

平成 26 年度(2014 年度)案件形成等調査
実施案件報告書要約

I . 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)

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・北スマトラ州カライ小水力発電事業調査報告書

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 長 大
株式会社 I D I インフラストラクチャーズ
基礎地盤コンサルタンツ株式会社

要約

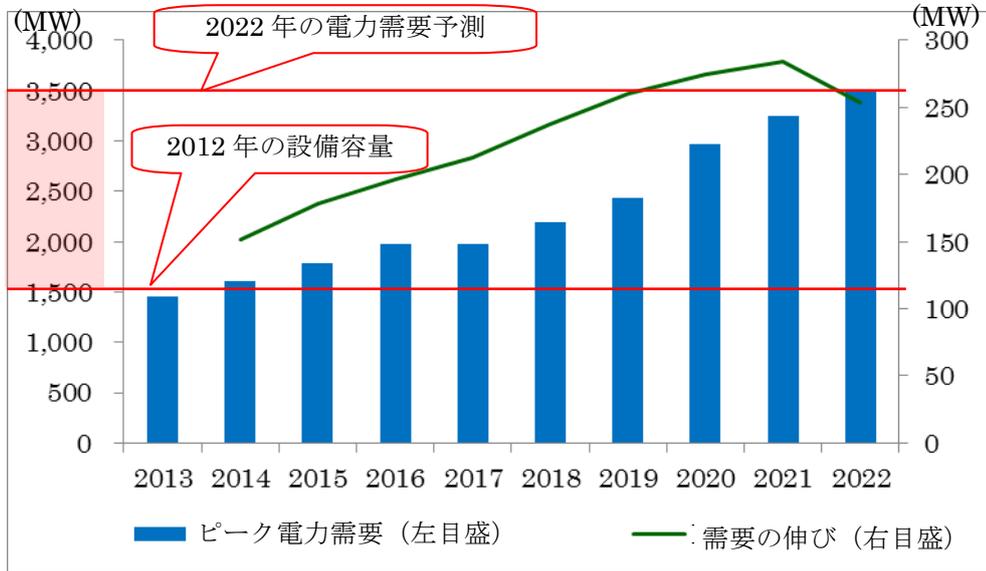
(1) プロジェクトの背景・必要性等

インドネシアの人口は、約 2.47 億人を超え、平均年齢 28.9 歳と 30 歳未満が人口の半分を占める大きなビジネス市場である。今後も人口は着実に増加してゆく傾向にあり、2010-20 年の 10 年間で、さらに 3,000 万人ほど人口増加する見込みである。2050 年の推計人口は約 3 億人と予測される。さらに、2001 年に 3.6%であった経済成長率は、2005 年以降 5%後半～6%台を達成し、2013 年は 5.8%、2014 年は 5.5%の成長率予測となっているが引き続き内需が経済成長を牽引すると見られ、依然高い成長率を維持している。

インドネシア経済の成長に伴い、インドネシア全土では 2010 年に 26,246MW の最大電力需要が 2019 年には 59,863MW と予想され、その増分は 33,617MW となる。このため 3,000MW/年の電力需要増加を賄うため 5,500MW/年の発電設備出力の増強を必要とする事を予想している。この旺盛な電力需要を賄うために石炭、地熱、ガス及び水力に期待がかかっており、再生可能エネルギーとして地熱及び水力発電はおおよそ 3 倍になることが期待されている。

北スマトラ地区の電力需要予測は、毎年 10%前後で大きく増加していく予想である。一方、現時点の発電容量 (2012 年 : 1,549MW) と、2030 年のピーク需要の将来予測 (3,493MW) のギャップは 2,000MW 弱もありその 2022 年における予想最大電力需要量は 2013 年の 1.88 倍になり、深刻な電力不足が予想される。

図 1 北スマトラ州の電力需給予測



出展 : PLN メダンより聞取り

電力需要増加を賄うため、石炭、地熱、ガス及び水力に期待がかかっている中、本プロジェクト及び他の発電事業が実施されない場合、電力不足の状況が継続するのは明白である。長引く北スマトラ地域の電力供給不足は、200MW に達しており、国家的課題として取り上げられている。同地域に進出を検討している日系企業に対し、当該地域は不安定な電力供給により進出を推奨できない状況にあり、更なる電力需要が強く望まれている地域である。

インドネシア政府は当初、石炭火力発電所のみを新規電源開発とする「第一次クラッシュプログラム」を計画したが、近年の環境意識の高まり、及び開発・建設が大幅に遅延していることから、石炭火力中心の電源開発に見直しが求められていた。そのため、「第二次クラッシュプログラム」を策定し、PLN以外にも、独立発電事業者（Independent Power Producer: IPP）を積極的に活用していくこと等が検討されている。この「第二次クラッシュプログラム」においては、小水力発電を含む再生可能エネルギーについても計画に盛り込み、2030年までに現在の4倍弱の発電量である18,100MWを賄う計画である。同プログラムでは1,204MWの水力発電の開発を打ち出すと同時に、政府は小規模の再生可能エネルギーに対して、PLNと長期固定価格にて売電契約を結ぶことができるFIT制度（Feed-in Tariff: 固定価格制度）を導入しており、小水力発電事業も対象に含まれている。

また、2014年5月にはエネルギー鉱物資源省により、小水力発電事業に対するFIT価格の改定が発表された。それによると、スマトラ島では発電開始から8年目まではPLNへの売電単価がIDR1,182.5/kWhとなり、現在の売電単価であるIDR787/kWhを大幅に上回る水準となる。このことから、政府としてベース電源となる小水力発電の開発を積極的に推進していると言える。

図2 FIT 価格改定内容

これまでの固定買取(FIT)価格	
系統地域	中電圧買取価格(Rp/kWh)
ジャワ、マドゥラ、バリ	656
スマトラ、スラウェシ	787.2
カリマンタン、ヌサトゥンガラ	852.8
マルク、パプア	984

2014年5月改定

2014年5月改定FIT価格	
系統地域	中電圧買取価格(Rp/kWh)
ジャワ、マドゥラ、バリ	1,075
スマトラ、スラウェシ	1,182.5
カリマンタン、ヌサトゥンガラ	1,343.8
マルク、パプア	1,397.5

出展：インドネシア国エネルギー鉱物資源大臣令 2014年第12号

(「Peraturan Menteri Energi dan Sumber daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2014」)

現状及び将来の電力不足を解消する電源としては、水力、地熱、太陽光、風力、潮力等が考えられているが、地熱は開発リスクが大きく、太陽光及び他のエネルギーについては、稼働に安定性が乏しく主要電源としては不向きである。当該地は、山岳地帯で降雨量が多く、気象地形条件上小水力発電に適している地域であり、当該地の電力需要確保、経済発展のために本プロジェクトの実施に適している。

こうした背景のもと、北スマトラにおいて、複数の小水力発電所整備計画の検討が進められ

ている。これらの中で、小水力発電所の新設計画と既存及び建設中の小水力発電所の出力増強計画が近接地で進められていることに着目し、これらの比較検討を行い、最適案の事業実現可能性を検討することに至ったものである。なお、水力発電は、わが国で100年以上の歴史を有するなど技術的に確立されており、我が国企業が有する高度な技術力を十分に発揮することが可能であることを勘案した。

(2) プロジェクトの内容決定に関する基本方針

本プロジェクトではインドネシア国北スマトラ州シマルングン県に属するカライ川流域について、流域の持つ水力資源を最大限に生かすため、水系総合開発の観点から最適開発案を選定し、地域に最大限の電力供給することを基本方針とする。また、対象とする水力発電設備は、流れ込み式とすることで発電所の建設による広範囲な水没を避け、自然・社会環境と調和した計画とする。

開発計画の立案に際しては、地形地質、水文気象、上下流開発計画等の技術的評価に加え、将来の運転維持管理を含めた経済財務評価を行い、現地事業社の意向を踏まえたうえで最適計画を選定する。合わせて、本邦技術の活用も含め、調査提案者の事業参加の可能性についても検討する。

これらに加え、プロジェクトの計画立案にあたっての方針は以下のとおりである。

- 公益社会資本として長期にわたる設備の健全性を確保する計画を立案する
- 自然・社会環境調査結果を通じて周辺環境への影響に配慮する
- 維持管理費の低減を考慮した機器選定
- 水系の持つ水力資源を最大限生かし経済性に優れた開発計画を選定する

