

2 コスト縮減方策等の調査検討

この章では、平成 22 年度調査において、モデルルートを構築し、将来需要予測を行った。平成 23 年度調査においては、当該モデルルートを基本に、ルートとシステムの組合せによるモデルケースを設定し、新たな公共交通システムの事業性等の評価を行ったところ、事業採算性やB/Cを1.0以上確保することは困難であることが明らかとなった。このため、平成 24 年度調査からコスト縮減方策等の調査検討を開始した。

2.1 過年度調査の概要

2.1.1 平成 22 年度調査の概要

平成 22 年度調査では、沖縄県の新たな公共交通システム導入の可能性検討として、需要予測モデルの構築に主眼を置き、モデルルートでの将来需要の予測を行っており、概算事業費の算出は行っていない。

2.1.2 平成 23 年度調査の概要

平成 23 年度調査では、平成 22 年度のモデルルートを基本に、ルートとシステムの組合せによるモデルケースを設定し、新たな公共交通システムの需要予測、概算事業費、事業採算性、費用便益分析等のシミュレーションを行った。

(1) モデルケースの設定

- ① 糸満市役所～名護を基本とし、うるま経由、読谷経由の2ルートを想定した。
- ② うるま経由はさらに県道 251 号（以下、パイプライン）ルート、国道 330 号ルート、支線設定、空港接続線設定の4パターンとし、計5つのモデルケースを設定した。
- ③ 交通システムについては、鉄道又はトラムトレイン（支線の一部はLRT）を想定した。

(2) 概算事業費

- ① 地形条件等を踏まえて路線計画・運行計画を設定し、ケース毎に概算事業費を算出した。路線計画に当たっては、沖縄県特有の地形条件（低地部と丘陵部が錯綜）等を踏まえるとともに、道路交通への影響等の観点から、都心部の鉄道については地下構造を基本とした。
- ② 概算事業費は、鉄道で約 7,300～10,600 億円（キロ当たり 100 億円程度）、トラムトレインで約 4,900～7,200 億円（キロ当たり 70 億円程度）となった。

2.1.3 平成 24 年度調査の概要

平成 24 年度調査では、コスト縮減方策として、部分単線化、小型システムの採用、施設の簡素化、沖縄自動車道の活用、構造変更・基地跡地活用の検討を行った。

(1) 部分単線化

うるま以北及び豊見城以南等の需要が少ない区間を単線とする部分単線化については、平成 23 年度調査と比べて、鉄道は約 11～15%、トラムトレインは約 15～17%のコスト縮減効果があるが、単線区間でのサービス水準の低下等の課題がある。今後は、サービス水準とのトレードオフを見極めつつ、単線区間の延長の可能性について検討することが必要である。

(2) 小型システムの採用

鉄道については、小型・急勾配対応システムである鉄輪リニアを採用することで、平成 23 年度調査の鉄道と比べて約 14%のコスト縮減効果があったが、現状では輸送力の低下や所要時間の増加等の課題もある。今後は、技術進化の動向等も見つつ、引き続きコスト縮減方策として検討する必要がある。

(3) 施設の簡素化

トラムトレインについては、2 層以上の地下駅の 1 層化（浅深度化）等による施設の簡素化を検討した。これにより、平成 23 年度調査と比べて約 9 %のコスト縮減効果があるが、防災設備等の設置空間の確保や開削工事増大に伴う道路交通や周辺環境への影響等の課題もある。トラムトレイン駅の規模（特にホーム長）が小さいため、土木工事費の縮減にはつながりにくい、設備関連の簡素化は一定程度の縮減効果があった。

(4) 沖縄自動車道の活用

沖縄自動車道（那覇 I C～許田 I C）の路面空間を活用することによって、平成 23 年度調査のケース 1（うるま・パイプライン）と比べて鉄道、トラムトレインともに約 30%弱のコスト縮減が可能であるが、一方で、大幅な需要減やそれに伴う事業収支の悪化、車線減少による自動車交通への影響等の課題もあることから、沖縄自動車道の全線に鉄軌道を導入する案は極めて困難である。

(5) 構造変更・基地跡地活用

鉄道については、国道 58 号に高架構造で導入、米軍基地跡地内に地平で導入することにより、平成 23 年度調査のケース 1（うるま・パイプライン）と比べて約 9 %のコスト縮減効果があるが、米軍基地跡地への地平構造での導入にはまちづくりや道路交差等の観点から課題もある。今後は、トラムトレインも含めて引き続き検討を行う必要がある。

2.1.4 平成 25 年度調査の概要

平成 25 年度調査では、平成 24 年度調査のコスト削減方策の検討結果を踏まえ、最新技術の採用、単線区間の拡大、全線単線化、駅数の見直し、小型システムの採用、地下区間から地上区間への構造変更を検討した。

なお、「SENS 工法^{*1}」は、全てのコスト削減方策に適用したが、ここでは、各コスト削減方策のみの効果を把握するために、「SENS 工法」のコスト削減を除いて、平成 23 年度及び平成 24 年度試算結果のうち比較が可能なケースからのコスト削減率を記述した。

*1：SENS 工法は、シールドマシンで土を掘った後、トンネル空間の地盤の安定を保つためにシールド工法^{*2}で用いられているセグメント（既製鉄筋コンクリート）の代わりに、現場打ちコンクリート（全ての作業工程を現場で施工）を用いる工法である。現場打ちコンクリートに変えることにより、工場製作費（人件費＋工場管理経費）と運搬費が削減され、コストが削減される。

*2：シールド工法は、地下鉄建設などの際、地上から開削せずに地下を掘り進み、前面を盾のようなもので押さえながら、まわりを鉄筋コンクリートなどのセグメントで囲めてトンネルを完成させる工法である。

(1) 最新技術の採用(SENS工法)

地下区間で想定している「シールドトンネル」について、コスト削減効果が期待され施工実績がある「SENS 工法」を採用することにより、鉄道では約 9%、トラムトレインでは約 13%のコスト削減が図られた。SENS 工法は、沖縄の地盤条件においても適用可能と考えられることから、その他全てのケースに対しても適用した。

