間運行中止
D	-	既存の軌道用工事で毎日約 3 時間運行中止

出典：調査団

(5)　費用

1)　事業費算出の方針

- 概算工事費は、各システム（土木、車両基地、信号・通信、車両、電車線、送電線等）の単価及び数量から算出した。
- 土木、車両基地、信号・通信、車両、電車線の単価については、類似案件の単価を参考に、「ト」国の条件にあわせて補正して設定した。
- 橋梁改修・架け替えの費用は、現地踏査で確認できた範囲の結果に基づいて、今回は計上しないこととしたが、全ての橋梁を確認できていないため、改修が必要な場合にはコストが増加する可能性がある。
- 軌道狂いの補修及びバラストの補填は鉄道運輸庁の日常の保守管理で行われるべきであるため、本概算事業費には含んでいない。
- 損傷レールの交換及び路盤噴泥の補修が必要な延長は、鉄道運輸庁への聞き取りから総延長の 40%と想定した。
- 複線化に伴って新たに建設する盛土の平均高さは 1.5m と仮定した。
- 送電線の単価は、トルコの建設会社からのヒアリングに基づき設定した。
- 送電線の費用は、連絡送電線方式を想定して計上した。
- 予備費として各システムの 5%を考慮した。
- エンジニアリングコストは、システム合計価格の 4%とし、予備費としてエンジニアリングコストの 5%を考慮した。
- 関税（VAT）等の税金は、事業の種類によって課税対象外となることから、本概算事業費では考慮しないものとした。
- 用地費については、都市部及び郊外とも鉄道沿線エリアは拡幅のための用地が確保されていることから考慮していない。

2)　各代替案の概算事業費

表 4-12　各代替案の概算事業費

【単位：百万 USD】

項目	代替案 A	代替案 B	代替案 B ＋1&2	代替案 C	代替案 D
変電所	312	312	312	312	422
送電線	287	287	287	287	287
電力指令所	11	11	11	11	14
車両（貨車含む）	1,481	1,481	1,481	1,481	1,481
車両基地改修（E&M 含む）	309	309	309	309	309
信号	918	918	1,106	1,222	1,860

項目	代替案 A	代替案 B	代替案 B ＋1&2	代替案 C	代替案 D
通信	847	847	1,022	847	1,439
電車線	192	192	231	192	320
土木	505	1,089	1,421	1,112	3,253
小計	4,862	5,446	6,180	5,773	9,385
予備費（5%）	243	272	309	289	469
エンジニアリングコスト	214	240	273	255	414
合計	5,319	5,958	6,762	6,317	10,268

出典：調査団

費用の評価結果を表 4-13 に示す。

表 4-13　費用についての各代替案の評価結果

代替案	評価	コスト（単位：百万 USD）
オプション０	0	0
A	-	5,319
B	-	5,958
B + オプション 1&2	-	6,762
C	-	6,317
D	---	10,268

出典：調査団

(6)　環境影響

複線化、電化などの工事の際に用地取得及び住民移転などは発生しない前提で環境影響について各代替案の評価を行った。

表 4-14　環境影響についての各代替案の評価結果

代替案	スコア	オプション０と比較した内容
オプション０	0	変更なし。将来の需要に対応できない
A	+	電化によって CO2 の減少.　(+)
B	++	電化によって CO2 の減少　.(+) 社会インフラの改善　(+)
B + オプション 1&2	++	電化によって CO2 の減少.　(+) 複線化によって盛土工事のための土砂が必要　(-) 社会インフラの改善　(++)
C	+	電化によって CO2 の減少.　(+) 騒音と振動レベルの悪化、および列車の高速化による家畜と地元の人々の安全な横断 (--) 社会インフラの改善　(++)
D	+	電化によって CO2 の減少.　(+) 騒音と振動レベルの悪化、および列車の高速化による家畜と地元の人々の安全な横断 (--) 複線化によって盛土工事のため土砂が必要　(-) 社会インフラの大幅な改善　(+++)

出典：調査団

(7)　総合評価

総合評価結果を表 4-15 に示す。B+オプション 1&2、D の評価が高くなった。B+オプション 1&2 は費用がオプション D と比較して小さい一方、容量、速度の改善が見込まれる。オプション D は容量と速度の大幅な増加が見込まれるものの費用が高額である。このことから、交通需要を考慮すると短期的には B+オプション 1&2、長期的にはオプション D の整備が望ましいと言える。

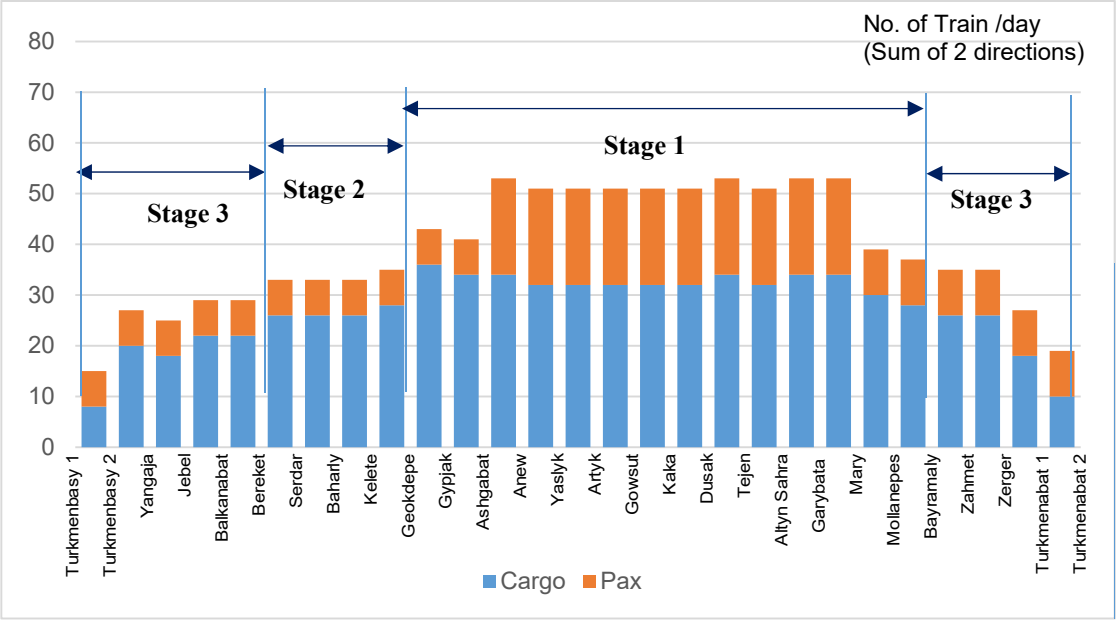
表 4-15　代替案の総合評価

代替案.	容量	速度	現在運行中の列車への影響	費用	環境影響	総合評価
オプション０	0	0	0	0	0	0
A	+	0	-	-	+	+-
B	+	++	-	-	++	+
B + オプション 1&2	++	++	-	-	++	++
C	+	+++	---	-	+	+-
D	+++	+++	-	---	+	++

出典：調査団

4.3.3　段階整備案の検討

将来想定される運行本数をもとに改良が望まれる区間の優先順位を検討した。第一段階として Geokdepe～アシガバット～Anew～Garybata～マリー～Bayramaly について代替案 B+1&2 の改良を行うことで効果的に容量と速度を向上させ、輸送力の増強に対応することができる。第 2 段階としてベレケット～Geokdepe、第 3 段階としてトルクメンバシ～ベレケット及び Bayramaly～トルクメナバット間の整備の優先順位が高いと言える。

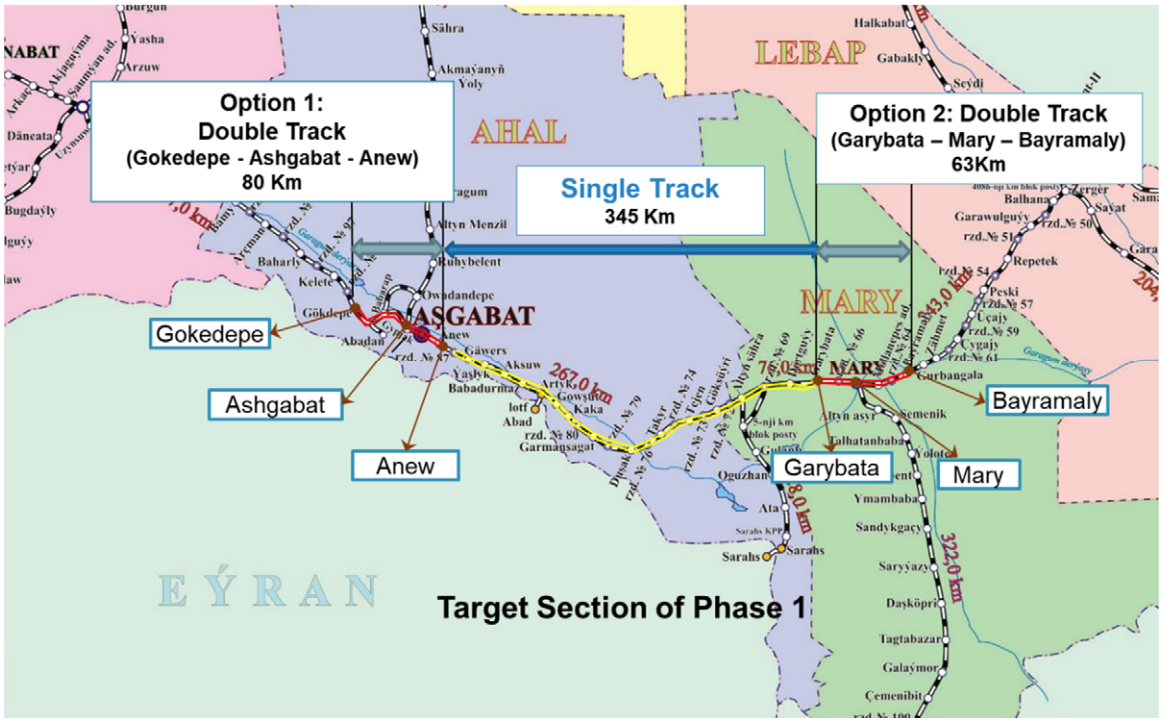


出典：調査団

図 4-13　段階整備案

4.4　第一段階の近代化計画

以下では第一段階の近代化計画として Gokdepe～アシガバット～マリー～Bayramaly 間について整備内容を記載する。第一段階では Gokdepe～アシガバット～マリー～Bayramaly 間を電化、高速化を含む近代化の対象とするが、そのうち、Gokdepe～アシガバット～Anew 間の約 80km と Garybata～マリー～Bayramaly 間の約 63km については複線化を行い、Anew～Garybata 間については既存の単線のままで電化、120km/h 運転の高速化等の近代化を行う。



出典：調査団

図 4-14　第一段階の近代化計画

4.4.1　運行計画

今回、Geokdepe～Bayramaly 間の列車運行計画の策定を行った。区間を Geokdepe～アシガバット、アシガバット～Dusak 、Dusak ～マリー、マリー～Bayramaly にわけ、それぞれの区間の運行可能本数を試算した。運行計画の計算手法は以下の通りある。なお、本節に示す速度は最高速度ではなく区間の平均速度である。

- 駅区間の距離は鉄道運輸庁のウェブサイトからデータ入手し、調査団で計算
- 配線図から途中交換可能箇所数を把握
- 駅キロ程のわからない駅や列車交換施設は等間隔にあるものと想定し、①の駅間での列車交換施設までの区間キロを計算（駅間 40km で途中交換可能箇所数 1 ならば、交換不可能な単線区間は 20km）
- その区間の運転時分を査定。その際に使用する速度は、鉄道運輸庁より入手したアシガバット～マリー間の所要時間を活用し平均速度 46kn/h として計算した
- 電化した場合の速度向上については、日本での速度比（名古屋～稲沢間を例にとると、ディーゼル機関車の所要時間 12 分 15 秒と電気機関車の所要時間 10 分 30 秒）を参考として 14%短縮した平均速度 52km/h を使用
- 1 日あたり運行可能本数を保守時間 4 時間を除く 20 時間走行可能として計算

- その際、走行パターンを 1（上り下り交互に運転した場合）と 2（上下それぞれ 2 本続行で交互に運転した場合）に分けて試算（単線区間 26 分ならパターン 1 の場合 20 時間で 46 本（20 時間／26 分）運転可能）
- パターン 2 の場合、続行時分 5 分で想定（閉そく区間 1.5km の所要時分＋余裕）；（パターン 2 の場合、単線区間 26 分なら 20 時間で 77 本（20 時間／(26+5 分)×2）運転可能
- ４区間であい路となる区間をそれぞれの区間の運行可能本数とする。
- ４区間それぞれの列車本数を試算

  貨物列車：合計需要想定輸送トン数／4200 トン×2（返空分）本

  旅客列車：需要想定本数
- 貨客合計本数が運転できるかどうか把握
- 想定本数を運行させるために下記のケースを選定

  ケース 1　速度向上した場合に容量増加のための運行速度を想定

  ケース 2　あい路区間を複線化もしくは交換箇所を増設して線路容量を増加させた場合、運行速度をどの程度改善する必要があるか検討

考察結果は下記である。

- パターン 1 では電化や高速化を行わなくても、2025 年までは捌ける可能性があるが、2040 年にはアシガバット～Dusak 間で線路容量を超える（運転可能本数 48 本、需要 53 本）ため、なんらかの対応（電化、速度向上、交換設備の増設、複線化）が必要。2055 年には対応必要区間がギョクデペ～マリー間に拡大される。
- パターン 2 のような運行形態にすれば、現行設備でも 2055 年まで対応可能。ただし、全列車 4200 トン編成もしくはその返空の前提で本線走行の検証としているため、品目別輸送で列車本数が増えたり、留置線等駅設備の増強が必要となる可能性がある。東行と西行を組み合わせて返空列車を減らしたり、コンテナ輸送化による往復積を増やしたりして全体本数を減らすことも検討が必要である。
- 需要想定より多い、パターン１では 110km/h に、パターン 2 でも 75km/h に速度向上しなければ運転可能本数が需要よりも小さくなる。あい路区間の部分複線化や交換設備増強してもパターン１で 90km/h に、パターン２でも 60km/h に速度向上を行わなければ運転可能本数が需要よりも小さくなる。
- 鉄道運輸庁の提案としては Gokdepe ～ アシガバット ～ Anew 及び Garybata ～ マリー ～ Bayramaly の複線化が挙がっているが、本線の運行のみを想定した場合はその必要性は高くないと思われる。ただし、本線の運行の試算では車両基地や車両工場、貨物駅への回送列車等は考慮していない。アシガバット周辺、マリー周辺にはこれらの施設が点在して

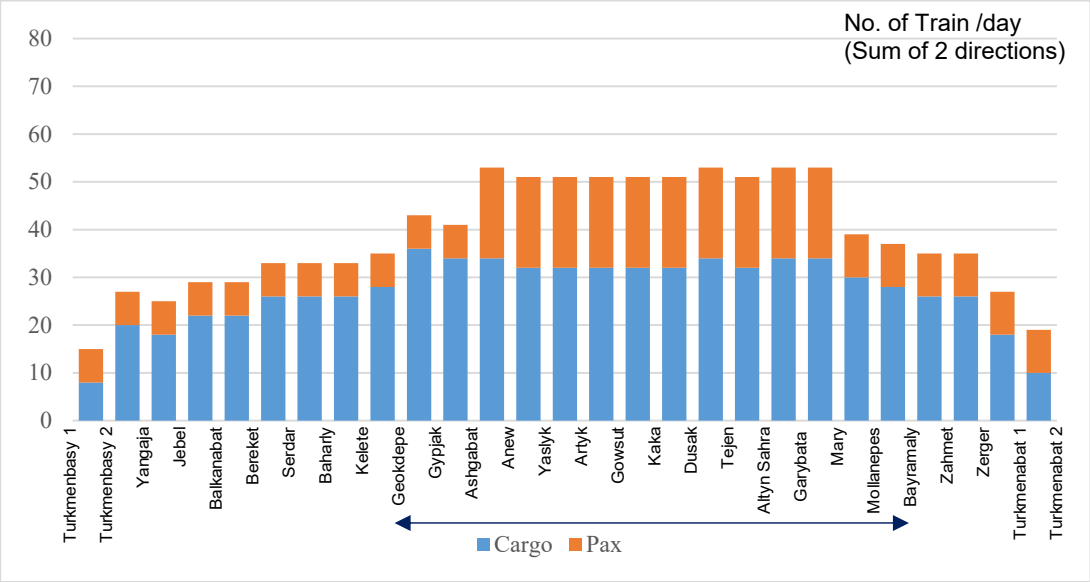
おり、これらの影響を考慮し、Gokdepe ～ アシガバット ～ Anew 及び Garybata ～ マリー ～ Bayramaly の複線化が提案されたと想定される。今後の詳細な調査では回送列車や臨時列車等も踏まえた試算が求められる。

Geokdepe～Bayramal 間を電化した場合に必要となる電気機関車数を試算した。2027 年、2040 年と 2055 年の必要な列車は表 4-16 に示す。

表 4-16　第一段階の近代化の対象区間の必要な電気機関車数

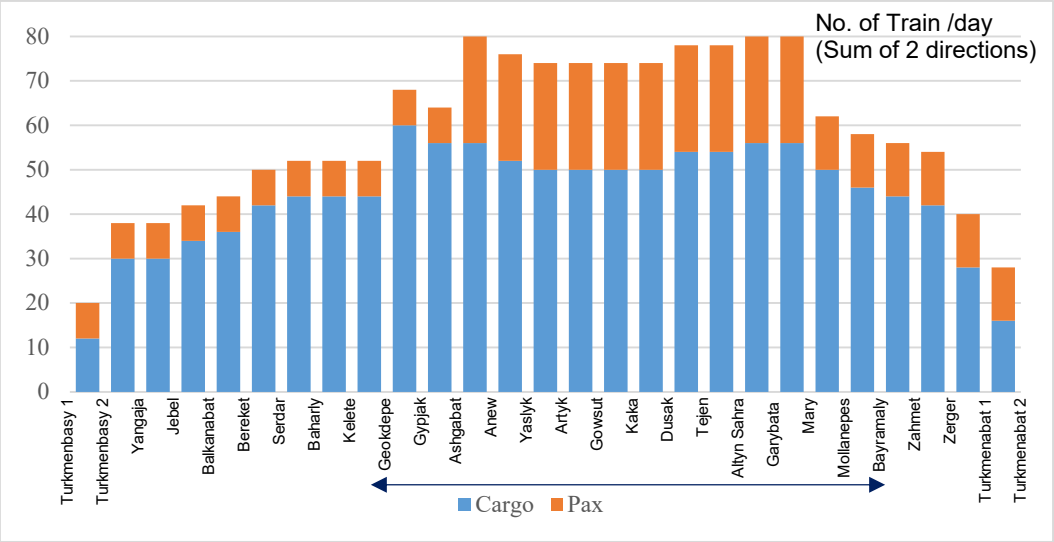
年	使用	検修予備	合計
2027 年	40 両	5 両	45 両
2040 年	52 両	5 両	57 両
2055 年	78 両	8 両	85 両

出典：調査団



出典：調査団

図 4-15　2040 年の対象区間の必要な列車本数



出典：調査団

図 4-16　2055 年の対象区間の必要な列車本数

試算手法は以下である。

- 将来年次の需要想定列車本数のダイヤ作成
- 折り返しに 3 時間（inspection№2 所要時分）確保して機関車運用想定
- 機関車運用ダイヤから機関車使用両数を計算
- 検修予備の考え方は下記である。