本調査では、プロジェクトの実現のために必要な下記内容に関し、調査・分析を行った。

- ① 「発電所新設案」及び「既設発電所の出力増強案」の比較、検討
- ② 事業実施発電所の選定
- ③ 小水力発電事業方策・効果・採算性の検討
- ④ 事業実現可能性の明確化

なお、①を検討するに当たっては、以下の点に留意した。

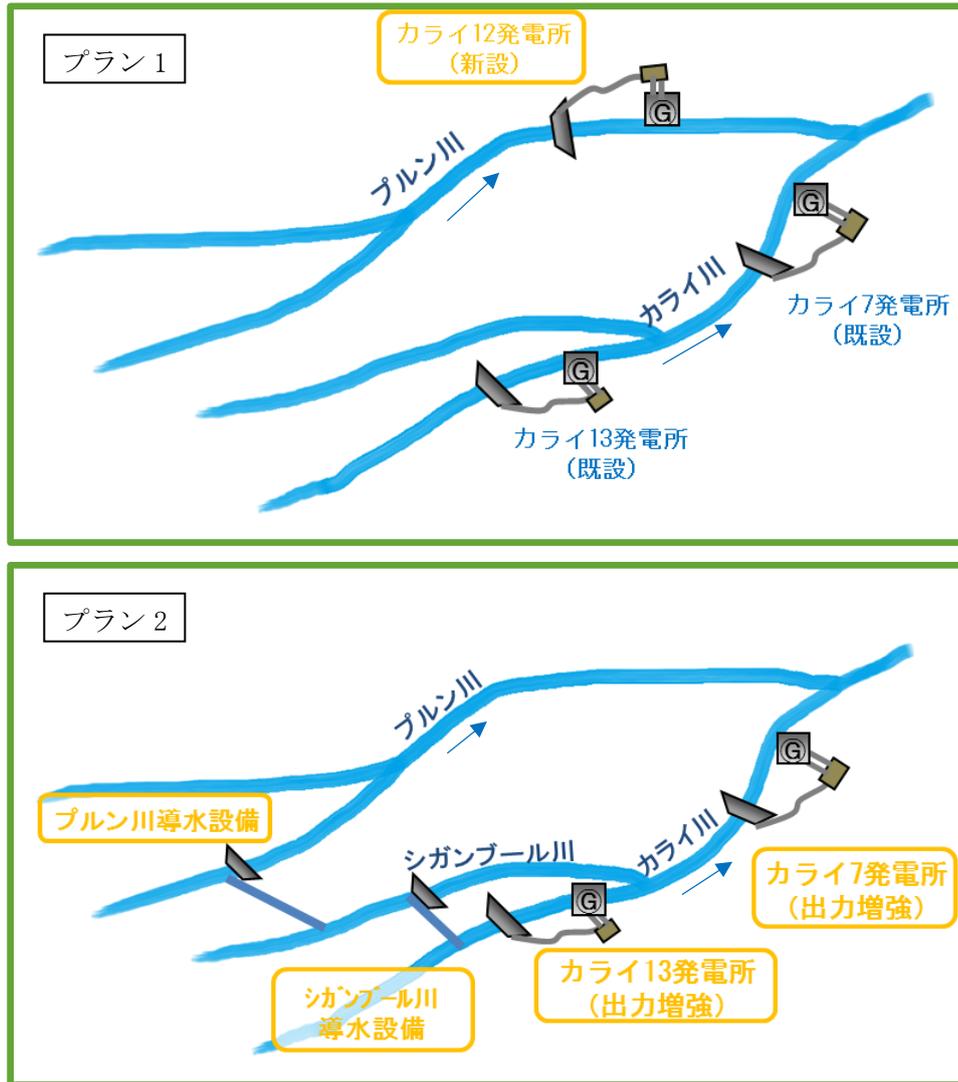
- イ. プロジェクト実現のカギとなる発電容量の確保並びに FIRR 及び EIRR 算出のため基礎資料となる水理計画調査を実施する。
- ロ. 設備を安定して運転継続をするための条件である地盤強度、河川流況の調査を行う。
自然災害に備えるため予想される洪水・地震に対する対策について検討を行う。
- ハ. 当該プロジェクト実施の地域にあたる影響等について、河川沿いに居住する住民への配慮等、環境社会的側面からの検討を行う。
- ニ. 発電所建設計画を行い、経済・財務分析に基づくプロジェクトの事業性及び経済効果について評価する。
- ホ. 発電効率の比較分析を行うため、施設立地条件（落差、流況等）について十分な調査を行う。

(3) プロジェクトの概要

1) 提案の概要と事業総額

本調査では、カライ川水系プルン川 (Pulung River) に計画中的カライ 12 発電所新設計画のレビューを行うとともに、代替案としてプルン川上流部より隣接するシガンブール川 (Sigambur River) およびカライ川 (Karai River) に転流し、カライ川に位置する既設カライ 13 発電所および建設中のカライ 7 発電所の出力を増強する計画との比較を行った。