(2) 単線区間の拡大

平成 24 年度調査の単線区間を北部地域は宜野湾市役所または伊佐、南部地域は旭橋（トラムトレインは奥武山公園）まで拡大した結果、平成 23 年度調査及び平成 24 年度調査の全線複線と比較して、鉄道では約 16～29%、トラムトレインでは約 23～31%のコスト削減が図られた。単線区間の拡大は、コスト削減が図られるものの、所要時間が増加することや運行の自由度が低下する課題もある。

(3) 全線単線化

全線単線化（行き違いのため一部複線あり）を検討した結果、平成 24 年度調査の部分単線と比較して、鉄道では約 18%、トラムトレインでは約 15%のコスト削減が図られた。全線単線化は、コスト削減効果は大きいものの、所要時間が大幅に増加することや運行の自由度が低下する課題がある。また、将来的に複線化する場合には、当初から複線で整備する場合に比べて、コストが大幅に増嵩する点に留意する必要がある。

(4) 駅数の見直し

各駅の乗降人員や駅間距離等から、鉄道は 30 駅から 21 駅、トラムトレインは 39～41 駅から 25～28 駅に駅数を削減した結果、平成 23 年度及び平成 24 年度調査と比較して、鉄道では約 3～4%のコスト削減となった。また、トラムトレインでは、削減した駅の多くが事業費の安い地平構造であることから、平成 23 年度及び平成 24 年度調査に比較して約 1.2～1.4%のコスト削減にとどまった。駅数が減ることにより、駅へのアクセス時間が増加し、利便性が低下する課題もある。

(5) 小型システムの採用

鉄輪リニアの改良型として現在技術開発中のスマート・リニアメトロを採用することで、車両長の短縮により駅のホーム長が短縮し、普通鉄道と比較して約15%のコスト縮減となった。小型システムは、普通鉄道に比べて車両幅が狭いことから乗車時の快適性が劣ることや所要時間が増加すること等の課題がある。

(6) 地下区間から地上区間への構造変更

1) 名護付近の構造変更

鉄道において、名護付近の構造形式を地下構造から高架構造へ変更することにより、平成23年度及び平成24年度調査と比較して高架構造の割合は、ケース1（うるま・パイプライン）では約16%から約19%、ケース7（うるま・国道58号）では約22%から約25%へと各3%程度増加し、約3%のコスト縮減となった。ただし、国道58号への高架構造導入を前提としているため、車線数減少による交通容量の減少及び道路交通への影響に留意する必要がある。

2) 支線①(名護～沖縄美ら海水族館)の構造変更

支線①のトラムトレインについて、内陸部を山岳トンネル構造として直線で結ぶルート（路線延長約16km）から海沿いの道路を使用した地平構造とするルート（路線延長約21km）に変更した結果、支線①だけで見ると、平成23年度調査と比較して約71%と大幅なコスト縮減が図られた。ただし、道路空間への導入を前提としているため、道路交通への影響があることや、海沿いルートとしたことで路線長が伸びたこと、曲線部の増加により走行速度が遅くなることによる所要時間の増加等の課題もある。

3) 国道58号の地平構造を利用した検討

平成24年度調査で鉄道を国道58号に高架構造で導入する検討を行ったことを踏まえ、国道58号に地平構造でトラムトレインを導入した結果、平成23年度調査と比較して、約13%のコスト縮減が図られた。

4) 空港接続線の構造変更

県庁前から那覇空港までの空港接続線を西消防署通りの地下及び那覇港の海底下を通るルートから国道331号及び国道332号を経由するルートに変更することで、鉄道では地下区間の約50～100%が高架構造となり、平成23年度調査と比較して、約33～50%と大幅なコスト縮減が図られた。ただし、国道331号及び国道332号を経由するルートについては、米軍施設である那覇港湾施設用地の一部共同使用が必要となる。

2.1.5 平成 26 年度調査の概要

平成 26 年度調査では、平成 25 年度調査までに検討した各モデルルート of ルート及び構造形式の見直しを行った。また、平成 25 年度調査までは、イニシャルコスト^{*3}の削減方策（最新技術の採用、構造変更等）について検討したが、平成 26 年度調査では、これに加えてランニングコスト^{*4}（メンテナンス、運行等）やその他更なるコスト削減の可能性を検討した。

*3：イニシャルコストは、建物や設備を施工・設置するためにかかる初期投資金額を示す。

*4：ランニングコストは、建物や設備を施工・設置した後、それらを使用していくために必要となる人件費、動力費及び修繕費等の経費を示す。

(1) 各モデルルートのルート及び構造形式の見直し

これまで検討したモデルルートについて、現地の地形、土地利用状況等を踏まえ、西普天間付近～ライカム付近を地下構造等から高架構造に変更し、喜瀬付近～名護付近を国道 58 号の山側にルート変更して山岳トンネルから盛土構造にする等、コスト削減を考慮しつつ、より現実性の高い構造形式に見直した。平成 25 年度調査のケース 2（うるま・国道 330 号）及びケース 7（うるま・国道 58 号）と比較して、鉄道では約 4～6％、トラムトレインでは約 1～2％のコスト削減となった。

(2) ランニングコストの削減方策の可能性検討

車両の運行に関して、「ドライバーレス運転^{*5}」を導入する場合は、人件費が年間約 6.5 億円削減可能との試算結果が得られた。ただし、地下構造の鉄道でドライバーレス運転を実施している例はないため、地下構造部における異常時の旅客の安全確保の課題がある。また、省エネルギー技術では、「架線とバッテリーとのハイブリッド方式」による車両の電力費が従来の架線による給電のみを行う「電車」と比較して約 10％の省エネ効果があるとのヒアリング結果が得られ、ケース 1（うるま・パイプライン）の全 21 編成では年間約 4,900 万円のコスト削減可能性がある。一方、駅部で充電を行う場合には、停車時間がその分延びるため、従来の架線による給電のみを行う「電車」と比較して目的地までの所要時間が増加するという課題がある。

*5：ドライバーレス運転は、列車を運転する係員が列車に乗務しない運転を示す。

(3) 最新の交通システムの情報収集

更なるコスト削減方策の 1 つとして、「高速新交通システム」に関する情報収集を行った。「高速新交通システム」では、現在 120km/h 走行に向け開発中であり、その場合には従来の新交通システムと比べて目的地までの所要時間が短縮されることや、車両重量が普通鉄道より軽量のため、土木構造物のスリム化等により建設費が安価となる可能性があること等がわかった。一方、普通鉄道に比べて車両長が短いため、普通鉄道ほどの輸送力はない。なお、「高速新交通システム」の維持補修費については、今後精査が必要となる。