① 機関車運用ダイヤから 1 日あたり走行キロを把握

② Inspection No 3、repairwork No 1 及び 3、majorwork に該当する日数を計算

③ それぞれの検修のための 1 日当たり必要車数（運用離脱数）を計算

④ 合算して検修予備数を計算

⑤ 計算例　日車キロ 400km の場合

Inspection 3　50 日毎に 1 日検修するため、１日当たり 0.02 両必要

Repairwork 1　150 日毎に 2 日検修するため、1 日あたり 0.01 両必要

Repair work 3　600 日毎に 14 日検修するため、1 日あたり 0.02 両必要

Major work　1800 日毎に 90 日（日本並み）検修するため、1 日あたり 0.05 両必要

理論上、合計１日あたり 0.1 両検修状態となり、使用数×０．１で検修予備数を計算

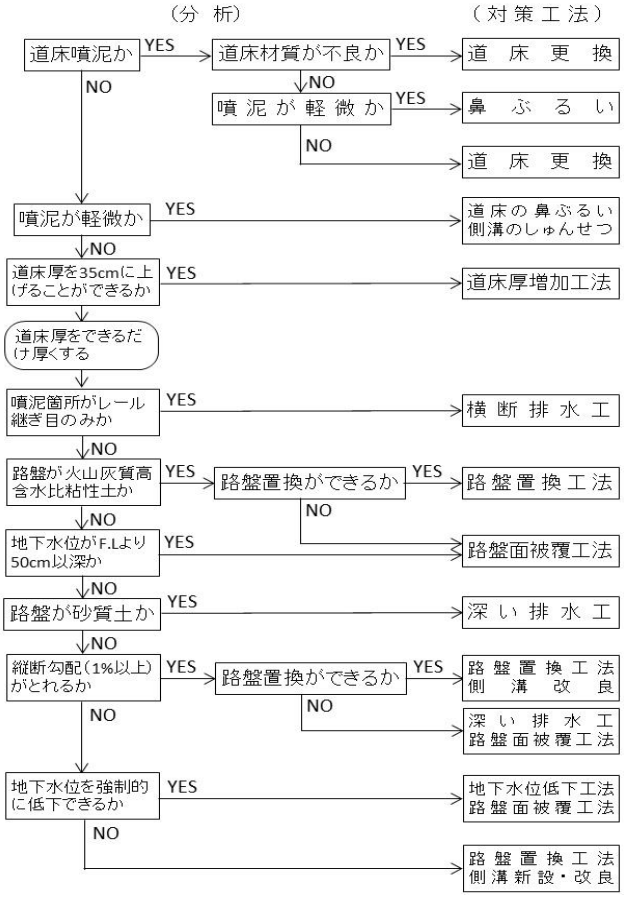
4.4.2　土木施設計画

(1)　既存線の軌道整備

現在の「ト」国の鉄道は、設計速度 120km/h で計画されているにもかかわらず、現状は十分な速度が出せていない状況である。これは、軌道整備が十分ではなく軌道狂いが生じていることが原因であると考えらえる。そのため、第一フェーズでは、旅客列車が最高速度 120km/h で、貨物列車が 100km/h で安全に走行できるように以下の軌道施設の整備・更新を行う。

1)　路盤噴泥に伴う路盤の補修

3.5.2 で述べた通り、現地調査では排水不良により路盤噴泥が生じている箇所が散見されている。路盤噴泥が発生すると、道床の弾性的機能や路盤の支持機能、荷重分散機能が低下して、著しい軌道狂いを引き起こす可能性があるため、このような箇所については噴泥対策を講じる必要がある。対策工は、噴泥が生じている原因によって異なるため、詳細設計の中で、それぞれの箇所の土質状況や地下水位等の状況を詳細に調査のうえ、決定される必要がある。参考として、図 4-17 に一般的な路盤噴泥の対策工の選定フローを示す。



出典：解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第三版

図 4-17　噴泥対策工の選定フロー

2)　軌道狂いの補修・バラストの補填

軌道狂いが生じている主な原因として、3.5.2 で述べたようにバラスト不足が原因となっている可能性が高い。従って、軌間・水準・通り・高低などの軌道狂いの補修と同時に、バラストが不足している箇所では標準断面通りの形状となるようにバラストの補填も併せて行う必要がある。軌道狂いの補修及びバラストの補填は、列車を高速で安全かつ快適に走行させる上で極めて重要であり、営業列車の運行にできるだけ影響を与えないように補修するためには、補修作業用に現在確保されている 4 時間程度の列車間合いで適切かつ早急に補修する必要がある。そのためには、タンピング（バラストの突き固め）、レベリング（線路の高さ調整）、ライニング（線路の曲がりの修正）を一度に行うマルチプルタイタンパー（図 4-18）で整備することが望ましいが、鉄道運輸庁では、マルチプルタイタンパーは 3 台しか保有していない。軌道狂いの補修及びバラストの補填は、鉄道運輸庁が行う日常保守のなかで行われるべきであるため、本事業のコストには含めていないが、日常のメンテナンスの中で適切かつ早急に軌道狂いを保守できるように、5 台のマルチプルタイタンパーの調達を考える。

出典：伊岳商事株式会社ホームページ

図 4-18　マルチプルタイタンパー

3)　損傷レールの交換

3.5.2 で述べたように、現地調査ではレールの継ぎ目等でレールの損傷が生じている箇所が散見されており、それらの箇所では新しい 65kg レールへの交換が必要である。鉄道運輸庁へのヒアリングでは、40%程度のレールで交換が必要と考えているとのことであるが、今後の追加調査或いは詳細設計で対象路線の現地踏査を行い、レールの交換の必要な箇所を詳細に調査する必要がある。

(2)　電化用レールボンドへの付け替え

レールボンドとは、レールとレールの継ぎ目部で、駆動電流回路及び信号回路を構成するためにレール同士を電気的に接続するものである。現在、「ト」国で設置されているレールボンドは、図 4-19 に示すように信号回路を構成するためだけの細いものであり、電化のための駆動電流回路を構成するためには、径の太い電化用のレールボンドに付け替える必要がある。

出典：調査団

図 4-19　現状のレールボンド

(3)　線路立入防止柵の設置

3.5.2 で述べたように、郊外ではラクダ等の進入を防止するために、低い鉄線が設置されている箇所もあるが、全区間では実施されていない。また、鉄線が切れている箇所や支柱が倒れており、簡単に線路内に立ち入ることができる箇所もある。旅客列車を 120km/h で運行する際には、車両と人や動物との接触・衝突は大惨事を招くことから、動物だけでなく人の進入も防ぐことが可能な H=1.5m 程度の格子網状の立入防護柵を対象区間全線に亘って設置することを提案する。

出典：https://field-saver.com/blog/?p=9891

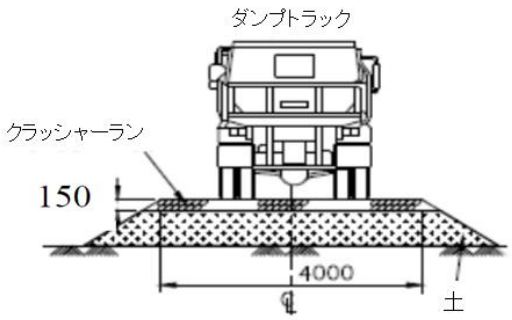
図 4-20　線路立入防護柵

(4)　工事用道路の設置

本事業は、基本的に既存の単線運行を維持しながら、その単線を電化する事業である。電化柱等の資機材の運搬方法としては、軌道上を軌陸車で運搬する方法と線路脇に仮設の工事用道路を設置してトラックにより運搬する方法がある。単純に工事費だけを見ると、軌道上を軌陸車で運搬したほうが望ましいが、本プロジェクトでは、既存の単線運行の本数を基本的に維持する必要があるため、列車運行に与える影響と工事期間を縮減することを目的に、図 4-21 に示すような仮設の工事用

道路を線路脇に設置することを提案する。なお、工事用道路を設置した場合には、既存列車の運行本数を減らす必要性が少ないため、工事中においても鉄道による運賃収入の低下が生じる可能性が低い。これは、貨物による運賃収入が占める割合の大きい本プロジェクトでは、大きなメリットであると言える。

出典：http://setodennews.sblo.jp



出典：調査団

図 4-21　工事用道路

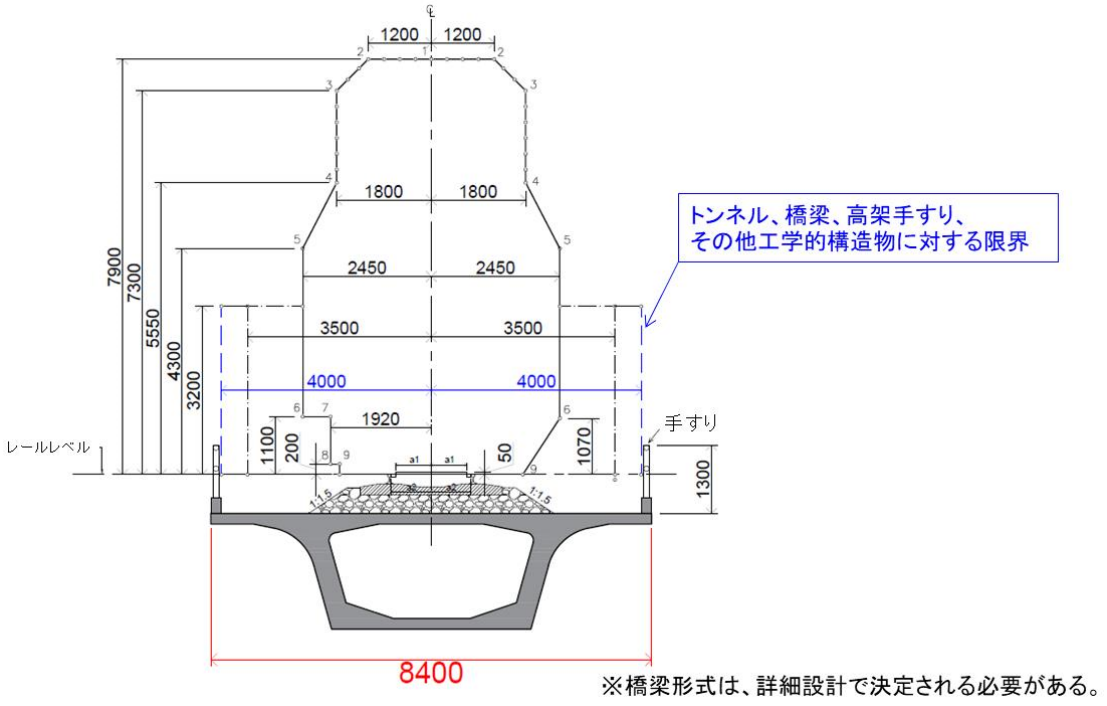
(5)　Gokdepe-Anew 間（80km）と Garybata-Bayramaly 間（63km）の複線化工事

4.3.2(7)で述べたように、列車需要の比較的高い Gokdepe - Anew 間の約 80km 及び Garybata - Bayramaly 間の約 63km は、第一段階から複線化されることが望ましいため、以下の土木施設工事を行う必要がある。

1)　橋梁新設工事

Gokdepe - Anew 間及び Garybata - Bayramaly 間では、既存橋梁に並行して単線橋梁を新設して複線化することを計画する。同区間に現在架設されている橋梁は、Gokdepe - Anew 間では 25 箇所の橋（総延長 269m）、Garybata - Bayramaly 間では 23 箇所の橋梁（総延長 473m）であることから、現時点では同規模の橋梁の新設を想定する。橋梁の施工基面幅は、鉄道運輸庁から受領した建築限界に記載されている橋梁手すりに対する限界に基づき、8.4m 程度を考える（図 4-22）。

なお、新設橋梁の構造形式及びスパン等は、施工方法や経済性などから適切な形式となるよう詳細設計の中で決定される必要がある。

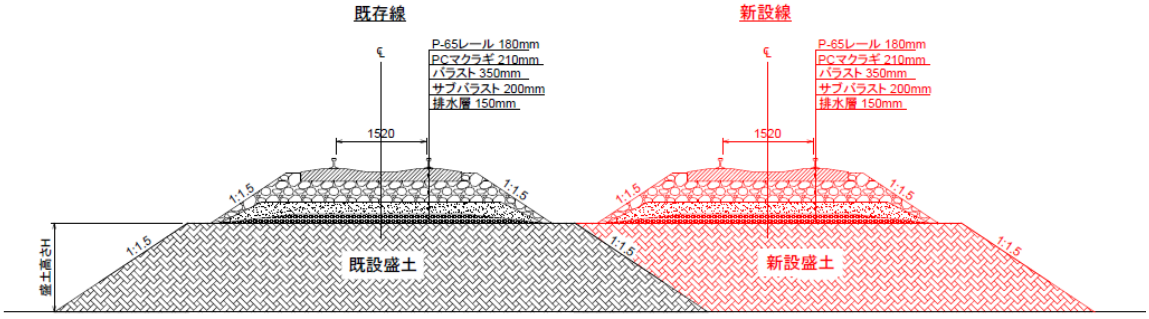


出典：調査団

図 4-22　複線化のための新設橋梁（案）

2)　盛土及び軌道工事

複線化する区間については、既存線に並行して単線を新設して複線化することを計画する。新線のレールレベルは、地形や洪水レベル等に基づき決定される必要があるが、基本的には既存線と同じ高さとすることを想定する。そのため、既存線で盛土されている区間については、図 4-23 に示すように既存盛土に新設盛土を腹付けして、新線を敷設する。また、既設盛土に排水カルバートが設置されている箇所については、新設盛土部にも同様の排水カルバートを設置する。



出典：調査団

図 4-23　複線化のための盛土工事

(6)　曲線半径改良の必要性の検討

曲線の通過速度は、軌間・カント及び曲線半径によって決定される。曲線半径が大きいほど通過速度は向上するが、日本の鉄道基準において曲線の通過速度は、建設費等も考慮して設計最高速度の 80%程度以上の曲線通過速度を確保できるように計画することが望ましいとされている。第一段階の整備では、旅客列車の最高速度として 120km/h を提案することから、80%程度の曲線通過速度を確保するためには、表 4-17 に示すように 500m 程度以上の曲線半径が必要となる。3.5.2 に述べたように、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間における現状の最小曲線半径は R=504m であることから、最高速度が 120km/h であるうちは、曲線半径の改良は必要ないと判断される。

なお、トルクメナバット～アシガバット～トルクメンバシ間の軌道は、現在も設計最高速度 120km/h で設計されていることから、同様の最高速度とするうちはカント及び緩和曲線長を変更する必要もないと考えられる。

表 4-17　曲線通過速度と曲線半径（参考）

	曲線通過速度
	96 km/h（最高速度の 80%）
求められる平面上の曲線半径	500m 程度
曲線半径の改良が必要な箇所数	無し

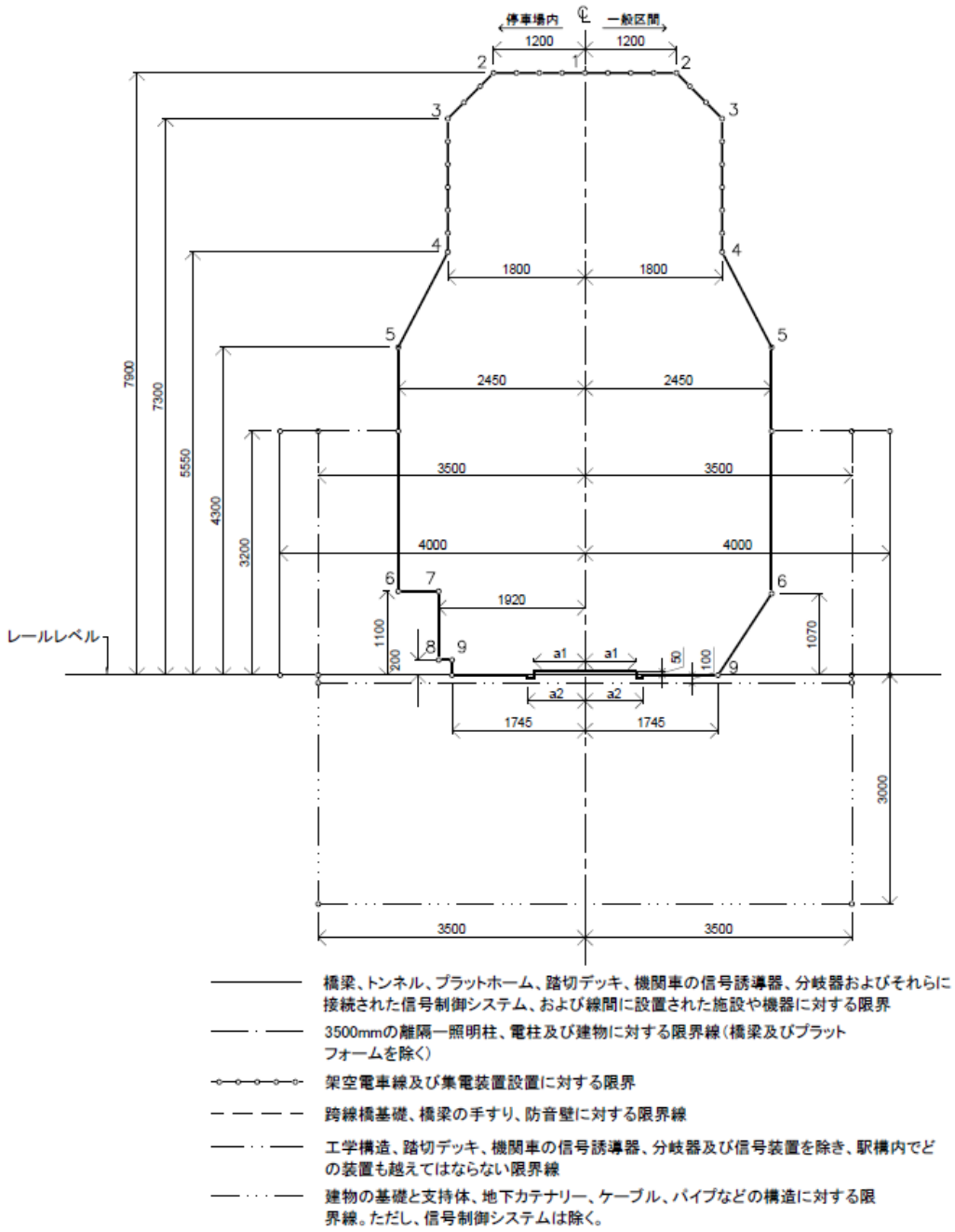
出典：調査団

(7)　老朽化による橋梁改修の必要性に対する検討

今回の調査では、対象区間の全ての橋梁の状態を確認することはできていないが、数橋確認した範囲では、今すぐに補修・架替が必要なほど老朽化しているという状況は確認されなかった。しかし、同区間で土木構造物の調査を実施している ADB へのヒアリングによると、改修が必要な鉄製の橋梁も確認されているとのことであるので、今後の追加調査または詳細設計では、対象区間の全ての橋梁の健全度について詳細に検討することが必要である。

(8)　電化による建築限界の向上に伴う跨線橋・トラス橋改修の必要性に対する検討

架線電化を行う場合には、建築限界高さが非電化の場合よりも高くなる。そのため、既存の跨線橋及び下路式トラス橋では、電化に必要なクリアランスが確保されているかどうかが改修の必要性を判断するうえで重要となる。ここで、図 4-24 に、鉄道運輸庁が電化時に適用することを考えている建築限界の案を示す。



