

平成 26 年度

エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業

(円借款・民活インフラ案件形成等調査)

インド・シラディガート山地横断道路改良プロジェクト調査報告書

平成 27 年 2 月

経 済 産 業 省

新 日 本 有 限 責 任 監 査 法 人

独 立 行 政 法 人 日 本 貿 易 振 興 機 構

委託先 :

株式会社 建設技研インターナショナル

株式会社 建設技術研究所

新日鐵住金 株式会社

東日本高速道路 株式会社

要約

(1) プロジェクトの背景・必要性等

1) プロジェクトの背景

インド国は、近年目覚ましい経済発展を続けており、2006年度～2010年度（2009年度は除く）は、年平均9.2%の高成長を記録している。2012年度以降は、高金利政策の影響等により成長は鈍化しているものの、中長期的な経済成長は確実視されている（2013年度6.9%、2014年度7.4%）。また、現地マーケットの今後の成長性や安価な労働力等を理由として、本邦企業のインド進出も著しい状況にある。

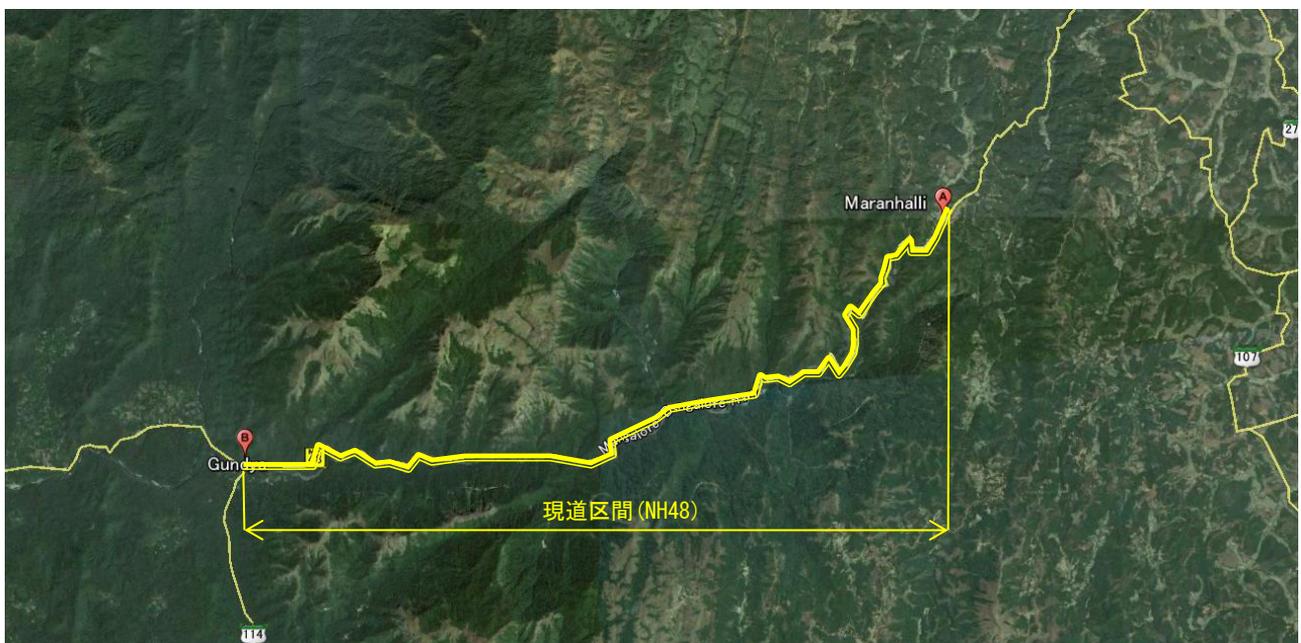
一方、経済成長を支える社会基盤である道路整備は、国道5万kmの国道整備計画（NHDP：National Highway Development Plan）の下、黄金の四辺形、南北東西回廊を中心に進められており現在までに約4割強が完了している。今後は、州都を中心とした都市間あるいは主要港湾へのアクセス強化が主要テーマとなる。本プロジェクト対象道路は主要港湾へのアクセス改善にも寄与する。

対象プロジェクトがあるカルナタカ州の人口は2011年国勢調査では6,133万人で、インドの総人口の約5%を占める。カルナタカ州の2009年度における州内総生産は3兆4,467億220万ルピーであり、インド全体GDPの6%を占める。カルナタカ州の主要産業は製造業であり、州のGDPのうち17%を占める。主要産業は、自動車及び自動部品、情報技術、エンジニアリング、電子産業及び鋼鉄産業である。

2) プロジェクトの必要性

本調査の対象である「シラディガート山地横断道路」は、カルナタカ州都バンガロール（人口860万人）と州内唯一の主要港湾であるニューマンガロール港を結ぶ主要幹線道路である国道48号の一区間を形成する道路区間である。将来的にはカルナタカ州政府が積極的に計画を進めている「バンガロールーマンガロール高速道路」の一部となる予定である。当該区間は、急峻な地形のため、急カーブが連続する等、道路線形が非常に悪く、道路交通上のボトルネックとなっている。当該区間は、カルナタカ州の経済発展およびニューマンガロール港の開発ポテンシャル向上等の視点から早期の道路改良が強く求められている。

図1 プロジェクト位置図



出典：調査団作成

(2) プロジェクト内容決定に関する基本方針

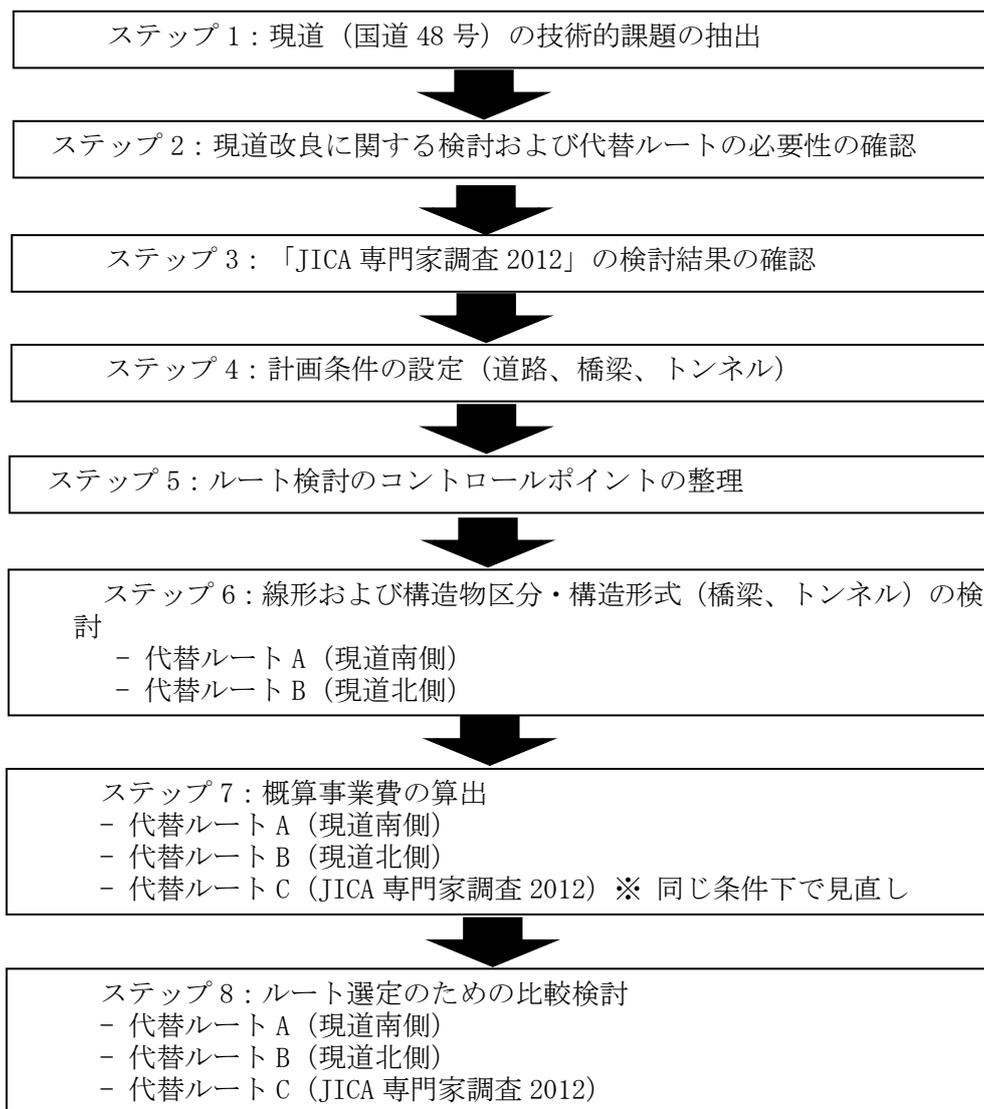
図2に示す8段階のステップを経て、事業実施に向けた技術的課題について検討した。検討の概要は以下に示すとおりである。

代替ルート検討の事前準備として、適切な計画条件設定を行うために、ステップ1～ステップ4において事業対象地域に関する基本情報を分析した。まず、現地踏査により、現道（国道48号）の事業対象区間（シラディガート）における技術的課題を抽出した。次に、現地踏査結果をもとに現道改良について検討し、「現道が急峻な地形を横断することから劇的な線形改良ができないこと」かつ「全線に渡って大規模な環境破壊を伴うこと」から現道改良は合理的でなく、当該区間の道路改良には代替ルートが必須であることを確認した。その後、「JICA 専門家調査 2012」で提案された代替ルートの内容を確認し、改善すべき課題を抽出した。ステップ4では、JICA 専門家調査で抽出された課題を考慮して代替ルートの計画条件を設定した。計画条件は、基本的にインド基準 IRC (the Indian Roads Congress) に準拠して設定した。

代替ルートの検討は、ステップ5～ステップ8で実施した。第1段階として、深い渓谷、自然保護区域（世界遺産）、断層、鉄道、建物、コーヒー畑およびトンネル坑口等のルートのコントロールポイントを整理した。次に、新たに2つのルートについて検討し、ルートの線形およびルート内の構造物区分・構造形式を決定した。1つ目の「代替ルートA」は現道の南側に計画し、もう1つの「代替ルートB」は現道の北側に計画した。上記2つのルートはともに JICA 専門家調査と同様に道路（盛土または切土）、橋梁およびトンネルの3つの構造形式で構成されるが、各ルートにより、それぞれの構造形式の総延長は異なる。山岳区間特有の技術的課題については、典型的な本邦技術を適用することにより解決した。

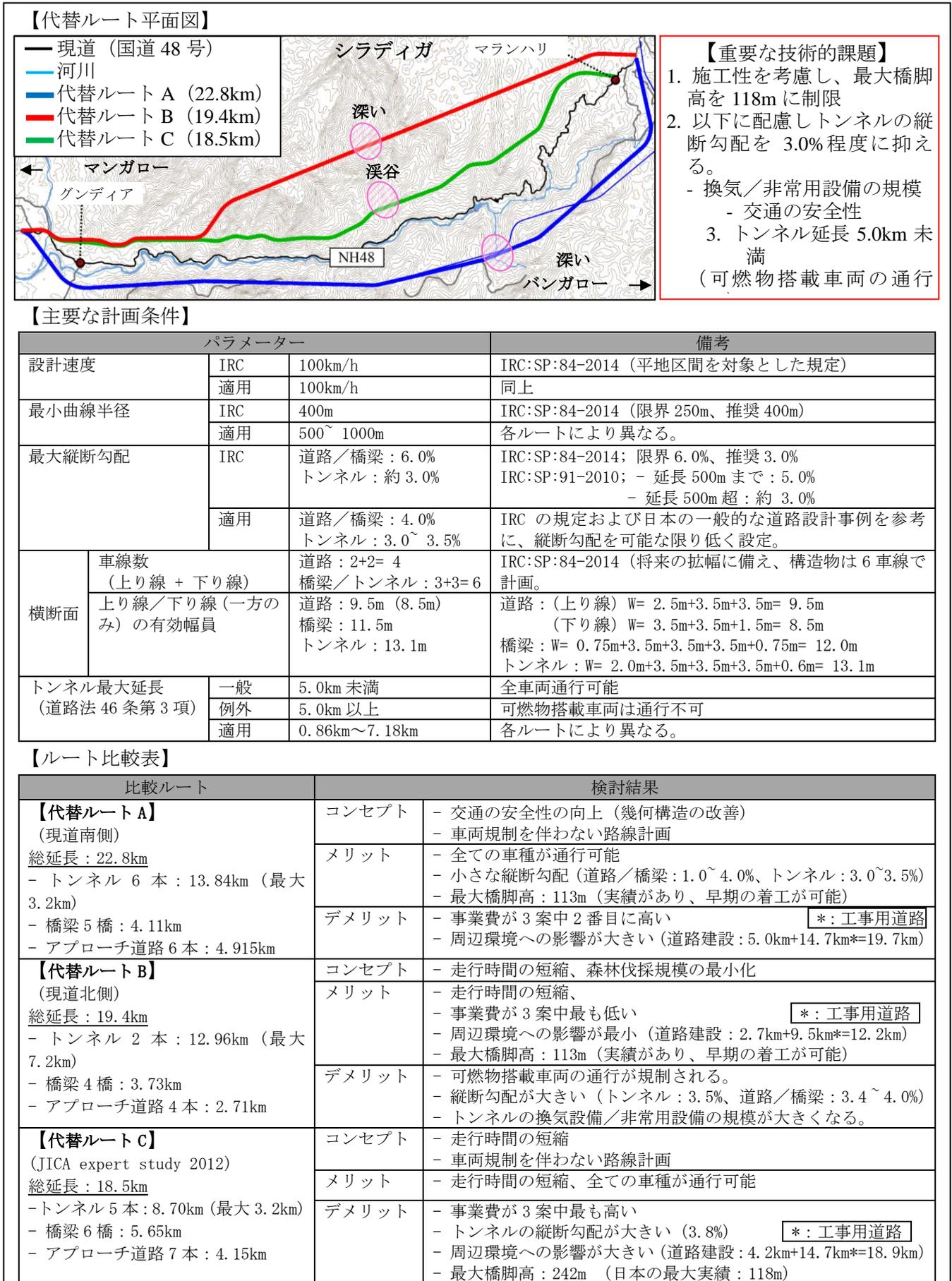
各ルートの概算事業費の算出後、本調査で検討した2つのルートおよび JICA 専門家調査で提案されたルートの3つにより、最適なルートを選定するための比較検討を実施した。各路線の評価には、①線形（走行性）、②構造的／施工性、③維持管理性、④概算事業費および⑤施工時の周辺環境への影響の5つの評価指標を用いた。検討の結果、「ルートA」を現道シラディガート区間の代替ルートとして選定した。ルートAは「ルートBより経済性に劣り」かつ「ルートBおよびルートCよりも施工時の森林伐採規模が大きい」が、「線形（走行性）」、「構造的／施工性」および「維持管理性」といった技術的な観点で他案より優れるルートAが最も現実的であると判断した。代替ルート検討の結果概要を図3に示す。また、図4に選定ルートの概要を示す。