図 3 プロジェクト比較案概要図

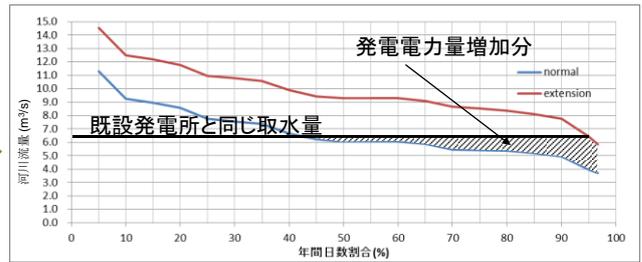


出展：調査団作成

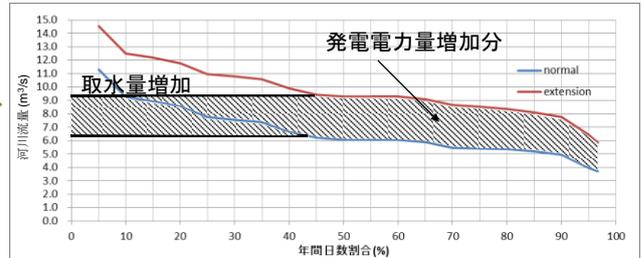
図4 プラン2 出力増強検討ケース概要図

既設発電所出力増強案(プラン2)において、発電取水方法の違いによる以下の2ケースの検討を行った。

検討ケース1:
既設発電所の取水量は変えず、乾期に発電できる電力量のみ増強する。
河川転流設備および既設発電所補修工事が必要となる。



検討ケース2:
既設発電所の取水量を増加し、発電所出力および発電電力量を増強する。
河川転流設備、発電所増設工事、並びに既設発電所補修工事が必要となる。



出展：調査団作成

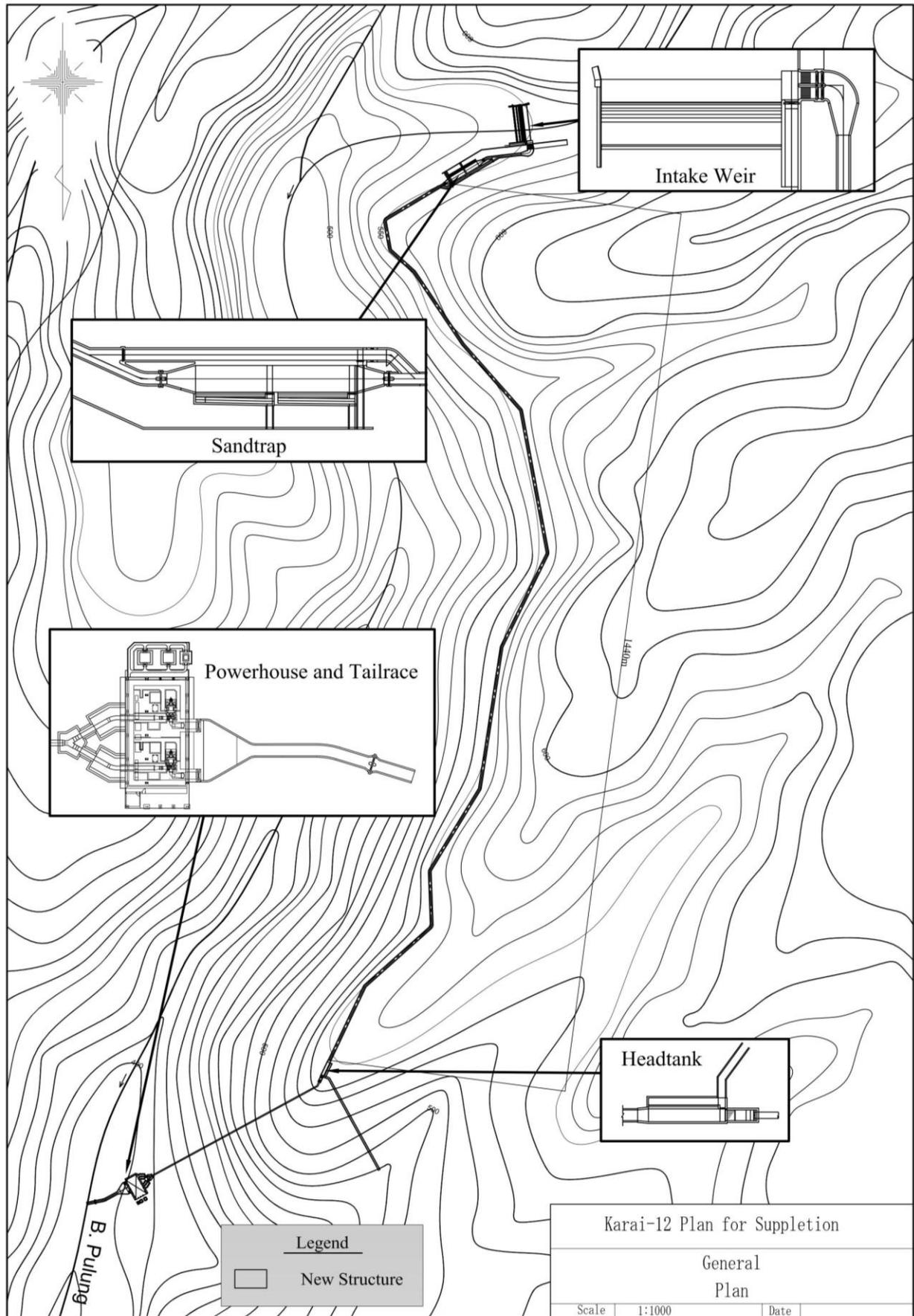
その結果、「発電所新設案」であるカライ12発電所新設案が技術面、環境面、並びに経済性で優位結果となった。そのため、本調査ではカライ12発電所新設案を提案プロジェクトとして採用することとした。

表1 提案プロジェクトの比較検討結果

比較案	プラン1	プラン2	
		ケース1	ケース2
技術面	○ 新規開発のため、設置条件に適した設備を一から構築可能である。	△ 既設構造物の問題箇所は改良するものの、多くの既設設備を利用するため、施工品質上の不安要素は残る。	△ 同左
環境・社会面 (環境面)	○ 生産林またはプランテーション地区であり自然保護区の対象外である。	○ 同左	○ 同左
(社会面)	○ 住民移転は発生しない。また減水区間の水利用も無く、社会面での影響は限定的である。	○ 同左	○ 同左
経済性	○ 3案のなかで最も建設単価が安価となる	△ 3案のなかで最も建設単価が高価となる	△ 3案のなかで二番目に建設単価が安価となる
総合評価	○ 開発案として選定	△ 総合評価でプラン1に劣る	△ 同左

出展：調査団作成

図5 選定プロジェクト全体計画図



出展：調査団作成

表2 選定プロジェクト概要

発電計画概要		
河川名	-	カライ川
集水面積	km ²	116.65
発電方式	-	流込み式
取水位	EL. m	550.00
放水位	EL. m	400.00
総落差	m	150.00
有効落差	m	145.03
最大使用水量	m ³ /s	7.00
最大出力	kW	9,000
年間発生電力量	×10 ³ kWh	64.030
建設費（土木設備）	×10 ⁶ IDR	62,293
（発電機器）	×10 ³ USD	5,940
（送電設備）	×10 ⁶ IDR	15,400
設備概要		
取水堰		タイプ：重力式 堤頂長：50.4 高さ：5.0 幅：13.2
取水口	m	幅：7.5 高さ：6.1
取付水路	m	タイプ：開水路 幅：3.0 延長：55.0
沈砂池	m	タイプ：オープン単槽バイパス流路 幅：7.5 延長：60.7 水深：3.2
導水路	m	タイプ：無圧式蓋渠 幅：3.0 延長：1,440
水槽	m	タイプ：オープン 幅：3.6 延長：25.0 水深：3.2
水圧鉄管	m	タイプ：鉄管地上設置 管径：φ1.8 延長：330.0
発電所	m	タイプ：地上式 幅：17.8 長さ：36.8 高さ：地上11.7、地下6.15
放水路	m	タイプ：開水路 幅：3.0 延長：46.0

表3 提案プロジェクト事業費

建設費用（土木、建築設備）	×10 ⁶ IDR	77,693
建設費用（発電機器）	×10 ³ USD	5,940
建設費用*	×10 ⁶ JPY	1,562.85
kWh 当たり建設費	JPY/kWh	23.0

*：2014年11月末の為替レート（US\$1=¥119.23、IDR1=¥0.0110）で換算

出典：調査団作成

2) 予備的な財務・経済分析の結果概要

プラン1は新規案件であり、プラン2は既設の設備を改修あるいは増設して稼働率を上昇させる計画である。プラン2の財務分析においては、改修・増設の案件ではあるものの既存設備の存在の上に成り立っていることから、既にプロジェクトが抱えている資産・負債なども含めて、プロジェクト全体での効用について分析した。

いずれの計画もFIRRがインドネシア長期金利を上回り、NPVは正、B/Cは1以上であり、投資の妥当性があると言えるが、中でもプラン1のFIRRが高い値をとっており、プラン1が最も効率的な投資といえる。

経済分析については、本案件の経済効果を国民経済における資源配分上の効率性の観点から評価するために、EIRRを算出した。本案件ではインドネシアで一般的なディーゼル発電を小水力発電で代替できることから、いずれの計画も一般的な社会的割引率である12%を大きく上回り、国民経済的に実施価値が十分にあると判断出来る。財務分析結果と同様、プラン1のEIRRが最も高く、2案の中で最も効率的な投資といえる。

表4 財務・経済分析結果

		プラン1		プラン2	
				ケース1	ケース2
総投資額	百万 IDR	186,615	579,301	727,765	
FIRR	%	28.9%	17.6%	21.0%	
NPV	百万 IDR	232,964	371,093	563,640	
B/C	-	1.5	1.1	1.1	
EIRR	%	71%	48%	56%	

出典：調査団作成

3) 環境社会的側面の検討

本プロジェクトの実施による環境への影響について、現地における自然環境や社会環境の現状を把握するとともに、インドネシアにおける環境法規制等の状況について確認した。

本プロジェクトの対象地域は、山岳地域に属し、森林区分や土地利用は恒久生産林、乾燥地農業又はプランテーションとして利用されているが、開発されていない山地や谷部、河川周辺には、多様な動植物の生息・生育環境が残されていると考えられる。なお、建設候補地付近において、重要かつ絶滅のおそれのある動植物の情報はないが、対象地域周辺で実施された他事

例の報告書によると、インドネシア政府規則より保護されているマレーグマの記載がある。

しかしながら、本プロジェクトで計画している発電所は規模が大きくはないこと、また取水方式は流込式であり環境にやさしい発電方式の一つであるため、運転開始後において本プロジェクトから発生する環境影響は軽微なものと考えられること、さらに近隣住民の生活用水としての河川利用がなされていないこと（地元住民ヒアリング結果より）などから、環境社会的影響は大きくはないと考えられる。

なお、本プロジェクトは、インドネシアにおける環境影響評価制度（AMDAL）の対象外となるが、AMDAL の必要要件から除外される事業や活動は、環境管理プログラム及び環境モニタリングプログラム（UKL-UPL）を作成し、環境許可を得る必要があるため、適切な調査・影響の把握、環境管理や環境モニタリングの取り組みにより、対象地域周辺への環境社会影響を可能な限り回避・低減していくことが求められる。

(4) 実施スケジュール

案件実現までのスケジュールは、以下のように設定している。

表5 プロジェクト実施スケジュール

項目	1年目				2年目				3年目				4年目				5年目	
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6
①事業権の申請・許可				■	■	■	■											
②環境申請・許可								■	■									
③FS調査	■	■	■	■	■													
④詳細設計および調達								■	■	■	■							
⑤建設工事・試運転												■	■	■	■	■	■	■