出典：鉄運輸庁

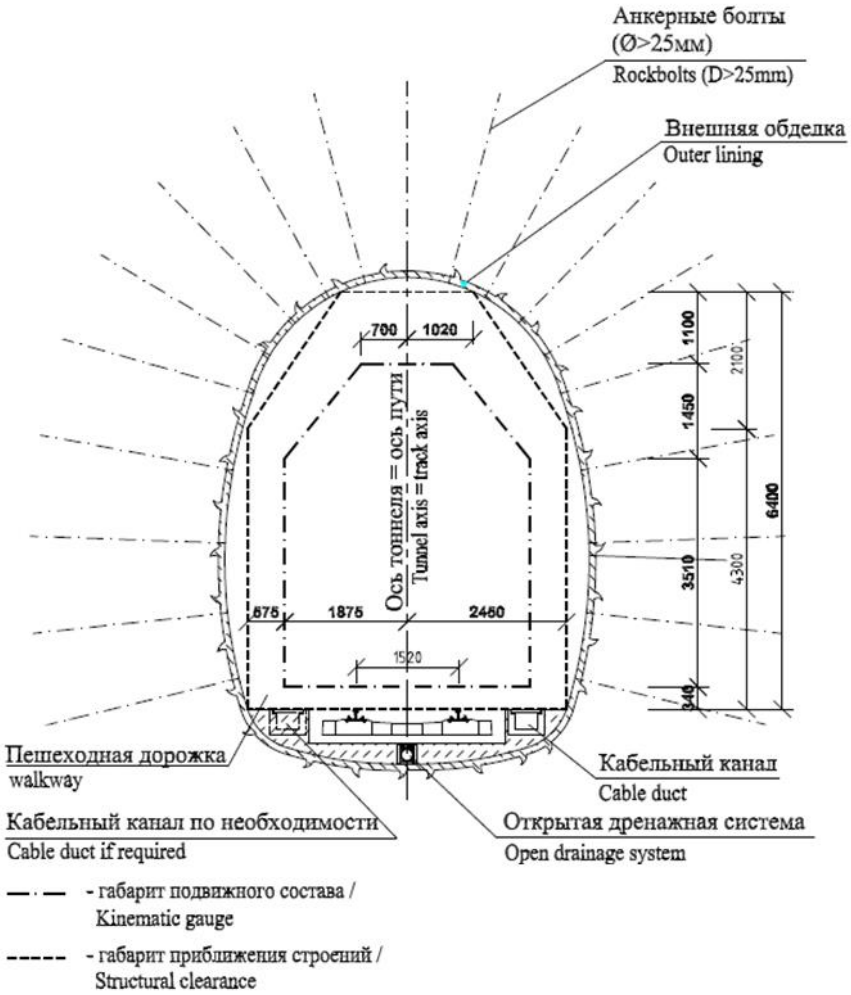
図 4-24　鉄道運輸庁が検討している電化時の建築限界

通常、橋梁・トンネル・跨線橋やその前後の区間では、それらの建設・改修時の経済的負担を少しでも緩和するために、パンタグラフを下降させて通過させることを前提として縮小限界が設定されることが多いが、鉄道運輸庁から受領した建築限界（案）では、それが設定されておらずレールレベルから 7.9m の高さが上部限界となっている。今回の現地調査では、対象区間全ての下路式トラス橋及び跨線橋のクリアランスを確認することはできていないが、3.5.3 及び 3.5.4 で計測した下路式トラス橋や跨線橋と同じ程度のクリアランスと仮定すると、全ての跨線橋、跨線人道橋及び下路式トラス橋で架け替え又は改修が必要となり、建設費が著しく増大することが想定されるため、橋梁・

トンネル・跨線橋区間では縮小限界を提案することとする。

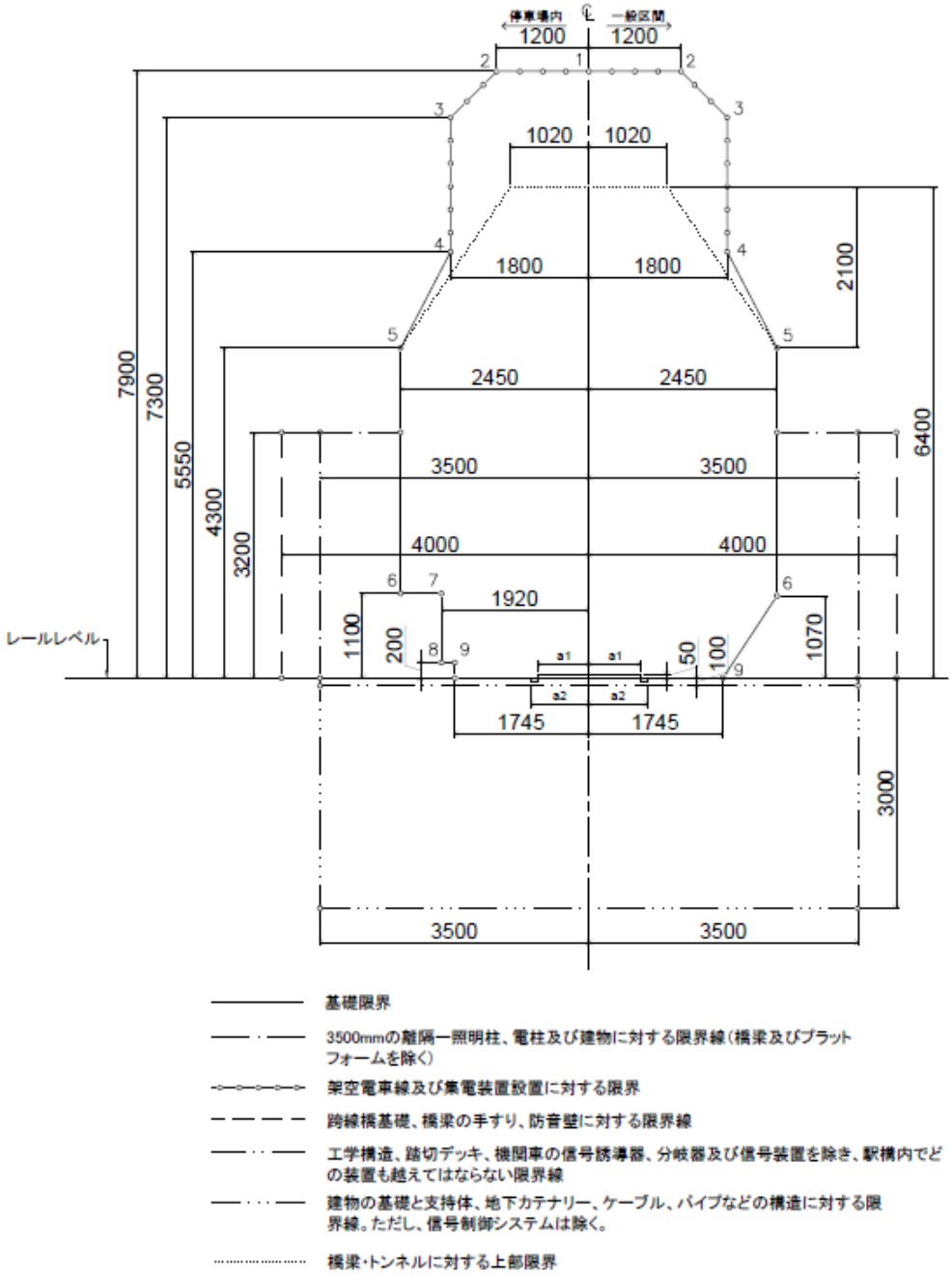
旧ソ連の基準では、橋梁及びトンネルにおける建築限界高さは、6.4m 以上にしなければいけないという規定がある。また、隣国で既に電化されているウズベキスタンの例として、中国～キルギス～ウズベキスタン間のトンネルで使用されている建築限界を図 4-25 に示すが、建築限界高さは旧ソ連の基準と同様に 6.4m となっている。なお、建築限界の幅や車両限界の数字は、「ト」国で電化用として検討されている値と同じであることから、同様の縮小限界を加えた図 4-26 に示す建築限界（案）を提案する。

以上より、橋梁及びトンネルにおける縮小限界は H=6.4m となるため、3.5.3 及び 3.5.4 で測定した下路式トラス橋や跨線橋と同じクリアランスが今回計測できなかった箇所も確保されているならば、改修は必要ないと判断される。ただし、今後の追加調査または詳細設計では、対象区間における全ての下路式トラス橋や跨線橋のクリアランスについて、現地で計測することが必要である。



出典：Feasibility Study of New Rail Links between the Ferghana Valley, Bishkek and Kashgar

図 4-25　中国～キルギス～ウズベキスタンを繋ぐ鉄道のトンネルにおける縮小限界



出典：調査団

図 4-26　縮小限界を考慮した電化時の建築限界（案）

(9)　既存踏切設備に対する検討

第一段階の整備で対象とする Gyokdepe～Bayramaly 間では、53 箇所の踏切がある。ロシアでは、非常制動による列車の制動距離は 800m 以下を標準とするように定められており、旧ソ連の一国であった「ト」国でも同様の基準が適用されると考えると、最高速度 160km/h までは鉄道と道路が平面交差することが許される。従って、最高速度 120km/h を目標とする第一段階の整備では、これまで同様に平面交差とすることが許されるが、踏切事故を極力減らすためには、交差道路をオーバー

パスまたはアンダーパス化して立体交差にすることが望ましい。なお、「ト」国では、道路の立体交差は道路担当省庁及び自治体が費用面も含め担当しており、立体交差化する場合にはこれらの関係機関と鉄道省が事前に協議を行い、優先度の高いものから随時改修していく必要がある。

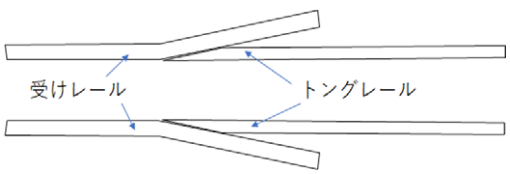
(10) ロングレールに対する検討

3.5.2 で述べたように、「ト」国では長さ 25m（若しくは 12.5m）の定尺レールを 700m まで溶接したロングレールを用いており、ロングレールとロングレールの間には 12.46m、12.44m、12.40m のレールが挿入されている。

日本の在来線では、1）騒音・振動の低減、2）列車動揺の低減による乗り心地向上、3）継ぎ目部でのレール損傷の逓減、4）軌道と車輪のメンテナンスコストの削減を目的に、数キロメートルのロングレールが用いられ、ロングレール両端のレールの伸縮に対応できるように伸縮継目として図 4-27 に示すような伸縮装置が使用されている。伸縮継目は、特殊な形状をした「トングレール」と「受けレール」で構成される。トングレールは先端が細くなっており、受けレールはその外側にある。トングレールと受けレールは伸び縮みしても接しながらずれるだけなので、継ぎ目には隙間ができず、車輪は滑らかに通過することができる。ただし、ロングレール敷設時には、レール内の残留軸力を開放する必要がある点に留意が必要である。また、列車の加減速により、レールが長手方向に滑動するふく進という現象が生じると伸縮継目のストロークが不足したり、過大になったりして、伸縮継目が温度変化によるレールの伸縮量を吸収できなくなることがあるため、レールのふく進に対するストローク管理が必要となる。

騒音・振動の低減、列車同様の低減による快適性の向上、レール及び車輪メンテナンスコストをより低減するためには、レール継ぎ目を減らすことが望ましいが、レールのふく進に対するストローク管理が適切に行われないと事故につながる可能性もあるため、第一段階の整備では現在「ト」国で用いられている 700m のロングレールタイプを用いることを提案する。なお、段階整備により最高速度を向上させる際には、レール継ぎ目部に作用する衝撃力が高まるため、日本で用いているような伸縮装置を用いたロングレールによりレール継ぎ目部の隙間を無くすことを検討するのが望ましいと考える。

出典：Wikipedia



出典：調査団

図 4-27　日本で用いられているロングレール用伸縮装置

(11) 砂嵐対策に対する検討

鉄道運輸庁へのヒアリングによると、第一段階の整備区間であるアシガバット～マリー間でも砂嵐により軌道面が砂で覆われる被害が生じているとのことであったが、規模及び範囲を特定することはできていない。そのため、今後行われる追加調査または詳細設計で規模及び範囲を特定し、適切な対策方法を検討する必要がある。

なお、対策方法としては、砂嵐の規模に応じて下記に示す 3 つが現段階では考えられる。

- 対策方法 1、砂嵐の規模が小規模な場合：30cm 程度の葦の新設
- 対策方法 2、砂嵐の規模が中規模の場合：対策方法 1 よりも高くした葦を設置
- 対策方法 3、砂嵐の規模が大規模の場合：鉄道を高架タイプに変更

対策方法 1 は、「ト」国で現在、幹線道路に対する砂嵐対策として行われている 30cm 程度の葦を新設することで軌道上に飛散してくる砂の量を減らす方法で、砂嵐が小規模の場合に有効であると考えられる。対策方法 2 は、対策方法 1 では軌道上に飛散してくる砂の量を十分に抑制できない中規模の砂嵐の場合に用いる対策である。対策方法 3 は、上記の対策 1 及び 2 では、抑制できない規模の砂嵐が生じる区間における対策方法で、鉄道を高架にして、高架下に砂の通り道を作るものであり、壁などで砂嵐被害を防ぐ方法に比べると、溜まった砂の排出などの維持管理を削減することが可能であると考えられる。

4.4.3　駅施設計画

(1)　貨物駅

列車本数の増加に対し、列車の走らせ方、駅構内の使用方の工夫で、現状設備のままでも、ある程度までは対応可能と考えられる。しかし、大幅な増発には、輸送機材はもとより、留置線や荷役設備の抜本的な増強が必要となる。

設備投資経費を勘案すれば、まずは機関車、貨車の増備から始め、列車の運用方法と荷役方法の工夫で輸送力の増強を図っていくのが現実的だと考える。今後の詳細な調査では貨物駅の荷役設備等の検討が望まれる。

(2)　旅客駅

3.6.2 で述べたように、既存駅舎は比較的良い状態であるため、建て替えは考慮しない。また、需要予測によると旅客の利用量は 2055 年でも、2018 年時点の約 1.7 倍程度であることから、第一段階の近代化事業では、改札はこれまでと同様に車内改札を想定する。プラットホームは、現在低床ホームとなっている駅で、旅客ホームの高さを R.L+1.1m の高さまで嵩上げし、列車乗降時の段差をなくして利便性を高める。

4.4.4　電気システム計画

鉄道を電化するにあたり、鉄道運輸庁側に提案するため変電システム計画を作成した。

(1)　送電線網

アシガバッドを中心として、トルクメンバシ、マリー、トルクメナバットの鉄道全線の近傍に掛かる送電線網を検討してみると、基幹送電線は 220kV を主として、110kV の送電線網が見られた。また、この他に 35kV の送電線鉄塔も随所に見られたが、エネルギー省・トルクメンエネルゴ(以下、トルクメンエネルゴと記載する)との協議の結果、送電線網の容量が小さく、鉄道用には使用できないとのことであった。その結果、今回の電化計画に適した変電所の受電電圧は、220kV と 110kV であるが、110kV の送電線から受電を行うのが経済的にも保守メンテナンスの上からも最良である。しかしながら、110kV の送電線網はマリー付近だけに集中しており、時折沿線に見る送電線は線路容量が小さく、これも鉄道負荷には耐えられないとのことであった。さらに、220kV の送電線は規定上途中分岐ができないことから、基本は 220kV 変電所の直接受電として、110kV の変電所でも受電が可能な箇所については、この電圧で受電することを計画する。電化計画の基本となる変電所の受電電圧、送電線の容量、受電場所については、今後トルクメンエネルゴと協議の上で詳細な検討が必要である。

(2)　電源側の電圧不平衡

今回の計画では、三相・単相変換の変圧器を使うことを前提としていることから、三相側電源の不平衡及び電圧変動を軽減できるものとしている。しかし、電力系統設備の実情や近隣諸国の内情によっては、変圧器の変更(単相・単相)を伴うことも考慮する必要もある。

(3)　受電回線の保護協調及び運用

受電する回線の保護及び、き電用変電所の運用に関する事項については、今後、鉄道運輸庁とトルクメンエネルゴが協議の上で最終的な方式を決定する必要がある。

(4)　受電設備

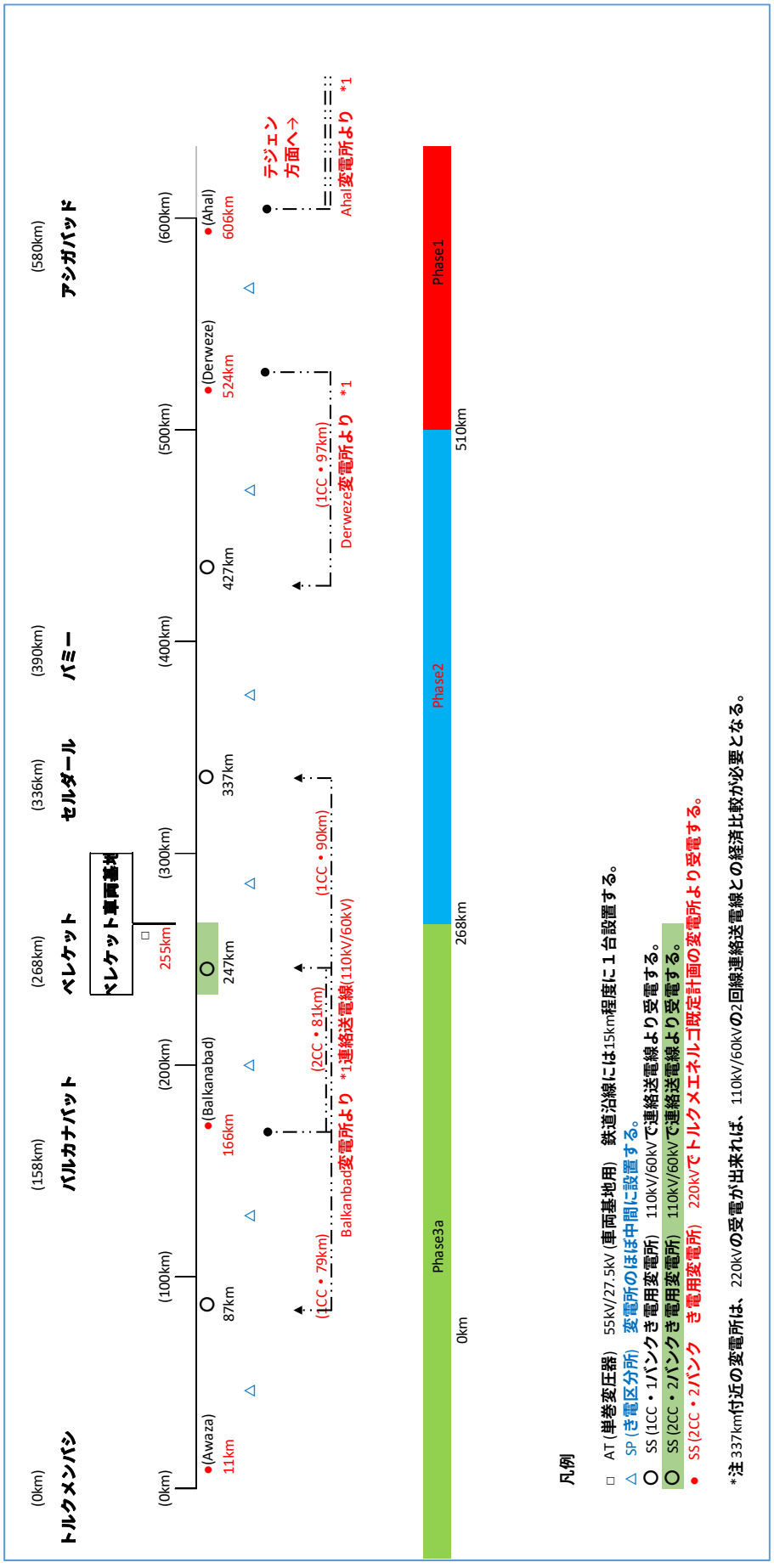
変電所を交互に 2 回線受電で計画したが、トルクメエネルゴの規定により送電線は発電所又は変電所からの直接引出しが原則であるがとなり、ロケーション上すべての変電所が直接引出しできないことからとなり、220kV 又は 110kV の連絡送電線建設も視野に入れて計画を行う。この結果により、2 回線２バンクと 1 回線 1 バンクの変電所が計画されるが、変電所においてアクシデントが生じても、き電設備の運用には影響が出ない設備構成を提案した。