図2 事業実施に向けた技術的課題の検討手順



出典：調査団作成

図3 現道（シラディガート区間）の代替ルート選定の検討概要



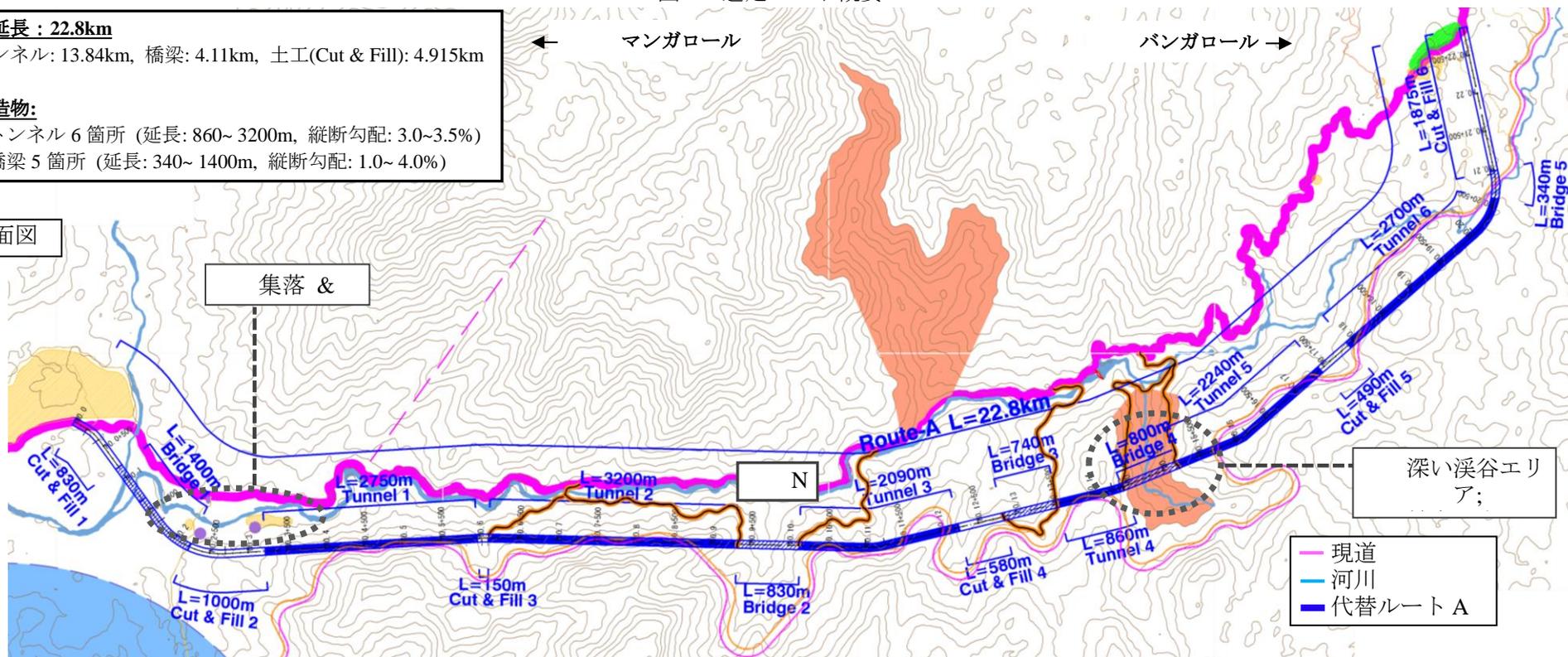
出典: 調査団作成

図4 選定ルート概要

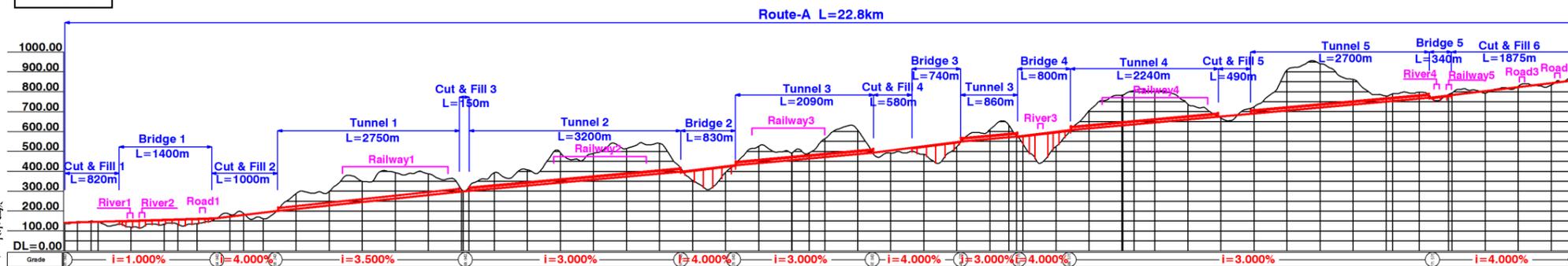
総延長：22.8km
 トンネル：13.84km, 橋梁：4.11km, 土工(Cut & Fill)：4.915km

構造物：
 - トンネル6箇所 (延長：860~3200m, 縦断勾配：3.0~3.5%)
 - 橋梁5箇所 (延長：340~1400m, 縦断勾配：1.0~4.0%)

平面図



縦断図



(3) プロジェクトの概要

1) 事業総額

選定ルート of 概算事業費を表1に示す。本概算事業費は最適ルート(ルートA)に対し、4車線整備(構造物区間は6車線整備)として計画した場合の費用(工事費+維持管理施設費)を算出した。各工種の工事費は過去の海外案件の積算実績、又は日本の土木工事実績を参考に設定している。本路線は構造物割合が高いことや、トンネル構造の特徴(1本のトンネル構造の最大車線数は3)より上下線分離構造として計画されることから、上下線の内一方の概算工事費を算出し、それを2倍することで、上り線および下り線の総工事費とした。また日本の円借款プロジェクトを前提として積算を行っており、類似の円借款プロジェクトの標準的間接比率40%を採用している。間接費には、保険費用、調査設計費、施工監理費、予備費などが含まれる。

表1 選定されたルートの概算事業費

| 構造形式 | | 延長 (km) | 単価 (Cr./km) | 工費 (Cr.) | 小計 (Cr.) | 合計(2車線) (Cr.) | 合計(4車線) (Cr.) |
|---------------|-------------|------------|----------------|-------------|-------------|------------------|------------------|
| トンネル (3車線) | Tunnel-1 | 2.75 | 175 | 480 | 2,430 | 3,750 | 7,500 |
| | Tunnel-2 | 3.20 | 174 | 556 | | | |
| | Tunnel-3 | 2.09 | 177 | 369 | | | |
| | Tunnel-4 | 0.86 | 187 | 161 | | | |
| | Tunnel-5 | 2.24 | 176 | 394 | | | |
| | Tunnel-6 | 2.70 | 175 | 472 | | | |
| 橋梁 (3車線) | Bridge-1 | 1.40 | 263 | 368 | 1,270 | 3,750 | 7,500 |
| | Bridge-2 | 0.83 | 327 | 271 | | | |
| | Bridge-3 | 0.74 | 323 | 239 | | | |
| | Bridge-4 | 0.80 | 381 | 305 | | | |
| | Bridge-5 | 0.34 | 247 | 84 | | | |
| 土工 (2車線) | Cut& Fill-1 | 0.82 | 6 | 5 | 50 | 163 | 163 |
| | Cut& Fill-2 | 1.00 | 7 | 7 | | | |
| | Cut& Fill-3 | 0.15 | 20 | 3 | | | |
| | Cut& Fill-4 | 0.58 | 22 | 13 | | | |
| | Cut& Fill-5 | 0.49 | 22 | 11 | | | |
| | Cut& Fill-6 | 1.88 | 7 | 13 | | | |
| 工所用道路 | | 14.70 | 11 | 163 | 163 | 163 | 163 |
| 運営・維持管理 | | - | - | 148 | 148 | 148 | 148 |

| | |
|----------|--------|
| 直接工事費 | 7,811 |
| 間接費(40%) | 3,124 |
| 合計 | 10,936 |

(Cr.)

出典：調査団作成

1) 予備的な財務分析・経済分析結果の概要

a) 財務分析結果の概要

本プロジェクトを含む国道 48 号 Hassan-BC road 区間の拡幅改良事業は、本プロジェクトのシラディガート区間を含み、計画当初から EPC (Engineering, Procurement and Construction) モードで計画された。EPC モードとは従来からある国家の公共事業として実施されるプロジェクトである。

本プロジェクトも基本的には、EPC モードで建設されると想定するが、建設後は有料道路として事業実施され、通行料金収入を原資として、有料道路事業に係る初期投資、事業運営、維持管理が、民間の事業運営会社に委託して実施されることを想定する。事業実施形態としては、有料道路関連施設投資の DBFOT 方式を考える。

予備的財務分析の結果は、FIRR = 8.1%、NPV@12% = -60.49 Cr Rs となった。FIRR の計算表を表 2 に示す。インド国の一般的な借入金金利の約 12% に比べ、FIRR は 8.1% と低くなった。本プロジェクトは本体事業費だけでなく、維持管理施設への投資も大規模トンネル・橋梁の維持管理を行うには、通常に比べ投資額が高いために、このような結果となった。

PPP 事業としての成立条件を検討するため、FIRR の感度分析を行った。有料道路の料金は、国道 48 号の既存有料道路の約 2 倍の 2 Rs/km/PCU としたが、これを 2.5Rs とすることで FIRR は 11.0% まで改善し、3.0 Rs では FIRR は 13.7% となる。さらに、初期投資費用の約 20% をインド国政府が公共側として補填することで、FIRR は更に改善し、2.0Rs で 8.6%、2.5Rs で 11.6%、3.0Rs で 14.3% となる。すなわち PPP 事業としての成立条件としては、特別な料金設定と適度な事業費補填が必要という結論である。

表 2 FIRR の感度分析

| | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 初期コスト | 100% | 100% | 100% | 80% | 80% | 80% |
| 収入 | 100% | 125% | 150% | 100% | 125% | 150% |
| 料金 (Rs/km) | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| プロジェクト FIRR | 8.1% | 11.0% | 13.7% | 8.6% | 11.6% | 14.3% |
| NPV@ 12% (Cr. Rs) | -60.49 | -15.77 | 28.95 | -50.80 | -6.08 | 38.64 |

出典：調査団作成

b) 経済分析結果の概要

経済分析の結果を表 3 に示す。計測範囲をシラディガート区間に限定した場合には経済性を確保するのは難しいことが明らかとなった。バイパス全般が構造物で構成されており、事業費が嵩むことが原因である。

一方、計測範囲を Hassan~BC Road (138km) 区間とした場合、構造物区間を 6 車線分の整備とする Base Case では EIRR=10.12% と社会的割引率 12% より若干低い結果となった。構造物区間を 4 車線で整備する Case1 は EIRR=12.17% となり経済的実行可能性があることが示された。また、ケース 2 および 3 の暫定供用方式を採用すると EIRR は約 17%、19% となり、経済的実行可能性は保証される。

第 3 章で示した将来交通需要分析にもとづく計画交通量は、必要車線数は 4 車線整備との結果が示されており、6 車線整備の必要性は低いと判断される。したがって、初期投資額が縮減可能なケース 1 による整備、あるいは暫定供用による段階整備が妥当であると判断される。

表3 経済分析結果

| 計測範囲 | 評価指標 | 推計ケース | | | |
|---------------------------|------|------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | 基本ケース | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
| | | 4車線 (構造物区間 6車線幅) | 4車線 (構造物区間 4車線) | 片側2車線 (構造物区間 3車線幅) | 片側2車線 (構造物区間 2車線) |
| シラディガ ード区間 (26 km) | NPV | -401.5 億ルピー | -307.1 億ルピー | -169.4 億ルピー | -123.5 億ルピー |
| | CBR | 0.18 | 0.22 | 0.34 | 0.41 |
| | EIRR | 0.43% | 1.55% | 4.03% | 5.26% |
| BC 道路 ～ハッサン (138km) | NPV | -88.9 億ルピー | 6.7 億ルピー | 143.8 億ルピー | 189.7 億ルピー |
| | CBR | 0.83 | 1.02 | 1.48 | 1.75 |
| | EIRR | 10.12% | 12.17% | 16.89% | 19.40% |

The diagram shows four cross-sectional views of road structures. Each view consists of a central road with a dashed centerline and two yellow arrows indicating traffic flow. The structures are shaded gray. Case 1 and Case 2 include dashed outlines representing additional structures on the right side of the road.