2.1.6 平成 27 年度調査の概要

平成 27 年度調査では、平成 26 年度調査までに検討したモデルルートのうち、①旭橋～糸満市役所を対象としたモデルルートの精査、②最新技術である地下駅を対象としたシールド切り開き工法^{*6}の採用、③新都心～普天間飛行場（国道 330 号）を対象とした地下区間から地上区間への構造変

更の検討を行った。あわせて、詳細調査であることから、沖縄特有の気候条件を考慮したコスト、建設工事費デフレーター*⁷を考慮したコストの前提条件の精査を行った。

* 6：シールド切り開き工法は、シールドトンネル工法で軌道のみの空間を施工した後に、必要な箇所のみ開削工法で駅施設空間を施工する工法を示す。

* 7：建設工事費デフレーターは、建設工事に関連する物価変動及び労務単価の変化割合を示す。

(1) モデルルートの精査(旭橋～糸満市役所)

これまで検討したモデルルートの幹線骨格軸のうち、旭橋～糸満市役所は、現在、豊見城市周辺ルート（臨海部付近、沖縄空手会館付近）の道路整備や土地地区画整理事業等の地域開発が活発に行われている状況を踏まえて、那覇空港を経由するルートを含めた5ルートについて導入空間の検討を行った。

鉄道及びトラムトレインともに、いずれの検討ルートも過年度調査ルートに対して、概算事業費は約1～4%と微増となった。したがって、コスト削減の観点からは、旭橋～糸満市役所のモデルルートを精査した結果、平成26年度調査ルートが最も低廉となった。

(2) 最新技術(地下駅のシールド切り開き工法)の採用

過年度調査では、地下区間の駅部については開削工法*⁸、駅間部についてはシールド工法を前提としているため、駅部の深度が深くなるにつれてコストが増加する傾向にあり、駅部の開削工事の規模がコスト増嵩要因のひとつとなっていた。そこで、更なるコスト削減を図るため駅部にも着目し、駅部全体を掘削する開削工法から、ホーム部のみ掘削するシールド切り開き工法への変更を検討した。

検討の結果、掘削土量が過年度調査より約35%に減少し、地下駅をシールド切り開き工法に変更したことにより、平成26年度調査の鉄道ケース2（うるま・国道330号）と比較して約1%程度のコスト削減、トラムケース7（うるま・国道58号）は微減となった。

* 8：開削工法は、地下鉄のトンネルを掘削する工法のひとつで、俗に“露天掘り”といわれ、オープンカット工法とも呼ばれる。

(3) 構造形式の見直し(新都心～普天間飛行場・国道330号)

モデルルートの「ケース2（うるま・国道330号）」は路線長の半分以上が地下構造であることから、地下構造で構造形式が設定されている新都心～普天間飛行場間において、新たに導入空間の見直しを検討した。

検討の結果、ゆいレール導入区間外の浦添市役所～普天間飛行場間について、高価な地下構造から安価な高架構造に変更したことで、平成26年度調査の鉄道ケース2（うるま・国道330号）と比較して約3%のコスト削減となった。

(4) コストの前提条件の精査

1) 沖縄特有の気候条件を考慮したコスト

通年で湿度が高く、台風などの強風の発生頻度が高い沖縄特有の気候を考慮し、高架構造に用いられるコンクリート構造の塩害対策として、エポキシ樹脂鉄筋を用いるコスト及び高架構造の強風対策として防風柵を設置するコストを考慮したため、高架構造の工事費単価は約12%増加し

た。

2) 建設工事費デフレーター

平成 27 年度調査で考慮した建設工事費デフレーターは、近年の経済状況を踏まえると概算事業費に考慮しておく必要がある項目といえる。このため、平成 26 年度調査では、平成 23 年度調査の建設工事費に対して 3 % 増加のデフレーターを考慮した概算事業費も算出していたが、平成 27 年度調査では、最新デフレーターを調査整理し 4 % 増加を考慮した。

2.1.7 平成 28 年度調査の概要

平成 28 年度調査では、平成 27 年度調査までに検討した幹線骨格軸（モデルルート）に加えて、新たに金武町や宜野座村を経由した「東海岸ルート」について検討を行うとともに、支線軸についても平成 27 年度調査までに検討した支線①（本部方面）、支線②（与那原・佐敷方面）及び支線③（東風平方面）以外に、新たに 3 つの支線軸として、支線④（宜野湾市から読谷村方面）、支線⑤（うるま市から宜野座村方面）及び支線⑥（うるま市から恩納村・名護市方面）について検討を行った。

また、沖縄県特有の地質条件等を踏まえた構造形式の見直し検討、鉄軌道交通の安全を確保するための駅施設等の検討、道路への鉄軌道導入に伴う道路交通への影響についての検討等を行った。

(1) 幹線骨格軸(モデルルート)の検討

うるま市（石川付近）～名護市を対象とした幹線骨格軸（モデルルート）の精査では、「東海岸ルート」（金武・宜野座経由）について路線検討を行い、概算事業費を比較した。鉄道、トラムトレインともに、明かり区間*⁹の割合が大きくなったため「西海岸ルート」（恩納経由）に比べて約 1 % 縮減した。

* 9：明かり区間は、地表区間または高架区間を示す。

(2) 支線軸の検討

支線軸の検討では、従来の支線①（本部方面）、支線②（与那原・佐敷方面）、支線③（東風平方面）以外に、新たに 3 つの支線軸、支線④（宜野湾市から読谷村方面）、支線⑤（うるま市から宜野座村方面）及び支線⑥（うるま市から恩納村・名護市方面）を行ったが、L R T の導入が必要となる需要量が見込まれる区間は、支線④（普天間飛行場～嘉手納）のみとなった。なお、支線④の L R T 区間の路線延長は約 11.7km で概算事業費は約 370 億円となった。

(3) 鉄軌道交通の安全を確保するための駅施設等の安全方策等についての検討

鉄軌道交通の安全を確保するための駅施設等の安全方策等については、旅客のホーム転落防止対策等、鉄軌道導入に当たっての各種課題について検討を行った。特に旅客のホーム転落防止対策については、可動式ホーム柵（ホームドア）の設置が有効であるが、コスト増嵩の要因となっていることが明らかとなった。