(5)　変電所計画案

1)　本調査による変電所計画

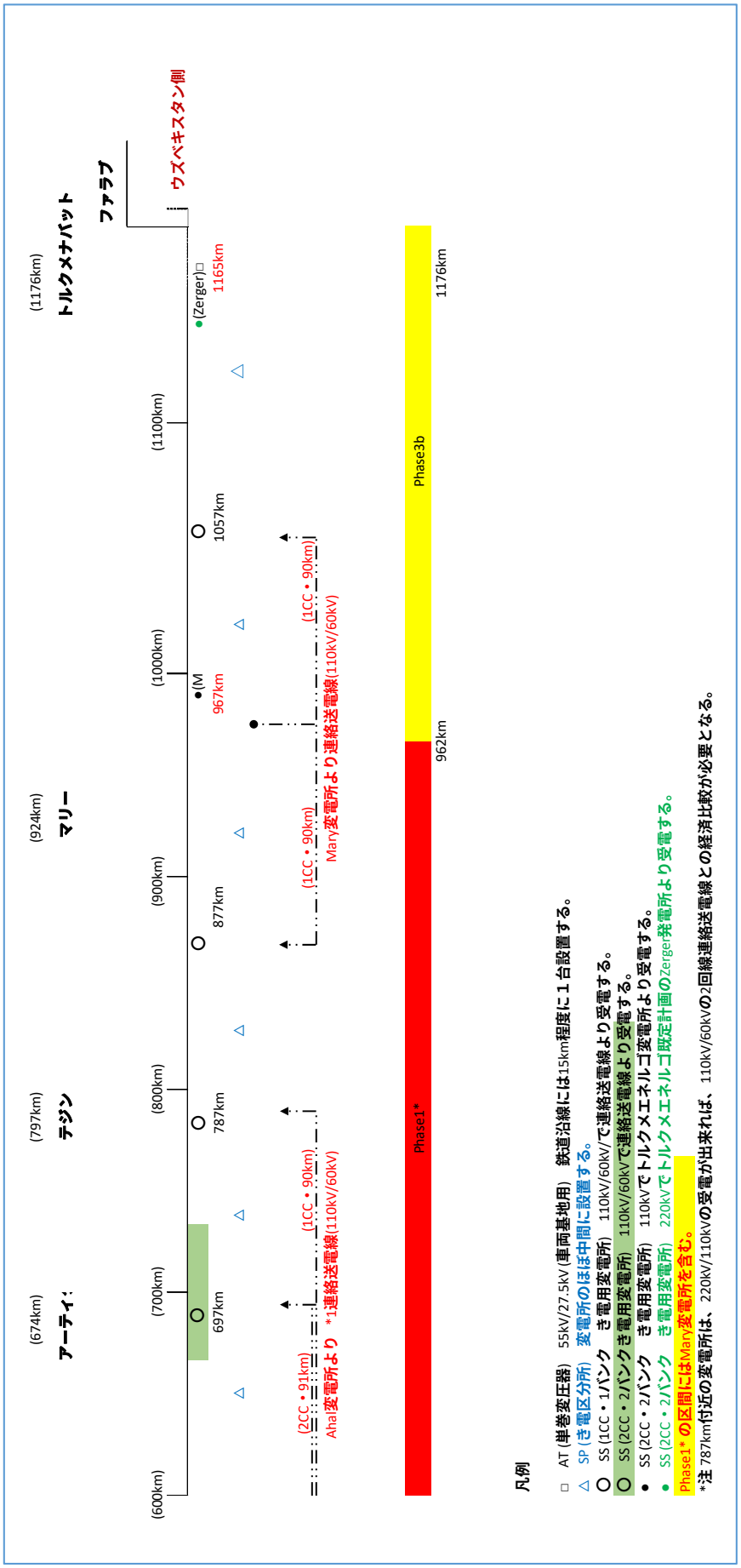
a)　変電所の受電計画

今回、計画した変電所位置と受電電圧 110kV 連絡送電線方式を図 4-28 及び図 4-29 に示す。



出典：調査団

図 4-28　鉄道運輸庁（トルクメンバシ～アシガバッド間）連絡送電線を考慮した変電所計画（案）



出典：調査団

図 4-29　鉄道運輸庁（アシガバッド～トルクメナバット間）連絡送電線を考慮した変電所計画（案）

今回計画した変電所の受電電圧は、「ト」国の送電線網を基に行った。この送電線網の中から、在来線の変電所に適した受電電圧を 110kV として計画を進めたが、トルクメンエネルゴと打合せを行った経緯の中で、110kV の送電線網は系統の短絡容量(バックパワー)が非常に小さく、鉄道用負荷に耐えられないとのことであった。このことから、その上位である 220kV で鉄道沿線に近いトルクメンエネルゴの変電所からの受電を基本として、110kV の連絡送電線方式を検討することとなった。実設計において 220kV と 110kV では、金額的にも技術的にも大きな違いがあること、さらに保守・メンテナンス作業においても同じことが言えるため、鉄道運輸庁側も違いの大きいことは認識を持っていた。また、トルクメンエネルゴの規定では、送電線の途中分岐が出来ないなど制約が多い中、すべての変電所を 220kV で受電することは経済的に負担が大きくなる。また、マリー付近では 110kV の送電線網が多いことから、この近辺の変電所については 110kV の変電所から直接受電することで計画し、変電所は全線において 14 箇所とした。110kV の連絡送電線については鉄道関連以外で利用することも想定されるため、トルクメンエネルゴの協力により、トルクメンエネルゴの事業として実施することにより、鉄道プロジェクトの事業費を削減できる可能性がある。

b)　変電所の位置

変電所の位置検討では、日本国内の在来線を参考に変電所の距離間隔を決め、駅付近では信号設備や電路のセクションに問題が生じないよう位置を決定した。変電所の間隔は経済性を考え、なるべく長い距離を確保することとしたが、鉄道運輸庁側の規定で電圧降下を考えるとき電距離は最長 70km と定められているため、今後、受電方式も含めた詳細な協議が必要となる。

(6)　機器の構成

き電用変電所は一般的に屋外型を基本とするが、都心部近郊又は安全面（220kV 受電）を考慮するような場所では、部分的に GIS（Gas Insulated Switchgear）や屋内型も考慮する。鉄道運輸庁は GIS の課題について認識しており、屋内変電所についても認識している。屋内型については、消火設備が重要であり、自動消火設備の設置が必要と認識している

(7)　電車線電圧

電気機関車等にエネルギーを供給する電車線の電圧を表 4-18 に示す。

表 4-18　電車線の電圧

種別	電圧
最高電圧	27.5kV（国際標準）
標準電圧	25（kV）
最低電圧	17.5（瞬時）～19.0kV 2 分

出典：調査団
*電気機関車の詳細が確定しないので、最低電圧は日本の情報等により想定した

(8)　き電方式

変電所の電力は、電車線路（架線）とレールを通じて電気機関車等に供給される。このとき、き電回路の帰線側が大地に接したレールとなるため、帰線電流の一部が大地に流出されてしまう。交流電気鉄道では、この流出電流（漏洩電流）が付近の通信線に対して誘導障害を起こすので、流出電流を抑制するための対策として各種のき電方式が用いられている。主な交流き電方式として「直接（SF: Simple Feeding）き電方式」「BT（Booster Transformer）き電方式」「AT（Auto Transformer）き電方式」の３種類がある。「ト」国近隣諸国では、直接き電方式 「一部 BT き電方式」を採用しているが、今回は日本でも幅広く採用され、高速、大電流にも対応している AT き電方式を提案した。

AT き電方式は、「変電所間隔を大きくできる」、「通信線に対する誘導障害の軽減効果が大きい」「レールから大地に流れる漏れ電流を限定できる」など高速鉄道にも適した多くの特徴をもっていることから、現在では高密度・大電力用に適した「単巻変圧器（AT：Auto Transformer）き電方式」がヨーロッパをはじめ諸外国でも多く採用され始めている。また一般的に、AT の間隔は標準 15km 程度までの間隔で設置されている。AT は各変電所(SS：Sub Station)、き電区分所（SP：Sectioning Post）及び、AT ポスト（ATP：AT Post）に設置される。打合せの中で、鉄道運輸庁側の計画でも AT き電方式を検討していた。

(9)　き電回路の構成

1)　変電所等の種別と位置

交流き電用変電所では、隣接した変電所間の電源の位相が異なるため、変電所と変電所の中間にき電区分所（SP：Sectioning Post）を設けるため、変電所のき電分担距離を片側 45km 程度とし、変電所間隔を 90km 程度で提案したが、規定では変電所の間隔について 70km 以内と定められていた。しかしながら、電化されていない中で、このような規定が出されていることは、近隣諸国の直接き電方式をベースとしたものと思われ、今後、AT き電方式の利点を生かし、変電所間隔の距離を延ばすためにも詳細な説明及び規定の改定が必要となる。また、電圧降下の救済及び弱電回路の誘導障害を軽減するために AT ポスト（ATP：AT Post）を設ける。

2)　方面別のき電方式

110kV の電圧を使用したスコット結線変圧器を用いた場合、き電用変圧器の二次側各座（M 座・T 座）（220kV の電圧を用いた場合は A 座・B 座となる)の電圧を、変電所を中心に起点・終点のき電回路へ供給する方面別き電方式を提案する。また、単相負荷のアンバランスを解消するため不等辺スコット結線変圧器を用いた場合は、方面別一括き電方式を提案する。

(10) き電系統の運用方式

1)　異相セクション

変電所やき電区分所の引出し直下では、き電用変圧器の M 座と T 座（A 座・B 座）の電源が突き合わせとなる。き電区分所では電源系統が異なる電源が突き合わせとなるので、列車通過時にはパンタグラフによる異相電源の短絡を生じないように異相セクション前では列車のノッチ制御を行い、セクションを通過させる。

2)　延長き電

変電所、き電区分所の設備として延長き電が行えるような構成としている。延長き電とは、変電所において片座(A 座又は B 座)に故障が発生した場合、隣接のき電区分所まで、同相電源を送りき電延長を行う、隣接変電所で停電が発生した場合には、き電区分所を延長して隣接変電所まで き電を行う。但し、き電用変圧器、単巻変圧器、遮断器などの定格は正常き電を前提に行うこととする。送電線から 2 回線で受電している箇所については、き電用変圧器を２台設けて常用・予備の運用を行い、また他の機器も２重化するため、停電が継続する可能性は非常に少なくなり、全線区を見たときのメンテナンスも時間的制限を受けることが少なくなる。

3)　き電回路の電圧降下

き電回路の電圧降下は、電気機関車の位置、機関車の電流、同一き電区間内の列車数、線路勾配、回路のインピーダンスなどの前提条件によりよって異なるが、与えられた最大負荷条件を基に今後試算を行い、電車線電圧の許容変動範囲に入るものとする。

4)　き電回路の高調波

想定される電気機関車は PWM（Pulse Width Modulation）コンバータで交流電力を直流電力に変換した後、VVVF（Variable Voltage Variable Frequency）制御により電圧と周波数を変化させることにより三相誘導電動機を駆動している。そのため一次側の電流波形は正弦波に近いため低次の高調波電流が少なく、き電用変電所では低次の高調波対策は不要と考える。また高次の高調波についても機関車の車両内で低減が図られているため非常に少ないと考える。

5)　電磁誘導

鉄道の電磁誘導は、き電回路におけるレールが変圧器の１次巻線、通信線が２次巻線に相当することから大まかな変圧器回路が成立し、レールからの電磁誘導により、通信線に誘導電圧が発生する。この電圧は周波数、漏れ電流、相互インダクタンス及び線路と通信線の並行区間の長さに比例する。「ト」国の電化計画では、総延長 1,176km と非常に長距離であるが、都市部を除くと大部分が砂漠地帯となっているため、都市部に特化して考えればよいと考える。また車両負荷から、高調波電流がき電回路に流出すると高調波による電磁誘導電圧が発生するが、これを線間の雑音電圧と

呼び対策として以下の事項を検討する必要がある。大地に漏れる電流を抑制するため、今回の提案では AT（単巻変圧器）方式を採用し積極的にレール電流を吸い上げることで誘導を軽減している。通信線をレールからできるだけ離して遮蔽ケーブル又は光ケーブルを採用する。鉄道運輸庁からは、大部分が光ケーブルを採用しているとのことであったが、光ケーブルの容量については不明である。

(11) き電用変圧器

き電用変圧器は、送電線側の三相不平衡を少なくするため、110kV 受電の変電所は基本的にスコット結線変圧器又は不等辺結線変圧器とし、220kV 受電の変電所には変形ウッドブリッジ結線変圧器又はルーフデルタ結線変圧器を提案した。トルクメンエネルゴでは、三相から単相に変換するとき、このような種類の変圧器を使用した経験がなく、鉄道の負荷に使用する場合にその利点を説明した。今回提案した変圧器は、一般的な三相から単相へ変換する変圧器と比べると、電気鉄道特有の特殊性が見えるが、国の情勢等により特に問題があるようであれば、三相変圧器の組み合わせでも対応が可能である。変圧器の運用について、鉄道運輸庁側も同様の考えで２台設備し１台は常用、残りの１台は予備として使用し、並列運転は行わない。変圧器１台が故障時には予備器に切り替わることで正常にき電回路を確保する。鉄道運輸庁より、変電所で 1 回線 1 バンクの個所は信頼性について指摘があったが、延長き電の運用において対応可能であるため、大きな問題はない。今後は、このような技術的な運用も含め丁寧な説明が必要となる。また、都心部において騒音が問題になると思われる箇所は、低騒音形の変圧器を採用、又は防音壁で囲うなど地下変電所も考慮に入れる必要がある。

1)　き電用変圧器の種類

三相電力系統から、電気車のような単相（二相）で駆動される電力を使用すると、三相側において不平衡が生じ、一般の機器に種々の弊害を起こす場合があるため、三相側の電流は出来る限り平衡させることが望ましい。このために、鉄道運輸庁で計画している変電所は、三相電力を単相電力に変換する場合、同一送電線から三相の R・S・T を単相―単相変圧器を使用して変電所において、R－S、S－T、T－R と交互に組み合わせ不平衡の減少に対応している。しかし、列車負荷やダイヤ乱れなどが生じた場合、トルクメンエネルゴの規定に抵触する恐れがあるため、場合によっては高額な三相不平衡の補償装置を採用する必要がある。日本では、き電回路を方面別または上下線別にして、出来るだけ三相側の各相の電流が等しくなるようにしているため、この方式を説明し提案した。また、き電システムでは、三相電力を単相電力に変換するための変圧器として「スコット結線変圧器」・「不等辺スコット結線変圧器」・「変形ウッドブリッジ結線変圧器」また最近では「ルーフデルタ結線変圧器」などのき電用変圧器を採用していることを説明した。

2)　き電用変圧器の二次側出力電圧

架線の電圧は電気機関車の仕様（想定）において、最高電圧は 27.5kV である。従って、AT き電方式の場合には、き電用変圧器の２次側出力電圧は「55kV」となる。電源電圧変動に対しては、き

電回路の電圧が最高電圧となるように調整できる変圧器の一次側タップ（無電圧タップ切替方式）を提案する。

(12) 一般用配電線

1) 一般用配電線の目的

鉄道運輸庁では、従来から駅や信号機器室付近で保守・メンテナンスを行う鉄道員の宿舎に駅や信号設備からの電源を家庭内に供給する習慣があり、電源が停電した時でも信号の非常用発電機から電源を確保し、周辺の一般用（家庭等）にも供給している。このため、鉄道が電化されてもその習慣により、非常時には一般用電源の確保が必要となる。一般用電源は、従来通り高圧 1 万ボルトで配電を行うが、詳細な電源容量等は、今後検討が必要である。

(13) 配電盤

監視制御保護を行う配電盤は、鉄道運輸庁側もプログラマブルコントローラ（PC）、デジタルリレーなどのマイコン応用機器を採用しコンパクト化・メンテナンスフリー化を図ることを基本として ME（Micro Electronics）配電盤を導入する。なお、マイコン応用機器を使用する ME 配電盤を採用する場合、建物には空調設備を設ける必要がある。

(14) 遠方監視制御システム

1) 設備概要

電力管理システムは中央指令所からの全線一括制御・一括監視を基本とするが、全線を分割して段階的な運用を行った場合は、地区指令的な運用及び増設も可能なものとする。

2) SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)システム

き電用変電所（無人）・き電区分所などの監視・制御は、アシガバット市内に予定している中央指令所から行うことで計画する。鉄道運輸庁でも、新たにカザフスタンの国境（Serhetyaka）から Bereket 間、及び Bereket からイランとの国境(Akyayla)間で、信号用電源設備の監視・制御用に SCADA が導入されていた。変電所等から中央指令所間の伝送方式等については、光ケーブルを使用して実情を勘案しながら今後鉄道運輸庁側と遠方監視制御方式について検討・協議する必要がある。

3) SCADA システムの特徴

SCADA システムの特徴として、効率的なマンマシンインターフェース、機能を集約した操作性、視認性の向上を目的とする設備や、情報処理装置による電力系統の自動制御を行い、電力系統の運用や故障内容の判断などを装置が処理することで、指令員の負担を軽減することを目的とした装置を提案する。

4)　機器の冗長性

交互に設置された 2 回線２バンクの変電所では、受電設備、き電用変圧器などの主要機器はすべて２重化構成となっており信頼度の高い機器運用ができる構成とした。但し、1 回線 1 バンクの変電所では経済性から、き電回路での運用により運転に支障が出ないよう機器を確保している。

(15) 変電所の設備容量

1)　前提条件

変電所の変圧器容量（KVA）を算出する計算条件として、電気機関車の最大電流（A）、電気機関車の最大編成重量＋貨物最大けん引重量（t）、き電距離（km）、列車本数（本/h）、機関車力率（pf）、電力消費率（kWh/1000t・km）が必要となるが、現時点では条件となる詳細な数値が確認できていないため、最終的な変電所容量の決定は、これら条件が決定した後となる。

2)　機関車関連のデータ

電気機関車の想定したデータ、列車ダイヤを基に安定走行が可能な変電所設計を行う。変電所容量を算出する上で必要となる条件は表 4-20 に示す。

(16) 電車線路設備

電車線路設備については、鉄道運輸庁との技術的な打合せや、現地調査を行っていないが、在来線沿線から部分的に地形を見て判断したので、実施については今後、総合的な調査が必要となる。

1)　支持物

「ト」国の大部分が砂漠地帯という立地条件を考えると、トンネル区間（アンダーパス）も数か所見られる程度で、ほとんどが明かり区間となる。すでに単線非電化で運用されているので、支持物は鉄道沿線に電柱を建植する形となる。電柱は、施工する場所によりコンクリート柱又は鋼管柱を選定し、今後の打合せによっては耐震性を考慮したものを使用して工事を行うこととなる。また、電車線支持方式は可動ブラケット方式を提案し、高速走行にも対応可能とする。

2)　電車線方式

電車線方式は、速度特性、トロリー線の摩耗性、及び経済性を考慮したヘビーシンプルカテナリ方式、又は CS（Copper Steel）シンプルカテナリ方式を提案する。また、碍子の選定については、各地域の汚損分布を調べ汚損区分により適合したものを選定することとなる。碍子の種類については、最近日本でも利用が増えているポリマー碍子の使用も一つの選択肢とする。架空地線（GW：Ground Wire）は、雷害が予想される箇所に設備し、200m 毎に接地（30Ω 以下）を行い、落雷と事故電流と区分するため、懸垂碍子で絶縁する。

3)　電柱建植・可動ブラケット取付け

現在、運行している非電化区間の沿線には工事用道路が見られず、運行ダイヤから見ると作業時間が 3 時間程度の間合いしかなく、工事施工側には厳しい条件となっている。電柱建植は、工事用道路ができれば一般道路からアプローチして機力で行うことができるが、可動ブラケットの取付けは人力を基本として取付けを行うことで考えている。

4)　電車線架設

電車線の架設は、ちょう架線、トロリー線ともすべて架線延線車及び架線作業車を使用した機力施工を考えているが、実質 2 時間程度で出来る作業はワンドラム（約 1,200～1,600m）程度である。軌陸車にドラムを積んで出来る作業は、トロリー線、メッセンジャー、ハンガーのみであり、GW・AF（At Feeder）・NW（Neutral Wire）及び金具類は別である。また、3 時間という作業時間内に、軌陸車を本線から退避させなければならず、軌陸車の移動や横取り装置をどのように考えるか、今後の課題として残る。今後、このような諸条件の中で、どのようにして工事施工するかを念頭に入れて詳細な検討を行う必要がある。また、電車線の工事は工事工区を何パーティーに分けて施工するかが争点となると考える。

(17) 第一段階の電気システム計画

Gokdepe－アシガバット－マリー－Bayramaly 間の電化計画について、対応する区間の変電所等について計画を行う。Gokdepe－Bayramaly 間は線路長約 452km であり、この区間に変電所 6 箇所、き電区分所 5 箇所及び 14km～15km 毎に 1 箇所変圧ポストを設備する。変電所は、約 90km 以内に 1 箇所設備を行い、変電所のほぼ中間地点にき電区分所を設置する。受電電圧は 220kV を基本としているが、マリー付近では 110kV の送電線網が多くみられることから、この付近に計画する変電所は 110kV 受電で計画する。また、受電電圧 220kV の変電所は、トルクメンエネルゴの送電線から供給することとなるが、トルクメンエネルゴの規定において、送電線の中間から T 分岐又は π 分岐で引出すことは認めておらず、引出しはすべて変電所又は発電所の構内からとなっている。トルクメンエネルゴの発電所に近いき電用変電所は 2 箇所しかなく、残り 4 箇所はトルクメンエネルゴの発電所又は変電所から延々と送電線を敷設するか、又は鉄道庁側で連絡送電線を設備することとなる。今回、全対象区間の現地調査や詳細な打ち合わせができなかったが、仮に発電所から発電所の中間に変電所又は開閉所などの設備があれば、その箇所から分岐することは可能かと考えられる。連絡送電線が必要となった場合、鉄道運輸庁側は電源の安定供給のため、220kV の送電線を必要と考えているようだが、日本側が提案している 110kV の連絡送電線との比較では、技術的にも金額的にも大きな差があることは認識されているようだ。また、連絡送電線方式となった場合には、保守・メンテナンスはトルクメンエネルゴに委託するようであるが、将来に亘っては設備そのものを移管したい意向でもある。第一段階の近代化計画の中には、「ト」国の首都であるアシガバッドが中心的に含まれており、綺麗に整備された街中には送電線どころか電柱も見当たらない、このような場所に変電所の建設はかなり難しい選択となり、少し離れた場所に設備しても、地下変電所もしくは GIS(ガ