Base Case: 4-lane
(Structures: 6-lane width)

Case 1: 4-lane
(Structures: 4-lane width)

Case 2: 2-lane
(Structures: 3-lane width)

Case 3: 2-lane
(Structures: 2-lane width)

出典：調査団作成

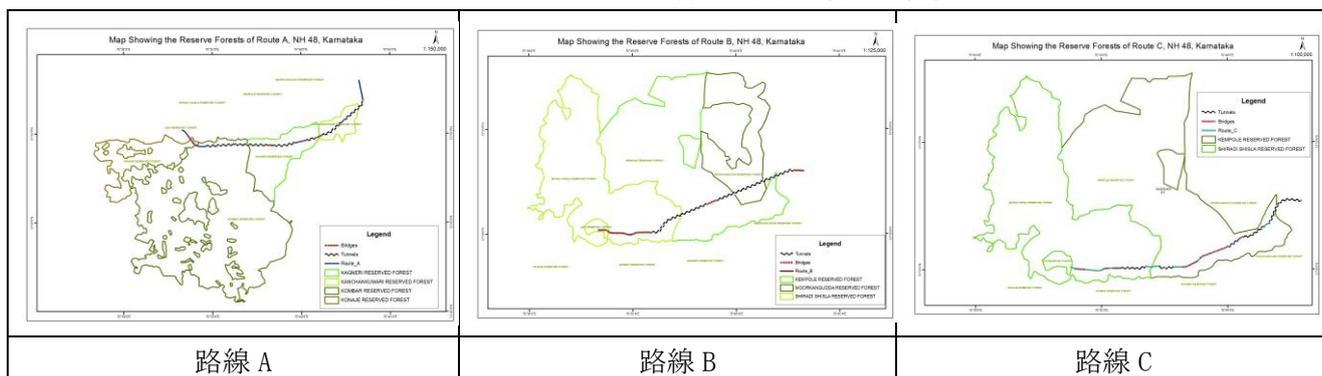
(4) 環境社会的側面の検討

プロジェクト対象地域は、インド西海岸沿いの西ガーツ山脈に位置している。西ガーツ山脈の一部の地域は UNESCO 世界遺産に指定されるなど、自然環境豊かな地域である。一方、山岳地帯特有の急峻な地形であるため、カルナタカ州都バンガロールと州内唯一の主要港湾であるニューマンガロール港を結ぶ国道 48 号は、プロジェクト対象区間において、急カーブが連続する等、道路線形が非常に悪く、道路交通上のボトルネックとなっている。

本プロジェクトが提案する 3 つの路線は全てカルナタカ州が指定する保護林の中を通過する。また、プロジェクト対象地域の南北には、インド政府が指定する保護区である Kudremukh National Park と Pushpagiri Wildlife Sanctuary が位置しており、この二つの保護区は UNESCO が指定する世界遺産指定地域である Western Ghats を形成する一部である。これらのことから代表されるように、プロジェクト対象地域は非常に自然豊かであり絶滅危惧種を含む希少な動植物が多く生息している。現在、保護区の拡大計画や Ecologically Sensitive Areas といった新しい概念が提案されており、自然環境保護の一層の促進がなされている。このため、生態系の一体性維持や動物の南北移動の確保といった、自然環境への影響を最小限に抑えるための対策を講じることが必要不可欠である。

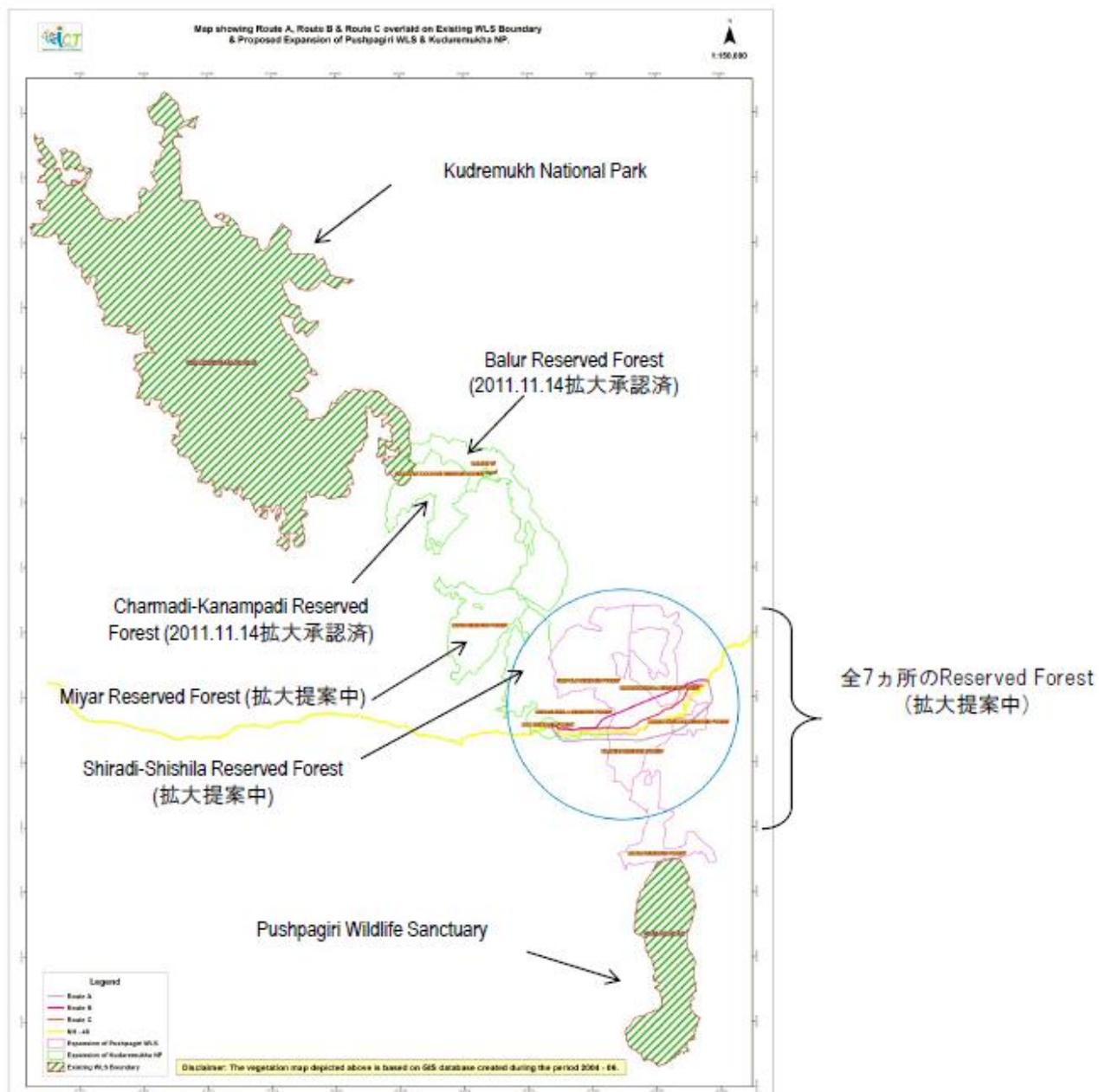
本プロジェクトの実現のために当該国がなすべき事項として、1) 環境クリアランス取得のための準備、2) 森林地域の改編に関する準備、3) 用地取得のための予算検討準備等を進める必要がある。なお、これらの準備はインド内部での手続きとして必要になるが、本プロジェクトが円借款事業として実施される場合には、JICA 及び World Bank、ADB 等が規定するセーフガードに合致する必要があることから、これらのセーフガードにおいて求められる要件を満たすよう、準備を進めることが重要である。

図 5 本プロジェクト提案路線と保護林の位置



出典：カルナタカ州森林局

図6 保護区の拡大計画エリア

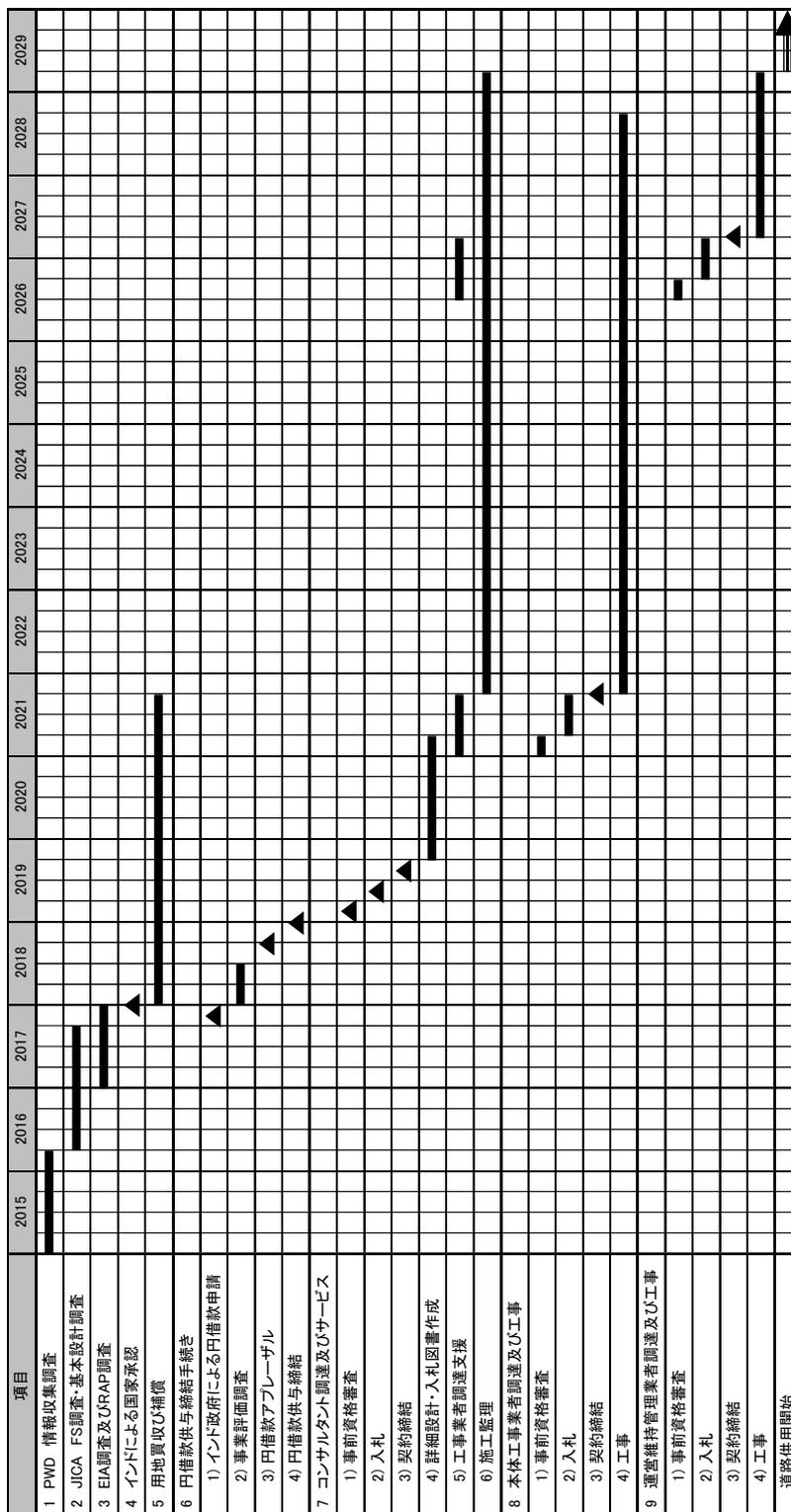


出典：カルナタカ州森林局

(5) 実施スケジュール

本プロジェクトは、バイパス整備の基本的部分は円借款のODAプロジェクトかつインドの公共事業として実施する。有料道路システム、運営維持管理システムに係る部分はPPP事業を前提とする。本プロジェクトの実施スケジュールは図7のとおり計画される。

図7 プロジェクト実施スケジュール



出典：調査団作成

(6) 円借款要請・実施に関するフィージビリティ

本調査で確認された円借款要請・実施に関する可能性、インド国側の基本方針は、以下のとおり。

- 国道 48 号のシラディガート区間バイパスは最新の環境・土木技術を適用した環境フレンドリー道路として整備する。そのためには、類似するプロジェクトの経験豊富な日本の技術を採用し、日本の円借款を利用する。
- 早期のプロジェクト実現のため、インド側で実施できる情報収集調査・環境影響調査はインド側政府負担で先行着手する。シラディガート区間を除く国道 48 号ハサンーBC ロード区間は、2013 年に FS 調査は完了し、インド国内での事業承認が完了した。今後インド国の公共事業として建設に着手する。このような対応で、国道 48 号のシラディガート前後区間の 4 車線化は早急に完了する。
- 本調査結果を活用し、PWD・カルナタカ政府から MORTH に対して、JICA による準備調査申請を 2015 年 3 月までに行う。申請にあたっては本プロジェクト報告書を添付する。
- プロジェクトコストの縮減を行い、経済的実行可能性を高めるため、インド国の設計基準の柔軟な適用を行い、構造物区間の標準断面 6 車線幅を 4 車線幅に縮小する案についても検討する。
- また、JICA による準備調査により実施される、基本設計、積算等の結果を待って、プロジェクト内容を決定し、インド国政府から日本政府への円借款申請及びインド国政府内におけるプロジェクト承認を行う。