(5) 実施に関するフィージビリティ

1) 技術面、財務・経済分析面からのフィージビリティ

本調査では、新規施設（カライ 12）、もしくは2施設の出力を増強（カライ 13、カライ 7）の事業性比較を、技術面、財務・経済分析面から実施した。その結果、優位性はカライ 12にあることが確認された。カライ 12を推進していくためには、第3章に既述の通り、技術面において詳細な計画立案・設備設計を実施する必要がある、現状ではそれらに必要な諸資料が十分に整備されていない。そのため、今後計画を進めていくうえでより詳細な各種調査を実施する必要がある。また、財務・経済分析については、各種前提条件が確定していない項目については、事業者からのヒアリングや一般的な他類似案件の数値を代用しており、今後金融機関と詳細な融資の協議を行うにあたり、事業化に向けたコストの確定及びその根拠の詳細確認、事業者による確実な資金拠出の確認等が求められる。

2) プロジェクト形成の経緯と今後の予定

環境・再生可能エネルギー分野でファンドの運用やアドバイザー業務を展開している、元興銀系のIDIより2012年12月にインドネシアでの小水力案件への参画について打診を受け、ジャカルタ市に本社を置く再生可能エネルギーの投資会社である Bumi Investco Energi (PT. Bumi Investco Energi。略称:BIE(ビーアイイー))およびBIEが小水力発電事業のために設立した建設会社の Bumi Hydro Engineering and Construction (PT. Bumi Hydro Engineering and Construction。略称:BHE(本社:ジャカルタ))との三者間で、事業への出資を含む各種コンサルティング業務を実施する内容の基本契約を2013年10月に締結した。

本調査報告書作成後に発生したカライ 13の故障を受け、BIEオーナーの意向としては、カライ 13については保険金を充当する計画としている。カライ 12を新設する場合、今後の資金はカライ 12新設へ注力し、故障したカライ 13については当社の支援のもと現状設備のO&Mで発電を継続していきたいとの意向を持っている。

当社としてもカライ 12 新設については、資金との兼ね合いのもと極力早く着手できるよう内部で調整を行うと共に、今後事業者とも協議を行い、新規案件開発にも積極的に関与していく意向である。また、経産省の二国間クレジット制度（JCM）活用での FS 実施および事業化提案を事業者へ働きかけることを予定している。

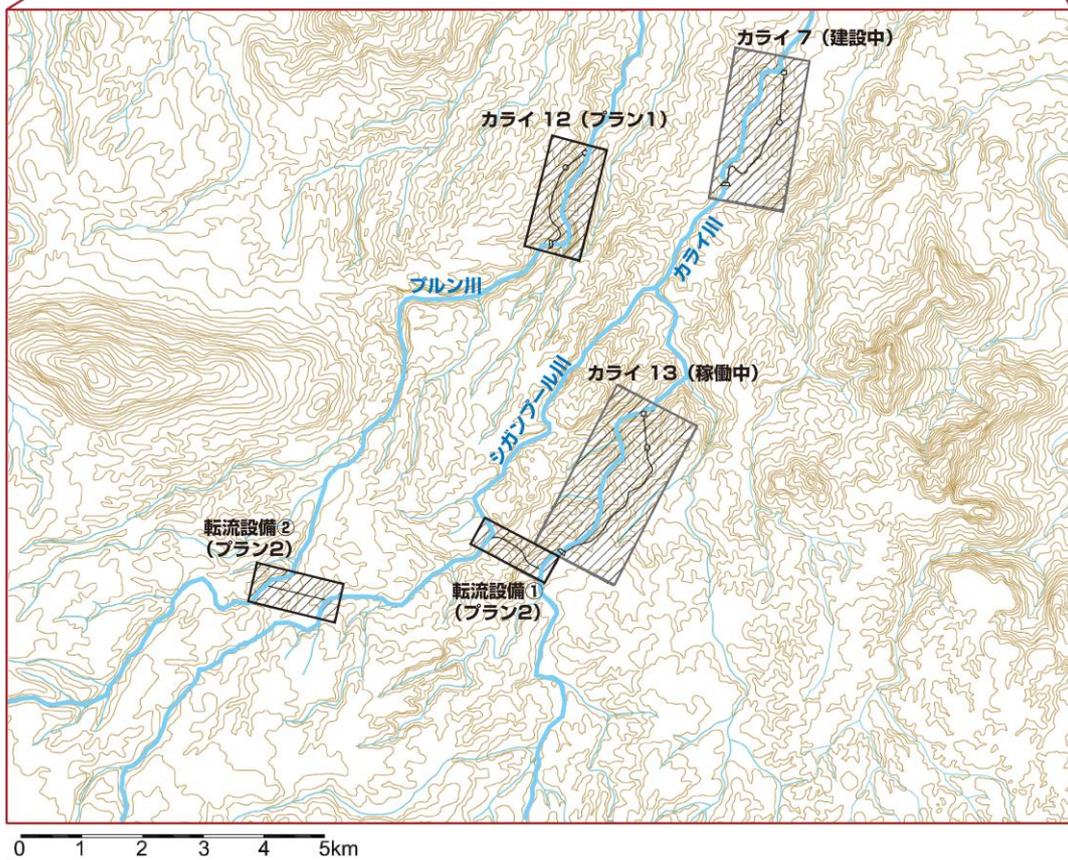
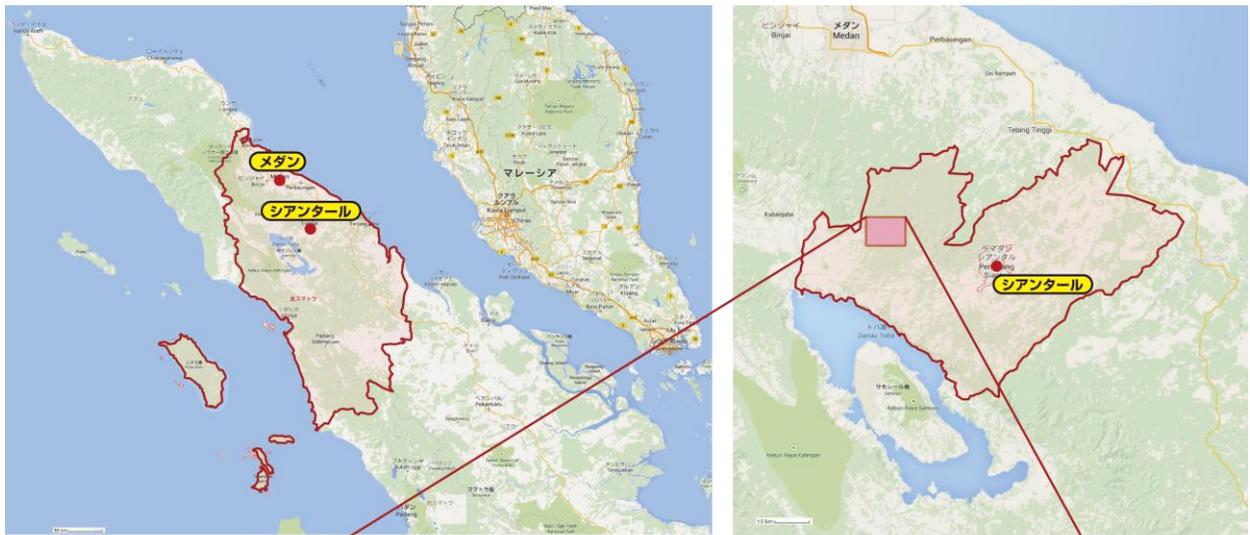
（6）我が国企業の技術面等での優位性

以下の観点から日本企業の参画可能性は高いと考えており、これらを根拠に、日本企業の参画について出資者の立場からも積極的に働きかけていく予定である。

表 6 我が国企業の技術面等での優位性

マネジメント能力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業の目指す方向を軸に、多方面から考慮しつつプロジェクト全体を俯瞰的に整理検討する力 ・ プロジェクト完成まで工程、品質、コストを厳密に管理する日本企業のプロジェクト管理技術
ソリューション能力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新しい発想や機転を利かせた工夫で問題点を改善・解決する力 ・ 目先の問題だけでなく、長期的な視点で問題を予測し、回避する力
エンジニアリング能力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出力の増大及び年間発電量の増加を達成する水理計画力 ・ 最新の流体力学を駆使した水車性能解析技術に基づく水車の高性能化による増電力量の実現
技術競争力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設計・製造・保守・修理技術力の高さ、材料の選択範囲の広さ ・ O&M 技術による高信頼度化及び長寿命化 ・ ライフサイクルコストで評価するパフォーマンスの優位性 ・ 同一水系に対し出力の増大及び年間発電量の増加を可能とする技術力等の高度な水理計画力 ・ 工期工程を厳守する日本企業の高度な納期管理技術 ・ 地質・地形からみた水害防止、堆砂防止等を考慮した設計のノウハウ（長期に亘っての安全性の確保） ・ 流砂の多い河川における排砂、沈砂等の設計ノウハウ
国外受注実績	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海外小水力発電事業における出資・エンジニアリング実績 ・ 海外小水力発電事業における日本メーカー製の水車発電機調達実績
資金力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海外小水力発電事業におけるファイナンス実績（出資、メザニン融資） ・ JICA 海外投融資プログラムの活用を基本スキームとして検討するべく、JICA ジャカルタオフィスと本調査案件における将来的なファイナンスの可能性について相談、及び関係構築