ス絶縁開閉装置)方式の屋内変電所となる可能性も考えられる。鉄道運輸庁側も GIS については認識があり、地下変電所の場合は自動消火設備の設置まで検討されている。遠方監視制御システムについては、該当する変電所、き電区分所の機器制御及び機器状態の監視、故障時の表示等を指令所に上げるもので、場所は首都でもあるアシガバット市内に指令設備を設ける。

4.4.5　信号・通信計画

(1)　信号

軌道改良や列車更新に伴う速度向上によって運行列車本数が増加する。改良された路線における最高運転速度と列車輸送密度に応じた軌道回路長の見直しが必要である。それに伴って信号設備、列車検知、列車保安装置などの追加や更新が必要となる。また、連動装置については各駅（停留所）の経年や老朽度が異なることが予想されるため、各駅の装置の状態と運行計画上の重要度を考慮して更新計画を作成しなければならない。本邦企業の技術を導入する際は、既存の連動装置の制御（進路構成、解除など）を参考にして、既存設備や保守面で支障無い仕様にしなければならない。

運行管理システムについては既存のシステムの仕様における制御可能な列車本数など上限値を確認し、運行本数の増加や複線化に耐えうるシステムであるかを判断する。また、既存システムが対応可能であっても、既存システムの改良費用と更新費用の比較検討を行い、設備改良の工事に伴う営業運転への影響も考慮して方針を決定する必要がある。

各担当地区に区画された分散配置の構成であり、貨物輸送量の増加や高速列車の増発の可能性を考慮すると、相互の情報共有に関しては今後の列車密度向上に向けて何らかの対応が必要であると思われる。

(2)　通信

光ケーブルの敷設を行う。光ケーブルの仕様を決定するに際しては将来のネットワーク構成や通信量の増加を考慮して余裕を持ったケーブルの芯数や機器の選定を行う必要がある。通信設備の追加や更新については既存システムの構成と使用状況をおよび技術的動向を考慮して方式の決定やシステム構成を計画する。電化を行う際は全ての変電所の管理が必要となるため、情報収集や遠隔制御を行うための通信量が増加する。さらに走行車両数の増加は確実であるため、列車と地上（駅およびコントロールセンター）との通信量は増加する。（通話、将来のモニタリング機能など）また、駅とコントロールセンター間の通信量も監視カメラの追加やサービス情報の提供など将来増加する可能性が大きいため、十分に拡張性と余裕度を持つ必要がある。複線区間が発生する場合、対向線路への支障に対しての安全策を検討しなければならない。列車防護の機能について必要性を含めて検討を行う。安全な運行を行うための各種気象条件（風、地震、降雨など）のモニタリングについても経済性を考慮しつつ検討を行う必要がある。

通信線路が光ケーブル化される区間が今後電化される場合には、内部的には通信誘導障害に対する影響は少ないと思われる。しかし、電化区間が既存の一般通信線路と接近するような箇所におい

ては、通信誘導障害に対して対策を取らなければならないことがあるため、関係機関と事前の調整が必要である。

(3)　今後留意するべき事項

新たに日本製の車両が導入される場合は、既存の列車検知システムに対して十分に機能が発揮できるかを検証しなければならない。また、速度向上を既存の装置で行う場合は、速度の向上に伴い各種装置の性能が十分に発揮できているか確認を行わなければならない。

本事業の対象外となる線区や各フェーズの境界については既存システムとのインターフェースを確立し、既存のシステムに影響を与えないようにする必要がある。必要に応じてインターフェースのための装置を導入する。

本邦企業が参入する場合は、特に屋外や車両に搭載する装置において、「ト」国の気象条件（温度、日中温度差、湿度、風力、砂嵐）についての情報提供が重要である。例えば、日本で一般的な自動列車停止装置（ATS）を導入する場合、日本国内の仕様が適用できるかの調査が必要である。

施工面においては、機器やシステムの整備計画が既存の装置のまま行うのか、どのタイミングで更新するのか、土木の施工計画の整合性が取れるのか、営業運転への影響など様々な要因と調整を取りつつ計画案を作成する必要がある。また現地政府の他の計画との整合性についても確認を行う。

事業費の算定の精度向上のためには「ト」国と協議のうえ要求仕様をまとめ、それぞれの機器について必要となる性能を定義していく必要がある。特に信号・通信システムについては、安全に配慮した設計が必要である。このため、より詳細に現地の視察を行い、既存設備の状態を把握する必要がある。

4.4.6　車両計画

車両の計画を行う上で重要なポイントの一つに、最大速度が挙げられる。現行の運転速度は最高約 70km/h で、将来の目標として貨物列車で 100km/h、旅客列車で 120km/h としている。今回の現地調査から、高速化することで懸念される事柄として下記の点が考えられる。

(1)　適正なブレーキ力の確保について

1)　応荷重装置の再検討について

現行の貨車のブレーキ装置には、積み荷の積載状況によってブレーキ力を調整する応荷重装置が取り付けられており、表 4-19 に示すように三段階のブレーキ力を発生させる構造になっている。

表 4-19　貨車の応荷重装置

位置	積み荷の状態
「積」	重たい荷物
「中位」	軽い荷物
「空」	積み荷が無い状態

出典：調査団

しかしながら切り換えの段階は大まかな設定であり、それぞれの積み荷の状態に対するきめ細かいブレーキ力の確保は困難と考えられる。また、それぞれの切り換えは積み荷を積載した時点で手動でセットする構造になっている。

そのため、検討案として応荷重装置は、積み荷の重量の動きを自動的に検知し、必要とするブレーキ力が発生する構造とすることを考える。

自動化のためには、積み荷の重量で生ずる台車のたわみ量を自動的に検知した上で空気圧力に変換させ、相応のブレーキ力を発生させる構造としてはどうかと考える。

2)　空走時間短縮の検討について

現行の貨車の空気ブレーキ装置は、ブレーキ弁操作の減圧によるブレーキ管の圧力変化の伝播のタイムラグにより、ブレーキ操作から停止までの時間や距離を必要とする構造となっている。このブレーキ操作から停止までの時間を「空走時間」と言っている。

今後、これまでの最大速度を向上させようとする場合や、運転ダイヤの密度を高めようとする場合には、この「空走時間」を短縮する必要がある。図 4-30 に現行の貨車空気ブレーキ装置を示す。

出典：調査団

図 4-30　現行の貨車空気ブレーキ装置

よって、これらを改善するため電磁弁を併用することにより、ブレーキ管の圧力変化の伝播のタイムラグを無くして、編成各車のブレーキの「空走時間」を短縮し、ブレーキの同期性の向上を図るべきと考える。

(2)　ディーゼル機関車の車輪構造について

現行のディーゼル機関車の車輪は「タイヤ・輪心車輪方式」が主となっているように見受けられた。この方式はレールと接触する踏面が摩耗した時、タイヤのみを交換するだけで良いという利点がある反面、ブレーキ時にタイヤの熱膨張による弛緩などの欠点もある。

そのため、高速化が進む中では走行時の安全性向上に向け、「一体圧延車輪方式」の導入について検討する必要があると考える。。

(3)　車両の仕様

上記の課題を踏まえ、高速化に対応した電気機関車及び貨車の導入を提案する。また、旅客についてはEMUの導入を提案する。想定した電気機関車及びEMUの仕様を表4-20および表4-21に示す。

表4-20　想定した電気機関車の仕様

項目	仕様
電気方式	標準架線電圧 AC25KV　50Hz 、最低電圧 AC19kV
機関車編成構成	電気機関車2重連
最大けん引重量	4,200トン
編成出力	最大6,000kW×2重連＝12,000kW
単機出力	6,000kW（可変出力4,000kW又は3,000kW）
最高運転速度	120km/h
車輪	タイヤ・輪心車輪方式

出典：調査団

表4-21　想定したEMUの仕様

項目	仕様
電気方式	標準架線電圧 AC25KV　50Hz 、最低電圧 AC19kV
編成構成	5両（3M2T）
定員	5両315人
車体構造	アルミダブルスキン構体（気密構体）
最高運転速度	200km/h

出典：調査団

第一段階の近代化で必要となる車両数について表 4-22 に示す。電気機関車の必要車両数は 4.4.1 に示す通り。EMUは旅客需要をもとに昼行列車と夜行列車の割合を想定し、算定した。貨車については空想時間を短縮するため電磁自動空気ブレーキ等に対応した貨車とする。貨車の必要車両数は鉄道運輸庁より入手した車齢別の貨車数をもとに直近に更新が必要となる貨車に加えて、貨物需要の増加に対応した新規車両の購入数を算定した。

表 4-22　第一段階の近代化で必要な車両数

車両種別	必要車両数
電気機関車	45 両
EMU	6 編成（計 30 両）
貨車	4,200 両

出典：調査団

4.4.7　車両基地・車両工場計画

車両基地・車両工場の計画については、電化前提で、車両数は現行の車両数と同程度である事をイメージして検討することとした。

(1)　ディーゼル機関車と電気機関車の構造上の特徴

ディーゼル機関車と電気機関車の構造上の特徴を表 4-23 に示す。

表 4-23　ディーゼル機関車と電気機関車の構造上の特徴（重要部品のみ抜粋）

装置別	ディーゼル機関車	電気機関車
給電方式	エンジン・発電機による	架空線による
エンジン	○	×
発電機	○	×
パンタグラフ	×	○
燃料タンク	○	×
変圧器	×	○
電子機器部品	×	○

出典：調査団

表 4-23 に示すように、電気機関車とした場合には、エンジンや発電機などの大型機器のメンテナンスを行う必要がなくなる。そのため、作業場の使い方についてもレイアウト変更により有効活用できる可能性がある。

一方でディーゼル機関車には取り付けられていない、パンタグラフ、変圧器、電子機器部品、交流モーター等の新たな機器を扱うことになる。

一般的にディーゼル機関車と電気機関車のメンテナンスに要する作業量を比較すると、電気機関車の作業量が少なくなる。

(2)　電気機関車の検修を開始するための検討事項

これまでディーゼル機関車の検修作業を行ってきた既存の工場でも、若干の設備投資やレイアウトを変更することで電気機関車の検修作業も可能と考える。ただし、今後に架線の引き込みが可能かどうか検討する必要がある。また、車両数が現行とほぼ変わらないことを条件としている。

今回の現地調査の結果から、既存の工場の体制を電気機関車向けに改良するためには、以下の点について検討しなければならないと考える。

1)　出場検査ラインへの架線の敷設と遮断器の設置

電気機関車全体の組み立てが終了し、最終チェックとしての「出場検査」を行うためには、通電されたライン上で作業を行う必要があり、給電用の架線を敷設する必要がある。

架線を敷設する場合、架線を支持するための柱を立てる必要があり、現行の線路間のスペースに設置できるか確認する必要がある。架線のイメージとして図 4-31 に示す。

出典：調査団

図 4-31　架線のイメージ

また、電気機関車の屋根上機器を点検する際には架線の電気を遮断しなければならず、その都度、必要に応じて架線の電気の「入り・切り」が行える遮断器を設置する必要がある。

今回調査を行った現場では、電気機関車の出場検査の作業場として改良したい作業場には天井クレーンが配置されており、架線を引き込む際に支障する可能性がある。そのため、天井クレーンとの共存を図るための工夫が必要となる。

ちなみに、改良対象となる作業場はベレケット車両基地においては<パターン１～3>の検査を行うための検修庫内の２線が候補として考えられ、アシガバット機関車工場においては手直し作業場として使用している４線の内の１線が候補として考えられる。

2)　パンタグラフの検修場の確保について

基本的に架線から電気を集電するためのパンタグラフについてはオーバホールの際に分解検査されるが、電気機関車運用中に不慮の事故で損傷することも考えられるため、アシガバット工場においても対応できるよう検修場と試験機等の検修設備を整えるべきと考える。パンタグラフのイメージとして図 4-32 に示す。

出典：調査団

図 4-32　パンタグラフのイメージ

3)　交流モーター用試験機について

交流モーターは直流モーターに比べ、検修作業も容易で、作業場のスペースも狭くて済むが、無負荷による回転試験は必要であり、試験のためのスペースと試験機を確保しなければならない。

4)　空気ブレーキ用空制弁の試験機について

電気機関車に使用されている空気ブレーキ用空制弁は、従来の空制弁の改良型である可能性が高く、構造や試験要領も異なると考えられる。

そのため、分解・組立作業は現行の設備を併用することになるが、試験機については新型空制弁に対応できる試験機を設置する必要性がある。そのため、不要となった試験機等の整理を行うなど、作業場のレイアウトを見直す必要がある。

5)　台車枠の探傷方法の再検討について

一般的に高速化された場合、台車や車体の振動が増幅され、台車枠等のストレスによるキズ入りの可能性が高まる可能性がある。キズは出来るだけ初期の小さいうちに発見し、大きなダメージを受ける前に対処すべきと考える。

そのため、探傷方法も発見精度の高いものにする必要があり、その一つの手段として「磁粉探傷装置」導入が考えられる。

6)　その他

全体的に作業場内の必要のない検修設備や不用品の整理を行うことはもちろんのこと、修繕待ち部品の保管場所の再検討を行うなど、作業場のレイアウトについて再検討する必要がある。

その際、可能な限りディーゼル機関車と電気機関車の作業場を区別し、スペアパーツも機関車種別

ごとに管理することが望ましい。

また、全てのスペアパーツに対し「物品コード」「品名」「形状」などの表示を徹底し、作業者がディーゼル機関車と電気機関車のものを間違って使用することのないよう配慮する必要がある。

4.4.8　事業費概算

事業費算出の方針は 4.3.2(5)に述べた算出方針と同様である。第一段階の概算事業費は表 4-24 に示す。

表 4-24　第一段階の概算事業費

【単位：百万 USD】

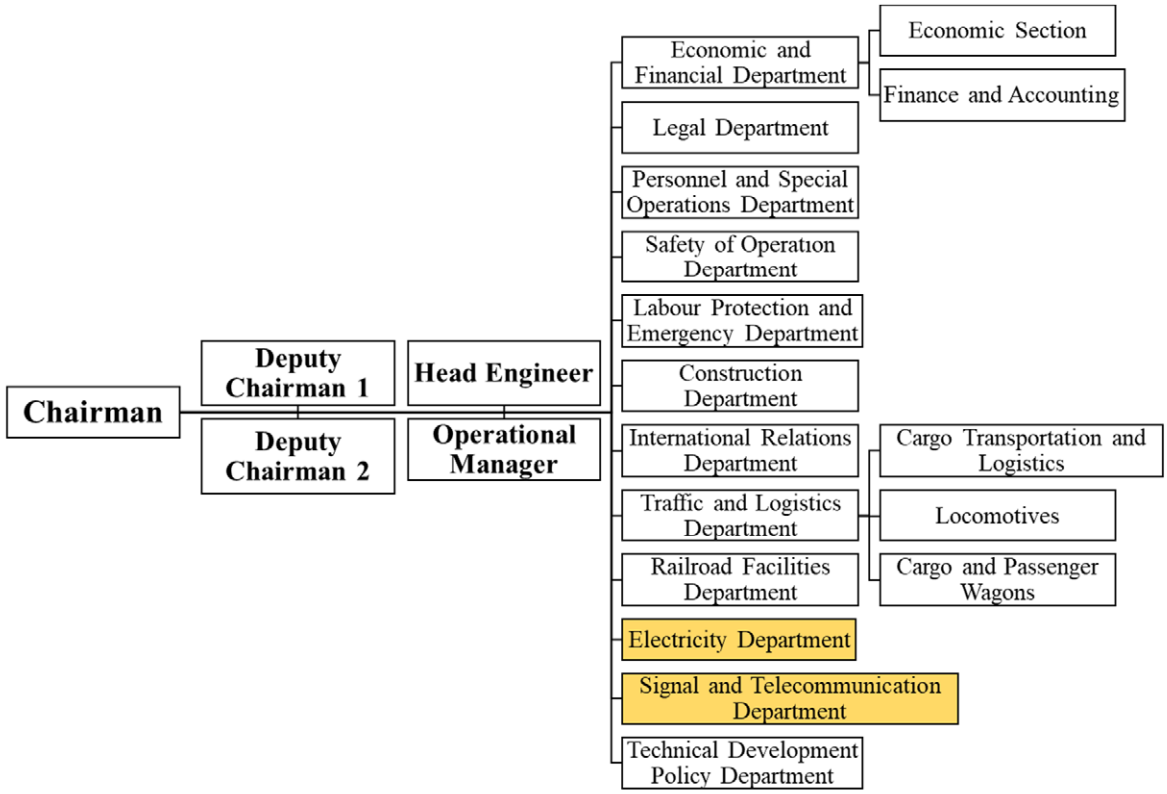
項目		金額	割合(%)
電力	変電所	130.1	13.0
	送電線	113.3	
	電力指令所	11.1	
	電車線	95.2	
通信システム		423.1	15.8
車両基地改修（E&M 含む）		154.0	5.8
車両	電気機関車	290.5	23.0
	旅客電車（EMU）	132.8	
	貨車	193.7	
信号	信号システム（信号、ｹｰﾌﾞﾙ）	366.4	17.5
	連動装置（主要駅）	58.1	
	連動装置（一般駅）	35.0	
	自動列車停止装置（ATS）	9.2	
土木	路盤噴泥の補修	45.3	24.9
	ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾀﾝﾊﾟｰの調達	18.9	
	損傷レールの交換	77.3	
	電化用レールボンドの設置	0.1	
	締結装置とマクラギの交換	153.4	
	線路立入防護柵の設置	99.6	
	工事用道路の設置	36.3	
	一部複線化に伴う線路敷設（橋梁、盛土、軌道含む）	230.5	
	旅客ホームの嵩上げ	4.1	
小計		**2,678.0**	**100**
予備費（5%）		133.9	ー
エンジニアリングコスト		118.1	ー
合計		**2,930**	ー

出典：調査団

4.4.9　運営計画

現在も鉄道運輸庁で鉄道の運行・維持管理が行われているため、近代化後も引き続き鉄道運輸庁が運行・維持管理を行うことが想定される。しかし、電化や信号・通信システムの改良を行い、これらを適切に維持管理するためには電力や信号・通信を専門に担当する部局を新たに設置することが

望ましい。また、その他の部署についても車両を担当する部署、軌道を担当する部署は高速化に伴いこれまでよりもはるかに入念に維持管理を行う必要があり、人員を増やすとともに維持管理能力の強化を行う必要がある。



出典: 調査団

図 4-33　運行・維持管理体制

4.4.10　経済的・財務的事業評価

第一段階の近代化計画の財務的・経済的事業評価を行うため、Geokdepe – Ashgabat – Mary – Bayramaly の近代化を対象として経済分析及び財務分析を行った。

(1)　経済分析

1)　概説

経済評価は、本事業の効果を検証し、その事業実施の経済的妥当性を評価することを目的とする。経済評価では、国民経済にとって好ましい効果を便益とし、国民経済が保有する資源の消化を費用として分析を実施することで、国民経済に資する事業であるかの評価を行う。

経済評価は、キャッシュフローによる、経済便益と経済費用を比較した費用便益分析に従って行う。

2)　基本前提条件

以下に示す基本前提条件を設定した。

- 評価期間は 36 年（供用開始後 30 年）。残存価値はゼロと仮定。
- 供用開始年：2027 年
- 社会的割引率：10%。
- インフレは考慮しない。
- 為替レートは、1USD=3.5 TMT