(7) 我が国企業の技術面等での優位性

本プロジェクトの特徴と課題に対して、我が国は同様の条件下での多数の実績を有する。具体的には、自然環境負荷低減を図った道路整備や山岳地域におけるトンネル・橋梁整備である。特筆すべき技術として、的確な設計・施工のための地質・水文モデリング技術、自然環境へのインパクトを抑えたトンネル・橋梁施工技術、経済性向上および工期短縮のための施工技術、長大トンネル・橋梁の維持管理技術などであり、それらを支える資機材も開発されてきた。

また、個別の課題に対しては、我が国以外の企業であっても製品や技術サービスを提供可能であるものもあると考えられる。しかしながら、本プロジェクトの様に多様かつ複合的な課題へのトータルな対応については、我が国企業が世界をリードしていると言える。また、トラブルに対応しながら完遂する責任感、計画から施工、維持管理を含めた現地カウンターパートへの技術移転力は我が国企業が有する強みである。本プロジェクトに適用できる主な本邦技術は以下の通りである。

表 3 適用可能な本邦技術

| トンネル技術 | 橋梁技術 | その他土木技術 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ AGF (All Ground Fasten) 工法 ・ アロードリルワイヤーラインサンプリング ・ 防音扉 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 片持架設工法による PC 箱桁橋 (剛構造) ・ SRC (Steel-framed Reinforced Concrete) 構造 ・ 竹割型土留め工法 ・ 鋼合理化トラス橋 ・ 鋼 2 主 I 桁橋 ・ 耐候性鋼材 | <ul style="list-style-type: none"> ・ ノンフレーム工法 (斜面安定技術) |

出典：調査団作成

本邦企業は、国内プロジェクトにおいて多くの技術を持ち、これらの技術を適用した計画とすることで本邦企業の国際競争力と受注可能性を高める方針である。このように、本プロジェクトにおいて我が国企業は高い技術的優位性を持っており、プロジェクトを円滑に実施しかつ恒久的に性能を担保するためには、本邦技術の活用が不可欠であるとともに、我が国企業の参入の必要性は極めて高い。我が国企業の受注を促進するために必要な主な施策は以下である。

- 案件形成および計画段階からの本邦技術の訴求
- 事前資格審査やプロポーザルなど国際入札への対応
- 事業リスクの明確化と軽減の働きかけ

(8) 案件実現までの具体的スケジュール及び実現を阻むリスク

本プロジェクトの円借款事業としての実現までの具体的アクションとしては、以下が挙げられる。

- ① 測量調査、地質調査、水文調査を含む情報収集調査の実施
- ② JICA によるフルスコープの FS 調査の実施による事業確定
- ③ EIA 調査、RAP 調査の実施および環境クリアランス
- ④ インド国政府によるプロジェクトの国家承認と円借款要請
- ⑤ 日本側に寄りプロジェクト承認、円借款手続き

これらの具体的アクションの段階毎に実現を阻むリスクを列挙すると以下のとおりである。

1) PWD による情報収集調査、JICA によるフルスコープの FS 調査実施

JICA によるフルスコープの FS 調査実施には、METI 調査によるプロジェクト評価を日本側で実施し、FS 調査を早期に開始する必要がある。FS 調査の実施の遅れは、プロジェクト確定が遅れ、その後の様々な手続きの遅れを招くことになる。手続きの遅れは、円借款ではなく、他の資金ソース利用による実施を招くことに成る。

2) EIA 調査、RAP 調査の実施及び環境クリアランス

インド国の道路プロジェクト実施による環境クリアランスには時間がかかる。特に森林保護地域を通過する本プロジェクトではさおさら環境クリアランスに時間がかかると想定される。このため、本 METI 調査で提案されたルートを前提として、PWD において EIA 調査、RAP 調査を早急に実施する必要がある。その際に円借款を前提とした環境影響評価ガイドラインでの調査実施が必要である。

3) 鳥獣類保護区の拡大可能性についての継続的な情報収集

本調査において、プロジェクト地域において鳥獣類保護区の拡大が検討されていることが判明した。

しかし、現時点では基本方針の技術的プロポーザルがなされた段階であり、カルナタカ州により審議中である。もし、本プロジェクト地域が鳥獣類保護区に指定された場合、円借款を前提としたEIA調査には相当の時間と費用がかかると懸念される。EIAの結果次第では、円借款プロジェクトとしては実施できない可能性もある。鳥獣類保護区の拡大の審議、経過について継続的な情報把握が必要、重要である。

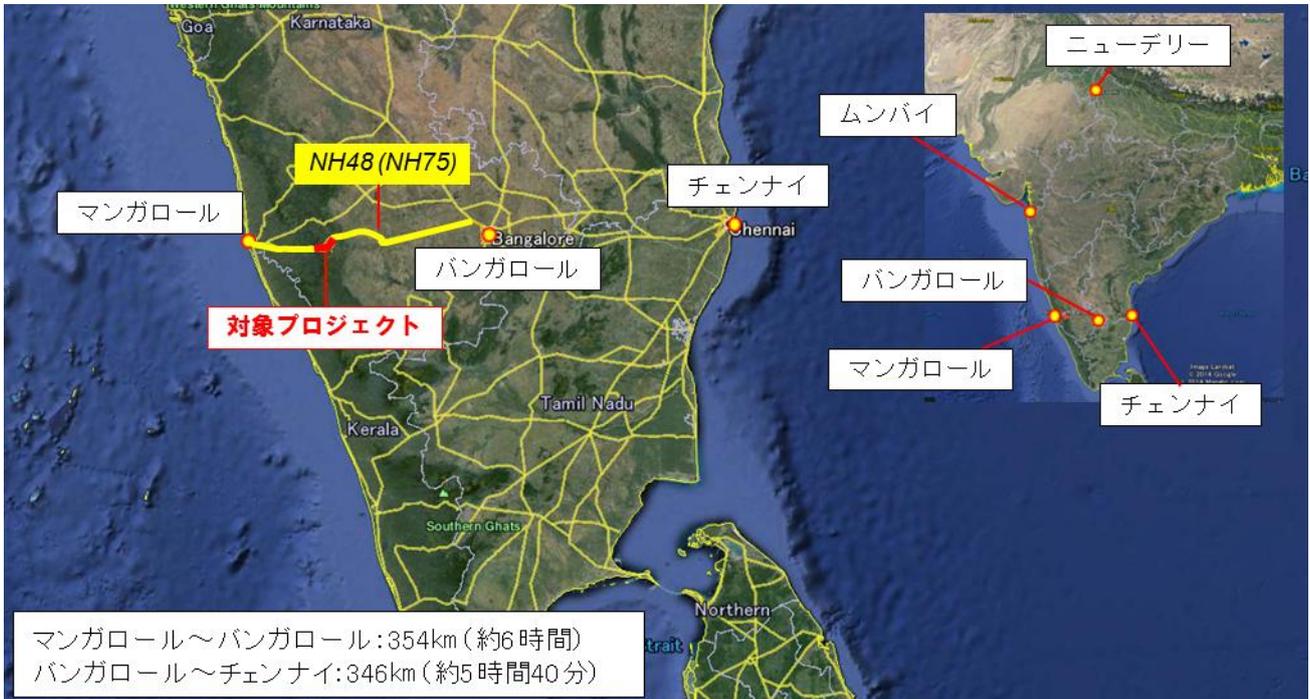
4) 段階的整備やパッケージ化による円借款全体額の縮小検討

本プロジェクトの概算プロジェクト費用は、延長約20kmの4車線道路整備で、約2000億円と莫大な費用がかかる。一つの道路の円借款プロジェクトとしての実現可能性を考えた場合、当初は暫定の2車線整備や工区わけによるパッケージ化により、円借款事業とインド国費用の双方を活用するなど、初期投資額の縮減が必要である。ただし、本プロジェクトは山岳地帯で途中にアクセス道路もなく、部分的供用という概念はない。全線が最低2車線で共用して初めて効果を発揮する。このため、パッケージ化の場合は、工区事の建設スケジュール調整が重要である。

(9) 調査対象国内での事業実施地点がわかる図面

事業実施地点を図8および図9に示す。

図8 事業実施位置図 (1)



出典：調査団作成

図9 事業実施位置図 (2)



出典：調査団作成

平成 26 年度
エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業
(円借款・民活インフラ案件形成等調査)

インドネシア：マカッサル高度交通システム（ITS）導入調査報告書

平成 27 年 2 月

経 済 産 業 省

新日本有限責任監査法人

独立行政法人日本貿易振興機構

委託先：

オムロンソーシアルソリューションズ株式会社
OMRON ASIA PACIFIC PTE LTD
西日本高速道路株式会社
一般財団法人計量計画研究所
株式会社社会システム総合研究所

要約

(1) プロジェクトの背景・必要性等

インドネシアでは、急速な経済発展と人口増加による交通需要の増大により交通渋滞や交通事故の多発といった社会問題が深刻化している。また、インドネシア政府は、2011年に温室効果ガス削減の行動計画および温室効果ガスのインベントリ管理に関する大統領令（2011年第61号、第71号）を發布し、交通需要の増大による地球温暖化というグローバルな課題の解決に取り組んでいる。

高度交通情報システム（ITS）は、センサ等から収集した交通情報を利用し、交通流の最適制御を行うシステムであり、交通渋滞の緩和とそれによる温室効果ガス削減、交通事故の低減に有効な手段である。ITSに必要なインフラが十分整備されていないインドネシアのような新興国において、ITSの普及を促進していくためには、すでに設置されている交通量センサ、気象センサ等の多様なデータソースを有効活用していくことで、新規投資を最小限にすることが重要である。既に普及が進んでいるGPS情報と、これら既設のセンサから得られるデータを融合した、効率的な交通情報提供システムが求められている。すでに萌芽的な交通情報提供サービスが始まっているものの、情報精度や情報の付加価値の面ではまだ課題があると考えられる。

インドネシアは人口2.4億人という大きな市場規模を持ち、今後ITSインフラの整備が急ピッチで進むと予想される。ITS導入による交通課題の改善効果とインパクトは近隣諸国と比較して大きい。また、東南アジアの交通課題先進国であるインドネシアでのプロジェクトは、他の東南アジア諸国への横展開へ向けた試金石となると考える。我が国の先進的なITS技術やノウハウを活用して、現地での我が国のシステム技術の評価を高めるとともに、インドネシアの経済発展に寄与していくことが必要である。

交通状況を把握する画像センサ、個々の車両の位置を把握する各種プローブセンサのみならず、道路沿線に設置する気象センサなどから得られる多様なデータを統合・分析・提供するシステムを活用し、交通情報提供サービスのビジネスモデルをインドネシアに構築することを最終目標とする。

インドネシア共和国における交通課題を受け、平成25年度国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業「都市域の渋滞緩和に向けた高度交通システム（ITS）導入可能性に係る現状分析（インドネシア）」において、ITS導入の可能性調査が行われている。本調査では、上記調査で課題となっていた市場性、政府間の関係構築を重点目標とするとともに、「技術的側面の検討」「環境社会的側面の検討」「財務的・経済的実現可能性」について、調査を行うものである。

(2) プロジェクトの内容決定に関する基本方針

本プロジェクトの目的は、インドネシア共和国に ITS を導入し、交通情報の収集・分析・提供を行うことで、道路交通の最適化を図ることである。

すでに高度な ITS インフラが整備されている我が国においては、ドライバは事業者から提供された交通情報に基づいて、自身のルート選択を行うことができる。その結果、混雑路線から閑散路線への交通量の転換が図られ交通量の平準化が行われている。また広範に設置された気象センサや高度な予報技術によって、気象状況の変化による道路の安全確保も実現されている。しかし、交通センサや気象センサといったインフラの整備と情報提供の仕組みが進んでいないインドネシア共和国においては、ドライバが必ずしも最適なルート選択を行うことができていないため、過度な渋滞が発生している。

ITS に関する課題解決手段として、投資コスト、導入効果の観点からプロジェクトの手法の評価を行った結果、路側に設置された画像センサや車両に搭載された GPS プローブデータを統合した協調型システムを採用することをプロジェクトの基本方針とする。この協調型システムを導入することで、現地の要求に即した最小限のインフラ投資で、精度の高い交通情報を安価に提供できる。

プロジェクトサイトの決定および詳細な内容決定においては、以下の点を考慮する必要がある。

- 現地に即した技術の適合性評価が可能であること
- インドネシア共和国全土への普及促進を見据えた事業性の検証が可能であること
- 現地のプロジェクト協力体制が築けること

以上の点に留意し、プロジェクトの内容を検討するものである。

(3) プロジェクトの概要

有料道路と一般道の道路ネットワークが整備され、ドライバーが代替ルートを選択できる余地があり、現地での ITS 技術の適合性評価が可能であること、インドネシア共和国全土への普及を見据えた事業性検証が可能な経済規模を有していること、現地においてプロジェクト協力体制が築ける具体的なパートナー企業および政府機関が存在すること、以上の理由から、南スラウェシ州に位置するマカッサル市をプロジェクトサイトと選定した。

設置したセンサや車両に搭載した GPS 端末から得られるデータを分析し、交通量の把握を行った上で、渋滞情報、旅行時間情報などを、路側に設置したスマート情報提供板やウェブサイト、ドライバーの所有するスマートフォンなどを介して提供するシステムをプロジェクトサイトに構築する。下図にプロジェクトサイトにおける機器の設置概要を示す。