(7) 調査対象国内での事業実施地点が分かる地図



出典：調査団作成

平成 26 年度
エネルギー需要緩和型インフラ・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)

ミャンマー・モーラマイン近郊における石炭火力発電所及び貯炭
供給基地建設に関する事業化調査報告書

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：
三井物産株式会社
中部電力株式会社

要約

(1) プロジェクトの背景・必要性等

ミャンマーにおける電力需要は、2030年には現在（3.6GW）と比較して約7倍になると予想される。この電力需要の増大を満たし、電力を安定的に供給するためには、早急な発電設備及び、送電設備、配電設備等の開発が必要である。開発に際しては、ガス火力発電、石炭火力発電、水力発電、さらに風力、太陽光等の再生可能エネルギー発電等の様々な燃料の発電設備を開発する必要がある。

ただし発電設備の開発は、各種燃料の供給能力や水力開発可能な地点等は限られている等の問題があること考慮しつつ、低い発電コストの電源構成および発電設備であることも重要である。

ミャンマーでは2030年には、国内のガス供給可能量の3倍のガス需要量があると予想されるため、ガス火力発電を開発する場合には、燃料を輸入で賄う必要がある。液化天然ガス（LNG）の輸入や隣国からのガスパイプラインによる輸入も考えられるが、これらの開発にはコストと時間を要する。

水力に関しては、大規模な水力発電の開発には、「長い開発期間が必要（10年以上）」、「開発地点によっては環境影響、社会影響等が大きく（広範囲の土地の水没、住民移転等）」、「送電線への接続が場所によっては難しい」等の問題がある。また、水力発電は発電可能容量が季節により変動し、乾季では雨季の70%程度の発電出力となる問題点もある。

火力発電における燃料種別の発電コストを考えると、変動が大きくさまざまな試算があるが、一般的に石炭火力の発電コストが総合的に最も安価であると言える。

また、2011年3月に東日本大震災が発生した日本では、震災による原子力発電停止後は、緊急でLNGの輸入を増やしLNG火力の発電量を増やしたり、老朽化した石油火力発電所を復旧する等の対応を行い、電気供給に大きな支障が生じさせることなく運用してきた。

これらより燃料の多様化するなかでガス、石炭、石油、水力発電を適切なバランスで開発することは、電気供給のセキュリティの面でも大変重要であり、ミャンマーのエネルギー問題解決にとって、石炭火力の開発は、重要な一つの手段である。

(2) プロジェクトの内容決定に関する基本方針

石炭火力発電の燃料となる石炭は、国内炭も考え得るが、大部分は性状の悪い亜瀝青炭であるため、ミャンマー近隣国の石炭輸出国であるインドネシアやオーストラリアからの輸入炭（瀝青炭）と想定し、瀝青炭専燃をベースとし、使用時高位発熱量：約24,000kJ/kgを想定発熱量とする。

発電端効率については、超々臨界圧石炭火力プラントで日本においてベース運用されており、稼働実績が多くかつ信頼性の高いプラントと同程度である42%（HHV）とする。

年間利用率、稼働率は、発電効率と同様の想定とし、年間利用率80%、稼働率84%を、運用方法はベース電源での運用と想定する。

(3) プロジェクトの概要

サイト計画は、発電出力600MWの石炭火力発電所および貯炭場の建設に必要な用地および石炭受

入設備建設をモン州最大の都市モラミヤインから西南に延びる海岸線沿いに建設することを想定する。

モラミヤインは、230kVの送電線でヤンゴンおよびミャンマー国全体の基幹系統に接続されているため、サイトより、送電線を敷設し、基幹系統に接続することを想定する。また、当該地については、アンダマン海に面しており、輸入炭の海上輸送の拠点に適している。近郊で石灰石も採出されるため、石灰石—石膏式脱硫装置の設置にも適している。

(4) 実施スケジュール

本調査の位置付けは、石炭火力発電所建設に係る事業化調査（Feasibility Study）の前提となる、Preliminary Feasibility Studyであり、本Preliminary Feasibility Studyは2015年2月に終了、その後、ミャンマー政府へ本内容が伝えられ、2015年2Qにミャンマー政府より日本政府へODA供与の要請を行う。要請後、日本政府内で実施企業を選定、実施企業は電力省とFeasibility Study実施に係るMOUを締結、2016年にFeasibility Study実施となる。Feasibility Study終了後には、日本政府内にてプロジェクト審査を行い、ミャンマー政府と交換公文、借款契約締結のステップを経て、2018年にプラント建設開始、約4年の建設期間を経て、2022年のCODを予定している。

(5) 円借款要請・実施に関するフィージビリティ

ミャンマーでは、自国資金または無償資金提供にて発電所を建設・運営する、または、民間発電事業者がIPP事業として発電所を建設・運営されているが、近年、有償資金提供によって発電所を建設していない。ミャンマーは、過去の経緯より、有償資金提供を積極的に求めていないが、①プロジェクトファイナンスを組成する為に必要な法律が未整備であること、②政府保証が出ないことなどから、プロジェクトファイナンスを資金調達源とする大型発電所開発が進まない一方で、電力需給が逼迫していることから、ミャンマー政府としても有償資金提供による発電所建設の必要性への認識が浸透しつつあり、本調査にて、電力省、MEPE等と面談した際に、有償資金提供による発電所建設の必要性を説明した所、その方向性に就き理解を得た。

(6) 我が国企業の技術面等での優位性

現在ミャンマーにおいて稼働中の石炭火力発電所は、ティジッド火力発電所（60MW×2基）のみ。同発電所は中国政府の協力を得て2004年に運転開始したが、設備の不具合等の理由で稼働率は30%前後に留まり、排ガス系統設備の不具合により排煙による環境汚染も問題になっていると云われている。

斯かる状況下、本邦メーカーの高度な技術を活かした高効率且つ環境に配慮した石炭火力発電所への期待度は高く、本邦インフラ会社の熟練した操業ノウハウの輸出、本邦商社の案件形成力や資金調達力、更に日本政府によるODAや制度金融などの資金支援や技術支援などを組み合わせた「本邦連合」による取組により、メーカーの裾野産業も含めた本邦輸出の拡大が見込まれる。また、完工後の操業支援も含め、本邦連合による総合的な取組をパッケージで提案することでも受注確度が上がるのが期待出来る。

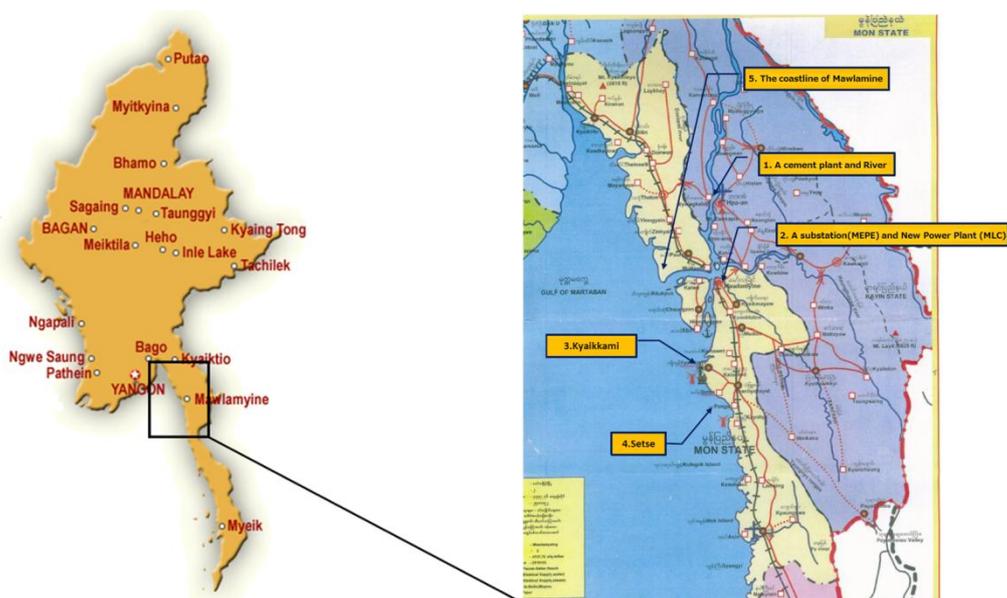
超々臨界圧石炭火力発電所の場合、ボイラ、蒸気タービン、発電機など主要機器類は本邦ポーション