3)　経済便益

経済便益は、事業が実施された場合“With Project”と事業が実施されなかった場合“Without Project”を想定し、With Project”と“Without Project”の時間や燃料等の費用の差として定義される。

本事業の実施によって期待される便益として貨物と旅客の時間費用の節約（Travel Time Saving, TTS）と燃料費の節約を計算した。なお輸送量に関するトンキロ、トン時間、人時間等の指標は交通需要予測結果を活用した。

a)　貨物の時間費用の節約便益

貨物の時間費用は貨物の時間当たり機会費用、運送事業者の従業員の単位時間当たり機会費用、車両の単位時間当たり機会費用を合計して計算した。

貨物の時間当たり機会費用は 14 の品目別に「ト」国統計年報(2018 年)の輸出価格と輸出量（トン）等を用いて当該貨物の価値に長期金利（16%）を乗じて求めた。長期金利は「ト」国の情報が入手できなかったため、ウズベキスタンの利子率を活用した。

With ケースでは近代化により増大する貨物需要を鉄道で輸送することができるが、Without ケースでは鉄道の輸送量が限定されるとともに運行本数も限られるため、トラック輸送への転換が生じる可能性が想定される。このため、対象区間において Without ケースでは 2018 年の貨物輸送量の 120%（2018 年の 20%増）を超える貨物量についてはトラックで輸送されると想定し、運送事業者の従業員の単位時間当たり機会費用と車両の単位時間当たり機会費用を算定した。

運送事業者の従業員の単位時間当たり機会費用は世界銀行による 2018 年の一人当たり国民総所得（USD 6,740）を年間勤務日数 219 日、1 日の労働時間 7.5 時間で割ることで計算した。車両の単位時間当たり機会費用はトラック 1 台当たりの新規購入費用を 50,000 USD、償却期間 10 年、残存価値 1,000 USD として 1 年あたりの償却額を算定した。その上で、１年間の稼働日を 1 年のうちの 90%の日とし、稼働日 1 日の稼働時間を 10 時間として算定した。

b)　旅客の時間費用の節約便益

旅客の時間費用の節約は対象区間の区間別旅客数をもとに現状の表定速度（46km/h）をもとにwithout ケースの時間費用を算定し、改良後の表定速度（旅客 90km/h、貨物 80km/h）を用いて近代化後の時間費用を算定し、その差として算定した。時間価値は世界銀行による 2018 年の一人当たり国民総所得（USD 6,740）を年間勤務日数 219 日、1 日の労働時間 7.5 時間で割ることで計算した。

c)　燃料費の節約便益

燃料費の節約も同様の考え方により対象区間において Without ケースでは 2018 年の 120%（2018 年の 20%増）を超える貨物量についてはトラックで輸送されると想定し、トラックで輸送した際の軽油消費が節約できると仮定し便益を算定した。トルクメニスタンにおける民間事業用の軽油価格は 2020 年 1 月現在付加価値税（VAT）込みで 1,617 マナト/トンである。ここから VAT を除外し、単位を変換すると約 0.33 USD/liter となる。しかし、軽油価格に含まれている補助金等が明確でないため、近隣のウズベキスタン、カザフスタン、アフガニスタンの軽油価格を参考 0.55 USD/liter として便益を算定した。

d)　経済便益の算出結果

2027 年、2040 年、2055 年の本事業の経済便益は以下のとおりである。

表 4-25　経済便益

便益年	経済便益（百万 USD）			
	貨物の時間費用の節約	旅客の時間費用の節約	燃料費の節約	総便益
2027 年（供用年）	23	74	23	119
2040 年	99	88	101	288
2055 年	247	109	252	608

出典：調査団

4)　経済費用（事業費、運営維持管理費）

本事業の事業費及び運営維持管理費用は、以下のとおりである。尚、運営維持管理費は、事業費の 1%と設定した。市場価格に対する経済価格の割合は 0.85 とした。初期投資に加え、交通需要の増加に合わせて 5 年ごとに車両を追加する計画とした。

表 4-26　経済費用

事業費（経済価格）	2,491 百万 USD
車両の追加投資（経済価格）	674 百万 USD
維持管理費（経済価格）	775 百万 USD

出典：調査団

5)　費用便益分析

上記で推定された経済費用及び便益に基づき費用便益分析を実施した。経済内部収益率は 6.7%で

あり、公共事業投資で費用対効果の基準として一般に用いられている 10～12%と比較すると低い数字であるが、今回データ制約等により算定が困難であった便益や貨幣換算が困難な便益もあり、これらの影響を考慮すると公共事業として費用対効果が高い事業と言える。今回算定できなかった便益は温室効果ガスの排出量削減、将来の時間価値の増大による便益の拡大、交通事故の削減、経済開発による波及効果等が挙げられる。

表 4-27　費用便益分析結果

指標	結果
経済内部収益率（EIRR）	6.7%
便益・費用比率*	0.64
純現在価値 NPV (USD 百万)*	-698

注：社会的割引率は 10%
出典：調査団

(2)　財務分析

1)　概説

財務分析は、事業実施主体の観点から、本事業の財務的妥当性を検証することを目的とする。本評価は、推定された収入及び建設費・運営維持管理費に基づき実施されるが、ここでは、金利コストを除外した資金調達条件に左右されない投資に対する回収を前提としたキャッシュ・フロー分析を実施する。

2)　基本的前提条件

以下に示す基本前提条件を設定した。

- 評価期間は 36 年（供用開始後 30 年）。残存価値はゼロと仮定。
- 供用開始年：2027 年
- 事業実施主体は「ト」国鉄道運輸庁とした。
- 「ト」国での長期金利指標が公表されていないため、ウズベキスタンの長期金利指標である 16%を採用。
- インフレは考慮しない。
- 為替レートは、1USD=3.5 TMT

3)　収入の算定

本事業の収入は、貨物と旅客の利用料金と設定する。2018 年の鉄道運輸庁の財務省表の売上高をもとに、以下の条件を設定して算定した。

- 貨物事業の料金収入は需要予測における貨物需要に比例すると仮定。

- 旅客事業の料金収入は需要予測における旅客需要に比例すると仮定。
- その他の事業収入は貨物事業と旅客事業の売上の和に比例すると仮定。
- 2055 年までの需要予測の増加率をもとに、2055 年の収益を算出。

表 4-28　料金収入

年	料金収入（百万 USD）			
	貨物	旅客	その他	合計
2018 年	267	29	169	464
2027 年	442	34	272	748
2055 年	987	49	593	1,628

出典：調査団

4)　費用（事業費及び運営維持管理費用）

本事業の事業費及び運営維持管理費用は、以下のとおりである。初期投資は第一段階の近代化計画の事業費積算結果に基づく。運営維持管理費用は鉄道運輸庁の 2018 年の損益計算書をもとに輸入の増加に合わせて増加すると仮定した。加えて、対象区間の新たなインフラの運営維持管理費として初期投資の 1%を加算した。

表 4-29　費用

初期投資（財務価格）(USD 百万)	2,930
追加投資（財務価格）(USD 百万)	2,336
維持管理費（財務価格）(USD 百万)	36,687

出典：調査団

5)　キャッシュ・フロー分析

上記で算出された費用及び収益に基づきキャッシュ・フロー分析を実施した。分析結果は、以下に示す。財務内部収益率は-4.8%となり、鉄道運輸庁の事業収入のみでは今後の需要増による増収が見込めたとしても初期投資の返済が難しいことを示している。

表 4-30　キャッシュ・フロー分析結果

指標	結果
財務内部収益率（FIRR）	-4.8%
純現在価値 NPV (USD 百万)	-1,413

出典：調査団

6)　感度分析

鉄道運輸庁が単独で現状の料金体系で事業を行うことが困難であるため、政府が一定の補助を行った場合や料金収入が増加した場合について感度分析を実施した。表 4-31 では 4 つのケースを設定し、一部の項目について政府が負担した場合の財務的内部収益率（FIRR）を算定した。その結果、

ケース 4 では政府が変電所、送電線、電力指令所、車両基地改修、土木を負担することとしたが、その場合でも FIRR はネガティブであった。

表 4-31　FIRR 感度分析結果（政府補助金による変化）

ケース	変電所	送電線	電力指令所	電車線	車両	車両基地改修 (E&M 含む)	信号	通信システム	土木	FIRR	政府補助金額 [百万 USD]
1	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	-4.8%	0
2	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	G	-3.2%	727
3	RA	G	RA	RA	RA	G	RA	RA	G	-2.3%	1,019
4	G	G	G	RA	RA	G	RA	RA	G	-1.8%	1,173

注：'RA'は鉄道運輸庁の負担。'G'は政府による補助金。
出典: 調査団

次に、料金体系が見直され、貨物料金収入が 2 割増加したケースを表 4-32 に示す。なお、貨物需要は基本ケースから変化ないと仮定している。一方で、旅客の料金収入は基本ケースと同じと仮定した。この場合、FIRR は改善し、ケース 1 でも 5.3%、ケース 4 では 11.7%となった。このことからは、政府による補助金に加えて貨物の料金体系を見直すことで財務的持続性を確保することができるを改善できる可能性があることが分かる。

表 4-32　FIRR 感度分析結果（政府補助金による変化・貨物料金収入 2 割増の影響）

ケース	変電所	送電線	電力指令所	電車線	車両	車両基地改修 (E&M 含む)	信号	通信システム	土木	FIRR	政府補助金額 [百万 USD]
1	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	5.3%	0
2	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	G	8.3%	727
3	RA	G	RA	RA	RA	G	RA	RA	G	10.3%	1,019
4	G	G	G	RA	RA	G	RA	RA	G	11.7%	1,173

出典：調査団

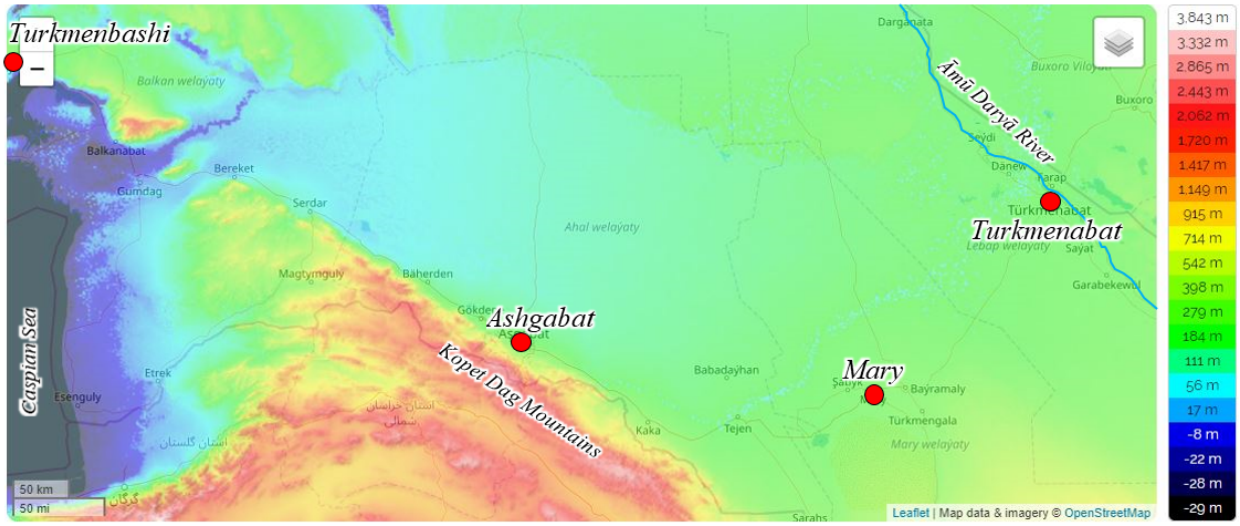
5．環境社会配慮調査

5.1　環境社会面における現状分析

5.1.1　自然環境

(1)　地理、水系、地形地質

「ト」国は中央アジア南西部に位置し、カラクム砂漠が国土の 85%を占める砂漠地帯である。国土の大半は平野であるが、南部はコペトダグ山脈、西はカスピ海に接し、北西部はアムダリヤ川が流れている。



出典：topographic-map.com

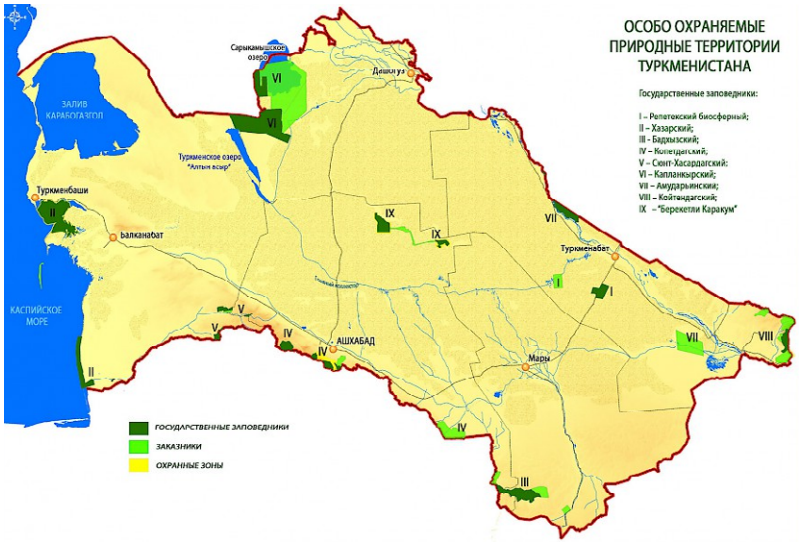
図 5-1　トルクメニスタン国の地形図

(2)　動植物

動植物について「ト」国のレッドブックデータリストが存在する。そのためこれらの種と事業における環境調査結果を比較し、希少種が存在した場合には環境管理計画、環境モニタリング計画にて対応する。

(3)　保護区

農業環境保護省によれば、下図の通り「ト」国では 9 ヶ所の保護地区が指定されている。



出典：Protected Natural Areas of Turkmenistan, MoAEP

図 5-2　トルクメニスタン国の保護区域一覧

表 5-1　トルクメニスタン国の保護区域一覧

No.	保護区名	面積 (km2)	保護区種
I	Repetek Biosphere State Reserve	346	State Reserve, Sanctuary
II	Hazar State Nature Reserve	2,690	State Reserve
III	Badhyz State Nature Reserve	877	State Reserve, Sanctuary
IV	Köpetdag Nature Reserve	497	State Reserve, Sanctuary, Security Zone
V	Sünt-Hasardag Nature Reserve	303	State Reserve, Sanctuary
VI	Gaplaňgyr Nature Reserve	2,822	State Reserve, Sanctuary
VII	Amudarya State Nature Reserve	495	State Reserve, Sanctuary
VIII	Köýtendag Nature Reserve	271	State Reserve, Sanctuary
IX	Bereketli Garagum Nature Reserve	870	State Reserve, Sanctuary

出典：Protected Natural Areas of Turkmenistan, MoAEP

5.1.2　社会環境

(1)　人口

Statistical Yearbook of Turkmenistan 2018 によると、都市部及び農村部の人口比率はバルカン州を除いて全て農村部人口が州の人口の半数を超過しており、人口分布がまばらであることが分かる。また男女比について、アハル州以外は女性の比率が高く、全国平均でも女性が半数以上を占めている。

表 5-2　市州別の人口構成比

州名	都市／農村比		男女比	
	都市部	農村部	男	女
アシガバット市	100.0	0.0	49.6	50.4
アハル州	36.1	63.9	50.0	50.0
バルカン州	81.5	18.5	49.8	50.2
ダショグズ州	30.3	69.7	49.8	50.2
レバブ州	45.2	54.8	49.9	50.1
マリー州	27.2	72.8	49.9	50.1
合計	47.1	52.9	49.9	50.1

出典：Statistical Yearbook of Turkmenistan 2018 year, State committee of Statistics of Turkmenistan

(2)　土地利用

アシガバット~トルクメナバット間の現地踏査の結果、都市部、郊外共に鉄道沿線エリアは拡幅のための用地は確保されており、大規模な土地収用及び住民移転は発生しないものと考えられる。

アシガバット駅付近

アシガバット~マリー間

マリー-トルクメナバット間

トルクメナバット近郊

出典：調査団

図 5-3　都市及び郊外の鉄道沿線の土地利用状況

5.2　プロジェクトの実施に伴う環境改善効果

(1)　大気質及び騒音

鉄道の電化により、沿線の大気質及び騒音レベルが改善する。また貨物のトラック輸送から鉄道輸送へとモーダルシフトが進むことにより、全国的に道路交通量が削減され、国全体の大気質及び騒音レベルが改善する。

(2)　雇用や生計手段等の地域経済

建設時における労働者の雇用促進により、住民の生計向上が図られる。

(3)　土地利用や地域資源利用

列車本数の増加による物流サービスの改善により、地域経済が活性化する。

(4)　既存の社会インフラや社会サービス

鉄道の電化や列車本数の増加により、既存の社会インフラや社会サービスの質が向上する

(5)　事故

貨物のトラック輸送から鉄道輸送へとモーダルシフトが進むことにより、全国的に道路交通量が削減され、交通事故が減少する。

(6)　温室効果ガス

鉄道の電化により、輸送燃料が軽油から電気へ転換されることで、軽油と電気の温室効果ガス排出原単位の差分×輸送距離分が温室効果ガスの削減量となる。また貨物輸送がトラックから鉄道へとモーダルシフト化が進むことにより、トラックと鉄道の温室効果ガス排出原単位の差分×輸送距離分が温室効果ガスの削減量となる。

5.3　プロジェクトの実施に伴う環境社会面の影響

鉄道の電化事業を対象として環境社会面の影響を考慮する。下記のスコーピングマトリックスにおいては、現時点で影響が想定されるもしくは不明の項目にはチェックを入れている。また、影響がほとんど想定されない場合の評価を空欄としており、各評価の詳細については各表の下に記載している。

表 5-3　スコーピングマトリックス

	No.	影響項目＼影響要因	評価	工事前／工事中							供用時			
				用地取得及び移転損失	切土、盛土、掘削等による土地改変	工事用機械や車両の稼動や運行	架線及び架線柱の敷設	その他関連施設建設	建設廃棄物	工事関係者流入及びベースキャンプの設置	評価	鉄道の電化	列車本数の増加	貨物輸送車の削減	架線及び関連構造物の存在
公害	1	大気汚染	✔			✔									
	2	水質汚濁	✔		✔		✔								
	3	廃棄物	✔					✔	✔						
	4	土壌汚染	✔		✔										
	5	騒音・振動	✔			✔				✔		✔			
	6	地盤沈下													
	7	悪臭	✔						✔						
	8	底質汚染													
自然環境	9	保護区	✔		✔	✔	✔	✔							
	10	生態系	✔		✔	✔	✔	✔		✔		✔		✔	
	11	水象	✔		✔										
	12	地形・地質	✔		✔										
社会環境	13	土地収用及び住民移転	✔	✔											
	14	貧困層	✔	✔											
	15	少数民族・先住民族	✔	✔											
	16	雇用や生計手段等の地域経済	✔	✔											
	17	土地利用や地域資源利用	✔		✔										
	18	水利用	✔		✔										
	19	既存の社会インフラや社会サービス	✔		✔										
	20	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織													
	21	被害と便益の偏在													
	22	地域内の利害対立	✔						✔						
	23	文化遺産	✔		✔										
	24	景観	✔				✔			✔					✔
	25	ジェンダー	✔						✔						
	26	子どもの権利													
	27	HIV/AIDS 等の感染症	✔						✔						
	28	労働環境	✔				✔								
その他	29	事故	✔			✔	✔			✔		✔			
	30	越境の影響及び気候変動													