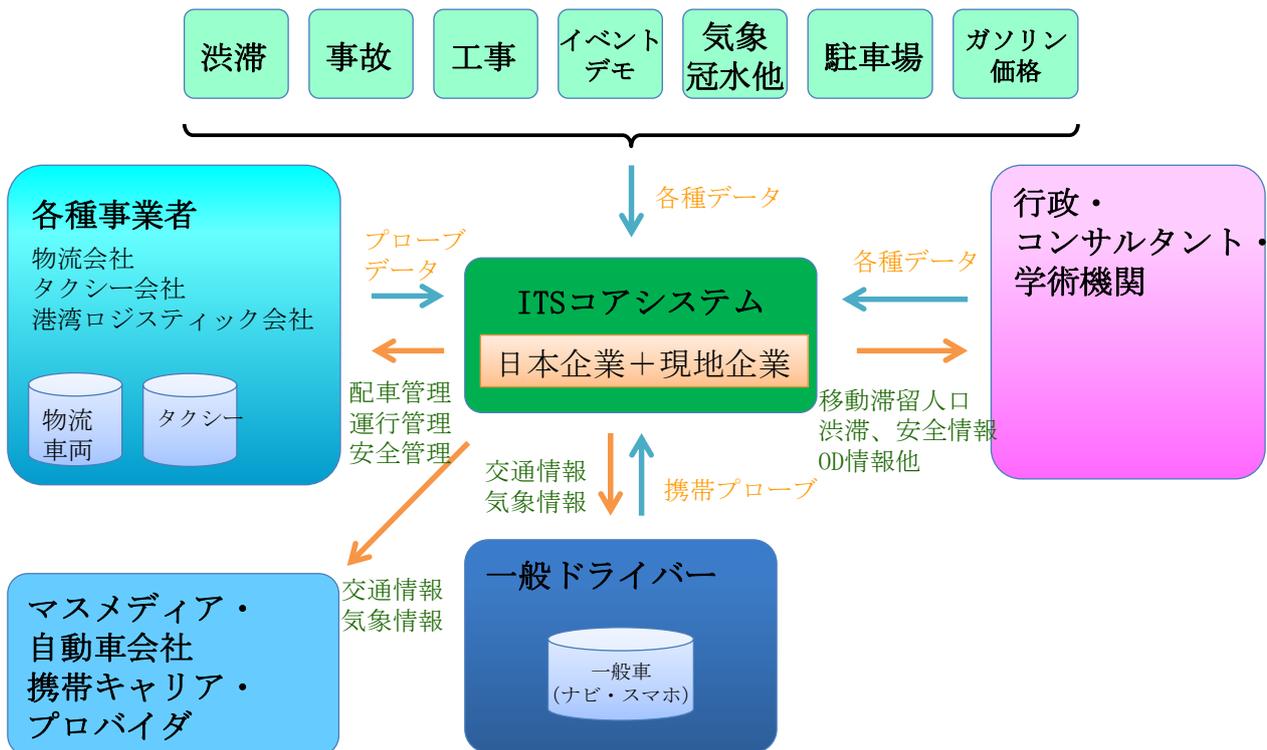
交通や気象に係る情報をリアルタイムに収集・提供し、より移動効率の高い路線への交通量の転換を図ることで、渋滞緩和と安全性の確保が可能となり、都市域全体の省エネと温室効果ガス排出量削減に効果があると考えている。具体的には、10%の交通量転換が図れることで、約 8%の CO2 削減効果とエネルギー発熱量削減効果が得られる見込みがある。



出典：調査団作成

本プロジェクトによって最終的に実現する交通情報提供サービス事業のビジネスモデルを下図に示す。提案するビジネスモデルを支える中心システムが交通データバンクであり、各種センサから得られるデータを一括して収集・分析する。インドネシアにおいて、交通情報提供サービスの普及促進を図っていくために、このシステムの運営主体を日本企業と現地企業の合弁で立ち上げていくことを視野にいれている。

図に示す需要家層に対して、本調査でニーズやサービス単価に関するヒアリングを行った。調査結果に基づき、交通情報提供サービスの市場規模の試算を行い、プロジェクトサイトであるマカッサル市においては7.0億円、想定普及サイトであるジャカルタにおいて60.3億円という結果を得た。



出典：調査団作成

(4) 実施スケジュール

プロジェクト開始から2年間は、マカッサル市での実証を行う。システムやセンサ類の開発とインフラの整備を進める。環境改善効果とビジネスモデルの収益性を把握したのち、インドネシア最大都市ジャカルタへの展開を3年目から実施する。普及展開に向けては、マカッサル市での実証結果を受けて、現地政府機関や企業へのセミナーを通じた啓蒙、各種教育を実施する。

| プロジェクト開始後の年次 | 1年 | 2年 | 3年 | 4年 | 5年～ |
|--------------|---------|----|-----------|----|-----|
| ステージ | マカッサル実証 | | ジャカルタへの展開 | | |
| システム開発 | ■ | | | | |
| センサ類の手配・機器設置 | ■ | | | | |
| 効果検証 | | ■ | | | |
| ASP サービス開始 | | ■ | | | |
| データ提供サービス | | ■ | | | |
| 現地での教育 | | | ■ | | |
| 合弁会社の運営準備期間 | ■ | | | | |
| 合弁会社の自立運営 | | ■ | | | |

出典：調査団作成

(5) 実施に関するフィージビリティ

本プロジェクトは次の2つのステップで進めていく計画としている。

| ステージ | 投資内容 | 投資額 | 資金調達 |
|----------------------------|-----------------------------|--------|-----------------|
| STEP1：マカッサル市でのパイロットシステムの構築 | 1) インフラ固定センサ設置およびGPSプローブの設置 | 8.7億円 | 政府支援等 (検討対象) |
| | 2) ITS コアシステム開発 | 3.6億円 | 民間 |
| STEP2：ジャカルタへの拡大 | 3) ITS コアシステムの拡張 | 1.6億円 | 民間 |
| 合計 | | 13.8億円 | |

出典：調査団作成

プロジェクトの実現に必要な総投資は、13.8億円と見積もっている。そのうち、公共性の高いCCTVをはじめとする交通センサ等のインフラ固定センサへの投資コストは8.7億円である。交通情報提供サービスを行っていくためのコアとなるシステム部分への投資（5.1億円）は、民間で行うことが望ましく、上記の8.7億円の資金調達スキームの実現可能性の検討が本調査の目的の一つである。8.7億円に対するインドネシア政府の費用負担を50%（およそ4.4億円に相当）と想定すると、FIRRは8.0%となり、インドネシアにおける政策金利を元に設定した長期割引率8%と同等であり、NPVは0となる結果を得た。

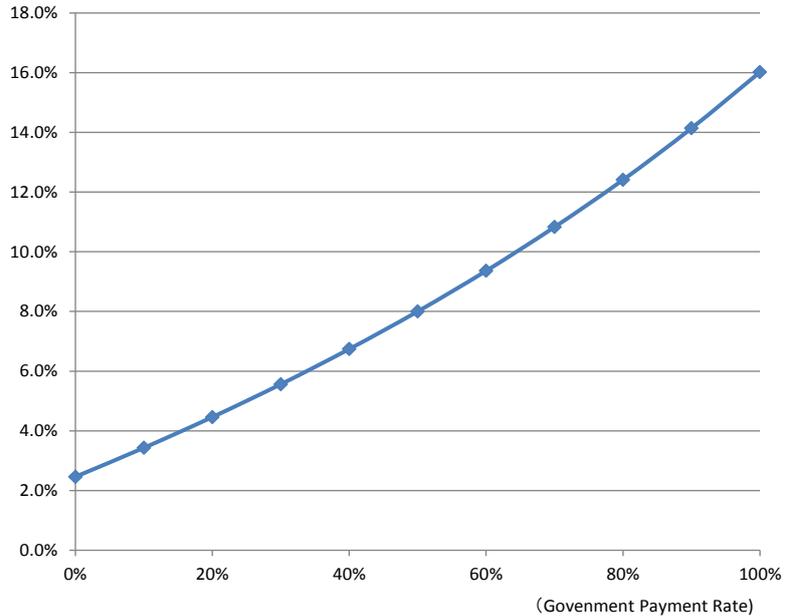
| 事業年次 | 50%(2年目に買取) | | | | | | | | | | 単位:百万円 |
|-------------|-------------|------|------|------|------|------|------|---------|-------|------|--------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | |
| ①事業収益 | 0 | 8 | 77 | 120 | 166 | 217 | 272 | 332 | 397 | 470 | |
| ②投資+運営費 | 1,244 | 18 | 206 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | |
| ③インドネシア政府負担 | | 436 | | | | | | | | | |
| 損益(①-②+③) | -1,244 | 425 | -129 | 71 | 117 | 168 | 223 | 283 | 348 | 421 | |
| 累積損益 | -1,244 | -819 | -948 | -877 | -759 | -591 | -368 | -85 | 262 | 683 | |
| | | | | | | | | FIRR= | 8.00% | | |
| | | | | | | | | 8% NPV= | | 0 | |

次に、8.7億円に対するインドネシア政府負担率に対するFIRRの感度分析を行った結果を次ページに示す。この結果を見ると、インフラ固定センサへの投資の全額がインドネシア政府で負担された場合（負担率100%）にはFIRRは16%となり、民間企業の同国における一般的なハードルレート（15%前後）を越えると考えられる。つまり、プロジェクト総事業費13.8億円のうち、8.7億円のインドネシア政府支援があれば、PPPとして事業の実現可能性があると結論付けられる。

インドネシア財務省から供与されるPPP案件に対する支援策の一つであるViability Gap Funding（VGF）を活用することが案件形成の手段として期待できる。しかし、現状でインドネシア政府からの支援に対する意向が得られていないため、プロジェクト実現へ向けた政策形成に課題がある。

(IRR) インフラセンサ政府負担率によるFIRR (%) の変化

| 負担率 | FIRR | NPV(8%) |
|------|-------|---------|
| 0% | 2.5% | -373 |
| 10% | 3.4% | -299 |
| 20% | 4.5% | -224 |
| 30% | 5.6% | -149 |
| 40% | 6.7% | -75 |
| 50% | 8.0% | 0 |
| 60% | 9.4% | 75 |
| 70% | 10.8% | 149 |
| 80% | 12.4% | 224 |
| 90% | 14.1% | 299 |
| 100% | 16.0% | 373 |
| 単位 | % | 百万円 |



インドネシア政府支援以外の資金調達スキームとして、JICAの無償資金援助、円借款、海外投融資が考えられる。しかし、無償資金援助、円借款については、インドネシア政府の受け入れ意向が現状では得られておらず実現性は低い。また、海外投融資については、本プロジェクトが償還期間10年を想定する事業であることから、8.7億円の支援に相当する金利メリットが得られない。

プロジェクトの実現に必要な8.7億円への投資を、インドネシア政府と日本政府で相互負担するスキームとして、NEDO国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業が有力である。VGFのスキームは、インドネシア政府のみに負担を求めるものであるのに対し、NEDO事業のスキームは、日本政府、インドネシア政府がそれぞれ役割と負担を負って行うものであり、インドネシア政府の理解も得られ易いと考えられる。具体的には、日本政府側(NEDO)は、我が国の技術、システムの展開・普及に資するという目的のもと、機械装置の製作に係る費用への支援となっている。一方、インドネシア政府側には、現地サイトの提供や機器の設置工事等の負担を求めるものである。

NEDO事業の平成26年度の予算規模は220億円となっており、本年度の公募要領によると1件あたり10億円以上の規模を有するものが条件となっているが、本プロジェクトはその条件に合致している。加えて、本プロジェクトが民間事業として成立するために必要な支援額8.7億円の中の7.6億円は、プロジェクトサイトに設置するインフラ固定センサとシステム(機械装置)の調達と製作にかかる費用であり、十分な支援を受けられる。残りの1.1億円は、インフラ固定センサの設置工事にかかる費用であり、インドネシア政府からの支援が望まれる。

実証事業の開始にあたっては、役割分担や費用負担に関してインドネシア政府との合意形成を図っていく必要があるが、VGFのスキームと比較してインドネシア政府の負担額は小さく、NEDO国際実証事業のスキームの支援があれば、プロジェクトの実現可能性は高いと考える。

(6) 我が国企業の技術面等での優位性

諸外国と比較して人口密度の高い我が国は、交通課題先進国として世界に先駆けて課題解決に取り組んできた。我が国の ITS の歴史は古く、1970 年代から研究開発が始まり、今日に至るまで官民一体となって ITS インフラの整備が進められてきた。長年にわたって、システムの運用実績を蓄積してきた我が国企業は、海外企業と比較して技術力や品質力の面で優位性がある。ITS という用語は、1995 年の横浜での第 2 回世界会議で初めて日本の研究者から提唱され、世界共通の用語として定着したという歴史がある。このことから、我が国が世界的に ITS をリードしてきたことがうかがえる。