となり、建設費総額に占める当該ポーションの比率は約 70%になりうると想定される。また、ミャンマーにて、石炭火力発電所の高効率な運転を維持するために、運転開始後も運転や補修の技術支援を行う Technical Service Agreement (TSA) や、重要部品の点検・保守、トラブル時の対応等、技術リスクをメーカーが担保する長期保守契約 Long Term Service Agreement (LTSA) を締結することで、建設期間だけでなく、運開後の操業期間における日本からの輸出拡大につながることを期待出来る。

(7) 案件実現までの具体的スケジュールおよび実現を阻むリスク

本調査結果をミャンマー政府に報告後、ミャンマー政府より日本政府に対し、円借款要請が発出される。ミャンマー政府より円借款要請を日本政府は受けた後、両政府は円借款要請に基づき、協力準備調査を行うための MOU を締結、その後、ミャンマー政府傘下の電力省と、日本政府が委託する日本企業の間で事業化調査を行うための MOU を締結することとなる。MOU 締結と並行し、円借款要請の為に、ミャンマーにおいて環境に配慮した石炭火力発電所（クリーンコール）の認知度を高める必要がある。ミャンマーでは、NGO 等の活動及び、ミャンマー内にある既存の石炭火力発電所が非効率、及び適切な環境処理を施していない為、周辺環境へ大きな影響を与えてしまっていることもあり、石炭火力発電＝環境負荷の高い電源であるとの認識が強くある。本プロジェクトを推進するためには、石炭燃焼により発生する二酸化炭素・硫黄酸化物・窒素酸化物などの有害物質を減少させる高効率な発電設備や脱硫・脱硝装置、集塵装置などの環境設備の導入により、環境負荷の小さい石炭火力発電を達成することが可能である点について広報することが求められる。また、有償資金協力がミャンマーの経済発展には重要である旨をミャンマー政府に周知させることにより、有償資金協力を受けやすい環境づくりをすることが求められ、テレビコマーシャルを使った広報活動、NGO、新聞等へのクリーンコールの説明、ミャンマー政府関係者へのクリーンコールに関する講習会の開催等を行うと共に、円借款要請に向け、ミャンマー政府関係者へ円借款によるインフラ開発が国家の発展に及ぼす効果等を説明する予定。

(8) 調査対象国内での事業実施地点がわかる地図



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)

フィリピン国マニラ首都圏

都市内中量輸送システム建設事業調査報告書

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：

株式会社トステムズ

株式会社オリエンタルコンサルタンツグローバル

三菱重工業株式会社

公益社団法人日本交通計画協会

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

本プロジェクトの対象地域であるマニラ市、マンダルーヨン市、パシグ市、カインタ市、タイタイ市はマニラ首都圏のほぼ中央部に位置し、マニラ首都圏における東西および南北の交通の要所となっている。マンダルーヨン市の東側には大規模ショッピングセンターのシューマートメガモール (SM Mega Mall) を始めとするマニラ第2の商業・ビジネス地区 (オルティガス CBD) が開発されている。一方、市の西側は住宅地が広がっている。本地域にはエドサ通りおよび MRT3 号線が縦断するため東西を横断する交通の動線が細く、慢性的な交通渋滞が深刻な社会問題となっている。また、オルティガス CBD の東側のカインタ市、タイタイ市は日系の工業団地があり、新興の住宅開発が進められている。このような状況のなか、マンダルーヨン市は交通インフラの整備および環境負荷軽減に意欲的であり、電気トライシクルや電気ジープニーの導入を実施してきた。しかしながら、増え続ける自動車交通による交通渋滞の解消には至っておらず、抜本的な渋滞緩和策および地域開発策として軌道系交通システムの導入を強く望んでおり、独自に軌道系交通システム導入のための計画調査も行っている。

また、マニラ首都圏については、道路交通渋滞の解消を主目的として JICA による「マニラ首都圏の持続的発展に向けた運輸交通ロードマップ作成支援調査 (2014 年)」や「フィリピン国マニラ首都圏ビジネス中心地区マストラランジット建設事業準備調査 (2014 年調査中)」等の調査が実施され、マスタープランレベルから、具体的な路線についての事業実現可能性調査 (F/S : Feasibility Study) が進められている段階である。JICA 調査では、南北通勤鉄道や地下鉄などの大量輸送システムに加えて、それらを補完する補助鉄道 (Secondary Line) の必要性が提言されている。

本調査ではマニラ市の LRT2 号線のサンタメサ駅またはグイマバ駅からマンダルーヨン市を通り MRT3 号線と結節し、更にオルティガス CBD を東進してタイタイ市に至る約 18km 区間に軌道系交通システムを導入する計画を提案するものである。上記の JICA で実施のロードマップ調査の Secondary Line の一つに本調査提案のルートとほぼ同様なルートが取り上げられている。

2) プロジェクトの必要性

本プロジェクトは、以下にあげる事項を実現するために必要と考えられる。

- ・ 道路交通渋滞の緩和
- ・ 沿線住民の利便性および安全の確保
- ・ 鉄道ネットワーク構築支援による経済活動の活性化

3) エネルギーの利用の高度化および合理化について

軌道系交通システムの導入により道路交通からのモーダルシフトが図られ、以下のエネルギー利用の高度化・合理化および環境改善効果が期待できる。

- ・ 道路交通の渋滞緩和と交通事故の減少
- ・ 渋滞緩和による大気汚染の改善と温室効果ガスの削減
- ・ 低騒音・低振動の軌道系交通システム導入による都市環境改善
- ・ 非化石エネルギー源の利用と化石エネルギー原料の有効利用

(2) プロジェクトの内容決定に関する基本方針

1) 調査の目的と概要

本調査は、マニラ首都圏のうちオルティガス CBD からタイタイ市方面の慢性的な交通渋滞を緩和するため、軌道系交通システムの導入により東西交通軸の強化を図ると共に、既存線や計画線との結節を考慮した交通ネットワークを形成することで、マニラ首都圏の経済活動の活性化に寄与することを目的とする。

フィリピン中心部のサンタメサ地区からマンダルーヨン市、並びにオルティガス CBD を経由して東部郊外のタイタイ市までの約 18km の区間における、軌道系交通システム建設事業の実現可能性を調査する。

2) 検討の方針

本プロジェクトの内容を決定するために、以下の方針で検討を行う。

a) 路線の選定

マニラの東に位置するタイタイ市からマニラの大きなビジネス街のひとつであるオルティガス地区を通過し、密集した住宅街であり人の往来が多いマンダルーヨン市周辺を通過して LRT2 号線のサンタメサ駅からギルモア駅周辺に通じるルートを検討する。ルート案設定の基本方針は、以下の通りである。