(4) 沖縄特有の地質条件等を踏まえた構造形式の見直し検討

沖縄県特有の地質条件等を踏まえた沖縄市～うるま市を対象としたトンネル構造変更では、シー

ルドトンネルから山岳トンネル（NATM）への構造変更を検討したものの、詳細な地質データが不足しており、構造変更の可能性や補助工法の必要性などの精査が必要であり、平成28年度調査においては構造形式の変更を見送ることとした。

(5) 道路への鉄軌道導入に伴う道路交通への影響についての検討

鉄軌道導入に伴う道路交通への影響検討において、都心方向の交通量は、車線減少に伴う交通容量の低下によって大きく減少する一方、平行する道路の交通量が増加した。また、混雑度への影響を見ると、鉄軌道整備なしの状態よりも工事期間中に各道路の混雑度が上昇するが、鉄軌道導入後には各道路の混雑度が工事期間中の混雑度よりも改善された。

(6) コスト縮減の組合せ検討

コスト縮減の組合せ検討では、鉄道のケース2（スマートリニア・うるま・国道330号＋空港接続線・部分単線）について、平成27年度調査で効果があったコスト縮減方策に加えて、平成28年度調査で新たに検討したコスト縮減方策等を考慮した。結果として、概算事業費は平成27年度調査と比較して約1%（主として建築費）増加した。

2.1.8 平成29年度調査の概要

平成29年度調査では、検討精度の向上を図る目的で縮尺1/10,000の地形図（国土地理院の基盤地図）を使用し、幹線骨格軸（糸満市役所～名護）について、平面・縦断線形、駅計画、構造検討等の路線計画及び運行計画を行うとともに、最新の工事単価を設定し、概算事業費の算出を行った。支線軸については、支線①（名護～沖縄美ら海水族館）について、観光振興や需要喚起等の観点から、路線計画の見直しを行った。

また、沖縄県においては沖縄本島南部断層系の大規模地震等が想定され、液状化危険度が高い地域が沖縄本島東西の海岸沿いに見られることから、地盤液状化対策について検討を行った。

さらに、鉄軌道導入後や工事期間中の道路交通への影響検討、自動運転技術・欧州等鉄軌道関連技術や交通システム（フィーダー交通）について比較・整理を行った。

(1) 検討精度の向上

検討ケースとして、鉄道はケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）、トラムトレインはケース7（うるま・国道58号・西海岸ルート＋空港接続線）を選定し、全線複線による整備を前提とした。

路線計画を行った結果、鉄道については平成28年度調査と比較して約0.10km長くなり、トラムトレインについては約0.12km長くなった。

運行計画では、運転曲線図を作成し運行ダイヤの検討を行った結果、糸満市役所～名護の所要時間は、鉄道の快速列車で約64分、各駅停車で約81分となり、平成28年度調査と比較して、快速列車で約1分、各駅停車で約6分短縮した。一方、トラムトレインについては約119分となり、過年度調査と同時間となった。

概算事業費については、鉄道は約8,060億円となり、平成28年度調査と比較して約60億円（約1%）縮減した。トラムトレインについては約4,290億円となり、約110億円（約3%）縮減した。コスト縮減額については複合的な要素によるものであるため一概には言えないが、コスト縮減要因

としては、検討図面の精度向上により地盤線が明確となり、地下区間の縦断線形（深度）が相対的に浅くなったこと、建築限界外余裕^{*10}やセグメント厚^{*11}等の精査により、シールドトンネルの断面が縮小したこともコスト削減に寄与しているものと考えられる。

なお、トラムトレインの方が鉄道より縮減効果が大きい理由としては、全体事業費に占めるトンネル区間のウェイトが高いことによるものと考えられる。

*10：建築限界外余裕は、鉄軌道の建築限界線（構築物等を設置してはならない空間）から余裕幅を持たせることを示す。

*11：セグメント厚は、シールド工法においてトンネル掘削時にその内面にセグメントを設置することになり、その厚みのことを示す。

(2) 支線①の路線計画の見直し

支線①（名護～沖縄美ら海水族館）については、これまで速達性を重視する観点から八重岳を直線的に貫くルートとしており、車窓からの景色を楽しむことは困難である。このため、観光ルートとしての魅力を高める観点から、可能な限り西海岸沿いのルートについて検討を行った。なお、平成25年度調査においてトラムトレインについては、海岸沿いを走る国道449号への導入を検討していることから、平成29年度調査は鉄道のみ検討を行うものとした。また、コスト削減の観点から全線単線とし、中間駅については本部町内に1箇所設定を行うものとした。

路線計画を行った結果、路線延長は約20.3kmとなり、八重岳貫通ルートと比較して約4.5km長くなった。所要時間については約16分となり、概算事業費は約970億円（キロ当たり約48億円）となった。

(3) 大規模地震時等の地盤液状化対策の検討

沖縄本島南部断層系の大規模地震等による地盤液状化を想定し、地盤液状化の対策工及び対策費用について検討を行った。

地盤液状化の危険度は液状化指数(P_L 値)で示されており、鉄道のケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）では約79.5km中の約24.2km（約30%）、トラムトレインのケース7（うるま・国道58号・西海岸ルート＋空港接続線）では約80.2km中の約23.2km（約29%）で地盤液状化の可能性があることが明らかとなった。

また、地盤液状化の対策工について構造種別ごとに検討を行い、その対策費用について参考値として試算を行った。

(4) 自動運転技術・欧州等鉄軌道関連技術の整理

自動運転技術では、鉄道はもとより、LRTについても中国において確立されつつあることが明らかとなった。また、欧州等鉄軌道関連技術では、CBTC（無線式列車制御システム）は海外では都市鉄道を中心に一般的に普及しており、我が国では東京メトロ丸ノ内線において2024年12月7日より稼働を開始した。

(5) 交通システムに関する比較・整理

交通システムに関する比較・整理では、支線軸（フィーダー路線）への導入や需要喚起方策に資するものとして、二次交通（路線バス、タクシー、レンタカー等）に関して比較・整理を行った。なかでも、沖縄県では基幹バスや乗合タクシーの導入、レンタカーの利用促進等が図られており、