備考）評価：✔項目は現時点で影響が想定されるもしくは不明項目のため、今後調査を実施する必要がある。
出典：調査団

表 5-4　スコーピング結果

分類	N	項目	スコーピング時の影響評価		評価理由	
			工事前工事中	供用時		
公害	1	大気汚染	✔		工事中	工事用機械の稼動により、一時的な負の影響が想定される。
					供用時	大気汚染に繋がる活動は想定されない。
	2	水質汚濁	✔		工事中	渡河区間において掘削による水質汚濁が想定される。
					供用時	水質を汚染するような活動は想定されない。
	3	廃棄物	✔		工事中	土砂や砕石等の建設廃棄物の発生が想定される。またベースキャンプを設置する場合は、そこから一般廃棄物や屎尿が発生することが想定される。
					供用時	廃棄物が発生する活動は想定されない。
	4	土壌汚染	✔		工事中	建設廃棄物を長期間放置した場合、土壌汚染を引き起こす可能性がある。
					供用時	貨物新駅候補地に石油貯蔵タンクを設置する場合、給油時の漏れにより土壌が汚染される可能性がある。
	5	騒音・振動	✔	✔	工事中	工事用機械の稼動により工事騒音・振動の発生が想定される。
					供用時	列車本数の増加により、沿線の騒音及び振動の悪化が想定される。
	6	地盤沈下			工事中	地盤沈下が想定される大規模工事は想定されない。
					供用時	地盤沈下を誘発する活動は想定されない。
	7	悪臭	✔		工事中	ベースキャンプを設置する場合は、そこから一般廃棄物や屎尿による悪臭が発生することが想定される。
					供用時	悪臭が発生する活動は想定されない。
	8	底質汚染			工事中 供用時	底質を汚染するような活動は想定されない。
自然環境	9	保護区	✔		工事中	保護区内を通過する区間において土地改変や工事用機械の稼動により、一時的な負の影響が想定される。
					供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
	10	生態系	✔	✔	工事中	切土や盛土、建設機械の走行、建設廃棄物等による生息環境への影響が想定される。
					供用時	架線及び関連構造物の存在により生息環境が遮断される恐れがある。
	11	水象	✔		工事中	切土や盛土による水象への影響が想定される。
					供用時	水象が大きく改変する活動は想定されていない。
	12	地形・地質	✔		工事中	切土や盛土による地形・地質への影響が想定される。
					供用時	地形・地質を改変するような活動は想定されない。
社会環境	13	土地収用及び住民移転	✔		工事前	詳細設計時に住民移転の可能性を調査する必要がある。
					工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
	14	貧困層	✔		工事前	貧困層の有無は詳細設計時に調査する。
					工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。

分類	N	項目	スコーピング時の影響評価		評価理由	
			工事前 工事中	供用時		
	15	少数民族・先住民族	✔		工事前	少数民族・先住民族の有無は詳細設計時に調査する。
					工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
	16	雇用や生計手段等の地域経済	✔		工事前	住民移転が発生する場合、生計手段に影響が出る可能性がある。
					工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
	17	土地利用や地域資源利用	✔		工事前	切土や盛土による地域資源への影響が想定される。
					工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
	18	水利用	✔		工事中	切土や盛土による飲料水や農業用水等への影響が想定される。
					供用時	本項目に影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
	19	既存の社会インフラや社会サービス	✔		工事中	切土や盛土による既存の社会インフラや社会サービスへの影響が想定される。
					供用時	本項目に影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
	20	社会関係資本や地域意思決定機関等の社会組織			工事中 供用時	本項目に影響を及ぼす活動は想定されない。
	21	被害と便益の偏在			工事中 供用時	本項目に影響を及ぼす活動は想定されない。
	22	地域内の利害対立	✔		工事中	外部からの移住者が雇用され収入を得ていることに対し、地元住民が不満を抱き、移住者が地域社会のしきたりや文化的慣習を尊重せず、敬意を持って接しない場合は衝突が起こる可能性がある。
					供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
	23	文化遺産	✔		工事中 供用時	詳細設計時に、沿線上の文化遺産の有無を調査する必要がある。
	24	景観	✔	✔	工事中 供用時	架線及び架線柱の敷設、その他関連施設建設、存在による景観への影響が想定される。
	25	ジェンダー	✔		工事中	建設工事おいては、重労働のため男性労働者が中心となり、女性にとっては快適な環境とはならない可能性がある
					供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
社会環境	26	子供の権利			工事中 供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
	27	HIV/AIDS等の感染症	✔		工事中	建設労働者の流入により感染症等が広がる可能性がある。
					供用時	本項目に影響を及ぼす活動は想定されない。
	28	労働環境	✔		工事中	「ト」国の労働法に基づき、労働環境が確保されるように、確認を行う必要がある。

分類	N	項目	スコーピング時の影響評価		評価理由	
			工事前工事中	供用時		
					供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。
その他	29	事故	✔	✔	工事中	工事関係車両が既存道路及び鉄道沿線を通行することにより、近隣住民や家畜との接触事故が増加する可能性がある。また現行ダイヤを維持しながら電化工事を実施する場合、列車と工事関係車両との接触事故が発生する可能性がある。
					供用時	列車本数の増加により、人及び家畜との接触事故の可能性が高まることが想定される。
	30	越境の影響及び気候変動			工事中	森林伐採は想定されず、また工事関係機械の数は制限されるため、本項目に影響を及ぼす活動はほとんど想定されない。
					供用時	本項目に負の影響を及ぼす活動は想定されない。

備考）評価：✔項目は現時点で影響が想定されるもしくは不明項目のため、今後調査を実施する必要がある。
出典：調査団

5.4　相手国の環境社会配慮関連法規の概要

5.4.1　環境影響評価に係る法制度等の概要

「ト」国における環境影響評価に係る法・制度・ガイドライン等は多岐に亘る。その概要を表 5-5 に示す。

表 5-5　環境影響評価に係る法制度の概要

分類	法・制度・ガイドライン等
国家憲法	・Constitution of Turkmenistan, 1992 (第 1 章 第 10 条)
環境全般に係る法・制度	・Environmental Audit Law, 2019
環境影響評価に係る主要な法・制度	・Environmental Impact Assessment Law, 1995 ・National Standard of Turkmenistan for Environmental Impact Assessment on the proposed economic and other activities, 2001
大気汚染に係る主要な法･制度	・Air protection Law, 1996 ・Protection Law for Ozone Layer, 2009 ・Radiation Safety Law, 2009
水質汚濁に係る主要な法・制度	・Hydrometeorological Activities Law, 1999 ・Water Code, 2004 ・Sanitary Code, 2009 ・Drinking Water Law, 2010
森林管理・生物多様性に係る 主要な法･制度	・Plant Law, 1993 ・Animal Wildlife Law, 1997 ・Hunting Management Law, 1998 ・Biodiversity Strategy and Action Plan for Turkmenistan, 2002 ・Forest Code, 2011 ・Conservation Law for Fishery and Aquatic Biological Re 出典 s, 2011
気候変動に係る主要な法・制度	・National Climate Change Strategy of Turkmenistan, 2012
その他自然資源管理に係る主要な法･制度	・Specially Protected Natural Territories, 1992 ・Nature Conservation Law, 2014
その他環境保全・環境配慮に 係る主要な法･制度	・Hydrocarbon re 出典 s Law, 2008 ・Protection Law of national intangible cultural heritage, 2015 ・Waste Law, 2015 ・Chemical Safety Law, 2011
用地取得・住民移転に係る主要な法･制度	・Property Law, 1993

出典：調査団

5.4.2　EIA 国家基準(National Standard of Turkmenistan for Environmental Impact Assessment on the proposed economic and other activities) (2001)

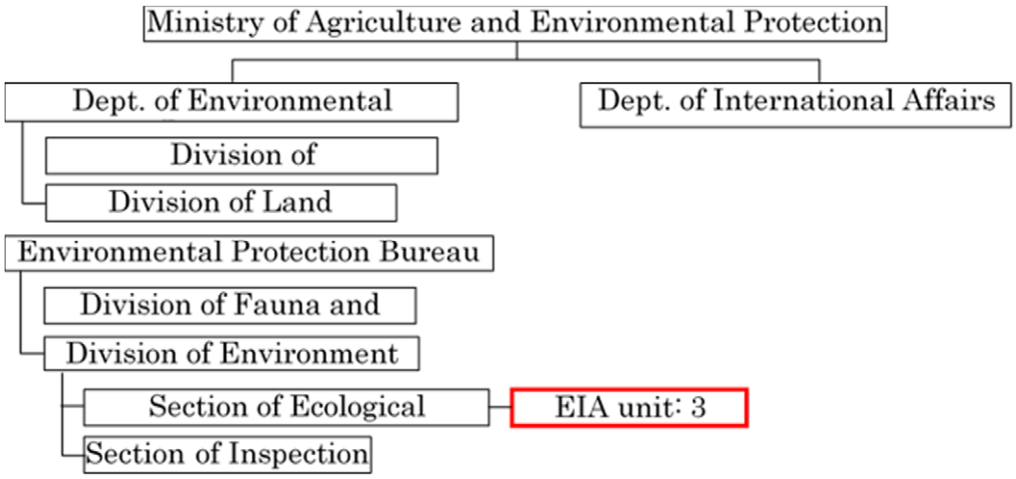
EIA 国家基準は 2001 年 6 月付で通達され、EIA が必要となる基準や EIA を実施する際に準じるステップ等について規定している。EIA 国家基準では、農業環境保護省（MoAEP）が環境の視点から EIA プロセスを事業実施のための必須項目に定めており、EIA の結果は国家環境審議会へ提出することになっている。環境有害事業を表 5-6 の通り定めており、新規鉄道事業も 700km 以上敷設の場合はこのカテゴリに含まれる。事業者は、スクリーニングのための事業提案書を MoAEP に提出し、MoAEP は当該事業が①EIA が必要な事業であるか、②EIA が不必要な軽微な事業であるか等のカテゴリ判断を行う。MoAEP による申請書類の審査機関は、事業者の申請日から 1 ヶ月に規定しているが、MoAEP が書類内容に不備があると判断した場合は、事業者に対し再申請を指示する。

MoAEP による申請書類受理後、提案されたスコーピングリストに従って、事業者は MoAEP に登録済みの専門業者に依頼して調査を実施し、EIA 報告書にまとめる。その中には環境管理計画、環境モニタリング計画を含む必要があり、また住民協議の議事録、参加者リスト等も添付資料とする。今回の鉄道事業のケースでは、EIA 一次報告書として該当路線全体の環境及び社会状況について概略的に作成を行う。その後作成する EIA 二次報告書については、州毎に分かれた詳細な情報を記載し、それと共に土地問題及び住民移転問題について解決済みであるという、各州政府から発行される証明書を添付する必要がある。MoAEP による一次報告書の審査期間は 3 ヶ月、二次報告書の審査期間は 1 ヶ月と規定しているが、MoAEP や報告書内容に不備があると判断した場合、事業者に対し再申請を要請するか、もしくは MoAEP が独自に環境審議会を設立し、独立した専門機関に環境調査を依頼して調査を行うことができる。これらは環境再調査報告書としてまとめられ、EIA の最終判断材料として用いられるが、事業者はこの環境再調査報告書において、MoAEP から肯定的な結論・承認が得られるまで事業を開始することが出来ない。また MoAEP の組織図を図 5-4 に示す。

表 5-6　環境有害事業リスト

事業内容
1. 経済活動に係る建設事業
石油化学、石油精製施設
ガラス、セメント、アスベスト等の製造施設
生化学、生物工学、製薬製造施設
石油、天然ガスの製造、輸送、加工施設
有害廃棄物の加工、輸送、保管、埋め立て施設
無機質肥料、駆除剤の製造、輸送、保管及び使用施設
燃料物質、爆発性物質、有害物資の保管及び輸送施設 - 冶金、パルプ、紙製造を含む施設 - 熱併給形コンバインド発電プラント、その他 300MWh 以上の熱容量を持つ燃焼施設
2. その他建設事業
貿易港、内陸航路、内陸航行用港
大規模ダム、高速道路、700km 以上の長距離鉄道用軌道、2100m 以上の滑走路
その他カスピ海及び沿岸域における全ての活動

出典：EIA 国家基準



出典：MoAEP

図 5-4　MoAEP の組織図

5.4.3　土地収用

土地収用が発生する可能性の高い事業の事業実施者は、計画概要を MoAEP の Division of Land Resources に対し説明する必要がある。その後管轄する州、市毎に役所、地域住民等を巻き込んで協議を行い、最終的には Cabinet of Minister of Turkmenistan からの承認を受ける必要がある。

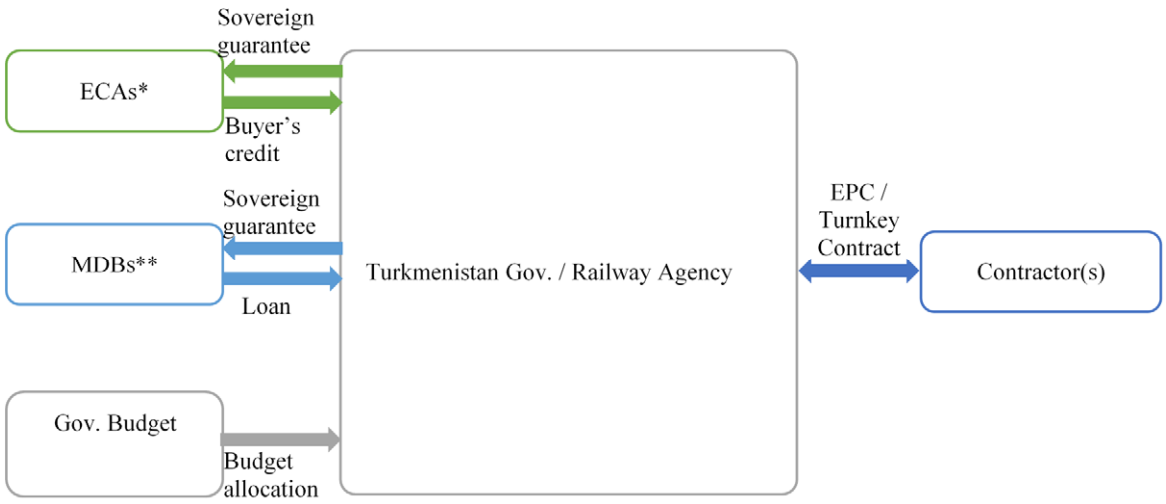
5.5　プロジェクト実施のために当該国（実施機関その他関係機関）が成すべき事柄

「ト」国の EIA 手続き及び土地収用（発生時）には中央政府だけでなく、州政府や地方自治体への手続きも必要となるため、事業をスムーズに実施するために、事業実施機関は事業を広く周知し、早期段階から連携強化に努める必要がある。また鉄道電化のための、発電所からの送電線の敷設や受電変電施設の建設は不可分一体事業に含まれる可能性が高いため、そのルートや敷設方法についても慎重に検討を重ねる必要がある。

6．事業計画及びプロジェクトの資金調達の見通し

6.1　事業実施スキーム

本事業の実施スキームは、EPC (Engineering, Procurement and Construction)契約あるいはターンキー契約が想定される。これらに必要な資金は輸出信用機関（ECA）、国際開発金融機関（MDB）、トルクメニスタン政府予算等を活用することが想定される。ECA 及び MDB からの資金を活用するためには政府保証（Sovereign Guarantee）が必要となるケースが一般的である。実施機関は鉄道運輸庁が望ましいが、政府保証を出す場合、あるいはトルクメニスタン政府からの補助事業として実施する場合はトルクメニスタン政府が実施主体となることが想定される。プロジェクトの実施スキームを図 6-1 に示す。



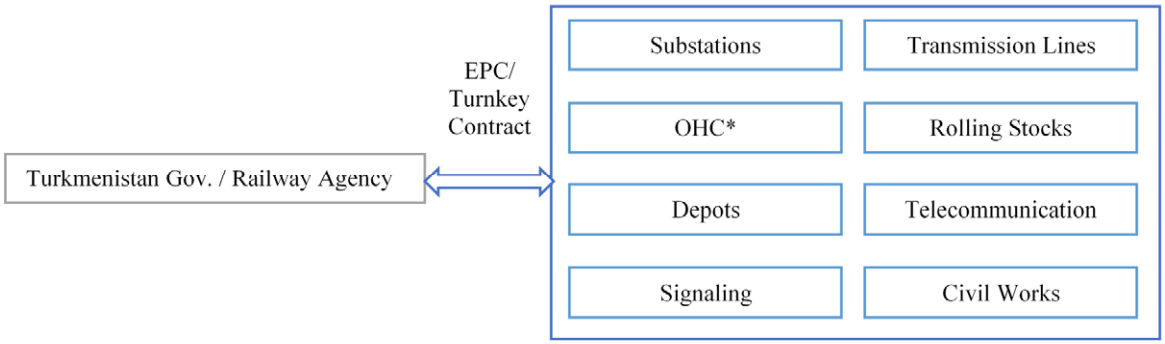
*ECA：輸出信用機関（Export Credit Agency）
**MDB：国際開発金融機関（Multilateral Development Bank）

出典：調査団

図 6-1　プロジェクト実施スキーム

6.2　想定される契約パッケージ

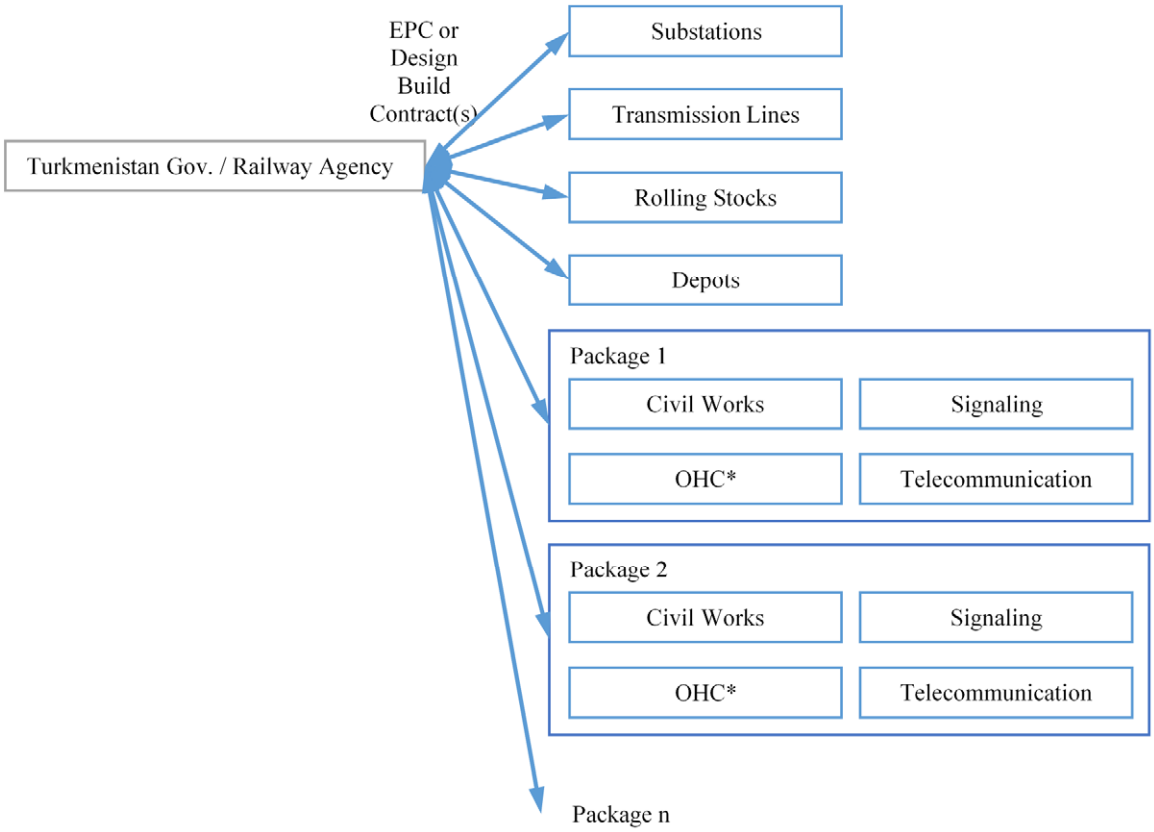
想定される契約パッケージの 3 案を図 6-2（ケース 1）、図 6-3（ケース 2）、図 6-4（ケース 3）に示す。ケース１ではすべてのコンポーネントを一つのパッケージとしてとりまとめ、EPC（Engineering, Procurement and Construction）/ターンキー契約で契約を行う想定である。このケースでは実施主体の技術力や契約管理能力が限られている場合に適している。実施主体としては契約監理が行いやすい一方、契約規模が大きくなるため、上述のように複数の ECA 及び MDB を活用する形式の場合、資金の切り分けが困難となる。また、コントラクターにとっても規模が大きく、実施できる企業が限られる。