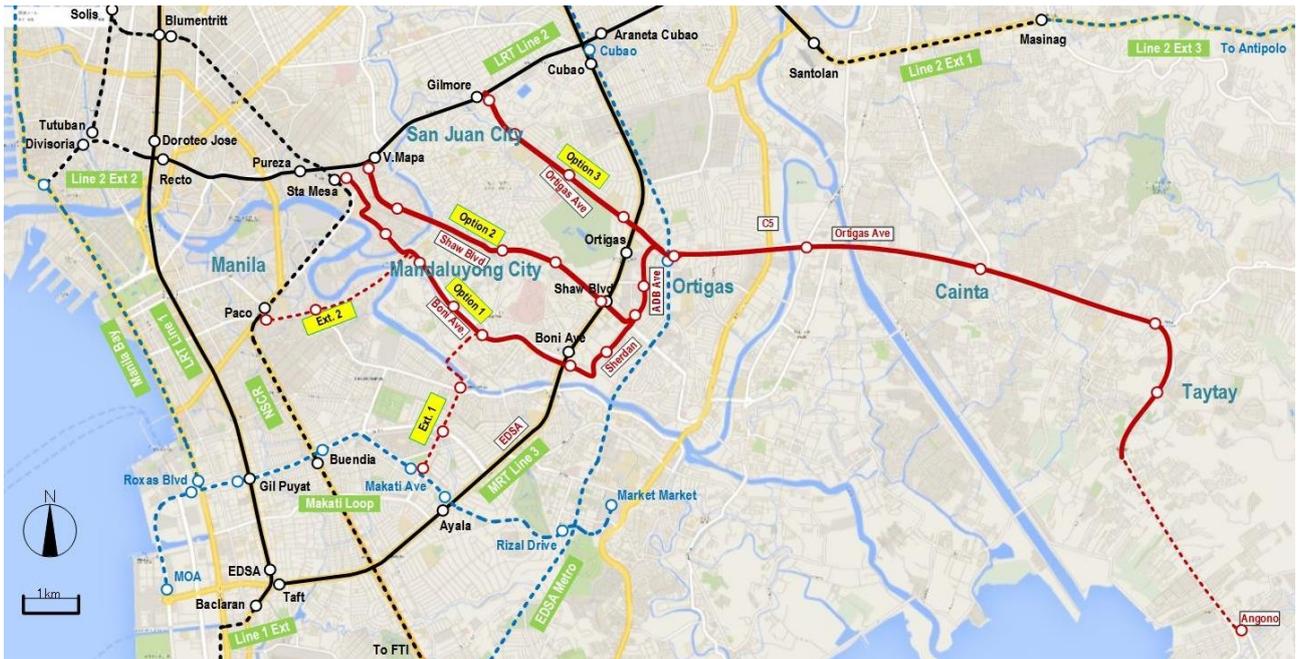
- ・マニラ首都圏の東西方向の交通軸強化と市街地の域内交通の役割を果たす路線
- ・道路交通混雑の緩和、利便性の向上、経済活性化に寄与するとともに最大限の裨益効果が期待できる路線
- ・将来延伸を考慮した路線
- ・非自発的住民移転を極力抑える路線

上記の方針に基づき、図 S-1 に示す 3 つのルート案を設定した。この 3 つのルートにおいて、オルティガス CBD 地区から東は、オルティガス通り上を通る同一のルートである。

ルート案の設定では、路線経路、主な導入空間、技術的課題、導入コスト、沿線開発計画等について 3 つのルート案を検討し、比較的评价の高いオプション 2 を最適ルート案として設定する。

オプション 2 の路線は、延長 18.4km で LRT2 号線のブイマパ駅と結節する西端から約 2.2km が地下区間でその他は高架で計画している。

図 S-1 提案路線



出典：調査団

b) 需要予測の検討

i) 方法

需要予測では MMUTIS (マニラ首都圏総合都市交通改善計画調査(JICA)) で作成された OD データを基礎データとして、現況キャリブレーションを行った現況 OD 表を作成している。将来 OD 表は最新の人口統計から将来人口を推計し作成している。新規開業鉄道、高速道路の将来計画を考慮したネットワークにおける配分計算により開業予定の 2023 年から 2053 年までの AGT の需要を予測する。

ii) 需要予測結果

表 S-1 需要予測結果

目標年次	年日利用者数 (人/日)	ピーク時片方向 1 時間 当たりの乗客数 (PPHPD)
2023 年 (開業年)	230,600	9,350
2032 年 (開業 10 年後)	377,500	14,580
2042 年 (開業 20 年後)	468,000	16,650
2052 年 (開業 30 年後)	484,000	17,000

出典：調査団

c) システム選定

システム選定の基本的考え方として、以下の役割を果たすことの可能な都市内交通システムを検討対象とする。

- ・ 道路交通混雑の緩和
- ・ 高い定時性、移動時間の短縮
- ・ 適切な輸送力の確保

- ・ 移動手段の選択の多様化
- ・ 利用客の安全性の確保
- ・ 周辺地域の景観との調和
- ・ 騒音等の環境問題の軽減

都市内交通システムの輸送力は、少量輸送システム（BRT）がおおよそ 5,000PPHPD 以下、中量輸送システム（モノレール、高架式 LRT、AGT 等）が 5,000～20,000PPHPD、大量輸送システム（一般鉄道）が 20,000PPHPD 以上というのが一般的な適正範囲となっている。ただし、海外向け AGT は、日本国内の AGT 車両より一回り大きいため 25,000～32,000PPHPD まで対応可能である。

BRT、モノレール、高架式 LRT、AGT、一般鉄道の 5 種類の都市内交通システムについて、運転特性、経済性、技術的側面、社会的側面などの指標で比較評価し、提案路線への最適な導入システムを選定した。その結果は表 S-2 に示す通りで、AGT が最も適していると考えられる。

表 S-2 システム選定の評価結果

評価指標		BRT	モノレール	高架式LRT	AGT	一般鉄道
需要	9,300～17,000PPHPD	×	○	○	○	○
導入空間	狭い道路幅員/曲線部	△	△	△	○	×
	道路交通渋滞の緩和	×	◎	△	◎	△
車両編成	変更の容易さ	—	△	◎	◎	○
構造物	シンプルさ	◎	○	△	○	△
建設費	構造物(高架部/地下部)	◎	△	△	○	△
	車両、E&M	◎	△	○	△	○
保守	車両、E&M	◎	△	△	○	△
都市環境	騒音・振動	△	○	△	◎	△
	日照	◎	○	△	△	△
緊急時	避難方法	○	△	○	○	○
総合評価		×	△	△	◎	△

出典：調査団

本調査では、上記で検討したシステムのうち比較的评价の高い AGT について事業実現性を検討する。

(3) プロジェクトの概要

1) プロジェクトの計画概要

表 S-3 プロジェクトの計画概要

導入システム	AGT を想定
路線長	18.4 km (高架：16.2km、地下：2.2km)
駅数	12 駅 (高架：10 駅、地下：2 駅)
開業予定年	2023 年
車両編成	6 両/編成
輸送能力	792 人/編成 (132 人 (1 両) × 6 両) *立席面積は 7 人/m ² と想定。
運転ヘッド	約 5～3 分ヘッド
表定速度	約 30km/h
所要時間	約 37 分 (プイマパ～タイタイ)
必要車両数	24 編成 (=144 両)：2023～2028 年 31 編成 (=186 両)：2029～2052 年 *7 編成 (=42 両) を 2029 年に増車する。
車両基地	6.7ha

出典：調査団

2) 事業総額

表 S-4 事業費

初期建設費 (2017～2022 年)：	12 億 8,790 万ドル (=1,403 億 7,100 万円=546 億 1,900 万ペソ)
追加車両費 (2028 年)：	9,320 万ドル (= 101 億 5,300 万円= 39 億 5,100 万ペソ)
総建設費	13 億 8,110 万ドル (=1,505 億 2,400 万円=585 億 7,000 万ペソ)

出典：調査団

3) 予備的な財務・経済分析の結果概要

表 S-5 経済分析結果

(社会的割引率=15%)

経済的内部収益率 (EIRR)	費用便益比 (B/C)	経済的純現在価値 (ENPV)
15.5%	1.04	28.9 (百万ドル)

出典：調査団

表 S-6 財務分析結果

財務的内部収益率 (FIRR)	加重平均資本コスト (WACC)	財務的純現在価値 (FNPV)
6.2%	0.6%	2,158.6 (百万ドル)

出典：調査団

4) 環境社会的側面の検討

a) プロジェクトの実施に伴う環境改善効果

AGTを導入する場合の環境改善効果 (CO₂削減量) を算定する。

AGTの導入で自動車からAGTに転移することにより削減される自動車から排出される二酸化炭素排出量と、AGT運行の際に消費する電力の発電に伴う二酸化炭素の発生量の差を算定して地球温暖化の評価を行うものとする。AGTプロジェクトの実施による二酸化炭素の削減量を表S-7に示す。

表S-7 AGTプロジェクトによる二酸化炭素削減量

年	自動車交通の転移による二酸化炭素削減量 (t-CO ₂ /y)	AGT運行による二酸化炭素排出 (t-CO ₂ /y)	二酸化炭素削減量 (t-CO ₂ /y)
2023	31,534	28,830	2,704
2030	48,146	39,081	9,065
2040	53,866	43,068	10,798
2053	63,001	43,638	19,363