フィーダー交通としての活用可能性について整理を行った。

(6) 道路への鉄軌道導入による道路交通への影響についての検討

鉄軌道導入に伴う道路交通への影響検討において、都心方向の交通量は、車線減少に伴う交通容量の低下によって大きく減少する一方、平行する道路の交通量が増加した。

また、混雑度への影響を見ると、鉄軌道整備なしの状態よりも工事期間中に各道路の混雑度が上昇し、鉄軌道導入後には各道路の混雑度が工事期間中の混雑度よりも改善された。しかしながら、工事期間前と比較して混雑度が上昇している箇所が存在している。

(7) コスト縮減方策の複数組合せ案の検討

コスト縮減方策の複数組合せ案の検討では、鉄道のケース2（スマート・リニアメトロ・うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線・部分単線案）について、路線計画及び運行計画を行うとともに、概算事業費の算出を行った。概算事業費は約6,270億円となり、平成28年度調査と比較して約110億円（約2%）縮減した。

トラムトレインのケース7（うるま・国道58号・西海岸ルート＋空港接続線・部分単線案）については、約3,000億円となり、約40億円（約1%）増嵩した。

スマート・リニアメトロの概算事業費が縮減した理由としては、鉄道やトラムトレイン（全線複線案）と同様に、検討図面の精度向上により地盤線が明確となり、地下区間の縦断線形（深度）が相対的に浅くなったことが一因として考えられる。

一方、トラムトレインの概算事業費が増嵩した理由としては、地平区間（併用区間）のうち、西普天間～コザ十字路間について、急勾配区間が連続しており、すれ違いを行うための分岐器の設置が容易ではないことから、当該区間を単線整備から複線整備に変更したことが主な要因である。

2.1.9 平成30年度調査の概要

平成30年度調査では、鉄道については平成29年度調査において検討を行ったケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）をベースに、駅数を低減した場合、大深度地下を使用した場合を想定して検討を行った。

支線軸については、支線①（名護～沖縄美ら海水族館）について、観光振興や需要喚起等の観点から、一部今帰仁村を通過する新たなルートの検討を行った。

また、登坂能力が高いスマート・リニアメトロに替わるシステムとして、粘着駆動方式の小型鉄道の導入可能性について検討を行った。

さらに、沖縄県においては沖縄本島南部断層系等の大規模地震による大津波が想定されるため、鉄軌道の津波対策について、東日本大震災で被災した路線や大都市圏の地下鉄等を参考に、ハード、ソフトの面から検討を行った。

(1) 駅数を低減した場合の検討

平成29年度調査において実施した鉄道・ケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）に対して、駅数を低減した案について検討を行った。

駅数を26駅から15駅に低減した結果、概算事業費は約7,590億円となり、平成29年度調査の約8,060億円と比較して約470億円（約6%）縮減した。

(2) 大深度地下使用の適用可能性の検討

中南部都市圏である糸満市域～うるま市域において、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（平成12年法律第87号）の対象地域に追加（政令改正）されることを前提として、平成29年度調査において実施した鉄道・ケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）をベースに、大深度地下を使用した場合について検討を行った。

検討の結果、路線延長は平成29年度調査と比較して約1.24km短くなり、駅数は11駅減少し、概算事業費は約8,080億円となり、平成29年度調査の約8,060億円と比較して約20億円（約0%）増加した。

(3) 支線軸(支線①名護～沖縄美ら海水族館)の検討

沖縄本島北部地区において新たなテーマパークの整備が計画されており、その候補地の一つとされている今帰仁村呉我山地区を経由するルートについて検討を行った。

検討の結果、概算事業費は約950億円となり、海岸ルート（平成29年度調査）と比較して約20億円減少した。

(4) 粘着駆動方式の小型鉄道の導入可能性の検討

登坂能力が高いスマート・リニアメトロに替わるシステムとして、粘着駆動方式の小型鉄道の導入可能性について検討を行ったが、現段階では車両等の技術的担保が不十分であるため、今後の検討課題とした。

(5) 大規模地震発生時における津波対策の検討

沖縄県においては沖縄本島南部断層系等の大規模地震による大津波が想定されるため、鉄軌道の津波対策について、東日本大震災で被災した路線や大都市圏の地下鉄等を参考に、ハード、ソフトの面から検討を行った。ハード対策として防水壁や防水扉の設置、ソフト対策として避難経路図の設置や避難訓練の実施が必要である。

(6) コスト縮減方策の複数組合せの検討

コスト縮減方策の複数組合せ案については、鉄道・ケース2（スマート・リニアメトロ・うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線・部分単線案）を対象に、駅数を低減した場合について検討を行った結果、概算事業費は約5,960億円となり、平成29年度調査の約6,270億円と比較して、約310億円（約5%）縮減した。

2.1.10 令和元年度調査の概要

令和元年度調査では、建設工事費デフレーターや地価公示価格の上昇率等を考慮して、概算事業費等の精査を行った。また、支線①（名護～沖縄美ら海水族館）については、沖縄北部テーマパークを経由する今帰仁ルートについて路線計画等の見直しを行った。

最新技術の採用では、高速AGT及びHSST（磁気浮上方式）を選定し、モデルルートはケース7（うるま・国道58号・恩納経由＋空港接続線・部分単線案）を想定して検討を行った。

沖縄市及びうるま市の市街地（ライカム～胡屋～コザ～うるま市役所）を検討対象区間として、

山岳トンネル（NATM）への構造変更可能性について検討を行った。

沖縄県の建設業界の状況や人件費・建設資材価格の状況、交通インフラ整備等について、建設業界にヒアリング調査を行った。また、第二次世界大戦で投下された不発弾等は、沖縄県が約4割（処理重量）を占めており、不発弾対策等について検討を行った。

(1) 概算事業費等の精査

令和元年度調査では、建設工事費デフレーターや地価公示価格の上昇率等を考慮して、概算事業費等の精査を行った。鉄道のケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線）の概算事業費（令和元年度価格）は約8,700億円となり、平成29年度価格と比較して約8%増加した。

トラムトレインのケース7（うるま・国道58号・西海岸ルート＋空港接続線）の概算事業費（令和元年度価格）は約4,620億円となり、平成29年度価格と比較して約8%増加した。