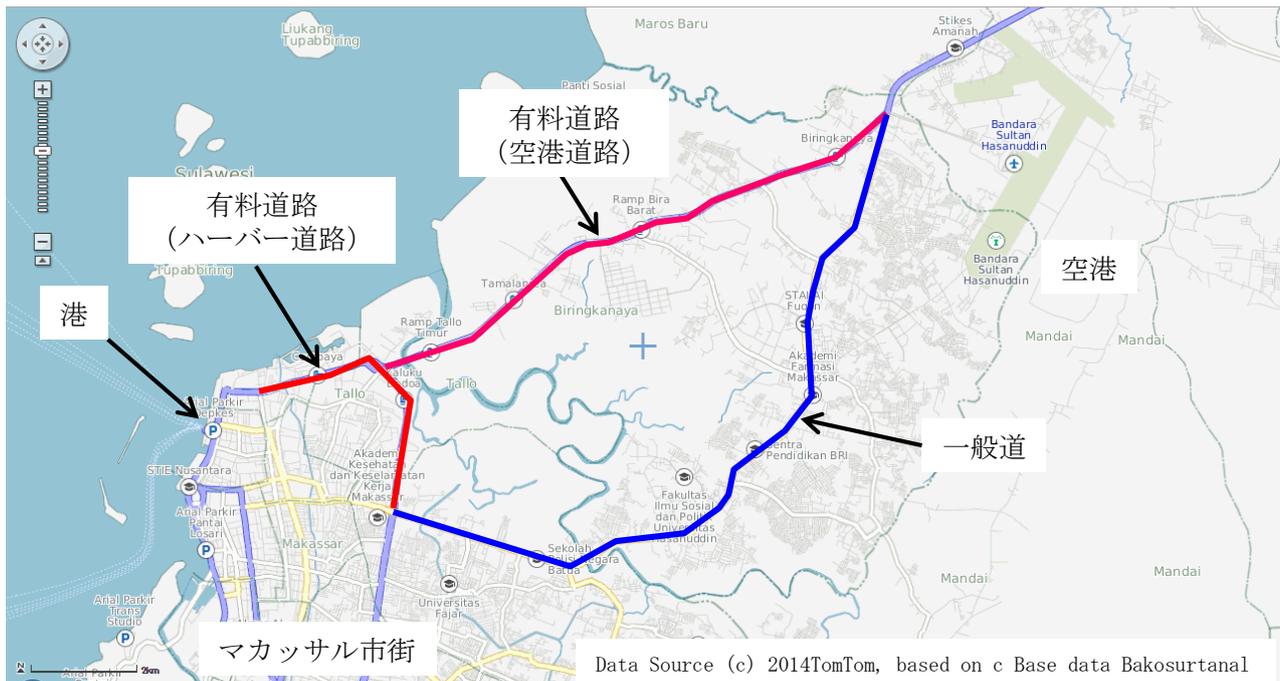
近年、INRIX 社や TomTom 社のような欧米諸国の企業が、プローブデータを基軸とした交通情報提供を、Google 社や WAZE 社がロコミやスマートフォンから収集される位置情報を使った無料の交通情報提供をサービスとして開始している。しかし、我が国の ITS インフラの優位性を活かし、ITS インフラから得られるデータとプローブデータを融合した当該プロジェクトで提案する協調型システムは、プローブデータを基軸とした交通情報サービスと比較し、特に、サービスの初期段階における情報精度に大きな差があると想定される。プローブデータを重視したシステムでは、大量の車両がプローブ車両（位置情報をプロバイダに提供する車両）となるまでは情報の精度を担保できないのに対し、路側の ITS インフラを活用する場合には、プローブ車両の多少に関わらず、路側機から得られる情報のみで一定の水準のサービスが可能となる点で、INRIX 社、TomTom 社が進めるサービスに対しても時間的優位性の面で競争力があると考えている。

また、我が国は気象災害等の災害大国であり、気象リスク下での道路交通管理という面では、欧米諸国に比べ多くの知見を有している。インドネシアにおいても、特にスコールなどによる冠水、またそれに伴う渋滞や事故の発生が社会課題となっているため、気象リスクマネジメントのノウハウを活かすことで、当該プロジェクトにおける我が国企業の優位性は更に高まると考えている。

センサやシステムといったハード面での優位性のみならず、我が国企業には、交通観測・分析技術や、道路運営ノウハウ、人材育成やコンサルティングのノウハウを持つ企業が多く、海外技術者の招聘など多くの実績を有する。ITS を東南アジア新興へ普及促進していくためには、国内での実績や蓄積されたノウハウを強みとして、企画、インフラ整備、サービス、教育、人材育成など、一貫して提供していくことが重要である。我が国企業が持つ広範な技術、ノウハウは、海外企業と比較しても優位性と競争力を有すると考える。

(7) 調査対象国内での事業実施地点が分かる地図

本プロジェクトは、インドネシア共和国・南スラウェシ州・マカッサル市にて実施する。マカッサル市街の主要な交差点、市街から空港へ向かう二本の有料道路および有料道路と並行する一般道を対象として交通観測インフラを整備し、プローブデータの収集と合わせて交通情報の生成と交通情報提供を行うものである。



出典：調査団作

要 約

(1) プロジェクトの背景・必要性

ベトナムの経済成長率は IMF の 2014 年 10 月時点の統計によると 5.5%と、過去 10 年の平均値 6.4%と比較すると若干伸び悩んでいるものの、電力需要については引き続き 10%以上の高い伸びが続いており、今後もその傾向は続くと思われる。この需要を満たすため、2011 年 7 月 21 日にベトナム商工省 (MOIT) が公布した第 7 次国家電力開発計画 No. 1208/QD-TTg (以下、PDP7) に基づいて電源開発を行ってきた。本計画によると 2015 年までに 40,000MW、2020 年までに 75,000MW、2030 年までに 138,000MW の発電容量まで開発される予定となっており、そのうち石炭火力について、2015 年までに 15,000MW (構成率 35%)、2020 年までに 36,000MW (構成率 48%)、2030 年までに 72,000MW (構成率 52%) を開発することが目標となっている。

PDP7 が公布されて以降、EVN やその他国営企業等が実施する IPP のみならず、外資が参画する BOT 案件など主に石炭火力案件の開発が数多く手がけられたが、電力事業者の資金力の問題、中国などの EPC コントラクターの施工管理能力不足などから、特に大型石炭火力案件は予定通りに運転開始できていないのが現状である。

更に 2014 年 5 月に中国がベトナムの領海内でオイル掘削用のリグを無断で建設したことが発端となり発生した暴動などを受けて、一斉に中国投資家や中国の EPC コントラクターなどが撤退をし、建設中の石炭火力の多くが一時建設停止となるなど、今後の電源開発に大きなリスクを抱えることになった。

また石炭火力のみならず、ガス火力案件についても南部オモン発電コンプレックス向けのガスとして期待されていたカマウ省沖合のブロック B ガス田のオペレータであったシェブロン (米国) が 2013 年撤退を表明したことにより、3,000MW 相当の電源開発の見通しが立たなくなった。

このような状況を受け、特に 2017 年以降の南部における電力需給が逼迫することが懸念されており、ベトナム政府は首相決定文書 No. 2414 (2013 年 11 月) を発出し、ビントゥアン省ビンタン 4 石炭火力 (1200MW)、ソックチャン省ロンフー 1 石炭火力 (1200MW)、チャビン省デュエンハイ 3 増設石炭火力 (660MW) を緊急優先開発案件と指定し、EPC コントラクター選定に関して入札を行うことなく決定することなどを特例的に認め、早期の電源開発を行うこととした。

バクリュウ石炭火力プロジェクトは、上述のように今後も案件開発が遅れる懸念があることから、PDP7 での運転開始予定時期であった 2028 年よりも前倒しで開発する必要がある案件として、2013 年末頃から注目されている案件である。

本プロジェクトはベトナム南部バクリュウ省ドンハイ地区で計画されている総出力 3,600MW の発電コンプレックスのフェーズ 1 (1,200MW) で、その範囲は石炭火力発電所及び石炭輸送用の港湾設備及び取放水設備である。完成されれば商業都市ホーチミン市電力需要家向けのみならず、バクリュウ省を中心としたベトナム南部地域の電力需要家への電力供給により、エネルギーセキュリティの向上につながる事が期待されている。

また、バクリュウ省人民委員会によるとバクリュウ石炭火力発電所建設を通して、周辺道路網の整備や工業団地の誘致なども進めていくこととしており、同省における雇用創出も期待されている。

本プロジェクトは輸入炭を活用した石炭火力で計画されているため、我が国が誇る環境配慮型石炭火力技術を活用し、ベトナムで初となる超々臨界圧技術の採用を提案していくことで、電力不足の解消に資するだけでなく、超臨界圧以上の石炭使用量の削減、環境負荷の低減を図ることが可能となる。

また、本プロジェクトにおいて超々臨界圧技術を採用することで、今後民間資金や他のドナー資金を呼びこむきっかけとなり、ベトナムにおける本格的な超々臨界圧技術の普及が進むことが期待される。

(2) プロジェクトの内容決定に関する基本方針

ベトナムでは主に東北部クエンニン地域で産出される良質な無煙炭を日本や韓国等に輸出し、その選炭過程で得られる低品位の無煙炭を使用した亜臨界石炭火力、または紅河デルタ炭田で産出される亜瀝青炭を活用した亜臨界圧石炭火力がこれまでの主流であった。

しかしながら、これらの石炭火力の効率は 30%前後と低く、環境負荷低減の観点及び露天掘りから坑内掘りへの変更に伴う採炭コスト上昇により今後国内炭活用が難しくなることから、近年では特に中部以南において、輸入炭を活用した超々臨界圧石炭火力の計画が増えている。

ベトナム政府側は、超々臨界圧石炭火力の採用については 2020 年以降の案件として検討を始めており、実施主体者と見込まれる EVNGenco2 も超々臨界圧の採用を検討したいとの意向を表明している。また、親会社である EVN もベトナム初の超々臨界圧採用は EVN が実施したいとの意向があり、修正 PDP7 内で投資家としての正式承認が得られれば、投資レポート（詳細 FS）を実施し、価格や実施タイミングを勘案して、超々臨界の採用を決定したいとのことであった。これまで日本政府が支援してきたベトナムの超々臨界圧技術採用に向けた各種調査のおかげもあり、現地における超々臨界圧の認知度・必要性は着実に高まっている。

従い、本調査においては超々臨界圧と超々臨界圧の両方について、技術面・経済面での比較検討を行うこととする。また、現在、亜臨界及び超々臨界圧ではベトナムにおいて主流となっている 600MW 機に加えて、超々臨界圧を採用した際のスケールメリットを最大限享受できる 1,000MW 機の採用についても比較検討を行う。

石炭供給に関しては、本プロジェクトは輸入炭で計画されているが、バクリュウ地点はメコンデルタ地域であり、大型石炭船が停泊するための港湾を整備するのは困難である。現在、近隣のチャビン省で JICA の資金を活用した PPP 案件 FS 調査が進められているコールターミナル計画があることから、同ターミナルを活用した 10,000DWT の内航船輸送と、直接外洋からバクリュウに乗り入れる 30,000DWT の外航船を使用したケースとの比較検討を行う。

ファイナンスに関しては、バクリュウ 1 の事業実施主体が EVNGenco2 となる予定であることから、バイヤーズクレジット（BC）、円借款等を活用した開発、および IPP/BOT による開発の可能性についての検討を行う。

発電所が立地するエリアにはマングローブの自生を確認しており、当初計画案ではマングローブ上に貯炭場及び灰捨場が計画されていたことから、マングローブ林の開発を極力減らすべく、内陸側にサイトを移設した計画図を作成し、ベトナム政府、バクリュウ省人民委員会、EVN、EVNGenco2 等からの助言も得ながら、適切なレイアウトを決定する。

送電線については、サイト予定地から 124km 離れた Thot Not 変電所へ、2 回線の 500kV 送電線で接続

する予定であるが、送電線用地買収及び建設工事を円滑に行うため、送電線が通過する省を最小限にする必要がある。詳細な送電線計画については、修正 PDP7 が承認された後、これに併せて改訂することになるが、本調査ではカントー市、ハウザン省、バクリュウ省間を接続することとする。

(3) プロジェクトの概要

1) プロジェクトの内容及び技術的側面の検討

本プロジェクトは、海外炭利用を前提とした超臨界圧もしくは超々臨界圧石炭火力発電所を計画するものであり、これによりベトナム国内の電力需給の緩和、特にベトナム南部地域における電力供給に貢献するほか、ベトナム全体のエネルギーセキュリティ向上への寄与を目的とするものである。

本プロジェクトでの技術的側面の検討では、まず海外炭による石炭火力発電所を想定することから、以下の石炭性状を満たす海外炭の利用を想定し、発電所計画を行うものとする。

表1 本プロジェクトでの使用が想定される石炭性状レンジ

| | 石炭性状クライテリア | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------|------------------|
| | 許容 | 許容不可 |
| 湿分 | 8～16 % | > 16 % |
| 固有水分 | 3～10 % | > 10 % |
| 発熱量 (恒湿ベース) | 5980 ～ 6554 kcal/kg | < 5980 kcal/kg |
| 灰分 (恒湿ベース) | 4～16 % | > 16 % |
| 揮発分 (恒湿ベース) | 36～42 % | < 36 % or >42 % |
| 硫黄 (恒湿ベース) | 0.4～1.4 % | > 1.4 % |
| 灰中 MgO+Na ₂ O | 1.5～4.0 % | < 1.0 %, > 4.0 % |
| 灰中 K ₂ O | 1.0～2.0 % | < 0.6 %, > 2.0 % |
| 灰中 SiO ₂ /Al ₂ O ₃ 比 | < 2.5 | > 3 |
| HGI | > 50 | < 45 |
| 灰溶融点 | > 1250 °C | < 1200 °C |
| 石炭粒径 | <50 mm : 100 %、<1 mm : <15 % | <1 mm : > 15 % |

出典：調査団作成

そして発電設備計画に関しては、超臨界圧もしくは超々臨界圧プラントの導入を視野に、以下の諸条件の想定の下、発電所に必要となる各種設備計画およびレイアウト検討を行うものとする。