出典：調査団

AGT開業時の2023年に2,704t-CO₂/y削減し、その後需要の伸び(自動車交通のAGTへの転移量の増加)に伴い削減量は増加すると推計され、AGTプロジェクトの実施は温室効果ガスの削減に寄与すると考えられる。

b) 環境社会配慮面での留意点

本プロジェクトの実施に伴う環境面、社会面で影響を及ぼすと想定される項目のうち、マニラ首都圏において軌道系交通プロジェクトを実施する際に環境社会配慮面で特に留意する点は、i) 用地取得・住民移転、ii) ラグナ湖流域での建設工事、iii) 放水路への影響の3項目である。

i) 用地取得・住民移転

AGTの導入空間を道路として用地取得・住民移転を極力抑える計画であるが、狭小な道路区間、曲線部等で影響が出るところがある。フィリピン国の用地取得・住民移転手続きに則り、すみやかに実施することが建設工期の短縮、建設コストの削減につながるものとなる。LRT1号線、LRT2号線、MRT3号線の工事の経験を生かし調整することが望ましい。

ii) ラグナ湖流域での建設工事

本プロジェクトサイトはマニラ市～タイタイ市に至る約18kmでラグナ湖流域に位置するため、事業実施においてラグナ湖開発局 (LLDA : Laguna Lake Development Authority) にプロジェクト実施

の申請をして許可を得る必要がある。

iii) 放水路への影響

マニラ首都圏は洪水対策のため放水路が設置されているので、本プロジェクトの実施により影響を及ぼさないように注意する必要がある。

(4) 実施スケジュール

図 S-2 実施スケジュール



出典：調査団

(5) 円借款要請・実施に関するフェージビリティ

1) 実施スキーム

本事業の実施には、公共セクターが公的資金を用いて純粋な公共事業として建設する方法と、パブリック・プライベート・パートナーシップ (PPP) の手法を用いて民間セクターが参加する方法が考えられる。表 S-8 に本事業の実施スキーム候補を示す。

表 S-8 実施スキーム候補

スキーム	資金調達、設計、建設/調達		O&M事業者
	土木工事	E&M/車両	
公共事業	公	公	公営事業者
PPP	A	公	民間事業者
	B	公	民間事業者
	C	公	民間事業者
	D	公 民	民間事業者
	E	民	民間事業者
	F	民	民間事業者
	G	民 公	民間事業者
民間事業	民	民	民間事業者

出典：調査団

2) 資金調達ソース

提案プロジェクトを公共事業として実施する場合、あるいは公共セクターと民間セクターが連携して PPP 事業として実施する場合のいずれにおいても、我が国の円借款を活用する事が期待されている。円借款において、フィリピンは中所得国のカテゴリに属し、表 S-9 に示す STEP（本邦技術活用条件）やアンタイトの一般条件の活用が可能である。提案プロジェクトを公共事業として実施する場合は、STEP あるいは一般条件のいずれも適用可能であると考えられる。提案プロジェクトを PPP 事業として実施する場合は、この公的金融をプロジェクトのどの部分に貸し付けるかによっては、STEP は適用できない可能性も考えられる。

表 S-9 フィリピン国に対する円借款供与条件

	供与条件
円借款 (STEP)	融資形態： 基準、タイト 融資割合： 総事業費の 100%までが融資対象可能。 融資条件： 融資対象となる契約額の 30%以上について、日本の 資機材、サービスを調達する事。 利率： 0.10%（固定金利、2014年10月参考値） 返済条件： 40年間（据置期間10年）
円借款 (一般条件)	融資形態： 基準、アンタイト 融資割合： 総事業費の 85%までが融資対象可能。 利率： 1.40%（固定金利、2014年10月参考値） 返済条件： 25年間（据置期間7年）

出典：調査団

(6) 我が国企業の技術面等での優位性

本調査では導入システムとして AGT システムを推奨している。AGT に対抗するシステムとして、BRT、モノレール、高架式 LRT、一般鉄道が想定されるが、表 S-2 「システム選定の評価結果」で示したよ

うに AGT を選定することにより競争の優位性を最大限に発揮することが可能と考えられる。特に、技術的な点では AGT の路線設定の自由度（最小曲線半径、最急勾配）が高架式 LRT、モノレール、一般鉄道より高いことがあげられ、用地買収を最小限に抑えることが可能となるばかりでなく、駅部を商業施設等と近接して設置し街との一体整備をすることで利便性の向上に寄与することとなる。また、提案ルートには地下トンネル区間を建設する必要があるが、高架から地下区間への連結区間が短くできることで経済的であるばかりでなく、市街地の分断化を極力抑えることが可能となる。

また、日本の AGT 企業は国内外に導入実績を数多く有しており、導入先の国々から強い信頼を得ている。

(7) 案件実現までの具体的スケジュールおよび実現を阻むリスク

案件実現までの準備段階における具体的なスケジュールを図 S-3 に示す。

図 S-3 案件実現までの具体的なスケジュール

	2014	2015	2016	2017
1.準備段階				
(1) METI FS	■			
(2) 詳細JICA FS		■		
(3) EIA調査, 住民移転計画		■		
(4) 事業の承認			▼	
(5) L/A			■	
(6) コンサルタンの選定				■
(7) 基本設計, 入札, 契約				■
(8) 用地収用, 移転, 移設			■	■

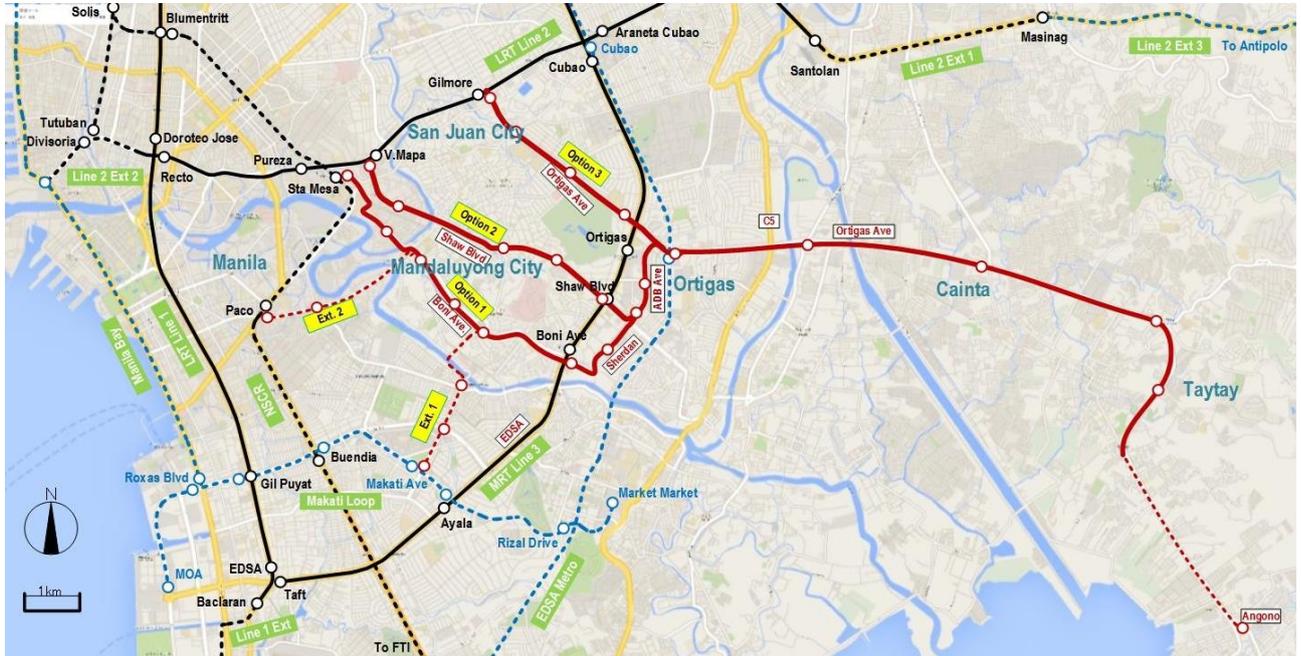
出典：調査団

プロジェクト実現にむけた潜在的なリスクとしては、現時点で以下が挙げられる。

- ・ 沿線住民や法人による反対
- ・ バスやジープニーの路線変更に対する利用者および事業者からの抵抗
- ・ 用地取得規模が大きくなった場合の用地取得遅延リスクと多大な補償費
- ・ 建設期間中の道路交通への影響に係る計画への反抗

(8) 調査対象国内での事業実施地点が分かる地図

図 S-4 事業実施地域



マニラ首都圏



フィリピン国



出典：調査団