コスト削減方策の複数組合せでは、スマート・リニアメトロのケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート＋空港接続線（部分単線案））の概算事業費（令和元年度価格）は約6,760億円となり、平成29年度価格と比較して約8%増加した。トラムトレインのケース7（うるま・国道58号・西海岸ルート＋空港接続線（部分単線案））の概算事業費（令和元年度価格）は約3,230億円となり、平成29年度価格と比較して約8%増加した。

(2) 北部開発地区等にアクセスが可能となる支線軸等の検討

支線①（名護～沖縄美ら海水族館）は、沖縄北部テーマパークを経由する今帰仁ルートについて路線計画等の見直しを行った。支線①はコスト削減の観点から全線単線とし、中間駅は沿線需要の取り込みを考慮して、名桜大学付近、沖縄北部テーマパーク付近及び本部町役場付近の3箇所を想定した。また、運行本数を3本／時を確保するため、沖縄北部テーマパーク駅はすれ違い可能な配線形式（相対式2面2線）とした。

概算事業費（令和元年度価格）は約1,120億円となり、平成30年度調査（平成29年度価格）と比較して約170億円（約18%）増加した。

(3) 最新技術の採用（最新技術車両の導入可能性の検討）

過年度調査において検討した『スマート・リニアメトロ』については、現時点で実用技術が確立していないため、令和元年度調査では、60%程度登坂可能な小型鉄道（粘着駆動方式）や高速AGT、HSST（磁気浮上方式）、高速鉄道（200km/h）の導入可能性について比較を行い、そのうち、高速AGT及びHSST（磁気浮上方式）を選定し、モデルルートはケース7（うるま・国道58号・恩納経由＋空港接続線・部分単線案）を想定して検討を行った。

検討の結果、高速AGTの概算事業費（令和元年度価格）は約6,680億円となり、スマート・リニアメトロと比較して約80億円（約1%）縮減した。

また、HSST（磁気浮上方式）については、概算事業費（令和元年度価格）は約6,350億円となり、スマート・リニアメトロと比較して約410億円（約6%）縮減した。

(4) 山岳トンネル（NATM）への構造変更可能性の検討

沖縄市及びうるま市の市街地（ライカム～胡屋～コザ～うるま市役所）を検討対象区間として、山岳トンネル（NATM）への構造変更可能性について検討を行った結果、検討対象区間のうち、

ライカム～胡屋十字路において、シールドトンネルから山岳トンネル（NATM）への構造変更の可能性があると想定され、概算事業費（令和元年度価格）は約 6,690 億円となり、シールドトンネル（基本ケース）と比較して約 10 億円（約 0.1%）低減した。ただし、モデルルートからやや離れたボーリング調査データを投影しているため、現時点で山岳トンネル（NATM）への構造変更が可能であると断言することはできない。

(5) 建設業界へのヒアリング調査

沖縄県の建設業界の状況や人件費・建設資材価格の状況、交通インフラ整備等について、建設業界にヒアリング調査を行った。沖縄県における建設投資について、東日本大震災が発生した直後の平成 23 年度が約 5,232 億円であったが、平成 30 年度では約 9,538 億円となった。建設業の人件費については、公共工事における設計労務単価（全国全職種加重平均値）の推移をみると、東日本大震災直後の平成 23 年度を底に年々増加上昇傾向となっており、平成 30 年度は平成 23 年度の約 1.48 倍であることが明らかとなった。また、沖縄県（那覇）における建設資材価格は、本土より総じて割高となっており、九州地区（福岡）や関東地区（東京）と比較すると 2 割程度高いことが明らかとなった。

(6) 不発弾等対策の検討

第二次世界大戦で投下された不発弾等は、沖縄県が約 4 割（処理重量）を占めており、年々処理量が減少しているものの、今後とも不発弾等は発見される可能性が高く、建設工事等においては、引き続き、磁気探査を実施し、建設現場や周辺住民等の安全性を確保していく必要がある。

2.1.11 令和2年度調査の概要

令和 2 年度調査では、各駅の需要量（乗降客数）に応じて、プラットホーム幅員やコンコース、駅務諸室、電気設備諸室、機械設備諸室等の必要規模について検討を行い、適正な駅施設規模によるコスト削減効果について検討を行った。

また、運行列車の編成両数の検討では、全運行列車について、うるま具志川駅で分割・併合を実施し、糸満市役所～うるま具志川は 4 両編成、うるま具志川～名護は 2 両編成とした場合の需要量の変動やランニングコストの低減量について試算を行った。

また、沖縄特有の状況等を考慮した概算事業費の精査では、地滑りや河川氾濫による浸水被害等防災上の観点から見たモデルルート等の精査を行った。

急勾配に対応した小型鉄道（粘着駆動方式等）の導入可能性については、国内の車両メーカーに技術的な可能性についてヒアリングを行うとともに、粘着駆動方式の小型鉄道が近い将来に実現できるものと想定して、モデルルートによる路線検討を行い、コスト削減額の把握を行った。

(1) 需要量に応じた駅施設規模の精査(駅舎のコンパクト化)

各駅の需要量（乗降客数）に応じて、プラットホーム幅員やコンコース、駅務諸室、電気設備諸室、機械設備諸室等の必要規模について検討を行い、適正な駅施設規模によるコスト削減効果について検討を行った。

検討の結果、鉄道のケース 2（うるま・国道 330 号・西海岸ルート＋空港接続線）の概算事業費（令和元年度価格）は約 8,640 億円となり、精査前と比較して約 60 億円（約 1%）の低減に留ま

った。

また、運行列車の編成両数の検討では、全運行列車について、うるま具志川駅で分割・併合を実施し、糸満市役所～うるま具志川は4両編成、うるま具志川～名護は2両編成とした場合の需要量の変動やランニングコストの低減量について試算を行った。

試算の結果、輸送需要は1日当たり約6百人の減少に留まり、旅客運賃収入（年間）は約8千万円減少した。一方、ランニングコスト（年間）は約102千万円低減できるため、うるま具志川駅以北の利用者のサービス水準はやや低下するものの、収支採算性を向上させる効果が一定程度あることが確認できた。ただし、ランニングコストの低減額については、列車キロ等を原単位とした試算値であるため今後精査が必要である。

(2) 沖縄特有の状況等を考慮した概算事業費の精査

土砂災害警戒区域等を踏まえたモデルルートの精査では、糸満市役所～石川においては、モデルルート上に土砂災害警戒区域は殆どないため、特に対策を講じる必要はないことが明らかとなった。石川～名護間においては、土砂災害警戒区域を通過する箇所が点在するが、トンネル坑口や線路付近に法面補強工事等を実施することにより、安全性を確保することは可能と判断した。