*OHC：電車線(overhead catenary lines)
出典：調査団

図 6-2　想定される契約パッケージ（ケース１）

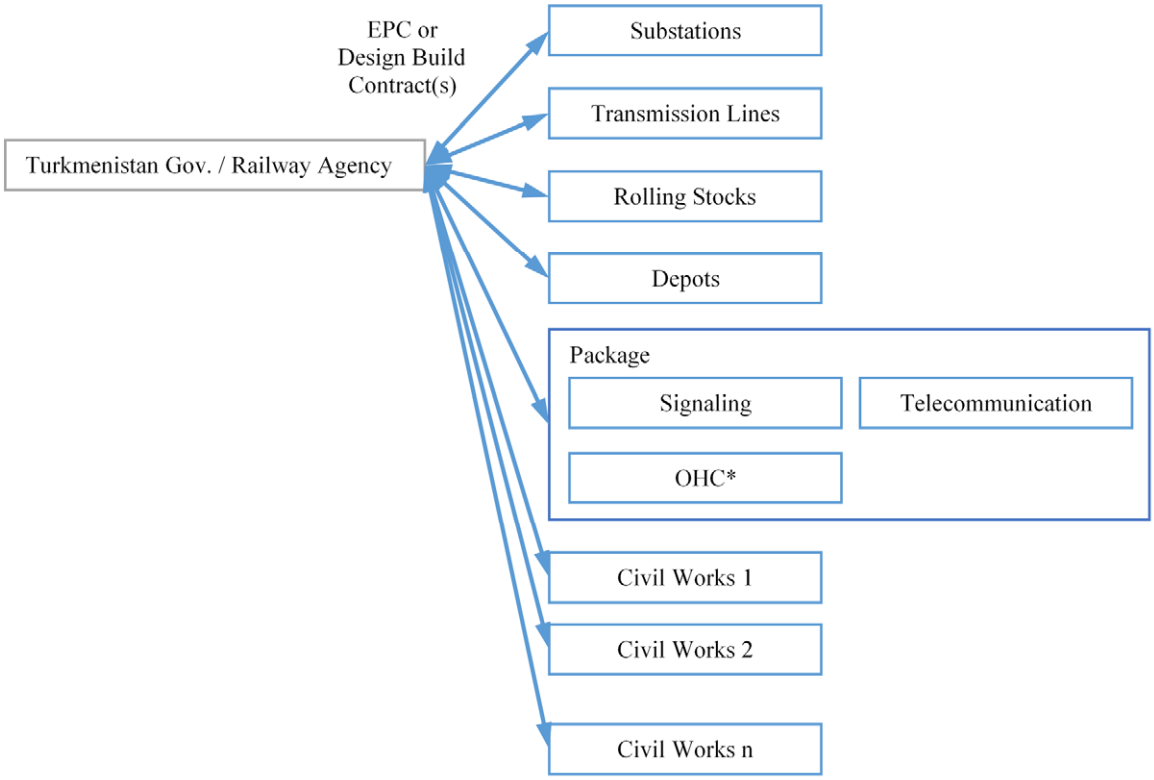
ケース 2 では主要なコンポーネントごとに EPC（Engineering, Procurement and Construction）契約あるいは設計施工（Design Build）契約を締結する形式である。土木と信号、通信、電車線については相互に調整が必要なことからまとめることが望ましいが、一方で、全区間に対してこれら 4 つのコンポーネントをまとめると規模が大きくなるため、4 つのコンポーネントのパッケージを複数の区間で分割している。区間の分割案は今後の詳細な調査でコントラクターの候補者数や規模を考慮して決める必要がある。



*OHC：電車線(overhead catenary lines)
出典：調査団

図 6-3　想定される契約パッケージ（ケース２）

ケース３では信号、通信、架線を一つのパッケージとし、土木については複数の区間で分割する案としている。



*OHC：電車線(overhead catenary lines)
出典: 調査団

図 6-4　想定される契約パッケージ（ケース３）

どのケースが望ましいかについては詳細な調査の中で想定される金額規模、企業数、企業の実施能力等を総合的に勘案して提案することとなるが、現時点では事業規模を考慮するとケース２及びケース３が現実的と考えられる。また、EPC 契約とすることで事業期間の短縮を図ることができる。

7．プロジェクトの実施スケジュール

第一段階の近代化のプロジェクト実施スケジュール案を図 7-1 に示す。今後、事業実現可能性調査（Feasibility Study, F/S）を行い、融資機関の審査のための情報収集とプロジェクトの実現可能性の検討が必要である。F/S の実施、調達支援（Tender Assistance）までを「F/S 及び調達支援段階」とし、概ね 16 か月程度の期間を要する。その後、EPC（Engineering, Procurement and Constriction）契約の場合は EPC 契約先の調達手続きの「調達段階」で概ね 1 年程度の期間が必要となる。EPC 契約による設計、調達、建設を行う「EPC 契約段階」で 3 年半から 4 年程度を要し、その後は瑕疵担保期間となる。なお、工期短縮のため、一部の段階はその前の段階が完了する前に作業を開始する提案としている。プロジェクトの実施スケジュールの上でクリティカルパスとなる可能性が高い項目として車両の調達が挙げられる。今後本格的な検討を行う際には生産ラインの空き状況やロシアの技術基準である GOST 規格への対応に要する時間等を検討する必要がある。

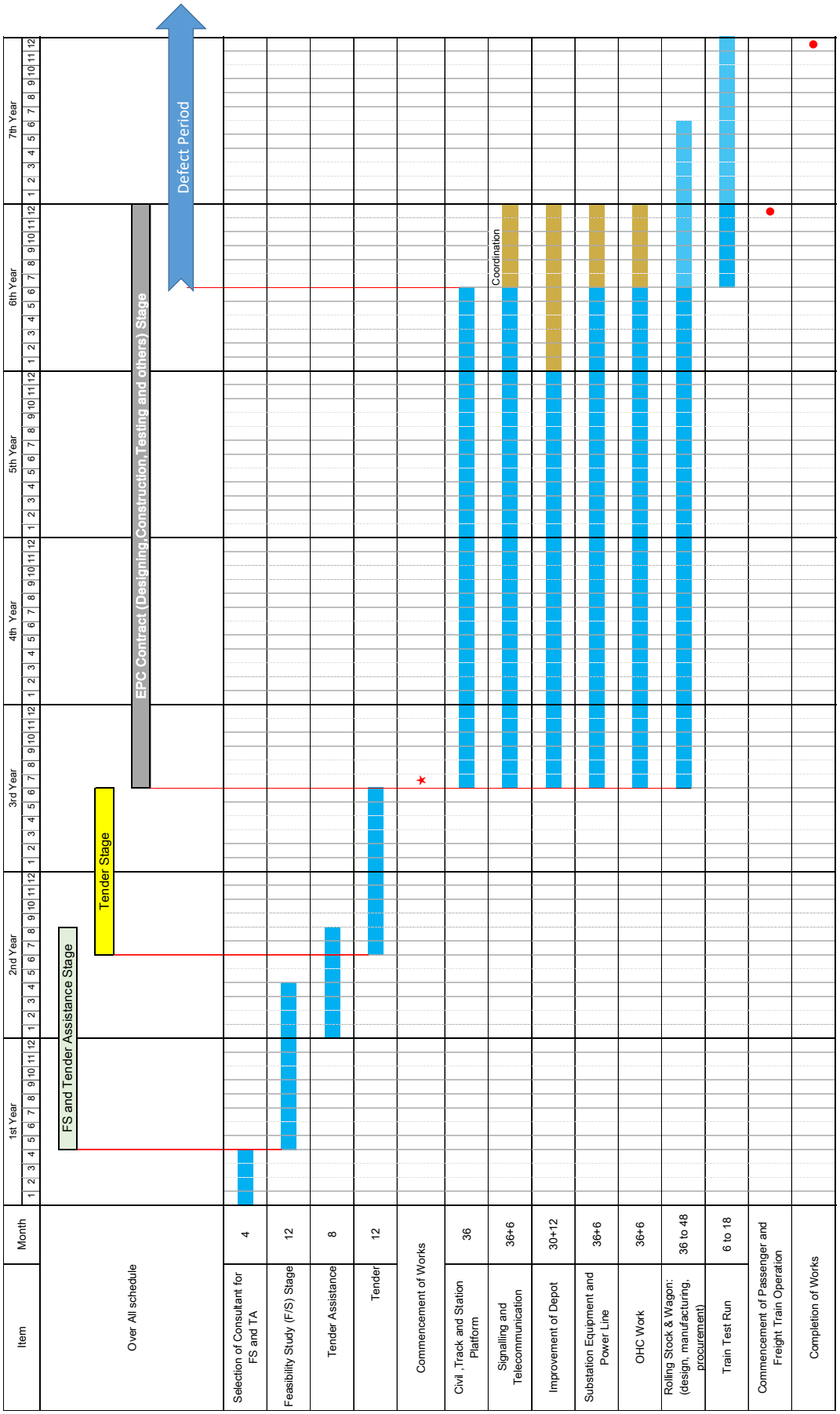


図 7-1　プロジェクトの実施スケジュール

8．我が国企業の優位性の確認と強化策

我が国企業の優位性がある分野として車両（電気機関車及び Electric Multiple Unit, EMU）、受変電機材、信号、車両基地・工場の機材が挙げられる。

8.1　車両（電気機関車・EMU）

現在導入されている主力車両の多くは中国製のディーゼルエンジンで発電機を回す電気式ディーゼル機関車であるが、メインテナンス上の課題もあり、機関車のモーターをロシア製に交換する作業が行われている。このように鉄道運輸庁では既存車両の品質について課題を認識しつつある。一方で、わが国企業の鉄道システムに対しての信頼は高く、過去に大統領をはじめ政府高官も日本で列車に乗車している。これまでの協議でも日本製車両を導入したい意向が示されており、電気機関車、EMU についてはわが国企業が一定の優位性が有している。

しかし、トルクメニスタンでは CIS 諸国で用いられている GOST 規格（GOsudarstvennyy STandart, осударственный стандарт）が適用されており、日本製車両の導入にあたっては規格の認証に時間と費用が掛かることが想定される。加えて、製品の輸送にも費用と時間がかかる。

価格面での優位性を高め、CIS 諸国での規格を満たすためには我が国企業のインバータ装置等の主要部品を用いた上で、車両の組み立ては CIS 諸国への導入実績がある国で行う方法も考えられる。近年、我が国企業も海外で生産体制を構築したり、海外企業との連携を進めつつあり、これらの生産ラインを活用する方法が考えられる。また、鉄道運輸庁と協議を行い、日本の規格を提案することも一案である。

8.2　受変電機材

4.4.4 に示した通り、鉄道の電化は電化鉄道以外では利用例が少ない単相（二相）の電力を利用する必要がある。CIS 諸国をはじめ海外では三相のうち二相を交互に組み合わせて単相の電力を得ているが、この場合、三相の不平衡を生じさせ、電力会社の規定に抵触する恐れがある。このため、本調査では「スコット結線変圧器」、「不等辺スコット結線変圧器」、「変形ウッドブリッジ結線変圧器」、「ルーフデルタ結線変圧器」等の変圧器を提案している。これらの変圧器については我が国に企業が一定の優位性を有する。

単線の場合、特定の区間に列車が偏在する可能性があり、その場合は上記のような変圧器を用いても三相不平衡が電力会社の基準に満たないことも想定され、その対策として補償装置を設置する方法がある。電力融通方式電圧変動補償装置（Railway Static Power Conditioner, RPC）は我が国企業が有意性を有している。

超高圧、特別高圧用の断路器は我が国企業が価格競争力を持っているほか、都市部での導入が想定されるガス絶縁開閉装置（Gas Insulated Switchgear, GIS）も我が国企業が有意性を有している。

8.3　信号

信号システムは現在導入されているシステムが老朽化していることから鉄道運輸庁は電化を機に更新したいとの意向を確認している。全面的に更新する場合、我が国企業が参入できる余地もあるが、車両側の車載器を更新し、接続する路線等の既存システムとのインターフェースを確立し、日本と異なる気象条件（温度、日中温度差、湿度、風力、砂嵐）に適応する必要がある。これらは参入にあたっての障壁となる。他の分野同様に GOST 規格の適応に要する時間と費用も課題である。

8.4　車両基地・車両工場機材

車両基地機材については我が国企業の車両を導入する場合それに応じた検査機材等を導入する必要があり、我が国企業の車両とセットで優位性を発揮できる。

9．実現に向けた課題とアクションプラン

9.1　詳細な技術的検討と資金調達に向けた準備

第一段階だけでも投資規模は大きく、複数の資金源を活用する必要がある。それぞれの融資機関の融資条件にあわせた詳細な技術的調査を行う必要がある。現在、アジア開発銀行（ADB）で技術的な検討が進められているが、ADB と分担しつつ JICA のコストシェアリング技術協力等も活用し、より詳細な検討を行うことが望まれる。追加検討が必要な事項については各章で記載しているが、例えば、以下の内容が想定される。

交通需要予測については周辺国及び中央アジア地域全体の開発動向を踏まえた国際的な貨物流動とその将来動向を検討し、将来のトランジット需要や輸出入の傾向を把握する必要がある。

運行計画については現状では車両基地や工場への出入庫の車両、回送車両を含めた運行ダイヤグラムは入手できてらず、区間ごとの 1 日当たりの本線の運行本数をもとに簡易的に運行計画を策定している。今後、これらの資料を基に詳細な運行計画を策定する必要がある。

軌道及び土木構造物の状態については第一段階の全線について詳細に踏査した上で、改良すべき点を洗い出す必要がある。改良が必要となった場合、橋梁等の構造物を改良あるいは新設する場合は地質調査や測量調査も必要となる。旅客駅・貨物駅についてもすべての施設の状況を詳細に確認する必要がある。

車両基地・工場の状況については対象区間全ての車両基地・工場について検査体制、修理体制の状況やレイアウト、利用状況、作業員のスキル等の情報をもとに詳細な検討が必要となる。

電力システム、信号、通信については現状のシステムの詳細な情報、気象条件、受電条件等の情報をもとに再度検討が必要である。

車両については我が国企業の参画も見据えた上で、運行計画をもとに詳細な仕様を定める必要がある。

環境社会配慮に関して、鉄道運輸庁によると鉄道用地は十分な広さを持って確保されているため、土地収用は必要ないとのことであったが、アクセス道路の設置、部分複線化の場合も十分な用地が確保されているか、都市部で用地が確保されているか、非自発的住民移転は必要かについても確認する必要がある。また、事業実施にはトルクメニスタン及び融資機関の EIA の規定に従って EIA を完了することも必要である。

9.2　資金調達

6 章で記載した通り第一段階についても単独の融資機関による事業遂行は困難であり、トルクメニスタンの政府予算を含む複数の財源を組み合わせて事業を進める必要がある。ECA および MDB の関心や融資条件を検討した上で、上述の技術的検討においても融資機関が融資判断を行う際に必

要な情報を提供できるようにする必要がある。トルクメニスタンと各輸出信用機関（ECA）及び国際開発金融機関（MDB）との個別協議に加えて、プロジェクトが円滑に実施されるよう各機関の融資の規模やタイミング、対象を調整するため必要に応じて 3 者、4 者間協議も必要となると考えられる。

鉄道運輸庁が主体的に融資機関と協議し、融資機関からの融資を引き出すとともに、トルクメニスタンの国家予算による補助も持続的な鉄道運営に向けて必要不可欠である。

9.3　鉄道運輸庁の財務体質の改善

上述の資金調達とも関連するが、融資機関にとって魅力的な融資条件を整えるためには財務体質の改善も必要となる。現状では黒字で経営されているものの大規模な投資に耐えうるものではない。このため、中央政府からの支援に加えて料金体系を見直すことにより増収が期待できる。加えて、不必要な支出の削減により財務体質を改善することが望まれる。

9.4　関係機関との技術的協議

プロジェクトの実施にあたっては、監督官庁にあたる内閣の担当大臣の支援が必要となる。

電化にあたってはエネルギー省・トルクメンエネルゴと協議を行い、受電の条件の調整や電力会社にも資する施設については必要に応じて一部の負担について協議を行い、鉄道運輸庁の初期投資額を削減することが望ましい。電気料金についても両社で協議の上、実現に向けて合意する必要がある。

高速化にあたっては踏切の撤去が必要となるが、道路との立体交差は道路管理者（中央政府及び自治体）の管轄となっているため、各道路管理者が立体化の事業を進めるよう調整を図る必要がある。仮に予定通り立体化が進まなければその区間の走行速度を大幅に落とす必要があり、プロジェクトの便益が限定的となる点について留意すべきである。

9.5　保守・維持管理体制の構築（車両・軌道）

高速化にあたっては線路の綿密な保守・維持管理が必要となる。保守・維持管理のための機材や資金に加えて人材育成も必要となる。人材育成は時間を要することから早期に準備を開始する必要がある。JICA のコストシェア技術協力等を活用し、高速化に向けて日本の技術を活用した軌道の保守・維持管理体制の構築が望まれる。

9.6　技術基準・規格の改訂

トルクメニスタンでは独立以降技術基準・規格の大きな更新が行われておらず、例えば電化については一律に変電所間距離を 70km と定められており、新しい AT き電方式の場合、技術的には変電所間隔をより長くしても問題ないがそれに対応した規定となっていない。また、GOST 規格の場合、進出できる企業も限られることからより多くの企業が参加できるよう技術規格を改定することが望まれる。

禁転載

（様式２）

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 トルクメニスタン国における鉄道近代化事業

委託事業名
令和元年度質の高いインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業

受注事業者名 株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル

頁	図表番号	タイトル
2-7	表 2-1	「ト」国周辺で発生した主な地震（M6.0 以上）
3-5	表 3-1	2018 年の品目別の貨物量（単位：’000 トン/年）
3-9	表 3-2	現況の軌道構造、軌道線形の仕様（トルクメナバット～トルクメンバシ間）
3-12	表 3-3	主要駅間毎の分岐器数
3-13	表 3-4	トルクメナバット～トルクメンバシ間の曲線情報
3-13	表 3-5	トルクメナバット～トルクメンバシ間の縦断勾配
3-23	表 3-6	「ト」国が所有する車両数
3-24	表 3-7	検査種別と検査周期
3-25	表 3-8	車両基地・車両工場における担当車種
4-2	表 4-1	「ト」国および近隣諸国の実質 GDP（2010 年価格、10 億 US ドル）
4-5	表 4-3	将来需要予測で考慮した工場のリスト
4-8	表 4-4	トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の貨物需要予測 （‘000トン/年）
4-9	表 4-5	トルクメンバシとトルクメナバットの間の将来の旅客需要予測（’000人）
5-2	表 5-1	トルクメニスタン国の保護区域一覧
5-3	表 5-2	市州別の人口構成比
5-10	表 5-6	環境有害事業リスト
2-1	図 2-1	人口及び人口増加率
2-2	図 2-2	Constant GDP（2010 USD）及び GDP 成長率
2-2	図 2-3	セクター別 GDP（in Current Price）
2-3	図 2-4	消費者物価指数（CPI）の変化
2-4	図 2-5	トルクメニスタン国の主な発電所と送電線の位置
2-5	図 2-6	トルクメニスタン国の気候区分
2-5	図 2-7	アシガバットにおける降水量と平均気温
2-6	図 2-8	「ト」国周辺における主な地震発生地点（M6.0 以上）
2-6	図 2-9	「ト」国周辺における主な活断層位置
3-1	図 3-1	トルクメニスタン国及び対象区間の路線図
3-2	図 3-2	鉄道運輸庁の組織図
3-3	図 3-3	2015 年から 2018 年のタイプ別の貨物量
3-3	図 3-4	2018 年の月別の貨物量
3-4	図 3-5	2018 年の品目別の貨物量
3-5	図 3-6	鉄道の旅客数（2015～2019 年）

（様式２）

3-6	図 3-7	対象区間セクションごと 2019 年の運行中の列車本数
3-7	図 3-8	非電化区間の建築限界
3-8	図 3-9	現況の軌道標準断面図
3-10	図 3-12	バラスト採石場位置図
3-17	図 3-20	アシガバット付近の跨線道路橋のクリアランス
3-24	図 3-26	現在使われている主な機関車
4-3	図 4-1	トルクメニスタン国の将来人口
4-6	図 4-3	2025年のノントランジット貨物の品目別貨物需要（トルクメンバシ→トルクメナバット方向）
4-6	図 4-4	2025年のノントランジット貨物の品目別貨物需要（トルクメナバット→トルクメンバシ方向）