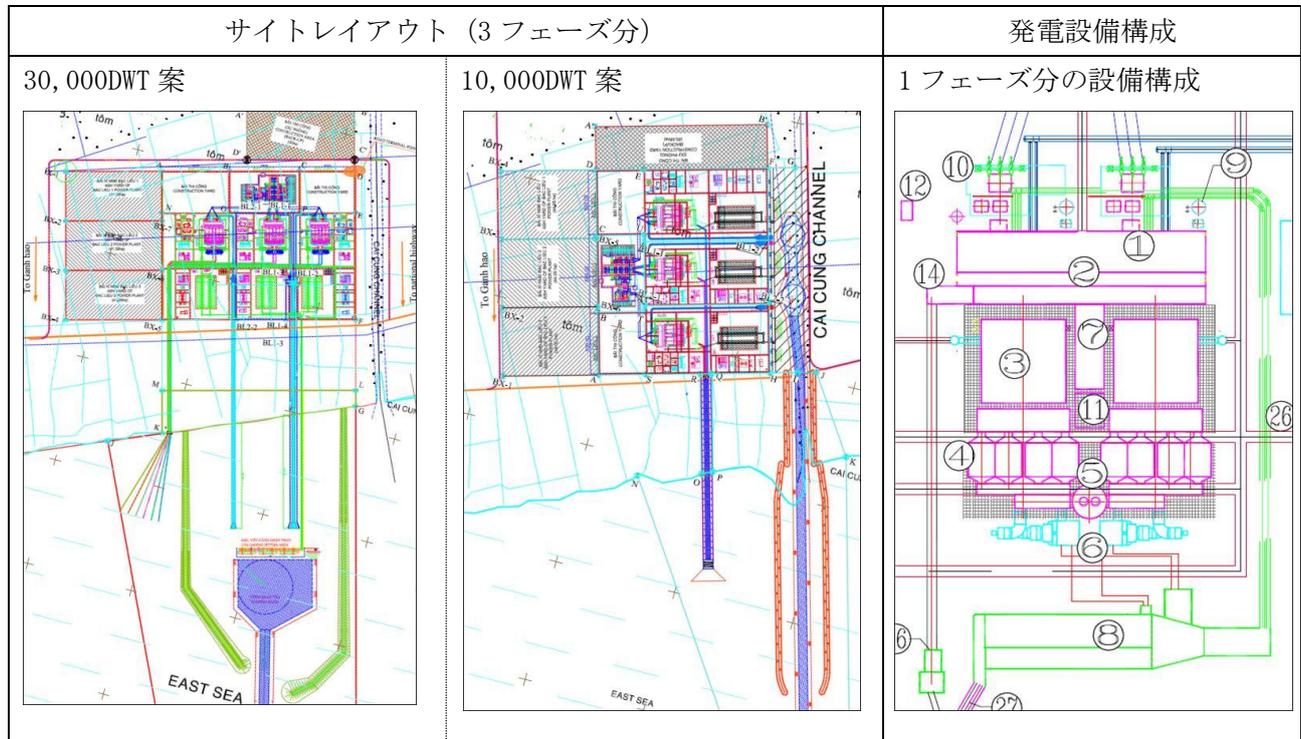
表 2 発電設備に関する諸条件の想定

| | | | |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| 燃料調達 | 海外炭（インドネシア、オーストラリア、ロシア等）を海運にて輸入 | | |
| 送電線接続 | 500kV 系統、もしくは 500kV および 220kV 系統に接続 | | |
| プラント構成 | 600MW 規模の超臨界圧 プラント×2 基 ×3 フェーズ | 600MW 規模の超々臨界圧 プラント×2 基 ×3 フェーズ | 1,000MW 規模の超々臨界圧 プラント×1 基 ×3 フェーズ |
| 蒸気条件 | 主蒸気：24.1MpaA, 566℃ 再熱蒸気温度：566℃ | 主蒸気：24.1MpaA, 593℃ 再熱蒸気温度：593℃ | |
| プラント熱効率 (HHV、発電端) | 41.08 % | 41.88 % | 41.96 % |
| プラント冷却水 | 近隣の海水を調達 | | |
| ボイラ型式 | 超臨界圧変圧運転貫流ボイラ放射再熱形 | | |
| タービン型式 | 串型 3 車室 4 流排気式 再熱再生式 | | 串型 4 車室 4 流排気式 再熱再生式 |

出典：調査団作成

今回実施した調査および検討の結果、1 フェーズあたり 600MW 規模の超々臨界圧プラント×2 基で構成した場合の発電所レイアウト計画（3 フェーズ分）は、以下のとおりである。

図1 1 フェーズあたり 600MW 規模×2 基で構成する超々臨界圧石炭火力発電所のレイアウト計画



出典：調査団作成

2) 建設費

ベトナム及び東南アジア諸国における最近の類似石炭火力発電所の契約金額を参考にして積算した。なお、今回の調査対象であるフェーズ1において発電所全体の共用設備（変電所、港湾、土地整備等）を整備する計画であり、フェーズ1の費用は類似案件と比較して割高になっている。

表3 バクリュウ発電所（フェーズ1）建設費概算 【石炭船30,000DWTの場合】（百万US\$）

| | 項目 | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
|---|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| | | 600MW×2 SC | 600MW×2 USC | 1000MW×1 USC |
| 1 | ボイラ及び排煙脱硫装置 | 635 | 646 | 523 |
| 2 | 蒸気タービン及び発電機 | 455 | 461 | 373 |
| 3 | その他機器及び土木建築工事 | 658 | 658 | 501 |
| 4 | 港湾設備 | 257 | 257 | 257 |
| 5 | 変電所 | 22 | 22 | 19 |
| 6 | 土地収用、造成、補償 | 82 | 82 | 82 |
| 7 | コンサルタント費用・管理費 | 54 | 54 | 53 |
| 8 | 予備費 | 216 | 218 | 181 |
| 9 | 合計 | 2,379 | 2,398 | 1,987 |

出典：調査団作成

表4 バクリュウ発電所（フェーズ1）建設費概算 【石炭船10,000DWTの場合】（百万US\$）

| | 項目 | ケース4 | ケース5 | ケース6 |
|---|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| | | 600MW×2 SC | 600MW×2 USC | 1000MW×1 USC |
| 1 | ボイラ及び排煙脱硫装置 | 635 | 646 | 523 |
| 2 | 蒸気タービン及び発電機 | 455 | 461 | 373 |
| 3 | その他機器及び土木建築工事 | 658 | 658 | 501 |
| 4 | 港湾設備 | 152 | 152 | 152 |
| 5 | 変電所 | 22 | 22 | 19 |
| 6 | 土地収用、造成、補償 | 94 | 94 | 94 |
| 7 | コンサルタント費用・管理費 | 46 | 46 | 45 |
| 8 | 予備費 | 206 | 208 | 171 |
| 9 | 合計 | 2,268 | 2,287 | 1,876 |

出典：調査団作成

ここで、ケース2の外貨・内貨内訳を表5に示す。その他のケースについても外貨・内貨の割合はほぼ同じとなる。

表5 外貨・内貨内訳【ケース2：SC 600MW×2基 30,000DWT】

| | 項目 | 外貨分 (百万 US\$) | 内貨分 (10 億 VND) | 合計 (百万 US\$) |
|---|---------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | ボイラ及び排煙脱硫装置 | 483 | 3,470 | 646 |
| 2 | 蒸気タービン及び発電機 | 376 | 1,804 | 461 |
| 3 | その他機器及び土木建築工事 | 457 | 4,273 | 658 |
| 4 | 港湾設備 | 39 | 4,639 | 257 |
| 5 | 変電所 | 16 | 142 | 22 |
| 6 | 土地収用、造成、補償 | 0 | 1,734 | 82 |
| 7 | コンサルタント費用・管理費 | 43 | 239 | 54 |
| 8 | 予備費 | 141 | 1,630 | 218 |
| 9 | 合計 | 1,554 | 17,930 | 2,398 |

US\$1=VND21,246 で換算

出典：調査団作成

3) 予備的な財務・経済分析

今回の予備的な財務・経済分析に当たっては、ベトナムにおける発電事業の経済財務分析手法を規定している政令（Decision 2014/2007/QD-BCN）に基づき財務・経済分析を行うこととした。最初に経済的內部収益率（Economic Internal Rate of Return, EIRR）等の経済的分析を行い、財務的內部収益率（Financial Internal Rate of Return, FIRR）の計算を行った。

算定に当たり採用した主な前提条件は以下のとおりである。

表 6 主な前提条件

| 項目 | 値 | 備考 |
|------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| 売電単価 | US\$9.1/kWh | 海外輸入炭を使用すること及びフェーズ1において発電所全体の共用設備を整備することを考慮し、他の石炭発電所案件より高めの値を使用 |
| 運転時間 | 6,500 時間/年 | Decision 2014/2007/QD-BCN に規定 |
| 発電効率（SC） | 41.08% | 想定仕様及び想定使用石炭性状より算出 |
| 発電効率（600MW USC） | 41.88% | 想定仕様及び想定使用石炭性状より算出 |
| 発電効率（1000MW USC） | 41.96% | 想定仕様及び想定使用石炭性状より算出 |
| 所内比 | 7.8% | 類似案件の値を使用 |
| エスカレ率 | N.A. | Decision 2014/2007/QD-BCN に基づき考慮しない |
| 利子率（BC） | 2.19% | ベトナム向け円建て金利を現時点で試算した場合（CIRR 1.24% + リスクプレミアム 0.95%） |
| 償還期間（BC） | 12 年 | 発電プラントに対する最長償還期間を適用 |
| 利子率（円借款） | 1.40% | ベトナム向け一般条件を適用 |
| 償還期間（円借款） | 30 年 | ベトナム向け一般条件を適用 |
| 割引率 | 10% | Decision 2014/2007/QD-BCN に規定 |
| Debt Equity 比率 | 7 : 3 | 類似案件の値を使用 |

出典：調査団作成

a) 経済的分析

本条件で算出した結果を表に示す。

いずれのケースでも、EIRR は政令が定めるハードルレート 10%を超えており、また、費用便益比率は 1 を超え NPV もプラスとなっているため本プロジェクトは経済的に価値があると判断できる。

また、30,000DWT と 10,000DWT の場合を比較すると、10,000DWT では建設費及び定期的な浚渫費用が安価となるため、EIRR は上昇する。

表 7 EIRR、NPV 及び B/C

| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 |
|--------------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | 600MWx2 | 600MWx2 | 1,000MWx1 | 600MWx2 | 600MWx2 | 1,000MWx1 |
| | SC | USC | USC | SC | USC | USC |
| | 30,000DWT | | | 10,000DWT | | |
| 経済的内部収益率 (EIRR) | 10.01% | 10.11% | 10.27% | 10.53% | 10.63% | 10.91% |
| 費用便益比率 (B/C) | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.04 |
| 正味現在価値 (NPV) | 2 | 23 | 47 | 104 | 125 | 150 |

出典：調査団作成

b) 財務的分析

ベトナムの 10 年国債利回りは 2014 年 12 月末時点では 7.2%となっている。10 年国債利回りをハードルレートと見なすと、いずれのケースでも FIRR はこれを上回っており財務的観点から実施可能とみなされる。

表 8 FIRR 及び NPV 【石炭船 30,000DWT の場合】

| | ケース 1 | ケース 2 | ケース 3 | ケース 2' | ケース 3' |
|--------------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 600MW×2 | 600MW×2 | 1000MW×1 | 600MW×2 | 1000MW×1 |
| | SC BC | USC BC | USC BC | USC 円借款 | USC 円借款 |
| 財務的内部収益率 (FIRR) | 15.47% | 15.68% | 16.03% | 23.86% | 24.24% |
| 正味現在価値 (NPV) | 484 | 507 | 447 | 906 | 777 |

出典：調査団作成

表9 FIRR 及び NPV 【石炭船 10,000DWT の場合】

| | ケース 4 | ケース 5 | ケース 6 | ケース 5' | ケース 6' |
|--------------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 600MW×2 | 600MW×2 | 1000MW×1 | 600MW×2 | 1000MW×1 |
| | SC BC | USC BC | USC BC | USC 円借款 | USC 円借款 |
| 財務的内部収益率 (FIRR) | 16.58% | 16.79% | 17.41% | 25.06% | 25.70% |
| 正味現在価値 (NPV) | 558 | 581 | 520 | 961 | 832 |

出典：調査団作成

4) 環境社会的側面の検討

a) 生態系への影響（マングローブ伐採）

プロジェクトサイトの海岸沿いにマングローブ湿地が存在するが、特別な保護エリアには指定されていない。ただし、世界銀行セーフガードでは、マングローブは自然生息地に該当。自然生息地はカテゴリーAとBに分けられ、カテゴリーAで重要な自然生息地の重大な転換や劣化を伴うと判断された場合、融資は認められない。カテゴリーBで重要性が高くないと判断され、他に代替案が無く、当該プロジェクトからの全体的便益が環境コストを大幅に上回ると判断された場合、適切な緩和策を盛り込むことを条件に融資が認められる。

これを念頭に、環境影響を最小に抑制するため、通常であれば海岸に面して設置するサイト配置を陸側へ移動させる緩和策を提案している。マングローブを含む自然林は、バクリュウ人民委員会が管理しているが、20haを超える森林開発については土地利用変更の届出をして総理大臣の承認を得る必要がある。地域開発の管理元のバクリュウ省人民委員会と確認しながら進める必要あり。

なお、バクリュウ人民委員会も、マングローブ保護のため、サイト配置を陸側へ移動させる提案に関しては好意的であった。

b) 生態系への影響（温排水）

プラント運転中は大量の冷却水排水を海へ放水することとなるが、温排水の温度上昇が生態系へ与える影響をEIA段階より継続的に調査していく必要がある。

c) 汚染対策（大気）

現時点では、周辺に大気汚染源となるような大きな工場は存在していない。建設期間中の車両運搬による大気汚染、運転期間中の煙突排ガス、揚運炭設備からの炭じんや灰処分場からの粉じんのレベルの抑制策を適切に実施していく必要がある。

d) 汚染対策（水質）

北側及び西側は、エビ養殖の開発が進んでいる。エビ養殖のためには、殺虫剤や除草剤の使用並びに定期的に水を空にして石灰で消毒をすることから、大量の汚染水が発生し、それらは防波堤外側（海側）