また、許田地区～名護においては、土砂災害警戒区域を比較的長い距離で通過するため、海側への代替ルートについて検討を行った。路線延長や概算事業費は基本ルートと殆ど差異はないものの、導入空間の確保や景観面での課題がある。

洪水浸水想定区域を踏まえたモデルルートの精査では、沖縄県が公表している洪水浸水想定区域図をもとに、モデルルートへの影響について確認を行い、必要に応じてルートや構造形式等の見直しを行うこととした。

沖縄本島の5水系の7河川の洪水浸水想定区域を確認したところ、モデルルート上に浸水が想定される箇所が複数見られたが、いずれも地下構造または高架構造のため、線路には影響はなく特に対策は必要ないと判断した。

(3) 最新技術車両の導入可能性の検討

急勾配に対応した小型鉄道（粘着駆動方式等）の導入可能性については、国内の車両メーカーに技術的な可能性についてヒアリングを行い、車体、システム、台車の個々については、コスト面を考えなければ、技術的に対応できる可能性はあるが、車両を総合的に設計する段階においては、物理的不可能という結論になる可能性があるとの見解が得られた。

粘着駆動方式の小型鉄道が近い将来に実現できるものと想定して、モデルルートによる路線検討を行い、コスト削減額の把握を行った。なお、検討ルートはケース2（うるま・国道330号・西海岸ルート+空港接続線）（部分単線案）を想定した。

検討の結果、糸満市役所～名護の快速列車の所要時間は約83分となり、運転最高速度が同じスマート・リニアメトロと同程度、高速AGTと比較すると約5分増加した。旭橋～名護の所要時間は快速列車で約66分となり、政策目標である『那覇～名護60分以内』はおおむね達成できるものと考えられる。

また、概算事業費は約6,840億円となり、スマート・リニアメトロと比較して約80億円（約1%）増加し、高速AGTと比較して約160億円（約2%）増加した。

2.1.12 令和3年度調査の概要

令和3年度調査では、鉄軌道技術を構成する各種要素技術について、イニシャルコスト及びランニングコストの縮減、環境保全等の観点から把握整理を行い、最新の国内外の信号保安システムの導入状況を踏まえ、コスト縮減や保守管理にかかる作業量の低減等の可能性について検討を行った。また、最近の建設工事費デフレーターや土地価格の変動率等も踏まえて、概算事業費の精査を行った。

(1) CBTC導入による概算事業費の精査

全線において専用空間を走行する交通システム（普通鉄道、スマート・リニアメトロ、粘着駆動方式小型鉄道、高速AGT、HSST）を対象として、CBTC^{*12}を導入した場合を想定して、概算事業費の精査を行った。その結果、CBTCを導入することによってATC^{*13}と比較して約1%縮減した。

*12：CBTCは、無線式列車制御装置（Communications Based Train Control）のことであり、安全運行を確保するための装置であり、無線式を採用することによって信号機や信号ケーブル等の地上設備を大幅に簡素化できるため、イニシャルコストだけでなく、メンテナンスコストも、従来型と比較して低減できる。また、列車の増発や遅延回復、単線並列運行など、運行の柔軟性や冗長性の確保などのメリットがある。

*13：ATCは、自動列車制御装置（Automatic Train Control）のことであり、安全運行を確保するための装置であり、従来の信号保安装置であり、有線ケーブルを複数かつ長距離にわたって設置する必要がある。

(2) 最近の鉄軌道車両の新製費用の状況を考慮した車両費の精査

最近の鉄軌道車両の新製費用の状況について公表情報から把握整理を行った。その整理結果を踏まえ、1両当たりの車両費は、普通鉄道は2.0億円（消費税抜き、以下同様）、スマート・リニアメトロは3.0億円、高速AGTは2.3億円と設定した。また、トラムトレインは1編成当たり4.0億円と設定した。

粘着駆動方式小型鉄道及びHSSTについては、直近において類似の車両が新製されていないため、令和2年度調査において設定した単価で据え置くものとした。

(3) 最近の物価等を踏まえた概算事業費の精査

最近の建設工事費デフレーターや土地価格の変動率を加味するとともに、CBTCの導入、車両新製費用等も踏まえて、概算事業費の精査を行った。その結果、概算事業費（令和3年度価格）は、令和2年度調査（令和元年度価格）に比べて3～5%程度上昇した。

2.1.13 令和4年度調査の概要

令和4年度調査では、最近の建設工事費デフレーターや土地価格の変動率に加えて、車両新製費用等も踏まえて、概算事業費の精査を行った。また、更なるコスト縮減方策について、事例を調査した。なお、令和4年度調査で検討した「新たな公共交通システム」は、過年度調査に引き続き、普通鉄道、スマート・リニアメトロ、粘着駆動方式小型鉄道、高速AGT及びHSSTとトラムトレインとした。ただし、トラムトレインについては、コスト縮減の観点から那覇市、沖縄市及び名護市の市街地区間は併用軌道（地平構造）を前提としており、那覇～名護60分以内を達成することは不可能であることから、参考扱いとして検討した。また、近年、バスの自動運転や隊列走行などの技術開発が進められており、バス輸送に関して国内における先進的な事例を整理するとともに、最新技術等

を活用した次世代型バス輸送システムの実現可能性について検討を行った。

(1) 各モデルルート等の精査

令和4年度調査では、沖縄振興計画に「那覇から名護を1時間で結ぶ速達性、定時性等の機能を備えた鉄軌道を含む新たな公共交通システム」と明記されたこと等を踏まえ、平成22年度調査から令和3年度調査までの検討ケースに加え、那覇～名護のルートについても検討を行うものとした。

(2) 最近の物価等を踏まえた概算事業費の精査

最近の建設工事費デフレーターや土地価格の変動率、車両新製費用等を踏まえて概算事業費の精査を行った。概算事業費（令和4年度価格）は、約3,400億円～約1兆250億円から、約3,650億円～約1兆1,010億円に増加しており、いずれにおいても令和3年度価格に比べて7%強上昇した。特に、令和3年度調査においてB/Cが最大となったHSSTでは、概算事業費が約7.4%上昇した。