へ排水される。

また、住民の話では、最近、上流側の工場からの排水の影響で、引込み水の水質が悪化しており、近年エビの収穫量が減少傾向であるが、怒りを誰にぶつけて良いか判らないでいる状況とのこと。よって、プラント開発の際には、プロジェクト事業者が水質悪化の犯人とされないように、事前の水質調査を人民委員会とも協調をとってオープンな形で確実に実施していくことが重要となる。

e) 汚染対策（騒音）

発電所付近での騒音の測定結果は入手できていないが、近隣に大規模な発生源はないことを現地調査で確認している。発電所の東側川沿いには居住地域があることから、現在の敷地境界付近の騒音レベルを確認しながら評価を行なう必要がある。場合によって夜間作業の低減、隣接地域において部分的な防音壁の設置等の対策が必要となる。

f) 汚染対策（廃棄物）

本プロジェクトでは、運転に伴い石炭灰や石膏が発生する。石炭灰は処分場までスラリー方式で排出する予定としており、処分場の容量的には十分と思われるが、本プロジェクトでは石炭灰や石膏のレンガ等への再利用による廃棄物量削減も予定しており、灰捨場のさらなる面積縮小を目指して、今後検討する必要がある。

g) 社会環境（住民移転）

サイト建設にあたり、移転の影響を受ける住民は、川沿いに集中。川沿い以外では、エビ監視小屋が点在。また、バイクで通行する人達用の休憩所として生計を立てているような民家が点在する程度。このエリアについては正確な人口統計が無いが、サイト調査による概算では、本プロジェクトによって生じる住民移転は、30,000DWT ケースで 30 世帯（約 120 人）、10,000DWT ケースで 140 世帯（約 560 人）程度となる。10,000DWT ケースで影響が大きくなるのは川沿いエリアの開発を伴うためである。多くの住民がエビ養殖や塩田関連の仕事に従事しているため、建設に先立ってサイトを整地する際には、住居移転に伴う職業補償も必要となる。EIA の段階で詳細な検討が必要。

h) 社会環境（労働環境）

サイト周辺は井戸を掘っても海水しか出ないため、飲料水の確保も困難な貧しい地域。建設中の大量の作業員及び、現地住民雇用も含めた運開後の運転員の衣食住環境に関して、周囲のインフラを整備する必要あり。特にけがや病気の際の病院の確保が重要。

(4) 実施スケジュール

図2にプロジェクト実施スケジュールを示す。

図2 プロジェクト実施スケジュール

| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 修正 PDP7 承認 | ■ | | | | | | | | | |
| サイトマスタープラン | ■ | | | | | | | | | |
| 事業化可能性調査 (FS) | | ■ | | | | | | | | |
| 環境社会影響評価 | | ■ | | | | | | | | |
| ファイナンス組成 | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 許認可取得 | | | | ■ | | | | | | |
| コンサルタント選定 | | | | ■ | | | | | | |
| インフラ建設・サイト工事 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| EPC 入札 | | | | | ■ | | | | | |
| 建設・据付工事 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 海域工事 (浚渫・堤防等) | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

出典：調査団作成

(5) 実施に関するフィージビリティ

本調査の結果、超臨界圧技術を採用した場合は、円借款支援対象から外れるため、BCの活用が望ましいが、超々臨界圧技術を採用した場合は、いずれのファイナンスケースにおいても実施に向けたフィージビリティがあることが分かった。また、石炭の価格が本調査での想定以上に上昇するケースにおいては超臨界圧ではフィージビリティがでないことも確認した。今後行われる詳細 FS により、詳細レイアウト、プロジェクトコスト精査、輸入炭適用炭種、石炭供給方法等に関して詳細設計を行い、環境社会影響評価も実施しつつファイナンス条件を判断することが望ましい。なお、現在 EVN はベトナム初の超々臨界圧は自社で実施したい意向があり、円借款を活用したいとの意見もある。

運開開始予定については、現在修正中の PDP7 に於いて、当初計画されていた 2028 年から 2023 年に前倒しされるベースで計画されていることを確認した。本タイミングについては、円借款及び BC いずれのファイナンスケースで想定しても余裕のあるスケジュール感であり、またベトナム側にとっても、超臨界圧石炭火力が運転を開始する 2018 年頃から 5 年程度の運用ノウハウも積み上げた後の案件となるため、超々臨界を採用しやすい状況ではある。EVNGenco2 は修正 PDP7 が承認され次第、詳細 FS 及び環境社会影響評価を実施したいと考えている。なお、今のところ修正 PDP7 の政府承認タイミングは 2015 年第 2 四半期以降と見られている。

EVNGenco2 の財務状況については、2012 年 6 月に発足したばかりの EVN の独立採算企業ということもあり、現在は厳しいが、経営の効率化及び ADB が行う Genco 支援のローンプログラムのおかげもあり、

2016～17年頃からは回復すると見られている。

また、外銀、邦銀含め、地場銀行なども引き続き EVN や PVN 等の国営大企業に対する貸出意欲は大きく、政府保証を含む公債のレベルも適切に保たれていることから、ファイナンス組成は可能であると考えられる。

超臨界及び超々臨界を採用した場合の EVNGenco2 の運営能力については、既に亜臨界圧石炭火力の経験を有しており、また自社が保有するファーライ石炭火力発電所においては、他発電事業者の新規石炭火力建設に対しての O&M トレーニングを行うなど、ベトナム石炭火力の O&M 教育の中心的な役割も果たしていることから、特に問題はないと考えられる。ただし、超臨界や超々臨界は亜臨界とは技術面・運用面で異なるため、メーカ研修やその他ドナーなどからの O&M 支援があることが望ましい。

サイトロケーションについては、立地自治体であるバクリュウ省人民委員会の全面的なバックアップ及び EVNGenco2 と人民委員会との良好な関係があり、特段の問題はない。マングローブの保護については移設案をベースに交渉し、炭塵飛散防止やフライアッシュ飛散防止の効果も得られることから、基本的には合意を得ている。

ただし、詳細 FS では詳細なレイアウト設計に基づいた用地買収コストの算定、住民移転数の確認等を行い、評価を行う必要がある。

また、メコンデルタ地域でもあるため、土木工事、海域工事が通常以上に必要とされるため、経済性評価も重要なポイントとなる。

送電線計画については、修正 PDP7 が承認された後、これに併せて改訂することになるが、担当する NPT によると、鉄塔建設は容易であるが、用地買収に時間を要することが多いので、早めに計画をすることが望ましいことを確認した。また、同ファイナンスについては、ADB が関心を示していることを確認した。現在 ADB は NPT に対して 730 万米ドルを上限としたクレジットラインを供与しており、2020 年までとしている期限についても 2～3 年程度延長することも検討しているため、同資金の活用も視野に詳細 FS では検討する必要がある。

(6) 我が国企業の技術面等での優位性

1) 技術面での優位性

エネルギー自給率の低い日本では、燃料供給を海外からの輸入に頼らざるを得ない状況から、エネルギーの高効率利用に対する関心が高く、高効率火力発電に関する技術開発が行われてきた。また近年では、世界的な地球温暖化に対する関心の高まりもあり、石炭火力発電から排出される CO₂ や NO_x、Sox、ばいじん等環境負荷の低減に向け、超々臨界圧発電技術のほか、排煙脱硫装置や電気集塵器等、環境対策技術の開発も継続されている。

こういった技術開発の結果、現在の日本の火力発電技術および製品は世界的に高い水準にあり、経済的にも環境的にも優位性のある分野となっているため、日本の重電メーカの採用はベトナムにとって魅力ある選択肢となり得る。また発電所建設技術においても、日本の重電メーカは建設工事におけるスケジュール管理面において優位性を持っており、特にベトナムのような電力需給が逼迫している状況下では、長期間に亘る建設工事をスケジュールとおりに遂行できる能力は極めて重要となる。

加えて、石炭火力発電所の運用保守技術面においても、日本の電力会社は豊富な石炭火力発電所の技術的知見や超臨界、超々臨界圧発電所の運用経験、また資源の有効利用を目的とした石炭灰有効活用技術等を保有しており、重電メーカーと併せた石炭火力発電運用に関する総合的な技術力は他国に対して優位性を持つものと考えられる。

2) 経済面での優位性

国際競争力において我が国企業が優位性を発揮するためにはハード・インフラ単体での供給のみならず、優れた技術、ファイナンス、O&M等を組み合わせたパッケージ型インフラ輸出を官民が連携して促進することが重要である。開発途上国におけるインフラプロジェクトは、プロジェクトの資金が大きくなる傾向にあるが、我が国民間企業の活動とJBIC（BC、投資金融）、JICA（円借款）等の公的機関との連携は、本邦民間企業の活動にて生じるコストを軽減する。

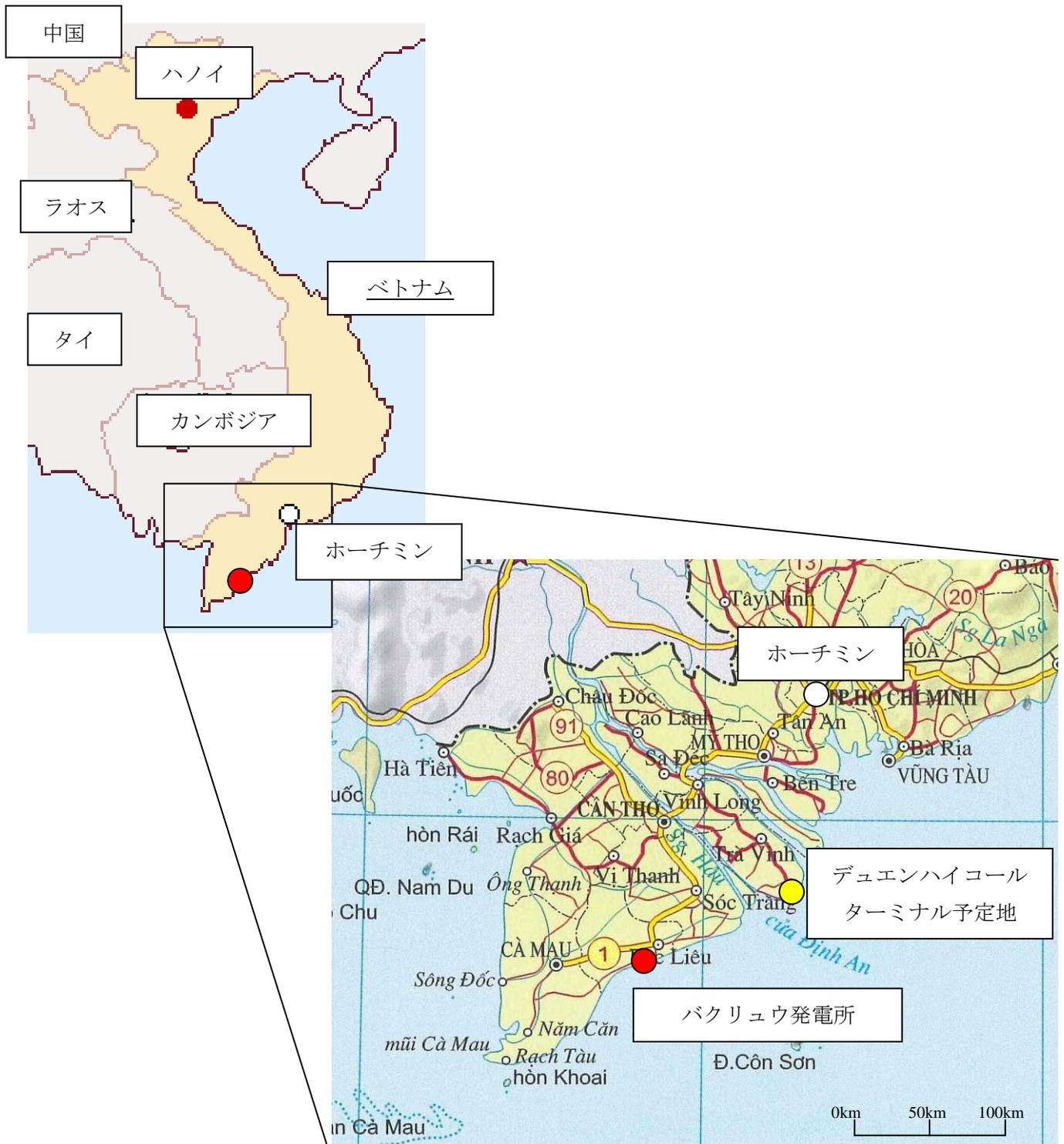
公的機関との連携という観点では、米国のオバマ大統領は2013年6月「Climate Action Plan：気候行動計画」を公表し、海外の石炭火力発電所の新設に対する公的資金支援の終了を宣言した。更に、他国や国際開発金融機関に対しても早急に類似の措置を取るよう同意を求めており、欧米の公的機関においては、石炭火力発電所への公的融資支援を制限する動きが広がった。

一方で、我が国の方針としては、今後とも石炭火力の導入が必要とされる場合には、その高効率化及び低炭素化を図ることに貢献していくこととし、石炭火力発電所を含むインフラシステム輸出支援と戦略的な経済協力を謳っている。実際にベトナムにおいても、米国輸出入銀行が融資を中止した新規石炭火力案件に対し、後にJBICが融資を実施したという事例もある。

また、海外取引へのファイナンス支援では、必要資金の出資や融資だけではなく、非常リスクを公的機関が負うことにより、官民が協調・役割分担することも重要であり、NEXIの貿易保険はインフラシステム輸出を推進する上で重要な機能を果たしている。

(7) 事業実施地点図

図3 バクリュウ石炭火力発電所位置図



出典：調査団作成

平成 26 年度
エネルギー需給緩和型インフラ・システム普及等促進事業
(円借款・民活インフラ案件形成等調査)

ベトナム：バクリュウ超々臨界圧石炭火力発電所開発可能性調査報告書

平成 27 年 2 月

経 済 産 業 省
新 日 本 有 限 責 任 監 査 法 人
独 立 行 政 法 人 日 本 貿 易 振 興 機 構

委託先：
九州電力株式会社