(3) 更なるコスト縮減方策の検討

更なるコスト縮減方策として、シールドマシンの転用や規格化された鉄道車両について事例調査をした。ただし、これらの縮減方策は、施工期間が大幅に伸びる可能性や、導入費用が公表されていないことから、引き続き、事例等の調査が必要である。

(4) 次世代型バス輸送システムの検討

バス輸送に関して国内における先進的な事例を整理するとともに、沖縄における次世代型バス輸送システムの実現可能性について検討を行った。

検討の結果、次世代型バス輸送システムの導入に関しては、普通鉄道等と比較して建設コストや運営コスト、直達性の面で有利であるものの、導入の前提としている、磁気誘導による100km/h以上の隊列自動走行が実現していないといった技術面の課題のほか、これらが実現していないことにより、法令面・制度面において不確定な部分があることが明らかとなった。

2.1.14 令和5年度調査の概要

令和5年度調査では、過年度調査の成果や現地視察を踏まえつつ、モデルルートや交通システム、駅位置等を精査するとともに、近年の物価変動等を踏まえた概算事業費の精査を実施した。特に、令和4年度調査においてB/Cが最大となったHSST（磁気浮上方式）については、駅数削減及び那覇～名護ルートの検討も実施した。また、令和4年度調査にて検討した次世代型バス輸送システムについて、新たなモデルルートの検討や実用化に当たっての最新技術動向の整理、法令・制度の確立状況等の調査検討を行った。

(1) 最近の物価等を踏まえた概算事業費の精査

概算事業費については、最近の建設工事費デフレーターや土地価格の変動率等を鑑み、そのうち変動率が高い用地費について精査を行った。概算事業費（令和5年度価格）は、約7,070億円～

約1兆1,050億円に増加しており、いずれにおいても令和4年度価格に比べて、約0.3%~0.4%の上昇した。

(2) HSSTの駅数削減及び那覇～名護の検討

削減駅の候補については、単純に需要量だけでなく、駅の構造形式、まちづくりや再開発の動向、公共施設や集客施設等の立地、交通結節点などの拠点性、速達性の向上、駅間距離、路線バスによる補完可能性、フィーダー交通等の観点から総合的に判断し6駅を候補とした。概算事業費が約6,900億円となり、基本ケース（駅数削減前）の約7,070億円と比較して、約170億円（約2.4%）低減した。第4章で詳述するが、6駅削減によるコスト削減効果に見合った便益が得られないため、B/Cを悪化させることが明らかとなった。なお、今年度の駅数削減策については、多様な削減案がある中において、あくまで一つの案として検討を行ったものであり、今後、感度分析を実施し、全体コストや事業採算性、B/C等の観点から、最適な駅数や駅位置等、検討していく必要がある。

那覇～名護の検討については、那覇空港から名護への直達性、利便性等を考慮して、空港接続線（支線）の整備を前提とし、コスト削減の観点から駅数を削減するものとした。那覇～名護の概算事業費は、約5,730億円となり、スマート・リニアメトロと比較して約190億円（約3.2%）低減した。

(3) 架線式蓄電池電車の可能性検討

鉄軌道を非電化で整備することによって、電化路線に比べてトンネル断面が縮小となり、土木工事費が削減できるだけでなく、電車線設備や変電設備等の電気設備の低減にもつながる。このため、非電化路線で導入された最新技術車両の導入事例について整理を行った。

現在検討中の沖縄本島の鉄軌道路線は地下トンネル区間を有しているため、車両や地下駅、地下トンネル等において相応の火災対策が求められる。ハイブリッド電車は、可燃性燃料として軽油を積載しており、かつ発電時にディーゼルエンジンから排気ガスが発生するため、水素燃料電池電車は、水素燃料の漏洩及び引火爆発の危険性があるため、地下トンネル内への導入は困難であると考えられる。このため、今年度においては、架線式蓄電池電車を想定して、その可能性について検討を行うものとした。架線式蓄電池電車の概算事業費は、約7,780億円となり、基本ケース（普通鉄道・部分単線案）の約8,290億円と比較して、約510億円（約6.1%）低減した。しかしながら、特に中南部地域においては急勾配区間が複数あるため、現在の蓄電池の性能では、電車の停車時や下り急こう配区間の制動時における回生電力を蓄電池に貯めたとしても、電力容量の面で厳しい側面がある。一方で、蓄電池については、これまで主流であったリチウムイオン電池から全固体電池へとシフトしていくものと考えられ、近い将来に全固体電池が量産化される予定であり、その性能によっては全線非電化とすることも視野に入れて引き続き検討を行っていく必要がある。

(4) 次世代型バス輸送システムの検討

新たなモデルルート の検討では、沖縄本島中南部地域の支線軸に焦点を当て、路線計画や運行計画、概算事業費の算出等を行った。特に、キロ当たりの概算事業費は、約14億円/km~約15億円/kmとなり、鉄軌道と比較すると1/6以下であることが明らかとなった。ただし、バス専用車線の設置により片側1車線ずつ車線が減少し、朝夕ピーク時の道路混雑がさらに増大する可能性がある

ため、次世代型バス輸送システムへの転換誘導など、道路混雑を抑制するソフト施策も併せて実施する必要がある。

実用化に当たっての最新技術動向の整理では、東広島市・J R西日本などの事例を整理したが、バスの隊列走行には、信号現示の認識精度 100%化、GNSS 機能不全箇所への対応、路上駐車回避など克服すべき課題が多様であることが明らかとなった。

法令・制度の確立状況等の調査では、自動運転全般に焦点を当て、現時点における自動運転に関わる法令や制度、基準等の確立状況について調査し整理を行った。これまで、自動運転レベル4の実現に向けて改正が行われてきたが、現時点では自動運転車（バス含む）を使ったレベル4の移動サービスの社会実装を見越したものであり、自家用自動車（バス含む）での実施には至っていない。このため、自家用自動車（バス含む）のレベル4の解禁やレベル5の実現に向けて、引き続き、法令や制度、基準等の改正の動向を注視していく必要がある。また、自動運転をはじめとして、道路構造や信号保安システム等の検討・開発状況についても、名古屋ガイドウェイバスの磁気誘導による自動運転化や横浜市のバスによる新たな輸送システムなど、先行する案件の動向も踏まえて、検討の深度化を図る必要がある。